

製材利用を目的とした人工林における二酸化炭素吸収機能の有効性の評価と考察：森林管理及び林道整備による排出量との収支を含めて

竹内, 秀樹 / TAKEUCHI, Hideki

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

313

(発行年 / Year)

2022-09-15

(学位授与番号 / Degree Number)

32675甲第550号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2022-09-15

(学位名 / Degree Name)

博士(公共政策学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00025866>

法政大学審査学位論文

製材利用を目的とした人工林における二酸化炭素
吸収機能の有効性の評価と考察
—森林管理及び林道整備による排出量との収支を含めて—

竹内 秀樹

目次

第1章	はじめに.....	1
第2章	先行研究について.....	13
2-1.	育林・丸太生産を中心とした各工程に関する評価に関して.....	13
2-2.	建築材料としての使用の有効性の評価に関して.....	15
2-3.	林道整備に対する評価に関して.....	16
2-4.	様々なプロセスの評価に関して.....	17
2-5.	海外の先行研究について.....	17
2-6.	評価方法について.....	19
第3章	二酸化炭素吸収量と排出量の算出方法.....	21
3-1.	製材に含まれる炭素量(炭素固定量)の計算方法.....	21
3-2.	種子・苗木生産.....	22
3-2-1.	コンテナ苗.....	22
3-2-2.	林業種苗法.....	24
3-2-3.	ミニチュア採種園.....	24
3-2-4.	種子生産・貯蔵.....	26
3-2-5.	種子のまきつけ.....	27
3-3.	育林・丸太生産及び製材生産.....	31
3-3-1.	育林・丸太生産プロセスについて.....	31
3-3-2.	製材生産プロセスについて.....	34
3-3-3.	木材の保存処理について.....	38
3-4.	林道整備工事.....	38
3-5.	作業機械及び建設機械の運転・運搬・製造・減耗・廃棄に係る二酸化炭素排出量.....	39
3-5-1.	製造過程及び廃棄過程.....	41
3-5-2.	稼働過程.....	42
3-5-3.	林業機械等以外の作業機械について.....	43
3-6.	資材について.....	44
3-7.	作業機械及び資材の運搬について.....	44
3-7-1.	運搬の間接補正率の設定について.....	45
第4章	人工林管理における二酸化炭素排出量の推計.....	51
4-1.	種子・苗木生産プロセス.....	51
4-1-1.	ミニチュア採種園の造成及び施肥.....	52
4-1-2.	ミニチュア採種園の農薬散布及び管理.....	52
4-1-3.	ミニチュア採種園の球果採取・種子貯蔵及び種子の配布.....	52
4-1-4.	苗木生産の苗畑耕耘及び施肥.....	53
4-1-5.	苗木生産の管理及び農薬散布.....	53
4-1-6.	苗木の貯蔵.....	53
4-1-7.	コンテナ苗.....	54
4-1-8.	種子・苗木生産プロセスまとめ.....	54
4-2.	育林・丸太生産プロセス.....	56
4-2-1.	地拵え.....	56
4-2-2.	普通苗(裸苗)の植付け.....	56

4-2-3. コンテナ苗の植付け	56
4-2-4. 下刈り	57
4-2-5. 除伐・つる切り	57
4-2-6. 枝打ち	57
4-2-7. 作業路作設	57
4-2-8. 第1回間伐(切捨間伐)	57
4-2-9. 第2回間伐(利用間伐)	58
4-2-10. 第3回間伐(利用間伐)	58
4-2-11. 主伐	58
4-2-12. 通勤	58
4-2-13. 伐採と造林の一貫作業	60
4-2-14. 育林・丸太生産プロセスまとめ	61
4-3. 製材生産プロセス	63
4-3-1. 丸太運搬	63
4-3-2. 原木市場	63
4-3-3. 製材所	64
4-3-4. 人工乾燥	64
4-3-5. プレカット工場	64
4-3-6. 木材保存処理	65
4-3-7. 製材生産プロセスまとめ	66
4-4. 結果	68
4-5. 林道における二酸化炭素排出量の推計	77
4-5-1. 林業専用道開設(新設)工事	77
4-5-2. 林道災害復旧工事	78
4-5-3. 森林作業道開設(新設)工事	79
4-5-4. 林道整備における二酸化炭素排出量のまとめ	79
4-5-5. 直近5カ年平均の林道災害復旧工事及び林業専用道開設(新設)工事, 森林作 業道開設(新設)工事における二酸化炭素排出量の考察	82
第5章 二酸化炭素収支と丸太材積量	92
第6章 まとめ	98
付録1 使用した二酸化炭素排出量原単位等	104
付録2 種子・苗木生産～製材生産までの各プロセスの二酸化炭素排出量の算出表	110
付録2-1. 種子・苗木生産プロセス	110
付録2-1-1. ミニチュア採種園の造成及び施肥	110
付録2-1-2. ミニチュア採種園の農薬散布及び管理	116
付録2-1-3. ミニチュア採種園の球果採取・種子貯蔵及び種子の配布	125
付録2-1-4. 苗木生産の苗畑耕耘及び施肥	132
付録2-1-5. 苗木生産の管理及び農薬散布	145
付録2-1-6. 苗木の貯蔵	155
付録2-1-7. コンテナ苗	159
付録2-2. 育林・丸太生産プロセス	178
付録2-2-1. 地拵え	178
付録2-2-2. 普通苗(裸苗)の植付け	181

付録 2-2-3. コンテナ苗の植付け	186
付録 2-2-4. 下刈り	190
付録 2-2-5. 除伐・つる切り	193
付録 2-2-6. 作業路作設	196
付録 2-2-7. 第 1 回間伐(切捨間伐)	200
付録 2-2-8. 第 2 回間伐(利用間伐)	203
付録 2-2-9. 第 3 回間伐(利用間伐)	209
付録 2-2-10. 主伐	215
付録 2-2-11. 通勤	221
付録 2-2-12. 伐採と造林の一貫作業	224
付録 2-3. 製材生産プロセス	231
付録 2-3-1. 丸太運搬	231
付録 2-3-2. 原木市場	234
付録 2-3-3. 製材所	239
付録 2-3-4. 人工乾燥	246
付録 2-3-5. プレカット工場	249
付録 2-3-6. 木材保存処理	251
付録 3 林道整備における二酸化炭素排出量の算出表	256
付録 3-1. 林業専用道開設(新設)工事	256
付録 3-2. 林道災害復旧工事	301
参考文献	307

図表一覧

図表 1	森林面積の推移.....	1
図表 2	森林蓄積の状況.....	2
図表 3	諸外国の森林蓄積量に対する木材生産量の比率.....	2
図表 4	日本の製材用材自給率と需要(供給)量(製材用材).....	4
図表 5	我が国の木材価格の推移.....	5
図表 6	林業従事者の推移.....	5
図表 7	第一約束期間の温室効果ガス排出量.....	6
図表 8	Hypothetical trends of gross production, stand respiration, net production and biomass in an age-series of dense pure stands(高密度の一斉林における総生産量, 林分呼吸量, 純生産量等の経年変化の模式図).....	7
図表 9	4つの林業シナリオに基づくシミュレーション結果の比較.....	8
図表 10	本論文で分析対象としたプロセス.....	10
図表 11	本論文で分析対象としたプロセスの模式図.....	21
図表 12	山行苗木の生産量推移.....	22
図表 13	苗木生産者の現状.....	23
図表 14	コンテナ苗のビニルハウス.....	23
図表 15	ミニチュア採種園.....	25
図表 16	スギの球果.....	25
図表 17	ミニチュア採種園の管理.....	26
図表 18	ミニチュア採種園の球果採取.....	26
図表 19	ミニチュア採種園の種子精選, 種子貯蔵.....	26
図表 20	スギ苗畑.....	28
図表 21	スギの苗畑モデル.....	28
図表 22	スギの生産に係る作業範囲と作業機械モデル.....	29
図表 23	スギミニチュア採種園の管理及びスギ育苗暦(2回床替 満3年生苗, 1-1-1 苗).....	30
図表 24	スギ収穫表モデル.....	32
図表 25	スギ収穫表モデルの直径分布.....	32
図表 26	間伐・主伐の丸太材積及び丸太本数(長さ: 3.2m).....	33
図表 27	群馬県素材生産流通協同組合の原木市場.....	34
図表 28	某製材所における径級による木取り(粗挽き).....	35
図表 29	某製材所(1).....	36
図表 30	某製材所(2).....	36
図表 31	某製材所(3).....	37
図表 32	林道整備の工事.....	39
図表 33	林道及び森林作業道の工事に係る各過程の環境負荷.....	39
図表 34	作業機械の製造・廃棄過程における質量 1t あたりの二酸化炭素排出量.....	40
図表 35	林道整備工事に係る各過程の環境負荷.....	40
図表 36	道路貨物輸送部門の二酸化炭素排出原単位の内訳.....	45
図表 37-1	種子・苗木生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(普通苗).....	55
図表 37-2	種子・苗木生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(コンテナ苗).....	55
図表 38	種子・苗木生産プロセスにおける製材材積 1 m ³ あたりの二酸化炭素排出量グラフ.....	55
図表 39-1	育林・丸太生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(普通苗).....	61

図表 39-2	育林・丸太生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(コンテナ苗)	62
図表 39-3	育林・丸太生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(伐採と造林の一貫システム)	62
図表 40	育林・丸太生産プロセスにおける製材材積 1 m ³ あたりの二酸化炭素排出量グラフ	62
図表 41	防腐木材生産量の構成比	66
図表 42	在来工法における部材別シェア	66
図表 43	製材生産プロセスにおける二酸化炭素排出量	67
図表 44	製材生産プロセスにおける製材材積 1 m ³ あたりの二酸化炭素排出量グラフ	68
図表 45	製材品出荷量(用途別)の推移と人工乾燥材の割合	69
図表 46	木質バイオマスエネルギー利用動向調査の業種別及び熱の用途別ボイラー数	70
図表 47-1	全プロセスにおける二酸化炭素排出量(普通苗)	71
図表 47-2	全プロセスにおける二酸化炭素排出量(コンテナ苗)	72
図表 48-1	全プロセスにおける製材材積 1 m ³ あたりの二酸化炭素排出量グラフ(普通苗)	73
図表 48-2	全プロセスにおける製材材積 1 m ³ あたりの二酸化炭素排出量グラフ(コンテナ苗)	74
図表 49	全プロセスにおける作業機械および資材から排出される二酸化炭素排出量の割合	75
図表 50	コンテナ苗と普通苗の二酸化炭素排出量の比較	75
図表 51	普通苗, コンテナ苗及び伐採と造林の一貫作業システム導入ケースの二酸化炭素排出量比較	76
図表 52	林業専用道開設(新設)工事における二酸化炭素排出量比率	78
図表 53	林道災害復旧工事における二酸化炭素排出量比率	79
図表 54	林道整備工事における調査集計表	80
図表 55	林道災害復旧工事の二酸化炭素排出量と工事費の相関(散布図)	80
図表 56	林業専用道開設(新設)工事の二酸化炭素排出量と施工延長の相関(散布図)	81
図表 57	直近 5 カ年の民・国有林林道災害復旧歳出額及び林業専用道・森林作業道開設延長距離	82
図表 58	直近 5 カ年の全樹種の製材用合計	83
図表 59	林道整備を含めた全プロセス(普通苗)におけるスギ製材 1 m ³ あたりの二酸化炭素排出量	85
図表 60	林道整備を含めた全プロセス(コンテナ苗)におけるスギ製材 1 m ³ あたりの二酸化炭素排出量	86
図表 61	国産材製材用材積の推移	87
図表 62	1969(昭和 44)年～2018(平成 30)年, 50 年間の林道災害復旧工事歳出額の推移	87
図表 63	民有林・国有林林道延長の推移(累計)	88
図表 64	群馬県の収穫予想表(スギ)	93
図表 65	収穫予測モデル 1～5 の林齢 50 年の状況	95
図表 66	収穫予測モデル 1～5 の算出結果	95
図表 67	収穫丸太材積における二酸化炭素排出量の比較	96
図表 68	建築延べ床面積 10m ² あたりの構造別面積原単位	100
図表 69	平均的な住宅の二酸化炭素排出量(試算)	100
図表 70	平均的な住宅の構造材別使用量における二酸化炭素排出量	100
図表 71	使用した燃料等の二酸化炭素排出量原単位	104
図表 72	使用した資材及び廃材の比重	105
図表 73	使用した資材等の二酸化炭素排出量原単位	106
図表 74	使用した建設機械損料算定表等の一覧	108

図表75-1	ミニチュア採種園の造成及び施肥に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	115
図表75-2-1	ミニチュア採種園の農薬散布及び管理に係る二酸化炭素排出量の算出表1/2.....	123
図表75-2-2	ミニチュア採種園の農薬散布及び管理に係る二酸化炭素排出量の算出表2/2.....	124
図表75-3	ミニチュア採種園の球果採種及び貯蔵・種子配布に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	131
図表75-4-1	苗木生産の苗畑耕耘及び施肥に係る二酸化炭素排出量の算出表1/2.....	143
図表75-4-2	苗木生産の苗畑耕耘及び施肥に係る二酸化炭素排出量の算出表2/2.....	144
図表75-5	苗木生産の管理及び農薬散布に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	154
図表75-6	苗木の貯蔵に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	158
図表75-7-1	コンテナ苗に係る二酸化炭素排出量の算出表1/4.....	174
図表75-7-2	コンテナ苗に係る二酸化炭素排出量の算出表2/4.....	175
図表75-7-3	コンテナ苗に係る二酸化炭素排出量の算出表3/4.....	176
図表75-7-4	コンテナ苗に係る二酸化炭素排出量の算出表4/4.....	177
図表76-1	地拵えに係る二酸化炭素排出量の算出表.....	180
図表76-2	普通苗(裸苗)の植付けに係る二酸化炭素排出量の算出表.....	185
図表76-3-1	コンテナ苗の植付けに係る二酸化炭素排出量の算出表1/2.....	188
図表76-3-2	コンテナ苗の植付けに係る二酸化炭素排出量の算出表2/2.....	189
図表76-4	下刈りに係る二酸化炭素排出量の算出表.....	192
図表76-5	除伐・つる切りに係る二酸化炭素排出量の算出表.....	195
図表76-6	作業路作設に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	199
図表76-7	第1回間伐(切捨間伐)に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	202
図表76-8	第2回間伐(利用間伐)に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	208
図表76-9	第3回間伐(利用間伐)に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	214
図表76-10	主伐に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	220
図表76-11	通勤に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	223
図表76-12-1	伐採と造林の一貫作業に係る二酸化炭素排出量の算出表1/3.....	228
図表76-12-2	伐採と造林の一貫作業に係る二酸化炭素排出量の算出表2/3.....	229
図表76-12-3	伐採と造林の一貫作業に係る二酸化炭素排出量の算出表3/3.....	230
図表77-1	丸太運搬に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	233
図表77-2	原木市場に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	238
図表77-3	製材所に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	245
図表77-4	人工乾燥に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	248
図表77-5	プレカット工場に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	250
図表77-6	木材保存処理に係る二酸化炭素排出量の算出表.....	254
図表78-1	岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表1/5.....	292
図表78-2	岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表2/5.....	293
図表78-3	岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表3/5.....	294
図表78-4	岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表4/5.....	295
図表78-5	岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表5/5.....	296
図表79-1	林業専用道開設(新設)工事に係る二酸化炭素排出量1/3.....	298
図表79-2	林業専用道開設(新設)工事に係る二酸化炭素排出量2/3.....	299
図表79-3	林業専用道開設(新設)工事に係る二酸化炭素排出量3/3.....	300
図表80-1	俎板山林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量の算出表1/2.....	302

図表80-2	俣板山林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量の算出表2/2.....	303
図表81-1	林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量1/2.....	305
図表81-2	林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量1/2.....	306

ヒアリング調査一覧

日付	所要時間(分)	組織名	対応者	主な調査項目
2014年9月16日	135	角田苗木園	匿名希望	普通苗及びコンテナ苗の生産, 苗畑及びビニルハウスの管理及び歩掛等
2014年8月27日	135	群馬県林業試験場	匿名希望	スギ種子の生産, ミニチュア採種園, 採取園の管理及び歩掛等
2014年9月16日	60	某製材所	匿名希望	丸太の仕入, 製材の過程及び歩留り, 製材に関わる重機, 製材の生産量等
2014年9月16日	60	群馬県素材生産流通協同組合	匿名希望	丸太の運搬, 残材の処理等
		(有)内山林業	内山社長	林分の施業等
2022年1月5日	45	群馬森林管理署	匿名希望	伐採と造林の一貫システム, グランドレーキ, 地拵え等
	30	(株)吉本	由井専務	グランドレーキ, 地拵え等
2014年4月16日	60	日本木材防腐工業組合	匿名希望	防腐木材等
2022年2月18日	30			薬剤の二酸化炭素排出量原単位等

問い合わせ一覧

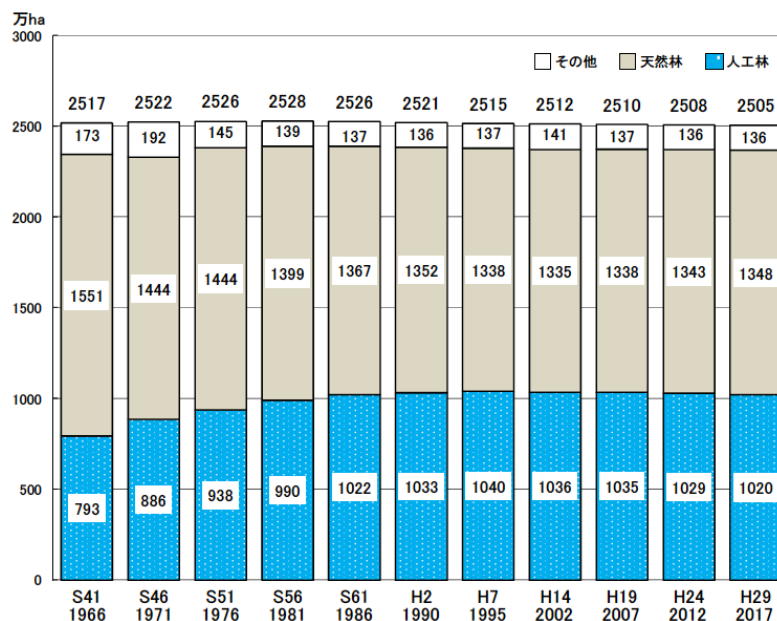
日付	所要時間(分)	組織名	対応者	主な調査項目
2017年8月3日	15	(社)埼玉県農林公社, 秩父事務所	匿名希望	林業専用道及び森林作業道等
2017年12月7日	45	関東森林管理局, 総務企画部総務課	匿名希望	開示請求, 林業専用道及び森林作業道等
2019年8月29日	45	オーアイ・イノベーション(株)	匿名希望	製材所の各機械とその重量, 製材所の設計等
2014年12月10日	45	パナソニック産機システムズ(株)	匿名希望	冷凍装置の能力等
2014年10月7日	15	群馬県土地改良区, 中部農業事務所管内	匿名希望	農業用水のLCA等
2018年3月27日	15	(一社)日本鉄鋼連盟, 技術・環境部, 地球環境グループ	匿名希望	溶融亜鉛メッキ鋼材・線材のLCA等
2022年2月8日	30	(株)ヤスジマ	匿名希望	木材保存処理装置, 薬剤量, 水道使用量等
2021年12月1日	20	関東森林管理局, 計画保全部計画課	匿名希望	スギ収穫表等

第1章 はじめに

気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)の第5次評価報告書(AR5, 2013~2014年)¹では、気候システムの温暖化には疑う余地がなく、人間による影響が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高いことが示されている。2021(令和3)年8月に第6次評価報告書(AR6, 2018~2019年)²の第1作業部会報告書『気候変動 - 自然科学的根拠』が公表された。その中で、人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がないこと、大気、海洋、雪氷圏及び生物圏において、広範囲かつ急速な変化が現れていることが示された。また、世界気象機関(World Meteorological Organization, WMO)は、全球大気監視(Global Atmosphere Watch, GAW)計画から得られた観測成果の最新の解析によると、大気中の二酸化炭素濃度は、2020(令和2)年に工業化(1750年)以前の149%に達したことが明らかにされている。これは、主として化石燃料の燃焼とセメント生産からの排出による結果であるとしている³。このように地球温暖化問題は、人為的な原因のうち温室効果ガス(Greenhouse Gas, GHG)の増加による気温上昇の要因のひとつであり、このまま放置すれば地球及び人類にとって致命的と言わざるを得ない。

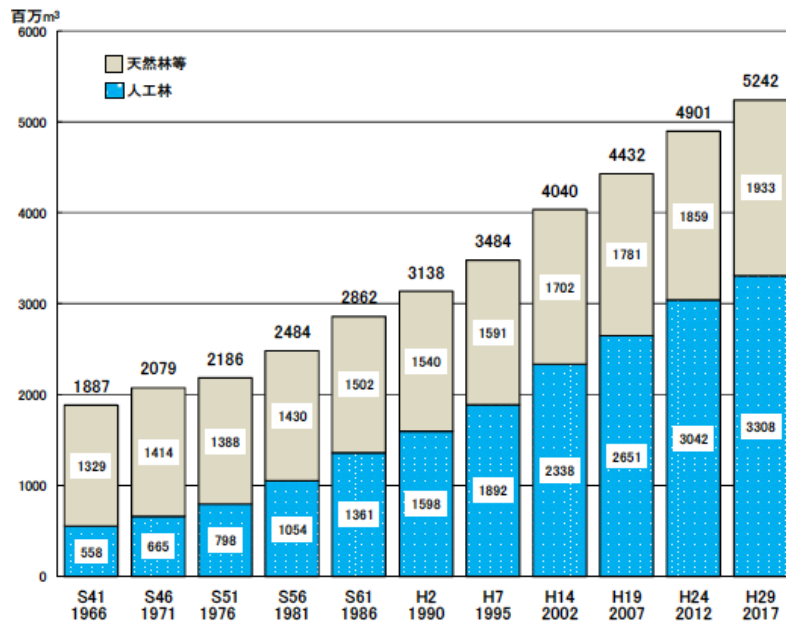
こうした背景の中で地球温暖化緩和策のひとつである人工林による二酸化炭素吸収機能としての有効性については、世界中で議論されている。本論文では、まず、日本の森林の現状について説明する。その際、様々なデータを挙げながら、森林の現状及びその歴史についても触れる事にする。またこれは、林業経営の現状を把握することも含まれている。この事によって本研究のリサーチクエスチョンがより明確に把握されるであろう。

図表1,2は、林野庁が概ね5年ごとに公表している森林資源の現況調査である。図表1は、国内の森林面積の推移を示したものである。これによると過去40年間森林面積の増減はなく、ほぼ横ばいに推移している。国内の森林は、2017(平成29)年3月末現在で国土面積全体の67%⁴にあたる。これは、森林面積2,505万haであり、このうち人工林は、1,020万ha⁵を占めている。また、人工林は、1966(昭和41)年の793万haから2007(平成19)年の1,020万haと約30%増え、現在では、日本の森林面積の約40%に相当している。



図表1 森林面積の推移

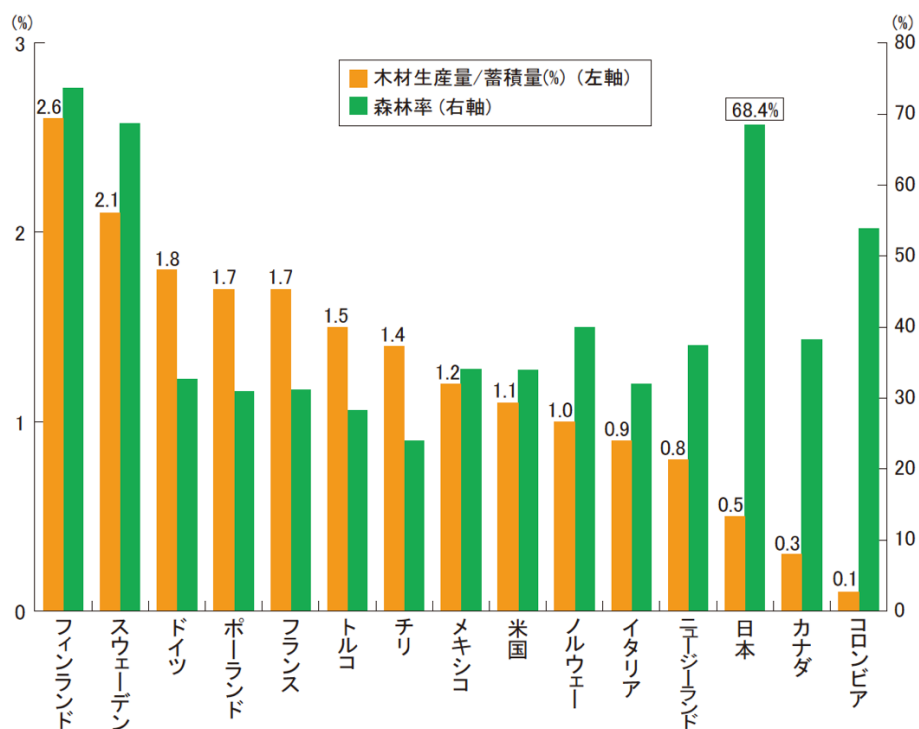
出典：林野庁(2017)「森林資源の現況」(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/2-1.pdf>)



図表2 森林蓄積の状況

出典：林野庁(2017)「森林資源の現況」(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/2-1.pdf>)

図表2は、森林蓄積量の変化を示したものである。これによると、森林資源量の目安となる森林蓄積(森林を構成する樹木の幹の体積)は、2017(平成29)年度において、5,242百万m³となり、1966(昭和41)年の1,887百万m³に比べ、約2.8倍に増加している。人工林では558百万m³から3,306百万m³と約6倍も増えていることがわかる。



図表3 諸外国の森林蓄積量に対する木材生産量の比率

出典：林野庁編(2020)『令和2年度 森林・林業白書』p.120より筆者加筆。

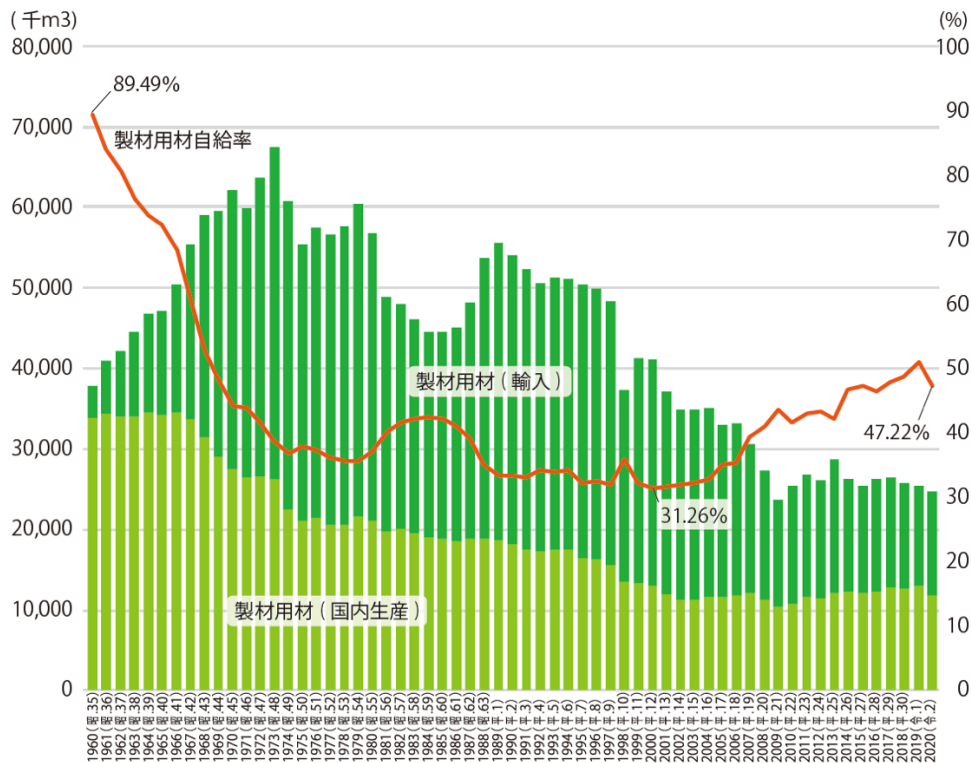
図表 3 は、経済協力開発機構(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)加盟国 37 カ国のうち森林蓄積量上位 15 カ国について、2017(平成 29)年時点の森林蓄積量に対する年間の木材生産量の比率を表したものである。橙色は、森林蓄積量に対する木材生産量の割合、緑色は、森林率(陸地面積に対する森林面積の比率、%)を示したものである。これによると、日本は森林率が 68.4%であり、フィンランド、スウェーデンに次いで第 3 位と世界有数の森林国である。しかし、森林蓄積量に対する木材生産量の比率は、約 0.5%と他国に比べて低位な状況にある。この事は、すなわち、伐採量より蓄積量が多いことを示している。

この背景には、戦後の拡大造林政策が関係している。1945(昭和 20)年～1955(昭和 30)年代には、戦後の復興等のため、主に建築や土木の用途となる木材需要が急増して、木材が不足した。このため、造林が急務となり、終戦直後や高度経済成長期に経済的価値の高いスギやヒノキの針葉樹に置き換える拡大造林が急速に進み、伐採跡地に造林されたものが多くを占めている。尚、この政策によって、1965(昭和 40)年代半ばまで毎年約 40 万 ha 弱の造林が行われてきた⁶。

一方、同時期には、毎年のように甚大な風水害(強風と大雨が同時に起こって発生する災害)が発生している。特に、1947(昭和 22)年 9 月に関東、北日本を襲ったカスリーン台風は、利根川上流域に多くの降水をもたらした。山腹崩壊に伴う土石流の発生や河川の氾濫により、利根川流域の 1 都 5 県で死者数 1,100 名、家屋の浸水 303,160 戸、家屋倒半壊 31,381 戸、田畑の浸水 176,789ha の被害があった。当時の資料によると、罹災者数は埼玉県及び東京都だけで 72 万人にのぼると推定された⁷。

利根川の上流域である群馬県の森林被害は、新生崩壊地 1,874 町(約 1,855ha, 1 町=0.99ha 換算)、林地消失 2,000 町(約 1,980ha, 1 町=0.99ha 換算)、立木流出 150 万石(約 420,000m³, 1 石=0.28 m³ 木材の換算)、林道及び作業道被害 75km という状況であった。特に県下最大の被害地であった赤城山では多くの斜面崩壊や土石流(山津波)等の山地災害が発生した。その下流では宅地や農地に大量の巨石と流木等が 2～5m の高さで堆積し、利根川本川まで到達した土石流は一時流れを堰き止めて、浸水被害をもたらした。カスリーン台風襲来前の赤城山周辺の植生は、そのほとんどが裸地あるいは 5,6 年生の広葉樹が生育しているのみであった。そして、赤城山では治山事業による植栽等が行われ、1974(昭和 49)年にはほとんど完了した。その後、1981(昭和 56)年 8 月の台風第 15 号は、利根川上流域で 1947(昭和 22)年災害時と同規模の降雨量であったが、群馬県内の森林被害は林地荒廃 67ha 等に留まっている⁷。このことは、植栽等の森林整備による政策が功を奏したためであると言えるであろう。

その後の日本社会は、資源・エネルギーへの依存形態が変化した。エネルギー利用として燃料は、森林バイオマスから化石燃料へ転換された。また、農業用肥料も化学肥料に転換された。このため、薪炭材や農用林は不要となった。いわゆる燃料革命、肥料革命である。さらに、外材の輸入が自由化され、国産材の需要が減少したため、1960(昭和 35)年には建築等に使用されている製材用材の自給率が 84.49%であったものが、2000(平成 12)年では 31.26%にまで落ち込んでいる。その後、回復傾向となり、2020(令和 2)年では 47.22%にまで回復している。図表 4 は、1960(昭和 35)年から 2020(令和 2)年までの製材用材の国内生産と輸入及び製材用材の自給率と需要(供給)量の推移を示したものである。日本は国土面積の 67%を森林が占める世界有数の森林大国でありながら供給されている製材用材の 52.78%は外国からの輸入に頼っているという現状である。



図表4 日本の製材用材自給率と需要(供給)量(製材用材)

出典：政府統計(e-Stat)「木材需給報告書」より筆者作成。

昭和35年～平成25年のデータ：主要需要部門別自県・他県・外材別素材入荷量累年統計

(<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000007053256&fileKind=0>)

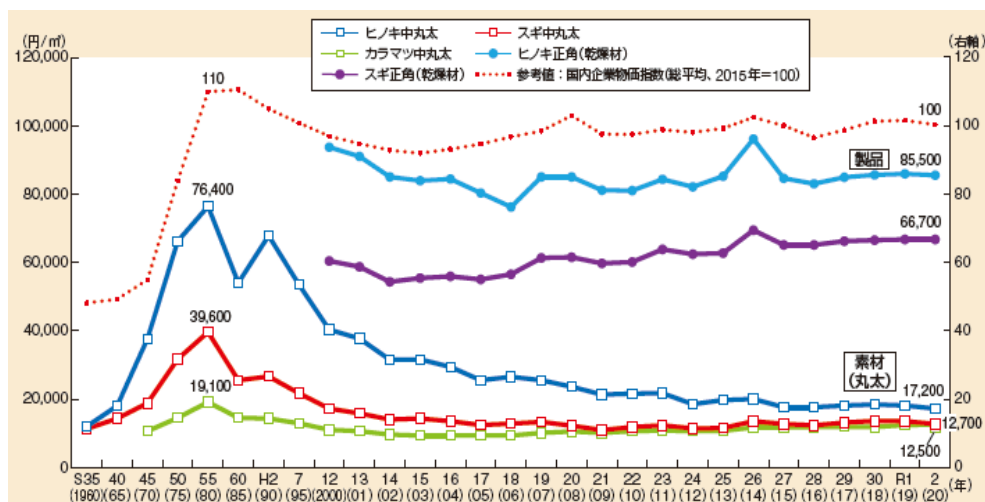
平成25年～令和2年のデータ：各年の木材需給報告書

(https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=normal&toukei=00500217&tstat=000001014476&survey=%E6%9C%A8%E6%9D%90%E7%B5%B1%E8%A8%88%E8%AA%BF%E6%9F%BB&result_page=1)

多くの人工林は、間伐等が遅れ放置された状態で全国に広がっている。それらの人工林は今後さらに成長しても木材としての品質が低下してしまうため買いたたかれてしまうばかりか、林地に表面侵食が発生して国土保全上も好ましくない。この現状には複合的な要因がある。その原因は一言で言えば林業の衰退である。一つは、金属製品や石油製品、コンクリート製品など地下資源を加工して得られる代替品の普及である⁸。もう一つは、外国産材の輸入である。この事により国産材の流通が減少しはじめ、安定供給の外国産材が総合商社を通じて供給される流通構造⁹となった。そして、自給率が低下し林業は衰退傾向となった。

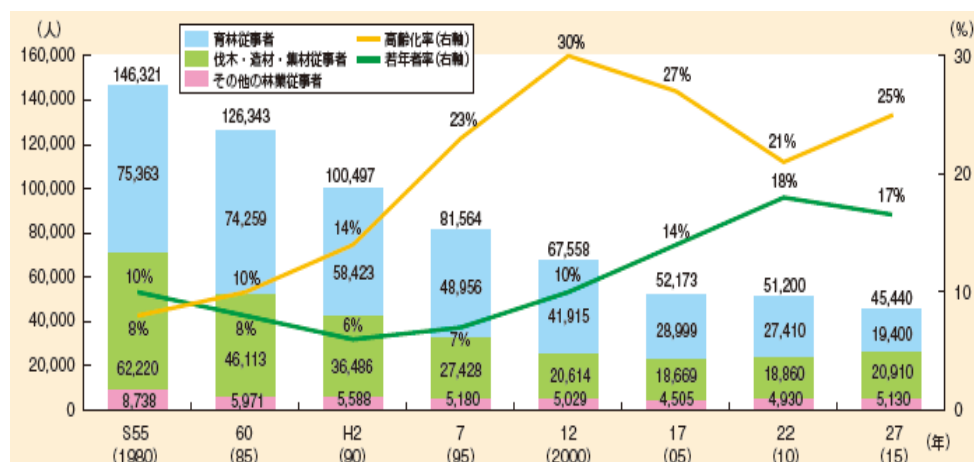
図表5は、国内産木材の価格の推移を示したものである。この図より、現在では、丸太の価格は1960年代の水準になり、苗木の植付けから成長とともに下刈、除伐、枝打ち、間伐等の育林管理を行って良質の木材を生産する健全な林業経営は困難となっている。間伐・枝打ちなどの撫育はおろか、伐採後に後継樹を植えない「植栽放棄地」が増えているのである。(太田猛彦,2008)⁸また、図表6は国内の林業従事者数の推移を示したものである。この図から林業従事者の数は長期減少傾向を辿っていることがわかる。林野庁は、2003(平成15)年度から「緑の雇用」事業を開始し、新規就業者を対象とした研修等について支援している。2019(令和元)年度までに約19,000人がこの事業を活用して新たに就業している。しかし、新規就労者よりリタイア層の方が多く、実質的な林業労働者は自然減になっている。

この問題を解決するためには、木材価格を回復させることが不可欠である。また、木の本来の特長である温もりや断熱効果が活きる木造建築の良さを認識してもらうことも重要なことである。さらに、化石燃料を代替する材料としての利用や森林の多面的機能を最大限に発揮させること、地球温暖化緩和策としての持続可能な林業を実現することに努めなければならない。



図表5 我が国の木材価格の推移

出典：林野庁編(2020)『令和2年度 森林・林業白書』p.163



図表6 林業従事者の推移

出典：林野庁編(2020)『令和2年度 森林・林業白書』p.16

ここで森林管理に対する国際的対応について説明する。1992(平成4)年、大気中のGHG(温室効果ガス)濃度を安定化させることを究極の目標とする「国連気候変動枠組条約」がブラジルのリオ・サミット(地球サミット)において採択された。これにより世界は地球温暖化対策に世界全体で取り組んでいくことに合意した¹⁰。このような状況下で京都議定書は、気候変動枠組条約に関する議定書として2005(平成17)年2月に発効された。この内容のあらまは以下の通りである。

我が国は、第一約束期間(2008～2012年)において基準年(原則として1990年)と比較して6%のGHGを削減することとなり、このうち3.8%を森林吸収源対策により確保することとしている。このルールでは、人工林では適正に管理されている森林の吸収量だけが削減目標の達成に利

用することが認められている。日本林業の最大の課題は、伐採後の再生林がなされていないことにある。この事は、諸外国に比べ造林コストが高いため再生林をしても赤字となってしまう不安定な状況にある¹¹。人工林を健全に保つためには、適時適切に間伐等の森林整備を行うことが必要である。人工林を健全に維持するために森林整備を推進し、森林経営計画の策定面積を効率的に増やすことが、吸収源対策になる。国内においては、京都議定書発効をきっかけに、地球温暖化の緩和対策の一環として、森林の吸収源活動の重要性(京都議定書第3条3項、4項¹²)が認識されている。

図表7は日本における第一約束期間の温室効果ガスの排出量をまとめたものである。それによると、5ヵ年平均で、温室効果ガス総排出量は基準年比1.4%増となった¹³。一方、森林吸収源対策では算入上限値(京都議定書第一約束期間の削減目標達成に向け、森林等による吸収量として算入できる上限値)である基準年比3.8%の吸収量を確保することができた¹³。これに京都メカニズムクレジット等による削減量を加味すると、温室効果ガス総排出量は基準年比8.2%減となり、削減目標を達成することができた¹³。尚、図表7は国立環境研究所 地球環境研究センター発行の「地球環境研究センターニュースVol.24 [2013年度]」を引用したものである。

実際の排出量		(単位:百万t-CO ₂ 換算)						
	京都議定書の基準年	2008	2009	2010	2011	2012 (速報値)	5ヵ年平均 排出量	基準年比
総排出量:①	1,261	1,282	1,207	1,257	1,308	1,341	1,279	1.4%
二酸化炭素(CO ₂)	1,144	1,214	1,141	1,191	1,241	1,275	1,212	5.4%
エネルギー起源	1,059	1,138	1,075	1,123	1,173	1,207	1,143	6.7%
非エネルギー起源	85.1	75.4	66.2	67.6	67.7	68.1	69.0	-1.3%
メタン(CH ₄)	33.4	21.8	21.2	20.8	20.3	20.0	20.8	-1.0%
一酸化二窒素(N ₂ O)	32.6	22.7	22.6	22.0	21.7	21.4	22.1	-0.8%
代替フロン等3ガス	51.2	23.7	21.7	23.6	25.1	25.1 ^{注1)}	23.8	-2.2%
ハイドロフルオロカーボン類 (HFCs)	20.2	15.3	16.6	18.3	20.5	20.5 ^{注1)}	18.2	-0.2%
パーフルオロカーボン類 (PFCs)	14.0	4.6	3.3	3.4	3.0	3.0 ^{注1)}	3.5	-0.8%
六ふつ化硫黄(SF ₆)	16.9	3.8	1.9	1.9	1.6	1.6 ^{注1)}	2.2	-1.2%

実際の総排出量から差し引ける量								
森林吸収量の目標 ^{注2)} :②		48	48	48	48	48	48	-3.8% ^{注5)}
京都メカニズムクレジット:③		83	72	77	50	91	74	-5.9% ^{注5)}
政府取得 ^{注3)}		20	20	20	20	20	20	-1.5% ^{注5)}
民間取得 ^{注4)}		63	52	57	30	71	55	-4.3% ^{注5)}
①-(②+③)		1,152	1,088	1,133	1,211	1,203	1,157	-8.2% ^{注5)}
								6%削減約束 < 1,186

図表7 第一約束期間の温室効果ガス排出量

出典：国立環境研究所 地球環境研究センター(2014)『地球環境研究センターニュースVol.24

2014年1月号 [Vol.24 No.10] 通巻第278号』表1,

(<https://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201401/278001.html>)

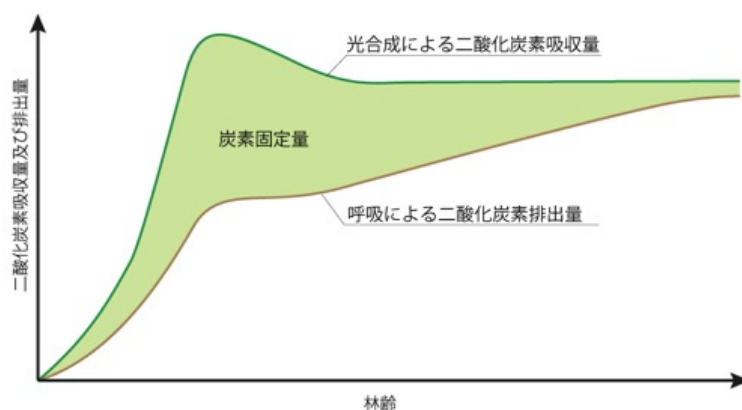
これとは別に、2020(令和2)年に気候変動対策に関する国際枠組みであるパリ協定が始まった。京都議定書は、先進国だけに排出削減目標を課す枠組みであったが、パリ協定は、先進国、開発途上国を問わず全ての締約国が参加する公平かつ実効的な法的枠組みである。協定の主な目的は、産業革命(1750年代)前からの平均気温の上昇を2℃より十分下方に保持し、1.5℃に抑える努力を追求することなどを目的としている。その実施にあたり各国の削減目標などを定めた「自国が決定する貢献(Nationally Determined Contribution, NDC)」を5年毎に提出することが義務付けられている。我が国においては、地球温暖化対策計画に基づき、2030年度に2013(平成25)年度比26%減のGHG削減目標を定めており、26%の内の2%を森林吸収源対策により確保する

こととしている¹⁴。このように森林の減少及び劣化の抑制を強調し(パリ協定「吸収源」第5条¹⁵)、国際的にも森林吸収源対策は現在重要な施策のひとつとなっている。

このような状況において、次の問題が生起する。すなわち、森林そのものが二酸化炭素を吸収する装置としてどの程度有効であるのかという問題である。特に日本の場合には、森林の約4割が人工林となっている。人工林を持続可能とするためには様々な管理工程が必要である。このようなことを踏まえて考えてみると、管理された人工林における炭素収支の状況を正確に把握する必要がある。

森林の植物体は、光合成活動による二酸化炭素の吸収と植物の炭素の呼吸による排出を行っている。つまり、炭素には当然ながら出入りが常にある。

図表8は、高密度の一斉林(同齢林)における総生産量(吸収量)、林分呼吸量(排出量)、純生産量等(炭素固定量)の経年変化を模式的に表したものである。森林を構成する植物では、林齢に伴い、根・幹・枝等の非同化器官の量が増加していき葉の量は一定となる。このため生長が進行して葉量がピークを過ぎると一定の値をとるようになる。これに対して呼吸量は根・幹・枝等の非光合成器官の蓄積により年々増加する。したがって総生産量と呼吸量の差で表される純生産量はピーク後徐々に減少する¹⁶。



図表8 Hypothetical trends of gross production, stand respiration, net production and biomass in an age-series of dense pure stands

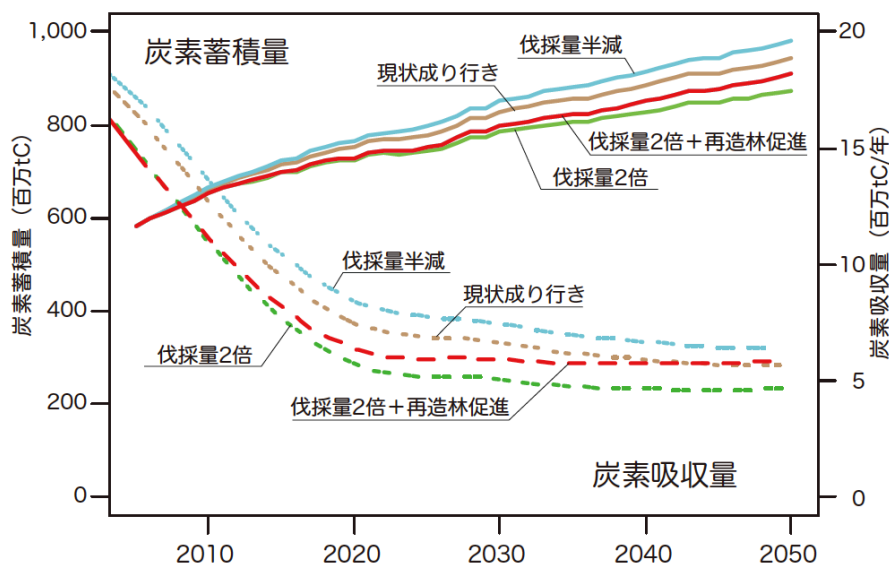
(高密度の一斉林における総生産量、林分呼吸量、純生産量等の経年変化の模式図)

出典：Tatuo Kira, Tsunahide Shidei(1967)「PRIMARY PRODUCTION AND TURNOVER OF ORGANIC MATTER IN DIFFERENT FOREST ECOSYSTEMS·OF THE WESTERN PACIFIC」『日本生態学会誌Vol.17』p.79, Fig.17を筆者加筆。(https://www.jstage.jst.go.jp/article/seitai/17/2/17_KJ00002868627/_pdf/char/en)

つまり、高齢化した森林は、光合成で二酸化炭素を吸収し、植物自体の呼吸により二酸化炭素を排出する。最終的には枯死して腐り、二酸化炭素を排出して大気中に戻される。一般的にこの状態となった自然森林は、極相林(群落全体で植物の種類や構造が安定し、大きく変化しなくなった森林)と呼ばれている。従って、ゼロの時点でこの森林による二酸化炭素吸収の役割は終わってしまうことになる。言い換えれば、森林の二酸化炭素吸収量については、高齢化した森林から伐採し、更新して若い森林を構成した方が良いこととなる。

図表9は、森林総合研究所がシミュレートした炭素蓄積量と炭素吸収量の変化である。日本全国のスギ林を対象として4つの林業施策(主に間伐・主伐)シナリオを設定し、気象条件、森林の状態や林業政策の影響を反映しながら炭素吸収量の比較を行っている。それは、①伐採量が半減、②伐採量が2倍、③伐採量が2倍となり再生林率が80%、④現状の成り行きシナリオである。

その結果、伐採量が少ないほど総蓄積量および吸収量は高くなる傾向にある。その一方で③のシナリオでは、吸収量が減少した後、増加に転じるという他と異なった結果となった¹⁷。つまり、長期的な視点からは、間伐・主伐の増加と確実な再生林による人工林の更新が炭素吸収量の維持に重要であること、また、有効な木材利用が不可欠であることを示している。



図表9 4つの林業シナリオに基づくシミュレーション結果の比較

出典：森林総合研究所(2010)「2050年までのスギ林の炭素吸収量を予測する」p.9を筆者加筆。

(<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/seikasenshu/2010/documents/p8-9.pdf>)

(注)点線は年ごとの炭素吸収量を平滑化したもの。

ここで日本の森林の状況を考えてみると、日本の森林面積は約40%が人工林である。人工林は、施業として、種子・苗木生産、育林、丸太生産、製材生産という多岐にわたる長年(例えば50年)の活動により維持されている。それは、様々なプロセスを通して人間の行う諸活動が必須となり、人工林管理には、様々な機械・機器を使用し、人的移動も必要となる。これらの活動では、種を生産するための設備や管理、また、運搬・移動等、エネルギーを使用するなど二酸化炭素の排出が伴う。本研究では林業を単なる丸太生産・製材生産という経済活動としてのみ捉えるのではなく、上述した吸収源として機能させるための活動として捉える。その際森林の木材生産機能を高めるため欠かせない事業のインフラとしての林道整備も重要となる。この林道は、「林道」、「林業専用道」及び「森林作業道」に大別され、それぞれの役割等に応じて適切整備されている¹⁸。

近年、気候変動に伴い短時間豪雨の増加や強度の強い豪雨が長時間継続するなど豪雨形態の変化により激甚な災害が頻発しており、全国で毎年2,000箇所を超える山地災害が発生する状況となっている¹⁹。林野庁は、山地災害が各地で相次ぐ中、被災地域の復旧に向けた対策が急務となっている。地域の被害を防止・軽減させるためには、復旧対策と事前防災対策の双方を間断なく進めることが不可欠である¹⁹としている。林道は、その立地環境が山あいである為、地盤等が脆弱である。従って、自然災害の影響を受けやすく、現場では頻繁に災害復旧工事が行われている。林業専用道開設(新設)の延長工事総距離は、森林施業の効率的な実施のために行われ、整備が進められている。やはりこれらの工事においても作業機械や資材、燃料等により二酸化炭素は排出される。したがって林道整備工事における二酸化炭素排出量の定量的検証も必要となる。

人工林の炭素吸収効果を検証するためには、種子・育苗から始まる各種プロセス(工程)に関する排出量のみならず林道整備による排出量も併せて評価する必要があり、より精度の高い評価が求め

られる。そこで人工林における二酸化炭素吸収機能としての有効性を定量的に検証し、これらの様々なプロセスにおいて二酸化炭素吸収機能の優位性を確立しておくことがまずは重要であろう。

本研究の目的は、人工林管理において育苗・林業生産、製品出荷までの全過程において各プロセスの二酸化炭素排出量を算出し、吸収量との収支を推計することによって、人工林の地球温暖化対策としての貢献度を検証するものである。針葉樹人工林は、そもそも最も経済価値の高い用材生産を目的としている。このため、本研究では、林業生産、木材流通、製材までの全過程における人工林からの炭素排出量に還元して検証を行うものである。

具体的な論点としては以下の通りである。

- (1) 人工林管理のための炭素排出量と最終的に産出される製材に含まれる炭素量(炭素固定量)を比較した場合の収支の検証を行う。
- (2) 製材生産林業が、ネットマイナスとなるのかを明らかにする。
- (3) 人工林管理のための各プロセス(図表 10)における二酸化炭素排出量の算出により、特に高排出なプロセスを見出し、新しい方法、手法の開発等により改善の可能性につなげていく。尚、図表 10 は、種子生産から製材生産までの一連のプロセスを模式的に示したものである。
- (4) 人工林における二酸化炭素吸収機能の有効性をより高める事を目指す。即ち、これからの林業の在り方を、経済効果と環境の両面で議論するための基礎データを示す。

以上のことを明らかにすることが本研究の目的である。そのためには、種子・苗木生産から製材生産、及び林道整備に至るプロセスにおける炭素収支の精度をより高めて評価することとする。先行研究を概観し論点を整理することは第 2 章で詳述するが、これまでの研究について、人工林のもつ炭素固定量、育林や丸太生産または製材分野における二酸化炭素排出量に関する先行研究は数多くある。森林の炭素固定量については、国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所の WEB サイト²⁰で公表している。

育林・丸太生産、製材生産過程など各プロセスに関する二酸化炭素排出量については、古俣他(2009)、仲畑他(2011)、一重他(2013)、渕上他(2012)、岩岡他(2008)等の研究があり、建築利用過程の排出量に関する排出量については、山内他(2009)、川鍋他(2010)、重川他(2011)などがある。また、林道整備については、大和田他(2012)、鈴木他(2010)、澤口他(2012)などがある。これらの研究は、長期にわたる人工林管理のうち、主として特定のプロセスを対象として算出している場合が多い。

本論では、地球温暖化対策として森林の二酸化炭素吸収機能を維持し拡大していくことを念頭に置き、一貫して多岐にわたる様々な管理プロセスおよび林道整備プロセスにおける排出量をできる限り精度よく求めることを主眼としている。最終的には全てのプロセスに対して、乾燥保存処理後製材1m³あたりの二酸化炭素吸収量と排出量について、単位を統一した指標として評価している。また、これにより炭素吸収機能を高めるための方法を模索することにつなげていくことを目的としている。



図表10 本論文で分析対象としたプロセス
出典：筆者作成。

尚、筆者は、既発表論文として、次の報告を行っている。

すなわち、

- (1) 「管理された森林に於ける二酸化炭素収支の定量的検証 -スギの種苗生産から原木・製材まで-」, 『サステイナブル マネジメント第15巻』, 環境経営学会, 44-57頁, 2016年3月
- (2) 「林道整備における二酸化炭素排出量の定量的検証」, 『サステイナブル マネジメント 第18巻』, 環境経営学会, 62-82頁, 2019年3月

である。本論文では、これらの既発表論文に加え、設備及び作業機械・資材等のLCAを加えて評価している。また、林道整備においては、林業専用道開設(新設)工事、林道災害復旧工事の算出標本を16例から175例に増やして精度を高めている。

第1章

脚注

- 1 文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省(2014)「IPCC第5次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約 報道発表資料(平成26年11月2日)」p.1,
http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_syr_spmj.pdf (2020年8月3日アクセス)
- 2 気象庁(2021)「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書 第1作業部会報告書(自然科学的根拠)政策決定者向け要約(SPM)の概要(ヘッドライン・ステートメント)」p.1,
https://www.jma.go.jp/jma/press/2108/09a/ipcc_ar6_wg1_a1.pdf (2022年1月17日アクセス)
- 3 WMO(World Meteorological Organization) (2021)「WMO 温室効果ガス年報の和訳(2021年10月25日 気象庁訳)」,
https://www.data.jma.go.jp/env/info/wdcgg/GHG_Bulletin-17_j.pdf (2020年8月3日アクセス)
- 4 林野庁(2017)「都道府県別森林率・人工林率(平成29年3月31日現在)」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/1-1.pdf> (2021年12月8日アクセス)
- 5 林野庁(2017)「森林資源の現況」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/2-1.pdf> (2021年12月8日アクセス)
- 6 林野庁編(2013)『平成25年度 森林・林業白書』p.28,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/25hakusyo/pdf/zen1-1.pdf> (2021年12月14日アクセス)
- 7 林野庁編(2013)『平成25年度 森林・林業白書』p.27,
(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/25hakusyo/pdf/zen1-1.pdf>) 2021年12月14日アクセス
- 8 太田猛彦(2008)「森林の変遷と現代の森林“荒廃”」『水利科学 N0304 2008』(財)水利科学研究所, https://www.jstage.jst.go.jp/article/suirikagaku/52/5/52_3/_pdf (2021年12月6日アクセス)
- 9 (株)日本政策金融公庫 農林水産事業本部(2015)『AFC フォーラム 2』(株)日本政策金融公庫, p.3, https://www.jfc.go.jp/n/findings/afc-month/pdf/afc_forum1502.pdf (2022年2月25日アクセス)
- 10 環境省 地球環境・国際環境協力, <http://www.env.go.jp/earth/copcmpcma.html> (2021年12月14日アクセス)
- 11 (株)日本政策投資銀行(2017)『わが国林業、木材産業の今後の可能性』(株)日本政策投資銀行, p.12, https://www.dbj.jp/topics/region/industry/files/0000027143_file2.pdf (2022年2月25日アクセス)
- 12 環境省 京都議定書の概要, <https://www.env.go.jp/earth/cop6/3-2.html> (2021年12月14日アクセス)
- 13 国立環境研究所 地球環境研究センター(2014)「地球環境研究センターニュースVol.24 [2013年度] 2014年1月号 Vol.24 No.10 通巻第278号」国立環境研究所,
<https://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201401/278001.html> (2021年12月14日アクセス)
- 14 林野庁 パリ協定(2020年～)の目標,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/con_pa.html (2021年12月15日アクセス)
- 15 環境省「パリ協定の概要(仮訳)」p.2,
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21_paris/paris_conv-a.pdf (2021年12月15日アクセス)
- 16 井鷲裕司「竹林の生産力 バイオマス資源として」国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 関西支所, <http://www.ffpri.affrc.go.jp/fsm/research/pubs/joho/past/05.html>

(2021年12月20日アクセス)

- 17 光田 靖他(2010)「2050年までのスギ林の炭素吸収量を予測する」『森林総合研究所 平成22年度研究成果選集』国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所,
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/seikasenshu/2010/documents/p8-9.pdf> (2021年12月20日アクセス)
- 18 林野庁「路網整備の推進」<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/romousuisin.html>
(2021年8月2日アクセス)
- 19 林野庁 豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会(2021)「豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会(とりまとめ)」 p.1,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/attach/pdf/con_3-67.pdf (2022年2月25日アクセス)
- 20 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所「木1本に固定されている炭素の量」,
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-2-per-a-tree.pdf> (2014年4月9日アクセス)

第2章 先行研究について

これまで木材生産を行っている人工林に関して二酸化炭素収支に関する研究は多い。この章では先行研究を概観し論点を整理する。

人工林は二酸化炭素を吸収し、炭素を固定する機能を有する。同時に人工林は人的管理を継続する必要があり、これにはエネルギーが消費される。それは、各種の作業機械や資材が投入されるため二酸化炭素の排出が伴われる。様々な工程をもつ管理作業などに関して次の研究がある。

2-1. 育林・丸太生産を中心とした各工程に関する評価に関して

育林・丸太生産は森林において行われる作業である。まずはこの工程に関する評価が重要である。これまで、育林から丸太生産を経て、製材生産までの各々のプロセスに対する研究が進められてきた。対象地、試算方法、試算結果等を以下に示す。

・古俣他(2009)「カラマツ丸太生産におけるCO₂排出のインベントリ分析」¹では、北海道のカラマツ人工林を対象に育林の最初の工程である「地拵え」から伐期(植付から収穫までの期間)50年の「主伐」までを境界としている。尚、この地拵えから主伐までの作業員の通勤、また、主伐後、現地から製材所までの丸太運材は除外している。施業モデルは、1haを基準とし、北海道立林業試験場編集の「カラマツ人工林施業の手引き」より、一般的とされている方法で設定している。また、地位は特等地・I等地・II等地に分類し、施業地での機械による化石燃料の消費量から二酸化炭素排出量を算出している。そして、調査地域の収穫予想表より丸太材積を割出し、結果、1m³あたり6.1~15.2kg-CO₂/m³と試算している。(古俣他, 2009)

ここで「地位」は、林地の木材の材積生産力を示す指標で、林木を植えた箇所の土壌や尾根・谷などの立地要因、降水量や気温などの環境要因の違いから収穫量が異なる。地位級は、伐採時の平均成長量を指標としたものである²。尚、地域により呼び方及び基準は異なる。

・仲畑他(2011)「林業作業におけるCO₂排出量算定と収支分析—栃木県の林業事業者を対象として—」³では、栃木県の林業事業者を対象としたアンケート及び実地調査に基づいて林業作業の二酸化炭素排出量を算定し、それを基に宇都宮大学農学部附属船生演習林をモデルにスギ林分とヒノキ林分について二酸化炭素収支分析を行っている。算出の対象となる工程は、「地拵え」、「植付け」、「下刈り」、「除伐」、「枝打ち」、「切捨間伐」、「利用間伐」、「主伐」、「運搬」及び「作業路作設」である。そして、施業地での機械による化石燃料の消費量から二酸化炭素排出量を算出している。また、作業システムを架線系3例、車両系2例の5例による算出を行っている。また、作業機械の稼働範囲を広めるための林内の作業路作設についても算出している。そして、スギ林分の車両系システムで作業路作設200m/ha、利用間伐(林齢40年)57.88m³/ha、主伐(林齢60年)438.08m³/ha、合計495.96m³/haの丸太を運搬し、排出された二酸化炭素量は、5,677.02kg-CO₂/haと試算している。また、二酸化炭素収支について、スギ林分のCO₂固定量285,510kg-CO₂/haとして、これに対するCO₂排出量の割合は、車両系で2.0%と試算している。

(仲畑他, 2011)

ここで「作業システム」は、木材生産現場における、作業と機械と人の有機的な組合せであり、立木の伐倒、林道端等の土場への搬出「集材」、枝払い・玉切り「造材」、トラック積込みまでの一連の作業プロセスのことである。また、作業システムの「架線系」は、伐倒：チェーンソー、集材：スイングヤーダ、造材：ハーベスタまたはチェーンソー、搬出・極積(はいづみ)：フォワーダまたはグラップルローダ等の組合せであり、車両系は、伐倒：チェーンソー、木寄せ：グラップルロー

ダ、造材：プロセッサまたはチェーンソー、搬出・樅積み：フォワーダ等の組合せである⁴。

・一重他(2013)「国産丸太のライフサイクルアセスメント事例」⁵では、育林作業は、「地拵え」、「植付け」、「下刈り」、「除伐」、「枝打ち」、「保育間伐」の作業データを基に分析している。データは、愛媛県新居浜市周辺から、収穫作業は、「利用間伐」、「主伐」のデータを宮崎県日向市周辺及び北海道紋別市周辺から収集している。これにより、直接投入される燃料及び潤滑油等の消費量から二酸化炭素排出量を試算している。尚、苗木についての環境負荷、林業機械の製造等の間接投入、また、林道及び作業道の作設、作業地への通勤は含まれていない。作業システムは、伐倒：チェーンソー、集材：スイングヤーダ等、造材：チェーンソー、積込：グラップル等で構成されている。結果、1haに換算した丸太生産量は、利用間伐 65 m³/ha、主伐 370 m³/ha となり、収穫丸太材積 1m³あたり 11.1kg-CO₂/m³と試算している。また、利用間伐や主伐において高性能作業機械使用の有無により環境負荷に大きく影響すると試算している。(一重他, 2013)

・淵上他(2012)「地産地消型製材製品のプロセスの違いがカーボンフットプリントに与える影響 京都府産認証木材を事例として」⁶では、京都府産認証木材製品を対象にカーボンフットプリント(Carbon Footprint of Products, CFP)を算出した。これにより、京都の製材所(6ヶ所)のCFPを検証した。その結果、人工乾燥プロセスの熱源に石油を使用した製材所はCFPが平均2.9倍にもなり、熱源に木屑を用いると1.25倍程度に抑えられることが明らかになった。熱源を灯油から木屑にシフトすると排出量が31%低下し、木屑へのシフトが効果的であることが示されている。また、輸送プロセスの短縮による影響は大きく、CFPには、人工乾燥製材の比率・人工乾燥プロセスの熱源・丸太の調達および製品の販売時の輸送プロセスの要因がそれぞれ影響を与えていると試算している。(淵上他, 2012)

・岩岡他(2008)「木材生産作業のエネルギー消費と二酸化炭素排出量(前編)(後編)」⁷では、全国294 林業事業体へのアンケート結果より調査した。地拵え・植付け、下刈り、除伐、間伐(切捨、利用)、主伐まで造林・育林を算出した。また、燃料消費量から排出量を算出した。単位面積あたりの平均 CO₂ 排出量は、地拵え作業 195kg-CO₂/ha、植付け作業 21kg-CO₂/ha、下刈り作業 34.7kg-CO₂/ha、除伐作業 57.8kg-CO₂/ha、枝打ち作業 56.6kg-CO₂/ha、切捨間伐作業 76.1kg-CO₂/ha となった。単位材積当たり、利用間伐作業 17.5kg-CO₂/m³、主伐作業 5.38kg-CO₂/m³ となった。さらに運材作業について、利用間伐の出材量 50m³/ha、主伐の出材量 300m³/ha、計 350 m³/ha となった。これにより、通勤作業も含め木材生産全体の排出量は 6,560kg-CO₂/ha と試算している。生産された木材の炭素固定量は、299,000kg-CO₂/ha であり、排出量 6,560kg-CO₂/ha に対して固定量は 45 倍以上となるため、地球温暖化防止効果は大きいとしている。(岩岡他, 2008)

この研究では、育林から通勤を含め運搬過程までを評価しているが、その後の過程は含まれていない。

育林・丸太生産を中心とした各工程に関する評価の論点整理として、育林・丸太生産そしてそれに続く製材生産の評価において次の知見が得られた。育林における排出はそれほど多くはない。これに対して、丸太収穫、製材製造段階での排出が多い傾向がある。特に人工乾燥工程では化石燃料を用いると高排出となる。これらからの課題としては、ライフサイクルとして考えた場合、各工程の排出が相対的にどれくらいかを明確にする必要がある。また作業機械からの排出を想定した例があるが、主に燃料使用量からの排出を算入している。育林に先立つ工程として種子・苗木生産プロセスがあるが、これが評価された例はないように思われる。

2-2. 建築材料としての使用の有効性の評価に関して

製材はまず建築材料としての利用が最も基本である。建築材料として利用する場合にどの程度の負荷となるのかの評価は重要である。これまで建築用材として利用する場合の環境負荷量としての二酸化炭素排出量について研究が進められている。

・山内他(2009)「長野県北部におけるスギと長野県東部におけるカラマツのCO₂排出原単位及び木造住宅におけるCO₂排出量の算出」⁸では、地場産材の建築用材生産時のCO₂排出量原単位の作成を研究目的としている。林地からの運搬・原木市場・製材工場・(プレカット工場)・建設現場に対する排出量の算定を行った。林業機械は燃料消費量を算入している。製材工場の歩留り(ぶどまり)は材積量52%, 重量45%, 北信スギのCO₂排出量は、241.4 kg-CO₂/m³でその内66%が製材工場によるものであった。人工乾燥の排出量(灯油)が大きい、住宅建設に外材を100%使用した場合に対して地場産材を75%使用すると39%のCO₂が削減できることが示唆されている。(山内他, 2009) この研究では、地場産材利用にCO₂排出量削減の有効性があることが理解できる。

ここで林業において、丸太を製材する過程においては、丸太の根曲がり等による製材できない不良品、またその後、製材した木材を乾燥し、製品化する過程において、割れ等により乾燥段階での不良品が発生してしまうことがある。この不良品を取り除いてできる製材した木材、乾燥後の製品の割合を歩留りと言う。

「歩留りが低い」とは、製材できない、また製品化できない割合が高いことを意味する。歩留りは、地域、育林環境や製材所により異なり、丸太から製材、製材した木材の乾燥後においても歩留りは異なる。歩留率の計算例は、以下になる。

丸太を製材する過程に対して

$$\text{歩留率} = \text{製材した木材の材積(m}^3\text{)} / \text{収穫丸太材積(m}^3\text{)}$$

製材した木材を乾燥し、製品化する過程に対して

$$\text{歩留率} = \text{乾燥後の木材材積(m}^3\text{)} / \text{製材した木材の材積(m}^3\text{)}$$

である。

・川鍋他(2010)「木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理」⁹では、国内外の実例調査(伐採地から施工現場までの排出源、消費エネルギーのデータ)から総排出量を算定した。作業機械・運搬設備(トラック、コンテナ船)などの燃料消費量を算入した。国内材は製材加工・人工乾燥からの排出が多く、外材は輸送による排出が多いことが明らかになった。国産材を利用したとしても輸入材を使用した結果と大差ないこともあり示唆された。(川鍋他, 2010)

この研究では、運搬過程を評価することの重要性が理解される。

・重川他(2011)「新潟県の製材所を対象とした年間エネルギーCO₂排出量 木材の地産地消に関する研究 その1」¹⁰では、製材所から建築現場までの木材加工過程でのエネルギー消費、及びCO₂排出量を解析している。これにより、県産材の有利性(地産地消)、環境負荷低減効果について検証している。その結果、製材機械により正角材等に製材された量1m³あたりの平均CO₂排出量は、約128kg-CO₂/m³であった。また、製材された正角材等を人工乾燥して加工された製材量1m³あたりの平均CO₂排出量は、約230kg-CO₂/m³であった。丸太輸送時のCO₂排出量は、海外からの輸送の場合97.6~284.3kg-CO₂/m³となった。この場合、新潟県産材を用いる場合に比して2.7~7.8倍の排出量となった。新潟県産材を用いて住宅を施工する場合、新潟県県内の木造2階建て住宅一棟(延べ

床面積114.02m²、構造用木材使用量25.8m³)の排出量は297.3kg-CO₂/m³となった。この内、製材所における製材工程(製材と人工乾燥)が78.0%と大部分を占め、人工乾燥の割合が多いことが明らかになった。(重川他, 2011)

建築材料としての使用の有効性の評価に関する論点を整理すると、ここでは建築材料としての使用の有効性を評価することが目的であり、育林およびそれ以前の種子・苗木プロセスの評価は対象外となっている。林道整備も対象外とした例が多い。また、燃料使用量に対する排出が算入されている。高排出となる工程は、製材プロセスの人工乾燥工程であった。

2-3. 林道整備に対する評価に関して

人工林における管理作業を行う場合には、林道(含作業道)の整備が必要である。林道整備は人工林管理と一体的であり、必要な要素である。これまで、林道整備に関する評価も進められてきた。

・大和田他(2012)「国産丸太のLCAによる環境影響評価」¹¹では、燃料用木質バイオマスの原料調達のライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment, LCA)を算出している。システム境界として作業路開設を含めた間伐・主伐～輸送の範囲を設定した。林地箇所(群馬2ヶ所、山梨、京都)のケースを想定したものである。通勤については、総人工数と平均通勤距離をもとに算出した。群馬は玉切りにプロセッサを使用し、山梨及び京都はチェーンソーやハーベスタを使用した算出を行っている。(大和田他, 2012)

この研究では、複数の作業機械に必要な燃料使用量を考慮して試算している。

・鈴木他(2010)「路網開設に伴う二酸化炭素排出量の現状と今後」¹²は、林道・作業道の開設工事における建設機械の燃料消費量は土工量等による二酸化炭素排出量を算出した。建設機械の燃料消費量のみを対象とした。燃料消費だけでなく構造物や建設機械の製造過程での排出量を含めるとさらに多くの量が排出される。燃料消費量によって排出されるCO₂は全体の2割以下で8割以上は使用される製品などの製造過程で排出されると見込まれるとしている。(鈴木他, 2010)

この研究では、作業機械の土工量等による燃料消費のみを対象として評価したものである。

・澤口他(2012)「路網作設による二酸化炭素排出量のLCA推定」¹³では、林道・作業道の新設によるCO₂排出量を算出した。作業機械のエネルギー消費と資材の製造に関わる排出量を算出したものである。工種別・資材機械の由来別CO₂排出量を評価している。林道の排出量は作業道の約9倍の排出量となり、林道は擁壁工・伐開土工・路盤工の順に排出量が多いことが判明した。林道作設の擁壁工はそのほとんどが資材からの排出であり伐開・土工はそのほとんどが作業機械による排出である(林道：作業機械由来3割・資材由来7割、作業道：作業機械5割・資材5割)と試算している。(澤口他, 2012)

この研究では、算定のための要素として、a.作業機械のエネルギー消費、b.作業機械の製造に関わるエネルギー消費・減価償却相当分、c.建設用資材の製造に関わる排出量、d.資材運搬および工事管理車両の排出量などを挙げている。このうちaとcのみを評価し、bの作業機械製造と減価償却分、dの資材機械の運搬などが除外されている。また、資材(コンクリート等)の廃棄運搬についても対象に含めていない。当論文に「過小な見積もりとなる」ことが記述されている。

林道整備に対する評価に関して論点を整理すると、精度の高い評価とするためには、作業機械・運搬機械の燃料使用分だけではなく、製造と廃棄、減価償却過程等までを含めた詳細な評価が必要である。また、資材・機械の運搬と通勤などについても考慮する必要がある。林道・作業道整

備が一連の人工林管理プロセスにおいてどの程度の大きさの排出となるのかについて、その他多くの具体的な管理作業との比較をすることが必要である。

2-4. 様々なプロセスの評価に関して

様々な工程や整備を要する人工林管理においてできるだけ多くのプロセスや整備状況を横断して評価することにより各項目の排出の大きさが理解されるであろう。これまでに広範囲にわたる評価を目指した研究も見受けられる。

・能本他(2005)「木材生産を通じた炭素の収支分析—福岡県八女地域を事例として—」¹⁴では、植林から木材生産までの炭素収支分析を行っている。それは、根・葉を含む立木の炭素貯留量を基準(100%)とした場合の各作業工程での炭素排出量から炭素収支を試算している。植林・育林工程で0.13%、素材生産工程で0.39%、製材工程(人工乾燥含む)で3.85%に相当する炭素が排出され、林地残材・製材廃材の炭素含有量は67.66%に相当されるとして化石燃料の代替エネルギーとしての重要さが指摘されている。(能本他, 2005)

この研究では、実際の調査プロットが0.15haであり、そこから丸太材積83.64m³を収穫している。また、人工乾燥後の製材材積の歩留りは64%としているので、この数値を用いて上述の先行研究と同様の丸太材積に換算すると、植林育林11.84kg-CO₂/m³、素材生産5.26kg-CO₂/m³、運搬3.07kg-CO₂/m³、製材・人工乾燥(蒸気式乾燥)に関しては、丸太から製材の歩留率64%から74.66kg-CO₂/m³、となった。植林育林から人工乾燥の工程で合計94.83kg-CO₂/m³となることが明らかにされた。しかしながら、これには、種子・苗木プロセスが含まれていない。機械使用は燃料消費量による排出のみであり、林道整備による排出が含まれていない。

多岐にわたるプロセスを統一的な指標で評価することにより、各工程の排出量の相対的大きさが理解できる。しかし、この研究では、主な工程のみに着目しているが、相対的な横断的評価のためには、種子・苗木生産から製材、さらに林道整備を含めて統一的な指標で収支を評価する必要がある。

2-5. 海外の先行研究について

海外においては、森林環境の違いにより国内とは規模や作業機械等は異なるが、次の研究がある。

・Y.アルデントゥン(Aldentun Y)(2002)「Life cycle inventory of forest seedling production from seed to regeneration site.」¹⁵では、スウェーデンのコンテナ(マルチキャビティコンテナ、コンテナ)苗の施設を代表する4つの近代的な中規模の苗床を対象に使用したエネルギーと資材の量に関するデータを収集した。関連するデータベースや文献で照合された数値とともに算出した。結果は、エネルギーの使用と生成された排出量は、温室の暖房や苗の輸送に使用される化石燃料が主な排出源となることが示唆された。調査した苗床から苗木1本あたり0.045~0.133kg-CO₂/本の範囲のCO₂排出量であった。(Aldentun Y, 2002)

この研究では、苗木生産におけるエネルギー使用量での二酸化炭素排出量の算出を行っているが、その内訳には、種子採取園の造成、管理や苗床での管理等及びコンテナ等資材のLCAは含まれていない。

・ラドミール・クルバック(Radomir Klvac et al.)(2003)「Energy Audit of Wood Harvesting Systems Scandinavian」¹⁶では、スウェーデンでの機械化された木材収穫システムについて開発されたデータベースを用いている。システムの境界は、丸太の運搬を切り株から道端までを設定した。エネルギー消費は、燃料とオイルの消費量、および機械と交換部品の製造で消費されるエネルギーを算出した。また、単位として木材の体積(m³)を使用している。そして、アイルランドの機械化された木材収穫システムと比較している。全体的なエネルギー消費は、120MJ/m³であった。割合は、燃料消費量が最も多く82%、次に石油7%、機械の修理と交換11%となった。これは、スウェーデンのデータ(103MJ/m³)よりも16%高いことがわかった。(Radomir Klvac et al., 2003)

・スタファン・バーグ(Staffan Berg et al.)(2005)「Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden」¹⁷では、1996年と1997年のスウェーデンの森林事業におけるエネルギー使用について試算した。境界は、苗木生産、造林、伐採、森林産業への二次運搬とした。その結果エネルギー使用量は、約150~200MJ/m³であった。その内、特に丸太運搬には高いエネルギー使用量を示すことが明らかになった。排出量は、再生可能燃料とエンジン設計の改善により減らすことができる。(Staffan Berg et al., 2005)

先行研究についてまとめると、各研究ともそれぞれの対象範囲(境界)等を設定し、各研究の目的に即して評価を行っている。しかし、いずれもLCAの概念からすると種子及び苗木生産における施業、育林作業及び製材過程、また、林道整備にかかわる資材や設備、機械等の製造・摩耗・廃棄等の投入エネルギーを含めた研究は極めて少ないのが現状である。

本研究は、地球温暖化問題を念頭に製材産出する人工林の有効性を検討するものである。このため、人工林の炭素収支を評価し、統一的に全体像を把握することが重要である。その上で有効性をより高めるために改善点を検討することが必要である。地球温暖化対策として人工林を有効活用するためには、これまで報告されてきた先行研究において不足している点を補い、新たな研究として発展させることが必要である。具体的には次に示す諸考察が重要である。

- ・種子生産から製材品出荷までのプロセスを評価すること
- ・林道整備も算出すること
- ・作業機械について、燃料使用に関する排出量だけではなく、各々の機械及び車両の製造、減耗、廃棄などの各プロセスに関する負荷量も併せて示すこと
- ・資材及び作業に必要な資材を含めた算出とすること(足場、敷板等)
- ・すべてのプロセス、整備の工程を統一した指標で示すこと
- ・炭素固定を目的にするにあたり、乾燥保存処理後の製材製品として利用の直前までを領域にする必要があること

本研究では、上記の先行研究の分析を踏まえ、次の研究を行ったものである。具体的には、人工林1ha当たりの丸太収穫に必要な諸量を以下の通り算定する。スギ林をモデルとし、種子生産から始まり、苗木生産のプロセスの排出量を評価する。次に育林作業プロセスから丸太生産プロセスの排出量を評価する。さらに製材プロセスの排出量を評価する。加えて林道整備に関する排出量を算出する。最終的には全てのプロセスに対して、乾燥保存処理後製材1m³あたりの二酸化炭素吸収量と排出量について、単位を統一した指標として評価する。これは、林道整備による二酸化炭素排出量に関しても同様である。このような統一した手法での先行研究は極めて少ないのが現状である。この評価により、人工林の持つ温暖化対策としての有効性が明らかにされるであろう。

ここで注意しておきたい点がある。それはまず、育林・丸太生産プロセスでは、人工林の気候や樹種、地位級、地形による作業システムの違いにより二酸化炭素排出量が異なるのである。また、製材過程においても様々な機械が使用され、規模においても異なることである。さらに単位面積あたりの二酸化炭素排出量を評価する場合には、収穫された丸太材積量や施業環境(例えば立地環境等)の違いによる差異があることである。得られた数値から解釈を行う場合には、これらの違いがあることを意識しておくことが必要である。

2-6. 評価方法について

本論文では、それぞれのプロセスに対して排出量を算出し、その結果を統一的な指標を用いて評価したものである。この評価方法の持つ意義は次の通りである。

(1) それぞれのプロセス毎に排出量の比較が出来る事、(2) 全体の排出量と吸収量の収支を評価する事が出来る。これにより、二酸化炭素排出がネットマイナスであるかどうかの評価が可能であること、また、高排出プロセスを見出し、改善に繋げることが可能になる事がある。

第2章

脚注

- 1 古俣寛隆他(2009)「カラマツ丸太生産におけるCO₂排出のインベントリ分析」『日本LCA学会誌5(1)』日本LCA学会, p.269-277
- 2 小谷英司(2016)「森のおはなし Column 次は何を植えますか? 地位について」国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 東北支所,
https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/research/publication/another_organization/documents/vol_146_column.pdf (2021年12月8日アクセス)
- 3 仲畑 力他(2011)「林業作業におけるCO₂排出量算定と収支分析—栃木県の林業事業体を対象として—」『森林利用学会誌26(3)』森林利用学会, p.187-194
- 4 林野庁(2006)「望ましい作業システムの考え方 平成18年6月6日」p.5,
<https://www.rinya.maff.go.jp/puresu/h18-6gatu/rinseisin/0607s6.pdf> (2021年12月10日アクセス)
- 5 一重喬一郎他(2013)「国産丸太のライフサイクルアセスメント事例」『木材学会誌59(5)』(一社)日本木材学会, p.269-277
- 6 淵上佑樹他(2012)「地産地消型製材製品のプロセスの違いがカーボンフットプリントに与える影響 京都府産認証木材を事例として」『日本木材学会誌58(3)』(一社)日本木材学会, p.153-162
- 7 岩岡正博他(2008)「木材生産作業のエネルギー消費と二酸化炭素排出量(前編), (後編)」『機械化林業 No.654, No.655』(一社)林業機械化協会
- 8 山内一矢他(2009)「長野県北部におけるスギと長野県東部におけるカラマツのCO₂排出原単位及び木造住宅におけるCO₂排出量の算出」『日本建築学会環境系論文集74(645)』(一社)日本建築学会, p.1261-1267
- 9 川鍋亜衣子他(2010)「木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理」『日本建築学会技術報告集16(32)』(一社)日本建築学会, p.37-42,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/16/32/16_32_37/_pdf (2021年10月25日アクセス)
- 10 重川隆廣他(2011)「新潟県の製材所を対象とした年間エネルギーCO₂排出量 木材の地産地消に関する研究 その1」『日本建築学会環境系論文集76(666)』(一社)日本建築学会, p.721-726
- 11 大和田拓馬他(2012)「国産丸太のLCAによる環境影響評価」『第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集』日本LCA学会
- 12 鈴木秀典他(2010)「路網開設に伴う二酸化炭素排出量の現状と今後」『森林総研研報9(4)』国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所, p.153-162
- 13 澤口勇雄他(2012)「路網作設による二酸化炭素排出量のLCA推定」『森林利用学会誌27(1)』森林利用学会, p.81-86
- 14 能本美穂他(2005)「木材生産を通じた炭素の収支分析—福岡県八女地域を事例として—」『日本森林学会誌87(4)』(一社)日本森林学会, p.313-322
- 15 Y.アルデントウン(Aldentun Y)(2002)「Life cycle inventory of forest seedling production from seed to regeneration site.」『J Cleaner prod 2002;10』p.47-55
- 16 ラドミール・クルバック(Radomir Klvac et al.)(2003)「Energy Audit of Wood Harvesting Systems Scandinavian」『Journal of Forest Research 18』p.176-183
- 17 スタッファン・バーグ(Staffan Berg et al.)(2005)「Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden」『Journal of Cleaner Production 13』p.33-42

第3章 二酸化炭素吸収量と排出量の算出方法

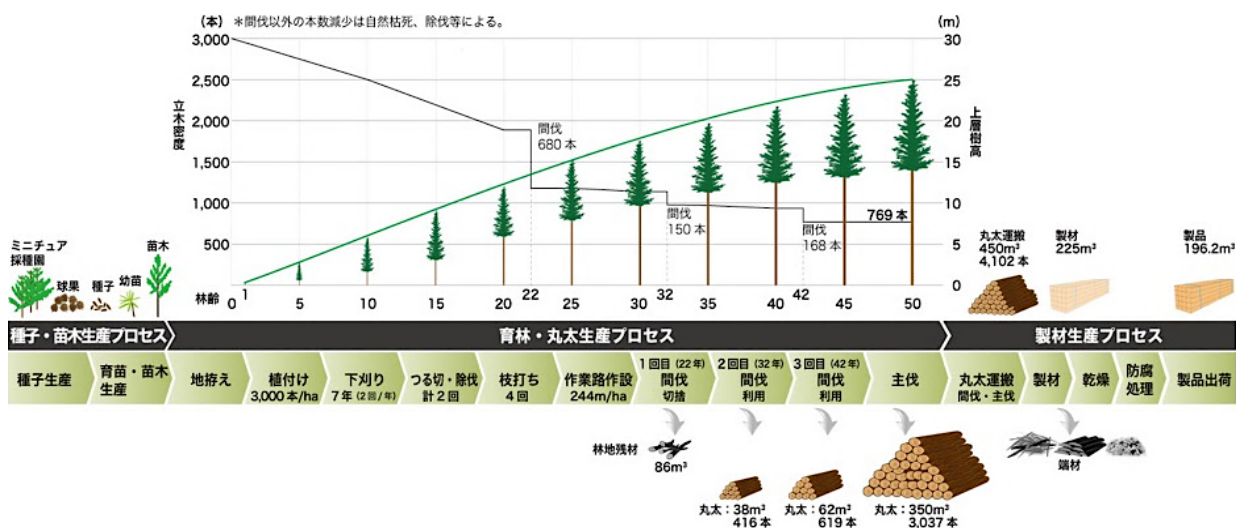
この章では、製材に含まれる炭素量(炭素固定量)と図表10で示した本論文で分析対象としたプロセスの諸条件の設定及び算出方法を述べる。

本論文は、スギ人工林の炭素収支を対象とした研究である。得られたデータは、群馬県南西部の事業地を中心としたものである。

まず、これらのプロセスについて説明しよう。「種子・苗木生産プロセス」は、スギの種子生産、コンテナ苗及び従来の普通苗(裸苗、はだかなえ)を生産するプロセスである。「育林・丸太生産プロセス」は、地拵え、苗木の植付け(補植を含む)、下刈り、つる切り・除伐、枝打ち、作業路作設、間伐(切捨間伐・利用間伐)を行い、林齢50年のスギを育て主伐して丸太を生産するプロセスである。

「製材生産プロセス」は、土場から丸太を運搬し、原木市場、製材所、木材保存処理を経て建築製材の柱材及び間柱等の製品を生産するプロセスである。「林道整備」のプロセスは、林道災害復旧工事、林業専用道開設(新設)工事、森林作業道開設(新設)工事における作業機械及び建設機械や資材を投入した林道の整備についてのプロセスである。尚、著者がこれまでに行ってきた研究に関する論文^{1,2}においてこれらのプロセスについて言及されているので、それらを参照されたい。

図表11は、1haあたりのスギ収穫において、本論文で分析対象とした「種子・苗木生産プロセス」「育林・丸太生産プロセス」「製材生産プロセス」の流れを示したものである。尚、立木本数の推移等については、「育林・丸太生産プロセス」について詳述する。その他作業機械そのものに係る二酸化炭素排出量については、後述する3-5作業機械及び建設機械の運転・運搬・製造・減耗・廃棄に係る二酸化炭素排出量において説明する。



図表 11 本論文で分析対象としたプロセスの模式図

出典：群馬県治山事業設計基準³と林業経営収支予測システム FORCASver3.2(森林総合研究所)⁴を引用して筆者作成。

(注)製材生産プロセスとは丸太運搬・間伐・主伐から製材品出荷までを指す。

3-1. 製材に含まれる炭素量(炭素固定量)の計算方法

最終的に産出される製材に含まれる炭素量(炭素固定量)は、木質の二酸化炭素吸収量としてみなされる。本研究におけるこの計算方法については、森林総合研究所が公表している計算式(製材材積に容積密度、炭素含有率、二酸化炭素換算係数を乗じる方法)⁵を採用している。既報告論文¹にも示されているように、これはスギにおいて、実質的な固定素材である製材のプレカット

工場出荷までの乾燥保存処理後製材材積に、容積密度、炭素含有率、二酸化炭素換算係数を乗じたものとして算出する方法となっている。すなわち(3-1式)

$$\begin{aligned}
 & \text{二酸化炭素吸収量(kg-CO}_2\text{)} = \\
 & \text{乾燥保存処理後製材材積} \times \text{容積密度} \times \text{炭素含有率} \times \text{二酸化炭素換算係数} \\
 & = 1 \text{ m}^3 \times 314 \times 0.5 \times (44/12) \\
 & = 576.19 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3 \dots \dots \dots (3-1式)
 \end{aligned}$$

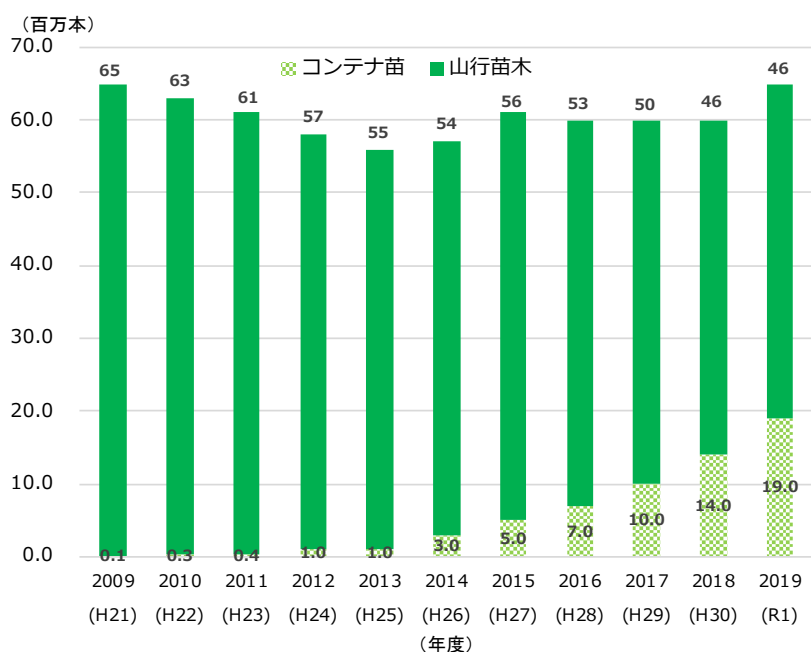
となる¹。

3-2. 種子・苗木生産

3-2-1. コンテナ苗

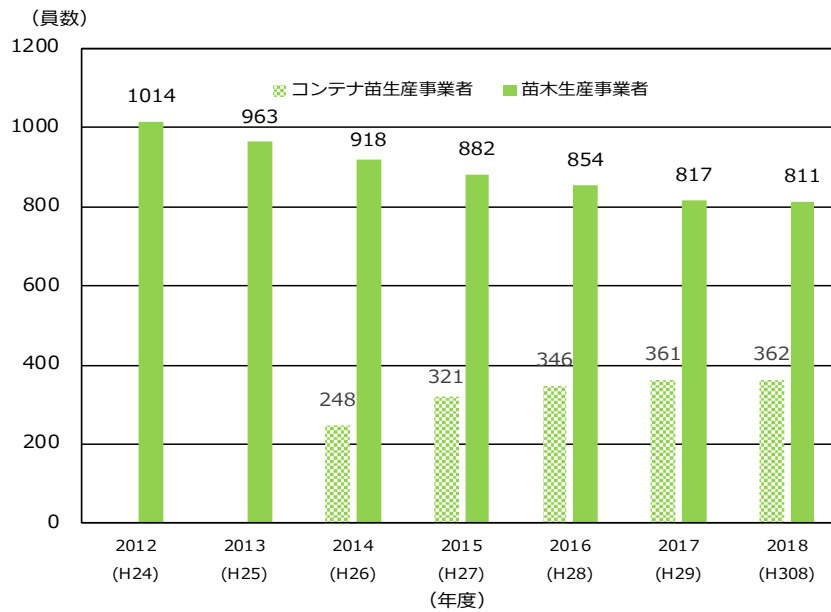
図表 12 は、人工林造林用に植付ける山行(やまゆき)苗木の生産量推移を示したものである。従来の普通苗(裸苗)に比べ近年コンテナ苗の生産が増加している。また、コンテナ苗の生産は2019(令和元)年度には全体の約3割を占めている⁶。近年、苗木生産事業者の高齢化が進み、生産事業者数の減少が進行している。図表 13 は、苗木生産者の現状である。2012(平成 24)年度の生産事業者数は、1,014 事業者であったものが、2018(平成 30)年度の生産事業者数は 811 事業者となっている。一方でコンテナ苗生産事業者数は増加傾向にあり、コンテナ苗生産事業者数調査を始めた 2014(平成 26)年度には 248 事業者であったが、2018(平成 30)年度には 362 事業者となっている⁷。

コンテナ苗の増加傾向は、そのコンテナ苗の持つ優れた特徴に起因しているものと思われる。その特徴とは主に「生産作業の効率化・労働負荷の軽減」「植栽作業の効率化」「植栽時期の拡大」である。したがって、一般的に普通苗(裸苗)に比べて育苗期間が短く、床替えや根切り作業が不要であり⁸、作業を短縮出来ることから二酸化炭素排出量の削減効果が期待できる。



図表 12 山行苗木の生産量推移

出典：林野庁編(2020)『令和2年度 森林・林業白書』p.78より筆者作成。



図表 13 苗木生産者の現状

出典：林野庁 林業種苗生産「経営形態別苗木生産事業者数及び育苗面積の推移」より筆者作成。

(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/attach/pdf/syubyou-33.pdf>)

普通苗及びコンテナ苗の生産について、2014(平成26)年9月、群馬県沼田市の苗木生産者にヒアリング調査⁹を行った。それによると、約1haに普通苗を生産し、コンテナ苗は、面積4a(間口：8m×奥行き：50m)のビニルハウスにて約2万本の生産を行っていた。期間は普通苗3年に対してコンテナ苗は2年で出荷している。コンテナ苗の生産に開発されたマルチキャビティコンテナはプラスチック製で作られている。耐久年数は、10年といわれている⁹。培地は、輸入品のココナツハスク(ヤシガラの粉碎したもの)と鹿沼土を培土攪拌機にかけコンテナに充填される。そこに基肥と追肥(化学肥料)を施用する。そして、普通苗と同様の病虫害防除を行い、かん水を施し、約2年間育てる。出荷時には、圧入機(手動)または専用器具(抜取機)を使用しコンテナから外される。そして、鉢状の土が着いた苗木をビニルシートに包み、運搬用段ボールに梱包され、植付け現地に運ばれる。運ばれた苗木は、背負子を使って運搬用段ボールごと植付けの拠点まで運ばれ、苗携行容器(小カゴ)に小分けされる。作業員はスピードという植付け器具等を使い植付ける。そして、普通苗同様に獣害保護カバーとして単木保護資材を取り付ける。

このヒアリング調査⁹を基に、林野庁の資料やマニュアル他より補足して、コンテナ苗について設備等の詳細を収集した。播種から植付けの苗木運搬まで、設備・資材等の二酸化炭素排出量を算出し、従来の普通苗と比較した。詳細については、第4章4-1 種子・苗木生産プロセスで述べる。



図表14 コンテナ苗のビニルハウス

出典：苗木生産者⁹の承諾の基に筆者撮影(2014年9月)。

3-2-2. 林業種苗法

種子について諸条件を設定し算出するにあたり、これに関連する法律を考慮する必要がある。林業用に使われる樹木の繁殖用の種子、穂木、茎、根及び幼苗を含む苗木については、1971(昭和46)年施行の林業種苗法¹⁰で定められている。この法律で種苗について優良な採取源の指定、生産の事業を行なう者の登録、配布の際の表示の適正化等に関する措置を定めている。これにより、優良な種苗の供給を確保し、適正かつ円滑な造林を推進して林業総生産の増大及び林業の安定的発展に資することを目的としている。この法律は、新品種の保護のための品種登録に関する制度、指定採取源からの証明制度及び劣悪な種や挿し穂の採取禁止、種苗の配布区域を制限する規定等について定めており、都道府県の各林業試験場での公営採種が基準となっている¹⁰。

種苗の配布区域の制限について、種苗は、採取または育成された環境と異なる環境に植えると成長が低下するおそれがある。このため、スギでは全国を7つに区分され、種苗配布区域と種苗配布区域間の移動可能の方向を定めることによる移動制限が設けられている¹⁰。林野庁補助事業「造林木の生育環境への適応性の評価」の研究¹¹によると日平均気温や日降水量等の7つの因子にて解析したところ、現在のスギ種苗配布区域の境界線と比べて概ね一致しているという結果であった。つまり、樹高成長について、冷涼環境で採取された種苗を温暖環境の地域で播種すると樹高は同等または向上する傾向がある。これに対して、反対の場合、温暖環境で採取された種苗を冷涼環境の地域で播種すると樹高は同等か低下する傾向があると報告されている¹¹。これは、上述した種苗配布区域と種苗配布区域間の移動可能の方向を定めることによる移動制限を守ることで種苗の成長の低下を防ぐことを示している。また同時に気候変動によりスギ等林木の適域にズレが生じることも示唆される。

スギ等林業の種子は、環境・管理・遺伝の三つの因子によって支配されている。この中で特に遺伝因子の影響は極めて大きい¹²。林木の育種の条件としては、経営の目標にあった改良、収穫までの時間の短縮、成林の安全性等が求められている。

苗木生産の育種目標として、立地不適合や気象害・病虫害に強いよる枯死を防ぐため、現存する林分から、成長がよく、形質も優れた個体を選抜した「精英樹」と、雪害、凍害、冠雪害、寒風害の被害地から抵抗性の強い個体を選抜した「気象害抵抗性個体」及び病虫害に耐える「病虫害抵抗性個体」を基にして、これらの苗木を育成(挿し木・接ぎ木等)して、優れた「種子」を確保している¹²。

3-2-3. ミニチュア採種園

種子生産には母樹林から種子を採取するための広範囲の採取園が必要である。現在ではミニチュア採種園に変化してきている。スギ、ヒノキ採種園は、1955(昭和30)年代後半から造成され、母樹苗木を1,600本/haの間隔で植栽することから始められる。成長するにつれ、800本/ha、400本/haと徐々に間伐し、樹高も地上3mで断幹(だんかん、主幹の切断)し、枝を均等に張らせて、樹冠全体に日光が当たるように育成する果樹園方式が採用された¹³。この方式では、多量の種子生産が可能にはなるが、広い採種園での管理作業が必要になる。また、採種木は成長し、樹冠が閉鎖し、日光が行き届かないため、下枝の枯れ上がりなどが始まってしまう。そのため、狭い土地で造成でき、短期間に種子生産ができるうえ、新しい品種系統に更新するにも比較的容易なミニチュア採種園方式が考案されて各地で造成されるようになった¹³。



図表15 ミニチュア採種園

出典：群馬県林業試験場¹⁴より提供

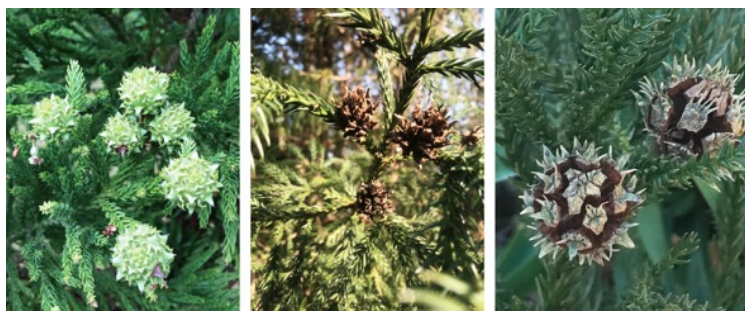
左：植付け，中：1年目，右：3年後(球果採取)

2014(平成26)年8月にヒアリング調査¹⁴した群馬県林業試験場によると、ミニチュア採種園の利点としては、改良された品種を3年サイクルで種子の生産ができることである。また、小規模な畑地における造成、管理、更新などが可能である。樹高は、断幹して1.2~1.5mに調整される。これは、母樹の育成を進め、光環境の改善と、着花しやすい樹形に誘導し着花を促す作業である。これにより、従来の4mもの樹高のある高所での脚立等を使用しての剪定等の作業はなくなる。薬剤散布、球果採取等の作業効率が良いため、作業の安全性が向上する。また萌芽枝(芽のついた枝)が出やすいこともひとつの特徴となっている¹。

造成については、1980(昭和55)年代から東北育種基本区の各県でミニチュア採種園の研究が進み、事業規模での造成が取り組まれるようになった。雄花の少ない品種など、特定の目的を持った優良な品種を早期に普及させるため有効な方法として採用されている¹³。また、遺伝的特性や環境条件に対する適応性を検討するため「次代検定林」を造成し、より優れたクローン苗木(無性繁殖させた苗木)の選抜と花粉の少ない品種改良を行っている。

群馬県林業試験場では、ヒアリング調査時¹⁴、隣接する畑地に計11aのミニチュア採種園があり、植栽間隔1.2m×1.2mで602本の採種木(種子採取用の樹木)を植栽し、施肥、中耕(植栽した採種木の間を耕耘)、薬剤散布等により管理していた¹⁴。採種木は、自家受粉を防ぐために常に異なる品種系統が隣接するように設計されており、多品種で交配するように優れた関東各地(愛知県の一部含む)のスギが配置されている。

スギの種が入っている球果(写真3)の採取は、ミニチュア採種園より10月上旬に群馬県より委託を受けて、群馬県山林種苗緑化協同組合に登録する組合員により行われている。作業人数は、延べ30人である。またこれに要する作業期間としては4日間である。作業員の通勤距離については、すでに文献¹にて報告した通り、各組合員の居住する地域から群馬県林業試験場までの距離をWEB上のマップ機能より求め、これを平均化した。作業員の移動に使用する車両は軽トラックとした。



図表16 スギの球果

出典：筆者撮影(撮影地：群馬県万場町，撮影日：2022年2月)。



図表17 ミニチュア採種園の管理

出典：群馬県林業試験場¹⁴より提供

左：中耕，中：着果促進剤葉面散布，右：除草剤散布



図表18 ミニチュア採種園の球果採取

出典：群馬県林業試験場¹⁴より提供

左：球果採取1，中：球果採取2，右：種子精選



図表19 ミニチュア採種園の種子精選，種子貯蔵

出典：群馬県林業試験場¹⁴より提供

左：種子精選(ゴミ等を除去)，中：種子を品種ごとに選別，右：種子貯蔵

3-2-4. 種子生産・貯蔵

球果植物であるスギから種子をとる場合，採取された球果から種子を取り出すことになる¹。球果から種子を取り出すためには，一般的に球果を直射日光下で風通しの良いところで1.5ヶ月間乾燥(風乾)され，その後2.0mm目と1.18mm目のふるいを2段重ねし，脱種(未成熟種子やゴミを取り除く)する。そして，精選した種子を計量後，気密性の高い容器に入れ，乾燥剤(シリカゲル)を入れ，-5℃の種子専用貯蔵庫(3坪プレハブ冷凍庫)にて保管する。種子を保存する場合，その含水率により寿命が大きく変わってくる。それは，普通種子の場合，ある含水率以下に乾燥させることで種子の老化が抑制され，結果として寿命を飛躍的に伸ばすことができる¹⁵。

種子の貯蔵温度については，通常-20℃で凍結貯蔵するとされている¹⁶。すでに文献¹でも述べた

が、風乾の条件下では種子の含水率は、12～21%(生重量基準)程度にバラつくと言われており¹⁶、一方でスギ種子の貯蔵に適した含水率は4～8%(生重量基準)¹⁶とされている。-20℃での貯蔵試験によると含水率6～15%(生重量基準)の範囲であれば、ある程度含水率がバラついても種子の保存に影響しないものとして10年間長期保存に関する結果の報告¹⁷もある。

群馬林業試験場¹⁴では、3坪のプレハブ冷凍庫において-5℃で貯蔵していた。本論文では、消費電力量と3坪のプレハブ冷凍庫と同等機種の情報から構成されている材質を細分化し、個別にLCAを積み上げて算出する。

スギなど多くの樹種において、種子生産量が年により大きく変動する豊凶サイクルがある。一般的にアカマツ・クロマツは、毎年あるいは1年おきに豊作となる。スギ・ヒノキは、3～4年おきにカラマツは、5～7年おきに豊作¹⁸になるとされている。このような豊凶サイクルは、造林にも大きな支障を来す。現在までそのメカニズムが解明されていないようであるが、スギ、ヒノキやマツは、約3～5年に渡る安定供給を実現するため、5年～10年間に渡り保存¹⁴されている¹(保存期間は種子の種類により異なる)。具体的には、凶作年の発芽率の低い種子を播種するより、豊作年の貯蔵種子を使用した方が高い発芽率を確保できるため貯蔵設備を利用するが、保存年を重ねる度に貯蔵種子の発芽率は低下する¹⁴。このため、毎年の更新作業が必要となるのである。

ミニチュア採種園方式に対する採種木については、着果促進剤を使用することにより強制的に球果結実されている。このため、約3年単位で種子を収穫することができる。3回の種子生産を終えた定植後10年目の採種木は植え替えの更新が必要となる¹。しかし、一度に全採種木を更新すると、継続した種子生産ができない。このため、試験される区画(5本×5本のブロック、25品種)において区画毎に更新するのである。それとは別に枯死する場合は、その都度補植していく¹⁴。

3-2-5. 種子のまきつけ

苗畑に播種する種子量について、苗木生産の二酸化炭素排出量算出のために設定した苗木生産モデル10a(図表21)への種子まきつけ量をここでは後述する8,750gとした。これは群馬県林業試験場のミニチュア採種園(11a)での年間平均生産量であるところの7,903gとほぼ変わらない量であると解釈できる¹。これにより、算出する二酸化炭素排出量は、群馬林業試験場のヒアリング調査¹⁴をもとに積み上げた排出量を採用することとする。具体的には、年間の管理に消費される化石燃料、薬剤、肥料、その運搬に関わる消費量を算出する。また、種子貯蔵庫についての電力消費量は、ミニチュア採種園の管理と同様に年間の電力消費量から算出した。尚、造成等、畑地で行う作業機械の運転については、機械別基準値¹⁹の作業能率(a/h)及び燃料消費量(L/h)を参考に算出した。

苗木生産については、苗木生産者のヒアリング調査⁹をもとに算出した。生産された種子は、群馬県林業試験場から交付種子量を群馬県山林種苗緑化協同組合経由で各組合員に配布される。この運搬については、群馬県林業試験場から群馬県山林種苗緑化協同組合までの距離と各組合員居住地域から群馬県山林種苗緑化協同組合までの平均的距離を算出して求めた。移動するための車両は軽トラックとした¹。

苗畑については次の工程を考慮した。すなわち、苗木生産者の農業機械倉庫から苗畑までの人的移動、肥料及び薬剤等の運搬、土づくり(苗畑10aあたりとして)、床づくり、肥料の施用と薬剤散布及び床替え、根切り、その他育苗管理などである¹。この他に梱包・出荷作業を行い、2回床替え満3年生の苗木を生産し、4年目の3月～5月の出荷を行っている⁹。二酸化炭素排出量の計算には、消費される化石燃料、薬剤、肥料、資材、その運搬に関わる燃料消費量をもとに算出した。



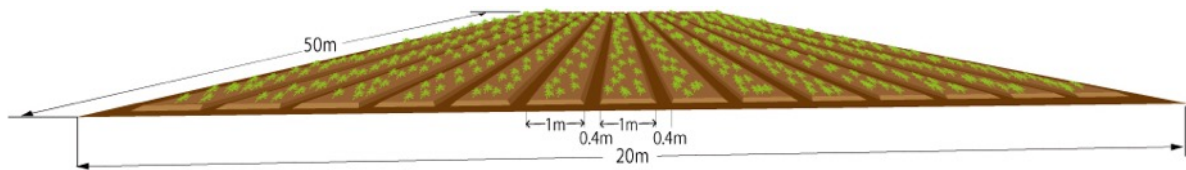
図表20 スギ苗畑

出典：苗木生産者⁹の承諾の基に筆者撮影(2014年9月)。

左：苗木(2年)畝立て(巾1m, 間隔40cm, 長さ50m), 中：苗木(1年), 右：苗木(2年)

肥料, 農薬等の二酸化炭素排出量算出は, CFP利用可能データ産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)【抜粋版】2005年の購入者価格ベースの二酸化炭素排出係数²⁰を使用した。

苗木生産の苗畑モデルは, 10aあたりの作業を推定し, その床づくり(畝立て, うねたて)は, 20m×50mの範囲で畝の幅1m, 長さ50m, 畝の間隔を0.4mとして14とおりの畝立てとした。10aあたりの1m²の面数は700面となる(図表21)。また, 苗木生産者のヒアリング⁹調査により, 山行苗木最終成立本数を13,000本/10aとした。



図表21 スギの苗畑モデル

出典：筆者作成。

苗木生産の種子まきつけ量(X)の算定は, 次式により求められる。

$$X = \frac{P \times N}{R \times H \times K \times Y} \doteq 12.5 \text{ g} / \text{m}^2$$

N	1 m ² の幼苗成立本数	: 800 本 / m ²
R	純量率	: 95%
K	発芽率	: 30~40%
P	まきつけ床の面積	: 1 m ²
H	1gの種の粒数	: 558.6 粒 / g
Y	苗木の残存率	: 32%

まきつけ量の算定式²¹

出典：岩手県林業技術センター(2006)「樹木種子の品質鑑定」『林業技術情報 No.25』より筆者加筆。
(<http://www2.pref.iwate.jp/~hp1017/shinrin/shinrin1-50/001.pdf>)

10aあたりのスギ種子まきつけ量は, 文献¹に示されている通り,
12.5(g)×700(面/10a)=8,750(g/10a)
となるのである。

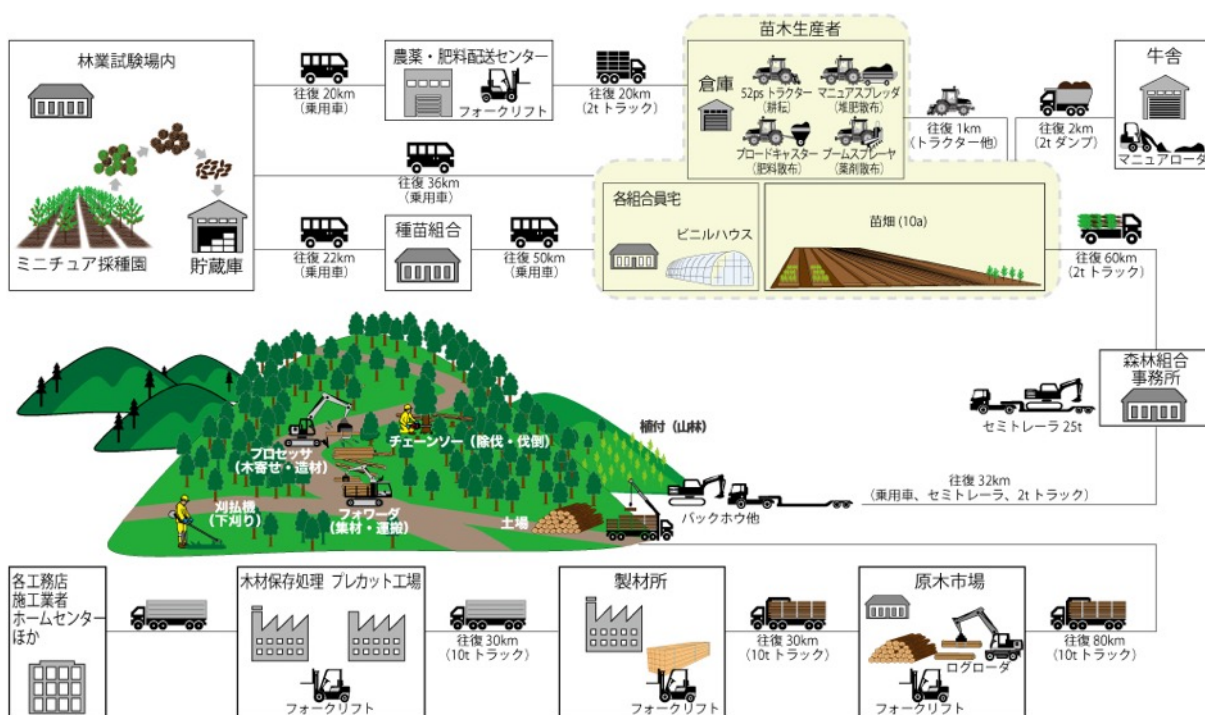
このまきつけ量の算出のための数値は, 群馬県林業試験場でのヒアリング調査¹⁴によるものを採用した。具体的な数値は, まきつけ量の算定式で記した通りである。種の粒数については, ヒアリング調査結果をもとに通常の採種園320粒に対してミニチュア採種園の場合, 種の大きさが約半分になるので558.6粒/gとした¹。補足となるが, ミニチュア採種園の種は小さいが, 成長の期間が長くなることもない。

球果採取作業の移動については、各組合員宅から群馬林業試験場までの平均的距離を往復72kmとして算出した。また、移動の車両は軽トラックとして、移動台数は、延べ15台分とした。

この種子・苗木生産プロセスの最終的な二酸化炭素排出量の算出は、以下のセクションに分けて算出した。そしてヒアリング調査⁹から次のように求めている。すなわち、まず10aあたりの最終苗木本数を13,000本とする。これに対して山行苗木1本あたりに換算する。その上で1ha分の植付け本数を求める。最後に1haあたりの二酸化炭素排出量を算出する。このような手順により、1haの製品材積あたりの二酸化炭素排出量を導出するのである¹。ここでは、算出にあたり種子・苗木生産プロセスを以下のとおり6つのセクションに細分化した。

- ・ミニチュア採種園の造成及び施肥
- ・ミニチュア採種園の農薬散布及び管理
- ・ミニチュア採種園の球果採取及び貯蔵・種子配布
- ・苗木生産の苗畑耕耘及び施肥
- ・苗木生産の管理及び農薬散布
- ・苗木の貯蔵

種子・苗木生産プロセスにおいて、図表23にミニチュア採種園と苗木生産の苗畑での主な作業とその作業機械の管理及び育苗暦を示した。これは、苗木生産者のヒアリング調査⁹を基に「図説・機械化による林業苗畑作業」²²により補足したものである。また、スギの種子・球果採取から製材品までの一連のプロセスと各施設の距離及び使用する作業機械のモデルを図表22に示す。これは、群馬県林業試験場¹⁴、苗木生産者⁹及び某製材所のヒアリング調査²³を基に筆者が作成したものである。



図表22 スギの生産に係る作業範囲と作業機械モデル

出典：群馬県林業試験場¹⁴、苗木生産者⁹及び某製材所のヒアリング調査²³を基に筆者作成。

区分	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	
ミニチュア採種園	主作業 作業機械等 ・耕耘・整地 ・基肥 ・採種木の植付 ・かん水	・病虫害防止農薬散布 ・追肥	・除草剤散布 ・病虫害防止農薬散布 ・着果促進剤散布	・病虫害防止農薬散布 ・追肥 ・着果促進剤散布 ・中耕	・除草剤散布 ・病虫害防止農薬散布 ・追肥	・病虫害防止農薬散布 ・追肥	・球果採種 ・種子自然乾燥	・球果採種 ・種子自然乾燥	・選別 ・貯蔵				
	主作業 作業機械等 ・種子入手 ・床準備(耕耘) ・土壌消毒 ・基肥 ・かん水	・病虫害防止農薬散布 ・追肥 ・かん水	・除草剤散布 ・追肥 ・かん水 ・病虫害防止農薬散布	・間引き ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・除草剤散布 ・根切り ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・追肥 ・間引き		・病虫害防止農薬散布 ・追肥	・選別 ・貯蔵				・種子配布
苗畑 1 年目	主作業 作業機械等 ・床耕(1回目) ・日覆い ・植付・かん水 ・施肥	・日覆い ・追肥 ・かん水	・除草剤散布 ・追肥 ・かん水 ・病虫害防止農薬散布	・間引き ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・除草剤散布 ・根切り ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・追肥 ・間引き			・管理 ・雪囲	・管理 ・雪囲	・管理 ・管理	・管理 ・消雪作業	
	主作業 作業機械等 ・床耕(2回目) ・日覆い ・植付・かん水 ・施肥	・日覆い ・追肥 ・かん水	・除草剤散布 ・追肥 ・かん水 ・病虫害防止農薬散布	・間引き ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・除草剤散布 ・根切り ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・追肥 ・間引き			・管理 ・雪囲	・管理 ・雪囲	・管理 ・管理	・管理 ・消雪作業	
苗畑 2 年目	主作業 作業機械等 ・床耕(3回目) ・日覆い ・植付・かん水 ・施肥	・日覆い ・追肥 ・かん水	・除草剤散布 ・追肥 ・かん水 ・病虫害防止農薬散布	・間引き ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・除草剤散布 ・根切り ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・追肥 ・間引き			・管理 ・雪囲	・管理 ・雪囲	・管理 ・管理	・管理 ・消雪作業	
	主作業 作業機械等 ・床耕(4回目) ・日覆い ・植付・かん水 ・施肥	・日覆い ・追肥 ・かん水	・除草剤散布 ・追肥 ・かん水 ・病虫害防止農薬散布	・間引き ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・除草剤散布 ・根切り ・追肥 ・病虫害防止農薬散布	・追肥 ・間引き			・管理 ・雪囲	・管理 ・雪囲	・管理 ・管理	・管理 ・消雪作業	
苗畑 3 年目	主作業 作業機械等 ・苗木の選出・運搬 (その都度)	・苗木の選出・運搬 (その都度)											
	主作業 作業機械等												

図表 23 スギミニチュア採種園の管理及びスギ育苗暦(2回床替 満3年生苗,1-1-1 苗)

出典：苗木生産者のヒアリング調査⁹を基に「図説・機械化による林業苗畑作業」²²により補足して筆者作成。

3-3. 育林・丸太生産及び製材生産

3-3-1. 育林・丸太生産プロセスについて

このプロセスは、スギ人工林 1ha において、地拵え、苗木の植付け(補植を含む)、下刈り、つる切り・除伐、枝打ち、作業路作設、間伐(切捨間伐・利用間伐)を行い、林齢 50 年のスギを育て主伐して丸太を生産するまでの工程である。ここでは、2014 年 9 月に行った某製材所のヒアリング調査²³を基に群馬県治山事業設計基準³の標準歩掛等のデータを使用した。その際、以下の通り各作業の諸条件を設定し、同地域をモデルとして算出したものである。

地拵えは、苗木植付けのために行っておく作業である。伐採跡地に散在する低木や雑草を刈払い機(かりはらいき、肩掛け式、カッタ径 255mm)で刈りとり、末木枝条(うらきしじょう、樹木の先部分や枝)や低木等を除去すること、または整理、配列する作業である。現在、群馬県では、地拵え作業について人力で行うことが一般的である²⁴。群馬県森林管理署では、「伐採と造林の一貫作業システム」の導入を推進している²⁴。従来は、伐採後一定期間を経て地拵えを実施しているが、このシステムは、伐採に使用した林業機械(グラップル、フォワーダ等)をそのまま地拵え、植付け苗木運搬に利用することである。具体的には、グラップル(油圧ショベル等の建設機械にアタッチメントとして取付けて物を掴むための装置)でグラントレーキ(熊手状の器具)を掴んで、伐採後の残された末木枝条を除去する。そしてすぐにフォワーダ(丸太等の運搬機械)を用いて植付け用苗木を運搬する²⁴。これにより、人力の時間と労力の軽減、また、林業機械の搬入による環境負荷軽減が見込まれる。本論文では、この 2 通りの方法を含めて算出することとする。尚、これら大型作業機械の運搬車両は、積載可能なセミトレーラ(25t 積)とした。

植付けについては、1haあたりの苗木の本数3,000本/haを苗木運搬車両2tトラックで運ぶ設定とした¹。移動は苗木生産者苗畑から森林組合を経由して植付け現地までとした。植付地については、地形傾斜を25度以上35度未満という条件である。また、植付作業の歩掛を1日180本/人³である。さらに3,000本/haの1割は、枯死などのため補植本数を300本とした。これに対する歩掛は1日90本/人³である。そして、幼令樹のシカ等による食害防止のため保護カバー資材を施すことを含めた。これは、筆者が現地調査した時に行われていた対策であった。

下刈りは、刈払い機(肩掛け式カッタ径255mm)で林齢1~7年に対して6月と9月の2回行っている¹。除伐・つる切り作業は、育林過程で合計2回として設定する。これには下刈りと同様の作業機械を使用するものとする。枝打ちは、作業機械を使用せず、手作業として行われているため、通勤のみを算出することにした。

作業路作設は、林業機械作業の効率化のため必要な工程である。作業路作設の算出にあたり、調査標本について、民有林関係で(社)埼玉県農林公社に照会²⁵したところ、公表していないとの事であった。国有林関係で関東森林管理局に照会²⁶したところ、作業道の開設工事では個別に公表してはいないが、作業道開設を含めた工事例ならあるとの事で入手することができた。それは、平成26年度森林環境保全整備事業・「三ヶ舞 保育間伐(活用型)外」²⁷の工事施工明細書であった。作業路作設については、この明細書の歩掛より記載のあった森林作業道作設項目の総燃料消費量から算出した。内容は、3.85haの人工林において、10tトラックで小型バックホウ(0.28/0.2 m³)を現地まで運搬し、作設作業に消費燃料(軽油)870.9L/3.85ha、稼働日数15.8d/3.85ha、施工延長距離940m/3.85ha、施工延長距離244m/haというものであった²⁷。これを1ha換算して算出した。

ここで間伐について述べる。育林をしていく中で、一般的にスギを含む樹木は、林齢と共に生長していくわけである。間伐(切捨間伐・利用間伐)及び主伐の詳細な算出のためには、その伐採時の丸太本数または運搬する丸太材積を予測または設定する必要がある。そこで、森林総合研究

所の「林業経営収支予測システム FORCASM MacroV3.21」ソフト⁴を利用した。「林業経営収支予測システム」は、収入とコストから収支の予測を行うことにより、スギ・ヒノキ・カラマツ人工林に対して適切な間伐計画の指針を提供することを目的として開発されたものである。地位級、植栽本数、間伐率等を既存の林分調査から得たデータを入力することにより予測するというソフトウェアである。本研究では、間伐(切捨間伐・利用間伐)及び主伐のモデルとして「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」(浅野, 2010)²⁸の予測数値を基礎データとした。また、林業経営収支予測システムに入力した上で群馬県中西部の林業事業者へのヒアリング調査²⁹の結果を加えて導き出したものである。

図表 24, 25, 26 には、林齢(人工林において苗木を植栽した年を1年とした森林の年齢)の変化に伴うスギ収穫量、直径分布、丸太材積量などが示されている。これらは、地位級「1」、樹種は「北関東・阿武隈地方スギ」、そして、既存データとして、浅野(2010)²⁸の数値を入力し、出力されたデータである。

林齢 (年)	主林木(1ha)					副林木(1ha)							主副林木合計(1ha)						林齢 (年)	
	直径 (cm)	樹高 (m)	断面積 合計 (m ²)	本数 (本)	材積 (m ³)	間伐 方法	直径 (cm)	本数 (本)	本数 間伐率 (%)	断面積 合計 (m ²)	材積 (m ³)	材積 間伐率 (%)	累積 材積 (m ³)	本数 (本)	断面積 合計 (m ²)	材積 (m ³)	総収穫量 (m ³)	連年 成長量 (m ³)		平均 成長量 (m ³)
20	16.3	12.6	41.2	1,890	255									1,890	41.2	255	255	12.8	12.8	20
22	17.3	13.6	30.4	1,210	198	全層	17.3	680	36.0	17.1	124	36.0	124	1,890	47.5	322	322	33.3	14.6	22
25	19.1	15.1	36.9	1,187	260									1,187	36.9	260	384	20.7	15.4	25
30	21.9	17.6	47.5	1,145	378									1,145	47.5	378	502	23.6	16.7	30
32	22.7	18.4	42.7	997	369	全層	22.7	148	12.9	6.4	60	12.9	185	1,145	49.1	429	554	25.8	17.3	32
35	23.9	19.7	47.6	979	430									979	47.6	430	614	20.2	17.5	35
40	25.8	21.7	54.1	948	533									948	54.1	533	717	20.6	17.9	40
42	26.2	22.3	44.6	779	464	全層	26.2	169	17.9	9.7	110	17.9	295	948	54.3	574	759	20.8	18.1	42
45	27.1	23.3	47.5	769	512									769	47.5	512	806	15.9	17.9	45
50	28.3	25.0	52.1	769	600									769	52.1	600	894	17.6	17.9	50

図表 24 スギ収穫表モデル

出典：「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」(浅野, 2010)²⁸の基礎データとヒアリング調査²⁹を基に林業経営収支予測システム FORCASver3.2(森林総合研究所)⁴を利用して筆者作成。

直径階 (cm)	林齢20		林齢22		林齢25		林齢30		林齢32		林齢35		林齢40		林齢42		林齢45		林齢50		
	主林木	副林木	主林木	副林木	主林木	副林木	主林木	副林木	主林木	副林木	主林木	副林木	主林木	副林木	主林木	副林木	主林木	副林木	主林木	副林木	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	10	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	100	0	49	27	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	120	0	69	39	46	0	17	0	14	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	150	0	84	47	68	0	35	0	28	4	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	380	0	173	97	108	0	58	0	45	7	37	0	22	0	18	4	5	0	4	0	
16	300	0	203	114	168	0	97	0	74	11	62	0	42	0	33	7	30	0	22	0	
18	340	0	192	108	186	0	149	0	113	17	94	0	71	0	55	12	50	0	41	0	
20	200	0	170	96	175	0	163	0	131	20	117	0	96	0	75	16	68	0	58	0	
22	190	0	118	67	156	0	157	0	131	20	124	0	111	0	86	19	80	0	71	0	
24	70	0	94	53	110	0	144	0	123	18	120	0	114	0	89	19	85	0	78	0	
26	20	0	36	20	88	0	116	0	106	16	110	0	109	0	87	19	85	0	80	0	
28	10	0	11	6	39	0	89	0	85	13	93	0	99	0	80	17	80	0	78	0	
30			5	3	15	0	66	0	65	10	75	0	85	0	70	15	72	0	73	0	
32					7	0	32	0	44	7	57	0	69	0	59	13	61	0	65	0	
34					2	0	13	0	21	3	38	0	53	0	47	10	50	0	56	0	
36							6	0	9	1	19	0	37	0	34	7	39	0	46	0	
38							2	0	4	1	8	0	21	0	22	5	27	0	36	0	
40									2	0	4	0	10	0	12	3	17	0	26	0	
42											1	0	5	0	6	1	9	0	16	0	
44													2	0	3	1	5	0	9	0	
46													1	0	1	0	2	0	5	0	
48															1	0	1	0	3	0	
50																			1	0	
52																				1	0
合計	1,890		1,209	680	1,188		1,144		995	150	979		947		778	168	766		769		
間伐																					
主伐																					

図表 25 スギ収穫表モデルの直径分布

出典：「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」(浅野, 2010)²⁸の基礎データとヒアリング調査²⁹を基に林業経営収支予測システム FORCASver3.2(森林総合研究所)⁴を利用して筆者作成。

図表 24 は、林齢 50 年までの直径や樹高、立木(りゅうぼく)本数等の推移が出力されたものである。図表 11 本論文で分析対象としたプロセスの模式図は、このデータを基に作成している。図表 25 は、立木の直径分布(胸高直径)を表したものである。これにより、チェーンソーで伐倒する本数を得ることができる。図表 26 は、間伐、主伐における丸太本数を表したもので、末口径(丸太の先端、細い方の切口)ごとに積算することができる。尚、最右列の丸太材積は、筆者が加筆したものである。これは、丸太運搬や製材所での算出に利用するためである。

末口径 (cm)	林齢22 (第1回間伐)				林齢32 (第2回間伐)				林齢42 (第3回間伐)				林齢50 (主伐)				丸太材積 (m ³ /3.2m)
	材積(m ³)		丸太本数(本)		材積(m ³)		丸太本数(本)		材積(m ³)		丸太本数(本)		材積(m ³)		丸太本数(本)		
	一番玉	二番	一番玉	二番	一番玉	二番	一番玉	二番	一番玉	二番	一番玉	二番	一番玉	二番	一番玉	二番	
10		4			1	31			1	31			4			125	0.032
12	5	5			2	43			3	65			12			261	0.046
14	9	18			1	7	16	111	1	8	16	127	2	34	32	540	0.063
16	18	2			4	3	49	37	3	5	37	61	11	26	134	317	0.082
18	22	1			7	3	67	29	7	6	67	58	28	32	269	308	0.104
20	1				2	1	16	8	3	3	23	23	12	19	94	148	0.128
22	1				2	1	13	6	3	3	19	19	14	24	90	155	0.155
24					2		11		3	3	16	16	15	24	82	130	0.184
26					1		5		3	1	14	5	15	11	69	51	0.216
28					1		4		4		16		26	6	104	24	0.251
30									1		3		9	5	31	17	0.288
32													7	2	21	6	0.328
34									1		3		5		14		0.37
36													3	1	7	2	0.415
38													2		4		0.462
40													1		2		0.512
小計	56	30			20	18	181	265	29	33	214	405	150	200	953	2,084	合計
丸太材積(m ³)					38				62				350				450
丸太本数(本)							446				619				3,037		4,102
残材材積(m ³)	86																86
全材積(m ³)	86				38				62				350				536

図表 26 間伐・主伐の丸太材積及び丸太本数(長さ: 3.2m)

出典: 「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」(浅野, 2010)²⁸の基礎データとヒアリング調査²⁹を基に林業経営収支予測システム FORCASver3.2(森林総合研究所)⁴に筆者加筆。

(注 1) 林業業者ヒアリング調査²⁹より第 1 回目間伐(22 年)はすべて切捨間伐。

(注 2) 丸太材積(m³/本)は林齢 50 年(主伐)時の材積(m³)を丸太本数(本)で除した数値。

林業経営収支予測システムに入力した間伐の設定は、前述の浅野(2010)²⁸の研究により 3 回とした。林業業者のヒアリング調査²⁹より第 1 回目間伐はすべて切捨間伐とした。切捨間伐は、伐倒後搬出せず、そのまま放置した状態となる。これは、間伐木を林内に残置するとキバチ類の発生量が多くなり、残存木に被害が発生する可能性がある³⁰。しかし、間伐材を含む国内での木材消費の落ち込みや林業従事者の減少などが重なり、間伐を実施しても搬出にコストがかかってしまう。結果的に林業経営としては、赤字となってしまう為放置せざるを得ない状況である。

チェーンソーの伐倒作業の算出は、図表 25 より伐倒する立木本数と群馬県治山事業設計基準³の歩掛から算出した。

第 2, 3 回目の間伐は、第 1 回目の間伐同様に伐倒作業を計算した。作業システム(伐出作業の組合せ)は、プロセッサ(造材, 定められた長さに切断して丸太にする, 玉切り), グラップル(丸太を掴んで移動, 集材), フォワーダ(丸太の運搬)を使用して土場巻立(どばまきたて, 丸太集積場に積上げる)作業を行う。この方法は、ヒアリング調査³¹からこの地域において一般的な伐出作業である。

主伐は、第 2, 3 回目の利用間伐同様に算出した。ここで、収穫丸太材積(m³)については、スギ収穫表モデルにより図表 26 の利用間伐・主伐の丸太材積及び丸太本数(長さ: 3.2m)を採用し

た。それによると、林業経営収支予測システム FORCASM MacroV3.21 ソフト⁴で合計 450 m³/ha(図表 26 内太字)と出力されている。これは、このソフトで予測計算されたものである。前述した先行研究の第 2 章 2-1. 育林・丸太生産を中心とした各工程に関する評価について示した一重他(2013)³²は、利用間伐 65 m³/ha、主伐 370 m³/ha、合計 435 m³/ha としている。これは、実測値からの材積である。本研究においてソフトで出力された 450 m³/ha とは同等の丸太材積となり、現実味のある数値と言える。この収穫丸太材積(m³)は、筆者が最終的に製材材積 1m³あたりの二酸化炭素排出量を導き出す重要な数値となる。

収穫丸太材積(m³)は、施業の方法や地位級または間伐率により材積は変化する。材積が変われば二酸化炭素排出量も変化するという事である。そのため、地位級や間伐率を変え、収穫材積が少ない場合、また多いケースを設定し、各施業の再計算を行い、収穫材積と二酸化炭素排出量の関係を調査した。これについては、第 5 章において後述する。

3-3-2. 製材生産プロセスについて

このプロセスは、土場から丸太を運搬し、原木市場(原木市売市場の略、製材工場等が買い取る市場)、製材所、木材保存処理を経て建築製材の柱材及び間柱等の製品を生産するプロセスである。丸太運搬は、某製材所のヒアリング調査²³から土場(丸太の集積場)から原木市場への丸太運搬を対象にした。走行距離は、土場から原木市場まで往復80km、原木市場から製材所まで往復30kmと設定した。丸太運搬用のグラップルクレーン付トラック10tクラス(2.9t吊)は、積載量10(m³)/台、走行平均速度40km/hとした。積載量は、図表2より、利用間伐材積は100 m³、主伐で350 m³となり、合計450 m³となった。尚、生木の丸太の比重は「1.0」として計算している。

丸太積込の歩掛については、積算基準及び歩掛表(その1)【土木工事編】愛知県建設局(令和2年10月)³³を参考にした。玉切りした丸太を積み込む歩掛として丸太100本あたり2.16h/(材積：25m³)から算出した。



図表27 群馬県素材生産流通協同組合の原木市場

出典：群馬県素材生産流通協同組合²⁹の承諾のもと筆者撮影(2014年9月)。

左：全景，中：スギ丸太の皮(約半年分)，右：皮剥き後選別された丸太

各原木市場では、運び込まれた丸太が入札され、県下または県外の製材所に運ばれる。原木市場内では、図表26より4,102本の丸太をログローダ(定格荷重：2.4t、丸太の積み降ろし機械)で丸太の仕分け、選別される。そして、フォークリフトにて所内運搬され、木材選木機(丸太の径級等仕分け機械)に運ばれる。選木された丸太は、リングバーカー(皮剥ぎ専用機械)及び製材機の工程を経て、規定のサイズにカットされる。リングバーカーで皮剥ぎされた皮は、破碎装置で裁断され、この製材所の人口乾燥機の木屑炊きボイラーの燃料の一部となる。カットされた端材については、製紙工場向けのチップ(専用破碎装置)に刻まれ、10t/日もの量(20m³積み込みトラック2台分)が県外の引取

大手工場に運搬されている。また、その他端材は、丸太の皮と同様に人工乾燥機の燃料に使用している。その他、オガ粉は、キノコの菌床材として近隣の業者に引き取られている。

各仕入先の丸太取扱量について、柱材及び間柱の年間生産量に製材までの歩留率(以下に示している3-2式, 43.6%)より算出し、総合計から仕入割合に応じて計算した。尚、生産過程において、割れ・曲がり等が生じ、無垢の柱材及び間柱にならない製品は、今回は除く事とする。

歩留率(ぶどまりりつ)とは、丸太の生産量に対する実際の製材生産量の比率のことを言う。この製材所²³の製材生産工程としては、直径14~16cm及び28cmまたは30cm以下の丸太を扱い、丸太から皮を剥ぎ、製材機で径級(丸太直径)から最終製品が、以下寸法になるように図表28に示した木取り(粗挽き)している。

- ・柱材(4寸角) : 13cm×13cm×3m(プラス10~20mm厚め)
- ・柱材(3.5寸角) : 10.5cm×10.5cm×3m(プラス10~20mm厚め)
- ・間柱 : 3cm×12cm及び10.5cm×3m(プラス10~20mm厚め)

規格どおりにカットされた柱材及び間柱においては丸太に対する歩留率は約50%²³となる。人工乾燥後、曲がりや割れ等により無垢の柱材及び間柱にならない製品を除き、丸太から人工乾燥を経て出荷される柱材及び間柱に対しては歩留率が40%前後である¹。製材所のヒアリング調査²³において、2013(平成25)年度の丸太取扱量は、41,500 m³であった。また、2013(平成25)年度の柱材及び間柱は、柱材234,308本で8,783m³、間柱905,253本で9,299m³、合計18,082m³の生産であった。つまり、丸太から柱材及び間柱の歩留率は、次の式で算出することができる。

製材した木材を乾燥し、製品化する過程に対して

$$\text{歩留率} = \frac{\text{乾燥後の材積(m}^3\text{)}}{\text{収穫丸太材積(m}^3\text{)}}$$

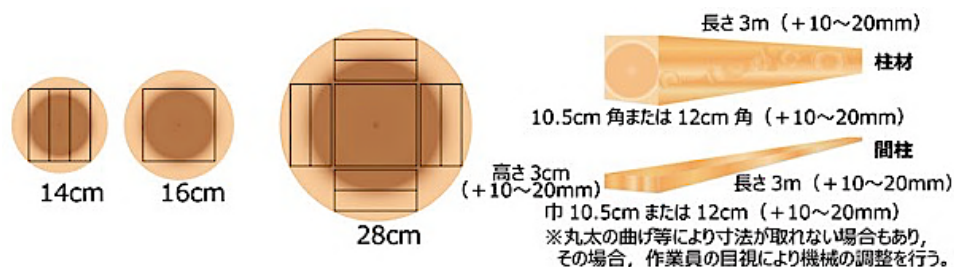
$$\{\text{年間の歩留率(\%)}\} = \{\text{年間柱材及び間柱材積(m}^3\text{)}\} / \{\text{年間取扱丸太材積(m}^3\text{)}\}$$

$$18,082(\text{m}^3) / 41,500(\text{m}^3) = 43.6\% \dots \dots \dots (3-2\text{式})$$

となるのである。

製材材積から上述した製品出荷時の1m³で算出するにあたり、収穫した丸太材積と歩留率43.6%(3-2式)により、製品出荷時の材積を次式により設定する。

$$(\text{丸太収穫量 : } 450\text{m}^3/\text{ha}) \times (\text{歩留率 : } 43.6\%) = 196.2\text{m}^3/\text{ha} \dots \dots \dots (3-3\text{式})$$



図表 28 某製材所における径級による木取り(粗挽き)

出典 : 某製材所ヒアリング調査²³を基に筆者作成。

次にスギの種子・球果採取から製材製品までの一連のプロセスに対して同一の評価基準を設定する。文献¹で述べたが、運搬については丸太材積(m³)をもとに算出し、某製材所²³でのエネルギー消費については製材(柱材及び間柱)の材積(m³)から算出することにする。したがって、丸太の皮、木取りにカットされた後の端材、オガ粉等は、利用されずに放置される場合と焼却処分される場合も

ある。これらは、カーボン・ニュートラルとしカウントはしない。また、某製材所²³の製材機械のLCAについては、製材所の設計・施工の専門会社³⁴に問い合わせを行い、同規模の製材所の設計例を入手した。これを参照して、同等の各作業機械の重量から算出した。この算出方法は、後述の第3章3-4.作業機械及び建設機械の運転・運搬・製造・減耗・廃棄に係る二酸化炭素排出量で述べる。



図表29 某製材所(1)

出典：某製材所²³の承諾のもと筆者撮影(2014年9月)。

左：積み上げられた丸太，中：リングパーカー，右：製材施設

製材された柱材及び間柱は、蒸気式人工乾燥機にかけて乾燥される。調査に応じてくれた製材所²³では、最新の木屑焚きボイラーを使用し、主燃料は、端材からのチップ、補足的にA重油を利用しているとのことであった。また、このボイラーを利用し、木質バイオマス発電に取り組み、製材所全体の電力をカバーしている。ヒアリング調査²³時は、柱材1,200本～1,300本が乾燥できる容量50m³が12台、その倍の100m³が2台ある。柱材は、温度120℃、間柱は、70℃～80℃に設定し、7日～8日間全日稼働で木材に含まれる水分量を含水率20%にする。



図表30 某製材所(2)

出典：某製材所²³の承諾のもと筆者撮影(2014年9月)。

左：カットされた柱材，中：端材・オガ粉，右：人口乾燥施設

天然乾燥(自然乾燥)について、ヒアリング調査²³からこの製材所では、天然乾燥の丸太及び製材は扱っていない。天然乾燥は当然良い面もあるが、約1年の時間がかかり効率的ではない。また、現在の人工乾燥の技術も向上しており、コスト面と作業効率が優先されている¹。

小規模な製材所においては初期設備投資等の問題があり、当施設のように木質バイオマスは殆ど人工乾燥には使われない。このため、灯油・A重油等の化石燃料の装置を使わざるを得ない状況となっている³⁵。

尚、木材乾燥においては製材所の残廃材の利用によりコストダウンを図れるが、初期投資の設備費部分が導入の妨げになっているのが現状である。木屑焚きボイラー設備と油だきボイラー設備システムを比較した報告において、次のことが示されている。すなわち、乾燥材年間生産量5,000m³

クラスの中規模乾燥工場の場合、木屑焚きボイラーは、油焚きボイラーの約1.8倍、乾燥材年間生産量2,000m³クラスの小規模乾燥工場の場合、木屑焚きボイラーは、油焚きボイラーの約1.9倍とのものである(阿武隈川流域林業活性化センター, 2006)³⁶。本論文では、この現状を踏まえ、人工乾燥過程において、全自動蒸気式木材乾燥機を使用した場合のケースから算出する。

また、製材から人工乾燥後の材積の歩留りについては、某製材所のヒアリング調査²³により、丸太から製材された材積から算出し、歩留率約50.0%と設定した。つまり、収穫した丸太材積450m³は、製材後(人工乾燥前)225m³となった。

丸太を製材する過程に対して

$$\begin{aligned} \text{歩留率} &= \{ \text{製材した木材の材積(m}^3\text{)} \} / \{ \text{収穫丸太材積(m}^3\text{)} \} \\ \{ \text{収穫丸太材積(m}^3\text{)} \} \times \text{歩留率} &= \{ \text{製材した木材の材積(m}^3\text{)} \} \end{aligned}$$

$$(\text{丸太収穫量 : } 450\text{m}^3/\text{ha}) \times (\text{歩留率 : } 50.0\%) = 225.0\text{m}^3/\text{ha} \dots \dots \dots (3-4 \text{ 式})$$

本論文では、某製材所²³の全自動蒸気式木材乾燥機の稼働時間を算出するにあたり、乾燥材の生産同規模、年間生産量が1,000m³～150,000m³程度を対象とした数値を報告している齋藤・黒田他(2009, 森林総研)³⁷の論文を引用した。この工程では、乾燥後の検査として、含水率と強度測定のためグレーディングマシンという測定器で検査されていた。この製材所では、人工乾燥後、規格のサイズにモルダーでカンナがけされ、白無垢状態で10tトラックに12バンドル(1バンドル: 2～2.5m³, 4寸角柱材で46～58本), 552～696本をフォークリフトで積み込み、プレカット工場、製品工場、住宅メーカー等に運ばれる。運搬される距離関係は、製材所からプレカット工場までの往復距離が30kmであった。尚、柱材及び間柱の比重は「0.38」として計算している。

プレカットは、建築用に使用する木材を予め工場で切断・加工することをいうが、ここに納品された後、次の段階として、無垢状態の柱材及び間柱は、コンピュータ加工ラインにより、加工を施し建築材料として市場に供給している。



図表31 某製材所(3)

出典：某製材所²³の承諾のもと筆者撮影(2014年9月)。

左：人工乾燥前の間柱，中：人工乾燥後の柱材及び間柱，右：製材12バンドルを積載

木材保存処理された木材は、住宅の土台やウッドデッキ、ウッドフェンス等に使われ、薬剤を使用して木材を腐朽菌や白アリの被害から保護する目的で行われる欠かせない工程である。そこで本研究では、製材生産プロセスに取り入れて算出した。一方、歴史的建造物として注目されている法隆寺等の心柱は、悠久の歴史を経て、その役目を果たしている。現代では、木材の生物劣化対策を講ずる場合は、木の強度劣化を起こす腐朽菌や白アリなどの害虫の被害防止は必須であり、防腐剤と防蟻剤を同時に行うことで耐久性と安全性を保持することができる。

3-3-3. 木材の保存処理について

木材保存処理は、住宅の土台やウッドデッキ、ウッドフェンス等の木材に処理されている。林野庁が試算³⁸した在来工法住宅の部材別シェアは、柱16%、土台7%、梁・桁28%、羽柄材・下地材42%、造作材・仕上材7%となっている³⁸。この土台においては、その他の製品化までの工程とは異なっている。その多くは、上述した人工乾燥後の製材を木材保存処理工場にて保存薬剤を処理して製品化されている。本研究ではこのセクションも重要な工程と考え算出する。木材の保存処理については、日本木材防腐工業組合にてヒアリング調査³⁹を行った。木材に発生する劣化を防ぐ処理には、表面処理と加圧注入処理の方法がある。表面処理は、木材の表面に塗布や吹付と言った簡易な方法で薬液を付着させる方法である。また、加圧注入処理は、専用の大型設備で機械的圧力差を利用した高度な保存処理である。木材はそれが使われる使用環境により、劣化外力に大小がある。例えば、木材が水分を受け易い地面、コンクリートと接する環境、木材に雨が降る環境、木材が水分を受け易い地面・コンクリートと接しない環境、木材に雨が降らない環境などがある。木材の生物劣化を防ぐには、木材保存剤の種類、木材保存剤の木材への注入量・浸潤度を考えて保存処理を行う必要がある⁴⁰。このセクションの算出にあたり、木材保存処理のメーカーに問い合わせ⁴¹、それから排出量を積み上げて算出するものとする。この木材保存処理される木材は、土台やその他建築材のほか、まくら木、電柱、外構材(支柱・デッキ・遊具等)及びその他(土木・園芸・梱包材等)がある⁴²。また、使用される薬剤においても用途により薬剤の種類がある。ヒアリング調査³⁹によると、同組合員内においてその薬剤別生産量の割合は、銅系保存処理薬剤44.4%と非銅系保存処理薬剤26.0%とこの2種類が多くを占めている³⁹。そこで、この2種類の二酸化炭素排出原単位³⁹から人工乾燥後製材の排出量を算出することとする。

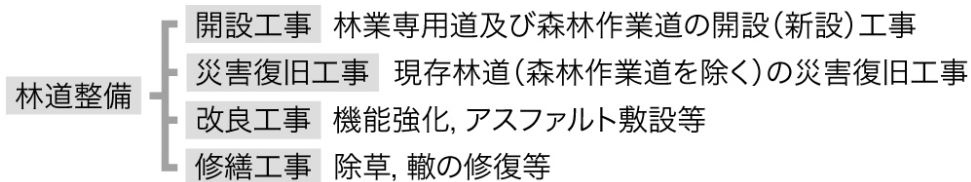
3-4. 林道整備工事

林道整備の工事における二酸化炭素排出量の算出方法等については、筆者が報告した文献²において示されている。民有林に関しては、群馬県・埼玉県・栃木県、国有林に関しては林野庁関東森林管理局等から情報を入手した。また、国有林については、これらに併せて林野庁各森林管理局WEBサイト⁴³から「公売・入札情報、入札結果の公表」より情報を入手した。地域差を考慮し、林道工事が掲載されていない森林管理署もあるが、各森林管理署から1例ずつ、2010(平成22)年～2018(平成30)年に行われた施工例を参照した。尚、掲載されている林道災害復旧工事には、大規模災害のケースも含まれている。それは、工事施工距離が短く、工事費用が多額であるため、算出後の数値に大きなバラツキが出る可能性がある。従って、平均的な施工距離及び費用の工事を対象とした。そして、最終的に、国有林林業専用道開設(新設)工事が105例、民有林林道災害復旧工事が5例、国有林林道災害復旧工事が65例、林道災害復旧工事合計で70例の施工内訳表の数値から算出した。WEBサイトからの工事リストについては、2019(平成31)年4月に収集したものであるが、現在はWEB上に掲載されていないものがある。尚、筆者はこれらデータを保有している。

民有林林業専用道開設(新設)工事のデータは、各県に問い合わせたところ詳細な施工内訳表が公表されてないため除外した。また、民有林、国有林ともに森林作業道開設(新設)工事についても施工内訳表が公表されていなかった。このため収集した国有林の林道工事に含まれていた作業道開設工事を参照して算出した。

調査標本数については、数多くの工事例を算出検証し精度を高める事が重要である。上記の例について平均値を計算していくと、数値的にあまり変動が見られないことがわかった。このことは、この標本数で一定の精度を持っていることを示唆している。

林道整備の工事は、以下図表32の開設(新設)工事、災害復旧工事、改良工事及び修繕工事に分けられている。改良工事及び修繕工事は、掲載されている事例が少なく、また他工事と併用して行われているため除外した。このため本論文では、林業専用道開設(新設)工事及び林道災害復旧工事を対象として算出している。尚、林道整備による排出量の算定においては、除雪・草刈り等の維持管理に関するものは含まれていない。



図表32 林道整備の工事

出典：日本林道協会(2021)『民有林森林整備事業の概要(令和3年1月)』日本林道協会を基に筆者作成。

3-5. 作業機械及び建設機械の運転・運搬・製造・減耗・廃棄に係る二酸化炭素排出量

環境省・経済産業省によると、サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドラインver.2.3⁴⁴では、民間企業がパリ協定に整合した意欲的な目標を設定している。サプライチェーン全体で効果的に削減を進める取組を促進するため、企業の温暖化対策は、気候変動を事業のリスク・機会として認識し、中長期のGHG削減目標を立てること等が新たな潮流となりつつあるとしている。

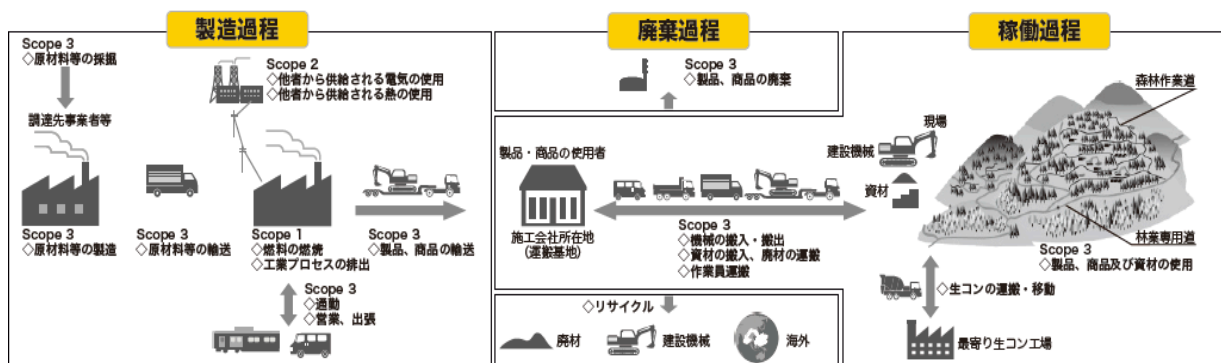
サプライチェーン排出量とは、事業者(メーカー)自らの排出量だけでなく、その事業活動に関係するあらゆる排出量を合計した排出量で以下のプロセスの合計である。それを図式したものを図表33に示す⁴⁴。

$$\text{サプライチェーン排出量} = \text{Scope 1排出量} + \text{Scope 2排出量} + \text{Scope 3排出量}$$

Scope 1排出量：燃料の燃焼，工業プロセス等，事業者自らによる温室効果ガスの直接排出

Scope 2排出量：他者から供給された電気・熱・蒸気の使用に伴う間接排出

Scope 3排出量：その他間接排出(算定事業者の活動に関連する他社の排出)¹⁵のカテゴリに分類



図表33 林道及び森林作業道の工事に係る各過程の環境負荷

出典：環境省・経済産業省(2016)「サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドラインver.2.3」p. I-9を基に筆者作成。(https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/GuideLine_ver2.3.pdf)

近年では、大手建設機械製造会社等4社でもこのガイドライン⁴⁴よりCSR報告書等において自主的に排出量の情報が開示されている。以前は、二酸化炭素排出量の算出では、その多くは、林業機械の使用(稼働)、つまり化石燃料消費量が主であった。これによると林業機械のLCAにおいて、材料採取から部品製造、輸送、組立に係る製造過程及び解体、輸送、焼却等の廃棄過程においても電力消費や燃料が消費されているのである²。そこで本論文では、全プロセス及び林道整備工事に係る二酸化炭素排出量を評価するにあたり、LCAにより近い数値を算出することを目標とした。

各プロセスで使用される作業機械及び林業機械(以下、「作業機械」)は、現場の規模や環境により異なっている。これまでの調査によって、作業機械生産時における二酸化炭素排出量は、0.93t-CO₂/台であること²、また、機種のパリウムゾーン(最も販売数多い機種)は、20tクラスであることが示されている²。また、吉永他(2004, 土木研究所)⁴⁵は、建設機械のライフサイクル(製造・稼働・廃棄)に係る二酸化炭素排出量を積み上げ法により算出している。本論文では、これらのデータを引用した。建設機械の製造過程(t-CO₂/台)、廃棄過程(t-CO₂/台)の平均値(kg-CO₂/t)を二酸化炭素排出量原単位として設定するものとした。これらの数値は文献²でも示されているが、これをあらためて図表34に示す。

機種	クラス	機械質量 (t)	製造過程 (t-CO ₂ /台)	廃棄過程 (kg-CO ₂ /台)	製造過程		廃棄過程	
					1tあたりの二酸化炭素排出量 (kg-CO ₂ /t)	1tあたりの二酸化炭素排出量 (kg-CO ₂ /t)	1tあたりの二酸化炭素排出量 (kg-CO ₂ /t)	1tあたりの二酸化炭素排出量 (kg-CO ₂ /t)
バックホウ	6t	7.0	18.6	508.0	2657.1	72.6		
バックホウ	20t	19.8	45.8	1330.0	2313.1	67.2		
バックホウ	35t	33.8	83.9	2404.0	2482.2	71.1		
トラクターショベル	17t	18.0	71.2	1303.0	3955.6	72.4		
ブルドーザ	20t	21.9	80.3	1310.0	3666.7	59.8		
平均					3014.9	68.6		

図表34 作業機械の製造・廃棄過程における質量1tあたりの二酸化炭素排出量
 出典：吉永他(2004)「建設機械のライフサイクルにおける二酸化炭素排出」を参考に機械質量(t)単位で算出して筆者作成。

(<http://jcma.heteml.jp/bunken-search/wp-content/uploads/ronbun/2004/034.pdf>)



図表35 林道整備工事に係る各過程の環境負荷

出典：吉永他(2004)「建設機械のライフサイクルにおける二酸化炭素排出」を参考に筆者作成。

(<http://jcma.heteml.jp/bunken-search/wp-content/uploads/ronbun/2004/034.pdf>)

林道整備工事の各過程を文献²と同様に図表35に示す。この図において各過程の作業内容、使用機械、資材などが示されており、環境負荷との関連が理解できる。また、各項目の使用した燃料等の二酸化炭素排出量原単位及び使用した資材等の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/単位)を付録1図表71,73に示してある。これをもとに林業機械及び作業機械等に係る二酸化炭素排出量を求めている。

3-5-1. 製造過程及び廃棄過程

調査した種子・苗木～製材生産及び林道整備工事で使用された作業機械質量は、刈払い機の0.0055t～ラフテレーンクレーン(自走式クレーン、25t吊)の26.7tの幅がある。またその材質も様々である。ここでは、文献²と同様に製造過程における質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値3,014.9(kg-CO₂e/t)を原単位として用いている。また、廃棄過程は、質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値68.6(kg-CO₂e/t)²として設定している。そして、作業機械等すべてにおいて、治山林道必携⁴⁶の建設機械損料算定表を引用し、これに記載されている年間標準運転時間(h)、機関出力(kW)、燃料消費率(L/kW-h)、標準使用年数(y)の数値を導入することとした。また、運転日当たり運転時間(h/d)は、年間標準運転時間(h)、年間標準運転日数(d)等より算出した値を使用するものとした。付録1 図表74に使用した建設機械損料表一覧を示す。ここで建設機械損料とは、建設業者が所有する建設機械等の償却費、維持修理費、管理費等を指し、これらのライフサイクルコストを1時間当たり又は1日当たりの金額で表示した経費のことである。これは、施工に要する標準的な機械経費算出のために示されている⁴⁷。

本論文では、各機械の製造及び廃棄過程において、ライフサイクル運転時間のうち実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量を算出した。ライフサイクル運転時間は、基本的に治山林道必携⁴⁶記載の標準使用年数と運転日当たり運転時間から引用した。また、記載のない作業機械については、各メーカーのWEBカタログ、または問い合わせにより入手した。実際に稼働した時間は、作業した数量を作業機械の時間あたりの作業量等(以下、歩掛、ぶがかり)で除して実際の稼働時間を算出する。例えば、掘削作業でバックホウの作業量(歩掛)を24.5m³/h、掘削量を98m³とすると計算式は以下となる。

$$(\text{掘削量} : 98\text{m}^3) / (\text{バックホウの歩掛} : 24.5\text{m}^3/\text{h}) = (\text{実際の稼働時間} : 4.0 \text{ h})$$

以下に製造過程及び廃棄過程における作業機械の排出量の計算式を示す。

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T \dots \dots \dots (3-5式)$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量(t)⁴⁶

a : 標準使用年数(y)⁴⁶

t : 年間標準運転時間(h)⁴⁶

T : 実際の稼働時間(h)

3,014.9 : 図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T \dots \dots \dots (3-6式)$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量(t)⁴⁶

a : 標準使用年数(y)⁴⁶

t : 年間標準運転時間(h) ⁴⁶

T : 実際の稼働時間(h)

68.6 : 図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値

これらの式は文献²⁾における(1式), (2式)と同等であるが, この文献では各過程における作業機械等に対する和を求めているためΣ記号が表れていた。ここではある特定の作業機械等の排出量を求めるための式として表示しているため, この和記号がないことに注意されたい。以下(3-7式)~(3-12式)まで同様である。

3-5-2. 稼働過程

稼働過程における作業機械の二酸化炭素排出量は, 1).機械の燃料消費量と2).減耗等に係る二酸化炭素排出量の和で算出するものとする(3-7式を参照)。

- 1).機械の燃料消費量の算出は, 燃料消費量に消費燃料または電気の二酸化炭素排出量原単位を乗じて算出する。
- 2).減耗等に係る二酸化炭素排出量の算出については, 「社会資本のライフサイクルを通じた環境評価技術の開発に関する報告—社会資本LCAの実践方策—2012年2月発行」国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室⁴⁸⁾(以下, 国総研LCA報告書2012年)の方法を採用して算出した。それは, 建設機械の減耗等に係る環境負荷原単位の算定方法の建設機械全体で一つの原単位を算出する方法(国総研LCA報告書2012年, p.3-139)である。

国総研LCA報告書2012年において, 建設機械の環境負荷は, 稼働に係る燃料等の消費の他, 維持修理費(オーバーホール等大整備の費用, 現場修理費), 償却費及び管理費(保険料, 公租公課, 格納保管等の経費)がある。これらを減耗としている⁴⁸⁾。具体的には, 各建設機械の供用日(機械を工事現場に搬入, 稼働, 搬出までの日数)あたりの維持修理費, 機械質量, 管理費について, 機械質量との回帰式から建設機械の平均的な値を算出すると, それぞれの二酸化炭素排出量の合計は, 建設機械1t・1日あたり以下の通り3.96(kg-CO₂/t・日)となる。

建設機械の減耗等に係る二酸化炭素排出原単位

=維持修理費に係る原単位+償却費に係る原単位+管理費に係る原単位

=0.712 kg-CO₂/t・日 + 1.51 kg-CO₂/t・日 + 1.73 kg-CO₂/t・日 = 3.96 kg-CO₂/t・日⁴⁸⁾

これを機械質量に乗じることにより二酸化炭素排出量が算出できる⁴⁸⁾。(3-8式を参照)

稼働過程に対する作業機械に係る二酸化炭素排出量は, 機械の燃料消費量(Of)と減耗等に係る二酸化炭素排出量(Od)の和で表すことができる。具体的には以下の算定式で算出する²⁾。

Of = f × 消費燃料または電気の二酸化炭素排出量原単位 (3-7式)

Of : 稼働過程の燃料消費または電気消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

f : 燃料消費量(L)または電気消費量(kW/h)

Od = (3.96 × w₁) × T / td (3-8式)

Od : 稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₁ : 建設機械質量(t) ⁴⁶

T/td : 供用日数(日)

td : 運転日当たり運転時間(h)⁴⁶

T : 実際の稼働時間(h)

3.96 : 作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・日)⁴⁸

ところで、入手した施工内訳表及び積算内訳書は、民有林と国有林では書式が異なっている。燃料消費量に関して言えば、民有林については具体的に数値として記載されている場合もある。一方で国有林については損料(償却費・維持修理費・管理費等)として含まれていることにより明確な記載がない²。この場合には治山林道必携⁴⁶に記載の方法で燃料消費量を算定した²。それは、建設機械の機関出力と時間当たりの燃料消費率を乗じて求めるというものである。以下に算定式を示す。

時間当たり燃料消費量=機関出力×時間当たりの燃料消費率
(『治山林道必携(積算・施工編)下巻 平成 29 年版』⁴⁶, 6 森林整備保全事業建設機械経費積算要項の制定について, p.334)

運転日当たりの運転時間については、治山林道必携⁴⁶に記載のないものは、林道事業設計積算の手引き⁴⁹を引用した。また、記載がなく不明な作業機械については、同機種または併用する機材の大凡の平均である日当たり5時間と設定した。尚、燃料消費量等(km/L)が記載されている場合等は、その数値を引用した。以下に稼働過程における燃料消費による二酸化炭素排出量を示す。

$C = e \times r \times T \times$ 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

または、 $C =$ 軽油消費量 \times T \times 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位 $\dots\dots\dots$ (3-9式)

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(kW)⁴⁶

r : 燃料消費率(L/kW-h)⁴⁶

T : 実際の稼働時間(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

3-5-3. 林業機械等以外の作業機械について

林業機械は、造林のために使用される機械である。それは刈払機やチェーンソーなどの小型なものから集材、造材等のプロセッサやグラブプルなど大型機械等である。林道の工事においては、特殊な機械やバックホウ、ブルドーザなど大型建設機械もある。これらの機械とは別に丸太を製品化するために必要な作業機械として、製材所の製材機械、人工乾燥機等、主に電力を使用する作業機械がある。このような機械の製造から廃棄までに係る二酸化炭素排出量については、林業機械及び建設機械等とは異なるため、次の方法にて算出した。まず、国総研 LCA 報告書及び国土交通省国土技術政策総合研究所の社会資本 LCA 用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表⁵⁰を参照した。この中の該当項目の数値から、稼働時間分を算出することにより、製造過程、減耗、廃棄を含んだ数値と設定した。また、電力を使用する機械に関しての稼働過程は、使用した電力量を算出した。尚、年間稼働日数については、某製材所のヒアリング調査²³から年間 270 日(d/y)、1 日稼働時間 7 時間(h/d)とした。作業機械質量(t)は、各メーカーの WEB カタログ、または問い合わせにより入手し、使用年数(y)は、メーカー等の情報を引用し、記載のない場合は、国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表の年数を使用年数⁵¹とした。以下に林業機械及び建設機械等以外の作業機械等の排出量算出式を示す。

$$S = (\text{機械の二酸化炭素排出量原単位} \times w_1) / (a_1 \times 270 \times 7) \times T + (\text{電気使用量} \times \text{電気の二酸化炭素排出量原単位} \dots \dots \dots (3-10\text{式}))$$

S = 林業機械等以外の作業機械の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) ⁵⁰

w₁ : 作業機械質量(t) ⁴⁶

a₁ : 使用年数(y) ⁴⁶

270 : 年間稼働日数²³

7 : 1日の稼働時間²³

3-6. 資材について

それぞれのプロセスで使用される資材は、その材質において様々な種類がある。建設資材に対する排出量を求める際には、各製造会社のWEBカタログより主な材質や重量を調査し、それに原単位を乗じることにより算出した²。二酸化炭素排出量原単位は、主に国総研 LCA 報告書 2012 年の「社会資本 LCA 用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表」⁵⁰を引用した。この一覧表の内容には複数の項目があったため、国土交通省国土技術政策総合研究所の担当者に確認した(2019年7月)。それによると「積算紐付表(物量基準)」については、建設用に算出した品目一覧であり、参照の仕方は、第一に「積算紐付表(物量基準)」を優先し、記載がなければ、「一覧表(物量基準)」を参照するという回答を得た。記載のない項目は、「カーボンフットプリント制度施行事業 CO₂換算量共通原単位データベース ver.3.0」²⁰から引用した。

資材の使用年数については、リサイクルできないものは、そのまま LCA データを用いた。そして、設備や器具等の場合は、繰り返し使用されるため、その使用から廃棄されるまでの使用年数で除し、当該工事で使用した年数を乗じた。使用年数は、メーカー等の情報を引用し、記載のない場合は、国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表の年数を使用年数⁵¹とした。以下に資材に係る排出量算出式を示す²。

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位} \dots \dots \dots (3-11\text{式})$$

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

3-7. 作業機械及び資材の運搬について

作業機械及び資材の運搬工程に対する排出量は文献²と同様、次のようにして算出した。大型機械であるバックホウやブルドーザ等はセミトレーラ 25t で運搬することとした。また、資材等は材料に応じて 2t~10t クラスのダンプトラック等にて運搬することとした。運搬距離については、各作業機械の運搬拠点が不明なため施工会社から施工現地とした。運搬距離は、施工会社所在地から現場までを WEB の地図機能で測った。また平均走行速度は 40km/h に設定した。生コンクリートを運搬するためのアジテータトラックに対する運搬距離については、施工現場最寄りの生コンクリート業者の所在地を調査し、上と同様の方法で算出した。これは、工事資料入手元の各管轄森林管理署に問い合わせた結果、基本的に現場に最寄りの生コンクリート業者に依頼しているという回答を得たためである²。往復回数を割り出す場合には、資材重量を治山林道必携⁴⁶に掲載されている積載量で除してその端数は切り上げた。以下に作業機械及び資材運搬のための稼働時間算出式を示す²。

$$T = d / 40 \dots \dots \dots (3-12式)$$

T : 実際の稼働時間(h)

d : 運搬拠点(施工会社所在地)～現場の距離(km)

40 : 平均走行速度40(km/h)

3-7-1. 運搬の間接補正率の設定について

運搬の環境負荷原単位の算定方法として、国総研 LCA 報告書 2012 年⁴⁸国総研 LCA 報告書 2012 年, p.3-132)の「運搬の環境負荷原単位の算定方法」を採用した。この報告書では、運搬の実施調査に基づいて、燃料消費に伴う「直接環境負荷量」に加えて、自動車修理や事務所のガス、電気、水道等の「間接環境負荷量」も考慮する必要があることが示されている。図表 36 は、道路貨物輸送部門の二酸化炭素排出原単位の内訳である。間接環境負荷量と直接環境負荷量の合計値は、直接環境負荷量に「間接環境負荷量補正率」として設定している数値を乗じて算出される²。例えば、自家輸送の場合、間接環境負荷量補正率を「1.37」、自家輸送以外の場合は、「1.42」を燃料の二酸化炭素排出原単位に乗ずるとしている。本論文では、この間接環境負荷量補正率 1.42 を採用し、以下のとおり運搬に係わる二酸化炭素排出量を算出した。

運搬に係る二酸化炭素排出量=各燃料の原単位(kg-CO₂e/L)×間接補正率(1.42)×燃料消費量(L)

	産業連関表部門・原燃料項目	単位	原単位	道路貨物輸送(除自家輸送)		自家輸送(貨物自動車)		
				財・サービス投入量	CO2排出量	財・サービス投入量	CO2排出量	
				※/百万円	kg-CO2/百万円	※/百万円	kg-CO2/百万円	
積み上げ計上項目	燃料 軽油	l	0.327	1,258	411	2,182	712	
	ガソリン	l	0.437	10	4	929	406	
積み上げ計上項目計					415		1,119	
間接環境負荷	輸送	沿海・内水面貨物輸送	円	0.013	5,289	71	9,405	125
		自家輸送(旅客自動車)	円	0.011	2,300	25	0	0
		自家輸送(貨物自動車)	円	0.011	552	6	0	0
		道路貨物輸送(除自家輸送)	円	0.005	1,586	7	3,869	18
		鉄道貨物輸送	円	0.006	1,055	6	379	2
	電力	事業用電力	kWh	0.464	512	237	125	58
		都市ガス	m3	0.359	7	2	1	0
	燃料	液化石油ガス	t	214.368	0	1	0	1
		自動車修理	円	0.003	49,348	126	251,901	642
	その他	道路輸送施設提供	円	0.002	65,263	108	108,736	179
		貸自動車業	円	0.002	6,108	13	193,393	398
		卸売	円	0.001	14,813	19	60,821	79
		小売	円	0.002	4,045	9	16,546	38
		その他の石油製品	円	0.004	1,214	5	16,466	68
		タイヤ・チューブ	円	0.007	0	0	8,484	57
建設補修		円	0.003	2,277	8	756	3	
事務用品		円	0.005	1,566	8	481	2	
その他						340		75
未集計分見込値計					990		1,746	
間接環境負荷量計						1,405	2,865	
うち控除量						-5	-12	
直接環境負荷	積み上げ計上項目	軽油	l	2,589	1,258	3,257	2,214	5,648
		揮発油	l	2,320	10	23	940	2,156
	積み上げ計上項目計					3,281		7,805
	未集計分見込値計					34		14
直接環境負荷量計						3,315	7,819	
生産環境負荷量計						4,720	10,684	

図表36 道路貨物輸送部門の二酸化炭素排出原単位の内訳

出典：国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室(2012)「社会資本のライフサイクルをとらえた環境評価技術の開発に関する報告—社会資本 LCA の実践方策—(2012 年 2 月)」⁵² p.3-133, (<http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/00all.pdf>)

使用した燃料等の二酸化炭素排出量原単位と間接環境負荷量補正率 1.42 を乗じた運搬時に消費するガソリン及び軽油を付録 1 図表 71 に示してある。

本章で示した方法により、種子・苗木生産から製材生産までのプロセスにおける二酸化炭素排出量及び林道整備における排出量を算出することができる。本論文は、多くの項目について数値を積み上げているが、それは精度良く評価する事を目的としているためのものである。

第3章

脚注

- 1 竹内秀樹(2016)「管理された森林に於ける二酸化炭素収支の定量的検証-スギの種苗生産から原木・製材まで-」『サステイナブル マネジメント第15巻』(特非)環境経営学会, p.44-57
- 2 竹内秀樹(2019)「林道整備における二酸化炭素排出量の定量的検証」『サステイナブル マネジメント第18巻』(特非)環境経営学会, p.62-82
- 3 群馬県環境森林部森林局森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」
- 4 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所「林業経営収支予測システム (FORCAS 3.21)試用版」, <https://www2.ffpri.go.jp/labs/FORCAS/> (2015年2月19日アクセス)
- 5 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所「木1本に固定されている炭素の量」, <http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-2-per-a-tree.pdf> (2014年4月9日アクセス)
- 6 林野庁編(2020)『令和2年度 森林・林業白書』p.78, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/attach/pdf/zenbun-64.pdf> (2021年12月8日アクセス)
- 7 林野庁(2019)「経営形態別苗木生産事業者数及び育苗面積の推移」, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/attach/pdf/syubyou-33.pdf> (2022年2月26日アクセス)
- 8 林野庁(2018)「コンテナ苗の基礎知識」p.6, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/houkokusho/attach/pdf/houkoku-17.pdf> (2022年1月26日アクセス)
- 9 ヒアリング調査(2014年9月16日), 群馬県沼田市利根町 苗木生産者の角田苗木園
- 10 林野庁「林業種苗法(昭和四十五年法律第八十九号)」, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/attach/pdf/syubyou-1.pdf> (2014年8月27日アクセス)
- 11 (独)林木育種センター(2015)「造林木の生育環境への適応性の評価」の成果」『林木育種情報 No.19』, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/documents/19-2.pdf> (2014年9月10日アクセス)
- 12 群馬県林木育種場(2019)「林木育種場の概要」, <https://www.pref.gunma.jp/07/p13710022.html> (2021年9月10日アクセス)
- 13 三重県林業研究所(2012)「ミニチュア採種園方式によるスギ種子生産マニュアル」, <https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000623014.pdf> (2021年7月13日アクセス)
- 14 ヒアリング調査(2014年8月27日), 群馬県林業試験場
- 15 環境省自然環境局(2009)「絶滅危惧植物種子の収集・保存等に関するマニュアル」p.53, https://www.env.go.jp/garden/shinjukugyoen/1_intro/pdf/rdb-03.pdf (2014年11月26日アクセス)
- 16 浅川澄彦他(1981)「スギ種子の-20度貯蔵での含水率の影響について」『日本の樹木種子一針葉樹編-190110』林木育種協会
- 17 生方正俊他(2014)「-20°Cの冷凍庫で10年間保存したスギおよびヒノキ種子の発芽率」『関東森林研究Vol.65 No.1』関東森林学会
- 18 岡田幸郎他(1965)「林業における種子貯蔵の現状」『農林省林業試験場造林部 Vol.2 No.2』, https://www.jstage.jst.go.jp/article/ecb1963/2/2/2_2_98/_pdf-char/en (2021年7月12日アクセス)
- 19 JA 全農資材・農機部(1998)「機械化計画のたて方 機械別基準値による」表III-5 機械別基準値, <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/65899.pdf> (2014年9月30日アクセス)
- 20 (社)産業環境管理協会(2012)「カーボンフットプリント制度施行事業 CO₂換算量共通原単位データベース ver.3.0」,

- <https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/kokai-co2kasanryou-db20110331.xls> (2017年12月21日アクセス)
- 21 岩手県林業技術センター(2006)「樹木種子の品質鑑定」『林業技術情報 No.25』,
<http://www2.pref.iwate.jp/~hp1017/shinrin/shinrin1-50/001.pdf> (2021年9月15日アクセス)
 - 22 岡田優(1966)『図説・機械化による林業苗畑作業』明文書房, p.332-441
 - 23 ヒアリング調査(2014年9月16日), 匿名希望により某製材所とする。
(某製材所の概要, 所在地:群馬県南西部, 製材生産量:20,000m³/年, 国産材100%取扱, 主要取扱樹種:スギ・ヒノキ, 製造製品:柱材・間柱・平角材等)
 - 24 林野庁 関東森林管理局 群馬森林管理署(2021)「伐採と造林の一貫作業システムの現地検討会を開催しました(令和3年10月5日)」,
https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gunma/news/event/attach/pdf/20211005_ikkansagyau-1.pdf (2022年1月5日アクセス)
 - 25 問い合わせ(2017年8月3日), (社)埼玉県農林公社 秩父事務所
 - 26 問い合わせ(2017年12月7日), 関東森林管理局 総務企画部総務課
 - 27 関東森林管理局「平成26年度森林環境保全整備事業・三ヶ舞 保育間伐(活用型)外」, 開示請求(2017年11月27日)」
 - 28 浅野浩之(2010)「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」,
<https://www.pref.gunma.jp/contents/000130083.pdf> (2019年8月19日アクセス)
 - 29 ヒアリング調査(2014年9月16日), 群馬県素材生産流通協同組合, (有)内山林業
 - 30 松本剛史他(2015)「スギ伐り捨て間伐施業法の違いからみたキバチ類の発生状況—高知県香美市の事例—」『森林応用研究24(1)』応用森林学会,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/applfor/24/1/24_9/_pdf (2021年6月24日アクセス)
 - 31 ヒアリング調査(2022年1月5日), 群馬森林管理署及び(株)吉本 由井専務
 - 32 一重喬一郎他(2013)「国産丸太のライフサイクルアセスメント事例」『木材学会誌 59(5)』, p.269-277
 - 33 愛知県建設局(2020)「積算基準及び歩掛表(その1)【土木工事編】(令和2年10月)」p.379,
https://www.pref.aichi.jp/kensetsu-kikaku/gijyutsu/sekisankijun/R2/R2sono1_20210401.pdf (2021年6月30日アクセス)
 - 34 問い合わせ(2019年8月29日), オーアイ・イノベーション(株)
 - 35 (一社)日本森林技術協会(2020)『地域内エコシステム構築事業 小規模な木質バイオマス利用』(一社)日本森林技術協会, p.32, http://woodybio.jp/pdf/r1/r1_leaflet.pdf (2022年1月21日アクセス)
 - 36 阿武隈川流域林業活性化センター(2006)「木屑焚きボイラー調査報告書」p.60-62
 - 37 齋藤周逸他(2009)「乾燥工場規模別の乾燥材生産コスト試算」『関東森林研究 No 60』関東森林学会, p.281-282
 - 38 林野庁編(2010)『国産材の加工・流通・利用検討委員会資料』p.9,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/mokusan/saisei/pdf/kokusan1_shiryau4-1.pdf (2022年2月7日アクセス)
 - 39 ヒアリング調査(2012年4月12日, 2022年2月18日), 日本木材防腐工業組合
 - 40 蒔田 章(2016)「木材・木質材料の加圧式保存処理方法」『木材保存 Vol.42-3 (2016)』日本木材防腐工業組合, p.138-144,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwpa/42/3/42_138/_pdf-char/ja (2019年9月3日アクセス)
 - 41 問い合わせ(2022年2月8日), (株)ヤスジマ, <https://yasujima.co.jp/>
 - 42 日本木材防腐工業組合(2021) 防腐木材生産量(単位 m³), <http://www.jwpia.or.jp/pages/9/> (2022年2月18日アクセス)

- 43 林野庁各森林管理局 WEB サイトである。以下は国有林の林業専用道開設工事及び林道災害復旧工事の資料をダウンロードした各森林管理局のアクセス方法である。
(注)2019(平成 31)年 4 月に収集したものであるが現在は WEB サイト上に掲載されていないものがある。
- 北海道森林管理局, <https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/index.html>
ホーム>申請・お問い合わせ > 公売・入札情報>入札結果(都度・月別・低入札価格調査結果等)>入札結果等(公共工事等)>入札結果(公共工事等)各森林管理署
- 東北森林管理局, <https://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/index.html>
ホーム > 公売・入札情報 > 契約情報公表 > 公共工事等の入札及び契約情報の公表 > 各森林管理署公共工事契約状況
- 関東森林管理局, <https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/index.html>
ホーム>森林管理局の案内>森林管理署等の概要>各森林管理署>公売・入札情報(群馬等)>入札結果の公表
- 中部森林管理局, <https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/index.html>
ホーム>公売・入札情報>契約関係情報>契約情報に係る公表>中部森林管理局契約情報の公表>各年度>各管理署契約結果
- 近畿中国森林管理局, <https://www.rinya.maff.go.jp/kinki/index.html>
ホーム>申請・お問い合わせ>公売・入札情報>入札情報>公共工事等の入札及び契約情報の公表>個別の入札及び契約に関する事項>各年度個別の入札及び契約に関する事項
- 四国森林管理局, <https://www.rinya.maff.go.jp/shikoku/index.html>
ホーム>公売・入札情報>公売・入札等に関するお知らせ>入札結果一覧>平成 30 年度一般競争入札結果一覧【林道工事】
- 九州森林管理局, <https://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/index.html>
ホーム>公表事項>発注の見通しに関する事項・入札及び契約の過程並びに契約の内容等に関する事項>各年度発注の見通しに関する事項・契約状況等
- 44 環境省・経済産業省(2016)『サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン(ver.2.3)』, p. I -9,
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/GuideLine_ver2.3.pdf
(2019年6月27日アクセス)
- 45 吉永弘志他(2004)「建設機械のライフサイクルにおける二酸化炭素排出」『平成 16 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集』(一社)日本建設機械化協会, p.155-160,
<http://jcma.heteml.jp/bunken-search/wp-content/uploads/ronbun/2004/034.pdf> (2017年12月1日アクセス)
- 46 (一社)日本治山治水協会 日本林道協会(2017)『治山林道必携(積算・施工編)下巻 平成 29 年版』日本林道協会, p.3-352
- 47 国土交通省 建設機械等損料,
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000025.html (2021 年 12 月 8 日アクセス)
- 48 国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室(2012)「社会資本のライフサイクルをとおした環境評価技術の開発に関する報告—社会資本 LCA の実践方策—(2012 年 2 月)」, p.3-136, <http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/00all.pdf> (2017 年 12 月 8 日アクセス)
- 49 関東森林管理局(2015)「林道事業設計積算の手引き 2015」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/tisan/pdf/rindoutebiki-1.pdf>,
<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/tisan/pdf/rindoutebiki-2.pdf> (2018 年 6 月 18 日アクセス)
- 50 国土交通省 国土技術政策総合研究所(2012)「社会資本 LCA 用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表 二酸化炭素排出量 2005 年版(2012.05.16 公開)」,
http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/e_io2005c.xls (2017 年 12 月 6 日アクセス)
- 51 国税庁「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表」

<https://www.city.yokohama.lg.jp/zaisei/citytax/shizei/pdf/beppyou1-0all.pdf> (2018年3月19日アクセス)

- ⁵² 国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室(2012)「社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発に関する報告—社会資本 LCA の実践方策—(2012年2月)」p.3-133, 表 3.2-70, <http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/00all.pdf>(2017年12月6日アクセス)

道路貨物輸送(除自家輸送)の生産環境負荷量計 4,720 kg-CO₂/百万円と直接環境負荷量計 3,315 kg-CO₂/百万円の比 1.42 と算出している。

第4章 人工林管理における二酸化炭素排出量の推計

この章では、人工林による二酸化炭素吸収機能の有効性を評価するために「種子・苗木生産プロセス」、「育林・丸太生産プロセス」、「製材生産プロセス」の3つのプロセス、及び林道整備において排出する二酸化炭素量を算出する。算出方法は、ヒアリング調査^{1,2,3}等を基に作成した作業モデルから構成されている。これらは、製材を産出するまでの直接的な作業工程を包含するプロセスである。一方で、林道整備も森林管理には重要なプロセスであるが、これは上述の直接的な作業工程を実施する上で必要なインフラ整備としての意味合いが強い。林道整備プロセスにおける二酸化炭素排出量については第4章5項において述べることにする。

本論文では、苗畑や山林で使用される作業機械の各作業について、個々の歩掛(時間あたりの作業量)と各数量より実際の稼働時間を割り出し、製造過程、廃棄過程、稼働過程、減耗過程を積み上げて計算した⁴。歩掛は、作業機械の各メーカーのカタログ(WEBサイト)等や文献から単位数量を引用した。また、電力の作業機械等は、電力消費量に加え、社会資本LCA用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表⁵から該当する機械の単位重量(kg-CO₂e/単位)あたりのLCA数値を引用した。そして、各機械の重量及び機械のライフサイクル時間の稼働時間分を乗じて算出した。

資材においては、可能な限りパーツ分けして、個々の材料の材質や素材の単位重量あたりの二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/単位)に重量を乗じた数値を積み上げて算出した。また、この資材運搬及び人員の移動については、トラック(2t)、軽トラック、2Lライトバン等を使用し、図表22に示したとおりの運搬及び移動距離とした。

算出にあたり使用した二酸化炭素排出量原単位⁴、建設機械損料等⁶は、付録1図表71、74に納めた数値を引用した。計算方法については、すでに文献⁴および文献⁶において述べてきた。これらの文献で示した数値が以下に述べる算出結果と若干違いがあるところがある。文献⁴は、主に機械等の消費燃料から二酸化炭素排出量と薬剤等の消耗品から算出した数値である。これに対して、本論文では、機械等の消費燃料の二酸化炭素排出量および消耗品はもとより、機械の製造・減耗・廃棄の工程を加え、また、使用される資材についても含め、LCAとして精度を高めた数値を算出したためである。文献⁶も本論文と同様に算出している。尚、算出の計算式は、端数処理のため、計数が合致しない場合があることに注意してほしい。

4-1. 種子・苗木生産プロセス

ヒアリング調査した群馬県林業試験場²において、ミニチュア採種園及び苗畑の造成は、一般的な管理を基本にしている。ここでは、調査時11aのミニチュア採種園を造成している。算出にあたり、個々の施業内容から数量等をヒアリングして数値を算入した。作業機械の作業能率及び燃料消費量は、付録1図表74使用した建設機械損料算定表一覧のとおりである。また消費する肥料・農薬・資材等は、付録1図表73使用した資材等の二酸化炭素排出量原単位にまとめられている。計算内容については、セクション毎に付録2にまとめてある。

このプロセスのセクションは文献⁶と基本的に同様であり、次の工程を持っている。すなわち「ミニチュア採種園の造成及び施肥」、「ミニチュア採種園の農薬散布及び管理」、「ミニチュア採種園の球果採取及び貯蔵・種子配布」、「苗木生産の苗畑耕耘及び施肥」、「苗木生産の管理及び農薬散布」、「苗木の貯蔵」、「コンテナ苗」である。尚、ここではコンテナ苗の生産のための工程を追加してある。以下では、これらの各セクションに対する計算結果を示してある。

4-1-1. ミニチュア採種園の造成及び施肥

造成は、トラクタとロータリで耕耘・整地し、土壌改良材を散布、トラクタで攪拌、基肥、追肥を散布して同様に攪拌する。尚、トラクタ等の移動については、場内移動の為なしとする。また、肥料等は、ホームセンターから購入し、軽トラックで運搬(距離往復：20km)される。また、基肥の有機肥料(牛糞)は、2tトラックで運搬(距離往復：20km)する。このセクションでは具体的に上記の作業を有しているが、これに対して623.38kg-CO₂の排出となることがわかった。これは、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりの植付本数3,300本/ha⁶として換算すると158.24kg-CO₂/haとなる。尚、計算方法についてはその詳細が付録2-1-1に示されている。この計算過程においては付録1図表71、73および図表74、付録2-1-1、図表75-1をあわせて参照することが必要となっている。文献⁶では1haあたりの排出量として153.55kg-CO₂/haとなっていたが、この差は作業機械の製造・減耗・廃棄の工程及び使用される資材に基づくものであり、本論文と本質的な違いはない。以下特に言及しない限り同様である。

4-1-2. ミニチュア採種園の農薬散布及び管理

このセクションでは、管理として小型管理機で中耕(苗木間の表面を浅く耕す)する。そして、着果促進剤(発根を促進させる植物ホルモン剤)を背負式の薬剤散布機で葉面散布(展着剤を加えて葉面に噴霧)する。農薬は、赤枯病防止剤、スギハダニ防除剤、病害虫防除剤、カメムシ防除剤、除草剤等を散布して、図表23に記載した防除暦に従って散布または管理される。そして、各作業機械の重量、燃料消費量、及び各薬剤、希釈用の水道水等の数量により二酸化炭素排出量を算出する。尚、各薬剤の運搬については、上述した肥料と同時に運搬されているため含めない。結果としてこのセクションでは34.40kg-CO₂の排出となった。これは、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haに対する植付本数を3,300本/haとして換算すると8.73kg-CO₂/haとなる。計算方法については付録2-1-2に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-1-3. ミニチュア採種園の球果採取・種子貯蔵及び種子の配布

群馬県林業試験場のヒアリング調査²より、球果採取作業は、所要4日間、延べ人数約30名であることがわかった。作業員の移動は、軽トラック1台に2名乗車で合計15台(往復36km)とした。そして、採取された球果から種子を取り出し、1.5ヶ月間乾燥(風乾)され、脱種する。

次に種子を乾燥剤(シリカゲル)を入れた気密性の高い容器に入れ、-5℃の種子専用貯蔵庫(3坪プレハブ冷凍庫)にて保管する。このプレハブ冷凍庫については、群馬県林業試験場では、庫内温度設定を現在-5℃で運用している。

種子の配布は、群馬県林業試験場から群馬県山林種苗緑化協同組合(ライトバン、往復22km)に運ばれて、組合員(ライトバン、往復50km)に配布されている。このセクションでは14,516.10kg-CO₂の排出となった。これは、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haに対する植付本数3,300本/haあたりに換算すると3,684.86kg-CO₂/haとなる。計算方法については付録2-1-3に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)ここで算出された排出量は、文献⁶において算出された数値よりも少なくなっている。その理由においては、文献⁶は、種子貯蔵庫において、冷凍庫運転率を最大に使用した場合の消費電力量から算出した数値に対して、本論文では、さらに精度を高めるため、改めて調査した詳細資料⁷から算出したもの

である。これにより冷凍機ユニットの仕様から消費電力や冷凍庫運転率を再計算しているためである。

4-1-4. 苗木生産の苗畑耕耘及び施肥

ヒアリング調査¹の結果をもとに次の設定を行った。10aの苗畑をトラクタ(50-60PS)とロータリで耕耘・整地し、土壌改良材を散布、トラクタで攪拌、基肥、追肥を散布して同様に攪拌する。尚、トラクタ等の移動は、苗木生産者宅から苗畑まで往復距離1kmとする。肥料等は、農協から購入し、2tトラックで運搬(距離往復：20km)される。また、基肥の有機肥料(牛糞)は、2tトラックで堆肥舎から苗畑に運搬(距離往復：2km)する。このセクションでは1,971.53kg-CO₂の排出となった。これは、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。これまでと同様に1haあたりの植付本数3,300本/haに換算すると500.46kg-CO₂/haとなる。計算方法については付録2-1-4に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-1-5. 苗木生産の管理及び農薬散布

図表23のスギ育苗暦より、トラクタ(50-60PS)とロータリで床替作業(耕耘)、根切り作業を行う。管理は強い日差しを防ぐため寒冷紗で日覆いまたはかん水を行う。かん水は、ヒアリング調査¹によると、苗木業者では、農業用水(都道府県営事業、畑地帯総合設備事業)を利用しているが、具体的な使用量は不明との事であった。かん水の使用量を推計するにあたり、その地域の気象庁の統計データ1981年～2010年の平均降水量より、当該苗畑10aにおいて、4月～5月の雨量が少ないため、その水量を補う量として算出した。そして、トラクタ(50-60PS)とブームスプレイヤで除草剤を散布することとした。

越冬作業は、稲わらを縦横に編み込んだ苙(むしろ)を軽トラックで運搬し、苗木に直接覆い、越冬する。降雪しても苙をかける事によりスキマができ、温度調整が効くとのことである。また、苙は、稲わらを使用するため、カーボン・ニュートラルとしてゼロとする。

山行苗木の梱包・輸送は、2回床替満3年生苗の山行苗木を100本～140本をまとめ、苙で巻いて梱包する。輸送については、森林組合員等が苗木業者宅に直接行って、当日の植付け分(約100本)を掘り出す場合もあるが、大半は、苗畑から森林組合等に2tトラックに最大1万本～2万本を積載し運搬する。このための移動は、往復1回として、運搬に関わる二酸化炭素排出量を算出した。運搬距離は、往復92kmとした。結果として、このセクションでは345.58kg-CO₂の排出となった。これはこれまでと同様に山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりの植付本数3,300本/haに換算すると87.72kg-CO₂/haになる。計算方法については付録2-1-5に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-1-6. 苗木の貯蔵

山行苗木は、平均気温の違いから生じる凍結を回避するため、さらに苗木生産者の事業規模に関係して出荷ロスを軽減するために苗木の貯蔵を行っている例が多くある⁶。

古川他(1982)研究資料・材木の苗木の低温貯蔵試験⁸によると北海道では、貯蔵庫がすでに実用化されており、貯蔵温度が-3℃～3℃の温度範囲において最長7月中旬まで貯蔵が可能であるということが報告されている⁸。本論文では、種苗生産から製品産出までに対する一連の二酸化炭素排出量を算出するにあたり、苗木貯蔵庫の二酸化炭素排出量も併せて算出した。尚、算出する諸条件

について、貯蔵する苗木本数は、苗畑で生産する苗木本数から13,000本/10aとした。また、貯蔵庫は、30坪倉庫タイプを想定し、貯蔵するための専用段ボール、ビニル袋を使用する。冷凍機運転率は、種子専用貯蔵庫同様、ドアの開閉頻度、周囲温度等の外的要因や内容物の量、外壁の厚み等の設置条件により異なるが、貯蔵期間を11月下旬～7月中旬(8ヶ月)とし、年間11月から4月を平均70%及び5月から8月を夏場の最大90%とした。

算出方法は文献⁶と基本的に同様であり、次の通りである。冷凍庫の機械装置は、メーカーカタログから同等の機種から引用し、LCAより重量換算した。使用年数は、国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表の年数⁹により7年とした。また、断熱パネル等については、資材の積み上げにて算出した。

冷媒ガスの漏洩率は、年間約10%¹⁰とした。計算の結果、このセクションでは40,537.11kg-CO₂の排出となった。これは、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりでは10,290.19kg-CO₂/haになる。計算方法については付録2-1-6に示されている。(付録1図表71, 73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-1-7. コンテナ苗

コンテナ苗は、配布された種子をマルチキャビティコンテナ(以下、コンテナ)というプラスチック製の容器によって生産している。この他設備としては、ビニルハウス内にベンチと言われる育成床を設置し、かん水設備等がある。二酸化炭素排出量を算出するにあたり、森林総合研究所 関東森林管理局森林技術センターの「平成22年度完了報告資料 コンテナ苗による広葉樹造林技術の開発」¹¹に記載されている育苗用の施設整備の詳細な資料をもとに個々に材料の排出量を積み上げた。尚、この設備による電力使用量は、微量のため含めていない。

コンテナの使用年数は、ヒアリング調査¹から、10年である。1回の苗木生産に2年かかるので、ライフサイクルで計5回の使用と設定した。培土は、コンテナ4個分にココナツハスク(基本材料、原産国スリランカ)80%と鹿沼土(排水材)20%を混合すると31Lとなる。このほか、水を10L、基肥・追肥(粒剤)を培土1Lあたりに5g使用(3回)し、培土の締固め(用具)として、コンテナの半分をカットして用具として使う¹²。

尚、ココナツハスクと鹿沼土については、原料の二酸化炭素排出量及び原料採取国や地域からの運搬は除外し、その販売店から苗木生産者の苗畑までの運搬における二酸化炭素排出量とする。その他の機械装置は、メーカーカタログから同等の機種から引用し、LCAより重量換算した。使用年数は、国税庁の耐用年数⁹を参考としている。このセクションでは530.69kg-CO₂の排出となった。これは、1haあたりの排出量である。計算方法については付録2-1-7に示されている。(付録1図表71, 73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-1-8. 種子・苗木生産プロセスまとめ

種子・苗木生産プロセスの集計した結果を図表 37-1, 37-2 に示す。製材材積 1 m³あたりの二酸化炭素排出量は、普通苗の場合 75.08kg-CO₂/m³、コンテナ苗の場合 22.34 kg-CO₂/m³であった。これらの量は、製材 1m³の二酸化炭素吸収量 576.19kg-CO₂/m³(3-1 式)に対して、それぞれ 13.03%, 3.88%である。普通苗の場合、ミニチュア採種園の球果採取及び貯蔵・種子配布セクションが 18.78kg-CO₂/m³でこのプロセスの約 25%を占めている。また、普通苗において、苗木の貯蔵セクションが 52.45kg-CO₂/m³となり、約 70%にも達する事がわかった。

普通苗に対して、このプロセスの1haの植付本数3,300本あたりの合計は14,730.21kg-CO₂/haとなった。これを苗木1本あたりに換算すると4.46kg-CO₂/本となった。コンテナ苗に対する合計は、4,382.52kg-CO₂/haとなった。コンテナ苗1本あたりに換算すると1.33kg-CO₂/本となる。これは、本研究において植付本数3,300本/haの積算から導いた数値であるため、苗木生産の規模により数値は変動する可能性がある。コンテナ苗が普通苗に比べ、二酸化炭素排出量が少ないひとつの要因は、苗木の貯蔵の工程を含めてないためである。これは、上述したコンテナ苗の特徴である育苗期間の短縮や植付けの適期を広げることができることに関連している。

作業工程	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	全プロセス 合計の割合 (%)	資材の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	消費燃料の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	機械の 減耗分 (kg-CO ₂)	機械作業時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂ /ha)	1ha植付本数 3,300本あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /3,300本)	苗木1本 あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /本)
ミニチュア採種園の造成・施肥	0.81	0.14%	0.19%	560.36	55.55	3.00	4.40	0.07	623.38	158.24	0.05
ミニチュア採種園の農業散布・管理	0.04	0.01%	0.01%	23.34	10.84	0.10	0.11	0.002	34.40	8.73	0.00
ミニチュア採種園の球果採種・貯蔵・種子配布	18.78	3.26%	4.32%	1,215.60	12,755.31	533.35	11.72	0.12	14,516.10	3,684.86	1.12
苗木生産の苗畑耕耘・施肥	2.55	0.44%	0.59%	1,877.87	80.79	5.27	7.47	0.12	1,971.53	500.46	0.15
苗木生産の管理・農業散布	0.45	0.08%	0.10%	119.24	199.47	10.47	16.16	0.24	345.58	87.72	0.03
苗木の貯蔵	52.45	9.10%	12.06%	5,775.47	34,761.64	0.00	-	-	40,537.11	10,290.19	3.12
合計	75.08	13.03%	17.26%	9,571.88	47,863.61	552.20	39.86	0.55	58,028.09	14,730.21	4.46

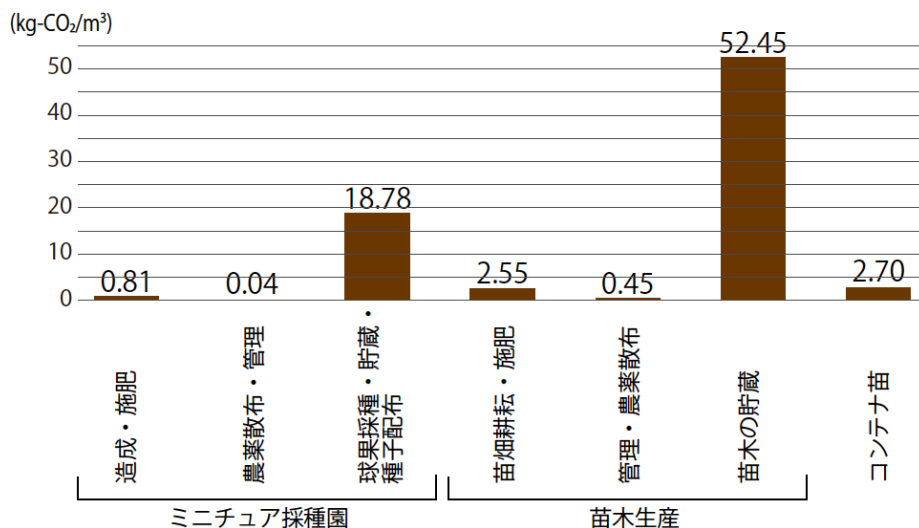
図表37-1 種子・苗木生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(普通苗)

出典：筆者作成。

作業工程	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	全プロセス 合計の割合 (%)	資材の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	消費燃料の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	機械の 減耗分 (kg-CO ₂)	機械作業時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂ /ha)	1ha植付本数 3,300本あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /3,300本)	苗木1本 あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /本)
ミニチュア採種園の造成・施肥	0.81	0.14%	0.21%	560.36	55.55	3.00	4.40	0.07	623.38	158.24	0.05
ミニチュア採種園の農業散布・管理	0.04	0.01%	0.01%	23.34	10.84	0.10	0.11	0.002	34.40	8.73	0.00
ミニチュア採種園の球果採種・貯蔵・種子配布	18.78	3.26%	4.91%	1,215.60	12,755.31	533.35	11.72	0.12	14,516.10	3,684.86	1.12
コンテナ苗	2.70	0.47%	0.71%	2,152.74	299.46	14.28	29.17	0.32	2,495.97	530.69	0.16
合計	22.34	3.88%	5.84%	3,952.04	13,121.17	550.73	45.39	0.52	17,669.84	4,382.52	1.33

図表37-2 種子・苗木生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(コンテナ苗)

出典：筆者作成。



図表38 種子・苗木生産プロセスにおける製材材積1m³あたりの二酸化炭素排出量グラフ

出典：筆者作成。

(注) 製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

4-2. 育林・丸太生産プロセス

このプロセスのセクション(具体的な作業工程等)は、基本的に文献⁶と同様であり次の通り構成されている。すなわち、「地拵え」、「植付け」、「下刈り」、「除伐・つる切り」、「枝打ち」、「作業路作設」、「第1回間伐」、「第2回間伐」、「第3回間伐」、「主伐」、「通勤」である。以下では、これらの各セクションに対する計算例を示してある。尚、計算方法についてはその詳細が付録2-2に示されている。この計算過程においては付録1図表71、73および図表74をあわせて参照することが必要となっている。

4-2-1. 地拵え

地拵えは、伐採跡地に散在する低木や雑草を刈払い機で刈りとり、末木枝条や低木等を除去、または整理、配列する。計算の結果、このセクションでは1haあたり66.08kg-CO₂/haの排出となった。計算方法については付録2-2-1に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)尚、伐採後に行う地拵え作業の一貫作業システムについては、この章4-2-13に後述する。

4-2-2. 普通苗(裸苗)の植付け

普通苗の植付けについては、苗木運搬車両2tトラックで苗木生産者の苗畑～森林組合までの往復距離を60km、森林組合～植付け現地までの往復距離を32kmとし、運搬の往復回数は、合計5回として計算した。その際、群馬県治山事業設計基準の標準歩掛¹³より、地形傾斜を25度以上35度未満において、4名で4日間、歩掛を180本/人、補植本数は300本とし、4名で1日、歩掛を90本/人の植付けを行うものとした。植付けの流れは、苗携行容器(小カゴ)に移し替えて、唐鍬(とうぐわ)を使用する。そして、単木保護資材を施す、資材の運搬は、仕入れ先の農協から現地の往復距離を60kmとし、苗木運搬車両と同様に2tトラックで運ぶものとした。結果としてこのセクションでは1haあたり2,127.23kg-CO₂/haの排出量となった。計算方法については付録2-2-2に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-2-3. コンテナ苗の植付け

本論文では普通苗による育成のみならず、コンテナ苗による森林管理についても検討している。コンテナ苗の植付けについては次に示す通りである。コンテナ苗のトラック運搬距離等は、普通苗と同様であるが、現場の植付拠点までの運搬や植付けについては、ヒアリング調査¹や林野庁の資料「コンテナ苗の基礎知識」¹⁴及び「植栽技術の開発」¹⁵を参照した。

苗木生産者の出荷作業は、抜取機(手動)でコンテナから苗を外し、根の乾燥を防ぐため出荷用段ボールにビニルシートをセットし、1箱に苗50本を入れる。現場に運搬後、植付け作業は、拠点まで運び、苗携行容器(小カゴ)に移し替えて、コンテナ苗専用植付器具(スぺード等)で植え付ける。植付け拠点まで運ぶ方法は、立地によりフォワーダで大量に運搬する方法もあるが、今回のケースとして、背負子を使って人力で運び入れるものとした。このセクションでは1haあたり2,196.17kg-CO₂/haの排出となった。計算方法については付録2-2-3に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-2-4. 下刈り

下刈りは、苗木の植付け後の初期保育時期において行われる作業であり、比較的労力と費用を要する工程である。また、ヒアリング調査¹⁶によると、近年では植付けを行ってから1年～7年の期間において、年間で6月と9月に2回ほど作業を実施しているようである¹⁶。ここでは2人の作業で歩掛3.8人/ha¹³、1日2時間¹⁷の作業を行う設定とした。計算の結果、このセクションでは1haあたり237.07kg-CO₂/haの排出となった。計算方法については付録2-2-4に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-2-5. 除伐・つる切り

除伐・つる切り作業は、文献⁶と同様、育林過程で合計2回¹⁸の実施として、下刈りと同様の作業機械を使用することとした。結果としてこのセクションでは1haあたり35.65kg-CO₂/haの排出となった。計算方法については付録2-2-5に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-2-6. 枝打ち

枝打ちは、作業機械を使用せず、手作業として行われている。このため本工程については通勤のみを考慮することとし、後の4-2-11において他の通勤と併せて算出する。

4-2-7. 作業路作設

本論文では、作業路作設について、関東森林管理署内(H26年度森林環境保全整備事業・「三ヶ舞 保育間伐(活用型)外」)¹⁹の歩掛より記載のあった森林作業道作設の総燃料消費量から1haあたりを算出した。この歩掛によると、3.85haの人工林において、10tトラックでバックホウ(バケット容量:0.28/0.2m³)を現場に運搬し、施工延長距離940mを作設している。この作業に燃料(軽油)870.9L消費し、稼働日数は15.8dであった。これによると、このセクションでは914.58kg-CO₂/haの排出となった。これは1haあたりの排出量である。計算方法については付録2-2-6に示されている。(付録1図表71、73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-2-8. 第1回間伐(切捨間伐)

間伐については、合計3回行うこととする。文献⁶では、間伐作業として切捨間伐と利用間伐の2回を行うとしていた。間伐作業の回数については地域や施業方針により違いがあるのが実情である。3回行うと設定したのは浅野(2010)²⁰の文献を参考にしたためである。第1回目の間伐は、林業業者のヒアリング調査¹⁶から切捨間伐として、伐倒作業のみを行うものとする。切捨間伐は、伐倒後搬出せず、そのまま放置した状態となる。

算出は群馬県治山事業設計基準の標準歩掛¹³を参考にした。伐倒作業(2人)をチェーンソーで行うこととし、数量を図表25のスギ収穫表モデルの直径分布に示されている平均胸高直径別の歩掛から算出した。その内訳は以下に示す。

平均胸高直径別歩掛(人/100本)¹³

10cm 未満(0.23 人/100 本) : 30 本
10cm 以上～16cm 未満(0.32 人/100 本) : 183 本
16cm 以上～22cm 未満(0.42 人/100 本) : 318 本
22cm 以上～28cm 未満(0.52 人/100 本) : 140 本
28cm 以上(0.63 人/100 本) : 9 本

チェーンソーは、ヒアリング調査¹⁶から、刈払い機同様の混合油を使う設定とした。燃料消費は、0.8L/h¹⁶で、チェーンオイルは消費燃料の60%¹⁶である。また、実際の稼働時間については、平均胸高直径別歩掛から、人工を集計し、1日2h/人¹⁷の作業時間から積算した。結果として、このセクションでは1haあたり63.08kg-CO₂/haの排出となった。計算方法については付録2-2-7に示されている。(付録1 図表71, 73 および図表74 をあわせて参照のこと。)

4-2-9. 第2回間伐(利用間伐)

第2回目の間伐は、第1回目の間伐同様に伐倒作業を計算した。造材はプロセッサ、グラップル、フォワーダを使用して土場巻立(積上げ)作業を行うことを算入した。このセクションでは1haあたり753.90kg-CO₂/haの排出となった。計算方法については付録2-2-8に示されている。(付録1 図表71, 73 および図表74 をあわせて参照のこと。)

4-2-10. 第3回間伐(利用間伐)

第3回目の間伐作業に係わる二酸化炭素排出量は、第2回間伐作業と同様に算出した。このセクションでは1haあたり1,068.95kg-CO₂/haの排出となった。この数値は2回目の間伐よりも大きくなっている。これは、間伐本数(図表24 参照, 2回目148本, 3回目169本)と樹木の成長量による差である。計算方法については付録2-2-9に示されている。(付録1 図表71, 73 および図表74 をあわせて参照のこと。)

4-2-11. 主伐

主伐作業に係わる二酸化炭素排出量は、第3回間伐作業と同様に算出した。このセクションでは1haあたり5,001.81kg-CO₂/haの排出となった。主伐に対する排出量は、利用間伐よりも大きな数値となっている。これは、伐採本数が多いことと、伐採する樹木の直径分布が間伐時とは異なっているためである。計算方法については付録2-2-10に示されている。(付録1 図表71, 73 および図表74 をあわせて参照のこと。)

4-2-12. 通勤

通勤は、地拵えから主伐作業まで、作業員を運搬することである。車両は、2Lライトバン、ディーゼル車、走行距離は、図表22より森林組合事務所～現場まで往復32km⁶とし、平均走行速度は、40km/hとした。各作業からの所要時間や作業機械の稼働時間の合計を作業員の作業時間を6h/d、また1台に2～4人乗車するものとして算出した。

① 地拵え作業(全1回)

4人/d,

刈払い機作業 : 20(人/ha)²¹

20(人/ha) / 4(名/台) = 5 台, 合計 5 台 ①

② 植付け作業及び単木保護資材設置

コンテナ苗の植付けについては、普通苗と同様とする。

4 人/d,

改植 : 3,000(本/ha) / 180(本/人)⁶

補植 : {300(本/ha) / 90(本/人)⁶

改植 : {3,000(本/ha) / 180(本/人)} / 4(人/台) = 4.17 台

補植 : {300(本/ha) / 90(本/人)} / 4(人/台) = 0.83 台

単木保護資材設置歩掛(樹高 1m 未満) : 1.25 人/100 本²²

{1.25(人/100 本) × 3,000(本/ha)} / 4(人/d) = 9.38 台

合計 14.38 台 ②

③ 下刈作業(全 14 回)

2 人/d,

下刈り作業 : 3.8(人/ha)¹³

3.8(人/ha) / 2(人/台) × 14(回) = 26.6 台, 合計 26.6 台 ③

④ 除伐・つる切り作業(全 2 回)

2 人/d

除伐作業 : 3.5(人/ha)¹³

3.5(人/ha) / 2(人/台) × 1(回) = 1.75 台, 計 1.75 台

つる切り : 4.5(人/ha)¹³

4.5(人/ha) / 2(人/台) × 1(回) = 2.25 台, 計 2.25 台

合計 4 台 ④

⑤ 枝打ち作業(全 4 回)

2 人/d

枝打ち作業 : 3.8(人/ha)¹³

3.8(人/ha) / 2(人/台) × 14(回) = 26.6 台, 合計 26.6 台 ⑤

⑥ 森林作業道作設

4 人/d, 4-2-7 作業路作設の稼働日数 15.8d/3.85ha¹⁹ から 1ha あたりを算出

15.8(d) / 3.85(ha) = 4.10d/ha, 合計 4.10 台 ⑥

⑦ 第 1 回間伐作業

伐倒作業の稼働時間 16.65h より算出, 伐倒作業 2 人/d, 他作業員 2 人/d

4 人/d, 16.65(h) / 2(h/d) / 2(人) = 4.16 台, 合計 4.16 台 ⑦

⑧ 第 2 回間伐作業

伐倒作業の稼働時間 4.47h より, 伐倒作業 2 人/d, 他作業員 2 人/d

4 人/d, 4.47(h) / 2(h/d) / 2(人) = 1.12 台, 計 1.12 台

作業林業機械プロセッサ及びフォワーダの搬入搬出 2 日, 計 2 台

造材作業の稼働時間 14.90h より, 造材作業 2 人/d, 他作業員 2 人/d

4 人/d, 14.90(h) / 6(h/d) = 2.48 台, 計 2.48 台

集材作業の稼働時間 11.08h より, 集材作業 2 人/d, 他作業員 2 人/d

4 人/d, 11.08(h) / 6(h/d) = 1.85 台, 計 1.85 台

合計 7.45 台 ⑧

⑨ 第 3 回間伐作業

伐倒作業の稼働時間 5.46h より，伐倒作業 2 人/d，他作業員 2 人/d
 $4 \text{ 人/d}, 5.46(\text{h}) / 2(\text{h/d}) / 2(\text{人}) = 1.37 \text{ 台}$ ，計 1.37 台
 作業林業機械プロセッサ及びフォワーダの搬入搬出 2 日，計 2 台
 造材作業の稼働時間 23.08h より，造材作業 2 人/d，他作業員 2 人/d
 $4 \text{ 人/d}, 23.08(\text{h}) / 6(\text{h/d}) = 3.84 \text{ 台}$ ，計 3.84 台
 集材作業の稼働時間 17.34h より，集材作業 2 人/d，他作業員 2 人/d
 $4 \text{ 人/d}, 17.34(\text{h}) / 6(\text{h/d}) = 2.89 \text{ 台}$ ，計 2.89 台
 合計 10.1 台・・ ⑨

⑩ 主伐作業

伐倒作業の稼働時間 25.96h より，伐倒作業 2 人/d，他作業員 2 人/d
 $4 \text{ 人/d}, 25.96(\text{h}) / 2(\text{h/d}) / 2(\text{人}) = 6.49 \text{ 台}$ ，計 6.49 台
 作業林業機械プロセッサ及びフォワーダの搬入搬出 2 日，計 2 台
 造材作業の稼働時間 124.67h より，造材作業 2 人/d，他作業員 2 人/d
 $4 \text{ 人/d}, 124.67(\text{h}) / 6(\text{h/d}) = 20.78 \text{ 台}$ ，計 20.78 台
 集材作業の稼働時間 92.24h より，集材作業 2 人/d，他作業員 2 人/d
 $4 \text{ 人/d}, 92.24(\text{h}) / 6(\text{h/d}) = 15.37 \text{ 台}$ ，計 15.37 台
 合計 44.64 台・・ ⑩

1ha あたりの通勤台数は，以下のとおりとなった。

①+②+③+④+⑤+⑥+⑦+⑧+⑨+⑩

$= 5.0 + 14.38 + 26.60 + 4.0 + 26.60 + 4.10 + 4.16 + 7.45 + 10.10 + 44.64 = 147.03$

通勤台数合計：147.03 台

このセクションでは 1,858.64kg-CO₂ の排出となった。これは 1ha に対する植付本数 3,300 本/ha あたりの排出量である。計算方法については付録 2-2-11 に示されている。(付録 1 図表 71, 73 および図表 74 をあわせて参照のこと。)

4-2-13. 伐採と造林の一貫作業

森林管理として，樹木の伐採と造林を一貫して行う方法がある。これは伐採に使用した林業機械のグラップル及びフォワーダ等をそのまま地拵え，植付け苗木運搬に利用することである。具体的には，グラップルでグランドレーキ(熊手状の器具)を掴んで，伐採後の残された末木枝条を除去または整理する。そしてすぐにフォワーダを用いて植付け用苗木を運搬する。これにより，従来の地拵え作業では 1ha あたり約 20 人/ha が必要であったのに対して，約 5 人/ha へと 4 倍程度の効率化が図れるという²¹。また，このシステムにより他の工程に軽減部分が考えられるため，作業機械の運搬，植付け，下刈り，通勤について次のように設定した。作業機械の運搬は主伐後の作業のため除外する。植付け作業は，コンテナ苗を使用することとして運搬に係わる道具等は除外した。下刈りは，2 回に軽減できる²¹ことから，4-2-4 下刈りで算出した条件を軽減した。すなわち，7 年に渡り 6 月と 9 月 2 回，合計 14 回の作業であったところを 2 年において 6 月と 9 月の 2 回，合計 4 回にて算出することとした。通勤は，地拵えを除外，植付けは半分とし，下刈りを削減して算出した。フォワーダの苗木運搬についての歩掛は，「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」(大矢他，2017)²³の研究報告を参照した。すなわち，1ha あたり 2,200 本/ha においての運搬時間が 0.66h/ha²³であるという報告をもとに，これを 3,300 本/ha あたりに換算した。結果として，これから 0.99 h/ha を採用することとした。

このセクションでは、地拵え作業、グランドレーキでグラップル稼働、フォワーダの苗木運搬の合計で946.39kg-CO₂/haの排出となった。この方法により、排出量が削減される工程が見つかる。下刈りは、237.07 kg-CO₂/haから67.73 kg-CO₂/haに削減した。コンテナ苗の植付けは2,196.17 kg-CO₂/haから2,189.91 kg-CO₂/haに削減した。また、通勤においては合計台数147.03台から139.53台と減り、排出量は1,858.64 kg-CO₂/haから1,764.78 kg-CO₂/haの削減となった。これは、1haあたりの排出量である。計算方法については付録2-3-12に示されている。(付録1 図表71, 73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-2-14. 育林・丸太生産プロセスまとめ

育林・丸太生産プロセスの結果を図表39-1, 39-2に示した。育林・丸太生産プロセスは、地拵えから主伐、通勤までのセクションがある。このプロセスに対して製材材積1m³あたりに変換して合計すると普通苗、コンテナ苗はそれぞれ61.81kg-CO₂/m³, 62.16kg-CO₂/m³となる。これらは3-1式に対して10.73%, 10.79%となる大きさである。コンテナ苗が若干多い要因は、抜取機や運搬に必要な資材が追加されたためである。

図表40はこのプロセスにおける製材材積1m³あたりの二酸化炭素排出量を棒グラフとして示したものである。この図表40が示すとおり、主伐セクションがこのプロセスの中では比較的多いことがわかる。丸太の産出に直接関連する主伐が25.49kg-CO₂/m³であり、このプロセスの約40%を占めている。

このほか、シカなどの獣害から苗木を保護する単木保護資材の素材の排出量が9.64 kg-CO₂/m³であった(付録2-2-2, ②及び④参照)。これは、植付けセクションに対する製材材積1m³あたりの排出量(普通苗10.84kg-CO₂/m³, コンテナ苗11.19kg-CO₂/m³)の86~89%を占めている。もし仮にこの資材を除外すると植付けセクションの二酸化炭素排出量は、普通苗で僅か1.20kg-CO₂/m³, コンテナ苗で1.55kg-CO₂/m³となる。このことはリサイクルを含めて自然素材等の変更により環境負荷を削減する可能性があるということを示している。また、図表39-3は伐採と造林の一貫システムに置き換えた場合の排出量を示したものである。これによると、地拵えの排出量は増加するが、コンテナ苗の植付け及び下刈りのセクションでは僅かながら減少することが理解される。コンテナ苗に対する排出量を示す図表39-2と伐採と造林の一貫システムに対する図表39-3を比較すると、このプロセス全体では、0.68%の増加となった。

作業工程	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	全プロセス 合計の割合 (%)	資材の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	消費燃料の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	機械製造時 に係る稼働分 (kg-CO ₂)	機械の 減耗分 (kg-CO ₂)	機械廃棄時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂ /ha)
地拵え	0.34	0.06%	0.08%	0.00	65.03	0.71	0.33	0.02	66.08
普通苗植付け	10.84	1.88%	2.49%	1,892.48	197.54	12.05	24.89	0.27	2,127.23
下刈り	1.21	0.21%	0.28%	0.00	230.28	4.58	2.11	0.10	237.07
除伐・つる切り	0.18	0.03%	0.04%	0.00	34.63	0.69	0.32	0.02	35.65
枝打ち	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
作業路作設	4.66	0.81%	1.07%	0.00	702.77	90.68	119.06	2.06	914.58
第1回間伐	0.32	0.06%	0.07%	0.00	62.75	0.14	0.19	0.00	63.08
第2回間伐	3.84	0.67%	0.88%	0.00	561.44	84.22	106.32	1.92	753.90
第3回間伐	5.45	0.95%	1.25%	0.00	788.21	124.60	153.31	2.83	1,068.95
主伐	25.49	4.42%	5.86%	0.00	3,627.09	624.60	735.91	14.21	5,001.81
通勤	9.47	1.64%	2.18%	0.00	1,614.55	77.64	164.69	1.77	1,858.64
合計	61.81	10.73%	14.21%	1,892.48	7,884.30	1,019.91	1,307.11	23.21	12,127.00

図表39-1 育林・丸太生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(普通苗)

出典：筆者作成。

作業工程	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	全プロセス 合計の割合 (%)	資材の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	消費燃料の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	機械製造時 に係る稼働分 (kg-CO ₂)	機械の 減耗分 (kg-CO ₂)	機械廃棄時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂ /ha)
地帯え	0.34	0.06%	0.09%	0.00	65.03	0.71	0.33	0.02	66.08
コンテナ苗植付け	11.19	1.94%	2.93%	1,914.34	244.62	12.05	24.89	0.27	2,196.17
下刈り	1.21	0.21%	0.32%	0.00	230.28	4.58	2.11	0.10	237.07
除伐・つる切り	0.18	0.03%	0.05%	0.00	34.63	0.69	0.32	0.02	35.65
枝打ち	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
作業路作設	4.66	0.81%	1.22%	0.00	702.77	90.68	119.06	2.06	914.58
第1回間伐	0.32	0.06%	0.08%	0.00	62.75	0.14	0.19	0.00	63.08
第2回間伐	3.84	0.67%	1.00%	0.00	561.44	84.22	106.32	1.92	753.90
第3回間伐	5.45	0.95%	1.42%	0.00	788.21	124.60	153.31	2.83	1,068.95
主伐	25.49	4.42%	6.66%	0.00	3,627.09	624.60	735.91	14.21	5,001.81
通勤	9.47	1.64%	2.48%	0.00	1,614.55	77.64	164.69	1.77	1,858.64
合計	62.16	10.79%	16.24%	1,914.34	7,931.38	1,019.91	1,307.11	23.21	12,195.94

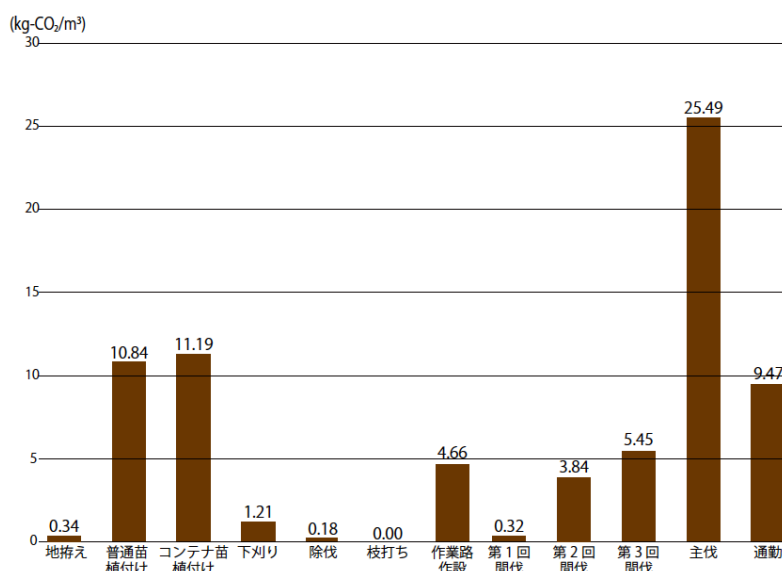
図表39-2 育林・丸太生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(コンテナ苗)

出典：筆者作成。

作業工程	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	全プロセス 合計の割合 (%)	資材の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	消費燃料の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	機械製造時 に係る稼働分 (kg-CO ₂)	機械の 減耗分 (kg-CO ₂)	機械廃棄時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂ /ha)
地帯え(一貫作業システム)	4.82	0.84%	1.25%	47.47	635.24	114.14	146.94	2.60	946.39
コンテナ苗植付け(運搬器具不要)	11.16	1.94%	2.89%	1,914.34	238.36	12.05	24.89	0.27	2,189.91
下刈り(7回から2回に軽減)	0.35	0.06%	0.09%	0.00	65.79	1.31	0.60	0.03	67.73
除伐・つる切り	0.18	0.03%	0.05%	0.00	34.63	0.69	0.32	0.02	35.65
枝打ち	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
作業路作設	4.66	0.81%	1.21%	0.00	702.77	90.68	119.06	2.06	914.58
第1回間伐	0.32	0.06%	0.08%	0.00	62.75	0.14	0.19	0.00	63.08
第2回間伐	3.84	0.67%	1.00%	0.00	561.44	84.22	106.32	1.92	753.90
第3回間伐	5.45	0.95%	1.41%	0.00	788.21	124.60	153.31	2.83	1,068.95
主伐	25.49	4.42%	6.61%	0.00	3,627.09	624.60	735.91	14.21	5,001.81
通勤	8.99	1.56%	2.33%	0.00	1,533.02	73.72	156.37	1.68	1,764.78
合計	65.27	11.33%	16.92%	1,961.81	8,249.32	1,126.14	1,443.90	25.62	12,806.79

図表39-3 育林・丸太生産プロセスにおける二酸化炭素排出量(伐採と造林の一貫システム)

出典：筆者作成。



図表40 育林・丸太生産プロセスにおける製材材積1m³あたりの二酸化炭素排出量グラフ

出典：筆者作成。

(注1)製材材積：乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

(注2)図表39-1を基に作成、コンテナ苗の植付け分を加えてある。

4-3. 製材生産プロセス

このプロセスは切り出された丸太を運搬するところから、製材製品として出荷するために加工するところまでの工程を含んでいる。セクションとしては、「丸太運搬」、「原木市場」、「製材過程」、「人工乾燥」、「天然乾燥」、「木材保存処理」である⁶。以下では、これらの各セクションに対する計算例を示してある。

4-3-1. 丸太運搬

丸太運搬は、第2, 3回の利用間伐及び主伐により土場に積み上げられた丸太を原木市場に運搬する工程である。運搬のトラックは、グラップルクレーン付トラック10tクラス(2.9t吊, 8m³/台)とした。走行距離は、図表22より土場から原木市場まで往復80km, 原木市場から製材所まで往復50kmとした。尚, この距離は、ヒアリング調査³した製材所と原木市場が隣接しているため丸太運搬の距離は実際にはないとのことである。しかし, 同製材所は, 複数の原木市場や素材生産者から丸太を納入している。そのため運搬距離としては丸太納入量から平均値を算出したものである。走行速度は, 通常40km/hとした。また, 往復回数は, 図表26の材積をトラックの積載量で除した回数である。丸太積込の歩掛については, 丸太を積み込む歩掛として2.16h/丸太100本当り(材積: 25m³)²⁴から算出した。

丸太運搬の往復距離と運搬往復台数を以下に示す。

土場から原木市場まで往復距離80km

第2回利用間伐の丸太材積: 38(m³), 運搬往復回数: $38(\text{m}^3) / 8(\text{m}^3/\text{台}) = 4.75$ 台

第3回利用間伐の丸太材積: 62(m³), 運搬往復回数: $62(\text{m}^3) / 8(\text{m}^3/\text{台}) = 7.75$ 台

主伐の丸太材積: 350(m³), 運搬往復回数: $350(\text{m}^3) / 8(\text{m}^3/\text{台}) = 43.75$ 台

原木市場から製材所まで往復距離50km

丸太材積: 450(m³), 運搬往復回数: $450(\text{m}^3) / 8(\text{m}^3/\text{台}) = 56.25$ 台

このセクションでは13,753.82kg-CO₂/haの排出となった。これは, 1haに対する植付本数3,300本/haあたりの排出量である。計算方法については付録2-3-1に示されている。(付録1図表71, 73および図表74をあわせて参照のこと。)

4-3-2. 原木市場

原木市場では, 運搬されてきた丸太をトラックから積み降ろされる。この作業は, ログローダ(丸太を掴んで移動させる機械)で行われている。積み降ろされた丸太は, フォークリフトで木材選木機(長さや径級, 品質等仕分ける)に運ばれる。ログローダの歩掛については, ヒアリング調査を行った某製材所³が行った資料²⁵に記載されている数値(1m³あたりの積降効率平均2分35秒)を採用して算出した。また歩掛フォークリフトについても同様に資料²⁵に記載されている試算結果から, 1tあたりの原木運搬時間(0.11h/t)を採用した。

木材選木機で仕分けられた丸太は, 自動的にリングバーカー(皮剥ぎ機)に移動される。そして, フォークリフトで隣接されている製材所へ運搬される。木材選木機及びリングバーカー等については, 国内製材機械メーカーの協力により, 同規模の製材所の作業機械, またその重量等の情報を問い合わせた²⁶。さらに使用年数は, 国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表より設定した。丸太の重量については, 比重を「1.0」として計算した。このセクションでは1haあ

たり 2,716.81kg-CO₂/ha の排出となった。計算方法については付録 2-3-2 に示されている。(付録 1 図表 71, 73 および図表 74 をあわせて参照のこと。)

4-3-3. 製材所

製材所における排出量を算出するにあたり、原木市場同様、国内製材機械メーカーの協力により、同規模の製材所の作業機械、またその重量等の情報を問い合わせた²⁶。使用年数は、国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表⁹より設定した。実際の稼働時間については、作業機械の作業率等、算出が困難であるため、ヒアリング調査³から、取扱量の割合で算出した。この製材所では、2013(平成 25)年度の丸太の取扱量は 41,500m³、フォークリフト軽油消費量 30,370L、消費電力量 2,330.27kWh であった。また、乾燥された白無垢の製材は、そのほとんどがプレカット工場運搬される。そして、10t トラックで往復距離 30km と設定し、積載量は、12 バンドル(2~2.5m³/バンドル、約 28 本)とした。このセクションでは 1ha あたり 1,730.51kg-CO₂/ha の排出となった。計算方法については付録 2-3-3 に示されている。(付録 1 図表 71, 73 および図表 74 をあわせて参照のこと。)

4-3-4. 人工乾燥

ヒアリング調査した製材所^{H3}では、人工乾燥を行っていた。この工程における二酸化炭素排出量を算出するにあたり、本論文では、齋藤・黒田他(2009)²⁷の文献を参照して、1haあたりの製材材積225m³(3-4式、丸太収穫材積450m³、歩留率50%)を乾燥するために必要な条件を設定した。この文献によると人工乾燥装置(蒸気加熱方式)1基の許容量は、製材45m³/回で7日間全日稼働²⁷する。これに基づき以下に設定条件を示す。電力及び水道の二酸化炭素排出量原単位は、現地数値を使用して算出するものとした。

人工乾燥装置(蒸気加熱方式)の設定条件

装置重量：15.0(t)²⁶

乾燥容量：45(m³/回)²⁷

乾燥対象材積：225(m³)

乾燥温度：70~80°C²⁷

含水率：100%から20%に処理(7日間全日稼働)²⁷

灯油消費量：2,500L/回²⁷、二酸化炭素排出係数：2.75(kg-CO_{2e}/t)

消費電力量：902kWh/回²⁷、二酸化炭素排出係数：0.464(kg-CO_{2e}/kWh)

水道使用量：17m³/回²⁷、群馬県の水道の二酸化炭素排出係数：0.38(kg-CO_{2e}/m³)

人工乾燥装置稼働回数：225(m³) / 45(m³/回)=5(回)

このセクションでは 1ha あたり 35,244.88kg-CO₂/ha の排出となった。計算方法については付録 2-3-4 に示されている。(付録 1 図表 71, 73 および図表 74 をあわせて参照のこと。)

4-3-5. プレカット工場

運搬された製材は、フォークリフトで積み下ろされ、プレカットの機械に運ばれて加工される。このプロセスでは、プレカット工程までとし、スギの一連のプロセスの最終製品とする。排出量の算出にあたり、川鍋他(2010)²⁸の文献を引用した。それは、プレカット機械の電気消費量と場

内搬送等の燃料消費量から製材 1m³あたり 11.2kg-CO₂/m³ というものであった。この数値に搬送作業機械のフォークリフトとプレカット機械メーカーの問い合わせやWEBカタログ²⁹のプレカット機械の処理時間と機械重量から数値を積み上げる方法で算出した。プレカットの加工機械については、メーカーによると住宅の仕様や工務店等の要望により使用する加工機械の種類は様々である。また、納入先のプレカット工場においても多種の生産ラインがある²⁶とのことである。本研究では、生産を柱材加工機に特定して算出することとする。このセクションでは 1ha あたり 2,498.90kg-CO₂/ha の排出となった。計算方法については付録 2-3-5 に示されている。(付録 1 図表 71, 73 および図表 74 をあわせて参照のこと。)

4-3-6. 木材保存処理

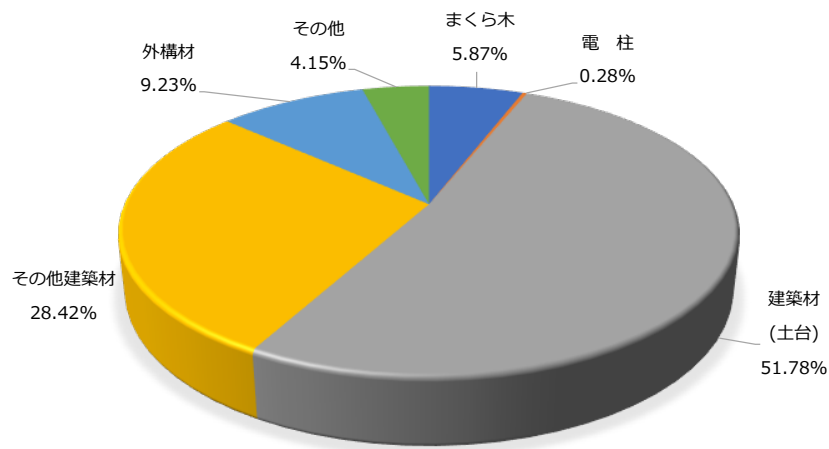
本研究において木材保存処理は、装置メーカーの問い合わせ³⁰により図表 10 のとおり製材所で人工乾燥された製品を木材保存処理に運搬し、そこで処理される工程と設定する。そして、製品化された木材は各工務店、施工業者、ホームセンター等に出荷されている。排出量の算出にあたり、装置メーカーの問い合わせ³⁰より、1回あたりの処理材積を約 10m³として、これに対して約 5h かけて加圧注入するものとした。薬剤と水は、1m³あたり約 75kg、水道量は 175m³を使用³⁰する。このセクションでは製材材積 196.2m³(3-3 式)あたり 36,517.51kg-CO₂/m³の排出となった。これを 1m³あたりに換算すると 186.12kg-CO₂/m³の排出量となった。計算方法については付録 2-3-6 に示されている。(付録 1 図表 71, 73 および図表 74 をあわせて参照のこと。)

このように、木材保存処理そのものによる二酸化炭素排出量は 1 m³あたり 186.12kg-CO₂/m³と高排出である。しかし、全生産製材の内、全てを保存処理(または防腐処理)するわけではない。保存処理製材と非保存処理製材の比率は公表されていない。そのため、保存処理した製材の材積から産出した排出量を乗じて検証する事は極めて困難である。本研究の目的は人工林における二酸化炭素の吸収機能の有効性の検証である。この有効性は、最終的にその吸収された二酸化炭素が長期に渡り固定化される事が要求される。林野庁の「木材利用に係る環境貢献度の定量的評価手法について」³¹では、長期間にわたって、木材製品を廃棄することなく利用し続ければ、炭素の貯蔵効果はより高度に発揮されることとなる³¹としている。木質製材の長期固定利用の例としては、住宅等の建築材があげられる。図表41は輸入材も含めた1999(平成11)年から2020(令和2)年までの22年間、日本木材防腐工業組合員の報告数量にもとづく防腐木材生産量の構成比を示したものである。これによると防腐処理生産された製材の用途は建築材(土台)が51.78%、その他の建築材が28.42%と合わせて建築材が大半を占めている。仮に長期に渡り二酸化炭素吸収量を固定化する木質の利用方法を考えた場合、住宅等での防腐処理、非防腐処理の比率を調査する必要がある。図表42は在来工法における部材別シェアをグラフ化したものである。これから木造住宅で使用される木材のうち7%が防腐処理用材³²である事がわかる。尚、日本木材防腐工業組合³²によると建築材の土台のほか、下地材にも一部保存処理した製材が含まれている³²とのことである。しかし、本研究では、この7%から木材保存処理全体の二酸化炭素排出量の数値に当てはめて検証する事とする。以下に計算式を示す。

木材保存処理製材1 m³あたりの二酸化炭素排出量
186.12(kg-CO₂/m³)×7(%)=13.03(kg-CO₂/m³)

木材保存処理の工程そのものは、製材1 m³あたり 186.12kg-CO₂/m³と突出した高排出量である事には変わりなく、今後の用途の傾向によっては注視が必要である。特に、近年、大手建設企業による

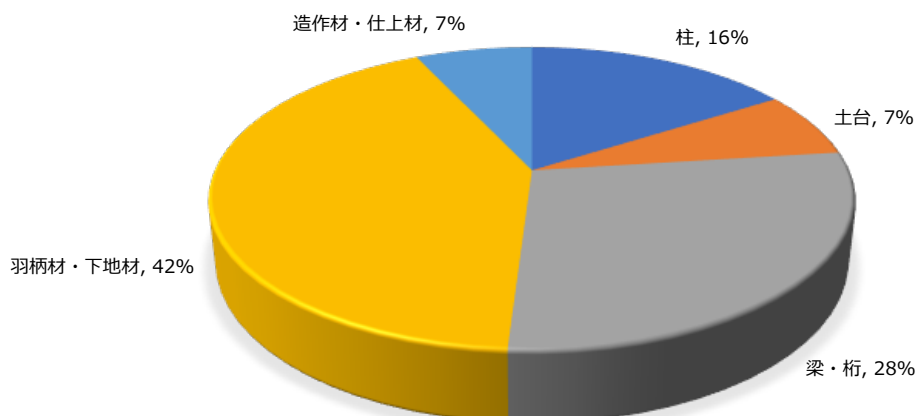
木材を中心とした高層ビルの開発が進められており、この動向によっては大きく影響される可能性もある。したがって、この問題も今後の調査の課題となるであろう。そういった意味でも木材保存処理による二酸化炭素排出量は極めて重要な要素と言える。



図表41 防腐木材生産量の構成比

出典：日本木材防腐工業組合(2021)「防腐木材生産量(日本木材防腐工業組合員の報告数量による)」より筆者作成。
(<http://www.jwpia.or.jp/pages/9/>)

(注)その他建築材は土台以外の建築用材、外構材は支柱・デッキ・遊具等、その他は土木・園芸・梱包材等。



図表42 在来工法における部材別シェア

出典：林野庁(2010)「国産材の加工・流通・利用 検討委員会資料」 p.9より筆者作成。

(https://www.rinya.maff.go.jp/j/mokusan/saisei/pdf/kokusan1_shiryoku4-1.pdf)

4-3-7. 製材生産プロセスまとめ

この製材生産プロセスの製材材積1m³あたりの各作業工程での二酸化炭素排出量を図表43に示す。このプロセスは、丸太運搬から木材保存処理までの工程があり、これらの過程における排出量を合計すると、製材材積1m³あたり合計すると298.17kg-CO₂/m³となる。これは3-1式に対して51.75%にも達する数値である。

図表44は製材生産プロセスにおける製材材積1m³あたりの二酸化炭素排出量を棒グラフとして表したものである。この図から人工乾燥工程における二酸化炭素排出量が他と比較して格段に多い事がわかる。この解決にはいくつかの課題を残している。それは業者が企業として利潤を追うが故

に様々な経営的問題を含んでいると言う事に関連している。

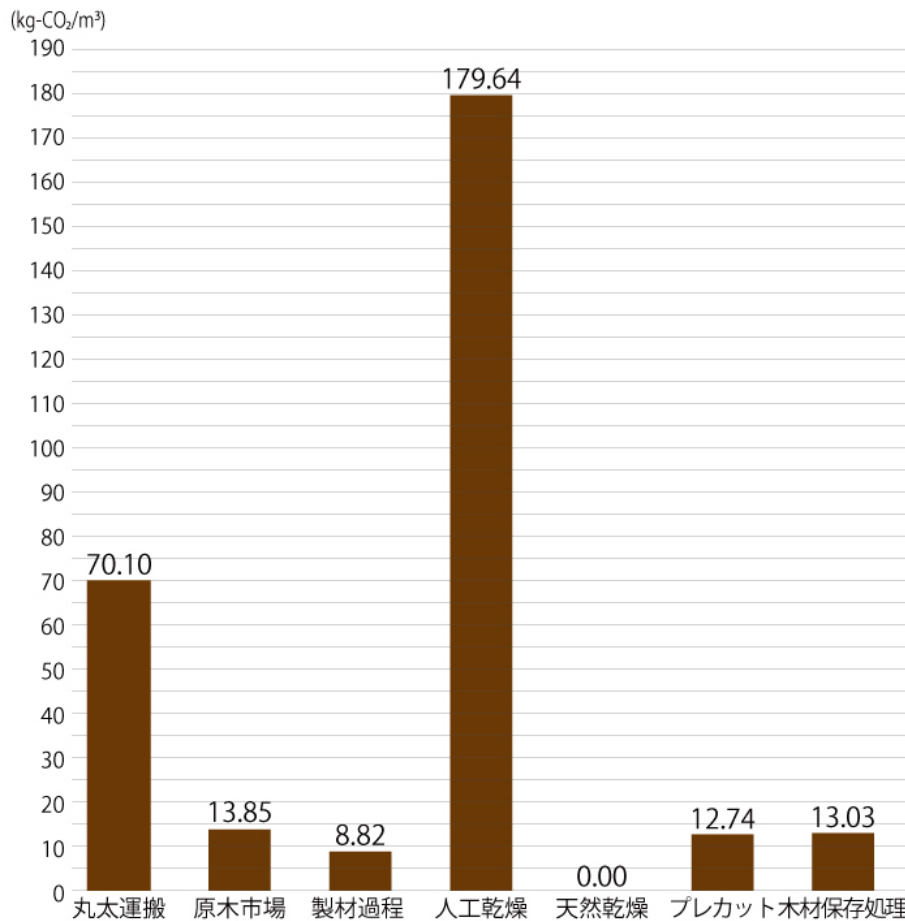
作業工程	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	全プロセス 合計の割合 (%)	資材の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	消費燃料の CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	機械製造時 に係る稼働分 (kg-CO ₂)	機械の 減耗分 (kg-CO ₂)	機械廃棄時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂ /ha)
丸太運搬	70.10	12.17%	18.32%	0.00	10,357.89	1,041.64	2,330.60	23.70	13,753.82
原木市場	13.85	2.40%	3.62%	0.00	1,852.37	383.54	472.18	8.73	2,716.81
製材所	8.82	1.53%	2.30%	0.00	1,505.77	101.07	121.37	2.30	1,730.51
人工乾燥	179.64	31.18%	46.94%	30.60	33,121.64	0.00	0.00	0.00	35,244.88
天然乾燥	0.00	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
プレカット	12.74	2.21%	3.33%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,498.90
木材保存処理	13.03	2.26%	3.40%	1,664.73	887.58	1.76	2.11	0.04	2,556.23
合計	298.17	51.75%	77.92%	1,695.33	47,725.26	1,528.00	2,926.26	34.77	58,501.16

図表43 製材生産プロセスにおける二酸化炭素排出量

出典：筆者作成。

企業経営の観点から人工乾燥工程を眺めてみると、次の4つの要素が絡み合った問題として解釈できる。つまり、エネルギーコスト、人的コスト、生産性や効率、品質である。そこに二酸化炭素排出による環境負荷と言う要素が加わると、さらに複雑な問題構造となる⁶。

製材の乾燥工程において二酸化炭素高排出を回避するためには、設備等の改善などを含めて様々な方法が考えられる。大まかに分けて、ひとつは天然乾燥による方法の採用である。もう一つは、天然乾燥を組み合わせた方法であり人工乾燥及び木屑焚きボイラーにより乾燥させる方法である⁶。スギ材は、初期含水率が高く、コスト低減が難しい。また、含水率のばらつきが生じ、このため仕上りを均一化するのを難しくしている³⁴。ヒアリング調査³によると、天然乾燥のみの実施業者は少なく、コストを削減できる可能性があるが製材生産の歩留りが悪く、また時間がかかる。結果として販売価格に影響することになるのである⁶。このため、品質等に関して様々な方法によりブランド化するなど、他製品との差別化を計るなどの工夫が必要となっている⁶。



図表44 製材生産プロセスにおける製材材積1m³あたりの二酸化炭素排出量グラフ
出典：筆者作成。

(注)製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

4-4. 結果

種子・苗木生産から製材生産までのプロセスに対する結果をまとめておくことにする。「種子・苗木生産プロセス」における普通苗の二酸化炭素排出量は、ミニチュア採種園での球果採取及び貯蔵・種子配布セクションが 18.78kg-CO₂/m³でこのプロセスの約 25%を占める。また苗木の貯蔵セクションが 52.45kg-CO₂/m³で約 70%である事がわかった。種子・苗木生産プロセスが比較的高い排出量をもっていることは、これまでの研究ではあまり指摘されていなかったと思われる。本研究により、このプロセスについても今後重要な論点となることがわかった。

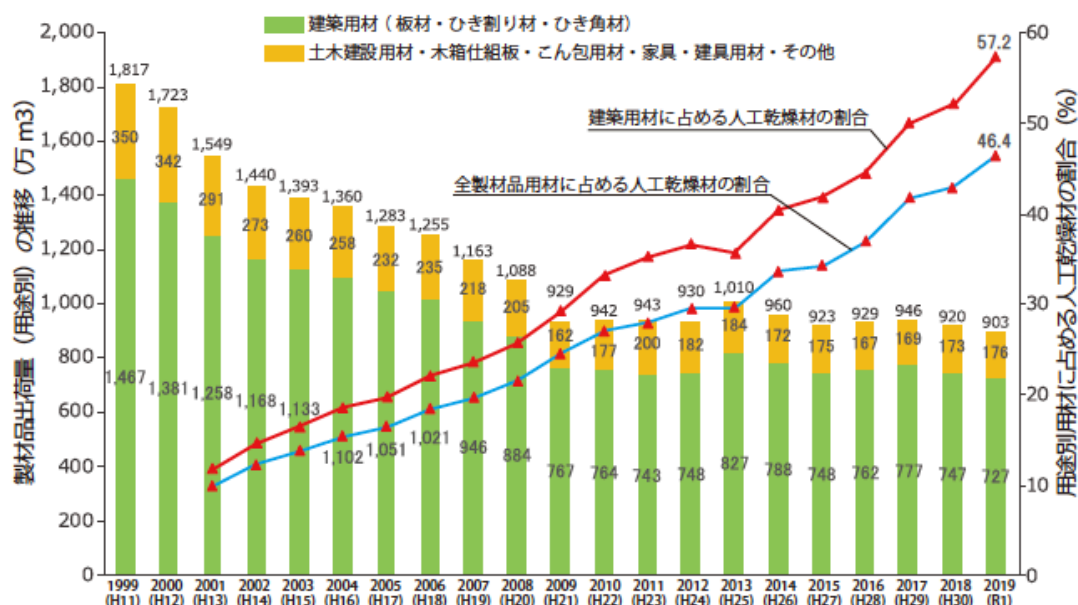
群馬県林業試験場などでは常に環境などに配慮した品種改良に取り組んでいる。そのための研究コストの他、種子の保存のために-5°Cで貯蔵する冷凍庫を使用している。冷凍庫を使用することは消費電力が多いため高コストとなるであろう。そのため種子生産を事業として捉えた場合にはコストオーバーは避けられないであろう。林業試験場は、あくまでも研究を目的としており、収益を優先しているわけではない。林業試験場の目的は、種苗法の指針に沿ったより良い品種の発掘を目指しているものである。従って、目的達成の成果にコストパフォーマンスは含まれておらず、結果として使用されるエネルギー量も増加すると考えられる。

「育林・丸太生産プロセス」における排出量の合計は、普通苗の場合 61.81kg-CO₂/m³、コンテナ苗の場合 62.16kg-CO₂/m³であった。主伐作業が 25.49kg-CO₂/m³となり、このプロセスの約 40%を占めていることがわかった。また、普通苗及びコンテナ苗の二酸化炭素排出量は、製

材 1m³あたりが吸収した二酸化炭素量 576.19kg-CO₂/m³(3-1 式)に対してそれぞれ 10.73%, 10.79%であることがわかった。

また、「製材生産プロセス」における排出量の合計は、298.17kg-CO₂/m³であった。その内、人工乾燥セクションでは 179.64kg-CO₂/m³、丸太運搬セクションが 70.10kg-CO₂/m³であった。これらのセクションは、このプロセスのそれぞれ約 51%、約 20%を占めており、高排出量である事がわかった。また、人工乾燥の二酸化炭素排出量は、3-1 式に対して 31.18%であった。これまでの研究からも、人工乾燥による二酸化炭素排出が高い数値を持っていることが示唆されていた(川鍋他²⁸、重川他³⁴など)。ここで得た結果は先行研究と同じ傾向を示すものとなった。ただし、本論文は排出量を全プロセスに渡って統一した数値として評価したものであり、それによってこの人工乾燥工程が他の工程に比べて最も高排出であることがわかったのである。

人工乾燥は、木材を乾燥させることにより、寸法の狂いやひび割れ等を防止し、強度を向上させる効果がある³⁵。図表45は、製材品出荷量(建築用材)の推移と人工乾燥材の割合を示したものである。これによると、製材品出荷量(用途別)に占める人工乾燥材の需要は高まる傾向にある。2019(平成元)年現在、その割合は、46.4%となっている。また、建築用材に占める人工乾燥材の割合は、57.2%となり増加傾向にある³⁶。

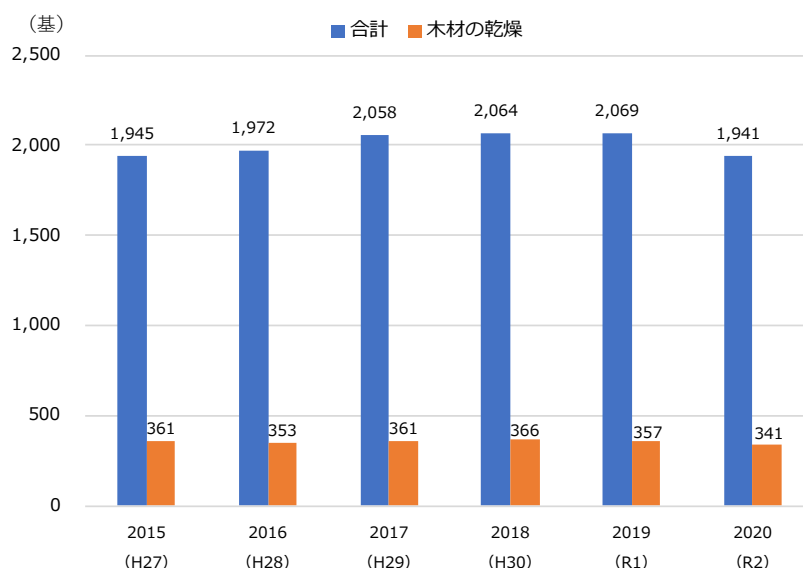


図表 45 製材品出荷量(用途別)の推移と人工乾燥材の割合

出典：林野庁編(2020)『令和2年度 森林・林業白書(HTML版)』より筆者加筆。

(https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo_h/all/other/s3_44.xls)

図表46は、木質バイオマスエネルギー利用動向調査の業種別及び熱の用途別ボイラー数³⁷の推移である。これは、統計法(平成19年法律第53号)第19条第1項に基づく総務大臣の承認を受けた一般統計調査である。この図から合計として約2,000基前後のボイラーが存在していることがわかる。内訳は、暖房や給湯等の用途が多くを占めているが、木材乾燥用としては約360基前後が存在してほぼ一定に推移している。



図表 46 木質バイオマスエネルギー利用動向調査の業種別及び熱の用途別ボイラー数

出典：農林水産省「木質バイオマスエネルギー利用動向調査，確報（統計表一覧）」の平成27年～令和2年のデータより筆者加筆。（https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/index.html#r）

森林の存在は、二酸化炭素吸収と言う環境問題にとってプラスである側面を持つ。一方で、森林を健全に保つための政策が、別の環境問題を考慮した結果として二酸化炭素収支に影響を及ぼしてしまうと言う自己矛盾が存在する可能性も否定できないのが現状であろう。二酸化炭素と言う点に視点を置けば、より良い品種改良がなされながらも、いかに消費エネルギーを少なくして好品種の種子を生産する事が出来るかと言う研究も今後の課題となる。

全プロセスに対する排出量の算出結果を図表 47-1, 47-2 に示す。図表 47-1 は普通苗に対する結果であり，図表 47-2 はコンテナ苗に対する結果である。これらの表から，全プロセスで排出した二酸化炭素量は，普通苗で $435.06\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ ，コンテナ苗で $382.67\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ であることが理解できる。製材 1m^3 が吸収している二酸化炭素量(3-1式)に対して排出量がそれぞれ 75.51%，66.41%となっている事を示している。すなわち，3つのプロセスで排出している二酸化炭素の量は，加工され製品として出荷される製材が吸収している量よりも少ないことがわかったのである。

図表 48-1 及び図表 48-2 は，各工程における排出量を棒グラフにして表したものである。図表 48-1 は普通苗に対する結果であり，図表 48-2 はコンテナ苗に対する結果である。これらの図は全工程を統一的基準(製材材積 1m^3 あたりの排出量)として評価したものであり，各工程に対する排出量の大きさを直接比較することができる。これにより次のことが理解される。

- (1) 全プロセスを眺めてみると，排出量の多いプロセスは製材生産プロセスである
- (2) その中で最も多い工程は人工乾燥工程である
- (3) このプロセスにおいて次に多い工程は丸太運搬である
- (4) 育林・丸太生産プロセスは比較的排出量は少ない
- (5) 種子・苗木生産プロセスにおいて高排出となっているのは，普通苗方式における苗木の貯蔵工程である
- (6) 苗木の貯蔵工程は，コンテナ苗方式においては不要であるため排出はない
- (7) このプロセスにおいて，次に高排出となっているのは，普通苗方式における球果採種・貯蔵・種子配布工程である
- (8) この工程に対する排出量は，コンテナ苗方式でも普通苗方式と同じである

作業工程	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量 (3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 %	全プロセス 合計の割合 %	1haあたりの CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂ /ha)
種子・苗木生産プロセス合計	75.08	13.03%	17.26%	58,028.09
ミニチュア採種園の 造成・施肥	0.81	0.14%	0.19%	623.38
ミニチュア採種園の 農薬散布・管理	0.04	0.01%	0.01%	34.40
ミニチュア採種園の 球果採種・貯蔵・種子配布	18.78	3.26%	4.32%	14,516.10
苗木生産の苗畑耕耘・施肥	2.55	0.44%	0.59%	1,971.53
苗木生産の管理・農薬散布	0.45	0.08%	0.10%	345.58
苗木の貯蔵	52.45	9.10%	12.06%	40,537.11
育林・丸太生産プロセス合計	61.81	10.73%	14.21%	12,127.00
地拵え	0.34	0.06%	0.08%	66.08
普通苗植付け	10.84	1.88%	2.49%	2,127.23
下刈り	1.21	0.21%	0.28%	237.07
除伐・つる切り	0.18	0.03%	0.04%	35.65
枝打ち	0.00	0.00%	0.00%	0.00
作業路作設	4.66	0.81%	1.07%	914.58
第1回間伐	0.32	0.06%	0.07%	63.08
第2回間伐	3.84	0.67%	0.88%	753.90
第3回間伐	5.45	0.95%	1.25%	1,068.95
主伐	25.49	4.42%	5.86%	5,001.81
通勤	9.47	1.64%	2.18%	1,858.64
製材生産プロセス合計	298.17	51.75%	68.54%	58,501.16
丸太運搬	70.10	12.17%	16.11%	13,753.82
原木市場	13.85	2.40%	3.18%	2,716.81
製材所	8.82	1.53%	2.03%	1,730.51
人工乾燥	179.64	31.18%	41.29%	35,244.88
天然乾燥	0.00	0.00%	0.00%	0.00
プレカット	12.74	2.21%	2.93%	2,498.90
木材保存処理	13.03	2.26%	2.99%	2,556.23
全プロセス合計	435.06	75.51%	100.00%	128,656.25

図表47-1 全プロセスにおける二酸化炭素排出量(普通苗)

出典：筆者作成。

(注)製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

作業工程	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量 (3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 %	全プロセス 合計の割合 %	1haあたりの CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂ /ha)
種子・苗木生産プロセス合計	22.34	3.88%	5.84%	15,704.57
ミニチュア採種園の 造成・施肥	0.81	0.14%	0.21%	623.38
ミニチュア採種園の 農薬散布・管理	0.04	0.01%	0.01%	34.40
ミニチュア採種園の 球果採種・貯蔵・種子配布	18.78	3.26%	4.91%	14,516.10
コンテナ苗	2.70	0.47%	0.71%	530.69
育林・丸太生産プロセス合計	62.16	10.79%	16.24%	12,195.94
地拵え	0.34	0.06%	0.09%	66.08
コンテナ苗植付け	11.19	1.94%	2.93%	2,196.17
下刈り	1.21	0.21%	0.32%	237.07
除伐・つる切り	0.18	0.03%	0.05%	35.65
枝打ち	0.00	0.00%	0.00%	0.00
作業路作設	4.66	0.81%	1.22%	914.58
第1回間伐	0.32	0.06%	0.08%	63.08
第2回間伐	3.84	0.67%	1.00%	753.90
第3回間伐	5.45	0.95%	1.42%	1,068.95
主伐	25.49	4.42%	6.66%	5,001.81
通勤	9.47	1.64%	2.48%	1,858.64
製材生産プロセス合計	298.17	51.75%	77.92%	58,501.16
丸太運搬	70.10	12.17%	18.32%	13,753.82
原木市場	13.85	2.40%	3.62%	2,716.81
製材所	8.82	1.53%	2.30%	1,730.51
人工乾燥	179.64	31.18%	46.94%	35,244.88
天然乾燥	0.00	0.00%	0.00%	0.00
プレカット	12.74	2.21%	3.33%	2,498.90
木材保存処理	13.03	2.26%	3.40%	2,556.23
全プロセス合計	382.67	66.41%	100.00%	86,401.67

図表47-2 全プロセスにおける二酸化炭素排出量(コンテナ苗)

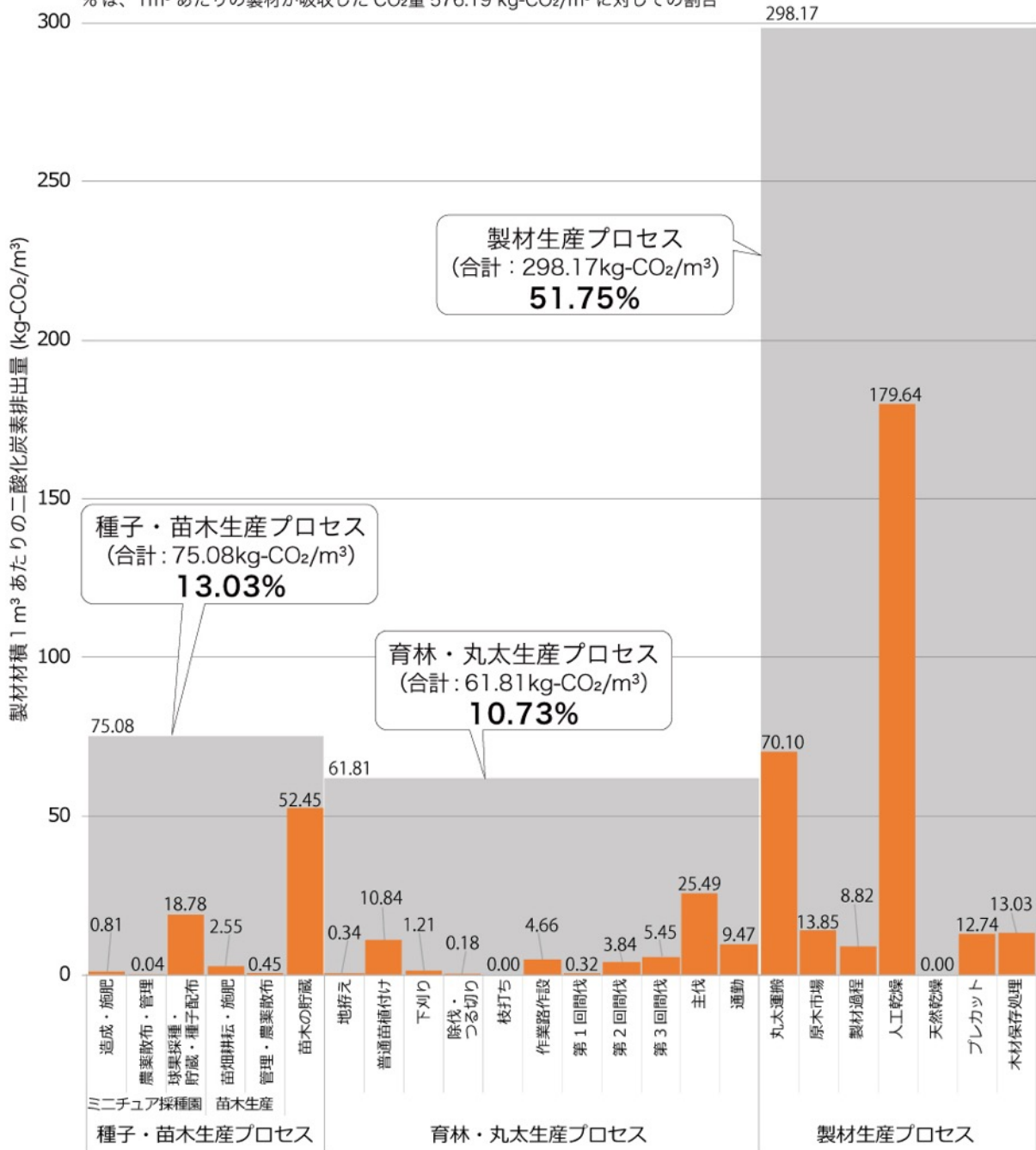
出典：筆者作成。

(注)製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

全プロセス (合計: 435.06kg-CO₂/m³) **75.51%**

普通苗

%は、1m³あたりの製材が吸収したCO₂量 576.19 kg-CO₂/m³ に対する割合



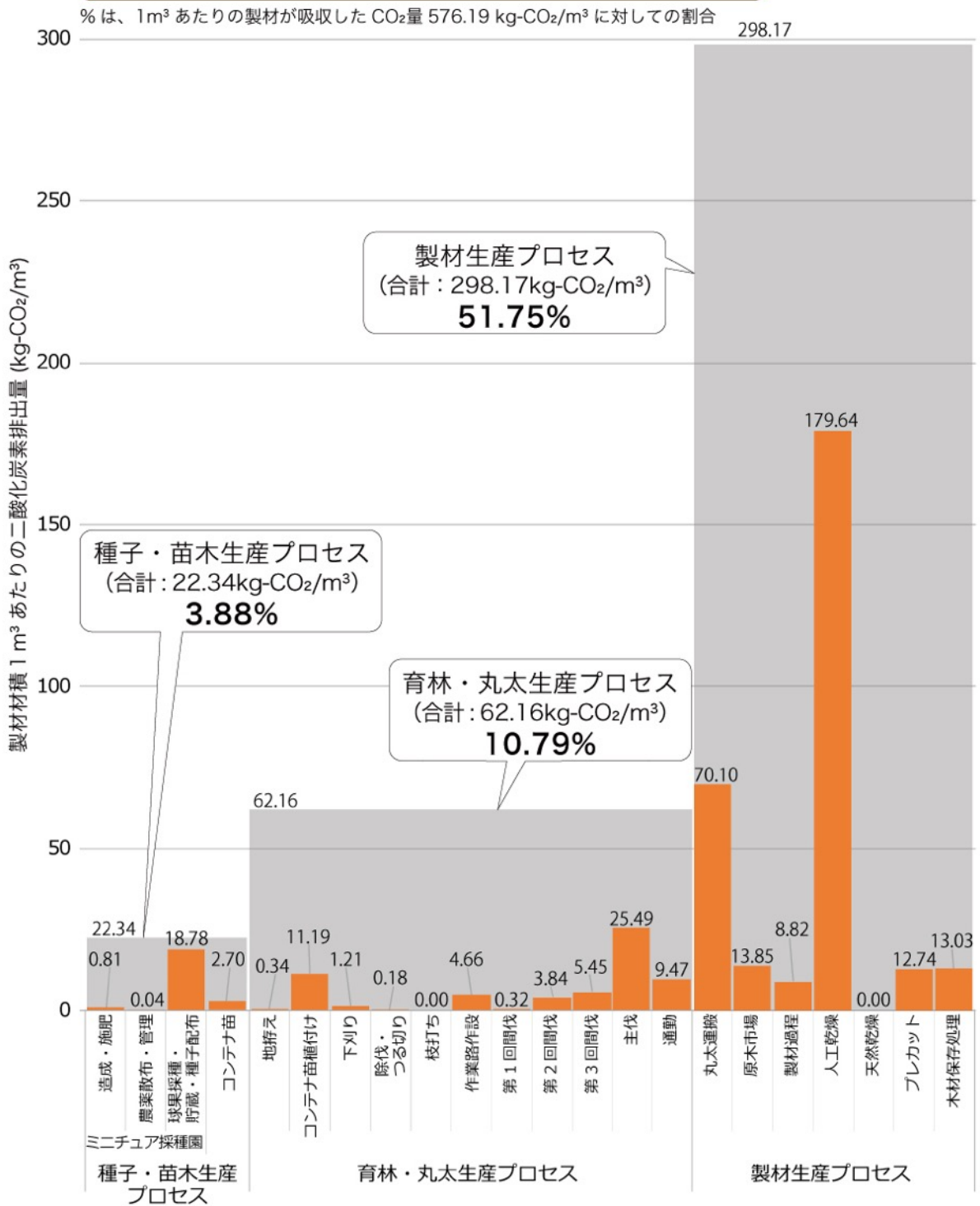
図表48-1 全プロセスにおける製材材積1m³あたりの二酸化炭素排出量グラフ(普通苗)

出典: 筆者作成。

(注)製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

全プロセス (合計: 382.67kg-CO₂/m³) **66.41%**

コンテナ苗



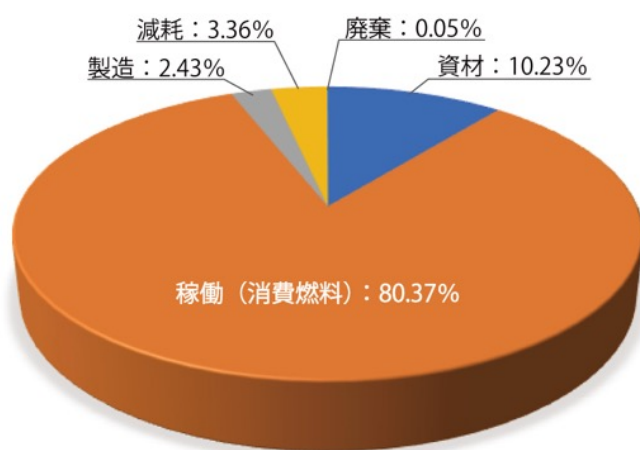
図表48-2 全プロセスにおける製材材積1m³あたりの二酸化炭素排出量グラフ(コンテナ苗)

出典: 筆者作成。

(注)製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

図表49は全プロセスにおける作業機械の製造・稼働・減耗・廃棄及び資材の二酸化炭素排出量の割合を示したものである。この図は普通苗に対する結果を示している。これによると全プロセスの80.37%を作業機械の稼働における消費燃料が占め、資材においても10.23%、製造・減耗・廃棄を

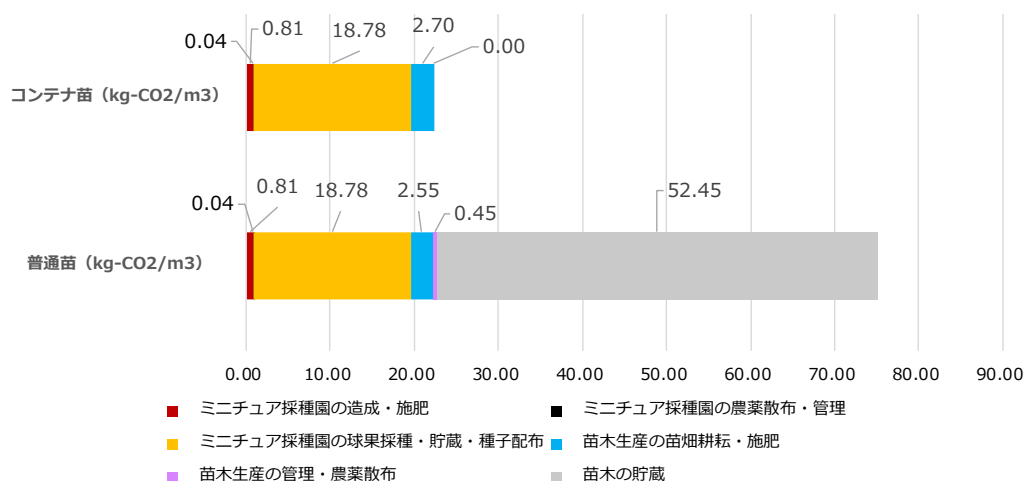
合わせて5.84%となった。



図表49 全プロセスにおける作業機械および資材から排出される二酸化炭素排出量の割合
出典：筆者作成。

(注1)製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

(注2)電源使用の設備等(冷凍庫, 製材設備, 人工乾燥設備, 木材保存処理設備等)は除く。



図表50 コンテナ苗と普通苗の二酸化炭素排出量の比較

出典：筆者作成。

(注)製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

コンテナ苗と普通苗の二酸化炭素排出量の比較を図表50に示した。どちらの苗木でもミニチュア採種園の球果採取・貯蔵・種子配布までの工程は変わらないが、その後の苗木の貯蔵で大きく差が生じている。コンテナ苗は、ビニルハウス等設備を要したにもかかわらず予想に反して、二酸化炭素排出量が少なかった。図表37-1、図表37-2において普通苗およびコンテナ苗に対する苗木1本あたりのCO₂排出量が示されていた。これによると苗木1本あたりの二酸化炭素排出量は、普通苗4.46kg-CO₂/本に対して、コンテナ苗1.33kg-CO₂/本であった。つまり、コンテナ苗は、普通苗に比べて30%程度に環境負荷が少ないことがわかった。また、このコンテナ苗を使用すると製材1m³あたりの二酸化炭素排出量は、22.34kg-CO₂/m³となり普通苗の場合は、

75.08kg-CO₂/m³である。比べてみると、29.75%にもなる程度大幅に削減の可能性があることが示された。

図表 51 は普通苗、コンテナ苗及び伐採と造林の一貫作業システムを導入するケースの二酸化炭素排出量の比較を示したものである。これによると、全プロセスの二酸化炭素排出量の割合は、コンテナ苗と一貫作業システムではそれぞれ 66.41%、66.95%とほぼ変わらない。一方で普通苗の場合には、75.51%となり、それらよりも多排出である。環境負荷や労力およびコスト面から削減の可能性を見出すことができるのである。

作業工程	普通苗			コンテナ苗			一貫作業システム		
	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	CO ₂ 排出量 合計 (kg-CO ₂ /ha)	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	CO ₂ 排出量 合計 (kg-CO ₂ /ha)	製材材積 (196.20m ³) 1m ³ あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	製材材積1m ³ あたりの CO ₂ 吸収量(3-1式) (576.19kg-CO ₂ /m ³) の割合 (%)	CO ₂ 排出量 合計 (kg-CO ₂ /ha)
種子・苗木生産プロセス									
ミニチュア採種圃の造成・施肥	0.81	0.14%	623.38	0.81	0.14%	623.38	0.81	0.14%	623.38
ミニチュア採種圃の農業散布・管理	0.04	0.01%	34.40	0.04	0.01%	34.40	0.04	0.01%	34.40
ミニチュア採種圃の球果採種・貯蔵・種子配布	18.78	3.26%	14,516.10	18.78	3.26%	14,516.10	18.78	3.26%	14,516.10
コンテナ苗	-	-	-	2.70	0.47%	530.69	2.70	0.47%	530.69
苗木生産の苗畑耕耘・施肥	2.55	0.44%	1,971.53	-	-	-	-	-	-
苗木生産の管理・農業散布	0.45	0.08%	345.58	-	-	-	-	-	-
苗木の貯蔵	52.45	9.10%	40,537.11	-	-	-	-	-	-
合計	75.08	13.03%	58,028.09	22.34	3.88%	15,704.57	22.34	3.88%	15,704.57
育林・丸太生産プロセス									
地寄せ	0.34	0.06%	66.08	0.34	0.06%	66.08	-	-	-
地寄せ（一貫作業システム）	-	-	-	-	-	-	4.82	0.84%	946.39
普通苗植付け	10.84	1.88%	2,127.23	-	-	-	-	-	-
コンテナ苗植付け	-	-	-	11.19	1.94%	2,196.17	-	-	-
コンテナ苗植付け（運搬器具不要）	-	-	-	-	-	-	11.16	1.94%	2,189.91
下刈り	1.21	0.21%	237.07	1.21	0.21%	237.07	-	-	-
下刈り（合計14回から4回に軽減）	-	-	-	-	-	-	0.35	0.06%	67.73
除伐・つる切り	0.18	0.03%	35.65	0.18	0.03%	35.65	0.18	0.03%	35.65
枝打ち	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00
作業路作設	4.66	0.81%	914.58	4.66	0.81%	914.58	4.66	0.81%	914.58
第1回間伐	0.32	0.06%	63.08	0.32	0.06%	63.08	0.32	0.06%	63.08
第2回間伐	3.84	0.67%	753.90	3.84	0.67%	753.90	3.84	0.67%	753.90
第3回間伐	5.45	0.95%	1,068.95	5.45	0.95%	1,068.95	5.45	0.95%	1,068.95
主伐	25.49	4.42%	5,001.81	25.49	4.42%	5,001.81	25.49	4.42%	5,001.81
通動	9.47	1.64%	1,858.64	9.47	1.64%	1,858.64	8.99	1.56%	1,764.78
合計	61.81	10.73%	12,127.00	62.16	10.79%	12,195.94	65.27	11.33%	12,806.79
製材生産プロセス									
丸太運搬	70.10	12.17%	13,753.82	70.10	12.17%	13,753.82	70.10	12.17%	13,753.82
原木市場	13.85	2.40%	2,716.81	13.85	2.40%	2,716.81	13.85	2.40%	2,716.81
製材所	8.82	1.53%	1,730.51	8.82	1.53%	1,730.51	8.82	1.53%	1,730.51
人工乾燥	179.64	31.18%	35,244.88	179.64	31.18%	35,244.88	179.64	31.18%	35,244.88
天然乾燥	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00
プレカット	12.74	2.21%	2,498.90	12.74	2.21%	2,498.90	12.74	2.21%	2,498.90
木材保存処理	13.03	2.26%	2,556.23	13.03	2.26%	2,556.23	13.03	2.26%	2,556.23
合計	298.17	51.75%	58,501.16	298.17	51.75%	58,501.16	298.17	51.75%	58,501.16
合計	435.06	75.51%	128,656.25	382.67	66.41%	86,401.67	385.78	66.95%	87,012.52
全プロセスにおける3-1式に対する割合	75.51%			66.41%			66.95%		

図表51 普通苗、コンテナ苗及び伐採と造林の一貫作業システム導入ケースの二酸化炭素排出量比較

出典：筆者作成。

(注)製材材積は乾燥後製材196.2m³/ha(丸太収穫材積450m³/ha)の場合。

50年もの時間を要するスギ人工林の管理において、育林・丸太生産プロセスの二酸化炭素排出量は比較的少ない。普通苗の場合、種子・苗木生産プロセスでは、それに比して約1.2倍、製材生産プロセスでは4.8倍強にもなる高排出があることが改めてわかった。また、全プロセスの排出量は、人工林1haあたりの収穫材積が450m³/haとなる産地では、製材製品の持つ吸収量に対して普通苗の場合75.51%、コンテナ苗の場合66.41%となる。製材製品は、その後プレカット等の加工がなされ、建築資材等に使用される。このため、さらに環境負荷がかかり、木質本来のカーボン・ニュートラルは失われつつある。本論文の結果から、植林から始まる育林・丸太生産プロセスよりもその後である種苗・苗木生産プロセス及び製材生産プロセスの二酸化炭素排出量が圧倒的に多く、そこに改善の可能性があると示された。

また、植林活動を追い求める事が地球温暖化緩和対策に繋がると言う一方で、植林活動過多によるその後の森林管理が不足し、放置人工林となってしまうケースも想定される。このことは、環境に悪影響を及ぼす可能性がある事を示唆している。

4-5. 林道における二酸化炭素排出量の推計

人工林による二酸化炭素吸収機能の有効性を評価するためには、前章で述べたような管理のための直接的なプロセスおよびそれらの工程における排出量を知ることが重要である。一方で、森林管理を実施していくためには、インフラとしての林道が整備されていることが条件となっている。従って、この有効性を評価するためには、林道整備に対する排出量も併せて評価することが必須である。林道整備は大別すると「林業専用道開設(新設)工事」、「林道災害復旧工事」、「森林作業道開設(新設)工事」がある。本章ではこれらの3つの工事において排出する二酸化炭素量を算出している。

本論文において標本とする工事例は、民有林林道災害復旧工事が5例、国有林林道災害復旧工事が60例、林道災害復旧工事合計で65例、国有林林業専用道開設(新設)工事が110例、計175例である。本論文はこれらの工事の施工内訳表の数値から算出したものである。WEBサイトからの工事リストについては、2019(平成31)年4月に収集したものであるが、現在はWEB上に掲載されていないものがある。尚、筆者はこれらデータを保有している。林道整備に関する排出量の算定については、筆者の既報告論文⁴に掲載してある。その論文⁴は林道工事合計22例から算出したものである。本論文ではそれより標本工事例数を上記の通り大きく増加させて精度を高めている。

ここで算出方法を説明する。まず、入手した施工明細表より、作業機械の歩掛と数量より実際の稼働時間を割り出す。次に個々の作業機械の製造過程、廃棄過程、稼働過程、減耗過程を積み上げる。施工明細表に歩掛が記載されていない場合は、各森林管理局等の森林整備事業標準歩掛等の資料や作業機械の各メーカーのカタログ(WEB サイト)等や文献より歩掛を引用した。そして、個々の作業機械の製造過程、廃棄過程、稼働過程、減耗過程の合計を求めることにより計算した。

作業機械の運搬については、文献⁴でも述べた通り、個々の機種を現場等に運ぶため積載可能なセミトレーラ(25 積)等を使用している。運搬距離については、施工会社の所在地から現場までを地図 WEB サイトの一般道路距離より距離数を調べた。通勤(作業員の移動)は、同様に施工会社の所在地から現場までライトバン(2L)で移動するものとした。尚、工事現場については、詳細な所在地が施工明細表に記載されていないため、その記載されている地域から大凡の場所を割り出して現場に設定した。

資材においては、可能な限りパーツ分けして、個々の材料の材質や素材の単位重量あたりの二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/単位)に重量を乗じた数値を合計して算出した。資材運搬については、作業機械同様に施工会社の所在地から現場までとした⁴。算出にあたり使用した二酸化炭素排出量原単位、建設機械損料等は、第3章同様に付録1に納めた数値を引用した。

尚、算出の計算式は、端数処理のため、計数が合致しない場合がある。

4-5-1. 林業専用道開設(新設)工事

林業専用道開設(新設)工事における関東森林管理局管内の国有林岩氷林業専用道開設工事の算出例を以下に示す。尚、本論文の付録において、使用した燃料等の二酸化炭素排出量原単位(付録1 図表 71)、使用した資材及び廃材の比重(付録1 図表 72)、使用した資材等の二酸化炭素排出量原単位(付録1 図表 73)、使用した建設機械損料(付録1 図表 74)がそれぞれ示されている。

関東森林管理署内の岩氷林業専用道新設工事

工事年度：2014(平成26)年度

施工延長：663.0m

事業費：24,593,760円

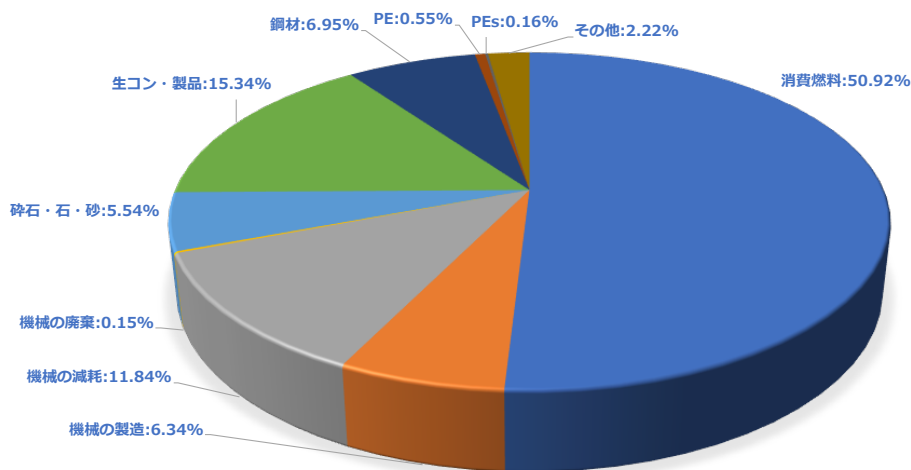
工事日数：159日(工期から土日祝日等を除く平日)

施工会社～現場往復距離：65km(地図WEBサイトの道路距離より算出)

生コン事業者(現場最寄り)～現場往復距離：24.2km(地図WEBサイトの道路距離より算出)

この岩氷林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量合計は101,115.68kg-CO₂となった。算出の詳細は付録3-1、図表78-1～5に示されている。(付録1図表71,72,73,74をあわせて参照のこと。)

ここでは、さらに国有林林業専用道開設(新設)工事105例を算出し、その集計を付録3図表79-1～3に示した。図表52は林業専用道開設(新設)工事における二酸化炭素排出量の比率(LCA比率)を示したものである。この図から、新設工事においては、工事機械等を動作させるための燃料消費に対する排出量が約50.92%を占め、最も多いことが分かった。また、次に多いのは生コン・コンクリート製品からの排出15.34%となっている。機械の製造、減耗、廃棄についてはこれらを合わせても18.33%であり、機械の稼働(燃料消費)に対する排出量に比べると少ない結果(その3分の1弱程度)となっている。



図表 52 林業専用道開設(新設)工事における二酸化炭素排出量比率

出典：筆者作成。

(注)PE はポリエチレン、PEs はポリエステル、生コン・製品は生コンクリート及びコンクリート製品。

4-5-2. 林道災害復旧工事

林道災害復旧工事については、関東森林管理署内の俎板山林道災害復旧工事の算出例を以下に示す。

俎板山林道災害復旧工事

工事年度：2018(平成30)年度

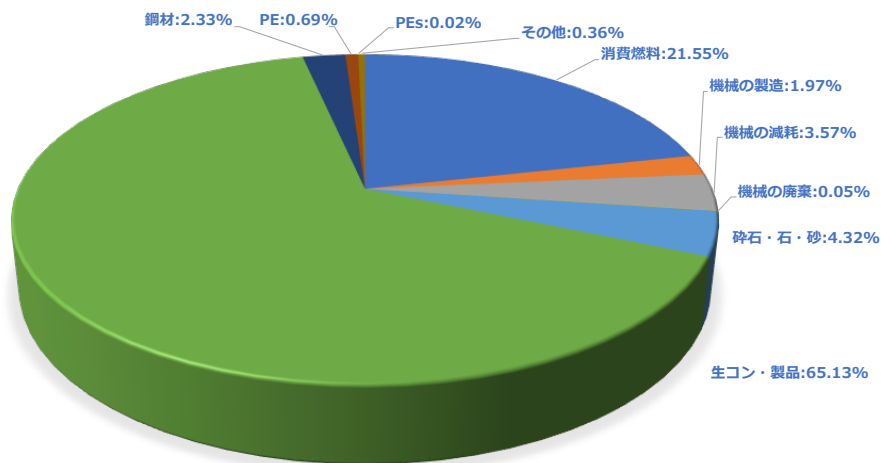
施工延長：20.0m

事業費：6,600,000円

工事日数：166日(工期から土日祝日等を除く平日)

施工会社～現場往復距離：14km(地図WEBサイトの道路距離より算出)

ここでは、さらにこの復旧工事64例について算出し、上と併せて合計65例について調べた。その集計を付録3図表81-1～2に示した。図表53は林道災害復旧工事における二酸化炭素排出量の比率(LCA比率)を示したものである。この図を見ると、図表52とは異なり、生コン・コンクリート製品からの排出が65.13%を占め、最も高排出であることが理解される。消費燃料からの排出は約21.55%であり、ここでは2番目に高い排出量となっている。機械の製造、減耗、廃棄についてはこれらを合わせても5.59%であり、ここでも機械の稼働(燃料消費)に比べるとはるかに少ないことが分かった。



図表53 林道災害復旧工事における二酸化炭素排出量比率

出典：筆者作成。

(注)PEはポリエチレン、PEsはポリエステル、生コン・製品は生コンクリート及びコンクリート製品。

4-5-3. 森林作業道開設(新設)工事

森林作業道については、調査標本を求めるために都道府県や関東森林管理局³⁸に問い合わせを行った。それによると、「森林作業道」の施工明細表は公表されている例は基本的になく、林業専用道開設(新設)工事に含まれた例もごく希にはあるとの事であった。尚、WEBサイトに記載されている「森林作業道」と表記しているものは「林業専用道」と同等である³⁸ということであった。

森林作業道開設(新設)工事の二酸化炭素排出量は、第4章2-7作業路作設で算出した施工明細表¹⁹を参考にして算出した。1ha換算の施工距離244m/haであり、これに対する二酸化炭素排出量が914.58 kg-CO₂/haであるので、ここからから1mあたりの排出量を算出した。

$$914.58(\text{kg-CO}_2/\text{ha}) / 244(\text{m/ha}) = 3.75(\text{kg-CO}_2/\text{m}) \dots \dots \dots (4-1\text{式})$$

4-5-4. 林道整備における二酸化炭素排出量のまとめ

図表54に林道整備工事における調査集計表を示す。林道工事額1万円あたりの二酸化炭素排出量は、林道災害復旧工事34.80kg-CO₂/万円、林業専用道開設(新設)工事23.92kg-CO₂/万円となる。施

工延長(施工距離)1mあたりの二酸化炭素排出量は、林道災害復旧工事930.39kg-CO₂/m、林業専用道開設(新設)工事79.56kg-CO₂/mとなる。本論文では、さらにこの林道災害復旧工事、林業専用道開設(新設)工事の二酸化炭素排出量と施工延長(施工距離)及び工事額の関連性の解析を行った。

項目	単位	民有林林道 災害復旧工事	国有林林道 災害復旧工事	民・国有林林道 災害復旧工事合計	国有林・林業専用道 開設(新設)工事	民・国有林森林作業道 開設(新設)工事	
調査件数	件	5	65	70	105	1	
調査林道工事費合計	万円	8,387.45	127,646.80	136,034.25	289,642.01	-	
調査施工延長(施工距離)合計	m	241.00	4,847.04	5,088.04	87,076.00	-	
林道工事額1万円あたりのCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /万円	20.26	35.76	34.80	23.92	12.50 ¹⁾	
施工延長(施工距離)1mあたりのCO ₂ 排出量	kg-CO ₂ /m	705.20	941.66	930.39	79.56	3.75 ²⁾	
林道工事におけるCO ₂ 排出量合計	kg-CO ₂	169,953.74	4,563,905.86	4,733,859.61	6,927,712.36	-	
内 訳	資材のCO ₂ 排出量合計	kg-CO ₂	95,656.08	3,325,064.08	3,420,720.16	2,130,469.53	-
		%	56.28%	72.86%	72.26%	30.75%	-
	消費燃料のCO ₂ 排出量合計	kg-CO ₂	65,125.38	983,570.79	1,048,696.17	3,527,865.95	-
		%	38.32%	21.55%	22.15%	50.92%	-
	機械製造時に係る使用分	kg-CO ₂	3,367.38	90,047.92	93,415.29	439,488.27	-
		%	1.98%	1.97%	1.97%	6.34%	-
	機械の減耗分に係る使用分	kg-CO ₂	5,727.04	163,154.32	168,881.36	819,920.91	-
		%	3.37%	3.57%	3.57%	11.84%	-
	機械廃棄時に係る使用分	kg-CO ₂	77.87	2,068.74	2,146.62	10,241.62	-
		%	0.05%	0.05%	0.05%	0.15%	-

図表54 林道整備工事における調査集計表

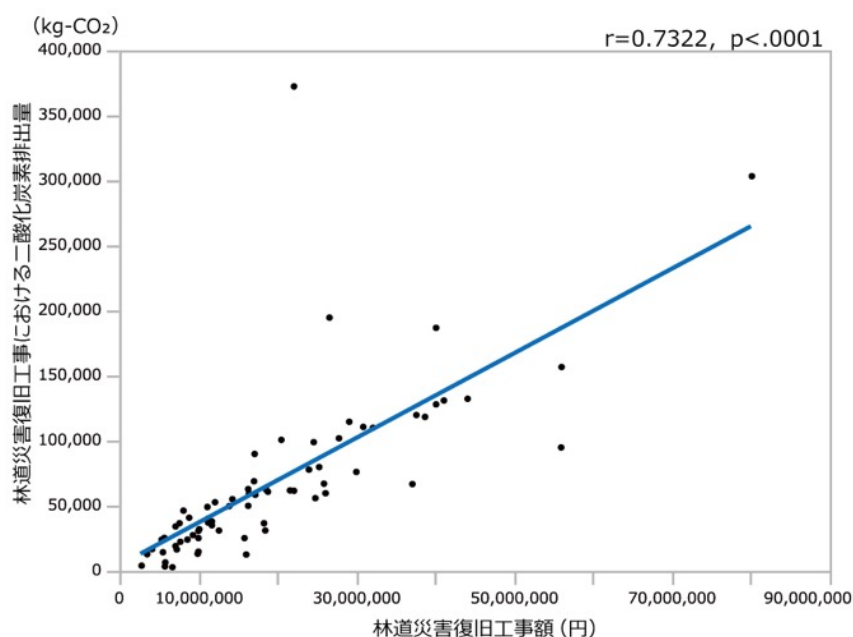
出典：

1)：東京都産業労働局 農林水産部森林課(2018)『平成31年度森林整備事業(造林関係)標準単価総括表』p.6より標準単価(土工)3,000円/mとした場合の数値。

(<https://www.sangyo-rodo.metro.tokyo.lg.jp/nourin/3b729c0bdbdb6ad91b1db7d0886b2fb.pdf>)

2)：関東森林管理署内(H26年度森林環境保全整備事業・三ヶ舞 保育間伐(活用型)外)の施工明細表¹⁹より記載のあった森林作業道作設の総燃料消費量から1haあたりを算出(4-1式)。

以上より筆者作成。

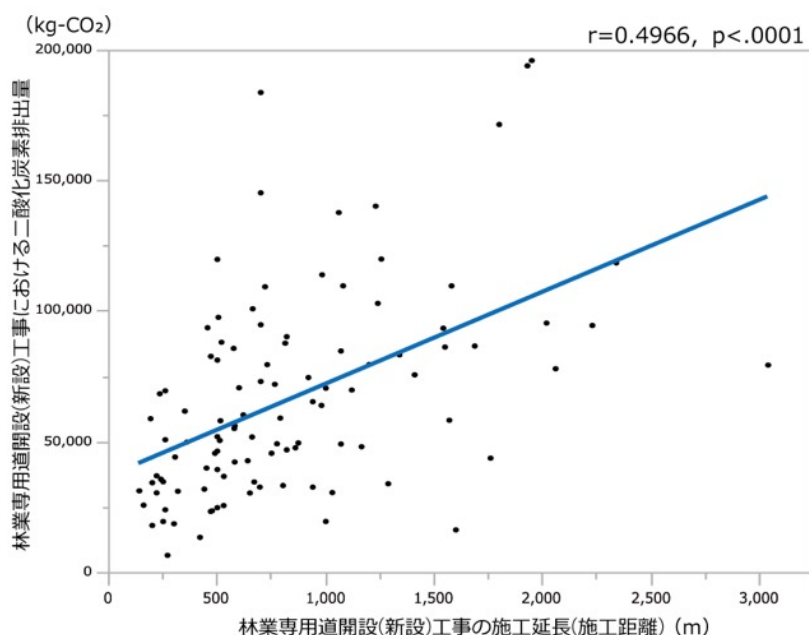


図表 55 林道災害復旧工事の二酸化炭素排出量と工事費の相関(散布図)

出典：筆者作成。

(注)有意水準はp<.0001, 統計ソフトはJMP。

図表55は、林道災害復旧工事における二酸化炭素排出量と工事額の関係を示している。この図が示すように二酸化炭素排出量と工事額に相関性があることが認められた。この関連性を管轄林業事務所担当者に照会したところ、工事現場の環境条件に関連していることが示唆された。例えば、工事額は「山奥にある」「急峻な谷沿いにある」「脆弱な斜面や土質である」などに影響を大きく受ける傾向にあると言う事であった。つまり工事費用は、工事現場環境に依存し、それは二酸化炭素排出量に関係していると推測できる。これは林業を環境経営の視点で議論するにあたり極めて重要なポイントである。すなわち人工林の環境経営の側面においては将来的に憂慮すべき問題がある事を示唆している。また同時に、人工林経営による二酸化炭素吸収機能の有効性を議論する上で重要である。整備をする林道工事の地理的環境が工事額に影響し、それが二酸化炭素排出量に影響を与えているという事が推測出来るのである。



図表 56 林業専用道開設(新設)工事の二酸化炭素排出量と施工延長の相関(散布図)

出典：筆者作成。

(注)有意水準は $p < .0001$ ，統計ソフトはJMP。

図表56は、林業専用道開設(新設)工事における二酸化炭素排出量と施工延長(施工距離)の関係を示している。この図が示すように二酸化炭素排出量と施工延長に相関性があることが認められた。

図表54の施工延長(施工距離)1mあたりの二酸化炭素排出量の数値を見ると、林道災害復旧工事による二酸化炭素排出量が林業専用道開設(新設)工事による二酸化炭素排出量に比べて圧倒的に多いことがわかる。

この理由としては、人工林自体の地理的な環境の悪条件に影響されているからに他ならない。これは、図表52及び図表53が示すように林道災害復旧工事は、生コンクリートまたはコンクリート製品が65.13%を占めているが、林業専用道開設(新設)工事ではそれより少なく15.34%である。林道災害復旧工事は、急峻でかつ脆弱な斜面に強固な建設物を構築しなければならないのが現状である。これらの状況を考えると、環境負荷を現在の素材より減らす新素材の開発等、環境経営の政策として視野に入れおく必要がある。

4-5-5. 直近5カ年平均の林道災害復旧工事及び林業専用道開設(新設)工事, 森林作業道開設(新設)工事における二酸化炭素排出量の考察

図表55の林道災害復旧工事の二酸化炭素排出量と工事費の相関から次のことを導くことが出来る。2014(平成26)年～2018(平成30)年の直近5カ年平均の民・国有林林道災害復旧工事費における二酸化炭素排出量は、図表54の林道整備工事における調査の集計を参照することによりわかる。図表57は直近5か年の民・国有林林道災害復旧歳出額と林業専用道・森林作業道開設延長距離をまとめたものである。これらの表より、民・国有林林道災害復旧工事に対する筆者が算出した年間1万円あたりの二酸化炭素排出量は、34.80kg-CO₂/y・万円であった。また、図表57の直近5カ年の林道災害復旧工事歳出額から平均金額を算出すると、2,656,005.6万円であった。従って、年間の民・国有林林道災害復旧工事における二酸化炭素排出量は、下記の通り92.43kt-CO₂/yとなる。

$$2,656,005.6(\text{万円}/\text{y}) \times 34.80(\text{kg-CO}_2/\text{万円}) = 92.43(\text{kt-CO}_2/\text{y}) \dots\dots\dots (4-2 \text{ 式})$$

また、図表56より林業専用道開設(新設)工事の二酸化炭素排出量と施工延長の相関から次のことを導くことが出来る。図表57より、民・国有林林業専用道開設(新設)工事施工延長(施工距離)合計の5カ年平均は、589.0kmであった。また図表54より、筆者が算出した林業専用道開設(新設)工事施工延長(施工距離)1mあたりの二酸化炭素排出量は、79.56kg-CO₂/mであった。これらから年間(5カ年平均)の民・国有林林業専用道開設(新設)工事における二酸化炭素排出量は、下記の通り46.85kt-CO₂/yとなる。

$$\{589.0 \times 10^3(\text{m})\} \times 79.56(\text{kg-CO}_2/\text{m}) = 46.85(\text{kt-CO}_2/\text{y}) \dots\dots\dots (4-3 \text{ 式})$$

尚、79.56kg-CO₂/m は、国有林の施工内訳表より算出したものであるが、民有林の林業専用道開設(新設)については公表されてないため、民有林分も同等の工事内容とし、民・国有林分とした。

西暦(年号)	林道災害復旧工事業費(歳出額)			林業専用道開設(新設)施工延長			森林作業道開設(新設)施工延長		
	民有林 ¹⁾ (万円)	国有林 ²⁾ (万円)	合計 ³⁾ (万円)	民有林 ³⁾ (km)	国有林 ³⁾ (km)	合計 ⁶⁾ (km)	民有林 ³⁾ (km)	国有林 ⁴⁾ (km)	合計 ⁵⁾ (km)
2014(平成26)	1,073,941.5	1,253,160.0	2,327,101.5	275	293	568	9,239	5,346	14,585
2015(平成27)	686,909.0	1,118,935.6	1,805,844.6	238	175	413	9,391	6,336	15,727
2016(平成28)	1,281,502.9	863,326.2	2,144,829.1	217	147	582	8,874	5,607	14,481
2017(平成29)	1,332,270.4	1,035,886.5	2,368,156.9	193	163	762	8,966	5,933	14,899
2018(平成30)	2,446,651.7	2,187,444.3	4,634,096.0	175	175	620	8,797	5,567	14,364
5カ年平均			2,656,005.6			589.0			14,811.2

図表57 直近5カ年の民・国有林林道災害復旧歳出額及び林業専用道・森林作業道開設延長距離
出典：

- 1)：林野庁編 各年度『森林・林業統計要覧』
- 2)：財務省「予算・決算データベース 農林水産省所管 国有林野事業 特別会計歳入歳出決定計算書」
(<https://www.bb.mof.go.jp/hdocs/bxsselect.html>)
- 3)：日本林道協会(2021)『民有林森林設備事業の概要 令和3年』日本林道協会, p.127
- 4)：国有林森林作業道の開設距離は各森林・林業白書(林野庁)に記載されている開設距離から民有林森林作業道の延長距離を差し引いて筆者算出。
- 5)：林野庁編 各年度『森林・林業白書』

以上より筆者作成。

直近5カ年平均の民・国有林の森林作業道開設(新設)施工延長(施工距離)は、図表57より、14,811.2kmであった。また、筆者が算出した森林作業道開設(新設)工事施工延長(施工距離)1mあたりの二酸化炭素排出量は、3.75kg-CO₂/m(4-1式)であった。年間(5カ年平均)の森林作業道開設(新設)における二酸化炭素排出量は、下記の通り55.54kt-CO₂/yとなる。

$$\{14,811.2 \times 10^3 \text{ (m)}\} \times 3.75 \text{ (kg-CO}_2\text{/m)} = 55.54 \text{ (kt-CO}_2\text{/y)} \dots \dots \dots \text{ (4-4 式)}$$

直近5カ年平均の林道整備における二酸化炭素排出量合計は、民・国有林林道災害復旧工事、林業専用道開設(新設)工事、森林作業道開設(新設)工事に係る各二酸化炭素排出量のとで表すことができる。その結果、下記の通り194.83 kg-CO₂/m³となった。

$$4-2 \text{ 式, } 4-3 \text{ 式及び } 4-4 \text{ 式の合計} : 92.43 + 46.86 + 55.54 = 194.83 \text{ (kt-CO}_2\text{/y)} \dots \dots \dots \text{ (4-5 式)}$$

西暦(年号)	全樹種の製材用合計(千m ³)	スギの製材用合計(千m ³)
2014(平成26)	12,211	7,872
2015(平成27)	12,004	7,869
2016(平成28)	12,182	8,095
2017(平成29)	12,632	8,200
2018(平成30)	12,563	8,237
5カ年平均	12,318	8,055

図表58 直近5カ年の全樹種の製材用合計

出典：政府統計(e-Stat)「平成30年木材需給報告書」，「主要樹種別素材生産量累年統計」より筆者作成。

平成30年木材需給報告書

(<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000031931635&fileKind=0>)

主要樹種別素材生産量累年統計

(<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500217&tstat=000001014476&cycle=7&tclass1=000001014477&tclass2=000001066536&tclass3val=0>)

上で算出された林道整備による排出量を国内で産出している製材における材積1m³あたりに換算してみよう。図表58は国内における直近5か年の全樹種に対する製材材積を示したものである。これより、直近5カ年平均の国産材全樹種製材用合計は12,318千m³/yであることがわかる。したがって、4-5式より、国産材全樹種製材用1m³あたりの林道整備による二酸化炭素排出量は以下となる。

$$\{194.83 \times 10^6 \text{ (kg-CO}_2\text{/y)}\} / \{12,318 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{/y)}\} = 15.82 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^3\text{)} \dots \dots \dots \text{ (4-6 式)}$$

ところで、これまで述べてきた林道工事に対する全樹種製材1m³あたりの二酸化炭素排出量はそれぞれの工事に対して以下となる。

$$\text{民・国有林林道災害復旧工事} : \{92.43 \times 10^6 \text{ (kg-CO}_2\text{/y)}\} / \{12,318 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{/y)}\} = 7.50 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^3\text{)}$$

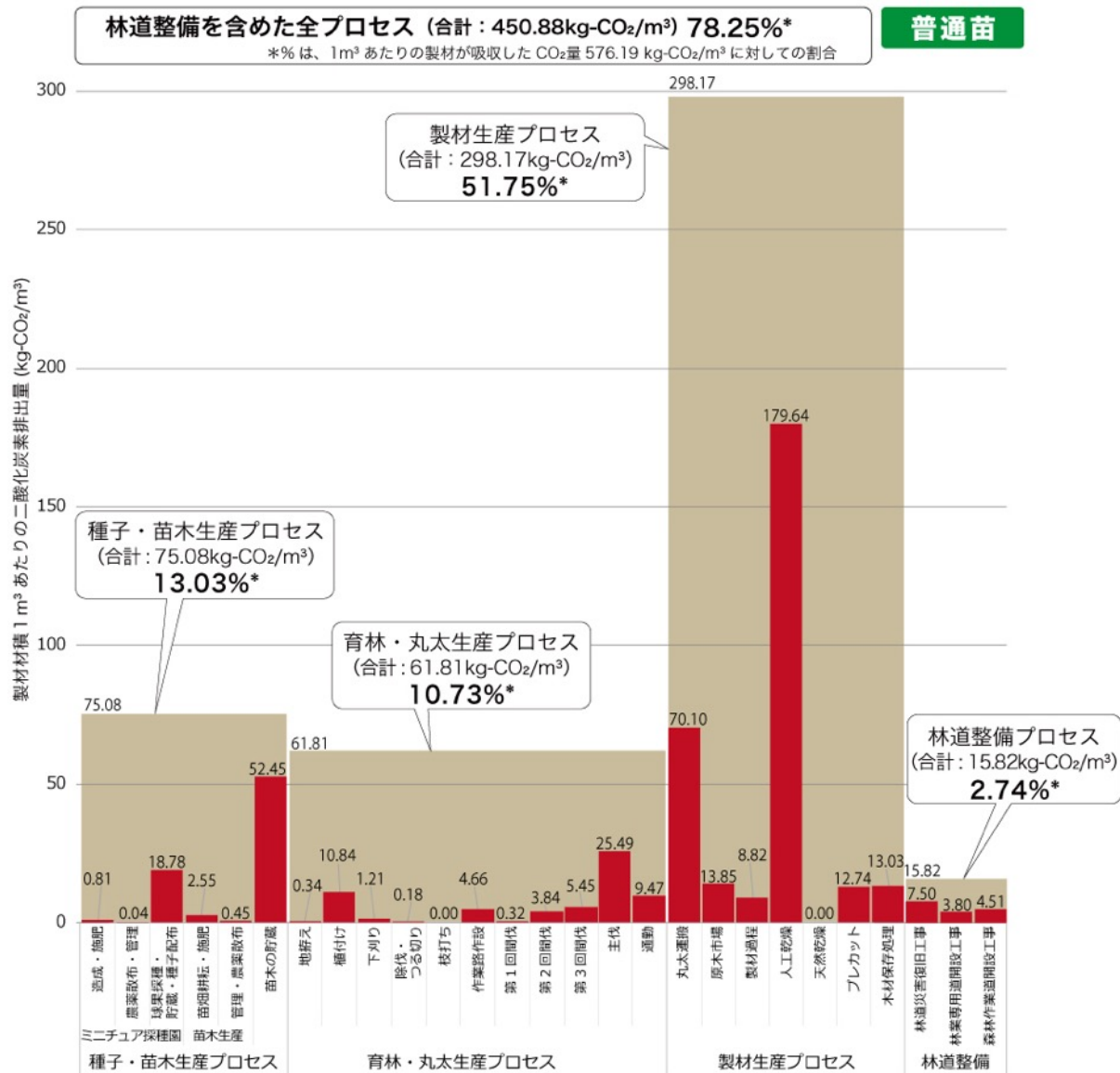
$$\text{民・国有林林道開設工事} : \{46.86 \times 10^6 \text{ (kg-CO}_2\text{/y)}\} / \{12,318 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{/y)}\} = 3.80 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^3\text{)}$$

$$\text{民・国有林森林作業道開設工事} : \{55.54 \times 10^6 \text{ (kg-CO}_2\text{/y)}\} / \{12,318 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{/y)}\} = 4.51 \text{ (kg-CO}_2\text{/m}^3\text{)}$$

直近 5 年平均の国産材製材をスギと仮定した場合、この林道整備による二酸化炭素排出量は、 1m^3 あたりのスギ製材が吸収した二酸化炭素量 $576.19\text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$ (3-1 式)に対して 2.74%であることがわかる。

$$15.82(\text{kg-CO}_2/\text{m}^3)/576.19(\text{kg-CO}_2/\text{m}^3)=2.74(\%) \dots \dots \dots (4-7 \text{ 式})$$

このことは、丸太材が 1ha あたり $450\text{m}^3/\text{ha}$ 産出されるスギ林では、製材 1m^3 あたりの二酸化炭素吸収量に対して、林道整備による二酸化炭素排出量が 2.74%(4-7 式)ということの意味している。図表 59, 図表 60 は林道整備を含めた全プロセスに対する二酸化炭素排出量を棒グラフで示したものである。この図を見ると、他のプロセスと比較しても、林道整備による排出量は決して少ない数値ではないという印象を持つ。なぜならば、製材材積量が直近 50 年間を見ても年々減少傾向(図表 61)にあるのに対して、林道災害復旧工事歳出額(図表 62)は増加傾向であり、また、林道の新規開設も引き続き行われているからである。図表 61 は 1969 年以降の国産材製材用材積の推移を、図表 62 は林道災害復旧工事歳出額の推移を、図表 63 は民有林・国有林林道延長の推移(累計)を示したものである。新設林道延長工事による林道総延長距離が伸びているということは、自然災害によって被害も増加することとなる。これらを考慮すると将来においては、この 2.74%の数値は、更に高くなることが予想される。

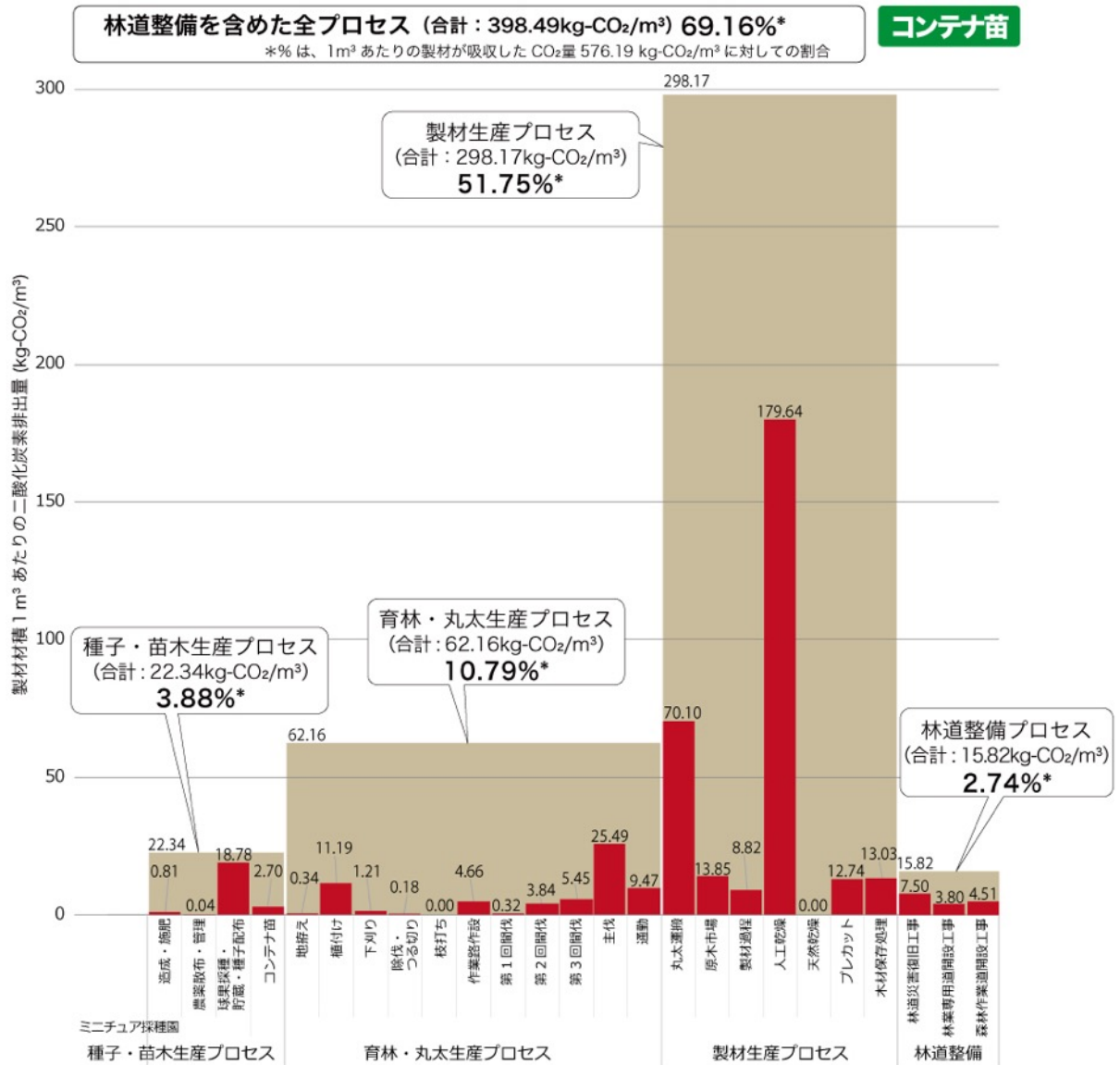


図表 59 林道整備を含めた全プロセス(普通苗)におけるスギ製材 1 m³あたりの二酸化炭素排出量

出典：筆者作成。

(注 1)収穫丸太生産プロセス合計：450m³の場合。

(注 2)林道設備プロセスは、直近 5 年平均のスギ製材材積 1m³あたりの二酸化炭素排出量。

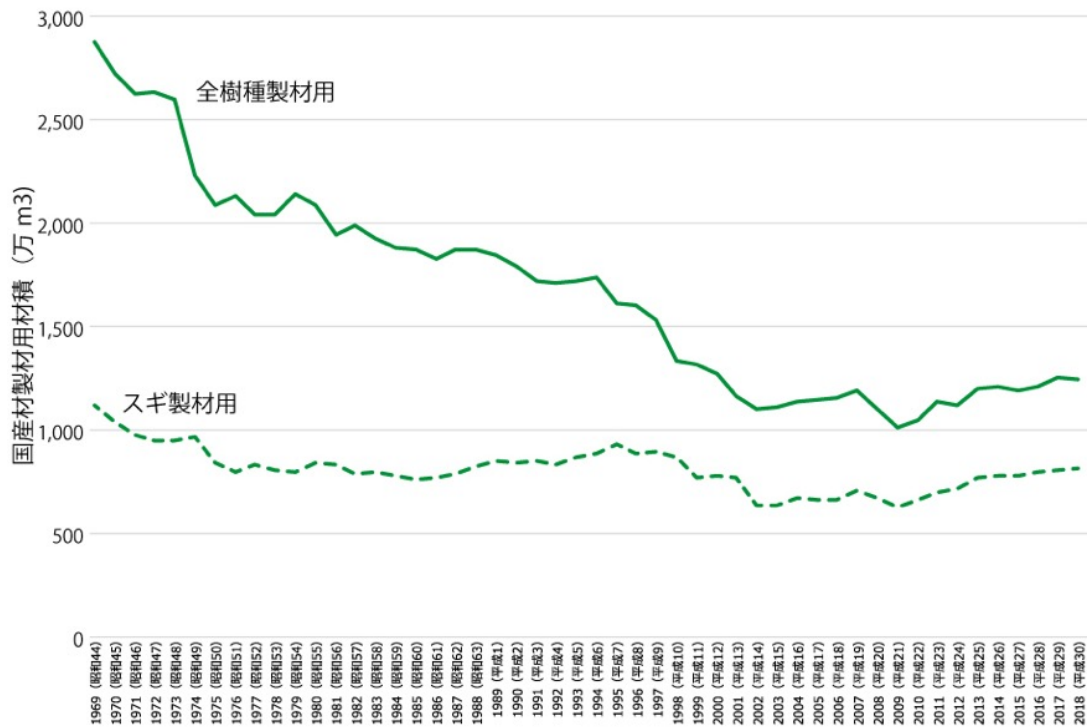


図表 60 林道整備を含めた全プロセス(コンテナ苗)におけるスギ製材 1 m³あたりの二酸化炭素排出量

出典：筆者作成。

(注 1)収穫丸太生産プロセス合計：450m³の場合。

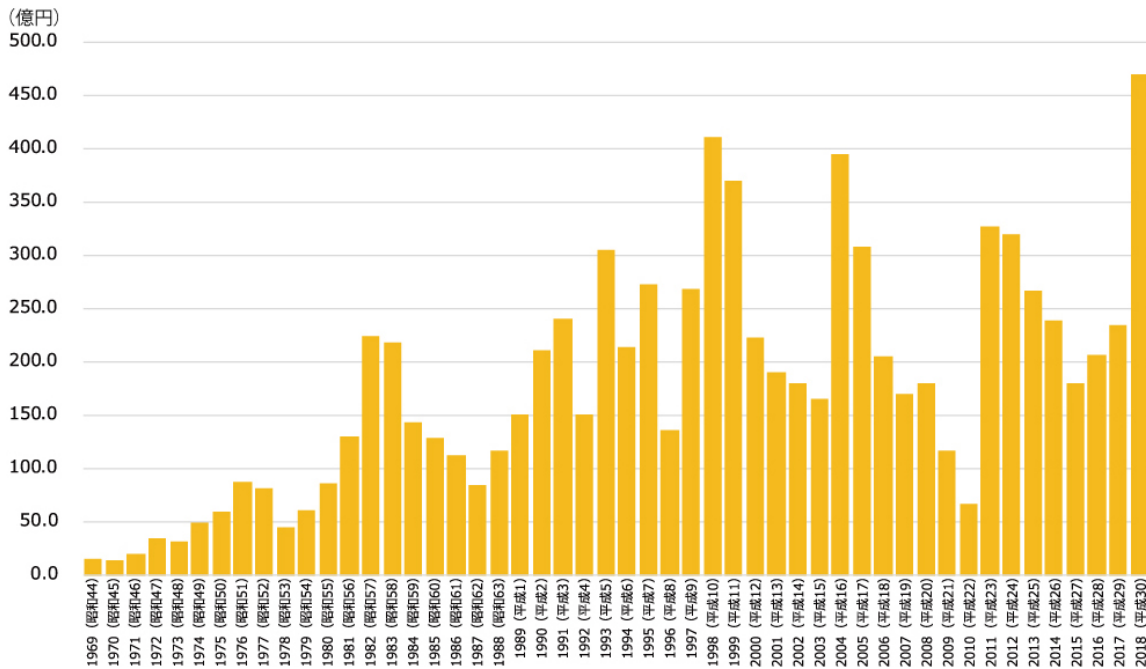
(注 2)林道設備プロセスは、直近 5 カ年平均のスギ製材材積 1m³あたりの二酸化炭素排出量。



図表61 国産材製材用材積の推移

出典：政府統計(e-Stat)「主要樹種別素材生産量累年統計」より筆者作成、

(<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500217&tstat=00001014476&cycle=0&tclass1=000001034722>)



図表62 1969(昭和44)年～2018(平成30)年、50年間の林道災害復旧工事歳出額の推移

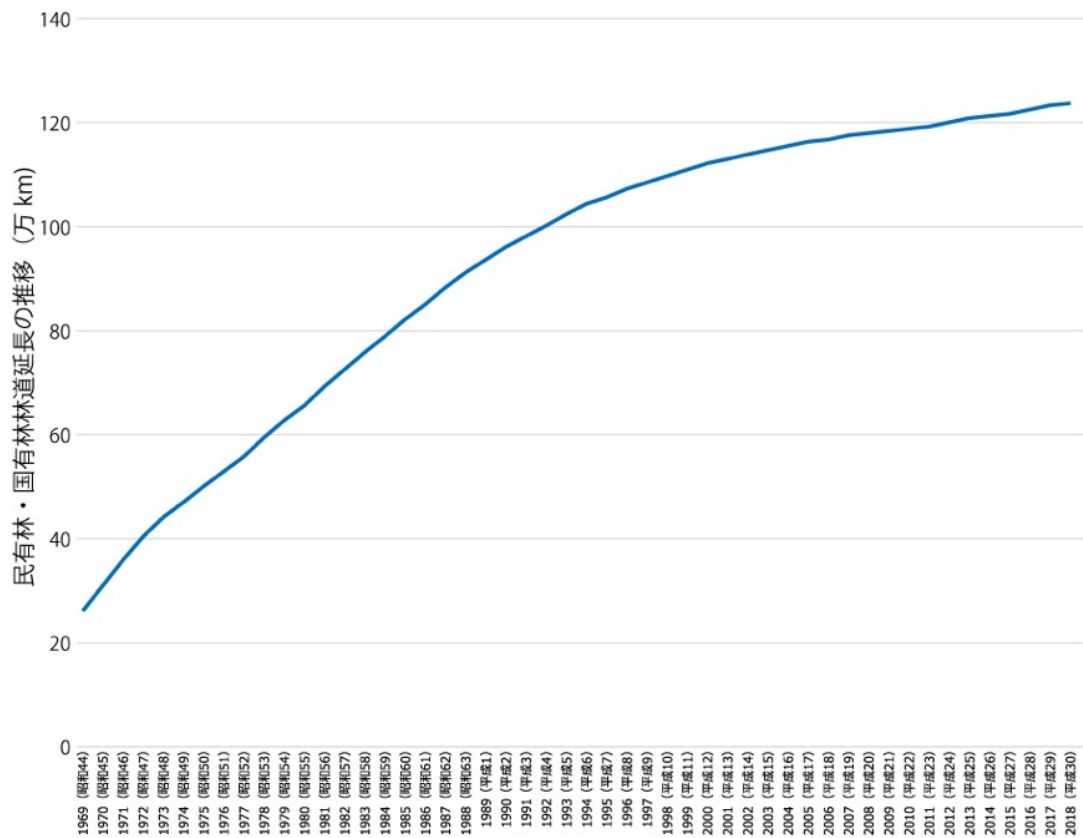
出典：林野庁編 各年度『森林・林業統計要覧』及び財務省「予算・決算データベース 農林水産省所管 国有林野

事業 特別会計歳入歳出決定計算書」(<https://www.bb.mof.go.jp/hdocs/bxsselect.html>)

政府統計(e-Stat)「国内企業物価指数(総平均)2015年基準」

(<https://dashboard.e-stat.go.jp/timeSeriesResult?indicatorCode=070304030000090010>)より筆者作成。

(注)金額は民有林及び国有林の林道災害復旧工事歳出額を国内企業物価指数で修正(2015=100)。



図表 63 民有林・国有林林道延長の推移(累計)

出典：民有林林道は林野庁編 各年度『森林・林業統計要覧』，国有林林道は日本林道協会(2021)『民有林森林設備事業』の概要 令和3年』日本林道協会，p.127 より筆者作成。

本論文はあくまでも、林道災害復旧工事及び林業専用道開設(新設)工事の観点から、二酸化炭素排出量を算出したものである。その多くは、国有林の林道であり、全国の森林資源面積の69.4%³⁹を占める民有林における林道災害復旧工事及び林業専用道開設(新設)工事の検証についてはまだ不十分である。特に近年は前線の停滞等による豪雨などによる大規模災害が相次いでいる。その場合、ライフラインや生活にかかわるインフラの復旧が優先される事は政策的な観点から容易に推察出来る。したがって、林道災害復旧工事のボリュームが即ち林道災害の実質のボリュームとはならない。このような事情を鑑みた時、新設林道の増減や林道災害の復旧工事の是非が、人工林による二酸化炭素吸収機能の有効性にどのように寄与するかは、更なる検証が必要である。

第4章

脚注

- 1 ヒアリング調査(2014年9月16日), 群馬県沼田市利根町 苗木生産者の角田苗木園
- 2 ヒアリング調査(2014年8月27日), 群馬県林業試験場
- 3 ヒアリング調査(2014年9月16日), 匿名希望により某製材所とする。
(某製材所の概要, 所在地: 群馬県南西部, 製材生産量: 20,000m³/年, 国産材 100%取扱, 主要取扱樹種: スギ・ヒノキ, 製造製品: 柱材・間柱・平角材等)
- 4 竹内秀樹(2019)「林道整備における二酸化炭素排出量の定量的検証」『サステイナブル マネジメント第18巻』(特非)環境経営学会, p.62-82
- 5 国土交通省 国土技術政策総合研究所(2012)「社会資本 LCA 用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表 二酸化炭素排出量_2005年版(2012.05.16公開)」, http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/e_io2005c.xls (2017年12月6日アクセス)
- 6 竹内秀樹(2016)「管理された森林に於ける二酸化炭素収支の定量的検証-スギの種苗生産から原木・製材まで-」『サステイナブル マネジメント第15巻』(特非)環境経営学会, p.44-57
- 7 ホシザキ(株)「プレハブ冷凍庫3坪」<https://www.hoshizaki.co.jp/p/prefab/> (2022年1月17日アクセス)
- 8 古川 忠他(1982)「研究資料・材木の苗木の低温貯蔵試験」『林試研報 No.317,1982』農林省林業試験場 東北支場, p.139-145, <https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010242564.pdf> (2014年9月26日アクセス)
- 9 国税庁「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表」
<https://www.city.yokohama.lg.jp/zaisei/citytax/shizei/pdf/beppyou1-0all.pdf> (2018年3月19日アクセス)
- 10 (一社)日本冷凍空調設備工業連合会「ユーザーによる冷凍空調設備機器の維持管理について」『平成26年度経済産業省委託事業 業務用 冷凍空調設備機器の簡易点検説明会資料』p.15, <https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/1000163.pdf> (2022年1月28日アクセス)
- 11 国立研究開発法人森林研究 整備機構 森林総合研究所 関東森林管理局森林技術センター(2010)「コンテナ苗による広葉樹造林技術の開発」『平成22年度完了報告資料』, <https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gizyutu/seika/pdf/kannryouhoukoku28tennpusiryou.pdf> (2016年7月6日アクセス)
- 12 林野庁, 国立研究開発法人森林研究 整備機構 森林総合研究所(2010)『JFA-150 コンテナ苗育苗・植栽マニュアル』, https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/pdf/15-kontenanae_ikubyou_syokusai_manyuaru.pdf (2018年10月1日アクセス)
- 13 群馬県環境森林部森林局森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」
- 14 林野庁(2018)「コンテナ苗の基礎知識」, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/houkokusho/attach/pdf/houkoku-17.pdf> (2022年1月26日アクセス)
- 15 林野庁(2018)「植栽技術の開発」, https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/pdf/20-20houkokusyo_3syokusaigijutu.pdf (2021年8月6日アクセス)
- 16 ヒアリング調査(2014年9月16日), 群馬県素材生産流通協同組合, (有)内山林業
- 17 林野庁(2016)「森林環境保全整備事業における標準単価の設定等について」, https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/zourinkikaku/pdf/2016_0401_sinrinseibi_tanka.pdf (2021年8月10日アクセス)
- 18 群馬県(2020)「利根下流域地域森林計画書<計画事項3>」, <https://www.pref.gunma.jp/04/e3000243.html> (2020年8月11日アクセス)
- 19 関東森林管理局「平成26年度森林環境保全整備事業・三ヶ舞 保育間伐(活用型)外」, 開示請求 (2017年11月27日)

- 20 浅野浩之(2010)「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」,
<https://www.pref.gunma.jp/contents/000130083.pdf> (2019年8月19日アクセス)
- 21 林野庁 関東森林管理局 群馬森林管理署(2021)「伐採と造林の一貫作業システムの現地
検討会を開催しました(令和3年10月5日)」,
https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gunma/news/event/attach/pdf/20211005_ikkansagyau-1.pdf (2022年1月5日アクセス)
- 22 (社)埼玉県農林公社(2013)「造林事業標準歩掛表」 p.11,
<http://www.chichibu.ne.jp/~ssinrinp/H25hyoujunbukakari%20H25-8.pdf> (2018年12月25日アクセス)
- 23 大矢信次郎他(2017)「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」『長野県林総合研報第31号』長野県林業総合センター, p.23,
https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/seika/kenkyu/ikurin/documents/31_03_iku_reforest.pdf (2022年2月2日アクセス)
- 24 愛知県建設局(2020)「積算基準及び歩掛表(その1)【土木工事編】(令和2年10月)」 p.379,
https://www.pref.aichi.jp/kensetsu-kikaku/gijyutsu/sekisankijun/R2/R2sono1_20210401.pdf (2021年6月30日アクセス)
- 25 全国木材協同組合連合会(2010)「林地残材にさせない群馬モデル創出に向けた利活用実証事業(県産材加工協同組合(群馬県))」 p.38,
http://www.zenmokukyo.jp/assets/files/H22_jigyau_report2_1.pdf (2020年9月28日アクセス)
- 26 問い合わせ(2019年8月29日), オーアイ・イノベーション(株)
- 27 齋藤周逸他(2009)「乾燥工場規模別の乾燥材生産コスト試算」『関東森林研究 No 60』関東森林学会, p.281-282
- 28 川鍋亜衣子他(2010)「木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理」『日本建築学会技術報告集16(32)』(一社)日本建築学会, p.37-42,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/16/32/16_32_37/_pdf (2021年10月25日アクセス)
- 29 宮川工機(株)(2022)カタログ請求, <https://www.miyagawakoki.co.jp/products/catalog/> (2022年2月7日アクセス)及び問い合わせ(2022年2月7日)
- 30 問い合わせ(2022年2月8日), (株)ヤスジマ, <https://yasujima.co.jp/>
- 31 林野庁編(2009)『木材利用に係る環境貢献度の定量的評価手法について(中間とりまとめ平成21年2月)』 p.3, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/mieruka/pdf/torimatome.pdf> (2022年2月2日アクセス)
- 32 ヒアリング調査(2012年4月12日, 2022年2月18日), 日本木材防腐工業組合
- 33 国立研究開発法人森林研究 整備機構 森林総合研究所(2006)「スギ乾燥のための10の要点」『森林総合研究所 第1期中期計画成果集18』 p.14,
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/1st-chukiseika-18.pdf> (2021年6月30日アクセス)
- 34 重川隆廣他(2011)「新潟県の製材所を対象とした年間エネルギーCO₂排出量 木材の地産地消に関する研究 その1」『日本建築学会環境系論文集76(666)』(一社)日本建築学会, p.721-726
- 35 林野庁編(2020)『令和2年度 森林・林業白書』 p.199,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/attach/pdf/zenbun-64.pdf> (2021年12月8日アクセス)
- 36 林野庁編(2020)「製材品出荷量(用途別)の推移」『令和2年度 森林・林業白書(HTML版)』
https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo_h/all/other/s3_44.xls (2021年1月5日アクセス)
- 37 農林水産省(2021)「木質バイオマスエネルギー利用動向調査 各年度調査結果データ」

https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/index.html (2022年1月5日アクセス)

³⁸ 問い合わせ(2017年12月7日), 関東森林管理局 総務企画部総務課

³⁹ 林野庁(2017)「森林資源の現況」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/2-3.pdf> (2022年1月6日アクセス)

第5章 二酸化炭素収支と丸太材積量

収穫丸太材積(m^3/ha)は、森林から産出される丸太材の量を意味しており、これは人工林の地位級、立地条件、施業方法、間伐率などによって変化する。この量は、最終的に製材材積 $1m^3$ あたりの二酸化炭素排出量を導き出す上で重要な数値であり、材積量が変われば二酸化炭素排出量も変化するようになる。本論文は人工林のもつ二酸化炭素吸収機能の有効性を研究しているものであるが、その場合、人工林 $1ha$ あたりの収穫丸太材積量をどの値に設定すればよいのかが重要となってくる。これを踏まえ、ここでは収穫モデルの地位級、間伐回数や間伐率等を変えて、次に述べる収穫モデル1~5を作成した。そして、第3章の育林・丸太生産プロセスの間伐以降の各施業の再計算を行い、1年間あたりの林道整備による排出量を併せて、収穫材積と二酸化炭素排出量の関係を検証した。

方法については、まず、植付け本数は変更せず初期本数 $3,000$ 本/ha とした。次に、地位級として1, 2, 3のパターンを入力した。さらに間伐回数や間伐率を変え、北関東・阿武隈地方すぎ林分収穫表¹を参考に平均直径を設定した。その上でこれら数値を林業経営収支予測システム FORCASM MacroV3.21²に入力した。これにより、最終的に出力される丸太本数や丸太材積から、育林・丸太生産プロセスにおける間伐以降に収穫される量を計算したものである。設定入力条件は以下に示す通りである。尚、本論文において使用した収穫予測値は、モデル4に対する $450m^3/ha$ である。この数値は、「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」(浅野, 2010)³の数値を基礎データとし、林業経営収支予測システム FORCASM MacroV3.21²に入力したものである。尚、群馬県中西部の林業事業者へのヒアリング調査⁴の結果を踏まえてこの数値の妥当性を確認している。尚、著者が先に報告した計算例(文献⁵, および文献⁶)においては、収穫丸太材積量を $350m^3/ha$ と設定していた。実際には、人工林から産出される丸太の量は地域によって差がある。このため、本研究では以下に示すように、この材積量を変化させながら二酸化炭素収支を計算し考察している。それによって、人工林のもつ二酸化炭素吸収機能の有効性を、特定の地域に限定せず一般的な観点から議論しているのである。

図表 64 は、林野庁 関東森林管理局が公表している群馬県のスギ収穫予想表である。関東森林管理局に問い合わせ⁷したところ、この資料は、森林総合研究所が作成したものであり、主に樹高から地位が分けられて、過去からの人工林の台帳を基につくられているとのことであった。右項の林齢年 50 年の幹材積(製品化可能な丸太材積)を見ると、地位 1 で $434m^3$ 、地位 2 で $356m^3$ 、地位 3 で $287m^3$ となっており、以下に示した林業経営収支予測システムに対する 1~5 のモデルの材積量と大幅な差はないと言える。従って、本論文で設定した収穫材積量 $450m^3/ha$ は妥当な範囲にあると解釈できるであろう。尚、例えば一重他(2013)⁸の報告では、愛知県新居浜市、宮崎県日向市、北海道紋別市周辺地区で収集したデータから収穫材積量(間伐と主伐の合計)として $435m^3/ha$ という数値が導かれている。

本論文で丸太材積量を求めるために設定したモデル1～5は次に示す通りである。下記の項目において、地位級から間伐率までの数値は各モデルとしての入力値であり、丸太収穫材積は計算の結果として算出された数値である。それぞれのモデルに対する林齢50年の状況を図表65、排出量の算出結果を図表66に示す。

- ・収穫予測モデル1

地位級：3
平均直径：12.1cm(林齢20年)
間伐時期：林齢22年(1回)
間伐率：30%
収穫丸太材積(m³)：245m³

- ・収穫予測モデル2

地位級：1
平均直径：13.0cm(林齢20年)
間伐時期：林齢15年, 25年, 35年(3回)
間伐率：30%
収穫丸太材積(m³)：305m³

- ・収穫予測モデル3

地位級：2
平均直径：15.0cm(林齢20年)
間伐時期：林齢22年, 32年(2回)
間伐率：30%
収穫丸太材積(m³)：397m³

- ・収穫予測モデル4

地位級：1
平均直径：16.3cm(林齢20年)
間伐時期：林齢22年, 32年, 42年(3回)
間伐率：第1回(36%), 第2回(12.9%), 第3回(17.9%), 第1回は切捨間伐
収穫丸太材積(m³)：450m³

- ・収穫予測モデル5

地位級：1
平均直径：16.3cm(林齢20年)
間伐時期：林齢22年, 32年, 42年(3回)
間伐率：第1回(36%), 第2回(12.9%), 第3回(17.9%), 第1回は利用間伐
収穫丸太材積(m³)：499m³

林齢50年の状況 収穫丸太材積	収穫予測 モデル1 245m ³	収穫予測 モデル2 305m ³	収穫予測 モデル3 1397m ³	収穫予測 モデル4 450m ³	収穫予測 モデル5 499m ³
林齢50年立木本数 (本/ha)	1,248	815	853	769	769
林齢50年平均直径 (cm)	21.2	24.0	26.2	28.3	28.3
林齢50年平均樹高 (m)	17.8	26.0	21.4	25.0	25.0
丸太材積合計 (m ³)	245	305	397	450	499
丸太本数合計 (本)	2,942	2,498	4,050	4,102	4,455
乾燥後製材材積 (m ³ /ha) 歩留率43.6%	106.82	133.42	173.09	196.20	217.56

図表65 収穫予測モデル1～5の林齢50年の状況

出典：筆者作成。

項目 収穫丸太材積	収穫予測 モデル1 245m ³	収穫予測 モデル2 305m ³	収穫予測 モデル3 397m ³	収穫予測 モデル4 450m ³	収穫予測 モデル5 499m ³	
種子・苗木生産プロセス合計	58,028.09	58,028.09	58,028.09	58,028.09	58,028.09	
地拵え～作業路作設	3,380.62	3,380.62	3,380.62	3,380.62	3,380.62	
第1回間伐 (kg-CO ₂ /ha)	20.39	55.26	-	63.08	1,342.87	
第2回間伐 (kg-CO ₂ /ha)	407.68	786.15	909.28	753.90	700.85	
第3回間伐 (kg-CO ₂ /ha)	-	1,069.72	1,228.46	1,068.95	998.61	
主伐 (kg-CO ₂ /ha)	3,822.83	3,402.30	4,299.88	5,001.81	4,720.43	
通勤 (kg-CO ₂ /ha)	1,817.21	1,971.05	2,049.57	1,858.64	1,957.18	
育林・丸太生産プロセス合計	9,448.73	10,665.10	11,867.81	12,127.00	13,100.55	
丸太運搬 (kg-CO ₂ /ha)	7,488.19	10,091.19	12,133.93	13,753.82	15,251.46	
原木市場 (kg-CO ₂ /ha)	1,510.30	1,828.29	2,397.32	2,716.81	3,008.53	
製材過程 (kg-CO ₂ /ha)	947.46	1,172.90	1,526.69	1,730.51	2,115.82	
人工乾燥 (kg-CO ₂ /ha)	19,188.88	23,888.20	31,093.82	35,244.88	39,082.66	
天然乾燥 (kg-CO ₂ /ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
プレカット (kg-CO ₂ /ha)	1,376.91	1,693.73	2,204.60	2,498.90	2,771.04	
保存処理過程 (kg-CO ₂ /ha)	1,399.17	1,732.55	2,255.13	2,556.23	2,834.52	
製材生産プロセス合計	31,910.91	40,406.87	51,611.49	58,501.16	65,064.02	
全プロセス合計	99,387.73	109,100.06	121,507.39	128,656.25	136,192.66	
普通苗	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	525.09	494.83	451.84	435.06	426.98
	CO ₂ 排出量/吸収量	91.13%	85.88%	78.42%	75.51%	74.10%
コンテナ苗	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	428.86	417.53	392.46	382.67	379.74
	CO ₂ 排出量/吸収量	74.43%	72.46%	68.11%	66.41%	65.91%
林道整備を含めた全プロセス合計	99,403.55	109,115.88	121,523.21	128,672.07	136,208.48	
林道整備 (kg-CO ₂ /m ³)	15.82	15.82	15.82	15.82	15.82	
普通苗	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	540.91	510.65	467.66	450.88	442.80
	CO ₂ 排出量/吸収量	93.88%	88.62%	81.16%	78.25%	76.85%
コンテナ苗	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /m ³)	444.68	433.35	408.28	398.49	395.56
	CO ₂ 排出量/吸収量	77.18%	75.21%	70.86%	69.16%	68.65%

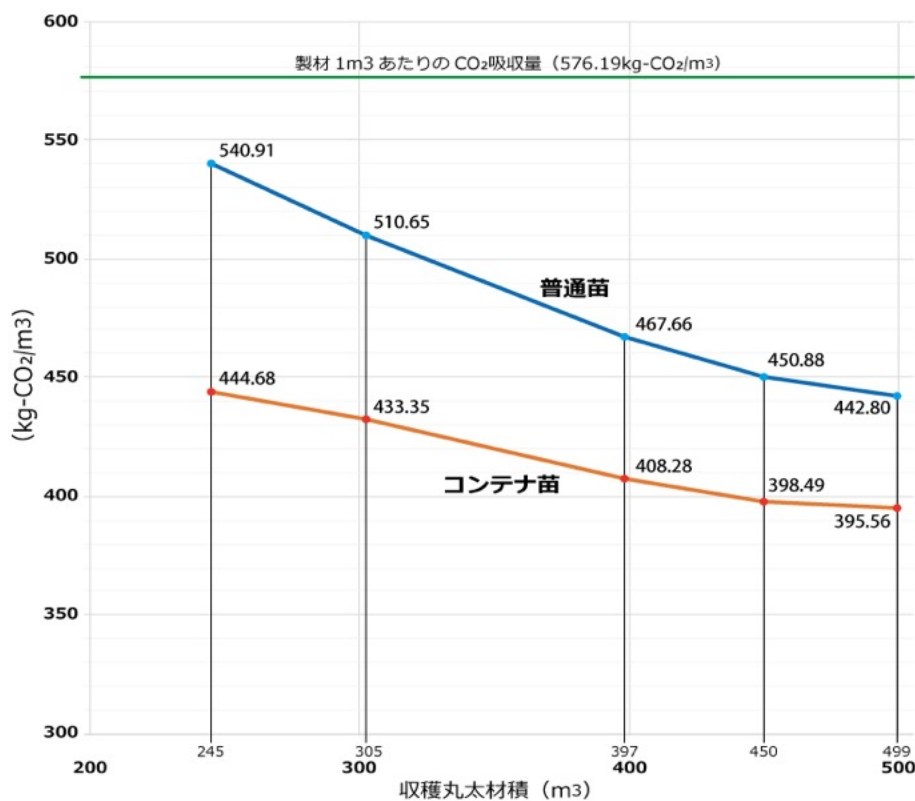
図表66 収穫予測モデル1～5の算出結果

出典：筆者作成。

この表から、収穫予測モデル1～5において材積が増加することにより、特に製材生産プロセス(例えば、丸太運搬、人工乾燥セクションなど)での影響が大きいことがわかった。図表67は収穫丸太材積が変化することにより二酸化炭素排出量がどのように変化するかを調べたもの

である。この図より、普通苗あるいはコンテナ苗の双方に対して材積量が多くなると結果として排出量が減少することが理解できる。一方、材積量が少なくなる程、排出量が増加し、製材 1m³あたりの二酸化炭素吸収量 576.19 kg-CO₂/m³(3-1 式)に近づく傾向にある。コンテナ苗については、この図における全領域において普通苗に対する排出量よりも少ない数値となっている。これは、種子・苗木プロセスでの差が影響しているためであり、コンテナ苗の新しい生産方法が開発された事により環境負荷が軽減されたことを示している。

このように二酸化炭素収支の数値から、林地において、経営面や環境面において、地位級等を考慮した上で、適切な管理、適切な間伐を行い、伐採の計画やその後の更新を重視しなければならないことが改めて浮き彫りになったと言える。例えば、図表 66 において、林道整備を含めた全プロセス合計の普通苗「CO₂排出量 / 吸収量」の行を見てみると、モデル 5 の場合(材積量 499m³/ha)、この比は 76.85%となっている。このことは、この材積量においては吸収した二酸化炭素量の約 77%を排出していることを示している。一方で、それより収穫量の少ないモデル 1(材積量 245m³/ha)では、この比は 93.88%となっている。これは吸収した二酸化炭素量に近づく量が排出されていることを示している。このように、人工林のもつ二酸化炭素吸収機能をより有効にするためには、できるだけ収穫丸太材積量を増やすように管理することが望ましいのである。しかしながら、収穫量に 245~499m³/ha と巾を持たせたとしてもネットマイナスになる事が明らかとなった。この事は、同時に普遍性のものであって、このデータが特殊な例を扱ったものではないと理解できるであろう。また、収穫丸太の材積量に関しては、二酸化炭素との関連とは別に林業経営における経済的効果を検証することも重要であろう。さらにこの両者の関係性を検証することも経済活動のサステナビリティを考えた場合重要な課題となるであろう。これらのことも今後の研究としたい。



図表 67 収穫丸太材積における二酸化炭素排出量の比較

出典：筆者作成。

第5章

脚注

- 1 林野庁・林業試験場(1955)「北関東・阿武隈地方すぎ林分収穫表」『収穫表調整業務研究資料 第14号』p.46-59,
https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/shukakushiken/02gyoken/02gyoken_14.pdf (2020年3月11日アクセス)
- 2 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所「林業経営収支予測システム (FORCAS 3.21)試用版」, <https://www2.ffpri.go.jp/labs/FORCAS/> (2015年2月19日アクセス)
- 3 浅野浩之(2010)「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」,
<https://www.pref.gunma.jp/contents/000130083.pdf> (2019年8月19日アクセス)
- 4 ヒアリング調査(2014年9月16日), 群馬県素材生産流通協同組合, (有)内山林業
- 5 竹内秀樹(2016)「管理された森林に於ける二酸化炭素収支の定量的検証-スギの種苗生産から原木・製材まで-」『サステイナブル マネジメント第15巻』(特非)環境経営学会, p.44-57
- 6 竹内秀樹(2019)「林道整備における二酸化炭素排出量の定量的検証」『サステイナブル マネジメント第18巻』(特非)環境経営学会, p.62-82
- 7 問い合わせ(2021年12月1日), 関東森林管理局 計画保全計画課
- 8 一重喬一郎他(2013)「国産丸太のライフサイクルアセスメント事例」『木材学会誌 59(5)』(一社)日本木材学会, p.269-277

第6章 まとめ

本論文では、種子・苗木生産プロセスにおいて従来から行われてきた苗木生産方式(普通苗生産)に加えて、近年増加しているコンテナ苗生産に関する二酸化炭素排出量を推計した。コンテナ苗生産に関する特徴は、生産作業の効率化・労働負荷の軽減、植栽作業の効率化、植栽時期の拡大などがある。また、一般的に普通苗(裸苗)に比べて育苗期間が短いことから生じる利点を持っている。

このプロセスの二酸化炭素排出量の合計は、普通苗の場合 $75.08\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ 、コンテナ苗の場合 $22.34\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ であり、普通苗の方がコンテナ苗よりも高排出であった。内容としては、ミニチュア採種園での球果採取及び貯蔵・種子配布セクションが $18.78\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ でこのプロセスの約 25% を占めた。また苗木の貯蔵セクションが $52.45\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ で約 69% となっている。そしてこのプロセスにおける二酸化炭素排出量は、 1m^3 あたりの製材が吸収した $576.19\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ (3-1 式) に対して、普通苗、コンテナ苗でそれぞれ 13.03%、3.88% であった。すなわち、コンテナ苗生産方式を採用することは二酸化炭素排出量を削減することに貢献しているのである。

育林・丸太生産プロセスにおける排出量の合計は、普通苗の場合 $61.81\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ 、コンテナ苗の場合 $62.16\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ であった。丸太材積を多く扱う主伐作業が $25.49\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ とこのプロセスの約 40% を占めた。そして、このプロセスにおける二酸化炭素排出量は、3-1 式に対してそれぞれ 10.73%、10.79% であることがわかった。すなわち、このプロセスにおいては苗木生産方式の違いによる排出量の差はほとんど見られなかった。

製材生産プロセスにおける排出量の合計は、 $298.17\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ であった。その内、人工乾燥セクションが $179.64\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ であり、このプロセスの約 60% を占めた。また丸太運搬セクションが $70.10\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ で約 23% である事がわかった。そして、このプロセスにおける二酸化炭素排出量は、3-1 式に対して 51.75% となった。

これらの結果をまとめると、製材材積 1m^3 あたりの二酸化炭素吸収量 $576.19\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ (3-1 式) に対して、全プロセスで排出した二酸化炭素の量は普通苗で $435.06\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ 、コンテナ苗で $382.67\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ であった。これは吸収量に対して排出量が普通苗、コンテナ苗でそれぞれ 75.51%、66.41% である事を示している。内訳は種子・苗木生産プロセスがそれぞれ 13.03%、3.88%、育林・丸太生産プロセスが 10.73%、10.79%、製材生産プロセスが 51.75% であった。尚、この数値は人工林 1ha あたり収穫丸太材積を $450\text{m}^3/\text{ha}$ と設定して算出したものである。人工林に対する上記の3つのプロセスにおける二酸化炭素排出量は、製材として出荷される製品に含まれる二酸化炭素量よりも少ないことがわかったのである。このように人工林のもつ吸収機能は有効であることが認められるのである。尚、人工乾燥セクションや丸太運搬セクションのような高排出量の工程において排出量を削減する事で、より吸収機能の有効性を高める事ができると思われる。

本論文では、上記の各プロセスのみならず、林道設備に対する排出量も評価した。災害復旧工事や林道・作業道等の開設工事の排出量を算出した。2014(平成 26)年~2018(平成 30)年の直近 5 年にわたる年平均の林道災害復旧工事の事業費 1 万円あたり、また林道開設工事の施行距離 1km あたり、森林作業道開設工事の施行距離 1km あたりの二酸化炭素排出量を求めたのである。その結果、林道災害復旧工事については、年間 $92.43\text{kt-CO}_2/\text{万円}$ (4-2 式)、林道開設(新設)工事については、年間 $46.85\text{kt-CO}_2/\text{km}$ (4-3 式)、森林作業道開設工事については、年間 $55.54\text{kt-CO}_2/\text{km}$ (4-4 式) であった。一方で、同直近 5 年平均の国産材全樹種製材用 1m^3 あたりの二酸化炭素排出量は年間 $15.82\text{kg-CO}_2/\text{m}^3$ (4-6 式) となった。これをもとに林道整備の排出量に

ついて製材材積 1 m^3 が吸収した二酸化炭素量に対する割合を求めると年間 2.74% (4-7 式)であることがわかった。第 4 章においても議論したが、この数値は将来において憂慮すべき課題となるものと思われる。それは、林道整備の件数および林道災害復旧工事歳出額が年々増加している現状において(図表 62)、全国の製材生産量は減少傾向を示している(図表 61)からである。

今回の検証では、林道災害復旧工事における二酸化炭素排出量比率では、生コンクリート及びコンクリート製品(図表 53, 65.13%)が高排出であった。また、林業専用道開設(新設)工事における二酸化炭素排出量比率では、燃料消費量(図表 52, 50.92%)が高排出である事がわかった。二酸化炭素削減対策として、今後は作業機械を対象とした燃料消費量の削減や新しい低炭素型の素材および資材、低炭素技術を開発する事により、二酸化炭素排出削減を模索する事も重要である。

本論文では、種子・苗木生産、育林・丸太生産、製材生産の各プロセスに加えて林道整備に伴う二酸化炭素排出量を求めた。林道整備を含めたこれらの排出量の合計は、製品として出荷される製材 1 m^3 が吸収した二酸化炭素量に対して、普通苗でその 78.25% 、コンテナ苗でその 69.16% の排出となっている。すなわち、製材製品の産出に伴う二酸化炭素排出量は製材そのものが吸収している二酸化炭素量よりも少ないことが認められるのである。すなわち、実質的少排出となっていることが結論づけられる。本論文では主として 1 ha あたりに産出される丸太材積が $450 \text{ m}^3/\text{ha}$ となる人工林に対して計算したものである。この実質的少排出(ネットマイナス)であるという結果は、丸太材積がそれよりも少ない森林においても成り立っている。第 5 章で設定した収穫丸太材積のモデルでは、その収穫量が $245 \text{ m}^3/\text{ha}$ 以上と算出されていた。これらの数値に対してもこの実質的少排出であることが十分に成り立っているのである。

ここで、製材利用による二酸化炭素削減効果のメカニズムについてさらに詳しく考察してみよう。まず、樹木の幼芽が現れるとこれが大気中の二酸化炭素を吸収し成長することになる。この苗が成長し、やがて成長木となって自然枯死すると、固定された炭素は腐敗等により二酸化炭素となり大気中へ戻される。一方で、成長木を製材利用した場合には、やがて使用済みの廃材として廃棄されることになる。廃棄処理されるということはその時点で二酸化炭素となり大気中に放散されるということになるのである。製材利用であっても自然枯死の場合と同様に最終的には吸収した分だけ二酸化炭素となって大気中に排出される。すなわち、製材利用する場合の二酸化炭素削減効果とは、製材として利用している期間にわたり(一般住宅であれば数十年であろう)、大気中への散逸を抑止しているという排出遅延効果に他ならないと考えることができる。本論文でも見た通り、人工林において製材産出を行うには、その管理および生産工程などに二酸化炭素を排出しているのである。二酸化炭素収支として算出されている排出過小部分(つまり二酸化炭素の排出と吸収量において差し引き二酸化炭素を固定している正味マイナスとなる量)が製材としての使用期間にわたり排出抑止されていることになるのである。

製材を利用することに優位性が表れるのは、資材として他のマテリアル、例えばコンクリート、鉄、アルミニウムなどの利用と比較した場合である¹。例えばコンクリートや鉄などは二酸化炭素の高排出資材であると考えられる。このような理由により、製材利用に対する二酸化炭素削減効果の評価する場合には、木質単体で評価するよりも、使用上同様の機能を目的とする他のマテリアルに対する製造過程における二酸化炭素排出量と比較することが有効であると思われる。

製材利用の有効性を確認するため、平均的な住宅を建設した場合を例に挙げよう。建築延べ面積 120 m^2 の住宅を(1)鉄骨造、(2)鉄筋コンクリート造、(3)鉄骨鉄筋コンクリート造、(4)木造による工法で建築したとする。ここでは、これらの場合の二酸化炭素排出量を比較する。

図表 68 は、全国の建築延べ床面積 10 m^2 あたりの構造別面積原単位²を示したものである。図表 69 に図表 68 の数値から平均的な住宅の床面積 120 m^2 ³に換算して、各原単位を乗じ、木材利用による炭素固定分を差し引いた二酸化炭素排出量を示した。尚、木材の原単位は筆者算出(普通

苗，林道整備を含む)の数値である。セメント，生コンクリート，鋼材は付録1 図表 73 の原単位を使用した。骨材・石材は再生砕石と設定し，付録1 図表 73 の原単位(5.45kg-CO₂e/t)を比重 2.0 で除して単位変換(2.73 kg-CO₂e/m³)したものである。また，構造材の資材内容は，国土交通省 不動産・建設経済局，「主要建設資材需給・価格動向調査(資材モニター調査)の概要」⁴の調査対象資材を引用している。この比較について，炭素固定分を相殺し，図表 70 に示した。

構造材	単位	木造	鉄骨鉄筋		鉄骨造
			コンクリート造	コンクリート造	
木材	m ³	1.92	0.15	0.32	0.11
セメント	t	0.83	3.06	3.10	1.47
生コンクリート	m ³	2.08	8.11	8.78	3.72
骨材・石材	m ³	3.87	11.55	11.33	6.57
鋼材	t	0.10	1.74	1.00	1.39

図表 68 建築延べ床面積 10m²あたりの構造別面積原単位

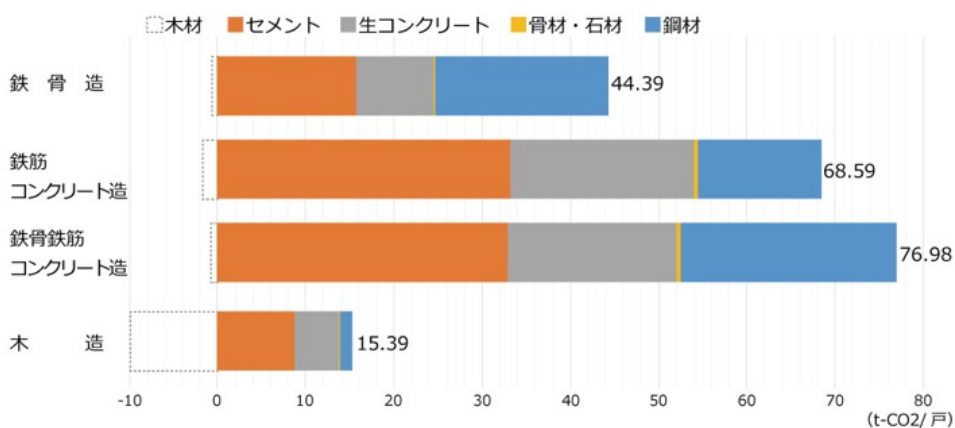
出典：国土交通省 土地・建設産業局(2016)『建設資材・労働力需要実態調査【建築部門】(平成 25 年度原単位)の結果について』p.4 (<https://www.mlit.go.jp/common/001124156.pdf>)より筆者作成。

構造材	CO ₂ 排出量 原単位	鉄骨鉄筋			
		木造 t-CO ₂ /戸	コンクリート造 t-CO ₂ /戸	コンクリート造 t-CO ₂ /戸	鉄骨造 t-CO ₂ /戸
木材	450.88 kg-CO ₂ e/m ³	10.39	0.81	1.73	0.60
セメント	896.35 kg-CO ₂ e/t	8.93	32.91	33.34	15.81
生コンクリート	197.52 kg-CO ₂ e/m ³	4.93	19.22	20.81	8.82
骨材・石材	2.73 kg-CO ₂ e/m ³	0.13	0.38	0.37	0.21
鋼材	1,171.84 kg-CO ₂ e/t	1.41	24.47	14.06	19.55
合計		25.78	77.79	70.32	44.99
木材利用による炭素固定分		-10.39	-0.81	-1.73	-0.60
再合計		15.39	76.98	68.59	44.39

図表 69 平均的な住宅の二酸化炭素排出量(試算)

出典：国土交通省 不動産・建設経済局「主要建設資材需給・価格動向調査(資材モニター調査)の概要」，
(https://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/ex/material_pdf_data/material.pdf)の調査対象資材より筆者作成。

(注)セメントは普通ポルトランド，生コンクリートは建築用 21-8-25 BB，骨材・石材は再生砕石，鋼材は異形棒鋼，H形鋼と設定して原単位(図表 73)を使用。



図表 70 平均的な住宅の構造材別使用量における二酸化炭素排出量

出典：筆者作成。

図表 70 の棒グラフからも、木材を多く使用した住宅建築においては最も二酸化炭素の排出量が少ないことがわかる。これは、人工林における二酸化炭素吸収機能の有効性を示しているものである。近年、木材利用において、CLT(Cross Laminated Timber, 直交集成板)や耐火部材等の開発・普及が進んでいる。民間の非住宅分野でも、企業による木造店舗が展開されるほか、中高層の木造耐火建築物のプロジェクトが数多く誕生し始めている⁵。この事から強度や耐熱性などの建材としての技術の進歩及び低炭素の両面において、木材に有意性がある事を我々は認識する必要がある。

本研究は、製材生産を行っている人工林における二酸化炭素収支を求め、その森林の持つ有効性を研究したものである。種苗から製材に至るまでの直接的な管理・生産のためのプロセスに加えて、それらの活動を支えている人工林にとって極めて重要なインフラである林道整備による二酸化炭素排出量も算出した。その際、全プロセスに対して製材単位容積(製材製品 1m³)を生産するために生じる排出量として求め、これを統一指標として採用した。この算出方法により、各プロセス間の排出量比較や、顕著な高排出セクションなどを見出す事が出来た。この基礎データを基に、さらに人工林の環境経営における有効性を高めるための方策を模索する事を今後の課題としたい。

本研究における重要な目的として、人工林における二酸化炭素吸収がより効率よく機能するために、全てのプロセスの中で二酸化炭素高排出セクションを見出し、そのセクションをいかに排出量の削減に繋げていくかという事があった。かつては苗木プロセスにおいては苗木が主流であったが、現在ではコンテナ苗の手法に置き換わりつつあり、それにより、二酸化炭素の排出量が削減されている事が本研究により明らかになった。また、最も高排出セクションである乾燥工程は、現在では重油等を使用することが主流となっている。これを大幅に削減するために現在検討され一部取り入れられているのは、木質チップやバイオマス燃料を利用することである。しかし、バイオマス燃料の製造工程での二酸化炭素の排出や製造機械、設備等のコストの問題が存在するのが現状である。また、木材の人工乾燥には、1日で行う高圧高周波や2~3日で処理する高温乾燥のほか、高圧高周波と高温乾燥を併用した人工乾燥やこれより時間をかけて天然乾燥と組み合わせた低温除湿等で行うものもあるようである⁶。低温除湿は材色がきれいに仕上がるとも言われている⁶。乾燥方法を工夫する余地もあると考える。二酸化炭素排出量削減に貢献出来る手法として天然乾燥がある。天然乾燥の製材は木材本来の香りや色ツヤを残したまま乾燥できるという長所を持っている⁷。しかし、乾燥するまでに長期間を要するという短所がある⁷。このことが経営面でのデメリットとなっているのが現状である。しかしながら、これらの方法で乾燥された製材をブランド化して価値を高め、あるいはカーボン・オフセット等を積極的に取り入れるなどの経済的支援策を行政が進めることによってその方向性は見えてくると思われる。この事は、二酸化炭素排出削減と経済効果の関係性として重要である。また、林道整備による二酸化炭素排出量は現況では製材の吸収量に対して、それほど大きな割合ではない印象を筆者は持つ。したがって人工林が最終的に効率よい二酸化炭素の吸収機能を発揮するためには、育林プロセスにおいて重要なインフラである林道整備を進めていく事が重要であり、現時点ではデメリットよりそのメリットが上まっていると言えよう。しかし第6章でも述べたように、人工林の収穫材積が年々減少傾向であるのに対して、年々自然災害が大幅に増加傾向にある事や災害を受ける林道の新設延長も引き続き行われている事を鑑みると今後も注視していく必要があると思われる。

今後は種苗から製材への全プロセスにおいて、二酸化炭素高排出セクションの二酸化炭素排出削減と生産効率化を目的とした新たなテクノロジーの研究や重要インフラである林道整備と自然災害との関連性に関する動向を注視しつつバランスのよい研究を継続する事が必要である。

筆者は本研究をこの後も更に追求をする事で、人工林が二酸化炭素吸収機能として効果的な存在となり、地球温暖化防止に大きく寄与出来る事を目指していきたい。

尚、本論文執筆の中で、参考研究として調査した結果の詳細を付録として添付する。

付録1 使用した二酸化炭素排出量原単位等

付録2 種子・苗木生産～製材生産までの各プロセスの二酸化炭素排出量の算出表

付録3 林道整備における二酸化炭素排出量の算出表

第6章

脚注

- 1 竹内秀樹(2016)「管理された森林に於ける二酸化炭素収支の定量的検証-スギの種苗生産から原木・製材まで-」『サステイナブル マネジメント第15巻』(特非)環境経営学会, p.44-57
- 2 国土交通省 土地・建設産業局(2016)「建設資材・労働力需要実態調査【建築部門】(平成25年度原単位)の結果について」 p.4, <https://www.mlit.go.jp/common/001124156.pdf> (2022年2月25日アクセス)
- 3 林野庁編(2011)『森林・林業白書(平成23年度版)』 p.15, https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/22hakusho/pdf/h22hakusyo_zenbun1-2.pdf (2022年2月16日アクセス)
- 4 国土交通省 不動産・建設経済局「主要建設資材需給・価格動向調査(資材モニター調査)の概要」, https://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/ex/material_pdf_data/material.pdf (2022年2月15日アクセス)
- 5 林野庁編(2021)『森林・林業基本計画 令和3年6月』 p.4, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/attach/pdf/index-10.pdf> (2021年11月24日アクセス)
- 6 中畷 厚(2014)「木材人工乾燥装置の技術動向について」『林産試だより 2014年10月号』(地独)北海道立総合研究機構, p.1, <https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/dayori/1410/1410-1.pdf> (2022年2月20日アクセス)
- 7 山吉栄作「木材乾燥の特徴を知って最適な乾燥方法を選ぶ!~(最新情報)高周波・蒸気複合乾燥方法の紹介」 <https://www.pref.mie.lg.jp/ringi/hp/000179702.htm> (2022年2月20日アクセス)

付録1 使用した二酸化炭素排出量原単位等

図表 71 に使用した燃料等の二酸化炭素排出量原単位, 図表 72 に使用した資材及び廃材の比重, 図表 73 に使用した資材等の二酸化炭素排出量原単位, 図表 74 に使用した建設機械損料算定表の一覧を示す。

項目	単位	原単位 (kg-CO ₂ e/単位)	引用元	引用元 (コード)
電力	kWh	0.464	1)	51110010
ガソリン	L	2.84	1)	21110110
軽油	L	2.95	1)	21110140
A重油	L	2.91	1)	21110150
オイル (混合油)	L	0.64	2)	JP311010
潤滑油 (チェーンオイル含む)	L	2.93	3)	
灯油	L	2.75	1)	21110130
運搬時に消費するガソリン	L	4.03	1)	21110110
運搬時に消費する軽油	L	4.19	1)	21110140

図表71 使用した燃料等の二酸化炭素排出量原単位

出典：筆者作成。

引用元：

- 1). 国土交通省 国土技術政策総合研究所(2012)「社会資本 LCA 用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表 二酸化炭素排出量_2005年版(2012.05.16 公開) 」http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/e_io2005c.xls (2017年12月6日アクセス)
- 2). (社)産業環境管理協会(2012)「カーボンフットプリント制度施行事業 CO₂換算量共通原単位データベース ver.3.0」, <https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/kokai-co2kasanryou-db20110331.xls>, https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/CO2kansanryo_db_ver4_jp_20120410.xls (2017年12月21日アクセス)
- 3). 国立研究開発法人 国立環境研究所 地球環境研究センター(2021)「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2021年」 p.3-16, http://www.nies.go.jp/gio/archive/nir/jqjm1000000x4g42-att/NIR-JPN-2021-v3.0_J_GIOweb.pdf (2021年4月20日アクセス),
表 3-11 エネルギー源別炭素排出係数(2019年)より潤滑油：19.9t-C/TJ(TJ：テラジュール=1,000MJ), p.3-27,
表 3-19 エネルギー源別の高位発熱量の推移(2019年), 潤滑油：40.2MJ/L より算出。
尚, 以下計算式は, 環境省「燃料別の二酸化炭素排出量の例」,
<https://www.env.go.jp/council/16pol-ear/y164-04/mat04.pdf> (2019年3月20日アクセス)を引用して計算。
単位当たり二酸化炭素排出量(kg-CO₂/L)=単位発熱量(MJ/L)×排出係数(t-C/TJ)×44/12(炭素換算),
(40.2/1000×19.9)×44/12=2.93326=2.93(kg-CO₂/L)

(注)運搬時に消費するガソリン及び軽油は間接環境負荷量補正率：1.42 を乗じた数値である。

項目	比重	引用元
再生砕石 RC-40 40~0mm	2.00	1)
再生アスコン (13)-50,75	2.00	1)
砕砂	1.70	1)
普通ポルトランドセメント	3.15	2)
アスファルト・コンクリート塊 (無筋)	2.35	1)
コンクリート廃材 (鉄網入り)	2.35	1)
鉄スクラップ (ヘビーH4)	1.00	1)
アルミニウム	2.70	3)
アクリル樹脂	1.19	4)
FRP	1.80	4)
鉄	7.85	4)
合成ゴム	1.50	5)

図表72 使用した資材及び廃材の比重

出典：筆者作成。

引用元：

- 1). 東京都建設副産物対策協議会(2018)「平成 30 年度 建設副産物実態調査 調査要領」 p.14,
https://www.toshiseibi.metro.tokyo.lg.jp/seisaku/recy/recy_23.pdf (2022 年 1 月 12 日アクセス)
- 2). コンクリートメディカルセンター「コンクリートの比重 (単位容積質量・単位体積重量) とは?」,
<https://concrete-mc.jp/specificgravity/#2-1> (2018 年 12 月 12 日アクセス)
- 3). (一社)日本アルミニウム協会『アルミニウムとは』 p.17,
<https://www.aluminum.or.jp/basic/aluminumtoha/pdf/AboutAluminum.pdf> (2021 年 12 月 3 日アクセス)
- 4). 樹脂プラスチック材料協会「比重とは(specific gravity)」, <https://www.jushiplastic.com/specific-gravity> (2018 年 7 月 18 日アクセス)
- 5). 下関パッキング(株)『RUBBER ゴム製品』 p.10, <http://www.shimopa.co.jp/product/data/rubber.pdf> (2022 年 2 月 7 日アクセス)

項目	単位	原単位 (kg-CO2e/単位)	引用元	番号等
安定剤 (リナゾール)	kg	1.55	1)	JP310010
植物成長調整剤	kg	41.40	1)	F-JP0811
苦土石灰 (焼成トロマイト)	kg	1.21	1)	JP315034
高度化成肥料	kg	1.65	1)	JP310025
殺虫剤	kg	4.14	1)	JP310349
除草剤	kg	5.86	1)	JP310351
シリカゲル	kg	2.01	1)	JP310080
農薬散布用水	m3	0.36	2)	
かん水 (畑地かん水設備農業用水)	m3	0.14	3)	
種苗 (法面緑化用)	kg	2.14	4)	1160210
農薬	kg	3.08	4)	20740110
動物質肥料	kg	0.32	1)	F-JP0364
プラスチック製品	kg	2.31	4)	31090501
工業用強化プラスチック製品	kg	5.21	1)	JP312006
その他の合成樹脂	kg	2.56	4)	20410990
ナイロン66塩 (63%) 結束バンド	kg	7.58	1)	JP310163
合成繊維	kg	4.55	1)	JP307007
ポリエステル	kg	4.29	1)	JP310241
ポリエステル繊維	kg	3.34	1)	JP310310
ポリエステル長繊維不織布	kg	7.01	1)	JP310319
高密度ポリエチレン	kg	1.33	1)	JP310002
低密度ポリエチレン	kg	1.53	1)	JP310001
ポリプロピレン	kg	1.13	4)	20410240
硬質ポリウレタン	kg	4.12	1)	JP312004
フェルト・不織布	kg	7.01	1)	JP307035
ビニロン	kg	8.95	1)	JP310322
塩化ビニル管	kg	1.49	5)	
塩化ビニル樹脂	kg	0.97	4)	20410250
アクリル樹脂	kg	5.25	1)	JP310321
FRP (工業用強化プラスチック製品)	kg	5.21	1)	JP312006
ポリカーボネート樹脂	kg	7.69	1)	JP310374
段ボール	kg	1.45	6)	
構造用丸棒普通鋼熱間圧延鋼材	t	1,491.68	4)	30110104
普通鋼小棒	t	817.02	4)	30110101
鋼材【工場制作物の材料】	t	1,171.84	4)	IO26210110
鋼板	t	1,974.02	4)	30020201
溶融亜鉛メッキ鋼材	t	966.00	7)	
溶融亜鉛メッキ線材	t	745.00	7)	
金属線製品	kg	3.54	4)	30240102
遮光・遮音壁 (カラー鋼板)	kg	2.37	4)	30650101
足場・朝顔・登り桟橋 (金属製)	t	2,373.58	4)	30370101
冷凍機・温湿調整装置	kg	3.71	4)	30130110
電線・ケーブル	kg	3.32	4)	27210110
ポンプ及び圧縮機	kg	3.02	4)	30190110
その他の一般機械器具及び部品	kg	2.95	4)	30310990
製材・木材加工・合板機械	t	3,593.96	4)	30290910
農業用機械	t	3,149.46	4)	30290110
アルミニウム板	kg	4.07	1)	JP317059
アルミニウム	kg	3.13	1)	JP317029
アルミ圧延製品	kg	2.06	4)	27220210
クラフト紙系	kg	1.26	8)	
合成ゴム	kg	6.08	1)	JP310263
普通ポルトランドセメント	t	896.35	4)	Z2002001
セメント製品 (コンクリート管他)	t	238.25	4)	30630201
生コンクリート (18-8-25 BB)	m ³	187.51	4)	A-3101001
生コンクリート (21-8-25 BB)	m ³	197.52	4)	A-3101002
生コンクリート (24-8-40N)	m ³	327.09	4)	A-3102011
コンクリート混和・混入剤	t	1,514.89	4)	30290101
ポリ酢酸ビニルエマルジョン	kg	2.95	1)	JP310246
ブタジエンゴムラテックス	kg	2.56	1)	JP310268
無塩乾燥砂	t	18.26	4)	Z2102000
再生砕石 RC-40	t	5.45	4)	30410105
切込砕石 C-40,S-40	t	10.52	4)	30410101
ふとん竜巻詰石	t	10.52	4)	30410101
再生アスファルト混合物	t	58.34	4)	A3301000
新規アスファルト混合物	t	58.71	4)	A3303000
アスファルト乳剤 (JIS)	t	917.06	4)	30300103
舗装材料	t	61.08	4)	30300102
銅系保存処理剤	kg	0.84	9)	
非銅系保存処理剤	kg	2.94	9)	

図表73 使用した資材等の二酸化炭素排出量原単位

出典：筆者作成。

引用元：

- 1). (社)産業環境管理協会(2012)「カーボンフットプリント制度施行事業 CO₂換算量共通原単位データベース ver.3.0」,
<https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/kokai-co2kasanryou-db20110331.xls>,
https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/CO2kansanryo_db_ver4_jp_20120410.xls (2017年12月21日アクセス)
- 2). 環境省「銘酒「左大臣」のカーボン・オフセット」 p.3,
http://offset.env.go.jp/document/jcs/carbon_offset/0165.pdf (2022年1月12日アクセス)
- 3). LCA データについて問い合わせ(2014年10月), 群馬県土地改良区 中部農業事務所管内 赤城西麓土地改良区
- 4). 国土交通省 国土技術政策総合研究所(2012)「社会資本 LCA 用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表 二酸化炭素排出量_2005年版(2012.05.16 公開)」,http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/e_io2005c.xls (2017年12月6日アクセス)
- 5). 塩ビ工業・環境協会(2005)「～塩ビについて理解を深めていただくために～」 p.59,
<http://www.vec.gr.jp/lib/pdf/factbook.pdf> (2018年2月22日アクセス)
- 6). 全国段ボール工業組合連合会(2014)「段ボール製造に関わる CO₂排出原単位について」 p.4,
<http://zendanren.or.jp/data/pdf/siryoko2gentanni.pdf> (2017年12月15日アクセス)
- 7). (一社)日本鉄鋼連盟 技術・環境部 地球環境グループ, 溶融亜鉛メッキ鋼材等の LCA データについて問い合わせ (2018年3月27日)
- 8). 環境省廃棄物・リサイクル対策部 企画課循環型社会推進室(2012)「3R 原単位の算出方法 平成24年4月」 p.74,
<https://www.env.go.jp/press/files/jp/19747.pdf> (2021年7月30日アクセス)
- 9). LCA データについて問い合わせ(2014年4月, 2022年2月18日), 日本木材防腐工業組合

建設機械及び作業機械等	引用元及び掲載ページ	諸元/規格/ 作業効率/燃料消費量/他	機械質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	年間標準 運転日数 (d)	機関 出力 (kW)	燃料 消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	運転日当た り運転時間 (h/d)	備考
バックホウ、クローラ型 排対型1次	1)p36,p331	0.11/0.08m ³	3.3 t	567	90	20.0	D 0.153	10.0	6.3	
バックホウ、クローラ型 排対型1次	1)p36,p331	0.13/0.10m ³	4.2 t	567	90	25.0	D 0.153	10.0	6.3	
バックホウ、クローラ型 排対型1次	1)p36,p331	0.28/0.2m ³	7.0 t	690	110	41.0	D 0.153	9.0	6.3	
バックホウ、クローラ型 排対型1次	1)p36,p331	0.45/0.35m ³	11.8 t	690	110	60.0	D 0.153	12.5	6.3	
バックホウ、クローラ型 排対型1次	1)p36,p331	0.8/0.6m ³	19.8 t	690	110	104.0	D 0.153	9.0	6.3	
バックホウ、クローラ型 排対型1次	1)p36,p331	1.0/0.7m ³	22.1 t	690	110	116.0	D 0.153	9.0	6.3	
プロセッサ	1)p36,p331	0.28/0.2m ³ 8H	7.0 t	690	110	41.0	D 0.153	9.0	6.3	アタッチメント
フォワーダ	1)p64,p331	3t積	2.9 t	400	80	29.0	D 0.134	10.5	6.3	運搬車
セミトレーラ (25積)	1)p60,p331	25積	17.2 t	630	100	235.0	D 0.075	11.5	6.3	
ダンプトラック (オンロード) 2t	1)p60,p331	2t積級	2.8 t	830	140	88.0	D 0.043	10.0	5.9	
ダンプトラック4t	1)p60,p331	4t積級	3.8 t	830	140	135.0	D 0.043	10.0	5.9	
ダンプトラック6~7t	1)p60,p331	6~7t積級	6.7 t	830	140	165.0	D 0.043	10.0	5.9	
ダンプトラック10t	1)p60,p331	10t積級	9.7 t	830	140	246.0	D 0.043	10.0	5.9	
トラック2t (クレーン付)	1)p60,p331	2t積級	2.7 t	760	130	98.0	D 0.043	12.0	5.8	
トラック8t (クレーン装置付)	1)p60,p331	7t積級,4.9t吊り	8.0 t	620	100	107.0	D 0.043	13.0	5.8	
トラック10t (クレーン装置付)	1)p60,p331	10t積級,2.9t吊り	13.1 t	760	130	242.0	D 0.043	13.0	5.8	グラップルクレーン付含む
トラック20t (クレーン装置付)	1)p60,p331	20t積級,16t吊り	19.8 t	620	100	125.0	D 0.043	12.0	6.2	
トラック2t	1)p60,p331	2t積級	2.5 t	710	150	98.0	D 0.043	12.0	4.7	
トラック5t	1)p60,p331	5t積級	4.8 t	710	150	149.0	D 0.043	12.0	4.7	
ブルドーザ 普通 排対型1次	1)p20,p331	3~4t級	3.8 t	400	80	29.0	D 0.153	12.5	5.0	
ブルドーザ 普通 排対型1次	1)p20,p331	11t級	10.9 t	400	80	78.0	D 0.153	12.5	5.0	
ブルドーザ 普通 排対型1次	1)p20,p331	15t級	14.6 t	400	80	100.0	D 0.153	12.5	5.0	
ブルドーザ 普通 排対型1次	1)p20,p331	21t級	14.6 t	720	110	136.0	D 0.153	11.5	5.0	
不整地運搬車 (クローラ・ダンプ・排対型1次)	1)p64,p331	3t積 (フォワーダ)	2.8 t	400	80	29.0	D 0.134	10.5	5.0	土砂運搬車
不整地運搬車 (クローラ・ダンプ・排対型1次)	1)p62,p331	4t (4~5t) 積	7.0 t	560	80	98.0	D 0.134	10.5	5.0	土砂運搬車
不整地運搬車 (クローラ・ダンプ・排対型1次)	1)p62,p331	6t (6.3~7t) 積	9.2 t	560	80	150.0	D 0.134	10.5	5.0	土砂運搬車
ラフテレンクレーン (油圧伸縮ジブ型・排対型1次2次)	1)p74,p331	4.9t吊	11.8 t	720	120	118.0	D 0.088	12.0	6.0	自走式クレーン
ラフテレンクレーン (油圧伸縮ジブ型・排対型1次2次)	1)p74,p331	16t吊	19.3 t	720	120	140.0	D 0.088	12.0	6.0	自走式クレーン
ラフテレンクレーン (油圧伸縮ジブ型・排対型1次2次)	1)p74,p331	25t吊	26.7 t	720	120	193.0	D 0.088	12.0	6.0	自走式クレーン
アジテータトラック (コンクリートミキサー)	1)p186,p332	混合容量4.4m ³	9.2 t	780	160	213.0	D 0.059	11.0	4.9	アイトリング及び生コン排出時は無視
モルタルコンクリート吹付機	1)p306,p333	湿式0.8~1.2m ³	3.3 t	740	100	18.0	D 0.191	9.5	7.0	
コンクリートポンプ車 (トラック架装・ブーム式)	1)p186,p332	55~60m ³ /h	7.6 t	960	140	127.0	D 0.078	10.0	6.9	
コンクリートポンプ車 (トラック架装・ブーム式)	1)p186,p332	90~110m ³ /h	16.0 t	960	140	199.0	D 0.078	10.0	6.9	
セメントローリー (粉粒体運搬車)	1)p60,p331	20t積	17.2 t	630	100	235.0	D 0.075	11.5	6.3	セミトレーラ同等と設定
種子吹付機	1)p312,p337	タンク容量2.5m ³	1.7 t	660	100	22.0	D 0.191	9.5	6.6	
空圧圧縮機 可搬式・エンジン駆動・スクリュ型・排対型1次	1)p218,p333	5.0m ³ /min	0.8 t	360	80	39.0	E 0.595	13.0	5.0	
空圧圧縮機 可搬式・エンジン駆動・スクリュ型・排対型1次	1)p218,p333	10.5~11m ³ /min	2.1 t	360	80	78.0	E 0.595	13.0	5.0	
発動発電機 (排対型)ディーゼルエンジン駆動	1)p242,p333	13/15kVA	0.5 t	500	100	17.0	D 0.145	10.0	5.0	
発動発電機 (排対型)ディーゼルエンジン駆動	1)p242,p333	20/25kVA	0.7 t	500	100	23.0	D 0.145	10.0	5.0	
発動発電機 (排対型)ディーゼルエンジン駆動	1)p242,p333	37/45kVA	1.2 t	500	100	42.0	D 0.145	10.0	5.0	
揚水ポンプ (小型渦巻きポンプ)口径40mm	1)p226,p333	吸水・片吸込・モータ駆動型	0.02 t	450	90	0.4	G 0.495	13.0	5.0	
揚水ポンプ (小型渦巻きポンプ)口径50mm	1)p226,p333	吸水・片吸込・モータ駆動型	0.04 t	450	90	0.8	E 0.900	13.0	5.0	
工事中水ポンプ 口径50mm	1)p232,p333	潜水ポンプ	0.02 t	500	100	0.4	E 0.584	10.5	5.0	
工事中水ポンプ 口径100mm	1)p232,p333	潜水ポンプ	0.06 t	500	100	3.7	E 0.584	10.5	5.0	
工事中水ポンプ 口径150mm	1)p232,p333	潜水ポンプ	0.13 t	500	100	7.5	E 0.584	10.5	5.0	
工事中水ポンプ 口径200mm	1)p232,p333	潜水ポンプ	0.17 t	500	100	11.0	E 0.584	10.5	5.0	
振動ローラ (舗装用)	1)p174,p332	質量0.8~1.1t	0.8 t	390	80	5.0	D 0.231	13.0	4.9	
振動ローラ (舗装用)	1)p174,p332	質量0.5~0.6t	0.6 t	390	80	3.0	D 0.231	13.0	4.9	
振動ローラ (土工用) コンバインド式	1)p178,p332	質量3~4t	3.6 t	400	100	20.0	D 0.160	13.0	4.0	
タンバ及びランマ	1)p182,p332	60~80kg	0.04 t	400	80	3.0	G 0.346	6.0	5.0	
振動コンバクタ 40~60kg	1)p182,p332	40~60kg	0.06 t	450	90	3.0	G 0.346	6.0	5.0	
コンクリートカッタ	1)p214,p332	切削深20cm級 ブレード径56cm	0.3 t	500	100	17.0	G 0.227	5.5	5.0	
アスファルトフィニッシャー (ホイール型・排対型2次)	1)p190,p332	舗装幅2.4~6m	13.9 t	400	80	70.0	D 0.147	11.0	5.0	
モータグレーダ (土工用・排対型1次)	1)p168,p332	ブレード幅3.1m	10.0 t	380	70	85.0	D 0.108	15.0	5.4	
ロードローラ (マカダム・排対型1次)	1)p172,p332	質量10~12t,締固め幅2.1m	9.3 t	360	70	56.0	D 0.118	15.0	5.1	
タイヤクローラ (普通型・排対型1次)	1)p172,p332	質量8~20t	17.9 t	380	70	71.0	D 0.085	14.5	5.4	
アスファルトカーバ (ガソリンエンジン駆動式)	1)p200,p332	能力4~4.5m ³ /h	0.34 t	300	60	6.7	G 0.227	10.0	5.0	
ホイールローダ (排出ガス対策型)	1)p50,p331	0.34m ³	2.4 t	520	110	21.0	D 0.153	11.5	4.7	
モノレール (動力車)	1)p242,3)		29.5 kg	500	100	3.7	D 0.097	10.0	5.0	ロビン DY27-2D
チェーンソー	1)p312,p337,4)	鋸長500mm,60cc	5.80 kg	300	60	3.5	B 0.230	7.0	2.0	STIHL MS 193 TC-E
刈払い機	1)p310,p333,5)	肩掛け式カッター径255mm	5.50 kg	140	70	1.3	B 0.581	9.0	2.0	ZEBOAH BCZ315W
クローラトラクタ (113PS)	1)p333,6)		4.40 t	520	110	83.1	D 0.120	11.5	6.3	ヤンマー YT5113A
トラクタ (40-50PS)	1)p333,2),7)		2.02 t	520	110	29.4	D 0.120	11.5	6.3	クボタゼロキングワエルKL40ZH
トラクタ (50-60PS)	1)p333,2),7)		2.14 t	520	110	39.0	D 0.120	11.5	6.3	クボタゼロキングワエルKL53ZH
小型管理機 (4-6PS)	1)p333,2),7)	11.2a/h,1.0L/h	0.13 t	520	110	29.0	D 0.120	11.5	6.3	クボタ 土の助FT7
薬剤散布機(背負式) 動力噴霧機,1.5kW級	1)p333,2),8)	46.7a/h,0.8L/h	8.40 kg	250	50	39.0	B 0.266	9.5	5.0	丸山製作所 SD059D-20-A
フォークリフト	1)p86,p335,9)	3.5t積	5.86 t	1,440	240	67.3	D 0.037	4.0	6.0	コマツ FH35-2
ログローダ	1)p50,10)	2.4t積	19.50 t	600	120	107.0	D 0.153	10.0	6.3	ウオタニ ログローダー KLG-8500
軽トラック	1)p310,p333,11)	350kg積	0.69 t	760	210	37.0	G 0.047	9.0	6.3	スズキキャリア EBD-DA16T
ロータリ (トラクタアタッチメント,40-50PS)	2),12)	35.9a/h,8.0L/h	0.33 t	-	-	-	-	-	11.5	-標準使用年数はトラクタと同様
ロータリ (トラクタアタッチメント,50-60PS)	2),12)	40.0a/h,10.0L/h	0.34 t	-	-	-	-	-	11.5	-標準使用年数はトラクタと同様
ブロードキャスタ (トラクタアタッチメント,50-60PS)	2),13)	196.0a/h,2.5L/h	0.13 t	-	-	-	-	-	11.5	-標準使用年数はトラクタと同様
マニユアスプレッダ (トラクタアタッチメント,50-60PS)	2),14)	107.5a/h,4.0L/h	1.29 t	-	-	-	-	-	11.5	-標準使用年数はトラクタと同様
ローダ (トラクタアタッチメント,50-60PS)	2),15)	79.3a/h,3.5L/h	0.39 t	-	-	-	-	-	11.5	-標準使用年数はトラクタと同様
ブームスプレイヤ (トラクタアタッチメント,50-60PS)	2),16)	129.8a/h,3.50L/h	0.15 t	-	-	-	-	-	11.5	-標準使用年数はトラクタと同様
ライトバン2.0L (ディーゼル)	1)p310,p333	5名,2L	1.4 t	760	210	69.0	D 0.047	8.5	4.0	

図表74 使用した建設機械損料算定表等の一覧

出典：筆者作成。

引用元：

- 1). (一社)日本治山治水協会 日本林道協会(2017)『治山林道必携(積算・施工編)下巻 平成29年版』日本林道協会, p.3-352
 - 2). 高知県農業振興部環境農業推進課(2011)『園芸農業の省エネルギー等に関する調査報告書(Ⅱ)』, 巻末資料2 LCA 計算用の農作業機械の燃費データ等 (付表2), https://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/111901/files/2012062500624/2012062500624_www_pref_kochi_lg_jp_uploaded_attachment_74660.pdf (2022年2月1日アクセス)
 - 3). 産業機器(株)「モノレール(動力車)」<https://www.subarupower-global.com/engines/dy-series/dy27-2> (2022年2月1日アクセス)
 - 4). (株)スチール「チェーンソー」
<https://www.stihl.co.jp/STIHL-%E8%A3%BD%E5%93%81%E3%82%AB%E3%82%BF%E3%83%AD%E3%82%B0%E3%83%81%E3%82%A7%E3%83%B3%E3%82%BD%E3%83%BC-%E9%AB%98%E6%9E%9D%E3%82%AB%E3%83%83%E3%82%BF%E3%83%BC/%E5%B1%B1%E6%9E%97%E5%90%91%E3%81%91%E3%82%A8%E3%83%B3%E3%82%B8%E3%83%B3%E3%83%81%E3%82%A7%E3%83%B3%E3%82%BD%E3%83%BC/22269-1582/MS-362-C-M-VW.aspx> (2022年2月1日アクセス)
 - 5). ハスクバーナ・ゼノア(株)「刈払い機」
<https://www.zenoah.com/jp/products/trimmer-brushcutter/bcz315w/967021705/#specifications> (2022年2月1日アクセス)
 - 6). ヤンマーホールディングス(株)「クローラトラクタ」
https://www.yanmar.com/media/news/2021/02/25044546/yt488a_yt498a_yt4104a_yt5113a_auto-robot_2103.pdf (2014年9月30日アクセス)(リンク切れ)
同等機種 https://www.yanmar.com/media/news/2021/04/22065819/yt488a_yt498a_yt4104a_yt5113a_2104.pdf (2022年2月22日アクセス)
 - 7). (株)クボタ「トラクタ」
https://www.jnouki.kubota.co.jp/jnouki/html/agriculture_info/book/catalog201404/catalog201404.pdf (2014年9月29日アクセス)(リンク切れ)
小型管理機(4-6PS)同等機種：<https://agriculture.kubota.co.jp/product/saienclub/ft70-90/> (2022年2月22日アクセス)
トラクタ(40-60PS) 同等機種：<https://agriculture.kubota.co.jp/jnouki/manualdata/L2202-5752/L2202-5752-1.pdf> (2022年2月22日アクセス)
 - 8). (株)丸山製作所「動力噴霧機」<http://www.maruyama.co.jp/products/02/pdf/J-06-N02-023.pdf> (2022年2月22日アクセス)
 - 9). コマツカスタマーサポート(株)「フォークリフト」
https://www.lift.co.jp/distrib/engine/fh50/pdf/lift_catalog_fh50.pdf (2022年2月1日アクセス)
 - 10). 魚谷鉄工(株)「ログローダ」<http://www.ut-t.co.jp/pdf/KLG-8500.pdf> (2022年2月1日アクセス)
 - 11). スズキ(株)「軽トラック」https://www.suzuki.co.jp/car/carry_sp/detail/spec_kc_sp.html (2022年2月1日アクセス)
 - 12). (株)クボタ「ロータリ」<https://agriculture.kubota.co.jp/jnouki/manualdata/L2202-5752/L2202-5752-1.pdf> (2022年2月1日アクセス)
 - 13). (株)IHI アグリテック「ブロードキャスタ」<https://www.ihico.jp/iat/star/pdf/mbc201-401.pdf> (2022年2月1日アクセス)
 - 14). (株)タカキタ「マニユアスプレッダ」<http://www.takakita-net.co.jp/pdfwp/products/dl810/dhdl190306.pdf> (2022年2月1日アクセス)
 - 15). 三陽機器(株)「ローダ」https://www.sanyokiki.co.jp/media_catalog/catalog_k_skhl44zpsl.pdf (2022年2月1日アクセス), バケットは質量を問い合わせ
 - 16). (株)やまびこ「ブームスプレイヤ」https://www.yamabiko-corp.co.jp/files/topics/7754_ext_03_0.pdf (2022年2月1日アクセス)
- (注)燃料消費率のDは軽油, Gはガソリン, Eは電力, Bは混合燃料。

付録2 種子・苗木生産～製材生産までの各プロセスの二酸化炭素排出量の算出表

付録2-1. 種子・苗木生産プロセス

付録2-1-1. ミニチュア採種園の造成及び施肥

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から⑥までの排出量の合計として求めている。

① トラクタとロータリ(耕耘・整地, 土壌改良・肥料攪拌, 有機肥料・肥料攪拌)

重量: トラクタ本体: 2.015t, ロータリ: 0.332t, 合計: 2.347t

作業効率: 35.9a/h

軽油消費量: 8L/h

以下数量は、ヒアリング調査¹より算入した。

数量: 11a

耕耘・整地: 1回

土壌改良・肥料攪拌: 2回

有機肥料・肥料攪拌: 2回

トラクタとロータリの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P: 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁: 作業機械質量: 2.347(t), (トラクタとロータリ合計)

a: 標準使用年数: 11.5(y)

t: 年間標準運転時間: 520(h)

T: 実際の稼働時間: 1.53(h)

3-12式より, $T = d / 40$

$$\{11(a)/35.9(a/h) \times 1(\text{回})\} + \{11(a)/35.9(a/h) \times 2(\text{回})\} + \{11(a)/35.9(a/h) \times 2(\text{回})\} = 1.53(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値: 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.347(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 1.53(\text{h}) = 1.81(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D: 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁: 作業機械質量: 2.347(t)

a: 標準使用年数: 11.5(y)

t: 年間標準運転時間: 520(h)

T: 実際の稼働時間: 1.53(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値: 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.347(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 1.53(\text{h}) = 0.04(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = 軽油消費量 × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量 : 8.0L/h

T : 実際の稼働時間 : 1.53(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$$C = 8.0(\text{L/h}) \times 1.53(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 36.16(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / \text{td}$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.347(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.53(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.347(\text{t}) \times 1.53(\text{h}) / 6.3\text{h} = 2.26(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (1.81+0.04+36.16+2.26) = 40.27 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 土壌改良材(苦土石灰)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg) : 20(kg/袋)×2(袋) = 40(kg)

苦土石灰の二酸化炭素排出量原単位 : 1.21(kg-CO₂e/kg)

$$M = 40(\text{kg}) \times 1.21(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 48.40(\text{kg-CO}_2)$$

土壌改良材(苦土石灰)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$M = 48.40(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 化学肥料(追肥)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg) : 20(kg/袋)×2(袋)×2(回) = 80(kg)

化学肥料の二酸化炭素排出量原単位 : 1.65(kg-CO₂e/kg)

$$M = 80(\text{kg}) \times 1.65(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 132.00(\text{kg-CO}_2)$$

化学肥料(追肥)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$M = 132.00(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ ②③の運搬車両軽トラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 0.69(t)

a : 標準使用年数 : 9.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.0(h)

3-12式より, $T = d / 40$

T : 実際の稼働時間(h) : 32(km)/40(km/h)

d : 群馬県林業試験場～ホームセンターの距離 : ヒアリング調査¹より20(km)

平均走行速度 : 40(km/h)

$T = \{20(\text{km})/40(\text{km/h})\} \times 2(\text{回}) = 1.0(\text{h})$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.69(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 1.0(\text{h}) = 0.30(\text{kg-CO}_2)$

軽トラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-6式より

$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 0.69(t)

a : 標準使用年数 : 9.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.0(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.69(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 1.0(\text{h}) = 0.01(\text{kg-CO}_2)$

軽トラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-9式より

$C = e \times r \times T \times$ 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 37.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.047(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 1.0(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量(ガソリン) : 4.03 (kg-CO₂e/L)

$C = 37.0(\text{kW}) \times 0.047(\text{L/kW-h}) \times 1.0(\text{h}) \times 4.03(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 1.74(\text{kg-CO}_2)$

軽トラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$

w₁ : 作業機械質量 : 0.69(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.0(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96

$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.69(\text{t}) \times 1.0(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 0.43(\text{kg-CO}_2)$

土壌改良材及び化学肥料の運搬車両軽トラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は, 以下となる。

$(P+D+C+Od) = (0.30+0.01+1.74+0.43) = 2.48(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$

⑤ 有機肥料(基肥)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg) : 11.8(kg/袋)×100(袋) =1,180.00(kg)

有機肥料(動物質肥料, 牛糞)の二酸化炭素排出量原単位 : 0.32(kg-CO₂e/kg)

M =1,180.00(kg)×0.32(kg-CO₂e/kg)=379.96 (kg-CO₂)

有機肥料(基肥)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

M =379.96 (kg-CO₂) ⑤

⑥ ⑤の運搬車両2tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

a : 標準使用年数 : 12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 710(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.0(h)

3-12式より T = d / 40

T : 実際の稼働時間(h) : 32(km)/40(km/h)

d : 群馬林業試験場～ホームセンターの距離 : 20 (km)

平均走行速度 : 40(km/h)

T = {20(km)/40(km/h)}×2(回)=1.0(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

P = {3,014.9(kg-CO₂e/t)×2.5(t)} / {12.0(y)×710(h)}×1.0(h)=0.88(kg-CO₂)

運搬車両2tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

a : 標準使用年数 : 12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 710(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.0(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

D = {68.6(kg-CO₂e/t)×2.5(t)} / {12.0(y)×710(h)}×1.0(h)=0.02(kg-CO₂)

運搬車両2tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 98.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 1.0(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)

C =98.0(kW)×0.043(L/kW-h)×1.0(h)×4.19(kg-CO₂e/L)=17.66(kg-CO₂)

運搬車両2tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w_1 : 作業機械質量 : 2.5(t)

td : 運転日当たり運転時間: 5.8(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.0(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2/\text{t}) \times 2.5(\text{t}) \times 1.0(\text{h}) / 5.8(\text{h}) = 1.71(\text{kg-CO}_2)$$

有機肥料(基肥)の運搬車両2tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (0.88+0.02+17.66+1.71) = 20.27(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

ミニチュア採種園の造成・施肥に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{6} = 40.27 + 48.40 + 132.000 + 2.48 + 379.96 + 20.27 = 623.38(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表75-1にミニチュア採種園の造成及び施肥に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この623.38kg-CO₂は、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりの植付本数3,300本/haに換算すると158.24kg-CO₂/haとなった。

$$623.38(\text{kg-CO}_2) / 13,000(\text{本}/10\text{a}) \times 3,300(\text{本}/\text{ha}) = 158.24(\text{kg-CO}_2/\text{ha})$$

ミニチュア採種園 (造成及び施肥)	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年 数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
トラクタ (40-50PS) +ロータリ 耕耘・整地	図表78,81	作業効率: 35.9a/h 軽油: 8L/h 数量: 11a	2.35 t	520	29	D	0.120	11.5	3,014.90	2.95		0.36			0.36	製造
										2.45						7.23
トラクタ (40-50PS) +ロータリ 土壤改良 肥料攪拌	図表78,81	作業効率: 35.9a/h 軽油: 8L/h 数量: 11a×2回	2.35 t	520	29	D	0.120	11.5	3,014.90	68.60		0.73		0.01	0.73	減耗
										4.90						0.01
トラクタ (40-50PS) +ロータリ 有機肥料 肥料攪拌	図表78,81	作業効率: 35.9a/h 軽油: 8L/h 数量: 11a×2回	2.35 t	520	29	D	0.120	11.5	3,014.90	2.95		0.73			0.73	製造
										4.90						
化学肥料 (苦土石灰) 土壤改良	図表80	20kg/袋 ^{HI} 数量: 40kg×1回	40.00 kg						68.60					0.02	0.02	減耗
										1.21						
化学肥料 追肥	図表80	20kg/袋 数量: 40kg×2回	80.00 kg						1.65						48.40	資材
										1.65						
上記運搬車両 軽トラック 化学肥料 試験場～ホームセンター往復	図表78,81	350kg積	0.69 t	760	37	G	0.047	9.0	3,014.90			0.30			0.30	製造
上記移動 (自走)	図表78,81								68.60					0.01	0.01	廃棄
										4.03	0.87					
動物質肥料 (牛ふん)	図表80	11.8kg/袋 ^{HI} 数量: 1,180kg	1180.00 kg						4.03					0.87	0.87	移動復路
										0.32						
上記運搬車両 2tトラック 有機肥料 (牛ふん)、農薬 試験場～ホームセンター往復	図表78,81	2t積	2.50 t	710	98	D	0.043	12.0	3,014.90			0.88			0.88	製造
上記移動 (自走)	図表78,81								68.60					0.02	0.02	廃棄
										4.19	2.11					
									合計:	16.47	1.74	3.00	4.40	0.07	623.38	移動復路

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料

図表75-1 ミニチュア採種園の造成及び施肥に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典: 筆者作成。

付録2-1-2. ミニチュア採種園の農薬散布及び管理

ここでは農薬散布及び管理において排出される二酸化炭素排出量を求めている。具体的には次に述べる①から⑨までの排出量を積み上げて算出している。

① 小型管理機(中耕)

重量：0.13 (t)

作業効率：11.2a/h

ガソリン消費量：1.0L/h

数量：11a

中耕：1回

小型管理機の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.13(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：520(h)

T：実際の稼働時間：0.98(h)

$$11 (a) / 11.2(a/h) \times 1(\text{回}) = 0.98(h)$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = 3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.13(\text{t}) / 11.5(\text{y}) \times 520(\text{h}) \times 0.98(\text{h}) = 0.07(\text{kg-CO}_2)$$

小型管理機の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.13(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：520(h)

T：実際の稼働時間：0.98(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = 68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.13(\text{t}) / 11.5(\text{y}) \times 520(\text{h}) \times 0.98(\text{h}) = 0.002(\text{kg-CO}_2)$$

小型管理機の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

ガソリン消費量：1(L/h)

T：実際の稼働時間：0.98(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.84 (kg-CO₂e/L)

$$C = 1(\text{L/h}) \times 0.98(\text{h}) \times 2.84 (\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 2.79(\text{kg-CO}_2)$$

小型管理機の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w_1 : 建設機械質量: 0.13(t)
 t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)
 T : 実際の稼働時間 : 0.98(h)
 作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)
 $O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.13(\text{t}) \times 0.98(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 0.08(\text{kg-CO}_2)$

小型管理機(中耕)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.07+0.002+2.79+0.08) = 2.94(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 薬剤散布機(背負式)1.5kW級相当

重量 : 0.0084t
 作業効率 : 46.7a/h
 混合油(50 : 1)消費量 : 0.8L/h
 着果促進剤 : 2回
 赤枯病防止剤 : 6回
 除草剤 : 2回
 スギハダニ防除剤 : 1回
 病虫害防除剤 : 1回
 カメムシ防除剤 : 3回

薬剤散布機(背負式)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)
 w_1 : 作業機械質量 : 0.0084(t)
 a : 標準使用年数 : 9.5(y)
 t : 年間標準運転時間 : 250(h)
 T : 実際の稼働時間 : 3.53(h)

$$\{11(a)/46.7(a/h) \times 2(\text{回})\} + \{11(a)/46.7(a/h) \times 6(\text{回})\} + \{11(a)/46.7(a/h) \times 2(\text{回})\} + \{11(a)/46.7(a/h) \times 1(\text{回})\} + \{11(a)/46.7(a/h) \times 1(\text{回})\} + \{11(a)/46.7(a/h) \times 3(\text{回})\} = 3.53(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)
 $P = 3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0084(\text{t}) / 9.5(\text{y}) \times 250(\text{h}) \times 3.53(\text{h}) = 0.038(\text{kg-CO}_2)$

薬剤散布機(背負式)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)
 w_1 : 作業機械質量 : 0.0084(t)
 a : 標準使用年数 : 9.5(y)
 t : 年間標準運転時間 : 250(h)
 T : 実際の稼働時間 : 3.53(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)
 $D = 68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0084(\text{t}) / 9.5(\text{y}) \times 250(\text{h}) \times 3.53(\text{h}) = 0.000857(\text{kg-CO}_2)$

薬剤散布機(背負式)の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = 軽油消費量 × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

混合油50：1(ガソリン：オイル)については、ガソリン1Lに対してオイル0.2Lであるので、
(ガソリンの二酸化炭素排出量原単位)+(オイルの二酸化炭素排出量原単位)=2.87(kg-CO₂e/L)となる。

ガソリンの二酸化炭素排出量原単位：2.84(kg-CO₂e/kg)

オイルの二酸化炭素排出量原単位：0.64(kg-CO₂e/kg)

混合油50：1(ガソリン：オイル)の二酸化炭素排出量原単位
2.84(kg-CO₂e/kg)+(0.64(kg-CO₂e/kg)×0.02)=2.85(kg-CO₂e/L)

T：実際の稼働時間：3.53(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.85(kg-CO₂e/L)

C = 0.8(L/h)×3.53(h)×2.85(kg-CO₂e/L)=8.064(kg-CO₂)

薬剤散布機(背負式)の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

Od = (3.96 × w₁) × T / td

w₁：建設機械質量: 0.0084(t)

td：運転日当たり運転時間: 5.0(h)

T：実際の稼働時間：3.53(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

Od = 3.96(kg-CO₂e/t)×0.13(t)×3.53(h)/5.0(h)=0.024(kg-CO₂)

薬剤散布機(背負式)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

(P+D+C+Od) =(0.038+0.000857+8.064+0.024)=8.13(kg-CO₂) ②

③ 着果促進剤散布

着果促進剤：葉面散布：採種木100本あたりに溶液30Lを散布，濃度100ppm=0.01%

11aあたり600本の採種木

着果促進剤(植物成長調整剤)の二酸化炭素排出量：41.40kg-CO₂e/kg

散布回数：6月及び7月の2回

使用水道水量：10 aあたり180L(0.18m³)

着果促進剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M：着果促進剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：着果促進剤の重量(kg)：30(L)×0.01(%)×600(本)/100(本)×2(回)=0.036kg

着果促進剤(植物成長調整剤)の二酸化炭素排出量原単位：41.40(kg-CO₂e/kg)

M = 0.036(kg)×41.40(kg-CO₂e/kg)=1.49(kg-CO₂)

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M：水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水道水の重量(m³)：0.18(m³)×2(回)=0.36(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位：0.36(kg-CO₂e/m³)

$$M = 0.36(\text{m}^3) \times 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3) = 0.13(\text{kg-CO}_2)$$

着果促進剤散布の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 1.49 + 0.13 = 1.62(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ 赤枯病防止剤散布

赤枯病防止剤：薬剤散布：採種木100本あたりに溶液30Lを散布，30Lに農薬を27g使用

散布回数：5月～10月に6回

使用水道水量：10 aあたり180L(0.18m³)を散布

赤枯病防止剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：赤枯病防止剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：赤枯病防止剤の重量(kg)：27(g) × 600(本)/100(本) × 6(回) = 0.97kg

赤枯病防止剤(農薬)の二酸化炭素排出量原単位：3.08(kg-CO₂e/kg)

$$M = 0.97(\text{kg}) \times 3.08(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{kg}) = 2.99(\text{kg-CO}_2)$$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水道水の重量(m³)：0.18(m³) × 6(回) = 1.08(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位：0.36(kg-CO₂e/m³)

$$M = 1.08(\text{m}^3) \times 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3) = 0.39(\text{kg-CO}_2)$$

着果促進剤散布の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 2.99 + 0.39 = 3.38(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

⑤ 除草剤散布

除草剤：0.5Lの原液を10aあたり水100Lで希釈

散布回数：6月及び8月の2回

使用水道水量：10 aあたり100L(0.10m³)を散布

除草剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：除草剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：除草剤の重量(kg)：0.5(L) × 2(回) = 1.0kg

除草剤の二酸化炭素排出量原単位：5.86(kg-CO₂e/kg)

$$M = 1.0(\text{kg}) \times 5.86(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{kg}) = 5.86(\text{kg-CO}_2)$$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水道水の重量(m³)：0.10(m³) × 2(回) = 0.20(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位：0.36(kg-CO₂e/m³)

$$M = 0.20(\text{m}^3) \times 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e/m}^3) = 0.07(\text{kg-CO}_2)$$

着果促進剤散布の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 5.86 + 0.07 = 5.93(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

⑥ スギハダニ防除剤散布

スギハダニ防除剤：薬剤散布：採種木100本あたりに100倍液を30L，30Lあたりにスギハダニ防除剤を0.3L使用

散布回数：3月の1回

使用水道水量：10 aあたり180L(0.18m³)を散布

スギハダニ防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：スギハダニ防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：スギハダニ防除剤の重量(kg)：0.3(L)×600(本)/100(本)×1(回)=1.80(kg)

スギハダニ防除剤(農薬)の二酸化炭素排出量原単位：3.08(kg-CO₂e/kg)

$$M = 1.80(\text{kg}) \times 3.08(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 5.54(\text{kg-CO}_2)$$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水道水の重量(m³)：0.18(m³)×1(回)=0.18(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位：0.36(kg-CO₂e/m³)

$$M = 0.18(\text{m}^3) \times 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e/m}^3) = 0.06(\text{kg-CO}_2)$$

スギハダニ防除剤散布の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 5.54 + 0.06 = 5.61(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

⑦ 病虫害防除剤散布

病虫害防除剤：薬剤散布：採種木100本あたりに1,000倍液を30L，30Lあたりに病虫害防除剤を0.03L使用

散布回数：3月の1回

使用水道水量：10 aあたり180L(0.18m³)を散布

病虫害防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：病虫害防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：病虫害防除剤の重量(kg)：0.03(L)×600(本)/100(本)×1(回)=0.18(kg)

病虫害防除剤(農薬)の二酸化炭素排出量原単位：3.08(kg-CO₂e/kg)

$$M = 0.18(\text{kg}) \times 3.08(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 0.55(\text{kg-CO}_2)$$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 : 水道水の重量(m³) : 0.18(m³)×1(回)=0.18(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位 : 0.36(kg-CO₂e/m³)

$M = 0.18(m^3) \times 0.36(kg-CO_2e/m^3) = 0.06(kg-CO_2)$

病害虫防除剤散布の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$M = 0.55 + 0.06 = 0.62(kg-CO_2)$ ⑦

⑧ カメムシ防除剤散布

カメムシ防除剤 : 採種木100本あたりに1,000倍液を30L, 30Lあたりにカメムシ防除剤を0.03L
使用

散布回数 : 6~8月の3回

使用水道水量 : 10 aあたり180L(0.18m³)を散布

カメムシ防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : カメムシ防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 : カメムシ防除剤の重量(kg) : 0.03(L)×600(本)/100(本)×3(回)=0.54(kg)

カメムシ防除剤(農薬)の二酸化炭素排出量原単位 : 3.08(kg-CO₂e/kg)

$M = 0.54(kg) \times 3.08(kg-CO_2e/kg) = 1.66(kg-CO_2)$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 : 水道水の重量(m³) : 0.18(m³)×3(回)=0.54(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位 : 0.36(kg-CO₂e/m³)

$M = 0.54(m^3) \times 0.36(kg-CO_2e/m^3) = 0.19(kg-CO_2)$

カメムシ防除剤散布の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$M = 1.66 + 0.19 = 1.86(kg-CO_2)$ ⑧

⑨ かん水

かん水 : 採種木植付け時に1本あたり20Lをかん水する。

散布回数 : 1回

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 : 水道水の重量(m³) : 600(本)×20(L)×1(回)=12.00(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位 : 0.36(kg-CO₂e/m³)

$M = 12.00(m^3) \times 0.36(kg-CO_2e/m^3) = 4.32(kg-CO_2)$

かん水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M=4.32(\text{kg}\cdot\text{CO}_2) \dots\dots\dots \textcircled{9}$$

ミニチュア採種園の農薬散布及び管理に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\begin{aligned} \textcircled{1}+\textcircled{2}+\textcircled{3}+\textcircled{4}+\textcircled{5}+\textcircled{6}+\textcircled{7}+\textcircled{8}+\textcircled{9} &=2.94+8.13+1.62+3.38+5.93+5.54+0.62+1.86+4.32 \\ &=34.40(\text{kg}\cdot\text{CO}_2) \end{aligned}$$

以下の図表75・2-1～2にミニチュア採種園の農薬散布及び管理に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この34.40kg-CO₂は、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりの植付本数3,300本/haに換算すると8.73kg-CO₂/haとなった。

$$34.40(\text{kg}\cdot\text{CO}_2) / 13,000(\text{本}/10\text{a}) \times 3,300(\text{本}/\text{ha}) = 8.73(\text{kg}\cdot\text{CO}_2/\text{ha})$$

ミニチュア採種園 (農薬散布及び管理)	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
小型管理機 (4-6PS) 中耕	1), 図表78,81	作業効率: 11.2a/h 1L/h ¹⁾ 数量: 11a×1回	0.13 t	520	29	G 0.120	11.5	0.98	3,014.90	2.84	0.98	0.0664		0.07	製造	
薬剤散布機(背負式) 着果促進剤	図表78,81	作業効率: 46.7a/h 混合50: 1 数量: 11a×2回	8.40 kg	250	39	B 0.266	9.5	0.47	3,014.90	68.60	0.38	0.0050		0.01	製造	
薬剤散布機(背負式) 赤枯病防止剤	図表78,81	作業効率: 46.7a/h 混合50: 1 数量: 11a×6回	8.40 kg	250	39	B 0.266	9.5	1.41	3,014.90	2.85	1.13	0.0151		0.02	製造	
薬剤散布機(背負式) 除草剤	図表78,81	作業効率: 46.7a/h 混合50: 1 数量: 11a×2回	8.40 kg	250	39	B 0.266	9.5	0.47	3,014.90	2.85	0.38	0.0050		0.01	製造	
薬剤散布機(背負式) スギハダ二防除剤	図表78,81	作業効率: 46.7a/h 混合50: 1 数量: 11a×1回	8.40 kg	250	39	B 0.266	9.5	0.24	3,014.90	2.85	0.19	0.0025		0.003	製造	
薬剤散布機(背負式) 病害虫防除剤	図表78,81	作業効率: 46.7a/h 混合50: 1 数量: 11a×1回	8.40 kg	250	39	B 0.266	9.5	0.24	3,014.90	2.85	0.19	0.0025		0.003	製造	
着果促進剤 (ジバレリン葉面散布) 葉面散布, 濃度100ppm	図表80	濃度100ppm 3ml/30L 数量: 18ml/10a×2回	0.04 kg						41.40					1.49	資材	
赤枯病防止剤	図表80	27g/30L 数量: 162g/10a×6回	0.97 kg						3.08					2.99	資材	
除草剤	図表80	0.5L/100L 数量: 0.5L/10a×2回	1.00 kg						5.86					5.86	資材	
スギハダ二防除剤	図表80	0.3L/30L 数量: 1.8L/10a×1回	1.80 kg						3.08					5.54	資材	
病害虫防除剤	図表80	0.03L/30L 数量: 0.18L/10a×1回	0.18 kg						3.08					0.55	資材	

図表75-2-1 ミニチュア採種園の農薬散布及び管理に係る二酸化炭素排出量の算出表1/2

出典: 筆者作成。

ミニチュア採種園 (農薬散布及び管理)	引用元	購入元	機材重量及び 資材重量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械改造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	種別	備考
カメムシ防除剤 上記運搬車両 軽トラツク (肥料と同時運転のためカウント しない) 上記移動(自走)	図表80	0.03L/30L 数量: 0.18L/10a×3回	0.54 kg						3.08						1.66	資材	
水道 着果促進剤 (シベレリン葉面散布)	図表80	30L/回 数量: 180L/10a×2回	0.36 m3						0.36						0.13	資材	
水道 赤枯病防止剤	図表80	30L/回 数量: 180L/10a×6回	1.08 m3						0.36						0.39	資材	
水道 除草剤	図表80	100L/回 数量: 100L/10a×2回	0.20 m3						0.36						0.07	資材	
水道 スギ/バダニ防除剤	図表80	30L/回 数量: 180L/10a×1回	0.18 m3						0.36						0.06	資材	
水道 病害虫防除剤	図表80	30L/回 数量: 180L/10a×1回	0.18 m3						0.36						0.06	資材	
水道 カメムシ防除剤	図表80	30L/回 数量: 180L/10a×3回	0.54 m3						0.36						0.19	資材	
水道 かん水(採種本種付時)	図表80	20L/本 数量: 600本/10a×1回	12.00 m3						0.36						4.32	資材	
合計: 0.00 3.81 0.10 0.11 0.00 34.40																	

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料
引用元

1). (株)クボタ「小型管理機」https://www.jnouki.kubota.co.jp/jnouki/html/agriculture_info/book/catalog201404/catalog201404.pdf (リンクなし) 小型管理機(4-6PS)同等機種: https://agriculture.kubota.co.jp/product/saiciclub/ft-70-90/

図表75-2-2 ミニチュア採種園の農薬散布及び管理に係る二酸化炭素排出量の算出表2/2
出典: 筆者作成。

付録2-1-3. ミニチュア採種園の球果採取・種子貯蔵及び種子の配布

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から④までの排出量の合計として求めている。

① 軽トラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.69(t)

a：標準使用年数：9.0(y)

t：年間標準運転時間：760(h)

T：実際の稼働時間：13.50(h)

3-12式より、T = d / 40

T：実際の稼働時間(h)：36(km)/40(km/h)

d：各組組合員～群馬県林業試験場の距離：36 (km)

平均走行速度：40(km/h)

T = {36(km)/40(km/h)} × 15(台) = 13.50(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.69(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 13.50(\text{h}) = 4.11(\text{kg-CO}_2)$$

軽トラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.69(t)

a：標準使用年数：9.0(y)

t：年間標準運転時間：760 (h)

T：実際の稼働時間：13.50(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.69(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 13.50(\text{h}) = 0.09(\text{kg-CO}_2)$$

軽トラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：37.0(kW)

r：燃料消費率：0.047(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：13.50(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量(ガソリン)：4.03 (kg-CO₂e/L)

$$C = 37.0(\text{kW}) \times 0.047(\text{L/kW-h}) \times 13.50(\text{h}) \times 4.03(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 94.61 (\text{kg-CO}_2)$$

軽トラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：0.69(t)

t_d：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：13.50(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.69(\text{t}) \times 13.50(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 9.22(\text{kg-CO}_2)$$

球果採取の移動車両軽トラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (4.11+0.09+94.61+9.22) = 108.03(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 乾燥剤(シリカゲル)

シリカゲルの使用量は、厳密な計算の場合、相対湿度等を入力し算出されるが、同量を使用することが一般的である²。本論文では、約同量のシリカゲルにおける二酸化炭素排出量を算出する。

シリカゲル使用量 : 8,000g=8.0kg

シリカゲルの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : シリカゲルの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : シリカゲルの重量(kg) : 8.0(kg)

シリカゲルの二酸化炭素排出量原単位 : 2.01(kg-CO₂e/kg)

$$M = 8.0(\text{kg}) \times 2.01(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 16.08(\text{kg-CO}_2)$$

乾燥剤(シリカゲル)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 16.08(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 種子貯蔵庫(3坪プレハブ冷凍庫)

群馬県林業試験場では、3坪のプレハブ冷凍庫の庫内温度設定を現在、-5°Cで運用している。庫内温度-5°C設定の冷凍庫年間消費電力量と二酸化炭素排出量について、冷凍機製造会社³問い合わせによると、庫内温度-5°Cは、冷却ユニット内部の蒸発器の温度(蒸発温度)より、10°C~15°C程度低くなり、消費電力量を算出する場合、-5°Cの定格消費電力(kW)ではなく、-15°Cの定格消費電力(kW)から算出するとの事である。また、冷凍機運転率は、ドアの開閉頻度、周囲温度等の外的要因や内容物の量、外壁の厚み等の設置条件により異なるが、年間11月から4月を平均70%及び5月から10月を夏場の最大90%となるという事でこの運転率を組み入れた。

算出方法について、冷凍庫の機械装置は、メーカーカタログから同等の機種から引用し、LCAより重量換算した。使用年数は、国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表の年数により7年とした。また、断熱パネルについては、資材の積み上げにて算出した。室内床材のジョイントスノコ、樹脂ベース(プレハブ冷凍庫の基礎部分)については、その重量から算出した。また電源設備、コントローラ及び補強部材等については除外した。

冷媒ガスの漏洩率は、年間約10%⁴とした。尚、この冷凍庫場合の冷媒ガスはR404Aであった。

③-1 冷凍庫の年間稼働についての二酸化炭素排出量は次式で算出する。

冷凍庫の年間稼働についての二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

$$= \text{年間消費電力量(kWh)} \times \text{冷凍機運転率(\%)} \times \text{二酸化炭素排出量原単位(kg-CO}_2\text{e/kWh)}$$

庫内温度-5°C設定の場合

冷却ユニット2台の定格消費電力(入力) : 1.6(kW)+2.34(kW)=3.94(kW)

冷凍機運転率(%) :

11月～4月 : 70%

5月～10月 : 90%

年間の時間換算 :

11月～4月 : 24(h)×30(d)×6(ヶ月)=4,320(h)

5月～10月 : 24(h)×30(d)×6(ヶ月)=4,320(h)

年間消費電力量 : 3.94(kW)×4,320(h)=17,020.8(kWh)

年間電力の二酸化炭素排出量原単位 : 0.464(kg-CO₂e/kWh)

{17,020.8(kWh)×70(%) + 17,020.8(kWh)×90(%) } × 0.464(kg-CO₂e/kWh) = 12,636.24(kg-CO₂)

..... ③-1

③-2 3坪プレハブ冷凍庫の冷媒ガス(R404A)漏洩

冷媒ガス(R404A)漏洩の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 冷媒ガス(R404A)漏洩の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 冷媒ガス(R404A)漏洩の重量(kg) : 0.31 (kg)

冷媒充填量 : 3.06kg

年間漏洩率 : 約10%

冷媒ガス(R404A) : 3,920(地球温暖化係数, GWP)

冷媒ガス(R404A)の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 3,920.00(kg-CO₂e/kg)

$M = 3.06(\text{kg}) \times 10(\%) \times 3,920.00(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) = 11,99.52(\text{kg-CO}_2)$ ③-2

③-3 冷凍機ユニット1の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 冷凍機ユニット1の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 冷凍機ユニット1の重量(kg) : 72.0 (kg)

冷凍機・温湿調整装置の二酸化炭素排出量原単位 : 3.71(kg-CO₂e/kg)

標準使用年数 : 7年

$M = \{72.0(\text{kg}) \times 3.71(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 7(\text{年}) = 38.16(\text{kg-CO}_2)$ ③-3

③-4 冷凍機ユニット2の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 冷凍機ユニット2の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 冷凍機ユニット2の重量(kg) : 80.0 (kg)

冷凍機・温湿調整装置の二酸化炭素排出量原単位 : 3.71(kg-CO₂e/kg)

標準使用年数 : 7年

$M = \{80.0(\text{kg}) \times 3.71(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 7(\text{年}) = 42.40(\text{kg-CO}_2)$ ③-4

③-5 断熱パネル

3坪プレハブ冷凍庫の外径は、W:3,600mm×H:2,460×D:2,700である。パネルは、表面がカラー鋼板と芯材が硬質ポリウレタンで構成されている。

メーカーカタログより

パネル寸法：1パネルあたり900mm×2,400mm

パネル厚：100mm

数量：22枚相当分(壁パネル，天井パネル，床パネル)

重量：15.6kg/m²

全パネル22枚の重量：{900(mm)×2,400(mm)×22(枚)} /1,000×15.6(kg/m²)=741.31(kg)

カラー鋼板の厚さ：0.8mm(両面分)

鉄比重：7.85

標準使用年数：7年

断熱パネル(カラー鋼板)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：カラー鋼板の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：カラー鋼板の重量(kg)：298.43(kg)

900(mm)×2,400(mm)×0.8(mm)×7.85×22(枚)=298.43kg

カラー鋼板の二酸化炭素排出量原単位：2.37(kg-CO₂e/kg)

$M = \{298.43(\text{kg}) \times 4.70(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 7(\text{年}) = 101.21(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3-5}$

③-6 硬質ポリウレタンの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，全パネル重量からカラー鋼板の重量を差し引いて算出する。

741.31(kg) - 298.43(kg) = 442.88(kg)

3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：硬質ポリウレタンの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：硬質ポリウレタンの重量(kg)：442.88(kg)

断熱パネル(硬質ポリウレタン)の二酸化炭素排出量原単位：4.12(kg-CO₂e/kg)

$M = \{442.88(\text{kg}) \times 4.12(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 7(\text{年}) = 260.67(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3-6}$

③-7 ジョイントスノコの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

数量：48枚(555g/枚，W:437mm×D:437mm×H:20mm)

樹脂の比重：1.19

3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：ジョイントスノコの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：ジョイントスノコの重量(kg)：31.70(kg)

48(枚)×555(g/枚)×1.19=31.70(kg)

ジョイントスノコの二酸化炭素排出量原単位：5.21(kg-CO₂e/kg)

$M = \{31.70(\text{kg}) \times 5.21(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 7(\text{年}) = 23.60(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3-7}$

③-8 樹脂ベースの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，重量の詳細が不明なため寸法より重量を計算して算出した。

数量：W: 38mm×H: 64mm×延べ長さ：28.8m

樹脂の比重：1.19

3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M : 樹脂ベースの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 樹脂ベースの重量(kg) : 83.35(kg)

38(mm)×64(mm)×28.8(m)×1.19=83.35 (kg)

樹脂ベースの二酸化炭素排出量原単位 : 5.21(kg-CO₂e/kg)

M = {83.35(kg)×5.21(kg-CO₂e/kg)} / 7(年) = 62.04(kg-CO₂) ③-8

種子貯蔵庫(3坪プレハブ冷凍庫)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

M = ③-1+③-2+③-3+③-4+③-5+③-6+③-7+③-8

=12,636.24+1,199.52+38.16+42.40+101.21+260.67+23.60+62.04

=14,363.83(kg-CO₂) ③

④ ライトバン(種子配布, 運搬)

2Lライトバンの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

P = (3,014.9 × w₁) / (a × t) × T

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 1.4(t)

a : 標準使用年数 : 8.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.8(h)

22(km)/40(km/h)×1(台)+50(km)/40(km/h)×1(台)=1.8(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

P = {3,014.9(kg-CO₂e/t)×1.4(t)} / {8.5(y)×760(h)} × 1.8(h) = 1.18(kg-CO₂)

2Lライトバンの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

D = (68.6 × w₁) / (a × t) × T

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 1.4(t)

a : 標準使用年数 : 8.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.8(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

D = {68.6(kg-CO₂e/t) × 1.4(t)} / {8.5(y) × 760(h)} × 1.8(h) = 0.03(kg-CO₂)

2Lライトバンの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = e × r × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 69.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.047(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 1.8(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)

C = 69.0(kW) × 0.047(L/kW-h) × 1.8(h) × 4.19(kg-CO₂e/L) = 24.46(kg-CO₂)

2Lライトバンの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 作業機械質量 : 1.4(t)

td : 運転日当たり運転時間: 4.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.8(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.4(\text{t}) \times 1.8(\text{h}) / 4.0\text{h} = 2.49(\text{kg-CO}_2)$$

ライトバン(種子配布, 運搬)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (1.18+0.03+24.46+2.49) = 28.16(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

ミニチュア採種園の球果採取・種子貯蔵及び種子の配布に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 108.03 + 16.08 + 14,363.83 + 28.16 = 14,516.10 (\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表75-3にミニチュア採種園の球果採取・種子貯蔵及び種子の配布に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この14,516.10 kg-CO₂は、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりの植付本数3,300本/haに換算すると3,684.86kg-CO₂/haとなった。

$$14,516.10 (\text{kg-CO}_2) / 13,000(\text{本}/10\text{a}) \times 3,300(\text{本}/\text{ha}) = 3,684.86(\text{kg-CO}_2/\text{ha})$$

ミニチュア採種園 (球果採種及び貯蔵・種子配布)	引用元	諸元	機材重量及び 資材重量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃費消費率 (L/kWh)	標準 使用年 数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	カンリン 消費量 (L)	電力消費量 (kWh)	機材製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機材の 減耗分 (kg-CO2)	機材廃棄時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	種別	備考
乾燥剤 種子貯蔵	図表80	シリカゲル 数量：8kg 3班タイプ貯蔵庫 温度設定：-5℃ 力率：70%/90% 消費電力： (1.6+2.34)kWh	8.00 kg						2.01							16.08	資材	
種子貯蔵庫 3班フレハブ冷凍庫	1)	冷凍ガス (R404A)漏洩 1),2), 図表80 1),47+1.59kg 年間漏洩率：約10% GWP：3.920 ³⁾	3.94 kWh 0.31 kg					6,912.00	0.46			27,233.28				12,636.24	稼働	
ト冷凍ガス (R404A)漏洩	1),2), 図表80	冷凍充填量： 1.47+1.59kg 年間漏洩率：約10% GWP：3.920 ³⁾	0.31 kg						3,920.00							1,199.52	資材	
ト冷凍ユニット1	1), 図表80	カタログ質量 標準使用年数：7年	72.00 kg				7.0		3.71							38.16	LCA	
ト冷凍ユニット2	1), 図表80	カタログ質量 標準使用年数：7年	80.00 kg				7.0		3.71							42.40	LCA	
ト硬質ポリウレタン 低温貯蔵庫 断熱パネル芯材	1),4),5),6) 図表80	パネル厚：100mm パネル：15.6kg/m ² 標準使用年数：7年	442.88 kg				7.0		4.12							260.67	LCA	
トカラー銅板 低温貯蔵庫 断熱パネル表面	1),4),5),6) 図表80	パネル厚：100mm 銅板厚：0.4mm パネル：15.6kg/m ² 標準使用年数：7年	298.43 kg				7.0		2.37							101.21	LCA	
トジョイントスノコ 低温貯蔵庫 床材	1),4),6), 図表80	スノコ： 437X437X20mm 555g/枚,48枚 標準使用年数：7年	31.70 kg				7.0		5.21							23.60	LCA	
ト樹脂ベース 低温貯蔵庫 床材	1),4),6), 図表80	断面：64mmX38mm 延べ長さ：28.8m 標準使用年数：7年	83.35 kg				7.0		5.21							62.04	LCA	
トトラック 40km/時走行 球果採種	図表78,81	30人/2名=15台 往復：36km 数量：36km×15回	0.69 t	760	37 G	0.047	9.0	13.50	3,014.90				4.11			4.11	製造	
トライトバン 40km/時走行 種子配布 (試験場～種苗組合)	図表78,81	往復：22km 数量：22km×1回	1.40 t	760	69 D	0.047	8.5	0.55	68.60				9.22			9.22	減耗	
トライトバン 40km/時走行 種子配布 (種苗組合～苗木生産者宅)	図表78,81	往復：50km 数量：50km×1回	1.40 t	760	69 D	0.047	8.5	1.25	4.19	1.78			0.01			0.01	減耗	
									3,014.90				0.82			0.82	製造	
									68.60				0.02			0.02	減耗	
									4.19	4.05						16.99	移動往復	
									合計：5.84	23.48	27,233.28	533.35	11.72	0.12		14,516.10		

(注)燃費消費率のDは軽油、Gはカンリン、Eは電力、Bは混合燃料
引用元
1).ホシザキ(株)「フレハブ冷凍庫3班」<https://www.hoshizaki.co.jp/p/prefab/> (2022年1月17日アクセス)
2). (一社)日本冷凍空調設備工業連合会編「ユーザーによる冷凍空調設備機器の維持管理について」『平成26年度経済産業省委託事業 業務用 冷凍空調設備機器の簡易点検説明会資料』p.15, <https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/1000163.pdf> (2022年1月28日アクセス)
3).経済産業省 オゾン層保護推進室、環境省 フロン削減推進課編(2016)『フロン削減推進法の概要』p.27, https://www.env.go.jp/earth/ozone/cfc/law/kaisei_h27/h28huronhougaiyou.pdf (2022年1月17日アクセス)
4).日軽/ネリスシステム(株)「断熱パネル」, 床材」<https://www.nikkeipanel.co.jp/data/catalog/general.pdf> <https://www.nikkeipanel.co.jp/product/insulation-panel/styrowall/> (2022年1月24日アクセス)
5).スタイロ加工(株)「断熱パネル」<https://styrokakoh.co.jp/product/insulation-panel/styrowall/> (2022年1月24日アクセス)
6).国務庁「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表1」<https://www.city.yokohama.lg.jp/zaisei/shizei/shizei/pdf/beppyou1-0all.pdf> (2018年3月19日アクセス)

図表75-3 ミニチュア採種園の球果採種及び貯蔵・種子配布に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

付録2-1-4. 苗木生産の苗畑耕耘及び施肥

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から⑫までの排出量の合計として求めている。

① トラクタ(50-60PS)とロータリ(耕耘・整地)

重量：トラクタ本体：2.14t, ロータリ：0.342t, 合計：2.48t

作業効率：40.0a/h

軽油消費量：10.0L/h

数量：10a

耕耘・整地：2回

トラクタとロータリの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.48(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：520(h)

T：実際の稼働時間：0.50(h)

$$10.0(a)/40.0(a/h) \times 2(\text{回}) = 0.50(h)$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_1 = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.48(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.50(\text{h}) = 0.63(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.48(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：520(h)

T：実際の稼働時間：0.50(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.48(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.50(\text{h}) = 0.01(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量：10L/h

T：実際の稼働時間：0.50(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 10(\text{L/h}) \times \{10(a)/40.0(a/h) \times 2(\text{回})\} \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 14.75(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：2.48(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.50(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

Od = 3.96(kg-CO₂e/t) × 2.48(t) × 0.50(h) / 6.3h = 0.78(kg-CO₂)

トラクタ(50-60PS)とロータリ(耕耘・整地)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

(P+D+C+Od) = (0.63+0.01+14.75+0.78) = 16.17 (kg-CO₂) ①

② トラクタ(50-60PS)とブロードキャスタ(苦土石灰散布・追肥散布)

重量 : トラクタ本体 : 2.14t, ブロードキャスタ : 0.13t, 合計 : 2.27t

作業効率 : 196.0a/h

軽油消費量 : 2.5L/h

数量 : 10a

苦土石灰散布・追肥散布 : 6回

トラクタとブロードキャスタの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.27(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.3(h)

$$10(a) / 196.0(a/h) \times 6(\text{回}) = 0.31(h)$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_1 = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.27(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.31(\text{h}) = 0.35(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとブロードキャスタの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.27(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.31(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.27(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.31(\text{h}) = 0.01(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとブロードキャスタの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = 軽油消費量 × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量 : 2.5L/h

T : 実際の稼働時間 : 0.31(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$$C = 2.5(\text{L/h}) \times \{10(\text{a})/196(\text{a/h}) \times 6(\text{回})\} \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 2.26(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとブロードキャストの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁: 作業機械質量: 2.27(t)

t_d: 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T: 実際の稼働時間: 0.31(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t・供用日): 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.27(\text{t}) \times 0.31(\text{h}) / 6.3\text{h} = 0.44(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタ(50-60PS)とブロードキャストの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.35+0.01+2.26+0.44) = 3.05 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ トラクタ(50-60PS)とマニユアスプレッダ(有機肥料散布)

重量: トラクタ本体: 2.14t, マニユアスプレッダ: 1.29t, 合計: 3.43t

作業効率: 107.5a/h

軽油消費量: 4.0L/h

数量: 10a

有機肥料散布: 1回

トラクタとマニユアスプレッダの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P: 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂e/t)

w₁: 作業機械質量: 3.43(t)

a: 標準使用年数: 11.5(y)

t: 年間標準運転時間: 520(h)

T: 実際の稼働時間: 0.09(h)

$$10(\text{a}) / 107.5(\text{a/h}) \times 6(\text{回}) = 0.09(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値: 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_i = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 3.43(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.09(\text{h}) = 0.16(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとマニユアスプレッダの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D: 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂e/t)

w₁: 作業機械質量: 3.43(t)

a: 標準使用年数: 11.5(y)

t: 年間標準運転時間: 520(h)

T: 実際の稼働時間: 0.09(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値: 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 3.43(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.09(\text{h}) = 0.004(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとマニユアスプレッダの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9

式より

$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$

$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2\text{)}$

軽油消費量：4.0L/h

T：実際の稼働時間：0.09(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95 (kg-CO₂e/L)

$C = 4.0(\text{L/h}) \times \{10(\text{a})/107.5(\text{a/h}) \times 6(\text{回})\} \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 1.10(\text{kg-CO}_2)$

トラクタとマニユアスプレッダの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$

w₁：作業機械質量：3.43(t)

td：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：0.09(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 3.43(\text{t}) \times 0.09(\text{h}) / 6.3\text{h} = 0.20(\text{kg-CO}_2)$

トラクタ(50-60PS)とマニユアスプレッダの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$(P+D+C+Od) = (0.16+0.004+1.10+0.20) = 1.46 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$

④ トラクタ(50-60PS)とロータリ(苦土石灰攪拌・有機肥料攪拌)

重量：トラクタ本体：2.14t, ロータリ：0.342t, 合計：2.48t

作業効率：40.0a/h

軽油消費量：10.0L/h

数量：10a

苦土石灰攪拌・有機肥料攪拌：2回

トラクタとロータリの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.48(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：520(h)

T：実際の稼働時間：0.50(h)

$10.0(\text{a})/40.0(\text{a/h}) \times 2(\text{回}) = 0.50(\text{h})$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$P_1 = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.48(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.50(\text{h}) = 0.63(\text{kg-CO}_2)$

トラクタとロータリの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.48(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.50(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.48(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.50(\text{h}) = 0.01(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = 軽油消費量 × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量 : 10L/h

T : 実際の稼働時間 : 0.50(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 10(\text{L/h}) \times \{10(\text{a}) / 40.0(\text{a/h}) \times 2(\text{回})\} \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 14.75(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.48(t)

t_d : 運転日当たり運転時間 : 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.50(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.48(\text{t}) \times 0.50(\text{h}) / 6.3\text{h} = 0.78(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタ(50-60PS)とロータリの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.63+0.01+14.75+0.78) = 16.17 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

⑤ トラクタ(50-60PS)の移動

重量 : トラクタ本体 : 2.14t

往復回数 : 13回

往復距離 : 1.0km(苗木生産者宅～苗畑)

走行速度 : 15km/h

トラクタの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.14(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.87 (h)

$$1.0 (\text{km}) / 15(\text{km/h}) \times 13(\text{回}) = 0.87(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.14(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.87(\text{h}) = 0.94(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.48(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.87 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.14 (\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.87 (\text{h}) = 0.02(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = e × r × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 39.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.120(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 0.87(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$$C = 39.0(\text{kW}) \times 0.120(\text{L/kW-h}) \times 0.87(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 11.97(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.14 (t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.87 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.14 (\text{t}) \times 0.87 (\text{h}) / 6.3\text{h} = 1.17(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタ(50-60PS)移動の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.94+0.02+11.97+1.17) = 14.09 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

⑥ トラクタ(50-60PS)とローダ(堆肥積込)

重量 : トラクタ本体 : 2.14t, ローダ : 0.387t, 合計 : 2.53t

作業効率 : 79.3a/h

軽油消費量 : 3.5L/h

数量 : 10a

堆肥積込 : 2回

トラクタとローダの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.53(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.25(h)

$$10 (\text{a}) / 79.3(\text{a/h}) \times 2(\text{回}) = 0.25(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_1 = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.53(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.25(\text{h}) = 0.32(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとローダの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.53(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：520(h)

T：実際の稼働時間：0.25(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.53(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.25(\text{h}) = 0.01(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとローダの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = 軽油消費量 × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量：3.5L/h

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 3.5(\text{L/h}) \times 0.25(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 2.58(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとローダの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：2.53(t)

t_d：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：0.25(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.53(\text{t}) \times 0.25(\text{h}) / 6.3\text{h} = 0.40(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタ(50-60PS)とローダの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.32+0.01+2.58+0.40) = 3.31(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

⑦ トラクタ(50-60PS)とマニュアルスプレッダ(移動)

重量：トラクタ本体：2.14t, マニュアルスプレッダ：1.29t, 合計：3.43t

軽油消費量：3.09km/L

往復回数：2回

往復距離：2.0km(堆肥舎～苗畑)

走行速度：15km/h

トラクタとマニュアルスプレッダの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：3.43(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.53(h)

$$2.0(\text{km})/15(\text{km/h}) \times 2(\text{回}) = 0.53(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_1 = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 3.43(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.53(\text{h}) = 0.92(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとマニュアルスプレッダの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 3.43(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.53(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 3.43(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 0.53(\text{h}) = 0.02(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとマニュアルスプレッダの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = 軽油消費量 × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量 : 3.09km/L

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 3.09(\text{km/L}) \times 0.53(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 6.91(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとマニュアルスプレッダの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 3.43(t)

t_d : 運転日当たり運転時間 : 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.53(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 3.43(\text{t}) \times 0.53(\text{h}) / 6.3\text{h} = 1.15(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタ(50-60PS)とマニュアルスプレッダの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.92+0.02+6.91+1.15) = 9.00 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

⑧ 基肥(有機肥料)牛糞の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M : 有機肥料の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 有機肥料の重量(kg) : 3,000(kg)

動物質肥料の二酸化炭素排出量原単位 : 0.32(kg-CO₂e/kg)

$$M = 3,000(\text{kg}) \times 0.32(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 960.0(\text{kg-CO}_2)$$

基肥(有機肥料)牛糞の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 960.0(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

⑨ 土壌消毒(土壌消毒剤)

土壌消毒剤は、整地後の床の面積700m²に30cm²あたりに6mLを深さ15cmに注入(1m³あたりに9箇所)する。土壌消毒剤を注入後、厚手のビニルシートで全面を被覆し10日間おく。

その後、被覆を外し7~10日間そのまま放置してガス抜きをする⁵。

ビニルシート(ポリエチレンフィルム)：使用年数2年⁵，0.05mm×6m×100m(ポリエチレン低密度，密度0.94未満のもの)

ポリエチレンフィルム重量：15kg×6枚=90kg

土壌消毒剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：土壌消毒剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：土壌消毒剤の量(L)：700(m²)×9(箇所)×6(mL)=37.8(L)

土壌消毒剤(農薬)の二酸化炭素排出量原単位：3.08(kg-CO₂e/kg)

$$M = 37.8(\text{L}) \times 3.08(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 116.42(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-1}$$

ポリエチレンフィルムの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：ポリエチレンフィルムの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：ポリエチレンフィルム重量(kg)：0.05mm×6m×50mで15kg/枚，15(kg)×6(枚)=90(kg)

ポリエチレン低密度，密度0.94未満の二酸化炭素排出量原単位：1.53(kg-CO₂e/kg)

使用年数：2年

$$M = 90(\text{kg}) \times 1.53(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / 2(\text{年}) = 68.85(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-2}$$

土壌消毒の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$\textcircled{9-1} + \textcircled{9-2} = 116.42 + 68.85 = 185.27 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

⑩ 土壌改良材(苦土石灰)

土壌改良材(苦土石灰)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)：15(kg/袋)×4(袋)=60(kg)

苦土石灰の二酸化炭素排出量原単位：1.21(kg-CO₂e/kg)

$$M = 60(\text{kg}) \times 1.21(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 72.60(\text{kg-CO}_2)$$

土壌改良材(苦土石灰)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 72.60(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

⑪ 化学肥料(追肥)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)
w₂ : 建設資材の重量(kg) : 20(kg/袋)×4(袋)×5(回)=400(kg)
化学肥料の二酸化炭素排出量原単位 : 1.65(kg-CO₂e/kg)
M = 400(kg)×1.65(kg-CO₂e/kg)=660.0(kg-CO₂)

化学肥料(追肥)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 660.0(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

⑫ ⑨⑩⑪の運搬車両2tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)
w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)
a : 標準使用年数 : 12.0(y)
t : 年間標準運転時間 : 710(h)
T : 実際の稼働時間 : 1.5(h)
3-12式より, T = d / 40
d : 農協～苗木生産者宅の距離 : 20(km) ×3(回)
平均走行速度 : 40(km/h)
T = {20(km)/40(km/h)}×3(回)=1.5(h)
図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)
P = {3,014.9(kg-CO₂e/t)×2.5(t)} / {12.0(y)×710(h)}×1.5(h)=1.33(kg-CO₂)

運搬車両2tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)
w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)
a : 標準使用年数 : 12.0(y)
t : 年間標準運転時間 : 710(h)
T : 実際の稼働時間 : 1.5(h)
図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)
D = {68.6(kg-CO₂e/t)×2.5(t)} / {12.0(y)×710(h)}×1.5(h)=0.03(kg-CO₂)

運搬車両2tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)
e : 機関出力(t) : 98.0(kW)
r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)
T : 実際の稼働時間 : 1.5(h)
燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)
C = 98.0(kW)×0.043(L/kW-h)×1.0(h)×4.19(kg-CO₂e/L)=26.48(kg-CO₂)

運搬車両2tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

td : 運転日当たり運転時間: 5.8(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.5(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96

$$Od=3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t})\times 2.5(\text{t})\times 1.5(\text{h})/5.8(\text{h})=2.56(\text{kg-CO}_2)$$

有機肥料(基肥)の運搬車両2tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od)=(1.33+0.03+26.48+2.56)=30.40(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

苗木生産の苗畑耕耘及び施肥に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\begin{aligned} \textcircled{1}+\textcircled{2}+\textcircled{3}+\textcircled{4}+\textcircled{5}+\textcircled{6}+\textcircled{7}+\textcircled{8}+\textcircled{9}+\textcircled{10}+\textcircled{11}+\textcircled{12} &=16.17+3.05+1.46+16.17+14.09+3.31+9.00+960.0+ \\ &185.27 +194.40+608.00+30.40 \\ &=1,971.53(\text{kg-CO}_2) \end{aligned}$$

以下の図表75-4-1～2に苗木生産の苗畑耕耘及び施肥に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この1,971.53 kg-CO₂は、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりの植付本数3,300本/haに換算すると500.46kg-CO₂/haとなった。

$$1,971.53 (\text{kg-CO}_2) / 13,000(\text{本}/10\text{a}) \times 3,300(\text{本}/\text{ha}) = 500.46 (\text{kg-CO}_2)$$

苗木生産の苗畑耕耘及び施肥	引用元	諸元	機械重量及び資材重量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年 数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	種別	備考
トラクタ (50-60PS) +ロータリ 耕耘・整地	図表78,81	ロータリ：342kg 作業効率：40.0a/h 軽油：10L/h 数量：10a×2回	2.48 t	520	39	D	11.5	0.50	3,014.90	5.00		0.63			0.63	製造	
									2.95					14.75	稼働		
トラクタ (50-60PS) +プロード キャスタ 苦土石灰散布、追肥散布	図表78,81	プロードキャスタ：130kg 作業効率：196a/h 軽油：2.5L/h 数量：10a×(1+5)回	2.27 t	520	39	D	11.5	0.31	3,014.90	0.77		0.35			0.35	製造	
									2.95					2.26	稼働		
トラクタ (50-60PS) +マニユア スプレッタ 有機肥料散布	図表78,81	マニユアスプレッタ：1.29t 作業効率：107.5a/h 軽油：4L/h 数量：10a×1回	3.43 t	520	39	D	11.5	0.09	3,014.90			0.16			0.16	製造	
									2.95	0.37				1.10	稼働		
トラクタ (50-60PS) +ロータリ 苦土石灰攪拌、有機肥料攪拌	図表78,81	ロータリ：342kg 作業効率：40a/h 軽油：10L/h 数量：10a×2回	2.48 t	520	39	D	11.5	0.50	3,014.90	5.00		0.63			0.63	製造	
									2.95					14.75	稼働		
トラクタ (50-60PS) 上記移動 (自走) 苗木生産者宅→苗畑	図表78,81	数量：往復1km×13回	2.14 t	520	39	D	11.5	0.87	3,014.90			0.94			0.94	製造	
									68.60					1.17	減耗		
トラクタ (50-60PS) +ロータリ 堆肥積込	図表78,81	ロータリ：387kg 作業効率：79.3a/h 軽油：3.5L/h 数量：10a×2回	2.53 t	520	39	D	11.5	0.25	3,014.90	2.03		0.32			0.32	製造	
									2.95	0.88				2.58	稼働		
									68.60				0.40		0.40	減耗	
												0.01			0.01	稼働	

図表75-4-1 苗木生産の苗畑耕耘及び施肥に係る二酸化炭素排出量の算出表1/2

出典：筆者作成。

苗木生産の苗畑耕耘及び施肥	引用元	種元	機械重量及び資材重量	年間標準運転時間 (h)	機関出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準使用年数 (y)	稼働時間 (h)	CO2排出量原単位 (kg-CO2/単位)	軽油消費量 (L)	ガソリン消費量 (L)	機械駆動時に係る使用分 (kg-CO2)	機械の消耗分 (kg-CO2)	機械作業時に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	種別	備考	
トラクタ (50-60PS)+マニユアスプレッダ	図表78,81	軽油：3.09L/h 数量：往復2km×2回	3.43 t	520	39	D	11.5	0.53	3,014.90			0.92	1.15		0.92	製造		
上記移動・運搬 (自走)									68.60					0.02	1.15	減耗		
堆肥舎～苗畑								0.27	4.19	0.82					0.02	0.02	廃棄	
土壤消毒								0.27	4.19	0.82					3.45	移動往路		
土壤消毒剤															3.45	移動往路		
化学肥料																		
追肥																		
上記運搬車両 2tトラック												0.44						
土壤消毒剤、追肥 (化学肥料)								0.50	3,014.90				0.85		0.44	製造		
上記移動 (自走)									68.60						0.85	減耗		
土壤消毒								0.25	4.19	1.05					0.01	0.01	廃棄	
ピルシート (0.05mm×6mx50mx6枚)								0.25	4.19	1.05					4.41	搬入往路		
化学肥料 (苦土石灰)									4.19	1.05					4.41	移動往路		
土壤改良																		
上記運搬車両 2tトラック																		
化学肥料 (苦土石灰)									1.53									
上記移動 (自走)									1.21									
基肥 (有機肥料) 牛ふん																		
(注)燃料消費率のDは軽油、Eはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。																		
引用元																		
合計：			3000.00 kg							24.04	0.00	5.27	7.47	0.12	960.00			

1) 三井化学アグロ(株)「土壤消毒剤」https://www.mitsui-agro.com/assets/pdf/products/chirashi/5250_%E3%83%81%E3%83%A9%E3%82%B7_%E3%83%89%E3%83%AD%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%83%BC%E3%83%81%E3%83%AB%E3%83%81%E3%83%A9%E3%82%B7.pdf(2014年10月15日アクセス)

図表75-4-2 苗木生産の苗畑耕耘及び施肥に係る二酸化炭素排出量の算出表2/2

出典：筆者作成。

付録2-1-5. 苗木生産の管理及び農薬散布

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から⑩までの排出量の合計として求めている。

① トラクタ(50-60PS)とロータリ(床替作業・根切り作業)

重量：トラクタ本体：2.14t, ロータリ：0.342t, 合計：2.48t

作業効率：40.0a/h

軽油消費量：10.0L/h

数量：10a

床替作業(耕耘)・根切り作業：10回

トラクタとロータリの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.48(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：520(h)

T：実際の稼働時間：2.50(h)

$$10.0(a)/40.0(a/h) \times 10(\text{回}) = 2.50(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_1 = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.48(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 2.50(\text{h}) = 3.13(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.48(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：520(h)

T：実際の稼働時間：2.50(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.48(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 2.50(\text{h}) = 0.07(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量：10L/h

T：実際の稼働時間：2.50(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 10(\text{L/h}) \times 2.50(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 73.75(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：2.48(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.50(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od=3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t})\times 2.48(\text{t})\times 2.50(\text{h})/6.3\text{h}=3.90(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタ(50-60PS)とロータリ二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od)=(3.13+0.07+73.75+3.90)=80.85 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② トラクタ(50-60PS)とブームスプレイヤ(除草剤・病虫害防除剤散布)

重量 : トラクタ本体 : 2.14t, ブームスプレイヤ : 0.15t, 合計 : 2.29t

作業効率 : 129.8a/h

軽油消費量 : 3.5L/h

数量 : 10a

除草剤散布・病虫害防除剤散布 : 13回

トラクタとブームスプレイヤの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.29(t)

a : 標準使用年数 : 11.5 (y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.00(h)

$$10(a)/129.8(a/h)\times 13(\text{回})=1.00(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_1=\{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t})\times 2.29(\text{t})\}/\{11.5(\text{y})\times 520(\text{h})\}\times 1.00(\text{h})=1.16(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとブームスプレイヤの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.29(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.00(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t})\times 2.29(\text{t})\}/\{11.5(\text{y})\times 520(\text{h})\}\times 1.00(\text{h})=0.03(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとブームスプレイヤの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量 : 3.5L/h

T : 実際の稼働時間 : 1.00(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 3.5(\text{L/h}) \times 1.00(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 10.34(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとブームスプレイヤの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.29(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.00(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.29(\text{t}) \times 1.00(\text{h}) / 6.3\text{h} = 1.44(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタ (50-60PS)とブームスプレイヤの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (1.16+0.03+10.34+1.44) = 12.97 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ トラクタ(50-60PS)移動

重量 : トラクタ本体 : 2.14t

軽油消費量 : 3.09km/L

数量 : 10a

往復回数 : 23回

往復距離 : 1.0km(苗木生産者宅～苗畑)

走行速度 : 15km/h

トラクタとロータリの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.14(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.53(h)

$$1.0(\text{km}) / 15(\text{km/h}) \times 23(\text{回}) = 1.53(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_i = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.14(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 1.53(\text{h}) = 1.65(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.14(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 520(h)

T : 実際の稼働時間 : 1.53 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.14(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 520(\text{h})\} \times 1.53(\text{h}) = 0.04(\text{kg-CO}_2)$$

トラクタとロータリの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

軽油消費量：3.09km/L

T：実際の稼働時間：1.53 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19(kg-CO₂e/L)

$C = 3.09(\text{km/L}) \times 1.53 (\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 19.85(\text{kg-CO}_2)$

トラクタとロータリの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$

w₁：作業機械質量：2.14(t)

td：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：1.53(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.14 (\text{t}) \times 1.53(\text{h}) / 6.3\text{h} = 2.06(\text{kg-CO}_2)$

トラクタ(50-60PS)とロータリの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$(P+D+C+Od) = (1.65+0.04+19.85+2.06) = 23.61 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$

④ 除草剤散布

除草剤：0.5Lの原液を10aあたり水100Lで希釈する

散布回数：6月及び8月の2回/年、合計6回

運搬：土壌消毒剤に含める

使用水道水量：10 aあたり100L(0.10m³)を散布

除草剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$

M：除草剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：除草剤の重量(kg)：0.5(kg)×6(回)=3.00(kg)

除草剤の二酸化炭素排出量原単位：5.86(kg-CO₂e/kg)

$M = 3.00(\text{kg}) \times 5.86(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 17.58(\text{kg-CO}_2)$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$

M：水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水道水の重量(m³)：0.10(m³)×6(回)=0.60(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位：0.36(kg-CO₂e/m³)

$M = 0.60(\text{m}^3) \times 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e/m}^3) = 0.22(\text{kg-CO}_2)$

除草剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$M = 17.58+0.22=17.80(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$

⑤ 病虫害防除剤散布

病虫害防除剤：0.18Lの原液を10aあたり水180Lで希釈する
 散布回数：6月～8月，合計8回
 使用水道水量：10 aあたり180L(0.18m³)を散布

病虫害防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：病虫害防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：病虫害防除剤の重量(kg)：0.18(L)×8(回)=1.44(kg)

病虫害防除剤(農薬)の二酸化炭素排出量原単位：3.08(kg-CO₂e/kg)

$$M = 1.44(\text{kg}) \times 3.08(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 4.44(\text{kg-CO}_2)$$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水道水の重量(m³)：0.18(m³)×8(回)=1.44(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位：0.36(kg-CO₂e/m³)

$$M = 1.44(\text{m}^3) \times 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e/m}^3) = 0.52(\text{kg-CO}_2)$$

病虫害防除剤散布の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は，以下となる。

$$M = 4.44 + 0.52 = 4.95(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

⑥ ④⑤の運搬車両2tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.5(t)

a：標準使用年数：12.0(y)

t：年間標準運転時間：710(h)

T：実際の稼働時間：0.5(h)

$$3-12\text{式より， } T = d / 40$$

d：農協～苗木生産者宅の距離：20(km)×1(回)

平均走行速度：40(km/h)

$$T = \{20(\text{km}) / 40(\text{km/h})\} \times 1(\text{回}) = 0.5(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t})\} / \{12.0(\text{y}) \times 710(\text{h})\} \times 0.5(\text{h}) = 0.44(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.5(t)

a：標準使用年数：12.0(y)

t：年間標準運転時間：710(h)

T：実際の稼働時間：0.5(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t})\} / 12.0(\text{y}) \times 710(\text{h}) \times 1.5(\text{h}) = 0.01(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

$$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2)$$

$$e : \text{機関出力(t)} : 98.0(\text{kW})$$

$$r : \text{燃料消費率} : 0.043(\text{L/kW-h})$$

$$T : \text{実際の稼働時間} : 0.5(\text{h})$$

$$\text{燃料消費量の二酸化炭素排出量} : 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L})$$

$$C = 98.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 0.5(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 8.83(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

$$w_1 : \text{作業機械質量} : 2.5(\text{t})$$

$$t_d : \text{運転日当たり運転時間} : 5.8(\text{h})$$

$$T : \text{実際の稼働時間} : 0.5(\text{h})$$

$$\text{作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO}_2\text{/t} \cdot \text{供用日)} : 3.96$$

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t}) \times 0.5(\text{h}) / 5.8(\text{h}) = 0.85(\text{kg-CO}_2)$$

除草剤及び病害虫防除剤の運搬車両2tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.44+0.01+8.83+0.85) = 10.13(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

⑦ 寒冷紗

重量：巾1.8m×長さ50m，重量：6.1kg，ポリエステル製

使用年数：6年

数量：10aあたり14枚を使用

運搬：土壌消毒剤に含める。

寒冷紗の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

$$M : \text{寒冷紗の二酸化炭素排出量(kg-CO}_2)$$

$$w_2 : \text{寒冷紗の重量(kg)} : 6.1(\text{kg}) \times 14(\text{枚}) = 85.40(\text{kg})$$

$$\text{ポリエステルの二酸化炭素排出量原単位} : 4.29(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})$$

$$M = \{85.40(\text{kg}) \times 4.29(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 6(\text{年}) = 61.06(\text{kg-CO}_2)$$

寒冷紗の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$M = 61.06(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

⑧ かん水

かん水量は、4月及び5月と6月の平均降水量との差を補うことで、水量を計算した。

また、スギ苗木は、3年間育苗するので3回のかん水を行う。

群馬県沼田市地域の平均降水量は、以下のとおりである。

(引用元：気象庁WEBサイト， <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/mdrr/index.html>)

4月：68.3mm

5月：93.4mm

6月：130.7mm

7月：167.6mm

8月：165.0mm

9月：165.5mm

6月降水量から4月降水量を差引：130.7(mm) - 68.3(mm)=62.4(mm)

6月降水量から5月降水量を差引：130.7(mm) - 93.4(mm)}=37.3(mm)

4月及び5月の合計：62.4(mm)+37.3(mm)=99.7(mm)=0.0997(m)

面積10aの降水量(m³)：0.0997(m)×1,000(m³)=99.7(m³)

かん水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：かん水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：かん水の重量(m³)：99.7(m³)×3(回)=299.1(m³)

かん水の二酸化炭素排出量原単位：0.135 (kg-CO₂e/m³)

$M = 299.1(m^3) \times 0.135(kg-CO_2e/m^3) = 40.38(kg-CO_2)$

寒冷紗の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は，以下となる。

$M = 40.38(kg-CO_2)$ ⑧

⑨ 軽トラック(越冬作業)

軽トラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-5式より

$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.69(t)

a：標準使用年数：9.0(y)

t：年間標準運転時間：760(h)

T：実際の稼働時間：0.08(h)

3-12式より， $T = d / 40$

d：苗木生産者宅～苗畑の往復距離：1.0(km)

$T = \{1.0(km) / 40(km/h)\} \times 3(回) = 0.08(h)$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$P = \{3,014.9(kg-CO_2e/t) \times 0.69(t)\} / \{9.0(y) \times 760(h)\} \times 0.08(h) = 0.02(kg-CO_2)$

軽トラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-6式より

$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.69(t)

a：標準使用年数：9.0(y)

t：年間標準運転時間：760(h)

T：実際の稼働時間：0.08(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.69(\text{t})\} / 9.0(\text{y}) \times 760(\text{h}) \times 0.08(\text{h}) = 0.001(\text{kg-CO}_2)$$

軽トラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

$$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2)$$

e：機関出力(t)：37.0(kW)

r：燃料消費率：0.047(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：1.0(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量(ガソリン)：4.03(kg-CO₂e/L)

$$C = 37.0(\text{kW}) \times 0.047(\text{L/kW-h}) \times 0.08(\text{h}) \times 4.03(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 0.53(\text{kg-CO}_2)$$

軽トラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：0.69(t)

t_d：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：0.08(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.69(\text{t}) \times 0.08(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 0.05(\text{kg-CO}_2)$$

越冬作業の移動車両軽トラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.02+0.001+0.53+0.05) = 0.60(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

⑩ 山行苗木の梱包・運搬

山行苗木の運搬車両2tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.5(t)

a：標準使用年数：12.0(y)

t：年間標準運転時間：710(h)

T：実際の稼働時間：4.60(h)

3-12式より、T = d / 40

d：苗畑～森林組合の往復距離60(km)，森林組合～植付現地の往復距離32(km)

$$T = \{60(\text{km}) + 32(\text{km})\} / 40(\text{km/h}) \times 1(\text{回}) = 4.60(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t})\} / \{12.0(\text{y}) \times 710(\text{h})\} \times 4.60(\text{h}) = 4.07(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.5(t)

a：標準使用年数：12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 710(h)

T : 実際の稼働時間 : 4.60(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t})\} / 12.0(\text{y}) \times 710(\text{h}) \times 4.60(\text{h}) = 0.09(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 98.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 4.60(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)

$$C = 98.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 4.60(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 81.22(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

t_d : 運転日当たり運転時間 : 5.8(h)

T : 実際の稼働時間 : 4.60(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t}) \times 4.60(\text{h}) / 5.8(\text{h}) = 7.85(\text{kg-CO}_2)$$

山行苗木の運搬車両2tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (4.07+0.09+81.22+7.85) = 93.23(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

苗木生産の管理及び農薬散布に係る二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{6} + \textcircled{7} + \textcircled{8} + \textcircled{9} + \textcircled{10} =$$

$$80.85 + 12.97 + 23.61 + 17.80 + 4.95 + 10.13 + 61.06 + 40.38 + 0.60 + 93.23 = 345.58(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表75-5に苗木生産の管理及び農薬散布に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この345.58kg-CO₂は、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりの植付本数3,300本/haに換算すると87.72kg-CO₂/haとなった。

$$345.58(\text{kg-CO}_2) / 13,000(\text{本/10a}) \times 3,300(\text{本/ha}) = 87.72(\text{kg-CO}_2/\text{ha})$$

苗木生産の管理及び農薬散布	引用元	請元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	燃油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
トラクタ (50-60PS) + ローター 床替作業 (耕耘)、根切り作業	図表78,81	ロータリ: 342kg 作業効率: 40.0a/h 軽油: 10L/h 数量: 10a×(4+6)回	2.48 t	520	39	D	11.5	2.50	2.95	25.00		3.13			3.13	製造
トラクタ (50-60PS) + ブームスプレイヤ 除草剤散布	図表78,81	ブームスプレイヤ: 150kg 作業効率: 129.8a/h 軽油: 3.5L/h 数量: 10a×13回	2.29 t	520	39	D	11.5	1.00	2.95	3.51		1.16	1.44		10.34	稼働
トラクタ (50-60PS) 上記移動 (自走) 苗木生産者宅へ苗畑 除草剤	図表78,81	軽油: 3.09L/h 数量: 往復1km×23回	2.14 t	520	39	D	11.5	1.53	68.60			1.65		0.03	1.65	製造
病害虫防除剤	図表80	0.5L/100L 数量: 0.5L/10a×6回	3.00 kg						3.08						17.58	資材
上記運搬車両 2tトラック 除草剤・病害虫防除剤	図表78,81	2t積 往復: 20km (農協へ生産者宅)	1.44 kg	710	98	D	12.0	0.50	68.60	2.37		0.44	0.85	0.01	0.04	廃棄
上記移動 (自走) 寒冷紗 黒1.8m×50m(6.1kg) かん水 (畑地かん水設備)	図表80	ホリエステル製 数量: 14枚/10a 電力等 数量: 99.7m3/10a×3回	2.50 t	710	98	D	12.0	0.25	4.19	1.05					9.93	移動往路
水道 除草剤	図表80	100L/回 数量: 100L/10a×6回	0.60 m3				6.0	0.25	4.19	1.05					9.93	移動往路
水道 病害虫防除剤	図表80	180L/回 数量: 180L/10a×8回	1.44 m3						0.36						0.22	資材
軽トラック 40km/h走行 越冬作業 生産者宅へ苗畑	図表78,81	往復: 1km 数量: 1km×3回	0.69 t	760	37	G	9.0	0.08	3.014.90			0.02	0.05		0.02	製造
山行苗木 苗畑へ森林組合へ種付現地 上記移動 (自走)	図表78,81	2t積 苗畑へ森林組合の往復距離 60 (km) 森林組合へ種付現地の往復 距離32 (km)	2.50 t	710	98	D	12.0	4.60	68.60				7.85	0.09	7.85	廃棄
(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは引用元								2.30	4.19	9.69					40.61	搬入往路
								2.30	4.19	9.69					40.61	移動往路
									合計: 54.73	合計: 54.73	合計: 0.13	合計: 10.47	合計: 16.16	合計: 0.24	合計: 345.58	

図表75-5 苗木生産の管理及び農薬散布に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典: 筆者作成。

1). (株) コメリ 「寒冷紗」 https://www.komeri.com/disp/CkmsfGoodsPageMain_001.jsp?GOODS_NO=198282(2022年1月24日アクセス)

付録2-1-6. 苗木の貯蔵

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から③までの排出量の合計として求めている。

① 苗木貯蔵庫(低温貯蔵庫)

温度設定：1℃

消費電力：15.3kWh

冷凍庫の稼働についての二酸化炭素排出量は次式で算出する。

冷凍庫の稼働についての二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

=年間消費電力量(kWh)×冷凍機運転率(%)×二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kWh)

庫内温度1℃設定の場合

冷却ユニットの定格消費電力(入力)：15.3(kW)

年間の時間換算：

平均70%：24(h)×30(d)×5(ヶ月)=3,600(h) 12月～4月

平均90%：24(h)×30(d)×3(ヶ月)=2,160(h) 5月～7月

12月～4月の消費電力量：15.3(kW)×3,600(h)×70(%)=38,556.0(kWh)

5月～7月の消費電力量：15.3(kW)×2,160(h)×90(%)=29,743.2(kWh)

電力の二酸化炭素排出量原単位：0.464(kg-CO₂e/kWh)

{38,556.0(kWh)+29,743.2(kWh)}×0.464(kg-CO₂e/kWh)=31,690.83(kg-CO₂) ①-1

30坪プレハブ冷凍庫

冷媒ガス(R404A)漏洩の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：冷媒ガス(R404A)漏洩の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：冷媒ガス(R404A)漏洩の重量(kg)

冷媒充填量：22.1kg

冷媒ガス(R404A)：3,920(地球温暖化係数, GWP)

冷媒ガス(R404A)の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：3,920.00(kg-CO₂e/kg) GWP：3,920

$M = 22.1(\text{kg}) \times 10(\%) \times 8/12(\text{ヶ月}) \times 3,920.00(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) = 5,775.47(\text{kg-CO}_2)$ ①-2

コンデンシングユニットの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：コンデンシングユニットの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：コンデンシングユニットの重量(kg)：540.00(kg)

冷凍機・温湿調整装置の二酸化炭素排出量原単位：3.71(kg-CO₂e/kg)

標準使用年数：7年

$M = \{540.00(\text{kg}) \times 3.71(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 7(\text{年}) \times 8/12(\text{ヶ月}) = 190.80(\text{kg-CO}_2)$ ①-3

ユニットクーラの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : ユニットクーラの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : ユニットクーラの重量(kg) : 76.80(kg)

冷凍機・温湿調整装置の二酸化炭素排出量原単位 : 3.71(kg-CO₂e/kg)

標準使用年数 : 7年

$$M = \{105.00 \text{ (kg)} \times 3.71 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)}\} / 7 \text{ (年)} \times 8 / 12 \text{ (ヶ月)} = 27.14 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{1-4}$$

断熱パネル(硬質ポリウレタン)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 断熱パネル(硬質ポリウレタン)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 断熱パネル(硬質ポリウレタン)の重量(kg) : 6.37(kg)

数量 : 293.94m²(7.2kg/m²)

$$293.94 \text{ (m}^2\text{)} \times 7.2 \text{ (kg/m}^2\text{)} = 6.37 \text{ (kg)}$$

断熱パネル(硬質ポリウレタン)の二酸化炭素排出量原単位 : 4.12(kg-CO₂e/kg)

標準使用年数 : 7年

パネル厚 : 50mm

材質 : 硬質ポリウレタン

$$M = \{6.37 \text{ (kg)} \times 4.12 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)}\} / 7 \text{ (年)} \times 8 / 12 \text{ (ヶ月)} = 830.12 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{1-5}$$

断熱パネル(アルミ板)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 断熱パネル(アルミ板)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 断熱パネル(アルミ板)の重量(kg) : 3,662.49 (kg)

数量 : 1.8m×0.9m×16枚, 2.4m×0.9m×12枚

アルミ板の二酸化炭素排出量原単位 : 4.70 (kg-CO₂e/kg)

標準使用年数 : 7年

パネル厚 : 75mm

材質 : アルミ板

数量 : 293.94m²(12.46kg/m²)

$$293.94 \text{ (m}^2\text{)} \times 12.46 \text{ (kg/m}^2\text{)} = 3,662.49 \text{ (kg)}$$

$$M = \{3,662.49 \text{ (kg)} \times 4.70 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)}\} / 7 \text{ (年)} \times 8 / 12 \text{ (ヶ月)} = 1,639.40 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{1-6}$$

苗木貯蔵庫(低温貯蔵庫)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$M = \textcircled{1-1} + \textcircled{1-2} + \textcircled{1-3} + \textcircled{1-4} + \textcircled{1-5} + \textcircled{1-6}$$

$$= 31,690.83 + 5,775.47 + 190.80 + 27.14 + 830.42 + 1,639.40 = 40,154.06 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 貯蔵用段ボールの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 貯蔵用段ボールの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 貯蔵用段ボール重量(kg) : 470mm×340mm×330mmで1(kg/箱), 50 (本/箱)

$$13,000 \text{ (本)} / 50 \text{ (本/箱)} = 260 \text{ (箱)}, 260 \text{ (箱)} \times 1 \text{ (kg/箱)} = 260 \text{ (kg)}$$

段ボールの二酸化炭素排出量原単位 : 1.45(kg-CO₂e/kg)

$$M = 260 \text{ (kg)} \times 1.45 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)} = 377.00 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 貯蔵用ビニル袋の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : 塩化ビニル樹脂の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 塩化ビニル樹脂重量(kg) : 0.02mm×60cm×100cmで24g/袋, 50(本/袋)

13,000(本)/50(本/袋)=260(袋), 260(袋)×0.024(g/袋)=6.24(kg)

塩化ビニル樹脂の二酸化炭素排出量原単位 : 0.97(kg-CO₂e/kg)

$$M = 6.24(\text{kg}) \times 0.97(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 6.05(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

苗木の貯蔵の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$M = \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3}$$

$$= 40,154.06 + 377.00 + 6.05 = 40,537.11(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表75-6に苗木の貯蔵に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この40,537.11kg-CO₂は、山行苗木最終成立本数を13,000本/10aあたりの排出量である。1haあたりの植付本数3,300本/haに換算すると10,290.19kg-CO₂/haとなった。

$$40,537.11(\text{kg-CO}_2) / 13,000(\text{本}/10\text{a}) \times 3,300(\text{本}/\text{ha}) = 10,290.19(\text{kg-CO}_2/\text{ha})$$

苗木の貯蔵 苗木低温貯蔵庫 (30坪)	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年 数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	電力消費量 (kWh)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考						
																種別						
苗木貯蔵庫 低温貯蔵庫 1)		30坪倉庫タイプ貯蔵庫 8.5ヶ月 温度設定: 1℃ 力率: 82% 消費電力: 15.3kWh				E 15.30		5,760.00	0.464		68,299.20				31,690.83		稼働					
ト冷媒ガス (R404A)漏洩 1),2)		冷媒充填量: 22.1kg 年間漏洩率: 約10% GWP: 3,920	2.21 kg						3,920.00						5,775.47		資材					
トコンデンシングユニット 1),4),図表80		カタログ質量	540.00 kg				7.0		3.71						190.80		LCA					
トユニットクーラ 1),4),図表80		カタログ質量	76.80 kg				7.0		3.71						27.14		LCA					
ト硬質ポリウレタン 3),4),図表80		パネル厚: 50mm 数量: 293.94m ³	2,116.37 kg				7.0		4.12						830.42		LCA					
ト断熱パネル 3),4),図表80		パネル厚: 50mm 数量: 293.94m ³	3,662.49 kg				7.0		4.70						1,639.40		LCA					
低温貯蔵庫 断熱パネル 3),4),図表80		470×340×330mmで 1(kg/箱), 50 (本/箱)	260.00 kg						1.45						377.00		LCA					
貯蔵用段ボール 3),4),図表80		0.02mm×60cm× 100cmで24g/袋, 50 (本/袋)	6.24 kg						0.97						6.05		LCA					
貯蔵用ビニル袋																						
合計:															0.00	68,299.20	0.00	0.00	0.00	40,537.11		

(注)燃料消費率のDは軽油、Eはガソリン、Fは混合燃料。

引用元

1)三菱電機(株)三菱電機冷熱相談センター、問い合わせ(2014年10月15日)

三菱重工サーマルシステムズ(株)「冷蔵冷凍ユニット」<https://www.mhi-mth.co.jp/techdoc/index.php?mode=member&type=preview&id=338782>(2014年10月15日アクセス)

三菱重工冷熱(株)「冷蔵冷凍ユニット」<https://ssl.mhi-air.co.jp/app/catalog/?contentsNumber=2388&mode=download>(2014年10月15日アクセス)

2)環境省・経済産業省(2016)「サブライゼーションを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン(ver.2.3)」p.1-9,https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/GuideLine_ver2.3.pdf(2019年6月27日アクセス)

3)日軽(パネルシステム(株)「断熱(パネル)」<https://www.nikkeipanel.co.jp/data/catalog/general.pdf>,<https://www.nikkeipanel.co.jp/data/catalog/npsunoko.pdf>(2022年1月24日アクセス)

4)国税庁「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表」<https://www.city.yokohama.lg.jp/zaisei/shizei/pdf/beppyou1-0all.pdf> (2018年3月19日アクセス)

図表75-6 苗木の貯蔵に係る二酸化炭素排出量の算出表

出典:筆者作成。

付録2-1-7. コンテナ苗

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から③までの排出量の合計として求めている。

① マルチキャビティコンテナ(JFA-150)

重量：440g⁵/コンテナ，縦：30cm×横：45cm×高さ：13cm，40穴×150cc

材質：プラスチック製(黒)

数量：84 コンテナ(3,300本/haの苗木生産するため必要な数として設定)

使用年数：10年(1回の生育に2年，ライフサイクル5回の使用数として設定)

マルチキャビティコンテナの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：プラスチック製品の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 ：プラスチック製品重量(kg)：440(g)×84(コンテナ)=36.96(kg)

プラスチック製品の二酸化炭素排出量原単位：2.31(kg-CO₂e/kg)

$M = 36.96(\text{kg}) \times 2.31(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 17.11(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$

② 培土

培土：31L(コンテナ4個分)

ココナツハスク：80%，31(L)×80(%) / 4(コンテナ)=6.2(L/コンテナ)

6.2(L/コンテナ)×84(コンテナ)=520.80(L)

重量：28kg/袋，復元時：約180L

520.80(L) / 180(L/袋)=2.89(袋) (約3袋とする。)

28(kg/袋)×3(袋)=84(kg)

鹿沼土：20%，31(L)×20(%) / 4(コンテナ)=1.55(L/コンテナ)

1.55(L/コンテナ)×84(コンテナ)=136.40(L)

水道水(培土混合用)：10L(コンテナ4個分)

培土のココナツハスク及び鹿沼土は、カーボンニュートラルのため除外する。………②

③ 基肥・追肥(粒剤)

基肥・追肥(粒剤)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：基肥・追肥(粒剤)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 ：基肥・追肥(粒剤)の重量(kg)：29.30kg

31(L) / 4(コンテナ) × 84(コンテナ) = 651(L)，31L(コンテナ4個分)

651(L) × 5(g) = 3.255(kg)，培土1Lあたり5g

3.255(kg) × 9(回) = 29.30(kg)，施肥回数合計：9回⁵

高度化成肥料の二酸化炭素排出量原単位：1.65(kg-CO₂e/kg)

$M = 29.30(\text{kg}) \times 1.65(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 48.34(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$

④ 水道水(培土混合用)

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 水道水の重量(m³) : 210.0(L)

10(L) / 4(コンテナ) × 84(コンテナ) = 210.0(L)

水道水の二酸化炭素排出量原単位 : 0.36(kg-CO₂e/m³)

M = 210.0(m³) × 0.36(kg-CO₂e/m³) = 75.60(kg-CO₂) ④

⑤ 培土の締固め(コンテナを半分にして締固め用具として利用)

重量 : 440g/コンテナの半分, 220g/コンテナ

材質 : プラスチック製(黒)

数量 : 1 コンテナ

使用年数 : 10年

培土の締固め(用具)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M : プラスチック製品の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : プラスチック製品重量(kg) : 0.22(kg)

440(g) × 2 = 0.22(kg)

プラスチック製品の二酸化炭素排出量原単位 : 2.31(kg-CO₂e/kg)

M = 0.22(kg) × 2.31(kg-CO₂e/kg) / {10(年) / 2(年)} = 0.20(kg-CO₂) ⑤

⑥ ①②③④⑤の運搬車両2tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-5式より

P = (3,014.9 × w₁) / (a × t) × T

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

a : 標準使用年数 : 12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 710(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.5(h)

3-12式より, T = d / 40

d : 農協～苗木生産者宅の往復距離 : 20 (km) × 1(回)

T = {20(km) / 40(km/h)} × 1(回) = 0.5(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

P = {3,014.9(kg-CO₂e/t) × 2.5(t)} / {12.0(y) × 710(h)} × 0.5(h) = 0.44(kg-CO₂)

運搬車両2tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-6式より

D = (68.6 × w₁) / (a × t) × T

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

a : 標準使用年数 : 12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 710(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.5(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

D = {68.6(kg-CO₂e/t) × 2.5(t)} / {12.0(y) × 710(h)} × 0.5(h) = 0.01(kg-CO₂)

運搬車両2tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-9式より

$C = e \times r \times T \times$ 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

$C =$ 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 98.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 0.5(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)

$C = 98.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 0.5(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 8.83(\text{kg-CO}_2)$

運搬車両2tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$

w_1 : 作業機械質量 : 2.5(t)

td : 運転日当たり運転時間: 5.8(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.5(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96

$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t}) \times 0.5(\text{h}) / 5.8(\text{h}) = 0.85(\text{kg-CO}_2)$

①②③④⑤の運搬車両2tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$(P+D+C+Od) = (0.44+0.01+8.83+0.85) = 10.13(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{6}$

⑦ 培土攪拌機(培土を均一に混合する機械)

重量 : 170.0kg

主要材質 : 鉄

数量 : 1台

使用年数 : 8年

稼働については、電力消費量が不明なため無視し、LCA及び使用年数より算出する。

培土攪拌機の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 培土攪拌機の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 : 培土攪拌機の製品重量(kg) : 170.0kg

農業用機械の二酸化炭素排出量原単位 : 3.15(kg-CO₂e/kg)

$M = 170.0(\text{kg}) \times 3.15(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / 8(\text{年}) = 66.94(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{7}$

⑧ 圧入機(手動)

重量 : 50.0kg

主要材質 : アルミニウム

数量 : 1台

使用年数 : 8年

圧入機の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 圧入機の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 : 圧入機の製品重量(kg) : 50.0kg

農業用機械の二酸化炭素排出量原単位：3.15(kg-CO₂e/kg)

$$M = 50.0(\text{kg}) \times 3.15(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / 8(\text{年}) = 19.69(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

⑨ ビニルハウス(育苗施設)と設備

⑨-1 水中ポンプ

重量：4.8kg

使用年数：10年

水中ポンプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：水中ポンプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水中ポンプの製品重量(kg)：4.8kg

ポンプ及び圧縮機の二酸化炭素排出量原単位：3.02(kg-CO₂e/kg)

$$M = 4.8(\text{kg}) \times 3.02(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 2.90(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-1}$$

⑨-2 ポリエチレンパイプ

重量：0.173kg/m，外径：25mm

材質：高密度ポリエチレン，0.173kg/m

数量：計76m

$$0.173(\text{kg/m}) \times 76(\text{m}) = 13.1\text{kg}$$

使用年数：10年

ポリエチレンパイプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：ポリエチレンパイプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：ポリエチレンパイプの製品重量(kg)：13.1kg

高密度ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位：1.33(kg-CO₂e/kg)

$$M = 13.1(\text{kg}) \times 1.33(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 3.50(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-2}$$

⑨-3 ディスクフィルター

重量：300.0g/個

材質：ポリエステル製

数量：2基

$$300.0(\text{g/個}) \times 2(\text{基}) = 0.6\text{kg}$$

使用年数：10年

ディスクフィルターの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：ディスクフィルターの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：ディスクフィルターの製品重量(kg)：0.6kg

ポリエステルの二酸化炭素排出量原単位：4.29(kg-CO₂e/kg)

$$M = 0.6(\text{kg}) \times 4.29(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 0.51(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-3}$$

⑨-4 電源コード(1,200W用)

重量：70g/m

数量：20m

$$70(\text{g/m}) \times 20(\text{m}) = 1.4\text{kg}$$

使用年数：5年

電源コードの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：電源コードの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：電源コードの製品重量(kg)：0.6kg

電線・ケーブルの二酸化炭素排出量原単位：3.32(kg-CO₂e/kg)

$$M = 0.6(\text{kg}) \times 3.32(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 5(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 1.86(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-4}$$

⑨-5 ローリータンク

重量：44.4kg/基(1,000L用)

材質：ポリエチレン製

数量：1基

使用年数：10年

ローリータンクの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：ローリータンクの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：ローリータンクの製品重量(kg)：44.4kg

ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位：1.33(kg-CO₂e/kg)

$$M = 44.4(\text{kg}) \times 1.33(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 11.81(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-5}$$

⑨-6 自動水位探知器

重量：0.1kg/基

材質：ABS樹脂

数量：1基

使用年数：10年

自動水位探知器の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：自動水位探知器の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：自動水位探知器の製品重量(kg)：0.1kg

ABS樹脂の二酸化炭素排出量原単位：2.56(kg-CO₂e/kg)

$$M = 0.1(\text{kg}) \times 2.56(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 0.03(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-6}$$

⑨-7 タイマー

重量：0.2kg/個

数量：1個

使用年数：10年

タイマーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：タイマーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：タイマーの製品重量(kg)：0.2kg

その他の一般機械器具及び部品の二酸化炭素排出量原単位：2.95(kg-CO₂e/kg)

$$M = 0.2(\text{kg}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 0.11(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-7}$$

⑨-8 エルボ

重量：0.7kg/個

材質：溶融亜鉛メッキ鋼材

数量：6 個

使用年数：10 年

エルボの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：エルボの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：エルボの製品重量(kg)：0.7(kg)×6(個)=4.2(kg)

溶融亜鉛メッキ鋼材の二酸化炭素排出量原単位：0.97(kg-CO₂e/kg)

$M = 4.2(kg) \times 0.97(kg-CO_2e/kg) / \{ 10(年) / 2(年) \} = 0.81(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-8}$

⑨-9 チーズ

重量：1.1kg/個

材質：溶融亜鉛メッキ鋼材

数量：5 個

使用年数：10 年

チーズの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：チーズの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：チーズの製品重量(kg)：1.1(kg)×5(個)=5.5(kg)

溶融亜鉛メッキ鋼材の二酸化炭素排出量原単位：0.97(kg-CO₂e/kg)

$M = 5.5(kg) \times 0.97(kg-CO_2e/kg) / \{ 10(年) / 2(年) \} = 1.07(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-9}$

⑨-10 止水栓

重量：0.209kg/個

材質：黄銅

数量：3 個

使用年数：10 年

止水栓の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：止水栓の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：止水栓の製品重量(kg)：0.209(kg)×3(個)=0.6(kg)

鋳鋼の二酸化炭素排出量原単位：6.71(kg-CO₂e/kg)

$M = 0.6(kg) \times 6.71(kg-CO_2e/kg) / \{ 10(年) / 2(年) \} = 0.84(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-10}$

⑨-11 フラッシングバルブ

重量：18.1g/個

材質：ポリエチレン製

数量：4 個

使用年数：10 年

フラッシングバルブの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : フラッシングバルブの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : フラッシングバルブの製品重量(kg) : 0.0181(kg)×4(個)=0.07(kg)

ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位 : 1.33(kg-CO₂e/kg)

$M = 0.07(kg) \times 1.33(kg-CO_2e/kg) / \{ 10(年) / 2(年) \} = 0.02(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-11}$

⑨-12 単管パイプ

重量 : 2.08kg/m

材質 : 足場用単管パイプ(金属製)

数量 : 直径 48.6mm×2m×4 本, 直径 48.6mm×4m×2 本

使用年数 : 14 年

単管パイプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 単管パイプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 単管パイプの製品重量(kg) : 2.08(kg)×{2(m)×4(本)+ 4(m)×2(本)}=33.3(kg)

足場・朝顔・登り棧橋 (金属製) の二酸化炭素排出量原単位 : 2.37(kg-CO₂e/kg)

$M = 33.3(kg) \times 2.37(kg-CO_2e/kg) / \{ 14(年) / 2(年) \} = 11.28(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-12}$

⑨-13 結束バンド

重量 : 0.78g/本

材質 : ナイロン製, L=142mm

数量 : 90 本

使用年数 : 10 年

結束バンドの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 結束バンドの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 結束バンドの製品重量(kg) : 0.78(g)/1,000×{40(本) +50(本)}=0.07(kg)

ナイロン66塩(63%)の二酸化炭素排出量原単位 : 7.58(kg-CO₂e/kg)

$M = 0.07(kg) \times 7.58(kg-CO_2e/kg) / \{ 10(年) / 2(年) \} = 0.11(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-13}$

⑨-14 SK カップ(T 型)

重量 : 0.3kg/個

材質 : ナイロン製

数量 : 4 個

使用年数 : 10 年

SK カップの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : SK カップの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : SKカップの製品重量(kg) : 0.3(kg)×4(個) =1.2(kg)

ナイロン66塩(63%)の二酸化炭素排出量原単位 : 7.58(kg-CO₂e/kg)

$M = 1.2(kg) \times 7.58(kg-CO_2e/kg) / \{ 10(年) / 2(年) \} = 1.82(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-14}$

⑨-15 井戸用ポンプ

重量：14.1kg/台

数量：2 台

使用年数：10 年

水中ポンプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：水中ポンプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水中ポンプの製品重量(kg)：13.0(kg) ×2(台)=26.0(kg)

ポンプ及び圧縮機の二酸化炭素排出量原単位：3.02(kg-CO₂e/kg)

$M = 26.0(\text{kg}) \times 3.02(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 15.71(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-15$

⑨-16 ビニルハウスのスチール部材一式

84 コンテナが収容できる 5.7m×10m の 17 坪の規模を想定して算出

スチール部材一式：アーチ，直管，接続部材他

重量：252.7kg

材質：鋼材

数量：1 式

使用年数：10 年

スチール部材一式の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：スチール部材一式の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：スチール部材一式の製品重量(kg)：252.7(kg)

鋼材【工場制作物の材料】の二酸化炭素排出量原単位：1.17(kg-CO₂e/kg)

$M = 252.7(\text{kg}) \times 1.17(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 59.22(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-16$

⑨-17 ビニルシート

重量：厚み×幅 m×長さ m

天ビニル：0.1mm×7.5m×14.5m×1 枚

側ビニル：0.1mm×1.85m×33m×1 枚

扉ビニル：0.1mm×2.0m×1.3m×2 枚

合計：23.2kg

材質：低密度ポリエチレン

数量：1 式

使用年数：2 年

ビニルシートの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：ビニルシートの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：ビニルシートの製品重量(kg)：23.2kg

低密度ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位：1.53(kg-CO₂e/kg)

$M = 23.2(\text{kg}) \times 1.53(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 2(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 35.50(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-17$

⑨-18 ハンガー用スプリンクラー

重量：99.8g/個

主要材質：鋳造

数量：8 個

使用年数：10 年

ハンガー用スプリンクラーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：ハンガー用スプリンクラーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：ハンガー用スプリンクラーの製品重量(kg)：99.8(g)/1,000×8(個)=0.8(kg)

鋳鋼の二酸化炭素排出量原単位：6.71(kg-CO₂e/kg)

$M=0.8(\text{kg}) \times 6.71(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 1.07(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-18}$

⑨-19 スプリンクラー止水栓(フラッシングバルブ同等として算出)

重量：18.1g/個

材質：ポリエチレン製

数量：8 個

使用年数：10 年

スプリンクラー止水栓の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：スプリンクラー止水栓の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：スプリンクラー止水栓の製品重量(kg)：0.0181(kg)×8(個)=0.15(kg)

ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位：1.33(kg-CO₂e/kg)

$M=0.15(\text{kg}) \times 1.33(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 0.04(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-19}$

⑨-20 直管 (育苗ベンチ, A40)

重量：2.45kg/本

材質：溶融亜鉛メッキ鋼材

数量：直径 19mm×5.5m×8 本

使用年数：14 年

スチール，直管の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：スチール，直管の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：スチール，直管の製品重量(kg)：2.08(kg)×8(本)=19.6(kg)

溶融亜鉛メッキ鋼材の二酸化炭素排出量原単位：0.97(kg-CO₂e/kg)

$M=19.6(\text{kg}) \times 0.97(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 14(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 2.72(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9-20}$

⑨-21 単管パイプ

重量：2.08kg/m

材質：足場用単管パイプ(溶融亜鉛メッキ鋼材)

数量：直径 48.6mm×1m×42 本，直径 48.6mm×4m×4 本，直径 48.6mm×3m×4 本，

直径 48.6mm×2m×18 本

使用年数：14 年

単管パイプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：単管パイプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 単管パイプの製品重量(kg) :

$$2.08(\text{kg}) \times \{1(\text{m}) \times 42(\text{本}) + 4(\text{m}) \times 4(\text{本}) + 2(\text{m}) \times 18(\text{本})\} = 220.5(\text{kg})$$

溶融亜鉛メッキ鋼材の二酸化炭素排出量原単位 : 0.97 (kg-CO₂e/kg)

$$M = 220.5(\text{kg}) \times 0.97 (\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 14(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 30.55(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-21$$

⑨-22 クランプ(ジョイント)

重量 : 0.7kg/個

材質 : 金属製

数量 : 6 個

使用年数 : 14 年

クランプ(ジョイント)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : クランプ(ジョイント)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

$$w_2 : \text{クランプ(ジョイント)の製品重量(kg)} : 0.7(\text{kg/個}) \times 6(\text{個}) = 4.2(\text{kg})$$

足場・朝顔・登り栈橋(金属製)の二酸化炭素排出量原単位 : 2.37(kg-CO₂e/kg)

$$M = 4.2(\text{kg}) \times 2.37(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 14(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 1.42(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-22$$

⑨-23 クランプ

重量 : 0.7kg/個

材質 : 金属製

数量 : 36 個

使用年数 : 14 年

クランプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : クランプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

$$w_2 : \text{クランプの製品重量(kg)} : 0.7(\text{kg/個}) \times 36(\text{個}) = 25.2(\text{kg})$$

足場・朝顔・登り栈橋(金属製)の二酸化炭素排出量原単位 : 2.37(kg-CO₂e/kg)

$$M = 25.2(\text{kg}) \times 2.37(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 14(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 8.54(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-23$$

⑨-24 単管パイプキャップ

重量 : 20.0g/個, 直径 48.6mm 用

材質 : 高密度ポリエチレン

数量 : 88 個

使用年数 : 10 年

ポリエチレンパイプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : ポリエチレンパイプの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

$$w_2 : \text{ポリエチレンパイプの製品重量(kg)} : 20.0(\text{g}) / 1,000 \times 88(\text{個}) = 1.8(\text{kg})$$

高密度ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位 : 1.33(kg-CO₂e/kg)

$$M = 1.8 (\text{kg}) \times 1.33(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 10(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 0.47(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-24$$

⑨-25 鉄筋(育苗ベンチ)

重量 : 995.0g/m, 直径 13mm×5.5m

材質：普通鋼小棒

数量：12本

使用年数：6年

鉄筋の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：鉄筋の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 ：鉄筋の製品重量(kg)：995.0(g)/1,000×5.5(m)×12(本)=65.7(kg)

普通鋼小棒の二酸化炭素排出量原単位：0.82(kg-CO₂e/kg)

$M = 65.7(\text{kg}) \times 0.82(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 6(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 17.88(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-25$

⑨-26 マイカ線(ハウス押えベルト)

重量：5.5g/m(巾：10mm)

材質：高密度ポリエチレン

数量：54m

使用年数：6年

マイカ線の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：マイカ線の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 ：マイカ線の製品重量(kg)：5.5(g)/1,000×54(m)=0.3(kg)

高密度ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位：1.33(kg-CO₂e/kg)

$M = 0.3(\text{kg}) \times 1.33(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 6(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 0.13(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-26$

⑨-27 寒冷紗

重量：6.1kg/枚，巾1.8m×長さ50m，ポリエステル製

使用年数：6年

数量：巾1.8m×長さ60m

寒冷紗の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：寒冷紗の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 ：寒冷紗の重量(kg)：6.1(kg) / 50(m)×60(m) = 7.32(kg)

ポリエステルの二酸化炭素排出量原単位：4.29(kg-CO₂e/kg)

$M = 7.32(\text{kg}) \times 4.29(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 6(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 10.47(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-27$

⑨-28 カラー針金 #16

重量：10.05g/m

材質：普通鋼小棒

数量：16m

使用年数：6年

カラー針金の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：カラー針金の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w_2 ：カラー針金の製品重量(kg)：10.05(g)/1,000×16(m) = 0.2(kg)

普通鋼小棒の二酸化炭素排出量原単位：0.82(kg-CO₂e/kg)

$$M = 0.2(\text{kg}) \times 0.82(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / \{ 6(\text{年}) / 2(\text{年}) \} = 0.04(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}-28$$

ビニルハウス(育苗施設)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$\begin{aligned} M &= \textcircled{9}-1 + \textcircled{9}-2 + \textcircled{9}-3 + \textcircled{9}-4 + \textcircled{9}-5 + \textcircled{9}-6 + \textcircled{9}-7 + \textcircled{9}-8 + \textcircled{9}-9 + \textcircled{9}-10 + \textcircled{9}-11 + \textcircled{9}-12 + \textcircled{9}-13 + \textcircled{9}-14 + \textcircled{9}-15 + \\ &\textcircled{9}-16 + \textcircled{9}-17 + \textcircled{9}-18 + \textcircled{9}-19 + \textcircled{9}-20 + \textcircled{9}-21 + \textcircled{9}-22 + \textcircled{9}-23 + \textcircled{9}-24 + \textcircled{9}-25 + \textcircled{9}-26 + \textcircled{9}-27 + \textcircled{9}-28 \\ &= 2.90 + 3.50 + 0.51 + 1.86 + 11.81 + 0.03 + 0.11 + 0.81 + 1.07 + 0.84 + 0.02 + 11.28 + 0.11 + 1.82 + 15.71 + \\ &59.22 + 35.50 + 1.07 + 0.04 + 2.72 + 30.55 + 1.42 + 8.54 + 0.47 + 17.88 + 0.13 + 10.47 + 0.04 \\ &= 220.45(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9} \end{aligned}$$

⑩ 病虫害防除剤散布

病虫害防除剤500倍液をコンテナ散布面12m²に3.0L/m²の溶液を散布

$$12(\text{m}^2) \times 3.0(\text{L/m}^2) / 500 = 72\text{mL}$$

散布回数：9回

使用水道水量：36L

病虫害防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：病虫害防除剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：病虫害防除剤の重量(kg)：72(mL)/1,000×9(回)=0.65(kg)

病虫害防除剤(農薬)の二酸化炭素排出量原単位：3.08(kg-CO₂e/kg)

$$M = 0.65(\text{kg}) \times 3.08(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 2.00(\text{kg-CO}_2)$$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：水道水の重量(m³)：0.036(m³)×9(回)=0.32(m³)

水道水の二酸化炭素排出量原単位：0.36(kg-CO₂e/m³)

$$M = 0.32(\text{m}^3) \times 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e/m}^3) = 0.12(\text{kg-CO}_2)$$

病虫害防除剤散布の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$M = 2.00 + 0.12 = 2.11(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

⑪ 薬剤散布機(背負式)0.5kW級相当

重量：5.5kg

作業効率：2L/min(吐出量)

燃料：混合油(50：1)

病虫害防除剤：9回

薬剤散布機(背負式)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.0055(t)

a：標準使用年数：9.5(y)

t：年間標準運転時間：250(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.70(h)

$$36 \text{ (L)} / 2 \text{ (L/min)} / 60 \text{ (min)} \times 9 \text{ (回)} = 2.70 \text{ (h)}$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = 3,014.9 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 0.0055 \text{ (t)} / 9.5 \text{ (y)} \times 250 \text{ (h)} \times 2.70 \text{ (h)} = 0.02 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

薬剤散布機(背負式)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 0.0084(t)

a : 標準使用年数 : 9.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 250(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.70(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = 68.6 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 0.0055 \text{ (t)} / 9.5 \text{ (y)} \times 250 \text{ (h)} \times 2.70 \text{ (h)} = 0.0004 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

薬剤散布機(背負式)の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

混合油50 : 1(ガソリン : オイル)の二酸化炭素排出量原単位 : 2.85(kg-CO₂e/L)

e : 機関出力(t) : 0.5(kW)

r : 燃料消費率 : 0.266(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 2.70(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.85(kg-CO₂e/L)

$$C = 0.5 \text{ (kW)} \times 0.266 \text{ (L/kW-h)} \times 2.70 \text{ (h)} \times 2.85 \text{ (kg-CO}_2\text{e/L)} = 1.02 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

薬剤散布機(背負式)の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 建設機械質量 : 0.0055 (t)

td : 運転日当たり運転時間 : 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.70(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 0.0055 \text{ (t)} \times 2.70 \text{ (h)} / 5.0 \text{ (h)} = 0.01 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

薬剤散布機(背負式)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (0.02+0.0004+1.02+0.01) = 1.05 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

⑫ 運搬車両2tトラック(資材・農薬等の運搬)

運搬車両2tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

a : 標準使用年数 : 12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 710(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.50(h)

3-5式より, $T = d / 40$

d : 農協～苗木生産者宅の往復距離20(km)

$T = 20(\text{km}) / 40(\text{km/h}) \times 5(\text{回}) = 2.50(\text{h})$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t})\} / \{12.0(\text{y}) \times 710(\text{h})\} \times 2.50(\text{h}) = 2.21(\text{kg-CO}_2)$

運搬車両2tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-6式より

$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

a : 標準使用年数 : 12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 710(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.50(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t})\} / \{12.0(\text{y}) \times 710(\text{h})\} \times 2.50(\text{h}) = 0.05(\text{kg-CO}_2)$

運搬車両2tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-9式より

$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 98.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 2.50(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19(kg-CO₂e/L)

$C = 98.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 2.50(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 44.14(\text{kg-CO}_2)$

運搬車両2tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$

w₁ : 作業機械質量 : 2.5(t)

td : 運転日当たり運転時間 : 5.8(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.50(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.5(\text{t}) \times 2.50(\text{h}) / 5.8(\text{h}) = 4.27(\text{kg-CO}_2)$

山行苗木の運搬車両2tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は, 以下となる。

$(P+D+C+Od) = (2.21+0.05+44.14+4.27) = 50.67(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{12}$

⑬ かん水(畑地かん水設備)

ヒアリング調査⁵より, 2年間毎日自動散水装置によりかん水を行い, 夏場(7月～9月)は2回散水する。

4月～6月, 10月～3月(273d) : 10min/d

7月～9月(92d) : 10min/d×2回

自動散水装置散水量 : 2L/min

自動散水装置数量：8台

かん水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：かん水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：かん水の重量(m³)：146.24(m³)

$$\{273(\text{d}) \times 2(\text{L}/\text{min}) \times 10(\text{min}/\text{d}) + 92(\text{d}) \times 2(\text{L}/\text{min}) \times 10(\text{min}/\text{d}) \\ \times 2(\text{回})\} \times 2(\text{年}) = 146,240(\text{L}) = 146.24(\text{m}^3)$$

かん水の二酸化炭素排出量原単位：0.135 (kg-CO₂e/m³)

$$M = 146.24(\text{m}^3) \times 0.135(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3) = 18.40(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{13}$$

コンテナ苗に係る二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$M = \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{6} + \textcircled{7} + \textcircled{8} + \textcircled{9} + \textcircled{10} + \textcircled{11} + \textcircled{12} + \textcircled{13} \\ = 17.11 + 0 + 48.34 + 75.60 + 0.20 + 10.13 + 66.94 + 19.69 + 220.45 + 2.11 + 1.05 + 50.67 + 18.40 \\ = 530.69(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表75-7-1～4に苗木の貯蔵に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この530.69kg-CO₂は、1haあたりの植付本数3,300本/haあたりの排出量である。

コンテナ苗 植付本数：3,300本の生産として設 定	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	稼働 回数 (回)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	カンリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械廃棄時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
																	種別	
ト ディスクフィルター	6),7),図表80	AR301 300g/個、ポリエチレン製 数量：1+1基 70g/m ² 、1200W 数量：20m	0.6 kg				10.0	5回	10.0	4.29						0.51	LCA	
ト 電源コード	6),図表80	1000L、ポリエチレン製 44.4kg/基 数量：1基	1.4 kg				5.0	2.5回	5.0	3.32						1.86	LCA	
ト ローリータンク	6),8),図表80	数量：1基	44.4 kg				10.0	5回	10.0	1.33						11.81	LCA	
ト 自動水位検知器	6),9),図表80	数量：1基、ABS製	0.1 kg				10.0	5回	10.0	2.56						0.03	LCA	
ト タイマー	6),10),図表80	TB23K 数量：1個	0.2 kg				10.0	5回	10.0	2.95						0.11	LCA	
ト エルボ	6),11),図表80	0.7kg/個、溶融亜鉛メッキ 数量：2+4個	4.2 kg				10.0	5回	10.0	0.97						0.81	LCA	
ト チーズ	6),11),図表80	1.1kg/個、溶融亜鉛メッキ 数量：5個	5.5 kg				10.0	5回	10.0	0.97						1.07	LCA	
ト 止水栓	6),12),図表80	209g/個、黄銅 数量：1+2個	0.6 kg				10.0	5回	10.0	6.71						0.84	LCA	
ト フラッシングバルブ	6),12),図表80	18.1g/個、ポリエチレン製 数量：2+2個	0.1 kg				10.0	5回	10.0	1.33						0.02	LCA	
ト 単管パイプ (足場用)	6),13),図表80	直径：48.6mm 数量：2mm4本、4mm2本	33.3 kg				14.0	7回	14.0	2.37						11.28	LCA	
ト 結束バンド	6),14),図表80	0.78g/本、ナイロン製、L:142mm 数量：40+50本	0.1 kg				10.0	5回	10.0	7.58						0.11	資材	
ト SKカップ	6),15),図表80	T型、300g/個、ナイロン製 数量：4個	1.2 kg				10.0	5回	10.0	7.58						1.82	LCA	
ト 井戸用ポンプ	6),16),図表80	WT-P125W、13kg/台 数量：2台	26.0 kg				10.0	5回	10.0	3.02						15.71	LCA	
ト ヒニルハウス (5.7x10m,17坪)	6),17),図表80	スチール部材一式：アーチ、直管、 接線部材他 数量：252.7kg 天ヒニル： 0.1mmx7.4mx14.5mx1枚 側ヒニル： 0.1mmx1.85mx33mx1枚 原ヒニル： 0.1mmx2.0mx1.3mx2枚 数量：1式	252.7 kg				10.0	5回	10.0	1.17						59.22	資材	
ト ヒニルハウス部材 (ヒニルシート)	6),17),図表80		23.2 kg				2.0	1回	2.0	1.53						35.50	資材	

図表75-7-2 コンテナ苗に係る二酸化炭素排出量の算出表2/4

出典：筆者作成。

コンテナ苗 植付本数：3,300本の生産として設 定	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械作業時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
																種別	
ト ハンガー用スプリングロー	6),17)図表80	99.8g/個、鋳造 数量：8個	0.8 kg				10.0	5回	6.71						1.07	LCA	
ト スプリングロー止水栓 (フラスコング) (L/L同等)	6),12)図表80	18.1g/個、ポリエチレン製 数量：8個	0.1 kg				10.0	5回	1.33						0.04	LCA	
ト 育苗ベンチ (直管) (溶融亜鉛メッキ鋼材)	6),18)図表80	2.45kg/本 数量：19φx5.5m,8本	19.6 kg				14.0	7回	0.97						2.72	資材	
ト 育苗ベンチ (単管パイプ) (溶融亜鉛メッキ鋼材)	6),13)図表80	直径：48.6mm、2.08kg/m 数量：1m x 42本, 4m x 4本, 3m x 4 本, 2m x 18本	220.5 kg				14.0	7回	0.97						30.55	資材	
ト 育苗ベンチ、クランプ (ジョイント)	6),13)図表80	直径：48.6mm用、0.7kg/個 数量：6個	4.2 kg				14.0	7回	2.37						1.42	資材	
ト 育苗ベンチ、クランプ	6),13)図表80	直径：48.6mm用、0.7kg/個 数量：36個	25.2 kg				14.0	7回	2.37						8.54	資材	
ト 育苗ベンチ、単管パイプキャップ	6),18)図表80	直径：48.6mm用、20g/個、高密度 ポリエチレン 数量：88個	1.8 kg				10.0	5回	1.33						0.47	資材	
ト 育苗ベンチ、鉄筋	6),19)図表80	13φx5.5m、0.995kg/m 数量：12本	65.7 kg				6.0	3回	0.82						17.88	資材	
ト マイカ線 (ハウス押スヘルト)	6),18)図表80	巾：10mm、5.5g/m ポリエチレン製 数量：54m	0.3 kg				6.0	3回	1.33						0.13	資材	
ト 寒冷紗 黒1.8m x 50m (6.1kg)	6),18)図表80	ポリエチレン製 数量：1.8m x 60m	7.32 kg				6.0	3回	4.29						10.47	資材	
ト カラー針金 #16	6),18)図表80	10g/m 数量：16m	0.2 kg				6.0	3回	0.82						0.04	資材	
ト 農薬 (病虫害防除)	図表80	500倍液、コンテナ面・12m2 散布量：3L/m2として設定 数量：72mL x 9回	0.65 kg						3.08						2.00	資材	
ト 上記運搬車両 2トトラック	図表78,81	2t積 往復：20km (農協～生産者宅)	2.50 t	710	98	0.043	12.0	2.50	3,014.90			2.21	4.27		2.21	製造	
ト 上記移動 (自走)	図表80	36L/回 数量：36L x 9回	0.32 m3													4.27	減耗
ト 水道 病害虫防除	図表80															0.05	搬入仕掛
																22.07	移動距離
																22.07	移動距離
																0.12	資材

図表75-7-3 コンテナ苗に係る二酸化炭素排出量の算出表3/4

出典：筆者作成。

付録2-2. 育林・丸太生産プロセス

付録2-2-1. 地拵え

このセクションにおける排出量は、次に述べる①の排出量の合計として求めている。

①刈払い機(肩掛け式, カッタ径255mm)の

使用燃料: 混合油25:1(ガソリン:オイル)

質量: 5.5kg

歩掛: 20人/ha⁶, 1.5h/d⁶

刈払い機の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P: 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁: 作業機械質量: 0.0055 (t)

a: 標準使用年数: 5 (y)

t: 年間標準運転時間: 140.0 (h)

T: 実際の稼働時間: 20(人)×1.5(h)=30.0(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値: 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = 3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) / 5(\text{y}) \times 140(\text{h}) \times 30.0(\text{h}) = 0.71(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D: 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁: 作業機械質量: 0.0055 (t)

a: 標準使用年数: 5(y)

t: 年間標準運転時間: 140.0 (h)

T: 実際の稼働時間: 30.0(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値: 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = 68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) / 5(\text{y}) \times 140(\text{h}) \times 30.0(\text{h}) = 0.02(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C: 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

混合油25:1(ガソリン:オイル)については、ガソリン1Lに対してオイル0.04Lであるので、(ガソリンの二酸化炭素排出量原単位)+(オイルの二酸化炭素排出量原単位)=2.87(kg-CO₂e/L)となる。

ガソリンの二酸化炭素排出量原単位: 2.84(kg-CO₂e/kg)

オイルの二酸化炭素排出量原単位: 0.64(kg-CO₂e/kg)

混合油25:1(ガソリン:オイル)の二酸化炭素排出量原単位

$$2.84(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + \{0.64(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) \times 0.04\} = 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L})$$

e: 機関出力(t): 1.3(kW)

r: 燃料消費率: 0.581(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 30.0 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.87(kg-CO₂e/L)

$$C = 1.3(\text{kW}) \times 0.581(\text{L/kW-h}) \times 30.0(\text{h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 65.03(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は, 3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 0.0055 (t)

t : 年間標準運転時間 : 140 (h)

T : 実際の稼働時間 : 30.0 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) \times 30.0(\text{h}) / 140(\text{h}) = 0.33(\text{kg-CO}_2)$$

地拵えに係わる二酸化炭素排出量合計は, 以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.71+0.02+65.03+0.33) = 66.08(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

以下の図表76-1に地拵えに係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この66.08kg-CO₂は, 1haあたりの排出量である。

地 域 名	引用元	諸 元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW- h)	標準 使用年 数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単 位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	種別	備考		
地 枵 え 作 業 (全1回) 刈払い機・肩掛け式カッター径255mm	1) 図表78.81	混合油25:1 ガソリン：オイル 20人/ha 1.5h/dとする 質量：5.5kg 数量：1ha	0.01 t	140	1.3	G 0.581	5.0	30.0	3,014.90			0.71			0.71	製造			
									2.87					22.66			65.03	稼働	
											0.33						0.33	減耗	
									68.60								0.02	廃棄	
								合計	0.00	22.66	0.71	0.33	0.02	66.08					

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。

引用元

1) ヒアリング調査(2014年 9月16日)、群馬県農材生産流通協同組合、(有)内山林業

図表76-1 地枵えに係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

付録2-2-2. 普通苗(裸苗)の植付け

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から④までの排出量の合計として求めている。

① 苗木運搬車両2tトラック

往復距離：60km(苗木生産者苗畑～森林組合)

往復距離：32km(森林組合～現場)

平均走行速度：40(km/h)

運搬往復回数：5回

苗木運搬車両2tトラックの実際の稼働時間(h)は、3-12式より

$$T = d / 40$$

d：運搬拠点～現場の往復距離：60(km), 32(km)

$$T = \{60(\text{km})/40(\text{km/h}) + 32(\text{km})/40(\text{km/h})\} \times 5(\text{回}) = 11.5(\text{h})$$

苗木運搬車両2tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.7 (t)

a：標準使用年数：12.0 (y)

t：年間標準運転時間：760 (h)

T：実際の稼働時間：11.5(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.7(\text{t})\} / \{12.0(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 11.5(\text{h}) = 10.26(\text{kg-CO}_2)$$

苗木運搬車両2tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：2.7 (t)

a：標準使用年数：12.0 (y)

t：年間標準運転時間：760 (h)

T：実際の稼働時間：11.5(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.7(\text{t})\} / \{12.0(\text{y}) \times 130(\text{h})\} \times 11.5(\text{h}) = 0.23(\text{kg-CO}_2)$$

苗木運搬車両2tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：98(kW)

r：燃料消費率：0.043(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：11.5(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19 (kg-CO₂e/L)

$$C = 98(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 11.5(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 203.05(\text{kg-CO}_2)$$

苗木運搬車両2tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.7 (t)

td : 運転日当たり運転時間 : 5.8h(h)

T : 実際の稼働時間 : 11.5(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.7(\text{t}) \times 11.5(\text{h}) / 5.8(\text{h}) = 21.20(\text{kg-CO}_2)$$

苗木運搬車両2tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (10.26+0.23+203.05+21.20) = 234.75(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 単木保護資材

幼令樹のシカ等による食害防止のため保護カバー資材を施す。

・ 獣害保護カバー

重量単位 : 6kg/100枚, 外径 : H : 1.7m, 上部円周 : 50cm, 下部円周 : 1m

材質 : ポリエチレン製

ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位 : 1.53(kg-CO₂e/kg)

数量 : 3,000枚

重量 : 6(kg)/100(枚) × 3,000(枚) = 180(kg)

・ 支柱

重量単位 : 0.52kg/100本

材質 : FRP (Fiber Reinforced Plastics) 製, 8mm×L : 2.1m

FRPの二酸化炭素排出量原単位 : 5.21(kg-CO₂e/kg)

FRPの比重 : 1.8

数量 : 3,000本

重量 : 0.52(kg) × 1.8/100(本) × 3,000(枚) = 28.08(kg)

・ ストッパー

重量単位 : 5.6kg/200個

材質 : ステンレス製, W : 12.5mm×L : 30mm

ステンレスの二酸化炭素排出量原単位 : 3.45(kg-CO₂e/kg)

数量 : 6,000個

重量 : 5.6(kg)/200(個) × 6,000(個) = 168.0(kg)

・ 裾留め杭

重量単位 : 19kg/200枚

材質 : ポリプロピレン製, W : 10.5mm×L : 345mm

ポリプロピレンの二酸化炭素排出量原単位 : 1.49(kg-CO₂e/kg)

数量 : 6,000本

重量 : 19(kg)/200(枚) × 6,000(本) = 570.0(kg)

保護カバー資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = \{180(\text{kg}) \times 1.53(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} + \{28.08(\text{kg}) \times 5.21(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} + \{168.0(\text{kg}) \times 3.45(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} + \{570.0(\text{kg}) \times 1.49(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} = 1,850.60(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 唐鍬(とうぐわ)

国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表より10年とした。

重量単位 : 2.0kg/本(柄 : 0.6kg)

材質 : 鋼材(1.4kg/本)

鋼材の二酸化炭素排出量原単位 : 1.14(kg-CO₂e/kg)

使用年数 : 10年

数量 : 4本

唐鍬の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は, 3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = \{1.4(\text{kg}) \times 4 \times 1.14(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 10(\text{年}) = 0.66(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ 単木保護資材運搬

運搬車両2tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.7(t)

a : 標準使用年数 : 12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.0(h)

$$\{20(\text{km}) / 40(\text{km/h})\} \times 2(\text{回}) = 2.0(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.7(\text{t})\} / \{12.0(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 2.0(\text{h}) = 1.79(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.7(t)

a : 標準使用年数 : 12.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.0(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.7(\text{t})\} / \{12.0(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 2.0(\text{h}) = 0.04(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 98(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 2.0 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)

$$C = 98(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 2.0(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 35.31(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両2tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.7(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 5.8(h)

T : 実際の稼働時間 : 2.0 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.7(\text{t}) \times 2.0(\text{h}) / 5.8(\text{h}) = 3.69(\text{kg-CO}_2)$$

単木保護資材の運搬車両2tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (1.79+0.04+35.31+3.69) = 40.83(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

普通苗(裸苗)の植付けに係る二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 234.75 + 1,850.60 + 0.66 + 40.83 = 2,127.23(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表76-2に普通苗(裸苗)の植付けに係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この2,127.23kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

普通苗(裸苗)の植付け	引用元	諸元	機械質量及び資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	カンリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
植付作業(全1回) 苗木運搬車向トラップ2t 苗木生産者苗畑～森林組合 上記移動(自走)	図表78,81	2t精級 運搬距離:30km 運搬回数:4回+補償 1回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	7.50	3,014.90			6.69	13.83		6.69	製造	
植付作業(全1回) 苗木運搬車向トラップ2t 森林組合～植付現地 上記移動(自走)	図表78,81	2t精級 運搬距離:16km 運搬回数:4回+補償 1回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	4.00	3,014.90			3.57	7.37		7.37	製造	
植付器具 磨機(トラウバ) 2.0kg(積:600g)	1)図表80	鋼材 1.4kg 数量:4本	5.60 kg				10.0		1.17						0.66	資材	
苗携行容器(小カゴ)	1)図表80	340x202x222mm, 380g/個 ポリエチレン製 数量:4個(人) /3,300本	1.52 kg				10.0	5回	1.33						0.40	資材	
単木保護資材運搬 運搬車向トラップ2t 農協～植付現地 上記移動(自走)	図表78,81	2t精級 運搬距離:20km 運搬回数:2回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	2.00	3,014.90			1.79	3.69		1.79	製造	
単木保護資材(くわんたいM) 獣害保護カバー H:1.7m,上脚間周:50cm,下脚間周:1m	2)図表80	ポリエチレン製 6kg/100枚 数量:3,000枚	180.00 kg														再利用なし
単木保護資材(くわんたいM) FRP支柱 8mmxL:2.1m	2)図表79,80	FRP製 0.52kg/100本 数量:3,000本	28.08 kg														再利用なし
単木保護資材(くわんたいM) ストッパー W:12.5mmxL:30mm	2)図表80	ステンレス鋼 5.6kg/200個 数量:6,000個	168.00 kg														再利用なし
単木保護資材(くわんたいM) 福留め杭 W:10.5mmxL:345mm	2)図表80	ポリプロピレン製 19kg/200枚 数量:6,000枚	570.00 kg														再利用なし
(注)燃料消費率のDは軽油、Eはガソリン、Fは電力、Gは混合燃料。																	
引用元										56.89	0.00	12.05	24.89	0.27	2,127.23		
合計																	

1)。(株)コメリ「小カゴ」[https://www.komeri.com/disp/CkMsfGoodsPageMain_001.jsp?GOODS_NO=136898&dispNo=\(2022年1月26日アクセス\)](https://www.komeri.com/disp/CkMsfGoodsPageMain_001.jsp?GOODS_NO=136898&dispNo=(2022年1月26日アクセス))

「磨機」[https://www.komeri.com/disp/CkMsfGoodsPageMain_001.jsp?GOODS_NO=473910&dispNo=\(2021年8月6日アクセス\)](https://www.komeri.com/disp/CkMsfGoodsPageMain_001.jsp?GOODS_NO=473910&dispNo=(2021年8月6日アクセス))

2)。(株)大田商事(株)「単木保護資材」[http://www.daido-syo.co.jp/wp-content/uploads/2021/05/kuwantai2.pdf\(2021年3月11日アクセス\)](http://www.daido-syo.co.jp/wp-content/uploads/2021/05/kuwantai2.pdf(2021年3月11日アクセス))

図表76-2 普通苗(裸苗)の植付けに係る二酸化炭素排出量の算出表
出典:筆者作成。

付録2-2-3. コンテナ苗の植付け

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から⑥までの排出量の合計として求めている。
①から⑥までの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)の算定式は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：各材質の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：資材の重量(kg)

① 抜取機(手動)

国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表より、8年とした。

重量：90kg/台、

主要材質：鋼材

鋼材の二酸化炭素排出量原単位：2.95(kg-CO₂e/kg)

使用年数：8年

使用回数：ヒアリング調査⁵の苗木生産者から、500コンテナの内84コンテナ分と設定

数量：1台

$$M = \{90(\text{kg}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 8(\text{年}) / 500(\text{個}) \times 84(\text{個}) = 5.58(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 運搬用段ボール

重量：1kg/箱，240×546×396mm

段ボールの二酸化炭素排出量原単位：1.45(kg-CO₂e/kg)

数量：3,300(本/ha)/50(本/箱)=66(箱)

$$M = 1(\text{kg}) \times 66(\text{箱}) \times 1.45(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 95.70(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ ビニルシート

重量：0.37kg/袋，111.5×111.5×1,400mm，t=0.05mm

材質：塩化ビニル樹脂

塩化ビニル樹脂の二酸化炭素排出量原単位：0.97(kg-CO₂e/kg)

数量：66枚

$$M = 0.37(\text{kg}) \times 66(\text{枚}) \times 0.97(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 23.69(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ 背負子

国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表より、10年とした。

重量：4kg/個、

主要材質：アルミニウム

アルミニウムの二酸化炭素排出量原単位：3.13(kg-CO₂e/kg)

使用年数：8年

数量：4個

$$M = \{4(\text{kg}) \times 4(\text{個}) \times 3.13(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 8(\text{年}) = 6.26(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

⑤ 苗携行容器(小カゴ)

国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表より、10年とした。

重量：0.38kg/個，340×202×222mm，

材質：ポリエチレン製

ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位：1.53(kg-CO₂e/kg)

使用年数：10年

数量：4本

$$M = \{0.38(\text{kg}) \times 4 \times 1.53(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 10(\text{年}) = 2.33(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

⑥ 植付器具(スペード)

林野庁の植栽技術の開発⁷⁾には、以下のとおり植付器具5種類の重量が記載されている。そのため5種類の平均重量2.57kgとした。また使用年数は、国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表より8年とした。

取付器具の重量

- ・SKD11-95：2.62 kg
- ・SKD11-85：2.51 kg
- ・S50C三角-95：2.91 kg
- ・S50C平-95：2.44 kg
- ・S50C平-85：2.36 kg

$$(2.62+2.51+2.91+2.44+2.36)/5=2.57(\text{kg})$$

重量：2.57kg(5種類の平均)

材質：鋼材

鋼材の二酸化炭素排出量原単位：1.14(kg-CO₂e/kg)

使用年数：8年

数量：4本(作業員人数)

$$M = \{2.57(\text{kg}) \times 4 \times 1.14(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})\} / 10 = 1.47(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

コンテナ苗の植付けに係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

尚、苗木運搬については、3-2-2普通苗(裸苗)の植付けの運搬と同様に234.75(kg-CO₂)とする。また、同様に単木資材1,785.58(kg-CO₂)及び単木資材の運搬40.83(kg-CO₂)とする。

$$\begin{aligned} & \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{6} + 234.75 + 1,785.58 + 40.83 \\ & = 5.58 + 95.70 + 23.69 + 6.26 + 2.33 + 1.47 + 234.75 + 1,785.58 + 40.83 = 2,196.17(\text{kg-CO}_2) \end{aligned}$$

以下の図表76-3-1～2にコンテナ苗の植付けに係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この2,196.17kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

コンテナ苗の植付け	引用元	諸元	機械質量及び資材質量 単位	年間標準運転時間 (h)	機関出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準使用年数 (y)	稼働時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油消費量 (L)	ガソリン消費量 (L)	機械製造時に係る使用分 (kg-CO2)	機械の減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
																種別	
抜取機 (手動)	1),3),図表80	主要材質：鉄 使用回数：500コンテナの 84コンテナ分	90.00 kg				8.0		2.95						5.58	LCA	
運搬用ポール 240×546×396mm	図表80	重量：約1kg 数量：66箱 (50本/箱) 使用は1回で廃棄	66.00 kg						1.45						95.70	LCA	
ピニルシート (1,115x1,115x1,400mm,t=0.05mm) 強化ピニル樹脂	図表80	0.37kg/シート 0.05mm×6m×50mで15kg 数量：66枚(50本/箱×66枚)	24.42 kg						0.97						23.69	資材	
植付作業 (全1回) 苗木運搬車向トラック2t 上記移動 (自走)	付録表1,4	2t構級 運搬距離：30km 運搬回数：4回+補植1回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	7.50	3,014.90			6.69	13.83		6.69	製造 減耗	
植付作業 (全1回) 苗木運搬車向トラック2t 上記移動 (自走)	付録表1,4	2t構級 運搬距離：16km 運搬回数：4回+補植1回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	3.75	4.19	15.80				0.15	0.15	廃棄	
背負子	2),図表80	主要材質：アルミニウム 数量：4個 (作業員人数)	16.00 kg				8.0	3.75	4.19	15.80		3.57			3.57	製造	
苗携行容器 (小カゴ)	3),4),図表80	340×202×222mm 380g/個 ポリエチレン製 数量：4個 (人) /3,300本	1.52 kg				10.0	4.00	3,014.90				7.37	0.08	7.37	減耗	
スベード (履付器具)	6),図表80	鋼材 2.57kg (5個の平均重量) 数量：4本	10.28 kg				8.0	2.00	4.19	8.43					35.31	廃棄	
								2.00	4.19	8.43					35.31	移動距離	
									3.13						6.26	LCA	
									1.53						2.33	資材	
									1.14						1.47	資材	

図表76-3-1 コンテナ苗の植付けに係る二酸化炭素排出量の算出表1/2

出典：筆者作成。

コンテナ苗の植付け	引用元	諸元	機械重量及び 資材重量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考 種別
樹木保護資材運搬 運搬車道トランプ2t 農協～植付現地 上記移動(自走)	付録之表1,4	2t機械 運搬距離:20km 運搬回数:2回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	2.00	3,014.90			1.79	3.69		1.79	製造
樹木保護資材(くわんたいM) FRP支柱 8mmxL:2.1m 下部間隔:1m	7)図表80	ポリエチレン製 6kg/100枚 数量:3,000枚	180.00 kg					1.00	4.19	4.21					17.66	搬入経路
樹木保護資材(くわんたいM) FRP支柱 8mmxL:2.1m	7)図表79,80	FRP製 0.52kg/100本 数量:3,000本	15.60 kg						1.53						275.40	資材
樹木保護資材(くわんたいM) ストッパー W:12.5mmxL:30mm	7)図表80	ステンレス鋼 5.6kg/200個 数量:6,000個	168.00 kg						3.45						579.60	資材
樹木保護資材(くわんたいM) 植覆め杭 W:10.5mmxL:345mm	7)図表80	ポリプロピレン製 19kg/2,000枚 数量:6,000枚	57.00 kg						1.49						849.30	資材
									合計	56.89	0.00	12.05	24.89	0.27	2,196.17	

- (注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。
- 引用元
- 1).ヒアリング調査(2014年9月16日)、群馬県沼田市利根町 苗木生産者の角田苗木
 - 2). (株)サンテック「圧入機(手動)」, 問い合わせ(2020年8月18日), [http://www.kubota-e.com/consultant/\(2020年8月18日アクセス\)](http://www.kubota-e.com/consultant/(2020年8月18日アクセス))
 - 3). 国立研究開発法人森林研究 整備機構 森林総合研究所 関東森林管理局森林技術センター編(2010)「コンテナ苗による広葉樹造林技術の開発」『平成22年度完了報告資料』, [https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gizyutu/seika/pdf/kannyouhoukoku28tenpusiryou.pdf\(2016年7月6日アクセス\)](https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gizyutu/seika/pdf/kannyouhoukoku28tenpusiryou.pdf(2016年7月6日アクセス))
 - 4). (株)コムリ「1tバコ」 [https://www.komeri.com/disp/CkmsGoodsPageMain_001.jsp?GOODS_NO=136898&dispNo=\(2022年1月26日アクセス\)](https://www.komeri.com/disp/CkmsGoodsPageMain_001.jsp?GOODS_NO=136898&dispNo=(2022年1月26日アクセス))
 - 5). 鳥根県中山間地域研究センター編(2018)『スギ・ヒノキのコンテナ苗生産の手引き(改訂版)』, [https://www.pref.shimane.lg.jp/admin/region/kikan/chusankan/shinrin/shcn_kai.data/kontenanaetebiki_kai.pdf\(2022年1月26日アクセス\)](https://www.pref.shimane.lg.jp/admin/region/kikan/chusankan/shinrin/shcn_kai.data/kontenanaetebiki_kai.pdf(2022年1月26日アクセス))
 - 6). 林野庁(2018)「植栽技術の開発」, [https://www.rinya.maff.go.jp/j/kambatu/syubyou/pdf/20-20houkokusyo_3syokusaijijutu.pdf\(2021年8月6日アクセス\)](https://www.rinya.maff.go.jp/j/kambatu/syubyou/pdf/20-20houkokusyo_3syokusaijijutu.pdf(2021年8月6日アクセス))
 - 7). 大田商事(株)「樹木保護資材」 [http://www.daido-syo.co.jp/wp-content/uploads/2021/05/kuwantai2.pdf\(2021年3月11日アクセス\)](http://www.daido-syo.co.jp/wp-content/uploads/2021/05/kuwantai2.pdf(2021年3月11日アクセス))

図表76-3-2 コンテナ苗の植付けに係る二酸化炭素排出量の算出表2/2
出典：筆者作成。

付録2-2-4. 下刈り

このセクションにおける排出量は、次に述べる①の排出量の合計として求めている。

① 刈払い機(肩掛け式, カッタ径255mm)

下刈作業：林齢1～7年, 6月と9月の2回, 合計14回⁸

使用燃料：混合油25：1(ガソリン：オイル)

質量：5.5kg

歩掛：3.8人/ha⁹, 2.0h/d¹⁰

刈払い機の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.0055 (t)

a：標準使用年数：5 (y)

t：年間標準運転時間：106.4 (h)

T：実際の稼働時間：{3.8(人)×2(h)}×{7(年)×2(回)}=106.4(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = 3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) / 5(\text{y}) \times 140(\text{h}) \times 106.4(\text{h}) = 4.58(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.0055 (t)

a：標準使用年数：5(y)

t：年間標準運転時間：106.4 (h)

T：実際の稼働時間：17.0(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = 68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) / 5(\text{y}) \times 140(\text{h}) \times 106.4(\text{h}) = 0.10(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

混合油の二酸化炭素排出量原単位：2.87(kg-CO₂e/L)

混合油25：1(ガソリン：オイル)の二酸化炭素排出量原単位

e：機関出力(t)：1.3(kW)

r：燃料消費率：0.581(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：106.4 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.87(kg-CO₂e/L)

$$C = 1.3(\text{kW}) \times 0.581(\text{L/kW-h}) \times 106.4(\text{h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 230.28(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 0.0055 (t)

t : 年間標準運転時間 : 140 (h)

T : 実際の稼働時間 : 106.4 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) \times 106.4 (\text{h}) / 2(\text{h}) = 2.11 (\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機(肩掛け式, カッタ径 : 255mm)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は, 以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (4.58+0.10+230.28+2.11) = 237.07(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

下刈りに係わる二酸化炭素排出量合計は, 以下となる。

$$\textcircled{1} = 237.07(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表76-4に下刈りに係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この237.07kg-CO₂は, 1haあたりの排出量である。

下刈り	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考 種別	
下刈作業 (1~7年、6月と9月の2回) 刈払い機・肩掛け式カッター径255mm	1), 2), 図表78,81	混合油25:1 ガソリン:オイル 3.8人/ha×2人 2h/dとする 数量:1ha	0.01 t	140	1.3	G	5.0	106.4	3,014.90			4.58			4.58	4.58	製造
									2.87	80.36				230.28	稼働		
													2.11	2.11	2.11	減耗	
									68.60				0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
								合計	0.00	80.36	4.58	2.11	0.10	237.07			

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。

引用元

1). 群馬県環境森林部森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」

2). 林野庁(2016)「森林環境保全整備事業における標準単価の設定等について」, https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/zourinkikaku/pdf/2016_0401_sinrinseibi_tanka.pdf(2021年8月10日アクセス)

図表76-4 下刈りに係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

付録2-2-5. 除伐・つる切り

このセクションにおける排出量は、次に述べる①の排出量の合計として求めている。

① 刈払い機(肩掛け式, カッタ径255mm)

除伐(つる切りを含む) : 合計2回⁸

使用燃料 : 混合油25 : 1(ガソリン : オイル)

質量 : 5.5kg

除伐歩掛 : 3.5人/ha⁹, 2.0h/d¹⁰

つる切り歩掛 : 4.5人/ha⁹, 2.0h/d¹⁰

刈払い機の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 0.0055 (t)

a : 標準使用年数 : 5 (y)

t : 年間標準運転時間 : 16.0 (h)

T : 実際の稼働時間 : 3.5(人)×2(h)+4.5(人)×2(h)=16.0(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = 3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) / 5(\text{y}) \times 16.0(\text{h}) \times 16.0(\text{h}) = 0.69(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 0.0055 (t)

a : 標準使用年数 : 5(y)

t : 年間標準運転時間 : 140 (h)

T : 実際の稼働時間 : 16.0 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = 68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) / 5(\text{y}) \times 140(\text{h}) \times 16.0(\text{h}) = 0.02(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C : 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 1.3(kW)

r : 燃料消費率 : 0.581(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 16.0 (h)

混合油の二酸化炭素排出量原単位 : 2.87(kg-CO₂e/L)

$$C = 1.3(\text{kW}) \times 0.581(\text{L/kW-h}) \times 16.0(\text{h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 34.63(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 0.0055 (t)

t : 年間標準運転時間 : 140 (h)

T : 実際の稼働時間 : 16.0 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

Od = 3.96(kg-CO₂e/t) × 0.0055(t) × 16.0 (h) / 2(h) = 0.32(kg-CO₂)

刈払い機(肩掛け式, カッタ径 : 255mm)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は, 以下となる。

(P+D+C+Od)=(0.69+0.02+34.63+0.32)=35.65(kg-CO₂) ①

除伐・つる切りに係わる二酸化炭素排出量合計は, 以下となる。

①=35.65 (kg-CO₂)

以下の図表76-5に除伐・つる切りに係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この35.65kg-CO₂は, 1haあたりの排出量である。

除伐・つる切	引用元	諸元	機械重量及び資材重量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
																	種別
除伐・つる切り作業 (全2回) 刈払い機・肩掛け式カッター径255mm	1),2), 図表78,81	混合油E5:1 ガソリン:オイル 割合:3.5L/ha つる切り:4.5L/ha 2h/dとする 数量:1ha	0.01 t	140	1.3	G	5.0	16.0	3,014.90			0.69				0.69	製造
									2.87	12.08				34.63	稼働		
											0.32			0.32	減耗		
									68.60				0.02	0.02	廃棄		
合計									0.00	12.08	0.69	0.32	0.02	35.65			

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。
引用元

1).群馬県環境森林部森林局森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」

2).林野庁(2016)「森林環境保全整備事業における標準単価の設定等について」, https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/zourinkikaku/pdf/2016_0401_sinrinseibi_tanka.pdf(2021年8月10日アクセス)

図表76-5 除伐・つる切りに係る二酸化炭素排出量の算出表
出典:筆者作成。

付録2-2-6. 作業路作設

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から②までの排出量の合計として求めている。

4-2-7. 作業路作設より

燃料消費量(軽油)：870.9L/3.85ha

稼働日数：15.8d/3.85ha

施工延長距離：940m/3.85ha

バックホウ(0.28/0.2m³)の運搬車両トラック(10t積)往復距離：32km(事務所～現場)

① バックホウ(0.28/0.2m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：7.0(t)

a：標準使用年数：9.0(y)

t：年間標準運転時間：690(h)

T：実際の稼働時間：25.85(h)

$$15.8(d)/3.85(ha) \times 6.3(h/d) = 25.85(h)$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(kg-CO_2e/t) \times 7(t)\} / \{9.0(y) \times 690(h)\} \times 25.85(h) = 87.87(kg-CO_2)$$

バックホウ(0.28/0.2m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：7.0(t)

a：標準使用年数：9.0(y)

t：年間標準運転時間：690(h)

T：実際の稼働時間：25.85(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(kg-CO_2e/t) \times 7(t)\} / \{9(y) \times 690(h)\} \times 25.85(h) = 2.00(kg-CO_2)$$

バックホウ(0.28/0.2m³)の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3.85ha全体の作設作業の消費燃料から1ha分を算出し、消費燃料の二酸化炭素排出量原単位を乗じた。

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95(kg-CO₂e/L)

作設作業の消費燃料(軽油)：870.9L/3.85ha

$$C = 870.9(L)/3.85(ha) \times 2.95(kg-CO_2e/L) = 667.31(kg-CO_2)$$

バックホウ(0.28/0.2m³)の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁：作業機械質量：7.0(t)

td：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：25.85(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(kg-CO_2e/t) \times 7(t) \times 25.85(h) / 6.3(h) = 113.76(kg-CO_2)$$

バックホウ(バケット容量：0.28/0.2m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od)=(87.87+2.00+667.31+113.76)=870.94(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② ①の運搬車両トラック(10t 積)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：9.7(t)

a：標準使用年数：10.0(y)

t：年間標準運転時間：830(h)

T：実際の稼働時間：0.8(h)

$$32(\text{km})/40(\text{km/h})=0.8(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9 \times 9.7(\text{t})\} / \{10.0(\text{y}) \times 830(\text{h})\} \times 0.8(\text{h}) = 2.82(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラック(10t積)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：9.7 (t)

a：標準使用年数：10.0 (y)

t：年間標準運転時間：830 (h)

T：実際の稼働時間：0.8(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.7(\text{t})\} / \{10.0(\text{y}) \times 830(\text{h})\} \times 0.8(\text{h}) = 0.06(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラック(10t積)の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：246(kW)

r：燃料消費率：0.043 (L/kW-h)

T：実際の稼働時間：0.8(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19 (kg-CO₂e/L)

$$C = 246(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 0.8(\text{h}) \times 4.19 (\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 35.46(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラック(10t積)の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁：作業機械質量：9.7(t)

td：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：0.8(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.7(\text{t}) \times 0.8(\text{h}) / 6.3\text{h} = 5.30(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ運搬車両トラック(10t積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od)=(2.82+0.06+35.46+5.30)=43.64(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

地拵えに係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1}+\textcircled{2}=870.94+43.64=914.58(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表76-6に作業路作設に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この914.58kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

作業道作設	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単 位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考 種別
小型バックホー(0.28/0.2m3) 森林作業道作設	1), 図表78,81	0.28/0.2m3	7.00 t	690	41	0.153	9.0	25.85	3,014.90			87.87			87.87	製造
		6.3h/d							2.95	226.21					667.31	
上記運搬 トラック10t	1), 図表78,81	15.8d/3.85ha	9.70 t	830	246	0.043	10.0	0.8	68.60				113.76		113.76	減耗
		940m/3.85ha 数量:244m/ha							3,014.90			2.82				2.00
上記移動(自走)		10種級						0.4	68.60				5.30		5.30	製造
									4.19	4.23			0.06		0.06	
								0.4	4.19	4.23				17.73	搬入往路	
									4.19	4.23				17.73	移動復路	
									合計	1234.67	0.00	90.68	119.06	2.06	914.58	

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。

引用元

1) 関東森林管理局「平成26年度森林環境保全整備事業・三ヶ舞 保育間伐(活用型)外」, 開示請求(2017年11月27日)より歩掛3.85haの総使用量から1haあたりを算出

図表76-6 作業路作設に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

付録2-2-7. 第1回間伐(切捨間伐)

このセクションにおける排出量は、次に述べる①の排出量の合計として求めている。

① チェーンソー

チェーンソーの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

a : 標準使用年数 : 7.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 300(h)

T : 実際の稼働時間 : 16.65(h)

$$\begin{aligned} & \{30(\text{本}) \times 0.23(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} + \{183(\text{本}) \times 0.32(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} + \\ & \{318(\text{本}) \times 0.42(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} + \{140(\text{本}) \times 0.52(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} + \\ & \{9(\text{本}) \times 0.63(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} = 16.65(\text{h}) \end{aligned}$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8 / 1,000(\text{t})\} / \{7.0(\text{y}) \times 300(\text{h})\} \times 16.65(\text{h}) = 0.14(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

a : 標準使用年数 : 7.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 300(h)

T : 実際の稼働時間 : 16.65(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8 / 1,000(\text{t})\} / \{7.0(\text{y}) \times 300(\text{h})\} \times 16.65(\text{h}) = 0.003(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

燃料消費量 : 0.8L/h

チェーンオイル消費量 : 燃料消費量の60%

混合油25 : 1 (ガソリン : オイル) の二酸化炭素排出量原単位 : 2.87(kg-CO₂e/L)

チェーンオイルの二酸化炭素排出量原単位 : 2.93(kg-CO₂e/L)

T : 実際の稼働時間 : 16.65(h)

$$\begin{aligned} C &= \{16.65(\text{h}) \times 0.8(\text{L/h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L})\} + \{16.65(\text{h}) \times 0.8(\text{L/h}) \times 2.93(\text{kg-CO}_2\text{e/L})\} \times 60\% \\ &= 62.75(\text{kg-CO}_2) \end{aligned}$$

チェーンソーの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

t_d : 運転日当たり運転時間 : 2.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 16.65(h)

チェーンソーの減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

Od = 3.96 (kg-CO₂e/t) × 5.8/1,000(t) × 16.65(h)/2h = 0.19(kg-CO₂)

チェーンソーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

(P+D+C+Od) = (0.14+0.003+62.75+0.19) = 63.08(kg-CO₂) ①

第1回間伐(切捨間伐)に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

① = 63.08(kg-CO₂)

以下の図表76-7に第1回間伐(切捨間伐)に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この63.08kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

第1回間伐	引用元	諸元	機械質量及び資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
収獲モデル表より切捨間伐(伐倒)：680本 切捨間伐作業 チェーンソー 伐倒 数量・平均胸高直径別歩掛(人/100本) 10cm未満(0.23人/100本)：30本 10cm以上～16cm未満(0.32人/100本)：183本 16cm以上～22cm未満(0.42人/100本)：318本 22cm以上～28cm未満(0.52人/100本)：140本 28cm以上(0.63人/100本×2人)：9本 (注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。 引用元	1), 図表78,81	混合油25:1 ガソリン；オイル チエーンソーの燃料は燃料 の60%を消費 ²⁾ 0.8L/h 6h/人×2人	0.01 t	300	3.5	G 0.450	7.0	16.65	2.95 2.93 68.60		13.32 7.99	0.14			0.14 39.34 23.42 0.19 0.003	製造 稼働 稼働 減耗 廃棄
合計										0.00	21.31	0.14	0.19	0.00	63.08	

1).群馬県環境森林部森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」
2).ヒアリング調査(2014年9月16日),群馬県素材生産流通協同組合,(有)内山林業

図表76-7 第1回間伐(切捨間伐)に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

付録2-2-8. 第2回間伐(利用間伐)

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から④までの排出量の合計として求めている。

① チェーンソー

平均胸高直径別歩掛(人/100本)⁹

10cm未満(0.23人/100本)：0本

10cm以上～16cm未満(0.32人/100本)：13本

16cm以上～22cm未満(0.42人/100本)：48本

22cm以上～28cm未満(0.52人/100本)：54本

28cm以上(0.63人/100本)：35本

チェーンソーの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：5.8(kg)

a：標準使用年数：7.0(y)

t：年間標準運転時間：300(h)

T：実際の稼働時間：4.47(h)

$$\{13(\text{本}) \times 0.32(\text{人})/100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} + \{48(\text{本}) \times 0.42(\text{人})/100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} + \\ \{54(\text{本}) \times 0.52(\text{人})/100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} + \{35(\text{本}) \times 0.63(\text{人})/100(\text{本}) \times 6(\text{h})\} = 4.47(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8/1,000(\text{t})\} / \{7.0(\text{y}) \times 300(\text{h})\} \times 4.47(\text{h}) = 0.04(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：5.8(kg)

a：標準使用年数：7.0(y)

t：年間標準運転時間：300(h)

T：実際の稼働時間：4.47(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8/1,000(\text{t})\} / \{7.0(\text{y}) \times 300(\text{h})\} \times 4.47(\text{h}) = 0.001(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

燃料消費量：0.8L/h

チェーンオイル消費量：燃料消費量の60%

混合油25：1（ガソリン：オイル）の二酸化炭素排出量原単位：2.87(kg-CO₂e/L)

チェーンオイルの二酸化炭素排出量原単位：2.93(kg-CO₂e/L)

T：実際の稼働時間：4.47(h)

$$C = \{4.47(\text{h}) \times 0.8(\text{L/h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L})\} + \{4.47(\text{h}) \times 0.8(\text{L/h}) \times 2.93(\text{kg-CO}_2\text{e/L})\} \times 60\% \\ = 10.55(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

td : 運転日当たり運転時間: 2.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 4.47(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 5.8/1,000\text{(t)} \times 4.47\text{(h)} / 2.0\text{(h)} = 0.05\text{(kg-CO}_2\text{)}$$

第2回間伐作業 チェーンソーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (0.04+0.001+10.55+0.05) = 16.93\text{(kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \text{①}$$

② 第2回間伐作業 プロセッサ 造材(ベースマシン : バックハウ 0.28/0.2m³)

平均胸高直径別歩掛(人/100本)⁹

10cm 未満(0.83 人/10 m³) : 1m³

10cm 以上~16cm 未満(0.78 人/10 m³) : 10m³

16cm 以上~22cm 未満(0.63 人/10 m³) : 20m³

22cm 以上~28cm 未満(0.52 人/10 m³) : 6m³

28cm 以上(0.49 人/10 m³) : 1m³

プロセッサの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 7.0(t)

a : 標準使用年数 : 9.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 14.90(h)

$$\{1 \text{ (m}^3\text{)} \times 0.83\text{(人/10m}^3\text{)} \times 6\text{(h)}\} + \{10 \text{ (m}^3\text{)} \times 0.78\text{(人/10m}^3\text{)} \times 6\text{(h)}\} + \{20 \text{ (m}^3\text{)} \times 0.63\text{(人/10m}^3\text{)} \times 6\text{(h)}\} + \{6 \text{ (m}^3\text{)} \times 0.52\text{(人/10m}^3\text{)} \times 6\text{(h)}\} + \{1 \text{ (m}^3\text{)} \times 0.49\text{(人/10m}^3\text{)} \times 6\text{(h)}\} = 14.90\text{(h)}$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9\text{(kg-CO}_2\text{e/t)} \times 7.0\text{(t)}\} / \{9.0\text{(y)} \times 690\text{(h)}\} \times 14.90\text{(h)} = 50.65\text{(kg-CO}_2\text{)}$$

プロセッサの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 7.0(t)

a : 標準使用年数 : 9.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 14.90(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6\text{(kg-CO}_2\text{e/t)} \times 7.0\text{(t)}\} / \{9.0\text{(y)} \times 690\text{(h)}\} \times 14.90\text{(h)} = 1.15\text{(kg-CO}_2\text{)}$$

プロセッサの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 41.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 14.90(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$$C = 41(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 14.90(\text{h}) \times 2.95 (\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 275.80(\text{kg-CO}_2)$$

プロセッサの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 7.0(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 14.90(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96 (\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t}) \times 14.90(\text{h}) / 6.3\text{h} = 65.58(\text{kg-CO}_2)$$

第2回間伐作業 プロセッサ(造材)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (50.65+1.15+275.80+65.58) = 393.18(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 第2回間伐作業 フォワーダ, 集材(集材距離 : 400m 以上 600m 未満と設定)

平均胸高直径別歩掛(人/10m³)⁹

10cm 未満(0.58 人/10m³) : 1m³

10cm 以上~16cm 未満(0.54 人/10m³) : 10m³

16cm 以上~22cm 未満(0.48 人/10m³) : 20m³

22cm 以上~28cm 未満(0.42 人/10m³) : 6m³

28cm 以上(0.36 人/10m³) : 1m³

フォワーダの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 11.08(h)

$$\{1 (\text{m}^3) \times 0.58(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{10(\text{m}^3) \times 0.54(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{20(\text{m}^3) \times 0.48(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{6(\text{m}^3) \times 0.42(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{1(\text{m}^3) \times 0.36(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} = 11.08(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 11.08(\text{h}) = 22.26(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 11.08(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 11.08(\text{h}) = 0.51(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 29.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.134(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 11.08(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$$C = 29.0(\text{kW}) \times 0.134(\text{L/kW-h}) \times 11.08(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 126.97(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 11.08(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t}) \times 11.08(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 19.49(\text{kg-CO}_2)$$

第2回間伐作業 フォワーダの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (22.26+0.51+126.97+19.49) = 169.23(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ ②③の運搬車両トラック(10t積)

往復距離 : 32km(事務所～現場)

運搬車両トラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

a : 標準使用年数 : 10.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 830(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2(h)

$$32(\text{km}) / 40(\text{km/h}) \times 2(\text{回}) \times 2(\text{台}) = 3.2(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9 \times 9.7(\text{t})\} / \{10.0(\text{y}) \times 830(\text{h})\} \times 3.2(\text{h}) = 11.27(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

a : 標準使用年数 : 10.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 830(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.7(\text{t})\} / 10.0(\text{y}) \times 830(\text{h}) \times 3.2 (\text{h}) = 0.26(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = e × r × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 246.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 246.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 3.2 (\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 141.83(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.7(\text{t}) \times 3.2 (\text{h}) / 6.3\text{h} = 21.19(\text{kg-CO}_2)$$

第2回間伐作業の運搬車両トラック(10t積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (11.27+0.26+141.83+21.19) = 174.55(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

第2回利用間伐作業に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 16.93 + 393.18 + 169.23 + 174.55 = 753.90(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表76-8に第2回間伐(利用間伐)に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この753.90kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

付録2-2-9. 第3回間伐(利用間伐)

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から④までの排出量の合計として求めている。

① チェーンソー

平均胸高直径別歩掛(人/100本)⁹

10cm未満(0.23人/100本)：0本

10cm以上～16cm未満(0.32人/100本)：4本

16cm以上～22cm未満(0.42人/100本)：35本

22cm以上～28cm未満(0.52人/100本)：57本

28cm以上(0.63人/100本)：72本

チェーンソーの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：5.8(kg)

a：標準使用年数：7.0(y)

t：年間標準運転時間：300(h)

T：実際の稼働時間：5.46(h)

$$\{4(\text{本}) \times 0.32(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 2(\text{人}) \times 6(\text{h})\} + \{35(\text{本}) \times 0.42(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 2(\text{人}) \times 6(\text{h})\} +$$

$$\{57(\text{本}) \times 0.52(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 2(\text{人}) \times 6(\text{h})\} + \{72(\text{本}) \times 0.63(\text{人}) / 100(\text{本}) \times 2(\text{人}) \times 6(\text{h})\} = 5.46(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8 / 1,000(\text{t})\} / \{7.0(\text{y}) \times 300(\text{h})\} \times 5.46(\text{h}) = 0.05(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：5.8(kg)

a：標準使用年数：7.0(y)

t：年間標準運転時間：300(h)

T：実際の稼働時間：5.46(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8 / 1,000(\text{t})\} / \{7.0(\text{y}) \times 300(\text{h})\} \times 5.46(\text{h}) = 0.001(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

燃料消費量：0.8L/h

チェーンオイル消費量：燃料消費量の60%

混合油25：1(ガソリン：オイル)の二酸化炭素排出量原単位：2.87(kg-CO₂e/L)

チェーンオイルの二酸化炭素排出量原単位：2.93(kg-CO₂e/L)

T：実際の稼働時間：5.46(h)

$$C = \{5.46(\text{h}) \times 0.8(\text{L/h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L})\} + \{5.46(\text{h}) \times 0.8(\text{L/h}) \times 2.93(\text{kg-CO}_2\text{e/L})\} \times 60\% \\ = 20.57(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

td : 運転日当たり運転時間: 2.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 5.46(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8/1,000(\text{t}) \times 5.46(\text{h}) / 2.0(\text{h}) = 0.06(\text{kg-CO}_2)$$

第3回目利用間伐作業 チェーンソーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (0.05+0.001+20.57+0.06) = 20.68(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 第3回間伐作業 プロセッサ 造材(ベースマシン : バックホウ 0.28/0.2m³)

平均胸高直径別歩掛(人/10m³)⁹

10cm 未満(0.83 人/10m³) : 1m³

10cm 以上~16cm 未満(0.78 人/10m³) : 12m³

16cm 以上~22cm 未満(0.63 人/10m³) : 27m³

22cm 以上~28cm 未満(0.52 人/10m³) : 16m³

28cm 以上(0.49 人/10m³) : 6m³

プロセッサの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 7.0(t)

a : 標準使用年数 : 9.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 23.08(h)

$$\{1(\text{m}^3) \times 0.83(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{12(\text{m}^3) \times 0.78(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{27(\text{m}^3) \times 0.63(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{16(\text{m}^3) \times 0.52(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{6(\text{m}^3) \times 0.49(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} = 23.08(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 23.08(\text{h}) = 78.42(\text{kg-CO}_2)$$

プロセッサの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 7.0 (t)

a : 標準使用年数 : 9.0 (y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 23.08(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 23.08(\text{h}) = 1.78(\text{kg-CO}_2)$$

プロセッサの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$C = e \times r \times T \times$ 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

$C =$ 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 41.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 23.08(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 41.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 23.08(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 427.03(\text{kg-CO}_2)$$

プロセッサの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w_1 : 作業機械質量 : 7.0(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 23.08(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t}) \times 23.08(\text{h}) / 6.3\text{h} = 101.53(\text{kg-CO}_2)$$

第3回目利用間伐作業 プロセッサ(造材)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (78.42+1.78+427.03+101.53) = 608.77(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 第3回間伐作業 フォワーダ, 集材(集材距離 : 400m 以上 600m 未満と設定)

平均胸高直径別歩掛(人/10m³)⁹

10cm 未満(0.58 人/10m³) : 1m³

10cm 以上~16cm 未満(0.54 人/10m³) : 12m³

16cm 以上~22cm 未満(0.48 人/10m³) : 27m³

22cm 以上~28cm 未満(0.42 人/10m³) : 16m³

28cm 以上(0.36 人/10m³) : 6m³

フォワーダの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w_1 : 作業機械質量 : 2.8(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 17.34(h)

$$\{1(\text{m}^3) \times 0.58(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{12(\text{m}^3) \times 0.54(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{27(\text{m}^3) \times 0.48(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{16(\text{m}^3) \times 0.42(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{6(\text{m}^3) \times 0.36(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} = 17.34(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 17.34(\text{h}) = 34.85(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w_1 : 作業機械質量 : 2.8(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 17.34(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 17.34(\text{h}) = 0.79(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 29.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.134(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 17.34(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$$C = 29(\text{kW}) \times 0.134(\text{L/kW-h}) \times 17.34(\text{h}) \times 2.95 (\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 198.78(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 17.34(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t}) \times 17.34(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 30.52(\text{kg-CO}_2)$$

第3回目利用間伐作業 フォワーダの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (34.85+0.79+198.78+30.52) = 264.94(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ ②③の運搬車両トラック(10t積)

往復距離 : 32km(事務所～現場)

運搬車両トラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

a : 標準使用年数 : 10.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 830(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2(h)

$$32(\text{km}) / 40(\text{km/h}) \times 2(\text{回}) \times 2(\text{台}) = 3.2(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9 \times 9.7(\text{t})\} / \{10.0(\text{y}) \times 830(\text{h})\} \times 3.2(\text{h}) = 11.27(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

a : 標準使用年数 : 10.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 830(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.7(\text{t})\} / 10.0(\text{y}) \times 830(\text{h}) \times 3.2 (\text{h}) = 0.26(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 246.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 246.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 3.2 (\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 141.83(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.7(\text{t}) \times 3.2 (\text{h}) / 6.3\text{h} = 21.19(\text{kg-CO}_2)$$

第3回間伐作業の運搬車両トラック(10t積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (11.27+0.26+141.83+21.19) = 174.55(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

第3回間伐作業に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 20.68 + 608.77 + 264.94 + 174.55 = 1,068.95 (\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表76-9に第3回間伐(利用間伐)に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この1,068.95kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

第3回間伐	引用元	諸元	機械重量及び資材重量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械改造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
3回巨目利用間伐作業 チェーンソー 伐倒 数量:平均胸高直径別歩掛 (人/100本) 10cm未満 (0.23人/100本) : 0本 10cm以上~16cm未満 (0.32人/100本) : 4本 16cm以上~22cm未満 (0.42人/100本) : 35本 22cm以上~28cm未満 (0.52人/100本) : 57本 28cm以上 (0.63人/100本) : 72本	1),2), 図表78,81	混合油25:1 ガソリン:オイル チェーンオイルは燃 料の60%を消費 ²⁾ 0.8L/h 6h/人x2人	0.01 t	300	3.5 G	0.450	7.0	5.46	3,014.90		4.37	0.05			0.05	製造
3回巨目利用間伐作業 ブロセッサ ヘースマシン: 0.28/0.2m3BH 資材	1), 図表78,81	0.28/0.2m3 6.3h/d 数量:62m3	7.00 t	690	41	0.153	9.0	23.08	2.95	144.76					427.03	稼働
3回巨目利用間伐作業 フォワーダ 集材 (集材距離: 400m以上600m未満と設定) 数量:平均胸高直径別歩掛 (人/10m3) 10cm未満 (0.83/10m3) : 1m3 10cm以上~16cm未満 (0.78人/10m3) : 12m3 16cm以上~22cm未満 (0.63人/10m3) : 27m3 22cm以上~28cm未満 (0.52人/10m3) : 16m3 28cm以上 (0.49人/10m3) : 6m3	1), 図表78,81	3t積 5h/d 数量:62m3	2.80 t	400	29	0.134	10.5	17.34	68.60				101.53	1.78	101.53	減耗
3回巨目利用間伐作業 トラック10t ブロセッサ, フォワーダ運搬 上記移動 (自走)	図表78,81	10t積級	9.70 t	830	246	0.043	10.0		3,014.90			34.85			34.85	製造
									2.95	67.38					198.78	稼働
									68.60				30.52		30.52	減耗
														0.79	0.79	稼働
									3,014.90			11.27			11.27	製造
									68.60				21.19		21.19	減耗
									4.19	16.92		0.26		0.26	0.26	稼働
									4.19	16.92					70.91	搬入往路
									合計	245.99	6.99	124.60	153.31	2.83	1,068.95	移動道路

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。
引用元

- 1)群馬県環境森林部森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」
2)ヒアリング調査(2014年 9月16日), 群馬県素材生産流通協同組合, (有)内山林業

図表76-9 第3回間伐(利用間伐)に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典: 筆者作成。

付録2-2-10. 主伐

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から④までの排出量の合計として求めている。

① 主伐作業 チェーンソー

平均胸高直径別歩掛(人/100本)⁹

- 10cm 未満(0.23 人/100本) : 0本
- 10cm 以上～16cm 未満(0.32 人/100本) : 4本
- 16cm 以上～22cm 未満(0.42 人/100本) : 121本
- 22cm 以上～28cm 未満(0.52 人/100本) : 229本
- 28cm 以上(0.63 人/100本) : 415本

チェーンソーの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

a : 標準使用年数 : 7.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 300(h)

T : 実際の稼働時間 : 25.96(h)

$$\{4(本) \times 0.32(人/100本) \times 6(h)\} + \{48(本) \times 0.78(人/100本) \times 6(h)\} + \{128(本) \times 0.63(人/100本) \times 6(h)\} + \{103(本) \times 0.52(人/100本) \times 6(h)\} + \{67(本) \times 0.49(人/100本) \times 6(h)\} = 25.96(h)$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(kg-CO_2e/t) \times 5.8/1,000(t)\} / \{7.0(y) \times 300(h)\} \times 25.96(h) = 0.22(kg-CO_2)$$

チェーンソーの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

a : 標準使用年数 : 7.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 300(h)

T : 実際の稼働時間 : 25.96(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(kg-CO_2e/t) \times 5.8/1,000(t)\} / \{7.0(y) \times 300(h)\} \times 25.96(h) = 0.005(kg-CO_2)$$

チェーンソーの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = \text{軽油消費量} \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

燃料消費量 : 0.8L/h

チェーンオイル消費量 : 燃料消費量の60%

混合油25 : 1 (ガソリン : オイル) の二酸化炭素排出量原単位 : 2.87(kg-CO₂e/L)

チェーンオイルの二酸化炭素排出量原単位 : 2.93(kg-CO₂e/L)

T : 実際の稼働時間 : 25.96(h)

$$C = \{25.96(\text{h}) \times 0.8(\text{L/h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L})\} + \{25.96(\text{h}) \times 0.8(\text{L/h}) \times 2.93(\text{kg-CO}_2\text{e/L})\} \times 60\% \\ = 97.83(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / \text{td}$$

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

td : 運転日当たり運転時間: 2.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 25.96(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8/1,000(\text{t}) \times 25.96(\text{h}) / 2.0(\text{h}) = 0.30(\text{kg-CO}_2)$$

主伐作業 チェーンソーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (0.22+0.005+97.83+0.30) = 98.35(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 主伐作業 プロセッサ 造材(ベースマシン : バックハウ 0.28/0.2m³)

平均胸高直径別歩掛(人/10m³)⁹

10cm 未満(0.83 人/10m³) : 4m³

10cm 以上~16cm 未満(0.78 人/10m³) : 48m³

16cm 以上~22cm 未満(0.63 人/10m³) : 128m³

22cm 以上~28cm 未満(0.52 人/10m³) : 103m³

28cm 以上(0.49 人/10m³) : 67m³

プロセッサの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 7.0(t)

a : 標準使用年数 : 9.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 124.67(h)

$$\{4(\text{m}^3) \times 0.83(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{48(\text{m}^3) \times 0.78(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{128(\text{m}^3) \\ \times 0.63(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{103(\text{m}^3) \times 0.52(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{67(\text{m}^3) \\ \times 0.49(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} = 124.67(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 124.67(\text{h}) = 423.70(\text{kg-CO}_2)$$

プロセッサの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 7.0(t)

a : 標準使用年数 : 9.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 124.67(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 124.67(\text{h}) = 9.64(\text{kg-CO}_2)$$

プロセッサの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

$$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2\text{)}$$

$$e : \text{機関出力(t)} : 41.0(\text{kW})$$

$$r : \text{燃料消費率} : 0.153(\text{L/kW-h})$$

$$T : \text{実際の稼働時間} : 124.67(\text{h})$$

$$\text{燃料消費量の二酸化炭素排出量} : 2.95 (\text{kg-CO}_2\text{e/L})$$

$$C = 41.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 124.67(\text{h}) \times 2.95 (\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 2,307.14(\text{kg-CO}_2)$$

プロセッサの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

$$w_1 : \text{作業機械質量} : 7.0(\text{t})$$

$$td : \text{運転日当たり運転時間} : 6.3(\text{h})$$

$$T : \text{実際の稼働時間} : 124.67(\text{h})$$

$$\text{作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO}_2\text{/t・供用日)} : 3.96 (\text{kg-CO}_2\text{e/t})$$

$$Od = 3.96 (\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t}) \times 124.67(\text{h}) / 6.3\text{h} = 548.57(\text{kg-CO}_2)$$

主伐作業 プロセッサ (造材) の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (423.70+9.64+2,307.14+548.57) = 3,289.04(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 主伐作業 フォワーダ, 集材(集材距離: 400m 以上 600m 未満と設定)

平均胸高直径別歩掛(人/10m³)⁹

$$10\text{cm 未満}(0.58 \text{ 人}/10\text{m}^3) : 4\text{m}^3$$

$$10\text{cm 以上}\sim 16\text{cm 未満}(0.54 \text{ 人}/10\text{m}^3) : 48\text{m}^3$$

$$16\text{cm 以上}\sim 22\text{cm 未満}(0.48 \text{ 人}/10\text{m}^3) : 128\text{m}^3$$

$$22\text{cm 以上}\sim 28\text{cm 未満}(0.42 \text{ 人}/10\text{m}^3) : 103\text{m}^3$$

$$28\text{cm 以上}(0.36 \text{ 人}/10\text{m}^3) : 67\text{m}^3$$

フォワーダの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

$$P : \text{製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO}_2\text{/t)}$$

$$w_1 : \text{作業機械質量} : 2.8(\text{t})$$

$$a : \text{標準使用年数} : 10.5(\text{y})$$

$$t : \text{年間標準運転時間} : 400(\text{h})$$

$$T : \text{実際の稼働時間} : 94.24(\text{h})$$

$$\{4 (\text{m}^3) \times 0.58(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{48 (\text{m}^3) \times 0.54(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{128(\text{m}^3) \times 0.48(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{103(\text{m}^3) \times 0.42(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} + \{67(\text{m}^3) \times 0.36(\text{人}/10\text{m}^3) \times 6(\text{h})\} = 94.24(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値: 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 94.24(\text{h}) = 189.41(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 94.24(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 94.24(\text{h}) = 4.31(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

C = e × r × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 29.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.134(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 94.24(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 29.0(\text{kW}) \times 0.134(\text{L/kW-h}) \times 94.24(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 1,080.29(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

t_d : 運転日当たり運転時間 : 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 94.24(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t}) \times 94.24(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 165.86(\text{kg-CO}_2)$$

主伐作業 フォワーダの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (189.41+4.31+1,080.29+165.86) = 1,439.87(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ ②③の運搬車両トラック(10t積)

往復距離 : 32km(事務所～現場)

運搬車両トラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

a : 標準使用年数 : 10.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 830(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2(h)

$$32(\text{km}) / 40(\text{km/h}) \times 2(\text{回}) \times 2(\text{台}) = 3.2(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9 \times 9.7(\text{t})\} / \{10.0(\text{y}) \times 830(\text{h})\} \times 3.2(\text{h}) = 11.27(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

a : 標準使用年数 : 10.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 830(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.7(\text{t})\} / 10.0(\text{y}) \times 830(\text{h}) \times 3.2(\text{h}) = 0.26(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 246.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 246.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 3.2(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 141.83(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両トラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 9.7(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.2 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.7(\text{t}) \times 3.2(\text{h}) / 6.3\text{h} = 21.19(\text{kg-CO}_2)$$

第3回間伐作業の運搬車両トラック(10t積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (11.27+0.26+141.83+21.19) = 174.55(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

主伐作業に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 98.35 + 3,289.04 + 1,439.87 + 174.55 = 5,001.81(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表76-10に主伐に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この5,001.81kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

主伐 収穫モデル表より主伐(350m3)	引用元	諸元	機械量及び 資材量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械作業時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考 種別
主伐作業 チェーンソー 伐倒 数量:平均胸高直径別歩掛 (人/100本) 10cm未満 (0.23人/100本x2人) : 0本 10cm以上~16cm未満 (0.32人/100本x2人) : 4本 16cm以上~22cm未満 (0.42人/100本x2人) : 121本 22cm以上~28cm未満 (0.52人/100本x2人) : 229本 28cm以上 (0.63人/100本x2人) : 415本	1),2) 図表78,81	混合油25:1 ガソリン:オイル チェーンソーは燃 料の60%を消費 ²⁾ 0.8L/h 6人/人x2人		300	3.5 G	0.450	7.0	25-96	3,014.90		20.77	0.22			0.22	製造
主伐作業 プロセッサ ベースマシン: 0.28/0.2m3 BH 造材 数量:平均胸高直径別歩掛 (人/10m3) 10cm未満 (0.83/10m3) : 4m3 10cm以上~16cm未満 (0.78人/10m3) : 48m3 16cm以上~22cm未満 (0.63人/10m3) : 128m3 22cm以上~28cm未満 (0.52人/10m3) : 103m3 28cm以上 (0.49人/10m3) : 67m3	1), 図表78,81	0.28/0.2m3 6.3h/d 数量:350m3	7.00 t	690	41	0.153	9.0	124.67	2.95	782.08					2,307.14	稼働
主伐作業 フォワーダ 集材 (集材距離: 400m以上600m未満と設定) 数量:平均胸高直径別歩掛 (人/10m3) 10cm未満 (0.58人/10m3) : 4m3 10cm以上~16cm未満 (0.54人/10m3) : 48m3 16cm以上~22cm未満 (0.48人/10m3) : 128m3 22cm以上~28cm未満 (0.42人/10m3) : 103m3 28cm以上 (0.36人/10m3) : 67m3	1), 図表78,81	3t積 6.3h/d 数量:350m3	2.80 t	400	29	0.134	10.5	94.24	68.60			189.41		9.64	9.64	廃棄
主伐作業 トラック10t プロセッサ, フォワーダ運搬 上記移動 (自走)	図表78,81	10t積級	9.70 t	830	246	0.043	10.0		3,014.90			11.27		4.31	4.31	製造
								3.2					21.19		11.27	製造
								1.6	68.60					0.26	21.19	減耗
								1.6	4.19	16.92					70.91	搬入往路
								1.6	4.19	16.92					70.91	移動機器
									合計	1,182.13	33.23	624.60	735.91	14.21	5,001.81	

(注)燃料消費率のDは軽油, Eはガソリン, Fは混合燃料。
引用元

- 1)群馬県環境森林部森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」
2)ヒアリング調査(2014年 9月16日), 群馬県資材生産流通協同組合, (有)内山林業

図表76-10 主伐に係る二酸化炭素排出量の算出表

出典: 筆者作成。

付録2-2-11. 通勤

このセクションにおける排出量は、次に述べる①の排出量の合計として求めている。

① 通勤

2Lライトバンの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：1.4(t)

a：標準使用年数：8.5(y)

t：年間標準運転時間：760(h)

T：実際の稼働時間：118.82 (h)

$$32(\text{km})/40(\text{km/h}) \times 147.03(\text{台}) = 118.82 (\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.4(\text{t})\} / \{8.5(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 118.82 (\text{h}) = 77.64(\text{kg-CO}_2)$$

2Lライトバンの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：1.4(t)

a：標準使用年数：8.5(y)

t：年間標準運転時間：760(h)

T：実際の稼働時間：118.82 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.4(\text{t})\} / \{8.5(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 118.82 (\text{h}) = 1.77(\text{kg-CO}_2)$$

2Lライトバンの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：69.0(kW)

r：燃料消費率：0.047 (L/kW-h)

T：実際の稼働時間：118.82 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19 (kg-CO₂e/L)

$$C = 69.0(\text{kW}) \times 0.047(\text{L/kW-h}) \times 118.82 (\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 1,614.55(\text{kg-CO}_2)$$

2Lライトバンの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：1.4(t)

t_d：運転日当たり運転時間：4.0(h)

T：実際の稼働時間：118.82 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.4(\text{t}) \times 118.82 (\text{h}) / 4.0\text{h} = 164.69(\text{kg-CO}_2)$$

通勤	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
全台数 作業員運搬 (ライトバン) 40km/h走行	図表78,81	4人/d 車輛: 2L 数量: 147.03台	1.40 t	760	69	0.047	8.5	118.82	3,014.90			77.64	164.69		77.64		
									68.60					1.77		164.69	
									4.19	385.33						1.77	
									合計	385.33	0.00	77.64	164.69	1.77	1,858.64		

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。

図表76-11 通勤に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

付録2-2-12. 伐採と造林の一貫作業

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から③までの排出量の合計として求めている。

- ① 刈払い機(肩掛け式, カッタ径255mm)の
使用燃料：混合油25：1(ガソリン：オイル)
質量：5.5kg
歩掛：4人/ha⁶, 1.5h/d⁶

刈払い機の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.0055 (t)

a：標準使用年数：5 (y)

t：年間標準運転時間：140 (h)

T：実際の稼働時間：4(人)×1.5(h)=6.0(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = 3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) / 5(\text{y}) \times 140(\text{h}) \times 6.0(\text{h}) = 0.14(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：0.0055 (t)

a：標準使用年数：5(y)

t：年間標準運転時間：140(h)

T：実際の稼働時間：6.0(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = 68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) / 5(\text{y}) \times 140(\text{h}) \times 6.0(\text{h}) = 0.003(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：1.3(kW)

r：燃料消費率：0.581(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：6.0 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.87(kg-CO₂e/L)

$$C = 1.3(\text{kW}) \times 0.581(\text{L/kW-h}) \times 6.0(\text{h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 13.01(\text{kg-CO}_2)$$

刈払い機の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：建設機械質量：0.0055 (t)

t：年間標準運転時間：140 (h)

T：実際の稼働時間：6.0 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)
 $Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 0.0055(\text{t}) \times 6.0(\text{h}) / 2(\text{h}) = 0.07(\text{kg-CO}_2)$

地拵えに係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (0.14+0.003+13.01+0.07) = 13.22(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 地拵え作業のグラップル(ベースマシン : バックホウ 0.28/0.2m³)

グラップルの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 7.0(t)

a : 標準使用年数 : 9.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 33.0(h)

5.5h/d, 6d⁶

$$5.5(\text{h/d}) \times 6(\text{d}) = 33.0(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 33.0(\text{h}) = 112.15(\text{kg-CO}_2)$$

グラップルの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 7.0 (t)

a : 標準使用年数 : 9.0 (y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 33.0 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t})\} / \{9.0(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 33.0(\text{h}) = 2.55(\text{kg-CO}_2)$$

グラップルの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 41.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 33.0 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 41.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 33.0(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 610.68(\text{kg-CO}_2)$$

グラップルの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 作業機械質量 : 7.0(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 33.0 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)
 $Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 7.0(\text{t}) \times 33.0(\text{h}) / 6.3\text{h} = 145.20(\text{kg-CO}_2)$

地拵え作業のグラップルの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (112.15 + 2.55 + 610.68 + 145.20) = 870.58(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ グラントレーキ

重量 : 200.0kg⁶

材質 : 鋼材

数量 : 1 基

使用年数 : 10 年

グラントレーキの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11 式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : グラントレーキの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : グラントレーキの製品重量(kg) : 200.0(kg)

グラントレーキ(足場・朝顔・登り栈橋,金属製)の二酸化炭素排出量原単位 : 2.37(kg-CO₂e/kg)

$$M = 200.0(\text{kg}) \times 2.37(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) / 10(\text{年}) = 47.47(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ 地拵え作業のフォワーダ(苗木運搬)

フォワーダの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.99(h)

運搬歩掛 : 0.66h/ha(2,200 本/ha)¹¹

3,300 本/ha に換算 : 0.66(h/ha) / 2,200(本/ha) × 3,300(本/ha) = 0.99 (h/ha)

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 0.99(\text{h}) = 1.99(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.99 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 0.99(\text{h}) = 0.05(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 29.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.134(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 0.99 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$$C = 29(\text{kW}) \times 0.134(\text{L/kW-h}) \times 0.99 (\text{h}) \times 2.95 (\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 11.35(\text{kg-CO}_2)$$

フォワーダの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 作業機械質量 : 2.8(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.99 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.8(\text{t}) \times 0.99 (\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 1.74(\text{kg-CO}_2)$$

地拵え作業のフォワーダ (苗木運搬)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (1.99+0.05+11.35+1.74) = 15.13(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

この伐採と造林の一貫システムでの各作業は以下のとおりとなった。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 13.22 + 870.58 + 47.47 + 15.13 = 946.39(\text{kg-CO}_2)$$

また、この伐採と造林の一貫システムで軽減される各作業は以下のとおりとなった。

植付け作業は、付録2-2-3と同様に算出し、2,189.91kg-CO₂の排出となった。

下刈り作業は、付録2-2-4と同様に算出し、67.73kg-CO₂の排出となった。

通勤は、付録2-2-12と同様に算出し、1,764.78kg-CO₂の排出となった。

以下の図表76-12-1～3に伐採と造林の一貫作業に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

伐採と造林の一貫システム 伐採後、地植えと植付苗木運搬作業	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考 種別
地植え作業 (全1回) 刈払い機・肩掛け式カッター径255mm	1),(2), 付録2表1,4	混合油25:1 ガソリン：オイル 4人/ha 1.5h/dとする 質量：5.5kg 数量：1ha	0.01 t	140	1.3 G	0.581	5.0	6.0	2.87		4.53	0.14			0.14	製造
地植え作業 グラップル ヘースマシ：0.28/0.2m3 BH	1),(2), 付録2表1,4	0.28/0.2m3 5.5h/d×6d 数量：1ha	7.00 t	690	41	0.153	9.0	33.00	2.95	207.01		112.15			112.15	製造
グラントレーキ	1),(2), 付録2表3	200kg	200.0 kg				10.0		2.37						47.47	資材
苗木運搬作業 フォワード 0.66h/ha(植付本数2,200本/ha)から換算	1),(2),(3), 図表78,81	3人積 6.3h/d 数量：1ha	2.80 t	400	29	0.134	10.5	0.99	2.95	3.85		1.99			1.99	製造
													1.74		1.74	減耗
									68.60					0.05	0.05	廃棄
									合計	210.86	0.00	114.14	146.94	2.60	946.39	

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。

引用元

- 1).林野庁 関東森林管理局 群馬森林管理(2021)「伐採と造林の一貫作業システムの現地検討会を開催しました(令和3年10月5日)」,
https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gunma/news/event/attach/pdf/20211005_ikkansagyoyou-1.pdf (2022年1月5日アクセス)
- 2).ヒアリング調査(2022年4月5日)、群馬森林管理及び(株)吉本 由井専務
- 3).大矢信次郎他(2017)「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の検証研究」『長野県林業総合センター』『長野県林業総合センター』, p.23,
https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/seika/kenkyu/kuurin/documents/31_03_iku_reforest.pdf (2022年2月2日アクセス)

下刈り 伐採と造林の一貫システムの場合	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考 種別
下刈作業 (2回) 刈払い機・肩掛け式カッター径255mm	1),(2), 図表78,81	混合油25:1 ガソリン：オイル 3.8人/ha×2人 2h/dとする 数量：1ha	0.01 t	140	1.3 G	0.581	5.0	30.4	2.87		22.96	1.31			1.31	製造
													0.60		0.60	減耗
									68.60					0.03	0.03	廃棄
									合計	0.00	22.96	1.31	0.60	0.03	67.73	

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。

引用元

- 1).群馬県環境森林部森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」
- 2).林野庁(2016)「森林環境保全整備事業における標準単価の設定等について」, https://www.rinya.maff.go.jp/seibi/zourinkikaku/pdf/2016_0401_sinrinseibi_tanka.pdf(2021年8月10日アクセス)

図表76-12-1 伐採と造林の一貫作業に係る二酸化炭素排出量の算出表1/3

出典：筆者作成。

コンテナ苗の植付け 伐採と造林の一貫システムの場合	引用元	諸元	機械重量及び 資材重量 単位	年間稼働 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
																種別	
抜取機 (手動)	1), 2), 図表80	主要材質: 鉄 使用回数: ヒアリング 調査 ²⁾ より500コンテ ナの84コンテナ分	90.00 kg				8.0		2.95						5.58	LCA	
運搬用段ボール 240×546×396mm	図表80	重量: 約1kg 数量: 66箱 (50本/ 箱) 使用は1回で廃棄	66.00 kg						1.45						95.70	LCA	
ピルシート (1,115x1,115x1,400mm,t=0.05mm) 塩化ビニル樹脂	図表80	0.37kg/シート 0.05mmx6m×50mで 15kg 数量: 66枚(50本/箱× 66枚)	24.42 kg						0.97						23.69	資材	
植付作業 (全1回) 苗木運搬車両トラック2t	図表78,81	2t種級 運搬距離: 30km 運搬回数: 4回+補植1 回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	7.50	3,014.90			6.69	13.83		6.69	製造	
上記移動 (自走)								3.75	4.19	15.80				0.15	66.21	減耗	
植付作業 (全1回) 苗木運搬車両トラック2t	図表78,81	2t種級 運搬距離: 16km 運搬回数: 4回+補植1 回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	4.00	3,014.90			3.57	7.37		3.57	製造	
上記移動 (自走)								2.00	4.19	8.43				0.08	7.37	減耗	
苗誘行管器 (小カゴ)	3), 4), 図表80	340x202x222mm 380g/個 ポリエチレン製 数量: 4個 (人)/3,300本	1.52 kg				10.0		1.53						2.33	資材	
スベード (補付器具)	5), 図表80	鋼材 2.57kg (5種類の平均 重量) 数量: 4本	10.28 kg				8.0		1.14						1.47	資材	
苗木保護資材運搬												1.79			1.79	製造	
運搬車両トラック2t	図表80	2t種級 運搬距離: 20km 運搬回数: 2回	2.70 t	760	98	0.043	12.0	2.00	3,014.90				3.69		3.69	減耗	
農協へ植付現地 上記移動 (自走)								1.00	4.19	4.21				0.04	0.04	廃棄	
苗木保護資材 (くわんたいM) 獣害保護力(H:1.7m, 上部巾:50cm, 下部巾:1m)	6), 図表80	ポリエチレン製 6kg/100枚 数量: 3,000枚	180.00 kg					1.00	4.19	4.21					17.66	移動復路	
苗木保護資材 (くわんたいM) FRP支柱 8mmxL:2.1m	6), 図表80	FRP製 0.52kg/100本 数量: 3,000本	15.60 kg						1.53						275.40	資材	

図表76-12-2 伐採と造林の一貫作業に係る二酸化炭素排出量の算出表2/3

出典: 筆者作成。

コンテナ苗の植付け 伐採と造林の一貫システムの場合	引用元	諸元	機械重量及び 資材重量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
単木保護資材 (くわんたいM) ストッパー W:12.5mmxL:30mm	6)図表80	ステンレス鋼	168.00 kg						3.45						579.60	資材	
		5.6kg/200個 数量:6,000個															
単木保護資材 (くわんたいM) 裾留め杭 W:10.5mmxL:345mm	6)図表80	ポリプロピレン製	570.00 kg						1.49						849.30	資材	
		19kg/200枚 数量:6,000枚															
(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。 引用元																	
1). (株)サンテック「抜取機(手動)」, 問い合わせ(2020年8月18日), http://www.kubota-e.com/consultant/ (2020年8月18日アクセス)																	
2). ヒアリング調査(2014年 9月16日), 群馬県沼田市利根町 苗木生産者の角田苗木																	
3). 国立研究開発法人森林研究 整備機構 森林総合研究所 関東森林管理局森林技術センター編(2010)「コンテナ苗による広葉樹造林技術の開発」『平成22年度完了報告資料』, https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gizyutu/seika/pdf/kannryouhoukoku28tennpuiryuu.pdf (2016年7月6日アクセス)																	
4). (株)コメリ「小カゴ」 https://www.komeri.com/disp/CKmSFGoodsPageMain_001.jsp?GOODS_NO=136898&dispNo=(2022年1月26日アクセス)																	
5). 林野庁(2018)「植栽技術の開発」, https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/pdf/20-20houkokusyo_3syokusaijijutu.pdf (2021年8月6日アクセス)																	
6). 大同商事(株)「単木保護資材」 http://www.daido-syo.co.jp/wp-content/uploads/2021/05/kuwantai2.pdf (2021年3月11日アクセス)																	
通動 伐採と造林の一貫システムの場合	引用元	諸元	機械重量及び 資材重量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
全台数 作業員運搬 (ライトバン) 40km/h走行	図表78,81	4人/d	1.40 t	760	69	0.047	8.5	112.82	3,014.90			73.72	156.37	1.68	73.72	156.37	製造
		車輛: 2L															
		数量: 139.53台															
(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。																	
合計																	
										56.89	0.00	12.05	24.89	0.27	2,189.91		
										365.88	0.00	73.72	156.37	1.68	1,764.78		
										156.37						減耗	
																廃棄	
																移動往復	

図表76-12-3 伐採と造林の一貫作業に係る二酸化炭素排出量の算出表3/3

出典：筆者作成。

付録2-3. 製材生産プロセス

付録2-3-1. 丸太運搬

このセクションにおける排出量は、次に述べる①の排出量の合計として求めている。

① 丸太の運搬車両：グラップルクレーン付トラック10tクラス(2.9t吊)

積載量：8(m³/台)

燃料：軽油

質量：13.1t

土場から原木市場まで往復距離80km

第2回利用間伐の丸太運搬往復台数：38(m³) / 8(m³/台) = 4.75台

第3回利用間伐の丸太運搬往復台数：62(m³) / 8(m³/台) = 7.75台

主伐の丸太運搬往復台数：350(m³) / 8(m³/台) = 43.75台

原木市場から製材所まで往復距離50km

丸太運搬往復台数：450(m³) / 8(m³/台) = 56.25台

グラップルクレーン付トラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、(3-5式)

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：13.1(t)

a：標準使用年数：13.0(y)

t：年間標準運転時間：760(h)

T：実際の稼働時間：260.60 (h)

積込時間：2.16h/丸太材積(25m³)¹²

$$2.16 (h) / 25(m^3) \times \{38 (m^3) + 62 (m^3) + 350 (m^3) + 450 (m^3)\} = 77.76 (h)$$

走行時間：40km/h

$$80(km) / 40(km/h) \times \{38 (m^3) / 8(m^3) + 62 (m^3) / 8(m^3) + 350(m^3) / 8(m^3)\} \\ + 50(km) / 40(km/h) \times \{350(m^3) / 8(m^3)\} = 182.84(h)$$

合計：77.76 (h) + 182.84 (h) = 260.60(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(kg-CO_2e/t) \times 13.1(t)\} / \{13.0(y) \times 760(h)\} \times 260.60 (h) = 1,041.64(kg-CO_2)$$

グラップルクレーン付トラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：13.1(t)

a：標準使用年数：13.0(y)

t：年間標準運転時間：760(h)

T：実際の稼働時間：260.60 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(kg-CO_2e/t) \times 13.1(t)\} / \{13.0(y) \times 760(h)\} \times 260.60 (h) = 23.70(kg-CO_2)$$

グラップルクレーン付トラックの稼働過程(積込)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 242.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043 (L/kW-h)

T : 積込の稼働時間 : 77.76 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$C = 242.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 77.76(\text{h}) \times 2.95 (\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 2,387.05(\text{kg-CO}_2)$

グラップルクレーン付トラックの稼働過程(運搬)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 242.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043 (L/kW-h)

T : 運搬の稼働時間 : 182.80 (h)

$40.0(\text{km})/40(\text{km/h}) \times 2 \times 4.75(\text{台}) + 40.0(\text{km})/40(\text{km/h}) \times 2 \times 7.75(\text{台}) + 40.0(\text{km})/40(\text{km/h}) \times 2 \times 43.75(\text{台}) + 25.0(\text{km})/40(\text{km/h}) \times 2 \times 56.25(\text{台}) = 182.80 (\text{h})$

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)

$C = 242.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 182.80(\text{h}) \times 4.19 (\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 7,970.83(\text{kg-CO}_2)$

グラップルクレーン付トラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$

w₁ : 作業機械質量 : 13.1(t)

td : 運転日当たり運転時間: 5.8(h)

T : 実際の稼働時間 : 260.60 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 13.1(\text{t}) \times 260.60 (\text{h}) / 5.8\text{h} = 2,330.60(\text{kg-CO}_2)$

グラップルクレーン付トラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$(P+D+C+Od) = (1,041.64 + 23.70 + 2,387.05 + 7,970.83 + 2,330.60) = 13,753.82(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \textcircled{1}$

丸太運搬に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$\textcircled{1} = 13,753.82 (\text{kg-CO}_2)$

以下の図表77-1に丸太運搬に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この13,753.82kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

丸太運搬	引用元	諸元	機械質量及び資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	圧油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
丸太運搬 丸太運搬 丸太運搬 間伐丸太材積合計：100m3 主伐丸太材積：350m3	引用元	10t積載、8m3/台 2.9t吊 2.16t/丸太100本当り (材積：25m3) 往復距離：80km 数量：38m3	13.10 t	760	242	0.043	13.0	12.8	3,014.90	34.16					51.10	製造
丸太運搬 工場～原木市場 第2回間伐丸太 クラッフルクレーン付トラック10tクラス 構込・運搬 上記移動（自走）	図表78,81	10t積載、8m3/台 2.9t吊 2.16t/丸太100本当り (材積：25m3) 往復距離：80km 数量：38m3	13.10 t	760	242	0.043	13.0	4.8	68.60	49.43				1.16	207.11	搬入往路 移動往路
丸太運搬 工場～原木市場 第3回間伐丸太 クラッフルクレーン付トラック10tクラス 構込・運搬 上記移動（自走）	図表78,81	10t積載、8m3/台 2.9t吊 2.16t/丸太100本当り (材積：25m3) 往復距離：80km 数量：62m3	13.10 t	760	242	0.043	13.0	4.8	3,014.90	49.43		83.37			83.37	製造
丸太運搬 工場～原木市場 主伐丸太 クラッフルクレーン付トラック10tクラス 構込・運搬 上記移動（自走）	図表78,81	10t積載、8m3/台 2.9t吊 2.16t/丸太100本当り (材積：25m3) 往復距離：80km 数量：350m3	13.10 t	760	242	0.043	13.0	117.7	2.95	314.68					470.66	製造
丸太運搬 原木市場～製材所 クラッフルクレーン付トラック10tクラス 構込・運搬 上記移動（自走）	図表78,81	10t積載、8m3/台 2.9t吊 2.16t/丸太100本当り (材積：25m3) 往復距離：50km 数量：450m3	13.10 t	760	242	0.043	13.0	43.8	68.60	455.26			1,053.08		928.30	稼働
								43.8	4.19	455.26					1,907.55	搬入往路
								43.8	4.19	455.26					1,907.55	移動往路
								109.2	3,014.90	404.59		436.50			436.50	製造
								35.2	2.95	365.84					1,193.53	稼働
								35.2	68.60	365.84					976.63	減耗
								35.2	4.19	365.84					9.93	稼働
								35.2	4.19	365.84					1,532.85	搬入往路
								35.2	4.19	365.84					1,532.85	移動往路
									合計	2,711.52	0.00	1,041.64	2,330.60	23.70	13,753.82	

(注)燃料消費率のDは軽油、Eはガソリン、Fは電力、Gは混合燃料。

図表77-1 丸太運搬に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

付録2-3-2. 原木市場

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から③までの排出量の合計として求めている。

① ログローダ

燃料：軽油

質量：19.5t

丸太材積450m³の積降効率：2分35秒/m³¹³

ログローダの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：19.5(t)

a：標準使用年数：10.0(y)

t：年間標準運転時間：600(h)

T：実際の稼働時間：19.38(h)

$$450(\text{m}^3) \times 2\text{分}35\text{秒}/(\text{m}^3) = 19.38(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_i = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 19.5(\text{t})\} / \{10.0(\text{y}) \times 600(\text{h})\} \times 19.38(\text{h}) = 231.71(\text{kg-CO}_2)$$

ログローダの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：19.5(t)

a：標準使用年数：10.0(y)

t：年間標準運転時間：600(h)

T：実際の稼働時間：19.38(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 19.5(\text{t})\} / \{10.0(\text{y}) \times 600(\text{h})\} \times 19.38(\text{h}) = 5.27(\text{kg-CO}_2)$$

ログローダの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：107.0(kW)

r：燃料消費率：0.153(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：19.38(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 107.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 19.38(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 1,066.88(\text{kg-CO}_2)$$

ログローダの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / \text{td}$$

w₁：作業機械質量：19.5(t)

td：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 19.38 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 19.5(\text{t}) \times 19.38(\text{h}) / 6.3\text{h} = 289.85(\text{kg-CO}_2)$$

ログラダーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (231.71+5.27+1,066.88+289.85) = 1,593.71(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② フォークリフト

燃料 : 軽油

質量 : 5.86t

積載量 : 3.5t

丸太材積 1 m³=1t

歩掛 : 0.11h/t¹³

フォークリフトの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 5.86(t)

a : 標準使用年数 : 4.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 1,440(h)

T : 実際の稼働時間 : 49.50 (h)

$$0.11(\text{h/t}) \times 450(\text{m}^3) = 49.50(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_i = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.86(\text{t})\} / \{4.0(\text{y}) \times 1,440(\text{h})\} \times 49.50(\text{h}) = 151.83(\text{kg-CO}_2)$$

フォークリフトの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 5.86(t)

a : 標準使用年数 : 4.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 1,440(h)

T : 実際の稼働時間 : 49.50 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.86(\text{t})\} / \{4.0(\text{y}) \times 1,440(\text{h})\} \times 49.50(\text{h}) = 3.45(\text{kg-CO}_2)$$

フォークリフトの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 67.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.037(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 49.50 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)

$$C = 67.0(\text{kW}) \times 0.037(\text{L/kW-h}) \times 49.50(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 516.46(\text{kg-CO}_2)$$

フォークリフトの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 作業機械質量 : 5.85(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 49.50 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.85(\text{t}) \times 49.50(\text{h}) / 6.3\text{h} = 182.33(\text{kg-CO}_2)$$

フォークリフトの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = 151.83+3.45+516.46+182.33=854.07(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 木材選木機とリングバーカー

国税庁の耐用年数の適用等に関する取扱通達の付表より、これらの耐用年数をそれぞれ8年、12年とした。また、作業機械の重量や作業率については、国内製材機械メーカーの協力により、同規模の製材所の情報を問い合わせた¹⁴。そして、木材選木機は、重量75.0t、処理能力570本/h、リングバーカーの剥皮速度は、カタログ数値より8~22m/minであった。また、ヒアリング調査¹⁵から木材選木機とリングバーカーは、原木市場の電気使用量合算の数値から算出した。2013(平成25)年度の丸太の取扱量は48,000m³、合計の電力消費量は20,400kWhであった。

木材選木機とリングバーカーの製造・減耗・廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-10式より

$$S = (\text{機械の二酸化炭素排出量原単位} \times w_1) / (a_1 \times 270 \times 7) \times T + (\text{電気使用量} \times \text{電気の二酸化炭素排出量原単位})$$

木材選木機

処理能力 : 570(本/h)¹⁴

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 75.0t

a₁ : 使用年数(y) : 8(年)

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 7.20(h)

$$4,102(\text{本}) / 570(\text{本/h}) = 7.20(\text{h})$$

$$s_1 = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 75.0(\text{t})\} / \{8(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 7.20(\text{h}) = 128.29(\text{kg-CO}_2)$$

リングバーカー

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 12.0t

a₁ : 使用年数(y) : 8(年)

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 27.35(h)

$$4,102(\text{本}) \times 3.2(\text{m}) / 8(\text{m}) / 60(\text{min}) = 27.35(\text{h})$$

$$s_2 = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 12.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 27.35(\text{h}) = 52.00(\text{kg-CO}_2)$$

木材選木機とリングバーカーの電気使用量は、3-7式より

Of = f × 消費燃料または電気の二酸化炭素排出量原単位

Of : 稼働過程の燃料消費または電気消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

f : 燃料消費量(L)または電気消費量(kWh)

$$\{20,400(\text{kWh})/48,000(\text{m}^3)\} \times 450(\text{m}^3) = 191.25(\text{kWh})$$

電気の二酸化炭素排出量原単位 : 0.464(kg-CO₂e/ kWh)

$$\text{Of} = 191.25(\text{kWh}) \times 0.464(\text{kg-CO}_2\text{e/ kWh}) = 88.74(\text{kg-CO}_2)$$

$$S = s_1 + s_2 + \text{Of} = 128.29 + 52.00 + 88.74 = 269.03(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

原木市場に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} = 1,593.71 + 854.07 + 269.03 = 2,716.81(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表77-2に原木市場に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この2,716.81kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

原木市場	引用元	諸元	機械容量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW- h)	標準 使用年 数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	電力消費量 (kWh)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考 種別
間伐丸太：100m3 主伐丸太：350m3 計：450m3、本数：4102本																
ログローダ 原木市場 丸太の積み降ろし	1),2), 図表78,81	積降効率：2分35秒 /m3 ¹⁾ 数量：450m3	23.80 t	600	122	0.153	10.0	19.38	2,95	361.65			289.85		231.71 1,066.88 289.85	製造 稼働 減耗
フォークリフト 原木市場 丸太運搬	1),3), 図表78,81	積載量：3.5t 1t/m3と設定 0.11h/t ¹⁾ 数量：450m3	5.86 t	1440	67	0.037	4.0	49.50	4.19	123.26			182.33		151.83 516.46 182.33	製造 稼働 減耗
木材選木機 原木市場 選木	4),図表80	処理：570本/h ⁴⁾ 数量：4,102本	75.00 t				8.0	7.20	3,593.96					3.45		LCA
リングバーカー 原木市場 皮剥ぎ機	4),図表80	動力：65.02kWh 剥皮速度：8m/min 0.125min/m 数量：3.2m×4,102本	12.00 t				12.0	27.35	3,593.96						52.00	LCA
木材選木機及びリングバーカー 電力消費量	5)	20,400kWh/48,000m3 数量：450m3				E			0.464		191.25				88.74	稼働
									合計	484.91	191.25	383.54	472.18	8.73	2,716.81	

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。

引用元

- 1).全国木材協同組合連合会(2010)「林地残材にせざる群馬モデル創出に向けた利活用実証事業(県産材加工協同組合(群馬県))」, p38, http://www.zemmokukyo.jp/assets/files/H22_jigyuu_report2_1.pdf (2020年9月28日アクセス)
- 2)魚谷鉄工(株)「ログローダ」<http://www.ut-t.co.jp/pdf/KLG-9000.pdf>(2021年12月3日アクセス)
- 3).コマツリフト(株)「フォークリフト」https://www.lift.co.jp/distrib/engine/fh50/pdf/lift_catalog_fh50.pdf(2020年10月7日アクセス)
- 4).問い合わせ(2019年8月29日), オアィ・イノベーション(株), 資料提供(2019年8月29日)
- 5).ヒアリング調査(2014年9月16日), 匿名希望により業数材所とする。(業数材所の概要：群馬県南西部, 製材加工 丸太処理量20,000m3/年, 国産材100%取扱, 大手住宅メーカー向け製品の生産)

図表77-2 原木市場に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

付録2-3-3. 製材所

このセクションにおける排出量は、次に述べる①から③までの排出量の合計として求めている。

① 製材所機械一式の二酸化炭素排出量は、3-10式より

$S = (\text{機械の二酸化炭素排出量原単位} \times w_1) / (a_1 \times 270 \times 7) \times T + (\text{電気使用量} \times \text{電気の二酸化炭素排出量原単位})$

S = 建設機械等以外の作業機械の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t)

a₁ : 使用年数(y)

270 : 年間稼働日数

7 : 1日の稼働時間

①-1 ロボット式ツイン帯鋸盤

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 19.5t

a₁ : 使用年数(y) : 8年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$\{270(d) \times 7(h)\} / 41,500(m^3) \times 450(m^3) = 20.49(h)$

$s_1 = \{3,593.96(kg-CO_2e/t) \times 19.5(t)\} / \{8(年) \times 270(d) \times 7(h)\} \times 20.49(h) = 94.99(kg-CO_2) \dots \dots \textcircled{1-1}$

①-2 ツイン帯鋸盤

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 13.3t

a₁ : 使用年数(y) : 8年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$s_2 = \{3,593.96(kg-CO_2e/t) \times 13.3(t)\} / \{8(年) \times 270(d) \times 7(h)\} \times 20.49(h) = 64.79(kg-CO_2) \dots \dots \textcircled{1-2}$

①-3 Wエジャー

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 3.0t

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$s_3 = \{3,593.96(kg-CO_2e/t) \times 3.0(t)\} / \{12(年) \times 270(d) \times 7(h)\} \times 20.49(h) = 9.74(kg-CO_2) \dots \dots \textcircled{1-3}$

①-4 ツインオートテーブル用積装置

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 1.5t

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$$s_4 = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.5(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 20.49(\text{h}) = 4.87(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1-4}$$

①-5 三連自動梱包機(標準モデル)

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 3.0t

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$$s_5 = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 3.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 20.49(\text{h}) = 9.74(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1-5}$$

①-6 チッパー

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 5.3t

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$$s_6 = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.3(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 20.49(\text{h}) = 17.21(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1-6}$$

①-7 手動式仕分ゲート

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 5.0t

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$$s_7 = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 20.49(\text{h}) = 16.24(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1-7}$$

①-8 集塵装置

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 1.0t

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$$s_8 = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 20.49(\text{h}) = 3.25(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1-8}$$

①-9 スクリューコンプレッサー2台

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 0.5(t)×2(台)=1.0(t)

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$$s_9 = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 20.49(\text{h}) = 3.25(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \text{①-9}$$

①-10 搬送装置

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 45.0t

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 20.49(h)

$$s_{10} = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 45.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 20.49(\text{h}) = 146.14(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \text{①-10}$$

①-11 人工乾燥後のモルダー(仕上げ加工)

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 45.0(t)

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 8.94(h)

$$\{270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} / 41,500(\text{m}^3) \times 196.2(\text{m}^3) = 8.94(\text{h})$$

$$s_{11} = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 45.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 8.94(\text{h}) = 63.72(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \text{①-11}$$

①-12 人工乾燥後のグレーディングマシン(含水率と強度測定)

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 2.0(t)

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 8.94(h)

$$s_{12} = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 2.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 8.94(\text{h}) = 2.83(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \text{①-12}$$

①-13 製材所機械一式の電力使用量は、3-7式より

Of = f × 消費燃料または電気の二酸化炭素排出量原単位

Of : 稼働過程の燃料消費または電気消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

f : 燃料消費量(L)または電気消費量(kW/h)

$$\{2,330.27(\text{kWh}) / 41,500(\text{m}^3)\} \times 450(\text{m}^3) = 25.27(\text{kWh})$$

電気の二酸化炭素排出量原単位：0.464(kg-CO₂e/ kWh)

$$\text{Of} = 258.27(\text{kWh}) \times 0.464(\text{kg-CO}_2\text{e/ kWh}) = 11.72(\text{kg-CO}_2) \cdots \cdots \text{①-13}$$

$$\begin{aligned} \text{S} &= \text{①-1} + \text{①-2} + \text{①-3} + \text{①-4} + \text{①-5} + \text{①-6} + \text{①-7} + \text{①-8} + \text{①-9} + \text{①-10} + \text{①-11} + \text{①-12} + \text{①-13} \\ &= 94.99 + 64.79 + 9.74 + 4.87 + 9.74 + 17.21 + 16.24 + 3.25 + 3.25 + 146.14 + 63.72 + 2.83 + 11.72 \\ &= 448.49(\text{kg-CO}_2) \cdots \cdots \text{①} \end{aligned}$$

② フォークリフト

燃料：軽油

質量：5.86t

積載量：3.5t

丸太材積1m³=1t

歩掛：0.11h/t¹³

ヒアリング調査¹⁵から、年間の軽油消費量は30,370L、丸太取扱材積は41,500m³であった。丸太から製材の歩留率50%¹⁵から乾燥前製材材積20,750m³、乾燥後製材材積18,082m³より、1tあたりの軽油消費量を算出した。乾燥後製材の比重は0.38とした。

フォークリフトの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：5.86(t)

a：標準使用年数：4.0(y)

t：年間標準運転時間：1,440(h)

T：実際の稼働時間：32.95(h)

$$0.11(\text{h/t}) \times \{225(\text{m}^3) \times 1 + 196.2(\text{m}^3) \times 0.38\} = 32.95(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P_i = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.86(\text{t})\} / \{4.0(\text{y}) \times 1,440(\text{h})\} \times 32.95(\text{h}) = 101.07(\text{kg-CO}_2)$$

フォークリフトの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：5.86(t)

a：標準使用年数：4.0(y)

t：年間標準運転時間：1,440(h)

T：実際の稼働時間：32.95(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.86(\text{t})\} / \{4.0(\text{y}) \times 1,440(\text{h})\} \times 32.95(\text{h}) = 2.30(\text{kg-CO}_2)$$

フォークリフトの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$\text{Od} = (3.96 \times w_1) \times T / \text{td}$$

Of：稼働過程の燃料消費または電気消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

f：燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19(kg-CO₂e/L)

ヒアリング調査¹⁵数値

年間の軽油消費量：30,370(L)

年間の丸太取扱材積：41,500(m³)

年間の丸太から乾燥前製材の歩留率：50(%)

年間の乾燥前製材材積：41,500(m³)×50(%)=20,750(m³)

年間の乾燥後製材材積：18,082(m³)

比重：0.38

1tあたりの軽油消費量=30,370(L)/{(41,500(m³)+20,750(m³)+18,082(m³)×0.38}=0.44(L/t)

今回算出する数値

収穫丸太材積：450(m³)

収穫丸太材積から乾燥前製材の歩留率：50(%)

年間の乾燥前製材材積：450(m³)×50(%)=225(m³)

年間の乾燥後製材材積(3-3式)：196.2(m³)，比重：0.38

0.44(L/t)×{225(m³)×1+196.2(m³)×0.38}=131.62(L)

Of=131.62(L)×4.19(kg-CO₂)=551.47(kg-CO₂)

フォークリフトの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$

w₁：作業機械質量：5.85(t)

td：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：32.95(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

Od=3.96(kg-CO₂e/t)×5.85(t)×32.95(h)/6.3(h)=121.37(kg-CO₂)

フォークリフトの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

(P+D+Of+Od)=(101.07+2.30+551.47+121.37)=776.22(kg-CO₂) ②

③ 製材運搬車両10tトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：8.0(t)

a：標準使用年数：13.0(y)

t：年間標準運転時間：760(h)

T：実際の稼働時間：9.81(h)

運搬の積載量：12(バンドル/台)(2.5m³/バンドル)

30(km)/40(km/h)×196.2(m³)/{12(バンドル)}×2.5(m³)=9.81(h)

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

P={3,014.9(kg-CO₂e/t)×8.0(t)}/{13.0(y)×760(h)}×9.81(h)=23.95(kg-CO₂)

製材運搬車両10tトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：8.0(t)

a : 標準使用年数 : 13.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 9.81 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 8.0(\text{t})\} / 13.0(\text{y}) \times 760(\text{h}) \times 9.81(\text{h}) = 0.54(\text{kg-CO}_2)$$

製材運搬車両10tトラックの燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 242.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.043(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 9.81 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19 (kg-CO₂e/L)

$$C = 242.0(\text{kW}) \times 0.043(\text{L/kW-h}) \times 9.81(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 427.73(\text{kg-CO}_2)$$

製材運搬車両10tトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 8.0(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 5.8(h)

T : 実際の稼働時間 : 9.81 (h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂t・供用日) : 3.96

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 8.0(\text{t}) \times 9.81(\text{h}) / 5.8(\text{h}) = 53.58(\text{kg-CO}_2)$$

製材運搬車両10tトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (23.95+0.54+427.73+53.58) = 505.80(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

製材所に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} = 448.49 + 776.22 + 505.80 = 1,730.51(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表77-3に製材所に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この1,730.51 kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

付録2-3-4. 人工乾燥

このセクションにおける排出量は、次に述べる①の排出量の合計として求めている。

① 人工乾燥

人工乾燥容量：45(m³/回)¹⁶

人工乾燥装置の二酸化炭素排出量は、3-10式より

$$S = (\text{機械の二酸化炭素排出量原単位} \times w_1) / (a_1 \times 270 \times 7) \times T + (\text{電気使用量} \times \text{電気の二酸化炭素排出量原単位})$$

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t)：3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁：作業機械質量(t)：15.0(t)¹⁴

a₁：使用年数(y)：12年

270：年間営業日数

7：1日の稼働時間

T：実際の稼働時間：840.0(h)

$$\{7(d) \times 24(h)\} \times 225(m^3) / 45(m^3/\text{回}) = 840.0(h)$$

人工乾燥の電力使用量は、3-7式より

Of = f × 消費燃料または電気の二酸化炭素排出量原単位

Of：稼働過程の燃料消費または電気消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

f：燃料消費量(L)または電気消費量(kWh)：4,510.0(kWh)

$$902(kWh) \times 5(\text{回}) = 4,510.0(kWh)$$

電気の二酸化炭素排出量原単位：0.464(kg-CO₂e/kWh)

Of₁ = 4,510.0(kWh) × 0.464(kg-CO₂e/kWh) = 2,092.64(kg-CO₂)

$$s_1 = \{3,593.96(kg-CO_2e/t) \times 15.0(t)\} / \{12(\text{年}) \times 270(d) \times 7(h)\} \times 840.0(h) + 4,510.0(kWh) \times 0.464(kg-CO_2e/kWh) = 1,996.64(kg-CO_2)$$

人工乾燥の灯油使用量は、3-7式より

Of = f × 消費燃料または電気の二酸化炭素排出量原単位}

Of：稼働過程の燃料消費または電気消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

f：燃料消費量(L)または電気消費量(kWh)：12,500.0(L)

$$2,500(L) \times 225(m^3) / 45(m^3/\text{回}) = 12,500.0(L)$$

灯油の二酸化炭素排出量原単位：2.49(kg-CO₂e/L)

Of₂ = 12,500.0(L) × 2.49(kg-CO₂e/L) = 31,125.00(kg-CO₂)

人工乾燥の水使用量は、3-7式より

Of = f × 消費燃料または電気の二酸化炭素排出量原単位

Of：稼働過程の燃料消費または電気消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

f：燃料消費量(L)または電気消費量(kWh)：85.0(m³)

$$17.0(m^3) \times 225(m^3) / 45(m^3/\text{回}) = 85.0(m^3)$$

水道の二酸化炭素排出量原単位：0.36(kg-CO₂e/L)

Of₃ = 85.0(m³) × 0.36(kg-CO₂e/L) = 30.60(kg-CO₂)

$$S=s_1+Of_1+ Of_2+ Of_3 =1,996.64+31,125.00+2,092.64+30.60=35,244.88(\text{kg-CO}_2) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \textcircled{1}$$

人工乾燥に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

$$\textcircled{1}=35,244.88(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表77-4に人工乾燥に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この35,244.88kg-CO₂は、1haあたりの排出量である。

人工乾燥	引用元	請元	機械重量及び 運転時間 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	灯油 消費量 (L)	電力消費量 (kWh)	水道 使用量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
収穫モデル表より 丸太：450m3、歩留率50%、225m3 全自動蒸気式木材乾燥機 ヒアリングによる歩留りの製材積を算出 歩留率50%：丸太450m3から製材225m3を人工乾燥 斎藤・黒田らの報告を参照して稼働時間を算出 製材5m3/回を7日間全日稼働 225m3/45m3 (回) 稼働時間：7d×24h=168h/回 灯油消費量：2,500L/回 電力消費量：902kWh/回 水道使用量：17m3/回 人工乾燥機械一式 灯油消費量 人工乾燥機械一式 電力消費量 人工乾燥機械一式 水道使用量 (注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。 引用元	動力：514kWh 図表80	15.00 t					12.0	840.00	3,593.96							1,996.64	LCA
						E			2.49	12,500.00	4,510.00	85.00				31,125.00	稼働
									0.464							2,092.64	稼働
									0.36							30.60	稼働
									合計	12,500.00	4,510.00	85.00	0.00	0.00	0.00	35,244.88	

1). 問い合わせ(2019年8月29日)、オーアイ・インベージョン(株)、資料提供(2019年8月29日)
2). 斎藤黒田逸也(2009)「乾燥工場機械別の乾燥材生産コスト試算」『関東森林研究 No 60』関東森林学会、p281-282

図表77-4 人工乾燥に係る二酸化炭素排出量の算出表
出典：筆者作成。

プレカット工場 製材：196.2m ³ (比重：0.38)	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kW-h)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO ₂ 排出量 原単位 (kg-CO ₂ /単位)	軽油 消費量 (L)	電力消費量 (kWh)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	機械の 減耗分 (kg-CO ₂)	機械作業時 に係る使用分 (kg-CO ₂)	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂)	備考							
																種別	電力消費量 (kWh)含む						
プレカット工場	1)	11.2kg-CO ₂ /m ³ 数量：196.2m ³							11.20						2,197.44		稼働						
プレカット機械 柱材加工機の平均的な処理時間：50(本/h) 196.2m ³ /0.033m ³ =5,945本	2)図表78,81	数量：5,945本 柱材：0.033m ³ /本	16.00 t				12.0	118.90	3,593.96						301.46		LCA						
合計															0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,498.90			

引用元
 1).川鍋垂衣子他(2010)「木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理」『日本建築学会技術報告集16(32)』(一社)日本建築学会, p.37-42,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijv16/32/16_32_37/_pdf (2021年10月25日アクセス)
 2).宮川工機(株)(2022)カタログ請求, <https://www.miyagawakoki.co.jp/products/catalog/> (2022年2月7日アクセス)及び問い合わせ(2022年2月7日)

図表77-5 プレカット工場に係る二酸化炭素排出量の算出表
 出典：筆者作成。

付録2-3-6. 木材保存処理

このセクションにおける排出量は、次に述べる①の排出量の合計として求めている。

① フォークリフト

質量：5.86t

積載量：3.5t

対象材積：196.2m³(3-3式)

乾燥後製材材積比重=0.38

歩掛：0.11h/t¹³

フォークリフトの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：5.86(t)

a：標準使用年数：4.0(y)

t：年間標準運転時間：1,440(h)

T：実際の稼働時間：8.20(h)

$$0.11 \text{ (h/t)} \times 196.2 \text{ (m}^3\text{)} \times 0.38 = 8.20 \text{ (h)}$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 5.86 \text{ (t)}\} / \{4.0 \text{ (y)} \times 1,440 \text{ (h)}\} \times 8.20 \text{ (h)} = 25.15 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

フォークリフトの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：5.86(t)

a：標準使用年数：4.0(y)

t：年間標準運転時間：1,440(h)

T：実際の稼働時間：8.20(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 5.86 \text{ (t)}\} / \{4.0 \text{ (y)} \times 1,440 \text{ (h)}\} \times 8.20 \text{ (h)} = 0.57 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

フォークリフトの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：67.0(kW)

r：燃料消費率：0.037(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：8.20(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19 (kg-CO₂e/L)

$$C = 67.0 \text{ (kW)} \times 0.037 \text{ (L/kW-h)} \times 8.20 \text{ (h)} \times 4.19 \text{ (kg-CO}_2\text{e/L)} = 85.57 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

フォークリフトの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：5.85(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 8.20(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

Od = 3.96(kg-CO₂e/t) × 5.85(t) × 8.20(h) / 6.3h = 30.21(kg-CO₂)

フォークリフトの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+Od)=(25.15+0.57+85.57+30.21)=141.50(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② 木材保存処理装置

10.0m³/回稼働の木材保存処理装置において乾燥製材材積192.6 m³(3-3式)を木材保存処理する場合、木材保存処理装置の二酸化炭素排出量は、3-10式より

S = (機械の二酸化炭素排出量原単位 × w₁) / (a₁ × 270 × 7) × T + (電気使用量 × 電気の二酸化炭素排出量原単位)

S = 建設機械等以外の作業機械の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

機械の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 3,593.96(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量(t) : 8.0t¹⁹

a₁ : 使用年数(y) : 12年

270 : 年間営業日数

7 : 1日の稼働時間

T : 実際の稼働時間 : 98.10(h), 10.0(m³) / 5(h)¹⁹

196.2(m³) / 10.0(m³) × 5(h) = 98.10(h)

電気の二酸化炭素排出量原単位 : 0.464(kg-CO₂e/ kWh)

電気消費量 : 12(kWh)¹⁹

$$S = \{3,593.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 8.0(\text{t})\} / \{12(\text{年}) \times 270(\text{d}) \times 7(\text{h})\} \times 98.10(\text{h}) + 12(\text{kWh}) \times 0.464(\text{kg-CO}_2\text{e/ kWh}) = 233.61(\text{kg-CO}_2)$$

木材保存処理装置の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$S = 233.61 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ 薬剤

銅系保存処理剤の二酸化炭素排出量原単位 : 0.841(kg-CO₂e/kg)

非銅系保存処理剤の二酸化炭素排出量原単位 : 2.94(kg-CO₂e/kg)

薬剤別生産量の比率²⁰

銅系保存処理剤の比率 : 44.4%

非銅系保存処理剤の比率 : 26.0%

上記比率合計を100%とした場合の割合

銅系保存処理剤 : 44.4% / {44.4% + 26.0%} = 63.07%

非銅系保存処理剤 : 26.0% / {44.4% + 26.0%} = 36.93%

$$\{0.841(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) \times 63.07(\%)\} + \{2.94(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) \times 36.93(\%)\} = 1.62(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})$$

薬剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M : 薬剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 薬剤の重量(kg) : 75(kg/m³)¹⁹

$$75(\text{kg}/\text{m}^3) \times 196.2(\text{m}^3) = 14,715.00\text{kg}$$

薬剤の二酸化炭素排出量原単位：1.62(kg-CO₂e/kg)

$$M = 4,905.00 (\text{kg}) \times 1.62(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{kg}) = 23,781.80 (\text{kg-CO}_2)$$

薬剤の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 23,781.80 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ 水道水

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

$$M : \text{水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO}_2)$$

$$w_2 : \text{水道水の使用量(m}^3) : 175(\text{kg}/\text{m}^3)^{19}, 175(\text{kg}/\text{m}^3) \times 196.2(\text{m}^3) = 34,335.00(\text{kg})$$

$$\text{水道水の二酸化炭素排出量原単位} : 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3)$$

$$M = 34,335.00 (\text{kg}) \times 0.36(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{m}^3) = 12,360.60(\text{kg-CO}_2)$$

水道水の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$M = 12,360.60 (\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

木材保存処理の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} = 141.50 + 233.61 + 23,781.80 + 12,360.60 = 36,517.51(\text{kg-CO}_2)$$

以下の図表77-6に木材保存処理に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。

この36,517.51kg-CO₂は、乾燥製材材積196.2 m³(3-3式)の場合であるが、1m³あたり186.12 kg-CO₂/m³の排出量である。

木材保存処理	引用元	諸元	機械容量及び 資材重量 単位	年間稼働 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2/単位)	軽油 消費量 (L)	電力消費量 (kWh)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考 種別
フォークリフト 木材保存処理工場 製材棟卸し	1),2), 図表78,81	種数: 3.5t 0.11h/t ¹⁾ 数量: 196.2m ³ (74.56t)	5.86 t	1440	67	0.037	4.0	8.20	3,014.90	20.42		25.15			25.15	製造
									4.19					85.57	稼働	
									68.60		30.21			30.21	減耗	
木材保存処理装置 10m3/回,5h/回 196.2/10.0(回)	3), 図表78,81	10m3/回,5h/回 数量: 196.2m ³	8.00 t				12.0	98.10	3,593.96							LCA
木材保存処理装置 電力消費量	3),4), 図表80	12kWh 75kg/m ³)	14,715.00 kg			E			0.464	235.44				109.24	稼働	
水道使用量	3),図表80	175kg/m ³)	34,335.00 kg						0.36					23,781.80	資材	
														12,360.60	資材	
									合計	20.42	235.44	25.15	30.21	0.57	36,517.51	186.12kg-CO₂/m³
									1.43	16.48	1.76	2.11	0.04	2,556.23	2.556.23	個別シエア7%

引用元
 1),全国木材協同組合連合会(2010)「林地残材にさせない群馬モデル創出に向けた活用実証事業(県産材加工協同組合(群馬県))」, p38, http://www.zemmokukyo.jp/assets/files/h22_jigyuu_report2_1.pdf (2020年9月28日アクセス)
 2),コマツリフト(株)「フォークリフト」https://www.lift.co.jp/distrib/engine/fh50/pdf/lift_catalog_fh50.pdf(2020年10月7日アクセス)
 3),問い合わせ(2022年2月8日), (株)ヤスジマ, <https://yasujima.co.jp/>
 4),日本木材防腐工業組合(2021) 防腐木材生産量(単位m³), <http://www.jwpa.or.jp/pages/9/> (2022年2月18日アクセス)

(注)燃料消費率のDは軽油、Gはガソリン、Eは電力、Bは混合燃料。
 4)大日本木材防腐(株), CV注入成績書, [#&gid=1&pid=2](https://www.1128.jp/blog/feature/preservative-wood)

図表77-6 木材保存処理に係る二酸化炭素排出量の算出表
 出典: 筆者作成。

付録 2

脚注

- 1 ヒアリング調査(2014年8月27日), 群馬県林業試験場
- 2 環境省自然環境局(2009)「絶滅危惧植物種子の収集・保存等に関するマニュアル」 p.53,
https://www.env.go.jp/garden/shinjukugyoen/1_intro/pdf/rdb-03.pdf (2014年11月26日アクセス)
- 3 問い合わせ(2014年12月10日), パナソニック産機システムズ(株)
- 4 (一社)日本冷凍空調設備工業連合会「ユーザーによる冷凍空調設備機器の維持管理について」
『平成26年度経済産業省委託事業 業務用 冷凍空調設備機器の簡易点検説明会資料』 p.15,
<https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/1000163.pdf> (2022年1月28日アクセス)
- 5 ヒアリング調査(2014年9月16日), 群馬県沼田市利根町 苗木生産者の角田苗木園
- 6 ヒアリング調査(2022年1月5日), 群馬森林管理署及び(株)吉本 由井専務
- 7 林野庁(2018)「植栽技術の開発」,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/pdf/20-20houkokusyo_3syokusaigijutu.pdf (2021年8月6日アクセス)
- 8 ヒアリング調査(2014年9月16日), 群馬県素材生産流通協同組合, (有)内山林業
- 9 群馬県環境森林部森林局森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」
- 10 林野庁(2016)「森林環境保全整備事業における標準単価の設定等について」,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/zourinkikaku/pdf/2016_0401_sinrinseibi_tanka.pdf
(2021年8月10日アクセス)
- 11 大矢信次郎他(2017)「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」『長野県林総セ研報第31号』長野県林業総合センター, p.23,
https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/seika/kenkyu/ikurin/documents/31_03_iku_reforest.pdf (2022年2月2日アクセス)
- 12 愛知県建設局(2020)「積算基準及び歩掛表(その1)【土木工事編】(令和2年10月)」 p.379,
https://www.pref.aichi.jp/kensetsu-kikaku/gijyutsu/sekisankijun/R2/R2sono1_20210401.pdf (2021年6月30日アクセス)
- 13 全国木材協同組合連合会(2010)「林地残材にさせない群馬モデル創出に向けた利活用実証事業(県産材加工協同組合(群馬県))」 p.38,
http://www.zenmokukyo.jp/assets/files/H22_jigyuu_report2_1.pdf (2020年9月28日アクセス)
- 14 問い合わせ(2019年8月29日), オーアイ・イノベーション(株)
- 15 ヒアリング調査(2014年9月16日), 匿名希望により某製材所とする。
(某製材所の概要, 所在地: 群馬県南西部, 製材生産量: 20,000m³/年, 国産材 100%取扱, 主要取扱樹種: スギ・ヒノキ, 製造製品: 柱材・間柱・平角材等)
- 16 齋藤周逸他(2009)「乾燥工場規模別の乾燥材生産コスト試算」『関東森林研究 No 60』関東森林学会, p.281-282
- 17 川鍋亜衣子他(2010)「木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理」『日本建築学会技術報告集16(32)』(一社)日本建築学会, p.37-42,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/16/32/16_32_37/_pdf (2021年10月25日アクセス)
- 18 宮川工機(株)(2022)カタログ請求, <https://www.miyagawakoki.co.jp/products/catalog/> (2022年2月7日アクセス)及び問い合わせ(2022年2月7日)
- 19 問い合わせ(2022年2月8日), (株)ヤスジマ, <https://yasujima.co.jp/>
- 20 日本木材防腐工業組合(2021) 防腐木材生産量(単位 m³), <http://www.jwpia.or.jp/pages/9/> (2022年2月18日アクセス)

付録3 林道整備における二酸化炭素排出量の算出表

付録3-1. 林業専用道開設(新設)工事

この林業専用道開設(新設)工事における排出量は、次に述べる①から④までの排出量の合計として求めている。尚、歩掛及び数量等の引用元については図表78-1～5に記してある。

① バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)

土工 : 床堀, 粘性土・礫質土 現場外(カーブミラー設置 : 0.9m³)

歩掛 : 28.6m³/h

数量 : 6(本)×0.9(m³)=5.4(m³)

バックホウ(0.45/0.35m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.19(h)

$$5.4(\text{m}^3) / 26.8(\text{m}^3/\text{h}) = 0.19(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 0.19(\text{h}) = 0.78(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.19(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 0.19(\text{h}) = 0.02(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C : 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 60.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 0.19(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 0.19(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 5.11(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 11.8(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.19(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 0.19(\text{h}) / 6.3\text{h}(\text{h}) = 1.40(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (0.78+0.02+5.11+1.40) = 7.31(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

② バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)

土工 : 掘削, 砂・砂質土

歩掛 : 1/26.5h/m³

数量 : 4,699m³

バックホウ(0.45/0.35m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 177.32(h)

$$1/26.5(\text{h/m}^3) \times 4,699(\text{m}^3) = 177.32(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 177.32(\text{h}) = 731.40(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 177.32(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 177.32(\text{h}) = 16.64(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 60.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 177.32(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 177.32(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 4,802.02(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 建設機械質量: 11.8(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 177.32(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 177.32(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 1,315.21(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (731.40+16.64+4,802.02+1,315.21) = 6,865.28(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)

土工 : 切土法面(粗面)整形, 砂・砂質土

歩掛 : 4.3h/100m²

数量 : 2,203.7m²

バックホウ(0.45/0.35m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 94.76(h)

$$4.3(\text{h}/100\text{m}^2) \times 2,203.7(\text{m}^2) = 94.76(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 94.76(\text{h}) = 390.86(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 94.76(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 94.76(\text{h}) = 8.89(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 60.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 94.76(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 94.76(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 2,566.17(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 11.8(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 94.76(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 94.76(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 702.84(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (390.86+8.89+2,566.17+702.84) = 3,668.76(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

④ バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)

土工 : 掘削, 粘性土・礫質土

歩掛 : 1/24.5h/m³

数量 : 200.0m³

バックホウ(0.45/0.35m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 8.16(h)

$$1/24.5(\text{h/m}^3) \times 200.0(\text{m}^3) = 8.16(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 8.16(\text{h}) = 33.67(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂e/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 8.16(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 8.16(\text{h}) = 0.77(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 60.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 8.16(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 8.16(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 221.07(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は, 3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 11.8(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 8.16(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 8.16(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 60.55(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は, 以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (33.67+0.77+221.07+60.55) = 316.05(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

⑤ 不整地運搬車(クローラ・ダンプ, 6t 積)

土工 : 土砂運搬

歩掛 : 1/62.7h/m³

数量 : 37.0m³

不整地運搬車の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.2(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 560(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.59(h)

$$1/62.7(\text{h/m}^3) \times 37.0(\text{m}^3) = 0.59(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 560(\text{h})\} \times 0.59(\text{h}) = 2.78(\text{kg-CO}_2)$$

不整地運搬車の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.2(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 560(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.59(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 560(\text{h})\} \times 0.59(\text{h}) = 0.06(\text{kg-CO}_2)$$

不整地運搬車の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

$$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2)$$

e : 機関出力(t) : 150.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.134(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 0.59(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 150.0(\text{kW}) \times 0.134(\text{L/kW-h}) \times 0.59(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 34.99(\text{kg-CO}_2)$$

不整地運搬車の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は, 3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 9.2(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.59(h)

不整地運搬車の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t}) \times 0.59(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 4.30(\text{kg-CO}_2)$$

不整地運搬車(クローラ・ダンプ・6t 積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は, 以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (2.78+0.06+34.99+4.30) = 42.14(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

⑥ 不整地運搬車(クローラ・ダンプ, 6t 積)

土工 : 土砂運搬

歩掛 : 1/9.0h/m³

数量 : 3,611.0m³

不整地運搬車の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.2(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 560(h)

T : 実際の稼働時間 : 401.22(h)

$$1/9.0(\text{h/m}^3) \times 3,611.0 (\text{m}^3) = 401.22(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 560(\text{h})\} \times 401.22(\text{h}) = 1,892.64(\text{kg-CO}_2)$$

不整地運搬車の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.2(t)

a : 標準使用年数 : 10.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 560(h)

T : 実際の稼働時間 : 401.22(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t})\} / \{10.5(\text{y}) \times 560(\text{h})\} \times 401.22(\text{h}) = 43.06(\text{kg-CO}_2)$$

不整地運搬車の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-9 式より

$C = e \times r \times T \times$ 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

$C =$ 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 150.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.134(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 401.22(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 150.0(\text{kW}) \times 0.134(\text{L/kW-h}) \times 401.22(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 23,790.47(\text{kg-CO}_2)$$

不整地運搬車の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w_1 : 建設機械質量: 9.2(t)

td : 運転日当たり運転時間: 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 401.22(h)

不整地運搬車の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t}) \times 401.22(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 2,923.47(\text{kg-CO}_2)$$

不整地運搬車(クローラ・ダンプ・6t 積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (1,892.64 + 43.06 + 23,790.47 + 2,923.47) = 28,649.64(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

⑦ バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)

土工 : 積込工, 砂・砂質土

歩掛 : 25.74/m³/h

数量 : 3,499.95m³

バックホウ(0.45/0.35m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w_1 : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 135.97(h)

$$3,499.95(\text{m}^3) / 25.74(\text{m}^3/\text{h}) = 135.97(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 135.97(\text{h}) = 560.85(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w_1 : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 135.97(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 135.97(\text{h}) = 12.76(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 60.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 135.97(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 135.97(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 3,682.29(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 建設機械質量: 11.8(t)

td : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 135.97(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 135.97(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 1,008.53(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (560.85+12.76+3,682.29+1,008.53) = 5,264.44(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

⑧ バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)

土工 : 積込工, 礫質土・粘性土

歩掛 : 23.76/m³/h

数量 : 148.05m³

バックホウ(0.45/0.35m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 6.23(h)

$$148.05(\text{m}^3) / 23.76(\text{m}^3/\text{h}) = 6.23(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 6.23(\text{h}) = 25.70(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 6.23(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 6.23(\text{h}) = 0.58(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

$$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2)$$

e：機関出力(t)：60.0(kW)

r：燃料消費率：0.153(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：6.23(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 6.23(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 168.74(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / \text{td}$$

w₁：建設機械質量：11.8(t)

td：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：6.23(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 6.23(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 46.22(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型：0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (25.70+0.58+168.74+46.22) = 241.25(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

⑨ バックホウ(クローラ型：0.45/0.35m³)

土工：盛土法面整形(削り取り整形)，砂・砂質土・粘性土

歩掛：3.5h/100m²

数量：1,778.4m²

バックホウ(0.45/0.35m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：11.8(t)

a：標準使用年数：12.5(y)

t：年間標準運転時間：690(h)

T：実際の稼働時間：62.24(h)

$$3.5(\text{h}/100\text{m}^2) \times 1,778.4(\text{m}^2) = 62.24(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 62.24(\text{h}) = 256.74(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：11.8(t)

a：標準使用年数：12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 62.24(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h}) \times 62.24(\text{h})\} = 5.84(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 60.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 62.24(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 62.24(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 1,685.63(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 11.8(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 62.24(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 62.24(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 461.67(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (256.74+5.84+1,685.63+461.67) = 2,409.88(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

⑩ バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)

土工 : 路肩整正

歩掛 : 0.7h/100m

数量 : 455.2m

バックホウ (0.45/0.35m³) の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.19(h)

$$0.7(\text{h}/100\text{m}) \times 455.2(\text{m}) = 3.19(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 3.19(\text{h}) = 13.14(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w_1 : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.19(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h}) \times 3.19(\text{h})\} = 0.30(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$C = e \times r \times T \times$ 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

$C =$ 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 60.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 3.19(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 3.19(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 86.29(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w_1 : 建設機械質量: 11.8(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.19(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 3.19(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 23.63(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (13.14+0.30+86.29+23.63) = 123.37(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

⑩ バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)

土工 : 二重ふとんかご設置

歩掛 : 0.11h/枚

数量 : 64 枚

バックホウ(0.45/0.35m³)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w_1 : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 7.04(h)

$$0.11(\text{h/枚}) \times 64(\text{枚}) = 7.04(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 7.04(\text{h}) = 29.04(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ (0.45/0.35m³) の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 11.8(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 690(h)

T : 実際の稼働時間 : 7.04(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 690(\text{h})\} \times 7.04(\text{h}) = 0.66(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 60.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 7.04(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 60.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 7.04(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 190.65(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(0.45/0.35m³)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 11.8(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 7.04(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 11.8(\text{t}) \times 7.04(\text{h}) / 6.3(\text{h}) = 52.22(\text{kg-CO}_2)$$

バックホウ(クローラ型 : 0.45/0.35m³)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (29.04+0.66+190.65+52.22) = 272.57(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

⑫ ブルトーザ(11t 級)

土工 : 敷均し, 締固め(厚 10cm)

歩掛 : 50.0m³/h

数量 : 350.7m³

ブルトーザ(11t 級)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 7.01(h)

$$350.7(\text{m}^3) / 50.0(\text{m}^3/\text{h}) = 7.01(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 7.01(\text{h}) = 46.10(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 7.01(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / 12.5(\text{y}) \times 400(\text{h}) \times 7.01(\text{h}) = 1.05(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 78.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 7.01(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 78.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 7.01(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 246.93(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 建設機械質量: 10.9(t)

td : 運転日当たり運転時間: 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 7.01(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t}) \times 7.01(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 60.55(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (46.10+1.05+246.93+60.55) = 354.63(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

⑬ ブルトーザ(11t 級)

土工 : 路盤材敷均し(厚 20cm)

歩掛 : 56.0m³/h

数量 : 38.9m³

ブルトーザ(11t 級)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 6.95(h)

$$38.9(\text{m}^3) / 56.0(\text{m}^3/\text{h}) = 6.95(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 6.95(\text{h}) = 45.66(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：10.9(t)

a：標準使用年数：12.5(y)

t：年間標準運転時間：400(h)

T：実際の稼働時間：6.95(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 6.95(\text{h}) = 1.04(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：78.0(kW)

r：燃料消費率：0.153(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：6.95(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 78.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 6.95(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 244.55(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：建設機械質量：10.9(t)

t_d：運転日当たり運転時間：5.0(h)

T：実際の稼働時間：6.95(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t}) \times 6.95(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 59.97(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (45.66+1.04+244.55+59.97) = 351.21(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{13}$$

⑭ ブルトーザ(11t 級)

土工：敷均し、締固め

歩掛：38.0m³/h

数量：37.32m³

ブルトーザ(11t 級)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：10.9(t)

a：標準使用年数：12.5(y)

t：年間標準運転時間：400(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.97(h)

$$37.32(\text{m}^3)/38.0(\text{m}^3/\text{h})=0.97(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 0.97(\text{h}) = 6.40(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.97(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 0.97(\text{h}) = 0.15(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 78.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 0.97(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 78.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 0.97(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 34.28(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量 : 10.9(t)

t_d : 運転日当たり運転時間 : 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.97(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t}) \times 0.97(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 8.41(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (6.40+0.15+34.28+8.41) = 49.23(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{14}$$

⑮ ブルトーザ(11t 級)

土工 : 敷均し(残土処理場)

歩掛 : 38.0m³/h

数量 : 3,611.0m³

ブルトーザ(11t 級)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 53.10(h)

$$3,611.0(\text{m}^3)/38.0(\text{m}^3/\text{h})=53.10(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 53.10(\text{h}) = 349.02(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 53.10(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / 12.5(\text{y}) \times 400(\text{h}) \times 53.10(\text{h}) = 7.94(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 78.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 53.10(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95 (kg-CO₂e/L)

$$C = 78.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 53.10(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 1,869.50(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 10.9(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 53.10(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t}) \times 53.10(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 458.43(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (349.02+7.94+1,869.50+458.43) = 2,684.89(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{15}$$

⑩ ブルトーザ(11t 級)

土工 : 締固め(路体)

歩掛 : 88.0m³/h

数量 : 38.9m³

ブルトーザ(11t 級)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.44(h)

$$38.9(\text{m}^3)/88.0(\text{m}^3/\text{h})=0.44(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 0.44(\text{h}) = 2.91(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.44(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 0.44(\text{h}) = 0.07(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 78.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 0.44(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 78.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 0.44(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 15.56(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 10.9(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 0.44(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t}) \times 0.44(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 3.82(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (2.91+0.07+15.56+3.82) = 22.35(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{16}$$

⑰ ブルトーザ(11t 級)

土工 : 流用盛土

歩掛 : 2.63h/100m³

数量 : 761.0m³

ブルトーザ(11t 級)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 20.01(h)

$$2.63(\text{h}/100\text{m}^3) \times 761.0(\text{m}^3) = 20.01(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 20.01(\text{h}) = 131.54(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 10.9(t)

a : 標準使用年数 : 12.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 400(h)

T : 実際の稼働時間 : 20.01(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t})\} / \{12.5(\text{y}) \times 400(\text{h})\} \times 20.01(\text{h}) = 2.99(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 78.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.153(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 20.01(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 78.0(\text{kW}) \times 0.153(\text{L/kW-h}) \times 20.01(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 704.61(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量: 10.9(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 20.01(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.9(\text{t}) \times 20.01(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 172.78(\text{kg-CO}_2)$$

ブルトーザ(11t 級)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (131.54+2.99+704.61+172.78) = 1,011.93(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{17}$$

⑱ ①～⑰の運搬車両セミトレーラ(25t積)

走行距離 : 事務所～現場まで往復65km

走行速度：40km/h

往復回数：3回

運搬車両セミトレーラの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：17.2(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：630(h)

T：実際の稼働時間：4.88(h)

$$65(\text{km})/40(\text{km/h}) \times 3(\text{回}) = 4.88(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 630(\text{h})\} \times 4.88(\text{h}) = 44.59(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両セミトレーラの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：17.2(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：630(h)

T：実際の稼働時間：4.88(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 630(\text{h})\} \times 4.88(\text{h}) = 1.01(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両セミトレーラの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：235.0(kW)

r：燃料消費率：0.075(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：4.88(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 235.0\text{kW} \times 0.075(\text{L/kW-h}) \times 4.88(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 360.01(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両セミトレーラの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁：作業機械質量：17.2(t)

td：運転日当たり運転時間：6.3(h)

T：実際の稼働時間：4.88(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t}) \times 4.88(\text{h}) / 6.3\text{h} = 52.71(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両セミトレーラ(25t積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (44.59+1.01+360.01+52.71) = 458.32(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{18}$$

⑱ 生コンクリート(21-8-25 BB)

材質：高炉セメント強度 21

数量：113.10m³

生コンクリート(21-8-25 BB)の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/m³)：197.52(kg-CO₂e/m³)

生コンクリートの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$$M = 113.10(\text{m}^3) \times 197.52(\text{kg-CO}_2\text{e/m}^3) = 22,339.51(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{19}$$

⑳ 生コン運搬アジテータトラック

走行距離：生コン事業者～現場まで往復24.2km

走行速度：40km/h

混合容量：4.4m³

往復回数：26回，113.10(m³)/4.4(m³)=26回(小数第1位切上)

アジテータトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：9.2(t)

a：標準使用年数：11.0(y)

t：年間標準運転時間：780(h)

T：実際の稼働時間：15.73(h)

$$\{24.2(\text{km}) \times 26(\text{回})\} / 40(\text{km/h}) = 15.73(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t})\} / \{11.0(\text{y}) \times 780(\text{h})\} \times 15.73(\text{h}) = 50.85(\text{kg-CO}_2)$$

アジテータトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：9.2(t)

a：標準使用年数：11.0(y)

t：年間標準運転時間：780(h)

T：実際の稼働時間：15.73(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t})\} / \{11.0(\text{y}) \times 780(\text{h})\} \times 15.73(\text{h}) = 1.16(\text{kg-CO}_2)$$

アジテータトラックの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：213.0(kW)

r：燃料消費率：0.059(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：15.73(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 213.0 \text{ kW} \times 0.059 \text{ (L/kW-h)} \times 15.73 \text{ (h)} \times 4.19 \text{ (kg-CO}_2\text{e/L)} = 828.27 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

アジテータトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：9.2(t)

t_d：運転日当たり運転時間：4.9(h)

T：実際の稼働時間：15.73(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 9.2 \text{ (t)} \times 15.73 \text{ (h)} / 4.9 \text{ h} = 116.95 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

生コンクリート運搬アジテータトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (50.85+1.16+828.27+116.95) = 997.24 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{20}$$

⑳ モータグレーダ(土工用)

路盤工：舗装路盤工(車道施工)一層仕上げ

ブレード幅：3.1m

歩掛：1,110m²/d(一層)，5.4h/d

数量：725.0m²

モータグレーダ(土工用)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂e/t)

w₁：作業機械質量：10.0(t)

a：標準使用年数：15.0(y)

t：年間標準運転時間：380(h)

T：実際の稼働時間：3.53(h)

$$725.0 \text{ (m}^2\text{)} \times 1,110 \text{ (m}^2\text{/d)} \times 5.4 \text{ (h/d)} = 3.53 \text{ (h)}$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 10.0 \text{ (t)}\} / \{15.0 \text{ (y)} \times 380 \text{ (h)}\} \times 3.53 \text{ (h)} = 18.66 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

モータグレーダ(土工用)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂e/t)

w₁：作業機械質量：10.0(t)

a：標準使用年数：15.0(y)

t：年間標準運転時間：380(h)

T：実際の稼働時間：3.53(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6 \text{ (kg-CO}_2\text{e/t)} \times 10.0 \text{ (t)}\} / \{15.0 \text{ (y)} \times 380 \text{ (h)}\} \times 3.53 \text{ (h)} = 0.42 \text{ (kg-CO}_2\text{)}$$

モータグレーダ(土工用)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

$$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2\text{)}$$

e : 機関出力(t) : 85.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.108(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 3.53(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 85.0(\text{kW}) \times 0.108(\text{L/kW-h}) \times 3.53(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 95.52(\text{kg-CO}_2)$$

モータグレーダ(土工用)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 建設機械質量 : 10.0(t)

t_d : 運転日当たり運転時間 : 5.4(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.53(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 10.0(\text{t}) \times 3.53(\text{h}) / 5.4(\text{h}) = 25.86(\text{kg-CO}_2)$$

モータグレーダ(土工用)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (18.66+0.42+95.52+25.86) = 140.46(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{21}$$

② ロードローラ(マカダム)

路盤工 : 舗装路盤工(車道施工)一層仕上げ

締固め幅 : 2.1m

歩掛 : 1,110m²/d(一層), 5.1h/d

数量 : 725.0m²

ロードローラ(マカダム)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5 式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.3(t)

a : 標準使用年数 : 15.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 360(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.33(h)

$$725.0(\text{m}^2) \times 1,110(\text{m}^2/\text{d}) \times 5.1(\text{h}/\text{d}) = 3.33(\text{h})$$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.3(\text{t})\} / \{15.0(\text{y}) \times 360(\text{h})\} \times 3.33(\text{h}) = 17.30(\text{kg-CO}_2)$$

ロードローラ(マカダム)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6 式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 9.3(t)

a : 標準使用年数 : 15.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 360(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.33(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.3(\text{t})\} / \{15.0(\text{y}) \times 360(\text{h})\} \times 3.33(\text{h}) = 0.39(\text{kg-CO}_2)$$

ロードローラ(マカダム)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$

$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2\text{)}$

e : 機関出力(t) : 56.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.118(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 3.33(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 2.95(kg-CO₂e/L)

$C = 56(\text{kW}) \times 0.118(\text{L/kW-h}) \times 3.33(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 64.93(\text{kg-CO}_2)$

ロードローラ(マカダム)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$

w_1 : 建設機械質量 : 9.3(t)

td : 運転日当たり運転時間 : 5.1(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.33(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.3(\text{t}) \times 3.33(\text{h}) / 5.1(\text{h}) = 24.05(\text{kg-CO}_2)$

ロードローラ(マカダム)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$(P+D+C+Od) = (17.30+0.39+64.93+24.05) = 106.68(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{22}$

②③ タイヤクローラ(普通型)

路盤工 : 舗装路盤工(車道施工)一層仕上げ

締固め幅 : 2.1m

歩掛 : 1,110m²/d(一層), 5.4h/d

数量 : 725.0m²

タイヤクローラ(普通型)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w_1 : 作業機械質量 : 17.9(t)

a : 標準使用年数 : 14.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 380(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.53(h)

$725.0(\text{m}^2) \times 1,110(\text{m}^2/\text{d}) \times 5.4(\text{h}/\text{d}) = 3.53(\text{h})$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.9(\text{t})\} / \{14.5(\text{y}) \times 380(\text{h})\} \times 3.53(\text{h}) = 34.54(\text{kg-CO}_2)$

タイヤクローラ(普通型)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w_1 : 作業機械質量 : 17.9(t)

a : 標準使用年数 : 14.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 380(h)

T : 実際の稼働時間 : 3.53(h)

図表 34 より廃棄過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.9(\text{t})\} / \{14.5(\text{y}) \times 380(\text{h})\} \times 3.53(\text{h}) = 0.79(\text{kg-CO}_2)$$

タイヤクローラ(普通型)の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9 式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

$$C = \text{稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO}_2)$$

e：機関出力(t)：71.0(kW)

r：燃料消費率：0.085(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：3.53(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：2.95(kg-CO₂e/L)

$$C = 71.0(\text{kW}) \times 0.085(\text{L/kW-h}) \times 3.53(\text{h}) \times 2.95(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 62.79(\text{kg-CO}_2)$$

タイヤクローラ(普通型)の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8 式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：建設機械質量：17.9(t)

t_d：運転日当たり運転時間：5.4(h)

T：実際の稼働時間：3.53(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.9(\text{t}) \times 3.53(\text{h}) / 5.4(\text{h}) = 46.30(\text{kg-CO}_2)$$

タイヤクローラ(普通型)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (34.54+0.79+62.79+46.30) = 144.42(\text{kg-CO}_2) \cdots \cdots \textcircled{23}$$

④ ①②③の運搬車両セミトレーラ(25t積)

走行距離：事務所～現場まで往復65km

走行速度：40km/h

往復回数：3回

運搬車両セミトレーラの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：17.2(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：630(h)

T：実際の稼働時間：4.88(h)

$$65(\text{km}) / 40(\text{km/h}) \times 3(\text{回}) = 4.88(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 630(\text{h})\} \times 4.88(\text{h}) = 44.59(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両セミトレーラの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：17.2(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 630(h)

T : 実際の稼働時間 : 4.88 (h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t})\} / 11.5(\text{y}) \times 630(\text{h}) \times 4.88(\text{h}) = 1.01(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両セミトレーラの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 235.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.075(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 4.88 (h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 235.0\text{kW} \times 0.075(\text{L/kW-h}) \times 4.88(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 360.01(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両セミトレーラの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁ : 作業機械質量 : 17.2(t)

t_d : 運転日当たり運転時間: 6.3(h)

T : 実際の稼働時間 : 4.88(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t}) \times 4.88(\text{h}) / 6.3\text{h} = 52.71(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両セミトレーラ(25t積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (44.59+1.01+360.01+52.71) = 458.32(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{24}$$

㉕ 再生砕石(RC-40)

数量 : 612.07m³

比重 : 2.0

再生砕石(RC-40)の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 5.45(kg-CO₂e/t)

再生砕石(RC-40)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = 612.07(\text{m}^3) \times 2.0 \times 5.45(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) = 6,704.92(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{25}$$

㉖ 路盤排水(フィルター材) 硬質ポリ管

特注品(内径 10mm 網目)のため VP13 と同等

質量 : 174g/m

数量 : 7.8m

硬質ポリ管(VP13)の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 1.33(kg-CO₂e/kg)

路盤排水(フィルター材)硬質ポリ管の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = 0.174(\text{kg/m}) \times 7.8(\text{m}) \times 1.33(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 1.81(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{26}$$

⑳ 水抜きパイプ 硬質ポリ管

外径 : 114mm, 内径 : 100mm

質量 : 3,409g/m

数量 : 11.4m

硬質ポリ管の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 1.33(kg-CO₂e/kg)

水抜きパイプ 硬質ポリ管の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は, 3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = 0.3409(\text{kg/m}) \times 11.4(\text{m}) \times 1.33(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 5.17(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{27}$$

㉑ 木製路面排水溝(シスイエース)×17組

合成ゴム

数量 : 2枚 (t:0.8cm W:18cm L:300cm), 10枚 (t:0.8cm W:18cm L:400cm),
5枚 (t:0.8cm W:18cm L:500cm)

比重 : 1.5

重量 : {0.8(cm)×18(cm)×300(cm)}/1,000×2(枚)×1.5=12.96(kg)

{0.8(cm)×18(cm)×400(cm)}/1,000×2(枚)×1.5=86.40(kg)

{0.8(cm)×18(cm)×500(cm)}/1,000×2(枚)×1.5=54.00(kg)

合計 : 153.36(kg)

M16 ボルト(溶融亜鉛メッキ鋼材)

数量 : 66組(L : 25cm×3本/組), 組 : M16 六角ボルト, 座金2枚, ナット1個

重量 : 476.1(g/組)×66(組)=31.44(kg)

合成ゴムの二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 6.08(kg-CO₂e/kg)

溶融亜鉛メッキ鋼材の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 0.97(kg-CO₂e/kg)

木製路面排水溝の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は, 3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = 153.36(\text{kg}) \times 6.08(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + 31.44(\text{kg}) \times 0.97(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 962.80(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{28}$$

㉒ 植生土のう(種肥付)×175袋

ポリエチレン製の袋(L:600×W:400)にバーク堆肥, 種子播種量(12g/m²), 化成肥料(40g/m²)
が混入された土のうをアンカーピン(丸鋼 : 直径 13mm×400mm, 1.04kg/m)で固定する。

土のう袋(ポリエチレン製)

数量 : 175枚

重量 : 0.085kg/枚, 175(枚)×0.085(kg/枚)=14.88(kg)

パーク堆肥(カーボン・ニュートラル)

種子

数量：6袋/m²，175(袋)

重量：12g/m²，175(枚)/6(袋/m²)×12(g)/1,000=0.35(kg)

化成肥料(高度化成肥料)

数量：6袋/m²，175(袋)

重量：40g/m²，175(枚)/6(袋/m²)×40(g)/1,000=1.17(kg)

アンカーピン(構造用丸棒普通鋼熱間圧延鋼材)

数量：87(本)，L：400mm

重量：丸鋼，直径13mm×400mm，1.04kg/m，0.4(m)×87(本)×1.04(kg/m)=36.19(kg)

ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：1.53(kg-CO₂e/kg)

種子の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：2.14(kg-CO₂e/kg)

高度化成肥料の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：1.65(kg-CO₂e/kg)

構造用丸棒普通鋼熱間圧延鋼材の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：1.49(kg-CO₂e/kg)

植生土のう(種肥付)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$M = 14.88(\text{kg}) \times 1.53(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + 0.35(\text{kg}) \times 2.14(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + 1.17(\text{kg}) \times 1.65(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + 36.19(\text{kg}) \times 0.97(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 79.42(\text{kg-CO}_2)$ ㉙

㉚ 警戒標識板(3基)

材質：アルミ板，支柱：溶融亜鉛メッキ鋼材

アルミ板

数量：3(枚)

重量：450mm×450mm t：2mm，比重：2.7

$\{450(\text{mm}) \times 450(\text{mm}) \times 2(\text{mm}) \times 2.7\} / 10^6 \times 3(\text{枚}) = 3.28(\text{kg})$

支柱(丸鋼管柱)

数量：3(本)

重量：外径：60.5mm×L：3m，t：3.2mm，4.52kg/m

$3(\text{m}) \times 4.52(\text{kg/m}) \times 3(\text{本}) = 40.68(\text{kg})$

アルミ板の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：4.07(kg-CO₂e/kg)

溶融亜鉛メッキ鋼材の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：0.97(kg-CO₂e/kg)

警戒標識板の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は，3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$M = 3.28(\text{kg}) \times 4.07(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + 40.68(\text{kg}) \times 0.97(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 52.65(\text{kg-CO}_2)$ ㉛

㉜ カーブミラー(6基)

鏡面：アクリル樹脂，バックプレート：FRP，取付枠：アルミニウム，

フード：ポリカーボネート樹脂

取付金具：溶融亜鉛メッキ鋼材

支柱：溶融亜鉛メッキ鋼材

鏡面

材質：アクリル樹脂

数量：6(枚)

重量：直径 800mm t:3mm, 比重：1.19

$$\{3.14 \times 400(\text{mm}) \times 400(\text{mm}) \times 3(\text{mm}) \times 1.19\} / 10^6 \times 6(\text{枚}) = 10.76(\text{kg})$$

バックプレート

材質：FRP

数量：6(枚)

重量：直径 800mm t:4mm 3.6kg/枚, 比重：1.8

$$\{3.14 \times 400(\text{mm}) \times 400(\text{mm}) \times 4(\text{mm}) \times 1.8\} / 10^6 \times 6(\text{枚}) = 21.70(\text{kg})$$

取付枠

材質：アルミニウム

数量：6(個)

重量：0.5kg/個, 0.5(kg/個)×6(個)=3.00(kg)

フード

材質：ポリカーボネート樹脂

数量：6(枚)

重量：0.5kg/枚, 0.5(kg/枚)×6(枚)=3.00(kg)

取付金具

材質：溶融亜鉛メッキ鋼材

数量：6(個)

重量：1.5kg/個, 1.5(kg/個)×6(個)=9.00(kg)

支柱

材質：溶融亜鉛メッキ鋼材

数量：6(本)

重量：直径 76.3mm L:4m t:3.2mm, 5.2kg/m

$$5.2(\text{kg/m}) \times 4(\text{m}) \times 6(\text{本}) = 124.80(\text{kg})$$

アクリル樹脂の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：5.25(kg-CO₂e/kg)

FRPの二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：5.21(kg-CO₂e/kg)

アルミニウムの二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：3.13(kg-CO₂e/kg)

ポリカーボネート樹脂の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：7.69(kg-CO₂e/kg)

溶融亜鉛メッキ鋼材の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：0.97(kg-CO₂e/kg)

カーブミラーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

M = w₂ × 各材質のCO₂原単位

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$$M = 10.76(\text{kg}) \times 5.25(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + 21.70(\text{kg}) \times 5.21(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + 3.00(\text{kg}) \times 3.13(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})$$

$$+ 3.00(\text{kg}) \times 7.69(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) + \{9.00(\text{kg}) + 124.80(\text{kg})\} \times 0.97(\text{kg-CO}_2\text{e/kg})$$

$$= 331.28(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{31}$$

③② 生コンクリート(21-8-25 BB)

材質：高炉セメント強度 21

数量：0.6m³

生コンクリート(21-8-25 BB)の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/m³)：197.52(kg-CO₂e/m³)

生コンクリートの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$$M = 0.6(\text{m}^3) \times 197.52(\text{kg-CO}_2\text{e/m}^3) = 118.51(\text{kg-CO}_2) \quad \dots \dots \dots \textcircled{32}$$

③③ 生コンクリート運搬アジテータトラック

走行距離：生コン事業者～現場まで往復24.2km

走行速度：40km/h

混合容量：4.4m³

往復回数：1回

アジテータトラックの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P：製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：9.2(t)

a：標準使用年数：11.0(y)

t：年間標準運転時間：780(h)

T：実際の稼働時間：0.61(h)

$$\{24.2(\text{km}) \times 1(\text{回})\} / 40(\text{km/h}) = 0.61(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t})\} / \{11.0(\text{y}) \times 780(\text{h})\} \times 0.61(\text{h}) = 1.96(\text{kg-CO}_2)$$

アジテータトラックの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：9.2(t)

a：標準使用年数：11.0(y)

t：年間標準運転時間：780(h)

T：実際の稼働時間：0.61(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 9.2(\text{t})\} / \{11.0(\text{y}) \times 780(\text{h})\} \times 0.61(\text{h}) = 0.04(\text{kg-CO}_2)$$

アジテータトラックの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：213.0(kW)

r：燃料消費率：0.059(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 0.61(h)
 燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19(kg-CO₂e/L)
 $C = 213.0kW \times 0.059(L/kW \cdot h) \times 0.61(h) \times 4.19(kg-CO_2e/L) = 31.86(kg-CO_2)$

アジテータトラックの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$
 w_1 : 作業機械質量 : 9.2(t)
 td : 運転日当たり運転時間: 4.9(h)
 T : 実際の稼働時間 : 0.61(h)
 作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)
 $Od = 3.96(kg-CO_2e/t) \times 9.2(t) \times 0.61(h) / 4.9h = 4.50(kg-CO_2)$

生コン運搬アジテータトラックの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$(P+D+C+Od) = (1.96+0.04+31.86+4.50) = 38.36(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{33}$

③④ 起終点標柱(鋼材)

材質 : 溶融亜鉛メッキ鋼材
 数量 : 1(本)
 重量 : 130mm×130mm×L:1.5m, 17.8kg/m
 溶融亜鉛メッキ鋼材の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 0.97(kg-CO₂e/kg)

起終点標柱の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位
 M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)
 w_2 : 建設資材の重量(kg)
 $M = 17.8(kg/m) \times 1.5(m) \times 0.97(kg-CO_2e/kg) = 25.79(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{34}$

③⑤ 距離標柱(距離標柱ハイパイル)

材質 : FRP
 数量 : 2(本)
 重量 : 70mm×70mm×L:1.0m, 1.67kg/本
 FRP の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 5.21(kg-CO₂e/kg)

距離標柱の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位
 M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)
 w_2 : 建設資材の重量(kg)
 $M = 1.67(kg) \times 5.21(kg-CO_2e/kg) = 17.40(kg-CO_2) \dots \dots \dots \textcircled{35}$

③⑥ 吸出防止材(サンドマット)

材質 : 合成繊維
 数量 : 8.7m
 重量 : W:1m×L:10m, 0.75kg/m²,補正 : 12%
 $0.75(kg/m^2) \times 8.7(m) \times 1.12 = 6.55(kg)$
 合成繊維の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 4.55(kg-CO₂e/kg)

吸出防止材(サンドマット)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = 6.55(\text{kg}) \times 4.55(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 29.81(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{36}$$

③⑦ 二重ふとん簞(角形パネル)

材質 : 溶融亜鉛メッキ線材

数量 : 64 簞

重量 : 4.0(#8)×13mm×50mm×1.2m L:2m, 25.7kg/簞

$$25.7(\text{kg/簞}) \times 64(\text{簞}) = 1,644.80(\text{kg})$$

溶融亜鉛メッキ線材の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 0.75(kg-CO₂e/kg)

二重ふとん簞(角形パネル)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = 1,644.80(\text{kg}) \times 0.75(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 1,225.38(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{37}$$

③⑧ ふとん簞用詰石

数量 : 2m, 5.7m³/10m, 20cm 内外

$$5.7(\text{m}^3/10) \times 2(\text{m}) \times 2.2 = 2.51(\text{t})$$

比重 : 2.2

ふとん簞用詰石の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/t) : 10.52(kg-CO₂e/t)

ふとん簞用詰石の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$$M = 2.51(\text{t}) \times 10.52(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) = 26.38(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{38}$$

③⑨ ②⑤③⑧の運搬車両ダンプトラック(10t積)

走行距離 : 事務所～現場まで往復65km

走行速度 : 40km/h

往復回数 : 96回

再生砕石 : 95回, 473.59(m³)×2/10(t)=95(回)小数第1位切上

ふとん簞用詰石 : 1回, 2.51(t)/10(t)=1(回)小数第1位切上

ダンプトラック(10t積)の製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 17.2(t)

a : 標準使用年数 : 11.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 630(h)

T : 実際の稼働時間 : 156.0(h)

$$65(\text{km}) / 40(\text{km/h}) \times 96(\text{回}) = 156.0(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 630(\text{h})\} \times 156.0(\text{h}) = 549.66(\text{kg-CO}_2)$$

ダンプトラック(10t積)の廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D：廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁：作業機械質量：17.2(t)

a：標準使用年数：11.5(y)

t：年間標準運転時間：630(h)

T：実際の稼働時間：156.0(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値：68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t})\} / \{11.5(\text{y}) \times 630(\text{h})\} \times 156.0(\text{h}) = 12.51(\text{kg-CO}_2)$$

ダンプトラック(10t積)の稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C：稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e：機関出力(t)：235.0(kW)

r：燃料消費率：0.075(L/kW-h)

T：実際の稼働時間：156.0(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量：4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 235.0\text{kW} \times 0.075(\text{L/kW-h}) \times 156.0(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 6,914.20(\text{kg-CO}_2)$$

ダンプトラック(10t積)の稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-8式より

$$O_d = (3.96 \times w_1) \times T / t_d$$

w₁：作業機械質量：17.2(t)

t_d：運転日当たり運転時間：5.9(h)

T：実際の稼働時間：156.0(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日)：3.96(kg-CO₂e/t)

$$O_d = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 17.2(\text{t}) \times 156.0(\text{h}) / 5.9\text{h} = 1,015.64(\text{kg-CO}_2)$$

運搬車両ダンプトラック(10t積)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)合計は、以下となる。

$$(P+D+C+O_d) = (549.66+12.51+6,914.20+1,015.64) = 8,492.01(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{39}$$

④⑩ 編柵・内張等ネット N-23(緑)網目 10mm W:1m L:50m

材質：高密度ポリエチレン

数量：142.8m²

重量：1巻(W：1m×L：50m)，35kg/巻

$$35(\text{kg/巻}) / 50(\text{m}^2) \times 142.8(\text{m}^2) = 99.96(\text{kg})$$

高密度ポリエチレンの二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：1.33(kg-CO₂e/kg)

編柵・内張等ネットの二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-11式より

$$M = w_2 \times \text{各材質のCO}_2\text{原単位}$$

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$$M = 99.96 \text{ (kg)} \times 1.33 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)} = 132.95 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{40}$$

④① 亜鉛メッキ鉄線 3.2mm(#10)

材質：溶融亜鉛メッキ線材

数量：1,073m

重量：0.064kg/m

$$0.063 \text{ (kg/m)} \times 1,073 \text{ (m)} = 67.60 \text{ (kg)}$$

溶融亜鉛メッキ線材の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：0.75(kg-CO₂e/kg)

亜鉛メッキ鉄線の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$$M = 67.60 \text{ (kg)} \times 0.75 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)} = 50.36 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{41}$$

④② 路盤紙(クラフト紙系)

材質：クラフト紙

数量：W:1m×L:50m, 725m²

重量：0.084kg/m²

$$0.084 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times 725 \text{ (m}^2\text{)} = 60.90 \text{ (kg)}$$

クラフト紙系の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：1.26(kg-CO₂e/kg)

路盤紙(クラフト紙系)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$$M = 60.90 \text{ (kg)} \times 1.26 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)} = 76.73 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{42}$$

④③ 溶接金網敷設(溶接金網 150mm×150mm)

材質：溶融亜鉛メッキ線材, 丸鉄線, 直径 6mm

数量：698.9m²

重量：3.11kg/m²

$$3.11 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times 698.9 \text{ (m}^2\text{)} = 2,173.58 \text{ (kg)}$$

溶融亜鉛メッキ線材の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg)：3.52(kg-CO₂e/kg)

溶接金網敷設(溶接金網150mm×150mm)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M：建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂：建設資材の重量(kg)

$$M = 2,173.58 \text{ (kg)} \times 0.75 \text{ (kg-CO}_2\text{e/kg)} = 1,630.18 \text{ (kg-CO}_2\text{)} \dots \dots \dots \textcircled{43}$$

④④ 目地材(瀝青質板)

材質：アスファルト合材・混合物

数量：13.78m², 厚:10mm

重量：4.0kg/m²

$$4.0 \text{ (kg/m}^2\text{)} \times 13.78 \text{ (m}^2\text{)} = 55.10 \text{ (kg)}$$

アスファルト合材・混合物の二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂e/kg) : 0.06(kg-CO₂e/kg)
 目地材(瀝青質板)の二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は, 3-11式より

$M = w_2 \times$ 各材質のCO₂原単位

M : 建設資材の二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

w₂ : 建設資材の重量(kg)

$M = 55.10(\text{kg}) \times 0.06(\text{kg-CO}_2\text{e/kg}) = 3.11(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{44}$

④⑤ チェーンソー伐開

歩掛 : 0.1d/100m²(樹冠疎密度 : 中位), 5h/d, 0.45(L/h)

数量 : 8,361m²

チェーンソーの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-5式より

$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

a : 標準使用年数 : 7.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 300(h)

T : 実際の稼働時間 : 41.81(h)

$0.1(\text{d}/100\text{m}^2) \times 5(\text{h}/\text{d}) \times 8,361(\text{m}^2) = 41.81(\text{h})$

図表 34 より製造過程の質量 1t あたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9 (kg-CO₂e/t)

$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{t}) \times 5.8/1,000(\text{t})\} / \{7.0(\text{y}) \times 300(\text{h})\} \times 41.81(\text{h}) = 0.35(\text{kg-CO}_2)$

チェーンソーの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 3-6式より

$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

a : 標準使用年数 : 7.0(y)

t : 年間標準運転時間 : 300(h)

T : 実際の稼働時間 : 41.81(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{t}) \times 5.8/1,000(\text{t})\} / \{7.0(\text{y}) \times 300(\text{h})\} \times 41.81(\text{h}) = 0.008(\text{kg-CO}_2)$

チェーンソーの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は, 0.45L/hより

C = 軽油消費量 × T × 消費燃料の二酸化炭素排出量原単位

混合油25 : 1(ガソリン : オイル)の二酸化炭素排出量原単位 : 2.87(kg-CO₂e/L)

チェーンオイルの二酸化炭素排出量原単位 : 2.93(kg-CO₂e/L)

T : 実際の稼働時間 : 41.81(h)

$C = \{41.81(\text{h}) \times 0.45(\text{L}/\text{h}) \times 2.87(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{L})\} + \{41.81(\text{h}) \times 0.45(\text{L}/\text{h}) \times 2.93(\text{kg-CO}_2\text{e}/\text{L})\} \times 60\%$
 $= 88.63(\text{kg-CO}_2)$

チェーンソーの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は, 3-8式より

$Od = (3.96 \times w_1) \times T / \text{td}$

w₁ : 作業機械質量 : 5.8(kg)

td : 運転日当たり運転時間: 5.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 41.81(h)

チェーンソーの減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96 (kg-CO₂e/t)

$$Od = 3.96(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 5.8/1,000(\text{t}) \times 41.81(\text{h}) / 5.0(\text{h}) = 0.19(\text{kg-CO}_2)$$

チェーンソーの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

$$(P+D+C+Od) = (0.35+0.008+88.63+0.19) = 89.18(\text{kg-CO}_2) \dots \dots \dots \textcircled{45}$$

④⑥ 通勤

往復距離 : 65km

数量 : 159台(工期から土日祝日等を除く平日)

2Lライトバンの製造過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-5式より

$$P = (3,014.9 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

P : 製造過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 1.4(t)

a : 標準使用年数 : 8.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 258.38(h)

$$65(\text{km}) / 40(\text{km/h}) \times 159(\text{台}) = 258.38(\text{h})$$

図表34より製造過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 3,014.9(kg-CO₂e/t)

$$P = \{3,014.9(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.4(\text{t})\} / \{8.5(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 258.38(\text{h}) = 168.82(\text{kg-CO}_2)$$

2Lライトバンの廃棄過程による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-6式より

$$D = (68.6 \times w_1) / (a \times t) \times T$$

D : 廃棄過程の二酸化炭素排出量の実際に稼働した時間分の二酸化炭素排出量(kg-CO₂/t)

w₁ : 作業機械質量 : 1.4(t)

a : 標準使用年数 : 8.5(y)

t : 年間標準運転時間 : 760(h)

T : 実際の稼働時間 : 258.38(h)

図表34より廃棄過程の質量1tあたりの二酸化炭素排出量の平均値 : 68.6(kg-CO₂e/t)

$$D = \{68.6(\text{kg-CO}_2\text{e/t}) \times 1.4(\text{t})\} / \{8.5(\text{y}) \times 760(\text{h})\} \times 258.38(\text{h}) = 3.84(\text{kg-CO}_2)$$

2Lライトバンの稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)は、3-9式より

$$C = e \times r \times T \times \text{消費燃料の二酸化炭素排出量原単位}$$

C = 稼働過程の燃料消費による二酸化炭素排出量(kg-CO₂)

e : 機関出力(t) : 69.0(kW)

r : 燃料消費率 : 0.047(L/kW-h)

T : 実際の稼働時間 : 258.38(h)

燃料消費量の二酸化炭素排出量 : 4.19(kg-CO₂e/L)

$$C = 69.0(\text{kW}) \times 0.047(\text{L/kW-h}) \times 258.38(\text{h}) \times 4.19(\text{kg-CO}_2\text{e/L}) = 3,510.84(\text{kg-CO}_2)$$

2Lライトバンの稼働過程の減耗等による二酸化炭素排出量(kg-CO₂) は、3-8式より

$$Od = (3.96 \times w_1) \times T / td$$

w₁ : 作業機械質量 : 1.4(t)

td : 運転日当たり運転時間: 4.0(h)

T : 実際の稼働時間 : 258.38(h)

作業機械の減耗等に係る二酸化炭素排出量原単位(kg-CO₂/t・供用日) : 3.96(kg-CO₂e/t)

Od = 3.96(kg-CO₂e/t) × 1.4(t) × 258.38(h) / 4.0h = 358.11(kg-CO₂)

通勤の2Lライトバンの二酸化炭素排出量(kg-CO₂) 合計は、以下となる。

(P+D+C+Od)=(168.82+3.84+3,510.84+358.11)=4,041.61(kg-CO₂) ④

岩氷林業専用道新設工事に係わる二酸化炭素排出量合計は、以下となる。

①+②+③+④+⑤+⑥+⑦+⑧+⑨+⑩+⑪+⑫+⑬+⑭+⑮+⑯+⑰+⑱+⑲+⑳+㉑+㉒+㉓+㉔+㉕+㉖+㉗+
㉘+㉙+㉚+㉛+㉜+㉝+㉞+㉟+㊱+㊲+㊳+㊴+㊵+㊶+㊷+㊸+㊹+㊺+㊻+㊼+㊽+㊾+㊿
=7.31+6,865.28+3,668.76+316.05+42.14+28,649.64+5,264.44+241.25+2,409.88+123.37+272.57
+354.63+351.21+49.23+2,684.89+22.35+1,011.93+458.32+22,339.51+997.24+140.46+106.68+
144.42+458.32+6,704.92+1.81+5.17+962.80+79.42+52.65+331.28+118.51+38.36+25.79+17.40+
29.81+1,225.38+28.38+8,492.01+132.95+50.36+76.73+1,630.18+3.11+89.18+4,041.61
=101,115.68(kg-CO₂)

以下の図表78-1～5に岩氷林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。
岩氷林業専用道新設工事に係わる二酸化炭素排出量合計は101,115.68(kg-CO₂)となった。

H26年度 岩永林業専用道新設工事	引用元	諸元	機械重量及び資材重量	年間稼働運転時間	機関出力 (kW)	燃料消費率 (L/KW-h)	標準使用年数 (y)	稼働時間 (h)	CO2排出量原単位 (kg-CO2/単位)	軽油消費量 (L)	カンリン消費量 (L)	機械製造時に係る使用分 (kg-CO2)	機械の減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 床層 粘性土・礫質土 現場外 (カーブミラー設置)	1)2)j3-397, 図表78.81	0.45/0.35m3 28.6m3/h ² 数量:0.9m3*(4+2)本	11.80 t	690	60	0.153	12.5	0.19	3,014.90	1.73					0.78 5.11	製造 稼働
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 掘削 砂・砂質土	1)図表78.81	0.45/0.35m3 1/26.5h/m3* 数量:4.69m3	11.80 t	690	60	0.153	12.5	177.32	3,014.90	1,627.80					0.02 731.40 4,802.02	稼働 製造 稼働
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 切土法面(斜面) 整形 砂・砂質土	1)図表78.81	0.45/0.35m3 4.3h/100m2* 数量:200m3	11.80 t	690	60	0.153	12.5	94.76	3,014.90	869.89					16.64 390.86 2,566.17 702.84	稼働 製造 稼働 減耗
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 掘削 粘性土・礫質土	1)図表78.81	0.45/0.35m3 1/24.5h/m3* 数量:200m3	11.80 t	690	60	0.153	12.5	8.16	3,014.90	74.94					1,315.21 33.67 221.07 60.55	製造 稼働 稼働 減耗
不整地運搬車 (クローラ・タンブ・排灰型1次) 6t (6.3~7) 積	1)図表78.81	6級 1/62.7h/m3* 数量:(35.48+1.52)m3	9.2 t	560	150	0.134	10.5	0.59	3,014.90	11.86					2.78 34.99 4.30	製造 稼働 減耗
不整地運搬車 (クローラ・タンブ・排灰型1次) 6t (6.3~7) 積	1)図表78.81	6級 1/9h/m3* 数量:(3.462.95+148.05)m3	9.2 t	560	150	0.134	10.5	401.22	3,014.90	8,064.57					1,892.64 23,790.47 2,923.47	製造 稼働 減耗
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 積込工 (砂・砂質土) , 1時間当たりの運搬を算出	1)2)j3-393, 図表78.81	0.45/0.35m3 25.74m3/h ² 数量: (37.0+3,462.95)m3	11.80 t	690	60	0.153	12.5	135.97	3,014.90	1,248.23					43.06 560.85 3,682.29 1,008.53	稼働 製造 稼働 減耗
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 積込工 (礫質・粘性土) , 1時間当たりの運搬を算出	1)2)j3-393, 図表78.81	0.45/0.35m3 23.76m3/h ² 数量:148.05m3	11.80 t	690	60	0.153	12.5	6.23	3,014.90	57.20					25.70 168.74 46.22	製造 稼働 減耗
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 掘削 粘性土・砂質土 削り取り型 掘削壁正	1)2)j3-417, 図表78.81	0.45/0.35m3 3.5h/100m2 ² 数量:1,778.4m2	11.80 t	690	60	0.153	12.5	62.24	3,014.90	571.40					256.74 1,685.63 461.67	製造 稼働 減耗
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 掘削 粘性土・砂質土 削り取り型 掘削壁正	1)図表78.81	0.45/0.35m3 0.7h/100m* 数量:455.2m	11.80 t	690	60	0.153	12.5	3.19	3,014.90	29.25					5.84 86.29 23.63	稼働 稼働 減耗
バックホウ (クローラ型・排灰型1次) 0.45m3 掘削 粘性土・砂質土 削り取り型 掘削壁正	1)2)j3-275, 図表78.81	0.45/0.35m3 0.11h/枚* 数量:6枚	11.80 t	690	60	0.153	12.5	7.04	3,014.90	64.63					29.04 190.65 52.22	製造 稼働 減耗
ブルドーザ 普通 排灰型1次 11級 敷均し, 締めめ 厚10cm	1)2)j3-413, 図表78.81	11級 50m3/h ² 数量:176.6+174.1m3	10.90 t	400	78	0.153	12.5	7.01	3,014.90	83.71					46.10 246.93 60.55	製造 稼働 減耗
ブルドーザ 普通 排灰型1次 11級 掘削敷均し 厚20cm	1)2)j3-413, 図表78.81	11級 56m3/h ² 数量:38.9m3	10.90 t	400	78	0.153	12.5	6.95	3,014.90	82.90					1.05 244.55 59.97	稼働 製造 減耗

図表78-1 岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表1/5

出典：筆者作成。

H26年度 岩永林業専用道新設工事	引用元	諸元	機械質量及び資材質量	年間標準運転時間	機関出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準使用年数 (y)	稼働時間 (h)	CO2排出量原単位 (kg-CO2/単位)	軽油消費量 (L)	ガソリン消費量 (L)	機械製造時に係る使用分 (kg-CO2)	機械の減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
フルトーザ 普通 排気型1次 11t級 敷均し、締固め	1),2)jp3-408, 図表78.81	11t級 38m ³ /h ² 数量:35.8+1.52m ³	10.90 t	400	78	0.153	12.5	0.97	3,014.90	11.62		6.40			6.40	製造
フルトーザ 普通 排気型1次 11t級 敷均し、(残土処理場)	1),2)jp3-406, 図表78.81	11t級 68m ³ /h ² 数量:3,462.95+148.05m ³	10.90 t	400	78	0.153	12.5	53.10	3,014.90	63.73		349.02			1,869.50	製造
フルトーザ 普通 排気型1次 11t級 締固め (密体)	1),2)jp3-406, 図表78.81	11t級 88m ³ /h ² 数量:38.9m ³	10.90 t	400	78	0.153	12.5	0.44	3,014.90	5.28		2.91			15.56	製造
フルトーザ 普通 排気型1次 11t級 流用露土	1),図表78.81	11t級 2.63h/100m ³ * 数量:761m ³	10.90 t	400	78	0.153	12.5	20.01	3,014.90	238.85		131.54			3.82	製造
上記運搬車両 セミトレーラ (25t積)	1),図表78.81	25t積	17.20 t	630	235	0.075	9.0	4.88	3,014.90			44.59			44.59	製造
生コンクリート 21-8-25 BB	図表79.80	高炉セメント強度21 数量:113.1m ³	113.10 m ³					15.73	3,014.90			50.85			50.85	製造
上記生コン運搬アジテータトラック	1),図表78.81	混合容量4.4m ³	9.20 t	780	213	0.059	11.0	7.87	68.60	98.84		1.16			1.16	廃棄
上記移動 (自走)								7.87	4.19	98.84					414.14	搬入往路
モータグラダ (土工用・排気型1次) 舗装路盤工 (車道施工) 一層仕上げ	1),2)jp3-424, 図表78.81	プレート幅3.1m 1110m ² /d (一層) ² Id=5.4h 数量:725m ²	10.0 t	380	85	0.108	15.0	3.53	3,014.90	32.38		18.66			18.66	製造
ロータロー (マカダム・排気型1次) 舗装路盤工 (車道施工) 一層仕上げ	1),2)jp3-424, 図表78.81	1110m ² /d (一層) ² Id=5.4h 数量:725m ²	9.3 t	360	56	0.118	15.0	3.33	3,014.90	22.01		17.30			17.30	製造
タイヤローラ (普通型・排気型1次) 舗装路盤工 (車道施工) 一層仕上げ	1),2)jp3-424, 図表78.81	1110m ² /d (一層) ² Id=5.4h 数量:725m ²	17.9 t	380	71	0.085	14.5	3.53	3,014.90	21.29		34.54			34.54	製造
上記運搬車両 セミトレーラ (25t積)	1),図表78.81	25t積	17.20 t	630	235	0.075	9.0	4.88	3,014.90			44.59			44.59	製造
上記移動 (自走)								2.44	4.19	42.96					180.01	搬入往路
再生砕石 RC-40	図表78.79,80	RC-40 数量: (176.6+174.1+45.5+0.59+76.8+138.48)m ³	1,230.26 t					2.44	4.19	42.96					180.01	移動路盤
									5.45						6,704.92	廃材 比重:2.0

図表78-2 岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表2/5

出典:筆者作成。

機材名	引元	請元	機材重量及び資材重量	年間標準運転時間	機関出力	燃料消費率	標準使用年数	稼働時間	CO2排出量原単位	軽油消費量	カンリン消費量	機械設置時に係る使用分	機械の減耗分	機械稼働時に係る使用分	CO2排出量	備考
			単位	(h)	(kW)	(L/KW-h)	(y)	(h)	(kg-CO2/単位)	(L)	(L)	(kg-CO2)	(kg-CO2)	(kg-CO2)	(kg-CO2)	種別
H26年度 岩永林業専用道新設工事	上記及びひん専用器具運搬車両 ダンプトラック	1) 図表78.81	10t積	830	246	0.043	10.0	156.00	3,014.90			549.66	1,015.64	12.51	549.66	製造
			5.3m3/台													
			質量:174kg/m													
			重:7.8m													
			外径:110mm,内径:100mm,L:4m													
			質量:3,409g/m													
			数量:11.4m													
			数量:2臺													
			数量:476.3g/本													
			数量:(2x3)組													
数量:(4+6)臺																
数量:476.3g/本																
数量:(4+6)x4組																
数量:(2+3)臺																
数量:476.3g/本																
数量:(2+3)x4組																
数量:8.5kg/100枚																
数量:27+60+88枚																
容量:0.015m3/袋																
6袋/m2とする																
6袋/m2とする																
L:0.4m																
数量:(27+60)本																
数量:(2+1)本																
数量:(4+2)本																
ポリカーボネート樹脂																
数量:(4+2)本																
L:79kg/本																
数量:(4+2)本																
数量:21.70 kg																
数量:(4+2)本																
数量:3.00 kg																
数量:(4+2)本																
数量:3.00 kg																
数量:(4+2)本																
数量:9.00 kg																
数量:(4+2)本																
数量:124.80 kg																
高炉セメント標準21																
数量:0.6m3																
数量:(4+2)本																
数量:197.52																
3,014.90																
1.96																
118.51																
1.96																
4.50																
4.50																
68.60																
4.19																
3.80																
15.93																
15.93																
1.81																
5.17																
78.80																
2.76																
525.31																
18.40																
328.32																
9.20																
22.76																
0.00																
0.75																
1.93																
53.99																
13.35																
39.30																
56.50																
113.08																
9.39																
23.07																
8.69																
120.56																
118.51																
1.96																
4.50																
4.50																
0.04																
15.93																
15.93																

図表78-3 岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表3/5

出典：筆者作成。

- 6). (一社)日本鉄鋼連盟 技術・環境部 地球環境グループ、溶融垂鉛メッキ鋼材等のLCAデータについて問い合わせ(2018年3月27日)
- 7). 大津鉄工(株)「ボルト・ナット」<http://www.otsutekko.co.jp/catalog/bolt.pdf>(2022年2月7日アクセス)
- 8). (株)ナニワネジ「座金」https://www.naniwaneji.co.jp/downloads/products/product_doc_007.pdf (2021年3月17日アクセス)
- 9). ロンタイ(株)「糧生土窯」<https://www.rontai.co.jp/cp-bin/wordpress/wp-content/uploads/2013/07/%E3%82%B0%E3%83%A4%E3%83%BC%E3%83%90%E3%83%83%E3%82%B0%E8%A1%A8%E8%A3%8F-1909m.pdf> (2020年7月6日アクセス)
- 10). タキイ(株)「種子、肥料」https://www.takii.co.jp/green/recommend/tif04_2.html(2020年7月6日アクセス)
- 11). 吉岡幸(株)「アンカーピン(丸鋼)」http://www.yoshikokoh.co.jp/foritakakai/steel_%20rb.html#b(2020年7月6日アクセス)
- 12). 河南SINGULAR「アルミ板」<https://signi-alu.com/aluminum-plate-product/sign-blanks/Aluminum-Rectangular-Sign-Blanks-Sheets.html>(2022年2月7日アクセス)
- 13). 丸一鋼管(株)「鋼管」https://www.maruichikokan.co.jp/new_maruichi/wp-content/uploads/2020/03/steel-pipe01.pdf(2022年2月7日アクセス)
- 14). 川口産業(株)「カーブミラー」https://kawaguchi-sangyo.co.jp/catalogue_request/(2022年2月8日アクセス)
- 15). 東洋特殊鋼業(株)「鋼管」https://www.toyotokusyu.co.jp/iron_square/(2018年7月10日アクセス)
- 16). (株)カクマル「欄柱」<http://kakumaru.jp/common/pdf/catalog26.pdf> (2018年6月19日アクセス)
- 17). 二三産業(株)「サントマット」http://www.nisan.co.jp/lineup/landscape_gardening.html(2020年7月6日アクセス)
- 18). アイディーユー(株)「二重ふとん繩」<http://www16.plala.or.jp/IDA/jakago/nijupanel/nijupanel.htm>(2020年7月6日アクセス)
- 19). タキコンシューアイシビル(株)「編織・内張等ネット」https://www.tc-civil.co.jp/ground/tn_doboku.html(2020年7月6日アクセス)
- 20). 三星商事(株)「垂鉛メッキ鉄線」<https://catalog.mitsuboshi-shoji.co.jp/catalog/744/>(2020年7月6日アクセス)
- 21). アオイ化学工業(株)「炭酸紙」<https://www.aoi-chemical.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2018/05/srb-01.pdf>(2022年2月8日アクセス)
- 22). 環境省廃棄物・リサイクル対策部 企画課薬型社会推進室(2012)「3R原単位の算出方法 平成24年4月」, p74, <https://www.env.go.jp/press/files/jp/19747.pdf> (2021年7月30日アクセス)
- 23). (株)トーアミ「溶接金網」<http://www.toami.co.jp/products/pid1/index.html>(2020年6月23日アクセス)
- 24). アオイ化学工業(株)「藍青緑黄目地版」https://www.aoi-chemical.co.jp/wordpress/wp-content/uploads/2018/05/202004_kt.pdf(2022年2月8日アクセス)

図表78-5 岩永林業専用道新設工事に係る二酸化炭素排出量の算出表5/5

出典：筆者作成。

同様に国有林林業専用道開設(新設)工事 105 例を算出し，その集計を図表 79-1～3 に示した。

森林 管理 区	各森林管理区管理 所	工事年度	工事名	事業費 (万円)	施工長さ (m)	事業費 (円)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	1万円あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /万円)	1kmあたりの CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /km)	刈草機等の CO ₂ 排出量 合計	機械の使用に 係るCO ₂ 排出量		作業機械に係るCO ₂ 排出量		資材に係るCO ₂ 排出量						
											燃料の 使用分 (kg-CO ₂)	機械の 燃焼分 (kg-CO ₂)	燃料の 使用分 (kg-CO ₂)	機械の 燃焼分 (kg-CO ₂)	砕石・石・砂 製品 (kg-CO ₂)	コンクリート 製品 (kg-CO ₂)	鋼材 (kg-CO ₂)	ポリエチレン ポリエスチル (kg-CO ₂)	その他 (kg-CO ₂)	燃料のCO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	
北海道	空知森林管理区	平成30年度	防除の次林道 (林業専用道) 新設工事	3,600	1570.0	35,000,000	58,444.50	16.23	37.23	39,168.27	5,647.51	11,498.22	136.45	0.00	0.00	124.10	53.40	0.00	1,816.54	1,994.04	
北海道	空知森林管理区	平成30年度	防内変換林道 (林業専用道) 新設工事	5,800	1410.0	50,000,000	75,824.28	13.07	53.78	34,951.73	5,561.47	11,991.29	136.00	0.00	0.00	149.25	49.64	0.00	2,592.99	23,794.99	
北海道	後志森林管理区	平成30年度	防内別当林道 (林業専用道) 新設工事	7,000	1697.0	70,000,000	196,152.98	28.92	100.59	132,541.32	15,327.82	30,451.62	365.52	0.00	0.00	6,580.36	700.65	0.00	3,214.94	17,466.69	
北海道	後志森林管理区	平成30年度	丹井川沿道 (林業専用道) 新設工事	3,600	1687.0	36,200,000	86,856.65	23.82	51.49	46,575.81	5,308.67	10,466.16	126.35	0.00	0.00	11,324.32	172.28	0.00	969.63	24,379.66	
北海道	宗谷森林管理区	平成30年度	船形林道 (林業専用道) 新設工事	4,780	1800.0	47,800,000	171,691.21	35.92	95.38	82,092.15	8,640.93	16,977.05	207.67	0.00	0.00	29,430.18	407.01	0.00	1,315.06	63,573.11	
北海道	十勝森林管理区	平成31年度	国弘平川林道 (林業専用道) 新設工事	4,220	1000.0	42,200,000	70,729.22	16.76	70.73	45,202.72	6,305.54	13,719.82	150.09	0.00	0.00	2,610.50	39.14	0.00	2,137.68	5,988.05	
北海道	十勝森林管理区	平成31年度	国弘平川林道 (林業専用道) 新設工事	5,880	2018.0	58,800,000	95,660.00	16.27	47.40	53,882.22	8,646.88	17,951.17	210.01	0.00	0.00	4,077.37	269.53	0.00	2,918.12	15,070.32	
北海道	上川森林管理区	平成31年度	下要林道 (林業専用道) 新設工事	8,000	1930.0	80,000,000	194,140.07	24.27	100.59	125,568.14	14,161.64	27,650.58	334.11	0.00	0.00	7,612.19	329.92	0.00	4,041.23	26,486.13	
北海道	石狩森林管理区	平成31年度	南条林道 (林業専用道) 新設工事	1,250	1030.0	12,500,000	30,742.03	24.57	29.85	19,557.82	2,318.02	4,716.77	55.50	0.00	0.00	2,410.48	171.30	0.00	396.24	4,093.91	
北海道	釧路森林管理区	平成31年度	川原林道 (林業専用道) 新設工事	5,720	1580.0	57,200,000	86,457.03	15.12	55.78	46,448.33	6,483.30	13,388.02	156.83	0.00	0.00	2,971.65	286.40	0.00	1,583.79	19,981.45	
北海道	胆振森林管理区	平成31年度	網走川沿道 (林業専用道) 新設工事	6,250	1500.0	62,500,000	100,894.66	17.58	69.55	57,319.90	8,912.83	18,397.20	216.64	0.00	0.00	19,064.01	281.30	0.00	3,000.29	25,038.09	
北海道	日高森林管理区	平成30年度	砂防林道 (林業専用道) 2期新設工事	5,215	1542.0	52,150,000	93,677.80	17.96	60.75	46,333.13	6,181.90	12,752.46	149.92	0.00	0.00	5,566.92	474.44	0.00	1,503.76	26,137.39	
北海道	網走森林管理区	平成30年度	網走川沿道 (林業専用道) 新設工事	5,150	3040.0	51,500,000	79,570.42	15.45	26.17	43,361.40	5,436.33	11,024.86	131.66	0.00	0.00	113.67	368.12	0.00	1,991.29	19,220.17	
北海道	網走森林管理区	平成30年度	上里川林道 (林業専用道) 新設工事	7,000	2340.0	70,000,000	118,717.05	16.96	50.73	68,018.33	10,866.22	22,185.49	263.76	0.00	0.00	7,106.15	352.10	0.00	3,275.91	17,383.85	
北海道	網走森林管理区	平成30年度	いしの川林道 (林業専用道) 新設工事	5,650	2060.0	56,500,000	76,165.77	13.83	37.94	46,902.80	7,654.78	15,821.67	186.27	0.00	0.00	2,555.75	13.33	0.00	2,411.06	7,600.25	
北海道	網走森林管理区	平成30年度	中ノ沢林道 (林業専用道) 新設工事	4,230	1340.0	42,300,000	83,487.78	19.74	62.30	36,405.42	5,224.49	10,597.76	126.33	0.00	0.00	14,396.05	200.49	0.00	1,676.05	31,133.78	
北海道	網走森林管理区	平成30年度	三ツツツ川林道 (林業専用道) 新設工事	1,910	1070.0	19,100,000	49,333.27	25.83	46.11	28,555.23	4,678.44	9,748.99	114.07	0.00	0.00	3,108.28	97.62	0.00	1,134.42	6,256.53	
北海道	下川森林管理区	平成30年度	大山林道 (林業専用道) 新設工事	2,030	696.0	20,300,000	32,837.44	16.18	47.18	9,420.39	1,230.32	2,180.43	28.29	0.00	0.00	10,774.99	5,352.42	0.00	1,086.29	19,978.00	
北海道	三上北森林管理区	平成30年度	毛ノ沢林道 (林業専用道) 新設工事	2,270	660.0	22,700,000	52,015.92	22.91	78.81	33,368.37	4,055.12	7,717.76	92.31	0.00	0.00	1,362.82	0.06	0.00	887.48	6,752.36	
北海道	青森森林管理区	平成30年度	尾花川林道 (林業専用道) 新設工事	3,650	920.0	36,500,000	74,797.17	24.52	81.30	45,904.70	5,786.28	10,958.44	131.72	0.00	0.00	1,978.70	2.07	0.00	1,928.03	12,016.04	
北海道	津軽森林管理区	平成30年度	乃ノ川林道 (林業専用道) 新設工事	2,250	750.0	22,500,000	45,806.86	20.36	61.08	24,987.03	2,956.03	5,994.35	67.31	0.00	0.00	4,027.72	2,636.47	0.00	1,110.43	12,206.14	
北海道	津軽森林管理区	平成31年度	作左川林道 (林業専用道) 新設工事	2,720	1120.0	27,200,000	70,003.49	25.74	62.50	22,781.07	2,819.95	5,036.28	64.16	0.00	0.00	7,463.90	17,385.38	0.00	731.80	39,302.03	
北海道	岩手森林管理区	平成30年度	駒沢林道 (林業専用道) 新設工事	2,350	670.0	23,500,000	34,806.00	14.81	51.95	20,062.27	2,866.00	4,365.44	54.42	0.00	0.00	3,676.24	2,611.64	0.00	1,003.78	7,957.67	
北海道	岩手森林管理区	平成30年度	野尻林道 (林業専用道) 新設工事	4,300	1256.0	43,000,000	120,151.39	27.94	95.66	65,181.79	6,371.58	11,659.96	144.98	0.00	0.00	9,245.46	12,099.39	0.00	3,347.47	36,793.08	
北海道	岩手森林管理区	平成30年度	北ノ沢林道 (林業専用道) 新設工事	3,200	700.0	32,000,000	73,265.61	22.90	104.67	32,659.37	3,919.94	7,202.18	86.36	0.00	0.00	4,623.61	12.43	0.00	1,477.32	29,525.76	
北海道	岩手森林管理区	平成30年度	駒沢林道 (林業専用道) 新設工事	3,700	1070.0	37,000,000	84,960.03	22.96	79.40	51,628.19	5,763.52	10,829.99	131.22	0.00	0.00	5,187.91	2,835.48	0.00	1,819.85	16,607.11	
北海道	岩手森林管理区	平成30年度	印旛林道 (林業専用道) 新設工事	1,160	350.0	11,600,000	61,932.61	53.39	176.95	36,311.78	4,579.82	8,156.96	104.21	0.00	0.00	6,957.18	1,257.23	0.00	2,104.47	12,899.84	
北海道	岩手森林管理区	平成30年度	印旛林道 (林業専用道) 新設工事	2,390	500.0	23,900,000	39,594.07	16.56	79.15	15,384.23	1,334.64	2,539.93	30.86	0.00	0.00	866.31	17,757.25	0.00	970.04	28,284.41	
北海道	岩手森林管理区	平成30年度	印旛林道 (林業専用道) 新設工事	1,620	650.0	16,200,000	30,578.25	18.88	47.04	18,906.44	2,201.13	4,181.37	50.10	0.00	0.00	3,325.35	518.99	0.00	525.26	5,240.61	
北海道	岩手森林管理区	平成30年度	印旛林道 (林業専用道) 新設工事	2,530	980.0	25,300,000	64,126.40	25.35	65.44	45,893.48	4,693.10	8,783.47	106.82	0.00	0.00	599.40	1,345.07	0.00	1,064.07	4,649.53	
北海道	秋田森林管理区	平成31年度	小戸川林道 (林業専用道) 新設工事	2,959	730.0	29,590,000	79,752.00	26.95	109.25	52,597.41	6,136.68	11,702.92	139.69	0.00	0.00	4,894.61	1,185.12	0.00	611.98	9,175.31	
北海道	秋田森林管理区	平成32年度	代内林道 (林業専用道) 新設工事	1,230	360.0	12,300,000	50,075.68	40.71	139.10	18,622.60	1,760.58	3,380.15	40.06	0.00	0.00	2,047.52	7,637.57	0.00	562.18	26,272.30	
北海道	秋田森林管理区	平成29年度	麻生林道 (林業専用道) 新設工事	2,815	575.0	28,150,000	85,969.71	30.54	149.51	43,142.97	6,948.22	11,351.34	158.23	0.00	0.00	6,499.38	140.67	0.00	1,304.41	24,368.94	
北海道	秋田森林管理区	平成30年度	麻生林道 (林業専用道) 新設工事	753	476.0	7,527,600	23,796.32	31.61	48.99	16,028.87	1,628.85	2,809.40	37.21	0.00	0.00	2,336.49	680.20	0.00	27.39	3,282.00	
北海道	秋田森林管理区	平成30年度	高沢林道 (林業専用道) 新設工事	4,220	1240.0	42,200,000	103,195.29	24.45	83.22	66,438.08	8,016.09	14,913.39	182.43	0.00	0.00	6,702.78	3,042.29	0.00	486.20	13,645.30	
北海道	秋田森林管理区	平成30年度	阿波川林道 (林業専用道) 新設工事	4,720	1080.0	47,200,000	109,907.19	23.29	101.77	70,778.04	9,046.59	17,232.08	205.93	0.00	0.00	2,990.33	143.53	0.00	719.99	12,644.56	
北海道	山形森林管理区	平成30年度	大宮川林道 (林業専用道) 新設工事	1,930	511.0	19,300,000	50,718.89	26.28	99.25	33,474.34	4,006.36	7,605.15	91.38	0.00	0.00	3,601.76	71.90	96.87	0.16	5,541.69	
北海道	山形森林管理区	平成30年度	万葉川林道 (林業専用道) 新設工事	4,900	1230.0	49,000,000	140,405.13	28.85	114.15	70,805.32	13,835.95	19,972.46	314.82	0.00	0.00	5,966.77	25,934.83	0.00	786.33	35,476.59	
北海道	山形森林管理区	平成30年度	リウベ川沿道 (林業専用道) 新設工事	1,188	220.0	11,880,000	37,177.40	31.29	168.99	26,972.86	2,949.96	4,924.29	67.25	0.00	0.00	3,721.95	26.77	0.00	115.23	2,633.04	
北海道	山形森林管理区	平成30年度	阿波川林道 (林業専用道) 新設工事	1,720	860.0	17,200,000	47,906.89	27.85	55.71	30,700.32	3,793.15	7,098.59	86.32	0.00	0.00	4,079.23	744.31	0.00	730.07	6,228.51	
北海道	山形森林管理区	平成30年度	山形川沿道 (林業専用道) 新設工事	3,870	1060.0	38,700,000	137,949.97	35.65	130.14	76,519.90	8,253.97	15,944.64	187.89	0.00	0.00	7,363.31	12,850.47	0.00	3,414.56	37,443.57	
宮城県	仙台森林管理区	平成30年度	夕ツツ川林道 (林業専用道) 新設工事	2,488	940.0	24,876,000	65,554.90	26.35	69.74	41,365.53	3,935.42	7,334.21	89.62	0.00	0.00	4,716.55	2.94	0.00	1,091.43	12,830.12	
宮城県	宮城森林管理区	平成30年度	二ツ森林道 (林業専用道) 新設工事	2,650	790.0	26,500,000	59,266.09	22.36	75.02	36,500.01	4,263.82	8,142.46	97.05	0.00	0.00	4,248.21	35.81	0.00	1,040.32	10,262.75	

図表79-1 林業専用道開設(新設)工事に係る二酸化炭素排出量1/3

森林 管理 局	都道府 県	各森林管理計画	工事年度	工事名	事業費 (万円)	施行延長 (m)	事業費 (円)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	1万円当たりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /万円)	1km ² 当たりの CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /km ²)	作業機械に係るCO ₂ 排出量				資材に係るCO ₂ 排出量							
											燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率	燃料消費 率
44	新潟	下越森林管理署村上支署	平成27年度	湖波地区保安林整地工事	1,050	317.8	10,500,000	31,248.58	29.76	98.33	7,394.88	708.94	1,072.56	18.60	0.00	0.00	0.00	29.80	320.84	0.00	21,400.00	21,750.64
45	新潟	下越森林管理署村上支署	平成28年度	湖波地区保安林整地工事	1,622	469.4	16,218,360	23,516.92	14.50	50.10	6,153.23	759.44	1,275.84	17.40	0.00	0.00	64.13	45.90	0.00	15,403.98	15,514.01	
46	栃木	白根森林管理署	平成28年度	三ツ山林業専用道新設工事(125補正)	3,895	234.5	38,953,660	17.60	262.47	30,517.53	4,637.20	7,838.76	105.51	1,023.25	823.47	2,694.57	3,994.38	4,493.23	2,415.91	16,484.57		
47	栃木	白根森林管理署	平成28年度	相生林業専用道新設工事	7,265	700.0	72,650,000	183,934.11	25.31	262.76	106,075.78	13,498.82	23,859.81	307.15	13,010.02	9,794.38	3,494.71	608.56	4,844.12	40,462.55		
48	栃木	白根森林管理署	平成30年度	相生林業専用道新設工事 (125補正)	1,440	240.0	14,400,000	35,863.27	24.91	149.43	18,056.84	3,156.42	2,130.96	30.51	1,355.70	9,230.48	1,783.77	0.00	1,959.92	14,328.55		
49	埼玉	埼玉事務所	平成28年度	中山林業専用道新設工事	3,983	192.0	39,825,000	59,047.15	14.83	307.54	19,623.46	1,510.86	65.04	65.04	0.00	0.00	2,882.99	3,474.24	384.15	31,389.18		
50	群馬	群馬森林管理署	平成28年度	不動林業専用道新設工事	4,628	813.0	46,280,160	67,943.46	19.00	108.17	56,238.04	7,576.06	1,723.38	172.38	7,609.41	0.00	646.27	0.00	295.36	2,594.04	11,145.08	
51	群馬	群馬森林管理署	平成27年度	若木林業専用道新設工事	2,459	663.0	24,593,760	101,115.68	41.11	152.51	52,665.96	5,450.53	3,945.11	54.92	6,731.30	22,458.02	3,197.97	1,557.71	0.00	1,717.37	33,814.17	
52	群馬	群馬森林管理署	平成27年度	若木林業専用道新設工事	2,159	495.0	21,597,040	90,118.81	36.68	174.05	24,151.96	2,884.77	3,940.15	11.99	12,600.85	36,802.40	3,186.62	9,693.16	0.00	1,146.70	48,762.17	
53	群馬	群馬森林管理署	平成28年度	若木林業専用道新設工事	2,695	519.0	26,952,480	88,305.22	38.21	198.41	31,566.23	2,842.10	5,070.04	64.67	3,985.51	28,095.96	12,020.13	4,437.13	0.00	23,235.25	63,429.94	
54	群馬	群馬森林管理署	平成26年度	三毛塚山小径支線林業専用道新設工事	3,991	470.0	39,977,860	82,899.12	20.77	176.38	48,553.63	5,561.67	9,406.07	126.55	3,980.58	13,060.59	1,657.96	0.00	396.80	19,251.70		
55	群馬	群馬森林管理署	平成27年度	桐帽子支線林業専用道新設工事	3,068	820.0	30,675,040	90,436.26	29.29	110.29	58,237.05	7,700.98	12,933.19	175.23	4,481.90	1,716.97	5,021.21	18.36	0.00	172.38	11,390.81	
56	群馬	群馬森林管理署	平成28年度	桐帽子支線林業専用道新設工事	2,420	765.0	24,201,720	62,932.87	29.83	94.38	40,051.35	4,659.54	7,667.17	106.02	4,374.39	12,905.08	1,474.35	44.06	85.11	1,241.28	19,220.80	
57	群馬	群馬森林管理署	平成22年度	田代山林業専用道新設工事	1,313	260.0	13,125,000	50,992.87	38.85	196.13	30,001.77	3,196.35	5,431.14	72.81	777.73	3,223.53	6,523.95	50.87	0.00	1,714.72	17,290.80	
58	群馬	群馬森林管理署	平成22年度	高原林業専用道新設工事	2,058	260.0	20,580,000	69,718.18	33.88	268.15	31,885.36	3,366.26	5,650.24	76.67	938.26	22,647.74	3,049.57	0.00	0.00	2,099.32	28,724.89	
59	群馬	群馬森林管理署	平成22年度	陣又山林業専用道新設工事	452	200.0	4,515,000	18,182.45	40.27	90.91	13,885.36	1,526.70	2,585.90	34.88	0.00	0.00	67.87	0.00	0.00	78.74	146.61	
60	千葉	利根沼田森林管理署	平成23年度	糸之瀬川林業専用道新設工事	1,600	1,600.0	4,095,000	16,470.48	40.22	10.29	12,499.78	1,088.24	2,172.52	25.76	0.00	0.00	33.80	0.00	0.00	630.37	664.18	
61	静岡	静岡森林管理署	平成23年度	藤木山林業専用道新設工事	776	1,000.0	7,765,700	19,697.67	25.37	19.70	3,884.83	1,015.42	1,864.76	23.32	691.79	11,463.28	515.09	0.00	0.00	239.18	12,909.33	
62	静岡	静岡森林管理署	平成30年度	神沢支線林業専用道新設工事	1,660	260.0	16,600,000	24,157.01	15.10	92.95	14,768.46	1,596.28	3,140.39	37.74	2,355.49	0.00	373.39	52.88	0.00	1,841.37	4,623.13	
63	静岡	静岡森林管理署	平成22年度	大淵支線林業専用道新設工事	2,394	1,165.0	23,940,000	48,312.58	20.18	41.47	21,735.52	2,426.67	4,284.24	55.54	827.91	14,590.54	4,112.38	204.37	0.00	75.02	19,810.22	
64	静岡	静岡森林管理署	平成30年度	千早山林業専用道新設工事	1,730	305.2	17,300,000	44,357.13	25.64	145.34	8,650.01	974.00	1,789.03	22.47	3,622.95	27,326.69	1,481.70	0.00	490.29	32,921.63		
65	長野	北信森林管理署	平成28年度	駒沢林業専用道新設工事	1,990	640.0	19,900,000	42,940.47	21.58	67.09	14,126.72	1,796.47	3,467.45	42.10	8,365.70	10,852.78	3,546.01	6.76	0.00	734.48	23,505.73	
66	長野	北信森林管理署	平成28年度	山木林業専用道新設工事	1,320	900.0	13,200,000	24,791.69	18.78	49.58	11,067.75	1,428.76	2,809.60	33.74	6,350.52	1,624.88	1,047.81	115.33	0.00	313.29	9,451.84	
67	長野	北信森林管理署	平成28年度	土浦林業専用道新設工事	1,450	514.1	14,500,000	58,263.66	40.18	113.33	34,973.99	2,679.12	5,052.71	61.50	5,286.79	5,542.19	4,290.22	0.00	0.00	372.13	15,496.34	
68	長野	北信森林管理署	平成30年度	駒沢林業専用道新設工事	656	270.0	6,560,000	6,718.95	10.24	24.88	4,322.76	622.82	895.43	14.23	489.41	0.00	21.22	0.00	0.00	349.08	859.71	
69	長野	北信森林管理署	平成29年度	駒沢林業専用道新設工事	2,000	529.0	20,000,000	25,786.58	13.03	49.26	5,774.49	2,560.96	5,886.91	60.86	3,394.49	5,028.56	1,501.91	460.37	0.00	1,927.93	12,577.19	
70	岐阜	岐阜森林管理署	平成28年度	神河川(才ノ木)林業専用道新設工事	1,720	500.0	17,200,000	24,980.57	14.44	49.96	6,211.64	2,471.89	3,007.07	30.07	2,640.18	8,925.16	3,192.88	0.00	0.00	242.03	15,900.24	
71	岐阜	岐阜森林管理署	平成28年度	神河川(才ノ木)林業専用道新設工事	2,200	300.0	22,000,000	18,814.95	8.55	62.72	10,099.41	2,721.80	5,131.69	63.96	158.30	0.00	289.16	0.00	0.00	350.63	798.09	
72	岐阜	岐阜森林管理署	平成28年度	神河川(才ノ木)林業専用道新設工事	1,235	250.0	12,350,000	19,674.37	15.93	78.70	12,833.16	3,165.11	3,162.05	38.61	108.35	0.00	1,342.15	0.00	272.79	302.16	2,025.45	
73	岐阜	岐阜森林管理署	平成28年度	神河川(才ノ木)林業専用道新設工事	1,300	580.0	13,000,000	56,285.85	43.30	97.04	33,570.77	3,266.17	6,023.65	76.20	2,224.29	5,750.67	3,645.94	96.20	0.00	1,630.36	13,349.06	
74	岐阜	岐阜森林管理署	平成30年度	大戸山林業専用道新設工事	731	250.0	7,310,000	34,896.36	47.74	139.59	5,451.32	611.02	1,051.78	14.22	388.37	22,573.54	3,973.34	93.24	0.00	739.53	27,767.92	
75	岐阜	岐阜森林管理署	平成30年度	第二小笠原林業専用道新設工事	1,218	450.0	12,180,000	40,138.68	32.95	89.20	19,881.28	2,234.19	3,784.81	51.75	2,617.83	9,020.97	1,920.97	18.44	0.00	608.46	14,186.66	
76	岐阜	岐阜森林管理署	平成30年度	古原林業専用道新設工事	3,100	504.8	31,000,000	97,842.22	31.56	193.82	41,921.64	3,884.88	7,113.14	89.64	3,094.14	32,779.44	5,940.53	128.93	0.00	3,345.89	44,826.92	
77	近畿	京都府森林管理事務所	平成30年度	赤滝山林業専用道新設工事	2,950	500.0	29,500,000	120,026.46	40.96	240.05	68,166.59	7,516.45	12,742.08	171.03	2,228.08	24,516.26	3,572.95	507.61	0.00	605.41	31,430.31	
78	近畿	京都府森林管理事務所	平成30年度	大伏山林業専用道新設工事	1,815	488.6	18,150,000	45,808.07	25.24	93.75	28,362.90	3,583.81	6,679.20	84.82	4,571.08	1,206.42	137.64	163.85	69.72	7,097.22		
79	中国	広島県森林管理署	平成30年度	御井山林業専用道新設工事	2,050	578.0	20,500,000	55,297.64	26.97	95.67	34,313.93	4,674.23	8,521.63	110.63	3,955.43	0.00	2,713.89	276.30	0.00	731.60	7,677.22	
80	中国	広島県森林管理署	平成30年度	御井山林業専用道新設工事	3,300	600.0	33,000,000	94,997.95	28.79	135.71	53,036.43	6,653.36	14,121.73	182.16	1,940.76	9,094.24	7,953.46	273.44	0.00	742.38	20,004.27	
81	中国	広島県森林管理署	平成30年度	御井山林業専用道新設工事	2,300	700.0	23,000,000	70,870.33	30.81	118.12	22,065.69	2,741.35	4,556.14	62.38	2,203.87	24,963.69	12,818.47	0.00	190.51	1,266.24	41,442.79	
82	中国	広島県森林管理署	平成30年度	御井山林業専用道新設工事	2,550	720.0	25,500,000	109,546.03	42.96	152.15	13,957.59	1,731.85	3,311.99	40.65	4,264.02	72,447.49	12,192.81	0.00	0.00	1,599.62	90,503.95	
83	中国	広島県森林管理署	平成30年度	御井山林業専用道新設工事	2,390	620.0	23,900,000	60,489.41	25.31	97.56	25,688.05	3,237.13	5,994.47	78.32	2,972.47	17,896.24	3,680.53	65.75	322.90	585.32	25,524.84	
84	中国	広島県森林管理署	平成31年度	御井山林業専用道新設工事	1,200	220.0	12,000,000	30,630.92	25.53	139.23	18,681.81	2,718.77	5,287.84	65.22	1,000.69	638.95	482.39	0.00	1,755.24	3,787.27		
85	中国	広島県森林管理署	平成30年度	御井山林業専用道新設工事	2,021	500.0	20,210,000	46,613.36	23.06	93.23	30,517.47	2,832.56	5,209.92	64.98	2,560.65	0.00	4,204.84	25.47	0.00	750.11	7,988.43	

図表79-2 林業専用道開設(新設)工事に係る二酸化炭素排出量2/3

出典：筆者作成。

森林 管理局	郵便 庁振	各森林管理区管理署	工事年度	工事名	事業費 (万円)	施行延長 (m)	事業費 (円)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	1万円当たりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /万円)	1kmあたりの CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /km)	作業機械に係るCO ₂ 排出量				資材に係るCO ₂ 排出量						
											消費燃料の CO ₂ 排出量 合計 (kg-CO ₂)	機械駆動時 に係る 使用分 (kg-CO ₂)	機械の 燃料分 (kg-CO ₂)	機械稼働時 に係る 使用分 (kg-CO ₂)	砕石・石・砂 (kg-CO ₂)	コンクリート 製品 (kg-CO ₂)	柱コンパ (kg-CO ₂)	ポリエチレン (kg-CO ₂)	ポリエチレン (kg-CO ₂)	その他 (kg-CO ₂)	資材のCO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)
87	四国 森林 管理局	愛媛 各森林管理区	平成29年度	三森林専用道新設工事 (愛媛)	2,150	580.0	21,500,000	42,461.81	19.75	73.21	16,018.49	3,201.53	6,910.26	78.61	98.63	15,982.48	236.18	0.00	0.00	316.63	16,633.92
88		高知 各森林管理区	平成29年度	久保川林業専用道新設工事 (高知)	1,450	440.0	14,500,000	32,066.53	22.11	72.88	18,295.46	3,888.41	7,887.44	93.02	53.52	12,917.78	213.62	0.00	0.00	343.28	11,902.21
89		徳島 各森林管理区	平成28年度	宇種林業専用道新設工事	1,925	500.0	19,250,000	52,129.49	27.08	104.26	27,624.25	4,124.25	8,345.46	98.20	22.78	9,201.50	172.78	0.00	0.00	2,540.28	11,937.34
90		徳島 各森林管理区	平成28年度	窪の丸林業専用道新設工事	1,218	200.0	12,180,000	34,533.26	28.35	172.67	13,617.24	1,907.97	3,621.70	44.68	93.96	14,208.01	953.76	0.00	0.00	85.94	15,341.68
91		大分 各森林管理区	平成29年度	黒山1056林業専用道新設工事	1,920	530.0	19,200,000	36,954.46	19.25	69.73	25,170.53	2,846.97	4,973.31	65.22	454.60	1,895.22	1,168.51	41.68	0.00	338.52	3,898.53
92		熊本 各森林管理区	平成29年度	名山川作業道新設工事 p.c1	1,970	940.0	19,700,000	32,838.70	16.67	34.93	11,566.70	1,660.90	2,568.17	38.28	2,796.06	13,263.81	611.59	14.20	0.00	319.99	17,004.64
93		熊本 各森林管理区	平成30年度	楠部作業道新設工事 p.c1	1,200	420.0	12,000,000	15,603.37	11.34	32.39	8,915.78	986.25	1,717.90	22.59	56.90	1,214.67	464.21	3.22	0.00	221.85	1,960.86
94		熊本 各森林管理区	平成30年度	大内内作業道新設工事	1,328	140.0	13,280,000	31,407.52	23.64	224.34	12,179.58	1,142.40	2,036.66	26.07	565.29	9,664.16	3,817.27	1,767.18	0.00	208.92	16,022.80
95		熊本 各森林管理区	平成28年度	白浜3作業道新設工事	1,318	160.0	13,176,000	25,918.30	19.67	161.99	8,937.96	869.64	1,632.77	20.03	387.30	9,141.71	4,638.96	73.75	85.02	131.16	14,457.90
96	九州 森林 管理局	熊本 各森林管理区	平成30年度	上蔵41林業専用道新設工事	1,670	820.0	16,700,000	47,106.52	28.21	57.45	13,325.27	1,260.69	2,428.81	29.42	398.74	24,800.50	3,361.93	0.00	0.00	1,501.16	30,662.33
97		宮崎 各森林管理区	平成30年度	所台2151林業専用道新設工事	2,180	1,760.0	21,800,000	43,939.17	20.16	24.97	20,616.03	2,513.66	4,836.89	57.84	619.09	14,019.45	542.46	37.34	0.00	696.41	15,914.75
98		宮崎 各森林管理区	平成30年度	瀬守2103林業専用道新設工事	4,320	2,229.3	43,200,000	94,737.67	21.93	42.50	24,917.90	3,776.50	7,286.57	89.43	3,051.46	48,870.85	5,288.82	85.03	0.00	1,371.13	58,667.27
99		宮崎 各森林管理区	平成30年度	黒谷104林業専用道新設工事	2,525	500.0	25,250,000	81,495.00	32.28	162.99	45,268.92	4,306.06	7,885.07	98.42	2,199.46	21,261.59	3,929.24	1.27	0.00	314.98	24,136.54
100		宮崎 各森林管理区	平成30年度	前野内作業道新設工事	2,930	802.9	29,300,000	35,452.83	11.42	41.67	20,656.47	2,637.83	4,525.63	60.11	174.64	3,086.89	1,128.63	642.82	0.00	537.62	5,572.78
101		鹿児島 各森林管理区	平成30年度	高野24林業専用道新設工事	4,235	983.0	42,350,000	114,144.46	26.95	116.12	33,198.40	4,448.93	8,432.21	105.26	1,920.30	58,826.67	5,399.18	1,412.65	0.00	398.84	67,959.65
102		鹿児島 各森林管理区	平成30年度	高野52林業専用道新設工事	3,350	700.0	33,500,000	145,511.84	43.44	207.87	46,833.47	4,064.13	7,675.32	93.89	1,254.40	83,431.07	1,812.77	165.16	0.00	181.64	86,845.03
103		鹿児島 各森林管理区	平成30年度	川西3056林業専用道新設工事	1,793	775.0	17,928,000	49,425.88	27.57	63.78	22,794.36	2,390.27	4,351.33	54.81	4,722.87	14,128.38	421.77	49.79	0.00	512.30	19,835.11
104		鹿児島 各森林管理区	平成30年度	船行111林業専用道新設工事	3,000	873.5	30,000,000	49,748.06	16.58	56.95	20,347.37	2,309.61	4,277.59	53.15	16,129.12	4,214.37	1,356.36	9.15	0.00	1,051.33	22,760.34
105		鹿児島 各森林管理区	平成30年度	白旗63林業専用道新設工事	2,120	1,200.0	21,200,000	79,767.16	37.63	66.47	17,259.46	2,004.12	3,628.52	46.99	2,647.23	42,134.89	11,178.93	2.84	0.00	664.28	56,628.08

図表79-3 林業専用道開設(新設)工事に係る二酸化炭素排出量3/3

出典：筆者作成。

付録3-2. 林道災害復旧工事

この林道災害復旧工事における排出量は、付録 3-1 と同様に算出した。以下の図表 80-1～2 に俎板山林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量の算出表を示す。この工事に係わる二酸化炭素排出量合計は 101,115.68(kg-CO₂)となった。

組板山林道災害復旧工事	引用元	諸元	機械質量及び資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2)	軽油 消費量 (L)	カソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考
ハックホウ(クローラ型・排型1次) 0.8m3 土工 床底 砂・砂質土・粘性土	1), 2) p3-397, 図表78,81	0.8/0.6m3 42.5m3/h ²⁾ 数量: 177m3	19.80 t	690	104	0.153	9.0	4.16	3,014.90	66.27		40.03			製造	40.03
															稼働	195.49
ハックホウ(クローラ型・排型1次) 0.45m3 土工 補填土墾工	1), 2) p3-264, 図表78,81	0.45/0.35m3 59m2/d ²⁾ 5h/d 数量: 84.6m2	11.80 t	690	60	0.153	12.5	7.17	2.95	65.82		29.57	53.18	0.67	製造	194.16
															稼働	53.18
フルトーザ 普通 排型1次 15t級 土工 流用盛土	1), 2) p3-390, 図表78,81	15t級 36.3m3/h ²⁾ 数量: 26m3	14.60 t	400	100	0.153	12.5	0.72	2.95	10.96		6.31	8.28	0.16	製造	6.31
															稼働	32.33
フルトーザ 普通 排型1次 15t級 土工 上層路盤工	1), 2) p3-414, 図表78,81	15t級 敷均し厚: 5cm 53m3/h ²⁾ 数量: 60m3	14.60 t	400	100	0.153	12.5	1.13	2.95	17.32			13.09		製造	51.10
															稼働	13.09
フルトーザ 普通 排型1次 15t級 土工 下層路盤工	1), 2) p3-414, 図表78,81	15t級 敷均し厚: 20cm 64m3/h ²⁾ 数量: 60m3	14.60 t	400	100	0.153	12.5	0.94	2.95	14.34		8.25	10.84		製造	42.31
															稼働	10.84
モータブレード(土工用・排型1次) 路盤工 上層路盤工	1), 2) p3-424, 図表78,81	ブレード幅3.1m 1110m2/d ²⁾ (1層) 1d=5.4h 数量: 60m2	10.0 t	380	85	0.108	15.0	0.29	3,014.90	2.68		1.54			製造	1.54
															稼働	7.90
上記運搬車両 セミトラクタ(25t積)	1), 図表78,81	25t積	17.20 t	630	235	0.075	11.5	1.40	3,014.90			10.02	15.14	0.23	製造	10.02
															稼働	15.14
タンバ 60~80kg 土工 補填土墾工	1), 2) p3-258, 図表78,81	(0.29+0.24)d/100m3 ²⁾ 5h/d, 20cm 数量: 84.6m2	0.04 t	400	3	0.346	6.0	2.24	2.84			0.11	0.07	0.00	製造	0.11
															稼働	0.07
									68.60						0.00	廃棄

図表80-1 組板山林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量の算出表1/2
出典: 筆者作成。

組板山林道災害復旧工事	引用元	諸元	機械質量及び 資材質量 単位	年間標準 運転時間 (h)	機関 出力 (kW)	燃料消費率 (L/kWh)	標準 使用年数 (y)	稼働 時間 (h)	CO2排出量 原単位 (kg-CO2)	軽油 消費量 (L)	ガソリン 消費量 (L)	機械製造時 に係る使用分 (kg-CO2)	機械の 減耗分 (kg-CO2)	機械稼働時 に係る使用分 (kg-CO2)	CO2排出量 (kg-CO2)	備考	
																	3,014.90
振動ローラ (Vバンドガイド式) 土工 補強土壁工	1), 2) p3-258, 図表 78.81	(0.29+0.24)d/100m ³ 2) 5h/d, 20cm 数量: 84.6m ²	0.8 t	390	5	0.231	13.0	2.24	2.95	2.59					1.07	製造	
																	7.64
鋼製壁面材 土工 補強土壁工	2), 3), 図表 80	T-EXパネル 600×2000 重量: 17.2kg 83個/100m ² 数量: 84.6m ² (71個)	1,221.20 kg						68.60				1.45	0.02	0.02	廃棄	
																	1.45
L補強用ジオグリッド (幅: 2m)	2), 3), 図表 80	EX-100 ポリエチレン製 平均長さ: 4mと設置 L: 50m (56kg) 数量: 84.6m ²	159.04 kg						1.53						243.33	資材 比重: 0.93	
																	1.85
上記運搬車両トラック10t (クレーン装置付)	1), 図表 78.81	10t精級2.9t吊り	8.00 t	760	242	0.043	12.0	0.70	68.60				3.82	0.04	0.04	3.82	製造
上記移動 (自走)								0.35	4.19	3.64				15.26	15.26	搬入往路	
																	0.35
作業員運搬 (ライトバン) 40km/h走行	1), 図表 78.81	5名, 2L	1.40 t	760	69	0.047	8.5	58.10	3,014.90			37.96			37.96	製造	
																	80.53
									68.60					0.86	0.86	廃棄	
																	0.86
合計									4.19	188.42	2.33	146.69	240.37	3.38	3,274.37		

(注) 燃料消費率のDは軽油, Gはガソリン, Eは電力, Bは混合燃料である。

引用元

1). (一社)日本治山治水協会 日本林道協会(2017)『治山林道必携(積算・施工編) 下巻 平成29年版』日本林道協会, p.3-352

2). 関東森林管理局(2015)「林道事業設計積算の手引き2015」, <https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/tisan/pdf/rindoutebiki-1.pdf>, <https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/tisan/pdf/rindoutebiki-2.pdf> (2018年6月18日アクセス)

3). 岡三リビング(株)「壁面材」<https://www.okasanlivic.co.jp/ebook/top.html>, p4-8(2020年6月22日アクセス)

図表80-2 組板山林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量の算出表2/2

出典: 筆者作成。

同様に私有林林道災害復旧工事が 5 例，国有林林道災害復旧工事が 60 例，林道災害復旧工事合計で 65 例を算出し，その集計を図表 81-1～2 に示した。

森林 管理局 及び 都道府県	都道 府県	各森林管理局管理署	工事年度	工事名	事業費 (万円)	施行延長 (m)	事業費 (円)	CO ₂ 排出量 合計 (kg-CO ₂)	1万歩あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /万円)	1kmあたりの CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /km)	作業機械に係るCO ₂ 排出量				資材に係るCO ₂ 排出量				燃料のCO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)				
											消費燃料の CO ₂ 排出量 合計 (kg-CO ₂)	機械稼働時 に係る 使用分 (kg-CO ₂)	機械の 減耗分 (kg-CO ₂)	機械稼働時 に係る 使用分 (kg-CO ₂)	生コンパ ート 製品 (kg-CO ₂)	砕石・石・砂 (kg-CO ₂)	木材 (kg-CO ₂)	ポリエチレン (kg-CO ₂)		ポリエステル (kg-CO ₂)	その他 (kg-CO ₂)		
北海道	空知森林管理署	北見支署	平成20年度	ルベツツ林道外災害復旧工事	1,870	127.0	18,700,000	61,889.24	32.94	484.95	23,064.25	1,877.28	3,253.33	42.95	54.50	31,267.42	1,749.43	94.12	78.89	105.08	33,349.43		
			平成21年度	上石川河川林道災害復旧工事	3,860	250.5	38,600,000	119,108.37	30.86	475.48	30.86	475.48	36,847.66	2,913.67	5,085.12	66.60	1,334.81	71,857.78	0.00	468.18	0.00	534.55	74,195.31
			平成22年度	中川林道災害復旧工事	2,040	127.0	20,400,000	101,436.18	49.72	798.71	42,200.03	47,922.00	2,682.69	4,792.20	61.50	0.00	51,513.22	0.00	11.98	0.00	174.37	51,687.59	
			平成23年度	野原川林道災害復旧工事	9,000	552.0	90,000,000	304,955.90	38.01	550.83	40,381.37	4,693.29	7,411.31	108.27	87,038.90	163,566.31	58.33	67.32	67.32	0.00	0.00	531.79	251,262.66
			平成24年度	二ノノツ林道災害復旧工事	2,500	157.5	25,000,000	67,609.26	26.26	430.43	25,608.69	2,402.63	4,816.16	56.59	270.78	30,141.55	4,309.85	31.97	0.00	0.00	172.03	34,925.19	
			平成25年度	老安川林道災害復旧工事	2,770	75.0	27,700,000	102,656.12	37.66	1,368.75	20,391.83	2,176.30	3,443.42	49.85	0.00	76,301.98	0.00	0.00	0.00	0.00	292.75	76,594.72	
			平成26年度	深川林道災害復旧工事	1,110	30.0	11,100,000	41,017.25	36.95	1,521.06	1,601.50	23.46	1,521.06	1,027.15	1,601.50	23.46	1,766.28	27,988.58	0.00	0.00	0.00	119.22	29,628.87
			平成27年度	中川急傾斜地災害復旧工事	4,400	147.0	44,000,000	133,010.48	30.23	904.83	38,849.65	4,047.63	6,829.13	92.70	3,775.26	78,627.54	14.36	53.20	0.00	0.00	721.00	83,191.36	
			平成28年度	鹿沼川林道災害復旧工事	3,200	50.0	32,000,000	110,720.23	34.60	2,214.40	24,830.52	2,940.88	3,898.64	53.55	9,881.56	70,139.35	0.00	0.00	0.00	0.00	175.75	79,986.66	
			平成29年度	洞川林道災害復旧工事	2,150	73.0	21,500,000	62,615.92	29.12	857.75	16,596.89	1,729.35	2,649.95	39.48	0.00	41,400.19	0.00	1.84	0.00	0.00	198.23	41,600.26	
東北	岩手森林管理署	三陸支署	平成21年度	名田林道災害復旧工事	1,160	38.0	11,600,000	38,752.62	33.41	1,019.81	15,501.76	1,283.25	2,377.66	29.41	5,632.36	7,940.30	5,560.95	0.00	0.00	0.00	426.93	19,560.55	
			平成22年度	深沢林道災害復旧工事	1,702	63.0	17,020,000	90,442.53	53.26	1,438.77	34,608.60	2,897.62	5,287.68	65.95	1,861.82	43,626.64	2,288.30	0.00	0.00	0.00	6.92	47,782.68	
			平成23年度	小滝川林道災害復旧工事	4,100	67.0	41,000,000	131,711.39	32.12	1,965.84	36,280.14	4,310.70	6,791.05	98.89	944.92	78,375.94	150.49	4,701.08	0.00	58.24	0.00	84,230.66	
			平成24年度	三本岳林道災害復旧工事	2,990	60.0	29,900,000	76,828.16	25.70	1,280.47	10,281.44	4,176.50	2,452.60	34.17	15,236.26	33,914.18	13,340.89	0.00	0.00	0.00	92.12	62,583.45	
			平成25年度	安藤川林道災害復旧工事	2,900	57.0	29,000,000	115,345.11	39.77	2,023.40	43,272.93	3,696.57	6,867.20	85.12	19,037.96	39,602.76	2,673.66	0.02	111.85	0.00	90.05	61,466.30	
			平成26年度	北沢林道災害復旧工事	2,520	92.0	25,200,000	80,349.55	31.96	875.94	23,467.90	1,828.83	3,484.40	41.93	1,470.85	43,417.88	6,789.83	44.71	0.00	0.00	5.22	51,228.49	
			平成27年度	大沢川林道災害復旧工事	920	35.0	9,200,000	28,260.40	30.72	807.44	6,987.34	612.24	1,130.89	14.04	414.61	17,680.54	1,416.96	1.03	0.00	0.00	2.76	19,515.90	
			平成28年度	新成林道災害復旧工事	2,470	78.0	24,700,000	56,444.82	22.93	726.22	12,930.57	1,120.53	2,177.93	26.03	888.85	33,636.69	5,230.70	0.01	24.17	629.34	40,389.76		
			平成29年度	山内川林道外災害復旧工事	3,078	78.0	30,780,000	111,728.28	36.19	1,427.93	19,390.31	1,867.47	3,461.57	44.87	867.67	82,017.58	3,622.82	0.00	0.00	0.00	5.99	86,514.06	
			平成30年度	根子林道災害復旧工事	1,694	59.0	16,940,000	69,628.60	41.10	1,180.15	17,511.94	1,823.12	2,896.82	35.02	855.14	44,896.76	1,891.30	6.53	0.00	0.00	11.97	47,661.70	
関東	新潟森林管理署	上越支署	平成21年度	大石林道中の沢谷橋災害復旧工事(29補正)	340	28.7	3,400,000	13,379.88	39.94	473.17	6,024.44	458.07	1,158.38	10.63	274.95	0.00	5,653.52	0.00	0.00	0.00	0.00	5,928.47	
			平成22年度	大白川林道災害復旧工事(29補正)	5,590	250.0	55,900,000	157,449.36	28.17	629.80	35,527.03	3,994.02	7,083.12	92.50	346.74	83,484.22	9,319.77	17,286.30	0.00	315.66	110,752.69		
			平成23年度	会津川林道災害復旧工事	1,595	59.0	15,950,000	13,333.43	8.36	225.99	4,812.65	603.71	1,265.32	14.21	25.00	0.00	6,137.56	115.55	316.38	43.05	6,637.53		
			平成24年度	七曲・高野(本谷川)林道災害復旧工事	1,250	44.0	12,500,000	31,764.42	25.41	721.92	6,610.67	5,701.12	1,165.42	12.97	28,821.04	0.00	402.68	163.40	0.00	18.12	23,405.23		
			平成25年度	根子川林道災害復旧工事(129補正)	660	20.0	6,600,000	3,274.37	4.96	163.72	1,460.92	146.69	240.37	3.38	0.00	0.00	1,179.68	243.33	0.00	0.00	0.00	1,423.01	
			平成26年度	万沢(根子川)林道災害復旧工事(129補正)	540	80.0	5,400,000	15,121.13	28.00	189.01	11,139.65	1,278.04	2,673.31	29.98	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	
			平成27年度	佐山林道災害復旧工事	2,650	215.4	26,500,000	195,955.34	73.73	907.13	35,658.85	351.58	671.65	8.11	5,026.95	150,827.15	2,664.56	43.96	0.00	0.00	142.53	158,705.15	
			平成28年度	大岩林道災害復旧工事	2,200	55.0	22,000,000	373,078.50	169.58	6,783.25	10,592.25	1,178.66	2,695.49	27.58	688.13	386,211.22	1,302.16	21.98	0.00	0.00	191.04	388,594.52	
			平成29年度	母谷林道災害復旧工事	800	37.0	8,000,000	47,058.88	58.82	1,271.86	2,812.44	351.58	671.65	8.11	574.10	41,771.44	819.41	8.79	0.00	0.00	41.36	43,215.10	
			平成30年度	須藤林道災害復旧工事(126補正)	700	20.0	7,000,000	34,929.82	49.90	1,746.49	9,465.34	651.77	1,314.14	14.90	357.97	22,892.57	169.86	0.00	0.00	0.00	63.27	23,483.67	
関東	静岡森林管理署	天竜支署	平成28年度	三輪林道災害復旧工事	2,600	76.0	26,000,000	60,448.28	23.25	795.37	24,124.14	1,766.20	3,375.01	40.22	511.78	26,275.21	3,516.67	0.00	452.57	386.47	31,142.71		
			平成29年度	門前川林道災害復旧工事	1,103	34.0	11,025,000	49,887.07	45.25	1,467.27	10,569.75	942.74	1,794.37	21.45	92.43	36,205.78	0.00	0.00	0.00	260.54	36,538.75		

図表81-1 林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量1/2
出典：筆者作成。

森林 管理員 及び 都道府県	都道 所県	各森林管理員管理	工事年度	工事名	事業費 (万円)	施行延長 (m)	事業費 (円)	CO ₂ 排出量合計 (kg-CO ₂)	1万坪あたりの CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /万坪)	1kmあたりの CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /km)	消費原料の CO ₂ 排出量 合計 (kg-CO ₂)	作業機械に係るCO ₂ 排出量			資材に係るCO ₂ 排出量			資材のCO ₂ 排出量合計			
												機械使用時 に係る 燃料 消費分 (kg-CO ₂)	機械稼働時 に係る 使用分 (kg-CO ₂)	機油使用時 に係る 使用分 (kg-CO ₂)	生コン地 コンクリート 製品 (kg-CO ₂)	鋼材 (kg-CO ₂)	ポリエチレン (kg-CO ₂)		ポリエステル (kg-CO ₂)	その他 (kg-CO ₂)	
35	長野	中部森林管理員	平成28年度	五ヶ平林道災害復旧工事	700	19.0	7,000,000	19,851.21	26.36	1,044.80	2,958.31	281.14	534.28	6.40	161.32	15,791.30	0.00	0.00	118.45	16,071.08	
36	長野	東信森林管理員	平成29年度	入道ヶ平林道災害復旧工事	990	46.0	9,900,000	25,999.37	26.26	565.20	5,387.35	1,066.20	1,066.20	14.97	3,960.15	14,699.05	0.00	0.00	83.72	18,875.28	
37	長野	南信森林管理員	平成31年度	陣ヶ平林道災害復旧工事	990	23.0	9,900,000	15,587.69	15.75	677.73	3,759.61	415.86	810.96	9.62	186.95	10,208.70	95.44	0.00	100.55	10,591.64	
38	中部	木曽森林管理員	平成30年度	穂積峠分岔(穂積)林道災害復旧工事	565	23.0	5,650,000	4,187.03	7.41	182.04	1,703.17	164.84	321.52	3.75	0.00	276.53	0.00	0.00	0.00	1,993.75	
39	長野	北信森林管理員	平成28年度	駒曲川中流林道災害復旧工事	1,420	35.0	14,200,000	55,878.20	39.35	1,586.52	11,783.02	992.54	1,962.94	21.72	166.23	40,673.25	0.00	0.00	298.49	41,137.97	
40	長野	木曽森林管理員	平成27年度	新島川林道災害復旧工事	1,820	30.0	18,200,000	37,363.86	20.53	1,245.46	6,865.16	661.24	1,221.02	15.05	146.28	27,909.58	0.00	0.00	625.70	28,601.39	
41	愛知	豊田森林管理員	平成31年度	扇谷金沢(扇谷)林道災害復旧工事	850	18.0	8,500,000	24,812.18	29.19	1,378.45	7,498.98	403.92	802.78	49.50	336.37	15,130.03	0.00	0.00	545.54	16,199.61	
42	愛知	豊田森林管理員	平成29年度	扇谷金沢(扇谷)林道災害復旧工事	4,000	88.0	40,000,000	128,759.96	32.19	1,463.18	17,429.74	2,122.66	4,199.82	48.56	244.39	104,542.33	0.00	0.00	172.41	104,959.13	
43	岐阜	飛騨森林管理員	平成30年度	白土山林道災害復旧工事	1,850	40.5	18,500,000	63,014.01	34.06	1,555.90	6,077.86	634.04	1,225.05	14.44	252.02	53,966.60	203.78	48.11	585.11	55,055.62	
44	44	補打	補打森林管理員	平成31年度	扇谷山合林道災害復旧工事	872	13.2	8,720,000	41,613.53	47.71	3,152.54	11,826.13	955.38	1,654.89	21.76	316.54	26,783.71	0.00	0.00	75.11	27,175.36
45	近畿	兵庫	兵庫森林管理員	平成28年度	岡山林道災害復旧工事	1,200	101.0	12,000,000	53,337.32	44.61	530.07	9,145.89	893.72	20.47	77.39	41,598.44	0.00	0.00	13.67	41,689.51	
46	中国	岡山	岡山森林管理員	平成29年度	備前林道災害復旧工事	760	41.0	7,600,000	23,155.77	30.47	564.77	3,927.92	286.55	6.65	282.09	17,954.57	0.00	0.00	53.63	18,290.29	
47	森林	三重	三重森林管理員	平成28年度	西合林道災害復旧工事	1,620	44.9	16,200,000	50,773.32	31.34	1,130.81	5,103.46	478.44	882.17	11.07	342.04	43,948.20	0.00	0.00	7.93	44,288.18
48	管理員	高取	高取森林管理員	平成29年度	奥田(保良)林道災害復旧工事	980	34.0	9,800,000	13,927.06	14.21	409.62	6,148.83	555.54	13.17	429.46	0.00	3,991.60	1,503.57	75.28	58.56	6,058.46
49	50	愛媛	愛媛森林管理員	平成29年度	白井山(藤田)林道災害復旧工事	1,112	19.0	11,120,000	37,949.40	34.13	1,997.34	6,115.80	717.08	16.55	704.14	29,114.45	0.00	0.00	15.45	29,834.03	
50	50	愛媛	愛媛森林管理員	平成28年度	笠ヶ嶺林道災害復旧工事	1,630	36.5	16,300,000	60,094.31	36.87	1,646.42	10,115.12	927.58	21.22	191.20	46,595.44	291.00	0.00	134.46	47,212.09	
51	51	香川	香川森林事務所	平成31年度	神野林道災害復旧工事	715	7.3	7,150,000	17,187.77	24.04	2,354.49	2,866.58	324.41	638.00	7.56	52.32	6,325.34	0.00	0.00	16.56	13,353.21
52	四国	高知	高知中流森林管理員	平成29年度	行者林道災害復旧工事	2,450	60.0	24,500,000	99,711.54	40.70	1,661.86	21,925.01	1,357.90	2,698.77	31.18	136.80	73,102.15	945.62	0.00	144.11	74,328.68
53	53	高知	安芸森林管理員	平成31年度	池の川林道災害復旧工事	2,200	40.0	22,000,000	62,356.16	28.34	1,558.90	10,658.84	1,074.62	1,880.06	24.73	1,117.50	47,385.05	131.42	0.00	65.03	48,717.90
54	54	高知	四国森林管理員高知森林整備課	平成28年度	備前林道災害復旧工事	3,750	54.0	37,500,000	120,332.07	32.14	2,232.08	28,691.08	2,119.61	48.47	282.35	80,481.90	4,842.74	31.21	0.00	151.61	85,789.81
55	55	高知	即刀十森林管理員	平成29年度	扇野山林道災害復旧工事	2,390	54.0	23,900,000	78,574.09	32.88	1,455.08	14,190.34	1,189.46	3,330.00	27.35	114.78	60,599.14	0.00	0.00	123.02	60,836.93
56	56	高知	徳島森林管理員	平成31年度	岡南川林道災害復旧工事	1,380	35.0	13,800,000	50,568.97	36.64	1,444.83	15,734.03	1,079.73	2,066.42	24.78	56.03	31,543.94	0.00	0.00	64.04	31,664.01
57	57	徳島	徳島森林管理員	平成29年度	小島林道災害復旧工事	570	25.0	5,700,000	7,304.96	12.82	292.20	2,467.05	359.04	629.34	8.39	23.13	750.42	600.60	0.00	2,466.96	3,841.14
58	58	福岡	九州森林管理員	平成28年度	新山林道災害復旧工事	1,620	69.0	16,200,000	63,400.49	39.28	922.33	4,638.63	1,215.15	2,078.35	27.73	290.92	53,965.76	0.00	0.00	1,423.95	55,680.63
59	59	福岡	福岡森林管理員	平成29年度	白石林道災害復旧工事及び改良工事	4,000	158.0	40,000,000	187,539.24	46.88	1,186.96	53,104.45	5,207.80	9,443.51	118.59	456.93	110,335.42	2,238.12	6,282.79	351.62	119,664.89
60	60	熊本	熊本南信森林管理員	平成29年度	白糸林道災害復旧工事及び改良工事	1,836	54.0	18,360,000	31,893.57	17.33	589.07	3,565.31	386.69	613.52	8.80	501.40	26,672.26	0.00	0.00	370.60	27,544.26
61	61	宮崎	宮崎森林管理員	平成31年度	岩屋ヶ野山林道災害復旧工事及び改良工事	3,700	160.0	37,000,000	67,497.40	18.24	421.86	8,299.96	1,361.18	2,332.26	31.53	1,843.19	50,351.11	1,707.86	0.00	1,569.30	55,471.46
62	62	宮崎	西都賀森林管理員	平成29年度	上横合林道災害復旧工事及び改良工事	1,000	76.0	10,000,000	32,822.03	32.82	431.67	6,594.88	1,218.06	14.99	319.18	24,035.91	654.16	0.00	280.81	25,290.06	
63	63	宮崎	西都賀森林管理員	平成29年度	兵衛林道災害復旧工事及び改良工事	1,160	64.0	11,600,000	35,811.44	30.87	559.55	7,512.41	629.88	1,240.97	14.46	181.62	25,282.34	700.74	0.00	249.03	26,413.72
64	64	宮崎	大洲森林管理員	平成31年度	大島林道和田安楽林道災害復旧工事及び改良工事	750	43.0	7,500,000	37,296.25	49.86	869.68	11,512.19	879.76	1,643.02	20.04	162.74	22,575.99	246.70	0.00	355.82	23,341.24
65	65	鹿児島	北薩森林管理員	平成30年度	笠形林道災害復旧工事及び改良工事	990	116.5	9,900,000	31,594.18	31.82	270.42	2,726.55	367.43	672.77	8.39	575.19	26,820.88	274.67	0.00	48.29	27,719.04
66	66	埼玉	寄居森林事務所	平成24年度	森林管理員 矢野柳原 広尾災害復旧工事	402	42.0	4,021,500	17,404.36	43.28	414.39	5,578.97	417.29	731.45	9.49					10,667.14	
67	67	埼玉	寄居森林事務所	平成26年度	森林管理員 栗山十間 熊谷災害復旧工事	558	22.0	5,584,680	26,166.48	46.85	1,189.39	6,452.54	540.45	870.61	11.73					18,291.14	
68	68	埼玉	秩父森林振興センター	平成26年度	森林管理員 広河原川原 熊谷災害復旧工事	1,573	57.0	15,728,040	25,990.14	16.52	455.97	11,307.10	943.94	1,602.98	21.46					12,114.63	
69	69	埼玉	秩父森林振興センター	平成26年度	森林管理員 金山岩間 熊谷災害復旧工事	270	31.0	2,697,840	4,778.31	17.71	154.14	1,873.07	166.86	295.62	3.80					2,438.96	
70	70	埼玉	秩父森林振興センター	平成27年度	森林管理員 八日沼 熊谷災害復旧工事	5,584	89.0	55,842,480	95,614.46	17.12	1,074.32	39,513.70	1,298.83	2,226.38	31.37					52,144.18	

図表81-2 林道災害復旧工事に係る二酸化炭素排出量1/2

出典：筆者作成。

参考文献

- Y.アルデントゥン(Aldentun Y)(2002)「Life cycle inventory of forest seedling production from seed to regeneration site.」『J Cleaner prod 2002:10』
- 浅川澄彦他(1981)「スギ種子の - 20度貯蔵での含水率の影響について」『日本の樹木種子一針葉樹編-190110』林木育種協会
- 浅野浩之(2010)「群馬県スギ林分システム収穫表の調製」,
<https://www.pref.gunma.jp/contents/000130083.pdf> (2019年8月19日アクセス)
- 愛知県建設局(2020)「積算基準及び歩掛表(その1)【土木工事編】(令和2年10月)」,
https://www.pref.aichi.jp/kensetsu-kikaku/gijyutsu/sekisankijun/R2/R2sono1_20210401.pdf (2021年6月30日アクセス)
- 阿武隈川流域林業活性化センター(2006)「木屑焚きボイラー調査報告書」
- 井鷲裕司「竹林の生産力 バイオマス資源として」国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 関西支所, <http://www.ffpri.affrc.go.jp/fsm/research/pubs/joho/past/05.html>(2021年12月20日アクセス)
- 岩岡正博他(2008)「木材生産作業のエネルギー消費と二酸化炭素排出量(前編), (後編)」『機械化林業No.654, No.655』(一社)林業機械化協会
- 岩手県林業技術センター(2006)「樹木種子の品質鑑定」『林業技術情報No.25』,
<http://www2.pref.iwate.jp/~hp1017/shinrin/shinrin1-50/001.pdf> (2021年9月15日アクセス)
- 生方正俊他(2014)「-20℃の冷凍庫で10年間保存したスギおよびヒノキ種子の発芽率」『関東森林研究Vol.65 No.1』関東森林学会
- 太田猛彦(2008)「森林の変遷と現代の森林“荒廃”」『水利科学 N0304 2008』(財)水利科学研究所,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/suirikagaku/52/5/52_3/_pdf (2021年12月6日アクセス)
- 大和田拓馬他(2012)「国産丸太のLCAによる環境影響評価」『第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨集』日本LCA学会
- 岡田幸郎他(1965)「林業における種子貯蔵の現状」『農林省林業試験場造林部Vol.2 No.2』,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/ecb1963/2/2/2_2_98/_pdf-char/en (2021年7月12日アクセス)
- 岡田 優(1966)『図説・機械化による林業苗畑作業』明文書房
- 大矢信次郎他(2017)「コンテナ苗を活用した低コスト再造林技術の実証研究」『長野県林総セ研報第31号』長野県林業総合センター,
https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/seika/kenkyu/ikurin/documents/31_03_iku_reforest.pdf (2022年2月2日アクセス)
- 川鍋亜衣子他(2010)「木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理」『日本建築学会技術報告集16(32)』(一社)日本建築学会,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/16/32/16_32_37/_pdf (2021年10月25日アクセス)
- 環境省 地球環境・国際環境協力, <http://www.env.go.jp/earth/copcmpcma.html> (2021年12月14日アクセス)
- 環境省 京都議定書の概要, <https://www.env.go.jp/earth/cop6/3-2.html> (2021年12月14日アクセス)
- 環境省 「パリ協定の概要(仮訳)」,
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop21_paris/paris_conv-a.pdf (2021年12月15日アクセス)

環境省自然環境局(2009)「絶滅危惧植物種子の収集・保存等に関するマニュアル」,
https://www.env.go.jp/garden/shinjukugyoen/1_intro/pdf/rdb-03.pdf (2014年11月26日アクセス)

関東森林管理局「平成26年度森林環境保全整備事業・三ヶ舞 保育間伐(活用型)外」, 開示請求(2017年11月27日)

環境省・経済産業省(2016)『サプライチェーンを通じた温室効果ガス排出量算定に関する基本ガイドライン(ver.2.3)』,
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/tools/GuideLine_ver2.3.pdf(2019年6月27日アクセス)

関東森林管理局(2015)「林道事業設計積算の手引き2015」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/tisan/pdf/rindoutebiki-1.pdf>,
<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/tisan/pdf/rindoutebiki-2.pdf> (2018年6月18日アクセス)

気象庁(2021)「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書 第1作業部会報告書(自然科学的根拠)政策決定者向け要約(SPM)の概要(ヘッドライン・ステートメント)」,
https://www.jma.go.jp/jma/press/2108/09a/ipcc_ar6_wg1_a1.pdf (2022年1月17日アクセス)

群馬県環境森林部森林局森林保全課(2020)「群馬県治山事業設計基準(令和2年10月)」

群馬県林木育種場(2019)「林木育種場の概要」,<https://www.pref.gunma.jp/07/p13710022.html> (2021年9月10日アクセス)

群馬県(2020)「利根下流域地域森林計画書<計画事項3>」,
<https://www.pref.gunma.jp/04/e3000243.html> (2020年8月11日アクセス)

国立環境研究所 地球環境研究センター(2014)「地球環境研究センターニュースVol.24[2013年度]2014年1月号 Vol.24 No.10 通巻第278号」国立環境研究所,
<https://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201401/278001.html> (2021年12月14日アクセス)

国土交通省 建設機械等損料,
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000025.html (2021年12月8日アクセス)

国土技術政策総合研究所 環境研究部 道路環境研究室(2012)「社会資本のライフサイクルをととした環境評価技術の開発に関する報告—社会資本LCAの実践方策—(2012年2月)」,
<http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/00all.pdf> (2017年12月8日アクセス)

国土交通省 国土技術政策総合研究所(2012)「社会資本LCA用投入産出表に基づく環境負荷原単位一覧表 二酸化炭素排出量_2005年版(2012.05.16公開)」,
http://www.nilim.go.jp/lab/dcg/img/e_io2005c.xls (2017年12月6日アクセス)

国税庁「減価償却資産の耐用年数等に関する省令 別表」,
<https://www.city.yokohama.lg.jp/zaisei/citytax/shizei/pdf/beppyou1-0all.pdf> (2018年3月19日アクセス)

国土交通省 土地・建設産業局(2016)「建設資材・労働力需要実態調査【建築部門】(平成25年度原単位)の結果について」,
<https://www.mlit.go.jp/common/001124156.pdf> (2022年2月25日アクセス)

国土交通省 不動産・建設経済局(不明)「主要建設資材需給・価格動向調査(資材モニター調査)の概要」,
https://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/ex/material_pdf_data/material.pdf (2022年2月15日アクセス)

小谷英司(2016)「森のおはなしColumn 次は何を植えますか?地位について」国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 東北支所,

- https://www.ffpri.affrc.go.jp/thk/research/publication/another_organization/documents/vol_146_column.pdf (2021年12月8日アクセス)
- 古俣寛隆他(2009)「カラマツ丸太生産におけるCO₂排出のインベントリ分析」『日本LCA学会誌5(1)』日本LCA学会
- 齋藤周逸他(2009)「乾燥工場規模別の乾燥材生産コスト試算」『関東森林研究 No 60』関東森林学会
- (社)埼玉県農林公社(2013)「造林事業標準歩掛表」,
<http://www.chichibu.ne.jp/~ssinrinp/H25hyoujunbukakari%20H25-8.pdf> (2018年12月25日アクセス)
- 財務省「予算・決算データベース 農林水産省所管 国有林野事業 特別会計歳入歳出決定計算書」
<https://www.bb.mof.go.jp/hdocs/bxsselect.html> (2020年7月21日アクセス)
- 澤口勇雄他(2012)「路網作設による二酸化炭素排出量のLCA推定」『森林利用学会誌27(1)』森林利用学会
- (社)産業環境管理協会(2012)「カーボンフットプリント制度施行事業CO₂換算量共通原単位データベースver.3.0」,
<https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/xls/kokai-co2kasanryou-db20110331.xls> (2017年12月21日アクセス)
- 重川隆廣他(2011)「新潟県の製材所を対象とした年間エネルギーCO₂排出量 木材の地産地消に関する研究 その1」『日本建築学会環境系論文集76(666)』(一社)日本建築学会
- JA全農資材・農機部(1998)「機械化計画のたて方 機械別基準値による」表Ⅲ-5 機械別基準値,
<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/65899.pdf> (2014年9月30日アクセス)
- 国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所「林業経営収支予測システム(FORCAS 3.21)試用版」,
<https://www2.ffpri.go.jp/labs/FORCAS/> (2015年2月19日アクセス)
- 国立研究開発法人森林研究 整備機構 森林総合研究所 関東森林管理局森林技術センター(2010)「コンテナ苗による広葉樹造林技術の開発」『平成22年度完了報告資料』,
<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gizyutu/seika/pdf/kannryouhoukoku28tenpusiryoku.pdf> (2016年7月6日アクセス)
- 国立研究開発法人森林研究 整備機構 森林総合研究所(2006)「スギ乾燥のための10の要点」『森林総合研究所 第1期中期計画成果集18』,
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/documents/1st-chukiseika-18.pdf> (2021年6月30日アクセス)
- 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所「木1本に固定されている炭素の量」,
<http://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-2-per-a-tree.pdf> (2014年4月9日アクセス)
- 鈴木秀典他(2010)「路網開設に伴う二酸化炭素排出量の現状と今後」『森林総研研報9(4)』国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所
- スタファン・バーグ(Staffan Berg et al.)(2005)「Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden」『Journal of Cleaner Production 13』
- 全国木材協同組合連合会(2010)「林地残材にさせない群馬モデル創出に向けた利活用実証事業(県産材加工協同組合(群馬県))」,
http://www.zenmokukyo.jp/assets/files/H22_jigyuu_report2_1.pdf (2020年9月28日アクセス)
- 竹内秀樹(2016)「管理された森林に於ける二酸化炭素収支の定量的検証-スギの種苗生産から原木・製材まで-」『サステイナブル マネジメント第15巻』(特非)環境経営学会

- 竹内秀樹(2019)「林道整備における二酸化炭素排出量の定量的検証」『サステイナブルマネジメント第18巻』(特非)環境経営学会
- WMO(World Meteorological Organization) (2021)「WMO温室効果ガス年報の和訳(2021年10月25日 気象庁訳)」, https://www.data.jma.go.jp/env/info/wdcgg/GHG_Bulletin-17_j.pdf (2020年8月3日アクセス)
- 中嶋 厚(2014)「木材人工乾燥装置の技術動向について」『林産試だより 2014年10月号』(地独)北海道立総合研究機構, <https://www.hro.or.jp/list/forest/research/fpri/dayori/1410/1410-1.pdf> (2022年2月9日アクセス)
- 仲畑力他(2011)「林業作業におけるCO₂排出量算定と収支分析—栃木県の林業事業体を対象として—」『森林利用学会誌26(3)』森林利用学会
- (一社)日本森林技術協会(2020)『地域内エコシステム構築事業 小規模な木質バイオマス利用』(一社)日本森林技術協会, http://woodybio.jp/pdf/r1/r1_leaflet.pdf (2022年1月21日アクセス)
- (株)日本政策金融公庫 農林水産事業本部(2015)『AFCフォーラム 2』(株)日本政策金融公庫, https://www.jfc.go.jp/n/findings/afc-month/pdf/afc_forum1502.pdf (2022年2月11日アクセス)
- (株)日本政策投資銀行(2017)『わが国林業、木材産業の今後の可能性』(株)日本政策投資銀行, https://www.dbj.jp/topics/region/industry/files/0000027143_file2.pdf (2022年2月11日アクセス)
- (一社)日本治山治水協会 日本林道協会(2017)『治山林道必携(積算・施工編)下巻 平成29年版』日本林道協会
- 日本木材防腐工業組合(2021) 防腐木材生産量(単位m³), <http://www.jwpia.or.jp/pages/9/> (2022年2月18日アクセス)
- (一社)日本冷凍空調設備工業連合会「ユーザーによる冷凍空調設備機器の維持管理について」『平成26年度経済産業省委託事業 業務用 冷凍空調設備機器の簡易点検説明会資料』, <https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/1000163.pdf> (2022年1月28日アクセス)
- 能本美穂他(2005)「木材生産を通じた炭素の収支分析—福岡県八女地域を事例として—」『日本森林学会誌87(4)』(一社)日本森林学会
- 農林水産省(2021)「木質バイオマスエネルギー利用動向調査 各年度調査結果データ」
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/mokusitu_biomass/index.html (2022年1月5日アクセス)
- 一重喬一郎他(2013)「国産丸太のライフサイクルアセスメント事例」『木材学会誌59(5)』
- 淵上佑樹他(2012)「地産地消型製材製品のプロセスの違いがカーボンフットプリントに与える影響 京都府産認証木材を事例として」『日本木材学会誌58(3)』(一社)日本木材学会
- 古川 忠他(1982)「研究資料・材木の苗木の低温貯蔵試験」『林試研報No.317,1982』農林省林業試験場 東北支場, <https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2010242564.pdf>(2014年9月26日アクセス)
- ホシザキ(株)「プレハブ冷凍庫3坪」<https://www.hoshizaki.co.jp/p/prefab/> (2022年1月17日アクセス)
- 蒔田 章(2016)「木材・木質材料の加圧式保存処理方法」『木材保存 Vol.42-3 (2016)』日本木材防腐工業組合, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jwpa/42/3/42_138/_pdf-char/ja (2019年9月3日アクセス)
- 松本剛史他(2015)「スギ伐り捨て間伐施業法の違いからみたキバチ類の発生状況—高知県香美市の事例—」『森林応用研究24(1)』応用森林学会,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/applfor/24/1/24_9/_pdf (2021年6月24日アクセス)

三重県林業研究所(2012)「ミニチュア採種園方式によるスギ種子生産マニュアル」,
<https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000623014.pdf> (2021年7月13日アクセス)

光田 靖他(2010)「2050年までのスギ林の炭素吸収量を予測する」『森林総合研究所 平成22年度研究成果選集』国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所,
<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/seikasenshu/2010/documents/p8-9.pdf> (2021年12月20日アクセス)

宮川工機(株)(2022)カタログ請求, <https://www.miyagawakoki.co.jp/products/catalog/> (2022年2月7日アクセス)及び問い合わせ(2022年2月7日)

文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省(2014)「IPCC 第5次評価報告書統合報告書政策決定者向け要約 報道発表資料(平成26年11月2日)」,
http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_syr_spmj.pdf (2020年8月3日アクセス)

山内一矢他(2009)「長野県北部におけるスギと長野県東部におけるカラマツのCO₂排出原単位及び木造住宅におけるCO₂排出量の算出」『日本建築学会環境系論文集74(645)』(一社)日本建築学会

山吉栄作(不明)「木材乾燥の特徴を知って最適な乾燥方法を選ぶ! ~ (最新情報)高周波・蒸気複合乾燥方法の紹介」<https://www.pref.mie.lg.jp/ringi/hp/000179702.htm> (2022年2月8日アクセス)

吉永弘志他(2004)「建設機械のライフサイクルにおける二酸化炭素排出」『平成16年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集』(一社)日本建設機械化協会,
<http://jcma.heteml.jp/bunken-search/wp-content/uploads/ronbun/2004/034.pdf> (2017年12月1日アクセス)

ラドミール・クルバック(Radomir Klvac et al.)(2003)「Energy Audit of Wood Harvesting Systems Scandinavian」『Journal of Forest Research 18』

(独)林木育種センター(2015)「造林木の生育環境への適応性の評価」の成果『林木育種情報 No.19』,<https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/documents/19-2.pdf> (2014年9月10日アクセス)

林野庁(2017)「都道府県別森林率・人工林率(平成29年3月31日現在)」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/1-1.pdf> (2021年12月8日アクセス)

林野庁(2017)「森林資源の現況」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/attach/pdf/2-1.pdf> (2021年12月8日アクセス)

林野庁編(2013)『平成25年度 森林・林業白書』,
(<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/25hakusyo/pdf/zen1-1.pdf>) 2021年12月14日アクセス

林野庁 パリ協定(2020年~)の目標,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/con_pa.html (2021年12月15日アクセス)

林野庁 路網整備の推進, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/romousuisin.html>(2021年8月2日アクセス)

林野庁 豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会(2021)「豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会(とりまとめ)」,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/tisan/tisan/attach/pdf/con_3-67.pdf (2022年2月25日アクセス)

林野庁(2006)「望ましい作業システムの考え方 平成18年6月6日」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/puresu/h18-6gatu/rinseisin/0607s6.pdf> (2021年12月10日アクセス)

- 林野庁(2019)「経営形態別苗木生産事業者数及び育苗面積の推移」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/attach/pdf/syubyou-33.pdf> (2022年2月14日
アクセス)
- 林野庁(2018)「コンテナ苗の基礎知識」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/houkokusho/attach/pdf/houkoku-17.pdf>(2022年1月26
日アクセス)
- 林野庁「林業種苗法(昭和四十五年法律第八十九号)」,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/attach/pdf/syubyou-1.pdf> (2014年8月27日ア
クセス)
- 林野庁 関東森林管理局 群馬森林管理署(2021)「伐採と造林の一貫作業システムの現地検討会を開
催しました(令和3年10月5日)」,
[https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gunma/news/event/attach/pdf/20211005_ikkansagyou-1.
pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/gunma/news/event/attach/pdf/20211005_ikkansagyou-1.pdf) (2022年1月5日アクセス)
- 林野庁(2010)『国産材の加工・流通・利用検討委員会資料』,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/mokusan/saisei/pdf/kokusan1_shiryou4-1.pdf (2022年2月7日
アクセス)
- 林野庁, 国立研究開発法人森林研究 整備機構 森林総合研究所(2010)『JFA-150 コンテナ苗
育苗・植栽マニュアル』,
[https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/pdf/15-kontenanae_ikubyou_syokusai_
manyuaru.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/pdf/15-kontenanae_ikubyou_syokusai_manyuaru.pdf) (2018年10月1日アクセス)
- 林野庁(2018)「植栽技術の開発」,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/syubyou/pdf/20-20houkokusyo_3syokusaigijutu.pdf
(2021年8月6日アクセス)
- 林野庁編(2009)『木材利用に係る環境貢献度の定量的評価手法について(中間とりまとめ)平成21年
2月』, <https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/mieruka/pdf/torimatome.pdf> (2022年2月2日ア
クセス)
- 林野庁編(2020)『令和2年度 森林・林業白書』,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/attach/pdf/zenbun-64.pdf>(2021年
12月8日アクセス)
- 林野庁編(2020)「製材品出荷量(用途別)の推移」『令和2年度 森林・林業白書(HTML版)』,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo_h/all/other/s3_44.xls (2021年1月5
日アクセス)
- 林野庁・林業試験場(1955)「北関東・阿武隈地方すぎ林林分収穫表」『収穫表調整業務研究資料 第
14号』, https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/shukakushiken/02gyoken/02gyoken_14.pdf (2020
年3月11日アクセス)
- 林野庁編(2011)『森林・林業白書(平成23年度版)』,
https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/22hakusho/pdf/h22hakusyo_zenbun1-2.pdf
(2022年2月16日アクセス)
- 林野庁編(2021)『森林・林業基本計画 令和3年6月』,
<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/attach/pdf/index-10.pdf> (2021年11月24日ア
クセス)
- 林野庁編 各年度『森林・林業統計要覧』

林野庁(2016)「森林環境保全整備事業における標準単価の設定等について」,

https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/zourinkikaku/pdf/2016_0401_sinrinseibi_tanka.pdf

(2021年8月10日アクセス)

林野庁各森林管理局,

北海道森林管理局(<https://www.rinya.maff.go.jp/hokkaido/index.html>),

東北森林管理局(<https://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/index.html>),

関東森林管理局(<https://www.rinya.maff.go.jp/kanto/index.html>),

中部森林管理局(<https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/index.html>),

近畿中国森林管理局(<https://www.rinya.maff.go.jp/kinki/index.html>),

四国森林管理局(<https://www.rinya.maff.go.jp/shikoku/index.html>),

九州森林管理局(<https://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/index.html>)