

集合住宅における給湯システムの環境影響評価

NISHIOKA, Takashi / 西岡, 峻

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00012989>

集合住宅における 給湯システムの環境影響評価

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF HOT WATER SUPPLY SYSTEMS IN AN APARTMENT HOUSE

西岡峻

Takashi NISHIOKA

指導教員 木村文彦

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

For the promotion of sustainable economic development, it is essential to understand the impact on the environment. As a method to assess the global impact on the environment for the realization of sustainable development, life cycle assessment (LCA) has been attracting attention. In the present study, for evaluating the potential environmental impact reduction, an environmental impact assessment has been carried out by using the LCA for combinations of a water heater, a solar water heater and solar cells in an apartment house. Among others, the combination and the environmental load reduction effect of the hot water supply system by the auxiliary products, such as solar water heaters and solar panels that can be installed in sharing area on the roof, is considered for an optimal hot water supply system according to household size. The objective of the study is to assess the environmental impact reduction techniques by the methods other than the improvement of the environmental efficiency of individual products.

Key Words: Lifecycle assessment, Hot water supply, Environmental impact

1. 緒論

21 世紀の最も深刻な課題のひとつといわれる地球温暖化問題の解決は、人類にとって緊急のものとなっている。温暖化による影響を極力抑えるためには、早急に地球全体の温室効果ガス排出量を大幅に削減し、その濃度を安定化させる必要がある [1]。

持続的経済発展を進める上には、環境への負荷を把握することが不可欠である。持続可能な発展の実現に向け環境への負荷を評価する手法として、ライフサイクルアセスメント(LCA)が注目を集めてきた。

社会における環境影響評価の一例として、戸建て住宅の給湯システムの環境影響評価の研究がある [2]。本研究では、その結果を拡張し、集合住宅における給湯器と太陽熱温水器や太陽電池の組み合わせについて LCA を用いて環境影響評価を行い、環境負荷削減の可能性を評価した。その中でも特に、屋上に居住者が共同に使用できる太陽熱利用温水器や太陽光発電モジュールなどの補助製品の組み合わせによる給湯システムの環境負荷削減効果、世帯人数によって最適な給湯システムについて考察することで、製品そのものの環境効率の向上以外の方法での環境影響低減手法を評価し、集合住宅特有の設定をする

ことで、戸建て住宅のケースと比較することにより最適な給湯システムを提案することで環境影響低減手法を評価することを目的とした。

2. LCA

LCA (Life Cycle Assessment) とは、製品やサービスに対する、環境影響評価手法のことである [1]。一つの製品(生産財として一般にはサービス生涯(活動)を含む)が、その原材料取得段階から最終的に廃棄処理されてその使命を終えるまでの全生涯に及ぶ社会への影響、特に環境影響をすべて算出し、総合的な見地から環境負荷の少ない製品開発を進めるための評価手法として、提唱されたものである。近年の環境問題への関心の高まり、特に過剰包装、廃棄物排出の削減に熱心な北部欧州を中心にその改善策へつながる手法として期待され、脚光を浴びている。LCA の結果は、人間活動の様々な局面において、環境負荷を低減するための意思決定に活用される。すなわち、LCA は環境への負荷を削減するための判断材料を提供する意思決定支援ツールの一つである。

3. 研究方法

(1) 問題設定

いくつかの給湯システムを設定し、その環境負荷を比較評価した。対象とした給湯器は、ガス給湯器、ヒートポンプ式電気給湯器、潜熱回収型石油給湯器の3種類である。これに給湯の負荷を軽減する補助機器として太陽熱利用温水器を組み合わせたこととして設定した。参考として従来型の石油式のみを使用する場合も設定した。また、ヒートポンプ式給湯器はその特性上太陽熱利用温水器とは相性が悪く、現状では組み合わせることが難しい。そのため代替品として太陽光発電モジュールを設定した。そしてそれぞれの給湯システムで、1人世帯・3人世帯・5人世帯の給湯を行う場合を評価することとし、Table 1の様に設定した。

Table 1 The combination of the water heater, auxiliary equipment and household size

番号	給湯器	補助設備	世帯人数
1	ガス式	なし	1
2			3
3			5
4	ヒートポンプ式	なし	1
5			3
6			5
7	石油式	なし	1
8			3
9			5
10	ガス式	太陽熱温水器	1
11			3
12			5
13	ヒートポンプ式	太陽光発電モジュール	1
14			3
15			5
16	石油式	太陽熱温水器	1
17			3
18			5
19	従来型石油式	なし	1
20			3
21			5

(2) 調査範囲の設定

a) 製品システムとシステム境界

給湯器や太陽熱温水器、太陽光発電モジュールの製造に必要な素材のプロセス、部品製造プロセス、製品組み立てプロセス、使用プロセス、廃棄プロセスが含まれており、使用の際に必要な電力の製造プロセスも含まれている。また、システム境界内には直接関与するフォアグラウンドデータとして給湯器の部材の組み立て、製品・廃棄品の廃棄のデータのプロセスを取り入れた。

b) 機能と機能単位

給湯器の機能単位は、給水される水を1人当たりの必

要給湯量分を、40℃の湯にする機能とする。給湯量は、Table 2に示すように、「住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説」の「6章 給湯設備のエネルギー消費量に関する評価方法」[3]を参考に世帯人数別に設定した。

また、想定した集合住宅の建物についての条件をTable 3のように設定した。

Table 2 Standard hot water supply quantity by household size

世帯人数	標準給湯量(L/日・戸)
1	179.2
3	433.8
5	506.7

Table 3 The setting of house

項目	設定
建設地	東京都内
階数	地上9階
住戸数	88戸
屋上面積	809 m ²
有効集熱・受光面積	405 m ²
平均世帯人数	2.49人[4]

使用期間は10年間とした。また、輸送についても本来考慮すべきであるが、使用・製造段階と比べても微小な値であり、データの入手も困難であることから本研究ではカットオフすることとした。

(3) データ収集

給湯器のLCAを行うためには、製造段階や廃棄段階の構成材料データの他に、電力やガスなどの消費資源量のデータが必要である。以下、本節では[2]、[3]を引用して、必要なデータの計算法を解説する。Fig.1に給湯器の都市ガス消費量 G_W と消費電力量 E_W の計算の流れを示す[3]。

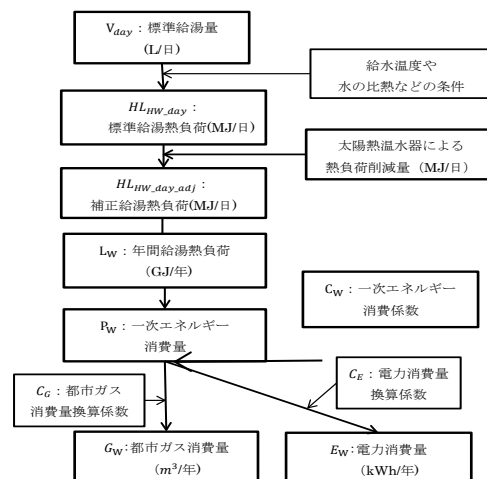


Fig.1 The calculation of the resource consumption

L_W は年間給湯熱負荷を表し、年間で各世帯に必要な給湯量を上水道から湯にするための熱量の総量である。太陽熱温水器を使用した場合はその効果の分、この値が減ることになる。 C_W は給湯設備の一次エネルギー消費係数であり、給湯設備の種類、性能、地域などによって決定される。 P_W は給湯設備の使用段階での一次エネルギー消費量であり、 G_W 、 E_W はそれぞれ使用段階での都市ガス消費量と電力消費を表す。以下に計算方法を示す。

a) 給湯設備の年間給湯熱負荷 L_W の算出

まず、給湯設備の給湯熱負荷を算出する。本研究では給水を 40℃まで加熱して供給することを想定して計算を行う。給湯熱負荷は給湯設備の種類に関わらず給湯量によって決定される値である。

標準給湯量は世帯の 1 日あたりの平均給湯量であり、Table. 2 の値を用いた。補正給湯熱負荷とは、標準給湯負荷から太陽熱給湯器の給湯熱負荷削減効果を減算した値である。

標準給湯量 V_{day} を式 (1) に代入することで、月ごとに一日あたりの標準給湯熱負荷 HL_{HW_day} (MJ/日) を算出する。水の比熱は 0.0042 (MJ/L・K) とした。

$$HL_{HW_day} = 0.0042V_{day}(T_{HW} - T_{CW}) \quad (1)$$

T_{HW} は給湯温度、 T_{CW} は月別の平均給水温度であり、 T_{CW} に関しては東京都水道局[5]の平成 26 年度のデータを引用した。

一日あたりの標準給湯負荷 HL_{HW_day} に月ごとの日数を積算して月別の 1 ヶ月あたりの標準給湯量を算出し、その総和が年間標準給湯量となる。計算結果 Table 4 に示す。

Table 4 Annual hot water supply load of each household size

世帯人数	1 人	3 人	5 人
年間給湯熱負荷 (MJ/年)	6658.1	16117.6	18826.2

また、太陽熱温水器を利用する場合の補正給湯熱負荷は式 (2) で求められる。

$$HL_{HW_day_adj} = 0.0042V_{day}(T_{HW} - T_{CW}) - A_{solar}I_{month}C_{solar}C_{system} \quad (2)$$

A_{solar} は太陽熱温水器の有効集熱面積 (m²) である。この有効集熱面積は JIS A4111 より、集熱に寄与する面積のみを計上した。

I_{month} は集熱面日射量で、対象とする地域の方位角・傾斜角を考慮した月平均の気象データである。集熱面日

射量 I_{month} は式 (3) で計算される。

$$I_{month} = J_{HT} \cdot K_y \cdot K_\alpha \cdot (1 - \eta D) \quad (3)$$

J_{HT} は水平面日射量 (MJ/m²日) である。 K_y は傾斜角による日射量倍率、 K_α は方位角による日射量倍率であり、この三つの積は「独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構」の「日射量データベース閲覧システム」[6]の値を参照した。本研究での設定は、傾斜角は水平面から 20°、方位角は真南を 0°として 0°である。

ηD は集熱器のガラスの汚れ係数で、本研究では 5%と想定し、0.05 を代入することとした。

C_{solar} は太陽熱温水器の集熱効率で、40%と設定した。 C_{system} は配管損失を考慮した効率で、85%と設定した。

また、太陽熱温水器については、本研究では自然循環式のものを扱う。

b) 一次エネルギー消費係数 C_W の決定

一次エネルギー消費係数は熱源機器の効率を表す、給湯設備の種類、性能や地域などによって決定される値である。値が小さいほど少ないエネルギーで同じ年間給湯熱負荷を処理することが出来る。

「設備給湯の一次エネルギー係数」[3]を参照し、Table. 5 の値を利用した。給湯器の中で従来のヒーター式の石油給湯器が最も効率が悪いことは明らかなので石油式の給湯器は潜熱回収型を設定することとした。ヒートポンプ式給湯器については、製品ごとに異なる性能を表す年間給湯効率 (APF) より値を導き出した。

Table 5 Coefficient of water heater

給湯器の種類	気候区分 (IVa)
ガス瞬間式	1.36
従来型石油式	1.36
潜熱回収型石油式	1.13
電気温水器 (ヒートポンプ式)	1.031
	0.941
	0.902

c) 換算係数 C_G と C_E の決定

求められた一次エネルギー消費量 P_W に都市ガス消費量換算係数 C_G と消費電力換算係数 C_E を掛けることでそれぞれ消費ガス換算係数、消費電力量を算出できる。

一次エネルギー消費量から都市ガス消費量への換算係数 C_G は「地球温暖化対策の推進に関する法律」[7]より、電力消費量への換算係数 C_E は「エネルギーの使用の合理化に関する法律」[8]を参照し、一次エネルギーへの換算係数の逆数を用いた。

d) 太陽電池の発電量の計算

給湯器のガス・電力消費量の他に、太陽電池の発電量についても計算する必要がある。発電量は式 (4) によって

$$E_n = H \times K \times P \times 365 \div 1 \quad (4)$$

E_p は年間発電量で、この値をヒートポンプ式給湯器の年間消費電力から引くことで環境負荷の緩和効果を評価する。

Hは設置面の1日あたりの年平均日射量($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{日}$)で、a)で扱った月平均集光面積 I_{month} の平均値をとった。Kは損失係数で、73%と設定した[10]。Pはシステム容量(kW)で、365 は一年の日数、1 は標準状態における日射強度である。

(4) インベントリ分析

インベントリ分析は LCA の対象となる製品に対して、投入される資源やエネルギー、及び生産または排出される製品・排出物のデータを収集し、環境負荷項目に関する入出力明細表を作成する段階である。本研究では、LCA ソフトウェアとして産業環境管理協会が開発した MiLCA を用いて LCA を実施した。(3)で求めた消費エネルギーの値など、環境負荷計算に必要な条件を MiLCA に入力して計算を行う。そのモデルの例としてガス給湯器と太陽熱温水器のモデルを Fig. 2, Fig. 3 に示す。図中の四角は製造・使用・廃棄などの段階であり、丸はそれぞれの段階に必要な製品や材料、エネルギーなどである。矢印によって段階に入力されていることがわかる。

構成材料や、製造の際に使われるエネルギーは「JLCA-LCA データベース 2015 年度 4 版」を参考にした構成比を元に、重量を合わせて計算した。また、インベントリ分析表の一例を Fig. 4、Fig. 5 に示す。

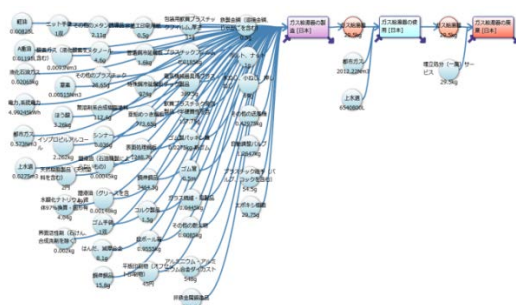


Fig.2 Product system diagram of the gas water heater

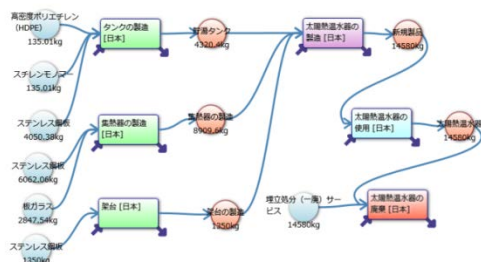


Fig.3 Product system diagram of the solar water heater

[illegible]

Fig.4 Gas water heater of inventory analysis

[illegible]

Fig.5 Solar water heater of inventory analysis

(5) 影響評估

影響評価は、環境負荷の発生を通じてどのような環境影響がどの程度発生しうるかについて、定量的に評価するための段階である。Fig. 6 にガス給湯器のみ使用の場合の二酸化炭素排出量の製造・使用・廃棄の段階の割合を示す。

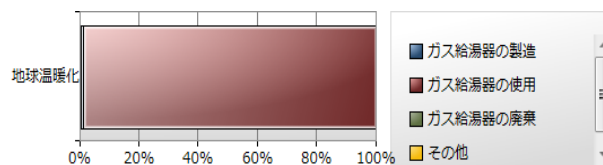


Fig.6 The proportion of impact on global warming

4. 評価結果と考察

(1) 給湯器のみを使用する場合

設定1から設定3のガス給湯器，設定4から設定6のヒートポンプ式給湯器，設定7から設定9の潜熱回収型石油給湯器，設定19から設定21の従来型石油式給湯器を使用して，それぞれ給湯を行う場合の1人当たりの二酸化炭素排出量をFig.7に示した．この値は各モデルの環境影響の値を世帯人数で除算したものである．なお，この9つの設定では戸建て住宅と条件は変わらない．

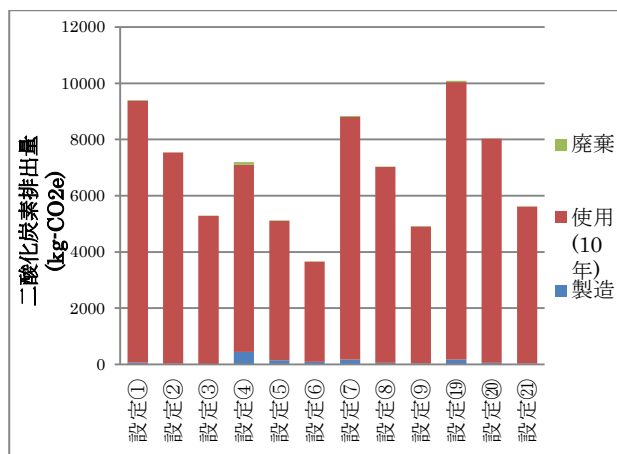


Fig.7 The assessment results of each of the water heater

「給湯システムの環境影響評価」[2]の結果と潜熱回収型の石油給湯器を比較した結果となったがいずれの世帯人数の場合でもヒートポンプ式給湯器が最も環境影響が小さいという結果になった。他の 2 製品と比較して、製造段階と廃棄段階ではヒートポンプ式給湯器のモデルの方が環境影響の値が大きい、使用段階でのヒートポンプ式給湯器の環境影響が 3 分の 2 程度と小さいためである。これはヒートポンプ式の給湯設備の一次エネルギー消費量 P_w が小さく、少ないエネルギーで給湯を行うことができることが原因であると考えられる。本研究で取り扱った潜熱回収型石油式がわずかにガス給湯器より環境影響が小さく、従来型の石油式が最も環境影響が大きくなった。石油式はそのパワフルな特徴から寒冷地での使用例が多く、潜熱回収型に置換することでより環境影響を小さくできる。また、世帯人数が多い方が 1 人当たりの環境影響が小さくなるという結果となった。これは、Table 2 に示したように、標準給湯量は世帯人数に比例しない為、世帯人数が多い方が 1 人当たりの標準給湯量が少なくて済むことと、製品の製造にかかる環境負荷も世帯人数で除算していることによる。

(2) 補助設備を併用する場合

次に、設定 10 から設定 12 のガス給湯器と太陽熱温水器を併用した場合、設定 13 から設定 15 のヒートポンプ式給湯器と太陽光発電モジュールを併用した場合、設定 16 から設定 18 の石油給湯器と太陽熱温水器を併用した場合の環境影響評価結果を Fig. 8 に示した。この設定では補助として使用される太陽熱温水器と太陽光発電モジュールの製造及び廃棄段階の負荷は世帯数で除算し、使用段階の負荷は建物全体の住居人数で除算している。

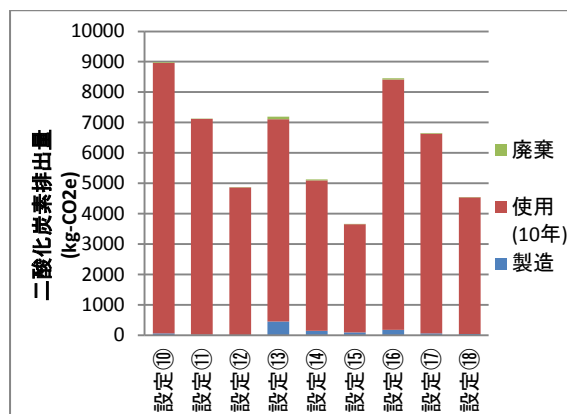


Fig.8 The assessment results of a combination of the product

太陽熱温水器や太陽光発電モジュールを給湯器と併用する場合は、全ての世帯人数で、併用しない場合と比較して環境影響が小さくなった。全体的に使用段階の負荷が大きいので、製造や廃棄段階での負荷が大きくなって使用段階での負荷を低減できたことによる。

(3) 併用する補助機器の環境負荷低減効果

ガス式、ヒートポンプ式、石油式とそれぞれ併用する補助設備の世帯ごとの 1 人当たりの環境負荷削減効果を Fig. 9 に示した。a は太陽熱温水器(ガス式)、b はヒートポンプ式、c は太陽熱温水器(石油式)とする。

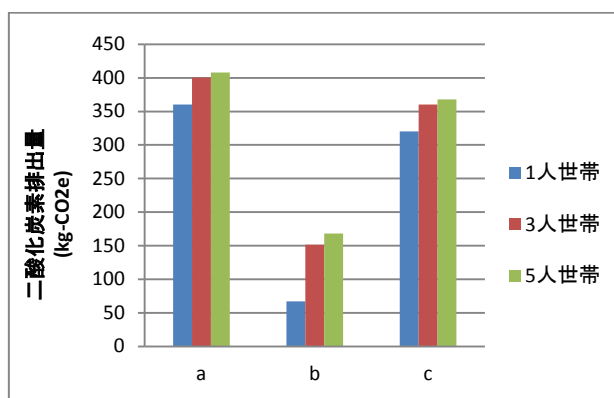


Fig.9 Load reduction of auxiliary equipment

ここで、戸建て住宅の場合[2]と比較しての環境負荷低減量の割合を以下に示す。

Table.6 Ratio of load reduction

世帯人数	補助設備	戸建て住宅の 負荷低減量 (%)	集合住宅の 負荷低減量 (%)
1 人	太陽熱温水器 (ガス)	67.7	3.8
	太陽光発電モジュール	51.3	0.9
	太陽熱温水器 (石油)	62.3	3.6

3 人	太陽熱温水器 (ガス)	37.1	5.3
	太陽光発電モ ジュール	26.1	3.0
	太陽熱温水器 (石油)	28.0	5.1
5 人	太陽熱温水器 (ガス)	33.6	7.7
	太陽光発電モ ジュール	21.0	4.6
	太陽熱温水器 (石油)	24.1	7.5

補助設備のいずれの場合も低減効果はプラスになっており、有用であるということになった。また、本研究での同じ集光面積の太陽熱温水器と太陽電池を比較すると、太陽熱温水器の方が環境影響低減の効果が大きいという結果になった。これは太陽熱温水器の集熱効率が太陽光発電モジュールの発電効率を上回るからである。また、同じ太陽熱温水器を使用した場合でもガス式と石油式を組み合わせると削減の効果が異なるのはそれぞれの一次エネルギー消費係数が異なることが原因である。

補助設備を組み合わせた場合の全体二酸化炭素排出量に比べての低減効果は戸建て住宅の場合最大で 67.7%低減できたのに対して、集合住宅の場合は最大でも 7.7%とそれほど大きな効果は得られないという結果になった。現在の設備の効率では集合住宅全体の給湯量に対して屋上の面積が狭すぎて 1 人当たりではその効果は小さくなってしまふものと考えられる。

また、同じ組み合わせで世帯人数が多い方が削減の効果が大きいのは補助設備の製造、廃棄プロセスの二酸化炭素排出量は世帯数で除算しているのに対して、使用での低減効果は住居人数で除算しているからである。

(4) ヒートポンプ式給湯器と太陽熱温水器の併用

上記より太陽熱温水器とヒートポンプ式給湯器の組み合わせが最も環境性能のいいモデルであることが推測できるが集合住宅の場合、太陽熱温水器の環境負荷低減効果が限定的であるためヒートポンプ式給湯器のみを使用した場合と比較してもあまり効果があるとは言えない。加えてヒートポンプ式給湯器は夜間に湯を沸かしてタンクに貯湯しておき、太陽熱温水器は昼間の日射量、天候により貯湯量が左右される。この 2 製品の特性上、相性が悪くこの組み合わせはほとんど利用されていない。

5. 結論

本研究では、集合住宅における各世帯の給湯器と共同設備としての太陽熱温水器や太陽電池を組み合わせとして設定し、6 種類の給湯システムを用いた場合の給湯による

環境影響評価することで、負荷低減の可能性を比較、評価し考察を行った。

製造、廃棄段階に比べて使用段階の環境影響が大きくなるので、給湯効率の高い製品の方が環境性能が良くなる。古く効率の悪い製品を長く使うより新しい製品を導入して設備の更新を積極的に行うことで環境影響を小さくできる。

世帯人数が多い方が 1 人当たりの給湯量が少なくなるため、1 人当たりの環境影響も小さくなる。

戸建て住宅の場合と比較すると太陽熱温水器、太陽光発電モジュールともに負荷低減に有効ではあるがその効果は限定的である。

本研究で想定した建物では補助機器の能力に対して全体の給湯量が多すぎるため屋根の有効集熱・集光面積を増やすことや製品の効率の向上、屋根だけでなく壁面などの有効活用をすることで、効果的に環境影響を低減することができるかと推測できた。しかし、都市部では敷地の問題から階数が多くなりがちであり、居住世帯あたりの太陽熱温水器・太陽光発電モジュールの使用率は下がってしまう。そのため、現状では屋上の有効集熱面積の拡大や強度の問題からくる壁面の活用は困難である。

また、以下の課題が残った。今回扱った製品すべてにおいて実際に製品を分解し、重量を量ることができなかった事に加えて太陽熱温水器、太陽光発電モジュールなどの詳細なデータに関しては入手することができなかったため、結果の精度は良くない。給湯器や補助機器を製造している企業が LCA を行うことや構成材料やその重量を公表することによりこの問題点は解決可能である。製品の環境影響情報を開示する取り組みは環境性能を重視する消費者を狙いとして行われているが、その数はまだ少なく今後より発展することが望まれる。

参考文献

- [1] 伊坪徳宏、田原聖隆、成田暢彦：LCA 概論、社団法人 産業環境管理協会、2007
- [2] 高畑智規：給湯システムの環境影響評価、法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士論文、2014
- [3] 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説、財団法人 建築環境・省エネルギー機構
- [4] 総務省統計局 国勢調査 世帯構造及び世帯類型の状況 (平成 27 年度)
- [5] 東京都水道局 水道水の水温 (平成 26 年度)
- [6] 日射量データベース閲覧システム、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
- [7] 地球温暖化対策の推進に関する法律
- [8] エネルギーの使用の合法化に関する法律
- [9] 太陽光発電導入ガイドブック、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
- [10] 太陽電池の年間予想発電量の算出 太陽光発電協会