

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-12-26

搬送時間を考慮したスケジューリングによる 設備レイアウトの評価に関する研究

稲川, 徹 / INAGAWA, Tohru

(発行年 / Year)

2005-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2005-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

平成16年度 修士論文

搬送時間を考慮したスケジューリングによる
設備レイアウトの評価に関する研究

Research on facility layout with production scheduling including transportation time

指導教員 福田 好朗 教授

平成17年2月

法政大学大学院 工学研究科

システム工学専攻 修士課程

生産システム研究室

稲川 徹

Tohru INAGAWA

【Abstract】

Recent year, a production system changes to high-mix low-volume production, and production scheduling has become complex. Under such an environment, improving the efficiency of transportation in factory becomes important. Transportation time between processes can not be disregard. So the facility layout problem including transportation time becomes difficult. Therefore, in this paper, production scheduling including transportation time was done as a prerequisite for facility layout, and variety of facility layouts are evaluated with a result obtained. And the method in order to search for an appropriate facility layout using genetic algorithms was proposed. The effectiveness of proposed method is demonstrated by a computer simulation.

【要旨】

近年の生産システムは多品種少量生産へと変化し、生産スケジューリングは複雑になってきている。このような環境下では、工場内物流の効率的な改善が重要となっており、工程間の搬送に要する時間は無視出来なっている。これにより、搬送時間を考慮した設備レイアウト問題が困難となっている。そこで、本研究では設備レイアウトを前提条件とし、搬送時間を考慮したスケジューリングを行った。そこで得られたスケジューリング結果を利用して様々な設備レイアウトの評価を行った。そして、GAを用いて効率的に設備レイアウトを探索可能な解法を提案した。そして計算機シミュレーションにより、提案した解法の有効性を示す。

目次

第1章 序論	3
1.1 研究背景	3
1.2 研究目的	3
1.3 論文構成	4
第2章 設備レイアウトの評価方法の概要	5
2.1 緒言	5
2.2 物的生産システムの構造	5
2.3 搬送時間を考慮したスケジューリング	7
2.3.1 スケジューリング方法	7
2.3.2 設備レイアウトの評価方法	9
2.3.3 問題点	9
2.4 GAによる設備レイアウトの組合せ探索	10
2.5 結言	13
第3章 シミュレーションシステム	14
3.1 緒言	14
3.2 シミュレータ概要	14
3.3 アルゴリズム	16
3.3.1 搬送アルゴリズム	16
3.3.2 GAによる設備レイアウト探索アルゴリズム	17
3.4 実行手順	18
3.5 結言	20
第4章 数値実験	21
4.1 緒言	21
4.2 基本実験	21
4.2.1 実験対象モデル	21
4.2.2 実験結果	23
4.2.3 考察	29
4.3 実験（フローショップモデル）	30
4.3.1 実験対象モデル	30

4.3.2 実験結果.....	32
4.3.3 考 察	33
4.4 実験 (ジョブシヨップモデル)	34
4.4.1 実験対象モデル.....	34
4.4.2 実験結果.....	36
4.4.3 考 察	38
4.5 結 言	38

第5章 結 論	39
----------------------	-----------

参考文献	40
-------------------	-----------

謝 辞	41
------------------	-----------

第1章 序 論

1.1 研究背景

設備レイアウトの問題は、工場内物流に大きく影響を与える要因のひとつとされている。そのため、生産システムを効率的に運用するためには、物の流れの円滑化を図る設備レイアウトの最適化が重要な問題となる。製品の種類が限られていて、生産量の多い少品種多量生産を対象とした場合、製品毎に専用の生産設備を準備し、工程順序に合わせて生産設備を配置することにより、効率の良い生産を行うことができる。しかし、近年の消費者ニーズの多様化が進み、製造現場では多品種少量生産、または変種変量生産へと生産形態の変化を余儀なくされてきている。このような生産形態においては、生産設備の使用順序や生産量は製品によって異なることが多く、効率のよい生産活動を行うための生産設備の配置を決めることは困難となってきた。また、多品種を扱うようになってきたことで、生産スケジューリングも大変複雑になってきている。^[1]

従来、設備レイアウト問題においてスケジューリングは考慮されておらず、またスケジューリング立案時においても設備レイアウトが関係する搬送時間も考慮されることが少なかつた。しかし、対象とする生産計画に対して設備レイアウトが適切でない場合、搬送時間を考慮して立案されるスケジューリング結果も不適當になると考えられる。藤原らは、生産スケジューリングを考慮して設備配置の検討を行っているが、スケジューリング立案時に搬送に要する時間が考慮出来ていないといった検討課題を残している。^[2]

1.2 研究目的

多品種少量生産では工場内物流の効率化の重要性が増し、工程間の搬送にかかる時間が無視できなくなっている。よってスケジューリング立案時にも生産設備の配置状態を前提条件として、搬送時間を考慮する必要があると考えられる。

そこで、本研究では搬送時間を考慮したスケジューリングから得られる結果を利用し、設備稼働率最大化を評価基準とする設備レイアウト問題を考え、その解法を提案する。そして、提案した解法が有効であるかどうかを、シミュレータを開発し、計算機シミュレーションにより確認することを目的とする。

1.3 論文構成

本論文は、全5章から構成されている。第1章では、設備レイアウトの配置決定が困難になってきている背景、そして研究目的について述べ、第2章では本研究で対象とする生産システム、搬送時間を考慮したスケジューリングによる設備レイアウトの評価方法の概要について述べる。また、そこにある問題点を挙げ、解決するための解法を提案する。続いて第3章では本研究で開発したシミュレータについて述べる。第4章では具体的な数値例でもってシミュレーション実験を行い、その様子と結果を示す。第5章では本研究における結論を述べる。

第2章 設備レイアウトの評価方法の概要

2.1 緒言

この章では、まず始めに物的生産システムの構造による分類から本研究で対象とするジョブショップについて述べる。その次に本研究で用いた搬送時間を考慮したスケジューリング方法と、そこから得られるスケジューリング結果による設備レイアウトの評価方法を述べる。その後問題点を挙げ、この問題点を解決するための解法を提案する。

2.2 物的生産システムの構造

顧客の注文に基づいて作成された個々の製造命令を仕事という。これを行うためには、工作機械のような主要加工設備と治具、工具のような付帯設備が必要である。これらの生産設備が物的システムをどのように構成しているかによって、図2-1のように分類することができる。

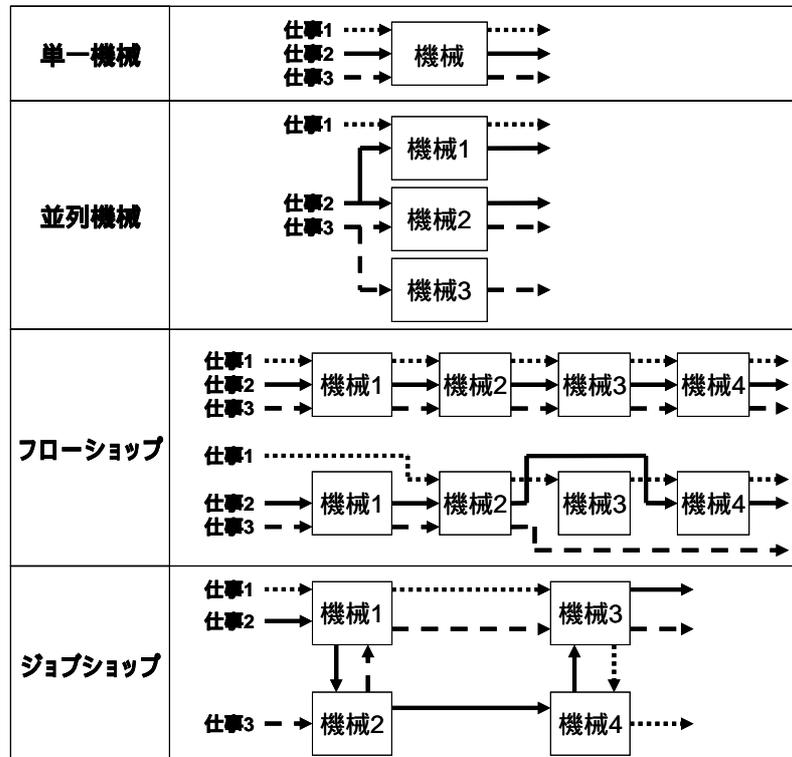


図2-1 物的生産システムの構造による分類^{[1][3][4]}

図2 - 1のジョブショップに示されるような、対象とする加工物によって加工順序が異なる場合においては、フローショップのような生産設備の配置は用いられない。そのため、加工対象物はそれぞれの加工順序に従って生産設備へ搬送され、加工が行われる。

本研究では、このようなジョブショップの生産形態において、加工物の設備間の搬送を自動搬送車（Automatic Guided Vehicle：以下AGVと記す）で行う生産システムを対象とする。

AGVは図2 - 2のような機械のことで、本体に人手または自動で荷物を積み込み、指示された場所まで誘導線の上をあらかじめ設定した条件により自動で搬送し、人手または自動で荷下ろしを行う。動力源は内臓のバッテリーで、走行経路は誘導線の取替えて自由に走行経路を変更できるため、機動性・融通性が高く、生産・流通など広範囲に使用されている。^[4]

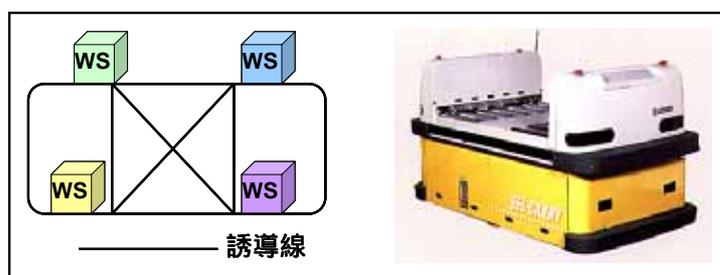


図2 - 2 自動搬送車

AGVによる搬送は、制御方式と搬送パターンによって搬送の振る舞いが決まる。制御方式には以下のような方式がある。

地上呼び込み方式（GCT）

搬送要求に基づいて、待機ステーションを出発し、搬送終了後、再度待機ステーションに戻る。

地上呼び込み・行き先指定方式（GCSD）

搬送要求によって各ステーションへ行き、搬送終了後は次の命令があるまでその場で待機。

From-To 指定方式（FTCT）などがあり、

ランダムな位置から搬送要求のあったステーションへ行き、From-To 命令を受け取り、搬送を行う。

搬送パターンとしては、搬送機能の柔軟性の高い順に、ネットワーク型、ツリー型、ループ型、直線型がある。

本研究では、地上呼び込み方式・行き先指定方式（GCSD）のネットワーク型搬送を使用する。また、誘導線上を双方向移動可能であるとする。

2.3 搬送時間を考慮したスケジューリング

2.3.1 スケジューリング方法

スケジューリングの対象となるジョブは N 個 , 使用する生産設備は M 台で一台の生産設備で一つの工程の加工が行われるとする .

ジョブ i の第 j 工程で使用される機械番号は加工順序行列 T とすると

$$T = \{T_{ij}\} \quad (i = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, M) \quad (2.1)$$

で与えられる . また , そのときの加工時間は加工時間行列 P とすると

$$P = \{P_{ij}\} \quad (i = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, M) \quad (2.2)$$

で与えられる . 本研究では 2 段階の処理によってスケジューリングを行う .

() 第 1 段階

搬送を考慮しないスケジューリング , すなわち加工順序行列 T と加工時間行列 P に基づいて仮のスケジュールを立案する . そして各機械におけるジョブの作業順序および , 各ジョブの作業開始時間を求める . その際の優先ルールとして , 加工時間最小ジョブ優先 (Shortest Processing Time : SPT) , 加工時間最大ジョブ優先 (Largest Processing Time : LPT) , 残り加工時間最大ジョブ優先 (Most Work Remaining : MWKR) , 先入れ先出し (First-In-First-Out : FIFO) , の 4 つのディスパッチングルールでそれぞれ仮のスケジュールを立案する . また , 使用するディスパッチングルールにおいてもコンフリクトがおきた場合 , その中で最も i の小さいジョブを優先する . 図 2 - 3 に第 1 段階のフローを示す .

() 第 2 段階

設備間の最短距離をダイクストラ法を用いてあらかじめ計算しておき , 搬送時間を考慮する際に , 必要に応じて利用できるようにしておく . そして生産設備の配置状態に基づいて搬送可能分を考慮し , 第 1 段階で得られた各機械におけるジョブの作業順序を守り , 再スケジューリングを行う . 図 2 - 4 に第 2 段階のフローを示す .

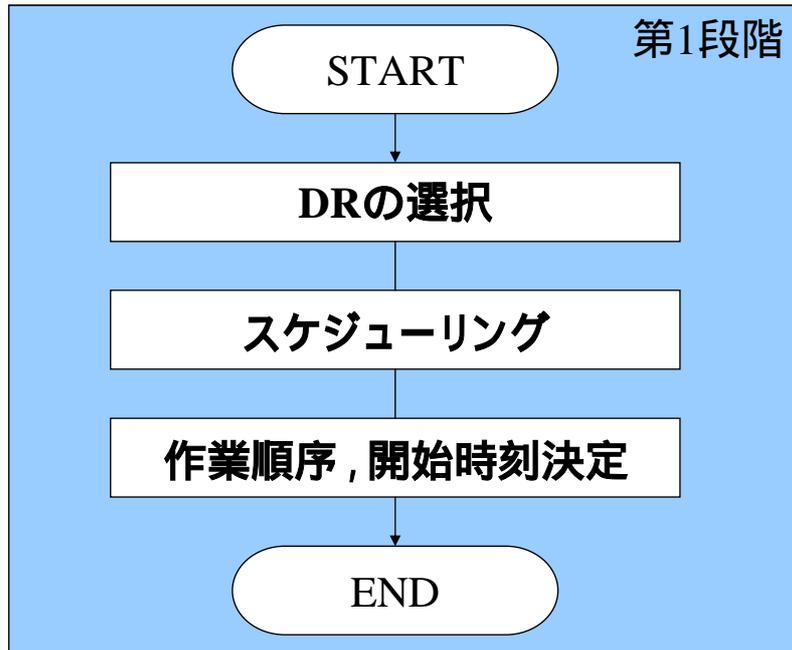


図 2 - 3 第 1 段階のスケジューリング

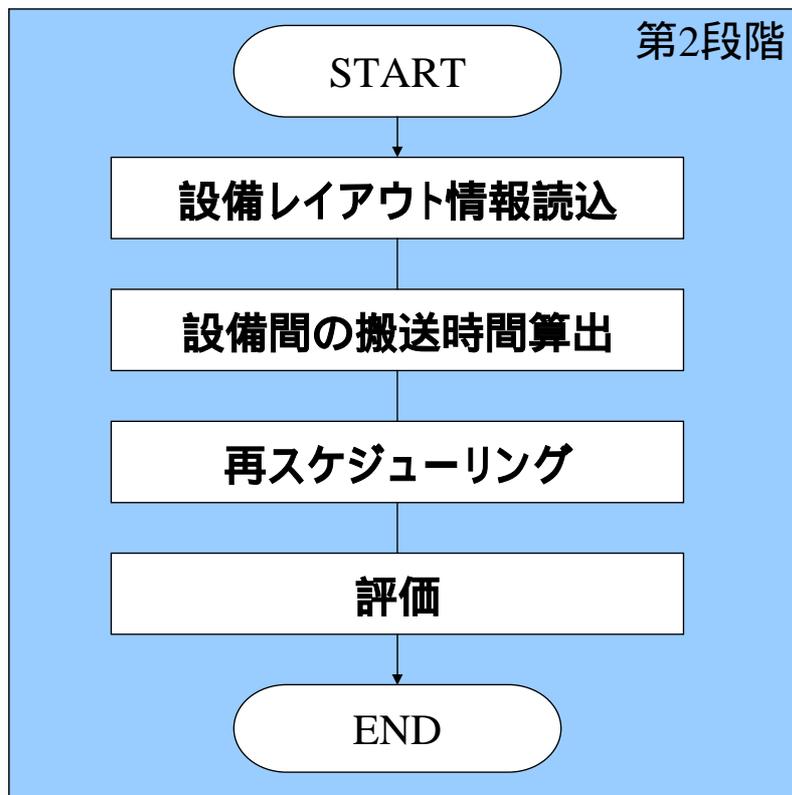


図 2 - 4 第 2 段階のスケジューリング

2.3.2 設備レイアウトの評価方法

生産設備の配置状態を前提条件とし、2段階の処理によって得られたスケジューリング結果を、生産設備の稼働率でもって評価を行う。生産設備の配置状態を X とすると、その評価値 $E(X)$ は搬送を考慮した作業完了時間 Te を用いて

$$E(X) = \frac{\sum P_{ij}}{(M * Te)} \quad (i = 1, 2, \dots, N, \quad j = 1, 2, \dots, M) \quad (2.3)$$

と表すことができる。このようにすると、 $E(X1) > E(X2)$ というように、様々な設備の配置状態について優劣を判断することが出来、与えられた生産計画に対して最も適した配置状態を調べる事が可能であると考えられる。また、ディスパッチングルール毎に設備の配置状態を評価することで、ルール毎に適した配置状態を調べることも可能であると考えられる。

本研究では、この評価値 $E(X)$ を用いて、様々な配置状態に対して評価を行う。

2.3.3 問題点

前小節で述べた評価方法でもって、すべての生産設備の配置状態の組合せを評価して、最も評価値の高い配置状態を求めることが可能であると考えられる。しかし、大規模問題では、加工対象となるジョブ数や使用する生産設備の台数、配置可能なワークステーションの数は多くなり、評価すべき配置状態の組合せが多くなってしまふ。すなわち、組合せの爆発を起こし、現実的な時間で最も高い評価値の配置状態を求めることができなくなってしまうと考えられる。そうすると、大規模問題でも現実的な時間で効率的に高い評価値の設備配置状態を求めることが可能な手法が求められる。

そこで注目されるのが、遺伝子アルゴリズム (Genetic Algorithms : GA) に代表される最適化手法である。GAは生物の進化の過程を模倣して構築されたアルゴリズムである。すなわち、解こうとする問題の解となり得る候補の集団を生成して、その中でもより評価の高い候補の性質を残しつつ、さらに良い候補 (近似解) を求めて集団を進化させる手法である。^{[5][6]} 解候補の集団を用いることで、最適化問題特有の非線形、多峰性の解空間に対し多点探索を行なうことができるので、優れた近似解を素早く見つけ出すことが期待できる。

そこで本研究では、生産設備の配置状態となりえる解候補の探索手法として GA を用いた解法を提案する。そして計算機シミュレーションにより有効性を示す。

2.4 GA による設備レイアウトの組合せ探索

GA は解の候補を進化させて最適解を探すアルゴリズムである。図 2 - 5 に GA の概要を示す。本研究は高い評価値をもつ設備レイアウトの組合せ探索を目的としているので、解の候補となるのは設備の配置状態を表すものでなくてはならない。

また、それにともなって、染色体の交叉方法についても考慮しなければならないことがある。染色体は設備の配置状態を表現しているので、2つの染色体を適当なところで切って入れ換えるという操作を単純に行うことはできない。その理由として1つの染色体の中に重複した遺伝子が含まれる可能性があるからである。つまり、この染色体は解の候補とはなりえない。従って、このような染色体が発生しないように交叉方法を工夫する必要がある。

適応度の高い染色体ほど選択される確率が高くなるようにしてあげることで、適応度の高い染色体の優れた形質が次の世代へと受け継がれていく。しかし、初期集団の染色体群には含まれていない遺伝子が現れることはないので、局所解に陥る可能性がある。そこで突然変異を利用して、染色体群に含まれていない優秀な遺伝子を見つけ出し、染色体に組み込む。突然変異は生成した子供の染色体について、ある確率で起こさせる。突然変異も重複した遺伝子が発生しないように染色体を変化させなければならない。

この交叉と突然変異の操作によって、染色体は親の形質の組合せだけでは得られない設備レイアウトの組合せを得ることができ、探索空間が広がる。

それぞれの染色体を評価するための関数としては、染色体の設備稼働率が高くなるような配置状態を表現する染色体ほど、高い評価を与えるように考えなくてはならない。

本研究では、以上のことに注意して GA のコード化を行った。

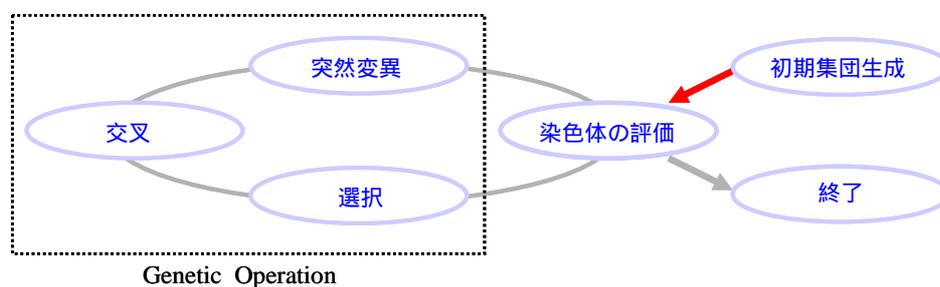


図 2 - 5 GA の概要

() 染色体

1つの生産設備を遺伝子、配置可能な1つのワークステーション番号を遺伝子座とし、この遺伝子の集まりによってできる設備の組合せを染色体と定義する。よって1つの染色体で1個体をあらわす。また、このように表することにより、順列で染色体を表現することが可能となる。図2-6に例を示す。

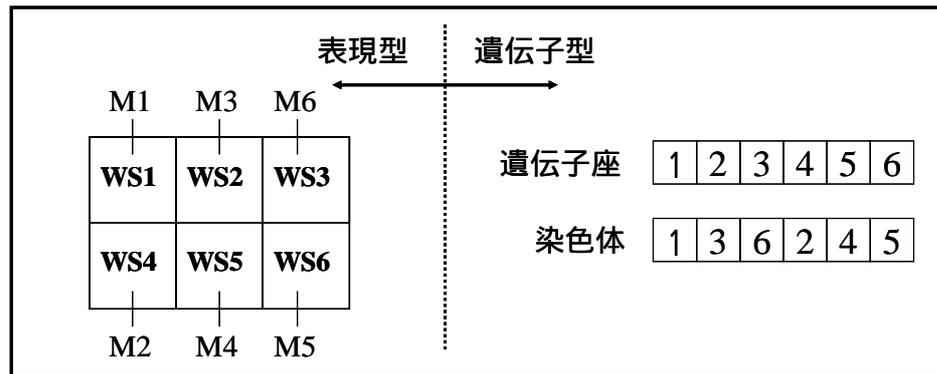


図2-6 染色体のコーディング

() 適応度

生産設備の配置状態の評価値が高い個体ほど、適応度が高くなるように、遺伝子型での適応度 $F(x)$ を次のように定義する。搬送を考慮しない作業完了時間を T_c とすると、 $F(x)$ は

$$F(x) = \frac{T_c}{T_e} \quad (2.4)$$

これは T_e が小さくなればなるほど、適応度の高い個体を表している。

() 選択

次の世代に生き残れる個体の選択方法として、トーナメント方式といわれる選択方法を用いる。トーナメントサイズを2とし、集団の中からランダムに2つの個体を選び出す。そして適応度の高い方を次の世代に残すことで、次の世代での適応度の平均値は、前の世代よりも増加する。また、エリート保存を行い解の収束を促す。

() 交叉

ある一定の交叉確率により，2つの親の遺伝子座にある遺伝子を交換し，相手から受け取った遺伝子と同じ遺伝子を他の遺伝子座から探して相手に渡すという，遺伝子座交叉という交叉方法を考えた．この交叉法は巡回セールスマン問題（Traveling Salesman Problem：TSP）に代表される交叉法として知られている枝交換交叉⁵⁾を応用した．このようにすると，染色体と解の候補を1対1に対応させることができ，親の性質をあまり変えない，形質遺伝がおこなわれる．図2-7に乱数によって3番目の遺伝子座が選ばれた時の例を示す．

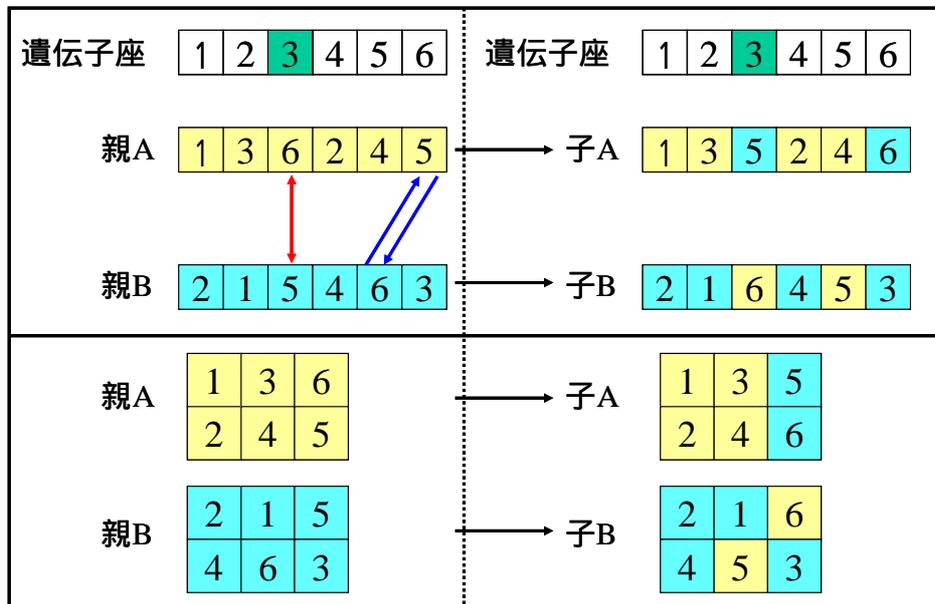


図2-7 遺伝子座交叉

() 突然変異

ある一定の突然変異確率により，個体の遺伝子座を乱数で重複しない2箇所を選び出し，その遺伝子座にある遺伝子の交換を行う．

() GA パラメータ

GA パラメータを世代数 N_g ，個体数 N_p ，交叉率 P_c ，突然変異率 P_m として表す．

2.5 結 言

本章では，搬送時間を考慮したスケジューリングによって設備レイアウトの評価方法について，またその中で起こる問題点と，それを解決するための提案手法について述べた．次章ではスケジューリング方法と提案手法によるシミュレーションシステムの概要について述べる．

第3章 シミュレーションシステム

3.1 緒言

本研究では、第2章で述べた搬送時間を考慮したスケジューリング方法と提案する設備レイアウトの組合せ探索方法について、対象モデルを用いたシミュレーションを行うためのシミュレータを開発した。本章では、まず初めに実験に用いたシミュレータの概要を述べる。次に搬送のアルゴリズムと提案した設備レイアウトの組合せ探索のアルゴリズムを述べる。最後に実行手順を示す。

3.2 シミュレータ概要

本研究ではオブジェクト指向言語JAVA^[7]を用いてシミュレータを開発した。また、シミュレータの開発には以下の環境で行った

- Microsoft Windows2000 Professional
- JAVA 2 SDK Standard Edition version 1.4.2.06

図3 - 1にシミュレータの概要を示す。まず入力条件の書かれたファイルをシミュレータが読み込み、スケジューリングのシミュレーションを行う。その結果を視覚的に分かるようにガントチャートで表示可能となっている。また、その結果をテキストファイルに保存し、Excelでグラフの作成等が容易にできるといった特徴がある。

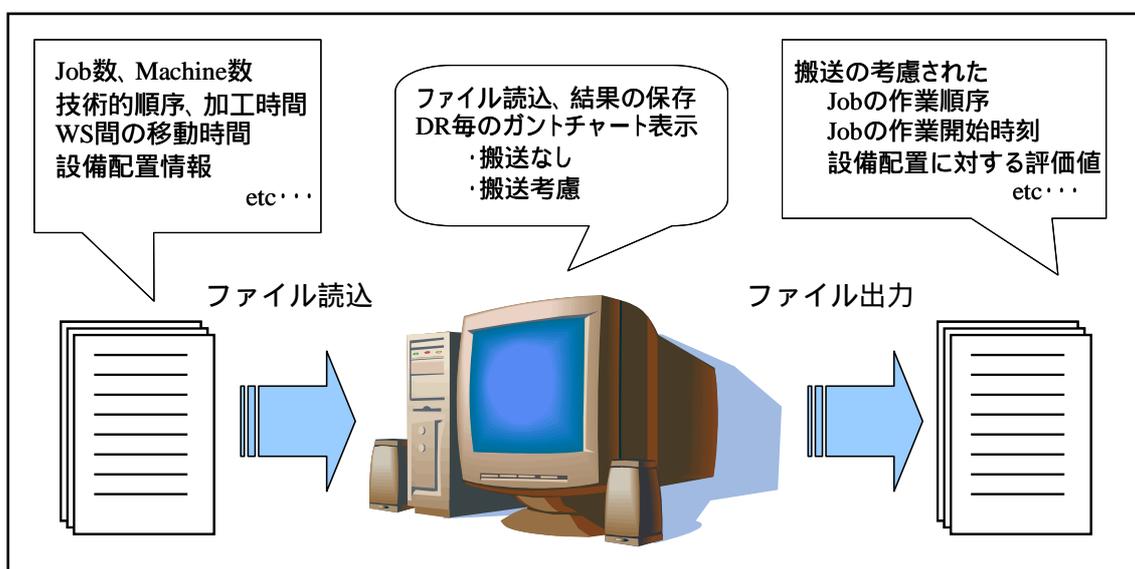


図3 - 1 シミュレータ概要

3.3 アルゴリズム

3.3.1 搬送アルゴリズム

搬送アルゴリズムのフローを図 3 - 2 に示す。

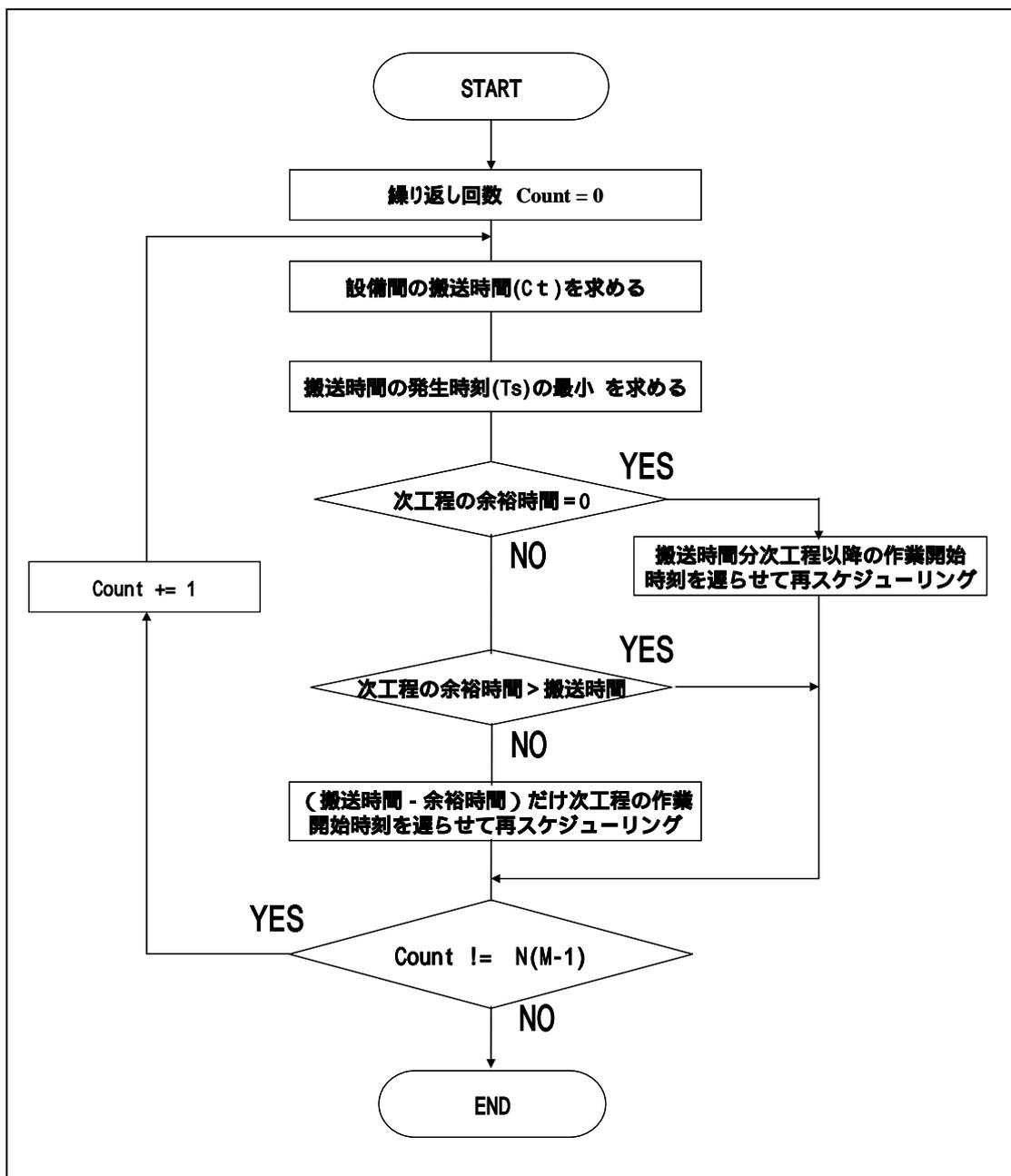


図 3 - 2 搬送アルゴリズム

3.3.2 GA による設備レイアウト探索アルゴリズム

GA による設備レイアウト探索アルゴリズムのフローを図 3 - 3 に示す。

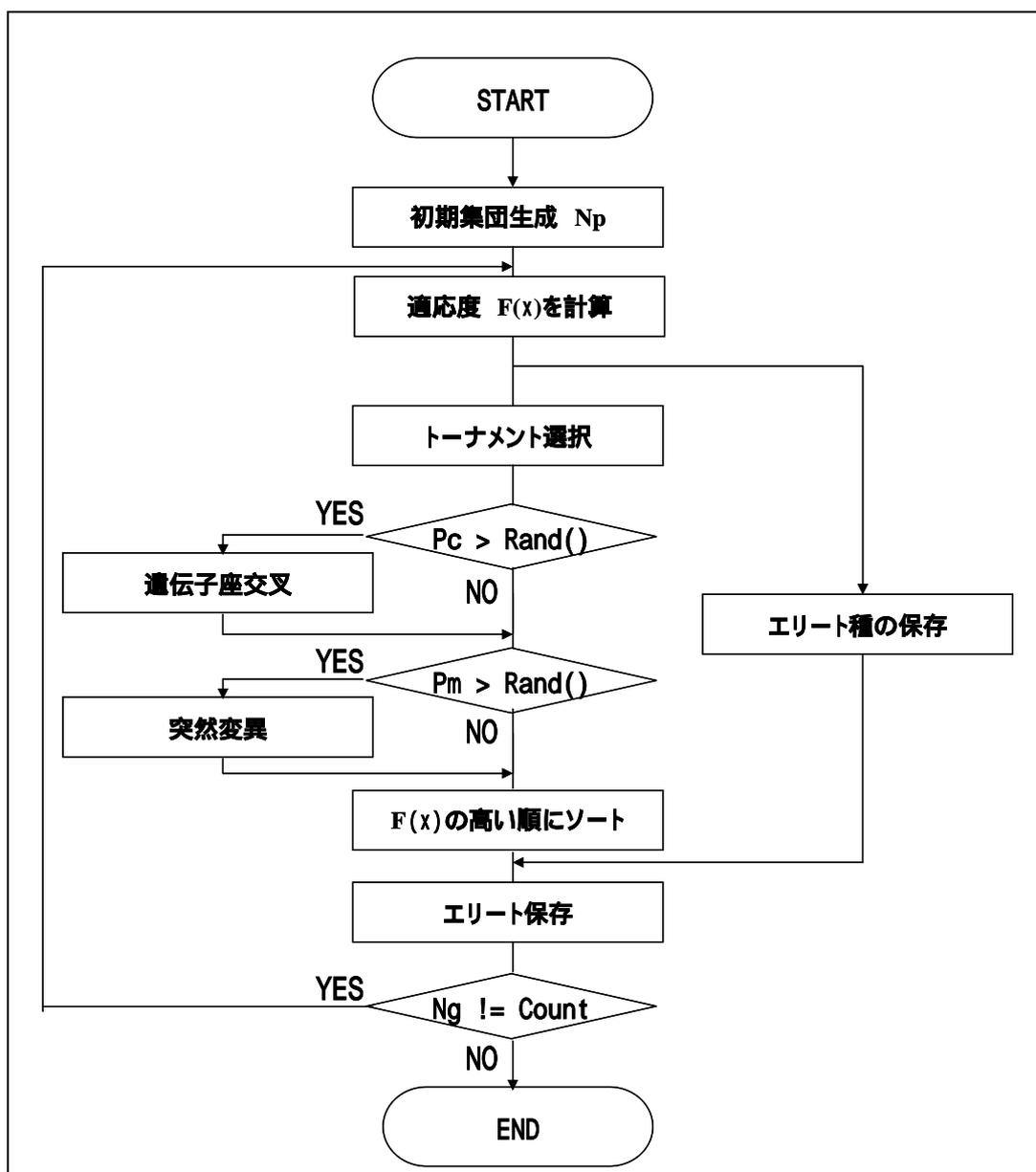


図 3 - 3 GA による設備レイアウト探索アルゴリズム

3.4 実行手順

実行手順を(1)～(7)にて説明を行う

(1) シミュレータの呼び出し(図3-4)

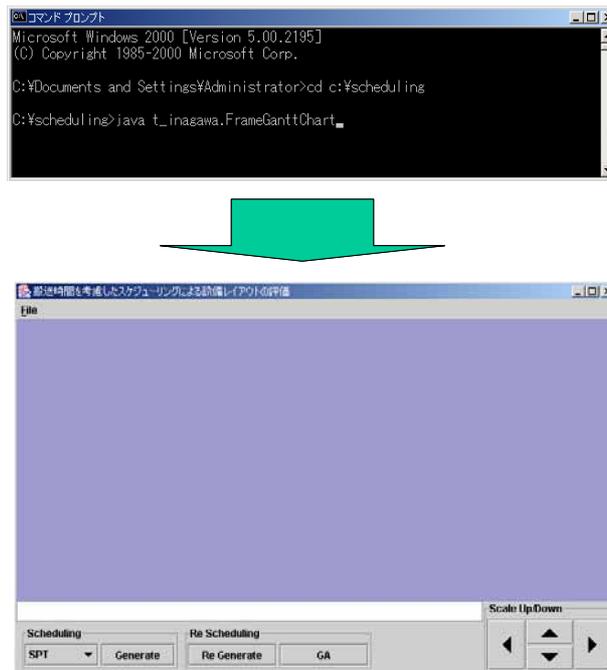


図3-4 シミュレータ画面

(2) ファイル読み込み(図3-5)

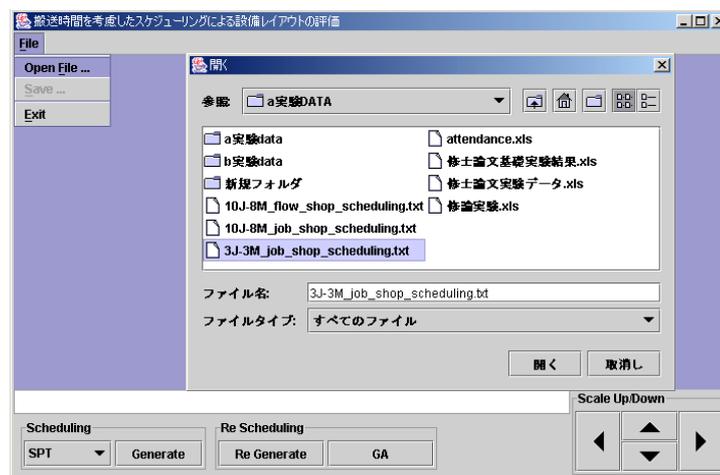


図3-5 ファイル読み込み

- (3) ディスパッチングルールを選択 (図 3 - 6)
- (4) スケジュール生成 ガントチャート (図 3 - 6)
- (5) 搬送を考慮して再スケジュールング ガントチャート (図 3 - 6)

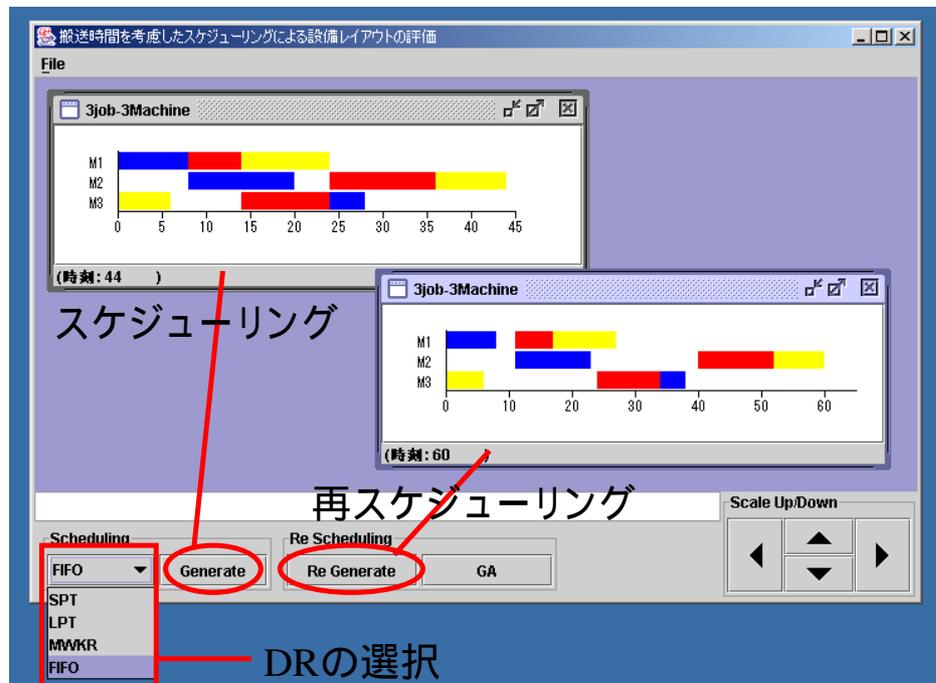


図 3 - 6 実行画面

- (6) 結果をテキストファイルに出力

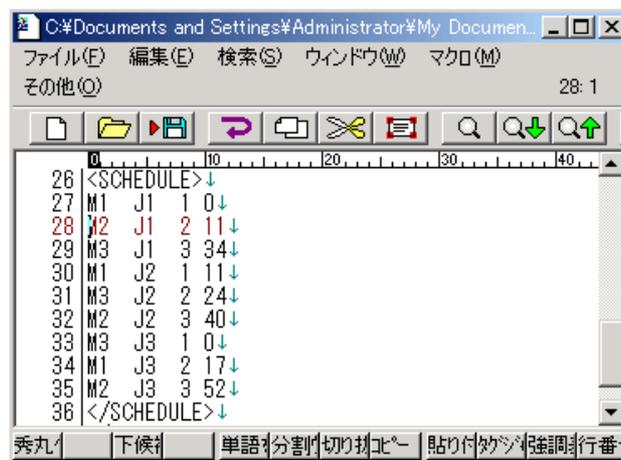


図 3 - 7 出力結果

- (7) GA でシミュレーションを行う場合，探索過程はテキストファイルに出力

3.5 結 言

本章では，本研究で用いたシミュレータの概要，搬送アルゴリズム，GA を用いた提案アルゴリズム，実行手順について述べた．次章では具体的な数値実験を行い，設備レイアウトを評価していく．

第4章 数値実験

4.1 緒言

この章では、前章で述べたシミュレーションシステムを用いて数値実験を行う。初めに基本実験として総列挙可能な設備レイアウトの組合せについて実験を行う。次に実験として提案した設備レイアウトの組み合わせ探索が有効であるかどうかをフローショップモデルで検証実験を行なう。次に実験では、規模を大きくしたジョブショップモデルについて提案手法を適応させる。最後に実験結果について考察する。

4.2 基本実験

4.2.1 実験対象モデル

本実験では、図4-1に示すように設備の配置可能なWS3箇所、生産設備3台を対象モデルとする。このモデルの条件を下記に記す。

・条件

- (1) 製造するジョブ数3つ、AGV3台
- (2) 1つのジョブを1台のAGVで設備間の搬送を行う
- (3) WS間の搬送時間は図4-2のように与えられているものとし、WS間の搬送時間(最短)はあらかじめ計算しておき、表4-3のように既知とする
- (4) 時刻0で第一工程に割付けられるジョブについては、時刻0にジョブが到着しているとし、その他のジョブはINの位置にあるとする。

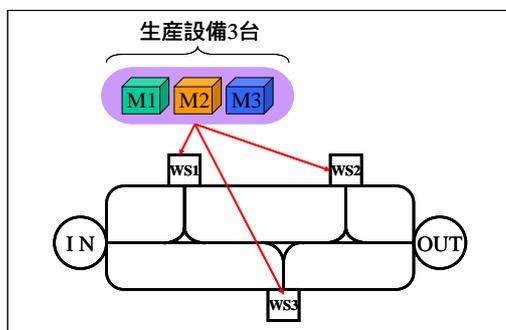


図4-1 実験対象モデル

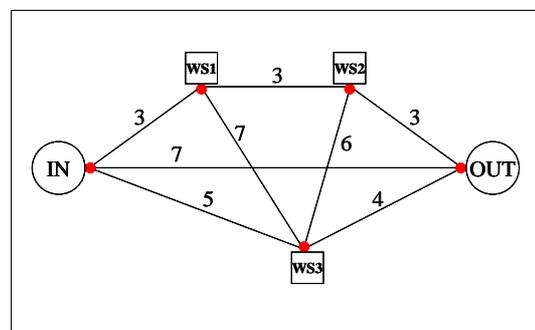


図4-2 ネットワーク図

- ・入力条件

表 4 - 1 技術的順序

技術的順序	使用する設備番号		
	工程1	工程2	工程3
J1	1	2	3
J2	1	3	2
J3	3	1	2

表 4 - 2 加工時間

加工時間	工程1	工程2	工程3
J1	8	12	4
J2	6	10	12
J3	6	10	8

表 4 - 3 WS 間の搬送時間

搬送時間	WS1	WS2	WS3	OUT
IN	3	6	5	
WS1		3	7	6
WS2	3		6	3
WS3	7	6		4

- ・評価する設備レイアウトの組合せ

図 4 - 3 に示すように , 配置可能な WS に Case1 から Case6 のすべての組合せについて評価を行う

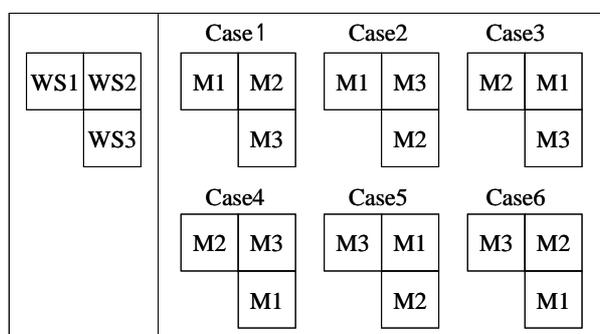


図 4 - 3 評価する設備レイアウトの組合せ

4.2.2 実験結果

まず，搬送を考慮しない場合のスケジューリング結果を表 4 - 4 に示す．

表 4 - 4 搬送を考慮しないスケジューリング結果

DR	処理完了時刻	稼働率
SPT	46	55.07%
LPT	46	55.07%
MWKR	46	55.07%
FIFO	44	57.58%

表 4 - 4 から搬送を考慮しない場合において，FIFO ルールを適応した時の稼働率は 57.58%と他と比べて良いということが分かる．他のルールではすべて同じ稼働率となった．以下図 4 - 4 に搬送を考慮しないスケジューリング結果から得られたガントチャートを示す．

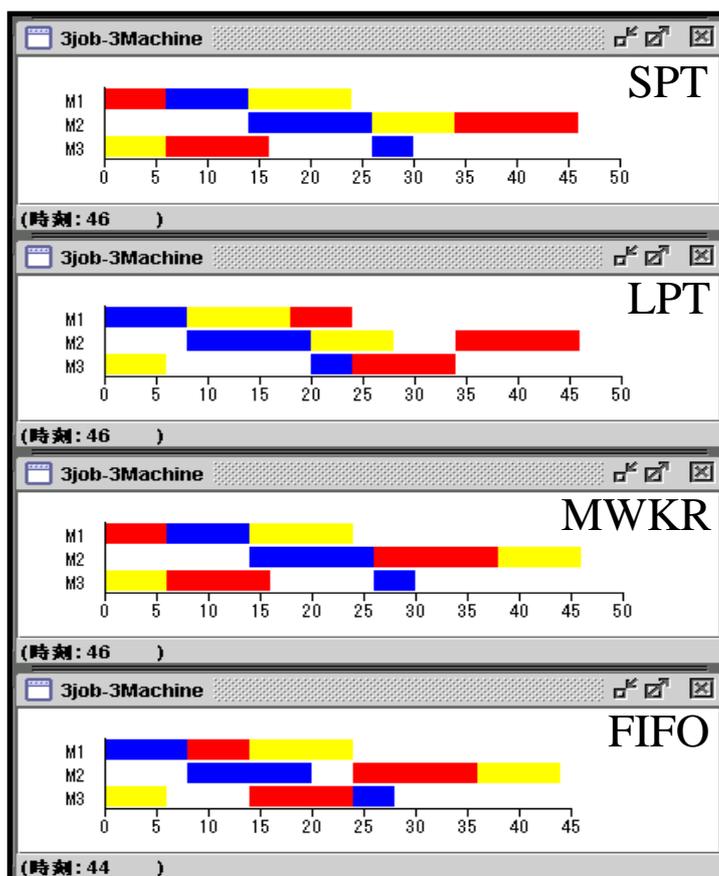


図 4 - 4 DR 毎のスケジューリング結果

図 4 - 4 から DR 毎に異なるスケジューリング結果が得られていることが分かる．

次に搬送を考慮したスケジューリング結果を表 4 - 5 に示す。

表 4 - 5 搬送を考慮したスケジューリング結果

		処理完了時刻	搬送完了時刻	稼働率	最高値
Case1	SPT、MWKR	52	55	48.72%	48.72
	LPT	67	70	37.81%	
	FIFO	60	63	42.22%	
Case2	SPT、MWKR	56	60	45.24%	45.24
	LPT	65	69	38.97%	
	FIFO	56	60	45.24%	
Case3	SPT、MWKR	55	61	46.06%	46.06
	LPT	69	75	36.71%	
	FIFO	63	69	40.21%	
Case4	SPT、MWKR	58	64	43.68%	43.68
	LPT	64	70	39.58%	
	FIFO	58	64	43.68%	
Case5	SPT、MWKR	58	62	43.68%	43.68
	LPT	66	70	38.38%	
	FIFO	60	64	42.22%	
Case6	SPT、MWKR	57	60	44.44%	44.44
	LPT	66	69	38.38%	
	FIFO	59	62	42.94%	

表 4 - 5 から SPT ルールと MWKR ルールにおける Case 1 の配置状態が 48.72 と他の配置状態と比べて良いということが分かる。従って、SPT ルールまたは MWKR ルールを使用し、Case 1 の配置状態で生産活動を行った場合、与えられた生産計画に対しては最も適していると言える。

また、ディスパッチングルール毎に評価値の高い配置状態が異なっているということも読み取れる。LPT ルールの中では、Case 4 の配置状態が他の配置状態と比べて最も高い評価値 39.58 を示していることが分かる。また FIFO ルールの中では、Case 2 の配置状態が他の配置状態と比べて最も高い評価値 45.24 を示していることが分かる。搬送時間を考慮したスケジューリング結果のガントチャートをディスパッチングルール毎に図 4 - 5 ~ 図 4 - 8 に示す。

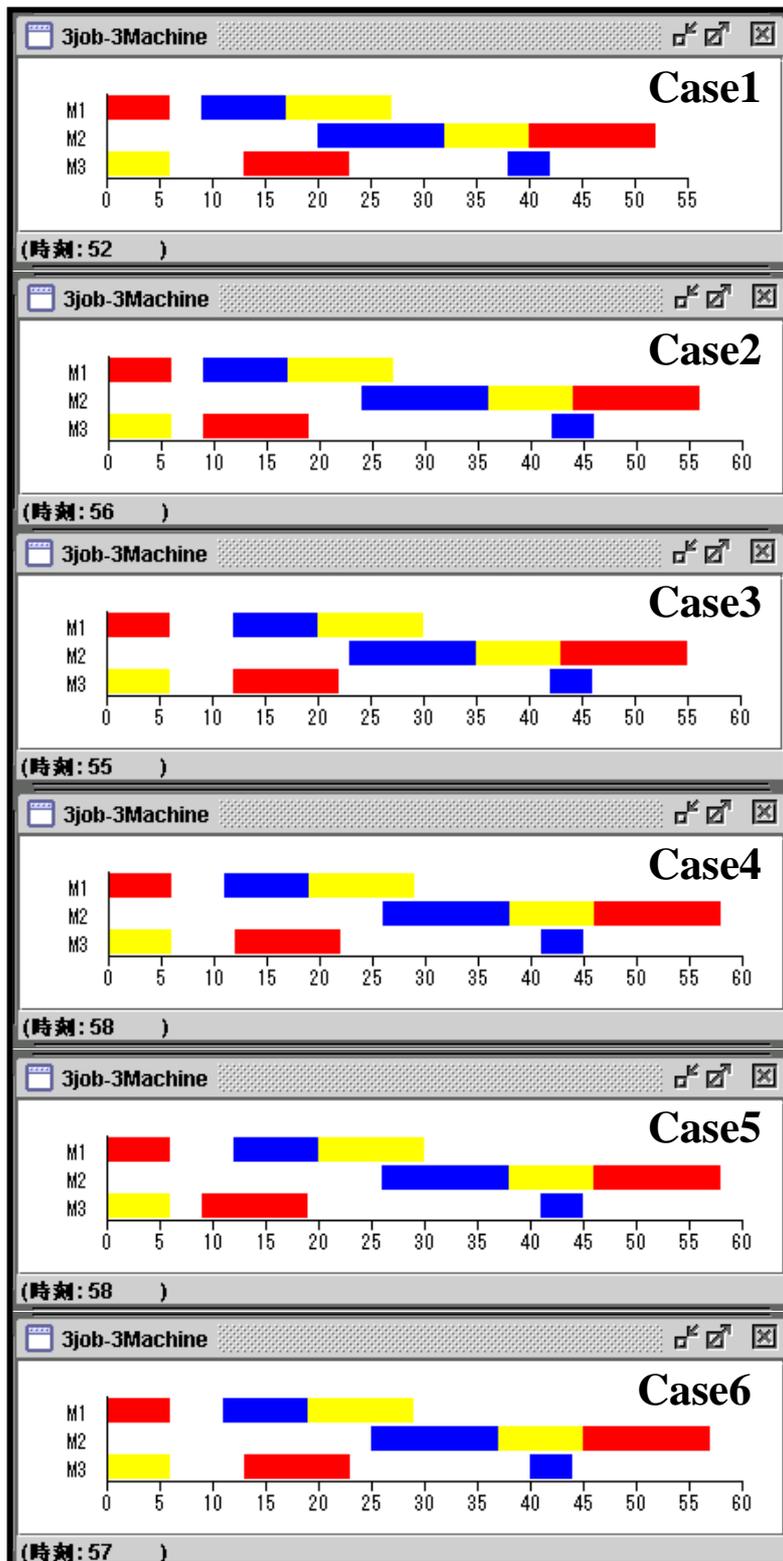


図 4 - 5 SPT ルールによる搬送を考慮したスケジューリング結果

SPT ルールでは Case 1 が他と比べて良いということが分かる .

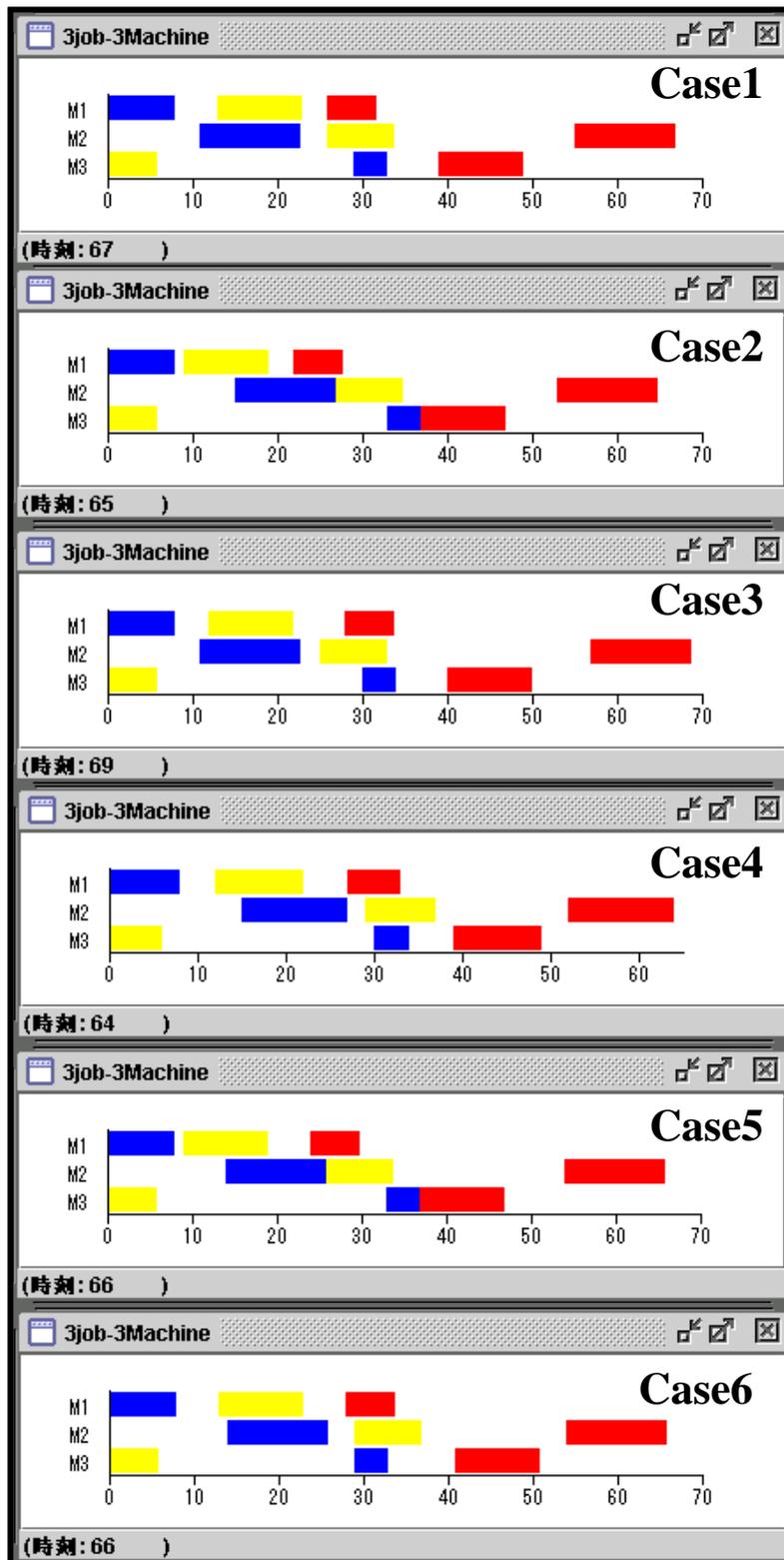


図 4 - 6 LPT ルールによる搬送を考慮したスケジューリング結果

LPT ルールでは Case 4 が他と比べて良いということが分かる .

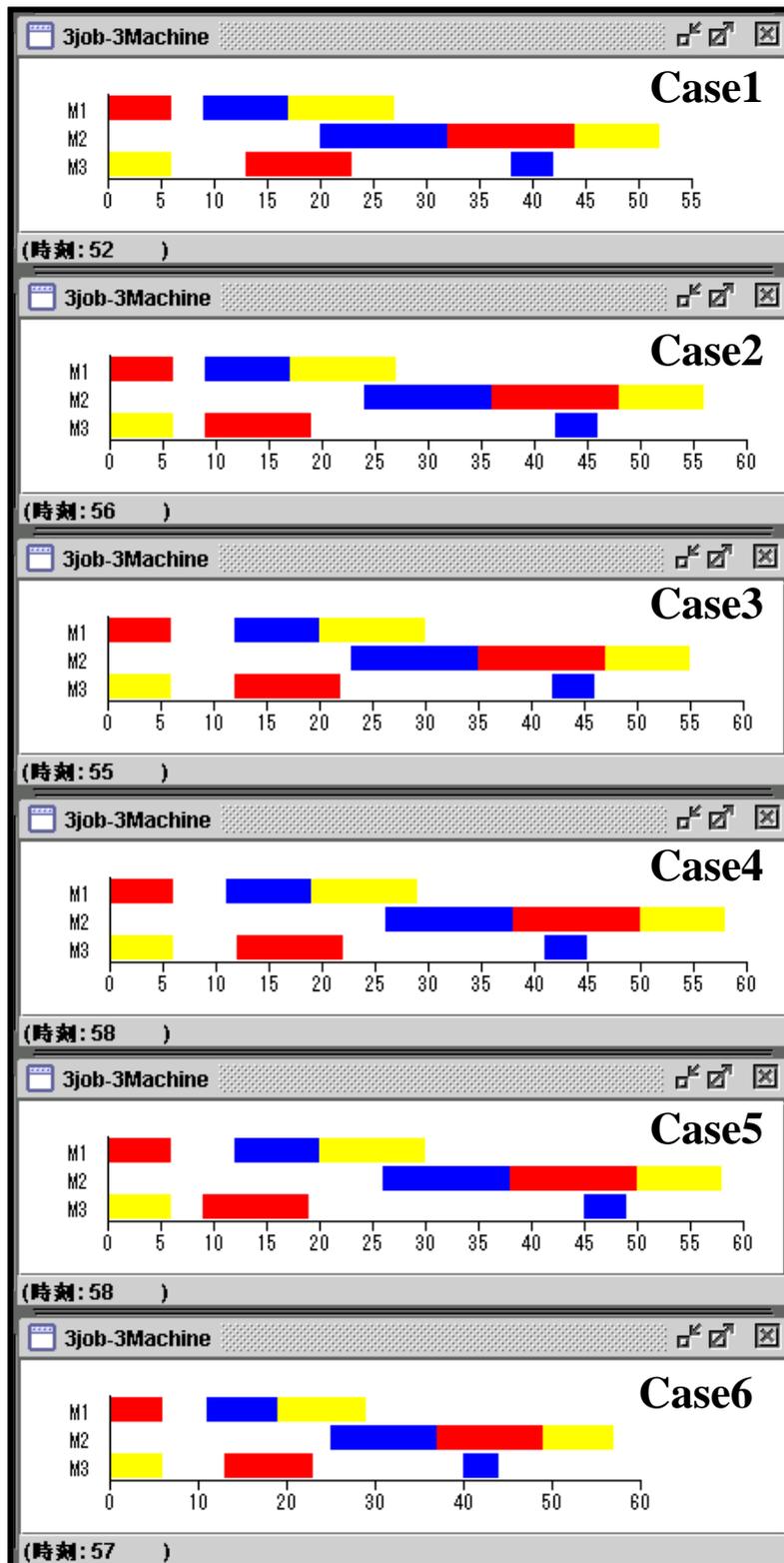


図4 - 7 MWKR ルールによる搬送を考慮したスケジューリング結果

MWKR ルールでは Case 1 が他と比べて良いということが分かる。

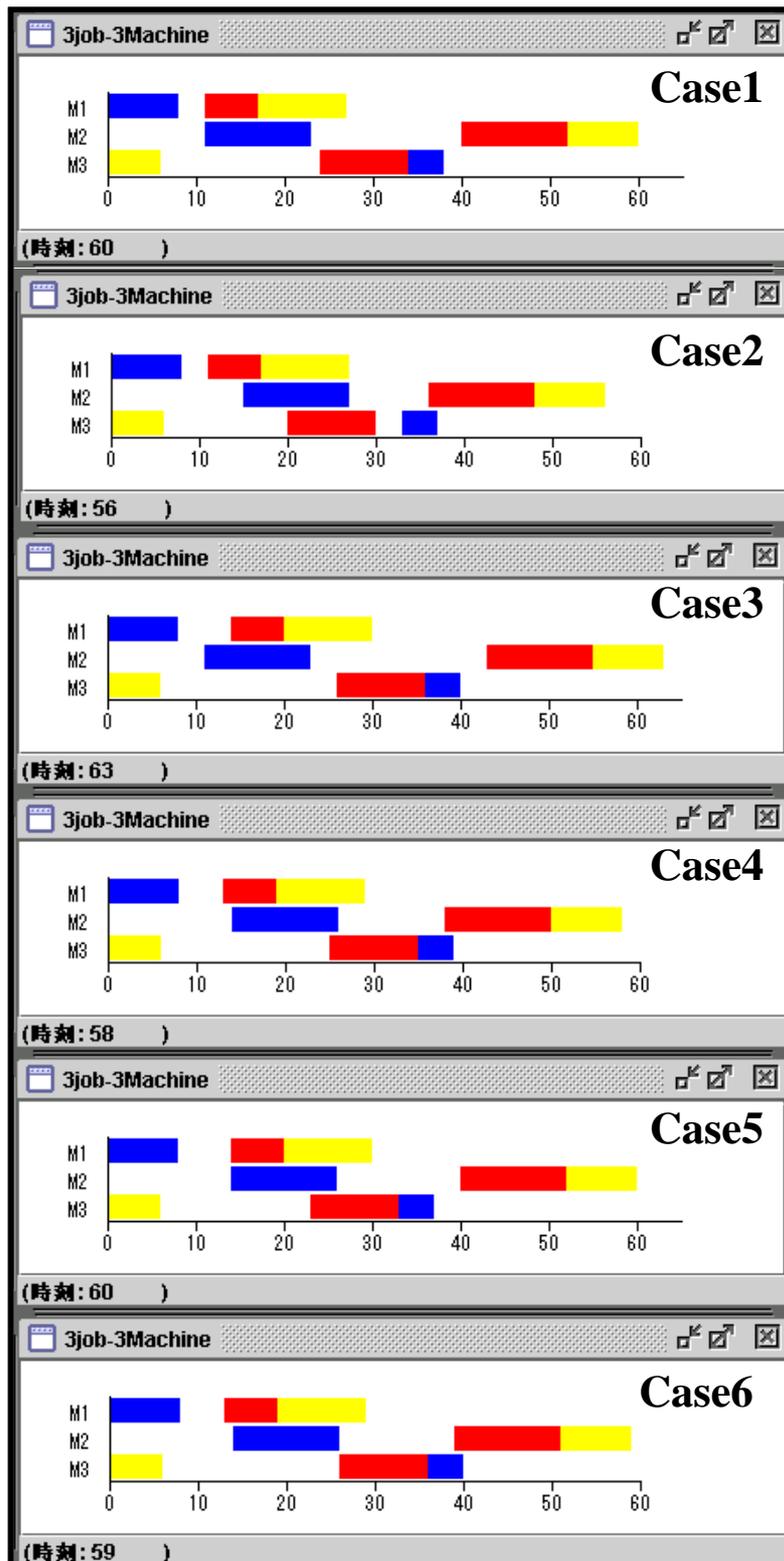


図 4 - 8 FIFO ルールによる搬送を考慮したスケジューリング結果

FIFO ルールでは，Case 2 が他と比べて良いということが分かる．

4.2.3 考 察

搬送を考慮しても FIFO ルールによる結果が最も高い評価値を得られると予想していたが、SPT ルールまたは MWKR ルールが最も高い評価値を示した。この結果から、搬送を考慮すると設備レイアウトの配置状態がスケジューリングに大きく影響を与えていることがわかる。すなわち、対象とする生産計画に対して設備レイアウトが不適切である場合、搬送を考慮したスケジューリング結果も不適切であるということが明らかになった。

搬送を考慮することで FIFO ルールが SPT ルールまたは MWKR ルールよりも悪くなった原因としては、得られたスケジューリング結果のガントチャートから、すべて同じジョブがクリティカルパス上にあるということが挙げられる。LPT ルールが他と比べて最も悪かったのも、同じ原因だと考えられる。

4.3 実験 (フローショップモデル)

この節では、提案した GA による設備レイアウト探索方法がうまく機能するかどうかについて検証することを目的とする。

4.3.1 実験対象モデル

本実験では、図 4 - 9 に示すように設備の配置可能な WS 8 箇所、生産設備 8 台を対象モデルとする。このモデルの条件を下記に記す。

- ・条件
- (1) 製造するジョブ数 10 , AGV 10 台
- (2) 1つのジョブを 1 台の AGV で設備間の搬送を行う
- (3) 加工時間は 3 ~ 9 の一様乱数によって決めた。(表 4 - 7)
- (4) WS 間の搬送時間は図 4 - 10 のように与えられているものとし、WS 間の搬送時間(最短)はあらかじめ計算しておき、表 4 - 8 のように既知とする
- (5) スケジューリングはジョブ番号の小さい順(ジョブ 1 ジョブ 2 …… ジョブ 10)の順に各工程へ投入され、ジョブの追い越しはしないものとする。
- (6) 時刻 0 に割り付けられるジョブ 1 は作業開始時刻に第一工程に到着しているものとし、その他のジョブは IN の位置にあるとする。

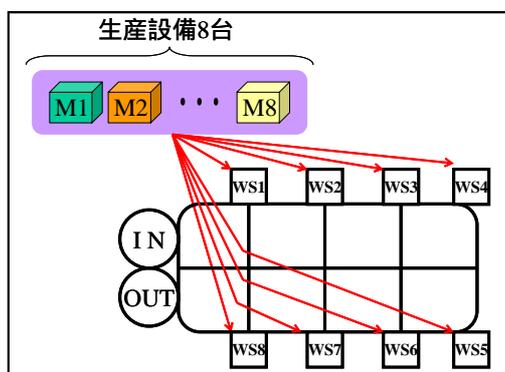


図 4 - 9 実験対象モデル

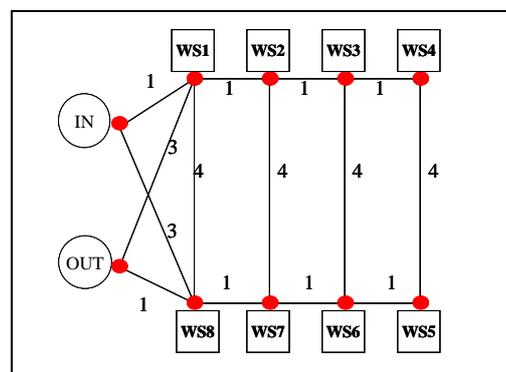


図 4 - 10 ネットワーク図

・入力条件

表 4 - 6 技術的順序

技術的順序	使用する機械番号							
	工程1	工程2	工程3	工程4	工程5	工程6	工程7	工程8
J1~J8	1	2	3	4	5	6	7	8

表 4 - 7 加工時間

加工時間	工程1	工程2	工程3	工程4	工程5	工程6	工程7	工程8
J1	4	9	3	8	6	4	6	8
J2	9	5	5	3	3	6	8	9
J3	5	6	3	5	7	8	6	8
J4	6	3	5	9	7	7	7	4
J5	7	4	6	7	6	7	7	3
J6	5	9	4	5	7	5	3	7
J7	4	4	4	6	5	3	5	4
J8	6	3	7	6	3	7	6	5
J9	5	7	6	4	8	6	5	5
J10	8	8	7	6	4	5	5	3

表 4 - 8 WS 間の搬送時間

搬送時間	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6	WS7	WS8	OUT
IN	1	2	3	4	6	5	4	3	/
WS1	/	1	2	3	7	6	5	4	3
WS2	1	/	1	2	6	5	4	5	4
WS3	2	1	/	1	5	4	5	6	5
WS4	3	2	1	/	4	5	6	7	6
WS5	7	6	5	4	/	1	2	3	4
WS6	6	5	4	5	1	/	1	2	3
WS7	5	4	5	6	2	1	/	1	2
WS8	4	5	6	7	3	2	1	/	1

・シミュレーション条件

GA パラメータを以下のように設定してシミュレーションを行った。

表 4 - 9 GA パラメータ

世代数	50
個体数	20
交叉率	0.7
突然変異率	0.2

4.3.2 実験結果

まず搬送を考慮しない場合のスケジューリングから、処理完了時間は97で設備稼働率は58.38%という結果が得られた。ガントチャートを図4-11に示す。続いて、搬送を考慮したGAによる設備レイアウトの探索過程の適応度のグラフを図4-12に示す。そして、打ち切り世代数である50世代のガントチャートと設備の配置状態図を図4-13に示す。

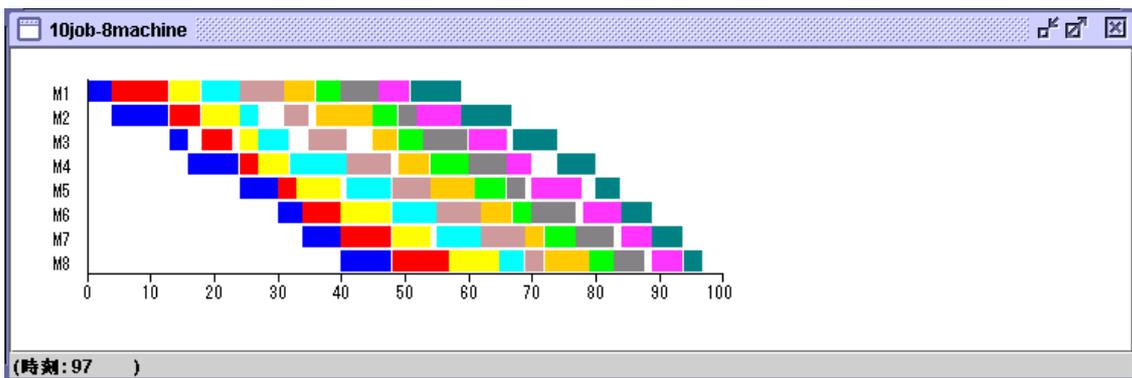


図4-11 搬送を考慮しないスケジューリング結果

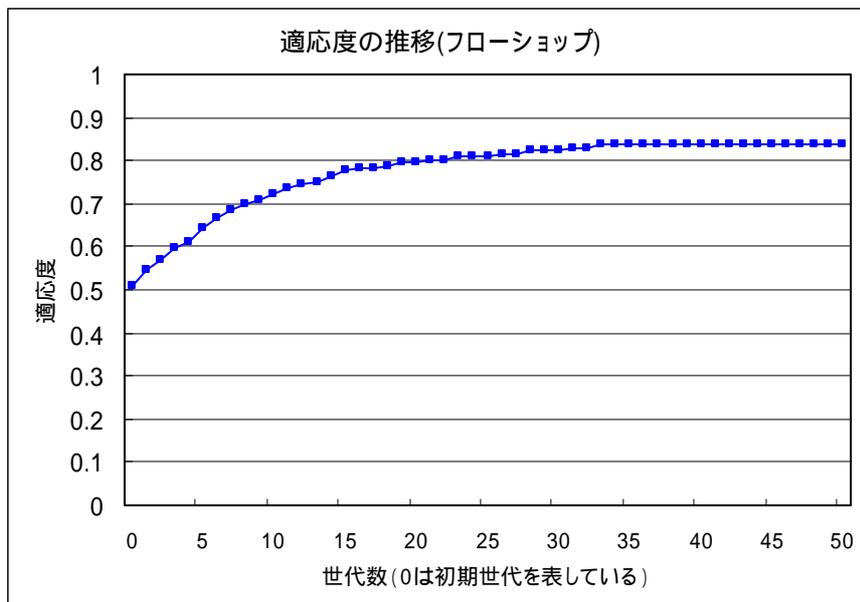


図4-12 適応度の推移

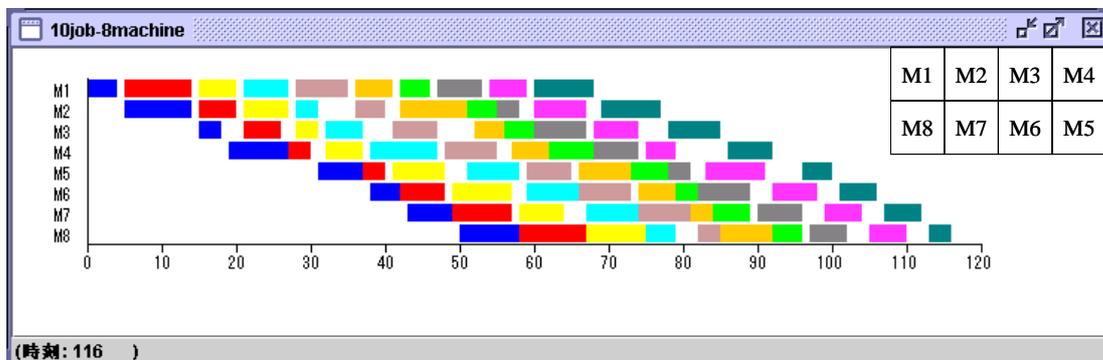


図4 - 1 3 50世代のスケジューリング結果

4.3.3 考察

実験結果から，33世代から適応度に変化が見られなくなり，最適解もしくは局所解で探索が終了したと考えられる．次に図4 - 1 2を見てみると，世代数が進むにつれて，生産効率が高くなるように探索を行っていることがわかる．そして，図4 - 1 3から最終的に生産設備が工程整列して配置されていることが確認できる．

以上の結果から，GAによる設備レイアウトの探索方法がうまく機能し，本研究で提案した解法は妥当であると考えられる．

次の節では提案した解法で大規模なジョブショップ問題を解く．

4.4 実験 (ジョブショップモデル)

この節では、総列挙不可能なジョブショップにおいて提案した解法でと求解することを目的とする。

4.4.1 実験対象モデル

本実験では、図4-14に示すように設備の配置可能なWS8箇所、生産設備8台を対象モデルとする。このモデルの条件を下記に記す。

・条件

- (1) 製造するジョブ数10, AGV10台
- (2) 1つのジョブを1台のAGVで設備間の搬送を行う
- (3) ジョブの技術的順序についても一様乱数によって決定した。(表4-11)
- (4) 加工時間は1~9の一様乱数によって決めた。(表4-12)
- (5) WS間の搬送時間は図4-15のように与えられているものとし、WS間の搬送時間(最短)はあらかじめ計算しておく、表4-13のように既知とする
- (6) 時刻0に割り付けられるジョブは作業開始時刻に第一工程に到着しているものとし、その他のジョブはINの位置にあるとする。

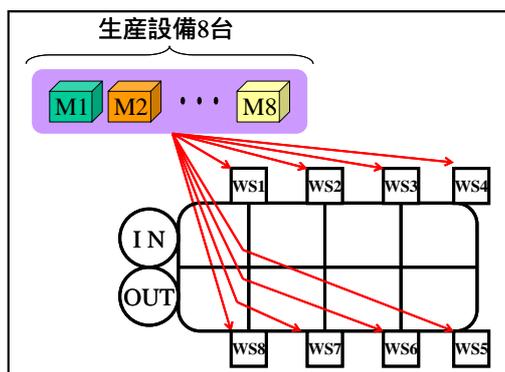


図4-14 実験対象モデル

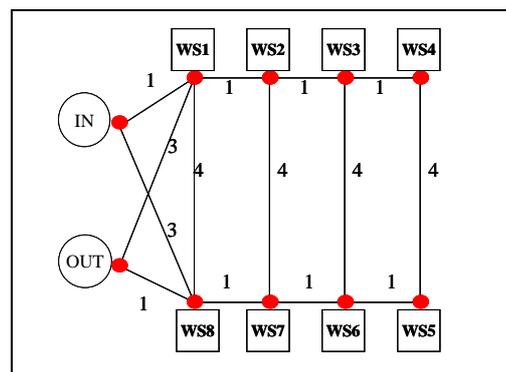


図4-15 ネットワーク図

・入力条件

表 4 - 1 1 技術的順序

技術的順序	使用する機械番号							
	工程1	工程2	工程3	工程4	工程5	工程6	工程7	工程8
J1	4	1	5	7	2	3	6	8
J2	1	4	5	3	6	2	8	7
J3	3	6	1	4	5	7	2	8
J4	1	2	3	4	7	5	8	6
J5	5	2	7	6	1	3	8	4
J6	2	5	4	1	3	7	6	8
J7	1	3	5	2	6	8	7	4
J8	2	4	1	3	5	7	8	6
J9	1	6	3	8	7	2	5	4
J10	2	1	5	6	4	8	7	3

表 4 - 1 2 加工時間

加工時間	工程1	工程2	工程3	工程4	工程5	工程6	工程7	工程8
J1	7	6	7	7	8	5	3	7
J2	4	6	9	7	4	9	9	6
J3	8	7	4	5	5	5	6	8
J4	3	9	5	3	3	7	8	7
J5	8	8	8	7	4	5	4	7
J6	4	6	8	5	4	9	4	5
J7	7	8	5	4	7	8	9	8
J8	9	5	6	9	7	4	3	6
J9	5	8	4	4	3	3	7	7
J10	5	7	4	5	7	3	5	6

表 4 - 1 3 WS 間の搬送時間

搬送時間	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6	WS7	WS8	OUT
IN	1	2	3	4	6	5	4	3	
WS1		1	2	3	7	6	5	4	3
WS2	1		1	2	6	5	4	5	4
WS3	2	1		1	5	4	5	6	5
WS4	3	2	1		4	5	6	7	6
WS5	7	6	5	4		1	2	3	4
WS6	6	5	4	5	1		1	2	3
WS7	5	4	5	6	2	1		1	2
WS8	4	5	6	7	3	2	1		1

・シミュレーション条件

GA パラメータを以下のように設定してシミュレーションを行った。

表 4 - 1 4 GA パラメータ

世代数	50
個体数	20
交叉率	0.7
突然変異率	0.2

4.4.2 実験結果

まず搬送を考慮しないスケジューリング結果を表4-15に示す．続いて，得られたガントチャートをディスパッチングルール毎に図4-16～19に示す．その後に搬送を考慮したときの適応度の推移を図4-20に，得られた最良の解を図4-21に，そのときの設備レイアウトを図4-22に示す．また，このとき得られた評価値は48.1であった．

表4-15 搬送を考慮しないスケジューリング結果

DR	処理完了時刻	稼働率
SPT	121	49.69%
LPT	124	48.49%
MWKR	105	57.26%
FIFO	103	58.37%

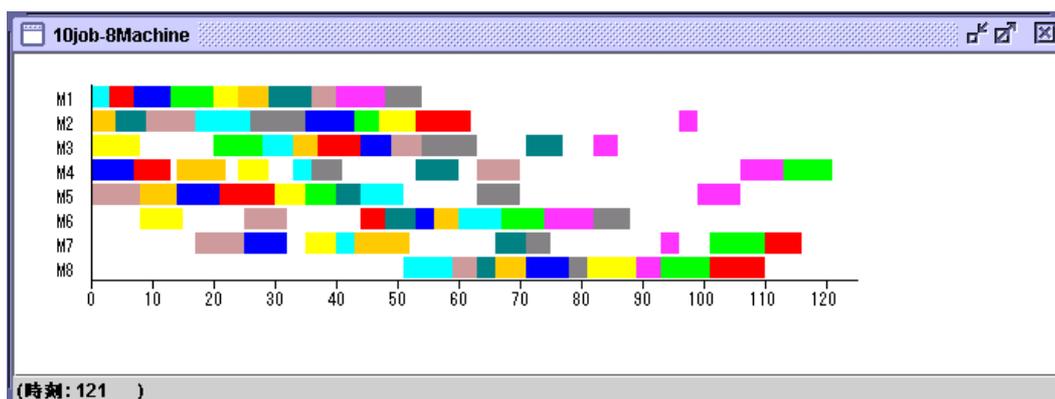


図4-16 SPTルールによるスケジューリング

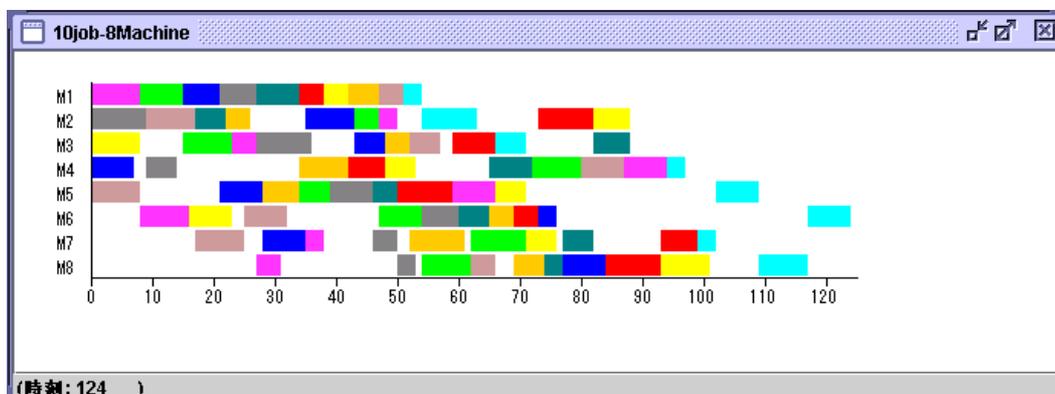


図4-17 LPTルールによるスケジューリング

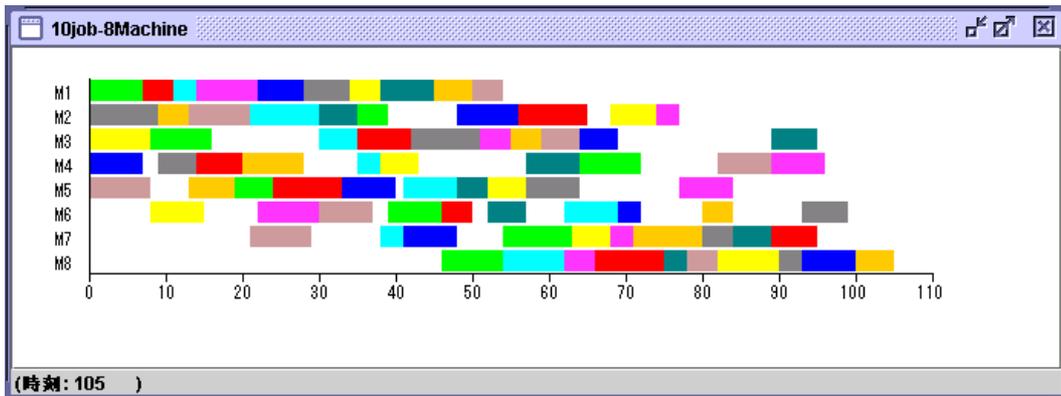


図 4 - 1 8 MWKR ルールによるスケジューリング

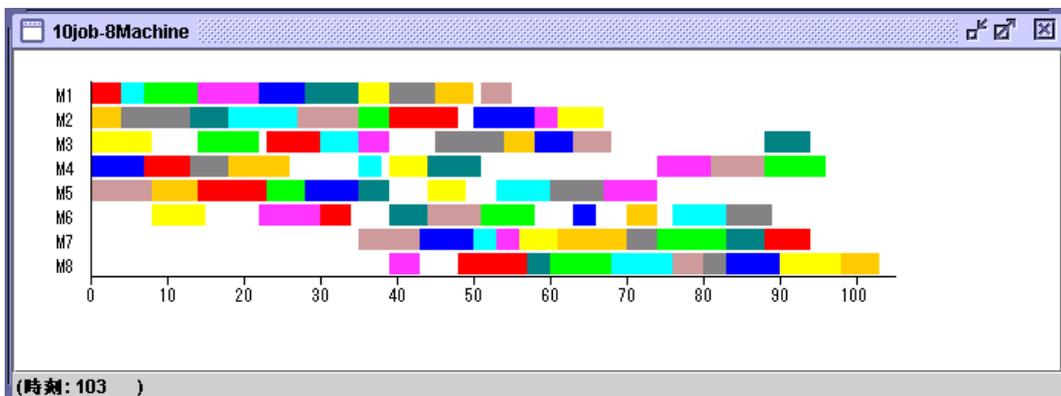


図 4 - 1 9 FIFO ルールによるスケジューリング

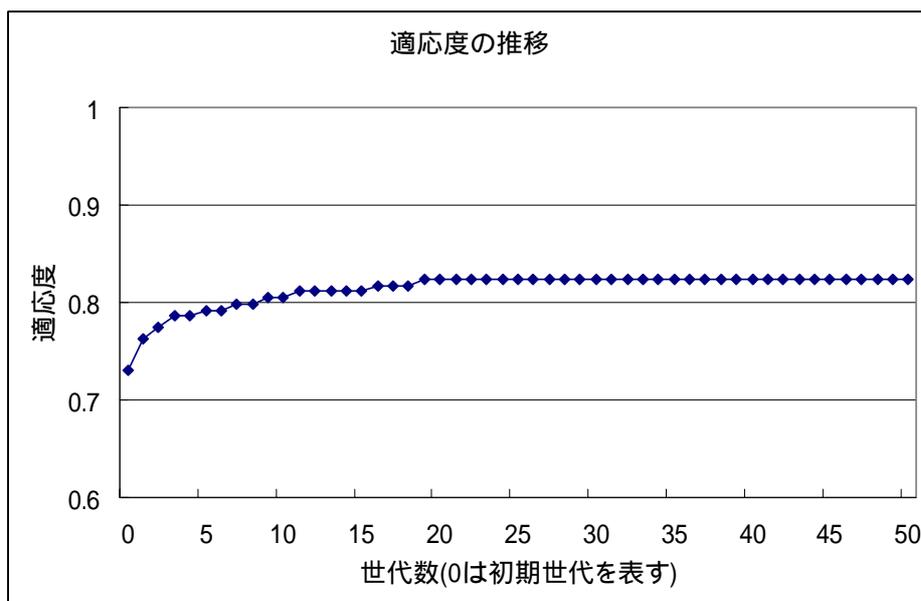


図 4 - 2 0 適応度の推移

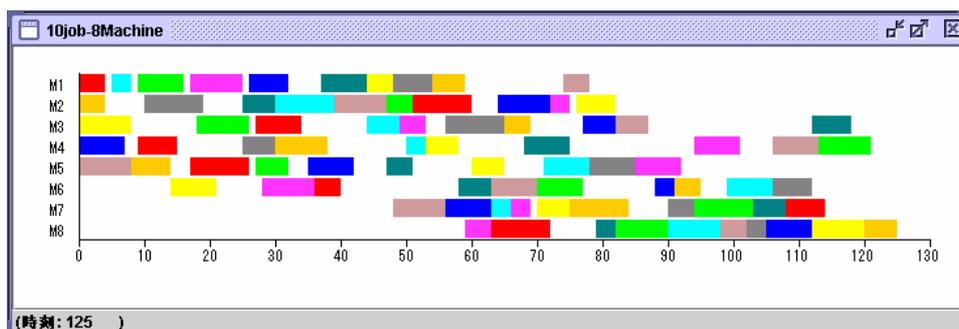


図 4 - 2 1 50 世代のスケジューリング結果 (FIFO)

M1	M4	M3	M5
M6	M8	M7	M2

図 4 - 2 2 得られた評価値の最も高い設備レイアウト

4.4.3 考察

図 4 - 2 0 の適応度の推移を見ると，世代数を踏むことによって与えられた生産計画に合わせて生産効率が高くなるように探索を行っていることがわかる．しかし，初期世代の適応度と打ち切り世代の適応度の差があまりないことも読み取れる．この理由はジョブ毎に技術的順序が異っていることで，工程間の搬送時間よりも次工程までの余裕時間が多い設備の組が多く存在するということが考えられる．また，ジョブの技術的順序を乱数によって決定したために，スケジューリングによる設備レイアウト影響をあまり受けなかったということも考えられる．

しかしながら，世代数を踏むことによって，与えられた生産計画に合わせて生産効率が高くなるように探索を行っている．そして現実的な時間で高い評価値の設備レイアウトを求めることができた．本研究で提案した解法は有効であると考えられる．

4.5 結 言

本章では，設備レイアウトの組合せを総列挙可能な基礎実験と，総列挙不可能なモデルを提案した現実的解法でフローショップとジョブショップの 2 つの実験を行った．次章では本研究の結論を述べる．

第5章 結 論

本研究では、搬送時間を考慮したスケジューリングから得られる結果を利用して、設備レイアウトの評価を行った。また、大規模問題でも解くことが可能な GA を用いた現実的解法を提案した。そして対象モデルで実験を行うためのシミュレータを開発し、計算機でシミュレーションを行った。本研究と開発したシミュレータは以下のような特徴がある。

- ・ 生産設備の配置状態をスケジューリング問題の前提条件として、搬送を考慮することにより、設備の稼働率に注目して設備レイアウトを定量的に評価できるということを示した。
- ・ 搬送を考慮しないスケジューリング結果で、一番稼働率の高いものが、搬送を考慮しても一番良い評価値が得られるとは限らないということ明らかにした。
- ・ 大規模問題において、提案した解法の有効性を確認することができた。
- ・ 今回開発したシミュレータには、スケジューリング結果をテキストファイルに保存しておき、再度ファイル入力で表示可能となっている。また、保存したデータを Excel 等で読み込み、グラフの作成やいろいろな分析が可能となっている。

これによって、より複雑化してくる生産形態に対して、柔軟に生産設備の再構築を行うことができるようになる。

本研究によって、これから益々複雑化してくるであろう製造現場に対して、生産設備の配置決定を支援する解法の新しい形の 1 つを示すことができた。

参考文献

- [1] 黒田充 村松健児 著
生産スケジュールリング 朝倉書店, 2002
- [2] 藤原豊 大崎紘一 著
生産スケジュールリングを考慮した設備配置に関する研究
日本機械学会論文集 (C 編) 63 巻 605 号(1997-1) 論文 No.95-1929
- [3] 圓川隆夫 黒田充 福田好朗 編
生産管理の辞典 朝倉書店, 1999
- [4] 圓川隆夫 伊藤謙治 著
生産マネジメントの手法 朝倉書店, 1996
- [5] 三宮信夫 喜多一 玉置久 岩本貴司 著
遺伝的アルゴリズムと最適化 システム制御情報学会編 朝倉書店, 2001
- [6] 伊庭齊志 著
遺伝的アルゴリズムの基礎 GA の謎を解く オーム社出版, 1994
- [7] Brett Spell 著 アクロバイト監訳
プロフェッショナル JANA[®]コンポーネント, スレッド, イベント処理
インプレス, 2001

謝 辞

本研究全般にご指導くださり，3年間に渡りご教授頂きました福田好朗教授に深く感謝いたします。また，研究の副査を担当して頂きました中村洋一教授に深く感謝致します。また，研究内外で数々のご助言をいただきました先輩，同輩，後輩の諸氏に感謝致します。最後に，大学4年間，そして大学院2年間に渡り，また，新潟県中越地震の被災に遭った時でさえも常に励まして頂き，学生生活を支えてくれた父と母には言葉で表せないほど，深く感謝致します。