
地域企業体による
ネットワーク統合型生産システムの開発

課題番号 15510114

平成15, 16年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))
研究成果報告書

平成17年3月

研究代表者 井山 俊郎
岩手大学工学部教授

は し が き

研究組織

研究代表者 : 井山 俊郎 (岩手大学工学部教授)

交付決定額(配分額)

(金額単位: 千円)

	直接経費	間接経費	合計
平成15年度	1,600	0	1,600
平成16年度	400	0	400
総 計	2,000	0	2,000

研究発表

(1) 学会誌等

・小笠原俊樹, 井山俊郎, 水野雅裕

一括組立金型生産における外注部品選択システムの開発,
2004年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集, pp.47-48(2004年12月4日)

目 次

1. 研究活動報告	1
2. 研究内容	2
2. 1 一括組立金型生産における外注部品選択システムの構築	..	2
2. 2 金型生産工場の統合化生産システムに関する研究	..	54
3. 研究成果	70

1. 研究活動報告

日本の金型産業は、地域に分散し生産設備が不十分な中小企業が中心となっており、受注戦略や生産効率の点から弱い立場にある。したがって、地域金型企業体のようなネットワーク統合型生産システムを構築し、企業群の相互情報に基づいた適切な部品外注方式と金型受注方式を考え、最適な企業間作業分散化による受注量増加と短納期化を目指す必要がある。本研究では、生産設備の有効利用と短納期化を目指し、個別企業が最適な外注部品選択を行う外注部品選択システムおよび共同受注金型を地域企業体に最適配分する金型配分システムを開発した。

本研究の研究内容は、2. に詳細に述べているが、その主な成果は以下のとおりである。

- (1) s 日間の受注金型情報を用いて仮スケジュールを組み、1日毎の外注部品を選択し、1日毎の実スケジュールを確定する外注部品選択システムを開発した点。
- (2) 外注部品選択システムにおける仮スケジュール日数の加工メイクスパンに及ぼす影響を明らかにし、仮スケジュールと実スケジュールに要求されるスケジューリング法を明らかにした点。
- (3) 独立した日程計画を立案可能な各企業のスケジューリングシステムを統合し、共同受注金型を各企業に配分可能な統合生産システムを開発した点。
- (4) 受注金型を各企業へ配分する配分規則が統合生産システムの生産効率に及ぼす影響を明らかにした点。

したがって、これらの研究成果を応用することにより、地域の金型中小企業は、受注金型に対する外注部品選択や共同受注金型を互いに最適配分することで短納期を目指した金型生産が、また、生産金型の受注増が可能となり、企業間競争において有利な立場を持つことが可能となる。

2. 研究内容

2. 1 一括組立金型生産における外注部品選択システムの構築

第1章 研究目的

プレス加工、射出成形などにより製品を製造する場合、金型は重要な工具である。金型は大きく分けて、Die(金属を成型するための金型)、Mold(非金属を成型するための金型)があり、一般に加工工程の異なる多数の部品で構成され、金型ごとにその構成部品は異なる。このため、複数の異なる金型が日々投入される金型生産工場では、金型を構成する各部品の加工に必要な多種多様な工作機械が多数導入され、各部品が異なる作業工程順に、種々の工作機械間を流れる複雑な物流挙動を示す。したがって、金型生産工場で多種多様な受注金型に対し効率的な金型生産を行うには、各金型を構成する各部品、各部品を構成する各工程に対し適切な製造日程計画を立案すること、また、生産設備を有効に利用するため、高機械稼働率を維持する必要がある。さらに、企業間での競争力を高め受注を有利にし、市場構造の変化に柔軟に対応していくため、これまで以上に短納期を目指した生産をしなければならない。しかし、金型は一般に、生産設備が十分備わっていない中小企業を中心となって生産しているため、高機械稼働率を維持しながら、納期を短縮することは困難である。そこで金型の短納期生産を目指すには、各部品の各工程の最適な製造日程計画を立案する以外に、新たな方法が必要となってくる。

短納期を目指した日程計画の立案に関する研究は、様々な手法を用いて数多く行われている。加工作業における各工程の工作機械への割当ては、組立工程の各作業の割当てに比べ、部品の物流挙動が複雑であり、製品の納期に大きく影響する。したがって、加工システムにおける研究は多く行われており、P. PongcharoenaとC. Hicksa (2002) は、多数の部品が多数の組立工程を経て一つの製品となる複雑な製品の生産システムにおいて、遺伝的アルゴリズム (GA) に基づき、実行可能なスケジュールへ修正する修正過程を加えたスケジューリング手法を開発した。そして製品の早期コストと保持コストを最小化する最良のスケジュールを生むGAパラメータの適切なレベルを調査した。また、POOJA DEWAN と SANJAY JOSH (2002) はオークションに基づき、各工作機械がそれぞれ加工する部品を選ぶという分散型意思決定のスケジューリング法を開発し、既知のスケジューリング規則であるSPTやSLACKよりも良い性能を得た。この他にも整数線形計算法 (Integer Linear Programming)、動的計画法 (Dynamic Programming) などを利用したスケジューリング法が開発されている。しかし、これらの研究の大部分はスケジュール対象ジョブを固定した静的な環境下での研究、工作機械の台数や種類が少ない小規模なシステムを対象とした研究、組立を考慮していない研究であり、異なる複数の金型が日々投入される動的な環境下で、組立を考慮した実規模のシス

テムを対象とした研究はほとんど行われていない。また、近年では、TOC (Theory of Constraints) という有効な手法がある。これはサプライチェーンにおける最も能力の低い活動を制約条件とし、その制約条件を改善することでサプライチェーン全体の最適化を図り、製品リードタイムを減らすというものである。この手法はより実践的なものであるが、企業ごとにその導入法は異なり、制約条件の改善に伴い、作業者の意識改革など多くの改善が必要となってくる。

以上のように日程計画法に関する研究は数多く存在し、生産における納期短縮は常に求められている。しかし、中小の工場は自工場だけの生産では十分な生産設備が無い場合、さらに納期短縮を追求する場合には限界があると考えられる。そこで金型部品の一部の加工を外部工場へ委託し、部品加工終了後に自工場へ搬送するという金型部品の外注による納期短縮を考える。外注に出す部品数を変化させることで自工場の作業率（機械稼働率）を一定に維持し、また自工場で処理しきれない部品を外注に出すことで自工場の負担を減らし、金型納期遅れを減少させる、あるいは納期を短縮できれば、外注は有効な手段であると言える。金型生産においては、一部の金型部品の加工遅れや大きなメイクスパンが金型のメイクスパンに大きな影響を及ぼす。従って、生産上ネックとなる部品を選択し外注に出すことで、さらにその有効性は増すと考えられる。しかし、外注を利用した日程計画法の研究は、現在、ほとんど行われていない。

外注の利用においては、どの部品を外注部品として選択し、外注に出すかが問題となる。現在、各金型企業では一般に山積み法を用いて外注部品を選択しており、外注部品選択当日の投入金型情報を用いて外注部品を選択し外注に出している。しかし、実際にスケジュールを組む場合、各部品の工作機械への割当てには各部品が相互に複雑に影響し合うため、生産上ネックとなる部品を選択するには投入金型情報の利用のみでは不十分である。そこで未来スケジュール情報を用いる方法、すなわち仮スケジュールを組み、その情報を基に外注部品選択優先規則により外注部品を決定するという外注部品選択法を新たに考案する。この方法では、外注候補となる金型部品を明らかにする仮スケジュールリング法とその外注候補金型部品から外注部品を選択する外注部品選択優先規則に依存して選択される外注部品が変化し、外注部品選択後のスケジュール結果が変化するので、適切な仮スケジュールリング法と外注部品選択優先規則を考える必要がある。

本研究では、外注工場を利用することで中小企業の金型生産における納期の短縮と納期遅れ減少を目指す。はじめに、モールド金型工場で生産される一括組立金型を対象として、異なる複数個の金型が日々投入される動的な環境下で、生産上ネックとなる部品を的確に外注部品として選択し、自工場の部品加工に対する日程計画を立案する外注部品選択システムを提案する。次に、外注部品選択システムで用いられる種々の外注部品選択法（仮スケジュールリング法と外注部品選択優先規則）を考案し、金型加工メイクスパンを短縮し、金型納期遅れを減少させる最適な外注部品選択法

を明らかにする。

第2章 金型生産システムと一括組立金型

2-1 金型生産工場システム概要

本研究で対象とする金型工場の生産システムを Fig.2-1 に示す。生産システムは部品加工を行う加工サブシステムと金型組立を行う組立サブシステムで構成される。このとき、一般に加工サブシステムは M 種 N_i ($i=1,2,\dots,M$) 台の工作機械と各工作機械に付属した容量 C の2種類のバッファ、すなわち、入力バッファ BI_{ij} ($j=1,2,\dots,N_i$) と出力バッファ BO_{ij} で構成され、それぞれの異なる工作機械がネットワーク型に配置されている。組立サブシステムは N 台の組立工作機械と各組立工作機械に付属した容量 C の入力バッファ BI_j ($j=1,2,\dots,N$) で構成される。

入力バッファは作業待ちの部品を一時保管し、出力バッファは搬送待ちの部品を一時保管する。ただし、搬送待ちの後続の工程作業を行う工作機械の入力バッファが仕掛かり部品でふさがっている場合に発生する。

加工サブシステムの各工作機械に素材が投入され、工作機械で加工される。このとき、各部品は、複数の異なる作業工程を持つので、最終工程まで複数の工作機械で加工を繰り返す。加工終了した部品は、次に組立サブシステムの組立工作機械へと搬送され、同一金型部品がすべて揃い次第、金型として組み立てられ完成品として出力される。

このとき、一般に、組立サブシステムに比べ、加工サブシステムにおける部品物流挙動は複雑であり、部品加工において、大きな遅れが発生する、あるいは加工メイクスパンが増加する。したがって、本研究では、部品の加工に対する部品単位の外注のみを考える。

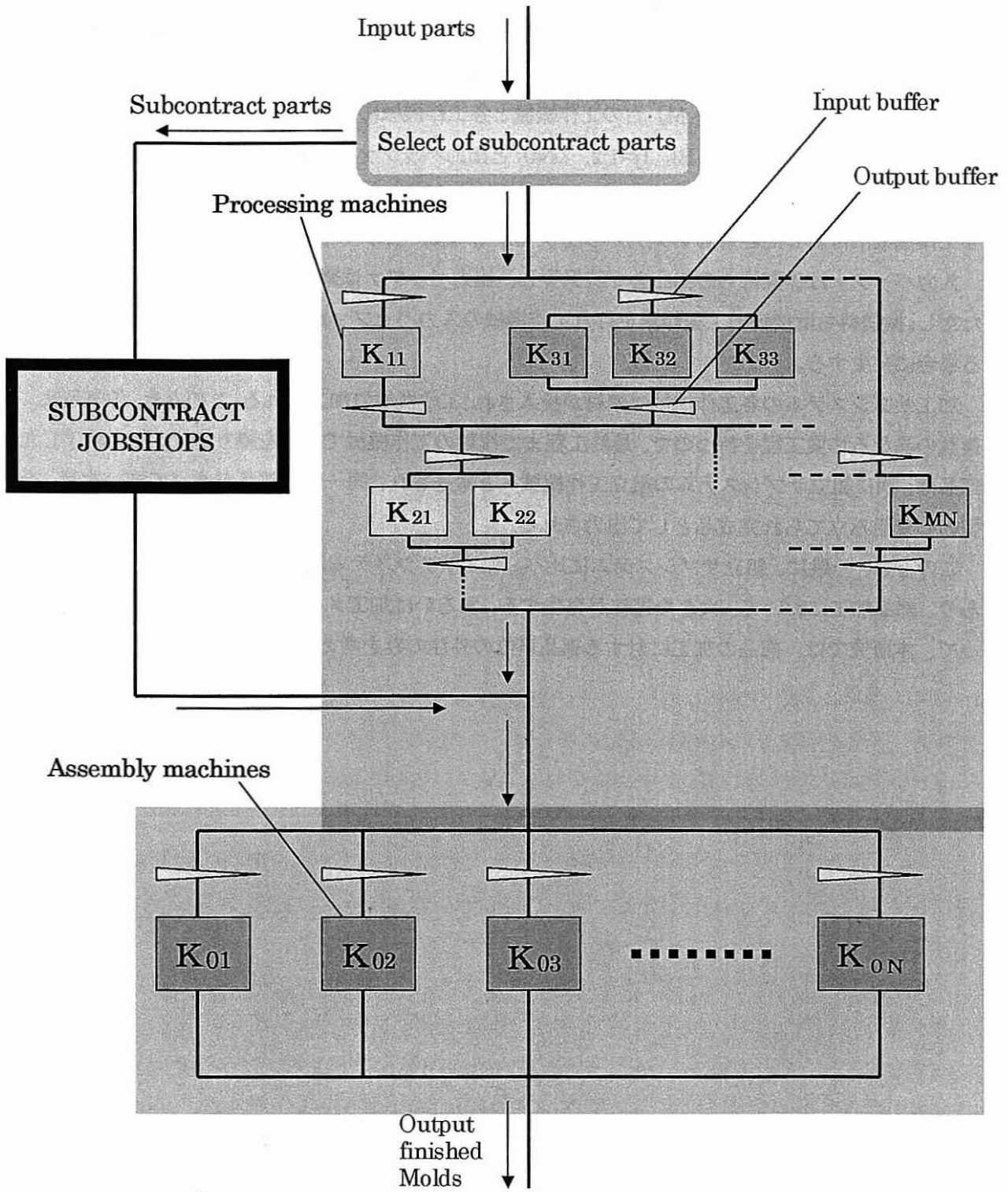


Fig.2-1 System model

2-2 一括組立金型

本研究で対象とする一括組立金型生産の日程計画モデルの例をFig. 2-2に示す。Fig. 2-2は生産の遅れがない場合の一つのモデルである。部品を投入してから金型が完成するまでの時間を金型メイクスパンと定義する。一括組立金型生産では、金型を構成するすべての部品がそろい次第、組立を開始するので、1つの金型を構成する全部品の部品加工納期が等しくなり、金型を構成する部品の中で最も部品加工リードタイムが長い部品の部品加工リードタイムがその金型の加工クリティカルパスとなる。したがって、もしある部品が部品加工納期に遅れた場合場合、その他の部品は組立作業を開始できず、遅れ部品の加工終了まで待たなければならない。

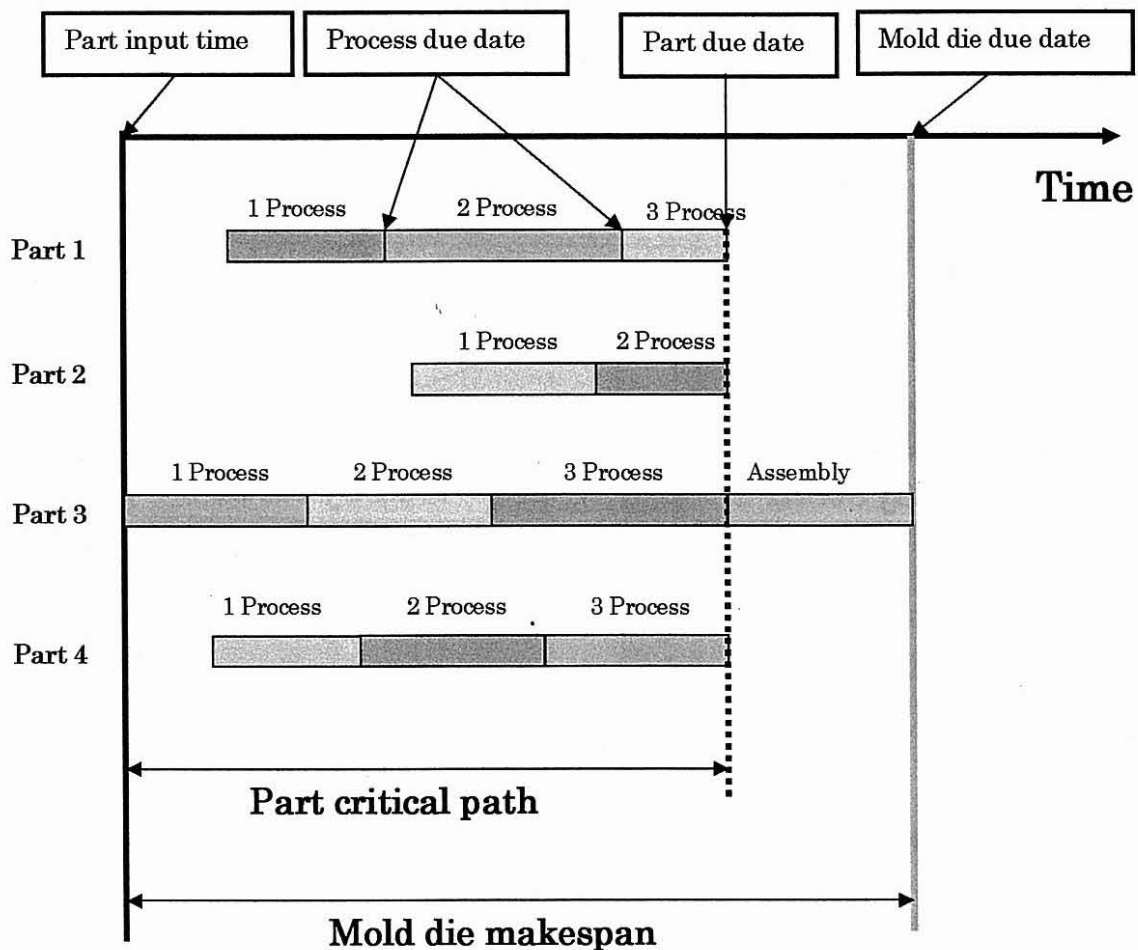


Fig.2-2 Mold die production plan

第3章 外注部品選択システム

本研究では高機械稼働率と短納期を維持しながら納期遅れを最小化するために外注の利用を考えている。外注工場の利用とは、自工場で処理しきれない部品などを外部工場などに加工依頼することにより、自工場の負担を減らすものである。現在でも外注を利用し生産している企業は数多く存在する。ここで、どの部品を外注部品として選択し、外注に出すかが問題となるが、一般に、金型企業は山積み法という外注部品選択法を用いて、当日投入される金型部品の中から部品工程納期の早い順に外注部品を選択している。しかし、この外注部品選択法では外注部品として選択した部品が、実際に自工場で加工した場合に生産の遅れを引き起こすネックとなる部品かが明らかでない。そこで、適切な外注部品を選択し、自工場での加工スケジュールを確定する仮スケジュール情報をもとにした外注部品選択システムを提案する。外注部品選択システムは、外注部品を選択し外注するサブシステム1と、自工場で生産する残りの部品に対して部品加工スケジュールを確定するサブシステム2で構成される。このとき、サブシステム1では仮加工スケジュールリングを行い、外注候補部品を特定し、外注部品選択優先規則を用いて外注部品を選択し外注を行う。また、サブシステム2では外注に出さない部品に対し実加工スケジュールを立案し確定する。

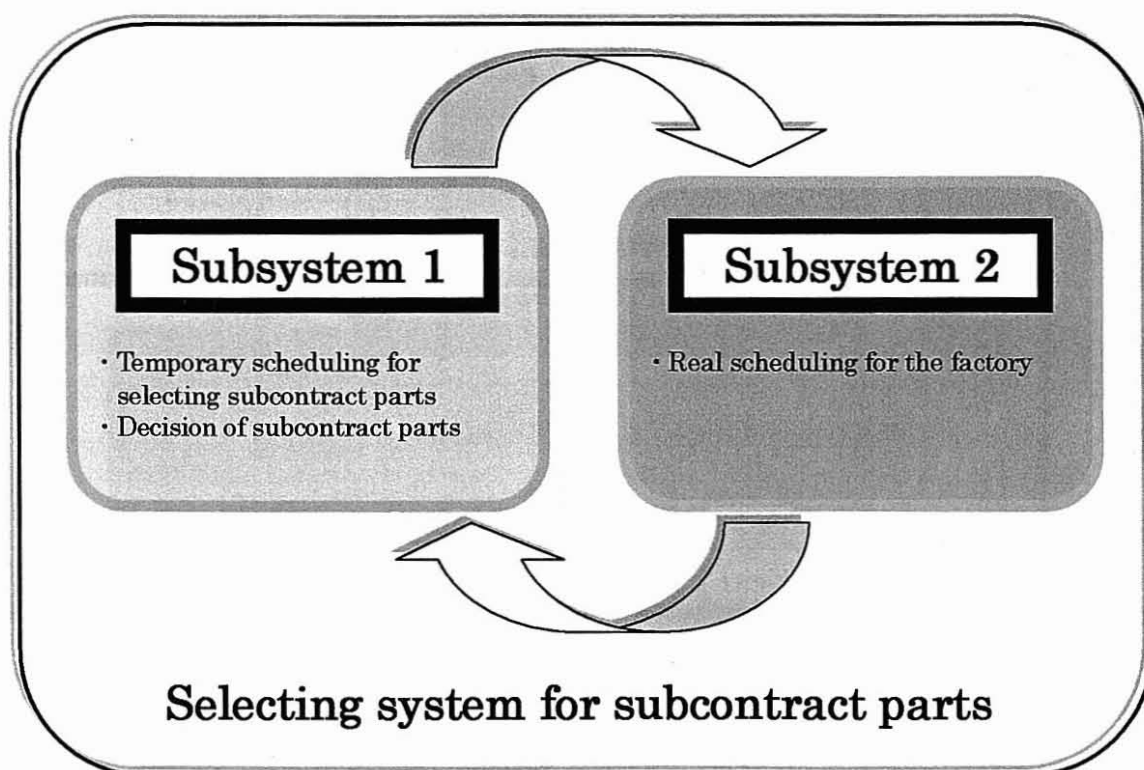


Fig.3-1 Selecting system for subcontract parts

3-1 サブシステム1 (外注部品選択法)

本研究で提案するサブシステム1では未来のスケジュール情報を用いて外注部品を選択するが、比較のため、現在用いられている山積み法を用いて外注部品を選択する方法も同様に考える。山積み法については3-1-2で説明する。

3-1-1 スケジュール情報を用いた外注部品選択法

未来のスケジュール情報を用いた外注部品選択法とは、現在からある期間先までの部品加工スケジュールを仮に組み、その部品加工スケジュールの結果から生産の遅れを引き起こすネックとなる部品を特定し外注部品選択する方法である。ただし、部品加工スケジュールの確定はサブシステム1では行わず、サブシステム1において外注選択部品を外注に出した後、サブシステム2において行う。外注部品選択の為に組んだ部品加工スケジュールを仮スケジュールと呼び、外注部品選択後に外注部品を除いた残り部品でスケジュールを組み確定した部品加工スケジュールを実スケジュールと呼ぶ。なお、仮・実スケジュールにおいてはダイナミックな環境下でのスケジューリングが必要なため、ディスパッチングルールを用いたヒューリスティックな方法で、各部品を工作機械へ割当てする。仮スケジュールリングで用いるディスパッチングルールを仮スケジュールリング法、実スケジュールリングで用いるディスパッチングルールを実スケジュールリング法とし、3-1-1-1、3-2においてそれぞれ説明する。仮スケジュールを組む期間を外注部品選択当日から T_2 日間とし、投入金型情報が既知な期間を外注部品選択当日から S 日間と仮定する。

外注部品選択対象となる部品は、実加工スケジュールを決定する期間 $T_1=1$ 日間に投入された金型部品、すなわち外注部品選択日当日に投入された金型部品であり、外注部品選択対象部品を含む S 日間の投入金型情報を基に T_2 日間の仮スケジュールを組む ($S \leq T_2$)。ただし、仮スケジュール期間の後半 $T_2 - S$ 日間は投入金型情報は未知である。その後、 T_2 日間の仮スケジュール結果から外注部品選択優先規則により外注部品を選択する。外注部品選択優先規則については 3-1-1-2 において説明する。外注部品選択は、毎朝 9:00 (当日の金型が投入された直後) に行う。

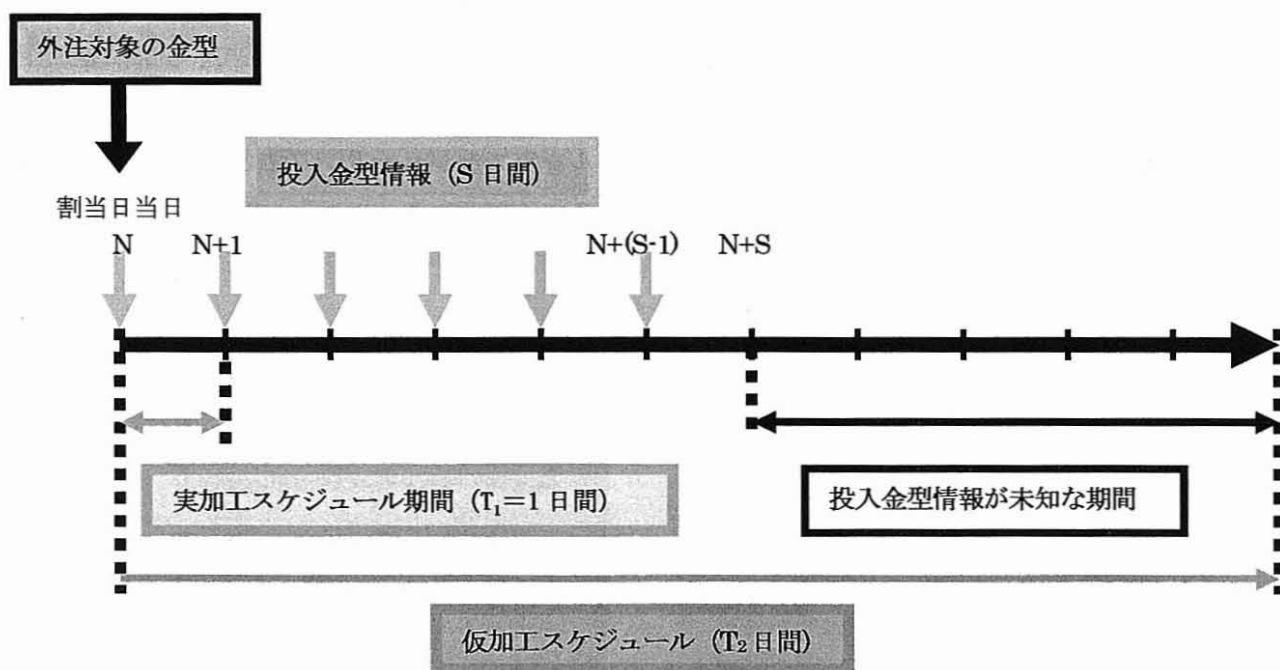


Fig.3-2 Case of using scheduling information

ここでFig.2-2と同様の表記法を用いて、Fig.3-3に日数が経過した場合の金型生産システムの例を示し、各部品の各工作機械への割当てについて説明する。日々異なる複数の金型が投入され、1日ごとに投入される金型の各工程をディスパッチングルールによって各加工機械に割り当て、1日ごとに確定する。また1日で加工完了できなかった金型部品や次の日に投入される金型部品の工程は、加工機械に前日までに割り当てられている工程があった場合、その工程の加工終了時刻以降に割り当てられる。

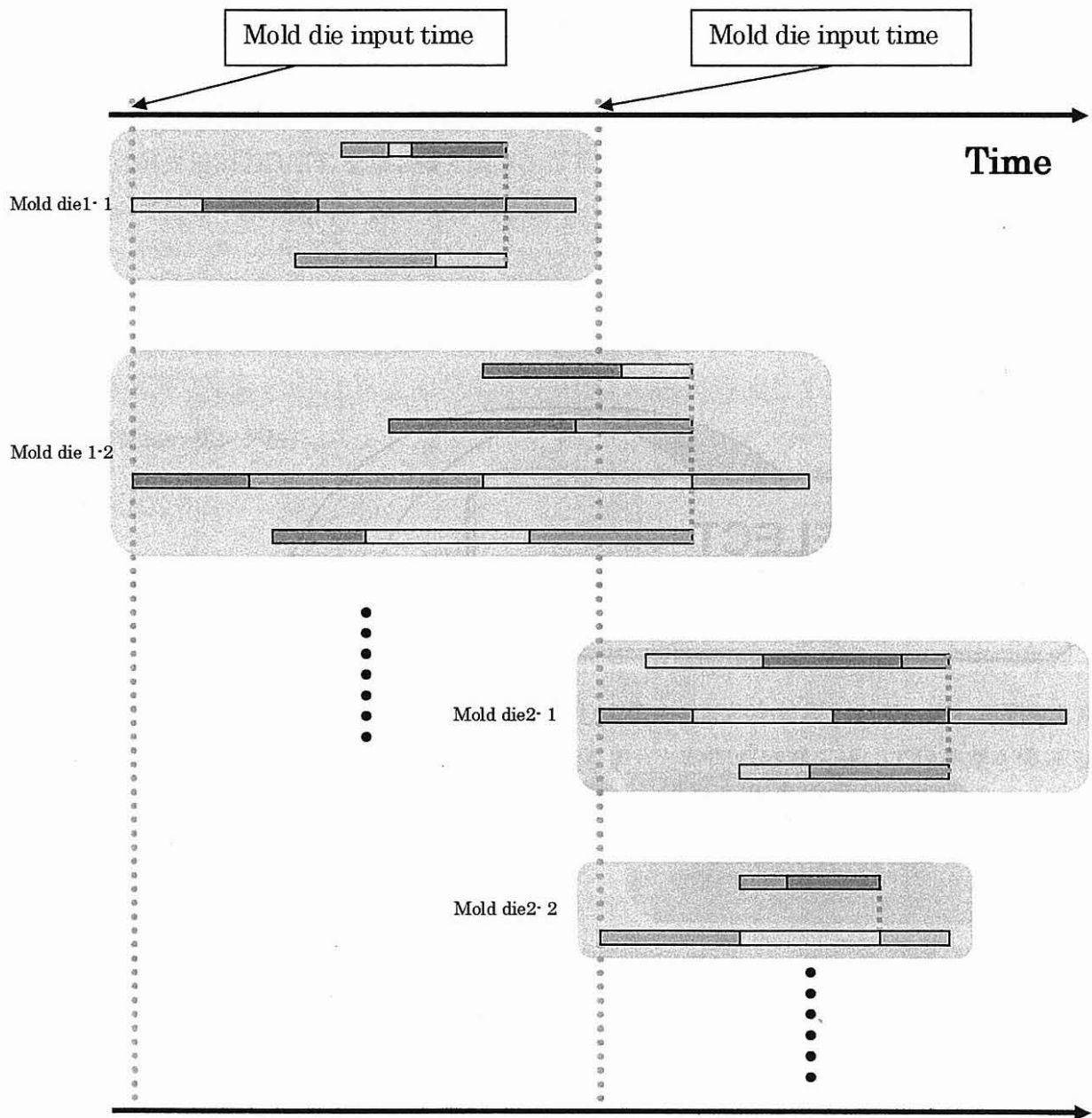


Fig.3-3 Mold die production model

3-1-1-1 仮スケジューリング法について

加工システムを対象としてこれまで数多くのスケジューリング法が提案されている。しかし、本研究で対象とするシステムはダイナミックな環境下で稼働し、実規模の大きさのシステムを対象としている。したがって、解析的な手法を用いたスケジューリング法は計算機的能力や計算時間の問題から実現困難と考えられるので、ディスパッチングルールを用いたヒューリスティックな方法を用いる。ディスパッチングルールとは、機械に割り当て可能なジョブが複数個存在する場合、すなわち待ち行列が発生している場合にジョブに優先順位を与えて機械に割り当てる規則である。

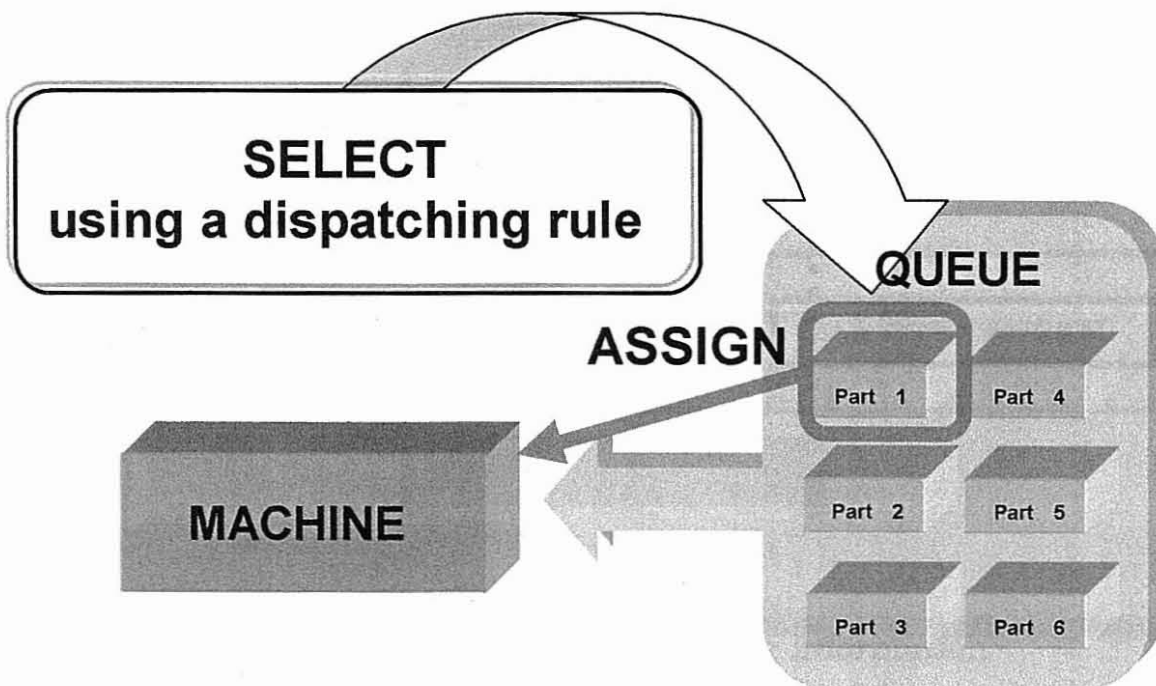


Fig.3-4 Assign parts to machine

金型生産システムでは、複数の金型がスケジュール対象となるが各金型は複数の異なる部品を持ち、各部品は複数の異なる加工工程を持つので、スケジューリングでは、各機械にどの金型どの部品どの工程を割り当てるかが問題となる。したがって、金型単位、部品単位、工程単位の割当スケジュールが立案可能である。しかし、一括組立の金型生産では、1つの金型の全部品の加工納期が等しく金型組立納期となるため、各部品の加工納期をディスパッチングルールの優先規則として用いると、金型単位の優先規則と等しくなる。また、その他の優先規則（余裕時間など）は、各部品の加工が進行するにつれ優先値が変化するので、工程単位の優先規則となる。したがって、本研究では以下のような金型単位と工程単位の優先規則を考える。

ただし、金型単位の優先規則 MO1 では工程単位の優先規則 DDATE21 を、優先規則 MO では工程単位の優先規則 DDATE を第2優先規則としてそれぞれ用いる。各スケジューリング規則の詳細については3-3で説明する。

[仮スケジューリング法]

工程単位

- SPT : 工程作業時間の短い順に割り当てる。
- SLACK : 工程余裕時間が少ない順に割り当てる。
- DDATE : 工程納期の早い順に割り当てる。
- DDATE21 : 工程納期遅れを起こした部品を含む金型の全部品を対象として、遅れが発生した後割り当てられる全部品の後工程の工程納期を遅れた時間だけ遅らせ、工程納期を修正し、その修正した工程納期の早い順に割り当てる。
- DDATE13 : 工程納期遅れ時間の少ない順に割り当てる。

金型単位

- MO : 部品加工納期の早い順に割り当てる。
- MO1 : DDATE21 で定められた修正部品加工納期の早い順に割り当てる。

3-1-1-2 外注部品選択優先規則について

仮スケジュールを組んだ後に、そのスケジュール結果をもとに外注候補部品を特定し、外注部品選択優先規則により外注部品を選択する。本研究では、以下の外注部品選択優先規則を用いる。3-1-1で説明したように、外注部品選択対象となる部品は、外注部品選択当日に投入された金型部品である。外注部品選択優先規則としては、部品加工納期や部品加工納期遅れ時間などの金型部品自身の情報を用いて選択する規則を考案する。

(1) 部品自身の情報を考慮した外注部品選択優先規則

部品加工納期や部品加工納期遅れ時間のような金型部品自身の情報や、自身に結果として発生した情報をもとに外注部品選択する優先規則を考案するにあたり、以下のように金型部品ごとに選び出す部品単位規則と、金型ごとに選び出す金型単位規則を考え、それぞれ部品加工納期と部品加工納期遅れ時間を用いた優先規則とする。また、金型単位規則では、同一金型において遅れが発生している部品数を考慮する。これら各部品単位規則と各金型単位規則の外注部品選択優先規則を以下に示す。

なお、本研究では一括組立金型生産を想定しており、同一金型部品の部品加工納期は同じになるので、部品単位の外注部品選択優先規則Rule1は金型単位の外注部品選択規則として考えることもできる。

[外注部品選択優先規則]

加工納期遅れを起こした部品から、

部品単位

Rule1 : 部品加工納期の早い順に選択

Rule2 : 部品加工納期遅れ時間の大きい順に選択

金型単位

Rule3 : 遅れ部品数の少ない金型から、部品加工納期の早い順に選択

Rule4 : 遅れ部品数の少ない金型から、部品加工納期遅れ時間の大きい順に選択

Rule41 : 遅れ部品数の多い金型から、部品加工納期遅れ時間の大きい順に選択

3-1-2 スケジューリング情報を用いない外注部品選択法（山積み法）

一般に外注を利用した金型工場では、スケジューリング情報を使用しない山積み法を用いた外注部品選択法で外注部品を選択し外注に出している。

山積み法では、外注部品選択時まで投入された全金型の総作業量から外注部品として選択された部品の総作業量を減じた各機械の総作業量から各機械の累積予定機械稼働率を求め、この累積予定機械稼働率の高い機械を利用する部品を外注候補部品として外注部品を選択する。山積み法を Rule5 とする。ただし、外注部品を選択したらその都度、各機械の累積予定機械稼働率を修正する。選択した後に外注し、サブシステム 2 において、 T_1 日間の部品加工スケジュールを確定する。また、山積み法では、累積予定機械稼働率の高い機械を利用する部品から以下の Rule5 にしたがって、外注部品を選択する。

Rule5 : 工程納期の早い順に選択

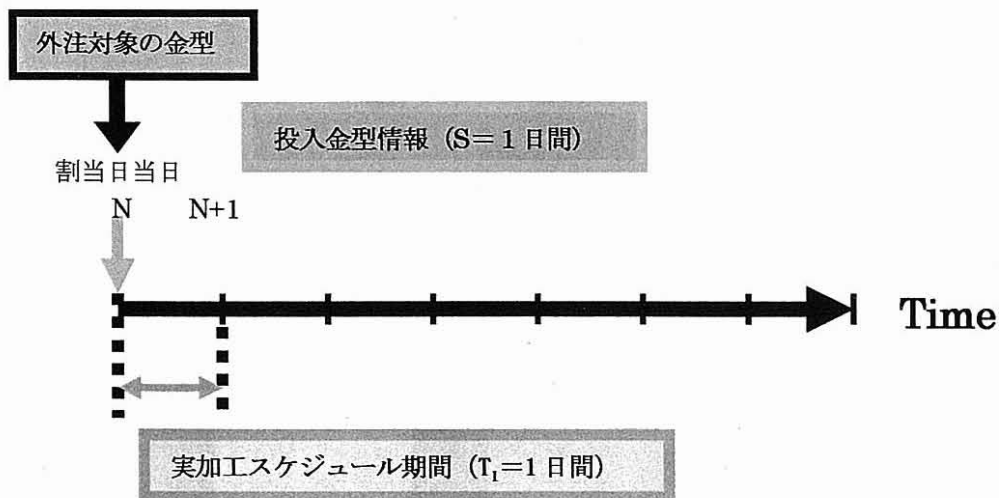


Fig.3-8 Case of no scheduling information

3-1-3 外注部品量の決定

スケジューリング情報を用いた規則とスケジューリング情報を用いない規則のどちらの場合も以下の手順で外注に出す部品量を決定する。まず、3-1-1、3-1-2 でそれぞれ外注候補部品を特定した後、各機械の累積予定機械稼働率から全機械の平均累積予定機械稼働率を求め、平均累積予定機械稼働率が設定機械稼働率に達するまで外注部品を選択し外注を行う。ただし、外注として選択する部品がなくなった時点で外注を終了する。ここで、累積予定稼働率とは、前日までに投入された金型部品の総作業量と割当当日に投入された金型部品の総作業量を加えた累積総作業量から外注部品総作業量を減じた金型部品累積総作業量を用いた次式で与えられる。また、設定機械稼働率とは、外注部品として選択する部品量を決定するために工場管理者があらかじめ設定する機械稼働率である。

$$\text{累積予定機械稼働率} = \text{金型部品累積総作業量} / \text{機械の稼働可能総時間}$$

なお、外注に出された部品は、その部品の部品納期どおりに、加工完了された状態で戻るものと仮定する。

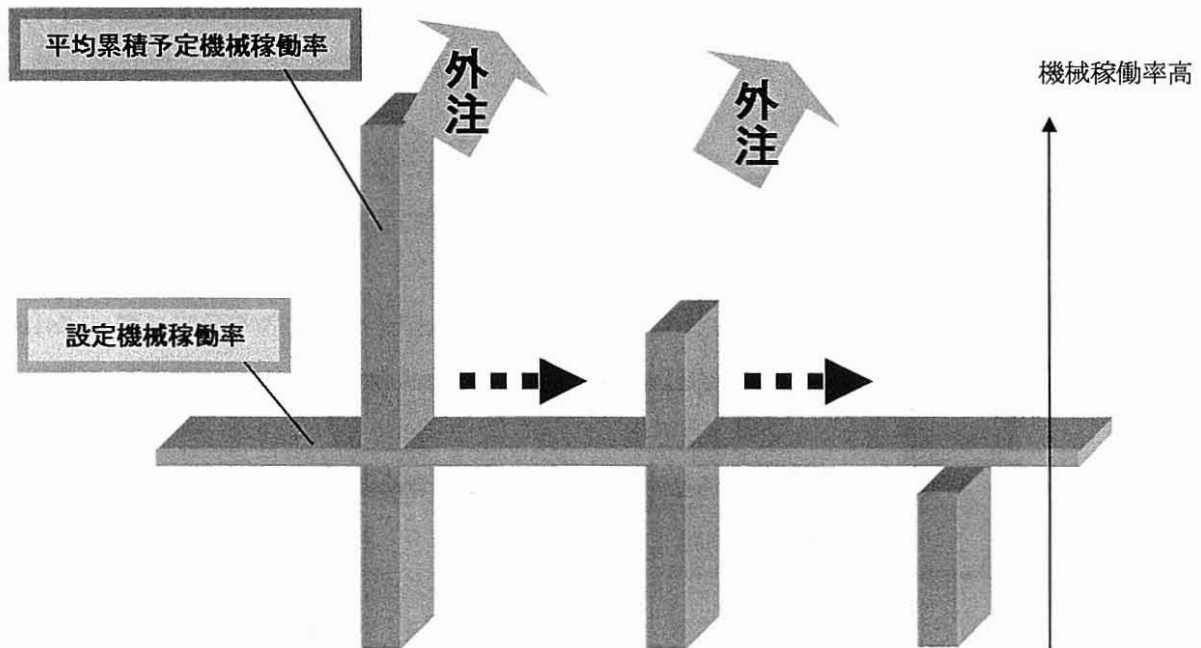


Fig.3-9 Subcontract model

3-2. サブシステム2 (部品加工スケジュール確定)

サブシステム 2 では、外注後の残りの金型部品に対し加工スケジュールを確定する。過去と外注部品選択当日の投入金型情報及び、外注部品情報をもとに、ディスパッチングルールにより各部品の各工程を工作機械に割当て、 $T_1=1$ 日の部品加工スケジュールを確定する。確定した部品加工スケジュールを実スケジュールといい、この際、割当てに用いたディスパッチングルールを実スケジュールリング法とする。実スケジュールリング法にはこれまでの解析から最短メイクスパンを与えると考えられる MO1 を用い、第 2 優先規則は DDATE21 を使用する。

[実スケジュールリング法]

金型単位

- ・ MO1 : DDATE21 で定められた修正金型組立納期の早い順に割り当てる。

[スケジュール情報を用いた外注部品選択の場合]

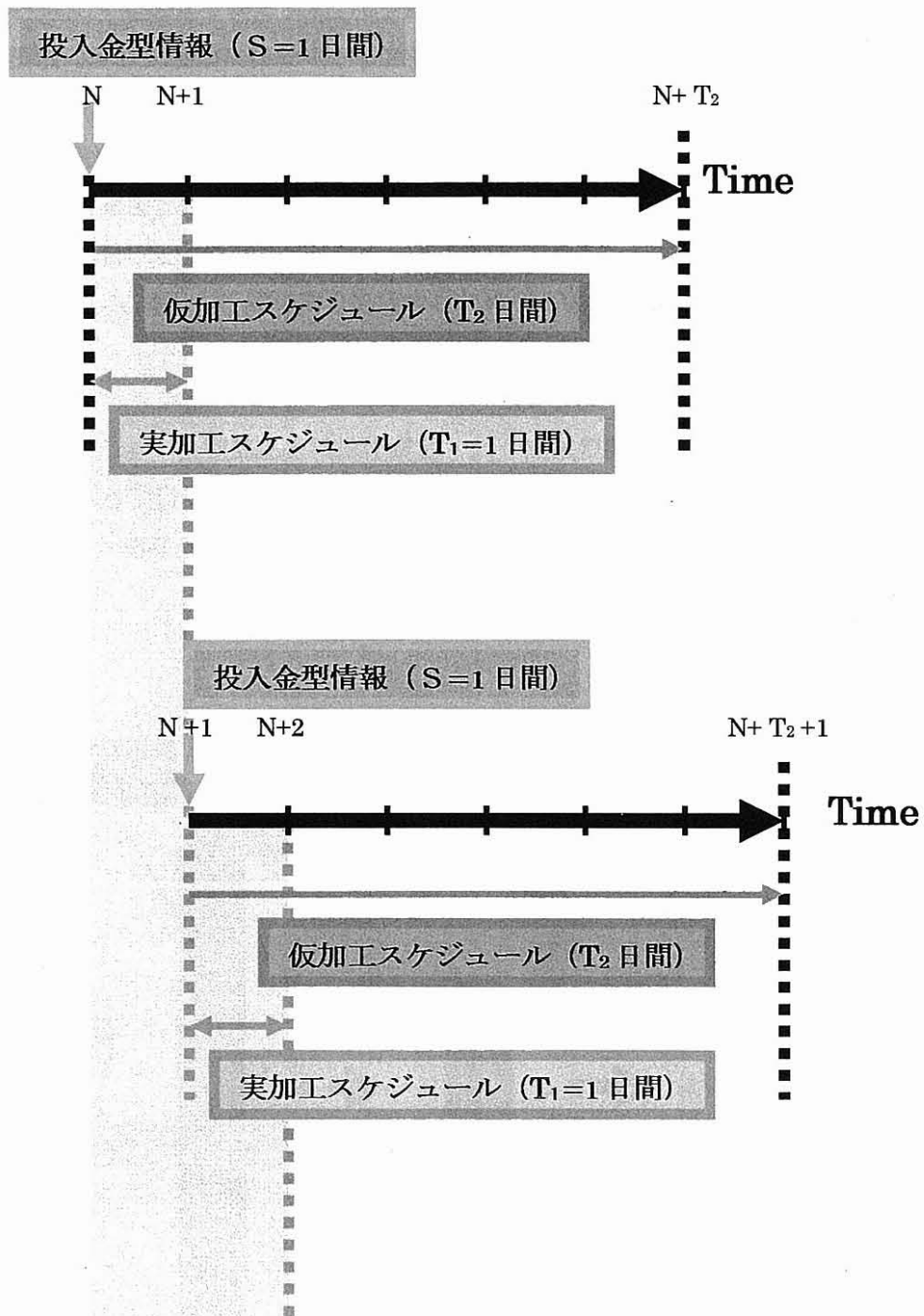


Fig.3-10 Case of using scheduling information(S=1)

[スケジュール情報を用いない外注部品選択の場合 (山積み法)]

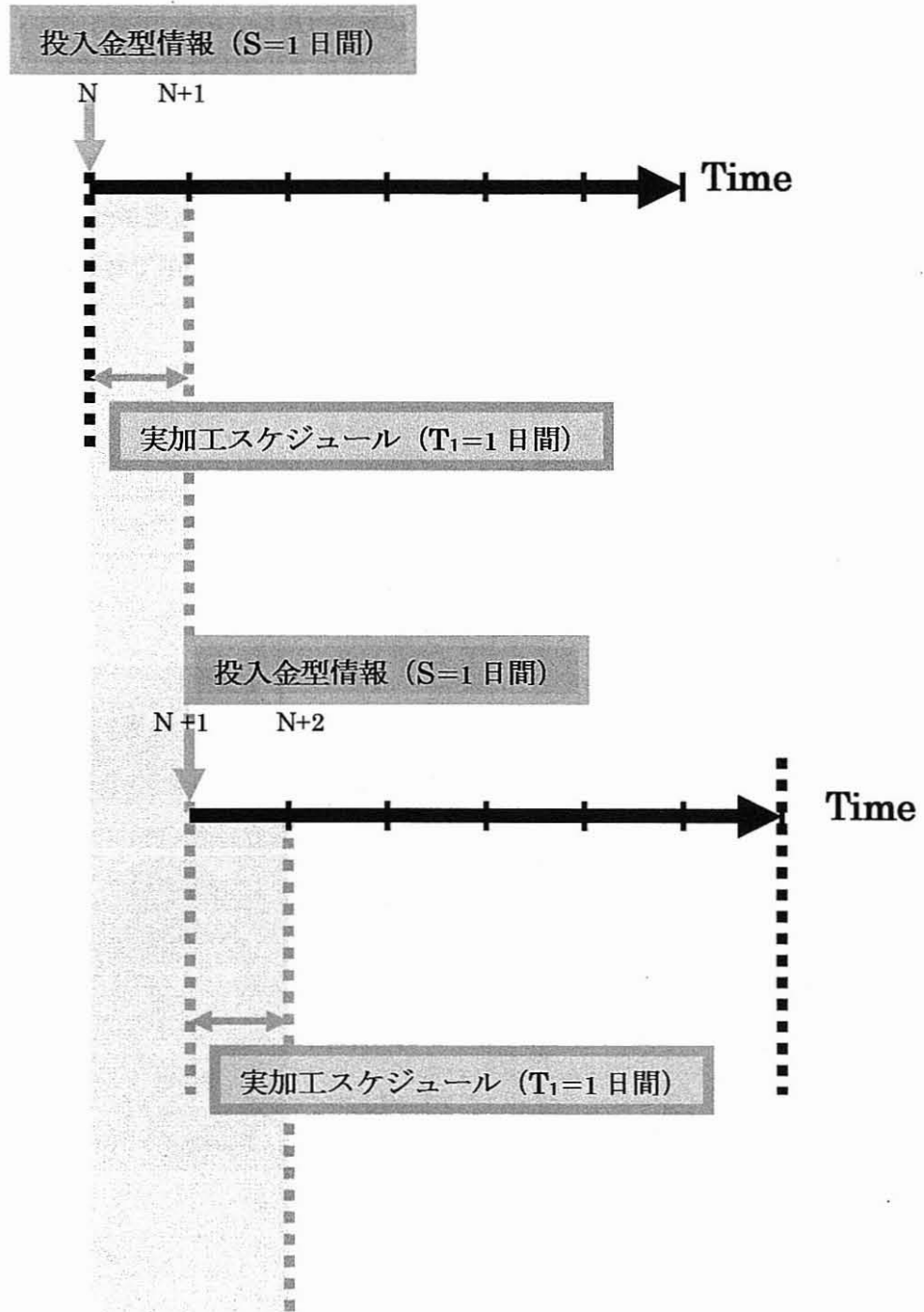


Fig.3-11 Case of no scheduling information(S=1)

3-3 ディスパッチングルール

3-3-1 SPT (Shortest Processing Time)

この規則は、スケジュール対象となる工作機械での処理を待つ金型の全部品に対し「工程作業時間」の短い順に優先順位を与える規則である。Fig.3-12に、ある工程割り当て時の待ち行列の例を示す。この場合、例えば部品3→部品2→部品1の順に工作機械に割り当てると、部品2の待ち時間は30分、工程1の待ち時間は50分であり、トータル待ち時間は80分となる。一方、SPTにより割り当てると、部品1→部品2→部品3の順に割り当てられ、部品2の待ち時間は10分、部品1の待ち時間は30分であり、トータル待ち時間は40分となる。したがって、SPTは総待ち時間を減らし、短い時間で加工できる部品を早く、多く完成させる規則である。

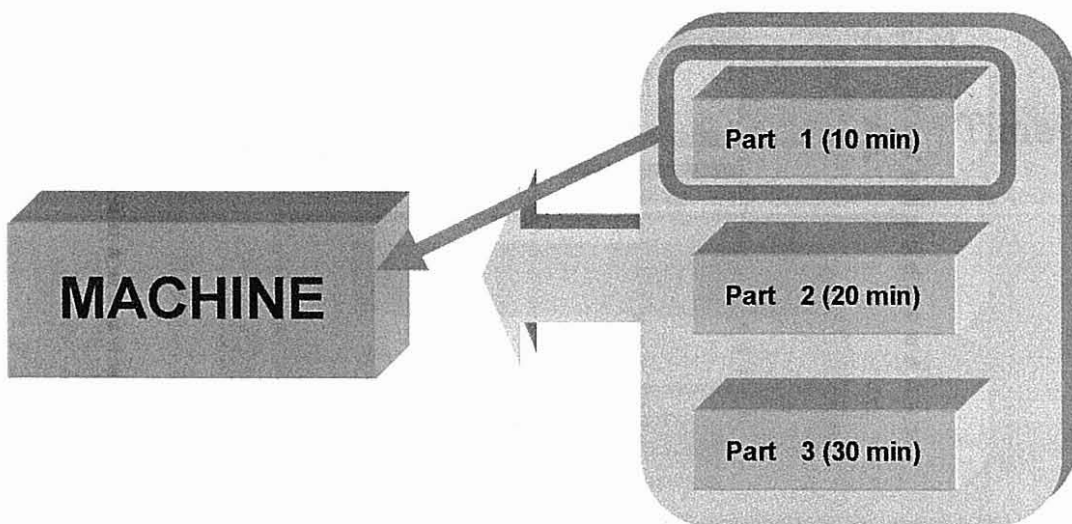


Fig.3-12 Shortest Processing Time

3-3-2 SLACK

この規則は、待ち行列を構成している全部品に対して、部品納期から残り加工時間を差し引いた〔余裕時間(SLACK)〕が少ない部品に高い優先順位を与え、工作機械に割り当てる規則である。Fig.3-13において、現在部品1, 2, 3共に青色で示してある工程の直前の工程まで加工が終了しており、どの部品も工作機械Aで加工待ちしているものとする。この時、SLACKにより各部品を工作機械に割り当てると、加工順序は部品2→部品3→部品1となる。部品加工納期と残り加工時間を考慮し、工程納期遅れを少なくする事を目的とした規則である。

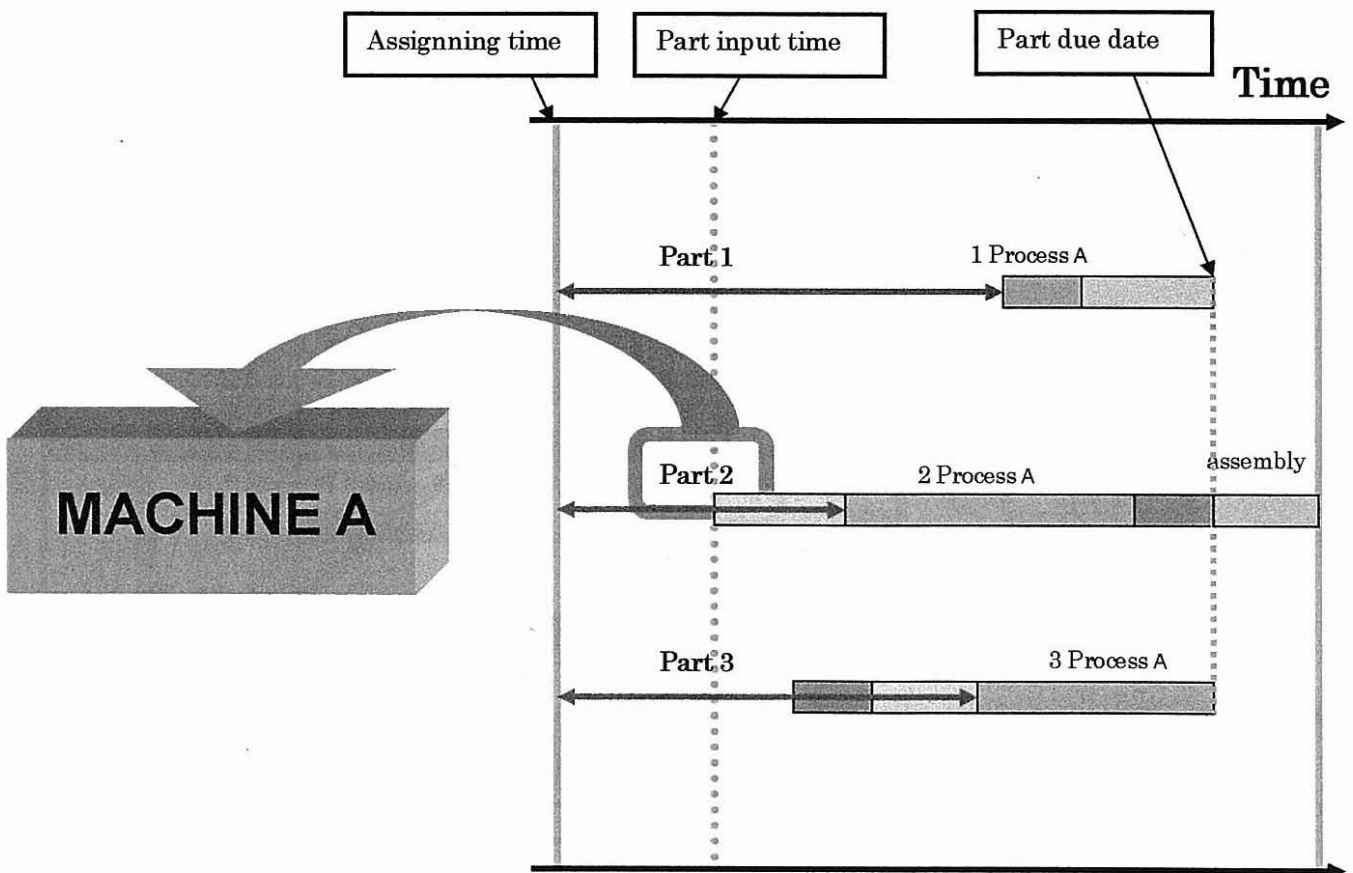


Fig.3-13 SLACK

3-3-3 DDATE

この規則は、待ち行列を構成している全部品に対して、[工程の納期]の早い工程順に高い優先順位を与え、工作機械に割り当てる規則である。Fig.3-14において、現在部品1, 2, 3共に青色で示してある工程の直前の工程まで加工が終了しており、どの部品も工作機械Aで加工待ちしているものとする。この時、DDATEにより各部品を工作機械に割り当てると、加工順序は部品1→部品2→部品3となる。工程納期のみを考慮し、工程納期遅れを少なくする事を目的とした規則である。

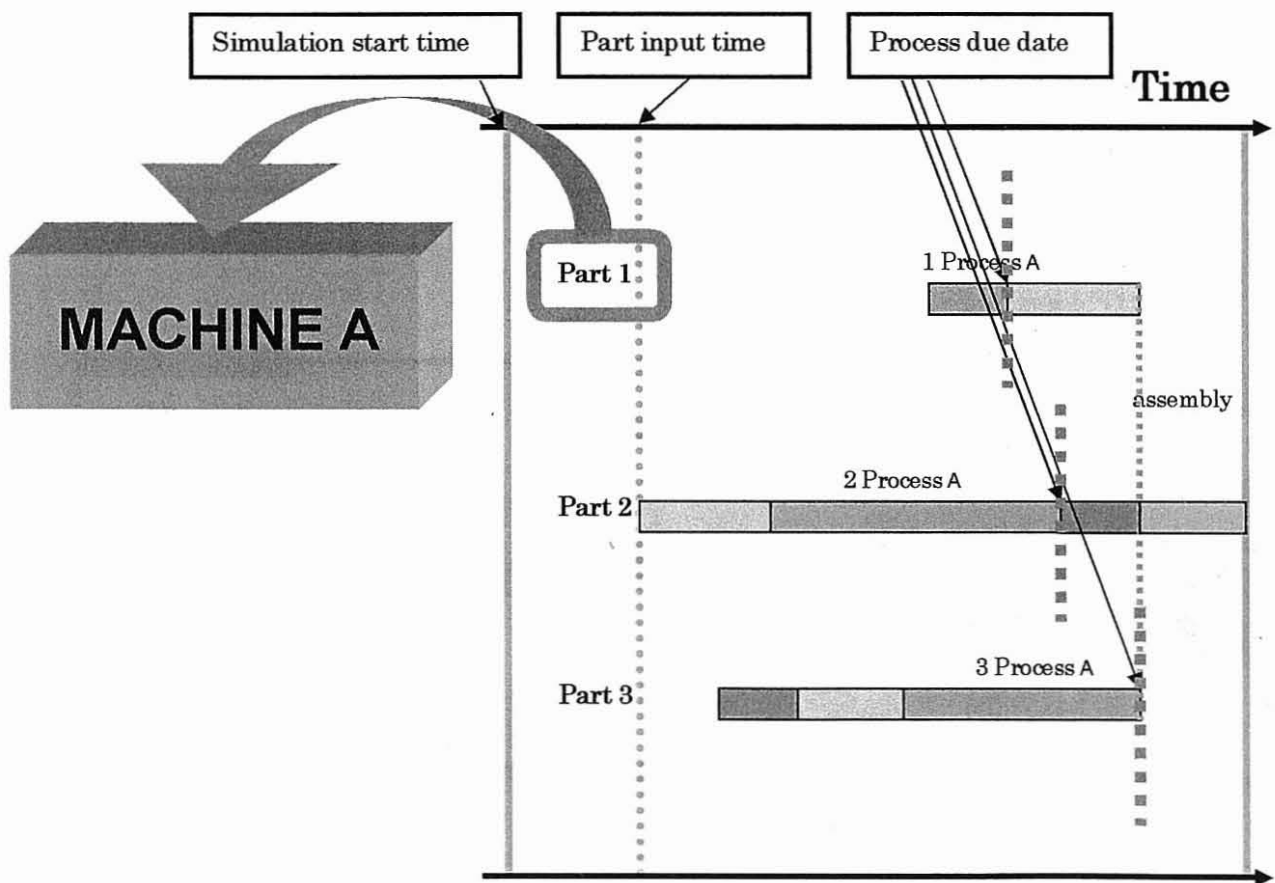


Fig.3-14 DDATE

3-3-4 DDATE21

この規則は、待ち行列を構成している全部品に対して、〔修正工程納期〕を用いて、その修正工程納期の早い部品順に高い優先順位を与え、工作機械に割り当てる規則である。修正工程納期は以下のように定義する。Fig.3-15において、現在、同一金型部品1,2,3,4共に青色で示してある工程の直前の工程まで加工が終了しており、どの部品も工作機械Aで加工待ちしているものとする。そして部品4の遅れのために部品1と2の工程納期は修正されている。この時、DDATE21により各部品を工作機械に割り当てると、加工順序は部品4→部品3→部品2→部品1となる。同じ金型内での全部品の工程終了時刻のばらつきを少なくする事を目的とした規則である。

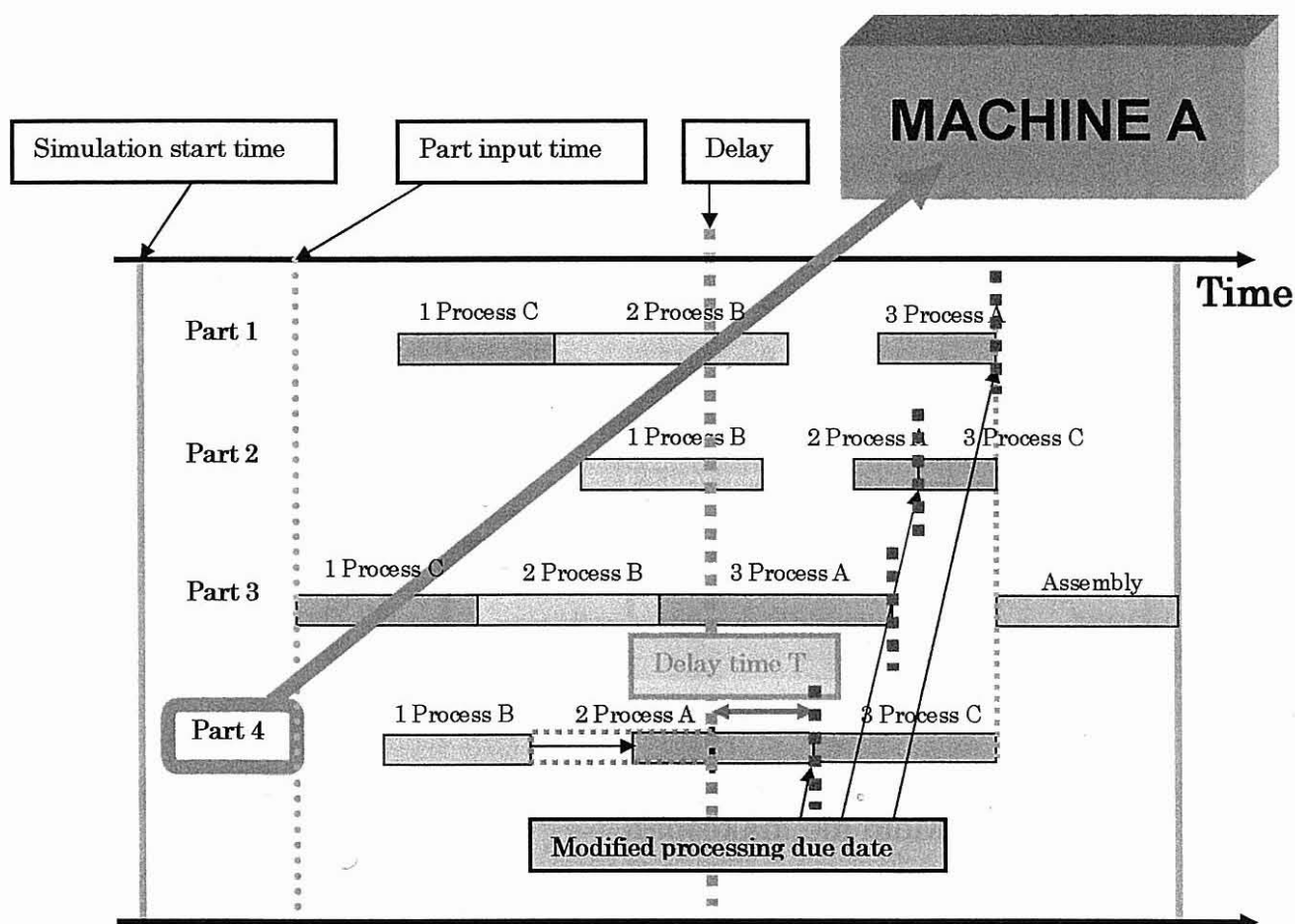


Fig.3-15 DDATE21

3-3-4-1 修正納期について

金型に遅れが発生した場合の金型生産モデルをFig.3-16に示す。ここで部品4の第2工程で遅れ(遅れ時間T)が発生したと仮定すると、それ以降に割り当てる作業すべてに遅れが発生するので金型納期も遅れ時間Tだけ遅れることになる。この時Fig.2-2の工程納期、部品加工納期、金型納期それぞれに遅れ時間Tを足したものを、それぞれの各修正工程納期、修正部品加工納期、修正金型納期と定義する。ただし、この処理は納期遅れ発生時刻以降に処理される作業に対してのみ行う。各修正工程納期、修正部品加工納期はスケジューリング規則DDATE21、M01において用いる。

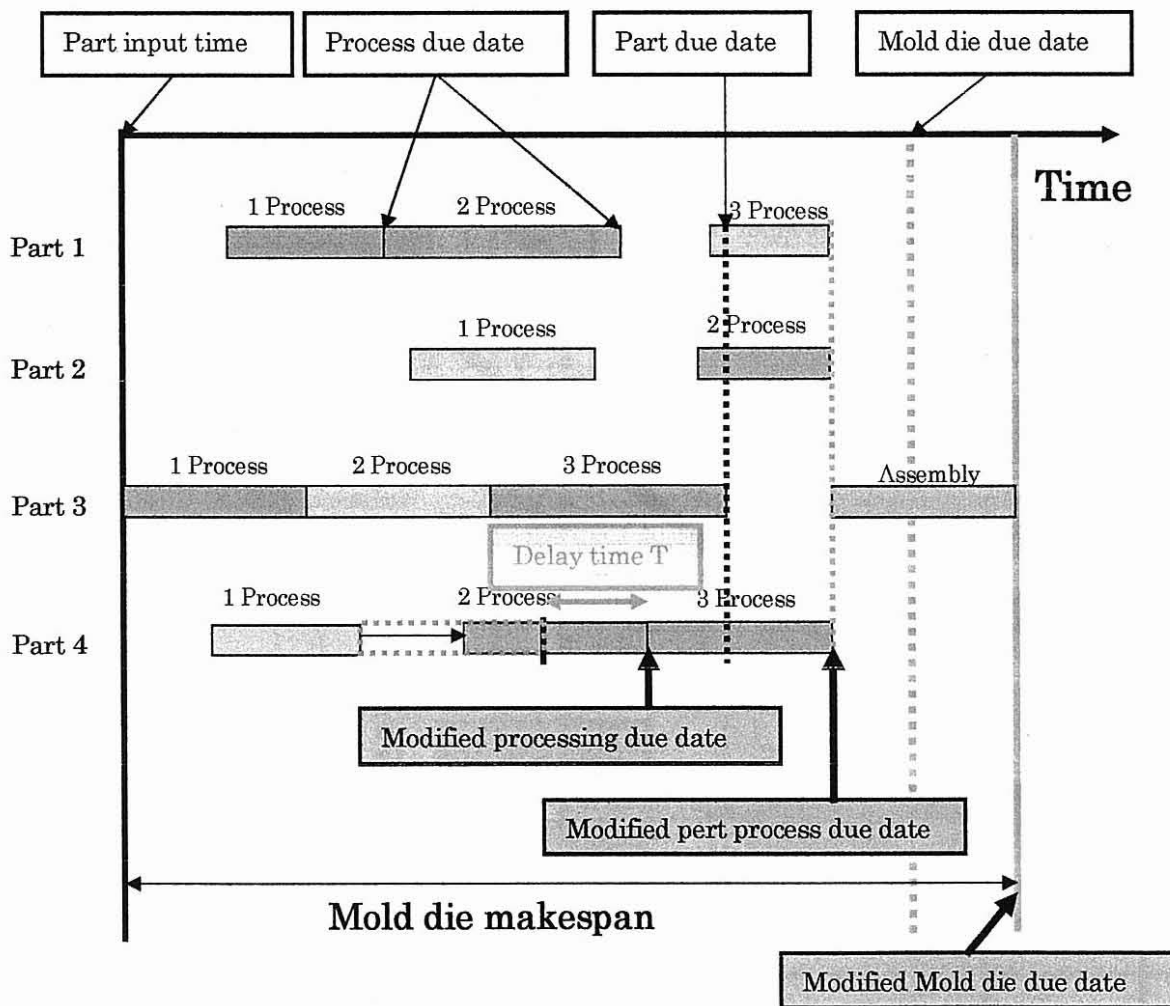


Fig.3-16 Mold die production model with tardiness

3-3-5 DDATE13

この規則は、待ち行列を構成している全部品に対して、割当て時までの〔累積納期遅れ時間〕の少ない部品順に高い優先順位を与え、工作機械に割り当てる規則である。Fig.3-17において、現在、同一金型部品1, 2, 3, 4共に青色で示してある工程の直前の工程まで加工が終了しており、どの部品も工作機械Aで加工待ちしているものとする。DDATE13により各部品を工作機械に割当てると、加工順序は部品3→部品2→部品1→部品4となる。DDATE13では工程納期遅れの多い工程はさらに遅れることとなり、特定の部品に納期遅れを集中させることを目的とした規則である。

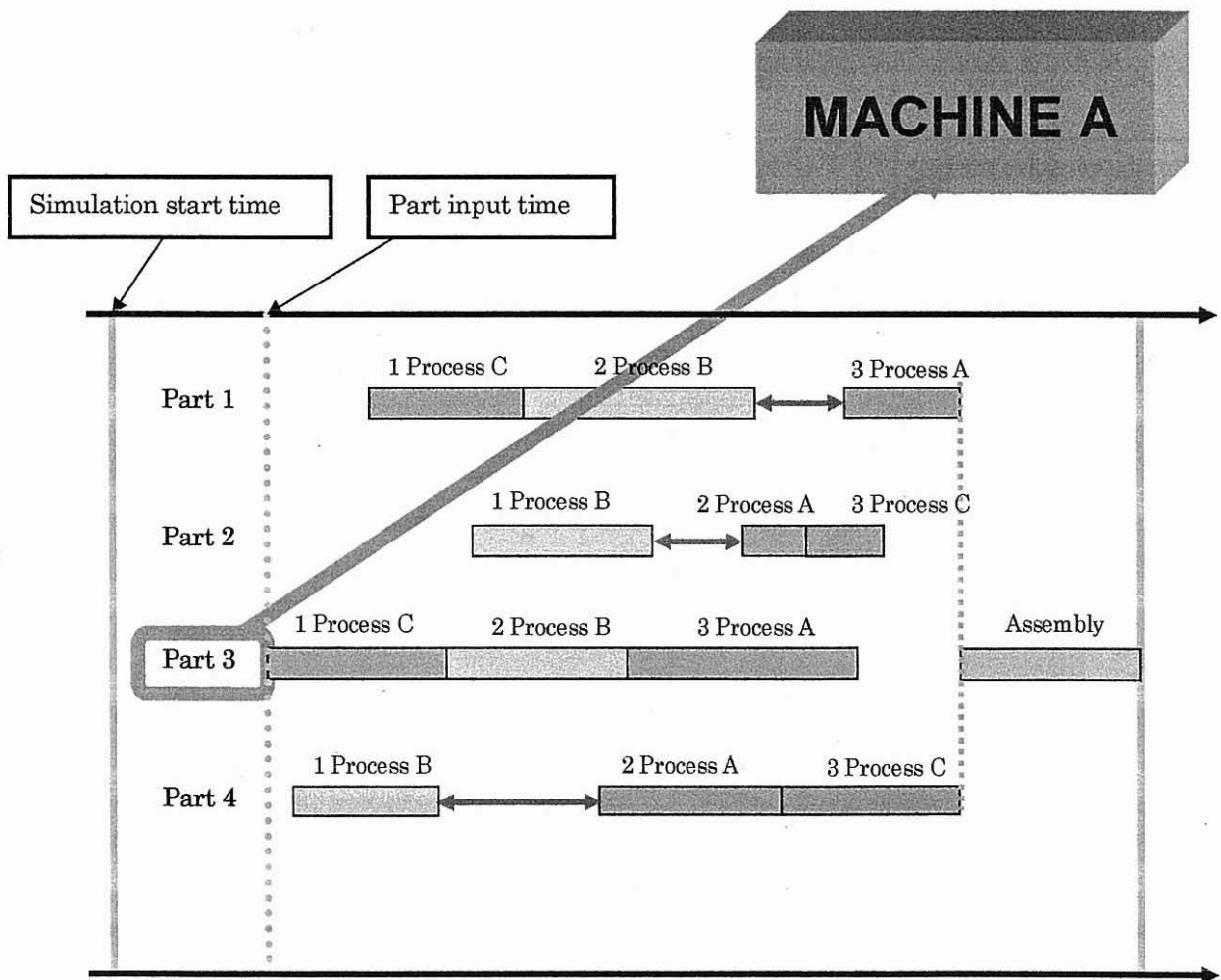


Fig.3-17 DDATE13

3-3-6 MO-DDATE

この規則は、待ち行列を構成している全部品に対して、〔部品加工納期（組立最遅開始時刻）〕の早い順に高い優先規則を与え、機械に割り当てる規則である。また、一括組立の場合、同一金型の部品加工納期は同じになるので、この場合は第二優先規則としてDDATEを用いる。一括組立を考慮し、同一金型を構成する部品全体の加工終了時刻を揃え、金型納期遅れを少なくさせることを目的としたものである。

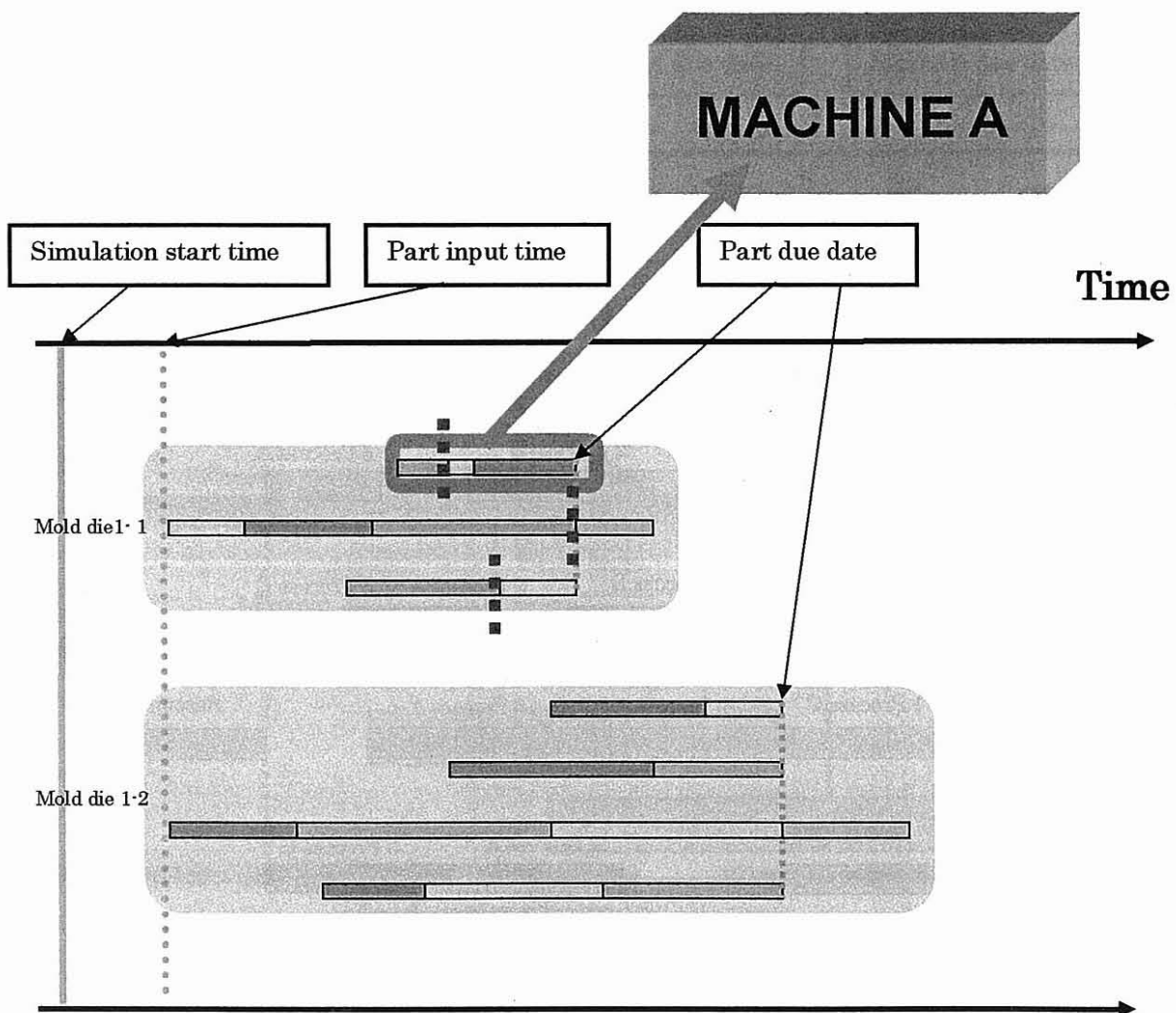


Fig.3-18 MO-DDATE

3-3-7 MO1-DDATE21

この規則は、待ち行列を構成している全部品に対して、3-3-4-1で定義した〔修正部品加工納期〕の早い順に高い優先規則を与え、機械に割り当てる規則である。また、一括組立の場合、同一金型の部品加工納期は同じになるので、この場合は第二優先規則としてDDATE21を用いる。同一金型を構成する部品全体の加工終了時刻のばらつきを減らし、金型納期遅れを少なくさせることを目的とした規則である。

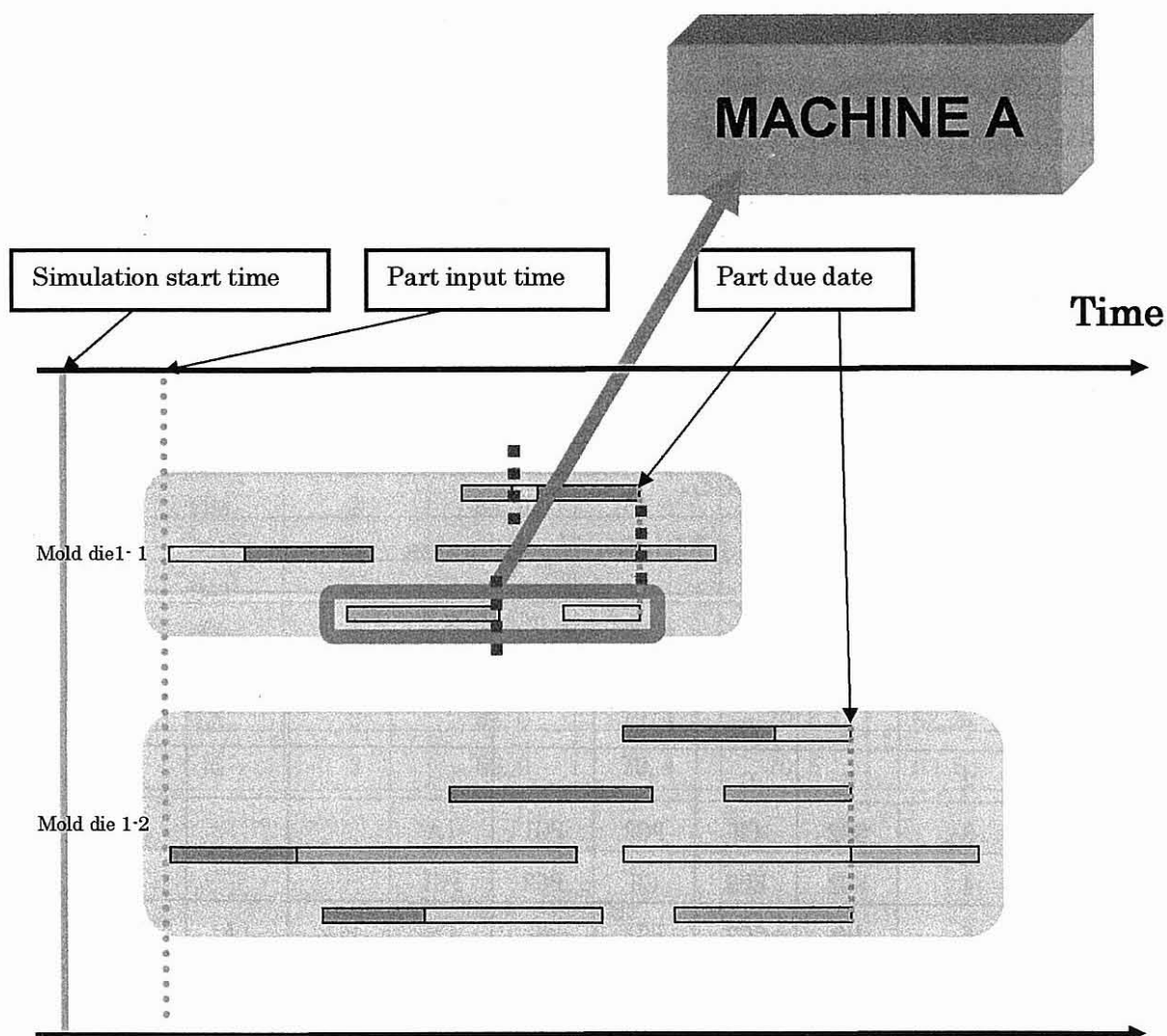


Fig.3-19 MO1-DDATE21

第4章 シミュレーション

4-1 金型モデル

Fig. 2-1の生産システムモデルに対して、外注部品選択システムの効果を明らかにするため、現実のモールド金型生産工場をモデルとして以下のような金型パラメータを用いてシミュレーションを行った。

- ・1日の投入金型個数 N_i ($i=1, 2, \dots$) : 基礎実験より定常状態生産が可能な、平均5個、区間 $[0, 10]$ の一様分布
- ・各金型の部品数 $N_{P_i, j}$ ($j=1, 2, \dots, N_i$) : 平均20個、区間 $[1, 39]$ の一様分布
- ・各部品の加工工程数 $N_{P_{S_i}, j}$: Table 4-1で示す作業プロセスからランダムに選択
- ・各部品各工程の使用工作機械 : Table 4-1で示す作業プロセスからランダムに選択
- ・各加工工程の作業時間 $O_{i, j, k}$ ($k=1, 2, \dots, N_{P_{S_i}, j}$) : 平均100分の指数分布
- ・各組立工程の作業時間 $O_{A_i, j}$: 平均 $(AP-1) \cdot 100$ 分の $(AP-1)$ アーラン分布、ただしAPは組立部品数
- ・納期 : {素材投入時刻 + $\kappa \cdot (\text{理想金型完成時刻} - \text{素材投入時刻})$ } によるTotal work contentルール。ただし、 κ は納期係数であり、本研究では $\kappa=1$ とする。
- ・設定機械稼働率 $R^*=100$ (外注なし)、87.5、85.0、82.5、80.0、77.5、75.0、72.5、70.0%
本研究では、日々異なる複数個の金型が投入され、この投入金型の個数を平均5個とした。この値は、工場の部品加工に対し比較的高負荷を与える一日の平均投入金型個数であり、各機械に対し機械稼働率88.0%の作業負荷を与える。

Table.4-1 Machining process

部品処理 タイプ	プロセス							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	B	SG1						
2	B	G						
3	SG2	CH	PG2	PG1	LA			
4	SG2	EDM	CH	PG2	PG1			
5	HQ	SG2	PG1	JG	CH	PG2	LA	
6	HQ	SG2	CH	PG2	EDM	PG1	LA	
7	JB	B	HQ	SG2	PG1	HF	JG	
8	JB	B	HQ	SG2	WE	SG2	PG1	JG

4-2 工作機械モデル

金型生産システムを構成する各加工機械台数と一日の平均投入金型個数Nに対する平均機械稼働率をTable.4-2に示す。

本研究では加工工程での最適なスケジューリング法と外注部品選択法を考えている。したがって、組立作業がスケジューリング性能に影響を及ぼさないように、すなわち、組立作業で新たに納期遅れが発生しないように組立機械台数を無限大とする。

Table.4-2 Number of machines

機械名	台数	平均機械稼働率 (%)			
		N=5	N=4.5	N=4	N=3.5
JB	2	88.0	79.4	70.5	62.5
B	4	88.0	79.4	70.5	62.5
HQ	4	88.0	79.4	70.5	62.5
G	1	88.0	79.4	70.5	62.5
SG1	1	88.0	79.4	70.5	62.5
SG2	7	88.0	79.4	70.5	62.5
CH	4	88.0	79.4	70.5	62.5
EDM	2	88.0	79.4	70.5	62.5
PG1	6	88.0	79.4	70.5	62.5
PG2	4	88.0	79.4	70.5	62.5
WE	1	88.0	79.4	70.5	62.5
HF	1	86.8	79.4	70.5	62.5
LA	3	88.0	79.4	70.5	62.5
JG	3	88.0	79.4	70.5	62.5

4-3 金型生産システムに対する仮定

本研究のシステムに対してスケジューリングを考えるにあたり、以下の仮定を導入する。

- 1) 各工作機械に付属している入力および出力バッファはそれぞれ無限容量と考え、各工作機械はブロックを起こさない。
- 2) 部品の割当に際して、部品の搬送経路での搬送時間は各部品の作業時間に比べて小さいので無視する。
- 3) 各工作機械は故障しない。
- 4) 工作機械の稼働時間は24時間無休とする。
- 5) 金型の追加投入時刻は毎朝の9時とする。
- 6) 各工作機械は1度に1個のジョブを処理し、段取り時間は作業時間に含まれる。

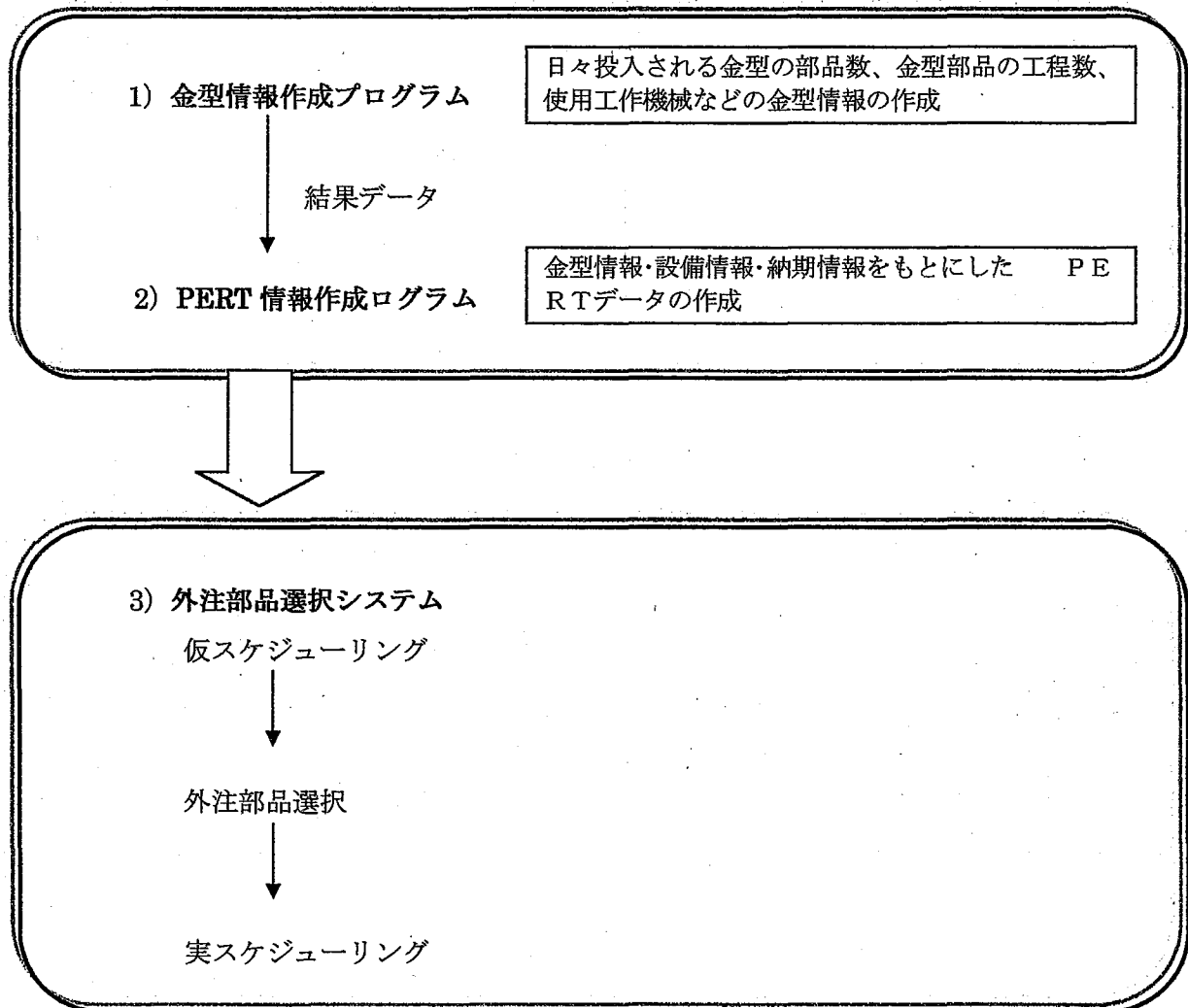
4-4 評価尺度

金型加工メイクスパンを短縮し、金型納期遅れを減少させる最適な外注部品選択法を明らかにするため、また、スケジューリング法が外注部品選択性能に及ぼす影響と外注部品選択法が外注部品選択性能に及ぼす影響を明らかにするため、以下の尺度を用いた。

- 1) m : 組立開始までのメイクスパン $B1$ (全部品加工終了時刻-素材投入時刻) と理想加工メイクスパン $B2$ (PERTにおける金型部品のクリティカルパス加工時間) の比 $B1/B2$ の平均値
- 2) σ : メイクスパン比 $B1/B2$ の標準偏差
- 3) m_{max} : メイクスパン比 $B1/B2$ の最大値
- 4) L : 組立開始までのメイクスパン $B1$ (全部品加工終了時刻-素材投入時刻) の平均値
- 5) L_{σ} : メイクスパン $B1$ の標準偏差
- 6) L_{max} : メイクスパン $B1$ の最大値
- 7) $T1$: 理想加工メイクスパン $B2$ (PERTにおける金型部品のクリティカルパス加工時間) の平均値
- 8) 外注部品率 : 外注に出した部品数の割合
- 9) 外注作業率 : 外注に出した総作業時間の割合

第5章 プログラムとフローチャート

本研究では、以下の2つのプログラムを用いて外注部品選択システムを稼働させる。



各プログラムはデータを出力し、プログラム間の情報の受け渡しを行う。

シミュレーションは500日間の金型生産を対象として行い、解析には過度状態の結果を与える最初の100日間を除く残りの400日間のデータを用いる。

第6章 定常状態生産における外注効果

本研究では、日々、異なる金型が投入されるダイナミックな環境下で外注部品の選択を考えていること、また、投入金型の仕様などが変化する可能性があることから、適切な外注部品の選択は毎日行う必要があると考え、 $T_1=1$ とする。また、モデルとする金型工場において金型部品が定常状態で生産ができる日々の平均投入金型個数 N は、予備実験から5個とする。以上の条件下で外注部品選択システムのシステムパラメータが外注工場利用効果に及ぼす影響を明らかにするため、6-1では部品自身の情報を考慮した外注部品選択優先規則を使用した外注部品選択システムの効果を調べ、6-2では部品選択システムの定量的な効果を明らかにするため、乱数10系列による外注部品選択システムの効果を調べる。

6-1 部品自身の情報を考慮した外注部品選択優先規則を使用した外注部品選択システム

部品自身の情報を考慮した外注部品選択優先規則として、部品単位の Rule1、Rule2、金型単位の Rule3、Rule4、Rule41 の計5種を用い、仮スケジュール情報の作成に仮スケジューリング法7種 (SPT、SLACK、DDATE、DDATE21、DDATE13、MO-DDATE、MO-DDATE21) を使用する。これら外注部品選択優先規則とスケジューリング法の外注部品選択に及ぼす影響や外注部品選択システムのシステムパラメータが外注部品選択性能に与える影響を明らかにするため、以下の項目について解析し、外注部品選択システムの効果を調べる。

- (1) 仮スケジュール期間 T_2 が外注部品選択に及ぼす影響
- (2) 外注部品選択優先規則が外注部品選択に及ぼす影響
- (3) 仮スケジューリング法が外注部品選択に及ぼす影響
- (4) 未来の投入金型情報 S が外注部品選択に及ぼす影響

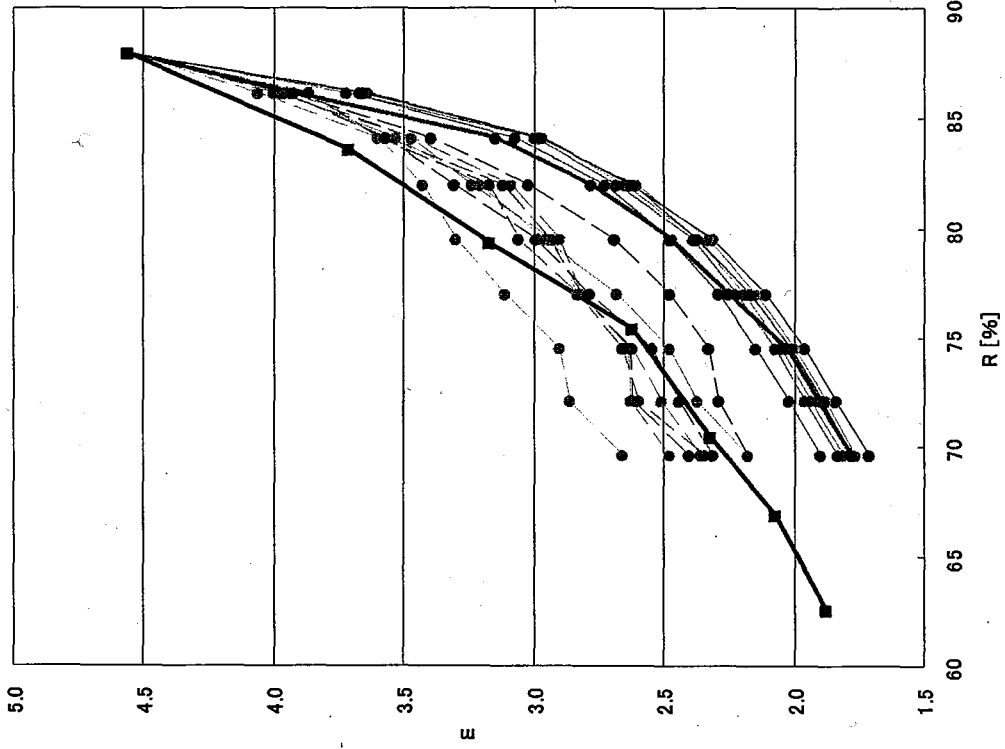
(1) 仮スケジュール期間 T_2 が外注部品選択に及ぼす影響

仮スケジュール期間 T_2 が長いほど、各外注候補部品が将来どれだけの部品加工納期遅れを引き起こすかが明らかとなる。そこで外注候補部品の特定に影響を持つ仮スケジュール期間 T_2 が m に及ぼす影響を調べるため、 $S=1$ の条件下で、 $T_2=1, \infty$ (システム内全部品の加工が完了するまでの期間) に対し、仮スケジューリング法 (SPT、SLACK、DDATE、DDATE21、DDATE13、MO-DDATE、MO-DDATE21) と外注部品選択優先規則 (Rule1、Rule2、Rule3、Rule4、Rule41、) が m に及ぼす影響を調べる。Fig. 6-1-1、6-1-2、6-1-3 に 5 種類の外注部品選択優先規則ごとにまとめた各仮スケジューリング法を用いた場合の R (実際の機械稼働率) と m の関係を示す。また、比較のため Rule5 (従来の外注部品選択法である山積み法) と、No-subcontract (外注を行わないで平均機械稼働率を変えた場合) の m を同時に示す。

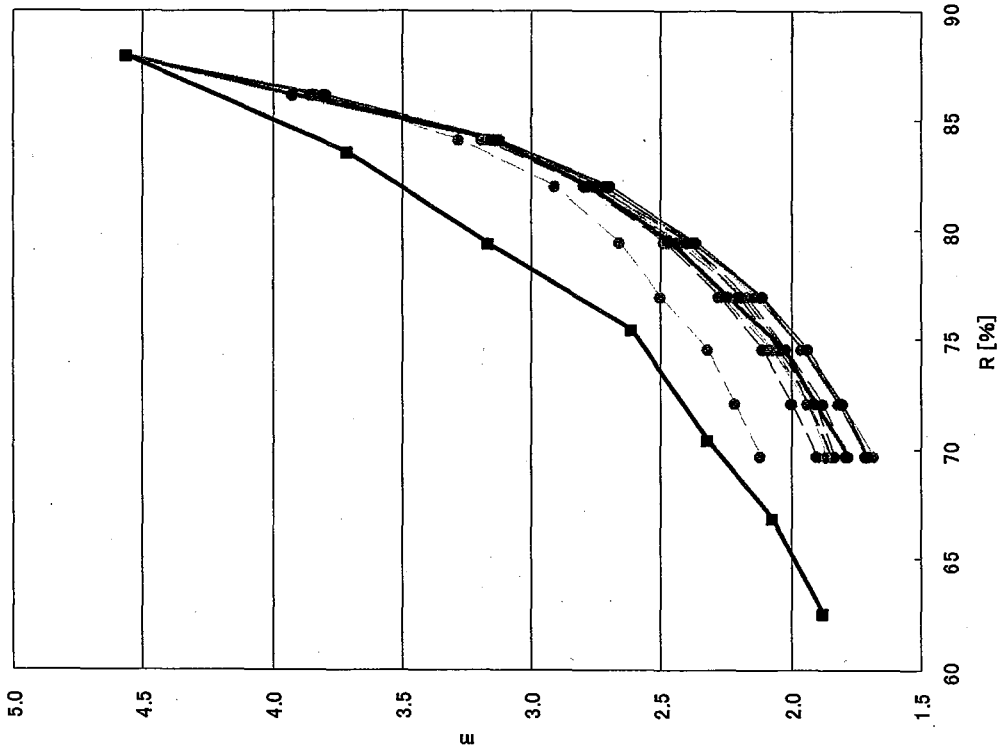
Fig. 6-1-1、6-1-2、6-1-3 より、外注工場の利用は R が小さくなるにつれ m を減少させ、メイクスパンの短縮に効果的であることがわかる。また、 T_2 の増加により全ての仮スケジューリング法と外注部品選択優先規則の組み合わせにおいて m が減少している。これは、仮スケジュール期間 T_2 が長いほど金型部品の遅れが正確に予測され、適切な外注部品選択が可能となるためと考えられる。したがって以下では、仮スケジュール期間を $T_2=\infty$ (システム内全部品の加工が完了するまでの期間) とする。

外注部品選択システムを用いた場合の m の値は、 $T_2=\infty$ において外注工場を利用しない場合と比較して減少している。これは生産の遅れを引き起こす部品を外注部品として適切に選択しているためである。また、Rule5 の山積み法と比べ m の値が小さいことより、仮スケジュールを用いた外注部品選択の効果が示された。

Rule2 $\kappa = 1$ S=1



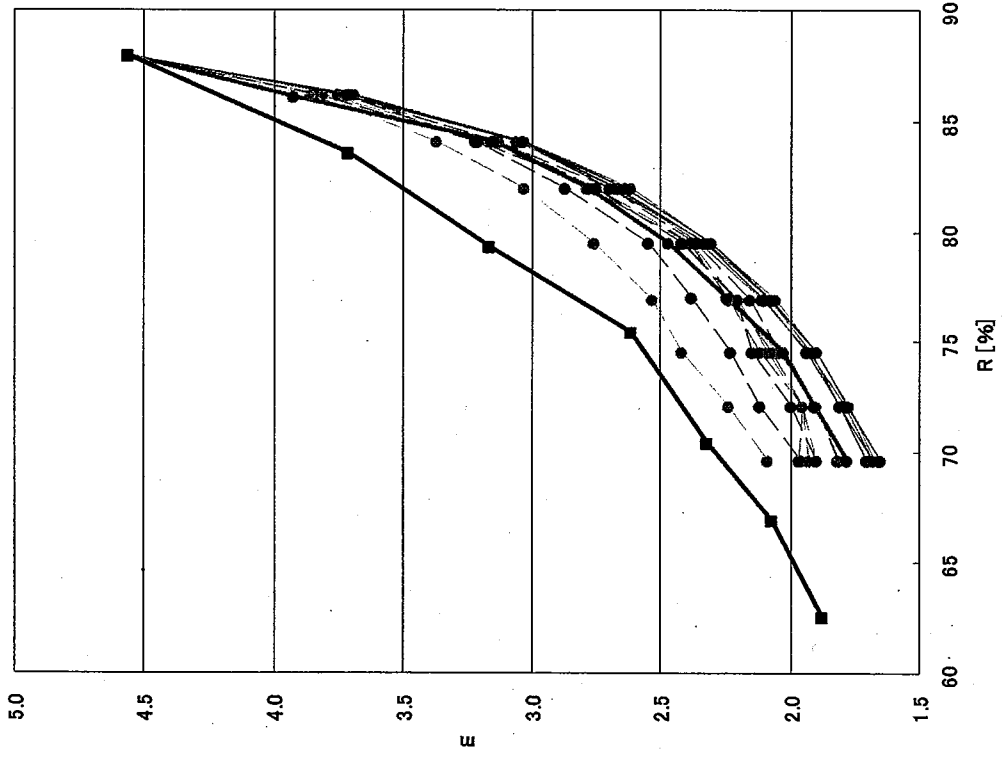
Rule1 $\kappa = 1$ S=1



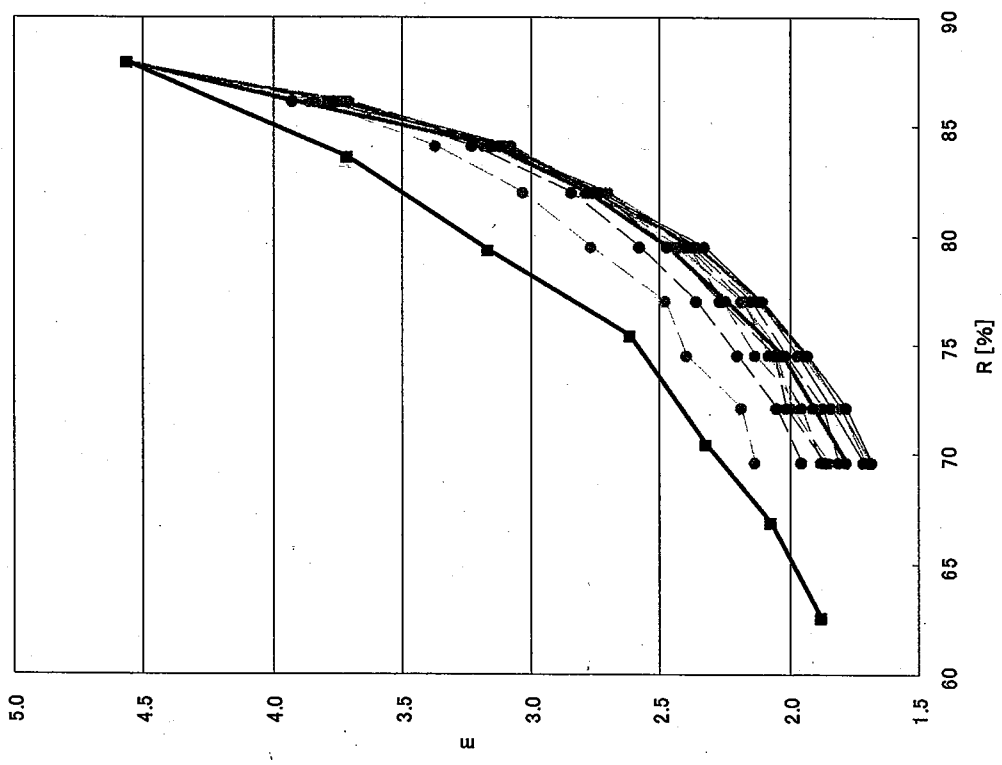
- SPT T2=1
- SLACK T2=1
- DDATE T2=1
- DDATE21 T2=1
- DDATE13 T2=1
- MO T2=1
- MO1 T2=1
- SPT T2=∞
- SLACK T2=∞
- DDATE T2=∞
- DDATE21 T2=∞
- DDATE13 T2=∞
- MO T2=∞
- MO1 T2=∞
- Rule 5
- No-subcontract

Fig. 6-1-1 機械稼働率Rと金型メイクスパン比mの関係 (仮スケジューリング期間の比較)

Rule4 $\kappa=1$ $S=1$



Rule3 $\kappa=1$ $S=1$



-●..... SPT T2=1
-●..... SLACK T2=1
-●..... DDATE T2=1
-●..... DDATE21 T2=1
-●..... DDATE13 T2=1
-●..... MO T2=1
-●..... MO1 T2=1
-●..... SPT T2=∞
-●..... SLACK T2=∞
-●..... DDATE T2=∞
-●..... DDATE21 T2=∞
-●..... DDATE13 T2=∞
-●..... MO T2=∞
-●..... MO1 T2=∞
-■..... Rule 5
-■..... No-subcontract

Fig. 6-1-2 機械稼働率 R と金型メイクスパン比mの関係 (仮スケジュール期間の比較)

Rule41 $\kappa=1$ $S=1$

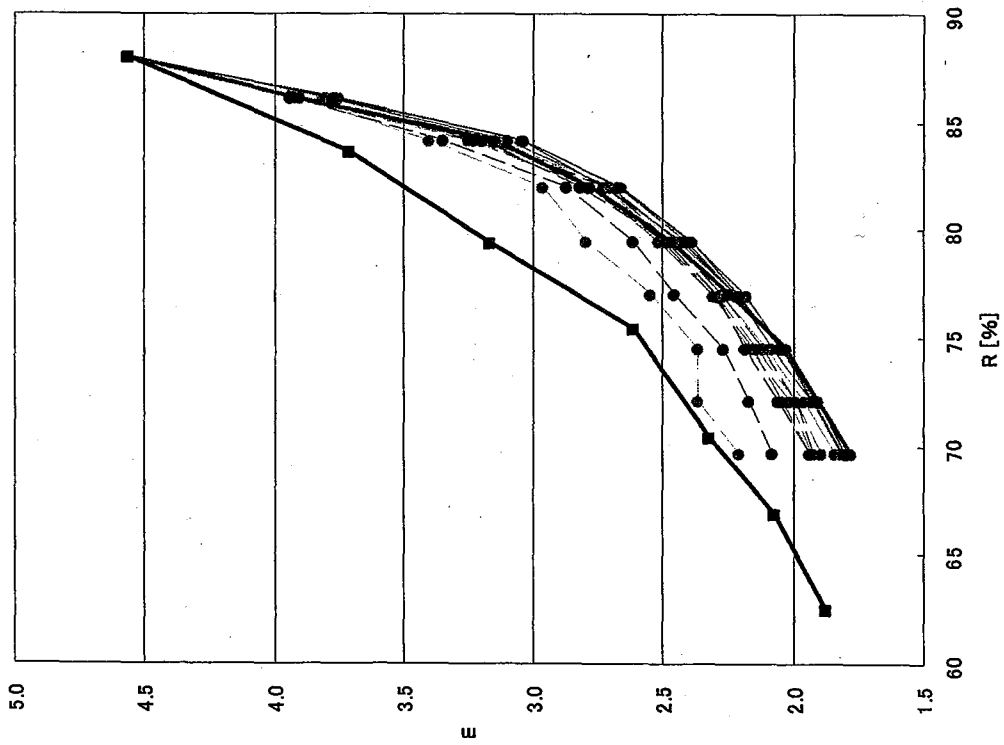


Fig. 6-1-3 機械稼働率 R と金型メイクスパン比 m の関係 (仮スケジューリング期間の比較)

(2) 外注部品選択優先規則が外注部品選択に及ぼす影響

外注部品選択システムにおいて、外注部品選択優先規則は、仮スケジューリングによって得られた仮スケジュール情報をもとに外注候補部品から外注部品を決定する。したがって、外注部品選択優先規則は外注部品選択に大きく影響する。そこで外注部品選択優先規則が外注部品選択性能に及ぼす影響を明らかにするため、以下の項目を調べる。

(2-1) 部品単位規則と金型単位規則の外注部品選択性能に及ぼす影響

(2-2) 加工納期を考慮した規則と加工納期遅れ時間を考慮した規則の外注部品選択性能に及ぼす影響

(2-3) 金型における遅れ部品数を考慮した規則の外注部品選択性能に及ぼす影響

(2-1) 部品単位規則と金型単位規則の外注部品選択性能に及ぼす影響

現在用いている外注部品選択優先規則は大きく分けて、当日投入する金型部品から、部品ごとに選び出す部品単位規則と、金型ごとに選び出す金型単位規則がある。これら両規則を比較するために、部品単位規則である Rule2 (部品加工納期遅れが大きい順に選択) と金型単位規則で最も m を減少させた Rule4 (遅れ部品数の少ない金型から、部品加工納期遅れの大きい順に選択) において、仮スケジュール期間 ($T_2 = \infty$) に対し、 R (実際の機械稼働率) と m の関係を Fig. 6-1-4 に示す。なお、各外注部品選択優先規則において最小の m が得られた仮スケジューリング法を用いる。

Fig. 6-1-4 より、機械稼働率が 82% 以下では金型単位規則が、82% 以上では部品単位規則が m を減少させることがわかる。金型単位規則はある金型を特定し、その金型の遅れ部品から外注部品選択するため、各金型の組立開始時刻を揃えられ、 m の減少には有効であるが、遅れ時間が小さい部品も外注部品として選択することがある。一般に、遅れ時間が小さい部品を外注部品選択することは、遅れ時間が大きい部品が存在するときには適切な外注部品選択とはならない。金型単位規則を用いて外注部品選択を行った場合、設定機械稼働率が低いと遅れ時間が小さい部品とともに遅れ時間が大きい部品も多数外注するのに対し、設定稼働率が高くなると外注部品が減少し、その少ない外注部品の中では遅れ時間の少ない部品を選択するという金型単位の性質の影響が強くなり、金型単位規則の効果が下がると考えられる。したがって、金型単位の規則を用いるとき、設定機械稼働率を高くすると効果が低くなる可能性があり、注意が必要である。

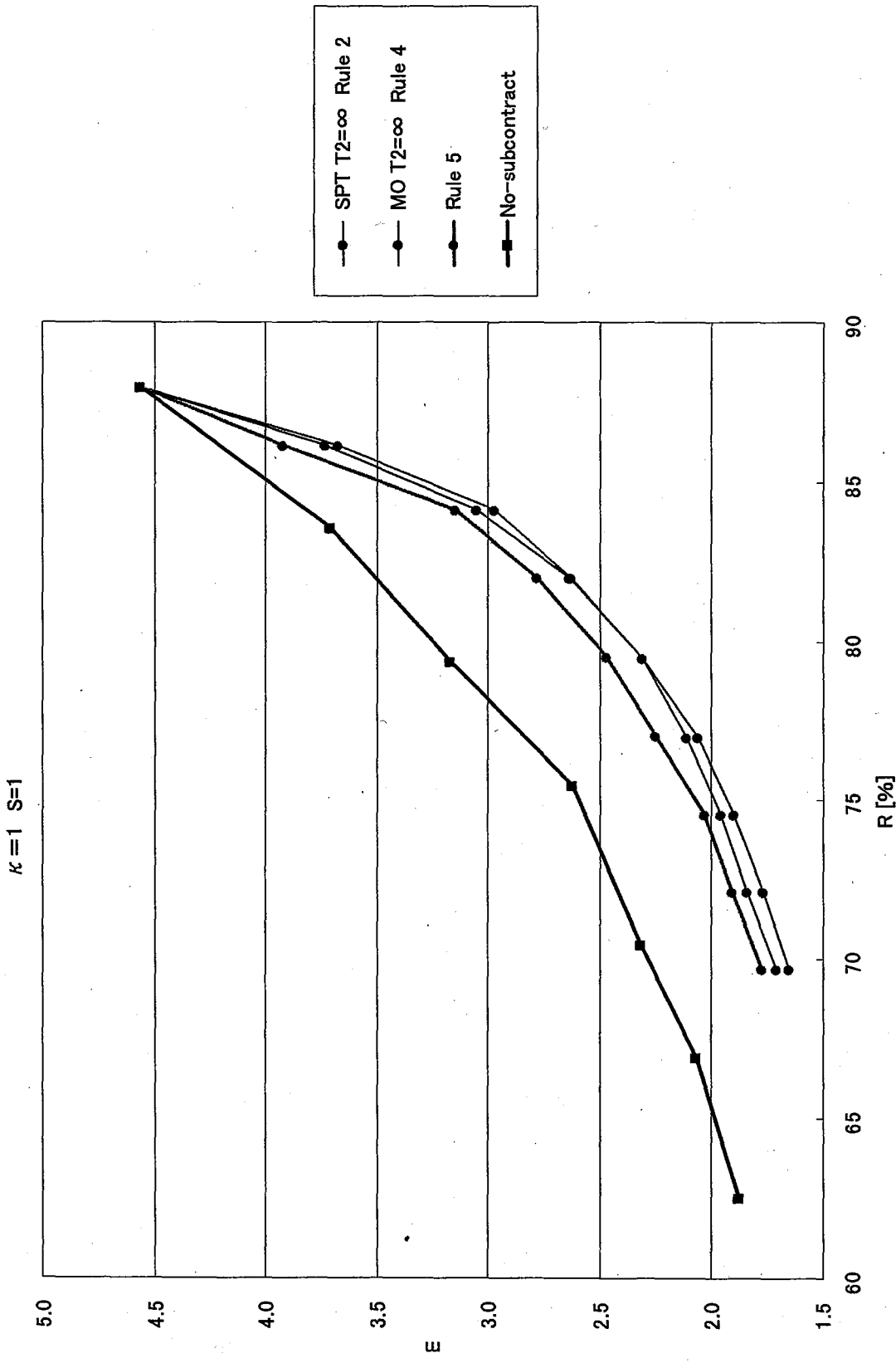


Fig. 6-1-4 機械稼働率Rと金型メイクスパン比mの関係 (部品単位、金型単位の比較)

(2-2) 加工納期を考慮した規則と加工納期遅れ時間を考慮した規則の外注部品選択性能に及ぼす影響

外注部品選択優先規則には部品単位規則と金型単位規則があるが、それぞれ、加工納期をもとに選択する規則 (Rule1: 部品加工納期の早い順に選択、Rule3: 遅れ部品の少ない金型から、部品加工納期の早い順に選択) と、加工納期遅れ時間をもとに選択する規則 (Rule2: 部品加工納期遅れ時間の大きい順に選択、Rule4: 遅れ部品の少ない金型から、部品加工納期遅れ時間の大きい順に選択) がある。これらと比較するために、部品単位規則 Rule1、Rule2、と金型単位規則 Rule3、Rule4 において、仮スケジュール期間 ($T_2 = \infty$) に対し、R (実際の機械稼働率) と m の関係を Fig. 6-1-5、6-1-6 に示す。なお、各外注部品選択優先規則において最小の m が得られた仮スケジューリング法を用いる。

Fig. 6-1-5 より、Rule1、Rule2 は、機械稼働率 77% 以上では Rule2 の方が m の値を減少させ、77% 以下では Rule1 の方が m の値を減少させることがわかる。Rule1 は、一括組立金型生産においては金型単位規則と考えられるため、設定機械稼働率を高くすると m の減少の効果が低くなる。

一方、Fig. 6-1-6 より、Rule4 は、どの機械稼働率においても m を減少させることがわかる。したがって、金型単位の優先規則では、できるだけ部品加工納期遅れ時間の大きい部品を選択した方が m の減少に効果的である。

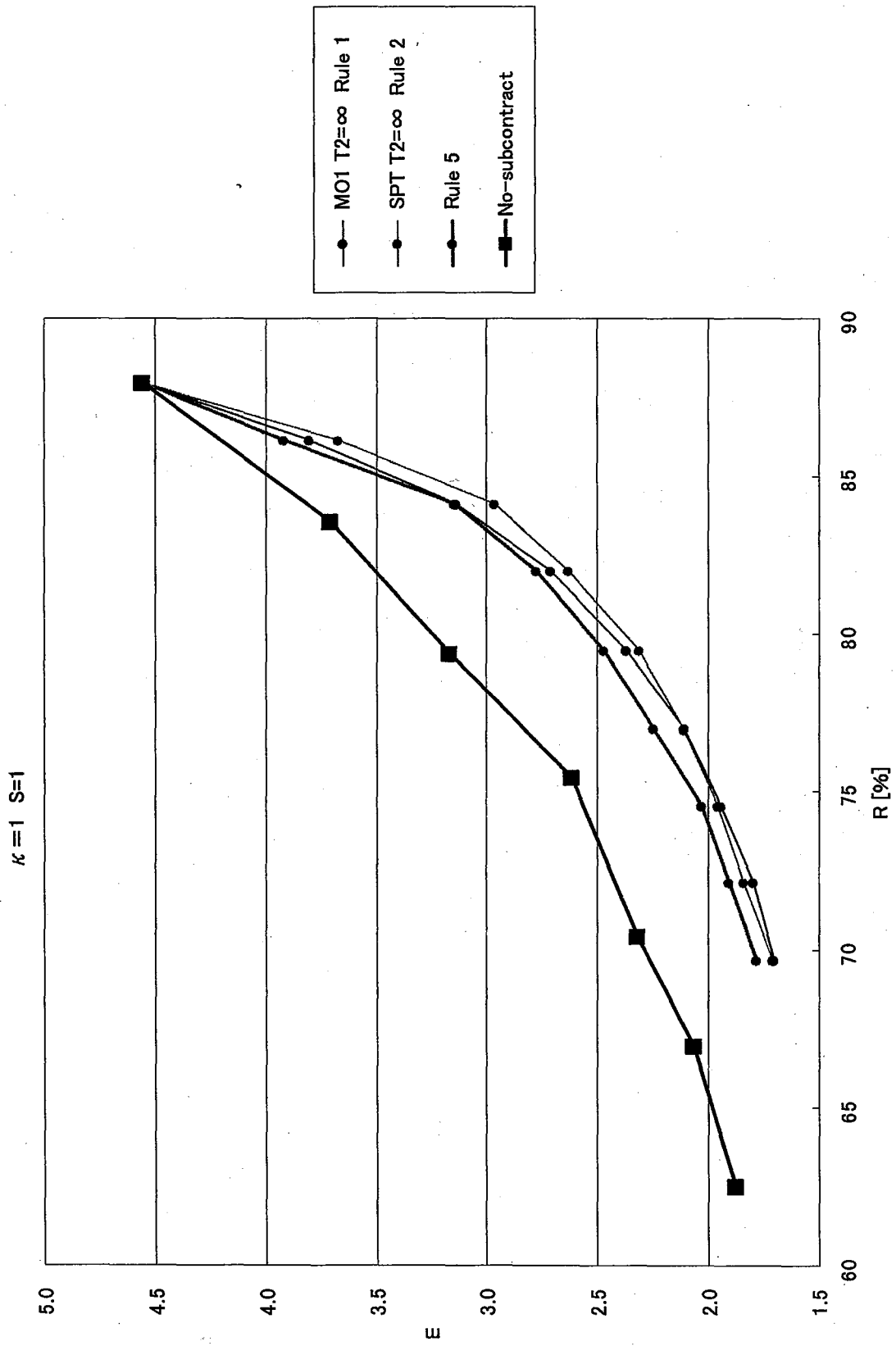


Fig. 6-1-5 機械稼働率 R と金型メイクスパン比 m の関係 (納期、納期遅れの比較)

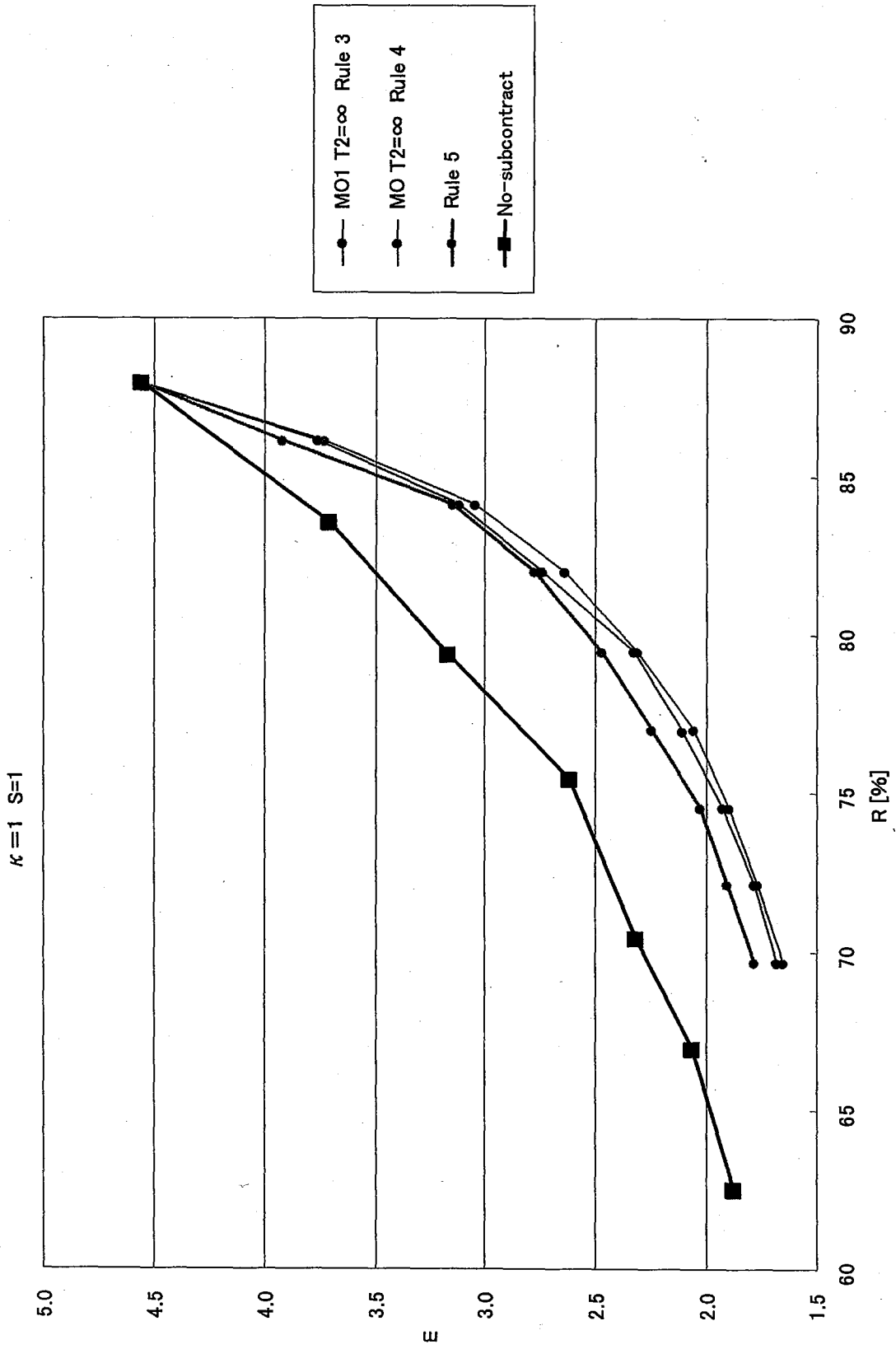


Fig. 6-1-6 機械稼働率 R と金型メイクスパン比 m の関係 (納期、納期遅れの比較)

(2-3) 金型における遅れ部品数を考慮した規則の外注部品選択性能に及ぼす影響

(2-1) で金型単位規則の効果、(2-2) で部品加工納期遅れ時間を考慮した規則の有効性を明らかにしてきたが、金型単位規則において遅れ部品数の影響を調べるため、仮スケジュール期間 ($T_2 = \infty$) に対し、Rule4 (遅れ部品の少ない金型から、部品加工納期遅れ時間の大きい順) と Rule41 (遅れ部品の多い金型から、部品加工納期遅れ時間の大きい順) における R (実際の機械稼働率) と m の関係を Fig. 6-1-7 に示す。なお、各外注部品選択優先規則において最小の m が得られた仮スケジュールリング法を用いる。

Fig. 6-1-7 より、どの機械稼働率においても Rule41 より Rule4 の方が m を減少させることがわかる。Rule4 は遅れ部品数が少ない金型から順に外注部品選択し、できるだけ多くの金型を納期どおり完成させるが、特定金型に遅れを偏らせてしまう規則であり、Rule41 は遅れ部品数が多い金型から順に外注部品選択し金型納期遅れがかなり大きくなる可能性のある金型を減らす規則である。したがって、Rule41 より Rule4 の方が m を減少させることから、特定金型に遅れを偏らせてでも、納期どおりに完成できる可能性の高い金型を増やす方が m の減少に効果的であることがわかる。

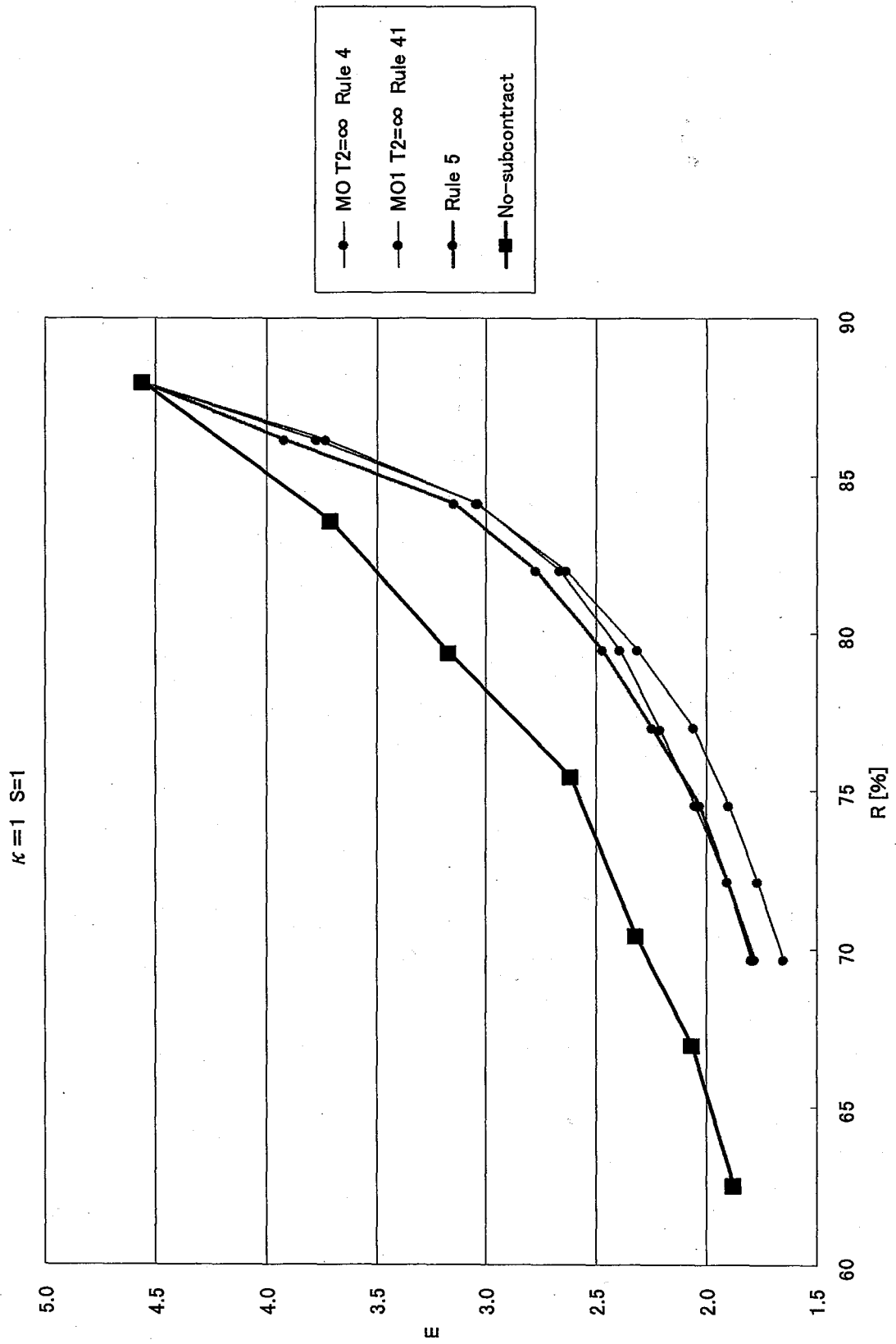


Fig. 6-1-7 機械稼働率 R と金型メイクスパン比 m の関係 (金型単位の比較)

(3) 仮スケジューリング法が外注部品選択に及ぼす影響

外注部品選択システムにおいて、仮スケジューリング法は各金型部品を工作機械へ割当て、組立開始時刻に遅れる金型部品を明らかにし、外注候補部品を特定する。したがって、外注部品選択システムにおける仮スケジューリング法は外注部品選択に影響する。そこで仮スケジューリング法が外注部品選択性能に及ぼす影響を明らかにするため、外注部品選択当日までの投入金型情報のみが既知 ($S = 1$) の条件下で、仮スケジュール期間 ($T_2 = \infty$) に対し、仮スケジューリング法 (SPT、SLACK、DDATE、DDATE21、DDATE13、MO-DDATE、MO-DDATE21) の変化が m に及ぼす影響を調べる。Fig. 6-1-8、6-1-9、6-1-10 に 5 種類の外注部品選択優先規則ごとにまとめた、各仮スケジューリング法を用いた場合の R (実際の機械稼働率) と m の関係を示す。また、比較のため Rule5 (従来の外注部品選択法である山積み法) と、No-subcontract (外注を行わないで平均機械稼働率を変えた場合) の m を同時に示す。

Fig. 6-1-8、6-1-9、6-1-10 より、Rule1、Rule3、Rule4、Rule41 では DDATE13 を除くすべての仮スケジューリング法がほぼ同一の m の値を持つが、Rule2 においては異なる m の値を持ち、SPT、MO-DDATE、MO-DDATE21、DDATE、DDATE21、SLACK、DDATE13 の順に m が低い値をとる。Rule3、Rule4、Rule41 は金型単位の外注部品選択優先規則であり、Rule1 は部品加工納期順の部品単位規則であるが、一括組立金型では同一金型の金型部品は部品加工納期が同じとなるため、Rule1 は金型単位の外注部品選択優先規則と考えることができる。一方、Rule2 は部品単位規則である。したがって、仮スケジューリング法は部品単位の外注部品選択優先規則を使用する場合のみ、 m の値に大きく影響すると考えられる。金型単位の外注部品選択優先規則を用いた場合に仮スケジューリング法を変化させても m がほぼ同一の値を持つ理由として、金型単位の外注部品選択優先規則では 1 つの金型の構成部品をまとめて金型ごとに部品を外注するので、各金型部品の部品加工納期遅れ時間の大小が外注部品選択に大きく影響しないためと考えられる。

以上で最も m を減少させた仮スケジューリング法と外注部品選択優先規則の組み合わせは MO-Rule4 である。

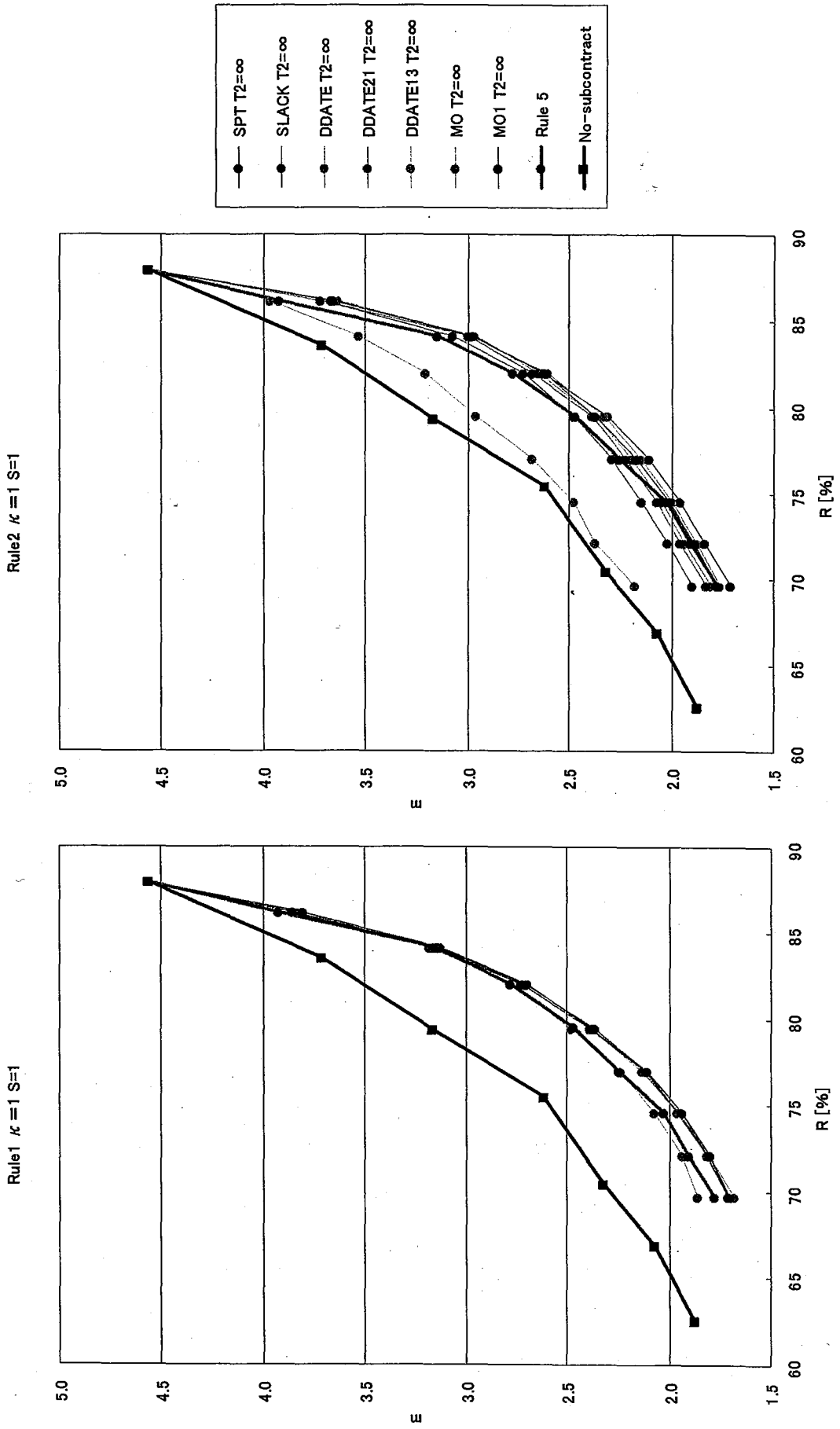
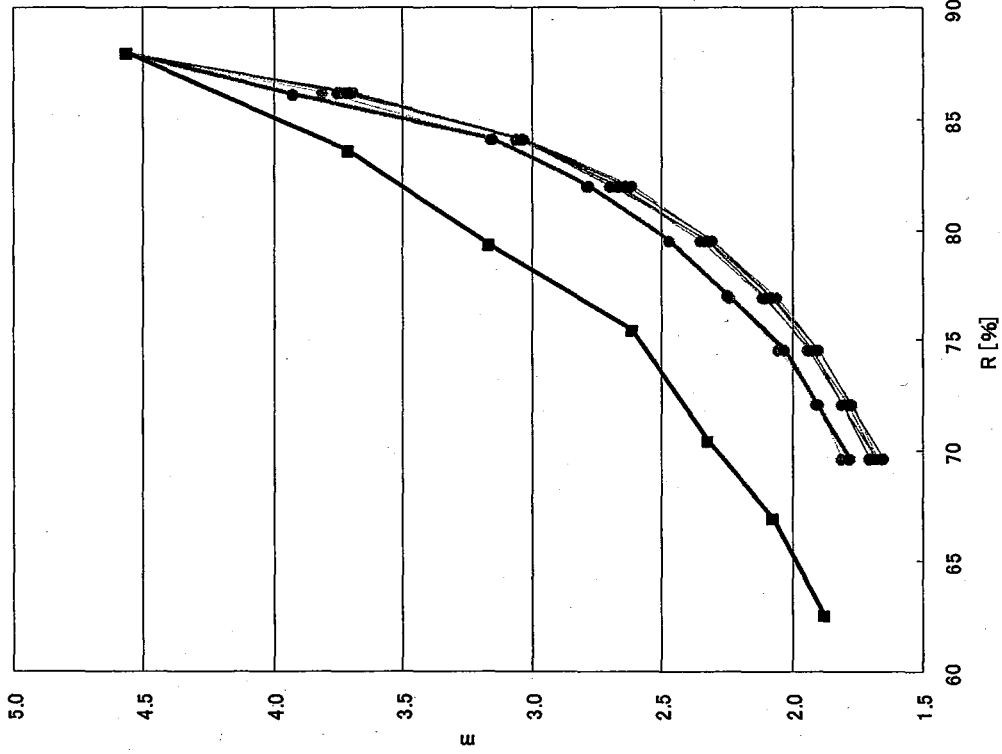


Fig. 6-1-8 機械稼働率 R と金型メイクスパン比 m の関係 (仮スケジューリング規則の比較)

Rule4 $\kappa=1$ S=1



Rule3 $\kappa=1$ S=1

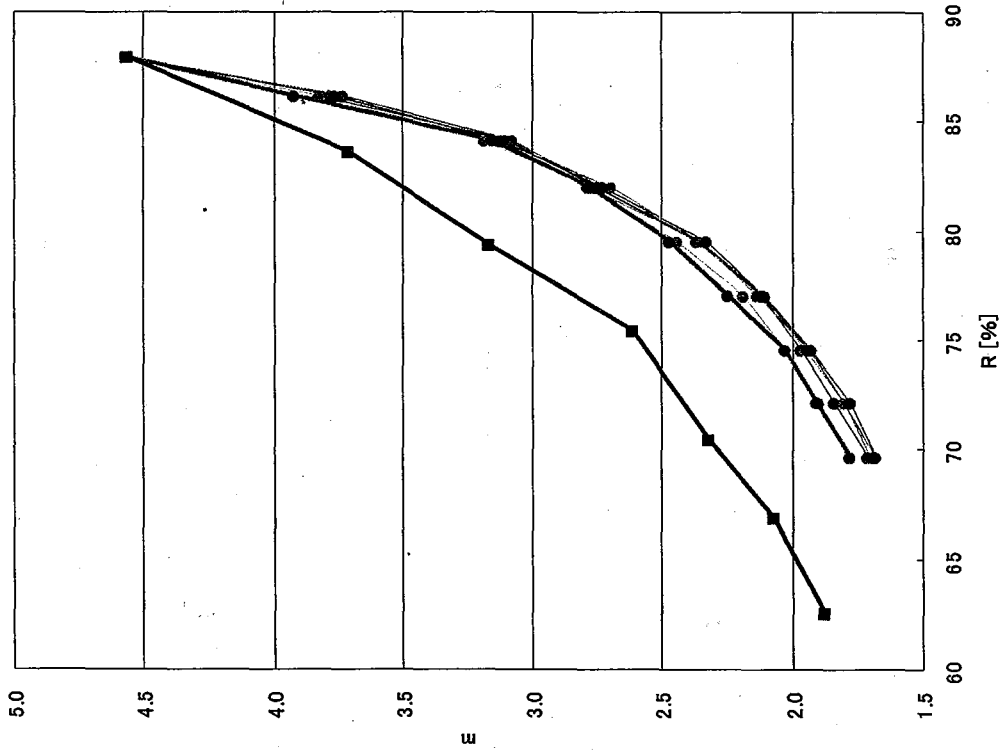


Fig. 6-1-9 機械稼働率Rと金型メイクスパン比mの関係 (仮スケジューリング規則の比較)

Rule41 $\kappa = 1$ $S = 1$

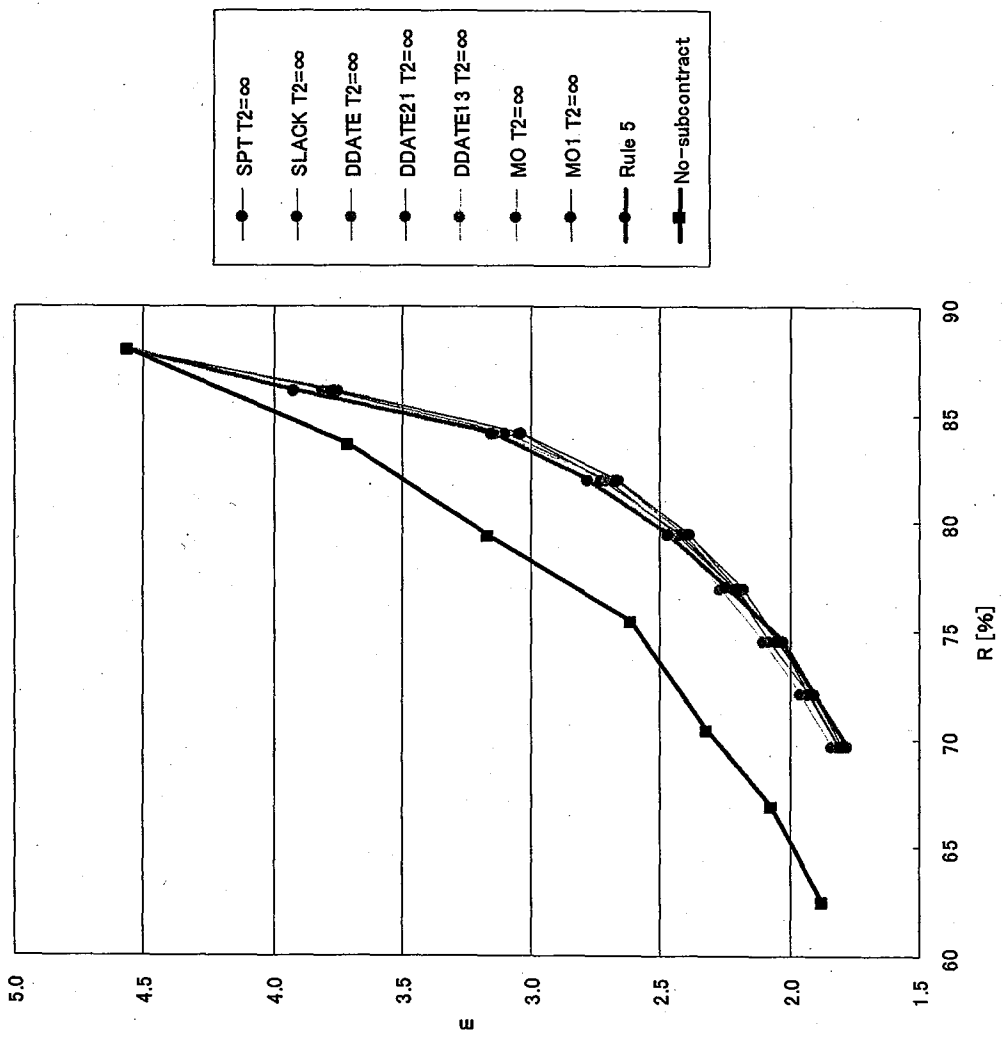


Fig. 6-1-10 機械稼働率 R と金型メイクスパン比 m の関係 (仮スケジューリング規則の比較)

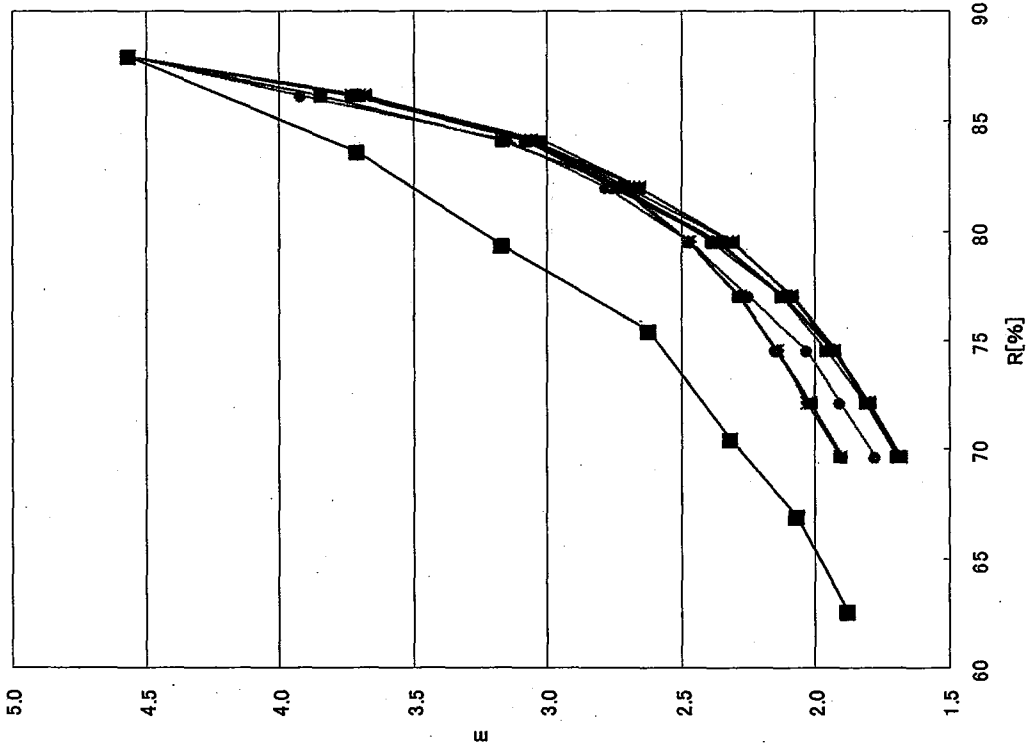
(4) 未来の投入金型情報 S が外注部品選択に及ぼす影響

外注部品選択時に、未来の投入金型情報を用いて金型の加工スケジュールが立案できれば、未来において発生する生産の遅れを引き起こすネック部品やネック工作機械が明らかになり、組立に遅れる部品をより正確に特定できる。したがって、未来の投入金型情報の利用は有効であると考えられるが、未来の情報は入手が困難な場合があり、さらに、入手可能であっても、変更が起きる可能性が高い。したがって、どの程度先までの日数の金型投入情報が、適切な外注部品選択に要求されるかを明らかにする必要がある。そこで、未来の投入金型情報が既知である期間 S (日) が外注部品選択性能に及ぼす影響を調べるため、 $T_2 = \infty$ (システム内全部品の加工が完了するまでの期間)、仮スケジュールリング法 (SPT、SLACK、DDATE、MO-DDATE) と外注部品選択優先規則 (Rule1、Rule2、Rule3、Rule4、) に対し、S が m に及ぼす影響を調べる。Fig. 6-1-11、6-1-12 に 4 種類の仮スケジュールリング法ごとにまとめた、外注部品選択優先規則を用いた場合の R (実際の機械稼働率) と m の関係を示す。また、比較のため Rule5 (従来の外注部品選択法である山積み法) と、No-subcontract (外注を行わないで平均機械稼働率を変えた場合) の m を同時に示す。

Fig. 6-1-11、6-1-12 より、各外注部品選択優先規則において S の増加は m の値にほとんど影響を持たず、ほぼ同一の m の値をとることがわかる。したがって、本研究で対象としている金型工場と金型に対しては、適切な外注部品の特定には S=1 程度で十分と考えられる。

S が m に及ぼす影響が無い理由として以下のことが考えられる。本研究で対象とした金型は、平均理想金型加工メイクスパンは 1130 分であり、一日の平均投入金型個数 $N=5$ の場合、外注工場を利用しないと $m=4.56$ 程度である。したがって各金型の全部品の加工が終了するには平均で約 3.58 日 ($1130 \cdot 4.56 / (24 \cdot 60)$) 必要であり、未来の 4 日間程度に投入される金型部品は、外注候補部品となる金型部品の部品加工遅れに影響すると考えられる。SLACK、DDATE、MO-DDATE などの工程納期や部品加工納期を考慮した仮スケジュールリング法を用いた場合、未来の金型部品の工程納期や部品加工納期は、一般に、外注候補部品よりも遅くなるので、外注候補部品は未来の金型部品の影響をほとんど受けず、過去に投入された金型部品の影響のみを大きく受けると考えられる。したがって、工程納期や部品加工納期を考慮した仮スケジュールリング法を用いた外注部品の選択には、未来の投入金型情報は不要である。また、作業時間のみを考慮した規則 SPT を用いた場合、未来の投入金型情報の利用は、外注候補部品の部品加工遅れ時間を大きくすると考えられるが、Fig. 6-4-1 より、S の変化による m への影響は少ない。したがって、この場合も S=1 程度で十分と考えられる。

SLACK-MO1 T2=∞ κ=1 S=1



SPT-MO1 T2=∞ κ=1 S=1

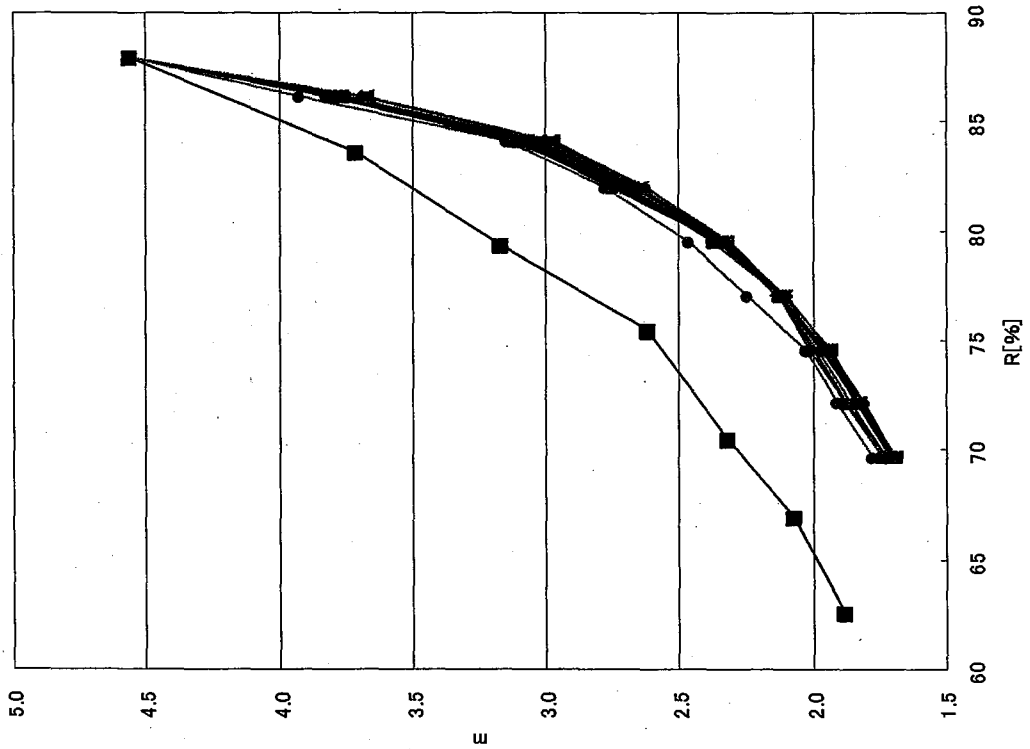
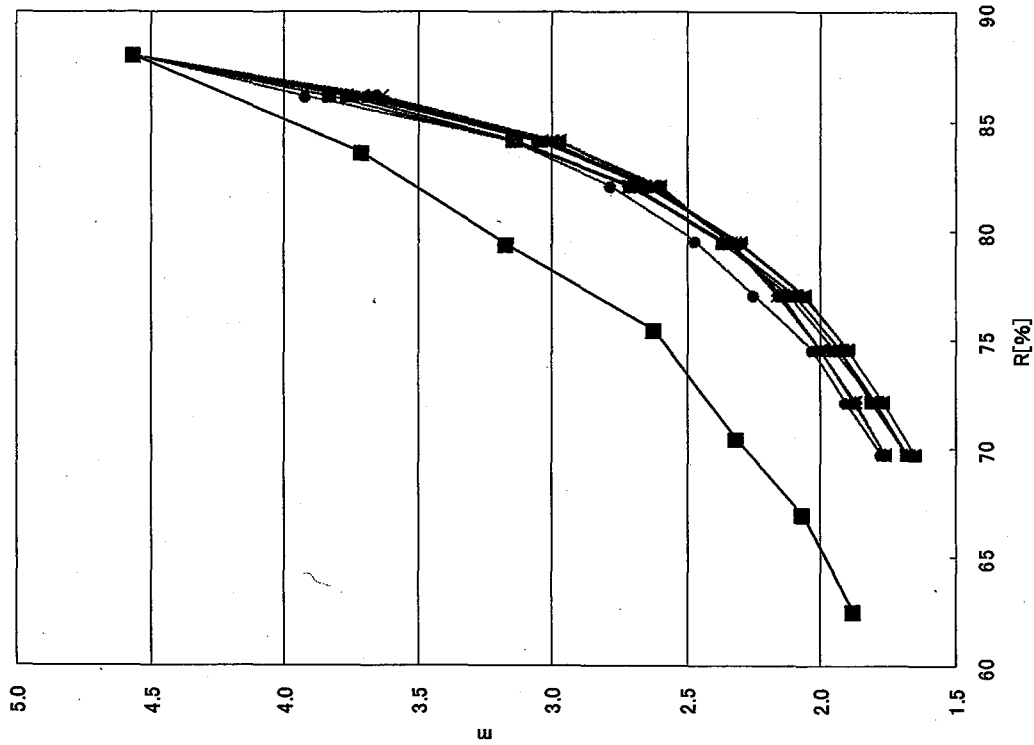


Fig. 6-1-11 機械稼働率Rと金型メイクスパン比mの関係 (未来情報の使用の効果)

MO-MO11 T2=∞ κ=1 S=1



DDATE-MO11 T2=∞ κ=1 S=1

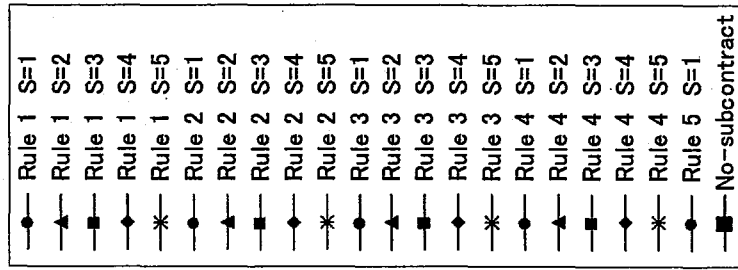
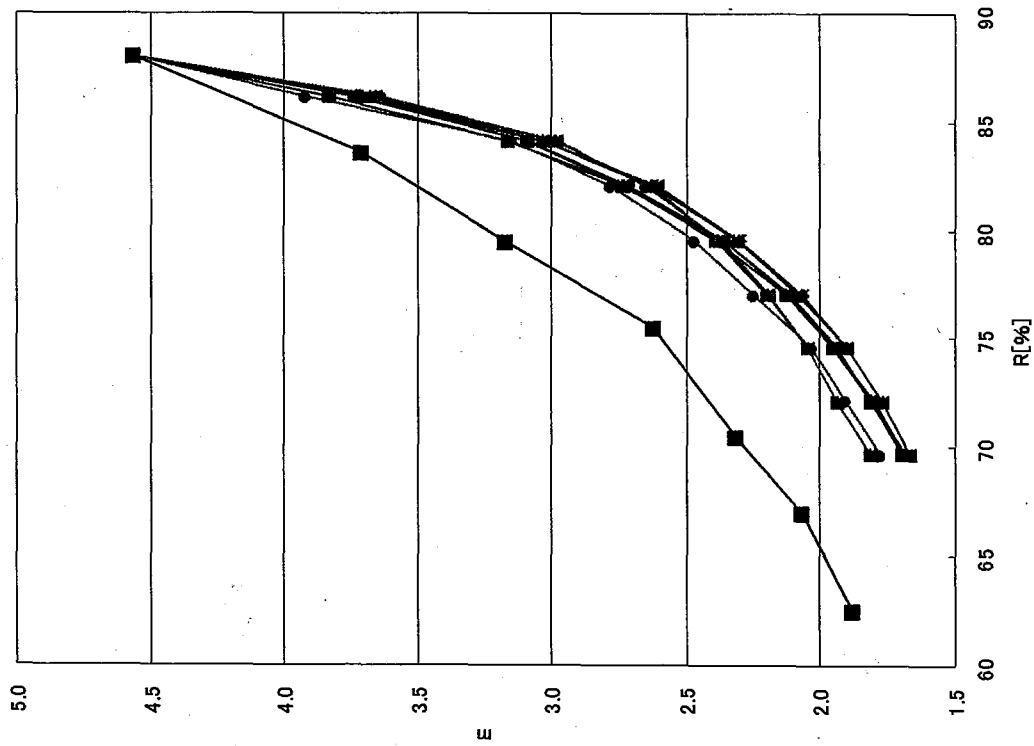


Fig. 6-1-12 機械稼働率 R と金型メイクスパン比 m の関係 (未来情報の使用の効果)

6-2 乱数10系列における外注部品選択システムの効果

6-1において、外注部品選択優先規則の効果や外注部品選択システムのシステムパラメータが外注部品選択性能に及ぼす影響を調べたが、この結果は乱数1系列でシミュレーションを行ったものであり、定性的な効果は示すことが可能であるが、定量的効果は使用乱数の影響を受ける。そこで、定量的効果を調べるため、乱数を他に9系列用意し、6-1の中で最もmを減少させた仮スケジューリング法と外注部品選択優先規則であるMO-Rule4を用いて $S=1$ 、 $T_2=\infty$ での乱数10系列によるR（実際の機械稼働率）とmの関係を調べ、Table6-2-1に設定機械稼働率ごとのmの値、Table6-2-2に実際の機械稼働率R、また、Fig.6-2-1にRとmを示す。

Table. 6-2-1 金型メイクスパン比m (10系列におけるMO-Rule4)

設定機械稼働率	70.0%	72.5%	75.0%	77.5%	80.0%	82.5%	85.0%	87.5%	100.0%
1系列	1.65	1.77	1.90	2.06	2.31	2.64	3.05	3.73	4.56
2系列	1.73	1.89	2.08	2.38	2.70	3.07	3.64	3.82	3.82
3系列	1.86	2.01	2.16	2.45	2.93	3.57	3.66	3.66	3.66
4系列	1.98	2.14	2.42	2.75	3.19	3.22	3.22	3.22	3.22
5系列	1.64	1.78	1.99	2.27	2.65	3.11	3.69	3.99	5.45
6系列	1.84	1.95	2.07	2.33	2.59	2.94	3.40	3.85	4.03
7系列	1.90	2.10	2.29	2.54	2.79	3.04	3.50	4.16	4.76
8系列	1.81	2.01	2.32	2.79	3.24	3.81	4.31	4.31	4.31
9系列	1.84	2.00	2.16	2.45	2.76	3.13	3.37	3.61	4.17
10系列	1.79	1.90	2.09	2.31	2.73	3.39	4.54	6.11	6.35
平均	1.80	1.96	2.15	2.43	2.79	3.19	3.64	4.05	4.43

Table. 6-2-2 実機械稼働率R (10系列におけるMO-Rule4)

1系列	69.70	72.13	74.57	77.02	79.50	82.02	84.13	86.18	88.00
2系列	70.00	72.52	75.02	77.52	80.02	82.52	85.02	86.13	86.13
3系列	69.85	72.29	74.80	77.62	80.53	83.46	84.13	84.13	84.13
4系列	69.91	72.27	74.64	77.02	79.50	79.95	79.95	79.95	79.95
5系列	70.19	72.72	75.26	77.80	80.33	82.79	84.90	86.29	88.45
6系列	69.17	71.13	73.11	75.09	77.09	79.24	81.59	82.96	83.56
7系列	70.12	72.66	75.19	77.68	79.58	81.47	83.40	85.40	87.00
8系列	69.79	72.71	75.61	78.45	81.29	84.12	85.87	85.87	85.87
9系列	70.03	72.54	75.03	77.55	80.21	82.90	84.37	85.41	87.08
10系列	69.72	72.14	74.56	77.06	79.85	82.58	85.31	87.99	88.62
平均	69.85	72.31	74.78	77.28	79.79	82.10	83.87	85.03	85.88

MO-Rule4 T2=∞ κ=1 S=1

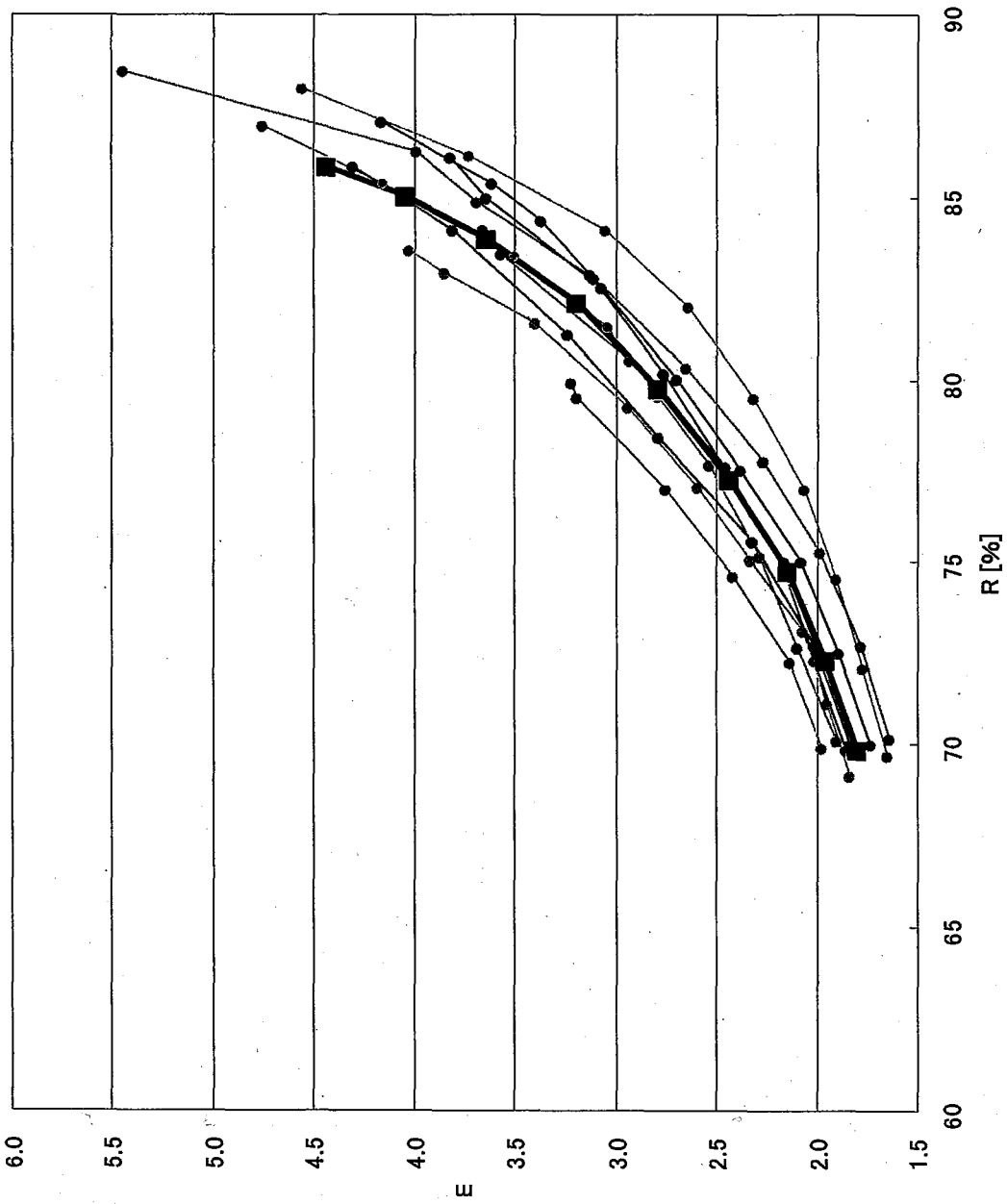


Fig. 6-2-1 機械稼働率 R と金型メイクスパン比 m の関係 (10 系列における MO-Rule4)

第7章 結言

本研究では、中小企業の金型生産における納期の短縮と納期遅れ減少を目指すため、外注工場の利用を考えた。モールド金型工場で生産される一括組立金型を対象として、異なる複数個の金型が日々投入される動的な環境下で、生産上ネックとなる部品を的確に外注部品として選択し、自工場の部品加工に対する日程計画を立案する外注部品選択システムを提案し、種々の外注部品選択システムのシステムパラメータが平均金型メイクスパン比 m に与える影響を明らかにし、外注部品選択システムの有効性を明らかにした。本研究で得られた結論は以下の通りである。

- 1) 外注工場の利用は短納期生産に有効であり、さらに外注部品選択システムを用いて外注部品選択を行うことでその有効性は増加する。
- 2) 仮スケジュール期間 T_2 が長いほど金型部品の遅れが正確に予測され、適切な外注部品選択が可能となる。
- 3) 外注候補部品は過去に投入された部品の影響を大きく受けるため、未来の投入金型情報の使用は不要である。
- 4) 最短納期生産に有効な仮スケジュールリング法と外注部品選択優先規則は MO-
Rule4 である。

参考文献

- 1、P. Pongcharoena, C. Hicksa, P.M. Braidena, D.J. Stewardson、Determining optimum Genetic Algorithm parameters for scheduling the manufacturing and assembly of complex products, INT.J.PROD.ECO 78.(2002) 311-322
- 2、POOJA DEWAN and SANJAY JOSHI、Auction-based distributed scheduling in a dynamic job shop environment, INT.J.PROD.RES 2002, vol. 40, no. 5, 1173-1191
- 3、金型生産システムのスケジューリングに関する研究
野辺瑠美 平成13年 岩手大学大学院修士論文集
- 4、金型生産システムに対する高能率スケジューラーの開発
佐藤義也 平成15年 岩手大学大学院修士論文集

2. 2 金型生産工場の統合化生産システムに関する研究

第1章 緒言

現在、製品コスト削減のため、多くの機械部品や電子部品が金型を利用した‘ものづくり’へとシフトしており、今後、金型の需要はますます増加する傾向にある。しかし、一方では、日本の金型技術の海外流出により、中国をはじめとするアジア諸国の金型生産能力が向上し、金型受注に対する国際企業間の競争も激しさを増している。このような状況下で、国内の金型の企業が、海外の金型の企業よりも優位な金型受注を進めるためには、これまで以上に品質の優れた金型を高度の設計・加工技術を駆使して短納期で生産する戦略的差別化が必要となり、高度の受注戦略・設計技術・生産管理技術や新たな生産システムの構築など数多くの課題を解決する必要がある。特に、日本の各金型企業は、地域に分散し生産設備が不十分な中小企業が中心となっており、日本の各金型企業は受注戦略や生産効率の点から弱い立場にある。したがって、今後は、地域に分散している中小企業群の生産設備情報と生産管理情報をネットワークで有機的に結合し地域金型企業体のような複数の金型企業からなるネットワーク統合生産システムを構築し、企業群の相互情報に基づいた適切な金型受注方式を考え、企業間による加工・組立作業の相互補完を考慮した最適な企業間作業配分による金型受注量増加とリードタイム削減や短納期を目指す必要がある。

そこで本研究では、上述したネットワーク統合生産システムの構築を目指すための1歩として、複数の金型企業で構成され一括組立金型の共同受注を行う統合生産システムを構築し、統合生産システムの効果を調べる。具体的には、独立した日程計画を立案可能な各企業のスケジューリングシステムを統合し、共同受注金型を各企業に配分する新たな統合スケジューリングシステム（受注金型配分システム）を考案する。また、受注金型を最適配分するための配分規則を考案し、配分規則が統合生産システムの生産効率に及ぼす影響を解析する。

第2章 統合生産システム

2-1 システムモデル

本研究で対象とする統合生産システムは Fig.2-1 に示すように、複数の金型企業で構成され、共同受注した金型を協調して生産する統合されたシステムである。本システムでは、共同受注した金型は、個別に、各企業によって配分規則を用いて評価され、メイクスパン比や、メイクスパン、納期遅れなど各企業の目標としている評価尺度を小さい値にするような生産が可能となる企業に配分され生産される。このとき、各金型企業は、Fig2-2 に示すような生産システムを持つ。本研究では、対象金型が一括組立金型であるので、金型を構成する全ての部品の加工工程が終わるまで工作機械により加工し、金型を構成する全ての部品の加工工程が終了したら組立機械で組み立てられ完成する。ここで、企業 K の生産システムは、 MC_{MK} 種類の工作機械で(種類 i の工作機械台数 N_{Ki} ($i=1,2,\dots,M_K$))と各工作機械に付属した容量 C の 2 種類のバッファ、すなわち入力バッファ BI_{ij} ($j=1,2,\dots,N_i$)と出力バッファ BO_{ij} および AC_{NNK} 台の組立機械で構成される。ただし、搬送待ちは後続の工程作業を行う工作機械の入力バッファがしかりジョブでふさがっている場合に発生し、作業終了ジョブは即座にシステム外に搬送される。

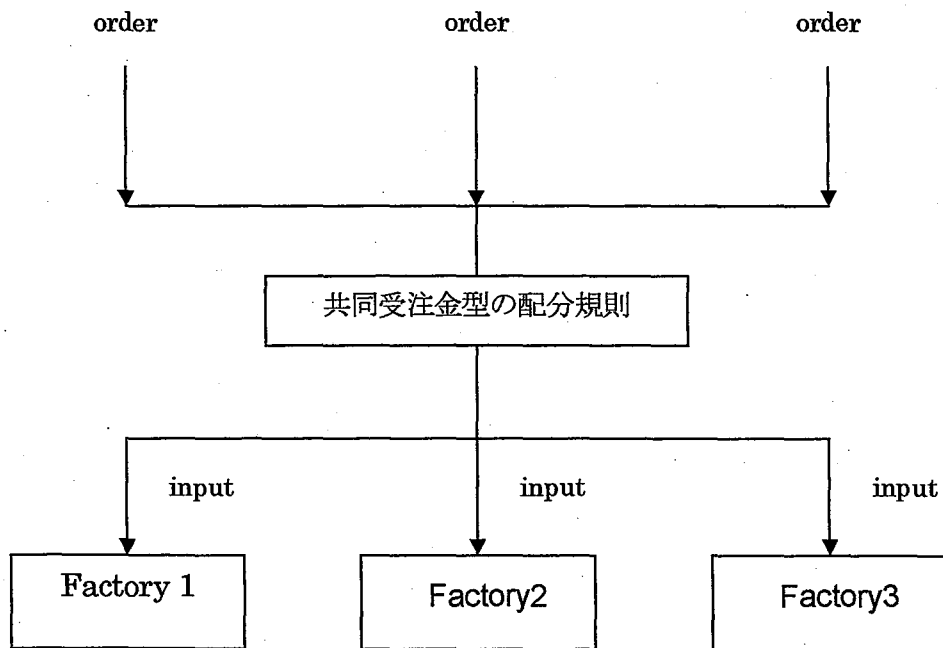


Fig.2-1 統合生産システム

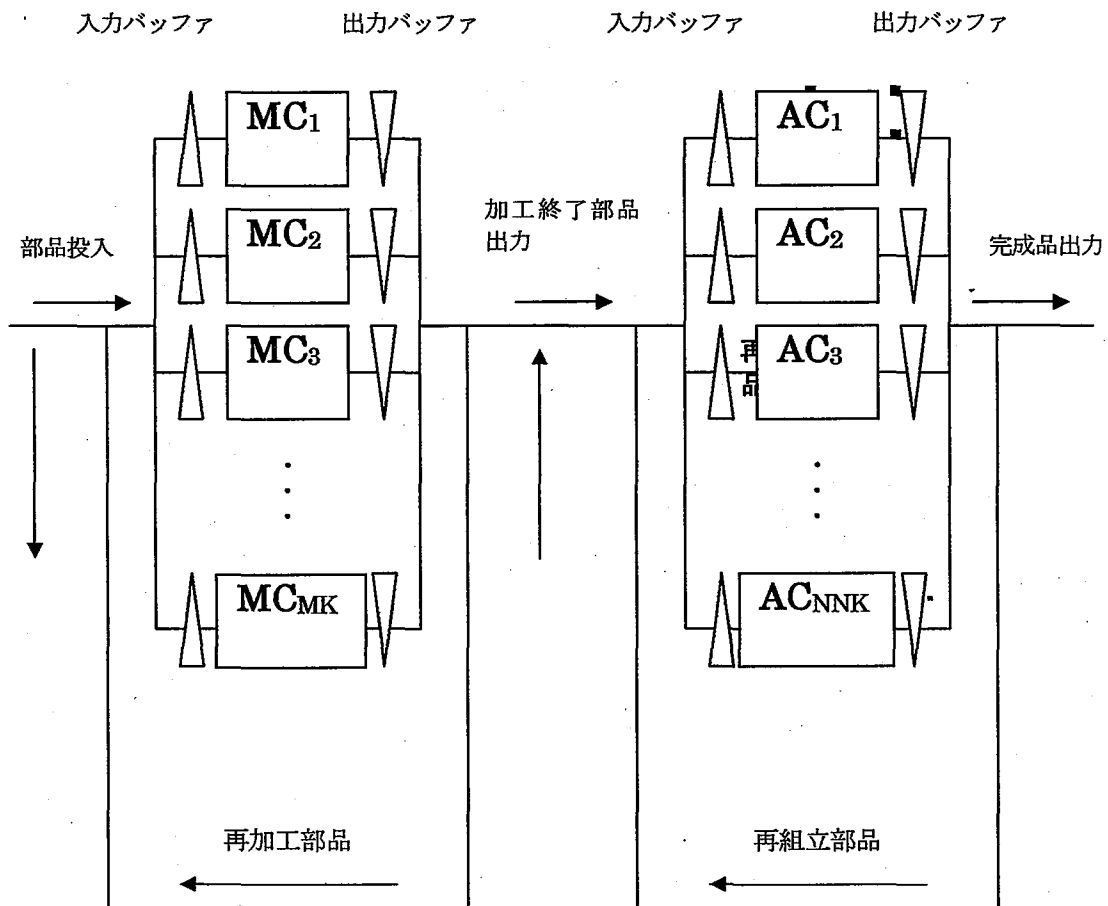


Fig.2-2 各企業の生産システム

2-2 統合スケジューリングシステムのモデル

統合スケジューリングシステムは統合生産システムを構築するために配分規則や仮スケジューリングを用いて複数の企業に金型を配分し統合するプログラムであり、このプログラムのメインプログラムの流れは Fig.2-3 に示す。メインプログラムは、金型を受注しその受注金型を仮スケジューリング法または、非仮スケジューリング法を使用し各企業に割り当て実スケジューリングで加工し1日が終了する。このアルゴリズムを規定日数分だけ繰り返し終了である。ここで仮スケジューリング法のアルゴリズム、非仮スケジューリング法のアルゴリズムは以下の(1)、(2)に示し、各企業内のスケジューリングである実スケジューリングは2-3 に示す。また、金型受注は各企業の受注金型を統合する。

ここで統合スケジューリングシステムのプログラム使用条件を以下に示す。

- ・企業の本数は最大5企業とする

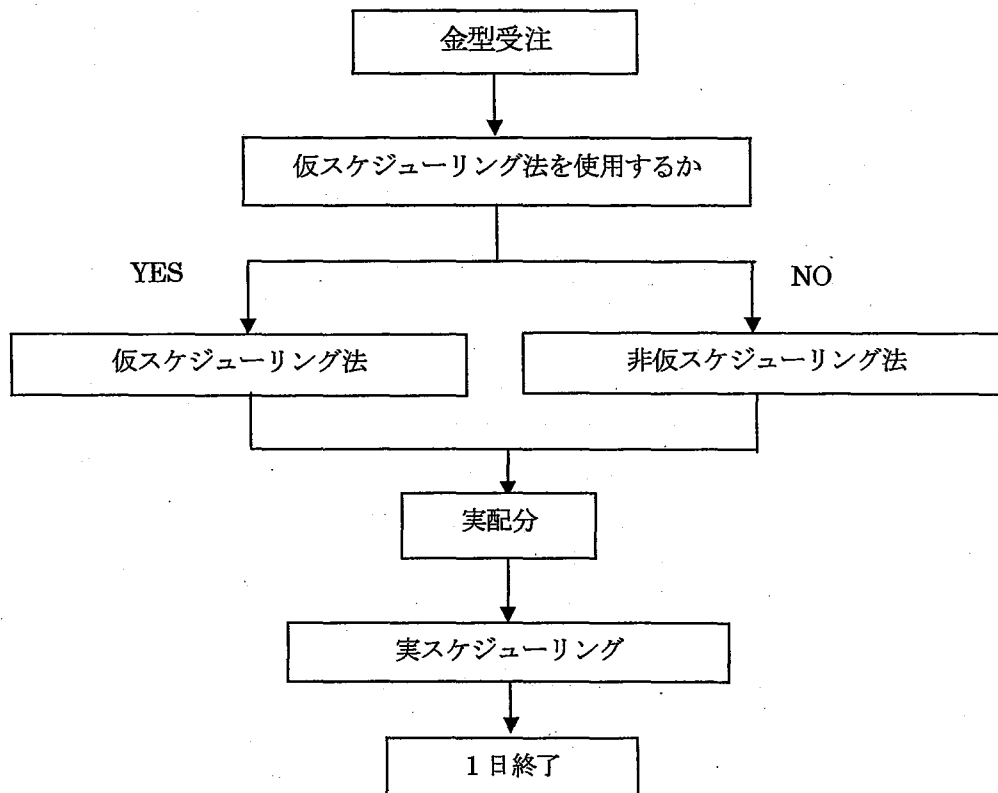


Fig.2-3 統合スケジューリングシステムアルゴリズム

(1) 仮スケジューリング法

仮スケジューリング法のアルゴリズムはFig2-4に示す。Fig2-4はその時点での各企業の状態を表している。企業 a,b,c が存在し、統合生産システムで金型を受注した時点での残作業量をそれぞれ A,B,C とする。この状態で、1つの金型(金型 i)を全企業に仮に入力し、企業内に存在する金型が全て完成するまで仮にスケジューリングを組み、結果を出力する。その結果を使い評価基準を計算し、各企業の評価尺度を比較し実際に金型を割り当てる企業を決定する。

その後、実際に割り当てる企業に金型を割り当てる(Fig2-4では仮に企業 a とする)。これを全ての金型が配分されるまで繰り返し終了する。

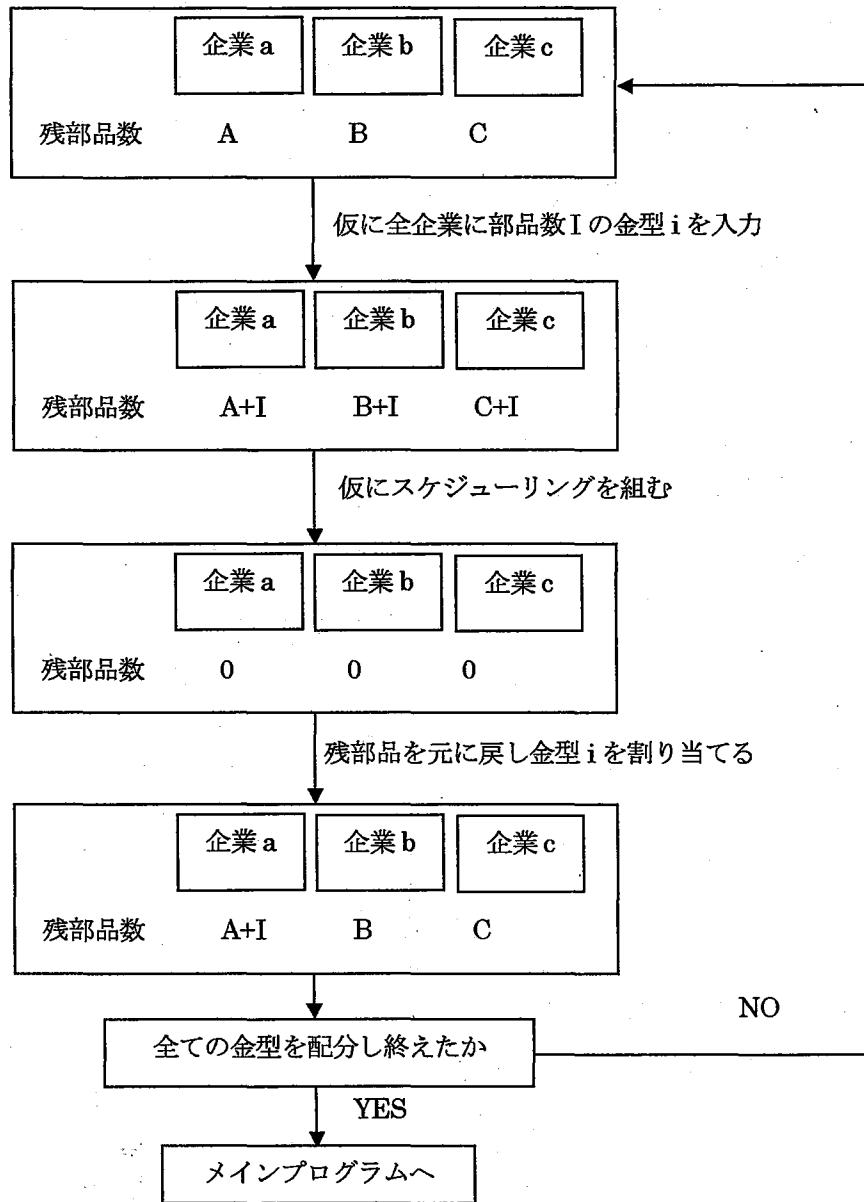


Fig.2-4 仮スケジューリング法

(2) 非仮スケジューリング法

非仮スケジューリング法のアルゴリズムは Fig.2-5 のようになっている。これはその日に投入された金型の1つを各企業に仮に入力し、入力された金型も含めて企業内の評価尺度を計算する。計算した評価尺度により配分する企業を決定し、評価尺度を元に戻した後、実際に配分する(Fig.2-5 では仮に企業 a とする)。この操作を受注金型が全て配分し終わるまで繰り返す。

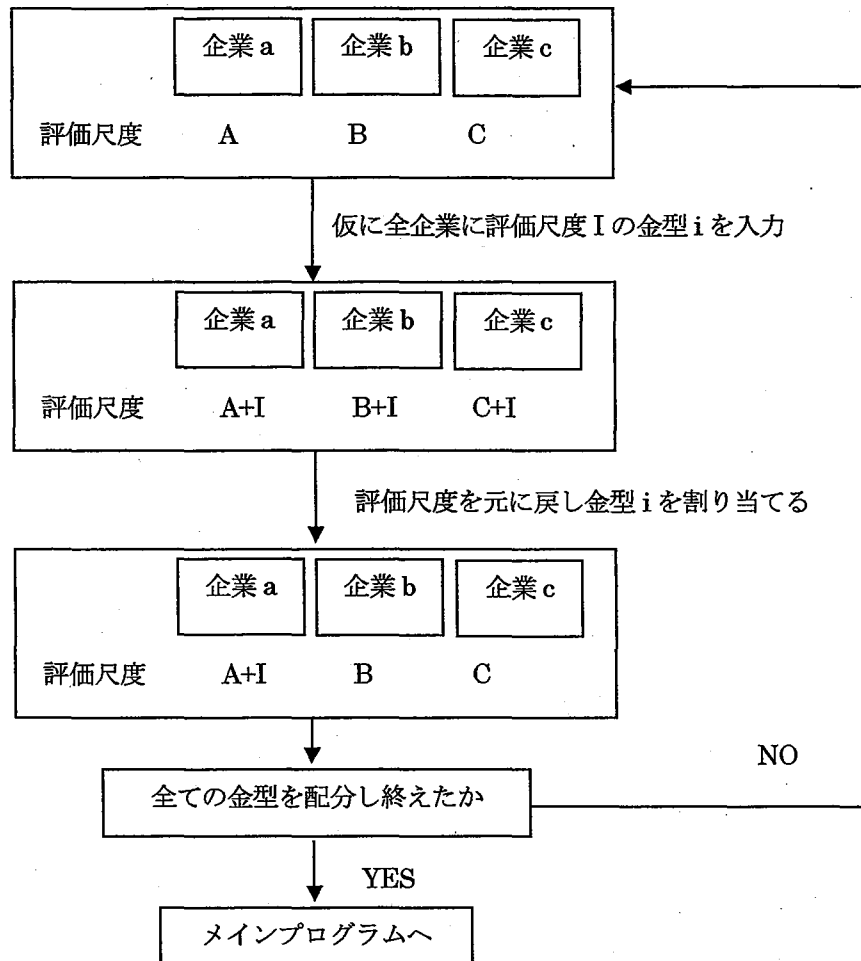


Fig.2-5 非仮スケジューリング法

2-3 各企業のスケジューリングシステム

金型は、一般に加工工程の異なる多数の部品で構成され、金型ごとにその構成部品は異なる。したがって、複数の異なる金型が日々投入される生産システムでは製造すべき部品の種類と数が多く、日々変化するダイナミックな環境下であり、システム内では数百から数千に及ぶ多数の部品が種々の工作機械間を流れる複雑な物流挙動を示す。したがって、各企業は効率的な金型生産を行い、金型のメイクスパンを減少させるには、金型やその構成部品を効率よく加工し、組み立てるための最適なスケジューリングを行う必要がある。

そこで各企業内で効率的な金型生産を行うためにスケジューリングシステムとしてディスパッチングルールを用いる。このとき、毎日連続で投入される K 個のジョブが M 種の工作機械で加工される場合の最適スケジューリングを考えるには、約 $(K!)^M$ の組み合わせを考える必要があり、計算時間の点から実用的でない。またシステムはダイナミックな環境下であり、システム状態が、時間経過とともに次々と変化していくため最適解を求めることが難しい。そこで、スケジューリングシステムの方法として、ジョブを各工作機械に割り当てる際にある規則、すなわちディスパッチングルールを用いて各機械への割当を考えることにする。ディスパッチングルールについては第3章で説明する。

また、本研究の各企業のシステムに対してスケジューリングを考えるにあたり、以下の仮定を導入する。

- 1) 各工作機械に付属している入力および出力バッファはそれぞれ無限容量と考え、各工作機械はブロックを起こさない。
- 2) 部品の割当に際して、部品の搬送経路での搬送時間は各部品の作業時間に比べて小さいので無視する。
- 3) 各工作機械は故障しない。
- 4) 工作機械の稼働時間は24時間無休とする。
- 5) 金型の追加投入時刻は毎朝の9時とする。
- 6) 各工作機械は1度に1個のジョブを処理する。
- 7) 段取り時間は作業時間に含まれる。

また、本研究で使用するプログラムの各企業内の使用条件は以下のとおりである。

- (1) 1つの金型に対して金型に対しての部品個数は最大 39 個とする。
- (2) 1つの部品の工程数は最大 20 工程とする。
- (3) 各企業内に滞在できる金型数は最大 150 個である。
- (4) 各企業内に滞在できる最大部品数は 2000 個とする。
- (5) 各企業内の各機械の機械台数は、最大 40 とする。

ここで各企業内でのスケジューリングシステムを Fig.2-6 に示す。ここでは、まず各企業内で加工工程のスケジューリングを行い、組立工程でのスケジューリングを行い不要データの削除して、実スケジューリングが終了する。

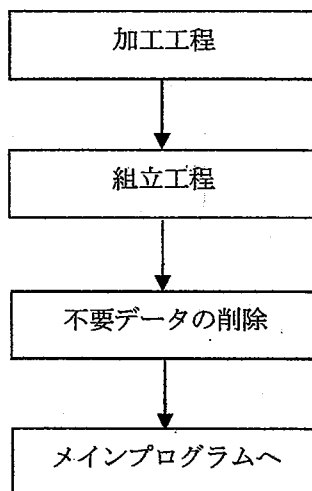


Fig.2-6 実スケジューリング

2-4 配分規則

統合生産システムで共同受注した金型を各企業に配分する場合、各企業の機械稼働率を高く維持する、リードタイムや納期を短縮する必要がある。そこで、金型の各企業への配分規則として、以下のRule1、2、3、4を考案する。これらの規則の結果は解析で、金型受注、加工を全て独立の企業で行った結果と比較する。また、Rule1、2、3、4では独立の企業で用いた各企業の受注金型を統合し、共同受注金型として用いる。

ここでRule2は、各企業の作業負荷量を均等に振り分けることによって、特定の企業の作業負荷量を増加させず各企業の作業負荷量を均等化することによりメイクスパンを減少することができると考え考案した。Rule3は各企業のネック機械1台分の残作業負荷の小さい工場に振り分けることで、特定の企業のネック機械の残作業負荷を増加させず各企業のネック機械の残作業負荷量を均等化することにより、メイクスパンを減少することができると考え考案した。Rule4は仮に企業内で金型の加工スケジュールリングを立案することにより、具体的に全金型の平均組立開始時刻を計算することができ、それによりメイクスパンを減少させることができると考え考案した。

Rule1:受注順に各企業に配分する

Rule2:金型受注時点で各企業内の総残作業量が最小の企業に配分する

Rule3:金型受注時点で各企業内のネック機械となっている機械の1台あたりの総残作業量が最小の企業に配分する

Rule4:企業内に残っている全金型が完成するまでスケジュールを立案し、全金型の平均組立開始可能時刻が一番小さい企業に割り振る

第3章 統合スケジューリングシステム

本研究では、同一規模の金型企業3社で構成されるシステムを対象として、統合生産システムの基本的な効果を調べる。また、対象金型は金型を構成する全ての部品の加工終了後に組立を行う一括組立金型とする。

3-1 シミュレーション条件

本研究で使用した各企業のディスパッチングルールはメイクスパン減少に有効である、第1優先規則 MO、第2優先規則 DDATE(MO-DDATE)と、第1優先規則 MO1、第2優先規則 DDATE21(MO1-DDATE21)の2種類の優先規則である。ここでそれぞれの規則の概要を以下に示す。

- DDATE:工程納期の早い順に割り当てる。
- DDATE21:工程納期遅れを発生させた部品を含む金型の全部品の後工程の工程納期を、現時点で発生した工程納期遅れ時間分だけ、逐次遅らせるように修正する。その後、修正工程納期の早い順に割り当てる。
- MO:部品加工納期(組立最遅開始時刻)の早い順に割り当てる。
- MO1:DDATE21で求められた修正部品加工納期(修正組立最遅開始時刻)の早い順に割り当てる。

また、本研究で用いたシミュレーション条件は実際の金型企業を参考にして以下のように設定した。ただし、以下の条件は1企業あたりの条件である。

- i日目の投入金型個数 N_i ($i=1,2,\dots$):1企業あたり平均 m_N 個、区間 $[0,2 \cdot m_N]$ の一様分布
- 金型jの部品数 $NP_{i,j}$ ($i=1,2,\dots,N_i$):平均 m_{NP} 個、区間 $[1,2 \cdot m_{NP}-1]$ の一様分布
- 各部品の加工工程数 $NPS_{i,j}$:Table1の作業プロセスからランダムに選択
- 各部品各加工工程の使用工作機械:Table3-1の作業プロセスからランダムに選択
- 各加工工程の作業時間 $O_{i,j,k}$ ($k=1,2,\dots,NPS_{i,j}$):平均 m_0 分の指数分布
- 各組立工程の作業時間 $OA_{i,j}$:平均 $(AP-1) \cdot m_0$ 分の $(AP-1)$ アーラン分布、ただし AP は組立部品数

ただし、 $m_{NP}=20$ 、 $m_0=100$ と固定し、 $m_N=5,4.5,4,3.5$ と作業負荷を変化させた。また、機械台数は Table3-2 のように設定した。

本研究では複数の企業に対して、加工工程での最適なスケジューリング法を考えている。したがって、組立作業がスケジューリング性能に影響を及ぼさないように、すなわち、組立作業で新たな納期遅れが発生しないように組立機械台数を無限大とした。実際に用いた組立機械台数は20台であるが、同時に20台すべて組立作業で埋まることなく組み立て機械台数無限大と同様の状態にした。シミュレーションは、各企業個別の受注金型を発生させるため乱数系列10種類用意し、その乱数系列を使い1日に投入する金型数や、部品数、工程、加工時間などを決定する。その後工程納期などを計算して、PERTデータにする。その各企業個別のPERTデータを組み合わせて5パターンの共同受注金型系列を作成し、500日間行った。解析には後半の400日のデータを用い、その結果の平均値を使った。

Table 3-1 加工工程の加工機械使用順序

TYPE	プロセス							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	B	SG1						
2	B	G						
3	SG2	CH	PG2	PG1	LA			
4	SG2	EDM	CH	PG2	PG1			
5	HQ	SG2	PG1	JG	CH	PG2	LA	
6	HQ	SG2	CH	PG2	EDM	PG1	LA	
7	JB	B	HQ	SG2	PG1	HF	JG	
8	JB	B	HQ	SG2	WE	SG2	PG1	JG

Table 3-2 機械台数と作業負荷率

機械名	台数	作業負荷率(%)			
		$m_N=5$	$m_N=4.5$	$m_N=4$	$m_N=3.5$
JB	2	86.8	78.12	69.44	60.76
B	4	86.8	78.12	69.44	60.76
HQ	4	86.8	78.12	69.44	60.76
G	1	86.8	78.12	69.44	60.76
SG1	1	86.8	78.12	69.44	60.76
SG2	7	86.8	78.12	69.44	60.76
CH	4	86.8	78.12	69.44	60.76
EDM	2	86.8	78.12	69.44	60.76
PG2	4	86.8	78.12	69.44	60.76
PG1	6	86.8	78.12	69.44	60.76
WE	1	86.8	78.12	69.44	60.76
HF	1	86.8	78.12	69.44	60.76
LA	3	86.8	78.12	69.44	60.76
JG	3	86.8	78.12	69.44	60.76

3-2 評価尺度

複数の企業における、金型の組立開始までの全部品加工メイクスパンを最小化する配分規則を明らかにするため、以下の評価尺度を用いる。

- 1) m :メイクスパン比($B1/B2$)の平均値。ただし、 $B1$ は全部品加工終了時刻－素材投入時刻を表し、 $B2$ は PERT における金型のクリティカルパス加工時間を表す
- 2) σ :メイクスパン比の標準偏差
- 3) m_{\max} :メイクスパン比の最大値
- 4) $B1_{\text{ave}}$:組立開始までのメイクスパン(全部品加工終了時刻－素材投入時刻)の平均値

3-3 解析

統合生産システムにおける受注金型配分システムの配分規則が統合生産システムの効果に及ぼす影響を調べるため、 m_N を 3.5, 4, 4.5, 5 と変化させ、 m , σ , m_{max} , $B1_{ave}$ と m_N の関係をシミュレーションで求め、Table.3-3~3-6、Fig.3-1~3-4 に示す。ただし、各企業のスケジューリングシステムで使用するディスパッチングルールは MO-DDATE、MO1-DDATE21 とし、比較のため、各企業が独立に受注金型を生産する場合の結果を独立で示した。

Table.3-3 配分規則と m の関係

		m									
		MO1-独立	MO1-Rule1	MO1-Rule2	MO1-Rule3	MO1-Rule4	MO-独立	MO-Rule1	MO-Rule2	MO-Rule3	MO-Rule4
m_N	5	4.46	3.25	3.07	3.07	2.67	5.49	3.75	3.43	3.47	3.03
	4.5	2.92	2.27	2.16	2.19	2.00	3.29	2.44	2.29	2.33	2.10
	4	2.27	1.86	1.77	1.81	1.69	2.46	1.93	1.81	1.83	1.71
	3.5	1.93	1.60	1.56	1.57	1.51	1.93	1.61	1.55	1.57	1.50

Table.3-4 配分規則と σ の関係

		σ									
		MO1-独立	MO1-Rule1	MO1-Rule2	MO1-Rule3	MO1-Rule4	MO-独立	MO-Rule1	MO-Rule2	MO-Rule3	MO-Rule4
m_N	5	3.11	1.87	1.63	1.55	1.26	4.26	2.20	1.85	1.85	1.51
	4.5	1.79	1.09	0.94	0.93	0.79	2.08	1.27	1.08	1.14	0.91
	4	1.14	0.78	0.67	0.67	0.57	1.60	0.98	0.78	0.68	0.58
	3.5	0.80	0.56	0.50	0.49	0.43	0.91	0.59	0.49	0.49	0.41

Table.3-5 配分規則と m_{max} の関係

		m_{max}									
		MO1-独立	MO1-Rule1	MO1-Rule2	MO1-Rule3	MO1-Rule4	MO-独立	MO-Rule1	MO-Rule2	MO-Rule3	MO-Rule4
m_N	5	21.80	14.94	12.24	11.49	9.51	98.43	36.89	35.21	37.91	28.44
	4.5	13.50	9.07	7.87	7.78	6.95	32.59	22.26	20.51	23.93	15.65
	4	9.13	7.84	6.31	6.25	5.43	36.62	19.28	13.66	10.38	7.41
	3.5	6.84	5.60	4.96	4.80	4.18	15.46	9.98	7.34	7.88	4.43

Table.3-6 配分規則と $B1_{ave}$ の関係

		$B1_{ave}$									
		MO1-独立	MO1-Rule1	MO1-Rule2	MO1-Rule3	MO1-Rule4	MO-独立	MO-Rule1	MO-Rule2	MO-Rule3	MO-Rule4
m_N	5	5323	3846	3621	3621	3150	5897	4074	3750	3776	3343
	4.5	3455	2657	2459	2559	2335	3620	2710	2548	2585	2366
	4	2666	2170	2057	2100	1961	2723	2166	2045	2063	1953
	3.5	2185	1858	1927	1812	1745	2181	1833	1765	1784	1718

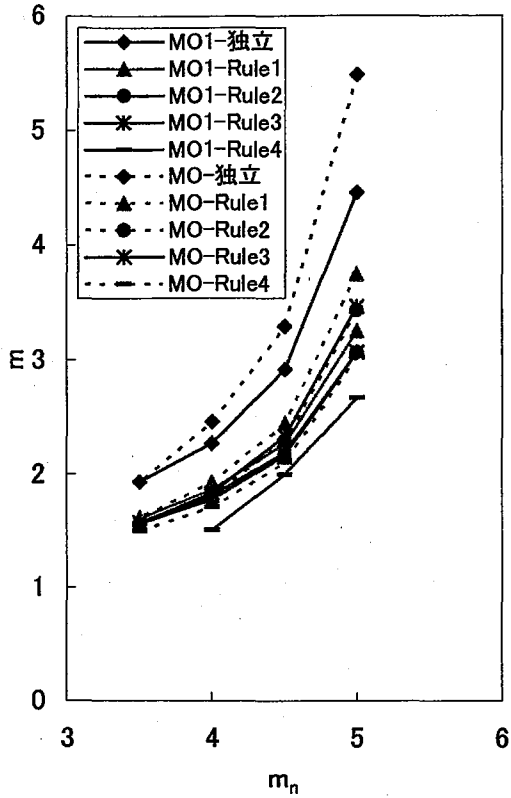


fig3-1. 配分規則とmの関係

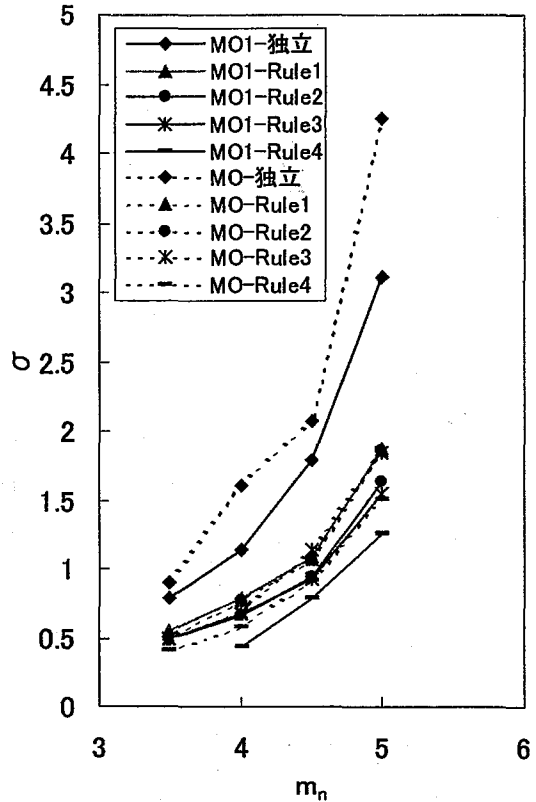


fig3-2. 配分規則とσの関係

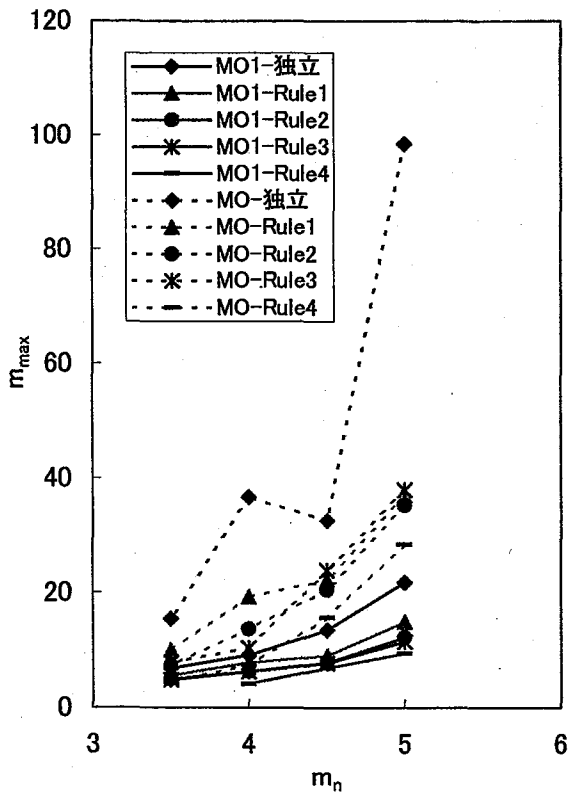


fig3-3. 配分規則と m_{max} の関係

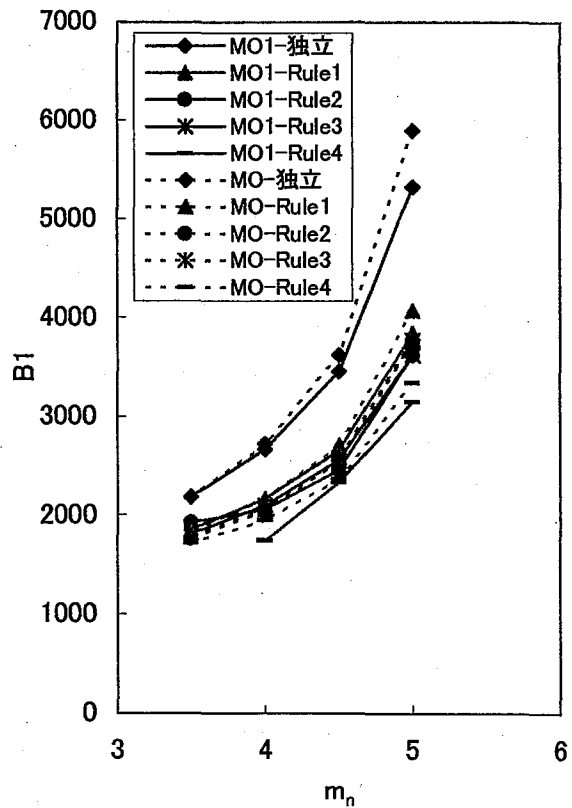


fig3-4. 配分規則と $B1_{ave}$ の関係

(1)MO-DDATE を用いた場合の評価

各企業がスケジューリングを行う場合のディスパッチングルールとしてMO-DDATEを用いた場合の各配分規則が m 、 σ 、 m_{\max} 、 $B1_{ave}$ に及ぼす影響を Fig.3-1~3-4 の破線で示す。Fig. 3-1~3-4 から、各企業の統合は各評価尺度を大きく改善していることがわかる。Table.3-3~3-6 より独立の企業と統合生産システムを比較すると、平均メイクスパン比が $m_N=5$ のとき、統合生産システムの中で1番大きい値を示した Rule1 は1.7以上減少し、Rule2,3は2近く減少する。また、 $m_N=4.5$ の場合、0.85~1、 $m_N=4$ の場合、0.53~0.65、 $m_N=3.5$ の場合、0.32~0.38 の減少となり、作業負荷が小さくなるにつれ平均メイクスパン比の減少量は小さくなる。しかし、全ての作業負荷において減少する。他の評価尺度についても平均メイクスパン比と同様な結果が得られた。この結果、統合生産システムの有効性が示され、全ての評価尺度において m_N が増加するにつれ、統合生産システムの効果が大きくなる。また、Rule1、2、3、4 の比較では、Rule4 が最も優れており、次いで Rule2、3 が優れており、Rule2、3 の差はほとんどない。統合生産システムが効果的である理由として、以下のことが考えられる。

- ・各企業へ受注金型が作業量的にバランスよく配分される。
- ・ネックとなる工作機械台数がシステムとして増加し、ネックになりにくくなる。

(2)MO1-DDATE21 を用いた場合の評価

各企業がスケジューリングを行う場合のディスパッチングルールとして MO1-DDATE21 を用いた場合の各配分規則が m 、 σ 、 m_{\max} 、 $B1_{ave}$ に及ぼす影響を Fig.3-1~3-4 の実線で示す。Fig.3-1~3-4 と Table.3-3~3-6 から、独立の企業と統合生産システムを比較すると、平均メイクスパンが $m_N=5$ の場合、1.21~1.79、 $m_N=4.5$ の場合、0.65~0.92、 $m_N=4$ の場合、0.41~0.58、 $m_N=3.5$ の場合、0.33~0.42 減少することがわかる。他の評価基準も同様な結果を示した。また、MO-DDATE と MO1-DDATE21 の結果は同様な傾向を示し、MO1-DDATE21 でも各企業の統合は各評価尺度を大きく改善し統合生産システムの有効性が示される。

(3)MO-DDATE と MO1-DDATE21 の比較

Fig.3-1~3-4 を用いて、MO-DDATE と MO1-DDATE21 の2つの優先規則の結果を比較する。Fig.3-1~3-4 と Table.3-3~3-6 から、MO1-DDATE21 は MO-DDATE に比べ、すべての配分規則、作業負荷で各評価尺度を減少させていることがわかる。また、独立の企業で生産した場合、MO-DDATE と MO1-DDATE21 の差は大きいですが、Rule1 や Rule2,3 など評価基準値が小さい値を示していくとその差は小さくなる。

第4章 結言

本研究は統合生産システムを構築するために統合スケジューリングシステムを開発した。また、受注金型配分システムにおける配分規則と各企業のスケジューリングシステムで用いられるディスパッチングルールが統合生産システムの効果に及ぼす影響をシミュレーション解析し、以下の結論を得た。

(1) 統合スケジューリングシステムを開発した。

(2) 統合生産システムはメイクスパンやメイクスパン比の減少に効果的であり、今回提案した配分規則によりメイクスパン比を Rule1 で最大 1.74、Rule2 で最大 2.06、Rule3 で最大 2.07、Rule4 で最大 2.46 減少させた。Rule4 は各評価尺度で最小値を与え、Rule2,3 は Rule1 より各評価尺度を減少させ、2つの規則に差はほとんどない。よって考案した配分規則の中では Rule4 が最適である。

(3) 統合生産システムで各企業が用いるスケジューリングシステムはメイクスパンとメイクスパン比に影響を与え、MO1-DDATE21 は MO-DDATE よりも優れたディスパッチングルールである。