
金型生産における
戦略的管理運営システムの開発

課題番号 11680433

平成11, 12, 13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 14 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11年度	1,900	0	1,900
平成12年度	400	0	400
平成13年度	400	0	400
総計	2,700	0	2,700

研究発表

(1) 学会誌等

井山俊郎、水野雅裕、野辺留美、田牧純一、山崎健三
一括組立の金型生産に対するスケジューリング(ディスパッチングルールの影響と加工納期の推定), 日本機械学会論文集, 67 巻, 655 号 C 編, pp.269-275(2001 年3月)

(2) 口頭発表

- ・井山俊郎、水野雅裕、野辺留美、山崎健三、田牧純一
一括組立金型のスケジューリング法に関する研究, 日本機械学会東北支部第 35 期総会・講演会講演論文集, pp.156-157(2000 年3月)
- ・井山俊郎、水野雅裕、野辺留美、田牧純一、山崎健三
金型生産システムにおけるスケジューリング(外注部品選択の効果), 精密工学会東北支部学術講演会講演論文集, pp.83-84(2000 年 12 月)
- ・井山俊郎、水野雅裕、佐藤義也、山崎健三
金型生産システムにおけるスケジューリング(サブ組立を持つ金型生産の場合), 日本機械学会東北支部盛岡地方講演会講演論文集, No.011-2, pp.153-154(2001 年9月)

目 次

1. 研究活動報告	.....	1
1.1 活動報告	.....	1
1.2 活動実績・スケジュール	.....	2
2. 研究内容	.....	3
3. 研究成果	.....	43
3.1 一括組立金型のスケジューリング法に関する研究	.....	43
3.2 金型生産システムにおけるスケジューリング(外注部品選択の効果)	.....	45
3.3 一括組立の金型生産に対するスケジューリング(ディスパッチングルール の影響と加工納期の推定)	.....	47
3.4 金型生産システムにおけるスケジューリング(サブ組立を持つ金型生産 の場合)	.....	54

1. 研究活動報告

1.1 活動報告

金型は、一般に、生産設備が不十分な地域に分散した中小企業が中心となって製造しており、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、地域に分散している企業群の生産技術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様な分散型ネットワーク企業体を形成し、企業群の相互情報に基づいた外注・受注方式を考え、加工・組立作業の相互補完を考慮した最適な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。そこで本研究では、上述の目標達成の基礎研究として、受注戦略を有利にし高いコストパフォーマンスが得られる生産管理運用技術および生産システム構築技術に関し、1) 金型生産の納期短縮を行うスケジューリング法の開発。2) 最適な外注部品選択を行う外注システムの開発を行った。

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

- 1) ダイナミックな環境下で稼動する一括組立生産システムにおいて金型の最短加工メイクスパンを与えるディスパッチングルールを明らかにした点
- 2) 一括組立金型の納期遅れ割合を一定値以下に抑える納期設定法を提案した点
- 3) 機械稼働率を維持しながら金型納期遅れ割合を最小化する外注部品選択法を提案した点
- 4) ダイナミックな環境下で稼動するサブ組立生産システムにおいて金型の最短加工メイクスパンを与えるディスパッチングルールを明らかにした点

である。

したがって、これらの研究成果を応用することにより、短納期を目指した金型生産が、また、納期遅れを最小化する納期設定が可能となり、企業間競争において有利な受注が可能となる。さらに、最適外注部品選択法を応用することにより、単独企業だけでは受注できない製品の受注に対し、どのような部品を外注に出すべきかの最適な判断が可能となり、外注工場との協力の下、さらなる受注増の可能性が広がる。

また、これらの内容に関する研究成果発表論文を3. に掲載した。

1.2 活動実績・スケジュール

<1999年度>

1999年7月 岩手大学地域共同研究センター・技術シーズフェスタ'99において「金型製造におけるスケジューリング技術」を発表

1999年8月 三陸地域研究交流促進事業「産学官の交流の促進」において「金型製造におけるスケジューリング技術」を発表

2000年2月 ㈱多加良製作所二戸工場見学・打ち合わせ

2000年3月 日本機械学会東北支部地方講演会において論文発表

<2000年度>

2000年4月 ㈱多加良製作所東京工場見学・打ち合わせ

2000年5月 ㈱多加良製作所北上工場見学・打ち合わせ

2000年11月 K.N.F.(北上ネットワークフォーラム)講座—INS企業講座において「金型製造におけるスケジューリング技術」を発表

2000年12月 精密工学会東北支部地方講演会において論文発表

2001年3月 日本機械学会論文集に論文「一括組立の金型生産に対するスケジューリング」を発表

<2001年度>

2001年5月 ㈱多加良製作所二戸工場打ち合わせ

2001年9月 日本機械学会東北支部地方講演会において論文発表

2. 研究内容

第1章 緒言

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、効率的な金型生産を行うためには、各金型の各部品各工程に対し適切な製造日程計画を立案することが要求される。特にモールド金型のように一括組立を必要とする金型は、金型を構成するすべての部品の加工が終了した時点で組立を開始するので、構成部品の中で加工終了時刻が最遅である部品が、金型の組立開始時刻を決定する。このためすべての部品の加工終了時刻を同一時刻にそろえる日程計画の立案が必要である。また、顧客サービスの向上や生産設備の有効利用の目的から、納期を可能な限り短縮するあるいは機械稼働率を可能な限り高めることも要求される。さらに顧客との信頼関係を維持する目的から、適切な納期を設定し納期遅れを発生させないあるいは納期遅れを最小化することが要求される。

日程計画を立案するスケジューリング法に関する研究はこれまでも数多く行われてきた。S.Barman(1997)は、3つのワークステーションからなるフローショップモデルに対し、流れ時間と遅れについて、ディスパッチングルールの評価を行い、生産速度と納期を重視するスケジューリングが流れ時間と遅れに対しよい影響を与えることを示した。また、D.H.Cummings Mckoy, P.J.Egbelu(1998)は加工工程と組立工程を持つモデルに対し、混合整数線形計画法(MILP)と MILP を用いたヒューリスティック解法について研究し、ヒューリスティック解法が MILP よりも少ない計算時間で、最適に近い値を出すことができることから、ヒューリスティック解法が MILP より実用的であることを証明した。M.A.B.CANDIDO, S.K.KHATOR, R.M.BARCIA(1998)は、遺伝アルゴリズム(GA)を用いて、平均完成時間とメイクスパンの評価を行い、多くの拘束条件や選択性を持つシステムに対しGAが有効であることを証明した。しかし、金型生産システムのように投入される金型が日々異なるダイナミックな環境下では、MILP や GA など解析解を求めることは適当ではないし、各金型の各部品は複数の工程を持ち、多種類の工作機械を使用するため、システムモデルもより複雑となる。したがって、組立を持つ生産システムのスケジューリング法、特に一括組立を必要とするダイナミックな環境下でのスケジューリング法についてはほとんど研究されていない。

また、納期設定法に関しては、TWK(Total work content)や、TWKCP(Total work content critical path)を用いた手法が数多く提案されているが、組立工程を含むシステムについてはほとんど研究されていない。Roman,D.B., Del Valle,A.G.(1996)は、組立工程を含むシステムに対し、納期遅れを発

生させない納期設定法 TWSIM (Total work based on simulation) を提案した。しかし、TWSIM はディスパッチングルールとして FASFS (First arrive system first served) を用いているため、未来の到着ジョブが過去に投入されたジョブよりも先に加工される可能性がなく、また、納期遅れをなくすために機械に強制的なアイドル時間を要求するあるいは未来の到着ジョブに大きなフロータイムを要求する。したがって、一括組立金型を対象とし、納期の関係でジョブの到着順と加工順が入れ替わるような可能性を持つダイナミックな環境下での納期設定法についてはあまり明らかにされていない。

そこで本研究では、はじめに

1. 一括組立金型の生産に適用可能な各種ディスパッチングルールを考案し、一括組立生産で最も重要な時間である組立開始時刻までの全部品加工メイクスパンを最小化するスケジューリング法を明らかにする。
2. また、上記のディスパッチングルールを用いてスケジュールを考案した場合に組立開始時刻の遅れを総生産金型数の一定割合以下に押さえるために必要な加工納期の納期係数設定法を明らかにする。
3. また、全部品加工メイクスパンを短くする可能性を持つ複数のディスパッチングルールを用いて納期が定められた金型の生産スケジュールを立案し、各ルールがスケジュールで発生する加工納期遅れ(組立最遅開始遅れ)に及ぼす影響を解析する。

その結果、最短納期を与える日程計画すなわちスケジューリング法として、修正加工納期や修正工程納期を用いたディスパッチングルールが優れていることがわかった。また、作業負荷と納期係数が金型の加工納期遅れに大きな影響を持ち、納期遅れを減少させるには、納期係数を大きくする、あるいは、作業負荷を減少させる必要があることがわかった。

しかし各工場では、高機械稼働率の条件下すなわち投入金型個数を増加し作業負荷が高い条件下で短納期を目指すので、一般にこのような条件を受け入れることができない。したがって各工場では、トレードオフの関係にある高機械稼働率及び短納期と納期遅れ金型の最小化を実現する必要があり、トレードオフ問題を解消する一方法として、スケジューリング上ネックとなる一部の金型部品を外注工場生産する方法を考慮する必要がある。

外注工場の利用は自工場生産上あるいは日程計画上ネックになると思われる部品を外注に出し、納期通りに加工することで、最小の機械稼働率低下または最小の作業負荷低下の下で、最短金型納期の実現を目指す、あるいは納期遅れの最小化を可能にすると思われる。しかし、現在各金型工場で行われている外注部品選択法は、一般に単純な山積み法による選択すなわち作業負荷が高い機械の作業を含む部品を選択しており、適切な外注部品選択に関する研究はほとんど行われていない。また、外注を選択した場合の外注作業量すなわち機械稼働率の低下量とメイクスパンある

いは金型納期遅れの関係や、さらに未来情報として今後投入される金型の情報量や情報の確かさが外注部品決定後のメイクスパンや金型納期遅れに及ぼす影響もほとんど研究されていない。

そこで本研究では、外注工場を利用した場合の効果を明らかにするため、

1. 一括組立金型の生産に適用可能な各種外注部品選択法を考案し、納期が定められた金型生産スケジュールに対し、外注作業量、外注部品選択法、金型の未来情報が、スケジュールで発生する加工納期遅れ(組立最遅開始遅れ)に及ぼす影響と外注部品選択が金型の加工メイクスパンに及ぼす影響を解析する。

2. また、外注作業量、外注部品選択法、金型の未来情報が、一括組立生産で最も重要な時間である組立開始時刻までの全部品加工メイクスパンにどのような影響を与えるのかを明らかにする。

3. また、上記の外注部品選択法を用いてスケジュールを考案した場合に組立開始時刻の遅れを総生産金型数の一定割合以下に押さえるために必要な加工納期の納期係数設定法を明らかにする。

以上の目的から、本論文を以下の章で構成する。第2章で本研究で扱う生産システムのモデル化を行い、第3章でそのアルゴリズムを説明する。第4章で最短納期を与えるスケジューリング法について解析し、第5章で外注部品選択法について解析する。最後に第6章で結言を述べる。

第2章 モデル

2-1 システム概要

本研究で対象とする生産システムを Fig.2-1 に示す。生産システムは、 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} および N_i 個の組立工程で構成されている。ただし、入力バッファは作業待ちのジョブを一時保管し、出力バッファは搬送待ちのジョブを一時保管する。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。

このとき、毎日連続的に投入される 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 $(K!)^M$ の組合せを考える必要があり、計算時間の点から実用的ではない。また、システムはダイナミックな環境下にあり、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は難しい。そこで、スケジューリングの方法として、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。

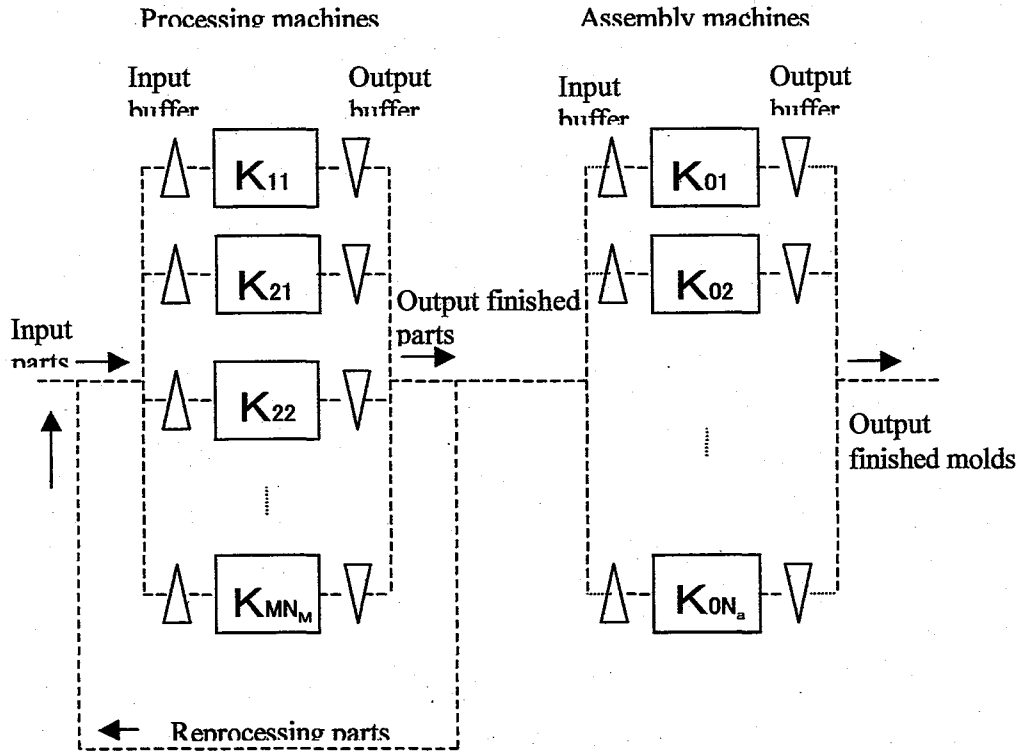


Fig.2-1 System model

2-2 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) 部品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。

第3章 アルゴリズム

3-1 最短納期を与えるスケジューリング法プログラムのフローチャート

スケジューリングを行うメインプログラムのフローチャートを Fig.3-1 に示す。ただしスケジューリングのメインアルゴリズムは以下のとおりである。

- 1) 新規投入金型のデータを読み込む
- 2) 作業終了時間の早い順に工作機械を並べる
- 3) 工作機械ごとに、その機械に割り当て可能なジョブを調べる
- 4) 前工程が割り当てられているか調べる
- 5) 割り当てられているジョブが存在した場合 → 7)
- 6) すべての部品を調べても割り当てられているジョブが存在しない場合 → 10)
- 7) その工作機械の割り当て予定ジョブに入れる
- 8) すべての部品について調べた後、割り当て予定ジョブを優先規則に従って並べ替える
- 9) 終了時間の最も早い工作機械に割り当て、終了時間を書き換える → 11)
- 10) 次の種類の工作機械について調べる → 3)
- 11) 一日が終了したか? Yes → 12) No → 3)
- 12) 規定日数が終了したか? Yes → 13) No → 3)
- 13) 終了

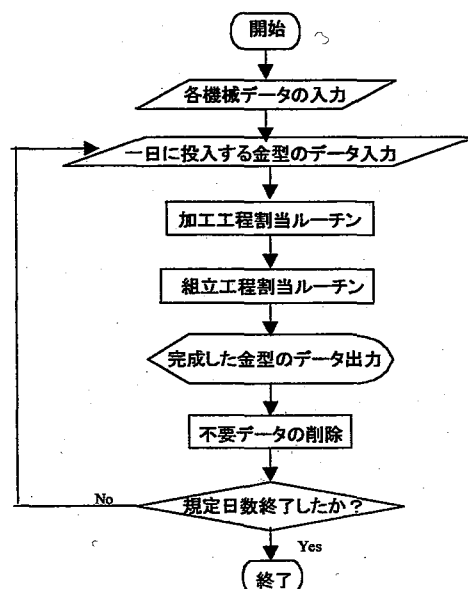


Fig.3-1 Main algorithm

3-2 プログラムの使用条件

本研究で開発したプログラムの使用条件は以下のとおりである。

- (1) システム内に滞在できる金型数は最大 600 個とする。
- (2) 1つの金型に対しての部品個数は最大 39 個とする。
- (3) 1つの部品の工程数は最大 20 工程とする。
- (4) システム内に滞在できる最大部品数は 2000 個とする。
- (5) 各機械の機械台数は、最大 40 台とする。

第4章 最短納期を与えるスケジューリング法

4-1 ディスパッチングルール

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、結局、スケジューリングでは、各機械にどの金型のどの部品の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組立最遅開始時刻となるため、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、結局、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では、第二優先規則として工程単位の優先規則 SPT, DDATE, SLACK を用いる。

工程単位の優先規則

- ・SPT: 工程作業時間の短い順に割り当てる。
- ・DDATE: 工程納期の早い順に割り当てる。
- ・SLACK: 工程余裕時間の短い順に割り当てる。ただし、余裕時間とは、(工程の最遅開始時刻－割当時刻)である。
- ・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、遅らせる様に修正する。その後、修正工程納期の早い順に割り当てる。

金型単位の優先規則

- ・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。

一括組立工程を含むシステムでスケジューリングを行う場合、各部品の加工終了時刻を早める問題以外に、各部品の加工終了時刻をそろえる問題も考慮しなくてはならない。したがって、全部品の加工終了時刻すなわち組立開始時刻が重要な因子となるので、本研究では、新たに、DDATE21 やMO1 などの修正工程納期や修正部品加工納期を用いた新たな優先規則を考案した。これらの規則は、全部品の加工終了時刻をそろえるために考案された。

4-2 シミュレーション条件

本研究の解析に用いたシミュレーション条件は、実際の金型工場を参考にして、以下のように設定した。

- ・一日の金型投入数N: 平均 m_N の一様分布 $[0, 2 \cdot m_N]$
- ・金型 $j(j=1, 2, \dots, N)$ の部品数 NP_j : 平均 m_{NP} の一様分布 $[1, 2 \cdot m_{NP} - 1]$
- ・金型 j の部品 $k(k=1, 2, \dots, NP_j)$ の工程数 $S_{j,k}$ と使用機械 $M_{j,k}$: Table 4-1からランダムに選択
- ・金型 j の部品 k の工程 l の作業時間 $O_{j,k,l}$: 平均 m_0 の指数分布
- ・金型 j の組立時間 O_j : 平均 $(NP_j - 1) \cdot m_0$ の $(NP_j - 1)$ アーラン分布

ただし、 $m_{NP} = 20$ 個、 $m_0 = 100$ 分と固定し、 $m_N = 5.0, 4.5, 4.0, 3.5$ 個と作業負荷を変化させた。また、機械台数は機械稼働率を考え Table 4-2の様に設定した。シミュレーション結果は、乱数系列を10種類用意し、各乱数系列を用いて500日間のシミュレーションを行い、解析には後半の400日分のデータの平均値を用いた。ただし、本研究では加工工程に対するスケジューリング問題を考えるので、組立工程がスケジューリング性能に影響を持たないように組立工程の機械台数 N_a は ∞ とした。

Table 4-1 Mahining process

Type	Process number							
	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 4-2 Number of machines

Name of machines	Number of machines	Load rate of operation (%)			
		$m_N=5.0$	$m_N=4.5$	$m_N=4.0$	$m_N=3.5$
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

4-3 メイクスパン最小化スケジューリング法

金型の組立開始時刻までの全部品加工メイクスパンを最小化するスケジューリング法を明らかにするため、各ディスパッチングルールにおける組立開始時刻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)と理想メイクスパン $B2$ の比 $B1/B2$ に関する平均値 m と標準偏差 σ 、最大値 m_{\max} を調べる。ただし、使用した工程納期は、機械台数が無限大、金型納期余裕時間 0 の条件下でバックワードスケジューリングを行った場合の納期であり、理想メイクスパンは全部品加工終了までの加工クリティカルパス時間である。

Fig.4-1~2 に $B1$ の平均、 $B2$ の平均を、Fig.4-3~5 に $B1/B2$ の平均値 m 、標準偏差 σ 、最大値 m_{\max} を、Table 4-3~4 に $B1/B2$ の平均値 m 、標準偏差 σ の値を示す。

Fig.4-3 より、金型投入数 N が増加し、作業負荷が増加するにつれ、 m は指数的に増加することがわかる。また、 $MO1-SPT$ と $MO1-DDATE$ が、最小の m を与え、 SPT が最大の m を与える。 $MO1$ は、金型単位の優先規則であり、金型を構成する全部品の加工納期を各工程で発生した工程納期遅れ時間分遅らすことで、金型の組立開始時刻に影響を与える全部品の加工終了時刻のばらつきを少なくしようとする規則である。修正された加工納期を用いることで、極端に大きな待ち時間を持つ部品が発生するのを防ぎ、組立開始までの時間を短くすることができるので、平均メイクスパンを小さくすることができると考えられる。また、 SPT は納期を全く考慮しないため、金型の中に作業終了の早い部品と遅い部品が混在し、作業終了の遅い部品によって組立開始時刻が遅くなり、平均メイクスパンが大きくなると考えられる。また、金型単位の優先規則は工程単位のものに比べて良い性能を示す。こ

れは、同じ金型に組み込まれる部品が同じ優先順位を持つため、加工終了時刻の極端に大きな部品が発生するのを防ぐことができるためであると考えられる。このことから、加工メイクスパンの短縮には金型単位の優先規則がよいと考えられる。Fig.4-4より、 σ のも同様の傾向を示すことがわかる。

Fig.4-5より、MO1, DDATE21 の修正納期を用いると、従来の規則よりも m_{\max} が大幅に減少することがわかる。特に負荷が高いときにその効果は大きい。また、SPT が最大の m_{\max} を与える。修正納期を用いた規則は、加工終了時刻をそろえる規則であり、極端に大きく遅れる部品がないために、 m_{\max} を減らすことができると考えられる。また、SPT が最大の m_{\max} を与えるのは、SPT が納期を考慮しない規則なので、金型を構成する部品の中に大きな作業時間を持つ部品が存在すると、その部品の加工開始が大きく遅れ、組立開始時刻を遅らせるためと考えられる。工程単位、金型単位の優先規則で比較すると、こちらも、 m 、 σ と同様の傾向を示す。

Table 4-3 Values of m

Dispatching Rule	$m_N=5.0$	$m_N=4.5$	$m_N=4.0$	$m_N=3.5$
SPT	9.58	5.03	3.4	2.57
DDATE	5.5	3.41	2.51	1.98
SLACK	5.96	3.71	2.79	2.21
MO-SPT	5.5	3.33	2.45	1.95
MO-DDATE	5.53	3.34	2.46	1.93
MO-SLACK	5.6	3.42	2.51	1.97
MO1-SPT	4.52	2.95	2.28	1.91
MO1-DDATE	4.47	2.94	2.27	1.87
MO1-SLACK	4.77	3.12	2.37	1.93
DDATE21	4.79	3.07	2.35	1.92

Table 4-4 Values of σ

Dispatching Rule	$m_N=5.0$	$m_N=4.5$	$m_N=4.0$	$m_N=3.5$
SPT	10.98	4.91	2.54	1.54
DDATE	4.11	2.16	1.6	0.9
SLACK	4.29	2.2	1.75	1.02
MO-SPT	4.12	2.09	1.53	0.88
MO-DDATE	4.21	2.14	1.58	0.91
MO-SLACK	4.22	2.19	1.65	0.93
MO1-SPT	3.1	1.78	1.13	0.79
MO1-DDATE	3.12	1.81	1.16	0.79
MO1-SLACK	3.38	2	1.28	0.86
DDATE21	3.3	1.88	1.18	0.81

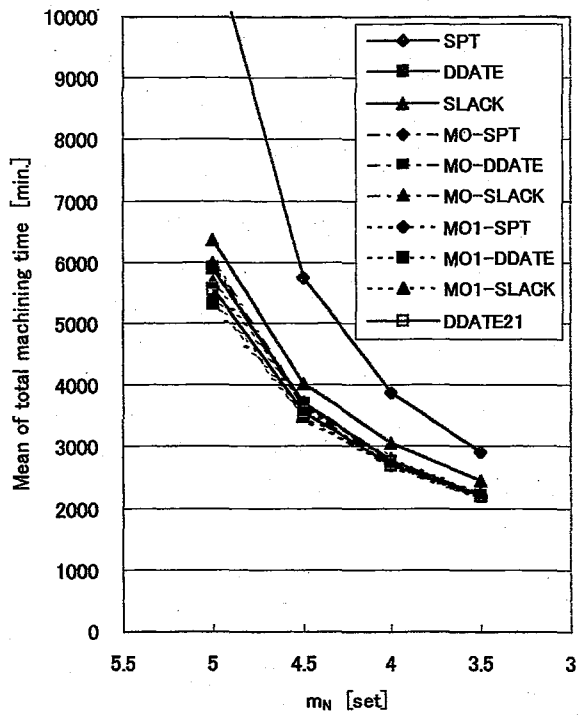


Fig.4-1 Effect of dispatching rule on mean of total machining time

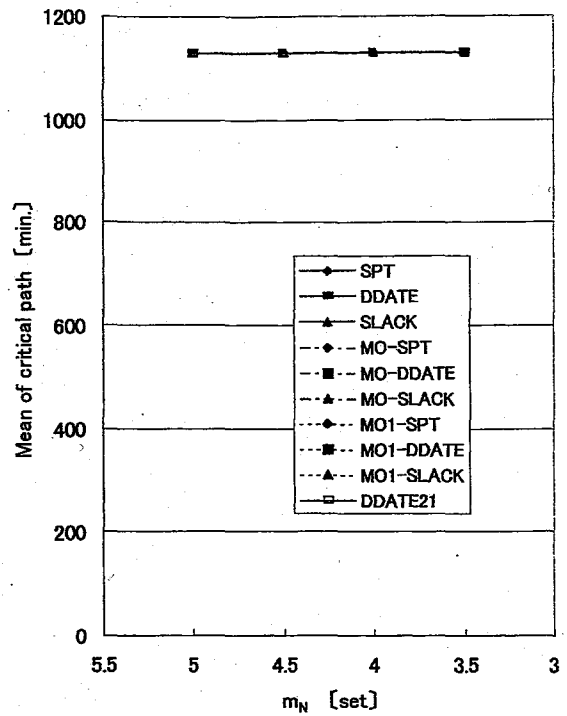


Fig.4-2 Effect of dispatching rule on critical path

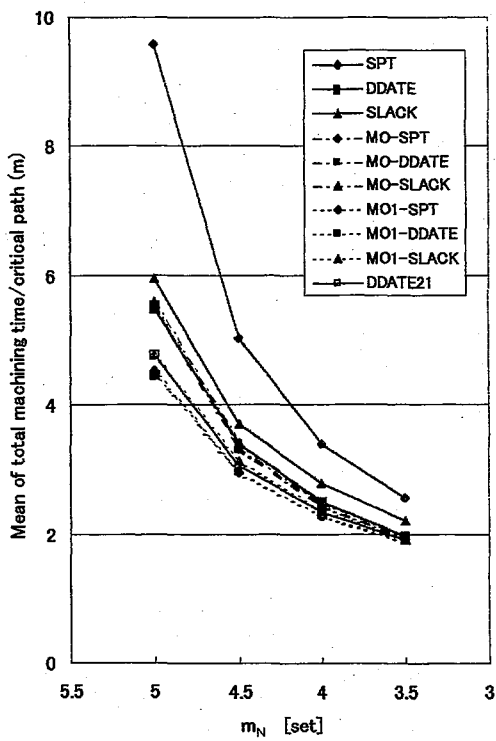


Fig.4-3 Effect of dispatching rule on m

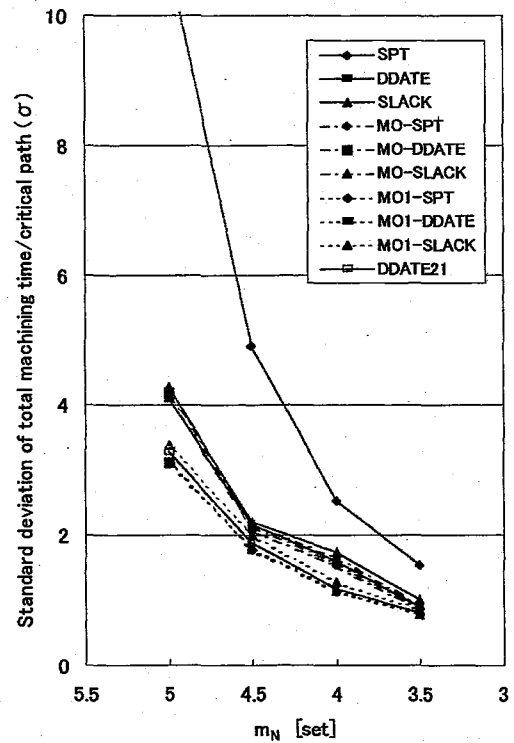


Fig.4-4 Effect of dispatching rule on σ

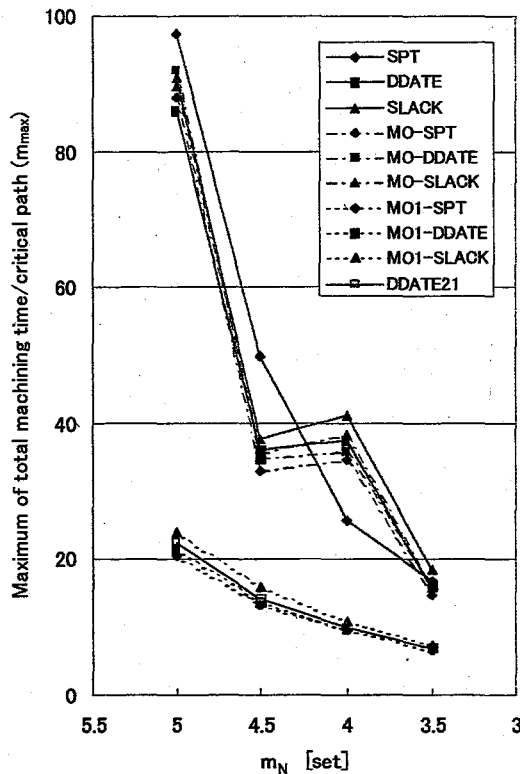


Fig.4-5 Effect of dispatching rule on m_{max}

4-4 加工納期係数の推定

4-3の結果から、加工メイクスパンの評価尺度である m と σ は、 N に依存して変化し、 N の関数 $m(N)$ 、 $\sigma(N)$ となることが示された。したがって、納期遅れを少なくするには、 N の関数として工程納期や加工納期を設定する必要がある。また、金型生産では多種多様な金型を生産するので $B1/B2$ も多様に変化する。したがって、 $B1/B2$ が正規分布をなすと考え加工納期係数 κ_m (設定する部品加工納期 - 素材投入時刻) と理想メイクスパンの比) を $\kappa_m(N) = m(N) + x \cdot \sigma(N)$ で与えると、金型の加工納期遅れ割合 L_q と κ_m の関係が近似的に推定可能になる。MO1-DDATE を用いた場合の各 x に対する納期係数を Table 4-5 に示す。ただし $B1/B2$ が正規分布をなすと考えた場合、各 κ_m に対する加工納期遅れ割合 L_q を Table 4-5 に同時に示す。また、Fig.4-6 に優先規則 MO1-DDATE を用いた場合の κ_m と x 、および L_q の関係を示す。これより、 x を約 1.5 に設定すると、 $m_N = 5.0, 4.5, 4.0, 3.5$ に対し、 κ_m がそれぞれ約 9, 6, 4, 3 となり、加工納期遅れ割合を5%以内にする事ができる。

注釈) 本研究では、金型の納期設定に対し金型納期係数 κ_a を用いた。そこで金型納期係数 κ_a と加工納期係数 κ_m 及び x の関係を以下に示す。

Fig.4-2 より、平均理想メイクスパン $B2$ は 1130 分となり、平均組立時間は、平均組立部品数 19 と

組立部品1つあたりの平均作業時間 100 分より, 1900 分となる。したがって, 金型の完成までにかかる平均金型理想メイクスパン A2 は 3030 分となる。

この結果, 金型の納期係数 κ_a ((設定する金型納期 - 素材投入時刻)と金型完成までの理想金型メイクスパンの比)に対し, 金型の総処理可能時間 α は, 各金型納期係数, 負荷に対し Table 4-6 のように与えられる。

Table 4-5 Values of κ_m and L_x

	$m_N=5.0$	$m_N=4.5$	$m_N=4.0$	$m_N=3.5$	加工納期遅れ割合(L_x)
X= 0	4.47	2.94	2.27	1.87	50
0.5	6.03	3.85	2.85	2.27	30.9
1	7.59	4.75	3.43	2.66	15.9
1.5	9.15	5.66	4.01	3.06	6.7
2	10.71	6.56	4.59	3.45	2.3
2.5	12.27	7.47	5.17	3.85	0.6
3	13.83	8.37	5.75	4.24	0.1

Table 4-6 Total processing (machining + assembling

金型納期係数 κ_a	$m_N=5.0$	$m_N=4.5$	$m_N=4.0$	$m_N=3.5$
1.5	4545	4545	4545	4545
2	6060	6060	6060	6060
2.5	7575	7575	7575	7575
3	9090	9090	9090	9090
3.5	10605	10605	10605	10605
4	12120	12120	12120	12120
4.5	13635	13635	13635	13635
5	15150	15150	15150	15150

このとき, 納期余裕時間をすべて加工工程で使うものとする, κ_m は次のように与えられる。

$$\kappa_m = (\alpha - 1900) / B2$$

この結果, それぞれの金型納期係数と負荷に対し, κ_m は Table 4-7 のように与えられる。

また, Table 4-3~4 で, MO1-DDATE に対する m と σ の値を用いて, 各 κ_m を与える $x = (\kappa_m(N) - m(N)) / \sigma(N)$ は, 各金型納期係数と負荷に対し Table 4-8 のように与えられる。

各負荷に対し, 実際にシミュレーションを行ったときの x に対する L_x の分布と, 正規分布と仮定したときの x に対する L_x の分布を比較したものを Fig.4-7~10 に示す。これらより, L_x の分布を正規分布と仮定することは妥当であるということがわかる。

Table 4-7 Values of κ_m

金型納期係数 κ_a	$m_N=5.0$	$m_N=4.5$	$m_N=4.0$	$m_N=3.5$
1.5	2.34	2.34	2.34	2.34
2	3.68	3.68	3.68	3.68
2.5	5.02	5.02	5.02	5.02
3	6.36	6.36	6.36	6.36
3.5	7.70	7.70	7.70	7.70
4	9.04	9.04	9.04	9.04
4.5	10.38	10.38	10.38	10.38
5	11.73	11.73	11.73	11.73

Table 4-8 Values of x

金型納期係数 κ_a	$m_N=5.0$	$m_N=4.5$	$m_N=4.0$	$m_N=3.5$
1.5	-0.68	-0.33	0.06	0.60
2	-0.25	0.41	1.22	2.29
2.5	0.18	1.15	2.37	3.99
3	0.61	1.89	3.53	5.69
3.5	1.04	2.63	4.68	7.38
4	1.47	3.37	5.84	9.08
4.5	1.90	4.11	7.00	10.78
5	2.33	4.85	8.15	12.48

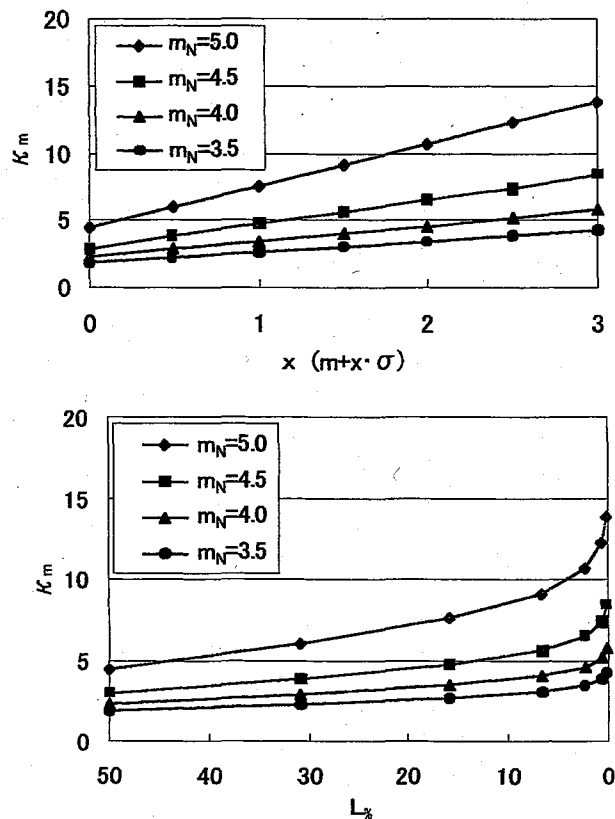


Fig.4-6 Relationship between L_x and κ_m (x and κ_m)

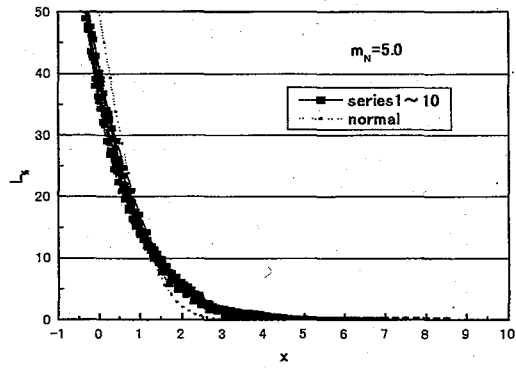


Fig.4-7 Distribution of $L_{\%}(m_N=5.0)$

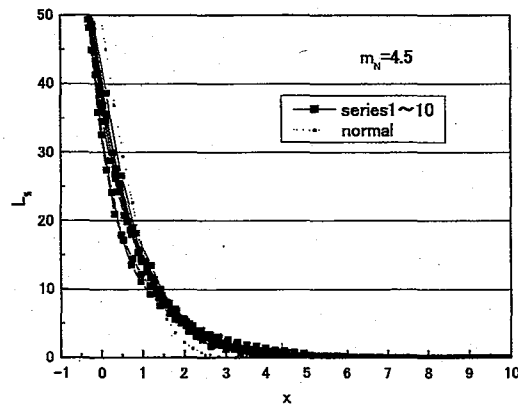


Fig.4-8 Distribution of $L_{\%}(m_N=4.5)$

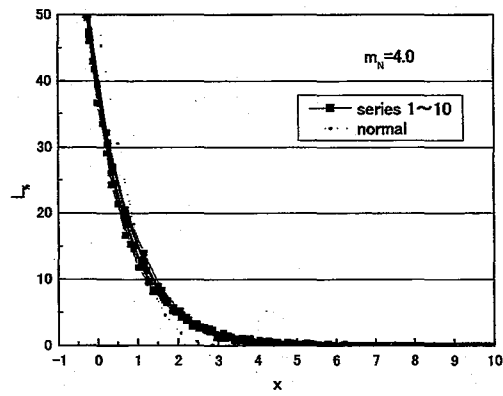


Fig.4-9 Distribution of $L_{\%}(m_N=4.0)$

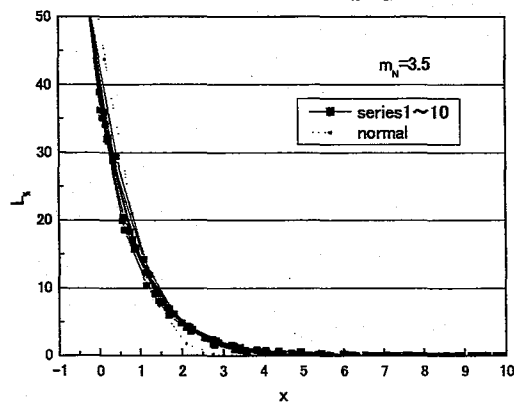


Fig.4-10 Distribution of $L_{\%}(m_N=3.5)$

4-5 納期係数を与えた場合の納期遅れ最小化スケジューリング法

各ディスパッチングルールの加工納期遅れに及ぼす影響を調べるため、4-3で加工メイクスパンの減少に有効であったものの中から、今回考案したDDATE21,MO1-DDATE,MO1-SPTと従来の規則であるDDATE, MO-DDATEを用いて、加工納期遅れ割合、加工納期遅れ平均時間などについて解析する。金型納期係数 κ_a （設定する金型納期-素材投入時刻）と（理想メイクスパン+組立時間）の比は、それぞれの負荷に対しTable 4-9のように設定する。ただし、各 κ_a で発生する金型納期余裕時間を加工作業での余裕時間と考えたときの、加工納期係数 κ_m も同時に示す。

Fig.4-11 に加工納期遅れ割合 L_q , Fig.4-12 に遅れた金型の加工納期遅れ平均時間 T_{m1} , Fig.4-13に全金型に対する加工納期遅れ平均時間 T_{m2} , Fig.4-14に最大加工納期遅れ時間 T_{max} をそれぞれ κ_m との関係で示す。

Table 4-9 Relationship between κ_a and κ_m

$m_N=5.0$		$m_N=4.5$		$m_N=4.0$		$m_N=3.5$	
κ_a	κ_m	κ_a	κ_m	κ_a	κ_m	κ_a	κ_m
5	11.73	5	11.73	2.5	5.02	2.5	5.02
4	9.04	4	9.04	2	3.68	2	3.68
3	6.36	3	6.36	1.5	2.34	1.5	2.34
2	3.68	2	3.68				

Fig.4-11 より、投入金型数 N が増加し作業負荷が大きいほど、また、加工納期係数 κ_m が小さいほど、加工納期遅れ割合 L_q が大きくなることがわかる。また、 L_q に対し、ディスパッチングルールによる差はほとんどないことがわかる。Fig.4-12,13より、平均遅れ時間 T_{m1} , T_{m2} も作業負荷、加工納期係数に対し L_q と同様の傾向を示すことがわかる。しかし、 L_q と違いルールにより差が出ていることがわかる。 T_{m1} , T_{m2} とも、MO1-SPT が最も良く、また、負荷が小さいほどルール間の差は小さいことがわかる。この結果、SPT は納期を考慮しないため、単独で用いるとあまりよい性能を示さないかつ MO1 と組み合わせることで納期遅れに対し大きな効果があることがわかる。また、金型納期と部品工程納期の組み合わせのMO1-DDATEより、MO1-SPT がよい性能を示すことから、第2優先規則に第1優先規則とは違うパラメータを利用することが納期遅れ減少に有効であることがわかる。Fig.4-14 より、 T_{max} は、従来からの規則である、DDATE, MO-DDATE が良い結果を示し、今回考案したDDATE21, MO1-DDATE, MO1-SPT は、従来の規則に比べるとかなり大きい値を示すことがわかる。これは、今回考案したこれらの規則が、組立開始時間をそろえるために遅れのある特定の金型に集中させるような規則であったためと考えられる。 T_{max} も作業負荷、加工納期係数に対し、 L_q , T_{m1} , T_{m2} と同様の傾向を示した。

次に前節で推定した κ_m と L_N の関係を調べるため、Fig.4-11 の横スケールを関数 $\kappa_m(N)$ の x で表した結果を Fig.4-15 に示す。Fig.4-15 から、 x と L_N の関係は作業負荷によらず、ほぼ1本の曲線で表され、 L_N を約5%以下にするには約 1.5 以上の x が必要となり、前節で推定した納期係数は妥当であることが確認された。

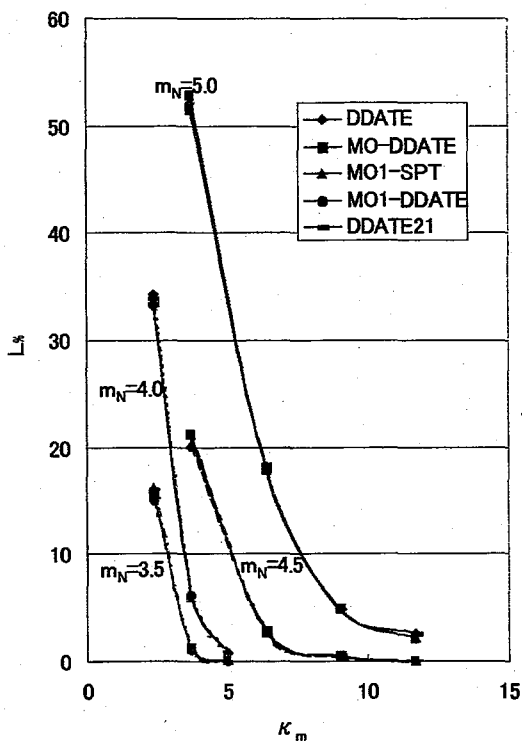


Fig.4-11 Effect of dispatching rule on L_N (i)

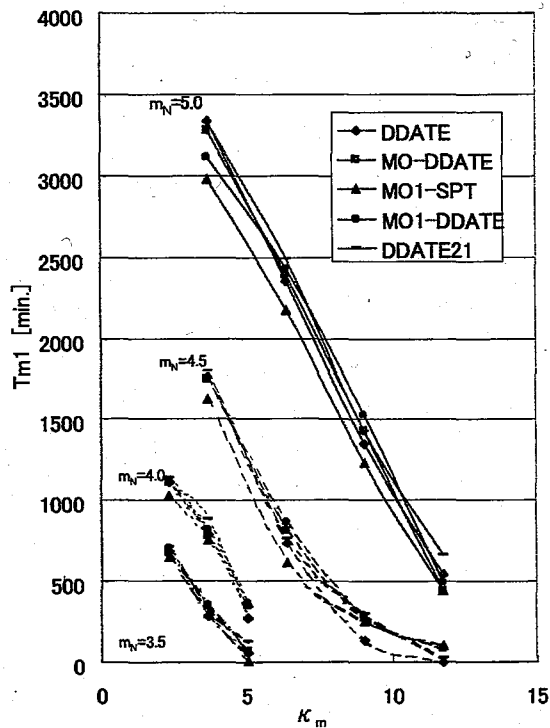


Fig.4-12 Effect of κ_m on T_{m1}

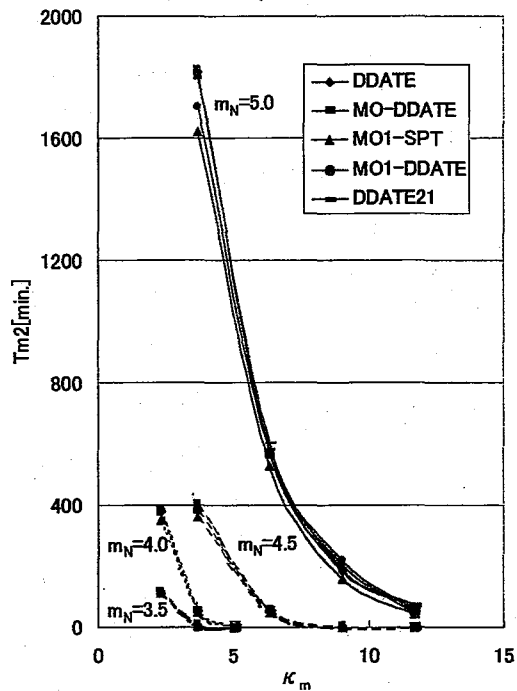


Fig.4-13 Effect κ_m on T_{m2}

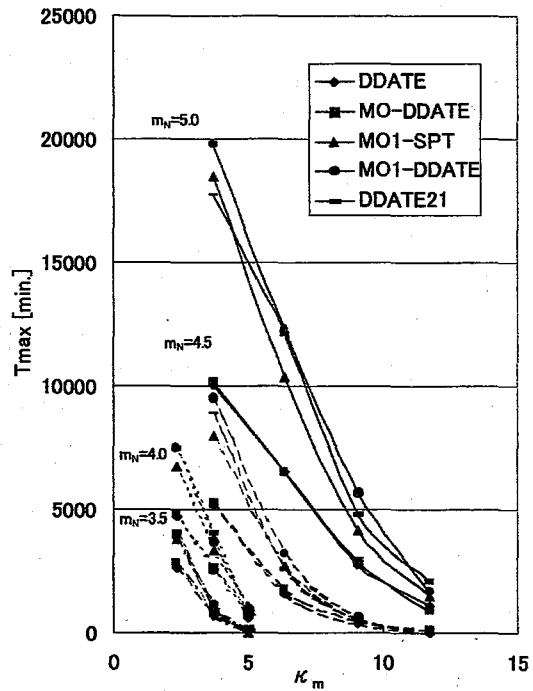


Fig.4-14 Effect κ_m on T_{max}

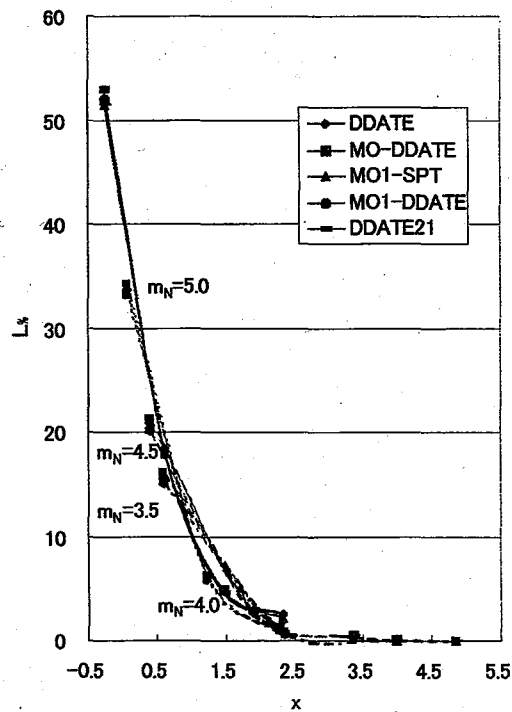


Fig.4-15 Effect of dispatching rule on $L_{q_2}(2)$

第5章 外注部品選択法

5-1 外注部品選択法のアルゴリズム

前章より、金型納期遅れを減少させるためには作業負荷の低下あるいは納期係数の増加が有効であることがわかった。しかし、実際の生産システム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ことが要求されるので、これらのことは一般に受け入れられない。そこで、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あるいは金型の加工メイクスパンを最小化するための一方法として外部工場の利用を考え、本章では、一括組立金型に適用可能な外注部品選択法を考案し、その効果について考察する。

外注部品選択法はスケジュール情報を使用した方法と使用しない方法の2種類の方法を用いる。その違いを以下に説明する。

1. スケジュール情報を使用する方法

投入金型が既知の条件下でS日間の仮割当を行い、その結果を用いてT日間に投入した新規金型部品からT日間の外注部品を決定しT日間のスケジュールを確定する。この外注部品選択アルゴリズムを時間軸で図示したものを Fig.5-1 に示す。

2. スケジュール情報を使用しない方法(山積法)

一日ごとの投入金型情報と仕掛部品情報から、一日ごとに各機械の予想作業負荷を求め、その日投入した新規金型部品から外注部品を決定し、一日ごとのスケジュールを確定する。

どちらの方法でも、外注部品はある規則に従って順位付けされ、その順位の高い順に優先的に選択される。また、外注部品選択は、機械の累積予定稼働率が、あらかじめ設定した想定機械稼働率になるまで行いが、外注として選択する部品がなくなった時点で選択を終了する。それぞれの順位付けのディスパッチングルールを以下に説明する。ただし、累積予定機械稼働率とは、前日までに投入された金型部品の総作業量から外注部品総作業量を減じ、さらに当日投入された金型部品の作業量を加えた累積総作業量から次式を用いて求めた機械稼働率であり、想定機械稼働率とは、効率よい作業を行い、金型納期遅れ割合が所定の値以下となる様に外注部品の選択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。

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

○スケジュール情報を使用する方法

部品情報で選択: S日間の投入金型情報を用いてS日間の仮割当を行ったとき、加工納期遅れを起こした部品から

Rule1: 部品納期の早い順に選択

Rule2: 遅れ時間の大きい順に選択

金型情報で選択: S日間の投入金型情報を用いてS日間の仮割当を行ったとき, 加工納期遅れ部品の少ない金型順に, 加工納期遅れを起こした部品から

Rule3: 部品納期の早い順に選択

Rule4: 遅れ時間の大きい順に選択

○スケジュール情報を使用しない方法(山積法): 当日の投入金型情報を用いて当日の各機械の予定作業負荷及び, 当日までの累積予定機械稼働率を求め, あらかじめ設定した想定稼働率を超えた累積予定稼働率を持つ機械を対象として, 累積予定稼働率の高い機械を利用する部品から

Rule5: 工程納期の早い順に選択

ただし, 外注部品を選択したら, その都度, 外注部品に要求される作業時間を用いて累積予定機械稼働率を修正する.

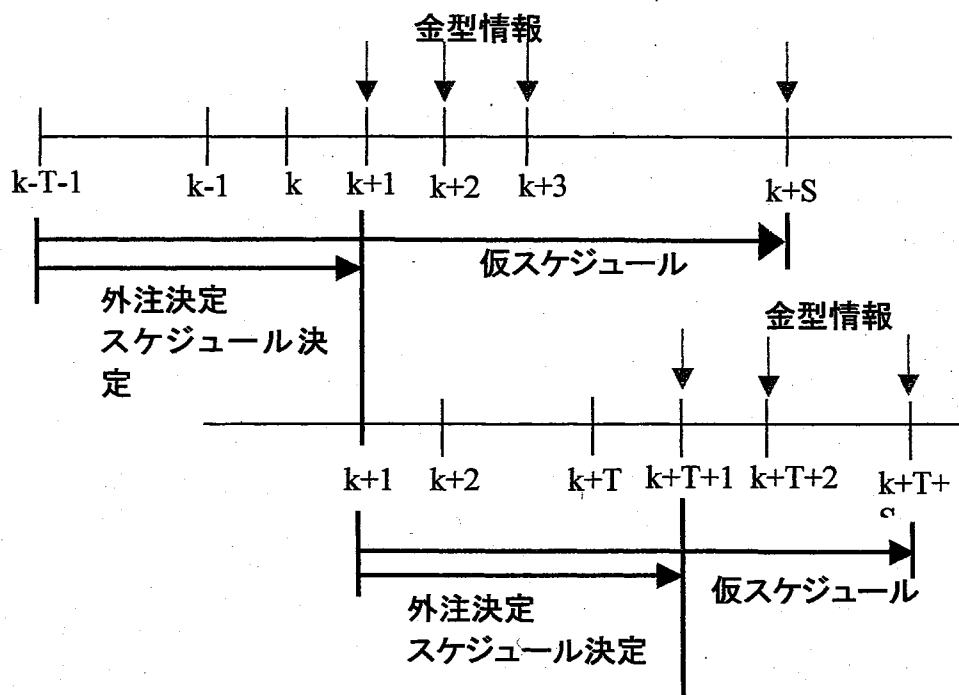


Fig.5-1 Out-order selection algorithm

5-2 シミュレーション条件

本研究の解析に用いたシミュレーション条件は, 実際の金型工場を参考にして, 以下のように設定した.

- 一日の金型投入数N: 平均 5.0 の一様分布[0,2・5.0]
- 金型j(j=1,2,...,N)の部品数 NP_j : 平均 m_{NP} の一様分布[1,2・ m_{NP} - 1]

- ・金型jの部品k(k=1,2,...,NP_j)の工程数S_{j,k}と使用機械M_{j,k}: Table4-1からランダムに選択
- ・金型jの部品kの工程lの作業時間O_{j,k,l}: 平均m₀の指数分布
- ・金型jの組立時間O_j: 平均(NP_j-1)・m₀の(NP_j-1)アーラン分布
- ・仮割当日数S, スケジュール確定日数T:S=1,2,4, T=1

ただし、スケジューリング法としてMO-DDATEを用い、m_{NP}=20個、m₀=100分と固定し、想定機械稼働率RをR=87.5,85.0,82.5,80.0と変化させた。また、機械台数はTable 4-2の様に設定した。ただし、本研究では加工工程に対するスケジューリング問題を考えるので、組立工程がスケジューリング性能に影響を持たないように組立工程の機械台数N_aは∞とした。

5-3 納期係数を与えた場合の外注部品選択法

ここでは、納期係数を与えた場合に、機械稼働率(作業負荷)が、外注作業量、納期遅れなどに与える影響について解析する。ただし、金型納期係数κ_a=2.0とし、想定機械稼働率R=87.5,85.0,82.5,80.0と変化させたときの外注作業量と納期遅れについて調べる。使用する外注部品選択法はRule2,4とRule5を用いる。シミュレーションは、5種類の乱数系列series1~5に対し500日間行い、後半の400日を解析に使用する。シミュレーション結果は各乱数系列ごとに表示する。そのほかのシミュレーション条件については、5-2と同じとする。

Fig.5-2~3に外注部品割合(外注部品数/全部品数)、外注作業割合(外注作業時間/全作業時間)、Fig.5-4に加工納期遅れ割合L_s、Fig.5-5に遅れた金型の加工納期遅れ平均時間Tm1、Fig.5-6に全金型に対する加工納期遅れ平均時間Tm2、Fig.5-7に最大加工納期遅れ時間Tmax、Fig.5-8に組立開始時刻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)と理想メイクスパンB2の比B1/B2の平均をそれぞれ機械稼働率Rとの関係で示す。ただし、B1/B2についてはRule5の想定機械稼働率をR=87.5~75.0,70.0,65.0まで変化させる。また、想定機械稼働率に達しない場合が存在するので、各図のRは実機械稼働率で表示した。

①外注作業量の影響

Fig. 5-2~3より、機械稼働率が低下すると、外注部品割合、外注作業割合が増加し、外注作業量が増加することがわかる。また、外注作業割合は外注部品選択法によらずほぼ一定の割合で変化する。Fig.5-4~7より、機械稼働率が低下すると、すなわち外注作業量が増加すると、L_s、Tm1、Tm2、Tmaxが減少し、外注に出さないときよりも小さな機械稼働率の低下で大きなL_s、Tm1、Tm2、Tmaxの減少が得られることがわかる。よって、外注工場の利用は納期遅れの減少に有効であると考えられる。

②外注部品選択法の影響

Fig.5-4～7より、Rule2, 4が L_{κ} , T_{m1} , T_{m2} , T_{max} を大きく減少させ、Rule5は平均と最大納期遅れ時間を大きく減少させるが、 L_{κ} を余り減少させないことがわかる。また、Fig.5-2～3より、Rule5に比べ、Rule2, 4は外注作業量が少ないことがわかる。このことから、スケジュール情報を用いた外注部品選択法が、外注作業量をあまり増やすことなく納期遅れを減少させることができるといえる。これは、スケジュール情報を用いることで、その時々システム状態に最適な外注部品を選択することができるためであると考えられる。

③未来情報の影響

Fig. 5-4～7より、仮割当日数 S が増加すると、 L_{κ} , T_{m1} , T_{m2} , T_{max} とも減少し、Fig.5-2～3より、 S が増加すると外注作業量も増加することがわかる。外注部品は納期遅れを起こした部品の中から選択されるため、 S の値が大きいほど、その部品が将来納期遅れを起こすかどうか正確に把握することができ、外注作業量が増加するものと考えられる。したがって、システム内でネックとなる部品を外注に出すことができるので、納期遅れが減少すると考えられる。

④加工メイクスパンへの影響

Fig.5-8より、外注部品選択を行わない場合に比べ、Rule2,4,5は $B1/B2$ を大きく減少させていることがわかる。したがって、外注部品選択をすると加工メイクスパンの減少に有効であり、加工納期短縮の可能性があるということがいえる。また、Rule5の値が R の増加とともに増加傾向となるが、外注に出した部品が増加し納期通りに入ってくるため、 $\kappa_a=2.0$ で設定した加工納期($\kappa_m=3.68$)よりも早く完成することはないためと考えられる。

次に金型納期係数 κ_a を変化させ、納期係数の変化が納期遅れに及ぼす影響について解析する。ただし、金型納期係数 $\kappa_a=1.5, 2.0, 2.5$ と変化させ、外注部品割合、外注作業割合、 L_{κ} , T_{m1} , T_{m2} , T_{max} について考察する。使用する外注部品選択法は $S=4$, Rule4で、乱数系列 series1の1種類を用い500日のシミュレーションを行い、後半の400日を解析に使用する。

Fig.5-9～10に外注部品割合(外注部品数/全部品数)、外注作業割合(外注作業時間/全作業時間)、Fig.5-11に加工納期遅れ割合 L_{κ} 、Fig.5-12に遅れた金型の加工納期遅れ平均時間 T_{m1} 、Fig.5-13に全金型に対する加工納期遅れ平均時間 T_{m2} 、Fig.5-14に最大加工納期遅れ時間 T_{max} をそれぞれ R との関係で示す。

Fig.5-9～10より、金型納期係数 κ_a が増加するほど、外注部品割合、外注作業割合は減少することがわかる。これは、Rule4が遅れを起こした部品の中から外注部品を選択する規則であり、金型納期係数 κ_a が大きいほど納期遅れを起こす部品が少なくなるためと考えられる。Fig.5-11～14より、外注工場の利用は L_{κ} , T_{m1} , T_{m2} , T_{max} を大きく減少させ、幅広い納期係数に対し外注工場の利用は有効であること、また κ_a が小さい場合、納期遅れを小さくするには多くの外注部品が必要となるこ

とがわかる。さらに、 $\kappa_a=2.5$ の場合他の2つの κ_a に比べRがあまり下がらず、 $S=4$ の条件下では外注部品の選択量が少ない。したがって、納期遅れをさらに改善するには、仮割当日数Sを大きくし、納期遅れを起こす部品を正確に把握することが必要であると考えられる。

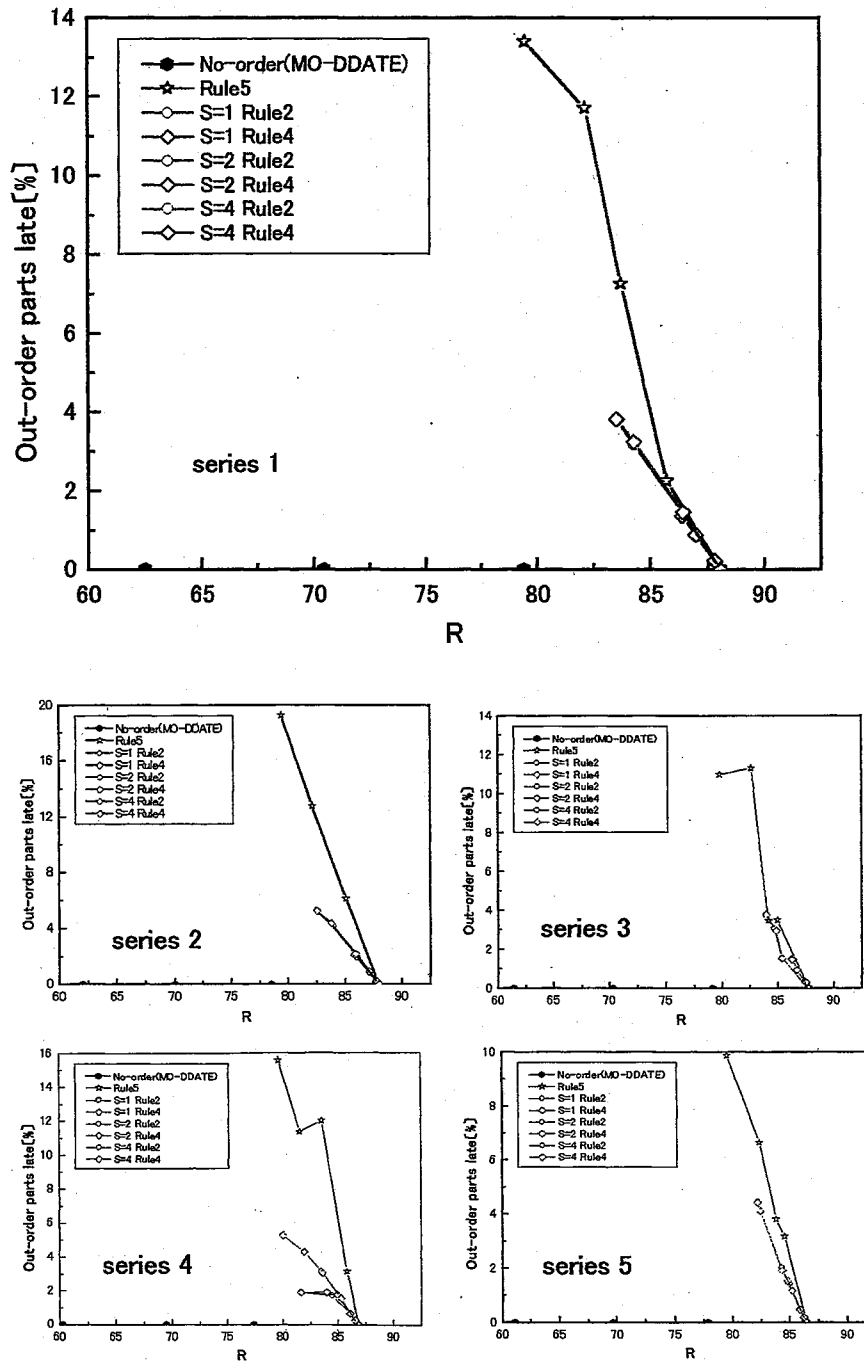


Fig.5-2 Out-order parts rate

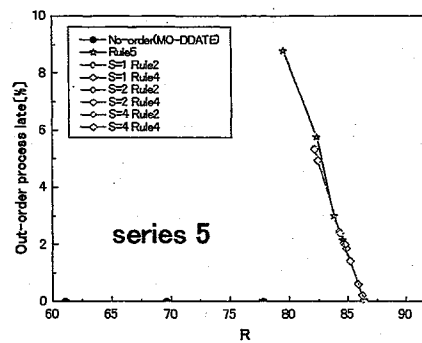
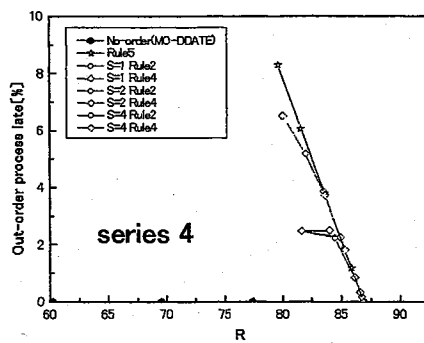
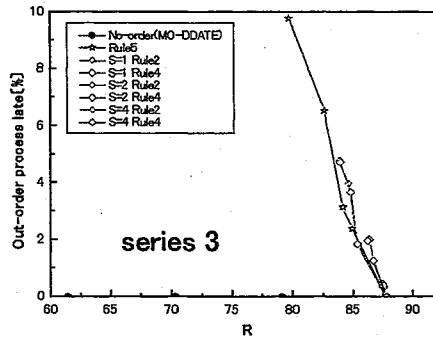
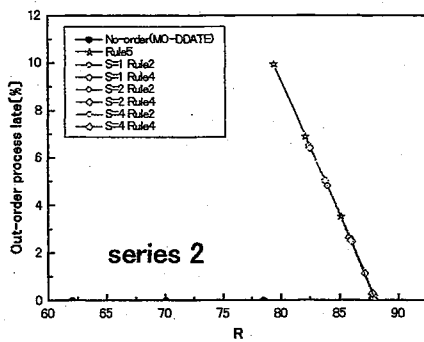
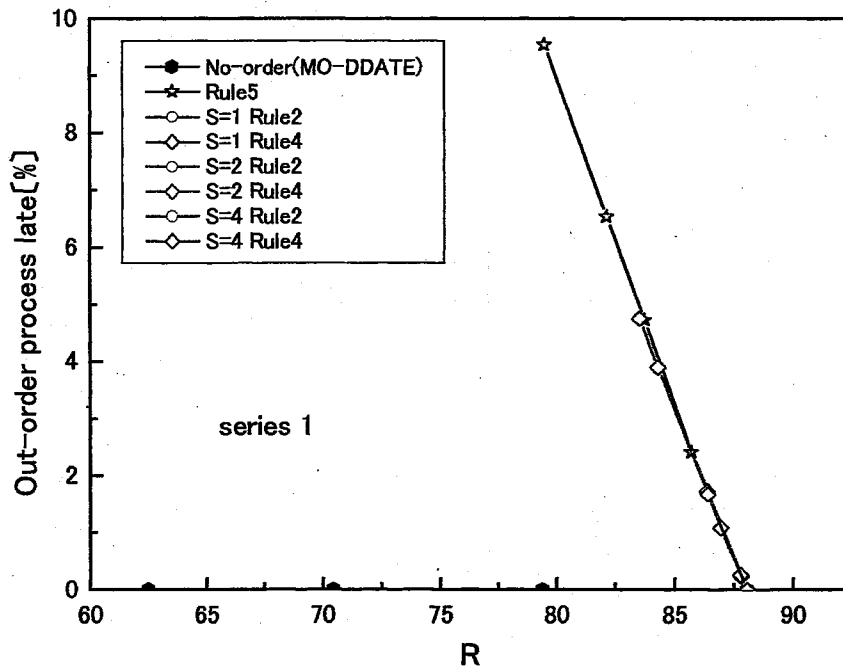


Fig.5-3 Out-order process rate

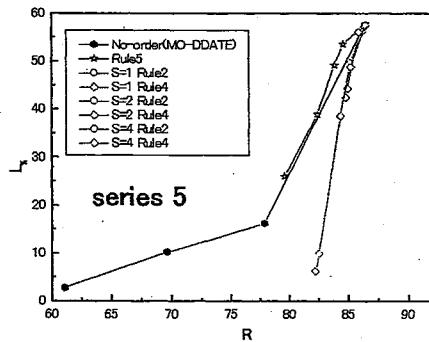
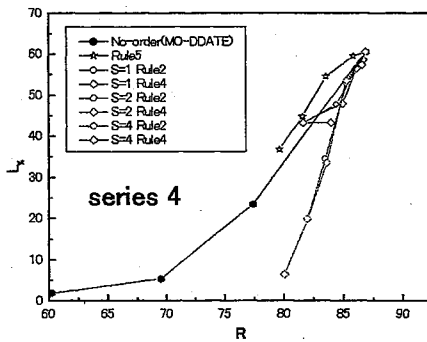
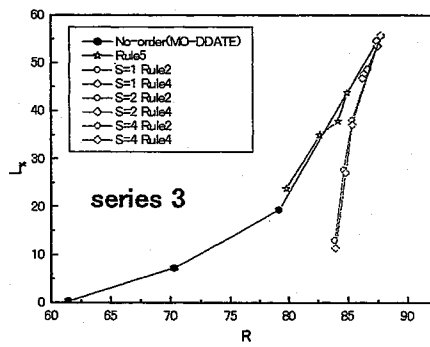
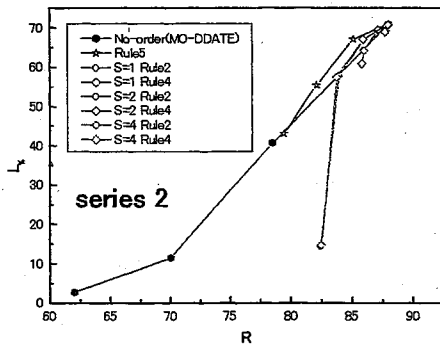
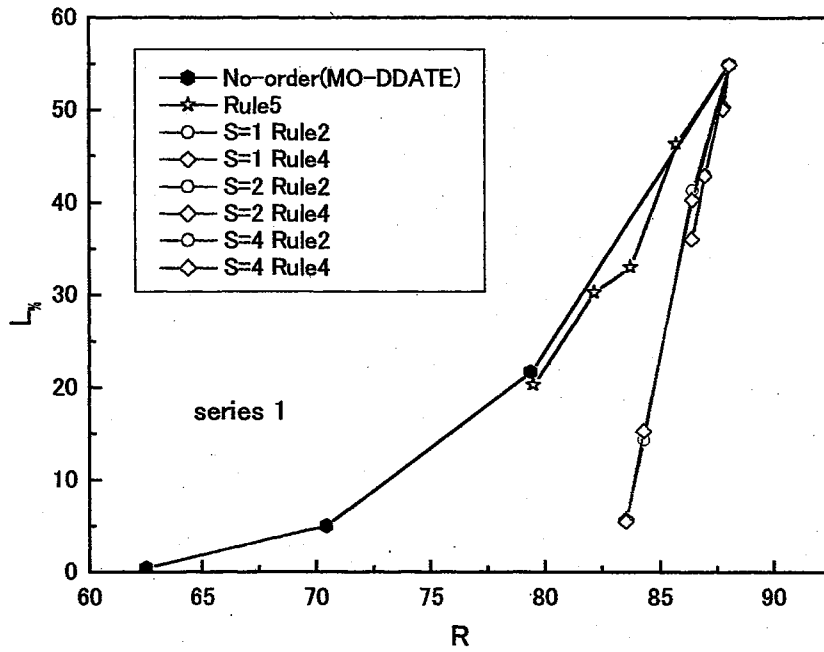


Fig.5-4 Effect of R on $L_{\%}$

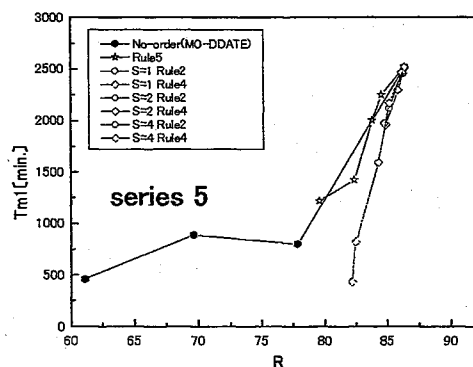
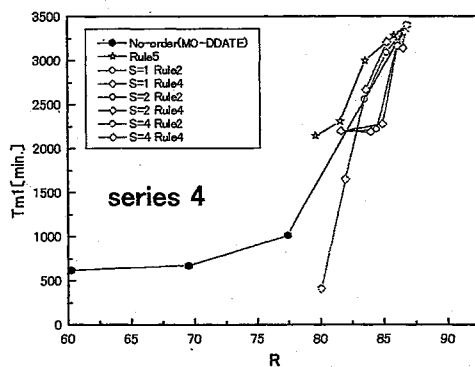
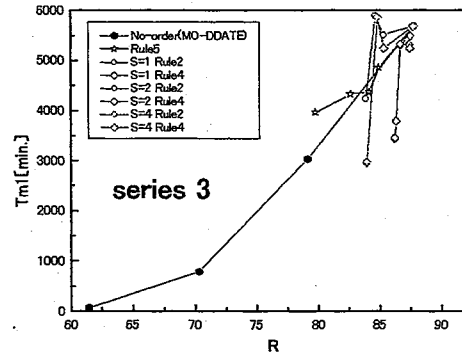
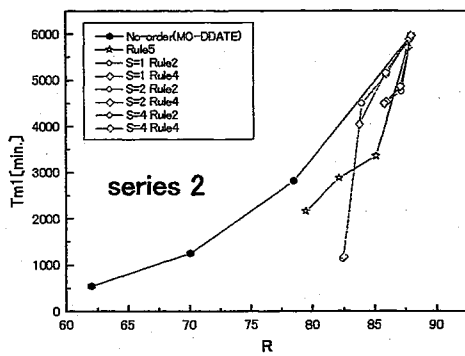
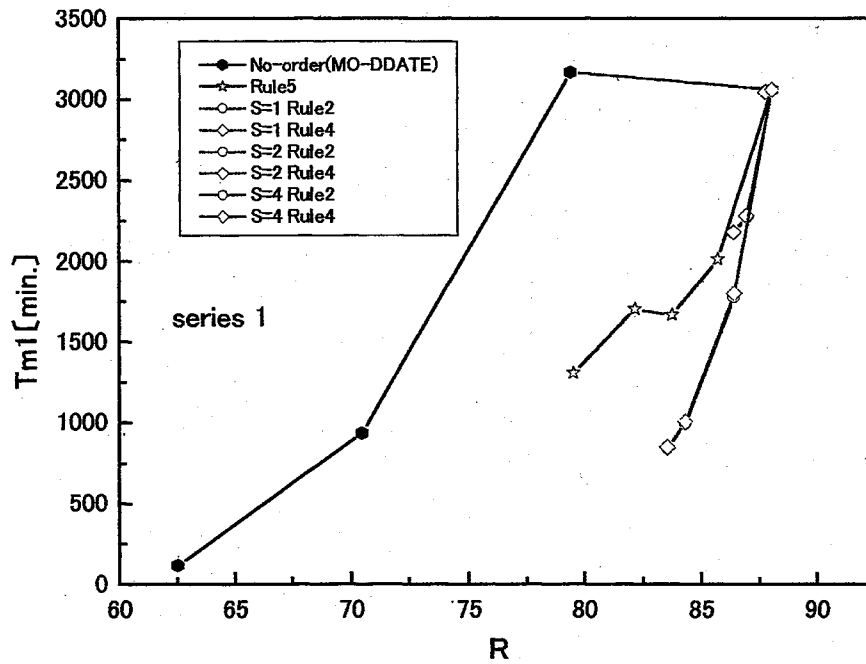


Fig.5-5 Effect R on Tm1

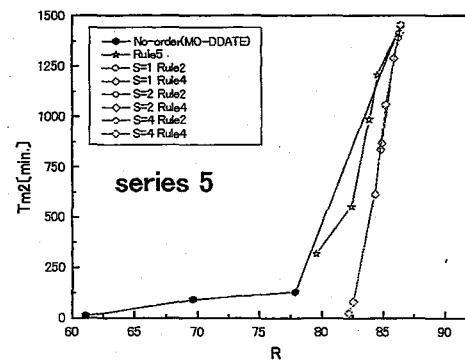
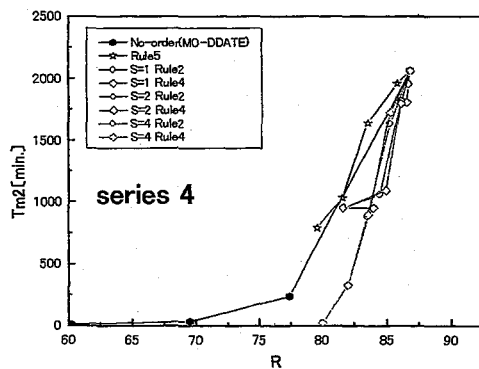
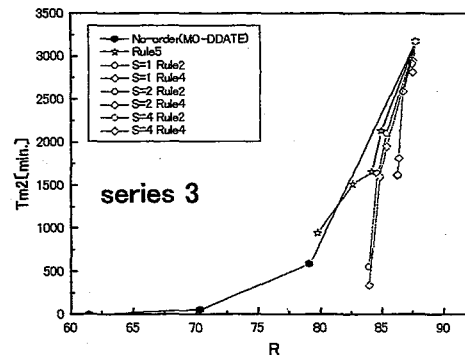
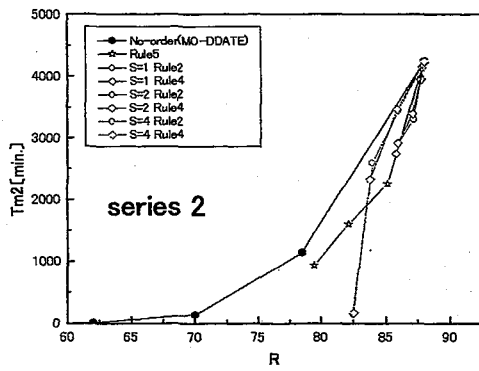
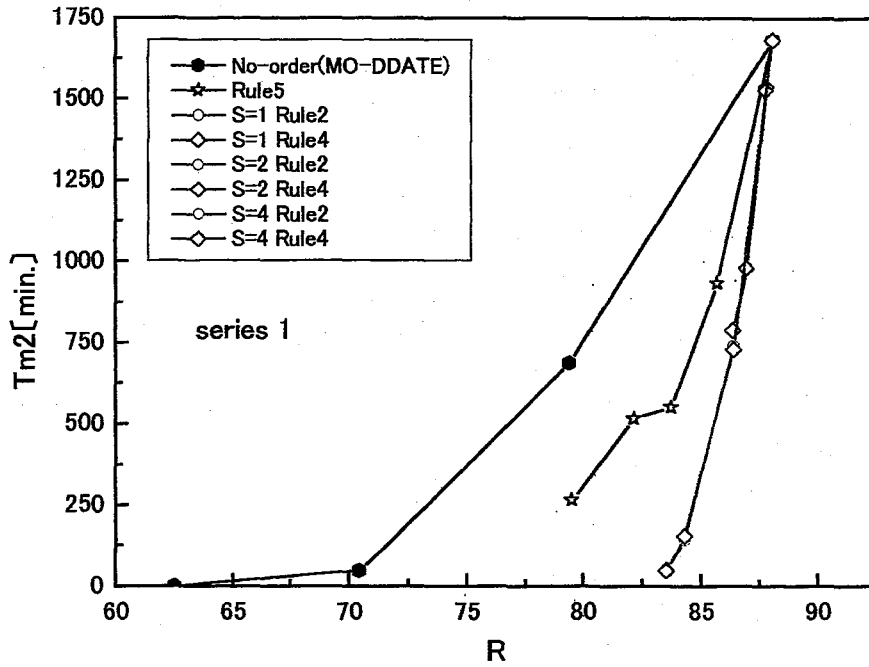


Fig.5-6 Effect R on Tm2

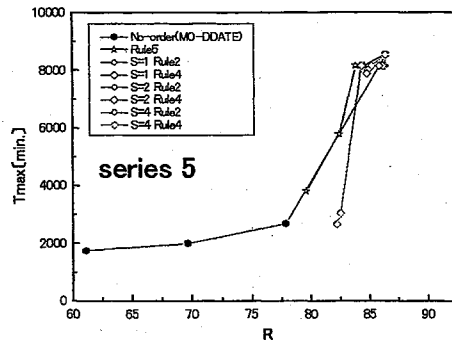
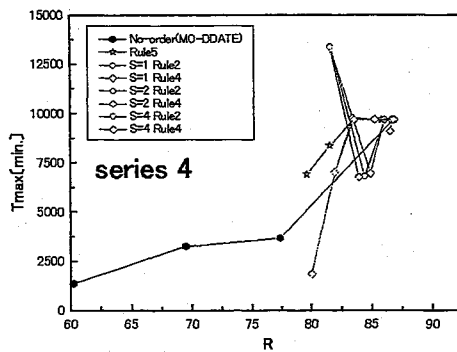
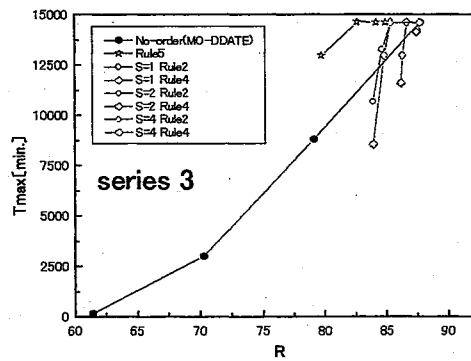
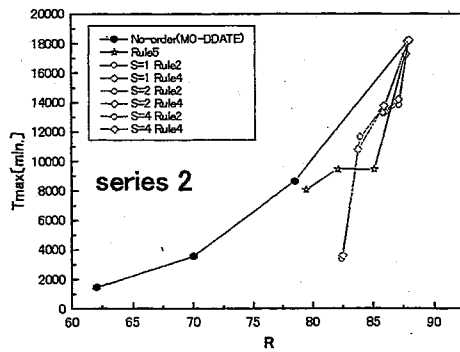
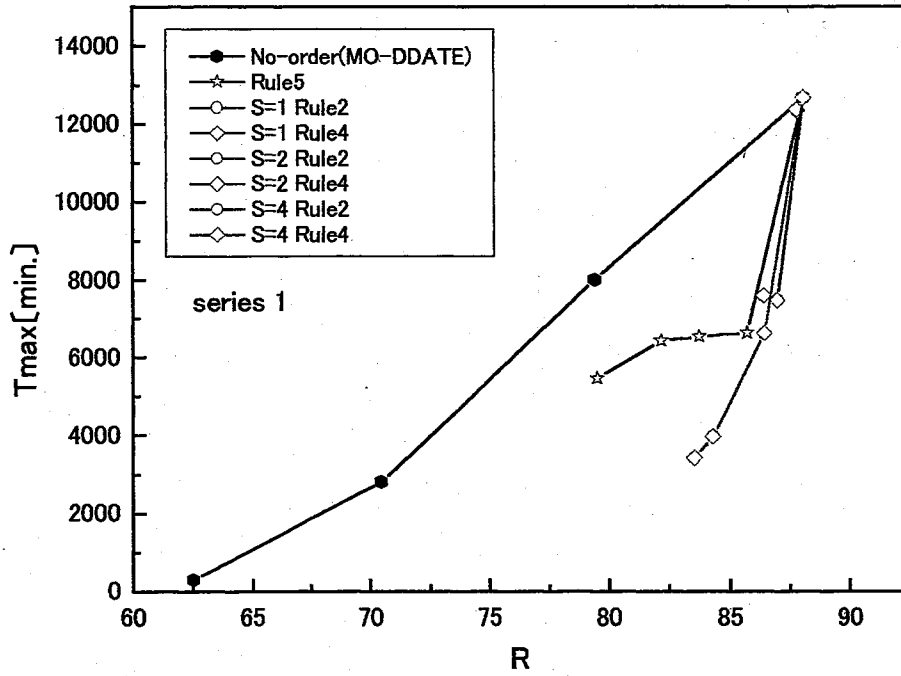


Fig.5-7 Effect R on Tmax

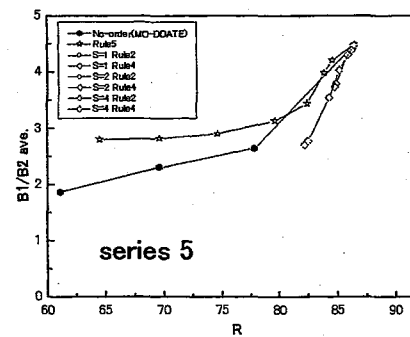
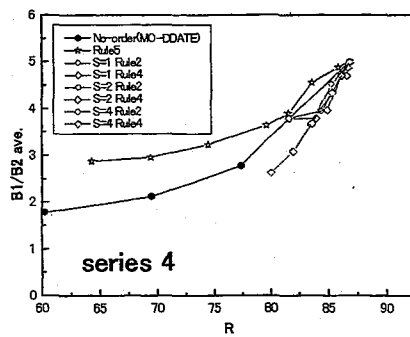
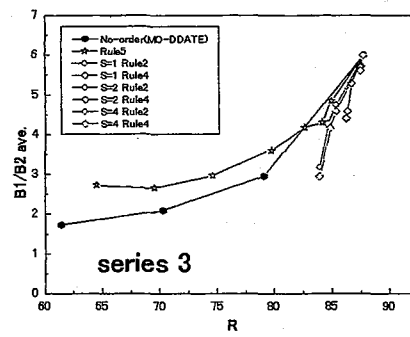
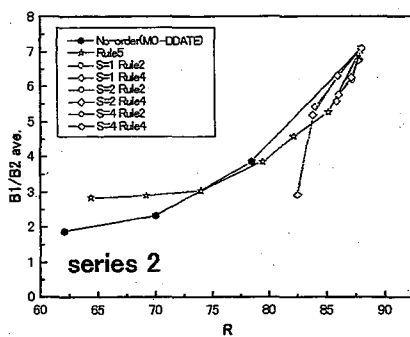
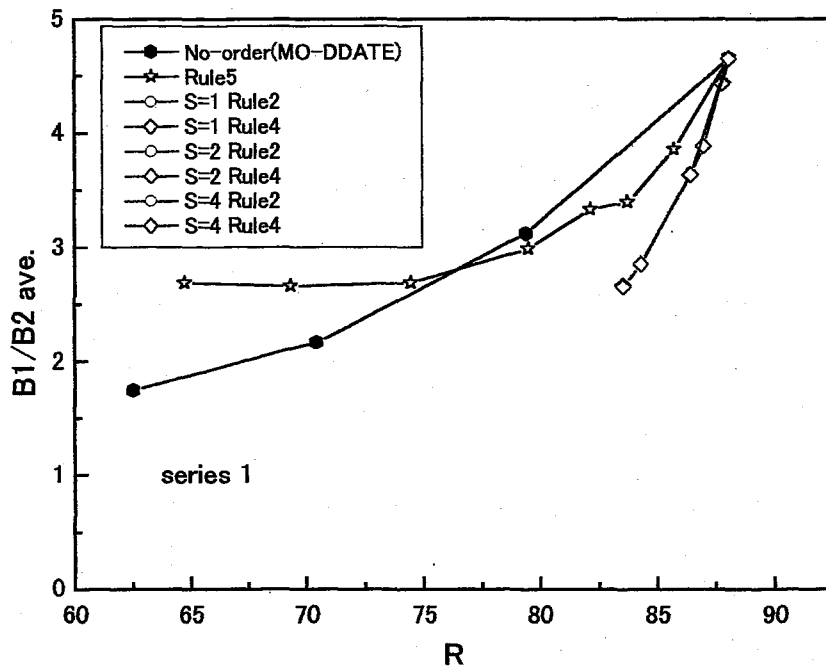


Fig.5-8 Effect R on B1/B2 ave.

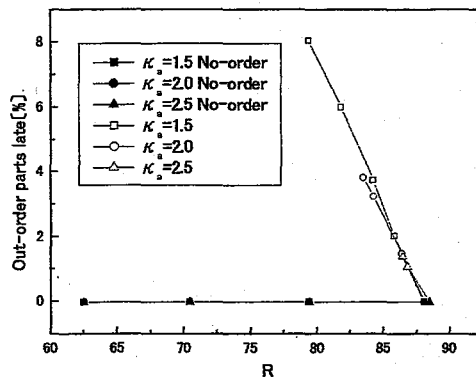


Fig.5-9 Out-order parts rate

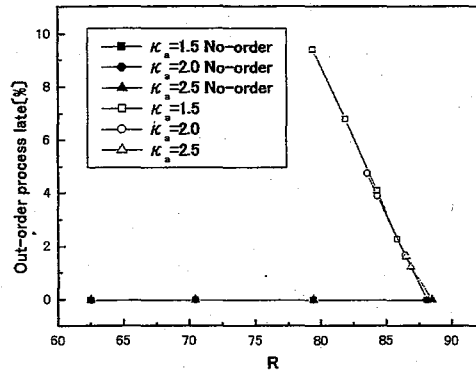


Fig.5-10 Out-order process rate

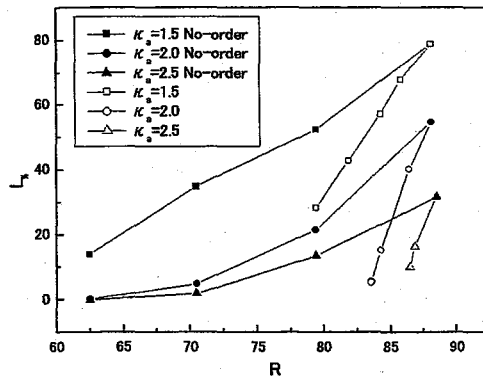


Fig.5-11 Effect of R rule on L_x

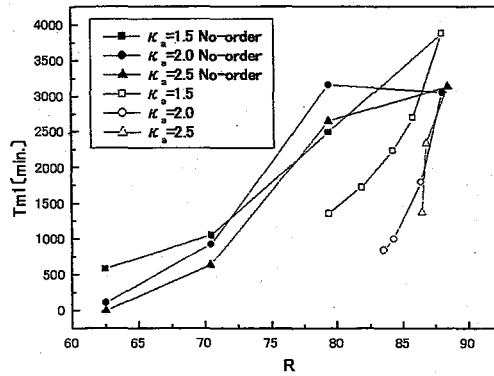


Fig.5-12 Effect R on Tml

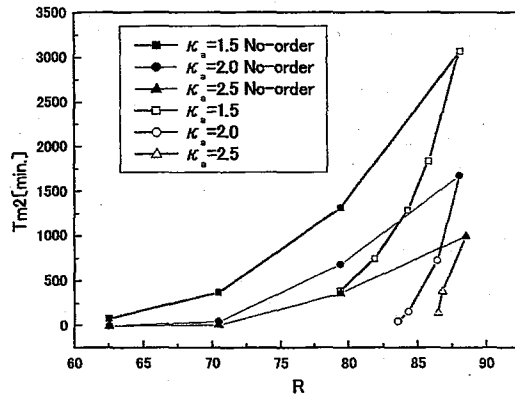


Fig.5-13 Effect R on Tm2

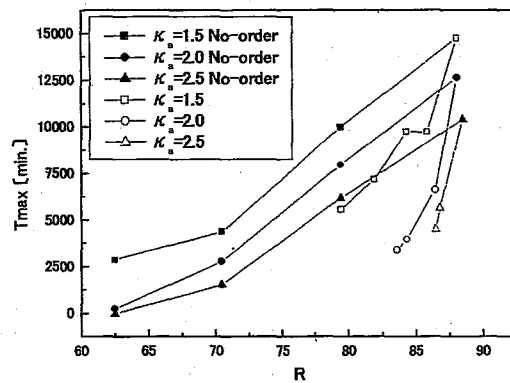


Fig.5-14 Effect R on Tmax

5-4 加工メイクスパン最小化外注部品選択法

はじめに、加工メイクスパンを最小化する外注部品選択法について調べ、金型納期遅れを一定割合以下とするのに必要な納期係数を与える納期係数設定法を考案する。次に、加工メイクスパンを最小化する外注部品選択法を用いて、実際に納期係数を与え変化させたときに納期係数が納期遅れにどのような影響を与えるか解析する。

5-4-1 外注部品選択法の影響

金型の組立開始時刻までの全部品加工メイクスパンを最小化する外注部品選択法を明らかにするため、各外注部品選択法における組立開始時刻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)と理想メイクスパン B2 の比 B1/B2 に関する平均値 m 、標準偏差 σ および最大値 m_{max} を調べる。ただし、使用した工程納期は、機械台数が無限大、金型納期余裕時間 0 の条件下でバックワードスケジューリングを行った場合の納期であり、理想メイクスパンは全部品加工終了までの加工クリティカルパス時間である。また、スケジューリング法は MO-DDATE を用い、シミュレーション結果は、乱数系列を 5 種類 (series1~5) 用意し、各乱数系列を用いて 500 日間のシミュレーションを行い、解析には後半の 400 日分のデータの平均値を用いた。

Fig.5-15~16 に外注部品割合(外注部品数/全部品数), 外注作業割合(外注作業時間/全作業時間), Fig.5-17~18 に B1 の平均, B2 の平均を, Fig.5-19~21 に B1/B2 の平均値 m , 標準偏差 σ , 最大値 m_{max} を, Table 5-1~2 に B1/B2 の平均値 m , 標準偏差 σ の値を示す.

①外注作業量の影響

Fig. 5-15~16 より, 機械稼働率が低下すると, 外注部品割合, 外注作業割合は増加し, 外注部品割合, 外注作業割合と機械稼働率(作業負荷)はほぼ比例関係となることがわかる. また, 外注作業割合は外注部品選択法によらずほぼ一定の割合で変化することがわかる. Fig.5-19~21 より, 機械稼働率が低下すると, すなわち外注作業量が増加すると平均値 m , 標準偏差 σ , 最大値 m_{max} は減少する. このことから, 外注工場を利用することは加工メークスパンの短縮に有効であることがわかる.

②外注部品選択法の影響

Fig.5-19 より, 機械稼働率が高いほど, 平均値 m は外注部品選択法の影響を受けにくいことがわかる. これは外注部品が少ないためと考えられる. また, Rule4が最も良い性能を示し, Rule5が最も悪い性能を示す. このことから, メークスパンを短縮するためにはスケジュール情報を使用する外注部品選択法がよいということがわかる. σ と m_{max} も同様の傾向を示す.

③金型の未来情報の効果

Fig.5-19 より, Sが大きくなるにつれ,平均値 m が小さくなることがわかる. このことから,Sを大きくするほど, メークスパンの短縮にネックとなる部品を的確に選び, 外注に出すと考えられる. つまり, 金型の未来情報が多いほどメークスパンの短縮において, 適切な外注部品選択を行うことができると考えられる. σ と m_{max} も同様の傾向を示す.

Table 5-1 Values of m

Out-order Rule	R=87.5	R=85.0	R=82.5	R=80.0
Rule5	5.88	4.968	4.554	3.926
S=1,Rule1	5.614	4.696	4.186	3.654
S=1,Rule2	5.82	4.966	4.544	4.052
S=1,Rule3	5.584	4.676	4.156	3.6
S=1,Rule4	5.604	4.666	4.166	3.628
S=2,Rule1	5.602	4.678	4.118	3.574
S=2,Rule2	5.806	4.982	4.53	3.97
S=2,Rule3	5.548	4.66	4.136	3.542
S=2,Rule4	5.588	4.688	4.112	3.574
S=4,Rule1	5.576	4.642	4.088	3.506
S=4,Rule2	5.788	4.802	4.422	3.722
S=4,Rule3	5.558	4.632	4.078	3.496
S=4,Rule4	5.59	4.634	4.078	3.482

Table 5-2 Values of σ

Out-order Rule	R=87.5	R=85.0	R=82.5	R=80.0
Rule5	4.832	3.908	3.73	3.086
S=1,Rule1	4.286	3.598	3.506	3.1
S=1,Rule2	4.48	3.73	3.35	3.182
S=1,Rule3	4.284	3.624	3.474	3.028
S=1,Rule4	4.292	3.69	3.314	3.116
S=2,Rule1	4.294	3.62	3.488	3.05
S=2,Rule2	4.476	3.97	3.46	3.14
S=2,Rule3	4.29	3.636	3.458	3.02
S=2,Rule4	4.318	3.66	3.328	3.152
S=4,Rule1	4.31	3.638	3.474	3.034
S=4,Rule2	4.898	3.672	3.588	3.048
S=4,Rule3	4.304	3.652	3.34	3.002
S=4,Rule4	4.332	3.686	3.366	3.02

5-4-2 加工納期係数の推定

5-4-1の結果から、加工メイクスパンの評価尺度である m と σ は、 R に依存して変化し、 R の関数 $m(R)$ 、 $\sigma(R)$ となることが示された。したがって、納期遅れを少なくするには、 R の関数として工程納期や加工納期を設定する必要がある。また、金型生産では多種多様な金型を生産するので $B1/B2$ も多様に変化する。したがって、 $B1/B2$ が正規分布をなすと考え加工納期係数 κ_m ((設定する部品加工納期-素材投入時刻)と理想メイクスパンの比)を $\kappa_m(R) = m(R) + x \cdot \sigma(R)$ で与えると、金型の加工納期遅れ割合 L_x と κ_m の関係が近似的に推定可能になる。仮割当日数 $S=4$ で、Rule4を用いた場合の各 x に対する納期係数を Table 5-3 に示す。ただし $B1/B2$ が正規分布をなすと考えた場合、各 κ_m に対する加工納期遅れ割合 L_x を Table 5-3 に同時に示す。また、Fig.5-22 に $S=4$ で、Rule4を用いた場合の κ_m と x 、および L_x の関係を示す。これより、 x を約1~1.5 の間に設定すると、すなわち $R=87.5, 85.0, 82.5, 80.0$ に対し、 κ_m をそれぞれ約10~12, 8.5~10, 7.5~9, 6.5~8とすると、加工納期遅れ割合を10%以内にすることが可能と思われる。

Table 5-3 Values of κ_m and L_x

x	R=87.5	R=85.0	R=82.5	R=80.0	加工納期遅れ割合 (L_x)
0	5.59	4.63	4.08	3.48	50
0.5	7.76	6.48	5.76	4.99	30.9
1	9.92	8.32	7.44	6.5	15.9
1.5	12.01	10.16	9.13	8.01	6.7
2	14.25	12.01	10.81	9.52	2.3
2.5	16.42	13.85	12.49	11.03	0.6
3	18.59	15.69	14.18	12.54	0.1

注釈)本研究では、金型の納期設定に対し金型納期係数 κ_a を用いた。そこで金型納期係数 κ_a と加工納期係数 κ_m 及び x の関係を以下に示す。

Fig.5-18 より、平均理想メイクスパン B2 は 1130 分となり、平均組立時間は、平均組立部品数 19 と組立部品1つあたりの平均作業時間 100 分より、1900 分となる。したがって、金型の完成までにかかる平均金型理想メイクスパン A2 は 3030 分となる。

この結果、金型の納期係数 κ_a ((設定する金型納期 - 素材投入時刻)と金型完成までの理想金型メイクスパンの比)に対し、金型の総処理可能時間 α は、各金型納期係数、負荷に対し Table 5-4 のように与えられる。

Table 5-4 Total processing (machining + assembling + slack) time of mold

金型納期係数 κ_a	R=87.5	R=85.0	R=82.5	R=80.0
1.5	4545	4545	4545	4545
2	6060	6060	6060	6060
2.5	7575	7575	7575	7575
3	9090	9090	9090	9090
3.5	10605	10605	10605	10605
4	12120	12120	12120	12120
4.5	13635	13635	13635	13635
5	15150	15150	15150	15150

このとき、納期余裕時間をすべて加工工程で使うものとする、 κ_m は次のように与えられる。 $\kappa_m = (\alpha - 1900) / B2$

この結果、それぞれの金型納期係数と負荷に対し、 κ_m は Table 5-5 のように与えられる。

Table 5-5 Values of κ_m

金型納期係数 κ_a	R=87.5	R=85.0	R=82.5	R=80.0
1.5	2.34	2.34	2.34	2.34
2	3.68	3.68	3.68	3.68
2.5	5.02	5.02	5.02	5.02
3	6.36	6.36	6.36	6.36
3.5	7.70	7.70	7.70	7.70
4	9.04	9.04	9.04	9.04
4.5	10.38	10.38	10.38	10.38
5	11.73	11.73	11.73	11.73

また、Table 5-4~5 で、S=4、Rule4に対する m と σ の値を用いて、各 κ_m を与える $x = (\kappa_m(R) - m$

Table 5-6 Values of x

金型納期係数 κ_a	R=87.5	R=85.0	R=82.5	R=80.0
1.5	-0.75	-0.62	-0.52	-0.38
2	-0.44	-0.26	-0.12	0.07
2.5	-0.13	0.1	0.28	0.51
3	0.18	0.47	0.68	0.95
3.5	0.49	0.83	1.08	1.4
4	0.8	1.2	1.47	1.84
4.5	1.11	1.56	1.87	2.28
5	1.42	1.93	2.27	2.73

$(R)/\sigma(R)$ は、各金型納期係数と負荷に対し Table 5-6 のように与えられる。

各負荷に対し、実際にシミュレーションを行ったときの x に対する L_x の分布と、正規分布と仮定したときの x に対する L_x の分布を比較したものを Fig.5-23~26 に示す。これらより、 L_x の分布を正規分布と仮定することは妥当であるということがわかる。

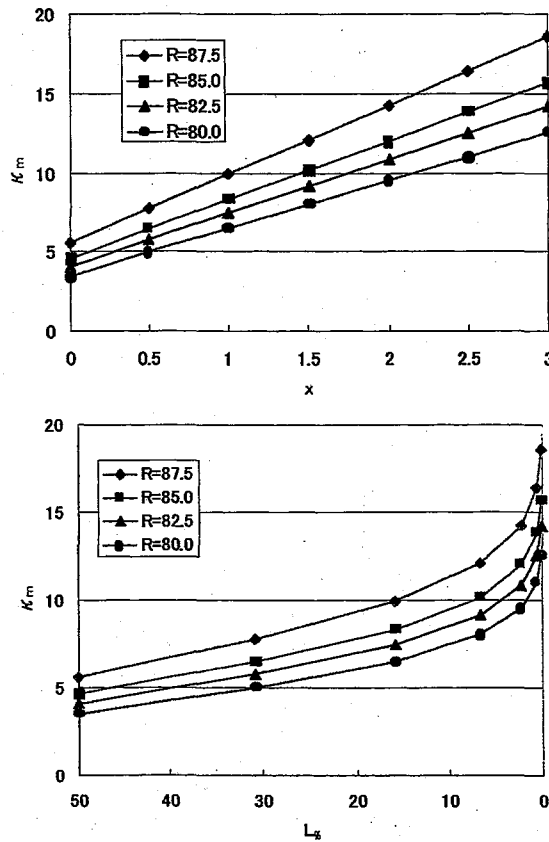


Fig.5-22 Relationship between L_x and κ_m (x and κ_m)

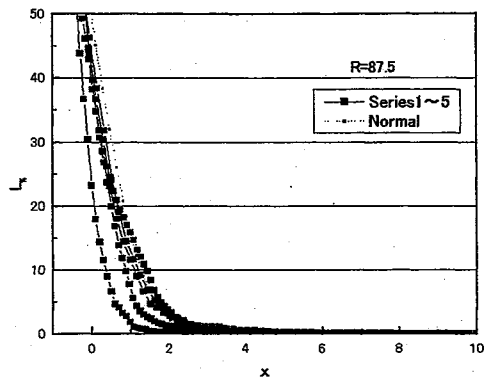


Fig.5-23 Distribution of $L_r(R=87.5)$

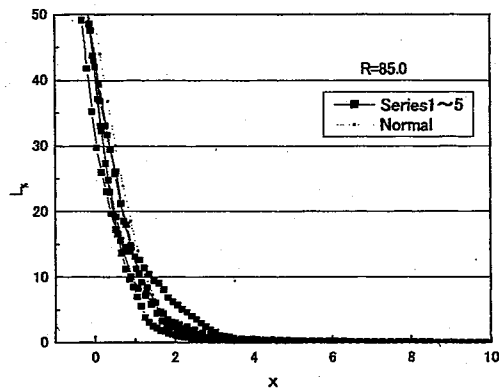


Fig.5-24 Distribution of $L_r(R=85.0)$

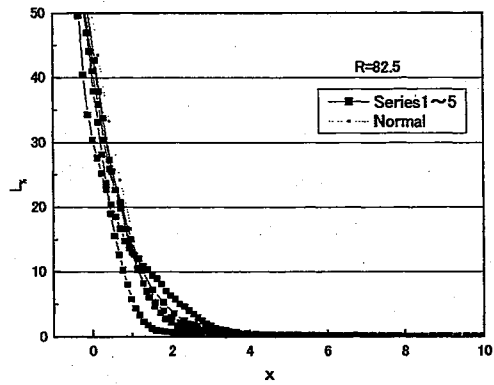


Fig.5-25 Distribution of $L_r(R=82.5)$

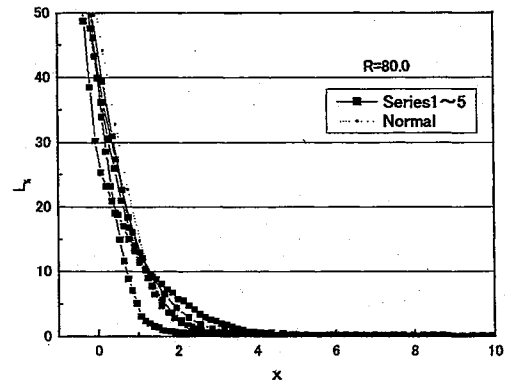


Fig.5-26 Distribution of $L_r(R=80.0)$

5-4-3 外注部品を与えた場合の納期遅れ最小化外注部品選択法

ここでは、加工メイクスパンを最小化するためあらかじめ外注部品を選択した場合、納期係数の変化が納期遅れなどに与える影響について解析する。外注部品は金型納期係数 $\kappa_a=1.0$ の条件下で、想定機械稼働率 $R=87.5, 85.0, 82.5, 80.0$ 、仮割当日数 $S=4$ で Rule4を用いたとき選択された外注部品を使用する。シミュレーション結果は、1種類の乱数系列(series1)を用い、500日間のシミュレーションを行い、後半の400日分のデータを解析に使用する。そのほかのシミュレーション条件については、5-2と同じとする。

ここで使用した金型納期係数 κ_a とそのときの加工納期係数 κ_m の関係を Table 5-7 に示す。

Fig.5-27 に加工納期遅れ割合 L_q 、Fig.5-28 に遅れた金型の加工納期遅れ平均時間 $Tm1$ 、Fig.5-29 に全金型に対する加工納期遅れ平均時間 $Tm2$ 、Fig.5-30 に最大加工納期遅れ時間 $Tmax$ をそれぞれ κ_m との関係で示す。

Table 5-7 Relationship between κ_a and κ_m

金型納期係数 κ_a	R=87.5	R=85.0	R=82.5	R=80.0
1.5	2.34	2.34	2.34	2.34
2	3.68	3.68	3.68	3.68
2.5	5.02	5.02	5.02	5.02
3	6.36	6.36	6.36	6.36
3.5	7.70	7.70	7.70	7.70
4	9.04	9.04	9.04	9.04

Fig.5-27より、加工納期係数 κ_m が大きいほど L_q は減少することがわかる。Fig.5-29~30より、 $Tm2$ と $Tmax$ も同様の傾向を示すことがわかる。Fig.5-28より、納期係数が減少しても、 $Tm1$ は必ずしも減少しないことがわかる。これは、外注部品があらかじめ決定されているため、納期係数を与えた金型を処理するシステムの各状態に対し最適な外注部品選択ができず、大きな遅れを持つ金型が発生するためと考えられる。Fig.5-27~30より、機械稼働率が低下しても、評価尺度は必ずしも低下しないことがわかる。これは、外注として選択される部品がはじめから決まっているため、その時々システムの状態に対し、最適な外注部品選択であるといえないためと考えられる。システムに対し最適な外注部品を選択するには、それぞれの納期係数、負荷に対してその都度、外注部品を決定するのがよいと考えられる。

Fig.5-27の横スケールを関数 $\kappa_m(R)$ の x で示した結果を Fig.5-31 に示す。Fig.5-31より、 x が減少すると L_q は増加する事がわかる。また、機械稼働率によって x に対する L_q の値は異なる。ここで、前節の納期係数設定法から、 x を1~1.5に設定すると納期遅れ割合 L_q が10%以内にできると推定したが、

Fig.5-31 より, L_q を 10%以内にするには $R=87.5, 85.0, 82.5, 80.0$ について, それぞれ x は 0.25 以上, 0.5 以上, 0.9 以上, 0.75 以上であることがわかる.このことから, 前節の納期係数設定法で求められる納期係数よりも実際には小さい値でほぼ想定した L_q の値を与えるといえる. よって, 今回考案した納期係数設定法は十分な余裕を持った納期設定といえる.

次に4章の納期遅れ最小化の方法と5章の外注部品による納期遅れ最小化の方法の比較を行うため, 納期遅れ割合について4章と5章の結果をまとめたものを Fig.5-32 に示す. Fig.5-32 より, $m_N=4.5$ のとき機械稼働率がほぼ 80.0%であることから, $m_N=4.5$ と $R=80.0$ のときの L_q を比較する. Fig.5-32 より, 2つの条件はほぼ同じ納期遅れ割合になることがわかる.このことから, 外注部品選択による納期遅れの減少と投入金型数の減少による納期遅れの減少にはあまり大きな差がないといえる.

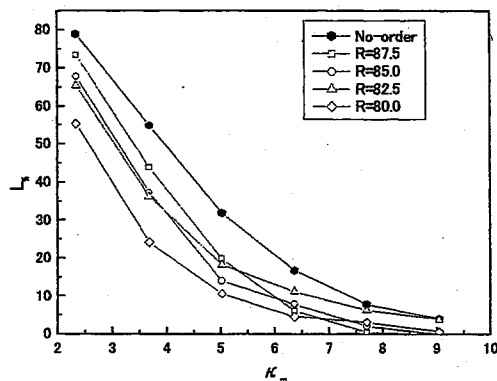


Fig.5-27 Effect of K_m on $L_q(1)$

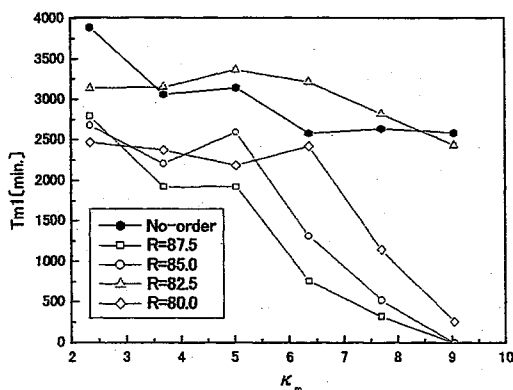


Fig.5-28 Effect K_m on $Tm1$

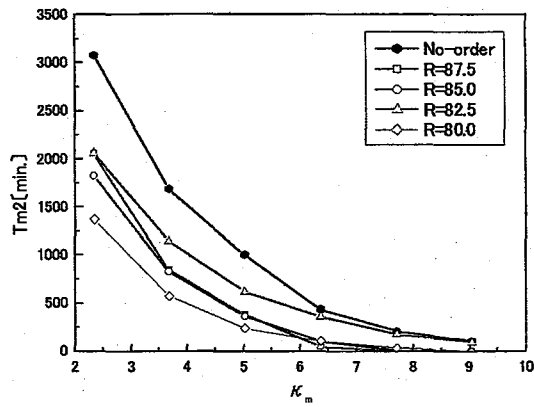


Fig.5-29 Effect κ_m on T_{m2}

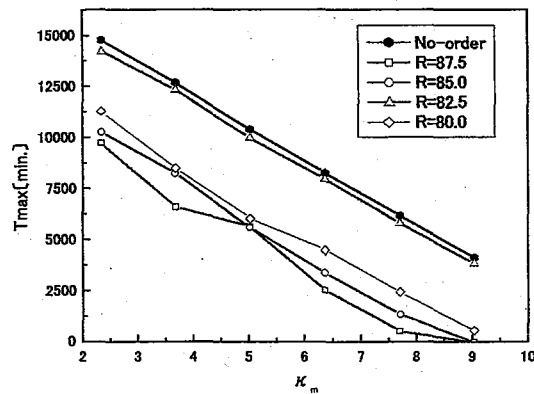


Fig.5-30 Effect κ_m on T_{max}

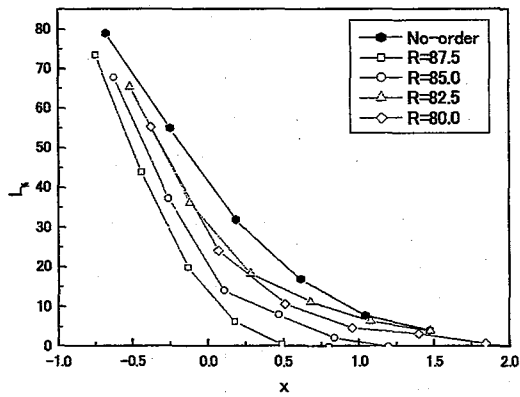


Fig.5-31 Effect of x on $L_4(2)$

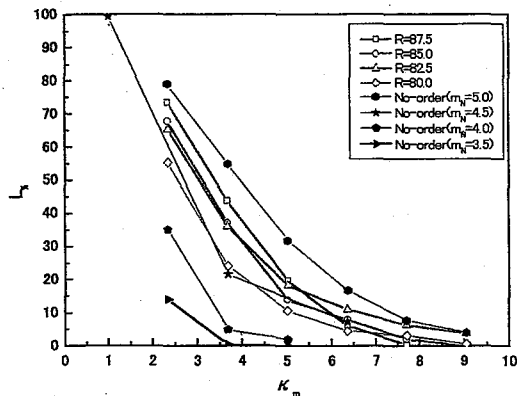


Fig.5-32 Effect of κ_m on $L_4(3)$

第6章 結言

本研究では、一括組立金型の生産システムを対象として加工スケジュール立案に適用可能な各種ディスパッチングルールを考案し、最短加工納期を与えるディスパッチングルールを明らかにした。また、加工納期遅れ割合を一定値以下とする加工納期を設定可能とする加工納期係数設定法を考案し、その有効性を調べた。さらに、外注部品選択に適用可能な各種外注部品選択法を考案し、外注部品選択法が加工納期遅れに与える影響を解析した。また、最短加工納期を与える外注部品選択法を明らかにし、外注部品選択の下で、加工納期遅れ割合を一定値以下とする加工納期設定法を提案した。

本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- 1) 一括組立金型の加工納期を最小化するには修正金型納期や修正工程納期を用いたディスパッチングルール MO1, DDATE21 が有効である。
- 2) 加工納期遅れ割合を一定値以下に押さえるのに必要な加工納期を与える加工納期設定法を提案した。このとき、作業負荷に依存した加工納期係数が要求される。
- 3) 加工納期係数が2~4以上の金型生産では、納期を用いたディスパッチングルールがほぼ等しい加工納期遅れ割合を発生させる。
- 4) 外注工場の利用は、加工メイクスパン、加工納期遅れの減少に有効である。特に、外注部品選択において、スケジュール情報の利用は有効である。
- 5) 外注工場を利用して加工メイクスパンを最小化するにはスケジュール情報を利用した外注部品選択法が有効である。
- 6) 外注工場を利用して、加工納期遅れ割合を一定値以下に押さえるのに必要な加工納期を与える加工納期設定法を提案した。このとき、想定機械稼働率に依存した加工納期係数が要求される。
- 7) 外注工場の利用は納期遅れを減少させるが、その効果は、投入金型を減少させた場合の作業負荷の減少による納期遅れの減少とほぼ同様である。

参考文献

- 1) S.Barman, 1997, Simple priority rule combinations: an approach to improve both flow time and tardiness, INT.J.PROD.RES, Vol.35, No.10, 2857-2870
- 2) D.H.Cummings Mckoy, P.J.Egbelu, 1998, Minimizing production flow time in a process and assembly job shop, INT.J.PROD.RES, Vol.36, No.8, 2315-2332

- 3) M.A.B.CANDIDO,S.K.KHATOR and R.M.BARCIA,1998,A genetic algorithm based procedure for more realistic job shop scheduling problems, INT.J.PROD.RES, Vol.36,No.12,3437-3457
- 4) Roman,D.B.,Del Valle,A.G.,1996,Dynamic assignation of due-dates in an assembly shop based in simulation, INT.J.PROD.RES,Vol.34,No6,1539-1554