

試作工程スケジューリングシステムの開発

Development of Scheduling System for Prototype Manufacturing Process

村 上 義 光* 奥 村 泰 三* 鈴 木 正 男*
Yoshimitsu Murakami Taizo Okumura Masao Suzuki

要 旨

自動車のエンジン試作部門において、多品種少量生産現場向けの日程計画作成支援システムを知識ベースシステムの応用により開発した。

本システムの特徴としては、ロット分割、多段工程同時加工、工程の着手時刻制限等の試作工程計画に必要な選択機能を有し、さらに計画中に加工手順等のマスターデータを書き換えることができる柔軟性を持たせることにより、計画者の思考過程に沿った効率の良い作業ができる仕様となっている。

本システムの完成により、従来の手書き計画で問題になっていた計画業務の能率の悪さが改善され、部品毎に分かれていた計画担当者間の計画精度のバラツキにも大きな改善がみられた。

ABSTRACT

A job-shop scheduling system was developed at the automobile prototype fabrication department, utilizing a knowledge-base system.

It allows the workshop where many, different types of models are built, to make a planning efficiently in accordance with the thinking process of humans by supporting such basic procedures of prototype process planning as dividing units into batches, overlap-scheduling and limiting start-up time. Additionally, it makes it possible to change master data on processing procedure, facilities, times, etc. while performing a job of planning.

The total system, then, eliminates the inefficiency of the job of planning once manually performed and increases accuracy of planning assigned among staffs according to components.

1. まえがき

自動車のエンジン部品の試作を行う製造工場は、多品種少量生産および外注工程を多用する典型的なジョブ・ショップ型の生産形態をとる工場である。

一般にこのような生産現場では加工手順の異なる製品が同時に並行して生産されるため、生産管理面で複雑な計画や進捗管理が必要となり、ラインの生産効率を維持することが難しい¹⁾。(一例として、シリンダ・ヘッドの加工工程を Fig. 1 に示す)

近年の開発ボリュームの増加に加え、レース用エンジンの供給を担当する当部門では厳しい納期と増え続ける供給量、難度を増す加工技術などに対処するため、高性

能設備や自動化設備(マシニングセンタ等)の導入を積極的に行い、CAD/CAMによる段取り設計やNCプログラム作業の標準化を強力に進めてきた。しかし、製造技術面の目ざましい進歩に比べ、これら高性能、高額の設備を効率良く運用するための要となる生産管理技術の向上、なかでも日程計画の精度および計画立案業務の効率の向上は、スケジューリング業務のシステム化に適したソフトウェア技術が未成熟であったこともあり、未解決の問題として取り残されていた。

このような状況のなかで、AIの応用技術である知識ベースシステムを用いたスケジューリング・システムが発表され始めた²⁾。知識ベースシステムとは、一つのプロ

* 栃木研究所

グラムを推論エンジン部と知識ベース部に分離しプログラムを簡素化する技法であり、診断システムを始めとする意思決定支援システムの構築に適したシステム化技法である。しかし、これまでに発表されたスケジューリング・システムは、主に加工手順が限定された量産ラインを対象にしたものであり、毎回加工手順の異なる試作品の計画に適用できるものはなかった。そこで、自動車の試作工場に代表される機械組立型の製造現場に適用できるスケジューリング・システムを開発した。

本稿では、システムの開発過程で用いた手法および機能群について説明する。

2. ジョブ・ショップ・スケジューリング³⁾

試作工程のようなジョブ・ショップ型の工程スケジュールの最適化を図る上での問題には二つの大きな特徴がある。

(1)計画の評価尺度が複数存在する。

例として試作工程のスケジュールにおける代表的な評価項目と判定基準を挙げる。

- ①納期 計画全体としての納期より個々の品目別の納期を優先する。
- ②段取り時間 最小になるように投入順序を考慮する。
- ③設備稼働率 高額設備の稼働率を上げ、夜間無人稼働を有効に利用する。
- ④製造コスト 最小になる製造工程を選ぶ。
- ⑤ロットサイズ 大きなロットサイズで流し、段取り回数を減らして生産効率を上げる。

上記評価項目の優先順位は状況をみて計画担当者がその都度判断する。

(2)答えを得るための計算量が膨大になる。

スケジューリングは本質的には組み合わせの問題となり目的関数が複数ある場合には、最適解を求めるために膨大な計算量が必要となる。

例えば、

仕事(オーダー)の数: n

設備台数: m

製造工程: 各オーダーは m 台の設備で各々

1 回だけ加工される

と仮定した時のスケジュールの組み合わせ数は、

$$(n!)^m$$

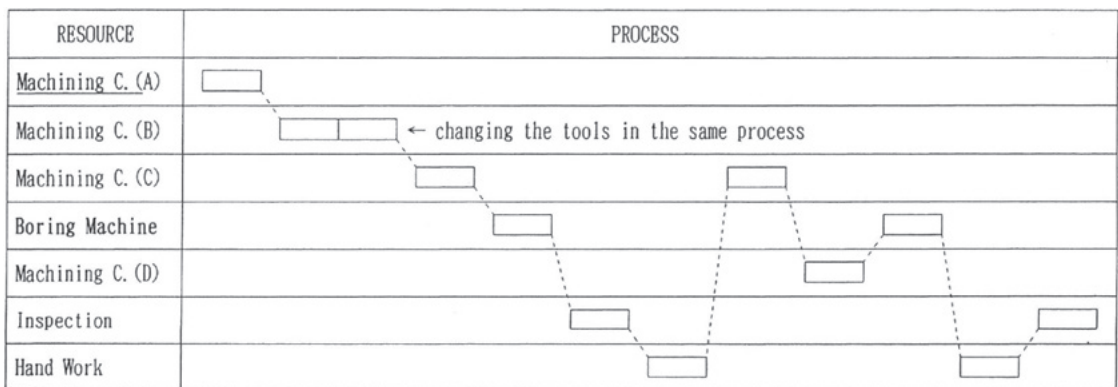
にも達する^{4) 5)}。

3. 開発の狙い

製造現場における日程計画は生産活動の実行計画として最も重要な位置づけにあり、計画の善し悪しとタイムリーな発行の可否が現場の生産性に大きく影響する。試作工場では突発的に緊急オーダーや設計変更が発生することが多く、そのたびにスケジュールを見直して迅速に製造現場に発行する必要がある。

このような計画業務に求められる要件を考慮し、今回のシステム開発では目的を下記に定めた。

- ①計画立案作業の時間短縮
- ②計画精度の向上
- ③計画技法の標準化と共有化
- ④加工手順・加工工数等の工程標準の整備



Machining C. = Machining Center

Fig. 1 Machining Process of Cylinder Head

特に、計画精度の向上に関しては、計画の最適解を得ることを目標にすると、膨大な計算量のために大型コンピュータを用いても迅速な計画立案という使命を果たすことが困難となる。そこで、本システムでは計画の最適解を得ることを目標とするのではなく、時間のかかる基本ルールに従った工程（本文ではユニットと呼ぶ）の並べ替え作業を計算機に処理させ、その結果を計画担当者が画面で確認し、条件の変更や追加を行って再び計算させるという手順を繰り返して最適解に近づけていく逐次近似型のシステムを指向した。

4. システム構成

システムの構成は大きく3つに分かれている。(Fig. 2)

(1) マスタ情報メンテナンス部

ここでは、計画実行部に必要なマスタ情報の作成と登録、修正作業を行う。具体的には、

- ①設備や工程（以降資源と呼ぶ）に関する基本情報の登録
- ②資源毎の操業カレンダーの作成と登録
- ③標準工程表の登録
- ④品名・納期・手配数等のオーダ情報の登録
- ⑤オーダ情報と個別工程表の結合（計画レコードの

作成）

を行う。

(2) 計画実行部

ここでは、マスタファイルの情報を展開し、知識ベース部に蓄積したルールに従った演算を推論エンジンが高速に処理し、グラフィカル・ユーザ・インタフェース（G.U.I.）部を介して計画結果をディスプレイ上に表示する。

製造工程のガントチャートを Fig. 3 に示す。

また、画面上で入力される計画者の指示は、新たな推論条件としてシステムに記録され処理される。

(3) 出力部

計画結果を目的に応じてさまざまな形に加工し画面とプリンターに出力する。例としてオーダ毎に出力したガントチャートと生産設備毎に負荷状況を表したチャートを Fig. 4、Fig. 5 に示す。

システム全体の運用手順を Fig. 6 に示す。

5. システムの機能説明

ここでは、試作工程のスケジューリング・システムとして特に重要となった考え方と、個別機能について説明する。

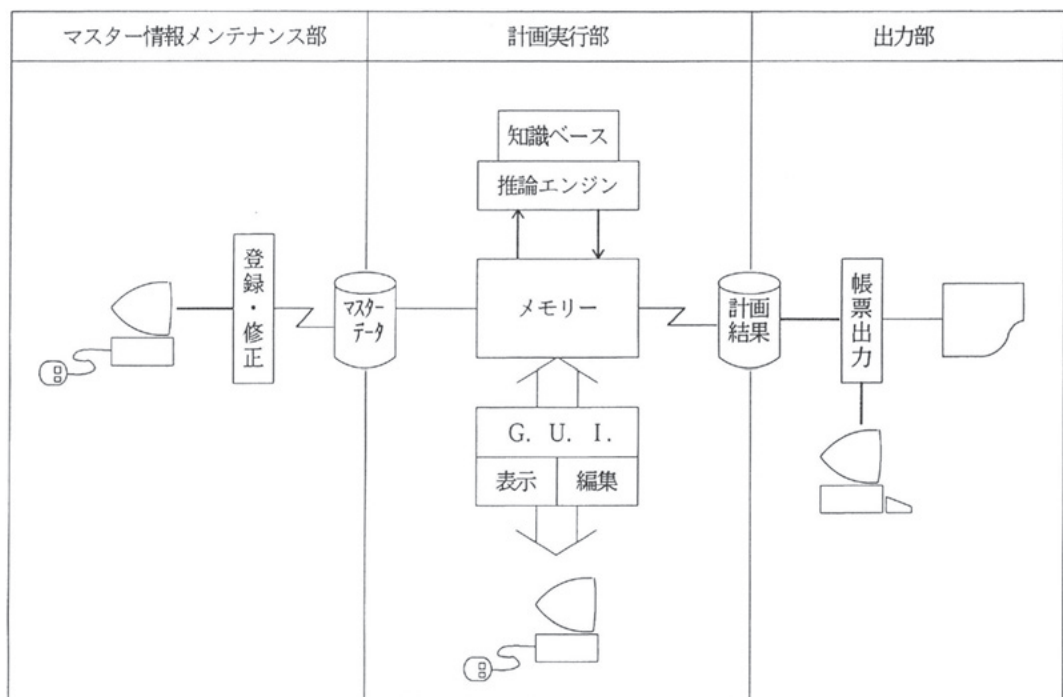


Fig. 2 Structure of the System

5.1. 資源の性格分け識別子の採用

計画する設備（以下資源と呼ぶ）には、フライス盤や旋盤のように一個ずつ順番に加工してゆく資源と、熱処理のようにロットで一括処理する資源、また外注や運搬のような特殊な資源がある。このように性格の異なる資源では、作業時間の計算法、負荷の調整ルール、計画表上での表し方が異なってくる。

本システムでは、このように資源毎に異なる計画ルールを判別するための識別子（以下競合解消フラグと呼ぶ）を資源のマスタ情報に持たせて参照するようにしている。例えば、競合解消フラグが“0”の資源ではユニットの大きさ（T）は

$$T = \text{段取り時間} + \text{単位加工時間} \times \text{加工数量}$$

で計算され、複数のユニットが競合した場合には優先順位をつけて順番にタイムテーブル上に割り付けてゆき、計画画面上では段取り開始時刻と加工終了時刻の間を枠で囲んだ表示にしている。

競合解消フラグの種類と計画時の処理内容を Table 1 に示す。

5.2. 無人稼働設備の計画

機械加工設備は有人運転設備と無人稼働設備に分けることができる。有人運転設備は作業者の就業時間内でしか計画できないが、無人稼働設備は段取り時間以外は、作業者の就業時間の制約を受けないことがない。

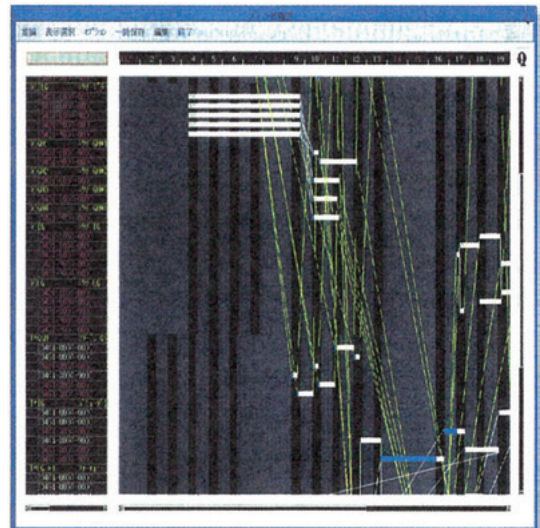


Fig. 3 Gantt Chart of Manufacturing Process

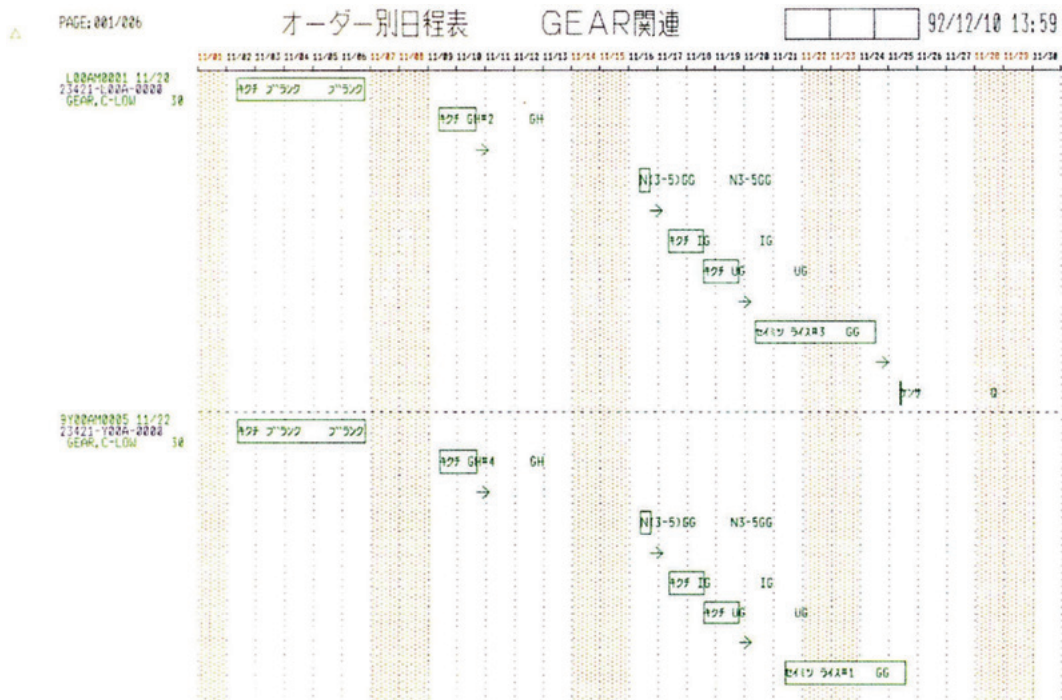


Fig. 4 Schedule Listed by Order

そこで、本システムでは、資源の操業状態を表す指標（以下操業ステータスと呼ぶ）を三種類に分け、資源毎に操業時間を管理することによりマシニング・センタのような無人稼働設備の夜間や休日等における計画を可能にした。すなわち、操業時間のステータスを考慮しながらユニット単位に段取り作業の開始および終了時刻、加工終了時刻の計算をさせている。操業ステータスの種類と内容を Table 2 に、操業ステータスを考慮した計画の例を Fig. 7 に示す。

5.3. オーバラップ・スケジュール

オーバラップ・スケジュールとは、同一ロットの部品を同時に複数の工程で処理し、製作期間を短縮する手法である。(Fig. 8)

オーバラップ・スケジュールでは、前工程の終了時刻以前に次工程が終了してしまわないルールや次工程へのワークの移動タイミングを考慮して、効率の良い割り付けを行うルールなど、次工程の開始時刻計算が重要な問題となる。例えば、マシニングセンタのように複数のワークを一度に加工する資源の場合には、次工程への移動は加工ベッドが段取りステーションへ出てくるまで待

Table 1 Classification of Resource by Scheduling Rule

フラグ	割り付け時の優先順序考慮	計画画面上での表し方	作業時間計算式	代表資源
0	する	枠表示	数量×単位加工時間	旋盤
1	しない	枠表示	数量に無関係で一定	熱処理
2	しない	連絡線表	数量に無関係で一定	運搬
3	しない	枠表示	数量×単位加工時間	外注工程

たなければならない。さらに、次工程がマシニングセンタの場合は、加工ベッドにワークが全てセットできるまで待つて加工に着手することになる。そこで本システムでは、一度に加工するワークの数を加工単位として定義し、オーバラップの指定は加工単位で行っている。

ユニットおよび加工単位の構成を Fig. 9 に、オーバラップ・スケジュールのユニット割り付けルールを Fig. 10 に示す。

5.4. ロット分割機能

試作工程では、ロット分割を頻繁に用いるが、本シス

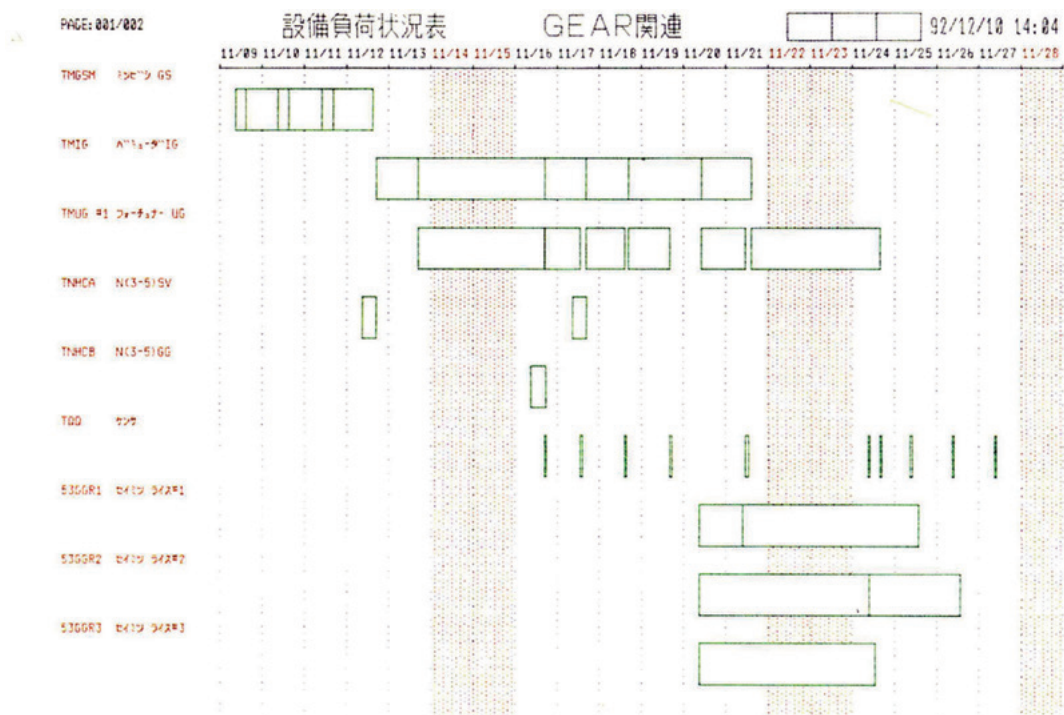


Fig. 5 Work-load Check List

Table 2 Time Status for Scheduling

ステータス 項目	人の稼働	無人稼働設備の稼働	段取り作業	内 容
□ ACT	○	○	○	全ての計画が割り付け可能な時間帯
▨ REST	×	○	×	無人稼働設備のみ計画可能な時間帯
■ STOP	×	×	×	完全休止時間帯

○ : 計画可能 × 計画不可能

テムは、ロットの第一工程から最終工程までを一括で分割する機能と、途中工程以降を分割する分岐型のロット分割を行えるように考慮した。

ロット分割では、分割するロットの一連の工程のなかに固定ユニット (5.7 で説明) や、結合ユニット、分岐した流れの有無をチェックし、個別に計画ルールを適用しな

がら処理を行う必要がある。また、分割時には分割する前のロット (親ロットと呼ぶ) の持つ加工手順或使用資源、単位加工時間等のルーティング情報は分割してできるロット (子ロットと呼ぶ) にコピーされるが、分割後は自由にルーティング情報を変更して計画できるように考慮した。

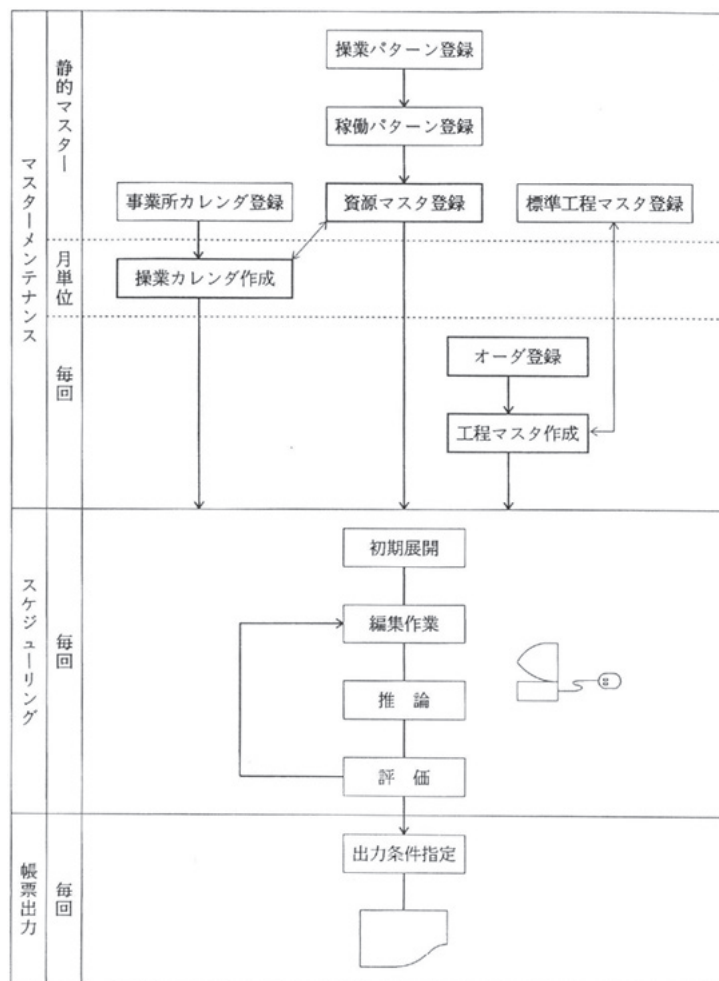


Fig. 6 Operating Process

5.5. 結合および合流機能

熱処理工程では処理条件が同じであれば、複数のロットを同時に処理する。同様に、同じ段取りで加工できるロットをまとめて処理する方が効率が良い工程がある。

そこで、本システムでは異なるロットのユニットを結合して一つのユニットとして計画する機能を持たせた。

この機能には、お互いのユニットのルーティング情報をチェックし、論理的に間違った結合指示ができないように監視するルールが働き、また、結合ユニット個々の作業時間を考慮してユニットの大きさを確定している。また同じように、別ロットで流動していた複数の部品が、ある工程で結合し完成に向かう場合があり、この場合の結合処理を合流機能として独立させた。合流指定では合流先のユニットの開始時刻が合流してゆくロットの完成時刻との関係で決まるというルールが働く。

5.6. 動的ルーティングテーブルの採用

スケジューリングの作業過程では工程順序の入れ換えや使用設備の変更等、ルーティング情報の変更を行うことが多いが、従来のスケジューリングシステムではルーティング情報はマスター情報として管理されており、変

更するには一度、計画の実行を中断してマスタの書換えを行うという手順を踏むことが必要であった。そこで本システムではルーティング情報をユニット単位の固有情報として管理することで、計画実行段階で自由にルーティング情報を変更して計画できる柔軟性を持たせた。

5.7. 推論対象ユニットの選択機能

スケジューリング作業では、ロットやユニット単位で現状の割り付け状態を固定して以降の推論による再スケジュールの対象から除外したい場合がある。本システムでは、固定機能により、ロットまたはユニット単位に割り付け状態を固定できる機能を持たせた。また、計画の起動モードに二つのモードを持たせた。

(1)現状の計画に新しいオーダを追加して計画するモード

(2)前回の計画を継続して行うモード

特に、(1)のモードでは、前回の計画で割り付いたユニットは全て固定ユニットとなり、新しく追加されたオーダのユニットのみが推論の対象となる。(Fig. 11)

ただし、前回の計画で固定されたユニットの一部または全部を新規オーダと共に推論の対象として計画したい

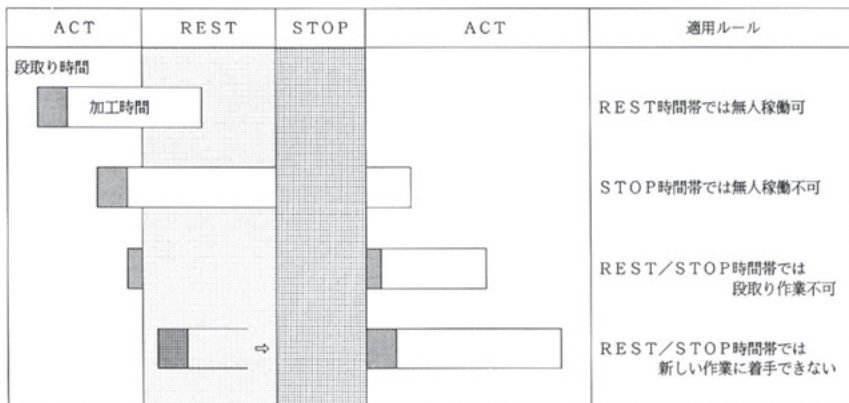


Fig. 7 Scheduling Rules for Automated Machine

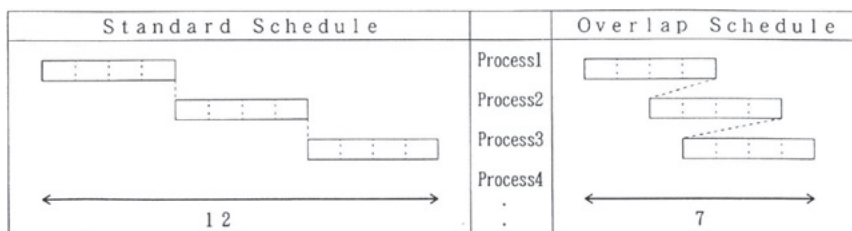


Fig. 8 Overlap Scheduling

場合には、ロットまたはユニット単位に固定状態を解除することができる。

5.8. マスタ情報の簡易登録機能

計画の基礎データとして必要になる膨大な各種マスタ情報の登録を簡素化して作業効率を向上させる工夫が必要になった。例えば、各資源毎に2～3ヶ月分必要な作業時間データの登録を簡素化するために、曜日ごとの作業パターンをテーブルに作成し、これを稼働パターンとして資源マスタの情報として持たせ、事業所の作業カレンダーとの照合により、システムが自動的に作業時間データを作成する機能を設けた。この機能により1カ月分の登録に1日かかっていた作業が30分で済むようになった。ここで作業パターンとは、一日の作業可能時間帯を幾つかのパターンとして定義した時刻表データである。カレンダー情報関連マスタの関連図をFig. 12に示す。また、同じ製品を繰り返し生産することが少ない試作工程では、ルーティング情報の登録がオーダ毎に必要となり大変な工数を要する。そこで本システムでは標準工程表

をテーブルに登録し(標準ルーティングテーブル)引用できるようにした。更に、登録済の他のオーダの工程を複写して、新しい工程を作成・登録できる機能を設けた。

6. G. U. I.

今回のシステム開発において特に留意した部分にスケジュール画面の仕様と情報の選択表示機能がある。

このシステムでは、膨大なスケジュール情報を扱うために計画結果全体を見て部分を判断することは不可能で

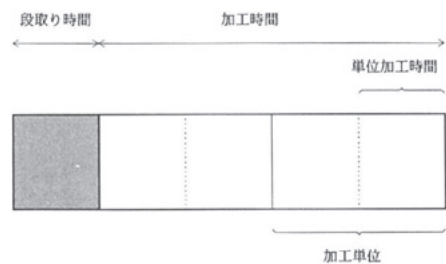
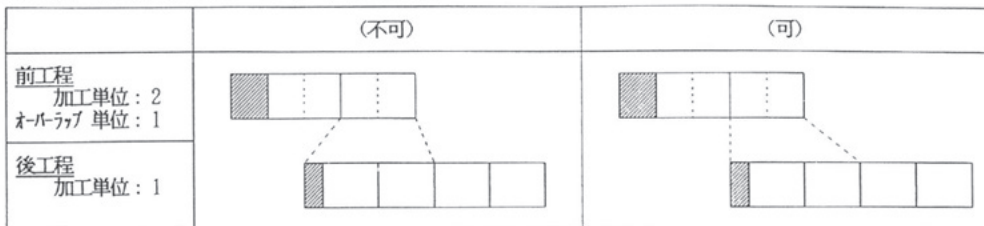
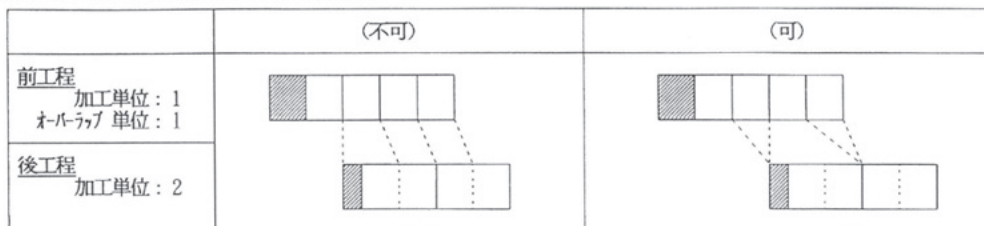


Fig. 9 Construction of Unit

①前工程の加工単位を考慮した後工程の開始時間計算ルール



②後工程の加工単位を考慮した開始時間計算ルール



③前工程の終了時間を考慮した後工程の開始時間計算ルール

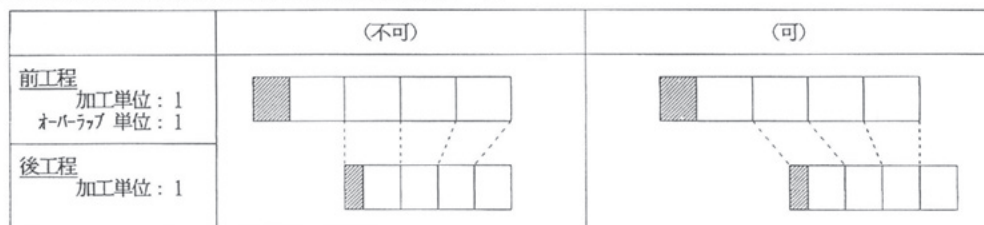


Fig. 10 Scheduling Rules for Overlap Planning

ある。したがって、計画上の問題箇所（例えば、納期遅れが発生しているロット）を強調表示し、関連する資源やオーダのスケジュールを選択的に表示し、そこで編集作業を行うことが必要になった。

本システムでは、マルチウインドウ環境の下で以下の表示関連機能を持つ。

- (1) 全体計画図と部分計画図の同時表示
- (2) 納期遅れロットの強調表示
- (3) 表示資源の選択機能
- (4) 表示オーダの選択機能
- (5) ユニット詳細情報の表示 (Fig. 13)
- (6) 資源詳細情報の表示

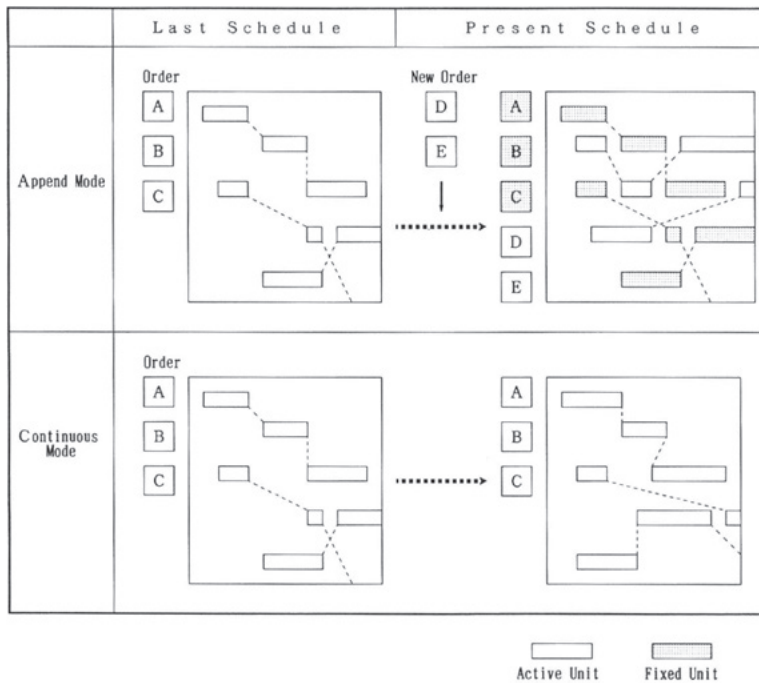


Fig. 11 Start Mode & Scheduling

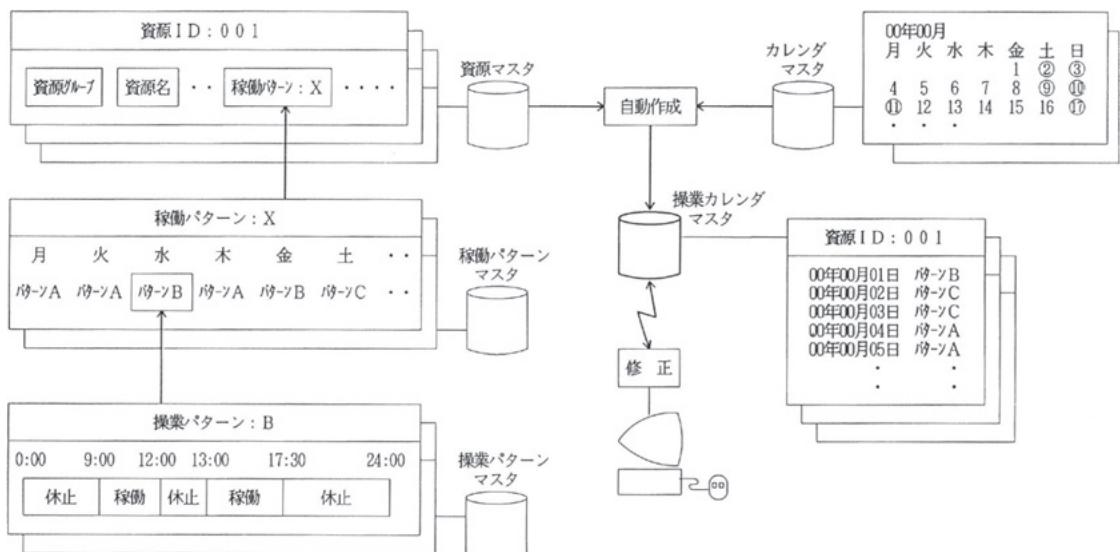


Fig. 12 Registration of Timetable for Each Resource

7. 成果

従来よりコンピュータ化が求められていた試作工程のスケジューリング業務を、知識ベースシステムの応用でシステム化することに成功した。このシステムの完成により

- (1)タイムリーな計画の見直しが可能になり、突発的な手配に対しても迅速に計画が発行できる体制が整った。
- (2)工程情報および資源情報が整理され、計画立案上のKNOW-HOWが計画担当者間で共有できる体制が整った。
- (3)計画作業の効率が向上し、計画要員の30%の削減ができた。
- (4)計画部門と製造現場とのコミュニケーションが向上し、さらに、資源毎の作業予定が明確になることで製造現場では難しいと考えられていたフレックスタイム制についても、製造活動に支障をきたすことなく導入することができた。

8. まとめ

今回の開発で採用した知識ベースシステムの手法は、同種の生産計画やその他のスケジュール業務のシステム化に対しても有効な手法であることが判った。そして、ハードウェアの処理能力とユーザ・インタフェースの出

来が、実用化システムとしての完成度を高める重要な要素となることも確認された。当システムの開発途上においてもホストコンピュータでの応答性の悪さを稼働環境をEWSに移植する事で解決した。また、システム設計の段階では必要な機能と不必要な機能の吟味を十分に行なうことが、シンプルで使いやすいシステムに造り上げ、加えてシステム開発のコストを抑えるために必要なことが再認識された。

謝 辞

本システムの開発にあたり多大な御協力を頂いた日本IBM株式会社および樹菱化システムの方々に深く感謝致します。

また、システム設計・製作を担当され、完成を間近に亡くなられた情報システムブロックの故中村英俊氏に哀悼の意を表すとともに、氏の協力なくしてはこのシステムの完成はなかったことを改めて表明し深く感謝致します。

参考文献

- 1) 五十嵐 暁、「多品種少量生産の生産管理改善」
1989 日刊工業新聞社
- 2) 秦 勝範、「エキスパート・システムとシステム・エンジニア」1991 工学図書
- 3) 春日井 博、「ORの基礎と技法」1970 税務経理協会
- 4) 今野 浩 他、「整数計画法と組合せ最適化」
1991 日科技連 P292
- 5) 村松 林太郎、「生産管理の基礎」1979 国元書房

■著 者■



村上 義 光 奥村 泰 三 鈴木 正 男

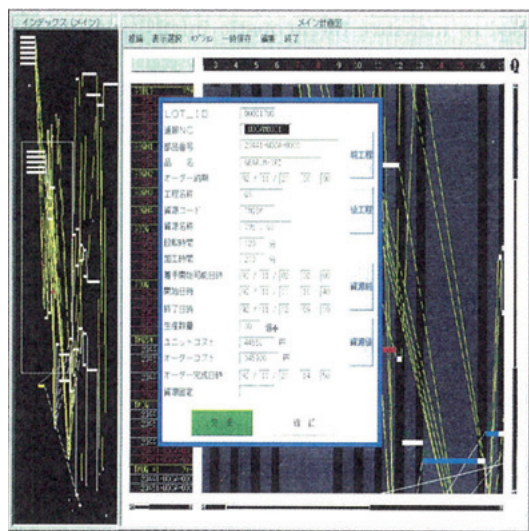


Fig. 13 Detailed Information of Unit