

## 変種変量生産におけるスケジューリング支援エキスパート システム構築のためのルールベースの構造化方法†

齋 礼<sup>††</sup> 矢島 敬士<sup>††\*</sup>

製造業において、消費者ニーズの個性化に対応するため、製造工程スケジュールを時々刻々変更して所望の条件にできるだけ近い状態で製造を続けることが必要である。スケジュールの頻繁な変更に迫られる専門家を支援するため、段階的なシステム構築が容易なエキスパートシステム (ES) の適用が進められている。実用上必要と思われるルールを ES 上に組み込むと処理速度が遅くなり、専門家支援ができないという問題がある。これは組合せ計算やバックトラックの多い専門家のロジックをそのままルール化すると、ルール実行時の条件照合処理量が膨大になるためである。上記の問題点を解決するために、本論文では、1) 条件照合処理の負荷が大きいロジックの替りに、局所的な最適解を求めたりバックトラックの発生要因を先読みするロジックをルール化し、2) 推論エンジンは、推論中に条件照合処理が多く発生する部分ほど条件照合範囲を限定して処理するというルールベースの構築方式を提案した。本方式を適用した結果、ES を利用した場合のスケジュール立案時間は、専門家がそのすべてを手作業で行う場合の 1/5 程度に短縮できた。また、本方式に従って構造化した同一のルールに対し推論中の条件照合範囲を限定した結果、計算機処理の部分は、条件照合範囲を限定しない場合の約 4 倍に高速化できた。これより、変種変量生産下のスケジューリング支援に ES が適用可能であるという見通しを得た。

### 1. はじめに

近年製造業において、消費者ニーズの個性化に対応する変種変量生産が行われている。変種変量生産においては、製造工程スケジュール (以下、単にスケジュールと略す) を時々刻々変更して製造量や製造種別を調整して、所望の条件にできるだけ近い状態で製造を続けていくことが必要である。スケジュールを頻繁に変更する環境下では、すべての制約条件を満足するスケジュールを求めることは事実上不可能であることが多い。そこで制約条件を緩和するなどして実行可能性に重点をおいてスケジュールを作成すること (満足化) が必要となっている<sup>1)</sup>。

上記のスケジューリング作業は、製造装置や製品の特性についての知識や営業・販売など関連部署間の調整力を持つ熟練した専門家に限られるため、専門家の責任・作業負担が大きい。そこで、専門家を支援してスケジューリング作業を容易にするために、段階的なシステム構築<sup>2)</sup> (プロトタイプングアプローチ) が容易なスケジューリングエキスパートシステムの適用が進められている。専門家の手順 (ロジック) はあらか

じめ決められた特定のものではなく、製造現場の状況などのスケジューリングの環境条件に応じてヒューリスティックに変更されることが多い。したがって、段階的なシステム構築が容易なエキスパートシステム (ES) の利用が有効である。

しかし、実用 ES の構築において、専門家の詳細なスケジューリング知識を利用すると、ルールやフレームの数が膨大になり、ES の処理性能が劣化して専門家支援が不可能となるという問題が生じている<sup>3)</sup>。本論文で取り扱うような製造装置の構成が複雑で製品の数が多い対象におけるスケジューリング問題においては、顧客からの個々の受注 (オーダー) のスケジューリングのためにチェックされる製造装置や製品の属性が多い。専門家は、スケジューリングのために頻繁なバックトラックや膨大な組合せ計算を行っている。このため、プロダクションシステムを基本とする ES 構築ツールを用いて、専門家のスケジューリングロジックをそのままルールで記述すると、従来 ES が適用されてきた診断型などのシステムと比較して、ルール実行の際に膨大な条件照合処理 (ルールとフレームとの間のマッチング処理) が必要となり、上記の問題が生じるのである。

従来から、知識ベースが比較的大規模になった場合の処理性能の劣化の問題が取り上げられ、高速化方式が提案されている<sup>4)-6)</sup>。しかし、これらの方式は上記問題に必ずしも有効と言えない。例えば推論アルゴリズムを改善する方式<sup>4)</sup>は、対象問題によってその有効

† Structuring Rule Base for High Speed Expert Scheduling System in Flexible Manufacturing by REI ITSUKI and HIROSHI YAJIMA (Kansai Systems Laboratory, Systems Development Laboratory, Hitachi, Ltd.).

†† (株)日立製作所システム開発研究所関西システムラボラトリー

\* 現在 (株)日立製作所研究開発推進本部

Cooperate Research & Development Promotion Office, Hitachi, Ltd.

性が異なる。コンパイル方式を採用してフレームのロット参照を高速化する方式<sup>5)</sup>は、知識ベースが大規模になるとメモリの点でハードウェアの制約を受けることがある。また、一部の制約条件のみをチェックした部分スケジュールを ES が短時間で出力し、専門家がそれらを修正あるいは合成する方式<sup>6)</sup>は、制約条件数が多い場合や制約条件が独立に緩和できない場合には、スケジューリングが短時間で収束しないことが多い。

本論文では、変種変量生産におけるスケジューリング支援のために、上記処理性能の問題点を解決して実用的なスケジューリング ES を構築するという観点から、1) 専門家ロジックのうち、ルールで記述すると推論中に条件照合処理の負荷が大きくなる組合せ計算やバックトラックの部分、局所的な最適解を求めたりバックトラックの発生要因を先読みするという処理負荷の小さい代替ロジックに置き換えてルールで記述する、2) 推論エンジンは、ルールの実行形態に対応して、推論中に条件照合処理が多く発生する部分ほど条件照合範囲を限定する、という2つの手段を用いて、ES 構築ツールの推論アルゴリズムが持つデメリットを解消するように知識ベース中のルールベースを構築する方式を提案している。第2章では、本論文で取り扱うスケジューリング問題について記述し、ES 構築上の問題点を説明する。第3章で提案方式について述べる。さらに、第4章では提案方式による専門家支援について考察、評価する。

## 2. 製造工程スケジューリングにおける 専門家支援問題

### 2.1 スケジューリング対象の特徴

本研究で取り扱うスケジューリング対象について以下に記述する。

(1) 製造工程は多段複合工程である<sup>7)</sup>。製造装置の接続状態により並列運転が制約を受ける場合がある。

(2) 製造装置と製造可能な製品の組合せが複数存在する。同一製造ラインで複数の製品を製造するために、段取り替えや加工手順の変更が必要である。

(3) 製造装置で一度に製造可能な製造容量に合せて製造を行うため、受注の分割や併合によるロットサイズの調整や、一時的な在庫が発生するような製造が行われる。

(4) 中間製品もまた製品同様に製造する。

(5) 受注納期が長短さまざまである。また、納期が非常に厳しいものと、環境条件によっては変更が許されるものがある。

### 2.2 対象におけるスケジューリングの特徴

上記のスケジューリング対象において、受注の納期を厳守し、より多くの製造を行うためのスケジューリングには、以下の特徴がある。

(1) スケジューリング時の制約条件が多くなる。例えば、次のようなものである。①製造装置上の制約条件：製造装置の遊び時間が少ない製造の組合せを優先する。②製造上の制約条件：原材料の製造を行ってから製品の製造を行う。③製品性質上の制約条件：段取り替えには時間がかかるので、段取り替えの少ない製品の組合せを優先する。

(2) 専門家は、環境条件に応じてロジックを柔軟に変更したり、ヒューリスティックなバックトラックを繰り返すという例外的なロジックでスケジューリングを行っている。これは、例えば納期の厳しい受注が緊急に入ってくると、スケジュールの組み直しを検討する必要がでてくるが、上記の多くの制約条件をすべて満足するスケジュールは存在しないことが多く、制約条件緩和が不可欠となる。さらに、制約条件緩和には、複数の制約条件が関連することが多く、柔軟なロジックでないと対応が難しいためである。

### 2.3 エキスパートシステム構築上の問題点

本論文では、環境条件に従って制約条件を緩和して得られる満足解の1つを短時間で求めて専門家支援を行うという立場を前提としている。この前提のもとでは、ES は専門家が短時間で修正可能な質の高いスケジュールを、専門家の作業ペースに合わせて出力することが必要である。

上記の ES を、推論アルゴリズムとして改良型 RETE アルゴリズム<sup>8)</sup>を適用した汎用の ES 構築ツールを用いて構築する過程で発生する問題を以下に示す。

(1) ES の処理速度が劣化して、専門家の支援手段として実用的でなくなる。

上記スケジューリング問題の特徴から、専門家のスケジューリングロジックをそのままルールやフレームで記述すると、組合せ計算の繰り返しやバックトラックのためにルール実行の際に膨大な条件照合処理が必要となる。これに対し、RETE アルゴリズム<sup>9)</sup>を基本とする推論アルゴリズムを適用した ES 構築ツールは、推論実行時に①ルール条件部とフレームとの条件照

合、②競合解消、③ルール実行を繰り返して推論を進めているため、上記のようなルールを記述すると条件照合処理の負荷が大きくなって処理性能が低下する。

(2) 実用性を重視して、処理速度を維持するために知識ベースに記述するロジックを制限すると、得られるスケジュールの質が劣化する。

スケジューリングロジックを制限すると、対応できる環境条件が制限され、得られるスケジュールの質が劣化する。スケジュールの質の面で専門家支援のレベルを上げようとする、タイムリにスケジュールを出力できないという点で、専門家支援のレベルを下げてしまうという矛盾を抱えてしまう。

### 3. ルールベースの構造化と処理の局所化 による専門家の支援方式

ここでは、スケジューリング処理の高速化のための条件照合処理の削減方法について述べる。

#### 3.1 問題解決のための基本的な考え方

前章の ES 構築上の問題点から、ES の処理性能を改善するためには前記のスケジューリングにおいて負担となっている推論中の条件照合処理を減らすことが不可欠である。この条件照合処理を削減するために、一般に、①対象ロジックの記述方法を改善する方法と、②記述されたロジックを処理するアルゴリズムを改善する方法とがある。ここでは、前者として、専門家ロジックのうちルールで記述すると処理負荷の大きくなる部分を、局所的な最適解を求めたりバックトラックの発生要因を先読みする代替ロジックに置き換えてルールベースを構築し、さらに後者として、推論エンジンは、推論中のルールの実行形態に応じて推論中に条件照合処理が多く発生する部分ほど条件照合範囲を限定して処理するという両者を併用した方法を採用する。これは以下の理由による。

(1) 処理負荷の大きくなる部分を代替ロジックに置き換えることで、まず推論実行時に条件照合対象となるフレーム数や実行されるルール数を減らし、次いで推論中の条件照合範囲を適切に限定することで、さらに条件照合処理を十分削減できるという効果が得られる。これにより、ES によるスケジューリング時間を専門家の作業ペース以内に収めることができる。またスケジューリングの規模が大きくなった場合に処理性能が指数的に悪化するという状態から回避できる。

(2) 推論中の条件照合範囲を適切に限定することで、例えば、条件照合結果の保存処理の負荷を省くこ

とを特徴とする TREAT<sup>10)</sup> のような、RETE の改善アルゴリズムを併用した場合の擬似効果を容易に得ることができる。RETE では、ルールが実行されるごとに変化分の条件照合処理を行い、その結果をすべて保存する。一方、TREAT は条件照合処理の結果の一部を保存しないことにより、処理負荷を軽減することを特徴としているが、どのような対象が TREAT に適するかは明らかではない。提案方法では、注目した条件照合範囲外のルールについては、それらが次に条件照合対象となるまで条件照合処理を行わないようにすることで条件照合処理の手間を省くという点で、RETE の利点を生かしながら TREAT のような改善アルゴリズムの効果を擬似的に得ようとするものである。

条件照合範囲の限定を適切に行うためには、ルールで記述したロジックに沿って行われる推論中の処理、すなわち更新されるフレームの種類や数を調査することが必要である。ルールの記述文法の制約のために、記述しようとするロジックどおりにルールベースを記述できない場合があるからである。

提案方法をプロトタイプングアプローチにおいて用いた場合、知識ベースに記述したロジックのリーダビリティの維持が難しくなるという不都合が生じる場合がある。知識ベースに記述されたロジックを専門家が直接理解することは通常難しいうえに、専門家ロジックの一部を代替ロジックで置き換えるためである。

上記の不都合を解消するために、専門家の知識モデルと知識ベースとの間に中間的な知識モデル（中間モデルと略す）を設ける。中間モデルとは、①専門家の知識モデルにおいて、前述の組合せ計算やバックトラックが原因で、使用する ES 構築ツールの言語で記述した場合に処理性能が劣化する部分を、このデメリットを解消する代替ロジックに置き換えて、②専門家が理解可能な表現形式で記述したスケジューリングロジックである。中間モデルを設けることで、知識ベース中のルールを記述する過程でロジックの修正を繰り返しても、代替ロジックの内容と置き換えた箇所とを専門家自身が常に容易に把握できるようにした。ルールベースの構築は、中間モデルに記述したロジックをもとにして行う（図1）。

以下に、上記の基本的な考え方を反映して中間モデルを利用したルールベースの構築方法および構築した ES の推論中の条件照合範囲を適切に限定するためのルールの分割方法について説明する。

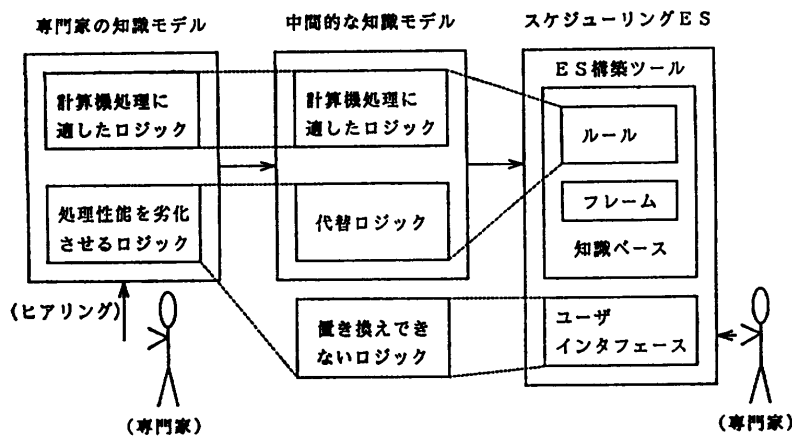


図 1 知識ベース構築手順の概要  
Fig. 1 Outline of knowledge base construction procedure.

### 3.2 ルールベースの構築手順

ルールベースは以下の手順で構築する。

(1) 専門家のスケジューリングロジックをルールで記述する場合を想定し、推論時に処理性能劣化の原因となる組合せ計算やバックトラックが行われるロジック部分を明確にする。

対象とするスケジューリングにおいては、製造容量に合わせて一度に製造する量（ロットサイズ）を調整する処理、制約条件をチェックしてオーダと製造装置との対応を決定する処理（以下、割り付け処理と呼ぶ）などの部分が対応する。

(2) (1)で取り上げたロジックを次の手順で代替ロジックに置き換えて中間モデルを構築する。

まずロジックを整理して、前処理、割り付け処理、割り付け修正処理などの部分問題に置き換え、一連のスケジューリング手順を設定する。

次に、各部分問題において、組合せ計算やバックトラックが行われるロジック部分を代替ロジックに置き換える検討を行う。これは、以下の2点を検討する。

①組合せ計算を減らすためには、局所的な最適解を求める代替ロジックを設定する。

②バックトラックをなくすためには、バックトラックの発生要因を調査し、あらかじめその要因を考慮した先読みの代替ロジックを採用する。

ここで、①の代替ロジックとは、例えば、専門家がスケジュール全体への影響を考慮しながら割り付けを決定しているのに対して、あらかじめ製造装置の割り付け順序を設定し、一装置だけに注目して割り付けを決定するロジックを指す。また、②の代替ロジックとは、例えば、通常未割り付けオーダが発生した場合に

用いる製造の前倒し策を、適用条件を付して割り付けの途中に用いるロジックである。

もともと専門家はスケジューリングの過程ですべての組合せを考慮しているのではなく、一部の組合せを考慮しながらバックトラックを繰り返すことにより、少しでも多くの組合せを試すことによって満足解を求めている。したがって上記のような代替ロジックを設定することが可能となる。ただし、①に対しては、組合せ問題そのものが対象スケジューリング問題において本質的である場

合には、組合せ計算を減らすためのルール形式で代替ロジックへの置き換えはできない。提案方式では手続き型言語を用いてロジックを記述している。また②に対しては、バックトラックの発生要因が明確にならない場合にはスケジュールが改善される保証がないので、そのようなロジック部分はルールベースから外して、専門家の手修正に委ねる。

(3) 中間モデルに記述したロジックをルールで記述して知識ベースを構築する。

以上の手順により、もとの専門家ロジックと比較して条件照合量の少ない知識ベースが構築できる。次に、推論中の条件照合範囲を適切に限定する方法を示す。

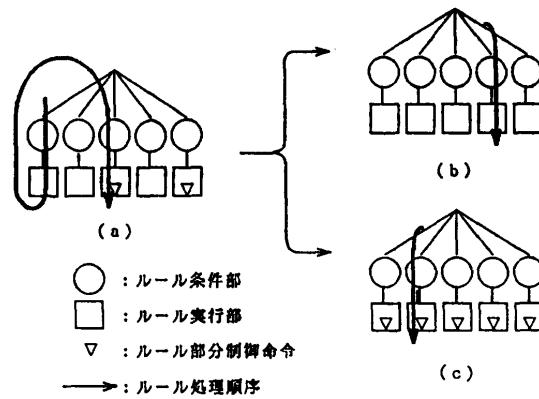
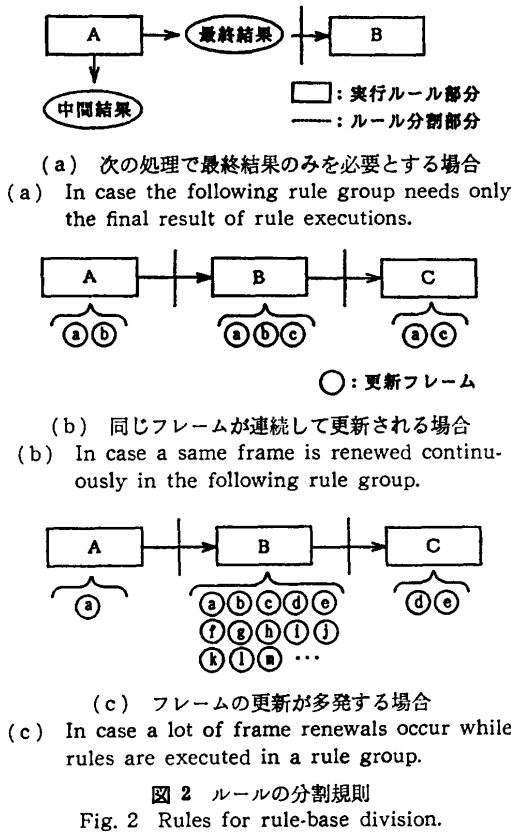
### 3.3 ルール分割による条件照合範囲の限定

ここでは、推論中の条件照合範囲の限定をルール分割という形式で具体化する。説明の便宜のため、まずルールの分割方針をまとめ、次にそれを用いた詳細なルールの分割手順を示す。

(1) ルールの分割方針 ルールの分割は、以下の3つの方針で行う。これは推論中の条件照合処理を調査した結果得たものである。なお、分割したそれぞれのルール集合を、「ルール部分」と呼ぶ。

①ルール集合Bがルール集合Aで発生した処理の結果のみを必要とする場合には、AとBを分割してルール部分とし(図2(a))、中間処理の段階で発生する処理の無駄を省く。

②推論実行中に連続して実行対象となる複数のルール集合間で、同じフレームが連続して更新される場合には、各ルール集合を分割する(図2(b))。各ルール部分では最新の情報だけを必要とする場合が多い。



(a) In case plural rules are executed in a rule group.  
(b) In case one rule is executed in a rule group. (1)  
(c) In case one rule is executed in a rule group. (2)

③フレーム更新が多発するルール集合がある場合には、そのルール集合を他の部分から分割し (図 2 (c)), スケジューリング処理が停滞することを緩和する。

(2) ルールの分割手順 上記の分割方針を実際のルール分割に適用するための具体的な適用手順を示す。ここでは、記述された知識ベース中のルールを、3つのステップで各処理単位に分割する。

①ルール全体に、分割方針①②を適用し、ルールを中間モデルで設定した処理ごとに概要分割する。

②ステップ①で概要分割されたルール部分のそれぞれに、分割方針②を適用して、中間製品の製造、生産装置のグループ、個々の制約条件などの面から、さらに細かい分割を行う。

③上記のステップ①, ステップ②で分割した各ルール部分でのルールの実行形態を解析して、同一ルール部分内で複数のルールが実行されるルール部分が1ルールのみ実行される場合に帰着できる場合にはルール分割を行う (図3 (a))。一方、同一ルール部分内で1ルールのみが実行されている場合 (図 3 (b), (c)) には、ルールのメンテナンス性の低下が考えられるの

で分割しない。

実際に上記のルール分割を行うには、ES の実行ログを取り、これを解析して行う。

#### 4. 適用結果および評価

以上のスケジューリング支援のための提案方式を検証するために、提案方式を実事例に適用して、その結果を解析した。

##### 4.1 適用事例

今回計画支援の対象としたのは、化学製品製造プロセスである。製造工程は基本的に3段であり、製造装置は十数種存在する。

割り付け作業時にチェックされる制約条件は、連続生産可能な製品の組合せなど、十数種類である。

##### 4.2 中間モデルの構成

本適用事例における中間モデルは、前処理、割り付け処理、後処理の3つに大別される (図 4)。以下に各処理内容を示す。

(1) 前処理では、スケジューリング情報を読み込み、フレーム展開する。さらに在庫引き当て、製造容量に最適な割り付けデータ作成を行う。

(2) 割り付け処理は、曜日の順、製造装置の小さい順に、その装置で製造可能な割り付けデータを決定する。この時には割り付けデータに割り付け優先順位 (プライオリティ) を設け、割り付け優先順位の高い

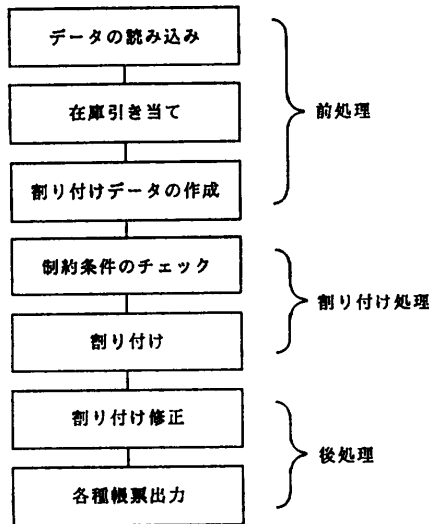


図 4 推論の流れ

Fig. 4 Flow of reasoning.

ものを先に割り付ける。

割り付けは、割り付け対象となった割り付けデータについて十数種類の制約条件を順に1つずつチェックして、1つでも不満足である場合、割り付け候補の対象から除外し次の割り付け候補に関する条件チェックを行う(図5)。

(3) 後処理では、割り付け結果をディスプレイに表示し、専門家の割り付け結果の修正を促す。

#### 4.3 知識ベース内のルールの分割

中間モデルに記述したロジックをもとに構築した知識ベース中のルールは、以下の手順で分割した。なおルールは、推論中の条件照合範囲を限定することが可能な、汎用のES構築ツールを用いて記述した。

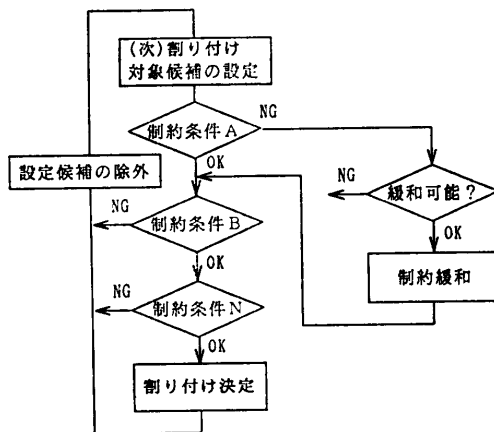


図 5 割り付けの決定手順

Fig. 5 Assignment procedure.

(1) ルール全体を、①前処理(約60ルール)、②割り付け処理(約190ルール)、③後処理(約10ルール)に分割した。この分割は、中間モデルに記述したロジックに沿った分割である。

(2) (1)で分割した各ルール部分を、①の前処理については、フレームが多量に生成されたり、更新されたりするため、10のルール部分に分割した。②の割り付け決定処理については、オーダの優先度やチェックする制約条件に着目して18のルール部分に分割した。③の後処理については、次回スケジューリングのためのルール部分、スケジューリング結果の出力を行うルール部分に着目して4のルール部分に分割した。

先述の分割方針に従えば、記述した知識ベースをほぼ機械的に分割できる。特に分割効果があるのは、条件照合処理が多発する割り付け処理部分の分割である。

(3) 推論実行中に各ルール部分で実行されるルール数を調査した結果、各オーダの割り付け後、割り付けを続行するか、終了するかを判断するルール部分などで、複数ルールが実行されるルール部分があったので、これを分割した。

#### 4.4 評価

従来の手作業と本システム導入後と比較して、専門家支援方式としての評価を行う。

(1) エキスパートシステムを利用した場合のスケジュール立案時間は、本システムの導入により、従来のようにスケジュールのすべてを専門家が手作業で行う場合と比較して、1/5程度に短縮することができた。例えば専門家が週1回1~2日かけて翌週分のスケジュールを行う作業を、本システムを利用することにより3~4時間程度で行うことができる。

スケジュール時間の短縮により、緊急な再スケジュールリングが容易になった。

また、ESによるスケジュールの代替案作成処理部分についてみると、本方式を適用して構造化した同一のルールに対して推論中の条件照合範囲を限定したことによる計算機処理の高速化効果は、条件照合範囲を限定しない場合の約4倍であった(図6)。しかし、代替ロジックに置き換えたことによる計算機処理の高速化効果は、バックトラックの発生要因を明確にすることが難しかったため正確ではないが、数倍~十数倍程度であると考えられる。

(2) ESによる割り付け結果の質について、「大きなトラブルを発生することなく製造を行うことが可能

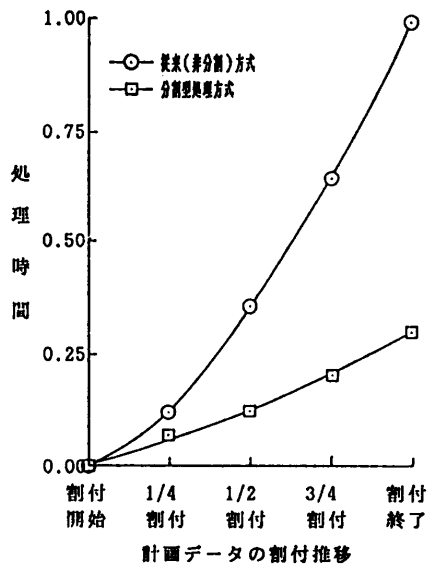


図 6 割り付け時間の比較

Fig. 6 Comparison of processing time.

であるが、割り付け結果の2割程度のデータに関してオーダの組合せや割り付け製造装置の選択を変更するとさらに数受注の割り付けが可能となり、より製造効率の良いスケジュールとなる」という専門家の評価を得た。代替ロジックを採用したことによるスケジュールの質の劣化を専門家の許容範囲に収めることができたと考える。

(3) 提案方式では、中間モデルを設定して本来の専門家のロジックを間接的に構造化することで、システム構築後に専門家本来のロジックについて知ることを可能にしているため、構築したESを後見者の育成に使用することも可能である。

(4) 提案方式の適用経験から、1ルール部分で1ルールが実行されるような分割については、ルールの構造化が十分行われているかどうかの見直しのために有効であることが分かった。

## 5. おわりに

本論文では、専門家と計算機システムとが協調してスケジューリングを行うという前提のもとで、①システムのリーダビリティを維持したまま計算機処理の負荷の小さいスケジューリングロジックを知識ベース中のルールベースに記述し、さらに②ルールベースを分割することにより推論中の条件照合処理を効率的に削減するという、計算機処理を高速化するためのルールベースの構造化方式を提案した。本方式をルールおよびフレーム処理をベースとする実際のESに適用した

結果、ESを利用してスケジューリングを行った場合、その作業時間は、専門家がそのすべてを手作業で行う場合の1/5程度に短縮できた。また、本方式に従って専門家ロジックの一部を代替ロジックに置き換えることにより構造化した同一のルールに対し、推論中の条件照合範囲を限定した場合の計算機処理は、条件照合範囲を限定しない場合の約4倍に高速化できた。以上のことにより、頻繁なスケジュール変更が必要となる変種変量生産下のスケジューリング支援にESが適用可能であるという見通しを得た。構築したESをより実用性の高いものにするためには、制約緩和などの知識獲得の充実が必要であると考えられる。

謝辞 本研究の機会を与えていただいた(株)日立製作所システム開発研究所堂免信義所長、ならびに研究方針に関してご討論いただいた増位庄一主任研究員に深謝いたします。また、本研究の推進にあたりご指導、ご協力いただいた同社情報システム開発本部の多くの方々に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 石井: スケジューリングの近似解法, オペレーションズリサーチ, Vol. 31, No. 1, pp. 26-35 (1986).
- 2) 伊藤, 本位田: プロトタイプ支援ツール, 情報処理, Vol. 30, No. 4, pp. 387-395 (1989).
- 3) 増位, 田野: プロダクションシステムの高速度化, 人工知能学会誌, Vol. 6, No. 1, pp. 38-46 (1991).
- 4) 石田, 桑原: プロダクションシステムの高速度化技術, 情報処理, Vol. 29, No. 5, pp. 467-477 (1988).
- 5) 黒沢, 島田: コンパイル型プロダクションシステムの高速度処理方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 9, pp. 1280-1292 (1990).
- 6) 戸沢ほか: 製鋼工程スケジューリング・システム: Scheplan (1)~(4), 第36回情報処理学会全国大会論文集, pp. 1547-1554 (1988).
- 7) 村松: 生産管理の基礎, p. 48, 国元書房 (1979).
- 8) 田野, 増位ほか: 知識ベースシステム構築用ツール EUREKA における高速処理方式, 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 12, pp. 1255-1268 (1987).
- 9) Forgy, C. L.: Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem, *Artif. Intell.*, Vol. 19, pp. 17-37 (1982).
- 10) Miranker, D. P.: TREAT: A Better Match Algorithm for AI Production Systems, *AAAI-87*, pp. 42-47 (1987).

(平成4年1月20日受付)

(平成4年9月10日採録)

**齋 礼 (正会員)**

昭和36年10月3日生。62年3月早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年日立製作所システム開発研究所入所。エキスパートシステムの知識ベース構築支援に関する研究に従事。現在同研究所関西システムラボラトリ研究員。人工知能学会、電気学会、機械学会各会員。

**矢島 敬士 (正会員)**

昭和25年10月5日生。昭和50年3月京都大学精密工学科修士課程修了。同年4月日立製作所システム開発研究所入所。マンマシンシステム、知識工学応用システム等の戦略情報システムへの応用に関する研究開発に従事。現在同社研究開発推進本部主任技師。IEEE, AAAI等の会員。