

## ネットワーク型製造スケジューリングと知識ベースによる試行

Network oriented Production Scheduling and Trial by Knowledge Base

吉 安 正 孝

**要 約** 製造現場への小日程計画、操業計画、差し立て計画等と呼ばれる計画の立案業務は種々の条件を加味して行われている。計画立案業務は、多岐にわたる条件を満足させる解法の複雑さ、高品質な解の要求、多大な処理時間等のため、コンピュータ利用の要望が高いものの、システム化が遅れている分野である。システム化するには、独自開発または汎用のスケジューリングシステムの利用がなされている。後者の場合には、目的に合わない部分があると、スケジューリングシステムのカスタマイズ（改造）が行われている。

立案業務の評価の基準には、納期、稼働率、ある種の優先順位等とこれらの組合せがあり、解法も種々提案されている。また、生産品の品質を守るため等、製造技術上の条件を反映した立案業務は、汎用システムの適用は困難で、AI を利用したエキスパートシステム化が進められている。

本稿では、生産品毎に異なる加工順序を許すジョブショップ型のスケジューリングシステムに関する生産構造、特徴、解法を紹介し、エキスパートシステム構築ツールを利用してリソース（資源）を扱った例を報告する。

**Abstract** The tasks for a short term production scheduling, operating, and dispatching plans are undertaken by taking various matters into consideration. Planning tasks require extensive use of computer resources because of the complexity of problem solving, that requires wide ranging conditions, requests for high quality problem solving, and vast amounts of processing time. This field, however, is lagging behind in its computer systems which consist mostly of separately developed systems or general purpose scheduling systems. In the case of the latter, there is a tendency to customize ( modify ) portions of the system which do not match the application.

The evaluation criteria of planning tasks include delivery dates, operating rate, priority for something, and a combination of all or several of these factors. Various evaluation methods and means have been suggested. For example, the development of an expert system using artificial intelligence( AI ) is in progress for planning tasks which involve conditions related to manufacturing technology, such as enhancing the quality of products. A general purpose system would not be suitable at all for such a task.

This paper introduces the production structure, features, and solutions related to the job shop based scheduling system which permits different orders of processing for each product. It also offers an example which deals with the resources using the building tool of the expert system.

### 1. はじめに

小日程計画、操業計画、差し立て計画等と呼ばれる製造現場で利用するための計画立案業務は各社さまざまな条件を加味して行われている。計画立案業務は、多岐にわたる条件を満足させる解法の複雑さ、高品質な解の要求、多大な処理時間等のため、コンピュータ利用の要望が高いものの、システム化が遅れている分野である。

システム化するには自社向きに最初から開発する方法と市販のスケジューリングソ

ソフトウェアを購入する方法がとられている。

市販のスケジューリングソフトウェアは、計画立案業務を支援するために汎用的に開発されているとはいえ、各社独自の立案条件を全て網羅しているとはいえず、何らかの改造（カスタマイズ）を必要とする場合が多い。

2章ではカスタマイズの対象としたスケジューリングソフトウェアの概要を、3章では解法の概要を、4章ではカスタマイズの背景、カスタマイズの要件と知識ベース化の理由を、5章では知識ベース化の実装と結果を記述する。

カスタマイズ作業の負荷はカスタマイズの内容、解法、スケジューリングソフトウェアのデータ構造等に依存する部分が大であるが、実装しているツールも大きな影響を及ぼす。

ツールとして AI の一分野であるエキスパートシステムを構築するためのツールを用いた。本ツールは処理時間に難点があるとされていたが、5章で述べるごとく、適当な時間内で結果を得ることができ、カスタマイズのツールとして有効であることが判明した。

## 2. スケジューリングソフトウェアの概要

知識ベース化の対象としたのは日本ユニシス(株)が開発したスケジューリングソフトウェア（以下 MFG と略記）で、図 1 の基本構造を持っている。

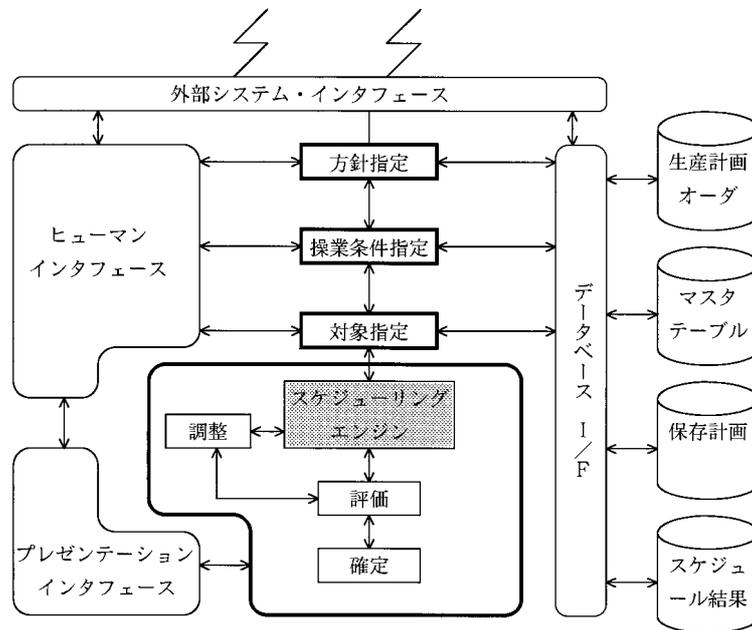


図 1 MFG の基本構造

図 1 のスケジューリングエンジンは、ヒューマンインタフェース経由で与えられた各種指定（方針指定，操業条件指定，対象指定）による情報とマスタ・テーブル情報と保存計画（仕掛情報等の既存の計画情報）を用いてオーダーを製造するためのスケジ

ジュール結果を作成するもので、MFGの中核部分である。

調整・評価・確定は、プレゼンテーションインタフェース経由でスケジュール結果の変更、ガントチャート・出来高・納期遵守率・稼働率・段取時間等の各種グラフや表を利用した評価、スケジュール結果の特定期間の確定を行うものである。

方針指定、操業条件指定、対象指定で利用者が指定する主な情報は以下の通りである。

- ① スケジュール結果を作成すべき期間
- ② 納期重視、稼働率重視、オーダーの優先番号重視等のスケジュール結果作成の方法
- ③ カレンダー、設備の停止等の稼働情報
- ④ オーダの変更、取り消し、追加

特に、②はスケジューリングエンジンに対する内部アルゴリズムの指定で、スケジュール結果に多大な影響を及ぼす。

その他にマスタ、テーブルへの登録や更新を行うマスタメンテナンス機能を持っている。

MFGが扱うオーダー・品目・工程・ワークセンタ・設備等とこれらの関係及び各種条件の概要を以下に記す。

## 2.1 オーダ

オーダーの構成項目は品目コード・製造オーダー記号・数量・開始可能日時・納期日時・優先番号等で、品目コードは製造すべき品目を示す。品目を製造するには複数の工程を経るものとしており、開始可能日時は最初の工程が開始可能な日時を、納期日時は最終の工程の終了希望の日時を示す。

## 2.2 オーダの工程展開と割付

スケジューリングエンジンは、最初に、オーダーの品目を製造する工程に展開する。次に、工程展開したもの（工程作業）をどの設備で何時製造するかを決める（割付ける）。図2に工程展開と割付の概念を記す。

図2の工程作業は図3の製造構造に従い、オーダーを製造するためにオーダーの構成項目である品目の工程毎に展開したものである。最遅開始日時は、該工程作業を開始しないとオーダーの納期日時を守れないであろうと見做す時刻である。基準作業時間は、

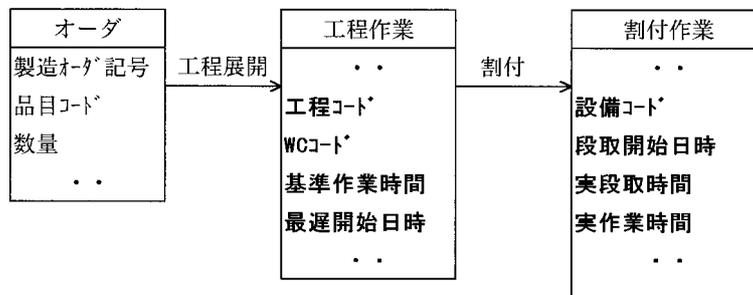


図2 工程展開と割付

未だ設備を特定していない工程作業の作業時間の目安とする時間である。割付作業は、工程作業をどの設備で何時製造するかを表すものであり、スケジューリングエンジンの主目的は本割付作業を求めることにある。

なお、図2の工程作業、割付作業内のゴシック体は工程展開、割付によりスケジューリングエンジンが付加する情報である。

### 2.3 品目、工程、ワークセンタ、設備

品目を製造する工程、製造を司る設備と設備の集まりであるワークセンタ（以下WCと記述する）の関係を図3に記す。

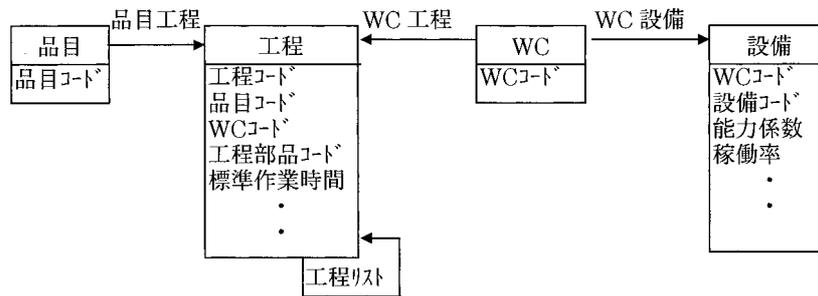


図3 製造構造図

図3の長方形はデータの型を、矢印はデータの型の関係を表す。長方形内の上段は型の名前を、下段は属性の名前を、矢印の上段は関係の名前を表す。

図3の工程は品目を製造するに必要な工程で、品目毎に存在し、品目の工程の順序を工程リストで表す。

標準作業時間は、当該品目の工程における1個当たりに必要な、標準として用いる作業時間で、未だどの設備で製造するか決まっていない工程作業の作業時間（基準作業時間）の演算に用いる。実際の作業時間は、設備を特定することにより基準作業時間、設備の能力係数と稼働率を用いて演算する。

WCは設備の集まりを表す。物理的なWCと対応する場合もあるが、工程で製造可能な設備を限定するものを指す。

図3の品目・工程・WC・設備と、これらの関係をインスタンスを用いて、図4に例示する。データ型のインスタンスは角を丸くした長方形で、関係のインスタンスは線種や矢印の先端で類別して示す。

図4は以下の要件を表す例である。

- 1) 製造する品目は品目1と品目2の2品目である。
- 2) 工程は工程1~4の4工程で、品目1の製造工程数は3、品目2のそれは4である。
- 3) 品目2の工程3は、工程1と工程2の後工程である。
- 4) 工程1~3は、それぞれ、WC1~3を用いる。
- 5) 工程4の設備は設備6~9の4設備があるが、品目2は設備6では製造できない。よって、品目1用にWC4を、品目2用にWC5を定義する。

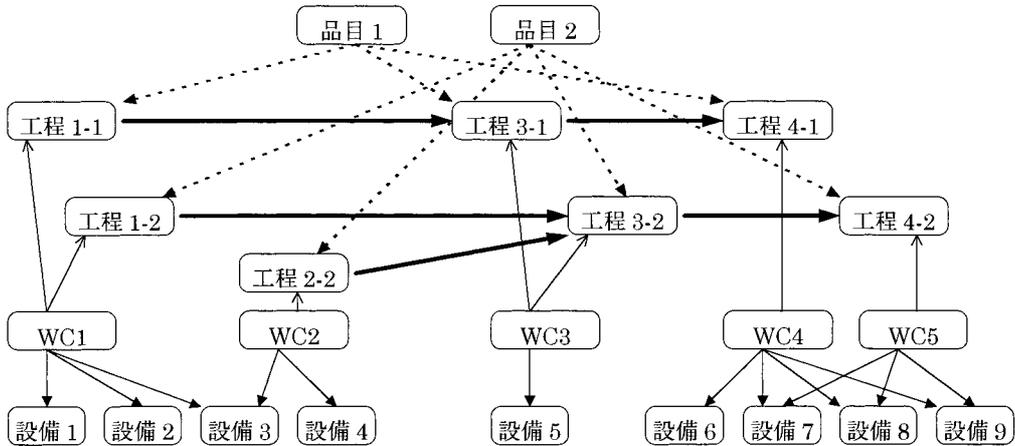


図 4 製造品目，工程，WC，設備の例

6) 設備 3 は工程 1 と工程 2 で共用できる設備である。

図 4 の例示でも判るように，MFG をネットワーク工程版と称する所以は，工程をノード，工程リストをアークと見なすと，工程と工程リストで品目別の工程のネットワークを表現していることにある。

2.4 各種の条件

スケジュール結果が守らねばならない条件の概要を以下に記す。

1) 工程間接続の条件

同一オーダの，隣接する二つの工程に対応する割付作業が守らねばならない条件である。

工程間接続条件は，品目毎に隣接する工程の間の情報としてマスタに登録されており，工程作業を割付ける時に利用する。また，工程間接続には，図 5 に示すように，前工程が終了してから一定時間後に後工程が開始できるものと，前工程が開始して一定時間後に開始できるものの 2 種がある。

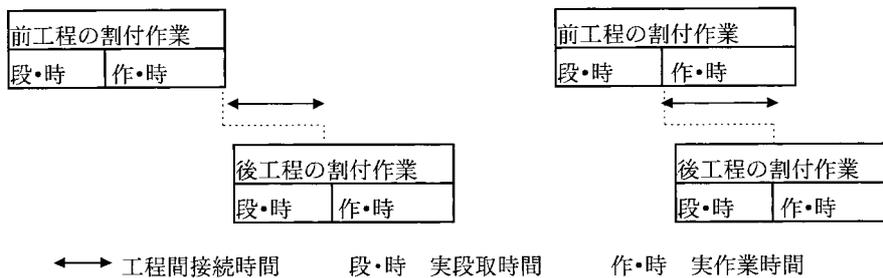


図 5 工程間接続

2) 設備上の条件

設備上の割付作業は以下の条件を満足させる。

- ・連続条件 同一設備の稼働時間帯に連続して割付ける。

- ・単品条件 同一の設備上では、重複した時間帯がある割付作業は無いようにする。
- ・段取条件 実段取時間は稼働時間帯をまたがらないようにする。

3) 要員の条件

要員の上限値は、班組毎の可能な要員数が時系列で階段状に与えられ、要員の要求は、

設備毎に、必要とする班組と要員数が与えられる。

割付ける時には、可能な要員数を超えないようにする。

その他に、稼働時間帯をまたがって割付ける時の最小の製造個数、またがる稼働時間帯の個数の上限等がある。

3. 解 法

MFGが対象としているのは、ジョブショップ型<sup>1)</sup>の問題で、組合わせ最適化問題と言え、種々の解法<sup>2)</sup>が存在する。

表 1 スケジューリング解法

解の品質	解の生成方法	解法例
最適解法	構築型	分枝限定法、大英博物館法
近似解法	構築型	ディスパッチングルール、山登り法、ビーム探索
	改善型	遺伝的アルゴリズム、アニーリング法、タブーサーチ

表 1 は解法を解の品質と解の生成方法で分類した表である。最適解法は最適解を求めるもので、近似解法は最適性は保証しないものの、妥当な解を求めるものである。構築型は 0 から出発して順次割付を行い、最終的に一つの解に到達する方法である。改善型は最初に何らかの解を設定し、解の変更、改善を繰り返して、一番良い解を最終解とする方法である。

最適解を求める解法には、(混合) 整数計画法に利用されている分枝限定法、全ての解を列挙する大英博物館法等があるが、最適性を保証するための計算時間が膨大<sup>3)</sup>となり、非現実的な場合が多い。

近年、遺伝子アルゴリズム、アニーリング法、タブーサーチ、ビーム探索等の手法が種々発表され、スケジューリング問題に対して解法の評価<sup>4)</sup>、実用化<sup>5)</sup>が進められている。

スケジューリングエンジンはディスパッチングルールと呼ばれている解法を採用している。本解法は一般的で、且つ簡単な方法とされており、カスタマイズに対応しやすい、実用範囲の計算時間で解を得られる、といった特徴を持っている。

本解法の核となるのは内部時計と優先規則<sup>6)</sup>で、内部時計を進めながら、優先規則に従って割付ける工程作業を選択し、設備に順次割付けていく。

ディスパッチングルールでの主な手順を以下に記す。

- ① 内部時計を初期設定する。
- ② 開始が可能な工程作業を選ぶ。

- ③ 選んだ工程作業に優先規則を適用して、割付けるべき候補を選ぶ。(割付候補の選択)
- ④ 割付候補を、製造可能な設備(群)のどれかに割付ける。(割付の実行)
- ⑤ ②で選んだ工程作業がなくなるまで③, ④を繰り返す。
- ⑥ 内部時計を進めて②~⑤を繰り返す。

上記手順をスケジューリングエンジンでは図6のように具現化している。

優先規則には基準作業時間、最遅開始日時、オーダの優先度を組合わせた設備稼働率重視、納期重視、優先度重視等があり、利用者が選択できるようになっている。

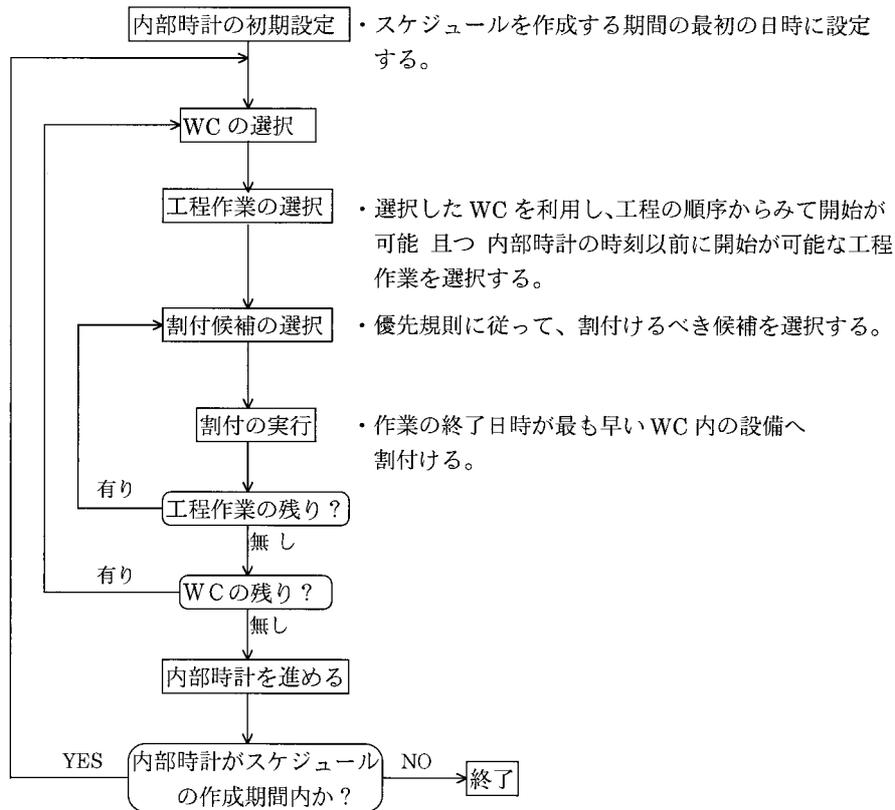


図 6 スケジューリングエンジンの解法

#### 4. 知識ベース化の検討

スケジューリングエンジンに知識ベースを取り入れた背景、理由などについて以下に記す。

製造現場のスケジュール立案業務は、各社各様の製造条件や要望があり、スケジューリングソフトウェアへのカスタマイズ(改造)が必要となるケースが多い。筆者が経験した主なスケジューリングエンジンへのカスタマイズ要求には以下のようなものがあった。

- 1) 内作(自工場での製造)、外作(外注による製造)の指示をオーダに付与した

- い .
- 2) WC と設備の情報 (マスタ情報) を変更せずに, オークの特定の工程作業を特定の設備で製造したい .
  - 3) 後段取 (実作業が終了後の段取時間) を扱いたい .
  - 4) 工程作業を纏めてロット扱いとしたい .
  - 5) 工程作業を複数の設備で製造し, 概ね同時刻で終了したい .
  - 6) 作業員の資格に準じて従事できる工程作業を制限したい .

これらのカスタマイズ要求を実現するには, スケジューリングエンジンの記述言語の知識を前提として, データ構造, 処理構造, 解法の理解, ソースコードとの対応などに多大な労力を必要とする .

カスタマイズの対象となる部分は品目・工程・WC・設備等の構成と解法部分に大別できるが, 前者は解法部分のカスタマイズに呼応するためのものであり, 単純なデータ処理である .

カスタマイズの焦点は解法部分であるが, 基となる製造構造のデータ表現と解法の記述方法・言語がカスタマイズ作業に多大な影響を与える . 表 2 に解法部分のカスタマイズの要件を記す .

表 2 カスタマイズの要件

対象	データ構造	解法の記述
要件	・簡潔、単純なデータ構造	・簡潔な文法
	・分類、従属などの表現が可能な構造	・強い表現力*
	・変更に対応しやすい構造	・変更による他への影響が少ない表現

\* 表現の対象 (仕様) と実装した言語の間に乖離が少ないほど表現力が強いという .

スケジューリングエンジンの解法部分のカスタマイズ作業をより省力化でき, かつ, 表 2 の要件を満足するツールとして, エキスパートシステム構築シェルと言われる GNOSIS II<sup>[7]</sup> を採用した . GNOSIS II のデータ表現はフレームとリレーションの 2 種で, フレームは具体的なもの, 事象または状態などを統一的な概念で表現, 構造化したもの, リレーションは二つのフレーム間の結びつきで, 階層・因果・動作・振る舞い等を表現するものとされ, 簡潔なデータ表現を行うことができる . 判断や処理の内容は「IF 条件部 THEN 結論部」という形のルールを用いて記述する . ルールの表現は非常に可読性が高く, 1 ルールの表現は FORTRAN, C 等の従来の手続き的な記述言語の 100 ステップ以上にも相当すると言われている . また, ルール間の関連はほとんど無いために, ルールの追加・削除・変更を容易に行える . なお, GNOSIS II の記述部分を知識ベース (KB: Knowledge Base) と呼ぶ .

## 5. 知識ベースの実装

知識ベース化は 2 段階に分けて行い, 第一段階は, MFG の機能の一部を外して知識ベース化を行い, 第二段階では第一段階にリソースの扱いを追加した . 第一, 第二段階の機能の追加, 削除の詳細を以下に記述する .

5.1 知識ベース化の第一段階

MFG の機能から以下の機能を外して解法部分を知識ベース化した。

- ① 設備と WC の関係に制限を設ける。
- ② スケジュール作成期間の開始時から終了時に向けて順次割付ける（前進）のみとする。
- ③ 要員関連を考慮しない。

①は、処理時間の関係上、内部時計を用いないために派生した制限で、複数の WC に属する設備があると、割付状況が思わしくない解となるために、設備は一つの WC のみに属するという制限である。

②は、メモリサイズと処理時間を考慮したもので、GNOSIS II ではルールの構成とバインド状況（成立状況）をメモリに格納しており、メモリの縮小とバインド状況の更新処理時間の短縮のための処置である。

③は、後述のリソースの扱いに要員を考慮することとし、第一段階から外した。

知識ベース作成の前に必須の作業はフレームとリレーションの設計で、本設計作業の良否が知識ベースの作成（記述）作業に重大な影響を及ぼす。スケジューリングエンジンの解法部分を知識ベース化するに当たり、主なフレームとリレーションを以下のように決定した。

図 2 および図 3 の長方形はフレームで、図 3 の矢印はリレーションで表現することとした。また、図 6 の「割付の実行」の最中には、工程作業を設備（群）に仮に割付けると如何なる状況にあるかを表現する必要がある。このために仮に割付けた状況を表すものとして図 7 の仮割付を定義した。その他に図 7 の矢印の設備と工程に関するリレーションを定義した。

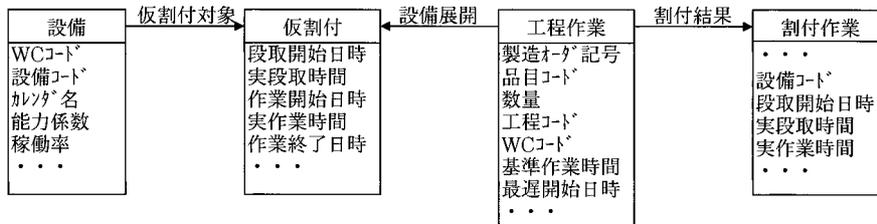


図 7 仮割付状況と割付結果のフレームとリレーション

図 7 は GNOSIS II のデータ構造のフレームとリレーションを用いて図式化したもので、長方形がフレームを、矢印がリレーション（フレームの 2 項関係）を表す。長方形内の上段はフレーム型名を、下段はスロット名（フレームの属性の名前）を、矢印の上段はリレーション型名を表す。

以降、フレーム、リレーション、スロットを フレーム型名 {リレーション型名}、フレーム型名・スロット名 と記す。

図 7 の 工程作業 は製造オーダを工程展開したものである。仮割付 は、優先規則に従って 工程作業 から選んだ割付候補を製造可能な設備に仮に割付けた時の状況を表し、選択した WC 内の 設備 と 1 対 1 に対応する。割付作業 は、仮割

付・作業終了日時 が最も早い 仮割付 を選んだ結果、つまり 工程作業 を割付けた結果を表す。

5.2 知識ベース化の第二段階

第二段階では第一段階で外した要員関連を包含した機能として、リソースの扱いを検討した。リソースはスケジュール結果の作成の過程で割付に影響を及ぼすもので、設備もリソースの一つと見なすことはできるが、データ構造上またスケジューリングエンジンの大幅な変更となるので、設備の扱いは現状のままとした。

リソースには、要員、金型、置き場など多種多様なものがある。これらリソースは立案期間中に存在する初期の量が時間軸上で与えられ、量の変化は階段状であることが多い。また、利用部品や材料等の入荷時点が決まっており、変動できないものであればリソースとみなすことも考え得る。

リソースの増減は、一度利用すると元に戻らないもの（消費貯蓄型：部品や材料、置き場の容量など）、一定期間利用後に再利用可能なもの（再利用型：要員、金型など）に分類できる。

リソース増減の発生は、工程作業の割付が引金となるが、増減の要求元、要求量、要求時間帯、増減の対象となるリソースには種々の形態がある。増減の要求元は、割付作業の品目、工程などに依存して決まる場合が多いが、例えば設備（群）を担当する段取要員等のように割付いた設備がリソースの直接の要求元となる場合もある。要求量は、金型、要員などのように一定量を要求する場合が多い。要求時間帯は割付作業の一部（実段取時間帯、実作業時間帯など）、割付作業の全体、全体+ $\alpha$ （リソース利用後の洗浄、養生などに必要な時間）などがある。表3にこれらの形態と分類とリソースの例を記す。

表 3 リソースのパターン

No	形態	分類（リソースの例）
1	増減	消費貯蓄型（置き場、タンク、材料）、再利用型（金型、マスク、要員）
2	要求元	品目の工程、工程作業、設備など
3	要求部分	部分型（段取要員）、全体型（金型）、全体+ $\alpha$ （マスク）
4	要求量	固定型（要員、金型、マスク）、関数型（置き場、タンク、材料）

表3をまとめたデータ構造をフレーム、リレーションを用いて図8に例示する。

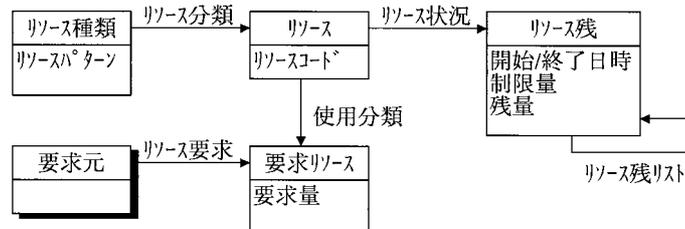


図 8 リソース表現のデータ構造

図8の リソース種類 は表3のリソースのパターンを表す。リソース は割付に影響を与えるリソース、例えば、個々の金型、要員のグループ、材料等を表す。リソース残 は、リソース の個々のリソース毎の残量、制限量の状況を時系列（{リソース残リスト}）で表す。要求元 は、1つのフレーム型で表現できるとは限らないが、リソースを要求するもの、例えば工程作業、設備等を表す。要求リソース は 要求元 が要求する リソース とその要求量を表す。

リソースを考慮するために必要なフレームとリレーションを述べたが、第二段階では、品目と工程毎に特定のリソースを一定量要求し、要求部分は実段取時間と実作業時間で、使用後は再利用できる形態を実装した。リソースのパターンは1種なので リソース種類 は定義せず、要求元 は 工程作業 とした。

### 5.3 結果の評価

知識ベース化の目的はカスタマイズ作業の軽減、単純化にあるとはいえ、スケジュール結果の総合的な評価も重要であると考え、以降にカスタマイズ作業とスケジュール結果などについて結果を評価する。

#### 5.3.1 カスタマイズ作業について

カスタマイズ作業の生産性の評価の一助として第一段階と第二段階の知識ベースのサイズを表4に記す。

表4 知識ベースのサイズ

段階	モジュール数	ルール数
第一段階(全モジュール、ルール)	55	142
第二段階(追加変更数)	5	15

第二段階のモジュール数とルール数は、第一段階に対して追加、変更を行った個数である。

ベースとなる第一段階はルール数が142と少ない個数で記述できており、ルールの可読性、表現力およびフレーム、リレーションを用いたデータ構造の単純性等を考えるとカスタマイズ作業はCの記述に比べ生産性は良くなると考える。

なお、スケジューリングエンジンの入出力などを除いた解を求める部分のみは、Cの関数が99個、約5950ラインで記述されている。

また、第二段階のリソースの追加作業は、非常に少ない15ルールの追加、変更で済んでおり、短期間に終了した。

#### 5.3.2 スケジューリング結果その他について

スケジューリングエンジンとKBのスケジュール結果は同一の優先規則を採用しても、例えば図6の「WCの選択」の選択順が異なるため、同一の解とはならない。よって、割付けた数などが小差であれば良しと見なしている。割付数、処理時間等の比較のためにテストモデルを作成し、計測した。計測結果を表5に記す。

モデルのサイズは概ね、工程が5、WCが20、設備が90である。オーダーは500件と1000件、立案期間を10、20、30日間で評価した。表5にMFGと第一段階の結果

の一例を記す。なお、評価に用いた M/C は AQUANTA DX(ペンティアム 166 MHz) である。

表 5 スケジュール結果

No	エンジン	オーダー 件数	立案 期間	割付 オーダー数
1	MFG	500	10	115
2	↑	↑	20	277
3	↑	↑	30	372
4	↑	1,000	10	89
5	↑	↑	20	248
6	↑	↑	30	430
7	知識ベース	500	10	163
8	↑	↑	20	282
9	↑	↑	30	326
10	↑	1,000	10	90
11	↑	↑	20	276
12	↑	↑	30	363

MFG と第一段階知識ベースの割付オーダー数は概ね似た傾向にある。差異は、解法の一部の差にもよる所が大であるが、全ての工程作業が割付いているオーダーのみをカウントしているために、立案期間の終わりの方に選択した割付候補のオーダーの数量、つまり実作業時間により差異を生じているのも一因である。

MFG 対知識ベース処理時間の比率は、同等もしくは 1.5 倍位となっている。ルールベースのエキスパートシステムは処理時間に難点があるとされているが、1~1.5 の比率で済んでいるのは処理時間を考慮するために 5.1 節の①で述べた設備と WC の関係に制限を設けたのが最大要因である。

KB の第二段階は割付に影響を与えるリソースを追加して評価を行った。リソースの制限を守っていることを確認し、表 5 に記述のモデルに適用した。表 5 は立案期間に比べオーダーが多いため全てのオーダーが割りつかない例であるが、当然ながら、リソースの制限を守るために、第一段階に比べ割付数は減少し、処理時間も増加した。

## 6. おわりに

カスタマイズ時には、現状のデータ構造への追加、変更を行うので、ベースとなる構造がカスタマイズ作業の難易度、複雑度に重大な影響を与える。

本稿では割付実行部分の知識ベースによる試行（第一段階）とリソース機能の追加（第二段階）を紹介したが、知識ベースの例示にもある如く、ルールの独立性および可読性の高さ、およびフレームとリレーションのデータ表現の簡潔さによりカスタマイズ作業に有効な手段を与えるものと確信している。

なお、処理時間の都合上、WC と設備の帰属関係に制限を設けたが、今後、内部時計を導入して知識ベースの改良を計り、モデルのサイズ等にも依存するが、妥当な時

間で解を得ることを検討したい。

最後に、本稿の執筆の機会を与えて下さった関係各位に感謝の意を表する。

---

\* 1 ルールを用いたエキスパートシステムの規模をルール数で評価することがあり、500ルールを越えると大規模と言われる。

- 参考文献**
- [ 1 ] 圓川隆夫, 伊藤謙治 “生産マネジメントの手法” シリーズ現代の数理 10 朝倉書店 P. 75.
  - [ 2 ] 圓川隆夫, 伊藤謙治 “生産マネジメントの手法” シリーズ現代の数理 10 朝倉書店 P. 78.
  - [ 3 ] 野村百合子, 岩本雅彦 “数量組合せ同時最適化手法の提案と適用評価” “生産スケジューリング・シンポジウム '97 講演論文集” 人工知能学会発刊 (幹事学会) pp. 79 ~ 84.
  - [ 4 ] “生産スケジューリング・シンポジウム '97 講演論文集” 人工知能学会発刊 (幹事学会)
  - [ 5 ] 中田純一, 浦上浩一 “遺伝的アルゴリズムを利用した多品種複数工程スケジューリング問題の解法” ユニシス技報 通巻 58 1998 年 8 月発刊 Vol. 18 No. 2. pp. 113 ~ 127.
  - [ 6 ] 圓川隆夫, 伊藤謙治 “生産マネジメントの手法” シリーズ現代の数理 10 朝倉書店 P. 86.
  - [ 7 ] 日本ユニシス “GNOSIS II 解説書”

**執筆者紹介** 吉 安 正 孝 (Masataka Yoshiyasu)

1941 年生。1966 年九州大学理学部数学科卒業。同年日本ユニシス(株)に入社。OR (LP, PERT 等) の適用サービス, エキスパートシステム構築等に従事。現在, ビジネスソリューション三部ソリューション開発室に所属。