

ポリエステル樹脂工程スケジューリング エキスパートシステム

— 日本触媒化学工業株式会社 —

Expert System for the Scheduling of Polyester Resins Production
— Nippon Shokubai Kagaku Kogyo Co., Ltd. —

化学工業界では、製造工程の計画を立案するために、製品情報、装置情報など種々の制約条件を熟知している専門家に委ねているのが現状である。

日本触媒化学工業株式会社では、このような専門家のノウハウを整理し、不飽和ポリエステル樹脂の生産工程計画を立案するES(Expert System)をES/KERNEL/W(ES/KERNEL/Workstation)で開発した。

本システムは、既稼働の受注管理システムと生産管理システムを接続するポジションにあり、CIM化への第一段階として開発した。

計画立案作業時間の短縮、専門家知識の共有化、専門家の作業負荷軽減など、定量的、定性的に当初の目標をクリアし、実用上問題のないことを確認した。

小島保郎* Yasurō Kojima
奥出 聡** Satoshi Okuide
齋 礼*** Rei Itsuki

1 緒 言

近年、製造業では消費者ニーズの多様化に伴い、製品の多品種少量生産化が進展している。そのため、生産計画が複雑であるにもかかわらず、頻繁な変更に対応することが要求されている。従来、生産計画の立案は熟練者(専門家)によって行われてきたが、多大な時間と労力を費やしていた。

短時間で計画立案できるように、数多くのシステムが手続き形言語によって構築されてきた。しかし、専門家は製造現場の状況などに応じて、生産計画手順をフレキシブルに変更するため、あらかじめその手順のすべてを明確にしにくい。システムにより、専門家の手順を詳細に実現しようとする、システムメンテナンスの負荷が大きくなり、最終的には使われなくなることが多くみられた。日本触媒化学工業株式会社でも、従来の手続き形言語でトライしたが、実用化までには至らなかった。

一般的に、生産計画システムに対する具体的な要望には次のようなものがある。

- (1) リーズナブルな時間(例えば週次計画では数分~数十分程度)で計画立案結果を得たい。
- (2) 計画の途中で結果をみたい。また修正したい。
- (3) システムのメンテナンス(計画の条件、手順、装置などの変更)を容易にしたい。

- (4) 短時間でシステムを構築したい。
- (5) 専門家の負担を減らしたい。

以上の要望を満たすシステムは、従来の手続き形言語では実現は困難であるが、知識工学を応用すれば十分実用に堪えられるシステムが構築できる。

今回、日本触媒化学工業株式会社吹田製造所でポリエステル樹脂工程スケジューリングES(Expert System)をES/KERNEL/W(ES/KERNEL/Workstation)を利用して構築した。

処理時間やスケジューリング結果の良否の面で、実用上十分な機能性能を発揮することを確認したので以下に述べる。

2 システムの概要

2.1 ポリエステル樹脂工程スケジューリングの特徴

今回、システムの対象としたのは、以下に述べるようなポリエステル樹脂の製造工程である。製造装置の構成を図1に示す。製造装置は釜(かま)と呼ばれ、通常、釜はパイプで数段に連結されている(以下、パイプで連結された一連の釜を製造装置、個々の釜を単に釜と呼ぶ)。原料は液体原料をタンクから、また粉体原料はホッパから投入され、反応、成分調整などの複数の工程を通して処理される。釜の遊び時間を減らすため、工程A、工程Bの2段階の釜を使用して製造を行う場

* 日本触媒化学工業株式会社 吹田製造所 ** 日立製作所 情報システム工場 *** 日立製作所 システム開発研究所

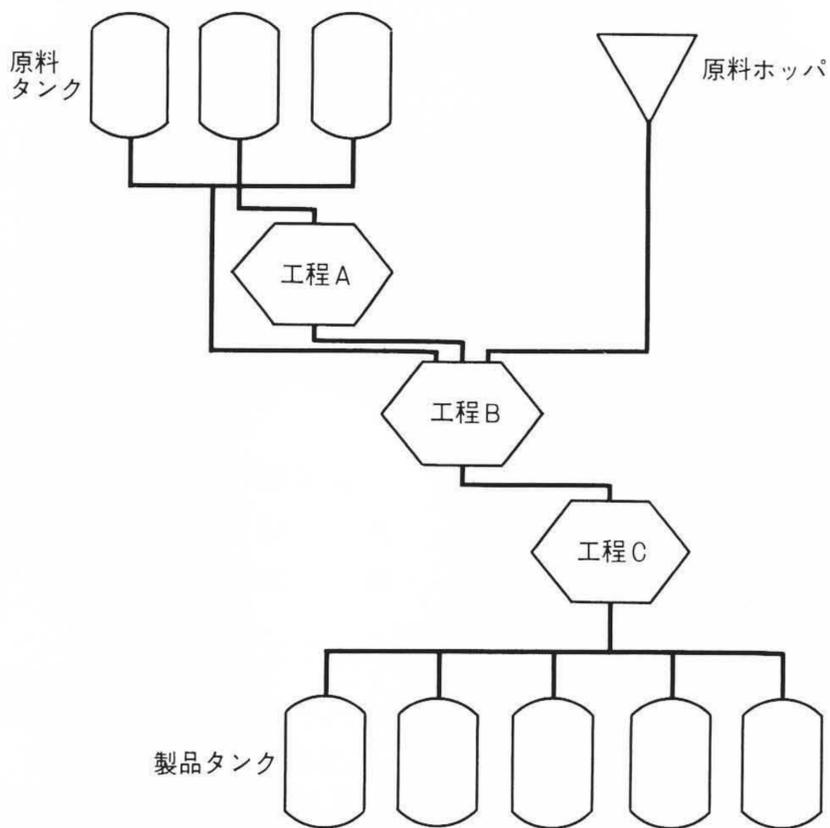


図1 製造装置の構成 複数の製造装置を経由し、製品が造られる。各工程は釜(かま)と呼ばれ、釜をパイプによって連結する。

割り付け作業時には、製造装置の性能や製品の特性あるいは人の労働条件など、多種類の条件を考慮して割り付ける。このとき考慮される制約条件は、具体的には以下のようなものである。

(1) 連続生産時の製品組み合わせ

異なる製品を同一製造装置で連続生産する場合、製品間の組み合わせの良いものを連続して割り付ける。組み合わせの悪い製品を連続生産すると、製品品質の低下や釜装置のトラブル発生などの問題が発生する。このことをコンタミネーションと呼ぶ。

(2) 自社製造原料

原料の中には、製造装置を使って自社で製造する場合がある。自社製造原料を使用する製品を割り付ける場合、その原料の在庫がなければ、製品の割り付けを決定する前に使用する原料を優先して割り付ける。

(3) タンクローリー車による製品の直送

製品の受注形態には、容器に詰めるもの以外にタンクローリー車(以下、ローリー車と略す。)により、釜から受注先の受け入れ装置へと直送するものがある。この場合、受注先の受け入れ装置の空き状態に合わせて製品を搬送するため、納期を時間単位で守る必要がある。また、製品容量に合ったローリー車が製品生産時に存在するかという条件も考慮しなければならない。この直送製品の割り付けデータを、直送情報と呼ぶ。

(4) 受注の併合、分割

釜の容量を有効に利用して製造を行うため、同一製品の受注の併合や分割を行う。受注データに対して、併合、分割後のデータを製作情報と呼ぶ。

(5) 製造装置稼働排他制御

製造装置間には、人的要素、構造上の条件などにより、同時に稼働できない排他関係にあるものがある。

このような制約条件は、主なものだけでも十数種類を数える。

化学工業界では、この工程計画立案作業を、製品や装置の情報、労働条件などを熟知している専門家に委ねている。しかし、この作業は十数種の製造装置に対する1回分のスケジュールを行うのに十数時間を費やす作業であり、専門家に与える負担は多大なものである。理想的には、割り付け結果は制約条件をすべて満足し、かつ生産量が多く、装置の稼働率を最大にすることが望まれる。しかし、現実的な時間内で天文学的組み合わせを考え、割り付け結果を得ることは難しい。専門家はヒューリスティックな知識を基に、現場の状況などに応じて制約条件を緩和し、結果を得ている。つまり、専門家の熟練度により、割り付け結果に差が発生することがある。

合、工程Aの釜で造られた中間製品を、次の工程Bの釜に移した後、工程Aの釜では次の中間製品の製造が続けて開始される。このとき、工程Bの釜が空く時間がその釜の開始時間を決める要因となる。同図の原料タンク、原料ホッパから製品タンクまでが1プラントであり、通常、一工場に複数のプラント、つまり製造装置が構成されているため、製造工程のスケジューリングは非常に複雑なものとなる。このスケジューリングのことを釜のやり繰りをすることから、釜繰り作業と呼ぶ。

釜繰り作業は、受注を示す営業情報や在庫管理システムからの在庫情報などを入力とし、どの製品を、どの製造装置で、いつ製造するかを決定する作業である。また、製品と製造装置との対応を決定する作業を割り付けと呼ぶ。その関連を図2に示す。

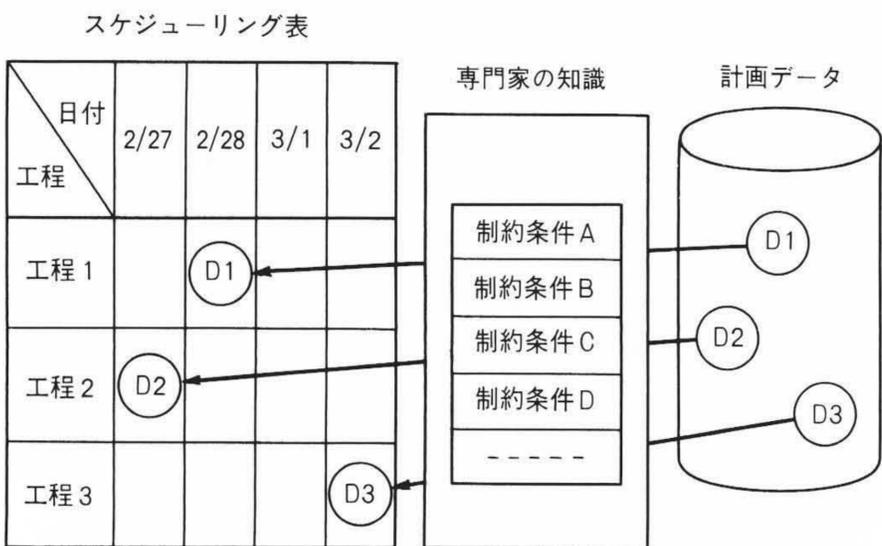


図2 受注データの製造装置への割り付け 各工程にすべての制約条件を満足する計画データを割り付ける。

2.2 システム構成

ハードウェア、ソフトウェア構成を図3に示す。

本ESは、ホストコンピュータHITAC M-240Hで稼動する受注管理システムから営業情報、在庫情報をマイクロメインフレーム結合を利用し、OFIS/POL (Office automation and Intelligence System Software/Problem Oriented Language)の形式で受け、スケジューリングを行う。装置稼動のカレンダー情報もPOL表でデータを持ち、これらのPOL表からスケジューリング対象となるデータだけをフレーム展開し、推論時間を短くしている。また、POL表はエンドユーザーでも簡単に修正することができ、基本データの修正が容易かつ迅速に行える。スケジューリングした結果は、再びマイクロメインフレーム結合により、ホストコンピュータの受注管理システム、生産管理システムにフィードバックされる。生産管理システムでは、そのデータを基に、現場への生産指図書の実行を行う。

2.3 計画のアルゴリズム

本システムは、図3に示すように、ローリー車情報を作成するローリー配車計画と、製造装置への割り付けを決定する釜繰りスケジューリングシステムの二つの部分から構成される。これは、ローリー車によって釜から直接出荷する製品は、ローリー車の配車のタイミングに合わせてジャストインタイムに製造する必要がある、その他の製品は、納期に幅を持た

せることができるためである。次に、各処理の内容について述べる。

2.3.1 ローリー配車計画

営業情報から、ローリー車によって釜から直接出荷するものを選び、その製品の在庫から、出荷に必要な台数分の在庫引当を行う。その結果、安全在庫量を切った製品につき、その製品の製作情報を製作のプライオリティを上げて、POL表に書き出す。もちろん、在庫のない製品はその製品を直接製作情報として書き出し、スケジューリングの入力データとなる。

2.3.2 釜繰りスケジューリングシステム

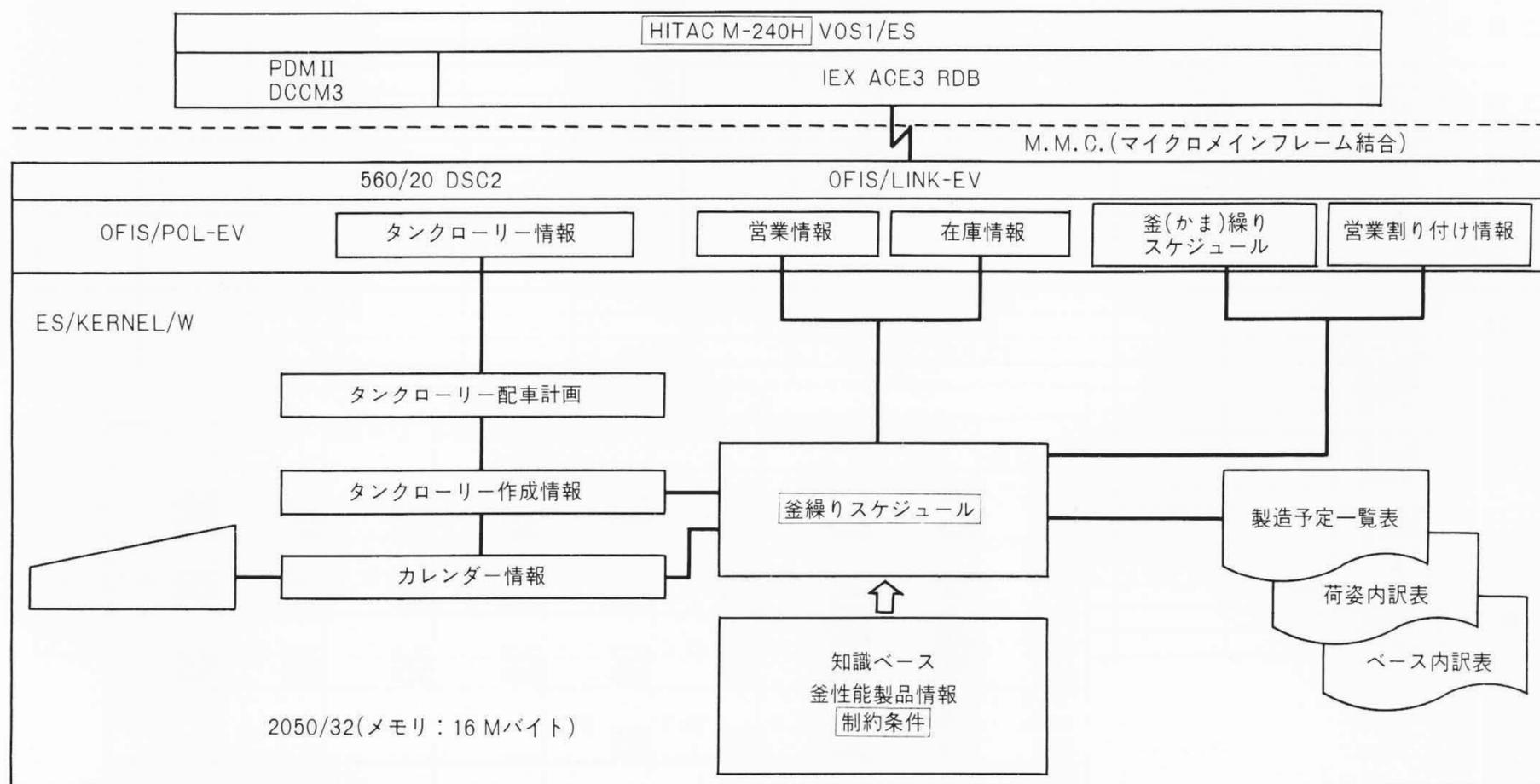
本システムは、図4に示すように前処理、割り付け処理、後処理の三つから構成されている。

(1) 前処理

釜繰りに必要な営業情報、在庫情報などの静的知識はPOL表から読み込み、フレームに展開する。また、製作する製品情報は、在庫引当を行った後、装置の最大製作量を考慮し、計画の対象となる製品情報だけをフレーム展開する。

(2) 割り付け処理

割り付けは、曜日、釜の小さい順に、装置に製作可能製品を当てはめる。割り付け時間は時間単位とするが、本システムでは一つの製品を製作するのに最低8時間かかるため、一装置では最大でも1日に3製品しか製作できない。一製品を



注：略語説明

- PDM II (Practical Data Manager II), DCCM3 (Data Communication Control Manager 3)
- VOS1/ES (Virtual-storage Operating System 1/Extended System), IEX (Integrated interactive Executive)
- ACE3 (Available Command language for End users 3), RDB (Relational Data Base)
- DSC2 (Data Stream Control 2), OFIS/LINK-EV (Office automation and Intelligence System Software/Link-Excellent View)
- OFIS/POL-EV (OFIS/Problem Oriented Language-EV), ES/KERNEL (Expert System/KERNEL)

図3 ハードウェア、ソフトウェア構成 計画立案に必要なデータはHITAC M-240Hから2050/32に送られる。

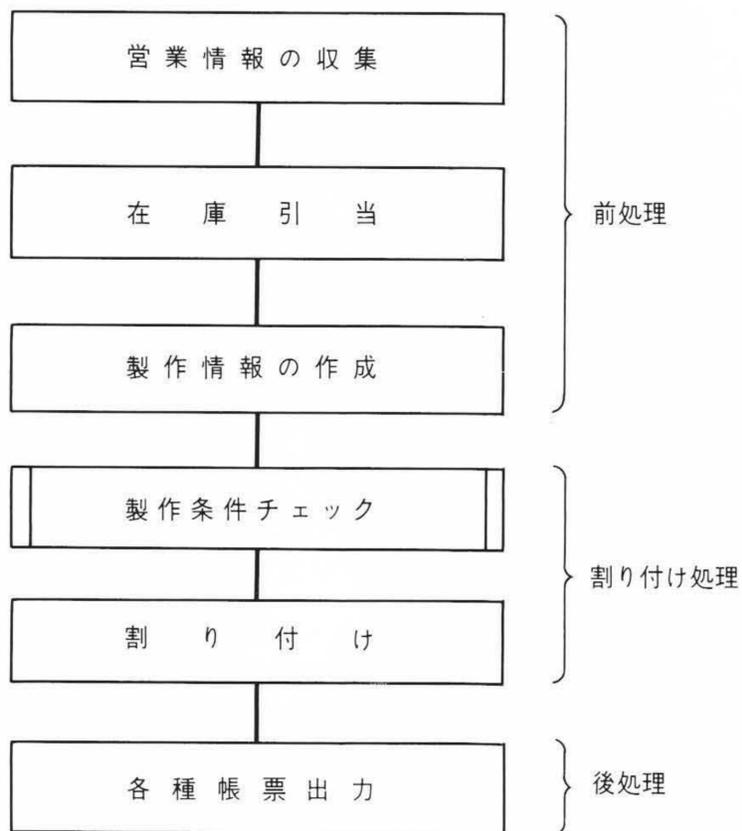


図4 推論の流れ 前処理で計画データの整理を行い、実際の割り付け処理の高速化を図っている。

作る時間ブロックをバッチと呼ぶ。

また、計画データに割り付け優先順位を設け、割り付け優先順位の高いものを先に各バッチに割り付けるようにする。

在庫引当およびある特定の製品や装置についての割り付けを行った後、各曜日、各釜について、そこに割り付け可能なデータを抽出し、そのおのおのについて連続生産時の製品の組み合わせのチェックを行う。引き続き、割り付け候補として処理対象になった製作情報が、自社生産する原料の必要な製品かどうかをチェックする。必要があればその原料を先に割り付け、後ほど製品の製作を行う。

割り付ける制約条件は主に次のようなものがある。

- (a) コンタミネーションチェック
- (b) 原料製作処理
- (c) 釜、製品などによる製作バッチ制限
- (d) 釜の並列運転制御
- (e) ドラム缶、ローリー車直送などの荷姿による制限
- (f) 人的制限

＜ポリエステル樹脂工程スケジュールリングシステム＞													
工程	日付け	04/10 (月)			04/11 (火)			04/12 (水)			04/13 (木)		
工程 1	製品名	I9873		L9982	L7655		C7655	C7655		F9982		L9991	I8764
	収容量	12.8		13.2	13.2		12.8	13.2		13.2		13.0	13.2
	スタート	12.0		2.0	10.0		0.0	14.0		4.0		18.0	18.0
工程 2	製品名	D9991	D7655		D9873	E8764							
	収容量	12.0	12.0		12.0	12.0							
	スタート	9.0	13.0		9.0	13.0							
工程 3	製品名	A8764	B7655		B9982	B8764		B9991	A9982		A8764		
	収容量	22.1	22.1		23.2	22.1		23.2	22.1		22.1		
	スタート	9.0	13.0		9.0	13.0		9.0	13.0		9.0		
工程 4	製品名	O9991	E9982		G9873	F7655		G9982					
	収容量	27.1	27.1		27.3	27.3		27.3					
	スタート	12.0	6.0		11.0	1.0		19.0					
工程 5	製品名	J9982			F9873	G9991							
	収容量	30.6			30.6	31.0							
	スタート	14.0			10.0	22.0							
工程 6	製品名												
	収容量												
	スタート												
工程 7	製品名				G9991						B9873		
	収容量				40.4						40.6		
	スタート				9.0						9.0		
工程 8	製品名												
	収容量												
	スタート												
工程 9	製品名												
	収容量												
	スタート												
工程 10	製品名												
	収容量												
	スタート												
工程 11	製品名	H9873											
	収容量	60.2											
	スタート	9.0											

＜タンク 在庫表＞									
タンク名	4/ 9(日)	4/10(月)	4/11(火)	4/12(水)	4/13(木)	4/14(金)	4/15(土)	4/16(日)	
H227I									
M8764	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7	31.7
43.5									
H227J									
M9991	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8
34.8									
F195B									
F9991	64.6	64.6	47.6	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5
54.0									
H317B									
I8764	46.2	26.3	26.3	26.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
49.5									
H122H									
L9991	18.0	5.0	5.0	5.0	5.0	19.4	19.4	19.4	19.4
28.0									
F122I									
L9982	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
56.0									

図5 割り付け表示画面例 スケジュール結果を見ながら、タンクの在庫量もビジュアルにみられる。

表1 知識ベースの規模 二段階でシステムを実用化した。

	ルール	フレーム	Cプログラム
プロトタイプシステム	100	120	2.0kステップ
本番稼動システム	500	500	5.0kステップ

当初の目的を十分満足したと言える。また、緊急の製作変更が発生した場合などに対応するための再スケジューリングも可能になった。

(2) 操作性

ホストコンピュータとのデータのやり取りは、メニュー画面上で指示するだけで自動的に行えるようになっており、意識なしにエンドユーザーでも簡単に操作ができる。また、知識ベースの基データはPOL表に持ったため、メンテナンス性も良いものになった。

(3) 割り付け結果の質

知識の深さ、つまり割り付け結果の質については、やはり専門家を越えることはできない。

実運用では、本システムが立案した結果の2割程度のデータに関して、その割り付けを修正すると、より効率的な生産

ができるスケジュールになると専門家は判断している。

本システムでは、専門家が簡単に割り付け結果を修正できる修正用インタフェースも持っている。

4 結 言

本システムは、受注管理システムと生産管理システムを有機的に結合する重要なポジションであり、CIM化の第一歩である。今後このようなシステム化の要求は増大すると思われる。しかし、スケジューリング形のESを実用化するためには、推論時間、知識ベースの保守性、推論結果のメンテナンス性がキーポイントとなる。

本システムの構築にあたっては、特に前述のポイントを重視し、エンドユーザーの使い勝手を考慮した。

今後、実運用で使いながら、さらに制約条件、専門家のヒューリスティックな知識を分析し、専門家に近づけていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 小島：日本触媒化学工業株式会社吹田製造所における釜繰りスケジューリングエキスパートシステムの実用化，HITACユーザー研究会講演資料(平元-1)
- 2) 特集 実用期を迎えた情報処理分野のエキスパートシステム：日立評論，70，11，(昭63-11)