

板ガラス生産計画支援エキスパートシステム

Expert Systems for Glass Production Scheduling

旭硝子株式会社は、全社的なCIM(Computer Integrated Manufacturing)推進計画の一貫として、生産計画熟練者のノウハウを利用した知識処理システムを構築し、板ガラスのカッティングスケジュール立案に運用展開している。本システムはフロート板ガラスの一貫製造ラインで、製品板厚、寸法の取り合わせ、生産順序を決定する採板計画を対象としている。採板計画は従来少数のベテラン専門家が従事していた業務であるが、知識処理技術を適用し、専門家のノウハウ、経験則を組み込み、エキスパートシステム化した。使用したシステムはエンジニアリングワークステーションES330上の知識処理システム構築ツールEUREKA-II(Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II)である。本システムは1988年6月から実稼動に入り、従来のベテラン専門家の業務を大幅に短縮、均質化することに成功した。

木村暁夫* *Tokio Kimura*
堀尾正彦* *Masahiko Horio*
大石 聡** *Satoshi Ôishi*
解良和郎** *Kazuo Kera*
船橋誠寿*** *Motohisa Funabashi*

1 緒 言

最近の板ガラス市場はビル、自動車の窓ガラスなどの用途に加え、エレクトロニクス向け用途も拡大してきており、ますます高品質化、多様化の傾向が強くなるとともに、市場競争力強化のための省人化、コストダウンも必要となってきた。このため旭硝子株式会社では、フロート板ガラスのCIM(Computer Integrated Manufacturing)化を推進中であるが、この中で多様化する製品の生産計画を対象とするエキスパートシステムを構築した。

本システムは、フロート板ガラスの一貫製造ラインで製品板厚・寸法の組み合わせ、生産順序を決定する採板計画を支援するエキスパートシステムで、1986年8月から検討着手し、プロトタイプシステムの開発・評価を経てさらに改良・拡張を加え1988年6月から実稼動に使用している。従来専門家が毎月40時間費やした業務を30分間に大幅短縮し、また均質な計画ができるようになるなどの効果を挙げている。以下、本システムの概要と評価について述べる。

2 板ガラス製造プロセス

はじめに採板計画とは何か、なぜ必要なのかを理解してもらうために、板ガラスの製造プロセスについて説明する。

旭硝子株式会社で生産している板ガラスは、大別するとフロート板、型板、磨板の3種類になる。このうちフロート板が生産の大きな役割を占めており、エキスパートシステムを

採用しているのもこのフロート板の製造工程である。フロート板ガラスの製造プロセスと情報の流れを図1に示す。

フロート板ガラスの製造は、原料の調合から開始され以降製品になるまで完全に連続したプロセスとなっている。

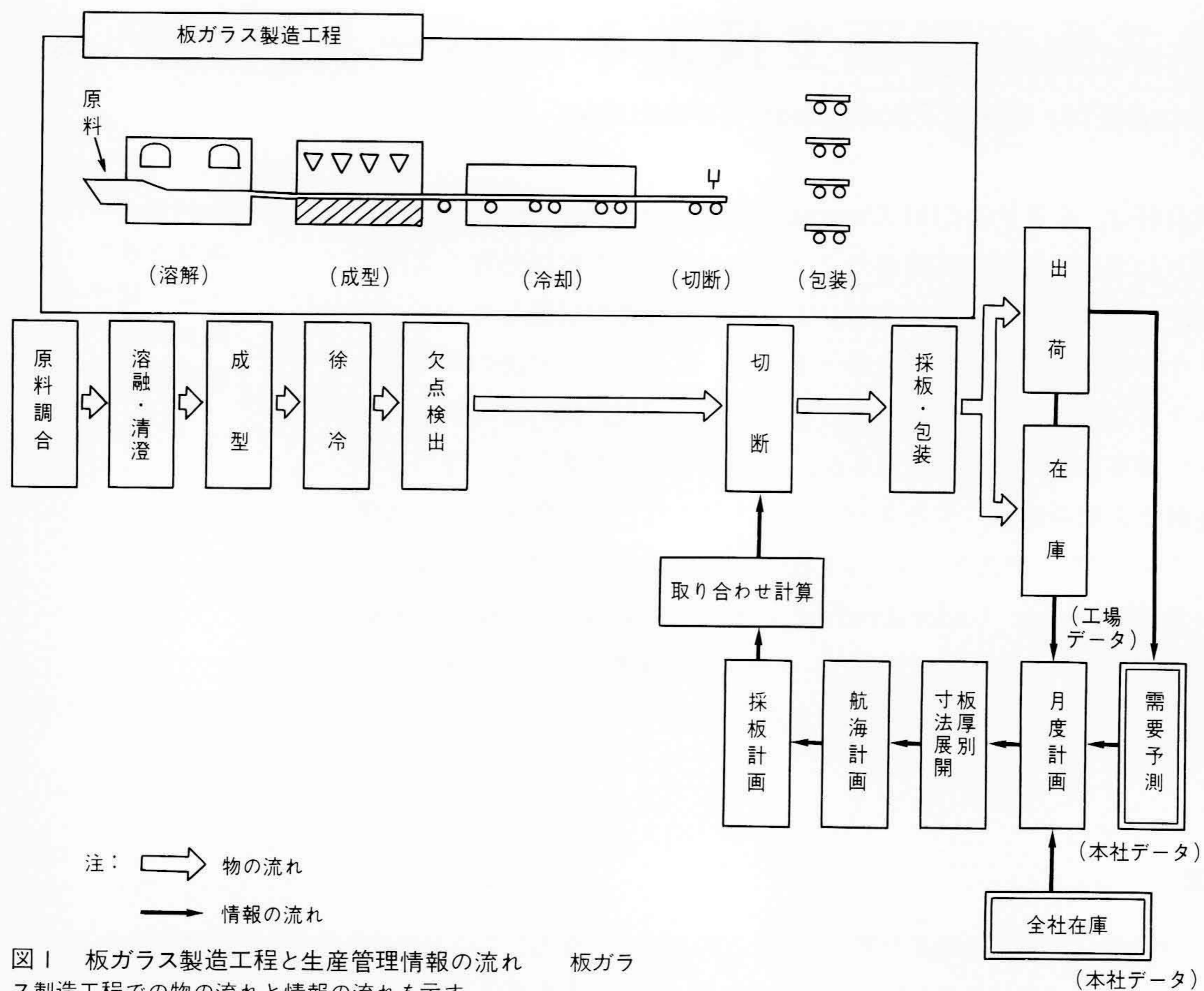
調合された原料は、槽窯に投入されここで1,600℃以上に熱せられ熔融される。溶解し液状になったガラスは泡を抜く清澄プロセスを経て次の工程であるフロートバスへ供給される。フロートバス内には溶解したスズがあり、液状のガラスはそのスズ面を浮上して通過し平坦で高品質のガラスが得られる。これを成型という。すなわち液状のガラスは、フロートバス内で所望の板厚(0.55~20mm)に成型され、その後固化され幅3~4mの帯状の連続シート(リボン)となって徐冷プロセスへ送られる。

板厚やリボン幅の変更は、このフロートバスの操作条件を変えることで対応できる。この操作条件を変えることをジョブチェンジと称している。

徐冷プロセスの入口でもガラス温度は600~700℃と高温のため、このプロセスで適切な温度カーブを与えて徐冷し、室温までリボン温度を下げてやる。

その後ガラスリボンは欠点検出機により欠点が検出され、その情報は工程制御用のコンピュータへ送られる。コンピュータでは別に与えられている複数の生産寸法と欠点情報とが比較され、歩留りが最適になるよう取り合わせ計算が行われる。

* 旭硝子株式会社硝子・建材事業本部 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所システム開発研究所



その結果はコンピュータからガラスを切断する切断機に指示され、連続したガラスリボンは縦横に切断されて所定の生産寸法となる(図2)。

切断されたガラスは、寸法ごとに指定された採板機で採板されパレットに積み込まれ包装される。

ここまでがフロートガラスの製造工程である。

3 生産計画と採板計画

3.1 板ガラス製造での生産計画

板ガラスの生産計画は、月ごとに需要予測や全社の在庫から月度計画が作られる。この月度計画で、その月に生産すべき製品の板厚と寸法が決められる。これを板厚別寸法展開と呼んでいる。

ジョブチェンジによるロスを極力減少させるため、同じ板厚はひとまとめにされ各板厚の生産日数が決められる。一つの板厚の生産を一航海と称し、各板厚ごとの生産計画は航海計画と呼ばれる。

航海計画によって、A日からB日までは板厚C、D日からE日までは板厚Fというように、その月の板厚別の生産日程が決定される。

次にこの計画により、航海ごとの詳細な生産計画、すなわちどのような寸法を、いつからいつまでに生産するか、を決

めて製造現場に指示する必要がある。この計画を採板計画と呼んでいる。

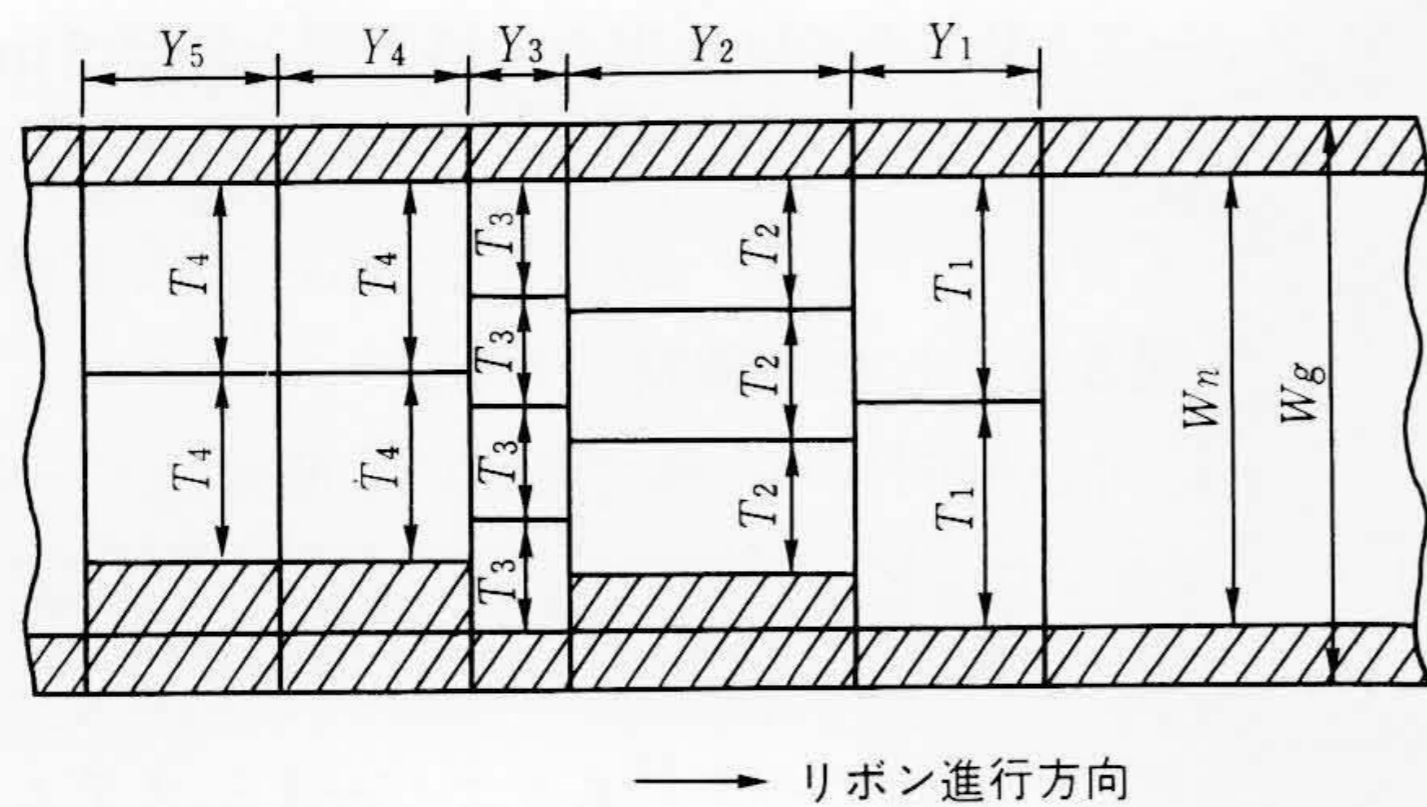
この採板計画については次章で詳細に述べるが、この作り方で歩留りが大きく左右される。このため、今までは十分な経験を持った専門家を配し、採板計画の作成に当たらせていた。しかし、緊急時の対応や後任の育成あるいは生産状況の変化への対応などの問題解決のため機械化が望まれていた。このような要求と前述のエキスパートシステムの確立の必要性から、この採板計画をエキスパートシステムの最初のプロジェクトとして着手した。

3.2 採板計画

フロート板では図2で示すように、リボンの幅はリボン幅 W_g と称される板幅で生産される。その内側にリボン幅 W_n があり、この W_n 分だけが製品となることができる部分で、 $W_g - W_n$ は板厚によって決まっている。

フロート板の生産量は板厚 t とリボン幅 W_g およびリボンスピード s の積 ($t \times W_g \times s$) となる。このため生産量と板厚を一定としリボン幅を可変とすれば、リボンスピードは従属的に決まってしまう。

採板計画は、与えられた寸法から種々の条件のもとに、歩留りを最高にするようにリボン幅を決定することが目的となる。



注：略語説明など
 W_g(リボングロス幅)
 W_n(リボンネット幅)
 T_i(縦寸)
 Y_i(横寸)
 部は捨て板

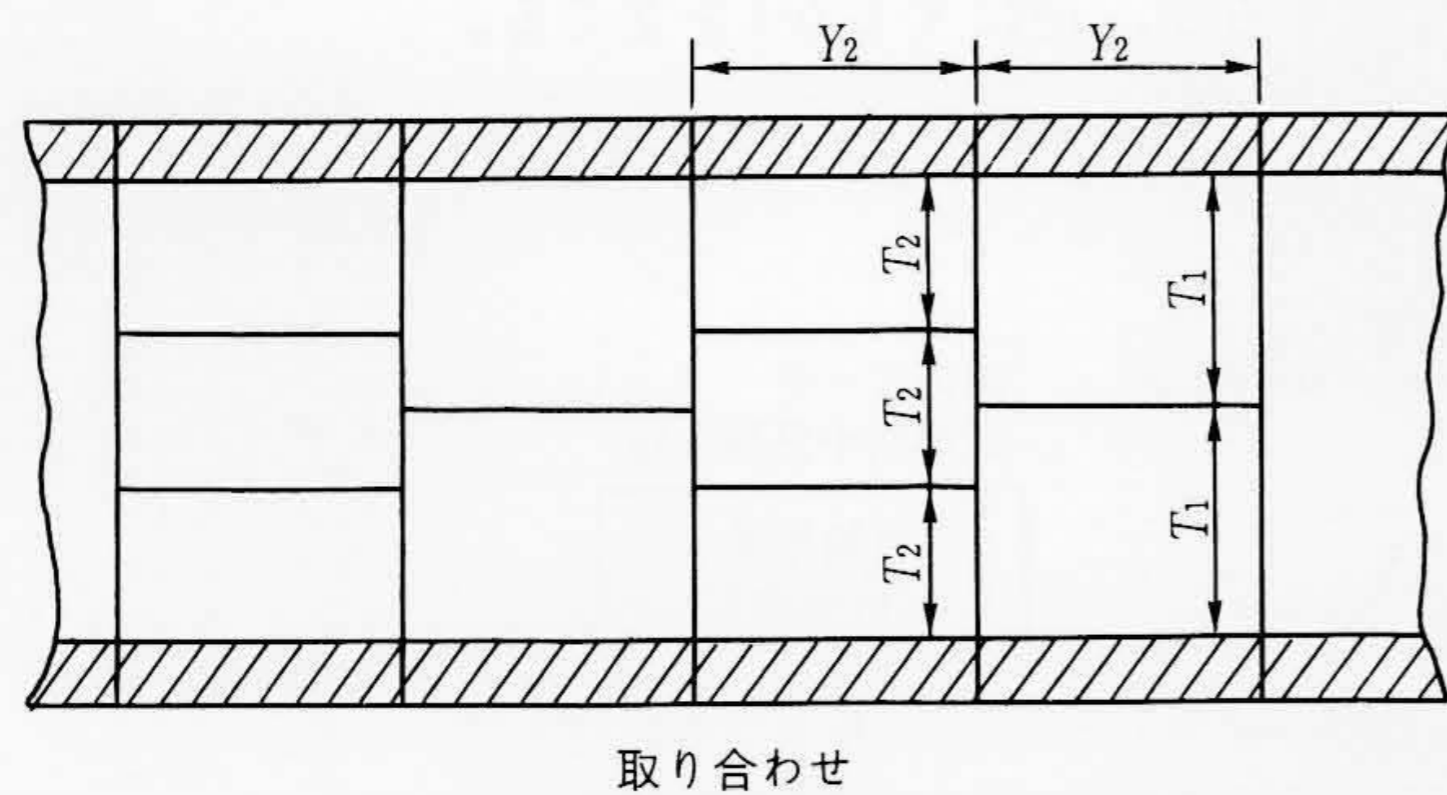
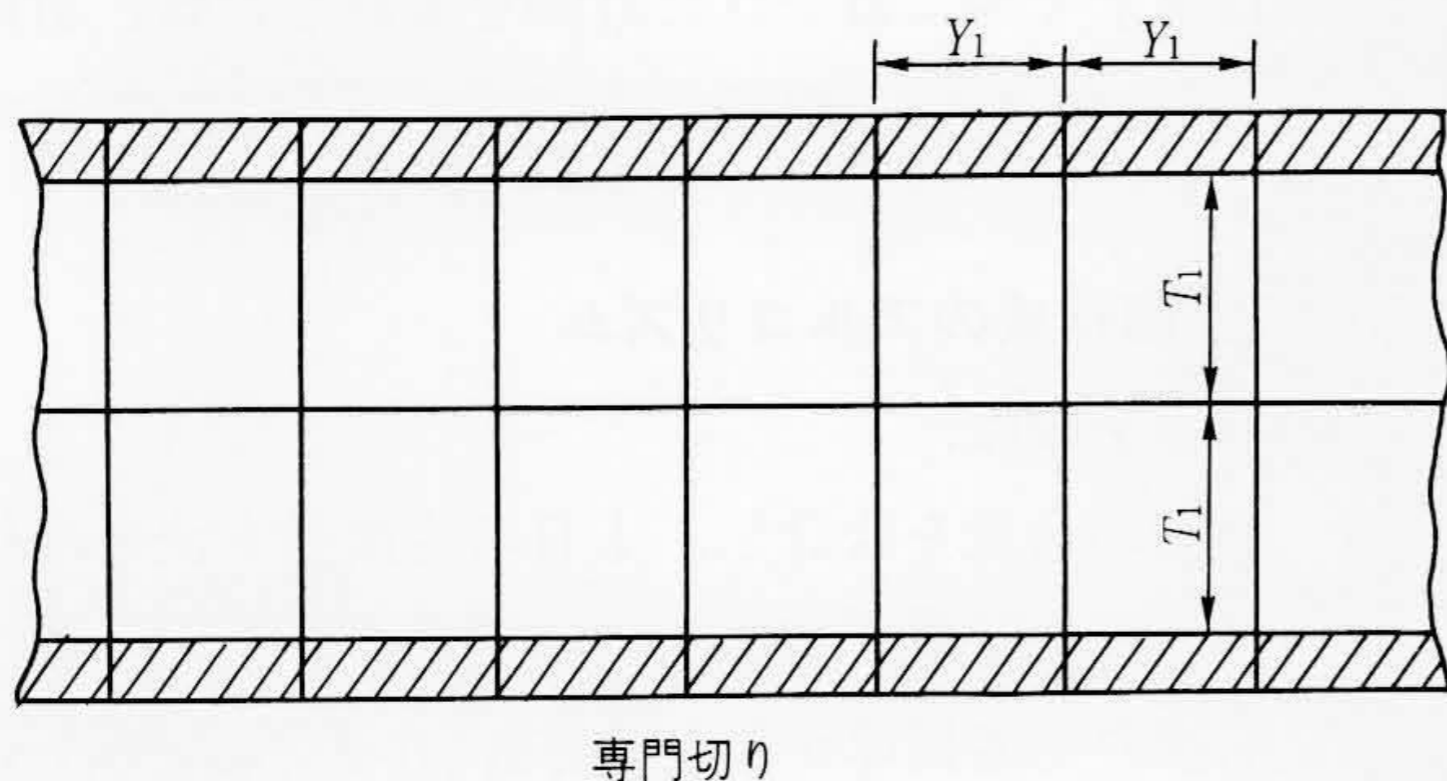


図2 板ガラスの切断パターン 専門切りとは1種類のサイズについて切断を行う。取り合わせとは2種類以上のサイズを組み合わせで切断をする。このような切断方法と板ガラスのサイズを組み合わせで、製品の歩留まりを向上させる計画を立案するのが目的である。

具体的な例として、板厚 2 mm、航海日数10日、製品寸法30インチの場合、納期の遅速、リボン幅の変更可能時間の制約(約7時~17時)、同時採板寸法の制約(2~4)、製品グレードによる採板順序の制約などのもとに、製品をどのような順序でどのようなリボン幅で生産するのがよいか、を決めるのが採板計画である。

ジョブチェンジは高熱作業を伴うので、あまり頻繁に行うことはできず、この点も一つの制約条件となる。

ある航海開始前にその航海全般の採板計画を作成するが、航海途中でも追加寸法への対応やリボンの欠点の発生状況によって、予定した生産量とその時間内に確保できない場合や、逆に予定よりも早く確保できてしまう場合に対しても、そのつど採板計画を作り直さなければならない。板ガラスの生産

は24時間の連続生産なので、夜中や休日の突然な変化に対しても採板計画の再作成は必要であるが、人間が作っている限り迅速な計画変更は不可能であった。

4 システム設計

4.1 基本設計

以上述べてきたフロート板ガラスの採板計画に対して、歩留り向上、計画の均質化、計画時間の短縮化と柔軟な再計画対応を目的として、採板計画専門家のノウハウをシステム化する採板計画エキスパートシステムを開発することにした。

採板計画エキスパートシステムは、エンジニアリングワークステーションであるES-330を用いることとし、知識処理システム構築ツールEUREKA-IIによってシステム構築を行った。

エキスパートシステムの構築を行うに当たって、エキスパートシステムを構成する知識ベースに専門家の知識をどのように表現するかを検討しなければならない。

まず知識収集に関しては、今回の知識の源泉は業務担当者の頭の中だけであり、計画を評価する基準も漠然と歩留りといわれるだけであったため、業務担当者に板厚別に計画を立てる際のポイントをまとめてKE(Knowledge Engineer)が計画する立場となり、みずから学習し、再度、知識の不明点をヒアリングによって補う形をとった。

次に知識の整理および分析を行うわけであるが、収集された知識は品種データ、計画データ、計画方法、計画手順、計画立案に伴う汎(はん)用計算処理などに分類でき、それぞれ知識ベース内では、各種データを事実形知識、方法を規則形知識、手順をメタ知識、汎用処理・複雑な計算を伴う処理はC言語プログラムとして取り扱うこととした。知識処理で、事実形知識をフレーム、規則形知識をルール、メタ知識をメタルール、C言語プログラムをメソッドと呼ぶ。

また、板厚別計画方法はそれぞれ独立な計画立案方法であったが、分析を行うことによって、共通的な部分的問題解決方法の組み合わせがあることがわかり、各板厚の共通計画方法を標準化することによって、ルール数の爆発的増加を防ぐこととした。

さらに、品種データは将来で変更、増加が見込まれるため、製品レポートの変更に伴うシステムの改造および修正が容易に可能なように品種データはフレームとし、品種データに依存しないルール作成を心がけ、システムの拡張に対して柔軟に対応できるような知識ベースを構築することとした(表1)。

このようにプロトタイプ作成時で、最終システム構成を考慮したシステム設計を行った。

4.2 システム構成

エキスパートシステムによるシステム概略構成図を図3に

表1 知識規模一覧表 各板厚の板ガラスで、生産計画を実施するための知識ベースの大きさをルール数で表す。

	計画法種別	登録ルール数
1	2mm計画法	98
2	3mm計画法	335
3	3.5mm計画法	45
4	4mm計画法	45
5	5mm計画法	274
合計	—	797

示す。システムは、収集した専門家の知識を格納する知識ベース、推論を実行する推論エンジン、本社から送られてくる生産データをフロッピーディスクによって受け渡す入力処理部、各ラインに対しての生産指示となる採板計画をフロッピーディスク出力、印字を行う出力処理部から成る。

知識インタフェースはシステム開発時に知識入力、デバッグに用いるシステム構築ツールである。

計画を立てる際の判断基準および手順は板厚ごとに異なるので、板厚ごとの個別システムとなっている。ただし、入出力部は共通に処理できるので、すべての板厚で共通にしてあ

る。第1フェーズと称したのは入出力の処理部と板厚2mmの板ガラスに関する採板計画(2mm計画法)のことであり、残りが第2フェーズである。なお、このシステムの導入工場での生産板厚は、図3に示した5種類である。

入力処理は、寸法展開後の品種寸法別の生産計画データ(板厚別寸法展開)をフロッピー媒体で受け取り、計画データファイルを作成する。

採板計画処理は、計画データをエキスパートシステム内に取り込んで推論実行するステップである。エキスパートシステムの本質部分であり、ここでルールによる推論で計画データから採板計画を立てる。立てられた計画は最終的にファイルに書き出される。

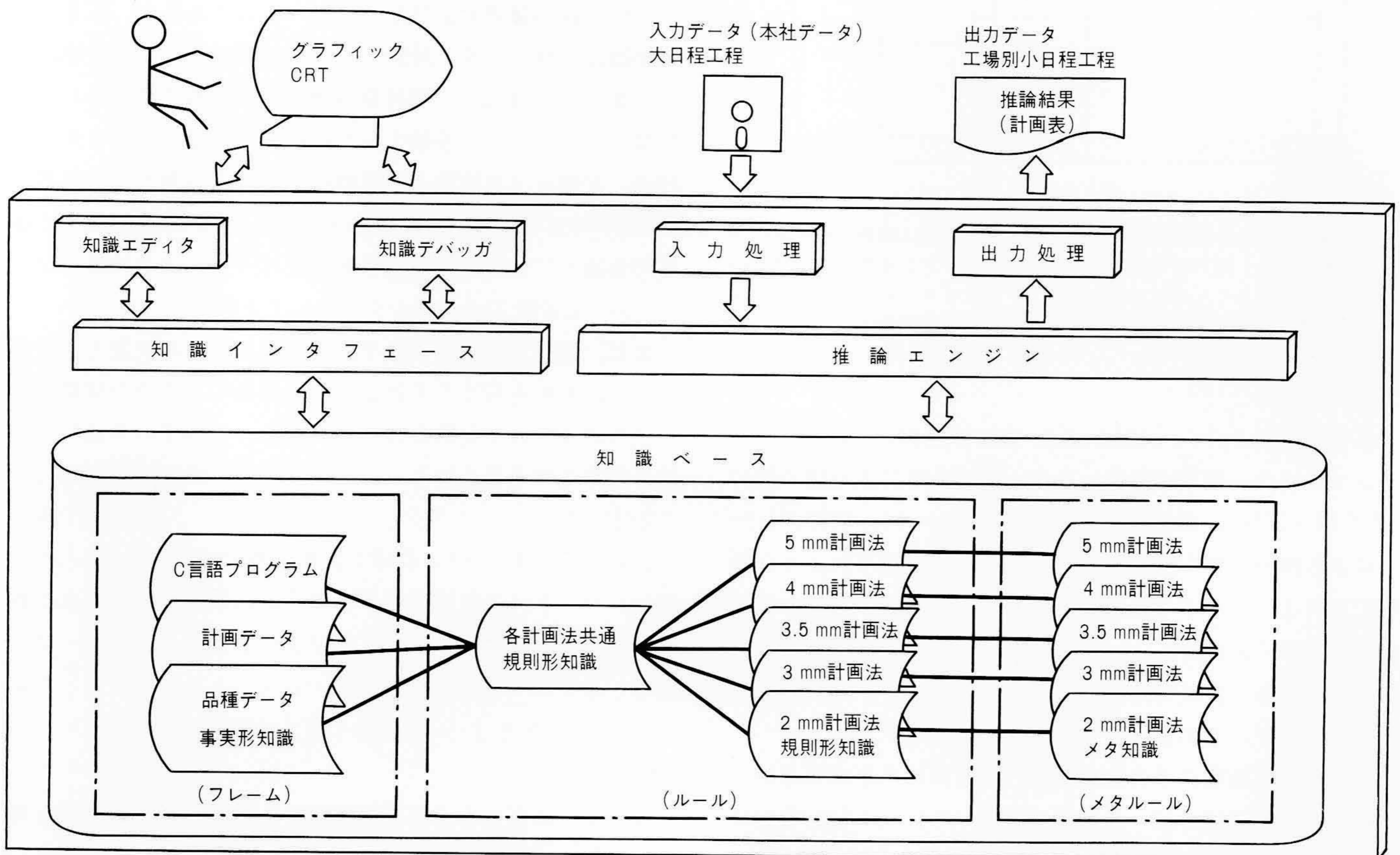
出力処理はファイルに書かれた計画を集計した後、計画表として印刷するとともに板厚ごとの作業条件も出力する(図4)。

4.3 採板の計画作成のアルゴリズム

計画を立てる手順は、

第1段階：生産の全量を合計し、1日の生産量を決め単位時間当たりの生産量を計算で求める。

第2段階：前後の生産板厚から生産方針(リボン幅を広いほうから生産するか、逆にするか)を立てる。



エンジニアリングワークステーション ES-330

図3 システム概略構成図 採板計画立案データの流れと知識ベースの構造を示す。入力データは本社レベルの生産計画(大日程工程)、出力データは工場・ライン別の小日程工程である。

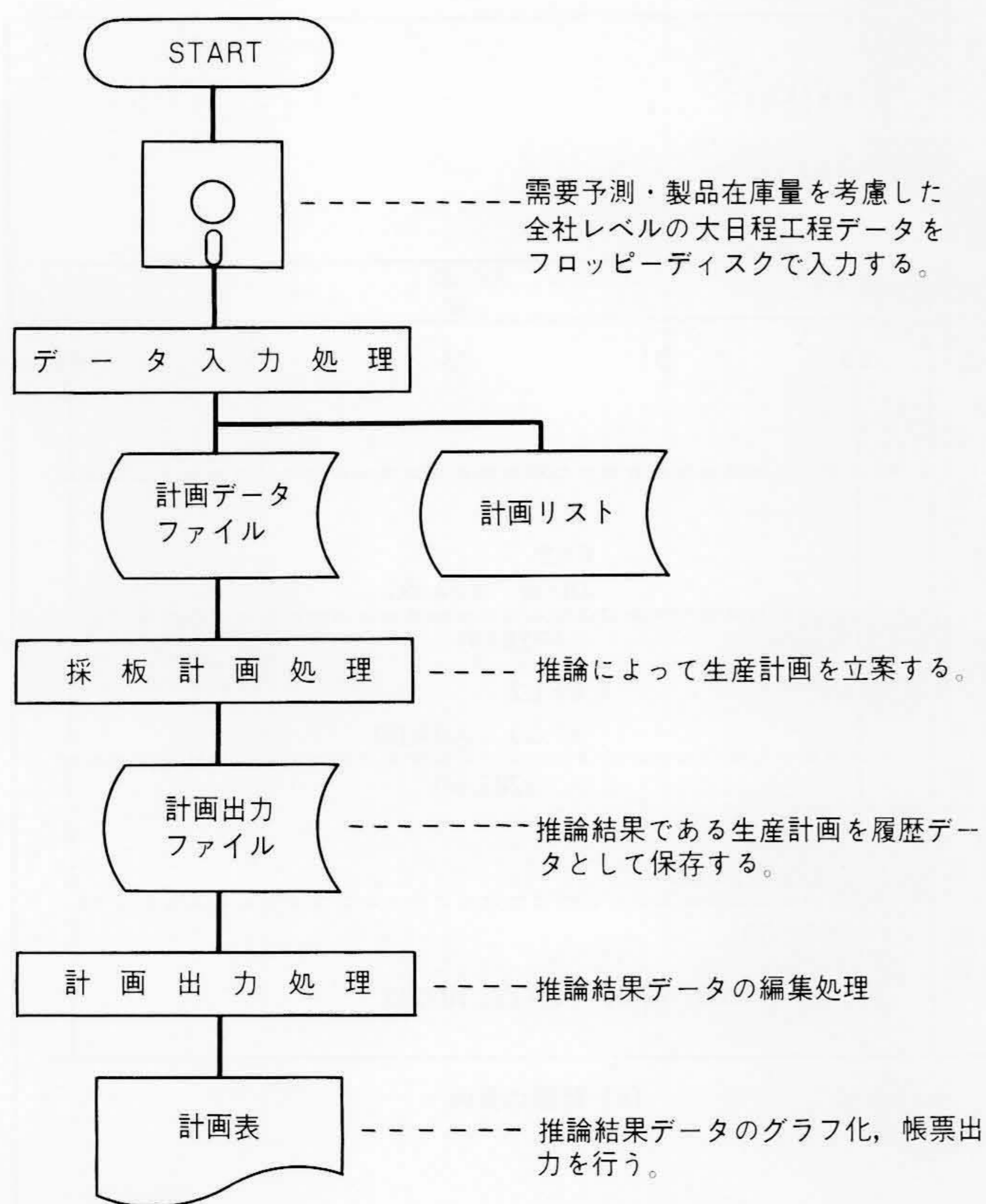


図4 システムフロー 本システムの処理フローを示す。

第3段階：採板機の決定

第4段階：寸法の取り合わせを決め、それぞれにいくつの採板機を割り当てるかを決定し、生産量、生産時間の計算を行う。以上の4段階に分けて行われる。第1段階から第3段階までは計画を立てるための事前処理に当たり、計算データが分類整理され、縦軸に使用する採板機数を横軸に時間を持つマトリックスが用意されている。

本来の計画は第4段階で実行される。この推論を進めるコントロールはメタルールで行っている。

計画のアルゴリズムは、

- (1) リボン幅の広いほうから狭いほう(逆もある)へ、計画データの並びを作る。
- (2) 並びの中からルールとなっている取り合わせ条件を満足する組み合わせを選択する。
- (3) (2)で選択した組み合わせをマトリックス上に配し、生産時間、生産量を計算して残量の更新を行う。(2)、(3)条件判断に合致する組み合わせがある限り繰り返される。
- (4) 終了条件をチェックし、満足されれば計画を終了する。満足されないときには取り合わせ条件を一部変更して再度(2)に戻る。

から成り立っており、取り合わせ条件や計画の設定、残量計算はルールおよびC言語プログラムによって記述されている。

5 システム評価

フロート板ガラス採板計画エキスパートシステムは、当初の板厚2mmのプロトタイプ開発から、さらに改良開発を続け、1988年6月以来実用に供されている(図5)。本システムの評価について当初のプロトタイプ開発も含め以下に述べる。

5.1 採板エキスパートシステムの効果

本システムの稼動により、従来専門家が毎月40時間要していた作業が30分に短縮された。また、専門家がいなくても計画が作れるという効果もあり、成果は大きい。

5.2 知識処理システムとしての評価

5.2.1 知識処理収集

今回のシステム構築に当たっては、専門家へのヒアリングで知識収集を行ったが、後に知識の欠落や偏りが数多くあった。当初のデバッグ段階でこれ以上の推論ができない状況に何度も陥った。これは入力データが変わるたびに特定ケースの知識の不備があったためである。特に知識の追加では、場合分けのルールと例外処理条件の組み込みがほとんどであり、人間の経験、ノウハウどおりに知識処理システムを構築するときの知識収集・整理が難しいことを示している。専門家の知識はあいまいかつ断片的であり、システム全体を正しく把握する情報を得るようなヒアリングが困難である場合が多く、KEの役割・経験が重要であるあかしでもある。

5.2.2 ルールの最適性

人間は採板計画で、最適な組み合わせを選び出せる。しかし、今回のシステムでは種々の組み合わせの条件をルールとして入力した。このため条件を満足する解は得られるが、専門家が直感的に最適と思うような最適解は得られない。専門家が見るとこの計画は良くないという判断を下すこととなる。これは当初のシステム設計段階では予期しないことであった。今後、専門家を超越する最適解を見つけ出すためには、合格点の候補案をリストアップした後、従来からの評価関数によって最適解を求める数理計画手法との融合などが必要になる。

5.2.3 システム構築の容易性

本システム構築に当たり、知識処理を利用することによって従来の手続き形言語による開発と比較し、システム全体の構成は変えず、ルールの追加だけで開発が継続できた。この点は知識工学的手法の長所として、大いに評価できる点があると考えられる。

6 結 言

以上、旭硝子株式会社のフロート板ガラスの生産計画支援エキスパートシステムについて述べた。本システムでは、従来専門家の経験、ノウハウにより行ってきた計画業務を知識処理を用いることにより、実用的なエキスパートシステムに置き換えることができることを実証できた。

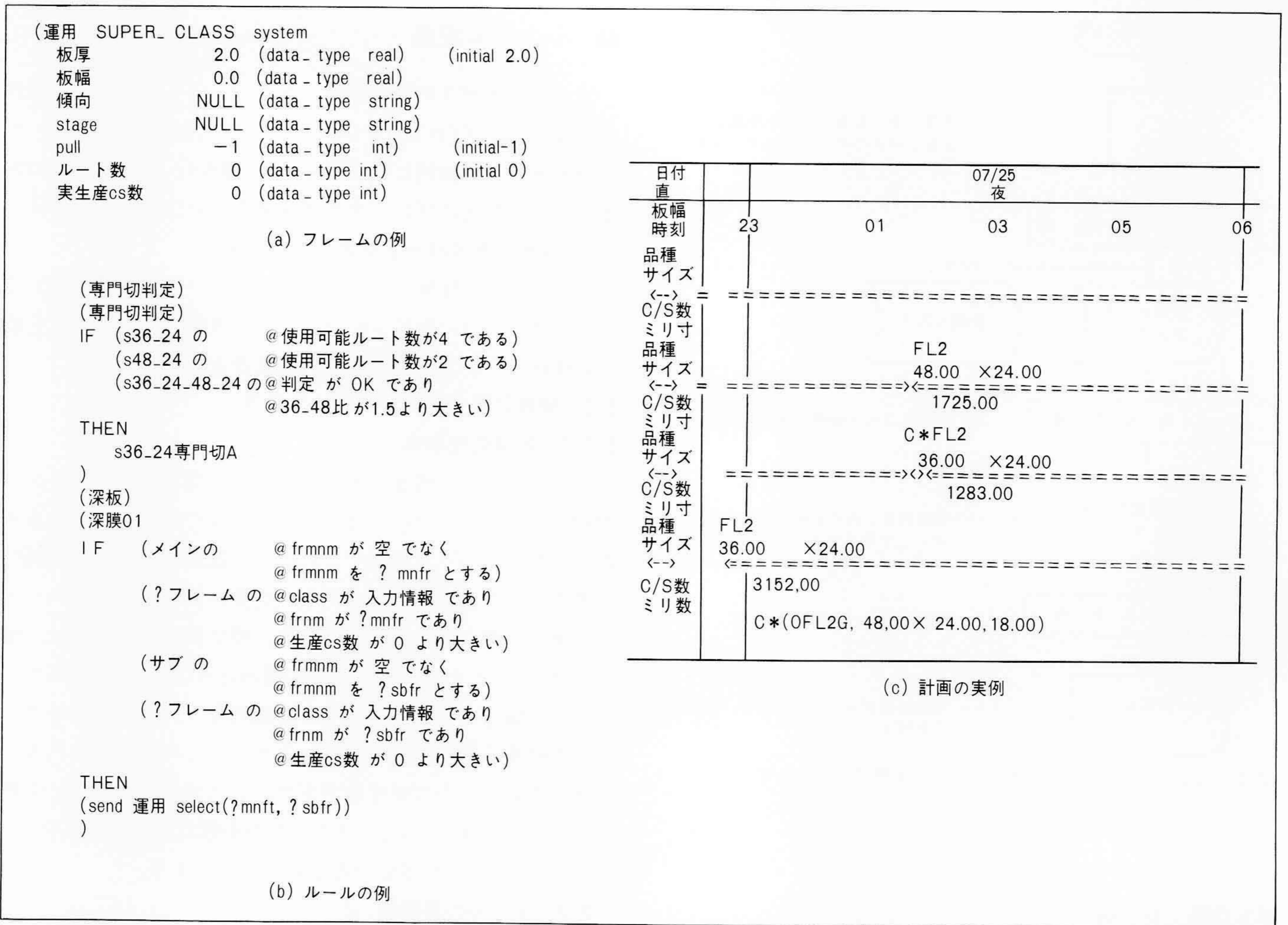


図5 実施例 (a)事実形知識である計画データを、知識ベース内のフレームとして表現した記述例である。(b)規則形知識である採板計画方法を、知識ベース内のルールとして表現した記述例である。(c)推論実行によって得られた立案結果を漢字プリンタに出力した。
 出典：電気学会論文誌C, Vol.108, No. 9 採板計画エキスパートシステム

生産現場では、この種の均質化、省人化のために人為的なアルゴリズムをシステム化したい分野はまだ多くあり、今後のCIM化推進の中でさらにエキスパートシステムを有効に活用していきたいと考える。

参考文献

1) 堀尾, 外: 採板計画エキスパートシステム, 電気学会論文誌C, 108巻, 9号, 737~741(昭63-9)

2) 木村: 板ガラス生産計画支援システム, ファクトリオートメーション, '89, 2, 23~27(平1-2)
 3) 天満, 外: 知識工学技術を応用した貨物配置決定方式の提案, 電気学会論文誌C, 107巻, 2号, p.165~172(昭62-2)
 4) 日立製作所: EUREKA-II マニュアル(昭62-4)
 5) 船橋, 外: ES/KERNELとEUREKA-IIの推論高速化技術, 日経コンピュータ, 1986.9.15号, p.121~131
 6) 諏訪, 外: エキスパート・システム開発事例に見る知識獲得, 計測と制御, Vol.25, No.9(昭61-9)
 7) 日立製作所: 知識工学特集, 1, 67(昭60-12)
 8) 佐々木, 外: 知識工学の産業への応用, 人工知能学会誌, 1, 1, 64(昭61-9)