

製鉄原料ヤード配置計画エキスパートシステム

Depository Planning Expert System for Raw Material Yard

製鉄所の製鉄原料処理プロセスでの作業計画業務は、数の限られた熟練オペレータの経験によるノウハウに頼る面が多く、その自動化は困難とされてきた。

今回、本プロセス全体の効率的かつ安定な操業に影響の大きいヤード配置計画業務を自動化するため、知識工学の成果を利用したヤード配置計画エキスパートシステムを開発したので紹介する。

本システムは、株式会社日立製作所の知識処理構築支援ツールEUREKA-IIに、製鉄原料処理プロセス熟練オペレータのヤード配置計画に関する知識を組み込んだ計画形エキスパートシステムである。

本システムによって、ヤード配置計画業務の迅速化、省力化を図れるほか、熟練オペレータの最適な配置計画ノウハウを有効利用でき、オペレータによる配置計画結果のばらつきを防止することができる。さらに、ヤード運用基準、設備制約などの計画条件の変化に対し柔軟に対応することが可能となる。

吉田 正人* Masato Yoshida
柴垣 琢郎* Takurou Shibagaki
小野寺保治* Yasuji Onodera

1 緒 言

製鉄所の製鉄原料処理プロセスは、高炉原料を運搬船から原料ヤードに荷揚げし、高炉へ供給するための事前処理、原料ヤードと各貯蔵槽の在庫管理、原料輸送管理などを行い、高炉、焼結工場、コークス工場などの製鉄工程全体の効率的かつ安定な操業を管理するプロセスである。

本プロセスの制御用計算機システムは、広大な製鉄工程での情報の一元管理、原料処理品質および管理水準の向上、自動運転による省人・省力化、設備の利用効率の向上などに効果を発揮してきた。

しかし、製鉄所内の他のプロセスに比べると、計画、運転でオペレータの判断に頼るところが多い。特に、計画の基本情報の変更、時間的变化などの多い操業の計画業務に関しては、大部分を熟練オペレータの経験による計画のノウハウに頼っている。

本プロセス内での操業の計画は、製鉄所または製鉄地区全体で決められる生産計画情報(入船計画情報、配合計画情報、設備保守情報など)を基に、設備の稼動状態、原料ヤードの在庫状態などのプロセスの現況を把握して計画立案される。その主な計画として、ヤード配置計画、バース着岸計画、原料輸送のマクロな計画などがある。

今回、ヤード配置計画業務を対象として、知識工学アプローチによる計画業務の自動化を行うために、製鉄原料ヤード

配置計画エキスパートシステムを開発した。本エキスパートシステムによって、ヤード配置計画業務の迅速化、省力化を図れるほか、熟練オペレータの最適な配置計画ノウハウを有効利用でき、オペレータによる配置計画結果のばらつきを防止することができる。さらに、ヤード運用基準、設備制約などの計画条件の変化に対し、知識ベースのノウハウを変更することによって柔軟に対応することができる。

開発には、某社製鉄原料処理プロセスの熟練オペレータから、ヤードの運用に関する知識、ヤード配置計画の立案に関する知識を提供していただいた。現在、プロトタイプでの開発を終え、実操業へ適用していただく段階である。

2 ヤード配置計画業務の概要

2.1 製鉄原料処理プロセスの概要

製鉄原料処理プロセスの概要を図1に示す。

本プロセスは、原料受け入れ設備、原料ヤード、払い出し設備、整粒設備、ブレンディング設備、中継槽、原料供給先の各工場の貯蔵槽およびこれら設備間の原料輸送を行うベルトコンベヤネットワークとで構成している。

原料ヤードは、運搬船で運ばれてきた原料を野積みし保管する貯鉱・貯炭場である。一般製鉄所では幅数十メートル、長さ数百メートルから千メートルぐらいのヤードが10ヤード

* 日立製作所大みか工場

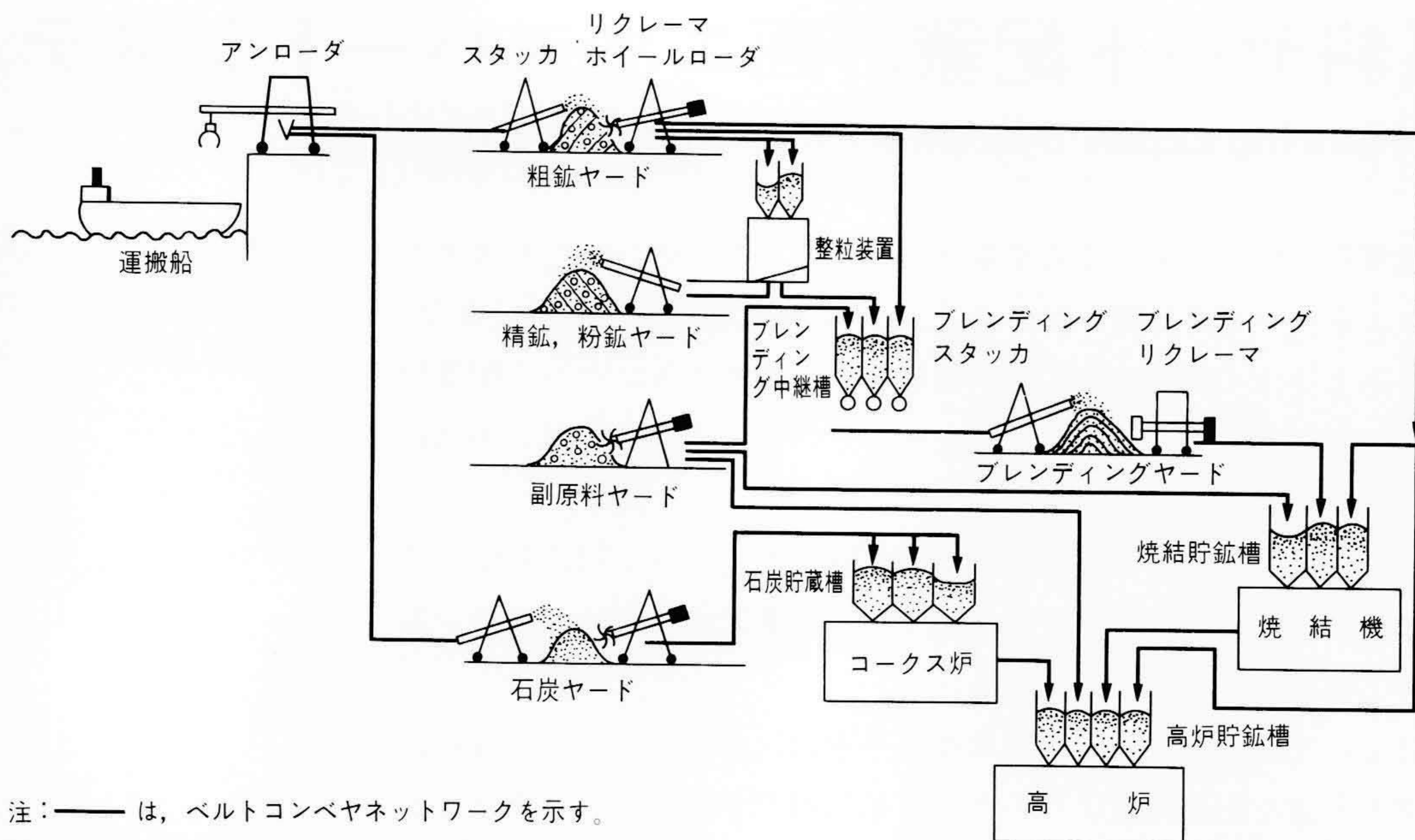


図1 製鉄原料処理プロセス概要 受け入れた原料を高炉へ供給するまでのプロセスで、広大なヤードに原料をいかに配置するかは重要な計画業務である。

前後あり、各種銘柄の鉄鉱石、石炭、副原料などが山状に積み付けられ(積み付けられた1単位を「山」と呼ぶ。)在庫管理されている。その山の数全体で大小合わせて約300ぐらいとなる。

2.2 ヤード配置計画業務

製鉄原料処理プロセスでの主要作業の関連を図2に示す。

本プロセスの操業は、月間、週間および当日のマクロな作業計画が立てられ(計画)、それを基に数時間先までの輸送作業の段取りが行われ(作業スケジュール)、プロセス状態を監視しながら機器の運転が行われる(運転)。

ヤード配置計画業務は、原料の受け入れ管理部門から渡される月間入船計画に対して、入船する船、積載原料の銘柄単位に原料ヤードの配置を決定する。決定に際しては、原料ヤードの利用効率向上、払い出し作業の効率向上と安定性および品質の経時的不変性が考慮される。

本計画業務は一種のスケジューリング問題であり、与えられた制約条件を満たす解を見つけることである。しかし、ベストなスケジュールを定義することが難しく、またスケジュールの良さを計る尺度も、その時点での環境を考えた総合判断で決まるなど、数学的な最適解を得ることは困難である。

3 システムの位置づけ

製鉄原料処理プロセスでの計算機処理機能を図3に示す。ここで、計画制御機能の操業計画(1)、(2)を除く機能は手続き形プログラムを使って実現され、その機能、処理方法はすでに確立されてきた。しかし、操業計画(1)、(2)は計算機処理化を試みられてきたが、前述したように数学的扱いが困難であること、また生産の変動、原料輸入先の条件、設備の使用条

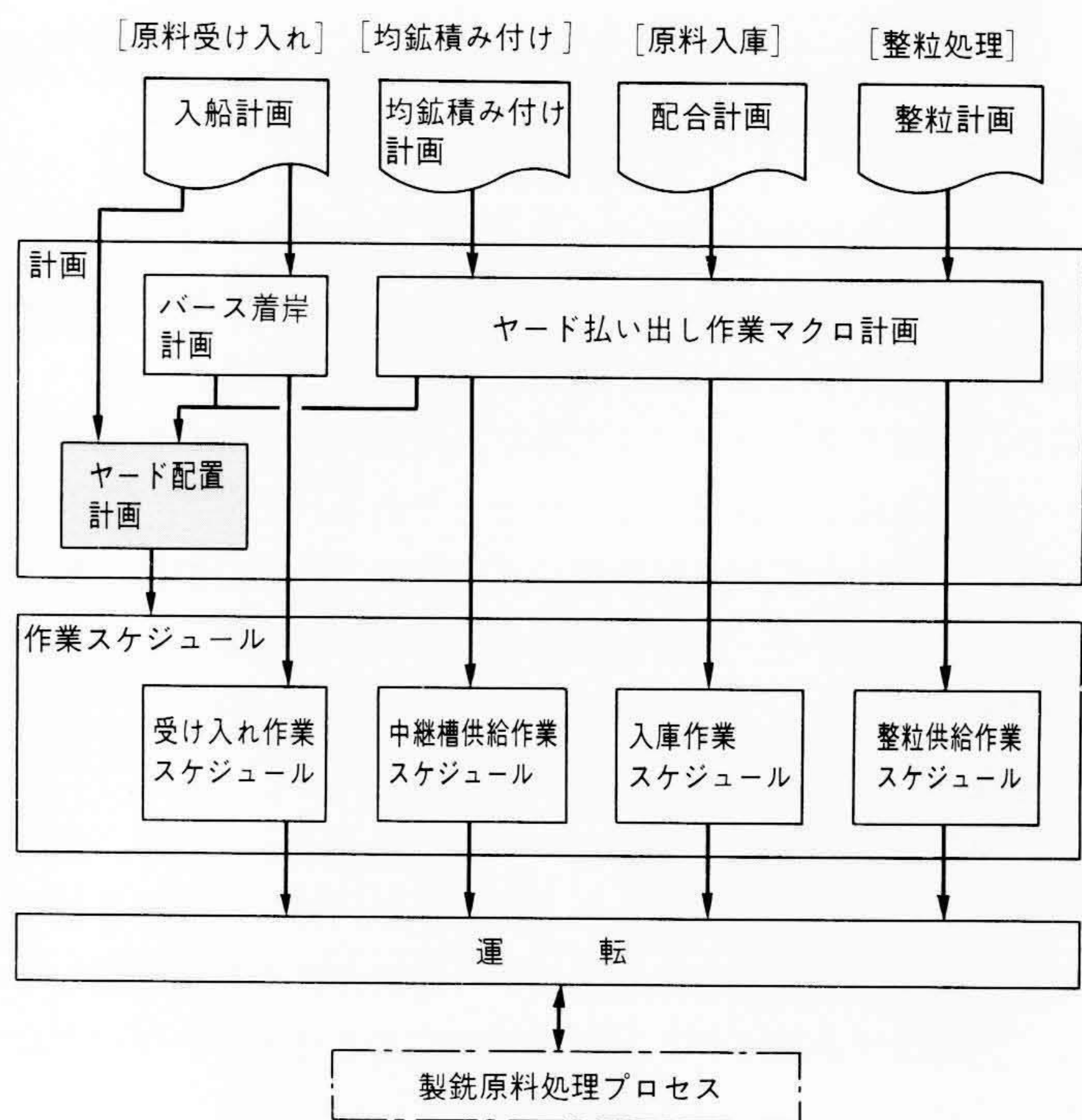
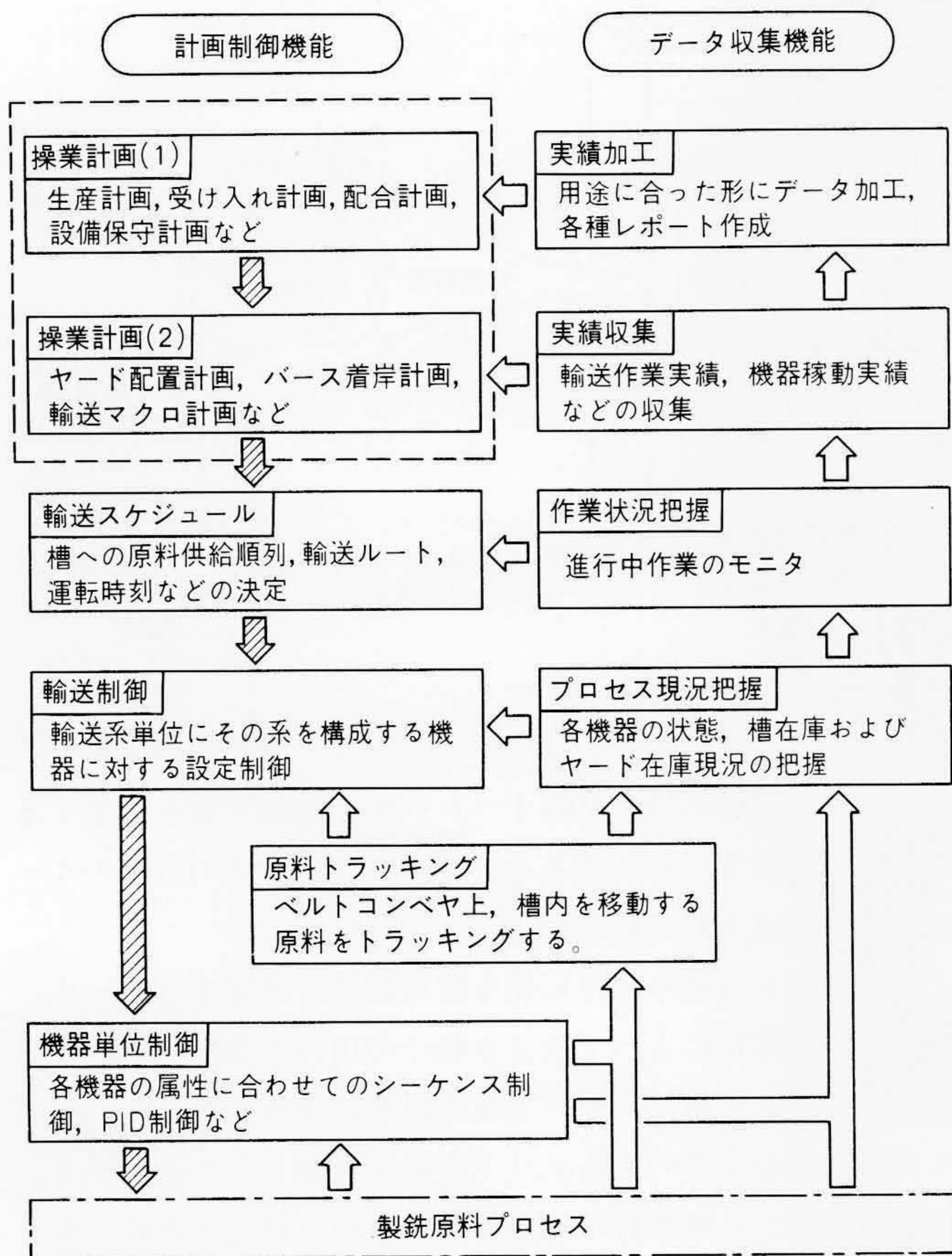


図2 製鉄原料処理プロセスの作業の流れ 日単位の作業計画、数時間単位の作業スケジュール、リアルタイムの設備運転の順に、製鉄原料処理プロセスでの作業が行われる。

件など外的要因の変動、および例外条件の多いことから十分な成果が得られず、現状は計画の大部分を人手に頼っている状態である。そこで、今回は数学的にベストなスケジュールを作るのではなく、最近の知識工学の成果を利用して、熟練オペレータの知識を計算機処理に取り込み、熟練オペレータ並みのスケジュールを推論させるとともに、計画条件の変更に對してもフレキシビリティのあるシステムを構築する方法をとった。



注：略語説明 PID（比例・積分・微分）

図3 製鉄原料処理プロセス管理計算機の機能構成 データ収集機能で収集されたデータを基に、計画、スケジューリング、制御を行う計画制御形のシステムである。操業計画を行う部分は計算機化が遅れていた。

このシステムを、操業計画の中でも特に重要なヤード配置計画に適用した。適用に当たっては、特に次の3点を重視してシステム開発を行った。

(1) ヤード配置計画業務の効率向上

計画時間の短縮および入船計画、配合計画などの変更に対する即応性を持たせる。

(2) ヤードの最適配置

積み付ける山を大きくして、ヤードの利用効率向上を図る反面、一つの払い出し機などの故障が需要先工場への原料の払い出し作業に影響しないように分散した山の配置となるようにするなど、長期的に安定した操業のできるような配置とする。

(3) オンラインシステムとの有機的結合

ソフトウェア構成面で、従来のオンラインシステムと有機的に結合し、容易に組み込み可能とする。

4 システムの機能

本エキスパートシステムの機能構成を図4に示す。知識獲得機能を使って、熟練オペレータのヤード配置計画立案の思

考手順をルール形表現で知識ベースに移植することで、機能を実現している。本システムは、将来の作業に対しての計画を立てる必要があることから、次の2点を特徴としている。

- (1) 最適配置決定推論が実行される時点のプロセス現況を作るために、プロセスシミュレーション機能を備えている。
- (2) 操業オペレータによる計画結果の評価を可能とするため、ヤード在庫状況の推移表示機能を備えている。

以下、本システムを構成する各機能の内容を説明する

4.1 オンラインデータ入力機能

オンラインシステムからヤード在庫データ(現況)、入船計画、払い出し計画、保守計画、銘柄、設備の各データを自動的に受信する。これにより手動での入力データの数を削減し、条件データ入力の迅速化を図っている。

4.2 ヤード配置計画機能

計画対象期間(当日から指定日まで)が指定されることによって、その期間のすべての入船に対し、積載してきた原料を「どのヤード」の「どの位置」に「どのような方法」で「何トン」積み付けるかを間近の入船から順次決定する。これは、以下に説明するプロセスシミュレーション処理と最適配置決定処理を、シミュレーション時刻に従い繰り返し実行させることによって行われている。

(1) プロセスシミュレーション

入船計画で示される月日に原料運搬船が入船するとして、バースに着岸し荷役作業が開始される月日を、船種別の優先順位などから予測している。次に、その時点のヤード在庫状況を、払い出し計画データ、設備データ、保守計画データからシミュレーションし予測している。

(2) 最適配置決定

予測されたヤード在庫状態の現況だけでなく、将来の入船、設備の使用条件、保守計画まで考慮した熟練オペレータのヤード配置計画立案知識を利用して受け入れ原料のヤード配置を決定している。

4.3 マンマシンインタフェース機能

入船計画に対して計画期間を入力することによって、前述のヤード配置計画が推論実行され、決定された各入船に対する荷役作業開始日、積み付けヤード・位置・量・積み付け方向を表示する(図5参照)。

また、決定された積み付けを実行することによって、この先ヤード在庫状態がどのように変化するかを、マップ形式にグラフィック表示することができる。これにより、オペレータは将来のヤード在庫状況を予測することができ、また推論の結果を評価できる。

5 システムの構成

5.1 全体構成

今回開発したヤード配置計画エキスパートシステムは、

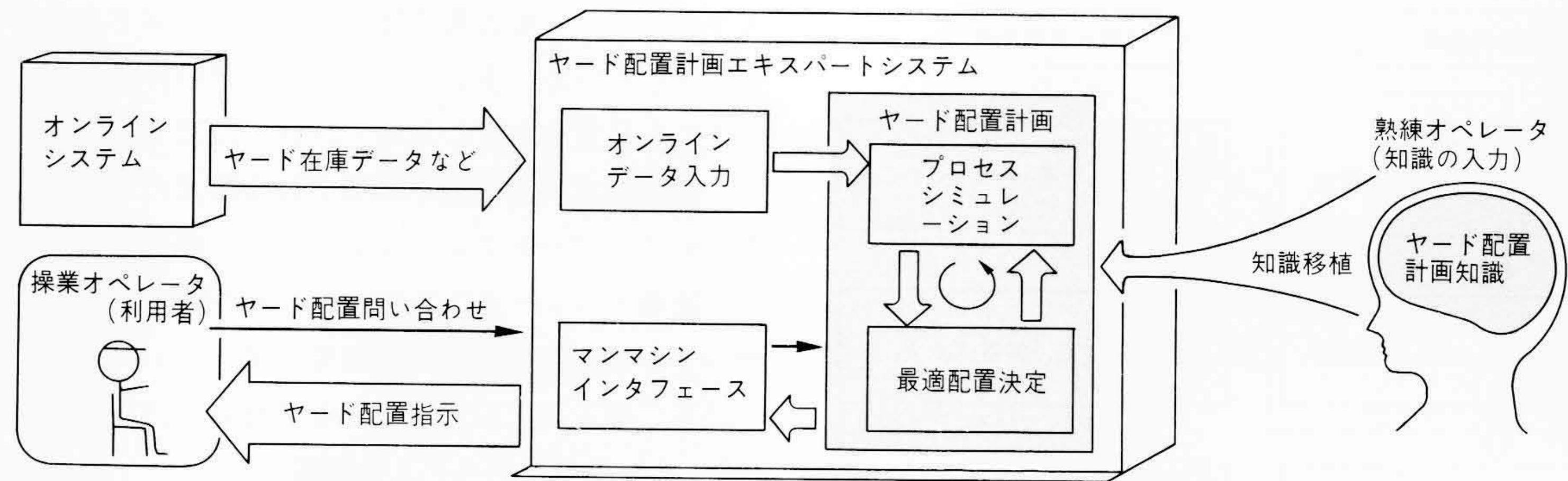


図4 ヤード配置計画エキスパートシステムの機能構成 熟練オペレータのヤード配置計画知識は、エキスパートシステムの知識ベースに移植され、操業オペレータからの問い合わせに対し推論を実行し、ヤード配置を指示する。

EUREKA-II (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation V 2) の推論エンジン下で動作する知識ベースなどの知識処理部と、オンラインデータ入力、マンマシンインタフェースなど従来の手続きプログラム部から成り立っている。また、エキスパートシステムとしての動作環境を標準化しているため、日立エンジニアリングワークステーションESシリーズまたは制御用計算機HIDIC-V90/5シリーズ上で動くことができ、バッチ処理向けワークステーションタイプとリアルタイム処理向けオンラインタイプとが可能となっている。その構成を図6に示す。

5.2 ソフトウェア構成と処理内容

本エキスパートシステムのソフトウェア構成を図7に示す。

処理の核となるのは、熟練オペレータの計画立案を代替するヤード配置決定ルールである。本ルールは、次の五つのルール群から構成されている。

- (1) 物理面から積み付け可能な置場候補を選定するルール
積み付け銘柄によって決まる最小の山の大きさ、ヤードの使用条件などを基に、ヤード在庫現況の空きエリアのうち積み付け可能な広さのあるエリアを置場候補として選定する。
- (2) 論理面から積み付け可能な置場候補を選定するルール
(1)のルールで候補となった置場を対象に、隣接する既存の山の属性、積み付け銘柄の払い出し先などから候補を絞り込む。
- (3) 分割積み付けルール

画面No052-01
計画範囲は？
02/07から 〃/〃/〃まで

入 船 予 定				ヤ ー ド 置 場					
入船日	船名	銘柄	量(トン)	受入日	ヤード	位置(m)	量(トン)	方向	積合せ
02/07	A丸	a	60000						
02/08	B丸	b	40000						
		c	10000						
02/15	C丸	d	28000						
		e	10000						
02/22	D丸	f	30000						
		g	15000						
02/27	E丸	h	40000						
03/02	F丸	i	40000						

計画期間を入力すると、
計画、結果が
表示される。

画面No052-01
計画範囲は？
02/07から03/01まで

入 船 予 定				ヤ ー ド 置 場					
入船日	船名	銘柄	量(トン)	受入日	ヤード	位置(m)	位置(トン)	方向	積合せ
02/07	A丸	a	60000	02/07	H	110--300	60000	左	無
02/08	B丸	b	40000	02/09	A	610--760	40000	右	無
		c	10000	02/10	G	470--520	10000	左	有
02/15	C丸	d	20000	02/15	E	50--180	20000	左	無
		e	10000	02/16	E	650--705	10000	左	有
02/22	D丸	f	30000	02/22	G	205--290	10000	右	無
				02/23	D	420--485	12000	右	無
		g	15000	02/23	A	430--500	15000	右	無
02/27	E丸	h	43000	02/27	F	360--500	20000	左	無
03/02	F丸	i	40000	03/01	B	310--390	15000	左	無

図5 ヤード配置計画要求と結果画面例 入船予定に対して計画期間が入力されると、本エキスパートシステムは受け入れ予定日、積み付けヤード、位置、量などを推論して表示する。

(2)のルールで候補となった置場を対象に、置場の広さ、以後入船予定となっている原料運搬船の積載銘柄・量を基に、荷役される原料を一つの置場に積み付けるか、または複数の置場に積み付けるかを定める。

(4) 最適配置決定ルール

同時に払い出されるであろう他銘柄の山の位置を考慮し、候補となった置場の中から積み付け単位に一つの置場を決定する。

(5) 積み付け方法決定ルール

隣接する山の作業状態から積み付け方向を、また銘柄、性状から積み付けパターンを決定する。

これらを順次推論決定していくための知識ベースは EUREKA-II の文法に従って、自然語に近いルールおよびフレームという形で記述される(図8参照)。

そのほか、推論の実行を支援するために、次のソフトウェアを準備した。

- (1) マニュアルデータ入力・計画要求受け付け
- (2) オンラインデータ入力
- (3) 知識ベースデータ入力・出力
- (4) 時刻シミュレータ

月日・時刻をシミュレートして、入船日になった時点でヤード配置決定ルールを起動している。また、一定周期でプロ

セスシミュレータを起動している。

(5) プロセスシミュレータ

ヤード配置決定ルールが実行される時点のプロセス状態を、実作業および設備の動きを模擬した受け入れ作業、払い出し作業シミュレータによって作っている。

(6) 結果表示

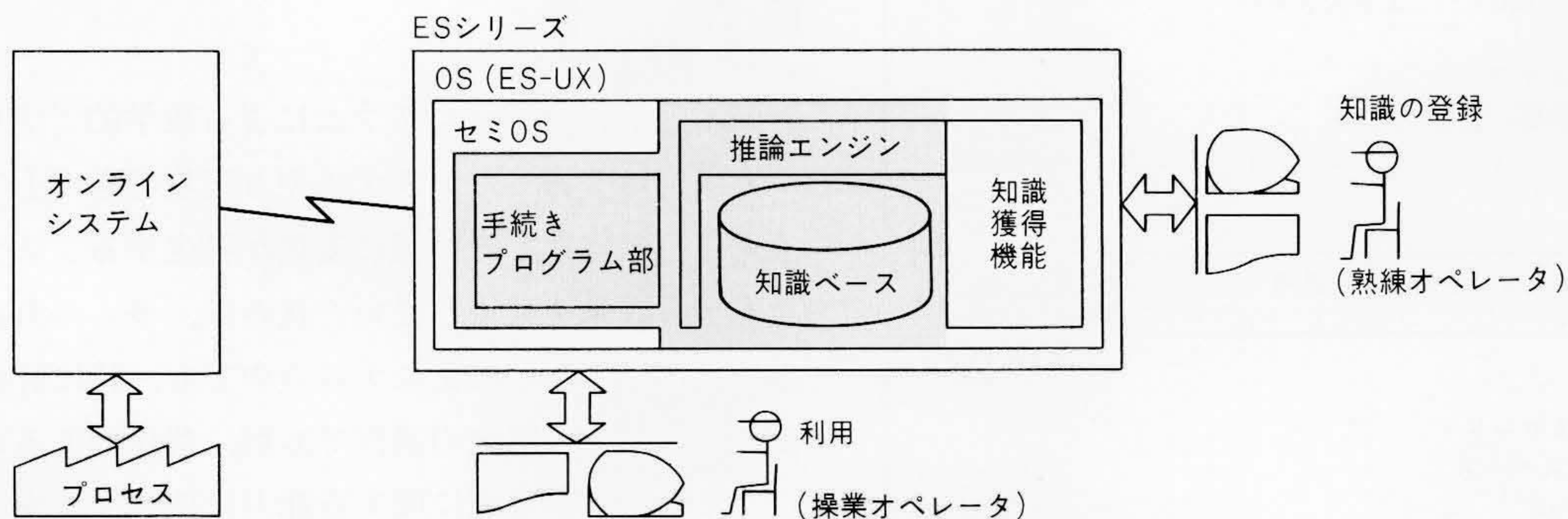
計画結果を、オペレータが判断をしやすいようにグラフィック表示している。

6 成 果

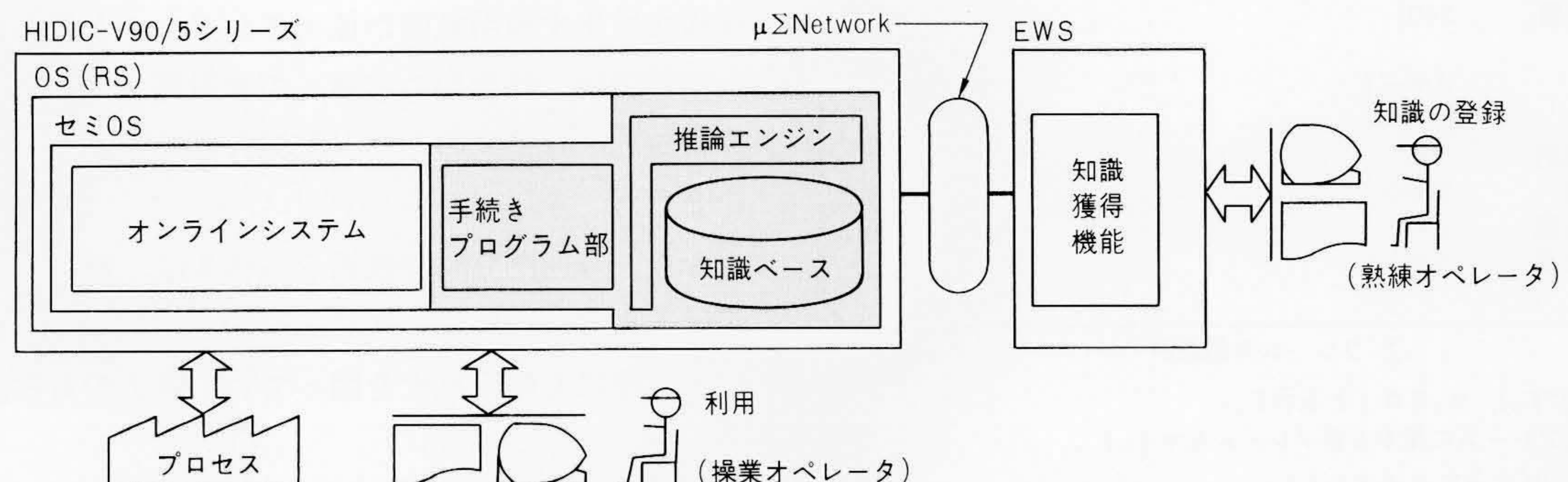
今後、実操業で長期的に計画結果および運用、保守面を評価する必要があるが、プロトタイプで過去の実績データを基にし、本エキスパートシステムの計画結果と熟練オペレータの計画結果とを比較して評価した結果、次のような成果が得られた。

- (1) 最適配置ルールなどの知識ベースを、(a) 熟練オペレータの知識の組み込み、(b) 計画実行、(c) 計画結果評価の順に繰り返しながらビルドアップして行った結果、熟練オペレータの計画結果(最適配置結果)とほぼ同一の結果が得られた。
- (2) わずかのデータ入力で、オンラインリアルタイムに入力されるデータを基に、ヤード配置計画を実行することが可能となり、かつ計画立案のための時間も短縮することができ、

(タイプ1)



(タイプ2)



注：略語説明 EWS (Engineering Work Station)

図6 ヤード配置計画エキスパートシステムの全体構成 本エキスパートシステムは、ワークステーション形(タイプ1)とリアルタイムシステム形(タイプ2)の両タイプで実現が可能である。

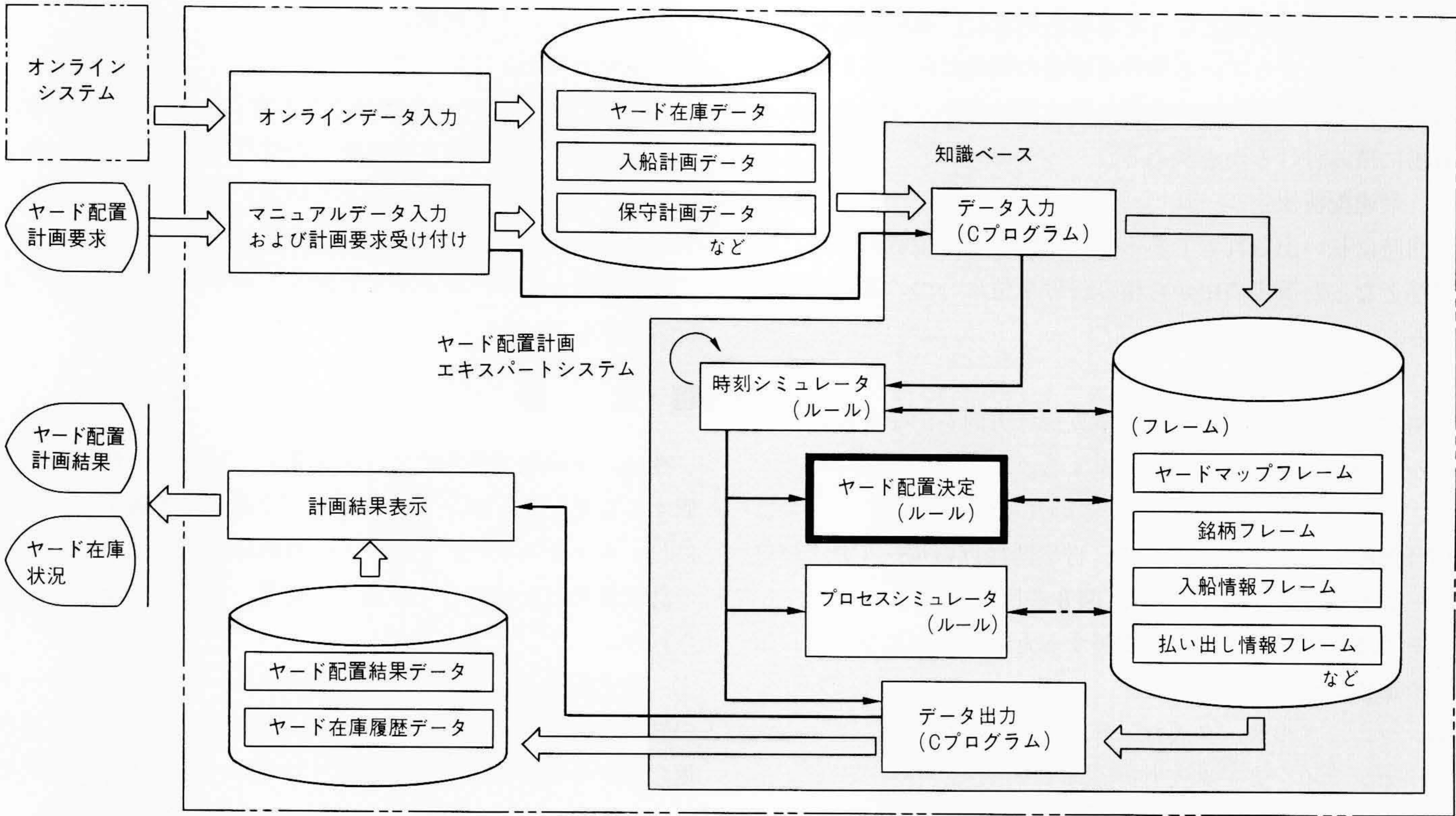


図7 ヤード配置計画エキスパートシステムのソフトウェア構成 ソフトウェアのアーキテクチャと主な処理を示す。

```
(Aヤード使用条件1
IF
  (?あるエリアの
    @class が Aヤード であり
    @状態 が スペース であり
    @左端位置 が 150 より小さく
    @右端位置 が 150 より大きい)
THEN
  (send ?あるエリア
    assign (左端位置, 150 ))
)
```

① ルールの記述例

```
(エリア1
class Aヤード
状態 スペース
在庫名柄 null
在庫量 null
左端位置 0
右端位置 240)
(エリア2
class Aヤード
状態 実在
在庫銘柄 n
在庫量 9800
左端位置 240
右端位置 330)
```

② フレームの記述例

注：? (変数を示す。), @ (スロットを示す。),
class (該当フレームの属する親フレームを示す。)
send, assign (システムメソッド)

図8 知識ベースの記述例 ヤード使用条件ルールと、対象フレームの記述例を示す。EUREKA-IIの文法に従って自然言語に近い形式で記述される。

計画業務の迅速化、省力化が期待できる。

(3) 本システムは計画形エキスパートシステムとして動作環境を標準化した結果、バッチ形にもリアルタイム形にも構成できるアーキテクチャとなった。

7 結 言

従来の手続き形プログラムによる数学的アプローチだけでは実現困難であったシステムや、実現できてもプロセスの環境条件の変化などで頻繁に変更が発生するシステムなどに知識工学の成果を利用していく試みは、多くの方面で行われてきている。こうしたシステムの中でも、特に計画業務に関するものは、問題解決の過程で直観、想像力あるいはセンスといった人間の創造性に関する能力に依存する面が大きいことから、知識工学の成果がもっとも有効に生かせる分野であり、今後ますます適用範囲が拡大されていくと思われる。

本稿では、計画形の業務への適用例として、製鉄所の製鉄原料処理プロセスのヤード配置計画エキスパートシステムを紹介した。

今後、今回開発した技術をベースに、他の計画業務への適用はもちろん、輸送スケジュール、輸送制御などのリアルタイム処理にも適用拡大を図っていく考えである。

参考文献

1) 四宮, 外: 制御用計算機による製鉄原料管理システム, 日立評論, 60, 3, 229~234(昭53-3)