

# 制御用計算機による製鉄原料管理システム

## Computer Control System for Raw Material Pretreatment Process of Iron and Steel Plant

製鉄所の製鉄原料ヤードを中心とする製鉄原料処理プロセスは、溶鉱炉（高炉）の安定操業に対し最も重要な工程であるが、この工程は、製鉄所の中で計算機システムの導入が最も遅れている分野の一つである。日立製作所では、昭和45年以来製鉄原料管理システムの開発に取り組み、多くの新鋭製鉄所で製鉄原料総合計算機システムを完成した。

このシステムは、製鉄所の広大な構内に配置された原料ヤード、原料輸送設備、貯鉱槽、整粒設備、ブレンディング設備、焼結プラント、コークス炉などを含めた高炉へ供給する原料の事前処理設備、及びベルトコンベヤネットワークを総括、一元的に管理し、製鉄工程の中核をなすものである。

この論文では、システムの概要について述べる。

四宮文人\* Shinomiya Fumito

増田崇雄\*\* Masuda Takao

### 1 緒 言

製鉄プロセスは、原料の鉄鉱石から鋼材の生産に至るまで各種の工程から成っているが、大別すると製鉄工程、製鋼工程及び圧延工程に分けることができる。

製鉄工程の中心は溶鉱炉（以下、高炉という）であるが、高炉原料を鉱石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、原料ヤード及び各貯鉱槽の在庫管理、原料輸送管理などを行ない、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操業を管理する部分が製鉄原料処理プロセスである。

製鉄原料処理プロセスは、原料受入設備、払出設備、ブレンディング設備、中継槽、高炉、焼結、コークスの各貯鉱槽及びこれらの設備の間の原料輸送を行なうベルトコンベヤネットワークから構成され、これら多数の設備が製鉄所の広大な構内に配置されている。

従来、製鉄原料処理プロセスへの計算機制御システムの導入は大変遅れており、部分的なシーケンスコントロール程度にすぎず、管理及び制御の大部分は人間に頼っていた。

日立製作所では、昭和45年以来製鉄原料管理システムが高炉の安定操業に不可欠である点、及び人件費高騰のおりから計算機システムによる合理化の効果が大きい点などに着目し、製鉄原料管理システムの開発に取り組み、製鉄原料総合計算機システムを完成した。

このシステムの目的は、広大な製鉄工程での情報の一元管理、原料処理品質及び管理水準の向上、省人・省力化、設備の利用効率の向上などである。

この論文では、これらの目的に対し実現した機能、ハードウェア及びソフトウェアの概要と特徴などについて述べる。

### 2 プロセスの概要

図1に製鉄原料処理プロセスの概要を示す。

鉱石運搬船から運ばれてきた原料（鉄鉱石、石炭、副原料など）は、アンローダによって荷揚げされ、ベルトコンベヤを経由してスタッカで原料ヤードの最適位置に積み付けられる。この作業を受入れ作業と呼ぶ。ヤードに積み付けられた

鉱石はリクレーマ（ホイールローダ）によって切り出され、ベルトコンベヤを経由して高炉、焼結、コークスの各貯鉱槽、及び整粒、ブレンディングの各中継槽へ輸送される。この場合、各槽の平均在庫レベルを高め、在庫切れが発生しないように輸送する。この作業を払出し作業と呼ぶ。整粒設備では、鉱石の破碎及びスクリーンによる篩（ふるい）を行ない、一定の粒度の精鉱は高炉へ送られるとともに、粉鉱はブレンディングして焼結工場へ送られる。

各種粉鉱は必要な成分となるように、原料をブレンディング中継槽経由ブレンディングスタッカで、ブレンディングヤードに均一な層厚に積み付けられる。この場合、ブレンディング中継槽のフィーダの制御を行ない、より均質な積み付けが必要である。ブレンディングヤードに積み付けられた原料は、ブレンディングリクレーマで切り出されることにより更に均質化され、焼結貯鉱槽へ輸送される。この作業をブレンディングと呼ぶ。

製鉄原料処理プロセスでは、鉱石のブレンディングが大変重要な業務である。原料の鉄鉱石のほとんどを輸入に頼っている我が国の製鉄所では、多品種の原料を使用しており、また立地条件により原料ヤードの面積を十分確保できない実情から、高炉を安定に操業して生産性を上げるためには、長期的に高品位の原料を安定供給することが不可欠である。このため、成分の異なる各種鉱石をブレンディングし、均質な原料を焼結することにより高品位の焼結鉱を生産し、高炉へ供給する必要がある。製鉄原料処理プロセスは一定の粒度、強度、高品質の焼結鉱、整粒鉱副原料及びコークスを高炉へ供給するプロセスである。

### 3 システムの目的と機能

製鉄原料管理システムの目的は、次に述べるとおりである。

#### (1) 製鉄工程における情報の一元管理

原料ヤード、貯鉱槽在庫量、処理実績、高炉情報、焼結情報、コークス情報、分析情報、出鉄情報、配合計画、受入情報などをオンラインリアルタイムで統括管理する。

\* 日立製作所大みか工場 \*\* 日立製作所機電事業本部計算制御技術本部

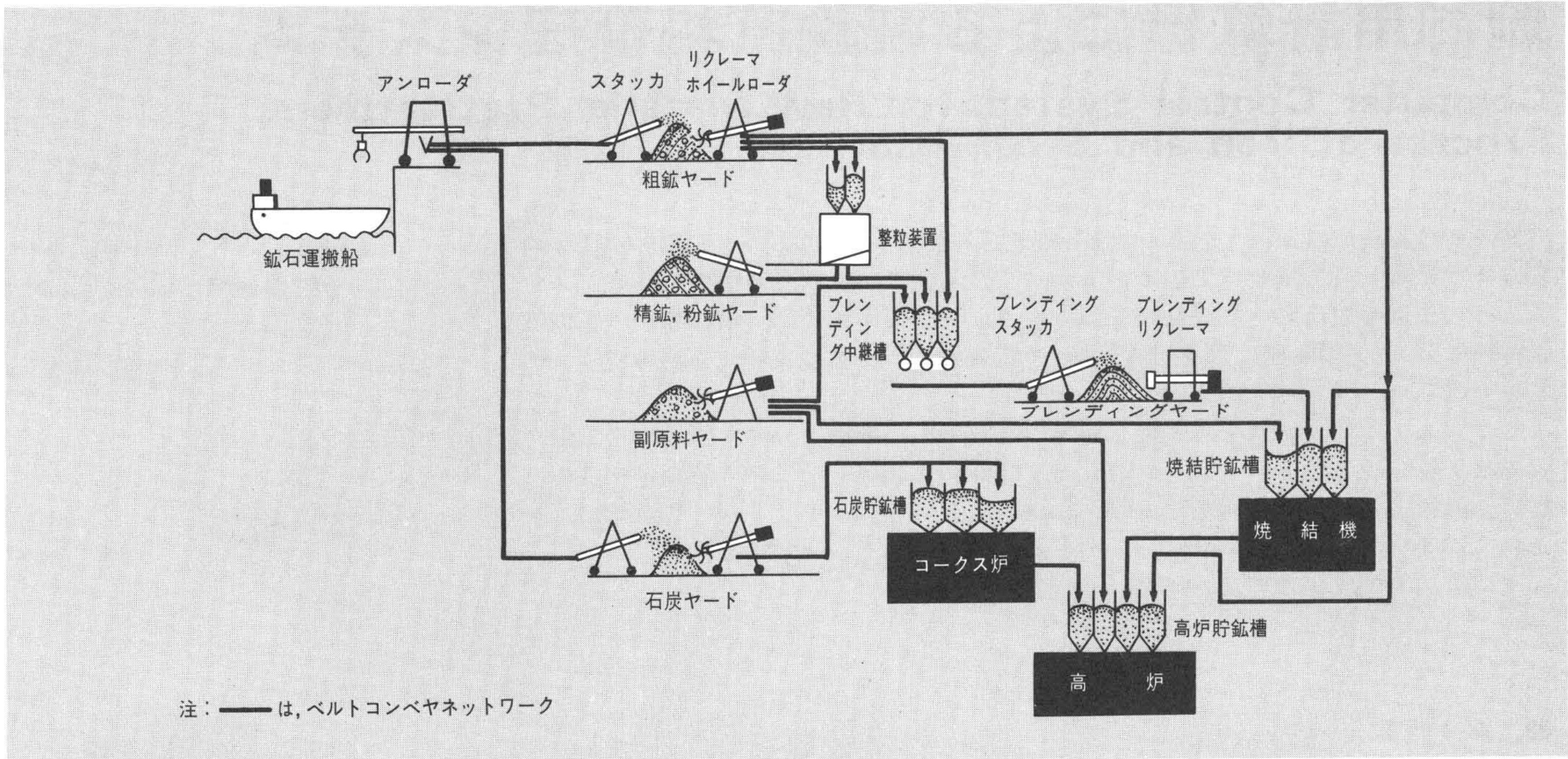


図1 製鉄原料処理プロセス 原料の受入れから高炉への供給に至るまでの原料処理フローを示す。これらの各設備は製鉄所の広大な面積の敷地内に配置されている。

(2) 原料処理の管理水準及び品質の向上

良質のブレンディングを行なうこと、高炉、焼結各貯鉄槽の平均在庫レベルを長期的に高めることなど。

(3) 省力化

ベルトコンベヤ・フィーダ・スタッカなどの自動運転、在庫管理の自動化及び各種報告書の機械化などによる省力化。

(4) 設備の利用効率の向上

受入設備、払出設備、ベルトコンベヤ、破碎設備、原料ヤード、中継槽など多数の設備を、最適スケジュールにより効率良く運転し、より有効に利用する。

これらの目的を実現するために必要な機能、及び開発した具体的ソフトウェアを図2に示す。

次に機能の概要を述べる。

(1) 原料輸送最適スケジュール

ブレンディングスケジュール、各貯鉄槽への輸送スケジュール、整粒スケジュール、受入スケジュールなど、品質、設備利用効率の向上及び各貯鉄槽平均在庫レベルを高めることを目的として作成する。

(2) 原料輸送制御

最適スケジュール結果により、従来人手に頼っていた機器の制御を、計算機による統括的な自動運転を中心とした原料の輸送制御を行なう。対象となる機器は、ベルトコンベヤ、シャトル、トリッパ、フィーダ、スタッカ、リクレマなどである。

(3) 在庫管理

原料ヤード、貯鉄槽及び中継槽の在庫状況を、銘柄、ロットナンバー、在庫量、水分、性状などで管理する。また、原料ヤードについては、3次元の立体的管理を行なうことによりスタッカ及びリクレマの自動運転に備えている。

(4) 製鉄工程にある各計算機間のオンラインリンケージ

アンローダによる原料の荷揚げから高炉出鉄までに発生、又は必要とする情報を一元管理するため、高炉、焼結、コークス、分析、アンローダ、シーケンサなどの下位計算機と、また長期生産計画、配合計画及び実績などのバンキングデ

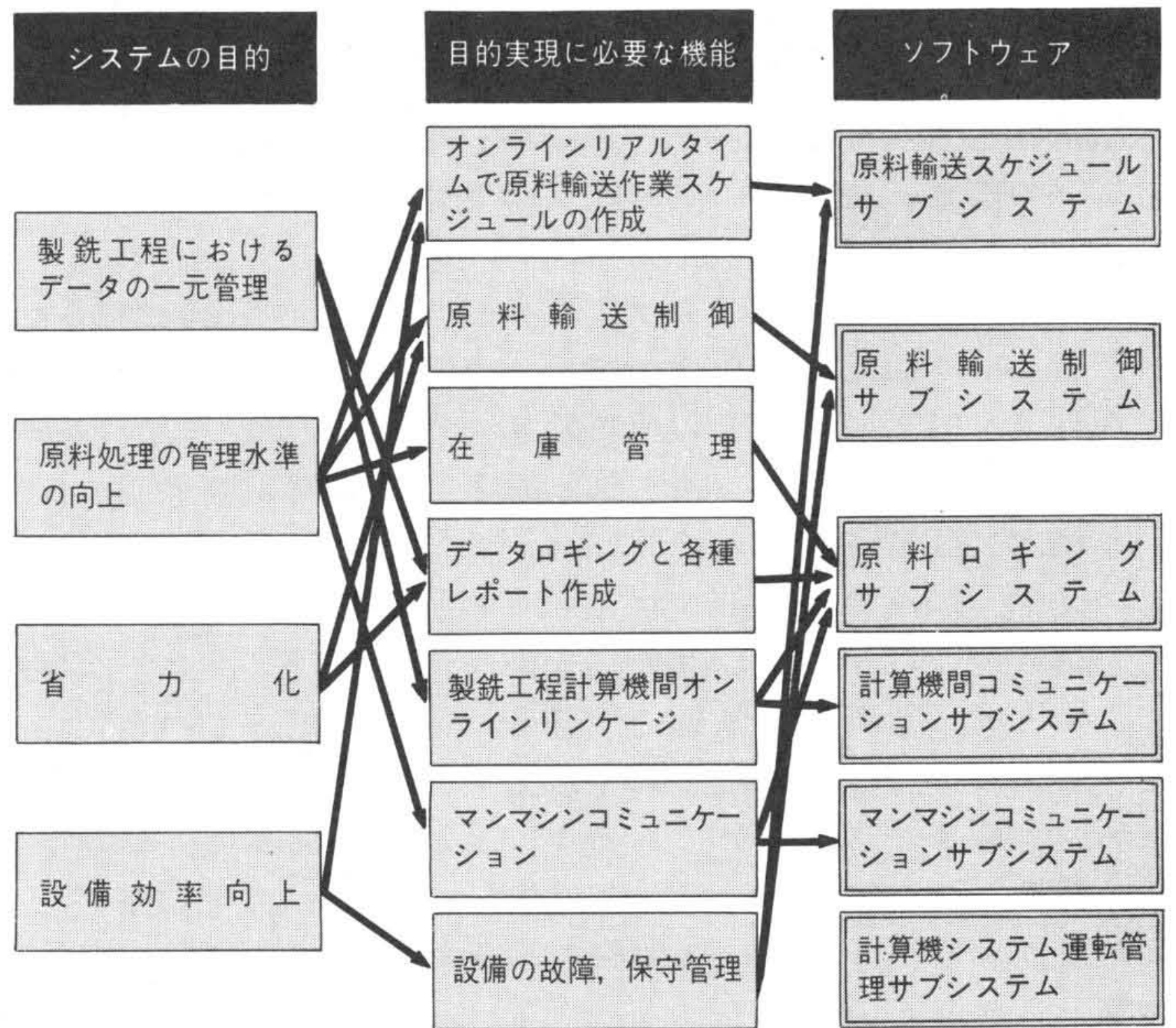


図2 製鉄原料管理システムの目的、機能とソフトウェア システムニーズと着眼点及び開発した機能、ソフトウェアを示す。

ータを上位計算機とオンラインリアルタイムでリンケージする。これらのリンケージは、データフリーウェイ(以下、DFWと略す)、データ通信回線(以下、CLCと略す)、プロセス入出力装置(以下、P I/Oと略す)などにより行なう。

(5) データロギングと各種報告書の作成

製鉄工程で扱う膨大な情報を作業報、番報、日報及び月報として自動的に作成し出力する。また、オペレータの要求により必要に応じて出力する。

(6) マンマシンコミュニケーション

計算機システムで管理している情報をオペレータが参照し、オペレータへの指示及びオペレータとの対話の機能であり、

特にこのシステムではオペレータの介入が多いことから、充実したマンマシンコミュニケーションが必要である。

(7) 設備の故障、保守及び稼働率の管理

設備は24時間連続運転であるので、計画的な保守が必要である。また設備の特性上故障も多く、全体としての稼働率を向上させるため、設備状況管理機能をもっている。

これらの機能に対し、次のようなソフトウェアサブシステムを開発した。(a)原料輸送スケジュールサブシステム、(b)原料輸送制御サブシステム、(c)原料ロギングサブシステム、(d)計算機間コミュニケーション、(e)マンマシンコミュニケーション、(f)計算機システム運転管理

以上、(a)~(f)のサブシステムと機能を表1に示す。

表1 製鉄原料管理システムサブシステムの機能 ソフトウェア、サブシステムのネーミング及び機能と処理内容を示す。

| No. | サブシステム名称             | サブシステム略称                                  | 主 機 能                                                                                                                                        |
|-----|----------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 原料ロギングサブシステム         | MLS: Material flow Logging sub System     | (1) 原料プロセス監視(トラッキング、ヤードマップ管理など)<br>(2) 在庫管理(貯鉱槽、中継槽及びヤード)<br>(3) 輸送実績管理(作業実績、設備稼働実績)<br>(4) 帳票作成(日報、作業報)                                     |
| 2   | 原料輸送制御サブシステム         | MCS: Material flow Control sub System     | (1) 輸送機器制御(ベルトコンベヤ、CFW、スタッカ、リクレーマほか)<br>(2) 原料輸送スケジュールのローカル修正<br>(3) 輸送機器衝突防止チェック                                                            |
| 3   | 原料輸送スケジュールサブシステム     | MSS: Material flow Scheduling sub System  | (1) ブレンディングスケジュール<br>(2) 槽供給スケジュール(焼結貯鉱槽、高炉貯鉱槽、石炭貯鉱槽及びブレンディング中継槽)<br>(3) 受入れ及びヤード配置スケジュール                                                    |
| 4   | 計算機間コミュニケーションサブシステム  | CCS: Computer Communication sub System    | (1) 通信回線によるコミュニケーションサポート(対 上位計算機)<br>(2) PI/O リンケージによるコミュニケーションサポート(対 下位シーケンサ)<br>(3) データフリーウェイ(DFW)によるコミュニケーションサポート(上位、下位を含めたコンピュータネットワーク用) |
| 5   | マンマシンコミュニケーションサブシステム | MMS: Man Machine Communiacion sub System  | (1) CRTによる会話形式マンマシンコミュニケーションサポート<br>(2) その他、I/O機器コントロール                                                                                      |
| 6   | 計算機システム運転管理サブシステム    | COS: Computer system Operating sub System | (1) 計算機システム異常処理<br>(2) 計算機システム構成制御(冗長系システム)<br>(3) 計算機システム回復処理<br>(4) アラーム情報、ジャーナル情報管理                                                       |

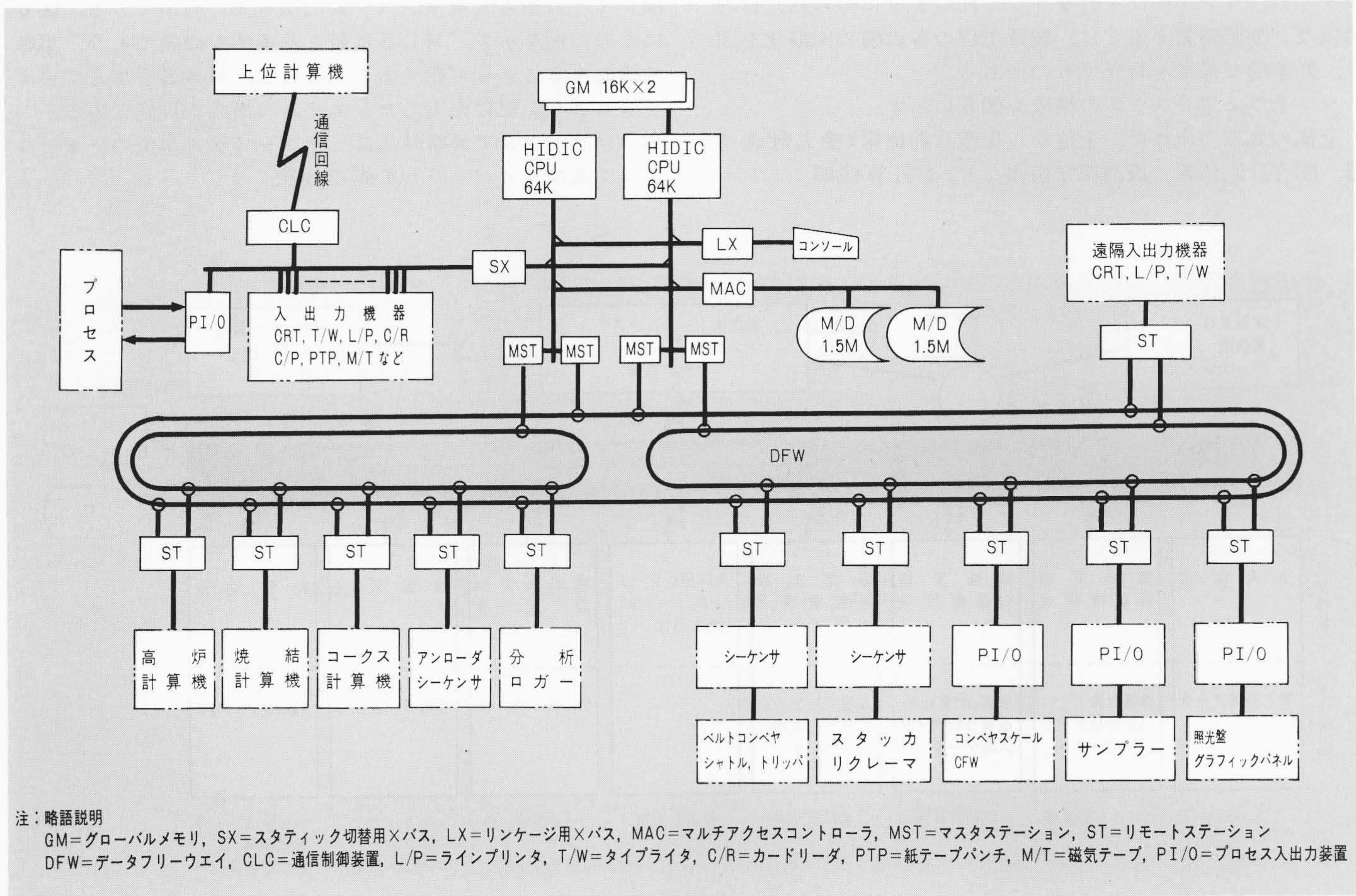


図3 製鉄原料管理システムハードウェア構成 マルチシステム、データフリーウェイ(DFW)を採用し信頼性、保守性、拡張性に富んだネットワークシステム構成となっている。

4 ハードウェア構成

図3に計算機システムのハードウェア構成例を示す。このシステムは連続運転であり、かつ増設及び改造の多い特殊性から、特に計算機システムの高信頼性、保守性及び拡張性を確保する必要がある。このため、処理装置(CPU)、磁気ドラム記憶装置(M/D)、プロセス入出力装置(P I/O)、データフリーウェイ(DFW)など主要装置を二重化し、デュアル又はデュプレックス構成としている。

5 本システムの位置づけと情報伝送システム

このシステムは製鉄工程の中枢にあって、製鉄所トータルシステムの1サブシステムを構成するものである。

図3に示すように、DFW、CLC、P I/Oなどにより各計算機間のコミュニケーションを行なうものである。

主な情報の伝送を図4に示す。このシステムは、製鉄工程の情報の一元管理と製鉄所トータルシステムの1サブシステムとして、各種情報のスイッチングを行なうものである。

6 ソフトウェア構成と処理内容

6.1 ソフトウェア構成

このシステムの概念図を図5に示す。システムは、製鉄所の中央計算機である上位計算機から生産計画を受信し、これをもとに原料処理スケジュール、原料輸送スケジュールを作成し、これらのスケジュールをもとにプロセスの諸設備を制御する。

また、製鉄工程での情報の一元管理を行なうために、高炉、焼結、コークス、分析などの各計算機とオンラインリアルタイム、リンケージを行なう。これによって得られた管理情報及び制御情報をもとに、製鉄工程の各設備の同期化を図り、効率的な操業を行なうものである。

ソフトウェアシステムの構成を図6に示す。

全体の処理の流れは、上位から生産計画情報(受入計画情報、配合計画情報、設備保守情報など)が計算機間コミュニ

ケーションサブシステム(以下、CCSと略す)を経由して入力され、原料輸送スケジュールサブシステム(以下、MSSと略す)で在庫量、設備効率、設備稼動状況などを考慮して最適輸送スケジュールを作成する。このスケジュールに従って、原料輸送サブシステム(以下、MCSと略す)が輸送機器の制御を行なう。制御出力をシーケンサに対して行なう場合は、CCSを経由して行ない、シーケンサをもっていない場合はMCSから直接P I/Oに出力する。プロセスからの入力情報は、原料ロギングサブシステム(以下、MLSと略す)で処理し、原料トラッキングなどのプロセス及び輸送監視、在庫管理、設備現況の管理、日報・月報・番報出力などの処理を行なう。MSSは定期的にスケジュールを見直し、常に最適なスケジュールを維持できるようにしている。またMLSでは、常時プロセスからの情報を取り込み、プロセス状態管理と在庫管理を行ない、定時又はオペレータの要求時に帳票を作成し出力する。また、長期生産計画立案に必要な現況、実績などの情報は、MLSからCCSを経由して上位計算機へ送信される。

このほか、カラーCRT(Cathode Ray Tube)を中心とする本格的会話型マンマシンコミュニケーションサブシステム(以下、MMSと略す)、デュアル又はデュプレックス(ロードシェア)の計算機構成制御及びシステム異常回復処理などの機能をもつ計算機システム運転管理サブシステム(以下、COSと略す)がある。

以上述べたソフトウェアサブシステムの特徴は次に述べるとおりである。

- (1) 主要機能単位に、サブシステム化及びモジュール化しているので、ニーズに合わせてビルディングブロック式に小規模システムから大規模システムに至るまで適用できる。図6にその一例を示す。MLSは最も基本的な機能であり、単独で構成することも可能であるがMCS、MSSを加えていくことにより、更に充実したシステムの構成が可能である。
- (2) ソフトウェア異常時には、サブシステム単位のフォールバック及びリカバリーが可能である。

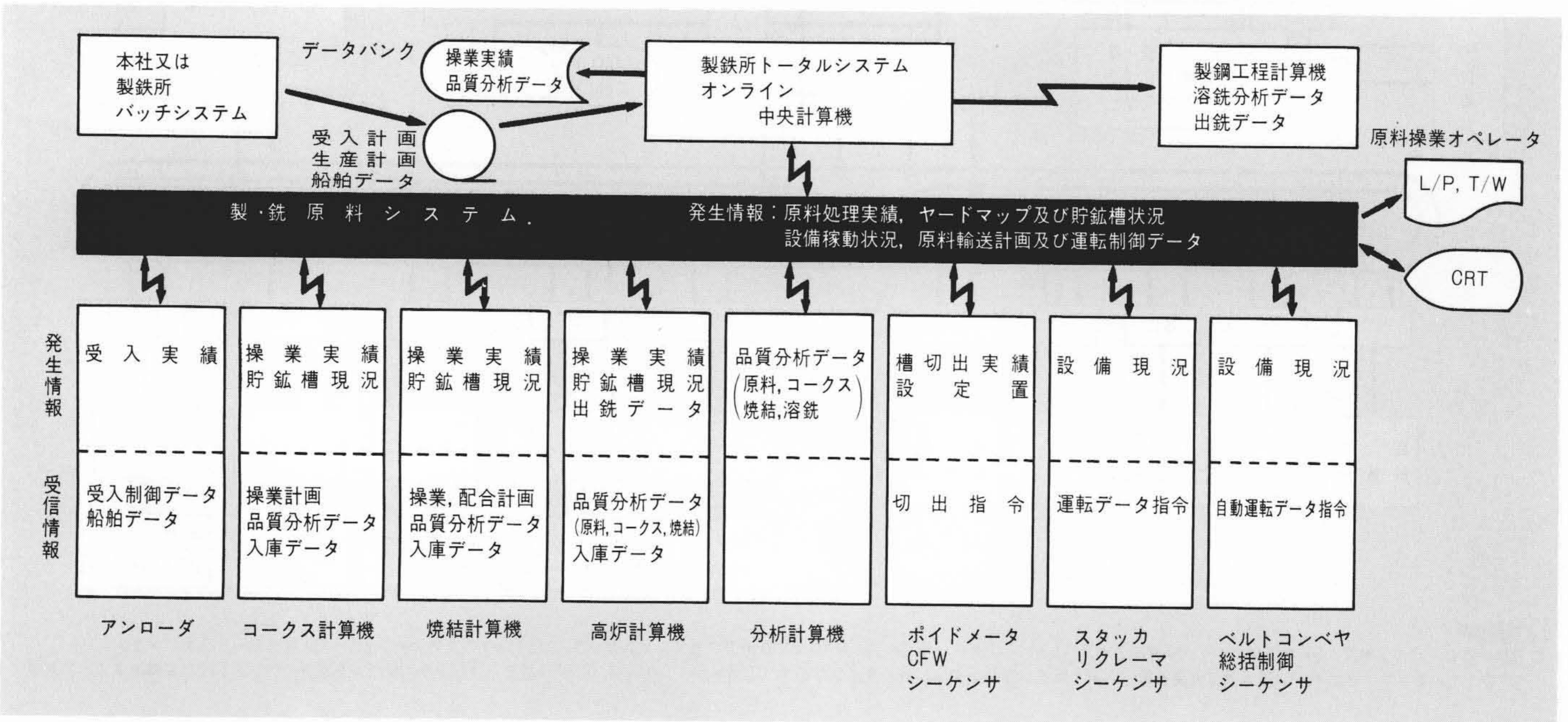


図4 製鉄原料管理システムの情報伝送 製鉄工程情報のオンラインリアルタイムでの一元管理の状況と、製鉄原料管理システムの位置づけを示す。

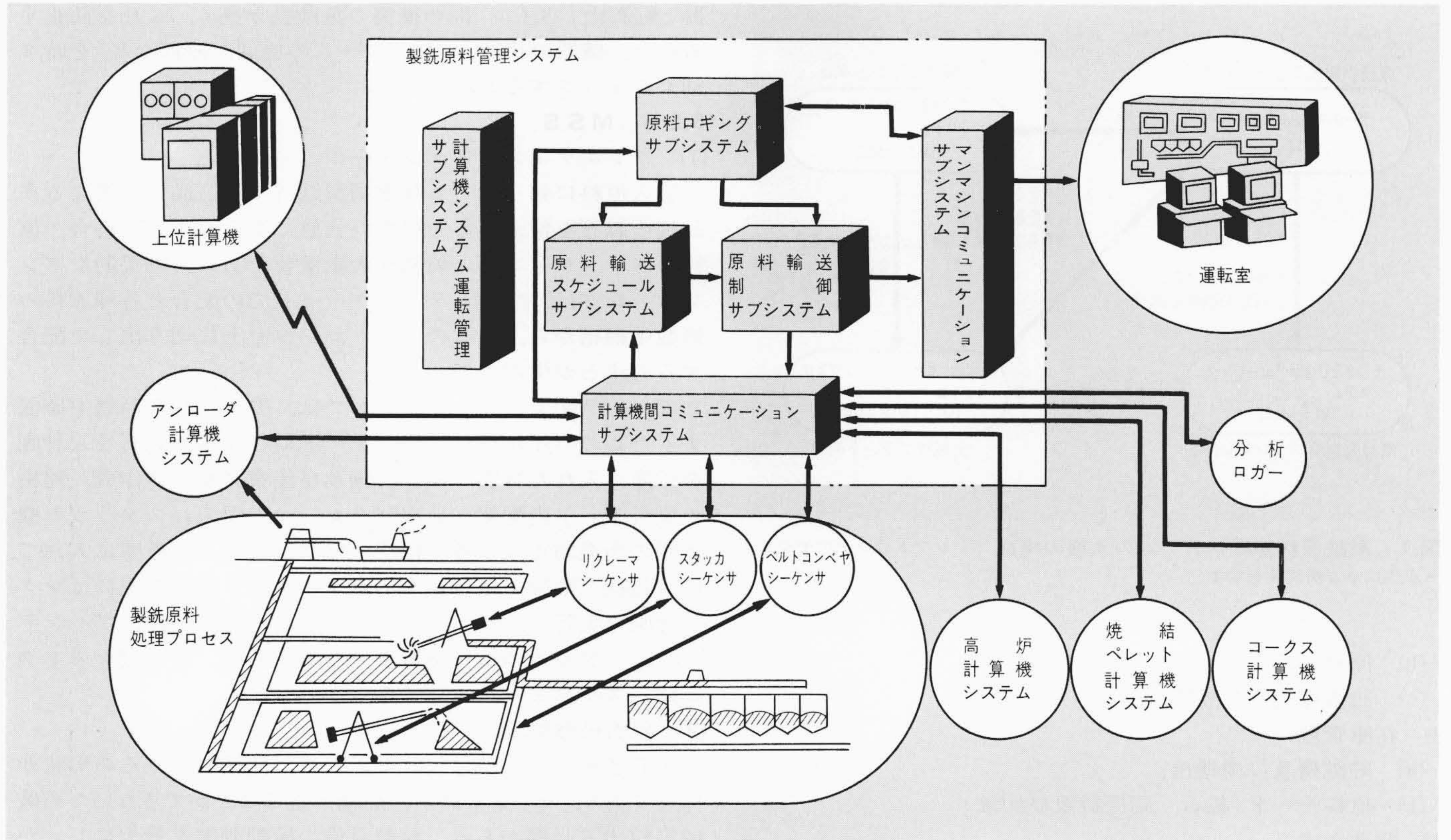


図5 製鉄原料管理システム概念図 ソフトウェアの構成とプロセスの関係を示す。

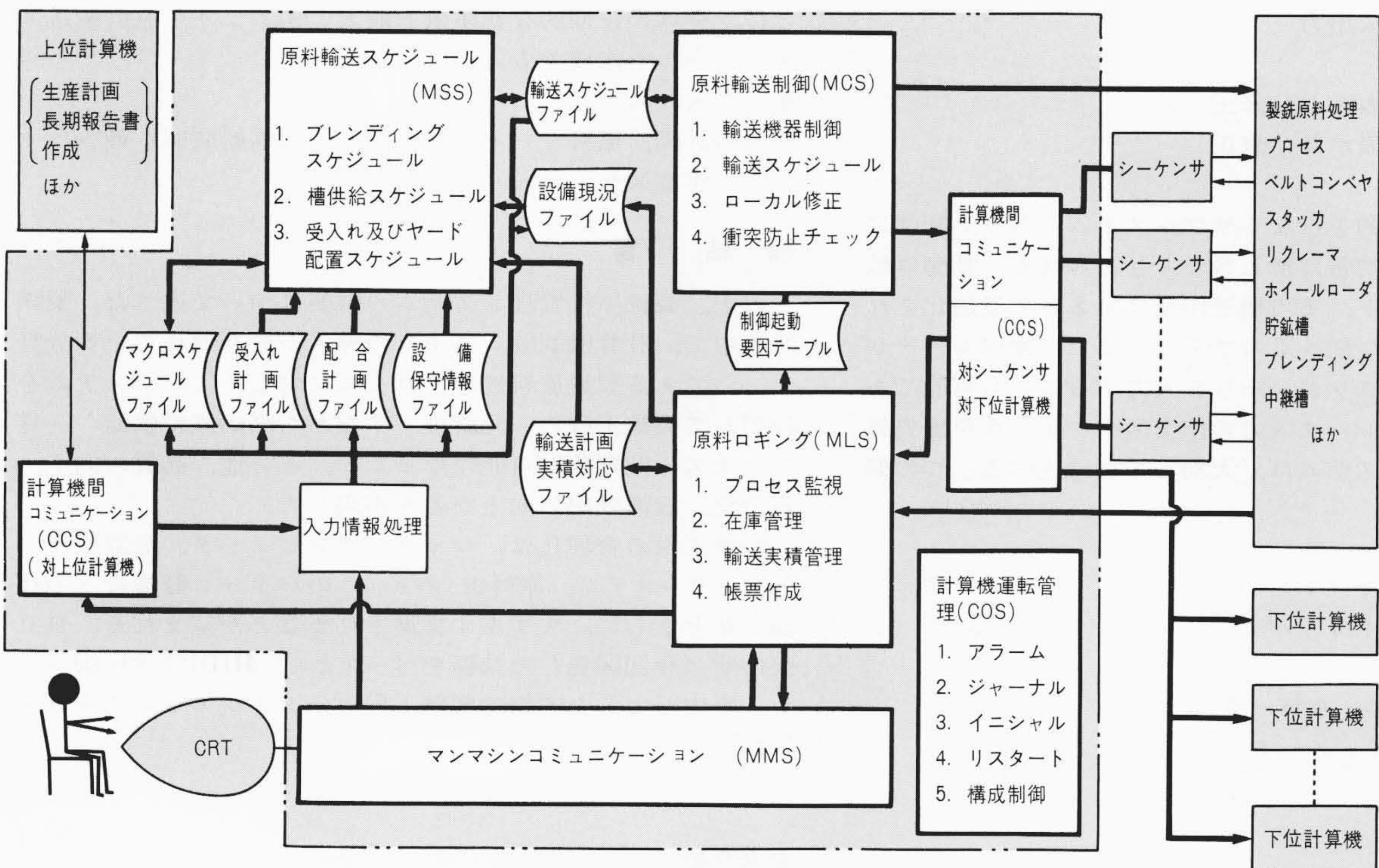


図6 製鉄原料管理システムソフトウェア構成 ソフトウェアのアーキテクチャと主要機能を示す。

## 6.2 各サブシステムの処理内容

### 6.2.1 MLS

MLSは、独立したデータロギングシステムとしても動作可能であり、プロセス情報収集及び原料トラッキングから帳票作成まで次の五つの処理を行なう。

#### (1) プロセス監視

- (a) 輸送機器稼動状況監視
- (b) 輸送原料のトラッキング
- (c) ヤードマップの3次元管理
- (d) 設備保守管理
- (2) 実績管理
  - (a) 輸送作業実績

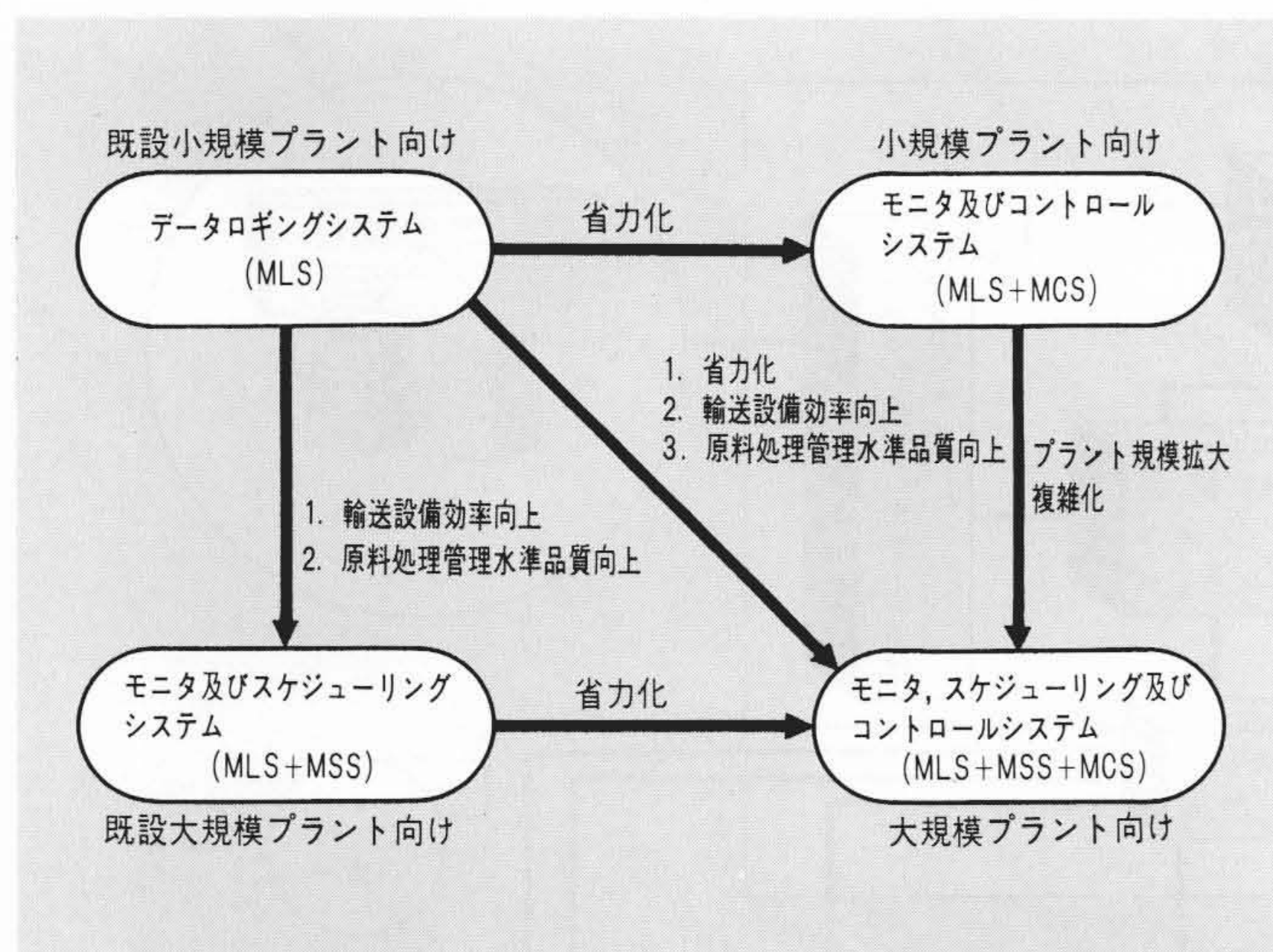


図7 製鉄原料管理システムの4種の構成 ソフトウェアのモジュール化による構成例を示す。

- (b) 原料処理実績
- (c) 設備稼動及び故障実績
- (3) 在庫管理
  - (a) 貯鉱槽及び中継槽
  - (b) 原料ヤード(鉱石 副原料及び均鉱)
- (4) 帳票作成
  - (a) 日報、月報及び番報
  - (b) 作業報
  - (c) メッセージロギング
- (5) マンマシン情報入出力
  - (a) 在庫表示
  - (b) ヤードマップ表示及び修正
  - (c) 帳票データの表示及び修正

## 6.2.2 MCS

原料輸送機器の制御を行なうサブシステムであり、制御に必要なプラント入力情報はMLSから与えられる。制御は輸送作業単位に行なうが、その輸送作業はMSSで最適化された作業スケジュールに従うものである。また、オペレータがCRTから輸送作業スケジュールを入力することも可能であり、この場合、オペレータ入力の作業スケジュールを優先処理する。このサブシステムは、大別して次に述べる三つの処理機能をもっている。

### (1) 輸送機器制御

- (a) ベルトコンベヤ
- (b) シャトル及びトリッパー
- (c) スタッカ
- (d) リクレーマ(ホイローダ)
- (e) フィーダ(ポイドメータ)
- (f) ダンパ
- (g) サンプラー

などを直接制御する。

### (2) 原料輸送作業スケジュールのローカル修正

輸送作業が輸送機器の一時的な故障、能力のばらつき、オペレータの介入などのために、スケジュールどおりに進行しないことがあるが、このような場合は、設備の状況、在庫量などを参照し輸送作業の進捗状況に合わせてスケジュールのローカル修正をする。

### (3) 移動機器の衝突防止

スタッカ、リクレーマなど移動機器は、機器相互間及び機

器と鉱石山(パイル)間の衝突の危険性が高く、これを防止するため、機器の状態(位置、ブームの旋回、俯仰など)を時々刻々チェックする処理である。

## 6.2.3 MSS

### (1) ブレンディングスケジュール

輸入原料に頼っている我が国製鉄所では、品位の異なる多品種の鉱石を使わざるを得ない状態であるが、この場合、原料のブレンディングと焼結が大変重要である。効果的なブレンディングは、ブレンディングヤードでの配合と各種原料の複数中継槽から、1本のベルトコンベヤ上に切り出して配合する方法とが併用される。

ブレンディングスケジュールでは、要求される品質を確保するためのパイル積付計画、ヤードの在庫量、鉱石受入計画を考慮に入れた日別の積付計画及び作業ノルマの作成、銘柄の原料ヤード内配置、払出リクレーマと受入れスタッカの機体間の衝突防止及び各銘柄間の化学反応などを考慮に入れて積付銘柄の順列と積付量を決定するマクロ計画、更にはマクロ計画を実行し、ブレンディングホッパの在庫量、ブレンディングスタッカの積付位置などを考慮して、時々刻々のミクロ輸送スケジュールを立てる。

### (2) 鉱石破碎処理スケジュール

鉱石運搬船から受け入れた鉱石は、銘柄によりその形状が様々であり、そのまま高炉、焼結へ送ることができないため破碎整粒する必要がある。整粒設備の稼動効率を最大にし、かつ後工程の需要を満足するスケジュールの作成を行なう。

### (3) 貯鉱槽への輸送スケジュール

高炉、焼結などの各貯鉱槽の現在の在庫量と需要予測をもとに、全体の長期的な在庫量を最大とするような原料輸送スケジュールを作成する。

### (4) 受入れスケジュール

入船計画、原料ヤードの利用効率及び滞船時間を最少にするよう作業スケジュールを作成する。

## 7 結 言

以上、製鉄原料管理システムの概要について述べた。製鉄所の中で、計算機制御システムの導入が最も遅れている分野の一つである製鉄原料処理プロセスに対し、このシステムを適用して製鉄工程の一元管理、すなわち高炉原料供給の一貫プロセスの同期化が可能になったが、その他、品質の向上、省力化、設備効率の向上などを実現した。

製鉄工程の合理化は、マイクロコンピュータ、分散型ネットワークシステム、原料山(パイル)のパターン認識などの技術革新とともに、ますます推進されることが望まれる。日立製作所は今回開発した技術をベースとし、HIDIC 80/08システムを中心とした本格的製鉄工程トータルシステムの完成を目指している。

## 参考文献

- 1) 久保、小坂：鉄鋼プラントにおける計算機制御システム、日立評論、58、445 (昭51-6)
- 2) 三巻ほか：計算機制御における最適化及びシミュレーション技法、日立評論、58、485 (昭51-6)
- 3) 平子ほか：制御用計算機ネットワークシステム、日立評論、58、491 (昭51-6)
- 4) 四宮、井原ほか：製鉄所の製鉄原料ヤード総合計算機制御システムについて、電気学会電力応用研究会資料、EPA-76-10 (昭51-6)