

最近の高炉計算機制御システム

Recent Computer Control Systems for Iron Blast Furnace

高炉プロセスは従来ブラックボックスとされ入力-出力の熱精算的な制御しか行なえなかったが、近年高炉解体調査により炉内反応プロセスの解析が進歩し、モデルの急速な進歩が見られ、新しい制御性能への期待が強まった。一方、高炉の大容量化が進行するにつれ多量の情報を監視する必要性が生じ、マン・マシンの向上が高炉計算機システムに要求されている。これらのニーズを満足させ、高炉プロセスに合った拡張性、保守性に富むシステムについて詳述し、更に高炉計算機システムの将来方向についても言及する。

満岡弘雄* Mitsuoka Hiroo
野瀬正照* Nose Masateru
臼井敏雄** Usui Toshio
滝川悟郎*** Takigawa Gorô
増田崇雄**** Masuda Takao

1 緒言

高炉は生産性の向上、生産コストの低減から、大容量化が進んでおり、最近では4,000m³を超えるものが一般的になってきた。高炉大型化は同時に事故時の費用損失、機会損失の増加を危惧させる結果となり、管理精度の向上が必要となってきた。したがって、監視点の増加、制御範囲の拡大が生じたが、多数の計器監視を行なう要員増によるコストアップを抑え、更に質的には複雑に加工されたデータを制御指数として用いる必要性が出たことから計算機制御の重要性が増し、計算機制御システムが新規、改修高炉に導入されてきている。一方、高炉改修の機会を利用して炉内反応の解明が続けられモデルの精度も向上し、データ処理の複雑さも増している。以上の結果として計算機へ要求される機能も増加する傾向にあり、これを動かすためには、従来のロガーでは不十分で、本格的制御用計算機が導入されるようになってきた。

このような背景にあって高炉計算機制御システムに課せられた使命は、多数の監視点管理手法の提供、計算機による的

確な制御、オペレータとの容易なマン・マシンの提供など、従来の高炉計算機に比べて拡大しつつある。

2 高炉プロセスと計算機制御

高炉は製鉄所で生産される製品の基本となる銑鉄を供給するプロセスであって、その出銑量の増減及び銑鉄コストは製鉄所全体の生産計画及び収益に大きな影響を与える。そのため、高炉は安定した生産計画に基づく銑鉄の供給を安価に行なわねばならない。高炉プロセスの制御性の向上は、こういった高炉の体質を踏まえて操業管理精度の向上に貢献すべきものとして大きくクローズアップされてきている。

2.1 高炉プロセスの概要

高炉プロセスは図1のように大きく秤量、装入、高炉、熱風炉及び出銑滓に分けられる。秤量、装入は整粒鉱、焼結、ペレット、コークスなどの各工場から供給される原料を生産計画に合った配合で炉内に装入しなければならない。また原

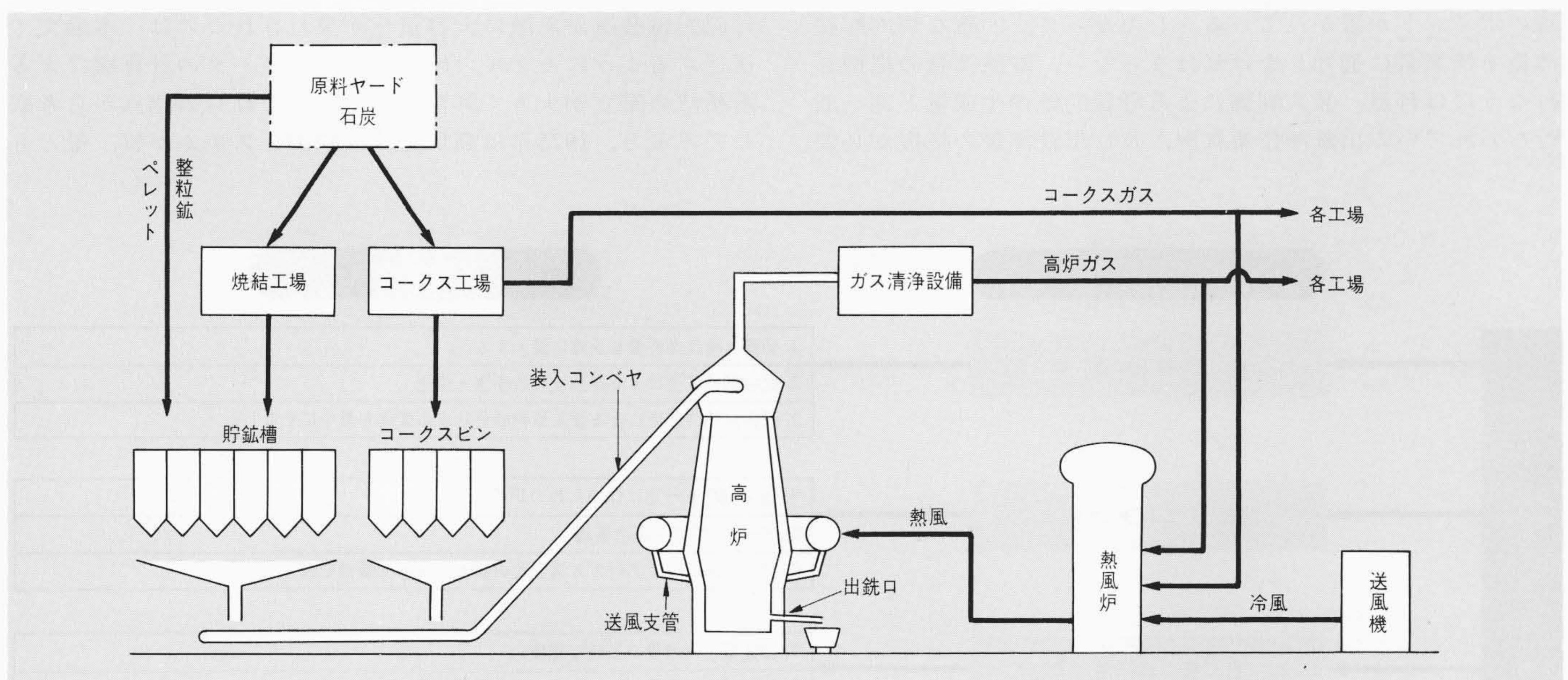


図1 高炉プロセス概略構成図 高炉プロセスは原料、装入設備、高炉本体、熱風炉、高炉排出ガス清浄設備及び統括制御システムにより構成される。

* 新日本製鐵株式会社君津製鐵所 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立エンジニアリング株式会社
**** 日立製作所機電事業本部計算制御技術本部

料の高炉への装入プロセスには高炉全体からみると生産性向上、及び燃料比低下を目的とした高圧操業を維持する均排圧制御が必ず伴っている。更に装入プロセスには装入原料量の正確な把握と、炉状況の変化に伴う各原料の配合比と鉱石、コークス装入割合、量の変更が含まれている。

高炉本体は炉内の通気状況、熱レベルの監視により装入原料量、及び銘柄の変更、吹込重油量、加湿量、酸素、送風温度の変更を行なわねばならない。更に設備的に炉体レンガ、炉底レンガの侵食が操業に密接に関連しているという高炉本来の特質に合わせてきめ細かい監視が必要である。高炉監視は従来、アナログ計装のトレンドレコーダ、記録計で行なわれていたが、大容量高炉になると監視点が300～400点に達し、記録計又はデータロギングによる監視では炉状況の全体傾向、長時間の傾向などを把握することが非常に難しくなっている。また近年の輸入鉱石、及び石炭価格の高騰がコストプッシュ要因として大きな負担になってきており、対抗手段として高炉燃料比低下が大きくクローズアップされている。こういった背景では高炉操業の安定化が必須条件である。

熱風炉は約1,300℃前後の熱風を高炉に供給する装置であり、通常3基又は4基の炉で構成されている。熱風炉は燃焼室、蓄熱室に分かれ、送風、燃焼を蓄熱状況に応じて交互に繰り返すものであるが、この燃焼に使われるガス量は膨大で熱効率の向上は重要な管理項目である。したがって、蓄熱状況に応じた燃焼ガス量、及び燃焼時間の制御が非常に重要である。更に燃焼中最高温度に達するドーム部のレンガは、そのクリープ特性に応じて温度管理を十分に行なっておく必要があり、燃焼制御のポイントにもなっている。また高炉に供給する熱風の温度はこのドーム温度に比例しており、送風温度の人間による制御は安全係数を過大にとりがちで熱風炉の設備能力を十分に活用しきれない傾向がある。この点においても計算機制御の必要性がでてくる。

出鉄滓管理は大型高炉の操業安定化の重大な要素として認識されており、最近では炉内の貯鉄滓量を出鉄滓作業のスケジュール調整によっていかに少なくし得るかということに管理のポイントが置かれている。したがって、的確な炉内貯鉄滓量を操業者に通知しなければならない。貯鉄滓量の把握を行なうには秤量、装入制御による理論的鉄滓生成量と刻一刻行なわれている出鉄滓作業状況、及び出鉄滓量の把握が必要

である。また正確な貯鉄滓量の管理は高炉から転炉、あるいは高炉滓処理場間における運行管理の高効率化が期待される可能性を含んでいる。

2.2 高炉計算機システム

高炉プロセスにおける計算機の導入は、初期においてはデータロガー、中期では秤量機の流込み補正、原料水分補正、トラッキングなどが行なわれてきた。更に新日本製鐵株式会社堺製鐵所を中心とした炉内熱レベルを推定するモデルが開発されるに至ってデータロガーの域を脱し始めた。更に昭和40年代後半の新日本製鐵株式会社広畑製鐵所第1高炉、及び洞岡第4高炉での解体調査で軟化融着帯概念が明確になり、新しい炉内ガス制御へと大きく前進したのである。

以上炉内反応の解明、及び高炉の大容量化に伴い、図2に示されるような高炉プロセス制御の全体構成ができ上がってきた。また計算機面から見ると大容量化に伴う情報の増大に対処するため、従来のオペレータズコンソール方式よりマン・マシン性向上を図らねばならない。高炉監視手段としての記録計に代わるパターン認識手段の提供、情報量が膨大となるので、計算機内データ管理手法としてのデータベースの確立等があげられ、高炉計算機システムはプロセスの重要度からもダウンの許されないシステムであり信頼性の向上、拡張性の容易さも図らねばならない。今まで高炉計算機システムの全体構成を述べたが、高炉の大容量化に伴って計算機システム規模の拡大志向が強くなってきていることは図3によっても明らかである。

同図に示されるように炉内容積は、1965年以後急速に大容量化が進行している。1965年以前は2,000m³以下で計算機システムもコア容量8k語ぐらいで外部記憶装置も付いていなかった。そのため、システムの機能もデータロギングと秤量制御中の秤量値設定程度であった。

炉内容積の拡大が加速したのは、1968年に3,000m³の高炉が出現して以来約5年ごとに1,000m³ずつ拡大していったのである。この炉内容積の拡大に計算機システムはコア容量の拡大が比例しているが、外部記憶装置の拡大は追従していない。外部記憶装置が急激に大容量化が果たされたのは、本論文で後述するようにモデルの確立と時系列データの計算機による解析法の確立が大きく影響している。これらの諸点から考察してみると、1975年は高炉計算機制御システムが質、量とも

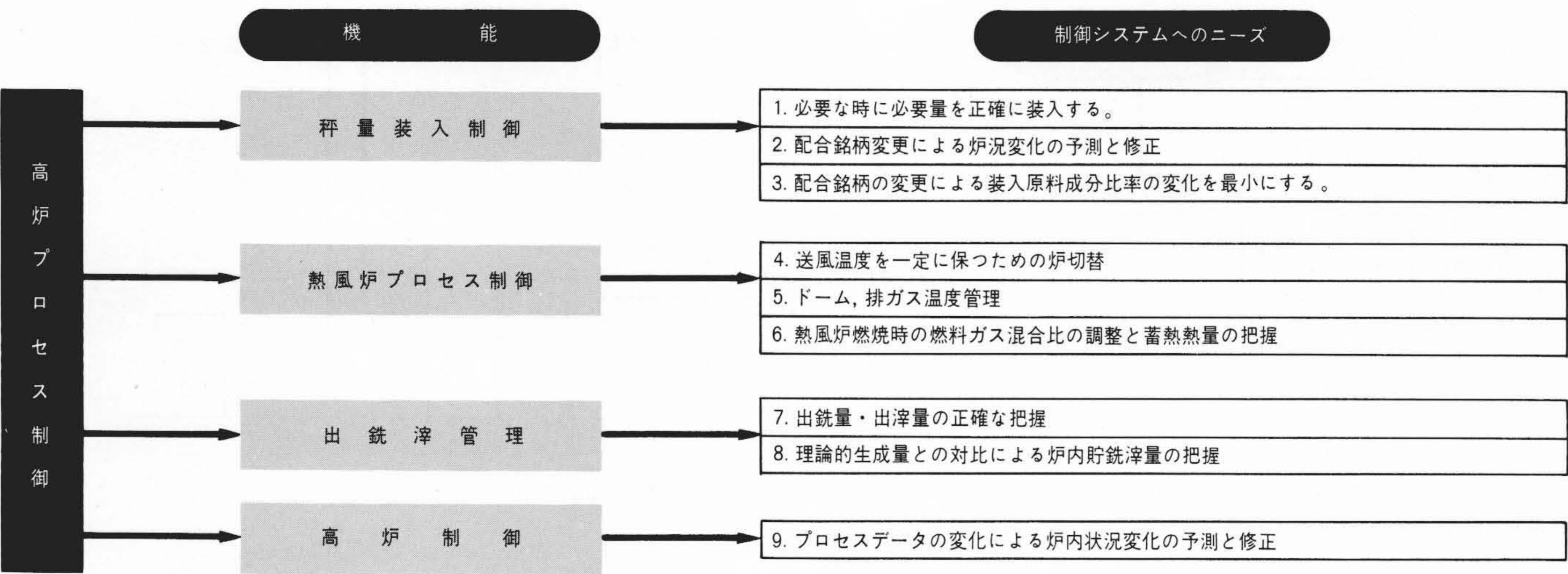


図2 高炉プロセス制御の構成 高炉プロセス制御は、装入と熱風の制御及び出鉄量と高炉本体の制御によって得られる。

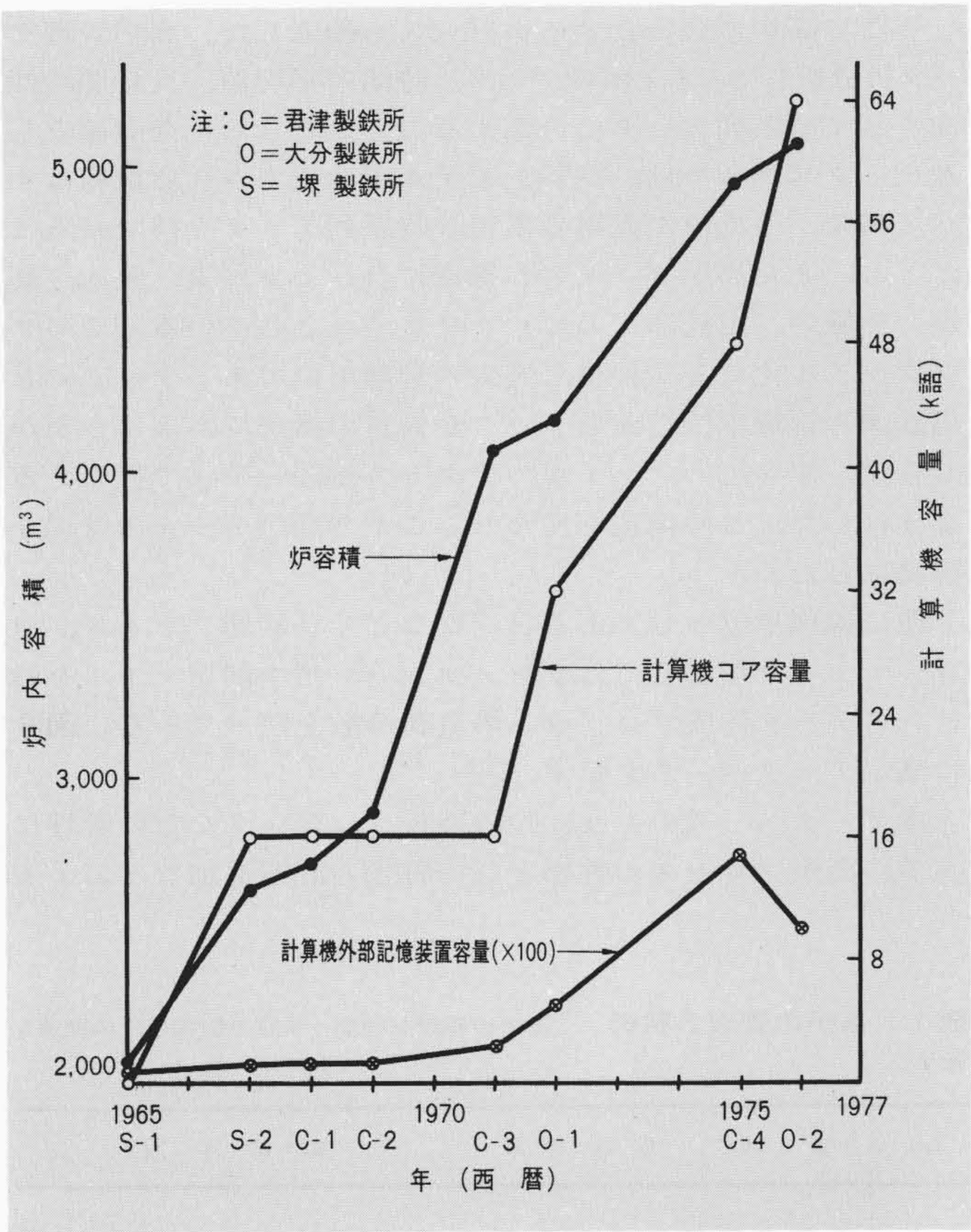


図3 新日本製鐵株式会社代表高炉容積と高炉計算機システムの変遷 高炉計算機システムは、高炉本体の大容量化に伴いシステムの規模が拡大している。

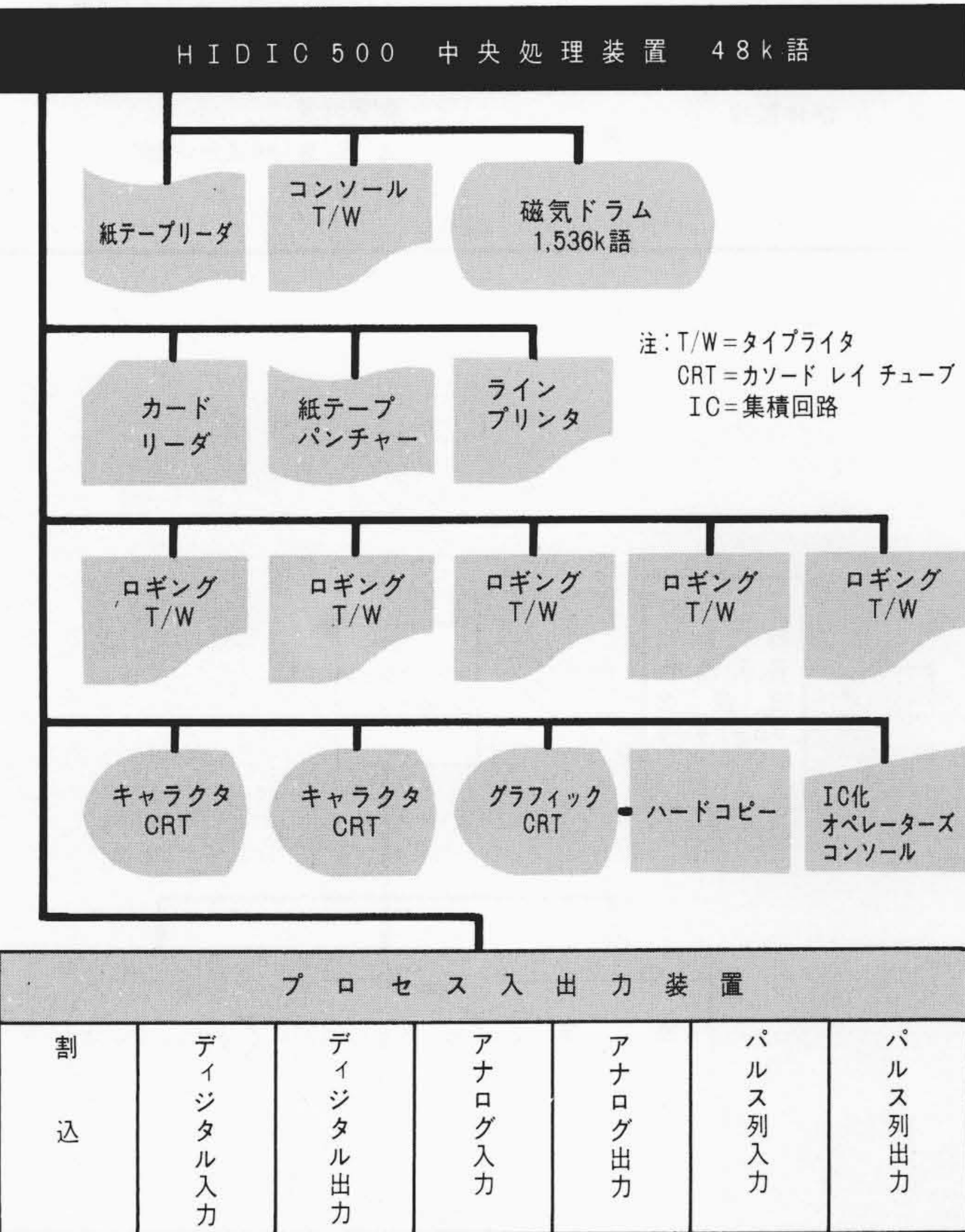


図4 高炉計算機システム構成図 本論文で詳述しているシステムの構成図を示す。

に急速に拡大した年と言える。

3 高炉計算機制御システムの内容

以上述べてきた高炉計算機制御システムを実現するための手法を以下に紹介する。図4で本論文にて紹介するシステム構成図を示し、図5で最近の高炉計算機制御システム構成について説明する。

高炉計算機制御システムのハードウェアは、一般的にコア容量が64k語、外部記憶装置には高炉プロセスが腐食性ガス、塵埃が多いという特徴から密閉型ドラム(1,536k語)を採用している。しかし、外部記憶装置の大容量化に伴いディスクの採用も目立ち、今後はディスクの採用が多くなると考えられる。磁気テープ装置は計算機システムの機能拡大、規模の拡大によりプログラム容量が大きくなり、外部記憶装置のダウン後の回復に時間がかかるようになってきているので、ダウン回復時間の短縮のため採用している。

また、計算機とオペレータのマシ・マシコミュニケーション機器としてタイプライタ、キャラクタCRT、グラフ

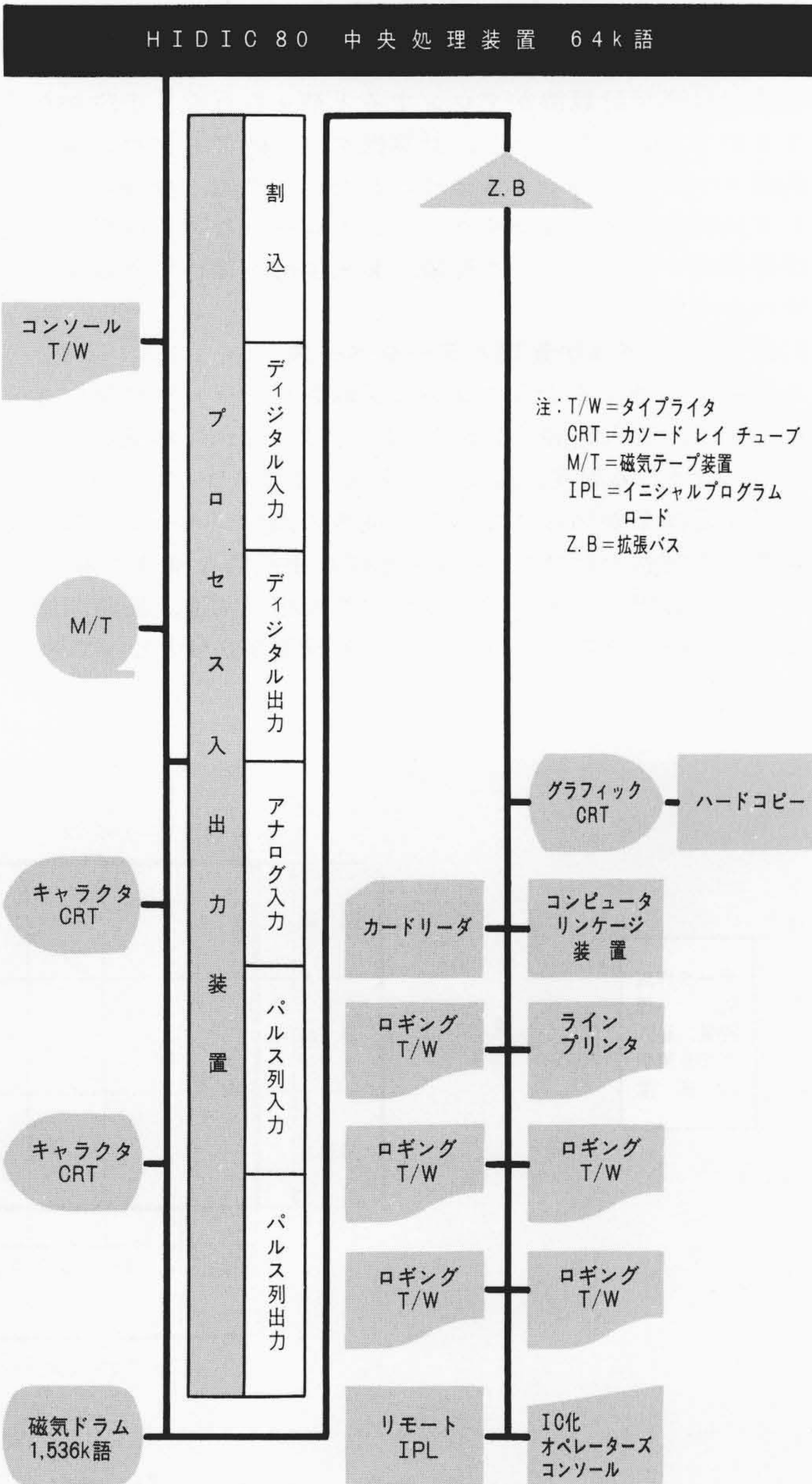


図5 最近の高炉計算機制御システム構成図 最近設置された高炉計算機制御システムの構成例を示す。

ックCRT，オペレータズコンソールを採用している。これらの機器は，ソリッドステート化を極力進め高信頼化を図り，かつ保守性の向上を図っている。その他高炉プロセスの状況を把握し，制御を行なうためにプロセス入出力装置を持ち下記の点数を持っている。このうちアナログ入力が増加の傾向を示している。

- (1) アナログ入力：約600点
- (2) デジタル入力：約960点
- (3) デジタル出力：約480点
- (4) 割込入力：約120点
- (5) パルス列出力：約60点
- (6) パルス列入力：約20点

3.1 秤量，装入制御

秤量，装入は従来より水分補正，流込み補正，トラッキングが行なわれてきたが，あくまで炉状況³⁾は人が監視，判断して装入銘柄，量を決定し指示していた。これを計算機に炉状況を監視させ，炉状況の変化をキャッチするとモデルは増減鉅骸アクションとしてダイナミックに装入量の変更を行ない，炉況異常に未然防止を行なわせるようにした。

また制御方式としてはDDC(ダイレクトデジタルコントロール)，SPC(セットポイントコントロール)があるが，DDC方式では高炉計算機がダウンすると補正を行なう手段がなくなるのでSPC方式とし，計算機ダウン時でもダウン前の装入量レベルは維持できるようにした。しかし，今後の方向としては秤量，装入はマイクロコントローラなどを採用し，高炉計算機がダウンしても秤量，装入制御が続行できるようにすべきであろう。

3.2 高炉，熱風炉管理とデータベース

表1に示されるように高炉は採取されたデータに基づき前章の秤量，装入制御による量によるアクション，熱風炉の送風制御に含まれる湿度，温度，酸素量，風量によるアクションでその安定操業が図られている。従来の高炉システムでは^{4),5)}瞬間的な情報だけでファイルも単純な平面的な構造であった。しかし，管理レベルの向上でデータの相互関連，長時間傾向などが把握しやすい立体的なファイル構造が必要となってきた。

そこで高炉に合ったデータベースを確立した。高炉管理データは分析してみると瞬時データ，時間内平均値，長時間の傾向を示す時系列データに分類することができる。今回確立したデータベースでは，高炉システム内で入力される情報はすべて瞬時，平均値作成用の累積，時系列データを持たせることとし，また高炉プロセスの構造に合うよう秤量，装入，高炉，熱風炉，出銑滓ごとにサブファイルとしている。このサブファイル化により秤量，装入の管理単位であるチャージと出銑滓の管理単位であるタップが異質の概念であるにもかかわらず，すべてのファイルのアクセスが同一手法で行なえるようにした。この構造を持たせることで高炉データの管理を容易にした。

他に管理単位としてある日締切などでは締切ファイル，マン・マシン用としてはマン・マシン用中間ファイルを設け，各データ作成プログラムの負荷分散を図っている。図6に高炉データベースを示す。

本データベースのもう一つの特長は，データなしの管理にある。高炉プロセスの性格として将来の計器追加などによる

表1 高炉の管理と制御 高炉の管理を行なう手段と制御手段の関連を示す。

No.	管 理	監 視 手 段	制 御 手 段
1	炉内監視	炉頂ガス成分 炉内ガス温度 装入深度 炉内ガス成分	装入原料 装入方法 装 入 量 重油流量 送風湿度 送風温度
2	炉体監視	各部埋込温度計 流 量 計	COG(コークスガス)流量 BFG(高炉ガス)流量 AIR(空気)流量 酸素流量 送 風 量(熱風炉炉替) 炉 頂 圧

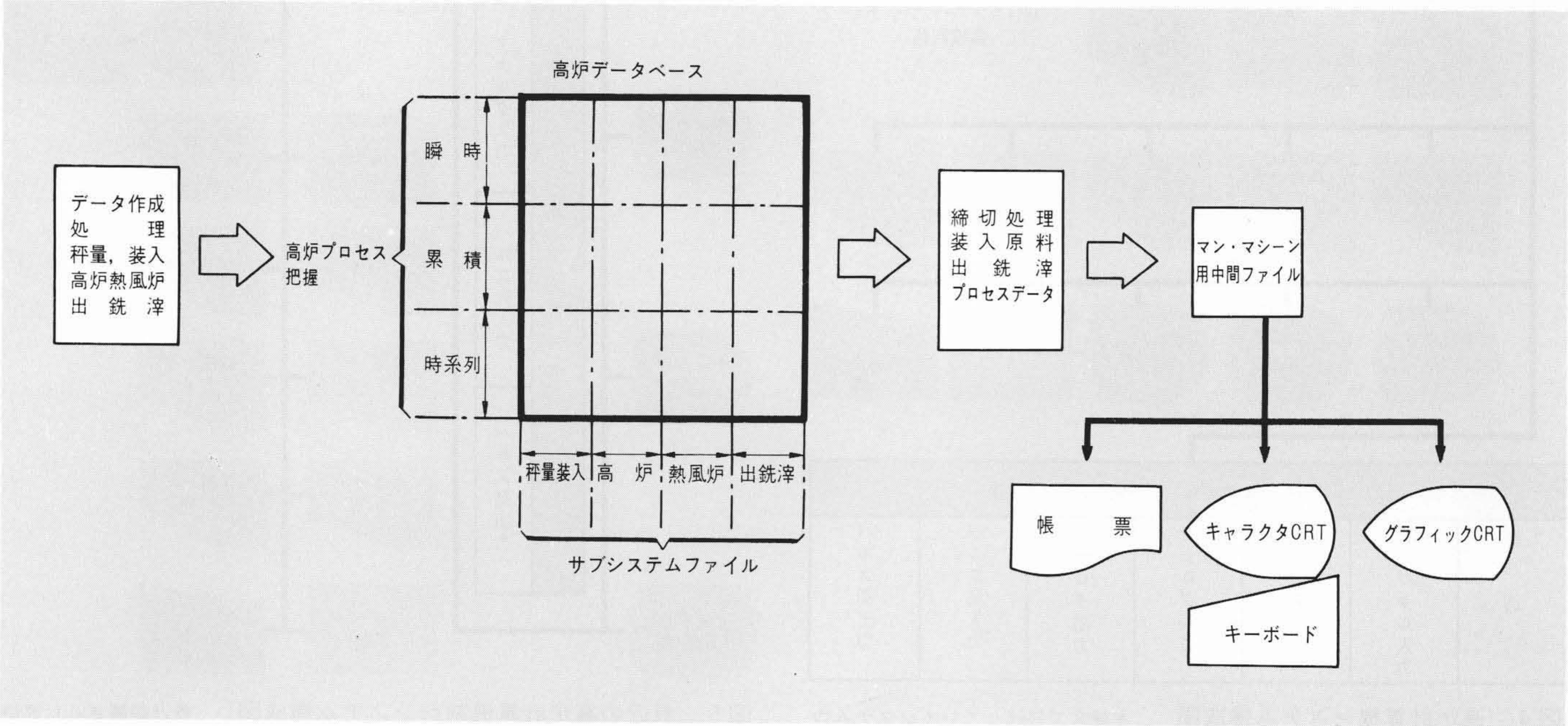


図6 高炉データベース 高炉管理と制御に合った柔軟性に富むデータベースを示す。

レコード内項目の追加などが発生するので、データの有無管理が必要不可欠である。

高炉、熱風炉管理のもう一つの特長は、従来システムではモデルのアクションは計算機からの印字により操業者が制御量を設定していたが、モデルの確立により直接オンライン制御を行なわせ、かつモデルのアクション量に対し後述するマン・マシン用CRT(Cathode Ray Tube)にて操業者がモデルのアクション量を修正できるようにし、計算機制御の安定性を増すようにしていることにある。更に本方式は、操業者の計算機によって使われている感覚を少なくし、人間性向上を図っていると言える。

3.3 出銑滓管理

出銑滓管理では、貯銑滓レベルに合った出銑、出滓を行なうことが重要である。もし貯銑滓量が限界を超えるとフラッキング現象が発生し、吹抜けを誘発することがある。適正出銑を行なうため操業状態表示CRT画面に計算出銑滓量を常時表示し、かつ計算出銑量が貯銑限界を超えた場合にはCRT画面に赤色表示し、ブザー吹鳴することで操業者に対し注意を喚起している。また出銑量のリアルタイム把握として溶銑レベ計監視も行なっている。

3.4 マン・マシンシステム

マン・マシンシステムは従来高炉システムでは操業デスクだけのみにしていたが、今回はキャラクタCRTと操作デスクとを組み合わせたCRTオペレータズコンソールとし高炉操業監視盤の中に組み込み操作性を上げた。

CRTオペレータズコンソールでは下記の点に工夫を凝らした。

- (1) 設定可能部分と不可部分とを色によって識別し、キーインプットが行ないやすいようにした。
- (2) オペレータに設定変更された部分は、色を替えてオペレータの注意を喚起した。
- (3) 設定項目ごとのデータのスキップ、バックを可能とした。

- (4) 関連データは1画面に収めるようにした。
- (5) 画面要求はワンタッチで行なえるようにした。
- (6) オペレータの設定はTen Keyによる数字入力のみとした。

炉況監視手段として従来の記録計にかわりパターン認識の行なえる高密度グラフィックCRTを採用した。以下に示す点が特長である。

- (1) 円、極座標の表示が容易で円内にグラフ表示を行なえるようにした(図7にグラフィックCRT表示例を示す)。
- (2) 時系列データのトレンド表示を容易に行なえるようにした。
- (3) グラフィックデータとキャラクタデータの混在を可能とした。

4 今後の高炉計算機制御システム

今まで述べてきた高炉システムは、高炉として単独であればデータベースの確立により保守性、拡張性、マン・マシン性の向上は図られたが、高炉プロセスはあくまで製鉄所の製鉄部門内の1プロセスに過ぎない。製鉄部門を構成するプロセスは原料ヤード、焼結、ペレット、コークス、高炉の各工場である。これらの各プロセスは相互に関連があり、情報の授受が必要で、更に総合的な管理が必要である。これらのことより各プロセスには管理用の計算機を設置し、それらを統括管理する計算機システムを設け総合管理を行なわせる。これが製鉄統括計算機である。製鉄統括計算機は製鉄所他部門とリンケージを取り、次工程計算機との情報交換を行ない製鉄所全体での有機的結合による効率向上を図ることができる。

高炉システムについてみると、製鉄所内には複数基の高炉があるので、高炉統括計算機を設け各高炉計算機の共通処理、例えばモデル、時系列作成、情報管理を行なわせ、各高炉計算機には各高炉に依存する処理を個別に行なわせる形が良いと考える。また高炉統括計算機は各高炉計算機のバックアップを行なわせる形が良いと考える。このような考え方に基いて考察したトータルシステムを図8に示す。特にこのトー

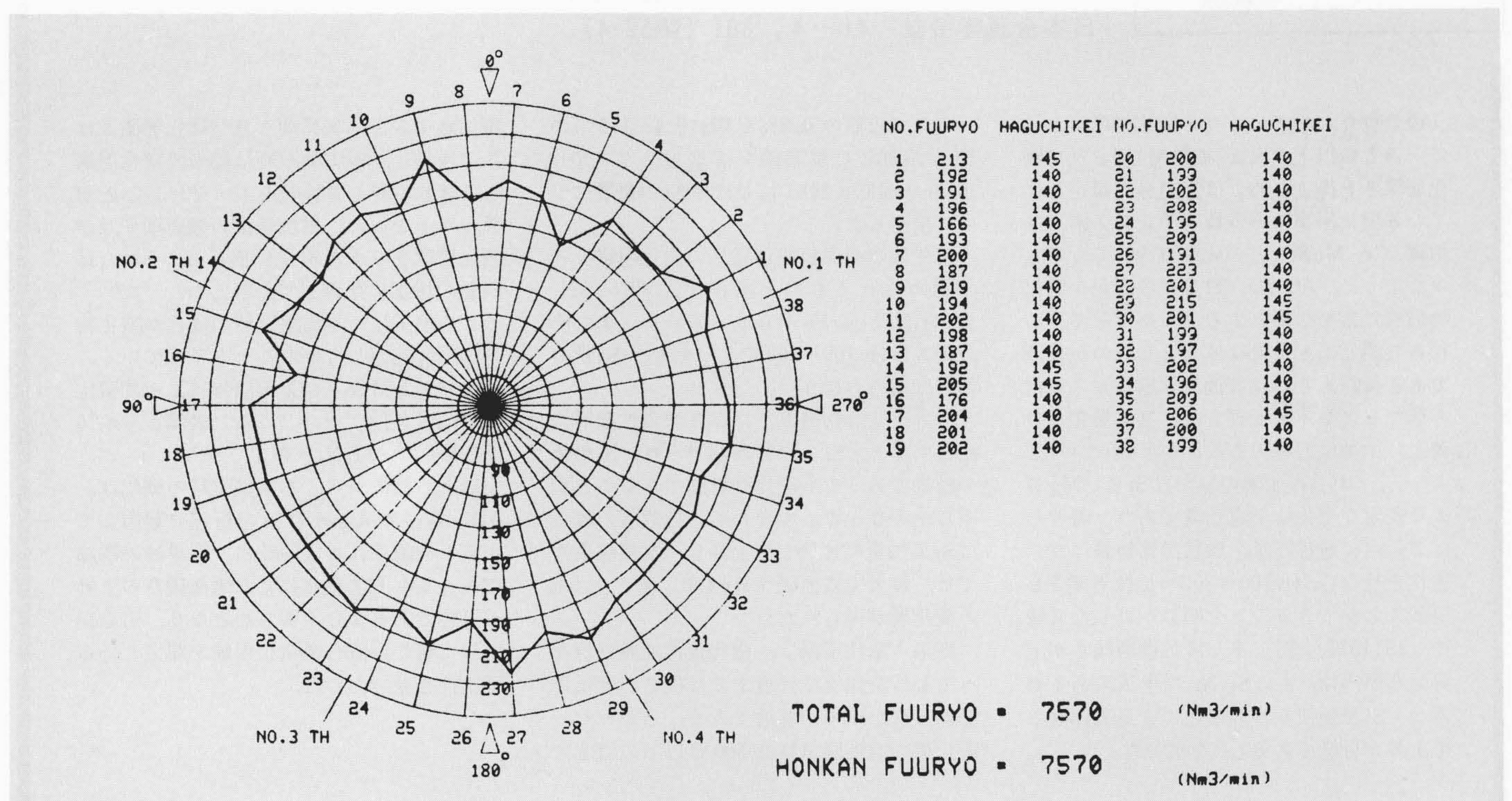
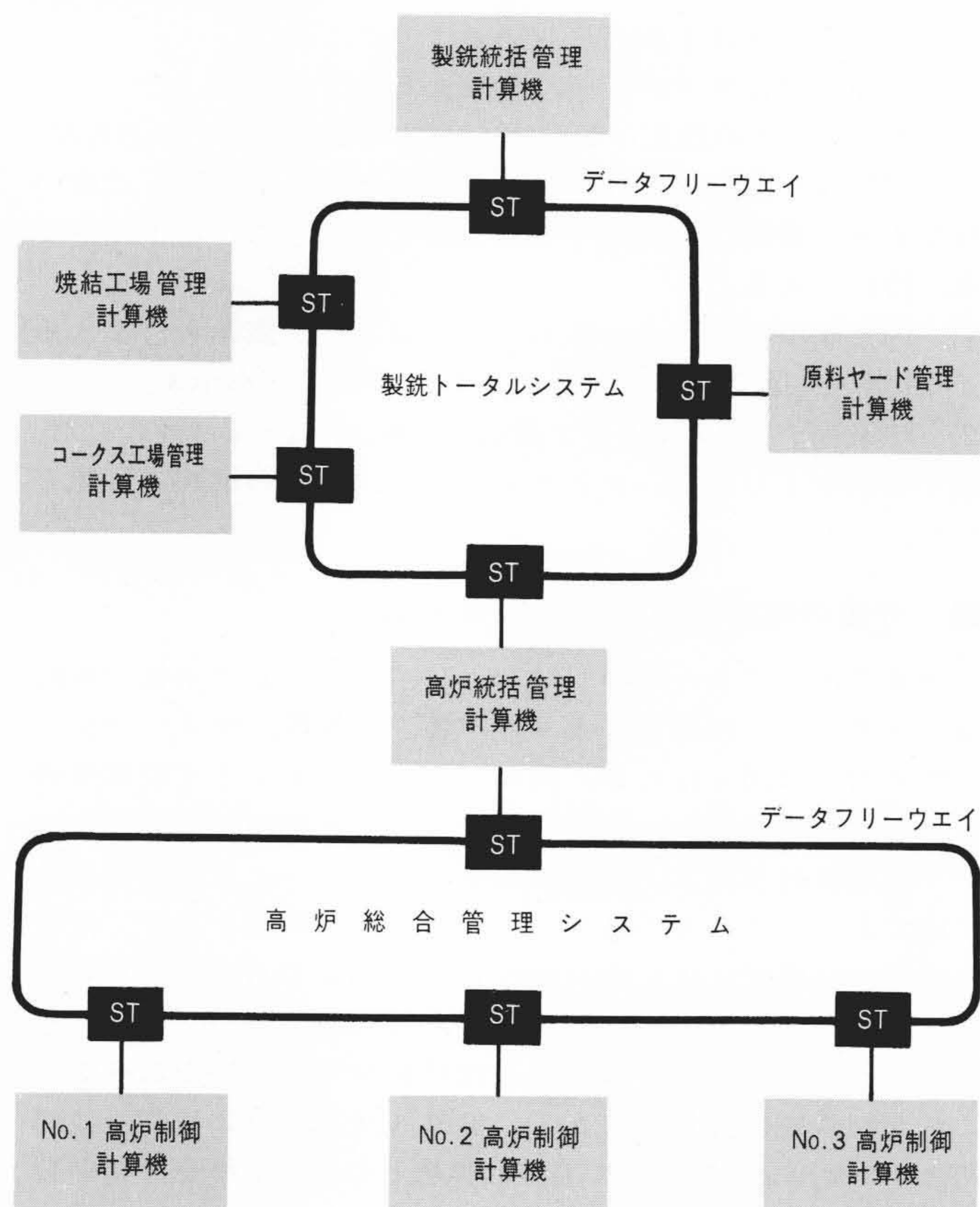


図7 グラフィックCRT表示例 高炉システム管理手段として適しているグラフィックCRTの表示例を示す。



注：ST=ステーション

図8 製鉄トータルシステム 高炉だけでなく製鉄全体の管理システムである。

タルシステムの特徴は、各計算機通信手段としてデータフリーウェイを採用しハイアラキな構成を可能とし、結合度を高めている。このデータフリーウェイによる結合方式は製鉄所の他部門においても適用可能である。

5 結 言

以上、新日本製鐵株式会社君津製鐵所第4高炉用高炉計算機制御システムをベースに紹介したが、本システムによって確立された高炉データベース、マン・マシーンシステムを更に前進させ今後の高炉システム開発を容易にする高炉POLを開発推進したいと考えている。本システムで開発されたデータベースは、他の製鉄所の計算機システムにも適用が可能と考えるが、適用実施は今後の課題と考える。

終わりに、本システムを完成するに当たって多大な御支援、御協力をいただいた関係各位に対し深く感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼協会編：鉄鋼製造法，第1分冊(1972-4)
- 2) 落合ほか：広畑第1高炉(5次)ライニング解体調査結果，製鉄研究，283，4(1975)
- 3) 山田ほか：大型高炉の装入物分布と通気性，川鉄技報，6，17(1974)
- 4) 述川：コンピュータによるプロセス，コントロール・システム，計装，17-1，77(1974)
- 5) 野坂編，著：鉄鋼業のコンピュータコントロール(1970-3，産業図書)

論文抄録

低炭素鋼のガス窒化特性に及ぼすSi量の影響

日立製作所 佐々木敏美・山田俊宏・他2名
日本金属学会誌 41-4, 381 (昭52-4)

通常行なわれているガス窒化処理によって、ある値以上の表面(拡散層)硬さ及び硬化層深さを得るためには、JISで規定されている窒化用鋼あるいはステンレス鋼、弁用鋼、Cr-Mo鋼などの化学成分からも明らかのように、Al, Cr, Tiなどの安定な窒化物形成元素を必要とする。したがって、これらの諸元素を多量には含まないのが普通である。鋳鉄あるいは普通炭素鋼にガス窒化を行なっても、表面硬さ及び硬化層深さの著しい増加は困難であると考えられていた。

一方、これらの元素のほかにSi及びMgもまた安定な窒化物形成元素であり、著者らはこの点に着目して、球状黒鉛鋳鉄にガス窒化を行ない、Hv700~800の拡散層硬さを得ることができることを明らかにした〔鋳物，49(1977)，3〕。そして拡散層硬さが上昇した原因は、主に Si_3N_4 の生成にあると考え、Si単独でもガス窒化による表面硬さの上昇が可能であることを示した。

そこで市販の0.2%C鋼に0.4~1.5%のSiを添加した炭素鋼を溶製し、ガス窒化(530~620°C×20h)に及ぼすSiの影響について検討した。

窒化後の断面組織は従来の窒化用鋼などで認められるものと同様で、 $\epsilon\text{Fe}_2\text{-}_3\text{N}$ 、 $\gamma'\text{Fe}_4\text{N}$ 及び αFe から成っていた。またその硬さはHv700~800であったが、Si量の影響は認められない。

一方、化合物層直下に存在する拡散層に注目すると、Siの影響が認められ、Si単独の添加であっても硬化が可能であることが明らかとなった。すなわち、拡散層の硬さはSi添加量に比例して上昇し、本実験条件では、最大で表面硬さHv400、深さ0.4mmの硬化層が得られた。

従来の窒化用鋼は、窒化後再加熱を行なっても、窒化温度付近までは硬さの変化は認められないのが普通である。ところが、窒化後の本実験試料を500°C以下の温度で

再加熱すると、表面硬さ及び硬化層深さは共に増加し、本実験試料は従来の窒化用鋼とは著しく異なる性質をもっていることが明らかとなった。再加熱後の表面硬さ及び硬化層深さもまたSi量に依存し、それらはSi量の増加に比例して上昇した。

この結果は、本実験試料の硬化が窒化物の析出に起因していることを示している。

次いでXMA及びX線回折によって窒化物の同程を行なったところ、表面から約70 μ の深さで $\alpha\text{Si}_3\text{N}_4$ が検出された。

以上の結果から、本実験試料の硬化は、 $\alpha\text{Si}_3\text{N}_4$ の形成とその後の析出に起因していると結論された。同時に、Si単独の添加であってもガス窒化による表面硬さの上昇が可能であることが明らかとなり、Siを利用した新しい低合金窒化用鋼を開発し得る可能性を見いだした。