

製鋼プロセスにおける多品種生産管理システム

Production Control System for Steel Making Process

近年、鉄鋼業は国際競争力維持強化のため、より一層の合理化を余儀なくされている。このため、製鋼部門では合理化の柱として、造塊プロセスから連続铸造プロセスへの転換を進めてきたが、これにより製鋼工場全体の生産管理に対する精度及び即時性が注目されるようになった。株式会社中山製鋼所は、スラブ、ブルーム、ビレットすべて全量連続铸造方式のため、これらの要求は特に厳しい。今回、生産計画に製鋼工場内各設備の稼動状況をリアルタイムに反映できるように、製鋼工場操業計画をプロセスコンピュータによって行なった。

すなわち、溶銑の戸外脱硫、ダイナミックコントロールを含む転炉操業、真空脱ガス、バブリング、無酸化铸造、電磁攪拌を含む連続铸造操業など、転炉工場のインプットからアウトプットまですべての操業を対象としたシステムである。

その結果、工程間の時間のばらつきが20%、転炉の待時間が平均で30%、ばらつきで60%減少し、転炉操業時間率において1%の向上が認められた。

中山 正勝* Masakatsu Nakayama

花田 憲三** Kenzoh Hanada

平松茂登久*** Motohisa Hiramatsu

浜田 佐敏*** Satoshi Hamada

1 緒 言

近年、転炉の自動化及びシステム化に対する技術開発は、吹錬ダイナミック制御、スタティック制御などの制御面を中心をめざましい進歩を見せている。一方、生産管理面からみると出鋼スケジュールの作成は、上位ビジネスコンピュータに一任されており、製鋼工場各設備の稼動状況をリアルタイムに反映したものになっていないために、操業スケジュールが実操業にマッチしないケースが度々発生している。そして、このスケジュールと実操業とのアンマッチは、製鋼設備の複雑さと操業の煩雑さにより一層増幅される。

特に、株式会社中山製鋼所船町製鋼工場の場合は、

- (1) 1 転炉製鋼工場内で多品種の生産を行なうため、異なる型式の連続铸造機(以下連铸機という)を3機持っている。
- (2) 市況品種の見込生産を行なっているが、市況品種の需要変動がはげしいため生産計画の変更が頻繁に発生する。また、品種構成比率が大幅に変動する。
- (3) 株式会社中山製鋼所名古屋製鋼工場休止に伴い船町製鋼工場に集中生産を行なう。

という環境のもとで、生産性の向上と省力化を進める必要性から、これらの煩雑な環境要因を吸収して、製鋼工場全体として効率のよい生産計画を作成することが不可欠である。そこで、従来上位ビジネスコンピュータに登録された月間生産計画をベースに人手を介して立案されていた出鋼スケジュール作成機能を、制御用コンピュータHIDIC 80-Eに移し、各設備の最新の稼動状況をベースに生産計画を作成することにより、実操業にマッチした生産管理を可能にするシステムを開発・実用化した。

本システムの主な特長は、

- (1) 能力の異なる3機の連铸機と転炉間の最適な操業スケジュールを作成することが可能である。
 - (2) 種々の設備トラブル・生産計画の変更に対して、短時間で操業スケジュールの再立案が可能である。
 - (3) 上位計算機がダウンしても、制御用コンピュータだけで操業することが可能である。
- という点である。以下にその概要を紹介する。

2 計算機導入の過程

株式会社中山製鋼所船町製鋼工場の合理化は、昭和50年の転炉設備の導入に始まり、昭和50年ブルーム連铸機設置(4ストランド)、昭和51年名古屋製鋼工場からスラブ連铸機の移設、昭和52年ビレット連铸機設置(6ストランド)、昭和53年RH真空脱ガス装置設置、更に同年溶銑脱硫装置設置と、連続铸造設備を中心に増強し、現在月産約13万tの中規模製鋼工場へと発展してきた。

転炉は $\frac{1}{2}$ 基稼動で純酸素上吹方式が採用されているが、86 t/Heatという中形転炉であり、大形転炉に比べて、生産性(出鋼トン数/作業要員)の面でハンデキャップを負っていた。これを克服して大形転炉と見劣りのない生産性を達成するため、今回、機械化・省力化計画が企画、実施された。

計画の中心となる計算機の導入に当っては、転炉製鋼工場の作業及び情報の流れ、レイアウト、作業性などのあらゆる角度からシステム化の検討を行ない、次の4項目を計算機導入の基本方針とした。

- (1) 転炉製鋼工場における情報一元管理によるムダの除去、すなわち、転炉操業時間率の向上
 - (2) 生産計画立案の標準化・機械化
 - (3) 作業工程管理の徹底化
 - (4) 転炉操業の自動化と温度・カーボンの中率の向上
- すなわち、他工場の転炉プロセス計算機システムが主に転炉の終点制御を中心としているのに対し、本システムは生産計画の最適化を最重点テーマとして計算機導入を計画した。

3 製鋼プロセスの概要

製鋼プロセスの概要¹⁾を図1に示す。高炉から出銑された溶銑は炭素含有量が多く、鋼材としては不適當であるため、転炉で吹錬し、不要な炭素を除去して鋼種の目標とする成分・温度に達したところで出鋼される。出鋼された溶鋼は、下工程である脱ガス装置へ運ばれ、真空脱ガス法により主に水素ガス・窒素ガスを除去するか、もしくは、バブリング設備へ運ばれて成分と温度の微調整を行なったのち連铸機へと運ばれる。

* 株式会社中山製鋼所企画管理部 ** 株式会社中山製鋼所製鋼部 *** 株式会社日立コントロールシステムズ

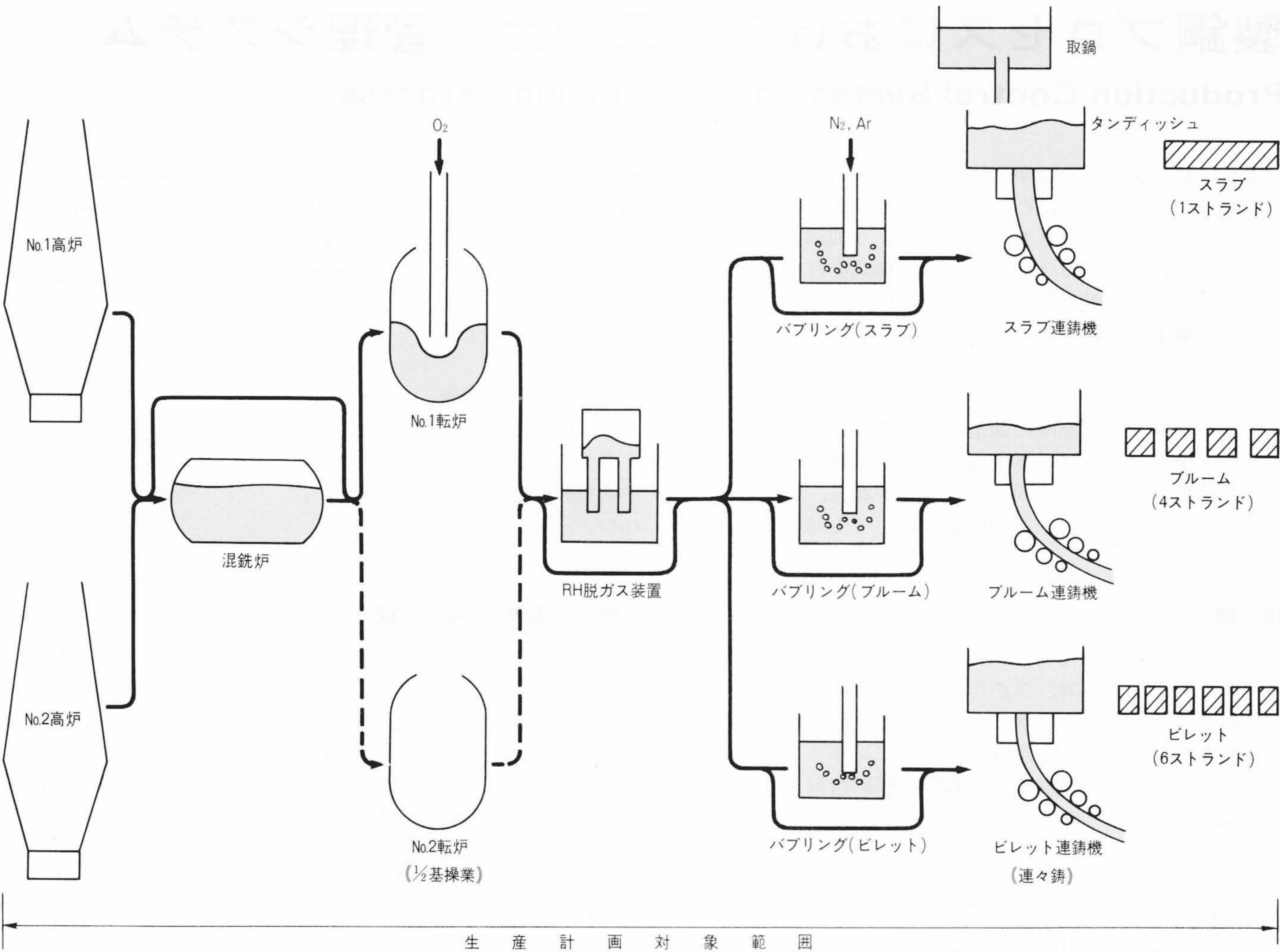


図1 製鋼プロセスの概要 高炉から連铸機までの主要な設備と溶銑・溶鋼の物流を示す。特に異なる能力の3機の連铸機を持つことを特徴とする。

連続铸造工程では、溶鋼をタンディッシュを通して铸型に注入し、ピンチロールにて铸片を連続的に引き抜きながら、スプレー水で完全凝固させたのち铸片を次工程の要求する所定の長さに切断する。

特に、連続铸造工程においては、タンディッシュ内の溶鋼をたやすことなく、複数のヒート(転炉で吹錬、出鋼される1バッチ分を1ヒートという)をある定められた間隔で連続的に

供給し、一連の铸込作業とする、いわゆる、連々铸操作を行なうことにより生産性の向上を図ることが重要である。したがって、生産管理面からは各連铸機へのタイムリーな溶鋼の供給が重要なポイントとなる。

表1 プロセスの特徴と生産管理の前提条件 株式会社中山製鋼所の操業環境とプロセスの特徴に基づく生産管理の前提条件を示す。

環 境	1	短納期で多品種少量生産を行なう。
	2	市況品種を見込生産する必要がある。
特 徴 の プ ロ セ ス の 特 徴	1	転炉 $\frac{1}{2}$ 基操業に対し、異なる型式の連铸機が3機ある。
	2	連铸機の铸型断面サイズが多い(20種類)。
	3	鋼種が多い(約300種類)。
前 提 条 件 の 生 産 管 理 の 前 提 条 件	1	転炉から連铸機までの生産スケジュールが煩雑である。
	2	生産計画の変更の頻度が多い。
	3	品種構成比率が大幅に変化する。

4 株式会社中山製鋼所のプロセスの特徴と生産管理の前提条件

プロセスの特徴と生産管理の前提条件を表1に示す。中規模鉄鋼メーカーである株式会社中山製鋼所の特徴は、同一品種の大量生産を特徴とする大手メーカーと比較して、小回りのきく特質を生かし、短納期の多品種生産を軸とし、かつ市況品種の見込生産を行なっていることである。

このことから、本プロセスの特徴は、1 転炉製鋼工場内に3機の異なる能力の連铸機(スラブ、ブルーム、ビレット)を持ち、多種の成品を製造していることであり、また操業面では、転炉～連铸機間の溶鋼の煩雑な物流を正確に把握し、しかも、生産計画の変更、品種構成比率の大幅な変動を吸収することが生産管理の前提条件となる。

5 操業ニーズと生産管理システムの設計目標

前述した種々の条件を加味して、操業ニーズ及び生産管理システムの設計目標をまとめると表2のようになる。要約すると、出鋼スケジュールの最適化・迅速化と省人化になる。また生産管理システムとしては、上位計算機ダウンによる操業への影響を最小にすることも設計目標として考慮した。

表2 操業ニーズと生産管理システムの設計目標 操業ニーズに対応して設定した生産管理システムの設計目標を示す。

No.	操 業 ニーズ	設 計 目 標
1	短時間で出鋼スケジュールの再立案を行なうこと	再スケジュールに要する時間は casting 延長可能時間(3~4分)を考慮して、2分以内とする。
2	設備トラブル時の迅速な対応が可能であること	
3	生産工程に操業ロスのない出鋼スケジュールを作成すること	計算機による設備状況の一括把握による出鋼スケジュールの作成と24時間監視体制とする。
4	可能な限り連々鑄による操業を続けること	
5	省人化・省力化を図ること	製鋼工場の一元管理による工程管理者の削減 上位計算機ダウンによる操業への影響を最小にする。

6 生産管理システムの機能分担

前述のとおり株式会社中山製鋼所の場合は、転炉製鋼工場は一つであり、しかも、工場内に複数の異なる連鑄機が存在している。また、直接プロセス制御していない上位計算機からは、製鋼設備の稼動状況の連続的な把握が難しい。このため、従来実操業に十分マッチした出鋼スケジュールを立てにくいという問題があった。そこで、今回は生産管理機能を下位のプロセスコンピュータ側に持たせ、図2に示す方式とした。

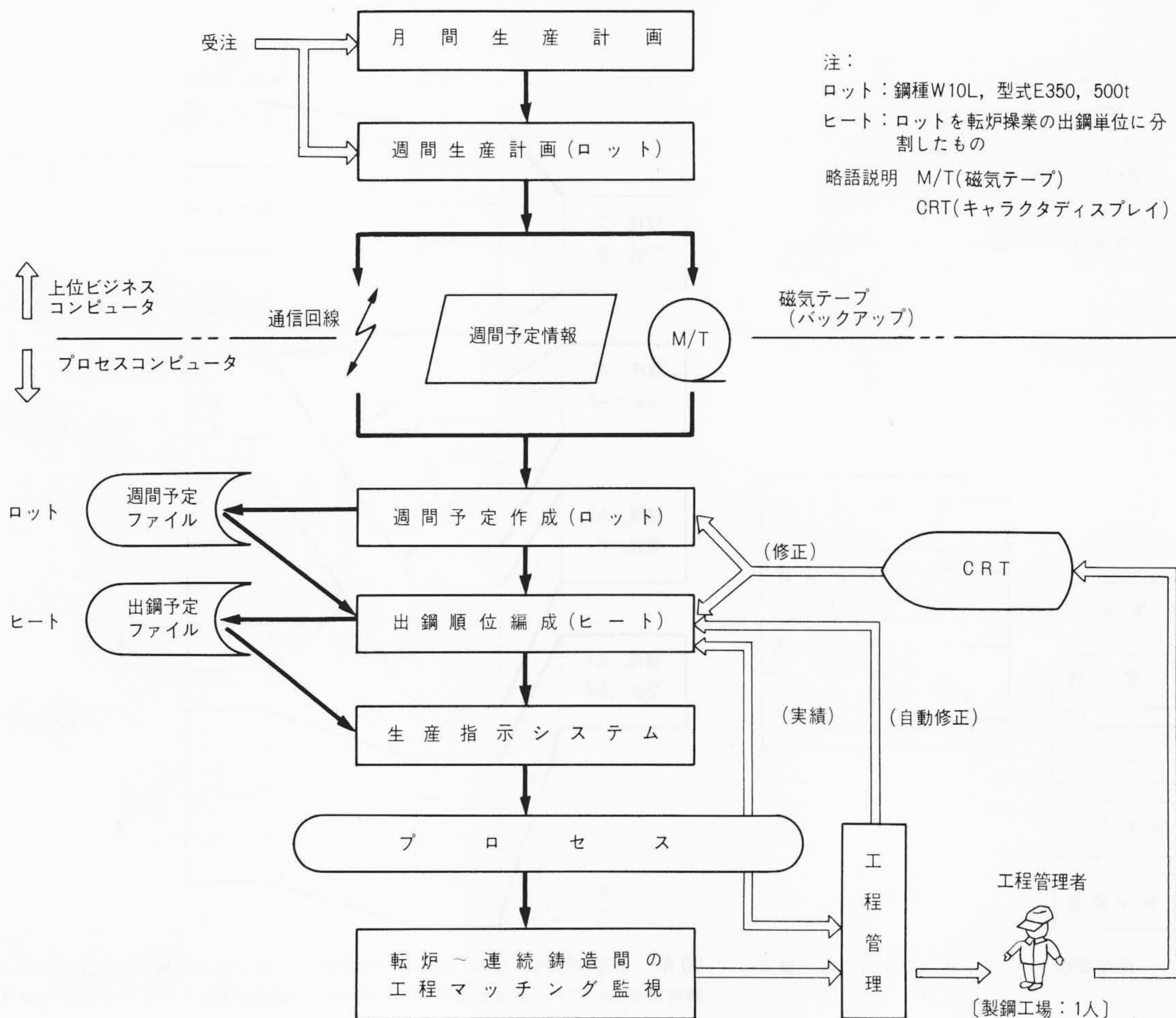


図2 生産管理システムの機能分担 従来上位ビジネスコンピュータで処理していた出鋼順位編成機能をプロセスコンピュータ側に移し、プロセスの実績をベースとした出鋼スケジュールを作成する。

すなわち、上位ビジネスコンピュータと下位プロセスコンピュータとの伝送²⁾は週間予定レベルのロット(例えば、鋼種W10L，型式E350，重量500tという情報)で行ない、プロセスコンピュータ側でロットからヒートに分割して出鋼順位を編成する。このとき、各プロセスの最新の操業状況を実績として取り込み、この実績をベースとすることで、操業にマッチした出鋼スケジュールの作成を可能とした。また異常時は、上位システムを経由することなく、プロセスコンピュータの工程管理機能による自動修正、または、工程管理者自身による修正が行なわれるシステムとした。

本システムのハードウェア構成を図3、ソフトウェア構成を図4に示す。

7 生産管理システムの内容

図5に生産管理システムの概要を示す。

まず、最新の鑄造実績をベースにして連鑄機側のスケジュールを作成する³⁾。同様に転炉側のスケジュールを作成し、続いて連鑄機側と転炉側の結び付けを行なう。最後に、転炉付帯作業(例えば、出鋼口の孔巻など)とバブリング処理を組み込む。

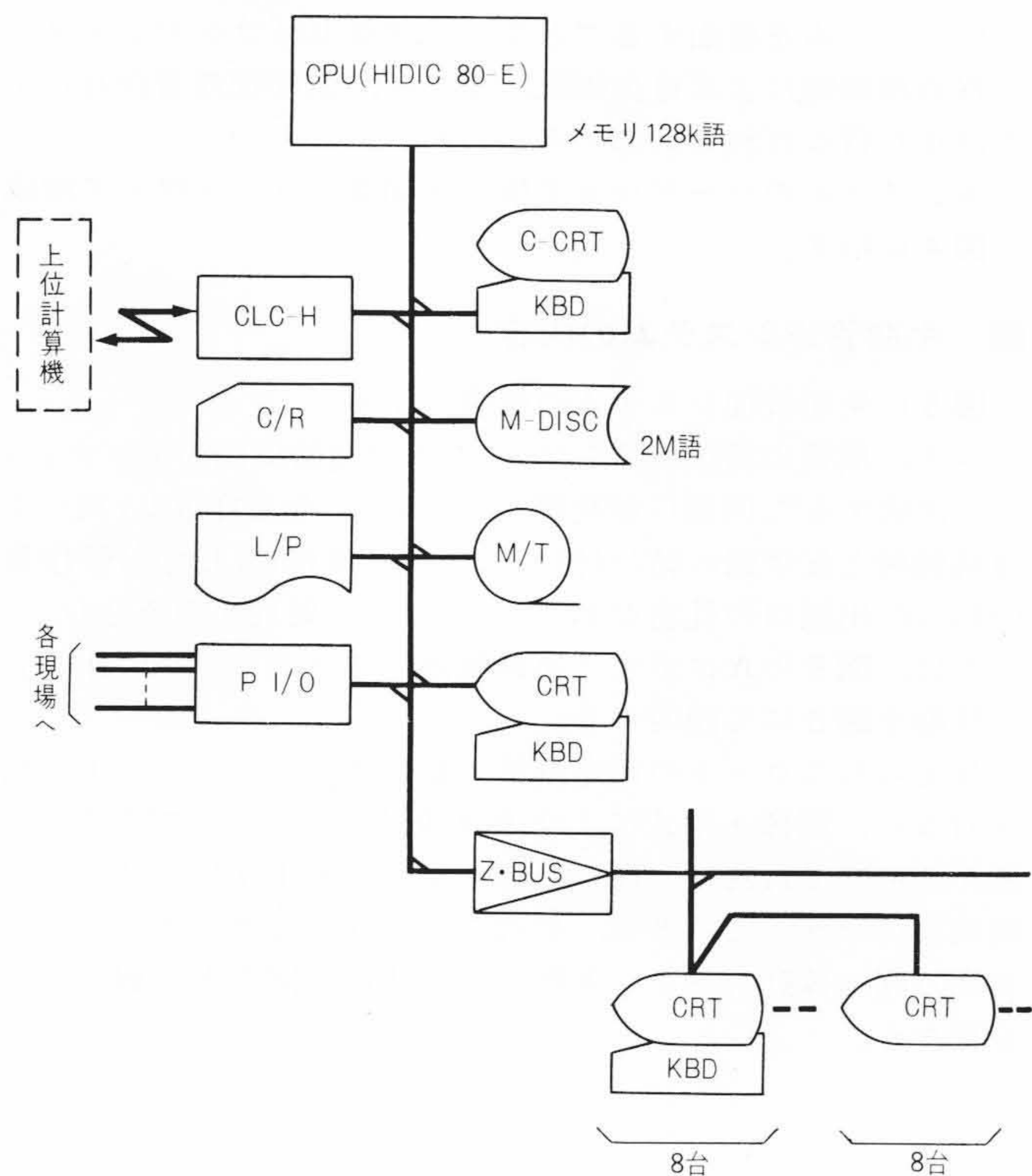
次に、図5のAに示す「連鑄機側のスケジュールの作成」の詳細を図6にて説明する。

与えられたロットの指定重量と転炉装入量からヒート分割を行ない、鋼種・型式により連々鑄可能なグループを考え、連々鑄可能であれば一連の鑄込作業とするようにシリーズの編成を行なう。このとき、型式ごとに異なるタンディッシュ交換時間・稼動ストランド数による鑄込時間などの組み込みを行なう。

次に図5に示すB～Dの処理のうち、特にCの「連铸機側と転炉側の結び付け」の詳細を図7に、また結び付けの論理を表3に示し、以下に説明する。

図7は、連铸機側と転炉側の結び付けの一例を示すもので、転炉では①、②のヒートの出鋼が終わり、③のヒートを現在

吹錬中で、以下④⑤……と予定されている。連铸機側は、スラブ連铸機・ブルーム連铸機が各々①、②ヒートを铸込中であり、以降、図7のように連々铸が予定されている。ビレット連铸機は、現在準備中で出鋼ヒートさえ振り当てられればすぐに铸込開始できる状態である。



注：略語説明

- | | |
|------------------|------------------|
| CPU(中央処理装置) | C/R(カードリーダー) |
| C-CRT(コンソール・CRT) | L/P(ラインプリンタ) |
| KBD(キーボード) | P I/O(プロセス入出力装置) |
| CLC-H(通信制御装置) | Z-BUS(拡張バス) |
| M-DISC(ミニ・ディスク) | |

図3 ハードウェア構成図 計算機システムのハードウェア構成を示す。

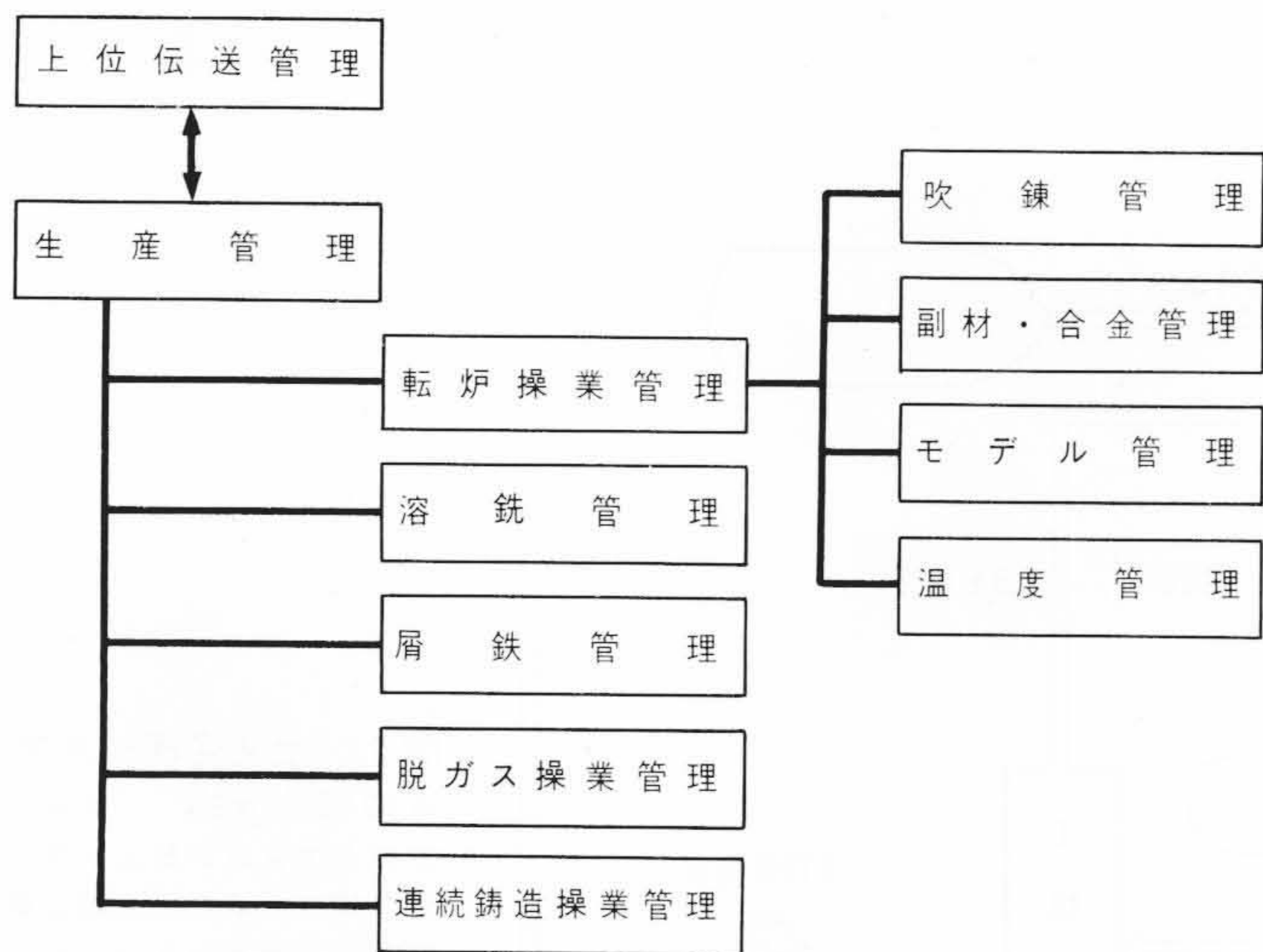


図4 ソフトウェア構成図 生産管理を中心に、各サブシステムで構成されている。

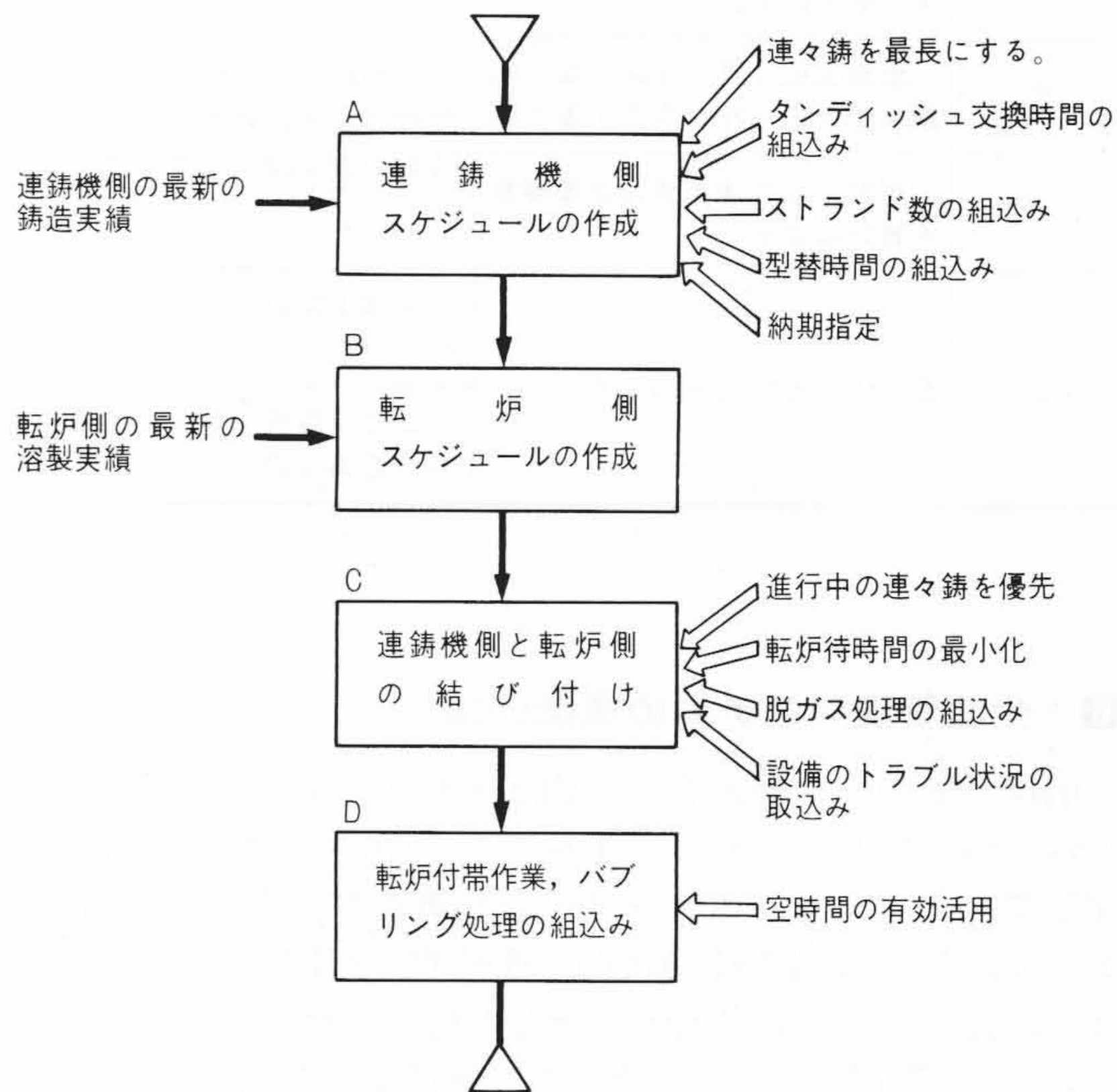


図5 生産管理システムの概要 生産計画の概略処理フローを示す。右側の項目は処理に対応して組込まれる論理を示す。

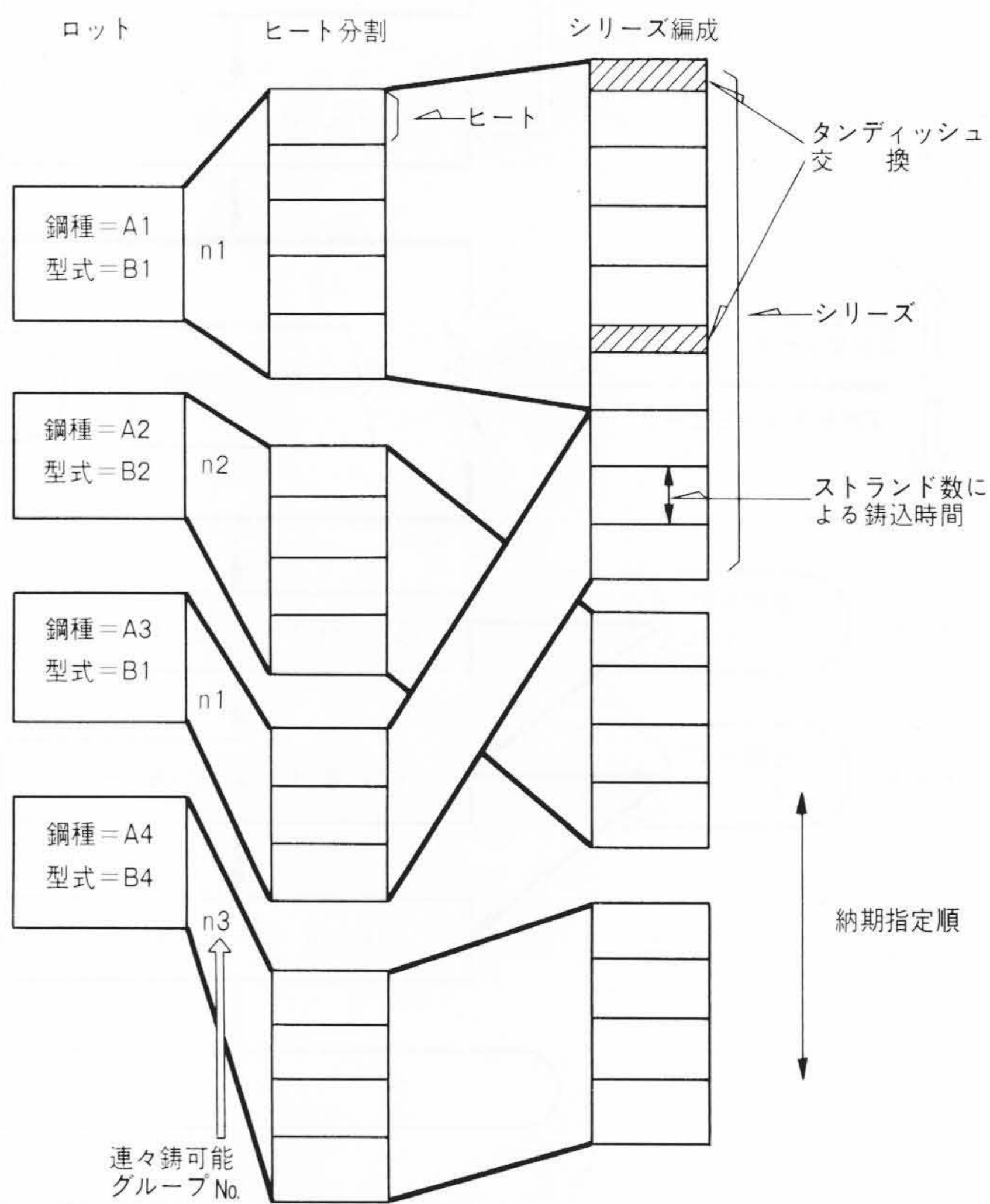


図6 連铸機側スケジュールの作成 ロットで鋼種A1・型式B1は連々铸可能グループNo.が同じであるため、一連の铸込作業とするようにシリーズを作成する。

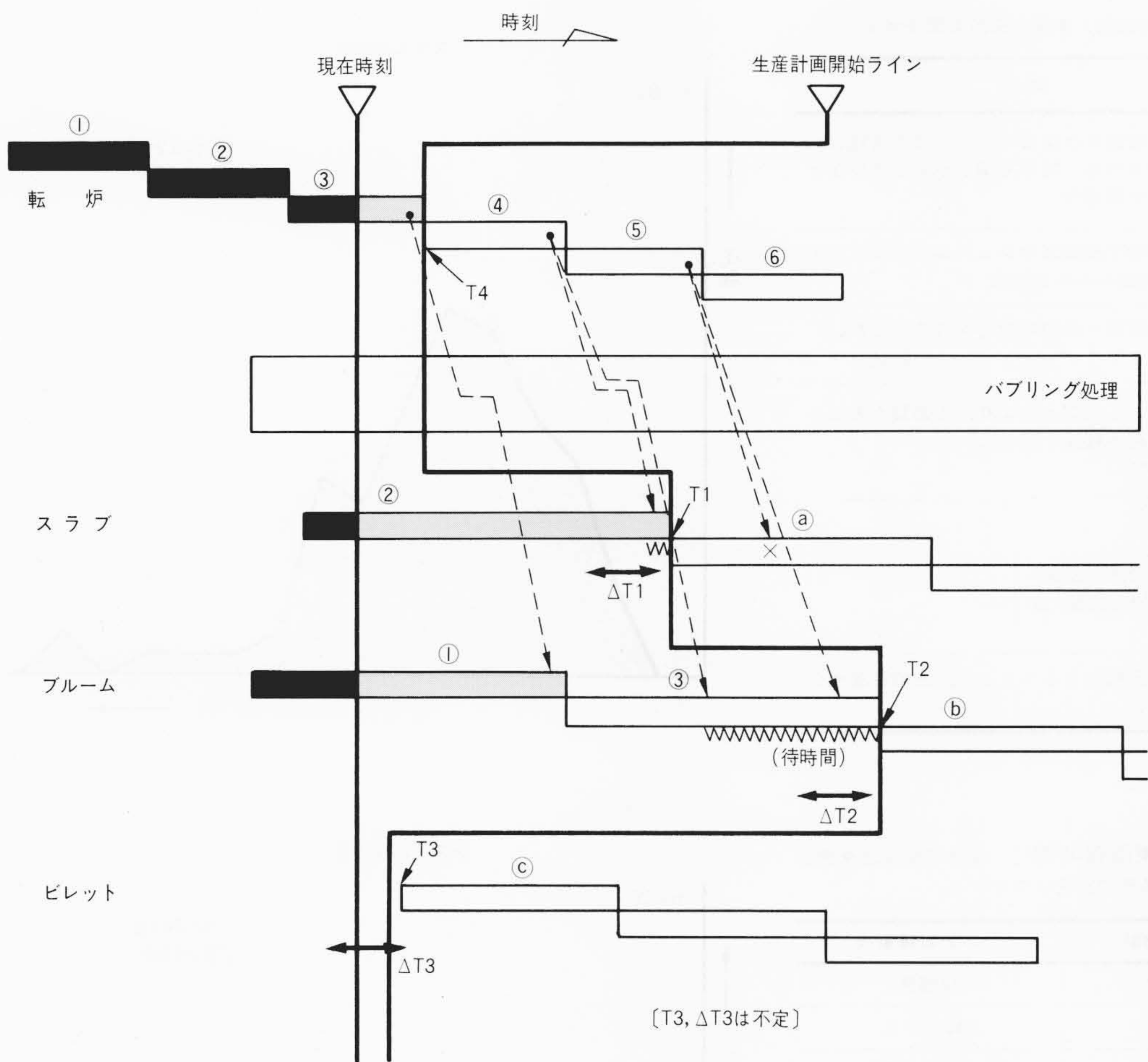


図7 連鑄機側と転炉側の結び付け ①, ②……⑥は転炉の各ヒートを示し, a, b, cは連鑄機に振り当てられる予定のヒート名を示す。

生産計画は、実績を伴わないヒートを対象とするので、図7では転炉側④のヒートをどの連鑄機に振り当ててくるかが問題となる。可能性としては、a b cが考えられるが、まず、連々鑄進行中のヒートを優先させる。仮に、スラブとブルームに④を振り当てないと仮定した場合、現在予定されている連々

鑄が切れるかどうかをチェックし、切れることになるのであればこれへの振り当てを行ない、逆に当初の連々鑄が可能なのであれば、準備中となっているビレットに振り当てる。図7では、④をスラブに振り当てなければ、次の⑤を振り当てたとしても連々鑄が切れるのでスラブに振り当てる。また、仮に④をbに振り当てた場合のように、転炉からのヒートの供給が早すぎる時は、転炉～連鑄機間の時間調整を行ったり転炉付帯作業を計画的に組み込んだりする。以上の論理をまとめたものが表3である。

表3 連鑄機側と転炉側の結び付け No. 1～7の順で、連鑄機側と転炉側スケジュールの結び付けを行なう。T1, T2, T3, T4及びΔT1, ΔT2, ΔT3などは図7の時間を示す。

No.	連鑄機側と転炉側の結び付け
1	各連鑄機の最新の実績をベースにして次に転炉に装入されるチャージの鑄込開始時刻を予想する(T1, T2, T3)。
2	転炉側は最新の実績をベースにして次に転炉に装入されるヒートの装入開始時刻を予想する(T4)。
3	T1, T2, T3をベースにして、連々鑄を続けるために、溶鋼鍋が到着しなければならない時間帯を求める(ΔT1, ΔT2, ΔT3)。
4	T4より以降の数ヒートについて出鋼予定時刻を予想する。
5	現在連々鑄進行中の連鑄機のうち、今回、又は次回の出鋼ヒートを割当てなければ、連々鑄が切れるものについて、最も条件の厳しい連鑄機に対して出鋼ヒートを割当てる。
6	No. 5で該当する連鑄機がない場合は、新しいシリーズの鑄込を開始させる。(ただし、この場合は、新しいシリーズに属する、ある一定量のヒートを消化する過程で、現在進行中の連々鑄が切れないことを条件とする。)
7	No. 6で連々鑄が切れる場合は、新規のシリーズ開始は見合わせ、空時間を転炉付帯作業・バブリング処理にあて、有効活用を図る。

8 効果

本システムの効果を表4に示す。特に、同表No. 1の出鋼スケジュールの最適化に関しては、(1) 転炉～連鑄機間の溶鋼搬送時間 (2) 転炉の待時間 について、システム導入前後での比較を行なった。以下にその内容について説明する。

8.1 転炉～連鑄機間の溶鋼搬送時間

連々鑄操業において、溶鋼搬送時間のばらつきの減少、すなわち、調整時間の最小化は工程の安定、ひいては品質の安定につながる。システム稼動前後の溶鋼搬送時間分布について図8に示す。分布型がシステム稼動後でとがっているのがわかる。すなわち、ばらつき(√V)の大きさが7.3分から5.9分に減少している。

8.2 転炉の待時間の短縮

8.1で転炉出鋼後工程での物流の円滑度について述べたが、ここでは転炉工程について調査した。評価項目として、連鑄

表 4 効果 本生産管理システム稼動後約 1 年間の実績効果を示す。

No.	効 果
1	現場作業にマッチしたきめ細かい出鋼スケジュールの作成を可能にした。(最新の実績をベースにしているため、特に実績と予定とのつなぎの部分がスムーズに連なる。)⇒最適化
2	現場作業のトラブルに対し、短時間で出鋼スケジュールの再編成を可能にした。(約 2 時間から 30 秒に短縮)⇒迅速化
3	可変な素材注文に即した販売及び圧延への即時対応を可能にした。⇒迅速化
4	ロットレベルでの上位リンケージとしたことにより、伝送量を大幅に減少(1/10以下)でき、システム負荷の軽減が図れた。 (システム負荷 平均20% 最高45%)
5	工程管理者の削減が図れた。 転炉：1 人(昼間のみ) 連鑄：3 人(昼間のみ) 4 工数/日 → 0.5×3 直 1.5 工数/日
6	プロセスコンピュータ側に生産計画機能をもつことで、上位計算機ダウンによる作業への影響をなくした。

表 5 連鑄工程に起因する転炉作業阻害時間 全体的には連々鑄作業が円滑であることを示し、作業および品質の安定につながる。

	システム稼動前	システム稼動後
サンプル数 (n)	12箇月	12箇月
平均 (x̄)	347min/月	246min/月
バラツキ (√V)	244min/月	100min/月

データ：月間発生時間(単位 min/月)
鋼種構成比率の影響をなくすため、月間の発生時間を、サンプリング単位とした。

表 6 転炉作業時間率の差 システム稼動により、転炉作業時間率のばらつきが減少していることを示す。

	システム稼動前	システム稼動後
サンプル数 (n)	12箇月	12箇月
平均 (x̄)	87.4%	88.5%
ばらつき (√V)	4.1%	3.0%

データ：転炉作業時間率 = $\frac{\text{製鋼時間}}{\text{歴時間}} \times 100\%$ (%)

工程起因による転炉作業阻害時間をとった。その結果を表 5 に示す。平均で30%，ばらつきで60%減少していることが分かる。

8.1と8.2から転炉生産効率が向上していることと、転炉～連鑄工程間のマッチングが円滑であることが分かる。表 6 に転炉作業時間率を示す。約 1 %向上している。

9 結 言

今回の製鋼プロセスにおける生産管理システムは、従来ビジネスコンピュータで実施していた出鋼スケジュール作成機能をプロセスコンピュータに移し、プロセスの作業状況の正確な把握に基づく最適な出鋼スケジュールを提供するもので

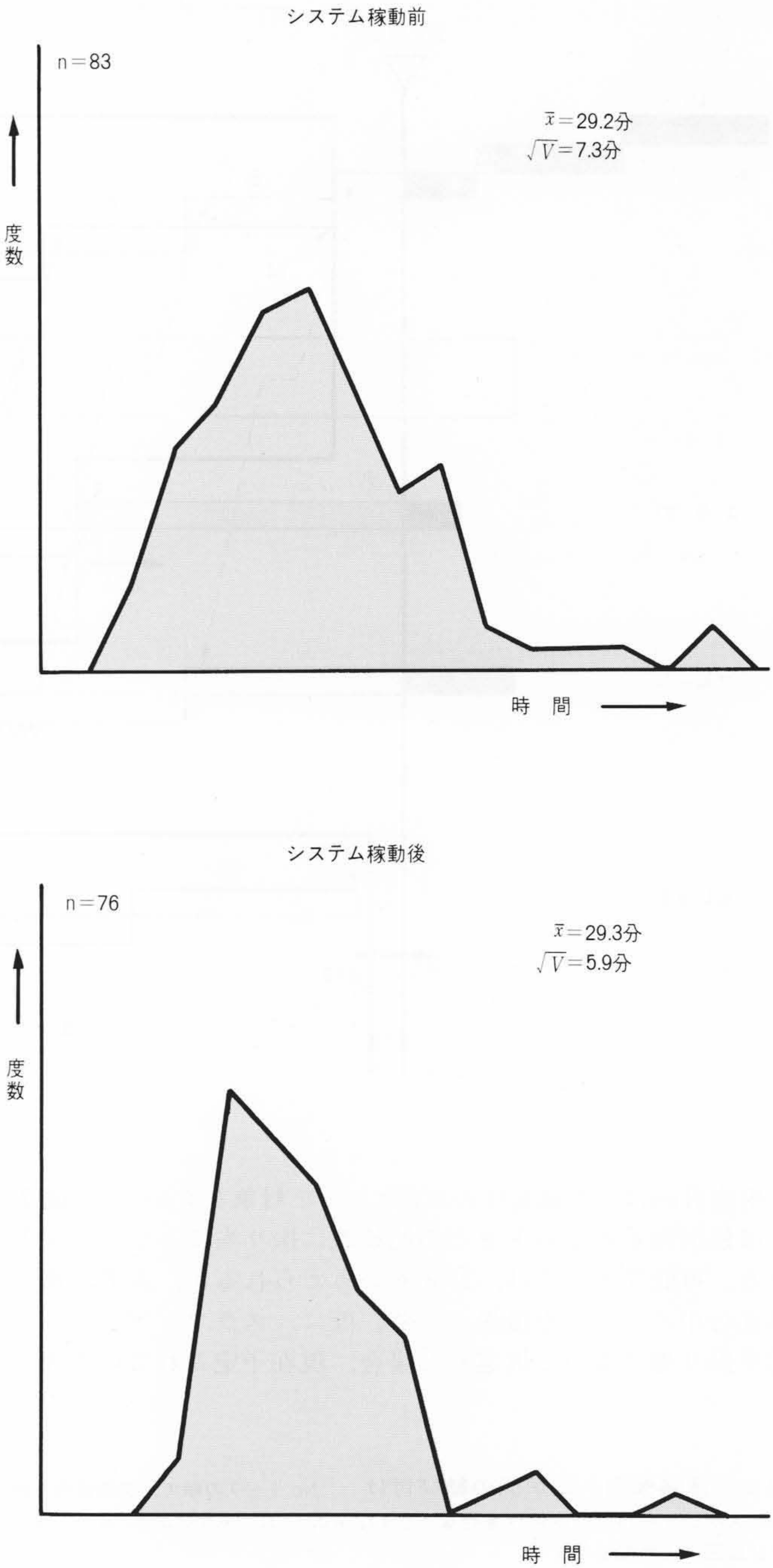


図 8 溶鋼搬送時間 転炉出鋼終了から鑄造開始までの経過時間の変化を示す。

ある。これは、特に現在の減産体制下では、各鉄鋼メーカーのニーズに十分こたえられるものと確信する。

最後に、共同でシステム開発に取り組みまた、貴重なデータを提供していただいた関係各位及び、終始御指導御協力いただいた関係各位に、感謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 松下，外：純酸素上吹転炉法，製鉄製鋼法，第 1 巻(1978-4)
- 2) 三原，外：連続鑄造システムの自動化，製鉄研究，第279号 (1973)
- 3) 井上，外：新日鉄の大型スラブ連鑄機の作業技術の進歩，製鉄研究，第294号(1978)