

製紙業における生産操業管理システム

Integrated Operation Management and Control System for Paper Mills

最近、製紙業界では高騰するエネルギー、資源問題の中で、生産性向上、顧客サービス向上及び省力化による生産コストの低減を図るため、設備の新鋭化とともに、円滑な生産・物流を確保するため現場操業を生産プロセスと直結した形でシステム化する要請が高まっている。

このシステムは、調成工程の計装システム、抄紙工程の坪量水分制御システム、欠陥検出装置及び上位生産計画システムとのリンケージのもとに、従来合理化が遅れていた仕上工程を中心に各工程情報を一元管理し、生産設備情報、品質情報を操業に反映させるとともに、操業用データをオペレータに提供し円滑な生産・物流を可能としたシステムであり、我が国では類のないシステムである。

本稿は、このシステムを機能面と機器構成面からとらえて紹介する。

田中重之* Shigeyuki Tanaka
安松謙次郎* Kenjiro Yasumatsu
村井忠雄** Tadao Murai
石田康** Yasushi Ishida
徳永起*** Takeshi Tokunaga
長谷川邦夫**** Kunio Hasegawa
桐生隆久***** Takahisa Kiriu
三留和幸***** Kazuyuki Mitome

1 緒言

製紙工場での製造工程は、チップからパルプを作るパルプ化工程、パルプを叩解し薬品などを配合する調成工程、紙をすき乾燥などを行なう抄紙工程、注文に合わせて断裁などの加工、品質検査、荷造りなどを行なう仕上工程から成っている。製紙業は従来、主にパルプ化工程、調成工程及び抄紙工程を中心にした自動化に力が注がれてきたが、最近の多品種少ロット注文傾向の中で厳密な品質管理が要求される上質紙製造プロセスでは、特に仕上工程での操業の複雑化、在庫量の増大、ハンドリング作業の増大、注文取合せ、段取りロス増大などの問題が発生している。仕上工程でのこれらの問題は、上流工程の生産設備と密接に関連しており、特に生産プロセスと直結したシステム化が必要となっている。

山陽国策パルプ株式会社勇払工場では、これらの要請から5号抄紙ライン(240t/d)の建設を機に、5号大型抄紙機を中心とする上質紙製造ラインの調成から仕上工程までの生産操

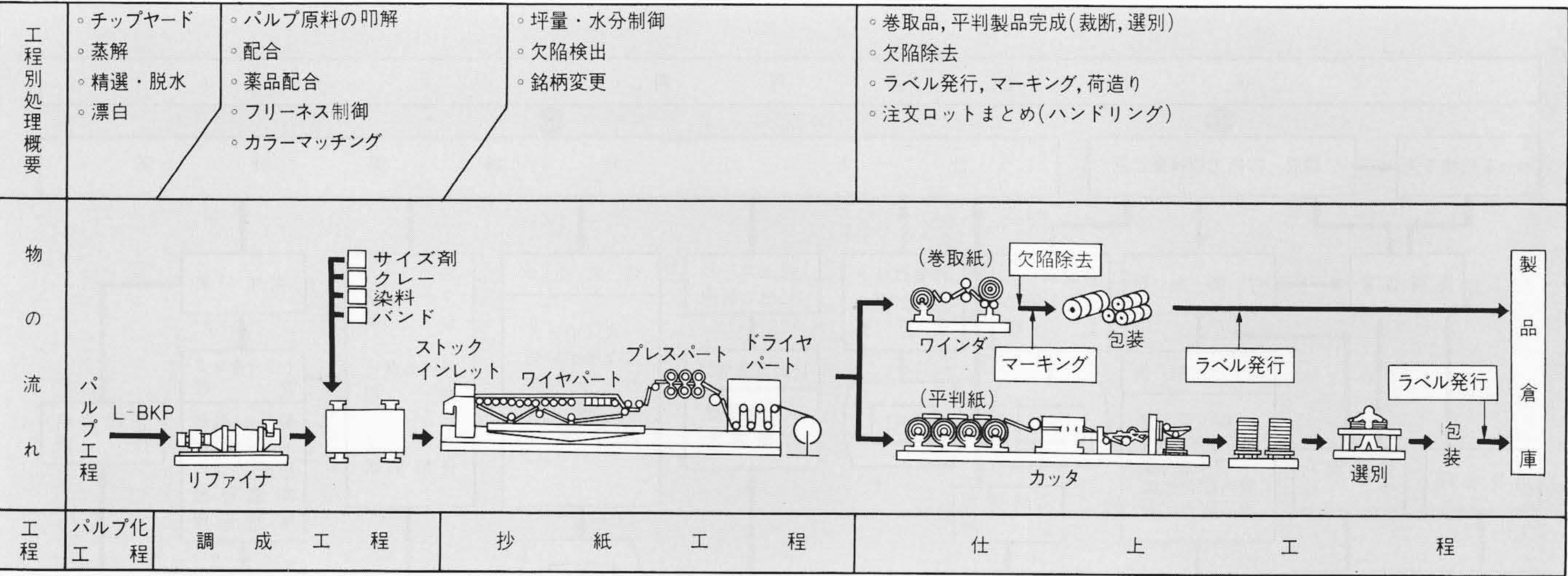
業管理のシステム化を計画し、抄紙機の営業運転とほぼ同時にこのシステムの稼動を開始した。

本システムは、日立製御用計算機HIDIC 80をシステムの中核とし、生産計画用日立上位計算機HITAC 8250(既設一部機能強化)、中央制御卓、プロセスディスプレイ、中間製品用立体自動倉庫、搬送設備、インクジェットプリンタなどの関連機器を有機的に結合して構成され、従来の製紙業での生産管理システムとは範囲、機能面で異なり、総合的な生産操業管理システムの第一歩を踏み出したものと言える。

2 生産操業管理システム開発の背景とねらい

2.1 製紙プロセスの概要

製紙プロセスは概略図(図1)に示すとおりである。すなわち、顧客からの注文ロットに対し銘柄に合わせたパルプ配合、薬品配合及び叩解を行なう調成工程、注文ロットの銘柄に合



注：略語説明 L-BKP (Leaf Breached Kraft Pulp：未使用パルプ)

図1 製紙工程の概要 製紙工程は、図示のように四つの工程から構成される。

* 山陽国策パルプ株式会社 ** 日立製作所システム事業部 *** 日立製作所多賀工場 **** 日立製作所大みか工場
***** 日立製作所機電事業本部 ***** 日立製作所システム開発研究所

わせた坪量・水分制御を行ないながら抄紙機で紙をすく抄紙工程、注文寸法・長さ(巻取, 平判)規格に合わせ、カッタによる平判の断裁, ワインダによる小巻ロール巻取, 欠陥処理, 包装, ラベル貼付を行ない, 最終出荷製品を作成する仕上工程の四つに大別される。プロセスは, 前半のパルプ化工程がケミカル, 後半の仕上工程が調成・抄紙工程機械プロセスから成っている。

2.2 システム開発の背景とねらい

製紙プロセス, 特に上質紙プロセスでの製品品種は極めて多岐にわたり, そのほとんどが注文生産である。最近, 生産性向上, 省エネルギーの目的で抄紙機などの設備は大形化・高速化しているが, 注文は小ロット, 多品種, 短納期化しており, 更に厳格な品質管理が要求されるため, その生産・操業計画, 管理業務は複雑化している。特に実操業では, 欠陥処理などにより計画どおり操業できない場合が生じ, 他部署への影響が発生するほか設備稼働率の低下, 物流バランス乱れによる仕掛り在庫の増大, ハンドリング作業の増大, 管理業務の労力増大などの問題が発生する。本システムは, これら問題を解決するため以下に述べることをねらって開発した。

(1) 顧客からの注文変更(外部要因), 品質異常や設備異常などによって生ずる操業の乱れ(内部要因)に対して, 品質の安定, 未抄の防止, 円滑な物流を確保する安定操業システムの実現。

(2) 仕上工程を中心にした直接員, 間接員の削減

(3) リアルタイムな情報提供による顧客サービスの向上と管理情報の向上

(4) 的確な操業案内, 荷役の自動化による現場作業の改善

3 システムの機能

システムの機能関連を図2に示す。上位生産計画用システムからの計画情報と現場操業情報とをもとに操業計画を立て, 調成から仕上工程までの操業者, 設備に対し作業指示を行なう。抄紙機以降の製品・半製品は品質, 位置及び規格情報がすべてトラッキングされ, 設備到着タイミングで, 操業上必

要情報を提供するとともに, 実績をフィードバックしダイナミックな変更を可能としている。以下に, システムの主な機能を述べる。

3.1 調成・抄紙工程の機能

(1) 銘柄変更予測

銘柄変更時間を予測し, オペレータにガイダンスすることにより, 原料・薬品仕掛量の有効利用及び切替作業の効率化を図る。

(2) SPC(Set Point Control)

所定の銘柄, 生産量に応じた薬品, 原料配合比率設定制御, リファイナチェスト送り量制御, L-BKP(Leaf breached Kraft Pulp: 未使用パルプ)受入れ量制御などを行ない, 品質及び操業の安定化を図る。薬品配合比率は図3に示すように, 損紙とバージンパルプ個々に比率をかけ, 3変数入力に対し4変数相互干渉演算を行なうことにより, ミキサ送り量及び薬品の配合比率を設定する。設定値テーブルの変更により, 薬品品質の安定化を図る。

(3) 用具管理

抄紙工程のワイヤパート, プレスパートでの走行長さ, 真空度, 線圧などの管理を行ない, 用具交換ガイドをCRT(Cathode Ray Tube)に表示する。

(4) 損紙・紙切れ量管理

抄紙機, ワインダなどで発生した損紙・紙切れ量を, 原因別, 坪量別及び場所別に管理し, 必要なタイミングでCRTに表示する。

(5) 管理資料作成

調成工程, 抄紙工程の生産操業データを抄造ロットごと, リールごと及び時間ごとに集計し, 日誌をラインプリンタ, タイプライタ及びCRTに出力する。

3.2 仕上工程の機能

(1) 半製品・製品情報のトラッキング

リール以降製品倉庫に至るまでの半製品・製品位置, 規格, 品質情報を追跡することにより, 進捗状況管理, 機器制御タイミング及び実績収集タイミングを可能とする。トラッキン

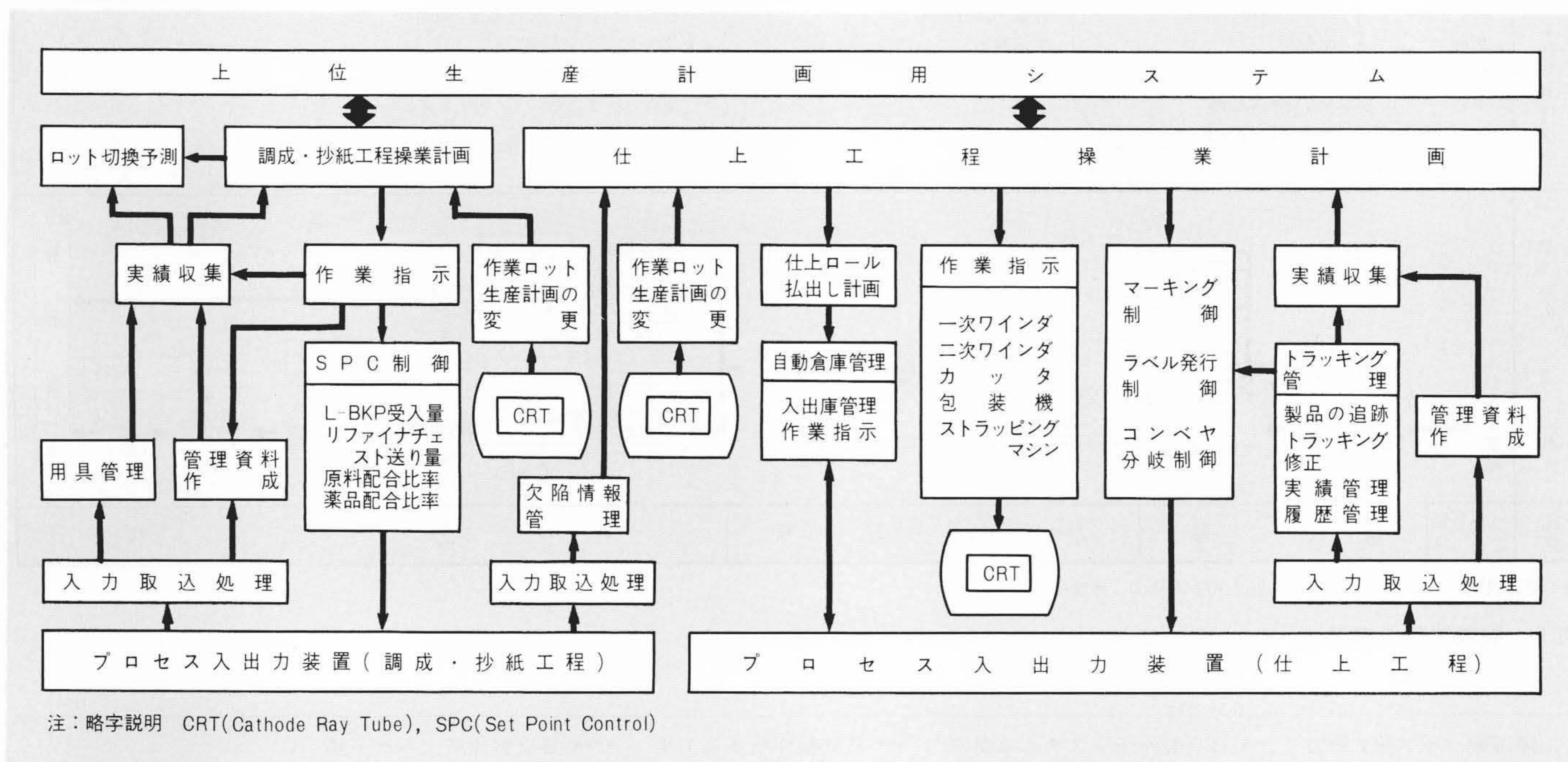


図2 機能関連図 上位システム, 下位プロセスとの有机的結合及び現場マンマシンにより操業管理, 制御機能を構成する。

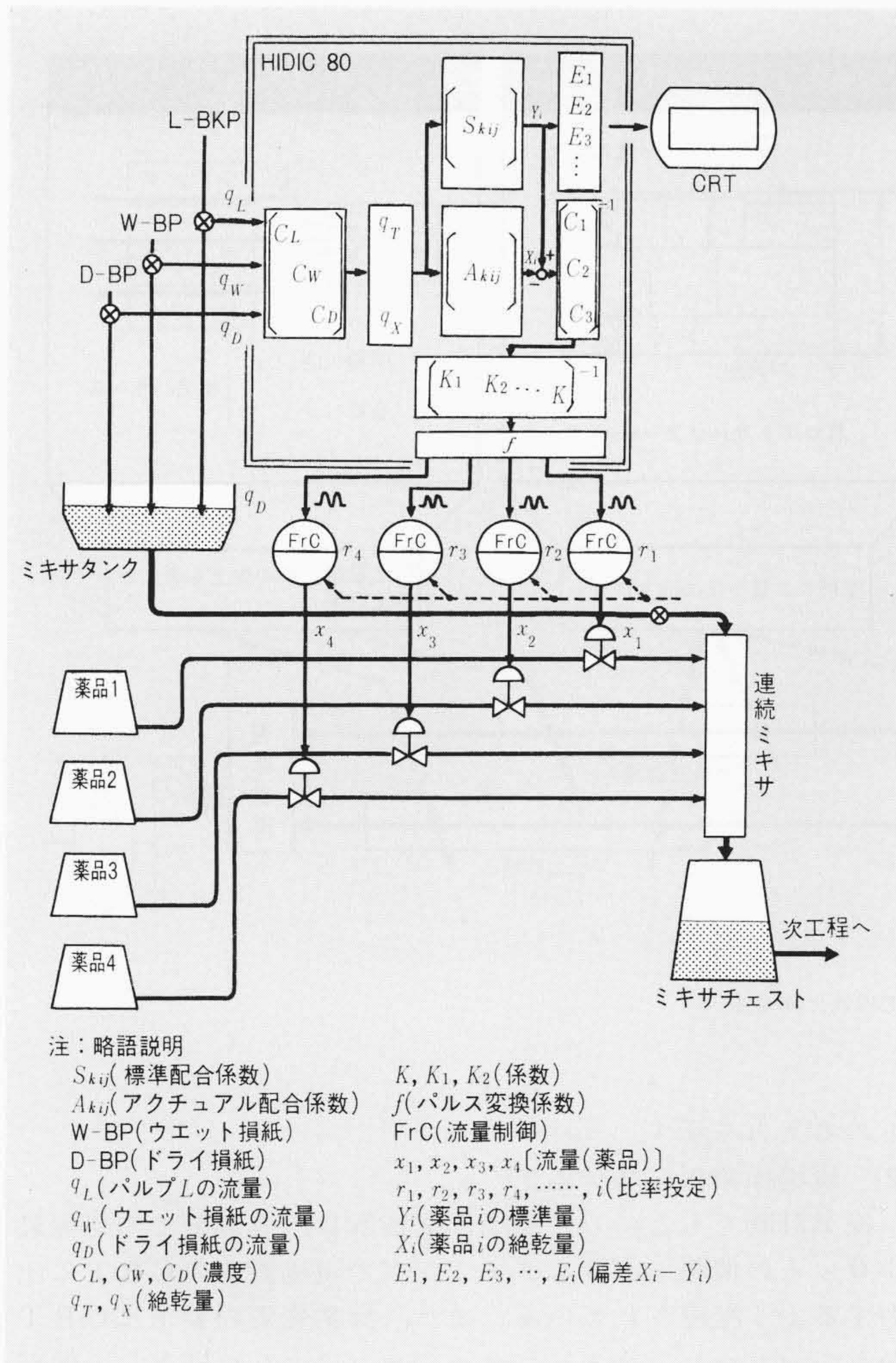


図3 薬品配合比率制御 損紙中の薬品を考慮した、薬品配合比率制御を行なう。

グは、各設備で卸される現物を追跡することにより行ない、それぞれを検索するためのコードを図4に示すように設け、計算機内テーブルでマッチングをとる。

(2) 設備操業作業指示

現場設備であるリール、一次ワインダ、二次ワインダ、カッタ、積替装置、巻取包装機などを取り扱うオペレータに対し、現物対応の加工処理仕様、品質検査情報及び処理実績情報を各CRTに表示し操業案内を行なう。

(3) インクジェットプリンタによる自動印字制御

巻取包装機に到着した巻取ロール端面に、インクジェットプリンタで、該当ロールの寸法規格、抄造依頼番号、連量、製造年月、ロール番号などを印字する。

(4) ラベルの自動発行制御

包装後の巻取品、平判品に対し、銘柄、坪量、寸法規格、抄造依頼番号、取位置、製品番号などを記したラベルを発行する。

(5) 管理資料作成

仕上設備での操業実績、平判・巻取製品出来高、歩どまりなどの実績をもとに、管理資料の作成を行なう。

3.3 中間工程及び操業計画の機能

(1) 中間製品立体自動倉庫管理

抄紙工程と仕上工程の中間に、ラインと直結した形で自動倉庫を配置し、一次ワインダで卸された半製品を一時格納し、仕上工程へのロット集約作業とロールディストリビューティングを行なう。

(2) 欠陥情報処理機能

欠陥検出装置から、リールごとの欠陥種別、2次元の位置情報を取り込み、下流工程での欠陥処理、品質管理のための情報提供を行なう。

(3) 操業計画

上位生産計画システムとのリンケージのもとに、現場操業で必要な情報を付加して、操業計画を立てる。

4 生産操業管理の内容

4.1 スケジューリングの考え方

製紙業でのスケジューリングは図5に示すように工程別に分けて考える必要がある。すなわち、調成・抄紙工程の生産性効率化のためには、同一銘柄・坪量の注文ロットをできるだけ大きくまとめ、ロット切換も抄紙機の制約を考慮して効率よく切り換えるロットを続けることであり、原料ロスを最少にするためには抄幅に対して耳ロス、流れロスが最少となる注文取合せを行なうことであり、更に仕上設備稼働率向上のためには、設備の加工仕様が同一のロットをまとめ、設備能力に見合った量を供給することである。

(1) ライン別投入・銘柄・坪量変更

顧客からの注文群{0}に対し、工場別抄紙機の割当て、抄順に合わせた銘柄・坪量別グループ分けを行ない、銘柄変更が歩どまりよく効率的に行なえるようスケジュールする。

(2) 原料ロス最少化注文取合せ

同一銘柄・坪量の注文は、幅寸法規格を W_i 、注文量を P_i と

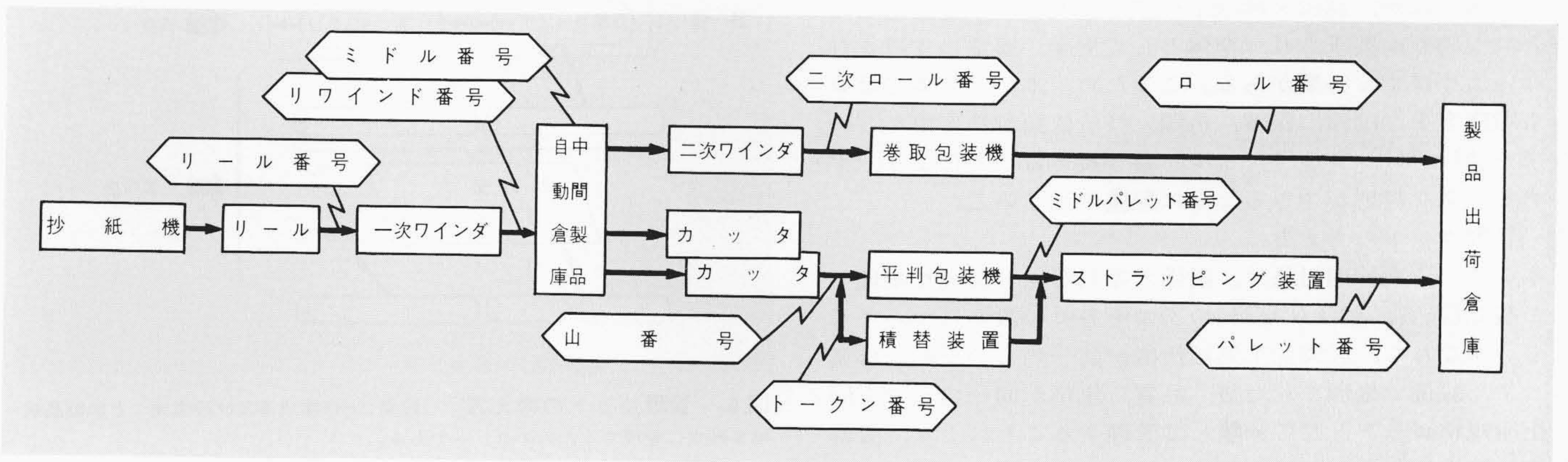


図4 トラッキングコード体系 計算機内テーブルと現物とのマッチングを行なう。

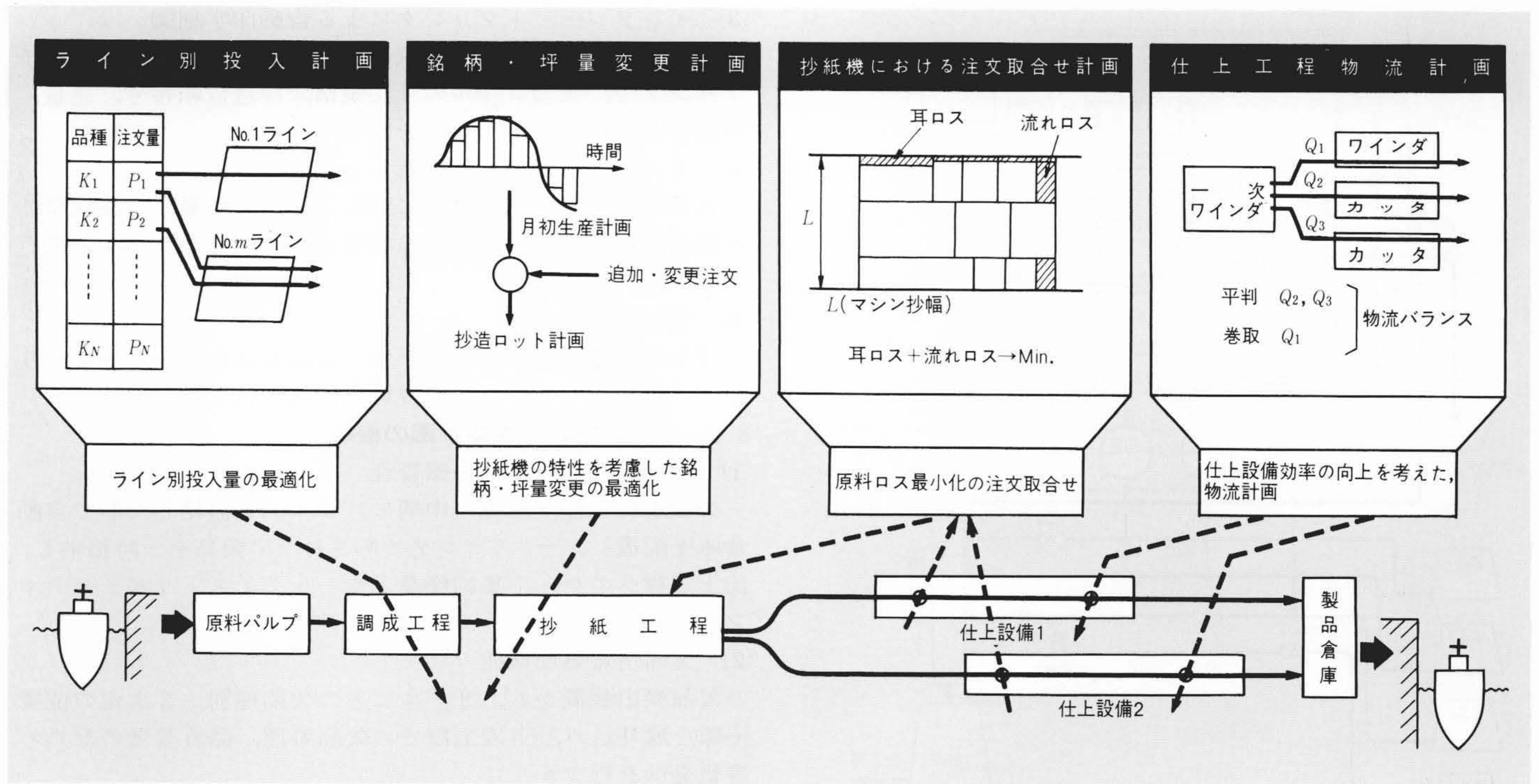


図5 各工程別スケジューリングの考え方 スケジューリングの最適化は工程別に異なる。

すると、その注文群は $\{W_i, P_i\} (i=1, 2, \dots, m)$ で表わされる。抄幅一定 W から耳ロスがある一定幅に収まる製品組合せパターン $(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{mj})$ を求め、そのパターンの使用回数を x_j とすると、注文に対する未抄は許されないことから $\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \geq P_i$ が制約条件となる。目的関数として耳ロス、流れロス及び段取り回数が最小となることを考えると、 $\sum_j (W - \sum_i a_{ij} W_i) x_j + K_1 \sum_i (\sum_j a_{ij} x_j - P_i) W_i + K_2 \cdot y \Rightarrow \text{Min}$ を解くことにより、最適組合せが得られる。ただし、 K_1, K_2 は係数、 y は段取り回数

(3) 仕上工程物流計画

仕上工程での製品には平判品と巻取品があり、寸法規格により設備処理能力、段取り時間が異なってくるため、各設備の処理方法に合わせた標準時間を算出し、設備負荷バランス及び仕掛り在庫量を考慮した物流計画を立てる。

4.2 操業管理のシステム化

製紙業での実操業はスケジューリングされたとおりにいかない場合もあり、品質格付変更による他注文への振替、同一品質製品との包装単位集約のための積替、損紙処理、緊急注文に対する割込処理、未抄に対する処理など種々の判断業務及び作業が発生する。しかもこれらの判断は、仕上工程での現場状況のほか、調成・抄紙工程での状況及び予定を考えた総合的な判断が要求され、全体として生産、操業に支障を与えないようにする必要がある。このため、本システムではロット順序変更、削除、保留、再開、抄造依頼割当変更などの要求を受け付け、管理ファイルを書き換えることにより、ダイナミックな対応ができるように配慮されている。

(1) 管理ロットの考え方

本システムの管理対象は、設備の操業形態と設備で処理された製品(品質、量及び規格)の二つを各々の設備について考える。すなわち、設備加工処理仕様が同一のものを同一作業ロット、設備で処理された後、品質、規格が同一のものを同一生産規格ロットとして分離して管理することにより、設備対応の変更柔軟な対処を可能としている。図6に管理ロッ

トの考え方を示す。

(2) 現場操業のシステム化

操業計画をもとにした現場作業指示は、各部署での処理最小ロットの情報を必要なタイミングで現場設置のCRTに出力するように配慮されている。また、操業変更の要求はCRTからのマンマシンコミュニケーションにより可能とし、他部署へはリアルタイムに反映できる。特に本システムは、一次

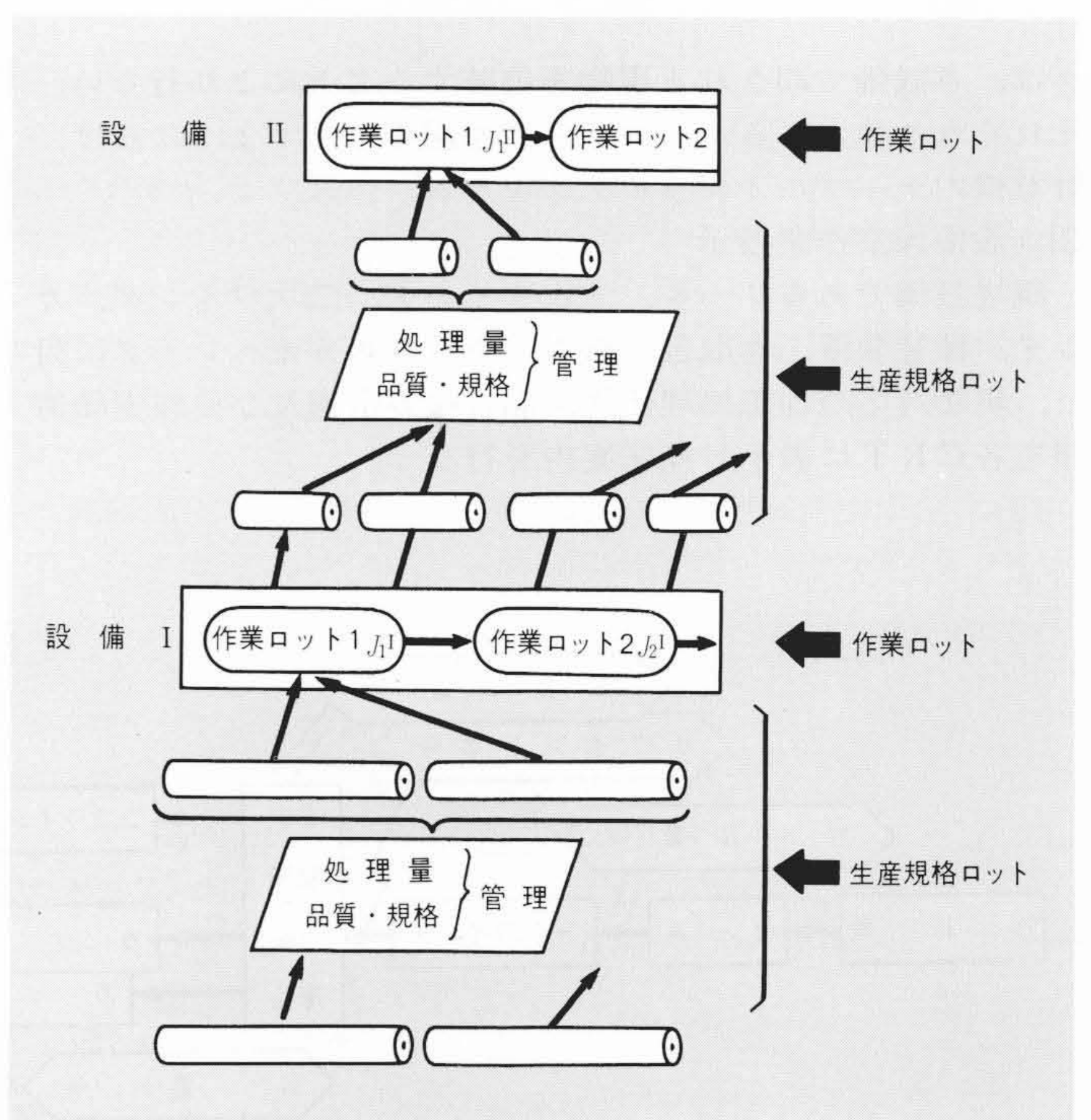


図6 管理ロットの考え方 設備ごと作業規準及び設備間ごとの製品規格を独立に管理するためのロットである。

ワインダ後の半製品を一時格納できる中間製品立体自動倉庫をもっているため、より融通性に富んだ変更が受け付け可能であり、細分化されたロットの仕上操業に対し、連続プロセスである調成、抄紙、抄紙機のロット切戻回数を低減している。また、他部署からの変更についてシステムで対処し、現場には次に必要な操業だけを指示するため、現場操業者は変更に対して考慮する必要はない。

5 システムの構成

システムの全体構成を図7に示す。システムの性格上、製品のトラッキング、設備情報は仕上工程に広く散在しており、これらとリンケージするためDFW(データフリーウェイ)を導入した。また各設備操業指示のため、設備対応にCRTを設置し、作業員との対話のもとに操業を行なうことを可能にするとともに、各設備のプロセス情報とも直接リンケージをとり、情報のリアルタイムディスプレイを可能としている。各ステーションから取り込まれた情報は、DFWを経由してセンターに収集され、現場情報として一括管理され操業の変更、異常などを判断して操業指示を決定する。操業指示は、各設備のCRTに出力され、更にTCR(トークンカードリーダー)、IJP(インクジェットプリンタ)、LBP(ラベルプリンタ)を現場に設置し、マニュアルオペレーションを極力排したシステムの運用を可能としている。

5.1 制御用計算機構成

制御用計算機はHIDIC 80の二重系のロードシェアデュプレックス構成である。すなわち、平常運転時では片系(CPU1)

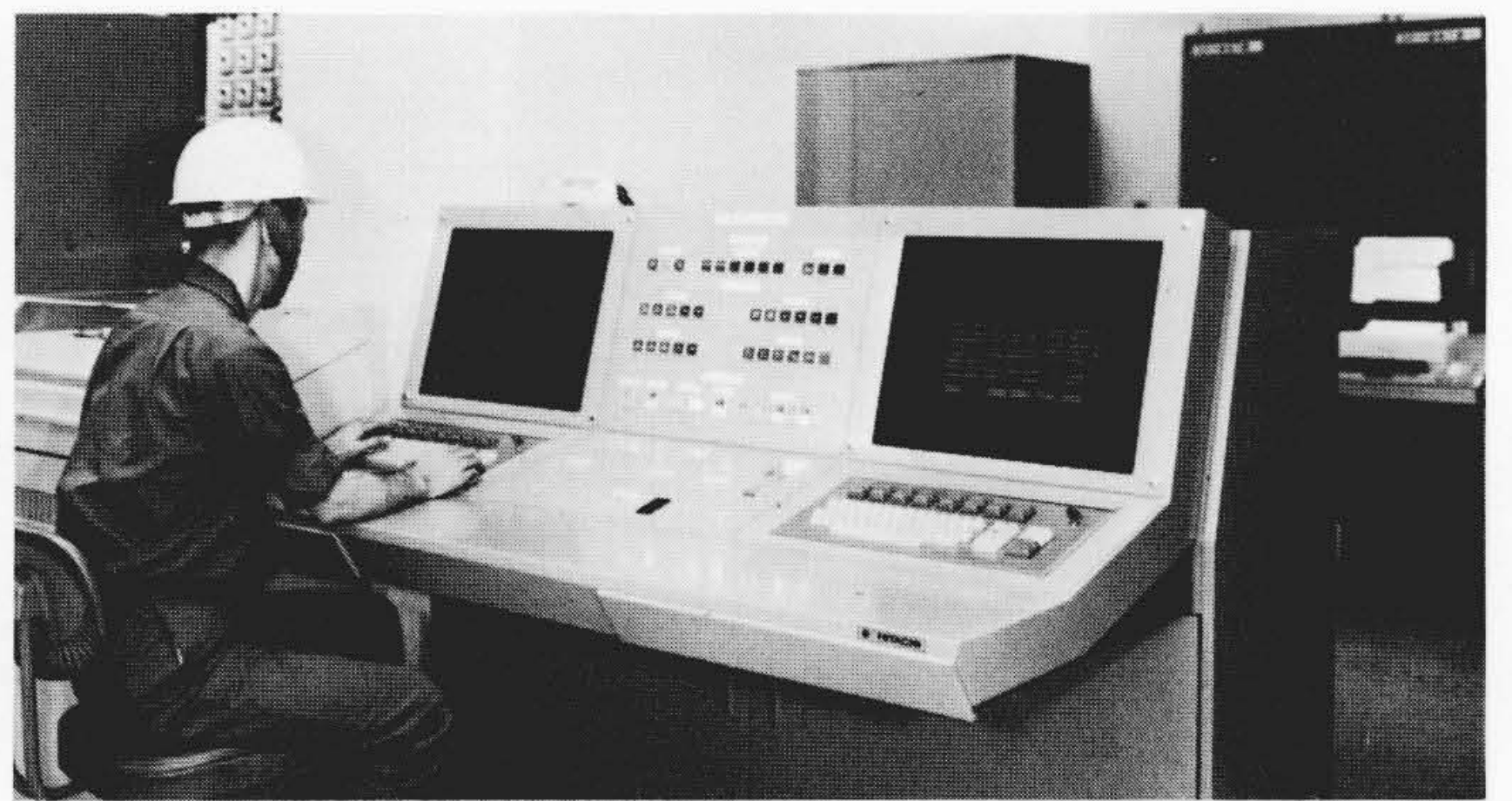


図8 中央制御室 左側CRTは調成・抄紙工程用、右側CRTは仕上工程・操業計画用である。

で調成・抄紙工程を、もう一方の片系(CPU2)で仕上工程、操業計画を分担して運転するが、万一の片系ダウンの場合には、システムの機能を維持させながらも他系で全範囲を運転できるように構成されている。また、M・DISC(補助記憶装置)も二重化され、中枢機関としての信頼性を高めるとともに、TSES(Time Sharing Executive System)を組み込み、オンラインに影響を与えずにプログラムのデバッグができ、システム改善が容易に行なえるようにしてある。図8に中央制御室の概観を示す。

5.2 中間製品立体自動倉庫

中間製品立体自動倉庫は、図9に示すように抄紙工程と仕上工程の間にラインと直角方向に設置され、一次ワインダ

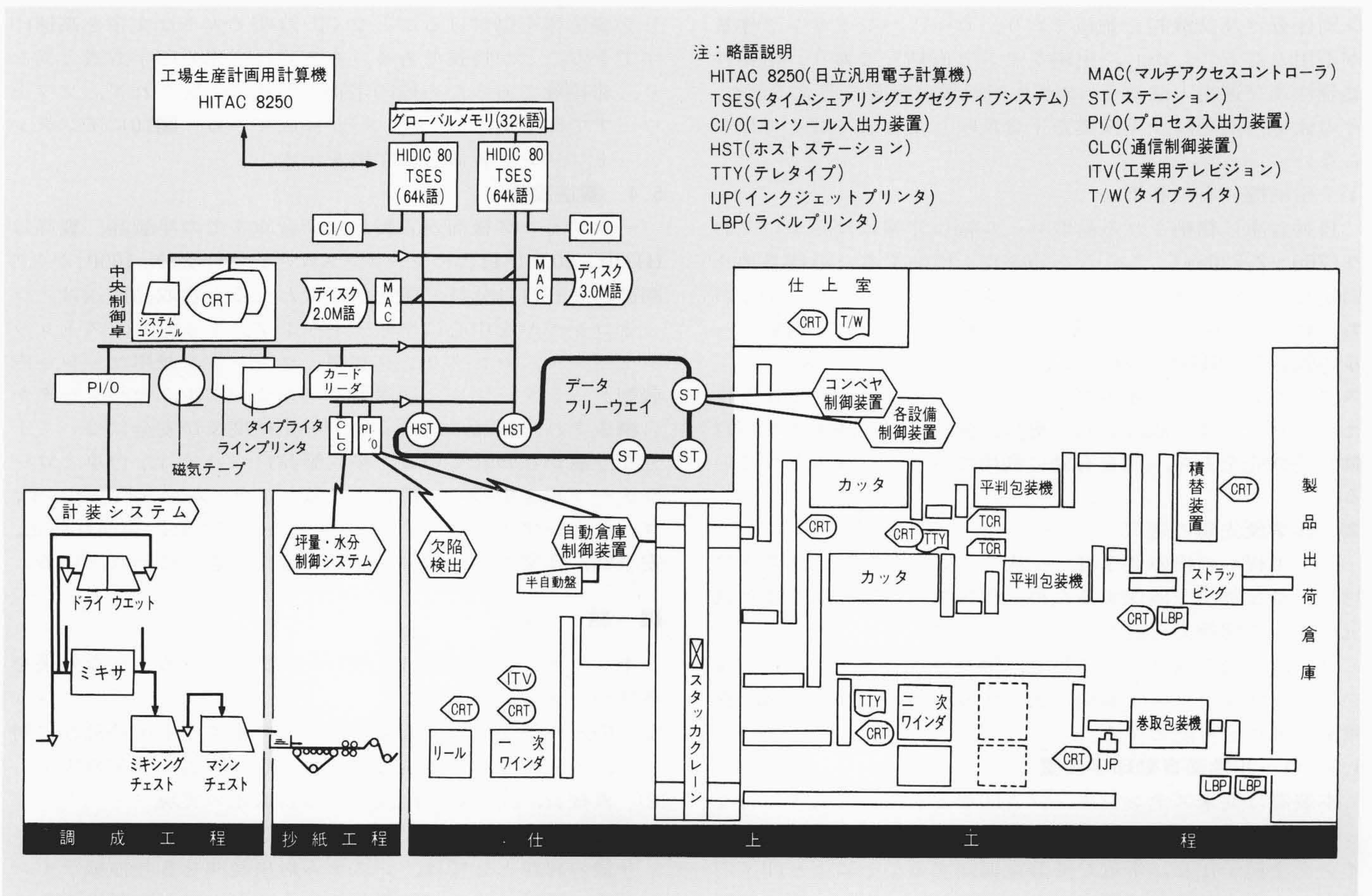


図7 システム全体機器構成 将来の拡張、信頼性、処理性を考慮して2重系構成になっている。

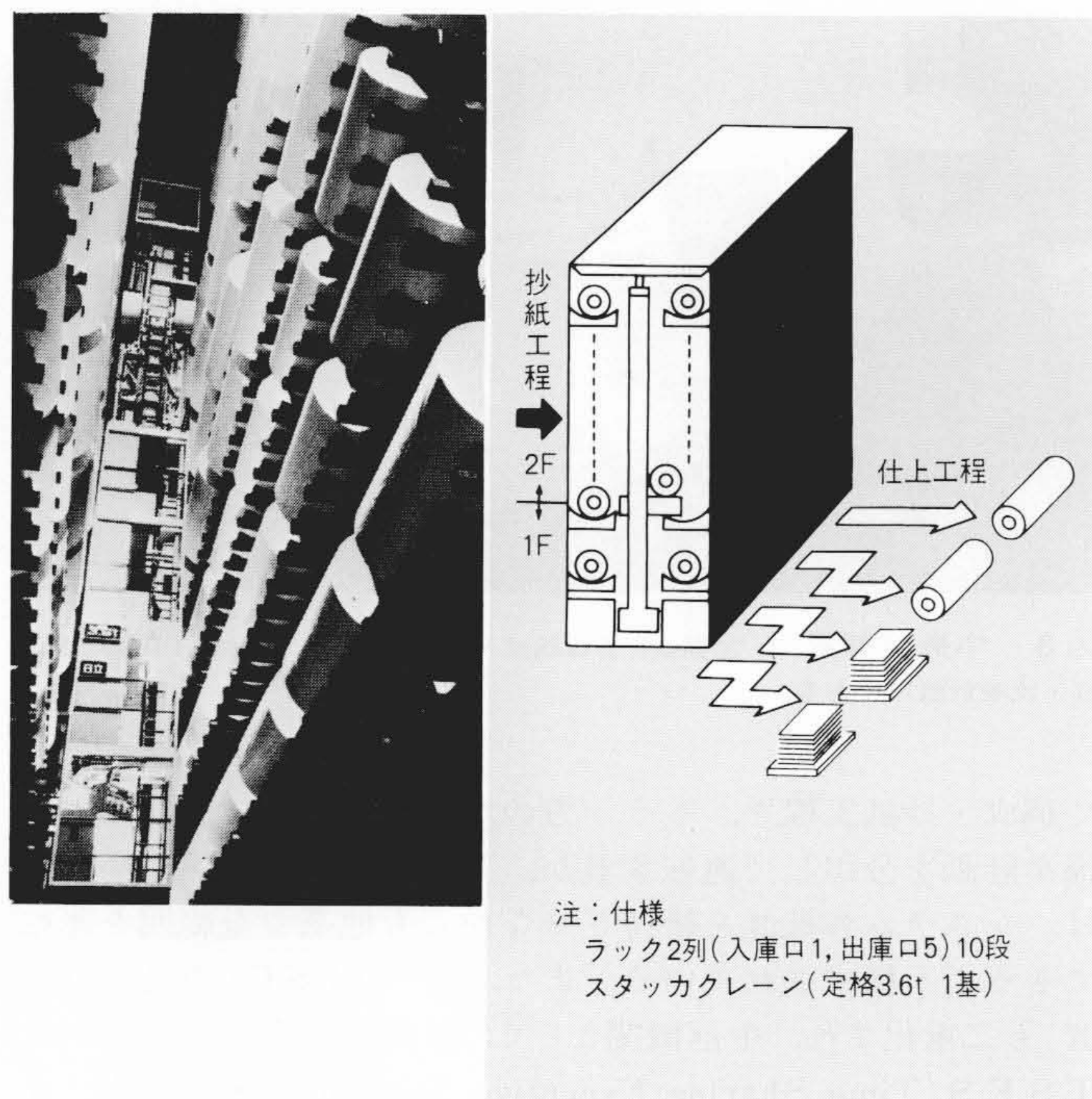


図9 中間製品立体自動倉庫 面圧, 取扱いによる傷防止の配慮が払われている。

で卸された半製品を格納し, 二次ワインダ, カッタなどの仕上設備要求に従って供給する。このような自動倉庫は, 従来の製品出荷用倉庫とは異なり種々の特徴をもっている。すなわち, 工程間半製品として格納されているため, 仕上ライン別仕分け及び各仕上設備への振替変更が可能である仕上ライン別仕分け及び機能を兼ねており, ロールハンドリング作業が不用となる。しかし, 生産ラインと直結しており, 信頼性処理性及び運用方法がそのまま生産設備に影響を与えるため, その仕様, 運用は, 実操業を十分反映したものでなくてはならない。

(1) 格納棚の有効利用

自動倉庫に格納される巻取ロール幅は非常にばらついており(760~2,520mm), これらを効率良く格納するため棚番地を固定しないセミフリーロケーション方式を採用した。すなわち, ロールを幅方向に間隔を詰めて格納するため, 巻取ロールの幅情報をHIDIC 80から受け取り3分類(大・中・小)し, スタッククレーンの4本フォークをロール幅に応じて切り換えて取り扱うよう設計した。更に, 歯抜け格納防止のため自動配替機能をもち, 棚を有効に利用できるよう配慮されている。

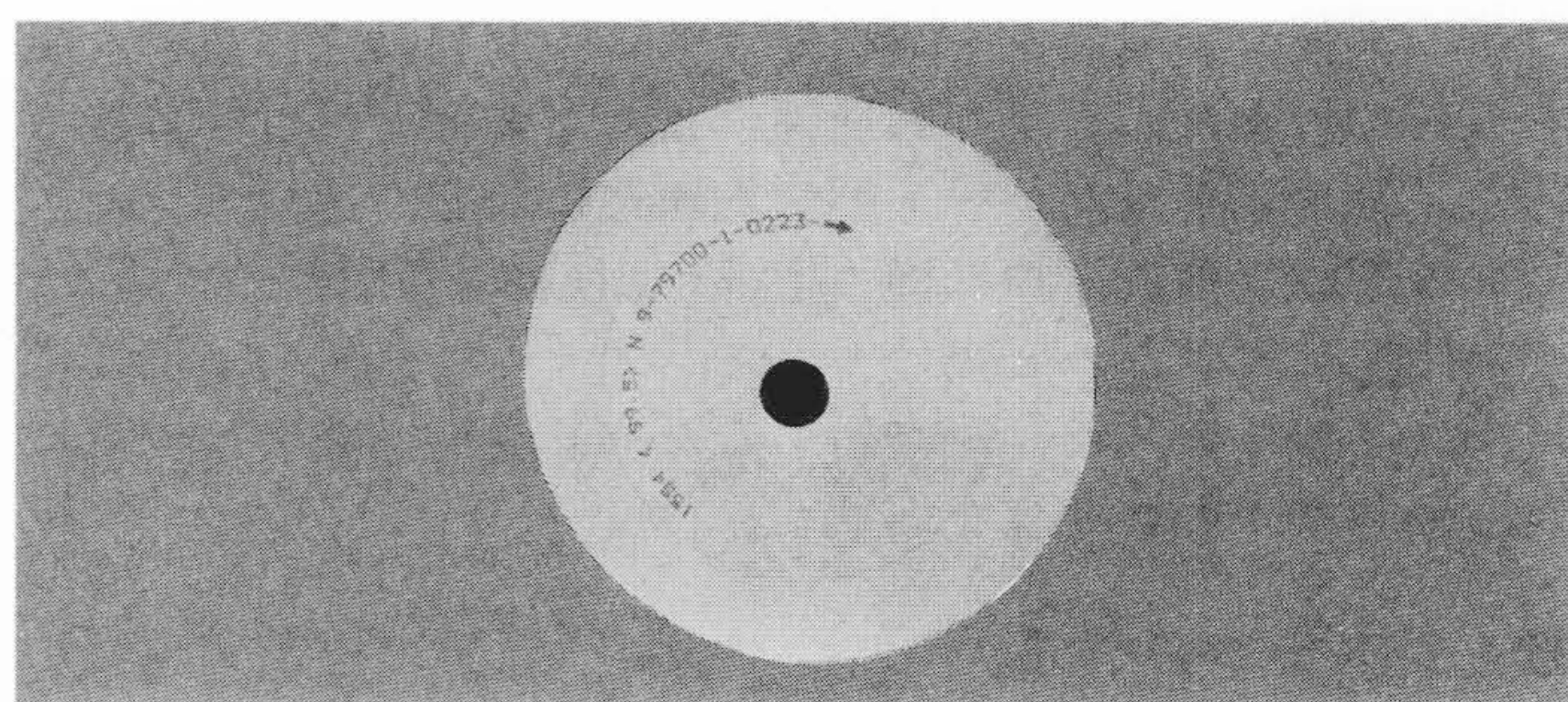
(2) 作業優先順の選択

仕上工程への出庫要求群, 一次ワインダからの入庫要求に対し円滑な物流を確保するため, 作業要求に優先順を設け状況に応じて切換え可能とする。

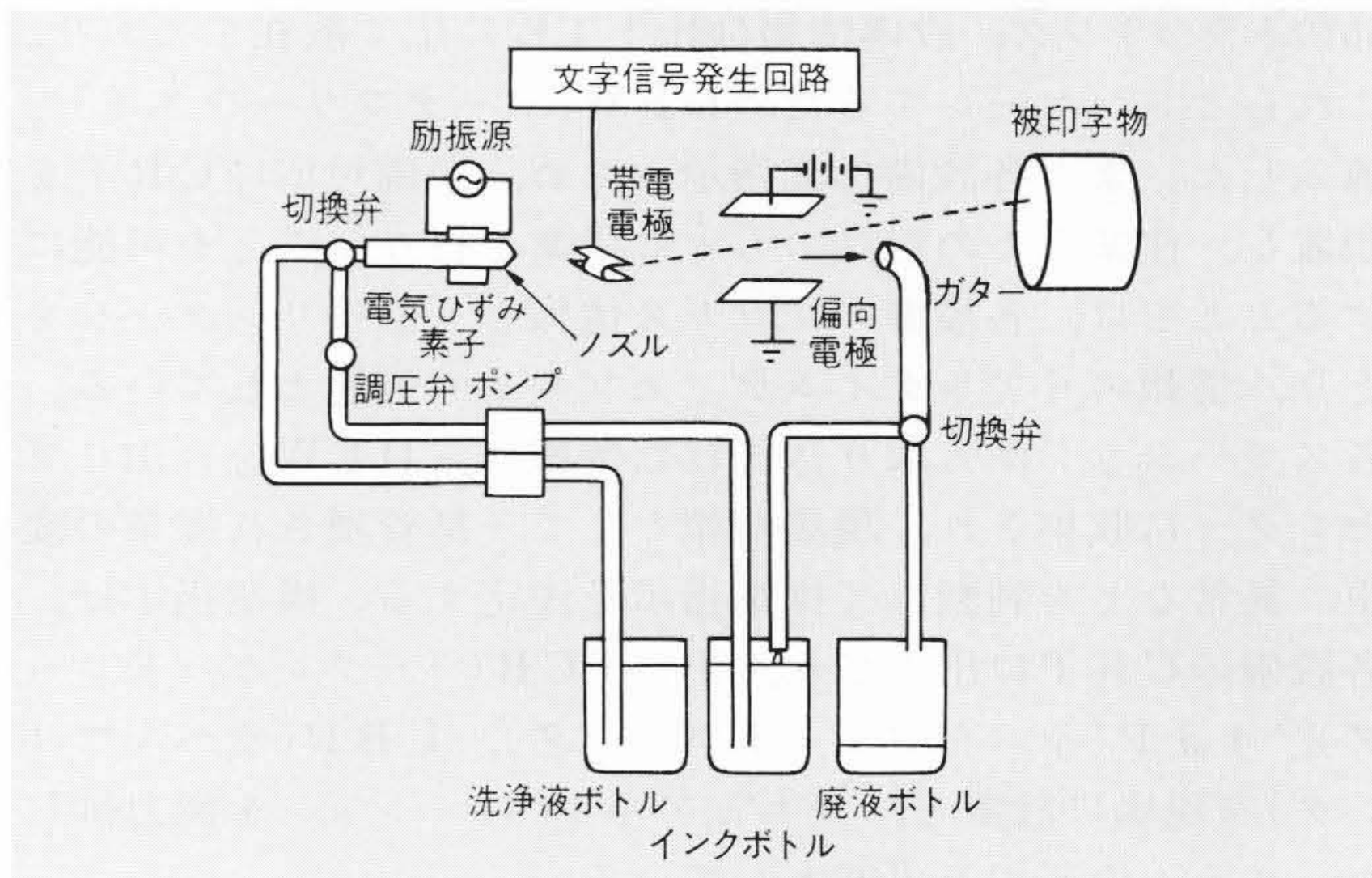
自動倉庫格納品ロールに対し, 棚割付けパターン, 格納量をロット別及びロール個別に表示することにより, 仕掛り在庫量の表示を可能とする。

5.3 ロール端面自動印字装置

本装置は従来ステンシル, ゴム印などを用いて人手で行っていたものの自動化装置であり, 220 μ のノズルを振動させインクを粒子化し, 帯電して静電偏向することにより印字内容をドットで構成して印字するインクジェットプリンタ装置を用いている。印字内容はトラッキング情報とロール情報を



(a) インクジェットプリント印字例



(b) インクジェットプリント方式の仕組

図10 インクジェットプリンタ装置 装置は, IJP制御部である本体とノズルヘッドから構成される。

HIDIC 80からインクジェット装置に送信し, 該当ロールに対し必要情報を傷付けることなく, 鮮明で大きな文字を高速印字できることが特長である。本方式は従来の印字方式と異なり, 非接触であるため被印字物の形状に影響されず, ソフトウェアで印字文字(パターン)が作成できる。図10にインクジェットプリンタ装置と印字例を示す。

5.4 搬送設備

一次ワインダ後面から製品出荷倉庫までの半製品, 製品はHIDIC 80及び11台のシーケンスコントローラ(N-1000)からの制御により自動分岐, 搬送が行なわれる。巻取品搬送はスラットコンベヤを中心にフィードランプ, プッシャ, ストレッチテーブル, センタリング装置, クッション兼用プッシャ内蔵型ターンテーブル, 通過型ターンテーブル, セパレータから構成され, 製品に対する傷, 停止精度及び安全について十分な配慮が払われている。平判製品については, 台車とローラテーブルを中心に, 積替え装置, アキュムレートコンベヤ, ローラテーブル付ターンテーブルから構成され, 荷崩れ防止, 安全性, 作業性の確保について十分な配慮が払われている。

6 結 言

本システムは稼動後日も浅いが, 次に述べるような効果を挙げつつある。

- (1) 内・外部からの要因変更によって生ずる生産の乱れに対して, 生産・品質・物流条件を満足した円滑な操業の実現
- (2) 直接員, 間接員の削減による省人化の実現
- (3) 管理精度の向上及び現場作業の改善

今後の課題としては, システム対象範囲を5号抄紙ラインから他の抄紙ラインへ拡張していくとともに, 全工場を含めた全社オーダエントリシステムの確立が望まれている。