

流通倉庫における管理制御システム

Management and Control in Automated Warehouse Systems

日立製作所は生産管理、鉄鋼、新幹線など数多くのオンライン制御に実績を有する制御用電子計算機とオンライン機器を駆使して、大小各種のユニークな計算機制御システムを提供してきた。本論文では、その結果蓄積されたノウハウを集約し、流通倉庫システムを構成する際の指針を与えるものである。

具体的には流通倉庫の機能を総括した後、実システムに即した形で管理制御の段階分けを行っており、管理制御の実体を明確化するためにスケジューリングと高信頼度化技術についての説明を行なっている。特にスケジューリングについては、ヒューリスティックな手法と数理的な手法との比較対照を行なっている。

山県 振武* Shinbu Yamagata

川野正一郎* Masaichirô Kawano

1 緒 言

情報化社会への指向が強まってきた今日、多様化・サービス性の向上などの社会的ニーズがクローズアップされてきた。流通業界や各種製造業、各産業分野の流通部門においても、従来の人手に頼る方式から新しい流通システムへと脱皮すべく、各種の開発が進められている。中でも流通倉庫と呼ばれる部分は、流通システムの中核となる部分であり、合理化の必要性が叫ばれているものである。日立製作所では、生産管理、鉄鋼、新幹線など数多くのオンライン制御に実績を有する制御用電子計算機とオンライン機器を駆使して大小各種の特徴ある流通倉庫計算機制御システムを提供してきた。本論文では、その結果蓄積されたノウハウを集約し、流通倉庫システムを構成する際の指針を与えるものである。

2 流通倉庫の概要

図1に流通システム構成を示す。流通倉庫は、生産工場において生産された各種の品物を仕分け組み合わせて、顧客及び特約店からの要求に従って配送するものであり、これが流通倉庫をして物流変換機構¹⁾と呼ばせている理由である。自動倉庫の中には、このほかに生産工場内に設置されている素材倉庫、部品倉庫などがあるが、機能的には本論文で取り扱う流通倉庫に包含されるものである。

図2に流通倉庫のイメージを示す。同図の下部が入庫エリアであり、ここから物品が搬入され、入庫ライン、スタッカクレーンによって自動的に高層ラックに格納される。パレタイズ作業とは、パレットと呼ばれる物品格納容器に物品を格納する作業のことである。物品の寸法がまちまちである場合

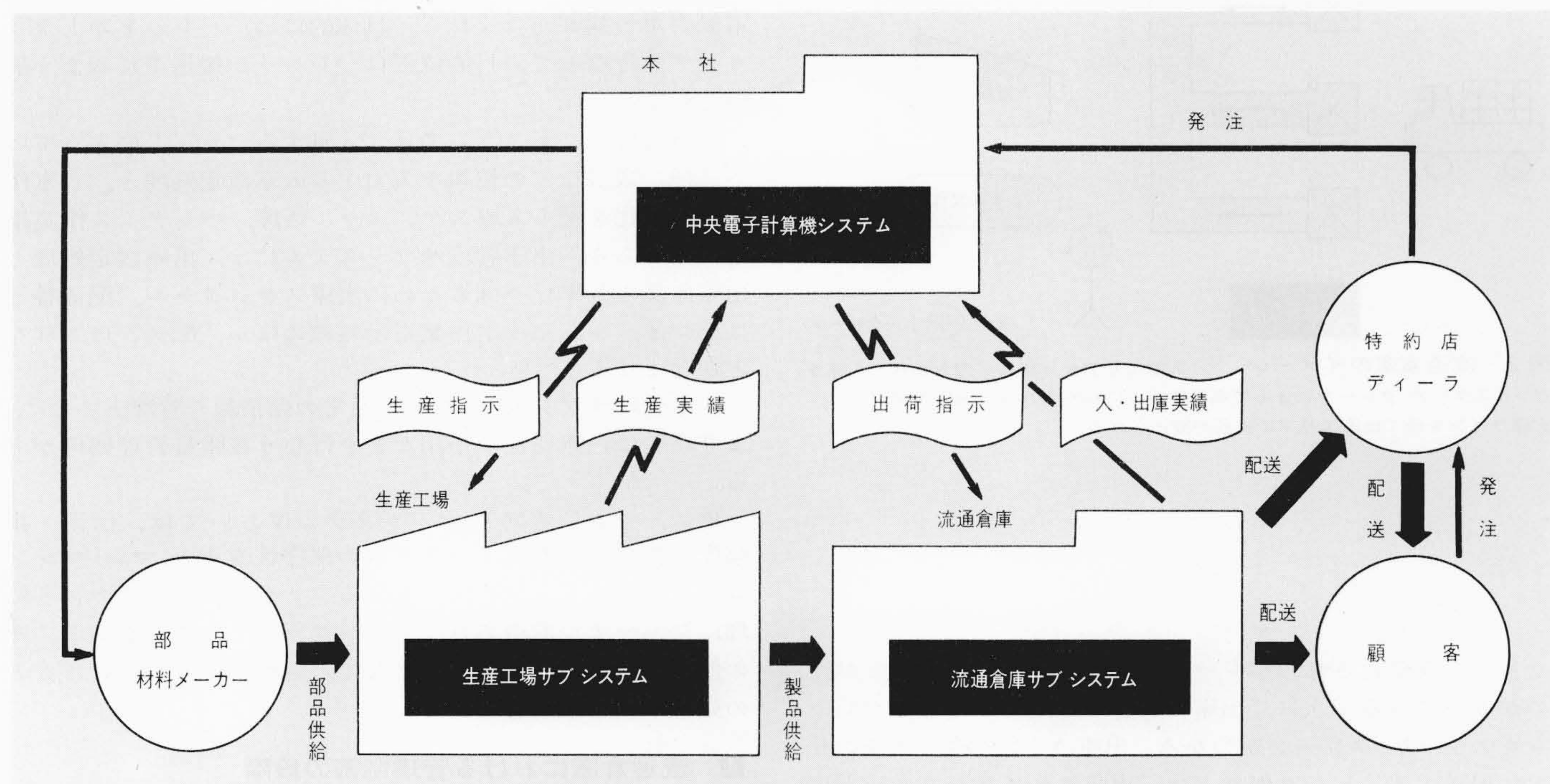


図1 流通システム構成図 流通倉庫は生産工場において生産された各種の品物を仕分け、組み合わせて顧客及び特約店などからの要求に応じて配送する。

* 日立製作所大みか工場

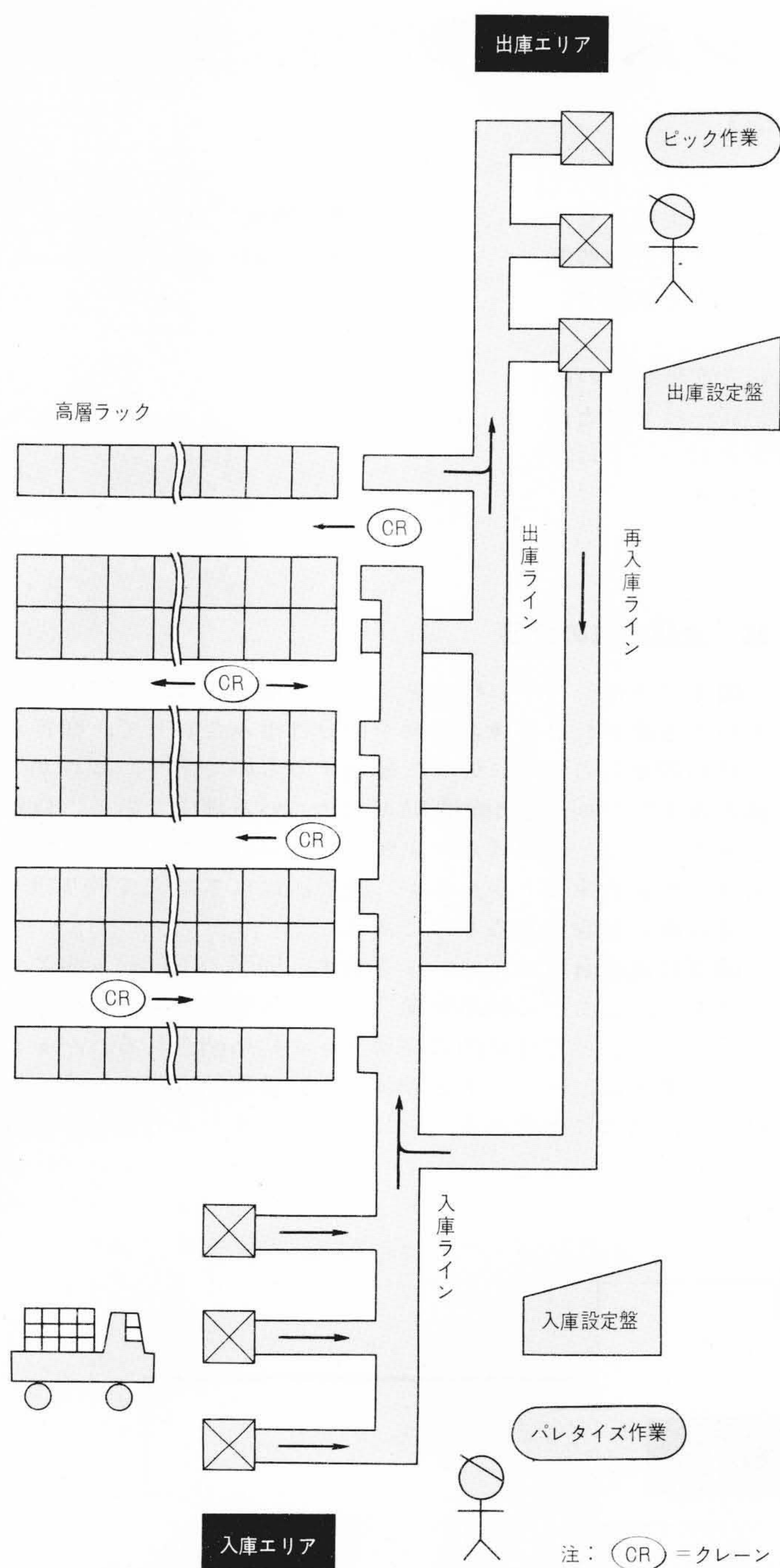


図2 流通倉庫のイメージ 入庫エリアから物品が搬入され、入庫ライン、スタッカ クレーンによって高層ラックに格納される。出庫の場合には、出庫ラインを経て出庫エリアに物品が搬送される。

が多く、規格化されたパレットに入れて、棚に格納しておくのが通例である。次に、出庫の場合には高層棚にあるパレットをスタッカ クレーンがつかみ、出庫ラインを経て出庫エリアに搬送する。ピック作業とは、出庫されてきたパレットに格納されている物品の中から、要求する物品を要求する数量だけ取り出すことをいう。一般的には、ピック作業によってパレットが空になることはなく、従って、もう一度高層棚に格納され次の要求まで待機することになる。再入庫ラインはこのために設けられている。

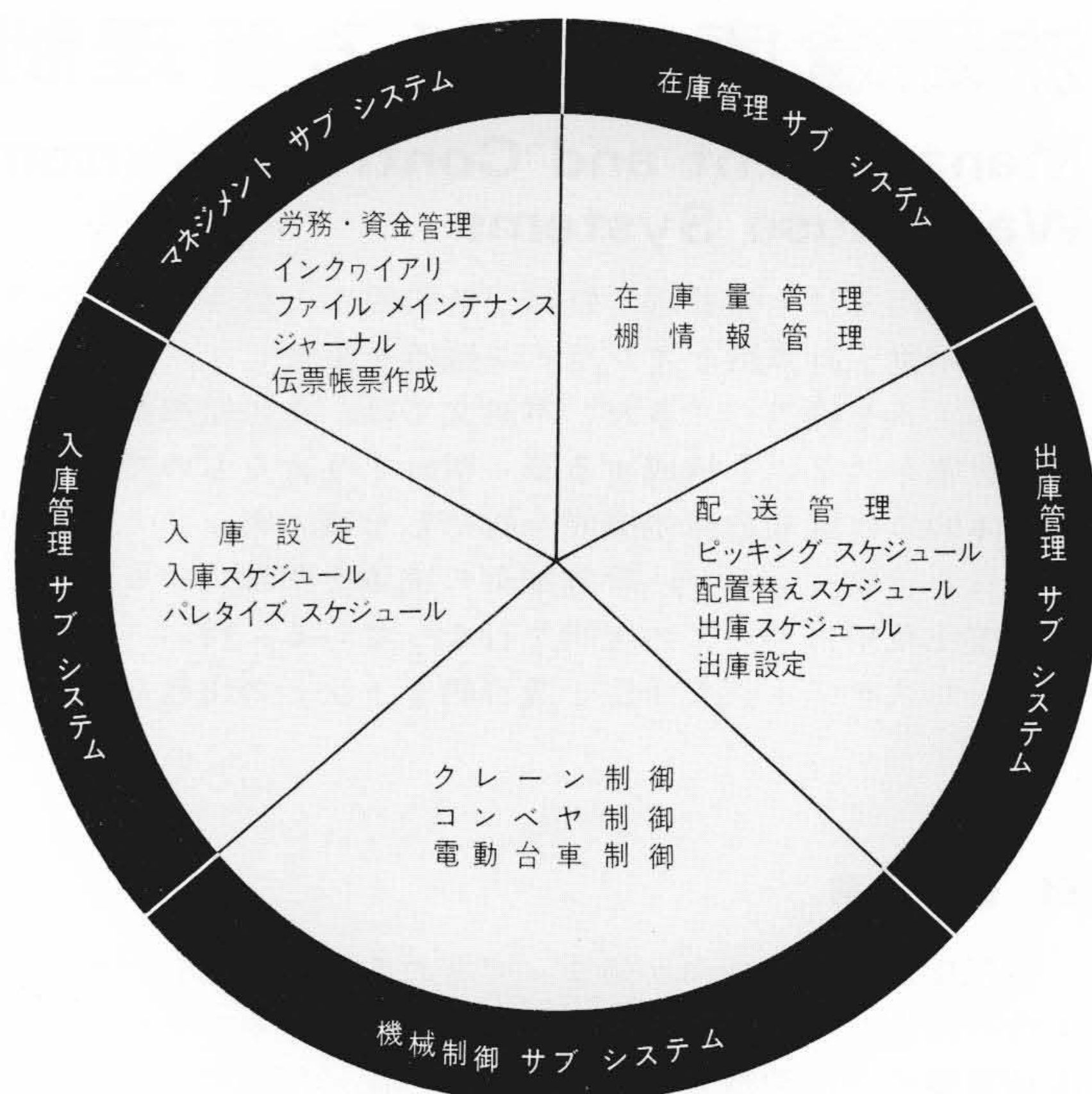


図3 流通倉庫の機能 これまでに納入した大小各種の流通倉庫システムをベースにして、流通倉庫の機能を総括したものである。

3 流通倉庫の機能

図3は、これまでに納入した大小各種の流通倉庫システムをベースにして、流通倉庫の機能を総括したものである。流通倉庫システムのサブシステムとしては、機械制御、入庫管理、出庫管理、在庫管理及びマネジメントがある。

機械制御サブシステムには、クレーン制御処理コンベヤ、電動台車の制御が含まれる。具体的には、パレットのトラッキングを行なって、目的位置にパレットが搬送されるよう制御を行なう。

入庫管理サブシステムでは、入庫するパレットに入っている品種、数量などの情報を入力する入庫設定処理と、入庫作業の能率化を図る入庫スケジュール処理、パレタイズ作業指示処理がある。出庫管理サブシステムには、出庫設定処理と出庫作業の効率化を図るための出庫スケジュール、配置替えスケジュール、ピッキング作業指示処理のほか、配送管理処理などが含まれる。

在庫管理サブシステムには、通常の棚情報の管理とともに、より高度に在庫切れの予測などを行なう在庫量管理処理がある。

更に、マネジメントサブシステムにおいては、伝票・帳票作成処理のほか、システムの保守性改善と、マンマシンコミュニケーションの向上を図るファイルメンテナンス処理、ジャーナル取得処理及びインクワイアリ処理がある。その他、上位に位置するものとして、労務管理、資金管理などの処理が加わる場合もある。

4 流通倉庫における管理制御の段階

先に示した図3は、流通倉庫としての機能を網羅したものであるが、更にここに示されている処理は、円の内側に行くほど管理制御における必須事項的色彩が濃くなっている。例えば、入庫設定は行なっても高度な入庫スケジュールは行なわない場合があるということである。今までに設計製作され

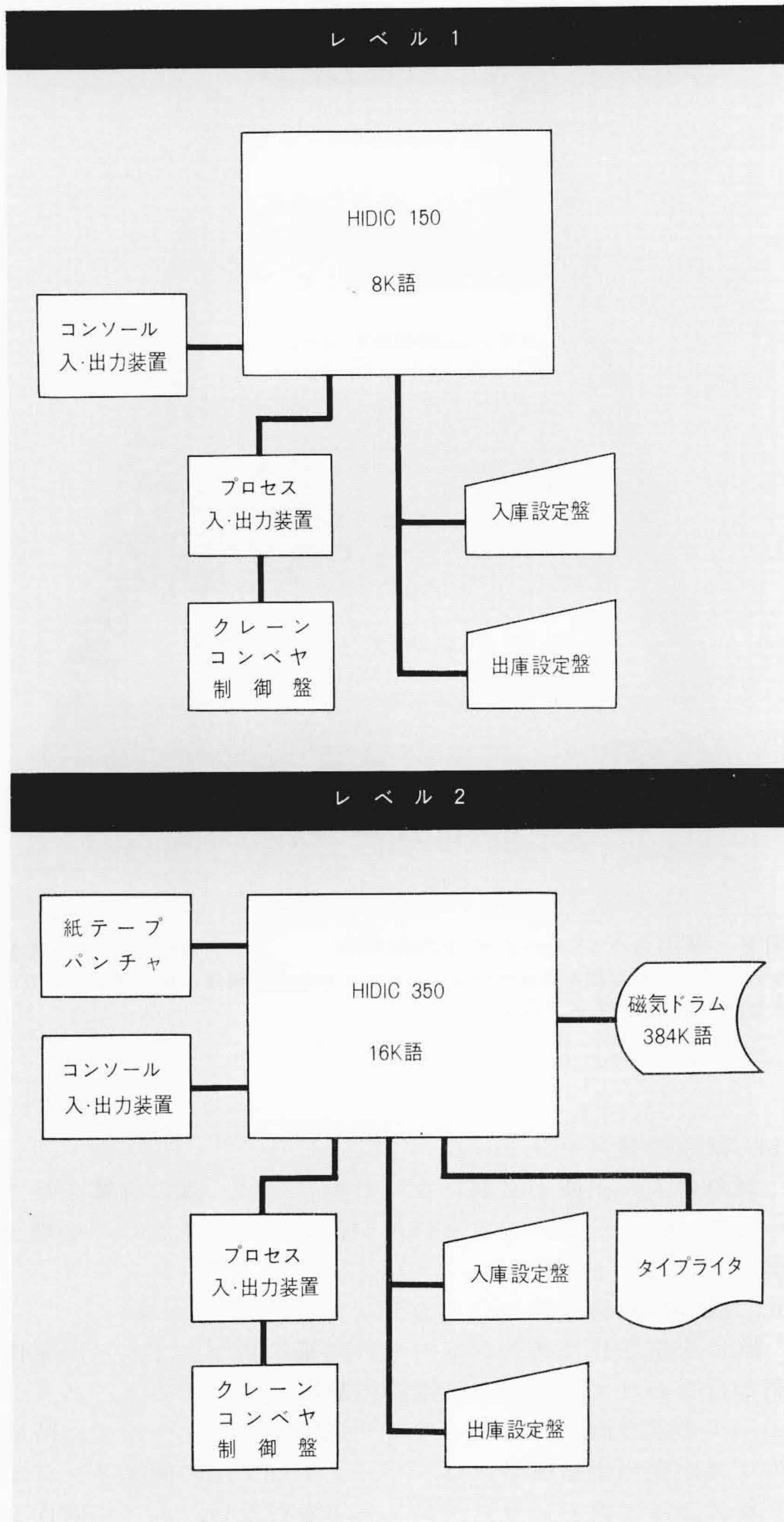


図4 管理制御のレベル(その1) レベル1は、一般に棚数が1,000内外であり、クレーンが数台の制御、レベル2は、棚数が数千でありクレーン台数が数台のシステムへの適用例

た流通倉庫システムを調査してみると、図4及び図5に示すように、レベル1、レベル2、レベル3の三つの段階に分類でき、これが今後新しく流通倉庫を導入する場合の目安になるものと考えられるので、以下各レベルについて説明を加える。

レベル1とは、一般に棚数が1,000内外であり、クレーンが数台程度の小規模な流通倉庫用のレベルであり、スタッククレーン、コンベヤなどの荷役機械を電子計算機によって自動制御する。つまり、入庫設定盤により与えられた入庫指示を基に、コンベヤ上の品物をトラッキングし、指定の棚に入庫し保管する。出庫についても、指定された品物を指定された棚から取り出すが、在庫管理は行なわない。この際、出庫設定分をある程度まとめて行なうことにより、作業性の改善を行なったものもある。この際の電子計算機システム構成を図4に示す。

レベル2は、レベル1に在庫管理の機能と簡単な入・出庫

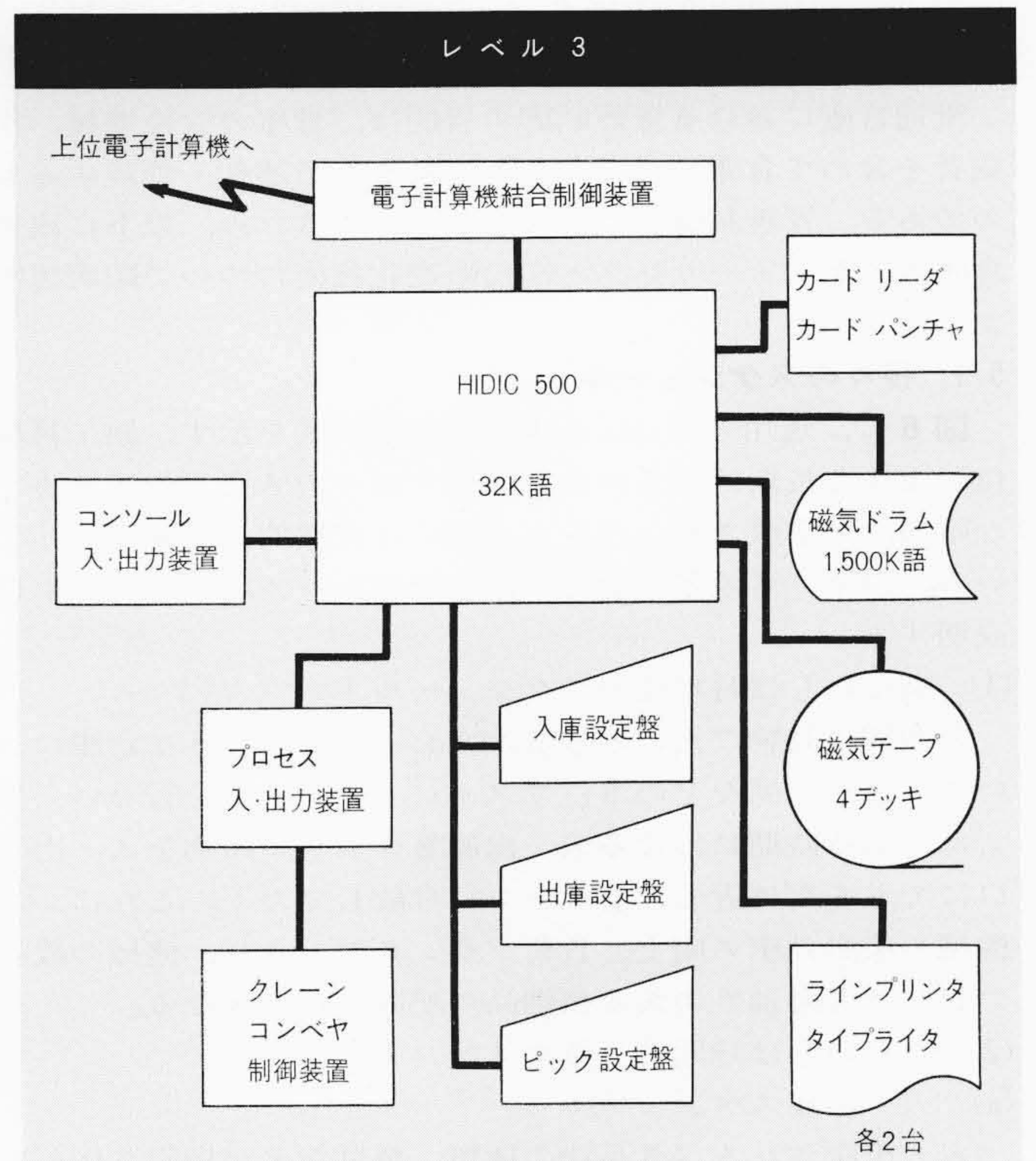


図5 管理制御のレベル(その2) レベル3は棚数数千ないし数万クレーン台数10数台ないし数十台の規模への適用例。豊富な作業指示書及び帳票出力、より高度の運用スケジュールを特徴とする。

スケジュールを付加したものであり、棚数にして数千、クレーン台数にして数台のシステムを制御するものであり、流通倉庫の管理制御において最もポピュラーなレベルである。スケジュールとしては、先入れ・先出しのアルゴリズムや、簡単なクレーン負荷バランス処理がある。磁気ドラムは在庫ファイル記憶のために必要であり、タイプライタは実績リストを打ち出して、電子計算機システムの異常に備えるとともに、簡単な帳票を打ち出すものである。

レベル3では、レベル2に加えてパレタイズ、ピッキング、荷札付、仕分け、荷造りなどの作業指示や問合せを行なう。更に入・出庫スケジュールリングについても、レベル2よりも高度な内容のものを行なう。また、管理資料としても次のように多岐にわたっている。

(1) 営業上必要なもの

客別入・出庫残高報告書、営業日計管理表、保険申込書、荷役料・保管料計算書

(2) 運営上必要なもの

入・出庫日計管理表、棚別在庫表、品種別在庫表、滞留在庫表、入・出庫予定一覧表

図5は電子計算機システム構成を示すものであるが、レベル2と異なるところは、電子計算機結合制御装置、磁気テープとラインプリンタ、キャラクタディスプレイ、ピッキング設定盤が付き、システムがカードベースになっていることである。磁気テープは、実績データや、上位電子計算機システムとのリンケージに用いる。

レベル3は、一般に棚数が数千ないし数万、クレーン台数が十数台ないし数十台といった規模の流通倉庫に適用されているものであるが、ここで開発された技術で流通倉庫の規模に関係せずに、有効な設計思想が存在している。

5 流通倉庫のスケジューリング

流通倉庫における管理制御の目的は、倉庫の設備機械、作業者を含めて倉庫の全システムを効率よく運転・管理するものである。管理制御の実体を明らかにするため、以下に流通倉庫のスケジューリングと高信頼度化技術について順次説明する。

5.1 種々のスケジュール

図6に、運用スケジュールの多段階構成を示す。期・月単位のような長期的なものから、時々刻々のスケジュールまでが階層的に構成され、それらが互いに有機的な関連をもっている。以下、各段階に対応するスケジュールについて簡単に説明する。

(1) 期ないしは月単位のスケジュール

長期間に品物ごとの取扱量がかわってくるような倉庫において、月・季節などの単位でスケジューリングを行ない、例えば、ある時期における入・出庫量の大きい品物を入・出庫口にできるだけ近く、各レーンに分散しておく。これにより、機械の稼働効率の向上、負荷バランスがとられ、機械の故障に対しても融通性のある格納品の配置が可能となる。

(2) 日ないしは時間帯単位のスケジュール

(a) 入・出庫スケジュール

入・出庫されるべき品物の種類、数量などが指定されると、機械の負荷バランスや作業者のことを考えて効率的な運転ができるよう、入庫品の格納番地、入・出庫の順序などを決定する。この場合、作業者に便利なように入・出庫作業指示書を出力するのが普通である。

(b) パレタイズ スケジュール

各種の品物を混合してパレタイズする場合など、どの品物を何個ずつ、どのような形にパレタイズするのが最も格納効率が上がるかを算出するものである。同時に、パレタイズ指示書をタイプ出力して作業者に指示を与え、作業能率の向上を図る。

(c) ピッキング スケジュール

例えば、ピッキング専用棚がある場合、ピッカーが間違いなくスムーズに作業できるよう、棚イメージでの相関度の高い要求を連続させた形で、作業指示書を出力する。

(d) 配置替えスケジュール

次の入・出庫時間帯までの機械の空き時間を利用して格納品の配置替えを行ない、入・出庫時間帯における稼働効率を上げ迅速な入・出庫を行なう。

(e) 端数制御スケジュール

これは、各品目に対してパレット内の品物が完全に空になるように次々と出庫パレットを割り当ててのではなく、各品目ごとにその出庫特性をとらえ、1回の出庫要求量の多い場合には満杯のパレットを割り当て、少ないときにはちょうど出庫要求数に合致する端数のパレットを割り当てられるよう、前もって端数パレットを作成しておく。こうすることにより、1回の出庫要求で機械が2度の出庫動作をする機会を減少させることができる。

(3) 時々刻々のスケジュール

(a) 機械の複合サイクル対の決定スケジュール

入・出庫動作が同時に行なわれる場合、入庫品・出庫品を交互に運搬してクレーンの動作時間の短縮を行なう。つまり、入庫棚に最も近い出庫棚を選ぶなどして、1サイクルで入・出庫の両作業を処理することにより機械動作時間の短縮を実現する。

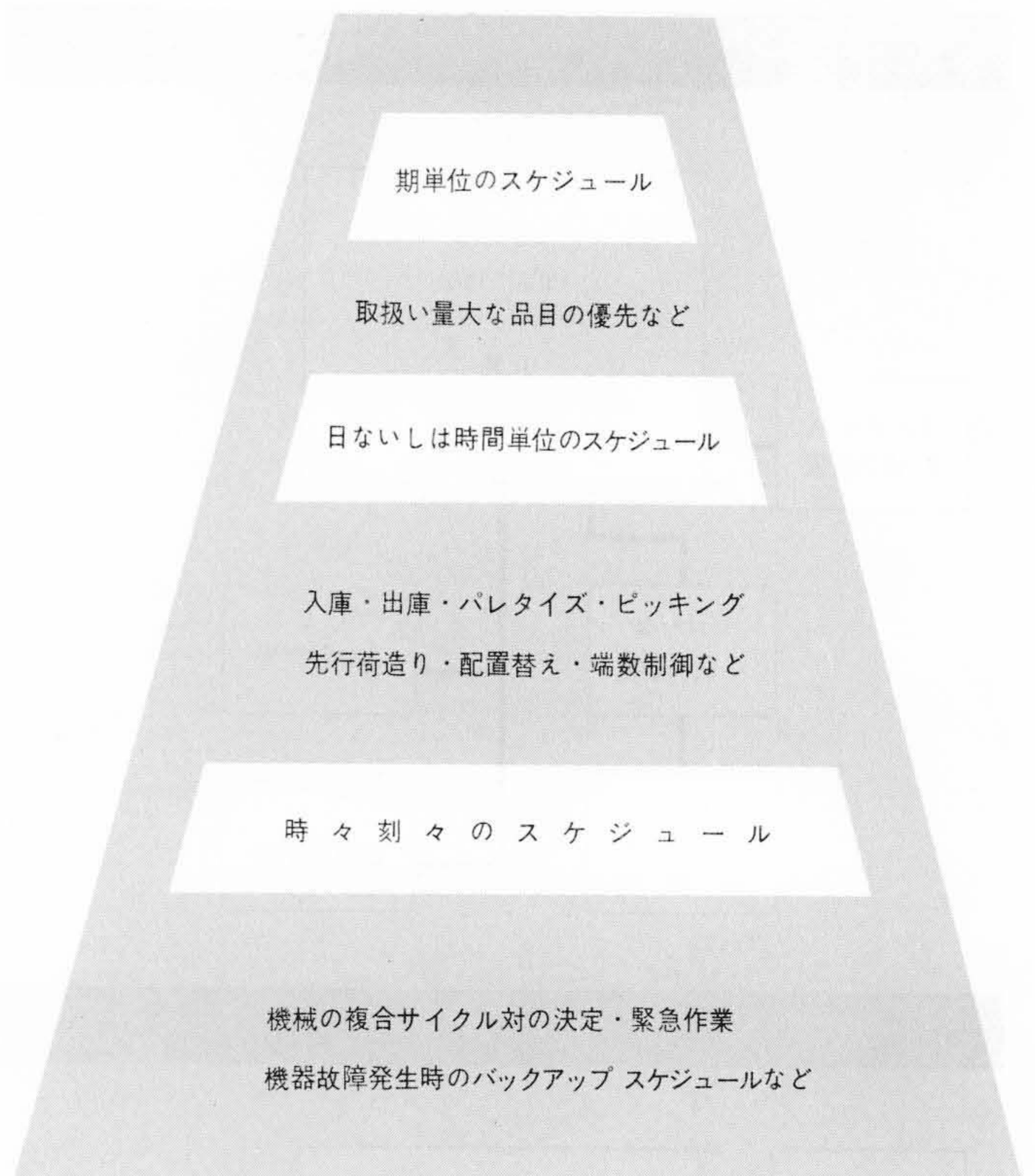


図6 運用スケジュールの多段階構成 期・月単位のような長期的なものから、時々刻々のスケジュールまでが階層的に構成され、それらが互いに有機的な関連をもっている。

(b) 緊急作業スケジュール

緊急の入・出庫が必要になった場合には、既に計算されているスケジュールに対する修正が行なわれ、緊急品の処理を優先して行なう。

(c) 機器故障発生時のバックアップ スケジュール

既に決定されたスケジュールの結果に基づいて入・出庫作業が行なわれているときに機器の故障が発生すると、スケジュールの立て直しが必要となる。通常スケジュールでは時間のロスが発生する場合には、バックアップ用の簡易スケジュールによって直ちにリスケジュールを行ない、入・出庫作業を続行する。

5.2 先行荷造りスケジュール⁽⁴⁾⁽⁵⁾

以上、種々のスケジュールについて簡単な説明を加えてきた。概してヒューリスティックな手法で行なっているものが多いが、ここでは数理的な手法を適用した例である先行荷造りスケジュールについての紹介を行なう。具体的には線形計画法(以下、LPと略す)を適用したわけであるが、主記憶容量で4～8K語の増加を招き、またLP自体の知識を若干必要とすることがある反面、解のニュアンスを目標関数の重みによって簡単にできる点、プログラムの論理が複雑化しない点、短時間で効率のよい解答が得られる点などユニークなメリットがあるスケジュールになっている。

ある部品センタからの出庫量をみると、50%程度の変動があり、荷造り及び集約作業に要する人員は、ピーク時に対処できる分だけ用意しておく必要がある。このことは逆にいうと、荷造り出荷量の少ないときには、作業者を遊ばせることになるので荷造り作業を平滑化しむだを少なくするため、余裕のあるときに前もって荷造りを行なって再格納しておく先行荷造りの概念が必要になってくる。

このためには、暇なときにできる限りの荷造りをすればよいとも考えるが、実際には、荷造りをしないで裸で出庫する場合もあり、また、多く荷造りしすぎると荷造り材によるふくらみにより格納効率の低下を招くことになり一概にそうはいえないのが難しい点である。図7に先行荷造りスケジュールを行なうに当たっての制限条件を示す。第一には裸部品の在庫量制限である。これには経験的数値を裸部品の在庫量の下限值としてセットする。次に姿別作業量制限とは、荷造り作業者の人員及び設備能力によってでてくる制限条件であり、ダンボールの荷造り何個以内、紙による簡易形の荷造り何個以内といった制限である。品目姿別作業量制限とは、どの品目のどの荷姿は何個以内と経験値から類推して決定する。レーンごと作業量制限は、レーンごとの荷造り作業能力の上限を与えるものである。レーン別作業量アンバランス制限とは、設備を各レーンともできるだけ均等に稼働させるため、ある程度以上のバランスを保つように設定した値である。最後に、品目、姿別レーン間在庫バランスは、設備の有効利用と機械が故障したときの融通性を高める観点から設けられた制限である。

以上のような制限条件のもとで、図7に示す目標関数のLP問題を解くことになる。目標としてはアイル間の作業バランス率の向上と在庫量バランスの向上。優先度の高い物品についてはできるだけ多く荷造りし、低い物品についてはできるだけ荷造りせぬようにする。

表1に先行造作りスケジュールを使用したときの効果を示す。本スケジュールを用いることによって得られる効果は、単に効率のよい荷造り計画を実現することにとどまらず、膨大な情報の処理にまで及び、制御面、情報管理面の両面での効果が期待できる。更に、ヒューリスティックな方法で先行荷造りスケジュールを実現した場合を考えると、目標の実現及び作業量のバランス状態の改善に対して、かなり複雑な論理を組んだとしても片よりのある目標達成に終わってしまうことが予想される。

表1 先行荷作りスケジュールの効果 ヒューリスティックにスケジュールを行なった場合に比較して、よりバランスのとれた目標達成が可能である。

項 目	人 手	先行荷造りスケジュール
1. 目標の実現度	各目標の達成度が低く、いずれかの目標に片よりがちになる。	各目標が片よりなく達成できる。
2. 作業量の バランス状態	人の判断によるためバランス率 50～70%	バランス率：90～95%
3. 経 済 性	荷造り計画人員：数名	人員不要
4. 注文への応答	注文応答時間：100%	注文応答時間：75%
5. 正 確 さ	膨大な情報処理をするため不正確	正確・迅速な情報処理
6. 出庫の取扱い	出庫・荷造り・集約作業を同時に 行なうため複雑	出庫・集約作業のみ行 なうので単純
7. 処 理 時 間	数時間	35分程度

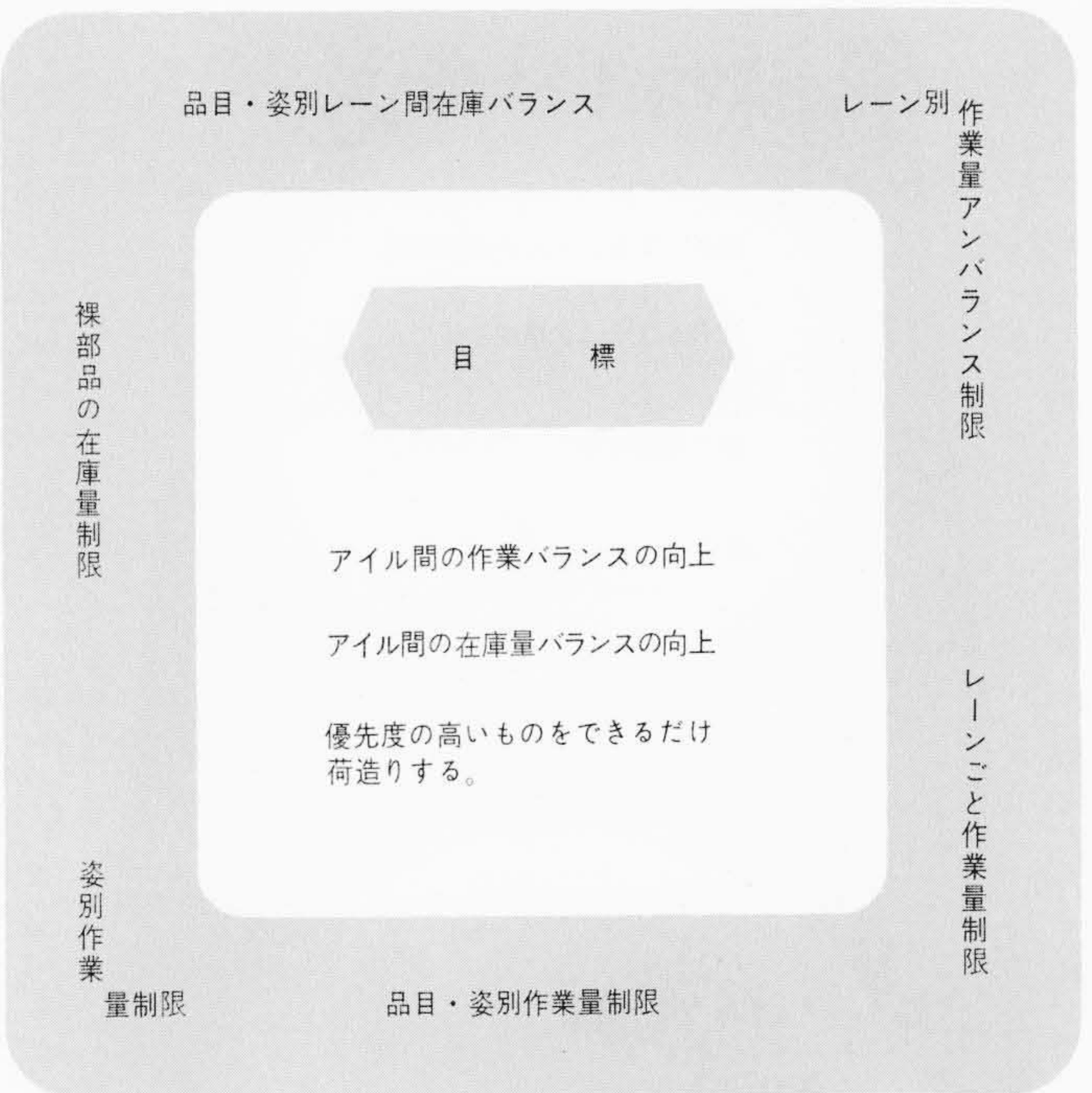


図7 先行荷造りスケジュールの制限条件と目標 部品の在庫量制限、レーンごと作業量制限など種々の制限条件下で、目標関数の最大化を図る。

6 流通倉庫における高信頼化技術

6.1 流通倉庫における信頼性向上策⁽⁶⁾

流通倉庫の管理制御において、重要な課題として信頼性の向上が挙げられる。これは各種オンライン制御によって築かれた基礎の上に成り立っているものであり、図8に従い順次説明する。

(a) ハードウェア システムの高信頼化技術

部品・実装レベルの高信頼化は、ハードウェア システムの基礎となるものである。

冗長システム構成技術については、システムが大規模化、複雑化してゆくに従って必要性が増してくるものであるが、流通倉庫ではデュプレックスかロードシェアなどのニーズはあるが、デュアル システムのニーズはあまり生じていないようである。これは、デュアル システムの特長⁽⁷⁾であるところのオンライン処理の連続性と情報の信頼性の向上（2台の電子計算機の計算結果を比較照合することにより達成する）をそれほど必要としないことと、平均故障間隔(MTBF)自体は、シンプレックス程度のレベルでは満足できると考えられるからである。

誤り検出技術については、メモリ プロテクト方式、プログラム ループの監視、入・出力の障害監視などが重要である。

保守性の向上に対するハードウェア サポートとしては、状態表示機能と障害状態凍結機能があり、これとは別に入・出力装置切離し及び切換え機構(トランク エクスパンダ)がある。流通倉庫の場合、一般制御システムに比較して入・出力機器が数多く接続されるので、どれかひとつの入・出力機器が故障する機会が増え、システムを運転しながら、故障部分の入・出力機器だけを切り離せるこの機構は多用されている。

(b) ソフトウェア システムの高信頼化技術

フェイル ソフト技法は、新幹線の列車運行制御などにおいて採用されたものであり、ハード的に停止せねばならぬエラーについて、エラー発生元のプログラムを検知し、それによ

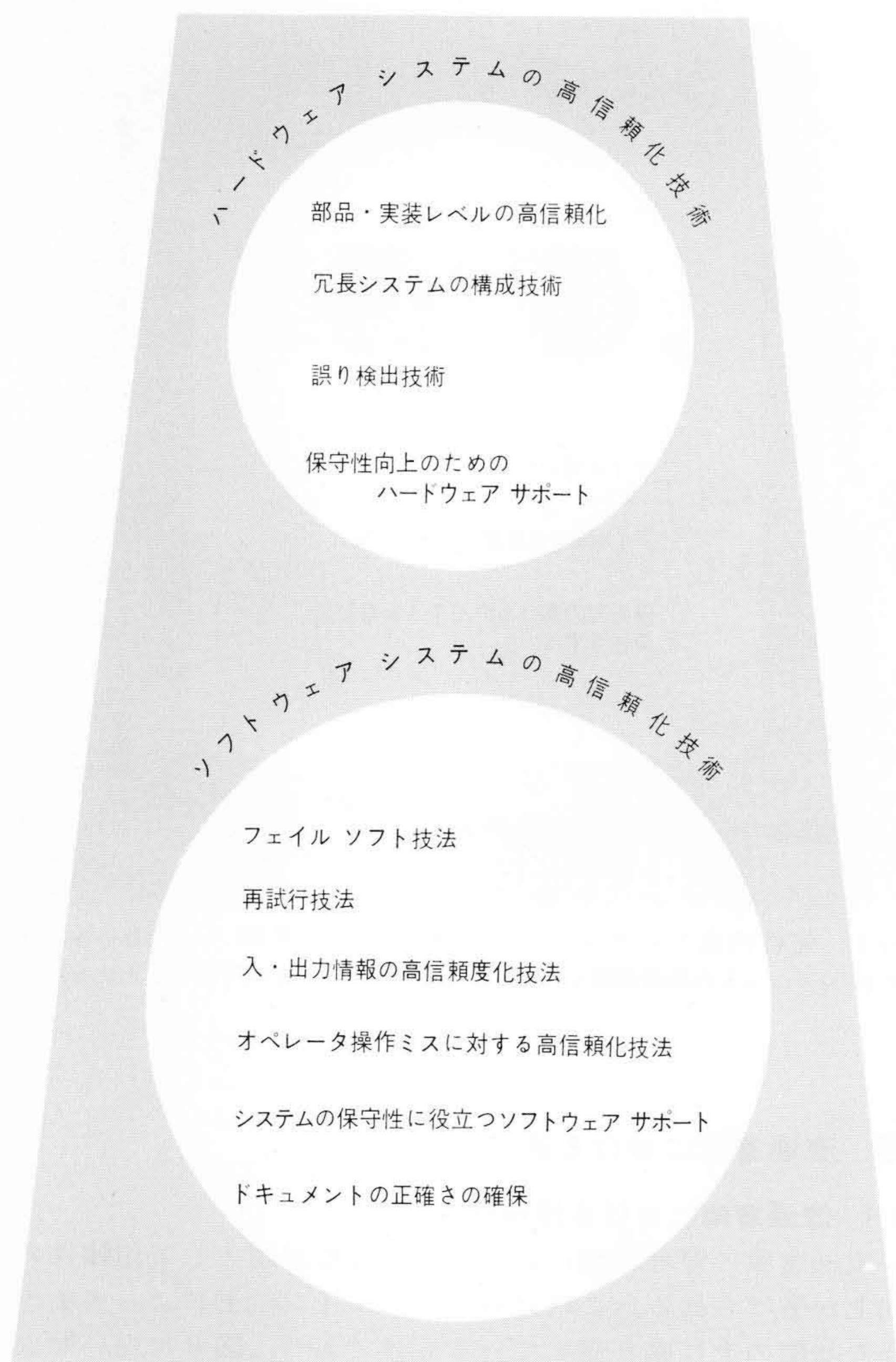


図8 流通倉庫における信頼性向上策 ここに示す各種の信頼性向上策は、HIDIC シリーズのオンライン制御の実績を基礎としている。

って、システム全停止とするか、該当プログラムだけを停止させるかなどを決定する。

再試行技法は、ハードウェアの瞬時的エラーを救済するためのもので、荷役機械も、計算機制御システムの資源として、入・出力機器と同等に扱われる。

入・出力情報の高信頼化において、流通倉庫で特徴的なのは物流のトラッキングと荷役機械の制御である。物品の検出はリミットスイッチや光電管で行なうのが普通であるが、1個の物品の通過により、リミットが2回はねたり、現場で人が誤って触れたりしたときに、余分の入力信号が入ってくることがある。このような場合、電子計算機は信号に対応して、レイアウトに対応したファイル上の情報転送を行なうが、ここで第一に、転送すべき情報があるのか、つまり今入力された信号は信ぴょう性があるものかをチェックし、無意味な信号であればエラーメッセージを出してはねつける。その他、機械のシーケンスに従わない信号が入ってきたときに、これをチェックする機能などもある。

オペレータ操作ミスに対する高信頼化技法については、操作入力に対しての合理性チェックが挙げられる。まず、データの設定を行なう場合、データのレンジチェックを行なうことである。次には、設定盤の押しボタン操作のような場合、押しボタンの組合せで許されるものと、許されないものがあり、このチェックを行なう機能を独立させておくことである。

ドキュメントの正確さの確保については、種々の計算機制御システムを納入してきた経験に基づいて作成された標準フォーマット用紙を活用し、漏れのないシステム設計、分かりやすいドキュメントを目標としている。システムというものの内容は、他人に長期間にわたって正確に伝承される手段がなければ、使用法や異常時の処理について間違いが起こりやすく、その点でドキュメントがシステムの信頼性に及ぼす影響は大きい。システムの保守性を向上させるためのソフトウェアサポートについては次節で述べる。

6.2 システムの保守性を向上させるためのソフトウェアサポート

エラーが発生したような場合、どのような経過をたどったかを知ると原因の究明が早まり、システムダウンの時間が短くなるのがかなりある。流通倉庫においては、次の3項目のジャーナルをとっている。

- (1) プロセス入・出力ジャーナル
プロセス入・出力との信号授受の記録
- (2) ファイルジャーナル
在庫ファイルへの書込み記録
- (3) インプットジャーナル
設定盤などから入力情報記録

次に流通倉庫は、制御用としては大容量のファイルを要することが多く、そのうちで在庫ファイルは代表的なものである。これらは、いったん破壊されると修復に長時間を要するので、先に述べたレベル3程度の計算機制御システムであれば、毎日磁気テープにファイルをダンプし、1日前のファイルで棚卸しするか、ジャーナルからファイル更新して誤りの部分を見つけ出し、修正するようにしてある。

ちなみに、現地調整中に起きた事故例では、実在庫2,000パレットを棚卸しして品物とファイルを照合し、ファイル修正を行ない、更に確認するのには10人で2日分程度を要した例がある。

7 結 言

以上、流通倉庫の管理制御について論述した。今後の技術進歩、社会の発展に伴い制御用電子計算機システムと一体となった流通倉庫の必要性はより大きなものとなることが予想される。我々はこのような情勢に対処するため、現在稼働中の各サイトでの実績をベースにし、新技術を採り入れた魅力的な流通倉庫システムを提供する考えである。

終わりに、関係者各位の御協力に対し、深く謝意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 都島、三森「物流変換機構」、電気学会全国大会(昭47)
- (2) 安島ほか「日産自動車株式会社相模原部品センタ納め自動倉庫計算制御システム」日立評論 56, 245(昭49-3)
- (3) 山本ほか「丸紅繊維流通センタ計算機制御システム」日立評論 56, 239(昭49-3)
- (4) 浜田ほか「大型自動倉庫計算制御システムにおける最適セキュリティ運用方式とその評価」昭和49年度 電気学会全国大会予稿集 1125
- (5) Garvin, "Introduction to Linear Programming," Macgraw-Hill (1960)
- (6) 森田ほか「計算機制御システムの信頼度向上策」日立評論 56, 375 (昭49-4)
- (7) 三森ほか「高信頼度化二重系計算機システム」電気学会論文誌 Vol.92-C No.1 (1972年1月)