U.D.C. 〔621.796.5:621.86/.87-52〕:658.78.011.56:681.323

F & F 自動倉庫システム

Flexible Control and Free Layout Systems for Automatic Warehouse

岡坂建一*　*Ken'ichi Okasaka*
海野治雄*　*Haruo Unno*
吉田　豊*　*Yutaka Yoshida*
大泉純一**　*Jun'ichi Ôizumi*
牧野俊明**　*Toshiaki Makino*

いま産業界では，物流合理化による生産性の向上あるいはコスト低減などが，大きな課題となってきている。そこで，従来にも増して物流管理の拠点としての自動倉庫の重要性が高まってきている。

このニーズに合わせて，次の特長をもつ自動倉庫システムを開発した。(1) FA用簡易言語SCDを実用化した。(2) 設備間の通信にSS通信を採用した。(3) スタッカクレーンの位置制御を，新しく開発したHAWS-Yとロータリエンコーダにより行なう。(4) 軽量形ラックを採用した。

この自動倉庫システムを「F & F自動倉庫システム」と名付けた。

この結果，多様化する顧客ニーズに合わせたシステム作りをスピーディーに取りまとめることが可能となった。

1 緒　　言

物流合理化の担い手として，自動倉庫はその適用範囲を大きく広げ，あらゆる産業界に普及してきている。このため中，小規模のシステムでも，信頼性・操作性・保守性の向上と，ニーズに合ったシステムの拡張性の要求も増大してきている。

今回開発したF & Fシステム(Flexible Control & Free Layout Systems)では，この拡張性にポイントを絞って，ソフトウェア及び制御方式ではFA(ファクトリーオートメーション)用簡易言語SCD(Station Coordinator)と無人搬送台車の通信制御にSS(Spectrum Spread)通信の実用化を図った。また，ハード設備関係では，位置制御にロータリエンコーダ及び今回新しく開発した学習機能をもったマイクロコンピュータ"HAWS-Y"を搭載したスタッカクレーン，並びに新構造の採用による軽量化を図ったラック設備の開発を行なうことで，F & F標準形自動倉庫としての完成を見た。これらの設備構成を**図1**に示す。ここではこの「F & Fシステム」について，主にソフトウェア及び制御システムについて報告するとともに，最近実用1号機として完成した新画像処理システム「ビジュアルアイ」の特徴についても述べる。

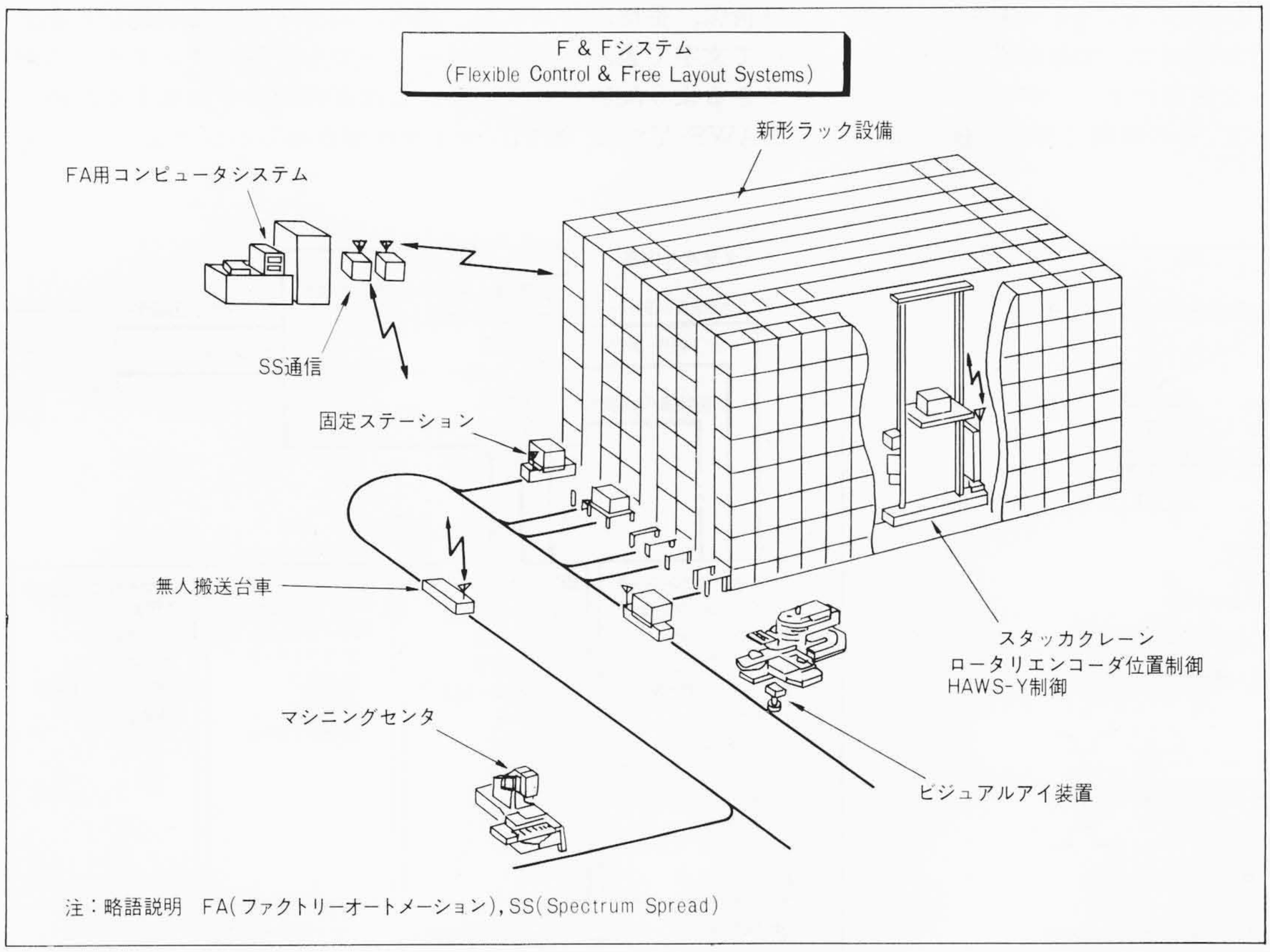


図1　F&F自動倉庫レイアウト　F&Fシステムは本図に示す設備構成により運用される。

* 日立製作所笠戸工場　** 日立製作所機械研究所

2 F&Fシステム

ユーザーの要求の多様化及びシステムの複雑化に伴い，システム計画を進める上でのレイアウト変更の自由度を高めるとともに，生産計画に合わせた拡張も可能であるハードウェア及びこれに対応したソフトウェア技術の確立を図るものである。

(1) スタッカクレーン

従来，クレーンの走行及び昇降の位置制御[1),2)]は，**図2**に示すように二つの光電スイッチを用いた相対番地方式を採用してきた。すなわち，二つの検出器が必ず交互に動作することをマイクロコンピュータでチェックし，設定した番地と違う所に位置決めされることを防ぐとともに，目的番地が指令されると，クレーンが動作するとともに番地検出器からの信号がマイクロコンピュータに入力され，これを順次カウントし，所定の番地で減速指令を，目的番地で停止指令を出力して制御するものである。

今回開発した位置制御方式は，走行路及び昇降路の全域を0.25mmの分解能で検知するロータリエンコーダをクレーンに設け，このパルス出力を新形マイクロコンピュータHAWS-Y(HD6809使用)により処理を行ない，最適速度制御によって処理能力の向上を図っている。そのアルゴリズムは，次の(1)式で表わされる。

$$L_x \fallingdotseq \frac{L_D-(L_C+0.5*V_L)}{2} \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに　L_x：現在までの移動距離

L_D：目的移動距離

L_C：クリープ速度移動距離

V_L：現在の速度

すなわち，目的の移動距離からクリープ距離と現在の速度で0.5秒間移動した距離を減じたものを，$\frac{1}{2}$した距離と，現在までの移動距離が等しくなった時点で，加速動作をやめる。これにより，**図3**に示すような速度パターンが得られ，従来の等速制御方式(**図4**)に比べて，$\frac{2}{3}$の時間で移動可能となり，

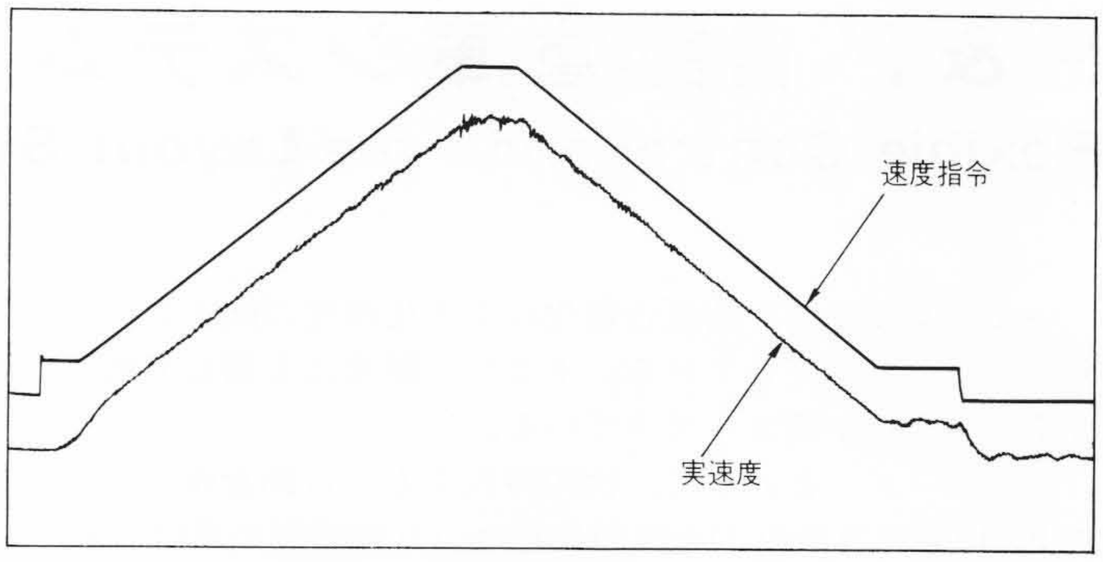


図3　HAWS-Y制御における速度パターン図　現在の位置を認識して走行するため，負荷変動，電圧変動に影響されず，最適な減速点で運転され，従来比30%の能力向上が図られている。

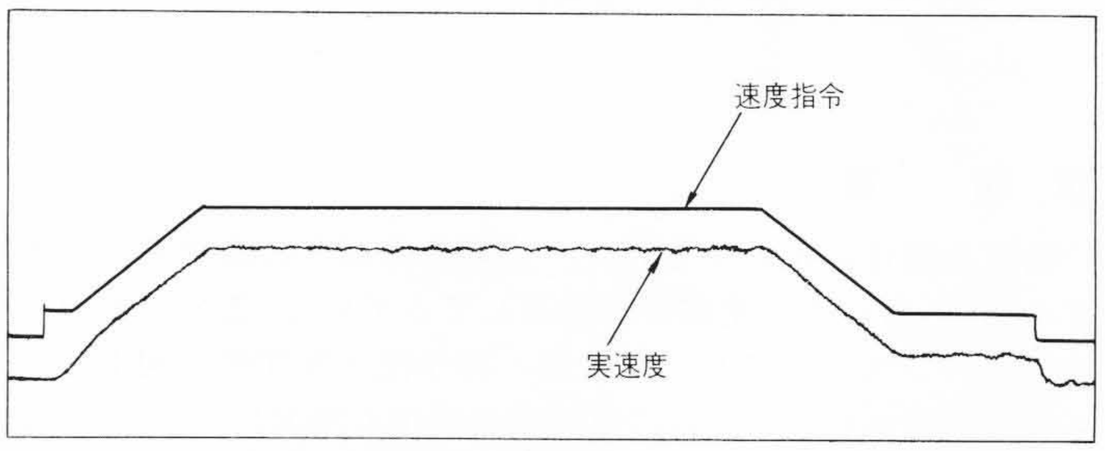


図4　従来方式の速度パターン図　番地間隔で減速動作を行なうため，定速区間が長くサイクルタイムが長い。

サイクルタイムを短縮できた。

また，HAWS-Yでは，表示装置に液晶表示素子を用い，保守情報，番地，パルス数，速度，エラーメッセージなどをすべて文字で表わし，一般ユーザーでも容易にメンテナンスができるよう配慮されている。これらの制御を実現するため，HAWS-Yでは，MPU(マイクロプロセッシングユニット)を

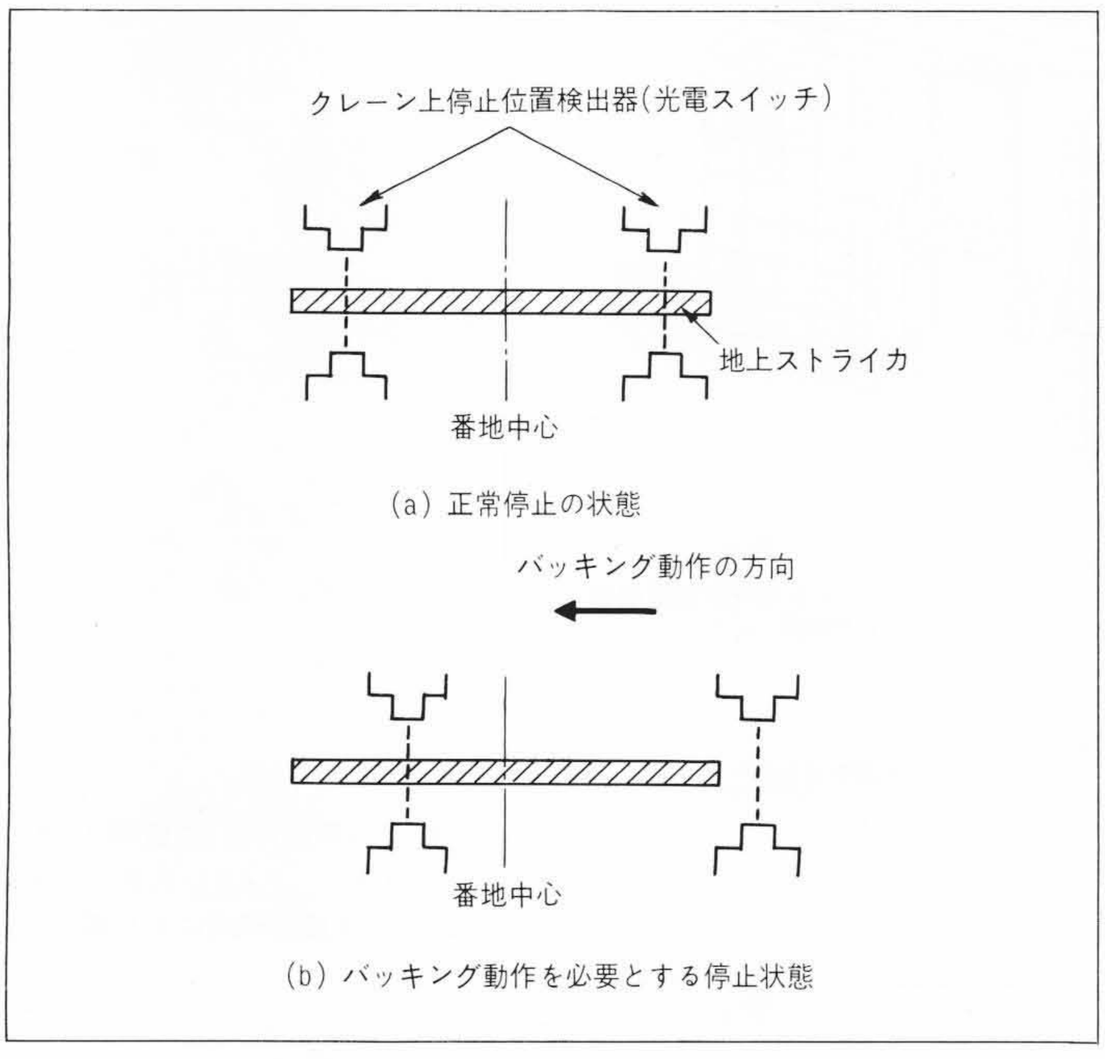
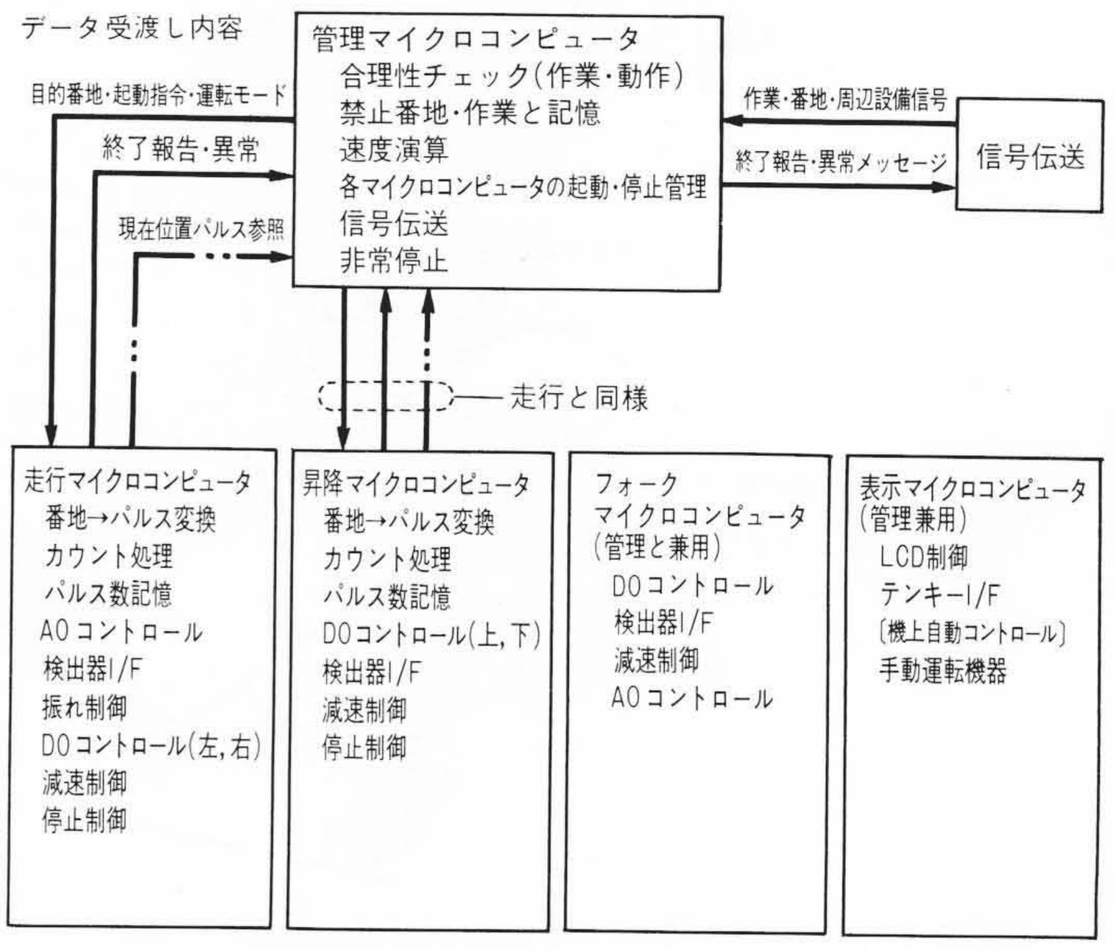


図2　クレーンの位置制御　検出器はクレーン上に，ストライカは地上に設置される。



注：略語説明　LCD(Liquid Crystal Display)，I/F(インタフェース)

図5　マイクロコンピュータ機能分割　クレーンの各動作制御用として，マイクロコンピュータを各々設けるとともに，管理マイクロコンピュータの中で相互の合理性をチェックする。

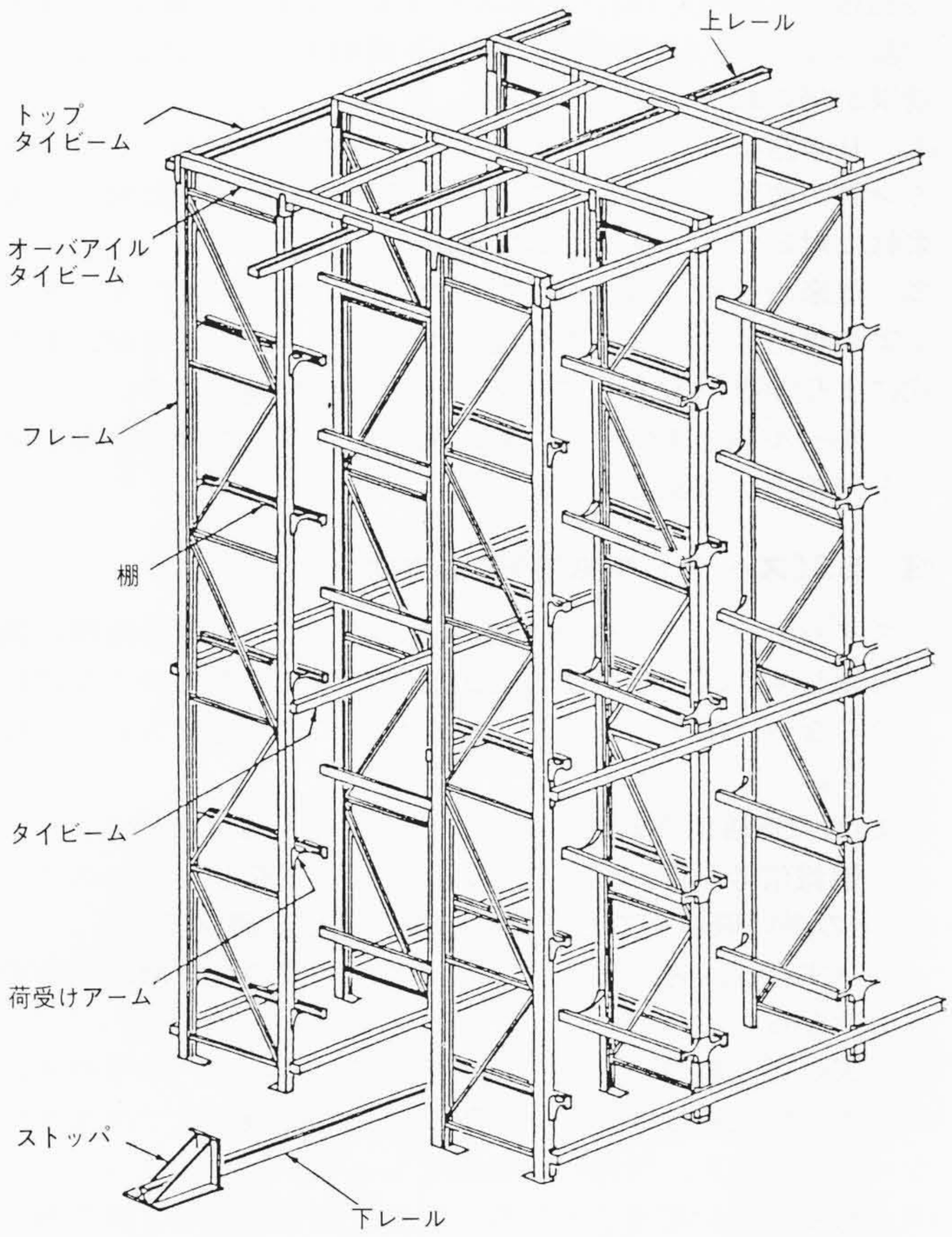


図6　ラックの構成　ラックは各種の軽量形鋼の組合せにより構成されている。

3台並列に動作させるマルチCPU(中央処理装置)方式を採用し,共有メモリを使用した高速データ転送を行なっている。

このHAWS-Yの機能分割は**図5**に示すとおりである。

これにより将来ユーザー側で設備拡張が生じた場合でも,地上及びクレーン側に従来のような位置検出用ストライカを増設することなく容易に対応することが可能となった。

(2)　ラック設備

自動倉庫設備でのラック設備の構成は**図6**に示すとおりである。今回実物スケールの部分立体モデルテストを行ない,下記の確認を得ることで重量比約25%の軽量化を図ることが可能となり,既に実用化している[3),4)]。

(a)　ラック部材座屈時の長期荷重,短期荷重それぞれの新しい許容線図を得た。**図7**に長期荷重の例を示す。

(b)　第1層の柱と基礎接合部の剛性については,端末係数を1.3とする有効細長比により評価してよい。

(c)　ラックの奥行方向(トラス方向)については,棚を一つの接点として評価してよい。

その他,ラックの製造方法にも着目して,従来ノックダウン方式を採用してきた構造を,工場での溶接方式を採用することで,ラックの据付精度が向上し信頼性を高めるとともに,据付工期短縮の実現もみた。

以上の構造上の検討結果を踏まえて,**図8**に示すようにラック設備の構造標準を完成し,顧客ニーズに合わせてラック寸法を選択できるシリーズ化を完成させた。

(3)　その他の設備

自動倉庫システムには他に無人搬送台車,固定ステーションなども含まれるが,今回は紙面の関係で割愛した。

断面タイプ	試験体タイプ	中間層対象 回転端-回転端	第1層対象 回転端-固定端
KS11	柱　単　体	△	▲
KS15	柱　単　体	○	●
	部分立体	—	■
	トラス構面	▽	▼

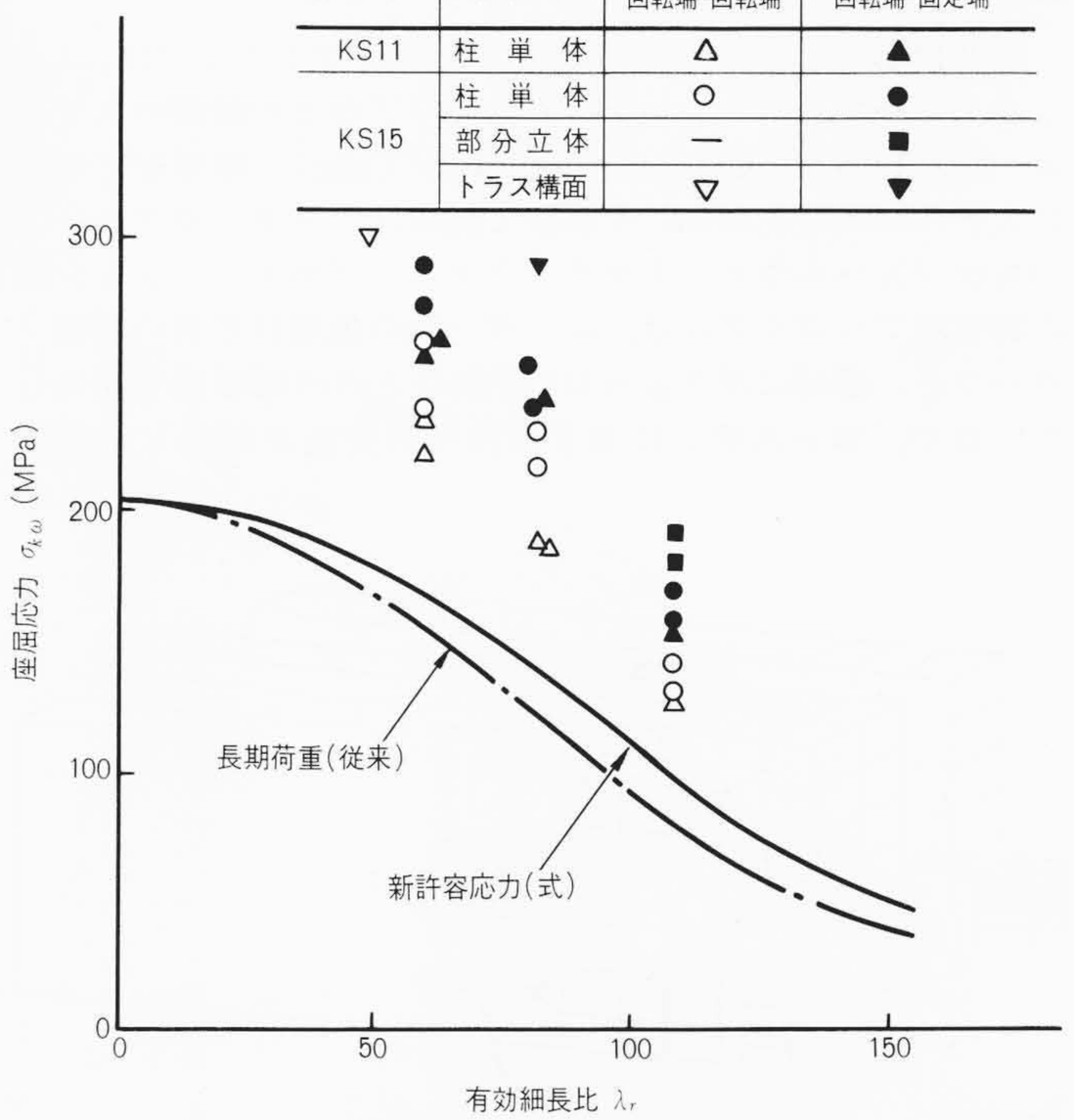
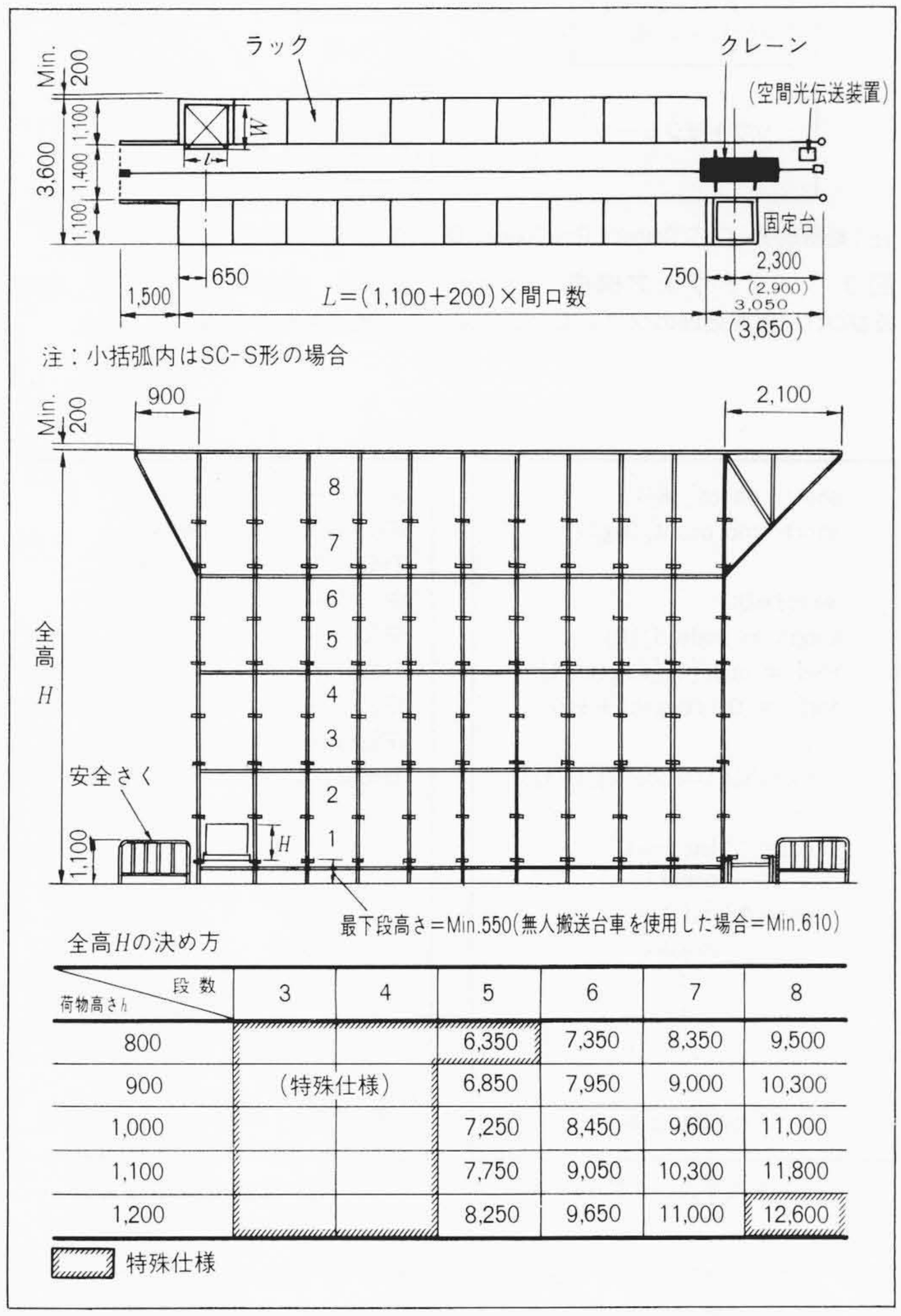


図7　ラック柱材の長期荷重に対する許容座屈応力　2種類の柱材料で単体・部分立体・トラス構面での実験結果を示す。



全高Hの決め方

荷物高さh ＼ 段数	3	4	5	6	7	8
800			6,350	7,350	8,350	9,500
900	(特殊仕様)		6,850	7,950	9,000	10,300
1,000			7,250	8,450	9,600	11,000
1,100			7,750	9,050	10,300	11,800
1,200			8,250	9,650	11,000	12,600

▨ 特殊仕様

図8　ラック寸法の決め方　荷物高さHにより標準シリーズとして5～8段までの寸法を簡便に選択できる。

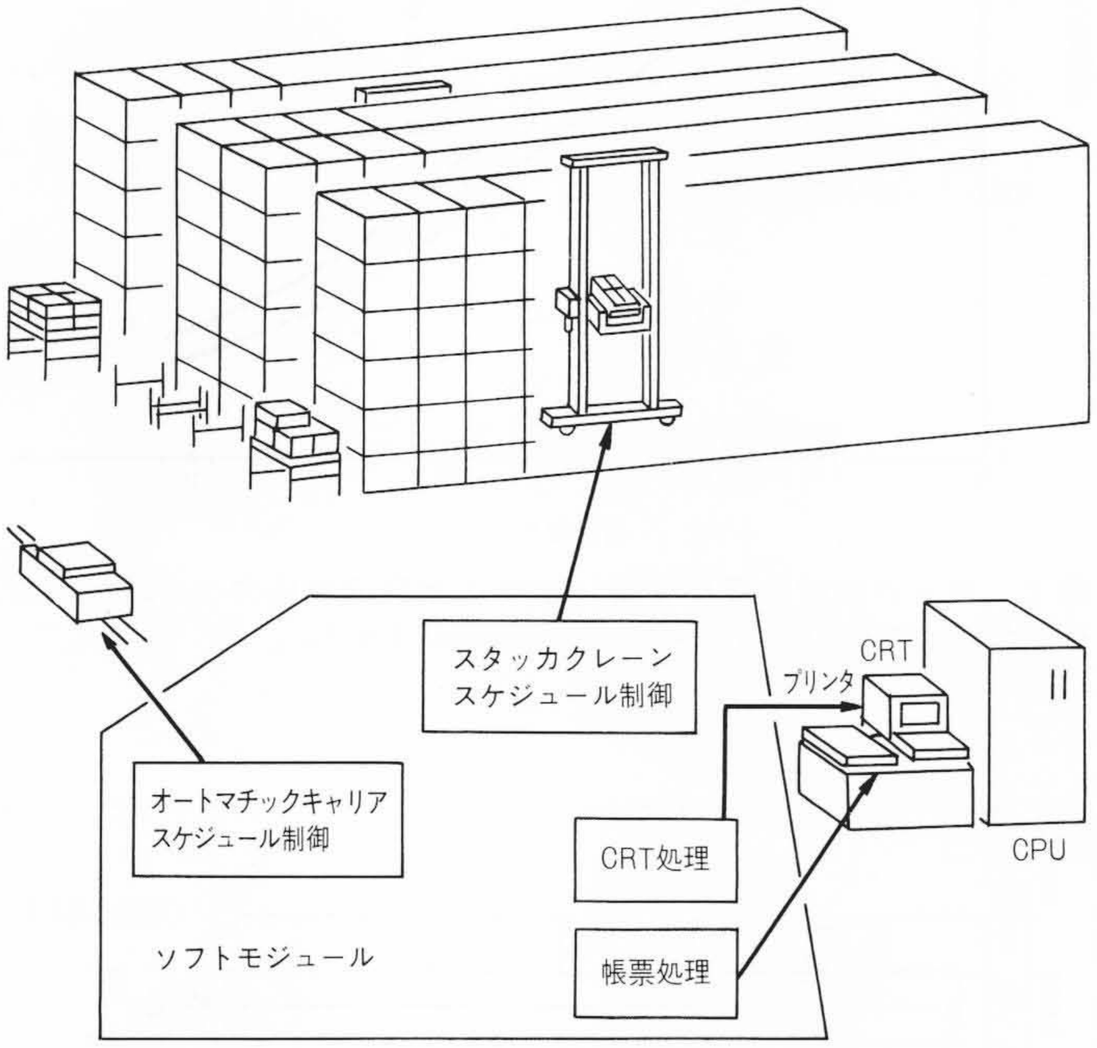
3 SCD(FA用簡易言語)

図9に示すように，F＆Fシステムのソフトウェアは，スタッカクレーン，オートマチックキャリアなどの設備のスケジュール，制御及びCRT(Cathode Ray Tube)，帳票などのモジュールに大別される。その中で従来は，スタッカクレーンのスケジュールやオートマチックキャリアのステーション間の群管理アルゴリズムは，ユーザー側の生産技術者の制御ノウハウを，**図10**に示すようにC言語などの汎用言語で開発していたが，本システムに日立製作所研究所が開発したSCD(Station Cordinator)(詳細内容は本号掲載の別論文「知識工学基本技術のFAへの応用」参照)を採用することにより，次の効果が得られている。

(1) 日本語によるルール形記述が可能であるため，プログラミングの変更追加が容易であり，設備の変更追加に対しても柔軟に対応できるシステムである。

(2) 従来の汎用言語を用いたプログラミングでは，ソフトウェアの専門家でないと開発及び保守ができなかったが，本方式により非専門家でもプログラミングが可能である。

(3) ルール形記述によるため，開発工数の低減及びドキュメントの縮小が可能である。



注：略語説明 CRT(Cathode Ray Tube)，CPU(中央処理装置)

図9 ソフトウェア構成 F＆Fシステムは，設備のスケジュール，制御及びCRT，帳票処理のソフトモジュールにより構成されている。

```
short  match[18];
short  rno,count,flag1;

*rtcd=0;
length = code[1][0];
plus = code[1][length+1];
for(i = 0;i<length;++i)
  {
  switch(c1=code[1][i+1])
  {
case 1:line1=i;
       break;
case 2:col 1=i;
       break;
       :
       :
       :
(C言語による。)
```

(a) 従来のプログラム

```
IF(クレーン<X>ハ作業無)
IF(クレーン<X>ハ自動)
THEN(クレーン<X>ハ作業可)
IF(ステーション<X>ニ入庫材有)
IF(ステーション<X>ハ荷有)
THEN(クレーン<X>ハ入庫要求有)
IF(クレーン<X>ハ作業可)
IF(クレーン<X>ハ入庫要求有)
THEN(クレーン<X>ハ入庫作業)
        :
        :
        :
(IF～THEN：IF～ならばTHEN～せよ)
```

(b) SCDのプログラム

図10 従来プログラムとSCDプログラム 従来の汎用プログラムは，ソフトウェアの専門家でないと作成不可能であり，かつ複雑であるが，SCDプログラムは，日本語の記述であるため，ソフトウェアの非専門家でも容易に作成可能である。

4 SS(スペクトル拡散)通信方式

スタッカクレーンや無人搬送台車などのFA移動機器の通信情報システムは，設備の自由度が発揮できるものでなければならない。**表1**に従来から行なわれてきた通信方式の比較を示す。

また，SS通信方式は，次のような特徴をもっている。

(1) 情報信号を広い周波数帯に拡散して送信しているので，SN比の悪い環境下でも信頼度の高い通信が確保できる。

換言すれば，電波法上の認可申請の必要のない微弱電波で使用できる。

(2) 広い周波数帯に拡散して送信しているので，暗号符号に相当する拡散符号を知らない限り，元の情報信号で復元されない。すなわち，情報の秘話性をもっている。

(3) 暗号符号に相当する拡散，逆拡散符号を各局に割り当てることで，多局間通信ができる。

(4) 送信電力密度が低いので，他の通信系に与える妨害が少ない。

表1 移動体通信方式の比較 FA移動設備への情報，通信方式の比較を示す。

項目＼通信方式	SS通信	光空間伝送	無線(FM)	誘導無線	電磁結合
1. レイアウトの自由度	◎	○	◎	△	△
2. 床布線工事	不要	不要	不要	要	要
3. 多局間通信	○	×	○	○	○
4. 電波法認可	不要	不要	不要	要	不要
5. 耐雑音性	◎	◎	○	○	○
6. 屋外使用	○	△	○	○	△

表2 SS通信装置仕様諸元 SS通信装置の仕様諸元を示す。

No.	項目	仕様
1	搬送周波数	100～400MHzの中の1波
2	変調方式	二相位相変調
3	帯域幅	±10MHz
4	送信電力	1mW程度(電波法の規制を受けない微弱電波)
5	信号伝送速度	10k bps
6	信号誤り検出方式	反転二連送照合 パリティチェック
7	通信範囲	約150m(環境条件により増減あり。)

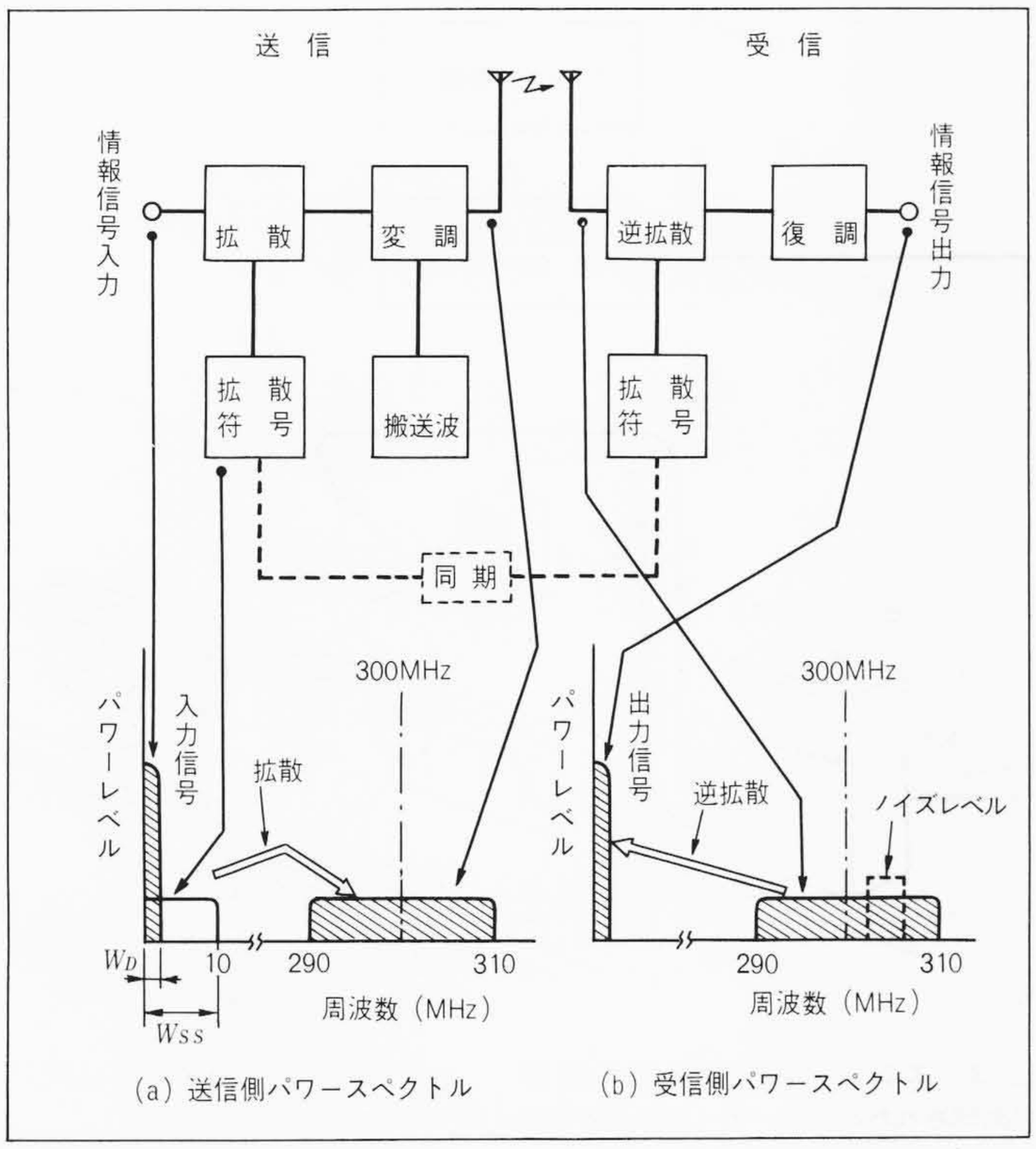


図11　SS通信方式の原理図　SS通信の送，受信機のブロック図と対応する箇所の周波数パワーレベルを示す。搬送波として300MHzの場合を示した。

SS通信方式は，これまで宇宙通信，機密通信などの特殊な用途しか実用例がなく，FA設備用として新たに開発を行なった。**表2**にスペクトル拡散通信装置の仕様諸元を示す。

SS通信方式の原理は，**図11**に示すように送信側で擬似雑音信号(暗号符号)のような，広帯域で平たんなスペクトルをもつ拡散信号を用いてデータ信号を変調し，拡散信号と同じ帯域幅までスペクトルを広げて送信する。受信側では広帯域のまま受信し，送信側と同一でかつ同期のとれた拡散信号を用いて，受信信号を逆拡散(暗号解読)し，データを再生する。このとき，次の(2)式のような雑音抑制効果がある。

$$(S/N)\,\mathrm{out} = (S/N)\,\mathrm{in} \times \frac{W_{SS}}{W_D} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ここに　(S/N) out：再生出力信号
(S/N) in：受信機入力信号
W_{SS}：拡散信号帯域幅
W_D：送信信号帯域幅

(2)式でW_{SS}/W_Dを大きくとる，すなわち広帯域に拡散することで，高SN比を実現している。

ところで，自由度の高い通信方式としてFM(周波数変調)無線方式を採用していたが，周波数帯域幅はせいぜい10kHzぐらいで，周囲の雑音の影響を受けることがわずかではあるがあった。しかし，SS通信方式は無線方式であるが，周波数帯域幅を10MHzと非常に広くし，更に，特殊な拡散符号を使っているので，FM方式に比べてはるかに雑音に対して強い方式になっている。

フィールドでの測定結果は，SN比が0dB，すなわちSN比が1：1であっても良好な通信を行なうことができた。また，“1”と“0”から成るディジタルデータの誤り検出で，正規のデータに続けて，極性を反転したデータを送る反転二連送照合を採用し，信頼度を更に高めている。

5　FA用画像処理装置ビジュアルアイ

物流システムの仕分け，組立，検査などのラインでは，人手に依存しているところが大きい。しかし，人間にとっては単調な作業であり，機械化が望まれている分野であった。

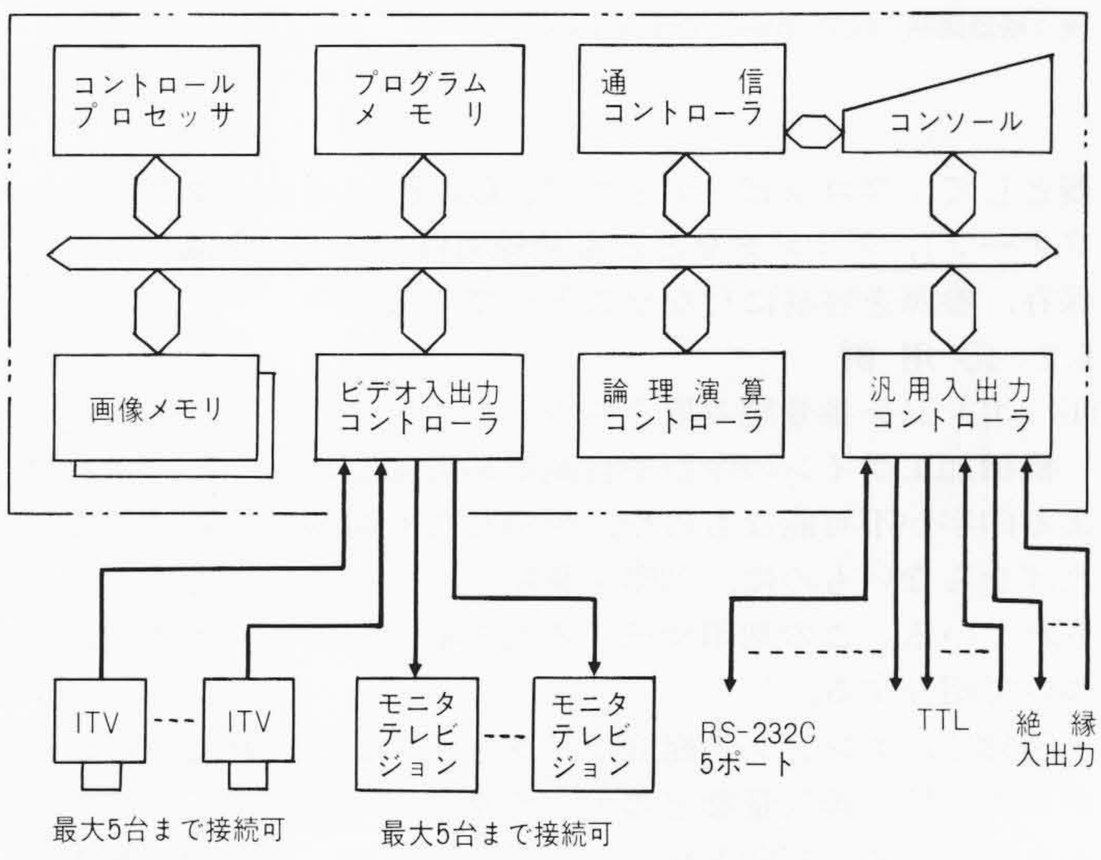
今回，物流システム合理化のコンポーネントとして，人間の目に代わるFA用画像処理装置ビジュアルアイ[5]を開発した。ビジュアルアイは，コンベヤラインを流れる品物やパレットの番号・文字・バーコードの読み取り，でき上がった品物の良否判別，品物の置かれている位置や座標の算出機能をもっている。

5.1　ビジュアルアイの基本構成

図12にビジュアルアイの構成を示す。ビジュアルアイは生産ラインで使用されるため，同時に多箇所での計測，カメラ視野の不足，一つの物を多方向から観測できないなど従来の画像処理装置での問題点をカバーするため，標準装備でカメラ5台，モニタテレビジョン5台，シリアル通信5ポートが接続できるようになっている。更に，処理速度向上用に論理演算ボードを準備している。論理演算はすべてハードウェアで実施し，ITV(工業用テレビジョン)カメラからの取込実時間で処理している(**表3**)。

また，ユーザーが制御装置やセンサの一つとして画像処理装置を使用する場合，認識結果を入出力装置へ反映しにくいこと，プログラミングしにくいことなどの難しさがあったが，ビジュアルアイでは，コンソールからBASICで入力し，ビジュアルアイの中で機械語に置き換えて高速実行し，結果をBASICで指定された出力ポートに出力するようになっており，専門家でなくてもプログラムが可能なように配慮されている。

コンソールから入力されたデータ・判定文はビジュアルアイ内のバッテリーバックアップされたRAM(Random Access Memory)内に保存され，ラインで使用するときはコンソールを切り離して使用することが可能である。また，基本ソフトウェアパッケージは各種(**表4**)準備されており，より高度な認識プログラムを構築することが可能である。周辺機



注：略語説明　TTL(Transistor Transistor Logic)

図12　ビジュアルアイの構成　FA用画像処理装置として，各種制御装置とのインタフェースを考慮して，多種の入出力装置が接続できる構成となっている。

表3 論理演算ボードの処理速度 処理速度向上のため，すべてハードウェアで演算を行ない，FA用として十分な高速性を実現している。

処理項目	処理速度
平滑化フィルタ	33m・s/画面
ラプラシアンフィルタ	同上
X微分	同上
Y微分	同上
空間微分式 ROBERTS，FORSEN EJIRI，ROSENFELD WAWKINS	すべて33m・s/画面

表4 ビジュアルアイの仕様 基本ソフトウェア，サブルーチンを組み合せて各種の認識が可能であり，また従来取りまとめが難しかった周辺機械設備もサポートするよう準備されている。

項目	仕様
プロセッサ	HD46809E 2MHz
プログラムメモリ	Max. 24kバイト(バッテリーバックアップ付き)
画像メモリ	最大2画面 1画面……256×256×4ビット
接続カメラ	内部同期方式 CCTVカメラ(最大5台)
画像入出力機能	分解能：1面当たり 水平256×垂直256 濃淡レベル：16階調
モニタテレビジョン	5inモノクローム
フロッピーディスク	3.5in 記憶容量360kバイト
入出力インタフェース	RS-232C 5チャネル
基本ソフトウェアサブルーチン	投影分布，中心位置検出，頻度分布，二値しきい値検出，画像二値化，画像輪郭追跡，画像特徴検出，パターンマッチング，積和演算，論理フィルタ，座標変換，輝度分布修正，ウインドウ10個指定，画像反転，面積，周囲長，長さ，幅，島の数
アプリケーションソフト	ユーザーが操作卓から，アプリケーションソフトを組める(ベーシック言語)。
電源	AC100V±10% 50/60Hz

注：略語説明 CCTV(Closed Circuit Television)

器として，フロッピーディスク，CMT(カセットマグネチックテープ)，プリンタなどとも接続可能であり，認識データの保存，参照を容易に行なうことができる。

5.2 応用例

(1) エンジン番号読み取り装置

機械加工ラインの金型や自動車の各部品のように，塗料による印字が不可能なものや，焼損しても履歴が追跡できなければならないものに，刻印を利用してマーキング方式が使用されている。この刻印マークの読み取りを行なった実施例について紹介する。

図13は，エンジンの組立ラインを示すが，流れてくるエンジンの機種，排気量などのデータをビジュアルアイで読み取るものである。刻印されているデータはバーコードであるため，打刻機の刻印面に対する圧力，印字ヘッドの摩耗などで，必ずしも均一な打刻面が得られない。また，切削油が印字面に入り，打刻面が埋まってしまうなどの問題があるので，ビジュアルアイの面積，配列の調査，ウインドウ機能を使用して，像のかすれや印字面の不均一さを補正し，読み取りを行なっている。本システムでは誤認識は許されないため，不確実なものは警報を発し，モニタテレビジョンオペレータに確認してもらうバックアップ方法をとっている。

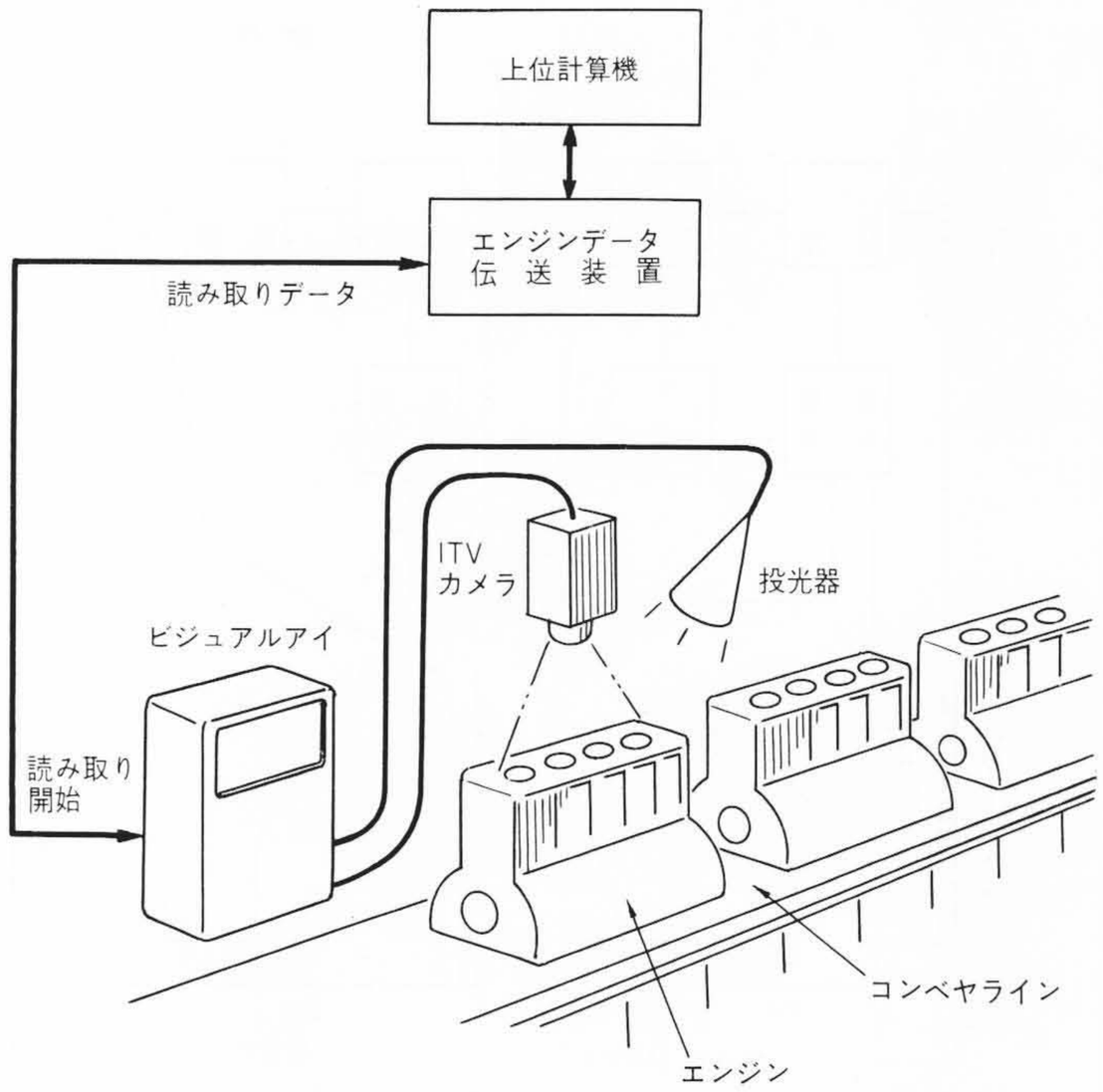


図13 エンジン番号読み取り装置 ビジュアルアイにより，エンジンに刻印されたバーコード・付号などの読み取りを行なう。

6 結言

以上，「F & F自動倉庫システム」の開発と実用化について，ハードウェア及びソフトウェア・制御システムの特長について紹介した。

自動倉庫システムは，今後共大きな展開が期待されるFA，FMS分野のキーシステムであり，顧客ニーズの多様化に対するスピーディーかつフレキシブルな対応がいっそう必要となってきている。

今回開発したシステムを基に，更に信頼性，安全性の向上を検討するとともに，納入実績をフィードバックしてシステムの完成度を高めていく考えである。

参考文献

1) 古宿，外：分散型マイコンシステムを用いた高性能自動倉庫：自動化技術，Vol. 15, No. 4 (昭55-9)
2) 古宿，外：自動倉庫の新しい制御システム，日立評論，**62**，6，447～450(昭55-6)
3) 広重，外：地震時立体自動倉庫の安全化に関する調査研究報告書，社団法人日本産業機械工業会(昭56-6)
4) 滝沢，外：自動倉庫用軽量骨組の耐震性，川崎製鉄技報Vol. 14, No. 3, p. 143～159(昭57-5)
5) 吉田，外：クレーンのメカトロニクス，機械設計，Vol. 29, No. 3, p. 41～51(昭60-2)
6) 松本，外：ファクトリーオートメーションシステムの計画技法，日立評論，**65**，12，819～822(昭58-12)
7) 都島，外：FA搬送制御方式の提案とそのルール記述の試み，昭和58年電気学会東京支部大会，No. 294(昭58-11)
8) 田代，外：離散型システム用ルールベースコントローラ，第2回知識工学シンポジウム(昭59-3)