

# ロボット視覚用小形画像処理装置“HV/R-1”

## Compact Robot Vision System “HV/R-1”

ロボットの応用範囲を拡大する上で、視覚機能の重要性は早くから指摘されてきたが、従来の視覚装置は規模、コストの点で導入が難しかった。このため、ロボット視覚用として小形、低価格な画像処理装置“HV/R-1”を開発した。

HV/R-1の特徴は、線分化画像処理アルゴリズムの採用により、小規模な回路構成で、高速・高精度な部品の認識を可能にした点である。更に、実物教示形の部品認識パッケージの搭載により、適用の容易な視覚システムを構成している。

本稿では、線分化画像処理アルゴリズムの解説を中心に、HV/R-1の構成、機能の概要について述べる。

秦 清治\* Seiji Hata  
 有賀 誠\* Makoto Ariga  
 鈴木健司\* Kenji Suzuki  
 辻 征郎\*\* Masao Tsuji  
 川崎恭一\*\* Kyōichi Kawasaki  
 志村安規\*\*\* Yasunori Shimura

### 1 緒 言

製造ラインの自動化、省力化のために、多数のロボットが導入され、大きな効果を挙げてきている。しかし、従来のティーチングプレイバック動作を行なうロボットを主体にした自動化では、部品や製品の精密な位置決めを必要とし、導入に当たってはラインの改造や部品の変更を伴うことが多かった。

このようなロボット導入時の問題を解決する手段として、ランダムに供給される部品の位置、姿勢をテレビジョンカメ

ラで認識し、ロボットに位置データの補正を行なわせる視覚装置の開発が各所で行なわれている<sup>1)</sup>。日立製作所でも、古くからロボットのための画像処理技術の開発を進めてきており<sup>2)</sup>、多大な成果を挙げてきている<sup>3)</sup>。今回、これらの成果をもとに、ロボットの組立システムへの応用などで、供給される部品の位置、姿勢を認識することのできる小形・低価格でオペレーションの容易な画像処理装置“HV/R-1”(Hitachi Vision for Robot-1)を開発し、製品化した。本報では、HV/R-1開発のねらい、装置の概要とアルゴリズム上の特徴、及びロボットへの応用例について紹介する。

### 2 ロボット視覚としての機能範囲

ロボット視覚に要求される機能は、簡単な位置決めから配線作業での線材の空間位置の決定のような複雑なものまで、非常に広範囲にわたっている。その作業例を日立社内各工場に対するアンケート調査に基づいた分析結果を図1に、機能的に見た分類と必要とされる程度を表1に示す<sup>4)</sup>。ロボット視覚では、3次元的位置の認識や、変形しやすい部品での平面、立体的な形状認識などの難しい機能に対する要求も多いが、平面的な位置、姿勢の認識機能でカバーできる作業が全体の66%と、かなりの割合を占めている。

HV/R-1の開発に当たっても、小形・低価格で実用的な装置を構成するために、その機能範囲としては、平面的な位置、

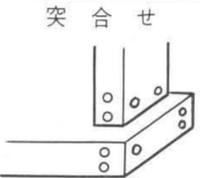
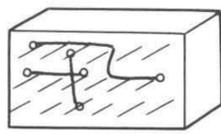
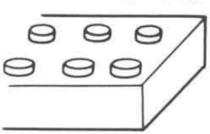
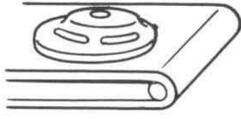
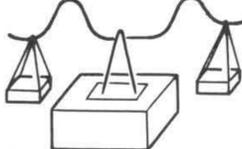
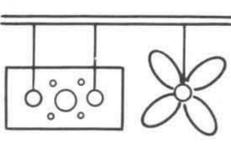
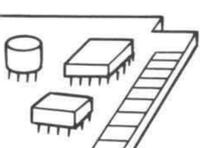
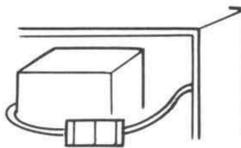
分類	作業例	
組立	突合せ 	不定形はめあい 
束線・配線	ボード上布線 	平面配線 
部品供給	(つかみ位置決定) 	(コンベヤ上姿勢チェック) 
つり掛け	(大まかな位置決め) 	(先端位置確認) 
電子部品・コネクタ挿入	多ピン部品 	両端フリーコネクタ 

図1 視覚による作業例 ロボット視覚の必要な作業は非常に多い。ここに示すものはその一部であるが、技術的にも簡単なものから複雑なものまで多様であることが分かる。

表1 視覚機能の分類と必要度 表中、\*印の付加したものは、平面的な位置姿勢の決定を行なえばよいもので、必要度は66%である。2次元、3次元の位置形状の決定などの技術的に困難な機能に対する要求も、かなりの割合に上る。

区分	認識機能	必要度(%)
固い部品	センター位置決定	27*
	2次元位置、姿勢決定	31*
	3次元位置、姿勢決定	16
	形状決定	0
変形しやすい部品	端点位置決定	8*
	2次元形状決定	10
	3次元形状決定	8

\* 日立製作所生産技術研究所 \*\* 日立製作所習志野工場 \*\*\* 日立京葉エンジニアリング株式会社

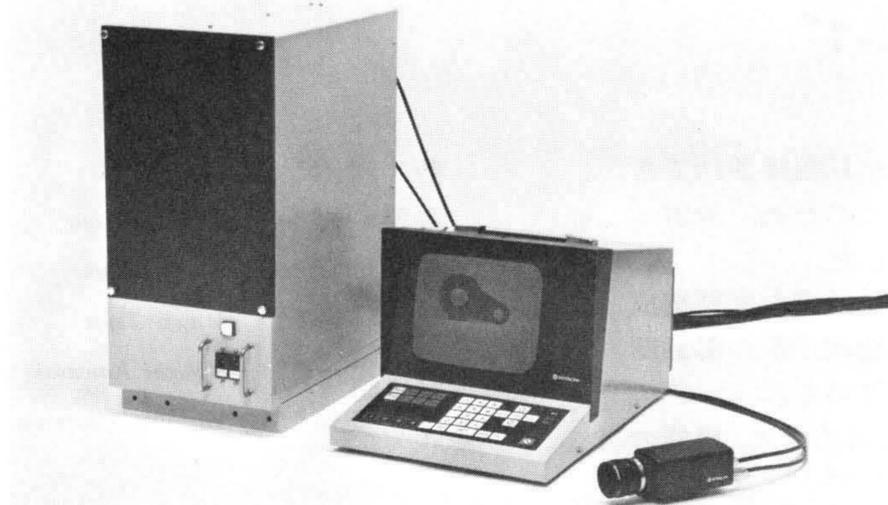


図2 HV/R-1の外観 HV/R-1は、小形・コンパクトな画像処理装置として構成されている。使いやすい専用のオペレータコンソールをもち、メニュー方式によるオペレーションの指示が可能である。処理結果も、オペレータコンソールに画像として表示される。

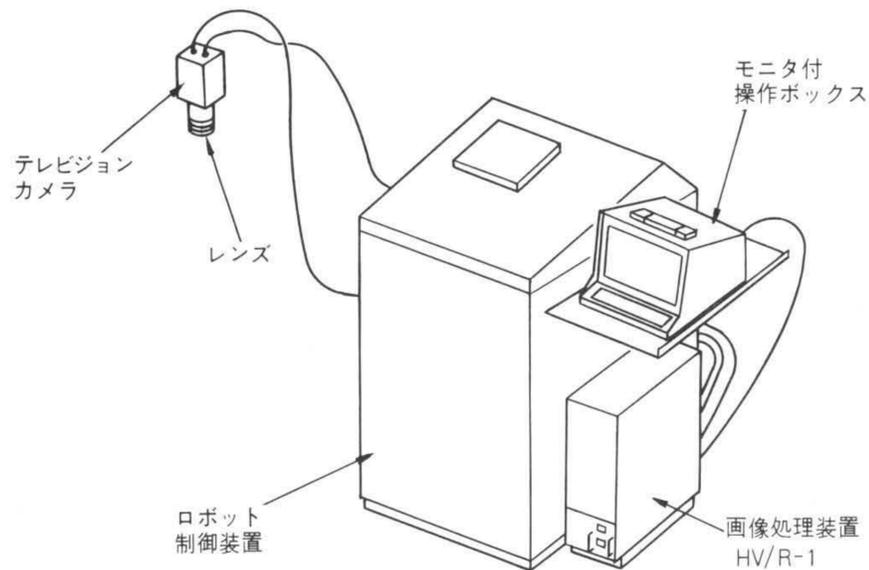


図3 ロボットコントローラとHV/R-1の接続 日立のロボットとHV/R-1は、シリアル伝送ラインで簡単に接続できる。HV/R-1の起動、データ送信は、ロボットコントローラ側のコマンドにより制御可能である。

姿勢の認識を中心に構成することにした。そして、簡単なオペレーションでアプリケーションシステムの構築が可能な部品認識パッケージを用意するなど、使いやすいシステムを構成するように心がけた。

### 3 HV/R-1の構成

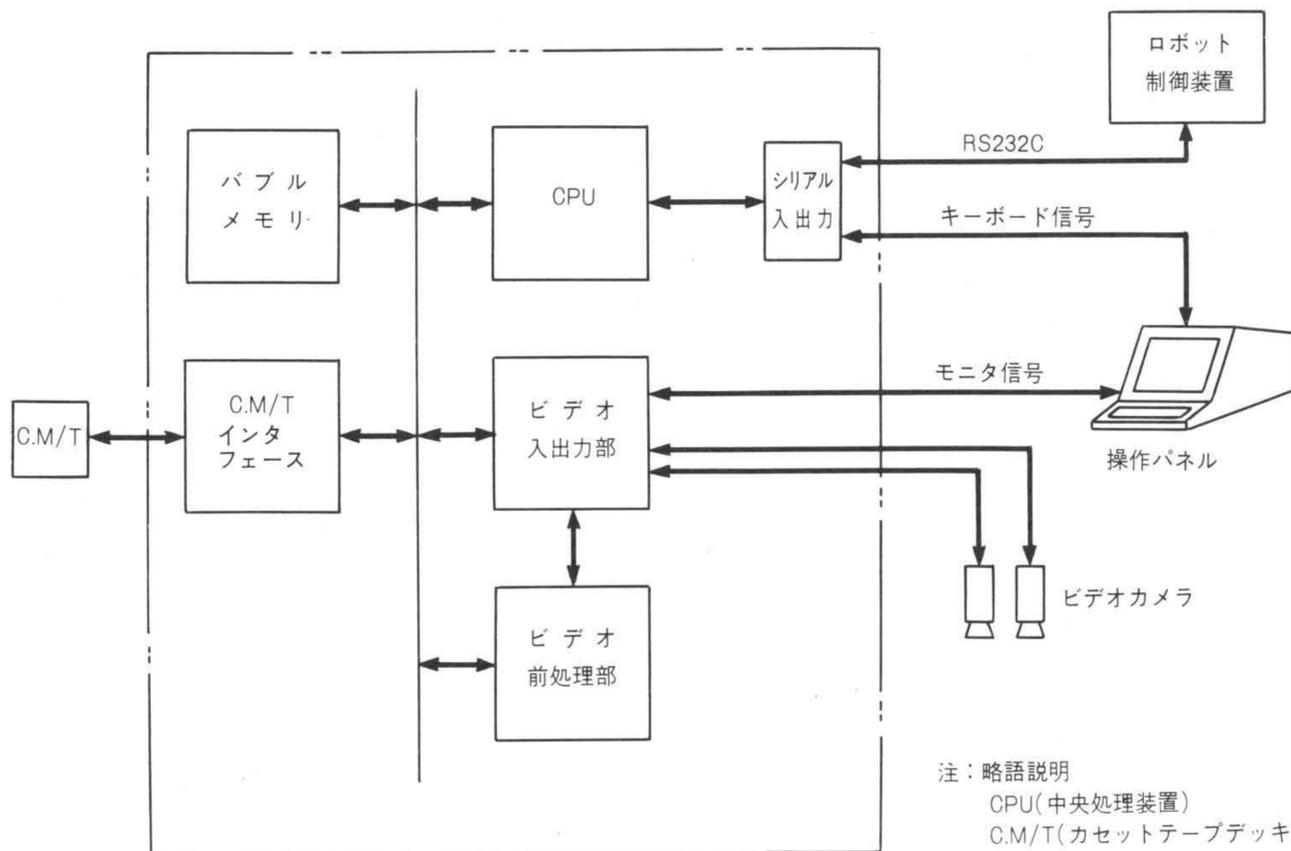
HV/R-1の外観を図2に示す。HV/R-1は、図3に示すように、日立製作所の各種のロボットコントローラに取り付けて使用することを前提に設計されている。これは、単に外形だけでなく、電氣的、プログラムのにも接続に対する考慮が十分に払われている。

HV/R-1のハードウェア構成を図4に、仕様を表2に示す。HV/R-1は、後述する線分化アルゴリズムをベースにした構成を採っており、比較的簡単なハードウェア構成で高速の画像処理を可能としている。

図3で、ビデオ入出力部、ビデオ前処理部は画像の前処理回路であり、画像を入力し、2値化を行なってセグメンテーション処理により画像内を白と黒の領域に分割して、認識するための前処理を行なう。前処理以降の画像処理は、マイクロコンピュータにより実行される。処理プログラムとデータはバブルメモリに格納され、電源投入時及びプログラムからの指定時、CPU(中央処理装置)上のメモリに転送される。プログラムやデータの保管には、カセットテープを用いる(オプション)。

HV/R-1は、標準で2台のテレビジョンカメラを接続できる。また、ロボットとの交信は、RS232Cインタフェースを用いて行なう。オペレーションは、専用の操作パネルから行ない、操作パネルの画面上には、処理中の画像の表示とキャラクタ表示がオーバーラップして出力される。

画像の前処理を行なうビデオ前処理部のブロック図を図5に示す。HV/R-1ハードウェアの最大の特長は、画面上に自由に処理領域を設定でき、その領域内部だけで処理を実行する点にある。この処理領域を設定するのが、図4マスクパターンメモリであり、画面上の約6万点に分割された各画素単位にそれぞれ処理すべき領域かどうかの指定を行なうことができる。すなわち、図6(a)に示すような、背景に多数の複雑な

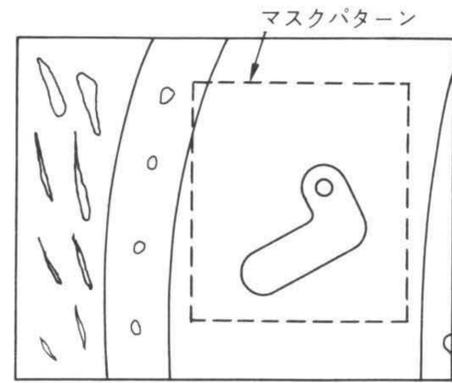


注：略語説明  
CPU(中央処理装置)  
C.M/T(カセットテープデッキ)

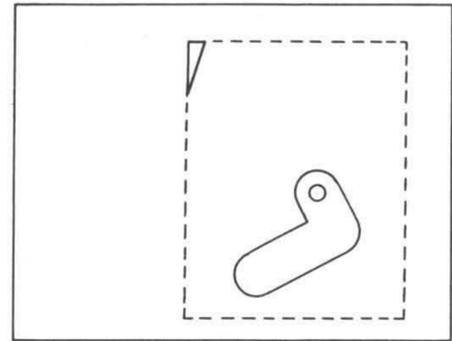
図4 HV/R-1の構成 HV/R-1は、画像の前処理回路とマイクロコンピュータを組み合わせた汎用画像処理装置である。

表2 HV/R-1の仕様 HV/R-1は、バブルメモリにプログラム、データを保持し、オペレーションするターンキー形の画像処理装置である。回路上の特長は、処理領域を自由に設定できる領域マスク回路と、それと連動して動く変化点検出回路をもっている点にある。

項 目		仕 様	
視 覚 装 置 本 体	中央処理装置	16ビットマイクロプロセッサ	
	記憶装置	バブルメモリ(128kバイト)及びICメモリ	
	入出力 インタフェース	シリアル	RS232Cインタフェース
			操作パネル用専用インタフェース
	カメラ	外部同期式固体カメラ	
	映像入力	1Vp-p : 75Ω 複合映像信号	
	画像メモリ	水平256×垂直256	
	濃淡レベル	2値又は多値	
	画像前処理	変化点検出回路, 領域マスク回路	
	外形寸法	幅240×奥行360×高さ470(mm)	
操 作 パ ネ ル	モニタ	9in 白黒ビデオモニタ	
	表示内容	画像モニタ, グラフィック, キャラクタ	
	入力部	フラットパネルキーボード	
	外形寸法	W285×H246×D441	
補助記憶装置	カセットテープデッキ(オプション)		



(a) 原画像



(b) マスクパターンで切り出した画像

図6 マスクパターン処理 マスクパターンを利用することにより、複雑な背景をもつ画像の処理を、高速かつ安定に行なうことができる。

パターンを含む画像に対し、背景パターンを除いた画像(b)として処理できる。

ビデオ前処理部では、セグメンテーションの前処理として、2値画像上でテレビジョン画面の各走査ラインごとに、白から黒又は黒から白に値が変化する変化点の抽出を行なう。このとき、マスクパターンメモリの指定領域外では変化点の抽出を行なわないため、不要な情報をマスクして、認識の安定化、処理時間の短縮を行なうことができる。

#### 4 画像処理アルゴリズム

ロボット視覚としての画像処理アルゴリズムには、リアルタイム性と広い範囲への適用可能性が要求される。HV/R-1では、線分化画像処理アルゴリズムを採用し、これらを満たしている。

線分化画像処理アルゴリズムは、2値パターンの形状を詳細に認識するアルゴリズムで、部品認識などの部品の判定、位置、姿勢の決定に適している。処理の流れを図7に示す。まず、画像を入力し、2値化した後、セグメンテーション処

理により部品領域を切り出し、輪郭線を多角形で近似して、頂点座標の列として表わす。これを線分化処理と呼び、頂点列のデータを線分化データと呼ぶ。

線分化処理では、図8に示すように多数の細かく分割された線分により部品を近似する。

線分化データの頂点数は、ほとんどの場合100点以下、通常は50点前後である。テレビジョンカメラからの原画像は6万以上の画素データから成るので、線分化により、処理すべきデータが $\frac{1}{1,000}$ 以下に圧縮されたことになり、処理の高速化が可能である。

画像を多角形近似する手法は、従来もいくつか試みられてきたが、輪郭点列に線分を当てはめるには最小二乗法などの時間のかかる処理が必要であり、実用化に至っていなかった。高速線分化方式は、画面内で線分として認識する長さに限度を設けると、直線化できる輪郭パターンも有限個に限られることに着目し、あらかじめ可能なパターンを列挙した直線テンプレートに、画像の輪郭点列を直接当てはめることにより、線分化処理を高速に行なう。この様子を図9に示す。この方

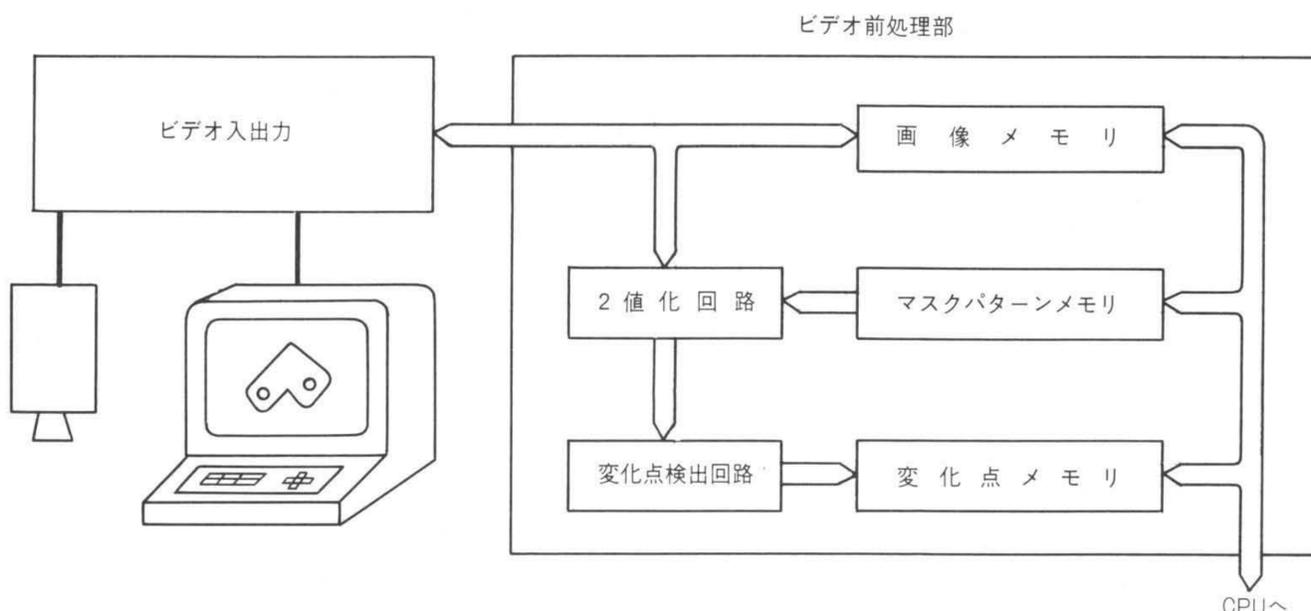
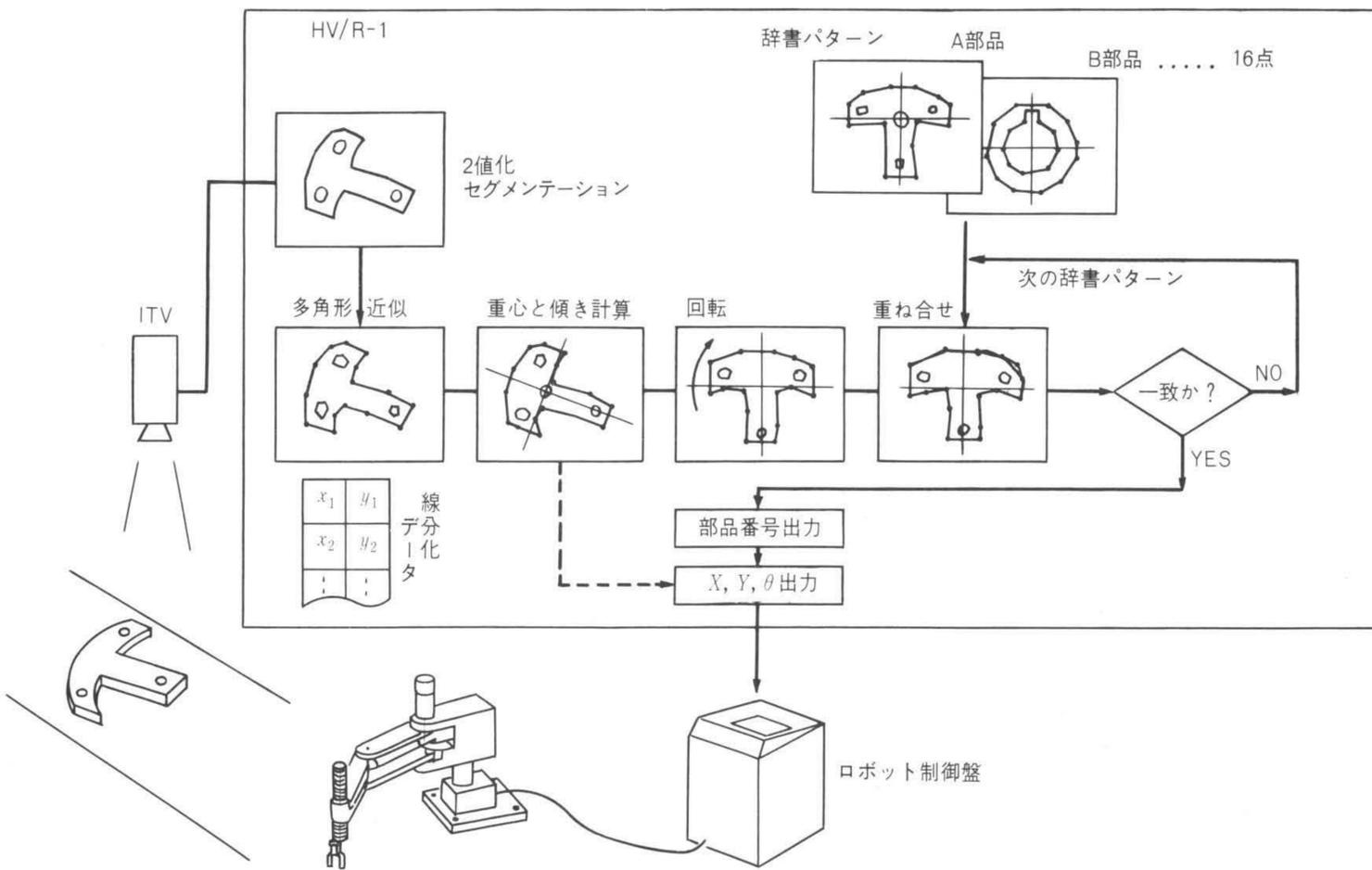


図5 ビデオ前処理部の回路構成 HV/R-1のビデオ前処理部では、テレビジョンの1走査線ごとの変化点抽出を行なう。このとき、処理領域を指定し、その中でだけ抽出を行なうのが本回路の特長である。



注：略語説明 ITV(工業用テレビジョン)

図7 線分化画像処理アルゴリズム テレビジョンカメラからの入力画像は、セグメンテーション、多角形近似され、その頂点データにより部品の重心と傾きが計算される。そして、標準データとの比較により種別判定され、そのデータがロボットに送られる。

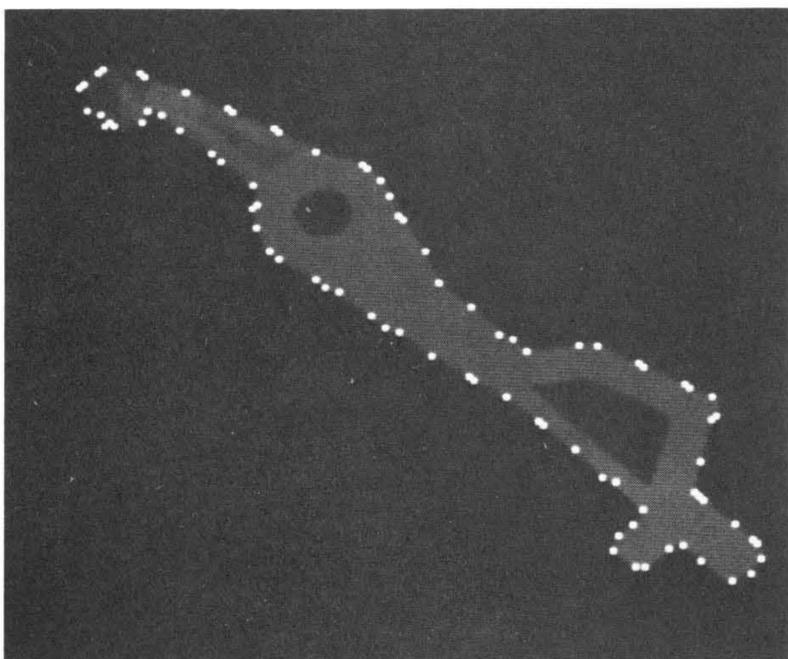


図8 線分化処理例 入力された部品画像は、線分化処理により多角形に近似され、多数の頂点列で表現される。写真中、白点が多角形の頂点である。

法により、図8に示したような標準的な部品では、20~30msで線分化ができる。

線分化データからの部品の認識には、画像の特徴量の組合せによる方法と線分化パターンマッチングによる方法の2方法がある。この様子を図10に示す。

画像の特徴量としては、重心、面積、周囲長、2次モーメントなどの値が用いられる。これらの値は、線分化データの頂点座標値から数値計算により簡単に求めることができる量であるが、この値を辞書パターンと比較することにより、簡単な部品の種類の判定を行なうことができる。

線分化パターンマッチングでは、原画像と辞書パターンの線分化データを、重心位置及び姿勢を合わせて重ね合わせ、その重なり合う程度により、部品の種別判定を行なうものである。特徴量による方法と比べ、直接形状データによる比較を行なうため、精度の高い判定が可能である。

このように、線分化画像処理アルゴリズムは、画像を数十点の頂点データ列として扱い、数値計算で認識処理を行なう

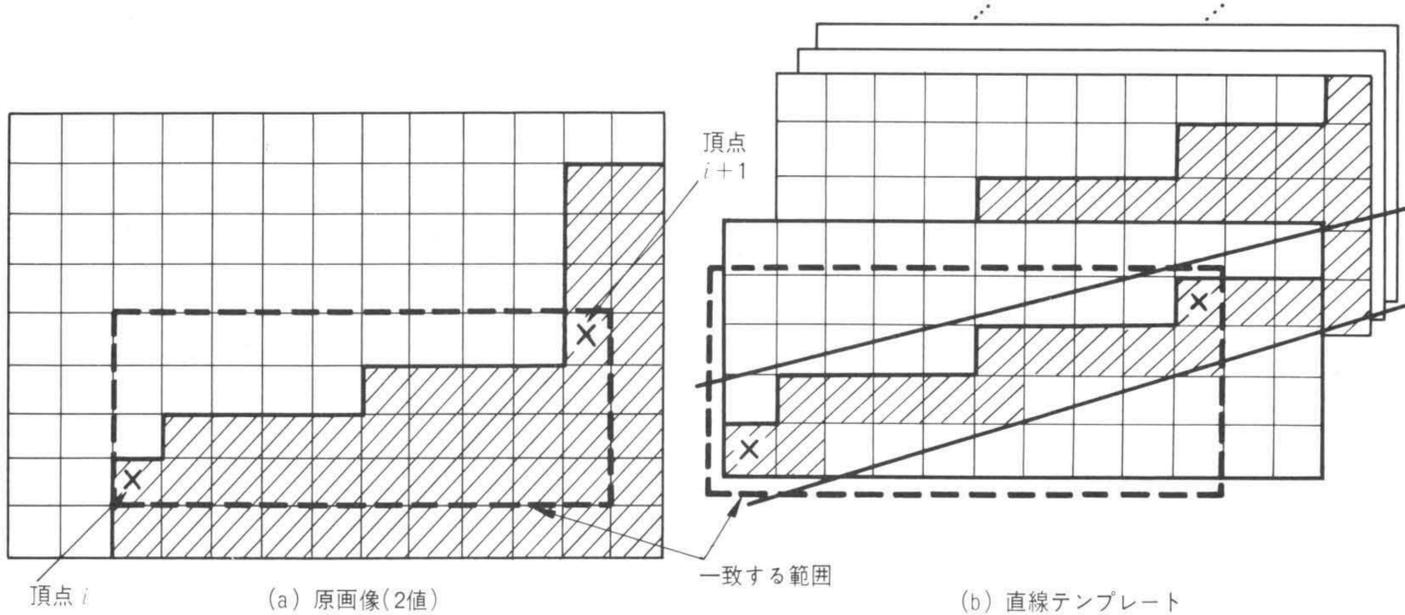


図9 線分化処理の原理 あらかじめ線分化可能な全パターンを、直線テンプレートとして登録しておく。原画像といちばん一致するテンプレートの、一致する部分の端の画素を頂点とする。実際のテンプレートは、高速化のための工夫がされている。

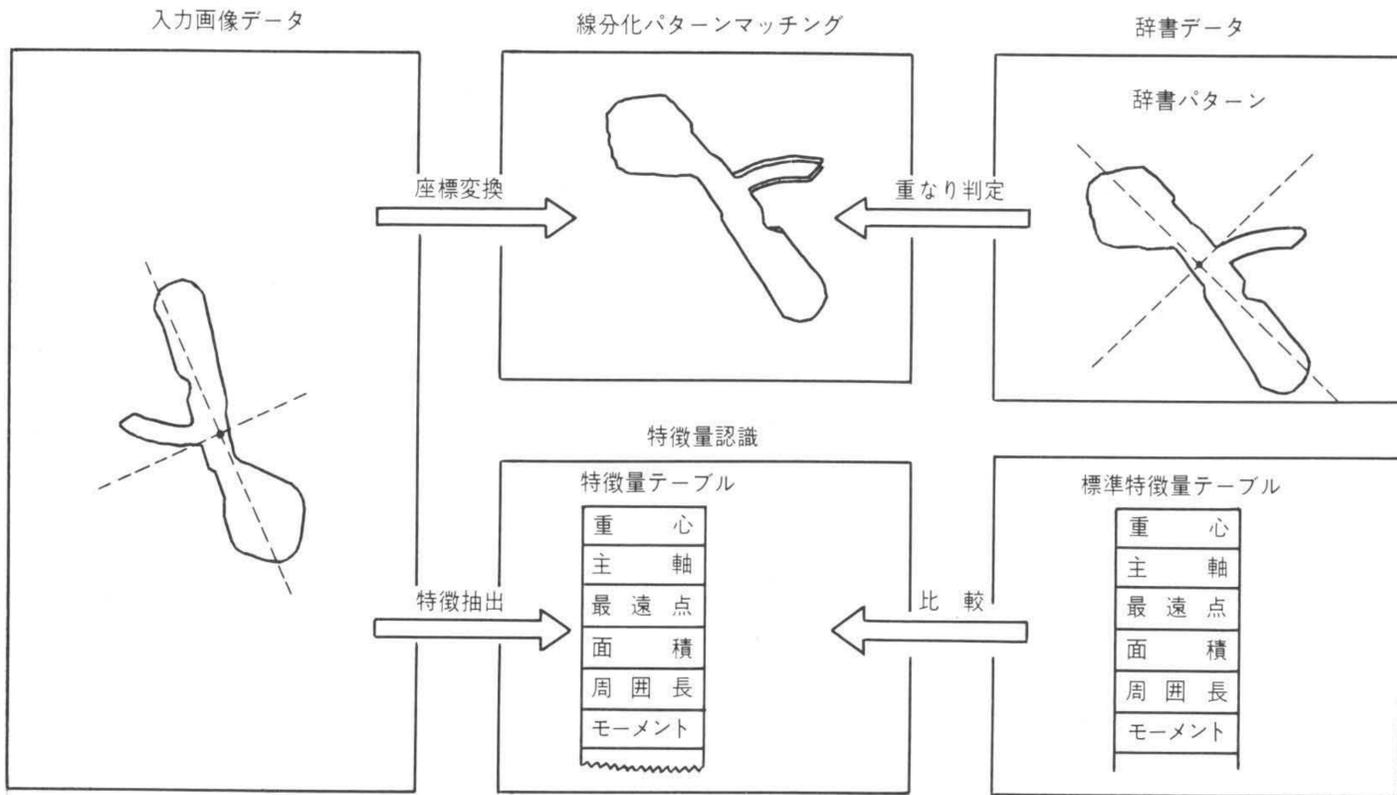


図10 線分化データによるパターン認識 部品の種類の認識は、線分化パターンマッチングによる方法と特徴量比較による方法がある。線分化パターンマッチングでは重なり割合で、特徴量比較では各値の類似度の高さで、種別が判定される。

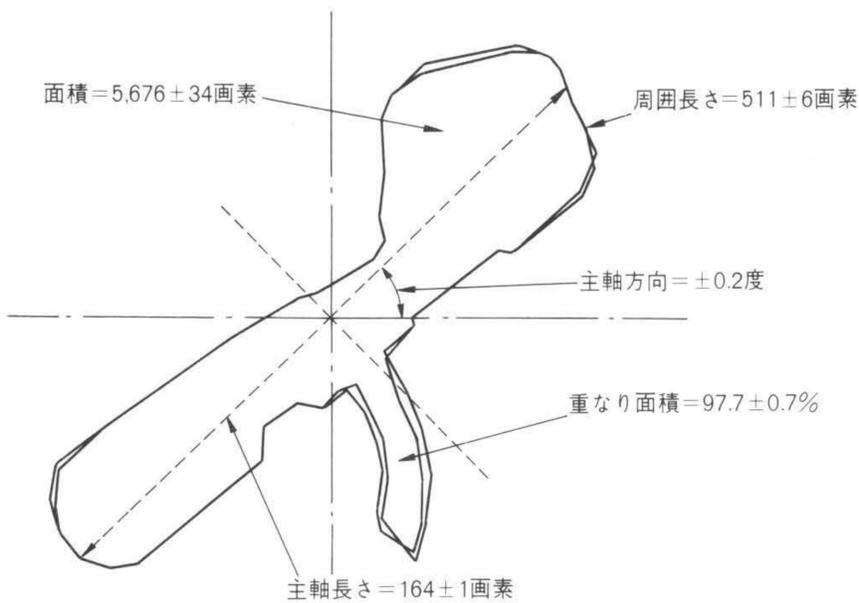


図11 線分化データの精度 線分化データから算出される特徴量の姿勢による安定度は高く、ばらつきで0.3~0.7%である。

ため、マイクロコンピュータ処理に適した高速、高精度な画像処理アルゴリズムである。

例えば、HV/R-1に用意された汎用部品認識パッケージでは、単なる特徴量による部品判定では約0.3秒/部品、線分化パターンマッチングを用いても約0.5~0.9秒/部品で認識決定を行なうことができる。また、面積、周囲長などの特徴量の算出精度も、図11に示すようにばらつき範囲で0.3%内外と非常に安定しており、精度の高い判定が可能である。

### 5 部品認識パッケージ

HV/R-1は、ターンキー形の部品認識システムとして提供される。ここで、線分化画像処理アルゴリズムに基づいて部品の認識を行なうソフトウェアが部品認識パッケージであり、実物教示方式で部品をティーチングし、それを標準パターンとして部品の種別、位置、姿勢の決定を行なう。この様子を図12に示す。

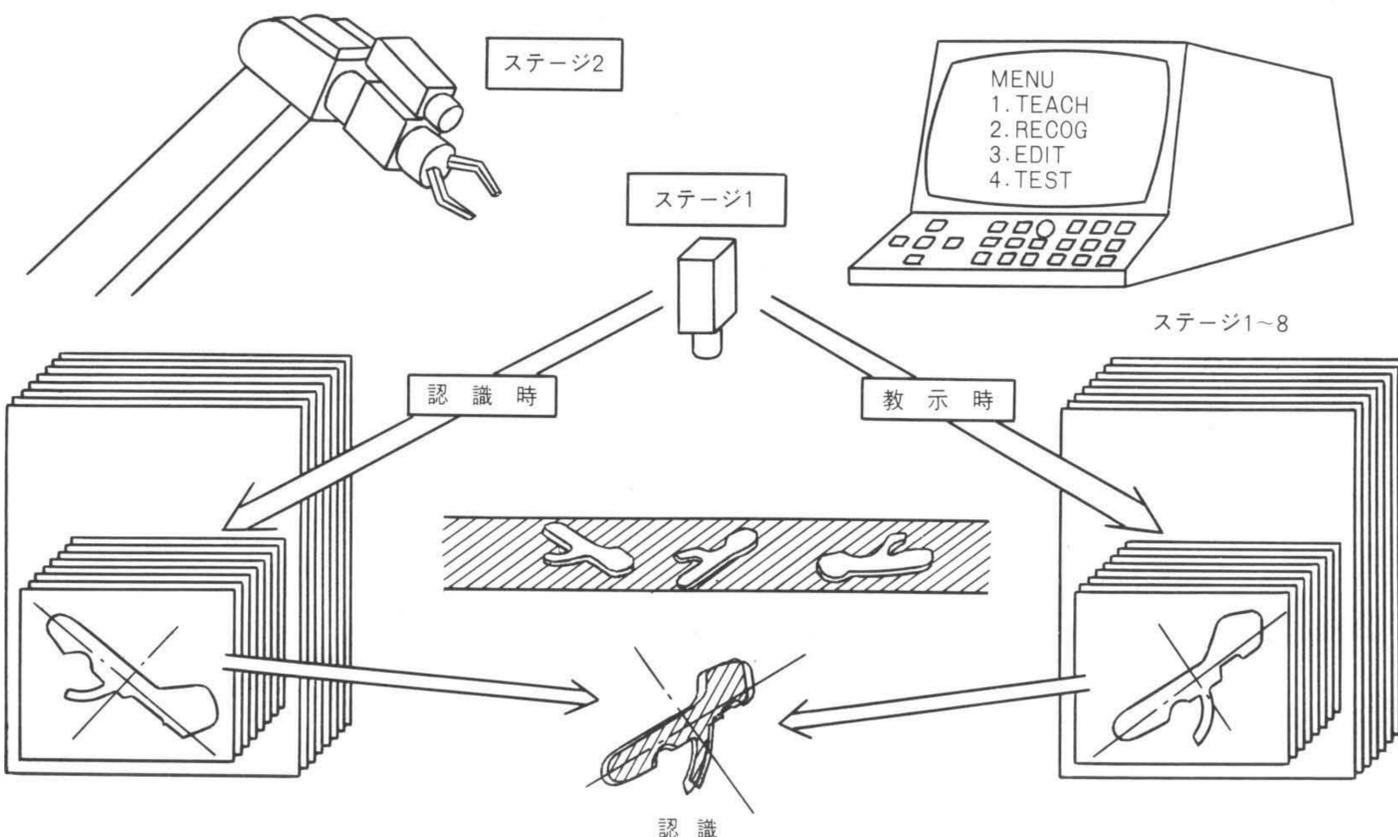


図12 部品認識パッケージ HV/R-1は、実物教示形の部品認識パッケージで動作する。このパッケージでは、画像入力条件の異なる8ステージで、16個の部品をテレビジョンカメラから直接教示し、それに基づいた認識ができる。

部品の実物教示は、部品画像を認識と同じ条件で入力し登録を行なう。HV/R-1では、入力の際のカメラ番号、しきい値指定、処理領域の組合せをステージと呼ぶが、最大8ステージの各々に16個までの辞書パターンを設定できる。

認識の方法には、指定部品サーチと部品種別判定の二とおりがある。指定部品サーチでは、辞書パターンの中からロボットが1個を指定すると、入力画像の中で同一のパターンを探し出し、位置、姿勢を決定する。部品種別判定はこれと逆に、入力した部品画像について、辞書パターンの中でこれと同一のものを探し、種別、位置及び姿勢を報告する。

認識の方法には、各種特徴量の組合せによる判定と、線分化パターンマッチングによる高信頼度の判定が選択できる。

これらの設定や辞書パターンの登録、認識の起動などの操作は、すべてメニュー方式により、操作パネルからのキー入力で行なうことができる。

### 6 ロボットとの接続

HV/R-1は、ロボットと接続して使用されることを前提とした画像処理装置であるため、接続に対しても十分な考慮を払った。

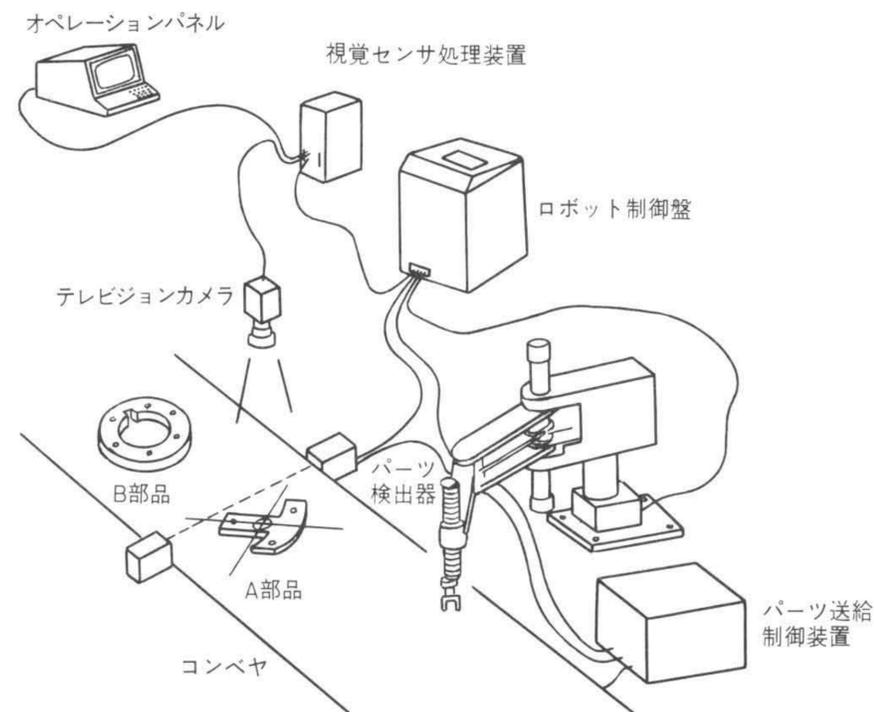
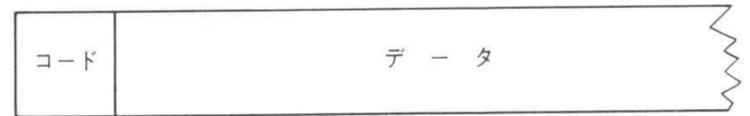


図13 HV/R-1の応用例 コンベヤ上を流れてくる部品の種別、位置、姿勢を判定し、ロボットを制御して部品のハンドリングを行なう。

表3 ロボットと視覚間の通信データ ロボットからはHV/R-1に対し、部品の指定、認識スタートなどの指示が送られる。その結果、位置、姿勢データなどが視覚からロボットに返される。

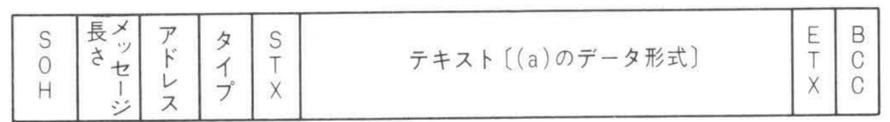
名称	方向 (R:ロボット I:視覚)	内容
リセット	R→I	画像処理装置初期化
ジョブ指定	R→I	認識ジョブ指定
部品番号指定	R→I	認識部品番号指定
スタート	R→I	認識スタート
ステータス転送	I→R	認識結果報告
データ転送	I→R	位置、姿勢データ転送

注：本表以外に、データ管理、実績管理などの伝送形式をもつ。



〔コード〕 0~99 内容を示す。  
〔データ〕 コードにより、形式が決まる。

(a) 論理的なデータ形式



(b) データ伝送形式

図14 通信データの形式 データ通信の形式は、コンピュータ通信で一般に使われる形式をとった。図中、タイプにはテキスト部の処理の方法を、テキスト部には(a)の通信内容のコードとデータを設定する。

図13に典型的なロボット視覚の応用例を示すが、ここでロボットと視覚間での処理要求データや認識データのやりとりは、RS232C伝送ラインを経由してポーリングセレクション方式のデータ通信処理により行なう。この通信データには、表3に示すような種類のものがあるが、これらのデータ形式は基本的に図14に示すデータ形式にまとめられ、標準的な手法により通信する。同時に、これらのデータ通信の制御を可能とするために、ロボット言語の拡張を行なった。

また、ロボットで部品をつかむためには、ロボットハンドが動作できるだけの余裕が必要であるが、そのための領域をハンドの周りに干渉チェック領域として設定し、認識時、他の物体がないかチェックすることができる。

### 7 結 言

ロボット視覚用の画像処理装置として、小形、低価格な画像処理装置“HV/R-1”を開発した。HV/R-1の特長は、線分化アルゴリズムの採用により、小規模な回路構成で、高速・高精度な画像認識ができることである。

視覚機能の付与によりロボットによる自動化もいっそうフレキシビリティを向上し、より使いやすいシステムの構築が可能となった。今後、具体的な応用展開を進め、更に有効な認識パッケージを開発、整備して、ロボット視覚の能力を向上していきたいと考える。

### 参考文献

- 1) 秦：工業用物体認識，電気学会雑誌，104，6，479～484(昭59-6)
- 2) S. Kashioka, et al. : An Approach to the Intelligent Robot with Multiple Sensory Feedback : 7th ISIR, 531～538 (1977)
- 3) 秦，外：ファクトリーオートメーションにおける画像処理技術の応用，日立評論，65，12，857～862(昭58-12)
- 4) S. Hata, et al. : Programmable High-Speed Image Processor PPI-II, IECON'83, 102～106(1983)