

日立におけるFA画像処理技術

Image Processing for Factory Automation in Hitachi

製造ラインのFA化を目的として、各種の画像処理装置が開発されてきている。日立製作所でも、20年近い工業用画像処理技術の開発の歴史の中から、大きく三つの系統に分かれる汎用画像処理装置が開発されてきた。本論文では、日立製作所の工業用画像処理技術の歴史を概観し、これら画像処理装置の開発された背景について解説する。そして、それぞれの得意とする機能、性能を比較することにより、汎用画像認識解析に適するHIDIC-IP、半導体・電子基板の位置決め、検査に適するSBIP、ロボットや自動機用の位置決めに適するHV/R-1、HISEC-SPの位置づけを行なう。

秦 清治* Seiji Hata
柏岡 誠治** Seiji Kashioka
小林 芳樹*** Yoshiki Kobayashi
長谷川邦夫**** Kunio Hasegawa
福地 文夫***** Fumio Fukuchi

1 緒 言

製造ラインのFA(ファクトリーオートメーション)化を進めるうえで、画像処理技術の占める役割が大きくなってきている。日立製作所では、1974年、トランジスタ組立の自動化に画像処理技術を本格的に実用化して以来、数多くの応用システムを開発してきた。本論文では、日立製作所の画像処理研究と実用化の歴史を概観し、その成果である汎用FA用画像処理装置の三つの系統について、それぞれの機能と特長を説明することにより、これに続く3論文の位置づけを示す。

2 日立製作所の画像処理技術の歴史

日立製作所の画像処理技術の歴史を図1に示す。以下にその主要な流れについて説明する。

2.1 工業用画像処理技術の研究の始まり

日立製作所での工業用画像処理技術の開発は、1960年代末期の図面読み取りロボットに始まる¹⁾。このシステムでは、パネル上に書かれた三面図を読み取り、それから組立方法を生成して、積み木の組立を行なうという、人工知能的な処理も含んだ画像処理を行なった(図2)。その後、コンベヤ上を流れている部品を動きながら認識、分類を行なうロボット²⁾や、コンクリート柱を作る型わくを組み立てるために、ボルトの位置を探して、締付けを行なう視触覚付きのボルト締緩ロボット³⁾の開発などが行なわれた。

2.2 パターンマッチングによる半導体組立

1970年代中ごろになると、それまで研究開発されてきた画

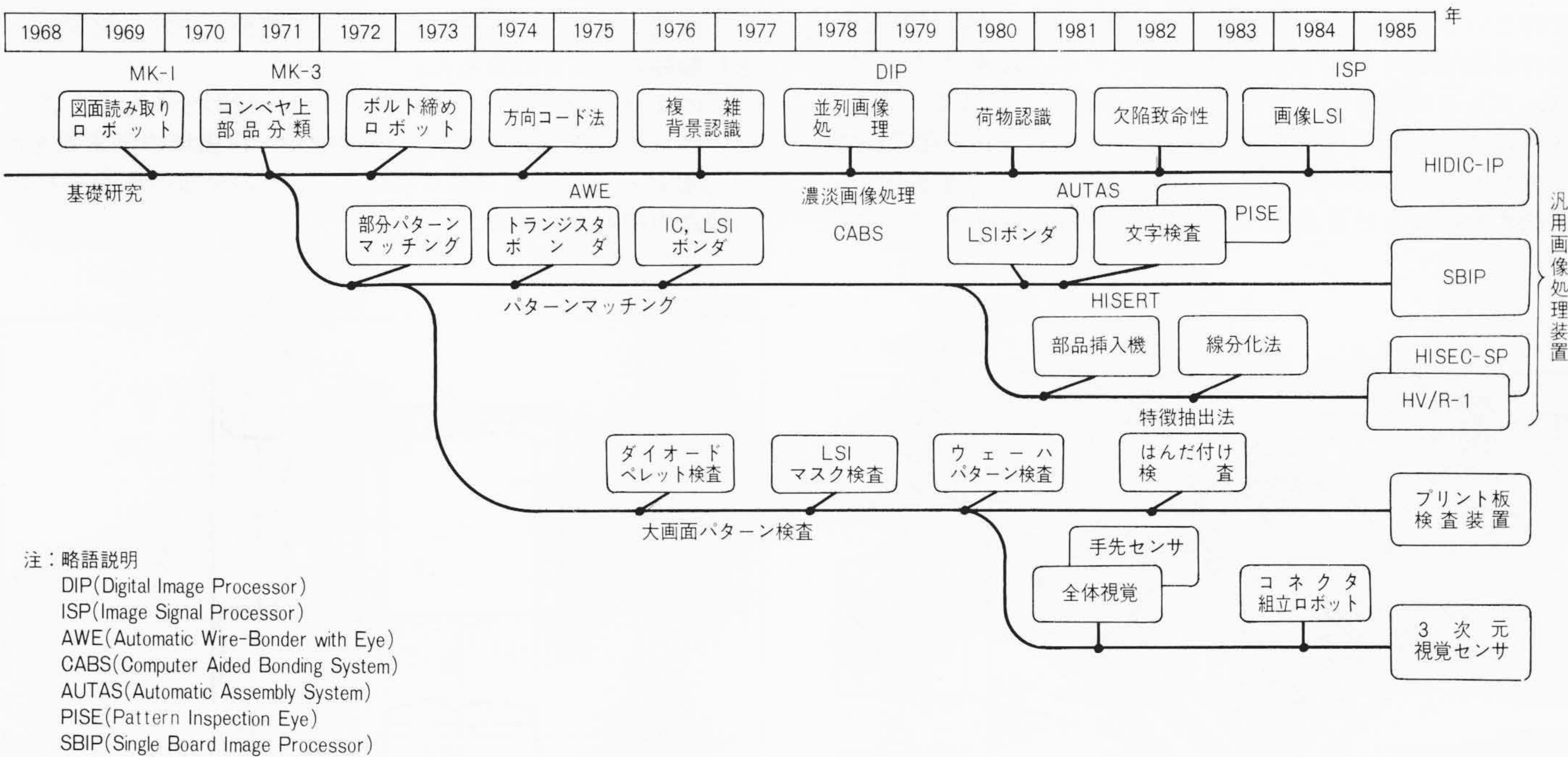


図1 日立製作所の画像処理技術の歴史 日立製作所の約20年にわたる工業用画像処理研究の歴史が、それぞれ特長をもった汎用画像処理装置や専用の画像処理システムにまとまった。

* 日立製作所生産技術研究所 ** 日立製作所中央研究所 *** 日立製作所日立研究所 **** 日立製作所機電事業本部
***** 日立製作所商品事業本部

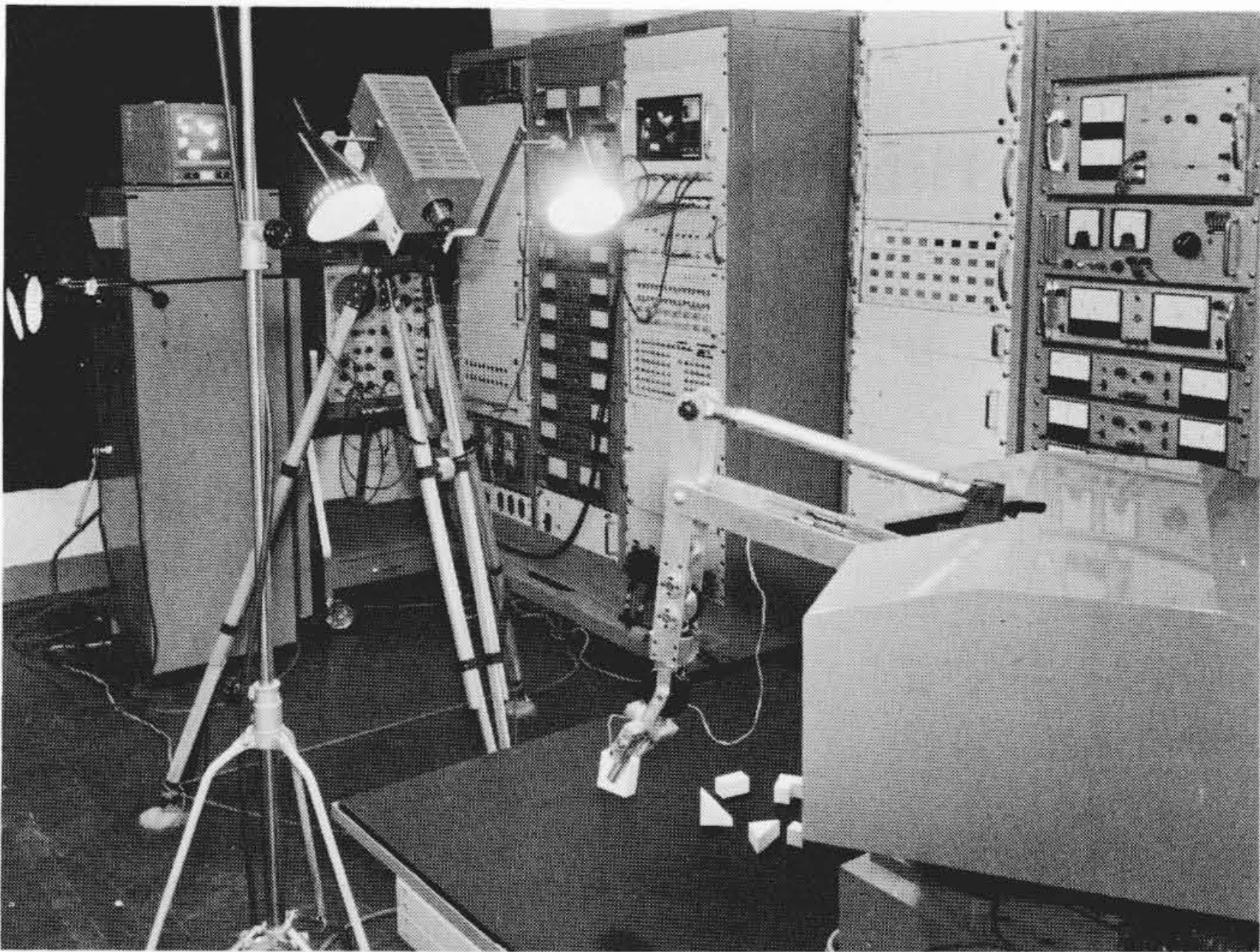


図2 図面読み取りロボット 三面図を読み取り、その指示どおりにランダムに置かれた積み木を拾い組み立てる。

像処理技術が、具体的な応用の中で着実に成果を挙げることになった。なかでも、物体の位置検出の技法として開発された部分パターンマッチング法は、半導体組立の分野で画期的な成果を挙げた。

この方式では、テレビジョンカメラから入力された画像の明るさを、白、黒二つの値だけで表現して2値画像化する。そして、その中で図3に示すように形状として特徴のある部分のパターンを標準パターンとして記憶し、供給された物体の映像の中から、標準パターンと最もよく一致する部分を検出して位置決めを行なう。

本方式は複雑なパターンでも信頼性の高い位置認識が可能である。最初に、トランジスタチップの視覚による位置決めを行ないチップ上の電極とリードの間を金線で結ぶAWE(視覚付き全自動トランジスタ組立システム、図4)⁴⁾に適用され、大きな成果を挙げた。そして次々とIC、LSI用の組立システムに拡張され、半導体組立のほぼ完全な自動化を達成した。

もちろん、このパターンマッチング法は、単に半導体の位置決めだけにとどまらず、電子基板の位置決めや検査など、

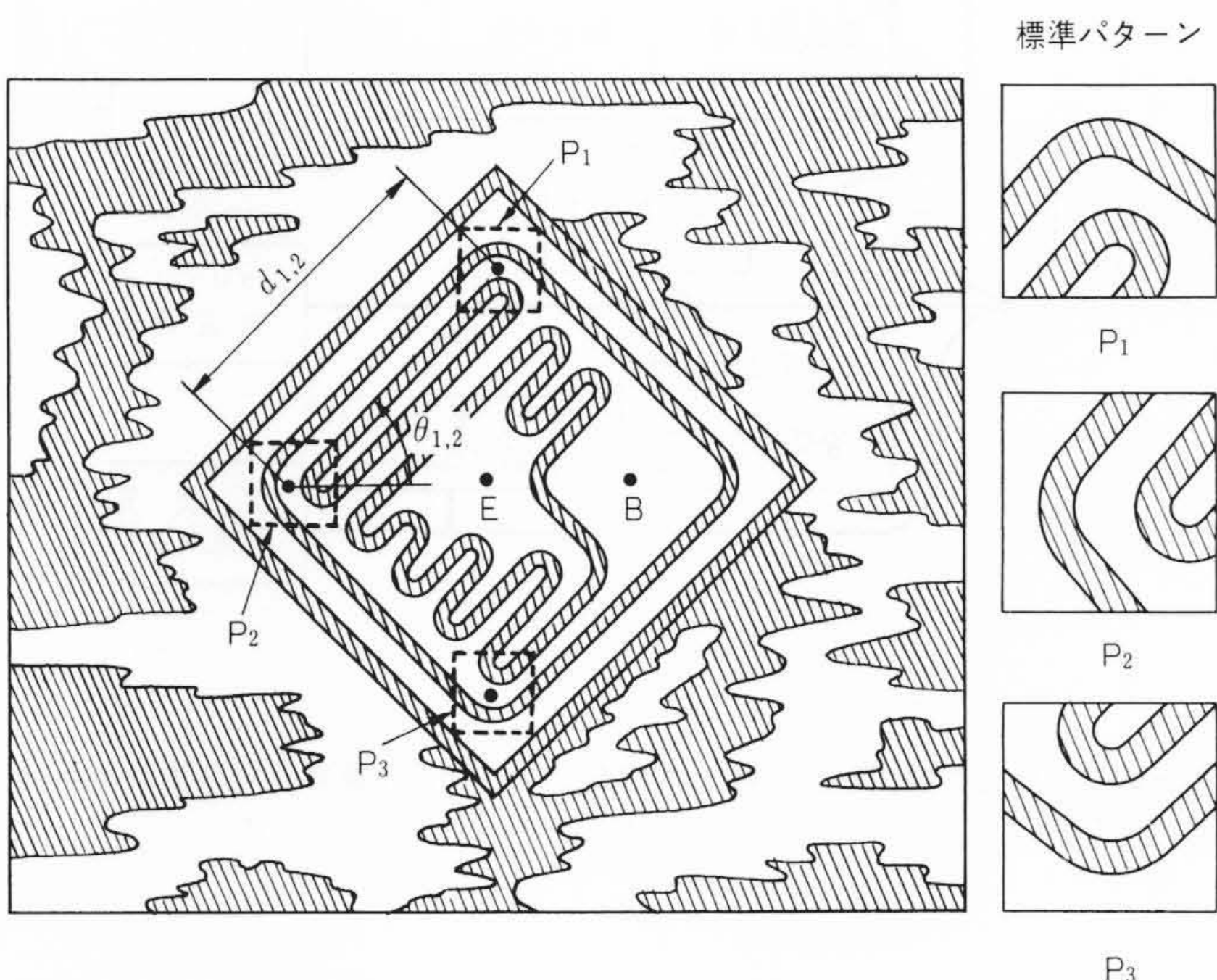


図3 部品パターンマッチング法 標準パターン P_1 、 P_2 と最も一致する部分を検出し、その間の距離 $d_{1,2}$ 方向 $\theta_{1,2}$ をチェックする。

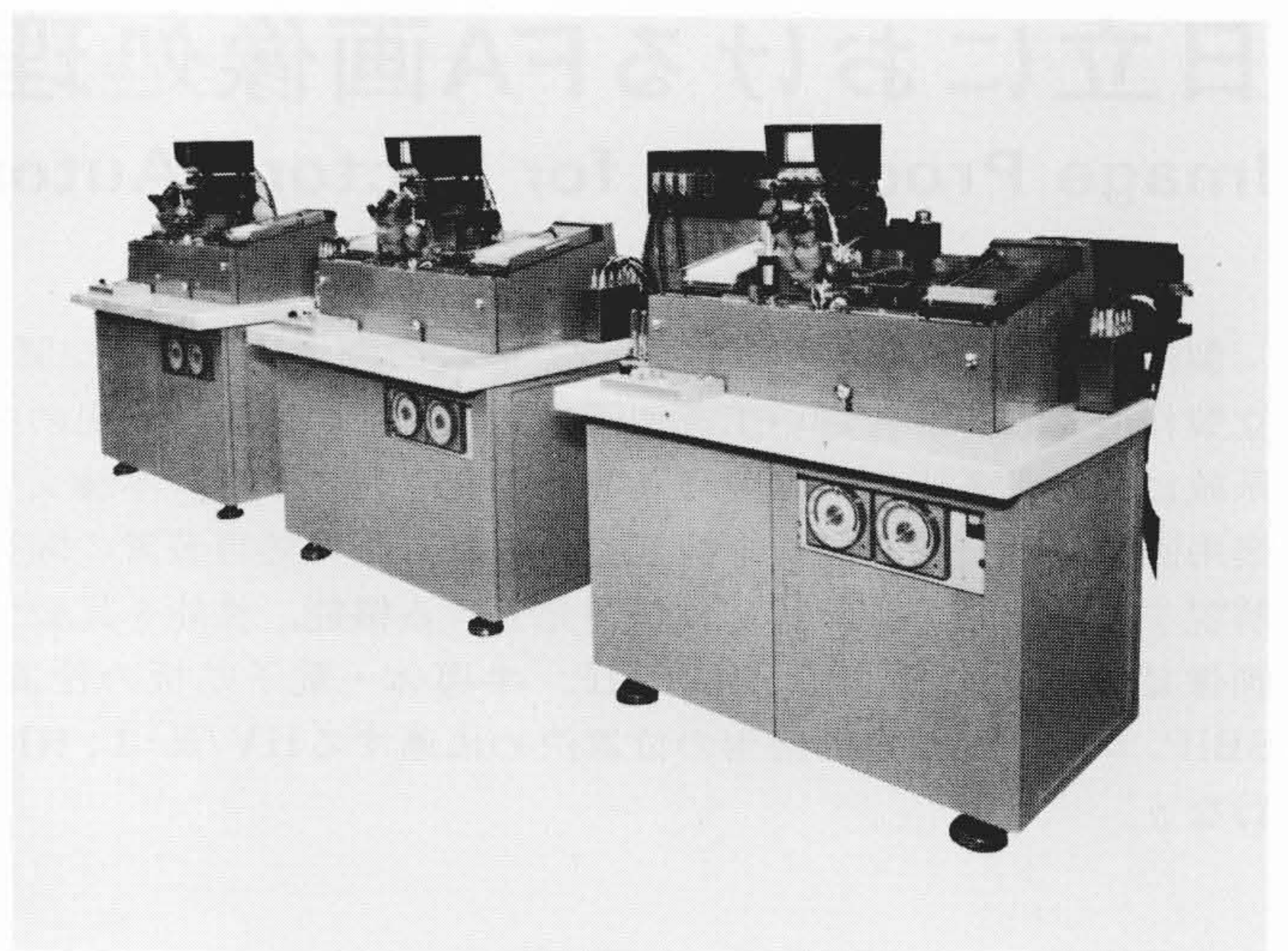


図4 AWE(視覚付き全自動トランジスタ組立システム) 各々に顕微鏡、テレビジョンカメラを搭載した組立機を示す。

多様な応用が可能である。例えば、基板上の品番や印字文字の品質検査では、人間の文字判読能力に合わせた柔軟な判定を行なうために変形して応用された。そして、これを高速に実行する装置として、PISE(Pattern Inspection Eye)⁵⁾が開発された。またこの流れは、後に画像処理装置SBIP(Single Board Image Processor)としてまとめられた。

2.3 図形的特徴を利用した認識

ところで、2値画像による位置決めアルゴリズムとしては、パターンマッチング法のほかに、部品画像の中心、面積、周囲長、二次モーメント値などの、図形的特徴量を組み合わせる方法がよく用いられる。例えば、電子基板上に各種の部品を搭載する部品装入機⁶⁾では、部品のリードの位置を画像の中心位置から決定し、それに合わせて基板上の穴の位置決めをし部品の挿入を行なった。

このような位置決めの方法としては、投影分布などもよく用いられる。図5の例では、画像中から白領域の画素数を x 軸、 y 軸に沿ってそれぞれカウントし、その分布の形からリレー接点の中心を求めた。

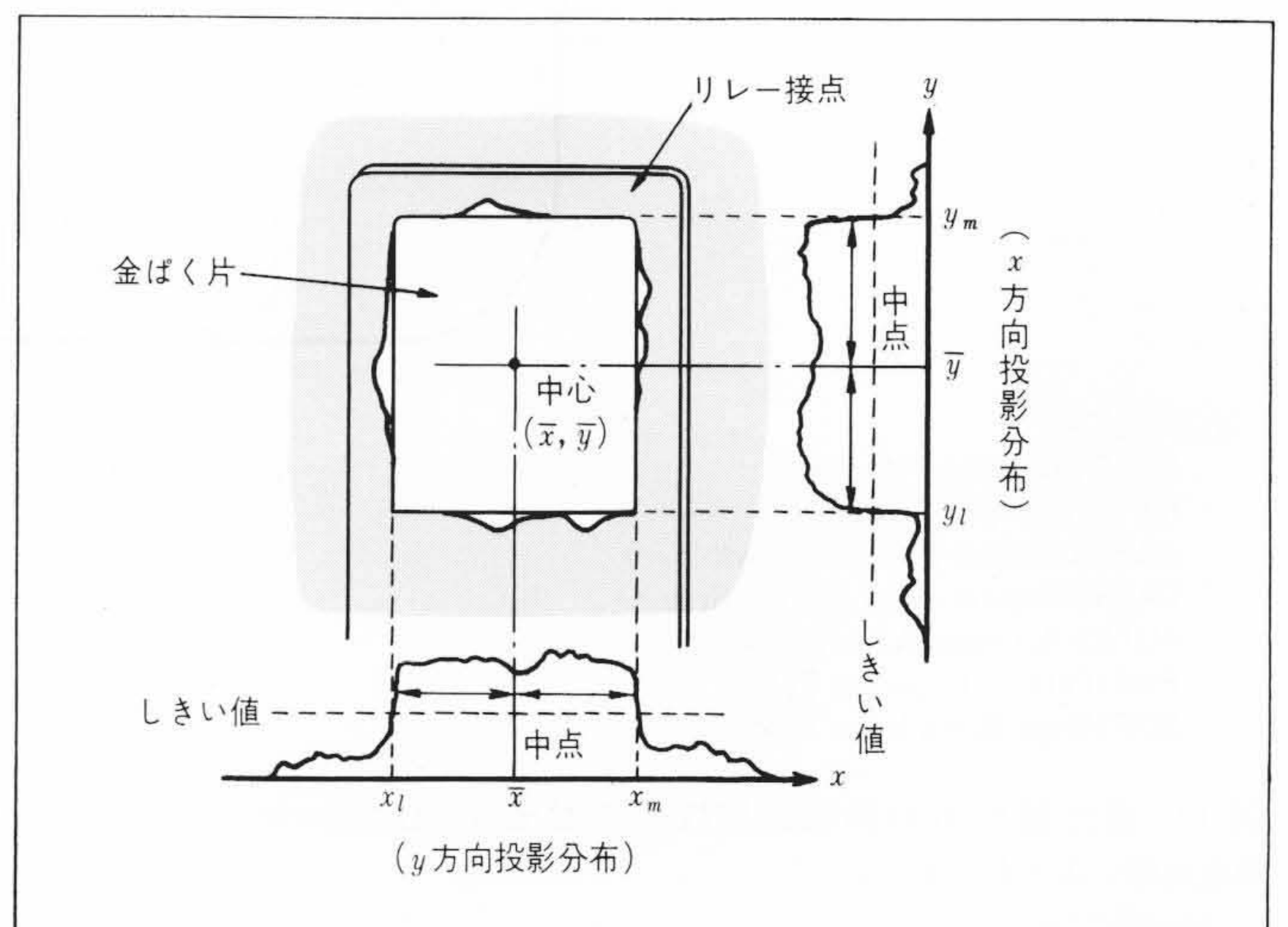


図5 投影分布による位置決定 2値画像上で、白い画素の数を、 x 方向、 y 方向に各行、列ごとに数え、その投影分布をとる。分布の多い部分の中央位置 $(\bar{x}, \bar{y})$ を求めることにより、リレー接点の金ぱく片の位置を求めて、位置ずれなどの検査を行なった。

その後、特徴量形の画像処理を高速、汎用化する手法として、線分化画像処理方式が開発され、ロボット用画像処理装置HV/R-1(図6)⁷⁾や自動機などの位置決め用小形画像処理装置HISEC-SP^{*1)}としてまとめられた。

2.4 画像処理機能のLSI化

1980年代初めまでの工業用画像処理は、2値画像処理を中心に実用化されてきた。この理由としては、画像の明るさを多階調で表現する濃淡画像処理は、大規模なハード回路を必要とするため、経済的な理由から実用化できなかった点が大き。これをLSI化により解決して濃淡画像処理の実用化に大きく貢献したのが、積和演算形の画像処理LSI, ISPである。そして、ISPの応用と、より広機能な画像処理技術の集約により汎用画像処理装置HIDIC-IP^{*2)}が開発された。

またこのISPを応用し、更にアドレス制御部などのLSI化を行なって小形化を図り、半導体や電子基板分野での応用の集大成として、小形画像処理装置SBIP^{*3)}が開発された。

2.5 パターン検査装置

ところで、画像処理の工業応用のなかには、電子基板パターンの欠陥検査などの、大面積のパターンを非常に精密に調べるものがある。これらの用途には、早くから専用、高速の画像処理システムが開発され、汎用形の画像処理装置とは別に適用されてきた。

この検出には、同じ2枚のパターン間で比較を行なって、相違のある場所を欠陥として抽出する特徴抽出比較法がよく用いられている。構成図(図7)で、それぞれのセンサから入力した画像は、特徴パターン抽出回路で欠陥の可能性のあるパターンの位置が検出される。そして比較回路で、両方のパターンの検出位置を比較して、片方だけが検出しているとき、それを欠陥として抽出する。

このような方法により、プリント板の配線パターン検査装置(図8)⁸⁾LSIのマスクパターン検査装置、ウェーハ上配線パターンの検査装置などが開発された。

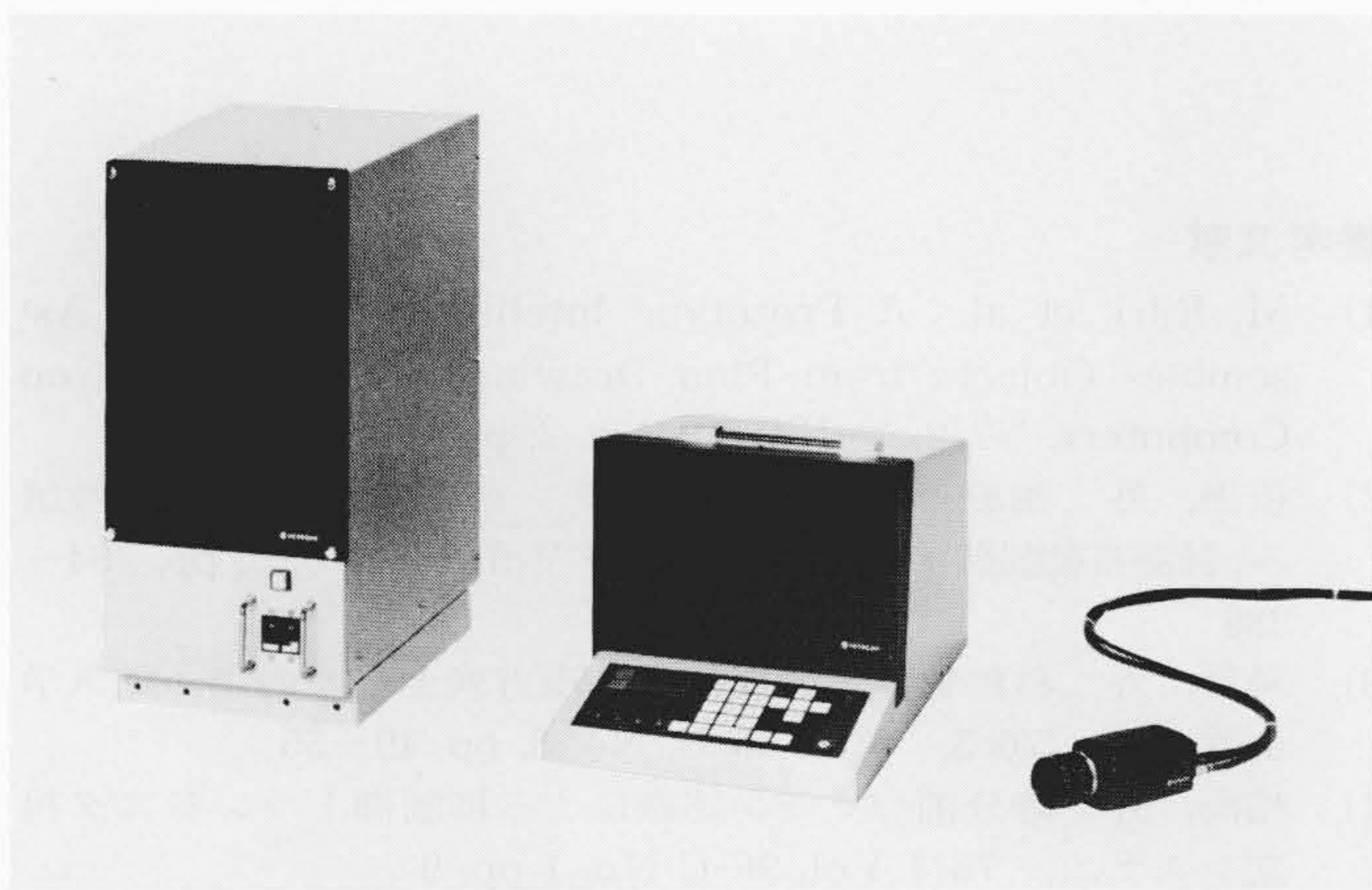


図6 ロボット用画像処理装置HV/R-1 線分化画像処理方式の採用により、小形、高速なロボット用視覚センサを実現した。実物教示方式を用いて、簡単に部品を登録し、認識を行なうことができる。

※1) HISEC-SPの詳細は、本号別掲載の「位置・形状計測に向けた小形画像処理装置“HISEC-SP”」に述べられている。

※2) HIDIC-IPの詳細は、本号別掲載の「汎用画像認識解析装置“HIDIC-IP”」に述べられている。

※3) SBIPの詳細は、本号別掲載の「電子部品検査向きの小形画像処理装置“SBIP”」に述べられている。

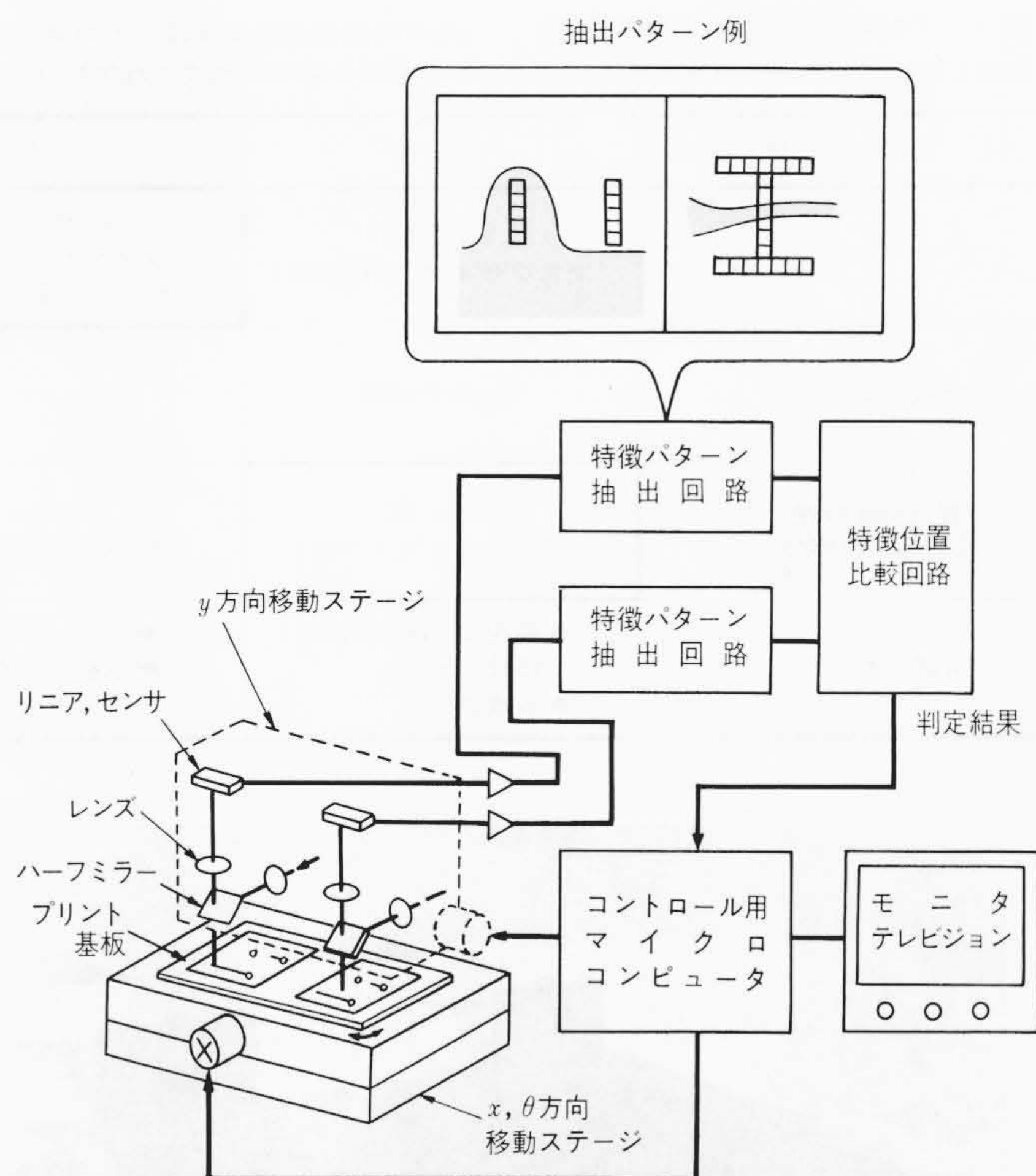


図7 パターン検査装置の構成 センサからの入力画像は2値化され、特徴パターン抽出回路で欠陥パターン候補を抽出する。そして、位置比較回路で両方の抽出位置を比較することで、欠陥判定する。

2.6 3次元視覚センサ

従来開発されたシステムは、ほとんどがテレビジョンカメラを用いた2次元的な画像処理を用いるものであったが、高度な組立や計測を行なうための3次元視覚センサの研究も1980年代から精力的に行なわれている。ここでは、スリット状の光を物体に当て、別な方向からテレビジョンカメラで光の当たったラインを見ることにより、三角測量の原理で物体の3次元的な位置、姿勢を決定する光切断法を中心に開発が進められている。多数のスリット光を用いて、大域的な3次元認識を行なう全体視覚センサと、ロボットの手に付ける局部画像処理を行なう手先視覚センサが開発されており、'84年日立技術展で空間的に位置姿勢の定まらないコネクタを発見し組立を行なった⁹⁾(図9)。

3 FA用画像処理装置の位置づけ

日立製作所の汎用FA用画像処理装置には、既に述べたように、それぞれ開発の背景が異なるHIDIC-IP、SBIP及びHV/R-1とHISEC-SPの三つの系統がある。これらの特長を明確にするために、代表的な性能を表1に示す。同表では工業用画像処理の重要なアルゴリズムであるパターンマッチング、特徴量比較による認識、画像微分処理の三つについて、その仕様と実行速度を比較した。

表1に示すように、HIDIC-IPは、光学条件の悪い状況下での計測や検査、微小なきずや欠けの検出で必要となる画像の空間微分やフィルタリングなどの濃淡画像処理に、優れた性能をもっている。更に、一般的なFA視覚として必要な位置決めなどの機能についても十分高速であり、汎用的な画像認識解析装置として、バランスの取れた構成である。

SBIPでは、パターンマッチング機能が強化されており、半導体やプリント板の組立や検査などで用いられる視覚とし

表1 FA用画像処理装置の性能 3系列の画像処理装置は、その開発の背景から得意とする機能が異なる。HIDIC-IPは、濃淡画像処理を得意とするが、他の機能も優れている。SBIPはパターンマッチング機能を中心に構成されており、HISEC-SP、HV/R-1は特徴形認識に集中して開発されている。

項 目	HIDIC-IP	SBIP	HISEC-SP(HV/R-1)	用 途
パターンマッチング	11ms/回 (マスクサイズ8×12画素)	11~44ms/回 (マスクサイズ 8×12~32×16画素)	—	半導体、電子基板分野での位置決め 検査
特徴形認識	70ms/特徴量	—	15ms/特徴量	ディスクリート部品の位置決め (ロボット、自動機視覚)
濃淡画像処理 (3×3画素微分)	11ms/回 (256×256メモリ16面)	33ms (256×256メモリ1面)	—	悪環境下位置認識、きず、欠陥検査
装置のねらい	●高速濃淡画像処理 (512×512) ●多機能	●LSI化(小形化) ●多様なパターン マッチング機能	●小形、低価格 ●高速形状特徴量認識	—

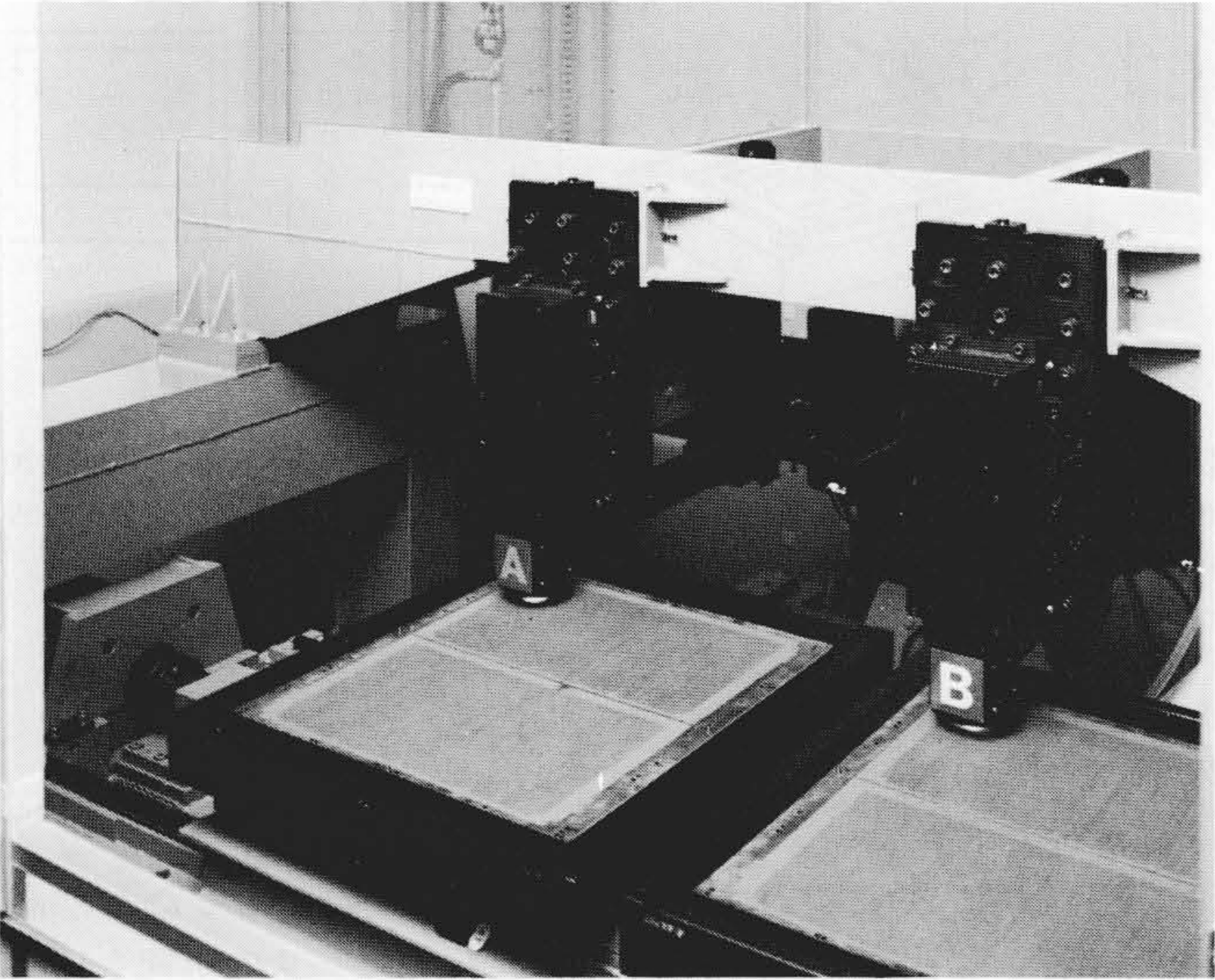


図8 プリント基板パターン検査装置 特徴抽出比較法により、2板の基板間でパターン比較を行ない、10μmまでの欠陥検出を、18分/500mm×600mmで行なう。

て、位置決めや外観比較、検査が得意である。

HV/R-1、HISEC-SPは2値画像処理を得意としており、画像の重心や二次モーメントなど、図形的な特徴量に基づく認識が非常に高速である。一般の自動機での位置決めの用途や長さ計測に向いている。

SBIPとHISEC-SPは、共通の画像処理言語FA-BASIC/Vで制御され、パーソナルコンピュータの感覚で簡単に応用システムの開発を行なうことができる。

4 結 言

日立製作所では、社内応用として既に数百例の画像処理システムを開発している。今回その経験をもとに、汎用の画像処理装置HIDIC-IP、基板などの位置決め、検査向きのSBIP、FA一般の位置決め向きのHISEC-SP、HV/R-1を開発した。これにより、ユーザーの多様なニーズにこたえる画像処理装置のラインナップをそろえることができたと考える。今後は、これらの装置上に、応用に向けた機能マクロやアプリケーションパッケージの開発を図り、真に有効で使いやすいシステムとしていきたい。

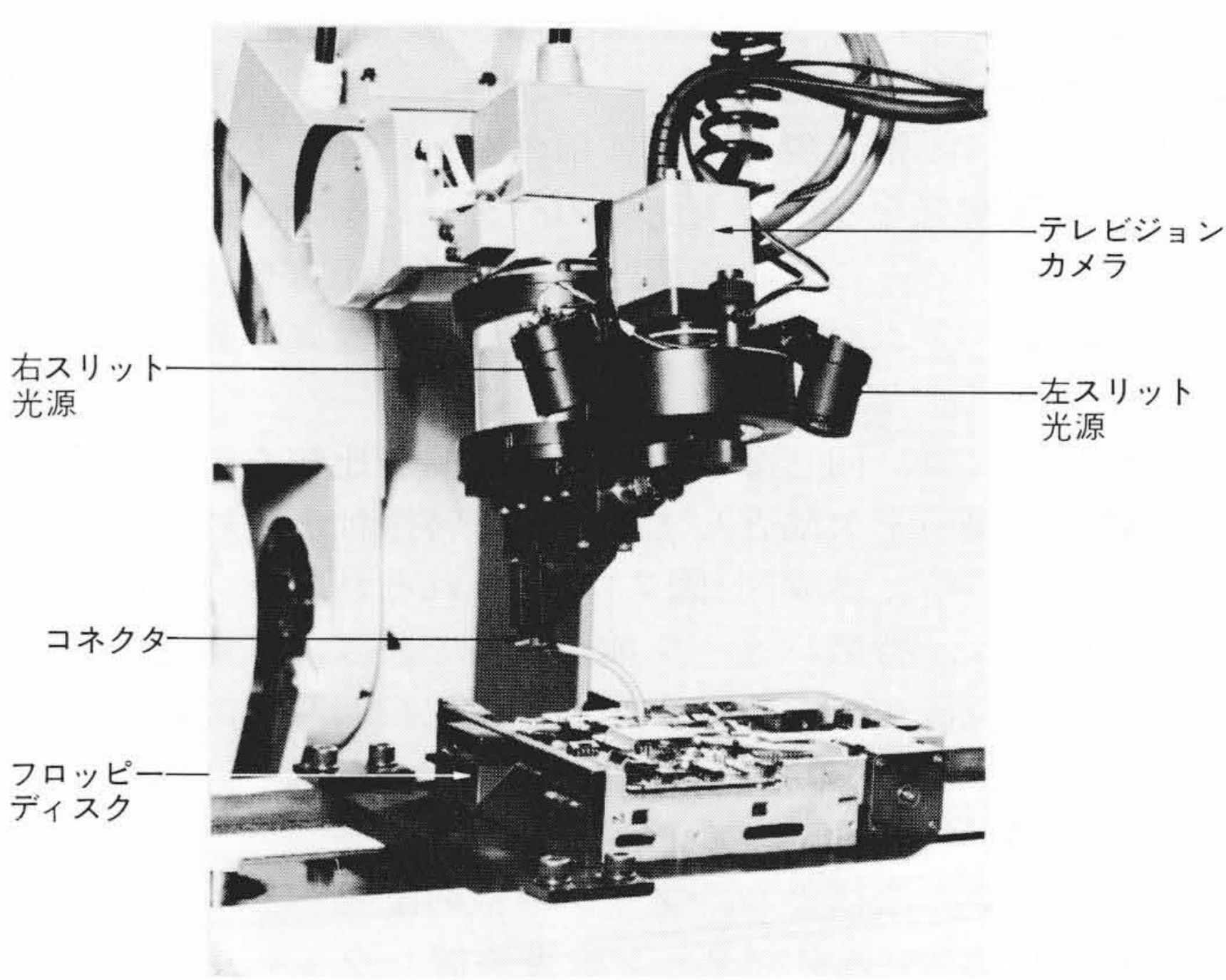


図9 3次元視覚センサ 左右のスリット光源からの光の当たった位置を中央のテレビジョンカメラで見て、三角測量により3次元位置を決定、空間中で任意の位置、姿勢のコネクタを認識して、フロッピーディスクの最終組立を行なった('84日立技術展)。

参考文献

1) M. Ejiri, et al. : A Prototype Intelligent Robot that Assembles Objects from Plan Drawings, IEEE Trans. on Computers, '72/2, Vol. C-21, No. 2, pp. 161~170
2) 依田, 外 : 回転形パターンマッチングによる形状選別の試み, 計測自動制御学会論文集, '74/6 Vol. 10, No. 3, pp. 284~289
3) 烏野, 外 : 移動物体実時間視覚認識方式とその応用, 電気学会論文誌, '76/3, Vol. 96-C, No. 3, pp. 49~55
4) 柏岡, 外 : 時分割パターン認識による群制御トランジスタ組立システム, '76/1 Vol. 96-C No. 1 pp. 9
5) 柏岡, 外 : 捺印検査手法の開発, 電子通信学会総合全国大会, No. 1266 '80/3
6) T. Asano, et al. : Vision System of an Automatic Inserter for Printed Circuit Board Assembly, Proc. 2nd Int. Conf. on Robot Vision and Sensory Control, pp. 63~72, 1982
7) 秦, 外 : ロボット視覚用小形画像処理装置“HV/R-1”, 日立評論, 66, 10, 735~740(昭59-10)
8) 柄崎, 外 : パターン検出に蛍光を利用したプリント基板パターン検査装置, 電子通信学会総合全国大会, No. 1683, 昭60-3
9) 岡田, 外 : 高速3次元視覚センサー, 昭60年精機学会春季大会前刷, 320, p. 111~112