

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

Applications of Image Processing to Factory Automation

日立製作所では、FA分野での画像処理技術の広範で効果的な応用をねらって、汎用装置、アルゴリズム、応用システムまでの幅広い技術、製品開発を推進している。本稿は、その成果の一端について紹介する。

画像処理専用VLSIをベースとした高速濃淡画像処理を実現するHIDIC-IPシリーズ、2値画像中心のロボットや各種自動機の位置決め効果的な、汎用機PPIシリーズを開発した。これら汎用機のアルゴリズムとして、形状認識で画像データ量を圧縮して高速化をねらった線分化アルゴリズム、3次元視覚認識のための光切断方式の実用性を紹介し、更に、応用例として、電子部品挿入位置決め部品端子の曲り程度を視覚認識し、補正を加える視覚応用部品挿入機について記述する。

秦 清治* Seiji Hata
中川泰夫* Yasuo Nakagawa
浅野敏郎* Toshio Asano
福島 忠** Tadashi Fukushima
加藤 猛*** Takeshi Katô

1 緒 言

ロボットや自動組立機、検査装置などの高機能化に伴い、視覚機能に対する期待が高まってきている。FA(Factory Automation)分野での画像処理応用としては、ICの自動ワイヤボンダをはじめとして各種の専用画像処理装置が開発され、大きな効果を挙げてきた¹⁾。最近では、部品位置決めから形状識別、各種製品の検査など、より広範な応用をねらって各種汎用認識装置が開発され、実用化されてきている。

日立製作所でも、専用LSIをベースとした濃淡画像処理を、高速に実現できるHIDIC-IPシリーズ、2値画像を高速処理するPPI(Programmable Picture Identifier)シリーズ、及びこれらの処理アルゴリズムの開発と応用展開を進めている。以下、日立製作所でのFA視覚技術内容について紹介する。

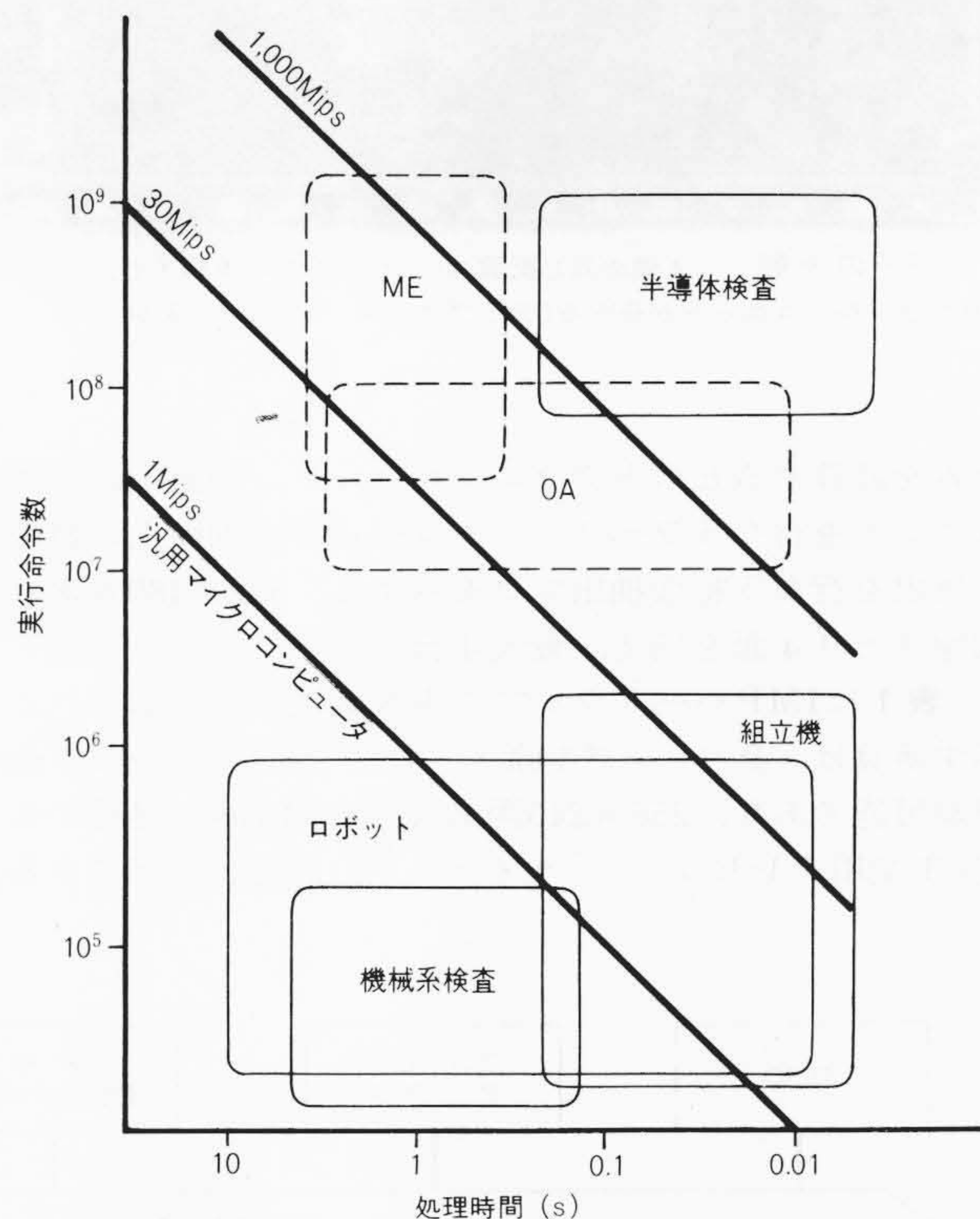
2 視覚に要求される性能

図1はFA視覚処理での、画像処理装置への要求性能を示している。画像処理は画面という大量データ処理を要求されるため、相当の高速性能が要求される。機能面でも、鋼板のきず検出などの濃淡画像処理からロボットや自動機の位置決め、形状検査などの2値画像処理まで、多岐にわたる。

これら広範なニーズに効率的に対応するため、画像専用VLSIをベースとした濃淡画像処理可能なHIDIC-IPシリーズと、ロボットの視覚や形状認識に優れた2値画像主体のPPIシリーズを開発した。これらはいずれも、ソフトウェアの組込みによって、多様な用途に応用できる汎用化が図られている。

3 画像認識・評価装置HIDIC-IPシリーズ

従来の2値中心から濃淡画像や色彩画像の高速処理を可能とし、画像認識の応用範囲を拡大したのがHIDIC-IPシリーズである。濃淡画像の高速処理は必要ハードウェア量が極めて大きくなるため、経済性上、生産ラインへのオンライン認識応用を困難としていたが、画像専用VLSI²⁾の開発がこの問題を解決した。図2にVLSIの拡大写真を示す。HIDIC-IPシリーズはオンラインリアルタイム認識を行なうIP/10と認識アル



注：略語説明
ME(Medical Electronics)
OA(Office Automation)

図1 視覚に対する要求性能 応用分野で実行する画像処理の一画面当たりの実行命令数と、その要求処理時間の分布を示す。斜線はプロセッサの性能を示し、汎用マイクロコンピュータの性能(1Mips以下)を大きく上回っていることが分かる。

ゴリズムの開発やソフトウェア開発を行なうIP/20から成る。装置の構成を図3に示す。画像処理を行なうIMP(Image Processor)は、アドレスプロセッサのアドレス管理のもと、8ビット/画素の濃淡画像に対し並列・パイプライン演算を行なうVLSI内蔵の演算プロセッサと、演算と同時に結果のヒスト

* 日立製作所生産技術研究所 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所大みか工場

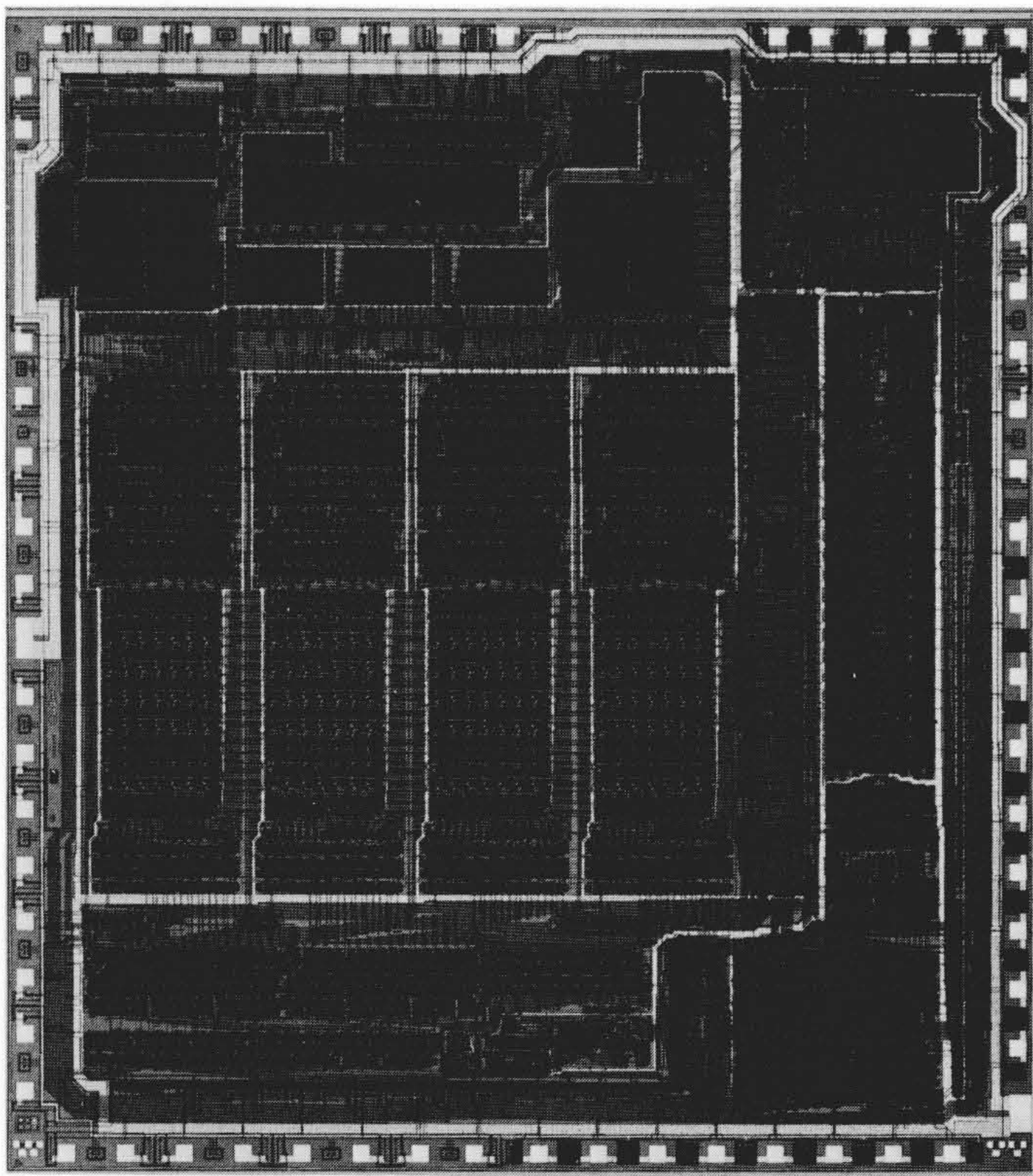


図2 ISPの外観 4個の同じ配置のPEが並んでいる様子と、その下にあるリンケージ、ユニットが分かる(チップサイズ: 7.72mm×8.64mm)。

グラムを計算するヒストグラムプロセッサ、画面上の物体個数カウントを行なうラベリングプロセッサ、画面上の特徴部分の抽出を行なう特徴抽出プロセッサと、512×480画素の濃淡画像メモリ4面を備え、最大4台のカメラ接続を可能とした³⁾。表1にIMPハードウェアの画像処理機能を示す。ここに示す演算は、ラベリングを除き、すべて画素当たり167nsの処理が可能であり、256×240画素/画面を16msで処理でき、ITV(工業用テレビジョン)カメラの入力速度に追従できる。

表1 IMPハードウェアの処理内容 2値、濃淡、色彩画像の各種処理をハードウェアで高速に実現する。

画像	処 理 内 容
2 値	ラベリング, 膨脹, 収縮, 輪郭抽出, 細細化, 点ノイズ除去, 方向コード, 端点・交点コード, パターンマッチング(8×12テンプレート), ヒストグラム(面積, 周囲長, 物体存在領域抽出), 画像間演算
濃 淡	濃度変換(γ補正, 強調), 固定・浮動2値化 3×3空間積和演算, 3×3非線形近傍演算, 画像間演算, ヒストグラム(濃度分布, 最大/最小濃度抽出)
色 彩	色彩距離分類, 単色変換
制 御	ウインドウ, 画面サイズ切換, マスク画像発生, カーソル発生

次に、本装置のソフトウェアを処理手順と対応させて図4に示す。画像処理、特徴量計算は標準コマンド群を準備し、ユーザーはこれらコマンドを並べることにより、一連の画像処理アルゴリズムを実現できる。アルゴリズムの開発や検証には処理画面を見ながら、会話式でコマンドメニューを選択して処理が進められる会話形評価システムを準備した。これらソフトウェアは、16ビットマイクロコンピュータ68000上で実行され、68000からの命令がIMPに伝えられ、画像処理が実行される。認識処理結果をもとにした生産ライン制御も内蔵68000とデジタル入出力によって可能である。

4 汎用画像認識装置PPIシリーズ^{4),5)}

PPIは2値画像処理を主体とした汎用機であり、マイクロコンピュータをベースに、面積演算や最明点検出などの特徴抽出回路を備えたPPI-Iと、マイクロプログラム制御形高速画像処理プロセッサを備えたPPI-IIがある。

PPI-IIの構成を図5に示す。PPI-IIの特長は画像処理の特徴を生かした高速化の可能なプロセッサ構成にある。その例として次のものが挙げられる。

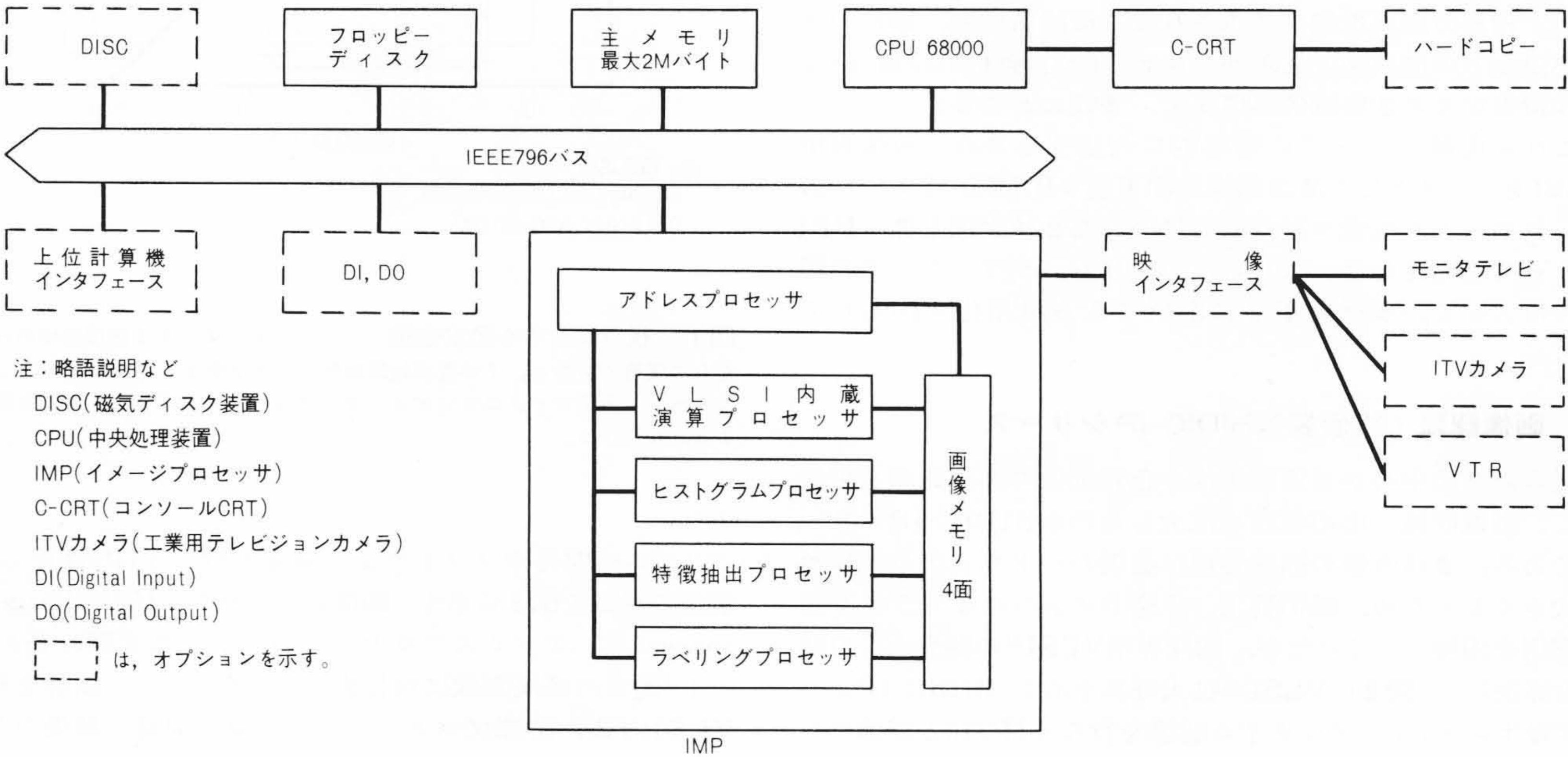


図3 HIDIC-IPシリーズ構成 各種画像処理演算をVLSI内蔵演算プロセッサと付加プロセッサで167ns/画素と高速に処理できる。更に、マイクロコンピュータ68000によって認識結果による制御も可能である。

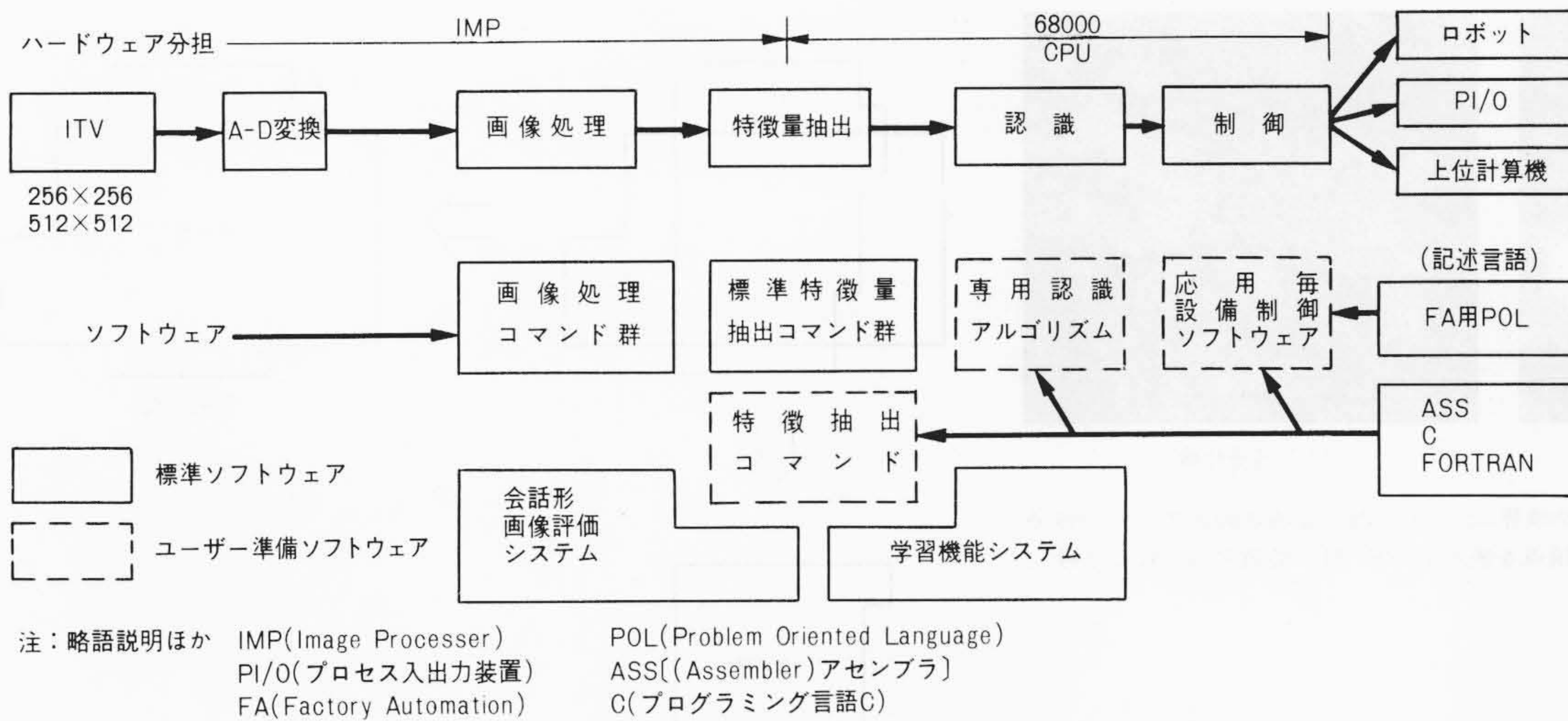


図4 HIDIC-IPソフトウェアレパートリー 画像処理から制御まで一連の処理手順に対応して、標準ソフトウェアが準備されている。

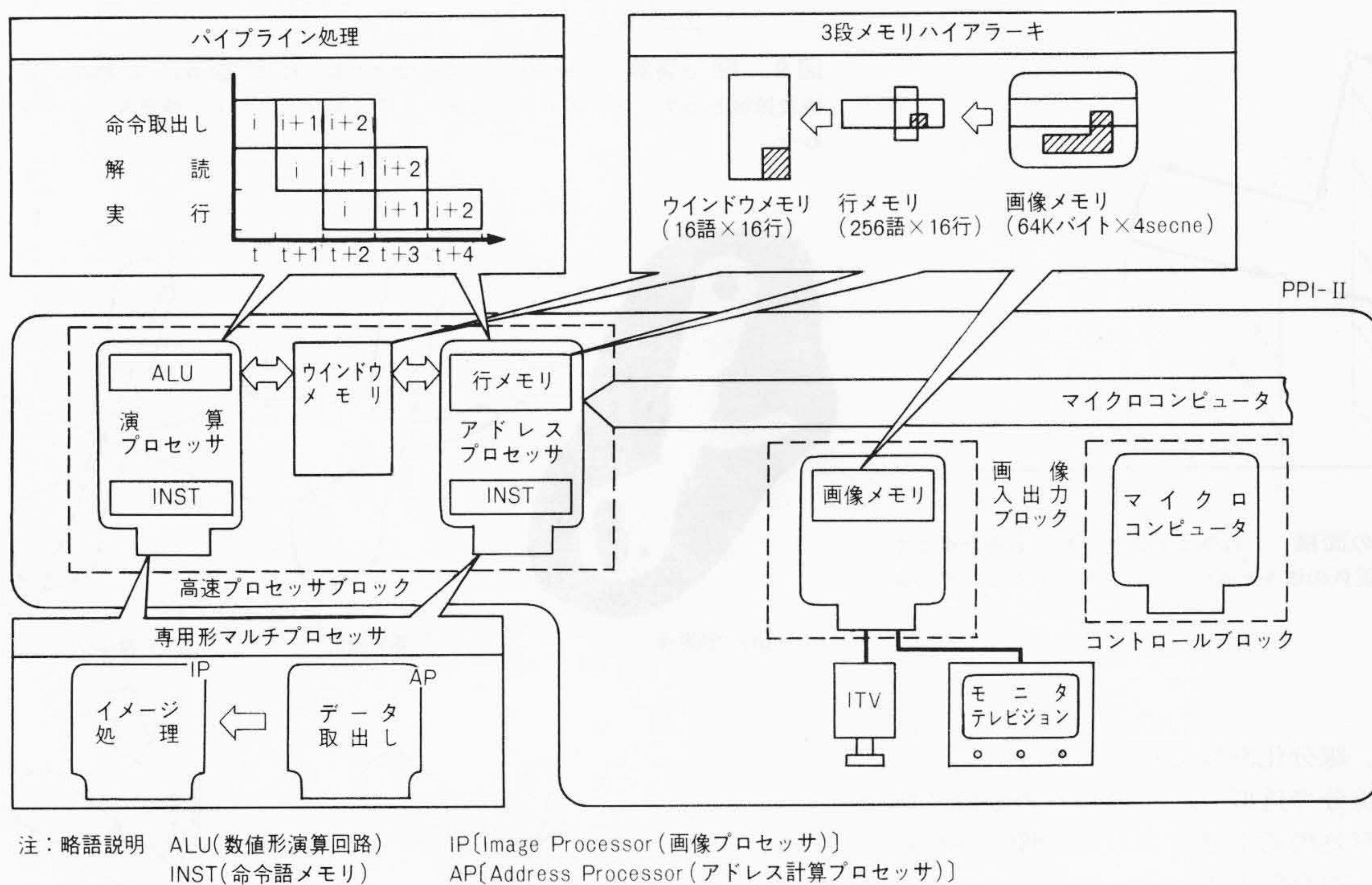


図5 PPI-IIの構成 PPI-IIは、30Mipsの処理性能をもつ高速プロセッサブロック、画像入出力ブロック及びコントロールブロックから成る。高速プロセッサブロックは、データ取出しとイメージ処理のマルチプロセッサ実行3段メモリハイアラキー、パイプライン処理など、高速化のための構成上の工夫を行なっている。

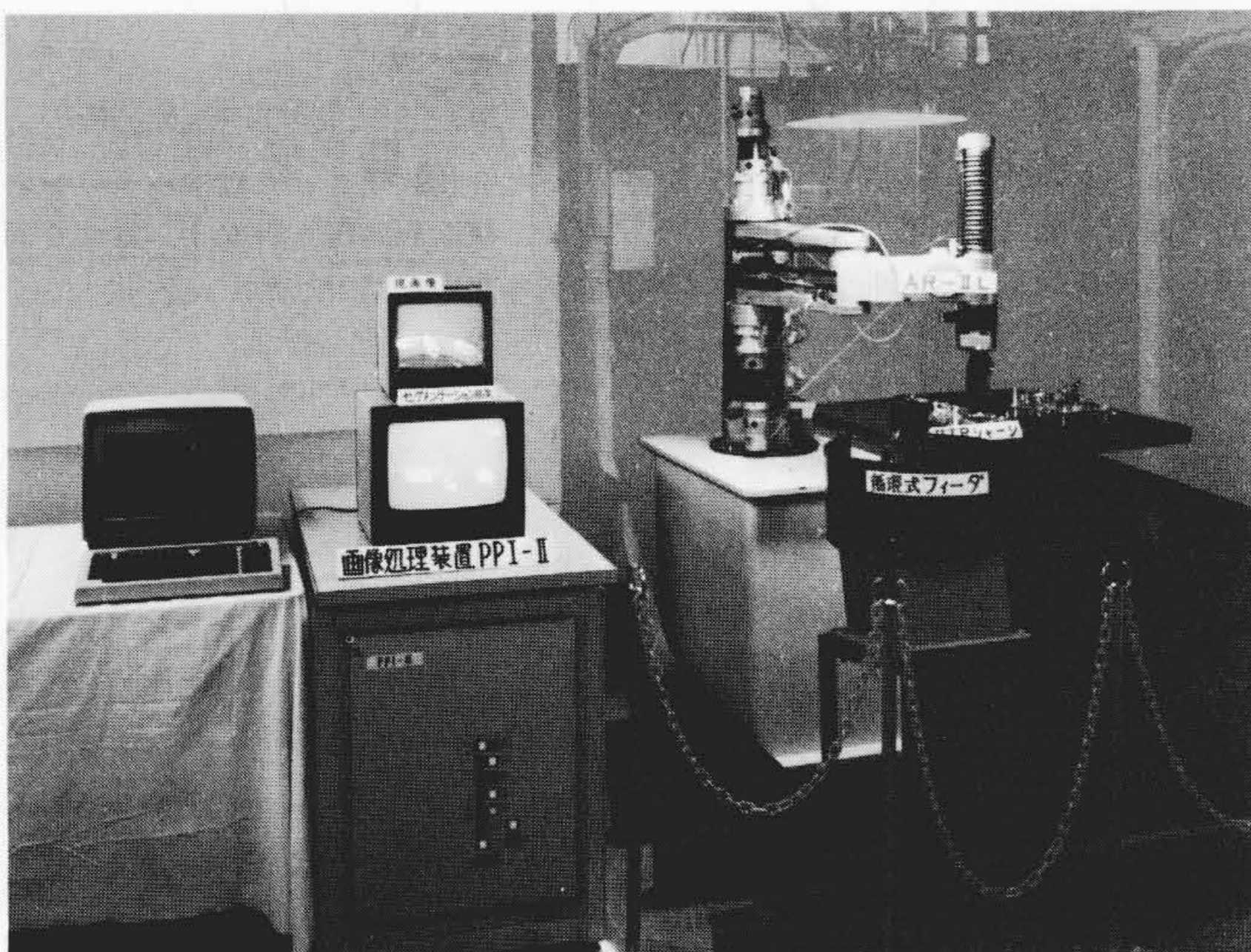


図6 PPI-IIの外観 PPI-IIと組立ロボットを接続し、フィーダで送られた部品の位置、姿勢を判定してつかみ、組立を行なう(部品認識速度: 0.2秒/部品)。

- (1) 画像処理で重要なアドレス計算を専用に行なうアドレスプロセッサを備え、データ切出しを高速化。
- (2) 画像データの参照の規則性を利用した、大容量画像メモリ、行メモリ、高速ウィンドウメモリの3段メモリハイアラキー構成。
- (3) 画像演算向き命令の専用回路化と並列実行

PPI-IIの外観を図6に示す。同図はPPI-IIの部品認識への応用例である。位置決めされていない部品搬送に対し、視覚により部品の種別、位置及び姿勢を認識し、結果をロボットに伝え、部品組立てを行なう。認識時間は0.2秒/個であり、製品の切換え、変更はPPI-IIへの部品のティーチングだけで容易に対処できる。

5 アルゴリズム

- (1) 線分化画像処理アルゴリズム⁶⁾

FA応用の視覚アルゴリズムは、広範な用途への適用可能性が要求される。従来、パターンマッチング法や特徴量抽出法がよく使われているが、ここでは新たに、線分化画像処理

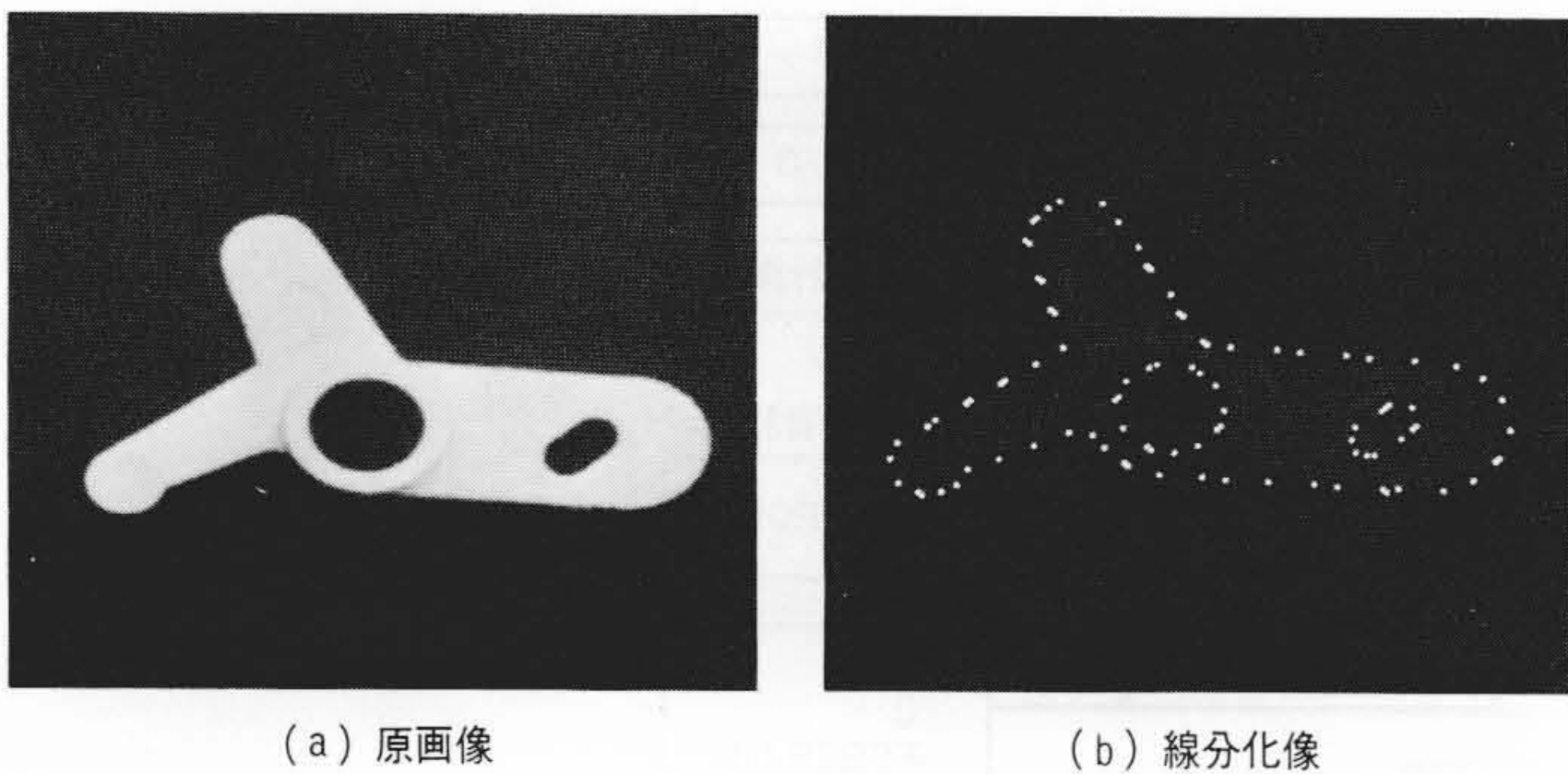


図7 線分化処理例 画像の境界に沿って、適当な誤差範囲で細かい線分で外形を近似する。白点が線分の頂点を表わす(PPI-IIの処理時間：数ミリ秒)。

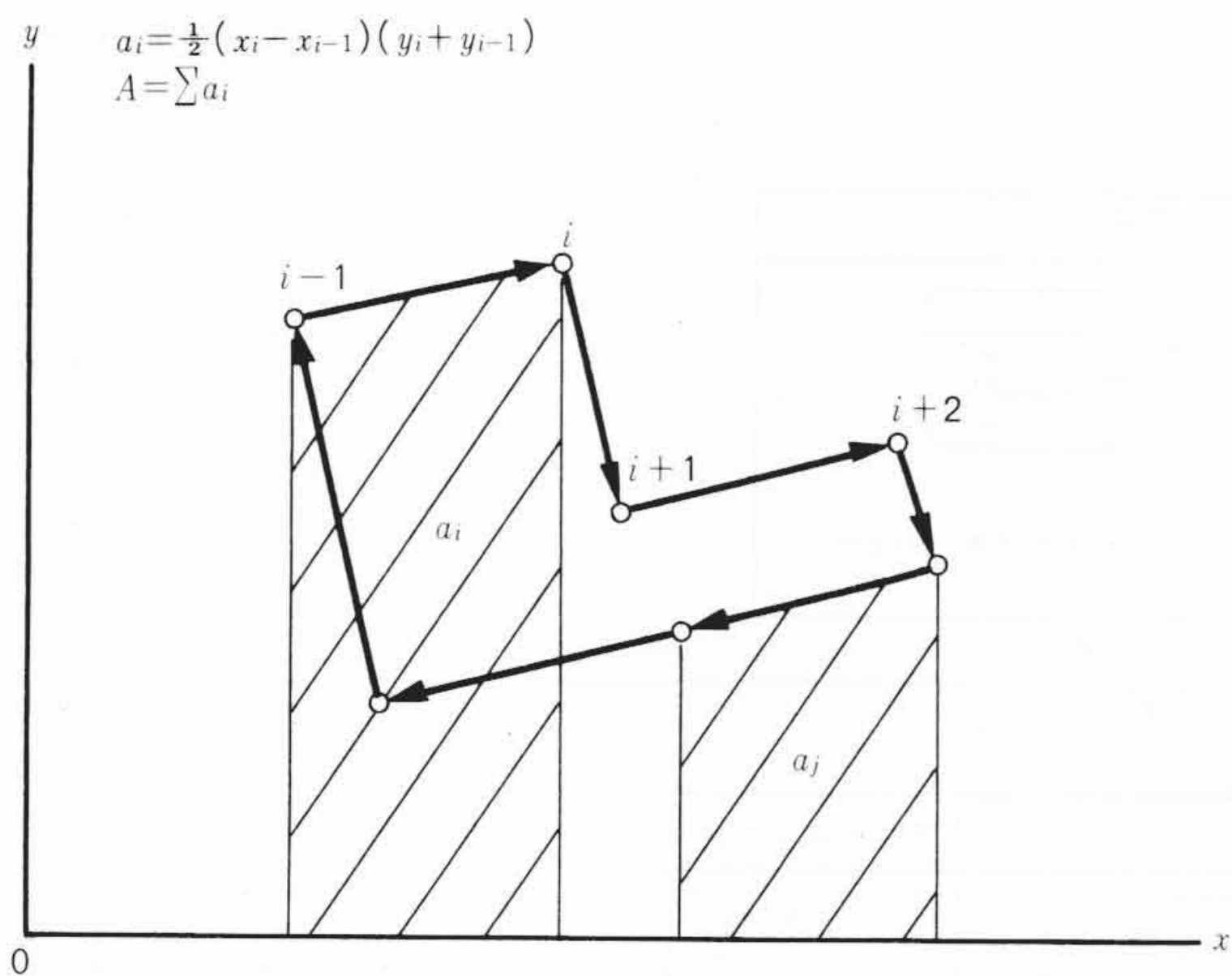


図8 線分で囲まれる図形の面積 線分ごとに、台形の面積計算をする。x_iとx_{i-1}の大小により、a_iが正負の値をとるが、この総和をとると図形の面積になる。

アルゴリズムを提案する。線分化画像処理アルゴリズムとは2値画像の外形を多数の線分で近似し、その頂点の座標で画像を数値データ化し、図形処理的手法によって画像の各種特徴を判別する。2値画像の線分化表現によって画像のデータ量を圧縮でき、画像演算の高速化が図れる。画像の線分化の一例を図7に示す。同図(b)では白点が線分化の代表点であり、約50の点列となっている。

線分化データから、面積、周囲長などの各種特徴量が容易に計算できる。例えば、図形の面積は図8に示すように、各辺ごとの符号付き面積の和として容易に求められる。また、図9に示す図形間の積、和などの演算も比較的容易であり、図10の標準パターンと対象パターンとのマッチングによる部品種別の判定も可能である。なお、線分化アルゴリズムのPPI-IIでの一部品当たりの処理時間は線分化に0.1秒、マッチングを含めても0.2秒で処理できる。

(2) 三次元視覚アルゴリズム⁷⁾

ロボットに代表される、多自由度動作可能な自動機の視覚としては、3次元的な部品の位置、姿勢の認識が要求される。すなわち、ロボット視覚用レンジファインダが必要である。

レンジファインダとは、物体の各点までの距離を検出する視覚であり、これによって作成された各点が高さ情報を表わす画像を、距離画像と呼ぶ。

距離画像の作成には図11に示す光切断法を用いる。すなわち、物体の真上からスリット光を投下し、それが物体に当た

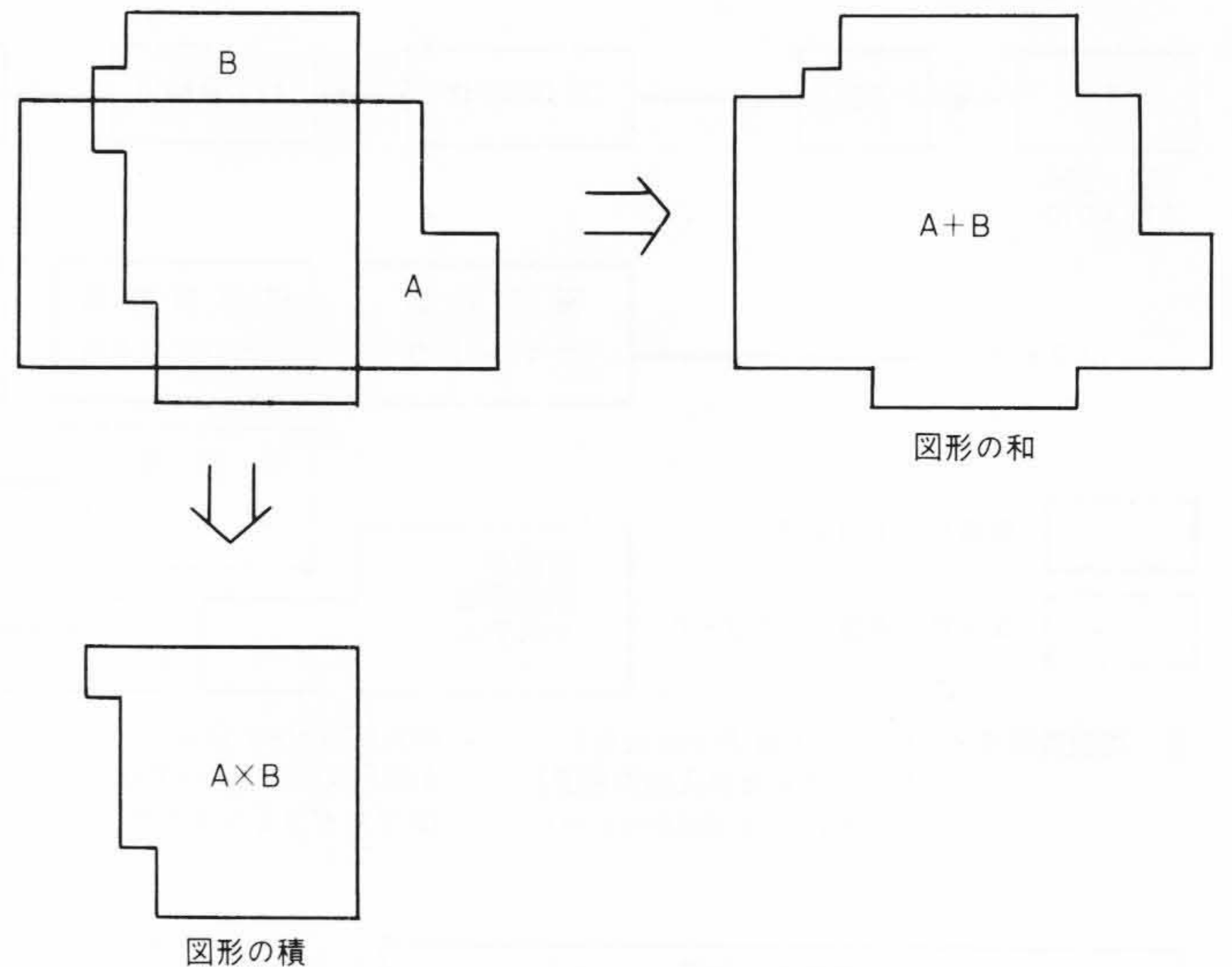


図9 図形演算 線分化した図形間での和、積は、図のように定義される。検査領域を示すマスク図形との演算により、異状パターンの検出などに利用される。

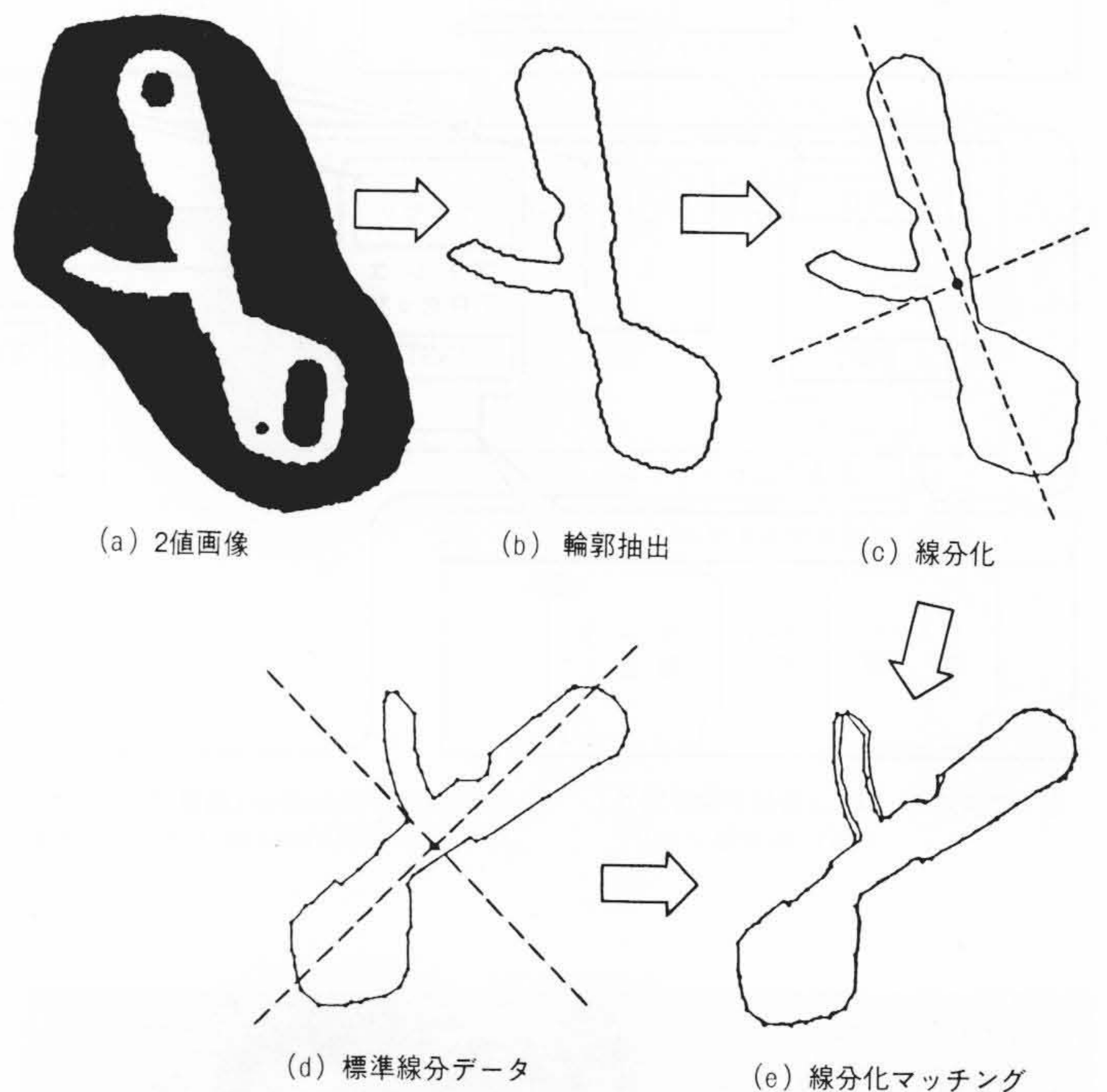


図10 線分化パターンマッチング 線分化表現された標準パターンと対象画像の間で、中心、姿勢を合わせて重ね、積図形処理を行なう。重なり面積の比率により、回転に強い部品認識が行なえる。

ってできる光切断線を得る。これを斜めからテレビジョンカメラで見ることにより、三角測量の原理からスリット光の当たった一断面の高さ情報を得る。これをヘッドを送りながら面情報として取り込み、3次元的な画像を得る。

距離画像をもとに、画面内の平面の形とその位置、姿勢を決定するアルゴリズムを図12に示す。距離画像内の高さが急に変化する点(ジャンプエッジ)を探し、それで囲まれる領域の中から面の交線(ルーフエッジ)を探して一つの面を切り出し、その面の形、姿勢を決定する方式である。図13に、本アルゴリズムにより基板上からコネクタを抽出したところを示す。

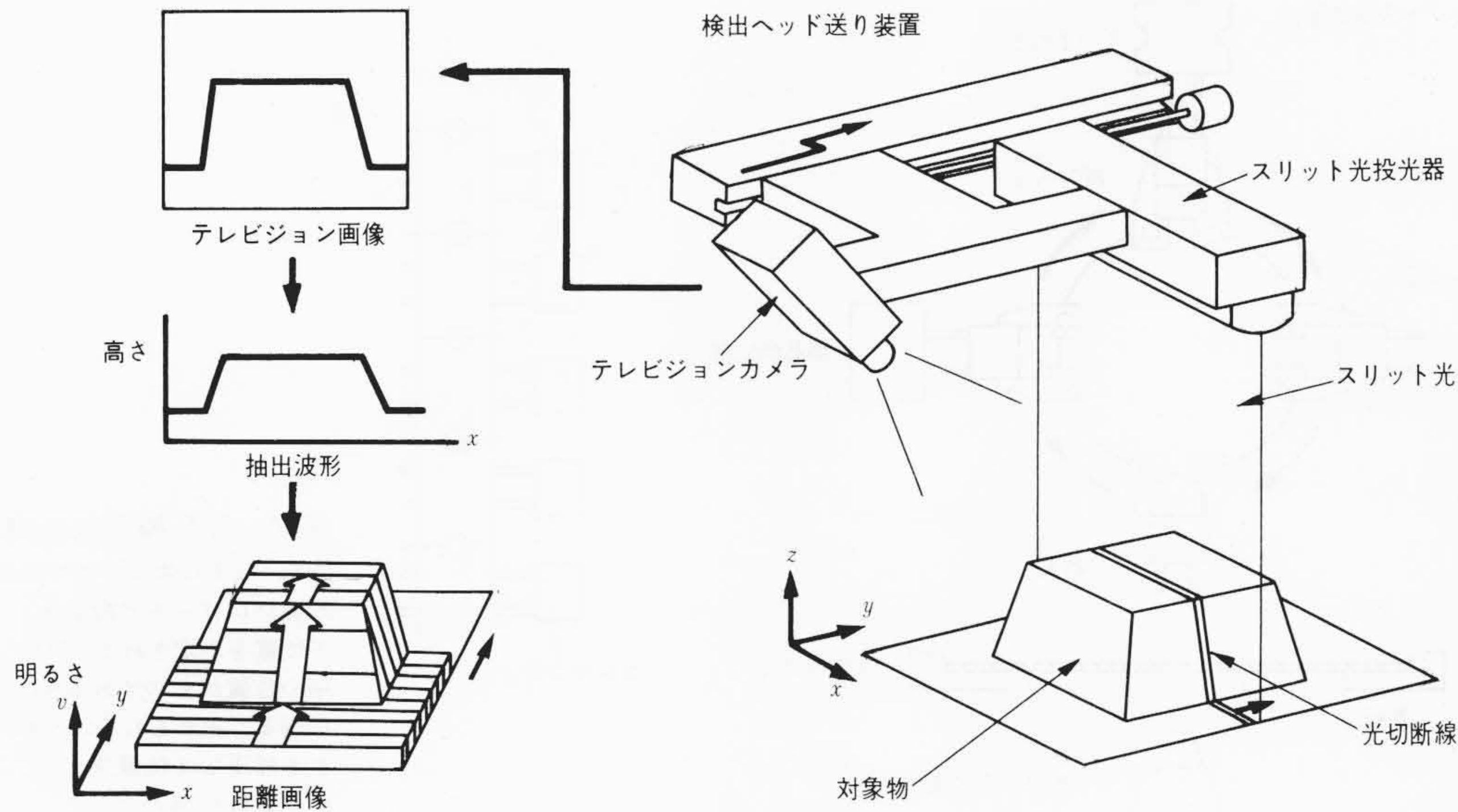


図11 光切断法による距離画像検出 物体に当たったスリット光を斜めから見ることで、物体の高さが分かる。これをy方向に走査して、物体全体の3次元データを得る。距離画像とは、高さ情報を明るさデータとして表現した画像である。

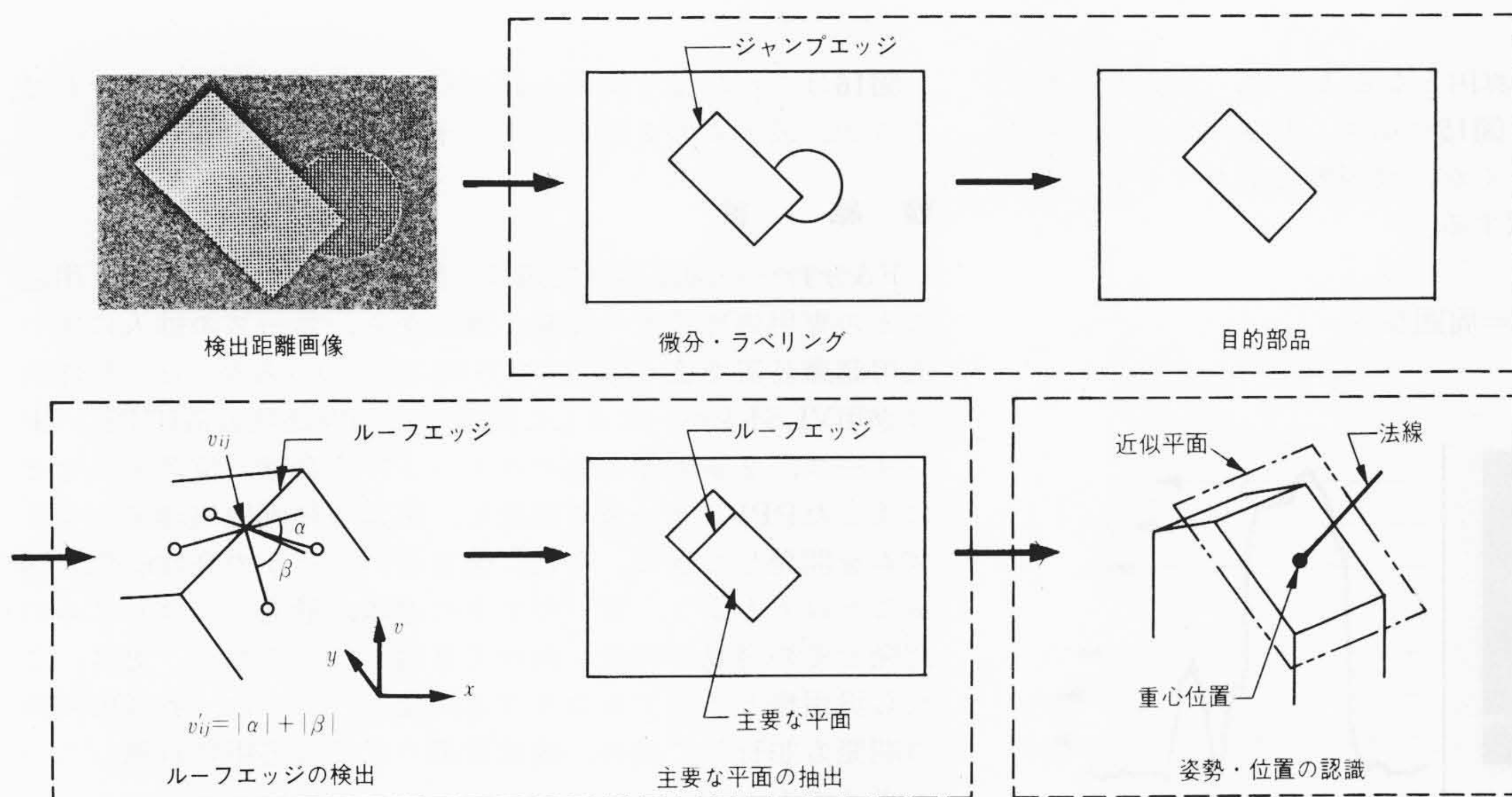


図12 物体認識アルゴリズム 図8で得られる3次元データから、空間的な微分処理により平面を抽出し、その姿勢、位置を認識する。

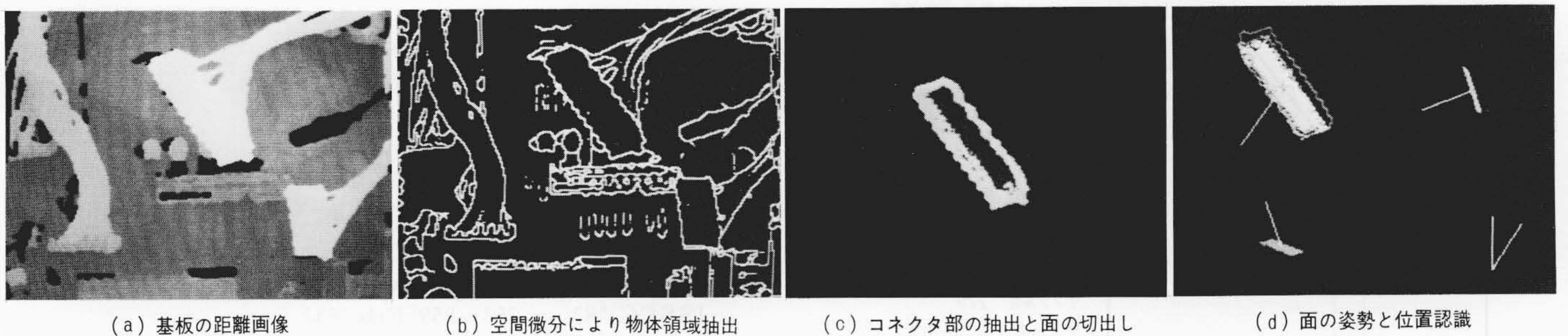


図13 3次元視覚によるコネクタ抽出 距離画像から面を抽出し、その姿勢と位置を抽出する。(d)で面に立つ垂線が、面の重心位置と向きを表わしている。

6 応用例

画像処理の応用の一例として、PPI-Iを用いた部品挿入機⁸⁾を示す。部品挿入機は電子基板上に抵抗、コンデンサを挿入する設備である。部品の実装密度が高くなると、リード先端を治具で位置決めしての部品挿入は困難となる。そこで、リードの先端位置をテレビジョンカメラで認識し、XYテーブルの移動量を補正しながら部品挿入を行なわせる。

図14に装置の構成を示す。リードの先端位置は2台のテレビジョンカメラで別々に認識される。その2値化処理画像を同図中の写真に示す。背景の物体映像が写っており、またリード先端も真円には写っていない。この画像中からリードの部分の切出しと修正処理を行なう。

リードの先端位置の検出は、まず最明点の抽出による。これは直前のステージでリードを切断しているため、切断面がいちばん明るく見えるからである。次に、最明点を含むリー

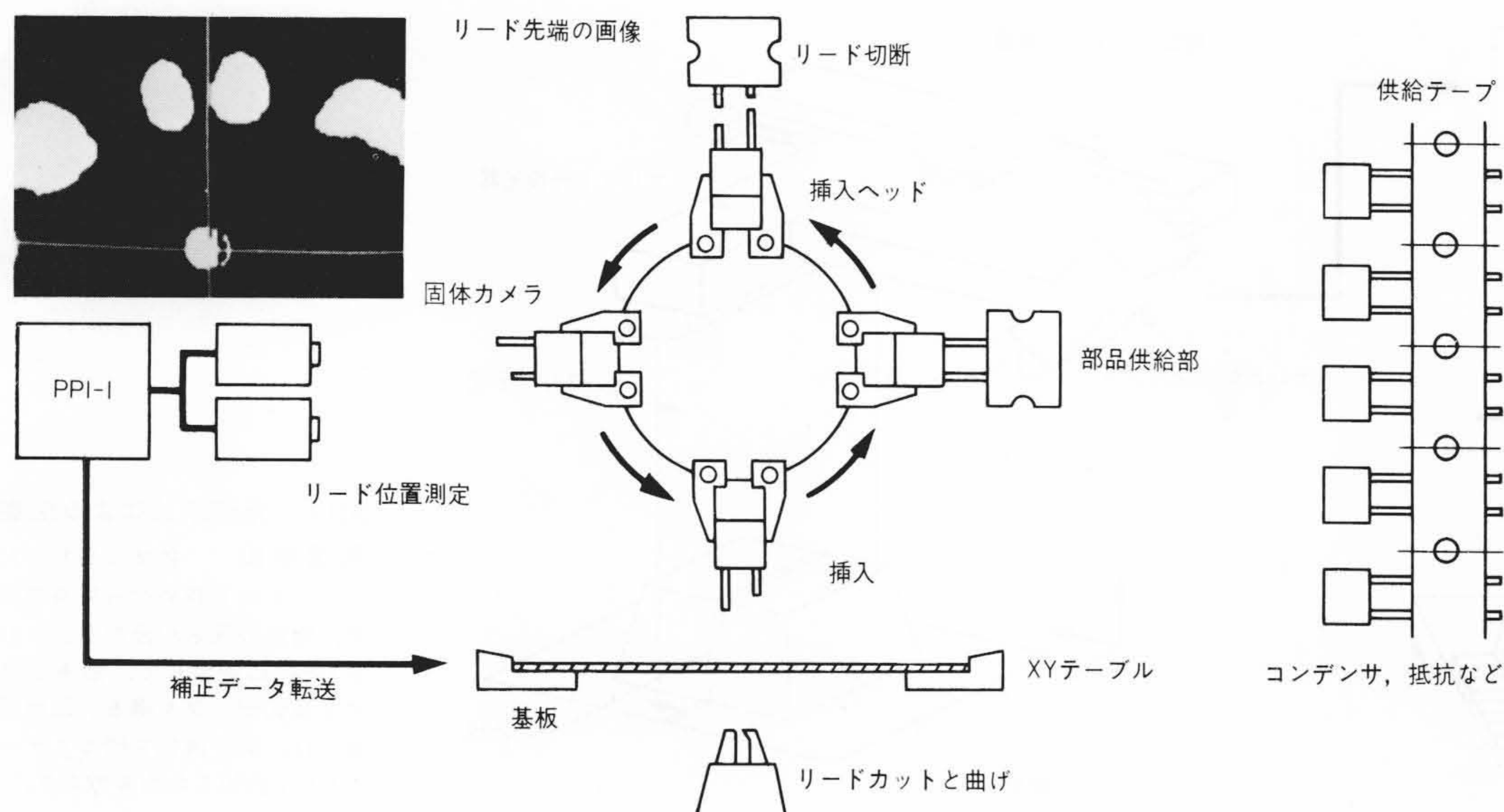


図14 部品挿入機の構成

回転ヘッドに供給された部品は、段違いにリード切断され、リード位置を測定される。PPI-Iは、中心位置からのずれを挿入機側に送る。それをもとに、XYデータを補正して位置決めし、片足ずつ基板に挿入する。

ドの画像領域ができるだけ真円となるように、2値化しきい値を設定する。この様子を図15に示す。しきい値を変えると切断面の画像が変わってゆくが、真円度を表わす下式の P を最大にするしきい値を選択する。

$$P = A/L^2$$

ここに A = 面積, L = 周囲長さ

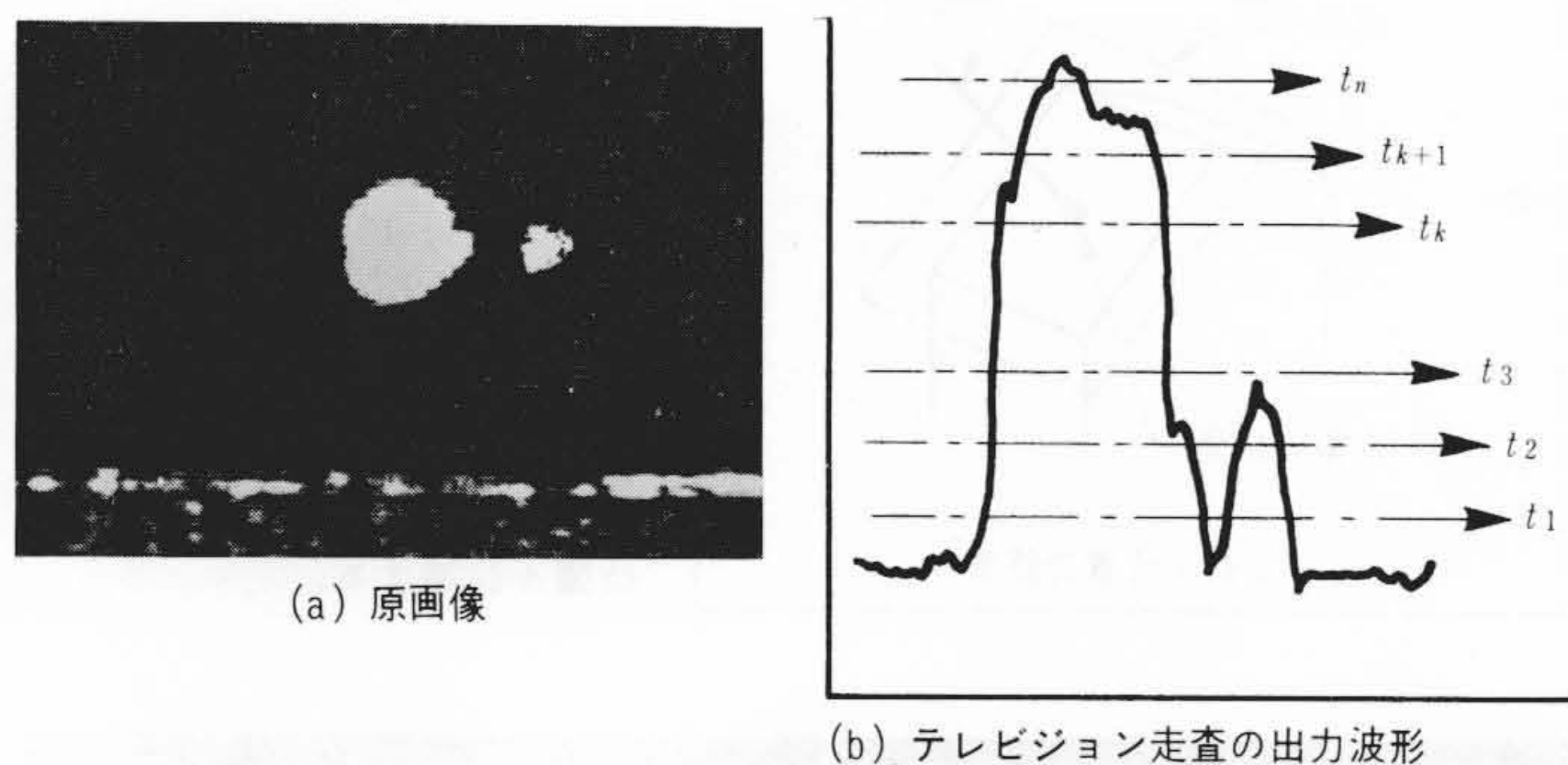


図15 しきい値決定法 できるだけ円に近いパターンを得るため、しきい値を何度か変えながら A/L^2 を最大にするしきい値を求める(A : 面積, L : 周囲長さ)。

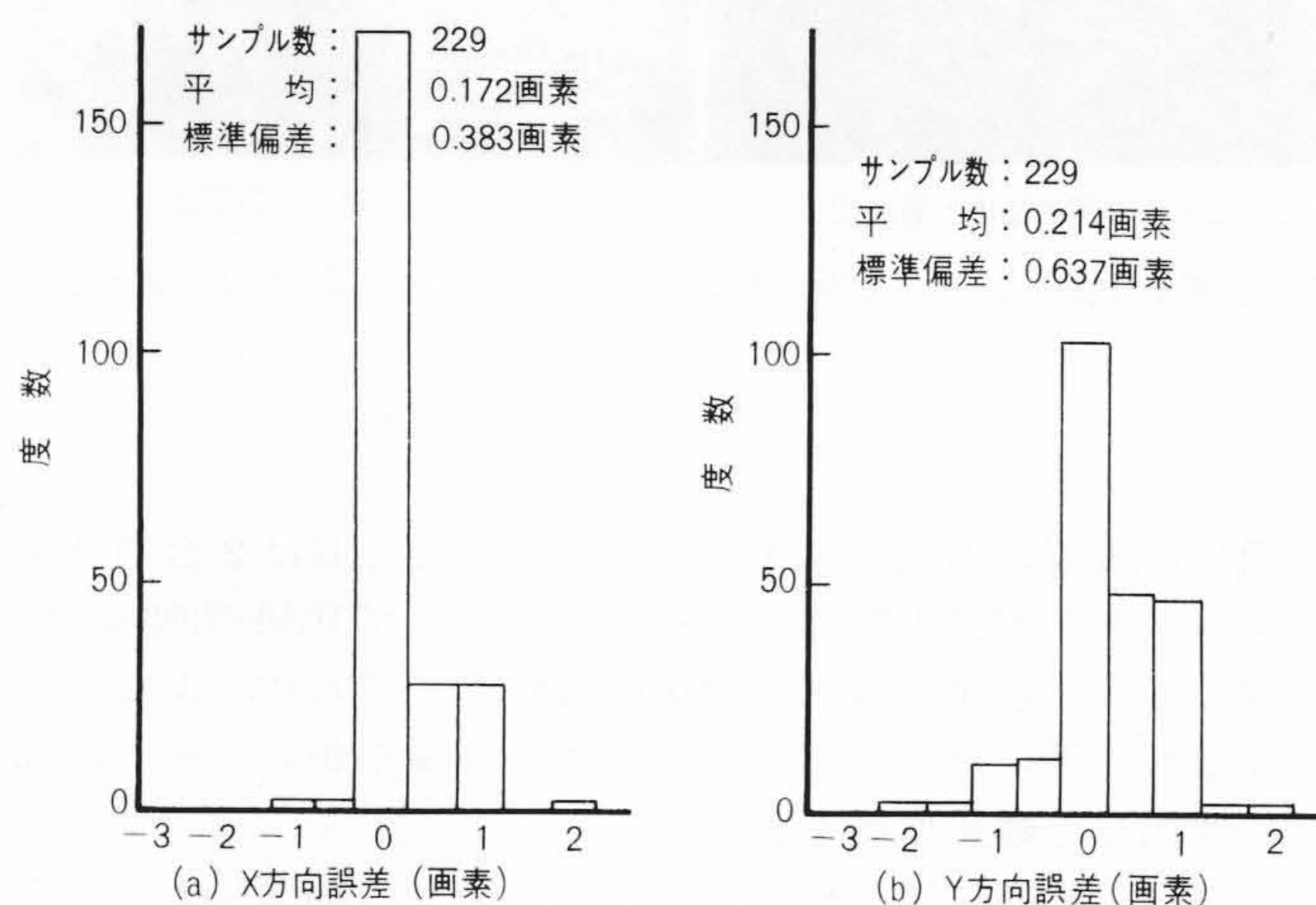


図16 測定誤差の分布 認識したリード位置の真値からのずれを表わす。最大で2画素程度(0.12mm)であり、十分な位置決め精度を得た。

7 結 言

FA分野への画像処理応用は、従来の特定の認識対象、用途ごとの専用処理装置の開発、適用から、ニーズの拡大に伴い汎用認識装置を広く適用する方向に動きつつある。日立製作所は専用VLSIをベースとした高速濃淡画像処理装置HIDIC-IPシリーズ、2値画像主体のロボットや自動機の位置決めなどに適したPPIシリーズを開発し、更に各種画像処理アルゴリズムを開発してきた。今後、装置のいっそうの高性能化を図ることはもとより、使いやすさの追求、最適アルゴリズムの開発とその容易な実現に向けて努力していきたい。更に、これら汎用機と汎用アルゴリズム開発をベースに、各種応用面の開発も並行して進め、視覚認識の広範な応用に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 柏岡, 外: 時分割パターン認識技術による群制御トランジスタ組立システム, 電気学会論文集, C96, 1, p.9~16 (昭和51-1)
- 2) T.Fukushima, et al.: An Image Signal Processor, Proc. of ISSCC '83, p.258~259 (Feb.'83)
- 3) 小林, 外: LSI化画像処理装置の基本アーキテクチャ, 情報処理学会全国大会前刷, 5B-3, p.941~942 (昭和58-3)
- 4) 浅野, 外: プログラマブル画像入力装置(PPI), 電気学会東京支部大会前刷, p.441 (昭和56)
- 5) 秦, 外: プログラマブル高速画像処理装置PPI-II, 電気学会全国大会前刷, p.1717 (昭和58-4)
- 6) 宮川, 外: 線分化パターンマッチングによる部品認識技術, 電気学会全国大会前刷, p.1718~1719 (昭和58-4)
- 7) Y.Nakagawa, et al.: Structured Light Method for Inspection of Solder Joints and Assembly Robot Vision System, Proc. of 1st Int. Symp. of Robotics Res. Bretton Woods (Aug.'83)
- 8) T.Asano, et al.: Vision System of an Automatic Inserter for Printed Circuit Board Assembly, Proc. of 2nd Int. Conf. Robot Vision and Sensory Controls (Nov.'82)