

電子部品検査向きの小形画像処理装置“SBIP”

Single Board Image Processor for Automatic Visual Inspection of Electronic Parts

近年、高性能なマイクロコンピュータの出現などにより、FA(Factory Automation)が急速に進展した。この中で、画像処理装置が果たしてきた役割も大きく、特に、半導体の組立工程の自動化には多大の貢献をしてきた。しかし、外観検査に関しては、どの分野でも、これまでの2値画像処理では対応しきれないものが多く、なお検査員の目視に頼らざるを得ない状況にある。こうした現状に対処するため、今回最新の半導体技術を活用して画像処理回路をLSI化した高性能な工業用画像処理装置を開発した。本装置は、従来からの位置検出用としてのパターンマッチング機能を充実・強化するとともに、小形装置では高速処理が不可能とされていた濃淡画像処理機能をハードウェアで実現することによって、電子部品などの外観検査への応用も可能としたものである。

加藤寛次* Kanji Katô
上田博唯* Hirotada Ueda
柏岡誠治* Seiji Kashioka
酒匂 裕* Hiroshi Sakô
小畑 修** Osamu Obata

1 緒 言

半導体などの電子部品は典型的な量産品であり、その生産性を向上させるために多大の努力が注がれてきた。特に、組立工程では、2値画像処理を主体とした画像処理装置の導入により、ワイヤボンディング作業のほとんどが自動化され、飛躍的に生産性が高められることになった。しかし、外観検査など、人間の高度な視覚認識能力に頼らざるを得ない作業がなお多く残されているのが現状である。

このような高度な要求にこたえてゆくためには、従来研究設備用の大形画像処理装置に限られていた高性能な機能を汎用性を失わずに小形化し、コストパフォーマンスを実用域まで高めた装置を開発する必要がある。

この目的を実現するため、画像処理専用3種のLSIと1種のハイブリッドICを開発し、これらをビルディングブロック的に組み合わせて、汎用化と小形化を両立させた高性能な工業用の画像処理装置SBIP(Single Board Image Processor)を開発した。

本論文では、このSBIPの構成と機能、及び応用検討結果について紹介する。

2 画像処理装置SBIPの構成

SBIPは、画像処理部と、これを制御するマイクロコンピュータを中心とする制御部から構成される。以下、これらの内容について説明する。

2.1 機能モジュール形LSIファミリ

画像処理回路のLSI化に当たっては、高速化が可能なパイプライン方式を採用し、工業用の画像処理に必要とされる種々の回路の中から共通性の高い機能をブロックごとに切り出し、これらを機能モジュールとしてまとめることにした。これらの仕様を表1に示す。

(1) 積和演算LSI[ISP(Image Signal Processor)]は、画像の中から切り出した局部の画素行列と係数行列との積をとり、これらを加え合わせる演算を行なうものである。この係数行列の内容によって、フィルタリングや濃度変換、パターンマッチングなどの機能を実現することができる。

表1 画像処理用機能モジュール形LSIの概要 工業用用途に共通な画像処理機能を、パイプライン方式に基づいてモジュール化したものであり、これらをビルディングブロック的に組み合わせて用いることにより、任意の規模と性能をもつ画像処理装置を構成することができる。

名 称	機 能	デバイス
積 和 演 算 I S P	● 2値及び多値フィルタリング (スムージング、エッジ強調など) ● 濃度変換 ● 2値及び多値パターンマッチング	3 μ m CMOS カスタム 61,000 トランジスタ
ア ド レ ス 制 御 A C I P	● メモリアドレス走査制御 ● 領域限定制御 ● テレビジョン走査同期制御	Bi-CMOS ゲートアレー 1,600ゲート
画像切り出し V S R	● 可変長シフトレジスタ (2~1,025段, 8本)	ハイブリッド
特 徴 積 分 F I I P	● 濃度分布計算 ● 投影分布計算 ● 面積計算	Bi-CMOS ゲートアレー 1,600ゲート

注：略語説明ほか ISP(Image Signal Processor)
ACIP(Address Controller for Image Processor)
VSR(Variable Length Shift Register)
FIIP(Feature Extractor by Integration for Image Processor)
CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)
Bi-CMOSは出力バッファをTTL(Transistor Transistor Logic)で、内部ゲートをCMOSで構成したLSIである。

(2) アドレス制御LSI[ACIP(Address Controller for Image Processor)]は、画像メモリに対してアドレスを与えるために必要な各種の演算を行なうものであり、メモリアドレスの走査制御や処理領域の限定制御、テレビジョン走査との同期制御などの機能を果たす。

(3) 画像切り出しLSI[VSR(Variable Length Shift Register)]は、画像データを演算回路にパイプライン的に次々と送り込むために必要となる、段数可変のシフトレジスタを集積したものである。

(4) 特徴積分LSI[FIIP(Feature Extractor by Integration for Image Processor)]は、画像の中の濃淡値の発生頻度分布や水平あるいは垂直方向の投影分布、及び面積、周囲長など

の積分計算を高速に処理する機能をもつ。

2.2 ハードウェア

SBIPは、以上の機能モジュール形LSIファミリを用いて、工業応用に必要と考えられる画像処理機能を最小の規模で、かつ実用上十分な処理速度で実現するため構成した装置である。LSI化により画像処理部は大幅に小形化され、制御部と同じ約40cm角の1枚の基板に収めることができた。その結果、装置全体としても、図1に示すように、幅40cm、奥行50cm、高さ10cmと極めてコンパクトにまとめることができた。

2.2.1 画像処理部

画像処理回路の構成を図2に示し、以下、その概要について説明する。

(1) 入力部

カメラは2台接続でき、この入力画像はA-Dコンバータを介しデジタル信号として、直接多値画像メモリに取り込んだり、あるいは2値化回路を通して2値画像メモリに格納する構造としている。

(2) 表示部

2値画像メモリ及び多値画像メモリの内容は表示制御部を介してモニターテレビジョンへ表示できるようにしている。また、メッセージも表示できるほか、対話操作を簡単化するために、ライトペンも接続できるようにしている。

(3) 記憶部

2値及び多値画像メモリには、それぞれ1画面を縦256、横256の分解能で記憶できる容量をもたせ、多値画像の濃淡幅は256段階としている。また、多値メモリは独立した8面の2値メモリとしても使用できるようにしている。

(4) 処理部

一方、多値及び2値メモリのデータは、可変長シフトレジスタVSRを介して、パイプライン的に4個の積和演算用ISPへ送りこまれる。また、特徴積分用FIIPへも入力され、ここで各種の特徴抽出処理が行なわれる。

以上の入力及び表示部、記憶部及び処理部へのアドレス発生用として、計4個のアドレス制御用ACIPを配している。

2.2.2 制御部

制御部は、16ビットマイクロコンピュータHMCS68000を中心に、プログラムメモリ及び入出力回路などから構成されている。ここでは、画像処理回路の制御と、これを用いた画像処理プログラムの実行及び上位計算機との通信や、コンソー



図1 SBIPの外観 画像処理回路のLSI化により、マイクロコンピュータを中心とする制御回路と合わせても、幅40cm、奥行50cm、高さ10cmとコンパクトにまとめることができた。

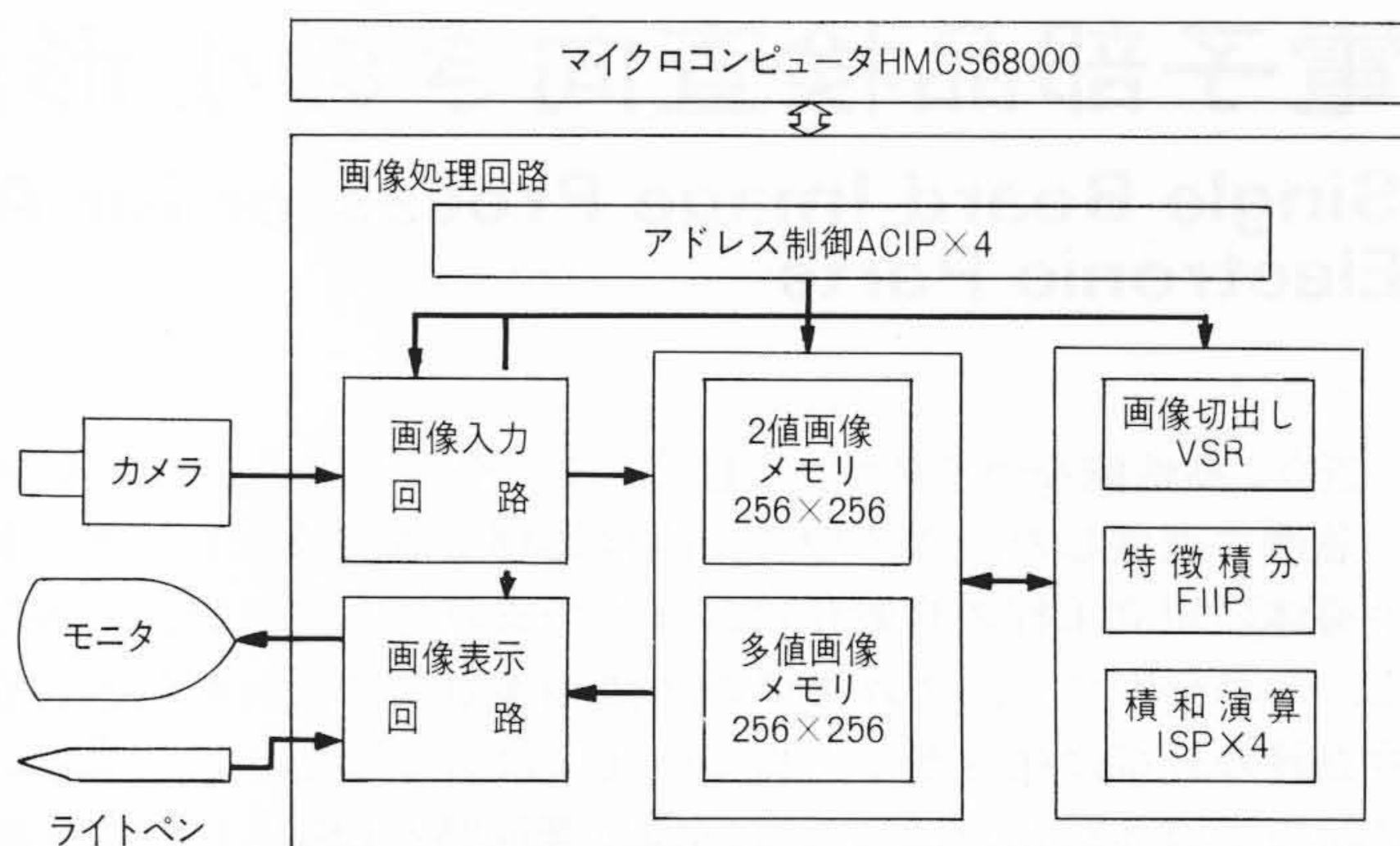


図2 SBIPのハードウェア構成 画像処理回路は、画像メモリを中心に構成され、演算部やアドレス制御部などの主要部はLSI化されている。

ル、プリンタ、ROM (Read Only Memory) ライタとの入出力の制御を行なう。これらの入出力のために、シリアルポートを二つと、8ビットの平行ポートを四つ装備している。

2.3 ソフトウェア

SBIPでは、ユーザーとのインタフェースとなるアプリケーションプログラムの記述言語に、現在簡易形の高級言語として幅広く使用されているBASICを採用している。その結果、画像処理装置に関する専門知識をもたないユーザーでも、簡単にSBIPの機能を引き出せるようになっている。以下、SBIPのソフトウェア構成について説明する。

(1) オペレーティングシステム

OS (Operating System) には、汎用性の高いリアルタイム制御用OSであるRMS3を採用し、システム全体の拡張性と柔軟性を期している。

(2) BASIC言語処理プログラム

SBIPに採用しているBASICは、日立製作所が各種のFA (ファクトリーオートメーション) 機器を統一的に制御することを目的に提案しているFA-BASICと称する高速実行形のBASIC言語である。したがって、SBIPを他のFA機器と接続して使用する際にも、同じBASIC言語でプログラムを記述できるため、非常に効率良くシステム開発が行なえるようになっている。

(3) 画像処理プログラム

一方、画像処理プログラムに関しては、図3に示すように、4層に階層化している。

まず、画像処理回路に直接アクセスする部分をハードウェアインタフェースルーチンとして独立させ、ハードウェアの改造などの影響が直接上位に及ばない構造としている。

そして、この上位には、基本的な画像処理機能を実現するプログラムをパッケージ化した基本処理ルーチンを置くとともに、BASICからコマンドとして呼び出せるようにしている。したがって、このコマンド名とこれに必要なパラメータをコンソールから入力するだけで、直ちに画像処理が実行できるため、画像処理プログラムの試行錯誤的開発が極めて効率的に行なえるようになっている。

更に、この基本処理コマンドを組み合わせることで実現できる位置検出や形状識別などの、定形的な認識処理プログラムをBASICで記述し、標準化したものを認識処理パッケージとしてユーザーに供給する形にしている。したがって、ユーザーは個々の応用目的に合わせてこれを修正し、シーケンス制御など他に必要な処理をBASICで記述したアプリケーションプログラムに組み込むだけで済むようになっている。

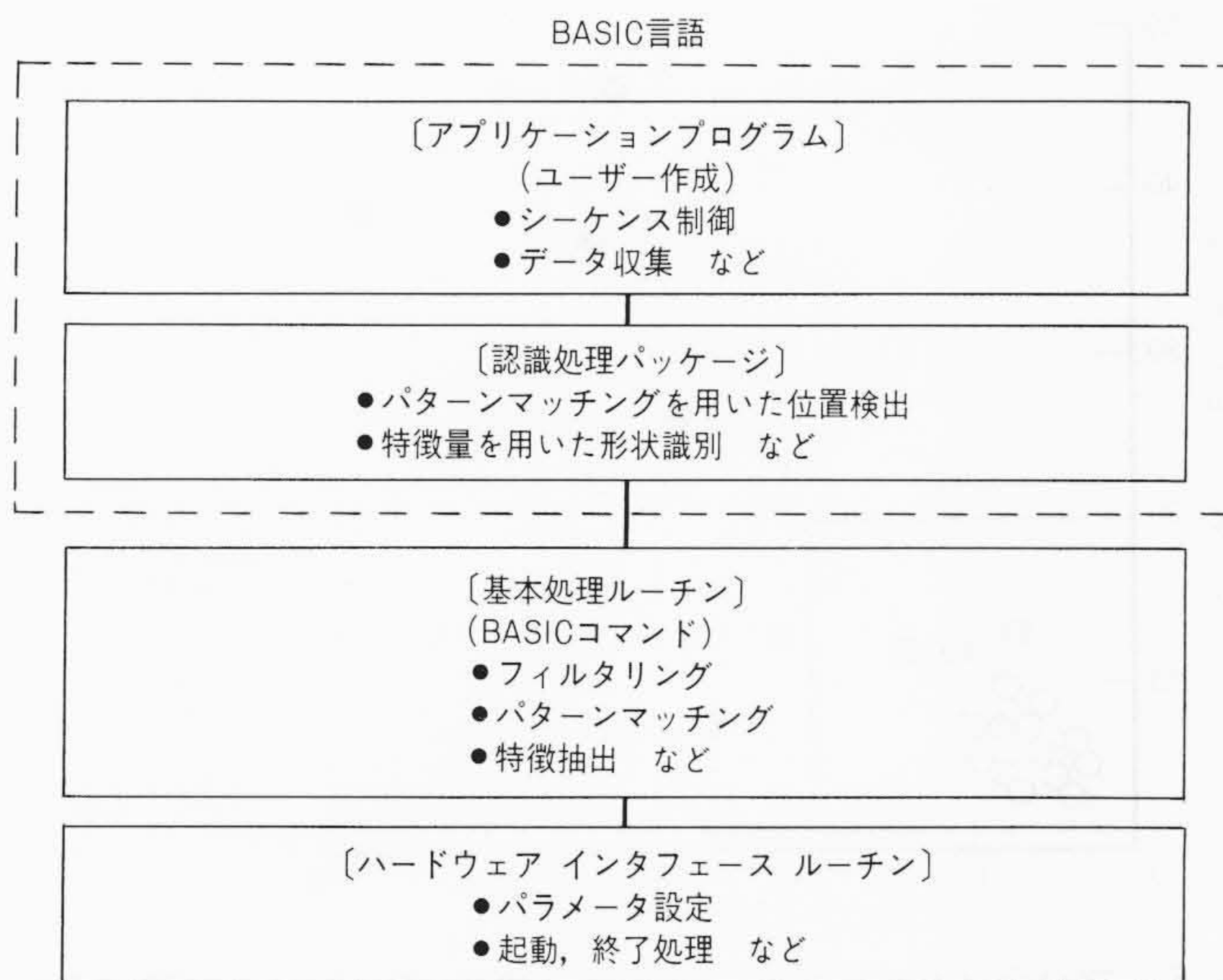


図3 SBIPのソフトウェア構成 画像処理プログラムは階層構造とし、拡張を容易にしている。また、基本的な画像処理部分は、パッケージ化して組み込まれているため、ユーザーは上位の層のプログラムを作成するだけで済む。

(4) 対話処理プログラム

上述した基本処理コマンドはライトペンを用いたメニュー選択により、対話的に実行できるようにもしている。これは、画像処理コマンドの種類やそのパラメータの構造などに熟知していないユーザーに対する支援ともなるほか、生産設備に組み込まれたSBIPの生産ライン上での動作確認を行なう場合などに非常に有効となる機能でもある。

(5) 入出力プログラム

SBIPに接続される各種入出力装置の制御を行なう入出力プログラムは、オペレーティングシステムRMS3の管理下で並列的に動作するようにしている。このため、画像処理プログラムの入出力負荷が大幅に軽減されることになり、効率的なプログラム実行が可能となっている。また、この中には、編集が終わったアプリケーションプログラムのフロッピーディスクへの格納や、実機組込用SBIPへのROM化を支援するプログラムなども含まれている。

3 機能と性能

SBIPでは、画像処理機能を約40種の基本機能に分類、パッケージ化し、これを画像処理コマンドとしてユーザーが使用できるようにしている。この中の代表的なものを、処理時間を付けて表2に示し、以下、その内容について概説する。

- (1) 画像転送機能としては、カメラから画像メモリへ画像データを入力できるほか、2値メモリと多値メモリの間でも転送が行なえるようにしている。
- (2) 特徴抽出機能としては、2値及び濃淡画像の投影分布計算や、面積、濃淡頻度分布計算などが行なえるようにしている。これらの処理結果を用いて、物体の重心位置や、モーメントなどの幾何学的特徴量が求められる。
- (3) パターンマッチング機能としては、パラメータで指定したマスクサイズで、2値及び濃淡画像と辞書パターンとの最大一致度と、そのときの位置が求められるようになっており、部品の位置検出や欠陥検出に用いることができる。
- (4) フィルタリング機能としては、入力画像と重みパターンの積和を求めることによって、境界線抽出やパターンの拡大・縮小、平滑化、境界線強調、方向微分などが実現できるよう

表2 SBIPの基本機能と性能 画像処理機能は、表に示すような名称でBASICから呼び出すことができ、これらはLSI化した高速な画像処理回路で高速に実行される。

分類	名称	機能	処理時間 (ms)
画像転送	PICTURE	画像入力	33
	TRANS	画像転送(多値→2値)	18
特徴抽出	GRAY~HIST	濃淡頻度分布計算	74
	PROJECT	2値画像投影分布計算	73
	GRAY~PROJ	濃淡画像投影分布計算	76
	AREA~COUNT	面積計算	89
パターンマッチング	BIN~MATCH	2値パターンマッチング(8×8)	33
	GRAY~MATCH	多値パターンマッチング(3×3)	64
フィルタリング	BIN~FILT	2値フィルタリング(8×8)	39
	LIN~FILT	多値フィルタリング(3×3)	70
画像変換	PIX~LIN	濃淡画像濃度変換	60
	PIX~BIN	濃淡画像条件2値化	23

注：処理領域(256×256)の場合、小括弧内数値[マスクサイズ(最大32×16)]

にしている。

(5) 画像変換機能としては、画像のコントラストを強調したり、あるいは画像の濃淡レベルをシフトしたりするほか、指定濃度範囲の対象画像だけを2値化する処理などが実現できる。

以上説明した各処理機能は、いずれも一般の工業応用では十分と考えられる数十ミリ秒台の実行速度を達成している。また、これらの組合せ処理によって、更に高度な機能も実現可能としている。

4 画像処理装置SBIPの応用例

SBIPには、前述したように、高速の濃淡画像処理機能が組み込まれているため、位置検出の用途に加えて、今後外観検査の分野での幅広い応用が期待される。ここでは、その一例として、発光ダイオードの発光パターンの外観検査への応用について概説する。

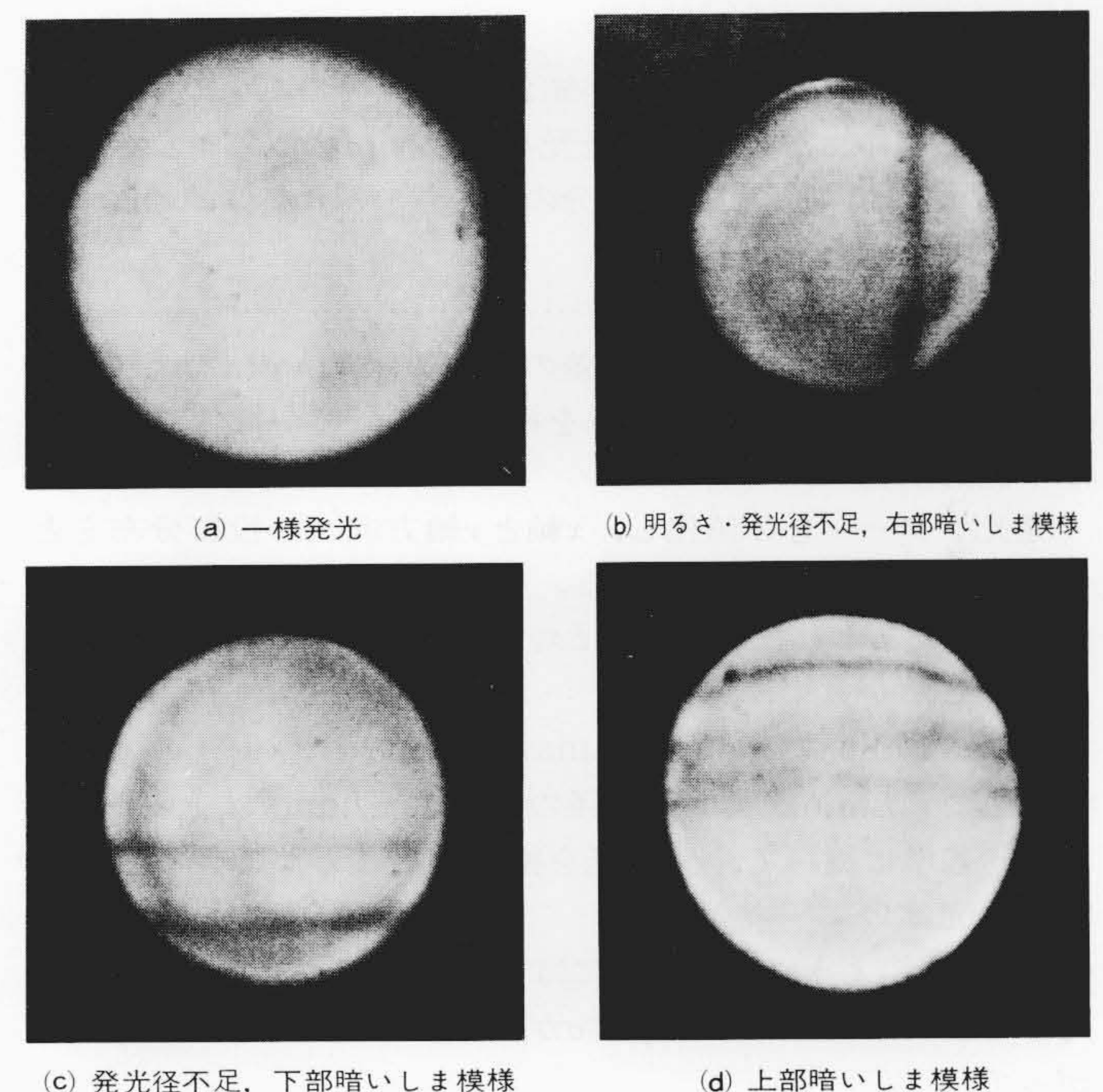


図4 発行ダイオードの発光パターン例 映像のわずかな濃淡差となって現われる発光ダイオードの発光パターンの欠陥も、SBIPの濃淡画像処理機能を複数組み合わせることによって識別が可能となる。

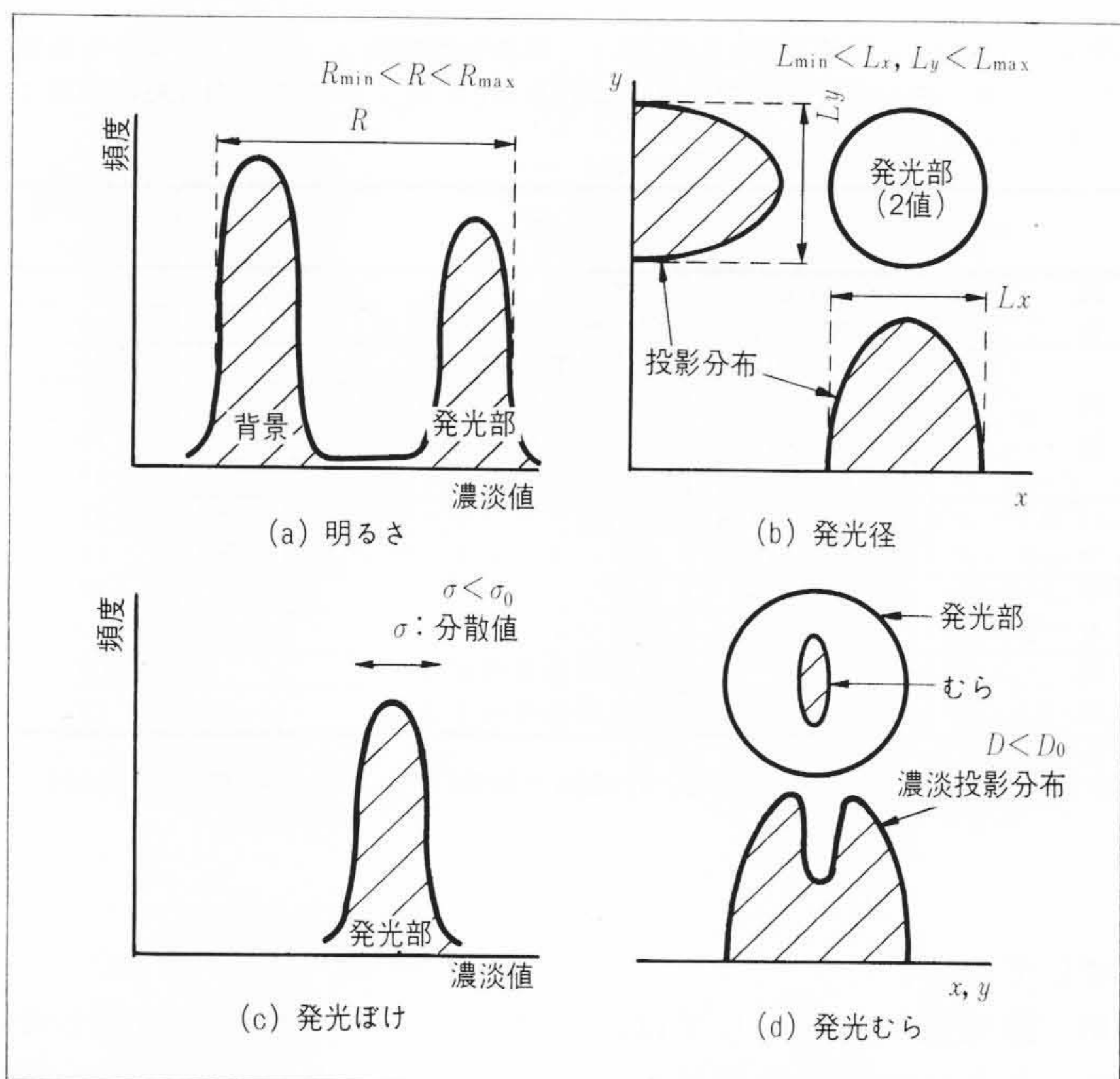


図5 発光パターンの識別方法 発光パターンの濃淡頻度分布や、2値及び濃淡の投影分布に基づいて、明度、発光径、発光ぼけ、発光むらを検査する。

発光ダイオードの発光パターンは、通常、図4(a)に示すように、一様な濃淡の円形状パターンとなっている。もし、これに、同図(b)～(d)に示すような明るさや発光径の不足、発光部の形状異常などがあると、寿命などの信頼性に悪影響を及ぼすと考えられる。このような潜在的劣化要因を事前に排除するためには、これら映像のわずかな濃淡差となって現われる発光パターンの欠陥を識別する必要がある。これらの発光パターンは、SBIPを用いて、図5に示す四つの項目により識別することができる。以下、この内容について説明する。

(1) 明るさ

発光パターンの濃淡頻度分布は、図5(a)のように背景部と発光部に明確に分離する。発光パターンが明るすぎたり暗すぎる場合には、この二つの部分の明るさの差 R が標準範囲に収まらなくなる。したがって、

$$R_{min} < R < R_{max} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに R_{min} は標準明度差の下限值、 R_{max} は上限値という基準に従って、明るさを検定することができる。

(2) 発光径

発光パターンを2値化し、 x 軸と y 軸方向への投影分布をとると、図5(b)のように求まる。発光部にダークエリアや大きな欠けがあると、投影発光径 Lx 、 Ly が標準範囲に収まらなくなる。したがって、

$$L_{min} < Lx, Ly < L_{max} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに L_{min} は標準発光径の下限值、 L_{max} は上限値という基準に従って、発光径を検定することができる。

(3) 発光ぼけ

図5(c)のように、発光部にぼけがあると、発光パターンに対する濃淡頻度分布の分散値 σ が標準値を超えてしまう。したがって、

$$\sigma < \sigma_0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに σ_0 は発光パターンの濃淡頻度分布の標準分散値という基準に基づいて、ぼけを検定することができる。

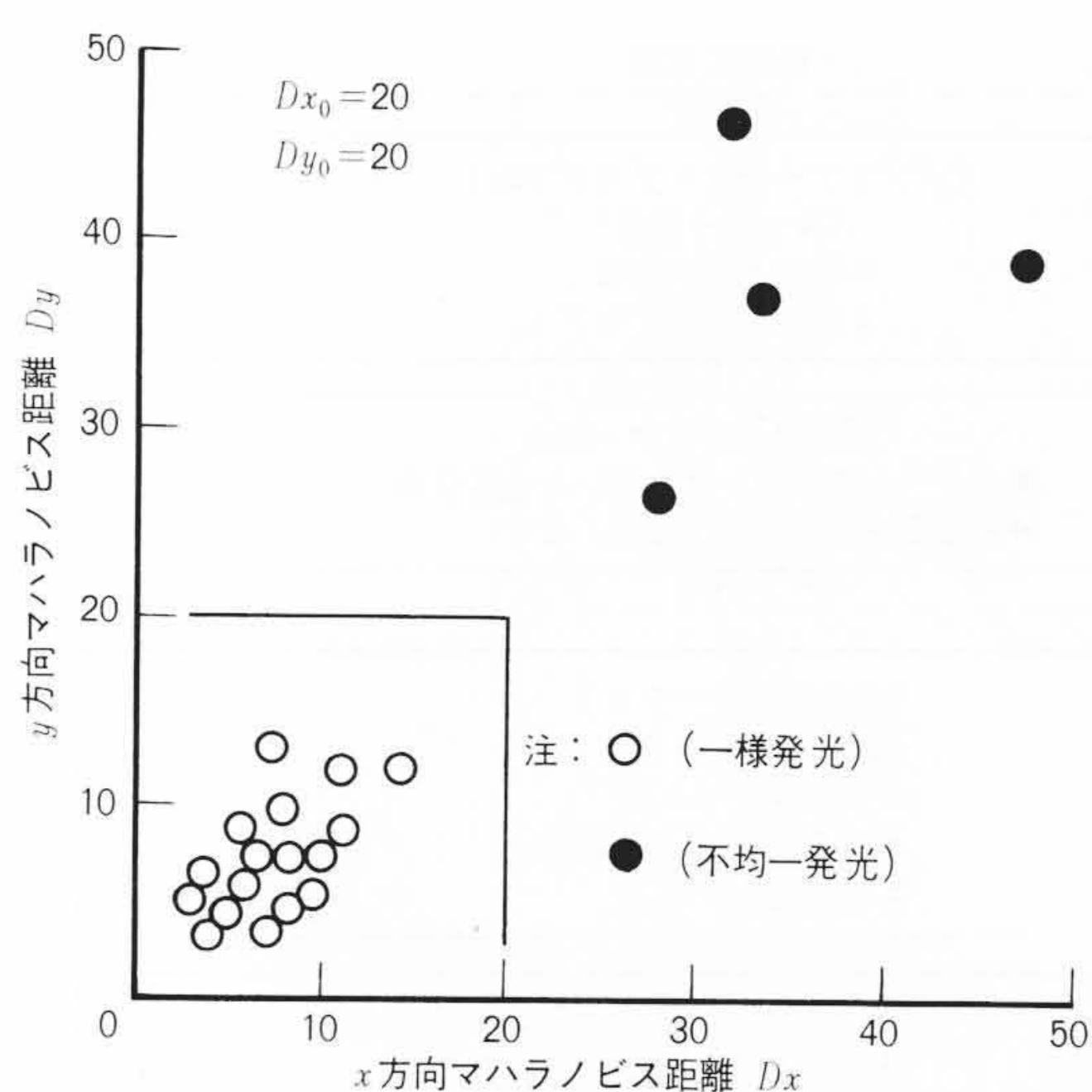


図6 マハラノビス距離による識別結果 発光パターンの濃淡投影分布のフーリエ係数で形成される特徴量空間で、標準一様発光パターンの分布中心からの距離(マハラノビスの距離)によって、多様な形状を呈する発光むらをも識別することができる。

(4) 発光むら

発光部に図5(d)のようなむらがあると、その濃淡投影分布形状から求めたフーリエ係数を各軸とする多次元の特徴量空間で、標準となる一様な発光パターンの分布中心からの正規化した距離 D (これをマハラノビスの距離と呼ぶ。)が基準値 D_0 より大きくなる。したがって、

$$D < D_0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここに D_0 は基準マハラノビス距離という基準により、発光むらを検定することができる。すなわち、図6に示すように、 x 軸及び y 軸方向のマハラノビス距離 Dx 、 Dy を用いて、不均一な発光パターンが識別できる。

以上の4項目に関する識別処理は、SBIPの特徴積分用FIIPを中心とする各種の分布算出機能を用いて実現することにし、これをプログラム化して、実験・評価した結果、約0.7秒で正しく発光パターンを識別することができた。

5 結 言

半導体の外観検査工程などに必要とされる人間の高度な視覚機能を、性能、価格とも実用レベルで実現することを目指して、工業用小形画像処理装置SBIPを開発した。本装置は、画像処理回路をLSI化するとともに、BASIC言語でプログラミングできるようにした小形、高性能な工業用の画像処理装置である。SBIPでは、これまで開発してきた工業用画像処理装置のほとんどすべての機能を包含するとともに、従来小形装置では不可能であった高速の濃淡画像処理機能をも実現し、これらの主要機能を0.1秒以下で実行できる性能を得ている。したがって、今後のFAの大きな課題とされている外観検査の自動化にも幅広く応用できるものと考えている。

参考文献

- 1) 柏岡：工業用視覚装置の現状と課題、システムと制御(別冊)、28、10～14(昭59-4)
- 2) 福島、外：画像処理用LSI-Image Signal Processorのアーキテクチャ、電子通信学会論文誌、J66-C、959～966(昭58-12)
- 3) 酒匂、外：発光パターンの外観検査手法、電子通信学会総合全国大会予稿集、1681(昭60-3)