

新制

工

811

京大附図

電子部品生産のための実時間型
画像認識技術に関する研究

平成元年 7 月

嶋 好 博

電子部品生産のための実時間型
画像認識技術に関する研究

平成元年7月

嶋 好博

内容梗概

本論文は、画像情報を介して物体表面の性状を自動的に把握する画像認識の方法、それに基づく画像処理装置の構成、および電子部品等を対象とした自動生産装置への応用に関する一連の研究を纏めたものである。

まず第1章では、研究の背景ならびに研究の目的と必要性を述べるとともに、画像認識の産業応用、とくに電子部品の生産工程での組立、検査などの工程における画像処理の機能、対象、装置について考察し、物体の性状は、位置や姿勢、形状などの幾何学的性状と、傷、欠陥などの質的性状、さらに、マーク、文字など付加的性状に分類でき、これら性状に対する認識機能は自動組立装置や自動検査装置に必要なことを示した。

第2章では、電子部品に対する組立の中で高精度かつ高信頼度な位置検出が必要な半導体薄片（チップ）の位置検出において、特に、半田表面を有する半導体チップのチップ位置の検出に関して考察する。この半田表面を有する半導体チップは、従来のアルミニウム表面を有する半導体チップと比べて位置検出が難しいものとして自動化から取り残されていたものである。ここでは、半田表面を有する半導体チップの位置検出手法を考案するとともに、凸曲面（蒲鉾）状の半田面の照明・撮像方法、自動組立装置への適用について考察した。

単体としての電子部品は、第2章で述べた方法により組立が可能となったが、次の問題は、このような電子部品を如何にして基板上に搭載し、回路基板として組立ていくかにある。従って、第3章では、電子部品及び基板の位置を高い精度で検出する方法を考案し、高密度の基板に部品を搭載する自動組立工程への適用を考察した。

電子部品においては、その表面に捺印された文字パターンは、その電子部品の品種の唯一の手掛かりであり、その印字品質は電子部品にとっての品質そのものといえることができる。従って、第4章においては、電子部品の表面に捺印された文字パターンの外観を検査するための三つの捺印パターンの欠陥検出手法を考案し、その特性を比較評価した。

第5章では、第4章の検討結果をもとに、部分画像の並列照合を基にした実時間型の画像処理装置を開発し、その電子部品の捺印パターンの検査への応用に関して考察した。

電子部品においては、その表面に捺印された文字情報だけでなく、表面の状況そのものの検査もまた重要である。特に、プラスチックで封止された電子部品の外観検査は従来、そのほとんどが目視で行われていたため、その自動化が重要な課題であった。従って、第6章では、電子部品におけるプラスチック表面にある欠け、小穴、膨らみ等の欠陥の自動検出手法について考察した。

上記の各章では、電子部品を対象とした位置の検出手法と表面情報の検査手法とを述べているが、主に専用のハードウェアによる画像処理によってこれらの手法の高速性、小型化などの実用性を可能としている。将来は、小型計算機の高速化が進むものと考えられ、ワークステーションなど汎用の計算機の上でのソフトウェアによる画像処理が重要となる。そのため、第7章においては、画像パターン中から特定の図形と類似した図形を抽出するテンプレートパターンマッチング法を計算機上のソフトウェアで高速に行う手法を考察した。

一方、汎用計算機の上でのソフトウェアによる画像処理において、もう一つの重要な処理として画像回転処理がある。この処理は、工業用画像処理だけでなく、あらゆる分野の画像処理の基本として重要なものである。そのため、第8章では、2値画像の黒画素の線分からなるランの始点並びに終点の座標データを基にした高速画像回転手法について考察した。

第9章では、本研究の結びとして、得られた成果を概観し、結論を述べた。

以上の如く、本研究では、いくつかの一般性のある画像認識の方法、それを具体化した実時間型の画像処理装置方式を開発し、電子部品の生産工程に応用した。その結果、物体の性質や状態を把握する画像認識とその産業応用に関する基礎技術を確立することができた。

凡 例

- (1) 題名における章，節，項は“第1章”，“1.1”，“1.1.1”の如く示し，文章中での引用に際しては“第1章”，“第1.1節”“第1.1.1項”の如く記述する。
- (2) 数式の番号は，定義式においてはその右端に“(2.2)”の如く示し，文章中では“(2.2)式”の如く記述する。
- (3) 図面の番号は“図3.3”，表の番号は“表4.4”の如く記述する。
- (4) 参考文献はその番号を^cで囲み示す。

目 次

第1章 緒論	8
1.1 本研究の目的	8
1.2 本論文の概要	11
第2章 半田表面を有する半導体チップの自動位置検出手法	13
2.1 緒言	13
2.2 位置検出の課題	15
2.3 撮像・照明光学系	18
2.3.1 撮像光学系の検討	18
2.3.2 照明光学系の検討	18
2.4 位置決め手法	32
2.4.1 半導体チップ位置検出手法	32
2.4.2 位置合わせのための制御	41
2.5 実験結果	43
2.5.1 開発システム	43
2.5.2 位置検出結果	48
2.6 結言	48
第3章 高密度基板への電子部品搭載のための自動位置検出手法	50
3.1 緒言	50
3.2 位置検出の課題	51
3.3 位置検出手法	55
3.3.1 撮像・照明光学系の構成	55
3.3.2 位置決め手法	64
3.4 実験結果	71
3.4.1 実験システム	71
3.4.2 部品および基板の位置検出結果	74
3.5 結言	80
第4章 電子部品の捺印パターンの欠陥検出手法	81

4. 1	緒言	81
4. 2	捺印の特徴とその検査課題	83
4. 3	欠陥検出の原理	85
4. 3. 1	手法の概要	85
4. 3. 2	欠陥検出手法	86
4. 4	実験による検討	94
4. 4. 1	実験結果	94
4. 4. 2	処理時間の比較検討	97
4. 5	結言	102

第5章 部分画像の並列切り出し照合方式に基づく捺印パターンの

欠陥検出装置

5. 1	緒言	103
5. 2	欠陥検出の原理	105
5. 2. 1	固有点照合法	108
5. 2. 2	欠陥検出の手順	112
5. 3	欠陥検出装置の構成	113
5. 3. 1	画像メモリ	115
5. 3. 2	アドレス制御部	119
5. 3. 3	演算処理部	121
5. 3. 4	マイクロシーケンサ	123
5. 3. 5	ソフトウェアの構成	123
5. 4	実験結果	124
5. 4. 1	捺印検査実験システム	124
5. 4. 2	実験結果	124
5. 5	結言	131

第6章 画像分割型頻度分布に基づくプラスチック部品表面の

欠陥検出手法

6. 1	緒言	133
6. 2	表面欠陥の特徴	134
6. 3	欠陥検出手法	137

6. 3. 1	基本的な考え方	137
6. 3. 2	照明・撮像光学系の検討	137
6. 3. 3	輪郭抽出	141
6. 3. 4	寸法検査	149
6. 3. 5	領域分割型の濃淡頻度分布による欠陥判別	149
6. 4	実験結果	154
6. 4. 1	実験システム構成	154
6. 4. 2	処理過程と結果	157
6. 5	結言	161

第7章 部分画像の出現確率を用いた

	高速化パターンマッチング手法	162
7. 1	緒言	162
7. 2	基礎事項	163
7. 2. 1	テンプレートパターンマッチング法	163
7. 2. 2	SSDA法の説明	164
7. 3	照合回数の分析	166
7. 3. 1	照合回数の検討	166
7. 3. 2	照合回数の算出と回数低減の可能性	169
7. 4	最適化照合順序と課題	171
7. 4. 1	照合順序最適化の原理	171
7. 4. 2	最適順序決定の困難さと近似的方式の必要性	172
7. 5	ブロック化照合順序法	172
7. 5. 1	ブロック化照合順序法の手順	172
7. 5. 2	ブロック化照合順序法の照合回数の検討	178
7. 6	照合回数の実験的検討	179
7. 6. 1	対象画像パターンとその統計的性質	179
7. 6. 2	照合実験で用いた照合順序法の種類	179
7. 6. 3	テンプレートパターンの例と照合順序	184
7. 6. 4	照合回数の実験結果	184
7. 6. 5	結果の検討	189
7. 7	結言	189

第 8 章	ランに対する座標演算に基づく 2 値画像の高速回転手法	191
8. 1	緒言	191
8. 2	2 値画像のランデータ	193
8. 2. 1	ランの種類	193
8. 2. 2	ランのデータ形式	193
8. 2. 3	ランのデータ量の検討	196
8. 3	2 値画像の回転手法	197
8. 3. 1	基本原理	197
8. 3. 2	ランデータによる 2 値画像の回転手法	199
8. 3. 3	ランデータの走査方向の変換	201
8. 4	実験的検討	205
8. 4. 1	処理時間	205
8. 4. 2	実験結果	212
8. 5	結言	212
第 9 章	結論	214
9. 1	位置情報の抽出と自動組立への適用	214
9. 2	表面情報の抽出と自動検査への適用	215
9. 3	2 値画像処理の高速化手法	216
9. 4	結言	217
謝辞		219
参考文献		220
著者発表論文目録		226

第1章 緒論

1. 1 本研究の目的

(1) 目的

本研究は、画像情報を介して、物体表面の性状を認識する画像処理の方法と、それに基づく画像処理装置の開発、および電子部品等を対象とした自動生産装置への適用という画像処理の産業応用に関するものである。画像処理の産業応用では、実用の観点から画像処理の高速性、実時間性がとくに重要であり、実践的な応用を目指した研究である。

従来、画像処理の研究には、画像の変換、強調、圧縮、復元、創成、伝送、蓄積、認識、理解といった広範な内容があり、処理対象も、文字を主体とした文書、図形を主体とした図面、濃淡やカラー情報を含む写真、さらに、3次元世界での物体や情景など多岐にわたっている。本研究は、物体を撮像した原画像から、その画像とは次元の異なる、物体の性状に関する情報を抽出することを目的としており、認識の技術分野に当たる。また、画像処理を産業に応用する分野であり、生産物である物体、とくに電子部品等を対象とし、その性状に関する情報を自動的に抽出する物体の認識に関する研究である。さらに、実用の観点から画像処理の高速性、実時間性がとくに重要視されるため、実用的な画像処理の手法を考案するとともに、その具体的な画像処理装置の開発も行い、生産装置への適用を行った。

なお、産業的用途では、もともとプリント基板など対象が平面的であったり、三次元の対象物体でも視野内に供給される際にある面を基準面として規制することによって三次元認識問題を二次元認識問題に縮退させることができるため、物体を三次元的に認識することは、本論文の対象外とした。

(2) 本研究の必要性

生体にとっての視覚は、外界の認識のための基本的な感覚機能である。産業用の自動機械にとっても、この視覚機能は重要であり、これによって自ら外界の状況を知り、それに応じて自らの動作を変更することができる。とくに、生産工程における自動機械にこの視覚機能を付与することができれば、供給される部品に対してこれを視覚で判断し、望ましくない物体な

らこれを排除したり、まちがった姿勢で供給されればその姿勢を正したり、位置ずれがあればこれを補正して正常化する作業が可能となる。

さて、生産工程は、加工、組立、検査、に大別できる。電子部品を対象とした生産工程、とくに、高精度、高信頼の作業が要求される半導体、集積回路等の電子部品の生産工程において、加工工程は半導体ウェハなどの素材からチップ(薄片)などの単品を作り上げる工程である。また、組立工程は、単品を組み合わせる複合化の工程であり、チップの表面電極と外部端子との配線作業や、できあがった部品のプリント基板への実装作業等がある。さらに、検査工程は、単品や複合品が仕様に合っているかどうかを調べる工程であり、組立てた部品の外観検査作業等がある。

画像処理の産業応用における一つの重要な課題は、こうした生産工程における組立作業の自動化である。組立作業自体は、機械的動作が基本であるが、部品を掴んだり、部品の電極に結線を行う等の組み合わせのためには、部品の位置や姿勢を検出することが必要である。このような組立作業を行う自動機械には、位置の認識や姿勢の認識といった視覚機能は欠かせないものである。なお、半導体、集積回路等の電子部品の生産工程において、加工工程は、その単純性から視覚機能がさほど大きな問題とはならない。

また、検査作業の自動化も、もう一つの重要な課題である。傷、汚れといった部品の外観の検査は、従来、作業員の肉眼による目視検査、官能検査として行われていた。これら傷、汚れといった欠陥を、人間の評価尺度に合った数値として定量化して把握、判断する視覚機能は、自動の検査装置には不可欠である。

このような視覚機能を生産装置に付与することによって、無駄な作業の排除による作業の効率の向上や、失敗や位置ずれの排除による作業結果の質の向上が図れるため、生産工程において極めて重要なものであり、生産工程の自動化を含むあらゆる産業応用の局面で大きな期待が寄せられてきた。

(3) 認識対象と視覚機能

認識の対象となる物体を認識目的から分類すると、次のような三つの性質、状態に大別できる。その一つは、幾何学的な性状であり、物体の形状、姿勢といった構造的な性状や、物体の寸法や位置の如き量的な性状がその

典型例である。二つ目は、傷、汚れ、欠陥といった質的な性状であり、産業応用では、このような質の検査が生産工程の随所で行われている。三つ目は、付加的性状であり、これは、マーク、文字、模様など物体の表面に付加された情報の抽出である。この付加的性状は、部品に捺印された文字、マークなど人為的に付加した情報であり、部品の名称や製品番号がこれに当たる。

画像処理の応用を産業分野、とくに電子部品の生産工程に限り、対象物体の具体例をあげると、組立作業における半導体チップやプリント基板など、さらに、検査作業における集積回路パッケージや部品の捺印マークなど、がある。これらの対象の認識に必要な視覚機能としては、先ず、幾何学的性状の抽出機能がある。これは、物体が正しい位置にあるか否かの判断、物体が正しい姿勢にあるか否かの判断等を行うものであり、物体の位置座標や回転角度を検出する必要がある。具体的には、組立工程において、半導体チップの位置、姿勢を検出し、その情報を基にチップの位置、姿勢を正常にして、チップ表面の電極と外部端子とを金属線で結線するワイヤボンディング作業や、集積回路部品をプリント基板の上に搭載する際に、部品や基板の位置、姿勢を検出し、基板上の正常な箇所に部品を搭載する実装作業に、この幾何学的性状の抽出機能の適用が期待されてきた。次いで、質的性状の抽出機能がある。これは、物体が正常かどうかの判断を行うものであり、物体の損傷、汚れ、欠陥を検出する。この機能は検査工程において特に期待されている。具体的には、集積回路などの電子部品は、プラスチック材料によって封止して形成される例が多く、このような電子部品のプラスチック表面の欠陥を検出する外観検査作業や、さらに、電子部品のプラスチック表面に捺印されたパターンが正常か否かの検査を行う捺印検査作業に、その適用が望まれてきた。

なお、本論文の第2章、第3章では幾何学的性状の抽出機能とその組立作業への応用について、また、第4章、第5章、第6章では、質的性状の抽出機能とその検査作業への応用について、それぞれ述べる。

(4) 人工視覚の応用システム

画像処理により物体を認識する装置は、物体の光学的な状態を入力するための画像入力部と、入力した画像情報を加工し必要な情報を抽出するための画像処理部とからなる。

画像入力部は、対象物体に情報の媒体となる光を積極的に投射し、その反射光を画像情報として入力するものであり、主体はTVカメラなどの光電変換装置であるが、照明光学系、撮像光学系や物体表面の光学的特徴が関与するところが多い。とくに、産業用画像処理では、高信頼性が要求され、そのために先ず、画像が常に安定な条件で入力されることが必要であり、対象の照明法が極めて大きく影響する。照明は、時間的に変動しない一定の明るさを持ち、対象を一様に照明でき、対象の像をコントラストよく撮像できるものが望ましく、そのため照明光学系、撮像光学系に工夫が必要となる。

画像処理部は、画像情報を演算し物体の性状に関する情報を抽出するものである。ここでは、画像の持つ膨大な情報量を処理するため、とくに、高速性、実時間性が要求される。このため、画像処理用の専用装置の実現が大きな課題であった。また、高速で画像を処理できる新しい画像処理アルゴリズムの考案も要求されていた。

なお、本論文の第2章、第3章、第6章では、画像入力部の照明光学系、撮像光学系について述べている。また、第5章では、実時間型画像処理用の専用装置について、第7章、第8章では、基本的な画像処理手法の高速化アルゴリズムについて述べている。

1. 2 本論文の概要

本論文の第2章から第8章で述べる内容の技術的な相互関係については、まず第2章と第3章では、物体の幾何学的性状、とくに、位置、姿勢を抽出する手法の開発とその応用について述べる。ついで、第4章から第6章では物体の質的性状、とくに、損傷、欠陥を抽出する手法とそのための実時間型画像処理装置方式の開発およびその応用に関する検討結果について述べる。さらに、第7章と第8章では、基本的な画像処理手法の高速化アルゴリズムについて述べる。

より具体的には、第2章で凸曲面（蒲鉾）状の複雑な鏡面反射物体である半田表面を有する半導体チップの位置検出手法に関して考察し、その自動ワイヤボンディング装置への応用について述べ、第3章では高密度基板

と実装部品の位置検出手法に関して考察し、基板組立装置への応用について述べる。第4章では物体表面に捺印されたパターンの欠陥検出手法について考察し、第5章では捺印パターンの欠陥検出装置方式について考察し、その電子部品の捺印検査装置への応用について述べ、第6章では、電子部品のプラスチック表面の欠陥検出手法とその外観検査装置への応用について述べる。さらに、第7章では、以上の諸結果を踏まえ、さらに将来、一層の高速化をはかるための基本的画像処理手法として、画像パターン中から特定の図形と類似した図形を抽出するテンプレートパターンマッチング法の高速化手法について考察し、第8章では、位置決めの際に重要でかつもう一つの基本的画像処理手法である2値画像の回転手法に関し、その高速化手法について述べる。この第7章、第8章の成果は、本研究で対象とした生産応用のための画像処理技術としてだけでなく、今後、オフィスオートメーション用の画像処理にも適用可能な新しい手法を与えるものである。

第2章 半田表面を有する半導体チップの自動位置検出手法

半導体の自動組立作業では、半導体チップの表面に形成された電極と外部の端子とを金属線で配線する。この時、一般には、チップの位置がずれて供給されるため、チップ表面の電極の位置を高精度に検出する必要がある。本章では、半田電極を有する半導体チップの位置を自動的に検出する実用的な手法を報告する。これまでも、アルミニウム電極を有する半導体チップに対しては、位置検出技術が開発されている。しかし、対象とした半田電極系チップでは、アルミニウム電極系チップのように表面が平坦ではなく、チップ表面が半田の盛上がった凸曲面（蒲鉾）状の複雑な鏡面反射体になっていることや、チップの台座への溶着時に、位置が大きくずれるため、位置精度が悪いといった特有の課題があり、従来技術をそのまま適用することはできない。そこで、先ず、半田電極系チップの位置検出課題を示し、次いで、鏡面反射物体であるチップ表面が傾いても安定した画像が得られるよう新しく考案した円錐状照明方法を述べる。さらに、テンプレートパターンマッチングを改良した新しい位置検出手法を提案する。さらに、実際のチップに対して位置検出実験を行い、有効性を確認する。

2. 1 緒言

半導体の組立工程の自動化は、電子部品の製造においてコスト、信頼性の面から重要な課題である。この半導体の組立とは、半導体の薄片（チップ）上に形成された電極と外部端子との間に配線を行う作業である。この半導体などの微小電子部品の自動組み立てには、チップ上の電極位置を自動検出し、その位置情報を基に精密にチップを位置決めする必要がある。このため、人工視覚を用いた高精度な位置検出手法の開発が半導体の自動組立のための重要な課題となっていた。本章では、最も難しいものとして自動化から取り残されていた半田表面を有するパワートランジスタチップを対象として、自動的にその電極位置を検出する手法を提案する。このパ

ワートランジスタは高電圧電力スイッチング等に用いられるもので、チップの電極が半田で覆われている。

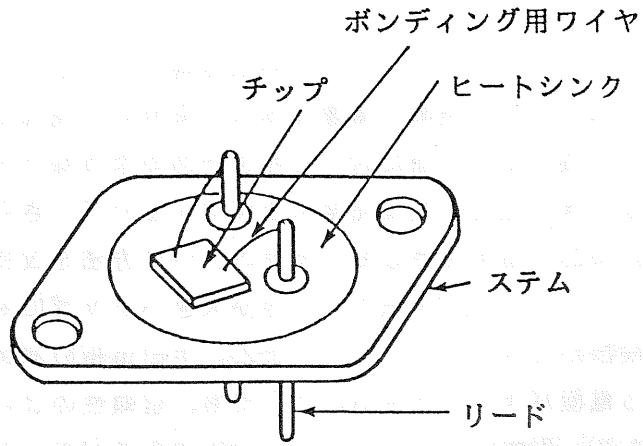
従来より、組立作業を初めとするさまざまな生産工程において、人工視覚を用いた自動化の研究が行われており^{〔1〕}、特に、半導体などの微小なチップ上に形成された電極位置を検出するものとしては、例えば、小信号トランジスタ^{〔2〕〔3〕}、集積回路、大規模集積回路^{〔4〕}、混成集積回路^{〔5〕}などの位置検出手法が開発されており、それらはすでに実用化されている^{〔2〕-〔5〕}。これらに使われている位置検出方法としては、(1)標準的な部分パターンを辞書パターンとして画素ごとの照合をとるテンプレートパターンマッチング法^{〔2〕〔3〕〔6〕}、(2)電極を囲むような矩形マスクを走査し、矩形の外周が白で中央部が黒である位置座標を求める矩形マスク走査法^{〔9〕}、(3)濃淡画像に対し水平及び垂直方向の微分を行いチップのエッジ位置を抽出し、これを基にチップの位置、姿勢を求める方法^{〔6〕〔7〕}、がある。これらが対象とした半導体は、いずれも、チップ表面の電極がアルミニウムで形成されており、その表面は平坦である。また、酸化シリコンで形成された絶縁部が鏡面反射光物体であるのに対して、アルミニウム電極は拡散反射光物体である。このため、チップに斜め方向から照明を加える斜方落射照明法などにより、容易にコントラストのよいチップ表面パターンを撮像することができた。ところが、本章で対象とした半田電極を有する半導体チップは、電極が凸曲面(蒲鉾)状の半田で形成されており、次節で述べるように、半田電極の特有の問題があり、従来技術をそのまま適用することはできない。例えば、(1)を直接適用する方法では、半田電極の蒲鉾状の盛り上がった形状のばらつきに起因する白黒パターンの変動が考慮されておらず、白黒パターンの変動によりマッチングの程度が低下し位置検出の信頼性が低くなる。また、(2)の方法では、電極を囲む矩形でかつその外周が白である領域を設定する必要があるが、これは半田電極表面のパターンが複雑であるため困難である。また、(3)の方法では、チップの輪郭を検出しているが、製造工程においてウェハをチップに裁断する際に、チップの輪郭と内部の電極パターンの間にはずれが生じており、チップの輪郭位置を基準にしているのでは高い位置検出精度を得ることは難しい。このため、上述の諸位置検出法をそのまま応用することは難しく、半田電極を有する半導体チップに対する実用的な検出手法の開発が重要な課題と

なっていた。

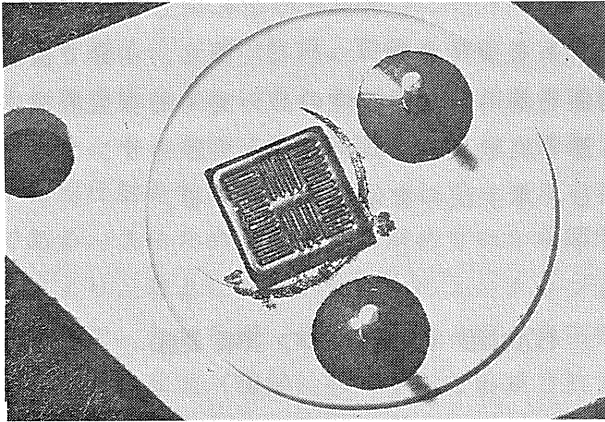
本章では、蒲鉾状に盛り上がった半田電極を有するパワートランジスタチップを対象に、その照明・撮像光学系を解析し、鏡面反射光物体でありまた対象が光軸に垂直な面に対して傾きがあるようなチップ表面の画像を安定に撮像できる照明・撮像光学系を開発する^{〔10〕}。さらに、チップ位置を自動的に検出する手法として、上述の(1)の方法を改良した手法を提案する^{〔10〕}。この手法は、回転ばらつきが大きいチップに対して、信頼性のよい位置検出ができるものである。また、半田電極の蒲鉾形状のばらつきに起因する電極パターンの変動に対しても、信頼性のよい位置検出ができるものである。先ず、第2.2節で、半田電極系パワートランジスタチップの位置検出課題を示す。そして、第2.3節で鏡面反射の光学的性質を持つ半田電極系パワートランジスタチップに対して安定な画像を得るための照明・撮像光学系を検討する。ついで、第2.4節で複数部分パターンの相互の配置関係を基にした信頼性の高い実用的な位置検出手法を述べる。最後に第2.5節で実験システムの構成と実際のサンプルを用いた位置検出実験結果を示し、本手法の有効性を検討する。

2. 2 位置検出の課題

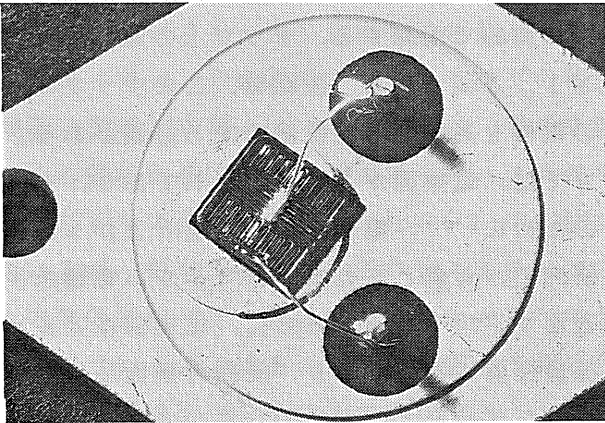
半田電極系パワートランジスタの組立では、図2.1に示すように約3~5mm平方のチップ表面に形成されている電極と外部端子(リード)との間を約0.2mm径の銅線で配線する。チップ上の電極の大きさは、代表的な例で、0.6×1.3mmである。配線時、このチップには位置ずれがあるため、チップの電極を高精度で位置決めする必要がある。このパワートランジスタチップでは、電極面が半田で覆われており、その形状は、表面張力(ぬれ性)のために^{〔11〕}、電極中央部が盛り上がった蒲鉾形状となっている。従来の研究で、対象とされたアルミニウム電極系半導体チップ^{〔2〕}^{〔3〕}では、電極表面が平坦である。さらに、電極部はアルミニウムで形成されているため拡散反射光物体であり、周囲の鏡面反射光物体である酸化シリコンで形成された絶縁部との光学的な差が大きく、安定してチップ表面のパターンを撮像することができた。それに対して、本研究で対象とす



(a) トランジスタの外観



(b) ボンディング前



(c) ボンディング後

図 2. 1 半田電極系パワー transistor

る半田電極系チップでは、チップ表面のパターンを構成する電極部と絶縁部ともに鏡面反射光物体であり、例えば対象の斜め上方から照明を加えるという斜方落射照明法^{〔14〕〔15〕}では、電極部と絶縁部に光学的な差がなく、チップ表面の明暗パターンを安定して得ることができない。さらに、チップの台座への溶着が半田によっているため、チップ表面が光軸に対して傾くことがあり、チップ表面の光軸直交面に対する傾き角は、最大±3度に達する。このため、対象の垂直上方から照明を加えるという通常の垂直落射照明^{〔14〕〔15〕}では明暗パターンが傾きによって変化し易く、安定な映像を得ることができないという問題がある。また、前述の蒲鉾形状は、チップによって一定となっておらず、斜方落射照明法では、明暗パターンがチップによって変化する。このようにチップ表面の状況が、従来対象としたアルミ電極系半導体とは著しく異なっており、チップ表面を撮像するための照明・撮像法に新たな工夫が必要となる。

また、従来、位置検出の対象とした小信号トランジスタチップ^{〔22〕〔23〕}の回転ずれは最大±15度であるのに比べ、半田電極系パワートランジスタチップでは回転ずれが最大±30度あり、この大きな回転ずれがあるチップパターンに対して信頼性よく位置検出を行う手法の開発が課題となる。さらに、目標とする位置検出精度は±50μmであるが、高精度な位置決めを実現するため、視覚フィードバック制御^{〔12〕}による位置決め方式を採用する。この位置決め方式は、人間の行う目と手のフィードバック動作を手本にし、対象チップの位置検出と位置修正を自動的に繰返して行うというものである。この方式により、撮像系のテレビカメラの像歪の影響を無視することができ、高精度の位置合せが可能である。また、目標とする認識率は99.5%以上、目標とする位置検出所要時間は平均0.5秒以下である。

以上に述べた半田電極系パワートランジスタの位置検出の課題をまとめると次のようになる。

①回転ずれの大きい（最大±30度）パターンに対する位置検出手法と、チップに対する位置検出と位置修正を繰り返す視覚フィードバック制御による高精度の位置決め方式

②蒲鉾状の盛上がった曲面を有する鏡面反射物体に対する撮像手法と、光軸に垂直な面に対する傾き（±3度の範囲）がばらつく鏡面反射物体に

対して安定な映像を得るための光学系

これらの課題を解決するため、次節以降に述べるような実用的な光学系を開発し、さらに、テンプレートマッチング法を改良して新たな位置検出手法を実現する。

2. 3 撮像・照明光学系

2. 3. 1 撮像光学系の検討

チップ表面を撮像する光学系を設定するために、テレビカメラの視野の大きさ、倍率、対象と撮像レンズ間との距離を検討する。視野の大きさはチップの供給誤差と検出目標の電極の大きさことから定まる。これは、チップ供給時の位置ずれによっても、検出目標が視野内に入る必要があるからである。対象とした半田電極系パワートランジスタでは、位置検出の目標である電極の大きさは横幅 $0.6 \times$ 縦幅 1.3 mm である。また、チップ供給時の誤差は、回転ずれを換算して位置ずれに加算して、 $\pm 1.7 \text{ mm}$ である。ここで用いる工業用テレビカメラは横 320 画素 \times 縦 240 画素であり、処理対象である画像の1画素の大きさを $20 \mu\text{m}$ とすると、視野の短辺の大きさは 4.8 mm 、視野の長辺の大きさは 6.4 mm となる。なお、撮像倍率は 2.0 倍に設定する。さらに、実際の自動組立装置では、チップに対する位置決め機構部が対象と撮像レンズの間に配置される。このため、焦点距離が 105 mm である写真機用望遠レンズを用いて、対象チップと撮像レンズの間の作動距離を 149 mm としている。これにより、位置決め機構部を対象チップと撮像レンズの間に配置できる。

2. 3. 2 照明光学系の検討

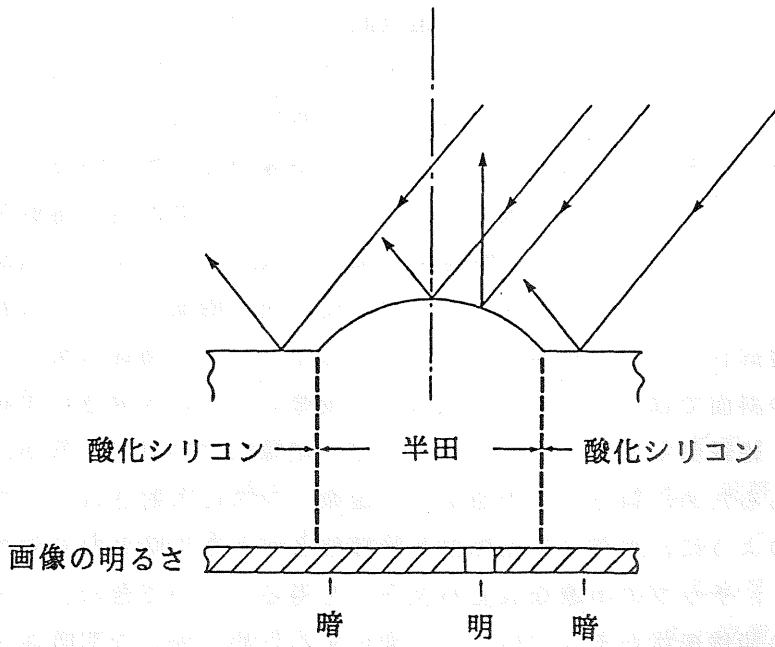
半導体チップなどの微小電子部品の位置検出では、照明方式の開発が、部品表面のパターンに対する信頼性の高い位置検出を実現する鍵となる。先に位置検出上の課題として述べた光学系の条件、即ち、蒲鉾状の盛り上がった曲面を有する物体を対象として位置検出を行うことができ、かつ、傾きを有する物体に対して安定な映像を得ることができるという条件を満たす光学系を開発する。そのため、従来から知られている照明法^{14) 15) 16)}として、斜方落射照明、拡散面照明、垂直落射照明を検討し、新たに、

照明光を円錐状に入射するという円錐状照明法を開発した。

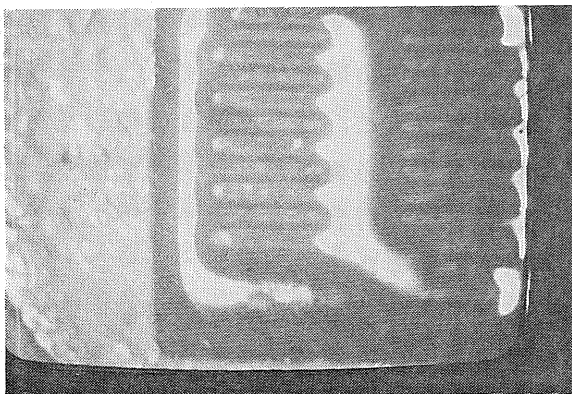
対象とする半田電極系トランジスタチップのパターンは、半田で覆われている電極部と酸化シリコンで形成される絶縁部とで構成されている。絶縁部、電極部とも鏡面反射体である。また、絶縁部は平坦であるが、電極部は中央が盛上がった蒲鉾形状になっている。このため、斜方落射照明法では、図 2. 2 に示すように、電極部の蒲鉾形状の斜面に斜め方向から入射した照明光が、斜面で正反射し、この正反射光が撮像レンズに入射されるため、蒲鉾状の半田の斜面の一部が明となる。一方、蒲鉾形状の頂上及び大部分の斜面では、正反射した照明光が撮像レンズに入射されず暗となる。また、絶縁部も暗となる。何故ならば、絶縁部は平坦であるが、鏡面反射体であるため、斜方からの照明光は撮像レンズに入射されないためである。このように、大部分の電極部と絶縁部とがともに暗となり両者の明暗差がなく、チップの明瞭な表面パターンを得ることができない。また、半田電極の蒲鉾形状がチップによって変化するため、安定な明暗像を撮像できない。

また、拡散面照明法では、通常、半球状の拡散板を設置し、多くの方向から対象の表面に対して照明を加える。しかし、この方法では、電極部及び絶縁部とも鏡面反射体であるため、両者とも明となり、明瞭なチップ表面パターンを得ることはできない。そこで、半球状の拡散板の光軸と交わる部分に円形の穴をあけ、垂直上方からの照明光は除外するという方法を検討した。この照明法では、図 2. 3 に示すように、電極部の斜面を明、絶縁部及び電極部の頂上部を暗とすることができるが、拡散反射光成分の大きさが小さく、このため映像の明暗比が低く、コントラストのよい映像を得ることが困難であった。また、この拡散面照明のためには拡散板の周囲に照明用光源を多数設置する必要があり、照明装置が大規模となる。実際の組立装置には、これらの照明装置を対象チップの近くに取り付ける空間がなく、実用上からも適切でない。

さらに、平行光を垂直上方から加える垂直落射照明法では、図 2. 4 に示すように、絶縁部に対して、正反射光を撮像レンズに取り込む。また、電極部に対しては、蒲鉾形状の頂上で正反射した照明光を撮像レンズに入射する。従って、蒲鉾形状の電極の頂上では明るくなる。一方、盛上がった電極部の斜面は暗く、また、平坦な絶縁部は明るい像となる。ところが、

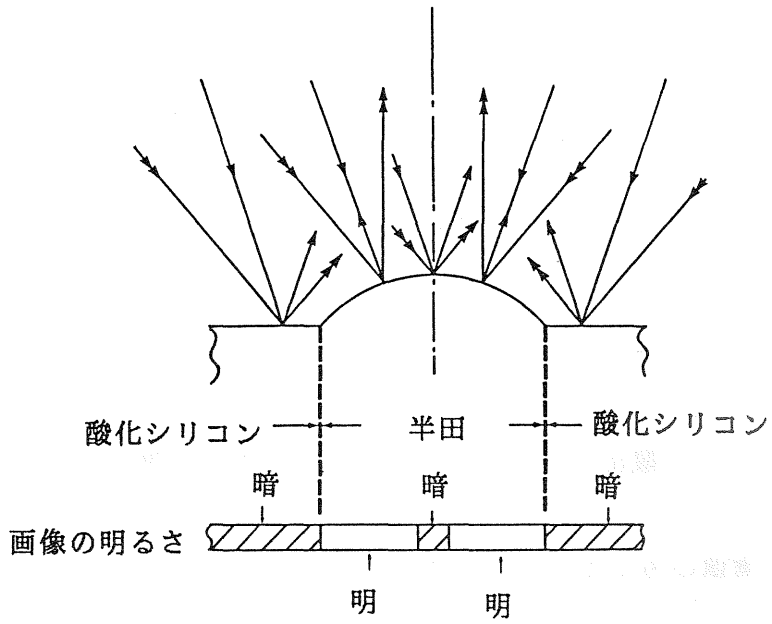


(a) 光路

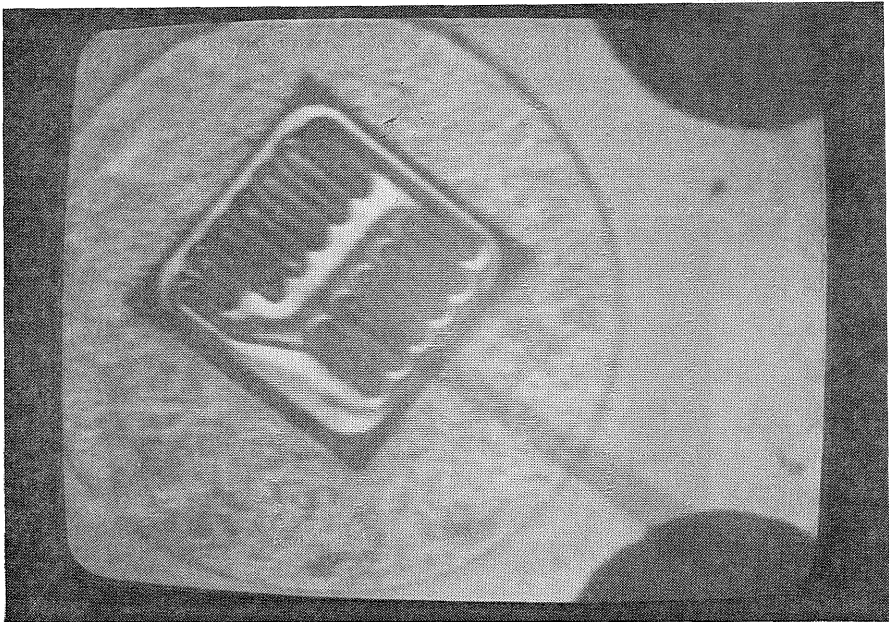


(b) チップ画像の例

図 2. 2 斜方落射照明法

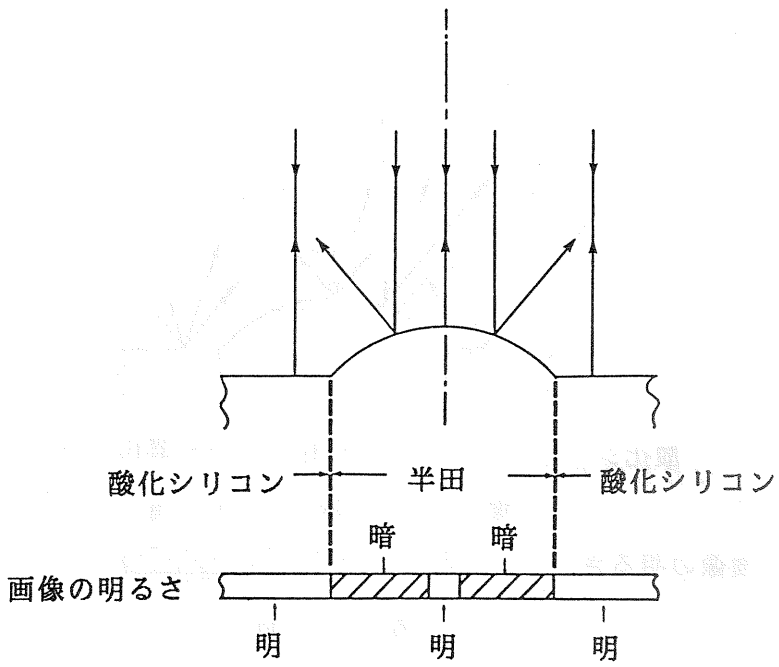


(a) 光路

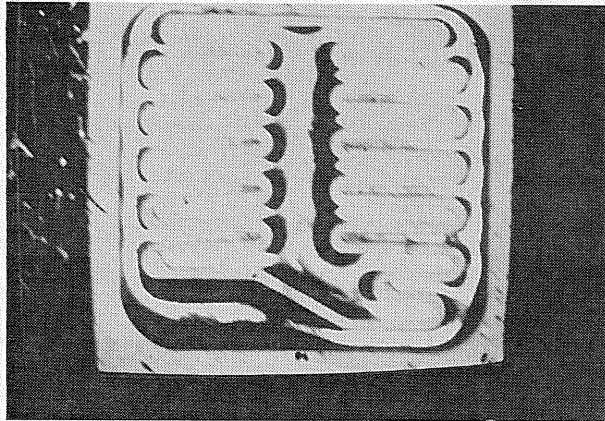


(b) チップ画像の例

図 2. 3 拡散面照明法



(a) 光路



(b) チップ画像の例

図 2. 4 垂直落射照明法

この垂直落射照明法では、対象とするチップが撮像系の光軸に対して傾いた場合、明暗パターンが変化し、安定な映像が得られないという問題がある。即ち、チップが傾くと、垂直上方から入射した照明光は絶縁部で反射されるが、その鏡面反射光は光軸からずれるため撮像レンズに取り込むことができない。そのため、チップが傾くと絶縁部は明から暗へと変化し、安定な映像が得られない。

そこで、以上の照明法の検討を背景にして、新たに、照明光を円錐状に入射する円錐状照明法を開発し、チップが傾いても安定な映像を得られるようにした。この円錐状照明法は、口径の大きい照明用のレンズを用いて投光し、照明光を円錐状に対象に入射する照明方法である。ここでは、光源の照明用レンズによる結像面が対象面の下方になるよう設定している。この円錐状の照明では、チップに傾きがある場合に、垂直上方から絶縁部に入射した照明光の正反射光は光軸からはずれ撮像レンズに入らないが、ある角度で斜め上方から平坦な絶縁部に入射した照明光の正反射光は、撮像レンズに入るため、絶縁部は明るくなる。そのため、チップが傾いた場合でも、絶縁部は安定に明とすることができる。図2.5はこの照明方式の説明図である。光源から照射された光が照明用レンズを介して、観測点に入射し、その正反射光が撮像レンズに入射される光路を示す。ここで、照明用レンズと対象との距離を a 、対象と撮像レンズとの距離を b 、照明用レンズと光源の結像面との距離を c 、照明用レンズと光源との距離を d 、観測点と光軸との距離を x 、対象の水平面に対する傾斜角を ω とする。今、光軸から距離 s だけ離れた光源のある点（放射点と呼ぶ）から放射された光が、照明用レンズの光軸から距離 l だけ離れた点を通り（この点を通り点と呼ぶ）、対象面で正反射し、その正反射光が撮像レンズに入射されるとする。この時、傾斜角 ω 及び光源の放射点の距離 s は、簡単な幾何計算により、次式で表される。

$$\omega = \{ \tan^{-1}((l-x)/a) - \tan^{-1}(x/b) \} / 2 \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$s = (d/c) \{ x - (l-x)(c-a)/a \} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

対象の傾斜角 ω と照明用レンズの通過点の光軸からの距離 l との関係を上式によって計算によって求めたものを図2.6(a)に示す。また、光源

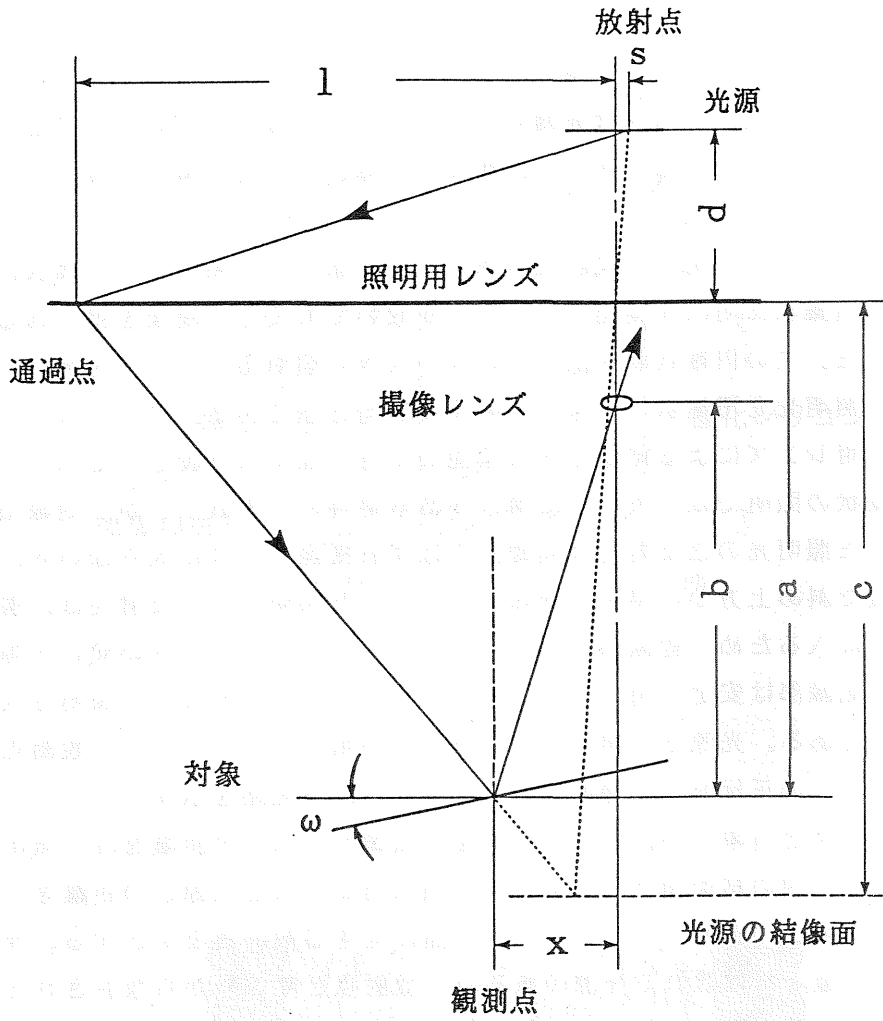
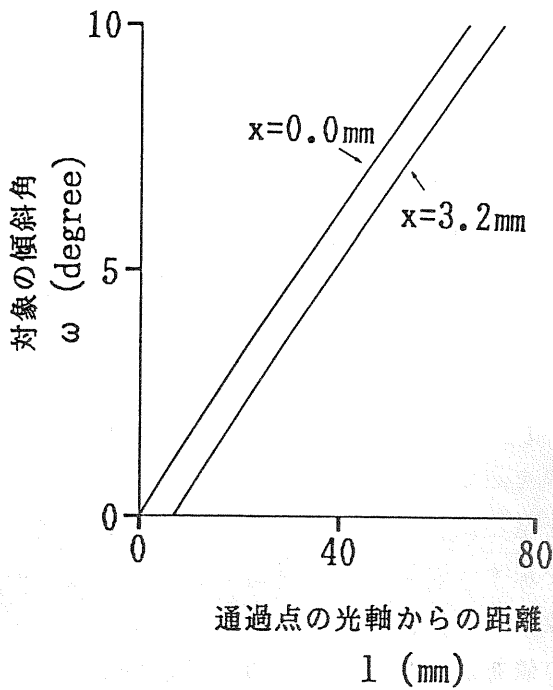
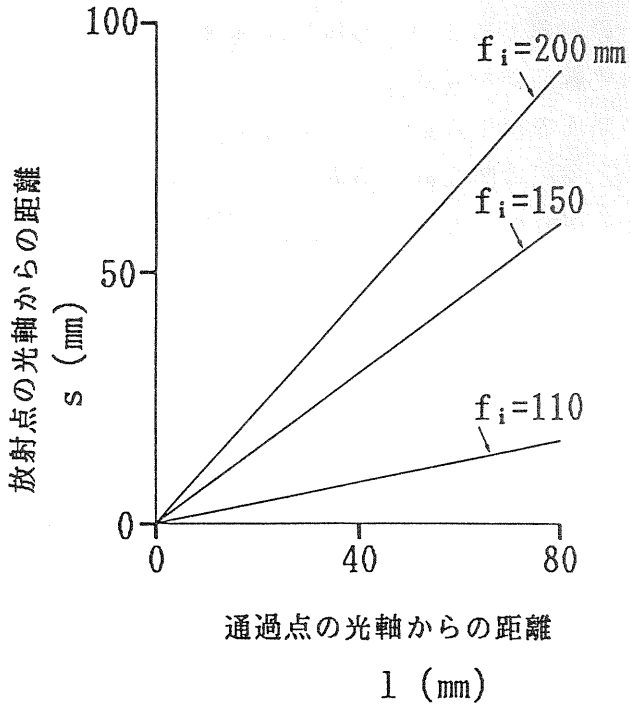


図 2. 5 円錐状照明法の光路



(a) 傾斜角

f_i : 照明用レンズの焦点距離



(b) 放射点の光軸からの距離

図 2. 6 円錐状照明における対象の傾斜角と光源の大きさ (計算値)

上の放射点の光軸からの距離 s と照明用レンズ上の通過点の光軸からの距離 l との関係と同じく求めたものを同図 (b) に示す。ここでは、後述する実験システムで用いたパラメータ、 $a=180\text{mm}$ 、 $b=149\text{mm}$ 、 $d=225\text{mm}$ に対して計算した結果を示している。また、 $x=3.2\text{mm}$ としているのは、観測点が丁度、視野の境界にある場合に相当する。この図から分かるように、傾斜角 ω が 3 度の場合でも、正反射光が撮像レンズに入射されるためには、通過点の距離 l が約 26mm となっており、この値より半径が大きい照明用レンズを使う必要がある。また、この時、放射点の距離 s は、焦点距離 $f_i = 110\text{mm}$ の照明用レンズを用いた場合で、約 5mm であり、この値より大きいサイズの光源を設定する必要がある。

上述の検討を基に試作した光学系を図 2. 7 に示す。また、表 2. 1 に光学系の仕様を示す。この光学系を用い、チップ表面を撮像し、チップの傾きに伴う映像信号の実測値を図 2. 8 に示す。ここでは、映像信号から対応する個所の値を求めている。この実測結果により、チップの傾斜角 ω が ± 3.5 度に対しても安定な映像レベルを有していることがわかる。なお、ここでは、むらのない照明を加えるため、ハロゲンランプの光を反射鏡で集光してくもりガラスに集め、一様な明るさの光源を作っている。

位置検出の対象である半田電極は、蒲鉾状の半田になっており、その周囲を平坦な絶縁部が取り囲んでいる。ここでは、図 2. 9 に示すように、半田電極の断面のモデルを設定し、観測される半田電極の明暗のパターンを考察する。半田の断面は、簡単のため、円の一部とみなし⁽¹³⁾、円の半径を r 、その中心と絶縁部の平面との距離を v 、そして、電極の大きさ（横幅）の半分を w 、とする。今、この円の中心が簡単のため光軸上にあるとすると、光軸から距離 x にある半田面の傾斜角 α は、単純に次式で表される。

$$\alpha = \sin^{-1}(x/r) \quad \dots \dots \dots (2. 3)$$

但し、

$$r = (v^2 + w^2)^{1/2} \quad \dots \dots \dots (2. 4)$$

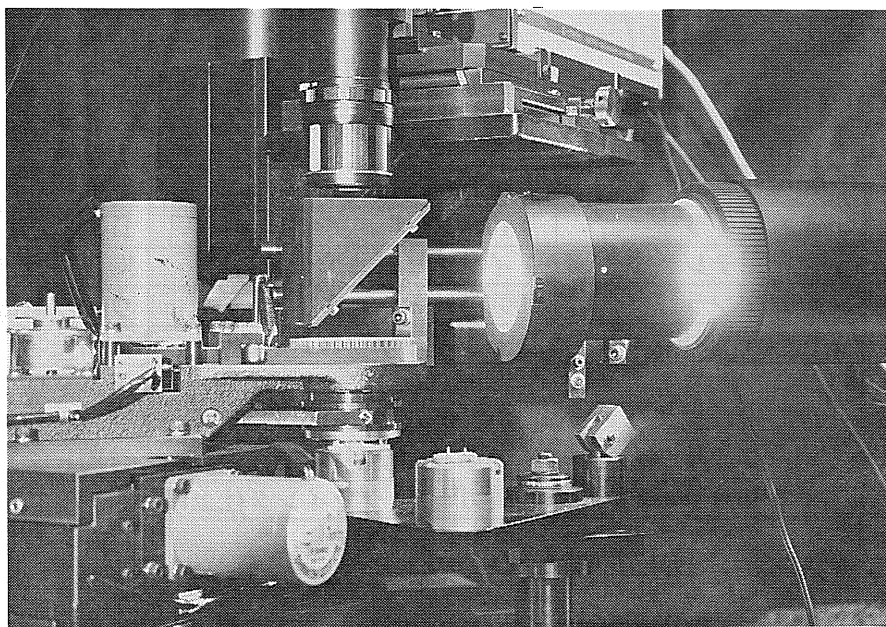


图 2. 7 实验用光学系

表 2. 1 光学系の仕様

項目	名 称	仕 様	備 考
撮 像 系	撮像レンズ	f 105mm F16	旭光学
	全反射ミラー	φ 40mm × t 5mm	日本真空光学
	工業用テレビカメラ	1 インチビジコン管	HV16SJ, 日立電子
照 明 系	ハロゲンランプ	100V 100W	ウシオ電機
	楕円面反射鏡	コールドミラー, 口径99mm	山田光学
	冷却ファン	50001/min	日本ブローア
	照明用レンズ	口径100mm, f110mm	
	ハーフミラー	透過率38%, 反射率58%, 吸収4%	溝尻光学
	くもりガラス	石英ガラス, グラインダ仕上げ	

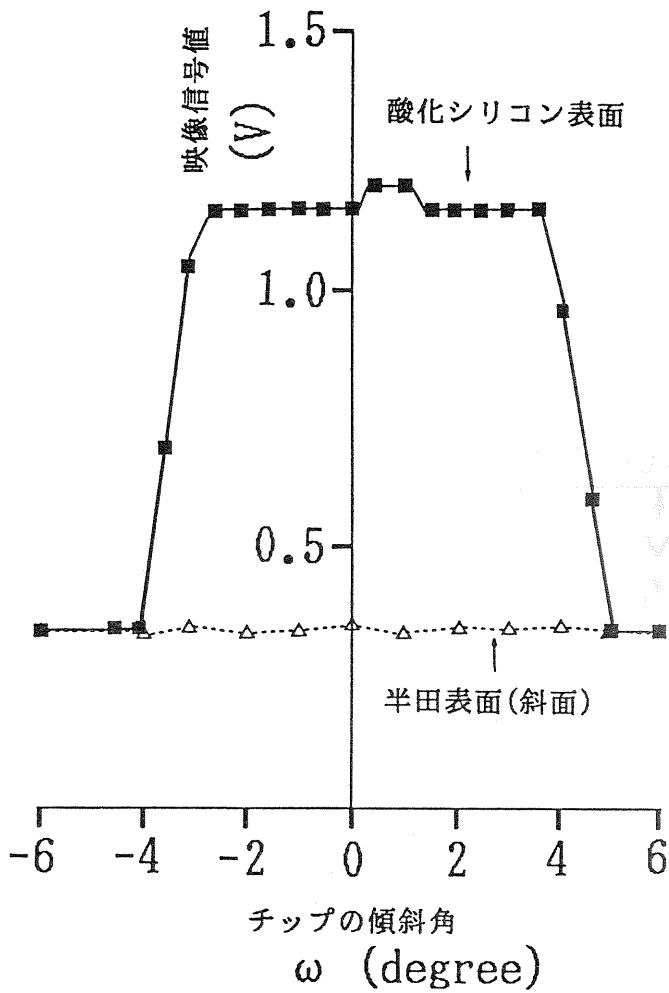


図 2. 8 チップ表面の映像信号値

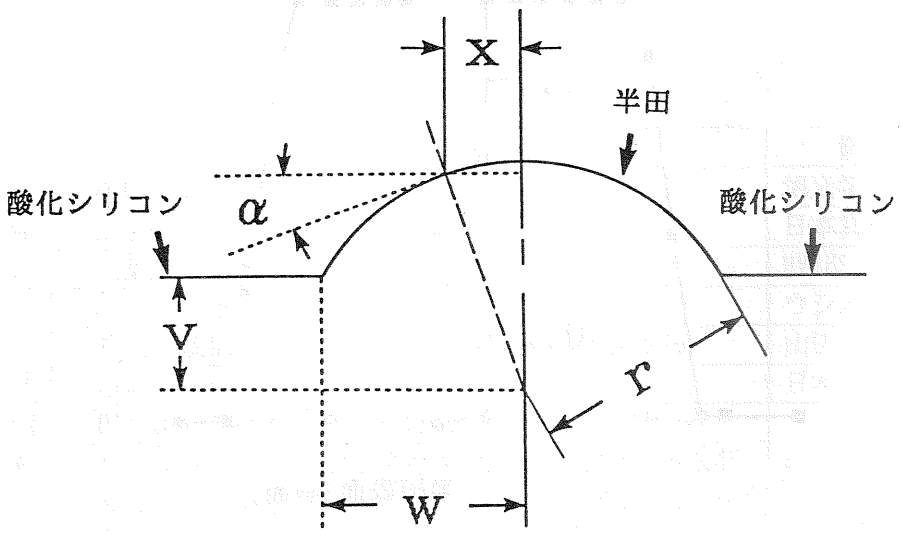


図 2. 9 チップ断面のモデル

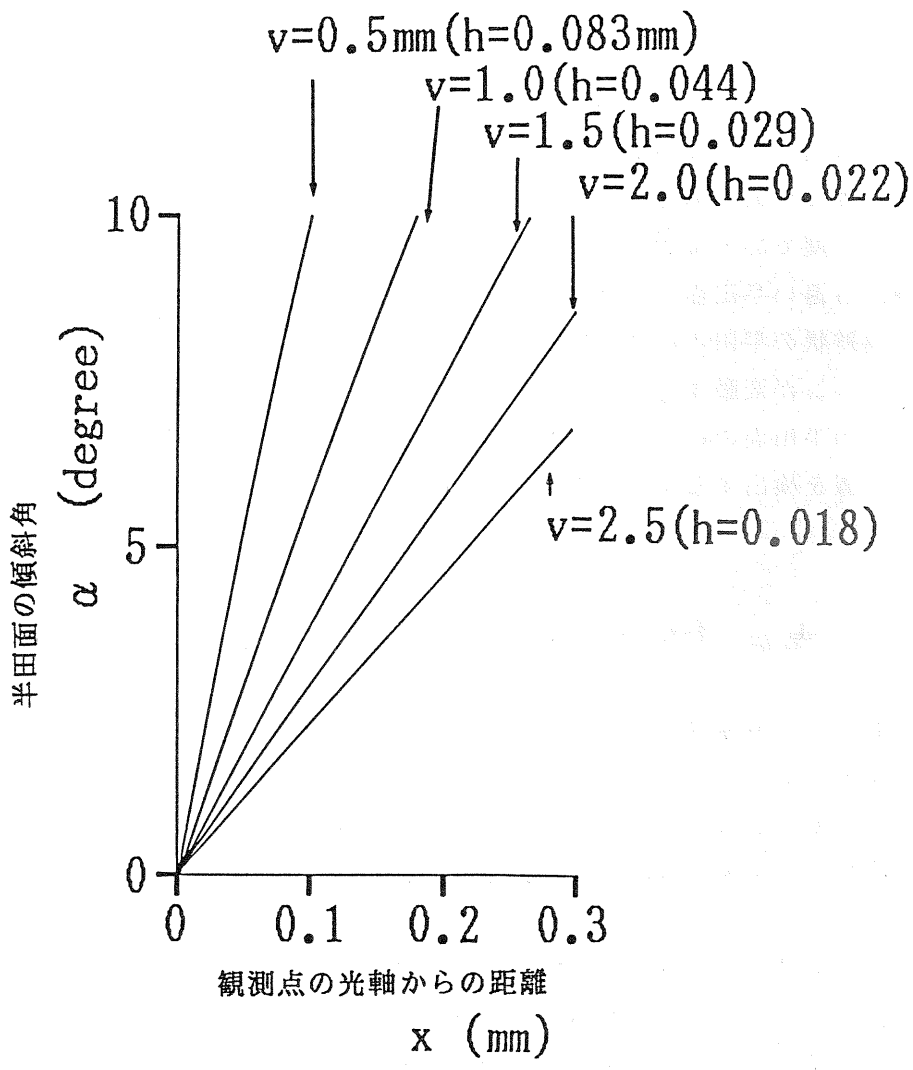


図2. 10 半田表面の傾斜角 (計算値)

である。上式を基に、光軸からの距離が x である位置の半田面の傾斜角 α を、半田面の頂上部の高さ h ($h = r - v$) をパラメータとして求める。この計算値を、図 2. 10 に示す。なお、ここでは、 $w = 0.3\text{mm}$ であり、また、簡単のため、チップの傾斜角 ω は、零値としている。試作した光学系では、既述のように、対象面が光軸に垂直な面から 3.5 度傾いても、その対象面は明となる。従って、同図において、例えば、半田面の頂上部の高さが $h = 0.029\text{mm}$ であると、光軸の位置 $x = 0.0\text{mm}$ から半田面の傾斜角が 3.5 度である位置 $x = 0.08\text{mm}$ までの間の半田面は明となり、それより光軸から遠い半田面 ($x = 0.08 \sim 0.3\text{mm}$) は暗となることが分かる。また、この蒲鉾状の半田の高さがチップによってばらつくと、頂上部付近の明暗のパターンが変動することが分かる。このため、次節で述べるように、蒲鉾形状の半田面のばらつきに起因するパターンの変動に対しても、信頼性よく位置を検出する手法を開発する必要がある。

2. 4 位置決め手法

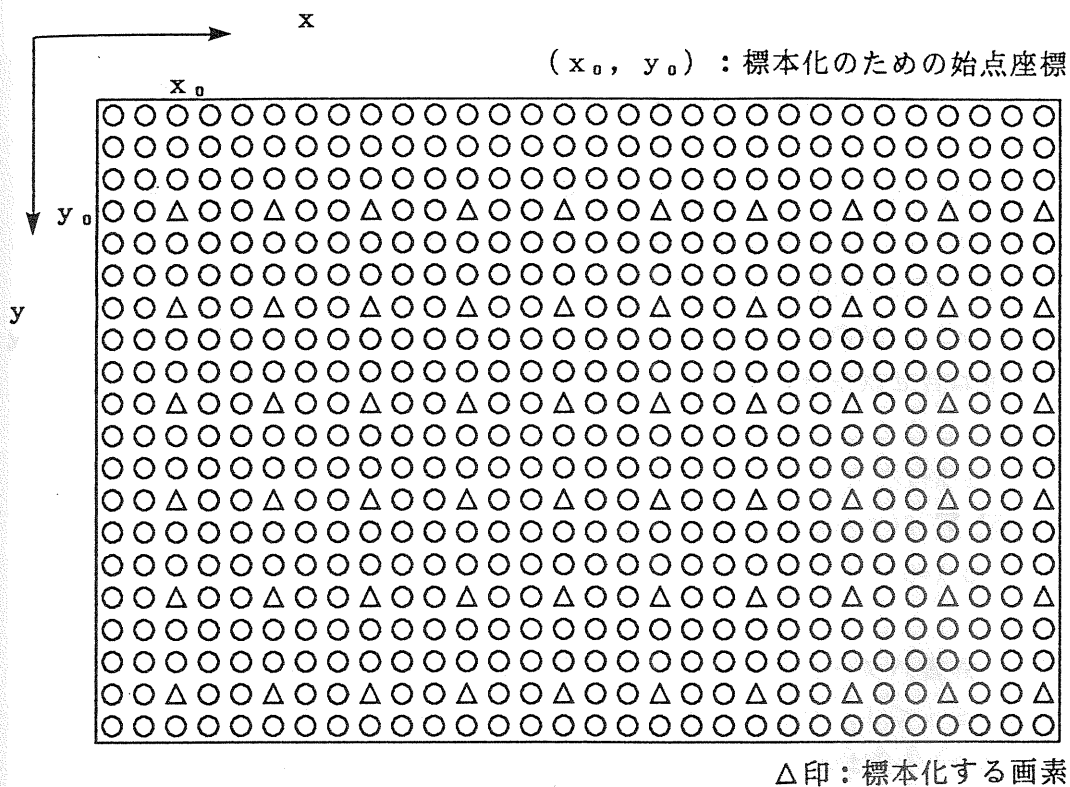
2. 4. 1 半導体チップ位置検出手法

半導体チップに対する位置検出の方法として、部分的なパターンとの画素ごとの照合を求めるテンプレートパターンマッチング法¹⁾²⁾を基に、小信号トランジスタの位置検出方法²⁾を改良した実用的な手法を提案する。

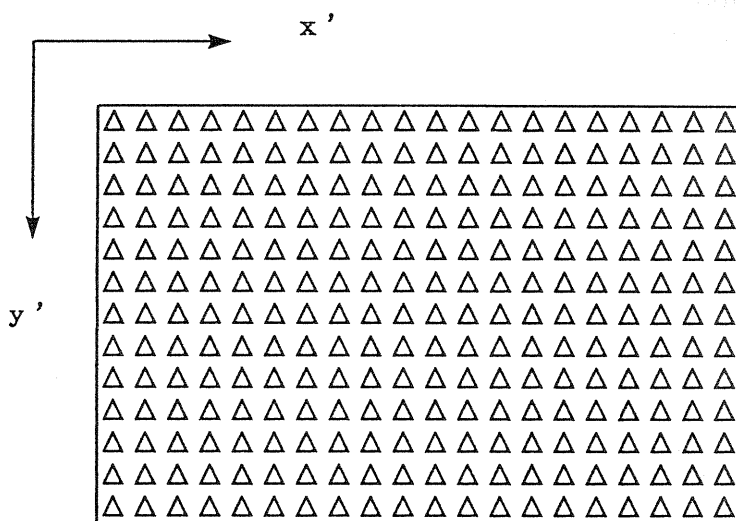
(1) テンプレートパターンマッチング法

ここでは、テンプレートパターンマッチング法の基礎事項を述べる¹⁾²⁾。今、図 2. 11 に示すように画像の横方向を x 座標、縦方向を y 座標にとり、対象とする 2 値画像を $f(x, y)$ とする。照合のためにこの対象画像からは間引いて画素をとりだすものとする。この標本化する画素の座標を次式で表す。

$$\left. \begin{aligned} x &= \xi \cdot x' + x_0 \\ y &= \eta \cdot y' + y_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2. 5)$$



(a) 対象画像 $f(x, y)$



(b) 標本化後の画像

図 2. 1 1 テンプレートパターンマッチング法の座標系

但し、 ζ 、 η は画素に対する標本化の間隔であり、 (x_0, y_0) は標本化のための始点座標である。また、 (x', y') は標本化後の画像の座標である。

この時、図 2. 12 に示すように標本化した画像のある注目点 (▲印で示す) を中心として大きさが横 $J \times$ 縦 K 画素の部分パターン (小さな黒枠で示す) を切り出し、この切り出した部分パターンと標準的なパターン $g(j, k)$ (辞書パターンと呼ぶ) との照合で不一致となった画素数、即ち、重ね合せ誤差 ϕ は次式で表される。

$$\phi = \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{k=0}^{K-1} f\{\zeta \cdot (x' + j - [J/2]) + x_0, \eta \cdot (y' + k - [K/2]) + y_0\} * g(j, k) \quad (2. 6)$$

但し、辞書パターンを $g(j, k)$ とし、その大きさは $J \times K$ 画素とする。 j 、 k は $0 \leq j < J$ 、 $0 \leq k < K$ なる整数である。また、記号 $*$ は 2 を法とする加算を、 $[]$ はガウス記号を表す。ここでは $J = K = 12$ である。

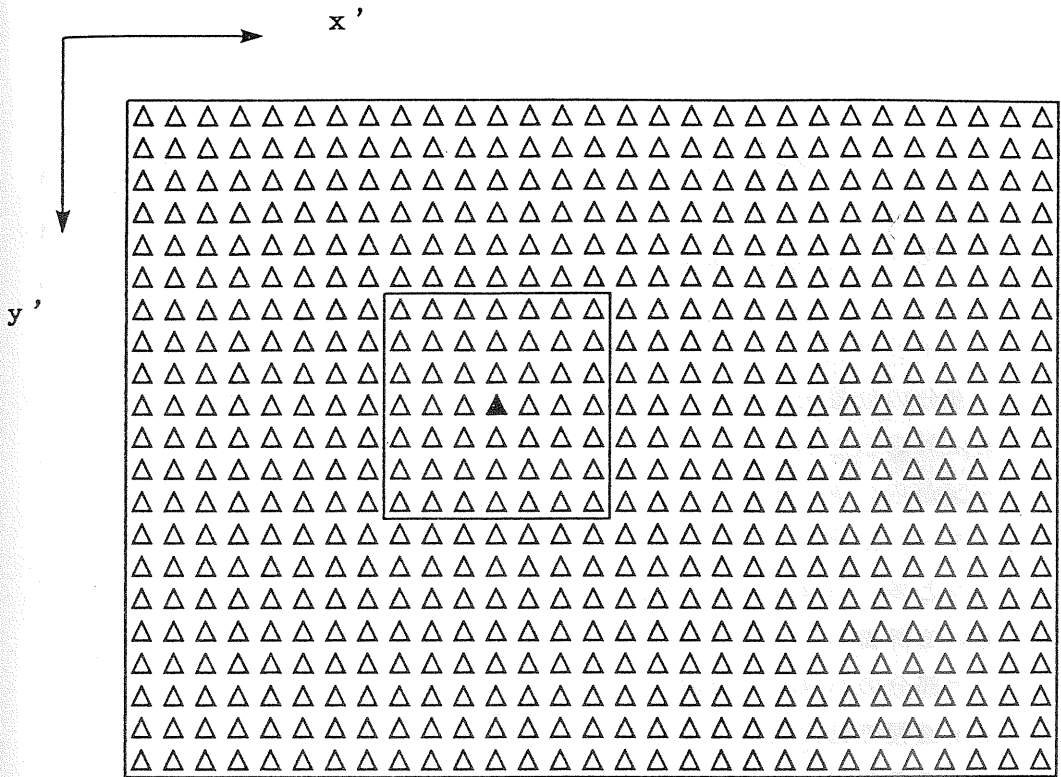
テンプレートパターンマッチング法では、上述の注目点を対象画像のある範囲 (探索領域) において、横方向に次いで縦方向に移動しながら求めた不一致画素数の最小値を取り出している。従って、テンプレートパターンマッチング法の出力は、この不一致画素数 ϕ の最小値 ϕ_m 、

$$\phi_m = \min (\phi) \quad \dots \dots \dots (2. 7)$$

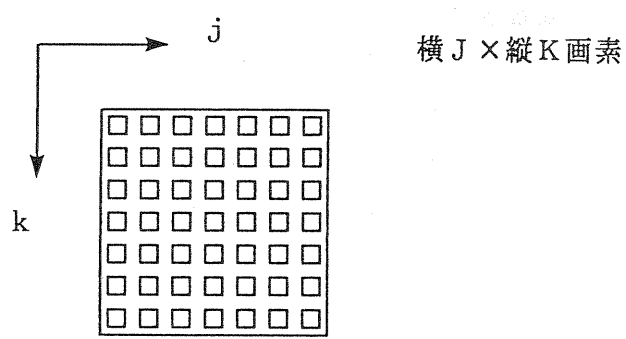
但し、

$$(\zeta \cdot x' + x_0, \eta \cdot y' + y_0) \in W$$

と、その時の対象画像中の位置 $x = \zeta \cdot x' + x_0$ 、 $y = \eta \cdot y' + y_0$ である。ここで、 W は探索領域であり、対象画像中で画素ごとの照合を行う範囲である。なお、この出力位置 (x, y) は対応する辞書パターンの中心位置に相当している。また、ここでは画素ごとの照合においてとりだす画素位置は、探索領域を越えてもよいとしている。さらに、実用的には、辞書パターンは他



(a) 標本化画像から切り出したパターン



(b) 辞書パターン $g(j, k)$

図 2. 1 2 辞書パターンとの照合の説明

に存在しないよう特徴のある部分パターンを選ぶ必要がある⁽²⁾。

(2) 位置検出の手順

位置検出の手順は2段階とし、半田電極の概略位置を求める粗位置検出の過程と、求めた概略位置を基に精密な位置を求める精位置検出の過程とからなる。図2. 13に位置検出の概略手順を示す。まず、粗位置検出過程では、撮像した画像全面を探索領域に設定し、サンプリング間隔を2つおき($\xi = \eta = 3$)にし、辞書パターンとの照合を行うテンプレートパターンマッチング法により、図2. 14に示すように、黒枠で示した電極のコーナ部分の位置を求める。この時、後述するように ± 30 度まで7種類の回転に対応した辞書パターンを用意しており、順次、回転角0度の辞書パターンから、 $+10$ 度、 -10 度、 $+20$ 度、 -20 度、 $+30$ 度、 -30 度までの辞書パターンに対して、画素ごとの照合を試行する。更に、白部の少ないパターンと多いパターンの2種類の辞書パターンを用意している。この過程で用いる辞書パターンの大きさは $720 \mu\text{m} \times 720 \mu\text{m}$ であり、電極のコーナ部分のパターンを辞書パターンとして予め採取している。この粗位置検出過程では、電極の4つのコーナ部の内、3つ以上のコーナ部の位置が検出できれば、粗位置検出は成功したと判定する。この判定は、後述の幾何構造の判定の項で述べるが、3つ以上の電極コーナ部の相互の位置関係を検定するものである。求めた3つ以上のコーナ位置座標から、電極の中央位置を算出し、この位置を概略位置とする。次いで、精位置検出過程に移り、先に求めた概略位置を基に、点線の枠で示した絶縁部の先端エッジの位置を求める。その過程では、まず、絶縁部の先端エッジの部分パターン付近に狭い範囲の探索領域を設定する。この時、探索領域の大きさ及び、電極の中央位置から探索領域までの相対的な位置座標は、先端エッジの部分パターンがこの領域に入るように予め設定しておく。この精位置検出過程では、サンプリング間隔を密に($\xi = \eta = 1$)した $240 \mu\text{m} \times 240 \mu\text{m}$ の大きさの辞書パターンを用いたテンプレートパターンマッチング法により、先端エッジの部分パターンの位置を求め、検出したこれらの位置座標を基に、チップの回転角及び位置を算出する。なお、3個所の絶縁部の先端エッジの部分パターンを予め、辞書パターンとして採取している。

(3) 辞書パターンの設定

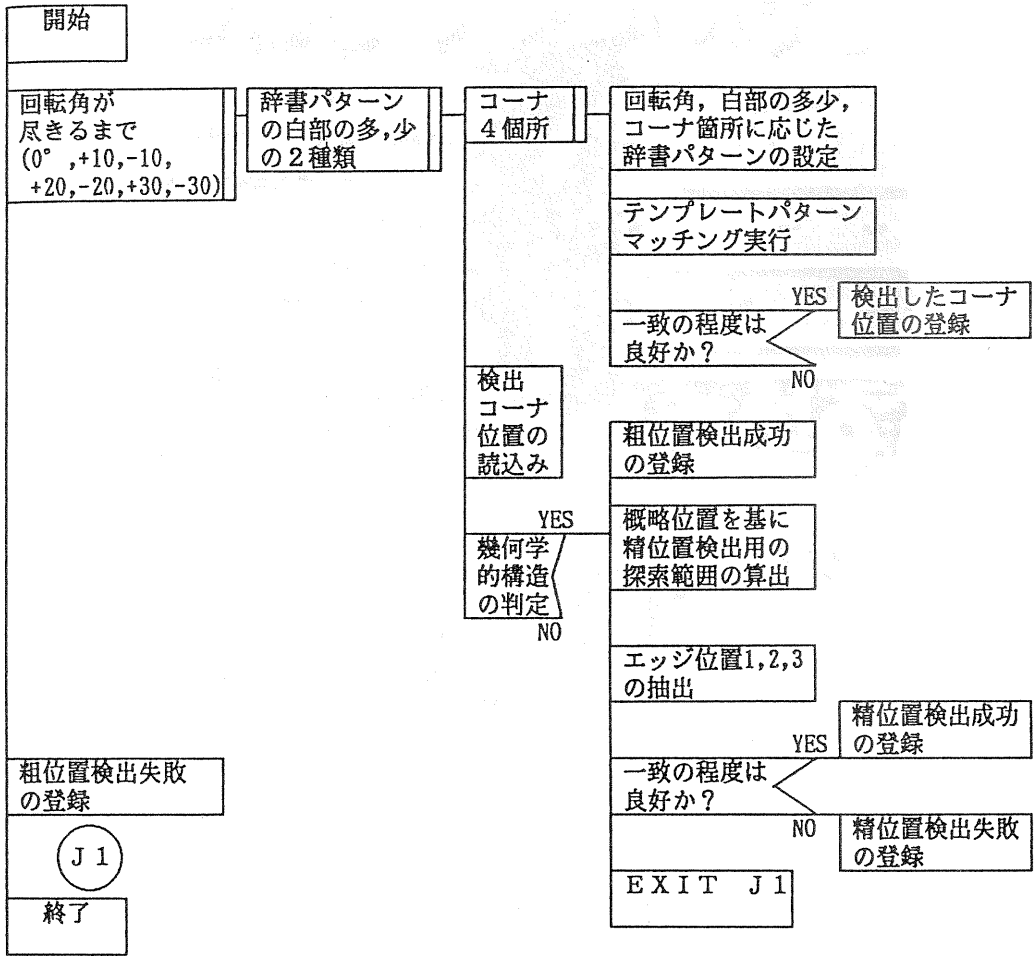


図 2. 1 3 位置検出の概略手順

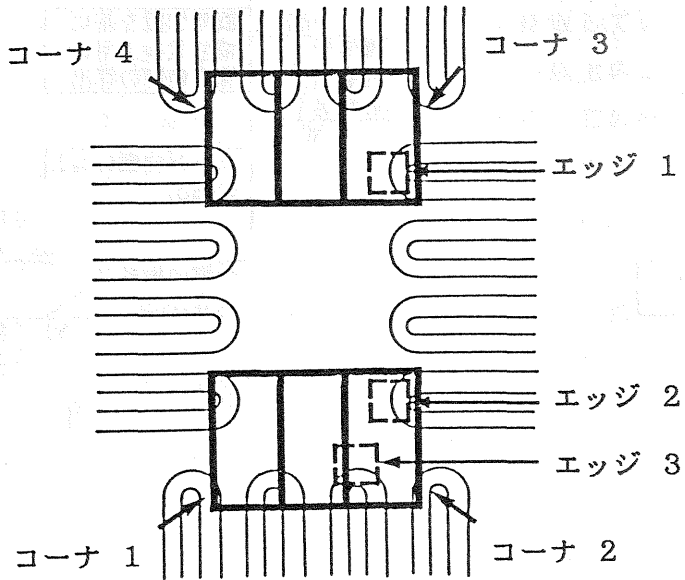
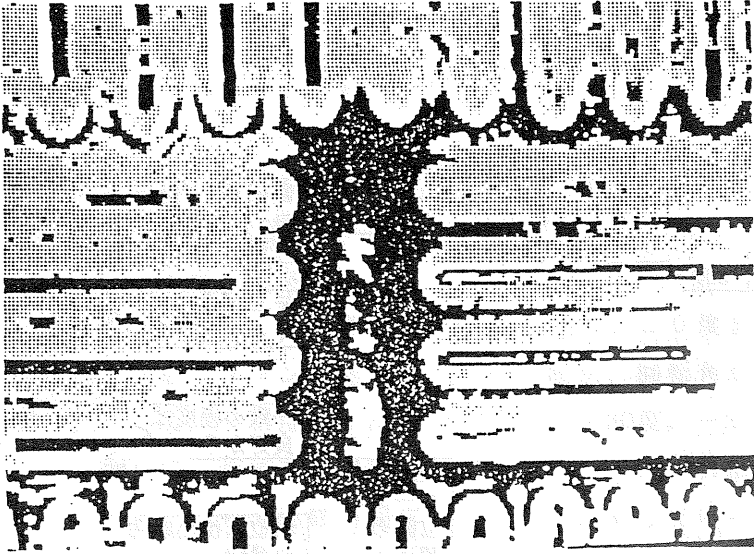
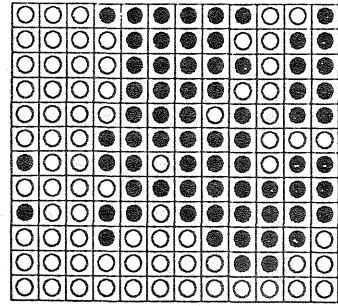
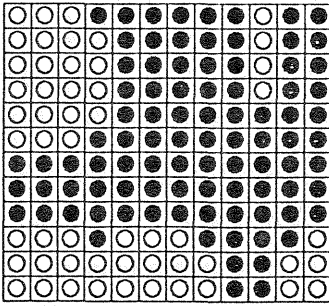


図 2. 14 半田電極の表面パターン

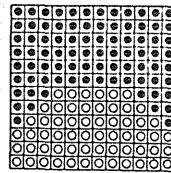
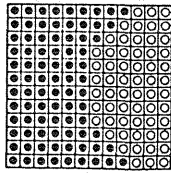
粗位置検出用の辞書パターンは電極部の4つのコーナ位置から採取している。対象とする半田電極系トランジスタチップは、回転に関する供給誤差が最大±30度であり、回転角が0度において採取した辞書パターンを用いて照合を行うと、対象パターンの回転が大きい場合、画素照合における誤差が大きくなり、正しく位置を検出することができない。従来より、小信号トランジスタを対象とした位置検出手法⁽²⁾では、回転角±10度の部分パターンを用意し、±15度の回転ずれのあるチップに対して位置検出を可能としている。そこで、本論文ではこの方法を拡張し、±30度まで7種類の回転に対応した辞書パターンを用意することとする。そして、順次、回転角0度の辞書パターンから、+10度、-10度、+20度、-20度、+30度、-30度まで、画素ごとの照合を試行する。

また、対象とする半田電極部の蒲鉾形状は、その形状が一定せず、盛上り頂上付近の白黒2値パターンは不安定であり、画素照合の信頼性低下の一因となる。粗位置検出用の辞書パターンでは蒲鉾形状の頂上部を含むため、この部分の画素値がチップごとに変動する。そこで、図2.15(a)に示すように、電極部コーナー箇所ごとに2種類の辞書パターンを用意する。一つは、蒲鉾形状の頂上において白部が少ないパターン、もう一つの辞書パターンは頂上において白部が多いパターンである。なお、蒲鉾形状の頂上は、ここでは、辞書パターンの右上部に相当する。この2種類の辞書パターンの白部の面積の差は、画素数にして、辞書パターンの全画素数の約25%となっている。電極部コーナの位置を画素照合によって求める際に、同一箇所に対応して、白部の少ないパターンと多いパターンの2種類の辞書パターンを用意しておく。そして、先ず、白部の少ない辞書パターンでテンプレートマッチングを行い、不一致画素数の最小値 ϕ_m が一定値以上かどうかを判定する。もし ϕ_m が一定値以上の場合、このマッチングの出力位置を用いず、次に移り、白部の多い辞書パターンを用いてテンプレートマッチングを再び行う。このように、白部の少ない辞書パターンと白部の多い辞書パターンを順次、使用してテンプレートマッチングを行うことにより、蒲鉾形状のばらつきに起因するパターンの変動に対しても位置検出を可能としている。

この粗位置検出において、予め設定している辞書パターンの個数は、電極コーナ4箇所、各コーナごとに白部の多少の2種類、さらに、回転に応



(a) 粗位置検出用の辞書パターン



(b) 精位置検出用の辞書パターン

図 2. 1 5 辞書パターン

じて7種類あり、従って、合計 $4 \times 2 \times 7 = 56$ 個である。また、同図(b)で示す精位置検出用の辞書パターンは、絶縁部の先端のエッジ3箇所から採取している。このように、3個所の部分パターンを用いるのは、チップの回転角と縦及び横方向へのずれ量を精密に検出するためである。

(4) 幾何学的構造の判定

従来より、小信号トランジスタを対象とした位置検出方法⁽²⁾では、 m 個の部分パターンの内、2個の位置を検出すれば、チップの位置検出は成功したとしている。そこでは、2個の部分パターン間の距離と方向を求め、正常な位置関係にあるかどうかを判定している。そして、高い位置認識率を実現するため、他に存在しない特徴的な部分パターンの個数 m を10個程度に設定している⁽²⁾。ところが、本論文で対象とした半田電極系トランジスタでは、チップ表面のパターンに特徴的な部分パターンが少なく、高々、電極のコーナ部4箇所($m=4$)を辞書パターンとして設定できるだけである。このため、部分パターンの個数 m を増加させて、高い位置認識率を達成するという従来の方法⁽²⁾を直接適用することは困難である。

幾何学的構造の判定では、一般的には、 m 個の部分パターンの位置のうち、 n 個以上の位置を正しく検出すれば、粗位置検出は成功したとすることが可能である。しかし、実用的には、この整数 m 、 n の選び方で粗位置検出における位置認識率や処理時間が異なる。そこで、本論文の粗位置検出過程では、実用的かつ簡便な判定法として、電極コーナ4箇所($m=4$)のうち、3箇所以上($n=3$)の位置を検出し、それらの部分パターンを対象とした幾何学的構造の判定を行い、この判定に合格すれば、粗位置検出は成功したとする方法を採用する。この幾何学的構造の判定は、検出した複数個の部分パターン間の相対的な配置関係が所定の範囲に入っているかどうかを検定することによって行う。

2.4.2 位置合せのための制御

検出対象であるチップの位置合せ過程は、図2.16に示すように、先ず、粗位置検出過程において、電極部の4個のコーナの内3箇所のコーナ位置を検出し、電極部の中央位置を算出する。次いで、求めた電極部の中央位置を基準に、精位置検出過程において、絶縁部先端のエッジ位置2箇所の位置を検出する。これらの位置を基に、チップの回転ずれの角度を算出する。チップの縦、横方向の位置ずれ、回転ずれが所定の値より大きけ

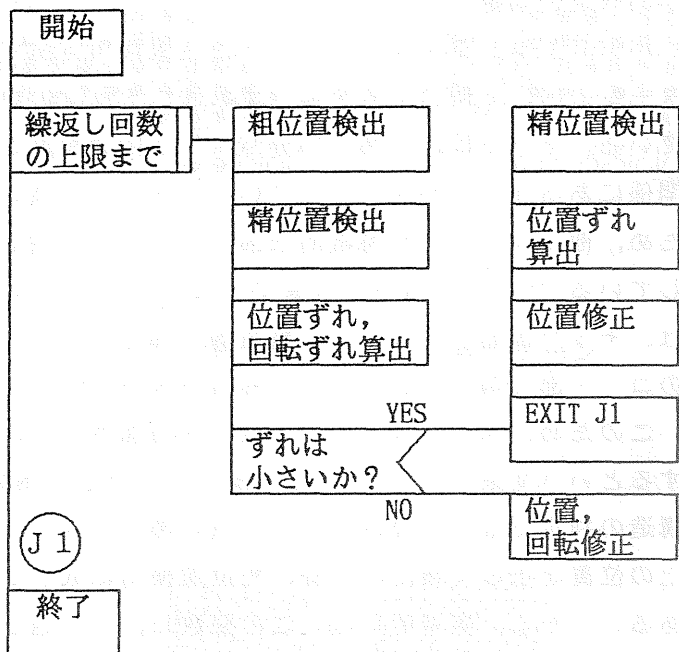


図 2. 16 チップの位置合わせ過程

れば、位置合せ用テーブルを駆動し、対象チップの位置及び回転姿勢を修正する。その後、再び、粗位置検出の過程に戻り、位置検出を行う。このようにして、所定の位置からのずれが小さくなるまで、粗位置及び精位置検出と位置修正を繰返し行う。この位置検出と位置修正を繰り返す制御を視覚フィードバック制御と呼んでいる^{〔12〕〔13〕}。さて、視覚フィードバック制御によって、所定の位置からのずれが小さく成ったと判定されると、位置合せの最終段階に入る。この段階では、チップの回転ずれが小さいので、縦及び横方向のみの精位置検出、位置修正を行う。つまり、粗位置検出によって求めた電極の中心位置を基準に、絶縁部先端のエッジ3箇所の精位置を検出する。そして、次に、縦及び横方向にチップの位置修正を行い、一連の位置合せを終了する。このように、視覚フィードバック制御を用いて、チップを所定の位置に合わせることができると、テレビカメラの像歪が位置検出精度に及ぼす影響を原理的になくすることができる。

2. 5 実験結果

2. 5. 1 開発システム

開発システムは、図2. 17に示すように、画像処理装置、制御用マイクロコンピュータ、テーブル制御装置、工業用テレビカメラ、チップ位置合わせ用テーブル等で構成している。工業用テレビカメラは、対象チップを拡大して撮像し、その映像信号を画像処理装置に送る。この画像処理装置^{〔11〕}では、2値画像を対象に、大きさ 12×12 画素の部分パターンについて、辞書パターンとの画素同士の照合を行う。このため、12本のシフトレジスタを持ち、画面の走査に同期して画素データをこのシフトレジスタから取り出し、ローカルパターンレジスタに格納し、辞書パターンとの照合を行う。このため、画素照合で一致しなかった画素の個数の最小値と、その最小値が出現した画面内の位置座標を一画面走査の単位の間で高速に求めることができる。また、画素照合は、画素のサンプリング間隔を変えて行うことができる。従って、辞書パターンとの照合を1画面単位の時間(16.6ミリ秒)で高速に行う^{〔11〕}。なお、画像処理のためのパラメータやデータ、例えば、映像2値化のための閾値パラメータや辞書パター

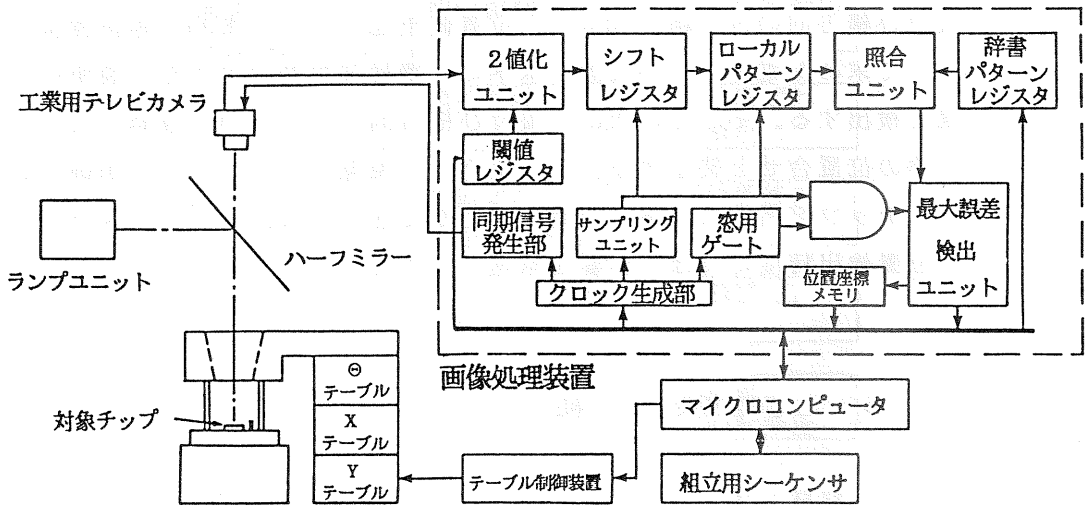
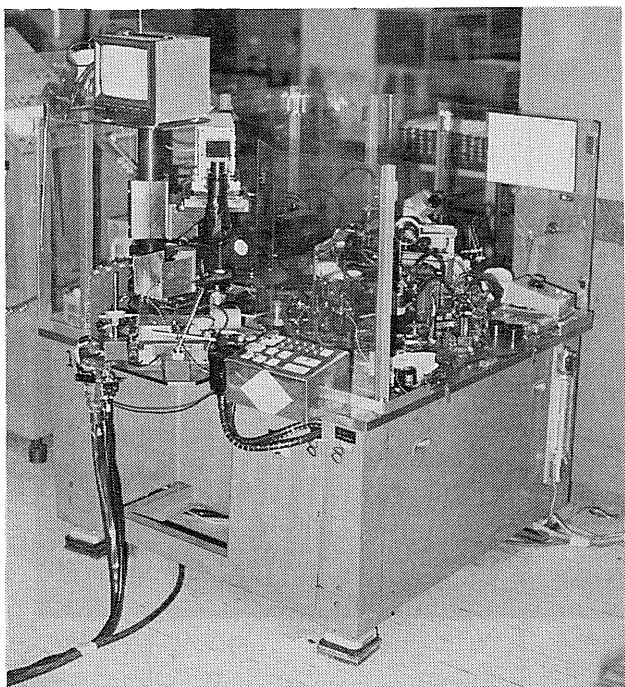
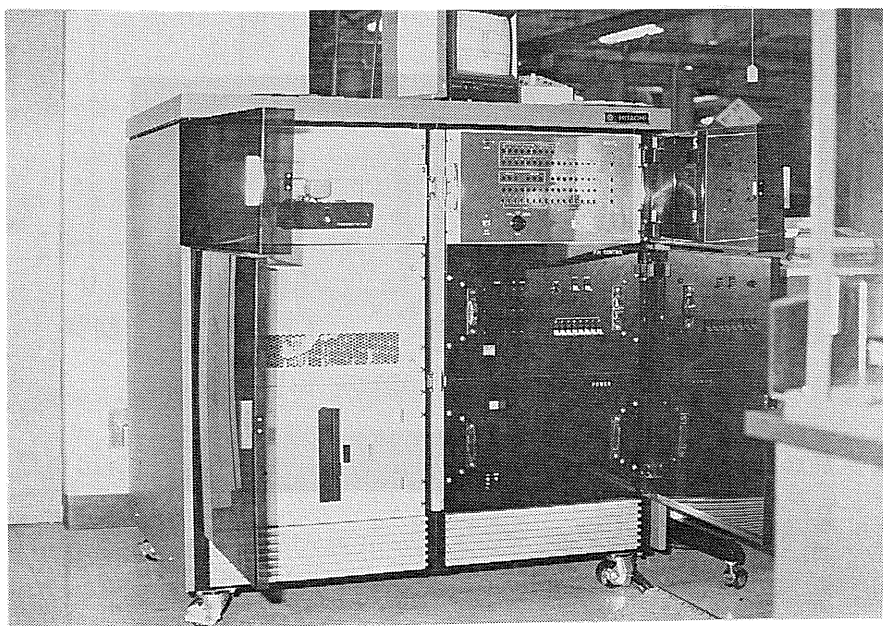


図 2. 1 7 位置合わせ実験システムの構成



(a) ワイヤボンディング用組立システム



(b) 位置検出用制御システム

図 2. 1 8 ワイヤボンディングシステムの外観

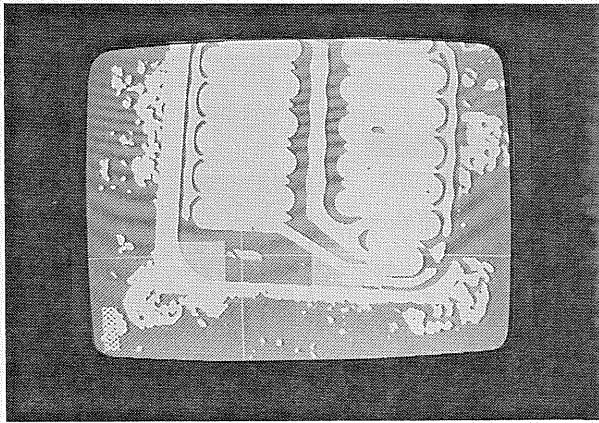
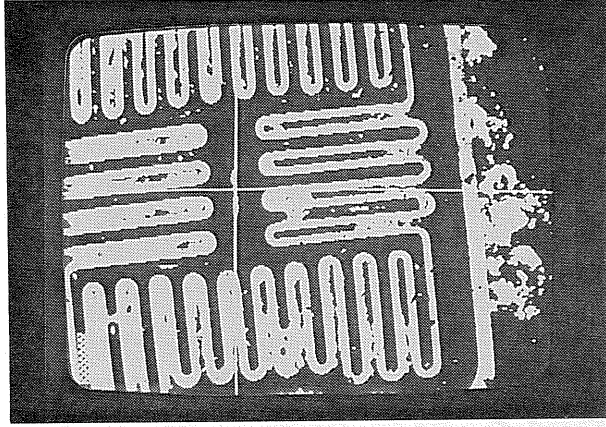
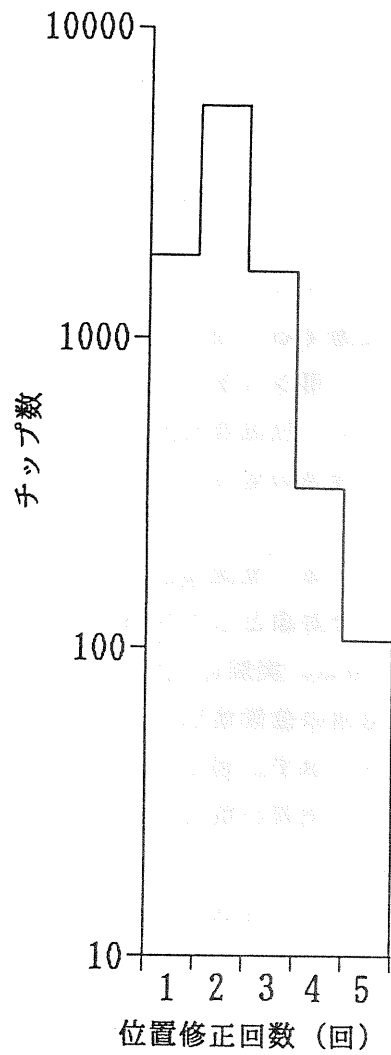
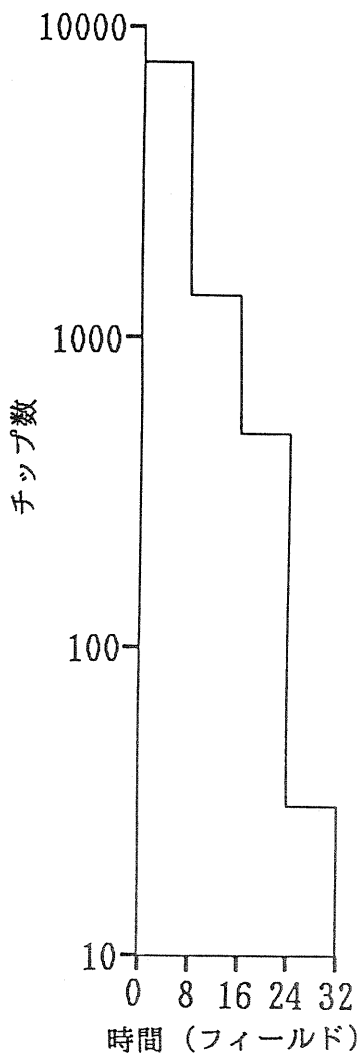


図 2. 19 半田電極の位置検出結果の例



(a)粗位置検出に要した時間の頻度分布

(b)位置修正回数の頻度分布

図2. 20 位置検出時間

ンのデータは、プログラマブルになっており、接続している制御用マイクロコンピュータからの指令により、それらの値を変更することができる。制御用マイクロコンピュータは日立製HMC S6800シングルボードコンピュータを使用し、CPU基板、16kバイトメモリ基板、フロッピディスクコントロール用基板で構成している。また、対象とするチップの位置修正を行うため、x方向、y方向、回転方向の3軸を移動する位置合わせ用テーブルがある。これらは、パルスモータで駆動しており、制御用マイクロコンピュータからの指令により、テーブル制御装置が位置合わせ用テーブルを駆動する。なお、一連のワイヤボンディング組み立て作業を制御する組み立て用シーケンサは、制御用マイクロコンピュータと信号の送受を行っており、位置合せ開始信号、位置合せ終了信号や移動用テーブルの移動終了信号等の信号の送受を行っている。本システムの外観を図2.18に示す。

2.5.2 位置検出結果

実験で対象とした半導体チップは、半田電極系パワートランジスタ2SC1413である。実験に供したサンプルの個数は9662個である。図2.19は、半田電極の位置検出結果の例であり、白色の十字により検出した電極の中央位置を示す。図2.20(a)は、これらのサンプルに対して粗位置検出に要した時間の頻度分布を示したものである。横軸は、粗位置検出に要した時間をフィールド単位で示しており、1フィールドは16.6ミリ秒である。この横軸の一目盛は、8フィールドの時間を示している。なお、ここでは、測定の都合上、8フィールド単位でサンプルの頻度を実測している。回転角0度に対応する辞書パターンを用いて粗位置検出が成功したチップの個数は、全体の約80%以上であった。同図(b)は、視覚フィードバック制御によって、チップの位置修正を行った際の位置修正回数の頻度分布を示す。2回の位置修正で位置合せが終了したチップは、全体の約60%であった。位置検出全体の時間は平均約0.4秒である。位置検出精度は $\pm 50 \mu\text{m}$ 、認識率は99.6%であった。これは、所期の目標を満たしており、本開発システムで良好な結果を得られた。

2.6 結言

半田電極系パワートランジスタの位置検出方式の開発に取組み、以下の結果を得た。

- (1) 回転ずれの大きいパターンに対する位置検出手法を実現し、最大の回転角ずれ ± 30 度のトランジスタチップに対しても信頼性よく位置検出を行うことができる。
- (2) 盛り上がった曲面を有する鏡面反射物体の位置を検出するための光学系を開発し、半田電極特有の盛り上がりをもつトランジスタチップに対して信頼性よく位置検出を行うことができた。
- (3) 照明光の入射が円錐状になるような光学系を開発し、トランジスタチップ面が光軸に垂直な面に対し最大で ± 3 度傾いても、安定した映像を取り込むことができる。
- (4) 位置検出と位置修正を繰り返すビジュアルフィードバック制御による位置決め方式を実現し、精度よい位置合せを実現した。
- (5) 開発した自動位置検出システムにより、位置認識率99.6%、平均の位置検出時間0.4秒、位置検出精度 $\pm 50 \mu\text{m}$ 以内、の性能を実現した。この性能は、所期の目標を満たすものである。

このようにして本研究の成果をもとに、視覚を有する半田電極系パワートランジスタ用自動組立装置が完成し、工場における半導体生産に実用され、多大の効果をあげることができた。また、この手法の開発により従来不可能だった半田型の品種に対する視覚技術が完成し、これにより半導体生産における一連の組立技術が完成した。

第3章 高密度基板への電子部品搭載のための自動位置検出手法

単体としての電子部品は、前章に述べた方法により組立が可能となったが、次の問題は、このような電子部品を如何にして基板上に搭載し、回路基板として組立ていくかにある。電子部品を基板に自動的に搭載する基板組立においては、組立対象とする基板が高密度化しつつあり、また部品の端子(リード)も微細化してきている。このため、これら基板、部品に対する高精度な位置検出が組立の際の必須条件となっている。また、異なった形状をもつ多様な部品にも対応できることも重要な課題である。そこで、本章では、これらの課題に対処する実用的な自動位置検出方式を新たに提案する。この方式は、部品の位置検出過程と基板の位置検出過程とからなる。この内、部品位置検出過程では、部分画像の類似性を求めるパターンマッチング法に基づいて複数のリードの位置を検出し、それらをもとに部品の位置・姿勢のずれを算出する。そのため、リード数本分がTVカメラに撮像されるような大きさに視野を設定し、さらに、この視野を任意の位置に移動することができるように対物レンズをXY2方向に移動させている。また、基板位置検出過程では、基板上に印刷されている2箇所のマーク位置を検出し、これらのマーク位置をもとに基板の位置・姿勢を算出する。また、本方式の有効性を実験により評価するため、実際の部品と基板に対して位置検出実験を行ない、高精度な位置検出が実現できることを示す。

3. 1 緒言

基板組立工程の自動化は、電子機器の製造においてコスト、信頼性の面から重要な課題である。この基板の組立とは、端子(リード)をもつ電子部品を、これらのリードに対応して形成されているプリント配線基板上の微細な配線端子に正確に搭載する作業のことである。ここで対象とする基板は高密度型であり、搭載する電子部品も、例えばLSIのように、極めて

狭い間隔で多数の細いリードが配列されたものである。従って、これらリードと基板上の配線端子との間で、搭載時に許容される位置ずれの範囲は極めて小さい。このため、従来から行なわれているような、予め決められた数値に従って部品を目標位置に移動させるという単純な数値制御動作では、部品を所定の位置に正確に搭載することは極めて困難である。このため、人工視覚を用いた高精度な位置検出方式の開発が基板の自動組立のための重要な課題である。

従来より、組立作業を初めとするさまざまな生産工程において、人工視覚を用いた自動化の研究が行なわれており^{〔1〕}、それらの一部はすでに実用化されている。例えば、半導体集積回路の微小な薄片(チップ)上に形成された電極の位置を検出するもの^{〔2〕〔3〕〔4〕〔5〕}、多数のTVカメラよりなる人工視覚をもつ産業用ロボットにより、掃除機の部品の自動組立を行なうもの^{〔12〕}、揚水用ポンプのホースの取付け穴の位置を検出するもの^{〔13〕}等が開発されている。しかしながら、本章の対象である基板組立では、異なった形状をもつ異種の電子部品に対しても位置検出ができることが要求されており、また部品には同一形状をもつリードが多数存在すること、リードの表面パターン及び基板の配線パターンには接着用の半田が盛っており、位置検出の対象となるこれらのパターンは安定でないこと、などの特徴がある。このため、上述の諸位置検出方法をそのまま応用することは難しく、実用的な検出方法の開発が重要な課題となっていた。

本章では、このような背景のもとで、基板の自動組立工程において、部品及び基板の位置を高い精度で検出する実用的な方法を新たに提案する^{〔14〕〔15〕}。まず、第3.2節で部品の搭載システムの目標とその課題を明らかにする。次に第3.3節で、新しく考案した位置検出方法と撮像・照明用の光学系の構成を述べる。最後に第3.4節で、実際の部品と基板を対象に位置検出の実験を行ない、本方法の有効性を検討する。

3.2 位置検出の課題

部品を基板上に搭載する作業においては、基板及び部品のそれぞれに供給時の位置誤差が存在する。このため、先ず、基板及び部品の位置・姿勢を

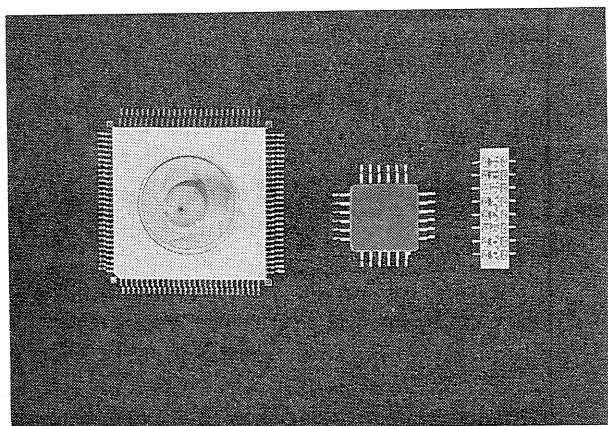
TVカメラを用いて検出し、その後、それぞれのずれ情報を基に基板及び部品の位置を修正し、基板上の所定位置に部品を接着するという手順が必要である。なお、基板の配線パターン上の半田層の表面には、ペーストが塗布されており、部品はこのペーストを介して基板側に仮接着される。全ての部品の搭載を完了した後、基板は組立装置からはずされ、加熱炉に入れられる。この炉において半田層の溶融温度で熱処理がなされ、部品のリードは基板側の配線端子に溶着されることになる。

この基板組立作業においては、図3.1(a)に示すような3種類の電子部品と、同図(b)に示すようなプリント配線基板を対象とする。即ち、搭載する部品の種類は、大規模集積回路素子(以下LSI部品と呼ぶ)と、小規模集積回路素子(以下SSI部品と呼ぶ)と、抵抗素子(以下R部品と呼ぶ)の3種である。これらの部品はフラットパッケージ型であり、リードの本数は、例えばLSI部品では108本である。なお、LSI部品では、リードの幅は0.3mm、リードの間隔は0.76mmである。また、プリント配線基板の配線パターンは高密度化されており、対象とした基板での格子ピッチは1.9mmであり、LSI部品のリードに対応した電極パターンの間隔は0.76mm、電極パターンの幅は0.51mmである。従って、基板に印刷されている幅0.51mmの電極パターンの上に、幅0.3mmのリードを精度よく接着することが必要となる。なお、ここで対象とした基板には、位置検出用のマークが予め両端に印刷されている。また、この基板に実装する部品数は、LSI部品が20個、SSI部品が40個程度である。この基板組立に必要な位置決め精度は、最も要求精度の高いLSI部品で $\pm 60\mu\text{m}$ である。表3.1にこの部品搭載作業の自動化において目標とする仕様を示す。

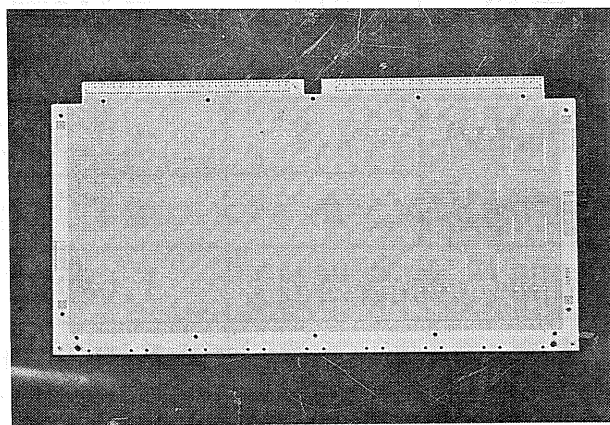
これらの部品及び基板をTVカメラによって撮像し、その位置を自動的に検出するためには、次のような課題がある。

① 異なった形状をもつ異種部品に対しても位置検出を可能とする必要がある。また、部品の寸法が大きい(LSI部品で約27mm角)ため、部品全体を撮像すると、TVカメラの分解能(320×240画素)の点から、位置精度が低下する。

② 部品にはリードが多数あり、すべて同一形状であるため、目標とする1本のリードを特定しにくい。また、リードには予め半田が付いていて表面の形状が不安定であるため、安定な映像パターンを得ることが難しい。



(a) 電子部品 (左から, LSI, SSI, 抵抗(R)部品)



(b) プリント配線基板

図 3. 1 対象電子部品とプリント配線基板

表 3. 1 基板組立の目標仕様

項目	内容		
対象 寸法	基板		220×419mm
	部品	LSI	27.4×27.4mm
		SSI	14.6×14.6mm
		R	13.3×6.4mm
供給時 の誤差	基板	X,Y	±0.2mm以内
		θ	±0.015° 以内
	部品の リード	X,Y	±0.5mm以内
		θ	±4° 以内
位置検出時間(1部品当り)			1.0秒以下
位置検出精度			X,Y ±0.06mm以内

さらに、部品の背景には基板の配線パターンが存在するため、部品のリードと基板のパターンとの識別がつきにくい。

③ 基板の配線パターン同様、基板上の検出用マークにも、半田がついているため盛り上がっており、単純な照明法では安定な映像パターンを得ることが難しい。

これらの課題を解決するため、次節に述べるような実用的な位置検出方法を新しく考案した。

3. 3 位置検出手法

3. 3. 1 撮像・照明光学系の構成

ここで開発した部品自動搭載システムの全体構成を図3. 2に示す。基板は移動台に設定され、 $XY\Theta$ 3方向に移動できる。また部品は、吸着用の真空ピンにより保持され、 Θ 方向の姿勢修正ができる。部品を基板に搭載する手順は、先ず位置検出用マークを用いて、基板の位置・姿勢をTVカメラで検出し、このずれ情報をもとに基板の位置・姿勢ずれを修正する。次いで、供給された部品を真空ピンの直下の位置まで搬送し、この真空ピンによって部品を吸着、保持する。真空ピンに保持後、もう1台のTVカメラでこの部品の位置・姿勢を検出し、この内、姿勢ずれを真空ピンを回転させ修正する。引き続いて、予め設定されている数値データに従って基板を真空ピンの直下に移動させ、検出された部品の位置ずれ情報を基に搭載される基板の位置の微細な修正を行う。その後、部品を下降し基板上に接着する。

このように本システムでは、真空ピンの上下移動によって搭載作業が行われるため、この真空ピンと光学系との干渉を避ける必要がある。そのため、後述するような対物及び接眼レンズを用いる撮像光学系を採用し、TVカメラの撮像用レンズと対象とする部品との空間を大きく(150mm程度以上)空けることとした。また、異形の部品に対しても高分解能で撮像できるよう、部品全体を撮像せず、その一部分が撮像範囲となるように視野を設定した。さらに部品の任意の部分が撮像できるよう、この視野を移動できるような光学系を採用することとした。

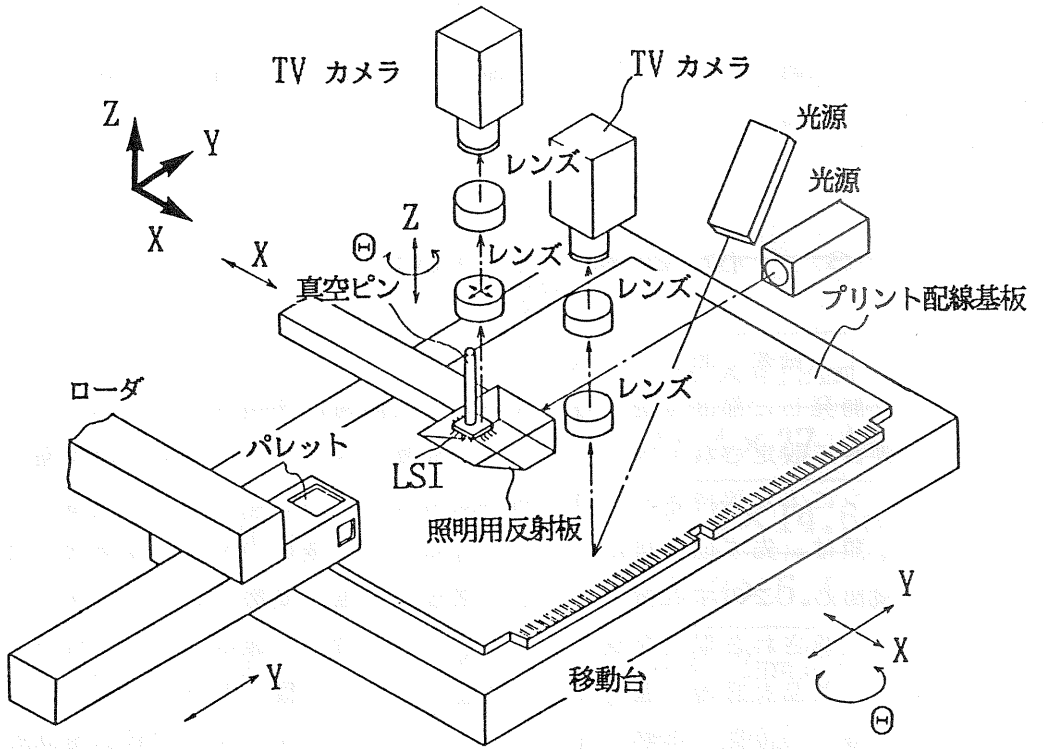


図 3. 2 自動搭載システムの構成

(1) 基礎事項

実用的な光学系を設定するためには、光学系全体の大きさ、対象との距離、使用できるレンズ等を検討する必要がある。そこで、ここでは先ず、撮像倍率、レンズの焦点距離と設置位置との関係など基本的な事項を示す⁽²¹⁾。部品或いは基板を撮像するための撮像光学系は、図3.3に示すように、対物レンズと接眼レンズを用いる2レンズ方式の光学系である。いま、被写体とレンズの前側主点との距離を a_i 、レンズの後側主点と結像面との距離を b_i とする。ここで、添字 $i=1$ は対物レンズを、 $i=2$ は接眼レンズを示す。レンズの取付け面から前側主点までの距離を c_i 、同様にレンズの取付け面から後側主点までの距離を d_i 、レンズの取付け面からレンズの先端までの距離を e_i 、レンズの焦点距離を f_i とする。各レンズの像の倍率を m_i 、総合倍率を M 、被写体と対物レンズの先端との間の距離(作動距離と呼ぶ)を g 、被写体と撮像面との距離を h とすると、これらは次式で表される関係を持つ。

$$M = m_1 \cdot m_2 \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$m_i = b_i / a_i \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

$$f_i = a_i \cdot b_i / (a_i + b_i) \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$$g = a_1 + c_1 - e_1 \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

$$h = \sum_{i=1}^2 (a_i + b_i + c_i - d_i) \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

また、総合倍率 M は、撮像面の幅を p 、視野の幅を q とすると、

$$M = q / p \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

で表される。

(2) 部品位置検出用の撮像・照明光学系

TVカメラで対象部品を撮像する場合、部品全体を撮像できるように撮像範囲を設定すると、TVカメラの分解能の点から、位置精度が低下する。例えば、LSI部品の全体を撮像する場合、視野の大きさは、部品の大きさとその供給誤差を考慮して、約38mm×28mmとなり、TV画面を320×240画素に

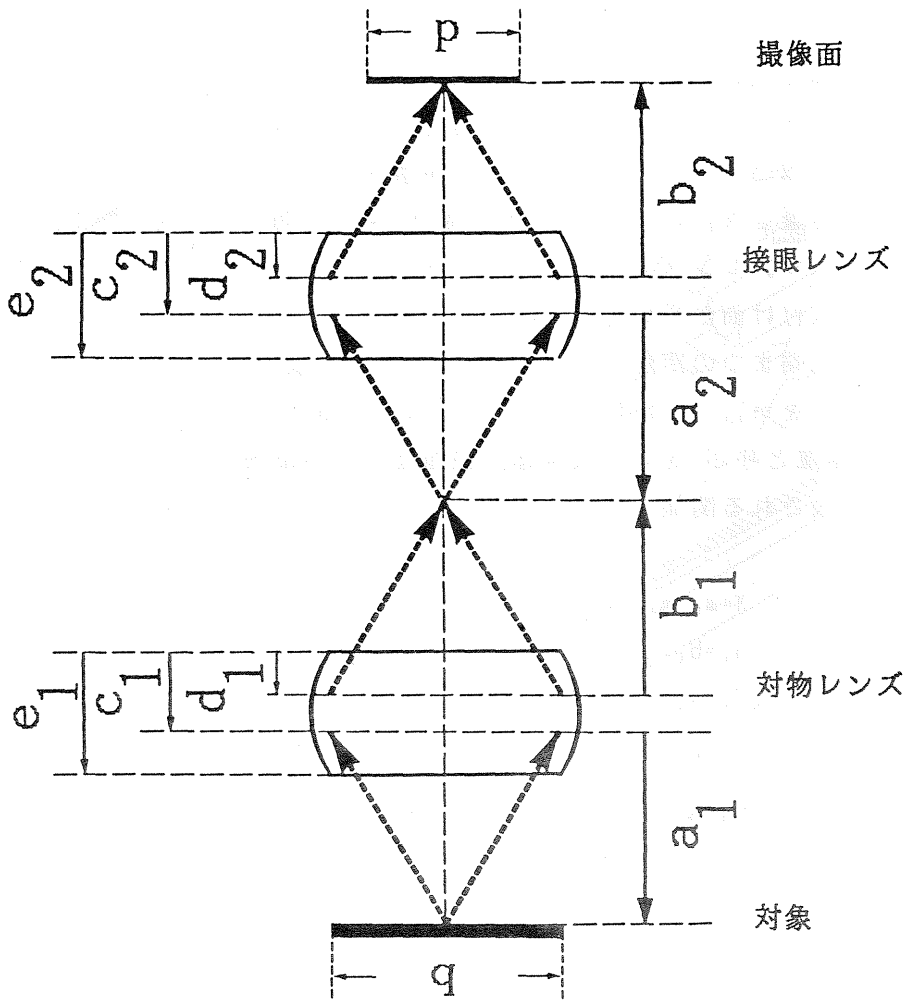


図 3. 3 対物・接眼レンズを用いた光学系

分割すると、1画素の大きさは約 $120\mu\text{m}$ となる。これに対して、目標とする位置精度は $\pm 60\mu\text{m}$ であり、目標の位置精度を満たすことはできない。そこで、図3.1に示したLSI部品の例では、図3.4に示すようにTVカメラの視野として、この部品のリード数本分を撮像できる大きさにし、さらに、この視野を部品の複数箇所を設定する。ここでは、視野の大きさを $3.2\times 2.4\text{mm}$ としており、1画素の大きさは $10\mu\text{m}$ となる。TVカメラの撮像管として、 $2/3$ インチビジコン管を用いると、撮像面の大きさは横 $8.8\times$ 縦 6.6mm であるから、この時の撮像光学系の総合倍率 M は(3.6)式より、 $M=2.75$ となる。

このように、部品の一部を撮像するための視野を複数箇所を設定する光学系として、次のような5つの方式が考えられる。即ち、①部品の複数箇所にそれぞれTVカメラと撮像用のレンズを設置する。②部品の複数箇所に対応してTVカメラと接眼レンズを設置し、また対物レンズは1個とし、これを共用する^{〔4〕}。③撮像用のレンズとTVカメラを一体にして動かす^{〔13〕}。④接眼レンズとTVカメラを一体にし、これを目的の視野に移動させる。但し、対物レンズは固定とする。⑤接眼レンズとTVカメラは固定とし、対物レンズを動かすことにより視野を移動させる。これら5つの方式のうち、①②は撮像箇所の数に応じて複数個の台数のTVカメラが必要となる。また、撮像用のレンズの個数も多くなる。このため、撮像光学系が複雑になる。一方、③④⑤では、撮像系を移動させる方式であり、移動機構は必要であるが、TVカメラ、撮像用レンズは各1組でよい。特に⑤では、対物レンズのみを移動させればよいため、移動すべき重量が軽量で済むし、機械的な振動の影響を受け易いTVカメラを固定しておけるという大きな利点が生じる。そのため、ここではこの⑤の方式を採用することとした。また、この方式では、視野を任意の位置に設定することができるため、前節の課題で述べた異種部品に対しても撮像が可能となる。

また、部品のリードに対しては、これをコントラストが良好な影絵(シルエット像)とし、この像を基にリードの位置を検出することとする。そのため、光源からの照明光を、反射板を介してリードの背後から加えることができるように、部品を基板の上方数十mm(ここでは、 60mm)に停止し、反射板を基板と部品との間に設置した状態で、部品の位置を検出するという照明方式を採用する。このシルエット像からは安定した2値画像を得る

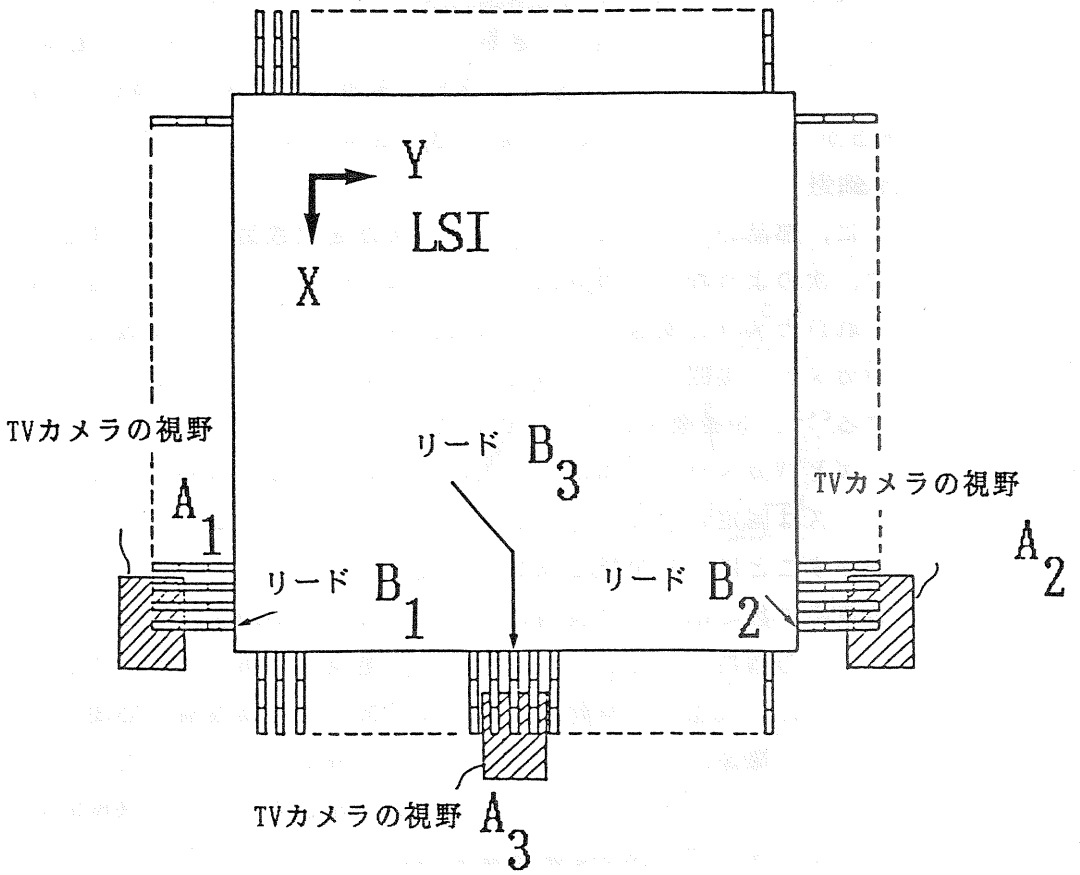


図 3. 4 部品位置検出用の視野

ことができる。なお、反射板は1方向に移動でき、部品の位置ずれを修正した後、この反射板を後退する。これにより、部品を搭載するために基板上へと下降させる時の干渉を避けることができる。

ここで、部品位置検出のための光学系の構成を図3.5(a)に示す。また、表3.2にこの光学系の仕様を示す。この光学系では、既述のように真空ピンは部品と対物レンズの間を、これらに干渉されることなく移動できる必要がある。このため、作動距離を150mm程度以上とする。また、撮像光学系の全体の寸法が大きくならないよう、対象と撮像面との距離はできるだけ短く、ここでは600mm程度以下とする。これらの要求を満たすものとして、対物レンズ及び接眼レンズの倍率は、先に述べた総合倍率 $M=2.75$ を基に、それぞれ $m_1=1, m_2=2.75$ とする。このような条件を満たすレンズとして、容易に入手できる市販の写真機用のレンズを用いることとした。表3.2に示す対物レンズでは $f_1=85.0, a_1=170.0, b_1=170.0, c_1=35.75, e_1=46.0, d_1=39.5$ 、また接眼レンズでは $f_2=50.0, a_2=68.2, b_2=187.5, c_2=-4.5, e_2=48.5, d_2=6.2$ であるため、(3.4)式から作動距離は $g=159.8\text{mm}$ 、また(3.5)式から撮像光学系の全体の寸法は $h=581.2\text{mm}$ となり、上述の条件を満たす。

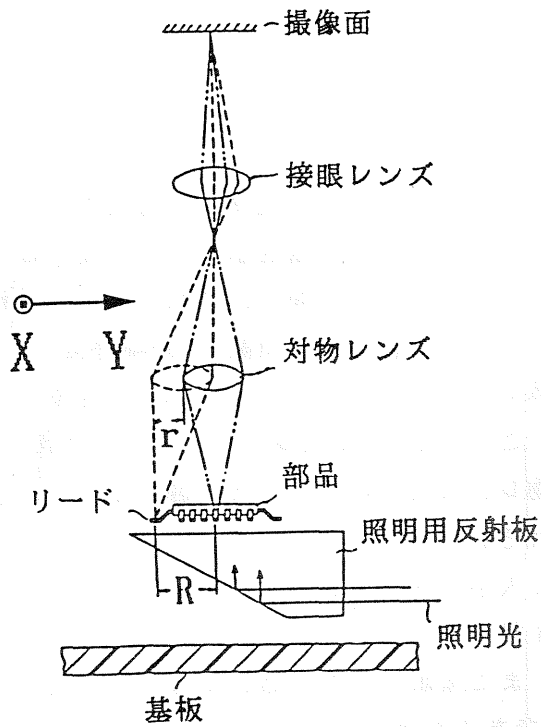
この光学系においては、TVカメラの視野を既述のように任意に選ぶことができるように、対物レンズをXY2方向に移動する。図3.5(a)に示したように、対物レンズの移動量を r 、TVカメラの視野間の実長距離を R とすると、簡単な幾何計算から次式が成り立つ。

$$R = r \cdot (a_1 + b_1) / b_1 \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

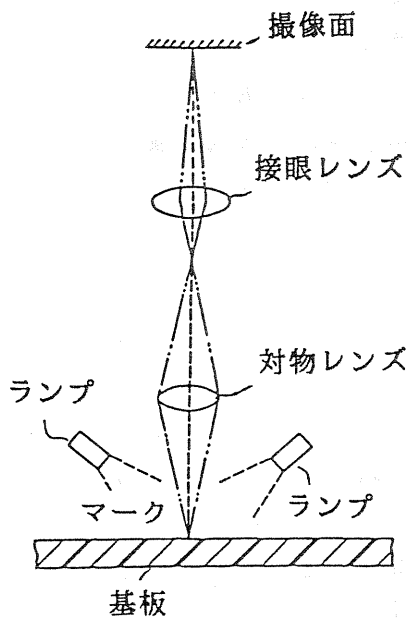
本光学系では、(3.2)式の値は $b_1/a_1=1$ であり、これを上式に代入すると $R=2 \cdot r$ となる。即ち、対物レンズの移動距離は、視野間の距離の実長の半分で済むことになる。このため、対物レンズの移動時間を短縮することができる。また、このように対物レンズの移動距離が $1/2$ となるため、この距離の計算が容易である利点もある。ここでの対物レンズの移動機構の目標仕様は、移動範囲がX,Y方向に20mm以上であり、停止精度は $\pm 5 \mu\text{m}$ 以内、移動速度は150mm/秒である。

(3) 基板位置検出用の撮像・照明光学系

基板位置検出のための光学系を図3.5(b)に示す。また、表3.2にこの光学系の仕様も併せて示した。撮像倍率や、使用するレンズ、TVカメ



(a) 部品位置検出用光学系



(b) 基板位置検出用光学系

図 3. 5 位置検出用の光学系

表 3. 2 光学系の仕様

項目	内容		
撮像系	倍率	2.75倍(対物レンズ1倍×接眼レンズ2.75倍)	
	視野	3.2×2.4mm(10μm/画素)	
	TVカメラ	2/3インチビジコン管	
	接眼レンズ	写真機用 f50,F1.2	
	対物レンズ	写真機用 f85,F2	
照明系	部品用	透過照明	反射板による背後からの照明
	基板用	斜方落射照明	顕微鏡用照明装置

ラなどは、部品位置検出用の撮像系と同じであるが、対物レンズを固定とし、撮像対象である基板をXY2方向に移動させる方式を採った。これにより、基板の両端にある位置検出用のマークにTVカメラの視野を設定することができる。図3.6は基板に対して設定された視野の位置を示しており、各視野において位置検出用のマークが撮像される。照明は、斜め方向からの落射照明で、2方向から投光する。この照明により半田盛りのある位置検出用のマークに対して安定した画像を撮像することができる。

3.3.2 位置決め手法

部品及び基板に対する位置検出の方法として、ここでは部分的なパターンとの画素ごとの照合を求めるテンプレートパターンマッチング法を用いる⁽²²⁾⁽²³⁾。今、画像の横方向をx座標、縦方向をy座標にとり、対象とする2値画像をf(x,y)とする。照合のためにこの対象画像からは間引いて画素をとりだすものとする。この標本化する画素の座標を、(2.5)式と同じく、次式で表す。

$$\left. \begin{aligned} x &= \zeta \cdot x' + x_0 \\ y &= \eta \cdot y' + y_0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.8)$$

但し、 ζ, η は画素に対する標本化の間隔であり、 (x_0, y_0) は標本化のための始点座標である。また、 (x', y') は標本化後の画像の座標である。

この時、辞書パターンとの照合で不一致となった画素数、即ち、重ね合せ誤差 ϕ は、(2.6)式と同じく、次式で表される。

$$\phi = \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{k=0}^{K-1} f\{\zeta \cdot (x' + j - [J/2]) + x_0, \eta \cdot (y' + k - [K/2]) + y_0\} * g(j, k) \quad (3.9)$$

但し、辞書パターンをg(j,k)とし、その大きさはJ×K画素とする。j,kは0≤j<J, 0≤k<Kなる整数である。また、記号*は2を法とする加算を、[]はガウス記号を表す。

テンプレートパターンマッチング法の出力は、(2.7)式と同じく、この不一致画素数 ϕ の最小値 ϕ_m ,

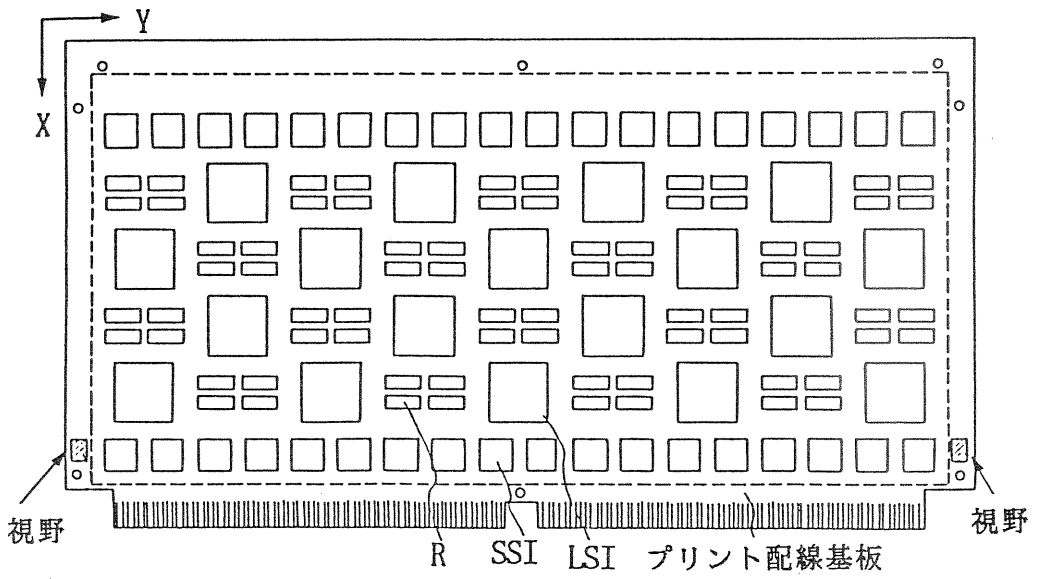


図 3 . 6 基板位置検出用の視野

$$\phi_m = \min(\phi) \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

但し、

$$(\zeta \cdot x' + x_0, \eta \cdot y' + y_0) \in W$$

と、その時の対象画像中の位置 $x = \zeta \cdot x' + x_0, y = \eta \cdot y' + y_0$ である。ここで、 W は探索領域であり、対象画像中で画素ごとの照合を行う範囲である。なお、この出力位置 (x, y) は対応する辞書パターンの中心位置に相当している。また、ここでは画素ごとの照合においてとりだす画素位置は、探索領域を越えてもよいとしている。

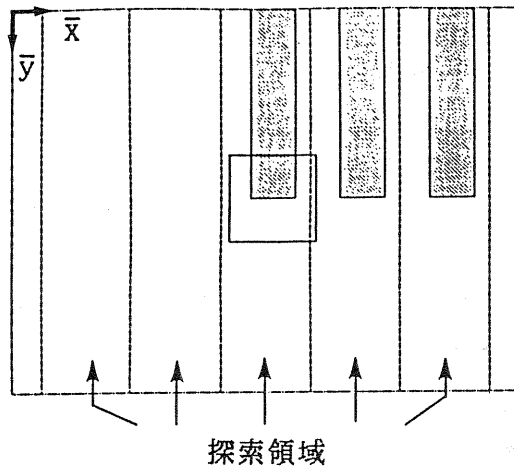
(1) 部品位置検出方式

部品を位置決めするには、一般に部品の中心位置のずれと回転ずれを求める必要がある。これらは、部品の複数箇所の位置座標より算出される。そのためここでは、複数箇所におけるリードの先端の位置を検出することとする。

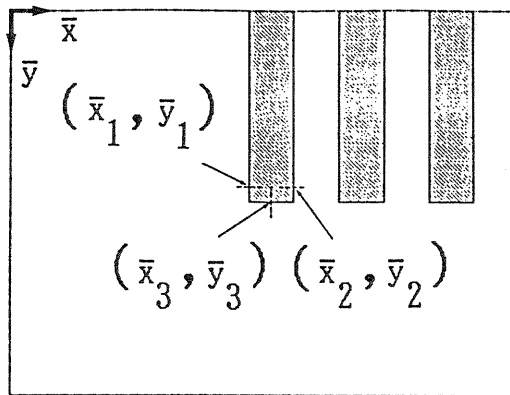
(a) リード位置検出法

ここでの位置検出手順は大きく粗位置検出と精位置検出とからなる。粗位置検出では、撮像された多数のリードの内、一番端にあるリードを位置検出のための目標とし、このリードの概略位置を検出することとする。ただし、テンプレートパターンマッチング法をそのまま用いると、画面内には同一形状をもつリードが複数個含まれており、前節の課題で述べたように、目標のリードを特定しにくい。そこで、図 3.7(a) に例示するように、まず、探索領域を短冊状に分割し、各分割領域において辞書パターンとの画素ごとの照合を行ない、分割した探索領域内で不一致画素数が最小となる点座標及びその不一致画素数を求める。次いで、これらの点座標の内、不一致画素数が予め設定している値より小さい点をリードの候補位置として選択する。そして、これらの点の内、一番端にある点の位置を目標とするリードの概略位置とする。ここで用いる辞書パターンは、標準的なリードの先端部分の 2 値画像であり、その大きさは $J=K=12$ である。また標準化の間隔は $\zeta = \eta = 2$ である。従って、これの実長は $240 \times 240 \mu m$ である。

これに引き続き、リードの精位置検出を行う。この処理では、図 3.7(b) に例示するように、先に粗位置検出で求めたリードの先端の概略位置



(a) 粗位置検出



(b) 精位置検出

図 3. 7 部品リードの位置検出

を基準にリードの先端の3つの境界の位置を求める。これらの位置をもとにリード中心線における先端の位置を算出する。

ここでは対象とするリードの映像信号をある閾値で2値化して処理するので、リードとその背景の境界は白黒の境界で表される。この映像信号は、対象ごとにその値が異なり、また時間的に変動するため、白黒の境界位置は変化することになる。このため、単純に白黒の境界位置を検出するのでは、検出位置の精度が低い。そこで、位置精度を高めるため、リードの短手方向の2箇所の境界に対して境界位置を求め、これらの位置をもとに、その中点をリードの中心位置とする。ここでの境界位置検出は、同じくテンプレートパターンマッチング法を採用。この時、辞書パターンの大きさは、 $J=K=12$ 、また標本化の間隔は $\xi=\eta=1$ であり、例えばリードの左辺側の境界位置検出に用いる辞書パターンは左半分が白画素、右半分が黒画素である。なお、探索領域は、既に粗位置検出で概略位置が算出されているため、図3.7(b)の破線で示すように小さい線分の領域でよい。

ここで、図3.7(b)に図示するように部品位置検出用の画面座標を \bar{x} 、 \bar{y} とし、検出したリードの境界位置のうち、短手方向の境界位置を (\bar{x}_1, \bar{y}_1) 、 (\bar{x}_2, \bar{y}_2) 、また、長手方向の境界位置を (\bar{x}_3, \bar{y}_3) とする。この時、リード先端の中心位置 (\bar{x}_0, \bar{y}_0) は次式で表すことができる。

$$\begin{aligned} \bar{x}_0 &= (\bar{x}_1 + \bar{x}_2) / 2 && \dots\dots\dots (3.11) \\ \bar{y}_0 &= \bar{y}_3 && \dots\dots\dots (3.12) \end{aligned}$$

但し、上式では、これら境界の間の距離が小さいため、リード中心線の回転ずれに対する影響を無視して算出している。

ここで求めた中心位置座標の内、(3.11)式より算出した座標 \bar{x}_0 は既述のように中点座標であるため位置精度は高い。しかし、(3.12)式で算出した座標 \bar{y}_0 は映像信号の変動により位置精度は低い。そこで、後述するように、この座標値 \bar{y}_0 は部品の回転ずれの修正にのみ用い、位置ずれ修正のためにはこのリードと直交する別のリードの中点座標を用いることとする。

(b) 部品の位置・姿勢修正手順

上述したリード位置の検出法に基づき、部品の位置、姿勢の修正を行う。

図3. 4に示したLSI部品を例にした部品のずれに対する修正動作は、以下のようである。今、部品の一部分を撮像するため設定する2つの視野を A_1, A_2 とする。まず、TVカメラを第1の視野 A_1 に設定し、リード B_1 の先端の位置を検出する。ついで、第2の視野 A_2 において、先のリードと一直線上の位置に配列されている別のリード B_2 の先端の位置を検出する。ここで、部品が位置ずれの無い正規の位置にある時のリード B_1, B_2 の先端の座標を、それぞれ $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2)$ とし、部品の中心位置 (X_0, Y_0) とリード B_1 の先端との変位を d_x, d_y 、即ち $X_1 = X_0 + d_x, Y_1 = Y_0 + d_y$ 、とする。それに対して、部品の位置及び姿勢がずれている場合のリード B_1, B_2 の先端の座標を、それぞれ $(X_1', Y_1'), (X_2', Y_2')$ 、この時の部品の中心位置を (X_0', Y_0') とする。全体の座標系 (X, Y) は、撮像倍率、画面の原点位置が既知であるため、前述の部品位置検出用の画面座標系 (\bar{x}, \bar{y}) から簡単に変換できる。なお、先端座標 X_1' 及び X_2' はリードの中心線上にある中点座標であり、既述のように位置精度は高い。この時、回転ずれ $\Delta\theta$ は、簡単な幾何計算により次式で表される。

$$\Delta\theta = \tan^{-1}\{(Y_2 - Y_1)/(X_2 - X_1)\} - \tan^{-1}\{(Y_2' - Y_1')/(X_2' - X_1')\} \quad \dots (3.13)$$

$$X_0' = X_1' + d \cdot \cos(\Delta\theta + \alpha) \quad \dots \dots \dots (3.14)$$

$$Y_0' = Y_1' + d \cdot \sin(\Delta\theta + \alpha) \quad \dots \dots \dots (3.15)$$

なお、

$$d = (d_x^2 + d_y^2)^{1/2} \quad \dots \dots \dots (3.16)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(d_y / d_x) \quad \dots \dots \dots (3.17)$$

である。

このように、2つのリード位置をもとに、部品の回転ずれを算出し、部品の姿勢を修正する。ここでは、算出した回転ずれ角度が予め設定している値以下になるまで、視野 A_1, A_2 において交互に部品の一部を撮像し上に述べたリード位置検出とずれ修正を繰り返すという視覚情報によるフィードバック制御を行う⁽¹²⁾。部品の回転ずれの角度が所定値以下になれば、姿勢の修正は完了したものとし、TVカメラは第3の視野 A_3 に設定される。

この視野では他の2つの視野にあるリードとは直交するリード群が撮像され、その内、予め設定しているリード B_3 の先端の位置を検出する。この第3の視野 A_3 では、リード B_3 の概略の位置は既に上述の回転ずれの修正時に算出することができるので、粗位置検出を行う必要はなく、精位置検出のみを行えばよい。このようにして求めたこれらリードの先端の精位置座標を基に部品の中心位置のずれを求める。

今、リードの先端 B_3 の位置ずれがない正規の位置を (X_3, Y_3) 、この時のリードの先端 B_3 と部品の中心との変位を e_x, e_y 、即ち $X_3 = X_0 + e_x, Y_3 = Y_0 + e_y$ 、とする。また、位置ずれがある場合の検出位置を (X_3', Y_3') とする。この時、座標 Y_3' はリードの中心線上にある中点座標であり、位置精度は高い。部品の中心位置のずれ $\Delta X, \Delta Y$ は、リードの先端位置 B_1, B_3 の高い精度を持つ中点座標 X_1', Y_3' を基に、簡単な幾何計算により次式のようになる。

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_0' - X_0 \\ &= X_1' - X_1 + d \cdot \cos(\alpha) - d_x \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

$$\begin{aligned} \Delta Y &= Y_0' - Y_0 \\ &= Y_3' - Y_3 + e \cdot \sin(\beta) - e_y \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

但し、

$$e = (e_x^2 + e_y^2)^{1/2} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

$$\beta = \tan^{-1}(e_y / e_x) \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

である。

なお、部品の回転ずれは先に修正しているため、回転ずれ角 $\Delta\theta$ はないものとしている。この部品の中心位置のずれは、この部品の搭載のためのXY方向基板位置の修正に用いる。なお、R部品については、許容できる位置誤差がLSI部品と比較して大きいため、部品の2箇所の位置を検出し、これらの座標をもとに、位置ずれと回転ずれを修正すればよい。

(2) 基板位置検出方式

基板を位置決めするためには、基板の複数箇所の位置を検出すればよい。ここでは、基板の両端にあるマークの位置を求める。基板上の部品の搭載位置は、これら2箇所のマークの位置座標と、予め与えられる基板の配線

パターンの設計座標とを基に算出することができる。

ここで対象とした基板の位置検出用のマークは、図3.8に示すように十字になっており、マークの位置座標は、この十字の枝部における印刷部と背景の境界座標を基に算出する。基板の画像は2値化し、マーク部を白に背景部を黒にしてこの境界位置を求めるため、TVカメラの映像信号の変動等によってその精度が低くなる。そこで、図3.8に示すように基板位置検出用の画面の座標軸を \tilde{x}, \tilde{y} とすると、検出位置の精度を高めるためこれらの境界位置の中点、つまり、十字マークの縦方向の線分の境界の中点での \tilde{x} 座標及び、横方向の線分の境界の中点での \tilde{y} 座標を検出する。いま、検出したこれらの境界位置の座標をそれぞれ、 $(\tilde{x}_1, \tilde{y}_1), (\tilde{x}_2, \tilde{y}_2), (\tilde{x}_3, \tilde{y}_3), (\tilde{x}_4, \tilde{y}_4)$ とする。この時、十字マークの中心位置 $(\tilde{x}_0, \tilde{y}_0)$ は、これらの中点座標として次式で表される。

$$\tilde{x}_0 = (\tilde{x}_1 + \tilde{x}_2) / 2 \quad \dots \dots \dots (3.22)$$

$$\tilde{y}_0 = (\tilde{y}_3 + \tilde{y}_4) / 2 \quad \dots \dots \dots (3.23)$$

なお、これら十字マークの境界位置の検出は、同じくテンプレートパターンマッチング法を用いる。辞書パターンの大きさは $J=K=12$ 、標本化の間隔は $\xi=\eta=1$ とする。また、探索領域は同図の破線で示すような線分とし、その領域の大きさは基板の供給誤差から決定する。

3. 4 実験結果

3. 4. 1 実験システム

部品および基板の位置検出システムの構成は、図3.9に示すように画像処理装置⁽¹⁰⁾とマイクロコンピュータの組合せからなり、これらによってTVカメラからの映像を高速で処理する。ここで使用した画像処理装置は、複数台のTVカメラの映像信号を切り換えて処理することができ、その動作は次の様である。まず、TVカメラの映像信号を2値信号に変換し、これを横320×縦240画素に標本化する。次いで、この2値画像に対してTVカメラの走査と同期して、高速にテンプレートパターンマッチングを行う⁽¹⁰⁾。

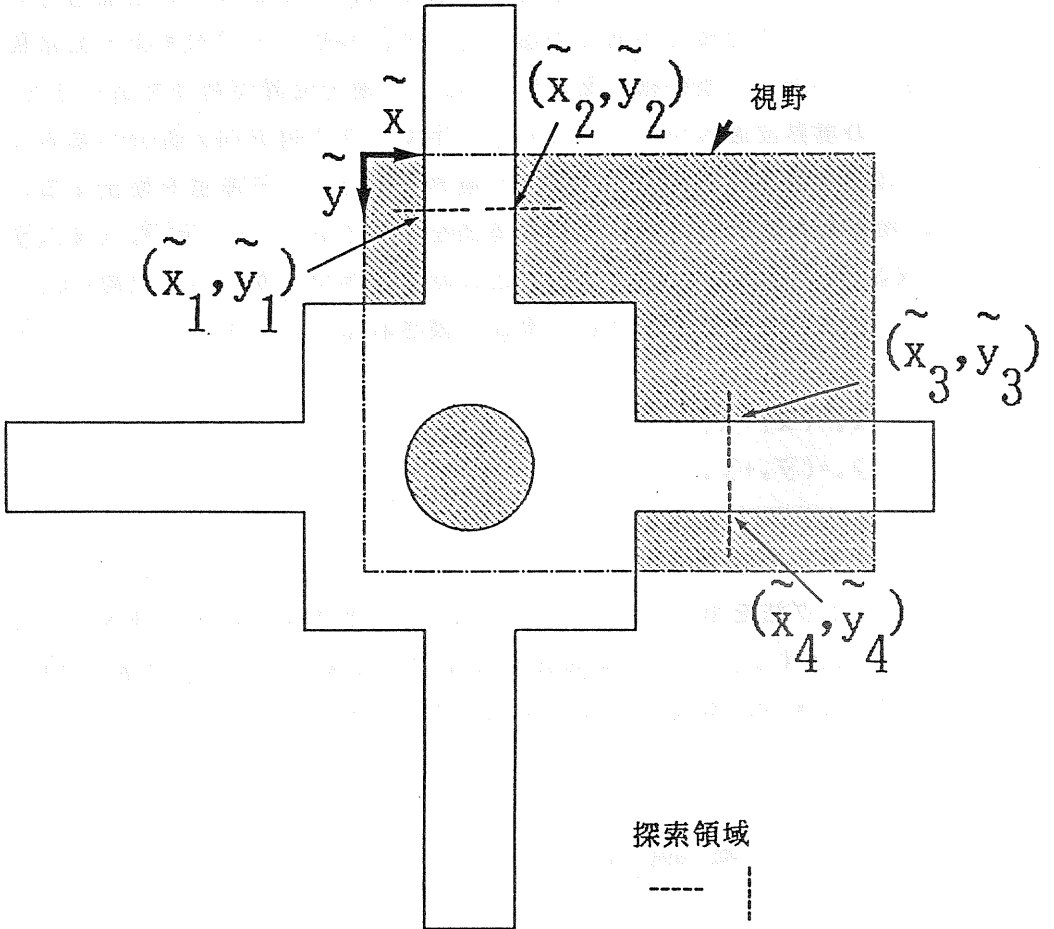


図 3. 8 基板マーク位置検出

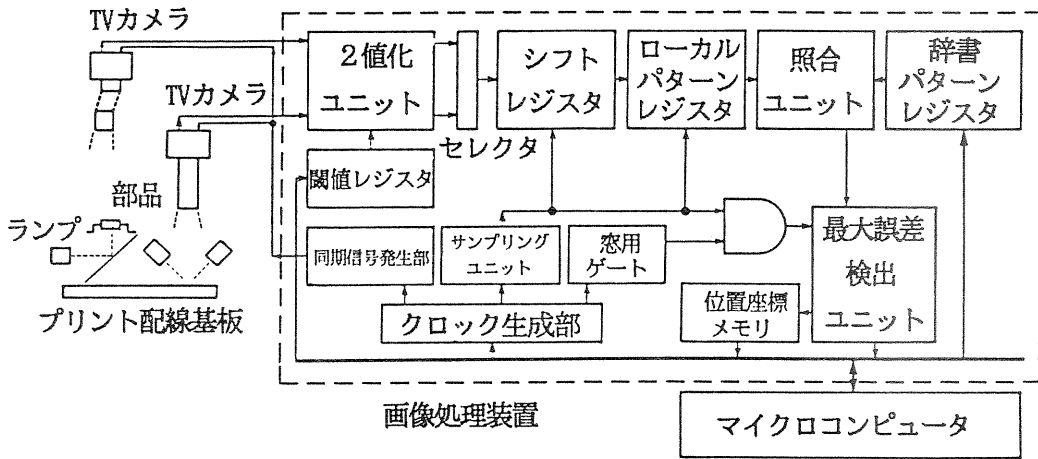


図 3. 9 位置検出用実験システム

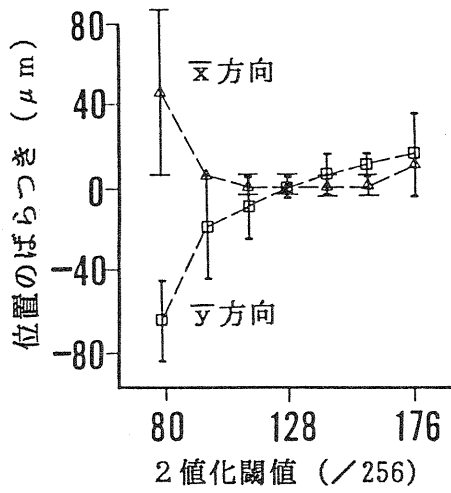
そのために、2値信号は走査と同期してシフトメモリに順次格納され、このシフトメモリより12×12画素の局所パターンを並列に切り出し、局所パターンレジスタに格納する。予め設定している辞書パターンとこの局所パターンとの画素ごとの照合を照合演算回路により行う。この照合演算回路で、これら2つのパターンの画素値の異なる画素数を並列に計数し、その計数値の探索領域における最小値及びその時の画面座標を検出する。このテンプレートパターンマッチング処理に要する時間は、TVカメラの走査に同期しているため1画面当り16.7msである。このため、十分実用的な時間で位置検出が可能である。

一方、マイクロコンピュータでは、位置検出の全体を制御し、画像処理装置に辞書パターンや2値化閾値などの各種パラメータを設定するとともに、検出した座標をもとに位置ずれ、回転ずれを算出する。

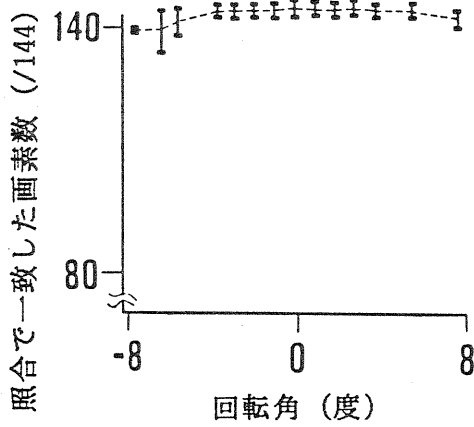
3. 4. 2 部品および基板の位置検出結果

リードの粗位置検出において、映像信号の2値化閾値と検出位置のばらつきとの関係を求めたものを図3. 10(a)に示す。図の縦軸は、リードの画面内 \bar{x} 、 \bar{y} 方向の検出位置座標のばらつきを示している。ここでは、横軸で示す各閾値ごとに粗位置検出を100回行ない、閾値128の場合の平均の検出座標を基準の原点に、他の閾値における位置のばらつきと平均及びばらつきの上限と下限とを縦軸に示す。この実験結果より、リードの概略位置を求める粗位置検出では、映像の2値化閾値が256段階のうち80~176(即ち96段階,37.5%に相当)の範囲で、位置精度が±8画素(±80 μ m)以内である。また、図3. 10(b)は、回転ずれに対するマッチングの安定性を求めたもので、部品の回転角を横軸に、テンプレートパターンマッチングにおいて画素ごとの照合で一致した画素数(即ち辞書パターンの画素総数144(=12×12)より(3. 10)式で求めた最小値 ϕ_m を減算した値)を縦軸にとっている。この結果より、部品の回転ずれ角が供給時の誤差±4度の範囲では、辞書パターンとの良好な重ね合せが得られることが分かる。

リード境界の精位置検出結果の例を図3. 11に示す。また、リードの精位置検出において、その検出位置のばらつきと一致の画素数の関係を求めたものを図3. 12(a)に示す。この実験では、映像の2値化閾値を変えながらテンプレートパターンマッチングを100回行なった。横軸は閾値を表しており、また閾値128の場合の平均の検出座標を基準の原点にとり、求

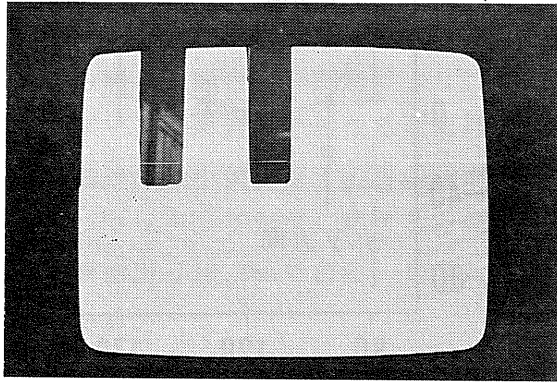


(a) 検出位置の誤差

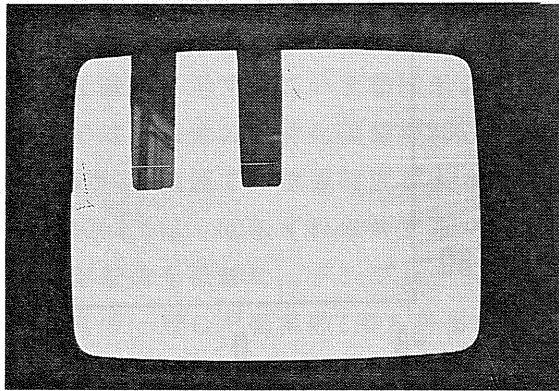


(b) 回転ずれによるマッチングの誤差

図3. 10 部品リードの粗位置検出精度の例

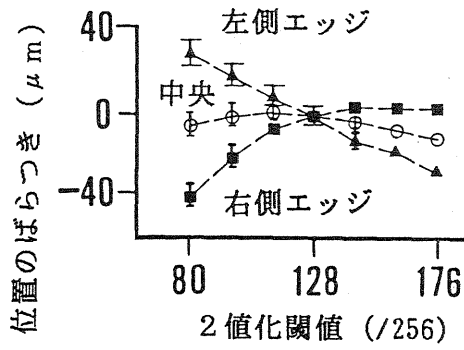


(a) 左側エッジ

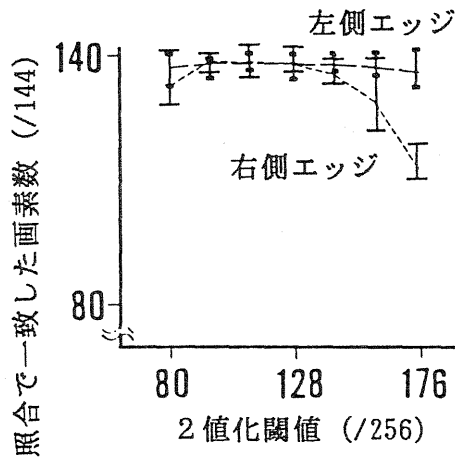


(b) 右側エッジ

図 3. 1 1 部品リードのエッジの精位置検出の例

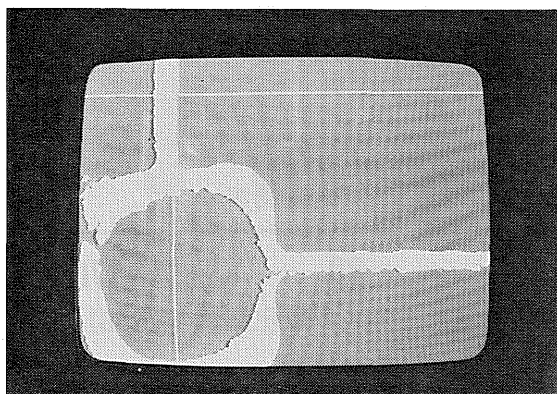


(a) 検出位置の誤差



(b) マッチングの誤差

図 3. 1 2 部品リードの精位置検出精度の例

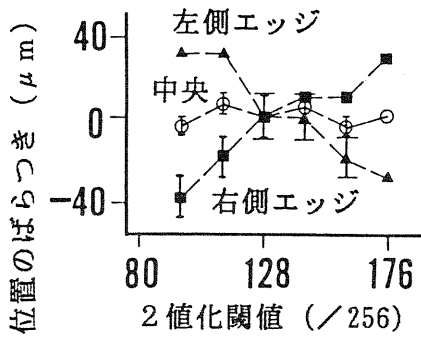


(a) 右側エッジ

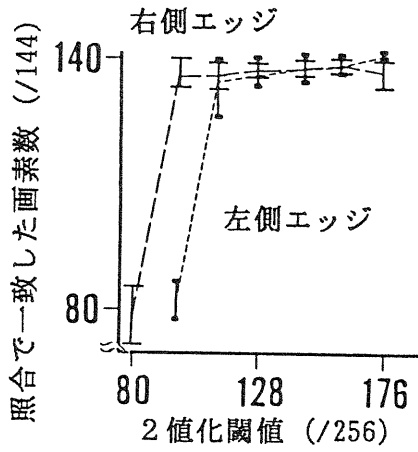


(b) 上側エッジ

図 3. 1 3 基板マーク位置の検出例



(a) 検出位置の誤差



(b) マッチングの誤差

図 3. 14 基板マーク位置の検出精度の例

めた位置のばらつきの平均を縦軸に表す。また、図3.12(b)に、画素ごとの照合で一致した画素数と2値化閾値との関係を示す。これらの結果により部品のリードの精位置検出では、リードの左右方向の中心位置は±1画素(±10μm)の精度で求めることができ、また良好な重ね合せが得られ実用上十分な信頼性のあることが分かる。

また、図3.13に、基板の十字マークに対してその境界位置を検出した例を示す。この基板位置検出において、図3.14(a)は、2値化閾値を変化させた場合の検出位置のばらつきの平均を、閾値128の場合を基準に示したものであり、また、ばらつきの上限と下限も示す。また、図3.14(b)に、2値化閾値とテンプレートパターンマッチングによる一致画素数との関係を示す。ここで述べた実験結果により、基板の十字マークの検出位置のばらつきは、映像の2値化閾値の範囲が濃淡値256段階の内、96~176(即ち80段階,31.3%相当)の範囲で±2画素(±20μm)であることが分かる。また、辞書パターンとの重ね合せによる画素の一致個数は、2値化閾値128において144個の内96%であり、良好なマッチング結果が得られている。

3. 5 結 言

本章では、LSIなどの電子部品を高密度のプリント配線基板上に自動的に組み立てるために必要な、新しい位置検出手法を提案した。ここで開発した位置検出法では、対物レンズを移動させることにより任意の位置にTVカメラの視野を設定できるという特徴や、同一形状を有するリードのシルエット像群の中から、高速のテンプレートパターンマッチング法を用い、特定のリードの位置を検出するという特徴を有する。このため、異形・大型の電子部品にも対処できる高精度でかつ高速な手法である。さらに、実際の電子部品とプリント配線基板を対象に、位置検出実験を行い、実用上十分な位置精度を達成する見通しが得られた。なお、本研究による技術成果は、計算機用プリント基板の製造工程に活かされるとともに、その後、さらに改良され高密度プリント基板の自動実装技術として応用されて生産に大きく貢献した。

第4章 電子部品の捺印パターン欠陥検出手法

電子部品においては、その表面に捺印された文字パターンは、その電子部品の品種の唯一の手掛かりであり、その印字品質は、その電子部品にとっての品質そのものといえることができる。即ち、文字パターンに対して、その印字品質を自動的に評価することは、印字品質の検査や印刷装置の監視、さらには文字認識装置の評価のために重要な課題である。本章ではトランジスタや集積回路等の電子部品の表面に捺印された文字を対象に、自動的に外観を検査することを目的とした欠陥検出手法について報告する。ここでは、先ず、検査対象である捺印パターンの特徴と、消え、汚れ、にじみ等の捺印欠陥の検出課題を示す。次に、欠陥検出手法として、①標準的なパターンとの照合を重みを付けて行なう手法、②標準的なパターンを空間的に分割し、この分割パターンを用いて照合を行なう手法、③文字の芯線部と背景部から予め選択した固有の点を基に局部パターンの照合を求める手法、の三つの実現方法を提案する。最後に、これらの欠陥検出手法を計算機上で実現し、実際のトランジスタの捺印パターンを対象とした実験結果を示し、これらの手法を比較検討するとともに、その有効性と利用法を明らかにする。

4. 1 緒言

物体表面に捺印された文字パターンや紙面に印字された文字パターンに対して印字品質を自動的に評価することは、印字品質の維持や印刷装置の監視のために重要な技術である。この印字品質の評価の中でも、印字された文字が人に読み取れるかどうかという判読性の評価は文字特有のパターン検査の課題であり、従来より視覚による官能検査が行われているが、評価基準が不明確なため自動化が困難であった。そこで、トランジスタや集積回路等の電子部品の表面に捺印された文字を対象に、印字品質を客観的に評価するための自動外観検査手法を開発してきた^{〔22〕〔23〕}。本章では、

三つの自動外観検査手法についてその実現方法と、実験によるそれら手法の比較結果について報告する。ここで対象とした捺印文字のパターンは、電子部品に対する品種判定の糸口でもあるため、その外観検査は重要である。さらに、捺印パターン検査工程における検査精度の平準化や検査コスト低減の点からも、外観検査の自動化が要望されていた。

従来より、自動外観検査は、対象パターンが正確な形状をもって形成されている電子部品、例えばプリント配線基板、フォトマスク、レチクルなどのパターンを検査対象として開発が始められており^{〔24〕〔25〕〔26〕}、一部はすでに実用化されている。これらの外観検査のための方式としては、(1)パターンを拡大・縮小し微小傷を検出する方式^{〔24〕}や、(2)欠陥パターンに特徴的に出現する部分的なパターンの有無に基づいて欠陥を検出する方式^{〔25〕}、(3)2つのパターンの比較をもとに異同を判定する方式^{〔26〕}などがある。従来のこれらの手法を、本論文で対象とした捺印パターンにそのまま適用することは困難である。例えば、(1)、(2)の方法では微小部分に注目して検出処理を行なうため、大きな形状をもつ欠陥、例えば文字の重要構成要素がそっくり欠如しているような欠陥を検出することは難しい。また、(3)の方法では2つのパターンを高精度で位置決めする必要があり、パターンの撮像光学系が一般に複雑になるという問題がある。そのため、捺印パターンを検査する一手法として、著者らは固有点照合法を提案している^{〔22〕〔32〕}。

電子部品製造における外観検査以外では、例えば、紙に印刷した文字の印字品質を定めるものとして光学文字読取り装置(OCR)のためのJIS規格^{〔27〕〔28〕}があり、このOCRのための印字品質評価方式がいくつか提案されている^{〔27〕〔29〕〔30〕}。しかし、これらOCRのための品質評価方式では評価項目が多く、また複雑であるため、高速の処理が必要な電子部品の捺印の検査に応用することは、実用上難しい。

これらの観点を基に、文字の消え、欠け等の捺印パターンの欠陥を、予め設定した辞書パターンを用いて検出し、捺印の品質を自動的に検査する実用的な手法を提案し、それら手法の実験的な比較検討を行う^{〔31〕}。まず第4.2節では、電子部品における捺印パターンの特徴と自動検査のための課題を示す。次に第4.3節で、三つの欠陥検出法の実現方法を述べる。最後に第4.4節で、実際の電子部品の捺印を対象とした外観検査実験の

結果を述べ、三つの手法の比較とそれらの有効性を考察する。

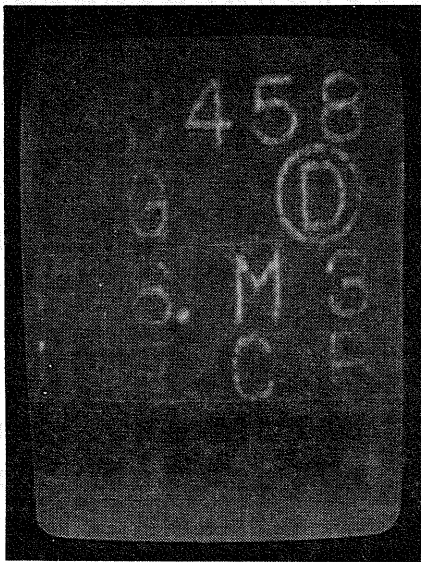
4. 2 捺印の特徴とその検査課題

電子部品には、そのパッケージの表面に品種名、グレード、製造事業所と製造年月などを示す文字が捺印される。図4. 1にプラスチック封止型の小信号トランジスタの捺印を例示する。文字の種類には、アラビア数字、アルファベット大文字、グレード記号(アルファベット大文字を○で囲ったもの)などがある。また、文字数としては1行に2～5文字程度で、行数は2～4行程度であり、行内の配置は必ずしもそろっていない。部品の捺印面全体の大きさは約3×4mm、文字の大きさは約0.7×0.5mmである。この電子部品の表面に捺印されるパターンにおいては、通常生じる欠陥の種類例として、捺印が全然印刷されていない欠陥(捺印無し)や、捺印が消えていたり或いは消えかけている欠陥(消え・薄れ)、文字、記号の一部が欠けている欠陥(欠け)、インクが濃すぎ余分にはみだしている欠陥(にじみ)、インクが背景部につき汚れている欠陥(インク汚れ)、2重に印刷されている欠陥(2重捺印)、位置が大きくずれている欠陥(位置ずれ)、捺印が捺印面上で大きく回転し傾いている欠陥(傾き)等がある。これらの欠陥を大別すると、捺印無し、薄れ、欠けなどのように文字部分(明るい)が欠如している欠陥と、にじみ、インク汚れなどのように本来は背景部分(暗い)であるのに、インクがはみだしたり、余分に付着している欠陥とがある。

このような電子部品の捺印パターン欠陥に対する外観検査には次のような難しい問題がある。対象パターンは部品表面上に捺印された文字であるため、本来2値のパターンである。そこで、濃淡画像を予め2値化処理し、2値化画像に対して欠陥検出手法を適用することとする。しかしながら、文字(明るい)と背景(暗い)との境界が対象によってばらつくし、また、文字の線幅にもばらつきがある。即ち①パターンの低い形状・位置精度に対して対処する必要がある。また、対象とした捺印パターンは文字であり、プリント配線基板のような配線パターンと異なり、文字として判別できれば良いという性質も持つ。そのため、良否の判定は、文字記号として判読



(a) 正常



(b) 欠け



(c) インク汚れ

図4. 1 捺印パターンの例

ができ、誤読されないということによる。即ち②人の読み取り能力に従った判定が必要である。さらに、実用上の点から、捺印機の動作時間に追従するため③高速の処理が必要である。

そこで、これらの要求を満たすものとして次節で述べるような三つの欠陥検出手法を開発し、それらの有効性を実際のサンプルによる実験で比較検討した。

4. 3 欠陥検出の原理

4. 3. 1 手法の概要

捺印パターンをTVカメラで撮像しその映像信号を白黒の2値デジタル画像に変換する。この2値画像から検査対象となる文字の部分画像を切り出し、これに対して、予め設定している辞書データとの照合を行なう。照合の度合が良くない文字に対しては欠陥が存在するとし、この文字を不良と判定する。なお、ここでは欠陥の有無を判定すればよく、欠陥の種類の見分けは必要ないものとする。以下に捺印パターンの撮像方式と欠陥検出方式の概略を説明する。

(1) 撮像方式

安定な2値化画像を得るため、インクが付着している明るい文字部分とプラスチック封止材の暗い背景との濃淡差を大きくする必要がある。背景部分の封止材は黒色ではあるが光沢があり、鏡面反射成分が多い。これに対してインクは白色であり、又インク表面には微小な凹凸がみられ、拡散反射成分が多い。そこで、捺印面に対して垂直方向にTVカメラの光軸を設定し、照明を斜め方向より加える。これにより、インク部を明るく背景を暗くすることができる。TVカメラにより撮像された捺印パターンの映像信号を白黒の2値に変換し、この2値化画像に対して次のような方式で欠陥検出を行なう。

(2) 欠陥検出方式

ここでは、比較のための辞書を使用する方式として、次の三つの手法を採用する^{〔22〕}。いずれも、辞書との照合の程度が良好であれば良文字と判定する手法である。

①標準的なパターンを辞書パターンとして、画素ごとの照合を行う際に、文字の白黒境界部はdon't care部(不感帯)とする。また、芯線部の照合には重みを付けて行う⁽²²⁾。

②文字を部分領域に分割し、各部分領域に対して、予め設定している標準的な部分パターンを辞書として画素ごとの照合を行なう⁽²²⁾。

③文字の芯線部及び背景部から予め固有の点を選択しておき、これらの固有点において、画像との照合を行なう⁽³²⁾。

(3) 位置合わせ方式

欠陥検出を正しく行うには、先ず位置合せが重要となる。即ち、対象とする文字の位置は、部品の供給誤差、捺印の際の位置ずれ等により、一般に所定の位置からずれている。従って、前述した辞書データとの照合を、部分画像の切り出し位置を縦横にずらしながら行ない、最も照合の度合が良好な位置を求める必要がある。

この位置の探索では、捺印された各文字の相対的な位置は変動しないことを利用し、捺印文字の中から予め設定している2文字の位置検出を行ない、これら2文字の位置を基に残りの文字の粗位置を簡単な幾何計算により算出する。欠陥検出においては、この各文字の粗位置を基準に小さい範囲でずらせばよく、従って、処理時間が短縮される。2文字の位置検出方法としては、装置構成を簡単にするため、文字の欠陥検出手法をそのまま用いることとする。即ち、位置をずらしながら文字の照合の度合を求め、照合の度合が最良の位置をもって、その文字の位置とする。なお、位置検出用の2文字に大きな欠陥があると、位置検出がうまくいかず、各文字の粗位置が大きくずれることがある。この場合は、次いで行なう欠陥検出における照合の程度が捺印文字すべてに対して悪くなり、結局は不良と判定されるので、部品の良否を検査するという点での実用上の問題はない。また、このように文字の位置を検出しているために、捺印の位置が大きくずれた位置ずれ欠陥も容易に検出できる。

4. 3. 2 欠陥検出手法

(1) 従来の単純照合法

2次元パターンから欠陥を検出する手段としては、予め設定している標準的な辞書パターンと対象パターンとの画素ごとの相関を求めるパターンマッチング法⁽²⁾が応用できる。いま辞書パターンを $f(p,q)$ 、対象画像を g

(x, y) , 文字の切出しのための始点座標を (x_0, y_0) とした時, 次式で表される相関値を欠陥検出のための評価量 Λ とし, この評価量がある所定の値より小さければ, その文字を良と判定する方法である。

$$\Lambda = \min_{j, k} \left\{ \sum_{p=0}^{P-1} \sum_{q=0}^{Q-1} f(p, q) * g(x_0 + d_x j + p, y_0 + d_y k + q) \right\} \dots \dots (4. 1)$$

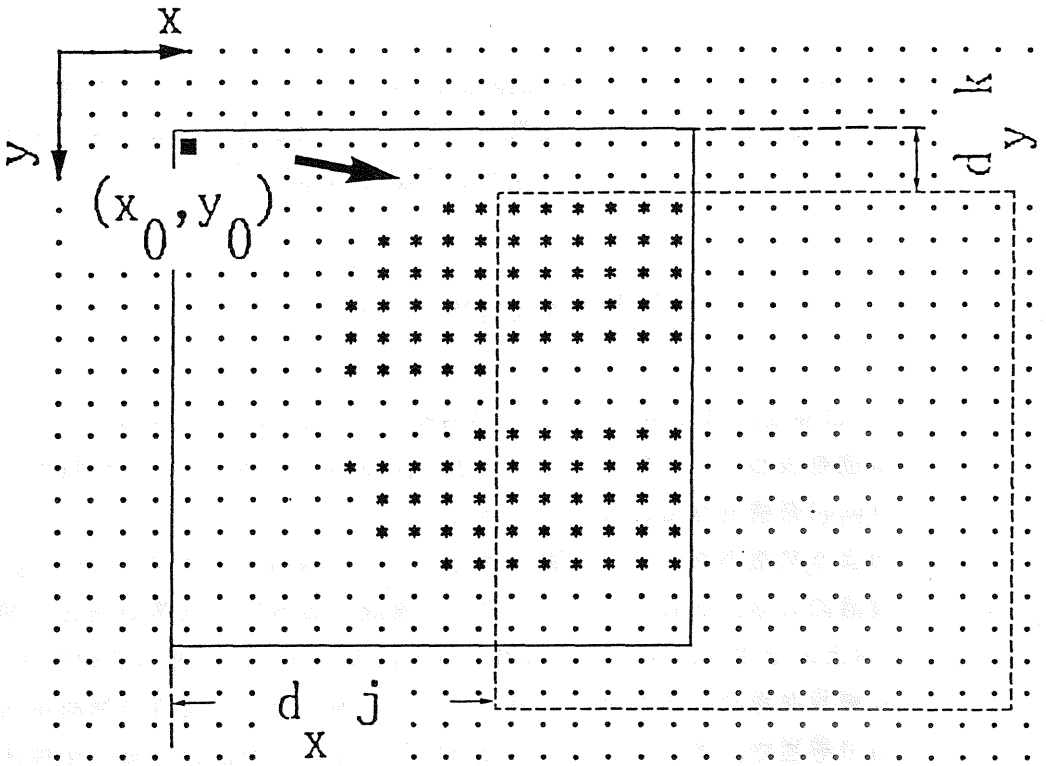
但し, j, k は移動回数であり $(0 \leq j \leq J, 0 \leq k \leq K)$, d_x, d_y は x, y 方向へのずらし量の単位を表わす。また, $*$ は2を法とする加算である。 P, Q は辞書パターン $f(p, q)$ の横及び縦の大きさである。

捺印のように微小な文字の印刷の場合, 文字の線幅が例えば20%程度減っても良品に入る。それに対して, 文字を構成する線分の脱落が長さで20%程度におよんで文字としては致命的な不良になったとしても, このパターンマッチングでは, この相関値の不足分が同等となり, 良否の判別が困難である。そこで, 文字にとっての致命性をより良く判定の評価に反映させるため, 次のような3つの欠陥検出方法を提案する。

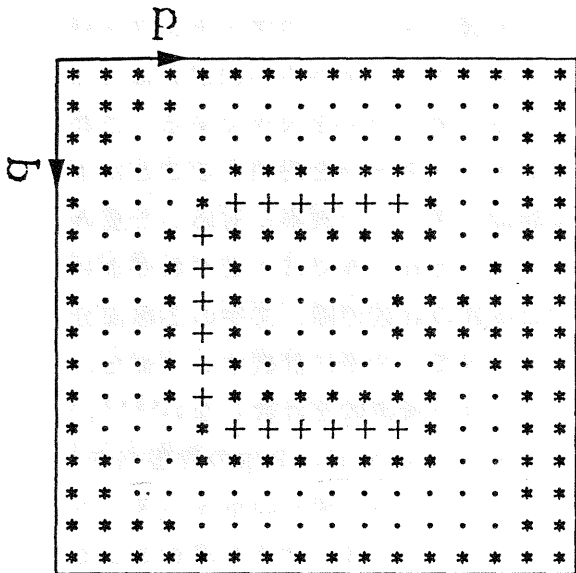
(2) 重み付けパターン照合⁽²²⁾

パターンの境界が不安定であるので, 辞書パターンとのマッチングを行う際に, 白黒の境界近傍に不感帯を設ける。また, 文字の芯線部分はある程度以上のとぎれがないよう欠けに対するペナルティを大きくする。これらは, 辞書パターンに重み係数よりなる重みパターンを附加することによって実現できる。例えば, 不感帯では辞書パターンの画素に対応した重みパターンの重みを0に, 芯線部分では2に, それ以外では1とすればよい。つまり, パターン照合において不一致画素数の計数の際, 文字の芯線部分での不一致画素を重み係数が1の場所に比べて, 2倍に計数する。また, 文字の境界近傍は重み係数を0とし, 不一致の画素数を計数しない⁽²²⁾。

いま, 図4. 2に示すように, 重みパターンを $e(p, q)$, 2値の辞書パターンを $f(p, q)$, 2値の対象パターンを $g(x, y)$ とする。図中の重みパターンにおいて, \cdot 印は重み係数0を, $*$ 印は1を, $+$ 印は2をそれぞれ表している。また, 対象パターン $g(x, y)$ から, 辞書パターン $f(p, q)$ に対応するパターンを, 切り出し位置を平行にずらしながら切出すとし, その切り出し位置の始点を (x_0, y_0) とする。この時, 評価量 Ψ を次式で表わす。

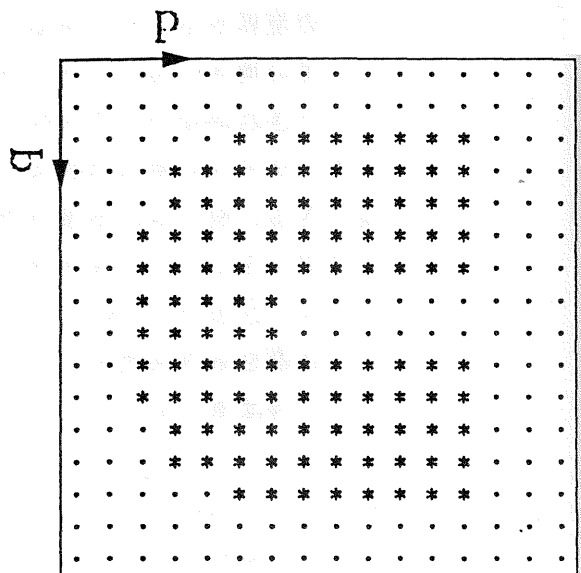


対象パターン $g(x, y)$



重みパターン

$e(p, q)$



辞書パターン

$f(p, q)$

図4. 2 重み付けパターン照合の座標(文字Cの例)

$$\Psi = \min_{j,k} \left[\sum_{p=0}^{P-1} \sum_{q=0}^{Q-1} e(p,q) \{f(p,q) * g(x_0 + d_x j + p, y_0 + d_y k + q)\} \right] \dots\dots (4.2)$$

但し、 j, k は移動回数であり($0 \leq j \leq J, 0 \leq k \leq K$)、 d_x, d_y は単位移動量、 $*$ は2を法とする加算である。

この評価量 Ψ が文字ごとに予め与えられるある所定値 ϕ より小さければ、即ち次式

$$\Psi < \phi \dots\dots\dots (4.3)$$

を満たせば良文字と判定する。

(3) 分割パターン照合^{〔22〕}

局部に限定された小さな欠陥は通常致命的なものではない。また、全体的なパターンの少々のため、細めは重大な欠陥でない。しかし、局部での大きな面積にわたっての欠陥は、重大な欠陥である。この点に注目して1文字をさらに、横M個、縦N個のブロックに分割し、いずれかのブロックでの欠陥の割合が閾値を越えたときその文字を不良とする。欠陥の抽出には(4.1)式に示した通常の2値パターンのマッチングを各分割画像に対して行う^{〔22〕}。

このため、図4.3に例示するように、標準的なパターンからM×N個の分割辞書パターンを作り、これらと対象画像との画素ごとの照合を行い、画素の不一致の個数を分割辞書パターンごとの特徴量とする。今、x方向のm番目($1 \leq m \leq M$)、y方向のn番目($1 \leq n \leq N$)の分割辞書パターンに対して、位置を平行にずらして対象画像から部分的なパターンを切出すときの切出し位置の始点を (x_{mn}, y_{mn}) 、分割した辞書パターンの大きさをR×U画素とし、その分割辞書パターンを $f_{mn}(r, u)$ 、対象画像から切り出す部分的なパターンを $g_{mn}(x, y)$ とする。各ブロックの分割マッチングの評価量 Ω_{mn} は、

$$\Omega_{mn} = \min_{j,k} \left\{ \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{u=0}^{U-1} f_{mn}(r, u) * g_{mn}(x_{mn} + d_x j + r, y_{mn} + d_y k + u) \right\} \dots\dots (4.4)$$

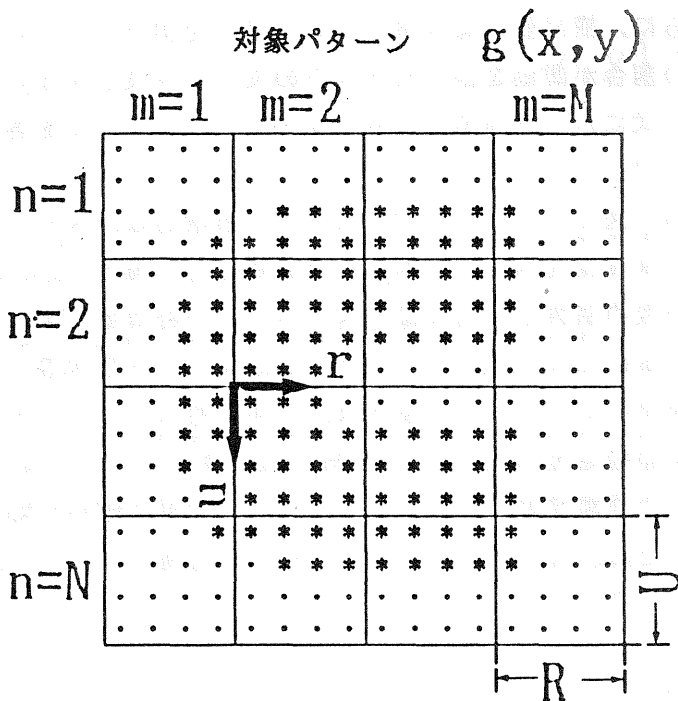
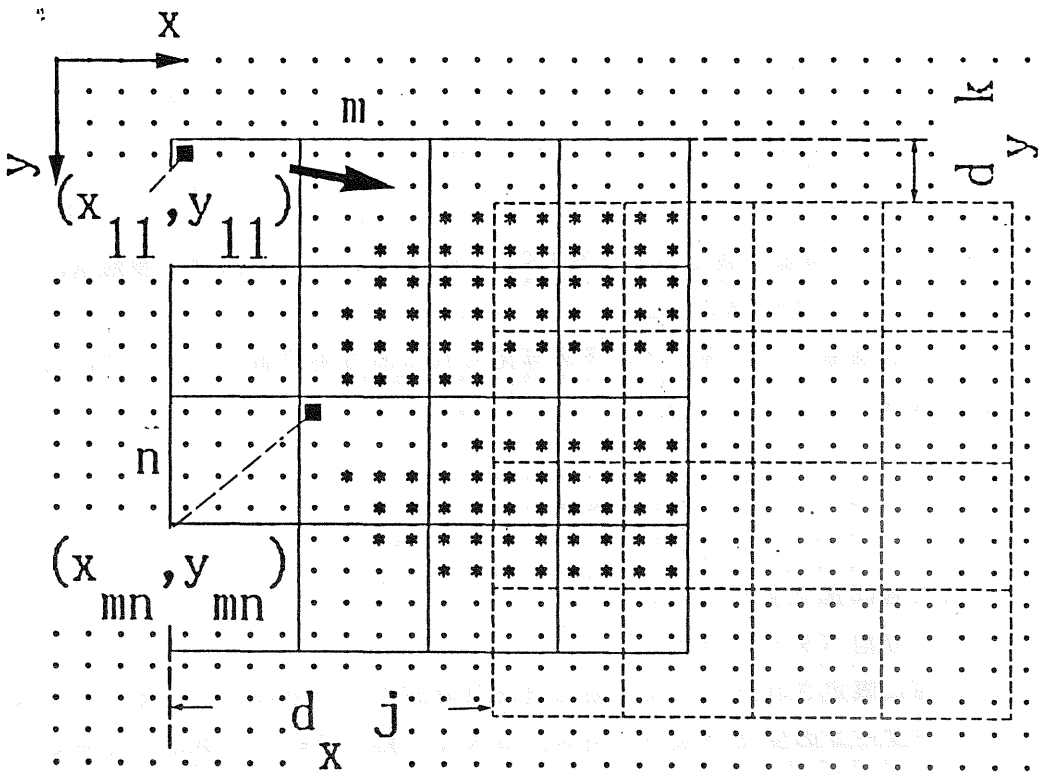


図4. 3 分割パターン照合の座標

但し、同様に、 j, k は移動回数であり($0 \leq j \leq J, 0 \leq k \leq K$), d_x, d_y は単位移動量、 $*$ の演算は2を法とする加算を表わす。

このようにして求めた評価量をもとに良否を判定する方法として、次の様な幾つかの方法がある。一つの方法としては、求めたブロックごとの評価量の最大値を予め文字ごとに設定している閾値 ω と比較し、この評価量が閾値以下であれば、その文字は良パターンとする。即ち、次式を満たせば良文字と判定する。

$$\max_{m,n} (\Omega_{mn}) < \omega \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

また、別の方法としては、各ブロックごとに予め閾値 ω_{mn} を設定しておく、次式が満たされないブロックの数が所定数を越えると不良と判定する方法がある。

$$\Omega_{mn} < \omega_{mn} \quad \text{for} \quad 1 \leq m \leq M, 1 \leq n \leq N \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

後述する検査実験では、 $M=N=4$ とし、簡単のため(4.5)式を用いて良否を判定することとする。

(4) 固有点照合

固有点照合法⁽²²⁾⁽³²⁾では、文字が欠けてはならない芯線部分と、パターンがはみ出してはならない背景上の周縁部分のなかから、いくつかの固有の点(固有点)を文字ごとに予め選択する。あまり微小な不一致には感じないよう、固有点の位置を基準に対象画像から 3×3 画素の局部パターンを切り出す。そして、1画素の辞書パターン S (但し、 S の値は0または1)との照合を行い、この辞書パターンと値が異なる局部パターンの画素の個数(反転画素数)を求める。この反転画素数が所定の閾値 α を越えている固有点(反転固有点)に対して、その位置には欠陥が存在すると判断する。文字全体でこれらの反転固有点の数を計数する。この個数が別に設けた所定の閾値を越えたときその文字を不良とする。なお、既述のように、捺印パターンの位置は供給誤差等の影響で一般にずれているため、予め各文字の概略位置を検出し、その範囲内で、固有点の位置を x, y 方向にずらしな

から照合を行う。

今、図4.4に示すように、文字の標準的な位置を (x_0, y_0) とする。文字の内部または外部固有数の個数を H 、 h 番目の固有数と $h+1$ 番目の固有数との座標の増分を $\langle \Delta x_h, \Delta y_h \rangle$ とする(但し、 h は $1 \sim H-1$ なる整数)。なお、 $\langle \Delta x_0, \Delta y_0 \rangle$ は文字の標準位置から1番目の固有数の位置までの変位である。さらに、固有数の組は文字の基準位置をから x, y 方向に移動することができ、 x 方向の移動距離の単位を d_x 、 y 方向の移動距離の単位を d_y とする。また、移動する回数をそれぞれ j, k (但し、 j は $0 \sim J$ 、 k は $0 \sim K$ なる整数)とする。いま、固有数を x, y 方向にそれぞれ j 回、 k 回に移動したときの h 番目の固有数の x, y 座標 $x(h, j), y(h, k)$ は次式となる。

$$x(h, j) = d_x j + x_0 + \sum_{i=0}^{h-1} \Delta x_i \quad \dots \dots \dots (4.7)$$

$$y(h, k) = d_y k + y_0 + \sum_{i=0}^{h-1} \Delta y_i \quad \dots \dots \dots (4.8)$$

対象画像を $g(x, y)$ とすると、固有数照合における評価量 Φ は次式で表わされる。

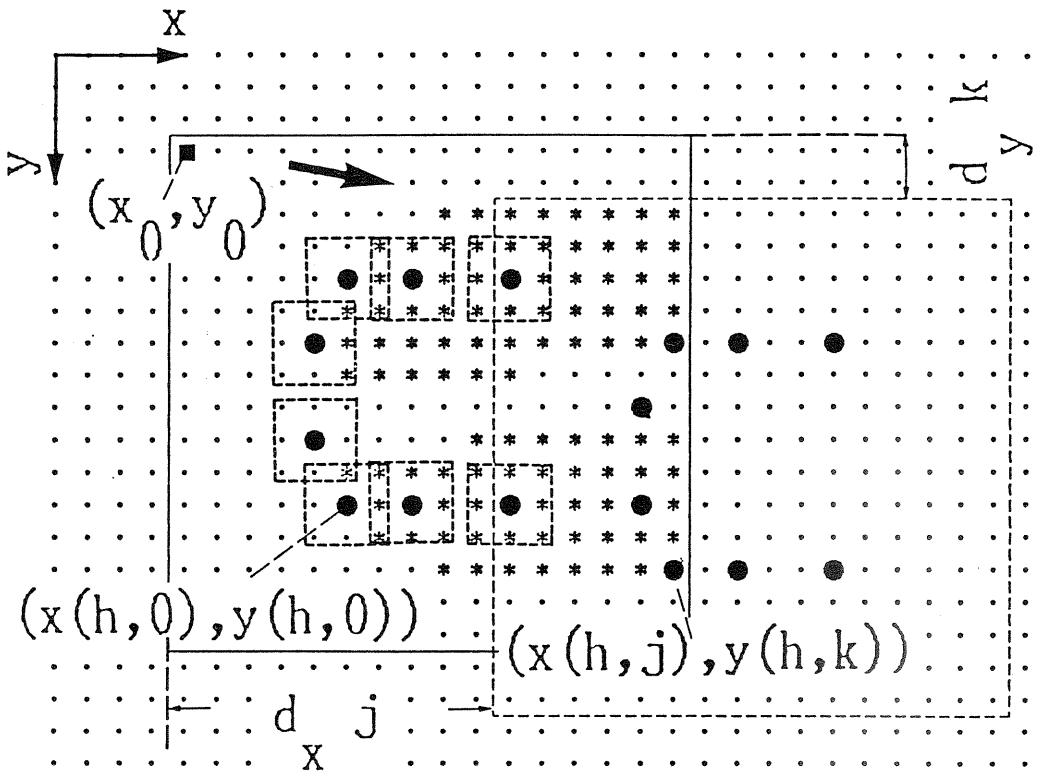
$$\Phi = \min_{j, k} \left[\sum_{h=1}^H u \left\{ \left(\sum_{w=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 S * g(x(h, j)+v, y(h, k)+w) \right) - \alpha \right\} \right] \quad \dots \dots \dots (4.9)$$

但し、 $u(z)$ はステップ関数であり、

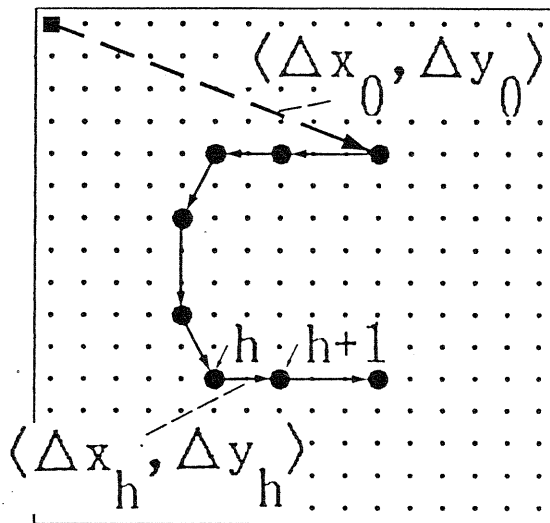
$$\left. \begin{array}{ll} u(z) = 0, & z \leq 0 \\ & 1, & z > 0 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (4.10)$$

である。

内部及び外部固有数に対する評価量をそれぞれ Φ_1, Φ_2 とすると、これらの評価量を基に良否を判定する方法としては次のような幾つかの方法がある。一つの方法としては、これらの評価量 Φ_1, Φ_2 が次の2つの式とも満たせば良文字とする。



対象パターン $g(x, y)$



固有点

(dictionary)

図 4. 4 固有点照合の座標

$$\Phi_1 < \gamma \quad \dots\dots\dots(4.11)$$

$$\Phi_2 < \delta \quad \dots\dots\dots(4.12)$$

なお、 γ 、 δ はそれぞれ文字ごとに内部及び外部固有点に対して予め設定している閾値である。

また、別の方法としては、これらの評価量 Φ_1 、 Φ_2 の和が文字ごとに予め設定している閾値 ξ より小さければ良文字と判定する方法がある。即ち、次式を満たせば良文字とする。

$$\Phi_1 + \Phi_2 < \xi \quad \dots\dots\dots(4.13)$$

なお、後述の検査実験では、簡単のため(4.13)式を用いて良否を判定することとする。

4. 4 実験による検討

ここでは、予め目視により良否を検査された典型的な捺印文字に対し、小型計算機による検査実験を行なった。対象としたのは、プラスチック封止型のトランジスタ上の捺印文字である。この捺印文字をTVカメラにより撮像する。その視野は、捺印文字全体が撮像できるよう設定する。また、照明としては既述の斜方照明法を採る。撮像した捺印画像は256×256画素の2値画像に変換し、小型計算機によってソフトウェア処理を行なう。この処理プログラムでは、画像の入力、表示や部分画像の切り出し等の基本的な処理を、サブルーチンとして汎用性を持たせている。

4. 4. 1 実験結果

(1) 欠陥検出結果

検査対象のトランジスタ捺印文字の2値画像を図4.5に例示する。この捺印では上部にある文字Cと中央部にある文字Lの一部に欠けがある。この捺印パターンを対象とした重み付けパターン照合における欠陥検出例を図4.6に示す。同図(a)は、重み係数 $e(p,q)=2$ に相当する辞書パター

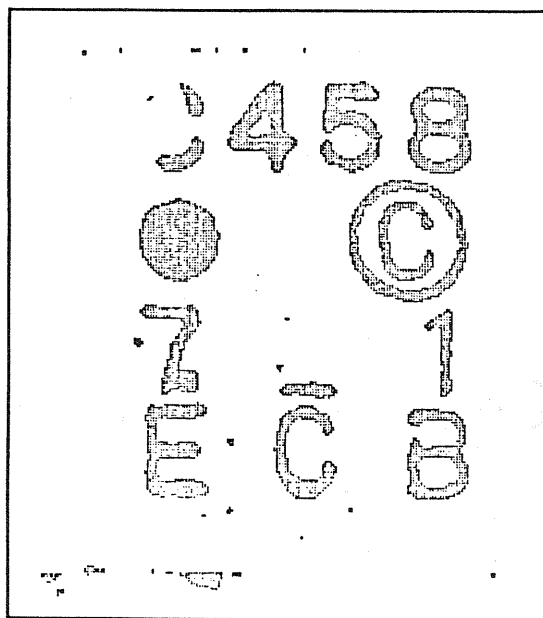
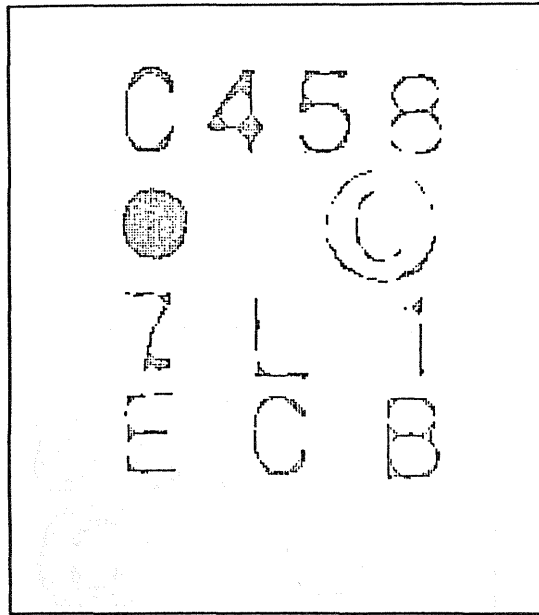
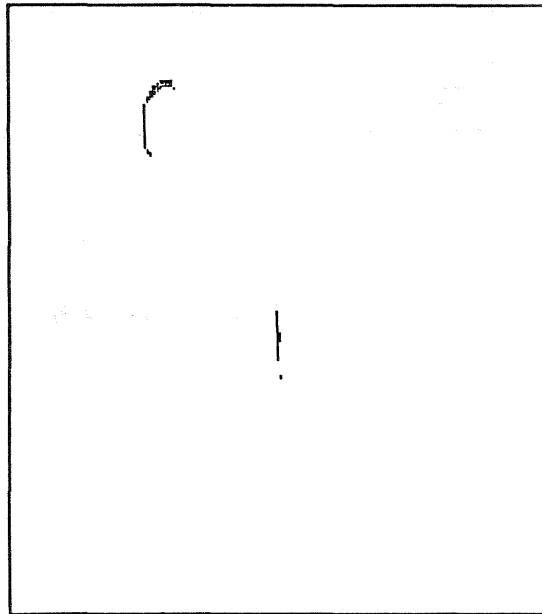


図4. 5 捺印の2値画像例



(a) 辞書パターン

[$e(p,q)=2$ and $f(p,q)=1$]



(b) 欠陥部分

図 4. 6 重み付けパターン照合による欠陥検出例

ンを示す。同図(b)は、(a)に示した辞書パターンとの画素ごとの相関を求めた結果、不一致となった画素である。同様に、分割パターン照合における検出例を図4.7に示す。同図(a)は分割された辞書パターンを、(b)は照合によって不一致となった画素の抽出例である。さらに、固有点照合における内部固有点の例を図4.8(a)にまた、内部固有点を用いた欠陥の検出結果の例を同図(b)に示す。

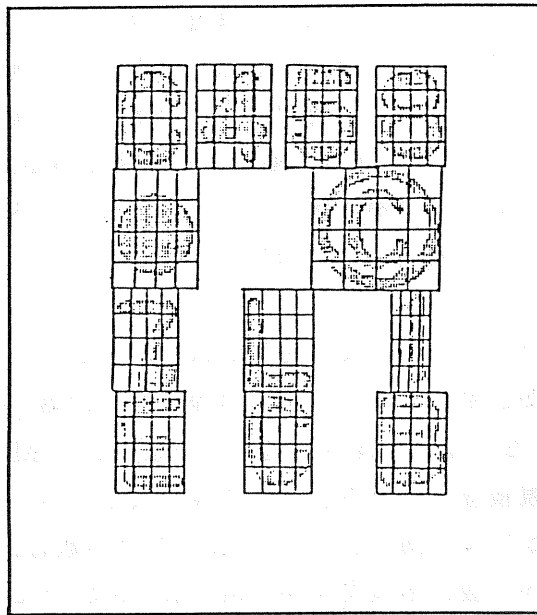
(2) 検査精度

インクの濃淡サンプルや、文字記号の欠け、汚れサンプルに対して、予め専門の検査員が目視によりその欠陥の程度を3段階(良品、良品限度品、不良品)に分類した。なお、良品限度品に分類された捺印文字は、実際の検査工程での目視検査では合格品として取り扱われるものであった。これらの典型的なサンプル13個(但し中に含まれる文字数は、良文字が145個、良品限度の文字が4個、不良文字が7個、計156文字)に対して、自動検査の判定結果と目視検査結果との合致の程度を検討した。図4.9に3つの欠陥検出方法について求めた評価量と文字数の頻度の関係を示す。それぞれに破線で示した評価量は、計算機実験で用いた良否判定の閾値である。同図(a)の横軸は、対象文字ごとに(4.2)式の値を正規化した値であり、重みパターンの値が1と2である全画素数で正規化し、これを百分率で表している。また、同図(b)の横軸は、(4.5)式の左辺を、分割したブロック内の画素数によって正規化した値であり、これを百分率で表している。さらに、同図(c)では、横軸は(4.13)式の左辺、即ち反転固有点の総数の最小値である。なお、(4.9)式中の閾値 α は $\alpha = 4$ とした。

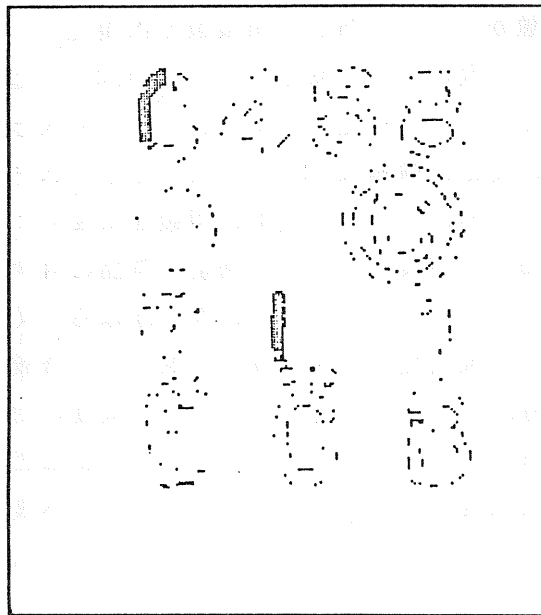
実用上は、致命的な不良品に対する判定と良品に対する判定が重要である。良品限度のものについては、良否の判定がばらつくが、良文字と不良文字については、目視検査と自動検査の結果はよく合致しており、これら3つの方式とも有効であることが分かる。良品限度に対しては、少数の実験サンプルであるが、特に、重み付けパターン照合法と分割パターン照合法において、良品限度を良品と判定する割合よりも不良品と判定する割合の方が大きく、これら二つの手法は固有点照合法より信頼性が高いものと考えられる。

4.4.2 処理時間の比較検討

一般に処理時間は検査のための装置の構成に依存する。開発した手法を

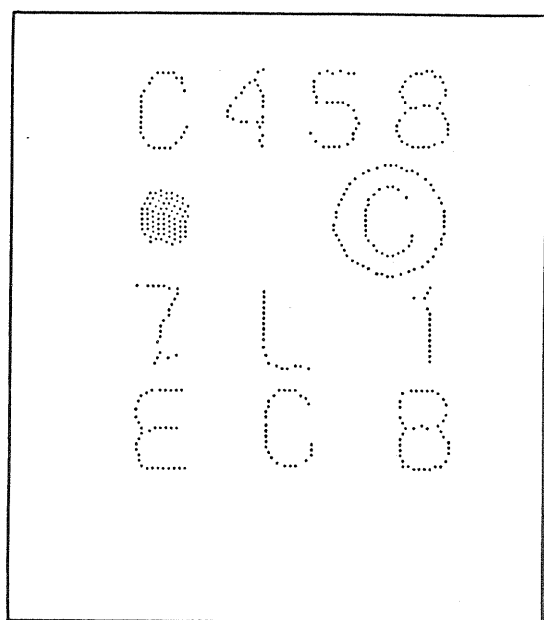


(a) 分割辞書パターン

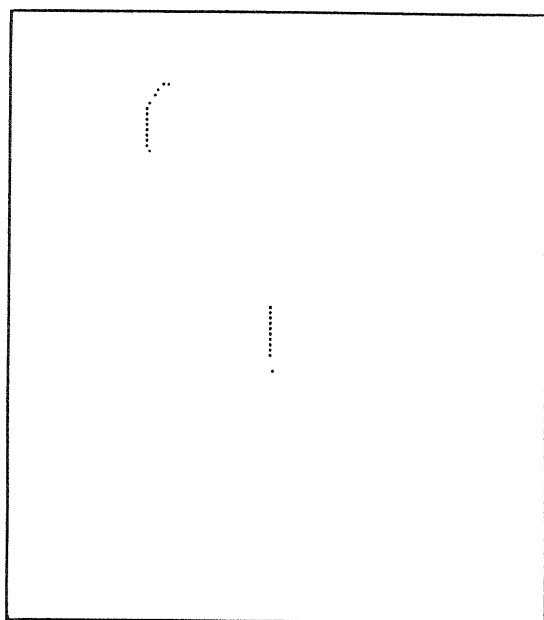


(b) 欠陥部分

図4.7 分割パターン照合による欠陥検出例



(a) 内部固有点



(b) 欠陥部分

図4. 8 固有点照合による欠陥検出例

実用的な処理時間で実現するため、ここでは、照合演算を専用の回路で組んで高速化を図る場合の所要時間を検討する。ここでは、捺印パターンを画像メモリに一旦格納する構成とし、画像メモリより4×4画素を並列に切り出すとともに、照合も同時に行なうような装置構成にする⁽²³⁾。即ち、重み付けパターン照合法と分割パターン照合では、ずらし位置に対応して4×4通りの照合演算を一括して行う。一方、固有点照合法では固有点を含め近傍の3×3画素の値の反転状態を並列に判定する。このような装置構成において、一つの文字に対する照合演算に要する処理時間の概算値は、重み付け照合及び分割パターン照合、固有点照合に対する処理時間をそれぞれ T_1 、 T_2 、 T_3 とすると、それぞれ(4.2)(4.4)(4.9)式より、次のようになる。

$$T_1 = PQ(1 + \lambda) [(J+4)/4] [(K+4)/4] \tau \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

$$T_2 = MNRU [(J+4)/4] [(K+4)/4] \tau \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

$$T_3 = (H_1 + H_2)(J+1)(K+1) \tau \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

但し、 $[\]$ はガウス記号、 λ は辞書パターン内の重み2の画素の出現確率であり、 H_1 、 H_2 は内部及び外部固有点の個数である。(4.14)式の項 $PQ(1 + \lambda)$ は、辞書パターンにおける画素数を表わしており、 $+ \lambda$ の項は、重み係数2を持つ画素は画素同士の照合を2度行なうので、画素数を2倍に計数しているためである。また、同式の項 $[(J+4)/4][(K+4)/4]$ は、 x 、 y 方向への移動に伴う繰返し処理の回数を示しており、この繰返し処理は4×4画素に対して並列に行なうため各項の内部の分母に4がある。同様に、(4.15)式の $MNRU$ の項は、辞書パターンにおける画素の個数を示す。(4.16)式の $(H_1 + H_2)$ の項は、1文字における固有点の個数を、 $(J+1)(K+1)$ の項は、 x 、 y 方向への移動に伴う繰返し処理の回数を示しており、固有点を基準に切り出した3×3画素に対する照合演算は、並列に行なうものとしている。なお、正確には、この他に演算に先立つ繰返しループの初期化、後処理などの動作に要する時間の項が必要であるが、これらの式では省略した。

ここで、照合を行なうための基本サイクルを $\tau = 3 \times 10^{-7}$ (s)とし、1文字に対して $P=44, Q=32, J=4, K=4, \lambda = 0.05, M=N=4, R=11, U=8$ とすると、 $T_1 = 1.7$

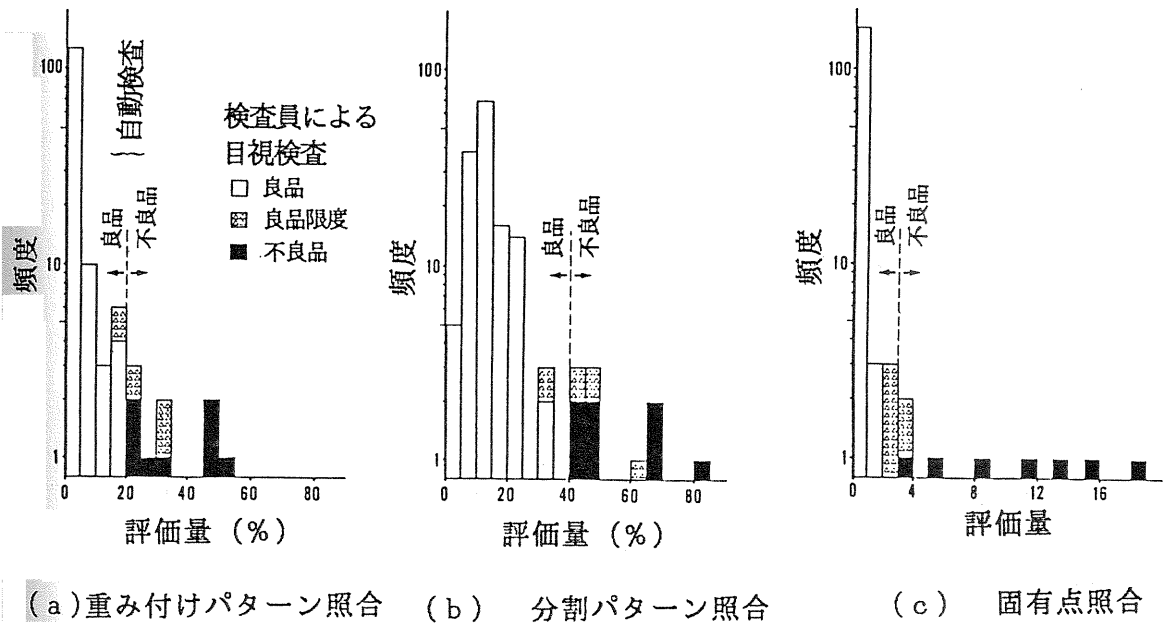


図4. 9 自動欠陥検査結果と目視結果の比較

7ms, $T_2=1.69\text{ms}$ となる。また, $H_1=50$, $H_2=90$ とすると, $T_3=1.05\text{ms}$ となる。捺印パターンが12個の文字記号で構成されているとすると, 3つの方式において欠陥検出に要するハードウェアの処理時間は, 13~21ms程度と見積られ, これらの処理時間は実用上十分な値である。

4 . 5 . 結 言

トランジスタ, 集積回路等の電子部品のパッケージに捺印された文字を対象とする自動検査のために, 2値画像を用いた次のような欠陥検出手法を開発した。

- ① 文字の境界近傍を不感帯とし, また芯線部の欠けを重視した, 画素ごとの照合を行なう重み付けパターン照合法
- ② 文字のいずれかの局部にある大きな欠陥を検出するため, 文字パターンを部分的な画像に分割して画素ごとの照合を行なう分割パターン照合法
- ③ 文字の芯線部と周辺の背景部から固有の点を選び, これらの固有点における部分的な画像の照合を行なう固有点照合法

さらに, これらの手法を計算機上で実現し, 予め良否を目視で検査している実際のトランジスタ捺印パターンを対象に検査実験を行ない, いずれの手法とも目視検査の結果とよく合致しており, 捺印の良否を高信頼度で判定できることが分かった。また, これらの手法の処理時間を概算し, 実用的な処理時間で済む見通しを得た。

なお, 処理時間を短くし検査に要する時間を短縮するという観点からは, 上記固有点照合法が実用上, 最適と判断される。従って, 次章では, この手法を具体的に装置化し, 実用化した例について述べる。

第5章 部分画像の並列切出し照合方式に基づく捺印パターンの欠陥検出装置

電子部品の製造においては、従来、外観検査はほとんど目視で行われており、その自動化が重要な課題となってきた。前章での基本検討結果に基づき、本章では、集積回路等の電子部品における表面の捺印パターンを対象とした欠陥の自動検出装置方式について述べる。電子部品では表面に捺印された文字記号が唯一の品種判定の糸口であり、従ってこの捺印パターンはその部品の持つ品質の一部といえる。捺印パターンの欠陥としては、文字の消え、欠け、汚れ、などがある。本章ではまずこれらの欠陥の特徴を示す。また、観測点における文字の部分の存在を検出する定点サンプリング法を、ストロークに沿った観測点位置で判定を行なうように改良し、さらにこれら観測点を縦横に移動できるように振動の処理を加えた既述の固有点照合法を基にした文字欠陥検出手法を提案する。次に、この欠陥検出手法を高速に実現するために開発した専用の画像処理装置の構成と動作を述べる。この装置の特徴は、画像メモリに対する局所パターンの並列読み出しから、照合演算までの一連の処理をパイプライン制御で行ない高速化を図っている所にある。最後に試作した装置を用いた実験システムの構成と実際の電子部品の捺印パターンを対象とした自動外観検査の実験結果を示し、本装置方式の有効性を明らかにする。

5. 1 緒言

電子部品、特に、トランジスタや集積回路では、部品の表面に捺印された文字記号が唯一の品種判定の糸口であり、従ってこの捺印パターンはこの部品の持つ品質の一部といえる。捺印パターンの欠陥としては、文字の消え、文字の一部の欠け、汚れ、にじみ、薄れ、などがある。捺印パターンの外観を検査しこれらの欠陥を検出することは生産上重要な課題であり、

そのため従来より肉眼による目視検査が行われていた。しかしながら、検査精度の平準化、コスト等の点から捺印パターンの外観検査の自動化が強く要望されている。

本章は、このような電子部品の捺印パターンにおける欠陥の自動検出装置方式について報告する⁽²²⁾⁽²³⁾。この装置方式は、前章で考察した固有照合法を具体的に装置化するものである。本装置は電子部品における捺印表面の画像パターンの高速処理を基に、文字記号の欠陥を抽出し、捺印パターンの良否を精度よく判定することを目的とする。なお、捺印されている文字記号の種類は予め分かっているため、本章の捺印検査では文字認識を行なう必要はない。

パターンの処理方法としては、既述のように、従来より各種の方法が提案されており、本章で対象とした欠陥検出に適用が考えられる手法として次のようなものがある。例えば、(1)プリント配線基板の微小傷を検出する目的で開発されたパターンの拡大・縮小方法⁽²⁴⁾、(2)パターンの画素同士の相関を求めるパターンマッチング法⁽²⁵⁾、(3)文字の存在する平面内の観測点に文字の部分が存在するかしないかを検出する定点サンプリング法⁽²⁶⁾、などである。これらの内、(1)の方法では大きな形状をもつ欠陥、例えば文字が全体的に欠如した欠陥を検出することは難しい。また(2)では、マッチングの面積が判定の基準になるため文字幅が狭い文字(良パターン)と、文字の一部が欠けている不良パターンとの識別が難しいという問題がある。本章では、特に(3)の定点サンプリング法を基にした新しいパターン検査方法を開発した。本論文の検査方法は、文字の部分が存在するかしないかを検出するためのいくつかの観測点⁽²⁶⁾の集団を縦横の二方向に平行移動できるように改良し、更に、微小な汚れなどのノイズの影響を受けないよう観測点を中心とした局所パターンに対する判定処理を加えたもので、位置ずれがあり、かつ様々の欠陥パターンを含むような文字の印字品質の検査に有効な方法である。

さらに、本検査方法を実用的な時間で実現するため、画像処理を計算機と専用の回路を組み合わせて実現する欠陥検出装置を開発した。この装置では画像メモリの任意の位置の局所パターンを、従来からある画像バッファ⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾を介さず直接、並列に読出すことができる。また、この局所パターンと辞書データとの照合を高速で行なう専用回路を新しく開発し

ている。これらの工夫により、各文字の観測点に対応した辞書を読出す処理、画像メモリの指定された位置から局所パターンを直接に並列で読出す処理、画素の照合を並列に実行して結果を蓄積する処理、の一連の処理をパイプライン制御で行ない、高速化を計っている。

本章では、まず第5.2節で捺印欠陥の特徴と欠陥検出の原理を示す。次に第5.3節で、この欠陥検出方式を高速に実現するために開発した欠陥検出装置の構成と動作を述べる。最後に第5.4節でこの装置を用いた実験システムの構成と電子部品の捺印パターンを対象とした検査結果を示し、本装置方式の有効性を明らかにする。

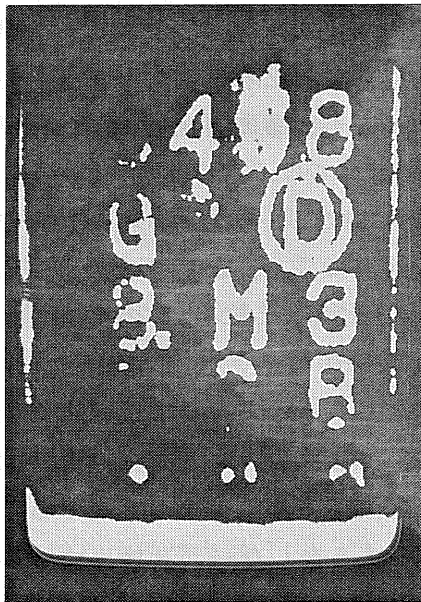
5.2 欠陥検出の原理

本章で扱う欠陥検出の対象は、明暗が黒と白の二つの状態に2値化できる文字パターンである。図5.1は小信号トランジスタの捺印表面の2値画像の例である。このように欠陥検出装置では、2値画像を処理対象としている。図示するように、文字記号はインクの部分であり、明暗は白である。一方、文字の背景は電子部品の封止材(プラスチック)であり、黒である。捺印パターンの欠陥としては、文字の消え、一部の欠け、薄れ、汚れ、にじみ等がある。これらの欠陥は、文字のインクの部分すなわち、白の部分が欠けていたり、捺印のにじみにより白の部分がはみ出しているものである。また、背景の黒の部分に、インク等の汚れによって白の部分が点在しているような欠陥もある。

そこで、インクが欠けているか或はインクが余分に有るかを文字ごとに判定し欠陥を抽出する方法を採る。文字認識の分野において知られている既述の定点サンプリング法⁽³³⁾は、文字の存在する平面内のいくつかの観測点に文字の部分が存在するかしないかを検出するものであり、本章では、この方法を捺印パターンの印字品質の検査に適するよう改良している。図5.2に文字Eに対して概略の手順を例示したように、文字の欠けてはならない芯線の部分とパターンがはみ出してはならない背景上の周縁部分のなかから、観測のために文字に固有の点(この点を固有点と呼ぶ)を多数個、予め選択する。被検査対象画像中のこれらの固有点に対応した位置から、



(a) 正常



(b) 異常

図5.1 被検査対象（トランジスタ）の表面像の例

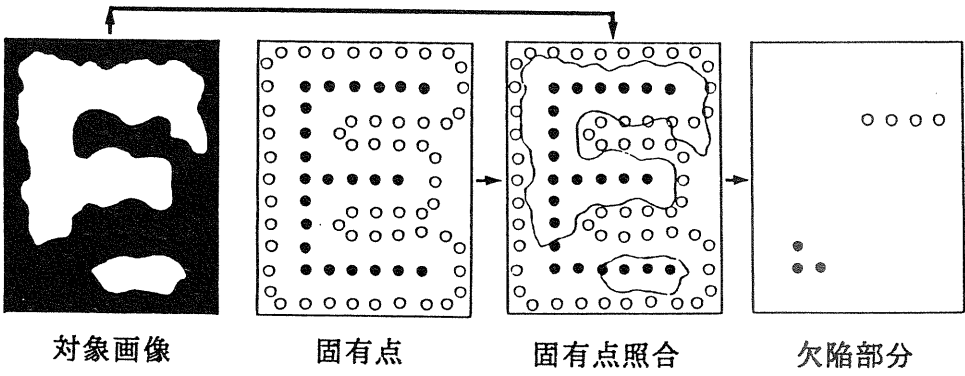


图 5. 2 固有点照合法

その周辺を含む 3×3 画素の局所パターンを切り出し、この局所パターンと1画素の辞書パターン(白又は黒画素)との照合を行ない、反転しているかどうかを判定する。全ての固有点に対して、この判定を行ない、反転している固有点の総数によって文字の良否を決定する。

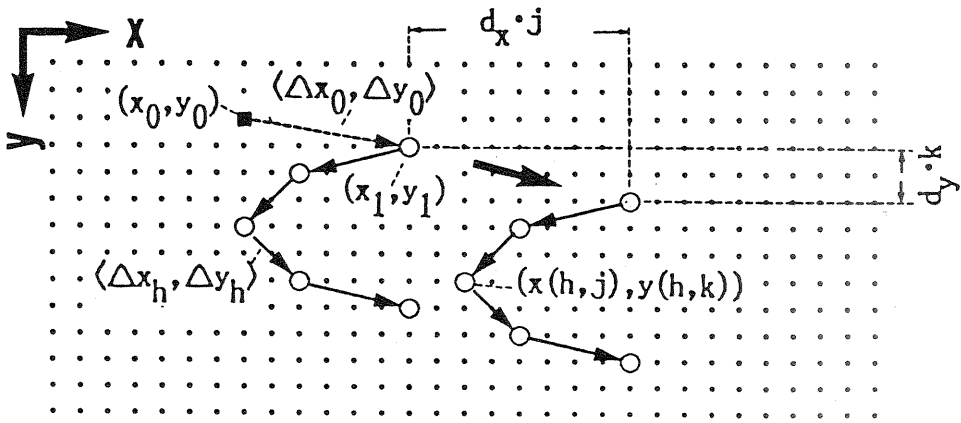
この時、捺印パターンの位置は供給誤差等の影響で一般にずれている。ところが、従来の定点サンプリング法では、文字は正規の位置にある必要があり、例えば、この方法を直接用いた文字認識では、四角の枠内から切り出した文字部を右上すみに寄せ、この位置を正規の位置とする方法が用いられている⁽³³⁾。しかしながら、本章の対象とした捺印パターンでは、文字にインクの欠けやインクよごれなどの欠陥があり、正規の位置に移動させるため単純に右上すみに寄せるという方法では、これらの欠陥が障害となり、正規の位置を正確に求めることは困難である。そこで、各固有点の位置を x, y 二方向に平行にずらしながら定点サンプリング法を実行し、各ずらし位置での不一致の程度を求め、ずらし範囲でのこの最小値を捺印パターンの印字品質検査のための評価量とするという新しい方式を考案した。以下にその方式の原理を詳述する。

5. 2. 1 固有点照合法

文字の芯線の上にある点から選択した点を内部固有点と呼ぶ。一方、文字の背景にあり、文字の周縁の境界線からある値だけ隔った線上から選択した点を外部固有点と呼ぶ。検査開始以前に捺印パターンは予め分かっているため、これらの固有点は文字記号ごとに予め与えられているとする。図5. 3は固有点の座標の表現形式を示している。この図では、説明を簡単にするため文字Cを例にその内部固有点を簡略化して示している。

捺印パターンは供給誤差などにより一般にその位置がずれている。そのため、ここでは、捺印パターンに含まれるそれぞれの文字の標準的な位置(この位置を文字の標準位置と呼ぶ)を (x_0, y_0) とし、この標準位置を、固有点の集合を x, y 二方向に平行移動するための開始位置とする。なお、ここでは、文字の位置として文字を取り囲むような長方形の左上隅の位置を採っている。捺印パターンの任意の文字に対して、この標準位置を自由に設定できるので、各捺印パターンに対し、標準の文字配置をもとに各文字の標準位置を予め求めておく。

それぞれの固有点において、文字の局所パターンを切出して観測し、こ



< >は座標の増分を示す。

図 5. 3 固有 点の座標

の部分にインクが存在するかどうかを、1画素の辞書パターンと照合を行ない判定する。この時、上述の文字の標準位置は捺印パターンごとに与えられているが、それに対し、固有点は文字ごとに与えられる。従って、これら固有点の位置情報は文字の標準位置に依存しないよう相対座標で表現する。即ち、照合を行なう1番目の固有点の位置 (x_1, y_1) は、文字の標準位置からの変位として予め設定することとし、次式で表わす。

$$x_1 = x_0 + \Delta x_0 \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0 \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

但し、 $(\Delta x_0, \Delta y_0)$ は文字の標準位置 (x_0, y_0) から1番目の固有点の位置 (x_1, y_1) までの変位であり、この変位は文字種ごとに固定的に与えられることになる。今、ある文字の固有点(内部もしくは外部固有点)の個数をH、固有点の集合の内h番目の固有点とh+1番目の固有点との座標の増分を $(\Delta x_h, \Delta y_h)$ とする(但し、hは1~H-1なる整数)。対象とした電子部品の捺印文字の例では、文字種により異なるが、内部の固有点の数は平均約50個、外部の固有点の数は90個程度である。なお、後述する照合演算は内部及び外部固有点に対してそれぞれ別々に行なう。

対象画像より、これらの固有点を中心とした局所パターンを切り出して照合するが、文字には位置ずれがあるため、これらの固有点を対象画像内で縦横に平行にずらしながら、照合を行う。そのため、固有点は文字の標準位置を中心にしてx、y方向に移動することができるようにする。固有点のx方向の移動距離の単位を d_x 、y方向の移動距離の単位を d_y とする。また、移動する回数をそれぞれj、k、(但し、jは0~J、kは0~Kなる整数)とする。今、固有点をx、y方向にそれぞれj回目、k回目に移動したときの、h番目の固有点の座標 $x(h, j), y(h, k)$ は、(4.7)式、(4.8)式と同じく、次式となる。

$$x(h, j) = d_x \cdot j + x_0 + \sum_{i=0}^{h-1} \Delta x_i \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

$$y(h, k) = d_y \cdot k + y_0 + \sum_{i=0}^{h-1} \Delta y_i \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

本方式では画像メモリに一旦格納された画像から固有点を中心とする複数画素(ここでは、3×3画素)よりなる局部パターンを取り出す。そして1画素の辞書パターンSとの照合を行い、辞書パターンと値が異なる局部パターンの画素の個数(これを反転画素数と呼ぶ)を求める。今、画像メモリの画素値を $g(x,y)$ 。このときh番目の固有点の反転画素数 $n_0(h,j,k)$ は次式となる。

$$n_0(h,j,k) = \sum_{w=-1}^1 \sum_{v=-1}^1 S * g(x(h,j)+v, y(h,k)+w) \quad \dots \dots \dots (5.5)$$

但し、記号*の演算は、2を法とする加算であり、排他的論理和(Exclusive OR)で実現する。また、記号 \sum は論理出力1のものの算術和を表す。また、 $g(x,y)$ 及びSの値は0又は1であり、反転画素数は0から9までの整数となる。

このように、読出し座標の演算においては、(5.3),(5.4)式の演算及び(5.5)式中の画素値 $g(x(h,j)+v, y(h,k)+w)$ の $v = -1 \sim 1, w = -1 \sim 1$ の範囲における座標の演算を行なう必要があり、このような複雑なアドレス制御を次章で述べる装置化方式により実現している。

この反転画素数があらかじめ与えられている所定の値 α (これを反転閾値と呼ぶ)を越えているという条件を満たす固有点の個数(この数を反転固有点数と呼ぶ)を計数する。ここで、反転閾値による条件判定を行なっているのは、捺印パターンに含まれる孤立的なノイズ、微細なインクの欠け、付着等の許容すべき微細パターンの影響を少なくするためである。この時、反転固有点数 $n_1(j,k)$ は次式となる。

$$n_1(j,k) = \sum_{h=1}^H u\{n_0(h,j,k) - \alpha\} \quad \dots \dots \dots (5.6)$$

但し、uは、

$$u\{z\} = \left. \begin{array}{ll} 0, & z \leq 0 \\ 1, & z > 0 \end{array} \right\} \dots \dots \dots (5.7)$$

となる関数を意味している。

文字の位置ずれを吸収するため、上述の一連の処理を固有点を縦横に平行にずらしながら、反転固有点数を計数し、それらの反転固有点数のずらし範囲内での最小値を固有点照合の出力とする。即ち、この時の評価量 Φ は、(4.9)式と同じく、

$$\Phi = \min \{ n_1(j,k) \} \dots \dots \dots (5.8)$$

,where $0 \leq j \leq J, 0 \leq k \leq K$

である。但し、 j, k は固有点の平行移動の回数である。従って、評価量 Φ は、 $0 \leq j \leq J, 0 \leq k \leq K$ のずらし範囲内での(5.6)式の最小値となる。このように、従来の定点サンプリング法を改良し、固有点の位置を平行にずらしながら、各位置で定点サンプリング法を行ない、ずらし範囲における最小値を求めている。このため、インクの欠け、インクよごれ等の欠陥があり；位置の正規化が従来の定点サンプリング法では困難な捺印パターンに対しても、印字品質の検査が有効に実現可能となる。

5.2.2 欠陥検出の手順

(1) 文字の位置検出

既述のように、供給誤差、捺印の際の位置ずれ等により、文字の位置は一般に所定の位置からずれている。文字ごとに位置ずれ範囲内で前述のように固有点を移動させ欠陥検出のための評価量を求めてもよいが、位置ずれが大きい場合には処理時間が長くなる。そこで、捺印では各文字の相対的な配置は位置ずれによって変動しないことを利用し、先ずこれらの文字のうちで間隔の離れた2文字の位置検出を行い、これら2文字の位置をもとに、回転ずれの影響も考慮して残りの文字の粗位置を簡単な幾何計算により算出する。これにより、欠陥の検出においては各文字の粗位置を基準に小さい範囲で固有点を移動すればよく、固有点の移動回数を低減でき処理時間が短縮される。なお、2文字の位置検出法は文字のずれる範囲を覆うような領域を予め探索範囲として設定しておき、この探索範囲内で固有点照合を行い最も照合の度合いが良い点、即ち上述の反転固有点数 $n_1(j,k)$ が最小となる移動位置を求めればよい。

(2) パターン欠陥の検出

このようにして算出した各文字の粗位置には、実際の文字位置との間にまだずれがあるため、この粗位置を固有点照合における文字の標準位置とし、この位置を基準として、x方向は $J \times d_x$ 、y方向は $K \times d_y$ の範囲内で位置をずらしながら、上述の固有点照合演算を行い、そのなかで反転固有点数が最小となる位置、つまり最も照合の度合いが良い位置での反転固有点数を求める。この最小反転固有点数が(5.8)式で示した良否判定のための評価量である。今、各文字において内部固有点に対するこの評価量を Φ_1 、外部固有点に対する評価量を Φ_2 とする。これら評価量が2つとも所定の閾値以下であればその文字は良パターンとする。閾値は文字ごとに内部及び外部固有点の判定のためにそれぞれ設定することができる。即ち、この閾値を γ 、 δ で表わすと、(4.11)式、(4.12)式と同じく、

$$\Phi_1 < \gamma \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

$$\Phi_2 < \delta \quad \dots\dots\dots (5.10)$$

の2式を満たせばその文字は良パターンとする。

5.3 欠陥検出装置の構成

前節で考察した欠陥検出方式を実現するために、図5.4のような構成の欠陥検出装置を開発した。ここでは画像処理を計算機と専用の回路の組合せで実現する方式とした。特に、新しく開発した装置方式の特徴としては、①処理に必要な画像メモリの複雑なアドレス発生制御をマイクロプログラムと専用回路により実現し、また、②任意の位置の局所パターンを画像バッファを介さず直接、並列に読出し、更に、③局所パターンとの照合演算も新しく高速の専用回路で実現して、高速化をはかっている、などが挙げられる。これらにより、画像メモリのアドレスの演算から、画像の並列読出し、照合処理までの一連の処理をパイプライン制御で行ない高速化を実現している。

この装置の動作の概略は、次のようになる。まず、TVカメラで対象を撮像し、この映像信号を2値化して、横256×縦256個(但し、有効範囲256

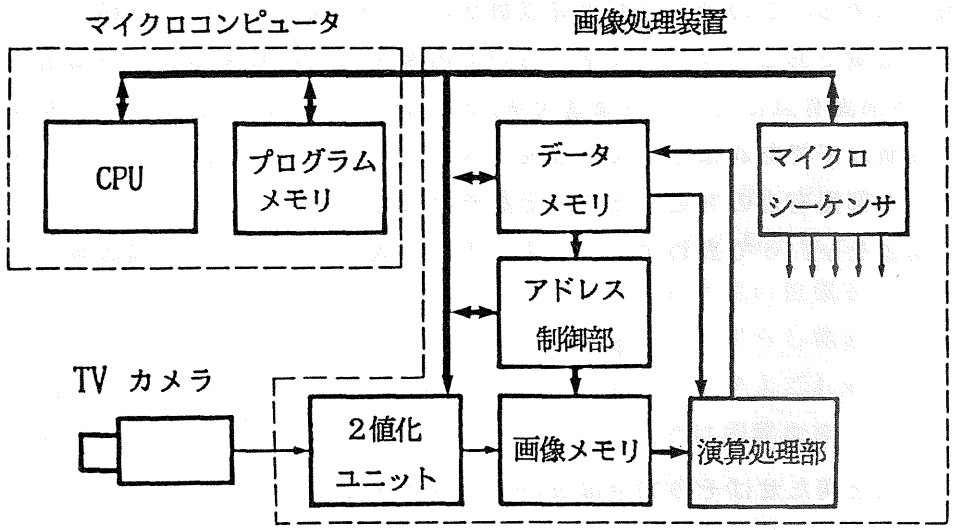


図 5. 4 欠陥検出装置

×240画素)の格子状の白黒の画素となるようにサンプリングする。この画像データは画像メモリに格納され、これに対して画像処理装置が任意の位置における3×3画素の局所パターンと辞書パターン(1画素)との照合演算を並列に行う。演算結果はデータメモリに書込まれ、その後マイクロコンピュータがこれらを読み取り総合判定を行う。

5. 3. 1 画像メモリ

画像メモリの構成としては、従来より各種の方法が開発されており⁽³⁴⁾⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾、典型的な例として次のようなものがある。(1)画像メモリと演算部との間に2次元のシフトレジスタを設け、この画像メモリからは1画素ずつ読出し、順次、2次元シフトレジスタに供給する。演算のためにはこの2次元シフトレジスタから例えば8×8画素を並列に読出す⁽³⁴⁾。(2)画像メモリと演算部との間に2枚のプレーンからなるウィンドウメモリを設け、一方のウィンドウメモリに画像メモリから1画素ずつ読出し格納する。この時、他方のウィンドウメモリからは、先に格納されていた画像データを1画素ずつ読出し、演算部に供給する。このようにウィンドウメモリでは、演算のための読出しと画像メモリからの格納とが同時に進行する⁽³⁵⁾。(3)画像メモリより並列に4×4画素の局所パターンを読出し、画像メモリと演算部との間に設けた4面のローカルレジスタの1面に格納する。画像メモリからの読出し位置は、4行、4列を区切りとした単位で行なうため、さらに隣接する3箇所の局所パターンも読出し、残りのローカルレジスタに格納している。演算のために、ローカルレジスタから必要な局所パターンをシフト操作により並列に読出す⁽³⁶⁾。

本章では、特に(3)の方法をさらに発展させたもので、従来、(3)の方法では所定の4×4画素の局所パターンを読出すために、16×16画素を読出し、4つのローカルレジスタ間でシフト操作を行なう必要があり⁽³⁶⁾、これが高速化の障害となっていた。そのため、本論文では画像メモリを後述するバンク構成とし、各バンクに対して個々に番地を制御することにより任意の位置の局所パターンを直接、画像メモリより読出す新しいメモリ構成とした⁽²²⁾⁽²³⁾。

ここで、2値画像データを格納するために新しく開発した2次元メモリの構成を図5.5に示す。容量は256×256×1bit(8kbyte)であり、ランダムにアクセスすることができる。また、2次元の局所パターンを並列に

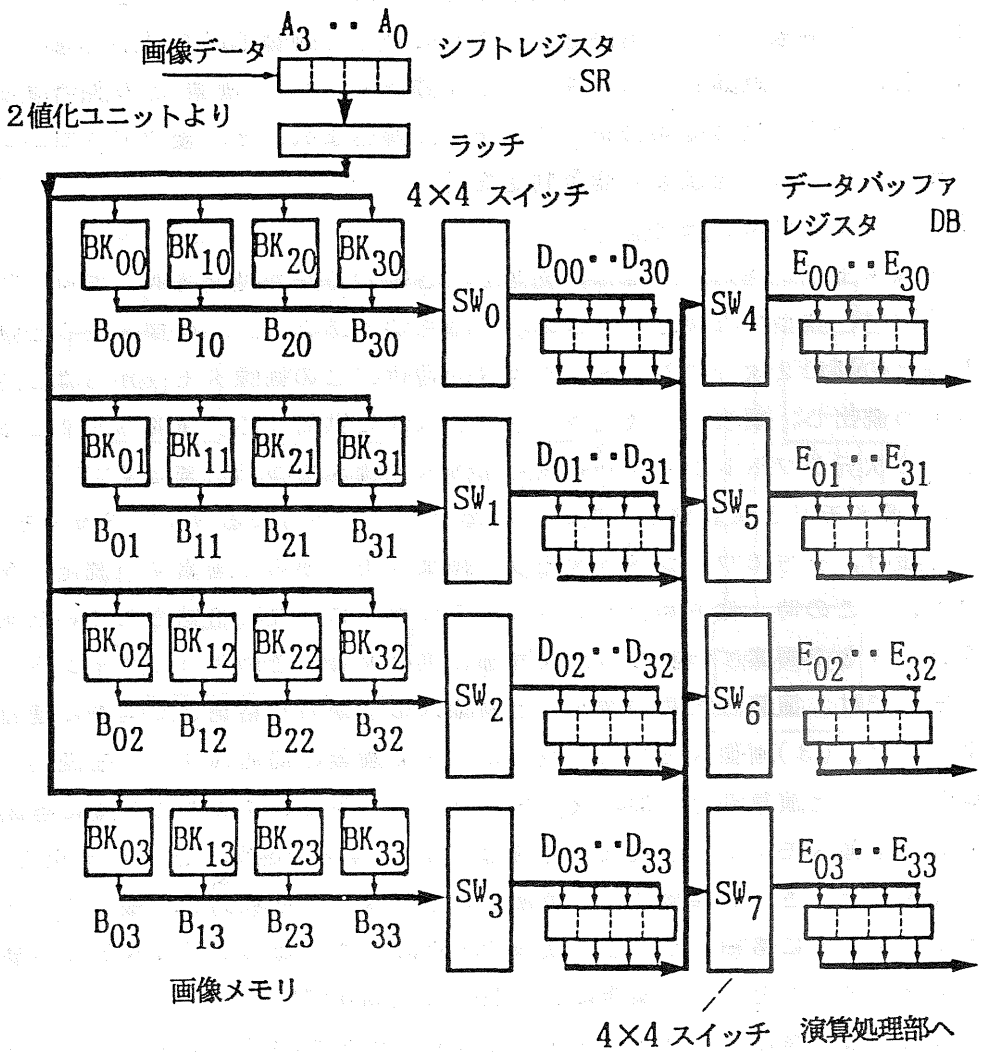


図 5. 5 画像メモリ

読出すことができる構成をとった。即ち、書き込みは 4×1 画素、読出しは 4×4 画素単位に行うことができる。ここでは、(5.5)式における変数 v 、 w の変化幅としては $3(v, w = -1 \sim 1)$ を用いる、即ち、 3×3 画素を並列に読出すが、装置の構成上は 4×4 画素までの並列読出しが可能となっている。

ここで、基本となる局所パターンの読出し方式について、まず1次元の場合について説明する。いまこの1次元配列の中から任意の連続した N 個を取出すこととする。メモリを N バンクで構成し、図5.6に例示($N=4$ の場合)するように、 i 番目のバンクの n 番地に $N \cdot n + i$ 番目(但し、 i は $0 \leq i \leq N-1$ なる整数)のデータを記憶する。ここでメモリのバンクとは、独立にアドレスを設定し読出し書込みのできるメモリの単位である。もし $N \cdot n$ 番目を基準の点(基点)としてその基点から N 個を取出す場合は、すべてのバンクから n 番地の情報を読出せばよい。しかし、基点がずれて $N \cdot n + i$ 番目($i \neq 0$)を基点とする場合は、 $0, \dots, i-1$ のバンクは $n+i$ 番地、 $i, i+1, \dots, N-1$ のバンクは n 番地の情報を読出し、バンクと出力の間で並べ換えを行い、図示したように i バンクを先頭(0番目)に、0バンクは $N-i$ 番目にするよう制御する。

この1次元データのアクセス方式を2次元パターンへ拡張するには、縦横2方向に上で説明した方式をとればよい。即ち、2次元の局所パターン $N \times N$ 画素の並列読出しのために、メモリは $N \times N$ バンク構成とし各バンクから並列に1画素数ずつ読出すようにする。ここでは $N=4$ とし、画像メモリは $4 \times 4=16$ 個のバンク $BK_{p,q}$ 、(但し、 p, q は $0 \sim 3$ なる整数)から構成する。これにより 4×4 画素を並列に読出すことができる。その際に、前述のように読出しの基点がずれている場合、これらの画素の2次元的な配置が崩れる。そこで、各バンクより読出した画像データを、 (4×4) スイッチ SW_i (i は $0 \sim 3$ なる整数)を用い先ず x 方向に、次いでスイッチ SW_i (i は $4 \sim 7$ なる整数)を用い y 方向に画素を並べ換え、2次元的な配置を修正し、 $4 \times 4 \times 1$ bitからなるデータバッファレジスタDBに格納する。一方、画像メモリへの書き込み時には、長さ4をもつシフトレジスタSRにTVカメラからの2値画像データを順次格納していき、4画素(A_0, \dots, A_3)がシフトレジスタSRに揃った時点で、画像メモリの対応するバンクに同時に格納すればよい。

以上述べた画素の並べ換え動作は次のようになる。まず、画像中の座標

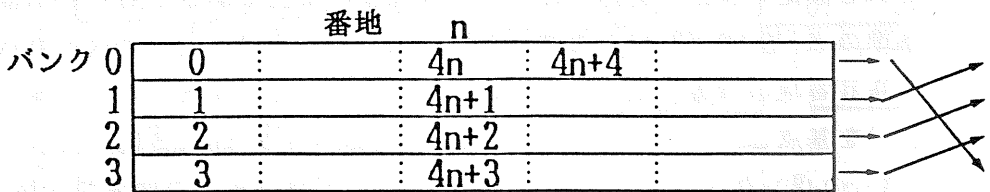


図 5. 6 バンク構造の説明

(x,y)にある画素が格納されるバンクBK_{p,q}の添字p,qは次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} p &= x - 4 \lfloor x / 4 \rfloor \\ q &= y - 4 \lfloor y / 4 \rfloor \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5. 11)$$

但し、 $\lfloor \rfloor$ はガウス記号である。

ここでは、並列に読出す4×4画素の内、左上方の3×3画素を局所パターンとして固有点照合に用いることとする。なお、この局所パターンの中心画素を固有点に対応させるため、読出しの基点座標を(x',y')とすると、この座標は(5. 3)(5. 4)式を基に、 $x' = x(h,j) - 1, y' = y(h,j) - 1$ となる。この時、上述の並べ換え動作は、図5. 5に示すように、バンクBK_{p,q}からの出力をB_{p,q}、スイッチSW_i(iは0~3)の出力をD_{r,s}、スイッチSW_i(iは4~7)の出力をE_{t,u}とする時、これらの添字、p,q,r,s,t,u(各々、0~3なる整数)の間には次の関係がある。

$$\left. \begin{aligned} r &= p - p_0 && (\text{mode } 4) \\ s &= q \\ t &= r \\ u &= s - q_0 && (\text{mode } 4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5. 12)$$

$$\left. \begin{aligned} & \\ & \\ & \\ & \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5. 13)$$

但し、ここでp₀, q₀は(5. 11)式のxをx'で、yをy'でそれぞれ置換したもので、基点の画素が格納されているバンクの添字を表わす。これらの関係を基にスイッチSW_iの制御信号を生成する。このようにして並列に読出した4×4画素の内、左上方の3×3画素を、固有点の照合演算に用いるために演算処理部へと供給する。

5. 3. 2 アドレス制御部

画像メモリから、固有点の集合に対して順次、局所パターンを並列に読出すよう、画像メモリのアドレスを制御する。図5. 7にアドレス制御部の構成を示す。画像メモリのx方向、y方向の2つのアドレスを(5. 3)(5. 4)式を用いて計算するための2つの加算器ADX,ADYを備えている。この時、(5. 3)(5. 4)式のそれぞれにおいて、移動量を表す第一項及び固有点の相対座標の和を表す第三項では逐次型でその座標を算出する。

アドレス制御部の動作は次のようである。まず、マイクロコンピュータより、各文字の標準位置(x₀,y₀)がx,y方向のベースアドレスレジスタX

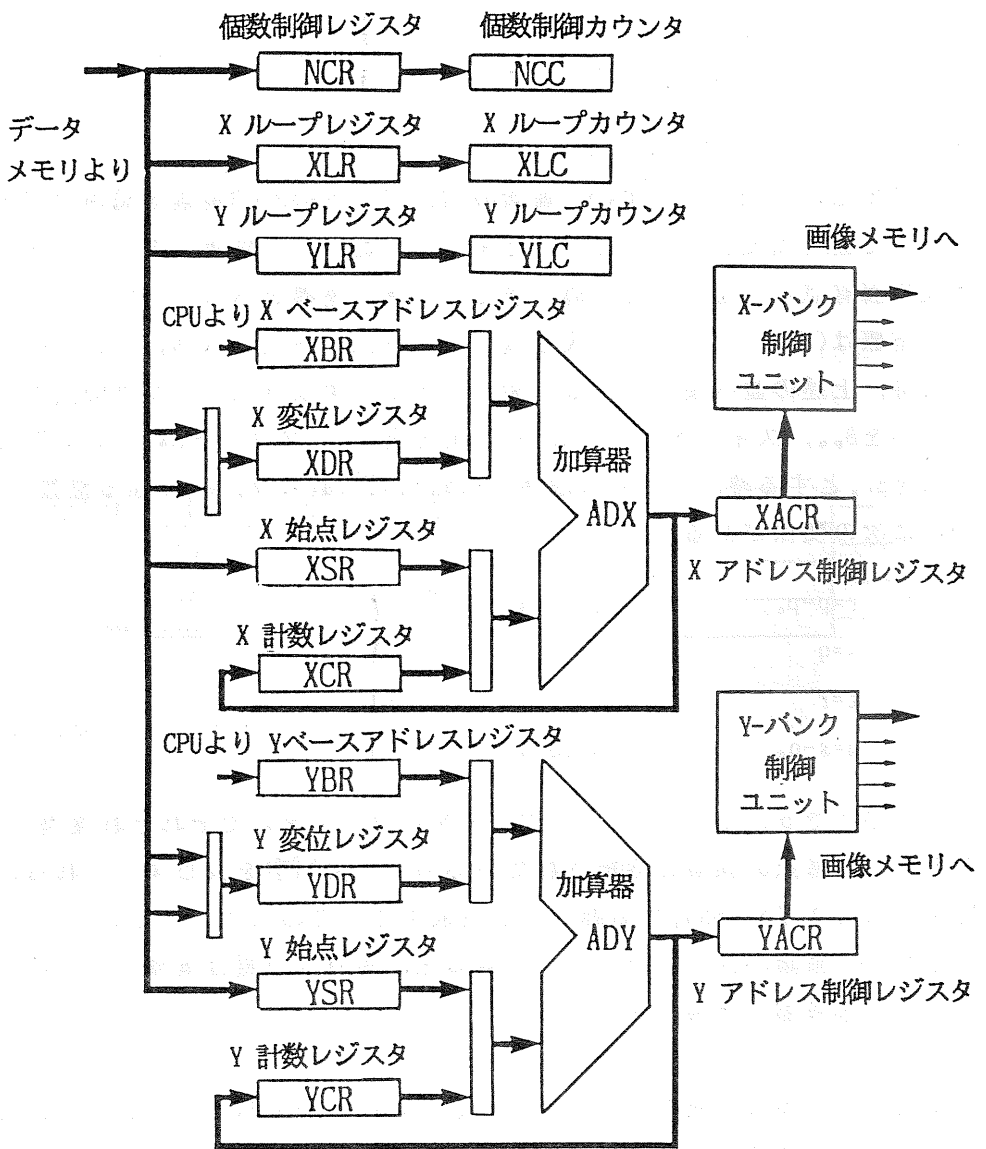


図 5. 7 アドレス制御部

BR, YBRに供給される。一方、データメモリに格納されている座標データとしては、各文字の固有点の変位の増分($\Delta x_h, \Delta y_h$)やx, y方向への単位移動量 d_x, d_y があり、それぞれx, y方向の変位レジスタXDR, YDRに切り換え供給される。また、文字の標準位置から1番目の固有点までの変位($\Delta x_o, \Delta y_o$)がx及びy方向の始点レジスタXSR, YSRに設定される。内部及び外部固有点のそれぞれの個数が個数制御レジスタNCRを介して個数制御カウンタNCCに設定される。また、探索範囲を指示するx, y方向への移動回数J, KがループレジスタXLR, YLRを介して、それぞれループカウンタXLC, YLCに設定される。マイクロプログラムはこれらのカウンタの内容を検定しながら、順次アドレスを計算する。

固有点の集合の内h番目の固有点を中心とする3×3画素の局部パターンを画像メモリより読出す際の固有点の座標は、(5.3)(5.4)式を演算することによってx, y方向のアドレス制御レジスタXACR, YACRに格納される。これらのアドレス値を基に画像メモリにアクセスするとともに、(5.12)(5.13)式に従って、バンクBK_{p,q}からの出力データの並び換えを行なう制御信号を生成する。

5.3.3 演算処理部

ここでは、画像メモリに格納されている画像データと辞書パターン(1bit)との間で照合演算を行い、その結果をデータメモリに格納する。そのため新しく開発した演算処理部の構成を図5.8に示す。照合演算は、データバッファレジスタDBにある4×4画素のうち処理対象となる3×3画素E_{t,u}(t, uは0~2)の局部パターンに対し、1bitの辞書パターン(S)との間で不一致の画素数(反転画素数)を求めることで行われる。この辞書パターンとの不一致は9個の排他的論理和(Exclusive OR)回路で求める。また、反転画素数を計数するため、マッピング用メモリ(ROM)MRと1個の加算器を用いる。マッピング用メモリMRのアドレス値をF、これを2進数で記述したときのi桁目のビットの係数をF_i(iは0~7, F_iの値は0又は1)とする。この時、マッピング用メモリMRの出力値Gが、

$$G = \sum_{i=0}^7 F_i \quad \dots \dots \dots (5.14)$$

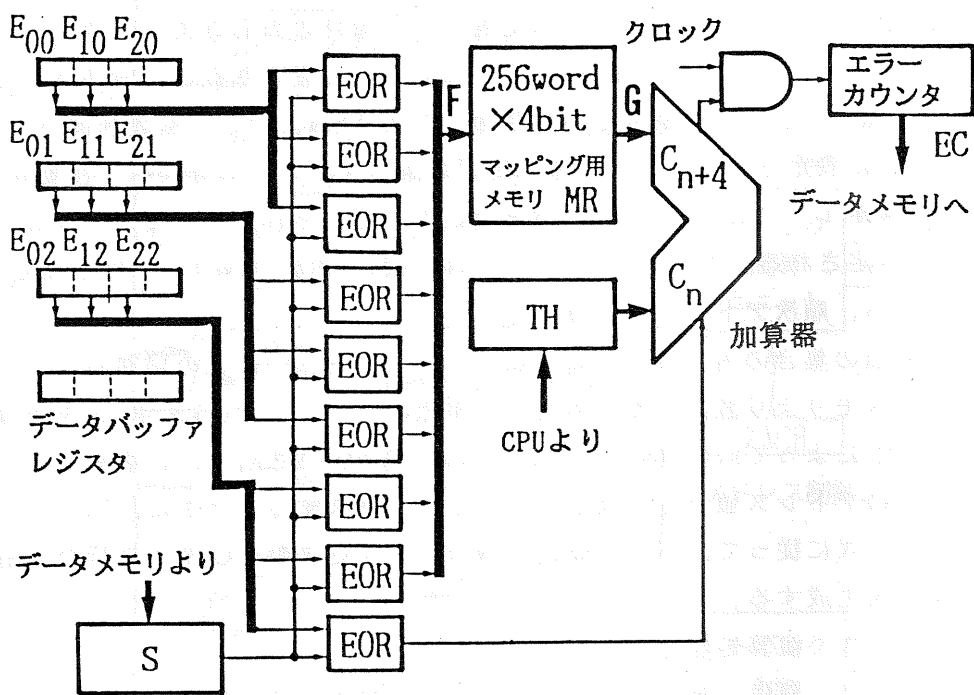


図 5. 8 演算処理部

となるようこのメモリの内容を予め設定している。残る9番目のデータは桁上げ数とみなして加算器に導き、また反転閾値レジスタの内容は負数表現で加算器に入力し、(5.6)式の演算を実現している。

このようにして、辞書パターンと固有点を中心とする 3×3 画素との一致がとられ、反転画素数が予め計算機より与えられる反転閾値レジスタTHの内容($=\alpha$)を越える場合には、反転固有点数を計数するカウンタECの内容が+1される。

ある固有点での照合演算を終了後、増分値($\Delta x_h, \Delta y_h$)で指定される次の固有点に移動し、同じ演算を行う。このようにして、固有点の集合に対してこの演算が終了すると、計数した反転固有点数をデータメモリの指定番地以降に格納する。さらに位置ずれに関して横方向に単位移動量 d_x をJ回、縦方向に単位移動量 d_y をK回、固有点を平行移動し上述の処理を繰返し、同様にそれぞれの位置での反転固有点数をデータメモリに順次格納する。以上の処理を1つの文字の内部固有点の集合に対して行ない、次いで外部の固有点の集合に対しても同様に行なう。なお、上述の処理が終了後、(5.8)式で示した反転固有点数の最小値の検出を、マイクロコンピュータで行なう。

5.3.4 マイクロシーケンサ

演算処理部、アドレス制御部を制御するものとしてマイクロシーケンサがある。ここでは、マイクロプログラムは48bit \times 256wordの制御用ROMに格納される。マイクロ命令のビット割当の主なものとしては、飛び先番地(8bit)、演算処理部の制御(7bit)、アドレス制御部の制御(5bit)、画像メモリの制御(9bit)、データメモリの制御(8bit)等があり、マイクロ命令のフィールドの残りの一部(5bit)は垂直型になっており、24bit \times 32wordのROMによりさらにデコードされ制御信号を発生する。

基本タイミングとしては、100nsのクロックをもとに200ns及び300nsの基本サイクルを発生しており、マイクロ命令によって各ステップごとになずれか一方の基本サイクルを任意に選択することができる。

本論文でのアルゴリズムを実現するマイクロプログラムのステップ数は、画像の入力が4ステップ、表示が16ステップ、画像の転送が11ステップ、演算処理が27ステップ、合計58ステップである。

5.3.5 ソフトウェアの構成

マイクロコンピュータ上のプログラムは検査システム全体を制御するとともに、画像処理装置に対して各種のパラメータを送る。さらに処理の起動を与えたり、終了信号を受け付ける。プログラムは文字の良否を判定する部分と、被検査対象の送り等を行うテーブル制御部分に分かれる。前者には捺印パターンより各文字の粗位置を算出するプログラムと、それらの文字の固有点照合を行い(5.9)(5.10)式に基づいて良否を判定するプログラムが含まれる。また、画像処理装置を制御する基本的なプログラム(制御パラメータ設定、処理終了受けなど計21個)はサブルーチンとして汎用性を持たせている。

5. 4 実験結果

5. 4. 1 捺印検査実験システム

実験システムの概略構成を図5.9に示す。このシステムは固体TVカメラ、画像処理装置、マイクロコンピュータ、テーブル制御回路、移動テーブルからなり、さらに部品供給部と照明装置が付属されている。照明装置によって部品の検査対象面に対して斜方落射照明を行い、文字記号の部分を明るく、背景の部分を暗く撮像する。表5.1に光学系の内容を示す。TVカメラの視野は1つの部品の捺印面の全体が入るように設定する。ここで用いた部品はプラスチック封止型の小信号トランジスタであり、その捺印面の大きさは約 3×4 mm、文字の大きさは約 0.7×0.5 mmである。文字数は1行当り2~5文字で行数は3~4行である。部品供給部は、部品送り部、位置ぎめ機構、良品・不良品投下装置等からなる。部品は間欠送りされ、位置ぎめ機構で部品が停止状態になったとき、捺印面をTVカメラが撮像する。自動検査の結果、不良と判定された部品は不良品投下装置に送られる。8ビットマイクロコンピュータは32Kバイトのメモリを持ち、画像処理装置、テーブル制御回路と接続しており、捺印検査の総合判断と、部品の送りの制御を行う。図5.10は、この実験システムの外観である。

5. 4. 2 実験結果

(1) 処理時間

検査に要する時間は、位置検出と欠陥検出の2つの処理に分かれるが、

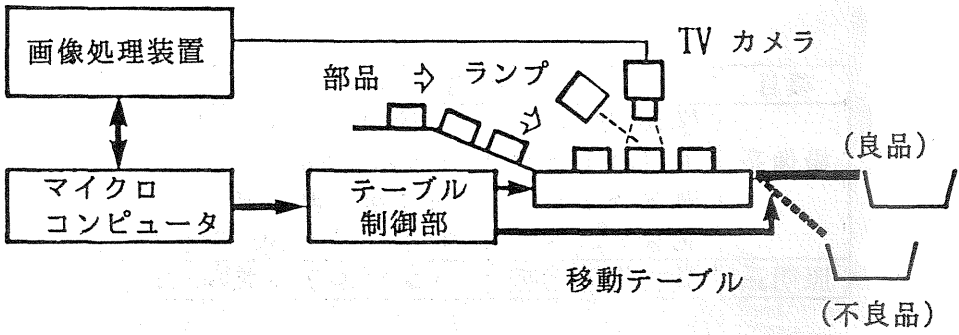


図 5. 9 実験システムの構成

表 5. 1 光学系の内容

項目	内容	
撮像系	倍率 2 倍 視野の大きさ 固体カメラ 撮像レンズ	1 画素の大きさ $20 \mu\text{m}$ $4.8 \times 5.2 \text{mm}$ 日立電子製 HV53J 焦点距離 $f=105$, F 値=4
照明系	斜方落射照明	タングステン電球 (25W)

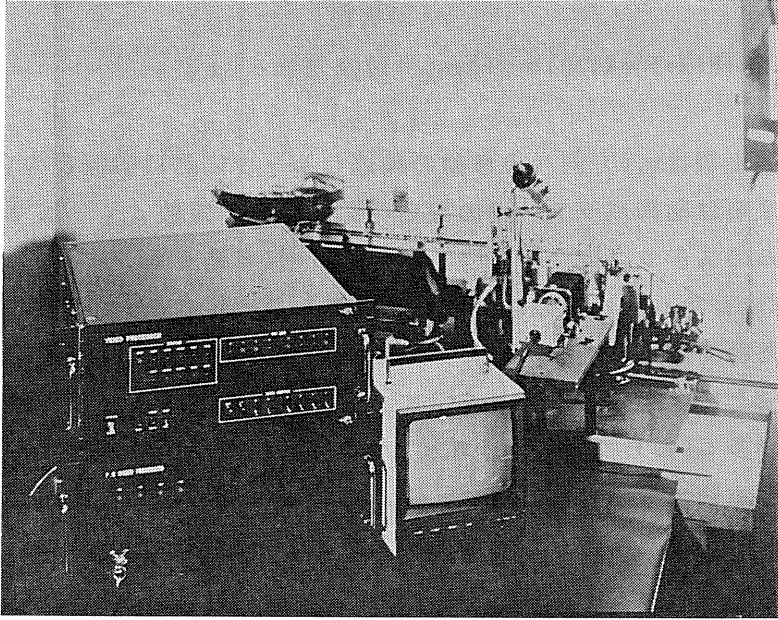


図 5. 1 0 実験システムの外観

この内、欠陥検出時間の占める割合が多い。欠陥検出はマイクロシーケンサによる画像処理装置での1文字ごとの固有点の照合と、マイクロコンピュータによる反転固有点数の最小値検出と部品に含まれるすべての文字に対する総合判定からなる。既述のように本装置の基本サイクルは、 $\tau_1=3 \times 10^{-7}(s)$ 、 $\tau_2=2 \times 10^{-7}(s)$ の二つであり、従ってマイクロシーケンサによる内部又は外部固有点の照合に要する時間Tは、(5.6)式及びマイクロプログラムを基に次式で与えられる。

$$T = \{H(J+1)(K+1)\} \tau_1 + \{\rho(J+1)(K+1) + \sigma\} \tau_2 \quad \dots \dots \dots (5.15)$$

但し、第1項はx,y方向への移動の繰返しループにおける照合の実行時間を、第2項は制御パラメータの設定時間を示す。定数 ρ 、 σ はマイクロプログラムのステップ数から決り、 $\rho=13$ 、 $\sigma=10$ であった。また、式中の項がJ+1,K+1となっているのは固有点を移動しない場合を、J=0又はK=0としているためである。図5.11に画像処理装置での固有点照合に要した時間の実測値と、上式の計算値とを示す。固有点の点数が多くなれば、また移動回数が多く(即ち探索範囲が広く)なれば、処理時間は増大する。一方、反転固有点数の最小値検出はマイクロコンピュータによる処理であり移動回数J=K=5で、1文字当り10msであった。また、1部品当り(平均11文字)の検査に要する時間の全体は、平均220msであった。これらの実験値により、本装置方式に基づく処理時間は実用上十分な値であることがわかった。

(2) 大量実験による検査精度

次いで大量実験による検査精度の確認のため、予め検査員が目視で良否を判定した図5.1に例示したような大量のトランジスタに対して自動検査を行い、判定の精度を定量的に求めた。評価の尺度として次式で示す見逃率 p_1 と虚報率 p_2 を用いる。

$$p_1 = N_1 / Nb \quad \dots \dots \dots (5.16)$$

$$p_2 = N_2 / Ng \quad \dots \dots \dots (5.17)$$

但し、不良品の総数をNb、良品の総数をNgとする。また、不良品のうち誤って良と判定した個数を N_1 、良品のうち誤って不良と判定した個数を

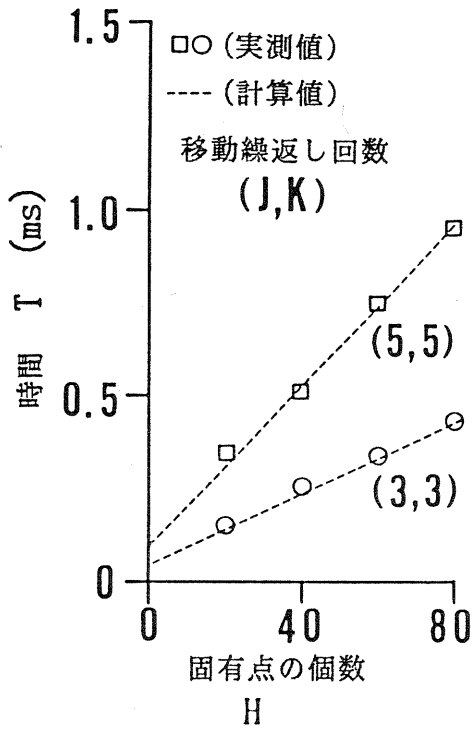
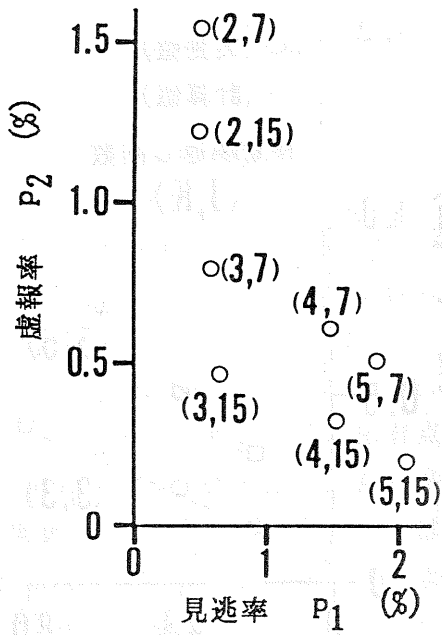


図 5. 1 1 処理時間



(γ, δ): γ と δ は内部
および外部固有値の閾値

図 5. 1 2 検査精度

N_2 とする。

実験では、不良品の総数は $N_b=2553$ (個)、良品の総数は $N_g=5672$ (個)である。図5.12に実験で求めた検査精度を示す。但し、(5.6)式の反転閾値 α としては $\alpha=4$ を採用した。また、(5.9)(5.10)式の閾値 γ, δ は簡単のため各文字共通とし、図中括弧内に示すような値を設定した。この大量サンプルの実験では、 $\gamma=3, \delta=15$ の場合で、見逃率 $p_1=0.65\%$ 、虚報率 $p_2=0.47\%$ を達成し、かつ、文字の消え等の致命的な不良品を見逃すことはなかった。捺印の品質管理において、実用上、特に重要な指標である見逃率は、通常の人間の目視検査における数%の水準に比べて、本装置方式のそれでは十分小さく良好である。

5. 5 結 言

本章では電子部品の捺印に対する自動外観検査のための新しいパターン欠陥検出方式を実現した。ここで開発したパターン欠陥検出装置は、電子部品表面の捺印等の予め与えられた文字記号に対して、その2値パターンの良否を判定するものである。欠陥検出の基本原理は、従来から知られている定点サンプリング法における観測点を、文字の位置ずれに対応して平行に移動できるように改良したものであり、文字記号の芯線部分と背景の周縁部分に対応した局部パターンを、辞書パターンと照合させ、照合の度合によって文字の良否を判定する。また、画像メモリから直接、局所パターンを並列に読出すメモリ構成とし、さらに照合のための専用演算回路を新しく開発し、これら局所パターンの読出し点座標の演算及び並列読出しから照合演算までの一連の処理をパイプライン制御で行ない高速化を実現した。さらに、実際に大量の電子部品の捺印に対して外観検査の実験を行い、実用的な検査時間と検査精度が達成できることを確認した。

なお、本研究による技術成果は半導体工場におけるトランジスタ、IC、LSIの捺印検査装置として実用されるとともに、汎用視覚装置(製品名PISE、日立東部セミコンダクタ(株)製)として製品化され、各種の産業分野で広汎に活用されている。特に、実装基板において、正しい部品が正常な位置に搭載されたどうかを検査する実装プリント基板検査装置として、また、

キーボード組立において正しいキートップが正しい位置に配置されたかどうかを検査するキーボード検査装置として大きな効果を上げている。

この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。従来のキーボード組立作業は、作業員がキーボードの基板にキートップを正確に配置する必要があるが、この装置は、組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。

4. 検査装置

4.1. 検査装置の概要

この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。従来のキーボード組立作業は、作業員がキーボードの基板にキートップを正確に配置する必要があるが、この装置は、組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。

この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。従来のキーボード組立作業は、作業員がキーボードの基板にキートップを正確に配置する必要があるが、この装置は、組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。この装置は、キーボードの組立作業を自動化し、組立作業の効率を向上させるために開発された。

第6章 画像分割型頻度分布に基づくプラスチック部品表面の欠陥検出手法

電子部品においては、その表面に捺印された文字情報だけでなく、表面の状況そのものの検査もまた重要である。特に、プラスチック製品の製造における外観検査は、従来、そのほとんどが目視で行われているため、その自動化が重要な課題となってきた。本章では、集積回路等の電子部品におけるプラスチック表面の欠陥の簡便な自動検出方法について述べる。まず、プラスチック部品の表面にある欠け、小穴、膨らみ等の欠陥の光学的な性質とこれらの欠陥を検出する上での課題を示す。ついで、表面の傾斜ばらつきに対して安定した画像を得るため、面光源を用いた照明方式を検討する。ここで開発した実用的な欠陥検出の手順は、まず、部品表面の画像を背景画像より分離するために、画像の濃淡値の投影分布を生成し、その分布値より部品表面の輪郭を抽出する。次に、この表面画像を小領域に分割し、各分割領域ごとに濃淡値の頻度分布を求め、その濃淡値頻度分布の最小値、最大値、最頻値をもとに、各分割領域内の欠陥の有無を判定する。あらかじめ良否が分かっている典型的なプラスチック部品を用いて欠陥検出実験を行い、すべての部品に対して正しく欠陥を検出することができることを示す。このような欠陥は、電子部品の長期的な信頼性に深くかかわっているため、欠陥ポテンシャルの排除という点から重要な技術である。

6. 1 緒言

プラスチック製品の製造においては、外観検査のほとんどは従来より目視により行われており、検査能力の平準化、コストの低減化などから、その自動化が重要な課題になっている。半導体集積回路などのような電子回路もプラスチック材料によって封止して形成される例が多いが、このよう

な電子部品ではプラスチック表面に欠陥があると水分の混入などによって機能的な欠陥につながりかねないため、その外観検査は極めて重要な工程の一つとなっている。

本章では、このような半導体集積回路等の電子部品におけるプラスチック表面の欠陥に対する簡便でかつ実用的な自動検出手法について報告する。ここでは濃淡画像処理技術を適用し、プラスチック表面の微小な濃淡差をもつ欠陥を自動的に抽出し、部品の外観の良否を判定することを目的とする⁽⁴¹⁾。

画像処理技術を外観検査の自動化に適用した例としては、既述のようにプリント配線基板の自動傷検査、集積回路製造用のマスクのパターン自動検査などがあり⁽³⁷⁾⁽²⁵⁾⁽²⁸⁾⁽³⁸⁾、一部はすでに実用化されている。また、これらに使われている欠陥抽出方法としては、各種の方式が提案されており、それらの代表的な考え方として、パターンを拡大縮小し微小傷を検出する方法⁽³⁷⁾、2つのパターンの比較をもとに異同を判定する方法⁽²⁶⁾、設計データとの対比による方法⁽³⁸⁾などがある。拡大縮小法⁽³⁷⁾では、対象パターンを2値化処理しているため、正常部と比べて微小な濃度差をもつ欠陥の検出に直接適用することは難しい。また、2つのパターンの比較法⁽²⁶⁾では、比較する2つのパターンの位置を予め高精度で位置決めしておく必要があり煩雑となる。さらに、ここで対象としたプラスチック部品の欠陥検出には次節で述べるような特有の問題点があり、実用的な欠陥検出法はまだ開発されていなかった。

本章では、安定な画像を得るため面光源を用いた照明光学系の配置を解析し、そこで得られた濃淡画像に対する頻度分布に基づく簡便な欠陥検出方法を開発した結果について述べる。まずプラスチック表面の欠陥の種類、光学的性質を述べ、欠陥検出をおこなう上での課題を明らかにし、拡散板を用いた面光源による照明法の特性を解析する。そして、この照明法によって撮像した部品表面の画像を部分領域に分割し、各部分領域の濃淡値の頻度分布をもとに欠陥を判別する方法を述べる。最後に実験システムの構成と電子部品表面の欠陥検出結果を示し、本手法の有効性を検討する。

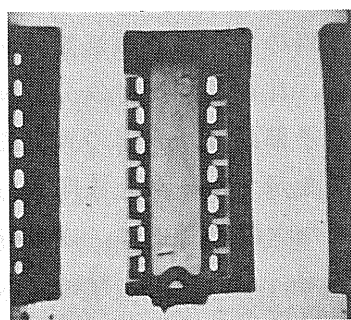
6. 2 表面欠陥の特徴

プラスチック電子部品の表面状態には、成形用の型の表面の処置法から、正反射成分が多く鏡面状態と考えられるものと、比較的乱反射成分の多い梨地状態のものがある。本章で対象とした電子部品は、表面の光学的性質が鏡面状態のものであり、品名、製造者名等を示すマークを捺印する直前の部品表面を検査対象とする。この表面の主な欠陥としては、成形時にプラスチックの充填不足により発生する寸法不足、小穴等や、材料に入り込んだ気泡による小穴、膨らみ等や、組立工程の途中で機械的な力が加わる事により発生する擦過傷、欠け等がある。図6. 1は、対象とするプラスチック封止の集積回路(IC)を上面から撮像した濃淡画像の例であり、比較的安価な工業用TVカメラで撮像し濃淡8ビットで量子化したものであるため、明るさのむら等があつて画質としてはよくない。本章では部品の背景には図に例示されているような複雑なパターンが存在しても安定に欠陥が検出できる簡易な方式について述べる。なお、欠陥検出に関しては、欠陥の分類は不要であり、欠陥の有無を識別すればよい。

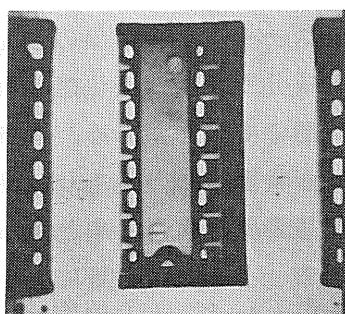
プラスチック表面の画像には、一般に、欠陥検出にとって難しい次のような性質がある。

- ① 欠陥の種類・形状・大きさが多種多様であり、その濃淡値は一定でない。また、プラスチックが単一材料、単一色であるため、正常部と欠陥部での濃淡値に原理的に大きな差はない。
- ② プラスチック表面は鏡面状態であるため、正反射光成分が多く、撮像系の光軸に対する表面の傾きばらつきに対して安定した画像が撮像し難い。
- ③ 個々の部品には供給誤差等があるため視野内での位置がずれる。そのため、検査対象であるプラスチック表面を背景画像から切り出す必要がある。
- ④ 部品全体に人工的な照明を加えるが、照明むらやレンズによる周辺の光量の低下等の影響があり、表面の濃淡値は正常部であっても均一でない。

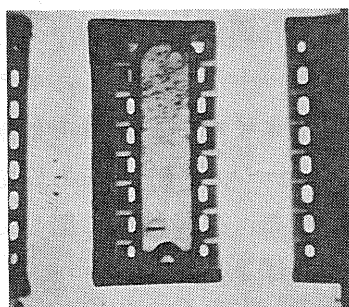
これらの性質により欠陥部のパターンを2値画像処理⁽²⁴⁾で検出することはできないし、また、濃淡値のむらのため、欠陥部分の明るさと照度の低い箇所にある正常部分の明るさがほぼ同一になり、画素の濃淡値の絶対



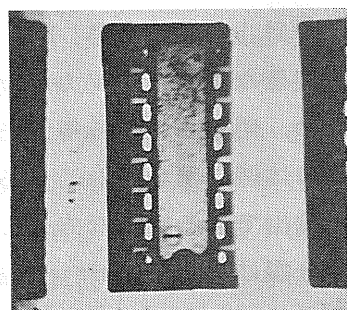
(a) サンプル No.1(正常)



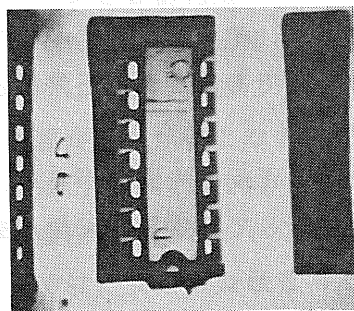
(b) サンプル No.2(正常)



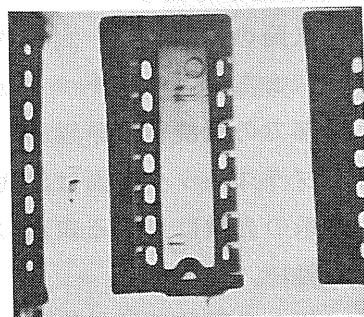
(c) サンプル No.3(異常-小穴,寸法不足)



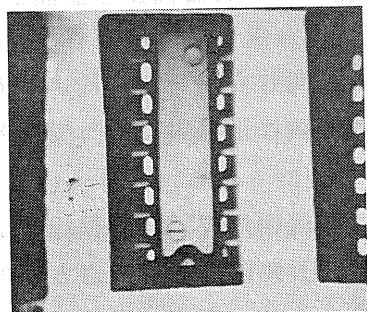
(d) サンプル No.4(異常-小穴,寸法不足)



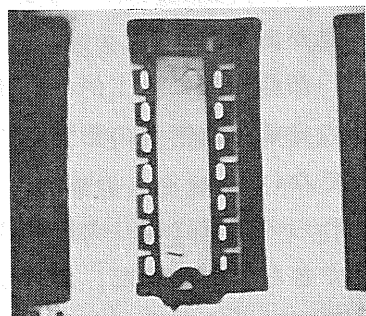
(e) サンプル No.5(異常-擦過傷)



(f) サンプル No.6(異常-擦過傷)



(g) サンプル No.7(異常-膨らみ)



(h) サンプル No.8(異常-膨らみ)

図 6. 1 対象濃淡画像

値に基づく単純な処理方式では、欠陥の識別は困難である。

6. 3 欠陥検出手法

6. 3. 1 基本的な考え方

電子部品には、一般に供給誤差による位置ずれがあり、また電子部品特有の端子(リード)等が背景画像として存在する。これらは、欠陥検査の障害となる。そこで、図6. 2の欠陥検出方式の概略手順に示すように、まず対象画像を入力し、その画像から部品表面の輪郭を抽出し、表面部の画像のみを切り出し、背景部を処理対象から分離する。輪郭は、部品の上下、左右の境界を濃淡値の投影分布をもとに求める。次いで、部品の寸法検査を行う。すなわち、部品表面の左右及び上下の境界位置間の寸法を求める。求めた寸法値と所定の値との差の絶対値が、一定値より大きければ、寸法不足や欠け等の寸法欠陥があると判定し、処理を終了する。一方、寸法検査に合格した部品に対しては表面の濃淡値を分析し、表面上の擦過傷、穴、膨らみ等を抽出する。ここでは照度むらの影響を除外するため、抽出した輪郭をもとに、部品表面全体を部分的な領域に分割し、各部分領域での濃淡の頻度分布の最大値、最小値、最頻値を求め、これらに基づいて各領域ごとに良否判定を行う。すべての部分領域において良と判定されれば、その部品は良品と判定するが、それ以外は不良品と判定する。

6. 3. 2 照明・撮像光学系の検討

鏡面反射の性質を持った部品表面に対して、表面が傾斜しても反射光が撮像レンズに入射できるよう、拡散板を用いた面光源によって照明することとすると、表面の正常部では濃淡値が明るくなる。この拡散板を大きくするほど表面の明るさは表面傾斜の影響を受けにくい。一方、窪み、膨らみ等の欠陥は、欠陥部の表面が僅かに傾斜している状態であり、これらの濃淡値を暗くすることができれば、正常部との濃淡値による識別が可能である。ところが欠陥部からの反射光が、もし撮像レンズに入力されると欠陥部の濃淡値が明るくなり、濃淡の違いによる欠陥の検出は困難となる。そのためには、むやみに拡散板を大きくしたり、取り付け位置を対象に近くすることはできない。

従来この面光源を用いた照明法で、鏡面反射を持つ対象に対して安定な画像を得るのに適した照明光学系の配置や対象の傾きの影響などがほとんど解析されていなかった。そこで、対象面の傾斜角と拡散板の大きさ、取付け位置との関係を以下に検討する。図6. 3は照明方式の説明図である。観測点に入射した光が対象で反射し、撮像レンズの有効径(半径 d)内に入力される光路を示している。拡散板と対象間の距離を a 、対象と撮像レンズ間の距離を b 、拡散板の半径を s 、観測点と光軸間の距離を x 、対象の水平面に対する傾斜角を θ とする。今、撮像レンズの一方の端に入射する光は拡散板上の光軸からの距離 r_1 の点(近点)から出るとする。また、撮像レンズのもう一方の端に入射する光は光軸からの距離 r_2 の点(遠点)から出るとする。これらの近点及び遠点の距離は、次式で与えられる。

$$r_1 = x + a \cdot \tan[2\theta + \tan^{-1}\{(x-d)/b\}] \quad \dots\dots\dots(6. 1)$$

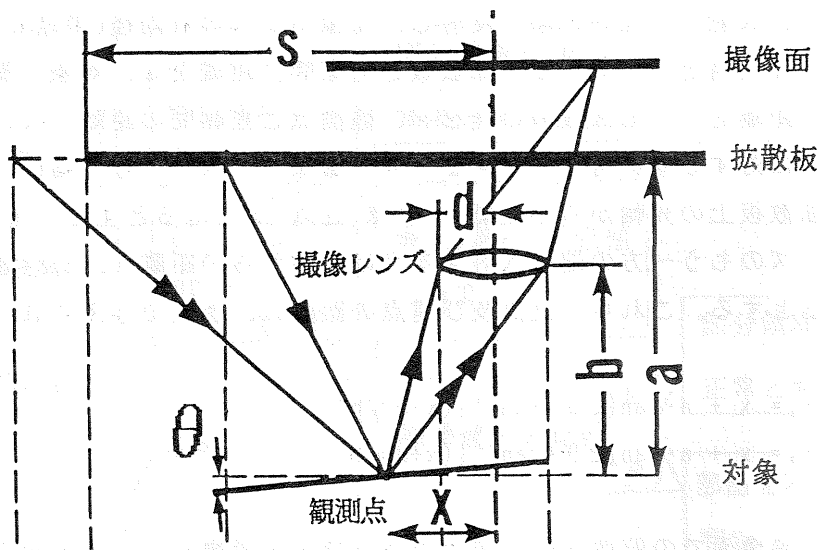
$$r_2 = x + a \cdot \tan[2\theta + \tan^{-1}\{(x+d)/b\}] \quad \dots\dots\dots(6. 2)$$

いま、撮像面での照度 P は、図中の小円で示す撮像レンズ面を鏡面(対象面)を介して拡散板上に投影したときの外形(これを図中の大円で示す)と拡散板との交わる面積と、この大円で示す投影したレンズ面の面積との比率に依存すると仮定する。このとき、照度 P は簡単な幾何学の計算により次式で表わされる。

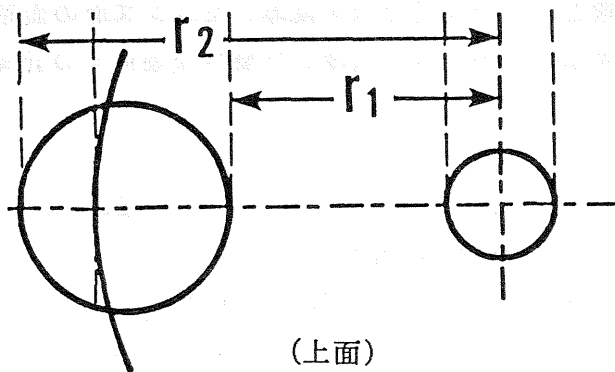
$$P = \begin{cases} P_0 & \text{for } r_2 \leq s \quad \dots(6. 3) \\ P_0 \left[\frac{1}{\pi} \cos^{-1} \left\{ \frac{(r_2 + r_1 - 2s)}{(r_2 - r_1)} \right\} \right. \\ \quad \left. - \frac{2(r_2 + r_1 - 2s) \{(s - r_1)(r_2 - s)\}^{1/2}}{\pi(r_2 - r_1)^2} \right] & \text{for } r_1 < s < r_2 \quad \dots(6. 4) \\ 0 & \text{for } r_1 \geq s \quad \dots(6. 5) \end{cases}$$

なお、 P_0 は光軸上で対象の傾斜角が零値の場合の照度である。式の導出を簡単にするため、拡散板上に投影されたレンズ面は前述の近点と遠点を結ぶ線分を直径とする円であり、また投影されたレンズ面と交わる拡散板の端部は光軸から距離 s を持つ直線(即ち拡散板の接線)に近似した。

観測点の撮像面上での相対的な照度と光軸からの距離の関係を上式より



(正面)



(上面)

図 6. 3 照明系の光路

計算によって求めたものを図 6. 4 に示す。図では後述する実験システムで用いるレンズ及び倍率より、 $a = b = 359.2\text{mm}$ 、 $d = 23.6\text{mm}$ と設定した。対象物の撮像面における照度は光軸からの距離 x が遠くなるにつれて低下するが、拡散板を大きくするほどこの低下は小さいことがわかる。それに対し、傾斜角度 θ が大きくなるにつれて照度の低下は大きい。

さらに、表面欠陥は簡単のため一定の傾斜角をもつ窪みと膨らみであるとし、図 6. 5 に示す様に、欠陥の表面に対する傾斜角を ω とする。図 6. 6 は検出できる欠陥の最小傾斜角と拡散板の大きさ s の関係を、(6. 1) 式を変形 (θ を ω で置換) して (6. 5) 式内の $r_1 \geq s$ を満たす傾斜角 ω の最小値 ω_m として求めたもので、同じく $a = b = 359.2\text{mm}$ 、 $d = 23.6\text{mm}$ と設定している。図の縦軸は欠陥部で反射した光が撮像レンズに入射されないための水平面からの最小の傾斜角 ω_m である。図より拡散板を大きくすると、検出できる欠陥の最小傾斜角 ω_m は大きくなることが判る。また視野の周辺にある欠陥部の最小傾斜角は視野の中央のこの値より小さい。

視野寸法より光軸からの最大の距離は $x = 20.8\text{mm}$ であり、さらに対象面の傾斜角は 0.01 ラジアン以下である。実験では $s = 50\text{mm}$ の拡散板を用いており、そのため検出できる欠陥の最小傾斜角 ω_m は 0.1 ラジアンであり、これは実用上十分な値である。但し、視野の周辺では照度が 60% に低下する。従って後述のような分割した部分領域における欠陥の判別処理が必要となる。

6. 3. 3 輪郭抽出

電子部品の基準位置が既知であり、供給誤差が一定範囲内であるため、この基準位置をもとに部品の辺に沿って辺に垂直な小領域を多数設定し、この小領域内での画素の濃淡値の投影値をもとに変化の大きい点を求め、この点を部品表面の輪郭点(表面と背景の境界点)とする。なお、ここでは、寸法欠陥を検出することも目的としているため多数の輪郭点を抽出する。

上述した輪郭点抽出のための濃淡値投影分布法は次のようなものである。図 6. 7 に示すように、投影する領域の大きさを、 x 方向に m 画素、 y 方向に n 画素とする。また投影領域の中心位置を (X, Y) とする。投影値は中心位置座標と投影する軸の座標との関数として記述でき、いま x 軸への投影値を $Q(X, Y; x)$ 、 y 軸への投影値を $R(X, Y; y)$ とする。対象画像の濃淡値

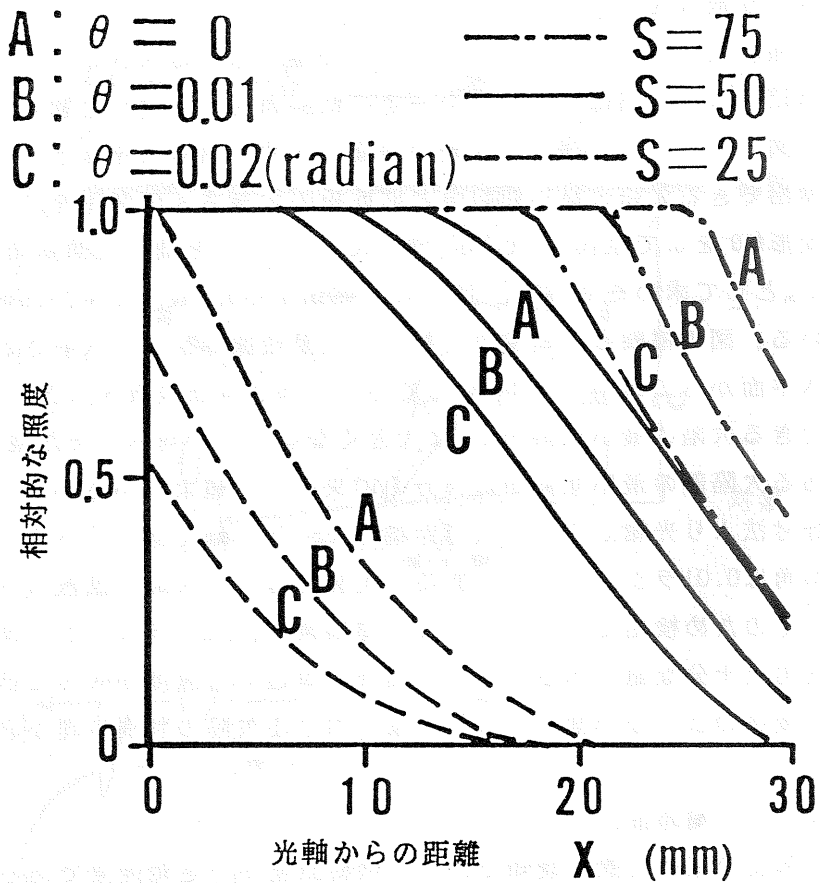


図 6. 4 拡散照明における対象の相対照度 (計算値)

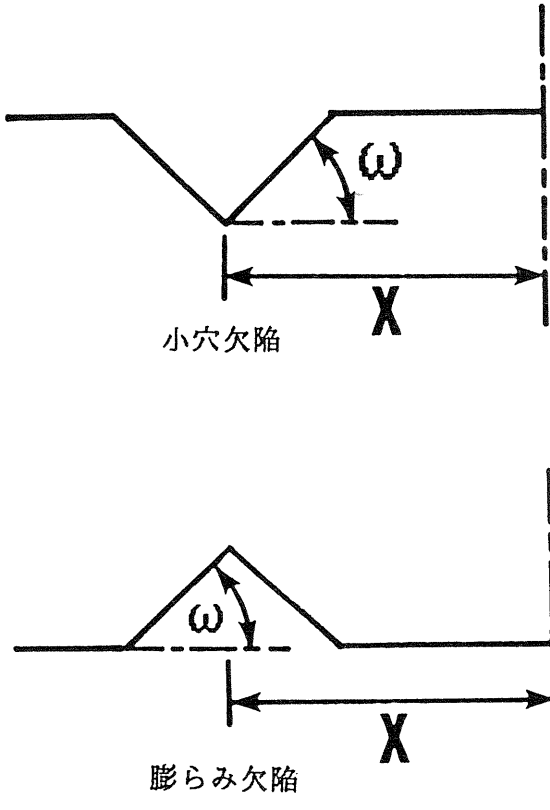


図 6. 5 欠陥のモデル

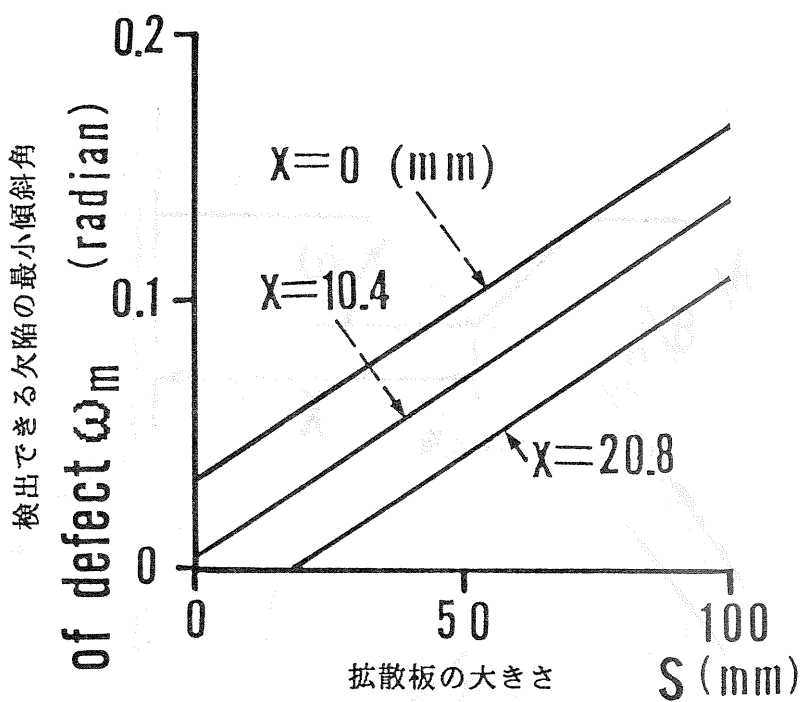


図 6. 6 検出できる欠陥の最小傾斜角 (計算値)

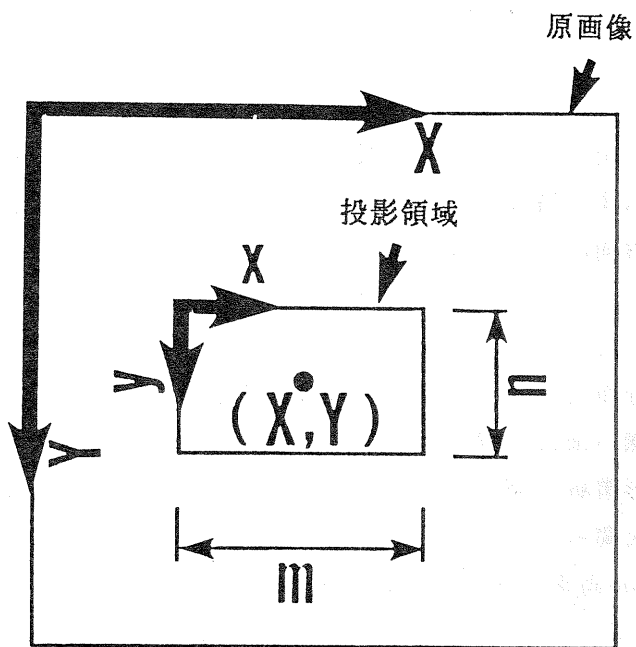


图 6. 7 濃淡値投影分布法

を $P(X,Y)$ とする時、各投影値は以下の式で表せる。

$$Q(X,Y;x) = \sum_{y=1}^n P(X-[m/2]+x, Y-[n/2]+y) \quad \dots\dots\dots (6. 6)$$

$$R(X,Y;y) = \sum_{x=1}^m P(X-[m/2]+x, Y-[n/2]+y) \quad \dots\dots\dots (6. 7)$$

但し、 $1 \leq x \leq m$ 、 $1 \leq y \leq n$ であり、 $[]$ はガウス記号である。

部品の左辺側の境界付近での濃淡値の x 軸への投影分布 $Q(X,Y;x)$ の例を図6. 8に示す。横軸が投影領域内の x 座標を、縦軸が投影値を表す。投影領域の x 方向の大きさは部品の供給誤差($\pm 0.9\text{mm}$ 、即ち ± 7 画素)から決まり $m=15$ とし、また y 方向の大きさは画素の濃淡値のばらつきを平均化するため $n=2$ とした。

この投影分布をもとに部品表面の輪郭を求める。図6. 9(a)(b)は、位置ずれの無い部品位置を基準にして発生した投影領域を示している。実験では、投影領域の発生位置は各画素ごとに密に発生するが、表示の都合上、これらを間引いて表示している。部品表面の大きさは実測値により縦150画素、横35画素であり、供給誤差を考慮し投影領域の個数は左辺、右辺側で各165個、上辺、下辺側で各50個とした。図6. 9(c)は実際の部品に対して設定した投影領域を例示しており、黒で塗り潰した横長の短冊状領域は部品の左辺と右辺側での x 軸への投影領域を、また白で塗り潰した縦長の短冊状領域は部品の上辺と下辺側での y 軸へ投影領域を示す。

ここで、部品の左辺側を例にとり境界点を検出する方法を述べる。発生した一つの投影領域の中心位置を (X,Y) 、境界点の x 座標を x^1 とすると、この x^1 を以下のすべての式を満たすように決定する。なお、供給誤差が所定の範囲内であるため、投影領域の一方の端には、プラスチック表面(濃淡値が大きい)部分が存在することを前提としている。

(条件1) 境界点では、投影値の変化が最大である。

$$Q(X,Y;x^1+1)-Q(X,Y;x^1-1) = \max \{Q(X,Y;x+1)-Q(X,Y;x-1)\} \\ \text{for } 1 < x < m \quad \dots\dots\dots (6. 8)$$

(条件2) 境界点での投影値の傾斜の大きさは一定値 α より大きい。

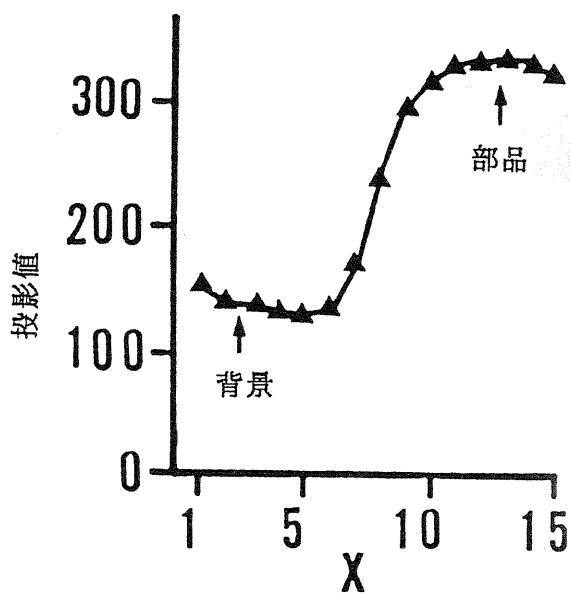
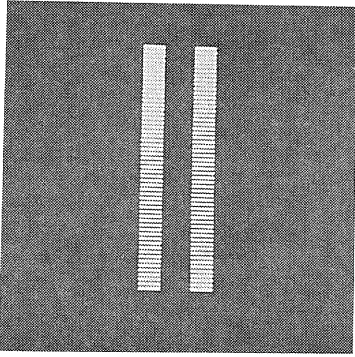
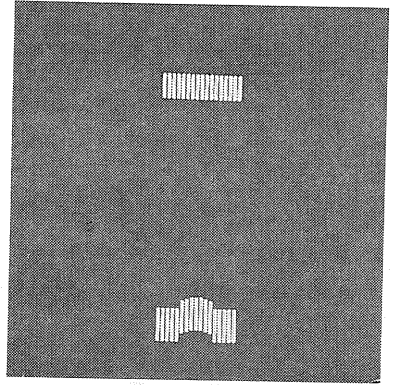


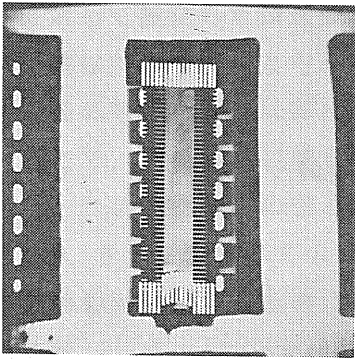
図6. 8 濃淡値投影分布の例



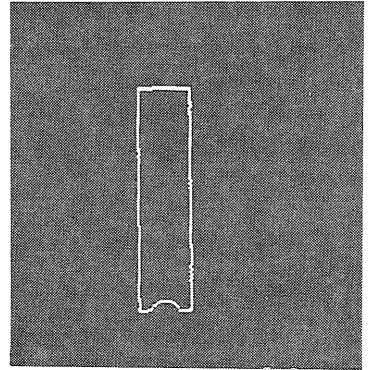
(a) 部品の左辺および右辺



(b) 部品の上辺及び下辺



(c) 投影領域の例



(d) 輪郭抽出の例

図 6. 9 輪郭抽出のための濃淡値投影分布用の領域

$$Q(X, Y; x^1 + 1) - Q(X, Y; x^1 - 1) > \alpha \quad \dots \dots (6.9)$$

(条件3) 部品の表面が含まれる側の投影領域での投影値は、境界点の投影値と比較して少なくともある値 β だけ大きい。

$$Q(X, Y; x) - Q(X, Y; x^1) > \beta \quad \text{for } x^1 < x \leq m \quad \dots \dots (6.10)$$

実験では実測値を基に $\alpha = 15$, $\beta = 5$ とした。同様に部品の右辺, 上辺, 下辺側の境界点も上式(6.8)(6.9)(6.10)を変形することで容易に導出できる。図6.9(d)に良品に対して抽出した輪郭の例を示す。

6.3.4 寸法検査

寸法不足, 欠け等の欠陥のある部品は良品との間に形状に差がある。したがって, これらの欠陥は, プラスチック表面の寸法を求めて, その寸法が所定の長さになっているかどうかを判定することによって検出できる。そのため, 前項で説明した輪郭の抽出結果を用いてプラスチック表面の相対する辺の境界点間の距離を求め, 標準の値との差の絶対値が許容範囲内かどうかを判定し, 許容範囲外であれば寸法検査を不合格とする。

なお, 本章では, 部品の姿勢(回転)ずれは無視できるほど小さいので, 距離計算は簡略化し, 相対する輪郭点間の座標の差で代用する。図6.10に示すごとく, 部品の短手方向(横方向)の標準寸法を W_i , 長手方向(縦方向)の標準寸法を H_j とする。実験では, $1 \leq i \leq 150$, $1 \leq j \leq 35$ とした。また, $W_{75} = 35$, $H_1 = H_{35} = 150$, $H_{17} = 144$ とした。さらに, 距離に関する許容誤差は部品の寸法公差および画像のサンプリング誤差を考慮し ± 3 画素とした。但し, 一定範囲の寸法誤差を許容するため, 設定している標準寸法の個数と検出した相対する輪郭点对の個数とは異なる。そのため, 検出した相対する輪郭点間に対してのみ対応する標準の寸法と比較する。

6.3.5 領域分割型の濃淡頻度分布による欠陥判別

部品表面の正常部分は, 鏡面反射であるため大きい濃淡値を持ち, 小穴, 膨らみ, 擦過傷等の欠陥部分は, 多少濃淡値が小さい(暗い)。しかしながら, プラスチック表面の人工照明には, シェーディング等の照明むらがあるため, たとえば, 部品の中央と端では, 明るさが大きく異なる。したがっ

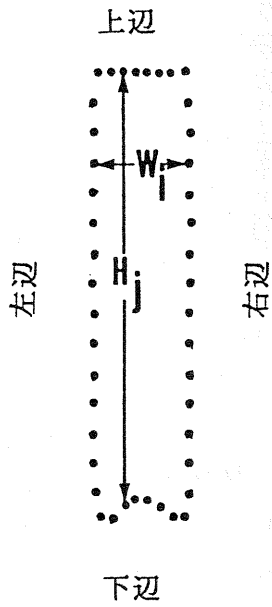


図 6. 1 0 部品の寸法検査

て、処理対象領域を表面全体にすると、正常部でも欠陥部と同程度の明るさになり、誤判定の原因となる。そのため、表面画像を分割し、部分的な処理領域ごとに濃淡値の頻度分布を求め、各分布の特徴量をもとに欠陥を判別することとした。

そのため、前述のようにして抽出した輪郭点の位置を基に、部分的な処理領域を発生する。したがって、部品の表面は分割した部分領域で覆われることになる。図 6. 11 に示す白い枠で囲んだ内部が分割した部分領域の例である。実験では、分割した部分領域の内、長方形領域の大きさは横 29 画素、縦 18 画素である。但し、プラスチック成形時に形成される上、下部にある二つの円形の凹部は、今回の検査対象外として除外しており、上述の長方形領域より処理する領域は狭くなる。

ここで、頻度分布の生成を行うこれらの部分領域を、 A_k と記述する。ただし、 k は分割した部分領域の番号であり Y 方向に順次番号をつける。なお、 $1 \leq k \leq K$ であり、 K は分割した処理領域の総数である。また、頻度分布の値を $h_k(v)$ と表わす。 v は、画素値 ($0 \leq v \leq 255$) である。この時、濃淡頻度分布は次の式で求めることができる。

$$h_k(P(X,Y)) \leftarrow h_k(P(X,Y)) + 1 \text{ for } (X,Y) \in A_k \quad \dots \dots \dots (6. 11)$$

但し、 $h_k(v)$ は計算開始に先立ち初期化(零値)しておく。

図 6. 12 (a) は正常な部分領域の濃淡頻度分布を、また、同図 (b) は欠陥部分を含む部分領域の濃淡頻度分布を示す。欠陥部分の頻度分布の特徴としては、濃淡値の小さい所にも分布が存在する、また分布の分散値が大きくなっている等が明らかである。

この濃淡頻度分布 $h_k(v)$ から算出できる特徴量としては、平均値、分散値、最頻値、最小値、最大値等がある。プラスチック表面の欠陥は、反射光が撮像レンズに入射されないため、その濃淡値が小さくなっている。そこで、特徴量としては、欠陥部を表すものとして最小値 $V_{min.k}$ を、正常部を表すものとして最大値 $V_{max.k}$ 、最頻値 $V_{mode.k}$ を選び、これらに基づいて欠陥と正常の判別をすることとした。以下の 2 つの式を満たせば、分割した部分領域 A_k でのプラスチック表面は正常と判定する。

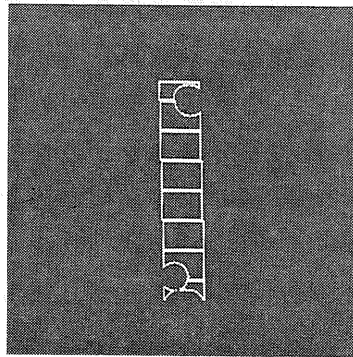
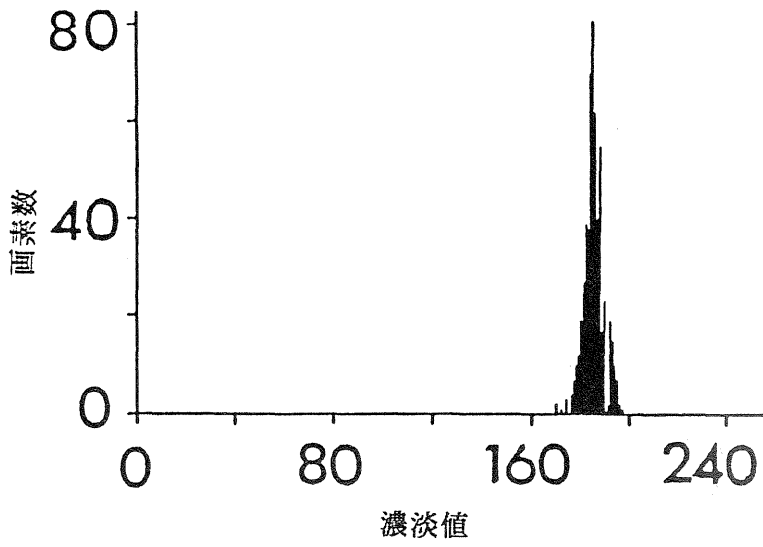
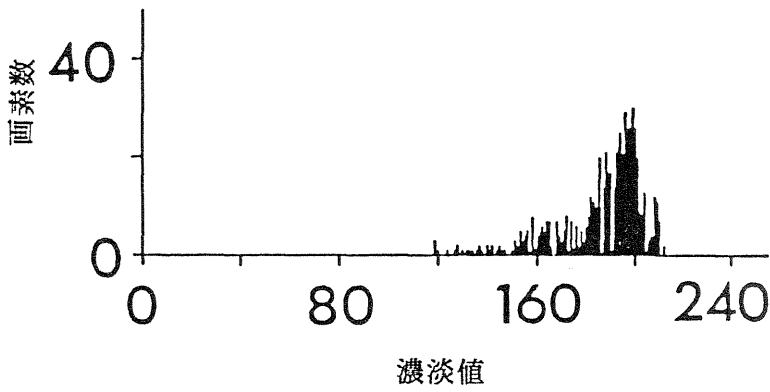


図6. 1 1 濃淡値頻度分布のための分割部分領域



(a) 正常領域



(b) 異常領域

図 6. 1 2 濃淡値頻度分布の例

$$V_{\max.k} - V_{\min.k} \leq t_1 \quad \dots\dots\dots (6.12)$$

$$V_{\text{mode}_k} - V_{\min.k} \leq t_2 \quad \dots\dots\dots (6.13)$$

但し、 t_1 、 t_2 は、予め与えられた閾値であり、実験によって求める。実験では濃淡値は255までの非負整数であり、閾値は、 $t_1=50$ 、 $t_2=34$ としている。

なお、2つの条件のAND条件を用いるのは判定の信頼性を高めるためであり、例えば欠陥部が1つの領域内に多数出現した場合、(6.13)式で用いる最頻値が小さくなり、誤判定の原因となる恐れがあるためである。このような判定を各分割した部分領域に対して行い、1箇所でも欠陥があれば不良品であると判定する。

6. 4 実験結果

6. 4. 1 実験システム構成

開発した電子部品外観検査の実験システムの構成を図6.13に示す。本実験システムは、照明用光源、工業用TVカメラ等からなる照明・撮像光学系、部品表面の画像を基に欠陥を検出する画像処理部、及び部品を順次供給、送出する移動台からなる。また、中央処理装置により画像処理部の制御並びに実験システム全体の制御を行う。特に、この画像処理部では濃淡画像の頻度分布、投影分布の生成を高速で行う実用的な装置であり、専用の集積回路により小型化を図っている^{〔40〕}。

照明・撮像光学系の構成を表6.1に示すが、対象とTVカメラの間にハーフミラーを入れ、光軸を直角に曲げ、またくもりガラスを用いた拡散板によって対象の各点に対して円錐状の光束を照射でき、表面が光軸に対して傾斜している場合にも安定して反射光が撮像レンズに入力されるようにしている。

画像処理部では、工業用TVカメラの映像信号をデジタル化してイメージメモリに蓄え、また蓄えた画像の任意の位置の画素を取り出して処理することができる。イメージメモリの大きさは縦、横256×256画素であり、濃淡の階調が8ビットのもの1面と1ビットのもの1面の計2面

画像処理装置

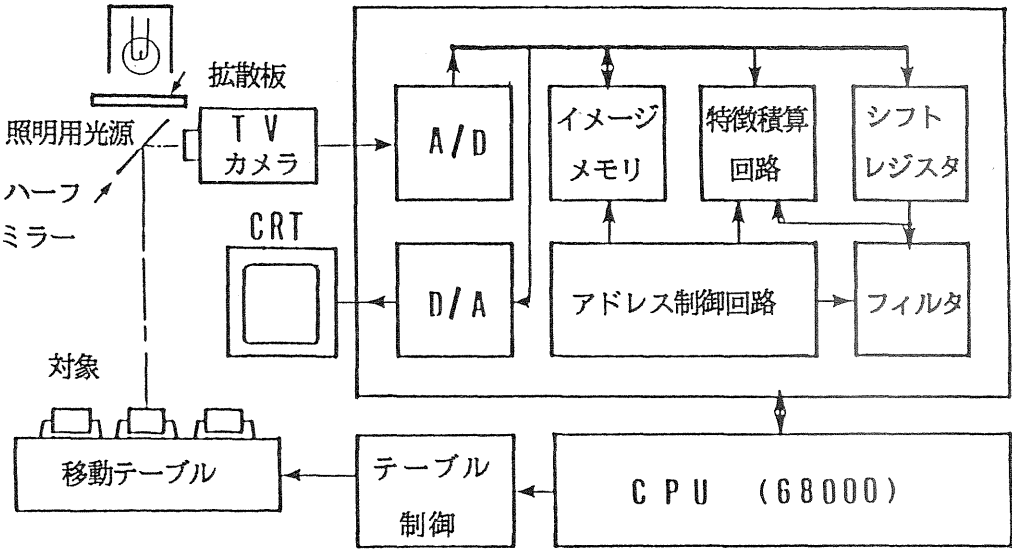


図 6. 1 3 外観検査実験システムの構成

表 6. 1 照明・撮像光学系の仕様

項目		内容
撮像系	工業用TVカメラ	CCTV CAMERA HV-17TJ (日立電子製)
	撮像用レンズ	F 1.8 f 85 (旭光学製)
	ハーフミラー	大きさ 100mm角 吸収 4%
照明系	照明用光源	タングステン電球 25W
	拡散板	くもりガラス 100mmφ
倍率	0.31倍 (1画素=130μm) 視野範囲 41.6mm×31.2mm	

で構成されている。イメージメモリは処理のためのマスクパターン格納用として用いることもできる。また、アドレス制御回路は、イメージメモリのデータの入出力アドレスを制御する回路であり、イメージメモリの任意の位置から所定の処理領域内の画素を順次取りだすことができる。さらに、フィルタリングや特徴積算等の演算の同期をとる機能も有しており、基本サイクルは6MHzである^{〔40〕}。

特徴積算回路は、画像の特徴量を積算するためのメモリと加算回路から構成しており、積算用メモリのアドレスに座標値や、画素値を入力することができる。そのため、画像をx軸、y軸方向に投影したときの画素値の積算値、即ち濃淡値投影分布を求めることや、画素値を積算用メモリのアドレスに入力することで、濃淡頻度分布を算出することもできる^{〔40〕}。

中央処理装置(マイクロコンピュータ 68000)は、画像処理部に対して処理に必要なパラメータを設定するとともに、処理の開始指令を出す。また、処理終了信号と処理結果の値を受けとったり、入出力端子を介してテーブル移動台を制御する。検査全体の制御プログラムは、BASIC言語で作成している(ステップ数約550)が、このプログラムで起動される画像処理部の基本的な処理ルーチンは、日立製S-PL/H言語を用いて作成している^{〔40〕}。

6.4.2 処理過程と結果

実験で対象としたプラスチック電子部品は図6.1に示した集積回路であり、予め検査員が目視により良否を判定している。また、良品に対する寸法検査の結果を図6.14(a)(b)に示す。また、不良品(欠陥の種別:寸法不足)の寸法検査結果を、同図(c)(d)に示す。さらに、プラスチック表面画像の各部分領域の濃淡値の頻度分布の最大値、最小値、最頻値を求めた結果を図6.15に示す。横軸は最頻値 V_{mode_k} と最小値 V_{min_k} との差、縦軸は最大値 V_{max_k} と最小値 V_{min_k} との差である。原点付近に良品が分布する。また、不良品は原点から外れた所に分布する。

検出した欠陥の例を、図6.16(a)(b)に示す。図中の黒い枠が欠陥の存在する部分領域を示している。この方式では欠陥箇所に対応する画素及びその位置を直接検出することはできないが、欠陥箇所が存在する処理領域を特定することはできる。実験に用いた典型的な電子部品8個に対する繰返し実験で、すべての部品に対して、良否を正しく判別することができ



(a) 横方向
(正常)



(b) 縦方向
(正常)

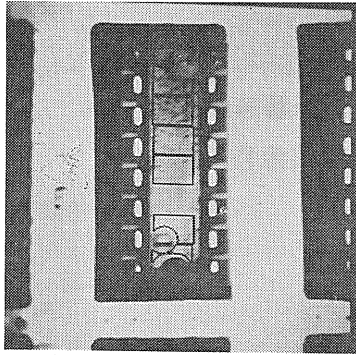


(c) 横方向
(異常)

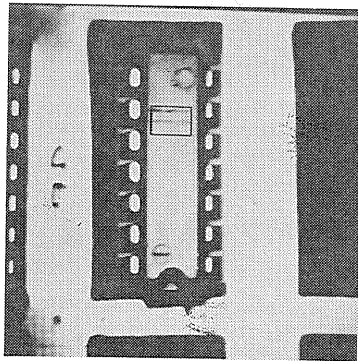


(d) 縦方向
(異常)

図 6. 1 4 寸法検査の例



(a) サンプル No.4



(b) サンプル No.5

図 6. 16 欠陥検出結果の例

た。検査に要した時間は実験用システムで1部品当たり約3.5秒であり、実用的に十分な時間である。

6 . 5 . 結 言

プラスチック電子部品の表面欠陥を検出する実用的な自動外観検査方式を開発し、

(1)濃淡画像に対する頻度分布処理に基づいた簡便な検査方式によって、部品表面の欠陥(寸法不足、擦過傷、欠け、小穴、膨らみ等)を検出することができることを示した。

(2)拡散板を用いる面光源の照明光学系の配置を解析し、部品表面の傾きがばらつく場合においても、安定して正常部と欠陥部を識別できることを示した。

本章はプラスチック電子部品の外観検査方式に関するものであり、鏡面反射を有する表面に対する寸法不足や表面の小穴、擦過傷、膨らみ等の欠陥検出が可能である。

なお、本研究による技術は、別途開発されたリード曲がり検査技術と組合わされ、電子部品外観検査装置として実現され、最終検査工程で実用されている。

第7章 部分画像の出現確率を用いた高速化パターンマッチング手法

画像パターン中から特定の図形と類似した図形を抽出するテンプレートパターンマッチング法は画像処理の基本として重要であり、いままでに述べてきたような各種の工業用視覚の他一般の文書処理等においても利用されている。従来は、ハードウェアによる照合方法により、このパターンマッチングの高速化が実現されていた。しかし、ワークステーションなどの計算機の普及にともない、将来はソフトウェアでこれを実行する必要性もまた生じてくる。その際、パターンマッチング法を実行するに要する時間は、画像の大きさ、テンプレートパターンの種類が増加するに伴い増大するため、その高速化が、実用上の重要な課題となってきた。本章では、高速化の一方式として知られているSSDA法(Sequential Similarity Detection Algorithm)を基本として考案した新しい高速化パターンマッチング方式について述べている。特に、2値画像でかつ照合誤差のない場合について検討する。まず、SSDA法における所要計算時間の期待値を、テンプレートパターンに含まれる部分的なパターンの対象画像における出現確率を用いて求める。ついで、画素の照合の順序を、ブロック化した部分的なパターンの対象画像における出現確率を用いて決定する方式を提案する。最後に、実際に集積回路チップの表面パターン等の例を対象に本方式を適用し、パターンマッチング法の高速化に有効であることを示す。

7. 1 緒言

画像パターンとテンプレートパターンとの画素同士の照合を行なうテンプレートパターンマッチング法は、画像パターン中から特定の図形と類似した図形を抽出する手段であり、物体認識、文字認識、記号認識等に使われ、工業用視覚⁽²⁾、リモートセンシング⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾、文書画像処理⁽⁴⁴⁾、医用画像処理⁽⁴⁵⁾など広い応用が期待されている。

テンプレートパターンマッチング法を実行するに要する時間は、原画像

パターンが大画面になるにつれ、またテンプレートパターンの種類が多くなるにつれ、さらにテンプレートパターンのサイズが大きくなるにつれ、大幅に増大するため、処理時間の短縮、高速化のための方式が不可欠となっている。

テンプレートパターンマッチング法を高速に実行する方式には、大別して次の3つがある。(1)画素同士のマッチングを並列におこなう方法^{〔2〕}、(2)マッチング処理をパイプライン化し、その段数、速度を増加する方法、(3)部分的なパターンの切り出し位置でのマッチングを、ある評価に従い途中で打ち切る方法^{〔42〕}。特にこの(3)の方式は、その切り出し位置において各画素の濃度とテンプレートパターンの濃度との差の絶対値の和、即ち照合誤差をとる際、照合誤差があるしきい値を越えれば、一致の程度が良くないと判断し、照合を打ち切り次の切り出し位置に移動するものである。この方法は、B a r n e a 等が考案し S S D A 法^{〔42〕}(Sequential Similarity Detection Algorithm, 残差逐次検定法^{〔43〕})と名付けられ、高速化の有力な手段となっている。ここでは、画素の濃度差の絶対値を加算する順序(以下画素の照合順序と呼ぶ)は、乱数を用いて設定されている。^{〔42〕}

本章は S S D A 法の照合順序の決定方法を改良してさらに高速化を実現したものである。これはテンプレートパターンに含まれる部分的なパターンの原画像パターンにおける出現確率に基づいて照合順序を決定し、その後 S S D A 法を適用することによって処理時間を短縮する方法である。この方法は、予め部分的なパターンの出現確率が判っている場合に有効である。

本章では、初めに S S D A 法における処理時間の期待値をテンプレートパターンに含まれる部分的なパターンの出現確率に基づき導出する。次いで、高速化方式の原理と手順を提示する。最後に、集積回路チップの表面パターンと論理回路の図面を対象に、提案した方式の有効性について述べる^{〔46〕〔47〕}。

7. 2 基礎事項

7. 2. 1 テンプレートパターンマッチング法^{〔2〕}

原画像パターンとテンプレートパターンとの一致の度合をみるためには、

両者の各画素の濃度差の絶対値の和，即ち照合誤差をとる。テンプレートパターンマッチング法は，テンプレートパターンを移動させ，照合誤差が最小となる座標を求める方法である。原画像パターンにおいて部分的なパターンの切り出し位置(以下，注目点と呼ぶ)を $p(X, Y)$ ，辞書として予め設定しているテンプレートパターンの画素を $t(x, y)$ とする。但し，原画像パターン及びテンプレートパターンの座標系をそれぞれ (X, Y) ， (x, y) とする。図 7. 1 にこの座標系で用いる各種の記号を示す。テンプレートパターンの x 方向の画素数を m ， y 方向の画素数を n とする。説明の簡単化のため m ， n は偶数とするが本方式の一般性を失わせるものではない。注目点 $p(X, Y)$ において k 番目に照合を行う画素の座標を (x_k, y_k) とすると，テンプレートパターンマッチング法の出力結果 $z(X, Y)$ は，次式で表される。但し $p(X, Y)$ ， $t(x, y)$ は画素の濃度値も表すとする。

$$z(X, Y) = \sum_{k=1}^{n \times m} |p(X + x_k - m/2, Y + y_k - n/2) - t(x_k, y_k)| \quad (7. 1)$$

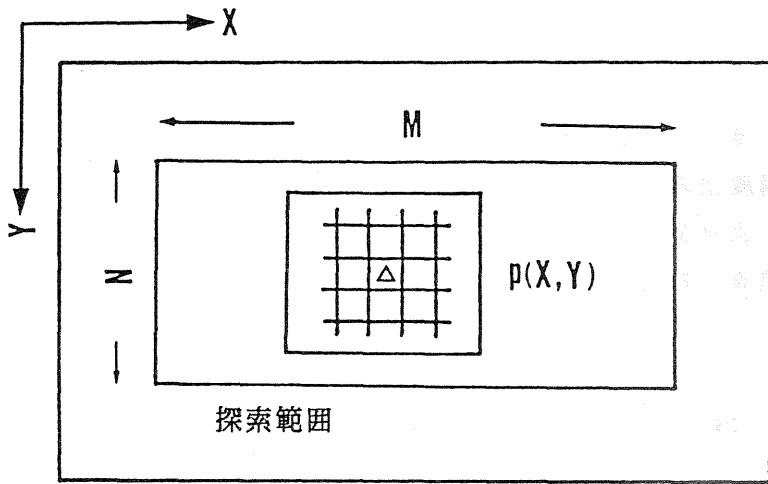
今，原画像パターンにおいて，照合を行なう範囲(探索範囲と呼ぶ)を X 方向に， $X_0 < X \leq X_0 + M$ ， Y 方向に， $Y_0 < Y \leq Y_0 + N$ とする。(7. 1)式右辺において画素同士の濃度差の絶対値を 1 回加算する演算を照合演算と呼ぶが，照合演算を 1 回行えば，照合回数は 1 回と計数する。上記探索範囲内の照合回数 T は，

$$T = M \times N \times m \times n \quad \dots \dots \dots (7. 2)$$

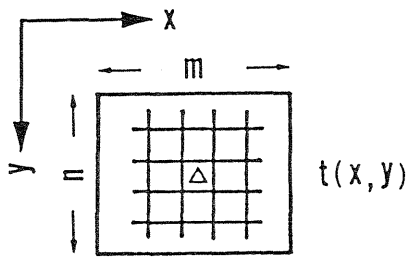
となる。

7. 2. 2 S S D A 法の説明^{<42>} <43>

テンプレートパターンにおいて， k 番目に照合を行なう画素の値を $t(x_k, y_k)$ とする時， i 番目の照合において照合打切りを行う条件は次の式で表される。



原画像パターン



テンプレートパターン

図 7. 1 原画像パターンとテンプレートパターン

$$\sum_{k=1}^i | p(X + x_k - m/2, Y + y_k - n/2) - t(x_k, y_k) | > \varepsilon \quad (7.3)$$

但し、

$$1 \leq i \leq m \times n \quad \dots\dots\dots (7.4)$$

(7.3)式の左辺は、原画像パターンの注目点 $p(X, Y)$ において、照合誤差を算出する際、原画像パターンの画素とテンプレートパターンの画素との濃度差の加算の途中の値を示す。左辺で i を増していった場合、所定の値 ε より左辺が大きくなれば、注目点 $p(X, Y)$ における照合誤差を求める演算を打ち切り、次の注目点に移り上述と同じ照合演算をおこなう。

7.3 照合回数分析

7.3.1 照合回数の検討

注目点において、1画素でもテンプレートパターンと異なれば照合演算を途中で打ち切る場合、即ち(7.3)式で $\varepsilon = 0$ の場合における照合回数を求める。また、対象とするパターンは、以後、2値化画像とする。

(1) 途中パターンの生成

注目点 $p(X, Y)$ において、 k 番目に照合を行うテンプレートパターンの画素を $t(x_k, y_k)$ とする。テンプレートパターンに含まれる部分的なパターン V_i を、以下で定義しこれらを途中パターンと呼ぶ。

$$V_i = \{ t(x_k, y_k) \mid 1 \leq k \leq i \} \quad \dots\dots\dots (7.5)$$

但し、 $1 \leq i \leq m \times n$ であり、 $V_{m \times n}$ は $m \times n$ 画素をもつテンプレートパターンそのものである。

例として図7.2に 2×2 画素のテンプレートパターンとその途中パターンを示す。升目が空白の画素は照合に関与しない所謂 don't care の画素を、丸印は画素値 0、黒丸印は 1 を示す。また、 (x_k, y_k) の選び方、即ち照合順序は後述する出現確率から決めるが、ここでは説明の都合上、仮

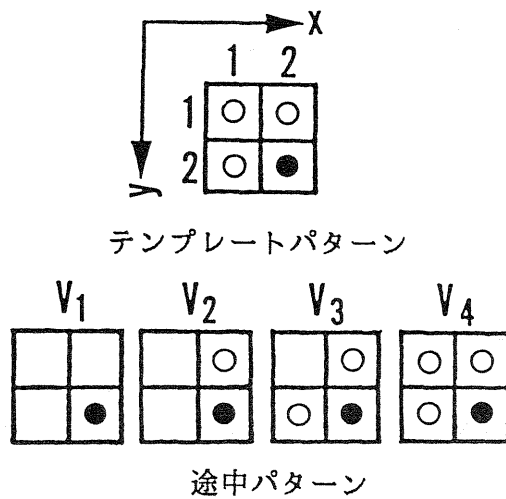


図 7. 2 途中パターンの例

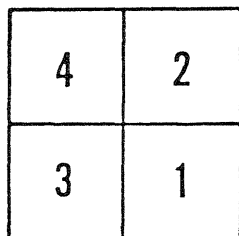


図 7. 3 照合順序の例

りに図 7. 3 のように設定する。

(2) 照合回数の導出

さて、原画像パターン V_i の探索範囲 $X_0 < X \leq X_0 + M$, $Y_0 < Y \leq Y_0 + N$ における途中パターン V_i の出現頻度を $H(V_i)$ で表す。途中パターン V_i の出現確率 $P(V_i)$ は以下の式で表される。

$$P(V_i) = H(V_i) / (M \times N) \quad \dots \dots \dots (7. 6)$$

この時、探索範囲内での照合回数 T は、完全一致でなければ照合を打ち切る場合、即ち(7. 3)式で $\varepsilon = 0$ の場合、次式で表される。

$$T = M \times N + H(V_1) + H(V_2) + \dots + H(V_{m \times n - 1}) \quad \dots (7. 7)$$

$$= (M \times N) \{ 1 + P(V_1) + \dots + P(V_{m \times n - 1}) \} \quad \dots (7. 8)$$

[(7. 7)式の証明]

照合回数を画素数 h のテンプレートパターン V_h の関数と考え次のような関数 $L(V_h)$ を考える。

$$L(V_h) = M \times N + H(V_1) + \dots + H(V_{h-1}) \quad \dots \dots (7. 9)$$

(7. 9)式において $h = m \times n$ とおいたものが、(7. 7)式である。また、 $V_{m \times n}$ は $m \times n$ 画素をもつテンプレートパターンである。上式が $1 \leq h \leq m \times n$ において一般的に成り立つことを、数学的帰納法を用いて証明すればよい。

(i) $h = k$ で成り立つと仮定すると、(但し $k > 1$)

$$L(V_k) = M \times N + H(V_1) + \dots + H(V_{k-1}) \quad \dots \dots (7. 10)$$

$h = k + 1$ の場合、途中パターン V_k と完全一致である注目点においてのみ、 $k + 1$ 番目の画素との照合を行うため、途中パターン V_k と完全一致である注目点の個数 $H(V_k)$ を用いて、次式となる。

$$L(V_{k+1}) = L(V_k) + H(V_k) \quad \dots\dots\dots(7. 1 1)$$

よって、 $h = k + 1$ の場合、(7. 9)式が成り立つ。

(ii) $h = 1$ の場合、1画素のテンプレートパターンとの照合を行うことになるため、照合回数 $L(V_1)$ は

$$L(V_1) = M \times N \quad \dots\dots\dots(7. 1 2)$$

となり、(7. 9)式が成り立つ。

(i), (ii)より(7. 9)式が成立する。(証明終り)

7. 3. 2 照合回数の算出と回数低減の可能性

(7. 3)式で $\varepsilon = 0$ の場合において、SSDA法を適用することによってどの程度照合回数の低減ができるかを検討する。生成した途中パターン V_i をマルコフ情報源と見なし、その出現確率を黒い画素の出現確率 q の関数として次の3通りを仮定した場合の照合回数を(7. 8)式によつて求める。

$$(a) \quad P(V_i) = q^i \quad \dots\dots\dots(7. 1 3)$$

$$(b) \quad P(V_i) = q / i \quad \dots\dots\dots(7. 1 4)$$

$$(c) \quad P(V_i) = q / i^2 \quad \dots\dots\dots(7. 1 5)$$

但し、 $1 \leq i \leq m \times n$, $0 \leq q \leq 1$ である。

テンプレートパターンのサイズを、 $m = 8$, $n = 8$ とした場合で途中パターンの出現確率を、(7. 13)~(7. 15)式と仮定した時の照合回数の計算値を、表7. 1に示す。但し、値は探索範囲内の画素数で正規化している。完全一致でなければ照合を打ち切る場合の照合回数は、(7. 2)式から求めた打ち切りなしの場合の正規化照合回数(この場合、64回)と比較して、例えば、(7. 13)式で $q = 0.3$ ならば44.8倍の高速化が可能であることがわかる。(7. 3)式において ε が正の整数である場合には、テンプレートパターンから生成する部分的なパターンの中で照合が打ち切られないパターンの種類は組合せ的に増加するので、そのパターンの種類は前述の途中パターンの種類より多くなる。そのため、それらの出現確率の和

表 7. 1 照合回数の計算値例

画素の出 現確率 q	出現確率の種類		
	(a) (13)式	(b) (14)式	(c) (15)式
0.1	1.11	1.47	1.16
0.3	1.43	2.42	1.49
0.5	2.00	3.36	1.82
0.7	3.00	4.31	2.14
0.9	9.98	5.26	2.47

注： 値は，探索範囲内の画素数($M \times N$)で正規化している。
 テンプレートパターンのサイズは $m = n = 8$ である。

が大きくなり、照合回数は一般に(7. 8)式に比して増加することになる。

7. 4. 最適化照合順序と課題

7. 4. 1 照合順序最適化の原理

テンプレートパターンマッチング法の実行時間は(7. 1), (7. 3)式からわかる様に照合回数にほぼ比例する。そこで、テンプレートパターンマッチング法の高速化を計るには、前章で求めた照合回数を最小にすればよい。そのためには、テンプレートパターンから最適な途中パターン V_i (但し $1 \leq i \leq m \times n$)を生成させ、(7. 8)式の右辺の括弧内の出現確率の和を最小にする必要がある。つまり、テンプレートパターンの画素の照合順序を、途中パターンの出現確率の和が小さくなるように設定することによって、照合回数を最小にすることができ、従って実行時間の高速化が計れることになる。

原画像パターンにおける途中パターンの出現確率が予め判っていると、(7. 8)式の右辺を小さくするような途中パターンの組合せ方が決定できる。即ちテンプレートパターンから生成するすべての途中パターンの出現確率が予め既知である条件のもとでは、以下に述べる方法によって、原理的に照合回数の最小値を求める事ができる。

《ステップ1》 $m \times n$ 画素のテンプレートパターンから $(m \times n)!$ 通りの途中パターンの集合

$$V^s = \{V^s_1, V^s_2, \dots, V^s_{m \times n - 1}, V^s_{m \times n}\} \dots \dots (7. 16)$$

を発生する。ただし、 $1 \leq s \leq (m \times n)!$

《ステップ2》 各途中パターンの集合 V^s に対して照合回数を(7. 8)式によって求める。

$$T_s = (M \times N) \{1 + P(V^s_1) \dots + P(V^s_{m \times n - 1})\} \dots \dots (7. 17)$$

《ステップ3》 各照合回数 T_s の内から最小値を求める。 $s = s_0$ で最小であるとすると、途中パターンの組

$$V^{s_0} = (V_1^{s_0}, V_2^{s_0}, V_3^{s_0}, \dots, V_{m \times n - 1}^{s_0}) \dots \dots \dots (7. 18)$$

が照合回数の最小となる途中パターンの組である。

《ステップ4》 途中パターンに含まれる画素を $t(x_i, y_i)$ 、但し $t(x_i, y_i) \in V_i^{s_0} - V_{i-1}^{s_0}$ とすると、照合回数が最小となる順序は、

$$t(x_1, y_1), t(x_2, y_2), \dots, t(x_{m \times n}, y_{m \times n}) \text{ である。}$$

7. 4. 2 最適順序決定の困難さと近似的方式の必要性

原画像パターンを独立な情報源とみなした場合には、前項に示した方法によって、照合回数が最小となるような画素の照合順序を決めることは可能である。しかし、現実の画像はマルコフ情報源であり、テンプレートパターンのサイズが $m \times n$ 画素であれば、 $m \times n - 1$ 重のマルコフ情報源とみた途中パターンの出現確率を予め求めておく必要があり、パターンのサイズが大きい場合、これには、膨大な計算時間がかかる。

また、ステップ2で、 $(m \times n)!$ 通りのテンプレートパターンの照合回数の和を求めるためには、例えば、テンプレートパターンのサイズを $m = n = 6$ とすると、 0.37×10^{42} 通りについて計算することになり、現実的には不可能な程の膨大な計算時間を要する。従って、照合順序決定に要する計算量の少ない簡易型の照合順序方法が必要となる。

7. 5. ブロック化照合順序法

7. 5. 1 ブロック化照合順序法の手順

照合順序決定のための計算時間の増大を避けることができ、かつ照合回数を低減することができる簡易型の照合順序決定法を開発した。ここでは、2種の方法について述べる。これらは、必ずしも最小照合回数とはならないが、実用上では効果的な方法である。

今、 $m \times n$ 画素のテンプレートパターンが与えられているとし、このパターンを 2×2 画素の領域（ブロックと呼ぶ）に分割する。ただし、一般

的にはブロックの大きさは、任意で良い。ここで、簡単のために、 m 、 n は 2 の倍数とする。また各ブロックにおけるパターンを、ブロックパターンと呼ぶことにする。図 7. 4 に $m=4$ 、 $n=4$ の画素をもつブロックパターンの例を示す。ここでは 2×2 画素のブロックパターンを、 B_1, B_2, B_3, B_4 と表現している。

(1) ブロック化照合順序法 (I) (ブロック内の画素を独立情報源とみた場合)

まず、ブロック毎の照合順序を決める。その順序は、ブロックパターンの出現確率の低い順とする。次いで、ブロック内の画素の照合順序を画素の出現確率より決める。

《ステップ 1》 ブロックパターンの照合順序を、ブロックパターンの出現確率の低い順に並べ換える。但し、同じ出現確率を持つブロックの順序は任意とする。並べ換えたブロックパターンにおいて、 i 番目のブロックパターンを B_i とする。但し、

$$1 \leq i \leq m/2 \times n/2 \quad \dots\dots\dots (7. 19)$$

出現確率の低い順に並び換えているため、

$$P(B_i) \leq P(B_{i+1}) \quad \dots\dots\dots (7. 20)$$

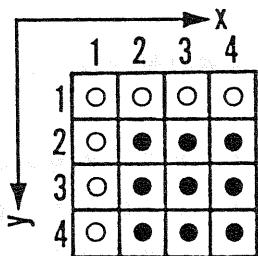
但し、 $1 < i + 1 \leq m/2 \times n/2$ である。

《ステップ 2》 i 番目のブロックパターン内の画素の照合順序を、出現確率の低い画素 (白または黒のいずれか) を優先するように並べ換える。但し、同じ画素であればその照合順序は任意とする。即ち今、 i 番目のブロック内の j 番目に選択する画素の出現確率を、 $P(t(x_{ij}, y_{ij}))$ とする時、

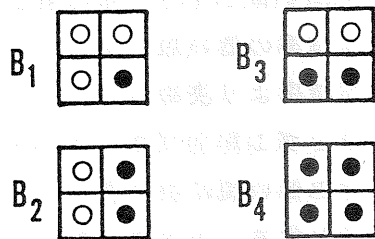
$$P(t(x_{ij}, y_{ij})) \leq P(t(x_{i \ j+1}, y_{i \ j+1})) \quad \dots\dots (7. 21)$$

となるよう、ブロックパターン内の画素の順序を並べ換える。

今、図 7. 4 の各ブロックパターンの出現確率を $P(B_1), P(B_2), P(B_3), P(B_4)$ とする。



テンプレートパターン



ブロックパターン

図 7. 4 ブロックパターンの例

$B_3), P(B_4)$ とし、また白と黒の画素の出現確率を $P(W), P(B)$ とする。
ここで、

$$P(B_1) \leq P(B_2) \leq P(B_3) \leq P(B_4) \quad \dots\dots\dots(7. 2 2)$$

$$P(W) \geq P(B) \quad \dots\dots\dots(7. 2 3)$$

と仮定した場合には、上述した画素の照合順序は表 7. 2 のようになる。
即ち、照合順序は、ブロックパターンの出現確率の低い順 $B_1, B_2, B_3,$
 B_4 となり、各ブロックパターン内の画素の照合順序は、黒い画素が先と
なる。

(2) ブロック化照合順序法 (II) (ブロック内の画素をマルコフ情報源とみた場合)

ブロック化照合順序法 (I) と同じく、ブロック毎の照合順序は、ブロックパターンの出現確率の低い順とする。各ブロックにおける 4 画素の照合順序は、ブロックパターンを基に後述する方法で生成した途中パターンの出現確率の和が最小となる画素の順とする。この方法では、ブロックパターン内の 4 画素は、最大 3 重のマルコフ情報源とみなして、各途中パターンの出現確率を予め求めておけばよい。

2×2 画素のブロックパターンを基に生成する途中パターンは、ブロックパターンを $m = n = 2$ 画素のテンプレートパターンとみなして第 7. 3. 1 項に述べたのと同様な方法で生成することができる。今、 i 番目のブロックパターン内にある j 番目に照合する画素 $t(x_{ij}, y_{ij})$ に対して、ブロックパターン B_i を基に生成する途中パターン B_{ij} を次式で定義する。

$$B_{ij} = \{ t(x_{ij}, y_{ij}) \mid 1 \leq j \leq 4 \} \quad \dots\dots\dots(7. 2 4)$$

ここで、途中パターン B_{i1} は、ブロックの順番が i 番目のブロックパターンにおいて、画素の照合順序が 1 番目である画素 $t(x_{i1}, y_{i1})$ のみからなるパターンである。また、途中パターン B_{i4} はブロックパターン B_i と同一である。

《ステップ 1》 ブロック化照合順序法 (I) のステップ 1 と同じく、ブロックパターンの出現確率の低い順にブロックパターンの順序を並び換え

表 7. 2 画素の照合順序の例

	B_1				B_2				B_3				B_4			
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x_i	2	1	2	1	2	2	1	1	3	4	3	4	3	4	3	4
y_i	2	1	1	2	3	4	3	4	2	2	1	1	3	3	4	4

る。

《ステップ2》 i 番目のブロックパターン B_i に対して、生成した途中パターン B^{s_i} の系列 B^s を求める。

$$B^s = \{B^{s_{i1}}, B^{s_{i2}}, B^{s_{i3}}, B^{s_{i4}}\} \dots \dots \dots (7. 25)$$

系列 B^s は 4 の順列の数即ち 24 通りある。即ち、 $1 \leq s \leq (2 \times 2)!$ である。次いで、各系列 B^s について途中パターン $B^{s_{ij}}$ の出現確率の和 P^s を次式のように求める。

$$P^s = \sum_{j=1}^4 P(B^{s_{ij}}) \dots \dots \dots (7. 26)$$

このブロックパターン B_i に対して、上式で求めた出現確率の和 P^s の最小値を求める。今、 $s = s_{oi}$ で最小になるとし、ブロックパターンの出現確率の和の最小値を、

$$P^{s_{oi}} = \min\{P^s\} \quad (1 \leq s \leq (2 \times 2)!) \dots \dots \dots (7. 27)$$

で表すとす。この時、ブロックパターン B_i で出現確率の和が最小となる途中パターンの組は、

$$B^{s_{oi}} = \{B^{s_{oi}_{i1}}, B^{s_{oi}_{i2}}, B^{s_{oi}_{i3}}, B^{s_{oi}_{i4}}\} \dots \dots \dots (7. 28)$$

である。

《ステップ3》 ブロックパターン B_i の途中パターン $B^{s_{oi}}$ に含まれる画素 $t(x_{ij}, y_{ij})$ を次式によって求める。

$$t(x_{ij}, y_{ij}) \in (B^{s_{oi}_{ij}} - B^{s_{oi}_{ij-1}}) \dots \dots \dots (7. 29)$$

この時、 i 番目のブロックパターンの照合順序は、 $t(x_{i1}, y_{i1}), t(x_{i2}, y_{i2}), t(x_{i3}, y_{i3}), t(x_{i4}, y_{i4})$ である。

なお、 B^{SO_i} は、空集合である。

この照合の順序決定に要する手順は次のようである。即ち、ステップ2で出現確率の和を求める(7. 26)式の数 $(2 \times 2)! \times (m/2 \times n/2)$ 通りあり、これは7. 4節と同じ $m = n = 6$ の例で、216通りと少なく現実的な計算時間となる。さらに 2×2 画素のパターンの種類は16通りしかなく、従って m, n が大きくなっても(7. 26)式の数 $(2 \times 2)! \times 16 = 384$ 通りを越えることはない。つまり同じブロックパターンについては再度ステップ2, 3の処理をする必要はない。

7. 5. 2 ブロック化照合順序法の照合回数の検討

ブロック化照合順序法(I)(II)を用いたテンプレートパターンマッチング法の照合回数の期待値を以下に求める。今、ブロックパターンを要素とする、次のようなパターン B_i を定義する。

$$B_i = \{B_k \mid 1 \leq k \leq i\} \dots\dots\dots (7. 30)$$

但し、 $1 \leq i \leq m/2 \times n/2$ である。

(7. 8)式に用いた途中パターン $V_1, V_2, V_3, \dots, V_{m \times n - 1}$ は、

(7. 24), (7. 30)式を用い、

$$V_{4 \times (i-1) + j} = \{B_{i-1}, B_{i j}\} \dots\dots\dots (7. 31)$$

と表せる。ここで、 B_0 は空集合である。

ブロックパターンは独立な情報源であると仮定すると、(7. 31)式から出現確率は、

$$P(V_{4 \times (i-1) + j}) = P(B_{i-1}) \times P(B_{i j}) \dots\dots (7. 32)$$

但し、 $1 \leq j \leq 4$ である。

また、(7. 30)式から、

$$P(\mathbf{B}_i) = \prod_{k=1}^i P(B_k) \quad \dots\dots\dots(7.33)$$

と表せる。ブロック化照合順序法(I)では、ブロック内の画素を独立な情報源とみなしており、次式が成り立つ。

$$P(B_{ij}) = \prod_{h=1}^j P(t(x_{ih}, y_{ih})) \quad \dots\dots\dots(7.34)$$

2つのブロック化照合順序法の照合回数の期待値は、これら(7.32)式、(7.33)式、(7.34)式を(7.8)式に代入して計算することが可能である。

7. 6 照合回数の実験的検討

7. 6. 1 対象画像パターンとその統計的性質

原画像パターンとして、(1)集積回路のチップパターン、(2)論理回路図面の一部、の二つのパターンを対象としてテンプレートパターンマッチング法を大型計算機上で実行し、照合回数と照合に要する時間を求めた。各パターンを図7.5、図7.6に示す。これらは、大きさが256×256画素の2値画像である。

図7.7にブロックパターンのすべての例を示す。上下の数字は、原画像パターン(1)(2)の探索範囲200×200画素における出現確率(%)を示す。また、図7.8にブロックパターンに含まれる途中パターンとその出現確率(%)の例を原画像パターン(1)について示す。図中の空白の升目は、don't careを表す。

7. 6. 2 照合実験で用いた照合順序法の種類

実験で用いた6種類の照合順序を、以下に示す。但し、(M1)は照合を途中で打ち切らない通常のテンプレートパターンマッチング法である。また、他の5種類の方法では、(7.3)式で $\varepsilon = 0$ として照合を途中で打ち切っている。

(M1)照合の順序は、テンプレートパターン内でx方向、次いでy方向の

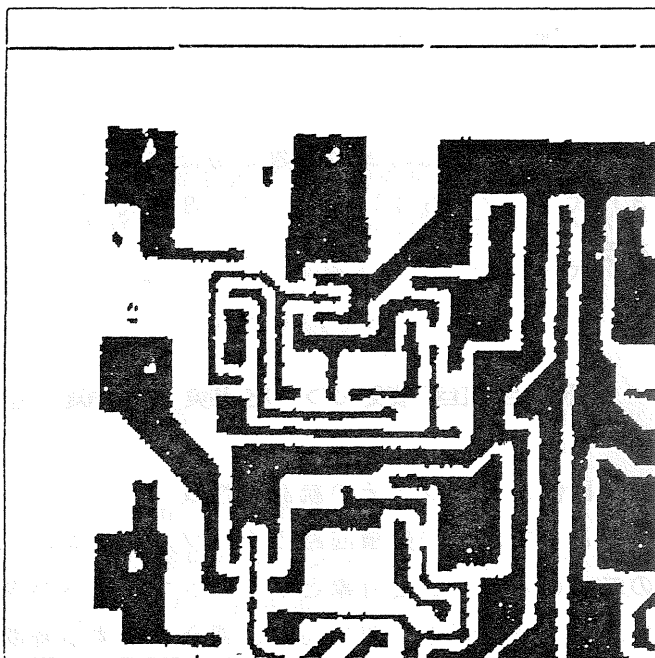


図 7. 5 原画像パターン (1)

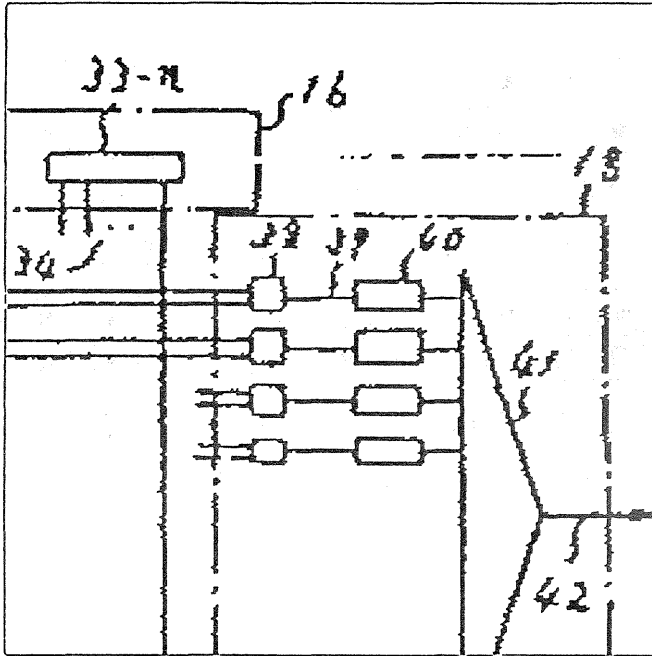


図 7. 6 原画像パターン (2)

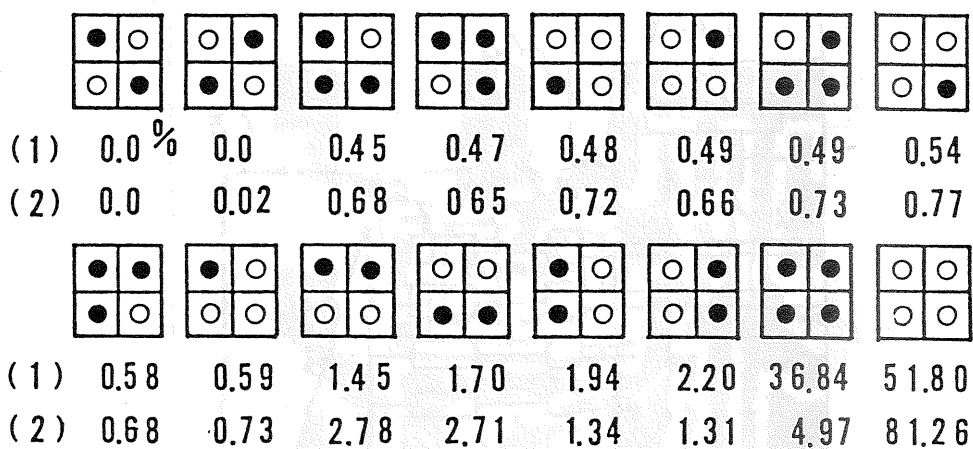


図 7. 7 ブロックパターンの出現確率の例

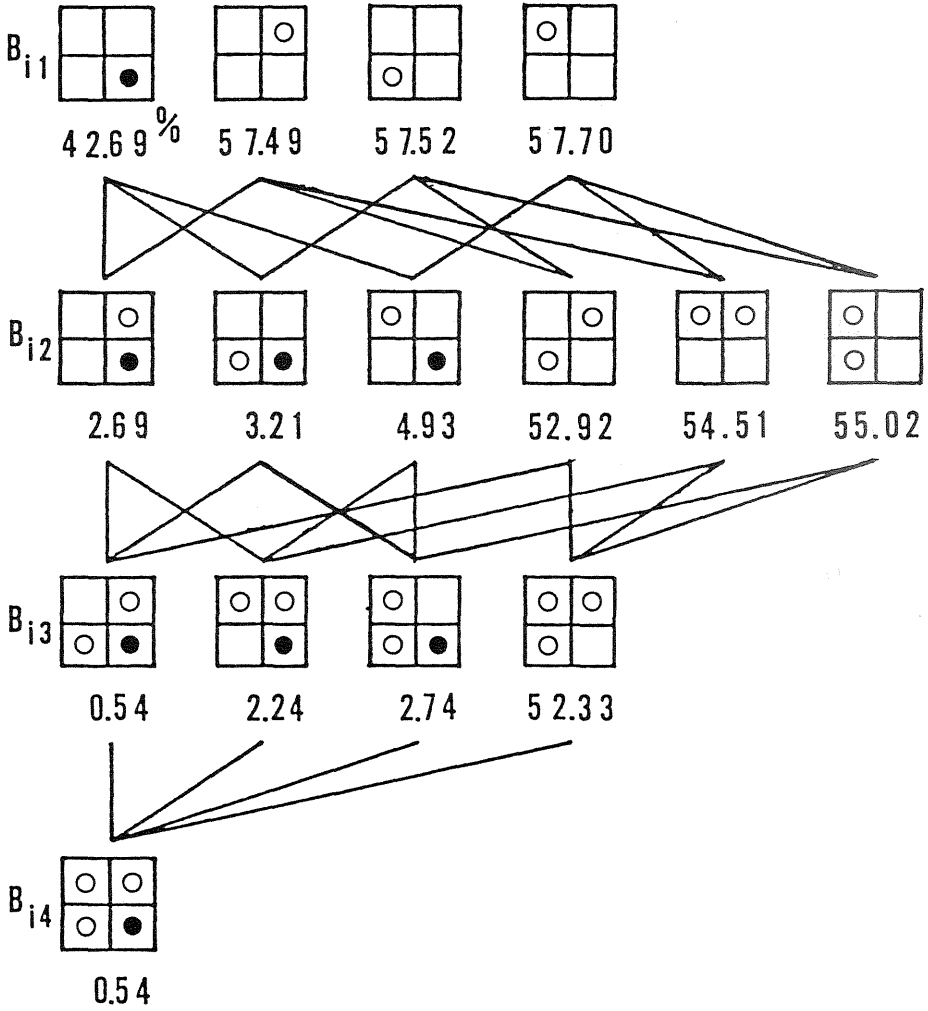


図 7. 8 途中パターンの出現確率の例

ラスタ型走査順である。

(M2)照合の順序は、(M1)と同じくx方向、次いでy方向のラスタ型走査順である。

(M3)照合の順序は、白と黒のうち出現確率の低い画素から先に照合演算を行う順である。但し、同一出現確率の画素はy座標、次いでx座標の値の小さい方を優先する。

(M4)照合の順序は乱数によって決定する^{〔42〕}。即ち一様乱数によって求めた乱数列{*i*}を基に順序を設定する。但し、 $1 \leq i \leq m \times n$ であり、列の要素*i*は重複しないように選択する。なお乱数列の取り方で照合回数、時間がばらつくため、実験では100通りの乱数列に基づく平均値を求めている。

(M5)照合の順序は、ブロック化照合順序法(I)に従う。即ち2×2画素のブロックパターンに対し、ブロックパターンの出現確率の低いブロックから先に行う。さらに、ブロック内の順序は、出現確率の低い画素を優先した順とする。

(M6)照合の順序は、ブロック化照合順序法(II)に従う。即ちブロックパターンの出現確率の低いブロックから先に行う。さらに、ブロック内の順序は、最大3重のマルコフ情報源とみなして求めた途中パターンの出現確率の和が、最小となる順序とする。

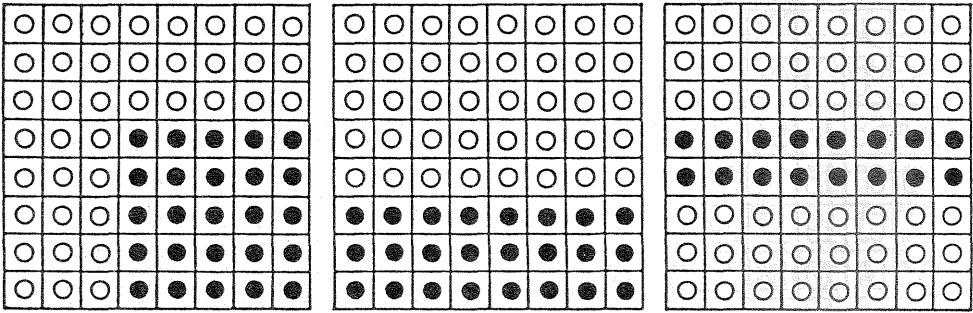
7. 6. 3 テンプレートパターンの例と照合順序

実験に用いたテンプレートパターンは図7. 9の3種、即ち(a)コーナーパターン、(b)エッジパターン、(c)線状パターンである。サイズは、 $m = 8$ 、 $n = 8$ とした。また、集積回路のチップパターンを対象に、テンプレートパターン(a)を例に取り(M5)、(M6)の方法で求めた画素の照合順序を図7. 10に示す。図中の数字は、画素の照合の順番を示している。

7. 6. 4 照合回数の実験結果

画素の照合順序として、第7. 6. 2項で述べた6つの方法を取り、大型計算機上でテンプレートパターンマッチングを実行し、照合回数と実行時間を求めた。

表7. 3は、集積回路チップパターンを対象にした場合の照合回数と計算時間を示す。表の横方向はテンプレートパターンの種類を、縦方向は6



(a) コーナーパターン (b) エッジパターン (c) 線状パターン

図 7. 9 テンプレートパターンの例

37	38	41	42	45	46	49	50
39	40	43	44	47	48	51	52
53	54	2	3	7	8	11	12
55	56	4	1	5	6	9	10
57	58	15	13	21	22	25	26
59	60	16	14	23	24	27	28
61	62	19	17	29	30	33	34
63	64	20	18	31	32	35	36

(M5)

37	40	41	44	45	48	49	52
39	38	43	42	47	46	51	50
53	56	4	2	6	7	10	11
55	54	3	1	5	8	9	12
57	60	14	13	21	24	25	28
59	58	15	16	23	22	27	26
61	64	18	17	29	32	33	36
63	62	19	20	31	30	35	34

(M6)

図7. 10 画像の照合順序の例

表 7. 3 照合回数の実験値比較

対象：(1) 集積回路チップパターン

方法	テンプレートパターンの種類					
	(a)コーナパターン		(b)エッジパターン		(c)線状パターン	
	回数	時間	回数	時間	回数	時間
M 1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
M 2	0.3083	0.3302	0.4295	0.4591	0.2860	0.3069
M 3	0.0229	0.0316	0.0253	0.0342	0.0318	0.0411
M 4	0.0393	0.0490	0.0432	0.0529	0.0628	0.0736
M 5	0.0192	0.0279	0.0239	0.0328	0.0297	0.0389
M 6	0.0183	0.0269	0.0226	0.0313	0.0288	0.0378

表 7. 4 照合回数の実験値比較

対象：(2) 論理回路の図面の一部

方法	テンプレートパターンの種類					
	(a)コーナーパターン		(b)エッジパターン		(c)線状パターン	
	回数	時間	回数	時間	回数	時間
M 1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
M 2	0.1937	0.2091	0.2657	0.2850	0.1786	0.1930
M 3	0.1318	0.1466	0.1219	0.1359	0.0925	0.1049
M 4	0.0356	0.0450	0.0402	0.0498	0.0396	0.0494
M 5	0.0238	0.0326	0.0337	0.0430	0.0304	0.0397
M 6	0.0230	0.0318	0.0280	0.0370	0.0247	0.0334

種類の照合順序法を表す。また、表 7. 4 は論理回路図面の一部を対象とした場合の結果である。いずれの表でも、探索範囲は $M = N = 200$ 画素である。また (M 1) では照合回数が 2560000 回、計算時間が 7.537 秒であり、これらを 1 として正規化して表している。

7. 6. 5 結果の検討

照合を途中で打ち切る (M 2) ~ (M 6) の各方法は、照合回数低減、即ち照合時間の高速化の効果が大きい。例えば、集積回路チップパターンのコーナー部を検出する場合、照合回数は、(M 1) の方法と比較して (M 6) の方法では、 $1/43$ になる。

とりわけ、(M 6) の方法が、他の方法と比して照合回数が少なく、優れている。この方法を Barnea 等の (M 4) の方法と比較すると、コーナーパターンをテンプレートパターンとした場合に、1.5 倍から 2.1 倍の高速化が実現されている。また、エッジパターンの場合でも、(M 6) の方法が 1.4 倍から 1.9 倍速くなっている。

なお、実験では、1 画素でもテンプレートパターンと画素値が異なれば照合演算を途中で打ち切る場合 ($\varepsilon = 0$) について、その照合回数と計算時間を求めた。この ε が正のある値を持つ場合においても、ほぼ同様の高速化の効果は得られると考えられる。但し、 ε が大きくなるにつれその高速化の効果は小さくなり、この ε がテンプレートパターンの画素数以上 ($\varepsilon \geq m \times n$) では照合を途中で打ち切る処理は無効である。

7. 7 結 言

SSDA 法を用いたパターンマッチングの新しい高速化方式を考案し、照合誤差を許さない条件のもとでのマッチング手法を理論的並びに実験的に考察した。その結果、

- (1) 原画像パターンにおける途中パターンの出現確率を基に、照合回数の期待値が計算できることを示した。
- (2) 予め原画像パターンにおける途中パターンの出現確率が判っている場合、照合回数が最小となるような画素の照合順序を導出する方法を示した。
- (3) これらを基にして新たにブロック化照合順序法を考案した。特に、

ブロックパターンを基に生成した途中パターンの出現確率を用いた方法(Ⅱ)は，原画像パターンにおけるブロックパターンの統計量が既知の条件下で，

(a)照合を打ち切らないマッチング方法と比べて，3.5倍から5.5倍の高速化が計れること，

(b)乱数によって画素の照合順序を決定する方法と比べても，1.4倍から2.2倍の高速化を実現できること，

を示した。

本章では，2値画像を対象としたテンプレートパターンマッチングの高速化手法について考察した。ここで開発した方法は，ワークステーションなどの計算機の高速化が進むもとは，ソフトウェア処理による簡便かつ高速なアルゴリズムとして極めて効果が高いものである。

第 8 章 ランに対する座標演算に基づく 2 値画像の高速回転手法

画像処理において、前章で述べたパターンマッチングとともに重要な基本処理として、画像の回転処理がある。この画像回転処理は、産業用ロボットなどの工業用画像処理だけでなく、オフィスにおける文書画像処理などあらゆる分野の画像処理の基本として重要なものである。このため、従来より、デジタル化された画素データを用いた回転方法が開発されている。本論文では、特に、2 値デジタル画像を対象として、これら従来の画素データを用いた方法とは異なり、黒画素の線分からなるランの始点並びに終点の座標データを基に 2 値画像の回転を高速で行う方法を提案する。本方法では、このランデータに対する実数演算により、任意の回転角度の画像回転が実現できるため、汎用プロセッサに適した方法であり、また、処理の高速化、使用メモリの削減も可能な実用的な方法である。先ず、2 値画像に対するランデータの形式とランの個数、データ量を検討する。次いで、新しく考案した 2 値画像の回転方法を明らかにする。この回転方式はランデータ上で横及び縦方向の斜交軸変換を順次行い、回転画像を求めるものである。最後に、実際の文書画像に対して大型計算機上で画像を回転させ、この処理時間を求め、本方法の有効性を実験的に確認する。

8. 1 緒言

画像の回転は、画像処理の基本的な機能であり、工業用画像処理、医用画像処理、文書画像処理等の分野に広く利用される⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾⁽⁵⁰⁾⁽⁵¹⁾。例えば、オフィスにおける文書の編集において、文書画像に対して切り貼り、回転が自由にできる機能が求められている⁽⁵⁰⁾。また、物流工程や産業用ロボットなどの視覚センサにおいて、物体のパターンマッチングを行う時に画像を回転させる機能が物体認識を容易にするために必要とされている⁽⁵¹⁾⁽⁵²⁾。ところが、デジタル画像処理に基づく画像回転は、対象とする画像の大きさが大きくなるにつれて、回転に要する時間が増大するため、

処理時間の短縮，高速化のための手法が重要な課題となっている。

従来より，デジタル画像に対する回転の方法が提案されており，それらの一部は実用化されている。これらの方法は，対象とする画像の表現方法によって分類され，(1)2次元に展開された画素データを用いて行う方法⁽⁴⁸⁾⁽⁴⁹⁾⁽⁵⁰⁾⁽⁵²⁾⁽⁵⁸⁾⁽⁵⁹⁾，(2)画像から輪郭線を抽出し⁽⁵³⁾，この輪郭線を回転し⁽⁵⁴⁾内部を塗りつぶす⁽⁵⁴⁾方法，に大別される。例えば，(1)の方法としては，(a)画像の横方向の走査に沿って，回転行列を基に出力画像の座標を計算する方法⁽¹⁾，(b)画素の単純な平行移動やブロック転送により微小角回転を近似する方法⁽⁵⁰⁾⁽⁵⁵⁾，(c)回転行列が幾つかの変換行列の積になるように分解し，分解した変換行列を基に画素データの変換を順次行い，回転画像を得る方法⁽⁵⁶⁾⁽⁵⁷⁾，などがある。この(c)の方法では，回転処理の高速化を図るため，任意の回転角ではなく，例えば有理数に基づいて回転角にある限定をつけたり，画像メモリを高速でアクセスするための専用回路を設けているものがある⁽⁵⁸⁾⁽⁵⁹⁾。しかしながら，これらの方法は，いずれも画素データに対する回転処理であり，処理量は画素数に比例して増大する。このため，対象画像が大きくなると処理時間が増大する。一方，(2)の方法は，輪郭線に対する簡単な数値演算により，画像を回転させる⁽⁶⁰⁾ことが可能であるが，画像から輪郭線を抽出する⁽⁵²⁾という処理が必要となる。また，画像を再生するためには，輪郭線で囲まれた内部を塗りつぶす⁽⁵⁴⁾必要があり，この塗りつぶし処理は汎用計算機では時間がかかるので，塗りつぶしを高速で行うための専用回路を設ける必要がある。

本章では，特に，2値画像を対象とし，汎用の計算機による通常の実数演算に基づくソフトウェア処理により画像を任意の回転角でかつ高速に回転する方法を提案する⁽⁶²⁾⁽⁶⁴⁾。本方法は，上述のような画像処理の専用回路を用いず，ソフトウェア処理により高速に画像を回転することができる。また，従来手法のように画素データや輪郭線データを対象とせず，2値画像をランの始点および終点の座標値からなるデータに変換し，このランデータに対して上述の(c)の変換行列を用いて回転を行う新しい方法である。本方法は，ランの個数が画素数と比較して少ないため処理量が削減できること，汎用計算機の主記憶装置にランデータを格納しこれに対する数値演算により実現できること，また，2値画像を格納するための画像メ

モリを介することなく処理できること等の特徴がある。なお、従来よりランデータをを用いた画像処理が開発されており、水平方向の画素密度変換の方式、周辺分布の生成・連結成分の抽出・近接線密度の算出などの方式が発表されている^{〔60〕〔61〕}。ところが、本論文で扱う2値画像の回転を、ランデータを用いて行う方法については、従来、知られていない。

本章の構成は、次のようである。まず、2値画像に対するランデータの形式を説明するとともに、ランの個数、データ量を検討する。次いで、新しく考案した2値画像の回転方法を明らかにする。この回転方式はランデータ上で横及び縦方向の斜交軸変換を順次行い、回転画像を求めるものである。最後に、標準的な2値画像に対して計算機上で画像を回転させ、この処理時間を求め、本方法の有効性を実験的に確認する。

8. 2 2 値画像のランデータ

8. 2. 1 ランの種類

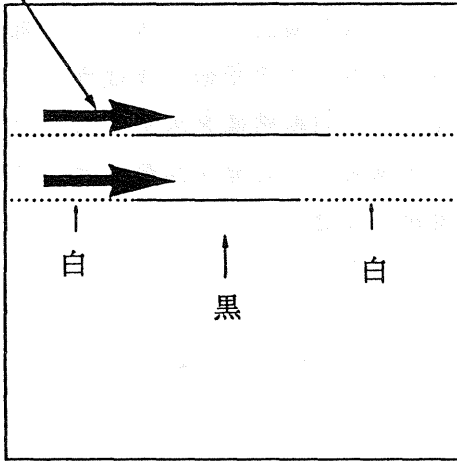
2値画像を、画像の走査に沿って連続している黒の線分の集合で表現する。この走査方向に沿った線分がランである。ここでは、黒のランを対象とする。ランは、図8. 1に示すように、画像の走査方向により二種類ある。このうち、2値画像を横方向に走査しこの横方向の走査（水平走査線）に沿って求めたランを、水平ランと呼ぶ。また、走査方向を縦方向にとり、縦方向の走査（垂直走査線）に沿って求めたランを垂直ランと呼ぶ。

ランの表現方法としては、ここでは、ランの始点座標と終点座標で表現する方法を採る。他の方法としては、各々のランをその始点座標と線分の長さなどで表現する方法、白と黒のランの長さを交互に表す方法等がある。本論文では、ランの始点座標と終点座標を、画像の左端を基準にした絶対座標によって表すことにするが、これにより提案する画像回転方法の一般性が失われるものではない。

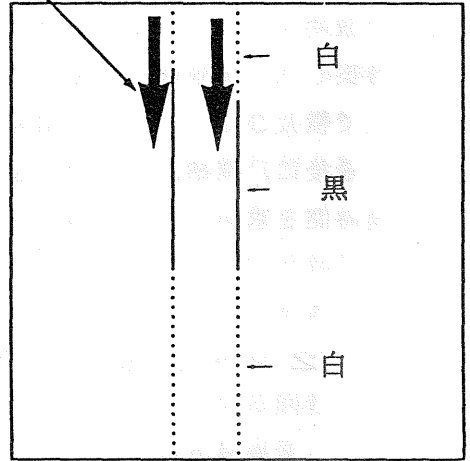
8. 2. 2 ランのデータ形式

一つのランは、図8. 2に示すように、始点座標と終点座標、および次のランの始点座標と終点座標が格納されている番地(次ラン番地)で表す。ここでは、次ラン番地を用いてランデータにアクセスすることができる。

水平走査



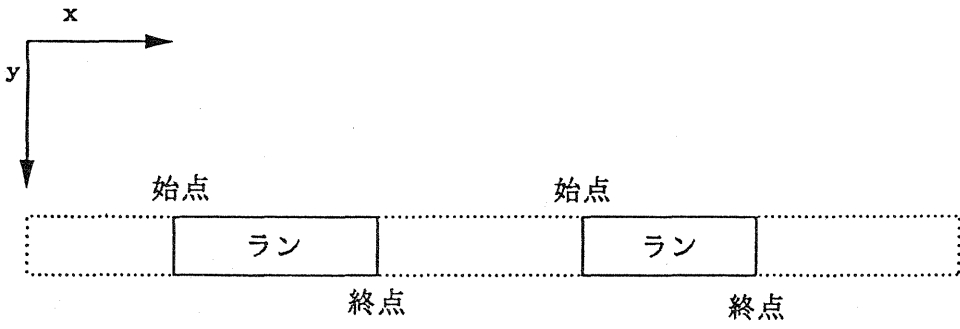
垂直走査



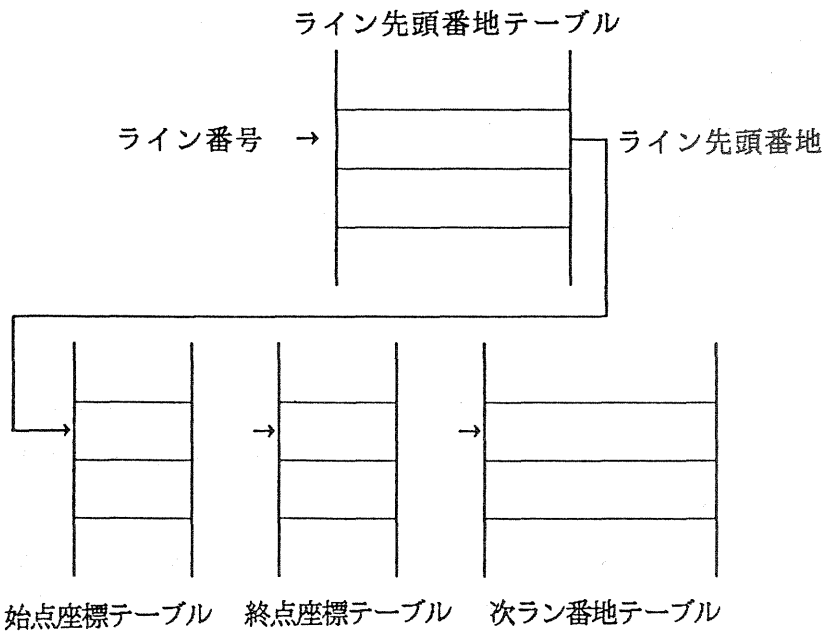
(a) 水平ラン

(b) 垂直ラン

図 8. 1 ランの種類



(a) ランデータの座標系



(b) ランデータのテーブル形式

図 8. 2 ランデータの説明

先ず、これらランのデータを格納しているテーブルについて説明する。今、ランに番号を付けたとして、その番号(ラン番号と呼ぶ)を p とする。ある一つのランについての始点座標、終点座標、次ラン番地が、それぞれ始点座標テーブル $s(p)$ 、終点座標テーブル $e(p)$ 、次ラン番地テーブル $t(p)$ に格納される。ここでは、簡単のため、ランに対応して設定されているある同一の番地(インデックス)をラン番号とする。従って、一つのランに関する上述のデータは、ラン番号 p によって、これらのテーブルをアクセスすることにより得られることになる。さらに、ランがどの走査線に属しているかを示すために、各走査線の第一番目のランのデータ(始点座標、終点座標、および次ラン番地)が格納されている番地を格納するライン先頭番地テーブルを設けている。水平ランでは、このライン先頭番地テーブルを $t(y)$ で表すと、走査線の縦方向の位置を示すライン番号 y をアドレスとしてアクセスすることができる。なお、次ラン番地に関して、ある走査線上の最後のランにおける次ラン番地は零値に設定している。この次ラン番地の零値は、該当する走査線におけるランがすべて尽くしているかどうかを判定するために用いるものである。また、ライン先頭番地テーブルに関しても、ある走査線上にランが存在しない場合に、このラインに対応したライン先頭番地テーブルの内容を零値としており、この値により走査線上のランの有無の判定を行う。

次に、これらテーブルのビット長について検討する。2値画像の大きさは、例えば、A4判文書の表面画像を走査線密度を8本/mmで採取すると、 1728×2287 画素となる。このため、ランの始点座標としては12ビット長(=4096)が少なくとも必要である。ここでは、汎用計算機による処理にも適するよう、ランの始点座標及び終点座標は16ビット長(=65536)で表現する。また、次ラン番地テーブルの内容は、32ビット長としている。これは、文書画像内に含まれるランの個数によって決定されるものであるが、次節で述べるCCITT標準原稿では、ランの個数がおよそ9万個あるものがあり、16ビット長では足りず、20ビット程度が必要である。このため、汎用計算機による処理にも適するよう、32ビット長としている。また、ライン先頭番地テーブルの内容も、ランの番地データが格納されるため、同じく、32ビット長としている。

8. 2. 3 ランのデータ量の検討

2値画像の例としてCCITTの標準原稿⁽⁶³⁾のランのデータ量を検討する。この標準原稿の大きさは、1728×2287画素である。従って、画素数Pは、P=3951936個であり、この時、2値画像をビットイメージで表現すると、データ量Sは、S=3951936ビットである。一方、ランの個数Rは、実測すると、8枚の標準原稿の平均でR=42639.6個である。従って、画素数Pに対するラン数Rの比率P/Rは、92.68であり、ラン数はおよそ二桁すくない。

ランデータのデータ量は、一つのランに対して、始点座標2バイト、終点座標2バイト、次ラン番地4バイトの計8バイトが必要である。また、それぞれの2値画像に対して、ライン先頭番地テーブルには、2287×4=9148バイトが必要である。このため、ラン符号のデータ量は、R×8+9148バイトとなる。CCITTの標準原稿についての平均で、ランデータ量は、350265バイトとなる。なお、2値画像を画素のイメージで表現した場合のデータ量は、1画素を1ビットで表現すると、前述のように493992バイトとなる。この場合のランデータとのデータの比率は、平均で1.41となる。このように、ランデータは、汎用計算機で2値画像を扱う場合に、画素データと比較して、データ量が少なくなるという特長もある。但し、圧縮符号として知られているMH符号やMR符号と比べると⁽⁶³⁾、データ量が多くなるが、処理の高速化のための効果がある。

8. 3 2値画像の回転手法

8. 3. 1 基本原理

2値画像に対する回転は、原画像の座標を(x, y)、回転後の座標を(x', y')とし、回転角をθとすると、次式で表現できる。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \dots\dots(8. 1)$$

上式の回転行列をもとに、従来より、幾つかの回転処理の方法が開発されている⁽⁵⁶⁾⁽⁵⁷⁾⁽⁵⁸⁾。本方法で、回転に用いる変換行列の演算は、回転

行列を変換行列の積に分解する方法に属する方法であるが、演算対象は、従来の画素データの座標値ではなく、ランデータの始点及び終点座標である。

上式の回転行列では、 x 座標及び y 座標に対して実数を乗ずるという演算がなされる。しかし、ランデータを用いる場合、ランデータでは、それぞれのランが各走査線に沿って始点座標と終点座標で表現されているという理由のため、横方向の x 座標と縦方向の y 座標とに対して、同時にランデータ上で、実数を乗ずるという演算を行うことはできない。従って、提案するランデータを用いた2値画像の回転処理の基本原理は、次のようである。即ち、上式の回転行列 Θ を、横方向のみの座標演算を行う変換行列 Θ_1 と、縦方向のみの座標演算を行う変換行列 Θ_2 との積になるよう、次式のように分解する。

$$\Theta = \Theta_2 \times \Theta_1 \quad \dots\dots\dots(8.2)$$

但し、

$$\Theta_1 = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(8.3)$$

$$\Theta_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\tan \theta & \sec \theta \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(8.4)$$

この変換行列 Θ_1 は、横方向への歪変換(斜交軸変換とも呼ばれ、せん断変形を伴う変換)を行う行列であり、 x 座標が、 $x' \leftarrow \cos \theta \cdot x + \sin \theta \cdot y$ と変換される。この時、右辺の第2項の $\sin \theta \cdot y$ の値は、ある一本の水平走査線上では、一定となる。これは、水平走査線に沿っては、 y の値が一定となるためである。なお、この変換行列 Θ_1 では、 y 座標は不変である。一方、変換行列 Θ_2 は、縦方向への歪変換を行う行列であり、 y 座標が、 $y' \leftarrow -\tan \theta \cdot x + \sec \theta \cdot y$ と変換される。この時、垂直走査線に沿って、 x の値が一定となるため、ある一本の垂直走査線上では、右辺の第1項の $-\tan \theta \cdot x$ の値は、一定となる。なお、この変換行列 Θ_2 では、 x 座標は不変である。

本方法では、対象とする画像は2値画像であり、任意の角度の回転が可能である。この方法の特徴としては、汎用プロセッサによる実数演算によって回転処理が実現できること、また、処理量がランの個数に比例するため、画素データを用いた回転処理と比較して、処理量が大幅に削減できること、が挙げられる。

8. 3. 2 ランデータによる2値画像の回転手法

ランデータを用いた回転処理は、図8. 3に示すように、次の3つのステップで構成されることになる。

(1) 水平ランに対する横方向への歪変換

第1のステップは、水平ランデータに対して、変換行列 Θ_1 を用いて、横方向への歪変換を行う。ここでは、それぞれの水平ランの始点座標と終点座標に、回転角から決まる一定の実数 $\cos \theta$ を乗ずる。そして、この乗算結果に一定値 η ($= \sin \theta \cdot y$)を加算する。なお、この一定値 η は、予め、水平走査線ごとに、算出しておくことができる。今、原画像の水平ランの始点座標を x_{s_0} 、終点座標を x_{e_0} とし、横方向への歪変換後の始点座標を x_{s_1} 、終点座標を x_{e_1} とすると、このステップでの演算は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} x_{s_1} &= \cos \theta \cdot x_{s_0} + \eta \\ x_{e_1} &= \cos \theta \cdot x_{e_0} + \eta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8. 5)$$

なお、

$$\eta = \sin \theta \cdot y \dots\dots\dots (8. 6)$$

であり、横方向への走査線の縦方向位置座標を y としている。なお、各始点及び終点座標は上述の演算後、切り捨てにより整数化する。

(2) ランデータの走査方向の変換

次いで、第2のステップでは、第1のステップで歪変換を行った後の水平ランデータに対して、これを垂直ランデータに変換する。ここでは、ランデータを画像データに変換することなく、ランデータのままで水平ランから垂直ランに変換する。この変換の方法は、次節のランデータの走査方向の変換で述べる。

(3) 垂直ランに対する縦方向への歪変換

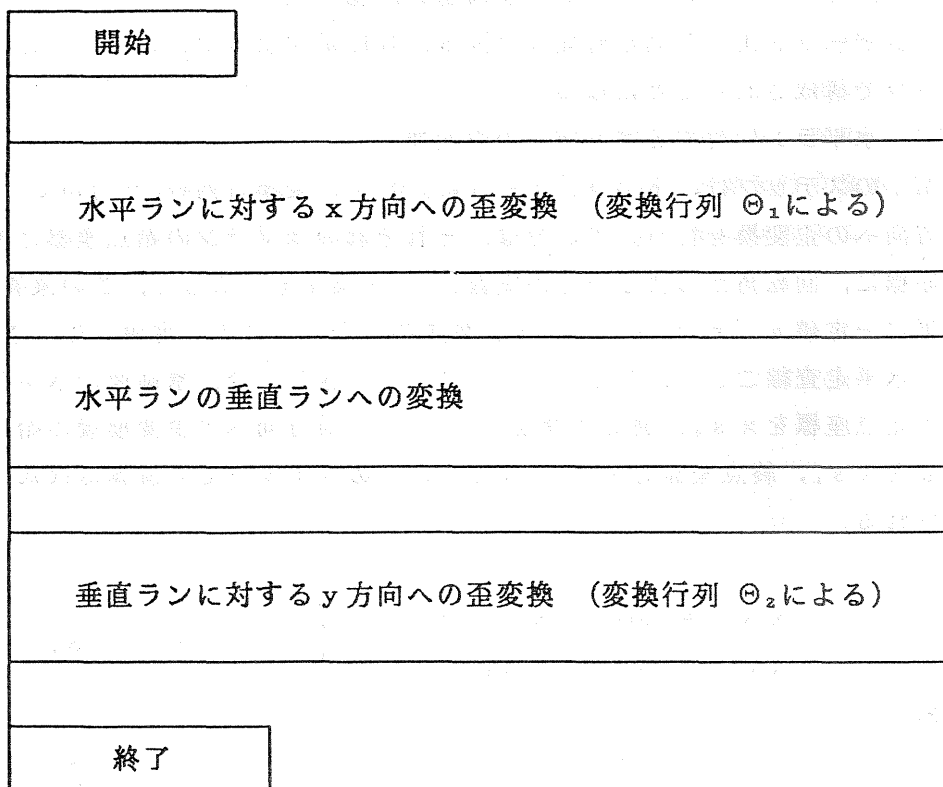


図 8. 3 画像回転の概略手順

さらに、第3のステップで、この垂直ランデータに対して、変換行列 Θ_2 を用いて、縦方向への歪変換を行う。ここでは、それぞれの垂直ランの始点座標と終点座標に、回転角から決る一定の実数 $\sec \theta$ を乗ずる。そして、この乗算結果に一定値 ζ ($= -\tan \theta \cdot x$)を加算する。なお、この一定値 ζ は、予め、垂直走査線ごとに、算出しておくことができる。今、水平ランを垂直ランに変換した後の垂直ランデータにおける始点座標を $y s_1$ 、終点座標を $y e_1$ とし、横方向への歪変換後の始点座標を $y s_2$ 、終点座標を $y e_2$ とすると、このステップでの演算は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} y s_2 &= \sec \theta \cdot y s_1 + \zeta \\ y e_2 &= \sec \theta \cdot y e_1 + \zeta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8.7)$$

なお、

$$\zeta = -\tan \theta \cdot x \dots\dots\dots (8.8)$$

であり、垂直走査線の横方向の位置座標を x としている。

このように、ランデータに対して、横方向の歪変換を変換行列 Θ_1 をもとに行い、次いで、変換行列 Θ_2 をもとに縦方向の歪変換を行うという処理により、任意の角度の回転画像が得られる。従って、ランの始点座標と終点座標に対して、上述の実数演算を行うことにより回転処理が実行できるため、汎用計算機による通常の処理によっても実現が可能である。

8.3.3 ランデータの走査方向の変換

ランデータの走査方向の変換とは、水平ランデータを垂直ランデータに変換することや、或は、逆に垂直ランデータを水平ランデータに変換することである。これらの処理は、もし、画像メモリを具備しておれば、このメモリに対するアドレスの走査方向を横方向と縦方向の両方が可能であるような簡単な専用回路により容易に実現できる。しかし、この場合は、別途、画像メモリを必要とし、また、一度ランデータを画素データに変換し、これを画像メモリに格納するという処理が必要となる。そのため、ここでは、ランデータのままで、走査方向を変換したランデータを生成する方法を述べる。

この方法は、水平ランから垂直ランへの変換と垂直ランから水平ランへの変換を同一の手順で実行できるが、説明を判り易くするため、ここでは、水平ランデータを垂直ランデータに変換する手順を説明する。今、水平ランデータは既に与えられている、つまり、水平ラン用のライン先頭番地テーブル $t_1(y)$ 、始点座標テーブル $s_1(p_1)$ 、終点座標テーブル $e_1(p_1)$ 、次ラン番地テーブル $n_1(p_1)$ が、既に設定されているとする。なお、下付きの添字の 1 は水平ランを示し、添字 2 は垂直ランを示す。ここで、水平走査線に対する縦方向の位置を y で、また垂直走査線に対する横方向の位置を x で表す。なお、対象とする 2 値画像の垂直走査線数を M 、水平走査線数を N とする。横方向の走査から縦方向の走査にランデータを変換する処理は、横方向の走査線に沿って行うが、一本前の走査線におけるランデータの状態を用いる必要がある。このため、最新ラン番地用ラインバッファを設けている。この最新ラン番地用ラインバッファには、順次、水平走査線に沿って行う処理過程において、生成した最新の垂直ランのデータを格納している番地を設定する。このラインバッファは垂直走査線に沿って垂直ランを生成していくため、横方向の位置座標をアドレスとしてアクセスすることができる。なお、最新の垂直ランが存在しない場合は、零値を設定する。図 8. 4 に水平ランデータを垂直ランデータに変換する手順を示す。この手順は、

(1) 垂直ラン番地用カウンタの値 c を初期化する。このカウンタは、垂直ランのデータを格納するための番地を順次、生成するためのものである。次いで、これから生成する垂直ランのためのライン先頭番地テーブル $t_2(x)$ と次ラン番地テーブル $n_2(p_2)$ を初期化（テーブルの内容を零値に設定）する。さらに、処理の過程で必要な上述した最新ラン番地用ラインバッファ $nb(x)$ も初期化（同じく、テーブルの内容を零値に設定）する。そして、縦方向の位置 y が $1 \leq y \leq N$ の範囲の水平走査線に対して、以下の処理を行う。

(2) 水平ラン用のライン先頭番地テーブル $t_1(y)$ と次ラン番地テーブル $n_1(p_1)$ に格納されている番地をもとに、始点座標テーブル $s_1(p_1)$ 、終点座標テーブル $e_1(p_1)$ から、水平ランの始点位置 x_s と終点位置 y_s を読み出す。

(3) それぞれのランの始点位置 x_s から終点位置 x_e の間 x において、最

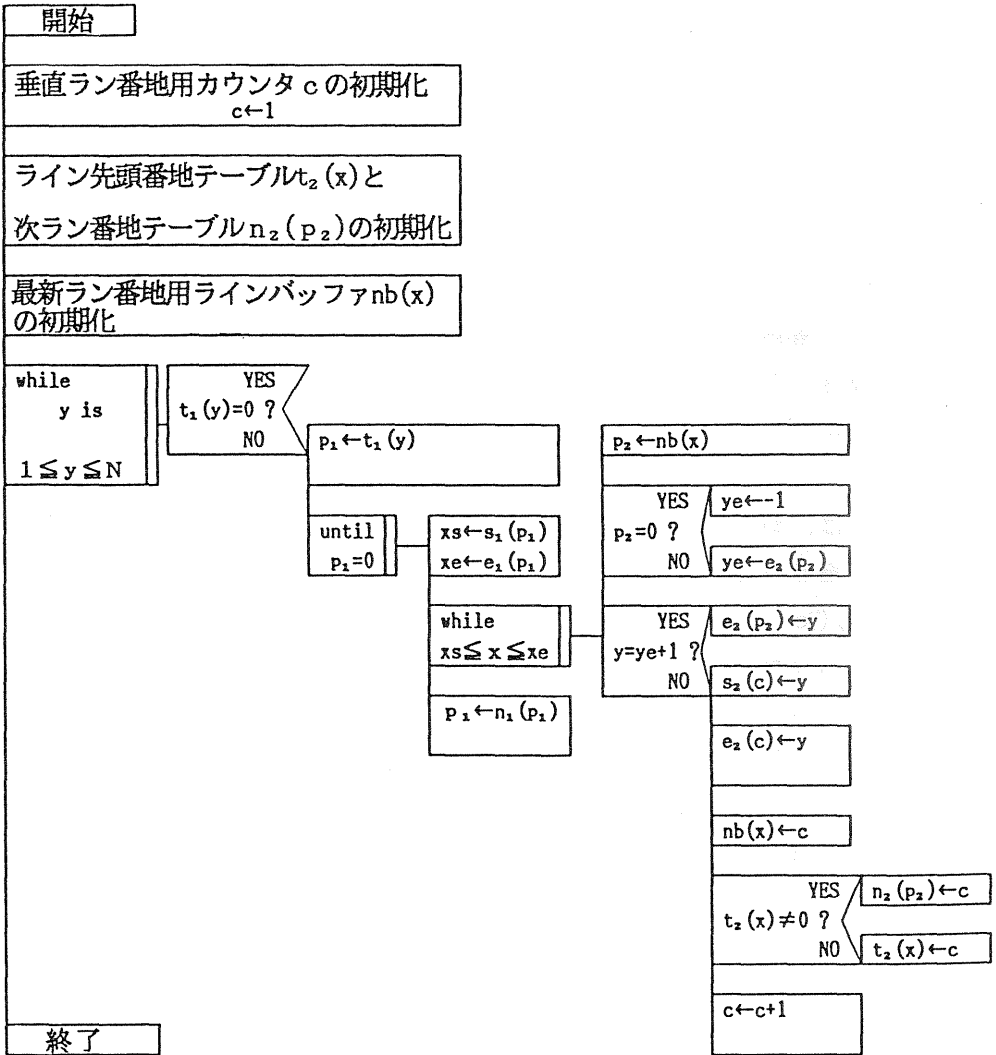


図 8. 4 ランデータの走査方向の変換手順

新ラン番地用ラインバッファ $n_b(x)$ に格納されている番地 p_2 にあるランの終点座標 y_e を読み出す。この時、 p_2 が零値であれば、 $y_e = -1$ としておく。そして、このランの終点座標 y_e が水平走査線の縦方向の位置 y の直上の値かどうかを判定する。

もし、この値が直上の値であれば、即ち、 $y = y_e + 1$ であれば、次の(4)の過程に移る。一方、 $y \neq y_e + 1$ であれば、新しい垂直ランが始まることを意味しており、(5)の過程に移る。

(4)最新ラン番地用ラインバッファ $n_b(x)$ に格納されている垂直ランの番地 p_2 を基に、垂直ランのための終点座標テーブル $e_2(p_2)$ に水平走査線の位置 y を格納する ($e_2(p_2) \leftarrow y$)。こうしておけば、縦方向のランの最新の書き込み状態が、終点座標テーブル $e_2(p_2)$ に残ることになる。この(4)の過程が終了すれば、(6)の過程に移り、次の横方向の位置に移行する。

(5)ここでは、新しい垂直ランを登録する。まず、垂直ラン番地用カウンタの値 c を垂直ランの番地として、始点座標テーブル $s_2(c)$ 、終点座標テーブル $e_2(c)$ に水平走査線の位置 y を格納する。さらに、最新ラン番地用ラインバッファ $n_b(x)$ に、このカウンタの値 c を設定する。そして、垂直ラン用のライン先頭番地テーブル $t_2(x)$ に先頭のランの番地が登録されているかどうかを判定し、もし、まだ登録されていない場合、このライン先頭番地テーブル $t_2(x)$ に垂直ラン番地用カウンタの値 c を格納する。一方、すでにライン先頭番地テーブル $t_2(x)$ に値が登録されている場合は、次ラン番地テーブル $n_2(p_2)$ にこの垂直ラン番地用カウンタの値を格納する。上述の垂直ラン用のライン先頭番地テーブル $t_2(x)$ に番地が登録されているかどうかを判定した後、垂直ラン番地用カウンタの値 c を1だけ増加して、次の(6)の過程に移る。

(6)以上の一連の処理(3)(4)(5)を水平ランの始点位置から終点位置まで繰返して行い、次いで、再び、(2)に戻り、ある水平走査線に沿って、水平ランが尽きるまで繰返して行う。さらに、これらの処理を水平走査線が尽きる ($1 \leq y \leq N$) まで繰返して行う。なお、水平走査線にランが無い場合、即ちライン先頭番地テーブルの値が零値の場合は、即座に次の走査線に移行する。

以上の手順により、ランデータのままで、水平ランを垂直ランに変換す

ることができる。また、同様の手順により、垂直ランを水平ランに変換することもできる。

8. 4 実験的検討

計算機M-680Hを用いて、2値画像の回転を実行した。ここでは、2値画像のランデータに対して、ソフトウェア処理により回転を実現している。使用した言語はFortranである。対象とした2値画像は、CCITTの標準原稿8枚であり、これらの標準原稿はA4判で、精度は8本/mmである。従って、2値画像の大きさは1728×2287画素である。

8. 4. 1 処理時間

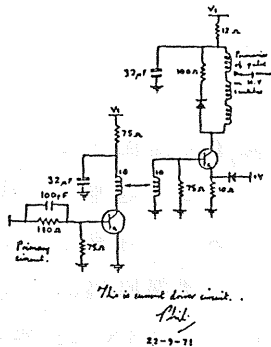
ここでは、図8.5に示したCCITT標準原稿を実験の対象として用いた。ランデータによる2値画像の回転の例として、回転角 0.1963 ラジアン($=\pi/16$)の場合の各ステップの処理時間を表1に示すごとく求めた。CCITTの標準原稿No.1では、第1ステップの横方向への歪変換の処理時間は、32.5ミリ秒であり、第2ステップの水平ランを垂直ランに変換する時間は、110.2ミリ秒であり、第3ステップの垂直ランに対する縦方向への歪変換の処理時間は、45.0ミリ秒であった。従って、ランデータを用いた回転の所要時間は、第1ステップから第3ステップまでの総和で、187.7ミリ秒となる。さらに、同表に示すように、ランデータを用いた回転の所要時間は、8枚のCCITT標準原稿の平均で415.8ミリ秒である。なお、CCITTの標準原稿No.1では、回転後の垂直ランを水平ランに変換する処理時間は、113.5ミリ秒であった。図8.6は、ランの個数と回転に要した時間との関係を求めたものであり、図中の数字はCCITTの標準原稿番号を示す。黒地の背景をもつCCITT標準原稿No.8を除き、他の白地の背景をもつ標準原稿では、回転の所要時間がランの個数に比例していることが分かる。通常、画像が大きくなり、例えば縦横がそれぞれ n 倍になると、画素数は n^2 倍となるが、それに対し、ランの個数は n 倍のみである。従って、ランに基づく本方法では、画像が大きくなっても、回転に要する時間は n 倍となり、高速回転が可能である。

一方、画素データによる回転を(8.1)式を基に行い、その処理時間

THE HERACLE COMPANY LIMITED
 10, Market Street, London, E.C. 4, England

CCITT No. 1

Handwritten: *Ch.*



Parameter	Value
Frequency	1000 Hz
Power	100 mW
Gain	20 dB
Bandwidth	10 Hz to 10 kHz
Distortion	< 1%
Input Impedance	100 Ω
Output Impedance	10 Ω
Temperature	25°C
Humidity	50%
Pressure	1013 hPa
Altitude	1000 m
Latitude	50° N
Longitude	0° E
Time	10:00
Date	10/10/71
Operator	Ch.

CCITT No. 4

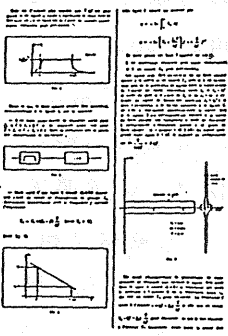
Handwritten: *Ch.*

(a) CCITT No 1

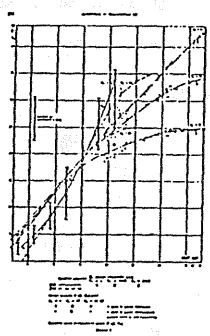
(b) CCITT No 2

(c) CCITT No 3

(d) CCITT No 4



(e) CCITT No 5



(f) CCITT No 6

CCITT No 7

Handwritten: *Ch.*

(g) CCITT No 7

Handwritten: *Ch.*

(h) CCITT No 8

図 8. 5 2 値画像の例 (CCITT標準原稿)

表 8. 1 回転に要した時間の実測値

CCITT No 項目	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
	m秒								
(1) 横方向の 歪変換	32.50	19.17	54.17	119.17	62.50	36.25	107.08	35.00	58.23
(2) 水平ランの 垂直ラン変換	110.21	106.04	210.42	370.42	209.58	136.25	286.46	745.62	271.88
(3) 縦方向の 歪変換	45.00	25.83	80.83	180.00	81.25	48.75	175.62	48.54	85.73
合計	187.71	151.04	345.42	669.59	353.33	221.25	569.16	829.16	415.84

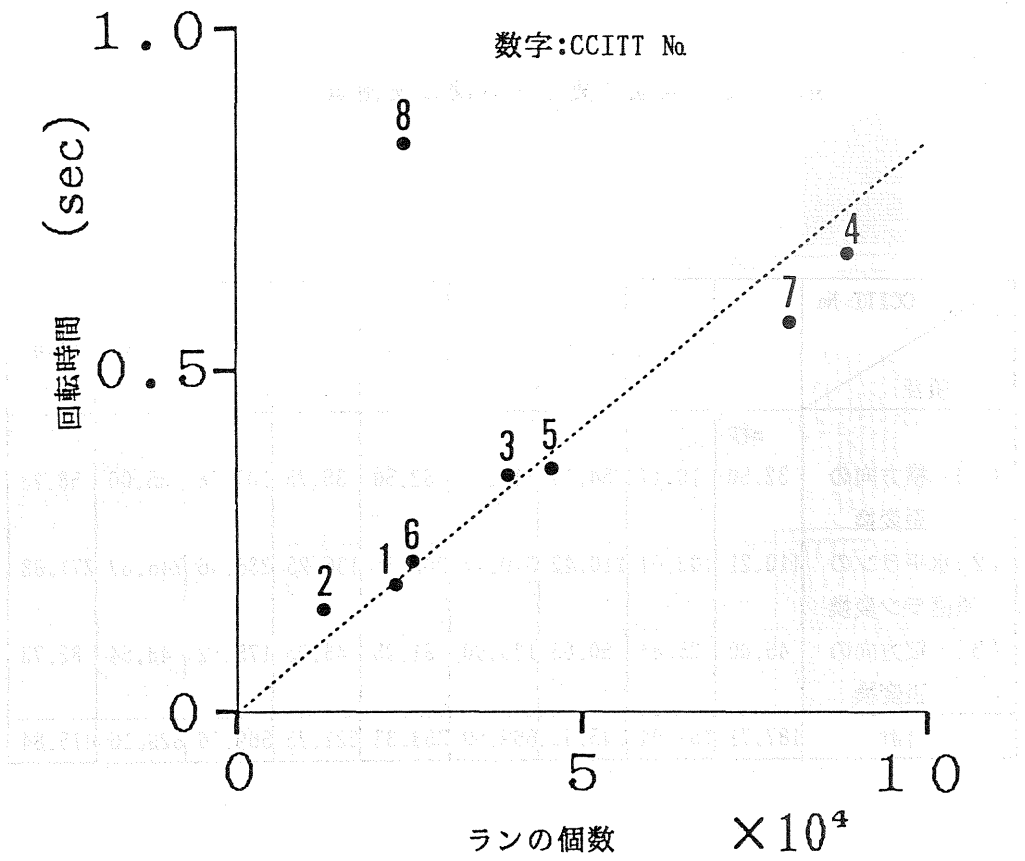
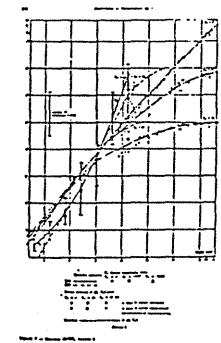
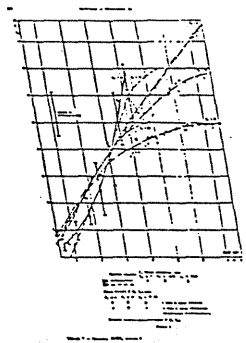


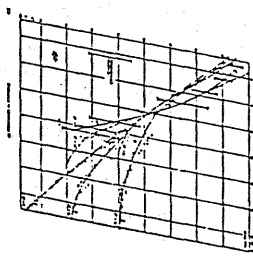
図 8. 6 ランの個数と回転時間 (実測値)



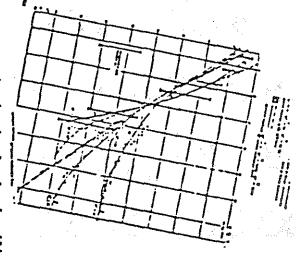
(a) 原画像



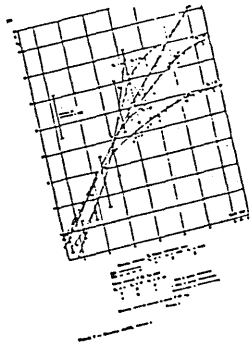
(b) x方向への歪変換後



(c) 水平ランの垂直ラン
への変換後



(d) y方向への歪変換後



(e) 回転結果の画像

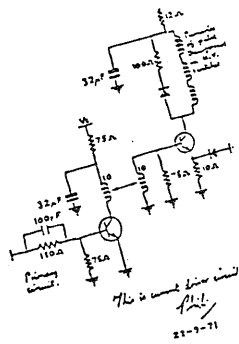
図 8. 7 画像回転の途中結果の例(CCITT No.6)

In face In face
the subject the subject
cause the pl cause the pl
This signal This signal
remote desti remote dest

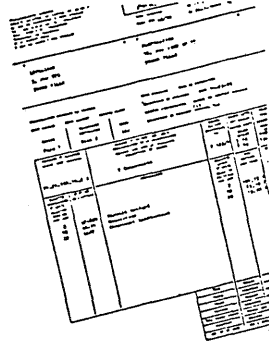
(a) 原画像

(b) 回転画像

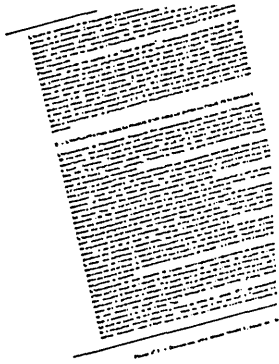
図 8. 8 回転した文字パターンの例(CCITT No.1の一部)



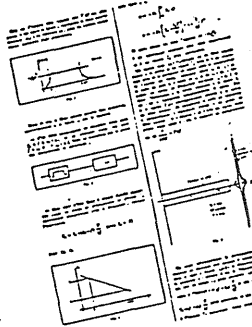
(a) CCITT No 2



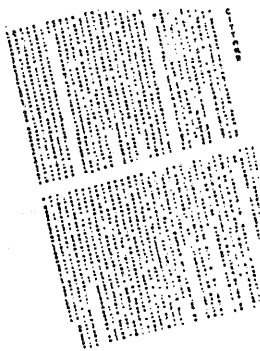
(b) CCITT No 3



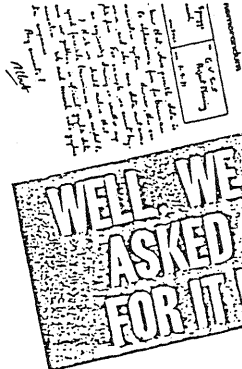
(c) CCITT No 4



(d) CCITT No 5



(e) CCITT No 7



(f) CCITT No 8

図 8. 9 回転画像の例

を求めた。ここでは、従来方法として^{〔48〕}、(8.1)式の回転行列の逆行列を用いて出力画像の座標から原画像の対応する座標を計算し、その座標値により原画像の対応する画素をアクセスして回転画像を得る方法を採用し、その処理時間を実測する。この従来の画素データによる回転では、各画素に対して座標演算が必要である。画素データによる回転時間を実測するため、計算機M-680H上で256×256画素の画像を回転した(回転角0.1963ラジアン)ところ、その処理時間は88ミリ秒を要した。なお、使用した言語はFortranである。画素データによる画像回転の処理時間は画素数に比例するため、これを、1728×2287画素の画像に換算すると、5.31秒となる。前述のランデータを用いた回転の所要時間は、8枚のCCITT標準原稿の平均値が415.8ミリ秒である。従って、画素データによる回転と比較して、処理速度が12.8倍となり、一桁の高速化がランデータに基づく本方法の処理では実現している。

8.4.2 実験結果

図8.7は、CCITT標準原稿No.6に対して、回転画像を求める途中過程の結果を示したものである。但し、処理の途中結果は、ランデータで表現されているが、この途中過程を表示するためここでは画像に展開している。同図(a)の対象画像のランデータに対して、横方向への歪変換を行った途中結果のランデータを画像に展開したものが、同図(b)である。次いで、このランデータを垂直ランに変換した垂直ランデータを、そのまま水平ランとみなして、画像に展開した例を、同図(c)に示す。さらに、この垂直ランデータに対して縦方向に歪変換を行ったデータを、水平ランとみなして画像に展開した例を同図(d)に示す。最終的に得られた回転画像を同図(e)に示す。また、図8.8にCCITT標準原稿No.1に対する回転画像の一部の例を示すが、良好な文字パターンが得られていることが分かる。図8.9に他の標準原稿に対する回転画像の例を示す。

8.5 結言

2値画像に対して回転を行う方法において、特に、ランの始点、終点座標の実数演算により任意の回転角で画像回転を行う方法の開発に取組み、

以下の結果を得た。

- (1) 2値画像のデータ表現形式としてランデータを採用し、このランデータに対して実数演算を行うことにより、画像回転が実現できることを示した。
- (2) ここで用いたランは、横方向の走査に沿った水平ランと、縦方向の走査に沿った垂直ランの2種類であり、これらのランは、画素データに展開することなく、水平及び垂直の相互に変換することができることを示した。
- (3) ランデータに対して、縦及び横方向の座標値に対する演算を行う回転行列を、横方向の座標値のみの演算を行う変換行列と縦方向の座標値のみの演算を行う変換行列の積になるよう分解し、これにより任意の角度の回転画像を得ることができた。
- (4) 2値画像のランの個数は画素の数より、ほぼ一桁から二桁少ない。
このため、画素データに対する回転を行うための処理量と比較して、ランデータを用いる本方法の方が、処理量が大幅に削減できることが期待できる。実際に大型計算機を用いた計算機実験によると、従来の画素データに対する単純な処理と比較して、およそ、一桁の高速化が可能であることが分かった。また、座標値で表現されたランデータを用いているため、汎用プロセッサにも適した処理であり、本方法は実用的な手法である。

第9章 結 論

本研究は、画像情報を介して、物体表面の性状を抽出する画像認識技術の産業への応用開発を目的とした行ったものであり、応用分野として産業分野、とくに電子部品の生産部門を取り上げている。この分野では、画像処理の高速性、実時間性が、実用の観点から重要な課題となっており、そのため、実時間処理が可能な画像処理の方法とそれに基づく画像処理装置の開発を行い、生産装置、とくに自動組立装置と自動検査装置への適用を考察した。本章では、本研究の結びとして、得られた成果を概観し、結論を述べる。

9. 1 位置情報の抽出と自動組立への適用

(1) 半田表面を有する半導体チップの自動位置検出手法

半導体の自動組立作業では、半導体チップの表面に形成された電極と外部の端子とを金属線で配線する。この時、一般には、チップの位置がずれているため、チップ表面の電極の位置を高精度に検出する必要がある。特に、位置検出が難しいのが凸曲面の鏡面反射物体である半田電極系チップである。そこで、第2章において、半田電極系チップの位置検出課題を示し、鏡面反射物体であるチップ表面が傾いても安定した画像が得られるよう新しく考案した照明・撮像方式を述べた。さらに、テンプレートパターンマッチングを改良した位置検出手法を提案し、実際のチップに対して位置検出実験を行い、有効性を確認した。この手法の開発により、従来不可能だった半田型の品種に対する視覚技術が完成し、これにより半導体生産における一連の組立技術が完成した。

(2) 高密度基板への電子部品搭載のための自動位置検出手法

このように組立てられた電子部品を基板に自動的に搭載し、基板として完成されるために、基板組立の問題がある。この基板自動組立のための課題としては、組立対象とする基板が高密度化しつつあること、部品の端子(リード)も微細化してきていること、異なった形状をもつ多様な部品にも

対応できること、がある。そこで、第3章において、これらの課題に対処する高精度かつ実用的な自動位置検出手法を新たに提案した。この手法は、部分画像の類似性を求めるパターンマッチング法に基づいて複数のリードの位置を検出し、それらをもとに部品の位置・姿勢のずれを算出する。さらに、基板上に印刷されている2箇所マーク位置を検出し、これらのマーク位置をもとに基板の位置・姿勢を算出する手法である。また、本手法の有効性を実験により評価するため、実際の部品と基板に対して位置検出実験を行ない、高精度な位置検出が可能であることを示した。この成果は、計算機用プリント基板の製造工程に応用され、高密度プリント基板の自動実装技術が実現する道標としての役割を果たした。

9. 2 表面情報の抽出と自動検査への適用

(1) 電子部品の捺印パターンの欠陥検出手法

電子部品をプリント基板に搭載するには、電子部品上に捺印された文字が唯一の手掛かりとなる。そのため、捺印文字の検査は重要である。そこで、第4章で、トランジスタや集積回路等の電子部品の表面に捺印された文字を対象に、自動的に外観を検査することを目的とした欠陥検出手法の比較結果について考察した。ここでは、検査対象である捺印パターンの特徴と、捺印欠陥の検出課題を示した。また、欠陥検出手法として、①標準的なパターンとの照合を重みを付けて行なう手法、②標準的なパターンを空間的に分割し、この分割パターンを用いて照合を行なう手法、③文字の芯線部と背景部から予め選択した固有の点を基に局部パターンの照合を求める手法、の三つの実現方法を提案した。実際のトランジスタの捺印パターンを対象とした実験結果を示し、これらの手法を比較検討するとともに、その有効性と利用法を明らかにした。

(2) 電子部品の捺印パターンの欠陥検出装置

上述の手法をハードウェアとして実装し、具体的な装置として実現するため、第5章で、電子部品における表面の捺印パターンを対象とした欠陥の自動検出装置方式について考察した。ここでは、観測点における文字の

部分の存在を検出する定点サンプリング法を、ストロークに沿った観測点位置で判定を行なうように改良し、さらにこれら観測点を縦横に移動できるように摂動の処理を加えた固有点照合法を基にした文字欠陥検出方式を提案した。さらに、この欠陥検出方式を高速に実現するために開発した専用の画像処理装置の構成と動作を述べた。また、試作した装置を用いた実験システムの構成と実際の電子部品の捺印パターンを対象とした自動外観検査の実験結果を示し、本装置方式の有効性を明らかにした。この装置は、半導体工場における電子部品の捺印検査装置として実用されるとともに、汎用視覚装置として製品化され各種の産業分野で広汎に活用されている。

(3) プラスチック部品表面の欠陥検出手法

一方、電子部品の表面上の文字だけでなく、表面の状況そのものの検査もまた重要である。そこで、第6章で、集積回路等の電子部品におけるプラスチック表面の欠陥の簡便な自動検出方法について述べた。まず、プラスチック部品の表面にある欠陥の光学的な性質とこれらの欠陥を検出する上での課題を示した。ついで、表面の傾斜ばらつきに対して安定した画像を得るため、面光源を用いた照明方式を検討した。さらに、表面画像を小領域に分割し、各分割領域ごとの濃淡値の頻度分布を基にした実用的な欠陥検出手法を開発した。その結果、従来困難であった電子部品表面の小穴、擦過傷等の欠陥検出が可能となり、半導体工場における最終検査工程で実用されている。

9. 3 2値画像処理の高速化手法

(1) 2値画像の高速化パターンマッチング手法

上述の手法は実時間性を特徴として、主にハードウェアによるパターンマッチング等を基本とする。将来、計算機の処理速度が向上するにしたがってソフトウェアによる高速の画像処理が重要となる。そのため、第7章においては、画像パターン中から特定の図形と類似した図形を抽出するテンプレートパターンマッチング法の高速化の一方式として知られているSSDA法(Sequential Similarity Detection Algorithm)を基本として考案した新しい高速化パターンマッチング手法を提案した。特に、2値画

像でかつ照合誤差のない場合について検討した。この手法は、画素の照合の順序を、ブロック化した部分的なパターンの対象画像における出現確率を用いて決定する方式である。また、実際に集積回路チップの表面パターン等の例を対象に本方式を適用し、パターンマッチング法の高速化に有効であることを示した。

(2) 2値画像の高速回転手法

一方、画像処理において、もう一つの重要な処理として回転処理がある。この処理は、工業用画像処理だけでなく、あらゆる画像処理の基本として重要なものである。そのため、第8章では、2値デジタル画像を対象として、従来の画素データを用いた方法とは異なり、黒画素の線分からなるランの始点並びに終点の座標データを基に2値画像の回転を高速で行う方法を提案した。この回転方法はランデータ上で横及び縦方向の斜交軸変換を順次行い、回転画像を求めるものであり、ランデータに対する実数演算により、任意の回転角度の画像回転が実現できるため、汎用プロセッサに適した方法であり、また、処理の高速化、使用メモリの削減も可能な実用的な方法である。実際の文書画像に対して大型計算機上で画像を回転させ、この処理時間を求め、本方法の有効性を実験的に確認した。

9. 4 結 言

本研究では、画像情報を介して、物体表面の性状を認識する画像処理の手法を開発するとともに、これを具体化した実時間型画像処理装置および高速画像処理手法を開発し、これを産業分野における視覚機能をもつ生産機械に応用した。これにより、本研究の目的である画像認識技術の開発とその産業応用を実現することができた。

今後は、画像処理装置の一層の小型化、高速化、高機能化が進むであろうが、本研究で得られた成果はその基本として今後も重要性を維持していく筈である。また、情景の解析、立体視や画像データベースなど広汎な産業分野への応用に、本研究の成果をもとにした画像認識技術に対して、さらに継続的な発展がなされることを期待したい。また、生体の視覚の生理学的、認知心理学的な側面からの解明が、将来の画像認識技術の工学的な実

現のために必要であり、今後、画像認識技術がますます発展し、産業分野での応用だけでなく人間社会のあらゆる局面で役立つとともに、さらに広範に利用が進むことを期待したい。

謝辞

本研究は、筆者が昭和50年から現在に到るまでの期間で、(株)日立製作所中央研究所において行った電子部品の生産のための画像認識技術に関する総合報告である。

本研究を行う上で、ご指導を賜った京都大学工学部長尾真教授に深く感謝致します。また、本論文をまとめるにあたりご指導を賜った田丸啓吉教授に深く感謝致します。さらに、京都大学工学部電気工学第二学科において研究生活の端緒を開いていただき、卒業後も絶えずご指導ご鞭撻を賜った京都大学工学部木嶋昭教授に深くお礼申し上げます。

本研究は、(株)日立製作所において、社内外の多数の方々のご指導ご援助を得て行われたものである。社外においては、上記の先生方のほか、東京大学坂内正夫教授、電子技術総合研究所棟上昭男博士、京都大学小沢孝夫博士、Philips社 E.H.J.Persoon博士から画像処理アルゴリズムやそのシステムについて貴重なご意見を戴いた。また、社内においては、江尻正員博士、烏野武博士、柏岡誠治博士には筆者の直接の上司として、研究の細部にわたりご指導ご鞭撻をいただいた。また、同社中央研究所第6部長として川崎淳博士、猪瀬文之博士、大西淑弘氏、千葉常世博士、堤善治氏、角田義人博士に、有益な研究上の指針を与えられ、筆者の研究の育成にご指導ご薫陶を賜った。これらの方々に深く感謝致します。

本研究に関する実験、開発は、(株)日立製作所の多数の方々のご協力を得て行われた。同社中央研究所宮武孝文氏、安江利一氏、酒匂裕氏、加藤寛次氏、松島整氏、木滑寛治博士、上田博唯氏、武田昌一氏、東野純一氏、目瀬道弘氏には本論文の認識方式の検討、実験を共同して当って頂き、また大山光雄氏には装置の試作に協力して頂いた。また、藤澤浩道博士、中野康明博士には、本論文執筆の便宜を図って頂いた。さらに、応用システムの開発は、同社高崎工場坂本雄三郎氏、中村總一郎氏、国司喬文氏、大山祐一氏、大久保忠司氏、小畑修氏、同社武蔵工場谷本道夫氏、山崎勇氏、鈴木芳和氏、同社神奈川工場橋本雅也氏、鈴木邦夫氏ほか多数の方々との協力によって完成したものである。これらの方々に厚くお礼申し上げる。

また、本論文の執筆に当り、家庭において父 嶋忠雄、母 澄子、並びに妻 淑子と子供たち 聡子、浩紀から援助、激励を受けたことを感謝します。

参 考 文 献

【第2章関係】

- (1) M.Yachida and S.Tujii : "Industrial computer vision in Japan"
Computer, 13,5,pp.50-63(May 1980)
- (2) S.Kashioka, M.Ejiri and Y.Sakamoto : "A transistor wire
-bonding system utilizing multiple local pattern matching
techniques" IEEE Trans. Syst., Man Cybern., SMC-6,8,pp.562-570
(Aug.1976)
- (3) 柏岡, 江尻, 坂本 : "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", 電気学会論文誌51-C2 pp.9-16(昭和51年1月)
- (4) Mese, M., Miyatake, T., Kashioka, S., Ejiri, M., Yamazaki, I. and
Hamada, T.: "An automatic position recognition technique for
LSI assembly" Proc. 5th Int. Joint Conf. on Artificial
Intelligence, pp.685-693, (Aug.1977)
- (5) 宮武, 柏岡, 目瀬, 烏野, 阿藤 : "ハイブリッドIC自動組立用の自
動焦点調節装置", 電気学会東京支部大会, 322(昭和54年11月)
- (6) M.L.Baird : "An application of computer vision to automated
IC chip manufacture", The third International Joint
Conference on Pattern Recognition, pp.3-7 (Nov. 1976)
- (7) M.L.Baird : "SIGHT-I : A computer vision system for automated
IC chip manufacture" IEEE Trans. Syst., Man and Cybern., SMC-8,
2, pp.133-139(Feb. 1978)
- (8) 山田, 五十嵐, 横井, 中山 : "汎用位置検出ユニットを適用したICボン
ダ", 昭和55年度精機学会秋季大会学術講演論文集, 9, pp.779(1980)
- (9) 成瀬, 山田, 酒川, 五十嵐, 山崎, 時崎 : "トランジスタペレットの電極
認識アルゴリズム", 昭和53年度電子通信学会総合全国大会 1026 pp.
5-54 (1978)
- (10) 嶋, 柏岡, 烏野 : "半田電極系パワートランジスタの自動位置認識",
電気学会東京支部大会, 321(昭和54年11月)
- (11) 柏岡, 宮武, 嶋, 烏野 : "部分パターンマッチングを用いた汎用の自
動位置認識システム", 電気学会東京支部大会, 320(昭和54年11月)

- (12) S.Kashioka, S.Takeda, Y.Shima, T.Uno and T.Hamada : “An approach to the integrated intelligent robot with multiple sensory feedback : Visual recognition techniques” Proc. 7th Int. Symp. on Industrial Robots, pp.531-538(Oct. 1977)
- (13) R.J.K.Wassink(竹本,藤内監訳) : “ソルダリング イン・エレクトロニクス”, 日刊工業新聞社, pp.11-21 (昭和61年8月)
- (14) 鳥野 : “自動組立におけるパターン認識の応用”, 情報処理, 第22巻4号 pp.286-292(1981)
- (15) 久保田, 浮田, 會田 : “光学技術ハンドブック”, 朝倉書店, pp.847-853(昭和43年10月).
- (16) 嶋, 武田, 柏岡, 武安, 鳥野 : “視触覚複合ロボットの視覚認識技術”, 電気学会東京支部大会, 285(昭和52年11月)
- (17) Y.Y.Hsieh and K.S.Fu : “A method for automatic IC chip alignment and wire bonding”, Proceeding of IEEE Comput. Soc. Conf. Pattern Recognition and Image Processing ,pp.101-108, (Aug. 1979)

【第3章関係】

- (18) 嶋, 柏岡, 酒匂, 鈴木 : “高密度基板への電子部品搭載のための自動位置検出方式”, 電子通信学会論文誌(D), Vol.J68-D No.12, pp.2141-2151(昭和60年12月)
- (19) Uno, T., Ikeda, S., Ueda, H., Ejiri, M. and Tokunaga, T. : “An industrial eye that recognizes hole positions in a water pump testing process” Computer Vision and Sensor -based Robot, ed. C. G.Dodd and L.Rossol, pp.101-116, Prenum Pub. Co.(1979)
- (20) 嶋, 柏岡, 鈴木 : “高密度基板組立のための位置検出方式” 電子通信学会総合全国大会 1684(昭60)
- (21) 久保田, 浮田, 會田 : “光学技術ハンドブック増補版” pp.35-77(昭和50-7)

【第4章関係】

- (22) 柏岡, 安江, 嶋 : “捺印検査手法の開発” 電子通信学会総合全国大会,

1265 (昭和55年3月)

- (23) 嶋, 安江, 柏岡: “捺印検査装置の試作” 電子通信学会総合全国大会, 1266(昭和55年3月)
- (24) 目瀬, 烏野, 池田, 江尻: “複雑パターンを対象とした傷抽出装置方式” 電気学会論文誌 49-C12 pp.89-96(1974)
- (25) Jarvis, J.F.: “A method for automating the visual inspection of printed wiring boards” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-2, 1, pp.77-82(Jan.1980)
- (26) Hara, H., Akiyama, N., and Karasaki, K.: “Automatic inspection system for printed circuit boards” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-5, 6, pp.623-630(Nov. 1983)
- (27) 山崎, 飯島: “大量印字品質評価法” 情報処理, Vol.13, No.4, pp.225-231(April 1972)
- (28) JIS C 6253: “光学文字認識のための印字仕様” 日本規格協会(昭和50年2月)
- (29) Throssel, W.R. and Fryer, P.R.: “The Measurement of Print Quality for Optical Character Recognition Systems” Pattern Recognition, Vol.6., pp141-147(1974)
- (30) Bohner, M., Sties, M. and Bers, K.H.: “An Automatic Measurement Device for the Evaluation of the Print Quality of Printed Characters” Pattern Recognition, Vol.9., pp11-19(1977)
- (31) 嶋, 柏岡, 安江: “電子部品の捺印パターン欠陥検出手法の一考察” 電子情報通信学会論文誌(D), Vol.J71-D, No.6, pp.1091-1099(昭和63年6月)

【第5章関係】

- (32) 嶋, 柏岡, 安江: “部分画像の並列切り出し照合方式に基づく捺印パターンの欠陥検出” 電子通信学会論文誌(D), Vol.J69-D No.3, pp.417-426(昭和61年3月)
- (33) 坂井, 長尾: “文字・図形の認識機械” 共立出版株式会社, 情報科学講座E・19・2, pp.28-35(昭和42年2月)

- (34) 森, 篠田, 麻田 : “並列画像演算装置の試作” 信学会パターン認識と学習研究会技術研究報告 Vol.PRL76-86, pp.29-39(1977年3月)
- (35) 谷内田, 富田, 辻 : “3次元物体の高速パターン処理システム” 電子通信学会論文誌(D) Vol.58-D, No.4, pp.208-215(1975年4月)
- (36) 松島, 大山, 海藤 : “アレイ方式を用いた映像処理装置の開発” 電子通信学会画像工学研究会技術研究報告 Vol.IE78-11, pp.45-53(1978年5月)

【第6章関係】

- (37) Ejiri, M., Uno, T., Mese, M., and Ikeda, S. : “A process for detecting defects in complicated patterns” Computer Graphics Image Processing, vol.2, pp.326-339(1973)
- (38) Pau, L.F. : “Integrated testing and algorithms for visual inspection of integrated circuits” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-5, 6, pp.602-608(Nov. 1983)
- (39) Harlow, C.A., Henderson, S.E., Rayfield, D.A., Johnston, R.J., and Dwyer III, S.J. : “Automated inspection of electronic assemblies” Computer, pp.36-45(Apr.1975)
- (40) 加藤, 柏岡, 上田, 福島, 大山 : “工業用小型画像処理装置SBIP” 日本ロボット学会学術講演会3308 (1984)
- (41) 嶋, 柏岡, 加藤, 江尻 : “画像分割型頻度分布に基づくプラスチック部品表面の欠陥検出手法”, 電子通信学会論文誌(D), Vol.J68-D, No.7, pp.1384-1391 (昭和60年7月)

【第7章関係】

- (42) Barnea, D. and Silverman, H. : “A class of algorithms for fast digital image registration” IEEE Trans. on Computers, C-21, 2, pp.179-186(Feb.1972)
- (43) 尾上, 前田, 斎藤 : “残差逐次検定法による画像の重ね合せ” 情報処理, 17, 7, pp.634-640, (1976)
- (44) 岡田, 大田, 坂井 : “視野の移動する画面の実時間貼り合わせによる

文書画像入力法” 電子通信学会論文誌(D), Vol. J65-D, 10, pp.1280-1285, (1982)

(45)河合, 田村, 可児 : “眼底画像による眼球運動解析システム” 電子通信学会論文誌(D), J67-D, 2, pp.200-207, (1984)

(46)嶋, 柏岡, 江尻 : “部分画像の出現確率を用いた高速化パターンマッチング方式” 電子通信学会論文誌(D), Vol. J68-D, No.2, pp.161-168(昭和60年2月)

(47)嶋, 柏岡, 江尻 : “画素の出現確率を基にしたパターンマッチング法の高速化効果の検討” 昭和60年電子通信学会情報・システム部門全国大会, 170(昭和60年)

【第8章関係】

(48)Peter Alexander : “Array Processors in Medical Imaging”
IEEE Computer pp.17-30 (June 1983)

(49)川上, 島崎, 広上, 鈴木 : “事務処理分野をねらった2値画像プロセッサLSI” 日経エレクトロニクス, 昭52-12-19, pp.195-216 (昭52年12月)

(50)田畑, 津原, 岩見, 町田, 武田 : “2次元ブロック転送によるメモリ・アドレス制御方式の提案と文書画像処理への応用” 情報処理学会論文誌 Vol.24 No.4, pp.462-473 (Jul. 1983)

(51)鳥野, 上田, 江尻, 松岡 : “物流システム用マーク読取方式” テレビジョン学会全国大会 11-5, pp.225-226 (1977)

(52)土田, 山田, 上田 : “座標の平行移動による画像の高速回転法” 電気学会論文誌C, 105巻3号, 60-c9, pp.61-68 (昭60年3月)

(53)A.Rosenfeld, A.C.Kak : “Digital Picture Processing”
ACADEMIC PRESS, pp.341-347(1976)

(54)J.D.Foley and A.V.Dam : “Fundamentals of Interactive Computer Graphics” ADDISON WESLEY, pp.245-255, pp446-463 (1982)

(55)K.Tabata, T.Machida, H.Takeda, and H.Kabayashi : “High-speed Image Scaling for Integrated Document Management” Second ACM Conf. on Office Information System, Canada, pp.36-45(1984)

- (56)C.F.R.Weiman :“Continuous Anti-aliased rotation and zoom of raster images” SIGGRAPH, Vol.14, No.3, pp.286-293 (1980)
- (57)E.Catmull and A.R.Smith :“3-D Transformations of Images in Scanline Order” SIGGRAPH, Vol.14, No.3, pp.279-285 (1980)
- (58)田畑, 武田, 町田 :“ラスト走査とテーブル参照による画像回転の高速処理” 電子通信学会論文誌(D) Vol.J69-D, No.1, pp.80-90 (昭和61年1月)
- (59)宮沢 :“高速画像回転アルゴリズム— $T^2 D^2$ 分解法の誤差解析” 情報処理学会第34回(昭和62年前期)全国大会 5D-3 pp.1747-1748 (昭和62年3月)
- (60)吹抜, 吉木 :“ランレングス領域における画素密度変換” 電子通信学会画像工学研究会資料 I E 7 9 - 6 0 pp.9-14(昭和54年10月)
- (61)仲林, 武藤 :“ランレングスコード化データによる二値画像処理の高速化” 昭和61年度電子通信学会総合全国大会 1198 (昭和61年3月)
- (62)嶋, 柏岡, 東野 :“ラン符号に基づく2値画像の拡大・縮小と回転のための一手法” 情報処理学会第34回(昭和62年前期)全国大会 5D-4 pp.1749-1750 (昭和62年3月)
- (63)吹抜 :“F A X, O A のための画像の信号処理” 日刊工業新聞社, pp.45-47 (昭和57年10月)
- (64)嶋, 柏岡, 東野 :“ランに対する座標演算に基づく2値画像の高速回転のための一手法” 電子情報通信学会論文誌 (D), Vol.J71-D, No.7, pp.1296-1305 (昭和63年7月)

著者発表論文目録

(主執筆論文)

- [1] 嶋 好博, 武田昌一, 柏岡誠治, 武安清雄, 烏野 武: “視触覚複合ロボットの視覚認識技術” 昭和52年電気学会東京支部大会, 285, pp.392-393 (昭和52年)
- [2] 嶋 好博, 柏岡誠治, 烏野 武: “半田電極系パワートランジスタの自動位置認識” 昭和54年電気学会東京支部大会, 321, pp.437-438 (昭和54年)
- [3] 嶋 好博, 安江利一, 柏岡誠治: “捺印検査装置の試作” 昭和55年度電子通信学会総合全国大会, 1267, pp.5-295 (昭和55年)
- [4] 嶋 好博, 柏岡誠治, 江尻正員: “部分画像の出現確率を用いた高速化パターンマッチング方式” 電子通信学会論文誌 (D), Vol. J68-D, No.2, pp.161-168 (昭和60年2月)
[Y. Shima, S. Kashioka and M. Ejiri: “A Fast Algorithm for Template Pattern Matching Based on Probability of Occurrence of Subpatterns” Systems and Computers in Japan, Vol.16, No.6, pp.87-95 (1985)]
- [5] 嶋 好博, 柏岡誠治, 鈴木邦夫: “高密度基板組立のための位置検出方式” 昭和60年度電子通信学会総合全国大会, 1684, pp.6-268 (昭和60年)
- [6] 嶋 好博, 柏岡誠治, 加藤寛次, 江尻正員: “画像分割型頻度分布に基づくプラスチック部品表面の欠陥検出手法” 電子通信学会論文誌 (D), Vol. J68-D, No.7, pp.1384-1391 (昭和60年7月)
[Y. Shima, S. Kashioka, K. Kato and M. Ejiri: “An Automatic Visual Inspection Method for a Plastic Surface Based on Image Partitioning and Gray-Level Histograms” Systems and Computers in Japan, Vol.17, No.5, pp.54-63 (1986)]
- [7] 嶋 好博, 柏岡誠治: “外接長方形切出しに基づく2値文書画像の

- データ圧縮方式” 情報処理学会第31回（昭和60年後期）全国大会，4P-7，pp.1281-1282（昭和60年）
- [8] 嶋 好博，柏岡誠治，江尻正員：“画素の出現確率を基にしたパターンマッチング法の高速化効果の検討” 昭和60年度電子通信学会情報・システム部門全国大会，170，pp.1-170（昭和60年）
- [9] 嶋 好博，柏岡誠治，酒匂 裕，鈴木邦夫：“高密度基板への電子部品搭載のための自動位置検出方式” 電子通信学会論文誌（D），Vol. J 68-D，No.12，pp.2141-2151（昭和60年12月）
- [Y. Shima, S. Kashioka, H. Sakou and K. Suzuki：“Automatic Position Detection Method for Mounting IC Parts on High-Density Printed Circuit Boards” Systems and Computers in Japan, Vol.17, No.10, pp.66-77 (1986)]
- [10] 嶋 好博，柏岡誠治，酒匂 裕，江尻正員：“ブロック分類に基づく点パターン照合法の高速化方式” 昭和61年度電子通信学会総合全国大会，1214，pp.5-59（昭和61年）
- [11] 嶋 好博，柏岡誠治，安江利一：“部分画像の並列切出し照合方式に基づく捺印パターンの欠陥検出” 電子通信学会論文誌（D），Vol. J 69-D，No.3，pp.417-426（昭和61年3月）
- [Y. Shima, S. Kashioka and T. Yasue：“Defect Detection Method for Stamped Patterns Utilizing Random Access Parallel Matching Technique” Systems and Computers in Japan, Vol.18, No.1, pp.79-90 (1987)]
- [12] 嶋 好博，村上達也，東野純一，中野康明，藤澤浩道：“部分画像の相関に基づいたカラー文書画像の幾何学的歪の検出方法” 電子情報通信学会創立70周年記念総合全国大会，1556，pp.6-234（昭和62年）
- [13] 嶋 好博，柏岡誠治，東野純一：“ラン符号に基づく2値画像の拡大・縮小と回転のための一手法” 情報処理学会第34回（昭和62年前期）全国大会，5D-4，pp.1749-1750（昭和62年）
- [14] 嶋 好博，村上達也，東野純一，中野康明，藤澤浩道：“カラー文

- 書画像の領域抽出のための一手法”昭和62年電子情報通信学会情報・システム部門全国大会, 103, pp.1-103 (昭和62年)
- [15] 嶋 好博, 村上達也, 東野純一, 中野康明, 藤澤浩道: “ランのブロック分類に基づく伝播型ラベリングの高速化手法” 情報処理学会第36回(昭和63年前期)全国大会, 4W-7, pp.1855-1856 (昭和63年)
- [16] 嶋 好博, 屋代 寛, 村上達也, 東野純一, 中野康明, 藤澤浩道: “マルチメディア文書内容検索のための文書画像構造化方式” 昭和63年電子情報通信学会春季全国大会, SD-7-1, pp.1-317-1-318 (昭和63年)
- [17] Yoshihiro Shima, Tatsuya Murakami, Jun'ichi Higashino, Yasuaki Nakano, and Hiromichi Fujisawa: “A Segmentation Method of Color Document Images for Multimedia Content Retrieval Systems” RIA088 User-oriented Content-based Text and Image Handling(Massachusetts Institute of Technology), Vol.2, pp.1001-1008 (March 1988)
- [18] 嶋 好博, 柏岡誠治, 安江利一: “電子部品の捺印パターン欠陥検出手法の一考察” 電子情報通信学会論文誌(D), Vol.J71-D, No.6, pp.1091-1099 (昭和63年6月)
- [19] 嶋 好博, 柏岡誠治, 東野純一: “ランに対する座標演算に基づく2値画像の高速回転のための一手法” 電子情報通信学会論文誌(D), Vol.J71-D, No.7, pp.1296-1305 (昭和63年7月)
- [20] 嶋 好博, 柏岡誠治, 江尻正員: “オブジェクト指向言語による木構造のマンマシン操作システムの一検討” 昭和63年電子情報通信学会秋季全国大会, D-173, pp.D-1-173 (昭和63年)

(共同執筆論文)

- [1] Seiji Kashioka, Shoichi Takeda, Yoshihiro Shima, Takeshi Uno, and Toshimitsu Hamada: "An Approach to the Integrated Intelligent Robot with Multiple Sensory Feedback: Visual Recognition Techniques" Proceedings of the 7th International Symposium on Industrial Robots, pp.531-538 (October 1977)
- [2] 武田昌一, 嶋 好博, 柏岡誠治, 武安清雄, 浜田利満: "視触覚複合ロボットの二、三の視覚認識アルゴリズム" 昭和52年電気学会東京支部大会, 286, pp.394-395 (昭和52年)
- [3] 柏岡誠治, 宮武孝文, 嶋 好博, 烏野 武: "部分パターンマッチングを用いた汎用の自動位置認識システム" 昭和54年電気学会東京支部大会, 320, pp.435-436 (昭和54年)
- [4] 柏岡誠治, 安江利一, 嶋 好博: "捺印検査手法の開発" 昭和55年度電子通信学会総合全国大会, 1266, pp.5-294 (昭和55年)
- [5] 柏岡誠治, 嶋 好博, 江尻正員: "部分パターンマッチングにおける標準パターンの選択方式" 電子通信学会論文誌(D), Vol. J68-D, No.5, pp.1103-1110 (昭和60年5月)
[S. Kashioka, Y. Shima and M. Ejiri: "Automatic Template Selection Technique for the Local Pattern Matching Method" Systems and Computers in Japan, Vol.17, No.5, pp.25-35(1986)]
- [6] 東野純一, 嶋 好博, 藤澤浩道, 中野康明, 江尻正員: "マルチメディア文書画像理解システム" 電子情報通信学会創立70周年記念総合全国大会, 1470, pp.6-148-6-149 (昭和62年)
- [7] 酒匂 裕, 宮武孝文, 嶋 好博, 柏岡誠治, 江尻正員: "特徴パターンの分布に着目した位置認識アルゴリズム" 電子情報通信学会論文誌(D), Vol. J71-D, No.7, pp.1258-1266 (昭和63年7月)
- [8] Hiromichi Fujisawa, Hiroshi Yashiro, Jun'ichi Higashino, Yoshihiro Shima, Yasuaki Nakano, and Tatsuya Murakami:

“Document Analysis and Decomposition Method for Multimedia Contents Retrieval” Proceedings of the Second International Symposium on Interoperable Information Systems, pp.231-238 (Nov. 1988)