

パターン認識技術の検査への応用

Application of Pattern Recognition Technology for Inspection

生産工程では、不良や故障につながる恐れのある潜在的欠陥のある部品などを排除する目的で製造工程の途中で目視による外観検査が行なわれているが、個人差や欠陥の見逃しなどの問題がある。そこで、一定の基準のもとに定量的に、しかも見逃しなく検査を行なうことを目的として、パターン認識技術を応用した自動外観検査装置を開発した。

代表例としてエナメル線、シャドウマスク乾板、ダイオードペレット、リレー接点、プリント基板の自動外観検査装置を取り上げ、検査対象品、欠陥例、欠陥検出原理及び装置外観について説明する。これらの装置は極めて高精度、高速であるとともに高い信頼性をもっている。現在、これらの装置は各工場の検査工程に設置され、不良品の排除に用いられ信頼性の高い製品の生産に役立っている。

秋山伸幸* Akiyama Nobuyuki

磯田賢一** Isoda Ken'ichi

烏野 武*** Uno Takeshi

1 緒 言

工場で作られる製品や部品は必ず検査が行なわれる。もとより検査の不必要な完全な製品や部品を生産することが最も望ましいが、現時点では検査を廃止することは困難である。検査を厳密に、しかも見逃しなく行なうことにより不良品が排除され、製品の信頼性が向上する。

検査には特性検査と外観検査がある。特性検査は電氣的、機械的に正しく動作しないとか、定められた性能が得られないというような現時点での不良品を排除する目的で行なわれる。一方、外観検査は製品や部品の表面上のきず、異物や形状不良など、将来の不良や故障につながる可能性のある潜在的な欠陥を発見する目的で行なわれる。外観検査は従来から目視で行なわれてきたが、個人差や欠陥の見逃しなどの問題があった。この問題は外観検査を自動化し、一定の基準の基に定量的に、かつ見逃しなく検査することによってはじめて解決される。

外観検査の自動化では人間の眼と頭脳と手に代わる機能を自動機として実現する必要がある。具体的には、物体の映像を検出する検出技術と映像信号処理技術、欠陥を認識するパターン認識技術及び物体を搬送・位置決めする制御技術が必要である。しかし、人間のパターン認識機能はあまりにも優れていて、現在の高度に発達したコンピュータ技術をもってしても人間のパターン認識機能の全体を自動機として実現することは困難である。本稿で述べる幾つかの自動外観検査装置は、人間のパターン認識機能の一部を取り出して機械に置き換え、専用装置としたものである。機械は定まった仕事だけを行なうときは極めて正確、かつ高速である。以下に述べる各自動外観検査装置は、定められた検査基準の基に単能的に働く装置である。

2 自動外観検査装置の概要

現在日立製作所で使用されている自動外観検査装置のうち、代表的な五つの例を挙げる。(1) エナメル線自動外観検査装置は、光の乱反射光を検出する単純な原理に基づく安価な装置である。(2) カラーブラウン管用シャドウマスク乾板自動外観検査装置は、ガラス乾板上のパターンを透過光で検出す

るので、信号対雑音比(S/N)が高く良好な検出ができる。(3) ダイオードペレット、(4) 電話交換機用スイッチ接点及び(5) プリント基板自動外観検査装置は検査対象品が不透明体であるので反射照明光を使用する。そのため、S/Nが低く、信号処理が難しい。以下各々の装置の検査対象品、欠陥例、欠陥検出原理、及び装置外観を示す。なお社外文献に見られる外観検査の自動化例には、回路^{1),2)}や電球³⁾の検査、トローリ線摩耗検査⁴⁾などがある。

3 自動外観検査装置の例

3.1 エナメル線自動外観検査装置⁵⁾

エナメル線は変圧器や電動機に多く使用されている。エナメル線の表面にエナメルの固形粒やきずが付くと、エナメル線の絶縁不良や巻付時の整列不良を起し、製品の性能を低下させることがある。従来は目視検査が主体であったが、自動検査機としてはエナメル線に接触子が機械的に接触し、エナメル線上の粒やきずなどの凹凸欠陥を検出する装置が使用されていた。しかし、この装置は小さな欠陥の検出が困難であり、振動に弱いなど性能と操作性に関して問題があった。

検出すべきエナメル線上の最小欠陥寸法は、長さ0.1mm、高さ0.03mm以上の粒及びきずである。図1に検出原理を示す。エナメル線に直角な面A～A面内で、線上の一点を周囲から均一に照明する。線上に凹凸がなければ、線からの反射光成分はすべてA～A面内に留まるが、凹凸があるとA～A面から外に出る乱反射光成分が生ずる。この乱反射光をF₁(照明点)とF₂を二つの焦点とする楕円凹面鏡M₁で反射させれば、乱反射光はF₂に集光する。更にF₁とF₃を二つの焦点とする楕円凹面鏡M₂を同図のように配置すれば、すべての乱反射光はF₂又はF₃に集光する。F₂、F₃に光電素子を置けば乱反射光の強さを検出できる。

図2に立体図を示す。楕円凹面鏡として回転体型を使用し、乱反射光を有効に集光する。また、エナメル線上の一点を周囲から一様に照明するために、エナメル線の裏側にV型反射鏡を設けている。エナメル線走行中の欠陥からの乱反射光はほぼパルス状の信号として検出されるが、その他の成分とし

* 日立製作所生産技術研究所 工学博士 ** 日立製作所生産技術研究所 *** 日立製作所中央研究所

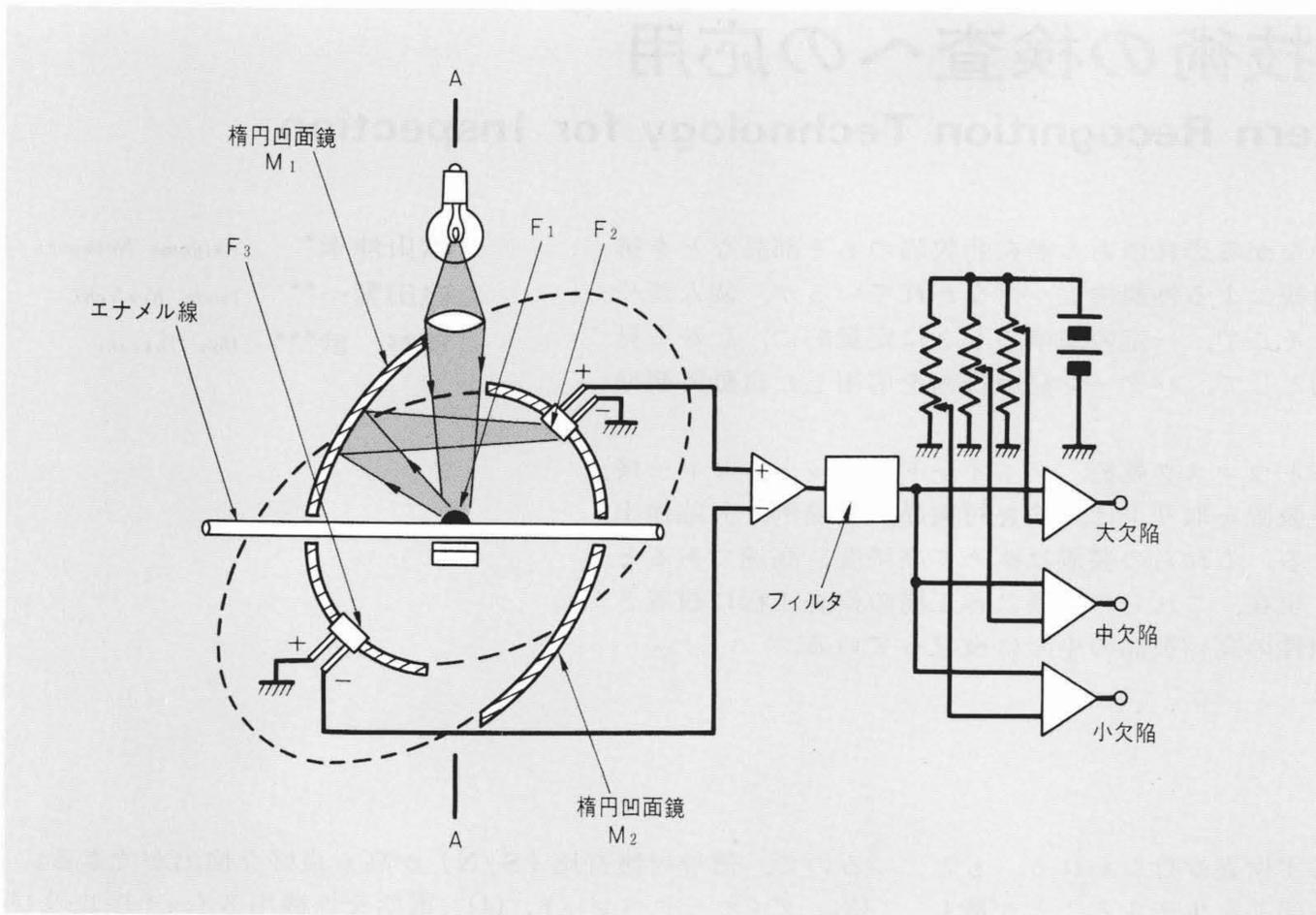


図1 エメナメル線欠陥検出原理
エナメル線上の一点F₃を周囲から均一に照明し、欠陥からの乱反射光を楕円凹面鏡で集光して欠陥検出を行なう。

て線の振れ、うねりによる乱反射光成分が重畳される。これらの信号成分は、欠陥からの信号成分に比べて低周波数であるので図1でフィルタを設け、欠陥信号だけを抽出している。

また検出出力の大きさを3段階に分類することにより、欠陥の大きさを大、中、小に分け、発生欠陥の大きさ分布を求めている。検査機の外観を図3に示す。0.1mm以上の粒及びきずを100m/minの速度で検出可能である。

3.2 カラーブラウン管用シャドウマスク乾板自動外観検査装置⁶⁾

カラーブラウン管の構造を図4に示す。シャドウマスクは必要な電子ビームだけを通して蛍光面に送るためのマスクの役目を果たすもので、シャドウマスクの製作精度がカラーブラウン管の色彩及び映像鮮明度を左右する。シャドウマスクには数十万個に及ぶ幅0.3mm、長さ0.6mm程度のストライプパターンが精密にあげられている。シャドウマスクの製作にはマスタになるガラス乾板を使用し、ガラス乾板上のパターンをシャドウマスク原板に密着露光により転写している。したがって、乾板パターンは寸法精度が高く、欠陥のないことが必要である。

図5にガラス乾板とストライプパターン欠陥例を示す。同

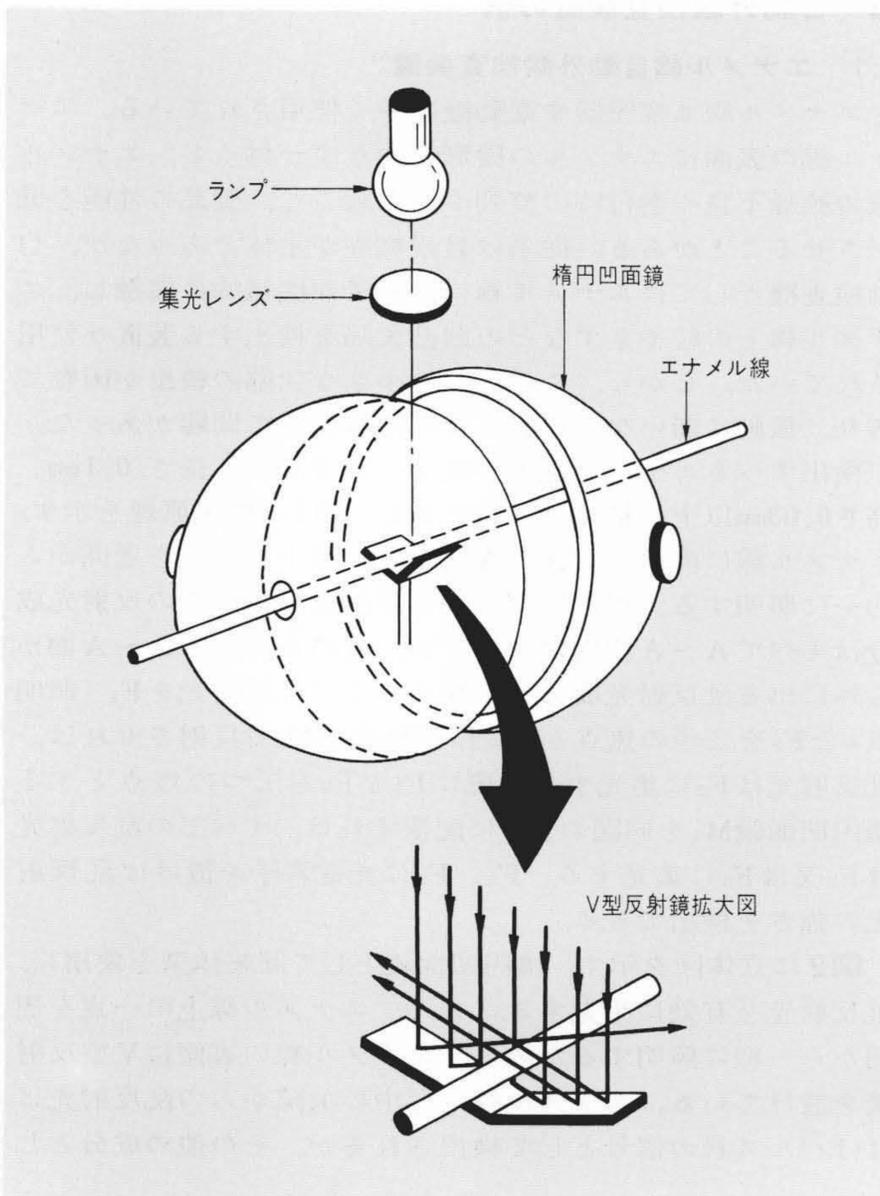


図2 エナメル線欠陥検出器立体図 楕円凹面鏡として回転体型を使用し、エナメル線の裏側にV型反射鏡を設けて周囲から一様照明を行なう。

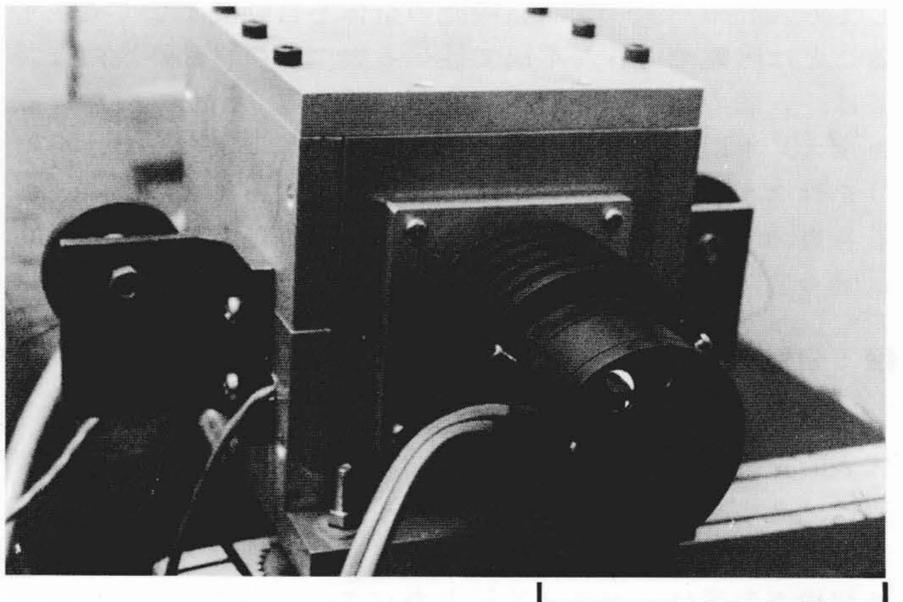


図3 エナメル線自動外観検査装置 エナメル線上の欠陥を、光学的手法を用いて非接触で検出する。

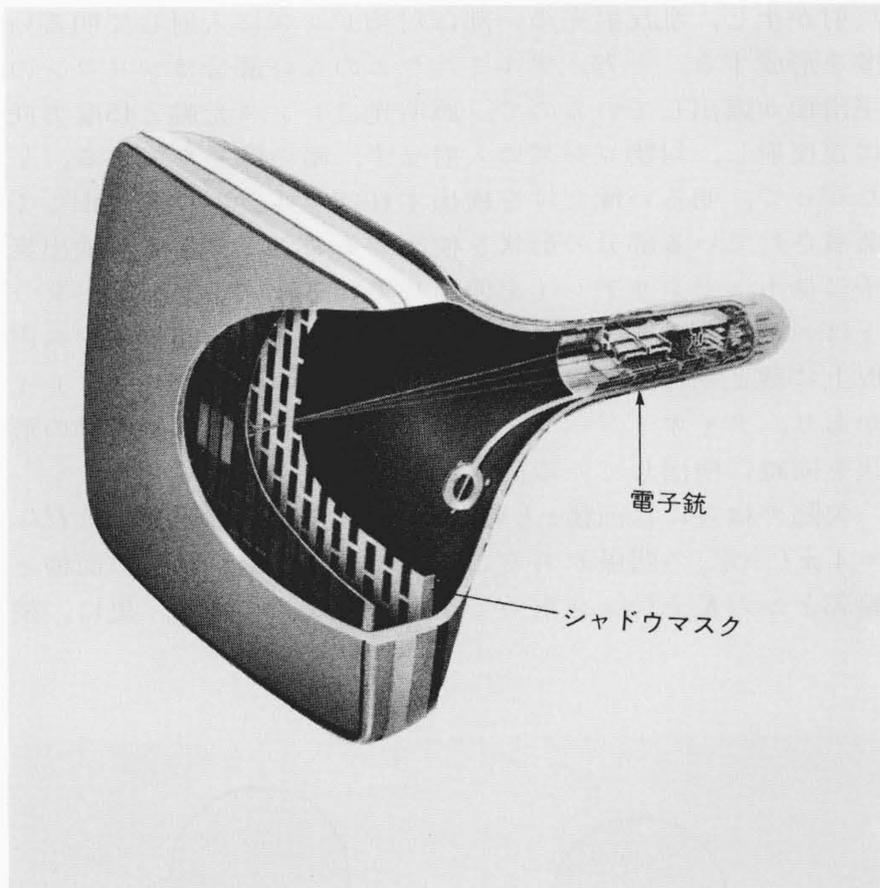


図4 カラーブラウン管の構造 シャドウマスクの製作精度が、カラーブラウン管の色彩及び映像鮮明度を左右する。

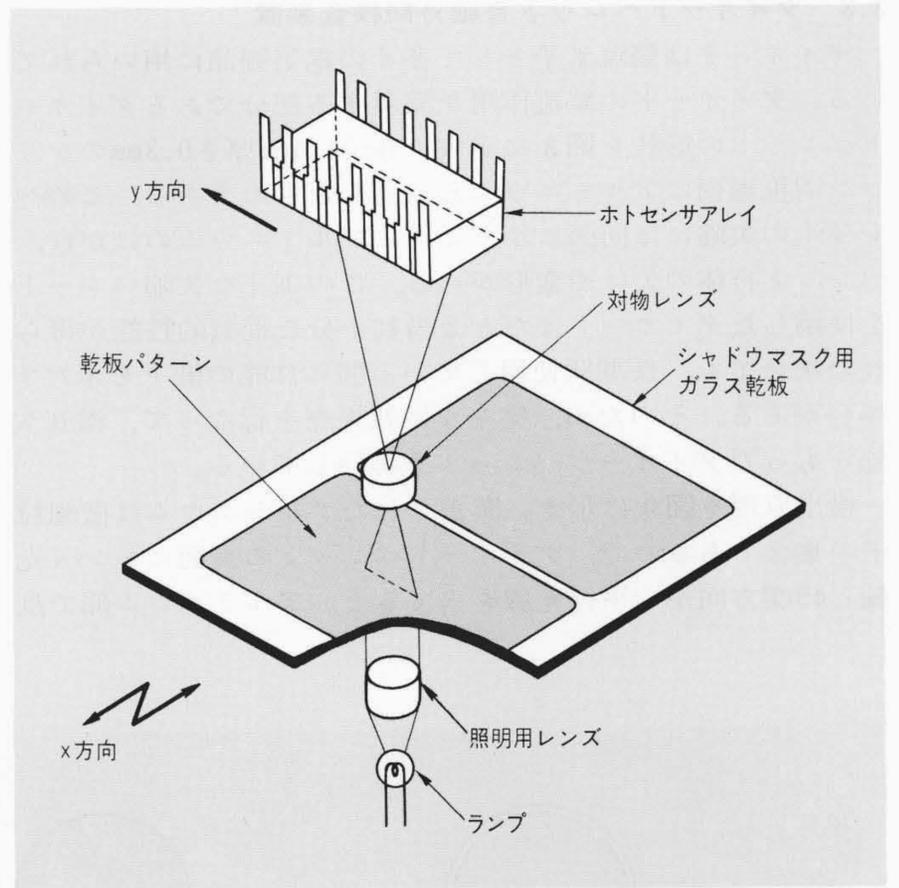


図6 乾板パターン欠陥検出原理 ガラス乾板の裏側から照明して乾板パターンを対物レンズで拡大し、ホットセンサアレイで検出する。ガラス乾板はx方向に往復し、検出系全体はy方向に一定ピッチで間欠的に送られる。

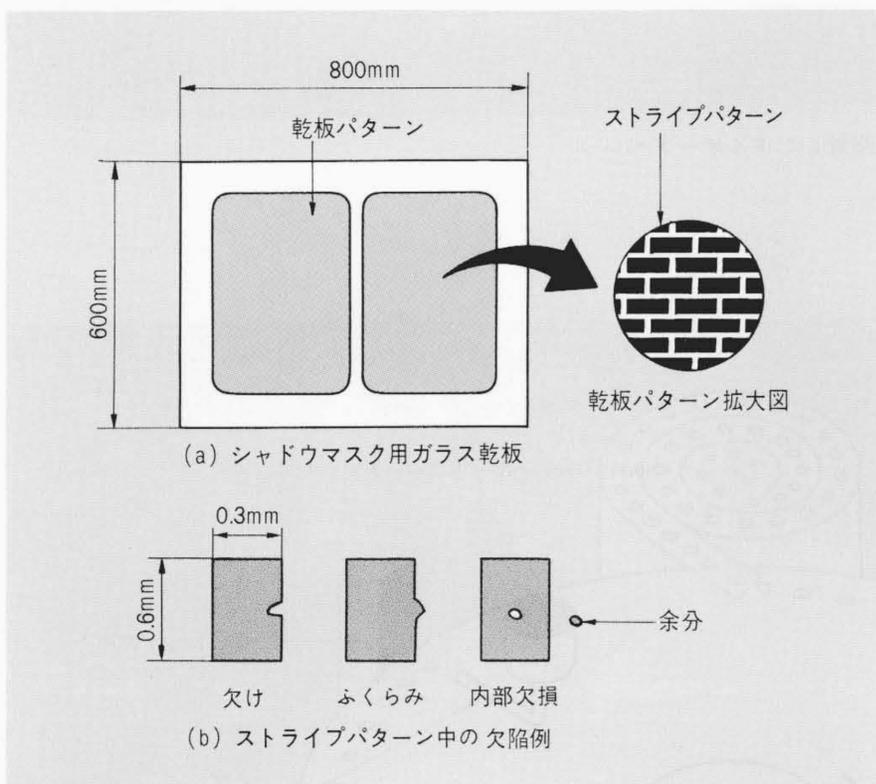


図5 ガラス乾板とストライプパターン欠陥例 シャドウマスクを製作する際のマスクになるガラス乾板である。ストライプパターン中の $10\mu\text{m}$ 以上の欠け、ふくらみが欠陥となる。

図(a)のガラス乾板上には2枚の乾板パターンがあり、2枚のシャドウマスクが同時に露光される。ストライプパターン中の欠陥例を同図(b)に示す。 $10\mu\text{m}$ 以上の欠け、ふくらみ、内部欠損、余分及びストライプパターンの寸法誤差がシャドウマスクの不良につながる可能性があるため、これらをすべて検出し、後に修正する。従来、これらの作業は顕微鏡下の目視により行なっていたが、現在は欠陥検出は自動的に行なっている。

乾板パターン欠陥検出原理を図6に示す。ガラス乾板の裏側から照明して、乾板パターンを対物レンズで拡大する。検

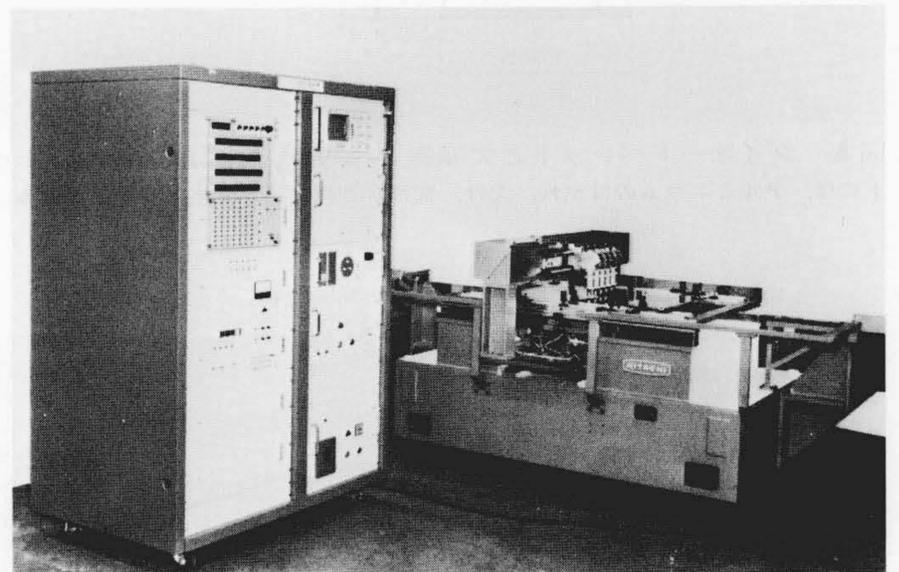


図7 シャドウマスク乾板自動外観検査装置 シャドウマスクを製作する際のマスクになるガラス乾板を自動的に検査する装置で、検出器を5個使用し、1秒間に1,500パターンを検査する。

出素子にはホットセンサアレイを使用している。これは $25\mu\text{m} \times 25\mu\text{m}$ のホットセンサを縦に128個配列してあり、この線上の光の分布を測定する光電変換半導体素子である。ガラス乾板はx方向に往復運動し、ランプ、照明用レンズ、対物レンズ及びホットセンサアレイは一体となってy方向に一定ピッチで間欠的に送られる。これによって乾板パターン全面が検出される。検出されたパターンの検査には次の方法を用いている。

- (1) パターンの幅、長さ及び中心線ずれ量の測定
- (2) $10\mu\text{m}$ 以上の微小部の抽出
- (3) パターン全面欠損の検査

装置の外観を図7に示す。検査速度を上げるため検出器を5ヘッド使用している。1ヘッド当たり 300パターン/s (5ヘッドで $1,500\text{パターン/s}$)の速度でストライプパターンの検査を行なっている。

3.3 ダイオードペレット自動外観検査装置⁷⁾

ダイオードは整流素子として多くの電気製品に用いられている。ダイオードの整流作用を実現する部分であるダイオードペレットの形状を図8に示す。直径1.4mm厚さ0.3mmのシリコン円板両面にアルミニウムを蒸着したものである。このペレットの欠陥には同図に示すようにアルミニウムのはがれ、ペレット自体の欠けや変形がある。このような欠陥ペレットを使用したダイオードはたとえ当初十分な電氣的性能が得られた場合でも、長期間使用している間に性能の低下を来す場合がある。そのため、完全な外観検査を行なって、潜在欠陥をもったダイオードペレットを排除している。

検出原理を図9に示す。蒸着されたアルミニウムは微細粒子の集合であるので、ダイオードペレットの表面にレンズ光軸と45度方向から平行光線を当てると、アルミニウム部で乱

反射が生じ、乱反射光の一部は対物レンズに入射して明るい像を形成する。一方、アルミニウムのない部分はシリコンの平滑面が露出しているため、照明光はレンズ光軸と45度方向に正反射し、対物レンズに入射せず、暗い像を形成する。したがって、明るい像だけを検出すればアルミニウムが正しく蒸着されている部分の形状を検出することができる。検出素子にはホットセンサアレイを使用している。ダイオードペレットはペレットフィーダにより1個ずつ送られ、回転ガラス円板上に落とされる。検出部には上下2個のホットセンサアレイがあり、ダイオードペレット両面のアルミニウム蒸着部の形状を同時に検出している。

欠陥の検査には面積 s と輪郭 l を求め、真円の場合には $l^2/s = 4\pi$ (一定)の関係があることを利用し、ペレットの面積と輪郭とから $K = l^2/s$ を求めて 4π と比較している。更に、検

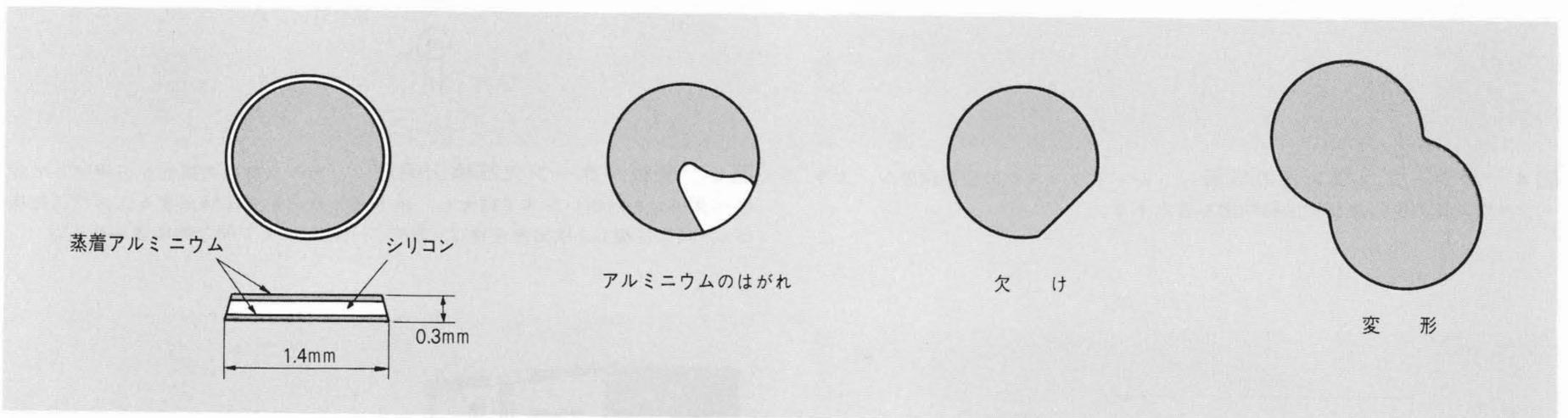


図8 ダイオードペレットと欠陥例 シリコン円板の両面にアルミニウムを蒸着したダイオードペレットには、アルミニウムのはがれ、欠け、変形などの欠陥が発生することがある。

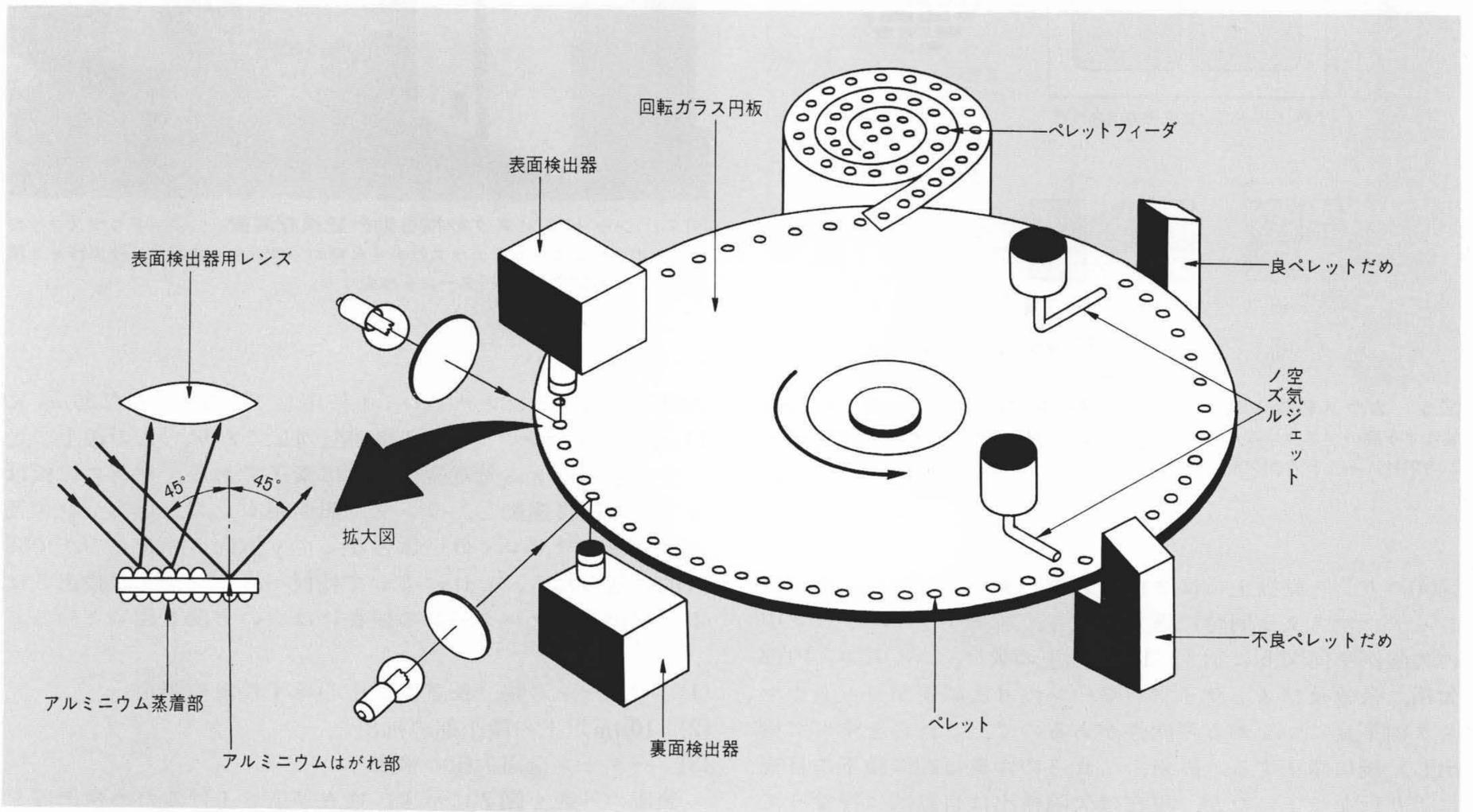


図9 ダイオードペレット欠陥検出原理 45度方向から平行光線を当てると、アルミニウム蒸着部は明るく検出されるので、明るい像を検査する。ダイオードペレットは、ペレットフィーダにより1個ずつ送られ回転ガラス円板上で上下から同時に検査される。

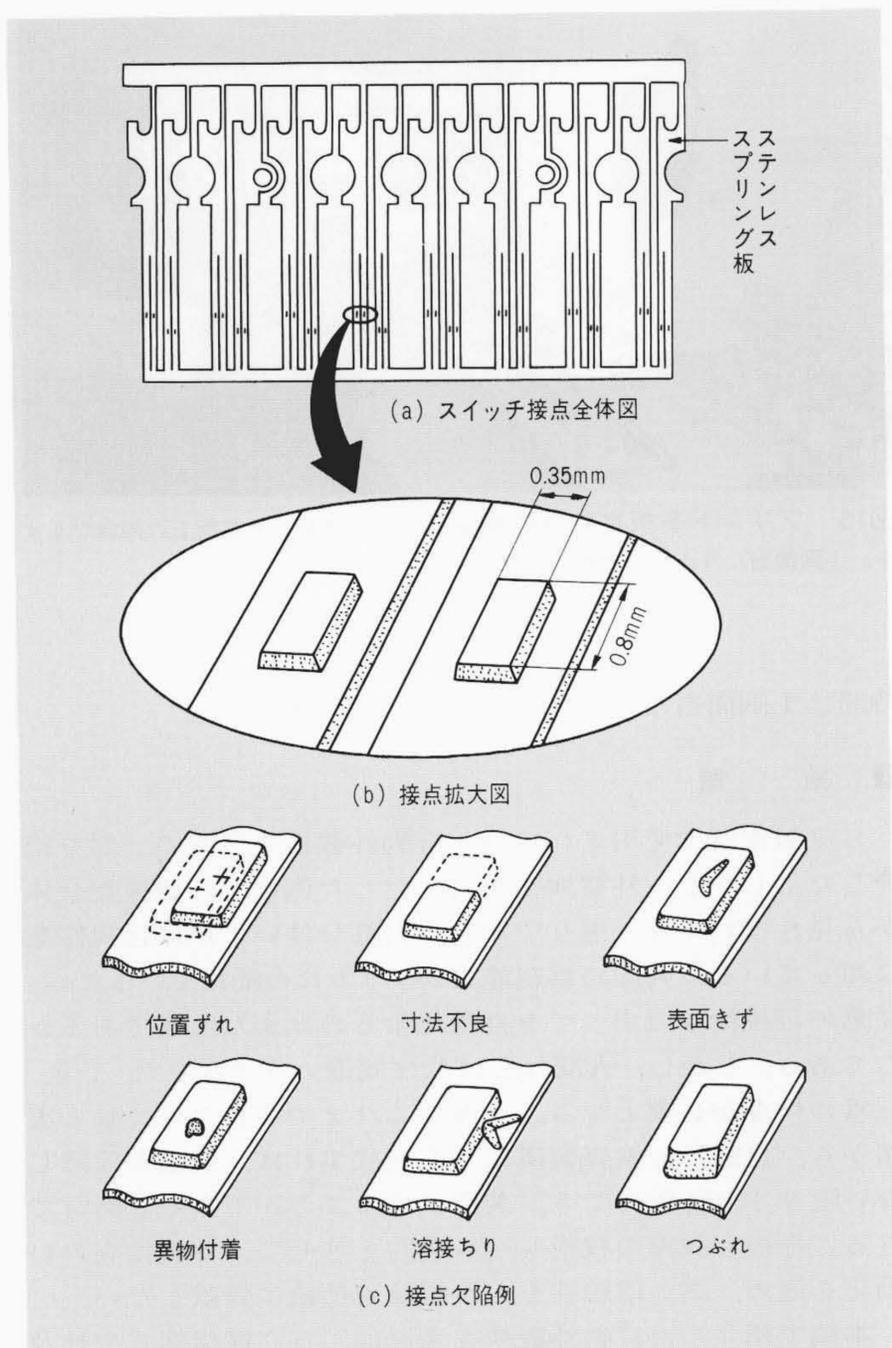


図10 スイッチ接点と欠陥例 電話交換機に使用されるスイッチ接点は、ステンレスのスプリング上に銅接点を溶接したものである。この接点に欠陥が発生することがある。

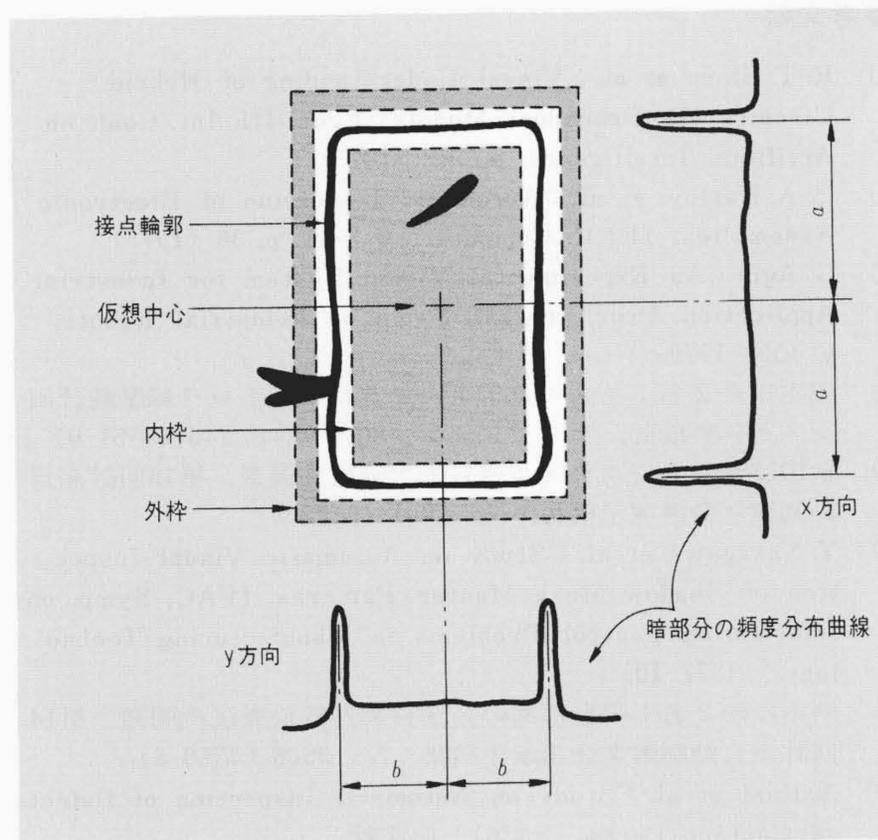


図11 スイッチ接点欠陥検出原理 接点を真上から照明して、真上からテレビジョンカメラで検出すると接点輪郭、きず、異物などは暗く検出される。x, y方向の暗部分の頻度分布曲線から接点仮想中心を求め、これを基準に内枠と外枠を設けこの内部を検査する。

出された像の重心を中心に90度回転し、元の像と重ね合わせて微小なペレットの欠けを検出している。この検査装置は0.1mm以上の欠陥を検出し、10ペレット/sの速度で検査している。

3.4 電話交換機用スイッチ接点自動外観検査装置⁸⁾

電話交換機には図10に示すスイッチ接点を使用されている。あらかじめAu-Pdめっきを施した32個の銅小片を接点として1枚のステンレススプリング板に溶接し、表面をサンドブラストで荒らしている。表面を荒らすのは接点が接触したときの接触抵抗を小さくするためである。接点の寸法は幅0.35mm、長さ0.8mmであり、この表面に同図(c)に示すような欠陥が発生することがある。接点の位置ずれ、寸法不良、表面きず、異物付着、つぶれなどは接点の接触不良につながる可能性があるため厳しく検査され、排除される。溶接ちりはこれ自体では不良にならないが、長期間の使用中にはく離して、接点の接触部に付着したり、他の機械部分に付着するのを防止するため排除される。

検出原理を図11に示す。検出には顕微鏡を使用し、照明ランプで接点の表面を真上から照明して真上から接点の像をテレビジョンカメラで検出する。このとき平坦な部分は明るく検出されるが、接点輪郭、きず、異物、溶接ちりなどの凹凸のある部分は照明光の一部が乱反射して、真上にもどる光の成分が減少するので暗く検出される。テレビジョンカメラで検出された接点輪郭像をx方向とy方向に投影し、暗部分の頻度分布曲線を作り、接点の仮想中心を求める。これを基に内枠と外枠を設け、この中に50μm以上の「暗部」があったときを欠陥としている。同図では内枠中にきずがあり、外枠中に溶接ちりが検出されている。装置の外観を図12に示す。1台のテレビジョンカメラで2個の接点を検出しているの、2台のテレビジョンカメラでは4個の接点を同時に検出できる。スイッチ接点はパルスモータとボールねじで間欠的に送られる。32個の接点の検査時間は、送り時間も含めて6秒である。

3.5 プリント基板自動外観検査装置^{9),10)}

プリント基板は、あらゆる電気製品に使用されている重要な部品である。特にコンピュータ用プリント基板をはじめとして、最近のプリント基板は極度に集積化が進み、目視で欠陥を発見することは容易でない。プリント基板の欠陥の大部分は正常部分に比べて微細なきずから成る。そこで、正常パターンの中から微細パターンだけを抽出することにより、大部分の欠陥を検査することができる。微細きずの認識にはきずを含むかも知れないパターン(入力パターン)から、きずが含まれないとしたらこうなるであろうという準正常パターンを創成し、これと入力パターンとの比較を行なって、相違した部分をきずと認識する方法をとった。

準正常パターンの創成法を図13に示す。(a)のような白と黒の微小部を含む入力パターンの黒の部分に均一に拡大した後、同じ量だけ縮小すると順に(b), (c)のようなパターンを得る。この処理により白の微小部が押しつぶされて消滅する。次に白の部分に均一に拡大した後、同じ量だけ縮小すると順に(d), (e)となり、黒の微小部が押しつぶされて消滅する。(e)が白と黒の微小部を含まない準正常パターンとなる。(a)と(e)を比較することにより微小部パターンの抽出ができる。

プリント基板外観検査装置の構成を図14に示す。パターンの検出にはテレビジョンカメラを使用している。240個×320個の格子状の絵素に分割されたテレビジョン画面の中から7×7絵素の映像を切り出し、微小部抽出を行なっている。7×7絵素の映像切り出し部は順次更新され、テレビジョン全画

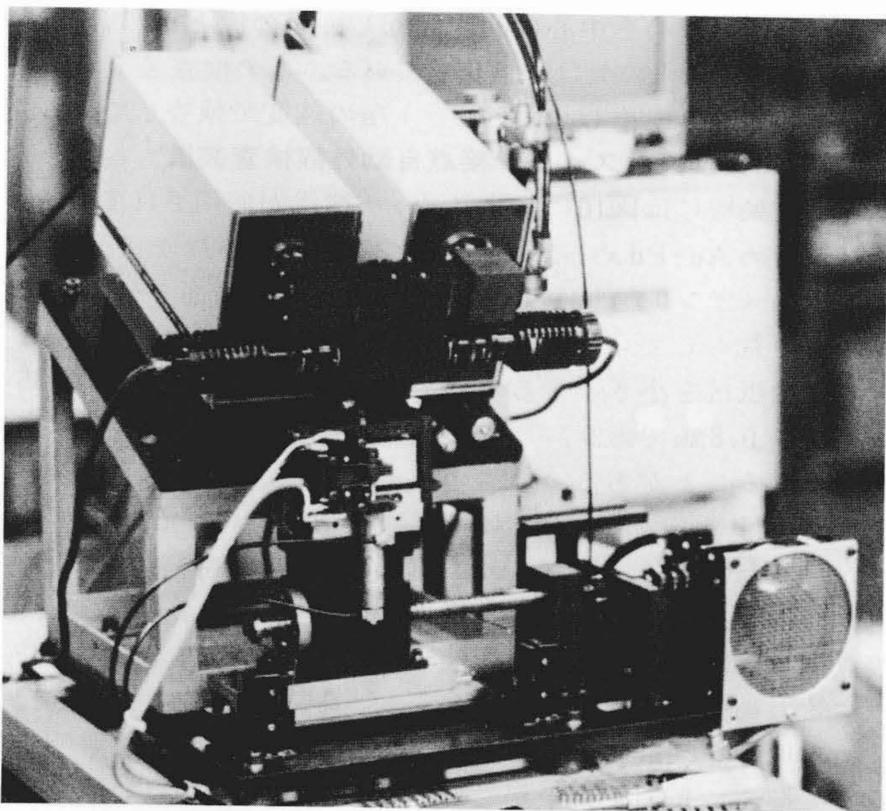


図12 スイッチ接点自動外観検査装置 電話交換機用スイッチ接点の形状、表面きず、異物付着、溶接ちりなどを自動的に検査する装置で、32個の接点を6秒で検査する。

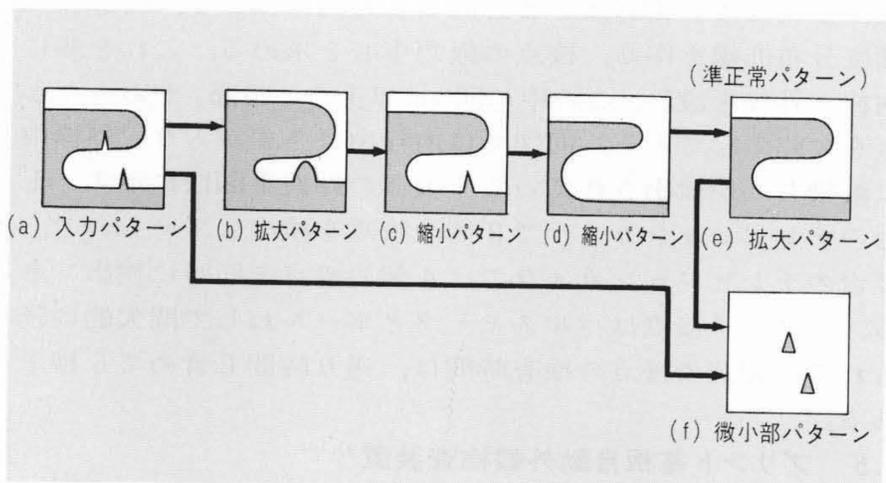


図13 プリント基板欠陥検出原理 入力パターン(a)から、きずが含まれないとしたらこうなるであろうという準正常パターン(e)を創成し、これと入力パターンとの比較を行なって相違した部分(f)をきずと判定する。

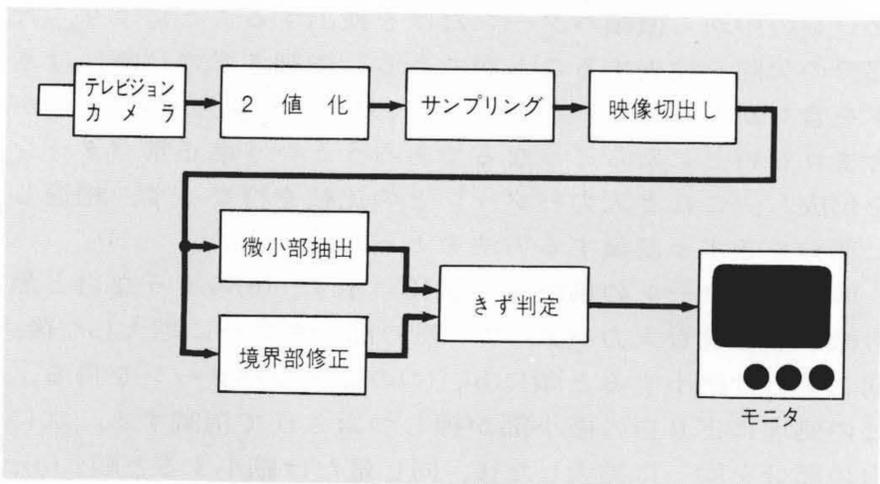


図14 プリント基板自動外観検査装置の構成 テレビジョンカメラで検出した映像信号を用いて微小部抽出を行なうとともに、パターン境界部の微小な凹凸を欠陥と判定しないように境界部修正を行ない、きずを判定する。

面内のパターンにつき微小部抽出を行なう。その際、パターンの境界部に存在する微小な凹凸を欠陥と判定しないように、境界部修正を行なっている。装置の外観を図15に示す。検査

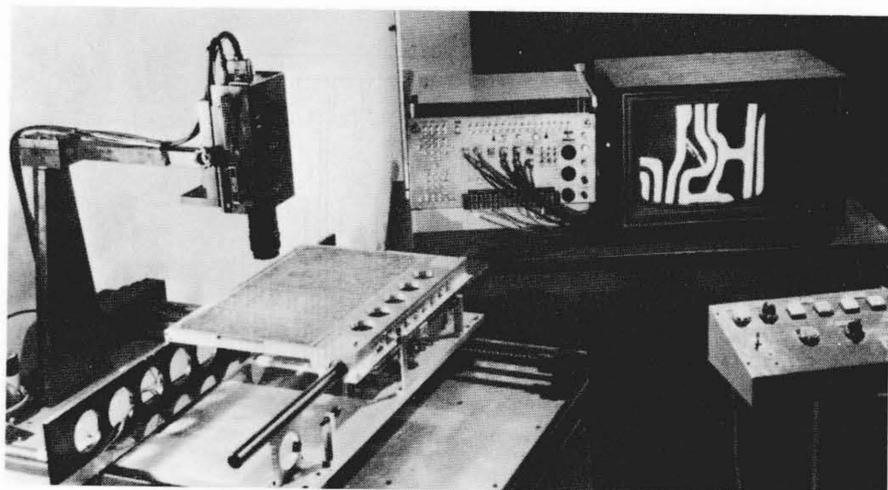


図15 プリント基板自動外観検査装置 プリント基板上の微細なきずを、1画面当たり1/60秒で自動的に検出する。

時間は1画面当たり1/60秒である。

4 結 言

日立製作所で使用されている自動外観検査装置の一部を紹介した。しかし、外観検査を自動化した例は、外観検査全体から見ればわずか一握りであり、大部分はいまだに目視作業に頼っている。人間の目視能力があまりにも優れているため、従来の目視検査のすべてを自動化するのはまだ困難であるからである。しかし、人間はしばしば間違いをするので、二重、三重の検査が必要となる。一方、これまでの我々の経験と実績から、自動外観検査装置は一度完成すれば、装置が故障しない限り100%信頼でき、装置に頼ることができると断言できる。今後も我々の技術レベルを向上させて、外観検査の自動化を進め、高い信頼性をもつ製品の供給に貢献したい。

本稿で紹介した自動外観検査装置は、日立電線株式会社及び日立製作所の関係工場で現在実用中である。研究開発に際しては、これら工場の関係各位の協力を得たことを付記して謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) R. T. Chien et al.: Visual Understanding of Hybrid Circuits via Procedural Models. Proc. 4th Int. Conf. on Artificial Intelligence, p. 742 (1975)
- 2) C. A. Harlow et al.: Automatic Inspection of Electronic Assemblies. IEEE. Computer, 8, 4, p. 36 (1975)
- 3) G. Agin: An Experimental Vision System for Industrial Application. Proc. 5th Int. Symp. on Industrial Robots, p. 135 (1975)
- 4) 堀木ほか2名: イメージディセクタによるトリ線摩耗計測システムの設計. テレビジョン, 30, 9, p. 745 (昭51-9)
- 5) 秋山ほか4名: エナメル線自動欠陥検査装置. 第16回計測自動制御学会講演予稿集, No. 2701 (昭52-8)
- 6) Y. Nakagawa et al.: Study on Automatic Visual Inspection of Shadow-Mask Master Patterns. IFAC, Symp. on Information-Control Problems in Manufacturing Technology. (1977-10)
- 7) 岡本ほか2名: 円形部品的高速自動外観検査法の開発. 第14回計測自動制御学会講演予稿集, No. 3606 (昭50-8)
- 8) A. Kuni et al.: Study on Automatic Inspection of Defects on Contact Parts. 上記6)と同文献
- 9) 目瀬ほか3名: 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, 94-C, 5, p. 89 (昭49-5)
- 10) 烏野ほか2名: 複雑パターンの傷認識. 電気学会論文誌, 95, 3, p. 53 (昭50-3)