

4.2 形状選別技術の概要

4.2.1 測定選別の技術概要

(1) 対象とする形状

本書では形状選別技術を「測定選別」と「機械選別」の二つに大きく分けている。

「測定選別」は物品の形状を個々に測定し、その測定結果に基づいて一品ごとに選別を行う。他方「機械選別」は物品計測を行わずに、形状にかかわるある閾値で機械的に選別する方法である。「測定選別」における物品形状の測定対象は、物品の外形形状に加えて刻印コード、バーコード、文字（手書き、印刷）なども含めることとした。表 4.2.1-1 に代表的コードの一覧を示す。

表 4.2.1-1 選別用コード一覧

No.	コード名	JIS 制定	内容
1	JAN	1978 年	共通商品用バーコード(Japanese Article Number)
2	ITF14, ITF16	1987 年	物流商品用バーコード(Interleaved Two of Five)
3	CODE 39	1987 年	FA 生産コントロール用バーコード
4	コード NE-7	1987 年	ハnadスキャナ用バーコード
5	—	1980 年	POS システム用 OCR 値札コード
6	OCR-A, OCR-B	1976 年	光学的文字認識のための字形（英数字）
7	—	1979 年	光学的文字認識のための手書き文字字形(数字、片仮名)
8	—	1980 年	光学的文字認識のための字形（片仮名）
9	—	1981 年	光学的文字認識のための手書き文字字形（英字、記号）
10	—	1983 年	光学的文字認識のための印字仕様
11	—	1991 年	光学的文字認識のための手書き文字字形(漢字、平仮名)

本節では、物品の外形形状（大きさ、長さ、曲がりなど）や各種コードの形状を測定する形状測定技術に加え、データ処理（画像処理）技術、測定前の供給整列技術、測定後の分配（仕分け）技術の各要素技術について述べる。

(2) 供給整列技術

個々の物品の形状を測定するには、測定に適した状態に整え、測定位置に物品を供給する必要がある。以下に姿勢揃え、整列、異物除去などの前処理技術について具体的例を述べる。

a. 異物除去、ジャミング除去

異物の除去方法としては、厚みによる選別（除去）が一般的に実施されている。具体例としてはスリット式選別がある。これは規定のスリットを通り抜けるかどうかで異物を判断する方法で、郵便物や貨幣の異物除去に用いられる。

ジャミングとは、紙葉が折れ曲がり、取り扱えないようになった状態を指す。このジャミングの防止には、対向配置されたフィードローラとゲートローラで構成されるフリクション方式の繰出し機構が導入されている。両ローラの間隔を紙類 1 枚が通過出来る幅に設定し、フィードローラと紙葉の摩擦係数を、ゲートローラのそれより若干高めとする。ジャミング発生の可能性がある異状紙葉は両ローラ間を通過できずに自動排出される。

b. 姿勢揃え

姿勢揃え装置の代表例として電気部品組立用のパーツフィーダがある。この装置は、部品を搬送する過程で、特殊な機構と動きによってその姿勢を整える装置である。パーツフィーダは、電磁力の吸引力と板バネの反発エネルギーと共振とを利用して、底の中心が高くなったボールの中に乱雑に投入された部品をらせん形のトラックに沿って、上方へ姿勢を揃えて送り出すタイプのものである。

c. 上下、前後方向揃え

魚体の頭尾方向揃え機は、鱗を巧妙に利用した方式である。

上方向へ移動するコンベア上に載せられた頭部上方向きの魚体は、鱗が少し起こされ魚体とコンベア間の摩擦が大きくなって上方に移動する。頭部下方向きの魚体は、下方に滑り落ち反転機構を介して別の上向きコンベアに載せられ上方に移動する。いずれも方向が揃えられた魚体が測定部に供される。これは、鱗のあるいわし、あじやさんまなどに対してのみ有効で、すけそう鱈などには用いられない。

果実のへた方向揃えは、搬送コンベアの上方に果径に相当する間隙を空け、金網のネットを設ける。上向きにへたが配されている場合には、金網のネットとの摩擦が大きく、果実が回転して上下が逆になる。下向きにへたが配されている場合には、金網のネットとの摩擦が小さいので、果実は回転することなく下向きのままで搬送される。このようにしてへたの方向が揃えられる。

d. 整列

薬剤カプセルの整列では、はめ込み整列技術が利用される。医薬品の品質管理は、GMP(Good Manufacturing Practice：医薬品の製造並びに品質管理に関する基準)の基準に従い、クリーンルームにおいてカプセルの全数検査が実施されている。揺動板で薬剤カプセルを揺動させてブリッジを防ぐとともに、整列板で供給ドラムのポケットと同一方向に内側から真空吸引して薬剤カプセルを整列させる。

青果物の整列は、工場の部品などに比べて形状が不規則で困難な課題が多い。きゅうりの自動選別機に採用されている山ばらし法は、ベルトコンベアの速度を段階的に増速し、次第にきゅうりの山を低くする方法である。

(3) 形状測定技術

近年、エレクトロニクス技術の進展につれて光学的計寸技術の発展には目をみはるものがある。以下に光学的計寸技術をはじめとする形状測定技術について、各技術要素を概説する。

a. 受光素子の種類

光学的計寸技術の中核は多様な受光素子にある。受光素子には、表 4.2.1-2 に示すように、受光原理によってさまざまな素子が存在するが、光を電気信号に変換する方式として、大別すると外部光電効果型と内部光電効果型に大別される。

表 4.2.1-2 受光素子の種類

動作原理		受光素子の種類例
外部光電効果型		光電管 (Phototube) 光電子増倍管 (Photomultiplier) イメージ管 (イメージオルシコン等)
内部光電効果型	光導電型	光導電セル 撮像管 (ビジコン等)
	接合型	pn フォトダイオード フォトトランジスタ PSD (Position Sensitive Detector) MOS 型一次元アレイ・二次元アレイ CCD 型一次元アレイ・二次元アレイ PCD (Plasma Coupled Device) アレイ

外部光電効果型とは、入射した光が光電面に当たり光電子が放射されて、この光電子を検出するタイプの受光素子を指す。これには、光電管や光電子増倍管がある。光電管（略称 PT）では、入射した光は、入射窓を透過後、光電面（光電陰極）内の電子を励起し、真空中に電子を放出し、陽極によって取り出される。光電子増倍管（略称 PMT）では、上記二つの素子の間にダイノードと呼ばれる光電子管を内蔵していて、ここでは放出された光電子の加速集束や二次電子放出がなされ、さらに高感度となる。撮像管としてはイメージオルシコンがある。これは、光電面から放射された光電子を対応した位置にあるターゲット面に衝突させて蓄積し、電子銃から照射した電子ビームで面上を走査することにより、画像信号として取り出すタイプの撮像管である。

内部光電効果型は、入射した光が光電面に当たった時、光電子放出はなく、面上の素子の導電率や電荷が変化する現象を検出するタイプの受光素子である。これは、光導電型と接合型に区分される。光導電型は、入射した光を受けて光電面上の導電率が変化し、抵抗が変化するので、これを電流の変化として検出するタイプの受光素子である。その中の一つの光導電セルは、半導体型の受光素子である。半導体中のキャリアの移動を電流の変化としてとらえ、抵抗性電極を付けて取り出す。半導体に接合部を作る必要がないので、PbS、CdS などほとんどの半導体が材料となる。

またビジコンと呼ばれる光導電型撮像管がある。これは光導電作用によって光導電体表面に、入射光に対応した電荷密度パターンが形成、蓄積されるので、これを低速電子ビーム走査により、画像信号電圧としてとり出す仕組みの撮像管である。

接合型とは、入射した光が半導体の p - n 接合部に作用して、入射光量に応じて半導体内部の電子または正孔からなるキャリアの流れが変化することを利用した受光素子である。これには、フォトダイオード、PSD、MOS 型一次元アレイ・二次元アレイ、CCD 型一次元アレイ・二次元アレイ、PCD 型アレイなど数多くのものが含まれる。

接合型受光素子は固体素子であるため、小型で多数の基本要素（セル）を 1 枚の基板に集積する事が可能である。また動作電圧も低く、大量生産により低価格化が可能で、残像がないなどの利点を有しており、最近の光計測の主流をなしている。

p - n 形フォトダイオードは、半導体の p 形電極に負の電圧を、n 形電極に正の電圧（逆

方向バイアス電圧)を印加しておき、この半導体の電子正孔対の発生率と流れが、入射光量に比例して変わる現象を外部電気回路で検出するタイプの受光素子である。

PSD は、Si を材料とする光感应半導体素子であり、これを多数、一次元アレイ状に配置して一次元長さを測定するのに使用されている。

撮像素子としては、MOS 型アレイ、CCD 型アレイや PCD アレイなどがある。

MOS 型一次元アレイは、半導体表面に金属酸化膜を形成し、その上に金属電極を設けた金属・酸化膜・半導体の三層からなる構造の半導体素子を、一次元に並べた受光素子である。ソース側の p - n 接合部で、入射した光の強度に応じた光電変換と電荷の蓄積・放電が行われる。自己走査パルスにより、金属電極にゲート電圧を加えて、各スイッチ MOS 電界効果トランジスタ (MOSFET) を順次導通させ、ソース側電極からドレイン側電極へ金属薄膜表面を通して電流を流す。自己走査パルスは、ビジコンの電子ビーム走査と同じ役目を果たしている。ソース側 p - n 接合部では、自己走査の度に接合部に電荷が充電されるが、入射光に応じて放電されるので、次の走査時には減少した分だけの電荷を充電する。この放電による不足分を電流信号として取り出すことにより画像信号が得られる。

MOS 型受光素子は、容量、抵抗、ダイオードや配線などの基本要素 (セル) から構成されるが、現在計数型集積回路として大量に製作されている MOS トランジスタ製作と同時に作り込まれるので、製作が容易であるという利点がある一方で、形状、特性に制限があるという欠点がある。MOS 型一次元アレイは、ライン状に配置された、数千ゲートを持つ集積回路であり、大規模集積回路 LSI の一つである。

例えば、ラインの長さ方向に2,048個の素子が使用されている場合に、対象物が2 cmの大きさであれば、1 μm の識別が可能になり、かなりの高精度測定が達成される。

CCD とは、Charge Coupled Device の略で、電荷結合素子のことであり、撮像専用半導体素子として開発された。入射した光が素子の感光部に当たると、光の強度に比例した電荷がそのセルのポテンシャル井戸の中に蓄積される。井戸の外部からクロックで、転送電圧を与えポテンシャルの最小位置を順次動かすことで、半導体表面に沿って電荷を転送させる。これは、半導体の内部に信号蓄積機能と走査機能を兼ね備えている機能素子である。

CCD 型一次元アレイでは、感光部に蓄積した情報電荷を転送部に移行させ、その後転送を行わせて、信号として外部に取り出す。転送時間内には、次の情報が感光部に書き込まれる。

PCD は、Plasma Coupled Device の略で、表面弾性波を利用する自己走査型受光素子であり、アレイ状に配置されて利用される。

b. 光源の種類

光源としては、広い幅の波長の光を放出する白色光が一般的に使われていて、その眩しさを避けるために赤外線カットフィルタを使用することがある。また狭い幅の波長の光を減衰することなく放出するレーザ光には、発信する媒体の種類により、半導体レーザや He - Ne ガスレーザがあるが、形状測定用としては、小型軽量で取扱やすいことから前者が多く使われている。レーザ光は波長が揃っていて、指向性が強いいため、バーコードの黒線など、物理的に狭い範囲の物体の形状識別に適しており応用範囲は広い。さらに瞬間的な発光で十分に用が足りる場合には、白色光のストロボ発光光源を利用する。

c. 光学的計測技術

ここでは、主に光利用計測のハードウェアについて述べる。

文字読取装置 OCR (Optical Character Reader) の一つとして、自己走査型 OCR (Optical Character Recognition) イメージスキャナがある。これは文字を固体撮像管に投影して認識する文字読取装置であり、固体撮像方式 CCD フラットベッドイメージスキャナ、ハンディタイプ CCD イメージスキャナとして実用化されている。

さらにビジコンを利用した電子ビーム走査型 OCR スキャナもある。

バーコードは線幅の異なるバーの組合せにより情報を表現し、一般には白・黒のトーンからなる。いずれの方式のバーコードリーダも反射光の強弱でコード幅の広さを光学的に検知し読み取っている。バーコードリーダでは、まずレーザ光走査型バーコードリーダがある。これはレーザのスポット光源でバーコードを走査し、その反射光量を光電子増倍管などの受光素子で検出するコード読取装置である。スポット光の走査は回転鏡により行う。

次にバーコードを自己走査型 CCD/MOS イメージセンサを用いて認識する自己走査型バーコードリーダ読取装置や、バーコードをビジコンで撮像、認識する方式の電子ビーム走査型バーコードリーダ読取装置などがある。またビジコンは、周囲長さや面積などの測定を目的とした二次元計測装置にも利用されている。

光学式マーク読取装置は、マークの桁ごとに照明し、その反射光量を PSD などの一次元アレイで読み取る装置である。0 から 9 までの数字の桁が択一選択されるようにそれぞれの数字に対応した箇所にマークを付するようになっている。

光反射型変位測定器は、光源から物体に照射したスポット光像の移動をフォトダイオードアレイ、MOS または CCD 型一次元アレイなどの固体受光素子で検出するもので、蓄積荷電像を端から順次自己走査し、スタートしてピーク値が検出されるまでの時間から物体の変位量を測定するタイプの測定器である。

光学式変位測定器の一つには、光学格子型デジタルスケール (光電式リニアエンコーダ) があり、インクリメンタル式センサとも呼ばれている。インデックススケール、光源および光電素子が一体となった検出ヘッドと、物体と連動して動くメインスケールから構成されている。インデックススケール、メインスケールにはそれぞれ等間隔の格子があり、両スケールが相対運動をすると、光電素子上に明暗が周期的に現れるが、例えば明期に強く暗期に弱い電気信号として変換されると、その強弱の回数から移動量が測定される。

光ファイバアレイ形状測定器は、各々独立した素線径 $50\mu\text{m}$ 程度の光ファイバを面状に埋め込み、物体の後面から投射した光の影の部分のビット数や各ビットの入・遮光パターンから形状を測定する装置である。

また物体が近接するとスポット光源が遮断されるように配置し、光量の喪失を検出して選別装置を起動させるなどの役目を持つ光学式近接スイッチも形状選別分野では重要な装置であり、光電管や光導電セル方式の受光素子が多く用いられている。

赤外線分光透過型厚み計は、赤外線を有する白熱光を物体の後面から投射し、物体の密度を一定と仮定したキャリブレーションカーブを用いて、赤外線検出器で検出した透過光量から厚みを測定する。対象物の組成、原料が変われば、測定波長およびキャリブレーションカーブを代える。この技術は紙幣の厚み測定などにも利用されている。

カーテンビーム式光学的形状選別機は、垂直高さ方向に配置した複数個の水平方向の光

束カーテンを青果物が通過した時に、対向に配置した光電管で、遮られた光束数を検出し、果高と果径を計測するものである。現在温州みかんなどの階級選別に使用されている。

複合型光学式選別機は、コンベア上部に水平方向に配置した複数個の垂直方向の光束のカーテンを用いるもので、カーテンビームの真ん中の検出器をパルスカウント式として用いてコンベア進行方向の果径を計り、他のビームによりコンベアの幅方向の果径を計って、両者より平均果径を算出し、分級基準と対比して分級する。この方法は十字測定と呼ばれて、現在柑橘類と落葉果樹に使用されている。パルスカウント式とは、バケットに進行方向に平行した矩形の穴を開けて、果実の外周が垂直方向の光束を横切るようにし、この時に発生する影の時間だけパルスを発生してその数を検出することで、進行方向の果径の大きさを計測する方式である。

光学的計寸の応用例を以下に記す。

- ・自動販売機の組立用部品実装工程では、マガジンに付されたバーコードを自動的にバーコードリーダで読み取り、プリント板の実装組立作業を行っている。
- ・遮断機の加工組立用部品選別工程では、ワークのバーコードをバーコードリーダで読み取り、ワークに対応した治具の選別、セット、必要な工具の選別とワークの加工がなされる。
- ・ビジコン型二次元計測装置を利用した回収びんの底部検査や汚れびんの選別検出装置。（びんの底部を水に浸け、下方からストロボ発光で照明し、口部からビジコンで撮像して底部の汚れを判別する。底部の梨地模様や刻印文字を欠陥と見誤らないため水に浸けている。）
- ・電子式貨幣選別機（コインメカ）。ビデオセンサによる外形（貨幣の直径、厚み、穴、ギザの有無）に関する形状選別を行い、材質（磁性の強さ、電気的特性など）選別結果も取り入れて真偽鑑別する。
- ・空きびんの回収後再利用のための光電的外観検査機。並行光線を照射し、びんを回転させながら、欠陥によって散乱する光を楕円鏡で集光し、口部の欠けやひびをフォトダイオードで検出したり、胴体部の欠けやひびの選別のため、びんに拡散板を通して照明し、その透過光に生ずる散乱を検出する。
- ・薬剤空きカプセルのスインスポットなどの重欠陥を光電式反射光センサを用いて、検査選別する。空きカプセルは内部が負圧になったローラに押しつけられて、高速で回転しながら搬送される。ローラ上部の反射光センサをロール回転軸と平行方向に往復動することにより、ローラ上面をヘリカル状に走査して、空きカプセルが検査される。ローラ部を通過した空きカプセルは、透過光センサで長さの検査がなされ、この良否判定結果に基づき、良／不良いずれかの収納部へ空気噴射機構により分配される。

d. 機械的計寸装置

機械式微小変位測定器は、微小変位を機械的にとらえ、出力信号は電気量として取り出す方式の測定器である。これには以下に示す四形式がある。

- 1) 微小変位測定用背圧式空気マイクロメータは、センサ固定で片面非接触式の数百 μm オーダの微小変位を測定する。測定原理は、基準面とノズルを固定し、非接触側のノズルフラップから空気を噴出させて、フラップと対象物体間の隙間の距離に応じてノズル内の空気背圧が変化することを利用したもので、隙間が広ければ空気背圧が低く、

狭ければ高くなる。あらかじめ隙間と空気背圧のキャリブレーションカーブを求めておき、空気背圧測定値から隙間の変位が測定される。

- 2) 微小変位測定用空気流量式空気マイクロメータは、センサ固定で片面非接触式の数百 μm オーダの微小変位測定器である。測定原理は、基準面固定で、一定空気流量を噴出する非接触のターゲットを対象物の上部に一定距離で浮遊させ、対象物の厚みが増せば、ターゲットが下部の基準面から遠く離れる、両者間の距離は基準面側に内蔵したコイルのインダクタンスがターゲット金属の移動により変化することで測定する。
- 3) 差動変圧器式触針微小変位測定器（電気マイクロメータ）は、微小変位の動きを触針の移動により検出し、その移動量を差動変圧器で測定する検出器である。測定レンジは、 $2\ \mu\text{m}$ - 数 mm で、コアの変位が触針の移動と直結している。
電気—空気マイクロメータは、電気マイクロメータ式可動コアの先端に空気マイクロメータの触針を配した、ハイブリッドタイプのマイクロメータである。 mm オーダの変位は電気マイクロメータで、 μm オーダの変位は空気マイクロメータで測定する。
- 4) 静電容量式触針微小変位測定器は、触針の移動による微小変位の動きを静電容量式変位測定器で測定する。

機械式形状測定器を使用した応用例を以下に述べる。

- ・コインメカでは、硬貨の持つ外形、厚みの機械式測定、次いで、外周縁のやや内側の薄くなっている部分の凹み（内周厚さ）の測定、周縁の“ぎざぎざ”の触針式微小変位計による測定、空気マイクロメータによる表面模様の測定や比重測定等が行われている。真偽の鑑別は、形状選別以外の磁気選別、材質選別等も含めて総合的に勘案して行なわれる。
- ・ビルメカでは、外形寸法と厚さの機械式測定、比重測定、反射光量の測定、蛍光量の測定、特定箇所のすかしの測定がおこなわれている。真偽鑑別は、さらに電気抵抗、電気容量測定も加味して総合的に行われる。

e. 電気式磁気式計寸装置

差動トランス型電磁式変位測定器の差動トランスの測定範囲は、 $2\ \mu\text{m} \sim 250\text{mm}$ と広く、広レンジ域の変位測定にも適用可能である。

渦電流型変位測定器は、高周波励磁コイルに近接した導体に変位すると、導体表面に流れる渦電流が変化することをとらえた変位検出器である。測定スパン $1 \sim 5\ \text{mm}$ 程度の対象物に対して適用される。

磁気式近接スイッチは、磁性体に感應する磁気感應素子を利用した非接触式の近接スイッチである。物体の到来を検出し、選別装置を作動させることなどに利用される。

誘電率式厚み計は、対象物質の厚みが変化するとその誘電率が変化することを利用して、紙幣の厚み測定などに利用され、シートの片面から接触測定する。

磁気格子型デジタルスケール（マグネスケール）は、磁性体に $200\ \mu\text{m}$ 程度の微小ピッチで NS 極が正弦波状に規則正しく着磁されたスケールと、この磁束を検出するヘッドから構成される。物体の変位がスケールと直結されているので、スケールを移動させた時の微小ピッチの数を計数して、変位がデジタル的に側定される。

f. その他の不特定手段による計寸

放射線透過型厚み計では、物体を透過した放射線の強度から厚みを測定する。放射線源は周囲条件の変動に対し安定しているので、ノイズの少ない測定がなされる一方、放射線の人体に対する影響を小さくすべく安全には充分留意する必要がある。測定範囲は 100mm までである。放射線反射型厚み計では、物体からの放射線反射量から厚みを測定する。反射量は、測定対象およびこれの保持物体の材質により変化するので、キャリブレーションカーブは、材質変更の都度作成し直す必要がある。超音波パルス式厚み計では、超音波パルスを対象物体内に照射し、パルスの反射伝搬時間から厚みを測定する。測定範囲は、1 ~ 300mm である。