

共選施設にみる選別システムの現状

相良 泰行

一 開発と導入の経緯

青果物を対象とした選別システムの基本的な機能は「人為的に定めた基準に従って、非破壊で全数を検査し、その基準を越える青果物と基準以下のものに仕分ける」ことにある。その選別方法を大別すると、規格の大小基準に相当する重さや大きさに基づいて選別する「階級選別」と品質基準に相当する外観、損傷、味覚等に基づいて選別する「等級選別」に分けられる。

選別の機械化は、まず球形果実を対象として、機械的なふるいを用いて果実のサイズ、すなわち階級により選別する「形状選別機」に始まり、次に果実の重量を機械的秤で計って選別する「機械秤重量選別機」が開発された。この段階で選別包装施設

では、これらの階級選別機のみが用いられ、等級選別は人間の目視による主観的判断に委ねられ、階級選別工程の前後で多大の労力を費やして行われた。次の段階では、重量選別機の計測部にロードセルやフォースコイルを用いる「電子秤重量選別機」が開発され、現在では国内におけるこの方式の普及率は六〇%以上と推定されている。

一方、形状選別には光のカーテンビームを用いて光学的に果実のサイズを計測する方式が導入され、次にモノクロムカメラで撮影した撮像を画像処理して果実の形状を抽出する「画像処理式形状選別機」が開発された。これにより複雑な形状を有するキュウリ等の長物青果物の選別も可能となった。この装置ではキュウリの「長さ」「太さ」「曲がり」「鼻

曲がり」「体積」等の測定が画像処理により計測され、ここに至って等級選別要因の一部が機械的に判別可能となり、等階級同時選別への道が開かれた。さらに、撮像センサーをカラーカメラに変えることにより、

果実表面色の着色度・傷等の詳細な外観に関する等級判別情報と階級判別要因とを総合的に解析、判定して選別する機能を持つ「カラーグレーダー」が開発され、おもに落葉果実の選別ラインに導入されてきた。等級選別要因のなかでも、青果物内部の品質を判別する自動計測技術の出現は、選別機の開発当初からの

長年の夢であったが、現在では「内部構造」に関してスイカの打音、密度計測による判別が可能となり、また、近赤外線反射スペクトル分析による「糖度・酸度センサー」「熟

度センサー」が開発され、選別ラインへ実装されるに至っている。現在では、対象青果物の「重量」「形状」「外観」「内部品質」等の判別要因を品目の特性と重要度に応じて選択し、それらの判別要因を自由に組合わせて自動的かつ総合的に判断するインテリジェント選別システムを構築し、等階級の同時選別を行う方式が可能となっている。

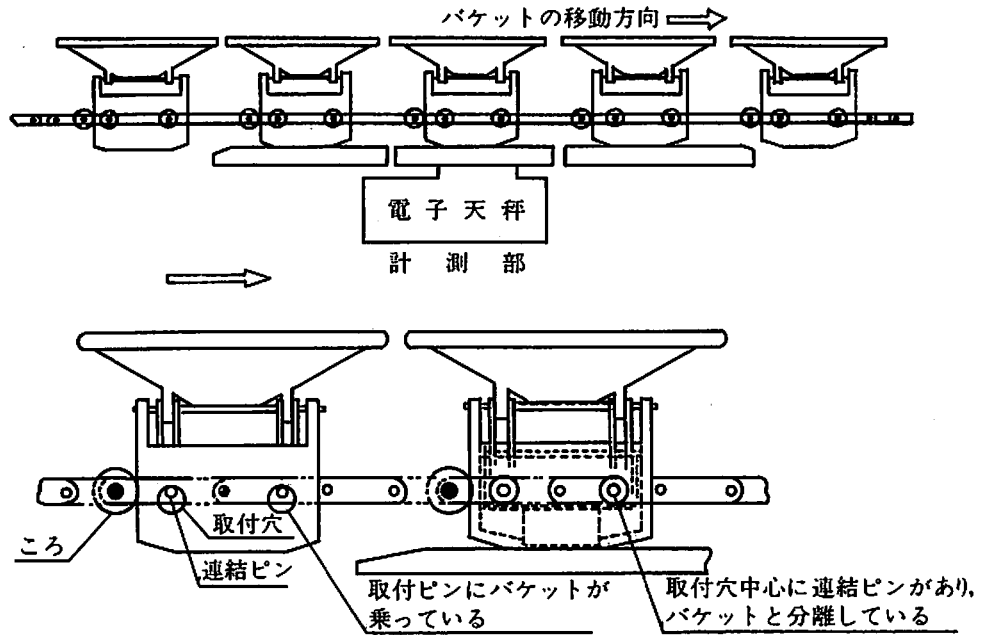
ここでは、選別能力、精度、汎用性の面からみて信頼性が高く、技術的にも確立されたと考えられている選別機を取り上げて、おもにその計測法を概説する。

二 電子秤重量選別機

この選別機はリンゴ・ナシ・モモ・カキなどの落葉果樹、ピーマン・トマト等の果菜、ジャガイモなどの選別に広く利用されている。

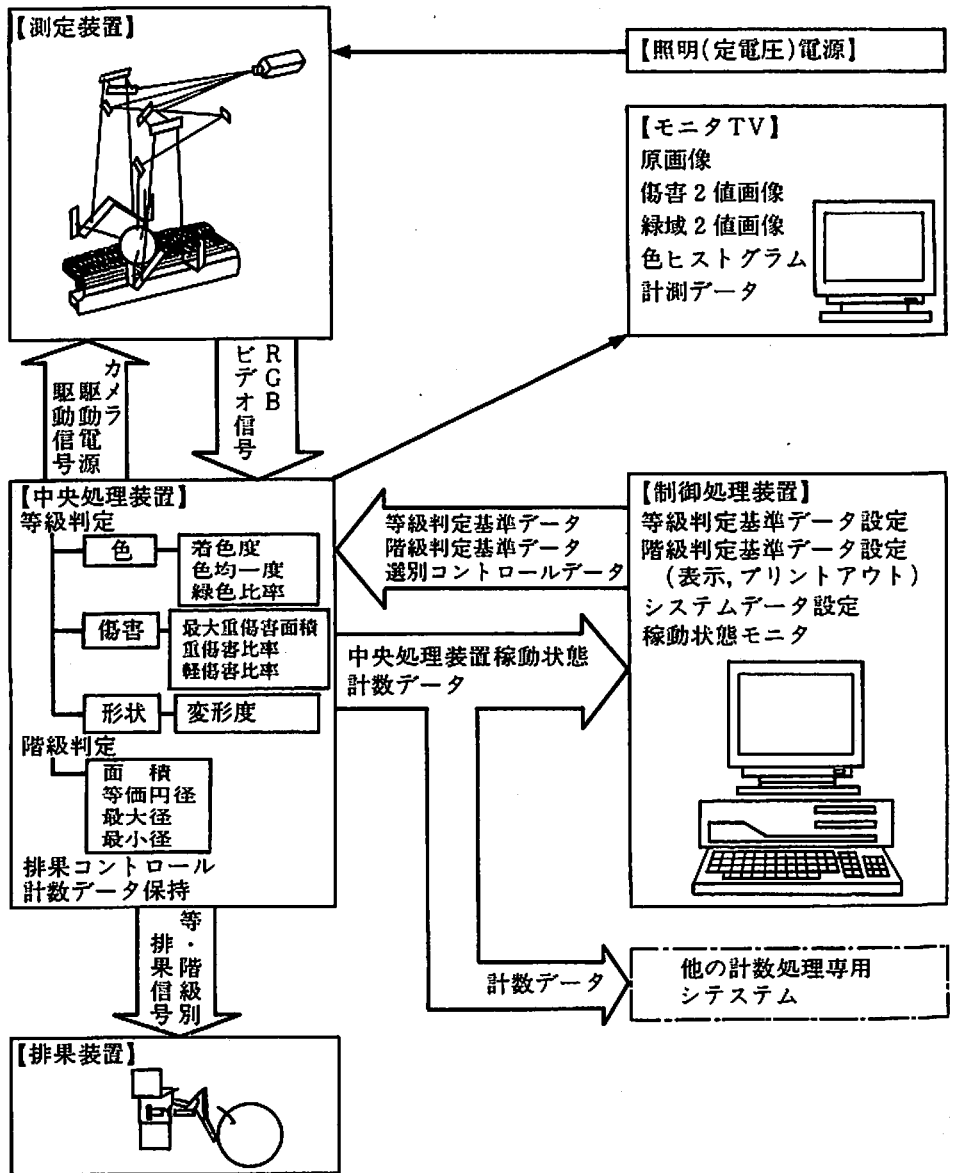
図1に示すように、この方式ではフォースコイルやロードセル等の重量センサーを内蔵した電子秤をライソンの一カ所に設置して計測部とし、電子秤の秤量台上に均一な重量のパケットを滑走させて青果物の個体重量を瞬時に計測し、電子式コンパレ

図1 電子秤重量選別機の計測方法(前田, 1991)



ーターにより階級を判定する方式をとっている。すなわちバケットは図1下図の左側に示すように、二条のチェーン間に装着された二本の連結ピンに支持された状態で青果物を搬送している。このバケットが計測部に至ると、振動防止のために秤量台

図2 カラーグレーダの画像計測制御システム(前田, 1991)



前部に設けた案内レールによりわずかに持ち上げられて連結ピンと切り放され、チェーンにとりつけられたコロに押されて秤量台上を滑走し、最適測定点で重量の計測が行われる。バケットの最大選別速度は毎時一〇、〇〇〇個程度で、この時二〇

三 カラーグレーダー

〇g程度の青果物を選別して±1g程度の精度が得られている。図2にRGBカラーカメラをセンサーとする「カラーグレーダー」の計測システムを概念図として示す。

整列供給装置によって計測部に供給された果実の表面をハログランプ等で均一に照明し、高分解能のカラーカメラにより果実表面の画像を検算装置に送られ、等級の判定要因として表面色(着色度、均一性、緑色比

図3 スイカの打音センシング方式

スイカの大きさに対応して赤道部まで下降する

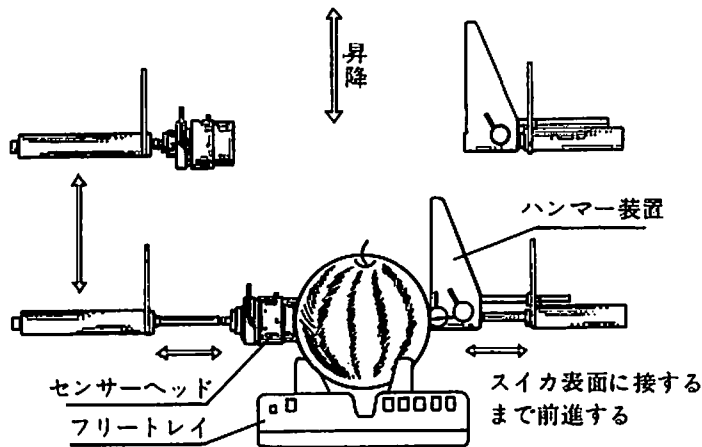


図4 スイカの打音波形

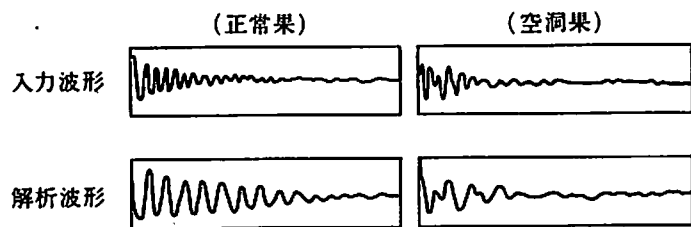
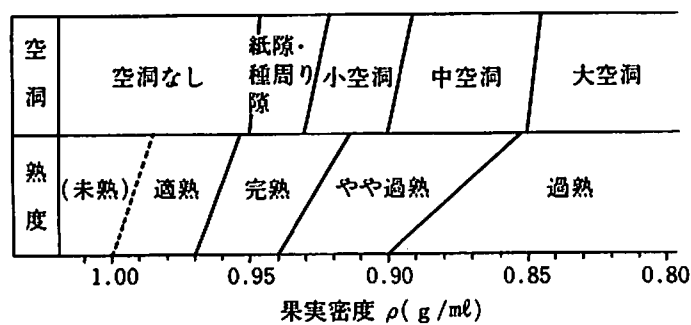


図5 スイカの果実密度と空洞・熟度との関係



(開花後40~50日を経過して収穫されたスイカ)

率)、障害(最大重障害面積、重障害比率、軽障害比率)、形状(変形度)に関する情報に加工される。また、階級の判定要因として表面積、等価円径、最大および最小径などが計算される。これらの情報は制御処理装置から送られる等階級判定基準データと比較され、最終的に等階級が判定される。判定結果は等階級別排果信号として排果装置に送られ、その排装置の計数データは制御処理装置や他の計数処理専用システムに送ら

れ、精算事務処理等に利用される。四 打音による空洞果選別機 図3に打音によるスイカ空洞果のセンシング方式を示す。判別の原理はハンマーにより発生させた打音を赤道上で一定の経度間隔を持たせて配置した複数個のセンサーで検知し、最初の到達波間の位相差または複雑なビート状の波形(図4)が検出されれば、これを空洞果と判定する方法に基づいている。なお、スイカの搬送にはフリートレイを、階級

選別には画像処理選果機を採用している。五 電子密度空洞果選別装置 一般に果実の密度は成熟にともなうて変化することが知られている。そこで、適熟正常果の密度範囲を選び、これを基準として選別を行えば空洞果等の異常果を判別して、除くことが可能となる。図5にスイカの収穫適期とされている開花後約四〇日から五〇日を経過して収穫された果実の密度と空洞の大きさ、切断面

六 糖度・熟度センサー カラーグレーダーの計測部に糖度・熟度センサー等を設ける方式が実用に供されるようになってきた。この原理は、果実の近赤外線吸収スペクトルもしくはこれの二次微分スペクトルの中から、果実の糖度とともにも相関の高い波長を選び、その波長の吸光度と糖度の検量線を利用して果実の糖度を予測する方法、す

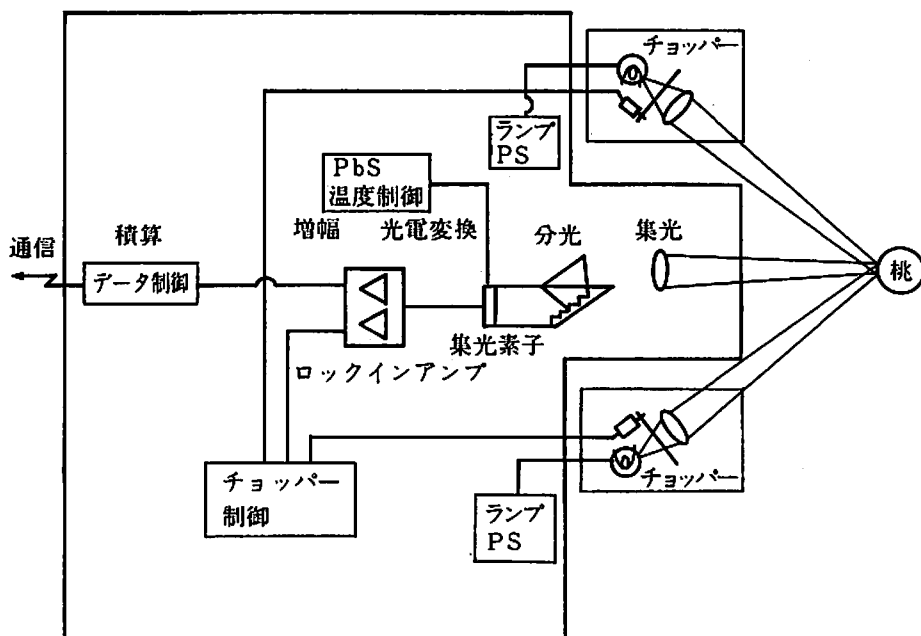
の果肉の状態および果肉や種子の着色度合い等から総合的に判断された熟度との関係を示す。空洞は密度がほぼ0.93g/ml以下になるにつれてしだいに大きくなり、0.85g/ml以下では大空洞となる。これの測定法として、果実の重量を電子秤で、体積を微小静電容量計で測定し、密度を求める計測システムが開発された。実用装置の外部電極は八角筒状のトンネルとなっており、このトンネル内を連続的に移動するスイカの下部に導電性ゴム製の吸盤を押し当てて通電し、スイカと外部電極および移動式間仕切り電極間の静電容量を測定して体積を求める機構となっている。

なわち「近赤外分光分析法」に基づいている。図6に計測原理を説明する

ためのブロックダイヤグラムを示す。まず、コンベア上の果実に光を照射して果実表面からの反射光をレンズで集光し、これを分光器にかけて所望の波長の近赤外線のみをとりだす。次に受光素子で電気信号に変換し、それぞれの波長の反射強度を求め、最後に別途実験から求めた数理モデルを用いて果実の糖度を算出する。たとえば、図7に示されるように、光糖度センサーと屈折糖度計の実測値には高い相関が示され、光センサーは実用的な範囲で高い精度を有している。

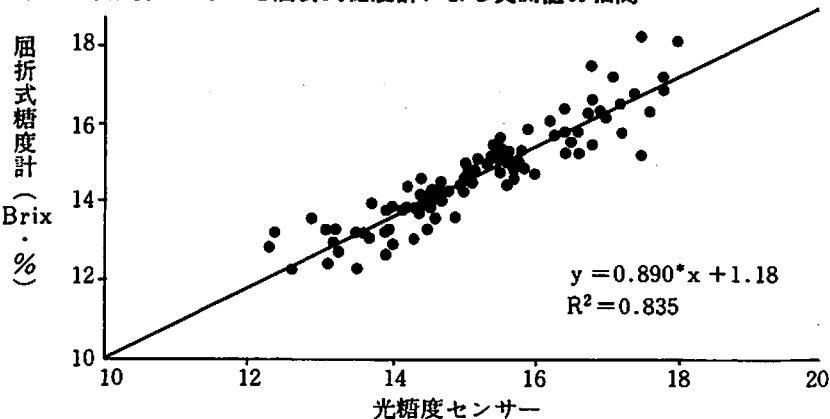
現在、糖酸度センサーと同様に「熱度センサー」が開発の途上にあ

図6 糖度センサーの計測ブロックダイヤグラム



り、一部の施設で導入され始めています。しかし、このセンサーの実態はかならずしも明らかにされていないが、大部分の装置では、果実の熱度を表す物理的指標として果皮色、表皮のクロロフィル含量および果実の硬度を、電磁波の吸収度と関連させて検出し、これらを組合わせて一つ

図7 光糖度センサーと屈折式糖度計による実測値の相関



の熱度指標としている。計測システムは図6に示した糖度センサーの場合と基本的に同様である。

七 周辺技術の現状と展望

これらの選別システムの出現は選別ラインの工程編成、機械設備・配置・精算方式・施設運営等にも影響を及ぼしている。たとえば、カラーグレーダーや糖度、熱度センサーを

装備した選別ラインでは人力による等級選別作業の内容が簡略化もしくは補助作業的なものとなり、投入工程で等級選別を行う「エリア方式」が採用され、選果機条数と等級選別人数の大幅な削減が達成されている。

また、果実の搬送に「フリートレイ」を用いる方式が導入されている。この方式は、選果包装工程間の落差衝撃による果実の傷つきをほぼ完全になくし、また、パークードによる等級仕分け等青果物の集荷から出荷、精算に至るコンピュータ管理を実現させ、さらに吸引式による自動箱詰装置の導入等を可能にしている。

一方、青果物を対象にして開発されてきた選別技術は、カーネーション等の花き選別、食品の味覚・嗜好の計測・評価・選別にも応用されていくものと予測されている。このような選別システムの急速な技術革新が進むことによって、施設運営の面でも、高度にメカトロニクス化された選別システムにマッチした、合理的な運営方式への変革が続けられている現状にある。

(東京大学農学部農業工学科)