

写真4 レタスの自動供給機能付き包装機

### おわりに

ここに紹介した機器は、一部新しい技術もあるが殆どが従来のものであり、この他にも多くの機器が利用されている。特に、野菜や果物は地域特産的なものが多いため、その地域での作業や出荷形態に合った機器を、産地独自で工夫して利用していることがある。また、最近の選別・調製等の機械（装置）の新技术は、青果物の内部欠陥や糖

度・酸度の品質評価技術の分野で多くみられるものの、調製・選別・包装作業を省力化する機械の開発は、今ひとつ遅れている。ハウレンソウを例にみると、下葉取り機や結束包装機が一部あるが、収穫以降の労働時間は全体の6割にもなる。これらの作業は繊細な作業が多く、しかも作業のできればが直接商品の価格に影響するとあって、なかなか機械化が進まない。さらに、機械を開発するメーカー側でも、野菜用の機械はそれぞれの野菜毎の専用機にならざるを得なく、販売台数も米用の機械のよう多くを見込めないため、積極的な開発がなされていないのが現状である。

しかし、生産現場では、労働者の高齢化や後継者不足等による労働力不足は年々深刻さを増し、従来の手作業による生産体系では、生産基盤の弱体化は避けられない状況にある。こうした現状からも今後、機械化がより重要な課題であり、小量多品目の青果物用機械にも目を向けて、メーカーや県・国等の機関を含めた積極的な機械開発の取り組みが望まれる。

## III 青果物選別システムの開発動向

### Recent Developments of Sorting and Grading Systems for Fresh Fruits and Vegetables

相良 泰行\*  
Yasuyuki SAGARA\*

#### 1. 共選施設の技術レベル

青果物共同選別包装施設（共選施設）の機能は、産地において生産者から集荷した青果物を一定の規格・基準に従って選別・格付け・包装し、商品としての荷姿に整えて流通の場に乗せる役割を果たすことにある。このような施設は、その導入の当初、生産農家の出荷労力を軽減することが主な目的であったが、現在ではさらに産地における農産物流通・販売の戦略拠点としての多様な機能を果たすようになってきた。このため、新施設

の建設や旧施設の更新に当たっては、地域農産物の一元集出荷を目的とする複合共選施設が計画され、その規模は益々巨大化する傾向にある。また、これらの施設内に設置される機械設備も高度にメカトロニクス化された選別包装システムとなり、その技術レベルはある面で選別機の先進国である米国を追い越し、世界的な工業技術レベルからみても農業分野で開発された画期的な技術として高く評価されるに至っている。

#### 2. 選別システムの開発の経緯<sup>3)</sup>

選別の機械化は、先ず球形果実を対象として、機械的な篩いを用いて果実のサイズにより選別す

\* 東京大学大学院 農学生命科学研究科・助教授(〒113 東京都文京区弥生1-1-1)

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「重量選別機」が開発された。この段階で共選施設では、これらの階級選別機のみが用いられ、等級選別は人間の「視覚」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」が開発された。この装置は技術的に信頼性が高く、広く普及した装置となっている。

一方、形状選別には光線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、次にモノクロー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・傷等に関する詳細な外観の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」が開発され、主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、電磁波、特に近赤外線の反射または透過スペクトル分析による「糖度・酸度・熟度センサ」が開発され、選別ラインへ実装されるに至っている。これら内部品質の測定システムについては、一部に性能に関する客観的評価に疑問は残るものの、選別システム全体としては世界的なレベルからみても、画期的な技術として注目を集めている。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み合わせて自動的かつ総合的に判別する選別システム、すなわち「インテリジェント選別システム」の利用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階級選別機の代表として「電子秤重量選別機」を、また、最新の選別システムとして注目を集めている「画像処理選別システム」と「カラーグレーダ」、さらに内部品質計測システムとして「打音による空洞果選別機」、「電子密度空洞果選別機」および「糖度・酸度・熟度センサ」を取り上げて、主にこれらのシステムの開発の経緯や動向を計測技術の観点から概説すると共に、「箱詰ロボット」や「等階級ダイナミック割付方式」など、周辺技術の開発動向についても述べる。

### 3. 電子秤重量選別機<sup>1)</sup>

重量選別機はリンゴ、ナシ、モモ、カキなどの落葉果実、ピーマン、トマト等の果菜、パレISHOなどの選別に広く利用されている。計測方法の原理は青果物個体の重量と分銅やバネ張力とを機械的に連続比較する方式から、フォースコイルやロードセル等の重量センサを計測の心臓部として用いる、いわゆる電子秤重量選別機に主流が移ってきた。図1<sup>6)</sup>に示すように、この方式では

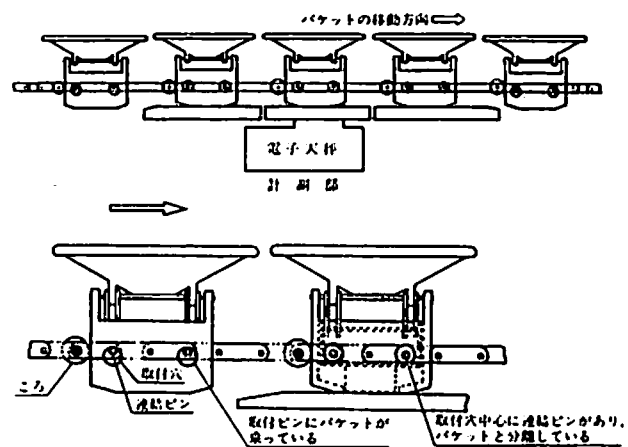


図1 電子秤重量選別機の計測方法(前田, 1991)<sup>7)</sup>

電子秤を選別ラインの一箇所に設置して計測部とし、電子式天秤の秤量台上にバケットを滑走させて重量を瞬時に計測し、電子式コンパレータにより階級を判定する方式を採っている。すなわちバケットは図1の下図左側に示すように、2条のチェーン間に装着された2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、チェーンに取り付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。計測時のバケツはチェーンの拘束から開放され、コロとバケツ側面の一点のみで接触する状態となる。このため搬送チェーンの重量計測精度への影響を極力避けることが可能となり、測定精度に格段の進歩がもたらされた。最大選別速度は果実の球数換算で毎時10,000個程度で、この時200g程度の青果物を選別して±0.5g程度の精度が容易に得られている。

#### 4. 画像処理選別システム

##### (1) モノクローム選別システム<sup>2)5)</sup>

1986年にキュウリを対象にした白黒CCDカメラによる画像処理選別機が実用化され、等階級同時選別方式の先駆けとなった。図2に我が国で初めて学会で発表された画像処理選別機の構成図を示す<sup>5)</sup>。現在利用されている装置もハード面では基本的にこの構成と変わらないが、ソフトウェアの面では対象青果物の種類によって等階級判別要因が異なるため、これに対応する各種の解析アルゴリズムが開発されている。

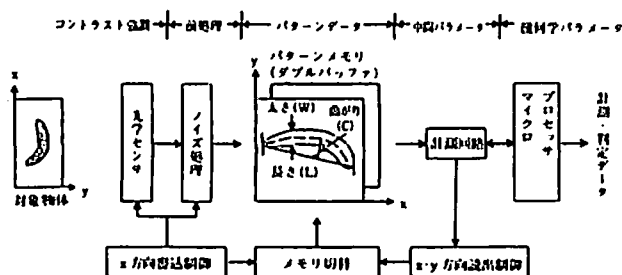


図2 画像処理選別機の計測・制御システム<sup>5)</sup>

図中の光学センサとして用いられるカメラは撮像素子の材料と構造によって撮像管型と固体撮像型に分類されるが、現在ではリニア型CCD固体撮像素子を内蔵したカメラが多く用いられている。搬送コンベヤ上のキュウリは白熱電球等で均一に照明され、背景（コンベヤ）から抽出したキュウリの2値画像データは画像位置の調整、画像強調、孤立ノイズ除去等の前処理の後、パターンメモリに2次元配列で書き込まれる。パターンメモリは複数用いられ、データの書き込みと呼び

出しが計測回路からのメモリ切り替え信号により制御される。計測回路はマイクロプロセッサのコマンドを解釈し、パターンメモリを走査して画像外縁の座標を求めて中間パラメータとし、これをマイクロプロセッサに送る。さらに、計測システム各部の動作も制御する。マイクロプロセッサでは中間パラメータを解析することにより、等階級判定データを算出し、このデータは果実排出機構の駆動や精算事務に利用される。現在のところ、画像処理選別機の1時間当たり果実処理速度は約1万個であり、これは電子秤重量選別機の処理能力に相当する。

キュウリの階級は長さで判別され、等級は他の5つのパラメータで決められる。その解析アルゴリズムの一例を図3に示した<sup>6)</sup>。実際の等級判定は、まず、長さにより階級を決定し、次に、それぞれの階級毎に設定した等級判定基準値と実測されたパラメータの値とを比較することにより「秀」、「優」、「良」の等級判定が行われる。その方法として、例えば、5つのパラメータ全てが秀と判定された物だけが最終的に「秀」と判定され、また、4つのパラメータが秀と判定されても、残り一つのパラメータが良と判定されれば、最終判定結果を「良」と判定する、いわゆる論理演算法でAND方式と呼ばれる方法等が用いられている。

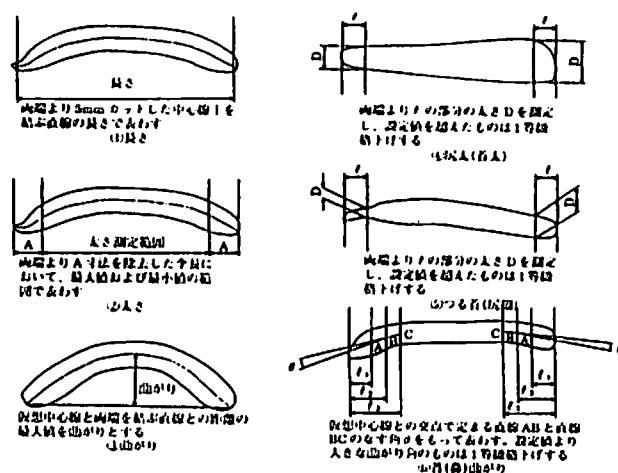


図3 キュウリの選別アルゴリズム<sup>6)</sup>

##### (2) カラーグレーダ<sup>7)8)</sup>

近年、白黒カメラの代わりにR.G.B.カラーカメラを光センサとして用い、青果物の形状に関

する情報に表面色の情報を加味して画像処理を行い、等階級同時判別を行う「カラーグレーダ」が開発され、リンゴ、モモ、トマト等の共選施設に導入されてきた。その計測処理部の概念図を図4に示す<sup>7)</sup>。

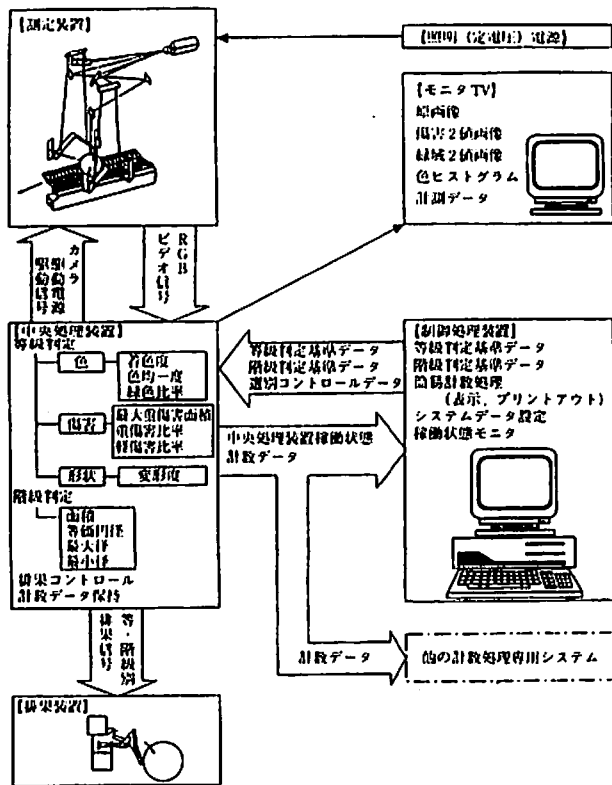


図4 カラーグレーダの計測システム<sup>8)</sup>

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均一に照明し、数枚の反射ミラーと1台の新しく開発された「高分解能R.G.B.リニアイメージセンサカラーカメラ」を組み合わせることにより、果実表面のカラー画像を検出する。この装置の開発の段階では、果実表面の全表面情報を画像として検出するために、複数のカメラを多方向に設置したり、果実を回転させて機械的スキャンを行うなど色々な工夫が試みられた。実用的には図5の例に示されるように、カメラの直接撮像による果実上面画像と2枚のミラーによる2つの側面画像の合計3画像を画像処理に供する簡略化された方式が採用されている。最も単純な方式では、ミラーを設けず、移動している果実上面のみを撮像し、大きさと着色を判別している。また、最近、果実をコンベア上で回転させ、複数個の果実の全表面を撮像する方式も導入され始めてい

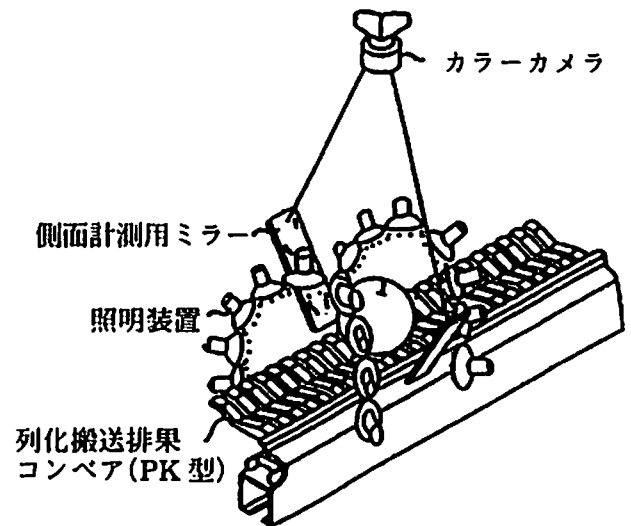


図5 実用カラーグレーダの計測部<sup>8)</sup>

る。

カメラの出力信号は中央演算装置に送られ、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。これらの等級判定要因のパラメータは全ての撮像画について1画素毎に色値を求め、色値とその画素数から作成したヒストグラムに基づいて計算される。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、その排出ソレノイドを駆動する。中央処理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。

### 5. 内部構造判定システム

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、果実の打音・密度・軟X線画像等の計測により、判別が可能となっている。ここでは、打音および密度の計測による空洞果選別システムについて以下に概説する。

#### (1) 打音による空洞果判別システム<sup>3)</sup>

図6に打音によるスイカの空洞果センシング方式を示す。判別の原理はハンマによって発生させ

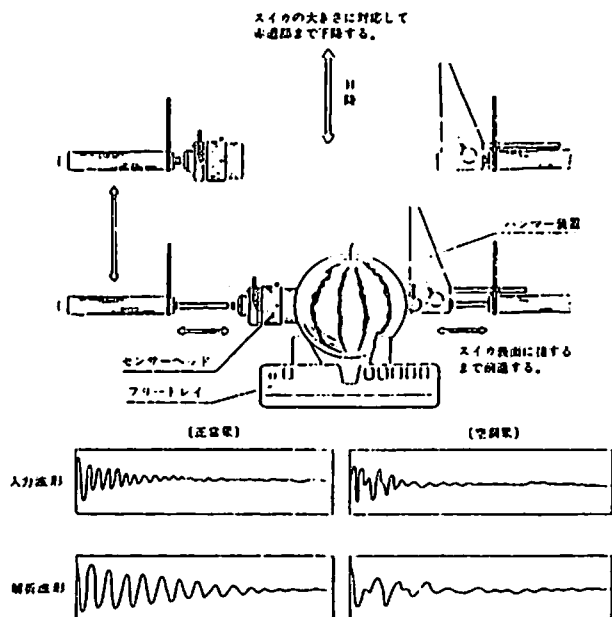


図6 スイカの打音センシング方式(上)と検出波形(下)

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。この方式の実用化は高速フーリエ変換方式スペクトル解析装置などの音響解析機器の発達に負うところが大きく、オンライン・リアルタイムでの信号処理が選別に利用できるほど高速になったため、実用化が促進されたと考えられている。

(2) 密度計測による空洞果判別システム<sup>3)</sup>

スイカの空洞果選別には打音測定の外に、果実の密度を電氣的に計測して空洞果を判別する方式が開発され、実用装置として導入が進んでいる現状にある。一般に果実の密度は成熟にともなっ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。

空洞果の判別には密度0.005~0.006g/mlの測定精度が必要とされ、これの測定法として、果実の重量を電子秤で、また、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。果実の重量測定は電子秤選別機で果実重量の0.005%程度の測定精度が得られており、このシステムの開発の力点は体積測定に必要な精度を技術的に達成する事にあった。その測定原理を説明するために、図7に同心二重導体球の内径と静電

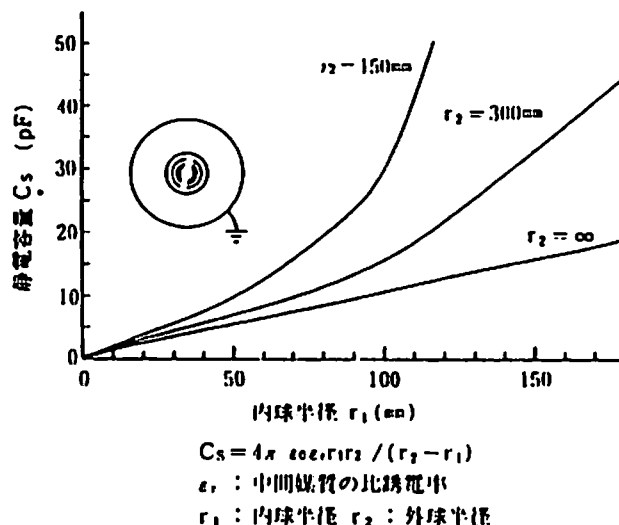


図7 同心二重導体球の静電容量(加藤, 1992)<sup>3)</sup>

容量の関係を示す計算式と、半径150~∞mmの中空外球内に半径0~150mmの内球を入れた場合の同心二重球の静電容量の試算結果を示す。この図から分かるように、外球の半径が極めて大きい場合には、両者は線形関係となり、静電容量は内球半径に比例する。この装置は基本的にこの原理を利用しており、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。

6. 内部品質判定システム

(1) 光糖度・酸度センサ

落葉果実を対象とする共選施設では、1990年頃からカラーグレーダの計測部に「光糖度センサ」を設置し、果実の糖度を検出して、等級判別要因に加えるシステムが導入され始めた。この原理は、果実の近赤外吸収スペクトルもしくはこれの微分スペクトルの中から、果実の糖度と最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、すなわち「近赤外分光法」に基づいている。

図8にその計測原理を説明するためのブロックダイアグラムを示す<sup>9)10)</sup>。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

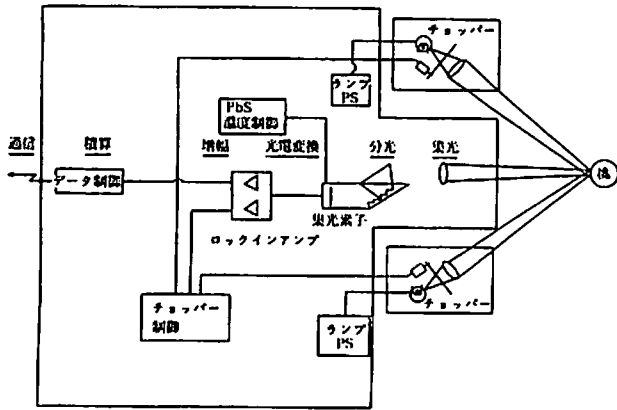


図8 光糖度センサの計測方式<sup>9)</sup>

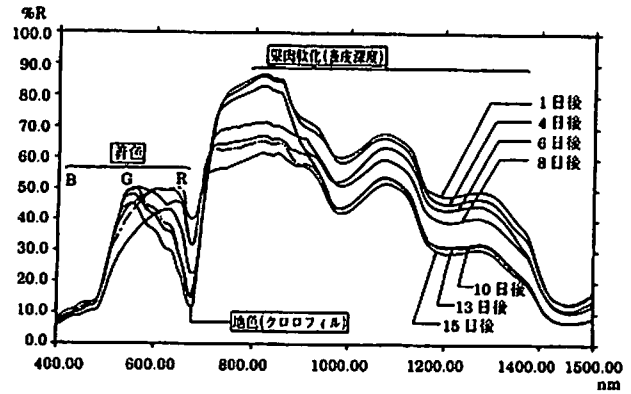


図10 西洋ナシ(ル・レクチュ)の熟度変化と光反射スペクトル<sup>10)</sup>

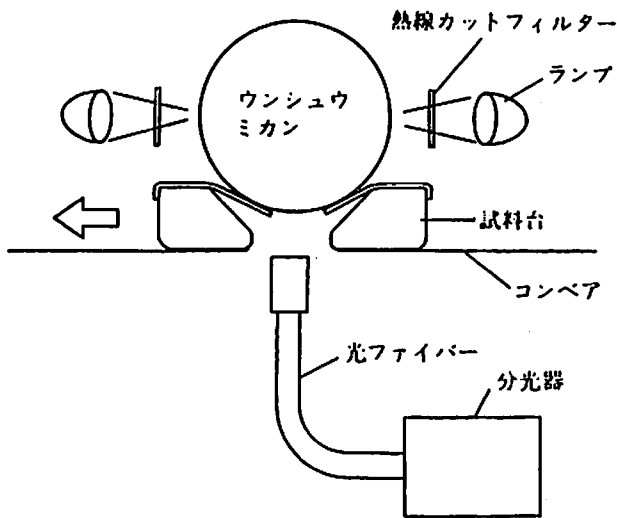


図9 透過光計測方式糖酸度センサ(FANTEC提供)

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。この方式では果実の反射光を分光するので「後分光」方式と呼ばれ、あらかじめ分光した波長帯の光を照射する「前分光」方式と区別されている。

最近、図9<sup>10)</sup>に示すように、柑橘類に照射した光の透過光強度を測定して、果実の糖度と酸度を同時計測する「光糖酸度センサ」が開発され、注目を集めている。果実の酸度は近赤外領域の2次微分スペクトルを採ることにより、計測可能と考えられてきたが、現在、実用装置の導入が開始されはじめている段階にあり、計測方法・精度等の詳細は不明である。

(2) 光熟度センサ

近年、糖度・酸度センサと同様に「熟度センサ」が一部の施設で導入され始めている。ここで

は、果実の熟度を表す物理的指標として、表皮のクロロフィル含量と果実の硬度を電磁波の吸収度と相関させて検出し、これらを組み合わせて1つの熟度指標としている方式について述べる。図10は西洋ナシ(品種:ル・レクチュ)の貯蔵中における電磁波の反射スペクトルの経日変化を示す<sup>10)</sup>。波長帯400~700nmの範囲からは果実表面色の情報が得られ、特に680nm付近はクロロフィルの吸収波長であり、果実表面の着色度を表す情報として利用される。果実硬度の変化は800nm近傍の波長を採用することにより検出可能と考えられる。電磁波の反射特性は果実の種類・品種により変化するので、実際にはそれぞれの果実・品種を対象として、ここに示したような反射スペクトルを計測し、検出しようとする熟度パラメータの検出が可能な波長を選択してパラメータを数量化し、これを演算処理することによりを熟度指標を算出する方法が採られている。

7. 自動箱詰ロボット

従来、共選プラントで最も人力を要する工程は「等級選別」と「箱詰め」の両工程であった。しかし、等級選別工程は画像処理選別機の導入により大幅な作業員の削減が可能となり、これにより残された最大の人力工程は「箱詰工程」となっている。この中で唯一、柑橘類の自動秤量箱詰装置のみが実用的に普及していたと言える。しかし、最近になって各種の青果物を対象にした多様な箱詰装置が導入され始めた。その代表例として球形果実に用いられている「吸着ヘッド式整列箱詰装置」を図11に示す<sup>3)</sup>。果実は等階級判定・振分の後、フリートレイによって搬送され、箱詰装置に

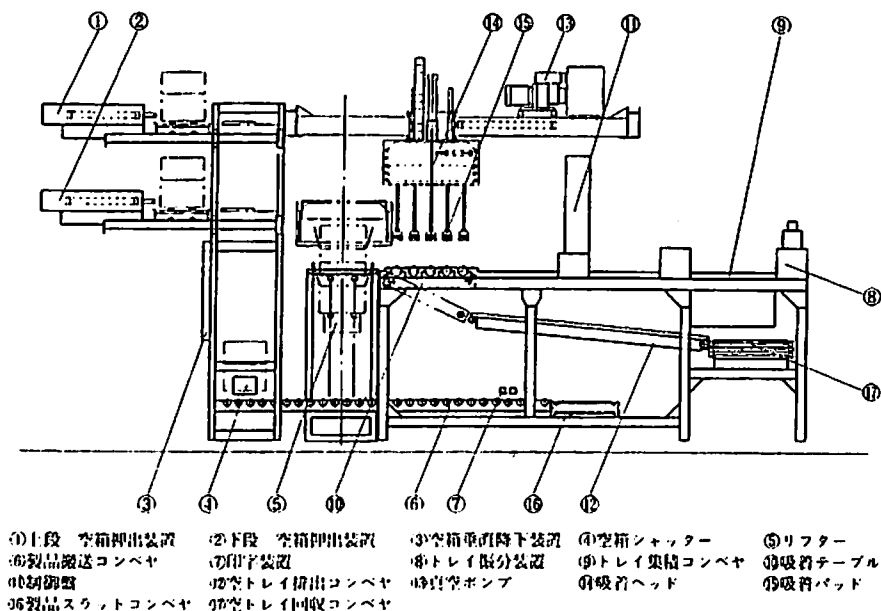


図11 リンゴの吸着ヘッド式箱詰装置<sup>3)</sup>

リをうつ伏せにして整列し、スプリングの縮小により幅寄せを行い、箱状のパッドで吸着する方式を採用している。この他に、シシトウガラシやオクラなどを対象にしたパック詰ロボットが開発途上であり、そこでは画像処理装置によりロボットアームに装備させた2~4個の吸着ヘッドが駆動される方式となっている。このように自動箱詰装置は選別プラントメーカーの開発競争の最大ターゲットとなっているが、等階級に応じた副資材の供給などは自動化が困難であり、一部の作業を人力に頼らざるを得ない状況にある。

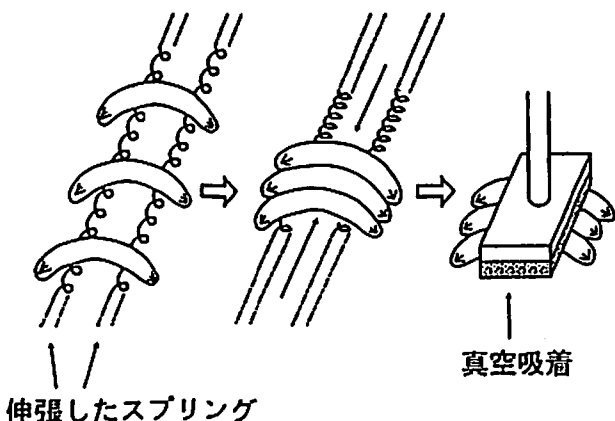


図12 キュウリのうつ伏せ整列・幅寄せ・吸着動作(三菱重工提供)

供給される。一方、配函コンベアから押し出された段ボール箱はリフタによって所定の位置にセットされ、人力により副資材のパックが挿入される。フリートレイはパックの球数に応じて整列され、果実は真空系に接続された吸着ヘッドにより吸い上げられる。その後、ヘッドの位置は箱のサイズ幅に縮小移動して下降し、箱内のパック上に果実を整列・静置する。この装置はパターンパックまたは箱詰ロボットとも呼ばれる。このように、自動箱詰装置の大部分は真空式吸着パッドを利用しているが、箱に整列・投入する方式には多様なパターンがある。その一例として、キュウリの整列・幅寄せ・吸着方式の動作例を図12に示す。この装置では伸張したスプリング上にキュウ

### 8. 等階級ダイナミック割付方式<sup>13)</sup>

共選プラントの物流はコンピュータにより制御され、人力と機械の連携作業の効率化と精算事務の自動化が実現されている。新しく開発された制御方式の中でも、最近特に注目されるのは「等階級排出口のダイナミック割付方式」の開発であろう。この方式では、手選別や画像処理装置によりワーク(対象物)の等階級を決定した後、コンピュータにより箱詰部の一時貯留ラインの貯留状況をモニタし、空いているラインを優先的に選択して等階級を割付け、1箱分のワークを貯留する方法を採っている。この方式を採用したトマトの選別プラントでは特定の等階級口にワークが集中して排果される弊害が改善され、作業員は担当排出口の表示ボードを見ながら、1箱分の球数が貯留されたら、ボタン操作により果実を排果して箱詰めすることができるようになっている。この方式と共に開発された球形果実用「空トレイ自動ストック・排出装置」は等級選別台への空トレイ供給を円滑にし、充填率の向上に役立っている。また、トレイを直角方向に転送するプッシャ機構や製品ダンボールの3段積装置などの新しい装置類の導入により、例えばプラント全体の設置面積が従来と同程度の処理能力を持ったプラントと比較して約30%低減されており、機械設備の間の作業

スペースも広く、省スペースの面でも有利なプラントとなっている。

### 9. 今後の課題

現在、共選施設の省力化の面で残された最大の課題は「箱詰め」工程の自動化である。また、共選施設には最先端の光センシング技術を駆使した「インテリジェント選別システム」の導入が可能となり、これにより、従来から人間の感覚と労力に頼ってきた等級選別工程の自動化が急速に進展してきた。しかし、光センシング技術<sup>12)</sup>の中には技術の評価があいまいな状態であっても、共選施設の技術先取り競争によって、導入が先行してしまい、導入後に性能上の問題点が浮上している場合もある。このため、光センシング技術の客観的評価が緊急の課題となっている。ここでは、光センシングで得られた出力を「人の感性のスケール」に変換するための手法の開発が急務とされ、これらの問題を解決するための新しい研究の領域と

して「食品感性工学」の発展が期待されている<sup>11)</sup>。

### 主要参考文献

- 1) 相良泰行：農流技研会報，No.187，月刊フレッシュフードシステム，24，4，1995
- 2) 相良泰行：農流技研会報，No.188，月刊フレッシュフードシステム，24，5，1995
- 3) J A 全農施設資材部：共選施設の手引き，173，1994
- 4) 相良泰行：月刊食品流通技術，23，11，流通システム研究センター，1994
- 5) 前田 章・村上篤道：農業機械学会第37回年次大会講演要旨，146，1978
- 6) 松田郁生：長物青果物の画像処理による形状選別に関する基礎研究，東京大学博士論文，1990
- 7) 前田 弘：青果物の選別包装施設におけるメカトロニクス化に関する研究，東京大学博士論文，1991
- 8) 前田 弘：青果物の非破壊選別技術について，株式会社マキ製作所，1991
- 9) 岡部政之：アグリビジネス，4，14，システム農業，東京，1989
- 10) 木村美紀夫：近赤外線分析法による果実の非破壊品質評価について，全農施設資材部，1993
- 11) 相良泰行：日食工誌，41，456，1994
- 12) 相良泰行：日食科工誌，43，215，1994
- 13) ㈱ナベル：平成9年度農業施設学会大会講演要旨（技術賞梗概），1997

## IV 青果物品質保持の新技术

### New Technology of the Post-harvest Fresh Keeping on Fruits and Vegetables

長谷川美典\*

Yoshinori HASEGAWA\*

#### はじめに

消費者が青果物に求める鮮度や味についての条件が、近年特に厳しく要求され、従来以上に収穫後・流通中の諸管理に注意が向けられ、集出荷施設の役割・機能が高度化、複合化している。

青果物の鮮度保持の最善の方法は、低温高湿を保つことである。低温保持は微生物の生育を抑えるだけでなく、青果物の品質の劣化を防止する上からも重要なことである。

そこで、青果物では予冷・保冷库をはじめ、コールドチェーンシステムを構築し、全流通工程で低温保持を目指しているが、実際には不可能

で、これを補うために各種の鮮度保持・機能性資材が利用されている。ここでは、青果物品質保持における諸技術の最近の進歩やそれぞれの技術の特徴について解説する。

#### 1. 予冷施設

わが国では、1965年の「コールドチェーン勧告」を契機として予冷技術が実用化された。その後、青果物の鮮度保持手段として予冷が一般化し、予冷施設を通した流通量も著しく増加している。

予冷施設の設置状況は、汎用性がある予冷方式として脚光を浴びた差圧通風式が近年減少傾向にあり、代わって強制通風方式が大きく伸びている。また真空方式は、比較的安定的に推移してきたが、1994年度には頭打ちとなった(表1)。

\*四国農業試験場 総合研究部・総合研究第1チーム長(〒765 青  
通寺市生野町2575)