

球形果実選別ロボット*

A Grading Robot for Round Shape Fruits

近藤 直**

Naoshi KONDO**

Abstract: A grading robot system for deciduous fruits such as peaches, pears, and apples to automatically provide fruits from containers and to inspect all sides of fruit was developed. The system consisted of two types of 3 DOF manipulators, 12 suction pads as end-effectors, 12 color TV cameras, and direct lighting systems. 12 fruits were sucked up by a manipulator at a time and 12 bottom images of the fruits were acquired during the manipulator moving to trays on a conveyor line. Before releasing the fruits, 4 side images of the fruits were acquired by rotating the suction pads for 270 degrees. The stroke of the manipulator was about 1.2 m and it took about 4.3 seconds to move back to initial position that meant that the robot could grade around three fruits per second. Two blowers whose displacement volume was 1.3 m³/min were used for the 12 suction pads. No damage was observed on fruit surfaces by sucking at 30kPa for peaches and at 45 kPa for pears and apples.

Key words: fruit grading, Cartesian coordinate manipulator, suction pad, machine vision, robot, traceability

1. 緒言

果実の選別施設、いわゆる選果場は、一般に果実や野菜の荷受け、前処理、評価・選別、箱詰め、および出荷等を行う施設であると定義できる。ミカンを中心とした果実選別機は、古くはプレート選果機と呼ばれる機械式で、階級分けに偏った選別であったが、画像処理技術、近赤外分光技術、およびコンピュータ技術の発達と共にメカトロニクス化が進み、現在では階級はもちろんのこと、果実の色、形状、欠陥等を計測、検出する外観検査と糖度、酸度等を測定する内部品質検査による等級選別が行われるようになってきた。このことは、農産物生産の最終段階において、選果機が農産物の外観情報ならびに内部品質情報というトレーサビリティの中でも重要な情報を、流通業者ならびに消費者に正確に提供することが可能になってきたことにほかならない。

最新のカンキツ類等の選別施設では、果実の搬送装置にローラーピンを用い、6台のカラーTVカメラで果実の全面を検査すると同時に、X線画像検査システムでミカン果実の浮皮を、近赤外分光技術を用いた内部品質

*農業機械学会誌第65巻、第6号(2003) 163-172 および 173-183 を編集
(平成17年度農業機械学会関西支部技術開発賞受賞)

**松山市文京町3 愛媛大学大学院理工学研究科生産環境工学専攻

**Department of Mechanical Engineering, Ehime University, Matsuyama, Japan,
E-mail: kondo@eng.ehime-u.ac.jp

平成18年11月2日 受付, 平成19年1月31日 受理

センサで糖度および酸度等を検出するシステムが実用化されている[1]。まず、ここで重要となる機械的技術は、果実の全面計測をするための機構である。というのは、上面画像のみあるいは側面画像のみで、正確に外観検査を行っても、底面に進行性の腐敗病をもつ果実を見逃した場合、それが同じ箱内の果実の腐敗を促進し、箱内の全果実の価値を下げってしまうことも少なくないからである。

現在までに、ローラーピンのほかにも搬送装置として、鍵盤[2]を使用したもの、カンキツ類以外では専用の丸形移送トレイおよびバケット等を用いるものも実用化されているが、いずれも果実の底面あるいは側面の画像を撮像することは容易ではない。鍵盤方式のものにおいては、コンベアからコンベアへの乗り移りの際にラインセンサ等で撮像することも試みられているが、照明方法ならびに撮像方法の違いから、上面画像、側面画像と同一条件で比較することが難しい。丸形移送トレイ方式においては、果実の底面のみならず側面の下半分も隠されていることも多く、全面計測をしているとは言い難い。一方、ローラーピン方式では、ローラーピンの回転による果実の反転前後において上方のカメラで撮像することにより、温州ミカンのような形状の果実は、ほぼ全面計測可能である。しかし、モモ、ナシ、リンゴ等のような落葉系果実によく見られる腰高形状のものにおいては、寸法の異なる全ての果実を完全に180度反転させることは難しく、100%全面検査可能とは言えない。同時に、鍵盤およびローラーピンによる搬送システムは、果皮が直接コンベアに接触する方式であるため、コンベア間での果実の乗り移りの際に、また等階級に振り分けられる際等に、モモのような軟弱果肉の果実に対して損傷を与える危険性もある。

これらのことより、完全に全面を検査することが強く望まれている落葉系果実等においては、人の目で検査してきたように、果実をやさしく持ち上げ、底面も含めて全ての面をTVカメラ等で撮像する必要がある。同時に果実を持ち上げた後は、損傷を与えないようにやさしく丸形移送トレイ等のにせて搬送することが要求される。そのためには人間の動作に近い動作を行うロボットの機構および機能を備えることが適当と考えられた。そこで、吸着パッドによるエンドエフェクタで果実を吸引して持ち上げ、マニピュレータが移動する間に、底面画像および側面画像を撮像し、ラインで待機する丸形移送トレイに搬送することにより、上面以外の外観検査を供給時に終了する選果ロボットを開発した。これにより、上面用カメラのみ備えられている既存の選別施設においても、本ロボットの導入により、全面計測が可能となる。

選別施設においては、ラインからの果実を到着順に箱に詰めるロボット（箱詰めロボット）、パレット上に箱を積み上げるロボット（パレタイザ）等は実用化されているものの、いずれもマニピュレータのシーケンシャルな動作に必要なセンサが装着されているに過ぎず、農産物の外観情報を本報告のようなマニピュレータから成るロボットによって計測するものは、現在まで報告がない。本ロボットの開発によって、選別施設のロボット化が進むと、ほ場管理に始まり、苗生産、栽培管理、収穫、選別までの一連の生産作業において、自動化、ロボット化による体系化ならびに情報の一元化が可能となる。つまり、各作業それぞれの自動化システムからのほ場および農産物等の情報を結合することで、生産に関わるトレーサビリティの完結の見通しが増大するという効果が予測されることより、ここに報告する[3-5]。

2. 対象果実

平成14年7月下旬から12月中旬にかけて、長野県のA農協に出荷されたモモ、ナシ、リンゴを対象として実験を行った。モモは「あかつき」を、ナシは「幸水」、「豊水」、「二十世紀」、「南水」を、リンゴは「ツガル」（補着ツガル、サンツガルを含む。）、「陽光」、「玉林」、「フジ」（有袋フジ、サンフジを含む。）を対象とした。上記品種の出荷量の概略をFig.1に示す。これより、A農協では7月下旬にモモの選果を開始し、8月上旬に

は夏リンゴとナシが加わる。8月中旬から10月上旬まではナシが主対象果実となり、それ以降は冬リンゴを月曜と木曜のみ選果する。特に、8月から9月にかけては最盛期であり、4品種同時に選果する時期もあることがわかる。また、9月中旬には最大合計100tの処理を行うため、1個の果実の平均質量を350gとすると、1日に約285,714個の処理能力が必要で、1日に8時間稼働するとすると、単位時間当たり35,714個の能力を有する選果システムが必要である。なお、8月中旬に出荷されていないのはお盆休みである。

3. 装置および方法

3.1 ロボットシステム

(1) 選果システムの概要

Fig. 2に、本選果システムの外観検査システムの流れを示す。本選果施設全体は、三井金属鉱業(株)計測システム事業部が主施工主で、エスアイ精工(株)が以下の部分を担当した。まず、荷受けされたコンテナはパレット上に10コンテナのブロックが4ブロック積載されている。それを簡易デパレタイザ(エスアイ精工(株)製:KND)を用いて手動で、1ブロックずつバーチレータ(ホクシヨウ(株)製:VEF-C08-0806-PS)へ運び、そのバーチレータにより施設の1階から2階へ10コンテナずつ搬送する。次に、段バラシ装置(エスアイ精工(株)製:DST)により10段に積み重ねられたコンテナを自動的に1コンテナずつ移送し、バーコードリーダー(株キーエンス製:BL600)で生産者情報およびコンテナ情報を読み取った後、供給ロボットで6個(あるいは5個)の果実を選果ロボットに供給する。続いて、選果ロボットで12個(あるいは10個)の果実の底面および側面画像を撮像した後、果実を移送トレイに引き渡す。さらに、移送トレイはライン上を流れ始め、上面画像用カメラボックスを通り、上面画像を撮像する。移送トレイはこの後、三井金属鉱業(株)製の内部品質センサを通過してあらかじめ設定された等階級に仕分けられる。

(2) ロボットの動作の流れ

供給・選果ロボットの動作は、Fig. 3に示す流れである。まず、コンテナが供給ロボットの作動領域内にコンテナプッシャーにより押し入れられる(①)と供給ロボットが果実を吸着し(②)、中間ステージに搬送する(③)。次に選果ロボットが中間ステージの果実を吸着し(④)、搬送中に果実の底面画像を撮像する(⑤)。さらに、4枚の側面画像を撮像して(⑥)、果実を移送トレイにリリースする(⑦)と、トレイ用プッシャーが移動しているラインへトレイを押し出す(⑧)。

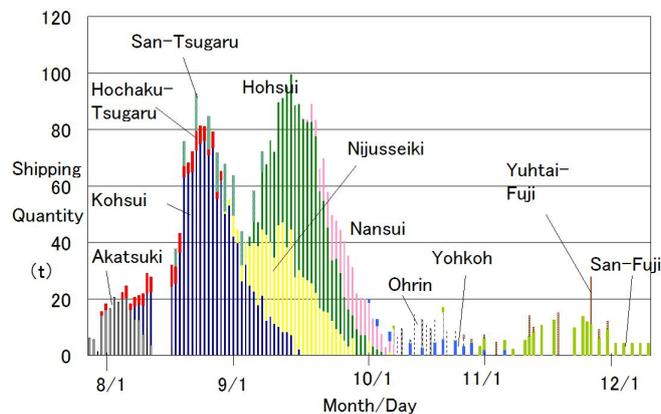


Fig.1 Shipping quantity of fruits.



Fig.2 Operation flow of grading system..

(3) 専用コンテナ

本システムで用いたコンテナは寸法 630×440×136mm のプラスチック製で、中の充填用スポンジを交換することで、果実の径に合わせて、15 個 (5×3 個, 大玉), 24 個 (6×4 個, 中玉), 30 個 (6×5 個, 小玉) の果実が充填できる。このコンテナの採用により、生産者が共同選果施設に輸送する間の果実同士の衝突による損傷の報告はなくなった。このスポンジの材料はポリエーテル系ウレタンフォーム (密度 13kg/m³) であり、1 シーズン使用したが、劣化等は見られなかった。

(4) 供給ロボット

供給ロボットには、X, Y, および Z 方向の直動関節を有するエスアイ精工(株)製 3 自由度直角座標型マニピュレータを用い、エンドエフェクタには Fig. 4 (left) に示す吸着パッドを 6 個使用した。吸着パッドの材質はシリコン (硬度 60°) で、果実になじみやすい硬度を有する。マニピュレータは、まず果実を 6 個 (あるいは 5 個) ずつ吸着するために下降した (Z 方向) 後上昇し、各果実を移送トレイの幅になるよう水平移動させる (Y 方向)。続いて中間ステージまで水平移動し (X 方向)、下降して中間ステージに果実をリリースする動作を行う。

ここで、果実の寸法は 70mm 程度から 110mm 程度まで多様に変化する。そこで、確実な吸着を行うためにスプリングを用いてマニピュレータがコンテナ内の果実方向に下降したときに、果実の径に合わせてエンドエフェクタの基準位置を変化せられることとした。また、X, Y, および Z 方向移動には、

それぞれ三菱電機(株)製 AC サーボモータ (HC-SF53B, HC-SF53, および HC-MF23) を用いた。これにより供給ロボットは、X, Z 方向に円弧をえがくように制御できるため、果実に大きな揺れを生じさせることなく中間ステージまで運ぶことが可能である。本供給ロボットのストロークは 900mm で、4 秒で 1 往復するよう制御した。

また、コンテナに挿入するスポンジは前述したように 3 種類あり、荷口によってはそれらが不規則に供給されるため、2 個のコンテナを 1 台のロボットで取り扱うには不都合である。そこで、供給ロボット 2 台が 2 コンテナを別々に扱うことで、12 個の果実を中間ステージに準備し、次項の選果ロボットで、12 個の果実を同時にハンドリングするシステムとした。

(5) 選果ロボット

選果ロボットには、X および Z 方向の直動関節とエンドエフェクタの回転関節を有するエスアイ精工(株)製 3 自由度直角座標マニピュレータを用い、エンドエフェクタとして、12 個の吸着パッドを装着した。マニピュレータは 12 個 (あるいは 10 個) の果実を同時に吸着するために下降し (Z 方向)、果実を吸着後、照明および TV カメラの上

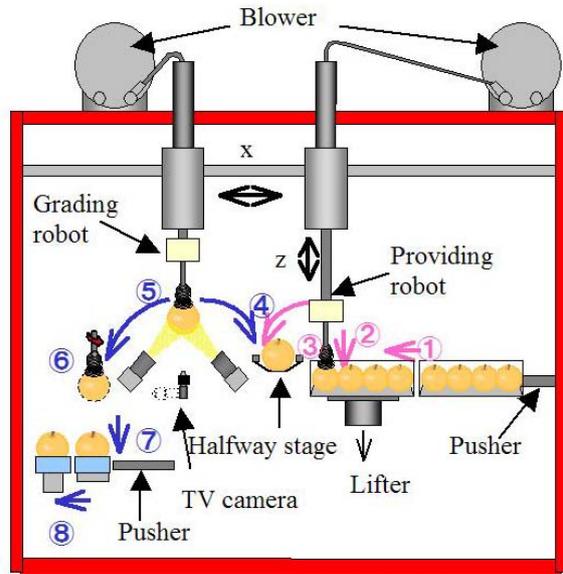


Fig.3 Actions of robots.

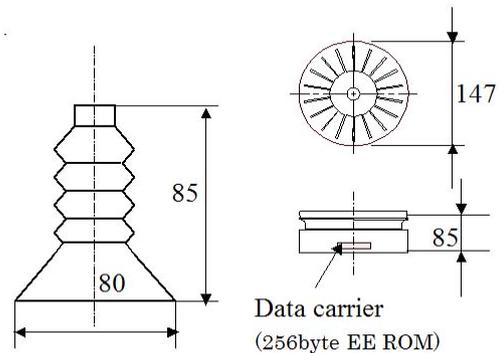


Fig.4 Suction pad and tray.

方を移動する (X 方向)。ここで、中間ステージの果実間のピッチはライン上で待機する移送トレイのピッチと同じであるため、選果ロボットには Y 方向の自由度は必要ない。続いて、待機する移送トレイの上方 290mm の地点で果実を停止後、吸着パッドの軸を中心に 270° 回転させる。このとき、12 個の果実がそれぞれ 90° 回転するごとに側面画像を 12 台のカメラで同時に撮像 (各果実当たり 4 枚) した後、移送トレイにリリースする。X および Z 方向の移動用モータならびにエンドエフェクタ回転用モータとして、三菱電機製の AC サーボモータ (HC-SF103, HC-SF103B, ならびに HA-FF23) を用いた。



Fig.5 Fruit providing robot and grading robot with containers.

このマニピュレータのストロークは 1,165mm で、その間の最高速度は 1,000mm/s とした。果実を吸着してから移送トレイにリリースする間 (A→E), 加減速コントロールを行うことで、2.7s 要した。これに最初、初期姿勢から吸着のため果実方向へ下降する (B→A) 時間 (0.4s), 移送トレイに果実をリリースしてから初期姿勢に戻る (E→B) 時間 (1.0s), および待ち時間 (0.15s) を加えると、1 往復に必要な時間は 4.25s となった。このことより、平均して 30 個用と 24 個用コンテナが 8 割, 15 個用コンテナが 2 割供給されると仮定して時間当たりの処理個数を計算すると以下のようになる。30 個用および 24 個用コンテナにおいては、2 台の供給ロボットが 6 個ずつ果実を取り出し、選果ロボットに 12 個供給するため、

$$12 \text{ (個)} / 4.25 \text{ (秒)} \times 3,600 \text{ (秒)} \times 0.8 = 8,131 \text{ (個)}$$

と計算できる。また、15 個用コンテナにおいては 5 個ずつ取り出し、10 個を供給するため、

$$10 \text{ (個)} / 4.25 \text{ (秒)} \times 3,600 \text{ (秒)} \times 0.2 = 1,694 \text{ (個)}$$

となり、合計 9,825 個/時間/機と算出される。これより、本ロボット 4 式で 39,300 個となり、前述した 35,714 個を満たす数字である。

そこで本システムでは、前述した供給ロボット 2 台と選果ロボット 1 台を 1 ラインに搭載し、4 ライン分のロボットを設置した。これを本報では 1 号機から 4 号機と呼ぶこととする。また、箱詰め作業等においては、1 号機と 2 号機で処理した果実および 3 号機と 4 号機で処理した果実は同じラインに合流することとしているため、選果情報を計測したあとは 2 つのラインとなる。Fig. 5 には、供給・選果ロボットならびに段ばらし装置で送られたコンテナを示す。このときは、リングが充填されており、供給ロボットが果実を吸着している。

(6) 追従型 TV カメラおよび照明

選果ロボットのセンシング装置として、選果ロボットが果実搬送時に、12個同時に画像処理を可能とするよう、12台のTVカメラと28個の照明装置を配置した。Fig.3の選果ロボットの⑤の位置で底面画像を撮像し、⑤から⑥の動作に合わせて、TVカメラおよび照明を同時にロボットに追従させ、⑥の位置で果柄の軸中心に回転する果実の側面画像を撮像した。以下にその概要を記す。

まず、照明は一般に画像処理用照明は光源からの光を直接対象物に照射する方式（直接照射方式）と拡散板、反射板、ミラー等を用いて間接的に照射する方式（間接照射方式）に分けられる。直接照射方式は間接照射方式に比べて、TVカメラ等での色再現性が高い、偏光フィルタを使用することでハレーションが生じにくい、光源以外に輝度の高いものが対象の近傍にないため、光沢のある果実に対しても背景が映り込まないなどの有利な点が多い。このことから、本研究ではエスアイ精工（株）製ダイレクトライト（以下DLと称する）を使用した。これにはミラー付きハロゲンランプが用いられており、その仕様は、定格電圧12V、消費電力50W、ビーム角38度、色温度3,200K、寿命4,000時間である。また、偏光フィルタを用いているため、ハレーション、果実表面への映り込み等を完全に除去することが可能である。たとえ、予冷等によって果実表面に結露している状態でも、水滴がついていない状態の画像とほとんど変わらない画像を入力することができる。

カラーTVカメラにはランダムトリガ機能を有するVGAクラスのプログレッシブスキャン型単板式CCDのアナログカメラを用いた。本カメラは選果場の過酷な条件にも耐えられるよう0℃から40℃までの間で性能保証されており、狭いスペースでも設置可能なカメラヘッド分離型で、その寸法は付属ケーブルを除いて全長40mm、全幅44mm、全高29mmである。前述したように果実は最高速度1m/sで移動する。そこで入力画像上での対象物のぶれが1mm以内に押さえられるよう、シャッタースピードを1/1000sに設定した。本装置では、12個の果実を同時かつ同一条件で画像入力する。そのため、個々のカメラが有するばらつきを最小限にする必要がある。そこで、カメラごとにレンズのピント、レンズ絞り、ホワイトバランスおよびゲインの調整を行った後、主として果実が有する色である緑色から赤色までの間で9色、果実の傷、病虫害等による障害に近い色3色を色見本として選定し、全てのカメラにおいて、それらの色見本が入力画像上で同じRGBの濃度値を示すよう色調整を行った。

画像入力のためのキャプチャーボードは、カラーTVカメラからのRGB信号をAD変換し、8ビットフルカラーノンインターレスの画像として、コンピュータ上での画像処理に利用することが可能となる。本装置では、このキャプチャーボード3枚を、1つのコンピュータに装着して各カメラからの画像をそれぞれ非同期にて取り込める構成により使用した（Fig.6）。なお、前述のカメラ、レンズおよび本キャプチャーボードを使用したときの解像度は0.37mm/pixelである。選果ロボット動作中に入力する下面及び側面画像用の12台のTVカメラは、3台ずつ4つの

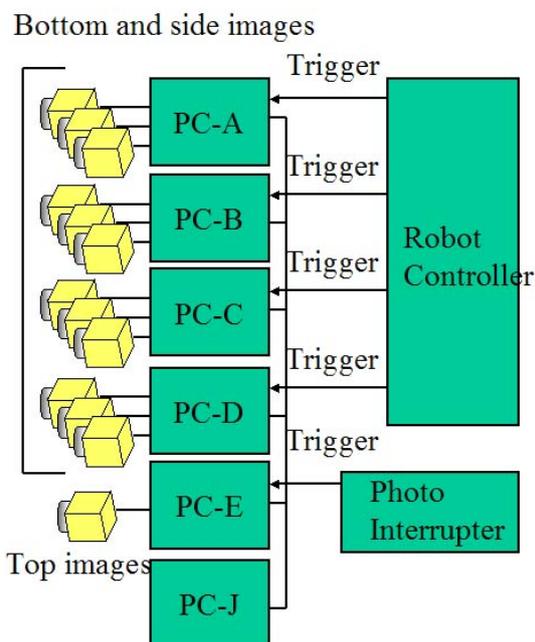


Fig.6 Block diagram of image acquisition system.

コンピュータに接続され、その3台のTVカメラからの下面および側面画像が、それぞれのコンピュータに入力される。各コンピュータは選果ロボットが1ストローク動作する間に、下面および側面画像の合計15枚(カメラ3台×画像5枚)を処理する。一方、別なコンピュータで、果実が速度30m/minでライン上を流れる間に、1秒で3枚の上画像処理をする。最終的には、1果実当たり合計6面の画像を処理し、寸法、色、形状、傷、病気等のデータを、別途コンピュータに転送し、そこで外観等級の判定を行う。

(7) ブローワ

ブローワには、西村電機株製のSF-1500を使用した。これは定格出力1.4kW、回転数3,400rpmで、真空圧および排気量はそれぞれ、最大3,800mmAq、1.3m³/minにまで達するものである。このブローワをパッド6個に対して1台使用することとし、供給ロボットには各1台を、選果ロボットには各2台を接続した。予備実験により、果実に損傷を与えず、確実に吸着する圧力を、モモでは30kPa、ナシおよびリンゴでは45kPaと設定して吸引した。特に、モモに関しては果実の軟弱性を配慮し、上述の設定値で2回吸引したものを3日間常温で放置して吸着パッドの吸引跡を観察したが、吸引していない果実と相違は見られなかった。むしろ、慣れない人間の指で果実を把持した場所に押圧跡が残ることが多くあった。

(8) 移送トレイおよびライン

果実を載せてライン上を移動する移送トレイを、Fig.4(right)に示した。この移送トレイ底部には、果実の等級の情報を記録し、読み出し可能なデータキャリアを搭載した。このデータキャリアのメモリ容量は256Byte(ユーザー領域254Byte)のEE-PROMである。データの書き込み回数は、30万回(-20℃から40℃で書き込んだ場合)、読み出し回数は無制限に繰り返し可能である。また、データ保存は書き込み後、10年間保持可能である。画像による外観情報および内部品質情報が得られた後、このデータキャリアに、アンテナを通じて等級の情報が書き込まれ、仕分けラインの前にアンテナによって読み出され、指定された等級に仕分けられる。なお、移送トレイを移動させるラインはフリーフロー方式のコンベアのタイプで、30m/minでトレイを移送する。

3.2 外観等級判定方法

本実験では、L1からL5までの5等級に分類した。L1が最上位等級で、L5は廃果の等級である。例として、ナシの等級判定基準の項目をあげるとTable1の通りである。まず色に関しては、色相3、着色程度1、彩度1の5つの基準を、形状については楕円度、複雑度、変形度の3つの基準を、傷、病虫害については果実を上下半球に分けて、重傷、中傷、軽傷の基準を用いて行った。これらの項目の基準を一つでも満たさない果実はその等級から落とされることになる。こ

Table 1 Criteria for fruit appearance grade.

Nansui criteria for fruit appearance grade Sep.24, 2002					
Color	L1	L2	L3	L4	L5
Hue(Whole)	135-175	175	130-180	0-190	
Hue(Top)	135	135	130		
Hue(Bottom)	175	175	180	190	
Reddish area(Bottom)	58	63	68	80	
Saturation(Whole)	268	270	272	280	
Shape	L1	L2	L3	L4	L5
Roundness(Top & Bot)	110	115	120		
Complexity(Top & Bo)	120	130	157		
Deformativity(Side)	130	180	320		
Bruise, Disease	L1	L2	L3	L4	L5
Serious injury(Top)	4	20	50		
Serious injury(Bottom)	6	30	70		
Medium injury(Top)	12	25	100		
Medium injury(Bottom)	15	30	130		
Slight injury(Top)	15	40	110		
Slight injury(Bottom)	30	60	160		

この基準は品種によって項目および設定値が異なる。たとえば、サンフジでは着色(緑)の判定項目が彩度の代わりに使用された。同時に、縞果とべた果で色に関する判定項目の基準は異なった。また、同一品種でも時期によって色に関わる設定値が変更されることも多かった。このことは、出荷する時期により果実の着色程度が変化し、それに伴って人間の選果基準も変化することを表している。

4. 結果および考察

4.1 吸着不良結果

生産者または樹園地によって果実の形状、寸法等の差があるため、ロボットによって多少のばらつきはあるものの、供給・選果ロボットの合計した吸着不良率は0.1~0.2%であると言えた。この原因として、Fig.7(upper)のように側面から観察したとき、果柄が長く吸着パッドの吸着を阻害する果実、および傾斜変形しており、吸着パッドが果実に密着しない果実があげられた。通常、果柄は側面からの観察で、10mmを越えるものはほとんどない。しかし、実際に吸着不良であった果実は、果柄長が15mm以上のものであった。このように果柄が問題になったのは、リンゴのみで、あかつき、幸水、豊水においては果柄部を下向きに充填すること、20世紀、南水においては果柄を短く切っておりことより問題にならなかった。一方、変形が原因で吸着不良であった果実の傾斜角を計測したところ、 17° 以上であった(Fig.7(bottom))。

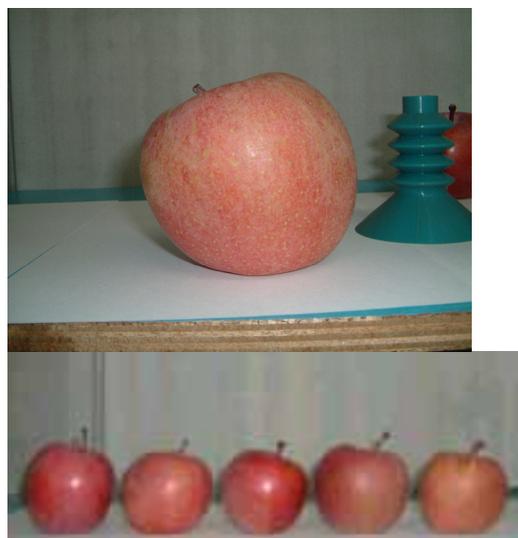


Fig.7 Fruits which cannot be sucked.

4.2 処理量計測結果

ビデオに基づき、計測したところ、単位時間当たりのフジの処理個数は、1号機から4号機までそれぞれ8,347個、8,577個、8,271個、8,795個であった。これより、フジの出荷時期にはいずれの機械も平均してほぼ85~90%の稼働率であると言える。この理由としては、同じ階級および等級の果実が多いとライン下流の振り分け部において移送トレイ保持能力を超えること、不慣れなオペレータによる時間のロスが見られたこと等があげられた。

4.3 画像処理結果

ナシを供試した画像処理結果の例として、Fig.8(1)に南水の上からの原画像、Fig.8(2)にその色変換画像、Fig.8(3)および(4)に底および側面からの欠陥処理画像を、上面および底面画像より果実の寸法計測したところ、この果実の最大径、最小径、および円相当径は、84.6mm、81.5mm、および83.4mmであった。

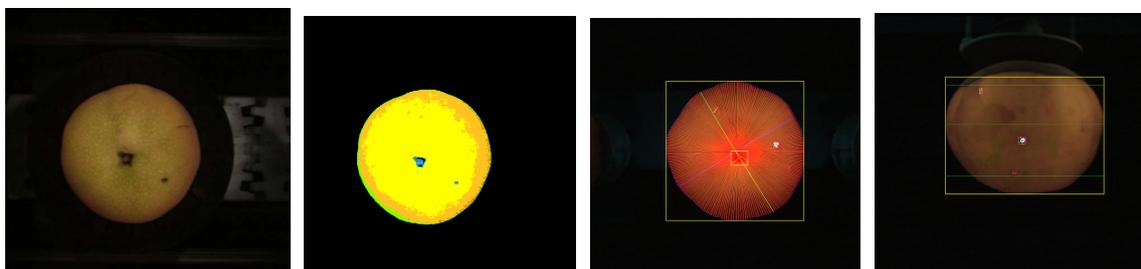


Fig.8 Images (From left, (1) Original top image (2) Color image (3) Defect image from bottom (4) Defect image from side)

色に関する結果は、上面の色相が150、底面が158、側面上部が155、下部が156であった。また、側面下部の着色(赤)は25(%)であり、彩度の平均は209であった。形状については、楕円度が上面104、底面116、円形度が

上面 105, 底面 112, 変形度は側面が 28 であった。

Fig. 8(1)の画像において, 上面に黒斑病が観察できる。この黒斑は色変換画像では, Fig. 8(2)に示されるように, 傷, 病虫害の色の中で中傷の色が表示された。なお, 上面には果柄のくぼみが同様の傷, 病虫害の色で示されているが, これらについては, その寸法および位置から判断して正常な果柄部および果頂部であるため, 傷, 病虫害からは除外するアルゴリズムとしている。

さらに, 色変換画像で検出された傷, 病虫害の情報に, 差分処理, 形状認識処理を加えた画像が Fig. 8(3), (4)である。その結果, 障害部位と認識された箇所は, 白色を付し, 赤い枠で囲っている。外側の黄色の長方形はワーク検出した枠であり, 果実の赤道および側面の範囲境界線を細い黄色の線で示している。これより, 各画像に枝すれ, 汚れ等の軽傷が検出されており, この果実の中傷の面積は, 合計して 57mm² (上半球 26 mm², 下 31 mm²) で, 軽傷の面積は 107mm² (上半球 50 mm², 下 57 mm²) であった。

これらの結果より, Table 1 の外観等級判定基準を参照すると, 色に関しては全ての項目において L1 であるが, 形状に関して複雑度と変形度は L1 であるものの, 楕円度においては底面の測定結果が L3 となった。これは, 南水という品種には時々見られるのであるが, Fig. 8(3)の画像でわかるように, 果実の形状がわずかながら波打っていることによるものである。傷, 病虫害に関しても, 中傷の面積が上下半球とも L3 を示し, 軽傷も上半球で L3 のレベルであった。これらのことより, 等級の総合結果は, 判定基準の最も低いレベルであった L3 ということになる。

4.4 実選果の外観等級結果

Fig. 9 に, 9月 24 日に各ロボットで選果された個数を示す。この日の南水, 豊水, 二十世紀の処理個数はそれぞれ, 68, 280 個, 15, 193 個, 18, 332 個であった。図 8 には, その日の各荷口の南水の等級結

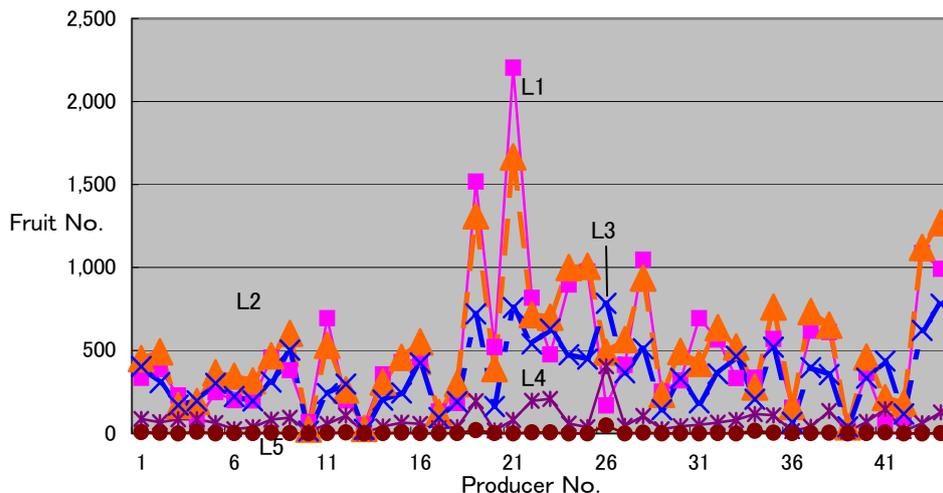


Fig.9 Grading result of Nansui on Sep.24, 2002.

果を示す。たとえば, 11 番目と 26 番目の荷口に注目すると, どちらも同じ程度の個数であるが, 11 番目の荷口では L1, L2 が多く, L4, L5 の割合は少ないのに対し, 26 番目の荷口では, L3, L2, L4, L1 の順で多く, L5 の数も当日の中で最も多い。これらの結果より, 荷口によって個数および等級の比率は大きく異なることがわかる。処理された果実の量は, L2, L1, L3, L4, L5 の順であり, L5 は 158 個であった。

4.5 考察

一般に作業者が果実の底面および側面を検査して等級決定する作業を本選果ロボットと同様に行った場合, 1 果実当たり 3 秒から 5 秒程度必要である。従って, 本供給・選果ロボット 1 式で, 10 人から 15 人の省力化が達成さ

れると考えられた。実際に、当該農協における実際的全選果システムに関わる作業者を、従来の約 140 名（短期間のパートタイマーも含むと約 200 名）から約 60 名に減じることができた。この労働力の代替により、従来パートタイマーとして選果施設で働いていた生産者が、知的営農、規模拡大あるいは高品質で安全な生産物のための栽培管理を行うことが可能になった。このことは、共同選果施設の産地の信用と信頼を生むことにつながるばかりでなく、蓄積された膨大な果実のデータが次年度の営農指導に活用されることへの検討が期待された。

また、従来の人間の判断に任せた選果においては、選果担当者の基準の違い、および体調、時間、場所等の変化によって公平さを欠くばかりでなく、不可避のミスも多く発生していた。しかし、ロボットが選果作業を行うことにより、人間の主観によらない正確で客観的な選果が可能となる効果も確認できた。この正確な情報付き農産物を産出することが、正確なトレーサビリティにつながり、産地のブランド化をより強力に推進することが可能になると考えられる。

問題点として、モモ（あかつき）の絨毛およびナシ（幸水）の粉塵は、清掃を行わず、1 日中選果を継続した場合、画像処理結果に影響が出るほど量が多いことがあげられた。その絨毛、粉塵を放置しておくとも機械的にも問題が生じる危険がある。今後の課題として、これらの絨毛および粉塵を自動的に除去可能な装置の開発および選果ロボットの他品目への適用が望まれた。

5. 謝 辞

本システムの開発の実施に当たり、果実のサンプルならびに資料を数多く提供していただいた下伊那園芸農業協同組合、伊藤部長、井坪次長ならびに三井金属鉱業株計測システム事業部関係各位に感謝の意を表します。

6. 引用文献

- [1]Njoroge, J., Ninomiya, K., Kondo, N., Toita, H., 2002. Automated Fruit Grading System using Image Processing. Proceedings of SICE annual conference 2002 in Osaka, MP18-3(CD).
- [2]橋本康：グリーンハウスオートメーション， pp. 137-145, 養賢堂, 1992.
- [3]Shibusawa, S. 2001. Precision farming approaches for small scale farms. Proc. 2nd IFAC-CIGR Workshop on Intelligent Control for Agricultural Applications, 2001, Bali, Indonesia, 22-27.
- [4]近藤直，門田充司，野口伸：農業ロボット(I)－基礎と理論－， pp.1-10, コロナ社, 2004.
- [5]近藤直，門田充司，野口伸：農業ロボット(II)－機構と事例－， pp.5-7, コロナ社, 2006.