トマトの等級判定のための色および形状特徴抽出方法

栗田充隆・近藤 直・吉丸寿一・二宮和則

エスアイ精工 (株) 技術開発部 791-8036 松山市高岡町 66

Extraction Methods of Color and Shape Features for Tomato Grading

Mitsutaka KURITA, Naoshi KONDO, Hisaichi YOSHIMARU and Kazunori NINOMIYA

Department of Technology Development, SI-Seiko Co., Ltd., Takaoka-cho 66, Matsuyama 791-8036, Japan

Abstract

Recently agricultural product grading machines based on imaging technologies have been spread widely at cooperative associations in Japan. In this paper, experiments on feature extraction of tomato color and shape were conducted by use of top images of various color and shape tomato, because these are the most important information for agricultural product grading to enhance its market value. From above, following results were obtained. 1) An index based on a red and green color component ratio gave similar results with human evaluation. 2) Indices using distances between center of gravity and boundary pixels were effective for shape evaluation to eliminate influence of ellipse shape by a transformation method from ellipse to circle. 3) It was possible to grade various shape fruits by the combination of three different indices, because they are complement to each other for uncertain shape evaluation. 4) Adjusting the setting values of indices depending on fruit size made possible to get practical grading results, which were similar to the human evaluation.

Key words: automation, direct lighting, grading, image processing, inspection, morphological feature, tomato

緒 言

手作業による農産物の選別においては、果実の部分的な評価の単純な足し合わせだけでなく、一果実全体としての印象 (評価品質間の互いの関わり合いによる総合評価) も含め等級が決定されることが多い。画像処理を用いて、等階級を判定するシステムにおいても、単一の方向からのみでなく、果実全面の画像をよりよい条件で取得し、全体を評価することが要求される。

CCD カメラ等を用いて果実の全面計測を行う際には、通

常 6 画像を取得する場合が一般的である (Njoroge *et al.*, 2002; Ishii *et al.*, 2003)。しかし、等級判定において、果実表面の全ての部位が同じ重要性をもつわけではなく、商品価値を決定する重要な部位が個別の品目・品種において存在する。たとえば、トマトにおいては、寸法・色等を決定する果頂面が最重要となる。そのことより、果頂面は出荷時の荷姿で正面になっており、等級を決定する要素が集中している方向であるともいえる。

これまで、農産物の色彩評価についての手法 (Chau *et al.*, 1983; Motonaga *et al.*, 1997) や、形状判別に関して、幾何学的な手法 (Yamashita and Goto, 1979; Kondo and Shibano, 1991, Terawaki *et al.*, 2002) やニューラルネットワークを利用した方法 (Ikeda and Saito, 1993)、イチゴの判別に関する形状評価方法の研究 (Nagata *et al.*, 1997; Kinoshita and Nagata, 1999a; 1999b; 1999c) などが報告されてきた。

2005 年 7 月 26 日受付

2006 年 1 月 19 日受理

Corresponding author: Mitsutaka Kurita

(kurita-m@si-seiko.co.jp)

本報告では、人手による供給で果実の姿勢が既知であるシステムにおいて、トマトの自動選果システムを構築するために最重要である色および形状の等級パラメータ計測に関する画像処理手法を提案する。

供試材料

トマトは、ナス科の1年生の野菜であり、南アメリカが原産とされる。日本では、平成15年産野菜の作付面積、収穫量および出荷量（農水省）によれば、全作付面積13,200 ha、年間収穫量759,200 tあり、熊本、愛知、北海道をはじめ、日本各地にその産地が広がっている。春植え夏獲りの露地栽培に対し、施設栽培も盛んで収穫期に切れ目がない。様々な品種改良がなされ、今では多様な品種が栽培されている。施設栽培では、時期によって半年近くトマトを収穫することができ、時期毎によるトマトの特徴が顕著に異なる。成長の初期では、形の整った果実ができるが、樹勢の衰退期では変形した果実が多くできる。着色は、完熟をカラーチャート10、未成熟の緑白色の果実をカラーチャート1として、10段階に分類されることが多い。季節によって出荷対象となる着色程度は変化するが、赤みの全くないカラーチャート1以下の着色のものは出荷されない。

1. トマトの等級判定基準

施設栽培トマトの産地の一つである広島県向島町では、果実の色と形状に関して、次のような基準でトマトの等級を4段階（A・B・Cならびに格外）に決定している。まず、色については果頂面の着色が主たる評価となり、カラーチャート1から10までの着色に定義される。しかし、その着色程度によって等級分けすることではなく、出荷単位の色グループとして、赤・中間・緑の3種類に分けるときに利用される。果頂部付近が少しの赤みもないもの（カラーチャート1以下）は出荷対象とならないが、もし出荷されたときには格外と判定される。同様に、カラーチャート10を越える赤色の過熟の果実は、流通の段階で腐敗の恐れがあるため、出荷対象とされない。

形状に関しては、果頂面から見た果形が円に近いほど高い等級で、偏平や凹凸、または角張った形など円から離れるほど低い等級となる。トマトには「空洞」と呼ばれる果実があり、その外観特徴は、果頂面から見て角張った形状を有することが多い。これは果実の部位による発達のばらつきやホルモンの誤った投与などが原因で、胎座部が発達不良、果皮部が異常発達を起こし、その結果内房が抜けた空洞果が生じる。この外観特徴や、人が持った際普通のトマトより軽いと感じた場合、空洞果として出荷はするものの、通常最下位等級（ここではC）に分類されることが多い。本実験では、人間の判断と同様にこの外観特徴のみを扱い、それが実際の空

洞を有する果実か否かは扱わないことにする。

また、トマトは出荷対象となる果実寸法の大小で形状判定の基準が若干異なる。たとえば、大階級では偏平状に成長するものが多いため、大階級における多少の偏平果実は最上位等級（ここではA）とされる。しかし、同じ偏平率をもつ小階級の果実では、Aとはされることなく、下位等級へまわされる。また、トマトの樹勢の衰退期においては、ねじれやくぼみなどをもつ著しく変形した果実（乱形果実と呼ばれる）が生じ、これも出荷対象とはならず、格外品とされる。このほか、トマトの等級判定要素には傷害に関する基準もあるが、本報では等級判定の基本である色と形状について取り扱う。

2. 供試トマト

本実験では、以下のトマト（品種：「桃太郎」）を供試した。いずれも2003年5月に広島県向島町の栽培施設で生産されたトマトである。

(1) 着色計測用果実（材料1）

着色計測用果実を、図1(a)に示す。a-1は完熟果実で、最も赤みが強く、左から順にカラーチャート10、8、6、3、1の着色程度である。なお、a-5はカラーチャート1以下の未着色果実であるため、通常出荷の対象とならない。

(2) 形状計測用果実（材料2）

形状計測用果実を、図1(b)に示す。b-1は標準的な丸い果実、b-2は偏平の果実である。b-3からb-7までは空洞特徴である周辺形状に角をもった果実で、果実番号が増すにつれて等級評価が悪くなる。b-8、b-9は周辺形状が凹凸している異形果実、b-10は乱形果実である。実際の選別等級は、b-1はA、b-2の形状は大階級でA、中小階級でB、b-3からb-6はB、b-7とb-8はCである。b-9とb-10は格外と判定され、出荷の対象とならない。

実験装置

トマトは果実表面の傷害を検査する必要があることから、全面計測を行う選別システムが開発されている。図2は本選別ラインにおける画像処理システムの構成を示す。図に示すように、果実はローラーピン方式のコンベアで搬送され、フォトインタラプタを遮光すると、発生するパルスにより、CCDカメラにトリガ信号が送られる。このCCDカメラは、ランダムトリガ機能を有しており、任意のタイミングでの撮像が可能である。つまり撮影対象が常に同じ位置および同じ照明条件で画像を撮り込むことができる。

本システムでは、反転前にCCDカメラによる撮影部を3箇所設置している。まず、側面から2台のカメラで側方の約180度を計測する（撮像部A:カメラ1, 2）。次に上方より1台のカメラで計測（撮像部B:カメラ3）、続いて撮像部Aと

図 1 試験果実

Fig. 1 Sample tomatoes

は反対の側面から2台のカメラで約180度を計測する(撮像部C:カメラ4, 5)。反転後、残った面を上方より1台のカメラで計測する(撮像部D:カメラ6)。これらのカメラの配列に合わせ、DL(エスアイ精工社製)を図3のように配置した。DLはハロゲンランプ(PHILIPS社製JR12V50WAKW/5-1(EXN)GU 5.3色温度3200 K)を光源としており、その詳細は既報(Kurita and Kondo, 2006a)に報告済みである。

本研究では、撮像部Bを利用した。その撮像部Bは、上方から1台のカメラ(カメラ3と呼ぶ)を置き、そのカメラを中心に、斜め55度の傾きからDLを3等分配置で3台配置した。カメラレンズ(PENTAX社製H1214-M)には、焦点距離12 mm, F値1.4を用い、レンズ先端と対象中心の距離は480 mmとした。カメラ3には撮像部Bの

フォトインタラプタからトリガ信号が与えられ、同時にその信号をDIOボード(CONTEC社製PIO-16/16L(PCI))で検出し、画像キャプチャボード(マイクロテクニカ社製MTPCI-TL)を介して、画像をパーソナルコンピュータ(PC)に入力した。

PCには、FA用コンピュータ(MTT社製TEC-1C(R1); CPU: Pentium III 850MHz)を用いた。画像処理を行うPCには前述のDIOボードと画像キャプチャボードをPCIバスに挿して使用した。CCDカメラには、シーアイエス社製VCC-8350CLTを使用した。これは、有効画素数659×494のCCD(1/2インチ)を有し、シャッタースピードが1/10000秒から2秒まで可変なデジタルカメラであり、Cマウントを有している。画像キャプチャボードには、カメラリンクを介して接続した。

図 2 画像処理システム

Fig. 2 Machine vision system

図 3 DLとカメラの配置 (平面図)

Fig. 3 Arrangement of DL and cameras (Top view)

画像の取り込み速度は倍速 (1/60 秒) で、レンズヘッドとドライバとは一体になっているため、ノイズの影響を受けにくい。また、レンズの絞りは 1.4 に、シャッタースピードは 1/1000 秒に、ガンマ補正の係数は 0.45 に設定して実験を行った。これらの設定は実際の選果作業時と同じである。

実験方法

一般的なトマトの選別では、着色および形状については果頂面から評価することから、ガク下で供給される本実験装置においては、撮像部 B のカメラ 3 のみの画像が処理の対象となる。

1. 着色計測

通常、人はトマトの着色を見た目の全体を平均して評価している。したがって、着色度は果頂面の全体の色合いを平均

して計算すればよい。その結果、赤から緑への色付きの度合いが決まる。本研究では、着色度 Co を次式で定義した。

$$Co = \frac{col}{S} \quad (1)$$

$$col = \sum_{i \in M} color(i) \quad (2)$$

ここで、 S はトマトの面積であり、 M はトマトの対象領域の全ての画素集合、 i はその要素となる画素を表す。トマトの対象領域の画素集合 M は、入力画像において既報 (Kurita and Kondo, 2006b) で述べた簡易色度変換した結果、トマトの正常部位として認識された画素の集まりを指す。たとえば、最大径 77.1 mm と計測されるサンプル a-3 においては、29468 画素がその対象となる。

色の表現には、表色系による違いがあり、色変換方法によってその値が異なる。最適な着色度 Co を求めるために、(2)

式の $color(i)$ の計算に関して, 次の4種類の色変換方法に基づいた計測値を比較することにした.

まず, RGB の値を直接使い, R と G の比率から, 赤みの度合いを求める Dco の $color(i)$ を次式で計算する.

$$Dco: color(i) = \frac{r-g}{r+g} \times 255 \quad (3)$$

r, g は, ある画素 i における RGB 入力のうち, それぞれ R と G の輝度値を示す.

同様に, 色度, HSI (円錐モデル), $L^*a^*b^*$ の色変換方法 (Kondo *et al.*, 2004) に関し, (3) 式の代わりにそれぞれ, (4), (5), (8) の式を用いた. ただし, b はある画素 i における RGB 入力の B の値である.

$$Cco: color(i) = \frac{r-g}{r+g+b} \times 255 \quad (4)$$

$$Hue: color(i) = \tan^{-1} \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (5)$$

ここで, M_1, M_2 は

$$M_1 = \left(\frac{2}{\sqrt{6}} \right) r - \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right) g - \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right) b \quad (6)$$

$$M_2 = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) g - \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) b \quad (7)$$

である. $L^*a^*b^*$ の a^* は,

$$a^*: color(i) = 500 \left[\left(\frac{r}{0.95045} \right)^{\frac{1}{3}} - (g)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (8)$$

である. なお, すべての手法に対し, $R = G$ ($R = 140, G = 140, B = 100$) のときの計測値をオフセットとし, R と G の比率が合うように補正した. 以上の各手法を用いた色値を算出し, 比較した.

2. 形状計測

多様なトマトの形状を評価するためのパラメータとして, 偏平度, 異形度, 尖り度, 乱形度を考案し, 以下のように定義した.

(1) 偏平度

まず, トマトの果形 (果頂面からの投影図形) が円からどれくらいかけはなれているかを表す指標として偏平の程度を考えた. 階級計測で求めた最大径 $d_{\max}$ を基に, 最小径 $d_{\min}$ を対角幅 (最大径に垂直な方向で, 最も大きくなる線分の長さ) と定義し, 偏平度 Hn を次式で定めた.

$$Hn = \frac{d_{\max}}{d_{\min}} \times 100 \quad (9)$$

(2) 異形度

次に, トマトの境界形状に着目して, その複雑性を数値化する一つの方法を考案した. 画像処理で抽出したトマトの重心から, 周囲画素を1点1点結んだとき, 境界に凹凸があ

図4 形状計測の基本データ

Fig. 4 Primary data for shape measurement

れば, その線分長も同様の変化をもつ. この形状特徴を計算する基になるデータ例を, サンプル b-1 (円), b-2 (偏平), b-9 (凸形) を対象として, 図4に示した. まず, トマトの重心を算出する. 続いて, ラスタ走査順で最初に存在する境界画素を始点として, 各境界画素と重心とを結ぶ線分をそれぞれ求める (図4(a)). それぞれの線分の長さを境界画素の順に並べて表示したものが図4(b)である. この距離ヒストグラムを形状特徴データ P_i ($i = 0 \sim N$) とする. ここで i は, 境界画素始点からの位置, N は境界画素数である. もし, 対象が円であれば (b) のヒストグラムはサンプル b-1 のように平坦となり, 形状の悪いものは, サンプル b-3 のように山谷が表れる. この形状特徴データから, 次式で異形の度合いを定義した (Kondo *et al.*, 2004). ここではそれを異形度 lk と呼ぶことにする.

$$lk = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{ave}} \times 100 \quad (10)$$

ここで, $P_{\max}$ は P_i の最大, $P_{\min}$ は P_i の最小, P_{ave} は P_i の平均である. ただ, このままでは, b-2 のような楕円形の果実は図4(b)中のように, 果実自身に凹凸がなくても大きな山谷が2組表れるため, P_i は大きく変化する. 楕円は偏平度で計測されること, およびトマトは果実が大きく成長するにつれて楕円形状を有することが多くなるが, 実際の等級判定においては

図5 円と楕円の形状変換

Fig. 5 Transformation from ellipse into circle

大階級の楕円形状の果実は等級落ちされないことから、本指標は楕円に依存しない形状評価が行われる必要がある。

この問題を解決するため、我々は次の変換を行うことで、楕円特徴を排除した形状特徴データを再構成した。図4(a)で示したような形状特徴データを構成する境界画素をXY座標形式でなく、最大径と最小径の交点を中心とした極座標形式に変換する。すなわち、境界データを $\{A_0, A_1, \dots, A_{179}, B_0, B_1, \dots, B_{179}\}$ の360点で表す。ここで添え字は最大径と最小径の交点から、最大径を基準とした角度(時計まわり0~179度)を表す。この表現方法はまた、対象とした図形を180本の線分 $C_n (= A_n + B_n)$ の集合に変換したともいえる。つまり、簡単のため最大径を $C_0 (= A_0 + B_0)$ とすると、最小径(対角幅)は $C_{90} (= A_{90} + B_{90})$ で表すことができる。ここで、 C_0 を C_{90} と同じ長さになるよう全ての C_n を変形させる。このとき、 C_n における $A_n : B_n$ の比率を保持することが周辺形状の凹凸特徴を維持することにつながる。したがって、 C_n の長さを(11)式で求める C'_n に補正し、そののち $A_n : B_n$ に再分配することで、凹凸特徴を保存しながら楕円の影響を排除することとした。

$$C'_n = C_n - 2 \times Q_n \quad (11)$$

ここで、 Q_n は図5で示すように、原点を共有する円と楕円の、ある角度 n における円周上の点の原点との距離の差であり、(12)の連立方程式から、 a, b をそれぞれ楕円の長径、短径として、(13)式で求められる。

$$\begin{cases} \frac{x}{y} = \frac{\sin n}{\cos n} \\ \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \end{cases} \quad (12)$$

$$Q_n = \sqrt{\frac{a^2 b^2}{a^2 \cos^2 n + b^2 \sin^2 n}} - a \quad (13)$$

ここでは、 a を $C_0/2$ 、 b を $C_{90}/2$ とすればよい。この変換後の極座標は次式で算出できる。

$$A'_n = C'_n \times \frac{A_n}{A_n + B_n} \quad (14)$$

$$B'_n = C'_n \times \frac{B_n}{A_n + B_n} \quad (15)$$

以上から、境界データは $\{A'_0, A'_1, \dots, A'_{179}, B'_0, B'_1, \dots, B'_{179}\}$ と再表現される。

サンプルb-2に対して変換を行った結果を図6(a)に示した。偏平がもつ形状特徴データの2組の山谷が補正されていることがわかる。この境界画素のみの図形から、まず、フェレ径中心を求める。次に、先と同様に各境界画素とフェレ径中心との線分を結び(図6(b))、それぞれの長さを計算する。その結果から、形状特徴データ P'_i ($i = 0 \sim 359$)を再取得(図6(c))し、補正異形度 Ik' を次式にて計算した。

$$Ik' = \frac{P'_{\max} - P'_{\min}}{P'_{\text{ave}}} \times 100 \quad (16)$$

(3)尖り度

トマトの空洞外観特徴である角張った形状や凸部の尖りを評価するために、尖り度 Tg を(17)式で定義した。

図6 境界特性値を維持する形状変換後の境界データ

Fig. 6 Border data after transformation from ellipse into circle

$$Tg' = \left((P_0 - P_N)^2 + \sum_{i=1}^N (P_i - P_{i-1})^2 \right) \times \frac{1}{10} \quad (17)$$

これは、隣り合う境界画素の中心からの距離の変化の二乗を足し合わせ、その増減の量を算出したものである。また、前述の異形度と同様に、楕円の影響を補正した形状データを用いて算出する補正尖り度 Tg' を次式で計算した。

$$Tg' = \left((P'_0 - P'_{359})^2 + \sum_{i=1}^{359} (P'_i - P'_{i-1})^2 \right) \times \frac{1}{10} \quad (18)$$

(4)乱形度

b-10のように乱形と呼ばれるトマトは、その周辺形状に急激に凹形のくぼみが表れる特徴をもつ。この局所的なくぼみを評価するために、乱形度 Rn を (19) 式で定義した。

$$Rn = (P_{ave20} - P_{min}) \times 10 \quad (19)$$

ここで P_{ave20} は、距離最小値 P_{min} をとる境界画素を中心として、その前後 20 度分の P_i の平均である。 P が最も短い境界画素付近の局所的な平均と最小の差をとることで、乱形による部分的な凹みの度合いを評価した。さらに、異形度、尖り度と同様に、前述の楕円の影響を補正した形状データを用いて算出した補正乱形度 Rn' を次式で計算した。

$$Rn' = (P'_{ave20} - P'_{min}) \times 10 \quad (20)$$

ここで P'_{ave20} は、距離最小値 P'_{min} をとる境界画素を中心として、その前後 20 度分の距離平均である。

実験結果

1.着色計測

図 1(a) のサンプルを対象に、着色度の算出を行った結果を表 1 に示す。括弧内にはサンプル a-5 の着色度を 1.0 としたときの比率を表した。比較を容易にするために、その比率および人間の着色評価を同じグラフに表したものを図 7 に示した。それぞれに大きな差異はなく、相対的な評価を行う上では色値にどれを用いてもよい。実装上は計算コストが一番かからないことから、色値に Dco を用い、着色度 Co を算出した。

これまで、一般的に使われている色度変換、HSI 変換、 $L^*a^*b^*$ などは、RGB の値すべてを必要とするが、 Dco は R および G のみの比率を用いた簡単な指標によって、トマトの着色度計測に関して、他の指標と同様に人の評価に近い結果を得ることができた。

この着色度 Co の上限と下限を設けることで、色による出荷判定ならびに着色のグループ分けを行うことができる。なお、10 個のサンプルに対し、それぞれ 10 回の計測を行った結果、最大の較差は 3、最大標準偏差は 0.67 であった。本指標を用いたシステムは、着色グループを、赤：90～255、中間：43～89、緑：20～42 と設定していることから、十分な再現性が得られたといえる。このシステムは、実際の選果においても、安定した着色計測を行っており、色グループの出荷比率は、収穫時期に応じてその赤・中間・緑のシステム内のしきい値を変更することで調整される。

2.形状計測

サンプル b-1～b-10 を対象に、偏平度、異形度、尖り度ならびに乱形度の計測を行った。楕円の影響を排除する前後それぞれの結果を表 2 に示した。円に近い b-1 は、偏平度、異形度、尖り度、乱形度のどの指標においても、補正前後で値が、その指標の中でも最小値付近に抑えられ、形状において等級が悪くない、すなわち、正当な評価を得ている。ほ

表1 着色度計算方法の比較

Table 1 Comparison of color measurement methods

Sample	Actual color val.	RG Dco	Chromaticity Cco	HIS Hue	$L^*a^*b^*$ a^*
a-1	10	104.9 (9.5)	88.9 (8.9)	0.83 (7.1)	605.2 (8.2)
a-2	8	76.1 (6.9)	65.1 (6.5)	0.65 (5.6)	462.0 (6.3)
a-3	6	57.2 (5.2)	49.1 (4.9)	0.52 (4.4)	362.6 (4.9)
a-4	3	28.3 (2.5)	24.6 (2.5)	0.28 (2.4)	181.2 (2.5)
a-5	1	11.1 (1.0)	10.0 (1.0)	0.11 (1.0)	73.5 (1.0)

ぼ楕円である b-2 は、補正前の異形度および尖り度が補正によって大幅に改善されており、純粋な凹凸形状を評価した場合、b-1 に近い値をもつことがわかる。大階級においては偏平度だけでなく、他の形状に関する指標も過小に評価されることより、このような指標を用いても人の判定と同様に、b-2 は大階級では等級 A に小階級では等級 B に判定可能である。この楕円の影響を排除する補正に関しては、重心と境界との距離の最大・最小値を用いているため異形度が最もその影響を大きく受ける。補正異形度については、元々楕円に近いサンプルは補正異形度が減少する（良い）方向に補正され、b-3 や b-4 のように円に近いものは増大する（悪い）方向に補正される傾向があるが、全体における順序の整合性はとれていることがわかる。

さらに、各形状計測の効果を評価するために、それぞれの計測方法に関し、等級別の境界値を設け、表 3 に示した。この境界値は、実際の評価等級に基づいて、それぞれの指標

図 7 色変換方法による着色度と人の評価との比較

Fig. 7 Comparison between human evaluation results and color conversion values

における計測値をグループ分けすることで、グループ間の誤りが最小になる値で決定した。各指標の等級判定結果を比較しやすくするため、等級区間毎で比例分配し、形状計測データをサンプル毎に表したのが図 8 である。軽微な空洞特徴をもつ b-3, b-4, b-5 ではその計測結果に大きな差はみられないが、形状特徴として顕著な傾向をもつ b-6 以降のサンプルに対しては、各計測方法の特長がよく表れている。すなわち、b-6 では補正異形度では検出できない特徴に対して、補正尖り度が、b-7 は補正尖り度で検出できない特徴に対して補正異形度が、お互いの検出が苦手な部分を補う形で検出ができていくことがわかる。今回のサンプルでは見られなかったが、乱形には、b-10 のように、異形度や尖り度でもある程度評価可能なものだけでなく、ほとんど円形でスムーズな境界形状をしていても、一カ所のみがくびれた果実も出荷される時期もある。そのような果実は、乱形度で評価すべきである。ただし、本研究では形状をトマトの果頂面の 2 次元特徴量として取り扱っていることより、果実の傾きに影響を受けやすい。したがって、果実供給時の姿勢には十分な注意が必要である。今後は、果実の姿勢の変化に対応可能な 3 次元の特徴量の検討が望まれている。

以上のことから、トマトの形状評価に関しては、上記の形状評価指標を複数組み合わせ用いると同時に、階級に応じた設定値の調整をすることで、人間が行う選果結果に近い結果が画像処理によっても実現可能であると考えられた。

摘 要

種々の色および形状を有するトマトを対象にし、ローラーピン搬送装置をもつシステムにおいて、上面画像による着色および形状計測の実験を行った結果、以下の知見が得られた。

1) 着色度計測に関しては、R および G の比率を用いた指

表 2 形状計測結果

Table 2 Results of shape evaluation features

Sample	Actual shape grade	Hn	Ik	Ik'	Tg	Tg'	Rn	Rn'
b-1	A	104	6.9	5.5	16.4	14.1	12.5	14.5
b-2	A/B	125	28.7	12.1	23.4	15.8	28.6	28.1
b-3	B	105	10.1	13.6	16.4	14.6	15.6	34.1
b-4	B	103	9.4	14.2	19.7	16.2	46.3	39.7
b-5	B	110	21.1	14.7	16.2	18.5	31.1	36.1
b-6	B	100	15.4	11.6	18.9	19.1	29.8	19.5
b-7	C	102	22.4	19.7	17.8	18.2	21.5	25.8
b-8	C	110	24.2	21.2	22.8	28.0	49.3	64.1
b-9	SS	119	39.0	35.1	24.3	41.0	76.1	81.0
b-10	SS	130	53.4	31.6	21.3	27.1	74.0	106.4

SS: Substandard

表3 形状値の等級境界例

Table 3 An example of evaluation criteria for shape grading

	A	B	C	SS
Ik'	0~12.5	12.6~19.0	19.0~25.0	25.1~
Tg'	0~15.0	15.1~25.0	25.1~35.0	35.1~
Rn'	0~30.0	30.1~50.0	50.1~90.0	90.1~

SS: Substandard

図8 形状特徴値の評価結果

Fig. 8 Comparison of shape evaluation features

標によって、人の評価に近い結果を実現できた。

2) 形状評価に関しては、偏平度、異形度、尖り度、乱形度を提案し、データ比較を行ったところ、楕円の影響を補正した指標を用いることが適当であった。

3) 異形度、尖り度および乱形度は、お互いを補完する効果があり、これらの計測方法を組み合わせることで、様々なトマトの形状評価が可能であった。

4) 階級に応じて形状指標の設定値を調整することにより、人間が行う選果結果に近い結果が得られると考えられた。

謝 辞

トマトに関する一連の研究にあたり、選果サイドの貴重なご意見およびサンプルをご提供くださったJA向島町（現JA尾道市向島地域本部）三阪哲美氏、寄井武道氏に心より謝意を表します。

引用文献

V. D. Chau., Umeda, S., Mohri, K. 1983. Studies on

automatic sorting of agricultural products(I)–Surface color detecting of agricultural products–, J. JSAM 45(3): 337–341.

Ikeda, Y., Saito, Y. 1993. Shape judgment of agricultural products via neural network–Judgment of shape and size of pimento–, J. JSAM 55(3): 59–64.

Ishii, T., Toita, H., Kondo, N., Tahara, N. 2003. Deciduous fruit grading robot (Part 1) –Development of fruit providing and grading robots– (in Japanese). J. JSAM 65(6):163–172.

Kinoshita, O., Nagata, M. 1999a. Discrimination of strawberry shape using image processing (Part 1) –Measurement method for fruit direction–, J. JSAM 61(5): 41–48.

Kinoshita, O., Nagata, M. 1999b. Discrimination of strawberry shape using image processing (Part 2) –Proposition for feature–, J. JSAM 61(6): 43–49.

Kinoshita, O., Nagata, M. 1999c. Discrimination of strawberry shape using image processing (Part 3)–Selection for feature–, J. JSAM 61(6): 51–56.

Kondo, N., Shibano, Y. 1991. Studies on image recognition of fruit vegetables (Part 1) –Extraction of feature parameters on binary image of fruit vegetables–, J. JSAM 53(5): 51–58.

Kondo, N., Monta, M., Noguchi, S. 2004. Agricultural Robot (Part 1)(in Japanese). Koronasha Tokyo, 41–47: 56–61.

Kurita, M., Kondo, N. 2006a. Agricultural product grading methods by image processing (Part 1) –Effectiveness of direct lighting method–, J. SHITA. 18(1): 9–17.

Kurita, M., Kondo, N. 2006b. Agricultural product grading methods by image processing (Part 2) –Agricultural product mass estimation experiment by color TV cameras–, J. SHITA. 18(1): 18–27.

Motonaga, Y., Kameoka, T., Hashimoto, A. 1997. Constructing color image processing system for managing the surface color of agricultural products. J. JSAM 59(3): 13–21.

Nagata, M., Kinoshita, O., Asano, K., Q. Cao, Hiyoshi, K. 1997. Studies on automatic sorting system for strawberry (Part 3) –Development of sorting system using image processing–, J. JSAM 59(1): 43–48.

Njoroge, J. B., Ninomiya, K., Kondo, N. and Toita, H. 2002. Automated fruit grading system using image processing. In: Proc 2002 SICE, Osaka. 1290–1295.

Terawaki, M., Kataoka, T., Okamoto, H., Hata, S. 2002. Distinction between sugar beet and weeds based on shape characteristics using image processing technique. J. JSAM 64(2): 93–101.

Yamashita, R., Goto, K. 1979. Studies on properries and measurement methods agricultural products (in Japanese). In: Properries of agricultural products (Vol. 1) JSAM. 1–10.