

第6章 採果用カメラによる果柄の認識に関する実験

第1節 緒言

採果位置の決定は、果柄を切断するための果柄の位置認識、引っ張ってもぎ取るための果実の位置認識などがあり¹⁾、以下のような研究事例がある。キュウリの例では、果柄を把持・切断するため、V字型の栽培を導入し、接触センサで幅の変化による果柄と果実の境界部位を検知して、その上方を採果位置と決める²⁾。トマトの例では、果実を吸引・把持してもぎ取るため、採果位置は果実の位置を抽出して決める³⁾。ナスの例では、果柄を把持・切断するため、V字型の栽培を導入し、果実基部を認識してから果実基部の上側に果柄があると仮定して採果位置を決める⁴⁾。イチゴの例では、果実を吸引して果柄を切断するため、採果位置は果実の位置を抽出して決める⁵⁾。

いずれの採果位置の決定法も、対象物および栽培法の特徴を考慮した方式である。イチゴの場合は果皮表面が非常に柔らかいため、果実を直接把持または吸引することは外観や内部の損傷が懸念される。よって、イチゴを傷つけないように果柄を把持・切断して収穫するための果柄の認識が必要となる⁶⁾。

本章では、採果ハンドによる果柄の把持・切断のために、採果用とするカメラ2で撮影した採果目標果実の画像から果柄の採果位置と方向角を求める果柄認識の画像処理法を提案し、その有用性を検討した⁷⁾⁸⁾。

第2節 果柄認識の画像処理法

果柄認識の画像処理は、カメラ2で撮影した採果目標果実の画像（以下、原画像と称す）を用いて、図6-1に示す手順で行った。手順は大きく前処理と果柄認識のステップを含む。画像処理の操作については、図6-2を例に述べる。

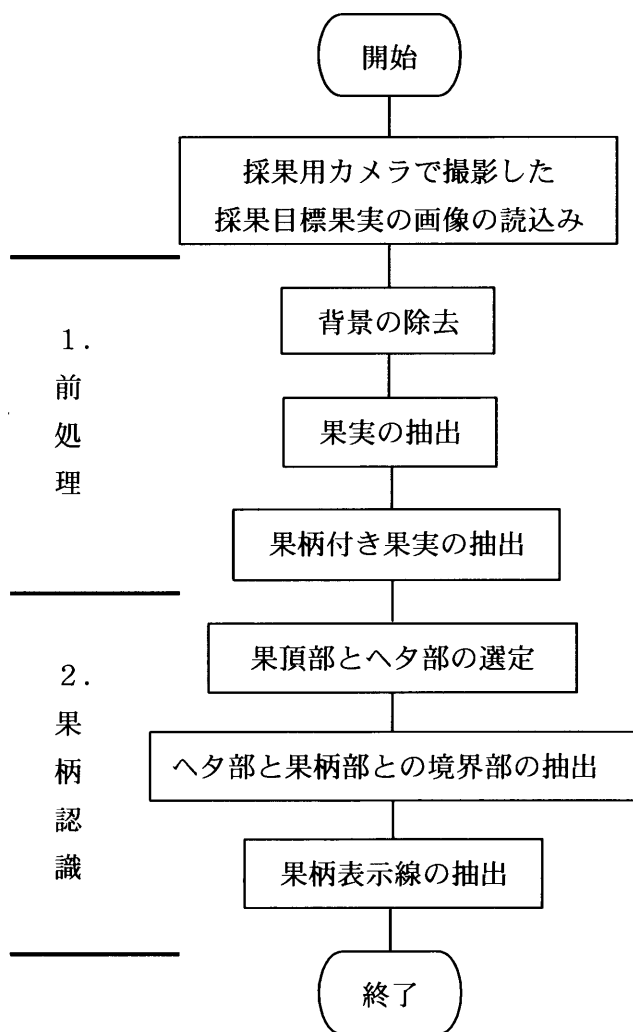


図 6-1 果柄の認識における画像処理のフローチャート

Fig. 6-1 Flowchart of image processing method for recognition of peduncle

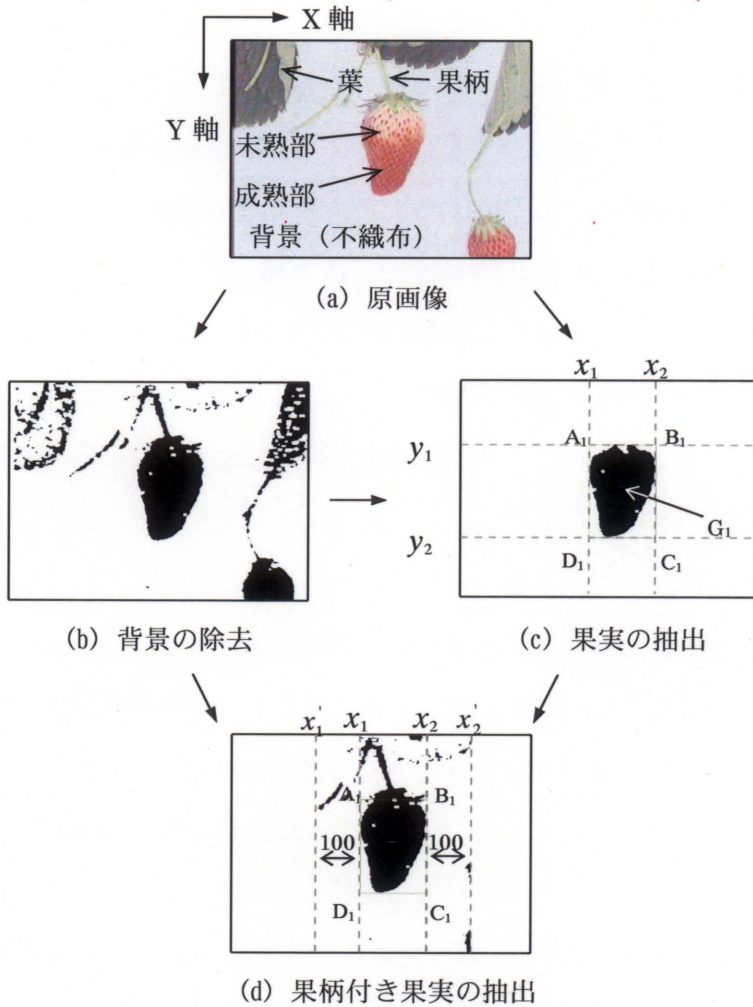


図 6-2 前処理

Fig. 6-2 Image preprocessing

1. 前処理

(1) 背景の除去

内成り栽培では畝面に白色または黒色の農業用不織布（以下、不織布と称す）が敷設されている。そこで、これらは背景として扱った。背景の除去は、図 6-2(a)の原画像から背景部位を白地にし、それ以外の赤色部位の着色部、白緑色⁹⁾部位の未着色部、緑色部位の葉、果柄を黒地として抽出した。図 6-2(b)は、背景を除去した 2 値画像を示す。雑音成分の除去は平滑化処理（8 近傍）を用いた¹⁰⁾。

(2) 果実の抽出

図 6-2(a)に示すように採果する果実は常にカメラ 2 の画面中央で撮影されるので、果実の抽出は周辺の葉、果柄、果実および背景を除去すればよい。そこで、果実は、背景を除去した 2 値画像図 6-2(b)における画素（マトリックス）が、原画像図 6-2(a)から抽出した緑色部位の葉、果柄の画素である場合に白地にした後、ラベリング処理を行い塊状として抽出した。果実が複数存在する場合、各果実の重心が画面中心点に最も近い塊状を抽出し、それ以外は除去した。図 6-2(c)は果実を抽出した 2 値画像を示す。

ここで、図中の果実を囲む矩形 $A_1B_1C_1D_1$ （以下、矩形 I と称す）を形成する軸線 x_1, x_2 および y_1, y_2 は、果実の画像重心 G_1 から X 軸および Y 軸方向にスキャンして、その線上で 10 画素以下の値を最初に検出した時の軸線として求めた。

(3) 果柄付き果実の抽出

a. 抽出範囲の決定

果柄付き果実は、図 6-2(b)から両端の葉や果実を除去した画像として抽出するので、除去部分の範囲を決める必要がある。そこで、図 6-2(c)の軸線 x_1, x_2 を用いて、果柄が横向きになった場合のヘタ部と切断する果柄の長さを考慮して、左右へ 100 画素を拡張させた軸線 x'_1, x'_2 を除去範囲の境界線と決定した。

b. 抽出した果柄付き果実

抽出した果柄付き果実は、図 6-2(b)の 2 値画像に図 6-2(c)から求めた境界線を当てはめて、軸線 x'_1, x'_2 の外側部分を除去し 2 値画像とする。図 6-2(d)は抽出した果柄付き果実の 2 値画像を示す。

2. 果柄認識

果柄認識として、図 6-2(d)の果柄付き果実を用いて、果頂部とヘタ部の選定、ヘタ部と果柄との境界部の抽出および採果ハンドによる果柄の把持・切断に必要な採果位置と採果角を求めるための果柄表示線の抽出を行った。画像処理の手順は、図 6-3 を例に述べる。

(1) 果頂部とヘタ部の選定

果柄認識の重要な要素となる果頂部とヘタ部の選定は、図 6-3(a)に示すように次のように行った。

- ①果柄付き果実の画像を用いて、その画像重心 (G_2) と果実の向きを示す慣性主軸 (L_i) の傾き (θ) を求める¹⁰⁾。

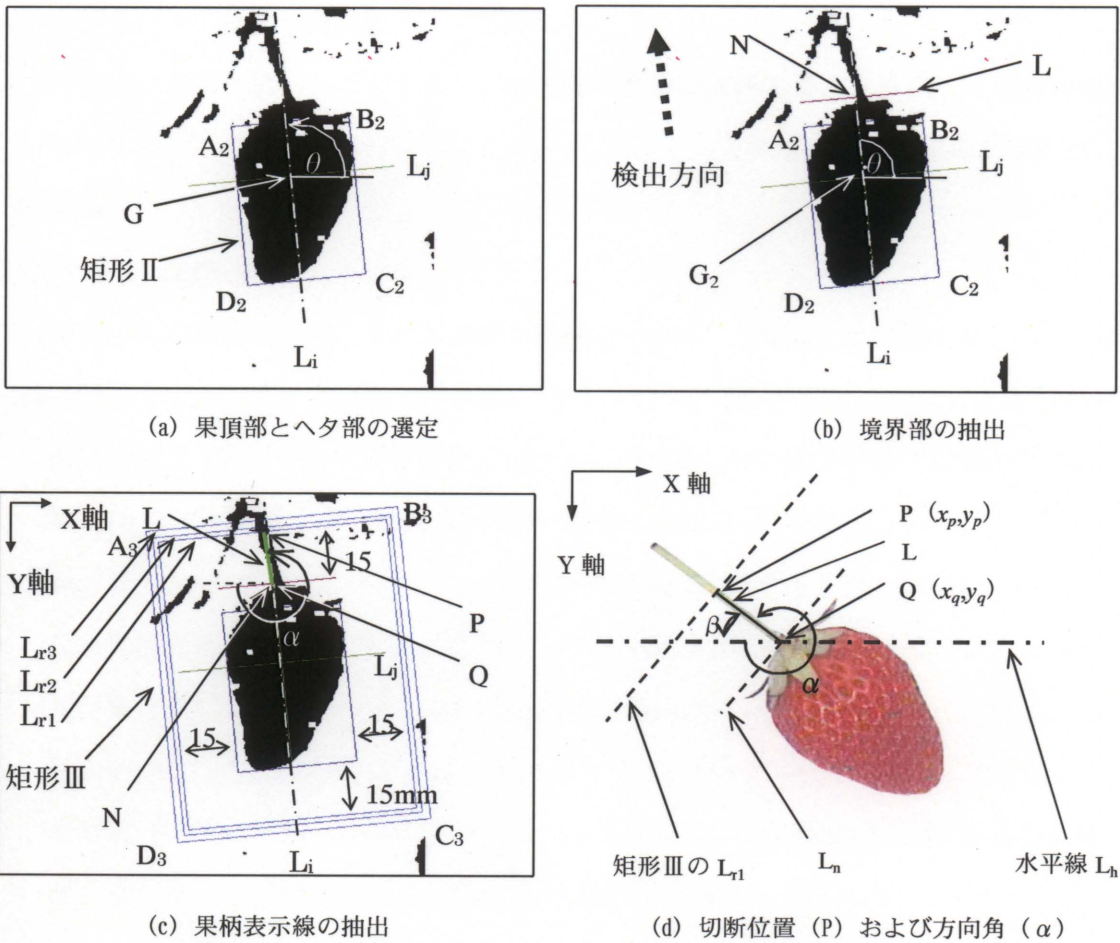


図 6-3 果柄の認識, 切断位置 (P) および方向角 (α)

Fig. 6-3 Recognition of peduncle, cutting position(P) and direction angle (α)

②果柄とヘタ部を除いた果実のみの画像を用いて, G_2 の位置で L_i とそれに直交する線 (L_j) とのクロス軸を基軸として果実を囲む矩形を求めるために, 図 6-2 (c) を用いて矩形 I と同様な方法で矩形 $A_2B_2C_2D_2$ (以下, 矩形 II と称す) を求める。

③ G_2 から矩形 II の各辺へ下ろした垂線が最も長い側を果頂部, その反対側をヘタ部とする。図 6-3 (a) では C_2D_2 側が果頂部, A_2B_2 側がヘタ部となる。

(2)ヘタ部と果柄との境界部の抽出

果柄の直径は 0.5~3.0mm あるので, 画像では 2~20 画素の画素列となる。果柄はヘタ部から伸びているとして, その境界部を抽出する。その手順は, 図 6-3 (b) に示すように次のように行った。

①果柄付き果実の画像において、矩形Ⅱの一边 $\overline{A_2B_2}$ を果柄側へ1画素ずつ平行移動させ、その平行移動した線をスキャンする。

②その線において果柄とみられる2~20画素の連続画素列を最初に検出した位置を境界部とする。この位置で平行移動した線を L_n とし、 L_i との交点を境界部の基準点(N)とする。

(3) 果柄表示線の抽出

果柄の画素列のほぼ中心を通る直線を果柄表示線(L_s)とする。 L_s の抽出は、図6-3(c)に示すように次のような手順で行った。

①果柄を長さ15mmで切断する位置を抽出するために、矩形Ⅱの各辺(ただしヘタ部側は $\overline{A_2B_2}$ の代りに L_n)を15mm(65画素)拡張した矩形Ⅲ₁を設ける。

②矩形Ⅲ₁の果柄側の線上(L_{r1})で2~20画素の連続画素列の中心点(P)を求める。このP点を採果位置として固定する。次に、 L_n の線上を移動する点をQとして、PとQを結んだ線(\overline{PQ})をスキャンし、線上の画素数が最も多い線を L_s とする。ただし、隣接果柄が存在して複数の \overline{PQ} が抽出された場合には、Nに最も近い \overline{PQ} を L_s とする。

③矩形Ⅲ₁で果柄の画素列が検出されなかった場合には、16.5mm(71画素)拡張した矩形Ⅲ₂、18.5mm(80画素)拡張した矩形Ⅲ₃を用いて、同様の手順を繰り返す。

(4) 果柄の方向角の算出

L_s の抽出後、果柄の方向角(α)を求める。 α は本システムのS軸に取り付けた採果ハンドの採果角となり、 $\alpha=0^\circ$ を回転の始点とする。

α は以下の手順で求めた。図6-3(d)において、Qを通りX軸に平行な水平線(L_h)と L_s との成す挟角 β をPの座標(x_p, y_p)とQの座標(x_q, y_q)から次式で求める。

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{|y_p - y_q|}{|x_p - x_q|} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad [^\circ] \quad (x_p \neq x_q) \quad (2)$$

次に、 α は反時計回りにQを基点にP、Qの位置関係から(2)式を用いて、次式で求める。

$$\begin{cases} x_p < x_q \text{の時} : y_p \geq y_q \text{で} \alpha = \beta, & y_p < y_q \text{で} \alpha = 360^\circ - \beta \\ x_p > x_q \text{の時} : y_p \geq y_q \text{で} \alpha = 180^\circ - \beta, & y_p < y_q \text{で} \alpha = 180^\circ + \beta \\ x_p = x_q \text{の時} : y_p \geq y_q \text{で} \alpha = 90^\circ, & y_p < y_q \text{で} \alpha = 270^\circ \end{cases} \quad (3)$$

なお、 α は果柄においては「方向角」、採果ハンドにおいては「採果角」として使い分ける。

第3節 実験装置および方法

1. 供試イチゴ

品種は宮崎市木花地区のハウスで栽培された‘章姫’を用いた。図6-4に示す試料は早朝に果柄付きイチゴを採果し、直ちに実験室に持ち帰り予冷室(5℃)に保管したものである。果柄認識に対する熟度、大きさ、形状の影響を検討するため、形状はA等級のみ、熟度は4分着色以下、5・6分着色、7・8分着色、9・10分着色、大きさはS,M,L,2Lに区分した。区分基準はJA宮崎県経済連合共同組合の「宮崎いちご標準出荷規格表」に従った。



図6-4 果柄付きイチゴ

Fig. 6-4 Strawberry with peduncle

2. 測定装置

内成り栽培方式の畝を再現するため、室内実験用モデル畝は、図6-5に示すように、白色または黒色の不織布(旭化成製)を敷設した長さ1.3m×幅0.5mのモデルを作製した。内成り栽培は、1畝当たり2条植えが基本で、果実は畝の内側で育成されるので、果頂部が向き合う状態となる。そこで、イチゴの配置はモデル畝上に条間を200mm、株間を100mmとし、果柄が概ね垂直方向に向かう標準配置と、条間、株間、果柄の向きをランダムとするランダム配置の2区を設けた。果実はモデル畝上に1条当たり5果を配置し、果柄の向き

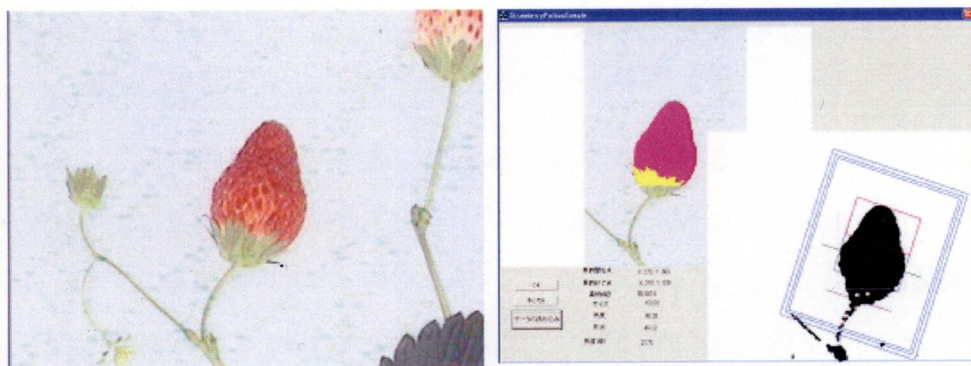
の計測には分度器を用いた。



図 6-5 白色背景のモデル畝

Fig. 6-5 Model ridge with white background

カメラ 2 による採果目標果実の画像取得には、第 4 章の開発機を用いた。赤色部位の果実の着色部、白緑色部位の未着色部、緑色部位の葉、果柄、白色または黒色の背景における L^*, a^*, b^* のヒストグラムは、第 5 章と同じ方法で AdobePhotoshop6.0 を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系から計測した。果柄認識の画像処理は、Visual C++6.0 で自作したプログラムを用い、処理結果は図 6-6 に示すディスプレイに採果位置 P および方向角 α のほかに、赤色部位の画素数、果実の画素数、着色率 R_i を出力する。



原画像

画像処理画面

図 6-6 白色背景における画像処理結果画面の一例

Fig. 6-6 Example of image processing result with white background

3. 測定項目および方法

(1) 前処理における閾値の決定

閾値の決定における採果目標果実の原画像は、4分着色、5・6分着色、7・8分着色、9・10分着色を含むイチゴ20個をモデル畝に標準配置し、毎回10個ずつ配置して(計2回)、カメラ1で認識した果実の位置へカメラ2が移動して画像を撮影した。背景は白色の後、黒色でも行い、カメラ2による撮影を繰り返した。

a. 背景除去の閾値

赤色部位、白緑色部位、緑色部位、白色また黒色の背景における、R、G、B値の関係は、白色背景と黒色背景の原画像から、画像処理ソフト ImageNos¹¹⁾を用いて比較した。

白色背景における背景除去の閾値は、赤色部位、白緑色部位、緑色部位、白色部位において、5画素間隔で20画素のR、G、Bの値を求め、R-Bの大きさを比較検討した。

黒色背景における背景除去の閾値は、赤色部位、白緑色部位、緑色部位、白色部位において、5画素間隔で20画素のR、G、Bの値を求め、それぞれの大きさを比較検討した。

b. 果実抽出の閾値

果実の抽出のため、緑色部位の葉、果柄を除去する閾値は、赤色部位、白緑色部位、緑色部位、白色または黒色部位における L^* 、 a^* 、 b^* 値の分布をヒストグラムの平均値(\bar{X})と標準偏差値(σ)から $\bar{X} \pm 2\sigma$ の信頼区間(95.4%)として求め、比較検討した。

(2) 果柄表示線の抽出による果柄の認識

a. 果柄の向きによる影響

採果ハンドで果柄を把持・切断して採果するには、正確な P および α が要求される。内成り栽培では、果実の向きが各々異なるので、果柄の向きが L_s の抽出に及ぼす影響を検討した。そこで、果柄が真直ぐに伸びた9・10分着色のS、M、L、2Lごとに5個ずつ、計20個を白色の不織布のモデル畝に標準配置して、果柄の向きは、図6-7に示すように、90°(下向き)から180°(横向き)までを10°間隔で変えながら、画像処理による P の抽出の可否を L_s の抽出率として求めた。

b. 果柄表示線の抽出精度

本システムにおいて採果ハンドは画像処理で求めた P および α を用いて果柄を把持・切断するため、果柄表示線の抽出精度は、上記の「a. 果柄の向きによる影響」実験における原画像からの目視による P および α の実測値と画像処理による P および α の計算値を求め

て比較し、 P の差と α の差を採果ハンドによる果柄の把持・切断の限界値と比較しながら検討した。

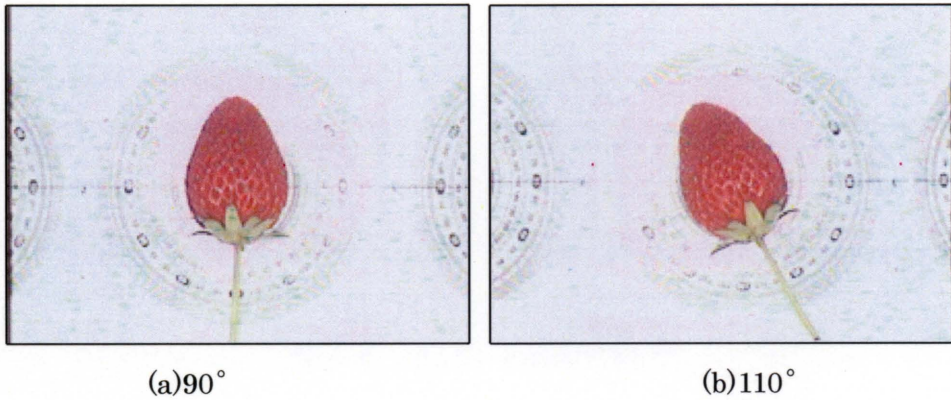


図 6-7 果柄の向きの一例

Fig. 6-7 Example for the direction of peduncle

(3) 果柄認識の検証実験

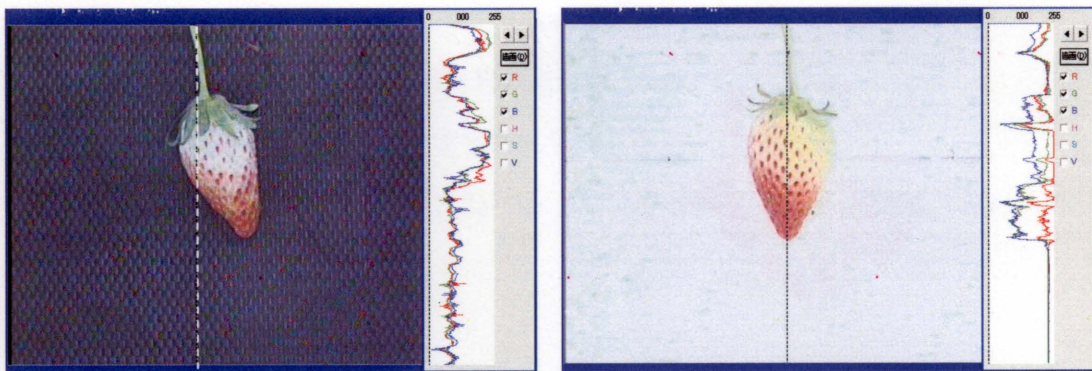
果柄認識の検証は、果柄付き果実 10 個（未着色および収穫適期を含む）を 1 ユニットとし、白色と黒色の不織布のモデル畝にランダム配置して、5 ユニット（果実個数 50 個）を用いて行った。果柄の認識率は、採果目標果実の中から画像処理で適切な P と α が求められた果実数の割合として検討した。

第 4 節 結果および考察

1. 前処理における閾値の決定

(1) 背景除去の閾値

黒色と白色の両背景の原画像における各部位の R , G , B 値は、図 6-8 に示すように、黒色背景の R , G , B の値がいずれも 130 より小さく、白色背景の R , G , B の値がいずれも 255 付近に集中し、果実と果柄における R の値が B の値より大きいという特徴があった。これは、 R , G , B の値は、黒色では光がほとんど吸収されるために 0 に近いが、白色ではほとんど反射されるために 255 に近くなるのが主な原因と考えられる⁹⁾。そこで、この特徴を生かして、白色または黒色は赤色、未熟（白緑色）、緑色と区分できるかを試みた。



(a) 黒色背景

(b) 白色背景

図 6-8 R、G、B 値の比較

Fig. 6-8 Comparison among R, G, and B value

図 6-9 は白色背景における赤色部位、白緑部位、緑色部位、背景部位の R-B の値を示す。R-B の値が白色部位では 0 に近いが、他の部位では 10 以上を示すため、白色背景を除去する閾値は同じ画像を用いて 5 ± 2 で比較した結果、5 が最も適切であった。

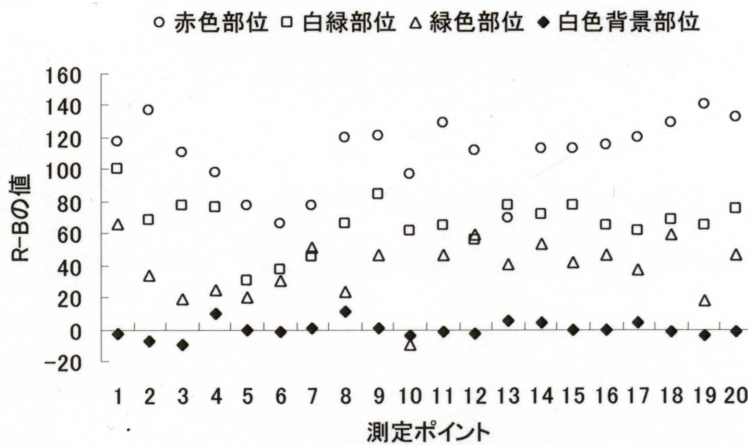


図 6-9 白色背景における R-B の値

Fig. 6-9 Value of R-B with white background

また、図 6-10 は黒色背景における赤色部位、白緑部位、緑色部位、背景部位の R、G、B の値を示す。R、G、B の値が黒色背景部位では三つとも 125 以下であるが、他の部位では少なくとも一つが 125 であった。そこで、黒色背景を除去する閾値は同じ画像を用いて 125

±5 で比較した結果、125 が最も適切であった。よって、背景除去の閾値は白色の不織布では $R-B=5$ 、黒色の不織布では $R=G=B=125$ を最適値と決定した。

そこで、背景除去における2値化処理の条件は、次のようにした。

- ①白色の不織布： $(R-B>5)$ を満足する時は黒地、それ以外は白地。
- ②黒色の不織布： $(R>125)$ or $(G>125)$ or $(B>125)$ を満足する時は黒地、それ以外は白地。

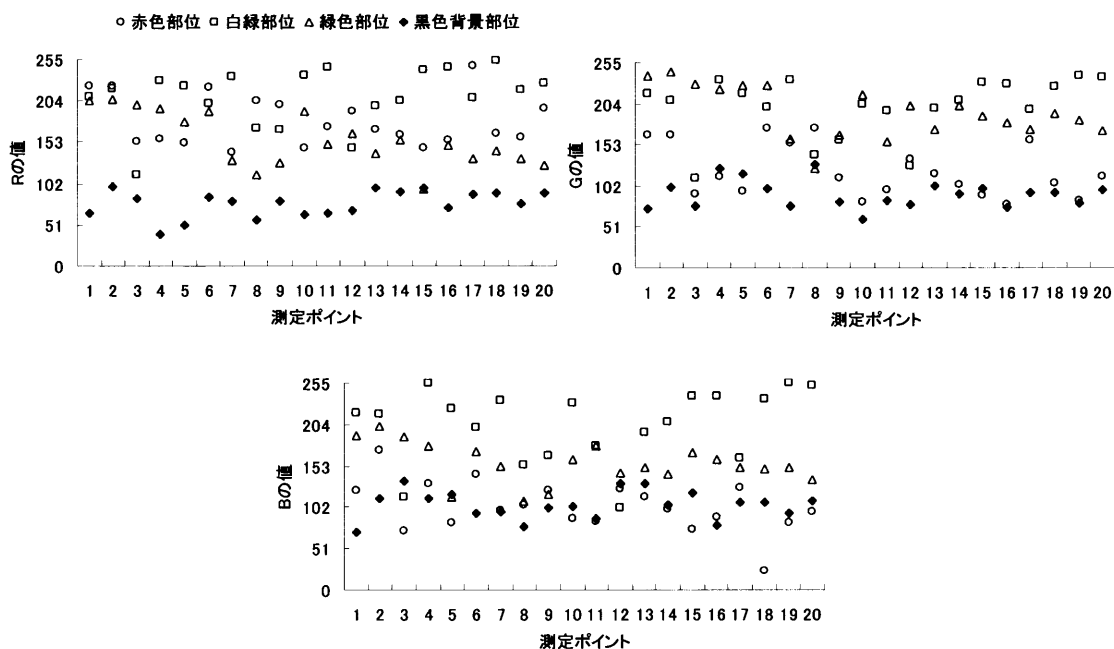


図 6-10 黒色背景における R、G、B の値

Fig. 6-10 Value of R, G, and B with black background

(2) 果実抽出の閾値

赤色部位、白緑部位、緑部位 L^* 、 a^* 、 b^* 値の分布は、図 6-11 に黒色背景の場合を、図 6-12 に白色背景の場合を示す。 L^* の値は白色部位では 90 以上、黒色部位では 40 付近に分布し、両背景において、赤色部位と白緑部位の a^* の値は 5 以上に、葉・果柄部位の b^* の値は 5 より小さいという特徴を示した。 L^* 、 a^* 、 b^* 値の閾値は、果実の大きさおよび形状、果実付近の果柄、赤色部位の面積の抽出を主な目的とし、比較検討した結果 $L^*=85$ 、 $a^*=5$ 、 $b^*=0$ を最適値と決定した。背景の除去は前項の閾値を用いた。そこで、果実の抽出における2値化処理の条件は、次のようにした。

- ①白色の不織布： $[(R-B>5)]$ and $[(L^*\geq 85)$ or $(a^*\geq 5)$ or $(b^*\leq 0)]$ を満足する時は黒

地, それ以外は白地。

②黒色の不織布: $[(R>125) \text{ or } (G>125) \text{ or } (B>125)] \text{ and } [(L^*\geq 85) \text{ or } (a^*\geq 5) \text{ or } (b^*\leq 0)]$ を満足する時は黒地, それ以外は白地。

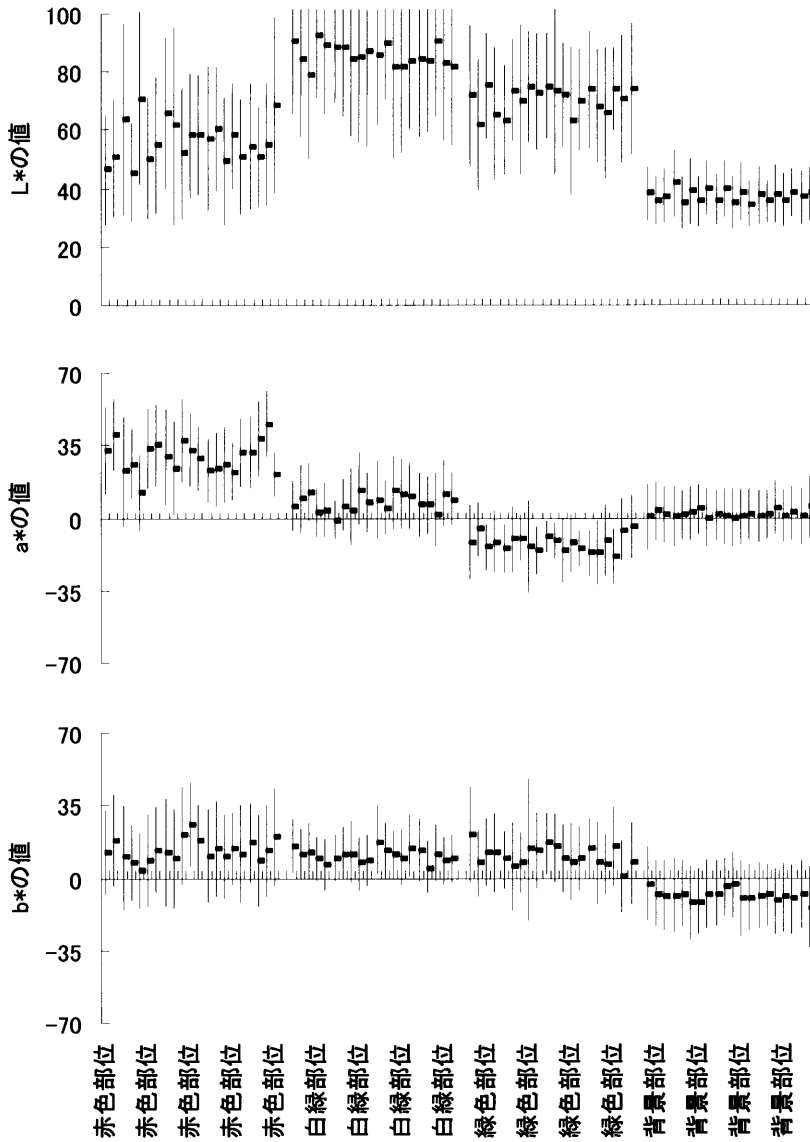


図 6-11 黒色背景における $L^*a^*b^*$ 値の分布

Fig. 6-11 Distribution of $L^*a^*b^*$ value with black background

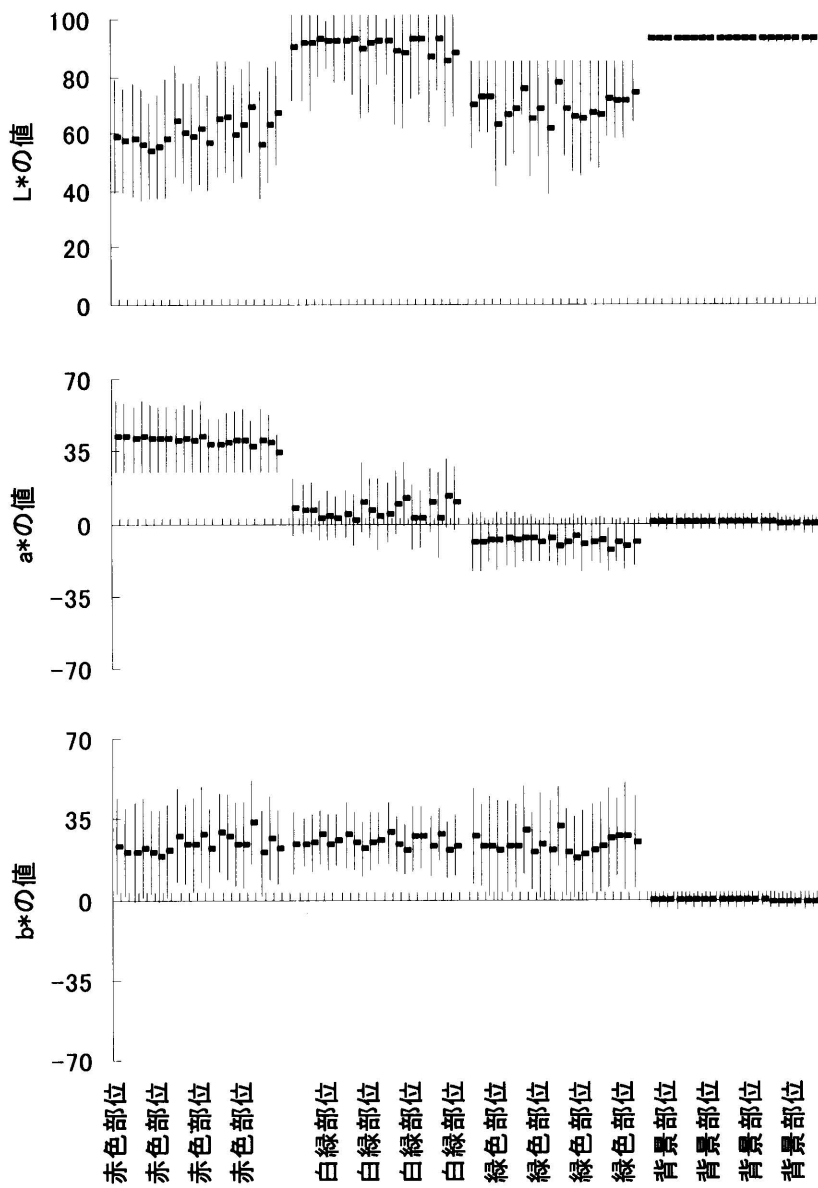


図 6-12 白色背景における L*a*b* 値の分布

Fig. 6-12 Distribution of L*a*b* value with white background

2. 果柄表示線の抽出による果柄の認識

(1) 果柄の向きによる影響

各果柄の向きにおける L_s の抽出結果の画像は、果柄の向きが 90° 、 150° 、 180° を例として図 6-13 に示す。提案した画像処理法は、果柄の向きが垂直から水平まで果柄抽出ができることから、任意向きにおける果柄の認識が可能であることが確認できた。

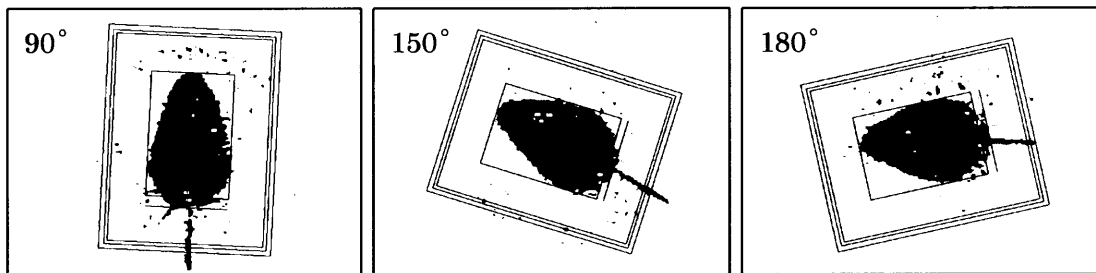


図 6-13 果柄表示線 (L_s) の抽出画像

Fig. 6-13 Extraction image of display line (L_s) of peduncle

図 6-14 に示すように L_s の抽出率は $90^\circ \sim 140^\circ$ までは $90 \sim 95\%$ を得たが、その後は角度が増すにつれて低下し、水平の 180° では 50% 近くになった。 L_s の抽出は画面上で果柄が上向き、下向きでの範囲が良好であるといえる。これは、果柄の向きが水平方向になると、

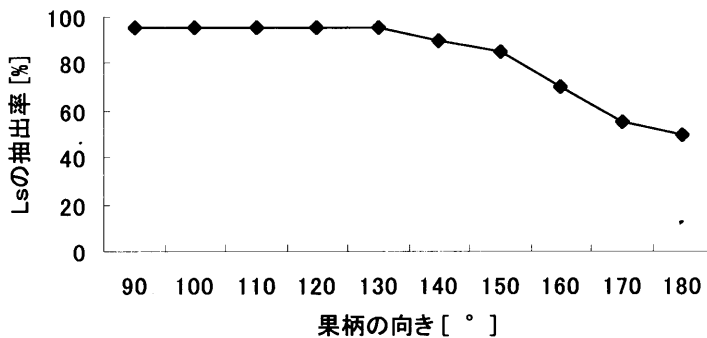


図 6-14 果柄表示線 (L_s) の抽出率

Fig. 6-14 Extraction rate of display line (L_s) of peduncle

果柄が x_1' , x_2' の境界線で打切られるために、特にヘタ部の広い果実では、果柄先端に近い位置で L_n が検出されて、 L_n から果柄先端までの長さが短くなり、果柄先端が矩形 III₁ の L_{r1} 線と交差しなくなることが原因で、P が抽出できなかったことによる。

(2) 果柄表示線の抽出精度

図 6-15 は、果柄の向きにおける大きさごとの画像処理で求めた α を示す。大きさ S, M, L, 2L における α は、同じ果柄の向きではずれが少なく、ほぼ同じ範囲に分布していることから、果実の大きさの影響は少ないことが確認できた。原画像からの目視による P および α の実測値と画像処理による P および α の計算値との比較結果は、図 6-16 (a), (b) に示すように、P の差が平均 0.4mm, α の差が平均 5.3° であった。よって、P の差はフィンガおよびハサミの開き幅の限界値 10mm より小さい値であったこと、また、 α の差は果柄の把持・切断可能な傾き角の限界値 15° より小さい値であったことから、果柄認識の画像処理法の適用性が示唆された。

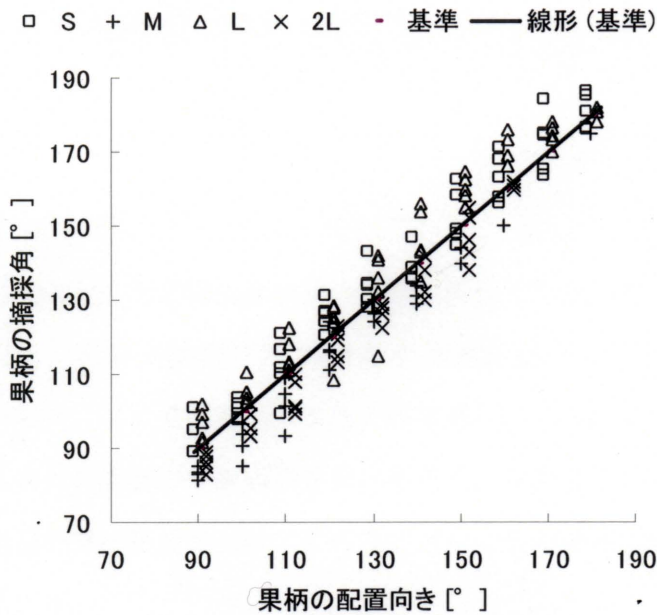


図 6-15 果柄の認識における大きさの影響

Fig. 6-15 Influence on recognition of peduncle

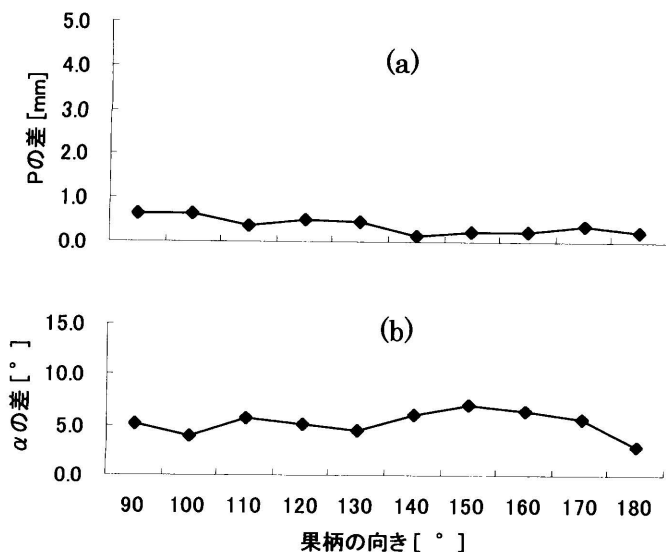


図 6-16 果柄の切断位置 (P), 果柄の方向角 (α) の差

Fig. 6-16 Cutting position (P), direction angle (α) of peduncle

3. 果柄認識の検証実験

表 6-1 は黒色の不織布における果柄認識結果の一例を示したものである。果柄の認識率は白色の不織布で 81.1%, 黒色の不織布で 78.4%であり, 果柄認識のミスは, 果実周辺の葉, 果柄, 未着色果などの影響による果頂部とヘタ部の誤認識によるものであった。これは, 慣性主軸の傾き θ が果柄付き果実の 2 値画像を用いるため, 背景部位以外と抽出された果実周辺の葉, 果柄, 未着色果の影響を受けてずれることによると考えられるが, 垂直方向での認識率は良好であった。

以上の結果より, 果実が独立して存在する場合, 提案した果柄認識の画像処理法は, L_s の抽出によって果柄を認識できることが確認できた。

表 6-1 果柄の認識の結果

Table 6-1 Result of recognition of peduncle

等級	階級	白の不織布		黒の不織布	
		方向角 [°]	果柄認識	方向角 [°]	果柄認識
A	L	177	○	225	×
A	2L	79	○	73	○
A	2L	82	○	76	○
A	L	321	○	356	○
A	M	158	○	154	○
A	L	201	○	209	○
A	L	33	×	115	×
A	2L	110	×	334	○
A	2L	253	○	256	○
B	L	160	○	146	○
A	S	171	○	163	○
A	M	202	○	195	○
B	L	92	○	96	○
A	S	×	×	×	×
A	2L	330	○	278	×

第5節 摘 要

果柄を把持・切断するために、2 台目のカメラである採果用カメラ（カメラ 2）で撮影した採果目標果実の拡大画像を用いて、果柄の切断位置、方向角を求める果柄認識の画像処理方を提案した。果柄の認識は始めに果頂部とヘタ部を選定し、次にヘタ部と果柄との境界部を抽出し、最後に果柄表示線を抽出するものであり、その有用性を検討した結果、以下のような知見を得た。

1) 果柄認識のための背景除去には 2 値化処理を行った。その結果、白色の不織布の場合では $(R-B > 5)$ 、黒色の不織布の場合では $(R > 125)$ or $(G > 125)$ or $(B > 125)$ であり、果実を抽出して 2 値化する条件は、白色の不織布の場合では $[(R-B > 5)]$ and $[(L^* \geq 85)$ or $(a^* \geq 5)$ or $(b^* \leq 0)]$ 、黒色の不織布の場合では $[(R > 125)$ or $(G > 125)$ or $(B > 125)]$ and $[(L^* \geq 85)$ or $(a^* \geq 5)$ or $(b^* \leq 0)]$ であった。

2) 果柄認識の画像処理法は、果柄の認識率は垂直付近では 100% となったが、水平付近では低下し、平均で約 80% となった。

3) 原画像からの目視による実測値と画像処理による採果位置 P および方向角 α の計算値との差は、P では平均 0.4mm、 α では平均 5.3° となり、果柄認識の画像処理法の適用性が

示唆された。

4) 本画像処理を用いたモデル畝での果柄の認識率は白色の背景で 81.1%, 黒色の背景で 78.4%と良好な精度を得ることが出来た。

5) 果柄認識のミスは, 果実周辺の葉, 果柄, 未着色果などの影響により, 慣性主軸の傾き θ を用いた果頂部とヘタ部の誤認識によるものであった。

引用文献

- 1) 藤浦建史: 農業ロボット開発の課題と展望 (2) 農業ロボットの視覚部, 農業機械学会誌, 58(1), 144~149, 1996
- 2) 有馬誠一, 近藤直, 芝野保徳, 藤浦建史, 山下淳, 中村博: キュウリ収穫ロボットの研究 (第2報), 農業機械学会誌, 56(6), 69~76, 1994
- 3) Monta, M., Kondo, N., Ting, K.C.: End-effectors for tomato harvesting robot, Artificial Intelligence Review, 12(1-3)11~25, 1998
- 4) 林茂彦, 雁野勝宣, 黒崎秀仁, 有馬誠一, 門田充司: V字型整枝されたナスを対象としたロボット収穫システム (第1報), 植物工場学会誌, 15(4) 205~210, 2003
- 5) 有馬誠一, 近藤直, 八木洋介, 門田充司, 吉田裕一: 高設栽培用イチゴ収穫ロボット (第1報), 植物工場学会誌, 13(3) 159~166, 2001
- 6) 崔永杰・槐島芳徳・日吉健二・戸次里枝・永田雅輝 (2003年9月) イチゴの果柄の自動認識・判断に関する基礎研究. 第58回農業機械学会九州支部例会. 宮崎大学. 九州農業研究発表会専門部会発表要旨集 P64.
- 7) 崔永杰・郭峰・小林太一・永田雅輝: イチゴ収穫ロボット開発のための果柄認識, 農業環境工学関連学会 2006年合同大会講演要旨, 北海道大学, CD-101313, 2006
- 8) 崔永杰, 永田雅輝, 郭峰, 日吉健二, 木下統, 御手洗正文: マシンビジョンによる内成り栽培用イチゴ収穫ロボットの研究 (第2報), 農業機械学会誌, 69(2), 60~68, 2007
- 9) 大井義雄, 川崎秀昭: 色彩 (改訂版), 日本色研, 東京, 2~5, 72, 2004
- 10) 谷口慶治: 画像処理工学 (基礎編), 共立出版株式会社, 東京, 99~101, 107~129, 2000
- 11) baruth (ばるす): 画像処理ソフト ImageNos (イマジノス), baruth, 2003