

第5章 位置決め用カメラによる果実の認識に関する実験

第1節 緒言

マニピュレータや採果ハンドを制御するには、視覚部とするカメラ、センサなどを用いて、対象物の認識、収穫適期の判定、果柄の認識などの果実情報が必要である¹⁾。

例えば緑色のキュウリの認識は、モノクロカメラで2枚のフィルタを通した画像を取得し、反射分光特性より2波長の濃度比を比較して得られた2値画像、塊状図形の面積、フェレ長比などの特徴をもとに行っている²⁾。トマトの認識は、カラーカメラで画像を取得し、反射分光特性より赤信号Rと輝度信号Yの電圧同士を比較して赤い領域を抽出した2値画像をもとに行っている³⁾。紫色のナスの認識は、カラーカメラで画像を取得し、色情報よりG-Bから緑以外の部分を抽出した2値画像、Gから背景以外の部分を抽出した2値画像、塊状図形の面積、幅および長さなどの形態的特徴をもとに行っている⁴⁾。イチゴの認識は、カラーカメラで画像を取得し、色情報よりR-GおよびR-Yから得られた2値画像、塊状図形の面積、幅、長さなどの形態的特徴をもとに行っている⁵⁾。

本研究では、収穫エリアにおける採果目標果実の個数、位置、採果順序を決める方法として、位置決め用カメラ（以下、カメラ1と称す）で撮影した収穫エリアの画像から、赤色部位と緑色部位が区分し易いL*a*b*表色系を用いて赤い領域を抽出した2値画像から、ラベリング処理で求めた塊状図形の面積、それぞれの重心座標を求めて行うことにした。

本章では、カメラ1で撮影した収穫エリアの画像から、採果目標果実を認識する画像処理法を提案し、その有用性を検討した⁶⁾⁷⁾。収穫適期果実を判定し、果柄を把持・切断して採果するための果実の選別、果柄の認識については第6章、第7章で述べる。

第2節 果実認識の画像処理法

果実認識の画像処理は図5-1に示すような手順で行った。

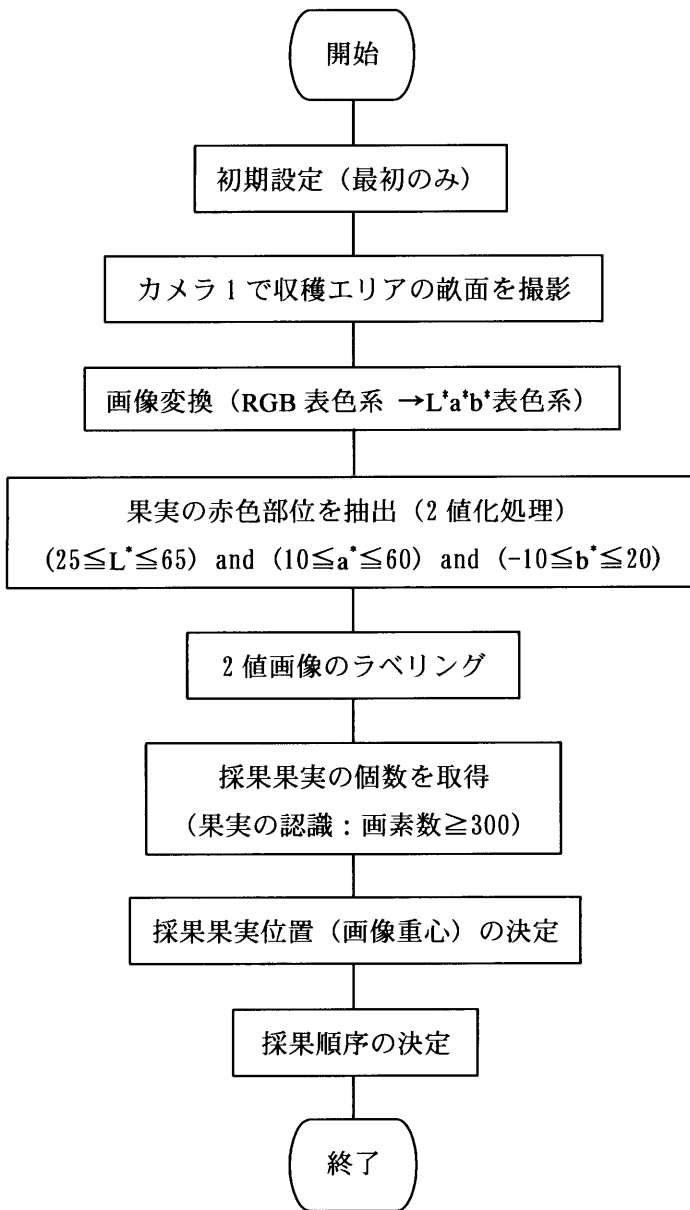


図 5-1 果実認識における画像処理のフローチャート

Fig. 5-1 Flowchart of image processing method for recognition of fruit

①システムのフレームに固定したカメラ1で収穫エリアの画像を撮影する。

②L*a*b*表色系におけるL*は明度、a*は緑から赤への色度、b*は青から黄色への色度を表しているため、果実の赤色部位と果柄および葉の緑色部位の抽出が明確になると思われる。そこで、カメラ1で取得した原画像はRGB表色系から果実の赤色系と果柄および葉の緑色系を区別して表現し易いL*a*b*表色系を用いることにし、その変換式として式(1)および(2)を用いた⁸⁾。

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - 16 \\ a^* &= 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \\ b^* &= 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 X_0, Y_0, Z_0 は標準照明(D₆₅)における白基準値の3刺激値で $X_0=0.9505, Y_0=1.0000, Z_0=1.0883$ とした。なお、 $Y/Y_0 \leq 0.008856$ の場合は $L^* = 903.3 \left(\frac{Y}{Y_0} \right)$ を用いた。

r, g, b は $(R/255, G/255, B/255) > 0.04045$ の時は $r = (R/255)/12.92$,
 $g = (G/255)/12.92$, $b = (B/255)/12.92$, $(R/255, G/255, B/255) \leq 0.04045$ の時は
 $r = ((R/255 + 0.055)/1.055)^{2.4}$, $g = ((G/255 + 0.055)/1.055)^{2.4}$, $b = ((B/255 + 0.055)/1.055)^{2.4}$ とした。

③果実の赤色部位のみを明確に抽出するための L^*, a^*, b^* の最適な範囲は、市販ソフト (Adobe Photoshop6.0) を用いて、赤く着色した果実をサンプルとして L^*, a^*, b^* のヒストグラムから信頼区間、95.4%を用いて求めた。この L^*, a^*, b^* の範囲を各画素に適用し、赤色部位を抽出する2値化処理を行った。

④③で得られた2値画像から赤色と認識された画素の8連結成分処理を施し、ラベリング処理を行った。そして、採果目標果実は、4分着色以上の果実をノイズまたは未熟果と区別して選定した。

⑤④の結果から採果目標果実の個数はラベルの数として求めた。

⑥採果目標果実の位置は、次式(3)からラベルごとに求めた赤色部位の画像重心座標 (X_p, Y_p) (以下、重心座標と称す) とした⁹⁾。

$$X_p = \frac{\sum_m \sum_n m f_p(m,n)}{\sum_m \sum_n f_p(m,n)} \quad \text{および} \quad Y_p = \frac{\sum_m \sum_n n f_p(m,n)}{\sum_m \sum_n f_p(m,n)} \quad (3)$$

ここで, (X_p, Y_p) は, 重心座標 [画素]

P は, ラベル番号

$f_p(m,n)$ は, 連結成分の分布

⑦採果順序は重心座標において X_p の小さい値から大きい値へ順番を付け, X_p が同値の場合には Y_p の小さい値から大きい値へ順番を付した。

第3節 実験装置および方法

1. 供試イチゴ

イチゴは宮崎市木花地区のハウスで栽培された品種‘章姫’を供試した。供試イチゴは図5-2に示すように, 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」に従い, 形状 (A, B の2等級), 熟度 (未熟, 4分着色, 5・6分着色, 7・8分着色, 9・10分着色の5等級), 大きさ (S, M, L, 2L, 3L の5階級) に区分した。

2. 測定装置

果実認識の画像処理法における果実の位置, 向きの影響を検討するために, 図5-3に示すモデル畝の果実配置は, 内成り栽培様式をモデル化した3区 (標準区, ランダムA区, ランダムB区) を設定した。マルチフィルムは白色と黒色の2種類を供試した。果実の位置および向きは標準区では2条の直列配置 (1列に5果実) とし, ランダムA区, ランダムB区では乱数表によりランダムに配置した。

カメラ1による収穫エリアの画像の取得, カメラ2の誘導のため, 実験装置は第4章の開発機を用いた。白色または黒色の背景部位, 着色した赤色部位, 葉, 果柄の緑色部位におけるヒストグラムは, Adobe Photoshop6.0を用いてRGB表色系とL*a*b*表色系から計測した。RGB表色系とL*a*b*表色系における計測一例をそれぞれ図5-4と図5-5に示す。

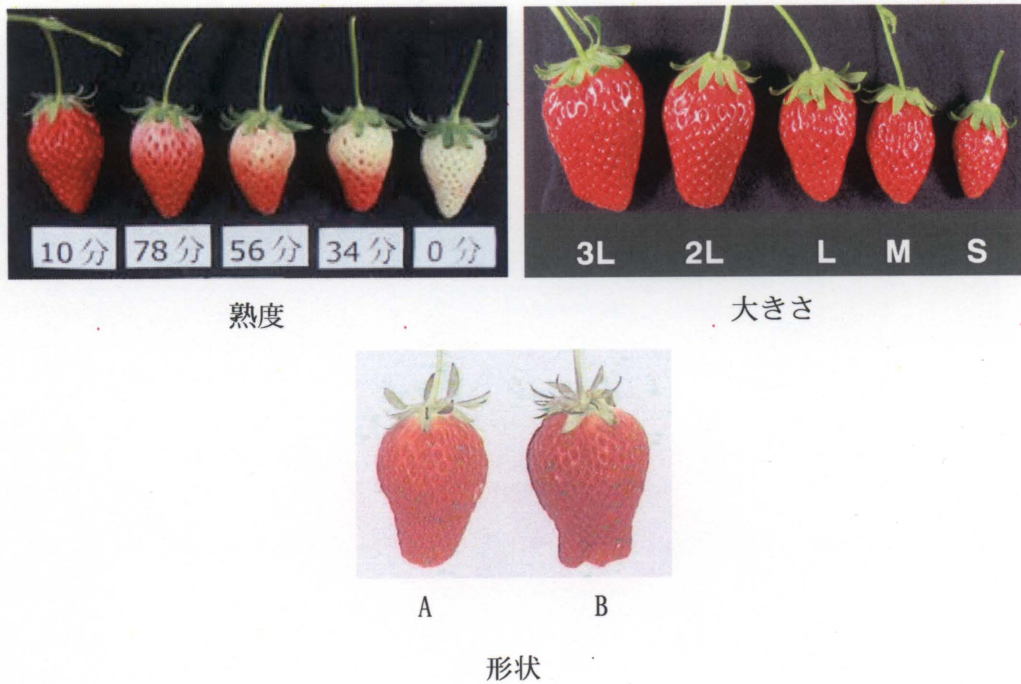
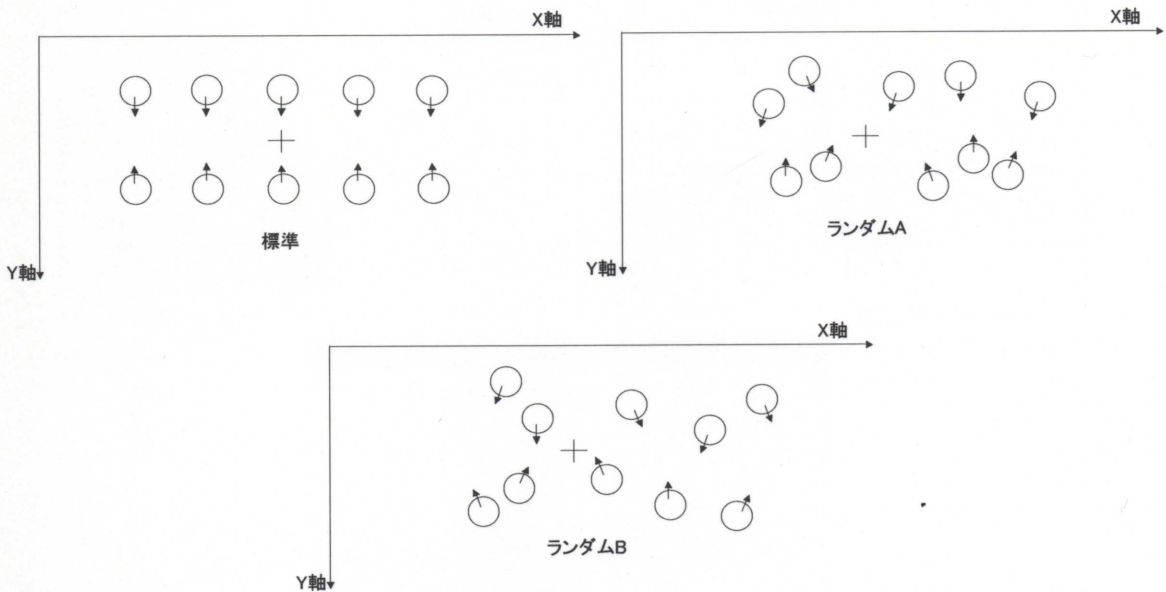


図 5-2 供試イチゴ

Fig. 5-2 Strawberry for testing



注：+は、畝面におけるカメラ1の光軸位置

↑は、果実の向きを示す

図 5-3 配置区

Fig. 5-3 Arrangement district

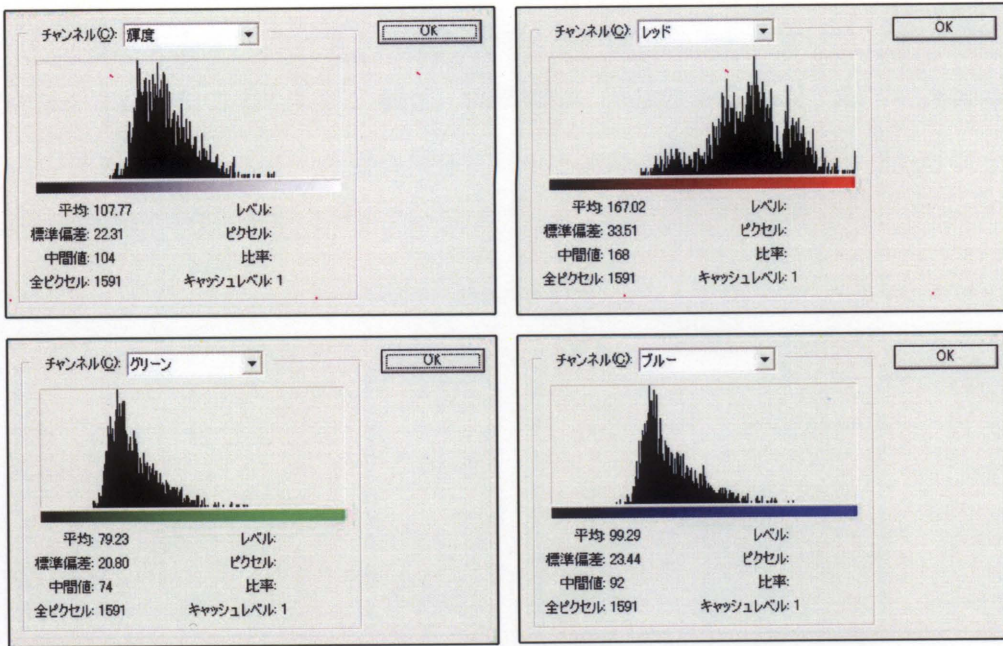


図 5-4 RGB 表色系におけるヒストグラムの計測

Fig. 5-4 Measurement of histogram in RGB color system

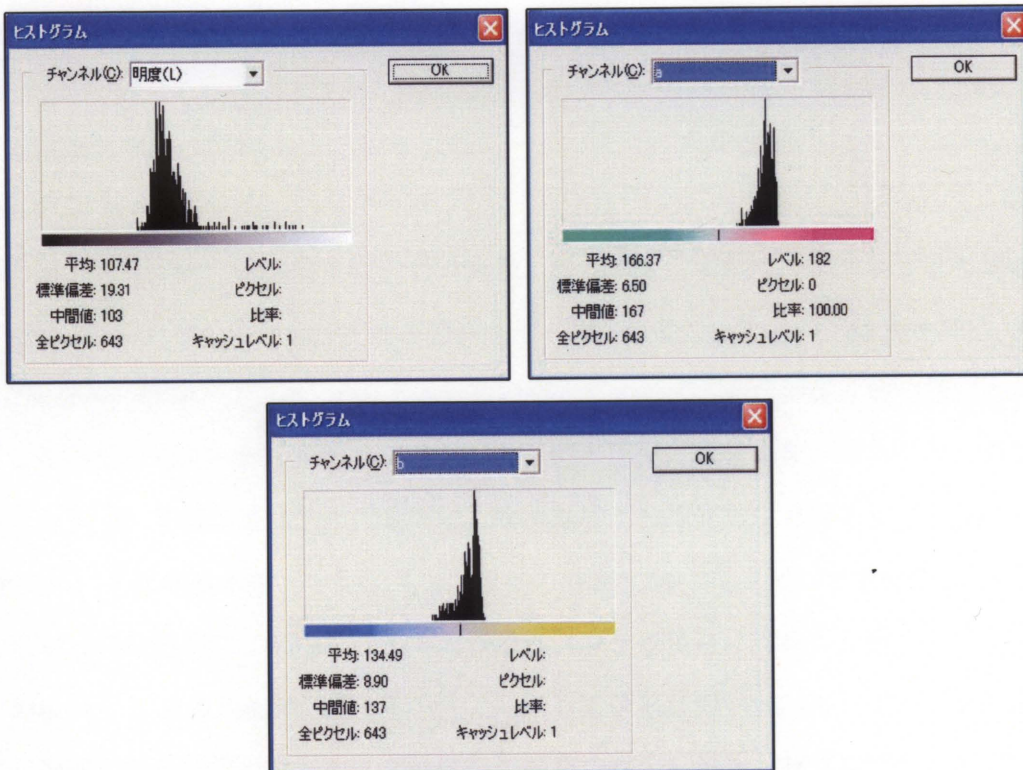


図 5-5 L*a*b*表色系におけるヒストグラムの計測

Fig. 5-5 Measurement of histogram in L*a*b* color system

果実認識の画像処理は、Visual C++6.0 で自作したプログラムを用いた。図 5-6 に示すように、ディスプレイはカメラ1で撮影した画像または処理結果を映すメイン画面、右上に処理後の赤色部位の重心座標、個数、採果順序、画素数を出力し、右下には画像処理の執行ボタンおよび下のメイン画面を保存するボタンなどからなる。

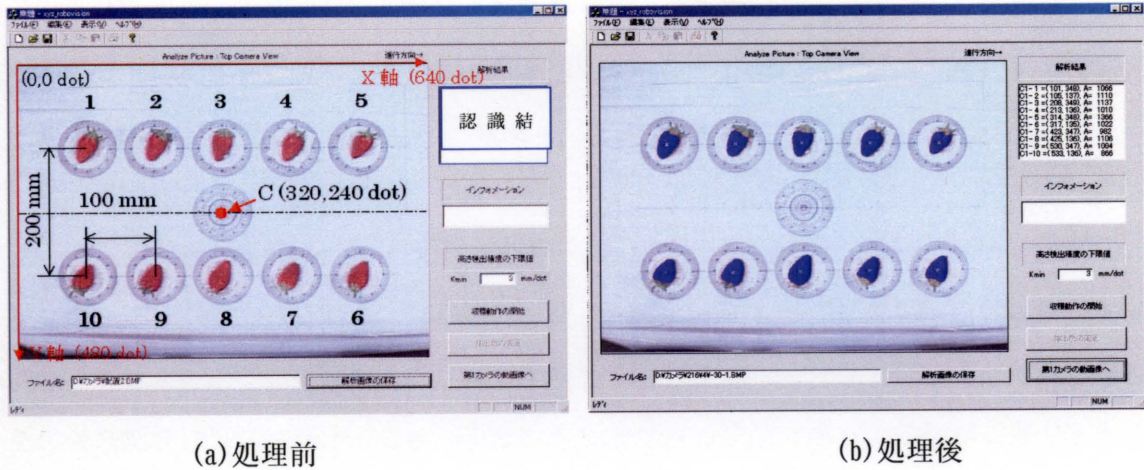


図 5-6 果実認識の画像処理用ディスプレイ

Fig. 5-6 Display for image processing of fruits recognition

3. 測定項目および方法

(1) L^* , a^* , b^* の範囲決定

赤色部位の抽出は、黒色または白色の背景、緑色の葉、果柄などと区別できる閾値を用いるため、適切な表色系を選定する必要がある。赤色部位の抽出に適切な表色系は、R, G, Bの正規分布の範囲と L^* , a^* , b^* の正規分布の範囲において、赤色部位と他の部位との範囲が重なるか重ならないかを比較して検討した。白色部位、黒色部位、緑色部位、赤色部位におけるR, G, B値の正規分布の範囲は、収穫エリアの原画像における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%)で求めた。 L^* , a^* , b^* 値の正規分布の範囲は、収穫エリアの原画像を $L^*a^*b^*$ 表色系に変換した後の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%)で求めた。供試画像は、黒色と白色背景のカメラ1で撮影した収穫エリア画像を一枚ずつ用いた。

赤色部位を抽出する L^* , a^* , b^* の範囲は、標準区の配置において着色した果実50個(白色マルチフィルムでは30個、黒色マルチフィルムでは20個)を用いて、赤色部位の領域の

L^* , a^* , b^* のヒストグラムを作成し、それぞれの平均値 (\bar{X}) と標準偏差値 (σ) から $\bar{X} \pm 2\sigma$ の信頼区間 (95.4%) で求めた。

(2) 境界画素数の決定

採果目標果実とノイズまたは4分着色以下の未熟果を区別するため、境界となる赤色部位の画素数を境界画素数と定義した。この境界画素数は大きさSの4分着色果実30個を供試して決定することにした。境界値となる画素数は、供試果実の画像から上記の L^* , a^* , b^* の範囲を用いて2値化処理を行い、2値画像において供試果実の赤色部位を表す塊状領域の画素から求めた。

(3) 果実の認識

白色と黒色のマルチフィルムを用いて各モデル区当り40個(計120個)の果実を供試し、果実の認識(個数, 位置および採果順序)は、3区の配置におけるカメラ1で撮影した収穫エリアの画像を用いて分析した。採果目標果実の個数は、画像処理で求めた4分着色以上の赤色部位のラベル数と、目視で判断した認識すべき供試イチゴの個数が一致するかを検討した。その位置は、画像処理で求めたラベルの重心座標として求めた。採果順序は、画像処理で求めた重心座標のX座標とY座標の大きさを用いて決めた順序と実際にカメラ2が移動した順序が一致するかを検討した。

(4) カメラ2の誘導

採果目標果実の画像は、カメラ2を採果目標果実の位置へ移動させて取得した。採果目標果実の画像位置と画像中心との位置のズレ、果実と果柄が写っているかを検討した。

第4節 結果および考察

1. L^*, a^*, b^* の範囲決定

図5-7はカメラ1で撮影した収穫エリア画像における赤色部位の着色部, 緑色部位の葉, 果柄, 白色と黒色部位の背景のR, G, B値の分布範囲と L^*, a^*, b^* の値の分布範囲を示す。赤色部位はR, G, B値の分布範囲が白色または黒色の背景部位, 緑色部位の値の分布範囲と重なっているが, a^* の値の分布範囲は白色または黒色の背景部位, 緑色部位の値の分布範囲とはっきりと区分できる。これは, RGB表色系では色はR, G, B要素を組み合わせる表現するが, $L^*a^*b^*$ 表色系では a^* は緑から赤, b^* は青から黄を示す特徴があるためである¹⁰⁾。そこで, 赤色部位の抽出精度の向上, ノイズの影響を減少するために, L^*, a^*, b^* の三つの条件を同時に満たす場合を考えた。なお, 黒色背景の L^* の分布範囲が大きかったことはマルチフィルムの反射が強かったことが原因であるが, 不織布では問題なかった。

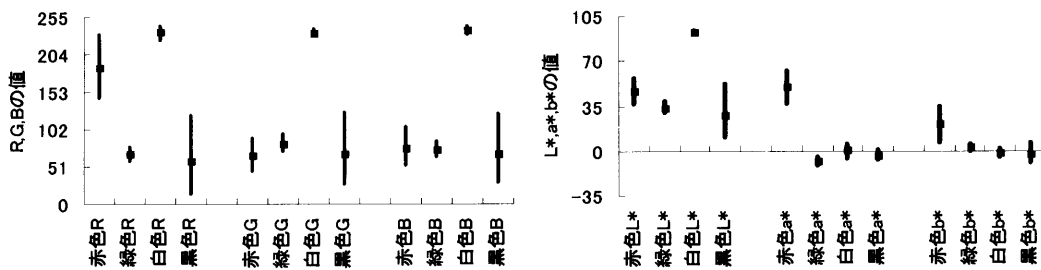


図5-7 RGB表色系と $L^*a^*b^*$ 表色系の比較

Fig. 5-7 Comparison of RGB color system and $L^*a^*b^*$ color system

図5-8に示す赤色部位を抽出する L^*, a^*, b^* の範囲は, 信頼区間95.4%を用いたとき L^* が25~65, a^* が10~60, b^* が-10~20であった。そこで, L^*, a^*, b^* の三つの条件を同時に満たす場合を考慮した結果, 果実の赤色部位のみを抽出する最適条件は $(25 \leq L^* \leq 65)$ and $(10 \leq a^* \leq 60)$ and $(-10 \leq b^* \leq 20)$ と決定した。よって, 2値化処理には上記の L^*, a^*, b^* の範囲を適用した。

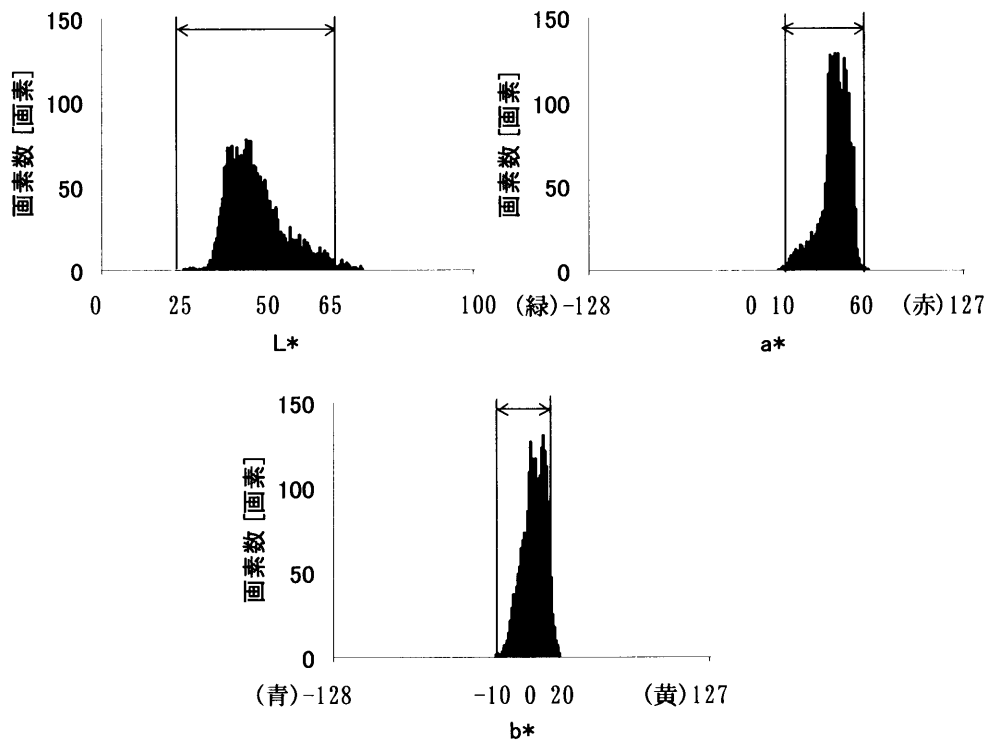


図 5-8 L^* , a^* , b^* のヒストグラム

Fig. 5-8 Histogram of L^* , a^* and b^*

2. 境界画素数

位置決め用カメラによる採果目標果実の認識は、明らかに未熟になっている果実またはノイズを除去するとともに、収穫適期果実は見のがさないことで、作業効率を向上させる必要がある。そこで、赤色部位の領域の画素数は図5-9に示すように、大きさSの4分着色果実から求めた結果、300画素以上であった。赤色部位の領域は果実が成熟するほど大きくなり、同じ熟度でも果実が大きいほど大きいため、一番小さい大きさSの4分着色の果実が認識できると、全ての果実が認識できることになるので、300画素を境界値とした。よって、採果目標果実と認識する境界画素数は300画素と決定し、これ以下の画素数ではノイズまたは未熟果と判定した。

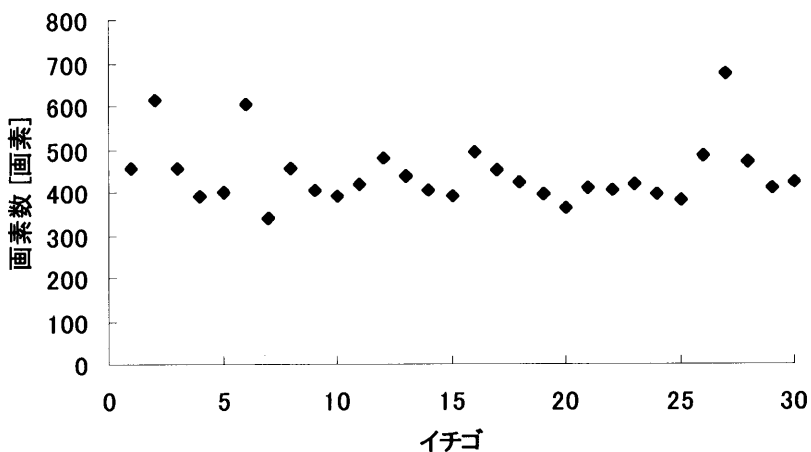
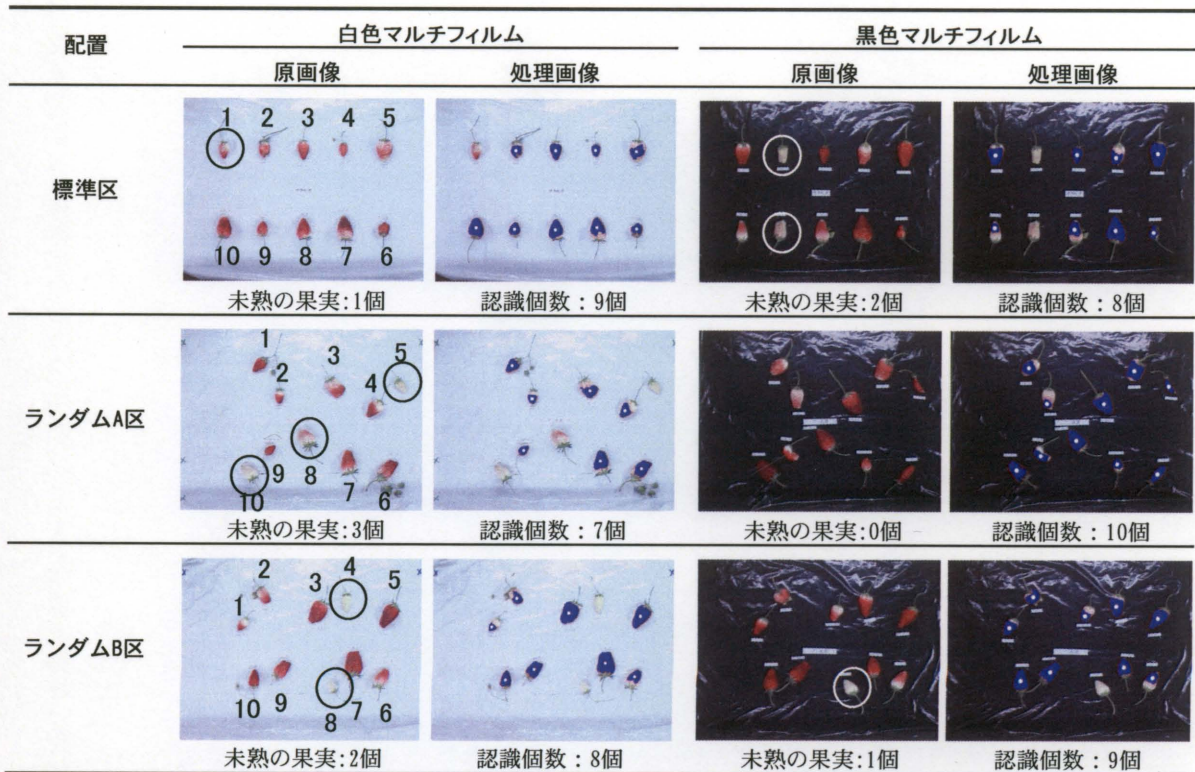


図5-9 4部着色果実（大きさS）の赤色部位の画素数

Fig. 5-9 Number of pixels for red parts of 40% coloring fruit(S size)

3. 果実の認識

果実認識の結果は、図 5-10 に示す一例のように、標準区、ランダム A 区、ランダム B 区において、白色背景と黒色背景ともに、供試イチゴの位置、向き、大きさに関係なく、赤色部位（処理画像において青色で塗り替えている領域）と画像重心（処理画像において青色領域での白い点）が抽出された。採果目標果実の個数は、目視で判断した未熟果（○を付けた果実）以外の認識すべき4分着色以上の果実数と一致した。よって、果実認識の画像処理法は、赤色部位を抽出する L^* , a^* , b^* の範囲を用いて、任意位置と向きの4分着色以上の果実を的確に認識し、重心座標を求めることが確認できた。



注) ○印は未熟の果実, 白い点は認識した赤色部位の画像重心

図 5-10 果実認識の一例

Fig. 5-10 Example of recognition of fruit

表 5-1 は、図 5-10 の実験例における採果目標果実の位置となる重心座標 (X_p, Y_p) を示す。採果目標果実の位置 (重心座標) の X_p および Y_p から決めた採果順序とカメラ 2 が移動した順序は同じであった。しかし、時折に垂直に並んでいた果実が入れ替わることもあった。これは、果実の重心座標の X_p が配置より多少ずれて求められたことが原因であった。

表 5-1 採果目標果実の位置の一例

Table 5-1 Example of position of fruits for picking

配置 位置	標準区		ランダムA区		ランダムB区		
	X_p	Y_p	X_p	Y_p	X_p	Y_p	
白色 マル チ フィ ル ム	1	—	203	101	156	182	
	2	213	137	255	189	222	105
	3	317	137	411	198	361	143
	4	424	136	485	114	—	—
	5	533	140	—	—	551	151
	6	533	342	544	367	538	310
	7	427	338	435	350	458	275
	8	318	344	—	—	—	—
	9	209	343	228	324	269	293
	10	107	340	—	—	195	319
黒色 マル チ フィ ル ム	1	110	143	206	98	160	180
	2	—	—	253	192	222	98
	3	327	141	404	193	358	148
	4	431	149	484	105	440	122
	5	542	138	575	146	549	153
	6	531	346	547	379	538	312
	7	430	341	440	352	461	284
	8	321	338	332	290	—	—
	9	—	—	238	331	268	397
	10	109	335	175	370	193	320

注) —は認識しなかった未熟の果実の位置

(X_p, Y_p) [画素]

これらの結果から、提案した果実認識の画像処理法は、白色と黒色の両背景において、供試イチゴの位置、向き、大きさに関係なく、4分着色以上の果実が正確に認識でき、個数、位置、採果順序を完璧に決めることが確認できた。

4. 採果用カメラの誘導

果実の認識ではカメラ2を採果目標果実へ誘導して果実の選別、果柄の認識を行う。この時、カメラ2は採果目標果実を画面中央で抽出する。そこで、採果目標果実の赤色部位の重心を調べた結果、図5-11に示すように、ほとんどカメラ2の画面中心の周辺に分布しており、そのズレは平均4mm以下であった。よって、カメラ2は採果目標果実の位置重心のほぼ真上に誘導されたことが確認できた。なお、画像中心のズレは、果実の形状が円錐形であるため配置位置や向きの影響を受けて、カメラ1とカメラ2が異なる位置、方向から画像を取得することから、カメラが取得する画素数と形状が多少異なることが原因と思われる。

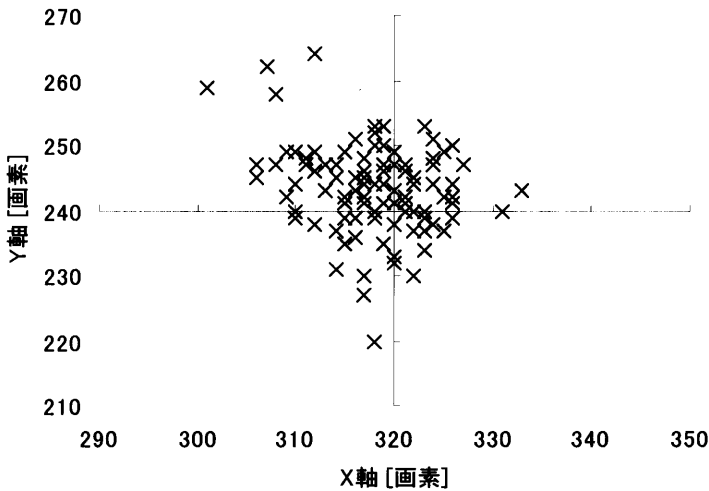


図 5-11 画像重心のずれ

Fig. 5-11 Excursion of image center of gravity

図5-12は、採果順序に従って採果目標果実の位置へカメラ2を誘導して撮影した画像の一例を示す。このように、赤色部位の画像重心がカメラ2の画像エリアのほぼ中央で撮影され、果実と果柄が十分写るため、次の工程で要求される果実の熟度判断と果柄の認識に必要な画像を取得できることが確認できた。

以上の結果により、カメラ1による果実の認識の画像処理法は L^* , a^* , b^* を用いて的確に実行できること、また、カメラ2は採果目標果実の位置へ正しく誘導されて果実の選別と果柄の認識に必要な画像が取得できることから、システムにおける有用性が確認できた。

よって、開発機は位置決め用カメラと採果用カメラの2台を用いて、採果目標果実と果柄の位置認識が的確に行えることが示唆された。

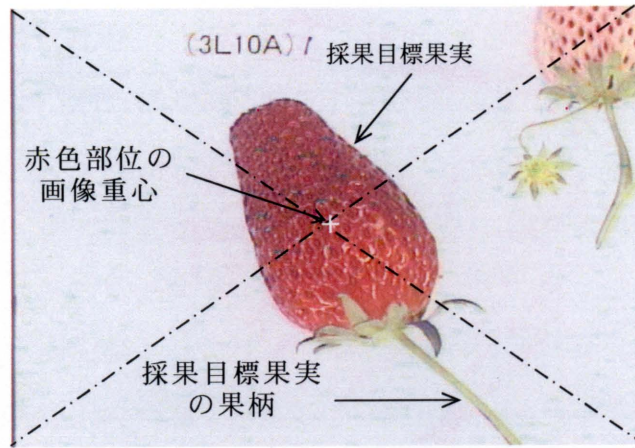


図 5-12 カメラ 2 で撮影した画像

Fig. 5-12 Image taken with camera 2

第5節 摘 要

位置決め用カメラで撮影した収穫エリアの画像から赤色部位を抽出して果実を認識するため、 $L^*a^*b^*$ 表色系を用いた果実認識の画像処理法を提案し、その有用性を検討し、以下の知見を得た。

- 1) $L^*a^*b^*$ 表色系を用いた果実認識の画像処理法は、果実の赤色部位のみを抽出する L^*, a^*, b^* の最適な範囲が $25 \leq L^* \leq 65$, $10 \leq a^* \leq 60$, $-10 \leq b^* \leq 20$ であった。
- 2) 4 分着色以上を採果目標果実として認識する境界画素数は 300 画素であり、これ以下の画素数ではノイズまたは未熟果と判定した。
- 3) 本画像処理を用いた果実の認識は、背景の色（白色と黒色）、果実の位置、向きの影響が少なく、採果目標果実の個数、位置および採果順序を完璧に認識できた。
- 4) 採果目標果実の認識位置に採果用カメラ（カメラ 2）を誘導した結果、採果用カメラは画面中央に採果目標果実の拡大画像を撮影することが確認できた。よって、果柄の認識および果実の判別用画像を提供できることが示唆された。

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, 藤浦建史, 近藤直, 芝野保徳, 山下淳：キュウリ収穫ロボットの研究 (第3報), 農業機械学会誌, 57(1), 51~58, 1995
- 3) 川村, 並河, 藤浦, 浦：農業ロボットの研究 (第2報), 農業機械学会誌, 47(2), 177~182, 1985
- 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：イチゴ収穫ロボット開発のための遠撮カメラによるイチゴ果実の画像および位置認識, 第63回農業機械学会年次大会講演要旨, 神戸大学, 89~90, 2004
- 7) 崔永杰, 永田雅輝, 槐島芳徳, 曹其新：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1報), 農業機械学会誌, 68(6), 59~67, 2006
- 8) 谷口慶治：画像処理工学 (基礎編), 共立出版株式会社, 東京, 1~14, 99-101, 107~129, 2000
- 9) 高井信勝：「信号処理」「画像処理」ためのMATLAB入門, 工学社, 東京, 167~178, 2004
- 10) 近藤直, 門田充司, 野口伸：農業ロボット (I), コロナ社, 東京, 41~47, 2004