画像処理を用いた農産物の等階級選別手法に関する研究(第1報) —直接照射方式照明の有効性—

栗田充隆・近藤 直

エスアイ精工(株)技術開発部 791-8036 松山市高岡町 66

Agricultural Product Grading Method by Image Processing (Part 1) —Effectiveness of Direct Lighting Method—

Mitsutaka KURITA and Naoshi KONDO

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

Abstract

Grading is an important operation to measure size, color, shape and defect of agricultural product especially in East Asian countries. This research focuses the fruit grading operation by use of image processing techniques in which illumination is one of the most important factors. In this paper, waxed apple fruits produced in Taiwan, which had thick cuticular layers on fruit surfaces and allowed much reflection and halation on their images under conventional lighting condition, were used as experimental objects.

A direct lighting device with PL filter was developed by use of two different kinds of heat absorption filters to compare with conventional indirect lighting systems such as a white colored dome and an illumination device with diffuser. Experiments were conducted in Taiwan by use of an actual fruit grading system and the illumination devices. From the experiments, it was observed that the color measurement results of the various graded waxed apples showed wider ranges of color distributions and easier color grading when the direct lighting devices were used than when the dome was used. In fact, mis-grading occurred to some fruits, when the dome was used, because white dome walls were reflected on fruit surface and the fruit colors were mixed with their white color on image. In HSI conversion, it was obtained that a parameter of H (hue) could properly discriminate different grade fruits (grade A, B and C) without necessity of combination of other parameters, when the direct lighting devices were used.

Keywords: automation, direct lighting, grading, image processing, machine vision.

緒 言

アメリカ合衆国、カナダ等における安価な生産物を大量に産出する大規模農業に対抗するため、日本では少量ではある

ものの高品質な生産物を生産する集約的な農業を展開してきた。その高い品質を維持すると共に、消費者の信用を得るためには産地のブランド化が不可欠で、数多くの農産物が生産するために有利な気候条件、地理的条件、社会的条件等を有する地域と結びついている。大韓民国（韓国）、中華民国（以下、台湾と称する）等の東アジア諸国も日本と同様の農業を展開していると言える。それらの国々の農産物にとって必要不可欠であるこの品質を、正しく評価することは非常に重要であることより、色、形状、キズ、病気、果面の状態等を

2005 年 4 月 1 日受付

2005 年 10 月 17 日受理

Corresponding author: Mitsutaka Kurita

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

はじめとする外観品質だけでなく、糖度、酸度、空洞、芯腐れなどの内部品質に関しても、多くの品質評価に関する報告が現在までになされてきた。同時に、農産物の寸法、質量等は多岐多様のばらつきをもつため、ある一定の基準で分けて出荷することにより、付加価値をつける「選別作業」も古くから一般的に行われている。

近年、農産物の選別施設ではこのような選別を行うため、CCD カメラによる画像処理 (Kimura, 1992) ならびに、近赤外線および軟 X 線を用いた内部評価装置を伴う新型選別ラインを導入するところが増加してきた。たとえば柑橘類を対象とした自動選別システム (Njoroge *et al.*, 2002) は、1997 年から西日本を中心に普及し、2004 年現在で 51 箇所に至っている。また落葉果樹の選別ロボット (Ishii *et al.*, 2003a ; 2003b) や果菜類の選別システム (Ninomiya *et al.*, 2004) も開発されている。このような動きは、亜熱帯果実を産出する台湾においても例外ではない。亜熱帯には品種、品目の違いにより、特徴的な表面色や形状をもった果実が存在し、その画像処理手法は国内の農産物の場合と同じ方法は使えない。

たとえば、これまでの柑橘類等の選別施設においては、照明装置として、ドームと呼ばれる照明方式が主流であった (Kohno *et al.*, 2003)。これは、光源の光をドームの天井や壁に反射させ、2 次あるいは 3 次間接光によって、対象全体をソフトに照射する方式である (図 1 (a))。また、白色の拡散板などを用いて直接対象に光を到達することを避ける方法 (Hashimoto, 1992) もよく採用されている。既往の研究やシステム (Sagara, 1998) では、これらの照明方法が一般的であったが、いずれも間接照明で、果実のクチクラ層の影響と果実の不定な形状により避けられないハレーションが生じること、対象の近くにある明るいドーム壁面や拡散板の果実表面への写り込みが不可避であること、画像処理でハレーション除去する必要がある (Koshimizu *et al.*, 1995) など大きな問題となっていたことより、これらの照明下では、色の再現性は必ずしも理想的なものであるとは言えない。加えて、ドーム壁面や拡散板の汚れに対するメンテナンスが必要であること、白色の壁面を CCD カメラが撮り続けた結果、焼き付きが生じることなどの障害がある。とくに、クチクラ層の発達した果実においては、表面が反射しやすく他の果実以上に色の再現性の問題が顕著に発生する。これらの問題を解決するため、間接照射方式ではなく、図 1 (b) のように、偏光 (PL) フィルタを用いた直接照射方式の照明装置を開発した。

これまで、偏光板を用いてリンゴを対象とした報告 (Aleixos *et al.*, 2002; Nakano *et al.*, 1992; Nakano and Takizawa, 1997) はあるが、照明装置に偏光板を組み入れた場合、その熱から保護する必要があるため、選果ライン等での長期に渡る実用的な偏光板の使用には至っていない。また、偏光板を用

図 1 間接照射方式と直接照射方式

Fig. 1 Indirect lighting and direct lighting methods

図 2 着色計測用果実

Fig. 2 Sample fruits for color measurement

いた時と用いない時の入力画像における色の相違等は明らかにされていない。そこで、本論文では開発された実用に供する照明装置を用いて、台湾で生産されている「蓮霧」(以下、レンプと表記する)を対象とし、直接照射方式の画像処理における有効性を間接照射方式と比較したので報告する。

材 料

亜熱帯地域である台湾には、レンプというマレー半島原産のフトモモ科の果樹がある。多年生の常緑性熱帯果樹で、3月から5月に開花し、毎年秋には赤く円錐状の実がなる。クチクラ層が発達しており、果実表面に光沢を有している特徴があることより、英語では Waxed Apple と呼ばれている。

レンプは台湾南部を中心に栽培され、台湾全体の年間生産量は 92,647 t (2003 年台湾行政院農業委員会) である。開花後結実したものは表面が緑色で、大きく成熟するにつれて黄緑から赤色になる。栽培や味などの条件に応じて、色付く赤みに違いが生じ、赤みの種類に応じて等級が決定される。とくに赤黒いものは見た目がよく一般に等級が高くなる。

現在、ほとんどが家庭での選別作業を経て市場に出荷されており、その選別は手作業で行われる。前述の色合いや錐体としての縦横形状等で等級が決められ、3 等級 (A, B, C) に区分される。内部に発生する空洞や腐れを有するもの、および発達したクチクラ層に大きなキズを有する果実は、出荷されない。選別されたレンプは等階級ごとに、底面を上にして決められた配置で箱詰めされる。

本研究では、着色を計測するための材料として、2000 年 11 月および 2001 年 5 月に、レンプの産地の一つである台湾屏東県枋寮地区で収穫された様々な等級のレンプを用意した。図 2 に、等級 A・B・C を代表するそれぞれ 3 個ずつのサンプルの画像を、箱詰めの方 (底面が上) で示す。本地区では、着色に関する等級判定基準を次のように定めている。等級 A は、底面 (果頂部) が赤黒い色、または濃い赤色をしているもの、とくに先端部 (果柄部) が緑色で、底面との色の対比が鮮やかなものほどよいとされる。等級 B の着色程度には幅があり、大まかには一般に言われる赤色を示すものが含まれ、等級 A よりも薄い赤色、あるいは濃いピンク色を有しているものが対象となる。等級 C は、薄いピンク色、黄緑色、および緑の強い着色を呈する果実である。本研究では、実際に選別作業者の目視により、図のように 3 等級に分類したものを実験に供試した。

実験装置

1. 画像処理システム

本実験で用いた画像処理のシステム構成を図 3 に示す。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、2 台のカメラ (上カメラおよび横カメラと呼ぶ) 共に同じトリガ信号を与えた。同時にその信号を DIO ボードで検出し、1 枚の画像処理ボード (シャープセミコンダクタ社製 GPB-K) を介して、画像を入力した。PC には、FA 用コンピュータ (RICOH 社製 CPU : Pentium III 700 MHz) を使い、DIO ボード (CONTEC 社製 PIO-16/16L (PC) V) ならびに画像処理ボードを ISA バスに挿して利用した。実験は、実際に導入された選果施設を用い、装着された本システムにより、果実の色の計測を行った。

TV カメラには、シーアイエス社製 VCC-8300BT3 を使用した。これは、有効画素数 694×494 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 秒まで可変であり、C マウントを有している。レンズヘッドとドライバが分離されており、ヘッドの寸法は $44 \times 40 \times 29$ mm と小型軽量のものである。

画像処理において、より良い画像を得るためには、照明が最も重要な要因となることが多い。本実験では、以下の 2 種類の照明を用いた。

2. 間接照射方式による照明装置(ドーム)

図 4 に、エスアイ精工社製画像処理用ドームを示す。これは、つや無し白色の塗料をコーティングした薄い鉄の板を側

図3 画像処理システム

Fig. 3 Machine vision system

図4 ドーム
Fig. 4 Dome

面、上面に設け、上部に装着したハロゲンランプ (PHILIPS 社製 JC 12V50W 13102DY6.35, 色温度 2700K) 4 灯のランプからの光を反射、拡散させ、対象を間接照射するものである。カメラをドームの上部と側面にあけられた穴に設置して流れてくる果実を撮像した。これにより、ドーム中心における照度は上方向に対し約 3000 lx を得た。上カメラのレンズには焦点距離 16 mm, F 値 1.4 (オプタート社製 OM16NC) を、横カメラのレンズには焦点距離 4.5 mm, F 値 1.4 (オプタート社製 LM5NCR) を用い、カメラレンズと撮影対象中心までの距離を、上カメラ 643 mm, 横カメラ 166 mm とした。

3. 直接照射方式による照明装置(DL)

図 5 (a) に、直接照射方式の照明装置である DL (エスアイ精工社製) を示す。この DL は、ハロゲンランプ (OSRAM 社製 50W12V 48870WFL GU5, 3, 色温度 3100K, ビーム角 38 度) を光源としており、上および横方向から対象物へ向けて照射する。この装置は、PL フィルタを用いることで直接照明の高輝度なハレーションを回避することが可能であると同時に、2 次間接光, 3 次間接光を使う照明装置のように、対象物の周囲に反射板や拡散板などを必要としないため、果実表面への背景の写り込みがなく、色の再現性が高い利点がある。

(a)DL の構造

(a)Structure of DL

(b)DL の配置

(b)Arrangement of DLs

図5 DL の構造と配置

Fig. 5 Structure and arrangement of DLs

ただし、PL フィルタは熱に弱く、ほぼ 60℃ で溶融し始めることから、本装置のように高い温度を放射するハロゲンランプの近くに置くことは通常困難である。そこで本装置では、2 種類の吸収波長の異なる熱吸収フィルタ (Kenko 社製ホットミラーならびに Kenko 製 HA-50) を用いると共に、約 30℃ (周囲気温 40℃ のとき) に冷却したコンプレッサからの 22 l/min の空気を偏光フィルタの内側に導入し、ランプの上方に取り付けたファンにより熱を排出することで偏光フィルタの表面温度を 40℃ 台に保ち、保護した。

図 6 (a) に DL に用いた三つのフィルタの透過率およびそれらを総合した透過率のグラフを示した。図 6 (b) には、使用しているハロゲンランプの色温度と同じ 3100K の黒体放射エネルギー分布 E_λ を以下のプランクの放射則に基づいて表した。

$$E_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)} \quad (1)$$

ここで、 T は色温度 [K], λ は波長 [nm], e は自然対数の底, $C_1 = 3.740 \times 10^{20} [W \cdot m^{-2} \cdot nm^4]$, $C_2 = 1.438 \times 10^7$

(a) フィルタの透過率
(a) Transmittance of filters

(b) 黒体分布(3100K)とDLの放射エネルギー
(b) Radiation energy of black body(3100K) and DL

図6 DLの分光特性データ

Fig. 6 Spectrum characteristics of DL

[nm・deg]である。

これらより、DLを用いたときの、放射エネルギー分布は図6(b)の太線のように算出できる。ハロゲンランプの色温度の関係上、550～700 nmにかけての放射がとくに大きい、可視領域全体にわたって、演色性の高い光が得られるものと考えられる。

さらに、図7には400～700 nmにおける一般的なレンズの透過率、および本実験で用いた CCD の感度を示す。これらのグラフより、可視領域において、大きな損失なく感度を有し、農産物の色である緑から赤にかけて(500～700 nm)を効率よく照射、撮像できるよう設計できていることが確認できる。

ドーム等を利用しないその他の利点として、本照明装置を自由に配置できることから、カメラ配置の自由度が増すこともあげられる。そのことより、本照明を用いたときの対象中心と

図7 CCDの分光感度特性およびレンズの透過率

Fig. 7 Spectrum sensitivity of CCD and transmittance of lens

上カメラレンズまでの距離を480 mm、横カメラとの距離を220 mmとすることが可能となった。上カメラのレンズには焦点距離16 mm、F値1.4 (PENTAX社製 H1214-M)を用い、横カメラのレンズには焦点距離6 mm、F値1.4 (オプトアート社製 OM6NC)を使用した。

本実験では、対象物表面での照度を均一にできるよう、上方向から1台、横方向から3台のDLで照射した。図5(b)にはDLの配置を示す。これにより、対象物中心付近での照度は約7000 lxを得た。両照明装置におけるカメラのシャッタースピードは1/1000秒に、ガンマ補正は0.45に設定し、レンズの絞りに関しては、ドームでは1.4に、DLでは2にして行った。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

1. 簡易色度による方法

前述の果実を実際に30 m/分の速度で移動しているローラーピン方式のコンベアに果柄部を上にて手でのせ、選果作業時と同じ条件で画像入力した。さらに、両照明装置によって入力された上横二つのカメラ画像のうち、主に着色を評価する上画像に対して、対象果実領域の任意の50画素を選択し、次式の簡易色度変換(R' , G')の計算を行った。ここで、各画素の濃度値を(R , G , B)とする。なお、等級Aにおいては果柄部付近の緑色の部位は評価に直接参照されないため、それ以外の、等級を表す代表的な色の箇所から画素を選択した。

$$R' = \frac{R}{R + G + B} \times 255 \quad (2)$$

$$G' = \frac{G}{R+G+B} \times 255 \quad (3)$$

さらに、各果実に対して、色度座標上での分布を求め、その結果に基づいて、着色程度を判定するための R' の平均 $\overline{R'}$ および G' の平均 $\overline{G'}$ のしきい値を決定した上で、実際に等級判定を試みた。

2. HSI による方法

両照明装置での画像データから、次式に示す円柱座標モデルに基づく HSI 変換より、色分布を求めた。選択したデータは簡易色度の方法と同じであり、各果実 50 画素を任意に選択した。なお、ここでは色相を H 、彩度を S とした。

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (4)$$

$$S = (M_1^2 + M_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

ただし、

$$M_1 = \left(\frac{2}{\sqrt{6}} \right) R - \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right) G - \left(\frac{1}{\sqrt{6}} \right) B \quad (6)$$

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

である。

さらに、各果実に対して、 H - S 座標上での分布を求め、その結果に基づいて、着色程度を判定するための H の平均 $\overline{H}$ および S の平均 $\overline{S}$ のしきい値を決定した上で、実際に等級判定を試みた。

結果および考察

1. ドームと DL による入力画像

図 8 に、各等級から 6 個ずつ、合計 18 個の果実を選び、ドームおよび DL の照明環境において入力した画像を示す。A-1 ~ A-3、B-1 ~ B-3 および C-1 ~ C-3 がドーム、A-4 ~ A-6、B-4 ~ B-6 および C-4 ~ C-6 が DL によるものである。これより、等級 A ではドーム、DL のいずれも濃い赤色の傾向が見られるものの、ドームにおいては、他の等級との色の差が大きく見られない結果となっている。この理由として、ドームは壁面の反射光を利用した照明方法であり、果実近隣に配置された壁面が果実面へ写り込むことによって壁面の色の影響を受けたこと、およびランプの色温度が 2700K と DL よりも若干低いことから、カメラ調整における青成分の増幅率が高いこと等が考えられる。これに対し、DL の照明環境下では、見た目にもその等級の差が容易に判断可能である。また、A-1 の果実先端のように、ドームにおいては、果実の形状によって不可避のハレーションが生じることがあった。

2. 簡易色度による結果

図 9 にドームと DL の簡易色度変換による色分布の違いを示す。ここでは、図 8 の各果実の画素 50 個を対象としている。これより、間接照射方式では、ドームの白色の壁が果実表面に写り込むことにより、色分布が中央にまとまった分布となっている。とくに暗い赤色を有する等級 A の果実は、実際にグラフ上では大きな広がりを見せ、等級 B および C と区別が困難であった。

DL においては、ドームに比べ R' で 1.24 倍、 G' で 1.09 倍のレンジに広がった分布を示し、個々の順位別特徴も大きく異なっており観察されることより、等級がはっきりと区別可能な分布をしている。この色度分布によれば、人間が濃い赤色あるいは赤黒い色と感じている等級 A のグループの色は、他の等級に比べて R 成分が大きいというよりも、むしろ G 成分が小さいといえる。

表 1 に、図 9 の各果実の色分布に対して、それぞれ $\overline{R'}$ および $\overline{G'}$ を計算した結果を示す。また、それらを等級グループ別にまとめ、色度空間にプロットし直した結果を図 10 に示す。この分布を基にして、ドームにおいて点線、DL において実線の境界を定め（図 10 中）、着色による等級判定を試みた。その結果を表 1 の最右欄に示す。これより、ドームでは A-1 を等級 C に、B-1 を等級 A に誤判定する結果となった。一方、DL では、これらの問題は生じず、各等級 3 個共、全て正しく判定できた。

3. HSI による結果

図 11 にドームと DL の HSI 変換による色分布の違いを示す。対象は図 9 と同じ果実の同じ画素である。ドームの各果実が中央下部に密集しているのに対し、DL では幅広く分布しており、色相で 1.62 倍、彩度で 2.17 倍ほどレンジが広がっている。とくに彩度においては、ドーム壁が写り込み、果実に白色が混色したことより、DL に比べてドームではいずれの果実も低い値を取った。また、DL 環境下の等級 A の果実においては、大きな色相の値を有しており、色相だけでも等級判定可能なように見える。その意味では、色度変換より人間の色感覚に近い HSI 変換の方が、色の表現幅が広く、等級判定に適していると言える。

表 2 に、図 11 の各果実の色分布に対して、 $\overline{H}$ および $\overline{S}$ を計算した結果を示す。また、それらを等級グループとして H - S 座標上に再プロットした結果を、図 12 に示す。この分布から着色等級判定を行うための境界を、ドーム（点線）、DL（実線）でそれぞれ定め（図 12 中）、その等級判定を試みた。その結果を、表 2 の最右欄に示す。これより、ドームでは C-3 が等級 B と誤判定されたものの、DL では各等級全ての果実が正しく等級判定される結果となった。

これまで、農産物の画像処理のための照明環境に関して、

図8 DLとドームにおける画像

Fig. 8 Images under the conditions of dome and DL

図9 ドームとDLの簡易色度分布

Fig. 9 Chromaticity distribution under the conditions of dome and DL

図10 簡易色度による着色判定

Fig. 10 Boundary for color grading on chromaticity

農産物表面の光沢（ハレーション）を除去するためのドーム型をした間接照明方式 (Blasco *et al.*, 2002; Laykin *et al.*, 2002; Leemans and Destain, 2002; Kohno *et al.*, 2003) や拡散フィルタを用いた照明方法 (Hashimoto, 1992; Motonaga *et al.*, 1997) が報告されている。しかし、複数の照明方式を比較した報告は他に例がなく、本論文では PL フィルタを用いた直接照明方式の色再現性に関する有効性を具体的に明らかにした。また、光沢を除去するための方法として、PL フィルタを用いた報告 (Aleixos *et al.*, 2002; Nakano *et al.*, 1992a;

Nakano and Takizawa, 1997) もあるが、それらの光源は蛍光灯もしくは白熱灯である。しかし、実際の選果施設においては、演色性、寿命、コスト等に優れたハロゲンランプを利用することが多い。このハロゲンランプは、PL フィルタと共に用いるには高温になりすぎ、時には 40℃ を越えるような選果施設での利用は困難とされていた。しかし、本実験装置で示したように、2 種類の熱吸収フィルタおよびコンプレッサからの冷却空気によって、高温のハロゲンランプの直前に PL フィルタを装着した DL を、実際の選果施設で使用可能とした。

クチクラ層が非常に発達しているレンプのような果実におい

表1 簡易色度による着色度等級判定

Table 1 Color grading results by chromaticity

Cro.	Sample	Color values		Judged grade
		$\overline{R'}$	$\overline{G'}$	
Dome	A-1	117.2	77.3	C
	A-2	136.5	57.4	A
	A-3	129.3	54.5	A
	B-1	135.3	58.5	A
	B-2	125.0	69.7	B
	B-3	122.3	71.5	B
	C-1	115.3	86.0	C
	C-2	113.3	86.1	C
	C-3	122.1	76.9	C
DL	A-4	132.4	54.5	A
	A-5	132.9	50.5	A
	A-6	136.6	48.3	A
	B-4	153.6	61.0	B
	B-5	151.4	60.9	B
	B-6	139.7	70.1	B
	C-4	121.3	82.5	C
	C-5	115.9	97.3	C
	C-6	120.5	90.4	C

Cro: Chromaticity

図 11 ドームと DL の HSI 変換色分布

Fig. 11 HSI color distribution under the conditions of dome and DL

表2 HSIによる着色度等級判定

Table 2 Color grading results by HSI

Cro.	Sample	Color values		Judged grade
		$\overline{R'}$	$\overline{G'}$	
Dome	A-1	1.27	12.1	A
	A-2	1.61	24.8	A
	A-3	1.76	15.3	A
	B-1	1.54	29.8	B
	B-2	1.60	31.4	B
	B-3	1.41	27.7	B
	C-1	1.02	22.8	C
	C-2	1.04	23.1	C
	C-3	1.60	31.4	B
DL	A-4	1.86	18.7	A
	A-5	1.82	27.5	A
	A-6	1.83	27.9	A
	B-4	1.39	63.4	B
	B-5	1.41	65.4	B
	B-6	1.31	65.3	B
	C-4	1.10	50.6	C
	C-5	0.80	48.1	C
	C-6	0.93	48.9	C

図 12 HSI 変換による着色判定

Fig. 12 Boundary for color grading on HSI

では、ドーム等の間接照射方式では、白色の壁や拡散板による写り込みは避けられない。また、ハレーションを生じさせないようなランプの角度、配置を綿密に行ったとしても、その果実の不定形な形状による不可避のハレーションが生じることがしばしばある。しかし、DLの照明下では直接ハロゲンランプの光を照射するため、対象物の近隣に壁等を設置する必要がなく、写り込みの心配はほとんどない。また、PLフィルタの使用により、ハレーションの除去が可能で、果実そのものの色再現性が高いと同時に、キズ、形状、寸法等の計測も容易となる。このことは、レンプだけでなく、トマト、ナス、ピーマン等のような果実表面に光沢を有する対象においても同様のことが言える。これらのことから、果実の着色評価、ひいては果実の等級判定のための欠陥検出処理や形状計測処理の安定的な実現のためには、ドームを用いるよりも、ハロゲンランプの熱を吸収することでPLフィルタの保護に成功したDLを用いることが適当と判断された。

摘 要

台湾で生産されたクチクラ層の厚いレンプ果実を対象とした自動選別システムにおいて、画像処理を用いた着色計測の実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) レンプのような光沢のある果実の着色計測に対しては、間接照射方式の照明を用いるよりも、ハレーションを生じさせない偏光フィルタを利用した直接照射方式の照明が有効であること。
- 2) レンプの着色度計測に関しては、DL環境下において、簡易色度もしくはHSI変換による色表現を用いれば、等級判定を正確に実現できること。

謝 辞

レンプのサンプルを提供していただいた台湾枋寮地区農会の呉憲隆氏はじめ関係各位、ならびに現地での通訳、機械設置にご協力くださった国倉機械廠有限公司の王健蒼氏に心より謝意を表します。

引用文献

- Aleixos, N., Blasco, J., Navarron, F., Molto E. 2002. Multispectral inspection of citrus in real-time using machine vision and digital signal processors. J. Computers and Electronics in Agriculture. 33: 121–137.
- Blasco, J., Aleixos, N., Molto, E. 2002. Machine vision

- system for automatic quality grading of fruit. J. Biosystems Engineering. 85(4): 415–423.
- Hashimoto, Y. 1992. Greenhouse automation (in Japanese)(グリーンハウスオートメーション). Yokendo Tokyo., 137–145.
- Ishii, T., Toita, H., Kondo, N., Tahara, N. 2003a. Deciduous fruit grading robot (Part 1) –Development of fruit providing and grading robots– (in Japanese). J. JSAM 65(6): 163–172.
- Ishii, T., Toita, H., Kondo, N., Tahara, N. 2003b. Deciduous fruit grading robot (Part 2) –Development of image processing system– (in Japanese). J. JSAM 65(6): 173–183.
- Kimura, S. 1994. Japan patent: No. 06-119512, Alignment and Inspection Device for Agricultural Products (青果物の配列検査装置).
- Kohno, S. 2003. Handbook for Food Non-destruction Measurement (in Japanese)(食品の非破壊計測ハンドブック). Science Forum. Tokyo, 131–141.
- Koshimizu, H. 1995. Industrial Inspection Automation Techniques (in Japanese)(目視検査の自動化技術). Techno-system. Tokyo, 237–248.
- Laykin, S., Alchanatis, V., Fallick, E., Edan, Y. 2002. Image-processing algorithms for tomato classification. Trans. of ASAE. 45(3): 851–858.
- Leemans, V., Destain M. F. 2002. A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. J. Food Engineering 61: 83–89.
- 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.
- Nakano, K., Kurata, K., Kaneko, M., Kazama, Y., Takizawa, K. 1992. Studies on sorting systems for fruits and vegetables (Part I) –Color grading of apple by neural network systems– (in Japanese). J. SASJ 23(2): 81–86.
- Nakano, K., Takizawa, K. 1997. Studies on sorting systems for fruits and vegetables (Part II) –Development of whole image data collecting system and detection of injured apples –(in Japanese). J. SASJ 28(1): 13–20.
- Njoroge, J. B., Ninomiya, K., Kondo, N. and Toita, H. 2002. Automated fruit grading system using image processing. In : Proc. SICE annual conference, Osaka. 1290–1295.
- Ninomiya, K., Kondo, N., V. K. Chong, Monta, M. 2004. Machine vision systems of eggplant grading system. In Proc. Automation Technology for Off-Road Equipment 2004, Kyoto. 399–404.
- Sagara, Y. 1998. Recent development of sorting and grading systems for fresh fruits and vegetables (in Japanese). J. JASM 60(2): 167–174.