

トマトの等階級判定に関する研究 第1報
カラー画像処理による品質特徴抽出

曹 其新*・永田雅輝**・王 紅永**・
槐島芳徳**・ペピト メンギト バト**

Studies on Grade Judgement of Tomato (Part 1)
— Quality Feature Extraction Using Color Image Processing —

Qixin CAO*, Masateru NAGATA**, Hongyong WANG**,
Yoshinori GEJIMA** and Pepito M. BATO**

(平成10年9月11日 受理)

Abstract

This study aims to develop a machine vision system for judging the skin quality and shape of tomato using image processing technique. The problems of extracting the quality features of tomato skin using color image were discussed. Generally, the color image is sensitive to lighting condition. Evaluation of the shape, size, and light reflection of objects under constant lighting condition is difficult. To solve the problem, $L^*a^*b^*$ color model was used. Moreover, experiments on the effects of illumination and background on the extracted amount of color features were carried out. The results showed that the levels of a^* and b^* in $L^*a^*b^*$ color model were not affected by illumination. Therefore, a feature extraction method of tomato surface quality was proposed based on $L^*a^*b^*$ color model. Nonuniform colored and defective tomato was selected as experimental materials to evaluate the proposed method for quality feature extraction. The results of the experiment, showed that the proposed method using color image for judging the skin quality or shape of tomato has a good potential in sorting and harvesting application.

Key words : tomato, color image, $L^*a^*b^*$ color model, machine vision

* Foreign Researcher of JSPS (1-1 Gakuen Kibanadai Nishi, Miyazaki 889-2192, Japan)

Research Institute of Robotics, Shanghai Jiao Tong University (1954 Hua Shan Road, Shanghai 200030, P. R. China)

日本学術振興会外国人特別研究員 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

上海交通大学機器人研究所 (〒200030 中国上海市華山路1954号)

**Faculty of Agriculture, Miyazaki University (1-1 Gakuen Kibanadai Nishi, Miyazaki 8892192, Japan)

宮崎大学農学部 (〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1)

緒 言

一般に、画像処理による青果物の外部品質（色，病虫害および損傷）はカラー画像を用いて評価されている¹⁾²⁾。これらの研究では、品質の特徴をRGB濃淡画像から抽出して評価判定がなされている。ところが、色彩は照明条件の影響を受け易く、照度にバラツキがあると色彩の計測精度が低下することが報告されている。また、色彩は対象物の形状，大きさ，反射などの影響にも左右されることから，安定した照明条件下での評価が必要であるとされている³⁾⁴⁾。

そこで，筆者らは，トマトを例に， $L^*a^*b^*$ 表色系を用いた品質特徴抽出法を提案し，トマトの着色および損傷部位を抽出することを試みた。

$L^*a^*b^*$ 表色系によるトマト外部品質の特徴抽出法の提案

1. $L^*a^*b^*$ 表色系

物体の色彩を表示する $L^*a^*b^*$ 表色系は色度図と明るさを含めた3次元空間での人間の感覚に近づけようとする表色系である。本研究で用いたのはCIE(1976)による $L^*a^*b^*$ 表色系である。ここで， L^* は明度， a^*b^* 色度に対応し，次式(1)で定義される⁶⁾。

$$\begin{cases} L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\ a^* = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \\ b^* = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3}] \end{cases} \quad (1)$$

通常，標準光（NTSCカラーテレビジョン・システムの白色光）の場合は， $X_0=0.983$ ， $Y_0=1.000$ ， $Z_0=1.183$ となる。図1は $L^*a^*b^*$ 表色系のカラーチャートで， a^* の値は赤～緑の色相を， b^* の値は黄～青の色相を表す。

式(1)の X ， Y ， Z はXYZ表色系から求めるもので，次式(2)で表示される⁵⁾。

$$\begin{cases} X = 0.607R + 0.174G + 0.201B \\ Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ Z = 0.066G + 1.117B \end{cases} \quad (2)$$

式(2)の R ， G ， B は光の3原色を示す。

2. 特徴抽出法の提案

トマトの外部品質を色で表現すると，着色部，未着色部および損傷部がある。これらの各部を，図2に示す $L^*a^*b^*$ 表色系の色度図のある範囲の色度値で定義することによって，トマトの着色および損傷部位をカラー画像の彩度から抽出することを考えて，次のような着色 $f(x, y)$ ，損傷部 $q(x, y)$ の抽出方程式を提案した。

① 着色範囲の抽出式

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & \{(a^* > 0) \text{ and } [(a^*)^2 + (b^*)^2 > \theta^2] \text{ and } (b^* > -\theta^2)\} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

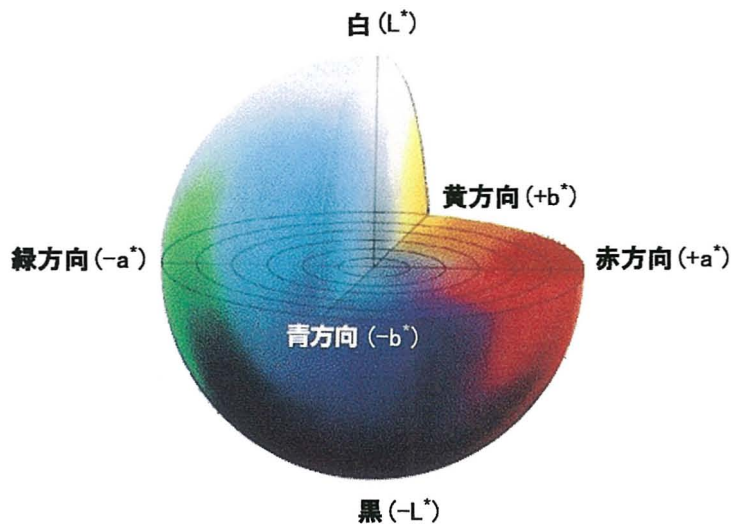


図1. $L^*a^*b^*$ 表色系のカラーチャート
Fig. 1. Color space of $L^*a^*b^*$ model

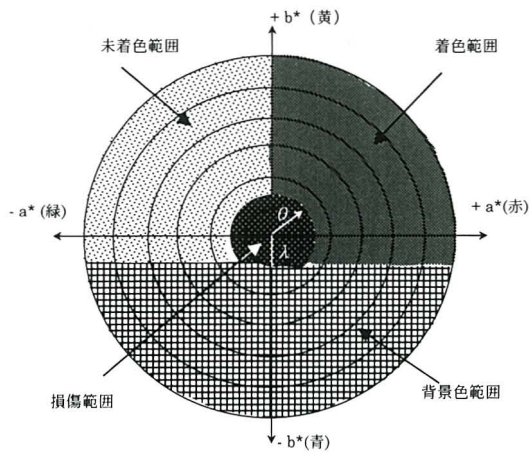


図2. 提案したL*a*b*表色系の色度図の範囲
 Fig.2. Schematic diagram of the proposed feature extraction range using L*a*b*model

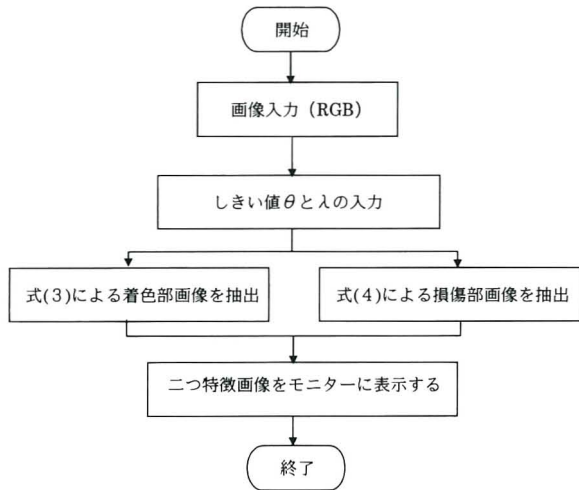


図3. 品質特徴抽出プログラムのフローチャート
 Fig.3. Flowchart for quality feature extraction

② 損傷範囲の抽出式

$$q(X,y) = \begin{cases} 1 & [(a^*)^2 + (b^*)^2 \leq \theta^2] \text{ and } (b^* > \lambda) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

ここで、 $a^* = 78.848 [1.006 (0.607R + 0.174G + 0.201B)^{1/3} - (0.299R + 0.587G + 0.114B)^{1/3}]$,
 $b^* = 31.539 [(0.299R + 0.587G + 0.114B)^{1/3} - 0.846 (0.066G + 1.117B)^{1/3}]$

ただし、RGBの階調値の範囲は0～255である。θとλはしきい値とする。

3. 品質特徴抽出プログラムの開発

提案した式(3)と(4)の着色抽出方程式 $f(x, y)$ と損傷部位抽出方程式 $q(x, y)$ を用いてトマト品質抽出のプログラムを作成した。プログラムはMicrosoft Visual Cを用いた。本ソフトウェアはカラー画像処理システムに組み込み、画像入力、画像処理、品質判定、品質結果出力までの処理ができるプログラムである。図3はそのプログラムのフローチャートを示す。抽出プログラムでのしきい値は $\theta = 15$, $\lambda = -5$ とした。

実験装置および方法

1. カラー画像処理システム

本研究で用いたカラー画像処理システムの構成を図4に示す。照明には自然光を再現するために昼白色の蛍光灯 (HITACHI, サンライン20型, 18W×6本) を用いた。トマトの表層曲面の反射を除去する工夫として透明プラスチックパイプ (φ250mm) の外側面にトレーシシーパーを貼った拡散透過面を置き、またカメラレンズ用偏光フィルター (Kenko, PL・MC-PL・サーキュラーPL) を使用した。カラー画像の入力は、CCDカメラ (SONY, DXC-151A, CCD-IRIS/RGB COLOR VIDEO CAMERA, 38万画素), 画像解析ボード (ひまわり, 入力信号: RGB信号, フレームメモリ: 512×512×8ビット×12枚), パーソナルコンピュータ (NEC, PC-9821Xv20, 200MHz) を用いて行った。トマトの外部品質特徴を正確に抽出するために、背景色は青色紙を使用した。照度の調節は単巻変圧器を用いた。画像処理の結果は、モニター (SONY, PVM-1456) に表示させた。

2. 実験方法

① 供試トマト

供試トマトは品種が桃太郎で、図5の(a)1・2分着色と(b)完全着色の2個を用いた。

② 画像入力

供試トマトをCCDカメラの下に置き、抽出した特徴画像はコンピュータのモニターに表示した。カメラ高さは68センチ、カメラの絞りはF=5.6とした。偏光フィルターの調整により供試トマトの表面反射を除去した。なお、トマト表面の照度は照度計 (LI-COR, Inc, LI-250, LI-210SA) を用いて測定した。

③ 測定方法

実験は、図5に示す着色計測部位 (○) における

(i) 階調値の測定および(ii) 品質特徴の抽出について、トマト表面の照度を照明装置の変圧器を調節して行った。各試験時の照度値は以下の通りとした。

(i) 階調値の測定

$L^*a^*b^*$ 表色系とRGB表色系の各階調値に及ぼす照度の影響を調べるために、同一照度条件で両者の階調値を測定した。本実験で用いた照度は、図5のトマト(a)では2,054lux~7,262luxの範囲、図5のトマト(b)では2,107lux~7,479luxの範囲とした。

(ii) 品質特徴抽出

供試トマトの着色と損傷部の抽出では照度を、図5のトマト(a)の時、117,491lux、6,872luxおよび5,793luxとし、図5のトマト(b)の時、117,149lux、5,996lux

および5,438luxとした。

結果と考察

1. $L^*a^*b^*$ 表色系およびRGB表色系における照度の影響

L^* 、 a^* 、 b^* の階調値とR、G、Bの階調値の測定結果を図6(a)~(d)に示す。これより、照度の強さによってRGB表色系のR、G、B値と $L^*a^*b^*$ 表色系の L^* 値は変化したが、 $L^*a^*b^*$ 表色系の a^* 、 b^* 値は変化しないことが分かった。

よって、トマトの着色計測部においては、 $L^*a^*b^*$ 表色系による品質特徴抽出法が照度に変化しても、安

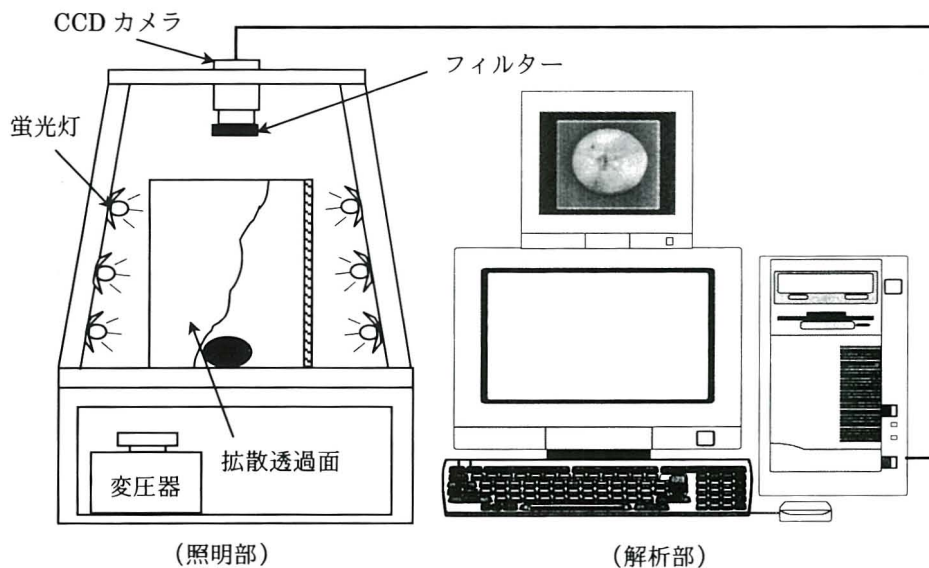


図4. 実験装置
Fig. 4. Experimental setup

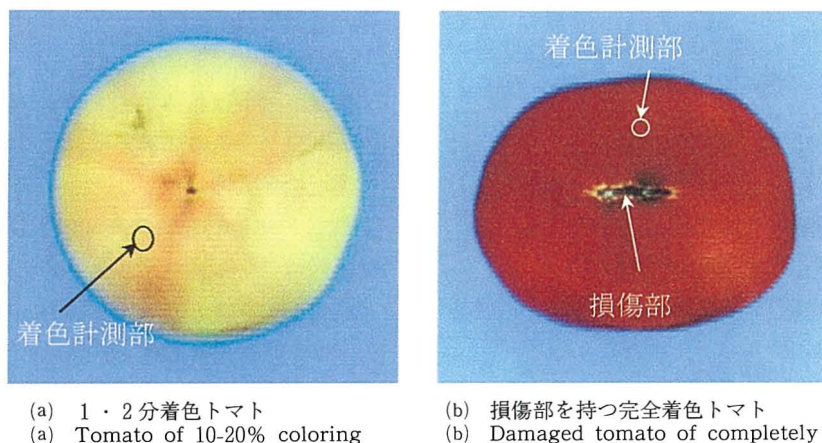


図5. 供試トマトの色彩画像
Fig. 5. Color images of the tomato

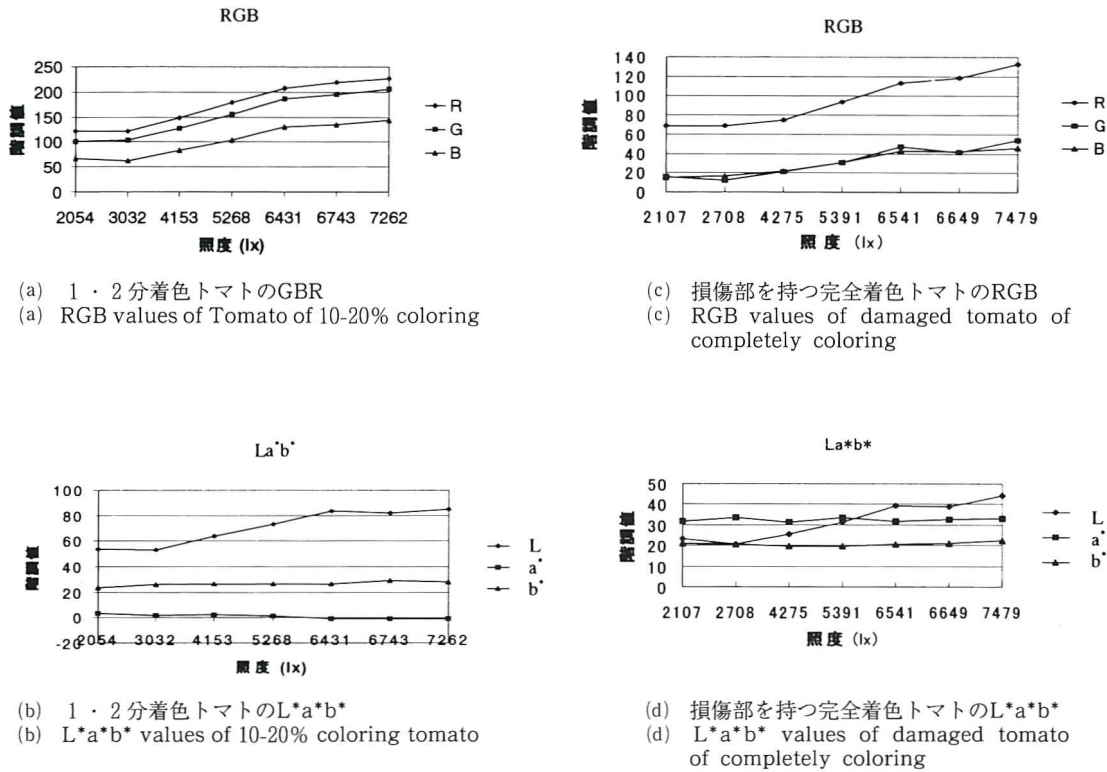


図 6. 照度の違いによる供試トマトの色計測部の階調値
Fig. 6. Feature images of coloring part of tomato

定した計測ができることが分かった。

2. L*a*b*表色系による色、損傷部の特徴抽出

抽出した供試トマトの着色部分の特徴画像と損傷部の特徴画像を図7と図8に示す。表1はこれらの条件による特徴画像の面積(黒い部分)を示す。これより、供試トマトから抽出された着色部と損傷部の特徴画像は照度の強度に関係なく、同じ面積と形状を示した。よって、これまでの目視検査で定量化しにくかった判定基準のあいまいな着色および損傷部の定量化ができた。

したがって、本報で提案した特徴抽出法は、トマトの外部品質判定時の着色および損傷部の判定に対して有効であることが確認された。

摘 要

本報は、カラー画像を用いてトマトの外部品質の特徴抽出時の問題点を明らかにするとともに、L*a*b*表色系を用いたトマトの外部品質(着色、損傷)特徴抽出法を提案したものである。以下、次のような結果

を得た。

- (1) トマトの色抽出において照度は、RGB表色系では大きく影響したが、L*a*b*表色系のa*, b*ではほとんど影響しなかった。
- (2) L*a*b*表色系によるトマトの品質特徴抽出法として、2つの方程式を提案した。

① 着色範囲の抽出

$$f(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } (a^* > 0) \text{ and } [(a^*)^2 + (b^*)^2 > \theta^2] \text{ and } (b^* > -\theta^2) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

② 損傷範囲の抽出

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } [(a^*)^2 + (b^*)^2 \leq \theta^2] \text{ and } (b^* > \theta^2) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

- (3) 開発したプログラムを用いて、部分着色と損傷のあるトマトの品質特徴抽出を行った結果、L*a*b*表色系はa*, b*からの抽出が有効であることが明らかになった。

よって、本特徴抽出法はカラー画像を用いたトマトの選別および収穫における外部品質判定への応用が可能と思われた。

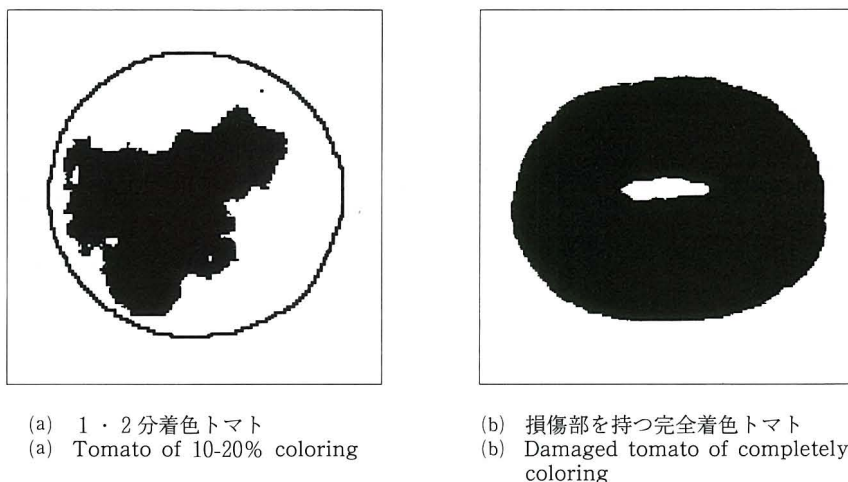


図7. 供試トマトの着色部の特徴抽出画像
Fig. 7. Feature images of coloring part of tomato

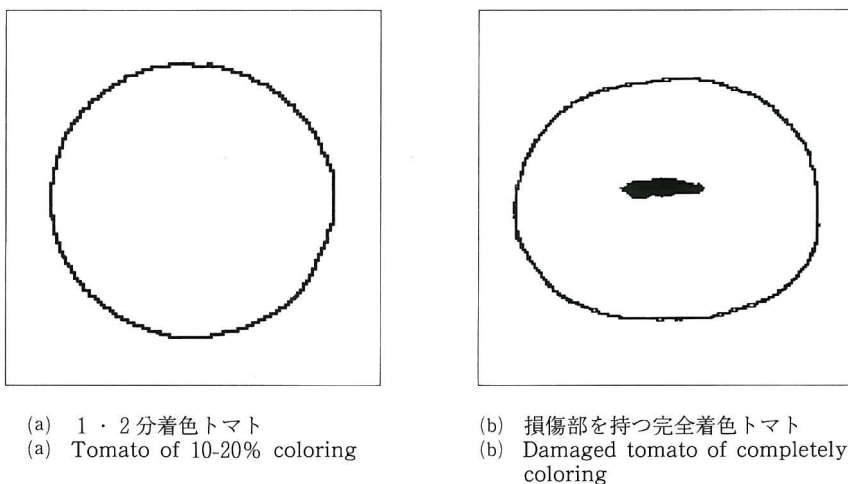
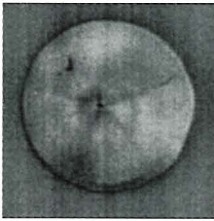
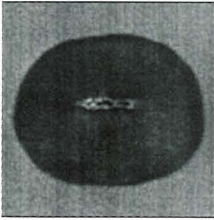


図8. 供試トマトの着色部の損傷部の特徴画像
Fig. 8. Feature images of damaged part of tomato

表1. 照度別の着色および損傷部の面積
Table 1. Coloring and damaged areas at different illuminations

照度 (Lux)		7,491	6,872	5,793
	着色面積 (画素数)	11865	11870	11869
	損傷部面積 (画素数)	2	1	1
照度 (Lux)		7,149	5,996	5,438
	着色面積 (画素数)	42945	42955	42943
	損傷部面積 (画素数)	914	910	912

キーワード：トマト，カラー画像，L*a*b*表色系，
マシンビジョン

謝 辞

本研究の遂行にあたっては，平成10年度文部省科学研究費（特別研究員奨励費）の補助を受けた。また，(有)田野ロックウールファーム安井奈良勝氏の協力を得た。ここに記して，感謝申し上げる。

引用文献

- 1) 毛利健太郎・岩尾俊男：画像処理による果物傷害果の検出，食品流通技術，23(12)，8-14(1994)
- 2) チャウ ビン ダック・梅田重夫・毛利建太郎：農産物の選別化に関する基礎研究(I)，—農産物の表面色の識別について—，農業機械学会誌，45(3)，337-341(1983)
- 3) 瀬尾康久：選果選別装置のメカトロ化の現状，農業および園芸，67(1)，80-86(1992)
- 4) 相良泰行：青果物選別システムの開発動向，日本機械学会誌，60(2)，167-174(1998)
- 5) 江尻正員：画像処理産業応用総覧，「上巻」基礎・システム技術編，株式会社フジ・テクノシステム，75-79(1994)
- 6) 川村恒夫：色彩の計測とその応用，農業機械学会誌，59(6)，127-130(1997)