マシンビジョンによる果菜の等級判定に関する研究(第3報) —階層型ニューラルネットワークによるピーマンの形状判定—

曹 其新・永田雅輝

宮崎大学農学部 889-21 宮崎市学園木花台西 1-1

Study on Grade Judgment of Fruit Vegetables Using Machine Vision(Part 3)
—Judgment for Shape of Green Pepper Using Neural Network—

Qixin CAO and Masateru NAGATA

*Faculty of Agriculture, Miyazaki University,
1-1 Gakuen Kibanadai Nishi, Miyazaki 889-21, Japan*

Abstract

In this study, a new machine vision system is developed for grade judgment of fruit vegetables. The system has learning ability, hence, can judge various fruit vegetables. The system was previously tested for shape grading of strawberries as presented in previous report (part 2).

This report describes the use of the new machine vision system to judge the shape of green pepper. Because of the more complicated shape of green pepper, the application software of the system is improved for judging accuracy, whereby, new extracting methods of shape feature and compound judging method of binary logic and neural network were included. The report also describes the judging processes by using the developed three application software. Test results showed that the new machine vision system with a binary logic and a multiple-layer neural network has great potential for automatic sorting of green pepper.

緒 言

近年、農産物に対する消費者のニーズは「多品種」・「高品質」の嗜好傾向がみられ、市場で取り扱われている農産物の種類も多く、また新品種も増加している¹⁾。このような市場の動向では、品質をより正確に評価し流通させることが必要であり、そのためには信用度の高い選別が重要となる。選別は多大の労力を要するため、一部の果菜類では機械化による選別が開発されて客観的な品質評価を行っている^{2,3)}。しかし、多くの果菜類では、まだ手作業に頼っているのが実状で、必ずしも正確な品質評価を得ているとは言い難い。特に、イチゴやピーマンのような小物の果菜での選別では、規格が細分化されているために、人手による品質判定にはバラツキがみられることから、選別を機械化して品質の均一化を図れば、さらに市場評価は高められることになる。

そこで、筆者らは、これらの果菜の選別の機械化に関する研究に取り組み、前報ではイチゴの

1996年10月15日受付

1996年11月21日受理

形状判定について報告した⁴⁾。本報ではピーマンの形状判定について報告する。なお、ピーマンはイチゴより果形が多様なために、果形判別は困難と見られていた向きもあり、これに関する研究例は極めて少ない⁵⁾。

宮崎県におけるピーマンの収穫・調製の現状

宮崎県はピーマン出荷量では全国一位である。本県のピーマン生産は図1のようにハウス栽培が主である。農家当りの労働力は夫婦のみ、または両親あるいはそのどちらか一方を加えた2～4人である。本県のハウス促成栽培ピーマンにおける10a当りの所要労働時間は1,446～1,670時間で、そのうちの収穫・調整にかかる時間は、740～750時間と全体の50%を占めている⁶⁾。ピーマンの収穫は手作業であり、その収穫期間は11月から翌年の5月まで続き、収穫の初期では4～5日の間隔、最盛期では2～3日の間隔で収穫するために、栽培面積の多い農家では、複数のハウスをローテーションすることで、毎日収穫を行っている。このようにして収穫されたピーマンは、その日のうちに農協の集出荷場へ運び込まれて、選別作業が行われる。選別作業では、形状、色、傷などの等級判別と、大きさ、重量の階級判別が施された後、袋詰めおよび箱詰めされて市場へ出荷される。

図2はピーマン集出荷所(宮崎市農業協同組合)の機械化された選別工程を示す。図中で(a)は人力による等級選別工程、(b)は階級選別工程、(c)は袋詰めのための重量測定工程、(d)は箱詰め工程である。このようにピーマン集出荷所では相応の機械化は進んでいるが、まだ等級判別は手作業として残っているために、等級判別工程の機械化が切望されている。

図1 ピーマンの収穫作業

Fig.1 Green pepper harvesting in green house

(a) 等級選別部

(b)階級選別部

(c) 袋詰め部

(d) 箱詰め部

図2 自動ピーマン調製システム(宮崎市農業協同組合)

Fig. 2 Automatic processing and encasing system for green pepper

ピーマン自主検査標準規格表 (実物大)

種類	選別標準	品位標準	品質基準
L <small>41~50</small>		A品質群	<p>▲品質基準 1. 形状 ほぼ球形、長径、短径の差が10%以内であること。 2. 皮の性状 皮が厚く、表面が滑らかで、皺や傷がないこと。 3. 肉質の性状 肉質が厚く、多汁で、硬く、軟化しないこと。 4. 味 辛味があり、酸味が少ないこと。 5. 貯蔵性 常温で1週間以上貯蔵可能であること。</p>
M <small>35~40</small>		A品質群	<p>▲品質基準 1. 形状 ほぼ球形、長径、短径の差が10%以内であること。 2. 皮の性状 皮が厚く、表面が滑らかで、皺や傷がないこと。 3. 肉質の性状 肉質が厚く、多汁で、硬く、軟化しないこと。 4. 味 辛味があり、酸味が少ないこと。 5. 貯蔵性 常温で1週間以上貯蔵可能であること。</p>
AM <small>30~32</small>		A品質群	<p>▲品質基準 1. 形状 ほぼ球形、長径、短径の差が10%以内であること。 2. 皮の性状 皮が厚く、表面が滑らかで、皺や傷がないこと。 3. 肉質の性状 肉質が厚く、多汁で、硬く、軟化しないこと。 4. 味 辛味があり、酸味が少ないこと。 5. 貯蔵性 常温で1週間以上貯蔵可能であること。</p>

出回出来ないもの

変形果

変色果

変色果

変色果

富通県産ピーマン対策委員会
 JAグループ宮崎
 JA富通経済連

2 ランクに分けられている。さらに等級の判定基準について、A 等級は規格表の写真サンプルに加えて、文字によって「品種固有の形状」、「果実の先端から 4 cm の果径が 2 cm 以上のもの」、「長さが果径の 3 倍以内のもの」、「果実のくぼみが 1 cm 以内のものおよび先端の曲りが極端でないもの」と説明されている。④等級は写真サンプルの表示のみであり、特に文字による説明はない。

2. 形状特徴の抽出モデル

ピーマンの形状特徴については図 3 を参照して、前報⁴⁾のイチゴで適用した果実の太さ、長さ、曲がりの他に、尖りおよび変形を表現できる要素を加えて、次のような三種類の形状特徴抽出法を検討した。なお、この時のピーマンの正しい見方(方向)は、果実基部を上方にして、へたが水平となる姿勢とするものである。

(1) 抽出法 I

図 4(a)のピーマン画像において、水平方向の最大幅を $W_{\max}$ と定め、 $W_{\max}$ の中心 O 点から垂線を立て、果頂部までの長さを H とする。この H を準基長に、果頂部から $0.7H$ 、 $0.4H$ および $0.2H$ の位置での果実幅を、それぞれ W_1 、 W_2 、 W_3 とする。果実の曲がり表現するために、 W_1 の中心 C 点と O 点とを結んだ線長を L とする。果実の変形を表現するために、ピーマン画像の面積と輪郭線の長さから、(1)式によって変形度 e として求める。ここで、 e : 変形度、 l : 画像輪郭線の長さ、 S : 画像の面積、 $\alpha=4\pi$ とする。

$$e = \alpha S / l^2 \quad (1)$$

以上より、抽出法 I の特徴量は次式で表現する。

$$\begin{cases} K_1 = W_1 / W_{\max} \\ K_2 = W_2 / W_{\max} \\ K_3 = W_3 / W_{\max} \\ K_4 = W_{\max} / H \\ K_5 = L / H \\ K_6 = e \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 $K_1 \sim K_3$ は果実の太さ、 K_4 は果実の長さ、 K_5 は果実の曲がり、 K_6 は果実の変形を表わす係数となる。

(2) 抽出法 II

抽出法 I と異なる点は図 4(b)において、果実の全長を H とし、水平方向の最大幅は用いずに、

図 4 ピーマン形状の特徴抽出

Fig. 4 The feature extraction of green pepper

果頂部から $0.8H$ の位置の幅 W を基本幅として, $0.6H$, $0.4H$ および $0.2H$ の位置での果実幅を, それぞれ W_1 , W_2 , W_3 としたことである. よって抽出法IIの特徴量は次式で表現する.

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = W_1 / W \\ K_2 = W_2 / W \\ K_3 = W_3 / W \\ K_4 = W / H \\ K_5 = L / H \\ K_6 = e \end{array} \right. \quad (3)$$

ここで, $K_1 \sim K_3$ は果実の太さ, K_4 は果実の長さ, K_5 は果実の曲がり, K_6 は果実の変形を表わす係数となる.

(3) 抽出法III

本抽出法の特徴は, 図4(c)のように果実幅を果実の曲がりに添って抽出することである. 果実の全長を H として, 果頂部からそれぞれ $0.8H$, $0.5H$, $0.1H$ の位置における水平幅の中心点 O , B , C を抽出して, $\overline{OC}$ の長さを L , $\overline{OB}$ の長さを L_1 , $\overline{BC}$ の長さを L_2 とする, 次に, 果頂部から $0.6H$ の位置で水平に引いた仮想線と $\overline{OB}$ との交点において, $\overline{OB}$ と垂線となる線分上における果実幅を W_1 とし, 以下同様に $0.4H$ および $0.2H$ の位置での $\overline{BC}$ と垂線となる線分上の果実幅を W_2 および W_3 とする. 果実の曲がり程度は, $\triangle OBC$ の三辺から, (4)式によって曲がり度 λ として求める.

$$\lambda = L / (L_1 + L_2) \quad (4)$$

よって, 抽出法IIIの特徴量は次式で表現する.

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = W_1 / W \\ K_2 = W_2 / W \\ K_3 = W_3 / W \\ K_4 = W / (L_1 + L_2) \\ K_5 = \lambda \\ K_6 = e \end{array} \right. \quad (5)$$

ここで, $K_1 \sim K_3$ は果実の太さ, K_4 は果実の長さ, K_5 は果実の曲がり, K_6 は果実の変形を表わす係数となる.

材料および方法

1. 供試ピーマン

供試したピーマンは宮崎県佐土原産の冬春ピーマン(品種:土佐ひかりスーパー)である. この品種は, 果色は濃緑, 果肉はやや厚く, 日持ち性が良く, 秀品率および品質に優れ, 市場性が高く, 低温, 日照条件下でも着果と肥大性の安定したハウス用中型種である. 提案した三種類の抽出法を比較するために, ピーマン生産農家の収穫直後のピーマン(418個)の中から代表的なピーマンを100個選んで供試材料とした. それらの果形を図5に示す.

2. 実験装置および方法

本研究でのマシンビジョンシステムは, 図6に示すように, 照明装置(LSB-L 40, 30 KHz, 40 W), CCDカメラ(ELMO, EC-202 II), モニタ(SONY PVM-9221), イメージデジタイザ

図5 供試した100個のピーマン

Fig. 5 Tested 100 green peppers

図6 マシンビジョンシステム

Fig. 6 A machine vision system

(FDM 4-256)およびパソコン(PC 9801 RA)から構成されている。本システムのソフトウェアのプログラム言語はアセンブラ MASM と N 88 BASIC を用いた。カメラからイメージデジタイザにピーマン画像を取り込んだ後の画像処理部分と画像データのコンピュータ呼び出しにはアセンブラ言語を使用し、特徴抽出、ニューラルネットワークによる判定、マシンビジョンシステム

のコントロールは N 88 BASIC を使用した。

3. 階層型ニューラルネットワークと学習パターン

本報で提案した三種類の形状特徴抽出法の学習と判定は、第1報⁸⁾で作成した階層型ニューラルネットワークを導入した基本ソフトウェアを用いた。また学習用パターンは図3の判定基準規格表を参考に、図7を作成した。ここで、図3の㊸等級は便宜上 B 等級として表示した。学習実験は、三種類の形状特徴抽出法のソフトウェアを個別に稼働して、階層型ニューラルネットワークの学習をさせた。階層型ニューラルネットワークは入力層 6 ユニット、中間層 11 ユニット、出力層 2 ユニットの 3 層階層型ネットワークを設定した。学習は総誤差が 10^{-3} 未満になるまで行った。次に、判定実験は、各々の抽出法の学習済み判定プログラムを組み込んだソフトウェアを実行して、図5の100個のピーマンについて行った。カメラから入力するピーマンの方向は、果実の基部を上にして、へたを水平にして手で置いた。判定結果の良否を確認するために、宮崎市農業協同組合ピーマン集出荷所の3人の検査員の協力を得て、その人の判定結果を基準に一致率を求めた。一致率の求め方は前報⁴⁾と同じとした。

結果および考察

1. 階層型ニューラルネットワークによる学習結果

表1は、三種類の抽出法の学習結果であるが、各抽出法のソフトウェアによる学習パターンの学習結果は、抽出法 I が学習回数が最も短くて誤差も小さくなったが、いずれにおいても 10^{-3} 以下の誤差範囲となり良好であった。

2. 階層型ニューラルネットワークによる判定結果

学習済みソフトウェアを用いて、100個の供試ピーマンに対する形状判定の結果を表2に示す。表中の P 項は人の判別結果であり、I, II, III はそれぞれの抽出法による判別結果である。これらの結果の一致率を表3に示す。A 等級の判定では、どの形状抽出法においても 94% 以上と高かったが、B 等級では非常に低かった。これは、B 等級に相当するピーマンの供試数が少なかったこともあるが、複雑な形状を持ち、形状が一定していない B 等級のピーマンに対しての学習能力が低かったことにもよる。即ち、学習させたパターンのモデル数が3個と少なかったこと、人でも A か B か判断に迷うような形状の判別が不一致率を高くした原因といえる。本マシンビジョンシステムによるピーマン1個あたり判定時間は約 2.7 秒であった。

3. 二値論理と階層型ニューラルネットワークを組み合わせた場合の判定結果

判定精度を向上するためには、形状特徴量のデータ数の増加、学習用パターン数の増加、学習用パターンの調整、中間層のユニット数の増加等の操作により、ある程度までの向上は期待できるが⁴⁾、その代わりに学習時間が長くなったり、計算容量が大きくなったりして、パソコンレベルでのマシンビジョンシステムの構築は難しくなる。また、余りにも学習用パターン数を増やし過ぎたら、判定範囲(境界領域)が広がり、逆に判定精度が落ちる可能性もある。

表1 学習の結果
Table 1 The results of learning

ソフトウェア	学習回数	学習時間(min)	誤差($\times 10^{-3}$)
抽出法 I	52	12	0.9912
抽出法 II	119	28	0.9887
抽出法 III	134	31	0.9875

表2 階層型ニューラルネットワークによる判定結果
Table 2 The results judged by multiple-layer neural network

NO.	I	II	III	P	NO.	I	II	III	P	NO.	I	II	III	P
1	A	A	A	A	36	A	A	B	A	71	A	A	A	A
2	A	A	A	A	37	A	A	A	B	72	B	A	B	B
3	A	A	A	A	38	A	B	B	B	73	A	A	A	A
4	A	A	A	B	39	A	A	A	B	74	A	A	A	A
5	A	A	A	A	40	A	A	A	A	75	A	A	A	A
6	A	A	B	A	41	B	A	A	B	76	A	A	A	A
7	B	A	A	B	42	A	A	A	A	77	A	A	A	A
8	A	A	A	A	43	A	A	A	A	78	B	B	A	A
9	A	A	A	B	44	A	A	A	B	79	A	A	A	A
10	B	A	A	B	45	A	A	A	A	80	A	A	A	A
11	A	A	A	A	46	A	A	A	A	81	A	A	A	A
12	A	A	A	B	47	B	A	B	B	82	A	A	A	A
13	A	A	A	A	48	A	A	A	A	83	A	A	A	A
14	A	A	A	A	49	B	A	A	A	84	A	A	A	A
15	A	A	A	A	50	B	A	A	B	85	A	A	A	A
16	B	A	A	B	51	A	A	A	A	86	A	A	A	A
17	A	A	A	A	52	A	A	A	A	87	A	A	A	A
18	A	A	A	A	53	A	B	B	B	88	A	A	A	A
19	A	A	A	A	54	A	A	A	A	89	A	A	A	A
20	A	A	A	A	55	B	B	B	B	90	A	A	A	A
21	B	A	A	B	56	A	A	A	A	91	A	A	A	A
22	B	A	A	B	57	B	A	B	B	92	A	A	A	A
23	A	A	A	A	58	A	A	A	A	93	A	A	A	A
24	A	A	A	A	59	A	A	A	B	94	A	A	A	A
25	B	B	B	B	60	B	A	B	B	95	A	A	A	A
26	B	A	A	B	61	A	A	A	A	96	A	A	A	A
27	A	B	B	B	62	A	A	A	A	97	B	B	B	A
28	A	A	A	A	63	A	A	A	A	98	B	A	A	A
29	A	A	A	A	64	A	A	A	A	99	A	A	A	A
30	A	A	B	A	65	A	A	A	A	100	A	A	A	A
31	A	A	A	A	66	A	A	A	B	(備考) 網かけは人(検査員) と違った判定が出現した 等級				
32	A	A	A	B	67	A	A	A	A					
33	A	A	A	A	68	B	A	A	B					
34	A	A	A	A	69	A	A	A	A					
35	A	A	A	A	70	A	A	A	A					

表3 形状判定の一致率
Table 3 The agreement rate of shape judgment

ソフトウェア	A形状の一致率	B形状の一致率	全体の一致率
抽出法I	94.5 %	55.6 %	84 %
抽出法II	97.2 %	18.5 %	76 %
抽出法III	94.5 %	33.3 %	78 %

前項のニューラルネットワークのみによる判定法は、B等級の判定に問題があったので、この問題を解決するために、階層型ニューラルネットワークと二値論理とを組み合わせた判定方法を試みた。この方法は、まず初めに二値論理によって極端な曲がりあるいは奇形を有するピーマンを区分し、その後に階層型ニューラルネットワークによる判定を行うものである。

そこで、図7の学習用パターンのBランクのピーマンを供試して、三種類の抽出法ごとの曲がりや奇形のピーマンの区分け条件とする領域値について、前述の(2)、(3)、(5)式より曲がりの特徴量 K_5 と変形の特徴量 K_6 を求めた。その区分け領域値を表4に示す。表5は二値論理と

形状 ランク	入力パターン			教師信号	
	$K_1, K_2, \dots, K_6$			T_1	T_2
A	①	②	③	1	0
B	④	⑤	⑥	0	1

図7 学習用パターン

Fig. 7 A set of learning pattern

表4 Bランクの K_5 及び K_6 の値
Table 4 K_5 and K_6 date of B shape

ソフトウェア	$K_5 <$	$K_6 <$
抽出法 I	0.79	0.70
抽出法 II	0.90	0.70
抽出法 III	0.94	0.70

表5 2値論理と階層型ニューラルネットワークを組み合わせた
場合の判定結果

Table 5 The results judged by combination between binary
logic and multiple-layer neural network

ソフトウェア	A形状の一致率	B形状の一致率	全体の一致率
抽出法 I	94.5%	74.0%	89%
抽出法 II	97.2%	48.1%	84%
抽出法 III	94.5%	55.5%	84%

階層型ニューラルネットワークを用いた判定ソフトウェアによる判定結果である。いずれの抽出法でも前項の階層型ニューラルネットワークのみによる結果より、B等級の判定精度は20～30%の向上を得た。故に、組み合わせによる判定法はピーマンの形状判定には有効となることを確認した。

4. 画像入力時のピーマンの置き方の傾き程度が判定結果へ及ぼす影響

判定するピーマン果実は、一定の方向から CCD カメラで入力されるように、撮影台への置き方はピーマンのへたが上方でかつ水平に置くことを基準とした。しかし、実際の判定作業で、正確に基準通り置くことは難しい。そこで、置き方がどのくらいの傾きまで適用できるかを検討した。実験は図7の学習用パターンのピーマン6個について、ピーマンの基部を軸点にへたを水平から左右へ3度ずつ15度の範囲まで変化させて行った結果、表6のように、特にA等級については左右への傾きが9度までは判定に誤差は出なかった。

5. 画像面積と重量との関係

宮崎県の「ピーマン自主検査標準規格表(実物大)」によれば⁷⁾、ピーマンの階級は果実の重量により L・M の二つのランクに分けている。そこで、ピーマンの画像面積から階級の重量選別の可能性を検討するために418個の冬春ピーマン(品種:土佐ひかりスーパー)を供試材料として画像面積と重さの関係を計測した。図8は計測した面積と重さの関係を示すが、両者の関係は相関係数が0.811となり低い相関を示した。ピーマンは果実の中に空洞があることから、画像面積からの階級判定にはバラツキがみられることとなり、前報で報告したイチゴと違って画像処理に

表6 置き方の傾き程度と判定結果
Table 6 The results of judgment at position angle

標準 パターン		判 定 結 果										
		左方向					垂直	右方向				
		15°	12°	9°	6°	3°		3°	6°	9°	12°	15°
手法Ⅰ	①	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	②	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	③	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	④	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B
	⑤	A	A	B	B	B	B	B	B	C	B	B
	⑥	A	A	B	B	B	B	B	B	C	B	B
手法Ⅱ	①	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	②	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	③	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
	④	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A
	⑤	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A
	⑥	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A
手法Ⅲ	①	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	②	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	③	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B
	④	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	⑤	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	⑥	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

(備考) 網かけは判定結果の違いが出現した等級

冬春ピーマン

図8 ピーマンの画像面積と重さの関係

Fig. 8 The relationship between image area and weight of green pepper

よる階級判定は不適であることを確認した。

6. まとめ

ピーマンのような複雑な形状を持っている果菜は階層型ニューラルネットワークだけによって形状を判定することは不十分であることが分かった。この解決のためには、二値論理の判定ソフトウェアと融合することで判定精度を向上することができることを確認した。本報で取り上げた

三種類の形状特徴抽出法には一長一短がみられ、A 等級の判定では抽出法 I が、B 等級の判定では抽出法 II が優勢であったことから、これらの長所部分を併用した形状特徴抽出の再考を認めた。いずれにしても、ピーマンは果形に多様性があるために形状判定の精度向上には、ファジィ理論と階層型ニューラルネットワークを統合した判定ソフトウェアの開発が必要である。

摘 要

本報はピーマンの選別システムにおける形状判定の基礎研究として、前報で開発したマシンビジョンシステムによるピーマンの形状判定を試みた。形状判定実験の結果、以下の所見を得た。

1. 第2報のイチゴで適用した果実の太さ、長さ、曲がりの他に、尖りおよび変形を表現できる要素を加えて、ピーマンのための三種類の形状特徴抽出法を提案し、それぞれの判定ソフトウェアを作成した。
2. 階層型ニューラルネットワークのみによる形状判定法と、二値論理と階層型ニューラルネットワークを組み合わせた形状判定法とにおける判定精度を比較してみると、A 等級については、両者とも 94% 以上の一致率を得たが、B 等級については、前者では約 18~55% と低い一致率であったのに対して、後者では 48~74% となり、20% 程度の一致率の向上を得た。よって、ピーマンの形状判定には階層型ニューラルネットワークのみによる判定法より、組み合わせによる判定法が有利であることが判った。なお、B 等級の判定では、さらに有効なアルゴリズムの導入が必要であることを認めた。
3. 画像入力の変角程度は、A 等級については左右 9 度以内までは判定に誤差が出なかった。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、宮崎大学農学部農業機械学研究室木下 統助手、大学院生ウガニルウ Z. マブブ君、シュレスタ P. ビン君、研究生ペピト M. バト君並びに JA 宮崎市農協佐土原支所河野 浩氏、ピーマン栽培農家後藤隆一氏の協力を得た。ここに記して感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本園芸生産研究所：蔬菜の新品種⑩，p1~81(1991)
- 2) 松田郁生・森嶋 博・瀬尾康久・芋生憲司：キュウリの画像処理選別に関する研究，一画像サンプリングの誤差について，農業機械学会誌，54(3)：93~96(1991)
- 3) 福沢邦之・早田文隆：画像処理による青果物選別の現状，食品流通技術，23(11)：12~19(1994)
- 4) 曹 其新・永田雅輝・御手洗正文・藤木徳実・木下 統：マシンビジョンによる果菜の等級判定に関する研究(第2報)―構築したソフトウェアによるイチゴの形状判定試験―，植物工場学会誌，8(4)：228~236(1996)
- 5) 池田善郎・斉藤義行：ニューラルネットワークによる農産物の形状判定，ピーマンの形状と大きさの判定，農業機械学会誌，55(3)：59~64(1993)
- 6) 高鍋農業改良普及所・西都農業改良普及所(宮崎県)：農業経営管理指針(児湯地域版)，224~225，416~419(1992)
- 7) 宮崎県促成ピーマン共計委員会・JA グループ宮崎・JA 宮崎経済連：ピーマン自主検査標準規格表(実物大)
- 8) 永田雅輝・曹 其新・御手洗正文・藤木徳実・木下 統：マシンビジョンによる果菜の等級判定に関する研究(第1報)―階層型ニューラルネットワークによる形状判定のソフトウェアと選別システム―，植物工場学会誌，8(4)：219~227(1996)