透過光量を利用する包装食品良否判別システム[†]

神田 和也*・岡田 徳次*・伊藤 和雄**

Discrimination System for Packed Food Quality Using Light Transmittivity[†]

Kazuya KANDA*, Tokuji OKADA* and Kazuo ITO**

This paper proposes an optical discrimination system for packed food quality. Raw material of the food is cereal. The material is powdered, baked, seasoned in general, and packed with transparent plastic film. Then, the food products are tested in their quality whether they are exact in number and appropriate in food sufficiency without lack, in addition to the check of unexpected mixtures. Our way of testing makes use of such optical characteristics of the food material in which light reflects, diffuses and then weakens depending on its thickness. We put photodiodes in the cylinder locating between ends of two belt conveyers. Of course, the cylinder has the shape keeping the flow of the food material consecutive. We define some thresholds and total area to evaluate the number and sufficiency of the piled food products, respectively. Also, formulation for estimating the area by signal processing is derived. For demonstrating the discrimination, the automatic test system is fabricated by combining mechanical and optical parts together. Experimental results show that the system works in real time, with high correctness of the discrimination.

Key Words: light transmittivity, discrimination of quality, cereal food products, total area, unexpected mixture

1. はじめに

一般産業界におけるメカトロニクスの普及に伴い、食品産業界においても各種の自動化が進んでいる。しかし、食品は工業製品と異なり定型であることがきわめて少ない。このため、検査の自動化は非常に困難である。品質に関する基準が定性的で、判別基準の設定が難しく装置化しにくいことに因る。この問題の解決には従来より言われる定性的概念を定量化することが不可欠である。食品の属性（形やサイズ）、品質、等級などを支配する要素、たとえば、光沢、粗密、色むら、凹凸、形、厚みなどを数値化し、検査・評価・識別に応用する技術は、生産現場で役立つ経験則や知識などのノウハウを客観的に評価するだけでなく、データベースとしての構築、さらには製品の質的向上や均一性の確保、生産工程の機械化・自動化のために必要である。

これまで、食品の良否は機械式形状検査、光を使うパターン計測、重量選別、画像処理などによって判別されてきた。機械式形状検査は、確実に安価な装置を構成できるが、スリットや穴に通すため、食品に擦り傷をつけやすい欠点をもつ。光を使う計測は光ビームをポリゴンミラーなどで走査す

ることが多く、直径や高さなどの属性をどのように選び組み合わせるかによっていろいろな判定の自由度を増すメリットをもつ。しかし、これは、基本的に局所計測であり、製品全体にわたる良否を判定できるとは言い難い。

一方、画像処理は、撮像装置を用い、色、キズ、形状などの項目をも検査しうる多機能型全体品質判別機として、製造や組立のラインに実用化されている。また、非製造ラインの一部にも導入されている。この種の代表として、農業分野における検査ロボット^{1),2)}、青果物自動選別装置^{3),4)}、パターン認識による判別装置⁵⁾などが挙げられる。そこでは、形状や光沢の選別^{6)~8)}、ファジィ理論、ニューラルネットワークや遺伝的アルゴリズムに基づく形状解析や色計測⁹⁾などの技術が各種農産物に応用されている。また、最近では、青果物の内部非破壊計測システムにより、糖度¹⁰⁾、空洞¹¹⁾などが検査されている。

食品の分野では、一般に、積層（数量、配列）、大きさ（面積、体積、重量）、品質（形状、表面状態、成分、異物混入の有無）などが、検査の対象となる。とくに、包装後の最終工程ではこれらが総合的に検査される。このため、食品の枚数、面積（欠け）、厚さ（厚薄）、色（焼き、味付け）、形状（変形品）、異物混入の有無、包装状態（横ずれ、縦ずれ、製袋不良、噛み込み）、割れなどが具体的な検査項目となる。そして、食品生地は、プラスチックフィルム、紙などによって包装されて製品になることが多い。このため、袋表面の光の反射がノイズとして作用し取り込む画像の質を下げ、画像

[†] 第43回自動制御連合講演会で発表(2000・11)

* 新潟大学工学部 新潟市五十嵐2の町 8050

** (株) アデマック 新潟県亀田町元町 2-4-46

* Faculty of Engineering, University of Niigata

** Co., Ltd. Ademak, kameda-machi, Niigata

(Received March 10, 2001)

(Revised July 14, 2001)

Fig. 1 Geometrical modeling of round food plates

処理を採用するのが必ずしも得策とはいえない。一つの製品は、1枚に限らず、2枚、あるいは、3枚を重ねて個装することもあり、枚数の過不足の判別が困難になる。面積や体積の検査も困難になる。このため、透過光量を利用することにした。物を透視するには透過力のあるエネルギー源を必要とするが、食品に対し必ずしもX線のように透過力の強い放射線を使う必要はない。このため、赤外発光ダイオード（以下、LEDと呼ぶ）を光源として使うことにした。理由は、可視光に比べて透過力が強いこと、紫外線やX線などに比べて操作時に危険性がないこと、食品の養分を破壊する恐れがないこと、室内照明光が遮光ボックスに漏れ入ってもその影響を受けにくいことにある。このような透視法を食品の良否判別に応用し、非常に有効であることを確認したので報告する。

本稿は、とくに、透明フィルムで個装される食品の枚数と生地総面積（以下、のべ面積と呼ぶ）の項目に絞り、画像処理によらない良否判別法を提案する。具体的に搬送用コンベアに直交する線上を通過する生地に向けて上部から光を照射し、食品生地の移動時間に同期する透過光量信号が流れる生地の枚数の違いによってレベルを変化させることに着目し、いくつかの閾値を用いて枚数を知らせる TTL レベルの信号生成法を述べる。そして、生地ののべ面積計算法を明らかにする。ただし、生地の通過領域であるコンベアのつなぎ部を利用し、ここに受光素子を線上に等間隔で複数個並べるものとする。後半では提案する方法の装置化について明らかにする。さらに、実生産ラインに流れる包装食品を試作した装置に通し、判別の実験を行なう。そして、得られた結果から判断して、提案する原理と判別システムの実効性を示す。なお、本文中における良品とは枚数とのべ面積の2つが指定される条件を満たすものをさす。また、判別とは良品の条件を満たすものを良品、満たさないものを不良品として区分けすることをさす。

2. 食品形状モデリングと重畳パターン

食品生地の形状は、丸に限らず、角、長細など様々である

Fig. 2 Typical patterns of piled food plates

が、口に入れる食材であるため基本的に一つの塊と見なせる。このため、以下の説明では、食品は、便宜上丸みのある塊とする。生地の大半は型打ちされるのでその面積に過不足はない。あるとすれば、欠け物である。これによる形状変化が不良品になる。この場合、形状は基本的に線と円弧の組み合わせと考えられる。ただし、厳密な表現は困難である。理由は、食品生地においては、手作り感を出すため故意に形を歪める場合があり、また、焼成過程で表面に凹凸ができることもあるからである。今のところ、食品生地の形に青果物の等級のような選別精度を要求する動きはない。

以上のことから、良否判別の対象は、形状の厳密さよりもむしろ面積の充足にあり、形状の良否を議論するのは本質的ではない。形状が良いからといって味が変わるものでもない。そこで、1枚の生地の面積平均値を標準面積 A_g と定義し、これに基づいて良否を判別する。事実、生地に所定の面積があれば歪む形状でも良と判別しているのが現状である。要するに、生地の形状が良否の判別に与える影響は間接的と考える。

そこで、破損に因る面積不足（欠け）を、Fig. 1 の 5 つの形状モデルで表わすことにする。ただし、これは実生産ラインに流れる生地 100 個を無策に取り出して観測できる形を参考にして得られた結果である。図中の (a) は良品、(b)~(e) は不良品に属する。角度 $\theta_a, \theta_b, \theta_c, \theta_s, \theta_t$ および距離 L_c, T, T_a, T_b, R, R' はそれぞれ、破損部の広がり角と長さに関するパラメータである。

さらに、2 枚を個装する袋内の代表的食品重量パターンを分類し、Fig. 2 の結果を得た。ただし、上下の図は、それぞれ平面と側面を示す。A1, A2 は良品 2 枚、B は良品 1 枚、C1~C3 は良品と不良品各 1 枚、D1~D4 は不良品 2 枚、E1~E4 は不良品 1 枚を示す。A1, A2 以外は包装された状態で不良品と判別されるべきパターンである。そこで、枚数が不足する場合と標準面積に満たない場合を不良品にする。また、規定数以上の重量も同様とする。

Fig. 2 中の複数の不良品重量パターンは理解を容易にするための代表的事例であり、各重量パターンの上下が逆の場合も全く同様に不良品である。しかも、Fig. 1 中の不良品形状 (b)~(e) を含む 2 枚の組み合わせや 2 枚の相対的重量関係を同じに保ちながら中心距離や配列方向を違えるパターンは無数ある。

3. 判別法

透明な包装フィルムを剥ぐことなく重畳生地の透過光量信号を観測し、線上に並べる受光素子から得られる信号を総合評価し、枚数を検出しのべ面積を計算する方法を提案する。なお、本方法は、食品生地厚、および成分が一様であれば受光素子の出力も一定になることを前提とする¹²⁾。

3.1 枚数の検出法

床下において生地通過を検出するすべての受光素子を以下、PD と略す。PD から得られる透過光量は生地が重なると一般に弱まる。そこで、弱まる程度を縦軸に目盛って光量信号を観測すると、重畳生地と光量との関係は Fig. 3 で表わされる。ここで、透過光量信号（説明のため平滑化して Q とする）について、生地の重なり数を識別するための透過光量標準値（以下、閾値と呼ぶ）として、1 枚用、2 枚用、および 3 枚以上用光量信号のレベルを C_1, C_2 , および C_3 と定める (Fig. 3(c) 参照)。なお、暗信号を高レベルで表示し、 $0 < C_1 < C_2 < C_3$ とする。このため、2 枚重ねの透過光は 1 枚の場合に比べて減少し、暗くなるが信号レベルでは高くなる。ただし、(a) と (b) は重畳生地の平面と側面、(c) は床下で計測される透過光量信号 Q , (d) および (e) は Q を閾値 C_1 と C_2 を基準にして二値化したパルスである。

(a) 中の横線は、PD の走査線を示す。ただし、見かけ上の走査線で実際の PD はコンベアのつなぎ部に固定される。すなわち、生地が流れる（図では右から左を想定）。(c)~(e) 中の縦軸は電圧、横軸は時間を表わす。文字 $F(\text{irst})$ は 1 枚の生地通過点、また、 $S(\text{econd})$ は 2 枚重畳箇所の通過点を示す。そして、 F と S に関し、1 番目の添字 i をコンベアの

Fig. 3 Relations among piled food plates and transmitted light signal depending on time

幅方向に線上に並ぶ PD の順番とする。また、2 番目の添字 j (1 と 2) を、PD 上を通過する生地の開始と終了の識別子とする。このためいくつかの PD は、生地通過の開始 F_{i1} と終了 F_{i2} の他に、2 枚重畳箇所の開始 S_{i1} と終了 S_{i2} に遭遇する。そして、 C_1, C_2, C_3 と比較し、0 枚、1 枚、2 枚、3 枚以上を識別する。すなわち、 $Q < C_1$ のとき 0 枚、 $C_1 < Q < C_2$ のとき 1 枚、 $C_2 < Q < C_3$ のとき 2 枚、 $C_3 < Q$ のとき 3 枚以上と判別する。枚数を検出した結果、0 枚、3 枚以上となる場合あるいは 1 枚のみの場合は、不良品と判断し、データを無効にする。2 枚部を含む場合、データを次ののべ面積計算に使用する。

3.2 のべ面積計算法

生地ののべ面積計算を Fig. 2 中のパターン A2 を例として説明する。この重なりは、実質的に 2 枚分の生地面積に等しい。同時に、生地全体の透過光量図において生地の存在を示す光量領域の外側輪郭に関わる射影面積に、重なり部の面積を加算した値に等しい。以下、これを実際に求める原理を Fig. 3 の透過光量信号を用いて説明する。

まず、 Q を閾値 C_1 および C_2 と比較して得られる TTL レベルの信号の立上がり点と立下がり点を Fig. 3 中の (d) と (e) に示すように U_{i1}, U_{i2} および D_{i1}, D_{i2} とする。ここで、コン

ベア速度は一定とし、上記各点間の長さをコンベアの移動量相当値（以下、信号長と呼ぶ）とみなす。すなわち、各点をコンベアに取り付けるエンコーダのカウント値 E_c で表わし、PD とコンベア上のカウント値 E_c を次式で関連づけて、図中の信号長 L_{i1} , L_{i2} を計算する。

$$L_{i1} = E_c(U_{i2}) - E_c(D_{i1}) \quad (1)$$

$$L_{i2} = E_c(D_{i2}) - E_c(U_{i1}) \quad (2)$$

また、1番目と2番目に通過する生地（Fig.3の例では下側が1番目）の面積値をそれぞれ、 A_f , A_r とすると、

$$A_f = \sum_{i=1}^n \{(L_{i1} + L_{(i+1)1})W/2\} \quad (3)$$

$$A_r = \sum_{i=1}^n \{(L_{i2} + L_{(i+1)2})W/2\} \quad (4)$$

となる。ただし、 n は線上に配置するPDの総数、 W [mm] はPDの（走査線）間隔を示す。重畳いかんによっては A_f が上側、 A_r が下側の生地面積になることもある。とにかく、 A_f と A_r の単純和をのべ面積と定める。これはまさに、2枚重ね生地の透過影像輪郭に関わる射影面積に、重畳部面積を加えた値に等しい。そして、得られるのべ面積値 $A_f + A_r$ を2枚相当の標準面積値 $2A_g (= A_g + A_g)$ と比較し、充足する場合を良、不足する場合を否と判別する。この場合、別の生地が横に並行して流れないことを前提とすることは明白である。

3枚以上の重なりの場合、生地間あるいは床面と生地間に空隙層が生じ、PD上部の生地重畳数が同じでも重なり方の違いによって透過光束を異にする。したがって、枚数を識別するレベルの数は一つでは不十分で設定は困難となる。また、設定する複数のレベルが接近し、識別精度の向上を望めなくなる。このような場合に本手法を適用するには限界があると言える。なお、PD上部に隙間を作って2枚の生地が重畳する場合の透過光量は隙間なしの1枚分と大差なかった。この理由は、PDの視野が円錐状に拡がり、距離増大によって起こる光束減衰分が視野面積の増大によって打ち消し合う結果になったと考えられる。

4. 判別システムの開発

判別システムの全体構成と具体的な信号処理について詳述する。生地の流れと判別作業を一体化するシステムの全体構成の外観を Fig. 4 に示す。これは、1) 発光、2) 受光増幅、3) 比較、4) 測長、5) 識別、および搬送の各部から構成される。中でも搬送部は透過光量信号 Q を得る重要な部分で Fig. 5 のように組まれる。これは、受光増幅部を2つのコンベアのつなぎ部分に設置し、生地の流れる方向と直角な一線上にPDを、また、コンベアの上部空間に面状光源を発光部として配置する。PDはコンベア上を通過する生地の透過光量を常時入力する。以下、各部の機能を実現する回路の動作

Fig. 4 Outlook of the discrimination system

Fig. 5 Construction of collecting transmitted light

を Fig. 6 を用いて説明する。なお、図中の番号は上記番号に対応する。矢印は信号の流れを示す。

4.1 発光部

光源として、高効率の近赤外LEDを選んだ（浜松ホトニクス製、L1939、波長890[nm]）。また、照射光量を調整可能にするため、3個のLEDを1組として全体で10組を同一平面上に配備、これらへの供給電流を可変にした。輝度一様な面状光源にするため、LED側に拡散板（アクリル樹脂、乳白色透明、厚さ2.0[mm]）を置く。さらに、LEDは、一般に自己発熱および周囲温度の変動により光出力（発光量）を変化させる特性をもつので、この影響を避ける対策を施した。具体的に、1つのPDを特別に設け、これで光出力をモニタし、同時にLED駆動回路に負帰還して発光量を外界温度に左右されないようにした。

4.2 受光増幅部

LEDの波長域で高い感度を有し、かつ、温度の影響を受けにくいPDが必要である。また、高密度に配置することで W の値は小さくなり、のべ面積の計算精度は向上するので

Fig. 6 Flow of the optical signal processing for discriminating packed food quality

パッケージを含めたPDの外径は小さい程よい。しかし、実際に利用できるPDのサイズには限界がある。そこで、本システムの仕様を満たす素子として現状で入手できるPD（浜松ホトニクス製，S2386-18L，ピーク波長960[nm]）を使った。この外径は5.6[mm]でこれを10[mm]間隔に並べてセンサアレイとした。その数は、生地を通過領域として包装フィルムの対角長約150[mm]を考慮し、コンベア幅200[mm]を80[%]利用することとし、総数16個とした。

透過光量に相当するPDの出力信号は微弱であるので増幅することになるが、とくに、1枚目において信号の減衰は著しい。2枚目以上の重なりに対してはFig.3(c)からも明らかのように緩やかに減衰する。ここで、2枚以上の枚数を検出するために増幅率を上げても、1枚目の大幅な減衰により信号が飽和する。そこで、生地がPD上部に無い場合、入射光量が一定量を超えないようにすると同時に、1枚と2枚の生地に対する透過光量レベルの違いに大きな差をつけて読み込みやすくする対策をした。すなわち、実生地1枚分の光学的厚さ（吸収率）が27[%]であることを考慮し、PD上部にこれに近い減衰をする残光性の少ないNDフィルター（デュボン社製の人工大理石であるコーリヤン，グレースィアンホワイト，吸収率30[%]，厚さ6.0[mm]）を置いた。ただし、吸収率は分光光度計による透過率，反射率の実測値より算出した。その結果，PDに入射する透過光量は，あらかじめ1枚分の減衰をするため，生地1枚，2枚重畳，3枚重畳を区別する信号レベルの幅を実質的に広げることになり，閾値の設定にも幅をもたせることが可能になる。各PDの出力は増幅されてQとなる。なお，各増幅回路は，ゼロレベル調整の役目も担う。

4.3 比較部，測長部，識別部

比較部では生地の枚数を識別するための3つの閾値 C_1, C_2, C_3 を基準データとして常時保存する。また，受光増幅部から供給される信号Qをこれら3つの閾値と比較し，結果を4組のどれかに出力する。たとえば， $C_1 < Q < C_2$ の時，1枚用チャンネルにTTLレベルのパルスを伝達する。

測長部ではTTLレベルのパルス化された信号を使ってコンベアの移動量を検出するロータリエンコーダのカウント値 E_c を入力し，式(1)，(2)を使って信号長 (L_{i1}, L_{i2}) を計算する。

Fig. 7 Location of PDs between two rollers

識別部は，CPUに相当する部分で重畳枚数を識別し規定数と比較する。また，式(3)，(4)を使ってのべ面積値を計算し，事前に記憶している2枚分の標準面積値 $2A_0$ と比較する。この識別部は，不良品の排斥回路，CPUの演算結果や判別結果の表示回路をも制御する。また，教示回路からの指示を受け標準面積値の設定を変更する。

4.4 搬送部

搬送部は，受光増幅部をはさむ2本のコンベアで構成される。2本のコンベアの長さとは幅はそれぞれ300[mm]，200[mm]である。Fig.7はPDと2本のコンベアの位置関係を側面から示す。コンベアのローラ半径 r は10[mm]，間隔 H は30[mm]である。また，PDとNDフィルターを取り付けるアルミ材の寸法 B_1, B_2, B_3, V は，それぞれ，20，10，5.6，6（単位は[mm]）である。

生地の乗り移りをスムーズにするため，コンベアと受光部床の段差を無くした。搬送速度は，20～90[cm/sec]で調整可能である。図示していない搬送部の後方（左側）途中には生地の流れに同期する排吐出エアジェットを設置し，NG（No good）信号により不良品をコンベア外に排出する。

5. 実験

2枚包装の典型的パターンとしてFig.2中の食品ののべ面積を計測し，良否を正しく判別する動作を確認する実験を行なう。

なお，実生地とは文字通り工場の生産ラインを流れているものを指す。これらの厚み，形状，大小は似ているが同一でなく，縦，横，厚さの平均値として，それぞれ78[mm]，

Table 1 Parameters of the dummy pieces

Dummy pieces	Parameters [mm], [deg]
(a)	R=80,
(b)	R=80, Lc=50,
(c)	R=80, Lr=50, R'=50
(d)	R=80, T=20, $\theta_c=15$, $\theta_t=60$
(e)	R=80, Ta=30, Tb=30, $\theta_b=30$, $\theta_s=45$

Table 2 Three types of the experiment

Experiments for	Aim is to observe influences of
dummy material	shape and size under fixed thickness and ingredient.
sample material	thickness and ingredient under fixed shape and size.
real material	real environment using real materials.

Fig. 8 Experimental results of total area depending on the patterns of piled food plates using dummy materials

80[mm], 10[mm]を有する円板状である。また、ダミー生地とは、実生地の厚み、形状、大小、成分を実験のために変えることが極めて難しいために特別に用意した実生地にかわめて近い光学的性質をもつ偽物である。そのような素材を探した結果、人工大理石（デュボン社製、素材名：コーリヤン、色：グレーシアンホワイト、厚さ：6.0[mm]）を見つけ、この素材をTable 1中の5種類に加工して実際のダミー生地とした。(a)以外は、不良品である。さらに、生産ラインから無策に取り出した実生地を縦、横50[mm]の正方形に加工したものをサンプル生地とする。扱う生地と実験の目的はTable 2に整理できる。

なお、枚数検出実験においては、閾値 C_1 , C_2 , C_3 を用いて100[%]判別できたのでこの結果の詳細については省略する。

5.1 ダミー生地実験

主として、形、大きさの影響を観測するため、Table 1中の形をもち、厚み、成分が一定のダミー生地を使い、Fig. 2の重畳パターンを取り上げた。A1ののべ面積を100[%]とすると、Fig. 2中の代表的パターンののべ面積の%表示は昇べき順に、D2:79, C1:83, D4:91, D3:93, C3:96である。

事前の実験で、のべ面積の計算値は生地の重なり具合や回転角、および裏表の違いに影響されることがわかっている。そこで、これらを変えてコンベア上に20回通した。処理速度は200[ms/個装]である。得られるダミー生地ののべ面積結果をグラフにするとFig. 8となる。横軸は、食品パターンの生地充足率を表わす。また、縦線は、実測した面積計算値の

Fig. 9 Experimental results of total area depending on the angle α using sample materials

存在範囲を示し、黒丸は実面積を示す。ただし、いずれも絶対値でなく相当量として無次元化してある。図から欠けの大小に応じて計測した生地の面積値も大小に変化しているのを確認できる。実面積に対する面積変動幅の比はそれぞれ、D2(6.80), C1(7.50), D4(9.68), D3(10.44), C3(8.08), A1(8.65)である。ただし、単位は[%]である。以下、この百分率を面積計測誤差と呼ぶ。全体としてみれば、面積計測誤差は最悪でも10.44[%]である。

5.2 サンプル生地実験

サンプル生地を20枚用意し、無策に2枚の組合せを作る。これを、下側にある生地の任意の一辺と進行方向がなす角 α を0[deg]から90[deg]まで10[deg]づつ変えて、かつ、上側にある生地の重なり具合、回転角を変えて、コンベア上を10回通す。さらに、20枚を無策に用いて2枚の組合せを作る。この作業を10回繰り返し、得られるサンプル生地ののべ面積値をグラフにした。Fig. 9はその結果である。横軸は、角度を表わす。縦線は、実測した面積計算値の存在範囲を示し、黒四角は実面積を示す。ただし、いずれも絶対値でなく相当量として無次元化してある。図から、一定の面積を有するサンプル生地をほとんど誤差なく面積計測できるのを確認できる。実面積に対する面積計測誤差はそれぞれの角度で、0(9.69), 10(9.72), 20(9.11), 30(9.18), 40(8.91), 50(9.04), 60(9.88), 70(10.32), 80(9.44), 90(9.94)である。ただし、単位は[%]である。全体では、最悪でも10.32[%]であることがわかる。

5.3 実生地実験

試作機を実生産ラインに組み込み、計測の安定性、生地のばらつきを調べる実験をした。装置を通過する製品を人間が目視検査した結果は、ほとんどが良品と判別するものばかりである。これは、実量産ラインにおいては、生地一枚の面積値に変動が生じて、欠けや枚数の過不足が無ければ良品と判断することが多いためである。

2枚個装される製品ののべ面積値に関して試作機的面積計測結果から得られたヒストグラムを示すFig. 10では平均値16,000に対し ± 15 [%]の変動がある。すなわち、のべ面積が平均値16,000の+15[%]値18,400と-15[%]値13,600

Fig. 10 Histogram of the total food area in the field experiment

の間に散らばっている。これから、目視検査で製品として良と判別されてもののべ面積値にばらつきのあることが明確である。ヒストグラムが単峰性となったのは PL 法の施行, ISO の認証取得などにより, 作業管理, 品質管理が行き届き, ほとんど不良品が流れてこないことに因ると考えられる。このような結果を得たことで, 装置のべ面積の計測が安定に作動していることを確認できる。すなわち, 試作したシステムを実生産ラインに導入する場合, 面積充足率を定量的に評価できることが明らかになった。

5.4 実験の考察

本システムの形や大きさあるいは, 厚みや成分に対する面積計測誤差をダミー生地とサンプル生地を用いて求めた。その結果, ダミー生地とサンプル生地, いずれも最大 10[%]であることを示した。

ダミー生地において製品の良否の基準となるのは良品 A1 の面積 (A_0) の実測精度である。とくに充足度の良否を判別する場合には, 許容できる欠けの量が判別において重要になる。そしてこの判別を支配するのが A1 に対して計測される面積最小値にある。この最小値は Fig. 8 中の点線で示され, これ以下の面積値となる場合は不良品として判別される。図中, D4, C1, D2 が点線以下となり, その中で最も大きい D4 の面積充足率が 91[%]であることから, 概略 90[%]以下の面積充足率に対して不良と判別可能であることがわかる。また, サンプル生地では, 面積計測誤差が 10[%]であり, この事実から厚みや成分が一樣であると見なせる。さらに, サンプル生地実験から降下する角度の違いによる面積計測誤差がほとんどないことがわかる。すなわち, 生地の進行方向に対する角度は, 面積計測に影響しないとみなせる。

実生地実験で得られた面積値のヒストグラムは安定した単峰分布になることを確認し, のべ面積値の計算が実生産ラインにおいても確実に機能することが明らかである。

なお, 枚数については 3.1 の判別法を用いてプログラムを組み実験した。その結果は個装する透明プラスチックフィルムに遮光性の汚れがある場合, 実際以上の枚数を計測して不良と判別されたが, 汚れがなければフィルムの光沢などの影響を受けずにすべて正しく良と判別できた。

6. ま と め

透明な包装フィルムで個装される穀物食品の枚数とのべ面積に関する良否判別システムについて, 判別方法と装置の構成を述べるとともに, 実測結果について報告し, システムの実用化に見通しを得た。とくに, 本システムの実験結果として, 枚数判別に対し 100[%], また, 面積充足率に対し, ダミー生地で 90[%]の充足率を下回る場合, 不良品としての判別が可能であることを実証した。ダミー生地とサンプル生地の実験結果を総合すると実生地に対しても同程度の判別能力があると考えられる。本研究の特徴は, 画像処理システムを利用することなく, 透過光量信号に基づく生地ののべ面積の算出にある。穀物を原料とする食品生地は光に対して拡散性や透過性を有することから透過光量を得ることが容易で, この信号を有効に利用して判別装置の開発が可能になることを実証した。

今後は, 小さな欠けに対しても面積を精確に計算できるように, PD の間隔を狭めたり, PD の代わりに CCD を用いる信号処理が必要と考える。これに取り組むとともに, 透過影像の可視化プログラムを開発して, 重なりと透過の関係を明らかにし, 枚数やのべ面積のほかに割れや裂けを含む生地の良否を判別できるシステムを実現していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 野村良忠: 農業分野における検査ロボット, 日本ロボット学会誌, 4-5, 82/87(1986)
- 2) Slaughter, Harrell: Discriminating Fruit for Robotic Harvest Using Color in Natural Outdoor Scenes, Trans. ASAE, 32-2, 757/763(1989)
- 3) 相良泰行: 光センシングによる青果物選別システムの開発動向, 日本食品科学工学会誌, 43-3, 215/224(1996)
- 4) 伊藤武: キュウリ選別機, 計測と制御, 37-2, 103/104(1998)
- 5) 張樹槐: パターン認識による果実の検出, 農業機械学会誌, 60-2, 150/153(1998)
- 6) 永田, 木下, 浅野, 曹, 日吉: イチゴの自動選別システムに関する研究 (第 1 報), 農業機械学会誌, 58-5, 57/63(1996)
- 7) 永田, 木下, 浅野, 曹, 日吉: イチゴの自動選別システムに関する研究 (第 2 報), 農業機械学会誌, 58-6, 61/67(1996)
- 8) 永田, 木下, 浅野, 曹, 日吉: イチゴの自動選別システムに関する研究 (第 3 報), 農業機械学会誌, 59-1, 43/48(1997)
- 9) 石川豊: ポストハーベストにおける画像計測の応用, 計測と制御, 37-2, 91/94(1998)
- 10) 木村美紀夫: 選果場における糖度計測システム, 計測と制御, 37-2, 105/107(1998)
- 11) 橋本, 齊藤: NMR を用いたスイカ内部品質検査装置について, 計測と制御, 37-2, 108/110(1998)
- 12) 神田, 伊藤, 岡田: 光透過度に基づく食品生地内混入異物の検出法, 計測自動制御学会論文集, 37-10, 916/925(2001)

〔著者紹介〕

神田 和也（学生会員）

1988年新潟大学工学部電気工学科卒業。同年
亀田製菓（株）入社。製菓生産設備の電気設計に
従事。98年新潟大学大学院自然科学研究科博士後
期課程入学。現在に至る。

岡田 徳次（正会員）

1969年新潟大学工学部電気工学科卒業。同年、
電子総合研究所入所。知能ロボットシステムの研
究に従事。87年7月新潟大学工学部に出向。現
在福祉人間工学科教授。ロボティクス、インテリ
ジェントセンサなどの研究に従事。日本機械学会、
電子情報通信学会、IEEEなどの会員。（工学博士）

伊藤 和雄

1978年新潟大学工学部電気工学科卒業。同年
亀田製菓（株）入社。製菓生産設備の電気設計に
従事。現在に至る。