

# PCを用いたコーヒー豆選別装置の良否判定手法の検討

大槻 典行\* ・ 問瀬 秀樹\*\* ・ 篠原 正也\*\*\*

## Improvement of distinguishing quality of the coffee beans selection machine using PC

Noriyuki OHTSUKI Hideki MASE Masaya SHINOHARA

*Abstract* – We have improved the coffee beans selection machine. To keep the quality of coffee, the coffee beans are selected. The coffee beans selection machine consists of the CCD video camera and PC with built-in video capture board. The quality distinction of the coffee beans are done with the image processing software in PC. In this report, the quality distinction technique that used two or more color information was examined. As results of the experiment, best color information for the quality distinction was able to be obtained.

*Key Words* : image processing, distinguishing quality, selection machine

### 1. はじめに

近年、消費者の食の安全・安心に対する関心が高まり、生産地の明示や衛生面での品質保証について正確な情報を提供することで食品の価値を高める傾向にある。一方、加工食品においては、安全面はもとより食の付加価値による他の商品と差別化を図ることに力が注がれている。コーヒーのような嗜好品は、特に差別化を図ることで固定客を確保したり、商品の高級感を高めることができる。コーヒー豆は、生産が外国で行われる輸入食品であり、その品質維持には大きな注意が払われている。一般に、コーヒー豆農場で生産された豆は、皮を取り除き乾燥した生豆の状態で行われる。その後、焙煎され豆販売店から消費者に提供される。豆の焙煎は、専用業者が行う場合が多いが豆販売店が独自に焙煎を行い直接消費者に提供することで顧客のニーズに対応する場合もある。コーヒー豆の品質維持は、豆を農場で乾燥し、輸入する前の段階で欠点豆（腐れ、虫食い、欠け等）が取り除かれ、更に輸入後にも品質検

査において欠点豆が取り除かれ、焙煎業者や豆販売店に送られる。焙煎業者や豆販売店は、豆の品質の検査後、消費者のニーズに合った焙煎を行い消費者に提供する。このようにコーヒー豆の安全性が保たれているので、豆販売店では、安全性以外の工夫を行い付加価値を付ける努力を行っている。その一つとして、焙煎後でなければ判断できないような欠点豆（発酵しすぎた豆等）を取り除くことで、コーヒーの最大の特徴である、香りを最良のものに保ち品質を高めそれを付加価値としている。しかし、焙煎後のコーヒー豆を目視で欠点豆を取り除く選別作業を人手で行うことは、多大な労力を要し負担となる。これは、出荷するコーヒー豆の量に比例し、出荷量が多くなるほど選別作業者の負担も大きくなる。この選別を自動化することで労力は大幅に減少し、出荷量も大きくできる。現在、自動化の為に汎用の選別装置を導入しようとした場合、選別方法や豆の扱いがデリケートなため装置の改造を必要とし導入コストが大きくなる傾向がある。そこで、これらを解決するために、専用の選別装置の開発および改良が行われてきた。このコーヒー豆専用の自動選別装置は、焙煎後のコーヒー豆の選別に特化した装置で、画像処理を利用して欠点豆を特定し、取り除くもので

\*釧路高専情報工学科

\*\*釧路工業技術センター

\*\*\*釧路高専専攻科 電子情報システム工学専攻

ある。欠点豆を取り除く際に良品の豆を傷つけることなく取り除く構造になっている。しかし、計測用のビデオカメラや画像処理装置を用いている為、汎用自動選別装置に比べコスト的に優位になっていない点と画像処理アルゴリズムを柔軟に変更できない点が問題となっていた。本報告では、汎用のビデオカメラとPCを用いて比較的成本が低く、コーヒー豆選別における全ての処理に対してソフトウェアで柔軟に対応できるコーヒー豆選別装置の改良と良否判別手法について検討した結果を報告する。

## 2. コーヒー豆自動選別装置

### 2.1 豆の選別手法

焙煎後のコーヒー豆の選別は、欠点豆を取り除くことにあるが、コーヒー豆を焙煎すると良品の豆に比較して欠点豆の煎りが浅くなり淡い色になることを利用して判別している。これは、発酵し過ぎたコーヒー豆は、深く煎ることができず濃い色が着かないためである。人手で選別する場合は、コーヒー豆一つ一つの状態を目視で確認し判別する。自動選別機も同様にコーヒー豆一つ一つの画像を画像処理装置に取り込み、豆の色の濃さを比較して選別する。人手でコーヒー豆を選別する場合、選別する豆の量が膨大な場合、長時間の目視・手作業が必要になるため集中力の持続や体力的に大きな負担になり、多くの場合簡単な選別で済まされる場合が多い。逆に、綿密な選別を行うことで大きな付加価値を付けることができる。自動選別装置では、自動化による人的労力の減少および選別精度を高めることで誤判別による無駄になる豆の減少や欠点豆の混入を防ぐことができる。

### 2.2 自動豆選別装置

自動豆選別装置は、次の様になっている。構成簡略図を図1に示す。ストッカー、ベルトコンベア、ビデオカメラ、画像処理装置、エアシュータからなる。コーヒー豆の選別は、焙煎された選別前のコーヒー豆がストッカーに蓄えられ、ベルトコンベア上に一列に並ぶ様にレールを通して落下する。豆は、ベルトコンベアによってカメラのレンズの下まで運ばれる。このとき、豆の通過判定は、LEDとフォトインタラプタで構成される通過検出センサにより行われる。ビデオカメラの下にきたコーヒー豆は画像が取得され画像処理装置に転送される。画像取得のタイミングは、通過検出センサで決めている。取得した豆画像は、画像処理装置で豆の平均濃度値が求められ、予め設定した閾値と比較し良

否判定される。欠点豆と判定された豆は、エアシュータから送出される空気によりベルトコンベア横のトレイに弾き出される。良品豆は、ベルトコンベアの終端のストッカーに送り込まれる。

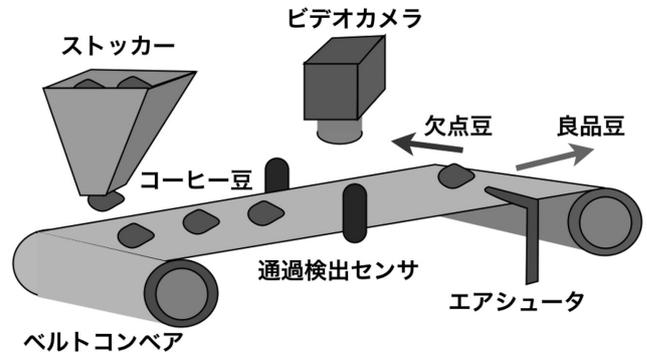


図1 コーヒー豆選別装置簡略図

## 3. 自動豆選別装置の再構築

この自動選別装置は、計測用のビデオカメラと画像処理装置を用いて構成されている。計測用機器は、精度や処理能力が優れているが導入コストが高くまた、画像処理装置の処理アルゴリズムの柔軟性に欠ける。そこで、画像処理装置の代わりにPCを用いた汎用のビデオカメラを用いることで比較的成本が低く画像処理を柔軟に行うことができる装置を構築した。以下に、構築した装置の概要と動作を示す。装置構成は、計測用ビデオカメラの代わりに民生用のCCDビデオカメラ、画像処理装置の代わりにビデオキャプチャボードを装備したPCを用い、LEDによるコーヒー豆の通過センサは取り除いた。これは、豆の画像取得のタイミングを通過センサによらずPCによる画像処理で行うためである。その他は、前装置と同様である。この装置による選別処理は、前装置とほぼ同じであるが、豆の通過検出の部分を実用ソフトウェア的に実現している部分と良否判定のアルゴリズムをいろいろ変更できるところが異なる。以下に本装置の処理手順を示す。本装置の動作は、機械的な動作以外は、ほぼ全ての処理をソフトウェアで行う。PCを制御するソフトウェア群は、OS(Linux)をはじめとする全てのソフトウェアをオープンソースソフトウェアを用いて構成した。以下に、各処理について解説する。

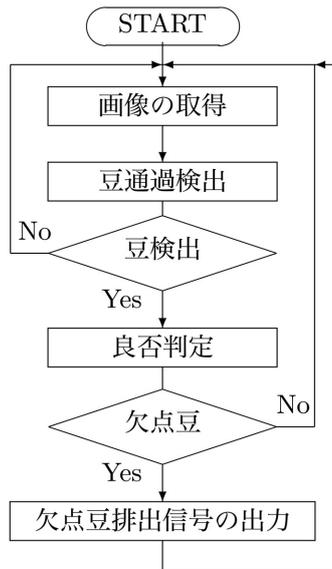


図 2 自動豆選別装置の処理フローチャート

### 3.1 画像の取得

ベルトコンベアを流れてきたコーヒー豆の画像は、CCD ビデオカメラに接続されたビデオキャプチャボードを通して、PC 内部に画像データとして取り込まれる。この画像データは、 $320 \times 240$  ドットの RGB 各 8bit の情報量を持つ。このビデオキャプチャボードは、ダブルバッファを持ち 30 分の 1 秒間隔で画像を取り込むことが可能である。PC における全ての処理時間が追いつけば、30 分の 1 秒間隔で処理可能である。本装置では、ビデオキャプチャなどの画像取得に関して Video4Linux[2] のライブラリを利用している。

### 3.2 豆通過検出

ベルトコンベアを流れるコーヒー豆の画像を取得するには、CCD ビデオカメラのレンズの前をコーヒー豆が通過した時点で取得する必要がある。LED とフォトセンサによる検出方法では、コーヒー豆がセンサを横切ってからカメラのレンズの前を通過するまでの時間的タイミングを計って画像を取得していた。この手法は、豆の画像を取得画像の中心になるようにセッティングすることが難しかった。また、カメラのレンズの前に豆が来るまでの間にベルトコンベア上で豆の位置がずれた場合には対処できない。そこで、本装置では、取得した画像情報からコーヒー豆が取得した画像の中心になる状態の画像を判別処理に利用し、それ以外の画像は利用しない様にする豆通過検出をソフトウェア的に実現している。これは、取得した画像を 2 値化し、

豆部分の画素の量により通過判定する。また、この 2 値化画像は、豆画像の抽出の為のマスク画像としても用いる。

#### 3.2.1 画像の 2 値化

画像の 2 値化には、色情報を用いた。これは、コーヒー豆の色合いが茶系、ベルトコンベアの色合いが緑系であるから、補色の関係にあり色情報で 2 値化することでコーヒー豆とベルトコンベアの情報を比較的容易に分離可能である。色情報による 2 値化は、色相環の色相を利用する。色相は、取得した画像の RGB 情報から以下の式で色差情報を求め色相  $\theta[\text{rad}]$  を計算する [1]。

$$y(i, j) = 0.299 \cdot R(i, j) + 0.587 \cdot G(i, j) + 0.114 \cdot B(i, j) \quad (1)$$

$$C_b(i, j) = B(i, j) - y(i, j) \quad (2)$$

$$C_r(i, j) = R(i, j) - y(i, j) \quad (3)$$

$$\theta(i, j) = \tan^{-1} \frac{C_r(i, j)}{C_b(i, j)} \quad [\text{rad}] \quad (4)$$

ここで、 $R(i, j), G(i, j), B(i, j)$  は、座標  $i, j$  の赤、緑、青の濃度値である。また、 $R, G, B$  の各濃度値から得た輝度  $y(i, j)$ 、色差  $C_r(i, j), C_b(i, j)$  および色相  $\theta(i, j)$  である。これを全ての画素に対して行い、二つのしきい値で 2 値化する。しきい値を二つ用意するのは、色相は、角度で表されるので上限  $th_2$  と下限  $th_1$  を決める必要がある。 $g(i, j)$  は、2 値化された画素である。

$$g(i, j) = \begin{cases} 1 & th_1 \leq \theta(i, j) < th_2 \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (5)$$

実際に 2 値化した画像を図 3 に示す。豆の部分が 1 画素 (黒)、背景が 0 画素 (白) になっている。2 値化した画像は、一般に小さなドット状のノイズやヒゲや孔ができるので膨張・収縮処理を用いてこれらのノイズを取り除くが、処理速度が低下すると判別に与える影響が少ないことから、本装置では、膨張・収縮処理は行っていない。

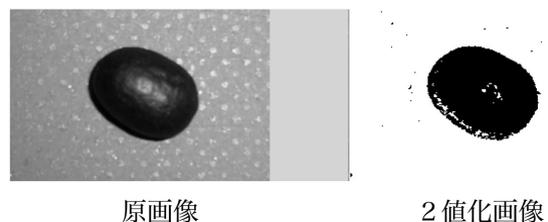


図 3 色相情報による画像の 2 値化

### 3.2.2 豆通過判定

豆通過判定は、2値化した画像の1画素の数をカウントすることで行っている。豆がカメラの前を通過する際、1画素が徐々に増加し、通過後減少することを利用して、決められた領域の1画素の数をカウントし、カウント数が増大した後、減少に転じた時点が豆の通過と判断した(図4)。ただし、1画素のカウントの増減も微小変動があるので、減少を続ける傾向が一定時間見られたときに豆の通過と判断した。

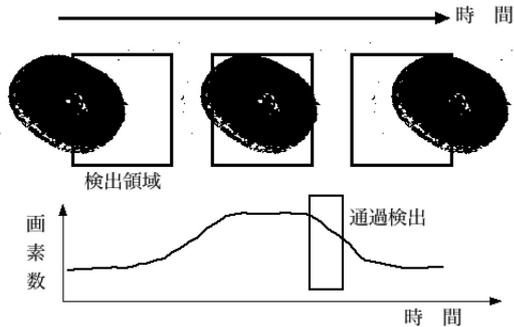


図4 豆通過検出

### 3.3 豆画像の抽出

CCDビデオカメラで取得した画像データには、コーヒー豆以外の背景であるベルトコンベアの画像も含まれている。コーヒー豆以外の画像情報は、選別判定に不要な情報であり判別に悪影響を及ぼすので、取り除く必要がある。そこで豆通過検出処理の段階で生成した2値化画像をマスク画像として用い、豆画像のみを取得する。取得した画像とマスク画像を重ねマスク画像の0画素の部分の画像を捨て、1画素の部分を残すことで豆画像のみになる(図5)。

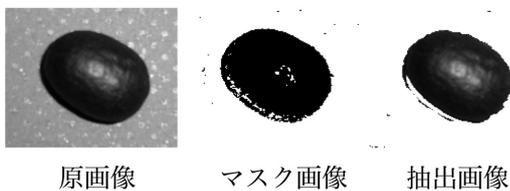


図5 豆画像の抽出

### 3.4 良否判定

コーヒー豆の欠点豆を取り除くには、手作業で行う場合と同様に豆の色の濃さすなわち濃度値を見て判定する。色の濃い豆は、良品豆、色の薄い豆は、欠点豆である。これは、豆のグレイスケール画像の濃度値ヒストグラムを比較することで判定できる。グレイスケール

画像は、式(1)で求められる。色の濃い豆の濃度値ヒストグラムは、濃度値が低い部分に分布が集中し、色の薄い豆の濃度値ヒストグラムは、濃度値が高い部分に分布が集中する。図6は、良品豆と欠点豆のグレイスケール画像の濃度値ヒストグラムを示したものである。実線が良品豆、破線が欠点豆の濃度値の分布を表している。良品豆が濃度値の低い方に分布し、欠点豆は濃度値の高い方に分布していることが解る。ここで、こ

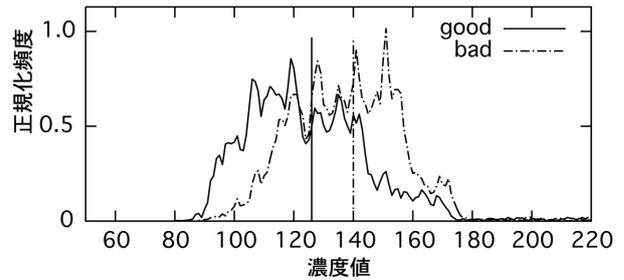


図6 ヒストグラムの比較

の濃度値の分布の平均値を求めると色の濃い豆は、低い値、色の薄い豆は、高い値になる。ヒストグラム上に縦の直線でこの濃度値の分布の平均値を示した。実線が良品豆、破線が欠点豆のものである。この濃度値の分布の平均値を閾値で分けることでコーヒー豆の良否判定が可能になる。

### 3.5 欠点豆排出信号の出力

コーヒー豆の良否判定の後、実際に欠点豆を取り除くには、欠点豆であることを排出機構に指示しなければならない。これを、PCから出力する方法として、外部インターフェースを用意すべきであるが、本装置は、信号の種類が一つで良いことから、PCのプリンタポートを利用した。プリンタポートの制御は、直接プリンタポートのI/Oデバイスを制御する方法で行っている。この信号は、圧縮空気圧で欠点豆を弾き飛ばすためのエアシュータのスイッチに接続する。

## 4. コーヒー豆良否判定手法の検討

PCと汎用CCDビデオカメラを用いたコーヒー豆自動選別装置は、計測用ビデオカメラおよび画像処理装置を用いた選別装置と比較して処理速度は若干劣っているが、欠点豆の選別精度は、ほぼ同等の能力を持つことが実証実験で確かめられている。PCと汎用CCDビデオカメラを用いたコーヒー豆自動選別装置は、計測用ビデオカメラおよび画像処理装置を用いた選別装置

に比べコストを非常に低く（約10分の1）抑えることができ、選別装置の導入を促進することが期待できる。コーヒー豆の自動選別装置は、人手による選別に比べ、一日あたりに選別できる量が大幅に増え、大量のコーヒー豆を出荷することが可能になる。しかし、手作業による選別に対し自動選別装置では誤判定する場合があります。より精度が高い装置にすることが期待されている。そこで、本装置の選別アルゴリズムを改善することで、自動選別装置の選別精度が向上することが期待できる。本節では、コーヒー豆の選別手法について検討する。

#### 4.1 選別パラメータの検討

コーヒー豆の選別において良否判定は、手作業の場合も選別機を使った場合も豆の色の濃さを手掛かりにして行われている。しかし、手作業による場合は、豆全体の色合いを利用して判断しているのに対し、本装置の場合、ビデオカメラから取り込んだ、カラー画像をグレースケール画像に変換し輝度情報だけを使って良否判定している。選別精度を向上するには、より適切な情報が存在するのであればその情報を用いる方が良策である。そこで、CCDビデオカメラで得た画像情報を最大限に活かす手法を検討する。

#### 4.2 RGB濃度値ヒストグラムの比較

ここでは、カラー画像のR,G,Bのそれぞれの濃度値ヒストグラムを比較することでコーヒー豆の良否判定に有用な情報を検討する。以下に、良品豆と欠点豆の濃度値ヒストグラムの比較結果を示す。これらのヒストグラムは、先に示したグレースケール画像のヒストグラムを求めたときと同じ豆を用いて求めたものである。

カラー画像の赤の濃度値情報（以下R情報）のみのヒストグラムが図7である。ヒストグラムの分布は、グレースケール画像の場合と同様に欠点豆が高い方に、良品豆が低い方に分布している。しかし、分布の平均値の差がグレースケールの場合よりも大きい。これは、欠点豆と良品豆を分離し易いことを示している。カラー画像の緑の濃度値情報（以下G情報）のみのヒストグラムが図8である。この分布は、グレースケールの場合とよく似ており、分布の平均値の差もグレースケールの場合に近いものである。カラー画像の青の濃度値情報（以下B情報）のみのヒストグラムが図9である。この分布は、良品豆と欠点豆の違いが大きくなく、分布の平均値の差も非常に小さいものである。この情報を用いた判別は難しいと考えられる。以上の様に、各色成分の濃度値分布を比較すると優位な差があるのは、R情報でありB情報を除いて他はそれほど差がないと

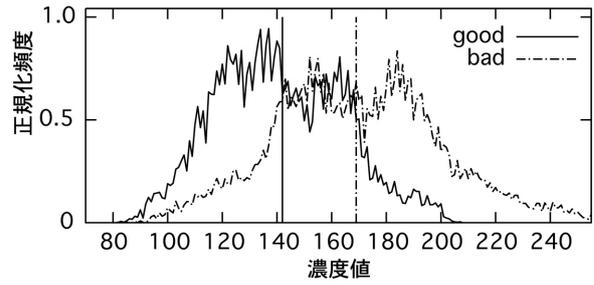


図7 R情報ヒストグラムの比較

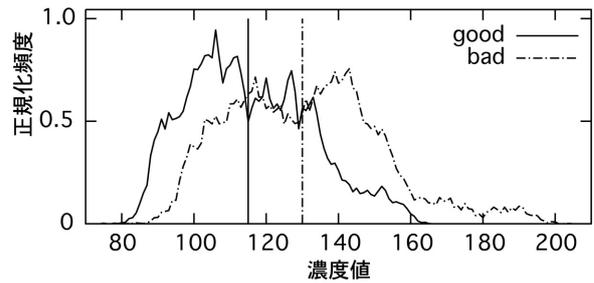


図8 G情報ヒストグラムの比較

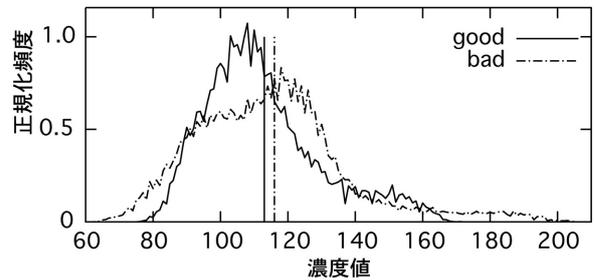


図9 B情報ヒストグラムの比較

考えられる。逆に、良品豆と欠点豆の判定にB情報を取り入れない方が正しい判定ができると考えられる。

#### 4.3 彩度情報の比較

手作業の良否判別は、濃度値のほかに色合いの差を利用していることが考えられる。RGB情報から、色差情報を求め色相および彩度情報を得ることができるが、色相については、良品豆と欠点豆は同じ傾向である。ただし、色の鮮やかさに関して欠点豆は、色がはっきりしており、良品豆はくすんだような色合いの傾向にあるので、欠点豆は、彩度の値が高くなると予想される。そこで、彩度を利用する手法を検討する。彩度は、画像のRGBの各濃度値から、色差情報を求め、更に式(6)

で求めることができる。

$$su(i, j) = \sqrt{C_r^2 + C_b^2} \quad (6)$$

このようにして求めた各画素毎の彩度情報をヒストグラムで表し、良品豆と欠点豆で比較した。ヒストグラムの分布の平均値を求めヒストグラム中に示した。良品豆の分布は、実線で示し、欠点豆の分布は、破線で示した。平均値も同様である。ヒストグラムの分布の

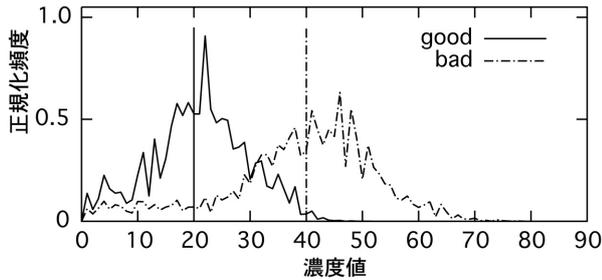


図10 彩度情報の比較

比較から、良品豆と欠点豆は閾値を与えて判別可能であると予想される。また、良品豆と欠点豆のヒストグラムの分布の平均値の差は、R情報を用いたときと同程度である。

## 5. 実験

前節の検討結果より、コーヒー豆の自動選別は、グレイスケール画像の濃度値ヒストグラムを用いるよりも、RGB情報のR情報を用いた良否判定および、彩度情報を用いた良否判定が良い精度を得ることができると考えられる。ここでは、これらを実験により確かめる。

### 5.1 実験条件

良否判定実験に用いるコーヒー豆は、専門家による手作業により良否判定を行った良品豆189個、欠点豆153個を用いた。判定するコーヒー豆の画像は、装置のベルトコンベアの上に載せ、ベルトコンベアでコーヒー豆を流し、豆通過検出処理に従って豆画像を取得した。その後、良否判定を行った。

### 5.2 実験結果

実験結果を表1に示す。判定に用いた情報毎に結果をまとめた。表には、良品豆の正解率、欠点豆の正解率、全体の正解率を示した。正解率は、式(7)で求めた。

$$\text{正解率} = \frac{\text{正判定数}}{\text{正判定数} + \text{誤判定数}} \times 100.00 \quad [\%] \quad (7)$$

閾値設定の値による正解率の最も高い正解率を示したのは、R情報を用いた判別である。正解率が低かったのは、B情報を用いた判別であった。グレイスケール、彩度情報を用いた判別は、大きな差は無かった。これらの結果は、前節の検討結果をほぼ裏付ける結果となった。更に詳しく調べるために、グレイスケール、R情報およ

	良品豆 [%] good	欠点豆 [%] bad	全体 [%] all
グレイスケール	97.35	94.12	95.91
R 情報	97.88	97.39	97.66
G 情報	93.65	91.50	92.69
B 情報	76.19	71.90	74.27
彩度情報	96.30	94.12	95.32

表1 良否判定結果(正解率)

びG情報について閾値を代えながら良否判別を行った。その結果を図11~図13のグラフに示す。いずれも、実線が全体の正解率を示し、破線が良品豆の正解率、一点鎖線が欠点豆の正解率である。全体の正解率がピークの点で、良品豆および欠点豆の正解率が低下していく傾向にある。この場合、良品豆の正解率が100%になると欠点豆の正解率が急激に低下していく。また、その逆も同様である。

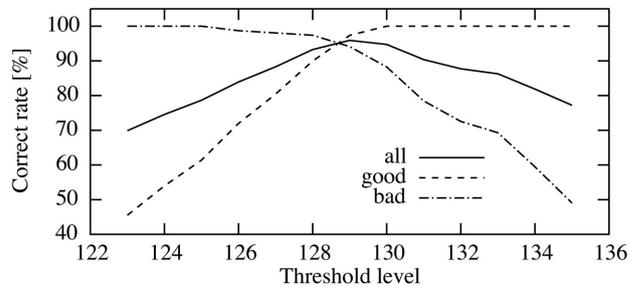


図11 閾値と正解率の関係(グレイスケール)

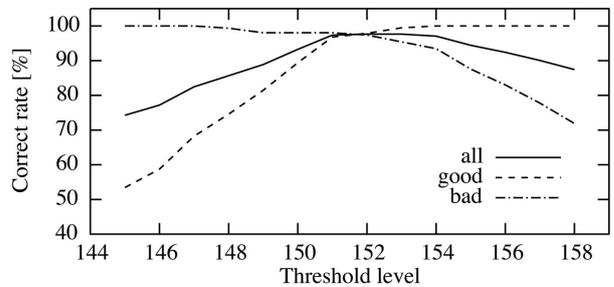


図12 閾値と正解率の関係(R情報)

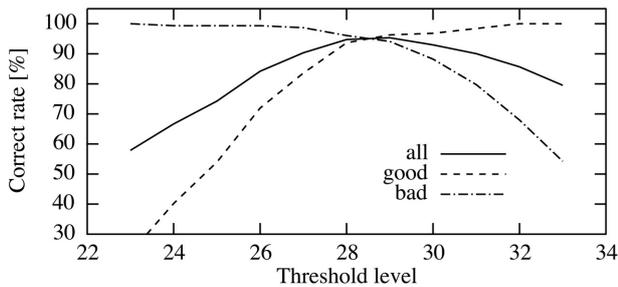


図 13 閾値と正解率の関係 (彩度情報)

### 5.3 考察

コーヒー豆良否判別実験の結果を次の様に考察した。まず、良否判別に用いる情報は、豆のカラー画像から得られる RGB 値の中の R 情報、RGB 値から計算して得られるグレースケール情報および彩度情報を用いるのが良いと考えられる。G 情報および B 情報は、グレースケールや彩度を求めるときに必要であるが、単独では、用いない方が良い。特に、B 情報は、単独で用いるべきではない。また、閾値の設定のし易さは、閾値の変化による正解率の変化のグラフ (図 11～図 13) から次の様に判断できる。全体の正解率を表す実線のグラフの変化が小さいということは、閾値を変化しても正解率の変化が小さいことを表している。逆にピーク点があるような場合は、そのピークでは、正解率が高いものの閾値を少しでもずらすと誤判定することになる。この点では、R 情報を用いた場合の変動が少なく良い結果が得られている。また、彩度情報を用いた場合も比較的グラフの変動がなだらかで良い状態である。コーヒー豆良否判別の正解率は、次のことを表している。欠点豆の誤判定は、欠点豆を良品豆の中に混入させてしまうことになり、出荷する商品の品質を低下することになる。また、良品豆の誤判定は、廃棄の必要の無い良品豆を廃棄することになり生産性を低下することになる。これらは、閾値の変化による正解率の変化のグラフを見ると明らかな様に、閾値の決定の仕方によりどちらかに重点を置くことにならざるを得ない。従って、このグラフのそれぞれの変動が少ない方が、良い情報を用いて良否判別を行っていることが解る。この観点からも、R 情報を用いた判別方法が良いと考えられる。

## 6. おわりに

本報告では、焙煎後のコーヒー豆の中に混在する欠点豆を自動的に取り除くコーヒー豆選別装置の改良と選別手法の検討を行った。計測用ビデオカメラや画像処

理装置の代わりに民生用の CCD ビデオカメラとビデオキャプチャボード内蔵の PC を用いた選別装置を構築した。選別に用いる画像処理には PC の柔軟性を活かし、良否判定アルゴリズムをいろいろ検討することができる。取得した画像情報から R, G, B, グレースケールおよび彩度情報を求めそれぞれの情報が、コーヒー豆の良否判定に与える影響を検討し、更に実験で確かめた。実験では、良否判定に用いる情報を変更しながら、更に、選別判定の閾値も変更し、それぞれの正解率を求めた。その結果、コーヒー豆のカラー画像の赤の情報 (R 情報) が良否判定に有効であるという結果が得られた。また、R 情報は、閾値の変動にも強いことも確かめられた。良否判定に R 情報を用いることでコーヒー豆選別装置の選別精度を向上できると考えられる。今後、実際の選別作業に本装置を導入し、フィールドテストを重ね更に精度向上のための検討を行う必要がある。

### 参考文献

- [1] 吹抜敬彦:画像・メディア工学, コロナ社,2002.
- [2] 飯尾淳:Linux による画像処理プログラミング, オーム社,2000.