

画像処理によるガラスカレットの色識別-3

—ヒストグラムの相関係数による色識別—

橋本 基* 松井 大徳**

Color Identification of Glass Chips by Image Processing

Hajime HASHIMOTO* Hironori MATSUI**

Abstract: It is necessary to classify the color to recycle the glass chips. In this report, a method identifying the color of glass chips using Hue, Saturation and Intensity calculated from the color image is proposed. Experiments are carried out with eight kinds of glass samples and the best combination of Hue, Saturation and Intensity to identifying the color of glass chips.

Key words : glass chips, Color identification, Recycle, Image data processing

1. 背景

現在日本国内で1年間に製造されるガラスびんは約182万tである¹⁾。これらは使用後、リターナブルびんとワンウェイびんの2つに分けられる。リターナブルびんとは、使用後洗浄し殺菌され、そのまま再使用されるものをいい、ワンウェイびんとは、使用後に捨てられるものをいい、色別に回収された後、ガラスカレットとして再利用・他用途利用される²⁾。

ここで、ガラスカレットとは、ガラスびんを再利用するため5mm程度の大きさに細かく砕いたものであり、透明、茶色、その他の色の大きく3色に分けられる。その他の色は青や緑が多いが、透明や茶色も含まれる。このガラスカレットの多くがガラスびんとして再利用される。

ガラスカレットを再利用する際に重要なことは、色ごとに正しく分けられていることであるが、ガラスカレットの実際の製造工程では、異なる色のガラスカレットが混ざることがある。色分別されずに異なる色のガラスカレットが混ざっていると、目的の色にするのが難しく、ガラスびんとして再利用する上で不都合が生じる。

このように異なる色が混ざったガラスカレットを正しく色分別することで、ガラスカレットのさらなる利用率の向上

が考えられる。本研究の目的は、画像処理の手法を用いてガラスカレットの色を識別する方法を開発することである。以前の報告では、色相図を用いた相関係数による色評価法を用いた色識別を報告した³⁾。今回は色相図に加え、さまざまなヒストグラムの相関係数による色評価法を用いた色識別方法について検討を行ったので報告する。

2. 表色系

2-1. RGB表色系とHSI表色系^{4,5)}

RGB表色系は混色に用いる原色を赤(Red)、緑(Green)、青(Blue)として色を表す表色系である。この表色系では加法混色によって色を作り出す。このR,G,B,値には輝度の情報が含まれており、照明の強さの影響をそのまま受ける。

また、HSI表色系は、Hue、Saturation、Intensityの3独立変数から成る。Hueは色相であり、色の種類に対応し、 $0\sim 2\pi$ の範囲で値をとる。Saturationは彩度であり、色の鮮やかさを表す。Intensityは輝度で色の明るさを表す。この表色系は照明の影響を受けるのは輝度のみであり、RGB表色系よりも照明の影響を受けにくい。そのため、本研究ではRGB表色系からHSI表色系への変換を行う。

2-2. RGB表色系からHSI表色系への変換^{4,5)}

CCDカメラからパソコンに取り込んだ画像データはRGB表色系であるので、HSI表色系に変換する。画像データのRGB値R, G, Bより、HSI表色系での色相H・彩度S・輝度Iは、次式で定義される。

(西暦2009年12月18日受理)

*宇部工業高等専門学校電気工学科

**宇部工業高等専門学校生産システム工学専攻

$$H = \cos^{-1} \frac{2r-g-b}{\sqrt{6} \sqrt{\left(r-\frac{1}{3}\right)^2 + \left(g-\frac{1}{3}\right)^2 + \left(b-\frac{1}{3}\right)^2}} \quad (1)$$

$$S = 1 - 3\min(r, g, b) \quad (2)$$

$$I = \sqrt{(R^2 + G^2 + B^2)/3} \quad (3)$$

ただし、 $T = R + G + B$, $r = \frac{R}{T}$, $g = \frac{G}{T}$, $b = \frac{B}{T}$ である。

また、 r, g, b は規格化した赤、緑、青の色の強さで 0 ~ 1 の範囲で値をとる。 $\min(r, g, b)$ は r, g, b のうち最小値をとることを意味する。 R, G, B は 0 ~ 255 の範囲で値をとるので輝度 I は 0 ~ 255 となる。

3. 色識別方法

3-1. 色識別のフロー

色識別は、8 色のガラスカレットのうち基準となる色のガラスカレットのみを撮影した基準画像と、実際の製造過程で色が混ざる場合を想定し、8 色のガラスカレットを混ぜて撮影した測定画像の 2 つの画像を用いる。まず、撮影した基準画像・測定画像からガラスカレットの部分を抽出し、抽出したガラスカレットの部分にラベリングを行う。ガラスカレットの抽出については次節 4.2 で述べる。次に、色相、彩度、輝度について、基準画像と測定画像中の 1 個のガラスカレットについて、それぞれのヒストグラムを作成する。この 2 つのヒストグラムの相関係数を計算し、相関係数が閾値よりも高いものを、基準画像のガラスカレットと同じ色であるとして色識別する。これを 8 色の基準画像について行う。この手順をフローチャートにすると図 1 のようになる。

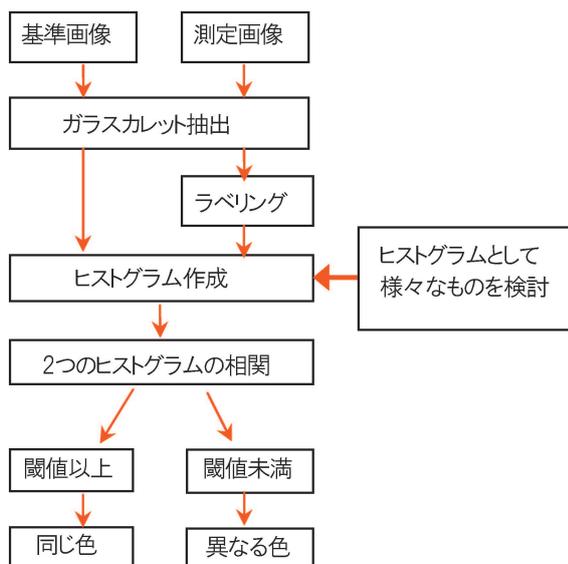


図 1 色識別のフローチャート

また、閾値は次のようにして決める。8 色のガラスカレットの配置を変えた測定画像を 20 枚撮影し、測定画像ごとに基準画像との相関係数を計算する。この 20 個の相関係数をもとに、色識別を行った際に、基準画像と異なる色のガラスカレットが全く含まれないような閾値を決める。こうして色識別を行い、測定画像 20 枚中何枚の画像で基準画像と同じ色であると認識できたかを百分率で表し評価する。例えば、青色のガラスカレットのみの画像を基準画像として色識別した時、測定画像 20 枚のうち、青色のガラスカレットのみを正しく識別できた測定画像が 18 枚であれば、識別率は 90% となる。

ヒストグラムによる相関を用いてガラスカレットの色識別を行うにあたり、ヒストグラムとして色相など 1 つの要素を用いた方が良いのか、いくつかの要素を組み合わせたものを用いた方が良いのかを検討する必要がある。そこで、図 1 に示すように、ヒストグラムとして色相、彩度、輝度のうち 1 つの要素を用いて色識別した結果と、いくつかの要素を組み合わせたものを用いて色識別した結果を比較し、色識別手法として最も良いものを検討した。

また、ヒストグラムとして色相図を用いた色識別方法も検討した。色相図は色相・彩度の 2 次元であるものを用いた。これに輝度を加えた用いた 3 次元のものを考え、どちらを用いた方が色識別方法として良いのかを検討した。

3-2. 1 要素のヒストグラムによる色識別

色相・彩度・輝度を用い、この 3 つの要素それぞれ単独で色識別に有効な要素を検討した。横軸に色相、彩度、輝度のうち 1 要素、縦軸に度数のヒストグラムを作成し、移動平均により雑音を除去した後、相関係数を計算した。

3-3. 2 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別

ここでは、横軸に色相、彩度、輝度のうち 2 要素を横一列に並べ、縦軸に度数のヒストグラムを作成し、移動平均によりヒストグラムの雑音を除去した後、相関係数を計算した。

3-4. 3 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別

横軸に色相・彩度・輝度の 3 要素を横一列に並べ、縦軸に度数のヒストグラムを作成し、移動平均によりヒストグラムの雑音を除去した後、相関係数を計算した。

3-5. 色相図のヒストグラムによる色識別

彩度 S (半径)、色相 H (角度) の 2 次元の色相図を作成し、この色相・彩度の分布について 2 次元のヒストグラムを作成し、移動平均により色相図の雑音を除去した後、相関係数を計算した。

3-6. 色相図に輝度を加えた 3 次元のヒストグラムによる色識別

色相図に輝度 I (高さ) を加えた 3 次元のものを作成し、

この色相・彩度・輝度の分布について3次元のヒストグラムを作成し、移動平均により色相図の雑音を除去した後、相関係数を計算した。

3-7. 相関係数

ヒストグラムにより、次式により相関係数を計算する。

$$C = \frac{\sum(F(u) \times G(v))}{\sqrt{\sum F(u)^2 \times \sum G(v)^2}} \quad (4)$$

$F(u)$: 基準画像のガラスカレットのヒストグラム

$G(v)$: 測定画像中の1個のガラスカレットのヒストグラム

また、相関係数は0~1の範囲で値をとり、全く相関がなければ0、完全に一致すれば1となる。

4. 実験

4-1. 撮影

撮影方法は、図2のようにCCDカメラを用い、白色のプラスチック板の上にガラスカレットを置き、下から照明を当てる透過光により撮影した。照明には透過光のほかに照明を上から当てる反射光があるが、反射光を用いると、撮影した画像にガラスカレットの影が含まれ、色識別に不都合であるためこの実験では透過光を用いた。



図2 撮影風景

4-2. ガラスカレットの抽出

撮影した画像はガラスカレットと背景の2つの部分から成る。そのため、ガラスカレットの色識別を行うためには、ガラスカレットと背景を分離し、ガラスカレットのみを抽出する必要がある。

以前の報告では、背景部分のRGB値がほぼ等しいことと、

背景の領域がガラスカレットの領域よりも広いことを利用し、輝度のヒストグラムを作成し、ヒストグラムの最も高い輝度を背景と考え、背景と分離しガラスカレットを抽出した。今回は、以前の方法とは別に、次に示すような方法でガラスカレットを抽出した。

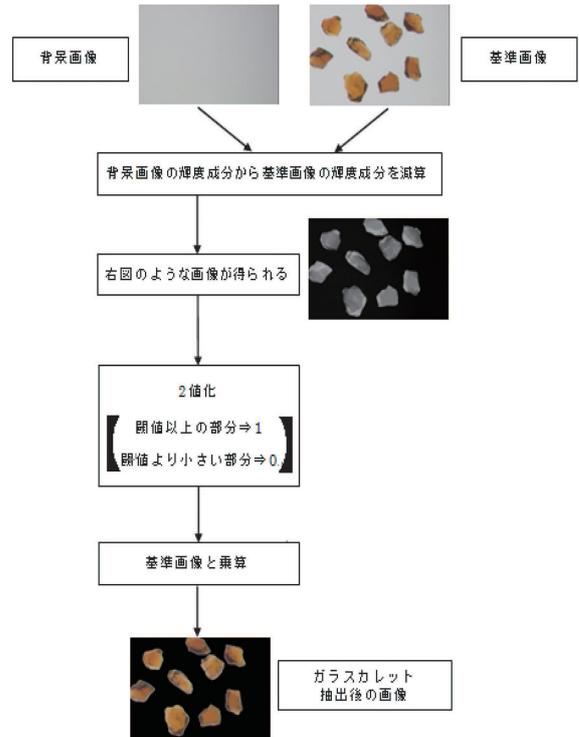


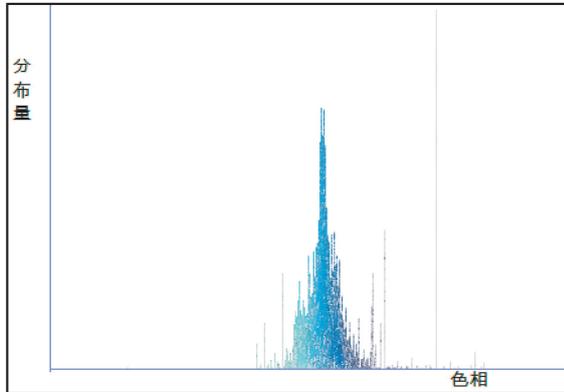
図3 ガラスカレットの抽出のフローチャート

背景のみを撮影した背景画像と基準画像、測定画像を用意し、背景画像から基準画像や測定画像の輝度成分についての減算を行う。基準画像や測定画像の背景部分は背景画像と輝度値がほぼ等しいので、背景画像から基準画像や測定画像の輝度成分についての減算を行うと輝度がほぼ0になる。また、白い背景の場合、ガラスカレット部分では背景部分より輝度が低いため、輝度成分の減算を行うことでガラスカレットの部分に正の輝度値、背景部分は輝度がほぼ0(黒色)となるような画像が得られる。ただし、輝度が負になる画素があるため、減算の後全画素の輝度を10ほど足し、輝度が負になる画素が生じないようにした。

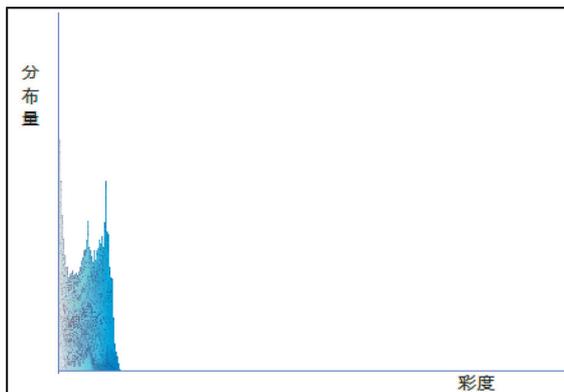
このようにして、基準画像・測定画像の背景部分の輝度がほぼ10、ガラスカレットの部分の輝度が10以上の正の輝度値となる画像が得られる。この画像について輝度10付近で閾値を設け、輝度が閾値以上の部分の輝度を1、輝度が閾値より小さい部分を0として2値化する。この2値化画像と基準画像または測定画像を乗算することで、背景部分は黒色、その他の部分がガラスカレットとなる画像が得られ、背景とガラスカレットを分離できる。これを基準画像の背景分離を例にとり、フローチャートで表すと図3のようになる。

5. ガラスカレットの色識別結果

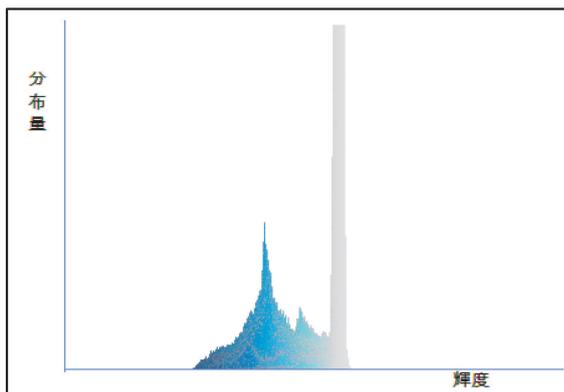
5-1. 1 要素のヒストグラムによる色識別



(a) 色相 1 要素のヒストグラム



(b) 彩度 1 要素のヒストグラム



(c) 輝度 1 要素のヒストグラム

図 4 1 要素のヒストグラム

図 4 に、横軸に色相、彩度、輝度のうち 1 要素、縦軸に度数を取ったヒストグラムを示す。ここでは例として、青色のガラスカレットについてのヒストグラムを示す。(a)、(b)、(c) はそれぞれ横軸に色相、彩度、輝度を取ったものである。ま

た、相関係数を計算する際、ヒストグラムの領域を 50 分割し、移動平均により雑音を除去した。

5-1-1. 色相 1 要素のヒストグラムによる色識別

色相 1 要素のヒストグラムによる色識別の結果を図 5 に示す。この結果を見ると、青色や緑色の識別精度がよく、透明や黄色、濃い緑色の識別が全くできていないことが分かる。青色や緑色の識別精度がよいのは、青色や緑色の色相分布が他の色の分布と明らかに異なり、識別が容易であるためであり、黄色や濃い緑色の識別ができないのは、黄色・茶色・濃い緑色の分布が互いに似ており、識別が困難であるからである。また、平均識別率は 45.6% であった。

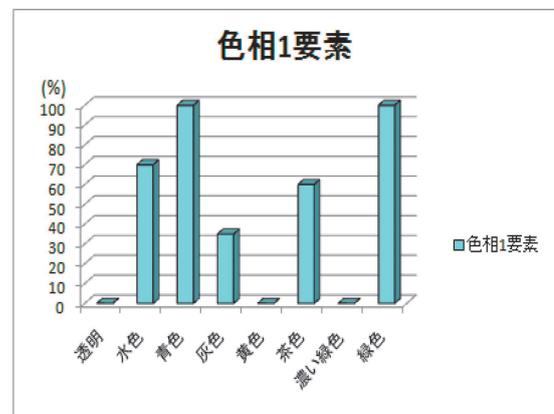


図 5 色相 1 要素のヒストグラムによる色識別結果

5-1-2. 彩度 1 要素のヒストグラムによる色識別

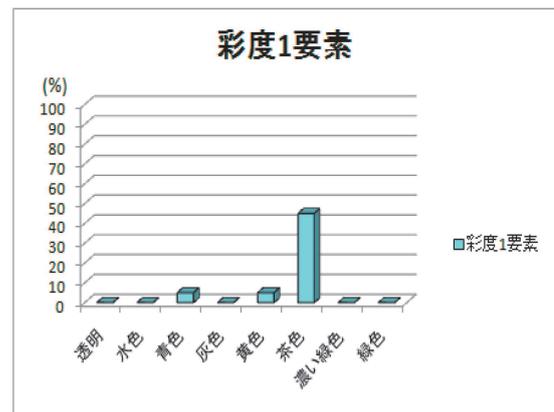


図 6 彩度 1 要素のヒストグラムによる色識別結果

彩度 1 要素のヒストグラムによる色識別の結果を図 6 に示す。この結果を見ると、色識別できる色はほぼなく、最も識別できた茶色でも識別率は 45% と低いことが分かる。また、平均識別率は 6.9% であった。このような結果になるのは次に示すようなことが原因である。8 色のガラスカレットの分

布は彩度がほぼ0~0.5の範囲にあり、8色の分布が互いに重なりあってしまう。そのため、他の色よりも鮮やかで彩度の大きいものは分布の重なりが小さくなり識別が可能になるが、大半の色は分布が重なり識別が困難である。その結果、比較的彩度が大きい茶色のガラスカレットの識別率が、他のものよりも高くなるのである。

5-1-3. 輝度1要素のヒストグラムによる色識別

輝度1要素のヒストグラムによる色識別の結果を図7に示す。この結果を見ると、どの色も識別できていないことが分かる。また、平均識別率が0%で最も低い。このような結果になるのは、8色のガラスカレットの輝度分布は互いに重なりあうため、どの色も同じであるという結果になり、1色のみを正しく識別することが困難なためである。

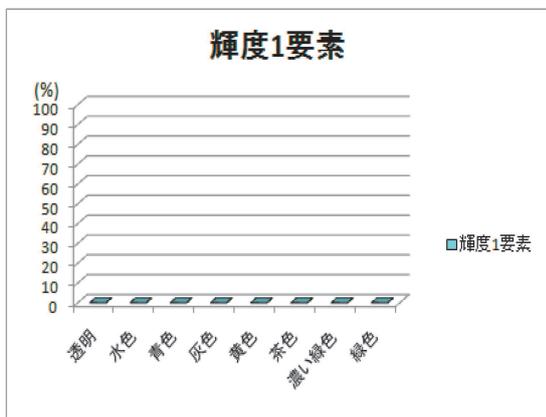


図7 輝度1要素のヒストグラムによる色識別結果

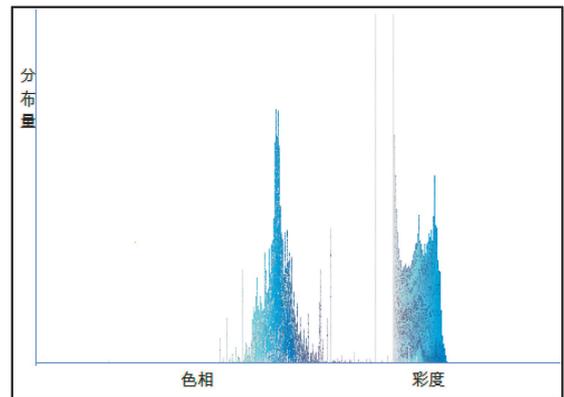
5-1-4. 1要素のヒストグラムによる色識別結果

色相・彩度・輝度いずれか1つで色識別を行った結果、色相1要素のヒストグラムによる色識別の平均識別率が45.6%で最も良く、色相が色識別に重要な要素であるといえる。しかし、色相だけでは黄色・茶色・濃い緑色のヒストグラムの分布が似ており、測定画像によってはこの3つのガラスカレットをうまく識別できない場合や、透明や水色など色の薄いガラスカレットを識別できない場合があった。したがって、1要素だけでは色識別は難しいといえる。

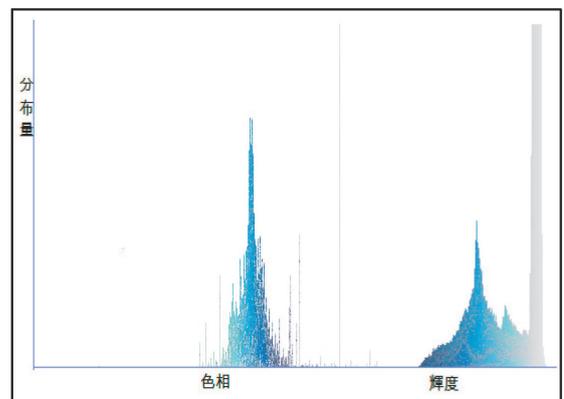
5-2. 各要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別

5-2-1. 2要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別

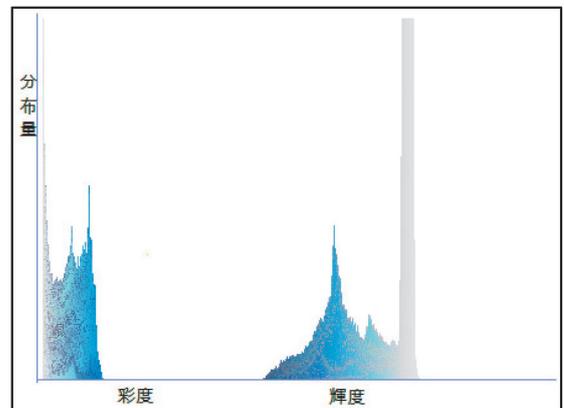
図8に、横軸に色相、彩度、輝度のうち2要素を取り、縦軸に度数を取ったヒストグラムを示す。ここでは例として、青色のガラスカレットについてのヒストグラムを示す。(a)、(b)、(c)はそれぞれ、横軸に色相・彩度、色相・輝度、彩度・輝度を取ったものである。また、相関係数を計算する際、ヒストグラムの領域を50分割し、移動平均により雑音を除去した。



(a) 色相・彩度を横一列に並べたヒストグラム



(b) 色相・輝度を横一列に並べたヒストグラム



(c) 彩度・輝度を横一列に並べたヒストグラム

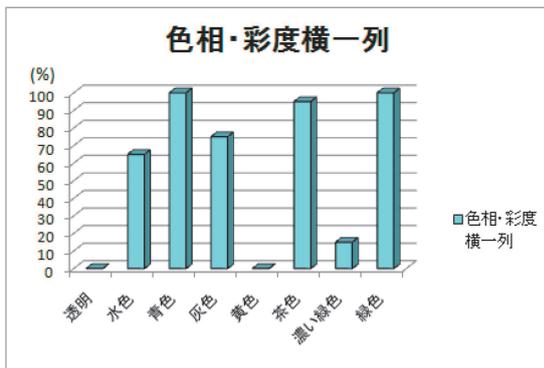
図8 2要素のヒストグラム

2要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別では、2要素として色相・彩度、色相・輝度、彩度・輝度の3つの組み合わせがあり、最も色識別の精度が良かったのは色相・輝度の組み合わせで、平均識別率は56.9%であった。この結果を図9(b)に示す。また、図9(a)に示すように色相・彩度の組み合わせでは、平均識別率は56.3%であり、色相・輝度の組み合わせと大きな差はない。どちらも色相1要素のヒストグラムによる色識別の場合に比べ、色識別の精度が向上しているが、

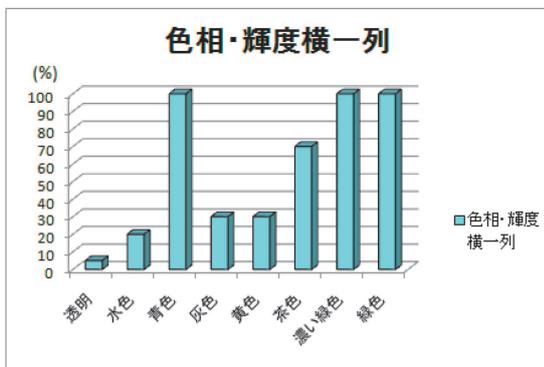
色相・彩度の組み合わせでは透明や黄色を全く識別できておらず、濃い緑色の識別もよくないことが分かる。

一方、色相・輝度の組み合わせでは、水色、灰色、茶色の識別率は色相・彩度の組み合わせよりも劣るが、透明と黄色を少し識別できており、濃い緑色を完全に識別できており、全体的にはこちらの方が識別できているといえる。

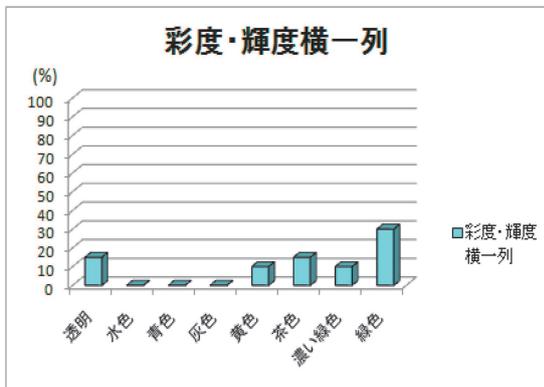
したがって、2要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別では、色相・輝度を横一列に並べたヒストグラムによる色識別方法が最も良いといえる。しかし、透明や水色、灰色、黄色の識別率が低く、まだ精度が十分ではないと言える。



(a) 色相・彩度横一列のヒストグラムによる色識別結果



(b) 色相・輝度横一列のヒストグラムによる色識別結果



(c) 彩度・輝度横一列のヒストグラムによる色識別結果

図 9 2要素のヒストグラムによる色識別結果

5-2-2. 3要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別

図 10 に、横軸に色相・彩度・輝度の 3 要素、縦軸に度数を取ったヒストグラムを示す。ここでは例として、青色のガラスカレットについてのヒストグラムを示す。また、相関係数を計算する際、ヒストグラムの領域を 50 分割し、移動平均により雑音を除去した。

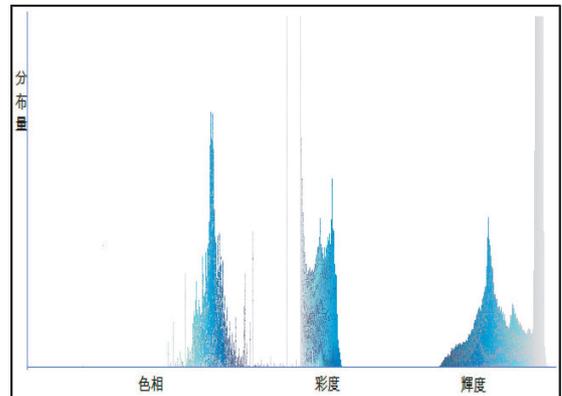


図 10 3要素を横一列に並べたヒストグラム

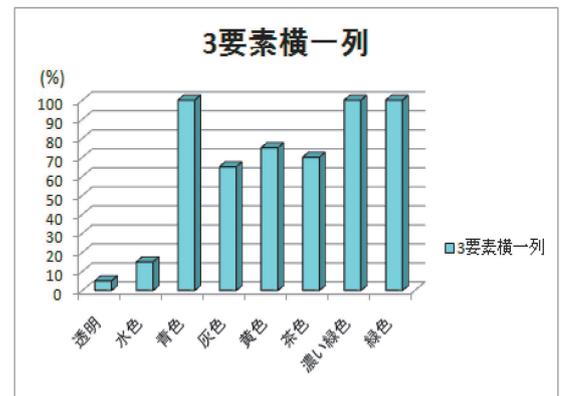


図 11 3要素横一列のヒストグラムによる色識別結果

3要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別の結果を図 11 に示す。この結果を見ると、2要素として色相・彩度を横一列に並べたヒストグラムによる色識別よりも、識別精度が大幅に向上していることが分かる。また、平均識別率は 66.3%と 2要素を用いたときより向上し、色相・彩度・輝度の 3要素を用いる方がよいといえる。

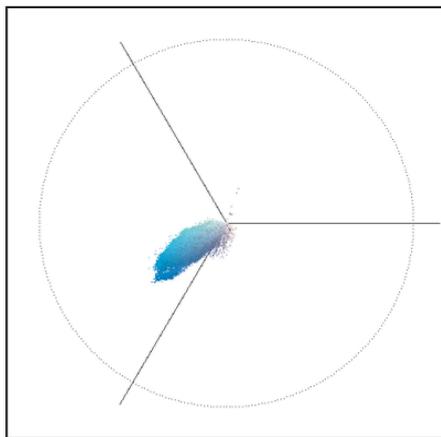
5-2-3. 各要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別結果

2要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別では、2要素として色相・彩度、色相・輝度を用いた場合で大きな差はなかった。2要素を用いた場合で最も色識別精度の良い色相・輝度を横一列に並べたヒストグラムによる色識別よりも、3要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別の方が識別精度が大幅に向上しており、平均識別率も 10%向上していることから、各要素を横一列に並べたヒストグラムによる色

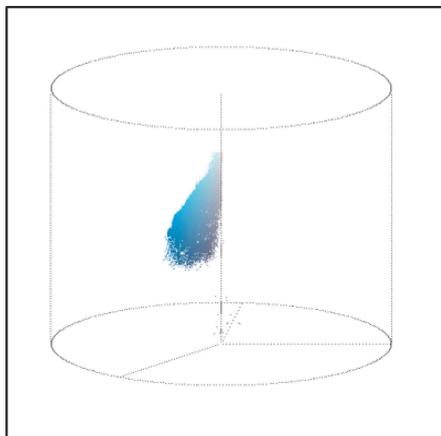
識別では色相・彩度・輝度の3つの要素を組み合わせる方法がよいことが分かる。

5-3. 色相図を用いた色識別

図12に色相図を示す。ここでは例として、青色のガラスカレットについての色相図を示す。(a)、(b)はそれぞれ、半径として彩度、角度として色相をとったものと、半径として彩度、角度として色相、高さとして輝度をとったものを表す。また、相関係数を計算する際、色相図の領域を50分割し、移動平均により雑音を除去した。



(a) 色相図



(b) 色相図に輝度を加えた表示方法

図12 色相図と色相図に輝度を加えた表示方法

5-3-1. 色相図のヒストグラムによる色識別

色相図のヒストグラムによる色識別の結果を図13に示す。この結果を見ると、色相1要素のヒストグラムによる色識別の場合に比べ、識別できる色が増え精度が向上したが、黄色・茶色・濃い緑色は色相図の形状が互いに似ているため識別が困難な場合がある。また平均識別率も46.3%であり、2要素として色相・彩度を横一列に並べたヒストグラムによる

色識別よりも10%低く、識別精度が低いことが分かる。そのため、色相図のヒストグラムによる色識別ではまだ精度が十分ではないと言える。

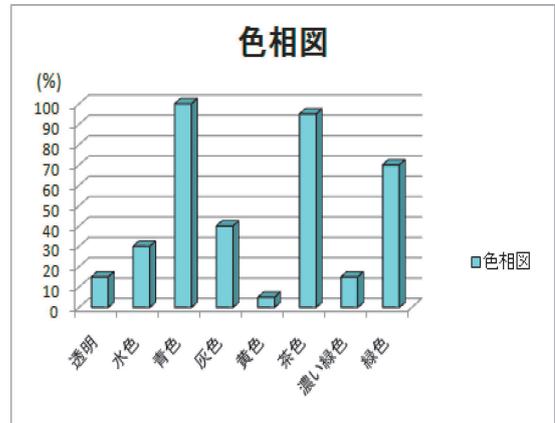


図13 色相図のヒストグラムによる色識別結果

5-3-2. 色相図に輝度を加えた3次元のヒストグラムによる色識別

色相図に輝度を加えた3次元のヒストグラムによる色識別の結果を図14に示す。この結果を見ると、黄色・茶色・濃い緑色の識別ができ、平均識別率も65%となり、色相図のヒストグラムによる色識別の場合より識別精度がさらに向上したが、色の薄いものはうまく識別できないことが分かる。

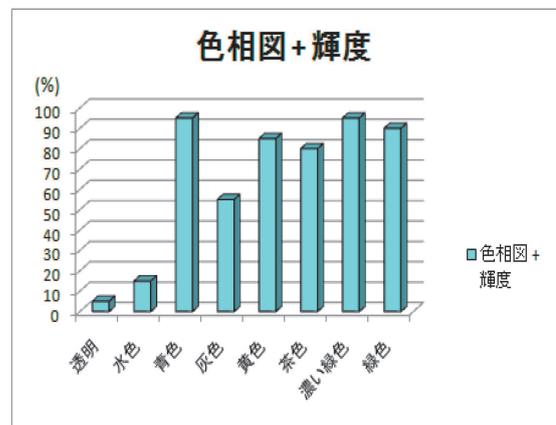


図14 色相図に輝度を加えた3次元のヒストグラムによる色識別結果

5-3-3. 色相図のヒストグラムによる色識別結果

色相図に輝度を加えた3次元のヒストグラムによる色識別の結果、色の薄いものはうまく識別できなかったが、黄色・茶色・濃い緑色の識別ができ、色相図のヒストグラムによる色識別の場合より識別精度がさらに向上した。したがって、色相図のヒストグラムによる色識別は、色相図に輝度を加えた3次元のヒストグラムによる方法がよいといえる。

6. まとめ

色識別方法として、1 要素のヒストグラムによる色識別・各要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別・色相図のヒストグラムによる色識別の 3 つの方法を検討した。

方法別にみると、1 要素のヒストグラムによる色識別では、色相 1 要素のヒストグラムによる色識別が最も識別精度がよかった。各要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別では、3 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別が最も識別精度がよく、色相図のヒストグラムによる色識別では、色相図に輝度を加えた 3 次元のヒストグラムによる色識別が最も識別精度がよいという結果になった。

色相 1 要素のヒストグラムによる色識別・3 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別・色相図に輝度を加えた 3 次元のヒストグラムによる色識別の 3 つの方法を比較すると、平均識別率で見ると、3 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別が 66.3% で最も高く、この方法が最もよいという結果になった。

3 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別と色相図に輝度を加えた 3 次元のヒストグラムによる色識別は、平均識別率はそれぞれ、66.3% と 65% で精度にそれほど差がないが、処理時間では 3 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別の方が速く、識別精度・処理時間の両面において 3 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別の方法が

最もよいといえる。したがって、現時点では色識別手法として最も良いのは、3 要素を横一列に並べたヒストグラムによる色識別であるといえる。しかし、この手法を用いてもすべての色を完全に識別できず、特に色の薄い透明や水色のガラスカレットについてはまだ精度が不十分である。

今後の課題は、完全に識別できなかった色のガラスカレットの識別率の向上と、透明や水色のガラスカレットの識別率が特に低い原因を調べることである。

参考文献

- 1) 日本ガラスびん協会, びんのリサイクル通信 No8, ガラスびんリサイクル促進協議会, p1, 2006 年.
- 2) 小川 憲保, 未来材料第 6 巻第 12 号, エヌ・ティー・エス, p17, 2007 年.
- 3) 橋本 基, 佐々木 貴紀: 画像処理によるガラスカレットの色識別-2, 宇部工業高等専門学校研究報告第 53 号, pp.7-11, 2007 年.
- 4) 橋本 基, 佐々木 貴紀: 画像処理によるガラスカレットの色識別, 宇部工業高等専門学校研究報告第 54 号, pp.1-6, 2008 年.
- 5) 白井良明, コンピュータビジョン, 昭晃堂, p110-112, 1980 年.