

# 画像処理によるガラスカレットの色識別-2

## —色相図の相関係数による色識別—

橋本 基\* 佐々木 貴紀\*\*

### Color Identification of Glass Chips by Image Processing

Hajime HASHIMOTO\* Takanori SASAKI\*\*

**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 the hue and the chroma calculated from the color image is proposed. Experiments are carried out with eight kinds of glass samples. It is possible to identify the color of the glass chips by this method in most cases of the combination of colors.

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

#### 1. 背景

日本では、現在年間約 150 万トンのガラス瓶が製造されている<sup>1)</sup>。このガラス瓶を資源として再利用するために、ガラスカレットにされる。ガラスカレットとは、ガラス瓶等を砕いたもので、大きさは 5mm 前後である。ガラスカレットから、再びガラス瓶等が造られる。ガラスカレットを再利用する際に重要なことは、色が分別されていることと異物が入っていないことである。色が混じっている場合はガラス瓶を目的の色にすることが難しく、異物が入っている場合は十分な強度を得ることができない。

現在、ガラス瓶の分別は、表1のように透明、茶色、その他の色(混色)の大きく 3 種類に分けられている。色毎の利用用途は、透明と茶色はガラス瓶となり、その他の色はタイルや埋め戻し材など多目的に利用されている。表 1 を参照すると、その他の色のカレット生産量がガラス瓶の生産量よりも多くなっているが、これは透明や茶色で色が混ざったりしてガラス瓶として再利用できないものが含まれているからである。ここで、その他の色を細かく色分別することができれば、透明と茶色のガラスの再利用率を上げることができ、また青色や緑色といった色もガラス瓶として再利用することが可能となる。

本研究の目的は、画像処理を用いてガラスカレットの色を識別できる方法を開発することである。前の報告で、撮影条件

がガラスの色識別にどのような影響があるか検討し、色相と彩度からガラスカレットの色識別が可能であることを示した<sup>2)</sup>。今回は、色相図の相関係数による色評価法を用いた色識別について報告する。

表 1. ガラス瓶の色別の生産量と再利用状況

ガラス瓶の色	生産量(万t)	カレット生産量(万t)
透明	72	40
茶色	60	40
その他	15	22

#### 2. 表色系<sup>3)</sup>

##### 2.1 RGB 表色系と HSV 表色系

RGB表色系は、光の3原色であるRGBの三刺激値で表される。RGB値にはそれぞれ明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。HSV表色系は、色を色相(H)、彩度(S)、明度(V)で表す。HSV表色系では、照明の強さによる影響は明度のみに含まれ、色相、彩度は影響を受けない。よって本研究では、色相と彩度を用いた色相図での評価を行う。

##### 2.2 RGB表色系からHSV表色系への変換

TVカメラからの画像データはRGB表色系であり、色評価を行うためにHSV表色系に変換する必要がある。画像データのRGB値 $R, G, B$ より、HSV表色系での明度 $V$ 、色相 $H$ 、彩度

(2007年11月26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

$S$ は以下の式より求める。

$$V = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2} \quad (1)$$

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

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

ただし、 $r=R/T$ 、 $g=G/T$ 、 $b=B/T$ 、 $T=R+G+B$ である。また、式(3)の  $\min(r, g, b)$ は、 $r, g, b$  値のうち最も小さい値をとることを意味する。色相は色の種類を角度で表し、彩度は色の鮮やかさを原点からの距離で表す。

### 3. 色判別の方法

#### 3.1 色識別のフロー

ガラスカレットの色識別のフローを図1に示す。色識別に用いる画像は、基準となる色のガラスを撮影した基準画像と、色を判別するガラスを撮影した測定画像の2つである。まずこれらの画像からガラスの部分抽出し、抽出したガラス部分にラベリングを行う。そして、基準画像ではガラスの部分全ての色相図を作成し、測定画像ではラベリングで求めたガラス1個分の色相図を作成する。この2つの色相図の相関値を計算し、設定した閾値より大きければ同じ色とし、低ければ異なる色と判断する。

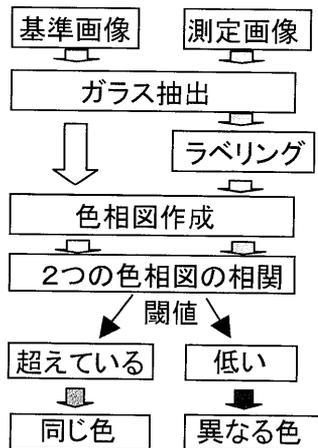


図1 色識別のフロー

#### 3.2 ガラス部分の抽出

ガラス部分を抽出するために、ガラスの部分と背景を区別する。今回、背景に白色のプラスチック板を用いたため、その部分のRGB値はほぼ等しくなる。よって、明度も等しくなる。また、図2より背景の部分はガラスカレットの領域よりも広いことが分かる。そこで、明度のヒストグラムを作成し、ヒストグラムの最も高くなる明度を背景と考える。明度とRGB値が等しいことと、ヒ

ストグラムが最大となる明度という二つの特徴を用いて背景を分離し、ガラスカレットの部分抽出した。結果を図3に示す。黒い部分が背景で、原画像と同じ色の部分がガラスカレットとして抽出された部分である。原画像(図2)と比較すると、ガラスカレットの部分正しく抽出できていることが分かる。

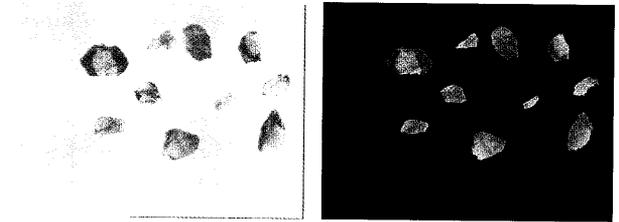


図2 原画像

図3 処理結果

#### 3.3 ラベリング<sup>4)</sup>

測定画像の中には、様々な色のガラスが存在することが考えられる。そこで、個々のガラスを認識するためにラベリング処理を行った。

ラベリングの過程は、ガラスの部分抽出した画像に対して左上からラスタ走査を行い、まだラベリングを行っていないガラス部分の画素を見つける。画素を見つけたら、その点の8近傍においてすでにラベル付けされた画素があるかどうか調べる。ここで、次の3つのうち1つを選択する。

- 見つからないとき、新しいラベル番号を付ける。
- 1個見つかった場合、それと同じラベル番号を付ける。
- 2個以上見つかった場合、番号が一番小さいラベル番号を付ける。

全画面走査すると、(c)を選択した場合1つのガラスに2つ以上のラベル番号が存在してしまう問題が発生する。そこで、最後にラベル番号の整理を行い、1つのラベル番号に置き換えるとともにラベル番号が連続になるように付け替える。よって、ラベル番号の最大値が、画像内に存在するガラスカレットの個数となる。

#### 3.4 色相図

ガラスカレットの部分として抽出された部分の画素1つずつのRGB値から式(2)、(3)により色相と彩度を計算し、色相図にプロットする。色相図の一例を図4に示す。この色相図から

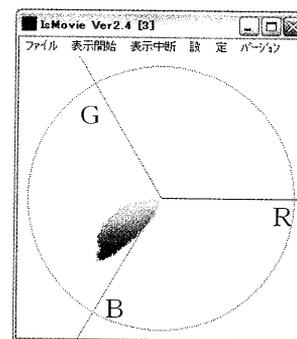


図4 色相図

縦横を分割し、色相図のヒストグラムを作成する。今回は縦横30分割とした。

### 3.5 色相図の相関係数

ヒストグラムより、次式により相関係数を計算する。

$$C = \frac{\sum(F(H,S) \times G(H,S))}{\sqrt{\sum F(H,S)^2 \times \sum G(H,S)^2}} \quad (4)$$

ここで、 $F(H,S)$ は基準画像の、 $G(H,S)$ は測定画像の色相図のヒストグラムである。2つの色相図の形が等しい時、相関値は最大の1となる。逆に色相図の形がまったく異なる時、相関値は最小の0となる。

### 3.6 評価方法

色判別の評価には、純度と回収率を用いた。純度は、判別後のガラスがどれだけ基準と同じガラスがあるかの割合である。また回収率は、基準と同じガラスがどれだけ回収できたかを表すものである。今回は、リサイクルされる時に同じ色であることが重要であるため純度を優先した。

$$\text{純度} = \frac{\text{基準色と同じ色で正しく判別された個数}}{\text{基準色と同じ色と判別された個数}}$$

$$\text{回収率} = \frac{\text{基準色と同じ色で正しく判別された個数}}{\text{基準色と同じ色の個数}}$$

## 4. 実験

今回用いたガラスカレットは、図5に示す8色(透明、水色、青色、灰色、黄色、茶色、濃い緑色、緑色)である。各色10個ずつのガラスカレットをサンプルとして撮影した。撮影の様子を図6に示す。白い半透明のプラスチック板の上にサンプルを置き、下から蛍光灯で照明して、上からTVカメラで撮影した。

実験は、8色のうち1色を基準色とし、他の色を区別できるか検証した。

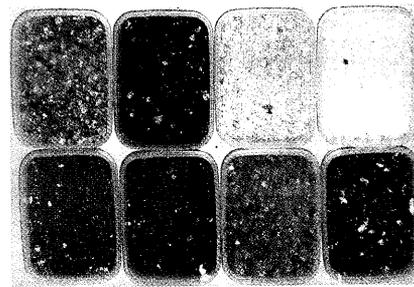


図5 8色のガラスカレット

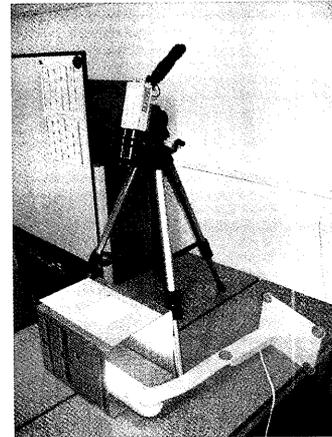


図6 撮影風景

## 5. 結果

### 5.1 相関係数

図7に、基準色毎の相関値の分布を示す。縦軸が相関値で、横軸が測定するガラスの色である。また、表2に色毎の相関値の平均値を示す。この表では、縦軸に基準色をとり横軸に測定色をとっている。これら見ると、基準色と同じ色の相関値が最も高いことが分かる。しかし相関の値は色の組み合わせによって異なることから、閾値は基準色によって異なることが分かる。以下、各基準色における最適な閾値について述べる。

表2 色毎の相関係数

混色 基準色	透明	水色	青色	黄色	茶色	灰色	濃い緑	緑色
透明	0.992	0.958	0.099	0.226	0.047	0.939	0.453	0.508
水色	0.962	0.991	0.148	0.182	0.037	0.820	0.386	0.460
青色	0.111	0.160	0.939	0.005	0.001	0.037	0.016	0.032
黄色	0.231	0.189	0.004	0.940	0.428	0.267	0.710	0.337
茶色	0.066	0.052	0.001	0.426	0.902	0.078	0.261	0.084
灰色	0.927	0.813	0.031	0.056	0.037	1.000	0.497	0.527
濃い緑	0.568	0.489	0.018	0.787	0.261	0.624	0.910	0.650
緑色	0.564	0.516	0.035	0.373	0.072	0.587	0.639	0.857

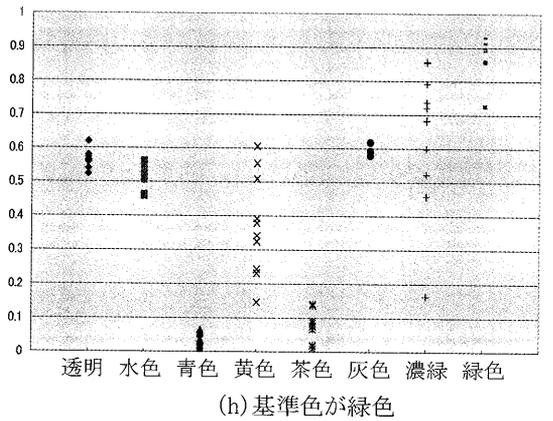
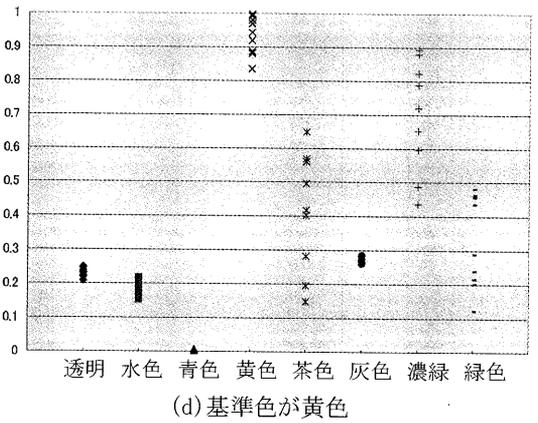
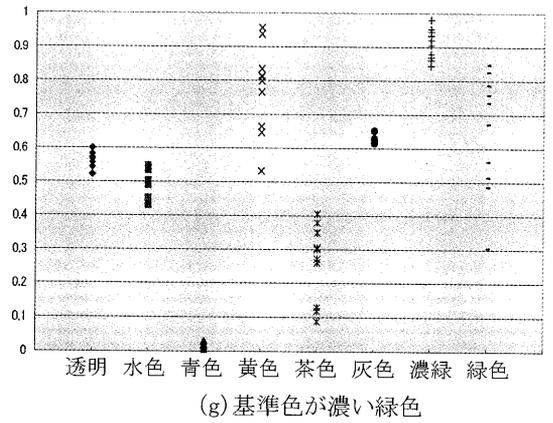
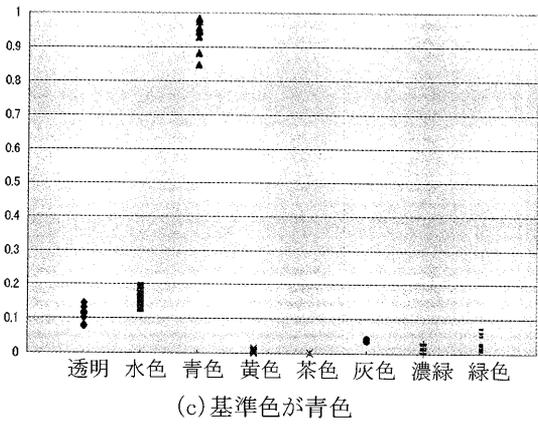
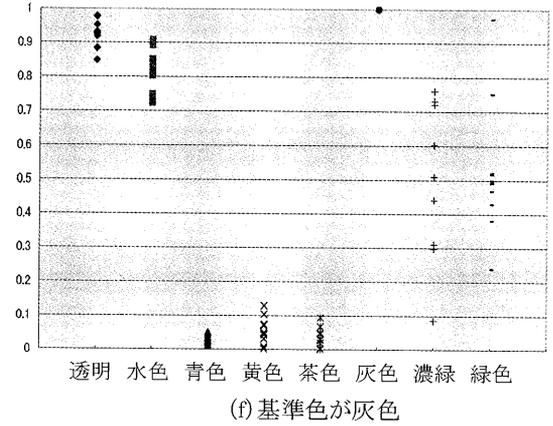
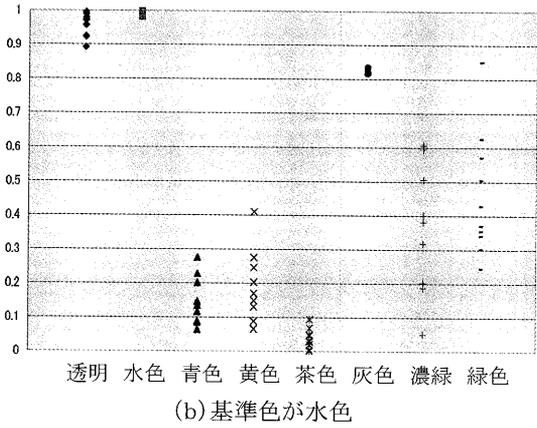
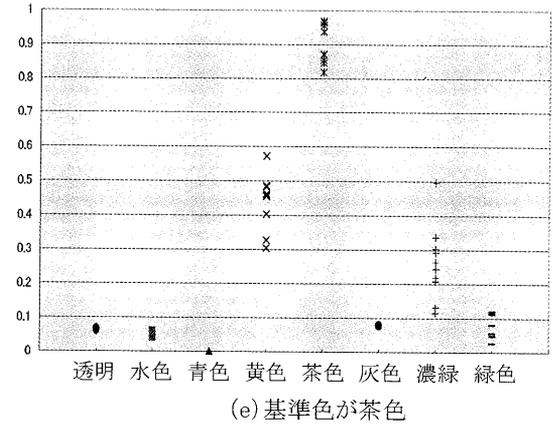
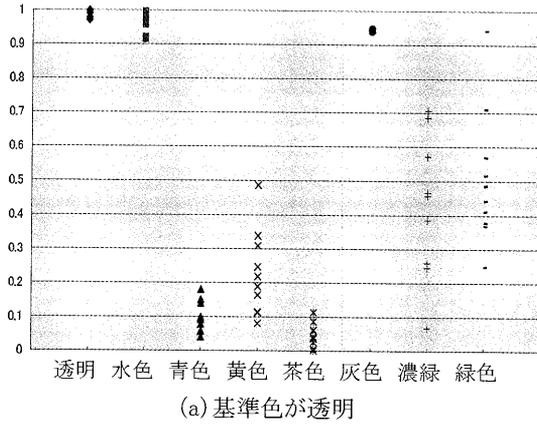


図7 色毎の相関値の分布

5.2 閾値の決定

(a) 基準色が透明の場合

基準色が透明の場合の各色の相関値の分布を図7(a)に示す。基準色と同じ色である透明の相関値が最も大きい、水色の相関値も大きい。異なる色で最も高い相関値は水色の0.996である。前に述べたように、純度を優先する。そこで水色が基準色と同じ色と判別されないように、閾値を0.996とした。しかし基準色と同じ色の透明なガラスで相関値がこの値より小さいものがあり、透明のガラスの一部は異なる色と誤判別される。この場合純度は100%であるが、回収率は低くなる。

(b) 基準色が水色の場合

基準色が水色の場合の各色の相関値の分布を図7(b)に示す。基準色が透明の場合と同様、基準色と同じ色である水色の相関値が最も大きい、透明の相関値も大きい。基準色と異なる色で最も高い相関値は透明であり、その最大相関値よりも高い0.995に閾値を設定した。この色の場合も基準色と同じ水色のガラスで相関値が閾値より小さいものがあり、水色のガラスの一部は異なる色と誤判別される。透明と同様に純度は100%にできるが回収率は低くなる。この時の回収率は50%となり、水色のガラスは半分しか回収できない。

(c) 基準色が青色の場合

基準色が青色の場合の各色の相関値の分布を図7(c)に示す。基準色が青色では、他の色の相関値は非常に低く、青色の相関値と他の色の相関値は重ならない。そのため、全ての色について正しく判別することができる。ここで、閾値はできるだけ高く設定した方が、異なる色で相関値の高いガラスが存在した場合、より確実に判別できる。よって、閾値は0.8に設定した。

(d) 基準色が黄色の場合

基準色が黄色の場合の各色の相関値の分布を図7(d)に示す。基準色以外で最も大きい相関値を持つ色は濃い緑色である。この時、黄色の相関値の小さい場合と、濃い緑色の相

関値の大きい場合では相関値が重なる部分がある。ここでも純度を優先し、濃い緑色を異なる色と判断するように閾値を0.9に設定した。

(e) 基準色が茶色の場合

基準色が茶色の場合の各色の相関値の分布を図7(e)に示す。異なる色で最も相関が高いのは黄色であるが、茶色と黄色では図7(e)に示すように相関値で重なる部分はない。よって、閾値を茶色の相関値の最低より少し小さい0.8に設定した。この基準色の場合、全ての色について正しく判別することができ、純度と回収率は両方とも100%になる。

(f) 基準色が灰色の場合

基準色が灰色の場合の各色の相関値の分布を図7(f)に示す。透明の相関値はかなり大きく、多くが0.9を超えている。また緑色も一部相関値の大きいものがあることが分かる。ここで、灰色の相関値を見ると、全てのガラスで相関値がほぼ1となっておりほとんどバラつきはないことが分かる。よって、閾値を高く設定できる。そこで閾値を0.99と設定した。この閾値で、基準色である灰色と基準色でない透明を区別でき、全ての色について正しく判別することができる。

(g) 基準色が濃い緑色の場合

基準色が濃い緑色の場合の各色の相関値の分布を図7(g)に示す。この時、異なる色で最も大きい相関値は黄色である。黄色の最大相関値よりも閾値を高く設定すると、濃い緑色の相関値ははそれよりも低いためほとんど判別できない。よって、ここでは純度と回収率のバランスから最適な閾値を決定した。すなわち、図7(g)の黄色の相関値の部分参照すると、黄色の相関値は0.85以下に多く分布している。一方、濃い緑色の相関値は0.85以上に集まっている。よって、閾値は0.85とした。

(h) 基準色が緑色の場合

基準色が緑色の場合の各色の相関値の分布を図7(h)に示

表3 色毎の閾値と判別結果

混色 基準色	閾値	透明	水色	青色	黄色	茶色	灰色	濃い緑	緑色	純度	回収率
透明	0.996	20%	○	○	○	○	○	○	○	100%	80%
水色	0.995	○	50%	○	○	○	○	○	○	100%	50%
青色	0.8	○	○	○	○	○	○	○	○	100%	100%
黄色	0.9	○	○	○	30%	○	○	○	○	100%	70%
茶色	0.8	○	○	○	○	○	○	○	○	100%	100%
灰色	0.99	○	○	○	○	○	○	○	○	100%	100%
濃い緑	0.85	○	○	○	20%	○	○	10%	○	82%	90%
緑色	0.86	○	○	○	○	○	○	○	40%	100%	60%

す。基準色以外で最も大きい相関を持つ色は濃い緑色である。この二つの色の相関値は重なっている部分があるため全てを正しく判別することはできない。ここでも純度を優先し、閾値を 0.86 とした。そのため、基準色と同じ色の一部は異なる色と誤判別される。

### 5.3 ガラスカレットの色判別結果

表3に、8色のガラスカレットの色判別結果を示す。表の縦に基準色を、横に相関値の閾値、測定色、純度、および回収率を示す。測定色欄では、10個のガラスサンプルを全て正しく判別できた場合は○で表している。また、全て正しく判別できなかった場合は間違った割合を%で示している。すなわち、測定したガラスの色が基準色と同じ時には異なる色と判別した割合を、基準色と異なる色の場合には基準色と同じ色と判別した割合を示す。

まず、閾値は 0.8 以上であるが、最適な値は基準色により異なることがわかる。また、透明、水色、灰色といった彩度の低い色が基準色の場合、閾値は高い値となる傾向にある。

次に、全てのガラスサンプルについて正しく判別できた基準色は、青色、茶色、黄色の3色であった。これらの色では、全てのサンプルで判別できたため純度と回収率ともに 100%である。上記の3色以外では、基準色と同じ色の測定色での判別率が悪くなっている。一方、測定色が基準色と異なる色での判別率は良い結果となっている。これは、今回純度を優先させたためである。したがって、純度は濃い緑色を除き 100%となっている。これに対して、回収率は低くなっている。最低は水色の 50%である。なお、基準色が濃い緑色では、濃い緑色と黄色の相関値がほぼ同じであったため、純度と回収率の最もバランスの良い閾値に設定したため、純度が 100%と

なっていない。

## 6. まとめ

ガラスカレットの色を判別する方法として、色相図の相関係数を用いる方法について検証した。実験の結果、相関係数によりある程度色判別できることが分かった。色を判別する基準となる相関値の閾値は、基準とするガラスカレットの色によって異なり、色毎に最適な値があることが分かった。

黄色と濃い緑色は色相図の相関値にほとんど差がなく、この2色の判別は困難であった。しかし、黄色と濃い緑色は、肉眼では明らかに色が異なって見えることから、色識別の精度を上げれば判別は可能と思われる。また、今回純度を優先したため、回収率が低い色もあった。今後の課題は、色識別の精度を高め、純度だけでなく回収率も高くすることである。他の表色系や色相図以外での評価方法など検討していきたい。

## 参考文献

- 1) 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, 2006 年.
- 2) 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 53 号, pp.7-11, 2007 年.
- 3) 白井良明: コンピュータビジョン, 昭晃堂, pp.108-117, 1980 年.
- 4) 岡崎彰夫: はじめての画像処理技術, 工業調査会, pp.85-87, 2005 年.