

# 撮像素子型センサを用いた複雑色判別技術の開発

宮崎 俊之, 吉川 毅, 堀 武司, 波 通隆

## The Development of Ambiguous Color Distinction Technology using Imaging Sensor

Toshiyuki MIYAZAKI, Takeshi KIKKAWA  
Takeshi HORI, Michitaka NAMI

### 抄 録

製材, 窯業など様々な分野で製品の色彩管理のニーズが高まっている。本研究では, 現在は目視で行われる事が多い微妙な色彩や質感の違いに基づく製品選別作業を自動化するため, デジタルビデオカメラをセンサとして使用する撮像素子型色判別センサを開発した。また, 高度な色彩管理に使用可能とするため, 出力値を CIE 表色値へと補正する各種補正技術の開発を行った。

キーワード : 色判別, 色彩管理, 撮像素子, CIE

### Abstract

In this research, we develop Color Sensing System using Imaging Devices. This system can distinguish ambiguous colors, pattern, and some surface features of material. For this purpose, we research optical system, measuring environments, light condition, calibration, noise reduction, compensation of non-linear characteristics, and so on. The output of this system is corresponding to international standard color space such as CIE-XYZ. This system can be used on manufacture process in factory for accuracy distinction color products.

KEY-WORDS : Color Sensing, Color Management, Imaging Device, CIE

## 1. はじめに

### 1.1 色彩管理の重要性

製品の品質として色が重要視されるようになり, 印刷業などの直接色を取り扱う業種だけではなく, 製造業においても消費者の嗜好や製品の機能・特性に合わせた製品の色彩管理(カラーマネジメント)が必要となってきた。

人間は, 網膜上に分布する錘状体細胞の刺激値の和として色を感じると言われている。この錘状体細胞は三種類が存在していることが知られ, それぞれ赤 (R)・緑 (G)・青 (B) に対応する感度分布を持っている<sup>1)</sup>。この感度分布は個人差があり, 多数の被験者の平均値として感度特性 (等色関数)

が実験的に求められ, これに基づいて CIE (国際照明委員会) が測色方法や色の表現方法 (表色系) を定めている。表色系では, 色の測り方や使用する色分解フィルタの特性等が厳密に定められており, 誰が, いつ, どのデバイスで測っても同一の結果が得られるようになっており (色の絶対値表現), この表色系で得られる数値 (表色値) を用いて, 製造工程で一貫性を保った色彩管理を行うことが一般的になりつつある。

### 1.2 色を測るセンサ

色彩管理においては, 製品の色を数値的に測るセンサが必要となる。色を測るセンサを出力値の形式から分類すると「独自形式」, 「表色値」に分けることができる。独自形式は,

いわば人の色表現に近いもので、機種ごとに、また色を測る環境（使用する光源、検出距離や角度）により出力値が異なるため、生産者と納品先で製品の色を厳密に伝えたい場合などに不都合がある、製品の種類や生産ラインごとに判別基準の調整が必要などの問題が発生する場合がある。

### 1.3 既存センサの問題点と本研究の目的

食品や製材、皮革製品などの自然生産物や、レンガ、タイルなど製造工程において個体差が発生しやすい製品では、同一規格、同一種類の製品であってもその色特徴が大きく異なる場合がある。この様な製品においては、製品内の色むらや模様、局所的な色の違い（複雑色）が品質に大きな影響をもつ場合があり、その分布や面積などの特徴（複雑色特徴）を把握することが必要となる。

複雑色特徴を判別するには、輝度・色相などの色情報を、製品上の必要となる全ての場所で計測する必要がある。一点計測型のセンサで、この「色情報」と「位置情報」を同時に得るためには、複数のセンサを同時に使う（並列計測型）、製品（またはセンサ）を機械的に移動する（移動計測型）などの手法を用いる必要がある。しかし、色の絶対値計測が可能な測色計は、計測速度に問題があり移動計測には適さず、また一台あたりのコストが高いため並列計測は実現しづらい。独自形式の出力を持つセンサ（LED 発光タイプなど）は計測速度やコスト面で測色計などに比べて優れているが、センサ個々の特性のばらつきが大きく、色の絶対値計測という点では問題があった。

この様に「色情報」と「位置情報」を同時に精度良く計測できる複雑色計測センサを構築することは技術的、コスト的に難しく、このため製品判別の自動化を断念し、人の眼による判断に頼る場合が多かった。

本研究は、性能向上の著しいデジタルビデオカメラを用い、撮像素子の一つ一つを色センサとして用いることで製品の複雑色特徴を面的に判別し、生産現場で製品判別に使用できる技術の開発を目的とする。

## 2. 撮像素子型センサの開発

### 2.1 光源の選定

物体のもつ色は、光源からの光が表面で直接反射される正反射成分と、光源の入射角によらず全ての方向で輝度が等しくなる拡散反射成分とに分けて考えることができる。製品の使用目的や消費者の嗜好などにより、どちらの成分が重要になるかは変わるが、本研究では拡散反射成分のみについて考えることとする。

物体の色は、光源の波長スペクトル強度に物体の波長毎の反射率をかけ、これに色分解光学系の透過特性（人の眼であれば、錘状体細胞の感度特性）を掛けて積分した形で表現さ

れる（式1）<sup>2)</sup>。

$$CIE - \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} = \int_{380nm}^{780nm} \left[ \begin{matrix} \text{標準光源スペクトル} \\ \times \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} \text{等色関数} \times \text{物体の反射分光特性} \end{matrix} \right] d\lambda \quad \dots\dots\text{式1}$$

表色値を得るには、光源の波長スペクトル強度と色分解フィルタの透過特性の積がCIEで規定された標準光源と等色関数の積と任意の波長で定数倍になっている必要がある。ここでは光源の波長スペクトル分布、色分解フィルタの透過特性を独立にCIEの標準光源のスペクトル分布、等色関数に近づけることを考える。

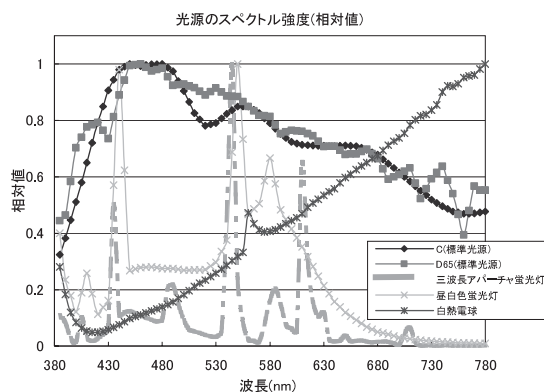


図1 各種光源の波長スペクトル強度

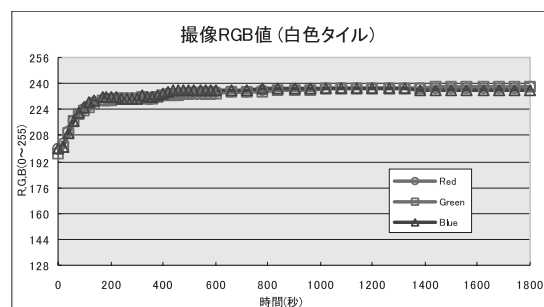


図2 蛍光灯光源の安定性

蛍光灯光源は、寿命や変換効率（熱）などの点でハロゲン光源等に比べて優れており、製造工場内における色評価用の光源として広く使われている。しかしCIE表色値を得る、という点からみると、内部の蛍光励起源として使用されている水銀等の輝線の影響により計測値に誤差が発生する。また、三波長型等の蛍光灯を用いる場合、光源スペクトル強度のピーク以外の波長では色がほとんど測定されないため、物体の分光反射率の特性によっては計測誤差が大きくなるなどの問題がある。本研究では、波長分布が連続的であること、輝

線の影響がそれほど大きくないことから、昼白色型の蛍光灯を用いることとした。またビデオカメラでのフリッカが発生しないように、シャッタースピードより十分に大きな点灯周波数を持つインバータ型の電力装置を用いた。主な光源のスペクトル実測値ならびにCIEで規定されている標準光源の特性を図1に、また使用した蛍光灯光源の時間変動を図2に示す。本研究では照明の輝度・色相が安定する点灯15分程度経過後に撮像を行った。

## 2.2 カメラの色分解特性

本研究で使用したカメラの仕様を表1に示す。単板式のCCD（電荷結合素子）型撮像素子を持ち、色分解光学系としてRGBの原色タイプのフィルタが使用されている。仕様書から抜粋した色分解フィルタ特性を図3に示す。

表1 使用したデジタルビデオカメラの仕様

撮像素子	1/2型 CCD (1024 × 768)
色分解光学系	原色フィルタ
インターフェース	IEEE1394

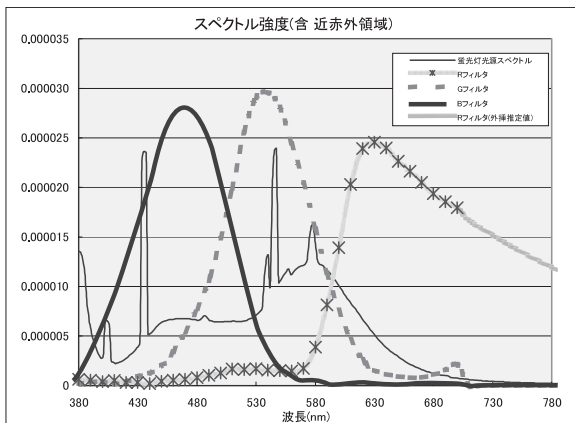


図3 カメラの色分解特性

## 2.3 赤外線カットの必要性

式1において積分範囲は380-780nmの可視光域であるが、実際のカメラではフィルタの透過特性、照明の分光特性ならびに撮像素子の受光特性はこの範囲外（特に近赤外域）に伸びている場合があり、色計測の誤差要因となる。本研究では、近赤外域の影響を排除するため、700nmに遮断波長をもつ近赤外線カットフィルタを使用し、この影響を排除した。

## 2.4 撮像素子型複雑色判別センサ

以上の照明、カメラならびに近赤外線カットフィルタを用い、簡易暗室内に図4に示す撮像素子型複雑色判別センサ（撮像素子型センサ）を構築した。光源と受光素子（デジタルビデオカメラ）の配置は、照明を45°上方の両側から照射し、

撮像素子を撮像台中央の鉛直方向に設置するJIS Z8722-4.3.1にある条件a (45 - n)に準拠する配置とした。また、正反射成分が入らないように、照明ならびに撮像素子と撮像台の距離を決定した。現実的には、暗室のサイズの制約等でこの距離をあまり大きく取れない場合や、製品の撮像エリアを大きく取るために広角レンズを使用する場合などでは、画像内の位置によってはこの(45 - n)より大きく外れることがあり、製品の形状や目的によっては、撮像系は適宜変更する必要があると考えられる。



図4 開発した撮像素子型センサ

## 3. 補正技術の開発

### 3.1 撮像素子型センサによる測色の問題点

使用するデジタルビデオカメラの構成、ならびにカメラの内部処理の概念図を図5, 6に示す<sup>3)</sup>。通常のカメラはディスプレイ表示を目的としており、最終的に人がディスプレイを見たときに自然な色になるようにCIEとは異なる表色系（日本のテレビではNTSC-RGB）が採用されている。また、カメラ内部にはディスプレイの発光特性の逆特性補正（ $\gamma$ 補正）、やknee補正などの非線形処理部、照明環境の違いや変動を緩和するためのホワイトバランス処理やマスクング処理などの色補正処理部が入っており、撮像値から色を判断する場合は全て誤差要因となる。本研究では、これらの誤差要因に対する補正技術を開発し、測色計の出力値を測定標準とす

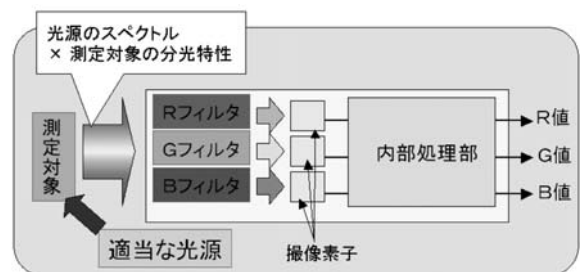


図5 デジタルビデオカメラの構成

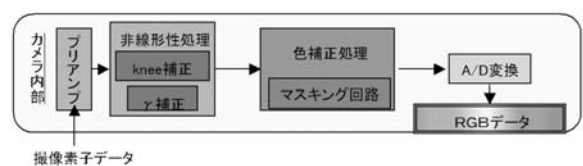


図6 カメラ内部処理の概念図

る校正を行った。

### 3.2 必要となる補正

色を計る際に基準となる測色計の内部構成を図7に示す。図5, 6に比べると、撮像素子型センサによる色判別には、大きく三つの誤差要因があることがわかる。

- (1) 照明むらや撮像素子の周辺減光特性、レンズと撮像対象の距離や角度などの撮像環境が変わることによる、撮像素子ごと（撮像後の画像の画素ごと）の撮像環境の変動
- (2) 撮像素子自身や増幅器、 $\gamma$ 補正、knee補正などにより、入射光束量と画素出力値が異なる非線形性
- (3) 照明のスペクトルやカメラの色分解フィルタ特性がCIEで定める標準光源、等色関数と異なる形状であることや、カメラ内部の色補正回路等の影響による色空間の違い

画面全体で色を判別するには(1)の、また製品の色を表色値（絶対値）として測るためには(2)、(3)の補正を行う必要がある。以下、この三つの補正方式（周辺部補正、非線形性補正、色空間補正）を開発した。

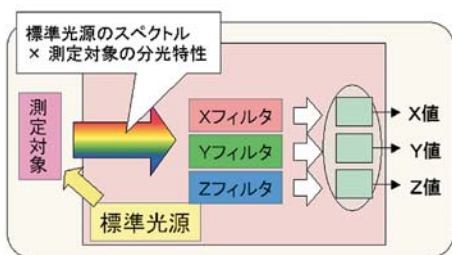


図7 測色計の内部構成

### 3.3 周辺部補正

#### 3.3.1 撮像環境の不均一性の要因

色彩照度計（ミノルタ製 CL-200）を用い、撮像台上の照度ならびに照明色分布を測ったのが図8である。場所により照度が大きく変動していることが解かる。

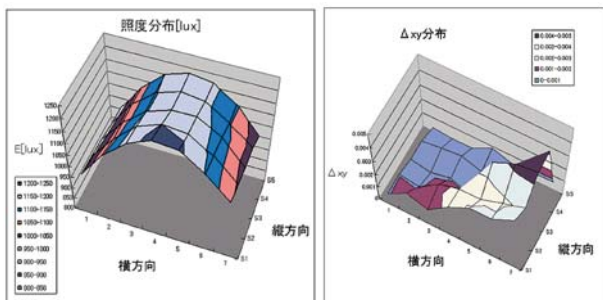


図8 撮像台上における照度・照明色分布

また、照明むら以外にも、次にあげるように複数の要因により、撮像画像の全面において撮像条件は不均一なものになる。

- (1) 撮像レンズの周辺減光
- (2) 光学的干渉縞
- (3) 暗室内における不要反射成分
- (4) 測定対象と光源・撮像素子の幾何学的配置
- (5) 撮像素子ごとの感度特性やノイズ特性のばらつき

これらの影響を均一化し、画面上の全ての点を特定の地点（参照点）における撮像環境と同一になるような補正を行う。以下、参照点  $(x_0, y_0)$  は画像上の座標  $(297, 343)$  の地点とした。

#### 3.3.2 フラットフレームを用いた周辺部補正

本研究では一様なサンプルを撮像し、撮像場所（画像内の位置）における各種撮像条件の違いを補正する手法を検討した。撮像面積が大きい場合、撮像台全面で一様な測定対象を用意することは難しいため、小面積のカラーサンプルを場所を変えて撮像し、これを合成することで仮想的な一様なサンプル画像（フラットフレーム）を作った。このフラットフレームには、撮像条件の不均一性の情報が含まれていると考えられる。

不均一性の要因の一つである3.3.1項の(4)の幾何学的配置について考えた場合、フラットフレームを作るカラーサンプルの反射特性には十分注意する必要がある。物体色の拡散反射成分は、JIS等でその計測環境が定められているが、広角レンズなどをつけたカメラでは、特に画像の周辺部でその条件より大きく外れる場合が生じる。このとき測定対象とフラットフレームに使用するサンプルで反射率の角度特性が異なると、受光素子（撮像素子）への入射光量が変わり、周辺部補正の誤差となる。ここでは、撮像対象は完全拡散面をもつと仮定し、フラットフレーム用のカラーサンプルとしてはミノルタ製の硫酸バリウム白色校正板、ならびに後述するマクベスカラーチャートを用いた。黒の基準面としては、暗室内照明を消した状態で撮像を行った（ダークフレーム）。このダークフレームの中には暗電流ノイズ情報などが含まれており、(5)の影響を緩和することができる。白色校正板のフラットフレームの輝度等高線を図9に示す。

#### 3.3.3 1次補正

二枚のフラットフレーム（ミノルタ製白色校正板より作成した白基準面とダークフレームより得られる黒基準面）を用いた補正手法を開発した。画像内の基準となる点（参照点  $(x_0, y_0)$ ）を定め、補正を行う点  $(x, y)$  と参照点における両基準面の画素値より、参照点と同一の環境で撮像したときの撮像値を推定する。参照点における白基準面、黒基準面の撮