

スペクトル画像計測とその応用

正 員 長田 典子*

非会員 真鍋 佳嗣**

非会員 井口 征士***

Spectral Image Measurement and Its Application

Noriko Nagata*, Member, Yoshitsugu Manabe**, Non-member, Seiji Inokuchi***, Non-member

Spectral imaging technique has attracted attention in the machine vision field to enhance measurement and inspection systems. This paper describes color analysis techniques using an imaging spectrograph for acquiring multispectral image in real-time. Two analysis cases are reported: one is the result of analyzing the relationship between skin color and the pigment by 2 kinds of multiple regression analysis, another is the result of analyzing the tone of the color of a coated surface with an undulating form using a power spectrum with shading compensation.

キーワード：インライン検査，肌，重回帰分析，シェーディング補正，塗装表面，イメージング分光器

Keywords：In-line inspection, human skin, Multiple Regression Analysis, shading compensation, coating surface, imaging spectrograph

1. はじめに

分光スペクトルを用いた計測技術は、測色・各種成分分析をはじめ、リモートセンシングなど各方面で幅広く応用されてきた⁽¹⁾。工業分野においても、印刷・塗装・建材などの色調検査、製品の品質評価・仕分け・成分分析、また最近では製品に対するユーザの嗜好の調査、ユーザインタフェースの向上の観点からも、分光技術に対する期待が高まっている。

その中で従来の2次元画像情報にスペクトル情報を加えた3次元のスペクトル画像 (x, y, λ) ⁽²⁾が注目されている。スペクトル画像は従来のRGBカラー画像に比較して単に色分解能が向上するだけでなく、質感・成分・内部構造の解析など、RGB画像では得られない情報の抽出や表現にも有効であると期待できる。

スペクトル画像の取得方法としては従来、分光輝度計を

2次元的にスキャンさせる方法⁽³⁾、あるいは特定波長域を透過するフィルタとモノクロカメラを組み合わせたマルチバンドカメラを用いる方式⁽⁴⁾が一般的であった。しかしそれぞれの方式で、計測時間、波長分解能、波長に対する汎用性、価格などの面で弱点があり、実環境に適用するには難しいとされてきた。

最近になって、スペクトル画像を取得する様々な方式の機器が工業用にも開発されてきた⁽⁵⁾⁽⁶⁾。この中でイメージング分光器⁽⁵⁾は空間1ラインの光のスペクトル情報をビデオレートで取得することを可能としており、高速・低価格なスペクトル画像計測装置が構成できると期待される。

著者らは以前よりスペクトル画像に関する各種研究を行ってきた⁽³⁾⁽⁷⁾。本論文ではスペクトル画像計測を実環境へ適用する観点から、イメージング分光器を用いたスペクトル画像計測装置の特徴及び実環境への適用可能性についてまとめ、次に実際の応用事例について報告する。1つは人の肌のスペクトル画像を用いて、肌の色とそれを構成する色素との関係を解析した事例であり、他の1つは建材の塗装量のインライン色調検査に適用した事例である。

2. イメージング分光器を応用したスペクトル画像計測装置の特徴

〈2・1〉 イメージング分光器の概要 イメージング分光器は図1に示すように、レンズとモノクロCCDカメラの間にCマウントで取り付けるタイプの分光器である。光学

* 関西学院大学理工学部情報科学科
〒669-1337 兵庫県三田市学園2-1
School of Science and Technology, Kwansei Gakuin Univ.
2-1 Gakuen, Sanda, Hyogo 669-1337

** 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科
〒630-0101 奈良県生駒市高山町8916-5
Graduate School of Information Science Image Processing
Laboratory, Nara Institute of Science and Technology
8916-5, Takayama, Ikoma, Nara 630-0101

*** 広島国際大学人間環境学部
〒565-0456 広島県黒瀬町学園台555-36
Faculty of Human and Social Environment, Hiroshima
International University
555-36 Gakuendai, Kurose-cho, Hiroshima 565-0456

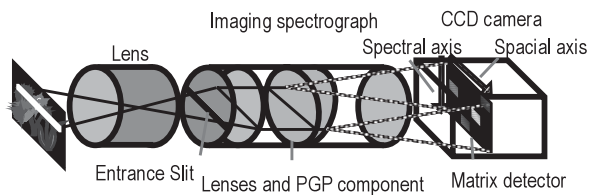


図1 イメージング分光器の構成

Fig. 1. Construction of an imaging spectrograph.

構造は体積型ホログラフィック伝導回折格子を基礎としており、プリズム・回折格子・プリズム（PGPエレメント）の構造によってスペクトルのリニアリティを実現している。

レンズ取り付け側面には図のようなスリットが切っており、入力光が1ラインに制限されている。入力光はPGPエレメントによりスリットと直交方向に分光されるため、CCD面に結像される画像の縦軸と横軸がそれぞれ、波長軸と空間軸のいずれかとなり、各スペクトルの強度成分は波長位置・空間位置に対応する画素の輝度として得られる。実際には、得られる輝度には照明光のスペクトル分布を含むため、これをスペクトル反射率に変換するために白色校正を施す。すなわち標準白色板を用いて計った照明光のスペクトル画像を W ，暗電流分のスペクトル画像を B ，計測対象のスペクトル画像を P とすると、スペクトル反射率は $(P-B)/(W-B)$ として求められる。

従って画像の波長軸方向の1ラインから、空間1点のスペクトル分布を得て、ここからRGB, $L^*a^*b^*$, HVSといったカラー情報を再構成することができる。また、計測対象に対してスリットを空間軸に対して垂直方向に走査することによって、2次元平面のスペクトル情報を取得できるので、スペクトル画像を構成したり、エリア分光検査を行ったりすることができる。

〈2・2〉 スペクトル画像計測装置としての特徴 本イメージング分光器を用いたスペクトル画像計測装置の長所及び短所をまとめると以下の通りとなる。

(1) 長所

- 計測時間：CCD 1ラインの画素数分のスペクトル情報をビデオレートで取得できるので従来方式と比べ高速である。
- 波長分解能：分光器の測定波長域をCCD 1ラインの画素数で割った値が波長分解能になる。実際には分光器のスペック上の波長分解能(5nm)が下限となるが、カラーカメラに比較して数倍の波長分解能が得られる⁽⁸⁾。
- 価格：Cマウントのため従来の工業用画像処理H/Wがそのまま使え、かつ、濃淡画像として得られるため画像処理S/Wも流用でき、安価である。
- 照明光変化：スペクトルの校正が行えるため、照明光のスペクトルが変化する環境下でも色の絶対値計測が可能である。
- 成分分析：スペクトル分布が得られるため、色の変

化だけでなく成分の変化を計ることができる。

(2) 短所

- 空間分解能：スリット方向については視野をCCD画素数で割った値となり光学系の設定により自由に変えられるが、スリット直交方向についてはスリット幅により下限が規定される。さらにインラインに応用する場合、ライン移動分が計測範囲に加わるため、同じシャッタースピードの条件下ではラインスピードが速いほど空間分解能が低くなる欠点がある。
- 照明：1点の光をCCD 1ラインに分光するため、光量低下が大きい。空間分解能をあげるためスリット幅を小さくするとさらに光量確保が厳しくなる。また光源のスペクトル分布の偏りがあると、波長によってダイナミックレンジに差が生じる。

3. 日焼けによる肌のスペクトル変化の解析

スペクトル画像計測装置の適用事例として、日焼けによって変化する肌のスペクトル分布から、肌に含まれる色素成分量を推定した例について述べる。

〈3・1〉 皮膚の構造と色素 皮膚は表の表皮と裏の真皮の2枚の組織からなる。肌の色を構成する色素は主に、皮膚の固有色、血液の透過色、皮膚色素の3種類とされている。

皮膚の固有色とは、表皮の角質層に含まれるカロチンの色であり成分量は一定である。

これに対し血液の透過色とは、真皮の毛細血管内に存在するヘモグロビンの色である。ヘモグロビンの量は、体温調節、興奮や恐怖などの感情変化、あるいは飲酒や入浴によってもたらされる血流量の変化に伴って増減する。また炎症時にも炎症部位にヘモグロビンが集まるため、肌が赤く変化する。

さらに皮膚色素とは、表皮の基底層内に存在するメラニンのことを指す。メラニンは紫外線の照射により作られる褐色の色素であり、大量のメラニンにより皮膚が黒く変色するのが日焼けである。1度作られたメラニンは皮膚の新陳代謝とともに体外に排出され、肌は元の色に戻っていく。

このように肌の色は主にカロチン、ヘモグロビン、メラニンの3色素から構成されている。カロチンの成分量は一定で、その量はわずかであるので、肌の色は主にヘモグロビンとメラニンの成分量で決定される。図2にカロチン、ヘモグロビン、メラニンの吸収スペクトルを示す。

〈3・2〉 肌の計測 図3にシステムの構成を示す⁽⁹⁾。ここではシーン全体のスペクトル分布を計測するため、イメージング分光器をスライドステージに乗せ、ステージを動かしながら連続的に計測を行う。データは縦160画素×横120画素で、1画面4秒で取得する。

計測対象としては、日焼けによる色変化を扱う。男子大学生1名を被験者として、8月の快晴の日の9:30-16:00に30分おきに計測を行った。計測部位は腕とした。また日焼けした肌が元の肌に戻っていく様子を調べるため、実験日

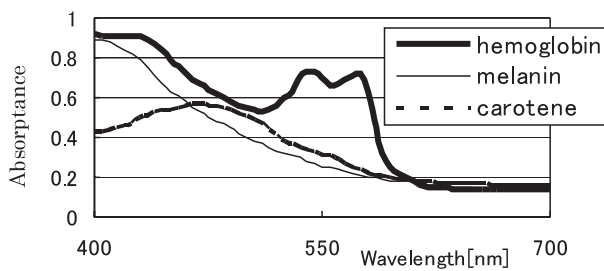


図2 肌の色素の吸収スペクトル

Fig. 2. Absorption spectrum of each pigment of human skin.

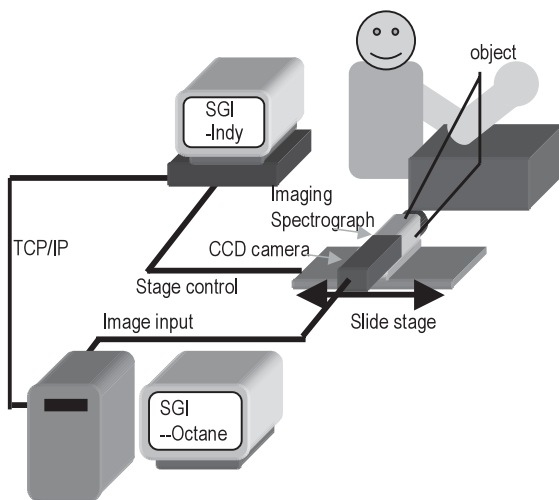


図3 計測システムの概要

Fig. 3. Configuration of the measurement system.



(a) Measured spectral image. (b) Extracted skin area.

図4 肌領域の抽出

Fig. 4. Extraction of skin area.

以降も1週間に1度の頻度で計測を続けた。

実験の過程において、前章で述べたようなヘモグロビンとメラニンの増減が観察されることが予想される。

〈3・3〉 解析手法 本論文では以下に述べる2種類の重回帰分析を用いて、日焼けによる肌の色変化の定量的な解析を行う⁽¹⁰⁾。

(1) 方法1：非負拘束条件付き重回帰分析 一般の重回帰分析は、原因である「説明変数」によって、結果である「目的変数」を表現する手法である。N次元の目的変数

yと、M個のN次元の説明変数 X_i ($i=1,2,\dots,M$)があるとき、目的変数に対する説明変数の重みを表すM次元のベクトルaが回帰係数であり次式で表される。

$$y = Xa + \varepsilon \quad (1)$$

ここで ε は誤差項を表す。重回帰分析は式(1)において回帰係数aを求める手法である。

ここではヘモグロビン、メラニン、カロチンのスペクトル分布を説明変数に、肌のスペクトル分布を目的変数とし、各色素が肌の色に対してどのような重みを持っているかを解析する。そのため回帰係数は各色素の成分量を表すことになり、負の値はとらない。従って、本研究では、回帰係数aを正の範囲に拘束した非負拘束条件付き重回帰分析を用いる⁽¹¹⁾。

(2) 方法2：差分データに対する重回帰分析 重回帰分析は目的変数に対する説明変数の重みを相対的に求める手法である。したがってある説明変数の特徴が支配的な時、他の説明変数の重みが抑えられてしまうという欠点がある。

これを補うため、差分データに対して重回帰分析を行うことを提案する。肌の色変化前のスペクトル分布を基準データとして、色変化後の肌の変化量すなわち差分データを目的変数として採用する。これにより、回帰係数として肌の色変化に寄与した色素の重みが求められる。求められた重みにあらかじめ求めておいた基準データの成分量を加えることで、知りたい肌データの色素の成分量を知ることができる。

〈3・4〉 解析結果

(1) 前処理 まず前処理として、計測された腕のスペクトル画像から肌領域を抽出する。スペクトル画像の各画素の中から、あらかじめ求めておいた肌の平均的なスペクトルとの相関が高い画素を肌領域とする。計測されたスペクトル画像と抽出された肌領域を図4に示す。約4000画素が肌領域として抽出されている。

肌領域の画素それぞれに重回帰分析を行い、得られる回帰係数を平均したものを結果とする。なお重回帰分析を行う際には、あらかじめスペクトルデータに自然対数変換を施し線形結合の形に変換する。この理由は、肌のスペクトル分布は各色素のスペクトルの積算で与えられるのに対し、重回帰分析は線形結合の形で解析を行う手法だからである。

(2) 結果1：非負拘束条件付き重回帰分析 非負拘束条件付き重回帰分析によって得られた各色素の回帰係数の平均値を図5に示す。図では実験開始からその日の夜にかけてヘモグロビンの係数が上昇すると同時にメラニンの係数が減少している。しかし日焼け開始からメラニンの減少が起こることは考えにくく、これでは肌の色変化を成分量の変化として適切に表現できていないといえない。

(3) 結果2：差分データに対する重回帰分析 図6が基準データとして用いた日焼け前のスペクトル分布と、炎症が最も顕著であった実験日夜のスペクトル分布、および

それらの差分データである。

図7に重回帰分析により求められた回帰係数の平均値を示す。ここではメラニンも日焼け開始から徐々に上昇し、ピーク後、徐々に減少していく様子がわかる。

〈3・5〉 考察 肌の色変化による含有色素の成分量の推移を、ヘモグロビン、メラニン、カロチンの3色素の

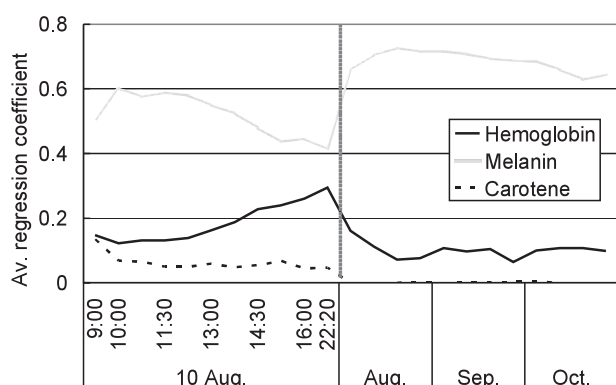


図5 非負拘束条件付き重回帰分析結果

Fig. 5. Result of multiple regression analysis with non-negative restraint conditions.

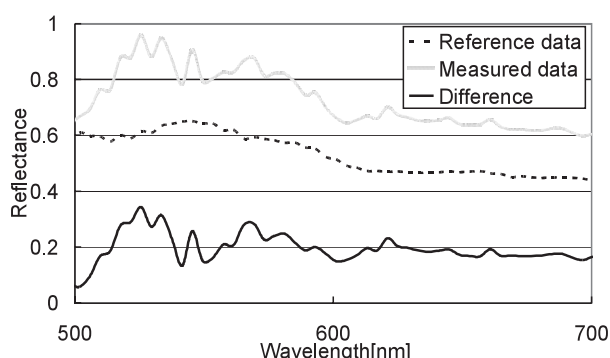


図6 基準データと計測データの差分

Fig. 6. Difference between reference data and measured data.

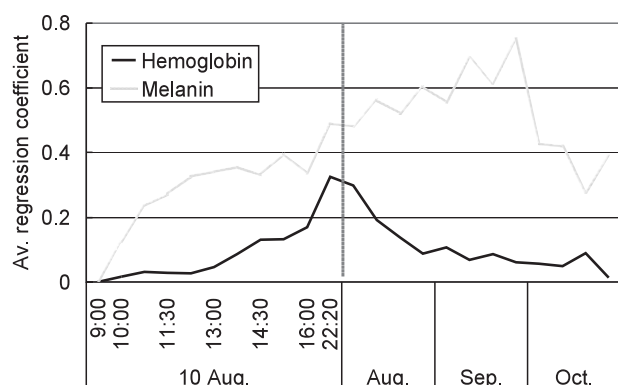


図7 差分データに対する重回帰分析結果

Fig. 7. Result of multiple regression analysis for the difference.

ペクトル分布を用いて解析した。方法1では、日焼け直後のメラニンが減少しており、適切な肌の色変化の表現となっていない。この原因は重回帰分析が重みを相対的に求めることに起因していると考えられる。一方、方法2では、実際の日焼け現象に即した肌の色素成分の時間変化が表現されている。ただしデータの振幅が大きくノイズの影響を受けやすくなっている点が課題として残される。

このようにスペクトル画像計測では、RGB画像と比較してスペクトルの変化を直接捉えられるため、含有成分量の推定を精度高く行うことができる。また分光輝度計を2次元的にスキャンする方式に比べ、簡便かつ高速にデータを得ることができる。肌の色変化解析は、医療・コスメティック・福祉分野などさまざまな分野での応用が期待できる。今後は肌のモデルの精度向上が望まれる。また飲酒時や入浴時の肌の色変化などについても解析を行ってきたい。

4. 建材塗装表面のインライン色調検査

別の適用事例として、イメージング分光器の実時間性を利用した、建材の表面の色や塗装状態を検査するインライン色調検査について述べる。建材の色調検査は、微妙な色

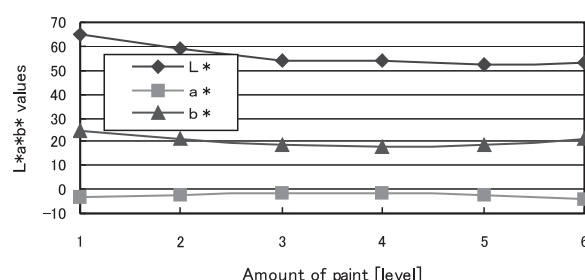


図8 塗装色と塗料量の関係

Fig. 8. Relationship between amount of paint and color.

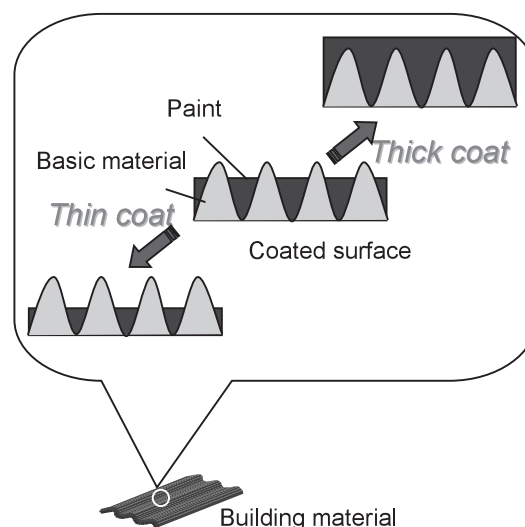


図9 塗装表面のモデル

Fig. 9. Model of coated surface.

あいの検出が求められる一方で、模様が存在したり、3次元的な凹凸を伴う場合が多く困難な検査である。ここでは色調情報として広く用いられる CIEL*a*b*表色系において、3次元的な凹凸をキャンセルするシェーディング補正を施して色差を安定して検出できる方法を示す。

〈4・1〉 塗装表面のモデル 外壁材・床材といった建材は、基材と呼ばれる内部構造およびその表面に施される数層の塗装からなる。塗装は単に色付けのみでなく、雨・寒さといった気候からボードを守るためにも重要な役割を持つ。ここで扱う色調検査は、塗装された塗料の量の良・不良を色差を基に多段階判定することを目的としている。

図8に表面塗装色と塗料量の関係を示す。ここで表面塗装色は CIEL*a*b*表色系で表されている。図より各色指標が塗料量の変化に対して極値を持って変化していることがわかる。これは図9に示すように、基材表面の微細な凹凸に対して塗装が入り込んで、塗装表面色が基材色と塗装色の面積比によって変化しているためと考えられる。

〈4・2〉 L*a*b*値のシェーディング補正方法 今回扱う検査対象は、スレート（瓦）の一種で、表面になだらかな大きいうねりを持つボードである。従って色調のシェーディング補正が必要となる。以下 L*a*b*値のシェーディング補正方法を述べる。

L*a*b*値はまず三刺激値X, Y, Zを下記の式から求める。

$$\left. \begin{aligned} X &= k \sum R(\lambda) P(\lambda) x(\lambda) \\ Y &= k \sum R(\lambda) P(\lambda) y(\lambda) \\ Z &= k \sum R(\lambda) P(\lambda) z(\lambda) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 $R(\lambda)$ は物体のスペクトル反射率、 $P(\lambda)$ は照明光のスペクトル分布、 $x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$ は等色関数であり、

$$k = 100 / (\sum P(\lambda) y(\lambda)) \dots\dots\dots(3)$$

である。

次に、XYZ から CIEL*A*B*色空間へと次の式を用いて変換する。

$$\left. \begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \\ a^* &= 500 \left\{ (X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3} \right\} \\ b^* &= 500 \left\{ (Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

3次元的な凹凸によるシェーディングは、照明光の入射角の変化による反射光の低下であり、拡散反射成分であるため波長依存がないと仮定できる。従って、反射率 $R(\lambda)$ を持つ表面において、凹凸によるシェーディングを受けた点の反射率 $R_u(\lambda)$ は

$$R_u(\lambda) = eR(\lambda) \dots\dots\dots(5)$$

ただし e はシェーディング係数

と表すことができる。このときの三刺激値 X_u, Y_u, Z_u も同様に eX, eY, eZ となるので、補正後の L^*_c, a^*_c, b^*_c はシェーディングを受けた点の L^*_u, a^*_u, b^*_u 値を次の式で補正すればよいことになる。

$$\left. \begin{aligned} L^*_c &= e^{-1/3}(L^*_u + 16) - 16 \\ a^*_c &= e^{-1/3}a^*_u \\ b^*_c &= e^{-1/3}b^*_u \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

〈4・3〉 基本性能確認実験 前節の補正処理の効果を調べるため、完全拡散面に近い表面状態を持つカラーチップを用いた確認実験を行った。対象物であるカラーチップを置き、その真上にイメージング分光器およびCCDカメラを設置する。照明はハロゲン光源をライン状に45°斜方照射し、カラーチップ上の1ラインを静止状態で撮像し、パソコンで処理を行う。

拡散面を持つ赤、緑、青3種類のカラーチップR, G, Bを、0度（水平）、15度、30度に傾けた時の反射光を受光する。標準白色板を同じく0、15、30度に傾けたときの反射光からあらかじめYを計算し、(6)式によりそれぞれの角度におけるシェーディング係数 e_{15}, e_{30} を求めておく。この係数により補正を行った L^*_c, a^*_c, b^*_c を計算し、0度における L^*_a, b^*_a との色差 ΔE を求める。

図10にこの時の ΔE を示す。ここで例えばR15とはカラーチップRを15度傾けた時の色差 ΔE を指す。また図11にスペクトル補正の例として標準白色板によって e_{30} を求め、これを緑のスペクトルに適用した例を示す。図10でカラーチップRの補正值が比較的悪い値を取るののは、使用したカラーチップの明度が他より大きい値であったため、誤差の影響を強く受けたものと考えられる。また短波長成分の少ないハロゲン光源を使用しているため、カラーチップBの ΔE は比較的大きくなる。しかしいずれの値も $\Delta E < 0.59$ を満たしており、基本性能が満足されることが確認された。

〈4・4〉 建材のインライン色調検査 次に実際の色調検査システムにおいて、コンベアを流れる建材を用いて実験を行った。システムの構成を図12に示す。本システムは下面検査用であり、コンベア上を流れる検査対象物に対し

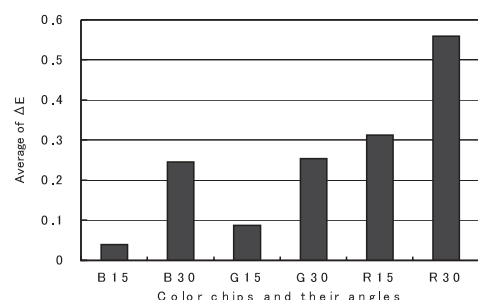


図10 ΔEの比較
Fig. 10. Comparison of ΔE.

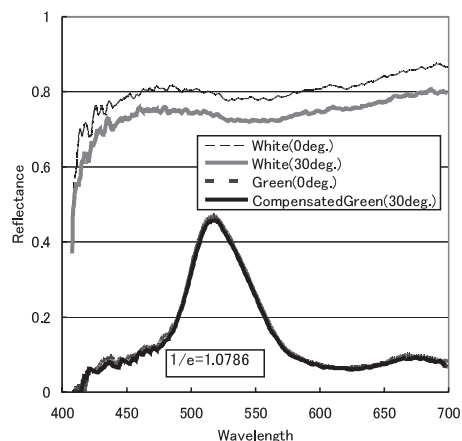


図 11 スペクトル補正の例

Fig. 11. An example of shading compensation.

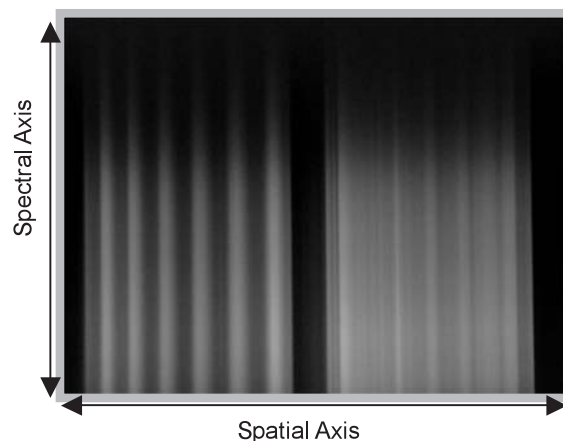


図 13 スペクトル画像の例

Fig. 13. An example of spectral Image.

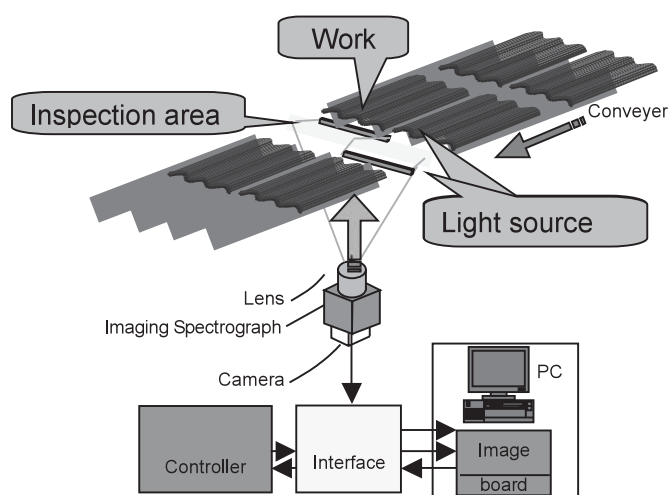


図 12 色調検査システムの構成

Fig. 12. Configuration of the color inspection system.

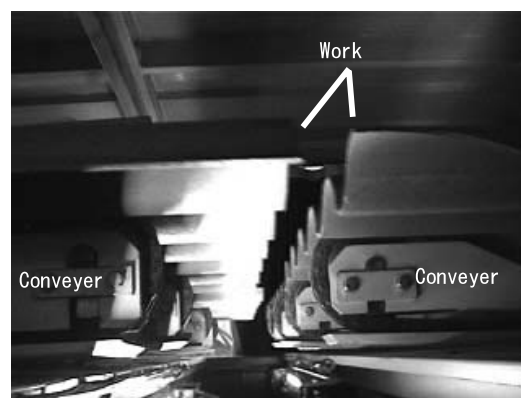


図 14 検査の様子（コンベアの間隙部分。強い照明で明るく見える部分が検査エリア）

Fig. 14. A scene of inspection.

て、コンベア乗り換え部分の間隙を通して撮像する。すなわちコンベアの間隙に分光器のスリットが平行になる方向で配置された CCD カメラによって、コンベア間隙の真下から垂直上向きに撮像する構成となっている。照明は同じくハロゲン光源をライン状に 45° から斜方照射している。

検査装置の機能について説明する。本装置は校正機能・教示機能・検査機能の 3 つの機能を持つ。

(1) 校正機能 まず $\langle 2 \cdot 1 \rangle$ で述べた白色校正を行う。標準白色板を検査エリアに置き、スペクトル画像 W を取得する。校正作業は定期的に、もしくは光源を変えた場合に実施する。これにより光源スペクトルの変化をキャンセルすることができる。

(2) 教示機能 一様に塗装された良品サンプルと、人工的に塗装量を変化させて作った塗装欠陥サンプルをコンベアに流し、データを取得する。良品サンプルデータは同時にシェーディング補正用の形状データとなる。実際に

は建材の凹凸の数や凹凸間の寸法などの概略形状データをあらかじめ数値入力させ、シェーディング係数が 1 となる形状部分と画像（輝度が高くなる部分）を対応させる。次に検査対象の各位置におけるシェーディング係数を計算する。最終的な塗装量の判定ロジックは、Lab 値およびその面積値の上限/下限のしきい値設定により与える。

(3) 検査機能 検査対象の画像が撮像され、位置検出後にシェーディング補正が施され、Lab 値が算出される。検査対象全面の Lab マップに対して判定ロジックを適用し最終判定が出力される。

本システムは実際の塗装ラインに適用されている。図 13 にスペクトル画像の例、図 14 に検査の様子を示す。検査エリアは幅約 2m であり、2 枚のボードが並んで流れてくるところを 1 台のカメラで同時に検査する。従って幅方向空間分解能は $2\text{m}/640 \text{ 画素} \approx 3\text{mm}/\text{pixel}$ となった。またコンベア進行方向の空間分解能は、分光器のスリットの開口幅 10mm にコンベア速度約 9m/min によって生じる撮像時間中の移動量 5mm を足したものとなった。この $3\text{mm} \times 15\text{mm}$ の領域に対して 1 つの Lab 値がもとめられることになる。

このラインの場合、最終塗装量判定は良・警告（少）・欠陥（過少）の3段階であり、これは図8における6段階の塗装量においてそれぞれ3以上・2・1に相当する。最小で3mm幅の塗装量の異なる領域（ $5 < \Delta E$ ）を安定的に見つけることができた。これは検査対象の3次元形状のバリエーション、コンベアによるバタツキ、あるいは光源の経時変化など実ラインにおける条件のもとでは満足できる結果と考えられる。

なお処理時間は、画像入力から平均化処理、シェーディング補正後の各点の $L^*a^*b^*$ 算出、局所的な判別処理までを約0.2秒で行っている。塗装色ごとの判定しきい値設定や判定確認画面などのGUIも装備している。

以上のように、スペクトル計測をリアルタイムに行うことによって、必要とされる色差分解能と空間分解能を両立させることができた。またシェーディングのキャンセル及び照明光変化のキャンセルを可能とし、実用的な装置を実現することができた。

5. むすび

イメージング分光器によるスペクトル画像計測手法と、その適用事例について述べた。肌の色変化の解析では、色変化に関する含有色素の成分量の推移を、スペクトル差分データに対する重回帰分析によって適切に表現できることを示した。また建材塗装表面の色調検査では、 $L^*a^*b^*$ 値に対するシェーディング補正により、3次元形状変化の影響を排除し、インラインで塗装量の検査ができることを述べた。今後はさらに、照明方法などの改善により高精度の色調計測を実現したいと考えている。

謝辞 なお本研究は著者らが三菱電機（株）先端技術総合研究所および大阪大学大学院基礎工学研究所在籍中に行ったものである。関係各位に感謝いたします。特に検査装置の設計・現場導入において全般にわたりご指導いただきました元積水エンジニアリング（株）真弓聡氏に厚くお礼申し上げます。また共に装置開発にあたった三菱電機エンジニアリング（株）竹島陽一氏、須永耕平氏、実験と解析を行った元大阪大学大学院生中桐豊史君に感謝します。

（平成15年7月17日受付、平成16年1月5日再受付）

文 献

- (1) Special Issue on "Global Environmental Observation with Remote Sensing", *T. IEE Japan*, Vol.118-C, No.11 (1998-11) (in Japanese)
特集:「リモートセンシングによる地球環境観測」, 電学論C, 118, 11 (1998-11)
- (2) N. Tsumura, H. Haneishi, and Y. Miyake: "Independent component analysis of skin color image", *J. of Optical Soc. of America A*, Vol.16, No.9, pp. 2169-2176 (1999)
- (3) 眞鍋佳嗣・佐藤宏介・井口征士:「物体認識のためのスペクトル画像による材質の判別」, 信学論誌, J79-DII, 1, pp.36-44 (1996-1)

- (4) S. Tominaga and E. Takahashi: "Estimation of Spectral Information by Means of a Six-Color Camera", *T. IEICE*, Vol.J82-D-II, No.7, pp.1180-1189 (1999-7) (in Japanese)
富永昌治・高橋悦史:「6色カメラによる分光情報の推定」, 信学論誌(D-II), J82-D-II, 7, pp.1180-1189 (1999-7)
- (5) Specim, <http://www.specim.fi/>
- (6) Multi-spectral cameras: <http://www.redlake.com/spectral/index.html>
- (7) 中桐豊史・眞鍋佳嗣・野川裕記・辰巳治之・佐藤宏介・井口征士:「独立成分分析による細胞画像解析」, 画像の認識・理解シンポジウム講演論文集 II, pp.349-354 (2000)
- (8) T. S. Hyvarinen, E. Herrala, and A. Dall'Ava: "Direct sight imaging spectrograph: a unique add-in component brings spectral imaging to industrial applications", *SPIE Proc. Digital Solid State Cameras: Designs and Appl.*, Vol.3302, pp.165-175 (1998)
- (9) H. Kubota, N. Nagata, Y. Manabe, and S. Inokuchi: "Spectral Image Using Imaging Spectrometer", *Proc. 14th ACCV2000*, Vol.1, pp. 252-257 (2000)
- (10) P. H. Andersen: "Reflectance spectroscopic analysis of selected experimental dermatological models with emphasis on cutaneous vascular reactions", *Skin Research and Technology*, Vol.3, No.1, pp. 8-15 (1997)
- (11) D. J. Leggett: "Numerical Analysis of Multicomponent Spectra", *Analytical Chemistry*, Vol.49, pp.276-281 (1977)

長 田 典 子



（正員）1983年京都大学理学部数学系卒業。同年三菱電機（株）入社。産業システム研究所などにおいて、色彩情報処理、感性情報処理の計測システムへの応用に関する研究に従事。1996年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。2003年より関西学院大学理工学部情報科学科助教授。博士(工学)。1993年電気学会論文発表賞, 1994年日本映像処理研究会特別賞受賞。情報処理学会, 電子情報通信学会, IEEEなど各会員。

眞 鍋 佳 嗣



（非会員）1995年3月大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同大学基礎工学部助手を経て1999年4月奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。2001年ヨエンスー大学客員研究員。カラー画像処理, 画像計測などの研究に従事。博士(工学)。電子情報通信学会, 情報処理学会, IEEEなど各会員。

井 口 征 士



（非会員）1962年大阪大学工学部電気工学科卒業。64年修士課程卒業。1965年基礎工学部助手, 69年助教授, 84年教授(大学院基礎工学研究科システム人間系)。2003年広島国際大学人間環境学部教授。97年よりイメージ情報科学研究所関西研究センター所長兼務。パターン計測, 三次元画像計測, 感性情報の研究に従事。著書「三次元画像計測」「感性情報処理」。

電子情報通信学会, 情報処理学会, 計測自動制御学会, IEEEなど各会員。