研究論文

匠の技を継承し発展させる技能伝承支援システムの開発（第２報）

五十嵐　晃[*]　今泉　祥子[*]　本多　章作[**]　中部　昇[***]　橋詰　史則[****]

Development of Technical Skill Succession Support System

IKARASHI Akira[*]，IMAIZUMI Shoko[*]，HONDA Shosaku[**]，
NAKABE Noboru[***]and HASHIZUME Fuminori[****]

抄　　録

製造業において検査作業は，未だ人手に頼るところも大きく，特に，製品の色彩検査の効率化は現在大きな課題の１つとなっている。最近の製品には，小さい範囲でそれぞれ複数の色が用いられることも多く，決められた範囲の平均値しか測定できない従来の測定器では，限界があった。また，非常に小さい製品も同様に，測定器による測色は非常に難しい。そこで，本研究では，対象となる製品をデジタルカメラにより撮影し，製品の色彩をモニタに忠実に再現し，さらに，モニタ上で選択した任意の範囲（最小単位は１画素）の色彩データを表示可能とする，カメラ撮影型測色システムを構築した。それをもって，熟練作業者による製品色彩の目視検査技能を継承するための支援システムを開発したので報告する。

1.　緒　　言

製造業における様々な工程の中で，熟練作業者の持つ技能を後継者へ継承することが，企業にとって１つの大きな課題となっている。これを受けて，平成 20 年度の研究[1)]では，作業現場での熟練作業者の技能を短期間かつ高度に継承することを目的に，作業計測システムおよび画像評価システムから構成される技能伝承支援システムを開発し，研磨作業の技能伝承支援システムの基礎技術を確立した。

本年度は，色彩検査に焦点をあて，熟練作業者による製品色彩の目視検査技能を継承するための支援システムを開発した。具体的には，製品の色彩を普遍的な数値データとして測定および記録するカメラ撮影型測色システムを構築し，熟練作業者による目視判定で良品にあたる範囲，あるいは，不良品にあたる範囲を決定することにより，色彩検査工程における技能伝承支援システムの基礎を確立した。

2.　分光測色計を用いた測定

これまで，測色に関する県内企業からの依頼に対して，図１に示すような分光測色計（以下，

図１　分光測色計

*　　研究開発センター
**　　下越技術支援センター
***　県央技術支援センター
****　素材応用技術支援センター

測色計）を用いて対応してきた。しかしながら，測色計による測定では，被測定物に対して，以下の条件が必要となる。

・測定面に対して平面であること
・測定径以上の面積を有すること
・照射光が透過しないこと

以上に加えて，測定面に複数の色が存在する場合，測定値はそれらの色の平均値となって出力される点も課題となっている。

被測定面積が測定径以下の場合については，図 2 (a) の通常のターゲットマスクに対して，同図 (b) に示すような黒色加工を施し，通常の開口径より小さくしている。あるいは，図 3 に示すように被測定面の大きさに合わせた黒色マスクを作成する。ただし，これらの方法は，

(a)　通常マスク

(b)　黒色加工マスク

図 2　ターゲットマスク

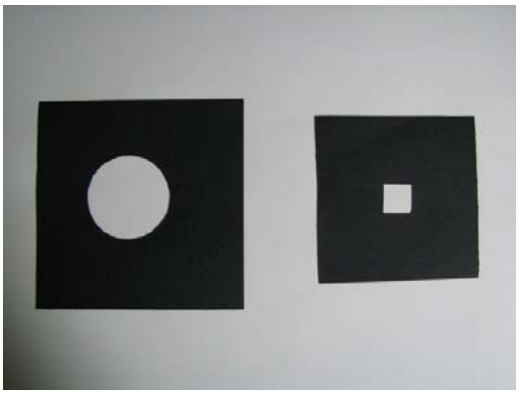

図 3　被測定面に合わせた黒色マスク

測定器の開口径を変更しているため，絶対評価ではなく，相対評価としての測定となることに注意する必要がある。

また，照射光が被測定物を透過する場合，図 4 に示すように，サンプルの下に拡散白色板を用意する。これにより，サンプルを透過した光が白色板で反射して，再度サンプルを透過して受光されるため，より見た目に近い測色が可能となる。

上述のような技術により，いくつかの課題については対応可能となった。しかしながら，測

図 4　透明な測定対象のための白色板

色計による測定は，微妙な色むらを判定できないこと，専門的知識が必要なことなど，現場で用いるには実用性に欠けるという大きな課題が残った。そこで，本研究では，被測定物をデジタルカメラで撮影し，写真をモニタ上で表示した際に実物と同じ色を正確に再現することが可能な測色システムを開発した。

3.　カメラ撮影型測色システムの開発

3.1　システムの概要

製造業における製品の色彩検査では，測色計による測色が普及している一方，測色計が利用できない立体形状や不均一な色彩の製品では，一般に色見本による目視検査が行われている。この場合，判断は作業者の熟練した感覚に頼っている現状がある。また，独特な質感や不均一な色彩パターンを持つ製品では，色見本に製品の標準片を使用する場合があり，その選定にも熟練作業者の目視判断に頼ることが多い。

色見本と製品色彩を測色して，熟練作業者の目視判断を数値化することにより，それを作業者共通の判断基準としてその技能を訓練継承することができる。本研究では，目視判断の数値化ツールとして，製品の不均一な色彩分布を測定可能なカメラ撮影型測色システムを開発した。

カメラ撮影型測色システムの外観を図 5 および図 6 に，画像処理の流れを図 7 に示す。試料台に置かれた被写体は，高演色蛍光灯（D65）により反射板（ポリスチレン板）を介して間接的に照明される。被写体画像をデジタルカメラで撮影してパソコンに取り込んだ後，後述する撮影画像の色校正から得られた色補正関数により，撮影画像の RGB 値を補正して測色値（CIE XYZ）の分布データを求める。測色値の分布画像はマルチメディアの標準色空間である sRGB に変換した後に表示色が校正されたカラーマッチングモニタによって実際の見た目と変わらない正確な色彩で表示することができる。

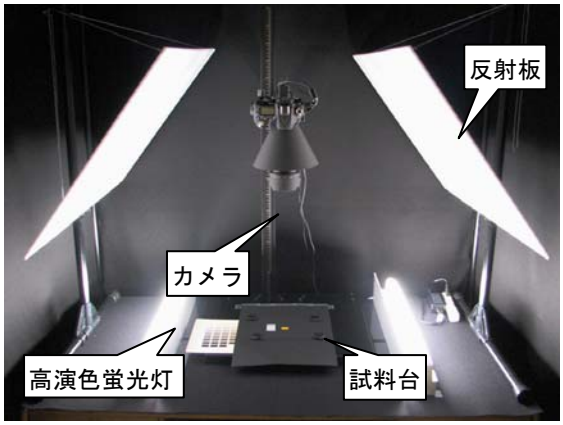

図 5　カメラ撮影型測色システム（撮影装置）

図 6　カメラ撮影型測色システム（モニタ）

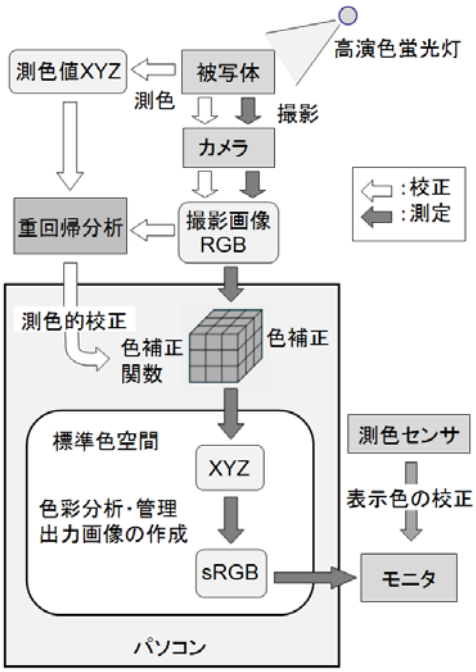

図 7　画像処理の流れ

3.2　撮影画像の色校正

撮影画像の色校正には重回帰分析法[2)]を用いた。重回帰分析法では，多数の色見本の撮影画像とそれらに対応する測色値 XYZ のデータセットによって，撮影画像を測色値分布に変換する色補正関数が導出される。本研究では，色見本に図 8 に示すマンセル色票（JIS-Z8721 準拠 JIS 標準色票，日本規格協会）を用いた。D65 光源下におけるマンセル色票の xy 色度分布を図 9 に示す。色補正関数が適用される色域は色見本の色域によって決まるが，マンセル色票の色度分布は標準色空間である sRGB の色域を広くカバーしており，様々な色彩に適用が可能である。重回帰分析にはマンセル色票，全 1813 色の内 sRGB 色域内にある 1687 色の色票を用いた。この色補正関数によって高演色蛍光灯（D65）照明の下で撮影された画像データが D65 標準光源下の測色値 XYZ に変換される。

図 8　JIS 標準色票

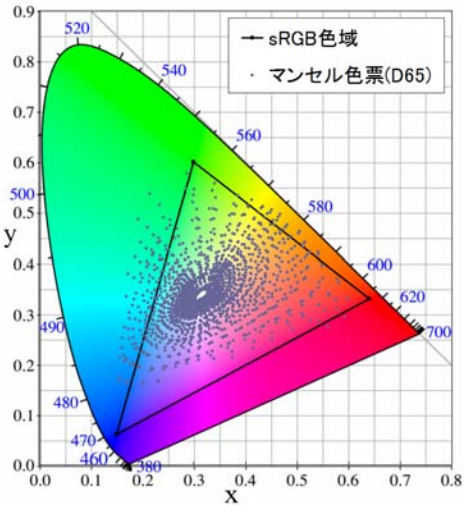

図 9　マンセル色票の xy 色度図

3.3　校正精度の向上

色補正関数は多項式近似であるため，マンセル色票の実測色値と色補正関数により得られた測色値の間には誤差が生じる。3 次多項式で近似した場合について補正誤差の平均値を表 1 に示す。補正誤差は実測色値と補正測色値を均等色空間である L*a*b*に変換してそれらの色差⊿E*ab で評価した。単一の色補正関数を sRGB 色空間全域に適用すると部分的に大きな誤差を生ずるため，色空間を領域分割して領域毎に色補正関数を導出した場合についても計算し，比較した。全色空間で単一の色補正関数を導出した場合と比較して，色空間を 216 分割してそれぞれ色補正関数を導出した場合の方が補正誤差が減少する結果となった。

表 1　補正誤差の評価

	色空間分割数	平均色差⊿E*ab
補正前	ー	6.55
補正後	非分割	1.70
	27 分割	0.78
	216 分割	0.47

また，照明の明るさは，経年劣化や周囲温度の変化，照明の配置などによって変化して測定誤差の要因となる。照明の明るさの変化を補正するために，測色値が既知の色票を撮影して測色値を校正することで明るさのばらつきを補正することができた。

これらの校正方法によって，測定精度を向上することができた。ただし，三原色カメラによる測色的校正の制約として，測定対象は色見本のマンセル色票に類似した反射スペクトルを持つ被写体に限定される。しかし，マンセル色票による色校正で補正誤差が大きくなる被写体でも，対象製品の色を規定している材料で色見本

を作成して同様の校正を実施すれば，このシステムによる測色は可能である。

4. 結　　言

（1）熟練作業者の目視判断の数値化ツールとして，製品の不均一な色彩分布をそのまま測定することが可能なカメラ撮影型測色システムを開発し，色彩検査工程における技能伝承支援システムの基礎を確立した。

（2）マンセル色票の撮影画像に重回帰分析を用いることにより，撮影画像の色校正を可能とした。

（3）色空間を領域分割して領域毎に色補正関数を導出することにより，校正精度を向上させた。

（4）測色値が既知の色票を撮影して測色値を校正することで，周囲環境等による照明の明るさのばらつきを補正することができた。

参考文献

1）五十嵐晃ほか，“匠の技を継承し発展させる技能伝承支援システムの開発”，工業技術研究報告書，No.38，2009，p62-66.

2）河村尚登，小野文孝，“カラーマネージメント技術”，東京電機大学出版局，2008，p53-56.