

2次元測色計 CP3000とその応用

CP3000は、物体の表面色を正確に数値化する装置です。CIE (国際照明委員会)によって国際的に決められた方法によって数値化します。広く使われている測色計、色彩計など色を測る装置との違いは、センサーとしてカメラを採用していることです。そのため瞬時に、非接触で、立体物も含め測定対象全体の色を撮像できます。この資料では、CP3000の技術的特徴とその応用例について説明します。

CP3000は色を正確に測定するために、二つの方法を採用しています。

高演色性LED照明と忠実色再現カメラの採用

です。測定対象が持つ本来の色を十分に発色させるために高演色性LED照明を使っています。そしてカメラが色を撮り再現する特性、色再現性を詳細に調べ上げ、色差を最小化した忠実色再現を実現していることです

高演色性LED照明

演色性は物体に当たった照明光が、太陽光が当たった時の色にどれだけ近く再現できるか示す指標です。100に近いほど演色性が高く（高演色）、物体の持つ本来の色を引き出す照明になります。図1に照明に使われる3種類の光源の発光スペクトルを示しました。CP3000に使われている照明のLEDスペクトルは、色温度が6500Kのときの太陽光スペクトルにかなり近く、平均演色評価数（Ra）が98となり物体の色を忠実に引き出します。

各光源の演色性	
	平均演色評価数 (Ra)
高演色LED	98
通常LED	84
蛍光灯	60 ~ 74

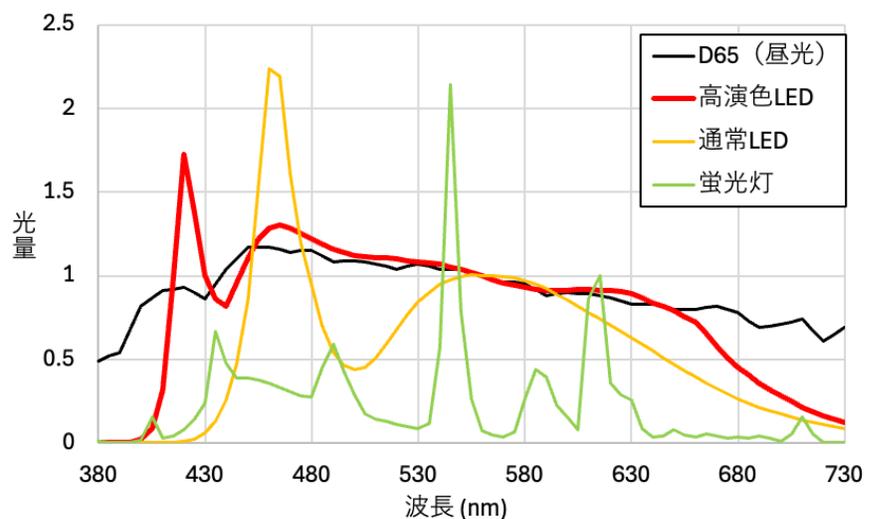


図1 照明に使われる光源のスペクトル

忠実色再現カメラ

私たちの周囲にあるカメラは、スマホのカメラも含め撮影した時の色はだいたい合っています。青空は青くりんごは赤く撮ります。しかしあくまでもだいたいであって、本物のりんごの色と撮影されたりんごの色は厳密にはずれています。色度値が異なり、色再現性がいいとは言えません。したがって色を見て品質管理を行なっている部署ではこのようなカメラを使うことができません。

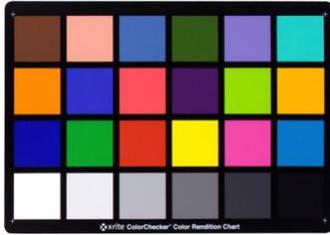


図2 カラーチャートの一例

しかしカメラの色再現性を詳細かつ正確に調べ、その結果を元に最適化された色変換マトリクスをカメラ出力に適用すれば色再現性は格段に良くなります。

色再現性を調べるためには、まず色の基準となるものがが必要です。よく使われているのが、太陽光に近いD65光源によって照明された図2のカラーチャート (X-rite ColorChecker classic) です。しかし表示できる色域が狭く色票数が24種類と少ないのでより広い

色域にわたり詳細に色再現性を評価するためには充分ではありません。

当社では広色域をカバーするLED電子色票を色基準として使用しています。LED電子色票は様々な色を積分球開口部に出力します。図3はそのLED電子色票を用いたカメラの色再現性評価試験の様子です。図3の中央でシアンの色で発光している積分球がLED電子色票です。この発光色の正確な三刺激値XYZ⁽¹⁾を左側の測色計(分光放射輝度計)で測ります。同時に同じ色を評価対象であるカメラで撮影してその画像から三刺激値XYZを計算します。この処理を数十色の色に対して繰り返し行うことにより図4に示すa*b*色度分布図⁽²⁾が得られます。これがカメラの色再現性を示しています。

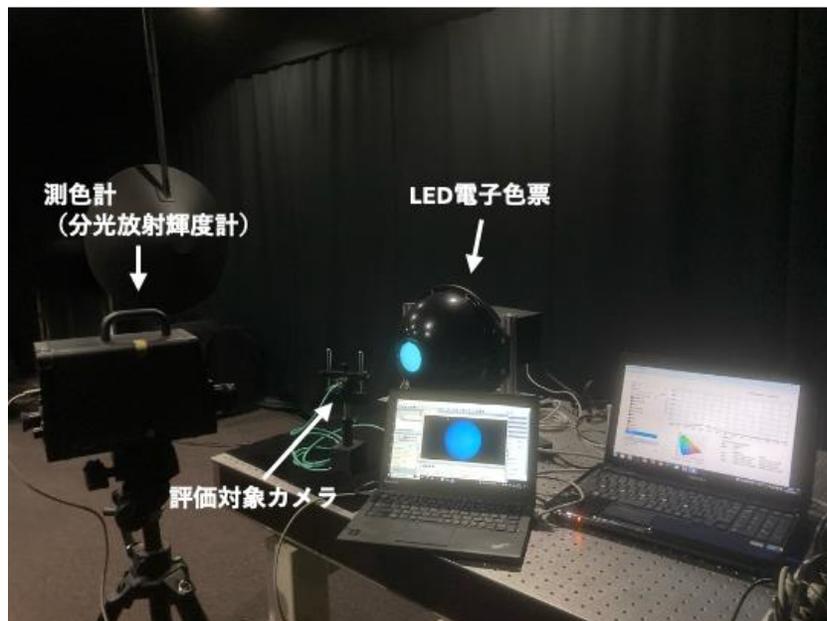


図3 カメラの色再現性評価測定系

図4にカメラの色再現性の一例を示しています。カメラが撮像した色はずれています。このデータを元に色再現性を左右する色変換マトリクスを算出し、それを適用した結果が右にある図5です。LED電子色票の出力する正確な色の色度と、カメラ出漁から得られた色度が良く一致しています。色再現性は格段に向上しています。なお広い色域の場合、色変換マトリクスは複数になります。

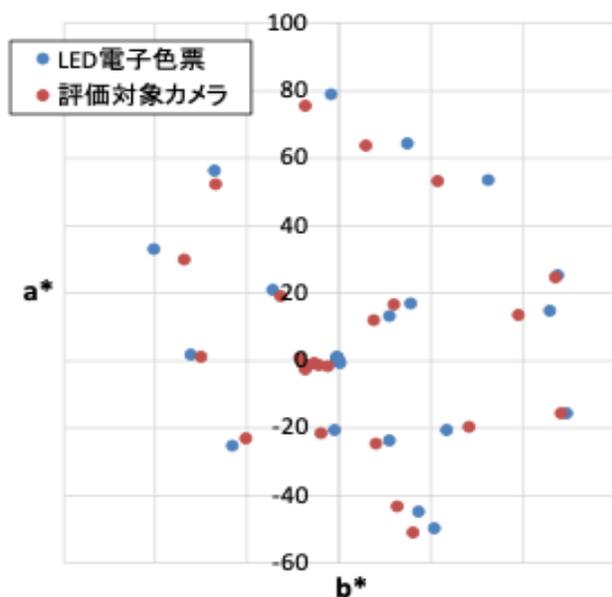


図4 カメラの色再現性

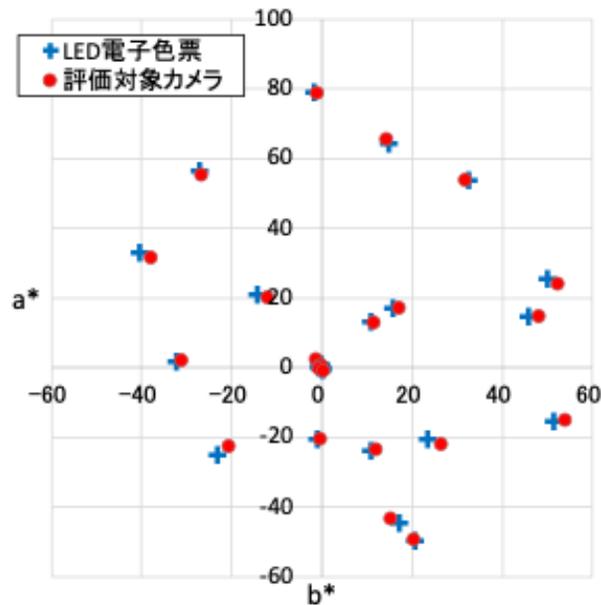


図5 最適化マトリクスによる色再現性の向上

用語の説明

(1) 三刺激値XYZ：

人の目に光が入射すると、網膜上の3種類の錐体細胞は入射光の分光分布とその光量に応じた反応値を示す。この反応値を扱いやすい色空間であるCIE XYZ色空間で表現したものが、三刺激値XYZであり色を表している。

(2) a*b*色度分布図

CIELAB色空間は色合いだけでなく明度も人間の知覚に近い均等色空間なので、この色空間で色を表現することが多い。この3次元色空間は、緑色から赤色を表すa*軸、a*軸に直交する青色から黄色を表すb*軸と、これら2軸に直交する明度を表すL*軸から構成される(図6参照)。色はa*軸とb*軸が作るa*b*色度分布図上の座標で表現される(図7参照、<https://fujiwaratko.sakura.ne.jp/infosci/>より引用)。

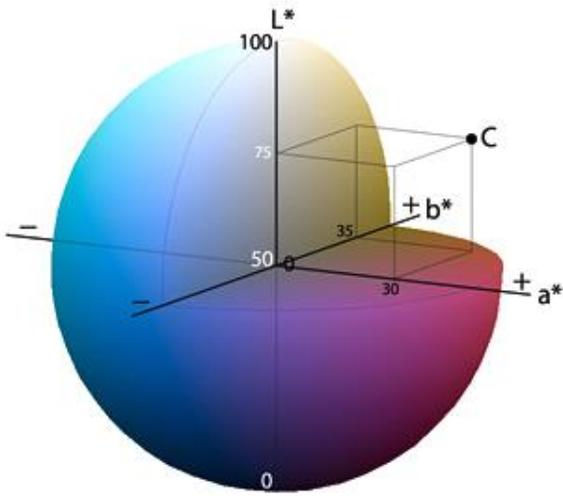


図6 L*a*b*色空間 (点Cはある色)

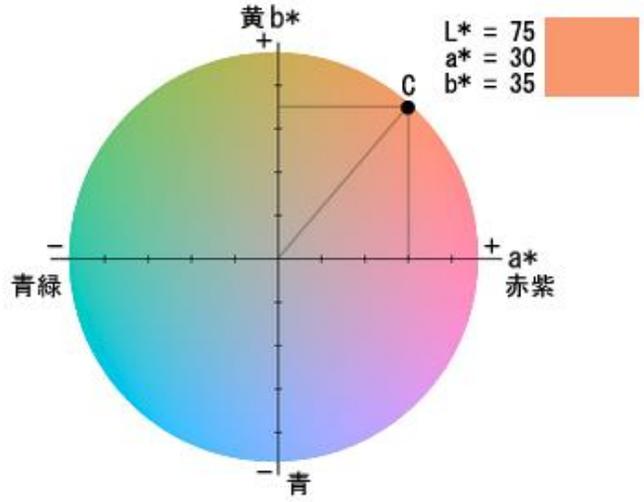


図7 L*=75におけるa*b*色度分布図

応用例1 蛍光ペンの色評価



蛍光ペン

緑色、黄色、橙色、赤色の4色の蛍光ペンで白色度92%のコピー用紙に四角形を描き、CP3000で測色しました。照明はD65昼光です。黄色のペンの場合、下のa*b*色度図8から紙に描かれた黄色（左側）は、ペン先の黄色（右側）と比較して黄色味b*が17.8減少し、赤味が17.3減少していることがわかります。彩度は73から54とくすみが強くなっていることがわかります。明度は逆に増大しています。

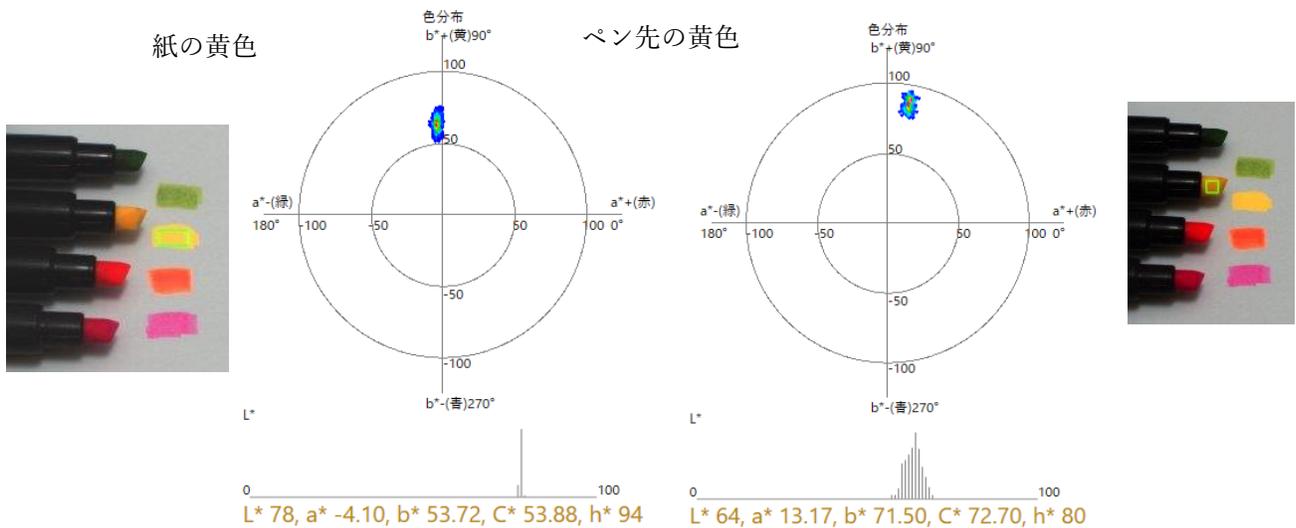


図8 蛍光ペン（黄色）の測色例

橙色の蛍光ペンで紙に描いた場合とペン先の測色結果を図9に示します。

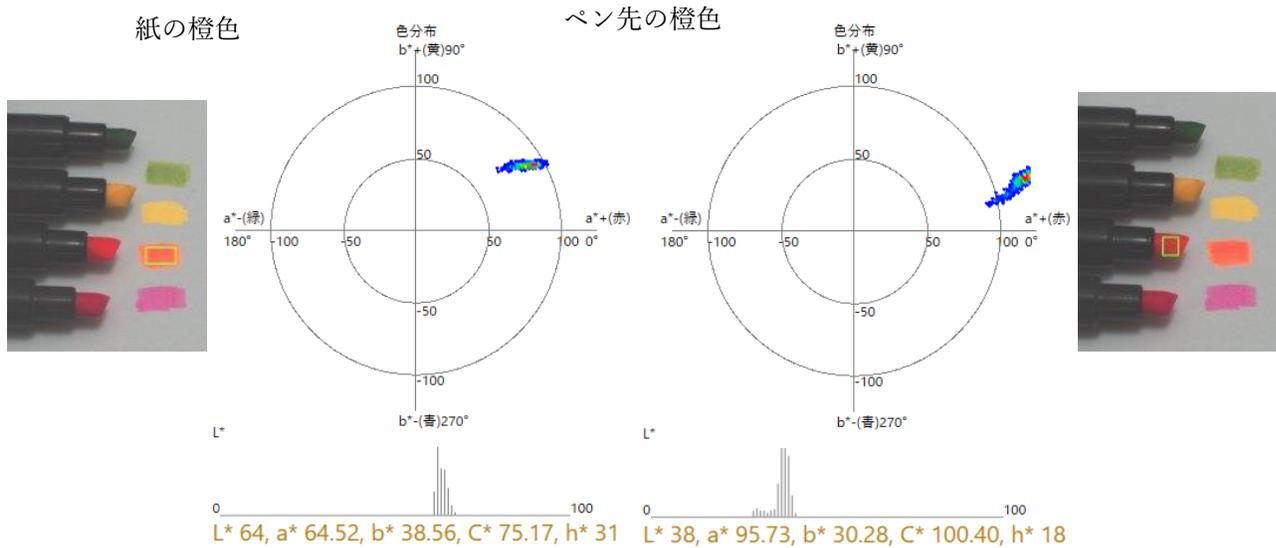


図9 蛍光ペン（橙色）の測色例

紙の上の4色のa*b*分布を図に示します。色と紙の白色の境界のため尾を引いたように見えます。中心部は白色紙の色で、a*b*分布図の原点とほぼ同じになっています。

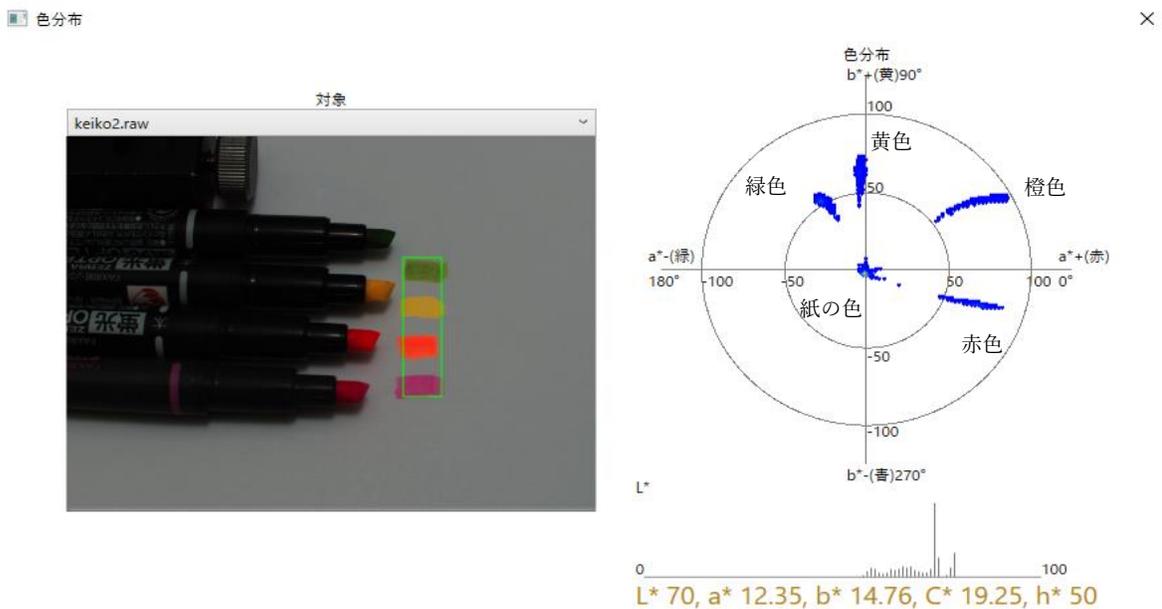


図10 蛍光ペン4色まとめて測色

応用例2 アイシャドウのパールの有無による色広がり



色は少し異なりますがアイシャドウの色の広がりがパールの有無によってどう変わるかを調べました。下図左側はパールのないアイシャドウ、右側はパールのあるアイシャドウの色度分布図です。b*軸方向の分布の広がりは、パールなしが10前後なのに対しパールありは50前後あります。単純に5倍あります。また明度L*もパールありのほうが広く、暗い色から明るい色まである程度広がりがあることがわかります。

アイシャドウ

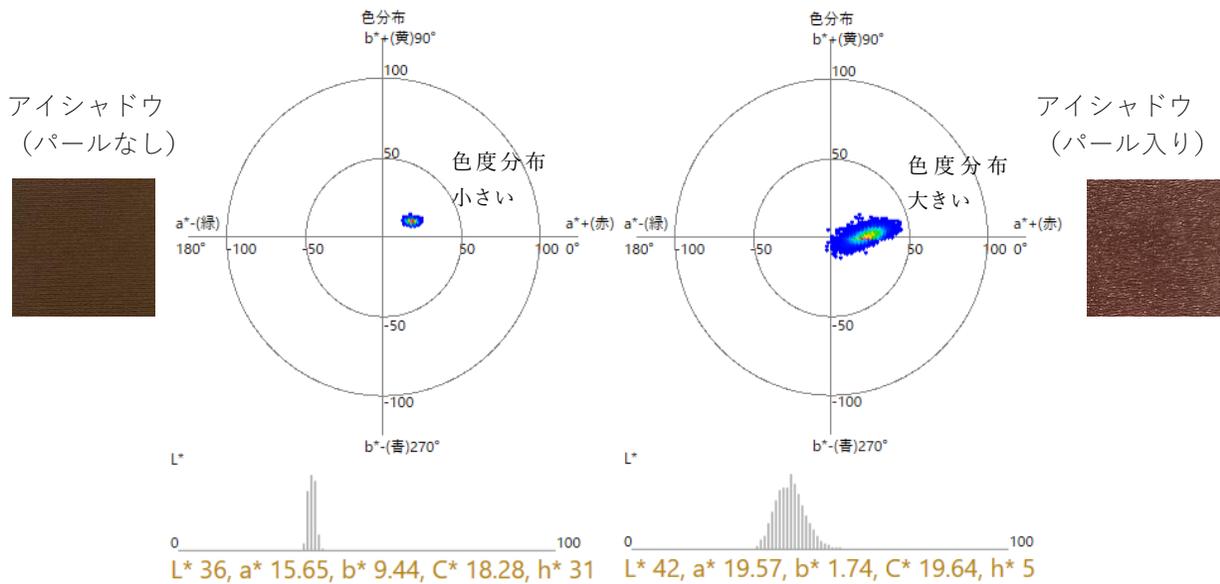


図11 アイシャドウの測定例

応用例3 フェルトの色度分布と色むら



フェルト

色違いのフェルト4枚を撮像しました。色は山吹色、橙色、茶色、暗赤色です。図12の色度分布図が示していますが、これら4色は a^* 軸方向には36から65の範囲内にあります。4色とも赤みを帯びています。一方、 b^* 軸方向では山吹色の80から橙色、茶色、暗赤色の-3の順に黄色味が小さくなっています。明度も同様の順に明から暗と変わっています。図12の下にある各色の明度分布を見ると、4色ともほぼ正規分布に見えます。フェルトの特徴なのでしょう。

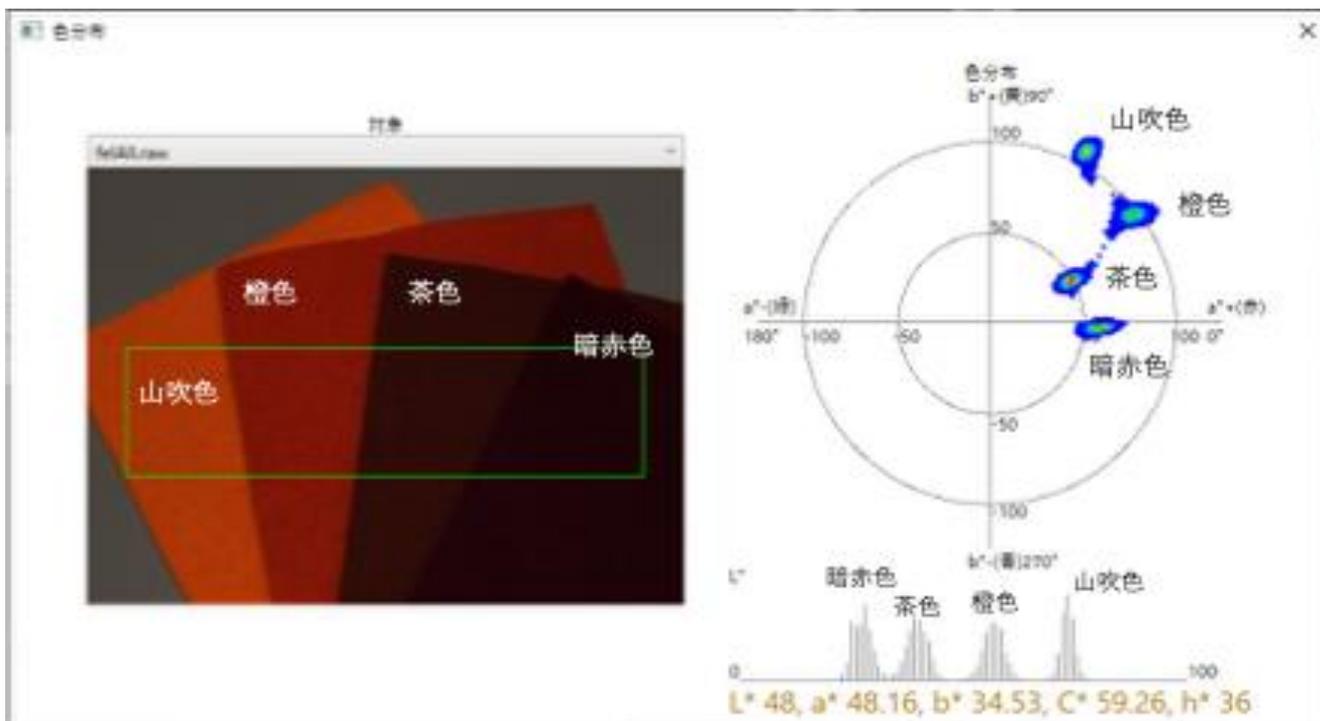


図12 4色のフェルトの色度分布

図13に色むらの様子を示します。暗赤色のフェルトを除けば、どのフェルトも色むらは少なくほぼ一様に見えます。

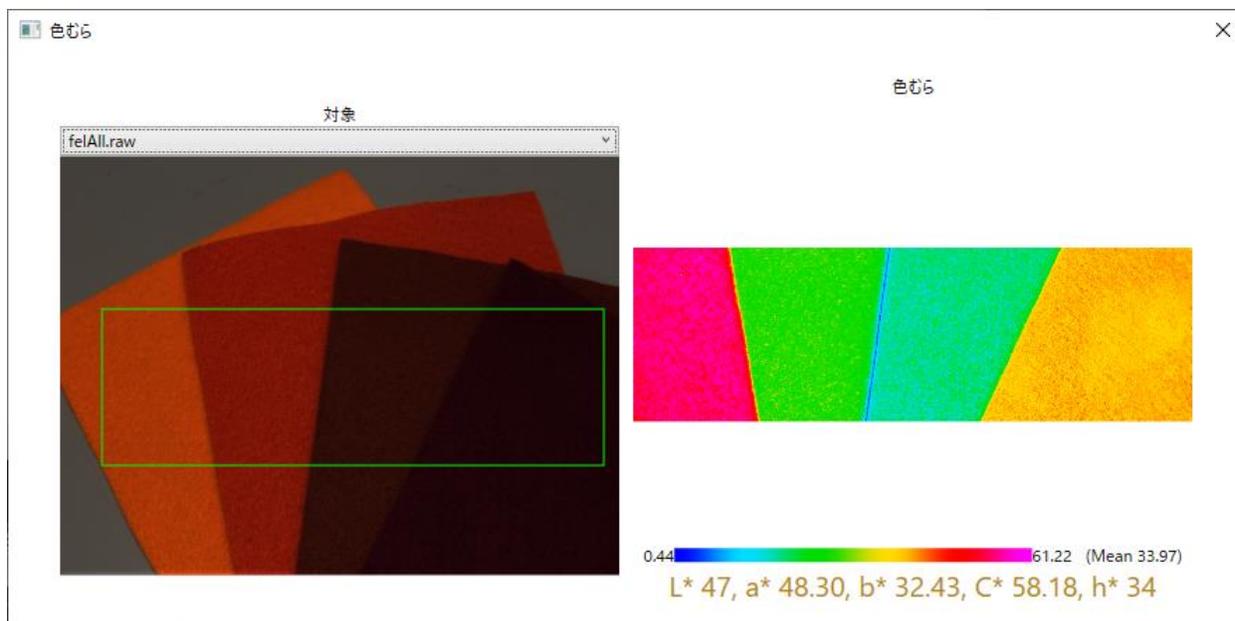


図13 4色のフェルトの色むら

応用例4 ダイヤモンドの自動測色

CP3000の基本構成モジュールである高演色LED照明と忠実色再現カメラの組み合わせに、回転ステージや光量モニタリングなどの他の機能を持つモジュールを加え、ソフトウェアもそれらに対応させることにより特定用途に特化した測色計を実現できます。図14に示すダイヤモンド自動測色装置はその一例です。この装置によるダイヤモンドの色のグレーディング結果は、ダイヤモンド鑑定士のグレーディング結果と充分高い相関を示しています。宝石業界の省力化、トレーサビリティの確立に貢献しています。



図14 CP3000の発展型の例