

自動車の色と外観の特性化



サンプリングされたBRDF (bi-directional reflectance differential function) と新型ポータブル多角度分光測色計を用いた、自動車の色と外観の特性化

着色プラスチックは、革新と進化を続ける高度なプロセスによって作られる、複雑な化学化合物です。ナノ物質およびマイクロテクノロジーのプロセスとコントロールを採用することにより、より低コストで革新的なカラースタイルを可能にするシステムを開発する一方、デザイナーから求められる感覚に訴える効果も実現されています。

現在の着色プラスチックを特性化する場合、従来の積分球タイプの測定方法や、および入射受光面のみによる多角度の測定方法では不十分です。本書では、サンプリングされたBRDF (入射受光面偏角を含む) 空間と単純な現象論モデルの新しい組み合わせをご紹介します。現象論的モデルとは、外観全体にプロセスが関係する影響と同様に、ナノスケールやマイクロスケールでの調色が関係する影響を捉えようとするものです。ここでは、考えられるベストなサンプリング分光測色法のジオメトリーをご紹介します。また同様に、調色の例、ロットごとの分布偏差、プロセス変動、要因の分離可能性についても併せてご紹介します。

背景

光沢、質感、および他の効果が重要な役割を果たす材料については、プロセスの選択と決定、プロセスの管理は今日でも、物理的サンプルと目視による評価に基づいて行われています。従来の測色方法とカラーコミュニケーション方法によって、直接生産プロセス管理やエラーの根本原因の検出を行うのは難しいものです。プラスチックに織り込まれ意匠化されたパール顔料は、数値的な方法で定義、コミュニケーション、外観の表現によって恩恵を受ける分野です。

見た目の外観は、視覚による検出と推測によって構成されています。これは、観測という状況における、ある点のスペクトル反射率という考え方に拡張することもできます。また、形状や質感のようなサンプルの物理的条件に加え、光源と観測に関する条件もこの考え方には含まれます。当初より我々は、スペクトルによるカラーの定義とコミュニケーションを用いた信頼性の高いカラープロセスの基本を提供するところから始めました。当初より我々は、スペクトルによるカラーの定義とコミュニケーションを用いた信頼性の高いカラープロセスの基本を提供するところから始めました。現在引き続き行っている我々の研究は、現象と推論を含んだ更に包括的な定義へと拡張することを目指しています。

測定という観点からすれば、分光放射計があります。光源の光は、光学伝達関数(OTF)を経て、対象物に向けられます。対象物に衝突した光は、マックスウェルの方程式に従って各層間および対象物との境界面で相互作用をし、ミー散乱およびレイリー散乱を生じます。BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) または BSSRDF (Bidirectional Subsurface Scatter Reflectance Distribution) の結果は、与えられたの観測方向でサンプリングされ、このBRDFサンプルは、二次的な光学伝達関数を持つ光学系により測定されるものです。結果として生じたOTFを検出し、条件を考慮して変換します。ある条件において、情報が処理されると、創造、コミュニケーション、および意志決定を可能にするような推論を含む最終的なステップになります。

サンプルのBRDF測定による問題には、多くの異なる光源照射角度と観測角度が必要なため、分光放射分析器による測定に時間がかかることです。検証の結果、ハンドヘルドの測定器と関連機器に焦点を当てた場合、一般的にハンドヘルドの機器を安定して保持させておくことは難しく、安定させることが可能であるとしても5.5秒間程度であることがわかりました。また信頼性のある確実な測定を行うには、測定に許された時間内で可能な数以上の照射光源角度と観測点の組み合わせが必要になります。サンプリング不足の測定をハンドヘルドのソリューションで補うには どうしたらよいのでしょうか？ 一体、どの角度が重要なのでしょうか？ また、どのスペクトル情報が重要なのでしょうか。

本書でご説明する外観測定のプラットフォームは、従来のBRDF測定に基づく、方向性をもった反射率の多方向測定と組み合わせ、コンパクトな多角度分光測色計によって構成されています(図1参照)。誘電体フィルターベースのダイオードによる分光測光器の設計は、他の方法において課題となっていたダイナミックレンジと精度の限界を克服しました。また、入射受光面のみを持った既存の測定器に対する互換性をもたせることも可能になりました。光源と入射受光面偏角からの測定により、外観表面をほぼ完全に捉えることができる、より豊富な情報を持つデータを取得することができるようになります。設計から生産を通して使用していただくことを想定した測定機器として、共通のプラットフォームを採用しました。

様々なBRDF関数のサンプリングは、外観を定量化するのに使用される結果を定義し、多角度のスペクトル分析によって、豊富なデー



タが生成されます。このデータを扱いやすくするために、正確な物理的モデルを適用し、外観の状態を記述するパラメータを求めます。光学、電磁気学、コンピュータグラフィックスおよび視覚の研究は、外観表面のモデリング化に著しい進歩をもたらしました。これらのモデルは、工業製品サンプルやアプリケーションへの適用させるために、検証と修正を重ねてきました。BRDFと構造のパラメータ化に関する一連の反射率モデルは、外観表面を描写するために開発されてきました。これらの記述子(モデルのパラメーター)は、コンセプトから制作までの外観表面の数値化のためのバックボーンとして、XML形式で渡すこともできます。図2を参照してください。

BRDFデータは、変角分光測定データから下記の式によって求めることができます。

$$L_r(x, \omega) = \int_{\Omega_x} f_r(x, \omega', \omega) L_i(x, \omega') (n_x \bullet \omega') d\omega'$$

ここで、 L_r は ω 方向における距離 x の反射による放射輝度で、 Ω_x は全入射光方向半球を指す。 f_r は x におけるBRDFであり、正反射光の項 f_s と拡散光の項 f_D を持ち、

$$f_r(x, \omega', \omega) = f_s(x, \omega', \omega) + f_D(x, \omega', \omega)$$

L_i は入射光の放射輝度であり、放射束に関連する。

$$L_i(x, \omega') = \frac{d^2\Phi(x, \omega')}{(n_x \bullet \omega') d\omega' dA}$$

多層面における光子の挙動モデルにおいては、3次元的レンダリングの式は上記のものとは著しく異なっていて、それぞれの散乱層の光学深度および散乱係数の特性を記述する位相関数も考慮しなければなりません。その場合の式は以下ようになります：

$$L_r(x, \omega) = \int_0^s e^{-\tau(x, x')} \sigma_a(x') L_e(x', \omega) dx' + \int_0^s e^{-\tau(x, x')} \sigma_s(x') \int_{\Omega_{4\pi}} p(x, \omega', \omega) L_i(x, \omega') d\omega' dx' + e^{-\tau(x, x+s\omega)} L(x-s, \omega)$$

ここで、光学深度は $\tau(x, x')$ で与えられ、

$$\tau(x, x') = \int_x^{x'} \sigma_t(t) dt$$

また、位相関数は、コーティングや主な散乱要素となる素材の特性に依存してさまざまな形式をとります。最も一般的に使用される位相関数はHenyey-Greenstein位相関数で、それぞれの層や散乱要素の違いと共に使用される。これには、一般化された式が用いられ：

$$p(\Theta) = \sum_{i=1}^N \frac{w_i(1-g_i^2)}{4\pi(1+g_i^2-2g_i\cos\Theta)^{1.5}}$$

$$\text{where } w_i = 1$$

ここで、 g_i はそれぞれの層の異方性などの形状に依存し、 w_i は係数である。コーティングの複雑さやサンプリングの構成、また意図する推定精度に依存するが、自動車塗装のような3-4層コーティング

の完全なBSSRDFを求めるには72-90角度(チャンネル)の測定が必要とされる。かたや調色配合の違いやプロセス(単純なフォーミュレーションではない場合)が主な関心事となる均一なプラスチックの測定をベースとしたBRDFの場合では10-12くらいの測定で事が足りることになる。

測定の目的

今日の着色プラスチックの測定に関する既存の業界標準には、積分球タイプまたは入射受光面のみが多角度タイプの分光測色器による測定によって成り立っています。しかし最新の着色プラスチックは非常に複雑で、実際のところ3次元的な外観の要素が多く含まれていることに対して、問題があります。素材構造による知覚の変化への関連性は、むしろ入射受光面偏角方向に依存します。入射受光面のみによる測定や単一のカメラを利用した従来のシステムでは、知覚的效果が実際は変角性をもっている、ということを説明することはできません。この変角性効果は、光源や観測の条件によって変化するからです。既存のシステムは、立体的に外観を測定するのではなく、単純に平均化しているだけですが、実際のところ、分子の配列の違いによって外観は変化し、知覚的な効果をもたらします。また、サンプルについては、分散・散乱と反射の平均を測定しているだけです。またBRDF(BSSRDF)の結果が多次元に変化するため、構造や分子の配列による知覚的效果も同様に多次元的に変化しますが、既存のシステムは、プロセスと調色の変化が知覚的效果に与える影響について正確に特性化し、コミュニケーションできるという性能は持ち合わせておりませんでした。従って我々の目的は、以上のような問題を解決できる、コストパフォーマンスの高いハードウェアとソフトウェアによるソリューションを提供することです。

検証手順

光は、測定プロセスにおいて、素材や塗料の構造について理解するために利用される物質との間に、2つのユニークな相互作用があります。最初の特性は、あらゆる物質が光を分散させるということです。さらにいうと、物質が光を屈曲させる度合い(屈折率)は、青い光(波長:400nm)と赤い光(波長:700nm)では異なり、物質の外見の色(光の吸収特性)にかかわらず、光を屈曲させるという変化は存在します。漆黒または鏡のように輝いて見える素材でも、光が単純に表面上で反射しているのではなくむしろ、表面下に入光して反射や吸収しており、分散をしています。ここで我々が着目しているのは、散乱性のある各素材の誘電率です。複雑な屈折係数(屈曲+吸収)は、誘導率の平方根に比例しているからです。2番目の特性は、素材の中での光の散乱です。素材の中での光の散乱は、いくつかの異なる方法で説明されておりますが、どの方法で説明しても散乱の特性は波長に依存します。従って青い光の散乱は、赤い光とは異なっています。見かけ上は透明なガラスでも、あらゆる素材は光を散乱させます。素材(または塗装)によって散乱した光を、高感度の分光光度計を使用して測定し、例えば青い光が散乱したときと赤い光が散乱したときのわずかな偏りを比較することにより、素材の物理的な特性と構造を決定することができます。さらにエネルギー



ギーは常に一定であるというエネルギー保存の法則から、光源のエネルギー特性を理解し、素材から戻ってくる光の特性を測定することにより、ますます複雑になったモデルの解析ができるようになります。光は、反射、屈折、分散・散乱、吸収が発生し、エネルギーは常に保存されるのです。光が素材と相互に作用する現象は他にも多数存在し、偏光のような事項についても説明する必要がありますが、ここではできる限り簡単な説明が必要ですので、詳細を省きます。また干渉による特殊な条件もありますが、こちらも省略します。

複雑な系をモデル化するにあたって、数ある理論の中で最も単純なモデルは、電磁気学の理論から派生したEffective Medium Theory(有効中間値理論)をあげることができます。塗装や素材がどれほど複雑なものであったとしても、この理論によって比較的単純な記述で表すことができるので、複雑な素材を単一の同質な素材として扱うことができるようになります。たとえば3層と9つの成分によって形成されている塗装は、加重平均化された成分と、各層の厚さや層の境界での構造を通して同じく加重平均化された層全体によって、まるで単一の素材であるかのように扱うことができるようになります。調色(成分と層構造)された材料は、固有の散乱特性を持つようになるのです。従って、調色の何かが変化した場合、これらの固有の散乱特性も変化することになります。わずかなサイズの粒子の分布が変化すれば、固有の散乱特性もまた変化します。

Effective Medium Theory(有効中間値理論)と同様に、光の散乱に関する挙動を説明する比較的簡単な方法の1つとして、光を放射(反射)するサンプル表面に対して、光が散乱する空間の中で測定するという方法があります。この方法において光の散乱は、大きさをもった吸収されていない光エネルギーに対する、入射受光面上の方向および入射受光面偏角面への偏りとして表現することができます。特定の方向に対して散乱・分散および反射される光が多くなるほど、その方向に対する大きさは増加します。各波長に対してこの方法を適応すると、素材または塗装の固有の散乱特性を分析するさいに役立てることができます。以上のことから推論すると、すべての波長を一樣に反射し、すべての方向へ一樣に散乱させる素材の特性は、どの方向にも偏っていないということになります。この特性にかなり近似している素材は、Spectralon™(別名Fluorolon™)です。スペクトラロンは、すべての光源ジオメトリの条件下で、またすべての観測角度において、一樣な拡散をしています。従って、適切に用意されたスペクトラロンは、非常に高い入射角においても、キラキラ(感)や光沢はありません。エネルギーの偏りを計算する最も簡単な方法は、各観測角度を、サンプルの測定中心から分光測色計の各入射瞳の中心へ向かう固定ベクトルとして表現することです。各観測角度の各波長に対して1つのベクトルを作成し、このベクトルの大きさが測定対象のエネルギー量に相当するものとし

す。そして波長ごとに、すべての観測角度のベクトルを合成し、偏りを求めます。この結果、波長ごとの単一の偏りを表すベクトルが得られることとなります。以上のような合成ベクトル演算を組み合わせ、Effective Medium Theoryによる推論を適応させた演算・解析プロセスは、特性化による区別を行います。

今日の着色プラスチックの測定に関する既存の業界標準には、積分球タイプまたは入射受光面みの多角度タイプの分光測色器による測定によって成り立っています。しかし最新の着色プラスチックは非常に複雑で、実際のところ3次元的な外観の要素が多く含まれていることに対して、問題があります。素材構造による知覚の変化への関連性は、むしろ入射受光面偏角方向に依存します。入射受光面のみによる測定や単一のカメラを利用した従来のシステムでは、知覚的效果が実際は変角性をもっている、ということの説明することはできません。実際のところ、この変角性効果は、光源や観測の条件によって変化します。光沢やhazeを測定するわけではありません。これらの現象が知覚的效果をもっているため、素材についての光の分散・散乱と反射を測定します。BRDF(BSSRDF)の結果が多次元的に変化するため、光沢やhazeといったような知覚的效果も同様に多次元的に変化しているため、

入射受光面と単一のカメラだけを利用したシステムでは、複雑なサンプルを捉えきれなかったため、入射受光面偏角を含んだプラットフォームの開発が必要でした。その上で、市場のニーズは既存の入射受光面みの機器との相関関係を強く求めており、より革新的なアプローチではなく、既存のアーキテクチャに対しての段階的な改良を施す必要がありました。これに加え、測定時間や測定中の機器の安定性など、ポータブルの測定機器に求められる理由から、スキャン式の多角度分光測色計のようなソリューションも対象外となりました。コストや測定時間、安定性に関する検討を行い、直接プロセスや調色に関連した情報を得るという我々の目的を達するのに必要な、最低限の入射受光面に対する偏角のサンプリング角度の数を決定するための検証が行われました。検証には、様々な調色とプロセスによる熱可塑性プラスチック射出成形パネルを用いることが盛り込まれました。作成されたパネル、スキャン式の多角度分光測色計を用いて測定され、解析を行い、数学的な異方性を結果に適合させていきました。この結果、我々のハードウェアプラットフォームに合ったサンプリング光学幾何条件が決まりました。結果、従来型の入射受光面にある5つの角度にさらにサンプリング角度を追加し、入射受光面からの偏角に合計4つのサンプリング角度も追加しました。多角化によるデータの密度と確実性をさらに向上させるため、2番目の光源を追加しました。これにより、コストや幾何学的な複雑さは倍加させることなく、測定結果をより効果的に倍増させることができました。図3を参照してください。

以上の説明したようなした背景に基づき、いくつかのシステムを製作し、より多種の調色とプロセスを用いた大規模な検証を慎重に繰り返しました。



Rawデータは、独自の分光ベクトル合成手法により処理しました。この方法は、多角度のスペクトルデータを2次元または3次元のスペクトルに表現するため、中間値理論に基づいた考え方の上に成り立っています。またこの方法は、各観測方向の反射率係数を重み付けとし、測定角度の合成ベクトルになり、この結果、測定波長ごとに1つのポイントが3次元空間におけるスペクトルとして表されます。

また反射率係数を一般的な反射率係数として取り扱えるよう、重み付けされた合成ベクトルは、理想的な白色ランバート反射面の合成ベクトルをもとにスケール化されます。さらに結果を表す座標空間は、反射角(z軸)、反射角に対して直交する入射角(y軸)、これら2つの方向の外積(x軸)によって定義されます。我々は、この空間に表された結果をxDNAスペクトルと呼んでいます。

xDNAの合成ベクトルは、各観測方向における重み付け係数と同様に、角観測方向の反射率によってスケール化された方向ベクトルの和になります。任意の重み付けは、ある特定方向のベクトル和を抑制したり、強調したり、また各観測方向にあるエネルギーに調和させたりするのに利用されることもあります。本書で説明するすべてのデータは、単一の光源(従来の45度)と10箇所の拡散観測方向(反射光は含まない)によるものです。

塗装設備の設定がもたらす効果は、当然のことですが、その設備固有のものであります。したがって、2つのサンプルのxDNAスペクトルの形状が同一である場合、測定値の違いはプロセスの違いに起因するものであると判断できますが、同じ設備の異なる設定、異なる塗装設備、光輝材の配向性をコントロールする添加物、湿度の違い、その他塗装プロセスに影響を及ぼす条件のうち、どれが原因なのか正確に分類できる光学的基準は現在、存在していません。xDNAスペクトルの形状が同一であるかどうか判断・決定するために、変換、回転、スケールという線形(リニアな)操作を行います。すべての変換は、基準に対して相対的に行われます。変換ベクトル、回転行列、スケール係数はサンプルのxDNAスペクトルから、基準のxDNAスペクトルに対して最小2乗法の計算を行うために、プロクラステスアルゴリズムを使用して同時に計算されます。基準と比較する目的で、変換処理と回転処理を行っているとき、基準の中心に対して位置合わせを行うよう更に変換が行われます。

回転

変換されたスペクトルxDNAの回転は、「xDNAa」と表記されます。回転は通常、プロセスと調色レシピの配合に対する変更と関連付けられる特性です。たとえば、成形プロセスにおいては、回転は調色レシピにある粒子サイズに関する分子係数の変化または、配向の変化という結果によって表されます。

位置合わせ後のスペクトルxDNAaと、スケール後のスペクトルxDNAのどちらの値が調色の違いをよりよく検出できるかは、常に明白であるとは限りません。例えば、プロセスの条件のみが異なる2つのサンプル間で、位置合わせ後のスペクトルxDNAaが大きく異なることがある場合、サンプル間の違いの原因が調色の違いではなく本当にプロセスの違いであることを確認するためには、スケール後のスペクトルxDNAを検討する必要があります。一方、互いに異なった拡散性のある灰色など、顕著な調色の違いが存在するサンプルに対して、xDNAが非常に小さい値を示すのも珍しいことではありません。

生物学的な比喻を再度使うと、変換前のxDNAスペクトルとスケール後のxDNAスペクトルとの関係は、生物の表現型と遺伝子型との関係にある程度似ていると考えることができます。有機体の表現型は、遺伝子の性質による結果だけではなく、環境との相互作用の結果でもあります。同様に、xDNAは、xDNAによって特性化される材料に含まれる素材、およびプロセスの条件に代表されるような環境との相互作用によってもたらされる結果になります。xDNAの変換について考えるとき、変換後のスペクトルと同様に、変換パラメータの両方を考慮する必要があります。また、様々な状況において、捉えたい現象すべてを1つの数字で捉えることは、非常に難しいのではないかと思います。係数や、色差のような1つの値を使用する理由は、その簡潔さにありますが、それらの値が求められるときに扱われる情報の多くは、処理を行う際にほとんど失われていることを知っておく必要があります。

色彩値の関数を一般化し、xDNA座標系のデータを対象とする色差関数について説明します。また、反射データを直接使用した関数、空間的に変換されたxDNAデータに対してこれらすべての関数を適用することも考慮します。

DF色差関数

光源と観測の重み付け関数、CIELAB関数、 DE^* 、 DE_{94} 、 DE_{2000} 、および他の重み付け関数を使用してスペクトルデータから色測定データを派生させるのと同様に、3DのxDNAスペクトルから色測定データを派生させることもできます。色差関数を一般化して、より高次のスペクトルにすることが可能なアプローチとして、次のようなものを挙げる事ができます。

1. XYZ、 $L^*a^*b^*$ のような色彩値を計算し、x、y、zの各平面に対して、色差を計算します。各平面の色差の二乗和の平方根による計算に使われる、各平面の色差を組み合わせます。
2. x、y、zの各平面に対してXYZデータを計算します。これらの値は、x、y、zベクトルから構成されるベクトルX、Y、Zとして使用され、次に3次元としてのX、Y、Zベクトルの大きさを計算します。最後に、1次元であるX、Y、Zの大きさを使用して、 $L^*a^*b^*$ と、色差を計算します。



1つ目のアプローチによって、通常のDelta Eを一般化することによって計算された色差を「DF」という表記を使用します。また変換された曲線上でDFを計算した結果として、DFt、DFa、DFsを使用します。

色彩関数は、人間が認識する色差に近似するために構築されており、xDNA_t、xDNA_a、xDNA_sのような変換されたxDNAスペクトルに対しては、最適な比較・判断は出来ないかも知れません。とはいえ、色差式を一般化するための上記のアプローチは、変換されていないxDNAと同様に、変換されたスペクトルも機能をします。

データと結果について

以下、複雑さが増してゆく順にサンプル例を紹介しします。結果においては、単一の光源(45度の入射角)と、正反射を含まない10個の受光角を使用しています(図3参照)。xDNAは本質的にエネルギーの偏りを捉えますが、まず最初に単純な本質的に偏りのないサンプルを説明します。

スペクトラロン(Spectralon)TM

スペクトラロンは高い拡散性をもった白色の素材で、基本的に半球形状のBRDFという特性を持っています。可視スペクトルの全領域における反射率は99.1%で、すべての角度に光を拡散します。BRDFはすべての方向、すべての波長において均一に拡散する特性があるため、方向ベクトルはすべて等しくなります。よって31波長の結果は、互いに重なり合うようになると考えられます。図4aと図4bに結果を示します。図のプロットでは、垂直軸がz軸、水平軸がy軸、y-z面に垂直な方向がx軸で、z軸は正反射角、y軸は光源の入射角に対応し、x軸は機器の側面を垂直に横切る方向であることを思い浮かべてください。図4bは図4aと同じ結果を示したのですが、異なるスケールでプロットしてあります。図4bに示された結果が詳細レベルで違いを生じているのは、Spectralon製造時に使用された、湿式サンド工法による影響の結果です。図4cは、Spectralonに黒色の顔料を加えたときの結果を示しています。サンプルの反射率の結果は、99.1、80、60、40、20、10、5、2%の条件による結果をそれぞれ表示しています。

セラミックタイル

図5aおよび図5bには、グレースケールのセラミックタイルで測定した一連の結果が示されています。反射率の値は、それぞれ1%、3.5、15、32、50、88%の条件による結果をそれぞれ表示しています。プロットbでは、波長ごとのx軸方向への偏りは、焼成によりタイル表面に形成された薄膜状の光沢部分によるものです。このような現象は、Spectralonのサンプルにはありません。

赤色および緑色のBCRAタイル

図6に赤色および緑色のBCRAタイルの例を示します。図6aは赤色のxDNAを示しています。図6bは、赤色のスペクトル反射率を示しています。ここでも、6aのグラフは左から右に向かって、x軸方向の偏りが見られます。ただし、白色のタイルとは反対に、この例では波長の変化による振れ(偏り)はありません。図6cおよび図6dは緑色のタイルの結果です。緑色のタイルでは、xのスケールが小さいですが、x軸方向の偏りがループ状になっています。

ポリプロピレンサンプルに含まれる某社製有機顔料

図7は、ポリプロピレンに様々な顔料の配合を施した場合の例です。100%の有機顔料、99.5%の有機顔料と0.5%の黒色顔料、30%の有機顔料と70%の白色顔料、15%の有機顔料と85%の白色顔料、8%の有機顔料と92%の白色顔料、2%の有機顔料と98%の白色顔料をサンプルとして使用しています。有機染料には、Violet K5011、Blue K6330、Green K9360、Yellow K0961 HD、およびRed K3911 HDが含まれています。

サンプル例

図8は、某社製の完全濃縮された有機染料のクロススペクトルをxDNA空間にプロットしたものです。

サンプル例

図9は、表面形状のみが異なるサンプルをxDNA空間にプロットしたものです。

サンプル

図10は、濃度は同じで、黒色および白色の顔料を使用した場合のグレースケールの調色を示しています。

まとめ

サンプリングされたBRDF(入射受光面偏角を含む)を基に空間上での新しい組み合わせと、プロセスと同様に調色が関与する外観全体への影響を、ナノスケールおよびマイクロスケールで捉えることができる、単純化した現象論的モデルとしてご紹介しました。また、調色のロットごとのバラつき、プロセスの変動、要因の分離可能性と同様に、我々が好ましいと思われる分光測光法のサンプリング幾何構造についてもご紹介しました。更に、我々がxDNAと名付けた手法と、ザラザラ感(粒状感)やキラキラ感のような目視感と、プロセスおよび調色の間にある、変角性の関係を維持しているデータを低次元化するための、xDNAによる数値解析をご覧にいれました。

これから

我々の使命は、さらに堅牢性の高いポータブルタイプの分光測定とコミュニケーションに関する研究開発を引き続き行っていきます。その対象範囲は必然的に、空間的に分布した対象の測定、解析、モデル化、コミュニケーションツールへと広がって行くと考えております。

参考文献

QED: The Strange Theory of Light and Matter, Richard P. Feynman, Princeton Science Library, 1971

Zur Elektrodynamik Bewegter Körper, Albert Einstein, Annalen der Physik, 17, 1905

Multiple Scattering Processes, Harriet Kagiwada, Addison-Wesley Publishing, 1975

Farbenphysik Fur Industrielle Anwendungen, Georg A. Klein, Springer Verlag, 2004

Light and Matter, Yehuda B. Band, Wiley, 2006

Radiative Transfer, Chandrasekhar, Oxford University Press, 1960

A novel technique for analysis of electromagnetic scattering from microstrip antennas of arbitrary shape, Uckun, S.; Sarkar, T.K.; Rao, S.M.; Salazar-Palma, M., IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Volume 45, Issue 4, Apr. 1997, Page(s): 485-491

A vector inverse algorithm for electromagnetic scattering, Borden, B., U.S. Naval Weapons Center, China Lake, CA SIAM Journal on Applied Mathematics (ISSN 0036-1399), vol. 44, June 1984, p. 618-626. 1984

Electromagnetic Scattering by a System of Dielectric Spheres Coated With a Dielectric Shell, Hamid, A. K.; Hussein, Mousa I.; Hamid, Michael, University of South Alabama, Mobile, Nov. 2003

Fast analysis of electromagnetic scattering from finite strip gratings on a grounded dielectric slab, Valero, Alejandro; Rojas, Roberto G., Radio Science, Volume 35, Issue 6, p. 1307-1314 (RaSc. Homepage), 2000

A Numerical Solution for Electromagnetic Scattering from Large Faceted Conducting Bodies by Using Physical Optics-SVD Derived Bases, Gianluigi Tiberi, Agostino Monorchio, Giuliano Manara and Raj Mittra, IEICE Transactions on Electronics, Vol E90-C, Number 2, pg 252-257, 2006

Finite Elements for Wave Electromagnetics, P. P. Silvester, G. Pelosi, IEEE Press: New York, 1994. ISBN 0-7803-1040-3. ix+534 pp.

イラスト、表、および図

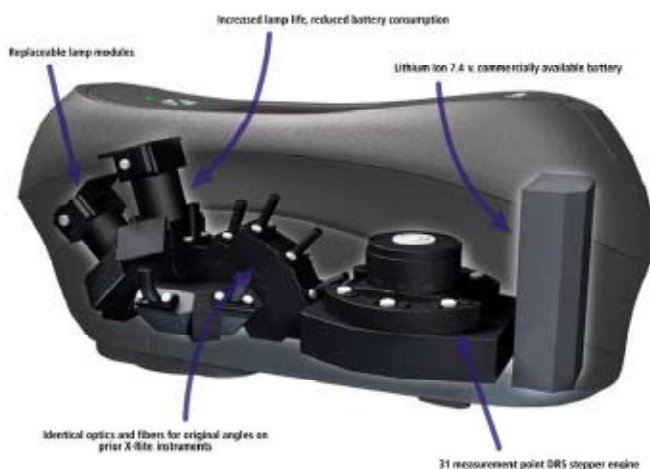


図1. 入射受光面偏角を備えたMA98 – 多角度分光測色計

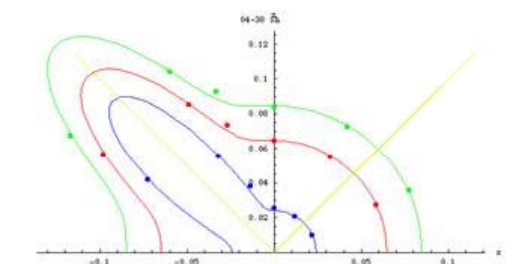
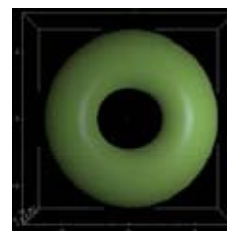


図2. マルチ・アングルの測定装置に合わせたBRDFモデルと、それに対応する表面の表現結果

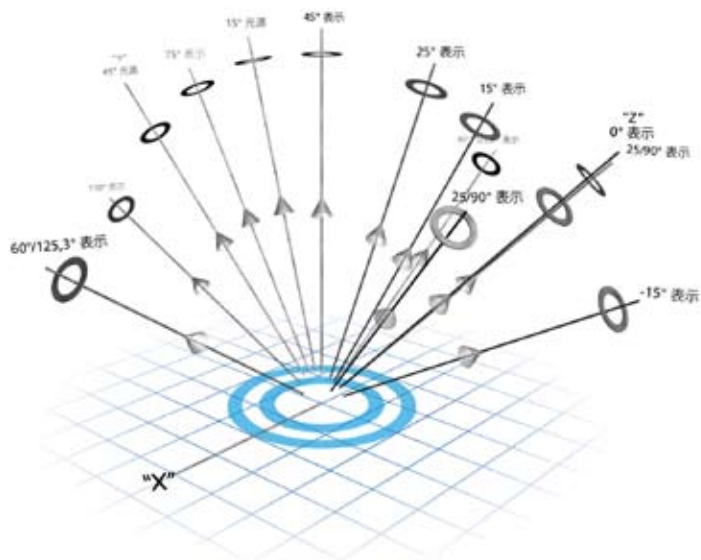


図3. MA98の光学幾何条件と外観

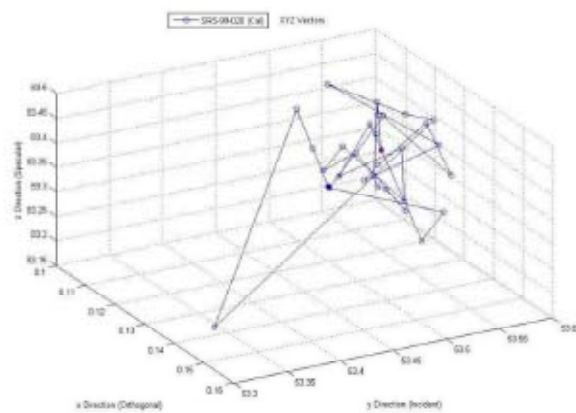
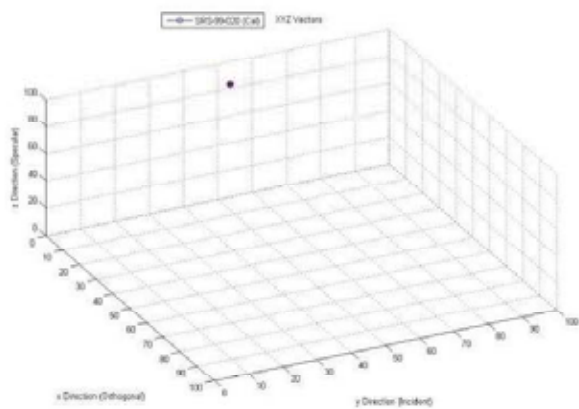
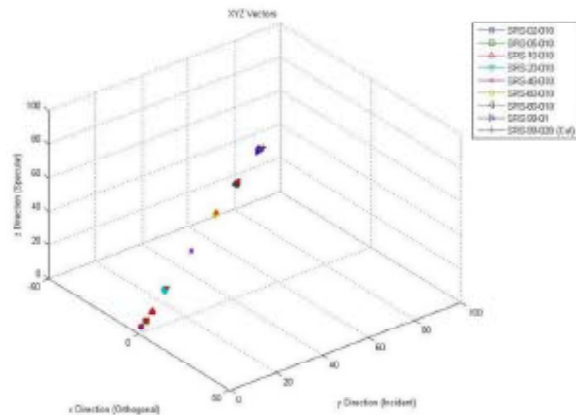


図4aおよび図4b Spectralonの結果 Spectralonに黒色の顔料を加えたときの結果。サンプルの反射率99.1、80、60、40、20、10、5、2%の結果



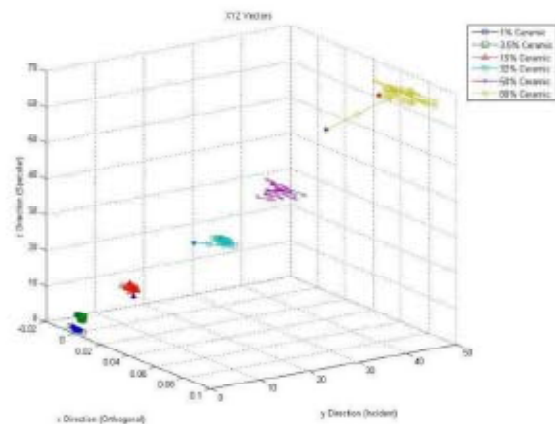
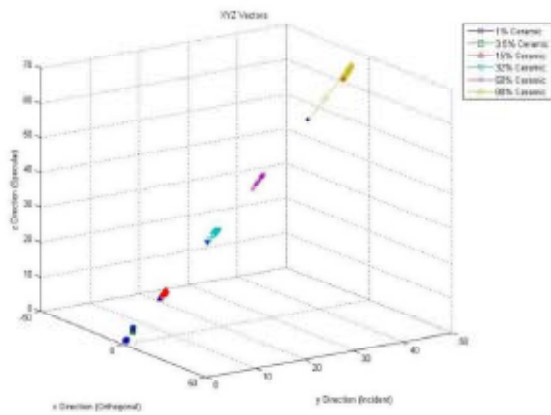


図5aおよび図5bには、グレースケールのセラミックタイルで測定した一連の結果が示されています。反射率の値は、それぞれ1%、3.5、15、32、50、88%です。

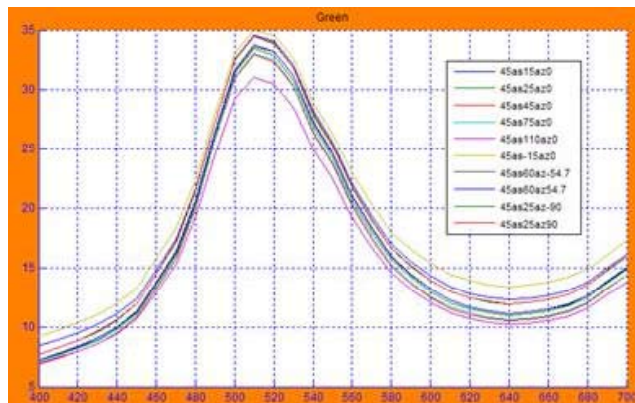
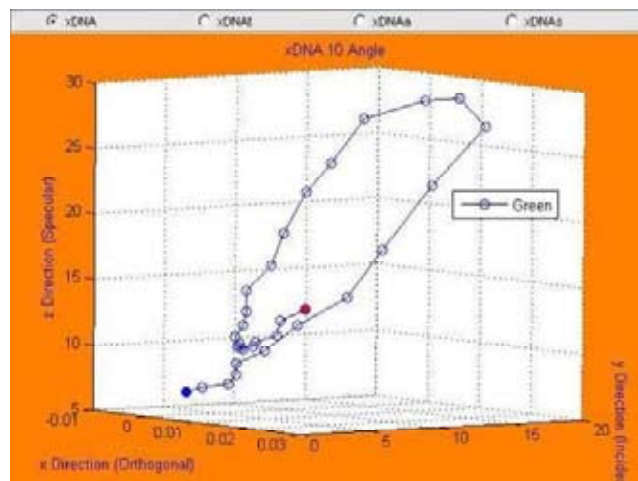
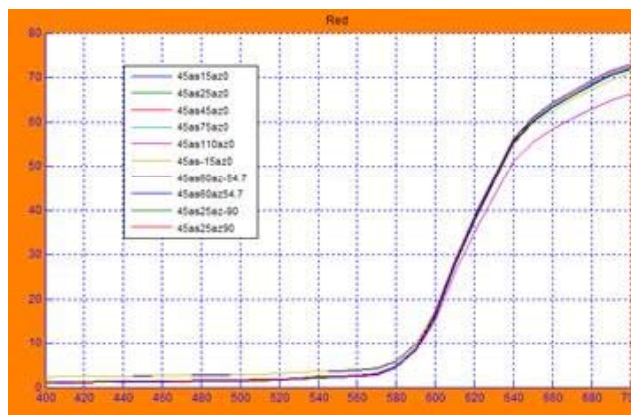
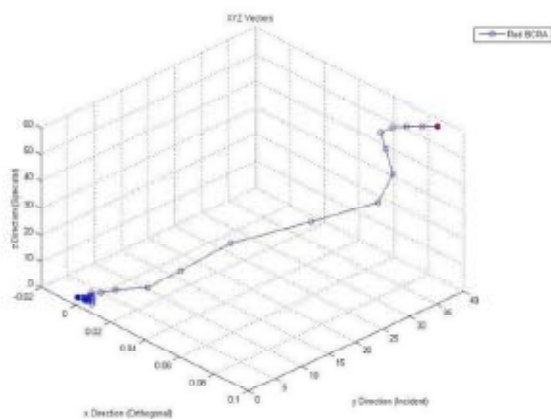


図6 赤色および緑色のBCRAタイルの例。図6aは赤色のxDNAを示しています。図6bは、赤色のスペクトル反射率を示しています。図6cおよび図6dは緑色のタイルに関する結果です。

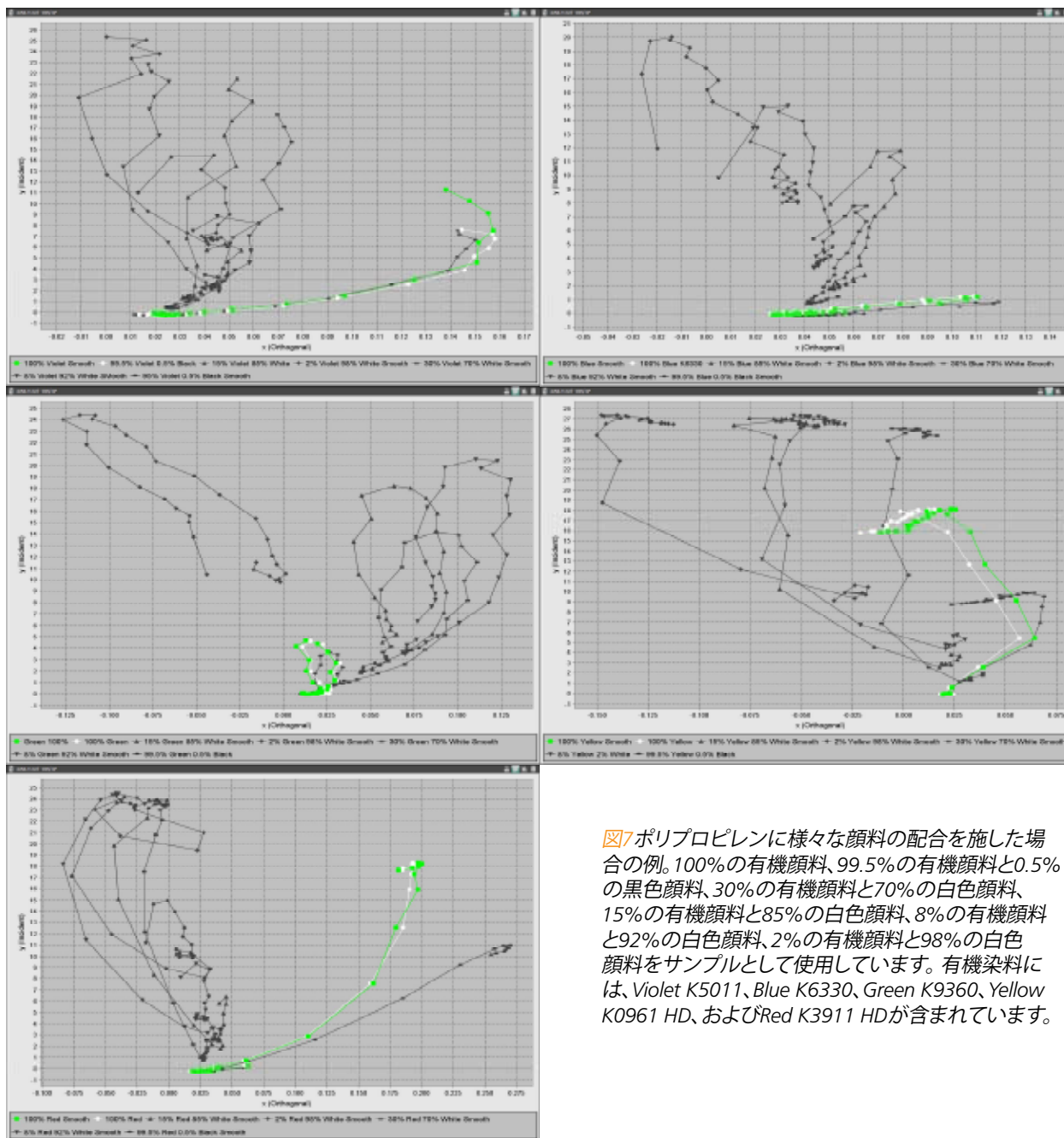


図7 ポリプロピレンに様々な顔料の配合を施した場合の例。100%の有機顔料、99.5%の有機顔料と0.5%の黒色顔料、30%の有機顔料と70%の白色顔料、15%の有機顔料と85%の白色顔料、8%の有機顔料と92%の白色顔料、2%の有機顔料と98%の白色顔料をサンプルとして使用しています。有機染料には、Violet K5011、Blue K6330、Green K9360、Yellow K0961 HD、およびRed K3911 HDが含まれています。

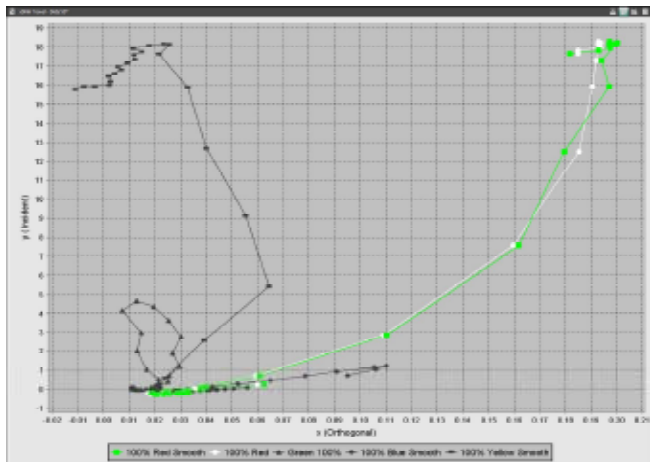


図8 某社の完全濃縮された有機染料のクロススペクトルをxDNA空間にプロットしたもの

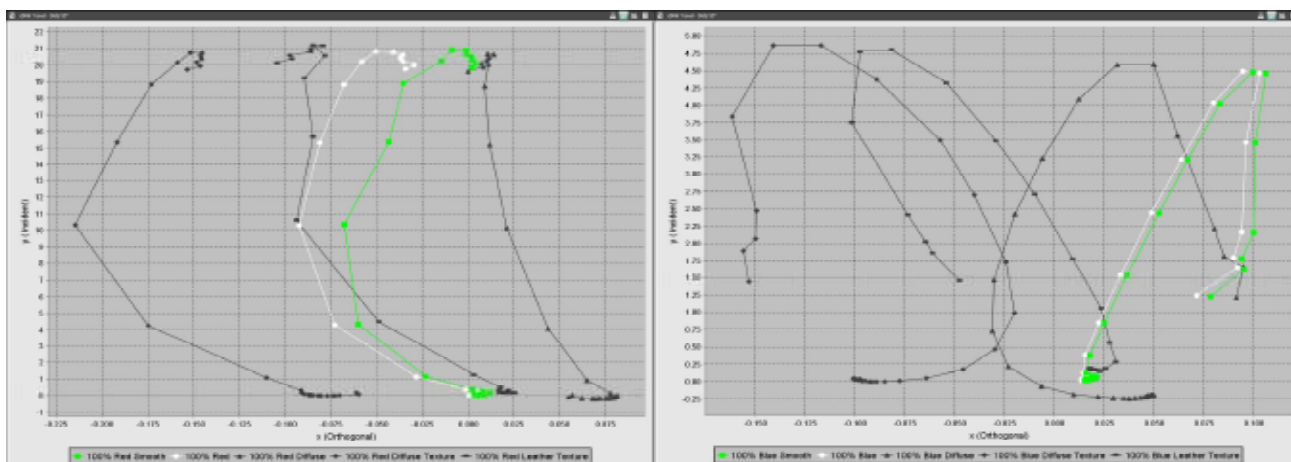


図9 表面形状のみが違うサンプルをxDNA空間にプロットしたもの

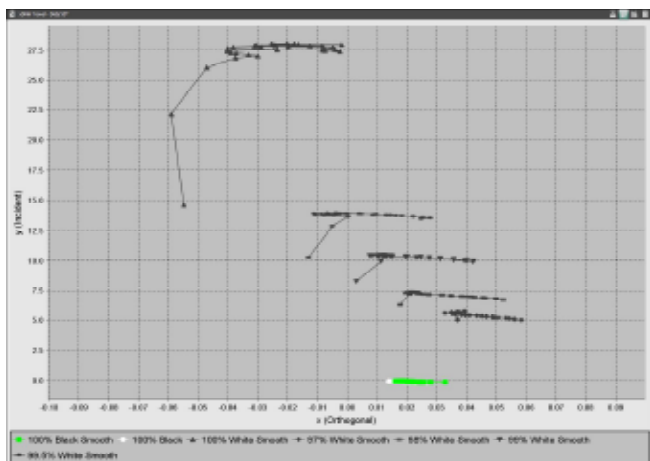


図10 濃度は同じで、黒色および白色の顔料を使用した場合のグレースケールの調色結果

