

つくる情熱を、支える情熱。

**CYBERNET**

～皮膚の研究や化粧品の開発支援ソリューションのご紹介～  
肌の見栄えシミュレーションと化粧品の光学測定

サイバネットシステム株式会社



- 化粧品開発は処方設計や素材、原料の選定を行い、試作品を作成して評価を行います
- この作業には非常に時間がかかります
- また、試作品の評価で狙いの見栄えや質感を確認できるとは限りません
- この場合、処方設計や素材選定から、作業をやり直すこととなります
- しかし、試作前にシミュレーションを行うことで試作数を削減できます
- さらに、適切な環境(自然光)設定で、塗布した化粧品からの反射光を測定し、シミュレーション結果と比較しておけば、今後のシミュレーションの確からしさを向上できます



-化粧品開発の課題と対策

-対策の具体例

-化粧後の肌の見栄えシミュレーション

-2D分光放射計SR-5000による化粧品の評価手法

-関連製品紹介 散乱測定器

-まとめ

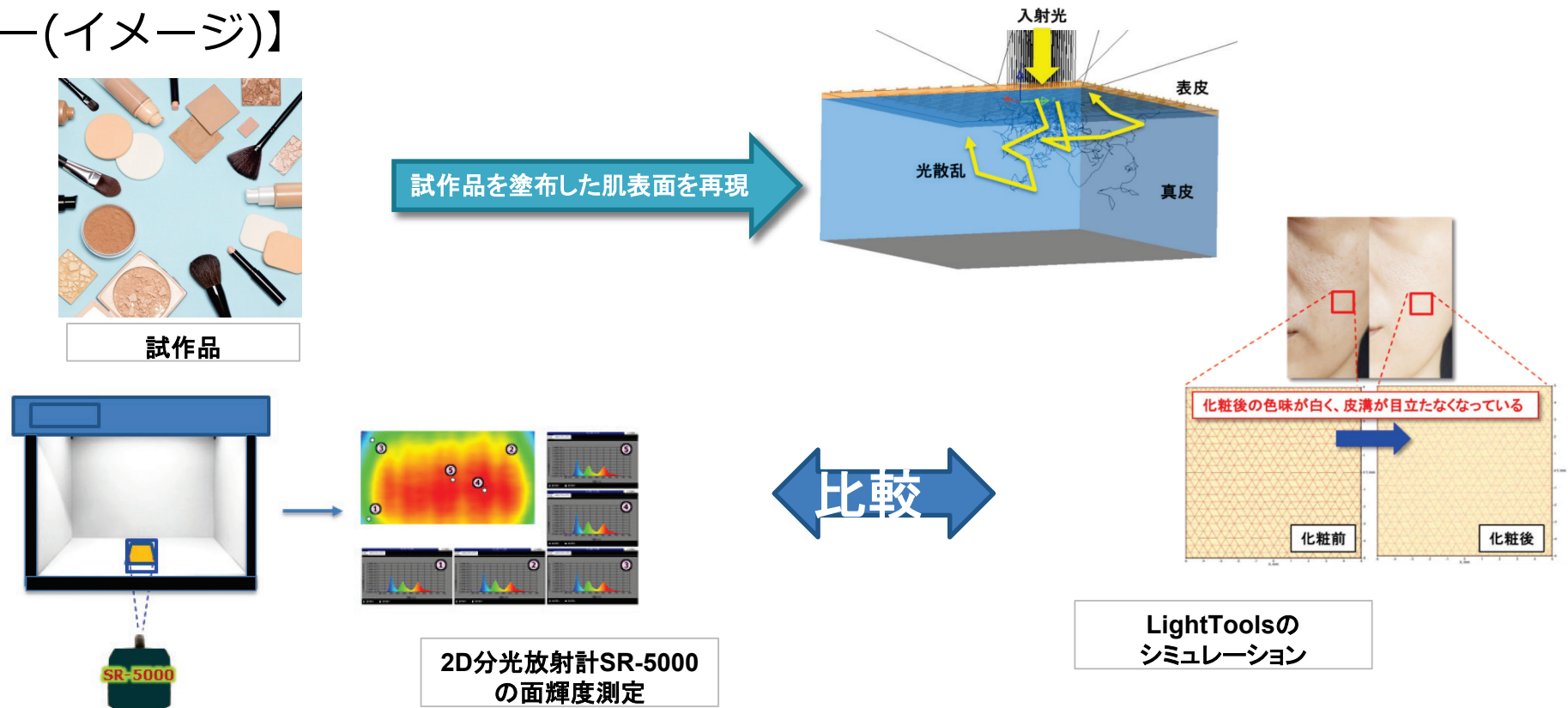


# CYBERNET 化粧品開発の課題と対策

## 【課題】

- ・化粧品の光散乱の特徴を確認したい
- ・試作をする前に、もっと精度の高い検討を行いたい
- ・化粧品/スキンケア材の塗りムラや見栄えを評価したい

## 【対策のフロー(イメージ)】



## LightToolsによる肌の見栄えシミュレーション

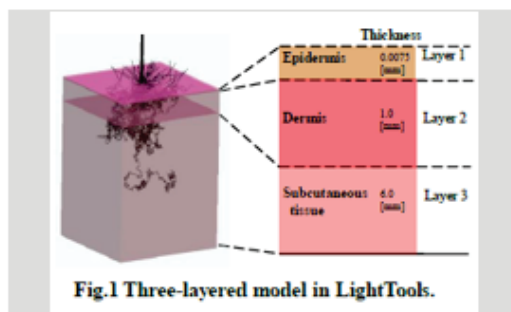


# CYBERNET はじめに、LightToolsとは？

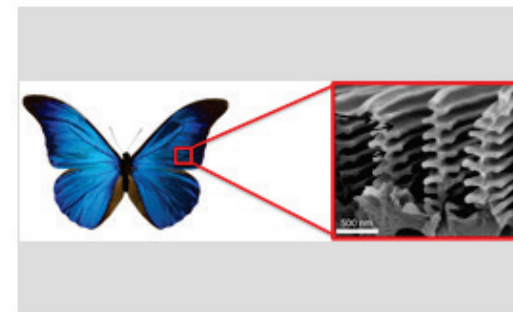


米国Synopsys社の開発した照明設計解析ソフトウェアです。  
日本国内では弊社サイバネットシステムが販売代理店を努めております

照明機器の開発・設計・解析など、あらゆる場面で使われており、試作や実験回数の削減、製品品質の向上、開発期間の短縮など、トータルな開発コストの削減という効果が期待できます。



分光反射率によりヒト皮膚の生体情報を推定する研究



微細構造による散乱の波長特性を含めた解析手法

製品紹介URL: <http://www.cybernet.co.jp/lighttools/>



1. モチベーション
2. 構造モデリング
  - 2-1. 肌のキメ構造モデリング
  - 2-2. 皮膚構造モデリング
3. 光学特性
  - 3-1. 肌の分光反射率
  - 3-2. 表皮内部の散乱
  - 3-3. 真皮内部の散乱
4. 光源設定
5. 受光器設定
6. 肌の見栄えシミュレーション
  - 6-1. 化粧前の肌の見栄えシミュレーション
  - 6-2. 化粧後の肌の見栄えシミュレーション
7. まとめ



- 化粧品開発では処方設計、素材や原料を選定し試作品を作成するため、試作品を用意するまでに時間がかかる
- 作成した試作品で狙いの見栄えや反射特性が得られなかった場合、処方設計や素材、原料を見直すことになる
- 事前に化粧品粒子の光散乱の特性がシミュレーションで把握できていれば、見直す工数が削減され試作数の低減に有効になる



本資料では、肌のキメ構造モデルと肌の生体情報を利用した化粧前後の見栄えシミュレーション事例をご紹介します

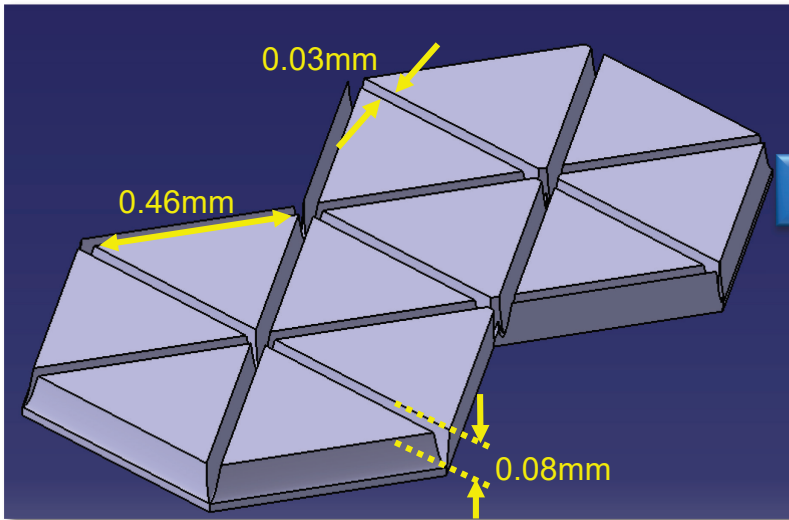




## 2-1.肌のキメ構造モデリング

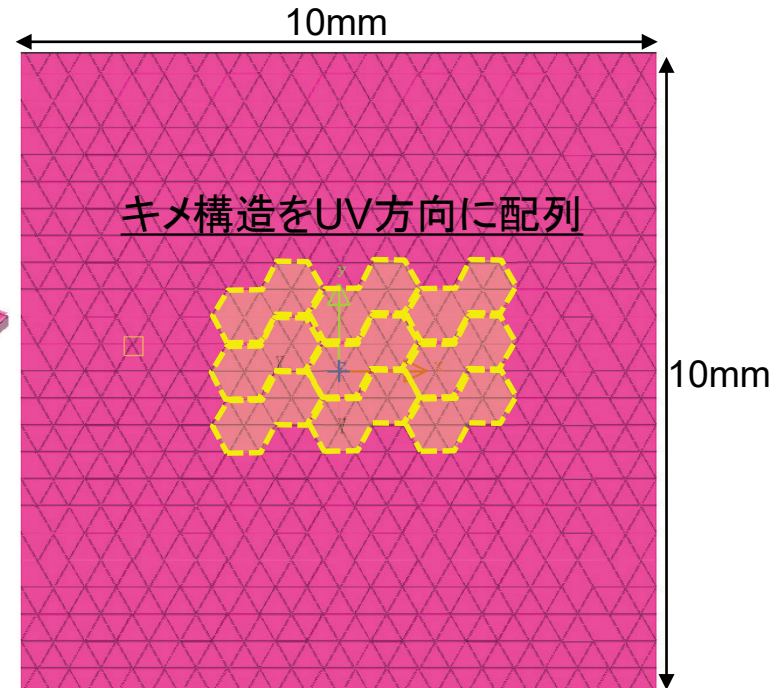
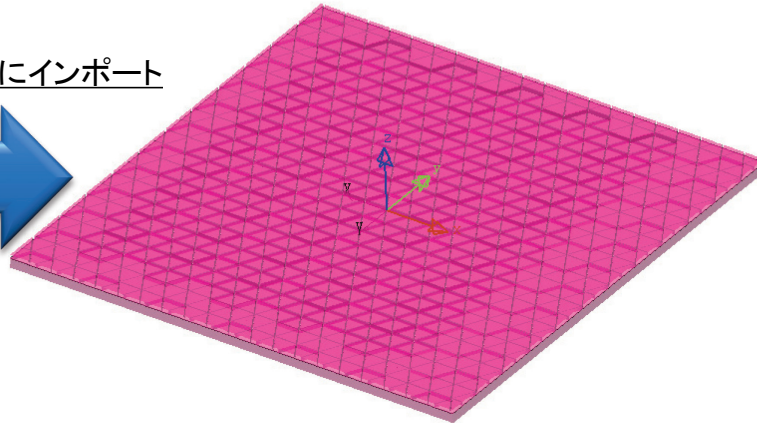
肌のキメ構造は文献を参考にして以下のようにモデリングしました  
LightToolsの配列機能を使用してCATIAで作成したキメ構造を配列します

### CATIAでモデリング



皮丘幅:0.46mm  
皮溝幅:0.03mm  
皮溝深:0.08mm

LightToolsにインポート

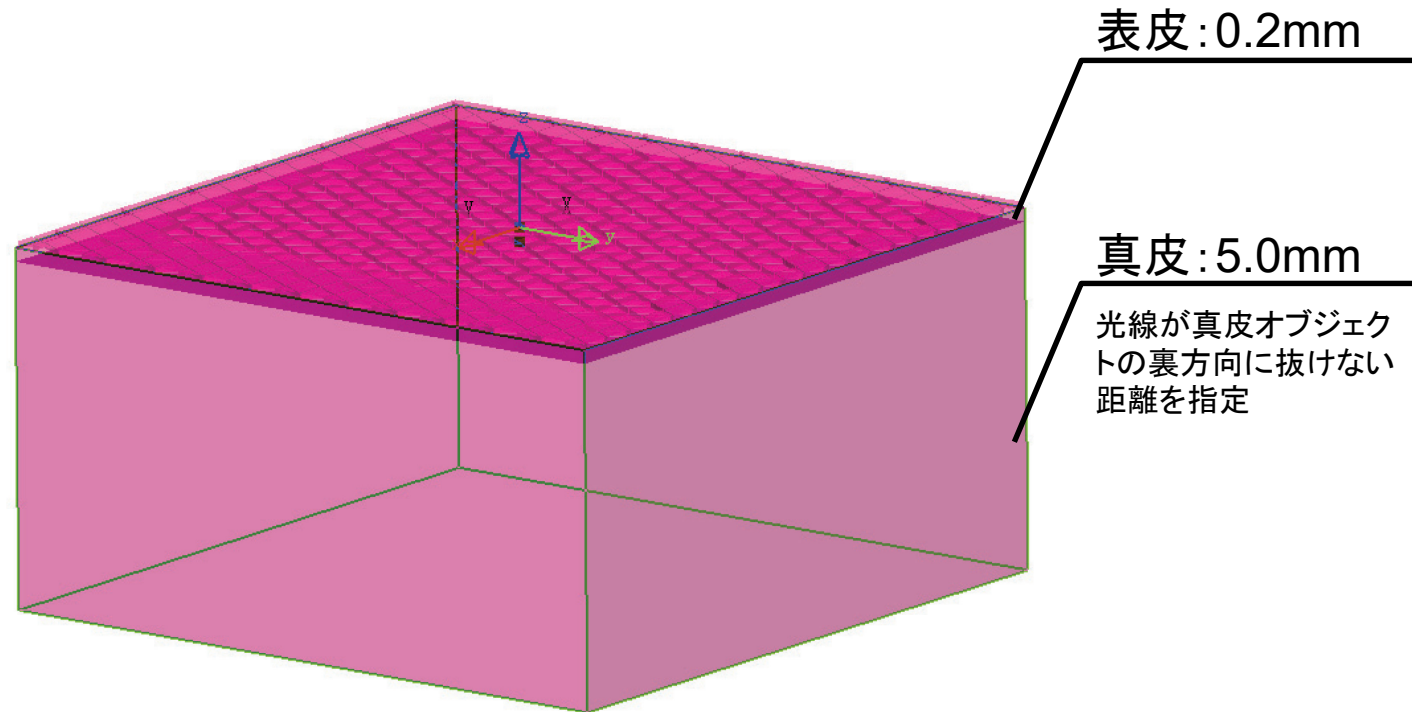


LightToolsの3Dテクスチャ機能を利用すれば複雑な配列構造であっても、データサイズを小さくして作成可能なため、3Dビューが重くならずスムーズな表示になり、更にシミュレーション負荷も抑えることができます



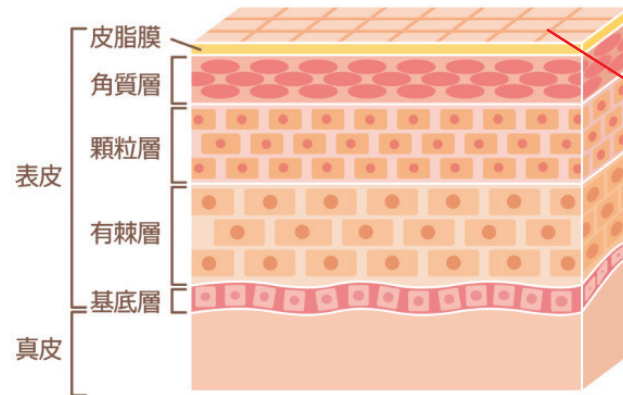
## 2-2.皮膚構造モデリング

肌の構造として表皮、真皮などは文献を参考にして以下のようにモデリングしました

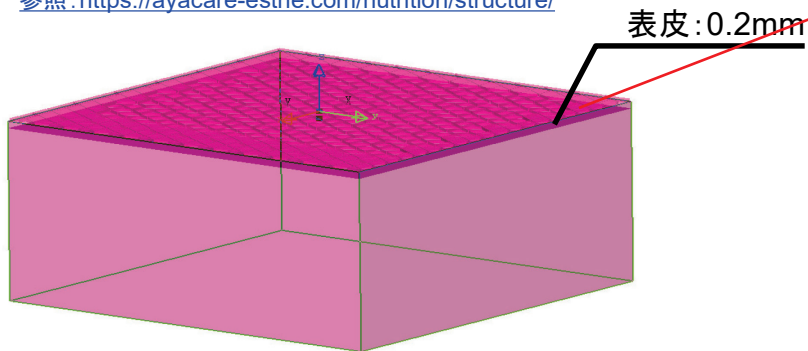


## 3-1. 肌の分光反射率

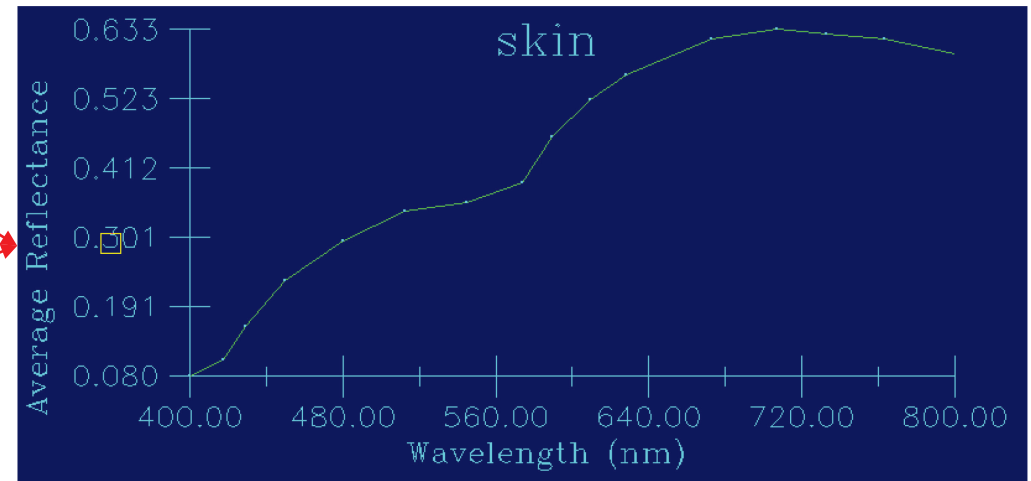
表皮内部に浸透する前に、皮脂膜や角質層といった肌表面で一部の光が反射されます。この反射率は波長により異なります。この肌表面で発生する反射を分光反射率として定義しています。



参照: <https://ayacare-esthe.com/nutrition/structure/>

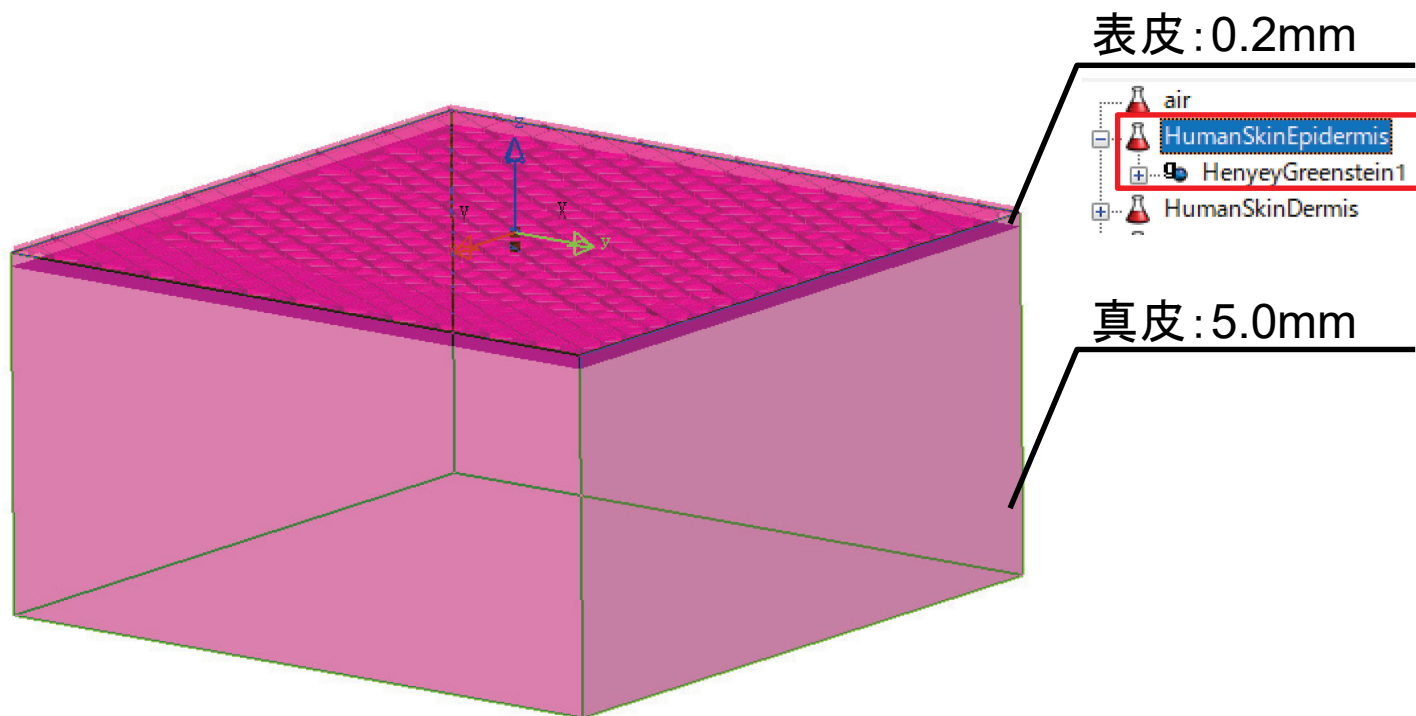


### 肌表面の分光反射率

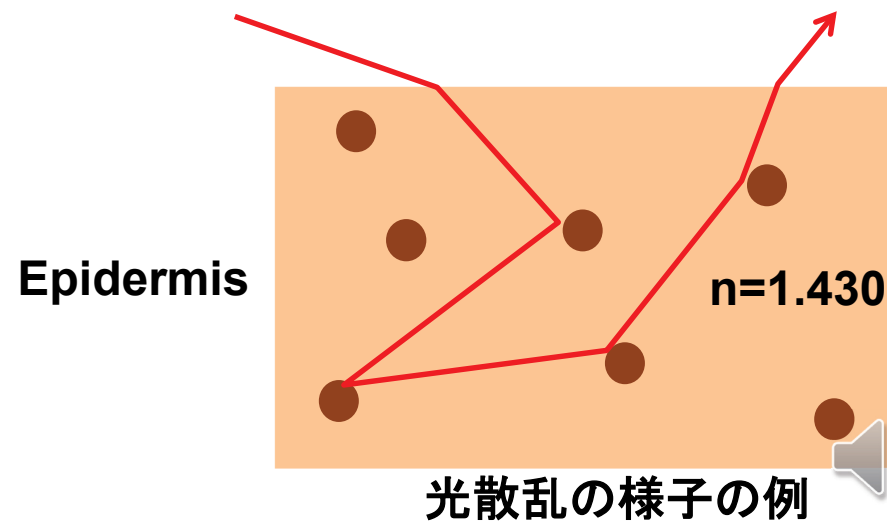


## 3-2. 表皮内部の散乱

肌表面で反射されなかった光線は表皮内部へ浸透します。表皮内部ではメラニン色素などにより光は散乱します。LightToolsの材質ライブラリには“HumanSkinEpidermis”が含まれているため、これを利用してシミュレーションを実施します。

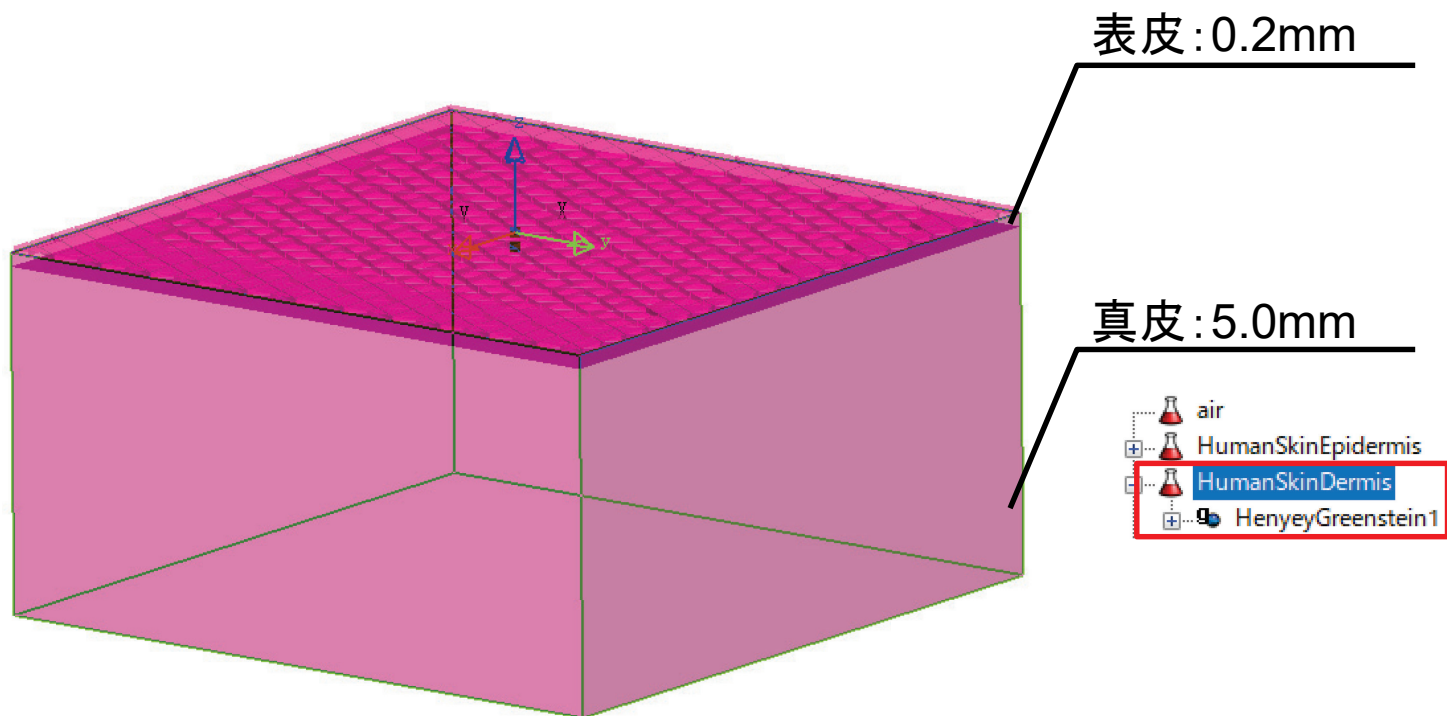


“HumanSkinEpidermis”では散乱粒子を除いた媒質の屈折率は1.4300と定義され、粒子に光線が衝突したときに発生する散乱分布はHenyeGreensteinで定義されています。光線は散乱粒子に衝突した際、HenyeGreensteinの定義に従い、確率で散乱方向を決定します

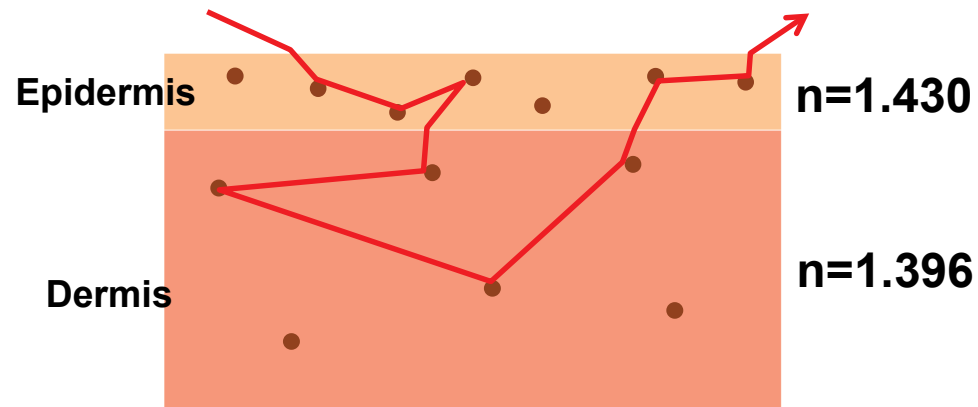


### 3-3. 真皮内部の散乱

表皮内部で散乱された光線は確率で皮膚外部へ射出されるか、真皮内部に浸透していきます。真皮内部では表皮同様に光は散乱されます。表皮同様にLightToolsに含まれる“HumanSkinDermis”を利用して散乱の様子をシミュレーションします。



“HumanSkinDermis”では散乱粒子を除いた媒質の屈折率は1.3960と定義され、粒子に光線が衝突したときに発生する散乱分布はHumanSkinEpidermisと同様にHenyeyGreensteinで定義されています。

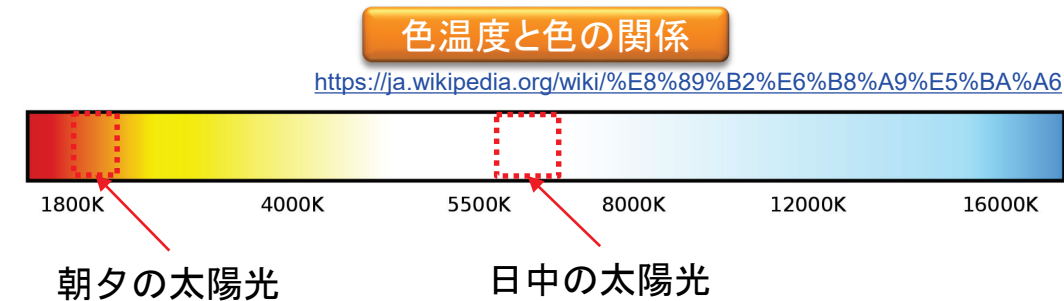
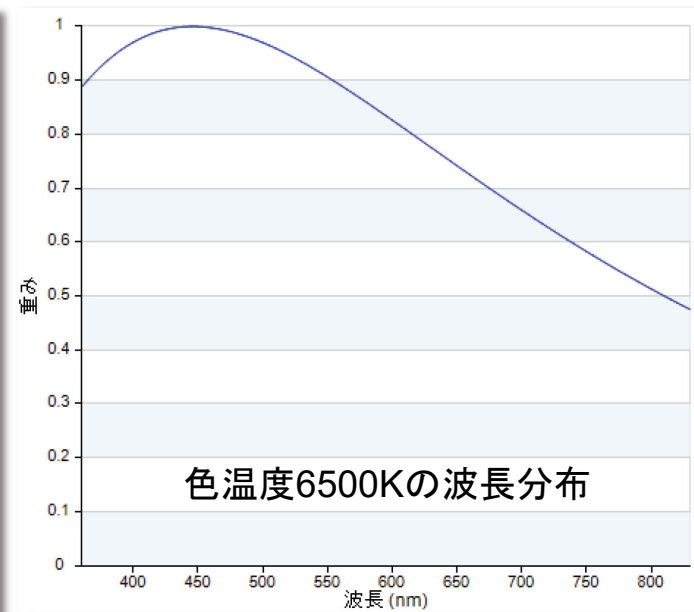
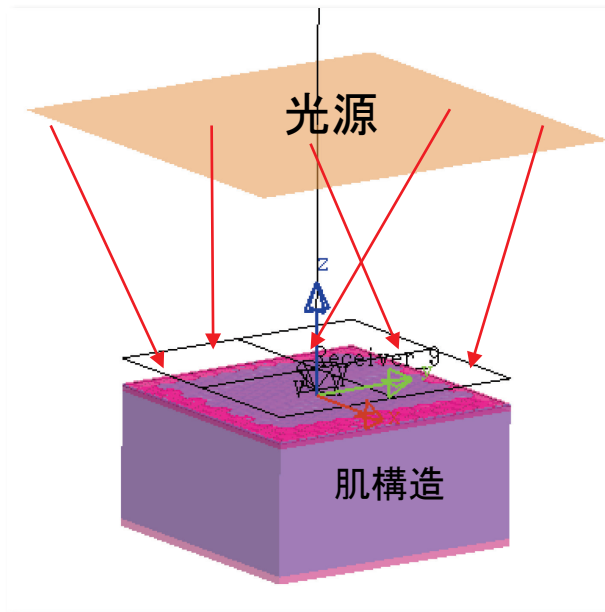


光散乱の様子为例



## 4. 光源設定

澄み切った正午の太陽光はおよそ6500Kの分布を持つといわれているため、光源の波長分布は6500Kと設定しました。波長は色温度の他にも直接波長分布を指定したり、ガウス分布で指定することなども可能です。

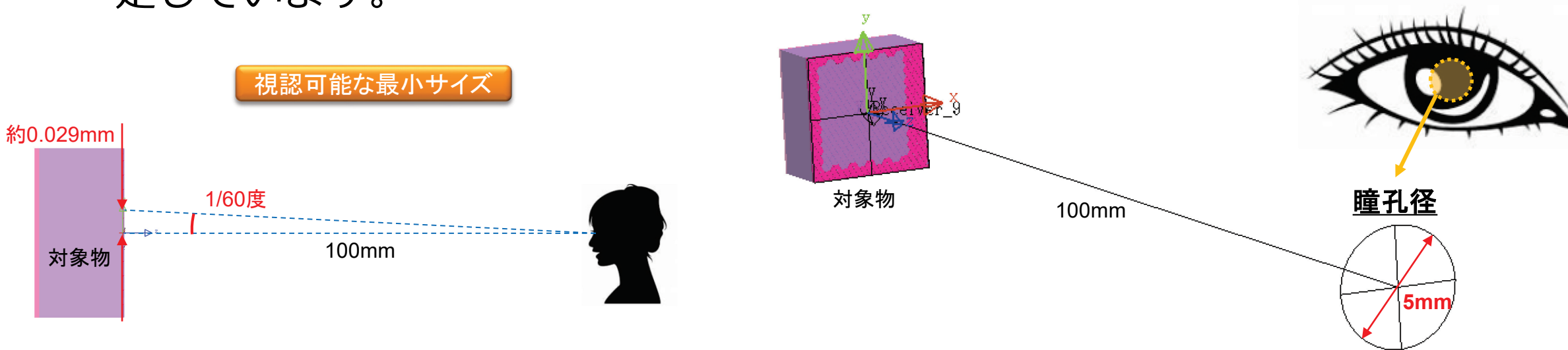


光源から放射される光線は肌構造にのみ向かうように設定



# CYBERNET 5.受光器設定

見栄え評価のため、受光器は人間の目と同程度の性能であるように設定します。人間の目では1/60度が視認できる限界といわれているため、対象物から100mmの距離では視認できる最小サイズは約0.029mmとなります。また人の瞳孔径は2~8mm程度とされているため、本資料では5mmと指定しています。



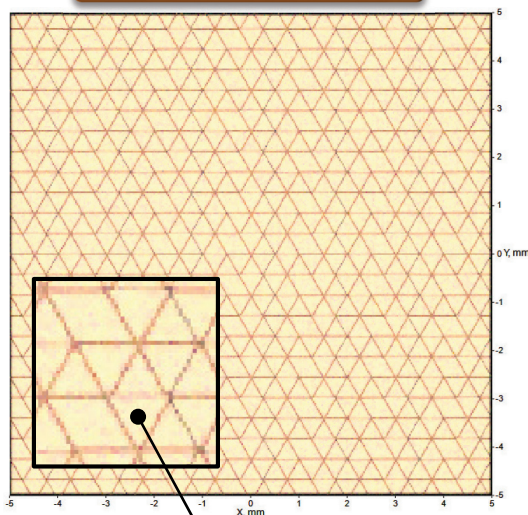
瞳孔径が受光部に相当します。この領域に到達した光線进行评估することで、人の目で認識する光線情報のみで評価することになります。



## 6-1. 化粧前の肌の見栄えシミュレーション

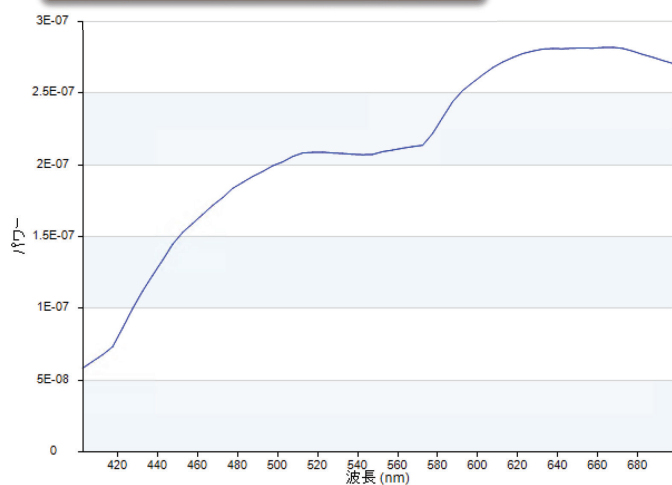
これまで紹介してきた条件で光線追跡を実施し、化粧前の肌の見栄えをシミュレーションしました。肌の色情報は三刺激値XYZやCIE座標値などで得られるので定量的な評価が可能です。また肌全体のスペクトル分布チャート結果から波長ごとの強度評価ができます。

肌の見栄え結果

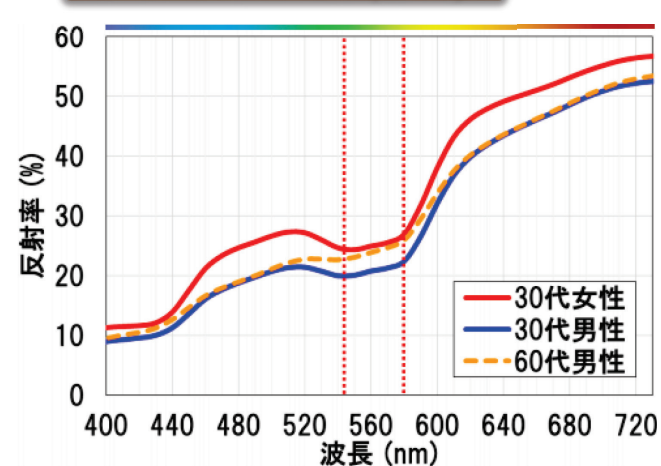


[例]  
RGB=(255,236,157)  
CIE(u,v)=(0.3830,0.4154)

肌のスペクトル分布結果



肌の分光反射率(参考)



出展: [http://www.sakai-chem.co.jp/products/pdf/new02\\_Lumate.pdf](http://www.sakai-chem.co.jp/products/pdf/new02_Lumate.pdf)

スペクトル分布の結果は公開されている肌の分光反射率と類似した傾向を示していることが分かります。



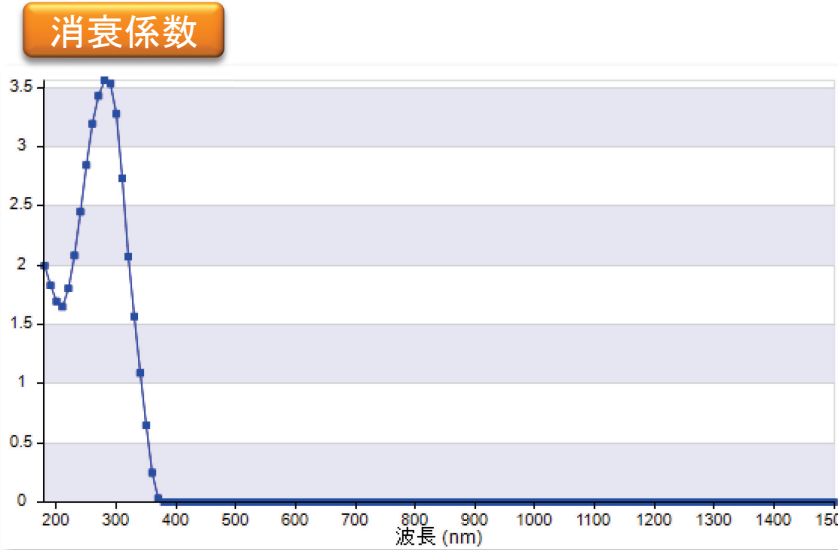
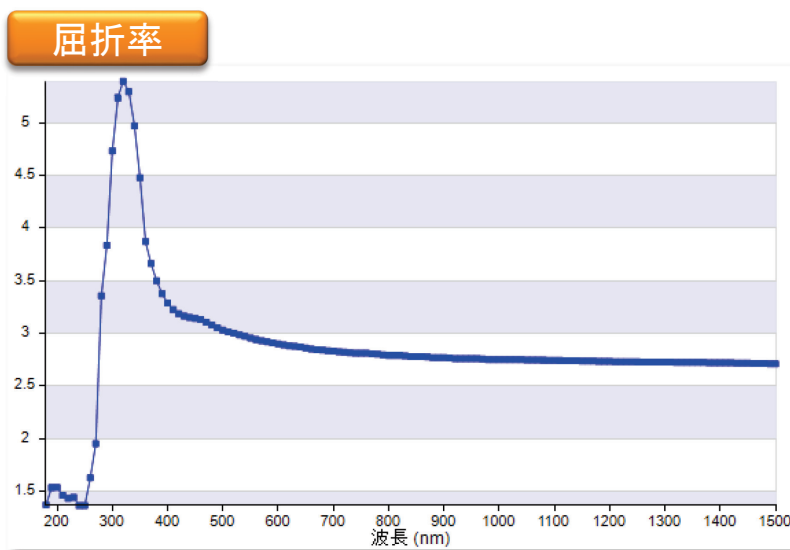


## 6-2. 化粧後の肌の見栄えシミュレーション

本資料では化粧品の白色顔料として使用される酸化チタンを皮膚に塗布する顔料としました。酸化チタンの屈折率や消衰係数はWeb情報を参考に以下のように設定しました。



【出展】<https://cosmetic-ingredients.org/uv-protect/%E9%85%B8%E5%8C%96%E3%83%81%E3%82%BF%E3%83%B3%E3%81%AE%E6%88%90%E5%88%86%E5%8A%B9%E6%9E%9C%E3%81%A8%E6%AF%92%E6%80%A7/>



屈折率・吸収率データ元: <https://www.filmetricsinc.jp/refractive-index-database/TiO2+-+Rutile>

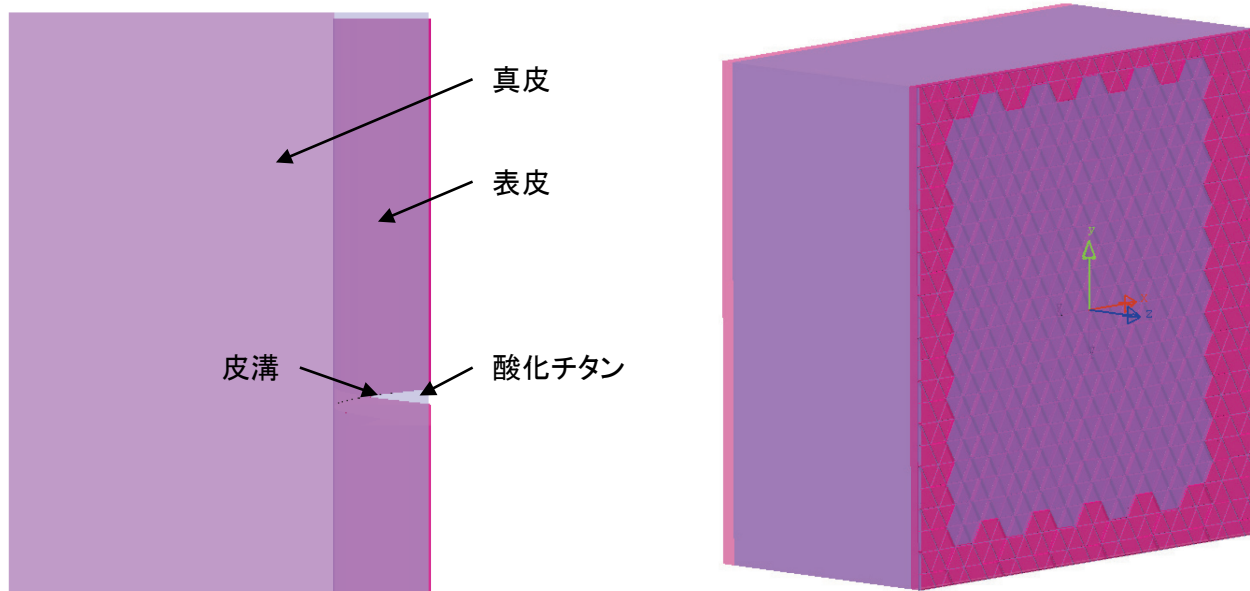
補足: 消衰係数とは?

消衰係数とは複素屈折率の虚数部を意味し、 $n-ik$ で示される $k$ 値を指します。消衰係数は波長に対するエネルギーの減衰を表しているため、この値により部材の色が決定します。



## 6-2. 化粧後の肌の見栄えシミュレーション

酸化チタンの粒径は文献を参考に200nmと設定しました。化粧品に含まれる密度の情報は見当たらなかつたため、 $1.0 \times 10^9$  [個/mm<sup>3</sup>]と推定して設定しました。皮溝幅と比較して酸化チタンの粒径は十分小さいため、皮溝部に埋まり、皮丘部には存在しないものと推定してモデリングしています。



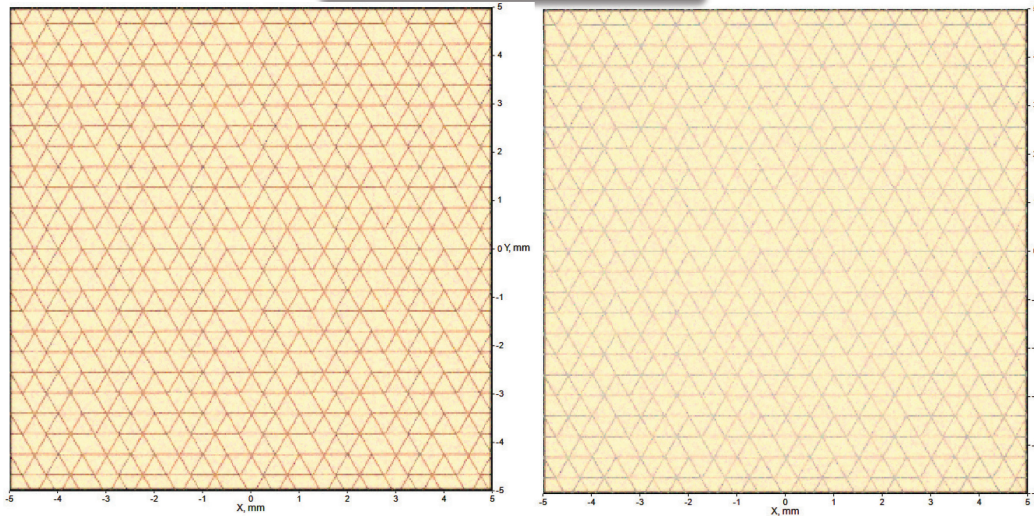
描画の関係で酸化チタンが浮いて見えていますが、皮溝部分にのみ酸化チタンが埋まっているようにモデリングされています。



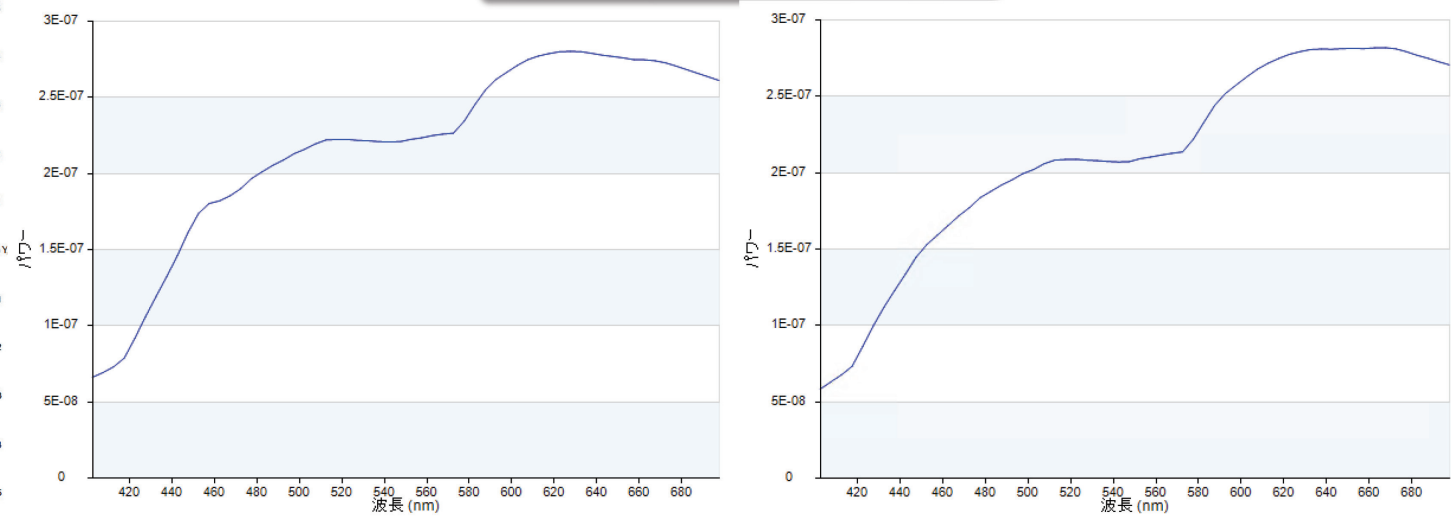
## 6-2. 化粧後の肌の見栄えシミュレーション

酸化チタンを化粧として使用した後の肌の見栄えシミュレーション結果は以下のとおりです。化粧前と比べて皮溝が目立ちにくく、全体の白みが増していることが分かります。一方で、全体のスペクトル分布では殆ど差が見られませんでした。

肌の見栄え結果比較

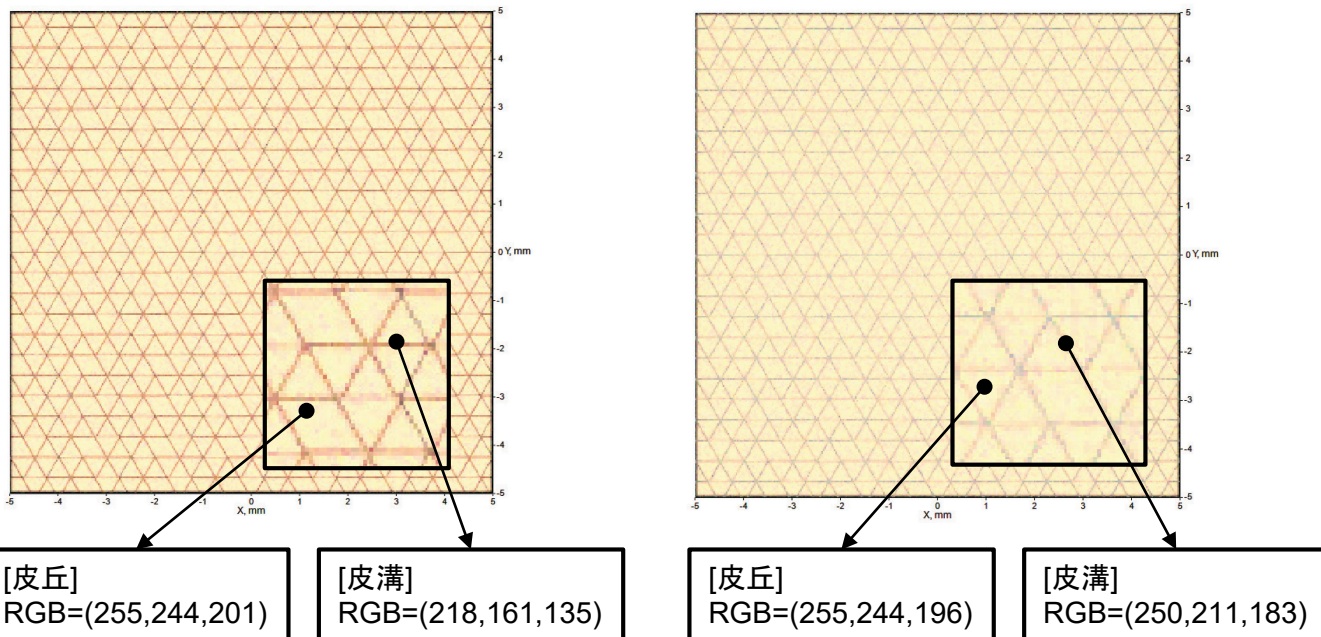


肌のスペクトル分布結果比較



## 6-2. 化粧後の肌の見栄えシミュレーション

皮丘と皮溝の色で比較して見た結果は以下のとおりです。化粧前後では皮丘の色味はほとんど変化しておらず、皮溝の色が明るくなっています。酸化チタンは皮溝に存在しているため、皮溝の色味が明るくなることで全体的に白みが増した印象が出ています。全体の色としては皮丘の方が主であるため、スペクトル分布比較では差が出なかったものと推測されます。



化粧前後の色の変化

	化粧前	化粧後
皮丘	RGB(255,244,201)	RGB(255,244,196)
皮溝	RGB(218,161,135)	RGB(250,211,183)



- 肌のキメ構造をモデリングし、表皮や真皮といった生体に関する光学特性を付与することで肌の見栄えシミュレーションが可能であることが示されました
- 酸化チタンなどの顔料でも屈折率や吸収率、粒径などが分かれば光学シミュレーションにより化粧としての効果が確認可能であることが示されました
- 化粧品品の粒径や密度など、より詳細な情報が得られればシミュレーション結果の更なる向上が見込まれます



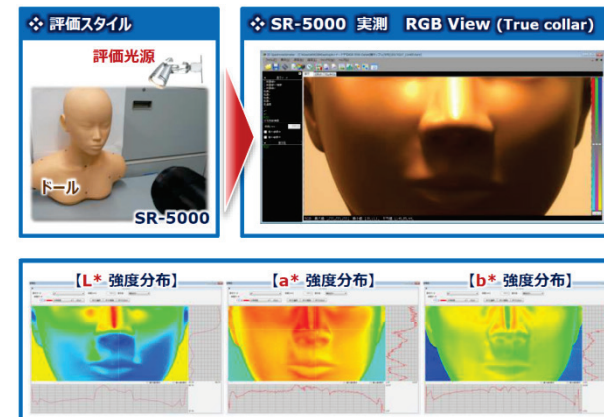
## 2D分光放射計SR-5000による化粧品の評価手法



# CYBERNET 2D分光放射計 SR-5000とは？

## 【製品概要】

- SR-5000は面一括で分光放射を測定できるハイパースペクトル計測方式を採用した測定器です
- 国家標準に直結したトレーサビリティを確立しています
- 専用ソフトウェアにて、任意の測定スポットにおける分光スペクトルの重ね合わせによる比較や、異なる光源下における「物体色シミュレーション」、年齢別分光感度や視覚特性に対応した「視認性シミュレーション」を行うこともできます
- その他、超低輝度対応機、近赤外対応機、2D色彩輝度計、なども取り扱っております

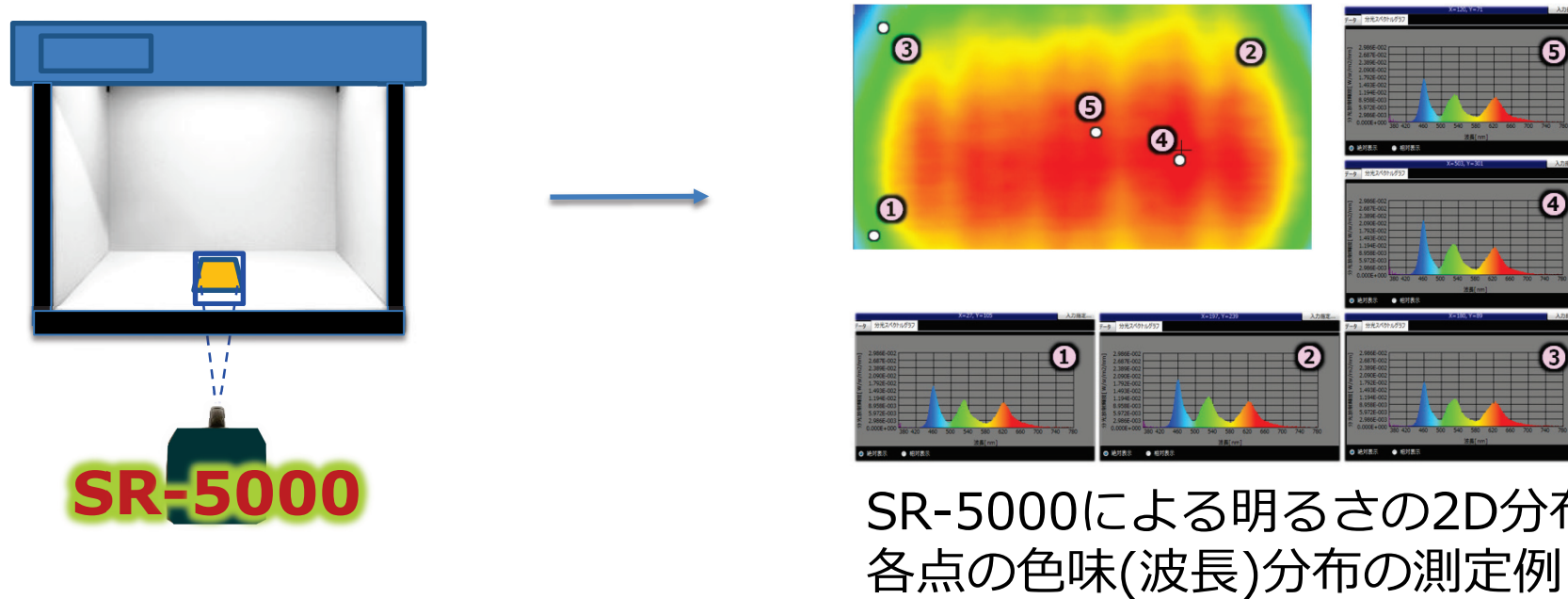


顔に化粧品を塗布した際の色味の詳細測定例



# CYBERNET 標準光源装置を利用した化粧品の測定

- 化粧品を塗ったサンプルを標準光源装置に置き、自然光を照明することで、屋外での観察環境と同じ条件で明るさや色味を測定可能です



SR-5000による明るさの2D分布と各点の色味(波長)分布の測定例

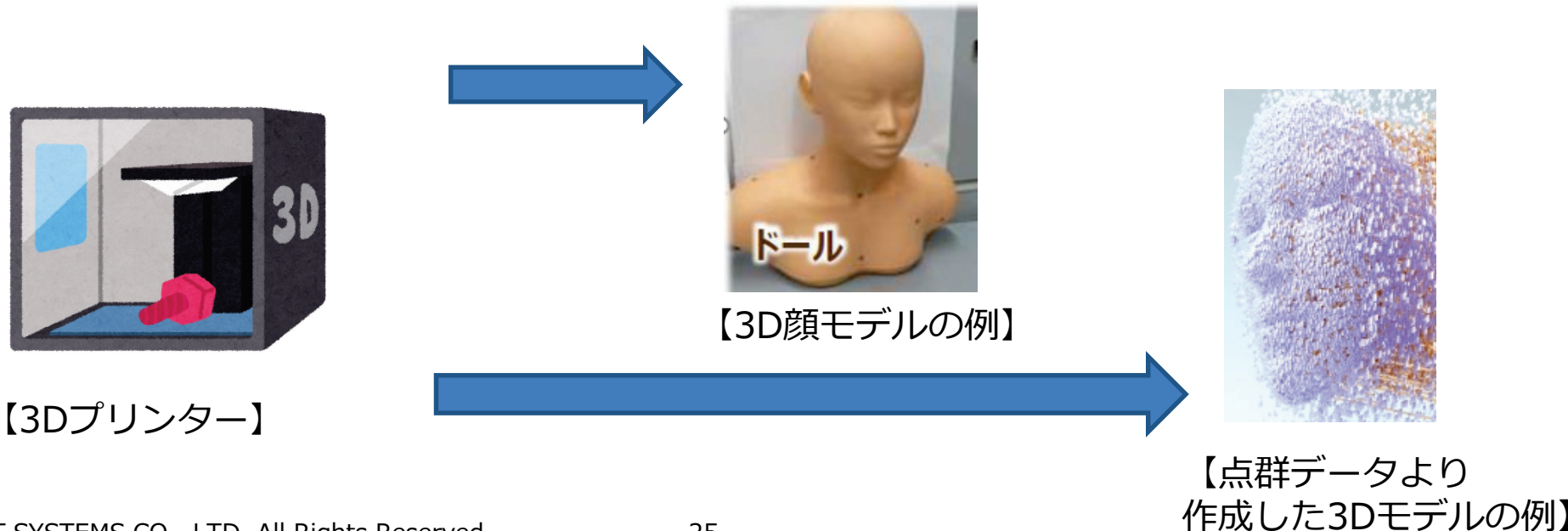
※一般的な標準光源装置では、昼光(D65)や白色蛍光灯、電球色などを照明できます





# CYBERNET 3Dデジタイザーによる顔形状モデルの作成

- 3Dデジタイザーで実際の顔をスキャンし、点群データを得ることで顔の形状モデルが作成できます
- 3Dプリンターにより、実際の形状を再現すれば化粧品を塗布して測定ができます。顔の形状で変化する陰影や明るさの測定が可能です
- また、スキャンした3D顔モデルの表面に、光散乱測定器で測定した化粧品の反射データを設定すれば、仮想空間で化粧品の見え方をシミュレーションできます



# CYBERNET 昼光照明の測定環境を構築

- 暗室  
室内の照明器具が測定対象に与える影響を遮断できます
- 人工太陽光源  
昼光(D65など)を再現する評価用の光源として最適です
- 回転目盛付きの台座  
SR-5000を正確な方向から測定対象を測定する際に有効です

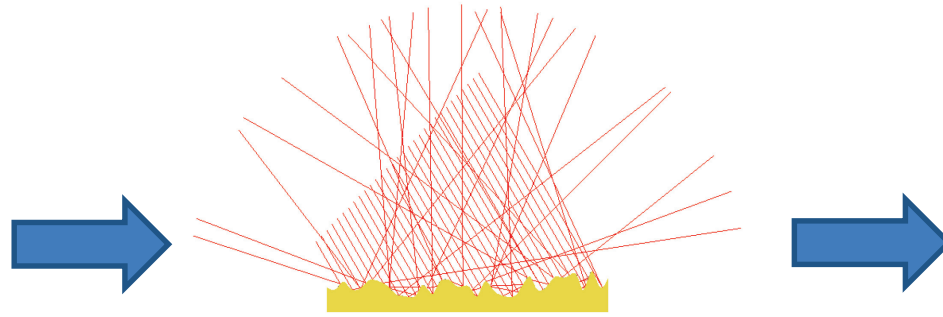


# 関連製品紹介 散乱測定器

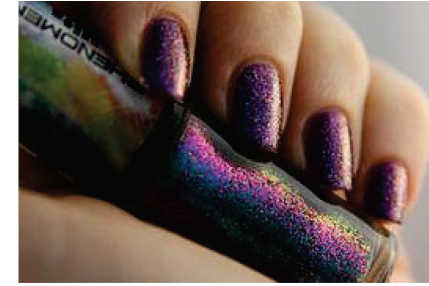




試作化粧品



塗布時の形状で  
発生する表面散乱のイメージ

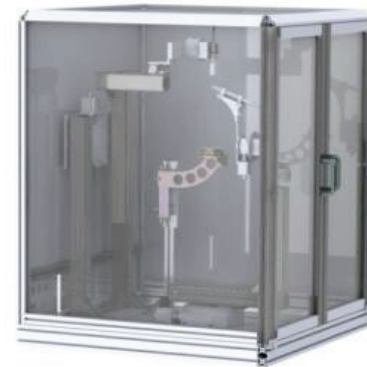


表面散乱による色変化の例

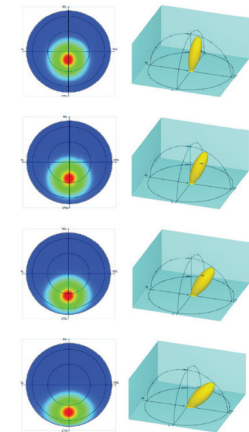
- 不規則で微細な凹凸が有る面に光が入射すると、様々な方向に屈折、反射します  
このような状態を表面散乱と呼びます
- **化粧品**の塗布時に発生する表面の微細形状により、微妙な色変化が生じますが、あらかじめ散乱測定をすることでこの現象を予測することができます



# CYBERNET 光散乱で測定するデータ



散乱測定器



LightToolsに  
取り込んだ測定データ

入射光

散乱光

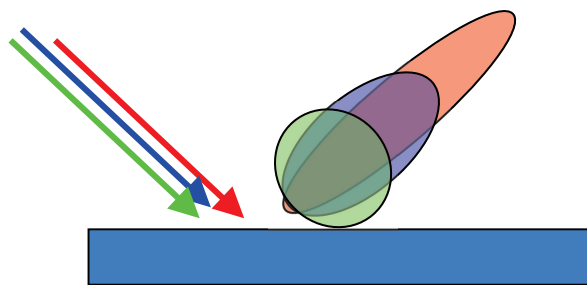
散乱分布

測定する散乱分布

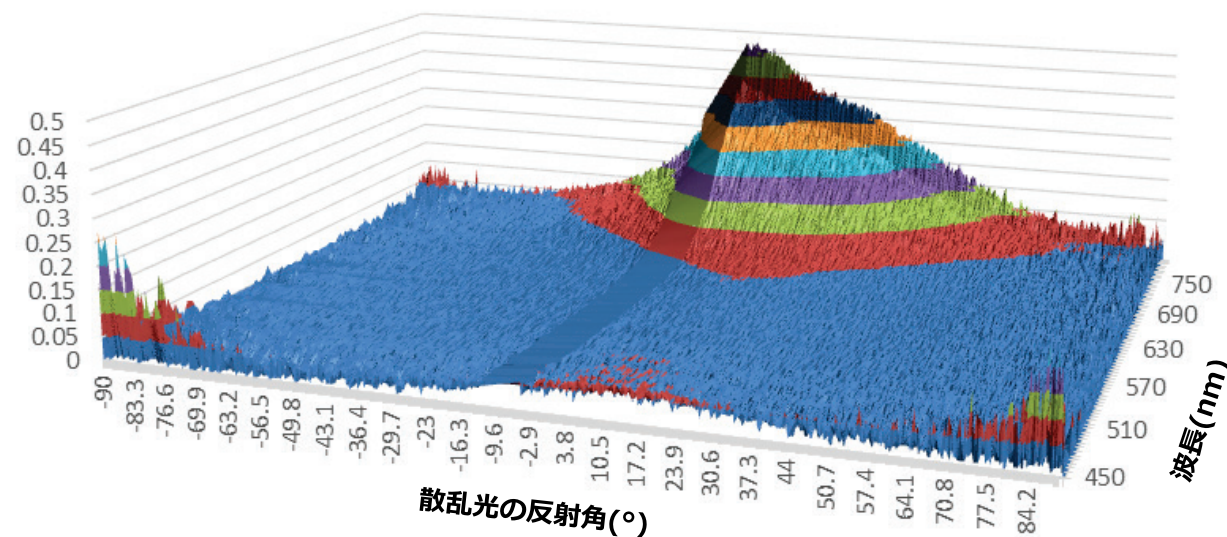


# CYBERNET 色により変化する散乱分布の測定データ例

- 化粧品では口紅やカラーネイルなどが色(波長)に対して散乱分布が変化するものがあります
- 蛍光塗料なども同じような特性を持っています
- このような場合、420nmから900nmの可視波長の領域にて、波長ごとに散乱分布(BSDF)を測定します



分光の反射散乱分布  
のイメージ



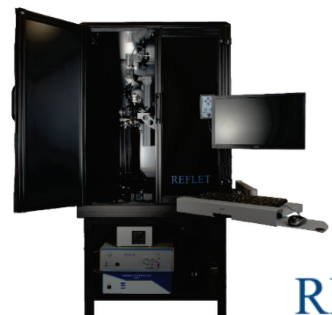
分光の反射散乱分布  
の測定データ



# CYBERNET 関連製品紹介 散乱測定器

- 化粧品には、散乱測定器により測定したデータから散乱特性を設定したシミュレーションを実施することをお勧めいたします
- 当社取扱いの測定器はLightTools取込みフォーマットに出力できます

Light Tec 散乱測定器



REFLET



Mini-Diff VPro



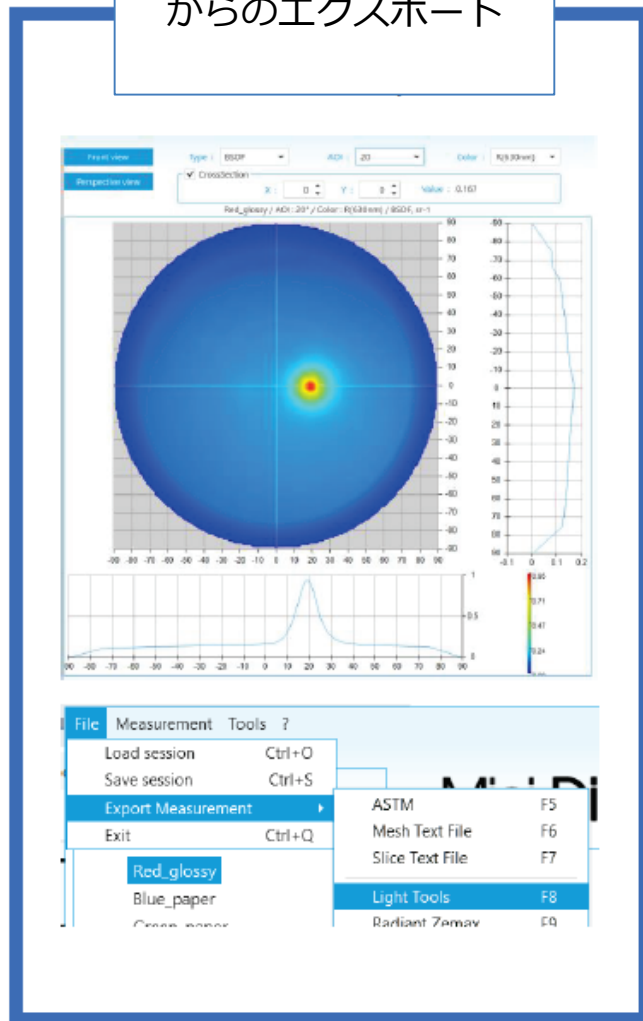
Mini-Diff V2

測定できる角度	自由 (反射: 10~85度、透過0~85度)	自由 (反射&透過: 0~60度1度ピッチ)	4種類のみ (0度、20度、40度、60度)
正確性	非常に高い (可視域10e9)	高い (可視域10e6)	標準 (可視域10e5)
精度	高い (角度分解能0.01、0.1、1、10度)	高い (角度分解能0.5度)	標準 (角度分解能1度)
測定にかかる時間	60秒 (180度断面測定: 1方位角)	10~30秒 (1入射角)	10~30秒 (1入射角)

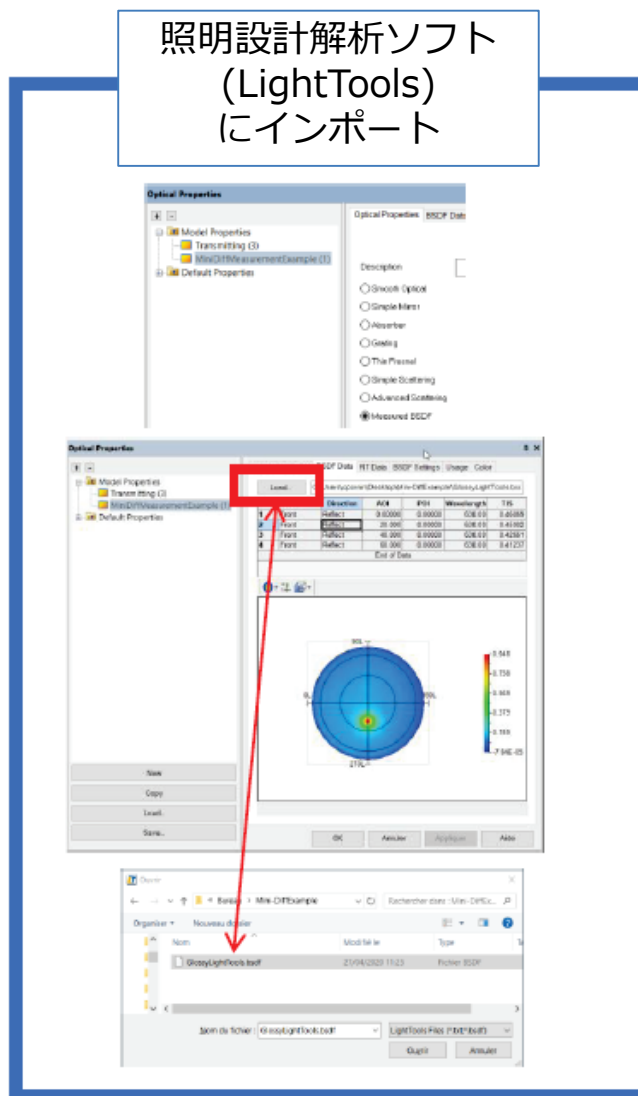


# CYBERNET 測定データをシミュレーションに利用する流れ

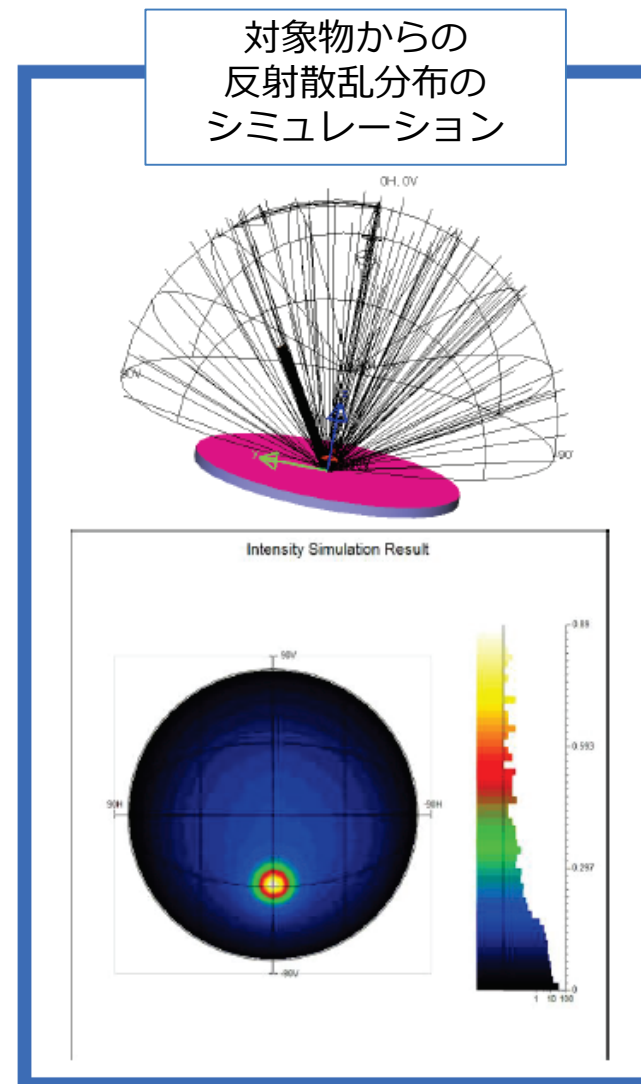
散乱測定器(Mini-Diff)  
からのエクスポート



照明設計解析ソフト  
(LightTools)  
にインポート



対象物からの  
反射散乱分布の  
シミュレーション





- 化粧品の試作工数を削減する効果がある以下の対策をご紹介しました
  - 1.化粧前後の肌の見栄えシミュレーションを行い化粧効果を確認できます
  - 2.化粧品の測定では、適切な測定環境を構築する必要があります
  - 3.化粧品の表面で発生する散乱を測定し、シミュレーションに設定することで色に対する見栄えの変化を予測できます
- 関連する弊社取り扱い製品をご紹介しました。ご紹介した製品についての詳細な情報につきましては弊社までお問い合わせください
- 【お問い合わせ先】

サイバネットシステム株式会社 CAE事業本部 CAE第2事業部 技術部 技術第1課  
e-mail : [opt-info@cybernet.co.jp](mailto:opt-info@cybernet.co.jp)  
TEL : 03-5297-3405(東京) 、 06-6940-3621(大阪)  
、 052-219-5196 (名古屋)

