

照明・家電製品の見栄えを再現する 光学シミュレーション技術

Appearance Reproduction Simulation Technology for Lighting and Home Appliance Products

鈴木 宏美

■ SUZUKI Hiromi

照明器具の設計には、光線追跡シミュレーションが広く用いられている。このシミュレーション手法を用いて、照明器具により対象物がどのくらいの広さで、どのような明るさや色で照らされるかを、試作を行うことなく推定できる。しかし、点灯している照明器具自体が人の目にどのように見えるかの見栄えについては、推定が難しく試作による確認が必要であった。

東芝は、人の視覚特性とディスプレイの表示特性を考慮することにより、照明器具自体の見栄えを再現する光学シミュレーション技術を開発した。この技術により、試作レスで見栄えの事前評価が可能になり、照明器具や家電製品の開発におけるリードタイムの大幅な短縮や、販売における製品品位の効果的なアピールなどが期待できる。

Ray-tracing simulation is used to design lighting equipment for the estimation of performance characteristics, including the illuminated area, brightness, and color of the object of illumination, without trial production. However, as it is difficult to simulate the appearance of lighting equipment itself in terms of how it is perceived by the human eye, confirmation of its appearance through prototype models is required.

Toshiba has developed an appearance reproduction simulation technology for lighting and home appliance products, which can reproduce the appearance of a product itself taking into consideration the characteristics of both the human eye and the display used for displaying the results obtained by the simulation. This technology is expected to contribute to the reduction of production lead times by allowing the product appearance to be evaluated without trial production, and to assist in promoting product quality in sales activities.

1 まえがき

LED（発光ダイオード）やLEDを用いた照明器具の設計には、光線追跡シミュレーションが広く用いられている。光線追跡シミュレーションにより、設計した照明器具が対象物を照らす特性、すなわち、どのような範囲を、どのような明るさや色の光で照らすかを、実際に試作をすることなく把握できる。

一方、照明器具の品位に関しては、対象物を照らす特性以外に、人が照明を直接見たときの見栄えも重要である。しかし、従来の光線追跡シミュレーション手法では、この見栄えを再現することができなかった。

この問題を解決するため、東芝は次の技術を開発した。

- (1) 輝度や色などの物理量を、人の目の光学特性に基づいて光線追跡シミュレーションをする技術
- (2) (1)で求めた輝度や色などの物理量を、人の見ためと同じようにディスプレイ上に表示する技術

ここでは、これらの技術とその適用例について述べる。

2 見栄えを再現する光学シミュレーション技術

2.1 人の目の光学特性に基づいて光線追跡シミュレーションをする技術

開発したシミュレーション技術では、照明から目に入射する

光の輝度や色を物理量として求める。ここでは従来の光線追跡シミュレーションを用いるが、このときの受光器は照明を直視している人の目になる。

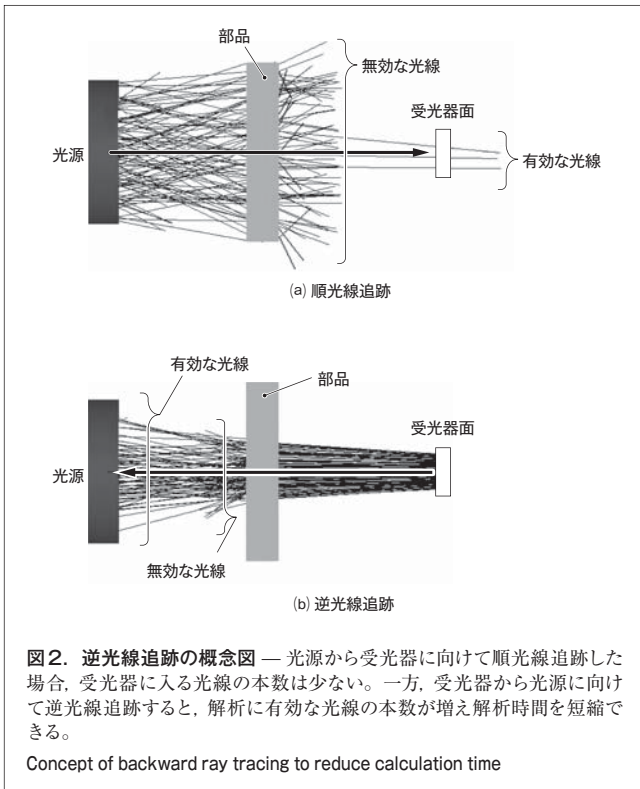
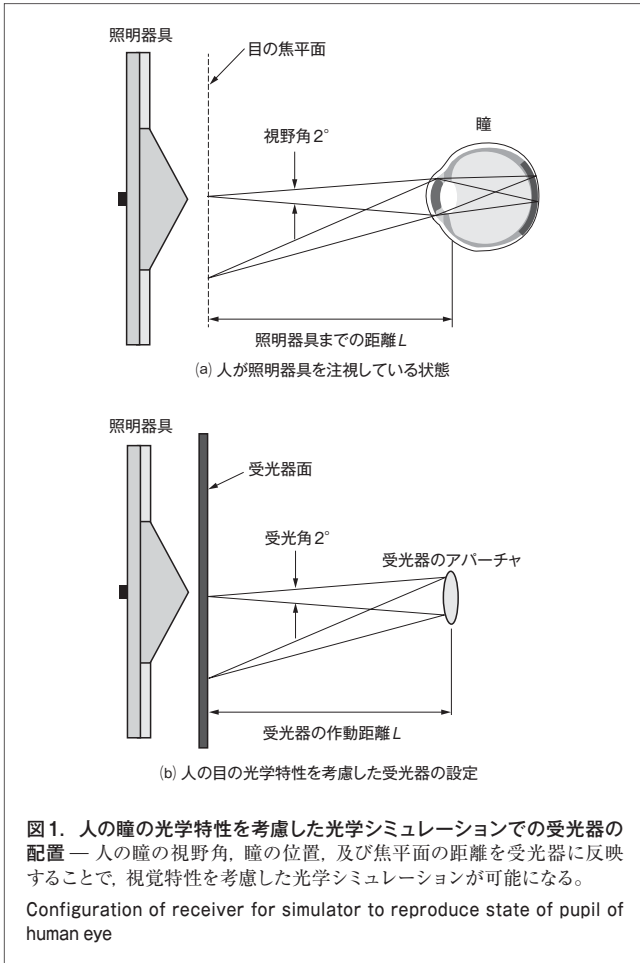
人が見たときの見栄えを再現するには、受光器の特性を人の瞳に合わせなければならない。

図1(a)は、人が照明器具を見ているときの瞳の状態を表している。照明器具のように明るい物体を見る場合、瞳の虹彩（こうさい）径は1 mmから2 mmであり、このときの視野角は約2°である。また、距離 L だけ離れた照明器具を見るとき、目は発光面の1か所に焦点を合わせて注視するので、瞳の位置は固定される。

図1(b)は人の目の光学特性を考慮した光学シミュレーションでの受光器の設定を示している。瞳の虹彩に相当するアパーチャの受光角を2°に設定し、アパーチャの位置を固定する。輝度分布を測定する受光器面は、照明器具と瞳の距離に相当するアパーチャから距離 L の位置に設置する。このように受光器を配置することで、光線追跡シミュレーションに人の目の光学特性を反映させることができる。

一般に光線追跡シミュレーションでは、図2(a)に示すように、光源から様々な方向に向かう多数の光線を追跡する。そして対象物に到達した光線だけが、解析に有効な光線として使用される。

しかし今回のように、人の瞳径に合わせてアパーチャの受



光角を小さく設定すると、受光器に到達する解析に有効な光線の本数が少なくなる。そのため、解析精度を向上させるためには、解析する光線の本数を増やさなければならず、計算時間が増大する。

そこで、図2(b)に示すように、受光器から光源に向けて光線を追跡する逆光線追跡を採用した。この場合、受光器から射出された光が、光源のいずれかの場所に到達すれば解析に有効な光線となるため、アパーチャの受光角を小さく設定しても計算時間は増大せず、計算時間の短縮が可能である。

2.2 輝度や色などを人の見ためと同じようにディスプレイ上に表示する技術

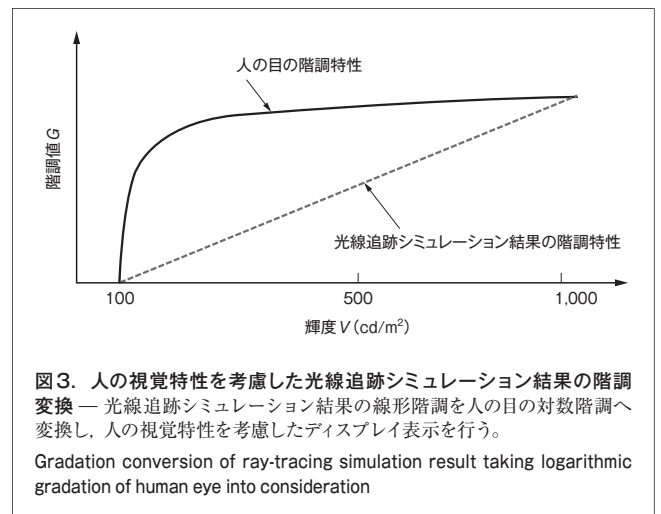
2.1節で求めた輝度や色などの物理量をそのままディスプレイに表示しても、表示画像は人が見たときの見栄えとは一致しない。

これは、人の視覚特性とディスプレイの表示特性が異なるためである。

人の目の感度は輝度に対して線形ではなく、また知覚できる最大輝度も100,000 cd/m²と高い。一方ディスプレイの出力は、線形で表示できる最大輝度も1,000 cd/m²程度と低い。したがってディスプレイの狭いダイナミックレンジの中で、人の視覚特性を考慮した処理を行う必要がある。

また、光線追跡シミュレーションで求められる色彩輝度^(注1)をディスプレイのRGB(赤、緑、青)階調に変換する場合には、ディスプレイ固有の白色調整と γ 補正を考慮したカラーマッチング処理を行う必要がある。

人の目の感度は図3に示すように、輝度に対して対数関数的な変化をする。そこで、光線追跡シミュレーションで得られた輝度 V とディスプレイの階調値 G の変換を、式(1)と仮定した。



(注1) 色空間の明るさ、及び色を表す定義で、現在はRGB表色系からXYZ表色系に変更されている。

$$G = a \log V + b \quad (1)$$

この a と b を決定するため、主観評価実験を行った。

光線追跡シミュレーションの結果をそれぞれ異なる階調値に割り当てた画像を数種類用意し、それらをディスプレイに表示して被験者に見せ、実物にもっとも近い画像を選択してもらった。

図4に実験結果の一例を示す。4条件のうち、63.6%の人が条件Bの画像が実物にもっとも近いと判断した。

これらの主観評価実験に基づいて、式(1)の a 、 b を決定した。

この変換式より、光線追跡シミュレーションの輝度からディスプレイの階調へ変換する際に、人の視覚特性を考慮したディスプレイの表示が可能になる。

一般のディスプレイでは、同じRGB画像を入力してもディスプレイの個体差によって出力される画像はそれぞれ異なる。したがって、正しいカラー画像を表示するためには、ディスプレイごとにカラーマッチング処理が必要になる。そこで、輝度計を用いたカラーマッチング手法を構築した。

光線追跡シミュレーションでは、色空間を表す変数は色彩輝度(三刺激値 (X, Y, Z))で出力される。したがって、この三刺激値 (X, Y, Z) からディスプレイで表示するカラーRGB画像へ変換する行列を作成しなければならない。

まず、ディスプレイ上にそれぞれ測定画像を表示し、色彩輝度計で三刺激値 (X, Y, X) を測定する。

この測定値を用いて、式(2)の行列を計算する。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

式(2)の逆行列を計算すれば、色彩輝度の三刺激値 (X, Y, Z) からディスプレイのカラーRGB画像へディスプレイの個体差を補正した変換が行われる。これにより、正しいカラー画像をディスプレイに表示することができる。

3 見栄えを再現する光学シミュレーション技術の適用例

ここでは、2章で述べた見栄えを再現する光学シミュレーション技術の適用例として、照明器具と家庭電化製品の例について述べる。

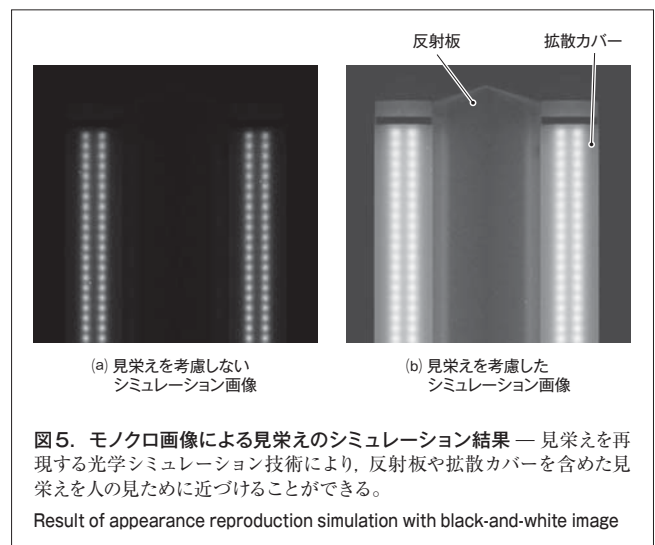
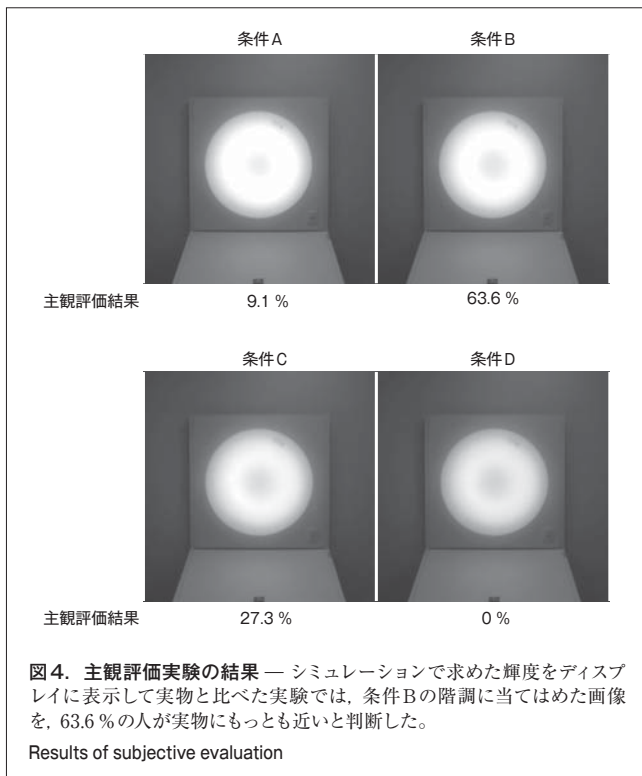
3.1 照明器具への適用例

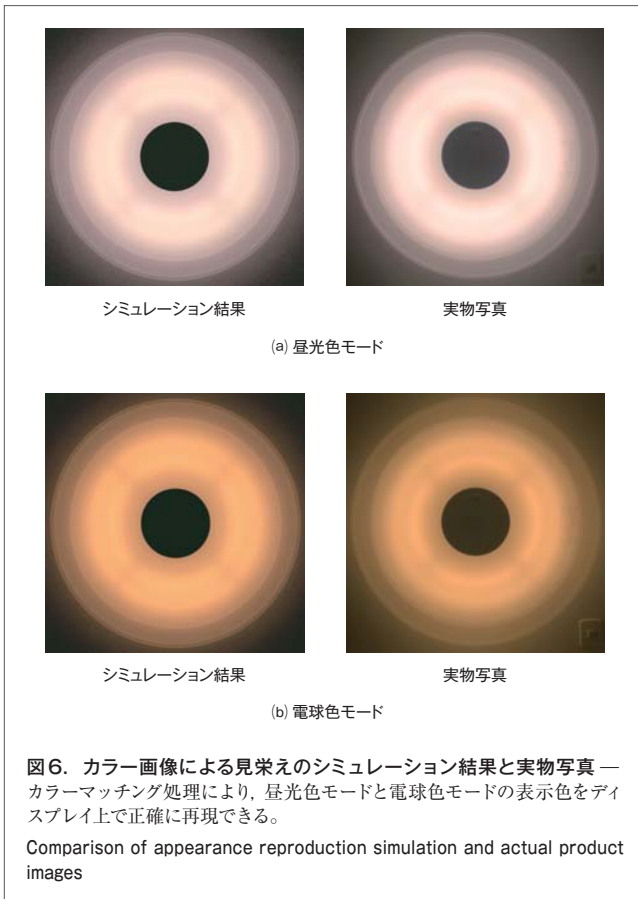
照明器具への適用例は、LEDのベースライトとシーリングライトである。

モノクロ画像によるベースライトの見栄えのシミュレーション結果を図5に示す。見栄えを考慮しない(a)では、LED光源部分だけが明るく光り周辺の反射板は見えない。一方、見栄えを考慮した(b)では、カバーによって拡散されたLED光源部や反射板などもきちんと表示されており、人が見たときの見栄えとよく一致していることがわかる。

カラー画像によるシーリングライトの見栄えのシミュレーション結果と実物写真を図6に示す。(a)が昼光色モードで点灯した場合、(b)が電球色モードで点灯した場合を示している。

ディスプレイ固有のカラー変換行列を用いてシミュレーション結果を変換しディスプレイに表示することで、正確な色を再現することができる。





3.2 家庭電化製品への適用例

家庭電化製品への適用例は、電気保温釜である。この製品は、白いパネル面に白色LEDで白い文字を浮かび上がらせるデザインになっている。

ここでは、表示部の白色層が厚い場合と薄い場合について、見栄えのシミュレーションを行った。

図7は表示部の白色層の条件ごとの見栄えのシミュレーション結果を示しており、設置場所は台所とし外光の照度は100 lxとした。

(a)の白色層が厚い場合は、LEDが点灯している状態では、人は明るい場所に目の感度を合わせるので、文字部が白く光って見え、パネル面はそれより暗い灰色に近い色に感じられる。またLEDが消灯している状態では、人の目は外光で照らされたパネル面に目の感度を合わせるので、LED点灯時よりもパネル面がより白く見えるように感じられる。

(b)の白色層が薄い場合は、LEDが点灯している状態では文字部の見栄えは白色層が厚い場合と比較して大きな差は見られないが、パネル面の色はより暗く見える。LEDが消灯している状態では、白色層が厚い場合とは異なり、文字部がかすかに光って見えている。これは、外光がパネルの文字部を透過し、下地面で反射した光により文字部分が照らされていると考えられる。



これらのシミュレーション結果から、表示部の白色層は一定の厚さ以上が必要で、この部分の最適な透過率は文字部が10～20%、パネル表面の反射率は40%以上、遮光部の透過率は10%以下と見積もられた。

4 あとがき

光線追跡シミュレーションの結果を基に、人の視覚特性とディスプレイの表示特性を考慮して、見栄えを再現する光学シミュレーション技術を開発した。この技術により、製品の見栄えを試作前に評価することが可能になり、試作回数の削減やコストの低減が期待できる。

今後、照明器具や家庭電化製品の最適設計に見栄えのシミュレーションによる評価を組み込むことによって、設計力の向上を目指す。また、レンダリングソフトウェアとの連携により、室内の光空間の再現や製品の設置環境ごとの再現などを行い、営業ツールとしての応用展開を検討していく。



鈴木 宏美 SUZUKI Hiromi

生産技術センター 光技術研究センター研究主務。
光学設計及び光学シミュレーション技術の開発に従事。
Optical Technology Research Center