

LED 照明 ノーツ 10

照明系設計・シミュレーションソフトについて 1

株式会社タイコ
牛山善太

照明系設計において、シミュレーションが様々な場面で頻繁に行なわれる様になったのは、そう以前からのことではない。ちょうど、パーソナル・コンピュータのスタイルが MS-DOS から windows3.1 を基調にしたものに変化して行く時期と、あい前後して、パーソナル・コンピュータ用の様々な照明系評価設計用のソフト、あるいはモジュールが発表され始めた。それ以来、評価機能の向上、低価格化が不断に進められ、現在では、既存の光学メーカーにおいてのみならず、なんらかの形で光を扱う、広大な産業分野の様々なメーカーにおいて、コンピュータによる照明系設計、評価は研究、実践されてきている。LED 照明系を設計する場合にも、そこにある程度以上の、高効率化、高品位化を求めると、本連載でもこれまで述べさせていただいて来た様に、照明光学系設計ソフトが必要になる。

今回からは、こうした、多様な可能性を持つ照明系評価の、従来の結像光学系評価との対比における特質、或いはソフトウェアを有効に活用するためのポイントについて、述べさせて戴きたい。

1. 照明系設計ソフトとは

照明系とは光源をその内部に含み、何かを照らす、或いは、中空に光を放射するものであるとは最も単純明解な定義であるが、この、光源を内部に持つことのシミュレーションを可能なことが、照明系評価ソフトウェアの最も際立った特徴である。

伝統的な写真レンズに代表されるような結像光学系のための設計ソフトにおいては、光源は基本的には総べて、単独の点で表わされる。これらの点が幾つか被写体面上に配置され、ある面積の結像を評価することは行われても、点がいかに点として結像されるかと言う評価がその基本とされる(図 1)。

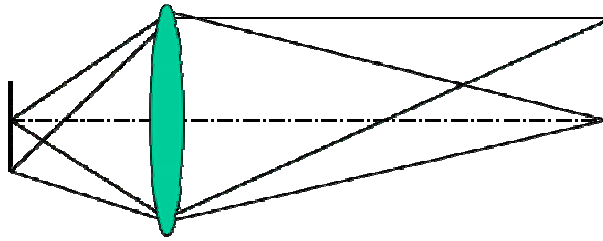


図 1 結像系評価における点光源の設定

結像系においては、輝く光源を直接結像させる場合は殆ど無く、被写体は自ら発光するのではなく、他からの光を被写体表面上、むらなく反射し輝いていると設定され、そして、総べての方向に等しい輝度で輝く完全拡散面光源として点光源は定義される。こうして、代表的ないくつかのポジションにおける点像の精密な評価が、そのまま画面全体の精密な評価に繋がる。

ところが、光源を光学系内部に含めて考慮する場合には、様々な形状の光源の面積、体積、発光の指向性を表現する能力が必要とされ、また、この光学系によって照明される面、被照明面上のある程度の大きさを持った面積内の、光の分布、照度分布等について、評価、表示できる機能も求められる。ここでは面対面の評価が基本となる。

照明系評価においても基本的には面光源は多数の点光源を敷き詰めることにより、表現され、本質的には結像系評価の場合と変わらない。しかし、

- 1) 一般的には光源面からの光が広い範囲に拡散する。照明系の場合にはその光の広がり方を知ることが重要になる。(結像系の場合には、ある原稿範囲の中の、どれだけ細かい情報を再現できるかを知ることが重要)
- 2) 発光面における明るさの分布(位置、角度の双方の次元において)に一般性が無いこと
- 3) 照明系光学系の収差が場合によっては補正されていないこと。(画面内で大きく性能が異なる。)
- 4) 一般的には照明系光学系に回転対称性が無いこと。
- 5) 発光面が必ずしも平面ではないこと。
- 6) 結像系に比べて、光学系の面形状が球面形状から大きく離れている場合が多いこと。

等の理由から、発光面上に多数の点光源を発生させて、評価することになる。また、結像系の場合と異なり、1点から出た光は1点に結像しようとはせず、多く

の場合広がる（ボケる）ので、角度分布的にも多くの光線を考えないと、被照明面に到達した時の、光線と光線の間がスカスカになってしまう。従って、照明系評価の場合には、結像系の場合と比べ圧倒的に多くの光線を発生させて行う光線追跡が必要になる。

また、さらに、様々な光源の表現能力、それに伴って必要とされる照度分布、輝度分布などの像界における情報の表示能力（非常に多くの光線が齎す情報を分かり易く表現する能力）が照明系用ソフトには最低限、必要とされる能力であり、結像光学系用ソフトにおいては必ずしも必要とされない部分である。

実際には、これらの機能だけではなく、一般的な照明系に頻繁に用いられる、高次非球面、トロイダル面、拡散面、アレイ・レンズ、フレネル・レンズなどの様々な照明系的要素を評価できる機能も求められる。また、投影光学系の評価における様に、光源から、最終的な被照明面までの照明系の中に、スライドなどの原稿部と共に結像光学系を含めて考える場合もあり、近年、照明系評価用ソフトとは、結像系をその系中に包含する、より一般的な広範囲にわたる光学系評価のためのものであるとの印象も強い。

2. 照明系評価ソフトの分類

照明系評価ソフトには、大きく分けて二つのタイプが存在する。一つは従来の光学設計ソフトの延長線上にある種類のものである。処理速度は速く、光学的な評価・解析能力は高く、回折、偏光などにも対応する、波動光学的な取り扱い、さらにレーザ光学系への対応が可能なソフトも存在する。また、結像光学系を照明系と共に扱う折りにも連携が良い。しかし、そのために、結像光学系評価におけるのと同様に、光軸と言う回転軸が、主に光線追跡においての基準座標となるシステムが用いられ、光学系配置の自由度は犠牲になる。

結像光学系設計ソフトでは、光線追跡に際し、レンズ等の光学要素面上における光線の交点が計算されるべき順序が定まっている。例えば、光源から射出した光線が最初に到達すべき光学系の第一の面は定まっており、この一面を通過、或いは反射した光線が、次は第2面、第三面とやはり定められた順番に各光学素子面と関係を持って行く(図2(a))。

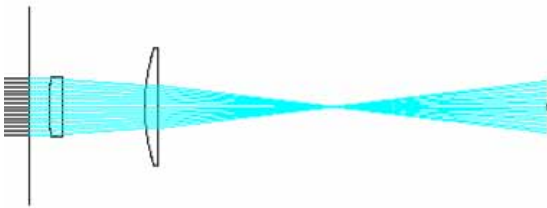


図2(a) シークエンシャルな光線追跡

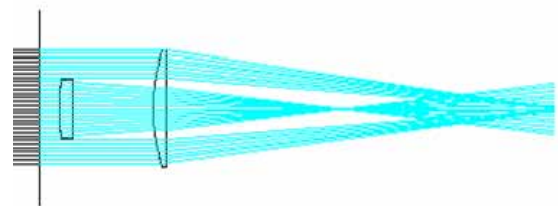


図2(b) ノン・シークエンシャルな光線追跡

このような光線追跡方法を逐次光線追跡 (sequential raytrace) と呼ぶ。フレア等の迷明を防ぐために、想定される正常な一順路以外からの有害光線に対しての遮光が前提となる、つまり、まるで光の流れを通す一本の管の様に振る舞う、多くの一般的な結像光学系に適用する方法である。照明系評価に対応してはいても、この流儀を守っていて(部分的な例外は設けられてはいても)、そこで用いられる光線追跡手法はこの逐次光線追跡の範囲に留まる照明系設計ソフト群が存在する。

そして、もう一方には、光軸などに囚われない、光学的要素の自由な空間的配置を許すソフトが数々存在する。ここでは、光線の入射すべき順序などという不自然なものが定められておらず、入射可能な総べての光学的要素に対して、光線が到達するか否かの探査が行なわれる非逐次光線追跡 (nonsequential raytrace) が実行される(図2(b))。様々な光学素子を様々な条件で、自由に空間に配置できる汎用性の高いソフトである。ただし、それだけに入力パラメータ数も増え、一般の光学系に近いものを入力するときには、前述のタイプと比べ、煩

雑な作業が要求され、また、評価対象を広げる事、計算結果の視覚化などに対し
て主な努力が費やされている感もあり、照明計算結果の光学的解析能力に劣る面
もある。ソフト導入のための選択に際しては、これら二つのタイプが存在するこ
とを念頭に置いておくべきであろう。

ここで、この様な非逐次的な光線追跡が必要となる光学系の例を挙げ、必要
とされる対応について考えて見よう。

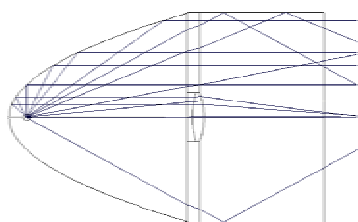


図 3 (a) 方物面鏡を用いた投光系

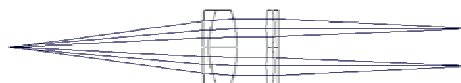


図 3 (b) レンズ・アレイを含む光学系

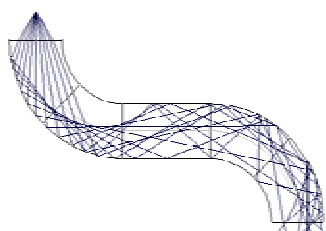


図 3 (c) イトガイド

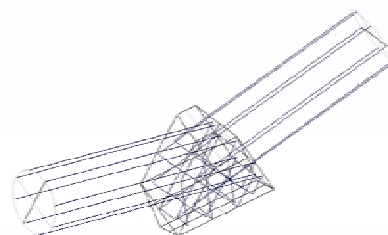


図 3 (d) 屋根形プリズム

図 3 (a)は光源を方物面鏡で囲んだ投光系である。光源から広範囲の方位に光線
が射出すると考えると、光線は鏡面にあたり反射されるものと、前部の光学系に
直接入射するものに別れる。鏡面を光線が必ず到達する第一面として、定義する
事ができなくなる。図 3 (b)は、複数のレンズが光軸に垂直な平面に横並びに並
んだ光学系である。明らかにこの場合も一つ一つレンズに順序は付けられない。
また、図 3 (c)はガラスがパイプ状になった物で、臨界角以上では側面による反射
が起こる。図 3 (d)は屋根形プリズム内を光線が通過する様子を示している。

以上、これらの光学系においては、共通して、明らかにノン・シークエンシ
ャルな光線追跡が必要となるが、光線進行経路の分岐数もそれ程多くなく、また
光線の入射先の予測も付きやすい。従って、これらの光学系に対しては、深いリ
フレクター、レンズ・アレイ、ライト・ガイド、屋根形プリズムなどの、それぞ
れに適合した特定のノン・シークエンシャルな処理に名前を付け、分類し扱う様
にする方が都合が良い。また、昨今の照明系設計ソフトにおいては、シークエン

シャルな光線追跡を主に行うものでも、こうした部分的なノン・シーケンシャルな光線追跡が可能なものが殆どである。

この様な部分的な場合と異なり、光学的要素が空間に幾つも並列的に存在していたり、複雑な形状の光学要素、或いは被照明物が存在したり、或いは複雑な光学系中に、光線を様々な方向に拡散させる要素が存在したりする場合には、前述の様な個別的、例外的な対応では対処しきれなくなり、広範囲に渡る光学要素同士の相関関係を前提とした完全にノン・シーケンシャルな光線追跡を実行する必要がある（特に顕著な例には導光板がある(図4)）。

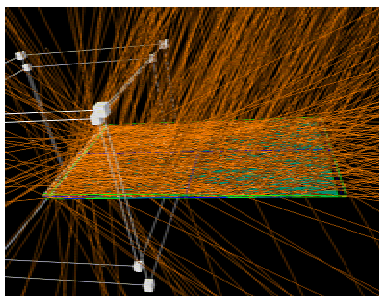


図4 導光板のシミュレーション（SPEOSによる）

このような光学系においては、殆ど予め決められた面の順序などに意味は無く、様々な光線進行経路が考えられ、ある面から射出した光線のその次の到着面は常に不定で、光学系全体についての探査がなされなければ成らない。

こうした、複雑な照明系に対応するためのソフトウェアこそが、ここで挙げる第二のカテゴリーのものである。そして今日的には、複雑な形状の光学系を形成するためにCADとのlinkも重要な機能である(図5)。

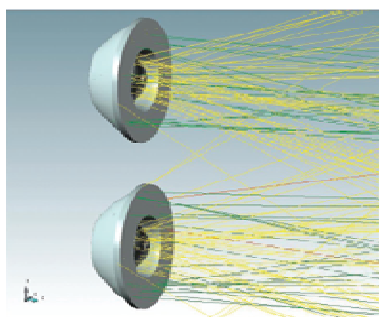


図5 CADデータの利用（照明 SimulatorCADによる）

参考文献

- 1) SPEOS : <http://www.optis.fr/>
- 2) 照明 SimulatorCAD : <http://www.osc-japan.com/solution/lscd>
- 3) 牛山善太、草川 徹：シミュレーション光学（東海大学出版会、東京、2003）
- 4) 牛山善太：照明系の設計、“光設計とシミュレーションソフトの上手な使い方”（オプトロニクス社、東京、2003）