対話式ソフトウエアの恩恵を受ける光学設計

ジョン・ウォレス

光学設計プログラムは、レンズや照明器具の設計、解析、公差、測光法的に適応させた設計、外部のCADソフトウエアとのインタフェースを網羅する。

コンピュータが登場する前は、レンズ設計は、膨大な数の計算-数学の公理、数式の単純化、長年かけて開発された技術に依存していた。これらは、薄型レンズ理論以外では、「4光線法」「整合原則」など多くのアプローチを含む(1)。たとえそうだとしても、レンズ設計ソフトウエアが利用できる前に設計された光学系の多くは、パフォーマンスや正確さにおいて、正に驚嘆に値するものであった。

しかし、コンピュータの利用は、高速性、高度な最適化アルゴリズムというメリットをもたらし、製造公差を直接的に考慮できるようにした。これらのことから、未熟練の設計者でも許容範囲の結果を出し、熟練設計者は視野サイズ、スペクトル幅、その他重要な光学系の品質を改善することに集中できるようになった。これは、イメージングレンズ設計ソフトウエアが利用できるようになる前なら考えられないレベルである。

光学設計ソフトウエアは、照明系、など非結像オプティクスの設計と解析、迷光解析にまで拡張している。これらの機能は、さまざまな程度でレンズ設計プログラムの一部をなすことが多いが、追加もしくは単独ソフトウエアとしても提供されている。

事実上、これらの設計プログラムの全てが、レンズやレンズマウンティングデータの結果を外部のCADソフトウエアにエクスポートして、設計図面作製を容易にしている。これら全てのタイプの光学設計パッケージ向けに選択されたコンピュータプラットフォームは完全に一貫性がある。この記事で触れた全てのソフトウエアプログラムは、マイクロソフトウィンドウズで動作する。

結像系の設計

結像レンズ設計プログラムは通常、多くのパラメータを一度に最適化することを狙っている。光学系にもよるが、含まれるのは、スポットサイズ、エンサークルドエナジー、ザイデル(Seidel)収差とその他の収差、スペクトル幅、物理的なサイズ、許容されるガラスの範囲、許容公差、対象と画像の距離、瞳孔位置とサイズ、回折面、インコヒレントおよびコヒレント画像特性、その他多数である。

米シノプシス社(Synopsys)が作製したCODE V光学設計ソフトウエアは、公差に対するシステム感度を分析するために高速波面差法を備えている。「典型的な光学系では、モンテカルロ法のような従来の公差法と比べて100～1000倍高速にできる」とCODE V製品マネージャー、デイビッド・ハーゼンナウア氏は言う。「アルゴリズムが高速であるのでわれわれは、そのアルゴリズムをCODE Vオプティマイザに組み込み、ユーザーは、RMS波面誤差法を組み込まれているものとして直接最適化できる。4要素、完全非球面の携帯電話カメラレンズに関する最近の例では、平均値プラス2σのパフォーマンス確率だったフィールド平均値が、公差感度を考慮せずに最適化された系に対して11%改善された(**図1**)。この改善は、公差減感エラー機能を持つ大域最適化を使うと24%大きくなった。

米ラディアントゼマックス社(Radiant Zemax)の製品マネージャー、リック・ピレット氏は、同社のOpticStudioは、3つの重要エリアで改善されていると言う。ユーザーインタフェース、データプロッティング・チャート化ビジュアリゼーション(可視化)、データキャッシングである。「プログラムの特徴は、経験レベルに関係なくユーザーが必要としていることを効率よく見つけることができるように作業と類型で整理されており、分厚いマニュアルを通読する必要はない。ウィンドウズをマルチワークスペースに組み込んだり、独立にフローティングしておけるので、利用できる全てのモニタを最大限に活用できる」と言っている。

米ラムダリサーチ社(Lambda Research)のレイアウトと最適化光学ソフトウエア(OSLO)レンズ設計プログラムは、3つの能力レベルで提供されている。各版に組み込まれている特徴は、次のより高度な版に入っている特徴のサブセットとなっている。販売とマーケティング担当VP、マイケル・ゴーバン氏によると、OSLOには問題解決に役立つ高速マクロ言語が含まれている。また、OSLOは、同社の照明系設計

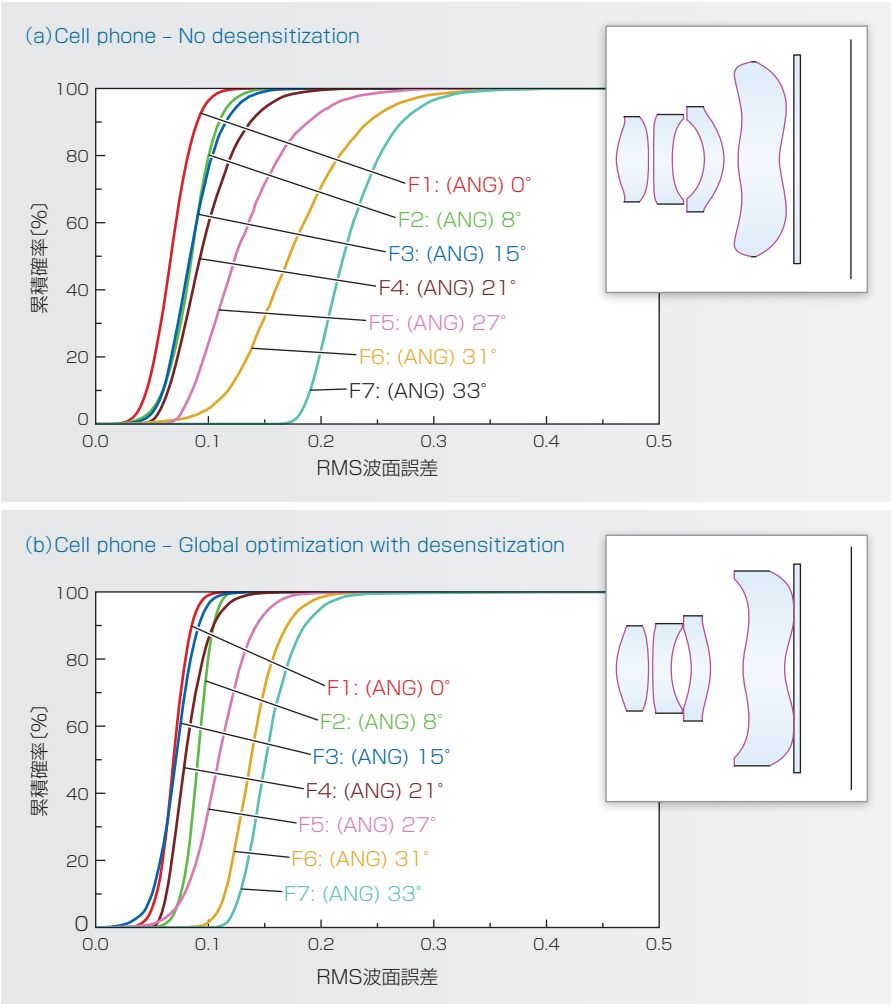


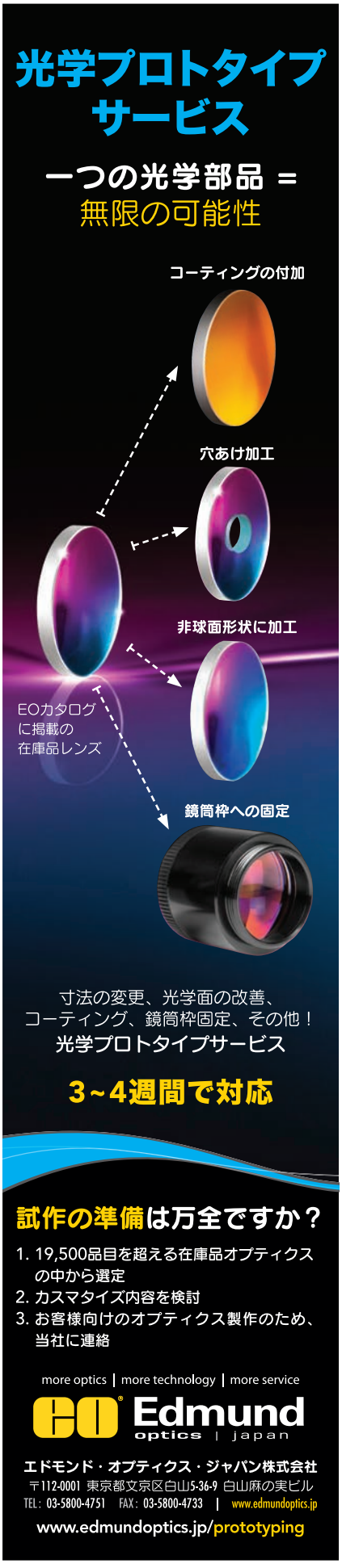
図1　携帯電話用のレンズは、公差感度を制御することなくCODE Vで最適化された(a)。同様の携帯電話レンズを公差感度誤差関数を含むCODE Vで大域的に最適化。結果として、RMS波面誤差で24%の改善が得られた(b)。累積確率チャートが示しているのは、指定補償を用いて一連の許容公差内に作製した系の表示された波面誤差達成確率。カーブはさらに左に行くので、完成された時のパフォーマンスはもっとよくなる(資料提供:シノプシス社)。

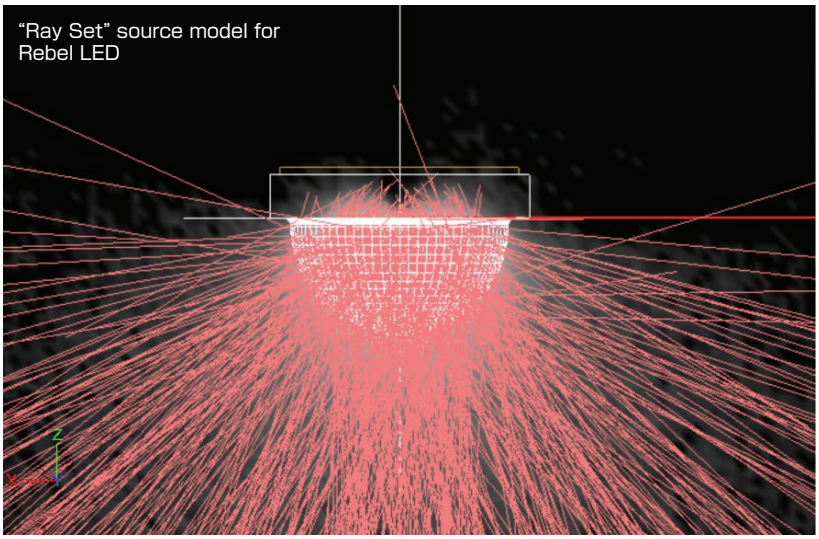
ソフトウエア、トレースプロ(TracePro)とシームレスに連動するように設計されている。

米キオプティック社(Qioptiq)が販売するソフトウエアパッケージに含まれるのは、WinLens 3Dレンズ設計と解析ソフトウエア、Tolerancer、Glass Manager(ガラスと光学材料データベース)、Material Editor(特注光学材料作製用)だ。また、「簡単計算」スタイル機能向けConcept Developmentユーティリティも含まれており、同社の開発者ジョフ・アダムス氏によると、これは重要なシステムパラメータを規定するのに役立つ。例えば、所定の作業向けの実効焦点距離、ビームウエスト、発散などのパラメータなどである。

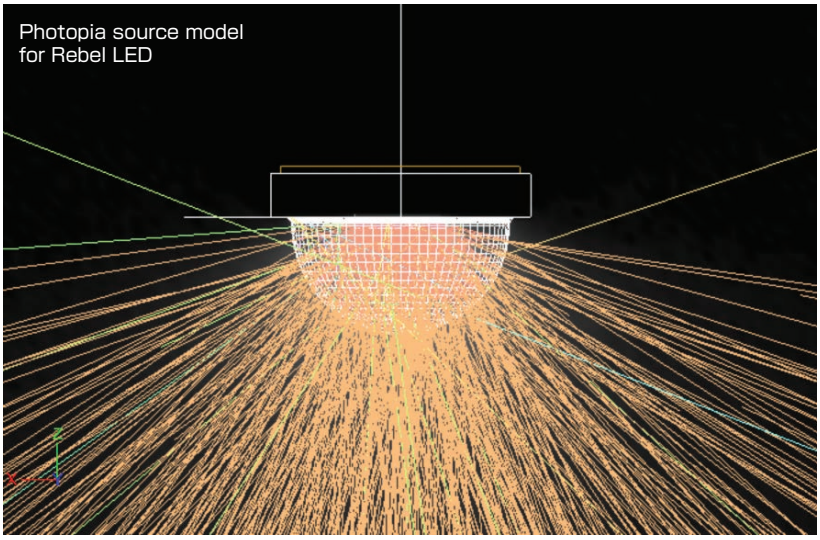
最も一般的なアプリケーションに含まれるのは、多要素系の特注デザインとともに、一連のキオプティックR&D装置用光コンポーネントのモデリング、他の社員やコンサルタントによるデザイン点検である。このソフトウエアは、アダムスによると、ゴースト反射の解析に秀でている。

「ゴースト反射は、程度の差はある





チップの背後およびエミッタパッケージ全体の背後から出る光線に注意。LED配置は参考。



実際のLED配置から放出される光線に注意。

図2　ルミレッズレベルLEDの2つの異なる光線追跡が、「光線の束」（レイセット）をベースにした光源モデル（左）とフォトピアのモデル（右）とを比較し、大きな違いが認められる。レイセットモデルは、最近フィリップスのウエブサイトからダウンロードしたもので、光線の束で一般に見られるものの説明になっている（LTIオプティクス社提供図）。

が、それ自身が無駄にいくつか現れる。フレア（ベーリンググレア）、不要なゴースト像、レーザ共振器の機能不全、ある要素に実際に物理的障害さえ起こす」と言う。「WinLens3Dでは、全てのパスを自動的にチェックするツールを提供しており、問題になりそうなものを指摘し、エンジニアが望むものを何でもより詳細に検査できるようにしており、ドーターゴーストパスシステムを設定する必要は全くない」。

米Breault Research Organization（BRO）社が作成した2つのソフトウエアツール、Advanced Systems Analysis Program（ASAP）とAPEXは、両方とも不連続光線追求プログラムである、つまり光学系における光分布をモデリングする。光部品、機械的構成部品、定義される光源の位置は無視してよい。これらの要素は、ごく一般的な方法で、また順序に関係なく定義できるので、ASAPとAPEXは幅広い光学系に適用できる、とBROの販売ディレクター、ロバート・シュローダ氏は言う。

「ASAPは、地上および空間ベースのイメージングシステム向けに迷光分析ツールとして最初に開発したものであり、正攻法のレンズ設計ソフトウエアではなかった」。同氏によると、含まれている機能は、自動車照明のシミュレーションとグレア解析、コヒレントシステムにおけるビーム伝搬と回折解析、組織の散乱光や蛍光、ヒトの目のモデリング、一般照明である。

APEXは、米ソリッドワークス社（SolidWorks）の3D CAD環境向け光学シミュレーションアドインであり、世界中の多くの非光学系のエンジニアが、使いやすい照明デザインツールであると評価している。これらのエンジニアは、ある種の光部品や光源（一般にLED）を必要とするコンシューマ製品や産業製品の設計を行っていると言う。「数年来開発していて、今ではASAPの機能を多くを共有するようになっており、同じアプリケーションの多くに適用できる」と同氏は付け加えている。

非結像と照明デザイン

同じ会社からの単独の非結像および結像光学設計ソフトウエアパッケージは通常、互換性があり、両方の作業を扱う光学系の作成や解析に役立つ。

例えば、シノプシス社のLightToolsは、CODE Vとファイルを交換できる。LightToolsは照明系の設計に使われ、目的は結像ではなく、光分布のコントロールである。ハウゼンナウアによると、LightToolsは、幅広い照明アプリケーションの仮想プロトタイプ、シミュレーション、最適化、写実的な表現をサポートしている。ユーザーは、光源の詳細な

特性を定義でき、数百万の光線を追跡して、レシーバ上にあらゆる所望の照明パタンを最適化することができる。

LightToolsの共通アプリケーション（他の非結像光学デザインソフトウエアも同様）に含まれるのは、LEDベースの光源、一般照明、バックライト付ディスプレイ、ライトパイプ、屈折光学、プロジェクタシステム、太陽集光器、車輌の室内照明および外部照明である。

前出のラディアントゼマックス社のOpticStudio光学設計ソフトウエアは、照明系設計機能を組み込んだ光学設計パッケージの一例である。同社のビレット氏は、設計のスピード向上のために「OpticStudioは、長い計算は必要な時にだけ再計算するようにスマートデータキャッシング機能を搭載している。計算されたデータも、ファイルが開いたときに再計算する必要がないよう、レンズファイルとともに保存されている」と語っている。

ラムダリサーチ社は、OSLOソフトウエアと一組にして、トレースプロ光学機械ソフトウエアを開発した。用途は、結像系と非結像系の両方および照明系の設計、解析、最適化だ。このソフトウエアは、ラムダリサーチ社のゴーバン氏によると、設計プロセスの全ての段階、CADレイアウトから解析、報告までに適用可能となっている。トレースプロは、開発時間短縮のために仮想プロトタイピングを利用する、これは3D CADインタフェース、対話式オプティマイザ、高速光線追跡、可視化と解析ツールを介して行う。

トレースプロの機能には、バッフル設計機能が含まれる、用途は迷光抑制、開口回折、ゴースト像解析。ゴーバンによると、他の解析機能として含まれているのは、赤外や長波長システムの自発光、複屈折を含む偏光効果のシミュレーション、分光計や他のマルチスペクトラルシステムのシミュレーション、熱効果と熱負荷、ナルシサス現象、回折格子である。

光度測定向けの設計

米LTIオプティクス社（LTI Optics）が開発した、非結像系光学設計・解析プログラム、フォトピア（Photopia）が狙っているアプリケーション分野は、建築、産業、シグナル、医療、航空および自動車向け照明産業だ。このような分野の製品は、特殊光度測定要件を満たす必要がある。LTIオプティクス社のフォトピア製品マネージャー、シニア光学エンジニア、マーク・ジョグウォード氏は「われわれは、フォトピアの光源および材料ライブラリを非常に重視している。顧客の多くが、自社の標準製品のために光源や材料を詳細に定義するという重荷を避けたいと望んでいるからだ」と語っている。

「したがってわれわれは独自の光源モデルを創る。光源の実際の形状、材料、発光特性に基づいたものだ。また、顧客がわれわれのライブラリから使っているものを選択するだけでいいように、当社独自の材料BSDF（光散乱）データを計測する」とジョグウォード氏は説明している。「解析の正確さはわれわれの責任であると当社は考えている。なぜなら、正確さは光源と材料特性に大きく依存するからである。われわれは、その責任を人任せにはしない。また、これは当社が満足できる光源を表現するために、光線の束の利用に依存しない理由でもある。そういうものは、よくランプメーカーのウエブサイトに掲載されているが、そのような光線の束には限界があり、不正確な結果を招くことになる」（**図2**）。

フォトピアには、現在、あらゆるタイプの約900の異なるランプを含む光源ライブラリが装備されている。とは言え、同氏によると、このライブラリは現在、LED半分を上回る程度である。ライブラリモデルには、完全3D光源形状が含まれている。発光特性、様々なパーツに割り当てられた材料、放射角および放射面積で変わる色を示す全スペクトラムデータが含まれる。

「フォトピアには、当社の光学設計コンサルティング経験を基に開発したリフレクタやレンズ設計ツールも含まれている。パラメトリックオプティカルデザインツール（Parametric Optical Design Tools）は、光がどのように（例えば所望の角度範囲を超えて）制御される必要があるかに基づいて光の形状を創り、ビームの各部分にどの程度の光を向かわせるかをユーザーがコントロールできるようにしている。これらのツールにより、ユーザーは光の形状がそうなる方法と理由についてさらに洞察を深めることができる。つまり、制約の中で可能なパフォーマンスについて最良の決定を下すことができるのである」とジョグウォード氏は言う。

この記事で触れたレンズ設計および照明設計ソフトウエアパッケージについての注意がある。最初からこれらのソフトウエアアプリケーションの一つを学ぶことは難しいかも知れないが、チュートリアルやコースを提供しているソフトウエアメーカーは多い。何が使えるかを見るには各社のウエブサイトに行ってみることだ。また、これらのソフトウエアパッケージが生成するスクリーンキャプチャの多くは、非常に高解像度であり、微細表示されているが、印刷されると質が落ちる。

参考文献

(1) R. Kingslake, Lens Design Fundamentals (Academic Press, 1978).

LFWJ