

仮想現実と拡張現実における光学設計の課題

エリン・エリオット、クリステン・ノートン、マイケル・ハンフリーズ

フリーフォーム光学部品設計ソフトウェアと仮想プロトタイピングは、拡張現実 (AR: Augmented Reality) および仮想現実 (VR: Virtual Reality) 用ヘッドセットを市場に投入するための動きを加速化させている。

非球面やフリーフォーム面によって光学システムのパフォーマンスが向上することは、理論としてはずいぶん昔から知られていた。しかしこの30年間で、光学製造と測定が進歩したことで、非球面やフリーフォーム光学面は、設計理論から現実へと押し上げられた。光学製造企業によって、そうした光学部品が、信頼できる形で製造可能であることが実証されている。こうして実現された新世代の複雑な光学面は、技術業界に革新をもたらし、仮想現実 (VR) や拡張現実 (AR) 用のヘッドセットを可能にしている。

光学部品は、VRとARの両方の光学設計で用いられる。フリーフォーム光学設計は難しいが、ARには固有の課題がいくつか存在する。

例: ARヘッドセット設計

図2は、ARヘッドセットの片方の目の光学設計例である。片方の目に2つ、ヘッドセット全体で4つのフリーフォームプリズムが必要となる。マイクロディスプレイからの光は、プリズムAを通して目に伝達される。実世界の光景は、プリズムBとプリズムAを経て目に届く。ヘッドセット装着者は、実際の光景の上にマイクロディスプレイが

重ねられた映像を目にすることになる。

プリズムAを通る光路は複雑である。マイクロディスプレイからの光はまず、面A1を透過する。ビームは、面A3における内部全反射 (TIR: Total Internal Reflection) を経てから、面A2で反射する。面A2は、部分反射になるようにコーティングされている。最後に、マイクロディスプレイからのビームは面A3に返された後、ようやく目に届く。

プリズムAの面A1が、通常は最も複雑なフリーフォーム形状となる。この面だけが、実際の光景に影響を与えないためである。垂直軸の非対称性が

先進テクノロジー:

仮想現実と拡張現実

仮想現実と拡張現実という語は、2つセットで使われることが多いが、両者の技術は、異なる進化段階にある。米ガートナー社 (Gartner) のハイプ・サイクル (Hype Cycle、図1) には、両者のステージに差があることが示されている。

ガートナー社によると、「ハイプ・サイクルは、個々の新技術やそのほかのイノベーションに共通して見られるパターンをグラフィカルに表示したもの」だという⁽¹⁾。図1に示されているように、ARは「幻滅期」にあり、VRは「幻滅期」を抜けて「生産性の安定期」へと向かう過程にある。フリーフォーム

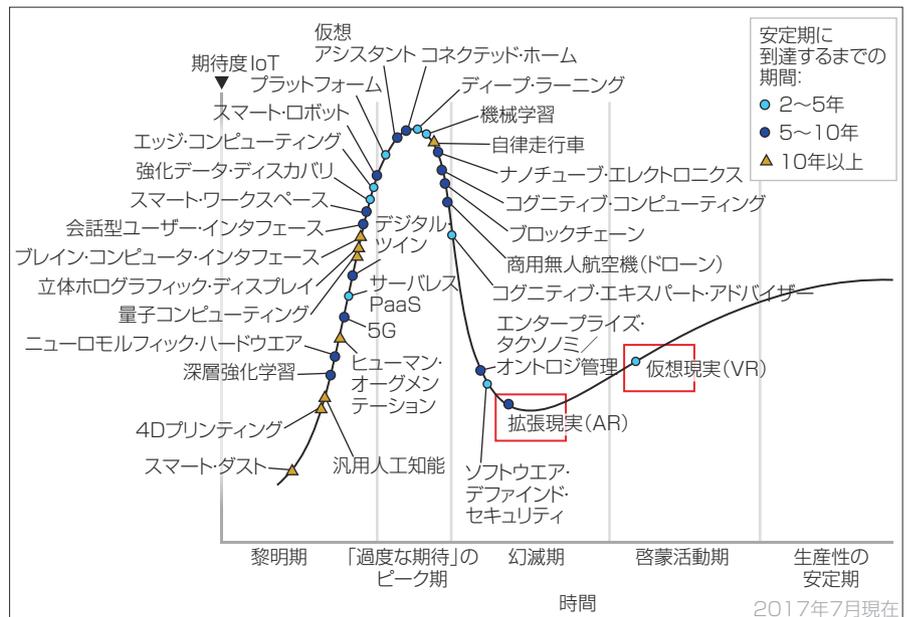


図1 ガートナー社が2017年8月に公開した「先進テクノロジーのハイプ・サイクル」。

高く、軌跡長が短いため、このフリーフォーム面だけでは、高品質の画像をマイクロディスプレイから目まで伝達することができない。そこで、多くのARプリズム設計と同様に、この例でもプリズムAの3面すべてでフリーフォーム形状が採用されている。

プリズムBは、収差のないビームを、実際の光景から目まで届ける必要がある。プリズムBとプリズムAが結合できるように、面B1は面A2に合致するフリーフォーム形状となっている。面B1は、プリズムAによって映像に挿入された収差を補正し、映像が実際の位置からずれて見えないように指向を補正するために、フリーフォーム形状でなければならない。

このように光学設計が複雑であることが、ガートナー社がAR技術を幻滅期に位置づける理由の1つである。

ヘッドセットのサイズと重量を考慮した設計

VRとARの両方の業界でよく見られる課題の1つが、ヘッドセットをさらに小型かつ軽量にしたいという要求である⁽²⁾。ヘッドセットが小型で軽量になれば、より快適に装着できるようになる。光学設計者は、さらに思い切ったフリーフォーム形状を採用した設計を追求することによって、さらに薄く軽いプリズムを実現しようとしている。また、より軽量で屈折率の高い材料や、ホログラフィックレンズなどの光学部品も試用されている。

システムのサイズ、体積、重量は、光学設計のシステム最適化の段階で、直接計算して検討することができる。光学設計ソフトウェアパッケージでは現在、バイコニック面、トロイダル面、ゼルニケ多項式(Zernike polynomial)、チェビシェフ多項式(Chebyshev

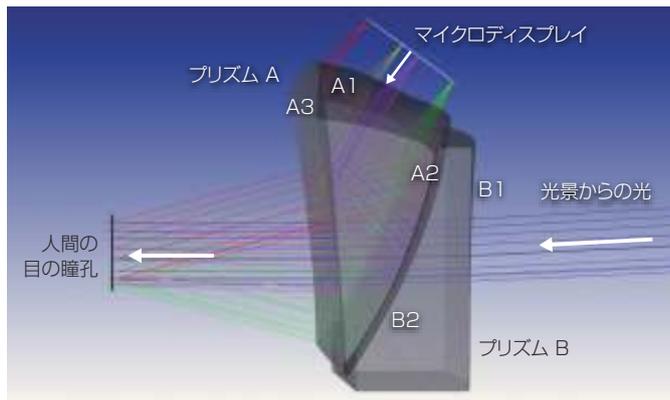


図2 OpticStudioにおけるARヘッドセットの光学設計。プリズムAには、A1、A2、A3とラベル付けされた3つのフリーフォーム面がある。プリズムBには、B1とB2の2つのフリーフォーム面がある。

polynomial)など、数十種類ものフリーフォーム面がサポートされている。図2に示したプリズム面は、米ゼマックス社(Zemax)が提供する「OpticStudio」の拡張多項式のサグ方程式を用いて設計したものである。Zemax OpticStudioは、最大230項までのXとYの多項式をサポートする。

収差の補正には高次の多項式係数が必要だが、最適化可能なパラメータの数を増やすことには、2つの欠点がある。つまり、最適化時間が長くなり、最適化パラメータ空間が複雑になる。OpticStudioのシーケンシャル光線追跡は、すでに非常に計算効率が高い。しかし、複雑なパラメータ空間では、オプティマイザが極小値にトラップされる可能性が高くなる。そのため、フリーフォームを使用する設計者は、最適化時に自由に変更できるパラメータ数を、実用的な範囲内に制限する必要がある。OpticStudioの「Hammer」や「Global Search」など、極小値を回避するように設計された新しい最適化ツールも有効である。

高度なソフトウェア解析ツールは、ARプリズム設計を改善するうえでも不可欠である。OpticStudioの「Surface Sag」や「Sag Table」の解析など、表面サグの2次元プロットが、複雑な表面形状を視覚化するために必要にな

る。フリーフォーム面が、高い空間周波数で正確に視覚化されるように、プロットは高サンプリングで生成しなければならない。OpticStudioの「Surface Curvature」や「2D Universal Plot」の解析など、表面の曲率や傾斜のプロットも有効である。製造時には、コンピュータ生成ホログラム(CGH: Computer Generated Hologram)を用いた干渉法によって、多数のフリーフォーム面のテストが行われる。CGHの分解能によって、フリーフォーム面(からそのベストフィット球を差し引いたもの)に許容される傾斜の最大値が制約される。設計者は、この傾斜制約を適用して、フリーフォーム面の最適化を行わなければならない。

本稿のARヘッドセットの例には、1つの対称プレーンがあるが、多くのフリーフォーム・システムは対称プレーンをもたない。二乗平均平方根(RMS: Root Mean Squared)スポット径と画角の関係などのシステム性能解析ではもはや、軸の対称性に関する仮定を含めることができない。観測点の全範囲で、2次元でシステム性能を確認する必要がある。また、システム性能は観測位置によって、非線形的に大きく変化するので、十分な視野をサンプリングすることが不可欠である。そこでOpticStudioでは最近、対応可能な観

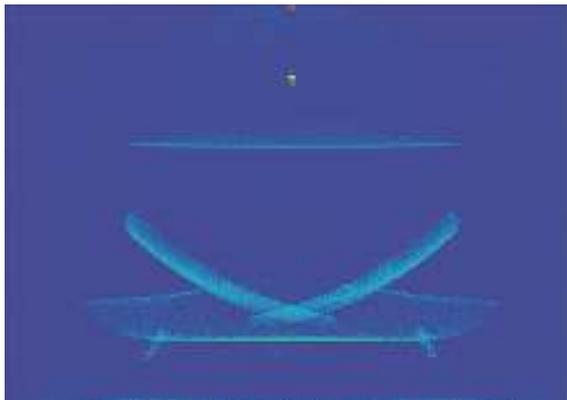


図3 図2で設計したARプリズムにおいて、目に届く可能性のある迷光を示すOpticStudioのデテクタ。

測点数が200以上にまで増加された。

投影映像

ほとんどのARシステムにおいて、仮想イメージを実際の光景に重ね合わせるが必要になる。計器を車内に表示するヘッドアップディスプレイなど、一部の用途では、投影映像を実世界上に正確に配置する必要はない。しかしその一方で、投影映像の位置を正確に制御しなければならないAR用途もある。通常は、カメラをヘッドセットの外部に追加し、実世界を撮影して解析し、投影映像の表示位置を決定することによってこれが行われる。

すべての場合において、投影映像と実映像は明瞭で、ゆがみがあってはならない。光学設計ソフトウェアパッケージを使用することにより、両方の光路のシステム性能を同時に評価し、両方の光路を考慮して最適化を行うことができる。OpticStudioには、ビーム経路ごとに1つの設定があり、複数の設定を使用してこの作業が行われる。最適化に用いられるメリット関数で、両方のビーム経路に対して、RMSスポット径、ゆがみ、ビーム指向の目標を設定することができる。

迷光に関する考察

もう1つの難しい問題は、ARヘッ

ドセットの迷光を最小限に抑えてユーザーの目が疲れないようにすることである。図3は、本稿のARヘッドセットの例において、目に届く迷光パターンの例を示している。問題をはらむいくつかの「ホットスポット」が、この解析結果で見とれる。

迷光パターンは、多数の要因の影響を受ける可能性がある。その要因としては、フリーフォーム面の設計、表面の仕上げやコーティング材、ヘッドセット筐体の設計や材料、実際の光景の照明条件などが挙げられる。迷光解析に用いられる光学設計ソフトウェアでは、そうした影響のすべてを考慮する必要がある。

OpticStudioのノンシーケンシャルモードは、迷光解析をサポートする。光学設計者は、表面に仕上げやコーティングを適用し、筐体のCADモデルをシステムにインポートし、さまざまな種類の照明を使用することができる。フリーフォーム面とシステム形状を最適化することによって、目に届く迷光の量を最小限に抑えることができる。

迷光の問題を解決するには、光学的モデルと機械的モデルの間の細かい調整が必要である。実際、どのような製品であっても市場に提供するには、光学、機械、構造、材料のそれぞれを専門とするエンジニアが緊密に連携する

必要がある。高度なソフトウェアツールは、そうした協調作業を促進し、それぞれの部門で使用される個別のソフトウェアツールの統一を図る。たとえば、機械エンジニアは「LensMechanix」(これもゼマックス社の製品である)を使用して、OpticStudioから読み込んだ光学部品周りの機器部品を設計してから、それらの部品がシステムの光学性能に与える影響を評価することができる。LensMechanixは、「Zemax Virtual Prototyping」ソフトウェアスイート⁽³⁾に含まれている。同スイートは、光学エンジニアや機械エンジニアが、製品の設計段階でシステム全体の仮想プロトタイプを作成できるようにすることにより、市場投入期間の短縮を図るものである。

製造手法、測定、ソフトウェアの变化が、新世代のフリーフォーム光学面を可能とし、ARおよびVR製品の市場投入スピードに影響を与えている。しかし、VR/AR技術が主流になるまでにはまだ、克服しなければならない設計上の課題が存在する。その日は必ず来ること、また、ARはまだ「幻滅期」を抜け出せてはいないかもしれないが、ARの光学設計に今後数年間で何らかの劇的なイノベーションがきっと訪れるであろうことは、業界専門家らの一致した見解である。

参考文献

- (1) See <https://goo.gl/pN6qeF>.
- (2) See <https://goo.gl/QbauQQ>.
- (3) See <https://goo.gl/HFTmtx>.

著者紹介

エリン・エリオット (Erin Elliott) は、ゼマックス社 (Zemax) の光学研究およびプロトタイプ開発エンジニア、クリステン・ノートン (Kristen Norton) は同「OpticStudio」製品マネージャー、マイケル・ハンフリーズ (Michael Humphreys) は同シニア光学エンジニア。e-mail: kristen@zemax.com URL: www.zemax.com