

計測学による没入型現実技術の課題の解決

ピーター・デ・グルート

没入型現実デバイス用の計測ツールは、開発と試作、性能評価、製品品質管理を支援する。

わずか5年前には、没入型現実技術が飛躍的に成長するという予測は懐疑的に見られていた。現在、情報豊富な3Dディスプレイの対話的操作が、2D画面を使用するよりもはるかに優れていることを、さまざまな業界の専門家が認識している。インタラクティブなデジタル通信におけるこの革新が、今後どのように進化するかはまだ不透明だが、その到来に疑問の余地はない。

没入型現実またはエクステンデッドリアリティ (extended reality: XR) は、完全に仮想的な視界を構築する仮想現実 (VR、図1)、実際の視界にデジタル情報を追加する拡張現実 (AR)、現実とデジタルの世界を完全に融合する

複合現実 (MR) の総称と定義される。

新たなXRソリューションは、エンターテインメント、スポーツ及び娯楽、エンタープライズ実現、防衛、医療の分野のさまざまな用途において、既に影響をもたらしている。職業訓練や能力開発プログラムでは、現実世界で実際に体験するには、コストがかかりすぎたり、危険すぎたりする環境を、仮想的に体験することを可能にしている。また、産業分野の製造や設計にも変革をもたらしており、ラピッドプロトタイピングによって設計から市場投入までを迅速化し、プロセス改善によって生産性、効率、精度を向上させている。

没入型現実を推進する技術

XRには、デジタル光学没入型ディスプレイ (Digital Optical Immersive Display: DOID) がハードウェアとして必要で、そうしたデバイスは、市場の拡大に伴い、優れた視覚品質、信頼性、処理能力を提供することに加えて、軽量で快適で使いやすいことが求められるようになっている。

デジタル光学ディスプレイデバイスに使われる、無数の部品やコンポーネントを小型化することが、没入型現実の利用増加を支える基盤であり、重要な推進要素である。ますます小さなマイクロ光学系や統合型光学アセンブリ、MEMSセンサ、マイクロLEDディスプレイをはじめとする、多数の統合型部品やコンポーネントを使用することにより、焦点が置かれている。XRシステムには、3Dオブジェクトの錯覚を空間に作り出すための投影システムだけでなく、その他にも多数のデバイスがアイトラッキング、測距、環境センシング用に搭載されており、その多くが光学デバイスである。

没入型現実の特筆すべき側面は、光を目へと導くために、非従来型のコンポーネントを搭載する革新的な光学システムが、おそらくは導波路構造やホログラフィックメタ表面とともに、広く活用されていることである。没入型現実の成長に歩調を合わせるという前例のない要件が、マイクロ非球面やフリ



図1 仮想現実 (VR) メガネ。

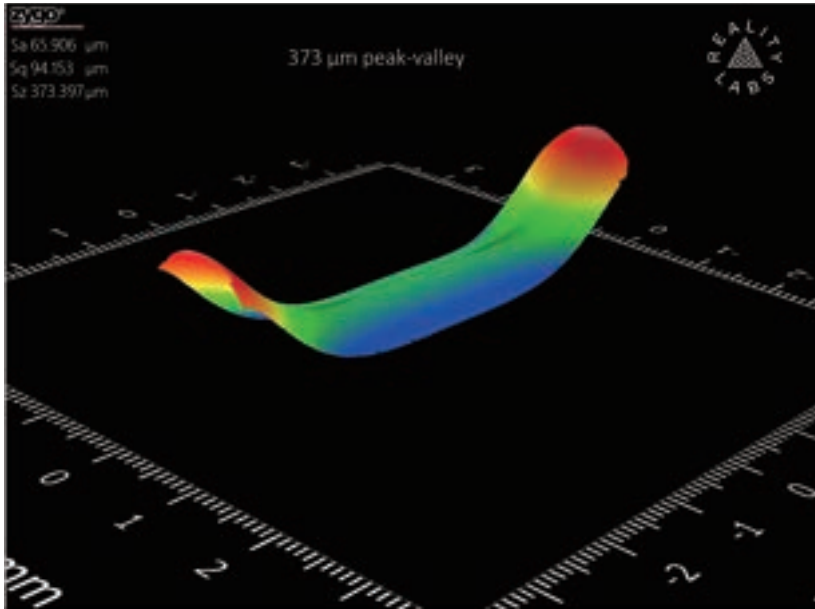


図2 3D干渉顕微鏡法は、フリーフォームのマイクロ光学部品の測定に使用されている。

フリーフォームの光学系に課されており、特に品質管理と設計検証の面で、メーカーの大きな課題となっている。そこで、その要件を満たし、イノベーションを支えて促進する役割を果たすのが、計測学である。

フリーフォーム光学系と導波路

没入型現実デバイスには、広い視野と大きな「アイボックス」の両方が必要である。アイボックスとは、許容できる映像視野が得られる目の位置の範囲のことで、XR光学系の光学設計における重要なパラメータである。アイボックスが大きいほど、現実に近い優れたユーザーエクスペリエンスが得られる。シミュレーション現実には、周辺視野と目の動きの全範囲を網羅する必要があり、従来の幾何光学系を使用する実際のウェアラブルデバイスでは、これは実現できない。

回転対称性を持たず、コーニック定数では表現できない可能性がある、フリーフォームの光学面形状は、興味をそそる光学設計概念から、宇宙／防衛から民生エレクトロニクスに至るまで

のさまざまな用途に対する実用必需品へと進化を遂げている。非常に高い光学性能に、インタラクティブなウェアラブル技術の人間工学的な制約が組み合わされる没入型現実に対しては、軸外方向の広い視野における回折限界性能が設計に求められることが多い。フリーフォーム光学系は、その収差を補正するための唯一の手段である場合が多く、複数の課題を計測技術にもたらす。フリーフォーム光学系は、軸対称性や軸外の対称性を持たない場合が多いため、その設計、測定、製造は難しい。

XRの光学設計には一般的に、平面導波路構造が含まれている。これは、画像の伝送と結合に重要なものである。光学導波路は、望ましい特定の経路に沿って伝播する光波を制限する構造である。平面導波路は、MR光学システムにおけるイメージング瞳の再現に一般的に使用されており、それによってアイボックスは大きく拡大される。平面導波路は、屈折率を高めた透明薄膜として基板上に作製されるか、2つの基板層の間に埋め込まれることが多い。DOIDシステム用の多波長平面導波路

は、複雑な光学構造を持ち、フリーフォーム光学系と同様に、さまざまな計測上の課題をもたらす。

計測課題の解決

没入型現実デバイス用の計測ツールは、表面形状、回折角と効率、アセンブリ公差、表面粗さを定量化して、開発と試作、性能評価、製品品質管理を支援する。

高品質表面の損傷を防いで、エリア全体を高いデータレートで3D計測するために、非接触型の計測ソリューションが一般的に望ましい。フルエリアの3D画像は、2Dプロファイルよりも優れたプロセス洞察と表面特性評価を可能にする。従って可能であれば、接触型や触覚型のソリューションよりも光学計測を利用することが推奨される。

干渉法では、光波長と光干渉を利用して、距離と表面形状を測定する。干渉法は、平らな部品や球状の部品を測定するための高精度なソリューションとみなされる場合が多いが、新しいフリーフォームの表面形状や複雑な表面構造に適応させるのは難しい。計測器の

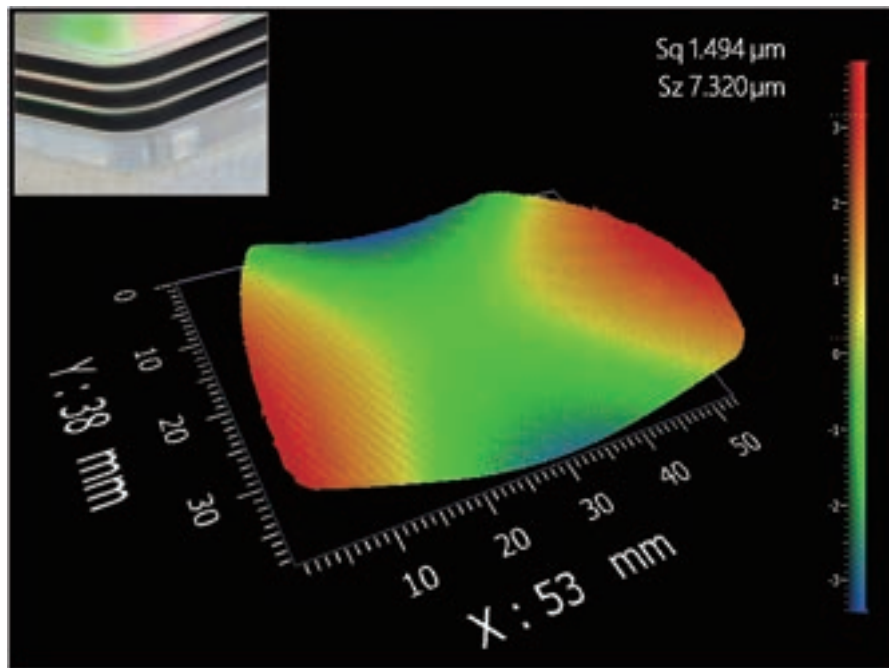


図3 「Zygo Verifire MST」レーザフィゾー干渉計などの計測器は、導波路基板の平坦性、合計厚みのばらつき、材料の均質性を評価することができる。(提供:ザイゴ社)

設計者は、DOIDのコンポーネントやシステムの測定を特に対象として、高精度な干渉計測法の適用範囲を拡大する手段を導入している。

球対称性を持たないフリーフォーム光学系は、この課題に対応するために干渉法がどのように進化したかを示す良い例である。表面形状だけでなく、基準点に対する表面の向きを正確に計測することが、製造工程において不可欠となる品質管理とフィードバックを提供する上で重要な役割を担う。フリーフォーム形状の干渉計測の1つのソリューションが、計算機合成ホログラム(Computer Generated Hologram: CGH)で、これを「Zygo Verifire」などのレーザフィゾー干渉計と組み合わせると、非球面やフリーフォームの光学系の高い表面勾配や、非対称である場合が多い形状を、補償する波面が生成される。

フリーフォーム光学系のプロセス制御には、基準とマウントポイントの位

置を特定するための3Dトポグラフィマップとリレーショナル計測が必要である。「Zygo Compass」干渉顕微鏡は、異なる視点のシーケンスで観測することによって、フリーフォーム表面形状に対応する。最終画像は、小さな画像を重ね合わせることによって形成される。小さな画像は、特殊なソフトウェアを使用して、隣接画像の間のきめ細かい表面テクスチャの相関性に基づいて互いに固定される。フルエリア測定は、スタイラスを用いた触覚型の計測では見落とされる誤差を明らかにし、成形過程の縮みや不具合による誤差を検出することができる(図2)。

すべての光学手法に共通する課題は、平面導波路の品質管理である。平

面導波路は、2枚以上の半透明基板からなり、基板には、光を導波路から目へと導くホログラフィックコーティングが施されている。基板を測定するための干渉計測ソリューションには、各反射面に個別の変調周波数を付与する波長掃引機能を備えた高度な光源が用いられる。「Zygo Verifire MST」レーザフィゾー干渉計などの計測器は、導波路基板の平坦性、合計厚みのばらつき、材料の均質性を評価することができる。

導波路スタック全体の計測には、ガラス基板の間隔、アセンブリ後の平坦性、プレート間の隙間の均一性の評価が必要である。これらの寸法特性は、最終的なDOIDの画質と均一性に大きな影響を与える。導波路アセンブリ全体を測定するための有効なソリューションの1つが、干渉縞コントラストによって表面を区別する、垂直走査低コヒーレンス干渉法(Coherence Scanning Interferometry: CSI)である。その1つのシステム例が、広視野対物レンズを備える「Zygo Nexview」干渉顕微鏡である(図3)。

XR市場の成長は、表面形状、テクスチャ、微小マイクロエレクトロニクスデバイスを対象とした従来の光学計測だけでなく、マイクロフリーフォーム光学系や導波路の計測に対しても、前例のない需要を促進している。特に今、XR技術とそれを支えるDOIDハードウェアが試作段階から量産体制へと移行する中で、それに歩調を合わせて進化するという課題に、計測手法と技術は挑むことになる。

謝辞

本稿に関する議論と貢献をいただいたMicroPR&Mのクリス・ヤング氏(Chris Young)に深く感謝する。Compass、Nexview、Verifire、及びVerifire MSTは、ザイゴコーポレーションの商標である。

著者紹介

ピーター・デ・グルート博士(Peter de Groot)は、米ザイゴコーポレーション(Zygo Corporation)のチーフサイエンティスト。e-mail: peterg@zygo.com URL: www.zygo.com