干渉法による非球面計測には多くの方法がある

ジョン・ウォレス

非球面光学素子は、フィゾ干渉計、干渉計を収容している光学プロファイラを使い計測できる。両アプローチとも様々な形態がある。

非球面光学素子は、大きく精密な1個限りのデザインから民生機器向けの量産小型素子まであり、これらの量は増加しているので、非球面のテストは現在、光学素子では非常に活発な領域である。また、技術の改善が急速に進んでおり、素晴らしい成果が出ている。光学的テストは2つの主要形態がある。干渉計テストと非接触プロファイラ（これは独自の干渉計を収容している）である。

光学実験室で何十年も使われてきた、典型的なレーザ干渉計は、633nmのレーザ光を使って球面光学素子を計測するフィゾ干渉計である。さらに柔軟性が追加され、今日の干渉計は極紫外（UV）から長波赤外（LWIR）の波長範囲で動作するレーザ光源を搭載している。

しかし、非球面あるいは非球面の光学部品を標準的なレーザ干渉計で計測することは、急速に難しくなっている。というのは、光学素子の非球面性が強くなっているからだ。弱い非球面は標準的な干渉計で計測できるが、強い非球面はヌルレンズの使用が不可欠となる。ヌルレンズは干渉計に装着して光学素子の非球面性を弱める。そのようなヌルレンズは、コンピュータホログラム（CGH）の形態をとる、これは回折素子であり、屈折ヌルレンズよりも簡単に製造できる。このアプローチは広く利用されている。

しかし、ヌルレンズを用いると干渉計の設定がとても複雑になる。精密度が要求されるだけでなく、干渉計とテスト光学素子に関して設置とアライメントが適切に行われなければならない。そうした状況に応えて、強い非球面のテストでもヌルレンズを使うことなくできる技術が開発されている。

光学プロファイラでは、レーザ光スポットで光学素子の表面をスキャンしてポイントごとにその3D形状を判定する。場合によっては、スポットの変位を評価するために、プロファイラ自身の光学系が干渉計を収容している。光学プロファイラは、半球を含め、非常に急峻な面を計測することができる。

フィゾ干渉計アプローチ

今日のフィゾ干渉計は、非球面形状評価に最適の装置である。例えば、アメテック社（Ametek）の子会社、米ザイゴ社（ZYGO）が製造したベリファイア・アスフィア（VFA）は、同社が長年にわたり製造してきたベリファイアフィゾ干渉計をベースにした非接触干渉計計測機である。

同社の製品部長、タイラー・スティール氏によると、その計測機は5軸モーター駆動ステージと2軸変位計測干渉計（DMI）を搭載している。これにより自動アライメント、およびテストされる非球面の捕捉が可能になる。すべての完全3D表面誤差マップと数々の数値出力を利用して、確定計測のための表面誤差を評価し、確定研磨のためにフィードバックを提供することができる。

「フィゾ干渉計にアライメントされた非球面は、ヌル干渉の環状ゾーンを

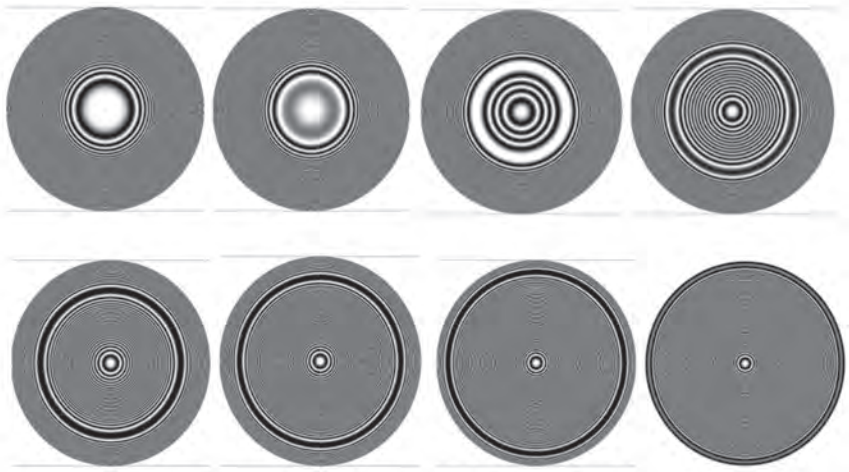


図1　ベリファイア・アスフィア干渉計で計測された非球面の異なるゾーンからのデータはソフトウエアで統合され、光学部品の形状が得られる（ザイゴ社提供）。

生成する」と同氏は言う。「ゾーンの半径方向の位置は、干渉計に対してテスト面Z位置の関数である。テスト部分はDMIからのフィードバックでZに変換されるので、ゾーンはテスト面にわたり捕捉され（**図1**）、非球面はソフトウエアで再構成される。その出力は理想的な設計からの、あるいは最適化された非球面の底面半径からの偏差であり、円錐定数は計測された最良適合面から計算できる」。

VFAは、800μm以下の球面および、800mm以下の曲率半径から外れた回転対称非球面に最適である、とスティール氏は指摘している。「眼科市場は、この計測技術の恩恵を受けてきた、コンタクトレンズ表面はこれらの条件に当てはまるからである。多くの新しいコンタクトレンズ設計は、非球面をベースにしている。そうした非球面は、多焦点効果を実現するために、球面からわずかに逸脱している」と同氏は語っている。

コンタクトレンズ市場のような大量生産分野が、VFAの自動計測能力の開発を促した。150×150mmステージと自動化ソフトウエアにより、複数のテストパーツがトレイに置かれ、自動計測が行われる。関係のある結果と表面誤差マップがレポートされ、オペレーターがパス／フェイル・グラフィカルインタフェースを制御する。非球面計測だけでなくVFAは、円環状面とともに精密球面半径や表面計測も行える。スティール氏によると、これらはそれぞれ眼科のコンタクトレンズ産業では重要な形状である。

フィゾ干渉計が、測定不能な多数の干渉縞とならないように、強い非球面を計測できるようにする1つの方法は、フルアパチャをサブアパチャに分割し、各個を計測してデータを統合することである。このアプローチは、米QEDテクノロジーズ社（QED Technologies）が開発して、サブアパチャスティッチング干渉計（SSI）と名付けられている。このアプローチは、同社の干渉計システムの主力となっている。

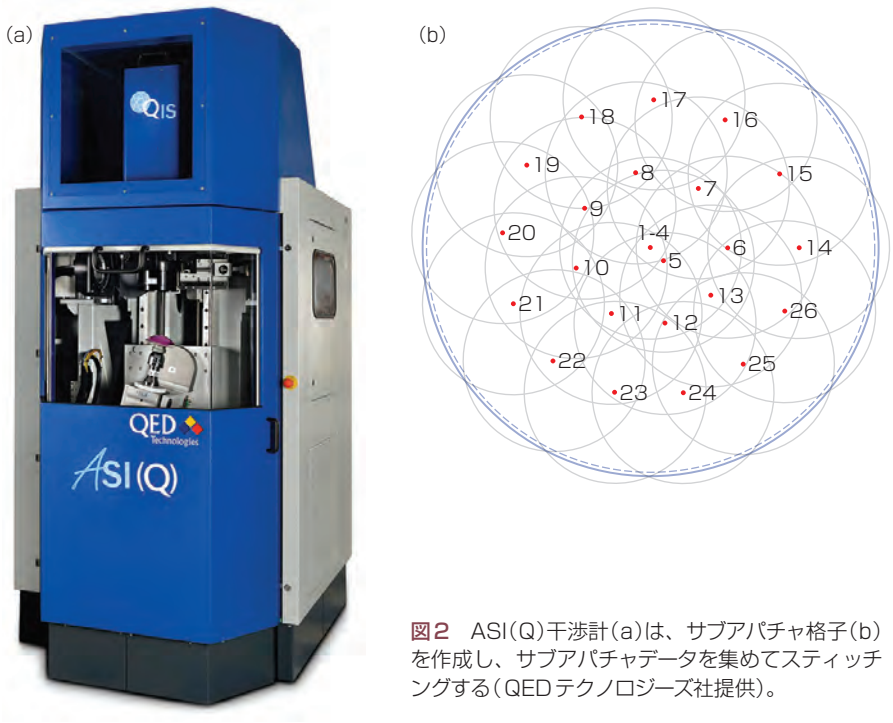


図2　ASI(Q)干渉計(a)は、サブアパチャ格子(b)を作成し、サブアパチャデータを集めてスティッチングする（QEDテクノロジーズ社提供）。

「当社のシステムは、精密動作プラットフォーム、干渉計、新しいスティッチングアルゴリズムとカスタムソフトウエアを統合している」と同社のシニア光学エンジニア、ポール・マーフィー氏は語っている。「SSI技術により、大型（150～400mm凸面レンズ）や高開口数（半球）の光学部品の球面テストができるようになっている。こうした光学部品はこれまで、従来のフルアパチャ干渉計には難しかった。ついにSSI技術によって、専用のヌルレンズなしで非球面計測が可能になった」。

マーフィー氏によると、QIS実装の非球面スティッチング干渉計[ASI（Q）]は同社からの最新の発表である。QISは、コヒレントイメージング、6インチアパチャのフィゾ干渉計で、多軸マシーンに搭載されている。ユーザーが部品情報を入力し、ソフトウエアが自動的に透過素子を推奨し、適切なサブアパチャレイアウト（格子）を設計し、サブアパチャデータを集めてスティッチングする（**図2**）。

「QISにより、従来の非コヒレントシステムよりも50%以上多くのスロープキャプチャが可能になる。これは非球面設計にとっては極めて重要である。多くの処方箋は、どんなサブアパチャに対しても大きなスロープ（多くの干渉縞）を持っているからである。ASI（Q）は、オプションの可変光学ヌル（VON）とともに構成することもできる。VONは、どんなサブアパチャに対しても、既知量のコマ収差や非点収差を補正し、サブアパチャでデータキャプチャができるようにする。他の方法では、信頼性のよい干渉計データを収集するには縞密度が高くなりすぎる。達成可能な計測仕様は、部品依存、環境依存であるが、同社は1ケタナノメートル範囲の結果を実証した」とマーフィー氏

は語っている。

ASIは、急峻面を取り扱うことができる。同氏が示した一例（これは偶然、非球面ではなく球面向けとなる）では、約500mm半径範囲を持つ150mm径のレンズを計測し研磨した。「6インチ干渉計はこれらの寸法の凸面部分をカバーできない。凹面部分は、スティッチングなしでその部分をカバーするには、f/3もしくはより高速伝送球が必要となる。しかしわれわれは、スティッチングなしで、低速の分岐伝送球を利用してより高倍率、したがって優れた横方向分解能を達成することができた。さらに、われわれはASIの自動ランダム基準校正を活用して、1/10ナノメートルレベルで中空間周波数計測を可能にした。このような計測により、磁気レオロジー式仕上げ（MRF）補正で、表面形状や中間周波数を1nm RMS以上に改善することができた。併せてサブミリメートル側面素性もモニタすることができた」。

スキャニングによる表面プロファイリング

光スポットを所定のパタンでスキャニングすることによって非球面体の表面を計測することは、もう一つの重要な非接触技術である（接触形状測定は、また別の重要技術であるが、この記事では取り上げない）。

米オプティプロシステムズ社（Opti-Pro Systems）が作成したUltraSurf非接触計測システムは、光学プローブからの集光光源を使い、非球面をスキャンし、研削光学面、研磨光学面のいずれかで2Dおよび3D表面形状誤差解析を行う（**図3**）。非接触点センサは、低コヒレンス干渉計を備えており、表面の内側と外側を同時に計測する。また、白色共焦点システムは個々の光学面を計測する。

図3 UltraSurf 4X 300非接触計測システム（a）は、ステージにマウントされたシングルポイント光学センサ（b）を使って非球面をスキャンする（オプティプロシステムズ社提供）。

「UltraSurf 4X 300は、実質的に300mm径までのどんな非球面でも計測できる。4X 300モデルナンバーは、X軸移動300mmの4移動軸（X、Z、B、C）を意味している。高精密計測を達成するために、すべての軸を最新のエアベアリングとリニアモータ技術で駆動している。個々のリニア軸は、ナノメートルの分解能を持つが、2つの回転軸はサブアークセカンドの分解能となっている。加えて、UltraSurf 4X 300は、多様な波長で動作する様々なプローブを収容できる」とオプティプロシステムズ社のR＆Dマネージャー、エド・フェス氏は話している。

移動とプローブの互換性の両方におけるそのユニットの柔軟性により、大型非球面と急激な偏差の非球面の計測に理想的になっていると同氏は指摘している。「UltraSurfは、近凹凸レンズ形状の両面を同時に計測することもできる」と同氏はいう。「この場合、一度の計測スキャンで凸面、凹面、厚さマップを計測することができる。厚さマップは、両面間にあるかも知れないウェッジや偏心の詳細な3Dマップを提供できる」と付け加えている。

フェス氏は、UltraSurfの能力が製造工程で役立つ2つのアプリケーション例を挙げている。最初は、1000波オーダーの非球面離脱の非球面を製造している顧客。「その顧客は、製造プロセスに問題を抱えていた。製造プロセスでは、光学製品の形状誤差が、同社が保有する干渉計とホログラム設定で計測できる範囲を超えていたからだ。われわれは、UltraSurfを使って光学製品を計測し、同社のサブアパチャ研磨工程で利用できるデータマップを提供することができた。これにより、同社は表面形状を補正し、同社の工程を再度利用できるようになった。また、接触形状測定機のようにスロープ（勾配）制限がなく、非球面のプロファイ

ルに制限がないという、単純な事実から、UltraSurfを購入した顧客もいた」と同氏は語っている。

ザイゴ社は、3D表面マッピングシステム、コンパス（Compass）を開発し販売している。コンパスは、家電機器で一般に使用されている小型非球面の検査に特化して設計されている。同社の製品マネージャー、エリック・フェルケル氏によると、コンパス非球面計測機器は、コヒレントスキャニング干渉計（CSI）と2D画像解析を使って、光学表面のサブナノメートル3D計測、レンズや射出成型冶具モールド両方の関連するマウンティングおよびアライメントパラメータの2D検査を行う。

「技術は完全に非接触であり、3Dトポグラフィ（微細構成）、偏差、テクスチャ結果が得られる。ユーザーは、レンズ全体を評価するプロセスを自動化する処方箋を作ることができる。非接触CSI技術は、白色照射の短コヒレンス長を利用して、テスト領域の面と、顕微鏡対物レンズに組み込んだ基準面とを比較する。表面のオーバーラップ領域を計測し、次にスティッチングでつなぎ合わせてレンズトポグラフィの完全3Dマップを作成する。その3Dマップは光学処方箋と比較され、偏差マップを提供することができる。これにより、質的、量的の両面で、光学素子が設計パラメータとどのように違っているかを示す」。

非接触計測は重要である、と同氏は指摘する。「小型プラスチックレンズは大量生産され使い捨てられるが、計測的には、その製造に用いられる精密モールドには遥かに大きな注意が必要である。非接触ソリューションにより、仕上げレンズモールドを計測してすぐに使えるようになる。計測跡を除去する最終仕上げ工程は不要となる。さらに、コンパスは非球面の全面を計測するので、他の技術なら見逃すような問題を発見することができる」。

例えば、コンパスによる検査で発見した1つの問題では、ある顧客のプラスチック射出成形プロセスが、実際にはレンズモールドの充填不足（アンダーフィル）となっており、結果的に非対称性レンズ面や不適当な表面形状となっていた。ラインプロファイリング技術は不適当な表面形状を見ることはできるが、コンパスを使ってアンダーフィルが明らかになって初めてそれができた。

多波長干渉計

アメテック社の子会社、英テーラーホブソン社（Taylor Hobson）が製造したスキャニング干渉計ベース計測システムは、多波長干渉計（MWLI）をベースにしている。同製品は、絶対距離を計測することができる。テーラーホブソン社の事業開発部長、エリック・ストーバー氏によると、LuphoScanシステムは、4波長プローブを搭載している。

システムは、1530～1610nm範囲の4波長ファイバベース干渉計を実装しており、すべての光がテスト光学部品の同一点で一致する。結果として得られる4つの独立した計測干渉信号をデジタル化し、その情報を統合して絶対距離計測を導き出す。テストされる光学部品は、360°回転ステージ上で回転させられスキャンされる。その間に、干渉計プローブを半径方向とZ方向に動かしている。

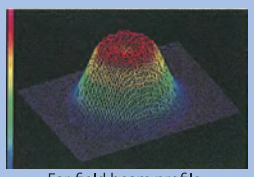
絶対計測機能により、同システムは計測されたデータを、レンズの前面と裏面など、異なる面に関連付けることができる。こうして同システムは、偏心、ウェッジ、レンズの厚さ、レンズマウントの位置決め、非球面形状を定めることができる。 LFWJ

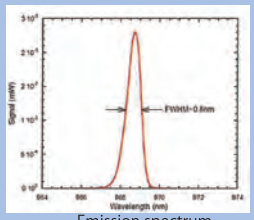
PRINCETON OPTRONICS

これが
高出力 VCSEL
です

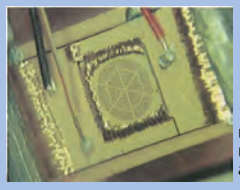
この高出力半導体レーザーはエッジエミッター方式に比べ数々の特徴があります！

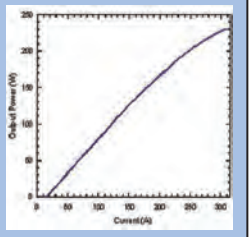
◆ビームの質がよい


Far-field beam profile


Emission spectrum
5mm×5mm VCSEL array at 100W output power

◆高スケーラビリティ


100W CW single mode VCSEL array mounted on a micro cooler



その他の特徴
◆温度依存が低い
◆製品間のばらつきが小さい
◆バックトークが少ない
◆波長の安定度が高い
◆FIT<10

AUTEX オーテックス株式会社
URL http://www.autex-inc.co.jp
E-mail Sales11@autex-inc.co.jp
東京本社 〒162-0067
東京都新宿区富久町16-5 新宿宿高砂ビル
TEL. 03(3226)6321 FAX. 03(3226)6290
大阪支社 〒530-0004 大阪市北区堂島浜2-1-29
TEL. 06(6344)6328 FAX. 06(6344)6342