

精密フリーフォーム光学部品を はじめから終わりまで効率的に製造

バット・ベヒトールト、ジョシュ・ハメル、フランク・ヴォルフス

フリーフォーム光学部品を製造するプロセスは、ハードウェアとソフトウェア両方における高度な製造及び計測ツールの相互連携に依存している。

フリーフォーム光学部品は、回転対称光学部品における制限を取り払い、従来の球面または非球面レンズよりも優れた性能を提供する、複雑なコンポーネントである。光学システムにおいては、いくつかのレンズを1つのフリーフォーム光学部品で置き換えることもできる。

フリーフォームは回転対称ではないため、製造中にレンズを回転するための回転軸を持たない。これらの形状は回転対称光学部品で使用される一般的な方法では製造できないということが、コンポーネントを製造する際の課題となる。フリーフォーム光学部品を低コストで製造するために、米オプティプロ・システムズ社 (OptiPro Systems) は、CNC 光学研削技術と「UltraForm Finishing (UFF)」サブ

アパーチャ研磨システムを絶えず強化してきた。加えて、オプティプロ社は2015年に「PROSurf」を導入した。PROSurfはフリーフォームCAMソフトウェアで、従来のCAMソフトウェアパッケージよりも精密にフリーフォーム光学部品のツールパスを生成する。PROSurfはまた、フリーフォーム光学を研削及び研磨する際の、計測ドリブンの修正もサポートする。

PROSurfの初のリリース以来、フリーフォーム光学部品の製造工程を最適化するために、カスタマーのフィードバックに基づくアップデートが行われてきた。このプロセスは4つのステップから成り立ち、3つのオプティプロ社のシステム、すなわちフリーフォームサーフェスを生成するための5軸CNC 光学研削機、希望する品質に

じて表面を研磨する5軸UFFマシン、製造中及び最終計測を行う「UltraSurf 5X 400」非接触計測システムを必要とする。以下に光学ガラスを材料とする楕円面のフリーフォームを、「eSX 150」CNC 光学研削機と「UFF 300」フリーフォーム研磨機によって製造する工程の、全4段階を詳細に説明する。

ステップ1： フリーフォームサーフェスの生成

フリーフォーム光学部品を製造するため、はじめに光学ブランクから表面を「粗削り」する必要がある。このため、オペレータははじめに表面のCADモデル、方程式、または点群をインポートし、PROSurfのようなCAMソフトウェアで表面を定義しなければならない(図1)。

表面を定義した後、PROSurf中に工具及びプロセスのパラメータを入力することによって、高速材料除去ツールパスが生成される。高速な材料除去が可能になることで、PROSurfは、工具をブランクのフラットトップから開始して表面全体を粗削りすることにより、特定のストック量のバルク材料の除去をプログラムできる。この方法は、工具が空を切るようなどんなモーションも飛ばすことによりカット効率を最大化し、効果的にサイクルタイムを減らして効率を高める。PROSurfはオフラインプログラムのため、いったん高

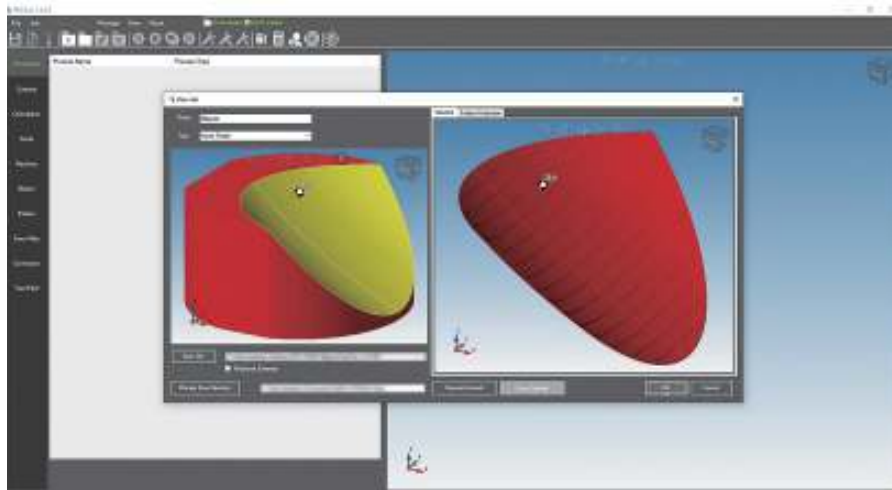


図1 CADモデルをインポートしてPROSurfにおいて定義されたフリーフォームサーフェス。



図2 ボール工具を使用して、楕円体の表面を粗／微細研削した。処理の前に表面は黒いマーカで覆われていた。これは、光学部品の研削及び研磨時において、表面全体にわたって確実な材料除去を確保するために一般的に行われる。

速材料除去ツールパスが生成されると、マシンとは別のコンピュータに保存される。続いてツールパスはeSX 150のようなCNC光学研削機で実行するために移され、粗研削に適したフリーフォームサーフェスのニアネットシェイプを生成する。

図1に示す楕円面は、eSX 150でグリットサイズ180の12.7mm径のリング工具を使って生成された。

ステップ2: フリーフォームサーフェスの 粗／微細研削

2番目のステップでは、ボール工具を使用してフリーフォームサーフェスを粗研削する(図2)。フリーフォームサーフェスのCADモデルをインポートした後、工具及びプロセスのパラメータを入力し、初期の粗研削のツールパスを生成する。粗ボール工具は、サーフェスの下部から等高線を描き、上部に向かって進む。サイクルは、工具がサーフェスの上部で最後の粗削りパスを作成した時に完了する。表面の粗削りが完了した後、パーツはマシンから

取り外され、UltraSurf 5X 400のようなフリーフォームサーフェスを測定できる計測システムで測定される。この測定のエラーマップを使用して、別の粗面研削ツールパスがPROSurfで作成され、光学研削機で実行される。

微細研削プロセスでは、グリットをより細かくした同じサイズのボール工具を使用し、粗研削と同じワークフローを必要とする。

- ・ 微細グリット工具のツールパスのため点の分布を設定する

- ・ 工具及びプロセスのパラメータを入力してツールパスを生成する
- ・ CNCコントロールにツールパスを読み込み、5軸光学研削機でプログラムを実行する
- ・ マシンから最初の微細研削サーフェスを取り外し、UltraSurf 5X 400で計測してエラーマップを作成する
- ・ 修正ツールパスを実行して、より精密な微細研削サーフェスを作成する
- ・ 必要に応じて、表面を研磨に適するようになるまで、計測ドリブンの修正を繰り返す(図3)

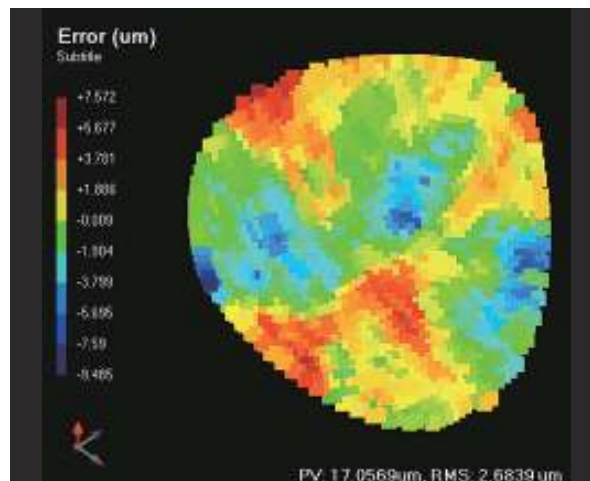


図3 微細研削された楕円面サーフェスをUltraSfrf 5X 400によって計測したエラーマップ。



図4 (a)除去関数の計算のためにUFFマシンのオンボードフローピングで計測されている「スポット」の部分。(b)最適な研磨サイクルを確保するためPROSurfにおいてUFFツールパスのシミュレーションを行う。

楕円面サーフェスには、粗研削にグリットサイズ220の25.222mm径のボール工具を使用した。微細研削作業では、グリットサイズ1200で同じ直径のボール工具を使用した。

ステップ3: フリーフォームサーフェスの サブアパーチャ研磨

フリーフォームサーフェスを微細研削した後、UFF 300などのサブアパーチャ研磨プロセスを利用する5軸CNCマシンでフリーフォームを研磨する。サブアパーチャ研磨は、研磨体が表面のサイズに比べて小さい場合に用いる。UFFには、圧縮ホイールに巻き付けられた特定の速度(1分当たりの回転数)で動く研磨材(研磨体)のベルトが含まれる。

UFFの効率的な研磨性能のカギは、正確な除去関数を備えていることにより、全体にわたって一定量の除去を維持することである。UFFでは、除去関数は「スポットを取る(taking a spot)」ことによって作成される。これは、微細研削されたフリーフォームサーフェスと同じ特性を持つ犠牲部分のスポットを研磨することを意味す

る。次に、UFFのオンボード計測を使用してスポットを測定する(図4)。続いて、すべてのUFFマシンを実行する「Uシリーズ」研磨ソフトウェアが、ベルト速度やホイールデュロメータ、圧縮、及び滞留時間に基づいて体積除去率を計算することにより、除去関数を計算する。

次に、サーフェスをグレーアウト(gray out)する最初のUFFツールパスが生成される。これは、PROSurfに研磨プロセスを追加し、UFFの工具のパラメータを入力してから、体積除去率やスポット部分からの研磨深さなどのプロセスパラメータを入力することによって行われる。表面が研磨され、残っている研削痕が除去されたら、フリーフォーム光学部品をUltraSurf 5X 400に移動させて計測する。

楕円面のフリーフォーム研磨については、UFF 300 5軸研磨機において、酸化セリウムベルトと直径20mm、50デュロメータのUFFホイールが、必要だった。

ステップ4: 計測ドリブン修正運転と 最終計測

UFFでの修正を実行するために、最初に5軸UltraSurfでフリーフォームを測定する。測定が完了すると、エラーマップをUltraSurfからいくつかの異なるファイル形式でエクスポートできる。ユーザーは、グレーアウトパラメータを修正パラメータと識別するために、PROSurfで新しい研磨プロセスを作成する。このプロセスでは、修正ファイルがPROSurfにインポートされる。エラーマップを読み込んだ後、修正ツールパスが生成され、UFF 300で実行される。UFFでの最初の研磨修正の実行が完了すると、UltraSurfでフリーフォームが再度測定され、別の修正実行が必要かどうか、または規定の表面凹凸を達成したかどうかが判断される。フリーフォームが許容レベルの精度に達した場合、最終的な計測レポートをUltraSurfからPDF形式でエクスポートできる。

著者紹介

バット・ベヒトルトは米オプティプロ・システムズ社(OptiPro Systems)のマーケティングテクノロジーリスト、ジョシュ・ハメルは上級製造技術者、フランク・ヴォルフスはシニアアルゴリズムエンジニア。e-mail: pbechtold@optipro.com