

## 非接触方式による形状計測

**キーワード:**非接触、光干渉、形状精度、曲面形状、レーザ

はじめに

発展を続ける情報・通信分野向けの光学素子等に要求される精度は高まる一方であり、そのような高精度な製品を生み出すためには生産技術の高度化とともに測定評価技術についてもいっそうの高度化が必要となっています。特に、超精密に仕上げられた製品に対して傷等のダメージを与えることは許されないため非接触方式による評価が望まれています。

ここでは、レーザを用いた干渉計を利用した曲面形状計測に関する技術について検討しました。

非接触形状計測の原理

光波干渉法による曲面形状の測定においては、曲面に入射する光波が面にほぼ垂直であることが要求されます。反射の方向が測定位置により異なると、反射された光が再び干渉計に戻ってこないため測定できないことになります。平面に近い形状の測定の場合には、これを達成することは容易ですが、曲面形状の場合には、常にこの条件を達成するための工夫が必要となります。

干渉計測には、測定対象面全体に光波を広く入射して全面を一度に測定する方法と、光ビームで曲面上の1点に対する距離計測を行い、これを走査して全面を測定する方法があります。通常どちらの場合も上述の垂直入射条件を満足させるために複雑な手順や機構が必要となります。

本研究の方法は、後者の走査型に属しますが、入射光を平行な光ビームではなく、図1のように球面波で照射します。球面波の発散角が十分大きい場合は、対象面上で光の進行方向に対して垂直になる点が存在します。図ではこれをSとしています。この点の近傍から返ってきた光は参照光と干渉して、図のような干渉縞を形成します。この干渉縞を画像センサで検出して、干渉縞の生じている領域で位相分布を計算します。この値から、この領域内での面形状（局所形状）が求められます。

次に対象面と干渉計の相対位置を変化させ

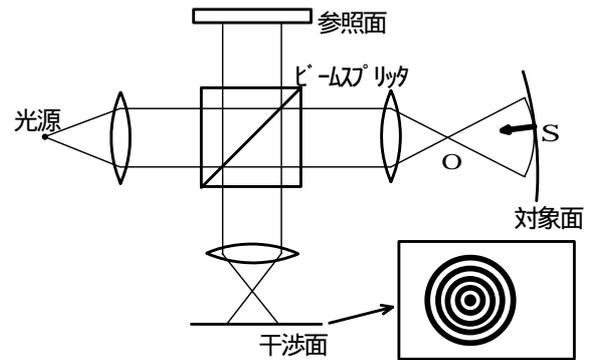


図1 測定原理

ると干渉縞が現れる位置が対象表面上で変化します。同様に干渉縞の生じている領域での位相分布を求め、面形状を求めます。干渉縞が測定対象領域全面を覆うように相対移動を行い、これらの干渉縞で得られた面形状をつなぎ合わせると対象領域全面の三次元の形状が光波の波長より高い分解能で得られることになります。

実験方法

上述の原理を実現するためのモデル計測システムを構築しました。光源には He-Ne レーザ（波長 = 632.8nm）を用い、CCD カメラ、画像処理ボードを通して干渉縞画像をパソコン

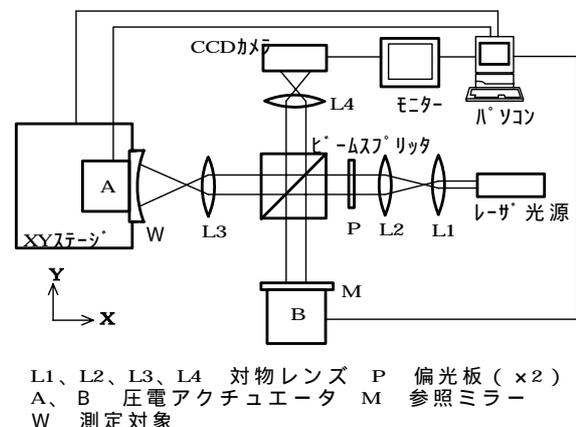


図2 実験装置概略図

ンに取り込んで解析を行いました。ここで位相値を精度良く求めるために位相シフト法を導入しました。具体的には、ひとつのサンプリング点において、参照ミラーを圧電アクチュエータ B で光軸方向に  $1/4$  づつ微動させて 4 枚の縞画像を取り込み、それらを用いて位相分布を計算しています。測定対象は光学系に対して相対移動させるためにステッピングモータ駆動の XY ステージ上に設置していますが、高精度な移動を実現するために Y 方向に移動させる際の X 方向の振れを圧電アクチュエータ A を利用して補正する機構を導入しました。

実験装置を模式的に表すと図 2 のようになります。干渉計としては Twyman-Green 型であり、システム全体をアクティブ除振制御された定盤上に設置しました。

局所形状は次のような方法で求めました。図 2 のように被測定面に球面波を照射する状況を考えます。その点での法線が光軸と一致する点 A と干渉縞発生領域内の任意の点 B の相対的な位置の z 方向については、まず干渉縞画像から得られる位相分布から  $(d+u)$  を求め、そこから計算で求めた  $d$  を差し引くことにより  $u$  を得ます。ここで、 $OA$  と  $OB$  のなす角は非常に小さいので  $u$  を z 座標値の差とみなします。また x 方向については、画像上の距離を実際の寸法に換算することにより得られます。このようにして干渉縞発生領域において、点 A を基準とした形状（局所形状）が得られます。

各サンプリング点で得られる局所形状の接続は、測定の際に隣り合うサンプリング点において干渉縞発生領域がある程度重なりあうようにステージ送りピッチを設定して、その重複領域を利用して行っています。

### 測定結果

構築した計測システムの有効性の検証のため、曲率半径の大きな球面を対象として実際に測定を行いました。測定対象物としては球面ミラー（曲率半径 2000mm、凹面）を選びました。その際に得られた、あるサンプリング点での干渉縞の一例を図 4 に示します。

図 5 に一断面の測定結果を示します。同図には、2 回の測定を平均した結果と比較のために白色干渉型形状解析顕微鏡（Zygo 社 NewView100）による結果をあわせて示しています。細かく見ると違いの大きい所で  $0.4\mu\text{m}$  程度の差がありますが、本方法による結果は

大まかには解析顕微鏡によるものと一致しています。この差の原因としては光学系における部品配置精度の不足等が考えられます。今回測定した形状は曲率半径の大きなものですが、本原理による方式では曲率半径の小さな凹面も測定可能です。

### まとめ

曲面形状を対象とした非接触モデル計測システムの構築を行いました。その有効性の検証のために実際に測定を行って、このシステムが有効に働くことを確認しました。

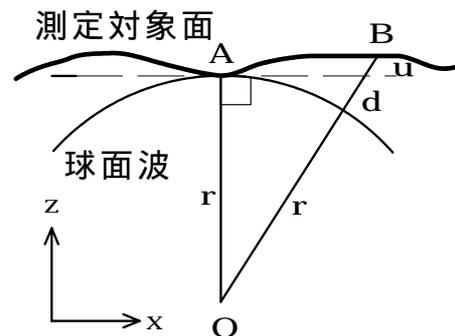


図 3 光路差の球面波成分と形状誤差成分

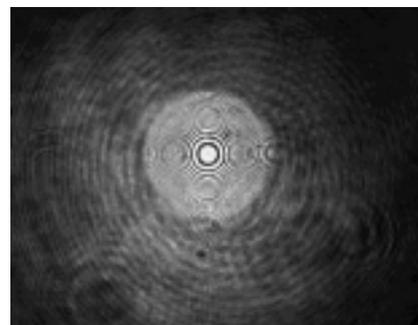


図 4 干渉縞の例

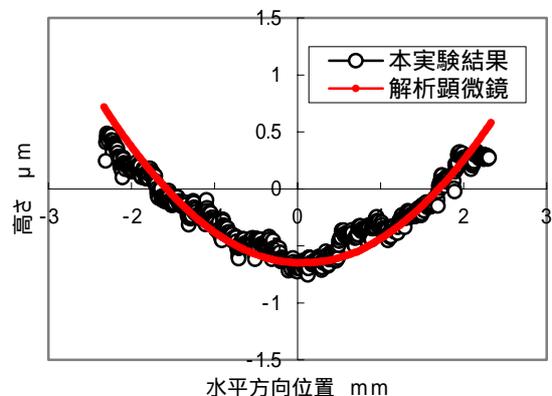


図 5 球面断面形状の測定結果