

# レーザ走査光学素子の形状測定・評価技術

Profile Measuring and Evaluation Technology for Laser Scanning Optical Elements

井関 敏之\* 吉川 浩史\* 高橋 実\* 高橋 斗美子\*  
Toshiyuki ISEKI Hiroshi YOSHIKAWA Minoru TAKAHASHI Tomiko TAKAHASHI  
鎌田 照己\* 新保 晃平\* 園田 徹也\*  
Teruki KAMADA Kohei SHINBO Tetsuya SONODA

## 要 旨

レーザ走査光学素子の形状を、高速かつ高精度に測定できる三次元形状測定システムを開発した。本システムでは、光ピックアップに応用されているオートフォーカスの手法を利用して形状測定を行なう。高速走査時には、機械的振動や被測定面の微小な凹凸等の外乱により追従誤差が発生するが、光触針出力の直線範囲を利用した補正処理により、走査速度20mm/sec、測定精度0.1 $\mu$ mを達成することができた。

## ABSTRACT

A 3-dimensional profile measuring system has been developed, which can measure the configuration of aspherical surfaces for laser scanning systems, at a high traverse speed of 20mm/sec, with a high accuracy of 0.1 $\mu$ m. The principle of this system is based on the auto-focusing method such as the pick-up for optical disk players. When a surface profile measurement is performed at a high traverse speed, a focus positioning error is caused by a disturbance due to mechanical vibration and surface roughness. A high traverse speed and a high accuracy have been attained by correction using liner range of optical probe signal.

## 1. 背景と目的

レーザプリンタやデジタル複写機の高密度化・低コスト化を実現するために、近年、レーザ走査光学系の光学素子に非球面を採用することが多くなった。非球面の形状測定・評価には、従来、触針式形状測定器<sup>1)</sup>や当社で独自に開発した干渉計<sup>2)</sup>を使用していた。前者は汎用性の高い測定法である反面、被測定面の凹凸に対する触針の応答性が低いために走査速度が制限され、三次元形状の測定には膨大な測定時間を要するという欠点がある。一方、後者は三次元形状を短時間で測定できるが、被測定面形状による制約が大きいという問題がある。今後は、非球面が、より自由度の高い形状、複雑な形状へと変化してゆく傾向にあり、三次元形状を高速・高精度に測定でき、しかも汎用性の高い測定・評価システムの構築が求められている。

\* 研究開発本部 生産技術研究所  
Manufacturing Technology R&D Center,  
Research and Development Group

そこで我々は、上記の要求に応えることを目的として、光触針を用いた三次元形状測定・評価システムを開発した。光触針法を採用した理由は、触針法と同様に汎用性の高い測定法であることに加え、応答性が高いので高速走査に適するからである。本報では、開発した形状測定システムについて、その原理と特徴を紹介する。

## 2. 技術の特徴

### 2-1 概要

#### 2-1-1 システム構成・動作

Fig.1にシステム構成図を示す。XYZ3軸直交ステージ上に光触針とレーザ測長ヘッドが搭載され、各々と対向する位置に、被測定物と基準ミラーが設置されている。被測定物をセットすると、光触針が測定開始点に移動し、光触針の出力光量を適正值に調整した後、測定を開始する。作業者への負担を極力軽減するために、被測定物の着脱以外は自動化した。

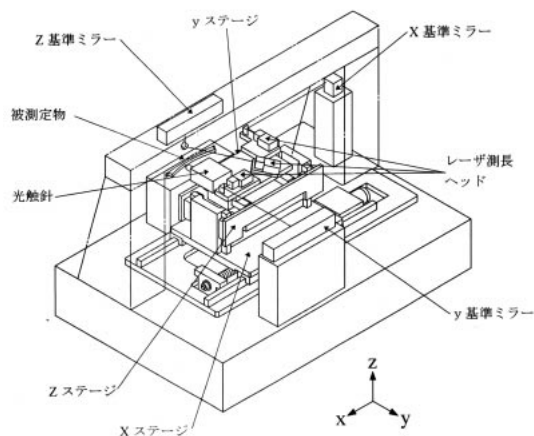


Fig.1 Schematic view of 3-D profile measuring system

### 2-1-2 測定原理

光触針は、光ピックアップと同様の光学系を内部にもち、被測定面との相対変位に応じて、Fig.2に示すようなフォーカス信号を出力する。フォーカス信号を利用して被測定面との距離を常に一定に保つ制御をフォーカス制御と呼ぶ。フォーカス制御を行ないながら被測定面を走査し、そのときのステージの動作軌跡をレーザ測長器で測定することによって形状データを取得する。

実際の測定においては、被測定面の凹凸や機械的振動等の外乱により追従誤差を生じ、測定誤差となる。走査速度を速くするほど追従誤差も大きくなり、測定誤差は増大するので、高速性と高精度を両立することは困難である。

そこで本システムでは、フォーカス信号の直線部分を利用して測定点ごとに追従誤差量を求めておき、動作軌跡データから差し引くという補正処理を行なう。この補正処理により、フォーカス信号の直線範囲内で追従誤差を許容できるので、測定精度を低下させることなく高速走査を実現できる。

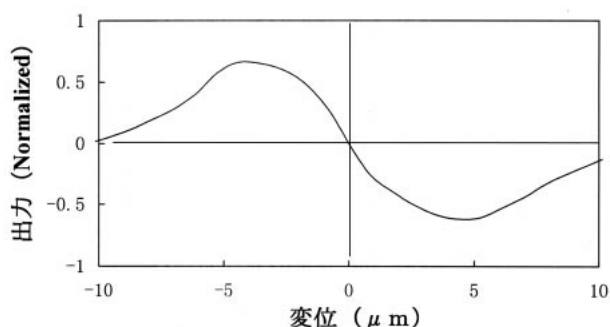


Fig.2 Relationship between output signal and displacement (Focus error signal)

### 2-1-3 仕様

基本仕様をTable 1にまとめる。

本システムの開発ターゲットは、レーザプリンタやデジタル複写機に搭載されるレーザ走査光学素子である。レーザ走査光学素子には、透過型と反射型があるが、一般に、反射型の光学素子は透過型よりも高い形状精度を必要とする。例えば、当社で開発された非球面f ミラーの形状評価を行なうためには、 $0.1\mu\text{m}$ の測定精度が必要である。

走査速度については、長手寸法300mmの光学素子の三次元形状を、5分以内で測定できることを条件に仕様を設定した。長手方向に10ラインを、短手方向の位置を変えながら連続走査する場合を想定すると、起動・停止時の加減速時間も考慮して、20mm/secの走査速度が必要である。

Table 1 Specifications

項目	仕様
測定範囲	
X (水平方向)	300mm
Y (フォーカシング方向)	40mm
Z (垂直方向)	50mm
測定精度	
曲率半径	$\pm 3\mu\text{m}$
面精度	$0.1\mu\text{m}$
走査速度	20mm/sec
反射率	4%以上
傾斜角度	30deg

### 2-2 フォーカス制御

フォーカス制御系は、光触針を搭載したエアスライダ、これを駆動するためのボイスコイルモータ(VCM)および電流アンプ、制御演算を行なうための専用DSPから構成されている。

20mm/secの走査速度を達成するために、外乱オブザーバを用いて外乱を抑圧する方法を採用した<sup>3)</sup>。Fig. 3にフォーカス制御系のブロック線図を示す。外乱オブザーバは、電流指令値( $i_{cd}$ )と位置信号( $x$ )から外乱を推定し、推定した外乱に相当する電流値( $i_d^{\wedge}$ )を電流指令値にフィードバックすることによって外乱を抑圧する。これにより、走査速度20mm/secにおいて、フォーカス信号の直線範囲である $\pm 0.5\mu\text{m}$ 以内に追従誤差を抑えることができた。

### 2-3 追従誤差補正

フォーカス制御系に外乱オブザーバを用いることで、追従誤差を $\pm 0.5\mu\text{m}$ 以内に抑えられるが、最終的に $0.1\mu\text{m}$ の測定精度を達成するために、更に、追従誤差の補正を行なっている。

フォーカス信号におけるゼロクロス付近の傾きを、こ

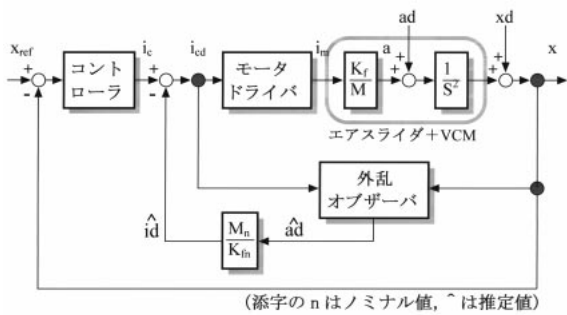


Fig.3 Block diagram of focus controller

ここではフォーカス感度と呼ぶ。光触針の出力値をフォーカス感度で除算することによって、追従誤差量を求めることができる。但し、フォーカス感度は被測定面の傾斜角度に依存して変化するので、両者の関係をあらかじめ測定し、各測定点の傾斜角度に応じたフォーカス感度を用いている。

Fig.4に追従誤差補正の効果を示す。Fig.4(a)では、最大 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ の追従誤差が認められるが、Fig.4(b)では、補正によって測定誤差を大幅に低減できている。

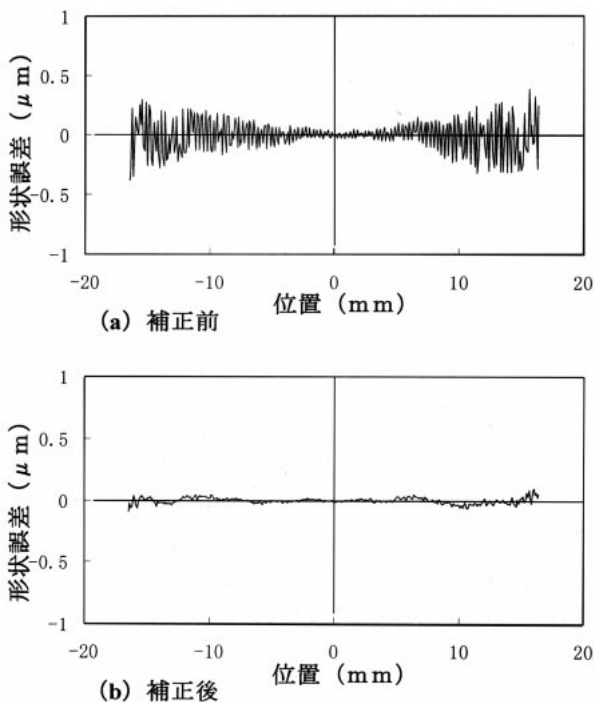


Fig.4 Correction of focus positioning error (sample: spherical surface, radius=33.7mm)

## 2-4 システム制御

システム制御系の構成図をFig.5に示す。システム制御コントローラには、PC/AT互換パーソナルコンピュータを用い、各種拡張ボードを介して周辺機器を制御す

る。システム制御プログラムのうち、ユーザインターフェースおよび測定動作シーケンスの部分の開発には、Visual Basic(VB)を用いた。また、それ以外の周辺機器制御の部分は C++ で記述して高速化を図り、DLL(ダイナミックリンクライブラリ)化してVBから直接利用できるようにしている。

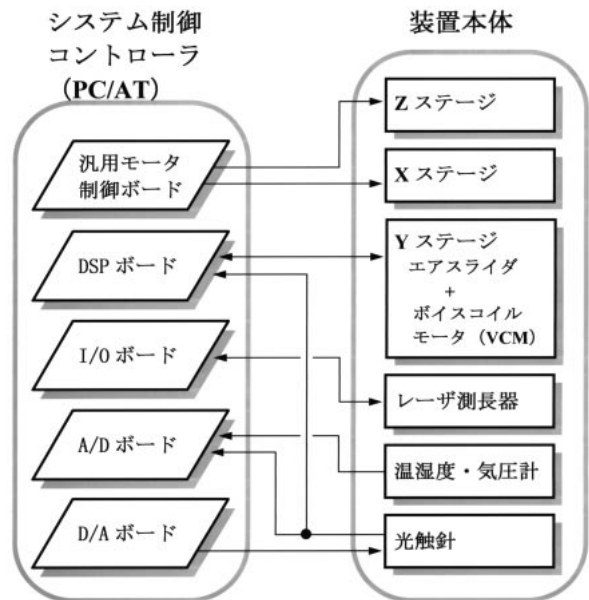


Fig.5 Block diagram of system control

## 2-5 形状解析

### 2-5-1 セッティング誤差補正

被測定物のセッティング誤差を取り除くための解析処理を、セッティング誤差補正と呼ぶ。例えば、軸対称非球面の場合のセッティング誤差は、3自由度の並進成分と2自由度の回転成分で表される。本システムでは、非線型最適化アルゴリズムを用いて、これら5個のパラメータの最適値を求め、形状解析を行なっている。従って、実際の測定作業においては、特別なセッティング調整の必要がない。

### 2-4-2 形状解析プログラム

本プログラムは、設計形状に対する形状誤差を計算するという基本的な機能の他に、任意の非球面パラメータを選択的に最適化する機能を備えている。この機能により、例えば、近軸曲率半径R以外のパラメータを設計値に固定し、Rのみを最適化するような演算も可能である。また、設計形状が未知の場合には、すべての非球面パラメータを最適化することも可能であり、設計非球面式の推定に利用できる。

### 2-5 測定例

Fig.6に、非球面f ミラー用金型の断面形状測定結果を示す。4回の繰返し測定結果を並列表示している。

Fig.7に、非球面f ミラー成形品サンプルの三次元形状測定結果を等高線図で示す。

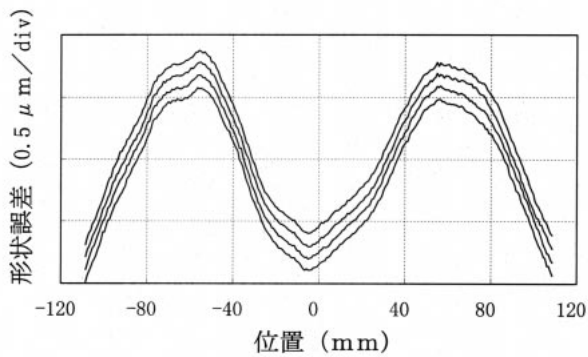


Fig.6 Measurement of mold for FTM

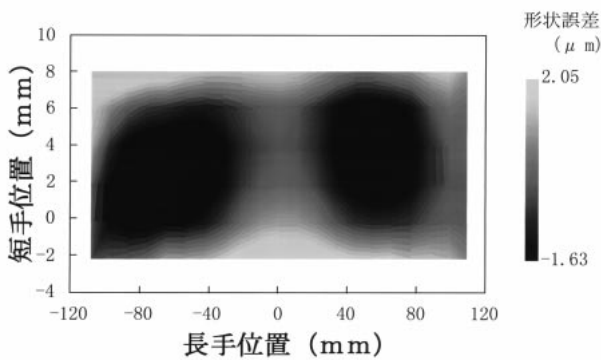


Fig.7 3-D Measurement of FTM

## 成果

業界トップレベルの高速性と測定精度を有する三次元形状測定システムを開発し、デジタル複写機「MF200」に搭載されている非球面f ミラーの量産立上げに貢献した。

## 今後の展開

優れた光学性能を追求するために、光学面の形状が、より自由度の高いもの、複雑なものへと変化してゆくことは必至であり、形状解析・評価技術の更なる向上に注力していきたい。

## 参考文献

- 1) 高井：第12回 光波センシング技術研究会 講演論文集（1993） pp.15 - 21
- 2) 加納：非球面干渉計測システムの開発，光技術コンタクト，23，12（1985） pp.889-896
- 3) 高橋 他：外乱オブザーバを用いた非接触形状測定装置の制御，SICE'96学術講演会予稿集305D-2（1996）