

ノート

# レーザー干渉計の不確かさ算出手法に関する研究

徳田 祐樹\*<sup>1)</sup> 中西 正一\*<sup>1)</sup>

## Study of uncertainty estimation method of laser interferometer

Yuuki Tokuta\*<sup>1)</sup>, Shouichi Nakanishi\*<sup>1)</sup>

キーワード：レーザー干渉計，不確かさ

Keywords：Laser interferometer, Uncertainty

### 1. はじめに

近年，各種光学機器の高機能化への要求を背景に，機器に使用される光学レンズの高機能化が求められている。この要求を満たすためには，高精度なレンズ加工技術と共に形状測定技術の確立が必要不可欠となっており，特にレンズの形状測定においては，nm オーダーの高分解能を有するレーザー干渉計が注目を集めている。一方で，レーザー干渉計は他の汎用的な測定機と異なり不確かさの算出手法が確立されておらず，測定結果の信頼性が明確化されていない。そこで本研究では，測定の信頼性確保のために，現在，確立されていないレーザー干渉計の不確かさ算出手法について検討を行った。レーザー干渉計の不確かさ算出においては，球面ゲージの実測を踏まえた Type-A の不確かさ（実験的推定）と，実測では算出が困難な，測定原理により生じる Type-B の不確かさ（理論的推定）の2通りに分けて推定を行った。

### 2. 研究方法

**2.1 Type-A の不確かさ** Type-A の不確かさ算出においては，表1に示す通り，計20種類の曲率半径の球面ゲージを計3種類のFナンバーの原器を使用して測定を行った。それぞれの球面ゲージと原器の組み合わせごとに36回の繰り返し測定を行うことで標準偏差を算出し，ゲージ曲率半径と標準偏差の関係性について調査を行った。

**2.2 Type-B の不確かさ** Type-B の不確かさにおいては，Type-A とは異なり実測値からの推定が難しい，装置の測定原理より生じる不確かさを理論的に推定した。本研究では，下記に示す7項目の不確かさ要因について検討を行った。

- (1) レーザー光源の波長の変動
- (2) 温度変化による屈折率変化の影響
- (3) 位相シフトの空間的不均一による収差
- (4) 測定対象物の初期設定による影響
- (5) 基準原器の設置時の光軸ずれによる影響
- (6) 振動による影響
- (7) 基準原器の真球度

以上のように，測定原理や測定結果算出時のデータ処理方法，測定に用いる機器などを起因として生じる不確かさを理論的に算出した。

表1. Type-A の不確かさ算出に用いたゲージ

ゲージ半径 [mm]	原器のFナンバー		
0.5	0.75	-	-
0.6			
0.75			
1.0			
1.5			
2.0			
2.5			
3.75	1.5	-	-
5.0			
6.0			
7.5			
10.0			
12.5			
15.0			
20.0	-	-	3.3
25.0			
30.0			
37.5			
40.0			
50.0			

事業名 平成25年度 基盤研究

\*<sup>1)</sup> 高度分析開発セクター

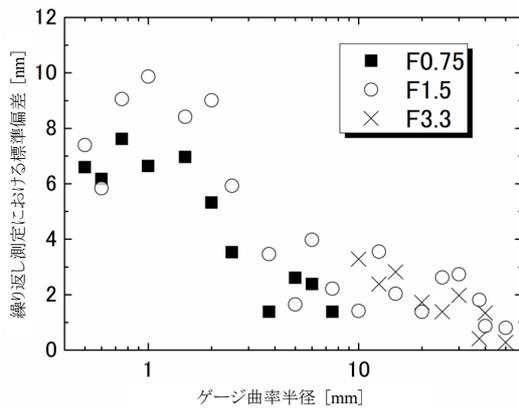


図1. ゲージ曲率半径と標準偏差

### 3. 不確かさ算出結果及び考察

**3.1 Type-A の不確かさ算出結果** 各曲率半径のゲージに対してそれぞれの原器による繰り返し測定を実施した際のゲージ曲率半径と繰り返しの標準偏差の関係性を図1に示す。図より、曲率半径が2.5mm以上のゲージにおいては標準偏差が4nmを下回っており、比較的安定した測定結果が得られていることが確認された。一方で曲率半径が0.75~2.5mmのゲージにおいては、曲率半径が2.5mm以上の球面ゲージ測定時と比較して標準偏差が大きい値を示す結果となった。球面ゲージの曲率半径の大小により標準偏差に違いがみられた原因としては、リトレースエラーと呼ばれる現象が影響を及ぼしているものと考えられる。リトレースエラーとは、照射レーザー光の入射角と反射角に相違が発生し、測定結果に影響を及ぼす現象であり、曲率半径の小さな球面ゲージほどリトレースエラーによる影響を受けやすい形状であったものと推察される。この結果より、最終的なType-Aの不確かさを算出するためには、リトレースエラーを数値化することができる測定基準ゲージが必要であると考えられる。

**3.2 Type-B の不確かさ算出結果** 測定原理により推察される合計7項目の不確かさの算出結果を表2に示す。これらの結果の中で、不確かさへの寄与率として「(7) 基準原器の真球度」による影響が最も大きい結果となった。これは、球面ゲージの測定に使用している球面原器には、理想的な球面からの形状偏差(真球度)が存在し、この形状偏差がそのまま収差として測定結果に反映されてしまうものと考えられる。このことから、本研究では独立行政法人産業技術総合研究所のレーザー干渉計を用いた三枚合わせ法<sup>(1)</sup>により、原器の絶対形状偏差測定を実施した。原器の形状偏差測定結果を図2に示す。この測定結果に対し、形状偏差により生じる収差量に近い意味合いを持つPVrと呼ばれるパラメーター<sup>(2)</sup>の算出を行い、不確かさの推定値とした。これは、原器の形状偏差をZernike展開と呼ばれる手法により複数の波面に分離し、①Zernike係数の36項目フィッティング時のPV値(波面の支配的な形状)に②Zernike係数の36項目フィッティング時のRMS値(中間的な空間周波数の形状寄与量)を3倍にした値を加えることで算出することが

表2. Type-Bの不確かさ算出結果

不確かさ要因	不確かさ[nm]
①レーザー光源の波長の変動	0.06
②温度変化による屈折率変化の影響	0.00
③位相シフトの空間的不均一による収差	12.90
④測定原器の初期設定による影響	0.75
⑤基準原器の設置時の光軸ずれによる影響	0.56
⑥振動による影響	0.00
⑦基準原器の真球度	34.55

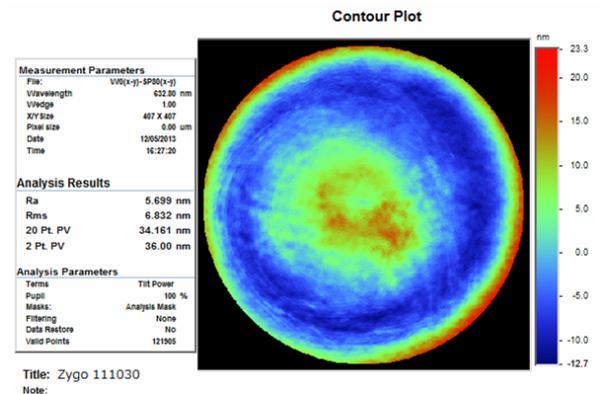


図2. 三枚合わせ法による原器の真球度測定結果

できるパラメーターである。形状偏差測定結果ではPVの値が30.74nm, RMS値が1.27nmであったため、PVrパラメーターは34.55nmと算出される。この結果より、原器の支配的な形状偏差による影響が、Type-Bの不確かさの中で最も大きな要因であると推察される。

### 4. おわりに

- (1) Type-Aの不確かさの実験的推定より、レーザー干渉計による球面ゲージの繰り返し測定時に生じる不確かさの算出を行った。測定結果から、ゲージの曲率半径により、標準偏差の値が変化することが確認された。
- (2) Type-Bの不確かさの理論的推定より、レーザー干渉計の測定原理により生じ得る合計7項目の要因に関する不確かさ算出に成功した。Type-Bの不確かさにおいては、測定に使用する球面原器の形状偏差による収差が、最も大きな不確かさ要因であることが確認された。

### 謝辞

本研究の遂行に当たり、ご指導頂きました独立行政法人産業技術総合研究所幾何標準研究室の日比野謙一様に厚く感謝の意を表します。

(平成26年7月7日受付, 平成26年8月12日再受付)

### 文 献

- (1)近藤余範:「表面形状の計測技術と標準に関する調査研究」, 産総研計量標準報告, Vol.8, No.3 (2011)
- (2)Chris J. Evans: "PVr - a robust amplitude parameter for optical surface specification", Optical Engineering 48 (4) 043605, pp.1-8 (2009)