

令和元年6月6日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03956

研究課題名(和文) 小型干渉計とデータステッチングによる大型自由曲面の計測

研究課題名(英文) test for large free form optics by small aperture interferometer and data stitching

研究代表者

栗田 光樹夫(kurita, mikio)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：20419427

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：複数の部分開口を干渉計で計測し、つなぎ合わせることで大面積を計測する手法が開発されている。しかし、部分的な結果を接続するアルゴリズムの精度に限界があるため、接続誤差の伝搬が増大する。

我々は従来のものに比べて接続数を飛躍的に増やすことができる独自のデータ接続アルゴリズムを応用し、開口30mmほどの干渉計を開発し、それをロボットアームに搭載し鏡面を干渉計測しながら操作する方法を提案した。位相変調には液晶リターダを採用したが、位相遅延量がカタログ値とは異なることと遅延時間中にレーザー光の強度の安定していないことが判明した。今後、これらの解決のために位相遅延量の定量的な評価と光源の安定化が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

より大型の鏡面をより高精度に計測することができる。すなわちそれらの製造を可能とする。その応用としてせいめい望遠鏡の副鏡や第三鏡の計測にも用いられた。現在この技術は注目され、口径1.8mの軸外し放物面鏡の計測、リモートセンシング用の衛星望遠鏡の光学系などへ応用されている。

また鏡計測だけでなく、画像のような2次元データや光度曲線やスペクトルなどの1次元データの評価へも応用可能である。その一例として文化庁が進める文化財の画像データアーカイブプロジェクトにおいて大型文化財のコマ割りされた画像データのステッチングにも検討される。

研究成果の概要(英文)：It is very difficult to apply an interferometer for testing large free form optics, especially a flat and convex shape. Techniques of stitching the small aperture inteferogram into integrated single data of tested mirror has been developed so far. However because of limitation of accuracy of the stitching, algorithm, resultant error increases rapidly by the integrating process as number of small aperture increases.

We developed new test system of high accuracy which suppress the stitching error by new algorithm we developed. The algorithm considers measurement data as an elastic body and can integrates the small aperture data more accurately. We developed small aperture interferometer with a liquid crystal retarder attaching to a robot arm scanning on the test mirror.

研究分野：光赤外線天文学

キーワード：精密計測 非球面鏡 天体望遠鏡 データ処理 データステッチング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

望遠鏡用の鏡や観測装置用の光学素子の製作に不可欠な大型で自由曲面に対応した計測器を開発する。現在望遠鏡や観測装置に用いられる光学素子は大型化と多様化の一途である。特に自由曲面の計測が可能となれば、1) 優れた結像性能と広い視野、2) 反射・透過面におけるエネルギー損失の低減による高感度化、3) 装置のコンパクト化、等が実現可能となる。

光学面の計測には専ら干渉計が用いられてきた。しかしながら、干渉計は計測面で反射した光を用いるため、凸形状を計測することが困難である。凹面であっても、曲率半径程度の空間を必要とするため、振動や空気ゆらぎに弱く、大型の光学素子に不向きである。また何よりも、計測面に応じた基準光学系を必要とし、これが自由曲面の計測を不可能とする。

これに対し、計測面を部分領域に分けたサブ・アパーチャー干渉計が近年開発され普及してきている。この計測法は干渉計を小型化し、被検面に近接させることを可能とするため、従来の干渉計の問題の多くを解決する。しかし、計測面が軸対称性の良い形状に限定され、部分領域の数が増えるとステッチ誤差が拡大されるという問題がある。

### 2. 研究の目的

われわれが考案したアルゴリズムはデータを弾性体とみなすことでこの誤差を効率的に抑制する。各データが弾性体であれば、相互に矛盾する重複領域において、強制的かつ滑らかに値を一致させることができる。変形した弾性体は内部の弾性エネルギーが最小の状態而定まり、この状態が最も真値に近い自然な状態と考えられる。この原理は古典的な算術平均の拡張である。そこで、われわれは部分干渉計の問題点をこのアルゴリズムで解決する新しい計測システムを開発する。

### 3. 研究の方法

小型干渉計の設計組立、および校正を行う。この段階で、その後の研究計画におけるリスクや問題点を顕在化させる。次に画像データに対応するデータステッチソフトのアルゴリズムを開発する。それ以降は画像ステッチングソフトの検証と、ロボットアームへ干渉計の統合を行う。実際の大型鏡を計測し、自前のCGH干渉計や3点法による計測結果との比較検証を行う。

### 4. 研究成果

開口30mmほどの干渉計を開発し、それをロボットアームなどに搭載し鏡面を干渉計測しながら操作する方法を提案した。このためには高速もしくは低振動で干渉増を得る必要があり、そのために位相変調を液晶リターダで行う干渉計を開発した。

購入した液晶リターダは位相遅延量がカタログ値とは異なることが判明し、同時に遅延時間中にレーザー光の強度が安定せず位相接続後に得られた結果は干渉縞と同期した形状誤差を生ずることが判明した。またこの誤差の影響を抑えるためには開口内の干渉縞の本数を少なくすることが求められるが、ロボットアームの姿勢制御の精度が不十分であることが分かった。今後、これらの解決のためには前者においては位相遅延量の定量的な評価と光源の安定化が必要である。もしくは鏡面は滑らかであるはず、という前提のもとに形状を算出する新しいアルゴリズムでも解決できる可能性がある。後者においては鏡面と干渉計を正対させるために鏡面上に干渉計を接触させながら計測させる手法が考えられる。

この技術はより大型の鏡面をより高精度に計測することができる。すなわちそれらの製造を可能とする。その応用としてせいめい望遠鏡の副鏡や第三鏡の計測にも用いられた。現在この技術は注目され、口径1.8mの軸外し放物面鏡の計測、リモートセンシング用の衛星望遠鏡の光学系などへ応用されている。

また鏡計測だけでなく、画像のような2次元データや光度曲線やスペクトルなどの1次元データの評価へも応用可能である。その一例として文化庁が進める文化財の画像データアーカイブプロジェクトにおいて大型文化財のコマ割りされた画像データのステッチングにも検討される。

これらの技術は非常に高い評価を受け、下記の学会以外発表を除く、シンポジウムや研究会などで7件の招待講演、招待講師として登壇した。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

〔学会発表〕(計 8件)

〔図書〕(計 1件)

計測と制御 2017 Vol. 56, 6 特集 “光赤外線天体観測技術”

SPIE Newsroom 2016 Jul “Mechanical metrology system for freeform optics”

〔産業財産権〕  
出願状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計 2 件）

名称：表面形状計測装置  
発明者：栗田光樹夫、板津武志、清野慧、所仁志、高橋啓介  
権利者：京都大学、ナガセインテグレックス、アストロエアロスペース  
種類：特許  
番号：特許第 6294111  
取得年：平成 30 年  
国内外の別： 国内

名称：データステッチング装置、データステッチング方法、及びコンピュータプログラム  
発明者：栗田光樹夫  
権利者：京都大学  
種類：特許  
番号：特許第 6508723  
取得年：平成 31 年  
国内外の別： 国内

〔その他〕

ホームページ等  
<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/psmt/>  
6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：南裕樹  
ローマ字氏名：Minami Yuki  
所属研究機関名：大阪大学  
部局名：工学研究科  
職名：講師  
研究者番号（8桁）：00548076

研究分担者氏名：入部正継  
ローマ字氏名：Iribe Masatsugu  
所属研究機関名：大阪電気通信大学  
部局名：工学部  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：60469228

研究分担者氏名：軸屋一郎  
ローマ字氏名：Jikuya Ichiro  
所属研究機関名：金沢大学  
部局名：電子情報学系  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：90345918

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。