

平成22年 5月13日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19340045

研究課題名 (和文) 分割鏡位相測定システムの開発

研究課題名 (英文) Development of the phase measurement system  
for segmented mirror telescope

研究代表者

岩室 史英 (IWAMURO FUMIHIDE)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：80281088

研究成果の概要 (和文)：本研究では、京大 3.8m 分割鏡望遠鏡の分割主鏡の位置を光の波長の 1/20 の精度で合わせる技術の開発研究を行った。5 色レーザーを用いたこの方法は、従来の星を用いた方法とは異なり、大気の状態や天候の影響を受けることなく高速で分割鏡の状態を確認することができる。この新手法と、独自の高精度アクチュエータを組み合わせ、実際の望遠鏡の一部の複製を用いて分割鏡の位置合わせを行うことに成功した。

研究成果の概要 (英文)：In this study, the control technology of segment mirrors for Kyoto 3.8m segmented-mirror telescope with an accuracy of 1/20 wavelength has been developed. Different from the existing procedure using natural stars, the relative position of each segment mirror can be measured quickly with this procedure using a 5-color laser, without disturbances of atmosphere or weather. In combination with the original high-accuracy actuator, we could adjust the position of segment mirrors using a duplicated part of the real telescope successfully.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	9,600,000	2,880,000	12,480,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：光学赤外線天文学、超精密計測、精密位置制御、分割鏡、望遠鏡

## 1. 研究開始当初の背景

すばる望遠鏡以上の口径の望遠鏡建設が必要となる、分割鏡制御技術は日本では全く研究されていない。また、宇宙ゴミ監視等を目的とする中口径望遠鏡の必要性も高まっており、分割鏡方式なら安価に建設できる。

## 2. 研究の目的

日本独自の技術を用いて、従来の方法よりも安価でより優れた分割鏡制御方法を確立すること。具体的には、原理試験からプロトタイプ製作を経て、より実際の望遠鏡環境に近い状態でその機能を実証すること。

### 3. 研究の方法

開発中の京大 3.8m 望遠鏡の主鏡下構造部の 1/6 の部分を複製し、その上に分割鏡支持機構と高精度アクチュエータを取り付けて、実際の鏡の材料である扇型鏡材を置く。更に、鏡材には非接触位置センサを取り付け、上部からは位相測定カメラのプロトタイプ装置で、鏡材の位置を異なる 2 種類の方法で常時測定し、最善の制御方法を調査する。

### 4. 研究成果

分割鏡望遠鏡では、分割鏡全体で 1 枚の鏡として機能させるために、隣の鏡同士を光の波長の 1/10 の精度で段差なく配置する必要がある。通常は、鏡境界部の背面に配置された高精度の非接触式位置センサにより、鏡の相対位置が測定され、鏡面が滑らかにつながるように各分割鏡を支えるアクチュエータにより常に細かく位置制御されている。しかし、このような高精度のセンサは、温度や湿度などの周辺環境の変化などにより、原点の位置にずれが生じる。そのため、別な方法で定期的に鏡面の接続状態を確認し、センサの原点それを補正する必要がある。

位相測定カメラは、上記分割鏡同士の境界部分にまたがる直径 4cm 程度の範囲の鏡面で集光された点光源像の形状から分割鏡境界部分での鏡面の段差（位相差）の量を測定するものである。本研究では、通常分割鏡制御で行われる自然の星と多くのフィルターを用いた位相測定システムではなく、5色レーザーを自己光源として用いた方法を、シミュレーションにより検討し、その性能を予測した。以下は、鏡面の段差の量を徐々に変えたときの点光源像の形状の変化の様子である。



ある特定の波長に対して上記の像形状は鏡の段差の変化に伴い周期的に変化するため、1つの波長だけでは段差の量を決定することはできないが、He-Ne 5色レーザーの波長である 543nm, 594nm, 604nm, 612nm, 633nm に対して、上図のような 13 段階判定をすることで、 $\pm 10 \mu\text{m}$  以下のずれであれば、鏡面の段差の量を波長の 1/50 の精度で決定できることがこれらのシミュレーションを通して判明した。

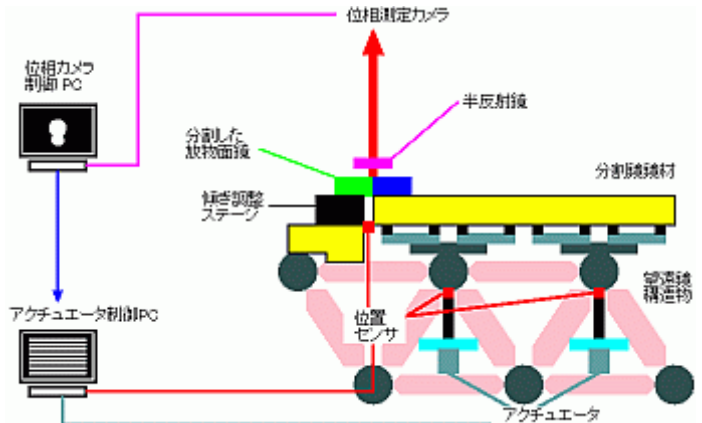
望遠鏡の焦点面から副鏡を通して分割主

鏡に照射したレーザー光を焦点面に戻すための半反射鏡の固定方法として、割鏡境界部分の主鏡面上に直径 3mm 程度の金属円盤を 3 個接着し、そこに半反射鏡のホルダーを磁石で固定する方法が考えられた。この問題点を検証するため、半反射鏡の固定ホルダーを試作し、調整精度や固定精度の検証を行った。



半反射鏡ホルダーは先端にネオジウム磁石球を接着した、3つの極細目調整ネジで支えられており、角度の調整や取り外しが容易に行えるものとなっている。調整精度や傾きに対するずれ量などを測定した結果、問題なく使用できることが確認できた。

これらの準備的研究と並行して、京大 3.8m 望遠鏡の主鏡背面の構造の一部分を複製して製作し、その上に分割鏡支持機構を取り付けて位相測定カメラを用いた位置調整試験を行うための準備を進めた。以下に分割鏡制御試験装置の概要と写真を示す。この装置では、主鏡面の代わりに分割した放物面鏡を用いている。



位置測定用の非接触センサは、各アクチュエータの駆動軸と鏡の境界部分に設置され、各駆動軸のセンサの値を一定に保つ制御ループに対し、鏡境界部分で測定される結果をループの修正値として加え、一定時間おきに位相測定カメラを用いて位置センサの原点を修正するという方法で行った。この装置により、以下のことを実証することができた。

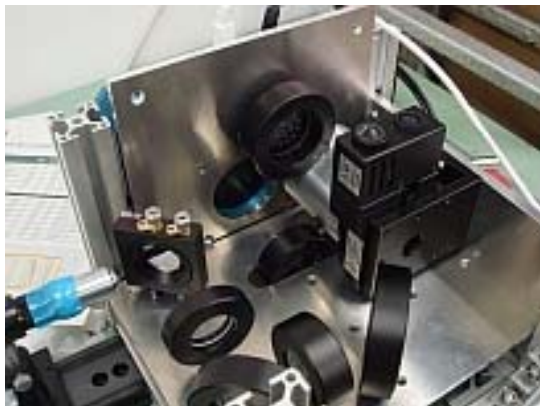
- (1) 5色レーザーで多波長での点光源像を取得することにより、 $10\mu\text{m}$ 以下のずれ量であれば鏡の相対位置関係を正確に測定できること。
- (2) 位置センサの非線形性をアクチュエータのフルストローク駆動により取得した測定値を特定の関数でフィッティングすることで補正し、正しく位置制御を収束させることができること。
- (3) 外乱に対し数秒以内に鏡の位置修正を完了することができること。

制御アルゴリズムには、まだ改良の余地が多くあり、外乱に対する修正反応速度は今後も上がっていくものと予想される。この結果の詳細は以下のURL参照。

<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~iwamuro/Kyoto3m/pcs2.html>

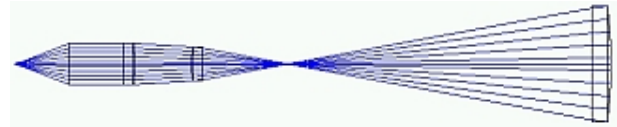
本研究では、この他京大 3.8m 望遠鏡開発に関連して以下の研究開発を行った。

- (1) 分割主鏡の向きを測定するための Shack-Hartmannカメラを開発した。このカメラは、星を視野中心に合わせる単レンズモード、18枚の鏡の向きを測定するレンズアレイモード、望遠鏡の瞳像を確認するレンズなしモードを切り替えることで、個々の鏡の向きを確認と、望遠鏡のフォーカスのずれを検知することができるものである。

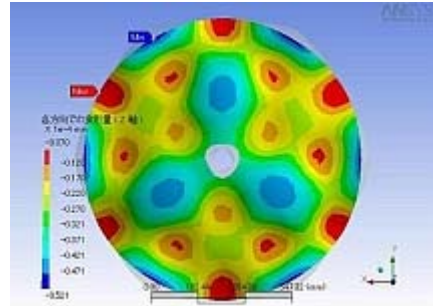


- (2) 試験副鏡製作用のヌルレンズを設計した。試験副鏡は、望遠鏡建設の初期段階で内周6枚の鏡だけで調整する際に用いる鏡で、直径20cmの凸非球

面鏡である。平凸球面レンズ2枚を組み合わせて裏面から干渉計で形状を確認することが可能であることを確認することができた。



- (3) 京大 3.8m 望遠鏡の副鏡（直径 1.1m）の軽量化方法を検討した。この望遠鏡は非常に広い視野を持つため、副鏡の大きさは口径 8m のすばる望遠鏡の副鏡とほぼ同じ大きさとなる。重量を軽減させるため、背面に多くの円柱状の穴をあけて軽量化する方法を、有限要素法を用いて検討した。その結果、強度をあまり損なうことなく 1/3 の重量に軽量化できる解を得た。



これらの研究結果は、以下のURLにおいて即時公開されており、関係者はもちろんのこと、関連する企業の研究者からの問い合わせもある。

<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~iwamuro/Kyoto3m/>

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① A. Humphrey, F. Iwamuro, M. Villar-Martin, L. Binette, R. Fosbury, S. di Serego Alighieri, UV and optical emission lines from the  $z=2.6$  radio galaxy 0828+193: spatially resolved measurements, MNRAS, 査読有、382 巻、2007、1729-1737

② F. Iwamuro, T. Maihara, M. Akiyama, M. Kimura, N. Tamura, N. Takato, P. Tait, K. Ohta, S. Eto, Y. Moritani, G. B. Dalton, I. J. Lewis, H. Lee, I. A. J. Tosh, T. R. Froud, G. J. Murray, C. Blackburn, D. G. Bonfield, P. R. Gillingham, S. Smedley, G. A. Smith, G. Frost, FMOS: the fiber multiple-object spectrograph: Part VI. Onboard

performances and results of the engineering observations, Proc. S. P. I. E.、査読無、7014 巻、2008、70140T-1-70140T-9

③ M. Kimura, T. Maihara, F. Iwamuro, M. Akiyama, N. Tamura, N. Takato, K. Ohta, S. Eto、FMOS: the Fibre Multi-Object Spectrograph: Part VII. Results of PIR engineering run, Proc. S. P. I. E.、査読無、7014 巻、2008、70145K-1-70145K-9

④ A. Humphrey, F. Iwamuro, M. Villar-Martin, L. Binette, E. C. Sung、The extended ionized gas around the  $z=2.44$  radio galaxy MRC 0406-244: the nature of the superbubbles and the optical line brightness asymmetries, MNRAS、査読有、339 巻、2009、L34-L38

[学会発表] (計 3 件)

① 森谷 友由希、岩室 史英ほか、岡山 3.8m 新技術望遠鏡の開発 VII: 副鏡の設計案、日本天文学会 2008 年秋季年会、V09b、岡山理科大学

② 森谷 友由希、岩室 史英ほか、岡山 3.8m 新技術望遠鏡の開発 XII: 主鏡位置制御機構の駆動試験、日本天文学会 2009 年秋季年会、V18b、山口大学

③ 森谷 友由希、岩室 史英ほか、岡山 3.8m 新技術望遠鏡の開発 XIII: 主鏡位置制御機構試験の進捗状況、日本天文学会 2010 年春季年会、V76a、広島大学

[図書] (計 1 件)

① 岩室 史英、アドコム・メディア株式会社、分割鏡の光学技術、OplusE、4 月号、2009、397-400

[産業財産権] 該当なし

[その他]

ホームページ等

<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~iwamuro/Kyoto3m/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岩室 史英 (IWAMURO FUMIHIDE)  
京都大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 80281088

### (2) 研究分担者 なし

### (3) 連携研究者

長田 哲也 (NAGATA TETSUYA)  
京都大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 80208016

太田 耕司 (KOUJI OHTA)  
京都大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 50221825

吉田 道利 (YOSHIDA MICHITOSHI)  
広島大学・大学院理学研究科・教授  
研究者番号: 90270446

沖田 喜一 (OKITA KIICHI)  
国立天文台・光赤外研究部・准教授  
研究者番号: 60204096

泉浦 秀行 (IZUMIURA HIDEYUKI)  
国立天文台・光赤外研究部・助教  
研究者番号: 00211730