

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月24日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22340044

研究課題名（和文）自己位相測定方式による分割鏡制御システムの開発

研究課題名（英文）Development of the segmented mirror control system using a self-phase-measurement method

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、1) 2つの固定波長レーザーと1つの波長可変レーザーを用いて分割鏡間の光軸方向の相対位置を15nmの精度で測定する位相測定システムの試験開発、2) 分割鏡の相対位置を15nmの精度で保持する分割鏡支持機構の開発、3) 18枚の分割鏡の相対位置を60個の位置センサの情報を用いて制御シミュレーションを行うソフトウェアの開発を行った。その結果、これらの方法を組み合わせて18枚の分割鏡の制御を行うことが可能であることが実証された。

研究成果の概要（英文）：In this study, 1) a self-phase-measurement system using two fixed wavelength lasers and one tunable laser with the measurement accuracy of 15nm between segments, 2) mirror support systems holding the relative axial-position between segments with an accuracy of 15nm, and 3) simulation software for 18 segments control with 60 position sensors, has been developed. As a result, it is verified that we can control 18 segmented-mirrors using these techniques.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2011年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2012年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

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

分割鏡方式の望遠鏡は、口径10mを超える超大型望遠鏡の建設には必須の技術であり、また、安価な中口径望遠鏡を製作できる可能性を持つ技術である。しかし、日本では分割鏡制御の経験がなく、次世代望遠鏡に向けての計画提案の選択肢が非常に限られた状況にある。

2. 研究の目的

日本独自の技術を用いて、安価かつ高性能の分割鏡制御システムを開発することで、次世代の望遠鏡建設に新たな選択肢を加えること。特に本研究では、国内の技術を用いて実際に制御可能であることを実証することで、京大の進めている口径3.8mの新技術望遠鏡プロジェクトを押し進めることを目的とする。

3. 研究の方法

開発中の京大 3.8m 新技術望遠鏡の主鏡下部トラスの 1/6 部分を用いて、2 枚の分割鏡の制御試験を実験室内で進め、その後、名大で組み立てられている実際の望遠鏡架台に組み込んで制御試験を行う。その際、機械式センサでの制御に加えて、光学的にも分割鏡間の相対位置を測定し、制御の有効性を確認する。また、18 枚の鏡全体の制御をシミュレーションするソフトウェアの開発、チューナブルレーザーを用いた位相測定システムの開発、単一の分割鏡の鏡面形状の光学的な確認、小型の試験用副鏡の製作などの望遠鏡開発作業を進める。

4. 研究成果

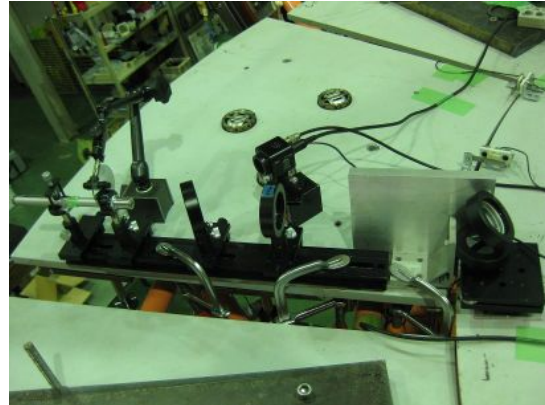
京都大学では、次世代の超大型望遠鏡建設に必要な技術を用いて口径 3.8m の望遠鏡を国内に建設する計画を進めている。本研究では、それに関連して以下の研究を行った。

1) 分割鏡制御試験

分割鏡を全体として 1 枚の鏡として機能させるには、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。アクチュエータ軸の接続方法や軸の支持方法により駆動精度は影響を受けるため、まずは個々のアクチュエータの駆動再現性を向上させるための改良を繰り返し、センサによるフィードバックなしの状態の上昇・下降時の位置再現性を 50nm 以下にまで追いつくことを行った。これにより、位置センサによるフィードバックをかけた際の安定性が向上し、目標位置までの収束速度が向上した。また、センサ固定用のアームの材質と形状に関する評価を行い、5mm 厚セラミックスのアームが望遠鏡の姿勢変化に対してセンサを支持するために十分な安定性を持っていることが確認できた。これらの開発を京大実験室内で進めた後、名大で組み立てられている望遠鏡架台に分割鏡 2 枚分の支持機構を組み込み、分割鏡と同じ重量を持つダミー鉄板を用いて、望遠鏡を駆動しながらの制御試験を進めた(下写真)。この試験により、様々な高度



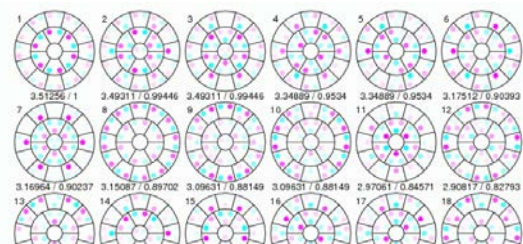
角で望遠鏡架台駆動時の振動の影響や電氣的ノイズの影響が通常の天体追尾時の駆動速度では問題とならないことが確認でき、2 秒程度までの遅い変形成分に対しては 15nm の精度で制御できることが実証できた。これらは、ダミー鉄板上に設置された干渉計(下写真)でも光学的に確認されている。一方で、



横ずれ方向の支持に関しては、後述の制御シミュレータから必要とされる精度に達していなかったため、メンテナンス性重視の鏡と支持機構を接着しない方式から、安定性重視の鏡と支持機構を接着して一体化する方式に切り替え、開発を継続している。

2) 分割鏡制御シミュレータ開発

分割鏡制御シミュレータは、仮想空間に配置された 60 個のセンサ情報から 54 個のアクチュエータの制御情報を計算するソフトウェアで、60x54 行列の特異値の大きさにより分けられた 54 種類の直交する制御モード(下図)の重ねあわせとして評価するものであ

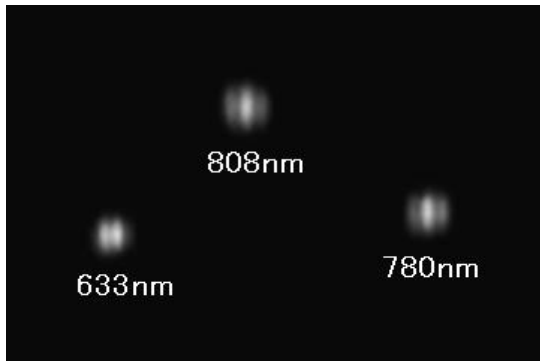


る。このソフトを用いて 18 枚の分割鏡の制御シミュレーションを行い、鏡同士の相対位置関係を最も精度よく測定できる位置センサの配置パターンを決定した。また、個々の鏡の微小な併進・回転の影響を評価した結果、これまでの想定以上である 0.1mm 程度の固定精度が要求されることが判明し、分割鏡支持機構の改善版に反映させた。このソフトウェアを用いて得られた結果は天文学会と SPIE で発表を行ったが、このソースコードを更に発展させて実際の分割鏡の制御ソフト開発を行う予定である。

3) 位相測定システムの開発

波長 765-781nm のチューナブルレーザーと、

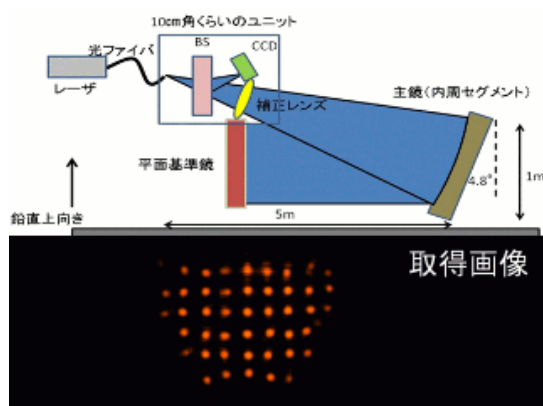
波長 633nm, 808nm の固定波長レーザーによる分割鏡境界部分で集光される干渉像を同時に取得(下画像)することにより分割鏡間



の相対的段差を測定するシステムを構築し、性能確認を行った。干渉像の連続キャプチャ画像を自動解析し、チューナブルレーザーで波長スキャンしたときの干渉像の変化や、固定波長レーザーの空気の揺らぎによる像形状の変化などを数値化することで、気流状態の悪い実験室環境であっても、15nmの精度で分割鏡間の相対的段差を測定できることが確認できた。今後、より実際に近い光学系を用いての動作確認を行っていく予定である。

4) 分割鏡の光学的形状確認

分割鏡の形状は、研削・研磨による製作時に加工機真上のCGH干渉計により形状確認を行っているが、CGHマスクの製作精度やパターン信頼性の確認のため、オートコリメーション法を用いて光学的に形状確認を行った。具体的には、分割鏡焦点位置よりシングルモードファイバーを用いてレーザー波長の球面波を鏡面に向けて補正レンズを通して照射し、分割鏡で反射させてできる平行光を平面鏡で元の方向に戻して戻り光のスポット形状を見るもので、平面鏡の前に10cm間隔で穴を開けた板を置いて焦点前後のデフォーカス像を調べることで、ある程度の光学収差の判別も可能である(下図)。その結果、



鏡製作時に使用しているCGH干渉計は少なくとも200nmよりも大きい間違いはなく、正常

に機能している事が確認できた。

5) その他の開発事項

- ・内周6枚の分割鏡のみで試験を行う際の小型の試験副鏡を製作し、裏面からのフォーコテストで形状確認する方法を用いて正しい形状がほぼできていることが確認できた。
- ・位置センサの改良と安定性試験を進めた。
- ・観測装置および望遠鏡焦点周りの構造の概念検討を行った。

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6件)

① F. Iwamuro, 他 13 名, FIBRE-pac: FMOS image-based reduction package, 日本天文学会欧文研究報告、査読あり、64 巻、2012、59 1~9

② K. Yabe, K. Ohta, F. Iwamuro, 他 16 名, NIR Spectroscopy of Star-Forming Galaxies at $z \sim 1.4$ with Subaru/FMOS: The Mass-Metallicity Relation, 日本天文学会欧文研究報告、査読あり、64 巻、2012、60 1~19

③ A. Shimono, F. Iwamuro, M. Kurita, 他 5 名, Control algorithm for the petal-shape segmented-mirror telescope with 18 mirrors, Proc. S. P. I. E., 査読なし、8444 巻、2012、84445Z 1~8

④ N. Tamura, N. Takato, F. Iwamuro, 他 16 名, Proc. S. P. I. E., 査読なし、8446 巻、2012、84460M 1~13

⑤ M. Kimura, M. Akiyama, G. B. Dalton, F. Iwamuro, 他 15 名, FMOS the fibre multiple-object spectrograph, part VIII: current performances and results of the engineering observations, Proc. S. P. I. E., 査読なし、7735 巻、2010、77351K 1~8

⑥ M. Kimura, T. Maihara, F. Iwamuro, 他 40 名, Fibre Multi-Object Spectrograph (FMOS) for the Subaru Telescope, 日本天文学会欧文研究報告、査読あり、62 巻、2010、1135~1147

[学会発表] (計5件)

① 岩室 史英、近傍宇宙における巨大ブラックホール観測の展望、日本天文学会 2013 年春季年会、2013 年 03 月 23 日、埼玉大学

② 岩室 史英 ほか、京大岡山 3.8m 望遠鏡計

画：分割鏡ハルトマン試験、日本天文学会
2012年秋季年会、2012年09月19日、大分
大学

③下農淳司、岩室史英ほか、京大岡山 3.8m 新
技術望遠鏡の開発 主鏡位置制御システム
開発の進捗状況 ソフトウェア編、日本天文
学会 2011年 秋季年会、2011年9月22日、
鹿児島大学

④森谷友由希、岩室史英ほか、京大岡山 3.8m
新技術望遠鏡の開発 主鏡位置制御システ
ム開発の進捗状況 ハードウェア編、日本天
文学会 2011年 秋季年会、2011年9月22
日、鹿児島大学

⑤下農淳司、岩室史英ほか、京大岡山 3.8m
新技術望遠鏡の開発 XV：主鏡位置制御シス
テム開発の進捗状況、日本天文学会 2010年
秋季年会、2010年9月23日、金沢大学

〔その他〕

ホームページ等

京大岡山 3.8m 新技術望遠鏡

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

京都大学 3.8m 望遠鏡

<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/psnt/>

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

栗田 光樹夫 (KURITA MIKIO)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：20419427