

平成 28 年 4 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25287037

研究課題名(和文) 扇型分割鏡総合制御システムの開発

研究課題名(英文) Development of the control system for petal-shaped segmented mirrors

研究代表者

岩室 史英 (Fumihide, Iwamuro)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80281088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,700,000円

研究成果の概要(和文)：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24ヶ所同時に測定する位相測定システムを開発した。更に、京大3.8m望遠鏡の分割主鏡上に配置する24個のハーフミラーユニットを製作し、保持されるミラーの角度は望遠鏡の高度角に依存するものの十分な再現性があること、温度変化の影響を受けにくい接着剤を使用すれば、温度が大きく変動しても大きな問題とはならないことを確認した。

その他、主鏡背面に配置されるエッジセンサ位置の変更により、分割鏡の制御性が更に良くなることの確認、主鏡表面保護のためのコーティング調査、新たなコンセプトによる新型分光器の設計を行った。

研究成果の概要(英文)：The self-phase-measurement system between segments using three lasers (two fixed wavelength and one tunable) with the measurement accuracy of 15nm at 24 different points has been developed. The 24 half-mirror units for the segmented primary mirror of Kyoto 3.8m telescope were assembled and their stability under different elevation angles was confirmed. The effect of the temperature change on the stability of the holder was also examined and confirmed to be small if we use a certain epoxy adhesive. In addition to this system, the controllability of the segments was improved by changing the location of the edge-sensors attached to the back of the segments, the effective environmental barrier coating of the primary mirror was investigated, and the optical designs of two new spectrographs has been completed based on the new concepts and technologies.

研究分野：数物系科学(天文学)

キーワード：光赤外線天文学 望遠鏡 分割鏡 干渉計

### 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。そのような状況の中、京大大学院理学研究科の宇宙物理学教室と附属天文台は、国立天文台などと協力して岡山に国内初でかつ国内最大となる口径 3.8m の分割鏡式望遠鏡の建設を進めており、世界初となる花びら型の形状の分割鏡の制御技術の基礎開発を行ってきた。

### 2. 研究の目的

本計画研究の目的は、現在京都大学が中心となって開発を進めている京大岡山 3.8m 新技術望遠鏡の主鏡制御に必要な位相測定システムを完成させること、及び、主鏡制御ソフトの開発である。制御ソフトに要求される性能は、1) 位置センサの情報だけでなく、シャックハルトマンカメラや位相カメラなどの光学的な情報が利用可能な場合に、それらを併せて分割鏡を制御できること、2) 鏡の枚数が 18 枚に満たない場合でも、取得できる情報を最大限に利用して制御できること、3) 実物に近いダミーのセンサやアクチュエータの応答関数を持ち、同じソフトで制御とシミュレーションの両方を行うことができること、等であり望遠鏡建設中を含む様々な環境下で柔軟に対応できることが求められるため、大部分を自力で開発する必要がある。

### 3. 研究の方法

位相測定システムは、これまでの研究で 2 種類の固定波長レーザーと 1 台のチューナブルレーザーを用いることで、精度 15nm で鏡間の相対段差を計測することが可能であることが実証された。本研究では、望遠鏡の主鏡と副鏡と同じ曲率を持つ鏡を用いて実際の望遠鏡光学系の状況を再現する望遠鏡シミュレータを製作し、実際の望遠鏡に取り付けるための実機を製作して、実際の使用状態と同じ状況で測定精度を確認すること、主鏡上の 24 ヶ所の地点で同時に計測するための 24 個のハーフミラーユニットの製作・安定性確認と同時計測のためのソフトウェア開発を行う。更に、主鏡制御シミュレータをベースに、時間発展を取り込んだより現実的な主鏡制御シミュレータを製作し、主鏡制御ソフトウェアを完成させる。

### 4. 研究成果

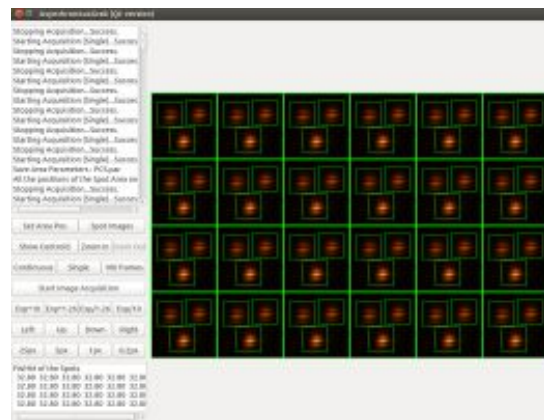
#### (1) 位相測定システム開発

実際の望遠鏡に取り付けるための位相カメラの実機を製作し、24 点同時計測・解析のためのソフトウェアを開発した。これにより、主鏡上の 24 ヶ所の鏡間の段差を 30 秒間で精度 15nm で計測できることを、望遠鏡光学系

シミュレータを用いて確認した。



(望遠鏡光学系シミュレータと位相カメラ)



(位相カメラによる 24 点同時計測ソフト)

更に、24 個のハーフミラーユニットを製作し、保持されるミラーの角度は望遠鏡の高度角に依存するものの十分な再現性があること、温度変化の影響を受けにくい接着剤を使用すれば、温度が大きく変動しても大きな問題とはならないことを確認した。また、主鏡上でハーフミラーを配置し角度を調整するための調整用多軸レーザーシステムを製作し、これを用いてハーフミラーの角度調整が可能であることを確認した。

#### (2) 主鏡制御ソフト

主鏡制御ソフトに関しては、鏡の背面に取り付けて鏡同士の間隔を機械的に常に計測するエッジセンサの配置を改良することで、主鏡全体の制御性能を高めることができることを、望遠鏡シミュレータを用いて確認したが、時間発展を含むシミュレーションモデルを構築するには至らず、制御性能を高めるためのエッジセンサの数、位相測定システムでの測定位置数、シャックハルトマンカメラでの個々の分割鏡の向き決定精度などの検討に留まった。

### (3)その他

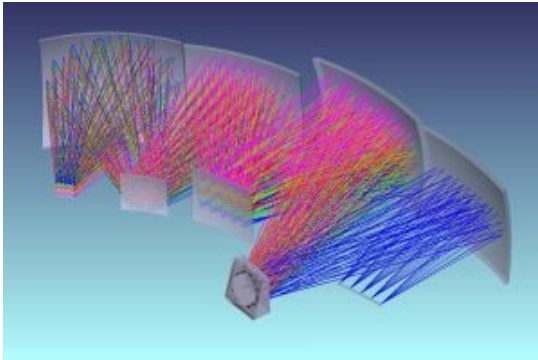
その他関連する以下の開発を行った。

#### 望遠鏡焦点部の検討と概念設計

突発天体出現時にいち早く対応するための焦点部分の構造の検討。また、望遠鏡運用時の主鏡調整のための位相カメラや較正用光源の取り付け位置などを決定した。

#### 新型分光器の設計

望遠鏡主鏡製作で開発された技術を用いて、新しいコンセプトに基づく2種類の分光器（波長分解能 10 万の可視高分散分光器と、2 天体同時観測可能な近赤外相対測光分光器）の光学設計に成功した。これらは 3.8m 望遠鏡の主力観測装置として、今後開発を続けていく予定である。



(近赤外相対測光分光器の光学設計図)

主鏡表面保護のためのコーティング調査  
望遠鏡の運用コストを抑えるため、主鏡鏡面を SiO<sub>2</sub> でコーティングし水洗いで運用する予定だが、そのための複数の業者のコーティング膜強度を調査した。

#### 望遠鏡仮ドーム内のモニタ

現在、岡山観測所内に建設済みの仮ドーム内に除湿機3台を設置し、外気と仮ドーム内の長期環境を自動取得して比較することで、除湿機の効果を確認し、望遠鏡架台の維持管理に努めた。



(仮ドーム内の望遠鏡架台と除湿機)

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 9 件)

M.Tonegawa, T.Totani, M.Akiyama, G.Dalton, K.Glazebrook, F.Iwamuro, 他 6 名, A study of selection methods for H $\alpha$ -emitting galaxies at  $z\sim 1.3$  for the Subaru/FMOS galaxy redshift survey for cosmology (FastSound), 日本天文学会欧文研究報告、査読あり、66 巻 2014、43

K.Yabe, K.Ohta, F.Iwamuro, 他 16 名, The mass-metallicity relation at  $z\sim 1.4$  revealed with Subaru/FMOS, MNRAS, 査読あり、437 巻、2014、pp.3647-3663  
T.Matsuo, et al. (23 人中 18 番目), High-contrast planet imager for Kyoto 4m segmented telescope, 査読なし、Proc.S.P.I.E、9147 巻、2014、91471V, 20pp.

M.Tonegawa, T.Totani, F.Iwamuro, 他 6 名, FIELD: An automated emission-line detection software for Subaru/FMOS near-infrared spectroscopy, 日本天文学会欧文研究報告、査読あり、67 巻 2015、319

K.Yabe, K.Ohta, M.Akiyama, F.Iwamuro, 他 4 名, The Gas Inflow and Outflow Rate in Star-forming Galaxies at  $z\sim 1.4$ , Astrophys.J., 798 巻、2015、45, 9pp.

M.Tonegawa, T.Totani, H.Okada, M.Akiyama, G.Dalton, K.Glazebrook, F.Iwamuro, 他 19 名, The Subaru FMOS Galaxy Redshift Survey (FastSound). I. Overview of the Survey Targeting on H $\alpha$  Emitters at  $z\sim 1.4$ , 日本天文学会欧文研究報告、査読あり、67 巻 2015、81, 12pp.

M.Akiyama, Y.Ueda, M.G.Watson, H.Furusawa, T.Takata, C.Simpson, T.Morokuma, T.Yamada, K.Ohta, F.Iwamuro, 他 20 名, The Subaru-XMM-Newton Deep Survey (SXDS) VIII.: Multi-wavelength Identification, Optical/NIR Spectroscopic Properties, and Photometric Redshifts of X-ray Sources, 日本天文学会欧文研究報告、査読あり、67 巻 2015、82, 38pp.

K.Yabe, K.Ohta, M.Akiyama, A.Bunker, G.Dalton, R.Ellis, K.Glazebrook, T.Goto, M.Imanishi, F.Iwamuro, 他 6 名, 日本天文学会欧文研究報告、査読あり、67 巻 2015、102, 16pp.

A.Seko, K.Ohta, K.Yabe, B.Hatsukade,  
M.Akiyama, F.Iwamuro, N.Tamura,  
G.Dalton, Properties of the Interstellar  
Medium in Star-Forming Galaxies at  $z$   
~ 1.4 Revealed with ALMA、  
Astrophys.J., 819 巻、2016、82, 18pp.

〔学会発表〕(計 1 件)

上野忠美、横山洋海、岩室史英、京大岡山 3.8m  
望遠鏡計画：位相カメラの技術開発、日本天  
文学会 2014 年春季年会、2014 年 3 月 21 日、  
国際基督教大学

〔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/psmt/>

## 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

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

松尾 太郎 (MATSUO TARO)

京都大学・大学院理学研究科・特定准教授

研究者番号：00548464

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