

2020 (令和二) 年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：高性能極低温鏡制御系の開発
 英文：Development of High Performance Cryogenic Mirror Control System

研究代表者 都丸 隆行

参加研究者

| | | | | |
|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------|
| 佐藤直久 | 国立天文台 | 先端技術センター | 研究技師 | 日本 |
| 穴戸高治 | 総合研究大学院大学 | 天文学専攻 | D1 | 日本 |
| Rishabh Bajpai | 総合研究大学院大学 | 加速器科学専攻 | D1 | 日本 |
| 牛場崇文 | 東京大学 | 宇宙線研究所 | 特任助教 | 日本 |
| 鈴木敏一 | 東京大学 | 宇宙線研究所 | 研究員 | 日本 |
| 木村誠宏 | 東京大学 | 宇宙線研究所 | 准教授 | 日本 |
| 萩原綾子 | 東京大学 | 宇宙線研究所 | 研究支援員 | 日本 |
| 山田智宏 | 東京大学 | 宇宙線研究所 | D2 | 日本 |
| 西本 巧 | 東京大学 | 宇宙線研究所 | M1 | 日本 |
| 清水洋孝 | 高工ネ研 | 加速器研究施設 | 助教 | 日本 |
| 荒木栄 | 高工ネ研 | 加速器研究施設 | 技師 | 日本 |
| 生井義一 | 高工ネ研 | 共通基盤研究施設 | 研究支援員 | 日本 |
| Ettore Majorana | INFN, Roma | Physics Department | Professor | Italy |
| Helios Vocca | Perugia University | Physics Department | Associate Professor | Italy |
| Flavio Travasso | Camerino University | Physics Department | Assistant Professor | Italy |

研究成果概要

KAGRA の主要な構成要素である極低温鏡懸架システム制御に必要なデバイスには、

- 1) 制御アクチュエータ (コイル-マグネットアクチュエータ)
- 2) 傾き制御 (Moving Mass)
- 3) 位置センサー (非接触反射型フォトセンサー、光テコ式位置センサー)
- 4) 制御エレクトロニクス

があり、この中で特に 2) と 3) についての改良が、2020 年度の研究テーマであった。

2) の傾き制御については、Moving Mass と呼ばれる錘を水平移動させて懸架システムを傾ける方法が用いられているが、初期デザインではこの錘の駆動機構にボールネジが用いられた。しかし、ボールネジは構造が複雑で、超真空・極低温に対応出来るように改造したものの寿命が短く、頻繁にスタックしてしまう問題が発生していた。そこで、ちょうどロープウェイのように錘にケブラー糸を固定し、モーターで巻き取るような構造の Moving Mass を開発した。この結果、要求値を充たす最大傾き量 $\pm 11\text{mrad}$ 、最小傾き量 $\sim \mu\text{rad}$ を達成し、また、極低温で 6000 往復以上の耐久性を確認した。この成果に基づき、O4 観測前の改修において本設計の Moving Mass を導入開始した。また、本開発結果は、修士論文 (西本巧, 東京大学) としてまとめており、投稿論文も検討中である。

3) の位置センサーについては、初期デザインで採用した光反射型位置センサーの感度が低く、これを用いてフィードバック制御するとノイズが問題となってしまうことが分かっており、さらに高感度の光テコ式位置センサー (OpLev) を導入することとした。OpLev で必要な自由度を得ようとするときクライオスタットへ外部から光を導入・取り出す光学窓が大量に必要なことが、検討の結果、光学窓をうまく配置出来ることが分かり、導入を決めた。また、課題の 1 つである高さ方向の変位については、コーナーキューブプリズムを用いて自由度を分離出来ることを見だし、新たに導入を開始した。

このように 2), 3) の開発項目とも、実験室レベルでの基礎開発に成功し、O4 観測前の KAGRA の改修において導入を始めているなど、十分な進捗があったと考えている。