

ハレアカラ PLANETS1.8m 望遠鏡主鏡の研磨プロセスにおける

鏡面机上計測法の検討(III)

2020年3月31日

名古屋大学環境学研究科 地球環境科学

平原靖大

研究目的

東北大学が中心となってハレアカラ山頂サイトに建設を目指している、PLANETS 1.8m 望遠鏡の単一軸外し放物面主鏡の最終精密研磨を 2020 年度前半に、(1)日本国内のナノオプトニクス研究所・アストロエアロスペース社のロボットアーム研磨機を用いて行うことが計画されている。本研究では、(1)主鏡支持機構の検討、(2)PLANETS 望遠鏡に搭載予定の東北大・近赤外線高分散分光器 ESPRIT の InSb FPA 検出器の制御電子回路の改良、さらに、(3)申請者現有の GIGMICS や東北大・MILAHl の改良に取り組みつつ、将来の大型研究費申請を目指す。

研究内容

(1) PLANETS 望遠鏡の主鏡支持機構の開発

はじめに主鏡に要求される鏡面誤差を検討した。4 通りの構造関数に従う波面誤差の時の観測シミュレーションを実施し、その結果から波面誤差の要求仕様を空間スケール 10 cm で $RMS < 20 \text{ nm}$, 空間スケール 1 cm で $RMS < 7 \text{ nm}$ と定めた。次に、アキシャル（主鏡の法線）方向支持点数について 24, 36, 54 点支持の 3 通りを検討した。ここで仰角の変化による重力変形によって起こる Strehl 比の低下のシミュレーションを実施し、支持点数を 36 点に決定した。また、アキシャル方向支持機構について、フォースアクチュエータによる支持機構と Whiffletree に warping harness (WH)を組み合わせた支持機構を比較検討した結果、要求精度 誤差の許容範囲が Whiffletree の方が広いため、Whiffletree 支持機構を採用することとした。図 1 に Whiffletree 主鏡支持機構を示す。図 2 は支持機構を用いて主鏡を支えている様子である。

有限要素法(FEM)解析を用いて、WH駆動トルクと鏡面変位を関連付ける演算行列を導出した。この演算行列を用いて Zernike 多項式の 10 項目までに従う鏡面誤差が生じる時の補正精度について評価したところ、Zernike 多項式の 7 および 8 項目（3 次コマ収差成分）は 46%、それ以外の各項は 25 %以下まで抑えられることが分かった。そして WH 駆動により、鏡面形状 RMS 誤差が現状計測値の $1.51 \mu\text{m}$ から $0.66 \mu\text{m}$ まで改善することができることが分かった。これにより、今後実施が計画されている最終的な鏡面研磨において、Whiffletree 支持機構を用いれば、研磨体積が Whiffletree を用いない場合に比べて約 30% に抑えられる。



図 1: 製作した 36 点支持 Whiffletree 主鏡支持機構

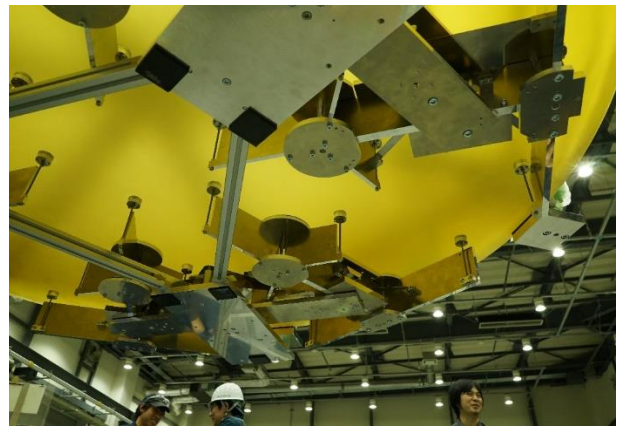


図 2: Whiffletree を用いて主鏡を支えている様子

(2) 近赤外線エシェル分光器(ESPRIT)InSb 256x256 FPA 検出器駆動電子回路の改良

現在開発中の近赤外分光器 ESPRIT (Echelle Spectrograph for Planetary Research In Tohoku university) は、検出器にレイセオン社 InSb 256x256 FPA を用いている。この駆動電子回路は従来開発されている赤外カメラのものを流用する計画であった。しかし、これまでの赤外カメラ駆動電子回路では、検出器のクロック・バイアス電圧の入力に流れる電流を計測することができず、クロック駆動やバイアス電圧検出器内の回路がどのように動作しているか、正確に検証出来ない状況であった。バイアス電流を正確に測定することは、検出器内の行・列読み出しのための走査回路上にある MOSFET 動作確認に役立つため、検出器の健全動作検証に重要である。このため、ESPRIT のための駆動電子回路は、クロック・バイアス入力線において最大時間分解能 100 μ s、数 μ A の微小電流を計測できる電流計を搭載することとした。この電流計は電流電圧測定 IC である INA226 とアイソレータ ADM3260 を用いて I²C 絶縁出力で検出器に影響を与えずに微小電流を測定できるため、本研究の目的達成に十分な性能をもつ。本研究では、この電流計の製作を完了させた。

また、従来の赤外カメラ電子回路では、駆動電子回路と検出器との間のハーネス間が直結しており、静電気による不具合が発生するリスクがあった。このため、駆動電子回路と検出器のハーネスの間にバッファアンプを設置し、ヒューマンエラーを含めて直接検出器端子に電圧印加するリスクを低減させる改良を行うこととした。現在、この回路の設計は完了しており、実装を行っている。

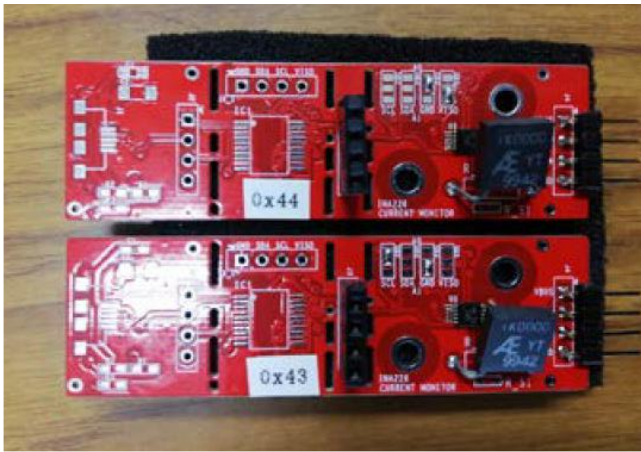


図 3: 製作した駆動電子回路用の電流計

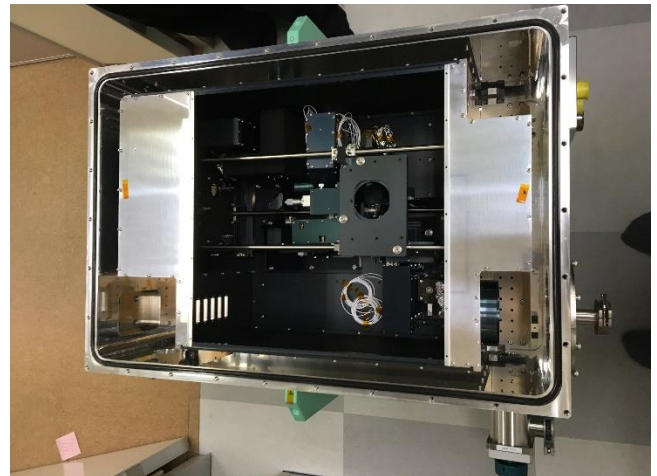


図 4: 検出器駆動回路搭載予定の分光器本体

(3) GIGMICS/MILAHl 用中間赤外線冷却中空ファイバーの開発

PLANETS 望遠鏡に中間赤外線分光器 GIGMICS および MILAHl を安定して接続するための新型中空ファイバー (Hollow Core Waveguide, HCW) の開発を行った。近年、東北大学医工学研究科において開発された中間赤外線 HCW は、内径 1mm 程度の被覆内面に、波長 10 μ m 近辺で高反射率の金属反射層と誘電体の 2 層薄膜を内装した構造を有し、赤外レーザー光の高効率伝送や生体内の分光計測に応用されつつある。またポリイミド被覆は冷却耐性があり、冷却による金属層の電気抵抗率低下による低損失化や GIGMICS 内部への窓や鏡を排した直接接続の実現が期待される。本年度は、この HCW を用いた新たな冷却 HCW の開発を行った。冷却機構として、(1)真空の保持 (2)液体窒素による冷却 (3)真空断熱による低温の維持、を満たす三重管機構(図 3 上)、周辺機器との結合機構を設計・開発した。最終的に、シールド内の真空度 9.0×10^{-3} Pa が得られ、到達最低温度 78 K でも入射・出射窓の結露は認められなかった。

HCW の低温での性能評価は、波長 10.4 μ m の QC レーザーを光源とした測定用光学系を構築のうえ行った(図 3 下)。光軸調整の結果、2 m 長の中空ファイバーの、入射・出射窓の透過率を含めた全透過率は最大で 38%で HCW 単体の透過率は 77 %/m と見積もられた。液体窒素注入による冷却に伴い、出射光の強度が最大で約 10 %上昇することが初めて確認された。しかし、常温での全透過率を最大に光学調整すると冷却によって透過率が低下する現象も観測された。この原因としては(1)ファイバー内部への結露、(2)出射レーザー光の広がり角の増大による光学的な“ケラレ”の発生が考えられる。(1)に対しては真空吸引経路の検討、(2)に対しては GIGMICS など実際の真空光学系の入射 F 比を考慮した最適化が必要と考えられる。

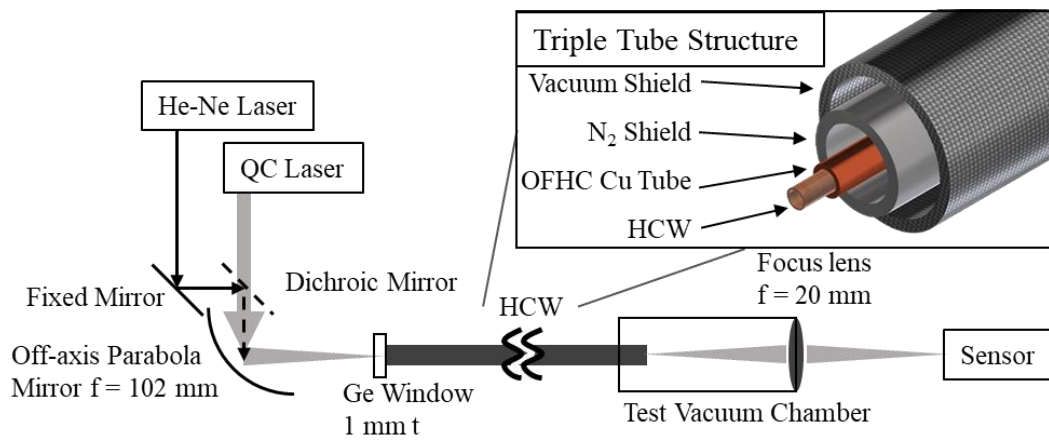


図 5 : 中空ファイバー冷却用の三重管構造(上)と性能評価用光学系(下)

成果発表

鈴木駿久, 鍵谷将人, 坂野井健, 笠羽康正, 平原靖大, 栗田光樹夫、「1.8m 軸外し望遠鏡 PLANETS の主鏡支持構造の開発状況」、日本天文学会 2020 年春季年会 2020/3/16-19、筑波大学
 伊藤良太, 平原靖大, 松浦祐司, 中川広務, 笠羽康正, 他、「中間赤外線中空ファイバーの低温環境下での透過率測定」、地球電磁気・地球惑星圏学会 2019/10/23-27、熊本市国際交流会館