

ハレアカラ PLANETS1.8m 望遠鏡主鏡の研磨プロセスにおける

鏡面機上計測法の検討(IV)

2021年3月31日

名古屋大学環境学研究所 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 2021 年度に、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新型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)新型ロボットアーム研磨機の設置支援と新しい形状計測法の検討とプログラム開発、(2)主鏡の能動支持機構の開発、(3)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に取り組んだ。

研究内容

(1) PLANETS 望遠鏡 1.85mφ 軸外し放物面主鏡の新しい高精度 3 点ひきずり計測法の開発



図 1: LogistLab 社の新型ロボットアーム研磨機

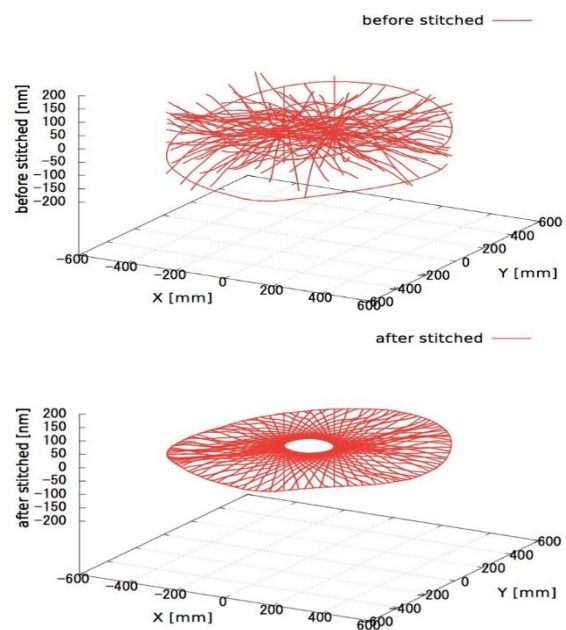


図 2: 円環パスを加えた 3 点ひきずり計測 + Stitching

LogistLab 社(旧アストロエアロスペース・ナノオプトニクス研究所)が開発した、ロボットアーム研磨機上の 3 点ひきずり計測法は、岡山せいめい 3.8m 望遠鏡の副鏡(回転双曲面)、第 3 鏡(平面)などの最終研磨工程でのオンマシン形状計測法として用いられ、高い実績がある。本研究では、新たに導入されたロボットアーム研磨 2 号機(図 1)を用いた、PLANETS 望遠鏡の放物面主鏡(外径約 1.85mφ、軸外し角 23.46°)の形状計測法の詳細な検討を行った。3 点ひきずり法では、ある計測パスに沿ったデータから曲率を求めたのち、2 階逐次和分によって形状の推定し、多数の計測データのスティッチング処理により、高い精度での面形状測定を行うが、これまで軸外し放物面に対して適用された例はない。軸外し放物面では、軸対称面中心周りの円環パスと異なり、曲率ベクトルの“向き”が接線方向以外に主法線と従法線方向の成分をも有しつつ、パスの進行によってそれらに変化する。従って、現実の 3 点ひきずり計測センサーモジュールのローリング運動を定量化し、計測データの補正を行う必要がある。そこで本研究では、任意の直線・円環計測パスに対する鏡面位置、曲率ベクトル、法線ベクトルを解析的に導出するプログラムを製作し、最適な計測パス集合を検討することを可能にした。また、データスティッチング法として、自由度を制限した“梁モデル”による有限要素法プログラムを導入した

これによって系統誤差とともにセンサーのドリフト誤差を含むランダム誤差の推定が可能になった(図 2)。

(2) 主鏡の能動支持機構を用いた研磨量の削減方法の検討

本研究では 2021 年 5 月から開始される主鏡の最終研磨において、能動支持機構を組み合わせることで研磨量を削減する試みと、支持機構の動作検証試験の結果について報告する。主鏡は直径 1.85m、外縁厚さ 100mm のクリアセラム-Z HS である。2021 年 2 月現在、主鏡は鏡面誤差 $1.50\ \mu\text{m}$ RMS まで成形されており、最終研磨では 30cm 空間スケールでの鏡面誤差 $< 20\ \text{nm}$ RMS を目指している。取り除く鏡材体積(研磨量)が大きいと必要時間・コスト増につながるため、研磨量は少ないほうが望ましい。我々は以下の 2 つを併用して研磨量を削減する。1 つ目は、研磨量が最小になるように、軸外し放物面の曲率半径、軸外し距離、鏡面の傾き 2 成分と回転角を調整する手法である。これらを変化させたときの鏡面形状変化は、パラメータの変化が微量であるとき線形であり、互いに独立である。観測性能に支障が出ない範囲で各パラメータを微調整し、研磨量を最小化する。この手法により、 $2\ \mu\text{m}$ RMS 振幅の Zernike 多項式の 3 次の項までで表される鏡面誤差に対し、研磨量を半分以下に抑えることができる見込みである。2 つ目は、主鏡の能動支持機構を研磨時の鏡面形状補正にも適用し、研磨量を削減する手法である。主鏡の軸方向支持構造には、36 点支持の whiffletree 構造を採用している。これに板バネとリニアモーターからなる warping harness を組み合わせることにより、各支持点の支持力を自由度 33 で制御する。この軸方向支持機構を最終研磨段階にも用いて、大きな空間スケールの鏡面誤差を減少させて研磨量を削減する。有限要素法解析による検証では、1 つ目の方法に追加してこの手法を適用することによって、Zernike 多項式の 3 次の項までの形状が約 20%以下の誤差で再現可能となった。また、現状の主鏡鏡面形状に対して 2 つの方法を両用して最適化を行うと、元の主鏡鏡面形状をそのまま前提とする場合と比べて、鏡面誤差は $1.5\ \mu\text{m}$ RMS から $0.28\ \mu\text{m}$ RMS まで改善でき、また研磨量 81%削減できる見込みであることがわかった。

成果発表

「PLANETS 望遠鏡の開発：ロボットアーム研磨機 3 点引きずり計測法による主鏡の形状測定」花村悠祐、古賀亮一、平原靖大、栗田光樹夫、高橋啓介、鍵谷将人、坂野井健、笠羽康正、2020 年度 惑星圏研究会 ポスター発表

High dynamic-range observation using a 1.8-m off-axis telescope PLANETS: feasibility study and telescope design, Kagitani, M., Sakanoi, T. Kasaba, Y. Hirahara, Y. Kurita M., Kuhn, J. R. Berdyugina, S. V., Emilio, M., Proceedings of the SPIE, Volume 11445, id. 1144543 11 pp. (2020), 10.1117/12.2556458.

「PLANETS 望遠鏡の開発：主鏡研磨の最適化」永田和也、鍵谷将人、坂野井健、笠羽康正、平原靖大、栗田光樹夫、2020 年度 惑星圏研究会 ポスター発表