

PLANETS望遠鏡の開発：能動主鏡支持機構などを用いた最終研磨における研磨量削減の試み

Development of PLANETS telescope: An attempt to reduce polishing volume in final polishing process by using an active mirror support

*永田 和也¹、鍵谷 将人¹、笠羽 康正¹、坂野井 健¹、平原 靖大²、栗田 光樹夫³

*Kazuya Nagata¹, Masato Kagitani¹, Yasumasa Kasaba¹, Takeshi Sakanoi¹, Yasuhiro Hirahara², Mikio Kurita³

1. 東北大学 理学研究科、2. 名古屋大学 環境学研究科、3. 京都大学 理学研究科

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 3. Graduate School of Science, Kyoto University

PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems) 望遠鏡は、口径1.85mの軸外し式で、名大・京大の技術支援の元で、東北大学とハワイ、ドイツ、ブラジルとの国際協力のもとで開発を進めている。2021年末に国内でのファーストライトを迎えるべく、開発を進行させている。その後は、観測好適地であるハワイ州マウイ島・ハレアカラ山頂への移設・運用を目指している。

PLANETS望遠鏡は、ハワイ経度に置かれる日本で唯一の中口径望遠鏡として、国内小中口径望遠鏡群との連携観測拠点となりうる。PLANETS望遠鏡の主な観測対象は明るい天体の周囲にある微弱発光現象であり、太陽系天体としてはイオ・エウロパ・エンセラダスなどからの物質噴出、火星・金星周囲の希薄大気とその変動などの観測が挙げられる。これらの実現には、明るい天体光の回折・散乱を効果的に抑える必要がある。PLANETSは、太陽望遠鏡を除くと世界最大級の軸外し光学系望遠鏡で、副鏡を凹楕円面鏡とするグレゴリアン型を採用しており、光路上に副鏡やその支持機構が無いことそれらによる回折の影響を受けない。さらにコロナグラフと補償光学の支援も得ることで高コントラスト観測が実現可能である。また、観測時間の自由度が高く、数か月～数年に及ぶ長期観測も可能で、惑星を含む「Time-Domain Science」に貢献可能である。

本講演では、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つを両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小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、研磨量を半分以上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、研磨量は80.5%削減できる見込みである。

現在、この制御の前提となる能動支持機構の制御再現性・安定性について、実主鏡材とオートコリメータを

用いた確認試験を実施中である。本公演では、これらを含む最新試験結果と展望について報告する。

キーワード：軸外し光学系、惑星希薄大気・プラズマ、鏡面研磨

Keywords: Off-axis optical system, Planetary atmosphere and plasma, Mirror polishing