

惑星大気観測のための PLANETS 望遠鏡の主鏡支持機構の開発状況

鈴木 駿久 [1]; 鍵谷 将人 [2]; 坂野井 健 [3]; 笠羽 康正 [4]; 平原 靖大 [5]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター; [3] 東北大・理; [4] 東北大・理; [5] 名大・院・環境・地球惑星

Development status of PLANETS telescope main mirror support system for observing planetary atmosphere

Toshihisa Suzuki[1]; Masato Kagitani[2]; Takeshi Sakanoi[3]; Yasumasa Kasaba[4]; Yasuhiro Hirahara[5]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] PPARC, Tohoku Univ; [3] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [4] Tohoku Univ.; [5] Earth&Planetary Sciences, Nagoya Univ.

PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems) telescope is a 1.8m off-axis telescope, which is developed by Tohoku University and international collaboration with Hawaii, Germany, Brazil. It is going to be installed in Japan in 2020, and it is aimed that it will be transferred to Haleakala observatory, which is one of the world's best astronomical observation sites. The main target of PLANETS telescope is faint atmosphere and plasma emission near bright body, such as plume of Europa and Enceladus, Io volcanic eruption and torus, atmospheric escape of Mars and Venus. To perform these observations, it is necessary that diffraction and scattering light is effectively decreased and it gets a good contrast between bright body and faint emission. PLANETS telescope is one of the biggest off-axis telescopes performing in night time, and there is no obstacle of secondary mirror and spider in the light path. The off-axis design enables us to observe high contrast observation. Moreover, to understand such atmospheric and plasma phenomena, long-time continuous monitoring observation is essential, so PLANETS telescope can be continuous observation because it is own instrument. In this presentation, we report development status of main mirror support system which is important to be high contrast observation.

The main mirror of PLANETS telescope is Clearceram Z-HS with 1.8m aperture and 80mm of average thickness. Comparably thin glass with multipoint active supports can enable to decrease polishing process and cost. In this study, we led optimal support load distribution when main mirror is supported by 27 or 36 points and decided maximum load and load error to satisfy observation requirement, which is more than 0.90 of strehl ratio. As a result, maximum support load of each main mirror is about 20kg and support load precision is less than +/- 30g when main mirror is supported by 36 points.

We are developing the main mirror axial support system and evaluate performance collaborated with Tohoku University, Kyoto University, Nagoya University.

We examine two options of the main mirror axial support system, one is force actuator active support with loadcell and the other is whiffletree active support with warping harness referred to TMT telescope and Seimei telescope (Williams et al., 2008). In this study, we tested performance evaluation of force actuator support with loadcell by using one prototype of supporting system. The force actuator structure is that linear actuator which is combined by ball screw and stepping motor moves one end of compression spring and another end of spring transmits thrust to back surface of mirror via cylinder. Spring compression height changes by changing linear actuator length, so it can control thrust of spring. We adopted wave spring CMS40-H9 by SMALLEY company. From resolution of linear actuator and spring constant, it was decided that the maximum thrust is 30kg and resolution is 16g.

Next, we tested repeatability, time stability and hysteresis of prototype force actuator. We measured thrust of cylinder via spring by loadcell with changing linear actuator length. However, we used a substitute wave spring of which maximum thrust was about 10kg in the experiment because CMS40-H9 couldn't get during the test. As a result of test, it was revealed that maximum hysteresis was about 200g between gradually increasing and decreasing thrust. The error of hysteresis was larger than requirement accuracy +/- 30g, but it is thought that error can decrease by closed loop control which feeds back loadcell measuring value. Moreover, we tested time stability of thrust. Time stability of thrust during 30 seconds was less than +/- 5g, and it satisfied requirement precision. In the future, we will perform the same test by using CMS40-H9 to consider the requirement accuracy of telescope support. Moreover, we will compare force actuator with whiffletree and decide supporting system.

PLANETS (Polarized Light from Atmospheres of Nearby Extra-Terrestrial Systems) 望遠鏡は、口径 1.8m の非軸望遠鏡であり、東北大学がハワイ、ドイツ、ブラジルとの国際協力のもと開発を進めている。2020 年に国内でファーストライトを迎える予定で、将来的には世界有数の好観測地であるハワイ州マウイ島のハレアカラ観測所への移設を目指している。PLANETS 望遠鏡の観測対象は、エウロパやエンケラドスのプリューム、イオの火山噴出、火星や金星の希薄大気からの電離圏・外圏大気散逸現象など、明るい天体周りの微弱な大気やプラズマの発光現象である。これらの観測を実現するためには、明るい天体からの光の回折と散乱を効果的に抑え、周辺に広がる微弱な発光とのコントラストを上げる必要がある。PLANETS 望遠鏡は夜間使用の望遠鏡としては世界最大級の非軸光学系であり、光路上に副鏡やその支持構造による回折の影響がない。したがって、コロナグラフと補償光学とを組み合わせることで、高コントラストの観測が期待できる。また、先に挙げた大気やプラズマの発光現象を理解するには、数ヶ月から数年に及ぶ長期間のモニタ観測が必要であり、まとまった観測時間を確保できる PLANETS 望遠鏡は、大気変動現象の解明に不可欠である。本発表では、高コントラスト観測を実現する上で重要な主鏡の支持機構についての検討と開発状況について報告する。

PLANETS 望遠鏡の主鏡は、直径 1.8m、平均厚さ 80mm のガラスセラミック (CLEARCERAM) である。比較的薄い硝材を多点で能動的に支えることにより、研磨に必要な工程を短くし、コスト削減を狙う。不適切な支持による鏡面誤差の増大は、像の乱れのみならず、コロナグラフと組み合わせた観測のコントラストを低下させ、重大な支障をきたす。本研究では、主鏡裏面を 27 点および 36 点で支持する場合の最適な支持力分布を導出し、ストレーン比が 0.90 以上である観測要求を満たす波面誤差に抑えるために必要な最大支持力とその誤差を検討した。その結果、36 点支持の場合、1 点あたりの最大支持力約 20kg に対して $\pm 30g$ 以下の誤差で制御を行う必要があると判明した。

我々は、東北大、京都大、名古屋大と共同で、主鏡の光軸方向の支持構造の開発と要素試験を実施している。主鏡の光軸方向の支持構造は、フォースアクチュエータとロードセルを組み合わせた能動支持 (Iye et al., 2004) に加えて、TMT 望遠鏡やせいめい望遠鏡を参照しウィッフルツリーにワーピングハーネスを組み合わせた支持 (Williams et al., 2008) を検討している。本研究では、特にフォースアクチュエータとロードセルを組み合わせた支持について、1 点の支持構造の試作品を用いて性能評価を行った。フォースアクチュエータは、ボールスクリューとステップモータを組み合わせたリニアアクチュエータが圧縮バネの一端を上下させ、バネの另一端がシリンダーを介してミラーの裏面に推力を伝える構造になっている。リニアアクチュエータの長さを変えることで、ばねの作動高さが変化し、推力を制御することができる。圧縮ばねには SMALLEY 社のウェーブスプリング CMS40-H9 を採用した。ウェーブスプリングは、自然長や作動高さが通常のばね (コイルスプリング) より短いことや、ばねの軸に対して垂直方向に発生する余分な力 (サイドフォース) が低減されるという特徴がある。リニアアクチュエータの分解能とバネ定数から求められる最大推力と分解能はそれぞれ 30 kg と 16g となる。

次に製作したフォースアクチュエータの再現性、時間安定性、およびヒステリシスを評価する試験を行った。リニアアクチュエータの長さを変えながらバネを介したシリンダーの推力をロードセルによって測定した。ただし、本実験で用いたウェーブスプリングは実験時に入手できた代替品を用いたため、最大推力が約 10kg であった。試験の結果、推力を徐々に大きくした場合と徐々に小さくした場合とで、最大で約 200g のヒステリシスが生じることが分かった。ヒステリシスによる誤差は要求精度である $\pm 30g$ よりも大きい値であるが、負荷の大きさを変更する際に同じ経路を通る方法や、ロードセルの値をフィードバックする閉制御にすることで誤差を抑えられると考えられる。また推力の時間安定性についても測定を行った。30 秒間における安定性は、推力誤差 $\pm 5g$ 以内であり、要求精度を満たすことが分かった。今後、最大推力 30kg を満たすウェーブスプリングでも同様の試験を行い望遠鏡支持の要求仕様を満たすかどうか検討を行う。そしてウィッフルツリーにワーピングハーネスを組み合わせた支持と比較・検討を行い、支持方法を決定する。さらに主鏡の支持点数の決定、各支持点の負荷の変化と波面誤差の関係について調べ、波面誤差を要求精度以内に抑えるように主鏡を能動的に支持する方式を検討する。