

# 格子投影法計測系を有する形状可変構造の実証計画について

田中宏明(防衛大), 小木曾望(阪府大), 坂本啓(東工大), 岩佐貴史(鳥取大), 樋口健(早大),  
勝又暢久(香川大), 岸本直子(摂南大), 池田忠繁(中部大), 土居明広, 佐藤泰貴(宇宙研)

## Demonstration of a deformable structure equipped with grating projection shape measurement system

H. Tanaka (National Defense Academy), N. Kogiso (Osaka Prefecture Univ.),  
H. Sakamoto (Tokyo Institute of Technology), T. Iwasa (Tottori Univ.),  
K. Higuchi (Waseda Univ.), N. Katsumata (Kagawa Univ.), N. Kishimoto (Setsunan Univ.),  
T. Ikeda (Chubu Univ.), A. Doi and Y. Sato (JAXA)

### 1. はじめに

電波天文や高度な衛星通信などにおいて、高精度な大型反射鏡面は重要な機器であるが、大型の構造物は変形も大きくなりやすく、高精度な光学系の実現は大きな工学課題の一つである。その実現のために形状可変鏡を用いた高精度光学系に関する研究がなされている<sup>1,2)</sup>。これらのシステムでは、アンテナ主鏡等の変形による光路誤差を、形状可変鏡を用いて補正し、高精度な光学系を実現するものであり、そのため鏡面変形の計測も大きな課題となる。そこで、我々のグループでは格子投影法を用いた高精度な鏡面変形の計測<sup>3)</sup>、および、圧電アクチュエータを組み込んだ形状可変鏡の開発<sup>4)</sup>に関する研究を行っている。

これらの高精度な変形計測や圧電アクチュエータを利用した形状補正システムは、衛星搭載用の高精度アンテナシステムのほか気球 VLBI 計画<sup>5)</sup>などの成層圏気球を利用した各種プロジェクトでも活用が期待されている技術であり、それぞれ単独でも将来の高度なプロジェクトの実現において基盤となる技術である。現在、計測系と形状可変鏡を統合したシステムに関して、地上試験においてその有効性を実証しているものの<sup>6)</sup>、宇宙に近い環境での実証はできていない。

そこで我々は、格子投影法を用いた高精度変形計

測、および、形状可変鏡を統一したシステムの、気球運用環境下での機能実証実験を提案する。成層圏気球を用いた実証実験を通して、これらの技術のTRLを上げることを目標とする。

### 2. 格子投影法計測系と統合された形状可変構造システム

形状可変鏡に関しては、圧電アクチュエータと変位拡大機構を組み合わせた形状調整機構6本を用いて、スリット入り鏡面の形状を制御できる、形状可変鏡試作モデルを(図1)開発し、実際の衛星からの電波を用いた試験を実施し、形状可変鏡の有効性を確認している<sup>4)</sup>。また圧電アクチュエータの耐宇宙環境特性評価に向けて、国際宇宙ステーションに設置されたExHAMを用いた、圧電素子材料の宇宙環境曝露試験にも取り組んでいる<sup>7)</sup>。ただし、ExHAMでは電源が利用できないため、宇宙空間での圧電アクチュエータ駆動実証には至っていない。

高精度変形計測方法に関しては、対象物に投影、ペイント、または、貼付した格子模様の変位変化により対象物の変形を計測する格子投影法による計測に取り組み、大型構造物の変形を高精度計測が可能なことを確認している。特に格子を対象物に貼付する方法(図2)では、格子投影装置が不要になり、事前にキ

リブレーションが終了していれば、カメラのみでの変形計測が可能となる<sup>3)</sup>。そのため、非常に簡素なシステムにより、格子を貼付した範囲全域の変形計測が可能となるため、大型宇宙構造物の変形計測への適用が期待できる。

次に、気球VLBI1号機の地上局に格子投影法による高精度変形計測装置と形状可変鏡システムを統合したシステム(図3)を構築した。このシステムでは、アンテナ主鏡の変形を格子投影法により計測し、変形によるアンテナ光学系の光路誤差を補正するよう形状可変鏡システムを駆動することで、高精度なアンテナ光学系を得ることを目指したものである。実際の衛星から受信した電波の強度を評価指標として、主鏡変形による光路誤差を補正する試験を実施(図4)、開発したシステムの有用性を実証している。

しかし、これらの試験では、地上での利用を前提とした圧電アンプやカメラ、コンピュータなどを組み合わせたシステムを利用している。そのため、成層圏気球実験や衛星での利用にむけては、それらの過酷な環境での利用に対する考慮が必要なほか、さらなる実証が必要となる。

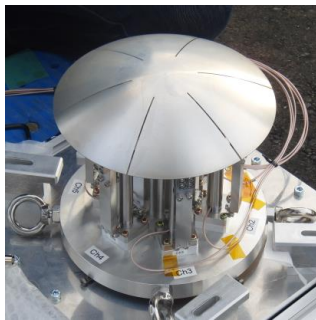


図1 形状可変鏡試作モデル<sup>4)</sup>

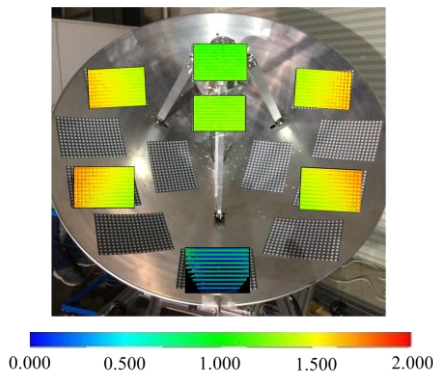


図2 貼付した格子画像による変形計測の一例

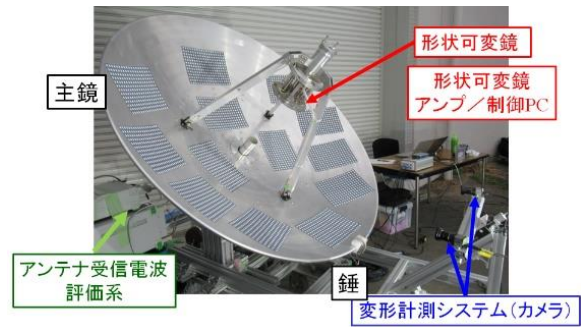


図3 格子投影法-形状可変鏡統合システム<sup>6)</sup>

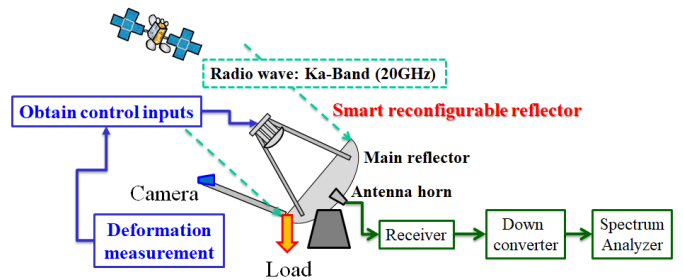


図4 統合システムの性能確認試験概要<sup>6)</sup>

### 3. 気球実験の概要

高精度変形計測、および、形状可変鏡を統一したシステムの実用化を目的として、2022年度に気球実験を行い、宇宙に近い成層圏環境下での機能実証を目指す。この実験は、衛星搭載用高精度構造システムの実現に向けた1つのステップであるほか、気球VLBIミッションにおける重要コンポーネント(形状可変鏡)の実環境実証となる。この実験を通して、成層圏気球ミッション用機器としてはでは TRL7(実環境実証)、他の耐環境性試験とあわせて宇宙用機器としても TRL5 (相当環境実証)を目指す。

試験装置の構成イメージを図5に示す。本試験ではアンテナ光学系全体ではなく、重要な格子投影法による計測系と形状可変鏡に絞った構成としており、形状可変鏡の変形を格子投影法により計測し、制御入力を決定、形状可変鏡を駆動させることで、所望の鏡面形状を実現することを想定している。そのため、本システム自身は格子を貼付したΦ20cm程度の可変鏡部をカメラにより計測する構成となっており、大型のものではないため、気球実験における混載便、また

は、他の気球実験へのピギーバックでの搭載が可能である。そのため、気球実験において専用のリソースを大量に使うことなく、将来の気球を用いた高精度な各種観測にもつながる実験となる。

本実験ではまず、形状可変鏡の駆動前後の変形を格子投影法、および、ギャップセンサにより計測・評価することで、形状可変鏡の駆動性能確認、格子投影法による計測性能の確認を行う。次に、計測系-形状可変鏡を組み合わせた形状制御試験を実施し、統合システムの性能確認を行う。この際、形状可変鏡を搭載した架台をモータにより回転させることで、重力方向を変更し、鏡面形状を変化、形状調整機構により補正することを目指す。

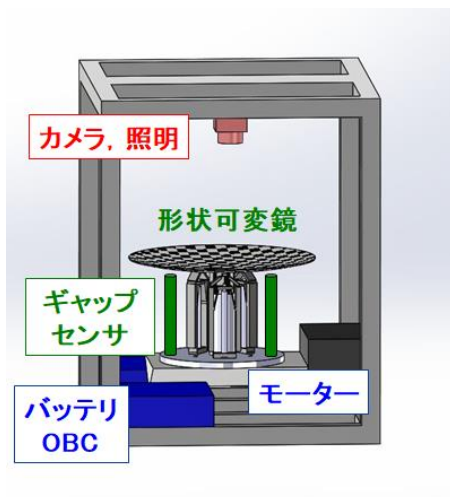


図5 試験装置イメージ  
(40×40×100cm程度を想定)

#### 4. まとめ

格子投影法を用いた高精度変形計測、および、形状可変鏡を統一したシステムの、気球運用環境下での機能実証を提案した。このシステムは、高精度な反射鏡アンテナ光学系の実現において重要な機器であるだけでなく、このシステムで用いられている格子投影法による変形計測、および、圧電アクチュエータによる形状調整機構はそれら単体でも、高精度な大型構造システムの実現において重要な機器であるため、大型構造を有する科学観測機器一般に広く利用できるものである。この実験を通して、成層圏気球ミッション用機器としてはでは TRL7(実環境実証)、他の

耐環境性試験とあわせて宇宙用機器としても TRL5(相当環境実証)を目指す。

#### 謝辞

本研究は、ISAS/JAXA の戦略的開発研究費「光学観測高度化に向けた高精度構造・材料システム統合」の支援を受けて実施されたものである。

#### 参考文献

- 1) H. Fang, et Al., Experimental Study of a Membrane Antenna Surface Adaptive Control System, 52nd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, AIAA2011-1828,2011.
- 2) L. da Rocha-Schmid, et al, Parametric Design and Analysis Process of In-Orbit Reshaping Space Reflector Antennas, 3rd International Conference Advanced Lightweight Structures and Reflector Antennas, 2018.
- 3) K. Yamazaki, K. Higuchi, N. Katsumata, T. Iwasa, N. Kishimoto, M. Fujigaki, Deformation Measurement and the Analysis of Main Reflector for High Structural Accuracy Antenna System, 32nd ISTS, 2019-c-42, 2019.
- 4) H. Tanaka, et al., Development of a Smart Reconfigurable Reflector Prototype for an Extremely High Frequency Antenna, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, pp.764-773, 2015.
- 5) A. Doi, et al., A Balloon-Borne Very Long Baseline Interferometry Experiment in the Stratosphere: Systems design and developments, Advances in Space Research, pp.779-793, 2019.
- 6) 田中宏明, 他, 高精度計測系と形状可変鏡を統合した高精度アンテナシステムの実証試験, 第35回宇宙構造材料シンポジウム, B2,2019.
- 7) 小木曾望, 他, ExHAMを用いたピエゾ素子曝露実験装置の開発, 第63回宇宙科学技術連合講演会, 2Q13, 2019.