



主鏡変形量を補正するカセグレインアンテナ構造高精度化確認試験に向けた検討

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本航空宇宙学会 公開日: 2020-03-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 樋口, 健, 勝又, 暢久, 山崎, 健次, 岩佐, 貴史, 岸本, 直子, 藤垣, 元治, 土居, 明広, 小木曾, 望, 田中, 宏明, 石村, 康生 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00010169

3G05 主鏡変形量を補正するカセグレインアンテナ構造 高精度化確認試験に向けた検討

○樋口 健, 勝又暢久 (室蘭工大), 山崎健次 (室蘭工大・院),
岩佐貴史 (鳥取大), 岸本直子 (摂南大), 藤垣元治 (福井大), 土居明広 (JAXA),
小木曾望 (大阪府大), 田中宏明 (防衛大), 石村康生 (早稲田大)

Investigation to Verification Test of a High-precision Structure for Cassegrain Antenna by Compensating Main Reflector Deformation

Ken Higuchi, Nobuhisa Katsumata, Kenji Yamazaki (Muroran I.T.), Takashi Iwasa (Tottori Univ.),
Naoko Kishimoto (Setsunan Univ.), Motoharu Fujigaki (Univ. of Fukui), Akihiro Doi (ISAS/JAXA),
Nozomu Kogiso (Osaka Pref.Univ.), Hiroaki Tanaka (NDA), and Kosei Ishimura (Waseda Univ.)

Key Words: High-precision Space Structures, Shape Adjustment, Deformation Measurement, Parabola Antenna

Abstract

High-precision space structures will need the surface shape measurement in orbit, and the measured deformation data are to be used for the shape adjustment of the structures. A Cassegrain parabola antenna for a balloon-borne VLBI radio telescope ground station is employed to the verification test. A variable geometry sub reflector will compensate the main reflector deformation. The controlled variables of the sub reflector shape are calculated by the measured deformation data of the main reflector. A “two-dimensional grating and two-camera method” and a photogrammetric method are used to measure the main reflector deformation. The proposed grating method can measure directly the relative displacement of a curved surface quickly.

1. はじめに

大型宇宙構造物の高精度化のためには軌道上での形状補正が必要とされる。宇宙構造物の表面形状を補正するための変形データ取得を目的として、曲面にも適用できかつ短時間で計測できることを目標として、格子投影法の原理を応用した二次元格子貼付 2 カメラ法に基づいて表面変形計測実験装置を製作したり。そして、例えば、製作誤差や荷重負荷や熱変形など軌道上で現れる主鏡変形を形状可変副鏡²⁾で補正するカセグレインアンテナ構造が実現すれば宇宙構造物高精度化に寄与できる。

気球 VLBI 電波望遠鏡地上局カセグレインアンテナを例に取り、構造高精度化の実証として計画されている形状可変副鏡と組み合わせた統合性能確認試験に適用するために、パラボラ反射主鏡面を計測対象として形状変形量の計測を行い、統合性能確認試験に資することを目的としている。

昨年度の本講演会報告では、気球 VLBI 電波望遠鏡を最終的な実験対象としつつもその計測実験に先立

ち、設計された計測実験装置の運用と計測精度を確認するために、同じ開口直径 ($\phi 1.5\text{m}$) の予備実験用ダミー供試体に二次元格子貼付 2 カメラ法計測系を実装して計測手法を実証した (図 1)¹⁾。今年度は、実際に気球 VLBI 電波望遠鏡地上局を実験対象として二次元格子計測系を実装し、事前実験 (図 2) として、計測手法の実証および統合性能試験において想定される具体的な問題点の洗い出しをすることにより、人工衛星電波源を用いる統合性能試験に備えるものである。

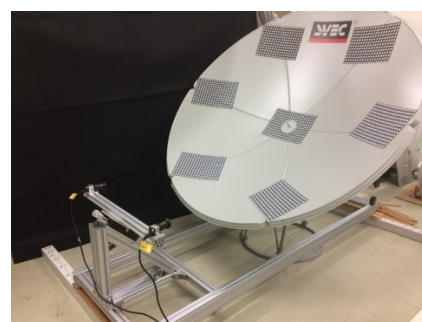
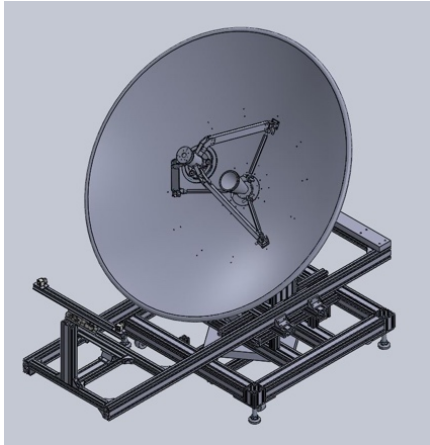
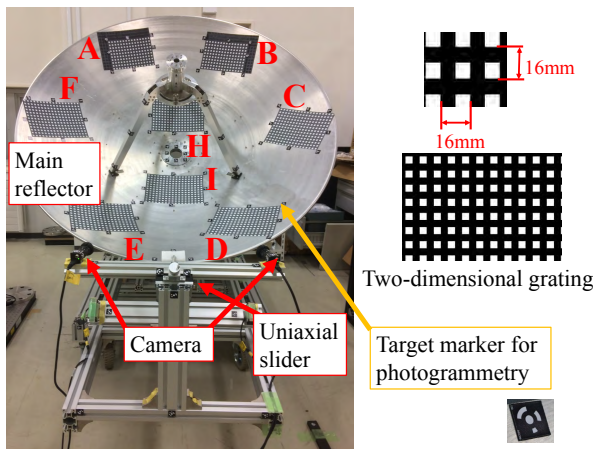


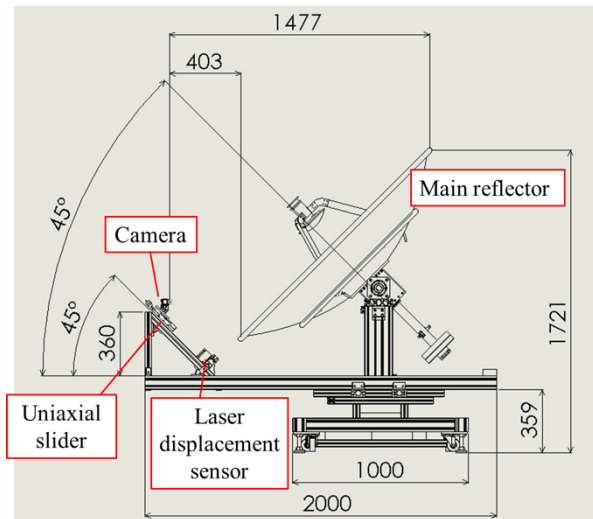
図 1 予備実験用供試体と計測系¹⁾



(a) 気球 VLBI 電波望遠鏡と計測系の設計 CAD 図



(b) 二次元格子貼付領域とフォトグラメトリー計測用ターゲットマーカ (写真の副鏡は従来型)



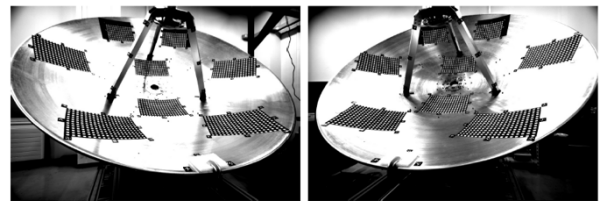
(c) 計測系設計側面図

図 2 事前実験用供試体と計測系³⁾

2. 二次元格子計測手法と計測系

非接触光学的表面形状計測法である格子投影法において、格子を投影するプロジェクターを不要とす

る二次元格子貼付 2 カメラ法⁴⁾による相対変位計測方法¹⁾⁵⁾⁶⁾は、通常の格子投影法とは異なり基準面としては計測対象物表面自体を用いれば良く、また相対変形量の幅だけの基準面間距離を設定すれば良いので計測精度の観点からも有利であるなど、軌道上での構造物表面形状計測に適した特徴を有する。格子投影法の解析アルゴリズム⁷⁾を援用し、宇宙空間での補正目標である変形前曲面形状からの相対変形を一度に面計測を行う。具体的には、計測対象曲面に直接二次元格子を描画して基準面とし、この基準面を 2 台のカメラで変形前後に撮影し、サンプリングモアレ法を用いた位相解析を実施することにより、変形前の目標曲面形状からの相対変位を取得するものである⁸⁾。



Left camera's sight Right camera's sight

図 3 副鏡ステイと左右 2 カメラからの視野

直径 1.5m の主鏡において、副鏡を支える 3 本のステイを回避しつつ左右 2 台のカメラから共通に見える範囲を二次元格子計測領域とした (図 3)。ここでは、スリット入り形状可変副鏡⁶⁾反射面の可動枚数が 6 枚であることから、図 2(b)に示すように主鏡周囲 6 箇所 (領域 A~F) と内部 (領域 H,I) に二次元格子を貼り付けた。合わせて、フォトグラメトリーによる形状計測用のターゲットマーカも貼った。

主鏡下端に錘により荷重を負荷することにより (図 4)、意図的に主鏡面に変形を付与する。主鏡面変形方向の定義は光軸方向を正とし、2 枚の基準面も合わせて図 4 に示す。錘の質量は、7.12kg (Case 1) と 1.99kg (Case 2) の 2 種類とした。

図 5 は、錘質量約 7kg の負荷時 (Case 1) の無負荷状態からの光軸方向相対変位の計測例を表しており、格子貼付法、フォトグラメトリーともに、主鏡下端が鉛直下方向 (光軸方向では後方) に変形し、主鏡両脇が前方に変形しており、最大変位は開口直径 1.5m に対し約 2.5mm である。

図 6 は、錘質量約 7kg の負荷 (Case 1) の後の除荷状態での無負荷状態からの光軸方向相対変位の計測例を表しており、格子貼付法では主鏡上端部に前方残留変位が見られ、一方、フォトグラメトリーでは向

かって左側に前方残留変位が見られ、必ずしもゼロに戻っていない。錘質量約 7kg の負荷 (Case 1) においては、試験を繰り返しても、試験ごとに計測変位の若干の差異や残留変位が現れた。

有限要素モデルによる変形量および変形モードの静荷重解析においては、主鏡裏側の補強材部品が少数のボルトでしか主鏡表面部品に固定されていないこと、および、主鏡表面部品と補強材部品が互いに剥がれる方向には補強材が効かないことなどが想定されたため、主鏡裏側の補強材部品の効果をなくした主鏡表面部品のみの解析モデルとすることにより、計測結果と同等の変形量および変形モードが得られることがわかった (図 7)。有限要素モデルは、統合性能試験において可変形状副鏡の制御量を求めるためにさらに詳細化していく必要がある。

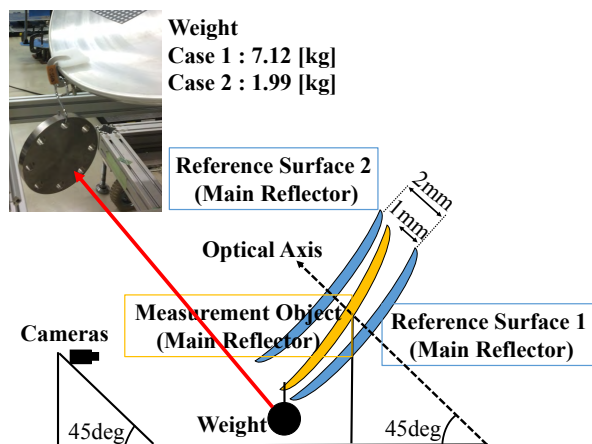


図 4 変形付与方法と光軸および変形方向の定義

3. 統合性能試験コンフィギュレーションへの準備

前節で述べた質量約 7kg の錘での負荷時の主鏡変形では、負荷・徐荷ごとに変形量が必ずしも揃わなかったり、徐荷後に変形がゼロに戻しなかったりするなど、線形計算に乗りづらい挙動が見受けられた。これは、組立構造に起因する接合部の摩擦の不揃いによる各部の滑りや固着などの非再現性が原因であろうと推定される。しかし、統合性能試験においては、形状可変副鏡の制御量を主鏡変形の線形性を仮定して求めることになるので、線形性を逸脱する変形挙動は許容できない。また、形状可変副鏡の変形可能量は最大で±0.5mm であるので、主鏡の変形量も±0.5mm までに抑えなければならない。すなわち、主鏡の変形量が最大 2~3mm 程度にもなる質量約 7kg という負荷は主鏡変形には過大であった。そこで、質量約 1kg および約 2kg の錘での負荷・徐荷で変形量の線形性

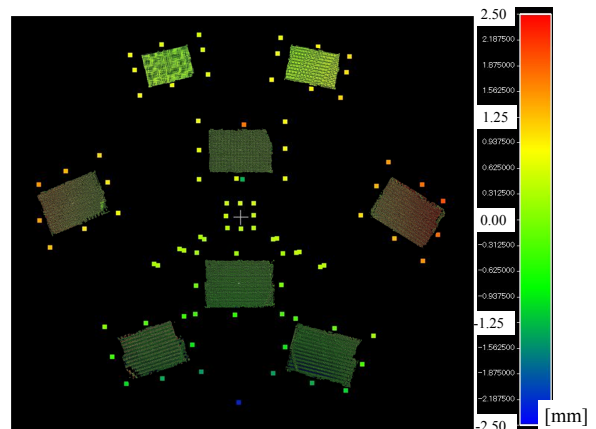


図 5 無負荷時と負荷状態との相対変位 (Case 1: 負荷質量 7.12kg)

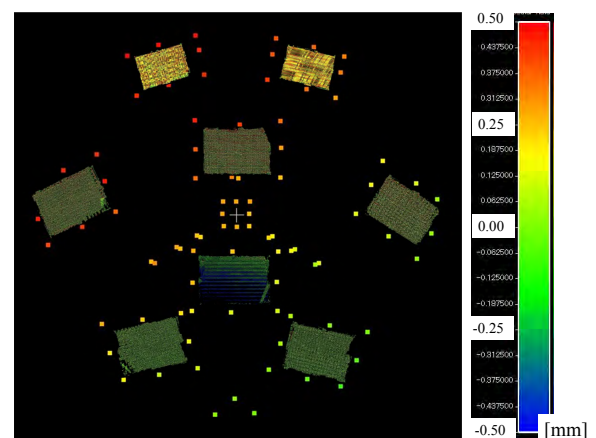


図 6 負荷前後の無負荷状態の相対変位 (Case 1: 負荷質量 7.12kg)

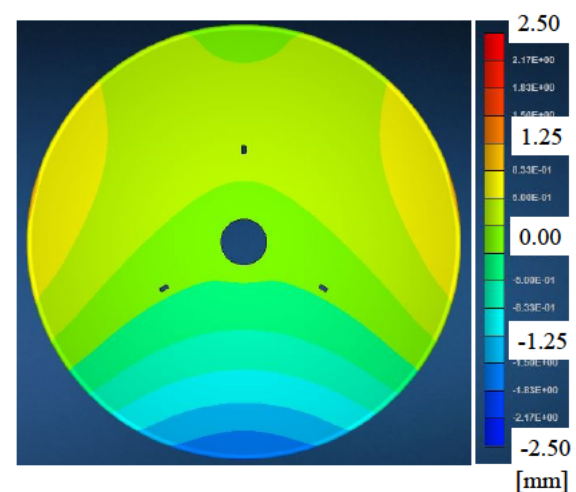


図 7 主鏡構造のみの有限要素解析モデルによる変形解析結果 (Case 1: 負荷質量 7.12kg)

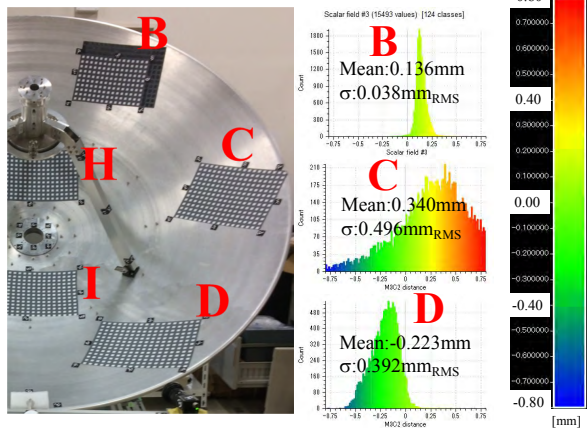


図 8 無負荷時と負荷状態との相対変位
(Case 2: 負荷質量 1.99kg)

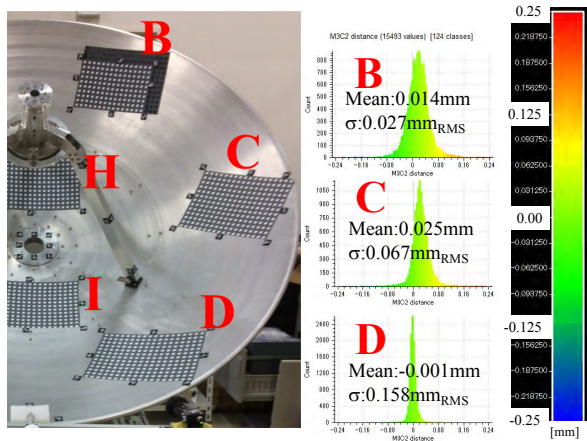


図 9 負荷前後の無負荷状態の相対変位
(Case 2: 負荷質量 1.99kg)

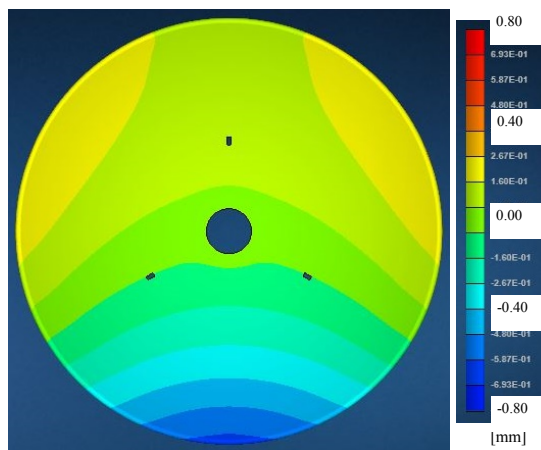


図 10 主鏡構造のみの有限要素解析モデルによる
変形解析結果 (Case 2: 負荷質量 1.99kg)

が保持できるか実験的に確認したところ、良好な変形量特性を得られることがわかった。図 8 に、錘質量約 2kg (Case 2) の負荷での変形計測結果を示す。図 9 に示すようにゼロ戻りも良好である。前述の主鏡表面部品のみ有限要素モデルによる数値シミュレーションにおいても同程度の変形量となり、錘質量 2kg 程度の負荷なら解析に乗ってくることを確認された (図 10)。

統合性能試験では、主鏡負荷が大きすぎると形状可変副鏡の調整範囲を逸脱し、主鏡負荷が小さすぎると電気性能改善効果が見えづらく、どの程度の負荷が適切であるのか判定するために、さらに事前検証が必要である。

副鏡を支える 3 本のステイは 120°間隔で配置されて主鏡背面から主鏡前面中央に向け取り付けられているので主鏡や副鏡の自重は主鏡面変形に方向性を及ぼさないと考えられたが、主鏡仰角が約 45°の時に副鏡質量を支えるステイの配置が、下中央 1 本で斜め上 2 本の場合 (図 3) と、逆に上中央 1 本で斜め下 2 本の場合とでは、主鏡面に現れる自重変形形状が異なることがわかった。主鏡面に意図的に変形を生じさせて、それを形状可変副鏡で光路差を補償することによりアンテナ電気性能の向上を試みる本試験において、主鏡面に変形を生じさせる方法は主鏡下端中央に錘を負荷するものであるため、副鏡自重による主鏡面変形モードが、意図的に生じさせた主鏡面変形モードを補償してしまうことは避けるべきである。これまで進められてきた計測手法の事前実証試験において副鏡質量を支えるステイの配置では、意図的に生じさせた主鏡面変形モードを副鏡自重による主鏡面変形モードが補償してしまう方向であることがわかった。そこで、統合性能試験においては、生じさせる主鏡面変形モードと副鏡自重による主鏡面変形モードとが重ならないよう、上中央 1 本で斜め下 2 本とすることにした (図 11)。これまでの計測手法の事前実証試験における仰角 45°を、仰角 135°に向け直せば、副鏡ステイの配置をこのように変更できる。仰角 135°で形状可変副鏡を装着した場合、すなわちステイの配置を上中央 1 本で斜め下 2 本に変更した場合の、二次元格子計測系 2 カメラからの主鏡の見え方の予測を図 11 に示す。なお、以降は仰角 135°を改めて仰角 45°と呼ぶことにし、また、電波源である静止衛星の仰角が 45°より 3.5°浅いことが予想されるため、図 11 は仰角が 41.5°でのシミュレーション図である。形状可変副鏡ステイを回避できる位置に二次元格子を貼って主鏡面計測領域とすることとする。

また、フォトグラメトリーによる形状計測も併用する。

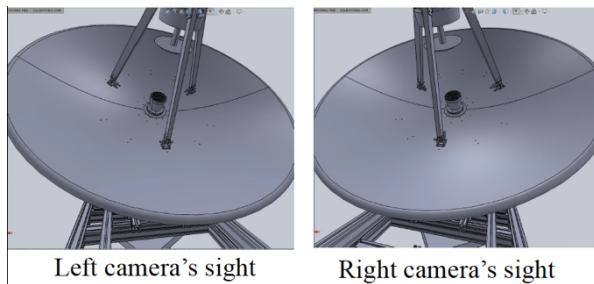


図 11 形状可変副鏡保持ステイと
左右 2 カメラからの主鏡視野の CAD 図

統合性能試験では、まず五点法と呼ばれる方法で電波源の方向を定めることになっている。主鏡面に変形を生じさせる錘を主鏡下端に吊るした状態で仰角と方位角を駆動することになるのであるが、この場合、カウンターバランスとして主鏡下端錘の質量の約 2 倍の錘を主鏡裏側に負荷する必要がある、これだけの負荷を吊るした状態で仰角と方位角を小刻みに動かせるかなど、ハードウェア上の事前検証がまだいくつか残されている。

また、主鏡面変形シミュレーション有限要素モデルの実態に即した詳細化や、主鏡面変形量から求める形状可変副鏡の制御量がアンテナ電気性能改善に及ぼすシミュレーション予測など、ソフトウェア上の事前検証も必要である。

4. まとめと今後の課題

構造高精度化実証の一環として、主鏡面変形量を形状可変副鏡で補正するカセグレインアンテナにおいて電波源を用いる統合性能試験で想定される主鏡面変形計測法の問題点の洗い出しを行い、第 3 章に示した。さらに具体的な詳細検討や試験手順の検討を行って、宇宙科学研究所戦略的開発研究費「スマート形状可変鏡と高精度変形計測システムを統合した高精度アンテナシステムの開発・実証」の共同実験に臨むこととしている。

謝辞

本研究は、ISAS/JAXA 平成 30 年度および令和元年度戦略的開発研究費「高性能科学観測にむけた高精度構造・材料の研究開発」のサブテーマ「スマート形状可変鏡と高精度変形計測システムを統合した高精度アンテナシステムの開発・実証」の支援で行われた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 樋口 健, 勝又暢久, 山崎健次, 岸本直子, 岩佐貴史, 藤垣元治: “高精度構造表面形状調整のための曲面変形計測,” 第 62 回宇宙科学技術連合講演会, 3J06, (2018).
- 2) 田中宏明, 坂本 啓, 稲垣章弥, 石村康生, 高橋啓太: “スマート形状可変鏡 スリット入り鏡面モデルの開発・評価,” 第 58 回宇宙科学技術連合講演会, 3B02, (2014).
- 3) Kenji YAMAZAKI, Ken HIGUCHI, Nobuhisa KATSUMATA, Takashi IWASA, Naoko KISHIMOTO, and Motoharu FUJIGAKI : “Deformation Measurement and the Analysis of Main Reflector for High Structural Accuracy Antenna System,” 32nd ISTS, 2019-c-42, (2019).
- 4) 花田亮治, 瀬戸秀樹, 藤垣元治, 志茂公亮, 森本吉春: “高速回転タイヤの表面歪測定技術開発,” 自動車技術会論文集, Vol.42, No.1, (2011).
- 5) 山崎健次, 樋口 健, 勝又暢久, 岸本直子, 岩佐貴史, 藤垣元治: “アンテナ反射鏡の変形計測手法と装置設計,” 第 33 回宇宙構造・材料シンポジウム, B11, (2017).
- 6) 山崎健次, 樋口 健, 勝又暢久, 岸本直子, 岩佐貴史, 藤垣元治: “高精度アンテナシステム構築のための主鏡変形計測手法,” 第 60 回構造強度に関する講演会, 3B11, (2018).
- 7) 吉川隆章: “2 次元格子を用いた 3 次元変形計測における高精度化と高速化,” 和歌山大学大学院修士論文, (2015.2).
- 8) 樋口 健, 勝又暢久, 山崎健次, 岸本直子, 岩佐貴史, 藤垣元治: “物体表面の二次元格子を利用した相対変位の光学的計測法,” 第 61 回宇宙科学技術連合講演会, 3S16, (2017).