

先端技術センターにおける光学設計開発Ⅲ –2020 年度のトピックス–

○都築俊宏（国立天文台 先端技術センター）

概要 (Abstract)

国立天文台先端技術センターでは、光学エンジニアがプロジェクト横断的に関与することにより、紫外線から電波までさまざまな波長のプロジェクトでの光学設計開発に貢献してきた。本発表では今年度の活動の概要を報告するとともに、先端技術センターで新規導入した装置（高精度 Fizeau 干渉計、高精度ヘキサポッド、高速高精度オートコリメータ、オープンクリーンベンチ）の概要説明と使用例について述べる。

1. ATC の光学設計開発の概要

国立天文台先端技術センター（Advanced Technology Center、以下 ATC）の光学設計開発は、主に(1) 国立天文台の各プロジェクトの依頼、(2) 大学・研究機関からの共同開発研究申請 に応じる形で、光学設計・解析・測定・調達などの天文光学装置開発を実施してきた。その結果として、対象は地上観測装置から宇宙用観測装置まで、波長は紫外光から電波までの幅広い天文観測装置での開発実績を持つに至った。図 1 に ATC の光学設計開発が現在までに関与したプロジェクトと依頼の流れを示す。

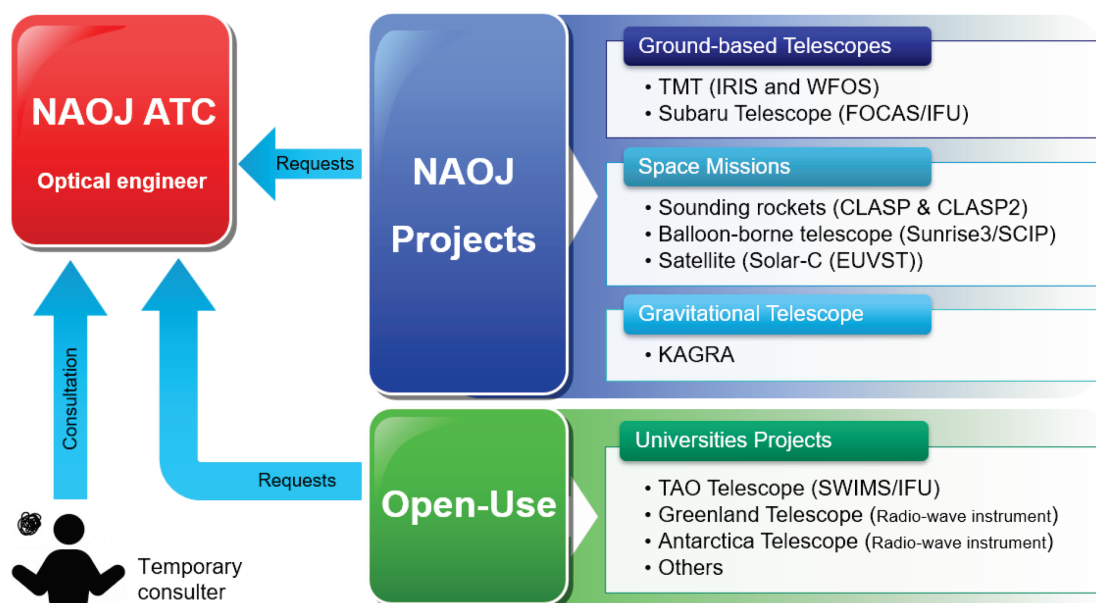


図 1 ATC の光学設計開発の開発実績

このようなプロジェクト横断的な開発はエンジニア、プロジェクトの双方に恩恵がある。エンジニア側の一番大きなメリットは、複数プロジェクトの開発に携わることで”生の”技術的知見を継続的に得られる点である。これにより、複数プロジェクトでの技術的知見を蓄積できるだけでなく、現在の開発に必要な知識・スキルを維持することができる。プロジェクト側の一番大きなメリットは、エンジニアが他のプロジェクトで得た知見を利用できる点である。それにより、開発リスク・開発コストの低減、

開発期間の短縮につながり、結果として開発の確実化、効率化につなげることができる。このような双方のメリットを最大化するため、ATC の光学設計開発は他のプロジェクトで役立つ可能性のある開発内容について技術シンポジウムの機会でも報告してきた。今年度は、台内競争資金にて導入した新規光学測定装置の活用促進につなげるため、新規導入装置の概要、想定使用例、および活用実績について報告する。

2. 新規導入した光学測定装置の紹介

2.1 導入の背景

ATC 内の共用光学測定装置の多くは、すばる望遠鏡や Solar-B の開発時代 (20 年ほど前) に納入されたものであり、現在および将来開発に必要な高精度な光学測定に対応できないケースがあった。その現状に対し、2019 年度より早野准教授 (ATC 副センター長、TMT/IRIS 日本側マネージャ) を代表とした台内競争的資金の申請による装置更新を検討してきた。新装置の仕様策定にあたっては、ATC が複数プロジェクトに関与していることを活かし、多種多様な国立天文台プロジェクト (地上 : TMT、すばる、KAGRA upgrade、スペース : SUNRISE、Solar-C など) において可能な限り有効に使用できるように、ヒアリングなどで要望を収集して決定した。2 年にわたる台内競争的資金への申請の結果、現在では 4 つの光学測定装置が導入され、一部は既に活用され成果が出ている。以下に簡単に紹介する。

2.2 高精度 Fizeau 干渉計 : AccuFiz E100S (4D Technology)

Fizeau 干渉計は面精度、透過波面誤差を測定できる光学装置である (外観は図 2 参照)。本機種は ATC がすでに所有している Fizeau 干渉計 (Zygo 社 GPI XP) と同等の口径 (4 inch)、波長 (632.8 nm) の干渉計であるが、解像度が 1200×1200 pixels (12-bit)、RMS 再現性 0.03 nm (1 σ)、RMS 測定精度 0.3 nm (1 σ) と基本性能は改善している。大きな特徴は以下の 5 つである。

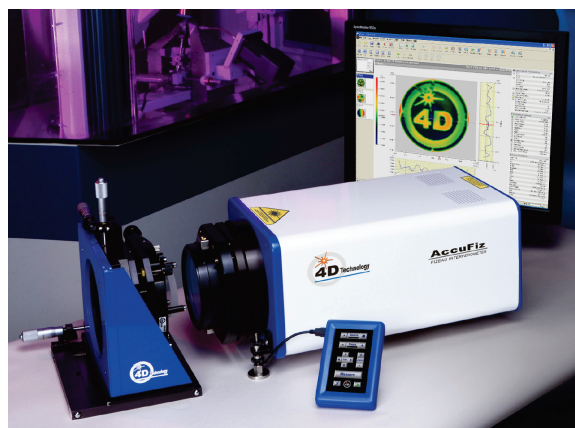


図 2 AccuFiz 外観 (4D Technology Web より)

- 1) 小型・軽量 : 干渉計を移動させる用途に適する。
縦置き測定も可能
- 2) Spatial Carrier 方式の測定が可能 : 1 ショットで測定できるため振動や空気の流れがある悪条件下でも測定可能
- 3) 偏光切り替えが可能 : 出射光を円偏光だけでなく互いに直交する直線偏光に変更可能
- 4) 参照平面の電動チップチルト & リモート制御 : 長距離測定時に便利
- 5) 低コヒーレンス長光源への切り替えが可能 : 平行平板測定、媒質屈折率分布の測定が可能

想定用途の一つは Solar-C (EUVST) などの望遠鏡主鏡の面精度測定である。望遠鏡の大口径主鏡の面精度を測定する場合、重量がある望遠鏡主鏡自体ではなく干渉計をアライメントした方がよい場合がある。

その際、軽量で可搬性のある本機種は有用といえる。また、望遠鏡主鏡は一般的に曲率をもつため、望遠鏡主鏡と干渉計の距離を大きくとる必要がある。その場合、同じ光学定盤に乗っていないことによる振動や、間隔が離れていることによる空気のゆらぎの影響が測定結果に影響を与える。そのような計測のでは、Spatial Carrier 方式による瞬時計測が有効になる。想定用途の 2 つ目は、重力波望遠鏡 KAGRA のサファイアミラーの透過波面の偏光測定である。KAGRA のミラーで使用されているサファイアは複屈折材料であるため、偏光依存性がある。KAGRA は直線偏光のレーザーを使用するため、このサファイアミラーの実際の透過波面を測定するためには、通常の間偏光での測定に加え、直線偏光での測定が必要となる。加えて、KAGRA ミラーは前面が緩やかな曲率、後面は若干のウェッジ角がついている平面であり、ほぼ平行平板に近い。そのため、平行平板測定ができる低コヒーレンス長光源による測定が必要となる。他にも様々な用途が考えられる。

2.3 高精度 6 軸ヘキサポッド : H850.H2 (PI)

PI 社の H850.H2 は高精度、広ダイナミックレンジ、高耐荷重の特徴を持つ 6 軸位置決め装置である（外観は図 3 参照）。基本性能を以下に示す。

- ・ 最小駆動量（シフト）0.3 μm (XY)、0.2 μm (Z)、
(チルト) 3 μrad (XY)、5 μrad (Z)、
- ・ 駆動レンジ（シフト）50 mm (XY)、25 mm (Z)、
(チルト) 15 度 (XY)、30 度 (Z)、
- ・ 耐荷重 : 250 kg



図 3 H850.H2 外観 (PI JAPAN Web より)

想定用途の一つは 2.2 で記載した Solar-C (EUVST) などの望遠鏡主鏡の面精度測定である。ヘキサポッドと干渉計を接続することで、干渉測定時のアライメントにおける干渉計の位置、姿勢の微調整に使用できる。

2.4 高速高精度オートコリメータ : TA 300-57 UltraSpec (TRIOPTICS)

オートコリメータは非接触で角度を測定する光学機器である（外観は図 4 参照）。TRIOPTICS 社の TA 300-57 は超高精度（分解能:0.005 秒角、絶対精度:0.05 秒角）、高速対応（130 Hz）が特徴である。本機種はすでに導入され、すでに SUNRISE の高速駆動スキャンミラー機構の動作検証で活用された。SUNRISE のスキャンミラーの開発では、不規則に短時間（~30 msec）のミラー角度変位現象が発生していたが、本機種による高速サンプリングにより当時難航していた不具合の原因解明につながった。



図 4 オートコリメータ外観

2.5 オープンクリーンベンチ：KOACH C900-F (興研)

興研株式会社のオープンクリーンベンチ KOACH は 2 つのプッシュフードを対向させて設置することで気流の流れを作り高い清浄度のクリーンゾーンを形成できる装置である。KOACH C900-F は ISO クラス 1 のクリーンゾーン化が可能である（外観は図 5 参照）。このクリーンベンチの大きな活用例は、クリーン環境でない既存測定器との組み合わせが可能であることである。既に活用された例としては、以下の 2 つがある。



図 5 オープンクリーンベンチ外観

- 1) 3 次元測定器 (LEGEX) との組み合わせによるクリーン環境下 3 次元測定：

SUNRISE プロジェクトでは、ATC が保有する高精度の既存 3 次元測定器 (LEGEX) とオープンクリーンベンチ KOACH を組み合わせることで、飛翔体の光学初期アライメントを実施した（図 6 参照）。通常、飛翔体観測装置はクリーンルーム内で組み立てられるため、3 次元測定装置もクリーンルーム内に持ち込む必要があるが、KOACH を活用することでクリーンルーム外の既存高精度測定器を使用することができた。

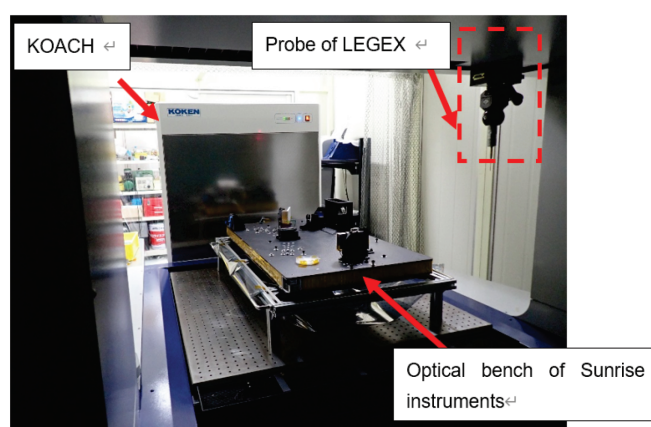


図 6 KOACH と 3 次元測定器 (LEGEX) の組み合わせによる飛翔体初期アライメント

- 2) Fizeau 干渉計 (Zygo) との組み合わせによるフライト品の波面測定：

SUNRISE3 プロジェクトでは、ATC が保有する Fizeau 干渉計 (Zygo) と組み合わせることにより、フライト品であるレンズユニットの透過波面の測定を実施した。

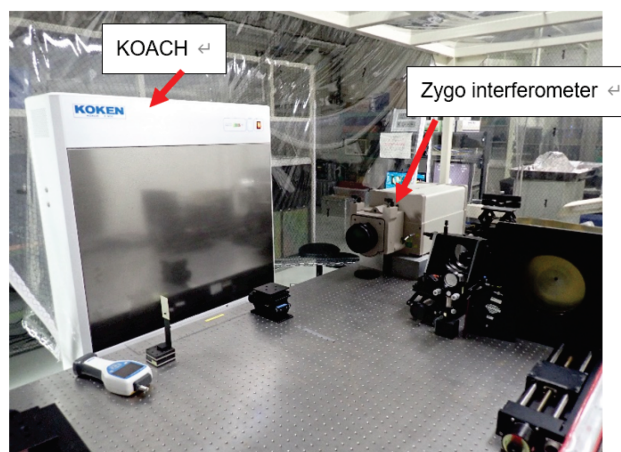


図 7 KOACH と Fizeau 干渉計 (Zygo) の組み合わせによるフライト品の波面測定

3. まとめ

ATC で新規導入した 4 つの光学測定装置 (Fizeau 干渉計、ヘキサポッド、オートコリメータ、オープンクリーンベンチ) について、概要と活用例を紹介した。これらの装置の利用は台内プロジェクトが優先であるが、外部の研究者も ATC の共同開発研究として承認されれば使用可能である。本集録に記載した実施例以外にも多くの使用例があると思われるので、使用したい場合は担当者にご相談ください。