

天文台での業務

理学研究科附属天文台(岡山天文台) 仲谷 善一

1. 天文台とは

天文台とは天文学に関する研究施設で、実際に天体の観測を行う場所である。

天体の観測には光を対象とした光学観測、電波を対象とした電波観測、ニュートリノなどの素粒子や重力波を検出するための特殊な観測も近年広がっている。

2. 京都大学理学研究科附属天文台の概要

附属天文台では光学観測を行っている。光学観測に用いられる観測装置は望遠鏡である。

望遠鏡にはおおきく 2 種類あり、レンズを使って光を集める望遠鏡を屈折望遠鏡。鏡を使って光を集める望遠鏡を反射望遠鏡とよんでいる。

附属天文台は、京都市山科区の花山(かざん)天文台、太陽観測を主に行う岐阜県飛騨高山の飛騨天文台。2019年2月から本格観測を始めた岡山天文台で構成されている。

3. 光学望遠鏡の種類

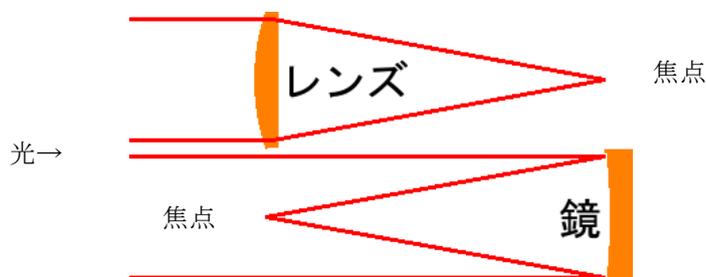
光学望遠鏡には大きく 2 種類に分けられる。

レンズを用いて光を集める望遠鏡を屈折望遠鏡、鏡を用いて光を集める望遠鏡を反射望遠鏡と呼んでいる。

屈折望遠鏡はレンズの中を光が通過する必要があり、レンズの元となるガラスを 1 枚あたり 2 面の研磨が必要となる。反射望遠鏡のばあいは、反射面の 1 面を研磨するだけで済むことから、反射望遠鏡は屈折望遠鏡よりコストを抑えることができる。

屈折望遠鏡は基本的に凸レンズを用いており、その中を光が通過する必要のあることから、レンズの外周で保持する必要がある。凸レンズの外周は薄く機械強度が低いことから、あまりにも大きなレンズの場合は自重で破損する恐れがあり、理論的には 1m 程度が限界とされている。

反射望遠鏡の場合は、鏡を支えることさえできれば大型化が可能であり、現在新たに建設される望遠鏡は反射望遠鏡が中心である。



上：レンズを用いた屈折望遠鏡、下：鏡を用いた反射望遠鏡

4. 花山天文台の概要

1929年10月に清水寺の裏に広がる東山に花山天文台が設立され、現在まで歴史が続いている。花山天文

台は2019年に90周年を迎えた。

設立から長年にわたり附属天文台の主力観測施設だったが、その後の京都市の人口増加に伴う環境悪化(光害や大気状態の悪化)により、1968年に新設された飛騨天文台に最前線の観測を譲ることになった。

観測設備としては、本館に45センチメートル屈折望遠鏡、別館に18センチメートル屈折望遠鏡、太陽館に70センチメートルシーロスタット太陽望遠鏡を備えている。

45センチメートル屈折望遠鏡は屈折望遠鏡としては日本で3番目に大きさを誇る。18センチメートル屈折望遠鏡は1910年に購入された望遠鏡であるが、一部を改造し現在も太陽観測望遠鏡として観測を行っている。

70センチメートルシーロスタット太陽望遠鏡は、太陽の光を七色に分けて観測を行う分光スペクトル観測の目的で導入され、現在も大学院生の研究指導や学部生に対する課題研究や課題実習を実施している。

本館45センチメートル屈折望遠鏡では年に数回天体観望会が行われており、その時に観望条件の良い天体(土星、木星、月など)を実際に参加者の眼で望遠鏡を覗いて頂いている。

京都市内の小学生が見学と実習も行われており、この時には見学の他、別館18センチメートル屈折望遠鏡を用いて太陽黒点の観察などを行っている。



花山天文台の全景

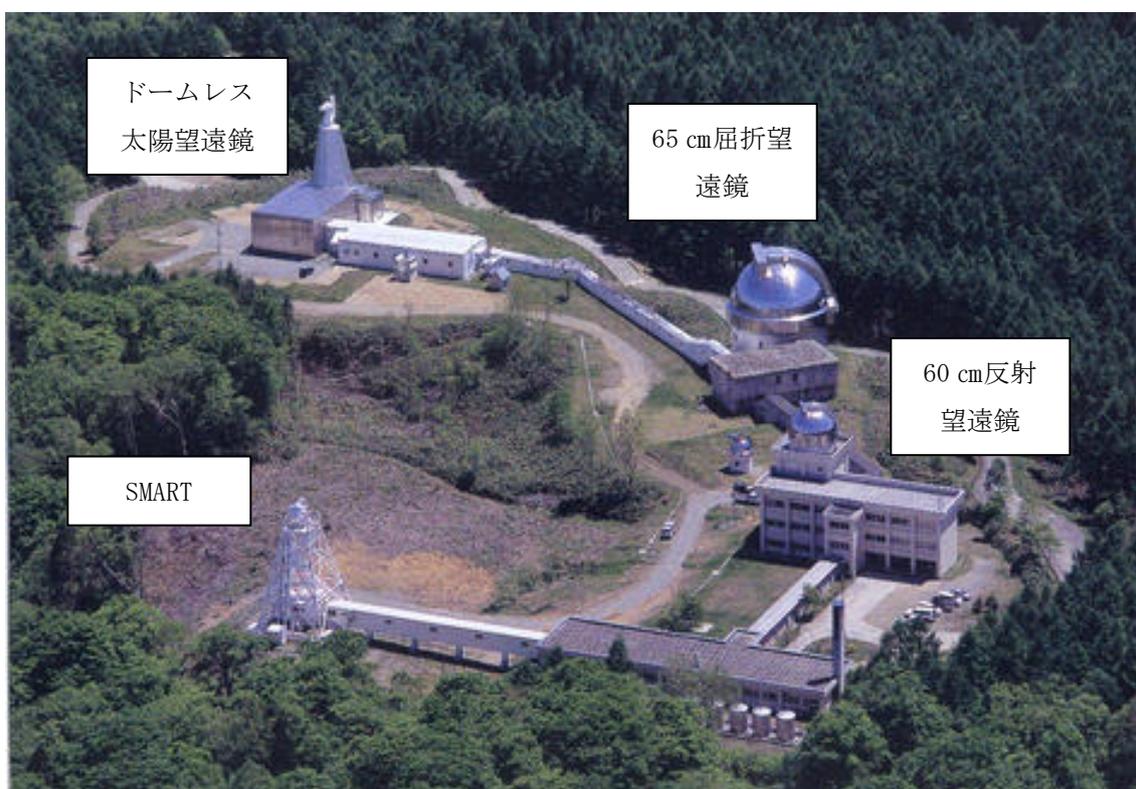
5. 飛騨天文台の概要

1968年に設立された飛騨天文台は、設立当初は惑星を観測対象とした天文台であった。この時の主力望遠鏡は65センチメートル屈折望遠鏡で、この大きさは屈折望遠鏡としては東アジアで最も大きい望遠鏡である。

その後、飛騨天文台は太陽物理学へ軸足を移し、1979年に60センチメートルドームレス太陽望遠鏡(DST)が竣工。2003年には20センチメートルと25センチメートルの屈折望遠鏡4連式の太陽磁場活動望遠鏡(SMART)が完成した。

DST は世界第一級の高い波長分解能を持つ真空垂直分光器と全波長域同時高分解観測が可能な水平分光器を備えている。これにより太陽表面の微細構造と様々な表面活動現象の物理状態を詳しく分析する研究が行われている。

SMART では水素が発する光だけを透過する特殊な狭帯域フィルターを用いて、太陽全体をモニターする望遠鏡(T1)。太陽の特に活動が激しい場所（太陽の一部）を、狭帯域フィルターを用いて太陽表面で発生する爆発現象（フレア）の検出を目的とした望遠鏡(T3)。鉄が発する光だけを透過する狭帯域フィルターなどを用いて太陽全体の三次元磁場を測定するためのデータを取得する望遠鏡(T2)。太陽の特に活動が激しい場所（太陽の一部）における三次元磁場を精密に測定するためのデータを取得する望遠鏡(T4)を用いて、太陽表面の高エネルギー現象を理解につなげることとフレアの内部構造とその時間八点を詳細に観測することでフレアのメカニズムの研究を行っている。



飛驒天文台の全景

6. 岡山天文台の概要

2018年8月に完成し、2019年2月から本格観測を始めた岡山天文台には3.8メートル反射望遠鏡を備えている。

東アジア地区には2.5メートル以上の光学望遠鏡が無く、この地域の夜空で突発的に発生した天体現象（例えば星の大爆発現象：超新星爆発）についてはこれまで詳しい観測データを得ることができなかったが、今後はこの地域における超新星爆発などの観測を中心的に担うことになる。

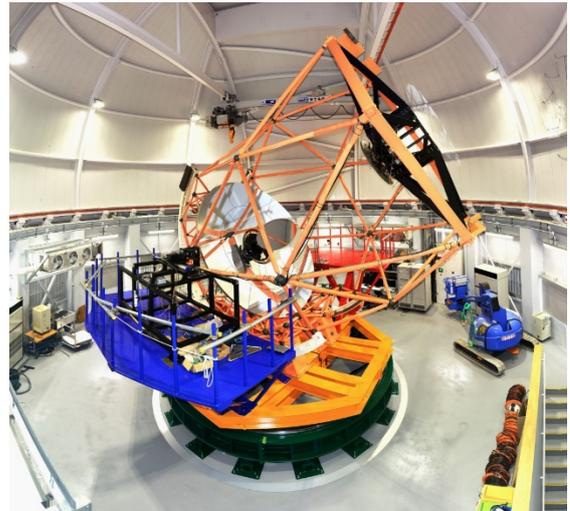
3.8メートル反射望遠鏡は、研削による鏡製作、分割鏡方式、超軽量架台という日本では初めての技術を独自に開発して製作された。

この新しい技術の3.8メートル反射望遠鏡（せいめい望遠鏡）で、超新星爆発の初期のようすやブラック

ホール、太陽系外の惑星観測など、新たな天文学の開拓が期待されている。



岡山天文台の全景



せいめい望遠鏡



3.8メートル主鏡（18枚の分割鏡）

7. 飛騨天文台での業務

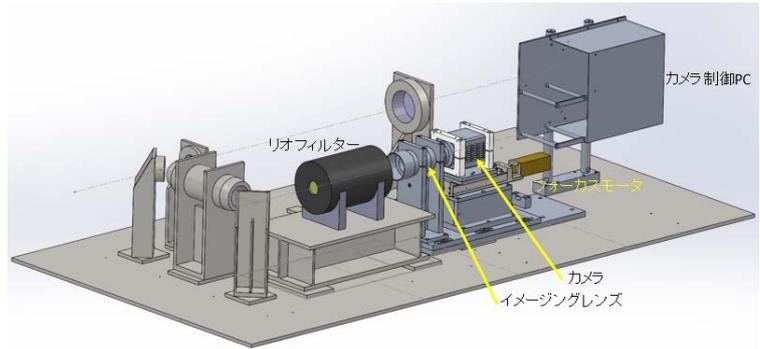
2007年4月に採用され飛騨天文台にて技術職員として勤務してきた。そこで行ってきた業務は望遠鏡の維持管理、修理、新しい装置の開発、設計、製作である。

8. 飛騨天文台で新たに製作した装置など

8-1. SMART T1 光学系

2003年に完成した当時は出来る限り広い視野で観測を行うことを目指していた。その当時の16bit出力でサイエンスに耐えられるカメラはメカニカルシャッター式であり、メカニカルシャッターの駆動時間が最低連続撮像時間になることから高速での連続撮像を行うことができなかった。

そこで、カメラを置き換えて高時間分解能観測が可能となるよう読み出し速度が早いカメラを選定し、そのカメラに合わせた光学系の再設計から行った。カメラの撮像素子のサイズが大幅に小さくなったことから、イメージングレンズの焦点距離などを変更する必要があり、光学設計や光学系の選定、機械部分の設計を行った。



SMART T1 の光学系

8-2. SMART T2 偏光フィルター回転装置

三次元磁場データを得ようとする場合、磁力線の方法を知るために偏光フィルターを回転させながら撮像を行うという方法が一般的である。このとき、望遠鏡そのものに変更成分を持っていると、その得られたデータは実際の物とは異なることになる。そこで、あらかじめ望遠鏡が持つ偏光成分（機械偏光）を測定するために、望遠鏡入口に偏光フィルターを回転させることができる装置を設計、製作を行った。回転制御にはサーボモーターと17bitエンコーダを用いて、バックラッシュはソフト上で補正し回転位置精度は要求が0.1度に対して14秒角と十分に仕様を満たしている。



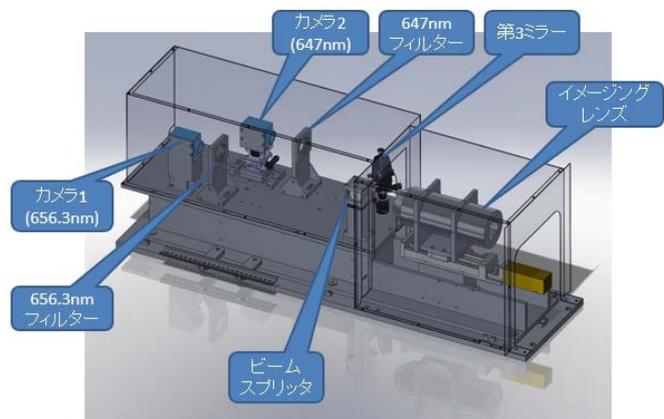
偏光フィルター回転装置

8-3. SMART T3 光学系

SMART が完成直後の T3 での観測対象は、水素が出す光（H-alpha 線）だけを取り出す狭帯域フィルターを用いて太陽の活動領域のモニター観測だった。

使用していたカメラはメカニカルシャッター式であったため時間分解能を上げることが難しく、また、狭帯域フィルターの劣化も見受けられたことから、高時間分解能での H-alpha 線での撮像観測と連続光（白色光）による同時観測が行えるよう光学系の作り替えを行った。

これにより世界でも観測例の少ない白色光フレアの観測が可能となり、この SMART T3 でも白色光フレアを複数検出している。

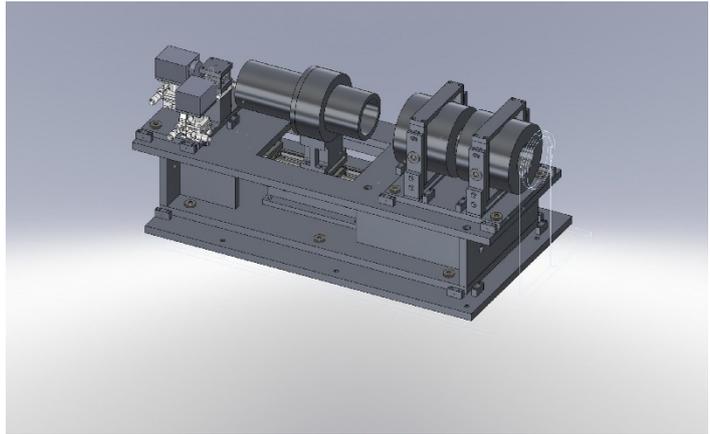


SMART T3 の光学系

8-4. SMART T4 光学系

T4 では太陽の活動領域における三次元地場測定用のデータを取得しているが、応答速度の速い狭帯域フィルターと同期の取れた 2 台のカメラを用いて偏光ビームスプリッターにより 2 偏光同時に撮像することにより高時間分解能での観測を行えるよう、既存光学系から設計を見直し新たに製作した。

この T4 に関しても T2 同様機械偏光のキャリブレーションが必要となることから、T4 対物レンズ前に偏光フィルター回転装置を設置している。

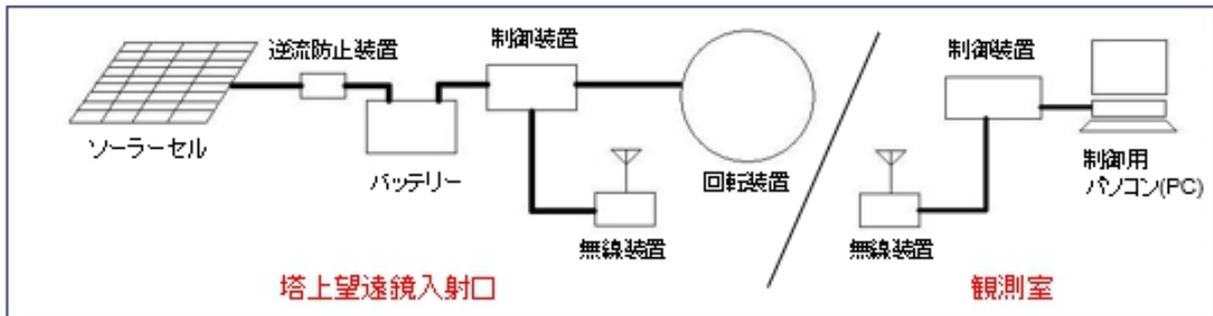


SMART T4 の光学系

8-5. DST 赤外偏光フィルター回転装置

DST において、可視から赤外までの広い範囲での機械偏光を測定するために DST の入射口の前に設置するフィルター回転装置を製作した。

DST の入射口は地上 23 メートルで、近辺に電源や配線口が無いことから、電源は DC12V のドライバッテリーを用いて、補助充電用に太陽電池パネルを設置。制御系の通信には電波を用いて行うよう設計、製作を行った。



制御系統図

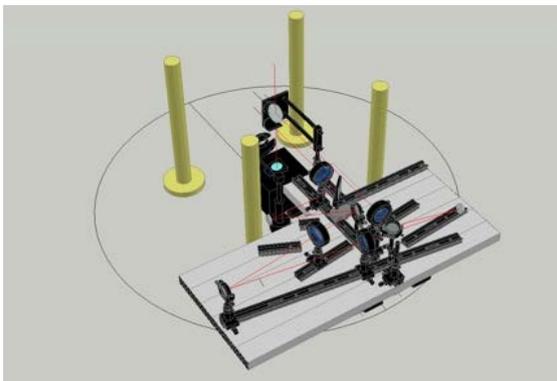


DST の口径は 60 センチメートルであるが、赤外偏光フィルターはとても高価であるということで、直径 50 ミリメートルのフィルターを 8 枚設置するかたちで装置を製作した。この際、偏光フィルターの偏光方向を 0.1 度未満の角度に揃えて組み込んでいる。

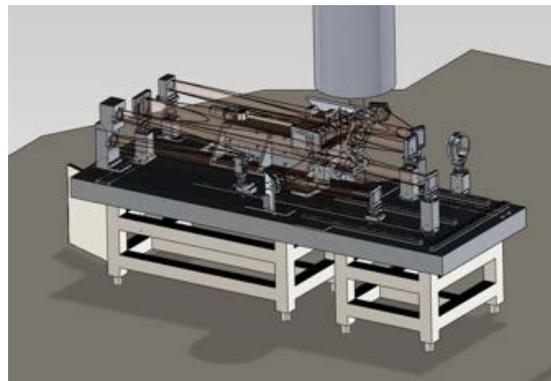
8-6. DST 補償光学装置

地球上で天体観測を行う場合、地球には大気があるため、その大気の揺らぎ越しに観測を行う必要がある。この大気揺らぎによって、夜空の星の場合は瞬きや位置揺らぎとして観測することができる。太陽観測の場合は太陽により地面が温められ、夏の陽炎に代表されるような一段と大きな大気揺らぎが発生する。この大気揺らぎをキャンセルする装置を補償光学系 (Adaptive Optics : AO) と呼んでいる。

DST において、より高解像度のデータを得るために AO の開発、プロトモデルの製作、実用に耐えられる AO の開発、設計、製作を行った。



プロトモデルの AO



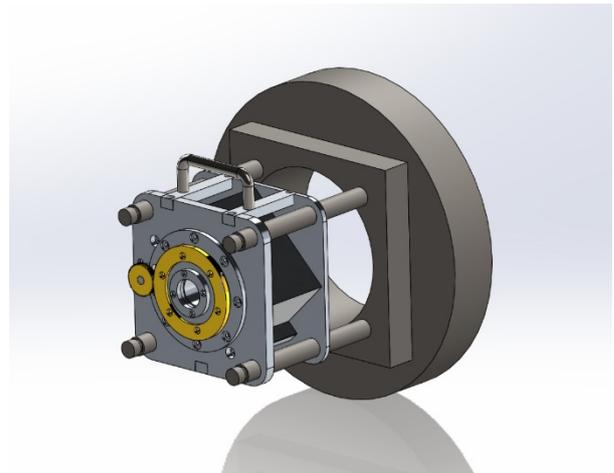
新常設 AO

8-7. DST 偏光ビームスプリッター

太陽表面で発生する爆発現象(フレア)の根本的な発生原因やいつ発生するかなど解明されていない現象が多数ある。太陽表面の物理状態の把握により様々な謎を解くカギが見つかるかもしれないということで、様々な手法での観測が要求されている。そこで DST においても偏光観測が行われている。

DST 水平分光器において、偏光角度が異なる 2 偏光同時分光観測を行えるよう波長板回転装置を備えた装置を製作した。

この偏光ビームスプリッターと高速カメラで太陽の活動領域を観測することにより、高時間分解能、高空間分解能での太陽磁場の磁力線の観測が可能となっている。



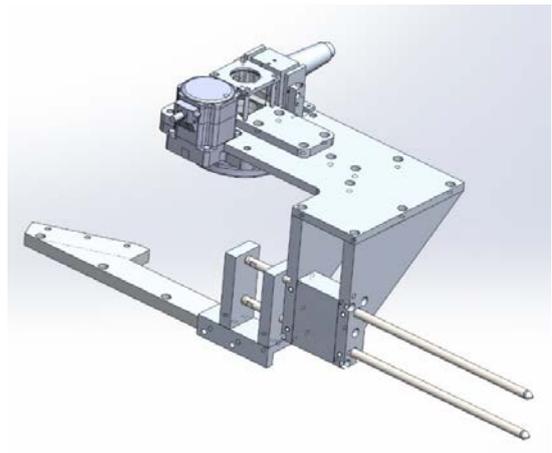
偏光ビームスプリッターユニット

8-8. DST 水平分光器機械偏光測定装置

DST の架台は経緯台に分類されることから、太陽の追尾中に像回転が発生する。そのため、DST 水平分光器ではフィールドローテータと呼ばれる平面鏡を 3 枚用いて像回転をキャンセルする装置が備えられている。また、水平分光器へ光路を切り替えるためにここにも平面鏡が挿入される。これらの機械偏光を正確に測定

するために、光路を切り替える平面鏡の直前に設置可能な偏光フィルター回転装置を製作した。

特にフィールドローテータは3枚の鏡が時間と共に回転することから、機械偏光成分が変化する可能性があり、正確なアライメントのためには不可欠な装置である。



偏光フィルター回転装置ユニット

8-9. 65 cm屈折望遠鏡の改修



旧コンソール

1972年に完成した65cm屈折望遠鏡はその当時のまま使用されてきた。制御系はDTL(Diode-transistor logic)であり、稼働する度にどこかが故障するということが続き、その都度時間をかけて修理を行いながら運用を行ってきた。しかし使用されているICなども入手が難しくなり、制御系の総入れ替えを行った。

モータや配線などをすべて取替えてPCから操作することにより、目標天体を自動で導入できる形とした。



新制御装置

9. 修理

観測などにおいて望遠鏡を使用していると故障することもある。その故障についてもできるだけ早く修理を行っている。特に花山天文台別館に収められている18センチメートル屈折望遠鏡は1910年に購入された望遠鏡で、金属疲労や軸受けの摩耗など部品交換が必要な場合もあり、現物の採寸を行い新たな部品を金属加工などによって製作するというも行っている。

10. 岡山天文台での業務

2018年7月から岡山天文台へ異動になり、3.8m望遠鏡の組み立てや調整を行いながら、観測装置を搭載してそれぞれの観測装置へ光路の切り替え、観測天体のトラッキングなどを行うための装置ローテータの設計を進めている。

3.8m望遠鏡(後に公募により「せいめい望遠鏡」と命名された)の組立、調整などにより2019年2月から

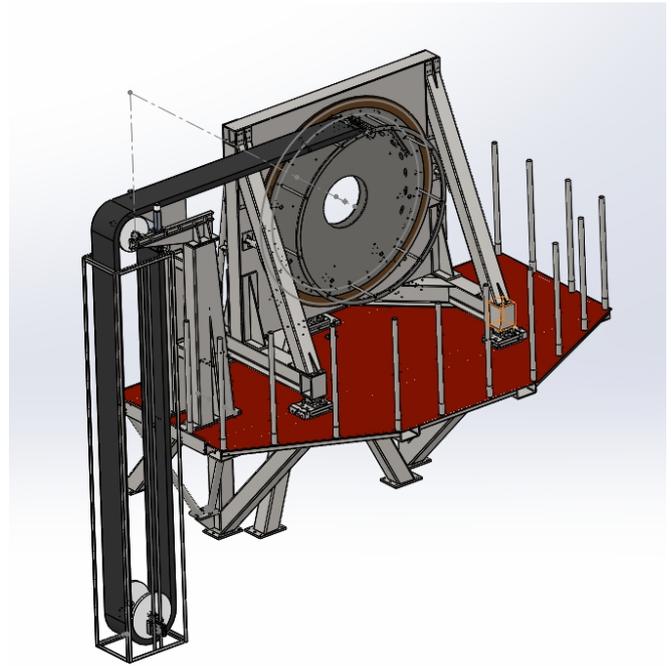
本格観測が始まっている。

その後も、細かいバグ取りや調整などを行いながら運用を続けている。

現在メインで行っている業務は装置ローテータの設計、組立、調整であるが、この装置ローテータの大きさは約 2m 立方と大型の装置であることと、複数台の観測装置（光学機器）を搭載し駆動することから高い精度が要求されることから、検討を重ねながら設計を行った。

装置ローテータの構造物の初期形状を決める部分については重力荷重による変形などが考えられることから、重要部分の重力変形が最も少なく、軽量となるようトポロジー最適化によって初期形状を求めた。

その他細部については、設計と静解析、動解析、固有値解析などを繰り返しながら精度とコストのバランスがよい構造になるように進めた。



装置ローテータ

1.1. まとめ

附属天文台では観測装置の光学設計、機械設計、電気設計などをメインに修理やメンテナンスを行っている。飛騨天文台においては観測対象が太陽ということで光量も多く、必要な光量となるような光学設計を行い、その後構造解析や固有値解析を行いながら基本形状などを決定している。それに加え、太陽望遠鏡ということで光を集めると同じ割合で熱も集めることになることから熱解析も必要である。

岡山天文台での観測対象は夜空の星ということで光量が少なく光を無駄にしない光学設計が必要であり、飛騨天文台とは正反対の光学設計思想で行う必要がある部分があり、業務としてよい経験を積んでいる。また現在製作を進めている装置ローテータについては、大きさが約 2 メートル立方の比較的大型の装置であるが各部の要求精度が P-V で 100 マイクロメートルということで、レーザー三次元測定機を用いて測定と解析を行い、その結果をもとに各部にシムを挿入するなどして P-V で 50 マイクロメートル以下の調整を行っている。

設計時点での解析についてもその結果が正しいのかという判断も必要であることから、材料力学、振動工学や熱力学などの知識を深めることが求められる。小さな部品に関しては台内で加工（旋盤やフライス加工その他）などを行うことから加工方法や先端工具の選定などの知識も必要である。

制御に関しては、スタンドアロンで操作させるものやネットワーク経由で遠隔制御が必要なものがあることから、制御機器の選定などを行う必要がある。

常に最新の研究を行う環境を整えるため、世の中になく新たな観測装置を作るためには、電気、電子、機械、光学など広い知識を求められることから常に広い視野を持って学び続ける必要がある。