

# すばる望遠鏡のメンテナンス

早野 裕

〈国立天文台ハワイ観測所 650 North Aohoku Place Hilo HI 96720 USA〉

e-mail: y.hayano@nao.ac.jp



すばる望遠鏡は運用開始から25年が経過しました。すばる望遠鏡が毎晩観測して天文学の成果をあげ続けるためには、望遠鏡の機能や性能を維持し、運用し続ける必要があります。この記事では、すばる望遠鏡の機能や性能を維持するためのメンテナンスについて、まずメンテナンスする対象となる望遠鏡の構成要素を概説します。次に、運用開始期に示されたメンテナンスの考え方と実施状況、そして、現在取り組んでいる望遠鏡更新計画の現状について簡単に紹介します。最後にすばる望遠鏡のメンテナンスを今後どうしていくのか、私なりの考えを述べたいと思います。

## はじめに

すばる望遠鏡25周年の特集として、望遠鏡メンテナンスというテーマをいただきました。私は、11年間、ハワイ観測所で主にレーザーガイド星補償光学の開発をしてきました。2015年にTMT（30 m望遠鏡）の第1期観測装置である近赤外線撮像分光装置（IRIS）の開発に加わるため、ハワイを離れました。そして、2022年からハワイ観測所の望遠鏡技術担当責任者として再びハワイに赴任をいたしました。

今の役割になって、これまでは装置開発の立場ですばる望遠鏡を見ていたことに気がつきました。装置開発者や共同利用観測者は、望遠鏡が常に正常な状態で、所定の性能通りに機能することを前提としています。望遠鏡をそのような状態に維持し、毎晩観測して天文学の成果をあげつづけるためには、手入れ、つまりメンテナンスがとても大事になります。

すばる望遠鏡は米国ハワイ島の標高約4000 mのマウナケア山頂域に設置されています。0.6気圧と空気が薄く、強風や悪天候にも左右される厳

しい環境です。また、ハワイ島は大陸から遠く離れた島嶼部なので、物品等の調達に時間がかかることが多々あります。それから、米国やハワイ州のルールに沿う必要があります。このように、すばる望遠鏡のメンテナンスを実施する際に、これらの特殊な事情に対応することが重要になります。

この記事では、すばる望遠鏡技術担当責任者として3年ほどの間に把握できた範囲にはなりますが、すばる望遠鏡のメンテナンスの25年を簡単に振り返り、現在進行中のメンテナンス、改修、更新について紹介します。最後にすばる望遠鏡メンテナンスの今後はどうなるのか、感じていることを述べさせていただきます。

## メンテナンスの対象

まず、メンテナンスの対象となるすばる望遠鏡について、どのような構成になっているか、簡単に説明いたします。

すばる望遠鏡は4つの主要な部分から構成されています。鏡筒・架台、ドーム上部構造、制御系、付帯設備です。

### 鏡筒・架台

鏡筒・架台は、筒頂部構造、鏡筒部構造、主鏡部構造、架台部構造、ナスミス部構造から構成されます。図1のすばる望遠鏡のイラストにそれぞれの部位が示されています。

筒頂部構造は、外側のリング状の筒頂外環と中心部にある筒頂内環、それらをつなぐ筒頂スパイダーが主要な機械構造になっています。筒頂内環の上側には、超広視野撮像カメラ（HSC）と広視野多天体分光装置（PFS）という主焦点観測装置のための主焦点ユニットとレーザーガイド星を作るためのレーザー送信望遠鏡が取り付けられます。下側には、副鏡ユニットが取り付けられます。

鏡筒部構造は、四角形のセンターセクションと、それを筒頂部構造および主鏡部構造とつなぐ梁（トラス）から構成されています。鏡筒部構造の中央部には、ナスミス焦点に天体の光を導くための第3鏡ユニットとそれを格納する第3鏡内環があり、その内環は第3鏡スパイダーで支えられています。

主鏡部構造は、主鏡の形状を常に維持するための能動支持機構とそれらを格納している主鏡セ

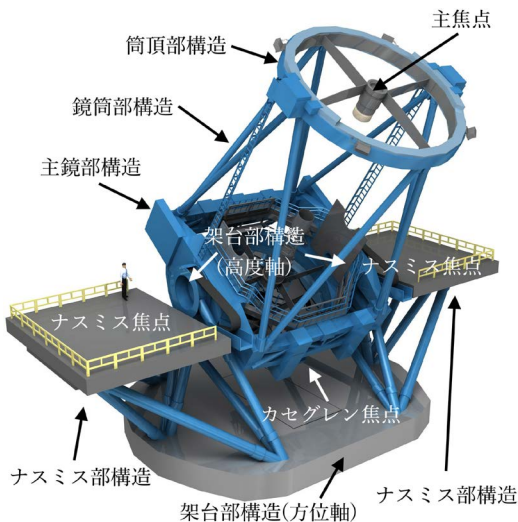


図1 すばる望遠鏡の鏡筒・架台

ル、そして、カセグレン焦点ユニットから構成されます。カセグレン焦点ユニットには、これまで可視光から中間赤外線までの波長に対応する様々な観測装置が取り付けられてきました。

架台部構造は、望遠鏡を天体の方向に向けて追尾するための2つの駆動軸（仰角を決める高度軸と、水平方位を決める方位軸）からなります。

ナスミス部構造は、望遠鏡の両側にあるナスミス台から構成されています。

すばる望遠鏡には4ヵ所の焦点があります。主鏡で反射された天体の光が最初に結像する主焦点、主鏡と副鏡で反射された天体の光が結像するカセグレン焦点、主鏡と副鏡と第3鏡で反射された天体の光が結像するナスミス焦点があります。ナスミス焦点は望遠鏡の左右2箇所あります。それぞれの焦点部には、観測を補助する装置があります。視野回転補正装置、大気分散補正装置、鏡面検査装置、天体追尾視野確認装置です。

### ドーム上部構造

ドーム上部構造は、望遠鏡のドームそのものとなる基本構造、ドーム全体の回転駆動機構、ドームの開閉やドーム内の空気の流れを制御する機構、ドーム内の熱を制御する機構、保守運用のための機構が主要なものとなります。図2にドーム

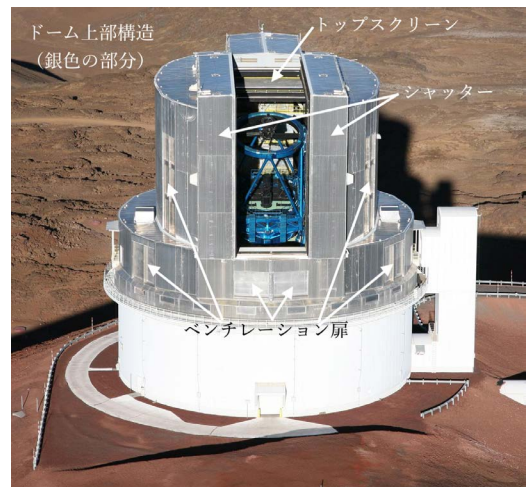


図2 すばる望遠鏡のドーム外観

の外観の写真を示しました。白いドームの下部よりも上の部分がドーム上部構造になります。

ドームの基本構造は外界から雨や霧や雪の侵入を防ぎ、ドーム内壁に断熱材を張り巡らして温度変化から望遠鏡や観測装置などを守る役割をします。

ドーム回転機構は、望遠鏡の方位角に同期させてドームの向きを変化させます。望遠鏡鏡筒・架台構造とドーム構造は建築物として独立になっています。互いに衝突しないように同期させてドームの回転を制御して駆動する必要があります。

観測開始時にはドームのシャッターを開け、観測終了時に閉めます。また、夜間の外気温にドーム内部を馴染ませるために、必要に応じてドームの側面にあるベンチレーション扉から風を取り入れます。

積極的にドーム内部の熱を制御して、素早く夜間の外気温に馴染ませるために、空調設備によってドーム内部の温度を夜間温度予測に設定しています。特に、温度が変化しにくい主鏡は、専用の空調設備を用いています。

トップスクリーンは望遠鏡を保護する移動式天板です。普段は望遠鏡の真上を覆って、落下物から望遠鏡を守ります。観測時にはトップスクリーンを移動させて、天体の光が望遠鏡に入るようにします。

保守運用のための機構には、筒頂部（トップユニット）に主焦点ユニットや副鏡を取り付けるた

めのトップユニット交換装置、カセグレン焦点ユニットに観測装置を着脱するためのカセグレン装置交換台車、主鏡を再蒸着するとき、主鏡セルを運ぶ運搬台車、主鏡セルを吊るための治具、クレーン類が含まれます。図3に副鏡の取り付け作業中の写真を示しました。上に見える四角い梁のような構造がブリッジクレーンです。望遠鏡の斜めのトラスの間の向こうに見えるL字のような構造物がトップユニット交換装置で、望遠鏡のトラスの間に副鏡を載せているユニットローダ部分が見えます。

### 制御系

制御系は、望遠鏡架台駆動制御装置、望遠鏡静圧装置、主鏡能動支持機構制御装置、副鏡制御装置、各焦点にある視野回転制御装置、大気分散補正制御装置、鏡面検査装置、天体追尾視野確認装置、それから、ドーム駆動制御装置、観測装置制御装置などがあります。これらは、制御用計算機システムによって統括的な制御が行われています。

望遠鏡制御統括計算機（Telescope Supervise Computer, TSC）が中心となり、望遠鏡制御ワークステーション群（Telescope Work Stations, TWS）からオペレータが制御を行います。望遠鏡制御統括計算機TSCには、役割の異なる中間制御計算機（ミッドレベルプロセッサ, Mid-Level Processor, MLP）が3つ接続されていて、それぞれ望遠鏡駆動制御用計算機（MLP1）、主鏡能動支持機構制御用計算機（MLP2）、空調保守制御用計算機（MLP3）という機能を主に担当しています。

望遠鏡駆動制御用計算機MLP1には架台駆動制御装置などのそれぞれの装置のローカル制御ユニットが繋がっていて、そこから指令値をモータドライバに伝えてモータを駆動しています。図4に、一例として第3鏡ユニットの着脱制御系のブロック図を示します。望遠鏡制御統括計算機TSCから指令を受けたミッドレベルプロセッサMLP3が第3鏡ユニット着脱制御ユニットに指令

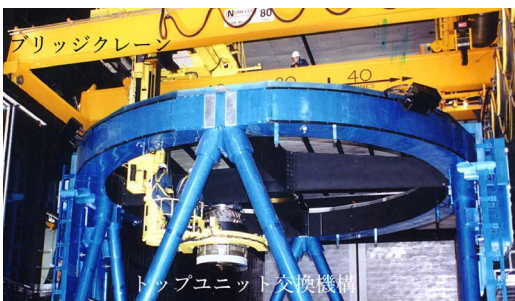


図3 トップユニット交換装置による副鏡交換

### 第3鏡ユニット着脱制御系

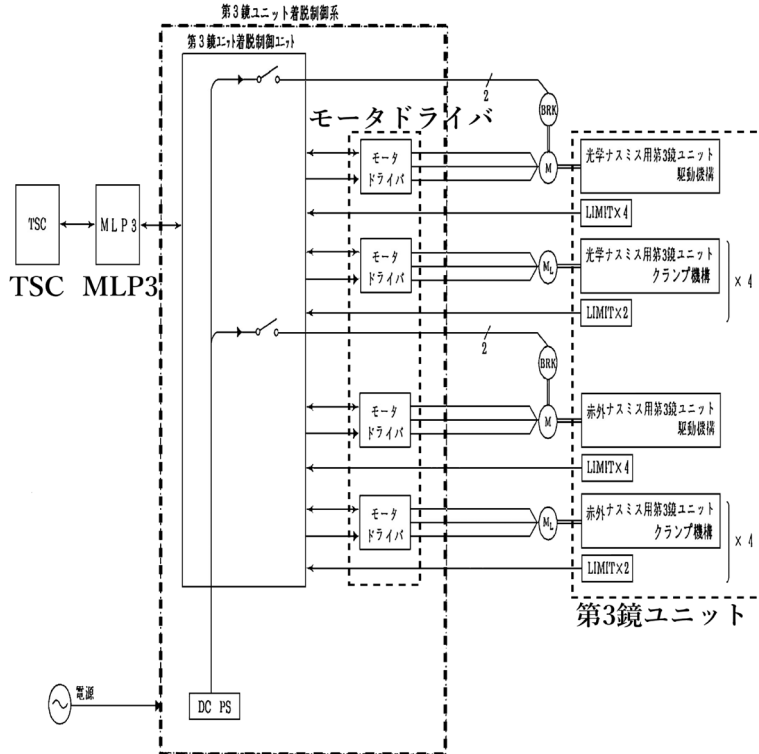


図4 第3鏡ユニット着脱制御系ブロック図

をし、着脱の駆動機構のモータを動かす構成になっています。

#### 付帯設備

付帯設備には、真空蒸着設備、電源設備、通信設備、冷媒循環設備（チラー）などがあります。

真空蒸着設備はドーム下部の1階部分に設置されていて、数年に1度の主鏡再蒸着のときに使われます。主鏡が格納できる大型真空蒸着装置、主鏡に蒸着されたアルミニウムをはがす大型鏡面洗浄装置、主鏡セルから主鏡だけを取り外すための主鏡ハンドリング装置、望遠鏡から取り外された主鏡セルを載せる台車があります。

日本の電力事情と異なり、マウナケア山頂では、悪天候などにより、1年に50回以上の頻度で瞬時あるいは短時間の停電が発生します。そのため、電源設備は商用電源に加えて、無停電電源と

発電機を備えています。瞬時あるいは短時間の停電が起きても、電力の供給を維持します。停電が続くと発電機が始動して、容量に限りのある無停電電源装置から切り替わります。発電機で電力が維持できている間に停電が長期化することを想定した対処をすることになります。

すばる望遠鏡建設当初は、今から比べると圧倒的にネットワークの通信速度が限られていました。制御系の通信はシリアルかパラレルの通信経路を用いていました。ネットワークが高速化し、制御系、観測データ転送、望遠鏡と観測装置の状態を監視するために使われてきています。

冷媒循環設備は望遠鏡や観測装置で発生した熱を回収するシステムです。冷媒循環には4系統あり、望遠鏡、主鏡、観測装置、方位高度軸の静圧軸受への作動油の冷却に使われています。

## すばる望遠鏡のメンテナンス

### メンテナンスの必要性と内容

すばる望遠鏡で每晚観測をし、クオリティーの高い観測データを得て、天文学の科学成果を生み出し続けるためには、前章で説明した望遠鏡本体の鏡筒・架台をはじめとするすべての要素が整合性をたもつことで、総合的な性能・機能を満たすことができるように、適切なメンテナンスを実施することが重要になります。これが基盤となって、観測装置の性能を最大限に引き出すことができます。また、新しい観測装置を考案するときにも、この基盤を少なくとも維持できていることが前提となります。

観測運用を円滑に行うためには、故障してから対処することよりも、故障を未然に防ぐ予防処置として、適切な保守点検と部品交換が大事となります。すばる望遠鏡では、総括編取扱説明書(1999年11月作成)に、望遠鏡を構成する鏡筒・架台、ドーム上部構造、制御系、付帯設備などに対して、保守作業項目表と交換部品のリストが示されています。保守作業項目は400余あります。保守作業項目の一例を図5、図6に示しました。この図を見ていただくと、ほとんどが1年ごとに「当社現地拠点」、つまり、すばる望遠鏡の製造会

社が実施することになっています(図5)。

機械構造部の保守作業は、主に外観検査、清掃、給油、ボルト締結確認です。

一方で、制御系の保守作業項目は、表示パネル、エレクトロニクスユニットやカードの点検、コネクタの接続状況確認、電源電圧の測定、駆動範囲・駆動電流の測定、速度や加速度を含めた動作確認などがあり、機械系部品とはかなり違う内容になっています(図6)。

一方で、日常または短期間で実施する点検項目には、異常音及び異臭の有無、顕著な埃の有無、油漏れ、水漏れ、照明設備不良、扉及びカバーの開閉状態、駆動周辺の障害物の有無、ケーブル外観の異常の有無などがあり、これらは国立天文台の望遠鏡技術者も担当します。

### メンテナンスの実施状況

最初にメンテナンスを実施したのはファーストライトがあった1999年でした。1999年の5月に保守計画書が提出され、翌月の6月から年度末までの10ヵ月間をかけて、約250項目が実施されました。2000年度から2022年度までは毎年約300項目が実施されました。2023年度は200項目に減少、2005年度は100項目以下になりました。

項目数を減らした意図がわかる文書が見つけれられていないので、推測になりますが、立ち上げ期

表 17.1-1 大型光学赤外線望遠鏡 保守作業項目表(鏡筒・架台) (5/7)

ブランク：作業なし N：天文台または専門業者 M：当社及び当社現地拠点 O：当社現地拠点 ◎：保守会社(専門業者)

構成品名	保守作業項目	日常又は 適宜	1ヶ月	3~6ヶ月	6ヶ月	1年	備考
1.4 架台部構造							
1.4.1 高度軸部							
(1) 高度軸	a. 外観検査					○	抜き取り検査
(2) 高度軸受	a. フィルターの清掃			○(3ヶ月)			
	b. 油圧発生装置の重点点検					◎	専門業者に委託
(3) ケーブル巻取機構	a. 駆動部給油					○	
	b. ケーブル巻取り状況確認					○	
1.4.2 高度軸駆動部							
(1) 高度軸駆動機構	a. 外観検査					○	抜き取り検査
	b. 清掃					○	永久磁石に付いた金属粉の除去
(2) リミット機構						○	
(3) 絶対角度検出機構	a. 清掃、外観検査					○	テープ面の清掃、傷のチェック
(4) 相対角度検出機構	a. 清掃、外観検査					○	同上
(5) トルク検出機構	a. 外観検査・給油・ギア清掃					○	抜き取り検査
(6) 滑り止め機構	a. 外観検査					○	抜き取り検査
	b. 駆動部給油					○	

図5 保守作業項目表の一例(架台部構造)

表 17.1-2 大型光学赤外線望遠鏡 保守作業項目表 (制御系) (1/8)

ブランク：作業なし N：天文台または専門業者 M：当社及び当社現地拠点 O：当社現地拠点 ◎：保守会社(専門業者)

構成品名	保守作業項目	日常又は 適宜	1ヶ月	3~6ヶ月	6ヶ月	1年	備考
2. 制御系							
2.1 望遠鏡制御系							
2.1.1 望遠鏡架台駆動制御							
(1) 架台駆動制御パネル	a パネル/ユニット/ポート類の点検					○	
	b コネクター等の接続状況確認					○	
	c 電源電圧の測定					○	
	d 機能確認	NM				○	
(2) 方位軸駆動制御部	a 最大速度、加速度の測定					○	
	b ステップ応答					○	
	c 駆動範囲の測定					○	
	d 駆動電流の測定					○	
	e 絶対角度検出器特性測定					○	

図6 保守作業項目の一例 (架台の制御系)

は、初期不良が多い期間のため、多くの保守項目を実施して、故障の早期発見・対応をし、次第に安定運用期になってくると、必要な保守項目の絞り込みができ、その分、望遠鏡機能の更新に力を入れたのではないかと思います。事実、2006年度以降、10年ほど必要最小限の保守が続きました。その間、望遠鏡計算機やソフトウェアの更新、制御機器の更新、観測機能の強化が進められました。超広視野主焦点カメラを搭載するための新しい主焦点ユニット(通称POpt2)を製造したのもこの時期です。

**安定運用期のメンテナンス**

安定に運用している期間でも、機器等は故障します。特に可動部のモータ類、それを駆動するドライバ、電源系統です。故障には、まず交換部品で対応することが多く、その後、取り出した故障品を調査し原因を探ります。原因によっては修理をして、再び交換部品として復活させます。

すばる望遠鏡建設時に設置された機器は2000年より前に製造されています。2015年には15年以上経過していることとなります。そのため、交換部品が徐々に製造中止になります。そうすると、同じ機能をもった新しい交換部品を探す、あるいは同じ機能をもった交換部品を新たに作るしかなくなります。これには、時間と労力と費用がより多くかかることとなります。交換部品が残り少な

くなると、新しい代替の交換部品を早めに準備する必要があります。これは保守作業とは違って開発を含む新しい仕事です。

望遠鏡や観測装置を支える電源、冷却水循環装置、空調装置も、故障品の交換によってメンテナンスをしてきていますが、15年以上経過すると交換部品は製造中止になり、システム自体もサポートされなくなります。新規に支援設備を開発するとなると、仕様確認、設計、製造、試験を経てから、ようやく設置となります。従来のシステムが稼働しているうちに、新システムの設計・製造・試験を完了させ、準備を万全にして一気に新旧のシステムを切り替えることで、観測停止期間を短くすることは極めて重要なことです。

**機器故障と観測への影響**

望遠鏡を構成する機器の状態は、望遠鏡制御統括計算機(TSC)に集められて、正常であるかどうかを判断しています。機器に不具合があるとTSCがアラームを発し、望遠鏡制御ワークステーション(TWS)に表示します。不具合の詳細はTSCに保存された履歴データ、あるいはTSCの下の中間制御計算機MLPやローカル制御装置の表示や保存されているデータを元に、状況をよく診断して、故障箇所と故障理由を絞り込んでいきます。運用開始した1999年から、このようなトラブルシュートをすばる望遠鏡の製造会社の現地

拠点の技術者とハワイ観測所の望遠鏡技術者が協力して進めてきました。現在、現地拠点はなくなり、日本拠点の製造会社とハワイ観測所とでオンラインで連絡を取り合っており、トラブルシューティングに対応しています。

故障に対するトラブルシューティングの診断方法と解決方法は運用開始時からその履歴が蓄積されて、マニュアルとして共有されています。これらを参照することで、過去に発生した同じ不具合は解決できるようになっています。

復旧の方法は様々です。まず、機器の不具合を取り除いて目視等で安全確認をしたのちに、特定された機器のアラームをリセットする、いったん電源を落として再投入する、故障機器を交換部品に置き換える、センサー等のクリーニングをする、破損箇所を修復する、など、その場に応じて使い分けます。夜間にトラブルが発生したら、山頂にいる望遠鏡オペレータがこのマニュアルをみて、適切な方法を見つけて対応します。新たな故障や不具合については、夜間電話サポートに連絡をし、状況を報告し、サポート者からの指示を仰ぎます。問題が解決すれば、観測が続行され、故障と対処方法をマニュアルに追加します。

問題が解決できない場合、観測を中止し、翌日の日中にハワイ観測所の望遠鏡技術者たちがトラブルシューティングをし、復旧を目指します。状況によっては、日本の専門業者などに連絡をし、技術情報を集めます。翌日の観測再開を最優先にした応急的な復旧作業を優先します。しかし、故障の重度によっては、長期間復旧にかかる場合もあります。

参考までに2014年以降、観測が中止となった故障内容を表1にまとめました。

2014年から2017年までは年間2から4件の故障がありました。ただ、2016年のミラーハッチの故障と2017年のウィンドスクリーンの故障は規模が大きく観測が複数日停止しました。2018年以降は3から6件とわずかに増えているように見

えます。また、シャッター、トップユニット交換装置、副鏡、方位・高度軸、電源系統は、複数回、故障が発生しています。これは、大きな故障が発生する兆候と考えられ、特別な対策を考えるべき時期になりつつあることを示しています。また、昨年度主鏡のトラブルで5ヵ月あまり、望遠鏡が使用不能となりました。望遠鏡メンテナンス中に発生した事象であり、メンテナンスの実施方法についても、再検討する必要があることを示しています。

## すばる望遠鏡の長期更新計画

### 長期更新計画の対象項目

発生頻度が比較的多い故障に対しては、より深く原因を調査し、抜本的な対処が必要となります。故障が多い構成部分を取り出して、現地現状調査、対処の方針の決定、その方針の実施という長期的な計画を立案して遂行することになります。長期更新計画の策定が始まったのは2017年です。そして、電源系統、温度環境維持、ドーム等駆動設備、主鏡蒸着装置、望遠鏡可動部、望遠鏡駆動制御部という大項目を立て、優先度・緊急度の高い機器や装置を選んで、抜本的な対処の対象としました。

電源系統は、無停電電源装置、配電盤、筒頂部の主焦点ユニット・副鏡のためのコネクタ・ケーブル類を、温度環境維持は、冷却水循環装置（チラー）・排熱機構、ドーム空調設備、ドームの漏水対策のための気密性維持を、ドーム等駆動設備はシャッター、トップユニット交換機器（Top Unit Exchanger, TUE）、ドーム回転機構、トップスクリーンを、主鏡蒸着装置は、主鏡洗浄装置、主鏡運搬装置、主鏡ハンドリング装置、真空蒸着装置を、望遠鏡可動部は、天体微動追尾機構、電動ジャッキボルト（電気で長さを変えるアクチュエータ）を、望遠鏡駆動制御部は、方位・高度軸駆動部、望遠鏡静圧装置、各種駆動制御ボード等、制御計算機を対象にしました。次節からは、

表1 2014年以降、観測停止となった故障一覧\*1

日付	観測停止となった故障内容	日付	観測停止となった故障内容
2014/2/15	第3鏡が正しい位置にセットできない。	2019/5/29	シャッターの開閉時に異音がある。
2014/8/23	シャッターが動作しない。	2019/7/1	シャッターが動作しない。
2015/8/3	シャッターの開閉が極端に遅い。モータの動作に異常あり。	2019/11/2	シャッターが動作しない。(11/3まで観測キャンセル)
2015/9/4	ドームのエンコーダアラームにより、ドームを駆動できない。	2020/6/22	主鏡支持のためのアクチュエータの不具合が復旧できない。
2015/12/11	トップユニット交換装置の不具合とトラブルシュートで主焦点ユニットに交換できない。	2020/10/12	冷却水の滴りを発見。漏洩箇所の特定が完了できない。
2016/2/22	ミラーハッチのトラブル(2/28まで観測キャンセル)。	2020/11/4	高度軸が駆動できない。
2016/9/15	トップユニット交換装置の不具合で、副鏡が交換できない。	2021/5/13	高度軸が駆動できない。
2016/9/20	副鏡のティップティルトドライブに不具合があり、副鏡が動作しない。	2021/5/23	シャッターが動作しない。
2016/11/18	高度軸のケーブル巻取(赤外側)の不具合で、望遠鏡が駆動できない。	2021/8/16	副鏡のティップティルトドライブに不具合があり、副鏡が動作しない。
2017/3/4	副鏡の制御系の不具合により、副鏡が復旧できない。	2021/8/18	電源供給に問題がある。(8/19まで観測キャンセル)
2017/3/22	副鏡の制御系の不具合により、副鏡が復旧できない。	2021/10/2	シャッターが動作しない。
2017/4/10	ウィンドスクリーンの故障(4/17まで観測キャンセル)	2021/11/22	副鏡が動作しない。
2018/2/23	トップユニット交換装置の不具合で、副鏡に交換できない。(2/25まで観測キャンセル)	2022/1/4	副鏡のティップティルト機能が動作しない。
2018/4/10	シャッターが正常にクローズ動作できない。	2022/6/7	空調ダクトが高度軸に噛み込み、高度軸が駆動できない。(6/14まで観測キャンセル)
2018/7/14	シャッターの不具合。(7/15まで観測キャンセル)	2022/6/22	トップユニット交換装置の不具合で、副鏡に交換できない。
2018/8/2	電源フリッカーにより停止した一部の機能が復旧できない。	2023/1/12	方位軸駆動にトラブル。
2018/9/13	前夜に発生した停電からの復旧ができない。(10/1まで観測キャンセル)	2023/6/15	方位軸駆動にトラブル。
2018/11/3	停電からの復旧が間に合わない。	2023/9/15	主鏡トラブル(2024/2/28まで観測キャンセル)
2019/2/18	高度軸の角度読取機能が不調で望遠鏡が適切に駆動できない。	2024/3/6	大気分散補正光学系駆動時に異音あり。
		2024/4/1	主焦点ユニットが動作しない。
		2024/5/20	シャッターの機器が浸水したため駆動できない。
		2024/8/26	副鏡が動作しない。

これまで実施してきた各装置の更新のいくつかを説明します。

### 無停電電源装置の更新

無停電電源装置(Uninterruptible Power Supply, UPS)は瞬間の電力停止や停電時にドーム内の望遠鏡や観測装置、制御棟内の機器に電力を途

切れず供給する重要な役割をもちます。制御棟の1階に設置されています。UPSの経年劣化が進んでいた中で、2018年8月に発生したハリケーンによる停電と9月に発生した大規模停電により、2台ある望遠鏡UPSの内の1台が故障しました。確認したところ、1台のUPSのバッテリーの多く

\*1 ほとんどの場合、故障があった翌日の昼に対処して、その日の夜の観測を再開しています。



が消耗しているという警告が出ていて、もう1台のUPSの半数近くのバッテリーが故障していました。このままUPSの提供できる電力が限られている状態で望遠鏡を運用すると、瞬間の停電で電力供給が足りずUPSでサポートされているはずの望遠鏡システムの一部がダウンする可能性が高まりました。これは、観測に影響があるだけでなく、機器の故障や事故を誘発する可能性が高く、かなり危機的な状態にありました。そこで、ただちに応急処置として、交換するバッテリーの手配を急ぎ、12月末には交換が終了しました。恒久的な対策として、2018年3月の現地調査で推奨されていました、2つのUPSを新規更新することにしました。UPSの更新は2020年から検討が開始され、2021年に完了しました(図7)。

### ドーム空調設備の更新

ドームの空調は、ドーム内の温度を夜間の予測温度に合わせ、温度差による星像の乱れを抑止する役割があります。ドーム空調はドームの左右対称に配置されている2ユニットで構成されています。1999年運用開始時から、この役割を達成するため、ドーム内壁の断熱材の補強や空調設備の調整によって継続的に空調機能の向上・効率化が実施されてきました。ただし、低温高湿度環境で稼働すると、凝結水が熱交換器で凍り始めます。



図7 新設された無停電電源装置(UPS)

それを防止するためのデフロスト機能(ヒーター)が動作しているのですが、能力不足のため空調をフル稼働すると凍結が進んでしまいます。そこで、凍結しないようにフル稼働の半分能力で動かしてきました。また、軽微な不具合の発生には、部品交換などの修理で対応してきていましたが、1つのユニットの制御通信機器に故障が生じ、これは製造中止となった製品のため部品交換ができず、遠隔制御ができなくなりました。

また、空調の経年劣化と、近年の空調技術の発達を考慮すると、現状品を新製品に置き換えたときの効率改善は2倍程度が見込め、ランニングコストを含め大きなメリットがあるため、ドーム空調の新規更新を進めることを決断しました。2020年に検討を開始し、2022年にはドーム空調が新設されました。その際、施設内の通信網を統一して、設備を一元的に管理・制御するインテリジェントビル技術を活用した制御システムの導入と、除湿機能の追加により、エネルギー消費をリアルタイムで制御する効率的な空調制御が実現可能となりました。

### 冷却水循環装置(チラー)・排熱機構

チラーは3台あり、不凍液(エチレングリコール)の冷媒を循環させて、望遠鏡、主鏡、ドーム、観測装置の発熱を吸収し、適切な温度になるように管理をしています。チラーが不具合をおこしたときのバックアップとしてもう1台のチラーを用意しています。すべてのチラーは制御棟1階に設置されています。バックアップがあるため、故障からの復旧には時間的な余裕があり、観測が止まることはないのですが、運用開始時から稼働し続けており、冷却機能とポンプ機能の経年劣化、故障頻度の上昇が問題となっていました。チラーの故障・不具合の頻度が高くなると1台のバックアップではカバーできなくなり、稼働できるチラーが2台以下となります。チラーの冷却水が止まってしまった機器や装置は、過剰な発熱などによって運用の停止、高温によるダメージが懸

念されます。また、冷媒が装置から奪った熱を、外気との熱交換によって排出させるために排熱機構も必要となります。排熱機構が停止すると、冷媒の温度が下がらず、望遠鏡や装置の発熱を吸収できなくなり、チラーが停止した時とおなじ問題がおきることになります。このようにチラー・排熱機構は観測遂行に必須の機能なので、新規更新することになりました。その際、現在の望遠鏡・観測装置に必要な冷却機能と将来の拡張を予測して、チラーに求められる冷却能力を検討する必要がありました。

2021年から検討を開始、設計を進めた結果、それぞれが2台分の機器を内蔵し、互いにバックアップ機能を持つ最新のチラーユニット4台を新設することになりました。そのことにより信頼性と冗長性を格段に改善することができます。2023年に4台のチラーが新規設置されました(図8)。また、ドーム空調設備と合わせて、一元的な管理・制御システムに統合され、遠隔から稼働状況の効率的な管理監視が実現できるようになりました。定期的に2台分の機器を交互に稼働して、片方の機器に頼らない運用をし、経年劣化の低減と定期的な機能点検ができるようにしています。



図8 新設されたチラー(冷媒循環装置)

## シャッター改修

シャッターは観測開始時に開けて、終了後に閉じます。高湿度、霧、降雨のときはシャッターを閉じて水や水蒸気の侵入を防ぎます。2014年ころからシャッターの開閉時にスタックするようになり、次第にその頻度が高まりました。そのため、観測開始が遅れたり、シャッターが開けられず観測が停止したりすることもありました。また、天候悪化の時にシャッターが閉められなくなると、望遠鏡や観測装置は雨や霧や高湿度にさらされてしまい、ダメージを受ける可能性があります。2018年の大きな地震の後、シャッターが開閉移動中に、ガイドローラとレールの当たり方が一定にならなくなり、さらに頻繁にスタックするようになりました。そこで、2018年からガイドローラ部分の機械的な構造と駆動部の改修の検討をはじめ、2019年に改修が完了しました。その結果、駆動中のスタックの件数は劇的に減少しました。その後、コロナ禍で一旦計画が中断しましたが、コロナ禍が明けてからシャッターのリミットセンサーを光学式から機械式に変更し、センサーの誤動作を減らし、開閉終了時の不具合を軽減させることができています。

## トップユニット交換装置(TUE)の改修

トップユニット交換装置(Top Unit Exchanger, TUE)は、望遠鏡の筒頂内環に装着するトップユニット(主焦点ユニット・副鏡)の交換や格納を行います。トップユニットを格納するための装置TUE1と望遠鏡に着脱する装置TUE2に分けられます。

TUE1はドーム上部構造の4階に設置されていて、ユニットセレクトとユニットトランスポータからなります。TUE2は80トンブリッジクレーンにぶら下がっている装置でユニットローダ(UL)と呼びます。格納されたトップユニット(主焦点ユニット・副鏡)はユニットセレクト(US)に搭載されています。その中で観測に用いるものを1つ選択してユニットトランスポータ

(UT)に渡し、次にUTからユニットローダ(UL)ののせかえます。ULは望遠鏡に接触しないように並行移動や回転移動を組み合わせながら、トップユニット(主焦点ユニット・副鏡)を筒頂内環まで運んで、所定の場所に精度よく取り付けます。一連の交換作業は要所要所で人間が判断しますが、その間の動作は自動で進められています。

2016年9月に、副鏡を取り外しに行った際、ULのモータの一つが動かなくなり、副鏡を取り外すことを断念し、観測がキャンセルになりました。翌日、モータの交換で復旧し、1日遅れで副鏡を交換しました。2017年3月7日に、ULのクランプが動かなくなりました。テストドライバを接続したところ、クランプが正常に動作し、なんとかその日のうちに副鏡交換作業を完了させることができました。後日の調査で、クランプ用ケーブルの断線とクランプ用モータードライバが故障していました。ケーブルの修復とドライバ交換で復旧させています。2つのケースとも、幸いにして、故障を回避できましたが、故障のタイミング次第では、デッドロックになりえます。その後も自動駆動中に動作が停止したり、リミットの誤検出といった不具合が稀に発生しています。原因はケーブル断線、ナットの緩み、センサーカメラのミスアライメントなど多様となっています。

トップユニット交換装置(TUE)の故障は、トップユニット交換が長期間できなくなることを意味しています。特にULの故障は深刻で、トップユニットを取り外した直後、取り付ける直前といった望遠鏡に近い位置での不具合発生は、安全な復旧方法を策定するまで時間がかかり、長期の望遠鏡閉鎖が予想されます。そのため、早急に製造中止品の新規置き換えを含めたオーバーホールが必要であり、特に、モータとそれに適合するモーションコントローラ、ケーブル、センサーの更新、更新後の一連の動作試験は必須となります。

2022年からオーバーホールの検討を開始し、2023年度までに完了させました。格納されて見

えなかったケーブルの被覆が破れているなど、老朽化は激しく、そのまま使っていれば、内部断線が起きていた可能性が非常に高いことがわかりました(図9)。

## さいごに

### 定期メンテナンスから予知保全、そしてその先へ

すばる望遠鏡の運用が始まってから25年が経ちました。多くの機器・装置が安定した偶発的な故障期をこえて、故障頻度が高くなる摩耗故障期に差しかかっています。これまで、必要な部品交換、改修、更新を実施して、なんとか望遠鏡を維持してきました。すばる望遠鏡の長期更新計画は、主としてドーム駆動系、電源設備、空調設備、冷却水循環設備、トップユニット交換装置といった基本インフラ、環境維持、装置交換設備から着手しました。これから望遠鏡駆動部、望遠鏡制御部といった重要な部分に取り掛かります。

しかし、すばる望遠鏡の長期更新計画に含まれていないけれども、建設当初のままになっている機器、装置がほかにも多く残されています。すでに故障の予兆を示しているものや、そうでないものもあります。予兆を示していないものも、突然不具合を起こす可能性もあります。2030年代まですばる望遠鏡の性能を維持して、最先端の天文学に貢献するためには、今の長期更新計画を、第2次、第3次と、適宜計画を見直して、望遠鏡の

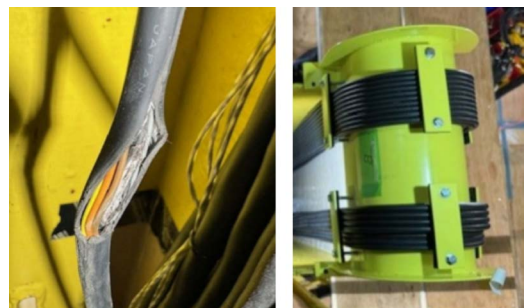


図9 被覆が破損したケーブル(左)と新設ケーブル(右)

機能・性能を維持することが必須となるでしょう。さらに将来を見据えて、望遠鏡の機能・性能向上についても取り組む必要があると考えています。

運用開始時に考えられたメンテナンス項目をすべて実施するのは、時間も人材も限られたなかでは、非現実的です。また、新たなメンテナンス項目も増えています。理想的には、もっともリスクの高い要因を見極めて、そこにリソースを投入することです。まだ私は勉強不足なのですが、それを現実に落とし込むには、すでに世の中では実践されている予知保全を取り入れつつ、予知の精度を上げていく試行錯誤をしていくことが大事かもしれないと考えています。これは私をはじめハワイ観測所の課題でもあり、これからすばる望遠鏡を利用する皆さんと共に考えていくことではないかと思っております。

## Subaru Telescope Maintenance

Yutaka HAYANO

*Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan, 650 North Aohoku Place, Hilo, HI, 96720, USA*

Abstract: The Subaru Telescope has been in operation for 25 years. The mission and goal of the Subaru Telescope are to produce cutting-edge astronomical research and discovery. To meet this goal, it is necessary to maintain the telescope's functionality and performance and keep it in operation. In this article, we first outline the components of the Subaru Telescope that need to be maintained for its functionality and performance. Next, we briefly introduce the maintenance concept and plan presented during the first years of operation, the status of its maintenance and execution, and the current status of the telescope refurbishment plan that we are currently working on. Finally, I will present my thoughts on the future of Subaru Telescope maintenance.