

Solar-B 可視光望遠鏡の開発進展

末松芳法、一本潔、清水敏文、永田伸一、田村友範、常田佐久、野口本和、
加藤禎博（国立天文台・太陽物理学研究系） 大坪政司（国立天文台・天文機器開発実験センター）
花岡庸一郎（国立天文台・電波天文学研究系）、 勝川行雄、小林研、久保雅仁（東京大学）

Solar-B(2005年夏打上げ予定)搭載の可視光望遠鏡(SOT)は、口径50cmのグレゴリー式望遠鏡部とフィルター装置、分光器をもつ焦点面観測装置部からなる。望遠鏡部(図1、2)は日本で、観測装置部(図3)は米国で設計・製作が行われ、合わせて回折限界光学性能を達成する。

図1:OTAの構成

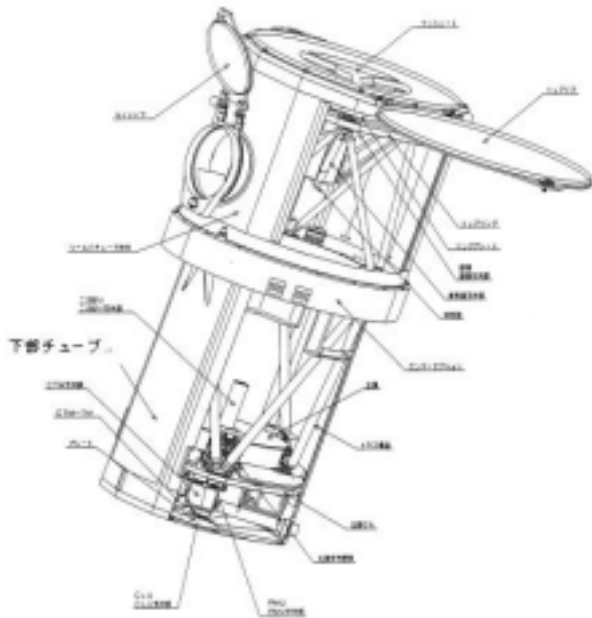
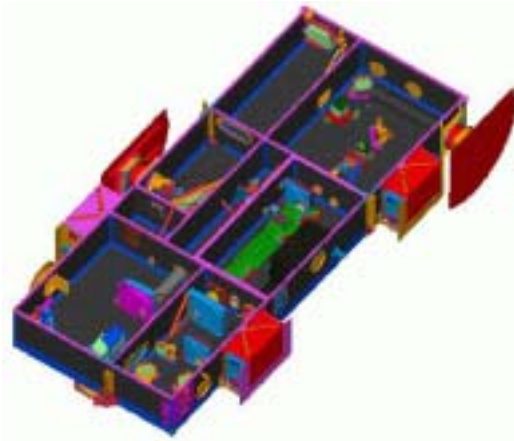
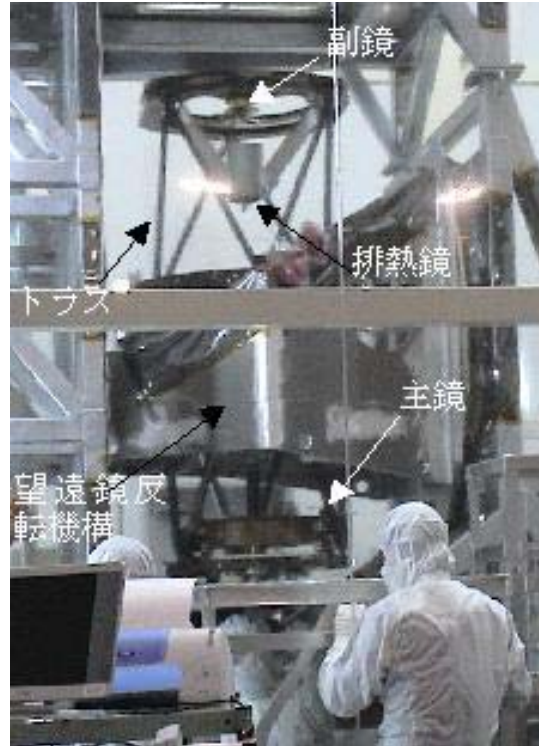


図3:FPPの構成図



国立天文台とNASAで分担製作している装置が互いにブラックボックスとならないように、共同設計会議および合同試験を繰り返しており、プロジェクト開始後約2年半で、日米設計会議が10回延べ50日開催され、共同試験が約3ヶ月行われた。このような日米双方の並々ならぬ努力の結果、複雑な光学的、電氣的、機械的、熱的日米インターフェースを持つにもかかわらず、プロジェクトは非常に順調に進展している。

図2:クリーンブース内OTA組立作業



可視光望遠鏡は、すばると同じULEを採用した軽量化主鏡(重量約14kg)・副鏡(図4、6)およびゼロ膨張のCFRPトラスを採用した接着一体構造の精密望遠鏡構体、焦点面検出器に光を送るための無収差コリメータレンズ(CLU)(図5)、不必要の太陽光を宇宙に排出するための金属排熱鏡(図6)、画像安定化のためのチップフィルタミラー(本ハイライト永田らの記事参照のこと)、など

よりなる。

図 4:主鏡



図 5:CLU フライトモデル

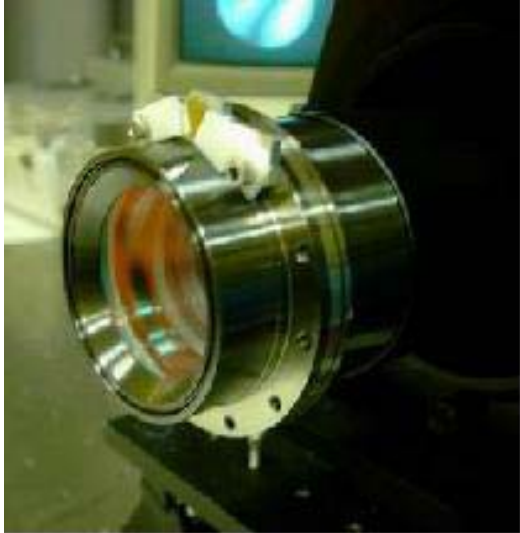


図 6:副鏡および排熱鏡

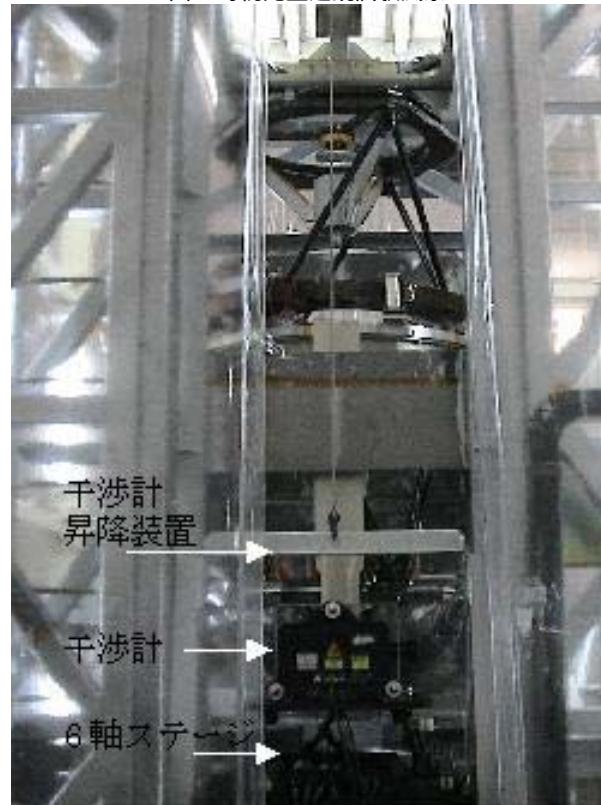


2001年8月から2002年4月の長期間にわたって、プロト(試作)モデル望遠鏡の組立、光学アライメント、振動衝撃試験を実施した。試験準備として事前に、高精度平面鏡(波面15nm rms)、クラス100大型クリーンブース、大型光学試験タワー、高速干渉計、大型定盤、超精密6軸駆動機構などが準備された(図7)。プロトモデルといっても、精密構体はフライト品であるほか、光学性能評価が可能ないように波面精度以外はフライト品と同等

の光学部品を用いている。ここで用いた主鏡、副鏡は、いざというとき、再研磨によりフライトバックアップ品となる。心臓部のコリメータレンズは2枚構成(フライト品は6枚構成)で、試験波長である632.8nmにのみ最適化された設計である。像安定化のための可動斜鏡は、3本のピエゾ素子で傾き制御される。望遠鏡部光学系は組立時の位置調整のみで可動調節部が全くなく、焦点調節のみが観測装置部の再結像レンズを動かすことにより行われる。

回折限界実現のためには、光学素子を歪ませることなく保持する支持機構、特に主鏡支持機構、副鏡を5ミクロン以下の精度で保持する望遠鏡構体が、重要である。特に、望遠鏡は可動調整部を持たないために、M-Vロケットによる打ち上げ時の厳しい振動衝撃で光学素子がアライメントずれを起さないことを検証する必要がある。まず、初期調整により、副鏡の横ずれ・傾きで発生するコマ収差の追込み、及び光軸方向のずれによる焦点位置ずれの追込みが、干渉計測定により問題なく行えることが確認できた。重力は、鏡面形状や構体の変形による焦点ずれや収差を発生させる。このため、光学試験タワーに搭載された望遠鏡を180度上下反転させて光学測定が行える機能を持たせている(図7)。

図 7:可視光望遠鏡試験風景



望遠鏡の上向き下向き状態での測定をもとに、波面測定における重力の影響を完全に除去し、無重力状態にノミナル焦点位置となるような光学調整を行うことができた。これらの作業は、クラス 10 環境のクリーンブースで行われ、望遠鏡汚染防止のための厳格な作業規定が実施された。試験タワーは高さ 3.2m あり、完全防護の無塵衣着用しての高所光学調整作業は難航を極めたが、フライト品組立調整手順を完全に確立することができた。

その後、振動・衝撃試験を行い、振動衝撃前後の波面誤差変化を干渉計により計測した結果、懸案であった光学系の位置変化（デフォーカス、コマ収差）が十分小さく、目標の割当範囲に入っていることが確認できた。今後、主鏡支持機構の試験、望遠鏡・光学系の熱的変形が小さいことを確認する真空チャンバーを用いた熱光学試験を控えて予断を許さないが、軌道上において調整機能を持たない本望遠鏡にとっては、回折限界性能を実現する画期的一歩である。これらの長期にわたる試験を経て、完成した望遠鏡（試作モデル）は、現在 Solar-B 衛星に組み込まれ、衛星全体の振動衝撃試験、熱真空試験が 2002 年冬まで続くことになる（別項参照）。

望遠鏡には様々な材料が使用されているが、真空中での脱ガスがミラーを汚しその反射率を低下させるとミッションに重大な影響を及ぼすことが懸念される。このため、すべての使用材料について、真空中での脱ガス量を天文機器開発実験センターの中型真空層を使って定量的に評価している。また、不要な光を排出するため望遠鏡の一次焦点に取りつけられる排熱鏡（金属鏡）の熱サイクル試験・太陽光の千倍強度の実太陽光を照射させての熱負荷試験、熱真空環境下でのコリメータレンズ光学系の結像性能を確認するための熱光学試験、MTF 測定装置を用いた同フライトモデル（図 5）の色収差測定、画像安定化装置の日米結合試験（別項参照）など重要な試験が、国立天文台で順次行われている。

望遠鏡は、軌道上で実験室環境とかなり異なった温度分布を持つ。このため、望遠鏡の宇宙環境における光学性能を検証するため、直径 2m、高さ 4.2m の熱光学試験チャンバーを製作した（図 8）。チャンバーの中には、上下に分割された熱制御シュラウドが設けられており、これによって宇宙環境における望遠鏡の温度（ $-40^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ ）を模擬しながら、望遠鏡の波面精度の測定を行うことができる。今後、主鏡支持機構の光学試験、望遠鏡を軌道上の温度環境におき光学性能を検証する熱光学試験をへて 2003 年 4 月より、フライト品の最終組立作業が開始される。



図 8:熱光学試験真空チャンバー