

Solar-B 可視光望遠鏡の画像安定化装置の開発

永田伸一、清水敏文、一本潔、常田佐久 (国立天文台太陽物理学研究系)
松崎恵一 (宇宙科学研究所)、 小林研 (東京大学)

2005年に打ち上げられる Solar-B 衛星に搭載される可視光望遠鏡は、回折限界分解能 (0.2–0.3 秒) での太陽磁気活動の観測を目指している。衛星の姿勢制御装置は、姿勢擾乱のうち低周波の成分を数秒角程度にまで抑えるものの、科学観測の要求を満たす安定度は達成できない¹。このために、「画像安定化装置」を可視光望遠鏡内部に搭載し、回折限界での高精度偏光観測の実現を目指している。画像安定化装置は、高速 CCD カメラで取得した太陽画像をデジタル高速相関処理し、姿勢誤差を検出する装置 (米国 NASA 担当) と、国立天文台が責任担当の piezo 素子を使用した可動鏡² (図 1)、NASDA が新規開発した 64 ビット宇宙用 MPU チップを用いた制御装置からなる (図 2)。姿勢誤差検出装置と可動鏡制御装置は、可動鏡から CCD カメラまでの光学系を介し、580Hz のシリアル通信をするデジタル制御系を構成している。閉回路の制御演算は、日本側装置のソフトウェアで実装している。低周波擾乱 (目標制御帯域は ~ 14Hz) の抑圧を主眼とするため、積分制御を基本とするが、機械的な共振等に対処するために、制御演算に 3 つの任意のフィルターを挿入する機能を備えている。さらに、日本側装置は制御ループに参照信号を与え、制御系の伝達関数を評価する自己診断機能も有している。

図 2: 画像安定化装置システム



2002年2~4月にかけて、プロトモデルによる性能評価試験を天文機器開発実験センターにて、国立天文台と

¹衛星には高速回転するモーメントホイールやジャイロ스코ープ、観測機器内のフィルターホイールやスキャンミラーがあり、これらの運動の反作用により、衛星は常時数秒角の大きさで揺れている (姿勢ジッター)

²可動鏡を駆動する民生品 piezo 素子の熱真空環境での長期寿命試験は、2000年11月より順調に継続している。

米国 NASA 合同で実施した。二つの装置を接続したシステムはデジタル制御系として完璧に動作し、設計目標の抑圧特性 (1Hz で ~20dB、設定制御帯域は 14Hz) と、~ 0.002'' に達する制御精度を満たしていることを確認した。

図 1: 可動鏡 (3本の piezo 素子で駆動される)



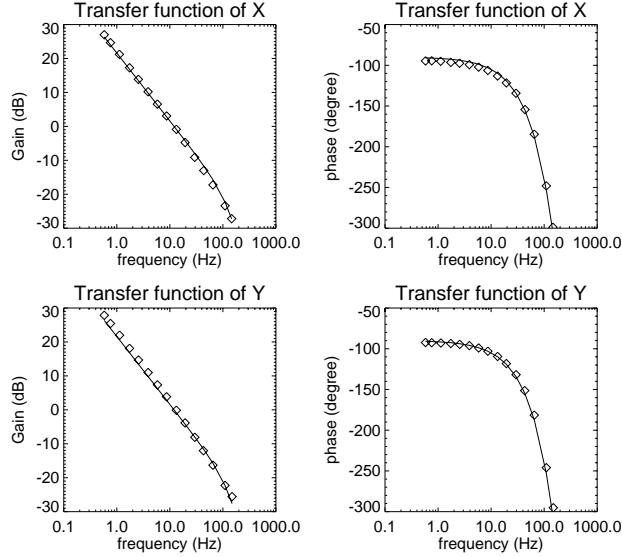
性能評価試験は、光学定盤上に、太陽粒状斑像、可動鏡、高速 CCD カメラを配置した望遠鏡を模擬する光学系にて行った (図 3)。光源位置に置かれた粒状斑像を駆動機構で揺らして生成した姿勢誤差の抑圧特性を評価する試験、自己診断機能を用いた伝達関数の評価試験、制御残差の評価試験などを実施した。



図 3: 望遠鏡を模擬した試験光学系。小型定盤右奥が、粒状斑像、左手前が可動鏡、左奥が CCD カメラ。

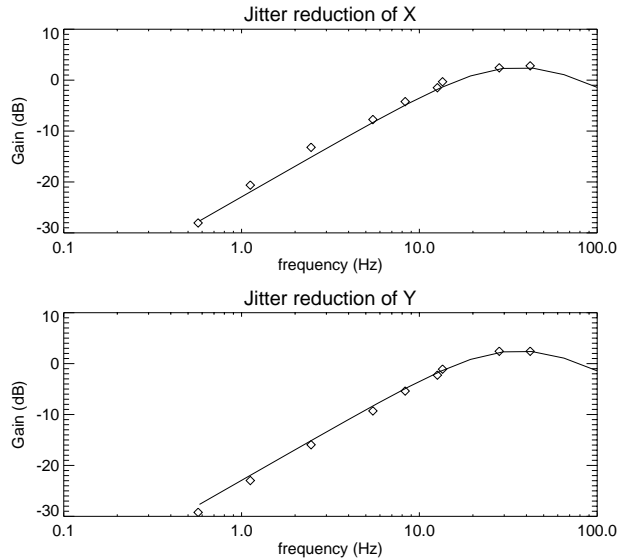
自己診断機能で得られた一巡伝達関数と、設計値の比較例を図4に示す。ダイヤモンドで示した実測値は、実線で示した設計値と非常に良く一致している。ゲイン特性はソフトウェアによる積分制御 ($|G(\omega)| \sim k2\pi/\omega$)³、位相遅れはデジタル系の時間遅れの効果 ($\angle G(\omega) \sim \tau\omega$)⁴を主要項として説明できる。積分ゲインはソフトウェアの可変パラメータだが、無駄時間はハードウェア特性で決まる固定値である。

図4:一巡伝達関数 (上段 X 方向、下段 Y 方向)



自己診断機能で取得された伝達関数をもとにして計算される外乱抑圧特性 (実線) と、粒状斑像駆動機構を用いて実測された外乱抑圧特性 (ダイヤモンド) の例を図5に示す。

図5: 抑圧特性 (ゲインのみ)



³ k は積分ゲイン
⁴ τ は無駄時間

数種類の制御パラメータの組で伝達関数の評価と、擾乱特性比較試験を実施したが、いずれの試験でも測定データは設定値と良く一致した。これらの結果により、自己診断機能を用いた軌道上での制御特性の評価、調整が可能なが確認された。

図6には、制御ループ開・閉で取得した姿勢誤差信号のパワースペクトルの比較を示す。図5の抑圧特性から期待されるように、制御時には低周波の外部擾乱が大幅に低減されていることが分かる。なお、この測定では制御帯域以下の残差は $0.002''(1\sigma)$ に相当する。

本試験により、プロトモデル開発は成功裏に終了し、今後フライトモデルの最終設計確認後、製作に入る。最終設計確認では、本試験で取得された制御特性と、2002年7月に実施される衛星構造試験モデルを用いた衛星内部擾乱の評価の結果を統合し、軌道上での画像安定度の評価がなされる。

日米分担で製作されたフライト品を組み合わせた性能評価は、2003年5-7月に米国にて実施する計画である。

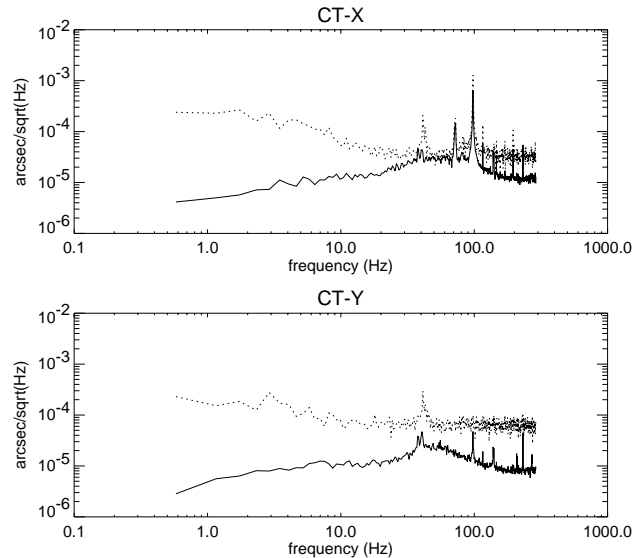


図6:制御あり (実線)、なし時 (波線) の誤差信号のパワースペクトル。上段、X、下段、Y 方向。