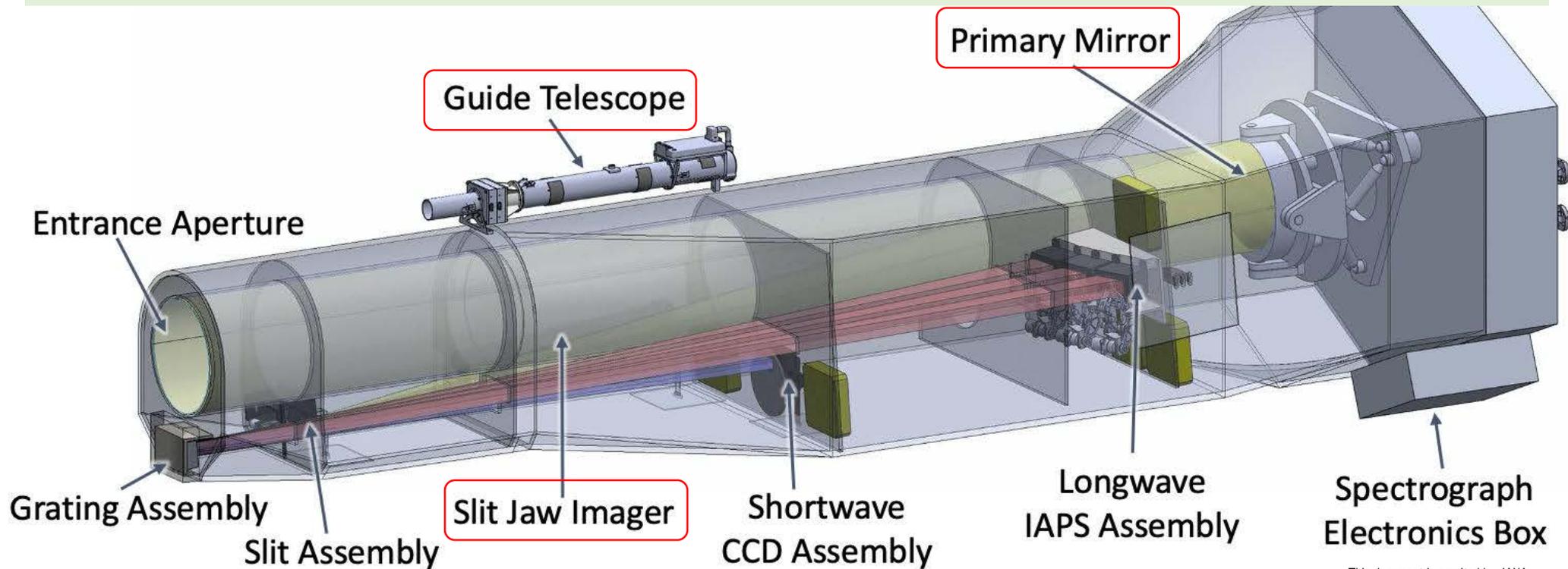


# Solar-C (EUVST) 撮像装置および像安定化・ スリットスキャン機構

永田伸一(京都大学), 川手朋子(核融合研), 清水敏文(ISAS/JAXA),  
Clarence M. Korendyke, Harry Warren (NRL), Bart De Pontieu, Paul Boerner (LMSAL),  
末松芳法, 原弘久, 勝川行雄, 納富良文, 篠田一也(国立天文台),  
今田晋亮(名古屋大学), 一本潔(京都大学)

# 観測装置の構成

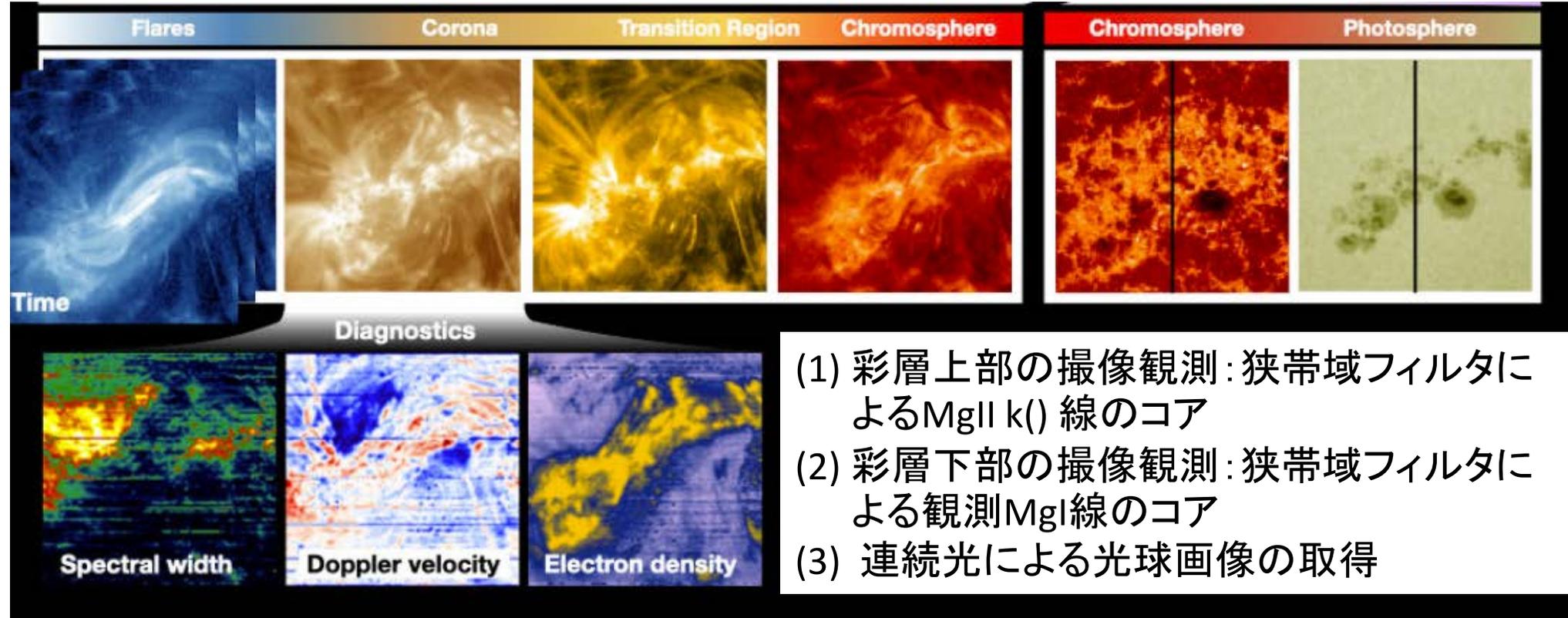
- 撮像装置(Slit Jaw Imager: SJI): 主鏡焦点面に設置されるスリット像を取得する(科学観測)
- 像安定化装置: ガイド望遠鏡(Guide Telescope: GT)による検出される誤差信号を用いた主鏡のtip-tilt制御で画像を安定化させる( $0.09''$ ,  $3\sigma$ )  
→ 主鏡をガイド望遠鏡で制御する観点では、open loop制御



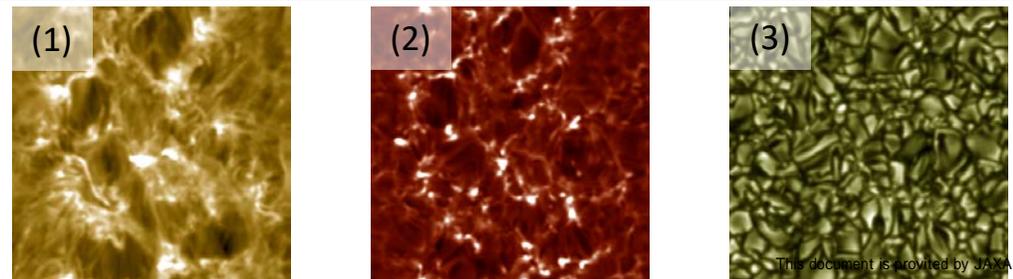
# SJIの役割

分光器のデータ

SJIのデータ

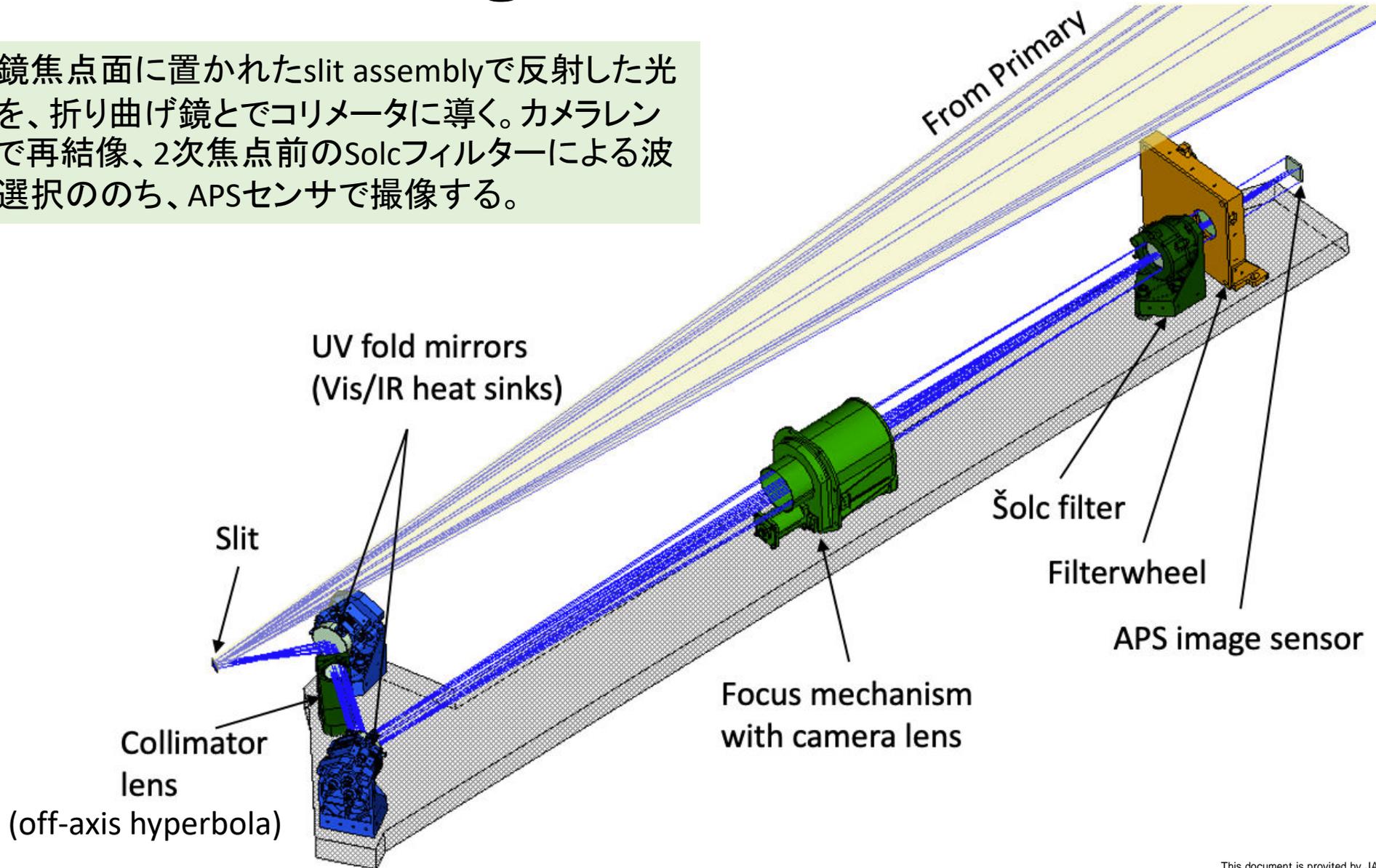


分光観測が行われるコロナ・遷移層につながる磁束管の運動、上空でのエネルギー解放の応答や、地上観測との位置合わせ



# Slit Jaw Imager(SJI)の光路図

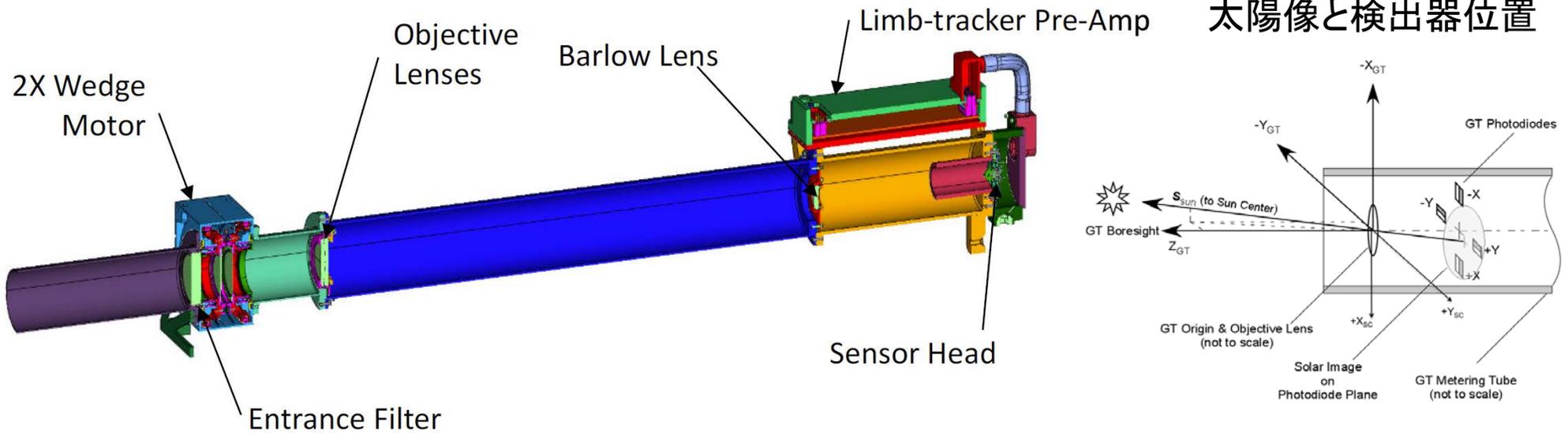
主鏡焦点面に置かれたslit assemblyで反射した光線を、折り曲げ鏡とでコリメータに導く。カメラレンズで再結像、2次焦点前のSolcフィルターによる波長選択ののち、APSセンサで撮像する。



# SJI設計値諸元

項目	内容
リレー光学系	2枚の折り曲げ鏡と、コリメータレンズ、カメラレンズ（焦点調節機構含む）によるリレー光学系
観測波長	Mg II k 2796 Å, Mg I 2852 Å, 連続光2833 Å, 白色光(地上試験用)
プレフィルター	上記3波長を含む幅100 Åと、各波長周囲の7-10Åの3つのブロッキングフィルター
Šolc フィルター	30mm開口、8枚の水晶と2枚の偏光板からなる, 2 Å FWHM, 18 Å FSR(IRIS衛星を踏襲)
検出器	APS: ピクセル数1920×2048, 視野 > 300"×300" Lumogenコーティング
分解能	0.192 arcsec/pixel

# ガイド望遠鏡の役割

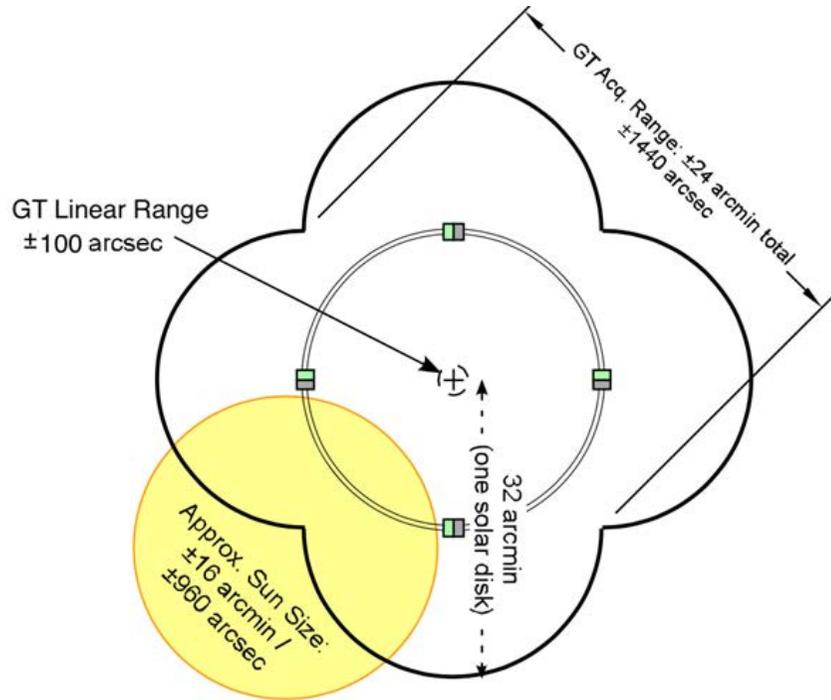


項目	内容
光学系	アクロマート屈折望遠鏡
焦点距離	1.88m
波長	5200-6200Å
検出器	フォトダイオード4台

- ガイド望遠鏡は、X/Y軸周りの+/-の検出器の出力差から、ガイド望遠鏡の視線方向と太陽中心とのずれ(誤差信号)を測る。
- 誤差信号は、主鏡の傾動機構に送られ、tip-tilt制御による像安定化に用いられる。

# 誤差信号検出

## 指向ずれと誤差信号計算のレンジ



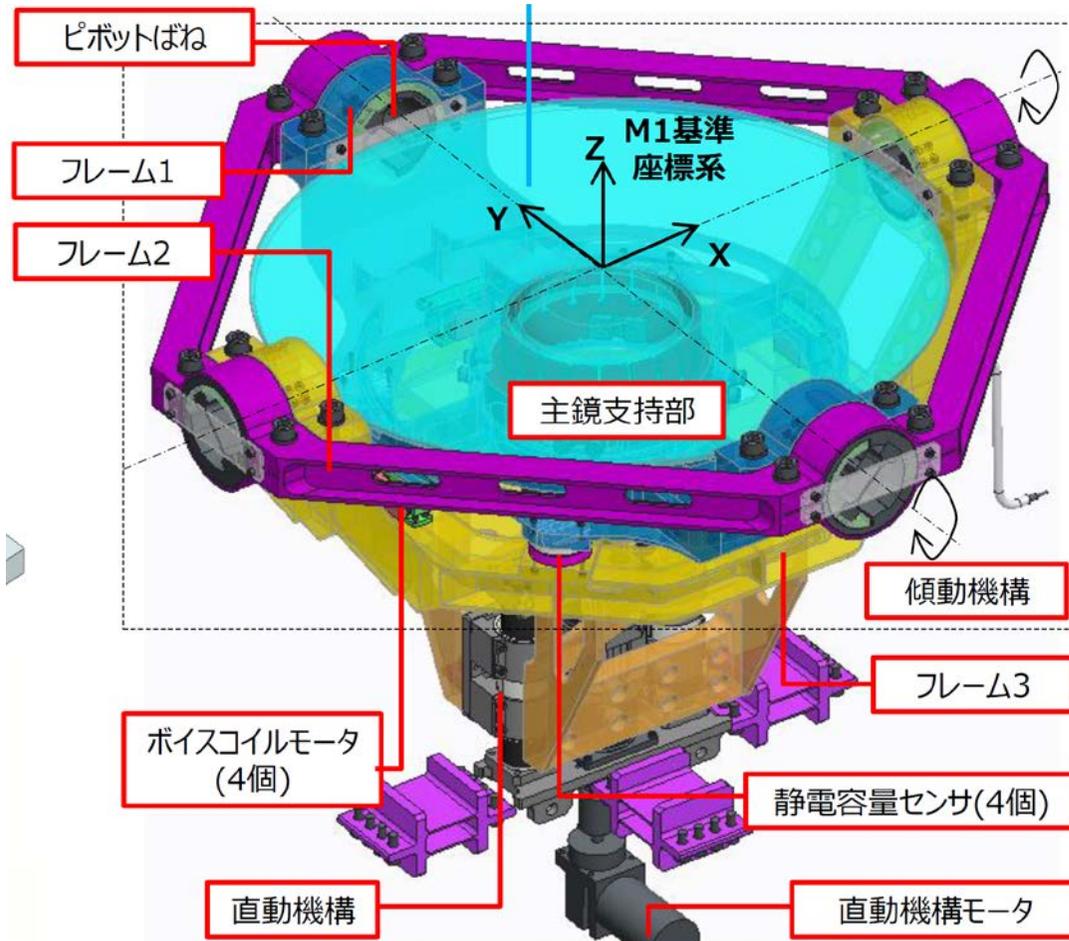
## 太陽像と検出器位置



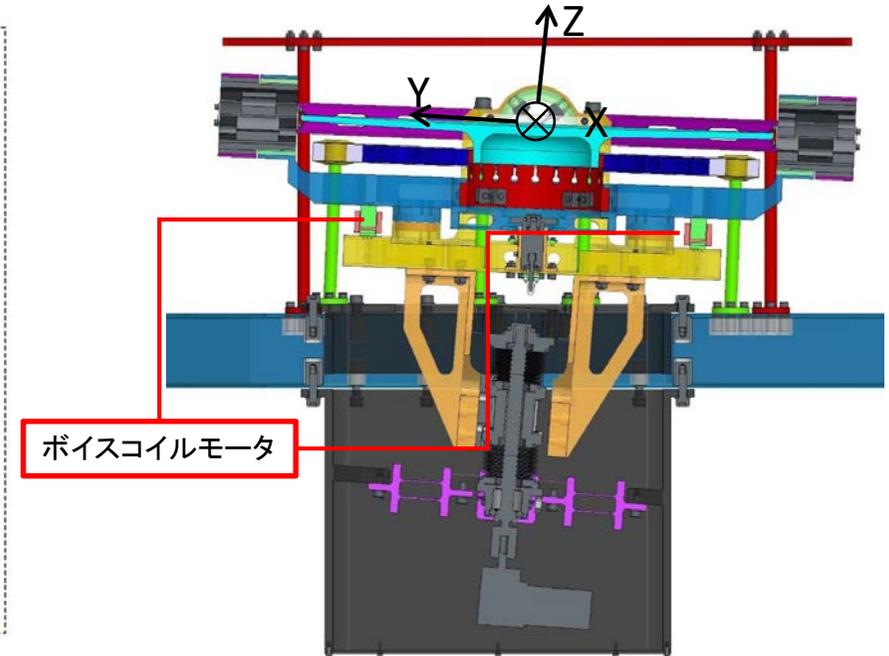
- 対物レンズ前の2枚のクサビを回転させることで、観測ターゲット位置に応じてGT焦点面に太陽像を結像させ、常に誤差信号を取得することができる(最大21分角)。
- Linear range (+/-100秒角以上)では、0.02秒角RMSでの誤差信号を取得することが可能
- 少なくとも一つのダイオードがリムにかかるacquisition range, 両軸でひとつずつのダイオードがリムにかかるcapture rangeでは、誤差信号精度の制限を考慮する

# 主鏡傾動機構の役割

主鏡支持機構全体図



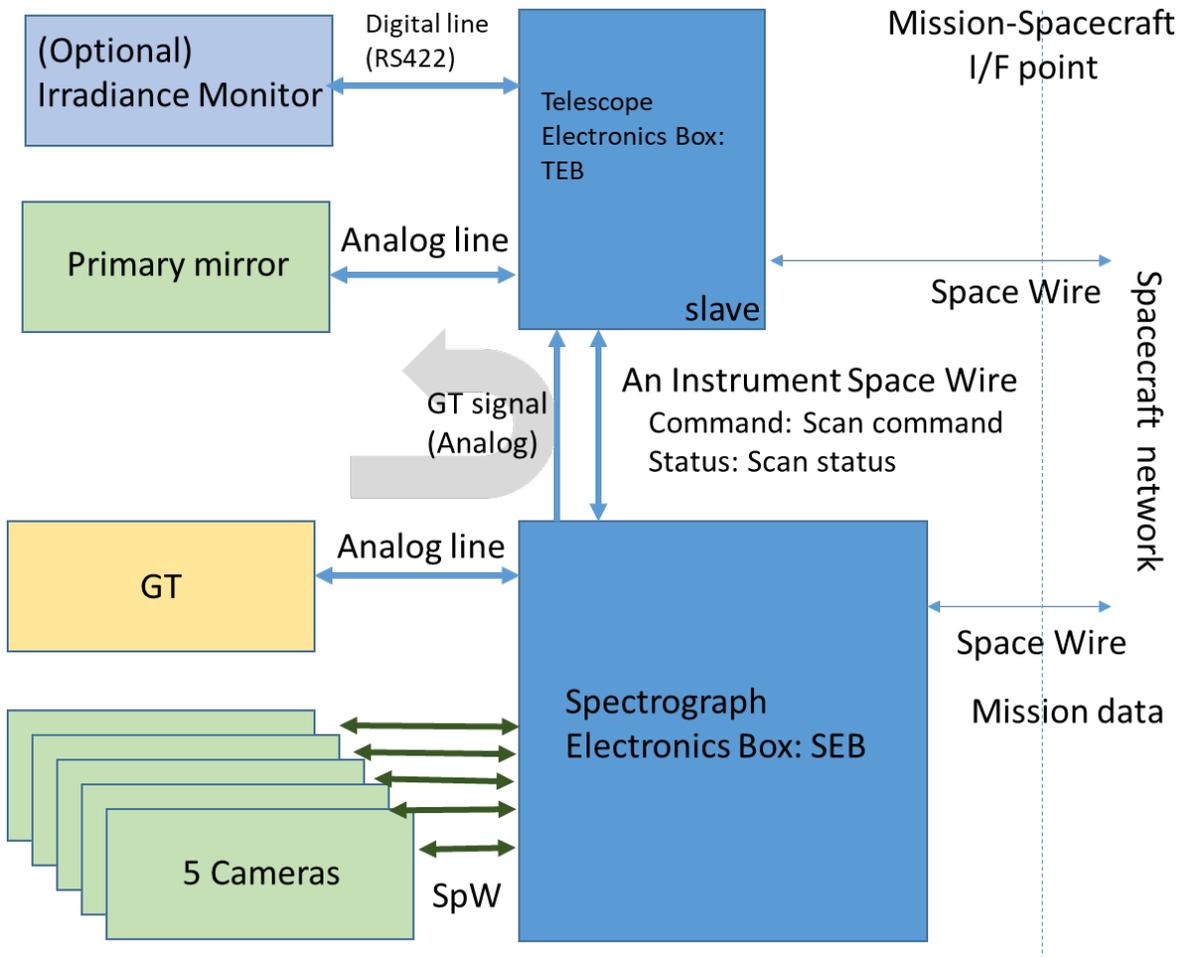
主鏡支持機構断面図



- ボイスコイルモータにより、主鏡をX/Y軸周りに回転させ、望遠鏡の指向軸を変えることができる。
- ガイド望遠鏡の誤差信号による像安定化と、スリットスキャンに用いる。  
(機構設計はg01-03参照)

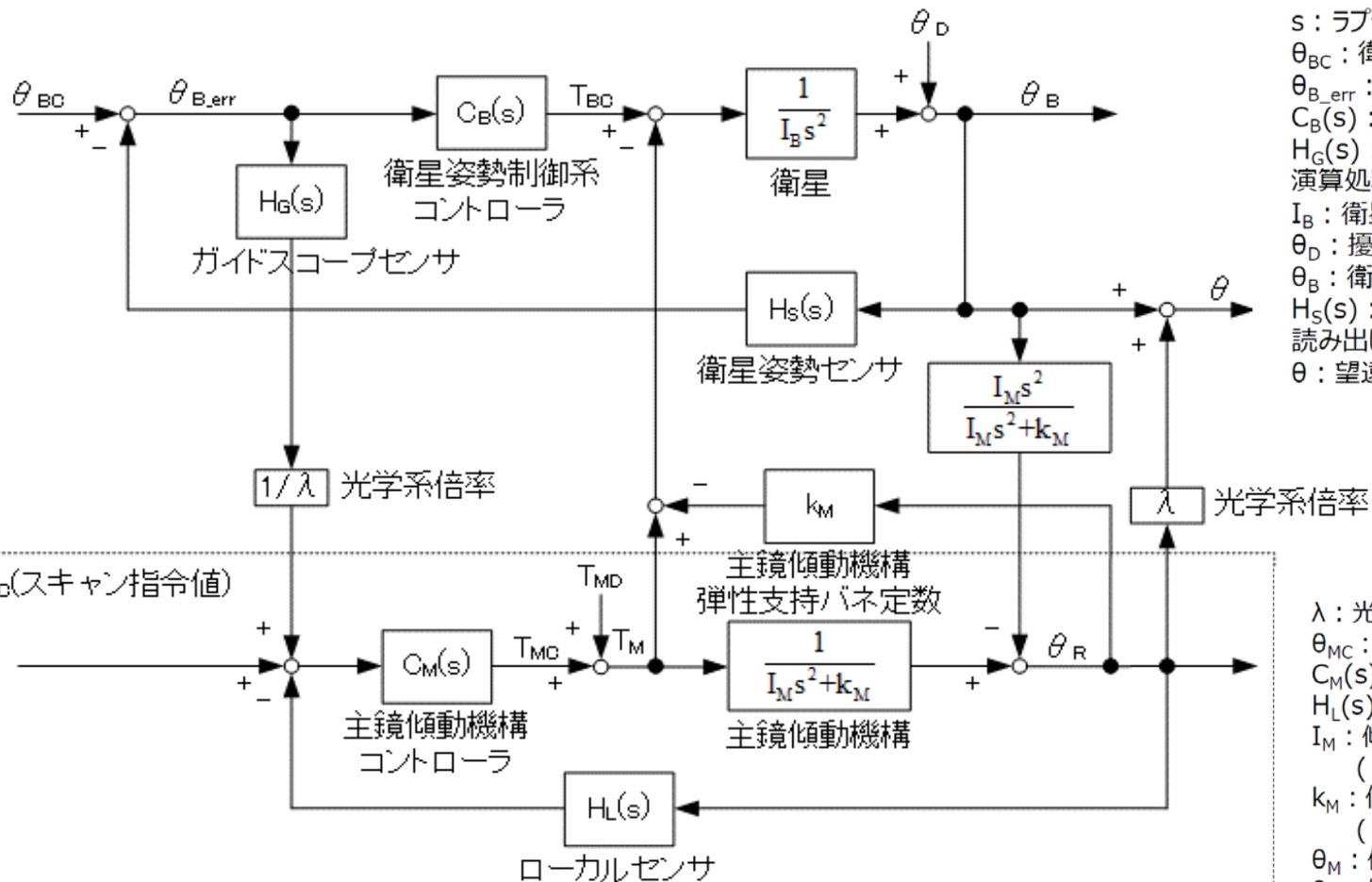
# 制御信号の流れ

信号ブロック図



- 主鏡傾動機構は、日本担当の Telescope Electronics Box (TEB)、ガイド望遠鏡は米国担当の Spectrograph Electronics Box (SEB) により制御される。
- 制御帯域10Hzを満たすため、誤差信号はアナログ電圧でTEBに送信(デジタル処理では、時間遅れのため困難)
- スリットスキャンには、SEB-TEB間のspace wireを用いたデジタル信号線でのコマンド・ステータスの送受信を行う。

# 制御系性能検討



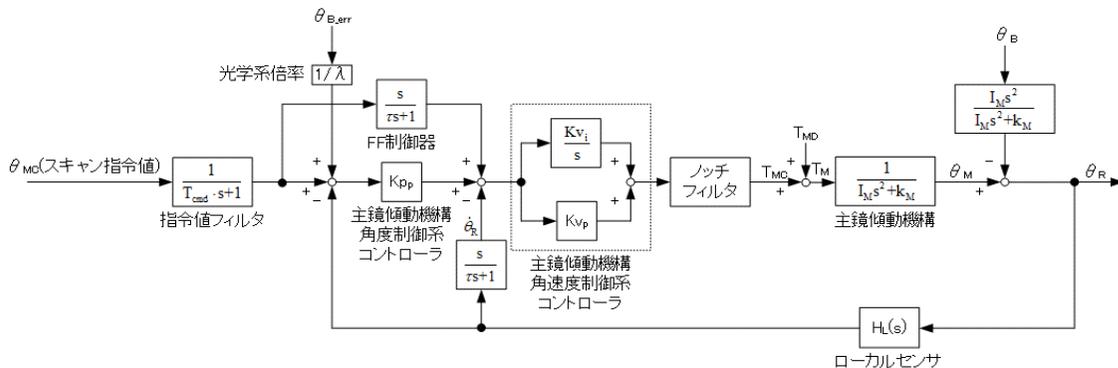
$s$  : ラプラス演算子  
 $\theta_{BC}$  : 衛星姿勢指令値  
 $\theta_{B\_err}$  : 衛星姿勢制御誤差  
 $C_B(s)$  : 衛星姿勢コントローラ (PID制御則)  
 $H_G(s)$  : ガイドスコープセンサ (時間遅れ系, 演算処理速度250[Hz])  
 $I_B$  : 衛星慣性モーメント (= 780[kgm<sup>2</sup>])  
 $\theta_D$  : 擾乱による指向軸変動  
 $\theta_B$  : 衛星姿勢角  
 $H_S(s)$  : 衛星姿勢センサ (時間遅れ系, 読み出し速度32[Hz]と仮定)  
 $\theta$  : 望遠鏡指向軸

$\lambda$  : 光学系倍率 (= 2)  
 $\theta_{MC}$  : 傾動機構スキャン指令値  
 $C_M(s)$  : 傾動機構コントローラ (PID制御則)  
 $H_L(s)$  : ローカルセンサ (= 1)  
 $I_M$  : 傾動機構慣性モーメント (= 0.012[kgm<sup>2</sup>])  
 $k_M$  : 傾動機構弾性支持ばね定数 (= 21.1×2[Nm/rad])  
 $\theta_M$  : 傾動機構絶対回転角 (対慣性系)  
 $\theta_R$  : 傾動機構相対回転角 (対傾動機構ベース)

衛星姿勢制御系(上)と主鏡傾動機構制御系(下)のモデル化

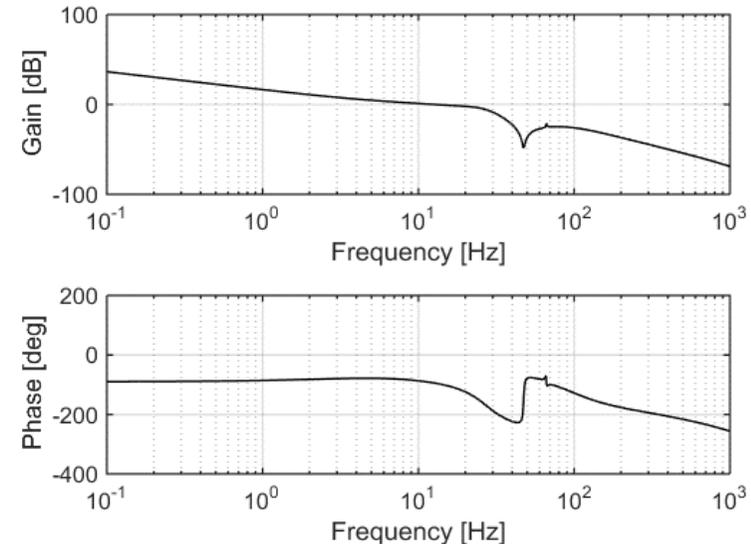
# 制御系性能検討

## 主鏡傾動機構のモデル化



- 構造共振が66[Hz]程度のため制御系の広帯域化は困難
- 回転支持部Y軸まわりの共振は10[Hz]と制御帯域と近いため、内側に角速度フィードバック系、外側に角度フィードバック系を設けた2重ループフィードバック制御系を構築
- フィードフォワード器を設けることで指令値追従性を向上(指令値への収束時間を短縮)
- 指令値に1次遅れ系フィルタを挿入することでオーバシュートを低減

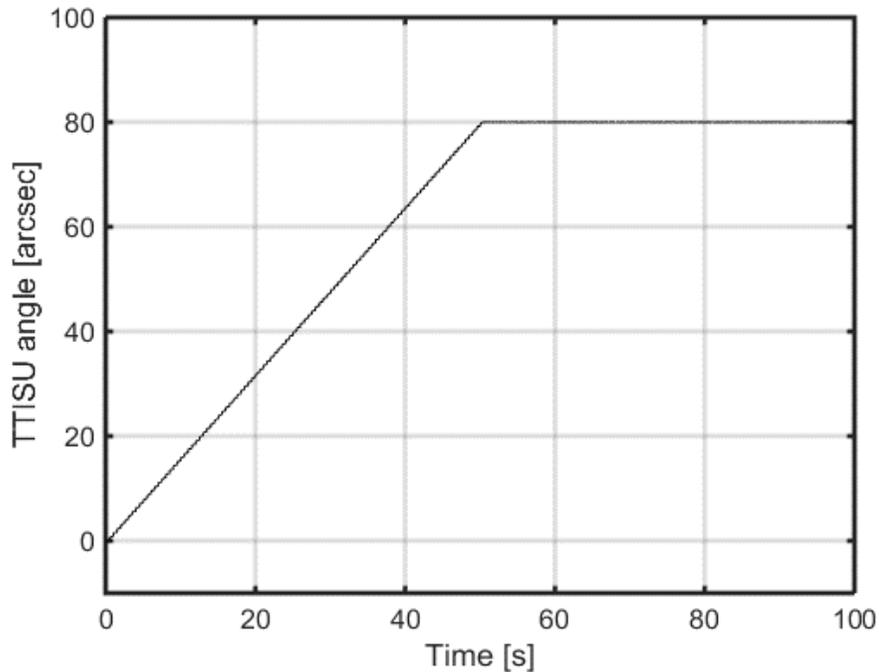
## 主鏡傾動機構開ループ伝達関数周特性



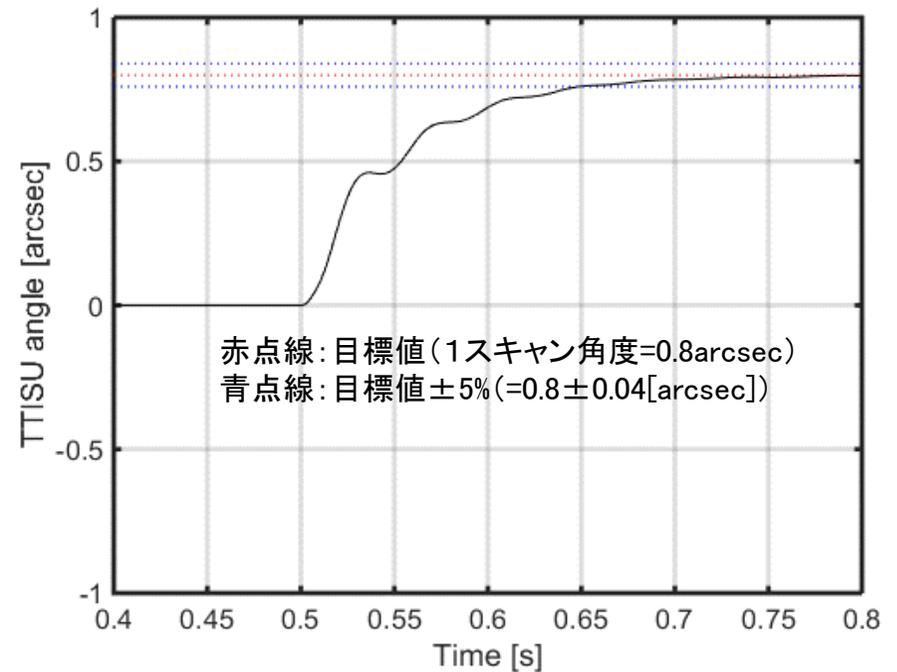
クロスオーバー周波数: 12.6[Hz]  
 → 制御帯域10Hz以上の要求を満たせる

# スリットスキャン応答時間

傾動機構スキャン指令



傾動機構スキャン指令 (拡大図)



## スキャン条件

スキャンステップ角: 0.8[arcsec] (機械角)  
 スキャン・レンジ: 0~+80[arcsec] (機械角)  
 スキャン時間: 50sec (0.5sec × 100)

スキャンステップ開始時間から0.15[s]後に目標値±5%以内に収束、スキャンステップ開始時間から0.25[s]後に撮像とすれば目標値に十分追従、観測要求の時間分解能0.5secを満たせる