

# SOLAR-C・B案における大型太陽望遠鏡のための衛星システム

勝川行雄、末松芳法 (国立天文台)、清水敏文、坂井真一郎 (ISAS/JAXA)、政田洋平 (神戸大)

松井正安、飯田浩、藤原宏悦、春名泰之 (NEC)、松本達也、田中好和、安藤聡祐、田中智幸 (MELCO)、SOLAR-Cワーキンググループ

## 概要

SOLAR-C・B案への搭載を検討している大型太陽望遠鏡では、高解像度とともに分光診断能力を大幅に強化することで、太陽プラズマ中で発生する活動的な現象において磁場の果たす役割を総合的に理解することを目指す。大型望遠鏡を実現する上で、衛星システムへのインパクトが大きい項目、特に、指向安定度要求、軌道・通信要求、光学望遠鏡からの排熱方式、等について概念検討を行った。その結果について報告する。

## 必要データ量と通信系

搭載観測機器の観測目的に基づく検出器の素子数と撮像間隔から見積もられるデータ量を以下のテーブルに示す。大容量データを地上に伝送するため、各搭載観測装置は可逆あるいは非可逆圧縮方式によって、画像圧縮をする必要がある。一定レートで連続的に観測するモード(standard)では、平均**8Mbps**のデータ出力レートが要求される。加えて、科学目的に応じて、短時間高データレートで観測するモード(burst)を持つ。standardモードで24時間連続観測を実施する場合、データ量は1日あたり約**700Gbits**になる。このデータを格納するため、また、burst観測時のデータを一時格納するため、大容量データレコーダーが必要となる。

Instruments		Data rate (Mbps)		
		No comp.	Lossless comp.	Lossy comp.
Solar UV-Vis-IR telescope	standard	14.4	6.1	2.5
	burst	320	128	48
UV/EUV spectroscopic telescope	standard	7.0	3.0	1.5
	burst	140	60	30
X-ray telescope (grazing incidence photon counting)	standard	6.9	3.5	
	burst	110	55	
Total	standard	28.3	12.6	7.5
	burst	570	243	143

## 通信系

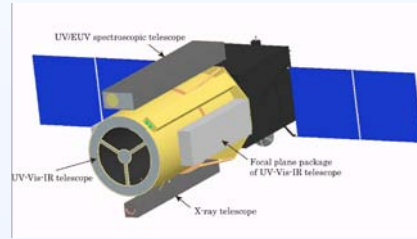
上記データ量を地上へ伝送するための通信系システムを検討した。

- Xバンド (静止軌道)
  - 16-QAM変調 (ASNAROへ向けて開発中)
  - ~10MHzの帯域幅で、**16Mbps**のビットレート
  - 1日あたり12時間の通信時間が必要
  - 低ゲインな指向性アンテナを複数持ち、アンテナの切り替えによって全方位をカバー
  - 50W TWTA
  - USC局の使用を仮定、ただし、16-QAM復調器が必要
- Kaバンド (オプション、静止軌道)
  - QPS変調
  - ~100MHzの帯域幅で、**80Mbps**のビットレート
  - 1日あたり144分の通信時間が必要
  - 30cm径程度のハイゲインアンテナを2軸ジンバルによって駆動
  - 0.5W SSPS
  - USC局でKaバンドを使用可能にする、あるいは、NASA/ESA局の使用

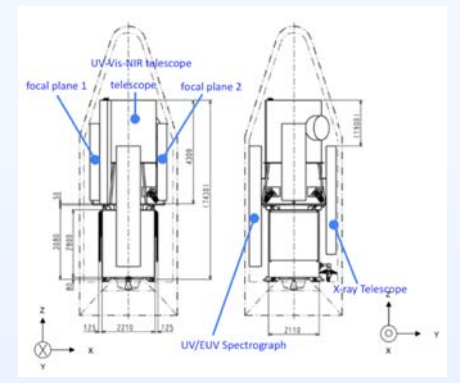
## 衛星コンフィギュレーション

SOLAR-C・B案へ搭載を検討している3つの搭載望遠鏡、および、光学望遠鏡の焦点面観測装置パッケージの寸法・重量の見積りを下表に示す。搭載機器の重量は全体で約**1000kg**、衛星全体(バス+搭載機器)の重量は推葉無しで約**2200kg**になる見込みである。SOLAR-C・B案の軌道として、静止軌道を採用する場合、軌道投入のために、2300kg程度の推葉が必要となる見込みである。衛星全体の重量は打上げ時**4500kg**程度となる。今後、寸法と重量の最適化を検討していく予定である。

Instruments	Size (mm)	Weight (kg)	Note.
Solar UV-Vis-IR telescope	Telescope	φ2300 x 4300	500
	Spectrograph	1000 x 400 x 3200	100
	Imager	1000 x 400 x 3200	100
UV/EUV spectroscopic telescope	1000 x 500 x 5000	150	高スループット・高解像度・広波長感度によって、彩層・遷移層・コロナの幅広い温度域に対してプラズマ分光診断を行う
X-ray telescope (grazing incidence)	400 x 400 x 4500	150	光子数計測検出器を使用し、軟X線域でコロナの分光撮像観測を実現する
Total		1000	



SOLAR-C・B案の衛星コンフィギュレーションの1案。中央に口径1.5mの大型光学望遠鏡。その周囲にUV/EUV分光器やX線望遠鏡を配置する。搭載望遠鏡は光学ベンチユニットにマウントされる。



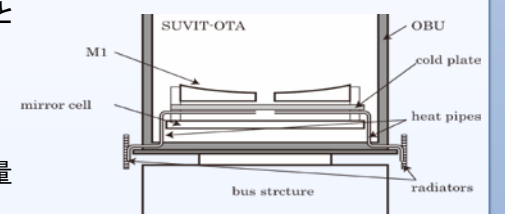
SOLAR-C・B案衛星をHIIA 4Sフェアリングに収納した場合。現状の機器サイジングでは、UV/EUV望遠鏡やX線望遠鏡の開口を下げて配置する必要がある。この場合、光学望遠鏡側面を見てしまうため、開口からのコンタミネーションが問題になる可能性があり、今後検討する必要がある。

## 大型光学望遠鏡の排熱

SOLAR-C・B案の熱設計は、「ひので」衛星と同様の方針とする。すなわち、

- 搭載望遠鏡は低熱膨張なCFRP製の光学ベンチユニットにマウントする
- 搭載望遠鏡、光学ベンチユニット、衛星バスはそれぞれ断熱させる

これによって、搭載機器開発における熱インターフェイスの単純化を図るとともに、機器間のアライメント変動を最小にする設計とする。



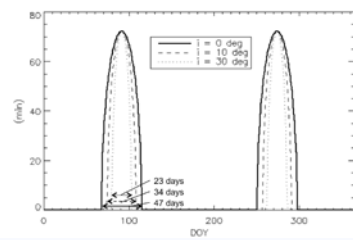
光学望遠鏡の主鏡から衛星側面への熱輸送コンセプト。主鏡とcold plateは輻射で熱的に結合させる。ヒートパイプはcold plateから衛星側面の放熱板へ熱を輸送する。

「ひので」からの大きな変更点として、口径1.5mを想定している光学望遠鏡を適切な温度に維持するため、主鏡が吸熱する熱量のうち、**100-200W**を望遠鏡下部から排熱する必要がある。1案として、主鏡下部に設置した放熱板(cold plate)からヒートパイプによって、衛星バスあるいは光学ベンチ側面に設置した放熱板への熱輸送をはかる。

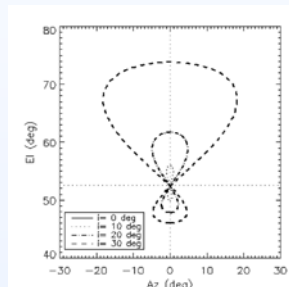
## 軌道

SOLAR-C・B案の軌道として、以下の2つを比較検討した。

- 静止軌道(Geo-synchronous orbit)
  - NASAのSolar Dynamics Observatoryで使用
  - 高度36000km, 軌道傾斜角<30度, 軌道周期1日
- 太陽同期極軌道(Sun-synchronous orbit)
  - ひので, TRACE, IRISなどの太陽観測衛星で使用
  - 高度680-800km, 軌道傾斜角97-98度, 軌道周期98分



静止軌道の場合の日陰時間。日陰時間は最長72分。年に2度それぞれ約1ヶ月の日陰期間がある。



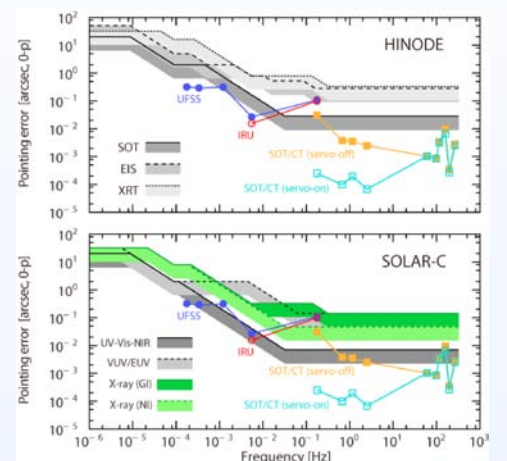
静止軌道の場合の地上局(USC局を仮定)から見た衛星の位置。傾斜角30度までなら衛星を高高度に見ることができる。

上述のデータ量と通信の観点から、静止軌道がSOLAR-C・B案として最もふさわしい。ただし、軌道傾斜角は必ずしも0度(赤道直上)でなくてもよい。また、静止軌道の場合、太陽同期極軌道と比較して、低温で安定した熱環境を実現でき、日陰期間を短くすることができるなど、メリットが大きい。ただし、静止トランスファー軌道から静止軌道へ投入するためのアポジエンジンを持つ必要がある。

## 指向安定度

SOLAR-C・B案では、ひのでよりも2-5倍の高い解像度を目指している。ひのでにおける指向安定度の軌道上実績の解析(政田他, 2011)から、SOLAR-C・B案において更なる高解像度をめざすために、必要な対策を明らかにした。

- 軌道周回変動 ( $10^{-5} - 10^{-3}$  Hz)
  - 衛星を静止軌道に投入することで、姿勢センサーと望遠鏡のアライメント変動が十分におさえられる見込みである。
- 姿勢制御帯域上限周波数付近での指向安定度劣化 (~0.1Hz)
  - 「ひので」のテレメトリデータと姿勢制御系のロジックの精査を行っている。姿勢制御系で改善できない場合、望遠鏡内部に像安定化装置をもつ必要がある。
- 高周波帯域の微小擾乱 (>100Hz)
  - 擾乱源である、ジャイロやホイールの低擾乱化を図る。振動アイソレータによる擾乱伝達抑制を検討する。光学望遠鏡の像安定化装置の帯域を20Hzから100-200Hzに広帯域化も検討する。



ひので(上)とSOLAR-C・B案(下)における指向安定度要求とひので軌道上実績の比較。各帯は指向安定度要求とその3分の1のレベル(conditionally acceptableレベル)を表す。ひので軌道上実績はセンサー(UFSS)、ジャイロ(IRU)、像安定化装置(CI)のテレメトリデータから評価した。