

SOLAR-C衛星のシステム検討

Conceptual study on the spacecraft system for SOLAR-C

吉原圭介、清水敏文、坂尾太郎(宇宙研)、渡邊鉄哉、原弘久、末松芳法、勝川行雄(国立天文台)、一本潔(京都大)、Solar-C WG
 K. Yoshihara, T. Shimizu, T. Sakao (JAXA), T. Watanabe, H. Hara, Y. Suematsu, Y. Katsukawa (NAOJ), K. Ichimoto (Kyoto-U) and Solar-C WG

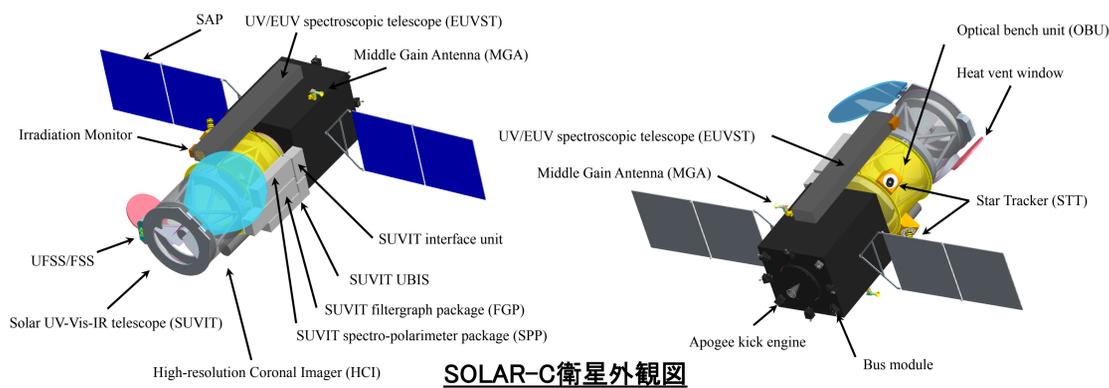
概要

次期太陽観測衛星「SOLAR-C」は、彩層の磁場観測とコロナの高解像度観測により、太陽の磁気活動の全貌を明らかにすることを目的としたミッションである。この科学目的を達成するため、SOLAR-Cには、光学磁場診断望遠鏡(SUVIT)、紫外線高感度分光望遠鏡(EUVST)、高解像度コロナイメジャ(HCI)の3つの望遠鏡を搭載し、各波長域での高解像度観測を実施する。衛星システムとしてのSOLAR-Cの技術的特徴は、**高精度指向安定**、観測装置の高精度アライメント管理とそれを支える高精度構造の実現、高速データ処理・伝送、光学系の汚染管理等であり、これらの技術は今後の高解像度衛星観測に広く展開可能である。SOLAR-Cでは、望遠鏡の高解像度化・高精度化等により、さらに高度化した要求に応えるべく、「ひので」衛星の開発を通じて培われた技術をベースにしつつ先進的な技術を適用することで、これらの技術を実現する。

また、SOLAR-Cシステムは**大規模な国際協力により開発**される。計画段階においては、この点を十分に考慮したプロジェクト計画・開発検証シナリオを構築すること、実行段階においては、計画に基づく緻密なマネージメントと、これを可能とする体制の構築・維持が必要となる。

衛星システムの概要

SOLAR-Cは、現在MDRに向けて準備中であり、ミッション要求・システム要求の定義とともに、システムとしての成り立ちを確認するため、システム概念検討を進めている。現在検討中の衛星システムの概要を以下に示す。観測機器の大型化と静止軌道投入用の推進システムにより、SOLAR-Cの衛星外形は「ひので」のほぼ2倍に達する。また、LEO(太陽同期軌道)で観測運用されている「ひので」に対し、SOLAR-Cでは、**高高度(静止)軌道での運用**を想定する。



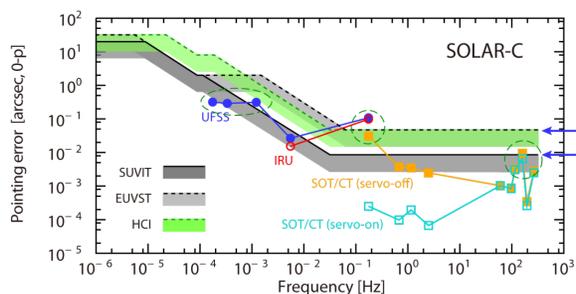
SOLAR-C衛星外観図

Model specification of the spacecraft system	
Spacecraft layout	Spacecraft bus-module and precision optical bench on top Three Telescopes mounted on the optical bench
Size	3.7 m x 3.2 m x 7.1 m, excluding solar array paddles
Weight	4 t (at liftoff), 2.3 t (dry weight)
Orbit	Geosynchronous orbit with a non-zero inclination
Power	Power generation: 5kW @EOL Load: 1.5kW (average) plus operation heaters
Communication	Mission data downlink: X-band 16-QAM, 24Mbps Uplink and housekeeping downlink: S-band
Data Handling	Average mission data rate: 8Mbps Data recorder storage: 160GB@EOL(3years)
Pointing stability and Attitude control	3-axis attitude control with very high Sun pointing accuracy Image stabilization system in each telescope Instrument's slit-direction can be changed by satellite roll control.
Science operation features	Pre-scheduled science planning similar to Hinode, occasionally with close-to-real time access to the satellite and operation for target selection

高精度指向安定の実現

◆指向精度要求

SOLAR-Cでは、SUVITでは0.1arcsec、EUVSTおよびHCIにおいては0.3arcsecといった高空間分解能が要求される。これらの空間分解能は、「ひので」搭載の望遠鏡に対して2~5倍程度高いものとなっている。これらの高解像度観測を実現するため、衛星システムには、きわめて厳しい指向性能(指向精度・安定度)が規定される(下図)。



SOLAR-Cにおける指向安定度要求と「ひので」指向安定度実績(●UFSS, ○IRU, ■CTM)の比較。帯が各ミッション機器に対する指向安定度要求とその許容レベル(要求の1/3に対応)

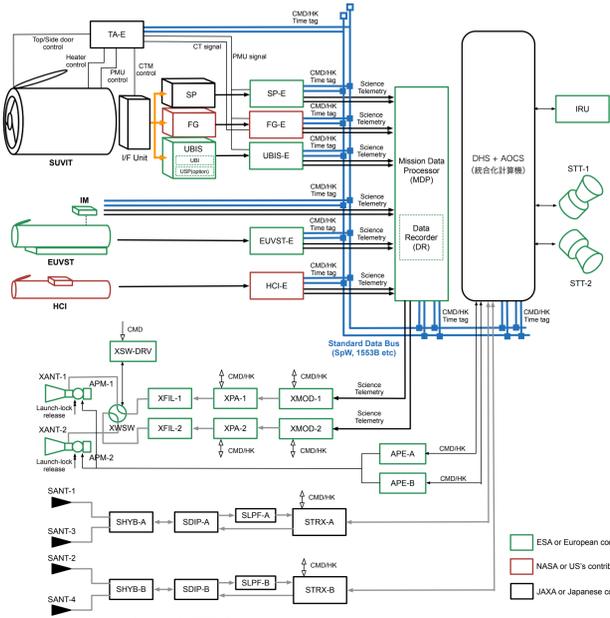
◆開発方針

指向性能は、機体の指向制御、各望遠鏡内に備えた像安定化システム、宇宙機/観測装置の構造設計等により総合的に達成される。また、指向性能の達成には、衛星開発の全てのフェイズを通しての擾乱管理が重要である。SOLAR-Cにおいては、「ひので」の技術をベースとしつつ、さらなる指向安定度の向上が必要な周波数領域を識別し、下表に示す設計上の対処を行うことで要求を実現する方針である。

Science requirement	Absolute pointing accuracy	Pointing stability performance		
		Long term	Mid. Term	Short term
Frequency band	DC to 0.001 Hz	0.001 to 0.01 Hz	0.01 to 10 Hz (TBD)	over 10Hz
Telescopes / Spacecraft system		Low frequency band	Mid. Frequency band	High frequency band
SUVIT		Control bandwidth of the image stabilization system in SUVIT		
EUVST		Control bandwidth of the image stabilization system in EUVST		
XIT		Control bandwidth of the image stabilization system in XIT		
Spacecraft system		Control bandwidth of AOCS		Implementation of passive vibration isolator for RWs.
		Reduction of the thermal distortion in Optical bench unit (OBU).		Adoption of non-mechanical gyroscope for IRU, microstep drive logic for the antenna pointing system
		Selection of an operation orbit with stable thermal environment.		

国際協力によるシステム開発

SOLAR-Cは、日本が主導する計画ではあるが、技術的な観点および資金規模の観点から、大規模な国際協力により実現する構想である。SUVITの2つの焦点面観測装置および、他の2つの望遠鏡(EUVST, HCI)と1つの観測装置(IM)は、欧州・米国により開発される。バス部についても、ミッションデータ処理系/伝送系と、AOCSの一部のコンポーネント(STT, IRU)が欧州から供給される。SUVITの焦点面装置の1つ、バス部・ミッション部・システム開発とりまとめ、および、打ち上げについては、日本が担当する(詳細は、P-133を参照)。



欧州・米国とのInternational Task Share

※上図に記載が無い部分は日本が開発を担当する

低周波帯域

- 主として自然外乱、軌道上での構造の熱変形による姿勢センサと望遠鏡のアライメント誤差による指向誤差への対応。
- SOLAR-Cでは、**熱的に非常に安定した静止軌道**をベースラインとして設定。
- 「ひので」実績をベースとした熱歪み・アライメント誤差を抑制する光学ベンチ(OBU)およびインタフェースの設計。
- UFSS/STT/IRUによる高精度姿勢決定をベースとした姿勢制御+各望遠鏡の像安定化装置による指向安定の確保。

中間周波帯域

- 「ひので」においては、0.1Hz付近に想定外の擾乱が軌道上で観測された。
- このような想定外の擾乱が存在するリスクも考慮し、**各望遠鏡に像安定化システム**を搭載することを基本方針とする。
- 早いフェーズよりバス部および観測センサ内部の擾乱源の識別と擾乱レベルの予測を行う。また、計測限界以下の擾乱は発生し得るものとし、指向精度への影響評価を行う。

高周波帯域

- 「ひので」において観測されたような高周波数域での擾乱に対する抑制が必要。
- 擾乱自体の抑制のため、「ひので」の経験も踏まえた**擾乱低減策(望遠鏡内像安定化装置の低擾乱駆動、非機械式ジャイロ適用、通信アンテナの低擾乱駆動等)**を採用。
- 擾乱伝達の抑制のため、**RWに対する受動型振動アイソレータ**を適用。
- 数学モデルによる擾乱伝達特性の評価に加え、擾乱伝達特性試験をMTM, FMIにおいて実施。

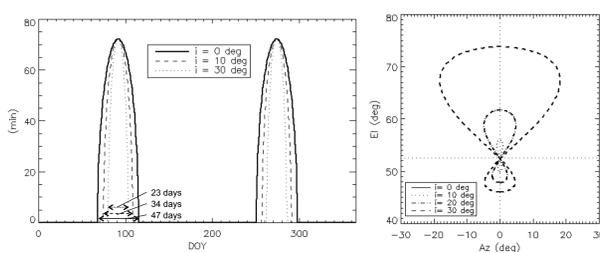
高高度軌道(静止軌道)での観測運用

SOLAR-C観測軌道の選定にあたっては以下の要求に対してトレードオフを行った。

- 1日あたり160GB~の観測データの伝送が日本および欧州の地上局を用いて可能なこと(下表)
- 極めて高い像安定化要求、アライメント要求の実現
- 観測機器熱設計の容易性(特にSUVIT望遠鏡の熱設計)
- 中断のない24時間連続観測の実現性
- リアルタイム観測運用(観測画像を確認しつつ衛星の指向軸を変更し観測を継続)
- H2A 202形態での軌道投入の実現性

◆ベースラインとして選定した観測軌道

- Inclined geo-synchronous orbit (GSO):
- Similar to Solar Dynamic Observatory (NASA)
 - Altitude: 36,000 km. Inclination: 28.5 deg (baseline)



GSOにおける日陰解析の例

USCからの可視の例

Instrument	Estimated data rate (Mbps)	Standard	
		Standard	Burst
Solar UV-Vis-IR telescope (SUVIT)	Spectro-polarimeter (SP)	1.3	16.0
	Filtergraph (FGP)	1.3	32.0
	NUSP ⁽¹⁾	1.2	11.0
	UBF	1.2	12.0
UV/EUV spectroscopic telescope (EUVST)		1.7	5.1
Irradiance Monitor (IM)		0.007	
High Resolution Coronal Imager (HCI)		1.3	3.1
Total data rate (including NUSP)		8.0	79.2
Total data rate (without NUSP)		6.8	68.2
Data volume produced in 21h (GB)		64 - 75	
Data volume produced in 3h (GB)			93 - 108

各観測機器からの観測データレート

(圧縮後・推定値)