

SOLAR-C搭載UV/EUV撮像分光望遠鏡(EUVST)の最新設計

Solar-C mission: UV/EUV high-throughput spectroscopic telescope

清水敏文(ISAS/JAXA), Luca Teriaca (MPS), C. Korendyke (NRL), 他LEMUR コンソーシアム、およびSOLAR-C WG

概要

UV/EUV域の撮像分光望遠鏡(EUVST)は、Solar-Cミッションの科学目的の達成のために重要な観測装置である。科学目的の明確化検討に基づいた、要求される観測と装置性能の要求をまとめる。また、要求値に基づき設計された観測装置について、装置概要および科学的性能を示す。設計検討から、挑戦的装置であるが、現有の技術資産(TRL=7以上)で実現可能と考えている。

観測要求のまとめ

- 観測目的のために実現すべき標準的な観測(モード)、観測シーケンスを洗い出した。
- 多様な観測シーケンスは設定可能だが、科学目的の達成に必要な観測を行うために必要なメモリ要求を求めるために、標準的に考えられる観測シーケンスをもとめた。

■ 観測モード

Obs. mode	FOV	Slit width / exposure	Step size	Cadence	T range	N° lines	Data rate ⁽¹⁾
Context ⁽²⁾	240° × 240°	1° × 110 μs	1°	2800 s	0.02 - 10 MK	40	0.47 Mbps
QIS Context ⁽³⁾	112° × 112°	0.56° × 110 μs	0.56°	4000 s	0.02 - 1.5 MK	16	0.19 Mbps
QIS Fast	112° × 112°	0.56° × 110 μs	0.56°	4000 s	0.02 - 1.5 MK	8	1.09 Mbps
QIS Fast	9.8° × 14.2°	0.56° × 110 μs	0.56°	70 s	0.02 - 1.5 MK	8	1.09 Mbps
QIS Ultra Fast	5° × 14.2°	1° × 110 μs	1°	15 s	0.02 - 1.5 MK	20	0.51 Mbps
Context Fast	140° × 240°	2° × 110 μs	2°	1500 s	0.02 - 10 MK	20	0.50 Mbps
Context Deep	240° × 240°	2.8° × 230 μs	2.8°	2000 s	0.02 - 2.5 MK	8	0.51 Mbps
SS (out and stars) Fast	1° × 240°	1° × 110 μs	0°	3 s	0.02 - 2.5 MK	20	0.78 Mbps
SS (out and stars) Ultra Fast	0.28° × 9.8°	0.28° × 110 μs	0°	0.2 s	0.02 - 20 MK	4	2.73 Mbps
AR Context ⁽⁴⁾	240° × 240°	0.56° × 110 μs	0.56°	500 s	0.02 - 20 MK	16	3.36 Mbps
AR Fast	240° × 240°	0.56° × 110 μs	0.56°	1000 s	0.02 - 20 MK	8	3.36 Mbps
AR Fast	14° × 14.2°	0.56° × 110 μs	0.56°	75 s	0.02 - 20 MK	8	4.17 Mbps
AR Ultra Fast	5° × 240°	1° × 110 μs	1°	5 s	0.02 - 20 MK	16	1.84 Mbps
Flare	24° × 240°	0.56° × 110 μs	0.56°	25 s	0.02 - 20 MK	12	5.04 Mbps
Dynamics Fast	5.4° × 9.8°	0.56° × 110 μs	0.56°	10 s	0.02 - 2.5 MK	8	3.29 Mbps
Slit camera mounted ⁽⁵⁾	30° × 150°	(0.2 × 1)	n/a	7 s	0.01 MK	n/a	0.06 Mbps

■ 観測シーケンス

Sequence	Observation	Observation sequence	Integration / Data volume
Context	Tracking structures from the chromosphere to the corona, intensity and Doppler shifts over a significant area	QIS context + 5 × QIS Fast AR context + 5 × AR Fast	4000 s × 4.50 GB 5000 s × 18.40 GB
Context and release	Witness on additional coronal structures Dynamics wave mode, damping in e.g. AR loops, prominences, plumes	Context + 40 × Context Fast AR Context + 2400 × SS Fast Context + 140 × AR Fast Context + 90 × QIS Fast AR Fast + 1000 × QIS Ultra Fast	11000 s × 5.82 GB 7700 s × 7.30 GB 4100 s × 17.41 GB 4000 s × 0.13 GB 4000 s × 13.04 GB
Context and stars	Follow spectra throughout the atmosphere Witness. What to their impact on FB and context	QIS Fast + 300 × Dynamics Fast AR Fast + 140 × AR Fast QIS Context + 30 × QIS Fast	4400 s × 8.70 GB 4700 s × 19.99 GB 4100 s × 4.23 GB
Context and stars	Context long heating. Looking at the signatures of nanoflares	5 × AR Fast	4000 s × 13.44 GB
Context and stars	Observe energy release with structure, plume and evolution. Out of magnetogram evolution	AR Context + 140 × Flare AR Fast + 1000 × SS Ultra Fast	4100 s × 19.82 GB 4000 s × 13.19 GB
Context and stars	Observe energy release in highly-charged areas of ARs	12 × AR context	4000 s × 20.18 GB
Context and stars	Flares and flares channels. What deceleration effects	12 × AR context 10 × QIS context	4000 s × 20.18 GB 4000 s × 8.74 GB
Context and stars	Observe plumes and interferences above the limb Observe plume mode on the limb	Context + 5 × Context Deep Context + 10 × Context Fast Context + 100 × QIS Fast Context + 2400 × SS Fast	12000 s × 7.52 GB 11000 s × 5.82 GB 7000 s × 0.91 GB 4000 s × 0.13 GB
Context and stars	Observe AR evolution Observe structure loop above the limb	AR Context + 124 × AR Fast Context + Context Deep	4000 s × 15.13 GB 4000 s × 3.80 GB

- 高データレートが必要な観測(Flare, AR fast等)は、連続観測が重要であり、8時間以上/日継続できることが求められる。

観測装置要求のまとめ

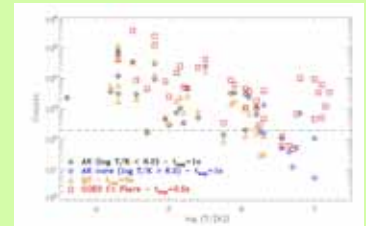
Field	Required value
Spatial resolution (67% encircled energy)	≤ 0.28" (0.14" pixel)
Typical exposure times	0.1 - 20 s
Temperature coverage	0.01 to 20 MK
Spectral resolution	λ/Δλ: 16 000 to 30 000
Field of view	Slit length: 280° Raster coverage: 300° (without re-pointing) Coarse pointing mechanism for accessing features at off positions
Mirror micro-roughness	About 5 Å rms (target) or better
Slit imaging camera	A chromospheric line-band for co-alignment with other instruments

要求される性能の概略

- 高解像度 0.28"
- 高時間分解能・短露光
最短で 0.1-0.5s (AR), 2-3s (QS)
- 彩層・コロナ・フレアの連続的温度カバー
- 適切なプラズマ診断(温度、密度)能力
- スペクトル分解能 ~ 視野のeIS
- 活動領域をとらえる視野
- 散乱光を最小限とする光学設計
- 他望遠鏡データとの位置合わせ能力

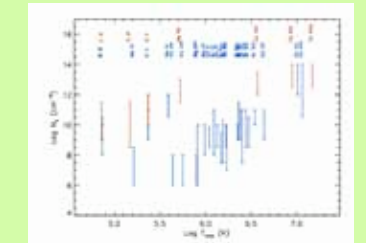
設計結果: 科学性能

観測輝線のカウント数



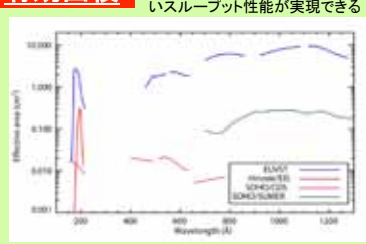
200 cnt: 2km/s精度のドップラ速度導出可能なレベル

電子密度診断能力



有効面積

既存望遠鏡に比べ、約1桁以上高いスループット性能が実現できる

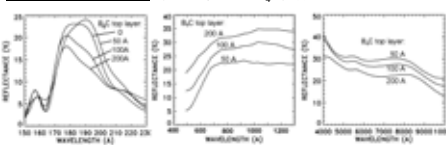


EUVST装置概要

欧米を主体とした国際協力で実現(LEMURコンソーシアム)を目指しており、最新の装置概要を示す

鏡コーティング設計

高反射率Mo/Si-B₂C多層膜鏡



- LW band (>460Å) - 上面のB₂C層で反射
- SW band (170-215Å) - B₂C層を透過、Mo/Si多層膜で反射
- 鏡は-85°Cで運用(SUMERと同様、吸収係数~0.7)。コンタミ防御。

検出器

- SW band (170-215Å)
裏面照射型EUV CCDs
(2Kx2Kx2, 13.5 microns pixels)
薄膜金属フィルター付(可視光除去)
- LW band (>460Å)
Intensified CCD or APS
(4Kx2K, 20 microns pixels)



ASPセンサの場合

Intensified CCD or APS:

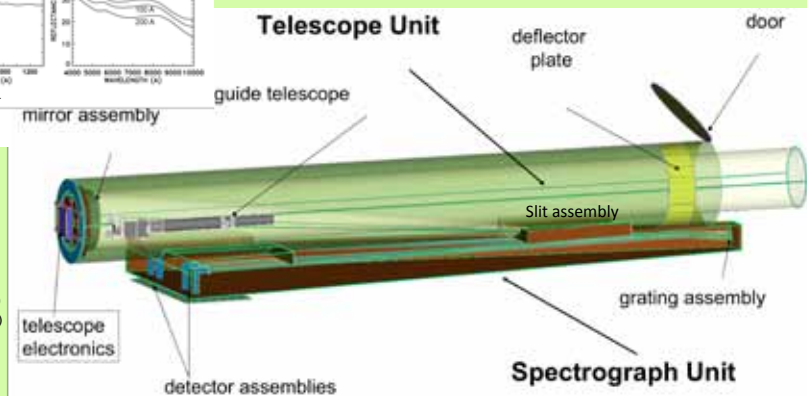
- UV光にのみ感度があるマイクロチャンネルプレート(MCP)で増幅
- 蛍光板に投影された画像を光ファイバで蛍光素子(CCD, APS)に導入

構造

- CFRP構造
- 総重量 155.0 kg

製作分担構想

- 望遠鏡部 - ESA担当
- 分光部 - 欧州各宇宙機関&NASA担当
- 衛星I/F調整等 - 日本



Band	Spectral coverage
SW	170-215Å
LW-1	690-850Å
LW-2	925-1085Å (2 nd order: 463-542Å)
LW-3	1115-1275Å (2 nd order: 557-637Å)

スリット像カメラ

- 位置合わせのために、2Kx2Kカメラ(200°300°, 0.15")でスリット面で反射した光で画像取得
- 160nm continuum(彩層像)を予定

像安定化&ラスタ

- 30cm鏡のティルト: スリットの視野スキャン
- ガイド望遠鏡(SDO/AIA実績品相当)からの信号を用いて、<10Hz帯の衛星ジッターを補正。

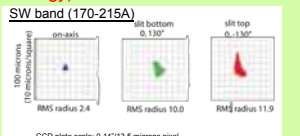


Photo: RAISE TVLS Grating (Hassler)

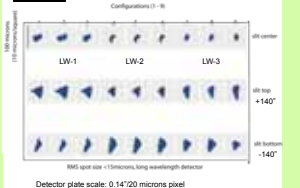
光学設計

- 二素子(鏡-グレーティング)系
- 鏡 30cmφ, 放物面 f 360cm
- スリット面プレートスケール 17.5um/arcsec
- グレーティング2系統(SW, LW)
光学倍率 5.5, 8.1

0.28秒角以下(67% encircled energy)の空間分解能が設計上可能



LW band



TVLS (Toroidal Variable Line Space) グレーティング

光学拡大率を持つことが可能に。Hinode/EISで実績。サブ秒角の解像度が、比較的小さなサイズの望遠鏡で可能となった。