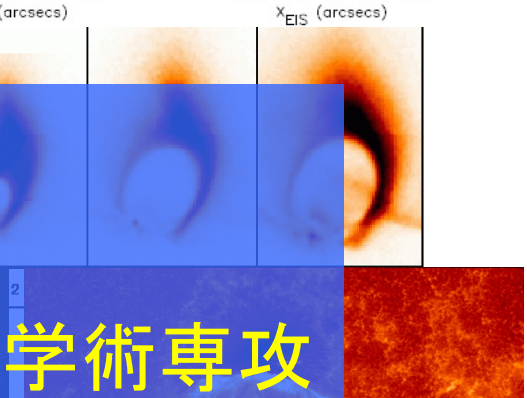
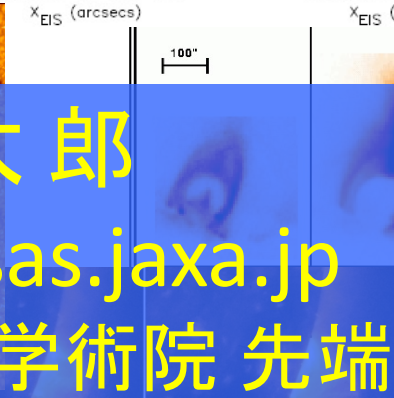
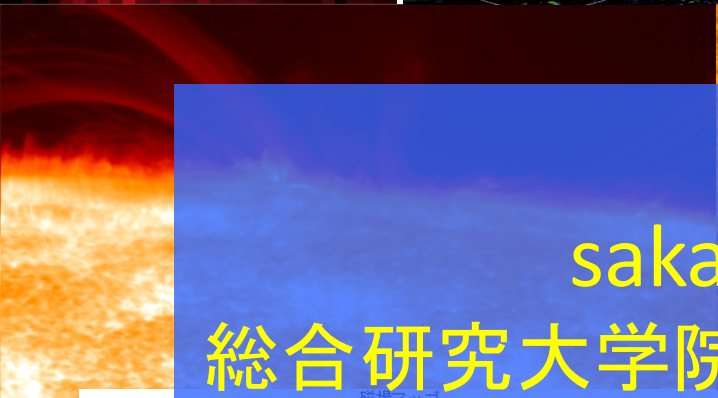
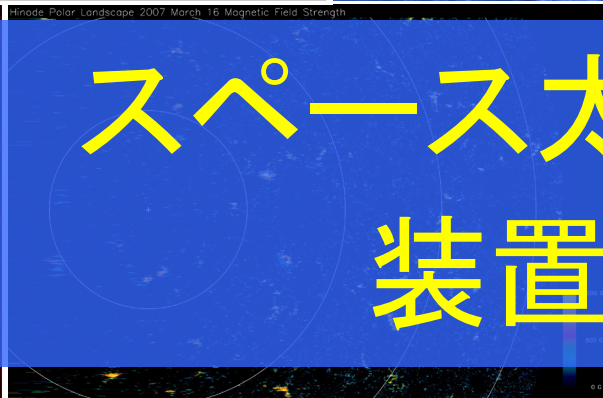
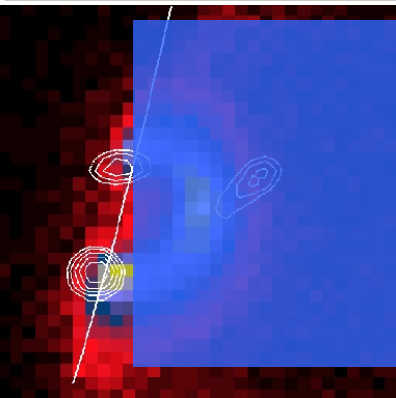


# スペース太陽観測の 装置開発



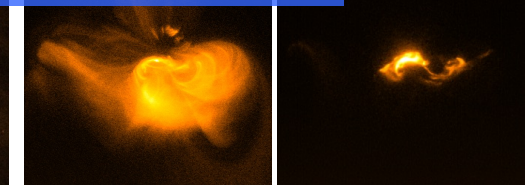
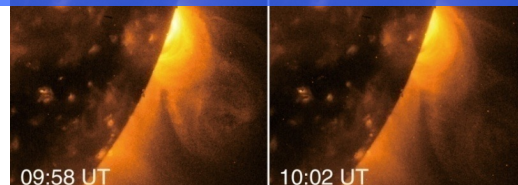
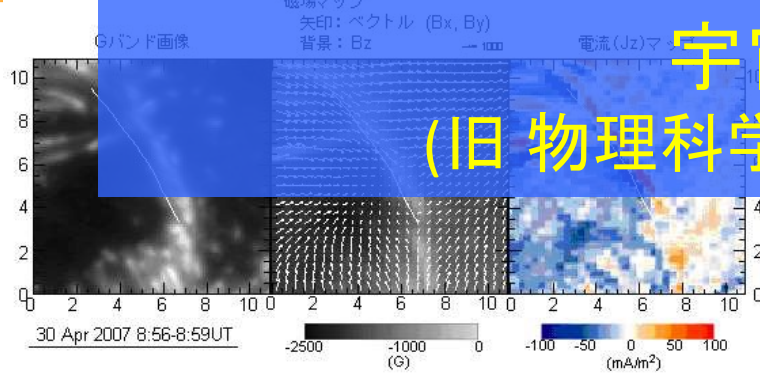
坂尾 太郎

sakao@solar.isas.jaxa.jp

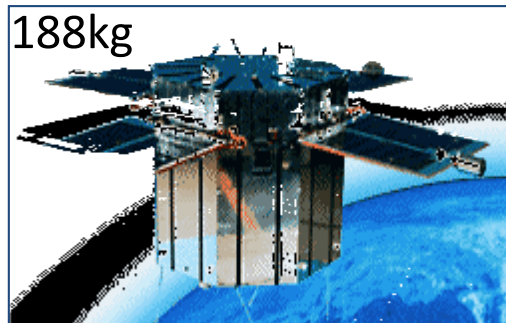
総合研究大学院大学 先端学術院 先端学術専攻

宇宙科学コース

(旧 物理科学研究科 宇宙科学専攻)



# 日本のスペース太陽物理学



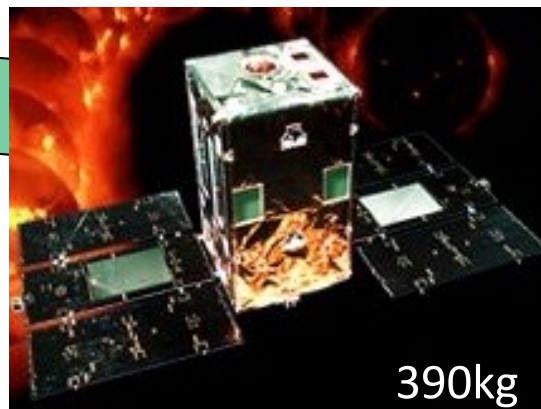
188kg



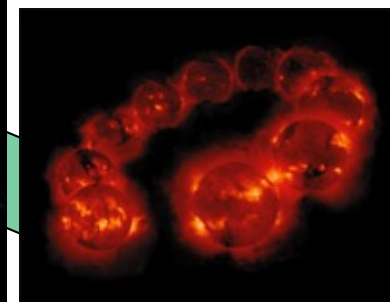
ひのとり/ASTRO-A (1981-1982)

太陽フレアのX線・ $\gamma$ 線観測

ようこう/SOLAR-A (1991-2001)



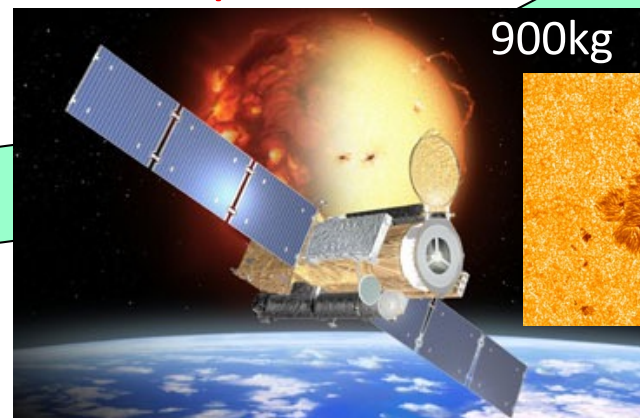
390kg



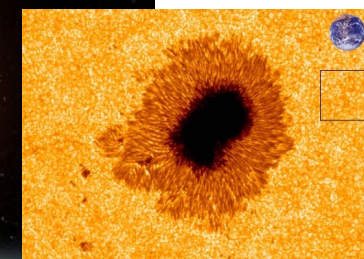
硬X線フレアと軟X線コロナ

飛翔体による  
将来太陽観測

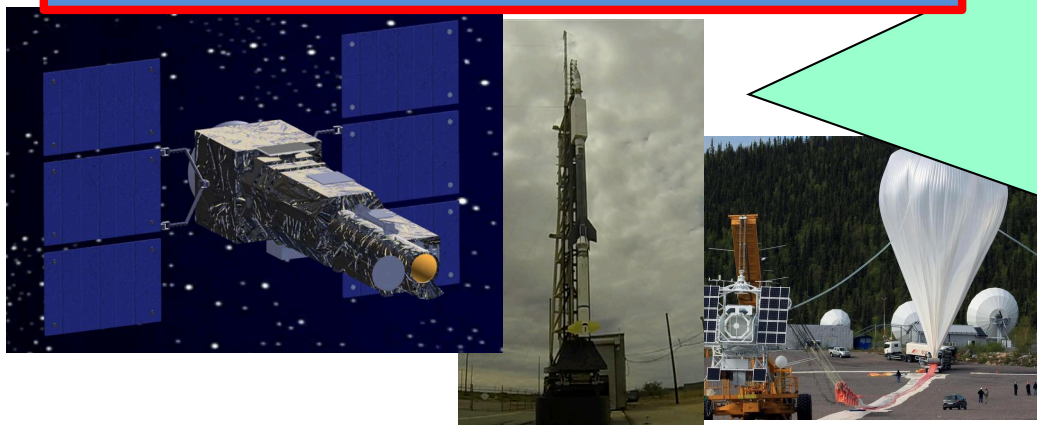
ひので/SOLAR-B (2006-)



900kg



光球面磁場と軟X線・EUVコロナ



# 日本のスペース太陽グループの装置開発

- **ひのとり衛星** (1981-82); ~190kg
  - X線望遠鏡(すだれコリメータ)、X線精密分光計、X線スペクトル計

- **ようこう衛星** (1991-2001); ~390kg
  - 軟X線望遠鏡のCCDデータ処理部
  - 硬X線望遠鏡

- **XUVドブプラー望遠鏡** [ISAS観測ロケット] (1998)
  - 直入射多層膜ミラー
  - 裏面照射型CCDカメラ
  - 可動副鏡機構と制御用センサ

- **太陽フレア硬X線スペクトル計** [ISAS気球実験] (2002)
  - CdTeスペクトル計

- **ひので衛星** (2006-); ~900kg
  - 可視光磁場望遠鏡の望遠鏡部・光学設計
  - X線望遠鏡のCCDカメラ
  - コンタミネーションコントロール

- **CLASPシリーズ** [NASA観測ロケット] (CLASP 2015, CLASP2 2019, CLASP2.1 2021)
  - 望遠鏡部、光学素子、偏光変調装置(可動機構)

- **FOXSIシリーズ** [NASA観測ロケット] (FOXSI-3 2018, FOXSI-4 2024 打上げ予定)
  - 軟X線CMOS検出器 (、硬X線ミラー、硬X線検出器)

- **SUNRISE-3** [ドイツ等国際気球実験] (2024飛翔予定)
  - 近赤外線偏光分光装置

- **SOLAR-C EUVST** (2020年代後半)

- 衛星開発検討、超高精度太陽姿勢計、可動機構

- 将来飛翔体計画 ... 精密X線ミラー、軟X線CMOS検出器 → X線光子計測

これまでの開発



現役で観測中

現在進行中!!

# 日本のスペース太陽グループの装置開発

- **ひのとり衛星** (1981-82); ~190kg
  - X線望遠鏡(すだれコリメータ)、X線精密分光計、X線スペクトル計

- **ようこう衛星** (1991-2001); ~390kg
  - 軟X線望遠鏡のCCDデータ処理部
  - 硬X線望遠鏡

- **XUVドップラー望遠鏡** [ISAS観測ロケット] (1998)
  - 直入射多層膜ミラー
  - 裏面照射型CCDカメラ
  - 可動副鏡機構と制御用センサ

- **太陽フレア硬X線スペクトル計** [ISAS気球実験] (2002)
  - CdTeスペクトル計

- **ひので衛星** (2006-); ~900kg
  - 可視光磁場望遠鏡の望遠鏡部・光学設計
  - X線望遠鏡のCCDカメラ
  - コンタミネーションコントロール

- **CLASPシリーズ** [NASA観測ロケット] (CLASP 2015, CLASP2 2019, CLASP2.1 2021)
  - 望遠鏡部、光学素子、偏光変調装置(可動機構)

- **FOXSIシリーズ** [NASA観測ロケット] (FOXSI-3 2018, FOXSI-4 2024 打上げ予定)
  - 軟X線CMOS検出器 (、硬X線ミラー、硬X線検出器)

- **SUNRISE-3** [ドイツ等国際気球実験] (2024飛翔予定)
  - 近赤外線偏光分光装置

- **SOLAR-C EUVST** (2020年代後半)

- 衛星開発検討、超高精度太陽姿勢計、可動機構

- 将来飛翔体計画 ... 精密X線ミラー、軟X線CMOS検出器 → X線光子計測

これまでの開発



現役で観測中

現在進行中!!

極端紫外線  
撮像分光装置  
(EIS)

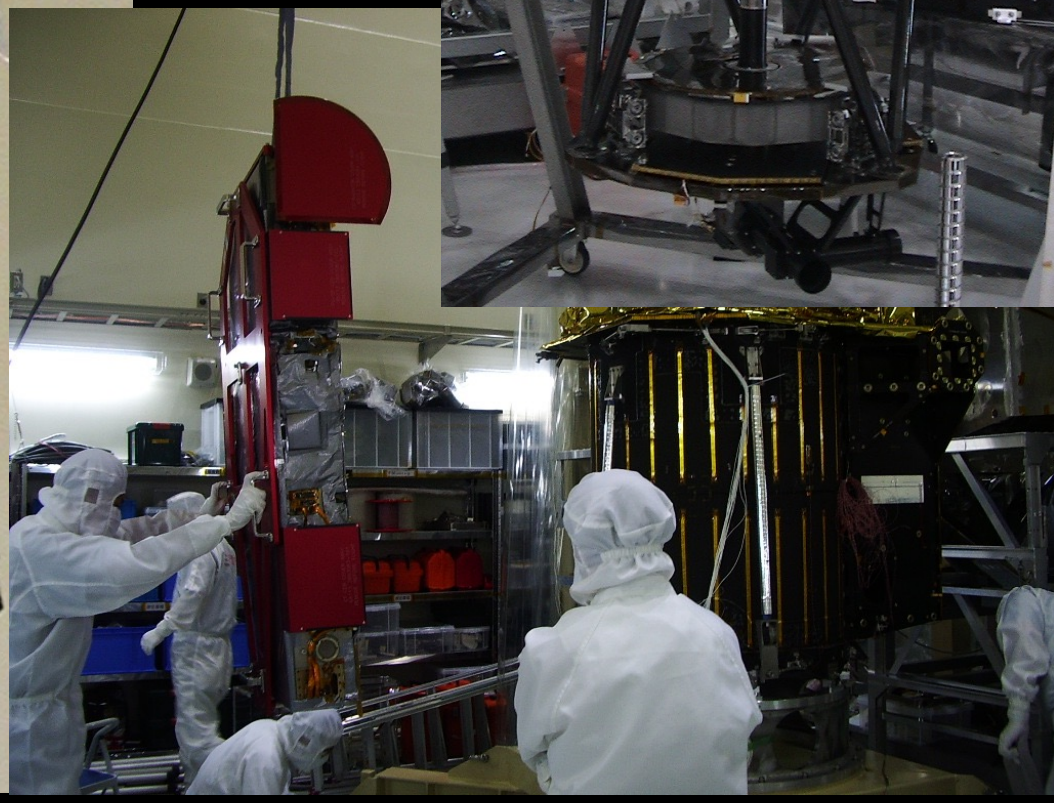
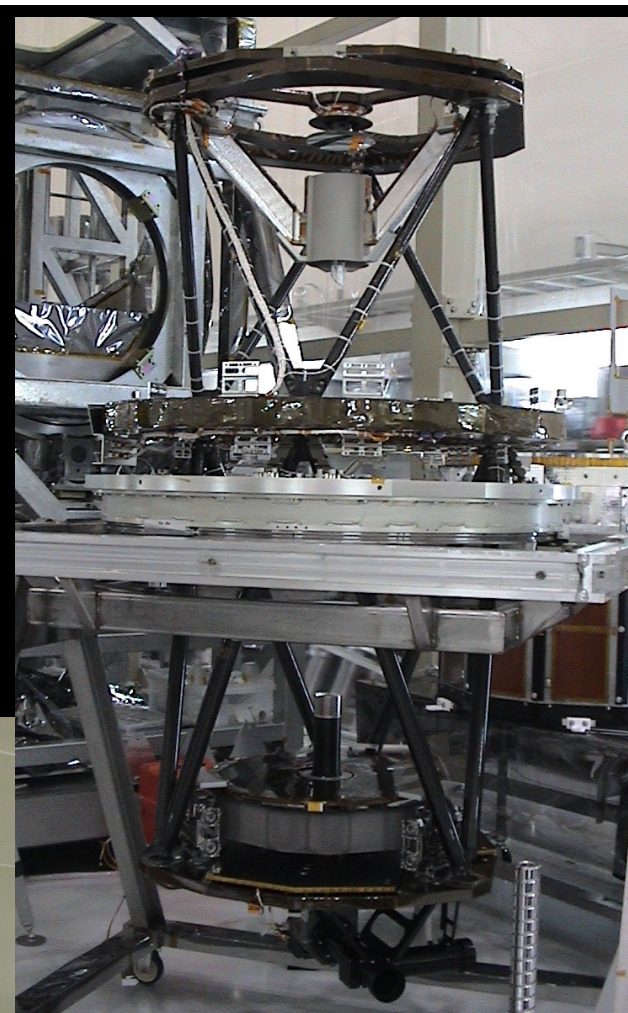
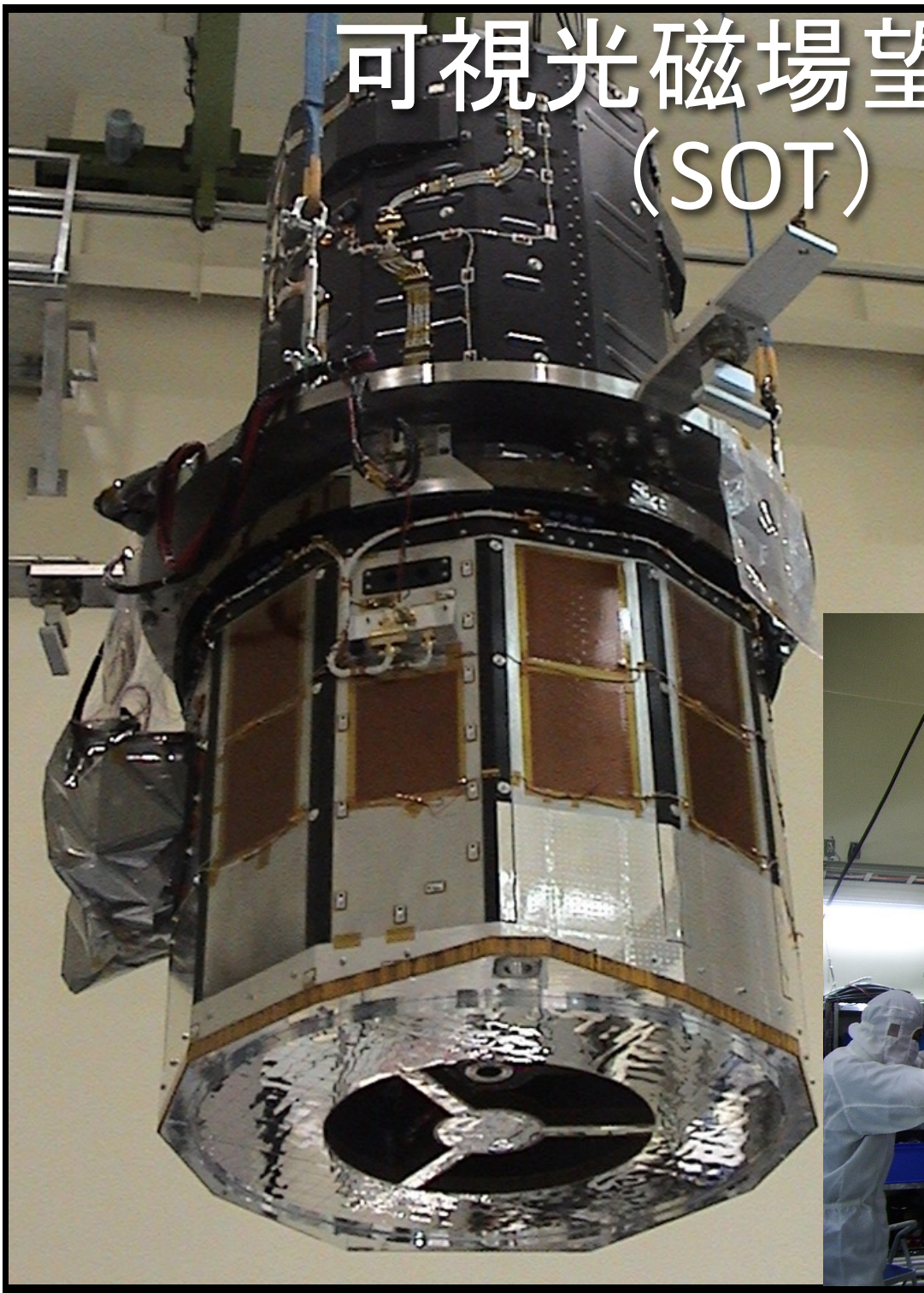
可視光磁場  
望遠鏡  
(SOT)

X線望遠鏡(XRT)

JAXA宇宙研、国立天文台、米国NASA、英国STFC、欧ESAの  
広範な国際協力で開発・運用。

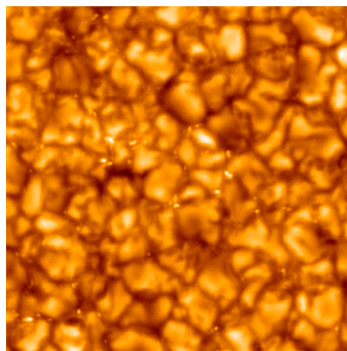
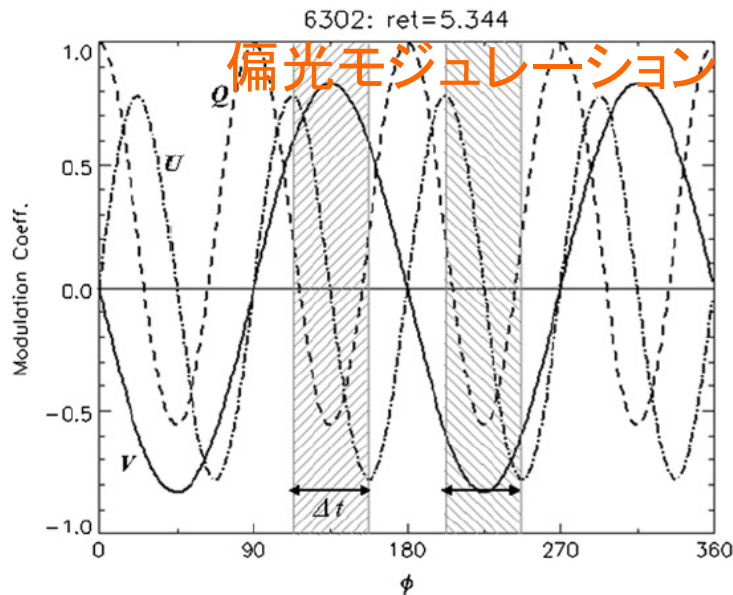
3つの望遠鏡の同時観測で、太陽大気中の活動現象を探る。

# 可視光磁場望遠鏡 (SOT)

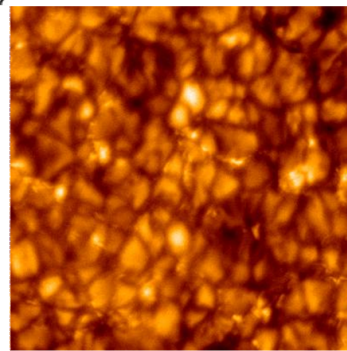


# 可視光磁場望遠鏡 (SOT)

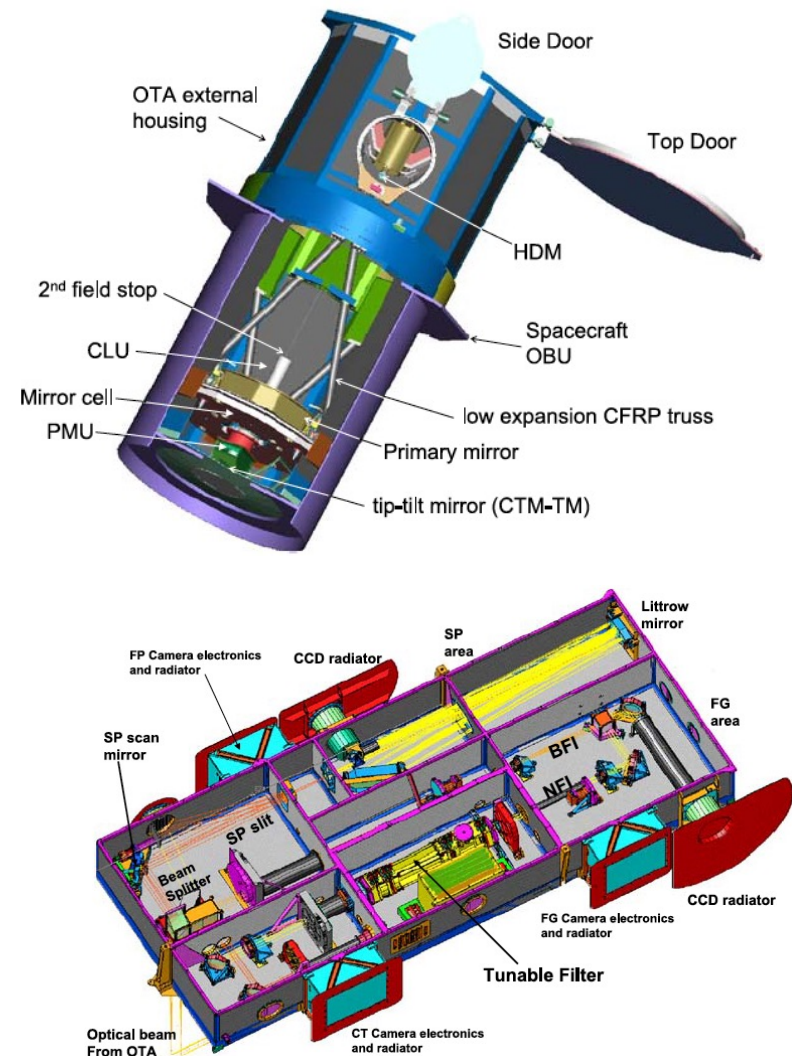
光球からの可視光の直線偏光・円偏光成分の精密計測 (Stokes IQUV)  
 → 光球磁場の3次元成分を取得



「ひので」



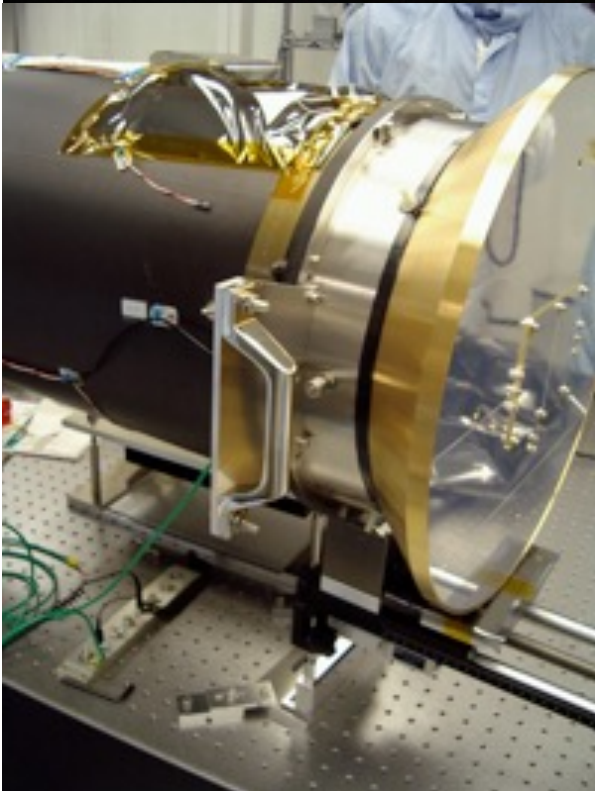
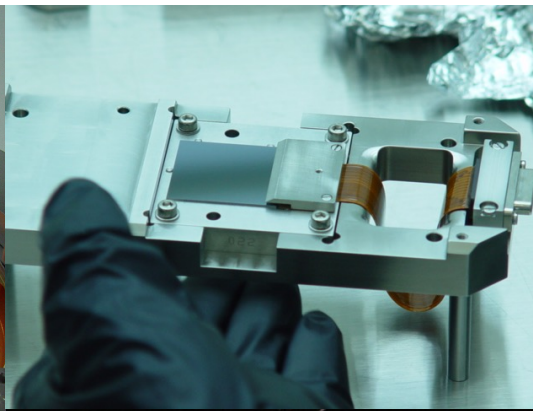
地上望遠鏡による観測例



# X線望遠鏡 (XRT)



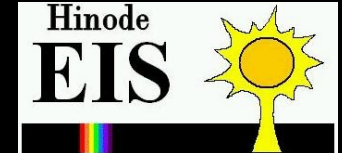
(焦点面CCDカメラ内部)





# EIS

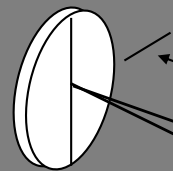
## The high-sensitivity solar EUV imaging spectrometer



**Product:** EUV spectra to determine velocity fields and other plasma parameters in the corona and transition region.

**Primary Mirror**

Normal incidence off-axis telescope with a grating spectrometer.



1939 mm

**Slit Exchange Mechanism**

**Shutter**

**Entrance Filter**

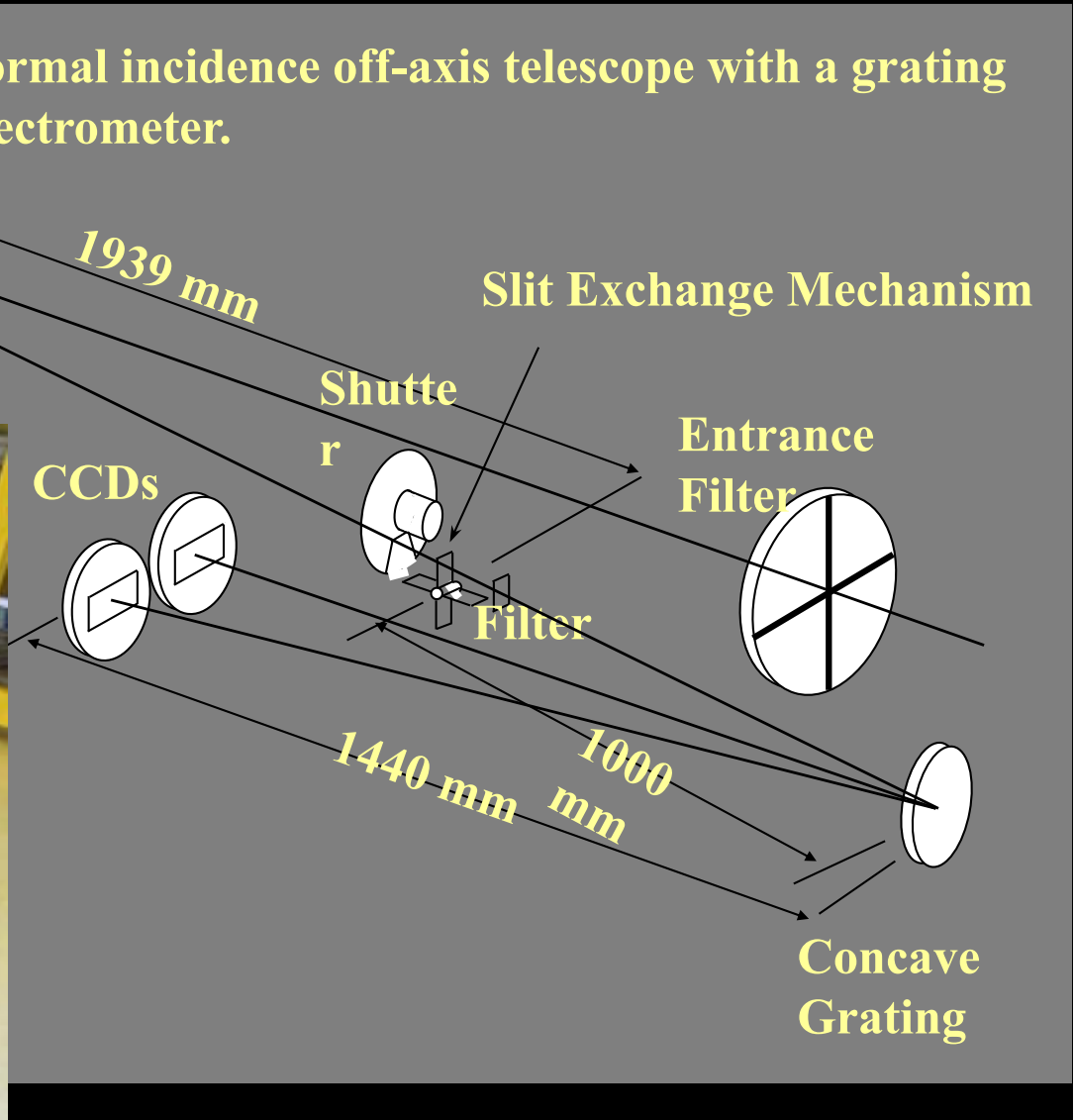
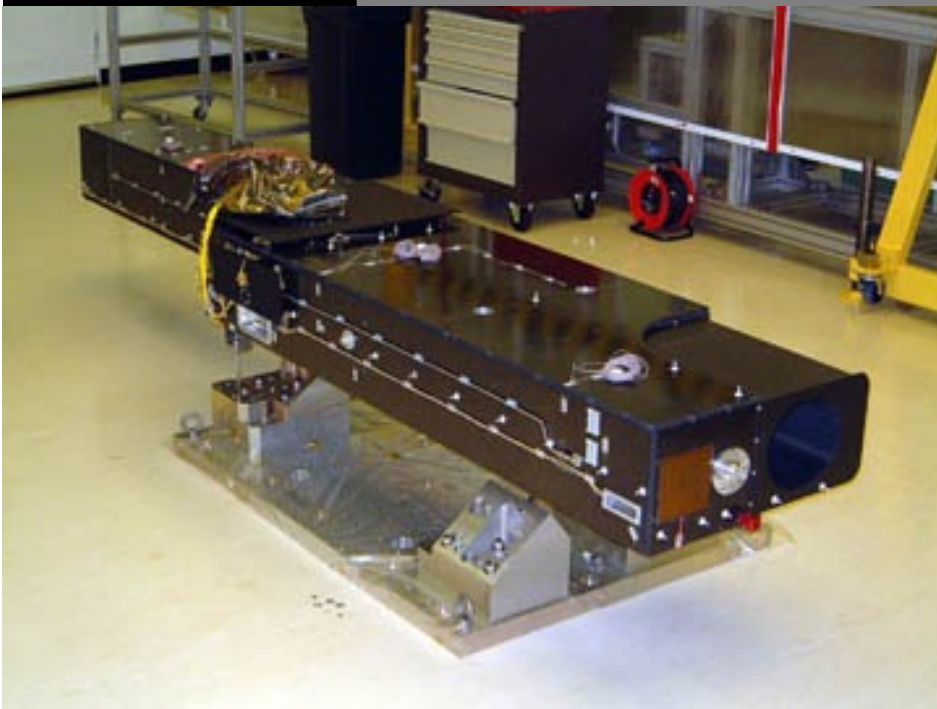
**CCDs**

**Filter**

1440 mm

1000 mm

**Concave Grating**

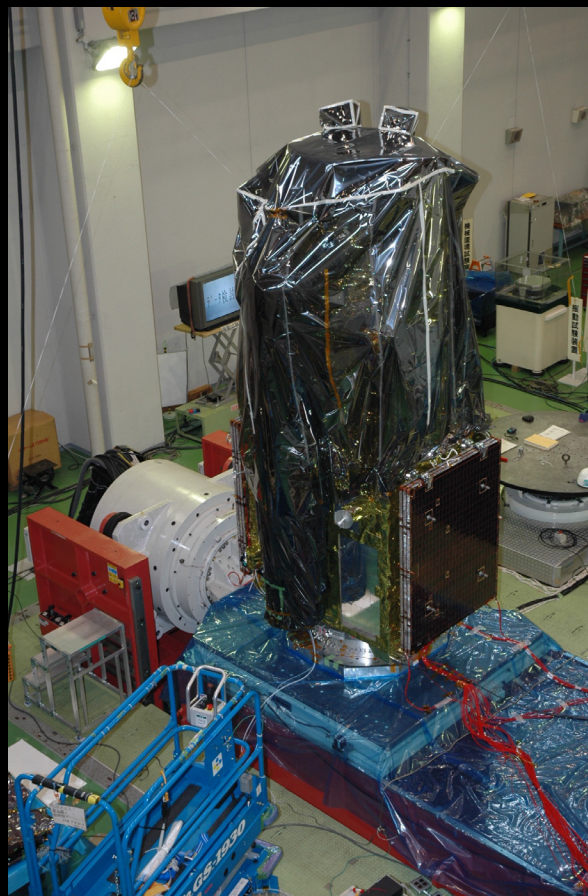


衛星組立作業

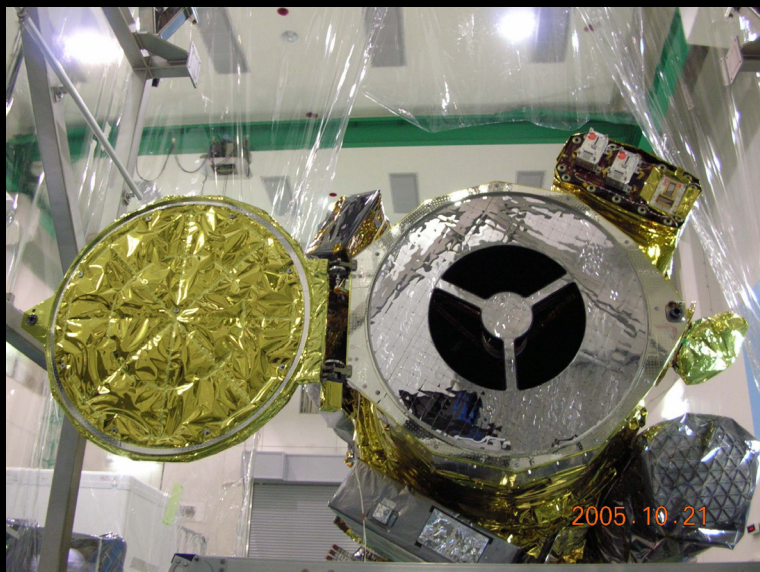
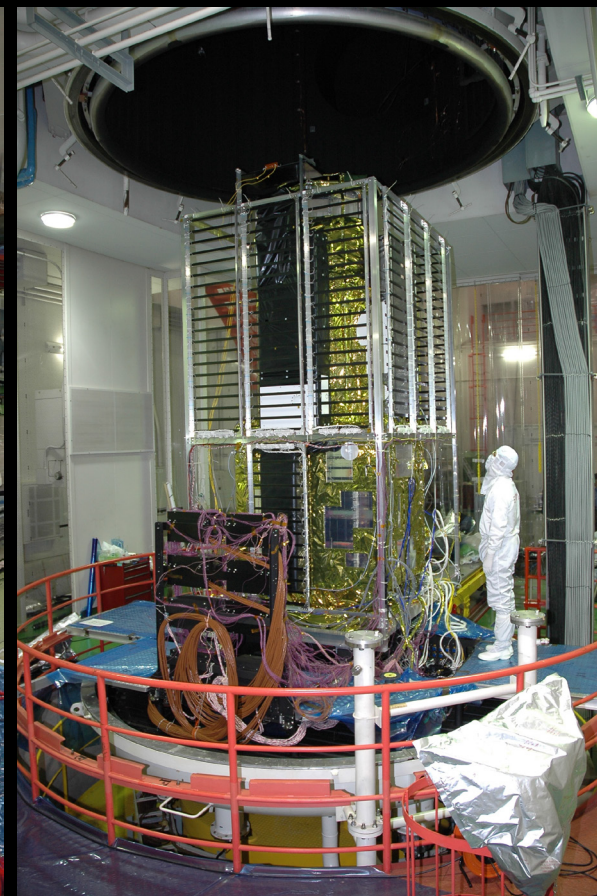


# 衛星総合試験

機械環境試験  
(2005年10月)



熱真空試験  
(2006年3月)



可視光望遠鏡ドア展開試験  
(2005年10月)

# 日本のスペース太陽グループの装置開発

- **ひのとり衛星** (1981-82); ~190kg
  - X線望遠鏡(すだれコリメータ)、X線精密分光計、X線スペクトル計

- **ようこう衛星** (1991-2001); ~390kg
  - 軟X線望遠鏡のCCDデータ処理部
  - 硬X線望遠鏡

- **XUVドップラー望遠鏡** [ISAS観測ロケット] (1998)
  - 直入射多層膜ミラー
  - 裏面照射型CCDカメラ
  - 可動副鏡機構と制御用センサ

- **太陽フレア硬X線スペクトル計** [ISAS気球実験] (2002)
  - CdTeスペクトル計

- **ひので衛星** (2006-); ~900kg
  - 可視光磁場望遠鏡の望遠鏡部・光学設計
  - X線望遠鏡のCCDカメラ
  - コンタミネーションコントロール

- **CLASPシリーズ** [NASA観測ロケット] (CLASP 2015, CLASP2 2019, CLASP2.1 2021)
  - 望遠鏡部、光学素子、偏光変調装置(可動機構)

- **FOXSIシリーズ** [NASA観測ロケット] (FOXSI-3 2018, FOXSI-4 2024 打上げ予定)
  - 軟X線CMOS検出器 (、硬X線ミラー、硬X線検出器)

- **SUNRISE-3** [ドイツ等国際気球実験] (2024飛翔予定)
  - 近赤外線偏光分光装置

- **SOLAR-C EUVST** (2020年代後半)

- 衛星開発検討、超高精度太陽姿勢計、可動機構

- 将来飛翔体計画 ... 精密X線ミラー、軟X線CMOS検出器 → X線光子計測

これまでの開発



現役で観測中

現在進行中!!

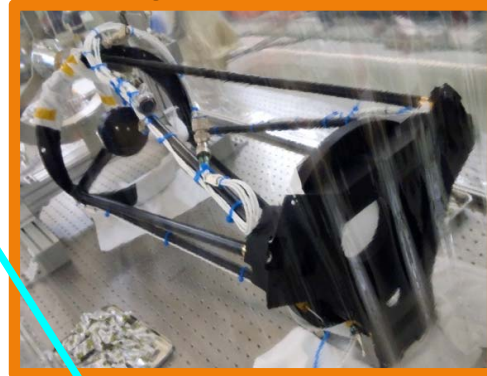
# 直近/現在進行中の装置開発

偏光分光測定により彩層のVUV磁場信号検出を行う  
CLASP ロケット実験

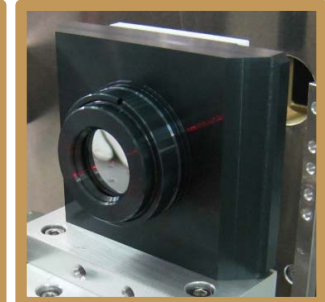
Primary



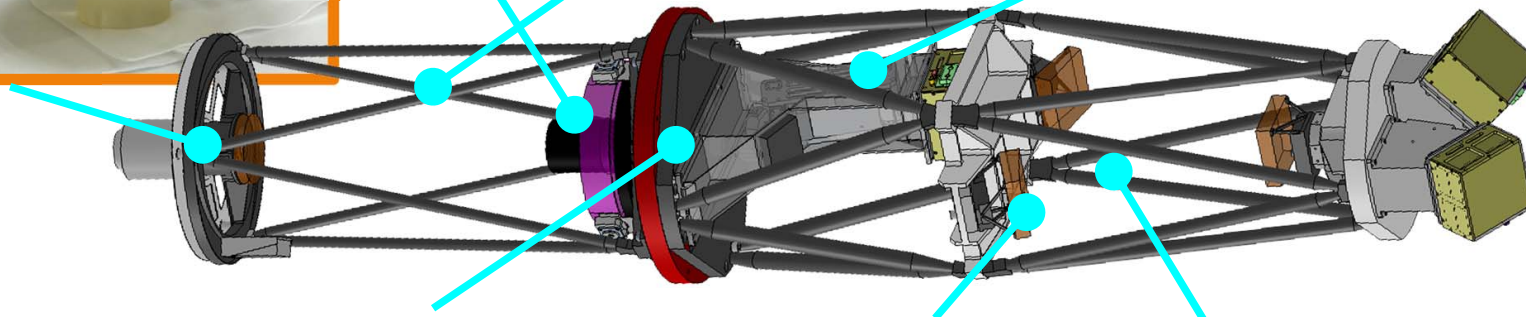
Telescope Structure



Slitjaw optics: mirror unit & filter unit



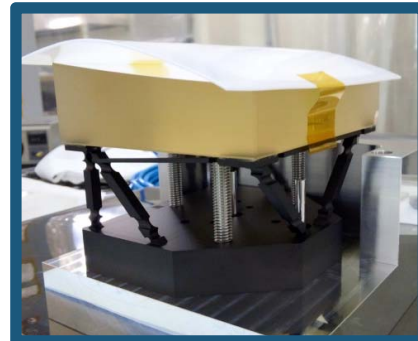
Secondary



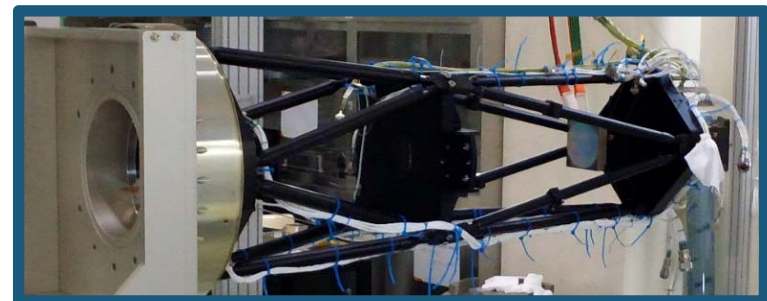
HWP motor (PMU) & driver



Off-axis Camera mirror



Spectro-Polarimeter Structure



(鹿野さんのCOSPAR2014講演スライドより)

# 直近/現在

偏光分光  
CLASP 口

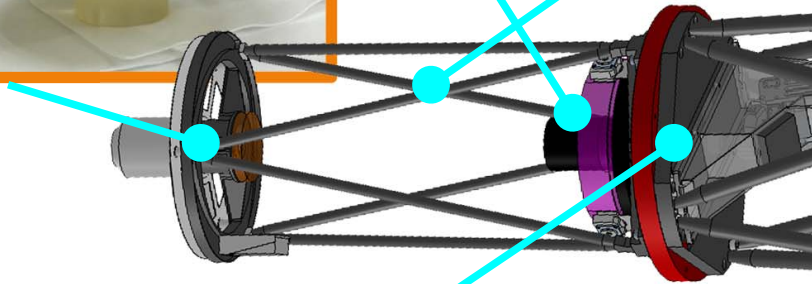
Primary



Telescope Structure



Secondary



HWP motor (PMU) & driver

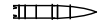
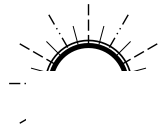


Off-axis Camera



# 軟X線撮像分光望遠鏡 (FOXSI-3)

太陽コロナの軟X線光子計測・撮像観測

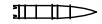


CMOSセンサーからの大量のデータ  
~ 160MB / sec を処理し保存する。

➡ より発展した装置をFOXSI-4へ

# 太陽コロナの軟X線光子計測・撮像観測 望遠鏡 (FOXSI-3)

太陽コロナの軟X線光子計測・撮像観測

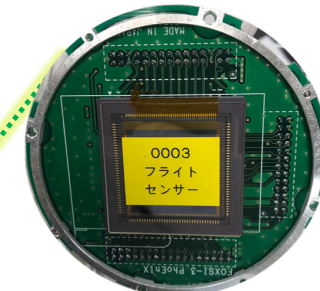


X線用ミラー

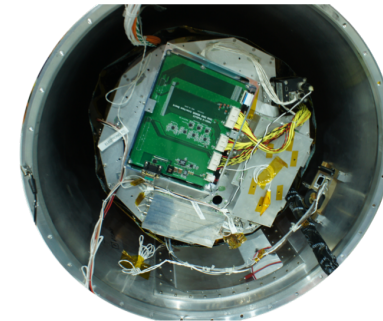


400 x 1k pixels の領域を  
250 FPS で高速連続撮像可能。

CMOS センサー



カメラボックス



FOXSI-3 の観測装置

CMOSセンサーからの大量のデータ  
~ 160MB / sec を処理し保存する。

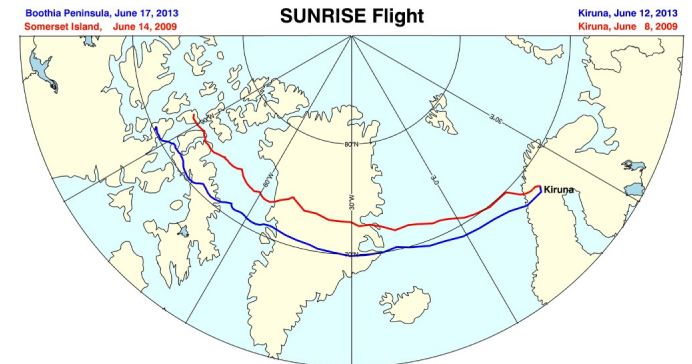
FOXSI-4へ





# 大気球太陽観測実験 SUNRISE-3

- 口径1m (ひのでの2倍) の光学太陽望遠鏡
- スウェーデン・キルナからカナダまで大西洋上空の高度約35kmを1週間飛翔
  - 紫外線域 (波長 200 - 400 nm) の観測
  - シーイングの無い高精度偏光観測
- 2009年と2013年に2度観測を実施
- 2022年に3度目の飛翔 (SUNRISE-3)  
→ 不調 … 2024年に再飛翔を計画
  - 近赤外線偏光分光装置SCIP (スキップ) を日本主導で開発



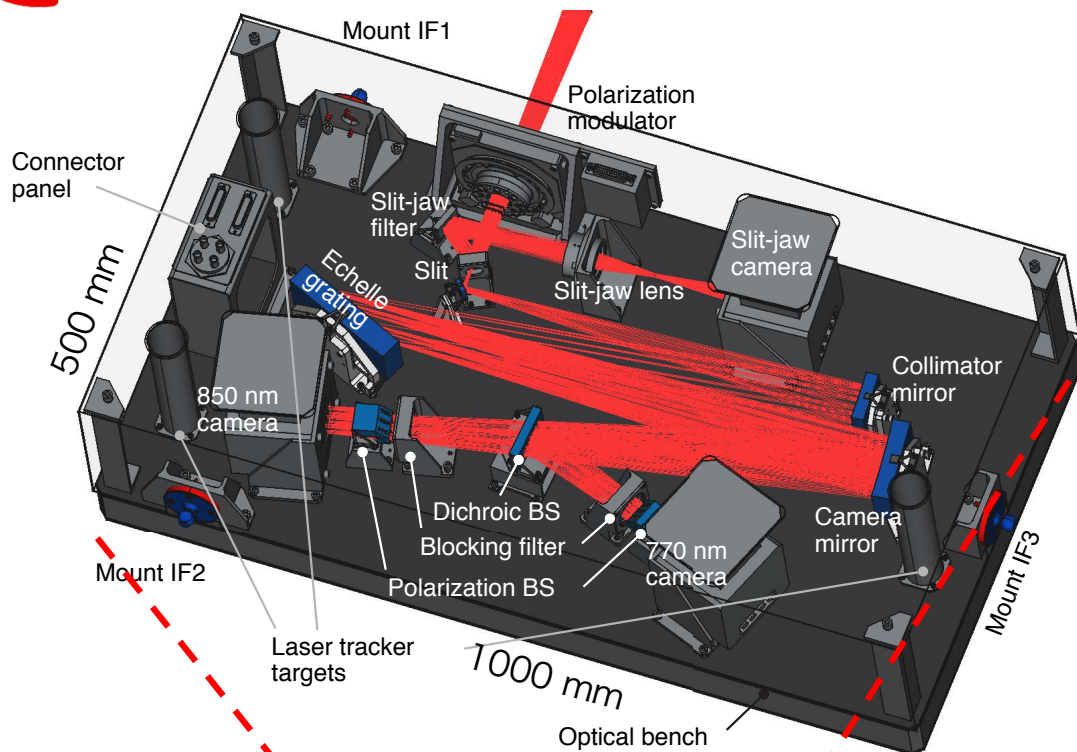
光球・彩層の高解像度・高精度偏光分光データを  
手にする絶好のチャンス





# SCIP (スキップ)

## Sunrise Chromospheric Infrared spectroPolarimeter



### ● 高空間・時間分解能

- 「ひので」と同じ解像度: 0.2秒角
- 0.2秒角を音波が通過する時間: 15秒

### ● 高精度偏光観測

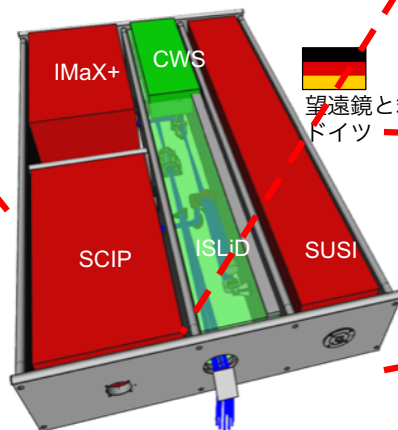
- Ca II 線で ~5 G の磁場を測定: 0.03%(1 $\sigma$ ) の偏光度測定

#### Science instruments

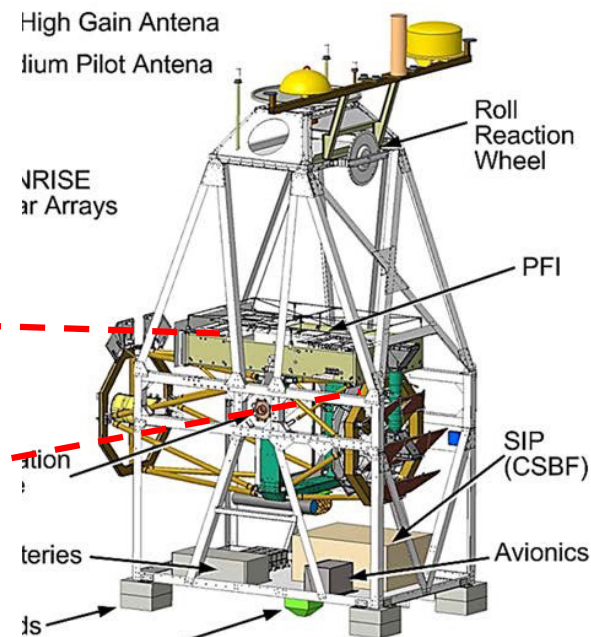
- SUSI = SUNRISE UV Spectropolarimeter and Imager  $\lambda = 300 - 408$  nm
- SCIP = SUNRISE Chromospheric Infrared Spectro-Polarimeter  $\lambda = 770$  nm,  $850$  nm
- IMaX+ = upgraded Imaging Magnetograph eXperiment  $\lambda = 517, 525$  nm

#### Service Units

- ISLiD = Image Stabilization and Light Distribution system
- CWS = Correlation tracker and Wavefront Sensor



焦点面装置箱



SUNRISE ギンドラ (米担当)

# イプシロン衛星計画: SOLAR-C (EUVST)

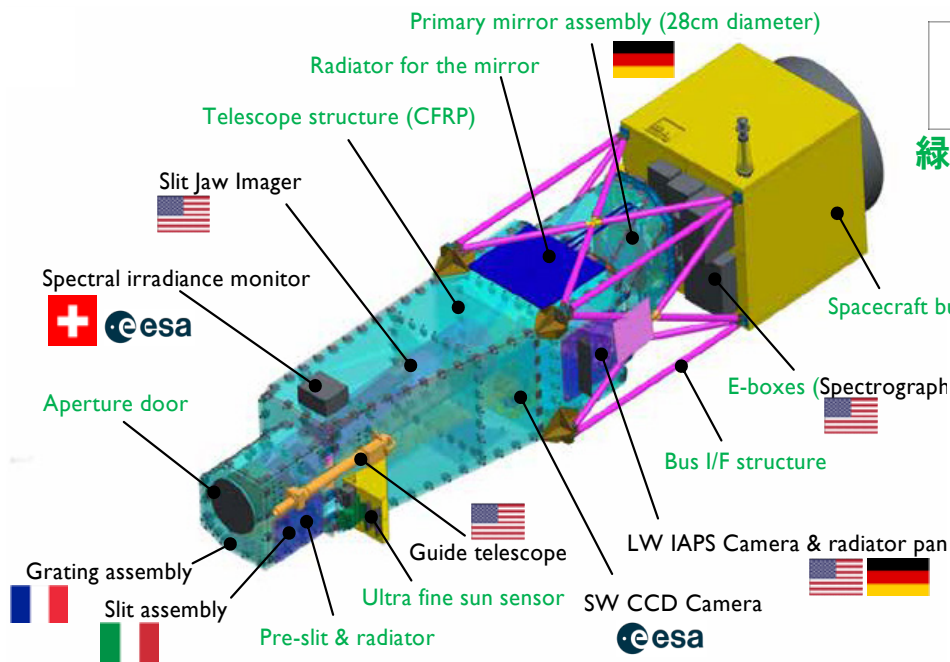
宇宙研の公募型小型計画4号機として2020年代後半の打ち上げ

彩層・コロナのUV-EUV高スループット分光・撮像観測

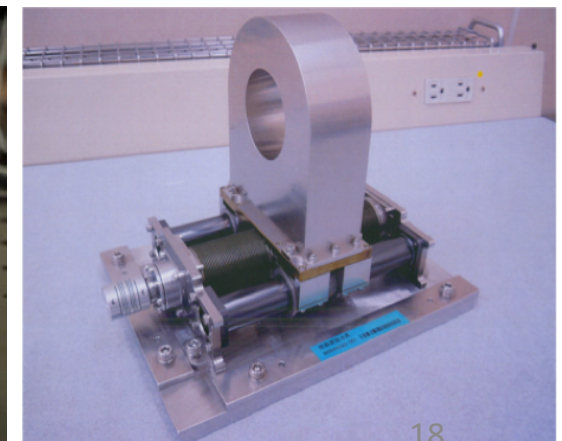
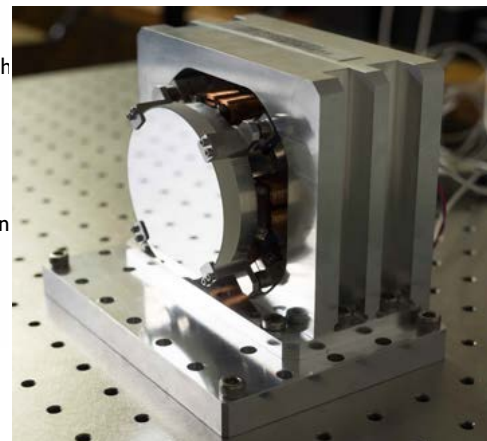
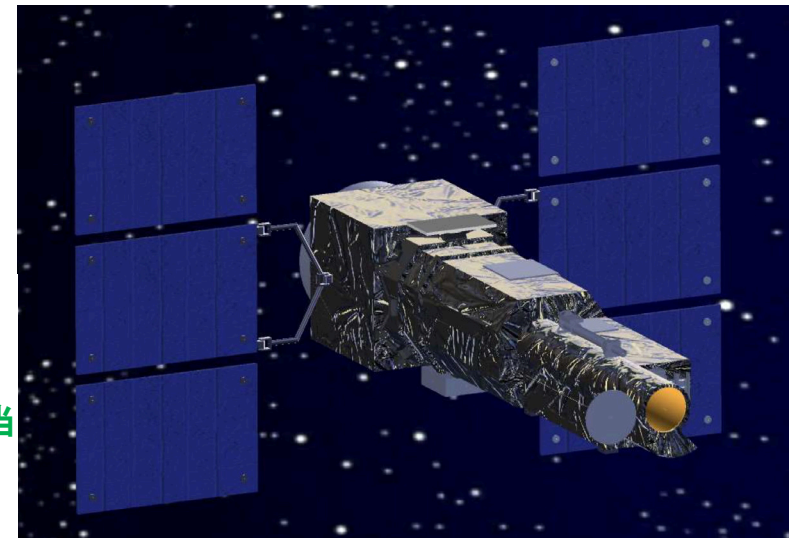
高スループット: ひのでEISの約10倍

空間分解能: 0.4 秒角

波長範囲: 170 – 1300 Å



緑色: JAXA開発担当

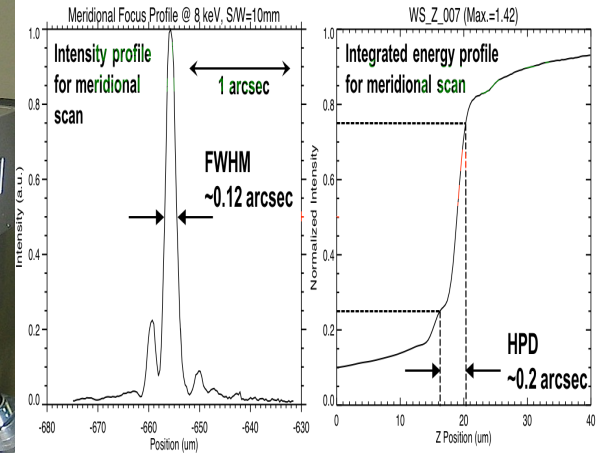
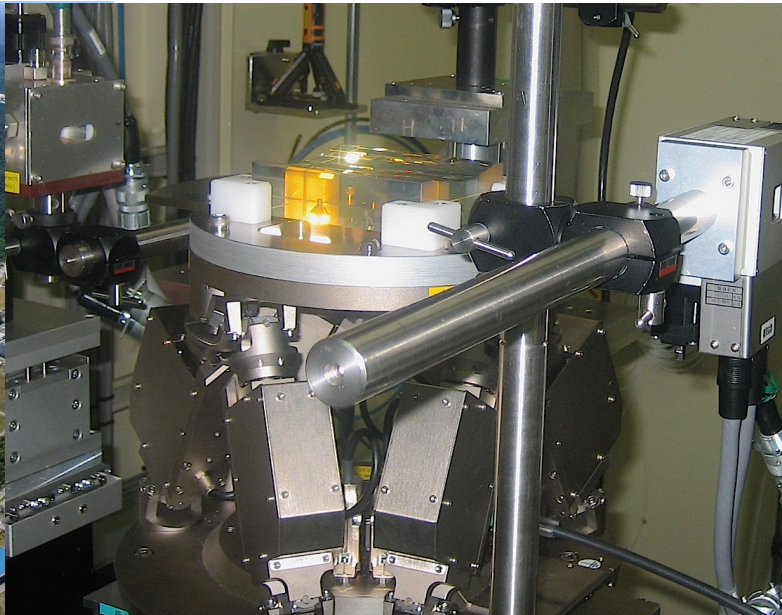


可動機構の要素試作活動

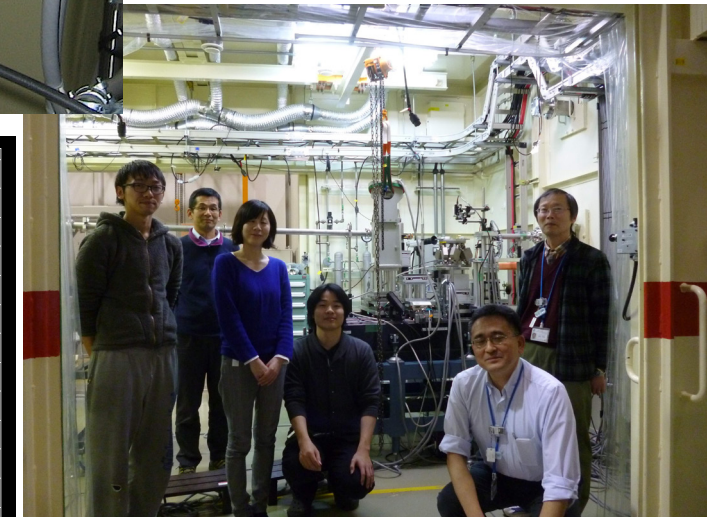
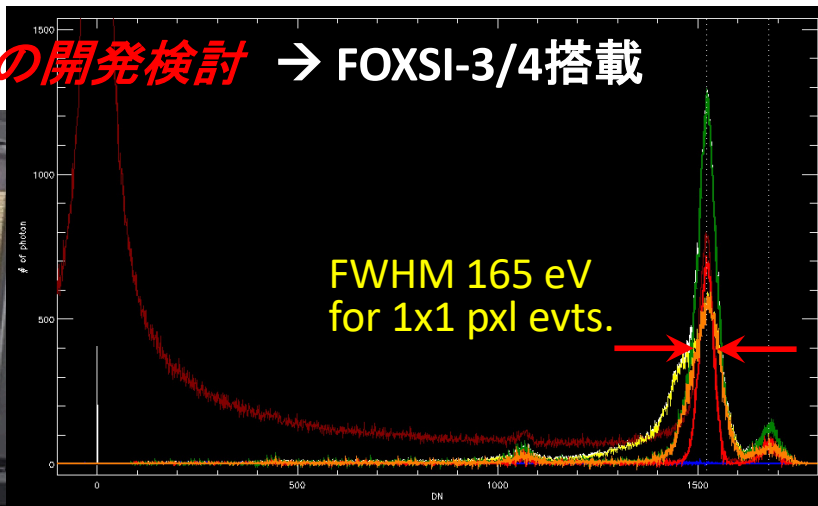
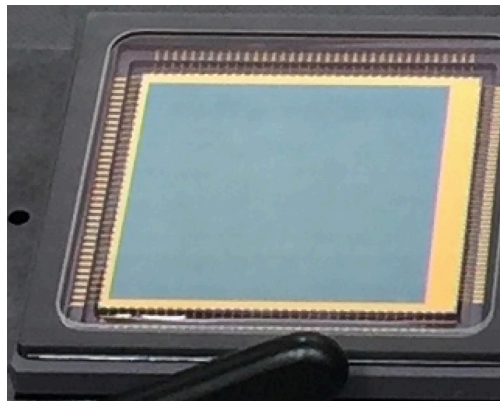
# 将来飛翔体用の装置開発

## 光子計測型X線望遠鏡に向けた開発研究 (ISAS・NAOJ)

SPRING-8を用いた高精度斜入射X線ミラーの開発 (大阪大学・名古屋大学との共同研究)



X線分光CMOSセンサの開発検討 → FOXSI-3/4搭載



← X線分光性能の評価

# 将来飛翔体用の装置開発

## 光子計測型X線望遠鏡に向けた開発研究 (ISAS・NAOJ)

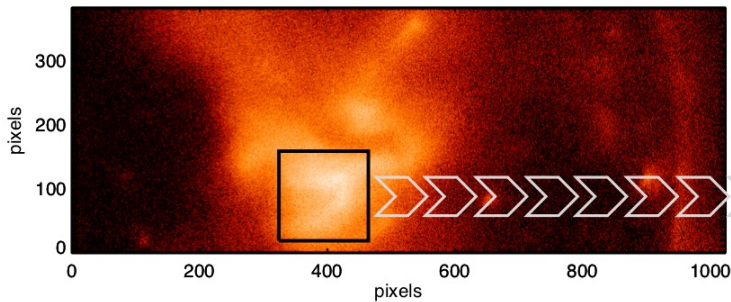
(a) 取得したデータ

時間の流れ (1秒間に250枚の高速連続撮像)

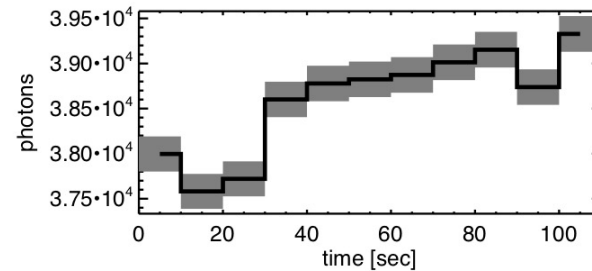


<https://www.nao.ac.jp/news/topics/2019/20190115-solar.html>

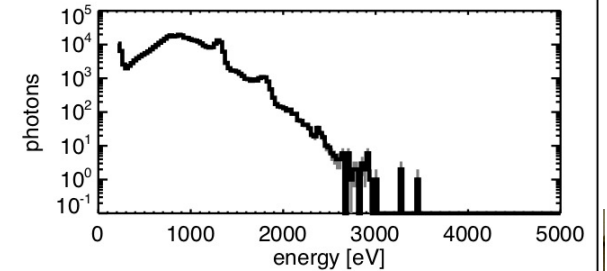
(b) X線光子を集めて作った太陽の画像



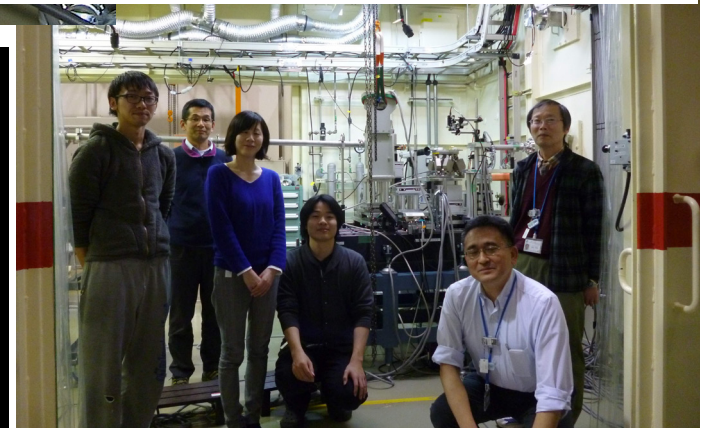
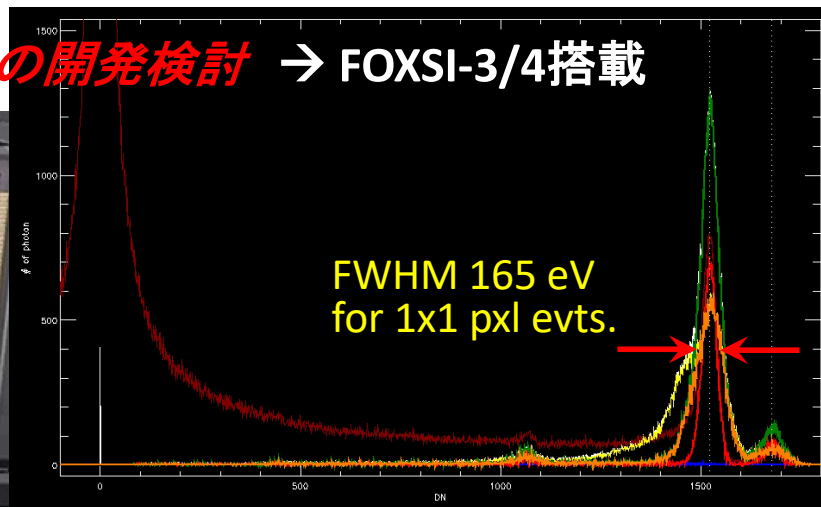
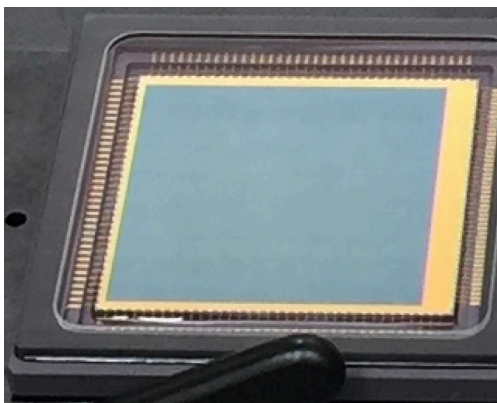
(c) 活動領域のX線光子数の時間変化



(d) 活動領域のX線スペクトル



X線分光CMOSセンサの開発検討 → FOXSI-3/4搭載



← X線分光性能の評価

装置開発に関わって  
新しい観測をやってみたい人を  
歓迎します！