

X線分光撮像衛星 (XRISM) 搭載 Resolve の開発状況

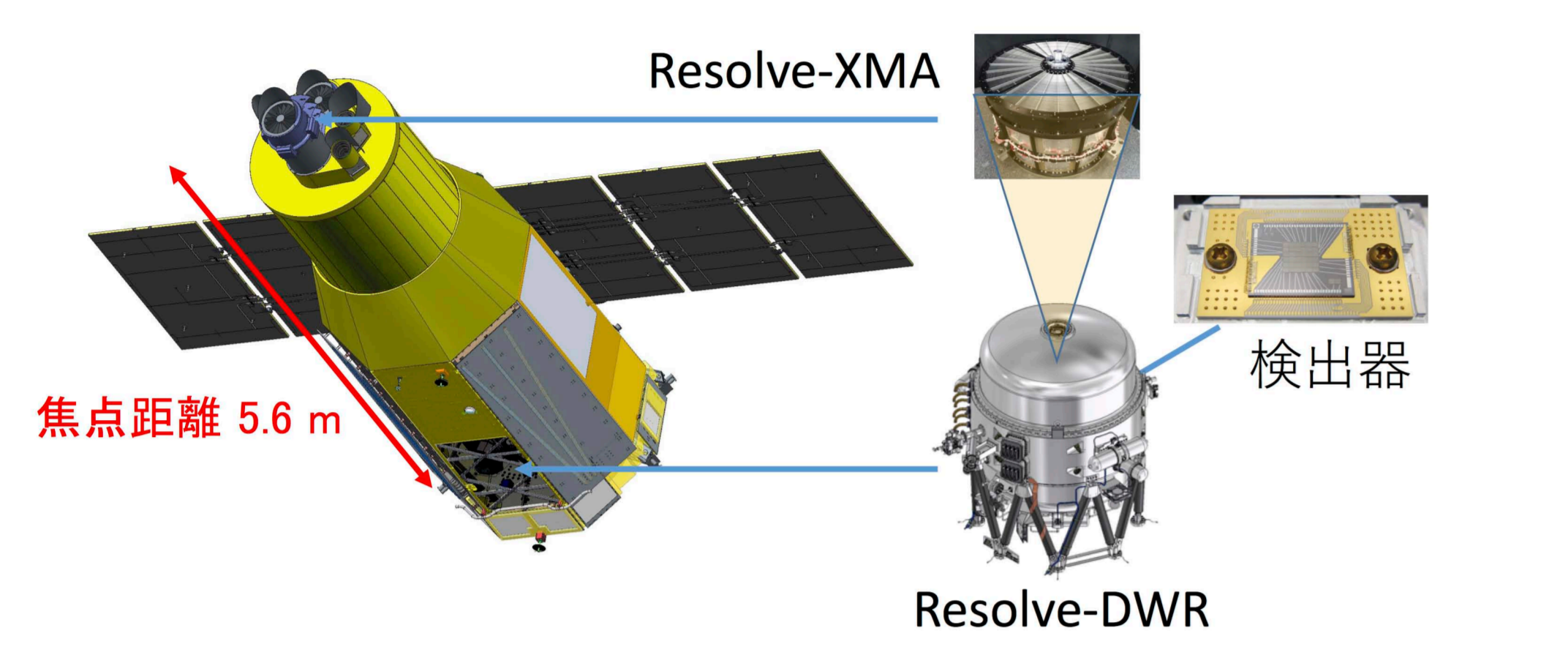


Y. Ishisaki^A, R.L. Kelley^B, H. Akamatsu^C, H. Awaki^D, T.G. Bialas^B, G.V. Brown^E, M.P. Chiao^B, E. Costantini^C, J.-W. den Herder^C, M.J. Dipirro^B, M.E. Eckart^B, Y. Ezoe^A, C. Ferrigno^F, R. Fujimoto^G, A. Furuzawa^H, S.M. Graham^B, M. Grim^C, T. Hayashi^B, T. Horiuchi^I, A. Hoshino^I, Y. Ichinohe^K, R. Iizuka^I, M. Ishida^I, K. Ishikawa^A, C.A. Kilbourne^B, S. Kitamoto^K, M.A. Leutenegger^B, Y. Maeda^I, D. McCammon^L, I. Mitsuishi^J, M. Mizumoto^Q, T. Ohashi^A, T. Okajima^B, S. Paltani^F, F.S. Porter^B, K. Sato^O, M. Sawada^M, H. Seta^A, P.J. Shirron^B, G.A. Sneiderman^B, Y. Soong^B, A.E. Szymkowiak^P, Y. Takei^I, T. Tamagawa^M, M. Tsujimoto^I, Y. Uchida^R, C.P. de Vries^C, S. Yamada^K, N.Y. Yamasaki^I, S. Yasuda^I, N. Yoshioka^I

Tokyo Metro-U^A, NASA^B, SRON^C, Ehime-U^D, LLNL^E, U-Geneva^F, Kanazawa-U^G, Fujita Health-U^H, JAXA^I, Nagoya-U^J, Rikkyo-U^K, U-Wisconsin^L, RIKEN^M, Tohoku-U^N, Saitama-U^O, Yale-U^P, Kyoto-U^Q, Hiroshima-U^R

概要

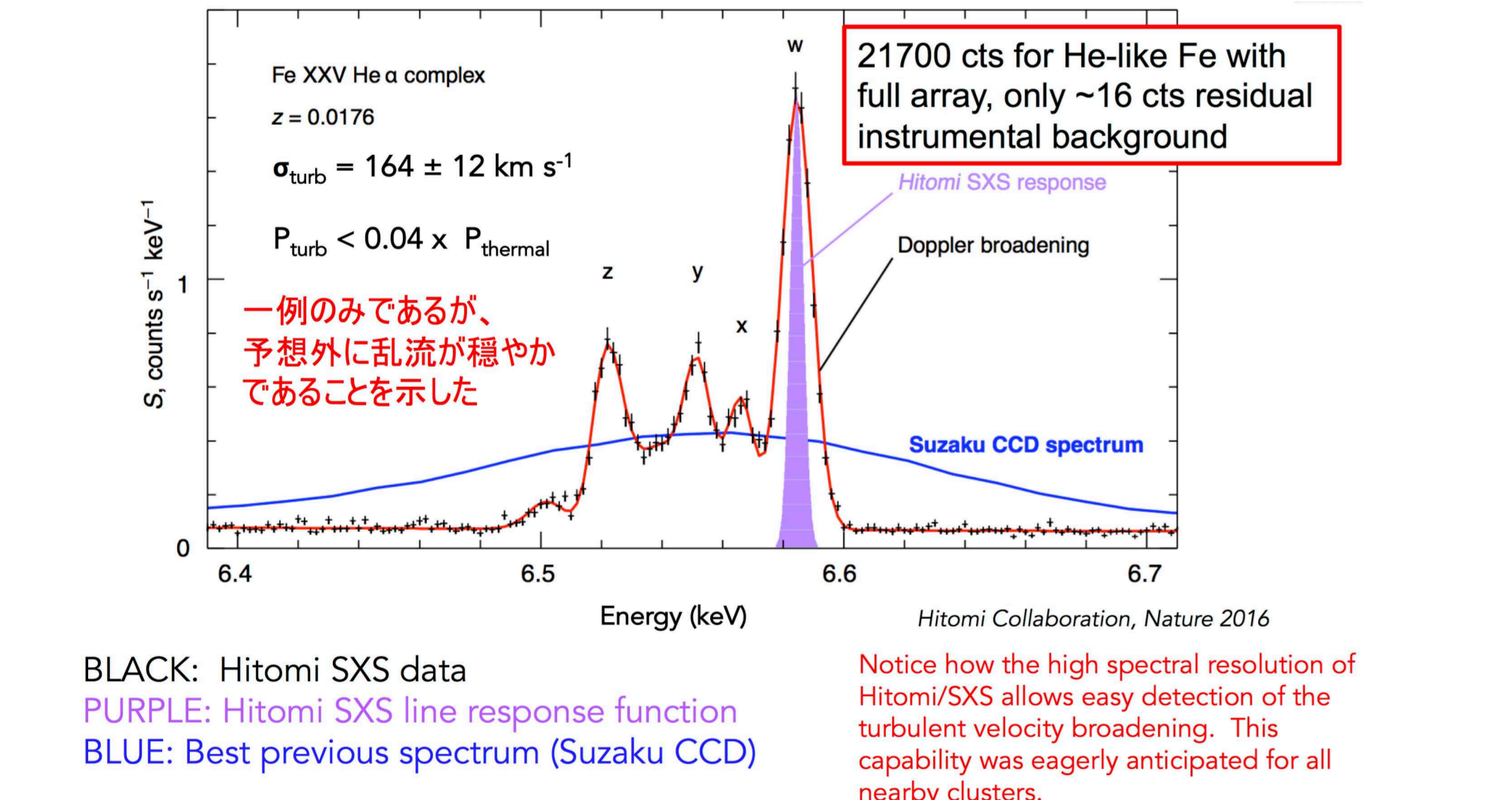
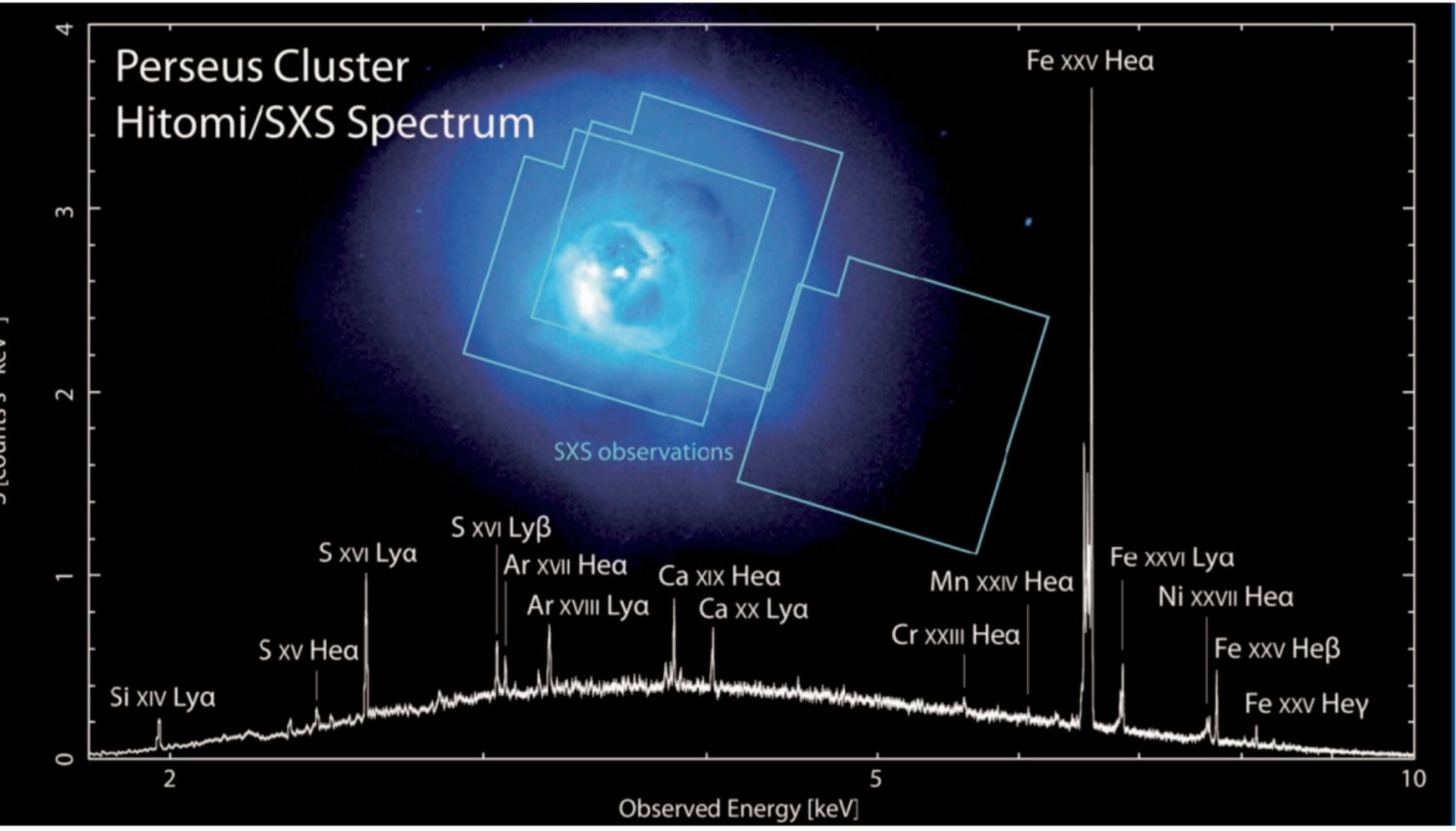
X線分光撮像衛星XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) に搭載される Resolve は、50 mKの極低温で動作する 6x6 ピクセルのマイクロカロリメータと焦点距離 5.6 mの多重薄板X線望遠鏡から構成され、日米欧で開発を進めている。NASA担当のマイクロカロリメータ、断熱消磁冷凍機、制御エレキ、X線望遠鏡については2017年よりFM製作を開始、FMセンサ単体での評価においては「ひとみ」と同等の性能が得られている。日本が担当する液体HeデューについてFMセンサと断熱消磁冷凍機を組み込む準備が完了し、2019年11月より組み込みを開始、12月にセンサを組み込んだ状態で分光性能を確認した。2020年1-2月に遮光/断熱フィルタを組み込んで一旦、デュー内部はフライト状態となったが、液体ヘリウムのリークが発生したため対応中である。Resolveの開発状況について報告する。



Resolveの担う役割

- 「超高分解能X線分光で拓く宇宙の新たな地平」を担う分光撮像器
- XRISMが搭載するX線マイクロカロリメータ分光撮像器は、広がった天体の分光に対し、これまでの30倍を超える分光性能を持つ

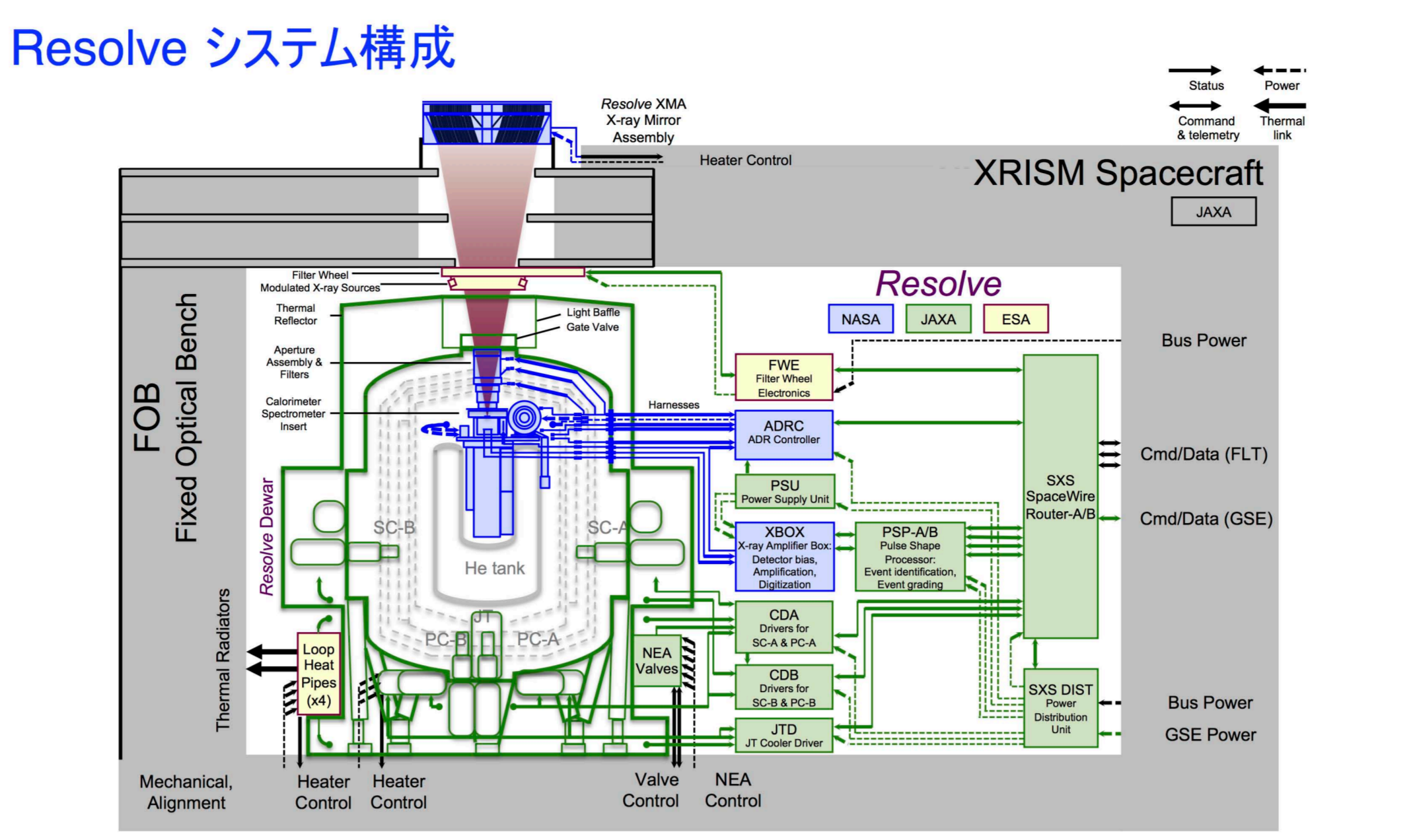
2015年に打ち上げられた、「ひとみ」衛星 SXS で観測したペルセウス座銀河団のエネルギースペクトル (Hitomi collaboration, Nature 2016)。XRISM衛星 Resolve は、「ひとみ」SXSの再製作に相当し、同等な観測性能を期待できる。



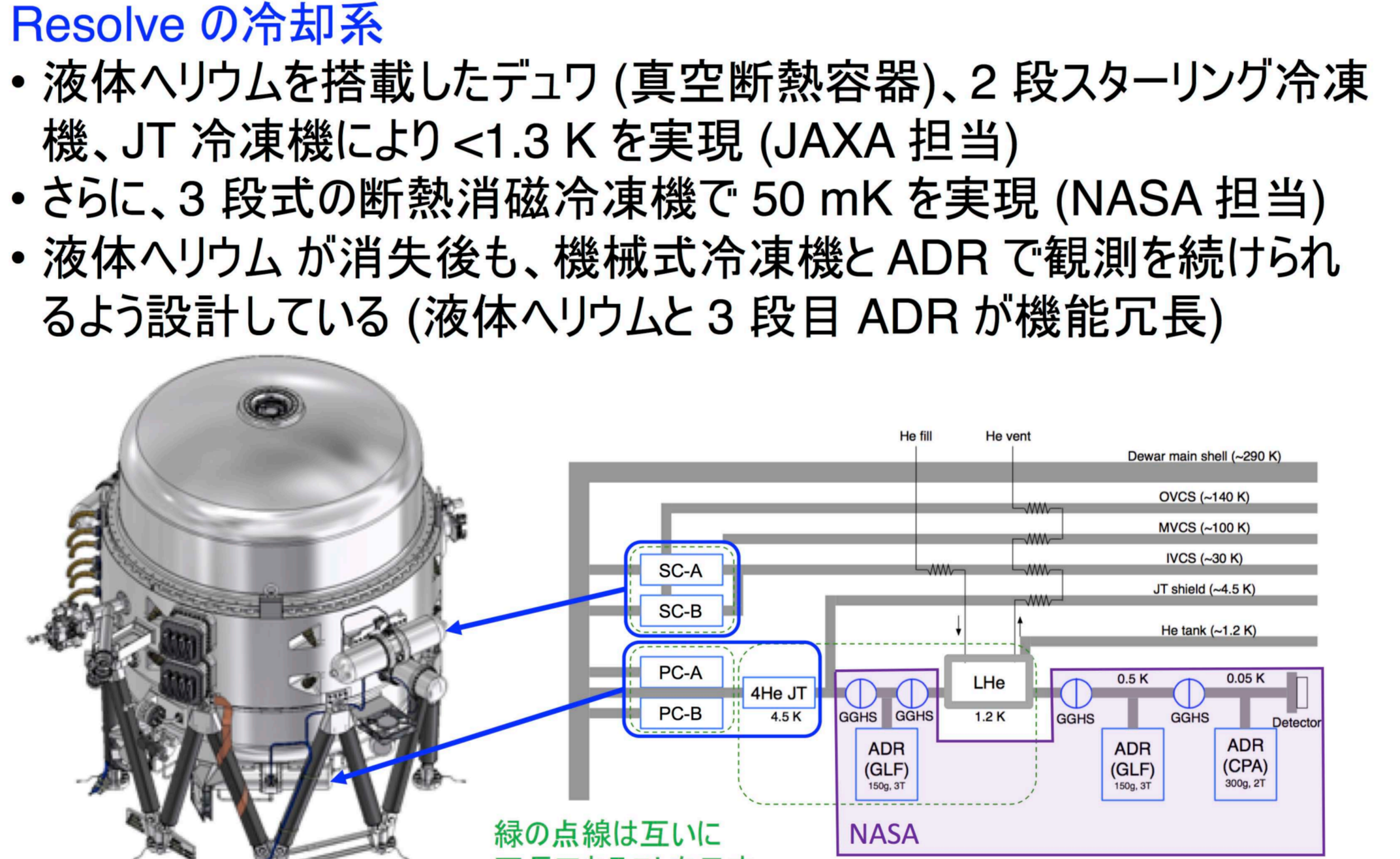
Resolveの要求性能と特長

主要な性能は分光性能と撮像・集光性能であり、マイクロカロリメータとX線望遠鏡で実現する。また、マイクロカロリメータを極低温に維持する冷却系を要する。

分光性能 (FWHM)	7 eV
エネルギー範囲	0.3 - 12 keV
非X線バックグラウンド (array 全体)	$\leq 2 \times 10^{-3}$ counts/s/keV
エネルギー決定精度	≤ 2 eV
視野	≥ 2.9 arcmin x 2.9 arcmin
角分解能	HPD ≤ 1.7 arcmin
有効面積 (1 keV)	≥ 160 cm ²
有効面積 (6 keV)	≥ 210 cm ²
対応カウントレート (array 全体)	≥ 150 counts/s
時刻決定精度	≤ 1 ms
寿命	≥ 3 年
Duty cycle (液体ヘリウムがあるとき)	$\geq 90\%$



- ### Resolve構成機器と国際分担
- JAXA
 - [住友重機械工業] 1.3 Kまでの冷却を行う冷凍機システム
 - 液体ヘリウムと機械式冷凍機を搭載するデュー (DWR)
 - 冷凍機ドライバ (CDA, CDB, JTD)
 - [NEC] 電源分配器 (DIST), XBOX 用安定化電源 (PSU), SpaceWire ルータ (SWR-A, SWR-B)
 - [三菱重工業] 波形信号処理器 (PSP-A, PSP-B)
 - NASA
 - X線望遠鏡 (XMA)
 - センサ、断熱消磁冷凍機 ADR を含む CSI (DWR 内部に搭載)
 - X線入射部 APA (DWR 内部に搭載)
 - 検出器駆動・信号増幅回路 (XBOX)
 - ADR 駆動回路 (ADRC)
 - ESA
 - フィルタホイール FWM
 - 校正用 X線源 MXS (FWM に搭載)
 - FWM, MXS 駆動回路 (FWE)
 - 冷凍機温度維持用ループヒートパイプ (DWR に搭載)



2020年のResolveの開発状況

無冷媒運転モードでのセンサ性能を実証した。Resolve デューは TC2 試験中に超流動ヘリウムのリークが見つかり、対策中。(下のデューの進捗を参照)

ASTRO-H から大きく設計を変更した擾乱アイソレータ、LHP はデューに搭載し試験を実施し、要求性能が満たされていることが確認された。

コロナ禍の中でメーカーでの試験参加や海外機関のメンバーの渡航が難しい中、リモートによる試験の参加環境を構築し、支障なく FM 試験を実施している。現地参加の人数は最小限に絞った上で感染防止対策を徹底し、特に7月のデュー de-integration に関しては NASA 側の支援規模が大きくなることから、感染対策を行なった上で宇宙研 C 棟の衛星クリーンルームを使わせてもらった。

Resolve デューの進捗

2020年1月 Installation of ApA & Filters to FM Dewar

3~5月 Resolve TC2, コロナ禍による渡航禁止のため NASA はリモート参加
試験のスコップを変更: 液体 He cryostat としてのデュー性能確認に絞り、センサ試験なし
DWR 真空断熱部への超流動ヘリウムのリークが発生
→ リーク箇所をおおまかに特定するため追加試験、昇温しつつリークの温度依存性測定
Results: Due to the He-leak, we couldn't complete verification of the Dewar thermal performance.

6月 TC2.1, NASA はリモート参加
センサ & Filters の健全性の確認のため、3段階断熱消磁冷凍機による 50 mK の無冷媒運転
Results: Integrity of CSI and ApA were verified.

7月 De-integration of ApA & Filters @ 宇宙研, NASA から 5人渡航、感染対策のため同時作業なし
Results: De-integration finished successfully, except for one Filter got broken after removal from Dewar.

8~10月 常温で He リーク調査 @ 住友重機 新居浜工場, NASA から 3人渡航
Results: Small leak was found in Vent cryo-valve. Two cryo-valves (Fill & Vent), PP, LLD were removed.

11月 TC-L1, Cool-down to ~1K w/o two cryo-valves, PP, LLD @ SHI, Niihama, NASA から 2人渡航
Results: No leak was observed. → リーク箇所は取り外した部品の接合部 (5箇所) にほぼ特定。



ResolveのX線望遠鏡

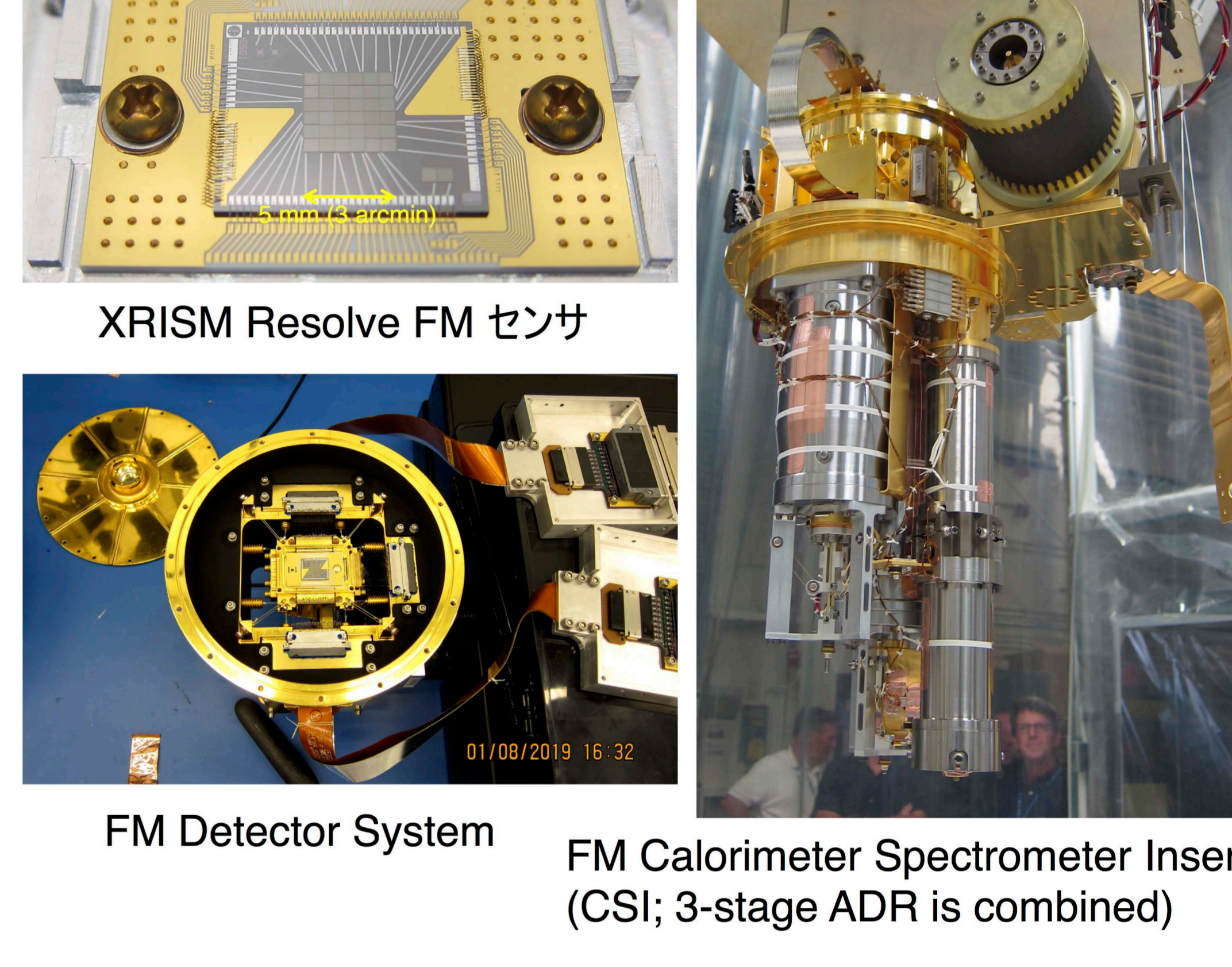
- ResolveのX線望遠鏡XMAは、軽量に高い集光能力を実現できる多重薄板型望遠鏡を採用
- 金表面の薄板鏡を203枚ネストし、合計1624枚の薄板鏡で光学系を構成
- 迷光除けのプリコーレータや温度維持のためのサーマルシールド、アライメントキューブも搭載

X線マイクロカロリメータの原理

- 個々のX線に対してX線入射時の温度上昇からエネルギーを測定する
- 広がった天体に対しても分光が可能 (回折格子などの分散系とは異なる)
- ピクセルを並べることで撮像も可能
- 0.1 K以下の極低温で動作し、個々の検出器の熱容量が小さいことが必要
- 低ノイズのアナログ処理系や波形のデジタル信号処理 (最適フィルタ処理) を使用する

Resolveのセンサ

- ドープしたシリコンの温度計に水銀テルルのX線吸収体を接着したものを用い、動作温度 50 mK、温度安定性 <math>< 2.5</math> μ K



FM Detector System

FM Calorimeter Spectrometer Insert (CSI; 3-stage ADR is combined)

Pictures of FM Dewar in TC1 (Nov 2019)

External X-ray Generator, Accelerometer GSE harness, Cryocooler harnesses, ADR/CXBOX harnesses, GND Copper Foil, SpaceWire harness for CDE, DWR GSE harness

Performance of FM sensor after installation to FM Dewar was verified. VIS (Vibration Isolation System) for Stirling coolers (SC/PC) worked properly.

