

次期宇宙X線天文衛星ASTRO-H



JAXA宇宙科学研究所(ISAS)

高橋忠幸、満田和久

NASA/GSFC

Rich Kelley

他ASTRO-H チーム

1. X線で探る宇宙

宇宙望遠鏡を用いたX線観測は、人類が予想もしていなかった、宇宙が数千万度、数億度という超高温の現象の宝庫であることをあきらかにした。そして、宇宙が静的なものではなく、動的な、ダイナミックなものであることを明らかにして、人類の宇宙観を変えたといえる。



- ◆ Gas at temperatures of 1 - 100 million degrees.
- ◆ Remnants of exploded stars
- ◆ Matter falling into black holes and neutron stars
- ◆ Stellar coronae
- ◆ Winds from star-forming galaxies
- ◆ Electrons accelerated in strong magnetic fields ($\sim 10^{12} - 10^{14}$ Gauss).
- ◆ Electronic transitions in partially ionized atoms of atomic number greater than or equal to 4 (Be).

宇宙で我々が観測できる物質の80パーセントはX線
しか観測できない高温状態にあるとされている

(Fukugita & Peebles 2004, Read & Trentham 2005)。

宇宙の全貌を知る上で、X線観測は地上からの光学・
電波観測などと並び不可欠の手段である。

2. 次世代X線衛星 (ASTRO-H)が解くべき課題



○宇宙の構造と進化にかかる謎の解明

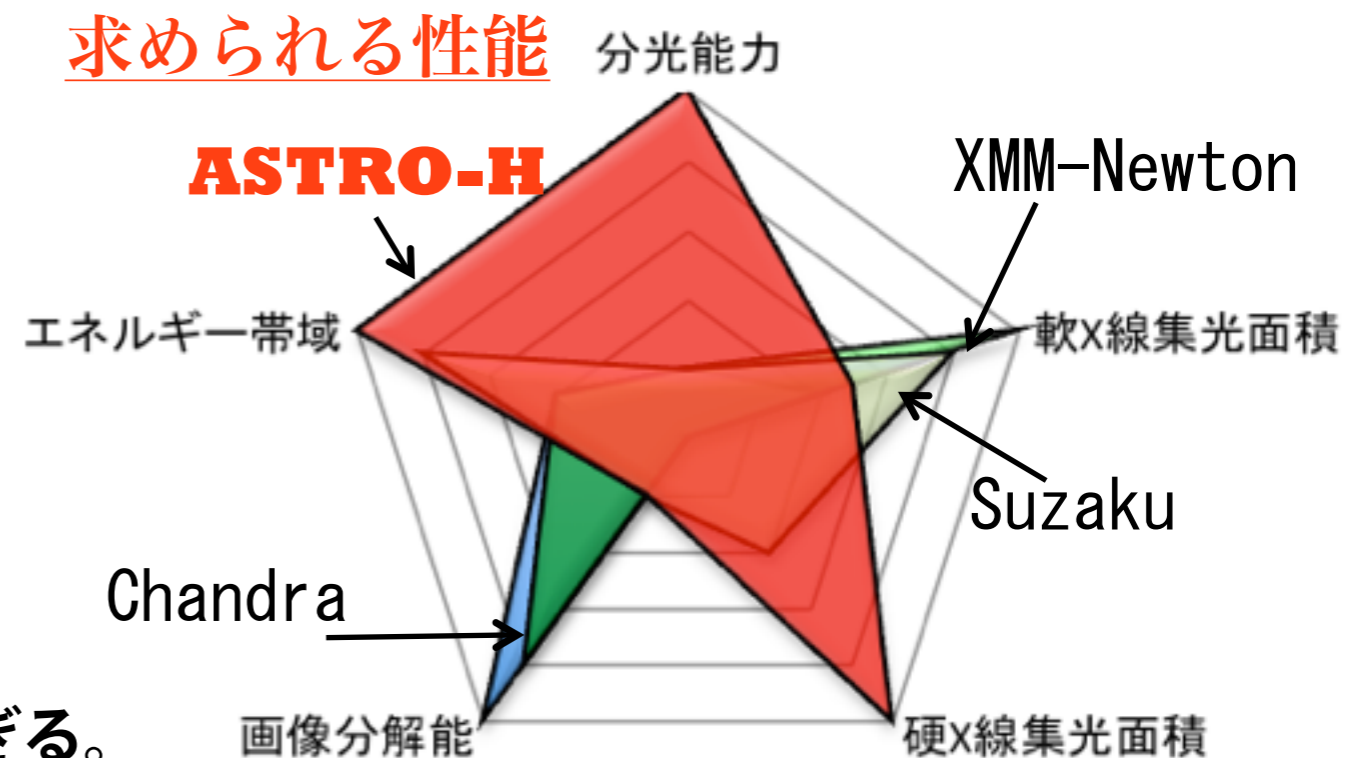
(1) 周辺物質によって吸収されにくい硬X線での高感度観測を行い、80億光年遠方までの巨大ブラックホールの探査を行い、巨大ブラックホールが銀河進化に果たす役割。

最近、ビッグバンから数億年から数10億年後、銀河はその中心にブラックホールをいだいて生まれ、共に進化して現在にいたるといふ考えが提示された (ブラックホールと銀河のバルジ質量の強い相関)。しかし、「地球」に銀河を例えれば、オレンジくらいの大きさのブラックホールがどのように銀河全体に影響を与えるのかはわかっていない。

(2) 数千万光年も広がりを持ち、現在もなお衝突合体により成長を続ける銀河団。その内部の高温ガスの乱流、衝突、ショックなどダイナミクスの直接観測。宇宙の大規模構造がいかに成長するか。

宇宙最大の天体である銀河団の進化は宇宙論パラメータの決定に大きな役割を果たす。銀河団中の高温ガスの乱流運動が質量測定における系統誤差を生むことも指摘されている。鉄輝線のX線精密分光から銀河団中の高温ガスの運動速度を実測し、銀河団の質量を正確に与える。これによって、マイクロ波背景放射の観測とは独立に宇宙の構造進化やダークエネルギーの性質に迫ることができる。

高温ガスから放射されるX線の観測が鍵をにぎる。



3. 次期X線衛星ASTRO-H (第26号科学衛星)

2002年 ワーキンググループ結成 (NeXT衛星として)

2006年 第9回宇宙理学委員会にてMDRとSRRに相当する審査終了

2007年 企画調整会議にてNeXT衛星をJAXAプロジェクト準備審査に向けて進める事への了承。審査を経てプリプロジェクトに移行。

2008年 SDRを受ける。NASAのSMEX/MOOによる参加決定。企画調整会議にてASTRO-Hの名称を与えられる。宇宙開発委員会事前評価による開発研究段階への移行が承認される。

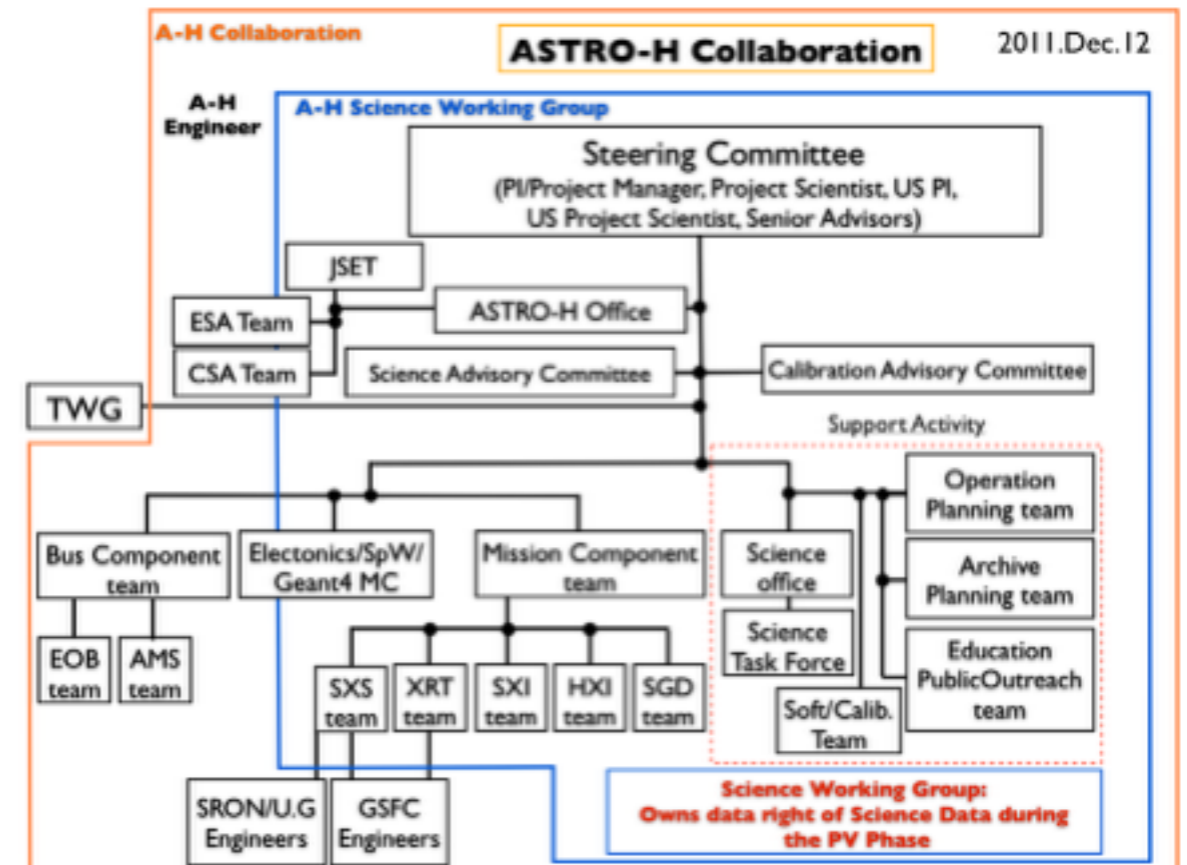
JAXAプロジェクト移行審査を経てASTRO-Hプロジェクトチーム発足。

米NASA、欧ESA、SRON (オランダ宇宙研究機関)、CSA (カナダ宇宙庁) などは、それぞれの競争的公募を経て資金参加。また海外のトップレベル大学や国内25大学以上の研究グループも参加。合計180名にも及ぶ研究者チームと有機的に連携。

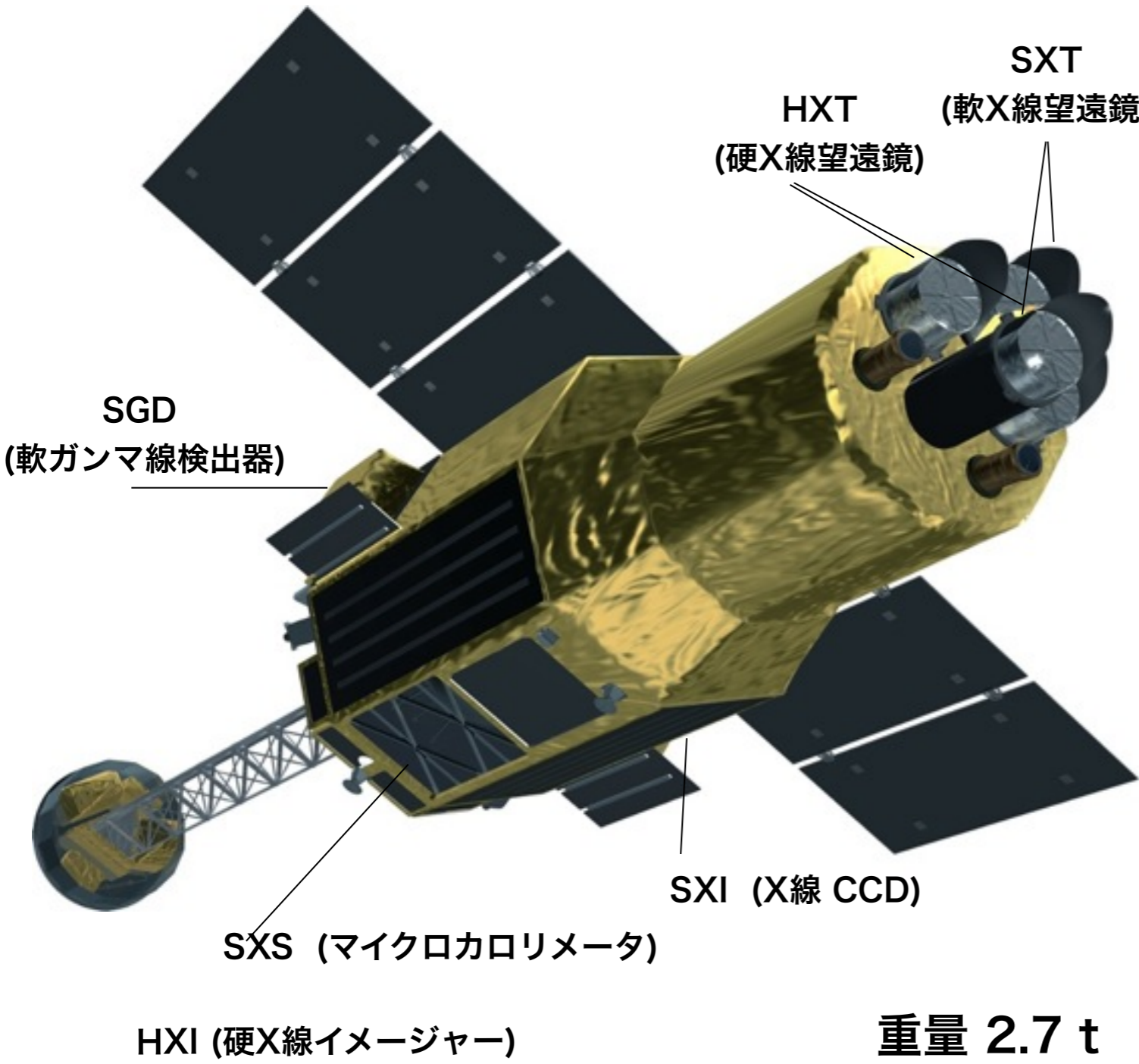
2010年 宇宙開発委員会事前評価により、開発段階への移行承認。PDR終了 (JAXA/NASA/SRON)。詳細設計開始。

2011年3月 東北大震災 (筑波センターによる衛星試験計画、pFM製造への若干の影響)

2011年-現在 詳細設計をふまえてサブシステムCDR実施。pFM製造開始。2014年打ち上げ (目標)。



3. 次期X線衛星ASTRO-H (第26号科学衛星)



打上げ年度：2014年度
 打上げロケット：H-IIAロケット
 主要諸元：
 質量 約2,700kg (全長14 m)
 軌道 地球周回円軌道
 (高度 約550km, 軌道傾斜角 31°)
 主な観測機器：
 硬X線撮像望遠鏡システム(HXT/HXI)
 軟X線撮像望遠鏡システム(SXT/SXI)
 軟X線超精密分光望遠鏡システム (SXT/SXS)
 軟ガンマ線検出器 (SGD)
 観測期間 約3年間 (設計寿命)

X-RAY OBSERVATORY ASTRO-H

JAXA	Kanazawa U.	Rutgers U.
NASA	Kochi U. of Tech.	Saint Mary's U.
Aoyama Gakuin U.	Kobe U.	Saitama U.
U. of Cambridge	Kogakuin U.	Shibaura Inst. Tech.
CEA/DSM/IRFU	Kyoto U.	SRON
CfA/Harvard	LLNL	Stanford U./KIPAC
Chubu U.	U. of Manitoba	STScI
Chuo U.	U. of Maryland	Toho U.
Columbia U.	Miami U.	Tokyo Inst. Tech
CSA	U. of Michigan	Tokyo Metropolitan U.
Dublin Institute for Advanced Studies	MIT	U. of Tokyo
Durham U.	U. of Miyazaki	U. of Tsukuba
Ehime U.	Nagoya U.	Waseda U.
ESA	Nara Women's U.	U. of Waterloo
U. of Geneva	Nihon Fukushi U.	Yale U.
Gunma Astronomical Observatory	Nihon U.	
Hiroshima U.	NIMS	
JHU	Osaka U.	
	RIKEN	
	Rikkyo U.	

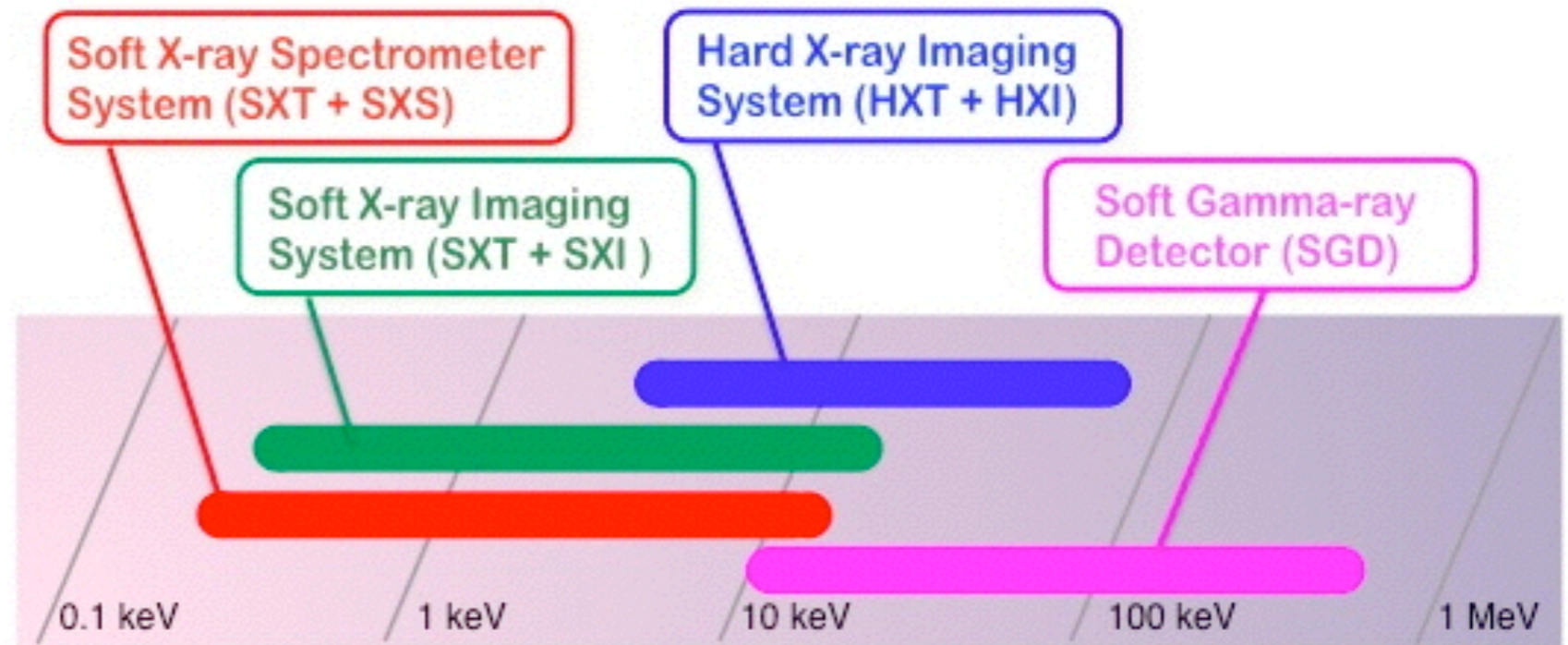
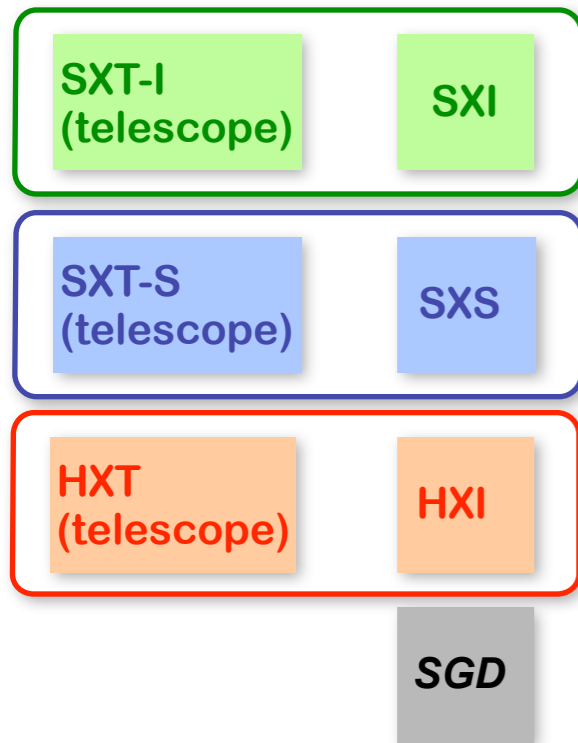
2011.6.24

3. 次期X線衛星ASTRO-H (第26号科学衛星)



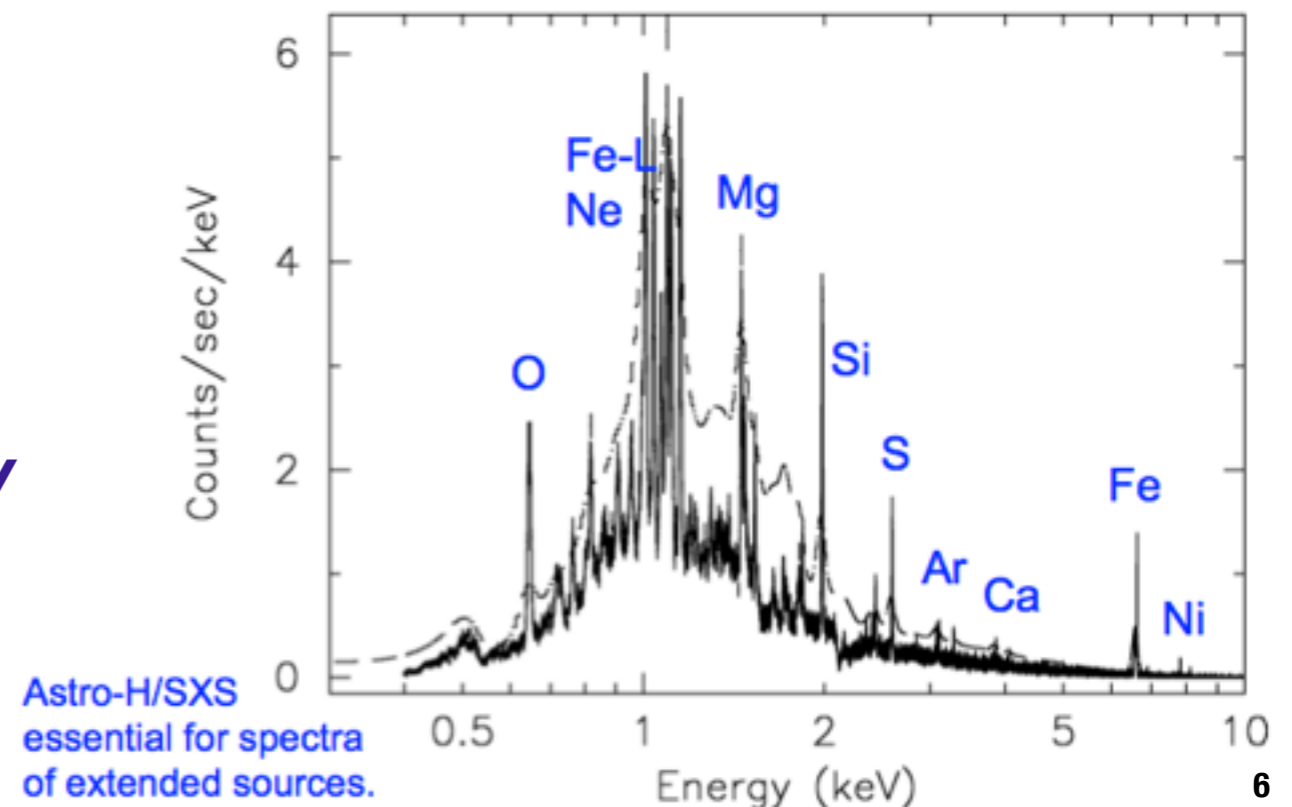
1. 広いエネルギー範囲／高い感度

0.3 keV - 600 keV : Four Instruments including Hard X-ray Focusing optics

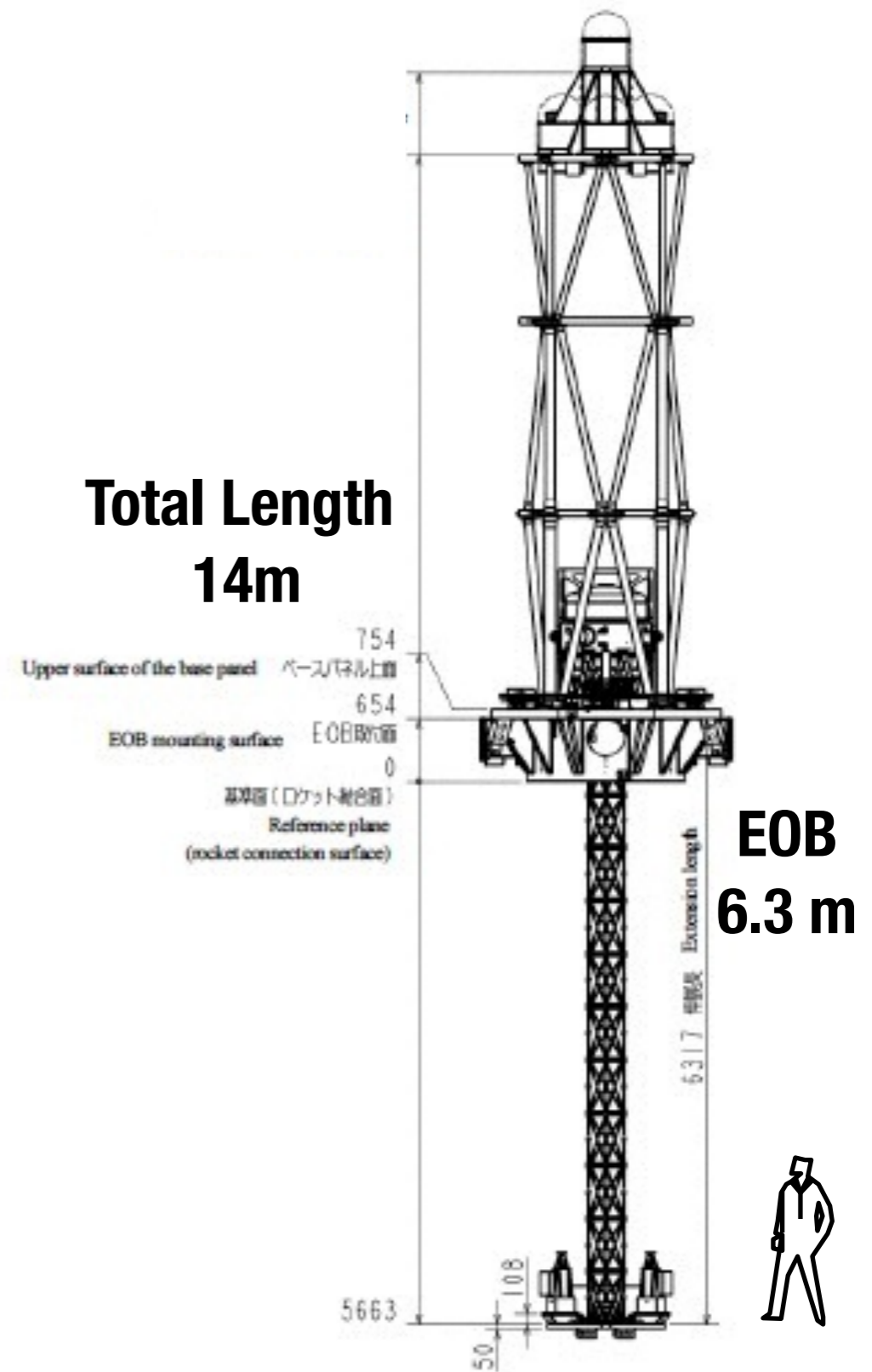
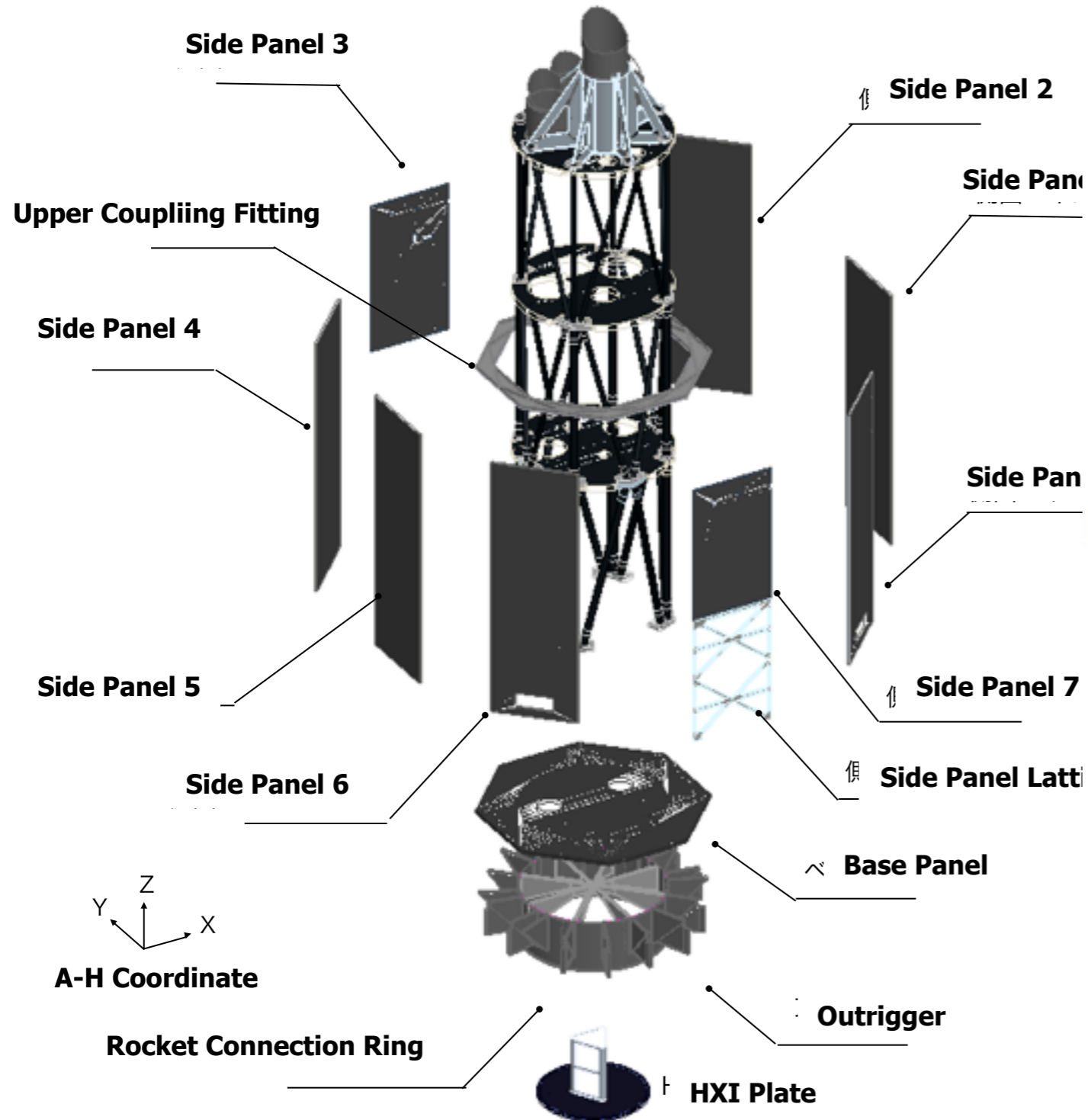


2. マイクロカロリメータによる 超高分解能分光

<7 eV (FWHM) @ 6 keV



3. 次期X線衛星ASTRO-H (第26号科学衛星)



3. 次期X線衛星ASTRO-H (第26号科学衛星) SpaceWire



2005年、第5回宇宙科学シンポジウムから

System Designing
次世代衛星システム

次世代ネットワークアーキテクチャ にもとづく衛星開発

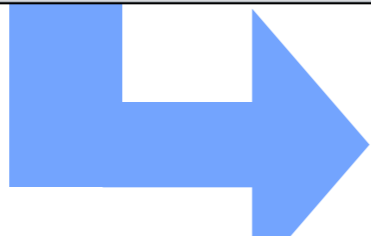
高橋忠幸
ISAS/JAXA

Future Scientific Missions in Japan

Requirements from Science

115,200 + 78,125 + 1,000
= 200,000 read out channels with triggers

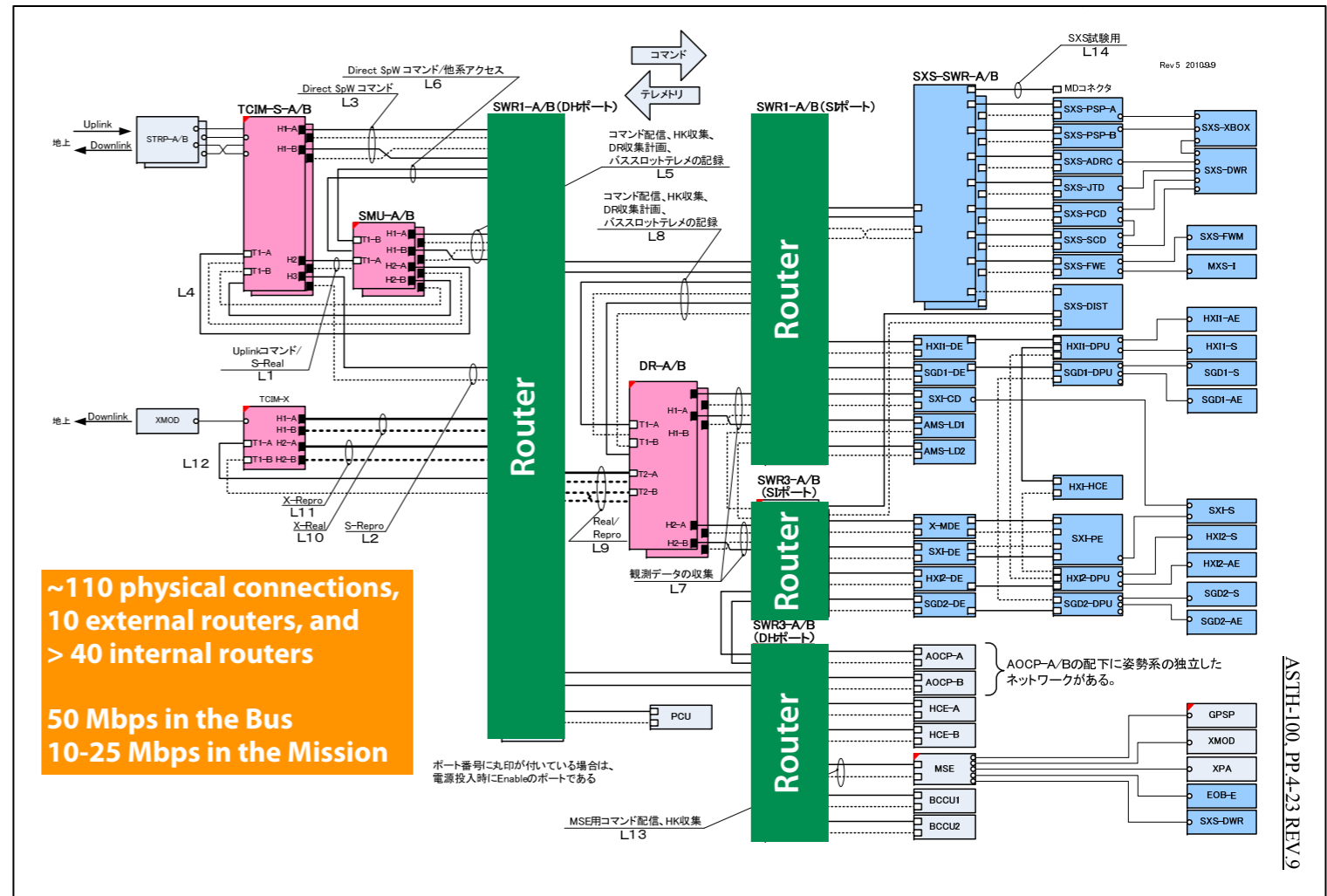
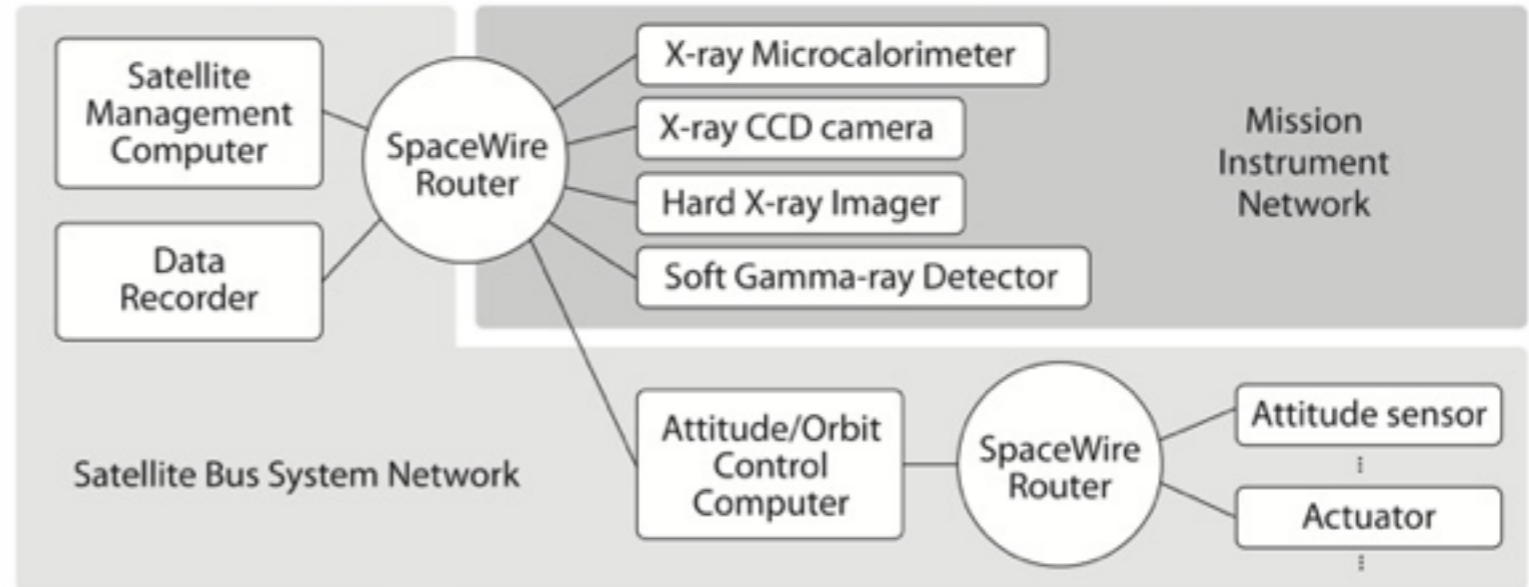
科学衛星専門委員会データ処理班(班長山田)
班員
ISAS/JAXA: 高橋、古光、高島、尾崎、松崎、津田、斉藤(別)、中澤、遠辺、橋本、坂井、笠羽、早川、西山、片産、山川+坂村(客員教授:ユビキタス研、東大)
阪大: 能町、宮田、東大: 国分、理研: 寺田



SpaceWireにもとづき、バス系（姿勢系を含む）、衛星内コンポをネットワークでつないだ新しいアーキテクチャを完成。2011年ASTRO-Hネットワーク試験にて実証。SpaceWire-D国際規格の先取りとして展開（将来の衛星へ）。

- >ハードウェアアクセスの抽象化(RMAP)
- >異なるメーカー機器の
トランスペアレントな接続。

-> ASTRO-Hのような大型システムには必須



SpaceWireの研究と成果

高橋、能町、高島、笠羽、山田、国分、石崎、湯浅他
(SpWユーザー会、with JAXA, シマフジ, NEC, MHI, MELCO)



2004

▼日本スペースワイヤユーザー会発足

▼国際スペースワイヤ標準委員会に日本

提案の規格が採用される

SDS-1でスペースワイヤ標準計算機を実証 (世界初)

●HR5000用コプロセッサ

SPICA等
小型科学衛星シリーズ



BepiColombo/MMO, ASTRO-H, SPRINT-A
(スペースワイヤネットワーク性を全面的に採用)



国際競争力強化、事業化をめざした開発

Space Wireシステムの高信頼化
※分散ネットワークの信頼性確保
試験検証システムの確立

- ◆科学・利用衛星 全般的に適用
- ◆ロケットへの適用
- ◆海外衛星受注

※小型化、高速化

◆海外衛星ユーザへのCPUボード販売

◆スペースワイヤ組み込み計算機の民生展開



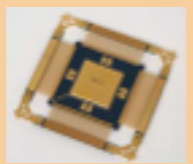
●地上試験装置 SpaceCube1

●リモート・メモリアクセス・プロトコル

●衛星搭載計算機 SpaceCube2



●スペースワイヤインタフェースチップ



●搭載CPUボード SpaceCard



●分散処理衛星の試作 (6コア)



スペースワイヤを適用した分散処理手法の試行

※30kg級超小型パネルモジュール化衛星研究開発

スペースワイヤ準拠の衛星搭載機器開発

※ネットワーク型次世代衛星アーキテクチャの研究

構想、開発環境整備、地上試験用計算機開発



ひまわり8,9号ほかDS-2000シリーズの基板間インタフェースに一部採用

ASNAROシリーズに採用

スペースワイヤ用の主要な命令セットの開発 | 既存OS上にスペースワイヤシステムを構築 | 高度分散処理に対応したスペースワイヤ用OSを開発 | スペースワイヤ用OSを維持発展

2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014

2011 Nov システムCDR検討会

4. ASTRO-Hのサイエンス : Black Hole

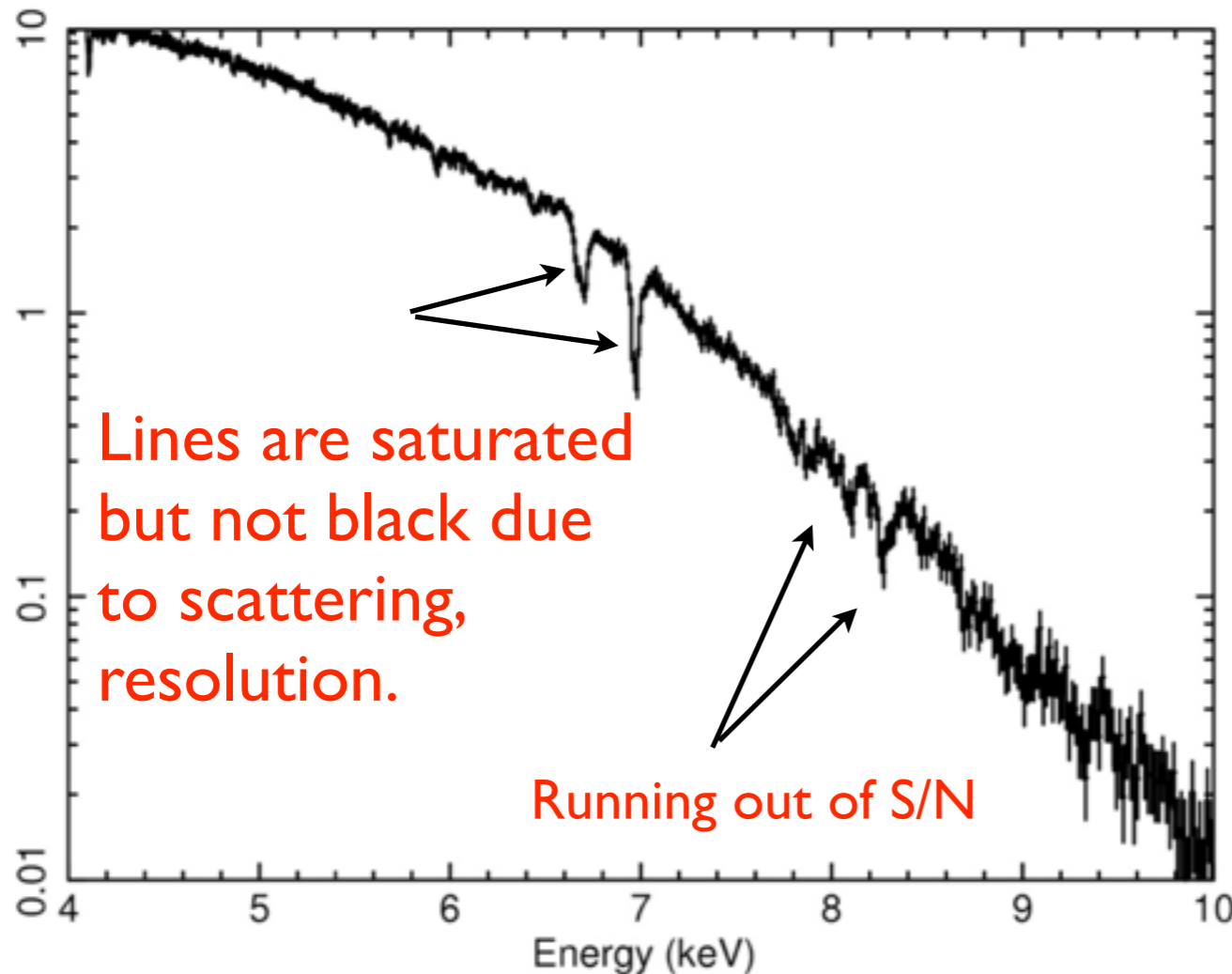
GRO J1655-40

The superior resolution of SXS in the Fe K band enables the unambiguous detection of weak and narrow lines from a wind.

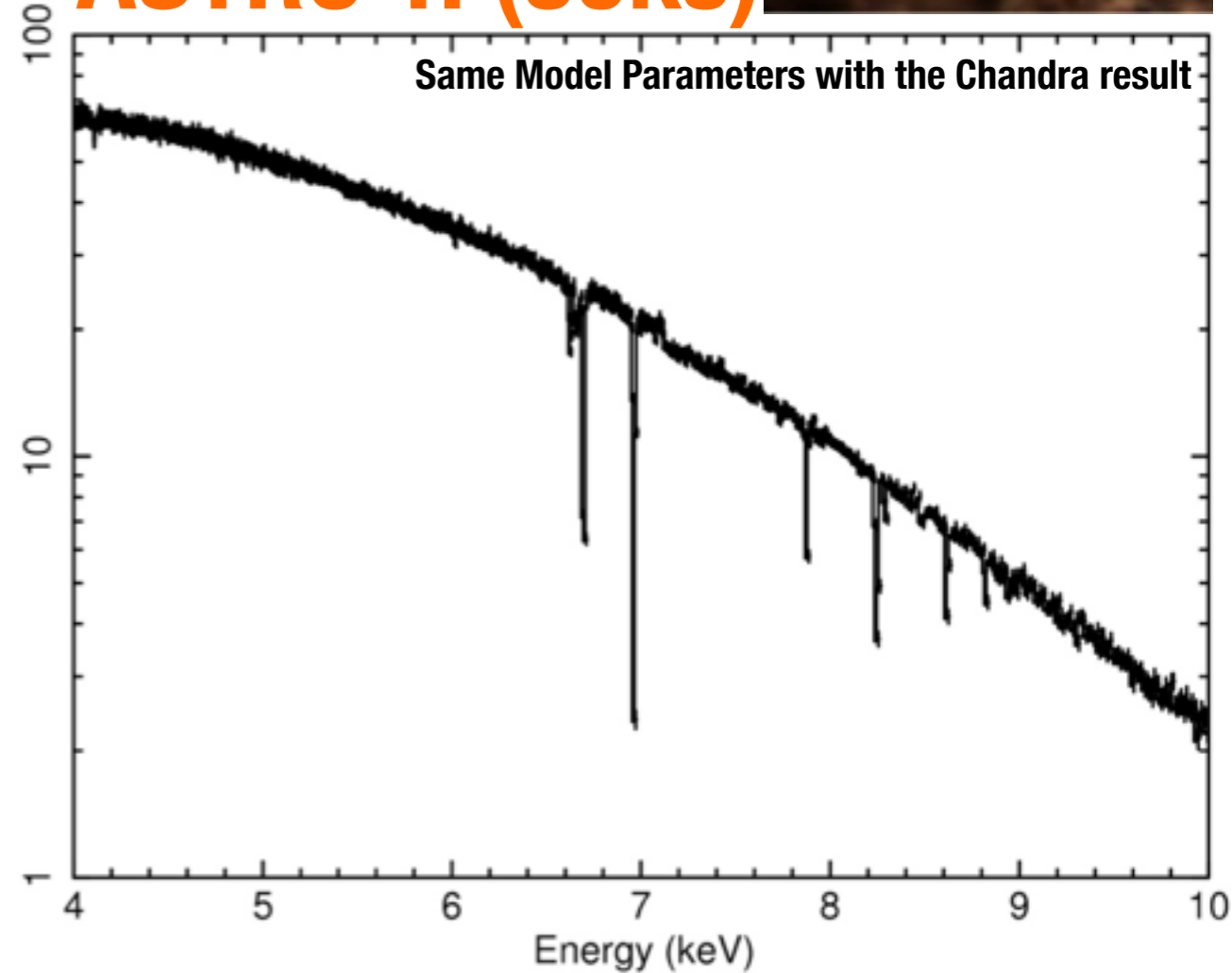
(ブラックホールの近傍からの吹き出る高速の物質を探り、ブラックホールから銀河へのエネルギー注入を解明する)



Chandra



ASTRO-H (50ks)



(Simulation by J. Miller)

ASTRO-H SXS can handle 250 cts/s

4. ASTRO-Hのサイエンス : 超新星残骸

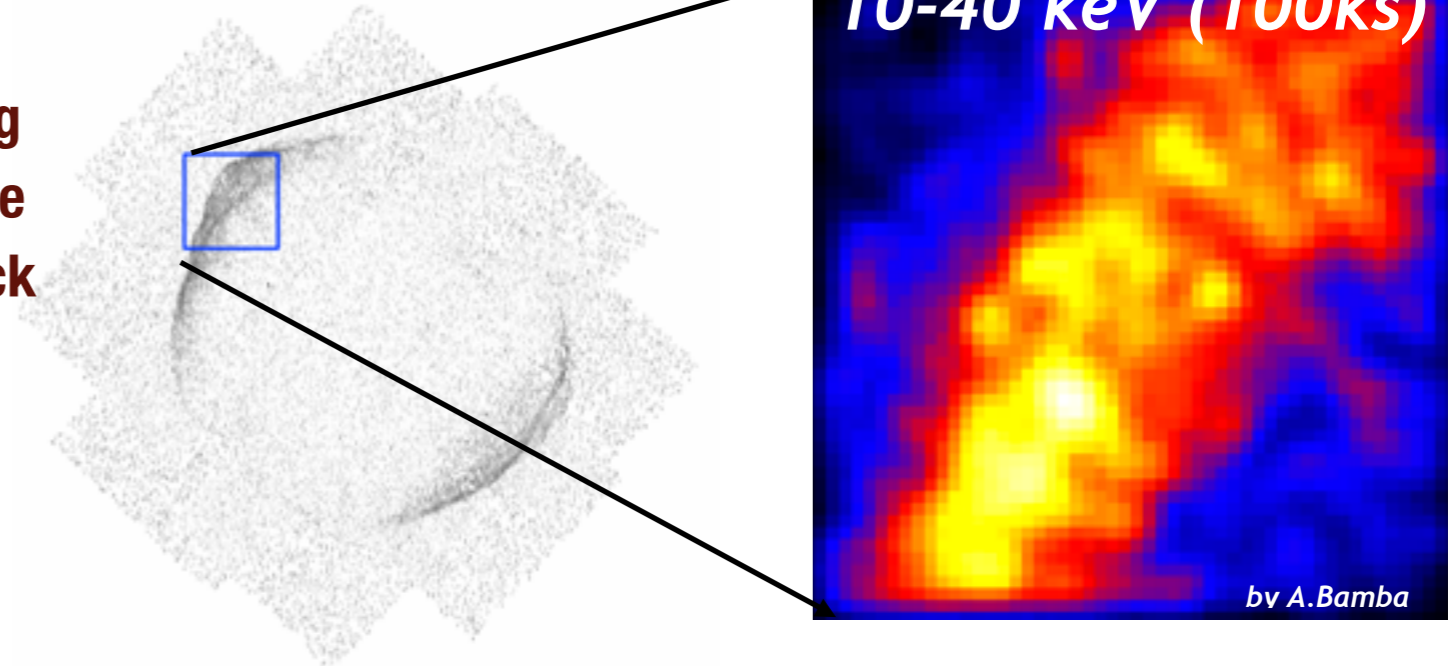


Supernova Remnants

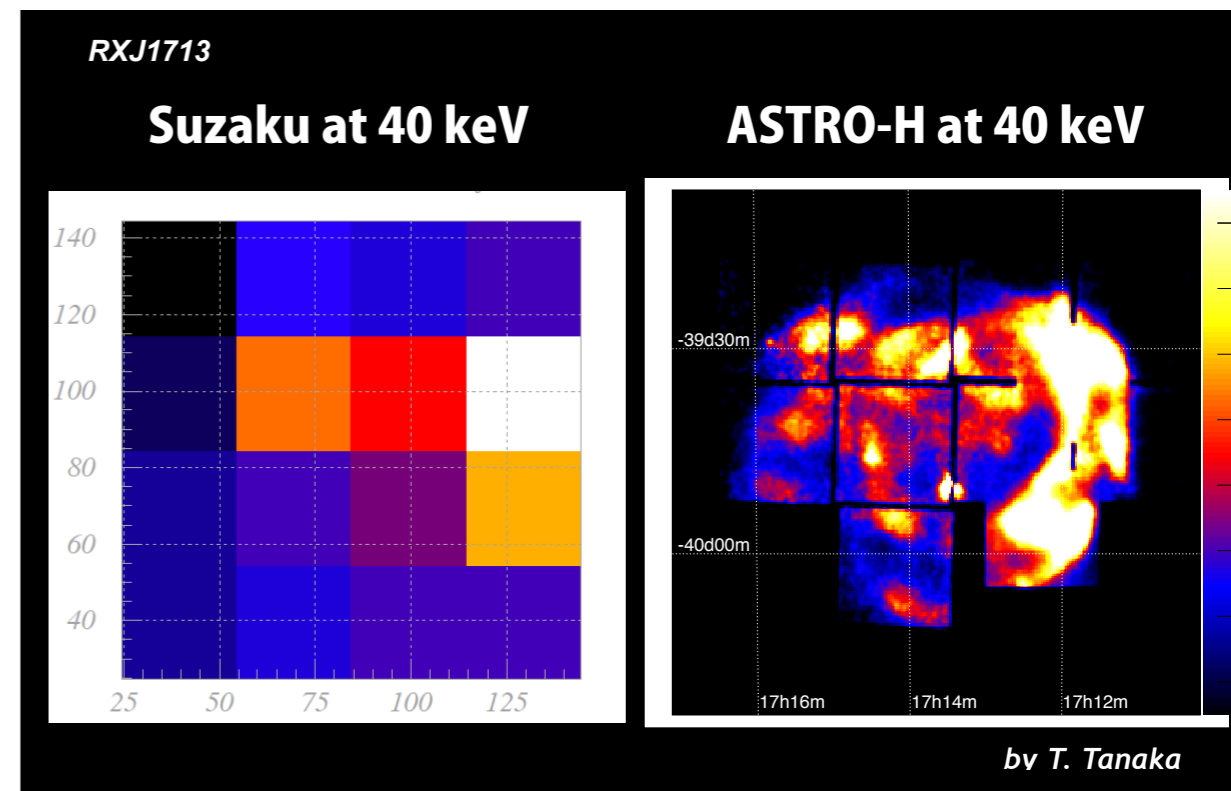
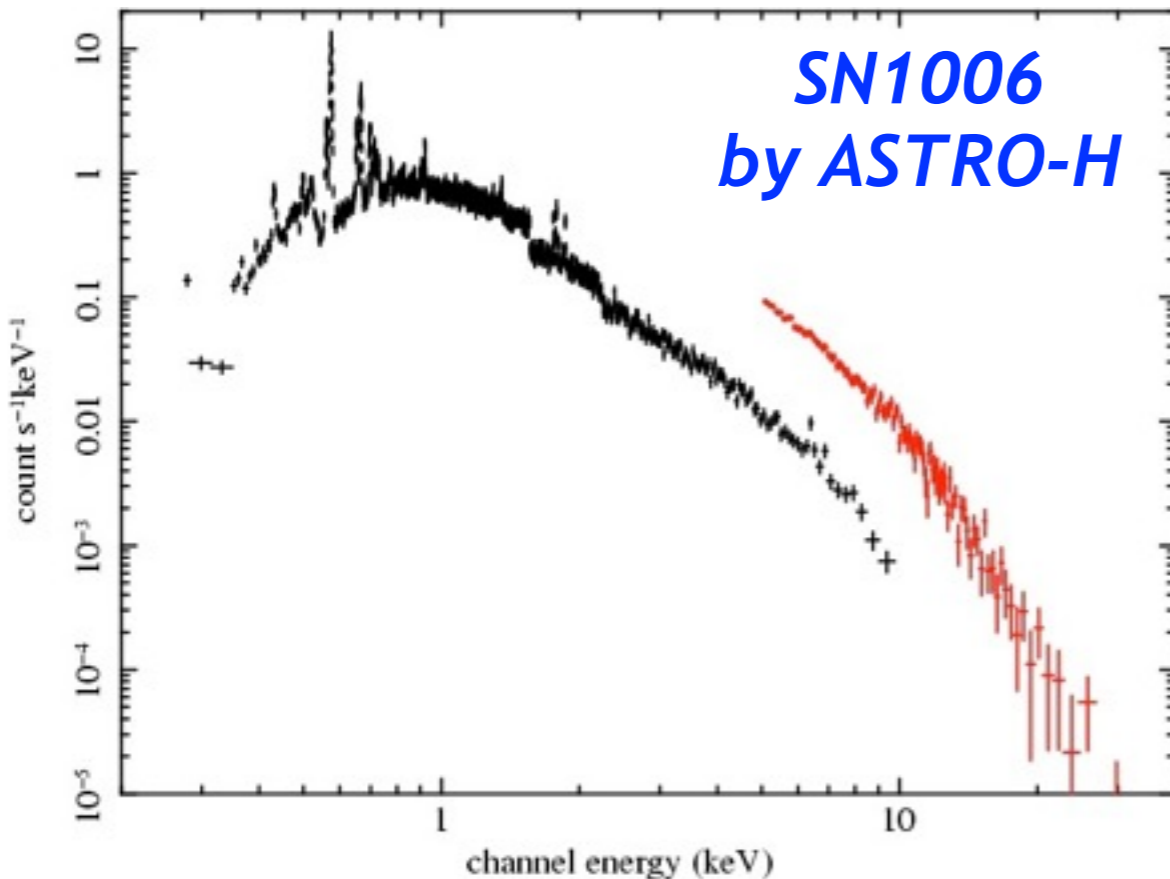
The combination of ASTRO-H's hard X-ray imaging capability and high spectral resolution will provide information to understand crucial aspects of shock acceleration in SNRs

(超新星残骸で加速される宇宙線の最大エネルギーを観測的に解明する)

SN1006



Site of Particle Acceleration to map electron distribution with $E=E_{max}$

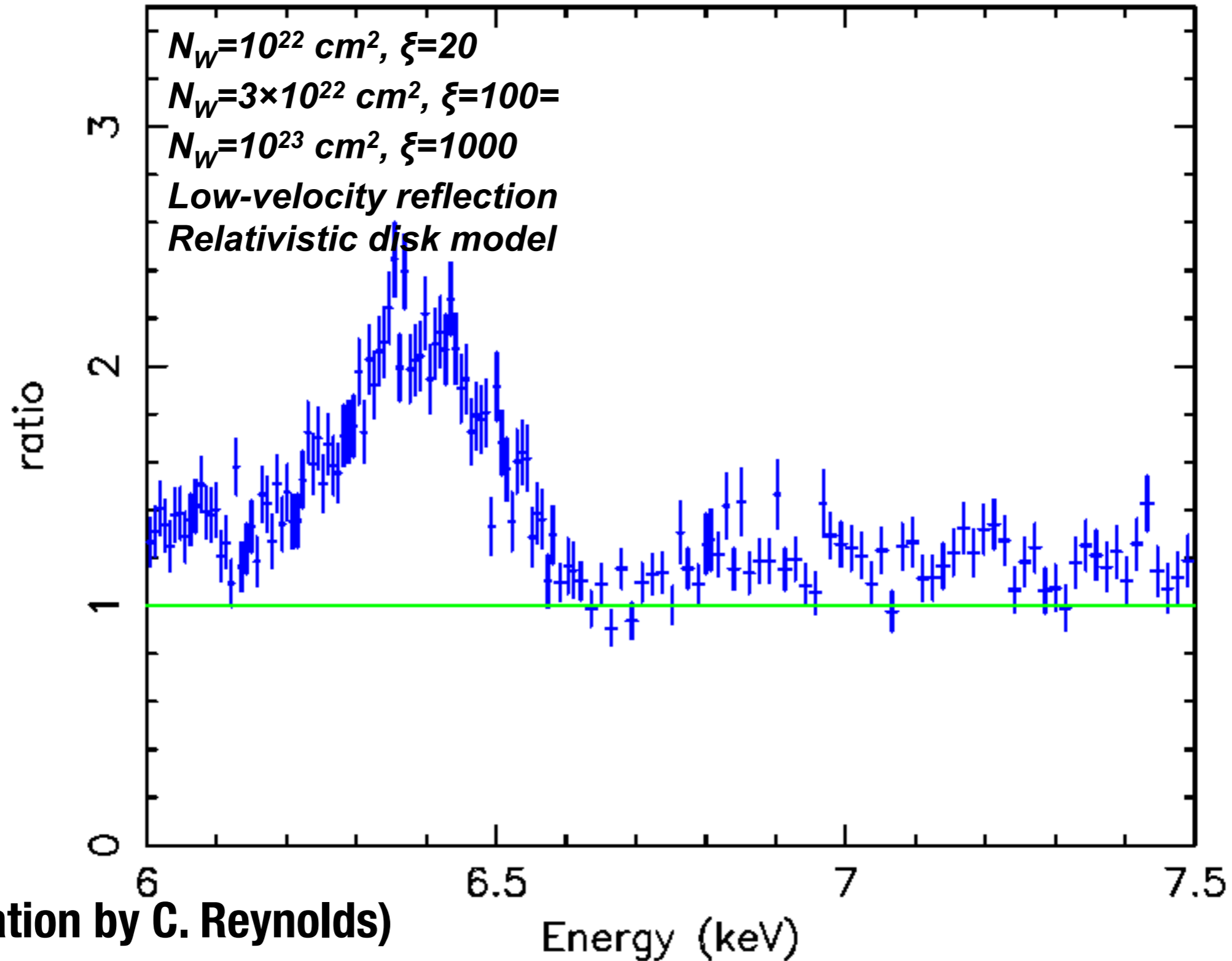


4. ASTRO-Hのサイエンス : Black Hole



Simulations of a generic broad-iron-line AGN subject to a high-ionization, high column density absorber

Suzaku XIS (300ks)



(Simulation by C. Reynolds)

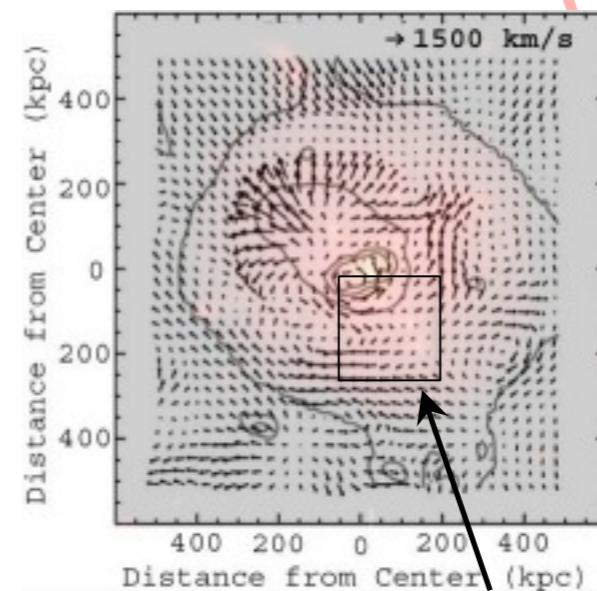
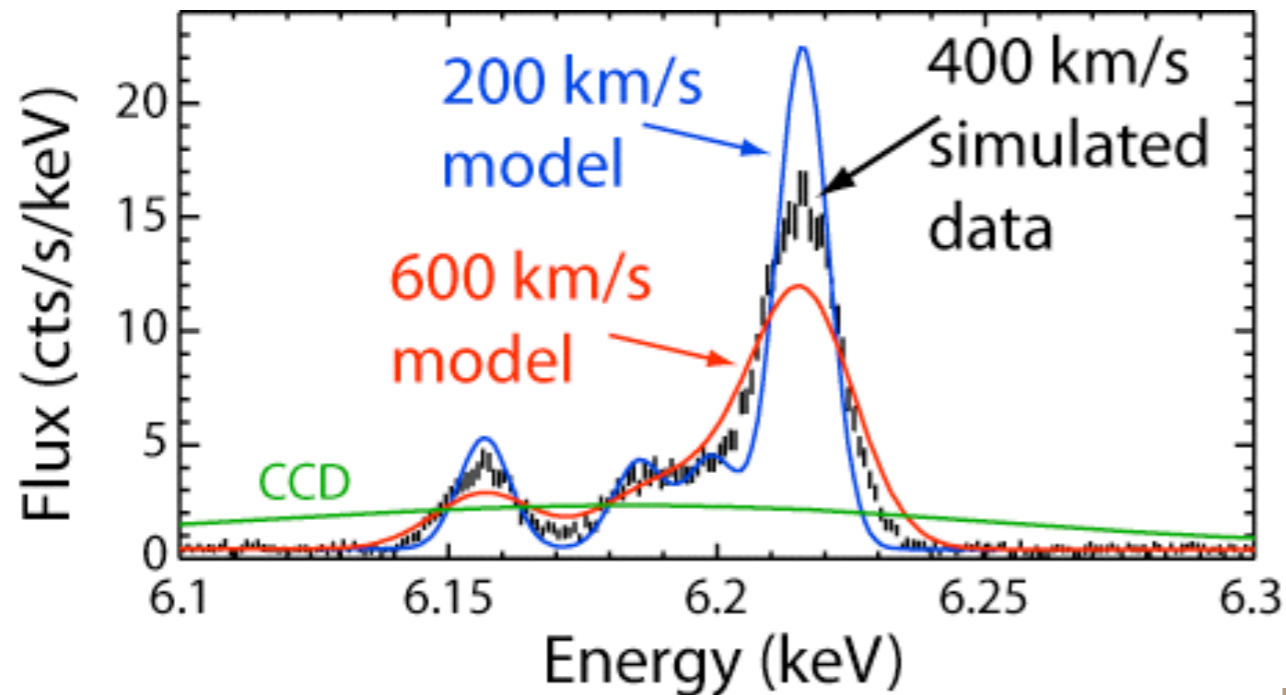
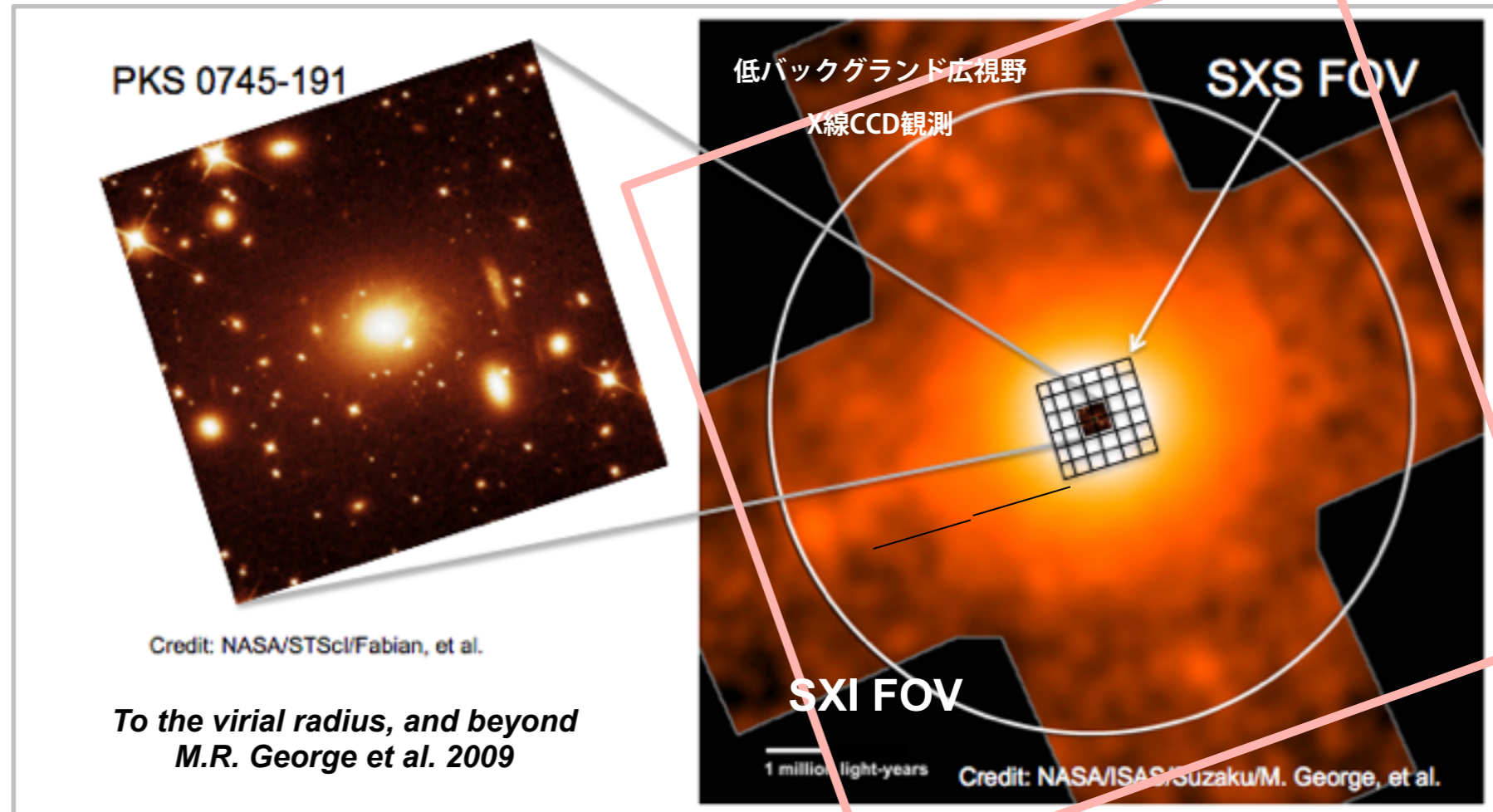
4. ASTRO-Hのサイエンス : 銀河団



Cluster of Galaxies

- Dynamics
(Turbulence, Collisions)
- Non-thermal Emission
- Cluster Outskirt
(Site of Structure Formation)
- Temperature Map
- Heavy Metal Distribution

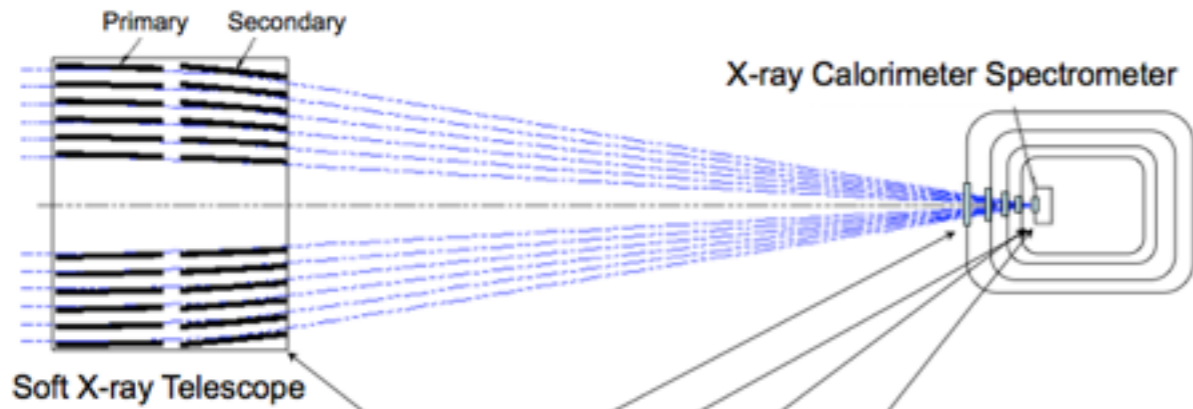
銀河団中の乱流の 直接証拠をとらえる



Astro-H will detect bulk velocity flow as small as 300 km/s in the brightest 30 clusters with $T > 60 \times 10^6$ K ($kT > 5$ keV.)

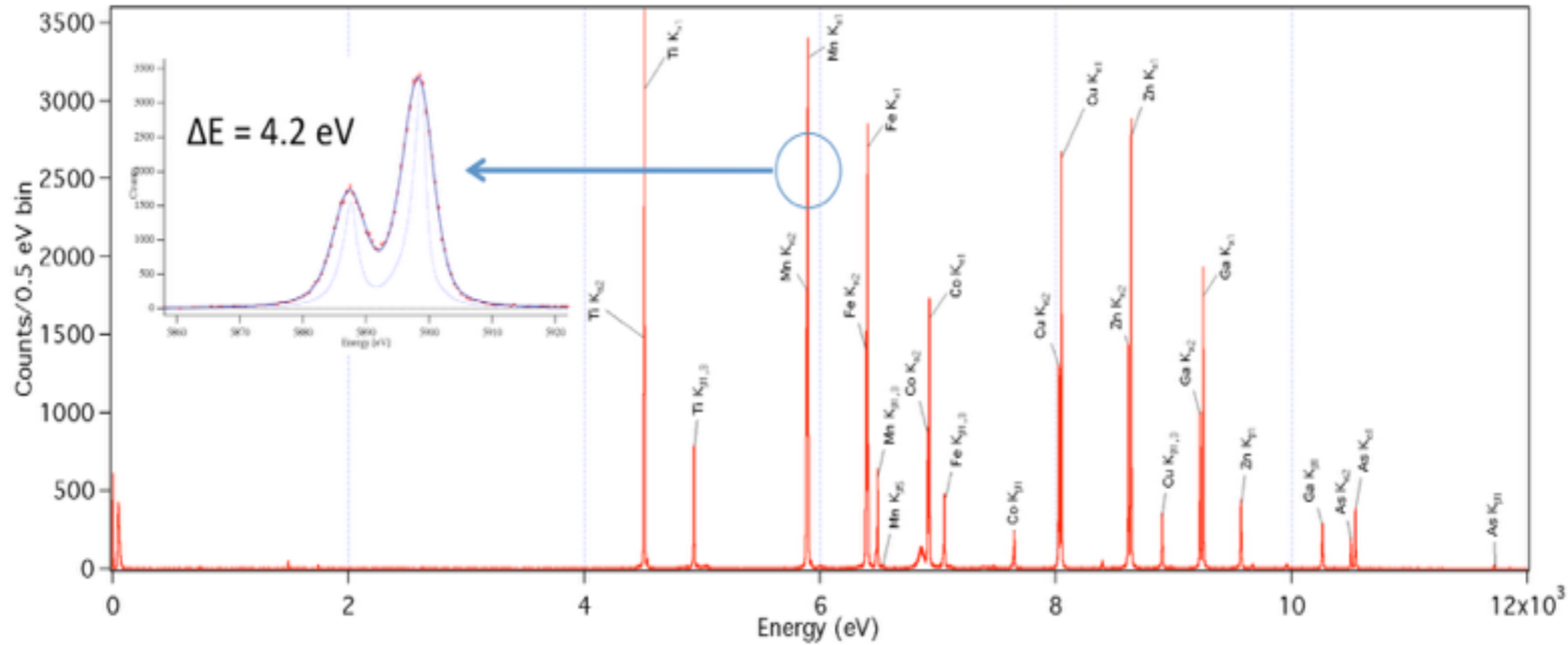
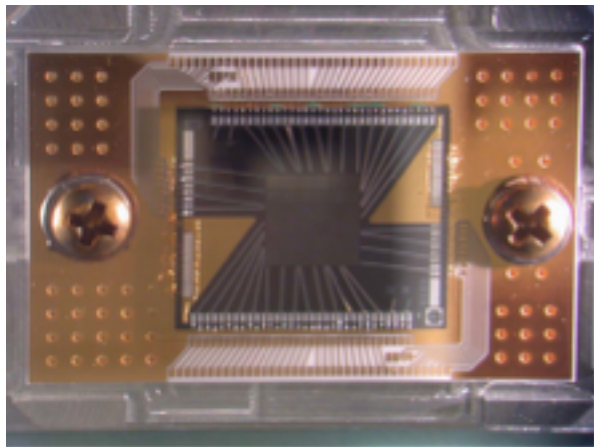
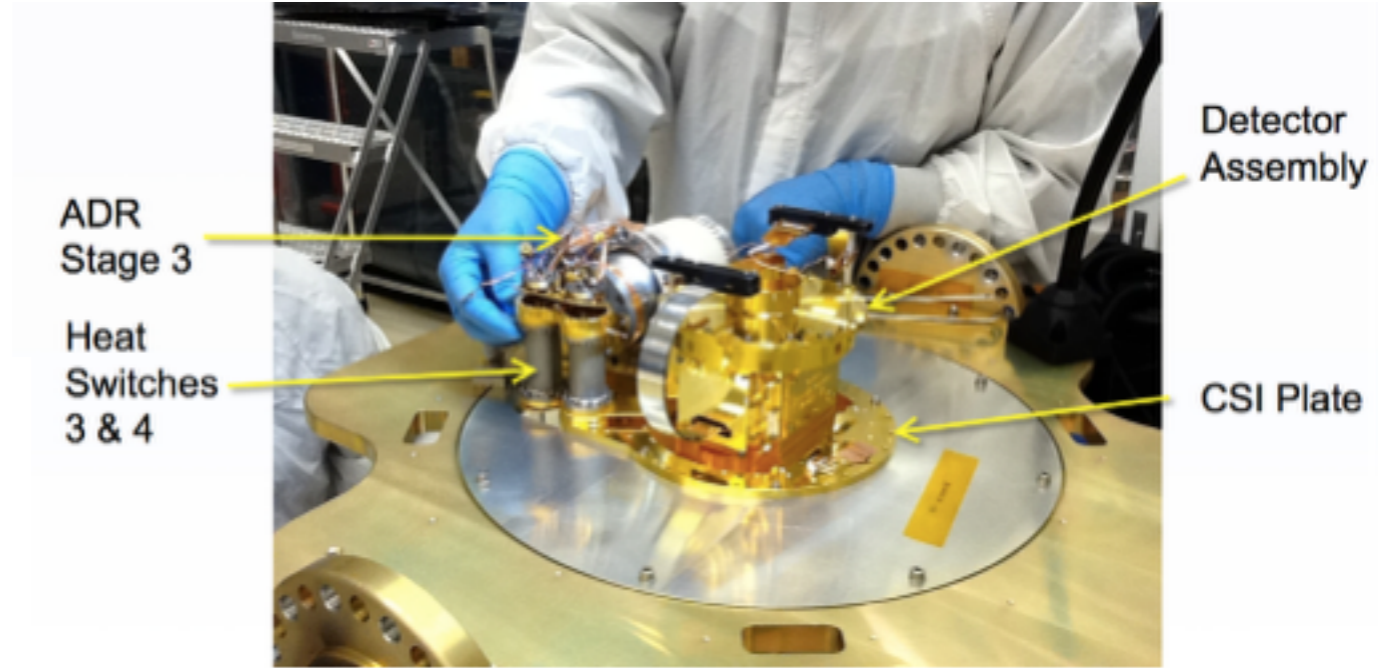
SXS FOV

5. ASTRO-H衛星開発の現状 - マイクロカロリメータ EM

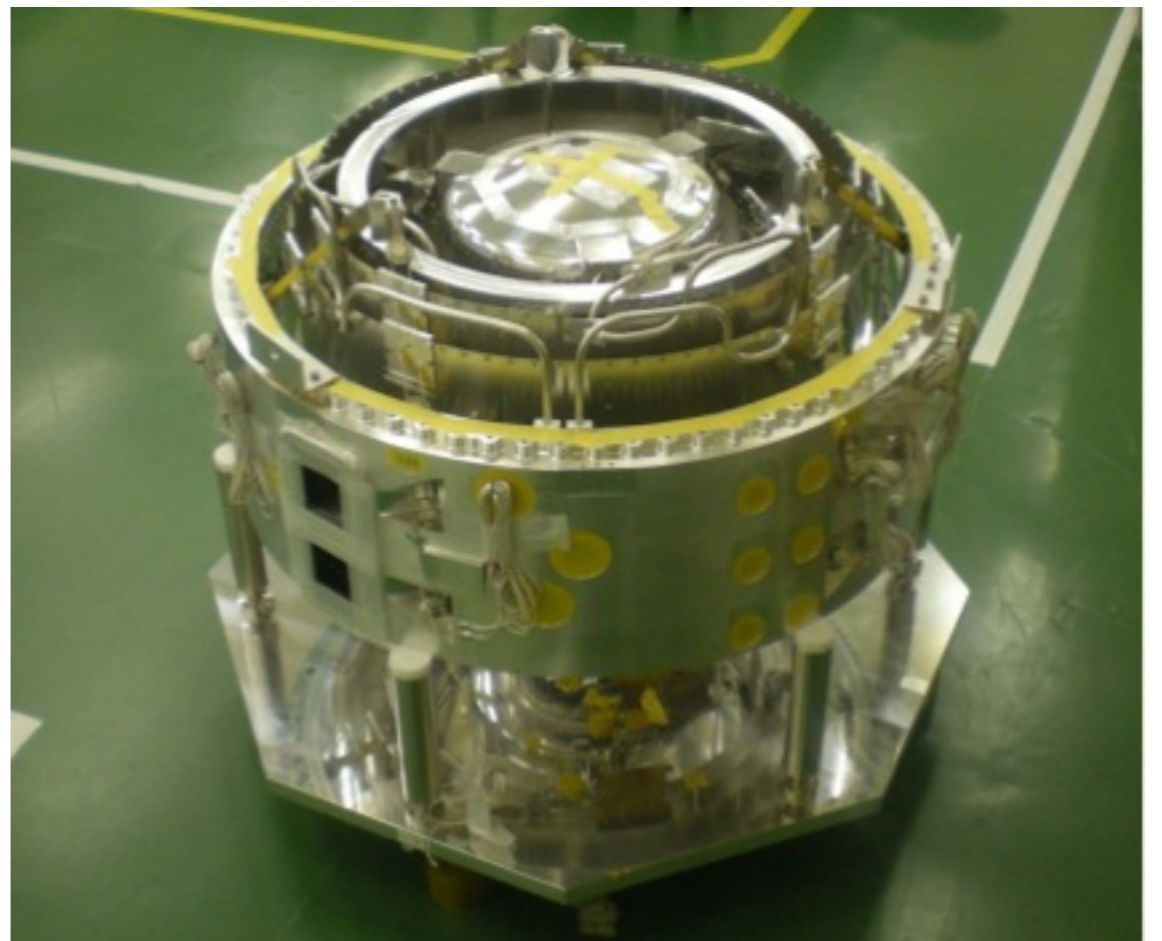
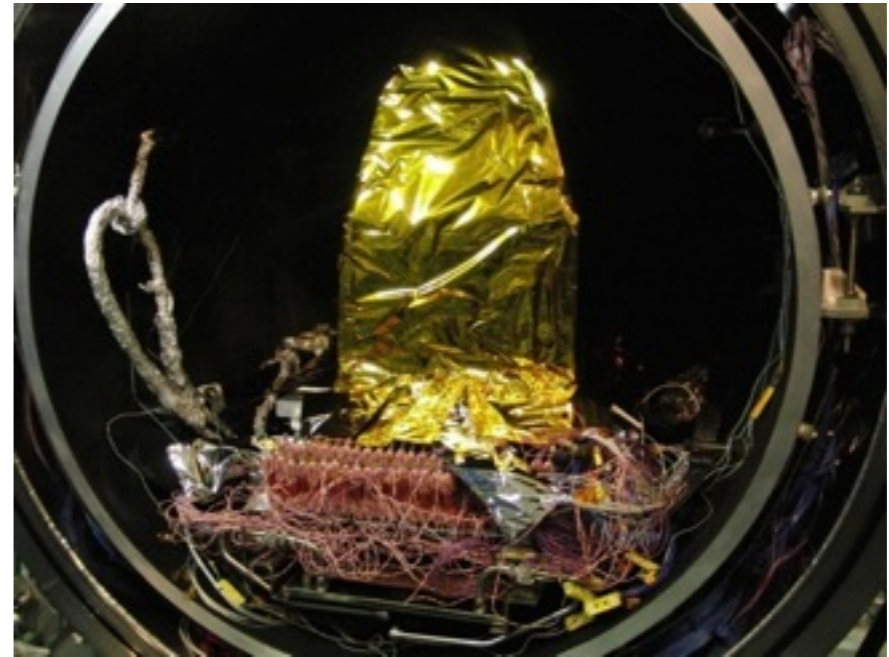


$$A_{\text{eff}}(E) = A_{\text{XRT}}(E) * t(E) * \text{psf} * f_{\text{array}} * a(E)$$

t = transmission of blocking filters
 psf = x-ray image point spread function
 f_{array} = geometric filling factor of array
 a = absorption efficiency of detector



5. ASTRO-H衛星開発の現状 - Test, Test, Test...



5. ASTRO-H衛星開発の現状 - 固定光学ベンチ単体振動試験



2012年1月5日

7.4 m



X線望遠鏡 マスダミー

HXT 68kg x 2

SXT 43.6 kg x 2 224 kg

固定光学ベンチ (pFM)

341 kg

ベースプレート マスダミー

167 kg

6. Summary

- 現在の宇宙物理学では、電波からガンマ線までの全ての電磁波を用いて総合的に現在の姿、進化の歴史を捉えることが必要。可視光・サブミリ波がより遠方での天体探査に適しているのに対し、X線は非常に高温（100万度以上）の環境、極限重力環境を探るのに適している。
- 日本のX線観測は、継続的なX線天文衛星の保持により、世界のトップクラスの成果を挙げており、可視光観測（すばる等）、電波サブミリ観測（野辺山、ALMA等）とともに、日本が優位性をもつ分野である。
- ASTRO-Hは、X線領域において上述の望遠鏡群と伍して研究を行うことができる能力と規模を有する唯一の計画である。超新星残骸や銀河団中の高温ガスの運動、遠方銀河団のダイナミックな進化、ガスに包まれた巨大ブラックホールの形成と銀河形成の関連などの研究ではASTRO-Hによる超高分解能分光や広い波長域にわたるX線観測が必須である。このような新しい観測結果により、X線天文学が飛躍的に発展し、宇宙物理学に大きなインパクトを与えることができる。