

第26号科学衛星

New exploration X-ray Telescope

次期X線天文衛星

**ASTRO-H**

高橋忠幸

ISAS/JAXA

ASTRO-H Project Team

2010/Jan

# 日本が世界をリードするミッション ASTRO-H

重量：約 2.5 t

全長(伸展後)：約 14 m

打上げ：平成25年度（目標）

軌道：軌道傾斜角31度 以下

高度 約550 km

ミッション期間：3年以上

極限宇宙（数千万度！）を探るX線天文学で  
世界最先端の観測装置を搭載。

80億光年先までもの遠方（過去）で、銀河団の  
中に渦巻く数千万度の高温ガスの速度の直接測定  
や、今までは感度が足りなくて観測できなかった  
「生まれたての銀河の中心に潜んだ巨大ブラック  
ホール」の観測。

宇宙が、どのように進化して、今ある宇宙になっ  
たのか、宇宙の構造形成の謎に迫る。

日本が世界を率いて開発中の大型天文衛星。

(2013年度打上予定)



# プロジェクトの意義

宇宙は人類の歴史の中で、数えきれないほどの夢と謎で人々を引きつけてきた。一方、高度に科学が発達した現在、宇宙の謎はむしろかつてないほどに深まっている。宇宙の膨張が、ほとんど理解不可能な暗黒エネルギーなるものに支配され、巨大ブラックホールが驚くべき宇宙現象の数々を引き起こし、地上では到底達し得ないほどの超高エネルギーをもつ粒子が未知の場所で生成されることがわかってきた。こうした謎への挑戦は、人類にとって新たな知の探求であり、究極的な技術と文化を人類にもたらすものでもある。

## ASTRO-Hによる研究

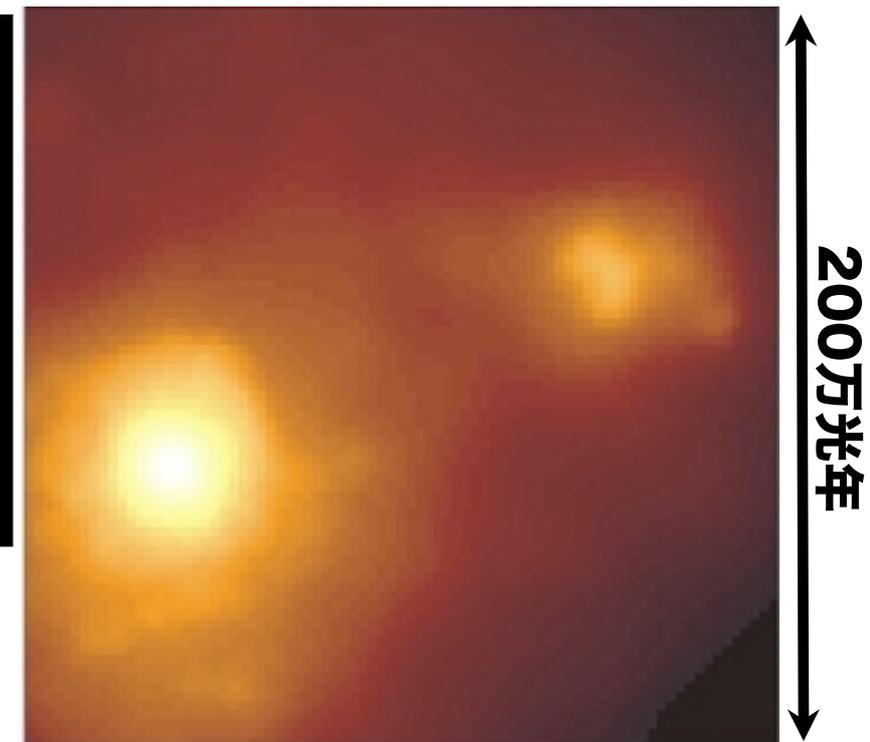
世界最高のエネルギー分解能を持ち、X線からガンマ線までの広大なエネルギー範囲を観測する衛星「ASTRO-H」による研究は、宇宙のダイナミックな進化と非熱的物質を含めたエネルギー集中過程の解明を目指すものである。高温ガスの運動を捉え、宇宙の進化をリアルタイムの映像として明らかにし、超広帯域の観測とも合わせることで、ダイナミックな宇宙の進化の真の姿が初めて明らかにされる。それにより、現在の宇宙論における大きな謎である、宇宙を満たす“暗黒エネルギー”の本質の追求にもつなげることをめざす。

X線でしか観測されない銀河団中の高温ガス

### 宇宙の階層構造



宇宙の直接観測可能な物質の80-90%はX線を放射する高温状態にある (Fukugita & Peebles, 2004 ApJ)



# 日本のX線天文学の戦略

段階をへながら、日本独自、世界で初めてのアプローチをめざす（小さくても、できること）。

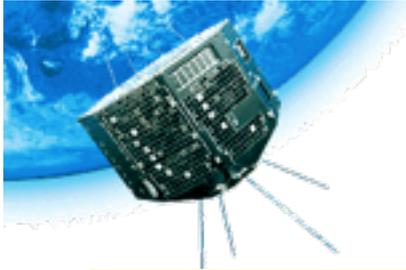
日本の大学の中に強力なX線天文学のコミュニティを形成。大学からの提案が、形となっていく

高度な技術力（検出器／望遠鏡）

強力な国際協力

（科学者コミュニティの中での高いプレゼンス）

Hakucho (1979) 90kg



Tenma (1983) 220 kg



Ginga (1987) 430 kg



with UK/USA

ASCA (1993) 420 kg



with USA

M3

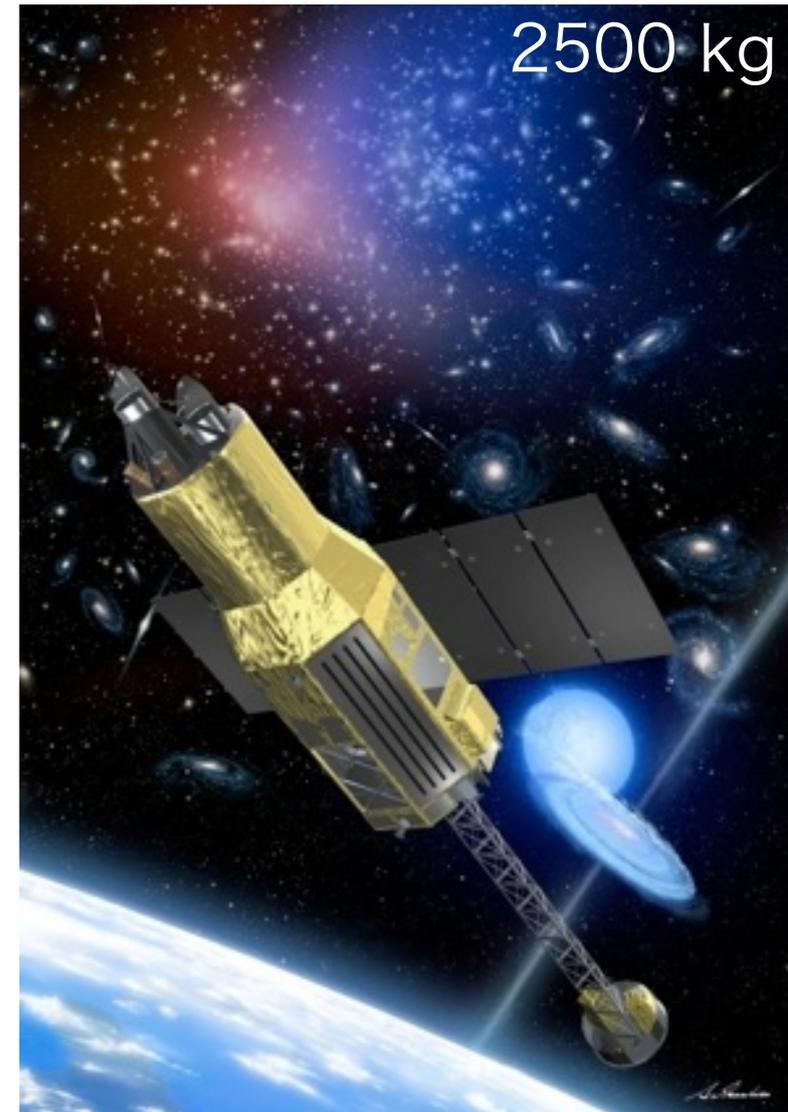
すざく

1700 kg



M-V

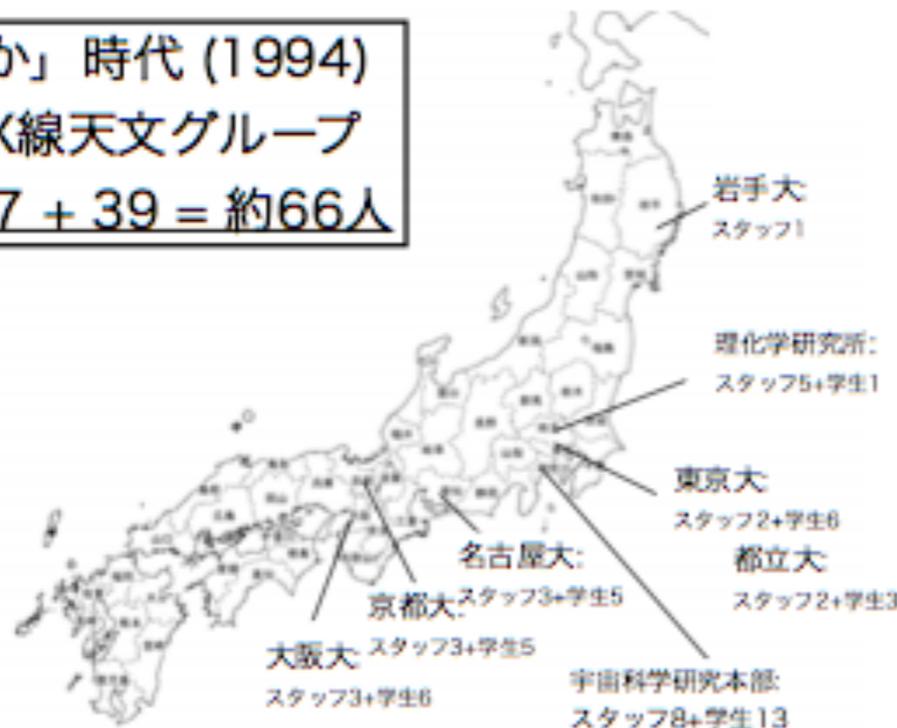
2500 kg



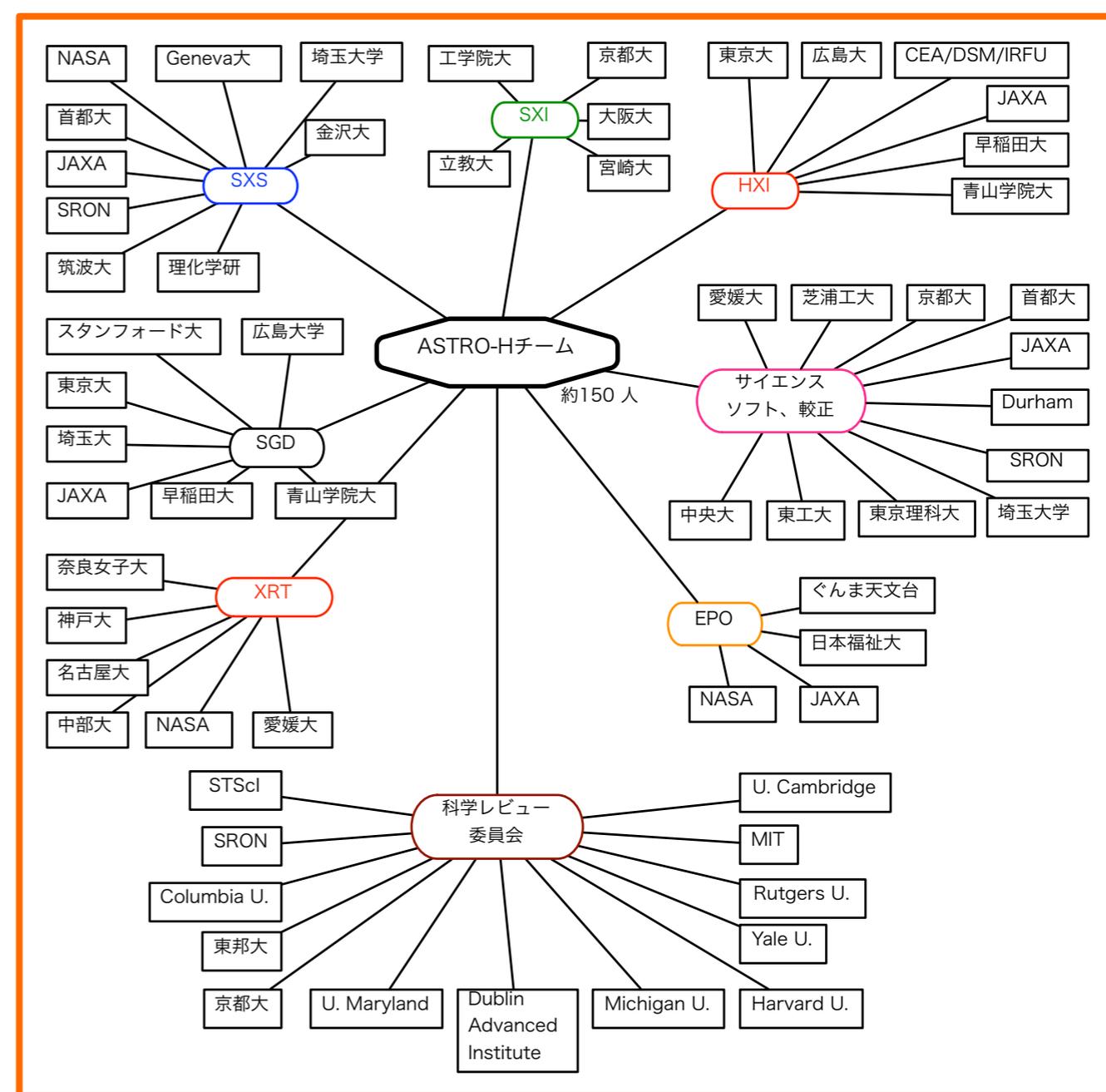
H-IIA

# 日本のX線天文学の戦略

「あすか」時代 (1994)  
日本のX線天文グループ  
合計: 27 + 39 = 約66人



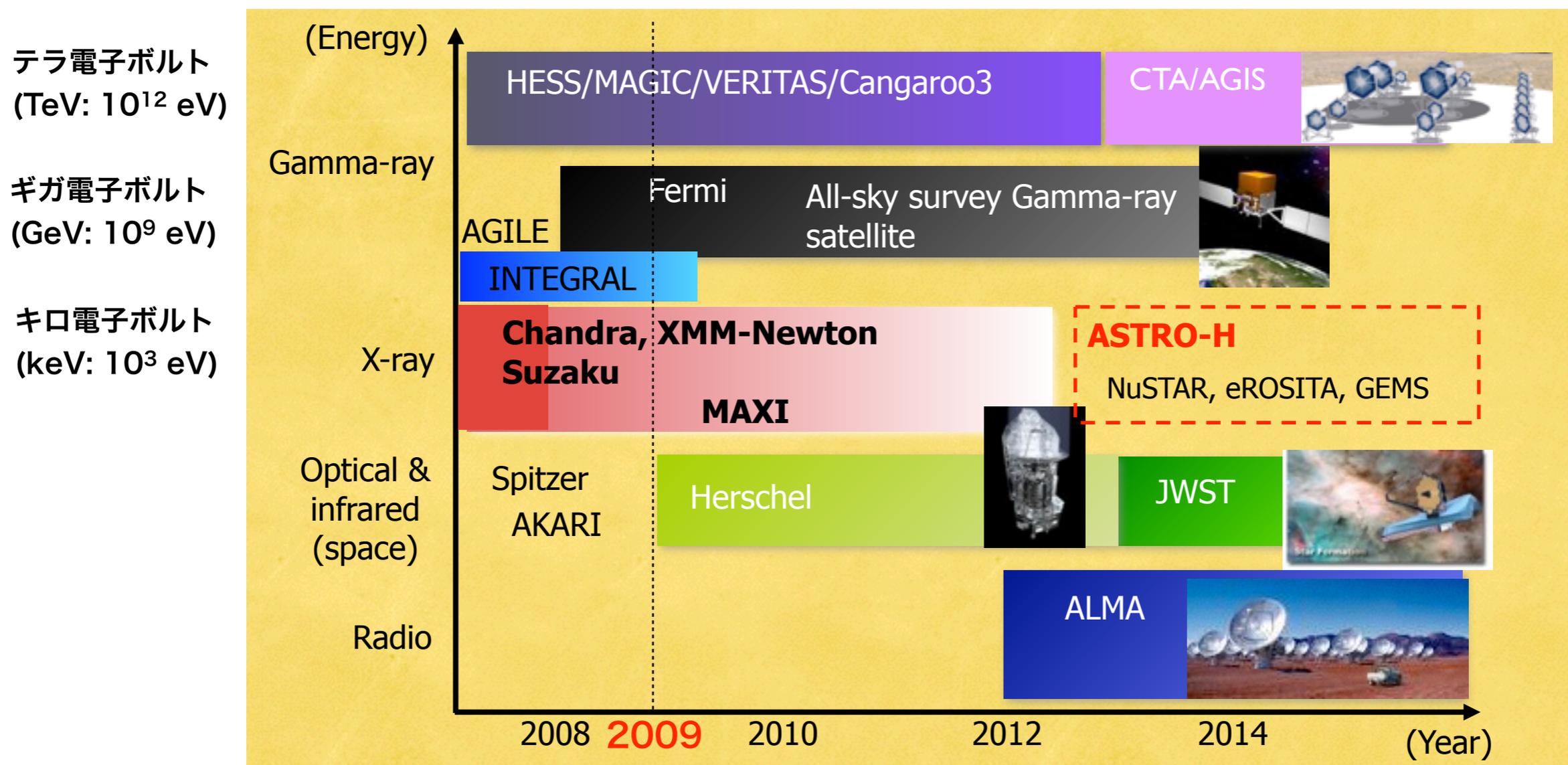
「すざく」打ち上げ後  
日本のX線天文グループ  
合計: 96 + 182 = 約280人



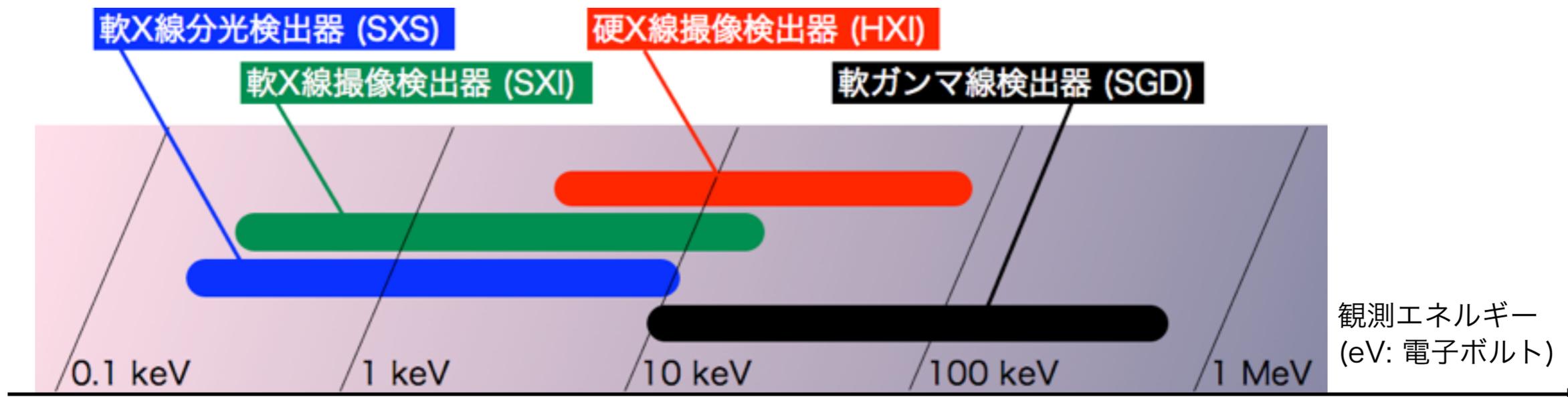
**ASTRO-Hは、合計25校に達する日本の国公立大学の研究グループの支持と協力で検討が進められる。**

# 国際的位置づけ

一刻も早くASTRO-Hを実現する事が、X線天文学が空白期なしに、他の波長の大型国際将来計画と同期して成果を生み出すために必須である。ASTRO-Hが世界の基幹X線天文衛星として、ALMA(サブミリ波)、ハッブル宇宙望遠鏡の後継のJWST、GeVガンマ線衛星Fermiなどと共に、観測を行うことで得られる科学的成果は極めて大きい。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などの研究では、ASTRO-HによるX線観測の有無で、全く成果の質が異なってしまう。ASTRO-Hをこれらの大型計画と同時期に実現することが、宇宙科学に新しい潮流をうみだすこととなる。



# ASTRO-H



## 硬X線撮像システム

HXT  
(望遠鏡)

HXI

日本が国産ナノ技術を駆使し、世界に先駆けて開発した**硬X線望遠鏡**と、世界に誇る日本の半導体技術が生み出した新しい高効率半導体素子に基づく**硬X線撮像検出器**を組み合わせ、硬X線帯で初めての集光撮像を実現し、飛躍的な高感度を実現。

## 軟X線分光システム

SXT-S  
(望遠鏡)

SXS

日本のX線衛星のお家芸である、大面積かつ軽量の**軟X線望遠鏡**と、50ミリ度という極低温技術によって超高分解能分光を実現する**軟X線分光検出器**を組み合わせ、超精密X線分光を実現。

## 軟X線撮像システム

SXT-I  
(望遠鏡)

SXI

**軟X線望遠鏡**と、日本の半導体技術の粋を尽くした大面積低雑音X線CCD素子を用いた**軟X線撮像検出器**を組み合わせ、広い視野を持ち、観測の基本となるX線撮像を実現。

## 軟ガンマ線検出器

SGD

日本独自のアイデアである狭視野半導体コンプトンカメラに基づいた超低雑音**軟ガンマ線検出器**により、一桁以上の感度の向上と、ガンマ線偏光観測能力を実現。

これら4種類の観測システムが同時に機能することで、3桁にもおよぶ広帯域において、「すざく」より10倍から100倍高感度の観測を実現して、最大限の科学的成果を引き出すことが可能となる。

# プロジェクトの現状

2009/2月:国際科学委員会メンバーが、NASA, ESA, JAXAのそれぞれで公募, 選定 (NASA(8), ESA(3) JAXA(2), 主査: A. Fabian教授 (ケンブリッジ大)

2009/2月25-27: 第一回コラボレーション会議  
(サイエンス会議+第3回設計会議)

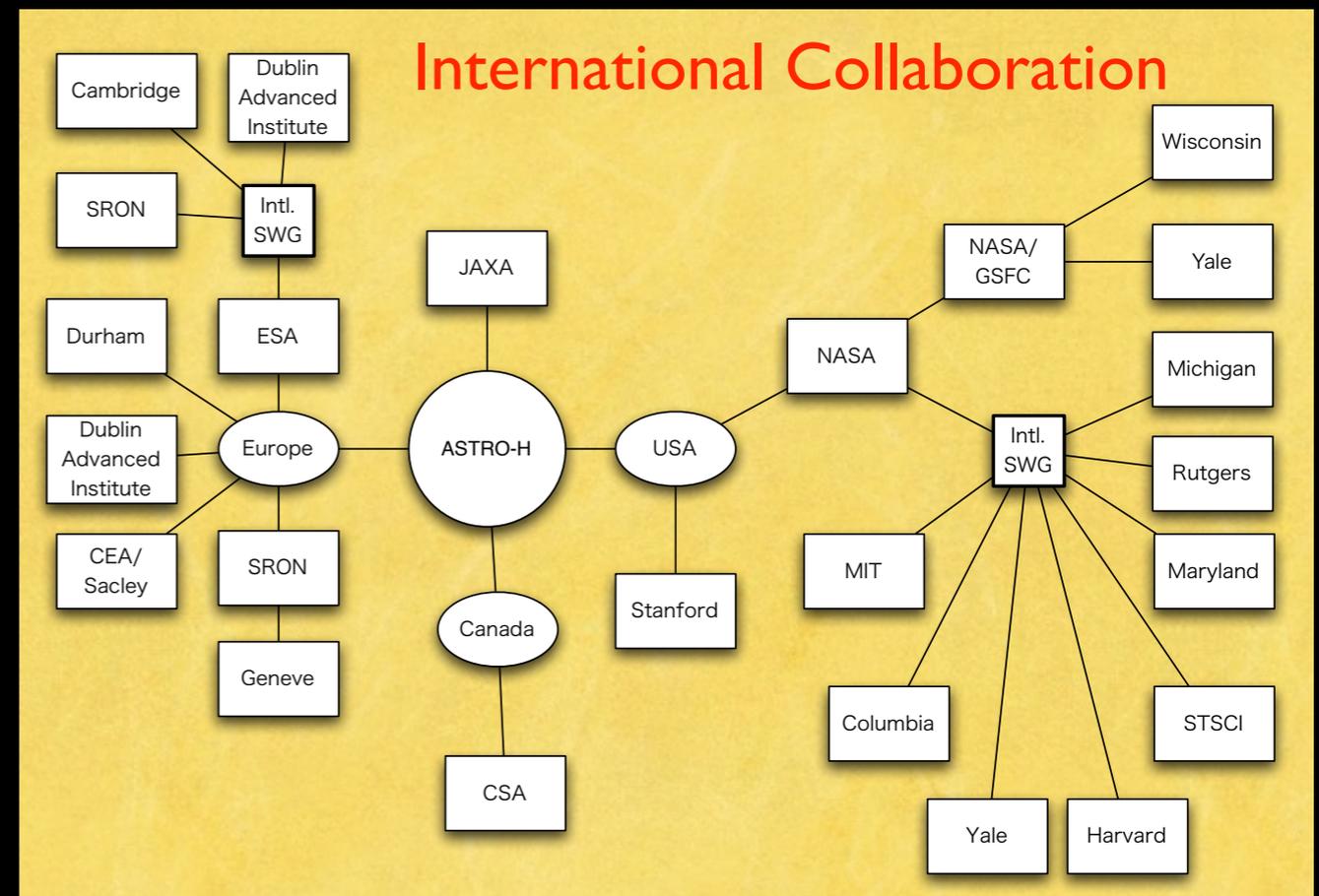
2009/6月 4-5: 第4回設計会議

2009/6月 16: NASA Phase B 開始

2009/10-11月: 宇宙開発委員会開発移行審査

2009/11月 10-11: 第5回設計会議

**2010年1月4日 宇宙開発委員会 評価報告から**



平成20年12月 NASA との間でLoA 締結

平成21年10月 SRON (オランダ) との間でLoA 締結

**ASTRO-Hプロジェクトは宇宙の構造形成やエネルギー的な進化を知る上で鍵となる観測に挑戦する極めて意欲的なプロジェクトであり、世界の国際宇宙X線天文台として、世界トップレベルの科学研究成果を継続的に創出することが期待され、宇宙基本計画等に整合しており、その意義は大きい、**

**現段階までの計画は具体的かつ的確であり、「開発」に移行する準備が整っていることを確認した。**

平成21年2月27日：第3回設計会議



平成21年6月4日：第4回設計会議



平成21年7月30日：第5回設計会議



これまでに、海外メンバーおよび担当メーカーを含めた衛星全体会議を合計7回実施。設計確認と自主点検を行っている。ミッション機器個別の海外メンバーとの打ち合わせは、TV会議を利用してほぼ毎週開催している。

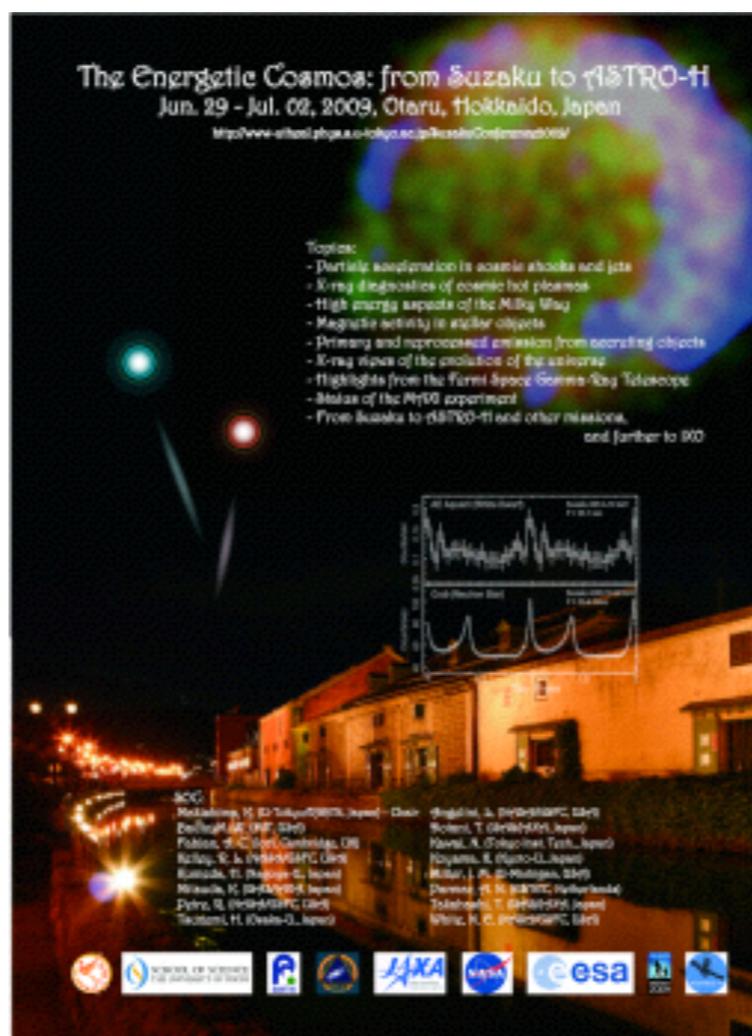


平成21年11月10日：  
第6回設計会議

他、国内外の専門家（科学者、エンジニア）を招集した、エンジニアリング レビュー（ER）をミッション機器に対して実施中

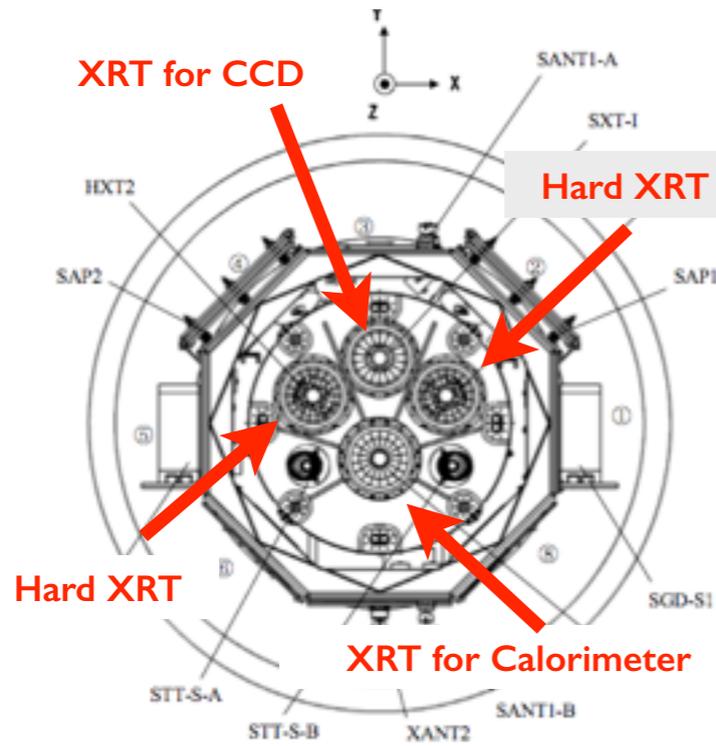
平成21年6月29日：すざく/  
ASTRO-H国際会議(小樽)

**The Energetic Cosmos:**  
**from Suzaku to Astro-H**  
Otaru, Hokkaido, Japan 29 June - 2 July 2009

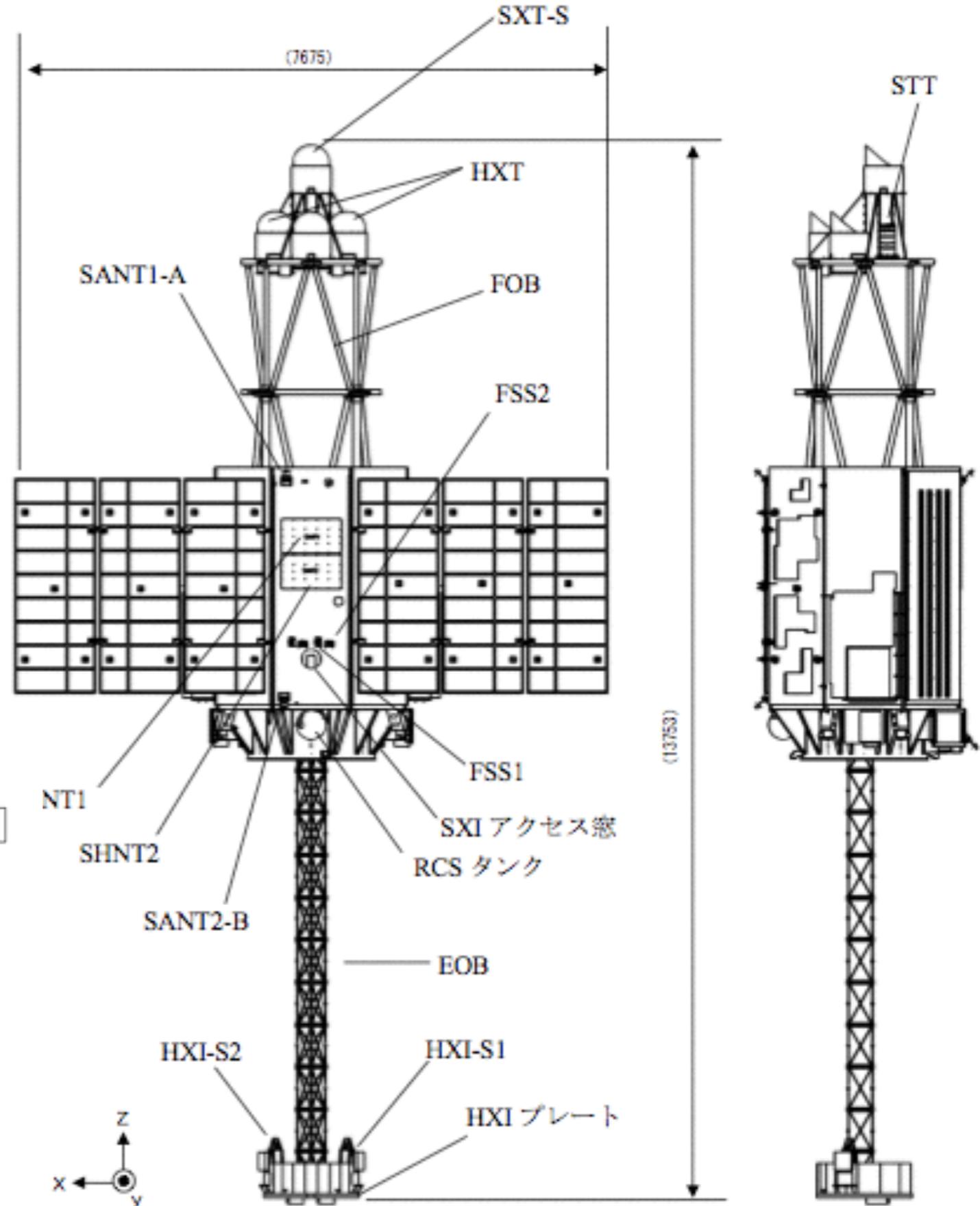
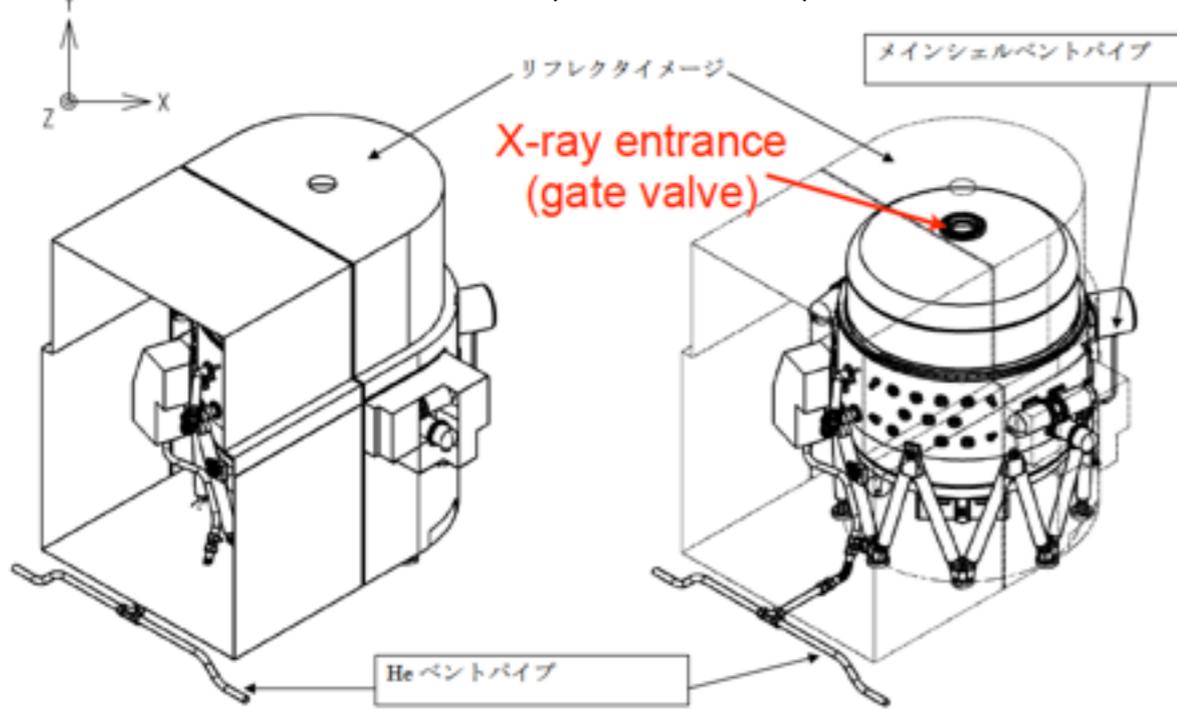


# 設計の進捗状況

ASTRO-Hは衛星全体でX線望遠鏡を構成する。熱、構造解析が「肝」



ASTRO-Hでは、マイクロカロリメータのための冷却システム(Dewar)設計が「肝」



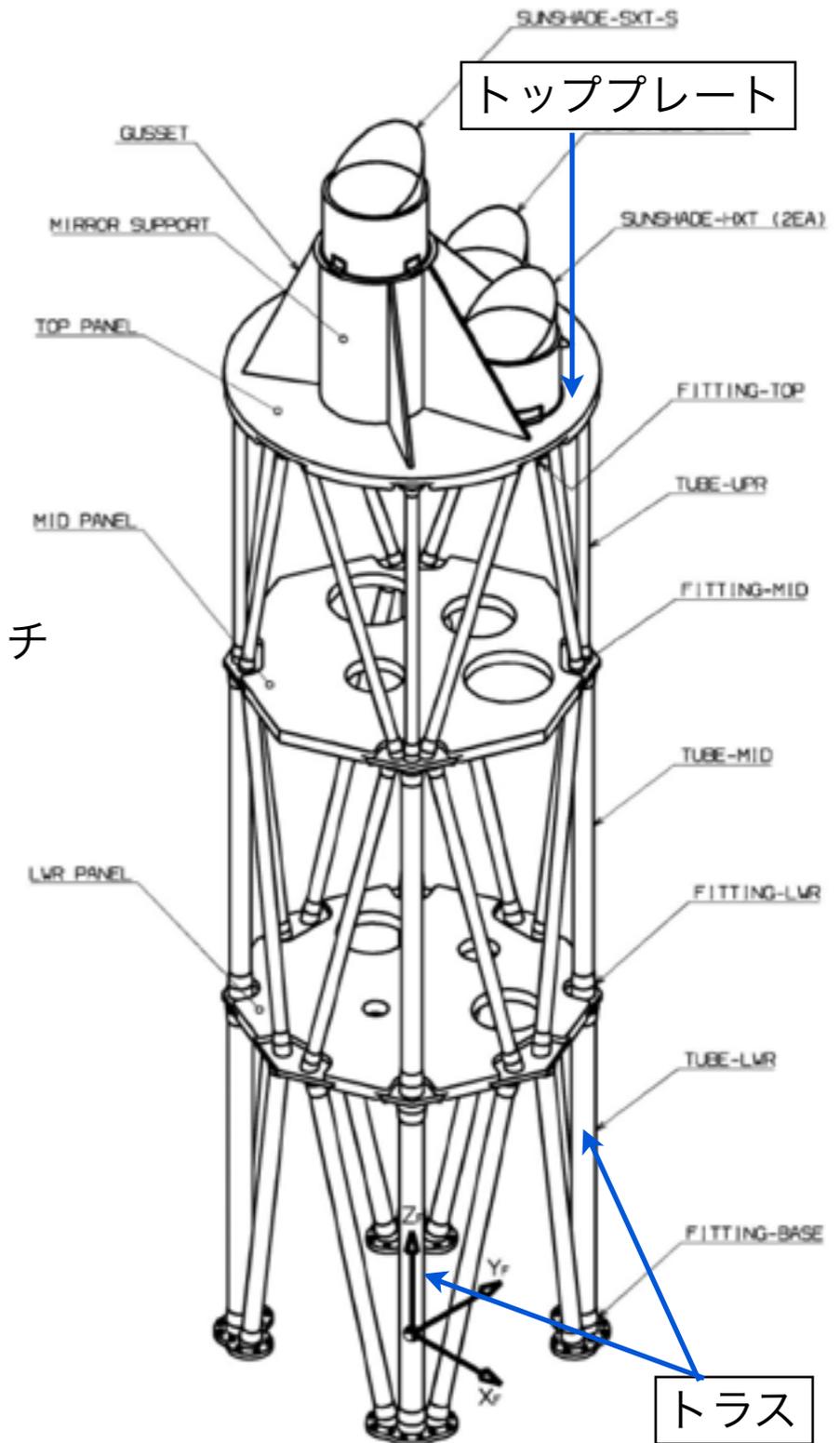
# 光学ベンチ

## 固定式光学ベンチの開発方針

打ち上げ時の振動や熱ひずみの指向性能に対する影響を最小限にするために、固定ベンチのトッププレートに4台のX線望遠鏡を設置。同じプレートに星トラッカーを設置し、望遠鏡の指向方向を正確にモニタする。SXS/SXIに対して約6 mの焦点距離を確保する。

- 1) 「すざく」「あすか」の技術を継承
- 2) トップ/中段/下段プレート: CFRP表面板によるアルミハニカムサンドイッチ
- 3) トラス部分 (CFRP製トラス・アルミ製フィッティング) :

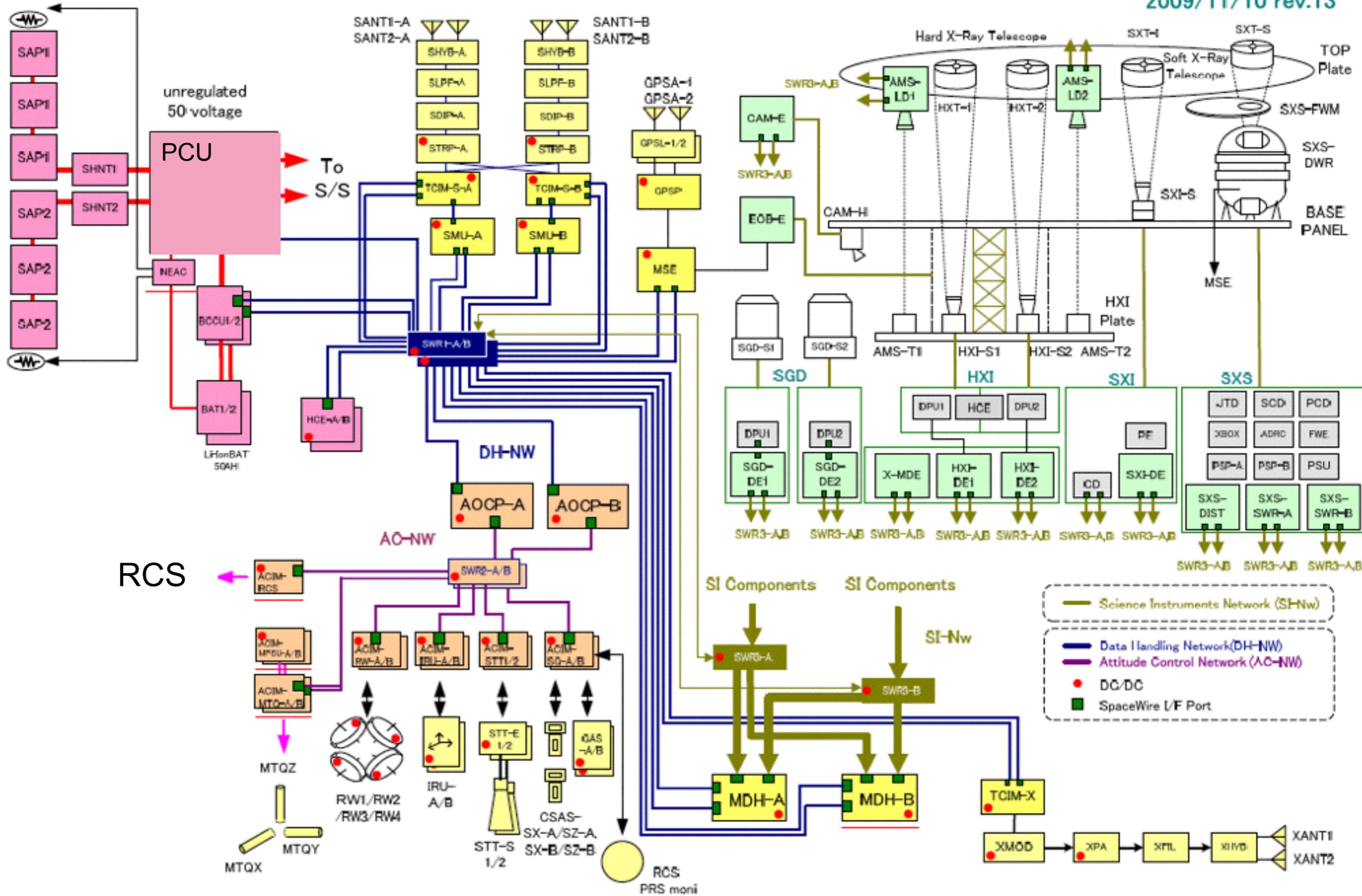
- ・アルミフィッティングの熱膨張を計算に入れたチューブ内炭素繊維の配向の工夫により、トラス全体の線膨張係数を $2 \times 10^{-7}$ 程度以下に抑制、アルミの約1/100を実現。
- ・軌道上での温度変化(約 $20^{\circ}\text{C}$ )に対してわずかな数 $10\mu\text{m}$ の伸縮。
- ・CFRP製の衛星ベースプレート上の機器の熱ひずみがトラスを伝わってトッププレートの変位につながる事のないように、各機器の対衛星インターフェースを設計。



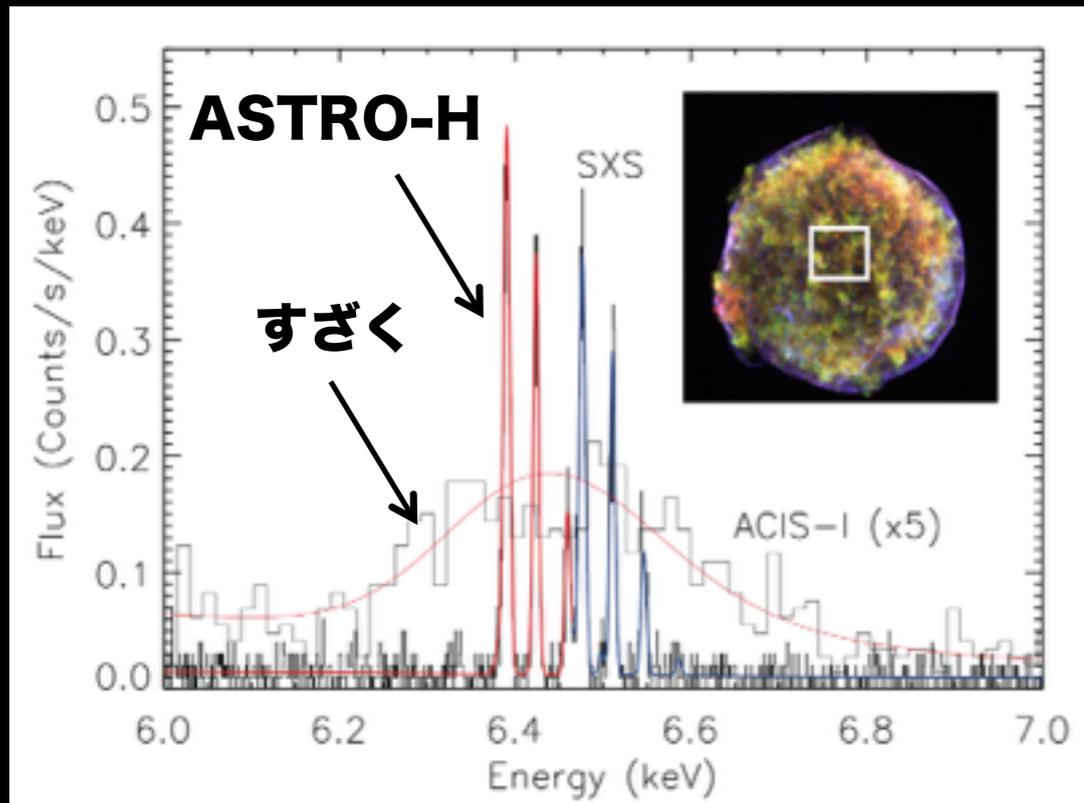
# 登場人物

ASTRO-H System Block Diagram

2009/11/10 rev.13



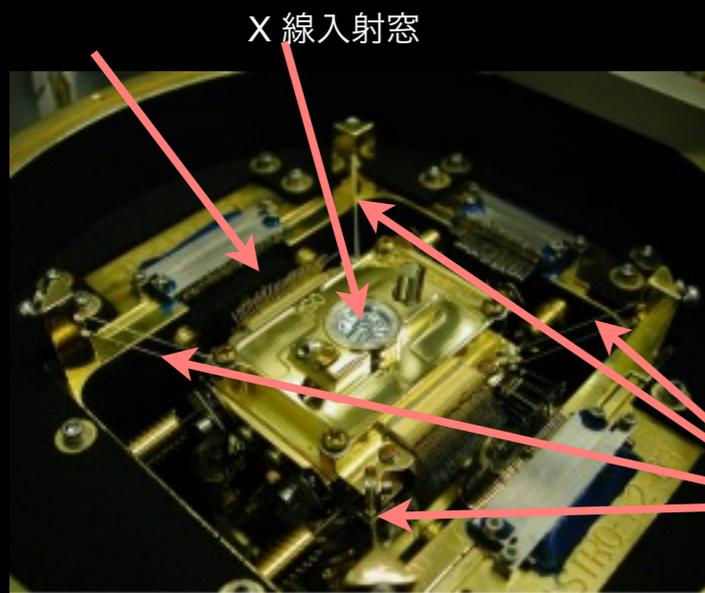
# マイクロカロリメータの先端技術



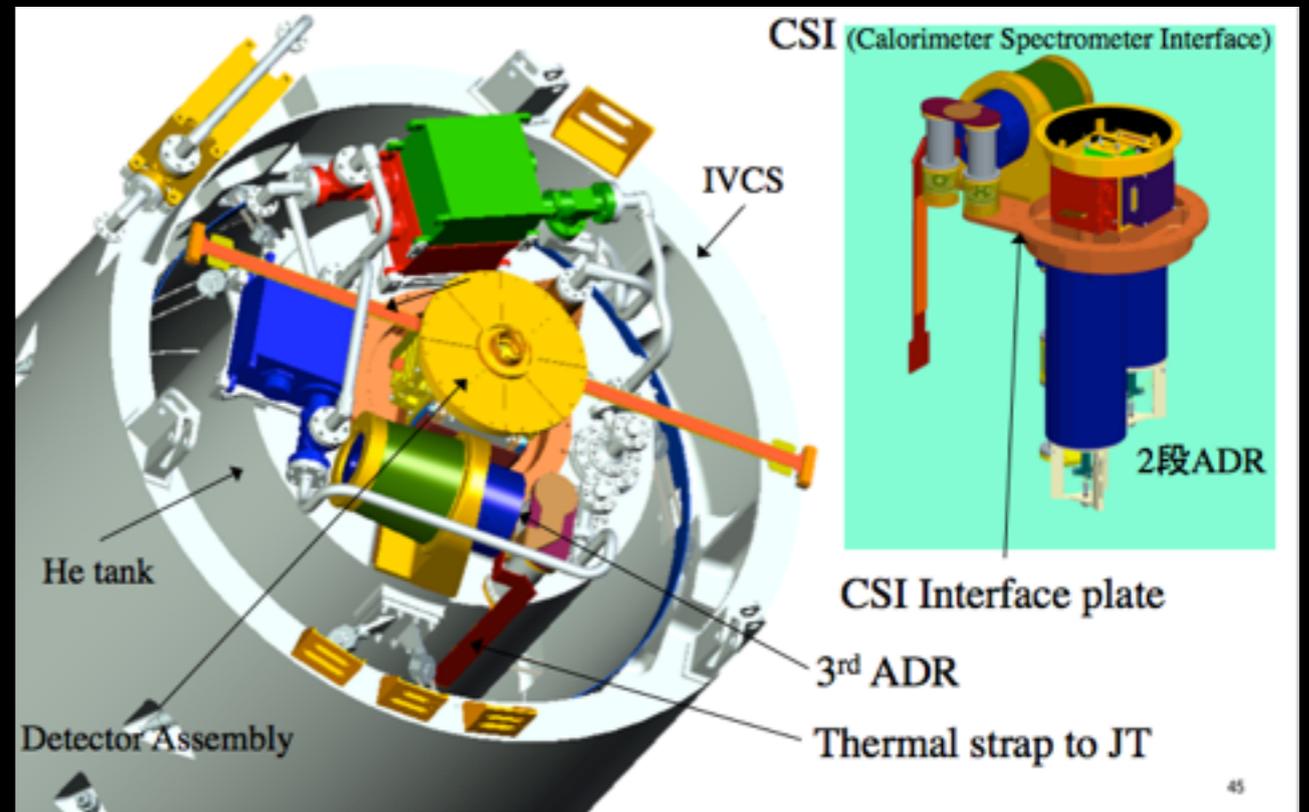
- SXSのデュワーは、打ち上げの機械環境に耐えつつ、30リットルの液体ヘリウムを3年以上持たせる (=ヘリウムタンクへの侵入熱を 0.1 mW 以下に抑える) ということが要求されている。(地上実験で使用されているクライオスタットと比較して、桁違いに優れた断熱性能。地上では、基本的には液体ヘリウムを追加すればよい。)

設計方針：冷却システムをできる限りロバストな設計にする。PMデュワーによる性能実証を行う。

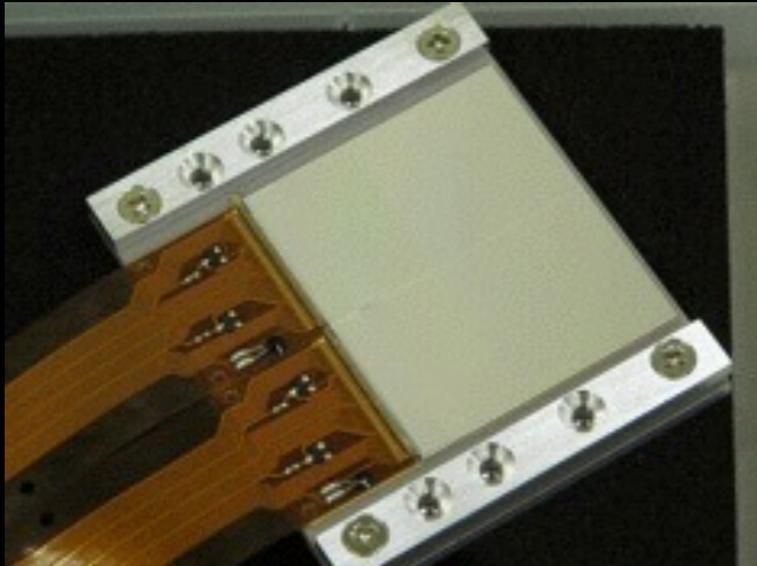
センサ配線  
(極細 NbTi 超伝導線)



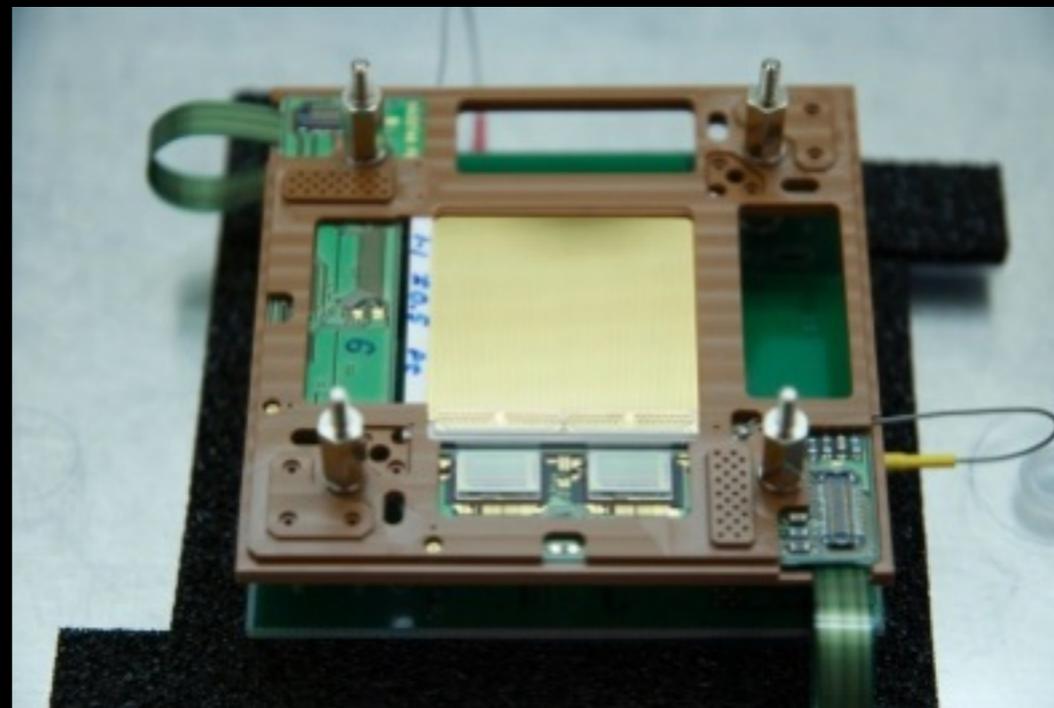
ケブラーワイヤーによる吊り構造



# ASTRO-Hが誇る 自主開発半導体センサー群



日本の半導体技術の粋を尽くした  
CCD。広視野・超低雑音でX線撮  
像分光を行い、目に見えないX線  
宇宙を画像化する



これまでは画像をとるのが難しかったエネルギーの硬X線領域  
で登場した日本の誇る新型CdTe硬X線カメラ。世界初の硬X  
線集光撮像により、非熱的宇宙を探る。



新しい概念、新しい半導体、初めての  
の偏光観測と軟ガンマ線の観測を一  
変させるSi/CdTe半導体による狭  
視野半導体コンプトンカメラ。世界  
最高感度観測を実現する。

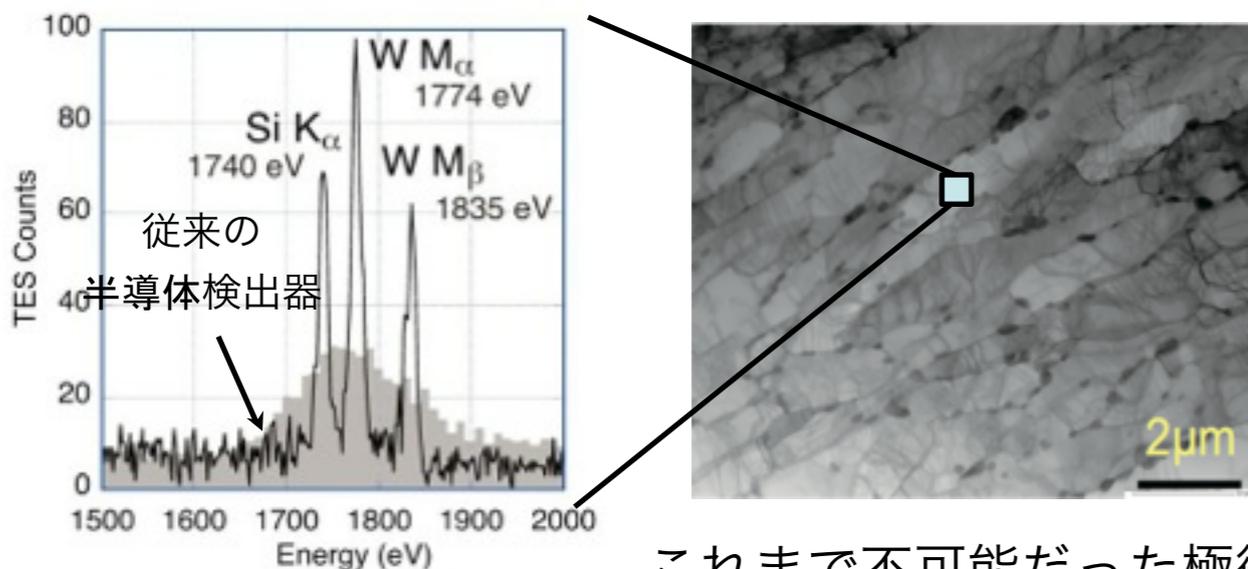
# ASTRO-Hの波及効果

ASTRO-Hのガンマ線カメラは、重粒子線治療における診断装置として、技術移転がはじまっており、今後、ガン診断や生体計測などにおいて革新的な装置となる。

マイクロカロリメータの技術は、電子顕微鏡に革新的な付加価値をもたらす応用が行なわれている。このように宇宙から来る微弱な信号を相手にするASTRO-Hの検出器群は、地上応用において、これまで考えられなかった高い性能をもたらすものであり、その効果は非常に大きい。

## 2. マイクロカロリメータによる電子顕微鏡用検出器 (物質材料研等との共同研究) (2009年記者発表)

透過型電子顕微鏡に装着したマイクロカロリメータのスペクトル。写真全面に対応、走査型への搭載でナノメートル以下のスケールで超高分解能スペクトル取得が可能に



これまで不可能だった極微量不純物検知を可能に

## 1. ASTRO-HのCdTeガンマ線カメラの医療/生体計測応用 (2008年記者発表)

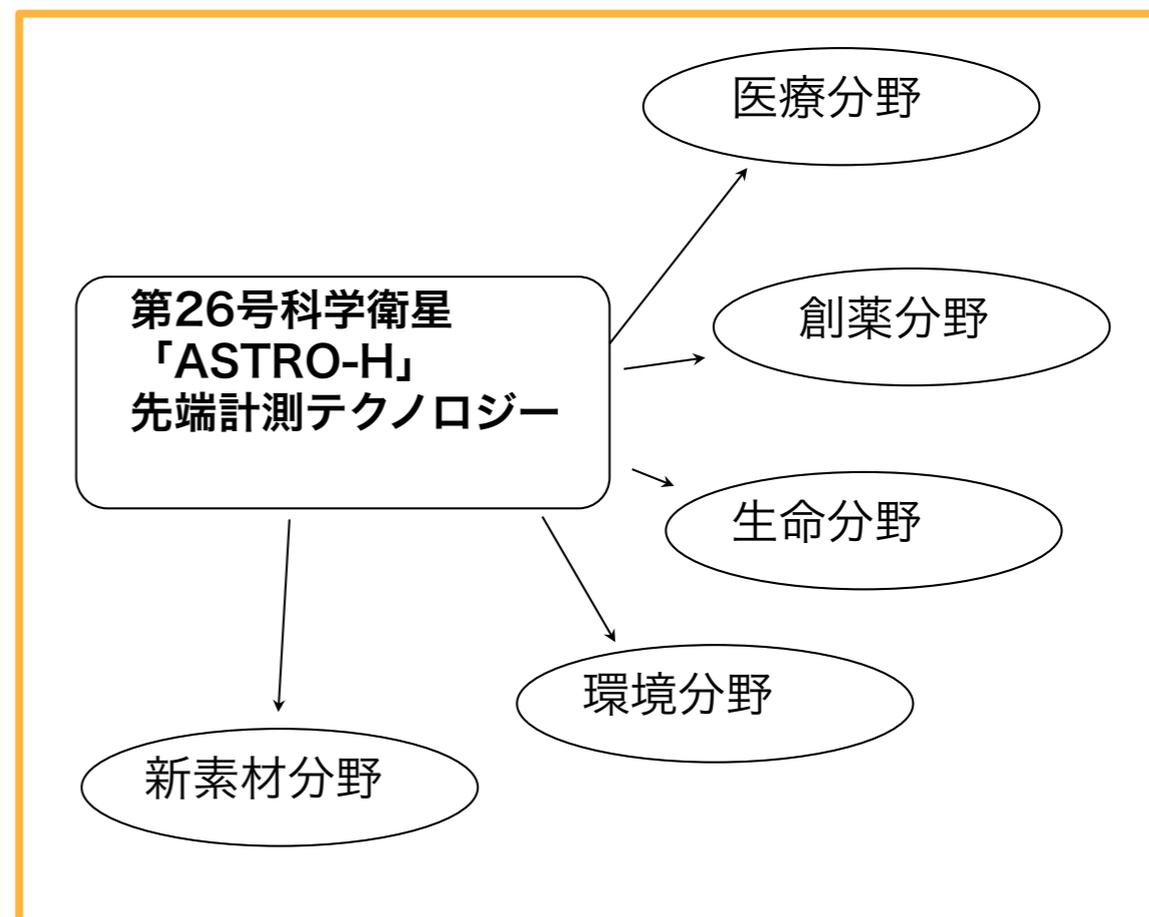
重粒子線治療中のモニタリングイメージ



重粒子線治療の革新的診断装置として技術移転中のASTRO-Hの軟ガンマ線検出器用Si/CdTe半導体コンプトンカメラ (JAXA/群馬大学共同記者発表から)



Si/CdTe半導体コンプトンカメラの植物研究への技術移転 (JAXA/原子力機構共同記者発表から)



# おわりに

1. ASTRO-H実現に向けて、日本のX線コミュニティの総力を結集する体制を整え、海外チームともLoAなどの締結を含め、協力体制を構築した。

2. 宇宙開発委員会の「開発移行」審査を通過した。

基本設計、フロントローディングを精力的に進めている。

3. 平成14年の「科学衛星研究開発の進め方に対する勧告」に基づき、「STEP-5」の精神による自己点検を行い、PDR (Preliminary Design Review) を今年度末にかけて行なう。ミッション系に関してはEPRとPDRを兼ねる場合がある。

本シンポジウムポスター

P2-3 ASTRO-Hの目指すサイエンスI	大橋隆哉(首都大理工)、R. Mushotzky (U. Maryland)、松下恭子(東理科大)、辻本匡弘、馬場 彩、高橋忠幸(ISAS/JAXA)、ほかASTRO-Hサイエンスチーム
P2-4 ASTRO-Hの目指すサイエンス2	大橋隆哉(首都大理工)、R. Mushotzky (U. Maryland)、松下恭子(東理科大)、辻本匡弘、馬場 彩、高橋忠幸(ISAS/JAXA)、ほかASTRO-Hサイエンスチーム
P2-5 Astro-H搭載用X線望遠鏡の開発II	○粟木久光、黄木景二(愛媛大)、國枝秀世、田原謙、古澤彰浩、森英之、宮澤拓也(名大)、石田学、前田良知 (ISAS/JAXA)、高坂達郎(大阪市大)、山内茂雄(奈良女子大)、飯塚亮(中央大)、難波義治(中部大)、Serlemitsos, P.J., Soong, Y., 岡島崇 (NASA/GSFC)、他「Astro-H」XRTチーム
P2-6 次期X線天文衛星ASTRO-H搭載CCDカメラSXI (Soft X-ray Imager) の開発の現状	○常深博、林田清、中嶋大、穴吹直久(阪大)、鶴 剛、松本浩典(京大)、堂谷忠靖、尾崎正伸、馬場彩 (ISAS/JAXA)、幸村孝由(工学院大)、村上弘志(立教大)、平賀純子(理研)、森浩二、廿日出勇、山内誠(宮崎大)、他SXIチーム
P2-7 ASTRO-H 搭載 SXS-XCS 検出器	○満田和久、山崎典子、竹井洋、辻本匡弘 (ISAS/JAXA) 杉田寛之、佐藤洋一、篠崎慶亮 (ARD/JAXA) 藤本龍一、佐藤浩介(金沢大)、大橋隆哉、石崎欣尚、江副祐一郎(首都大)、村上正秀(筑波大)、田代信、寺田幸功(埼玉大)、北本俊二、村上弘志(立教大)、玉川徹、三原建弘、川原田円、山口弘悦(理研)、 R.L.Kelley, C.A.Kilbourne, F.S. Porter, G.A. Sneiderman, P.J. Shirron, M.J.DiPirro, K.R. Boyce (NASA/GSFC), D.McCammon (U. Wisconsin), A.E. Szymkowiak (Yale U.), J.-W. den Herder, C. de Vries (SRON), S. Paltani, M. Pohl (U. Geneva), SXS チーム
P2-8 ASTRO-H衛星搭載硬X線撮像検出器(HXI)の開発	○国分紀秀、渡辺伸、太田正之、佐藤理江、佐藤悟朗、大野雅之、田中康之、高橋忠幸(ISAS/JAXA)、中澤知洋、牧島一夫(東大理)、片岡淳(早稲田大学・理工)、深沢泰司、水野恒史、高橋弘充(広大理)、寺田幸功(埼玉大理)、山岡和貴(青山学院大学理工)、田島宏康、田中孝明(KIPAC/Stanford)、ほかHXIチーム
P2-9 ASTRO-H・軟ガンマ線検出器(SGD)	田島宏康・内山泰伸・田中孝明・Roger Blandford・Grzegorz Madejski (KIPAC/Stanford)、太田方之・国分紀秀・佐藤理江・高橋忠幸・渡辺伸 (ISAS/JAXA)、片岡 淳(早稲田大学・理工)、高橋弘充・深沢泰司・水野恒史(広島大学・理)、田代 信・寺田幸功(埼玉大学・理)、中澤知洋・牧島一夫(東京大学・理)、山岡和貴(青山学院大学・理工)
P2-10 ASTRO-H衛星のアーキテクチャ	高橋忠幸、満田和久、峯杉賢治、堂谷忠靖

新A棟2階会議室