

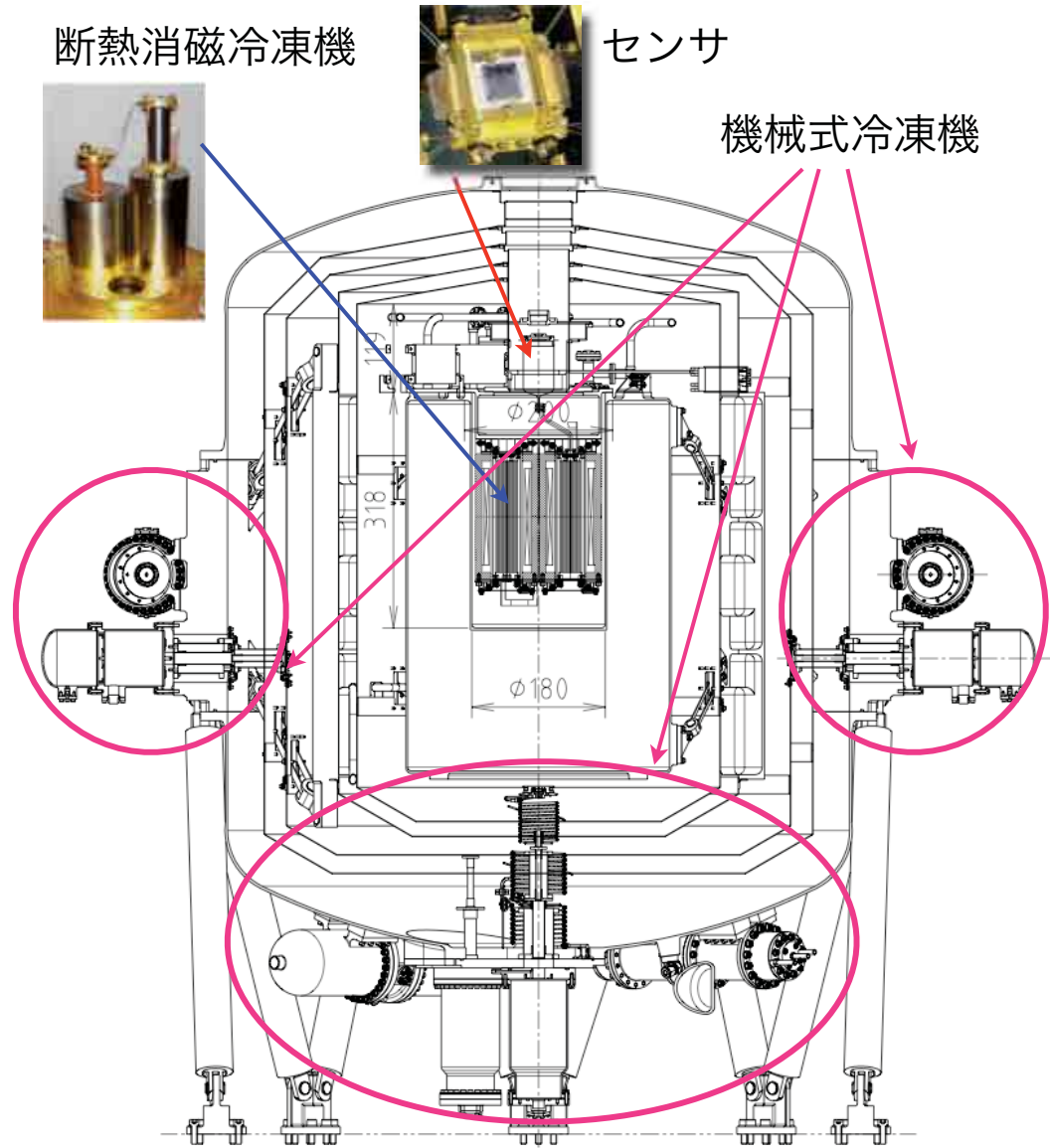


# 4-27. 軟X線分光検出器 (SXS) [4/5]

## SXSの開発方針 (3)

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。

- ・ 極低温実現のための冷却システムは、トレードオフスタディを経て以下のロバストな設計に決定した。
- ・ 液体ヘリウム温度へは多数の宇宙実績を誇る日本の機械式冷凍機で冷却することで、「すざく」で用いた、扱いの困難な固体ネオンを排除。
- ・ 液体ヘリウム温度から 50 ミリ度までの冷却は、「すざく」の実績を持つアメリカの断熱消磁冷凍機(ADR)を使用。  
要求される分光性能を達成するため、温度安定度もマイクロ度級の精度を実現する。
- ・ 液体ヘリウムと機械式冷凍機が互いに機能冗長であり、液体ヘリウムの予期せぬ喪失あるいは機械式冷凍機の故障時にも、観測が継続できる設計とする。
- ・ PM デュワーを用いた試験では、通常モードのみでなく、想定される故障モード時の性能実証も行い、上記の機能冗長性を確認する。



デュワー断面図



## 4-28. 軟X線分光検出器 (SXS) [5/5]

### 鍵となる技術開発項目 (1): 対衛星熱・機械インターフェース

「すざく」で問題となった蒸発ヘリウム排気を確実にを行うために:

- ・ 排気パイプを衛星外まで這わせる。
- ・ X線入射部のドア機構を解放後もリークタイトを保つようにデュワーを設計。

機械式冷凍機の動作温度を保つために:

- ・ デュワーから宇宙への放射冷却を積極的に行うリフレクタを導入する
- ・ アルミ面のリフレクタがデュワーからの熱放射を宇宙空間へ反射。
- ・ 衛星ラジエータのみで冷却するか、上述のリフレクタを使用するか、トレードオフ検討を行い決定した。

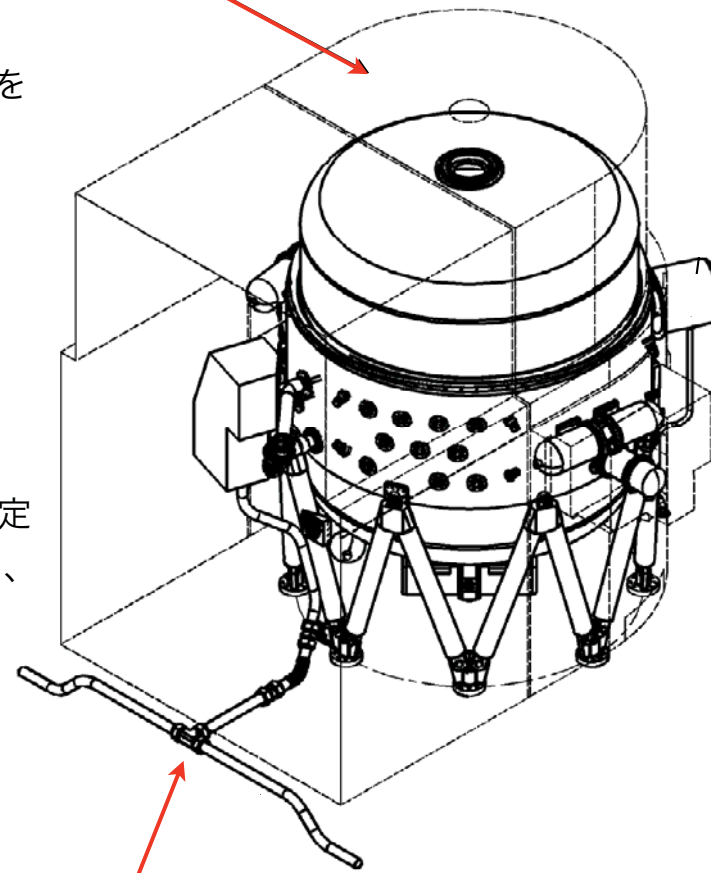
指向管理要求を満たすために:

- ・ 冷却時のデュワーの熱ひずみが、衛星ベースプレートなどを通じて固定光学ベンチに伝搬しないように、熱計算、ひずみ計算を慎重にすすめ、必要に応じて衛星設計にフィードバックをかけている。

### 鍵となる技術開発項目(2): 対ロケットインターフェース

カロリメータの性能を最大限に発揮するためには、センサーを内部で保持する機構による熱流入を最小限にする事が必要。H2Aロケットの打ち上げ時のセンサーの振動条件をロケットとの結合解析(CLA)で予測し、設計作業に反映。

放射冷却用リフレクタ



蒸発ヘリウム排気ライン



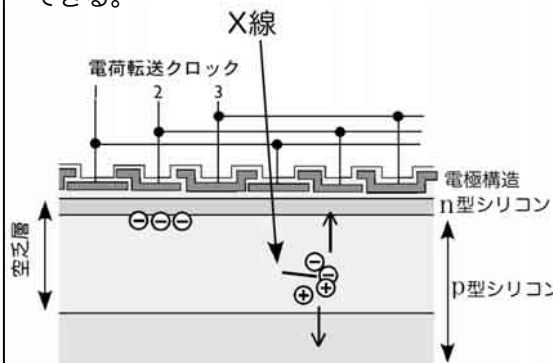
# 4-29. 軟X線撮像検出器(SXI) [1 / 2]

## SXI：広視野X線観測を可能とする基幹検出器

これまでのX線衛星の中で最大の視野を誇る。日本のシリコン半導体技術の粋を尽くしたX線画像取得専用CCD。宇宙での長期間動作に対応。プロトタイプは「はやぶさ」「かぐや」「MAXI」への搭載実績あり。極めて低いバックグラウンド(雑音)を持ち、18億光年以遠(z=0.14)の銀河団において閉じ込められた高温ガスからの広がったX線を一度に撮像観測可能。

### X線CCDの原理

CCDの上面に取り付けられた電極からバイアス電圧が印加され、シリコン内部にキャリア電荷のない空乏層が形成される。ある画素の下でX線が吸収され電子-ホール対が作られると、電子はPN接合付近の電場の「井戸」に集められる。電荷転送クロックを印加する事で、電子をバケツリレーのようにCCD内で移動させることができる。X線CCDでは、X線光子一つ一つのエネルギーを入射した画素の位置とともに知ることができる。



電荷転送のバケツリレーの回数は最大で1000回以上にもなる。その間にたとえ一つの電子が「バケツ」からこぼれても、X線のエネルギーの情報が3.65電子ボルト分だけ失われてしまう。そのため、極めて高い転送効率が要求される。

基本仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 軟X線撮像能力</li> <li>・ 視野 18分角以上</li> <li>・ SXT-I(望遠鏡)と組み合わせて有効面積360 cm<sup>2</sup> (6キロ電子ボルトにて)</li> </ul>
開発方針	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 新開発の日本製X線CCDの採用。MAXIを含むこれまで日本が開発してきたCCD観測装置の経験を最大限生かす。</li> <li>2. アナログ回路のLSI化による読み出しシステムにより小型化、低消費電力化をはかる。</li> <li>3. フロントローディングを十分におこない、安全・確実な新規技術の採用による性能向上をはかる。データ処理部に関しては、できるかぎり他の機器との共有化をはかる。</li> </ol>
鍵となる技術開発	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 優れた電荷転送効率を持ち、スペクトル分解能の優れた国産X線CCD技術の確立</li> <li>2. 従来のペルチェ素子に代わり採用する機械式冷凍機及び衛星との熱機械インターフェース。</li> <li>3. 大気圧環境での打ち上げを実現するための遮光フィルムの代替。</li> <li>4. センサー較正用X線源(SRONが担当)。</li> </ol>



# 4-30. 軟X線撮像検出器(SXI) [2/2]

## SXIの開発方針(1)、鍵となる技術開発項目 (1)

これまで大阪大学、京都大学が中心になって開発を続けてきた高性能の日本製CCDの採用。下図 (SXIの開発方針、鍵となる技術開発)

- ・大阪大学、京都大学が、国立天文台と共同で新型CCDを開発(図1)。
- ・通常のCCDが、P型シリコンをもちい、X線で生成された電子を検出するのに対し、新型CCDでは、N型シリコンをもちい、X線で生成された正孔を検出する。
- ・N型シリコンを使う事で、従来より格段に厚い空乏層を達成し、さらに背面照射型とする事に成功。これにより、0.1-25キロ電子ボルトと言う2桁半の広帯域を達成。

## SXIの開発方針 (2)

アナログ回路のLSI化による読み出しシステムにより小型化、低消費電力化をはかる(下図)。

図2：新たに開発したX線CCD用低雑音LSI。電子回路の超小型化を可能に。



図1：国内メーカーと共同開発した、N型シリコンを使ったCCD

## 鍵となる技術開発項目 (2)

従来のペルチェ素子に代わり採用する機械式冷凍機及び衛星との熱機械インターフェース。

- ・従来のペルチェ素子に代わる冷凍機（過去の衛星で使用実績あり）の採用により、放射線による素子劣化の影響を受けにくい低温環境（-120℃）を実現。
- ・キネマティックマウントの導入による、カメラの熱膨張による歪みを衛星構体に伝えない構造を実現。

## 鍵となる技術開発項目 (3)

大気圧環境での打ち上げを実現するための遮光フィルムの代替。

- ・可視光遮断膜をCCD表面に直接製作する方法を確立。破れ易く取り扱いが困難だった可視光遮断膜の扱いを容易にした。

X線CCDは、『あすか』で初めて実用化。それ以降、X線望遠鏡の標準的な焦点面検出器として広く利用されている。「すざく」まで、米国(MIT)が主として製作したX線CCD素子を使用。ASTRO-Hでは、新開発の日本製を採用。「すざく」等で獲得した技術を継承、発展させ、広視野で、高い検出効率を持つ衛星搭載用の国産X線CCDシステムの開発を行う。

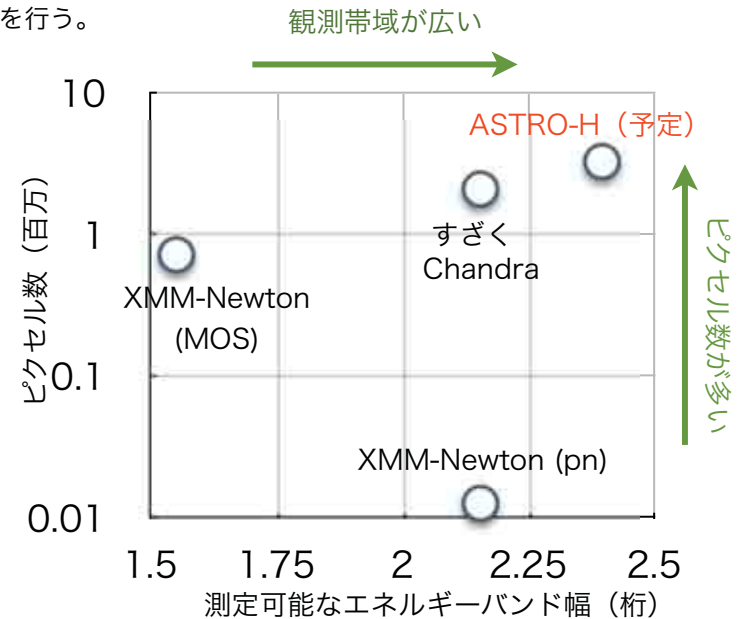


図3: 代表的なX線CCDの1チップあたりの画素数の比較（「すざく」、Chandraは背面照射型について表示）



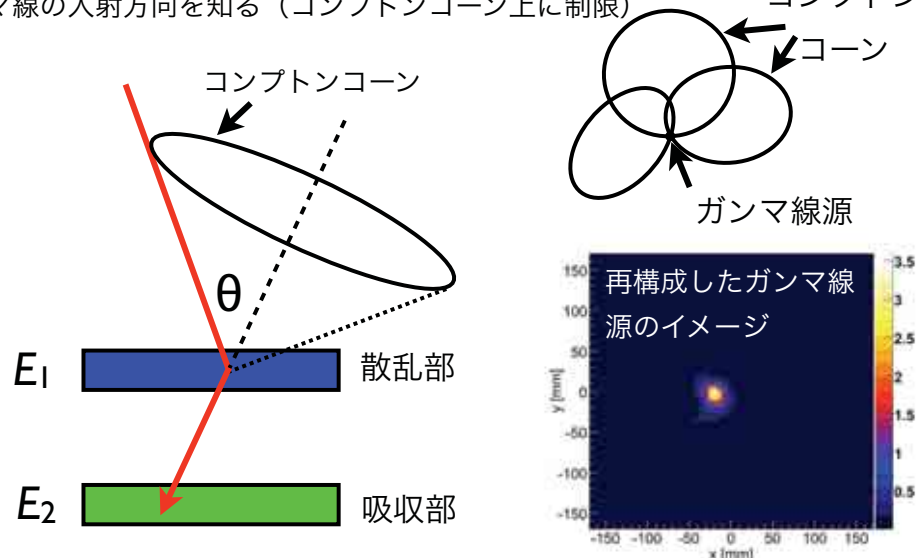
# 4-31. 軟ガンマ線検出器(SGD)[1/2]

**SGD: 数10キロから数100キロ電子ボルトの領域での過去最高感度の観測のために最先端技術を駆使して開発される新世代ガンマ線検出器**

ASTRO-Hの為に発明された「狭視野Si/CdTe半導体コンプトンカメラ」を用いて軟ガンマ線領域での世界最高感度観測を実現するとともに、世界ではじめて、硬X線/軟ガンマ線領域で偏光観測を行う。

## コンプトンカメラの原理

ガンマ線がコンプトン散乱を起こして散乱され、最終的に吸収された事象において、散乱位置とそこでのエネルギー吸収および散乱ガンマ線の吸収位置とエネルギーから運動量保存則とエネルギー保存則によりガンマ線の入射方向を知る（コンプトンコーン上に制限）



基本仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>検出効率(コンプトンモード): 10%以上 (100 キロ電子ボルトにて)</li> <li>検出器面積: 200 cm<sup>2</sup> 以上</li> <li>エネルギー分解能: 2 キロ電子ボルト以下</li> <li>角度決定精度: 0.6度以下 (150キロ電子ボルト以下にて)</li> </ul>
開発方針	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 多層のシリコン(Si)とテルル化カドミウム(CdTe)イメージング素子による半導体コンプトンカメラと、BGOシンチレータによる井戸型シールドにより、狭視野コンプトンカメラを実現する。</li> <li>2. 有効面積を確保するため同等のセンサを2台搭載する。</li> <li>3. BGOからの光読み出しはAPDを用いる。</li> <li>4. パッシブなファインコリメータにより150 キロ電子ボルト以下の角度決定精度を確保する(光電吸収モード)。</li> <li>5. 可能な限りHXIと部品、コンポーネント、デザインの共通化をはかる。低雑音/多チャンネルアナログASICをHXIと同じアーキテクチャに基づいて共同開発する。</li> </ol>
鍵となる技術開発	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. シリコンPad検出器</li> <li>2. シンチレータ光読み出し用APD素子</li> <li>3. 低雑音/多チャンネルアナログASIC</li> <li>4. コンプトンカメラユニット内の半導体イメージング素子の多層化のための高密度実装</li> <li>5. 衛星との機械、熱インターフェース</li> </ol>



# 4-32. 軟ガンマ線検出器(SGD)[2/2]

## SGDの開発方針(1)

多層のシリコン(Si)とテルル化カドミウム(CdTe)イメージング素子による半導体コンプトンカメラと、BGOシンチレータによる井戸型シールドにより、狭視野コンプトンカメラを実現する。

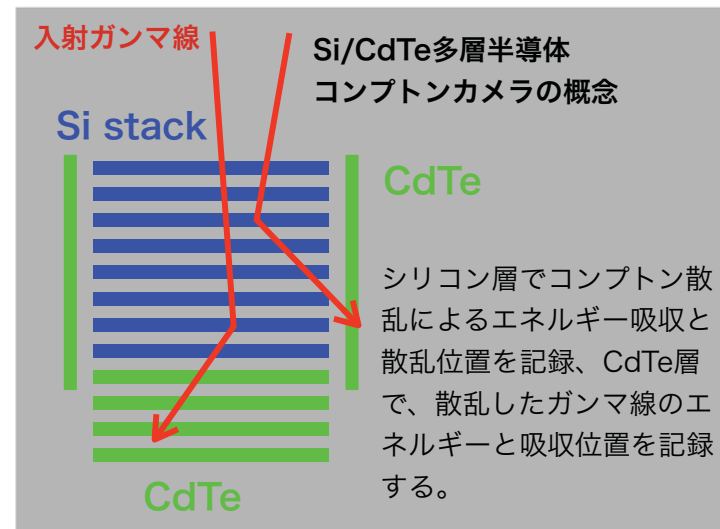
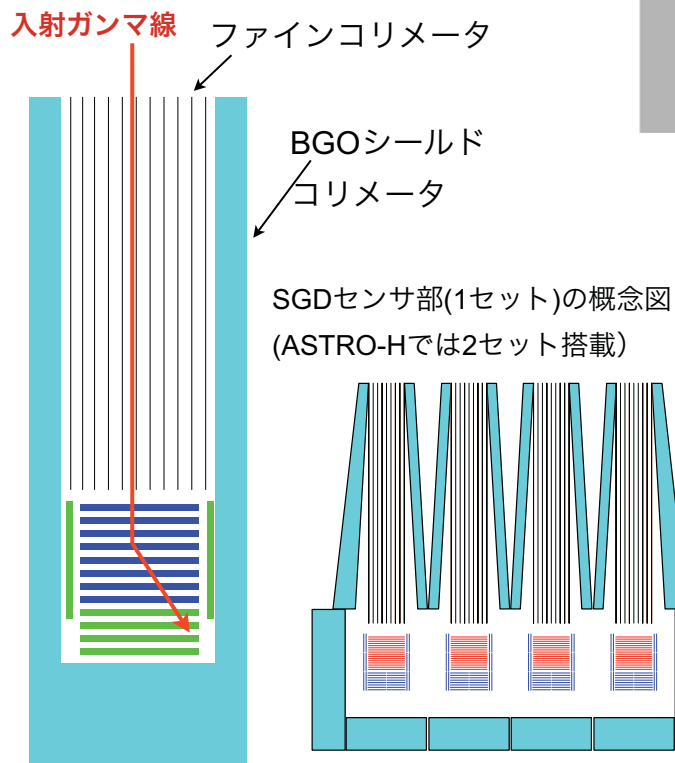
多層半導体コンプトンカメラ：従来のシンチレータを用いたコンプトンカメラに比べ、エネルギー分解能と位置分解能に優れた半導体イメージャーを用いることで、ガンマ線の入射方向を精度よく決める。3次元的にコンプトン散乱の位置を記録するために32層のSiイメージング素子を用いる。散乱したガンマ線は4-8層のCdTeイメージング素子で検出。

狭視野コンプトンカメラの原理：コンプトン再構成により求めた到来方向がBGOシールドコリメータで制限された入射方向と一致するイベントのみを選択することで、検出器自身の放射化などによるバックグラウンドを除去可能(ASTRO-Hのために発明した原理)。

## SGDの開発方針(2)

必要な有効面積を確保するために、4ユニットのSi/CdTe半導体コンプトンカメラを2セット搭載する。

4台のコンプトンカメラを1セットにし、向かい合った衛星サイドパネルの外側に1セットずつ取り付けることで、視野内物質量の低減と衛星重量バランスの両立を実現。



## 鍵となる技術開発項目 (4)

コンプトンカメラユニット内の半導体イメージング素子の多層化のための高密度実装



高密度実装検討用のコンプトンカメラ構造モデルを製作し、振動試験を実施した。



# 4-33. 光学ベンチ

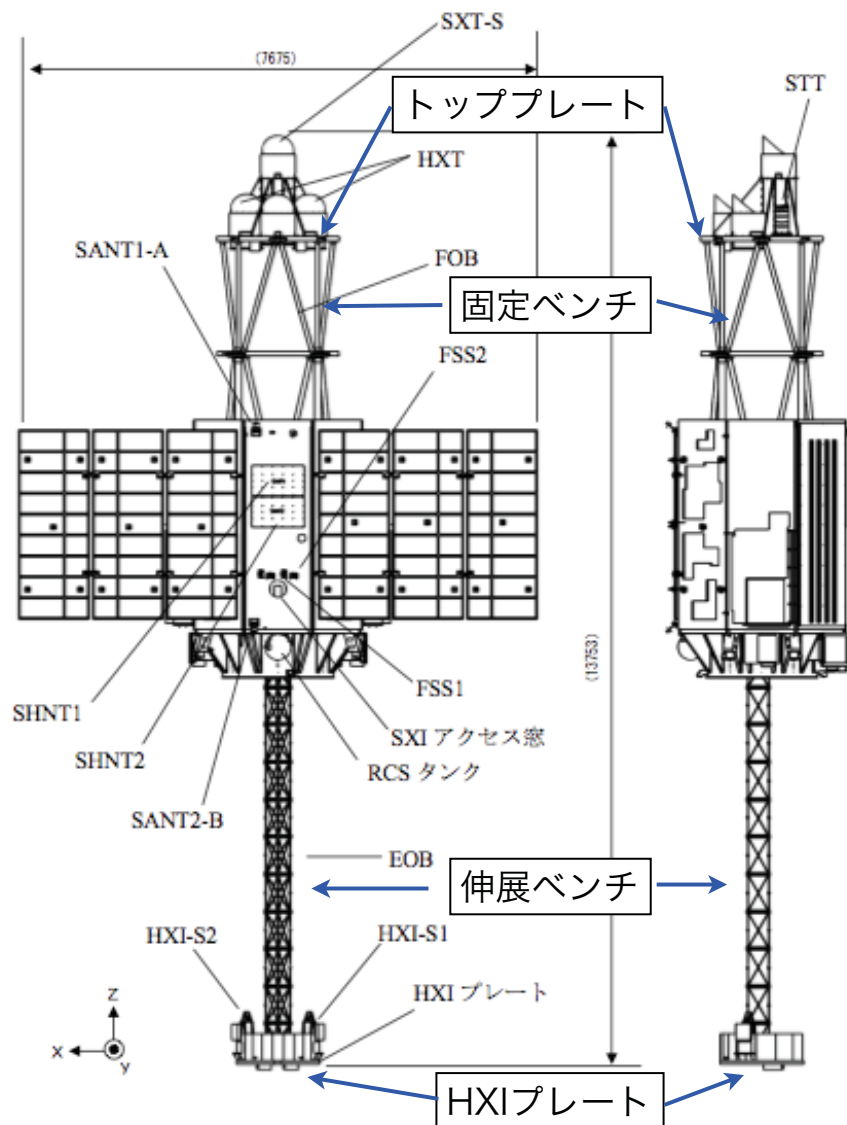


## 光学ベンチ：

固定式と伸展式の併用により、X線望遠鏡に対して約6mと12 mの焦点距離を実現する。長い焦点距離に対応して必要となる高い指向精度を、日本の得意技術である炭素繊維強化プラスチックと従来の科学衛星の技術継承によって実現。

要求項目	HXT/HXI	SXT/SXS	SXT/SXI
像中心位置制御	< 3mm	< 1.5 mm	< 5 mm
像再構成精度	< 20秒角	< 20秒角	< 20秒角
像位置安定度	-	-	< 10秒角/4 秒間

開発方針	<ol style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>伸展ベンチ先のHXIプレートにHXIを2台設置。打ち上げ後に伸展。12 mの焦点距離を確保。</li> </ol>
鍵となる技術開発	<ol style="list-style-type: none"> <li>熱ひずみの極めて小さな軽量構造体(CFRP)</li> <li>伸展機構(伸展ベンチ、およびHXIからの信号ケーブル)</li> <li>打ち上げ前の指向性能試験</li> </ol>





# 4-34. 固定式光学ベンチ

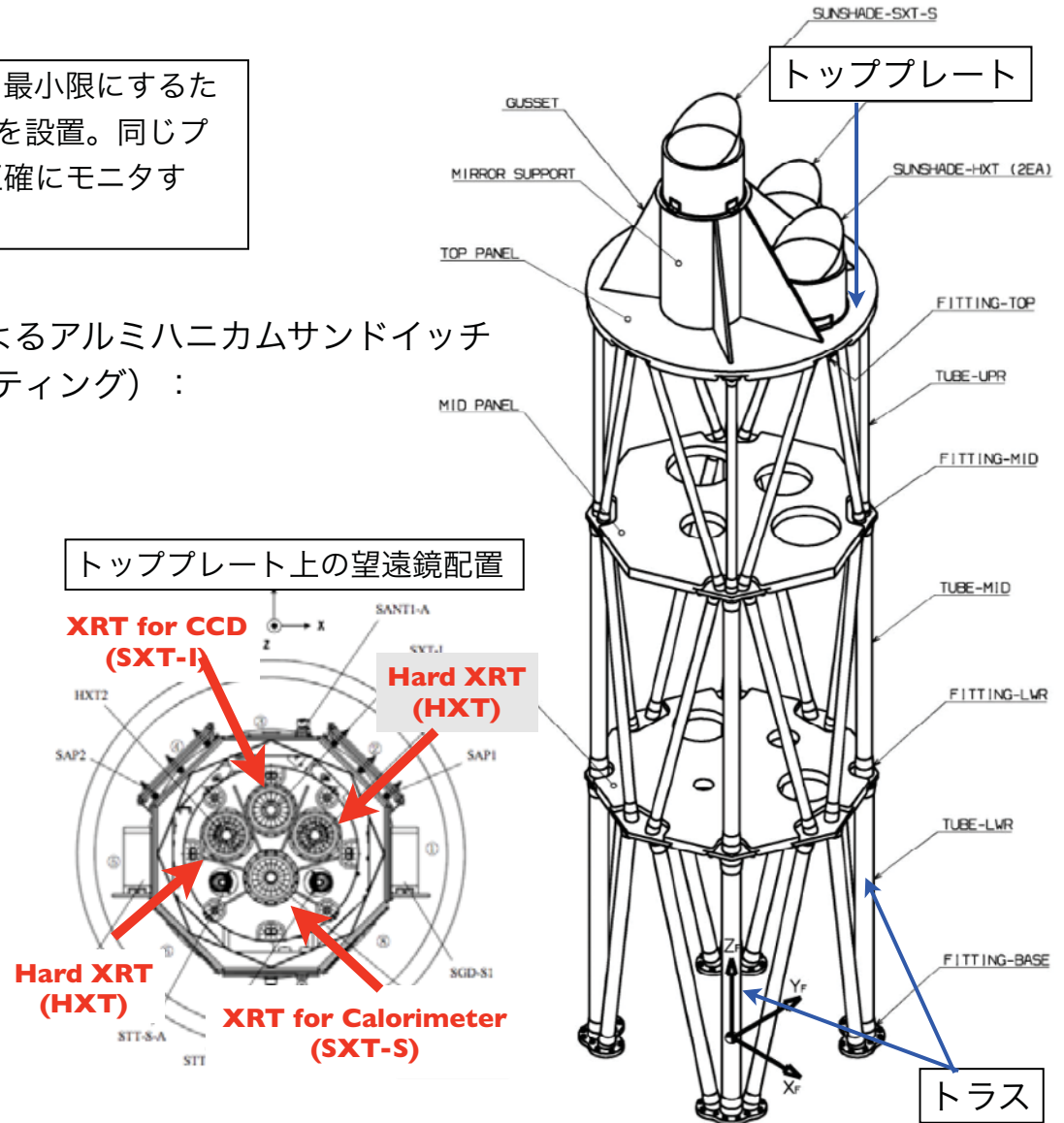


## 固定式光学ベンチの開発方針

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。



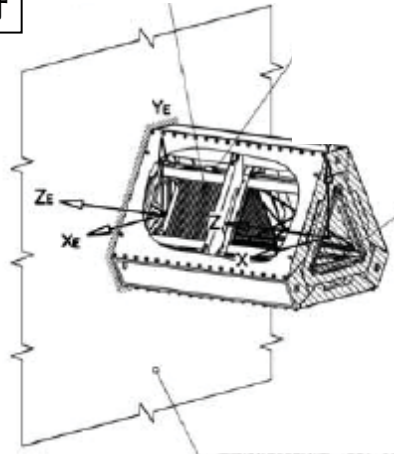




# 4-35. 伸展式光学ベンチ



収納時

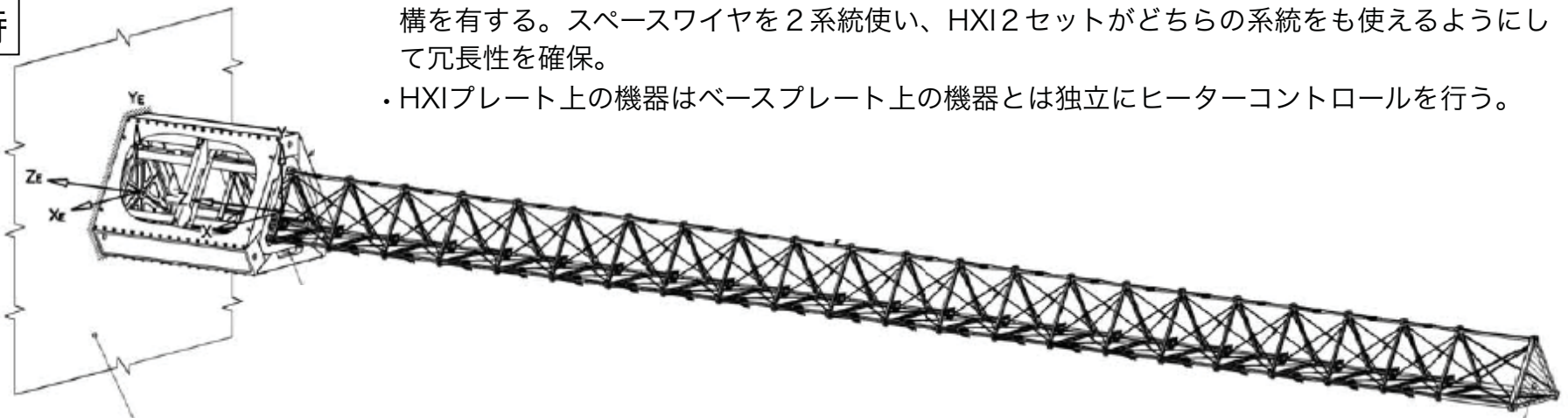


## 伸展式光学ベンチの開発方針

伸展ベンチ先のHXIプレートに硬X線望遠鏡 (HXT) に対応したHXIを2台設置。打ち上げ後に伸展。硬X線観測に必要な12mの焦点距離を確保。

- ASTRO-HのHXT/HXIによる、硬X線撮像観測を実現するためのキーテクノロジー。「はるか」他、1980年代の太陽ミッション、磁気圏ミッションの伸展マスト技術の蓄積を用いる。
- 伸展部分をCFRP製のマストで構成。収納時約70cm、伸展時約6m。
- 打ち上げ後の、「水平方向の変位・ねじれ」をモニターするためのレーザーと簡単な反射キューブを用いたMetrology System (アラインメント計測装置) を搭載し、データ解析時に補正することで結像性能を向上。
- マスト伸展時に、HXIのための電源ケーブル、スペースワイヤケーブルを同時に伸展させる機構を有する。スペースワイヤを2系統使い、HXI2セットがどちらの系統をも使えるようにして冗長性を確保。
- HXIプレート上の機器はベースプレート上の機器とは独立にヒーターコントロールを行う。

伸展時





# 4-36. 衛星の開発方針の実現: モジュール化

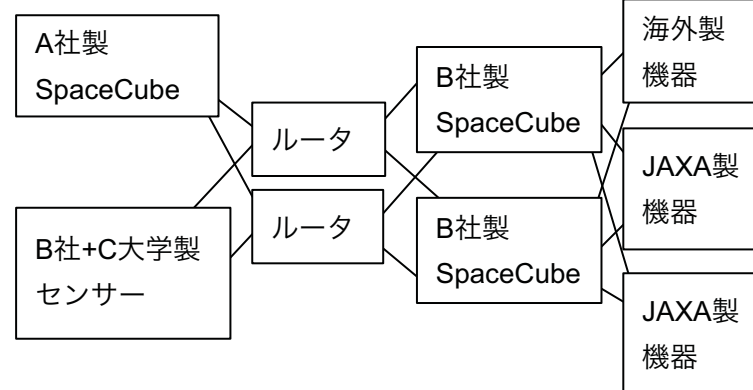


ASTRO-H衛星におけるモジュール化、標準化、高信頼性を確保するためのネットワーク型データ処理システム

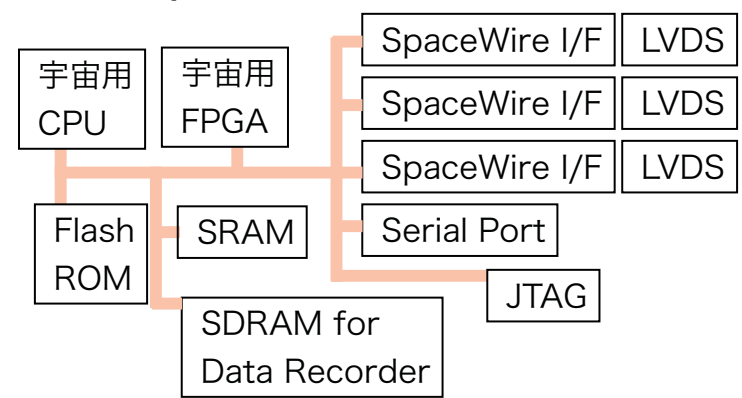
センサー、アクチュエータから、各機器のデータ処理装置、さらに衛星全体のデータ処理ユニットとを、柔軟に接続するための衛星アーキテクチャの考案、設計、科学衛星間への展開、共同開発。

1. **SpaceWire標準規格を採用。**接続された機器のローカルバスにネットワーク経由でアクセスするための仕組み(**RMAP: リモートメモリアクセスプロトコル**)をとりこむ。これによって、各ノード間の通信は、SpaceWireルータにおけるルーティング情報を書き換えることによって変更可能となり回線が切れた場合でも、迂回ルートにより目的先とデータの送受信が可能に(冗長系の確保)
2. SpaceCube™アーキテクチャをデータ処理計算機の「**SpaceWireを基本とし、最低限備えるべき機能標準**」として定義。バス系、ミッション系で異なる実装のデータ処理コンピュータを用いても、データのやり取りの手法や、センサー、アクチュエータのインターフェースの統一を可能とした。
3. リモートメモリアクセスプロトコルでは、簡単なプロトコルチップにより、CPUを持たない機器のレジスタ情報にアクセスが可能。そのため、機器のハードウェアのレジスタ等の情報を、ネットワーク経由で容易にアクセスすることができ、**ハードウェア、ソフトウェアのインターフェース設計が容易になって、信頼度も向上する。**安価な地上用SpaceWire搭載コンピュータ(Space Cube1)によって各大学等で、ミッション機器の開発段階から噛み合わせ試験が可能となり、少なくともデータ処理システムについては、**地上での大掛かりな事前試験は不要に。**
4. ミッション機器とバス機器間のデータ転送に関しては、SpaceWire規格で規定されたケーブルを用いることで、ワイヤーハーネス等の調整が簡単になった。

SpaceWire標準を用いて実現されるネットワーク型アーキテクチャ

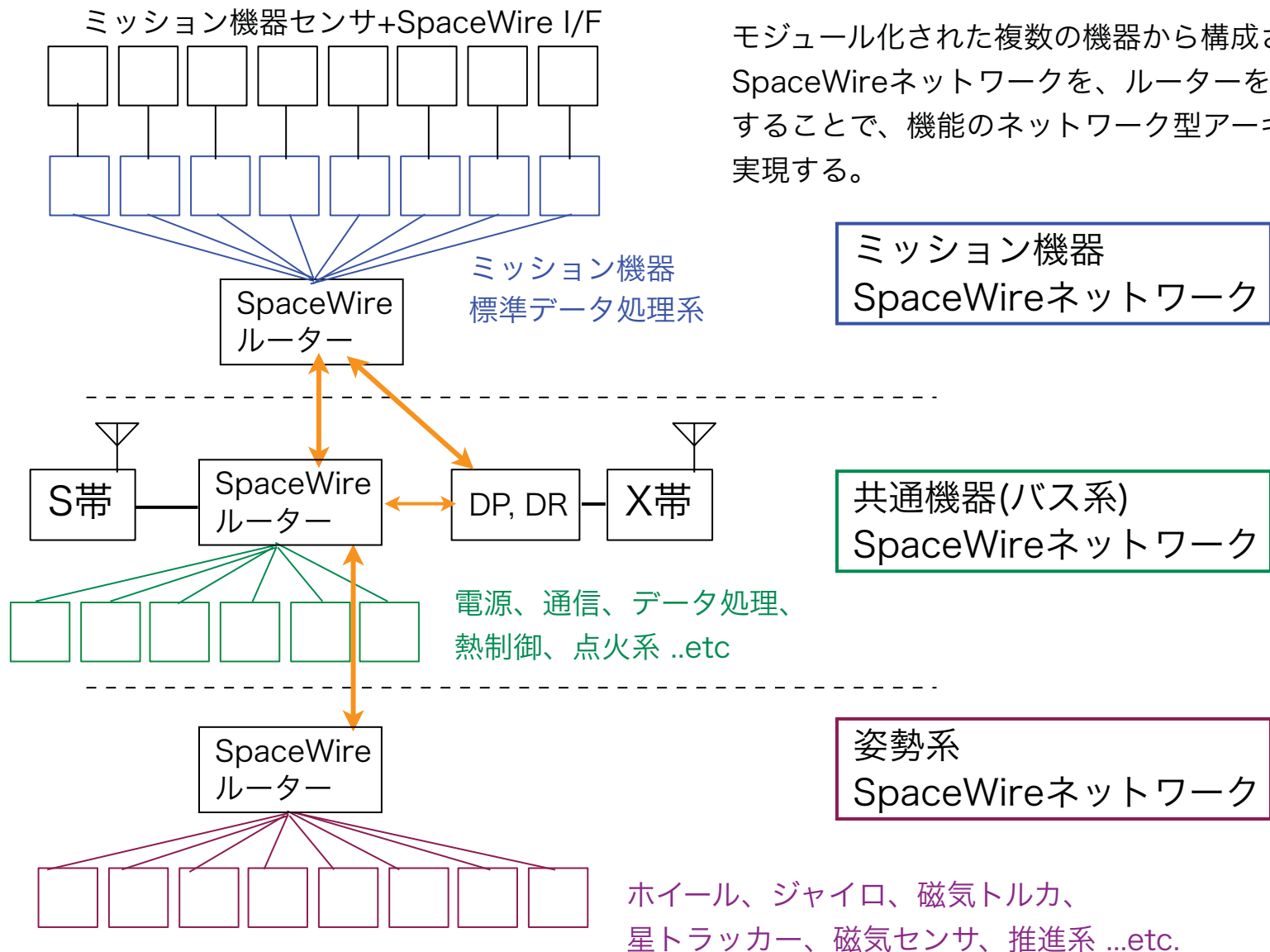


SpaceCube™アーキテクチャ





# 4-37. ASTRO-Hにおけるネットワーク型アーキテクチャ



モジュール化された複数の機器から構成される SpaceWireネットワークを、ルーターを介して接続することで、機能のネットワーク型アーキテクチャを実現する。

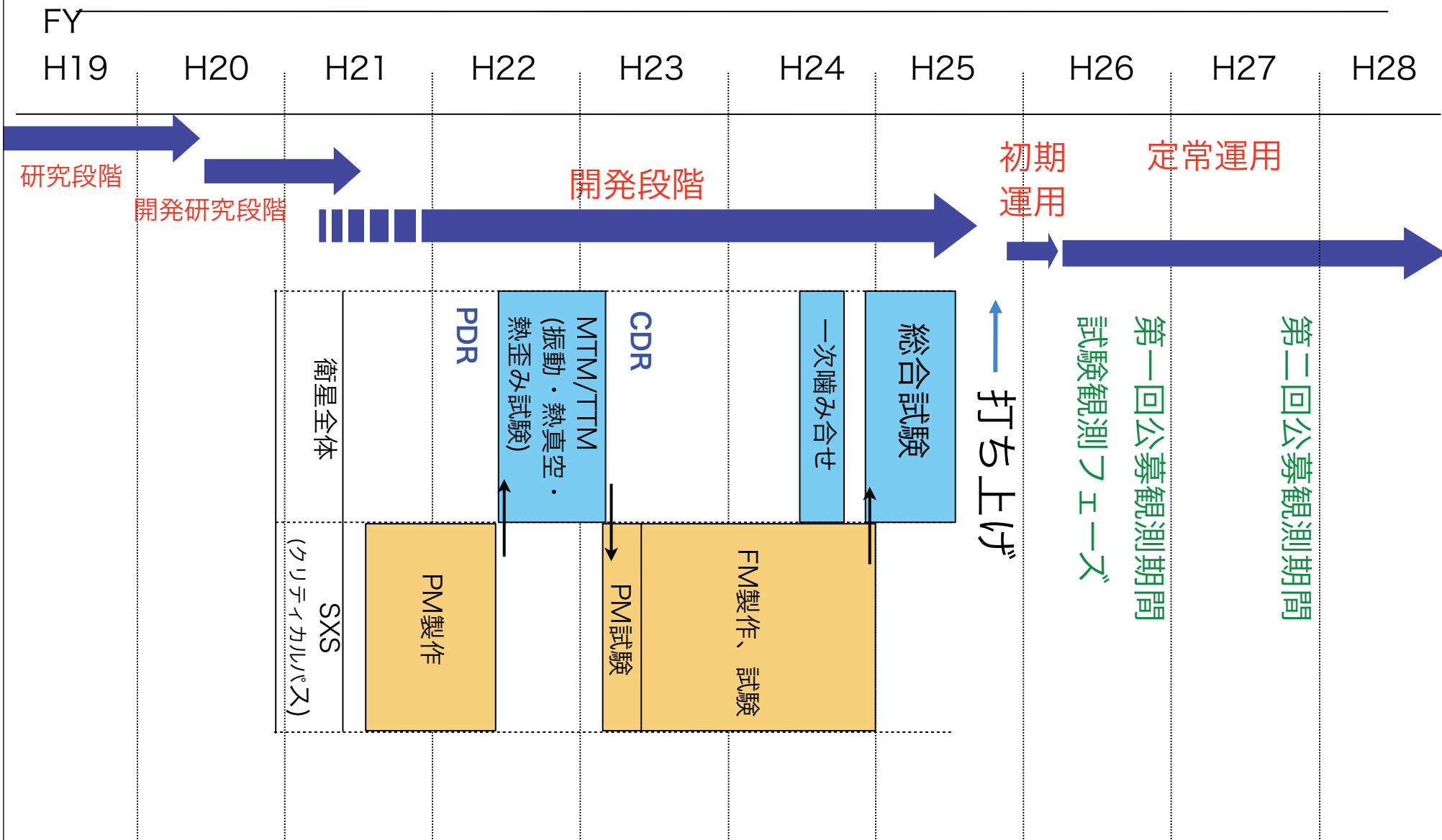
ミッション機器  
SpaceWireネットワーク

共通機器(バス系)  
SpaceWireネットワーク

姿勢系  
SpaceWireネットワーク



# 5-1. 衛星開発スケジュール(計画)





## 5-2. 資金計画



ASTRO-Hプロジェクトの資金計画は、JAXAが負担する衛星開発費(約167億円)と運用費<sup>(注)</sup>(約11億円)で、合計**約178億円**を目標とする。(打ち上げロケットを含まない)  
(注: 地上系、ソフトウェア開発を含む。ただし他ミッションとの共通経費は含まない)

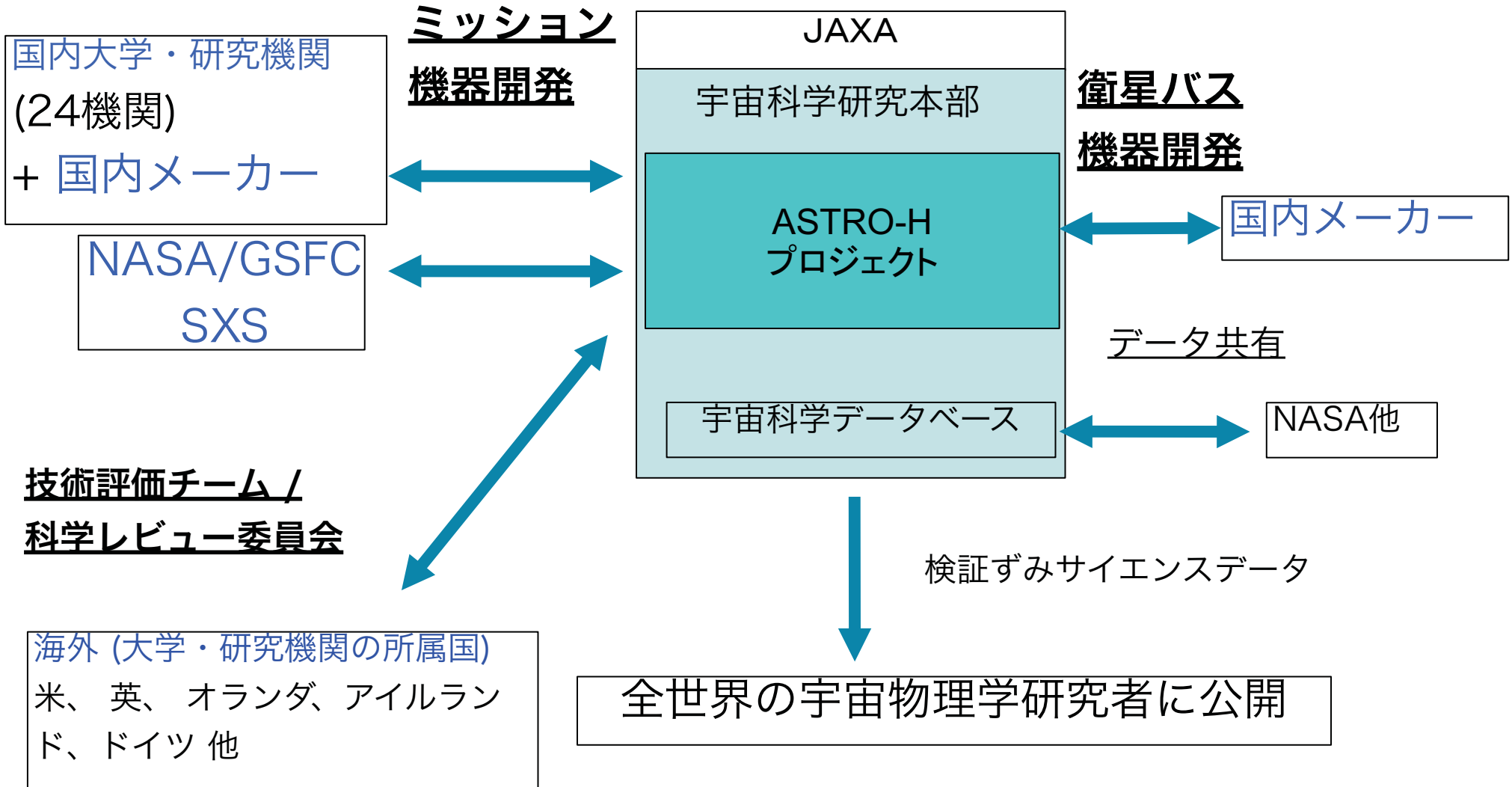
NASAは、約\$48MをSXS開発・運用・打ち上げ後の科学プログラム費用として供出することを決定し、執行中。

参考: 過去のX線衛星開発費

Chandra	(米国、重量 4.8t)	: \$1650M (+ 運用費 \$750M)
Swift	(米国、重量 1.5t)	: ~\$210M
ASTRO-E1	(日本、重量 1.7t)	: 123億円

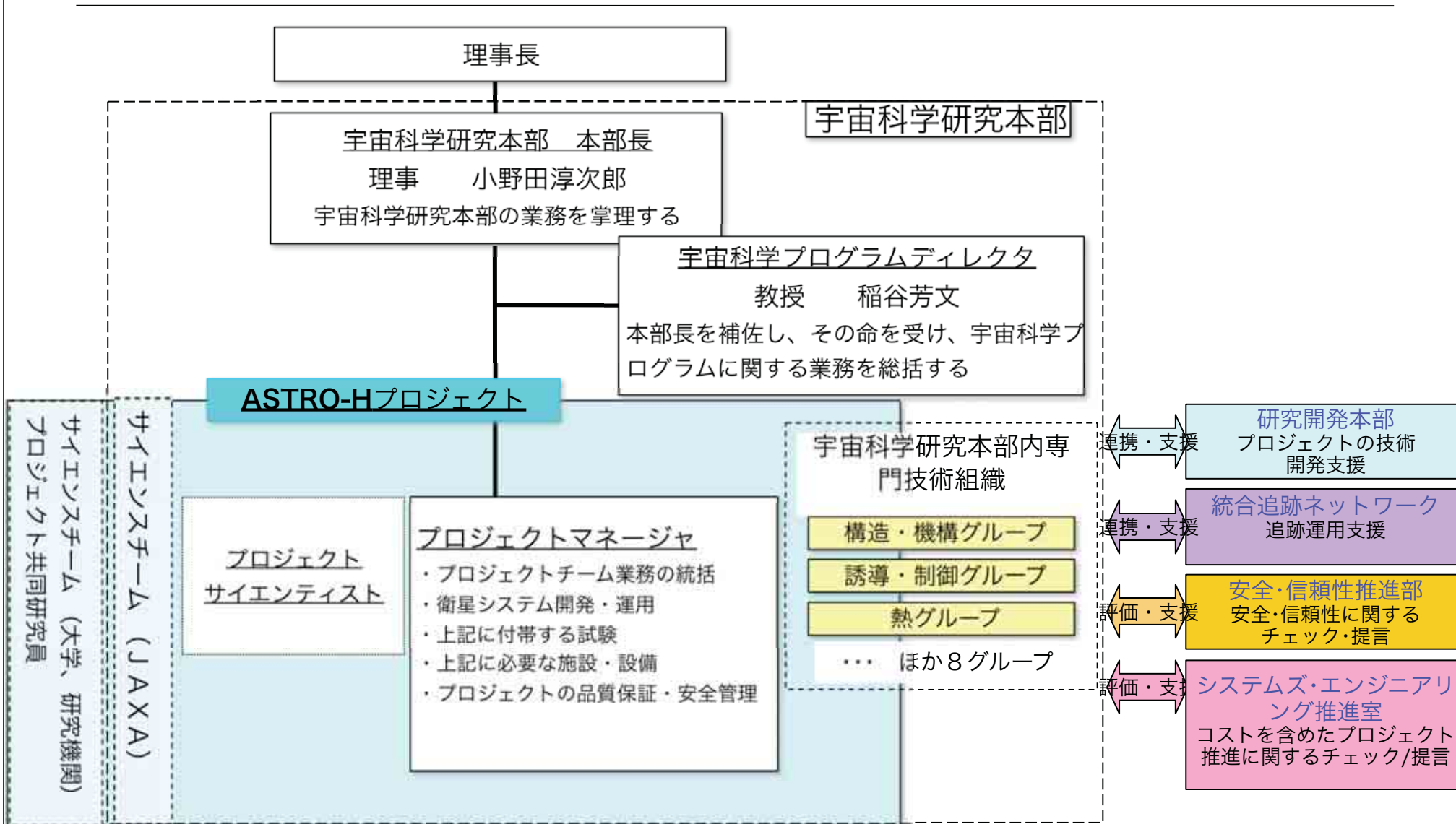


# 5-3. 開発体制：全体





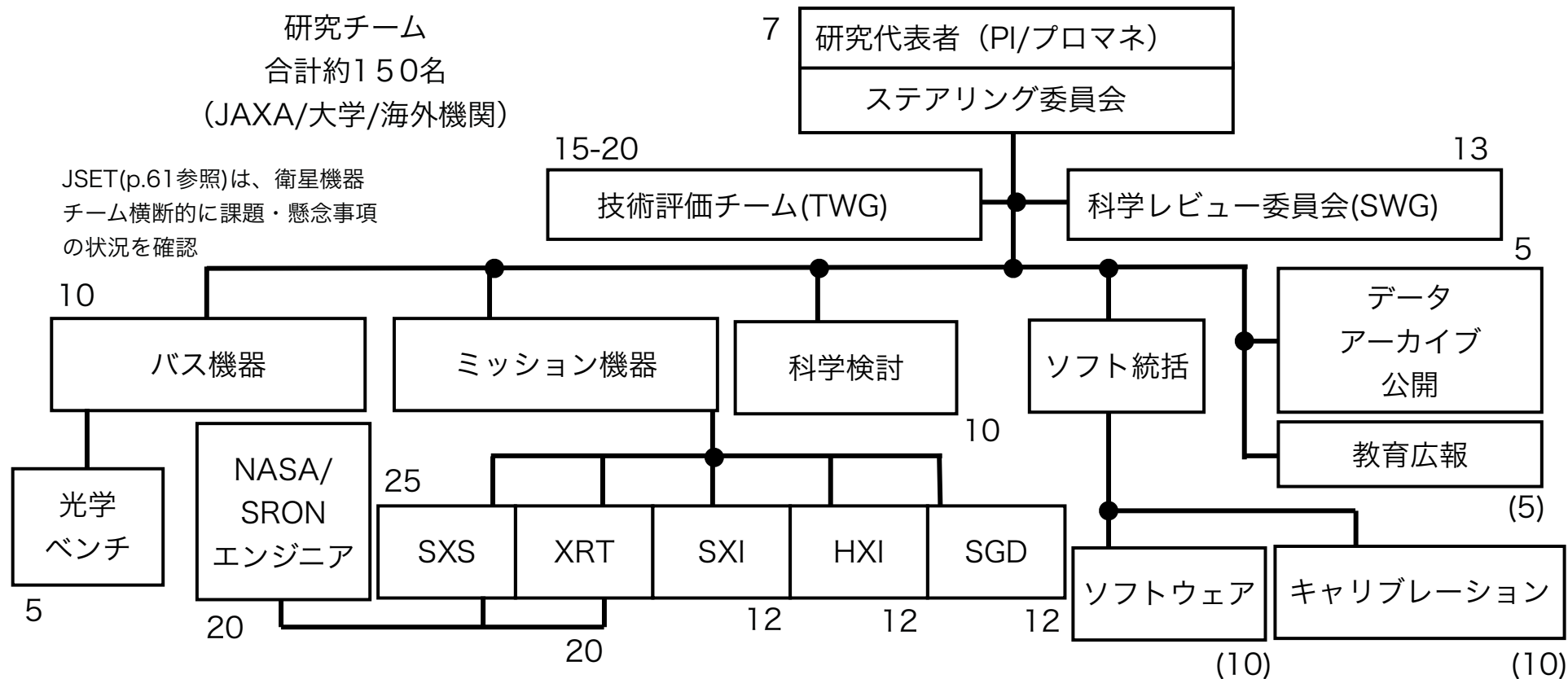
# 5-4. 開発体制: JAXA内





# 5-5. 開発体制：チーム構成

ASTRO-H衛星は大規模な科学衛星であり、日本のX線天文学のコミュニティの総力をあげ、組織立った開発を行なう必要がある。そのためプロジェクトマネジメントに力点をおいたチームが必要である。全体の進行を常に管理し判断を行なうステアリング委員会を置き、下に各コンポーネントやソフトウェア、また地上較正実験など責任範囲をはっきりさせたサブチームを定義する。サブチームは国内外の大学、研究機関の研究者で構成され、それぞれリーダーを決めてプロジェクト全体の中での個々の仕事を明確にし、責任をもった体制を定義した。チームの外に国際的な専門家を集めた技術評価チーム (Technical Working Group)を設置、各段階でのレビューを開始。



数字はサブチームの研究者（大学院生を含まない）、（）の数字は今後確保する予定

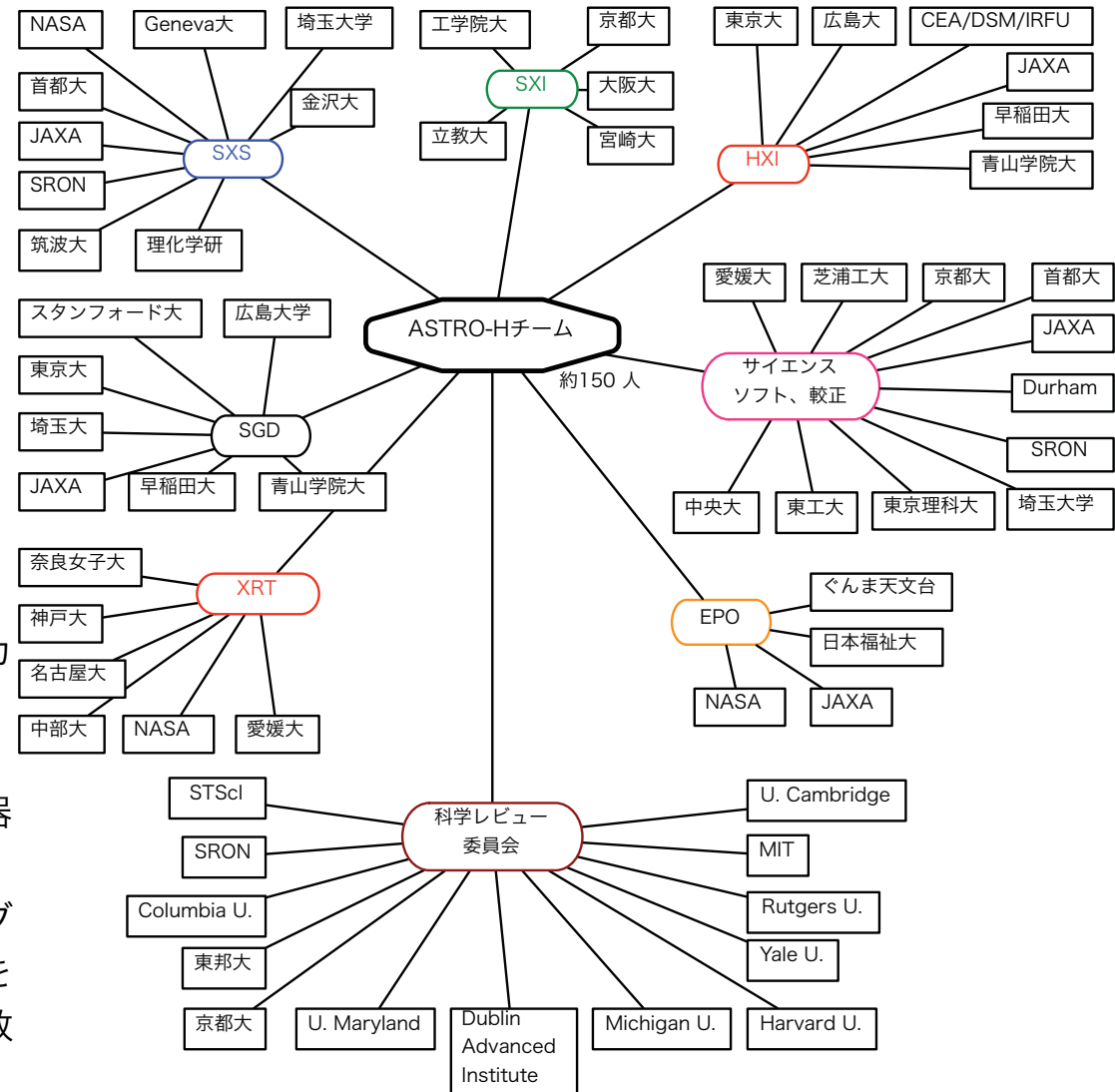




# 5-6. 開発体制: 大学との協同体制

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、世界最高の圧倒的に優れた観測能力で、宇宙科学の根源的課題に挑むものである。これほどの性能を持つ国際X線天文台衛星は、今後10年以上にわたって諸外国においても存在しない。国際的にも強く期待されており、学術研究で日本が引き続き国際的なリーダーシップを発揮できる絶好の機会である。そのために、右図のような、コミュニティをあげた、実施体制をとっている。

X線望遠鏡は名古屋大、愛媛大、JAXA他、マイクロカロリメータは、JAXA、首都大、金沢大学、埼玉大、理研、NASA他、軟X線検出器は大阪大、京都大他、硬X線検出器はJAXA、東京大他、軟ガンマ線検出器は、JAXA、スタンフォード大、広島大、早稲田大、東京大他が主な開発メンバーとなる(図中の数字はサブチームのメンバー数 海外研究者、NASAエンジニアを含め研究チーム合計で約150-180人、大学院生総数約150人)。

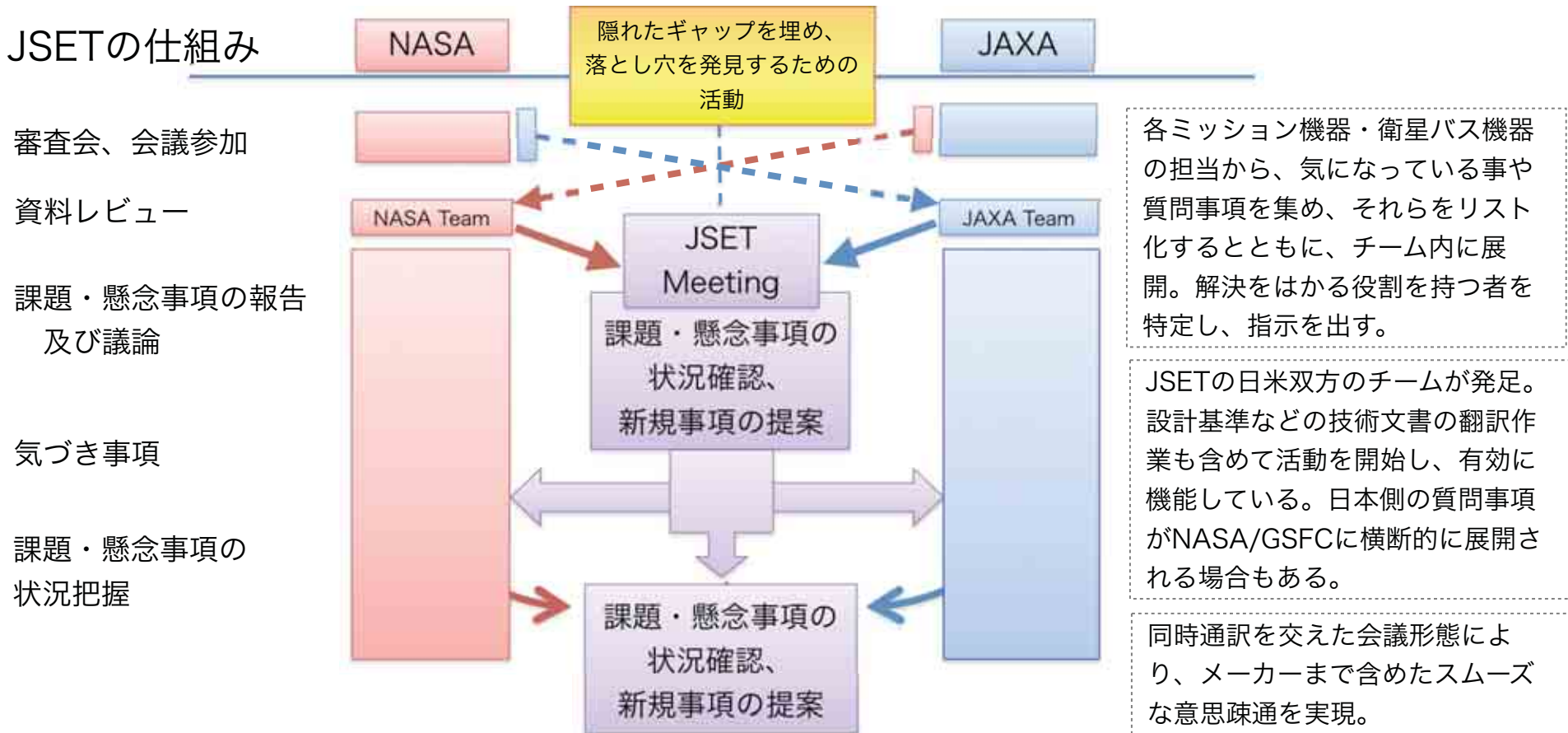




# 5-7. 開発体制：Joint Systems Engineering Team (JSET)

科学面、技術面において積極的な国際協力に基づいて開発を行う。特に軟X線分光検出器(SXS)については、NASAとの緊密な協力の下に、ジョイントシステムズエンジニアリングチーム(JSET：Joint Systems Engineering Team)を作り、開発の情報交換を定期的に行って、双方でリスクの低減をはかる(ASTRO-Hの開発方針から)。

## JSETの仕組み





## 5-8. 開発体制: 技術評価チーム(TWG)

Technical Working Groupを設け、JAXA内や国内の大学や研究機関の有識者、海外の研究者の中から広くメンバーを集めて、設計や開発状況のCritical Reviewを行い、助言を得る。(ASTRO-Hの開発方針から)

低温工学、素粒子実験やエレクトロニクスなどの分野で海外のトップレベルの研究機関の研究者を集め、設計や開発の早い段階からレビューを行い助言を得る作業を開始。必要に応じてASTRO-Hのメンバーを追加。

### レビューの例

SXS	平成20年12月 NASA/GSFCにて、システム要求審査(SRR)の中で 低温工学が専門のエンジニア複数を採用し、マイクロカロリメータの冷凍機システムのコンセプトと現状での技術到達度に関するレビューを受ける。
SXI	平成21年3月 ローレンスバークレー国立研究所(LBNL)にて、電子回路部門の全面的な協力を得、ASTRO-Hで開発したCCD読み出し回路のASICを詳細設計や試験結果に踏み込んでレビューを受け、多くの提言を得る。
HXI/ SGD	平成21年12月(予定) NASA/GSFC、NRL、SLAC(スタンフォード大学)、UCB/SSL(カリフォルニア大学)、CEA/DSM/IRFUなどから、大気球や衛星を用いたガンマ線観測の20年以上の経験を持ち、最近ではSwift衛星、Fermi衛星、INTEGRAL衛星のガンマ線検出器の設計・開発をリードした研究者を集めて、設計の妥当性に関するレビューを行う。

### 新たなメンバーの招聘例

SXS	大型素粒子実験、ISS用大型宇宙線観測実験の経験者で電子回路にも造詣が深い研究者を招聘。フィルターホールとSpaceWire標準など電子回路系に参加。
HXI/ SGD	CdTe半導体センサーの開発において、ISAS/JAXA, NASA/GSFCと共に3極を構成するフランスのCEA/DSM/IRFUのメンバーをチームに招聘。INTEGRAL衛星でのCdTe半導体の経験に基づきセンサーの高信頼性確保、地上較正実験立案に参加。

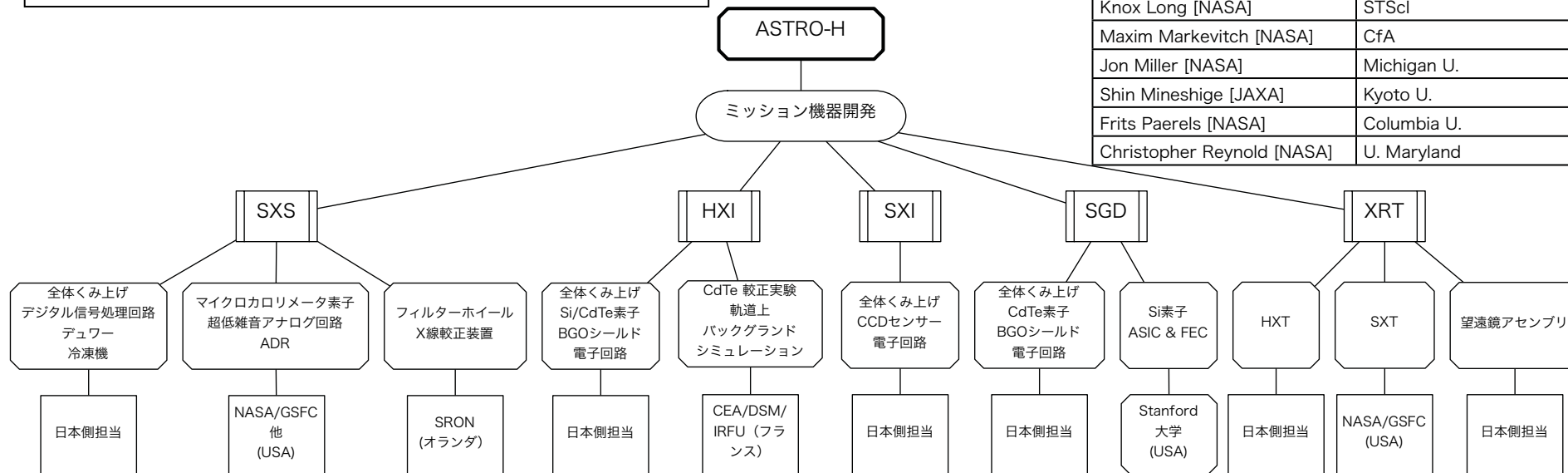


# 5-9. 開発体制: 国際協力

ミッション機器開発においては、これまでに築き上げた国際的なネットワークを通じ、我が国がリードする強力な国際チームによって行われる。設計協力ばかりではなく、製造やソフトウェア/較正実験を分担する場合には責任範囲を明確にし、WBSにもとづいてインターフェースを定義する。

NASA/ESA/JAXAのそれぞれで公募され、競争的に選出された科学レビュー委員会メンバー

Felix Aharonian [ESA]	Dublin Advanced Institute/MPI
Mark Bautz [NASA]	MIT
Paolo Coppi [NASA]	Yale U.
Andy Fabian (Chair) [ESA]	Cambridge U.
Jack Hughes [NASA]	Rutgers U.
Jelle Kaastra [ESA]	SRON
Tetsu Kitayama [JAXA]	Toho U.
Knox Long [NASA]	STScI
Maxim Markevitch [NASA]	CfA
Jon Miller [NASA]	Michigan U.
Shin Mineshige [JAXA]	Kyoto U.
Frits Paerels [NASA]	Columbia U.
Christopher Reynold [NASA]	U. Maryland



## ASTRO-H参加機関

宇宙航空研究開発機構 (JAXA)/NASA/青山学院大学/ESA/Yale U./Wisconsin U./STScI/SRON/愛媛大学/MIT/MPI-K/大阪市立大学/大阪大学/金沢大学/京都大学/Cambridge U./県立ぐんま天文台/工学院大学/神戸大学/Columbia U./埼玉大学/CEA-DSM-IRFU/CfA/Harvard/芝浦工業大学/首都大学東京/KIPAC-Stanford U./Saint Mary's U./Durham U./Dublin Institute for Advanced Studies/中央大学/中部大学/筑波大学/東京工業大学/東京大学/東京理科大学/東邦大学/名古屋大学/奈良女子大学/日本大学/日本福祉大学/広島大学/物質材料機構/Michigan U./宮崎大学/U. Geneva/U. Maryland