



次期国際X線天文衛星

付録ー2



# 第26号科学衛星 (ASTRO-H) プロジェクトについて



平成21年10月22日  
宇宙航空研究開発機構  
宇宙科学研究本部  
高橋 忠幸



# 目次



---

0. 経緯、位置づけ、意義

1. プロジェクトの目的

2. プロジェクトの目標

3. 開発方針

4. システム選定及び基本設計要求

5. 開発計画 (スケジュール、実施体制、資金計画)

6. リスク管理

参考資料



## 0-1. これまでの経緯

---

平成14年 6月 NeXTワーキンググループを結成

平成15年11月 「NeXT計画提案書」を宇宙理学委員会に提出。

平成17年 7月 「すざく」衛星打ち上げ成功

平成17年 9月 「NeXT計画提案書」を宇宙理学委員会に提出。

平成18年 2月 第9回宇宙理学委員会における審査で、プリフェーズAが終了

ミッション定義審査(MDR)とシステム要求審査 (SRR) に相当

平成19年 6月 JAXA内プロジェクト準備審査

平成20年 2月 衛星バス部開発に対し、指名型の無償技術提案(RFP)を実施

平成20年 5月 システム定義審査(SDR)

平成20年 6月 NASA SMEX MoO(注) に NeXT搭載検出器SXS が選定

平成20年8月26日 宇宙開発委員会推進部会における事前評価

平成20年9月3日 宇宙開発委員会本委員会にて、開発研究段階への移行が妥当であると判断

平成20年9月8日 JAXAプロジェクト移行審査

平成20年10月1日 ASTRO-Hプロジェクトチーム発足

(発足後、海外メンバーおよび担当メーカーを含めた7回の衛星全体会議を含め、

ミッション機器や衛星全体の設計打ち合わせを頻繁に実施。)

---

SMEX MoO :“小規模から中規模の宇宙科学計画を推進するためのプログラム(Small Explorer Program; SMEX)”の中で、特に、海外の計画に対してアメリカの研究グループが参加することへの支援



## 0-2. 「開発研究」移行時の助言と検討結果

「開発研究」移行時の助言		参照頁
1	<p>(システム選定及び基本設計要求)</p> <p>科学衛星プロジェクトに関しては、国民の関心は高いものの、国民への直接的な成果の反映は、実用衛星と比較して一般に低い。従って、国民の理解を得られるように、コスト効率の良いプロジェクトに仕上げる事が求められる。そのためには開発研究フェーズにおいて「コストも含めた複数のオプションの比較検討」に注力することを期待する。</p>	<p>p.65</p> <p>p.29,32,33</p>
2	<p>(システム選定及び基本設計要求)</p> <p>技術は日進月歩しているので、最新の成果（特に計測機器やその制御等において）を取り入れられるよう、柔軟性がある計画を期待する。</p>	<p>p.19,32,33, 35-49</p>
3	<p>(システム選定及び基本設計要求)</p> <p>リアクションホイールは人工衛星にとって極めて重要な要素であり、また各国でも開発に苦労し、また軌道上でもかなりの頻度で問題を発生している機器である。国産品が使用できるレベルに達したことは極めて喜ばしいことであるが、今後も息の長い信頼性確認試験を継続実施することを期待したい。</p>	<p>p.33</p>
4	<p>(リスク管理)</p> <p>H-II A ロケットで打ち上げる場合、相乗り打上げとなる可能性が高いが、相手の衛星が決まった時点で十分なリスク評価・管理が望まれる。</p>	<p>現時点で相乗り 相手が未定</p>



## 0-3. 宇宙基本計画における位置づけ(参考)

### 2. 我が国の宇宙開発利用に関する基本的な6つの方向性

#### (4) 先端的な研究開発の推進による活力ある未来の創造

人類に残されたフロンティアである宇宙空間は、人類の知的資産の蓄積、活動領域の拡大に加え、宇宙空間のエネルギーの新たな利用など、無限の可能性を秘めている。過酷な宇宙空間に挑戦し、可能性を現実のものとするには、先端的な科学技術の研究開発なしには、為し得ないものである。このような先端的な研究開発を進めることは、新しい技術のブレークスルーをもたらすとともに、その成果は地上の生活を豊かにし、活力ある未来を創造する上でも大きな可能性を秘めている。また、このような取組は、国民、特に次世代を担う子供達に夢や希望を与えるものである。

科学技術創造立国を目指す我が国としては、これまでの成果や培った技術力の上に立って、宇宙先進国として、宇宙の真理の探究や人類の活動領域を拡大するための宇宙科学や有人宇宙活動に積極的に取り組むことが重要である。

#### 今後10年程度の目標

世界をリードする科学的成果の創出(知的資産の蓄積)

「世界トップレベルの科学研究成果の継続的な創出」というニーズに対して、これまで宇宙天文学や太陽系探査などの宇宙科学で世界を先導する成果を上げている。宇宙科学の成果は、宇宙開発利用全体の基礎となるものである。今後、宇宙科学の枠を超えた他分野・異分野との連携も含め、大学等の優れた研究者の参画の促進による体制の強化も踏まえて宇宙科学を推進し、世界最先端の成果を継続的に創出することを目標とする。

#### 5年間の開発利用計画

上記目標の実現に向けて、以下の施策を推進する。

・ 宇宙そのものの理解等に繋がる科学的成果の創出を目指し、宇宙天文学研究として、運用中の「すざく」によるX線観測、「あかり」による赤外線観測を実施しつつ、電波天文衛星「ASTRO-G」を打ち上げ、科学観測を行うとともに、次期X線天文衛星「ASTRO-H」等の研究開発を行う。





## 0-4. 第三期科学技術基本計画における位置づけ(参考)

### 1. 基礎研究の推進

多様な知と革新をもたらす基礎研究については、一定の資源を確保して着実に進める。

人類の英知を生み知の源泉となる基礎研究は、全ての研究開発活動の中で最も不確実性が高いものである。その多くは、当初のねらいどおりに成果が出るものではなく、地道で真摯な真理探求と試行錯誤の蓄積の上に実現されるものである。また、既存の知の枠組みとは異質な発見・発明こそが飛躍知につながるものであり、革新性を育む姿勢が重要である。

基礎研究には、人文・社会科学を含め、研究者の自由な発想に基づく研究と、政策に基づき将来の応用を目指す基礎研究があり、それぞれ、意義を踏まえて推進する。すなわち、前者については、新しい知を生み続ける重厚な知的蓄積（多様性の苗床）を形成することを目指し、萌芽段階からの多様な研究や時流に流されない普遍的な知の探求を長期的視点の下で推進する。

また、研究者の自由な発想に基づく研究の中でも、特に大きな資源の投入を必要とするプロジェクトについては、研究者の発意を基に厳格な評価を行った上で、国としてもプロジェクト間の優先度を含めた判断を行い取り組む。

日本のX線天文学は、世界でトップレベルの競争力をほこる。

「ASTRO-H」衛星を実際に開発するチームには、被引用論文数(citation)が1000を越える者が日本だけで40人近く存在する。科学衛星を用いた宇宙科学において、このような成果を誇るコミュニティは他にない。「あすか」衛星では、世界各国から1500もの査読つき論文が出版され、160人を越える博士論文を産み出した。



# 0-5. 宇宙開発委員会・宇宙科学WGによる位置づけ (参考)

我が国における宇宙科学に関する学術研究は、限られた予算規模にも拘わらず、工学分野の優れた学術研究から先進的な飛翔・探査技術を生み出し、その基盤の上にX線天文学や太陽・地球磁気圏観測などにおいて、小型でも特徴ある計画を積み上げることで、世界第一線級の成果を挙げ続けてきた。  
(宇宙科学研究の推進について(報告)より、平成18年12月21日)

## プロジェクト研究の重点分野

### ①宇宙空間からの宇宙物理学及び天文学

宇宙空間の環境を利用して地上で実施できない観測を行うことにより、宇宙の大規模構造から惑星系に至る宇宙の構造と成り立ちを解明するとともに、暗黒物質・暗黒エネルギーを探索し、宇宙の極限状態と非熱的エネルギー宇宙を探索する。

1) 宇宙の大規模構造とその成り立ちを解明し暗黒物質・暗黒エネルギーを探索する。

#### ア. 長期的な目標

**我が国が優位性を持つ赤外線、X線、ガンマ線及び電波を用いた宇宙観測により、宇宙の大規模構造の姿を捉え、基本的物質であるバリオンや様々なエネルギーの宇宙における存在形態を探索することにより、宇宙の基本構造を解明する。宇宙の初期揺らぎから現在の宇宙の大規模構造に至るまでの過程を解明し、暗黒物質の果たす役割、暗黒エネルギーと宇宙の状態及び進化との関係を探る。**

#### イ. 今後5年程度の目標

赤外線天文衛星「あかり」による全天サーベイにより宇宙地図を作成し、銀河進化の解明に資する。X線天文衛星「すざく」による銀河団等の観測研究を進展させるとともに、大気球や小型衛星等による萌芽的なミッションの開拓を行う。

#### ウ. 20年先を視野に入れた今後10年の目標

**軟X線精密撮像分光観測による熱的な宇宙の詳細観測を実現する。**銀河の誕生過程及び銀河団の進化を解明するために、高解像度赤外線観測衛星及び大型X線望遠鏡衛星等の大型国際ミッションを推進する。銀河構造を解明することを目的とした高精度位置天文観測衛星の実現に必要な技術開発を行う。

2) 太陽系外惑星の直接観測により惑星の形成過程を探索する。

(省略)

3) 宇宙の極限状態と非熱的エネルギー宇宙を探索する。

#### ア. 長期的な目標

**X線・ガンマ線を用いた宇宙観測により、ブラックホール等における宇宙の極限状態及び非熱的エネルギー宇宙を探索。**スペースV L B I (超長基線干渉) 技術を用いた宇宙電波観測により、宇宙の極限領域における現象を解明する。宇宙空間から到達する宇宙線及び重力波等の新たな観測手段を開拓する。

#### イ. 今後5年程度の目標

X線天文衛星「すざく」によるブラックホール等の観測研究を進展させる。**次期X線国際天文衛星及び大型X線望遠鏡衛星の研究開発、スペースV L B I衛星 (ASTRO-G) の開発及び運用を行うとともに、大気球や小型衛星を用いた新世代宇宙観測技術の研究を推進する。国際ガンマ線ミッション等の国際協力に積極的に貢献する。また、国際宇宙ステーション「きぼう」に搭載する全天X線監視装置 (MAXI) によりブラックホールの長期連続観測を行うとともに宇宙線分野を含む第2期計画を推進する。**

#### ウ. 20年先を視野に入れた今後10年程度の目標

ASTRO-Gによりブラックホール等の宇宙の極限状態を解明する。

**次期X線国際天文衛星\*等による硬X線・ガンマ線の高精度撮像観測・偏光観測を実現する。**



## 0-6. 宇宙開発長期計画における位置づけ (参考)



### 我が国における宇宙開発利用の基本戦略 (平成16年9月9日 総合科学技術会議)

多くの人々に夢や希望を与えるべく、未知のフロンティアとしての宇宙に挑む。宇宙空間を探索し、利用することにより、宇宙の起源、地球の諸現象などに関する根源的な知識・知見を獲得する。

### 宇宙開発に関する長期的な計画 (平成20年2月22日 総務大臣、文部科学大臣)

宇宙科学研究は、「宇宙がどのように成立し、どのような法則によって支配されているのか」を知るための高度な知的活動であるとともに、宇宙科学・宇宙開発に新しい芽をもたらす創造的・萌芽的な技術の源泉であり、宇宙開発利用の基盤を支えるものとして、我が国の宇宙開発利用の持続的発展のために不可欠なものである。また、我が国は、これまでにX線天文学や太陽・地球磁気圏観測などにおいて、高い創造性・先導性を有する世界第一線級の成果を挙げてきている。このため、我が国は、以下の方針により、宇宙科学研究を推進することとする。

#### ○ 長期的な展望に基づき我が国の特長を活かした独創的かつ先端的な宇宙科学研究を推進する。

国内外の関係する研究者グループとの密接な連携の下、研究者の自由な発想に基づく研究計画をピア・レビューを通じて精選し、我が国の特長を活かして、科学衛星の打上げ・運用や理学的・工学的学術研究など独創的かつ先端的な宇宙科学研究を継続的に実施し、世界最高水準の成果の創出を目指す。

今後重点を置く研究分野は、世界において広く認められる重要な科学目標を有していること、目標及び実現手段における高い独創性と技術を持ったうえで、高い実現可能性を有していること、我が国の独自性と特徴が明確であること、並びに我が国が既に世界第一級にある分野をのばすとともに、将来を担う新しい学問分野を開拓することにも留意することの観点から、以下のとおりとし、ミッションに即した多様な規模の計画を展開する。

#### ア) 宇宙空間からの宇宙物理学及び天文学

地上で実施できない観測を宇宙から行うことにより、宇宙の大規模構造から惑星系に至る宇宙の構造と成り立ちを解明するとともに、暗黒物質・暗黒エネルギーを探求し、宇宙の極限状態と非熱的エネルギー宇宙を探る。





## 0-7. プロジェクトの意義

---

### 科学的意義

- 宇宙の大規模構造と、その進化の解明
- 宇宙の極限状態の理解
- 多様性にとんだ非熱的エネルギー宇宙の探求
- ダークマター・暗黒エネルギーの探求

### 技術的意義

- 次世代衛星の基盤アーキテクチャの確立  
(ex. モジュール化技術、スペースワイヤ、データ処理コンピュータ、冷凍機、LSI)

### 社会的意義

- 一流国家としての矜持：人類の知的共有財産を増やし、  
我が国の科学が世界で一流であることを示す。
- 国際協力：我が国が主導する国際共同プロジェクトとして推進し、  
最終的には国際宇宙天文台として運用することによって、  
国際社会に貢献し、責務を果たす。
- 産業応用：搭載検出器の医療診断、分子イメージング、物質構造研究への応用。
- 社会への還元：社会からの強い関心に応える。実践的教育機会を供給する。



## 0-8. プロジェクトの意義



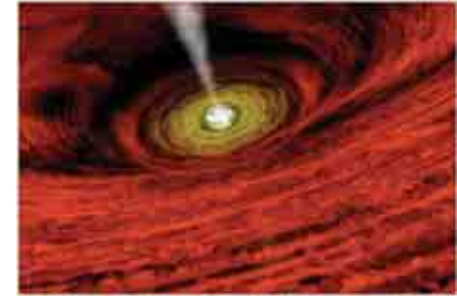
宇宙の進化は、星、銀河、銀河団がおりなす巨大な階層構造を作るとともに、ブラックホールに代表される驚くべきエネルギーと物質の集中を生み出してきた。ほぼ一様な状態から膨張を続けてきた宇宙で、数10桁も異なる空間的・密度的スケールにわたって、実に多彩な構造が作られてきたことは驚異である。銀河団は宇宙最大の天体であり、それを研究し、その進化を探ることが宇宙の構造がどのようにでき、進化してきたかを知ることにつながる。その際、銀河団の構成要素である銀河、あるいはその中のブラックホールが、どのように共に進化し、銀河団形成にどのような役割を果たすかを知ることが重要である。

宇宙で我々が観測できる物質の80パーセントはX線でしか観測出来ない高温状態にあり、**宇宙の全貌を知る上で、X線観測は不可欠の手段である。** 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。

宇宙では、ビッグバンによる誕生から137億年かけ、様々な元素が生まれ、多様な化合物が合成され、惑星系やブラックホールを含む多様な天体、さらには生命まで発生した。こうした宇宙の進化は、従来の物理学では説明し切れない大きな不思議を含んでいる。**ASTRO-Hは、単に宇宙に関する情報を増やすだけでなく、宇宙の階層構造における最大天体—銀河団—における高温ガスの運動と高エネルギー粒子を初めて「見る」手段を提供し、宇宙の進化の本質に迫るための「新たな視点」を構築するものである。**この「視点」はまた、21世紀の広範な科学に、新たな展開をもたらす指導原理になると期待される。



**宇宙の進化におけるエネルギー集中と階層形成の解明**



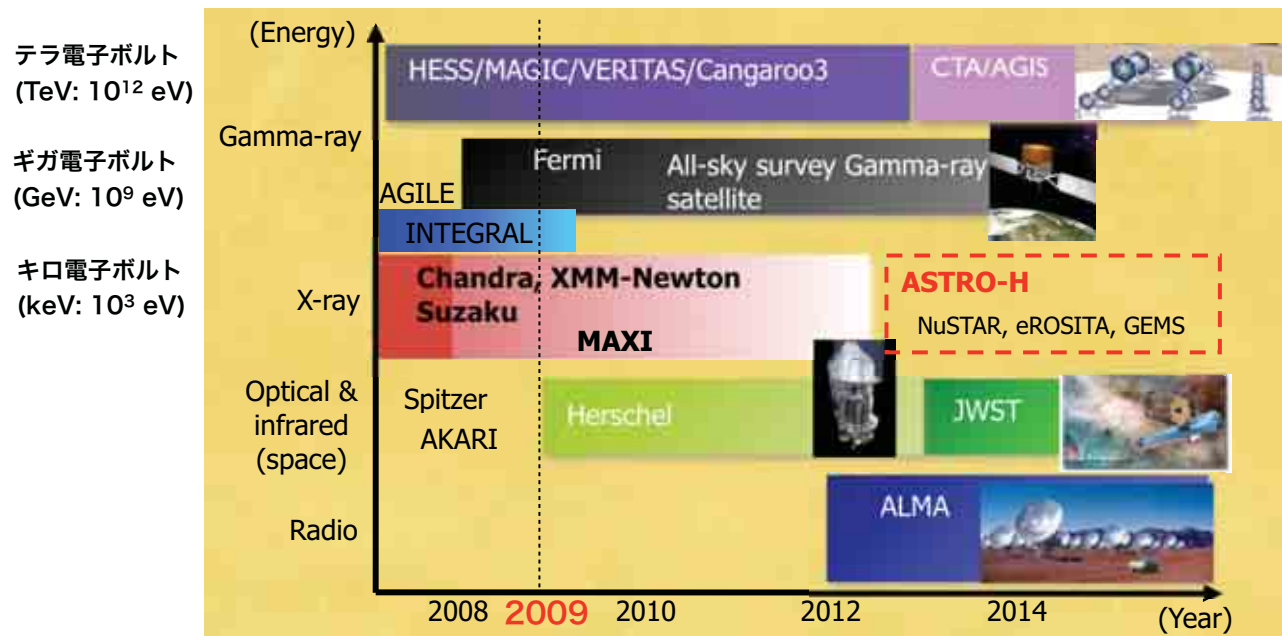
銀河の中心の巨大ブラックホールと吹き出るジェット、宇宙にはこうしたブラックホールが無数にあり、進化をとげてきた。人類は、X線背景放射のピークとなる30 キロ電子ボルトにおいて、数パーセントしか天体を分解できていない。



衝突する銀河団(可視光とX線の画像の重ね合わせ)。有力な宇宙進化のモデルでは、始めは小さな銀河団が作られ、それらが衝突し合体する事で今日のような大きな銀河団に進化したと考えられている。銀河団合体に伴うエネルギーの解放は宇宙最大のエネルギー解放である。衝突する銀河団の高温ガスの運動を直接とらえることによって、銀河団の衝突で何がおこるのか、そして宇宙の大規模構造形成とそれに伴うエネルギー転換の様子が明らかになると期待される。



# 0-9. 国際的な位置づけ



連携する様々な波長の天文将来計画との関係

2013年度にASTRO-Hを実現する事は、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。

宇宙では、ビッグバンによる誕生から137億年かけ、様々な元素が生まれ、多様な化合物が合成され、惑星系やブラックホールを含む多様な天体、さらには生命まで発生した。こうした宇宙の進化は、従来の物理学では説明し切れない大きな不思議を含んでいる。**ASTRO-Hの目標は人類にとっての根源的課題の解明に挑むものであり、その成果は宇宙科学の歴史に残るものと期待される**。このため、今まで融合が進んでいない素粒子物理学、宇宙論などの近接分野の研究者を加えて研究を行うことにより新たな学問分野を拓くことをめざす。

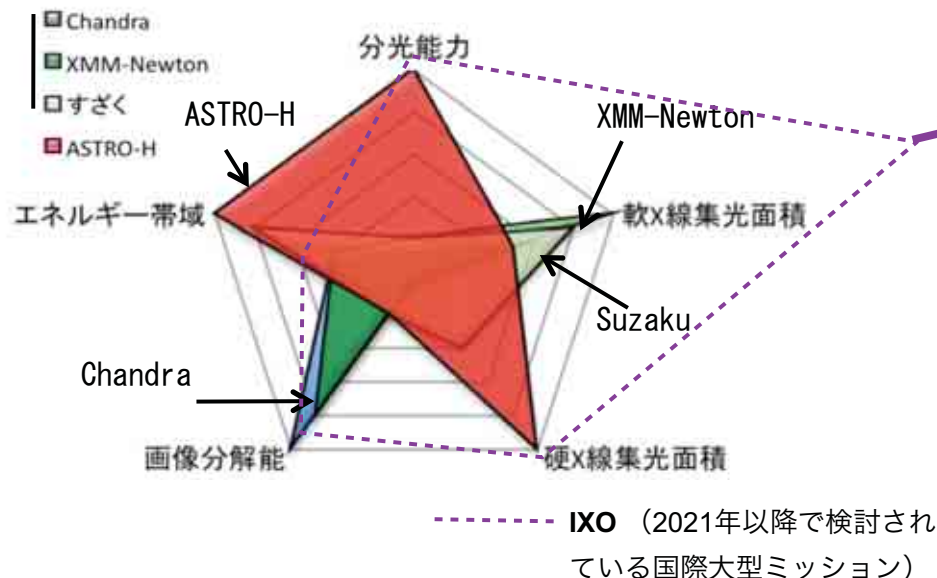


# 0-10. 国内外の他のX線ミッションとの比較

ASTRO-Hは、世界で初めてマイクロカロリメータや偏光観測可能な半導体コンプトンガンマ線カメラを搭載するという技術面と、ガスの運動を測り、超広帯域スペクトルを得るという**科学的能力面で、諸外国が計画する小規模衛星計画(NuSTAR, eROSITA, GEMSなど)を大きく上回り、2020年以降の国際大型計画に向けた重要なプリカーサーミッションとして世界をリードする内容をもっている。**

ASTRO-Hは、分光能力、硬X線集光面積、エネルギー帯域で、現在運用中の衛星を遥かに凌駕する。2020年以降をめざして検討されている国際大型計画IXOでは、**ASTRO-Hの観測装置のコンセプトを用い、その観測手法を最遠方宇宙まで適用可能とするために大型の望遠鏡技術を今後開発する予定である。**

従来



国際的なX線天文台としては、米国のChandra、ヨーロッパのXMM-Newtonがいずれも10年前に打ち上げられ、4年を経た「すざく」とともに、現在も観測を続けている。ASTRO-Hは、銀河団などの広がった高温ガスの速度分布を測る能力と、3桁以上の広い範囲にわたって光子のエネルギーを感度よく測定できる能力をあわせ持ち、**これらの衛星とは質的に異なる世界トップの宇宙X線望遠鏡衛星である。**科学的能力面で、諸外国が計画する小規模衛星計画(NuSTAR, eROSITA, GEMSなど)を大きく上回り、次期国際大型計画IXO(米欧日)が、ASTRO-Hの技術を前提として、国際的に検討が進められているものの、実現するのは早くても2021年になる見込みである。ASTRO-Hにはマイクロカロリメータ、極低温冷凍機、硬X線観測システムなどの新しい技術が用いられ、**IXOのプリカーサーミッションとしても国際的に大きく期待されている。**

平成21年度にISSに搭載されたMAXIは、比較的小型の装置であり、全天をサーベイしながら激しく変動するX線天体をモニターする事を目的とする。時間変動を研究することにより、ASTRO-Hがその多様な手段で観測すべきX線天体を全天から見つけ出す事が期待される。





# 1. プロジェクトの目的

○ 「宇宙の大規模構造と、その進化の解明」のため

1. 銀河団という宇宙最大の天体における熱、銀河団物質の運動エネルギー、非熱的エネルギーの全体像を明らかにし、ダイナミックな銀河団の成長を直接観測する。
2. 厚い周辺物質に隠された遠方(過去)の巨大ブラックホールを「すざく」の約100倍の感度で観測し、その進化と銀河形成に果たす役割を解明する。

○ 「宇宙の極限状態の理解」のため

3. ブラックホールの極近傍の物質の運動を測定することで重力のゆがみを把握し、相対論的時空の構造を明らかにする。

○ 「多様性にとんだ非熱的エネルギー宇宙の探求」のため

4. 宇宙に存在する高エネルギー粒子(宇宙線)がエネルギーを獲得する現場の物理状態を測定し、重力や衝突・爆発のエネルギーが宇宙線を生み出す過程を解明する。

○ 「ダークマター・暗黒エネルギーの探求」のため

5. 距離(年齢)の異なる銀河団内のダークマターの分布と総質量を測定し、銀河団の進化に果たすダークマターと暗黒エネルギーの役割を探求する。





# 2-1. プロジェクトの目標設定



意義	目的	目標
宇宙の大規模構造とその進化の解明	銀河団の成長の直接観測	1) 10個程度の代表的な銀河団において、熱エネルギーを測定し、鉄輝線のエネルギー領域(6キロ電子ボルト)で300km/sの速度分解能の分光性能を実現し、銀河団物質の運動エネルギーを測定する。硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(*)で分光観測することで非熱的エネルギーを測定する。
宇宙の極限状態の理解	巨大ブラックホールの進化と銀河形成に果たす役割	2) 遠方にある10個程度の隠された巨大ブラックホールの候補天体を、硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(*)で分光観測し、母銀河との関係を明らかにする。
宇宙の極限状態の理解	ブラックホール極近傍での相対論的時空の構造の理解	3) 代表的な数個の活動銀河中心の巨大ブラックホールを、数10キロ電子ボルト程度までの範囲で連続スペクトルを取得し、同時に輝線や吸収線を7電子ボルト程度の分解能で分光測定する。
非熱的エネルギー宇宙の探求	重力や衝突・爆発のエネルギーが宇宙線を生み出す過程を解明	4) 数個の若い超新星残骸を、硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(*)で分光観測して硬X線放射を測定し、電子のエネルギー分布を決定する。巨大ブラックホールにおいては、2から10キロ電子ボルトでのX線強度がかに星雲の1000分の1程度で、べき1.7を持つ巨大ブラックホールのスペクトルを、600キロ電子ボルトまでの帯域で観測可能な感度で、10個以上取得する。
ダークマター・暗黒エネルギーの探求	ダークマターと暗黒エネルギーが宇宙の構造形成に果たした役割の探求	5) 目標1)を達成した後、さらに10倍程度の天体の観測を行って約80億光年までの宇宙(赤方偏移<1)で銀河団内のダークマターの総質量を測定し、総質量と銀河団数の関係を年代ごとに決定する。(エクストラな目標)

(\*) 点源と見なせる天体を観測した場合に達成される検出感度を表す



## 2-2. 衛星成功基準 (サクセスクライテリア)



目的	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
銀河団の成長の直接観測	銀河団からの鉄輝線の観測を、軟X線分光システムで行う。	1) 10個程度の代表的な銀河団において、熱エネルギーを測定し、鉄輝線のエネルギー領域(6キロ電子ボルト)で300km/sの速度分解能の分光性能を実現し、銀河団物質の運動エネルギーを測定する。硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(*)で分光観測することで非熱的エネルギーを測定する。	—
巨大ブラックホールの進化とその銀河形成に果たす役割	100キロ秒の観測で2から10キロ電子ボルトでのX線強度(**)がかに星雲の10万分の1程度の、隠されたブラックホールを硬X線撮像システムで観測する。	2) 遠方にある10個程度の隠された巨大ブラックホールの候補天体を、硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(*)で分光観測し、母銀河との関係を明らかにする。	宇宙硬X線背景放射の正体とされる隠されたブラックホールの寄与を全体の40-50%まで解明し、銀河進化との関係を明らかにする。
ブラックホール極近傍での相対論的時空の構造の理解	—	3) 代表的な数個の活動銀河中心の巨大ブラックホールを、数10キロ電子ボルト程度までの範囲で連続スペクトルを取得し、同時に輝線や吸収線を7電子ボルト程度の分解能で分光測定する。	—
重力や衝突・爆発のエネルギーが宇宙線を生み出す過程を解明	—	4) 数個の若い超新星残骸を、硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(*)で分光観測して硬X線放射を測定し、電子のエネルギー分布を決定する。巨大ブラックホールにおいては、2から10キロ電子ボルトでのX線強度がかに星雲の1000分の1程度で、べき1.7を持つ巨大ブラックホールのスペクトルを、600キロ電子ボルトまでの帯域で観測可能な感度で、10個以上取得する。	はじめてガンマ線で天体の偏光を観測し、ガンマ線の放射環境に制限を加える。
ダークマターと暗黒エネルギーが宇宙の構造形成に果たした役割の探求	—	—	5) 目標1)を達成した後、さらに10倍程度の天体の観測を行って約80億光年までの宇宙(赤方偏移<1)で銀河団内のダークマターの総質量を測定し、総質量と銀河団数の関係を年代ごとに決定する。

(\*) 点源と見なせる天体を観測した場合に達成される検出感度を表す

(\*\*) 厚い周辺物質による吸収を補正した強度



## 3-1. 衛星の開発方針(1)

---

- 「ASTRO-E」によって開発が行われ、以降の一連の天文衛星に受け継がれたバスアーキテクチャ (ASTROバス)を出来る限り継承する。(p.33 参照)
- 観測機器については、日本が国際的に優位な技術を用い、コミュニティにおけるフロントローディングの成果を基本として、高い信頼性をもって開発する仕組みを導入する。(p.19,32参照)
- 高信頼化をはかるために従来技術にモジュール化の考え方を導入するとともに、データ処理系には抽象化層からハードウェア層にいたるまで標準化を持ち込み、異なったメーカー間のインターフェースの不一致によるトラブルを未然に防ぐ。(p.53,54参照)
- 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)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。(p.61参照)
- 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。(p.62参照)
- 世界の国際宇宙天文台として機能し、全世界の天文学者が自在に使えるためのデータアーカイブ・ソフトウェア資産を構築する。(p.59参照)



## 3-2. 衛星の開発方針(2)

### 「すざく」における“Lessons Learned”

「すざく」のXRSの教訓は、新しい技術課題を含む先端観測機器を国際協力で実現する際のインターフェースの問題、さらに一つのミッション機器を通じた開発の進め方のあり方など幾つかの問題を提起した。われわれは、「ASTRO-H」を進めるにあたり、原因究明のために組織された「XRS不具合原因究明チーム」のレポートの勧告を真摯に受け止め、「すざく」XRSの教訓を生かすことを第一に考える。

すざくの経験を活かして、ASTRO-Hではあらかじめ以下の項目の対策を考慮した設計を行う。

- ・ 冷却系液体ヘリウム消失による短寿命化
- ・ サイドパネルの熱歪みによる指向誤差増加
- ・ 軌道上コンタミネーション
- ・ ヒートパイプ動作不良
- ・ 太陽電池セル剥がれ不具合
- ・ ホイール微小擾乱に起因するセンサへの干渉
- ・ 日照時のバッテリーコントロールユニットからの電磁干渉



# 4-1. 目標の具現化

1) 10個程度の代表的な銀河団において、熱エネルギーを測定し、鉄輝線のエネルギー領域(6キロ電子ボルト)で300km/sの速度分解能の分光性能を実現し、銀河団物質の運動エネルギーを測定する。硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(\*)で分光観測することで非熱的エネルギーを測定する。

2) 遠方にある10個程度の隠された巨大ブラックホールの候補天体を、硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(\*)で分光観測し、母銀河との関係を明らかにする。

3) 代表的な数個の活動銀河中心の巨大ブラックホールを、数10キロ電子ボルト程度までの範囲で連続スペクトルを取得し、同時に輝線や吸収線を7電子ボルト程度の分解能で分光測定する。

4) 数個の若い超新星残骸を、硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(\*)で分光観測して硬X線放射を測定し、電子のエネルギー分布を決定する。巨大ブラックホールにおいては、2から10キロ電子ボルトでのX線強度がかに星雲の1000分の1程度で、ベキ1.7を持つ巨大ブラックホールのスペクトルを、600キロ電子ボルトまでの帯域で観測可能な感度で、10個以上取得する。

5) 目標1)を達成した後、さらに10倍程度の天体の観測を行って約80億光年までの宇宙(赤方偏移<1)で銀河団内のダークマターの総質量を測定し、総質量と銀河団数の関係を年代ごとに決定する。

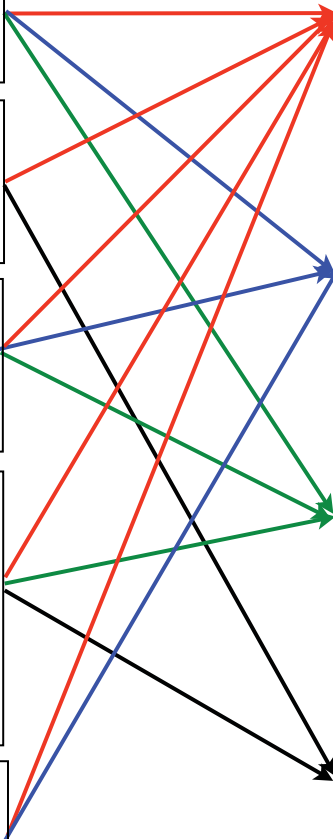
## ASTRO-H衛星

硬X線撮像システム (HXT+HXI)

軟X線分光システム (SXT-S + SXS)

軟X線撮像システム (SXT-I + SXI)

軟ガンマ線検出器 (SGD)



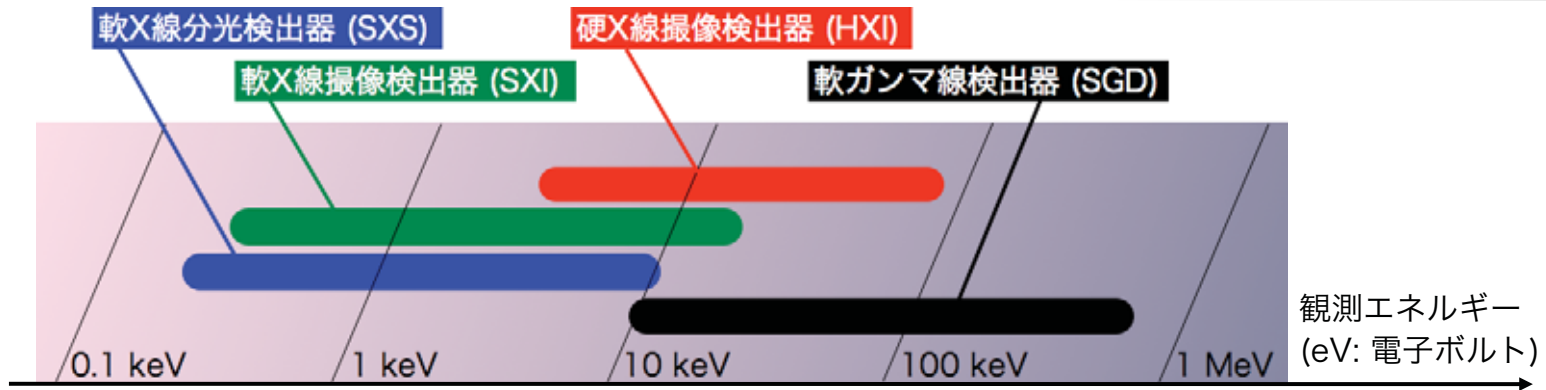
(観測機器の詳細は後述)

(\*) 点源と見なせる天体を観測した場合に達成される検出感度を表す





## 4-2. 世界最先端レベルの搭載観測機器とその独自性



### 硬X線撮像システム



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



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



**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



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。

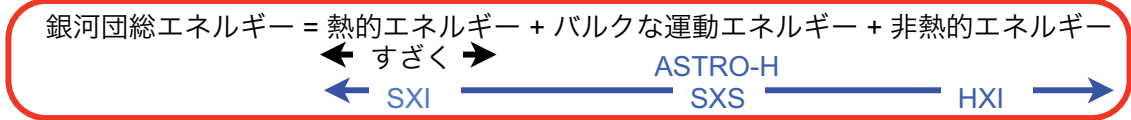


# 4-3. 目標から観測機器基本要求の導出

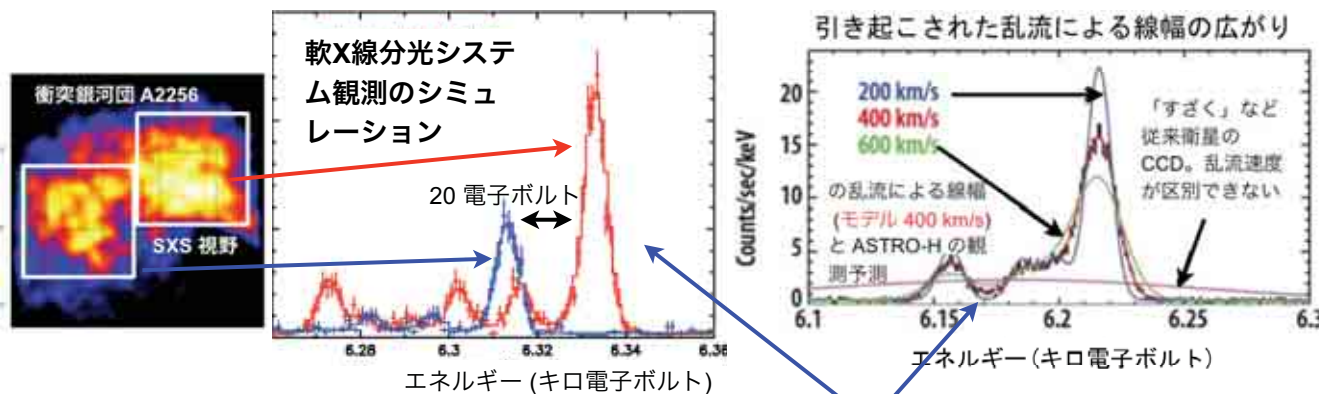
1) **[銀河団の成長の直接観測]** 10個程度の代表的な銀河団において、熱エネルギーを測定し、鉄輝線のエネルギー領域(6キロ電子ボルト)で300km/sの速度分解能の分光性能を実現し、銀河団物質の運動エネルギーを測定する。硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(\*)で分光観測することで非熱的エネルギーを測定する。

5) **[ダークマターと暗黒エネルギーが宇宙の構造形成に果たした役割の探求]** 目標1)を達成した後、さらに10倍程度の天体の観測を行って約80億光年までの宇宙(赤方偏移<1)で銀河団内のダークマターの総質量を測定し、総質量と銀河団数の関係を年代ごとに決定する。(エクストラな目標)

銀河団はダークマターの重力で形成された宇宙最大の天体であり、宇宙の構造形成の理解のために重要な天体である。ダークマターを含む銀河団の総質量(総エネルギー)を、距離(年代)ごとに測ることで、銀河団の成長、ひいては宇宙の構造進化や宇宙を満たす暗黒エネルギーの本質に迫ることができる。その際、従来のX線観測で行われてきた熱的エネルギー(銀河団の平均温度の測定)だけでなく、乱流や衝突などのバルクな運動エネルギー、宇宙線加速に分配された非熱的エネルギーの測定が必要である。



## <軟X線分光システムによる運動エネルギーの観測>



ASTRO-H による超精密精密分光で初めて可能になる観測。  
300 km/s の速度分解能のために鉄輝線のエネルギー領域で 7 電子ボルトの分解能が必要。

## 軟X線分光システム (SXT-S+SXS) への基本

- 基本
- ・ 鉄輝線のエネルギー領域 (6 キロ電子ボルト) で、300 km/s の速度を測定できる感度、7電子ボルトの分光性能を持つ。
  - ・ 10 個以上の銀河団を観測するために、赤方偏移 0.1 の典型的な銀河団の、明るいコア (ビリアル半径\*\*の 1/10 程度) をカバーする視野を持つ。

(\*) 点源と見なせる天体を観測した場合に達成される検出感度を表す

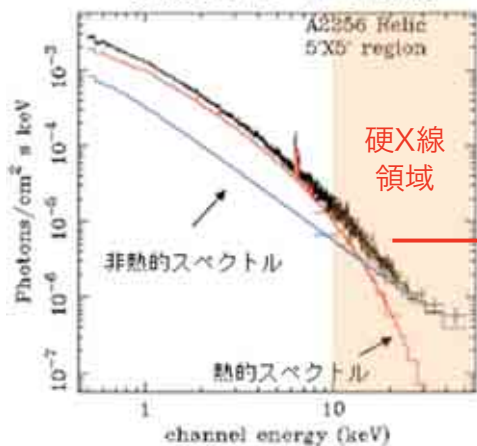
\*\*X線ガスのひろがり



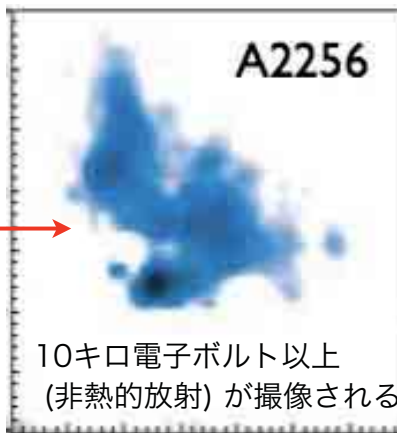
# 4-4. 目標から観測機器基本要求の導出

## <硬X線撮像システムによる非熱的エネルギーの観測>

熱的スペクトルと非熱的スペクトルの分離



ASTRO-H で初めて可能になる、加速された粒子からの硬X線放射のイメージング



### 硬X線撮像システム (HXT+HXI) への基本要件:

- ・ 銀河団の高温プラズマからの熱的スペクトルと加速された粒子からの非熱的スペクトルを分離する、数10キロ電子ボルトまでのエネルギー範囲を持つ。
- ・ 軌道上の宇宙線等による雑音や、視野内に含まれる明るい点源を差し引くための撮像能力を持つ。
- ・ 点源に対し「すざく」の約100倍の感度を持つ。これはかに星雲の10万分の1の強度に相当する。

## <軟X線撮像システムによる熱的エネルギーの観測>

軟X線撮像システム(SXT-I+SXI)の視野と銀河団のサイズ



軟X線分光システムの2倍以上の視野を持ち、視野内の点源を検出する分解能があれば、銀河団以外からの放射の寄与を知り、精度良く銀河団のエネルギーを見積もることができる。

さらに、18分角の視野があれば、18億光年(赤方偏移0.14)以遠の銀河団のサイズ(ビリアル半径\*\*)を一度の観測でカバーし、熱的エネルギーの総量を見積もることができる。左図は仕様値の38分角に対応。

### 軟X線撮像システム (SXT-I+SXI) への基本要件:

- ・ 18分角以上の視野を持つ。
- ・ 視野内および周辺領域に含まれる活動銀河核等の明るい点源の寄与を差し引くための撮像能力と角度分解能を持つ。

(\*\*) X線ガスのひろがり



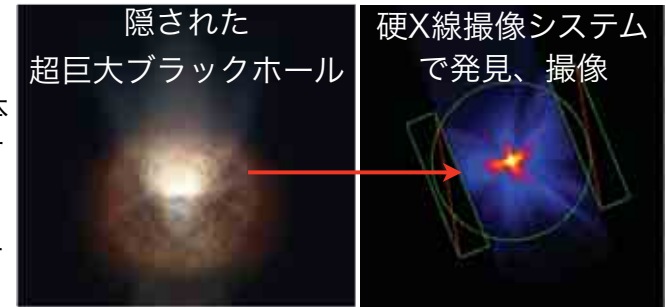


# 4-5. 目標から観測機器基本要求の導出

**2) [巨大ブラックホールの進化とその銀河形成に果たす役割]** 遠方にある10個程度の隠された巨大ブラックホールの候補天体を、硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(\*)で分光観測し、母銀河との関係を明らかにする。

生まれたての銀河の中心には、厚い周辺物質によってほとんどの方向が遮られており、可視光や従来のX線衛星では極めて観測が困難な、超巨大ブラックホールが潜んでいる。

- ・ 透過力の高い硬X線放射 (10 キロ電子ボルト以上) の集光、撮像により、個々の天体の微弱な放射を切り出すことが可能となり、多数の超巨大ブラックホールの発見を可能とする。
- ・ 80億光年(赤方偏移1)という遠方までの隠された超巨大ブラックホールを発見し、その進化から銀河と超巨大ブラックホールの共進化を突き止めるため、X線背景放射の30-50%を点源に分解できる、「すざく」の約100倍の感度(\*)を目標とする。



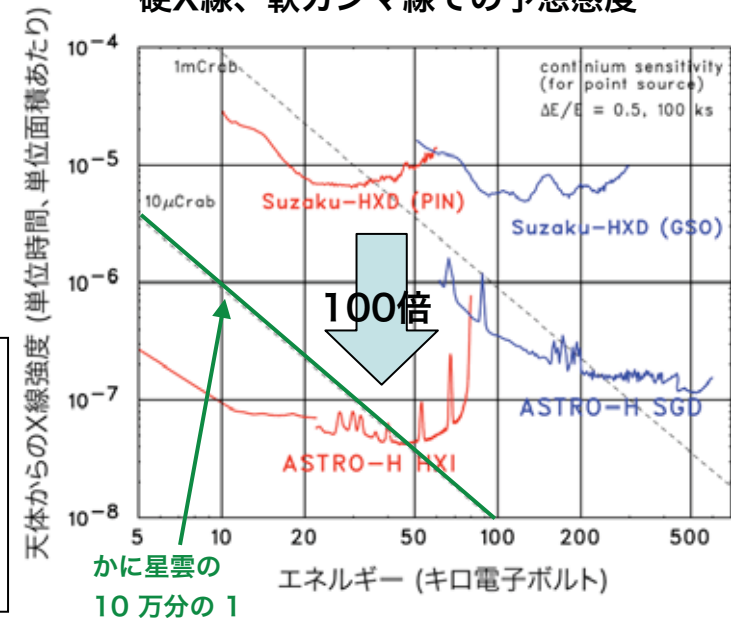
### 硬X線撮像システム (HXT+HXI) への基本要件:

- ・ 10 キロ電子ボルト以上での望遠鏡による集光・撮像を行う。
  - ・ 得られたイメージから領域を選んで放射を切り出す角度分解能を持つ。
  - ・ 「すざく」の約100倍の感度(\*)を持つ。これはかに星雲の10万分の1の強度に相当する。
- ・ 隠された巨大ブラックホールの軟ガンマ線領域 (100 キロ電子ボルト以上) の放射スペクトルは全く謎である。軟ガンマ線検出器は数 100 キロ電子ボルトまで感度を持ち、軟ガンマ線のスペクトルを調べることを初めて可能にする。

### 軟ガンマ線検出器 (SGD) への基本要件:

- ・ 数100 キロ電子ボルトまでエネルギー範囲を持つ。
- ・ 軌道上のガンマ線バックグラウンドを十分に低減し、明るい超巨大ブラックホール候補天体を十分観測可能な感度 (2から10キロ電子ボルトでのX線強度がかに星雲の1000分の1程度で、べき1.7の天体を観測可能な感度) を持つ。

硬X線、軟ガンマ線での予想感度



(\*) 点源と見なせる天体を観測した場合に達成される検出感度を表す



# 4-6. 目標から観測機器基本要求の導出

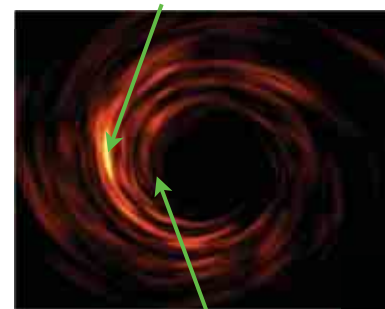


**3) [ブラックホール極近傍での相対論的時空の構造の理解]** 代表的な数個の活動銀河中心の巨大ブラックホールを、数10キロ電子ボルト程度までの範囲で連続スペクトルを取得し、同時に輝線や吸収線を7電子ボルト程度の分解能で分光測定する。

「一般相対性理論」の効果が顕著となる、ブラックホールのごく近傍における相対論的時空の構造を、X線放射のスペクトルを用いた物理量と運動の測定から理解する。

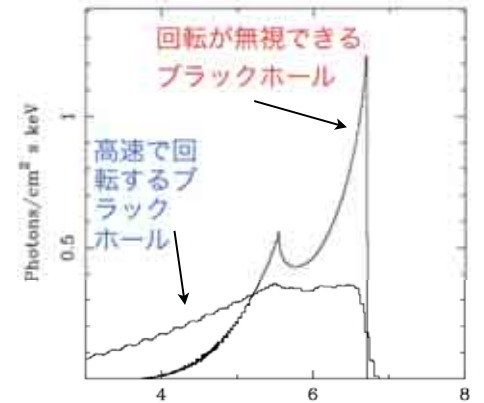
ブラックホールの重力の影響、ブラックホールの回転速度を調べるには、軟X線から硬X線領域まで連続スペクトルの形を決め、広がった輝線の形状を精度良く求める必要がある。

ブラックホールに吸い込まれる寸前の、X線を放射しているガス



ブラックホールの事象の地平線

鉄からの輝線放射(連続成分との差分)。ブラックホールの回転速度を測定するには連続成分の精度良い測定が重要。



エネルギー (キロ電子ボルト)

### 軟X線撮像システム (SXT-I+SXI) への基本要件:

- ・ 正確な広帯域スペクトルを得るため、硬X線撮像システムと重なる12 キロ電子ボルトまでのエネルギーで集光を行う。

### 硬X線撮像システム (HXT+HXI) への基本要件:

- ・ 5から80キロ電子ボルトのエネルギー範囲で、天体からの連続スペクトルの形を正確に決める感度を持つ。(かに星雲の10万分の1の強度の天体が観測できれば十分)
- ・ 放射化バックグラウンドのラインを同定できるエネルギー分解能を持つ。

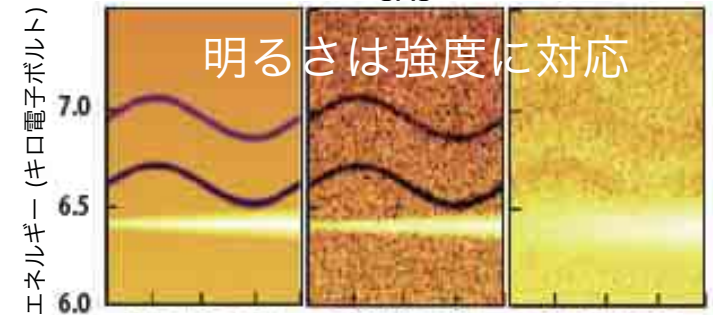
輝線や吸収線の時間変化からは、ブラックホール近傍の重力場における放射源や吸収物質の運動状態を調べることができるが、従来衛星の観測機器は分光性能が不足していた。右図では一例として、吸収線の中心エネルギーが時間とともにサイン関数で変化し、輝線強度と幅が徐々に増加する場合をシミュレーションした。

### 軟X線分光システム (SXT-S+SXS) への基本要件:

- ・ 6キロ電子ボルトで7電子ボルトの分光性能を持つ。

ASTRO-Hの超精密精密分光で初めて可能になる観測。  
鉄輝線のエネルギー領域で7電子ボルトの分解能が必要。

想定されている現象      ASTRO-H SXS      すぐくのX線検出器(CCD)



軟X線スペクトルの時間変化

(\* ) 点源と見なせる天体を観測した場合に達成される検出感度を表す



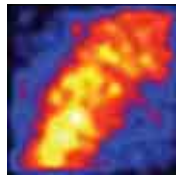


# 4-7. 目標から観測機器基本要求の導出

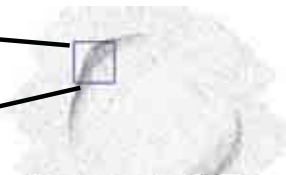


**4) [重力や衝突・爆発のエネルギーが宇宙線を生み出す過程を解明]** 数個の若い超新星残骸を、硬X線帯域で「すざく」の約100倍の感度(\*)で分光観測して硬X線放射を測定し、電子のエネルギー分布を決定する。巨大ブラックホールにおいては、2から10キロ電子ボルトでのX線強度がかに星雲の1000分の1程度で、べき1.7を持つ巨大ブラックホールのスペクトルを、600キロ電子ボルトまでの帯域で観測可能な感度で、10個以上取得する。

超新星残骸や巨大ブラックホールは宇宙線加速の有力な候補であるが、超新星残骸中の最高エネルギー宇宙線からの硬X線は感度が不十分で観測された事がなかった。超新星残骸の硬X線撮像観測により、超新星爆発によって解放されたエネルギーが、どこでどのように宇宙線加速に繋がるかを直接解明することができる。また、巨大ブラックホールからの軟ガンマ線スペクトル中の折れ曲がり(300キロ電子ボルト程度)の有無を調べることで、巨大ブラックホールの放射機構、宇宙線の加速機構を探ることができる。

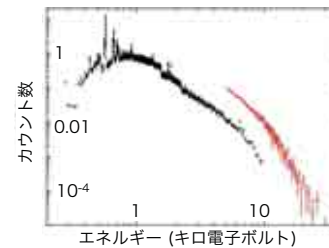


ASTRO-Hの硬X線撮像により、超新星爆発のエネルギーがどこでどのように宇宙線加速に繋がるかを解明できる。

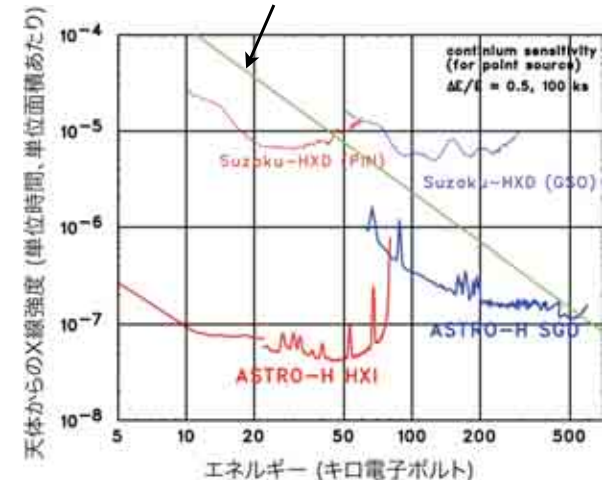


超新星残骸 SN1006の軟X線画像

期待される広帯域スペクトル



2-10 キロ電子ボルトでかに星雲の1000分の1の強度を持つ、べき1.7のスペクトル



**軟X線撮像システム (SXT-I+SXI) への基本要件:**

- ・ 正確な広帯域スペクトルを得るため、硬X線撮像システムと重なる 12 キロ電子ボルトまでのエネルギーで集光を行う。

**硬X線撮像システム (HXT+HXI) への基本要件:**

- ・ 10 キロ電子ボルト以上での望遠鏡による集光、撮像を行う。
- ・ 「すざく」の約100倍の感度(\*)を持つ。かに星雲の 10 万分の 1 の強度に相当する。

**軟ガンマ線検出器 (SGD) への基本要件:**

- ・ 巨大ブラックホールからの軟ガンマ線を観測するため、2から10キロ電子ボルトでのX線強度がかに星雲の1000分の1程度で、べき1.7を持つ巨大ブラックホールのスペクトルを、600 キロ電子ボルトまでの帯域で観測可能な感度を持つ。
- ・ 放射化バックグラウンドのラインを同定できるエネルギー分解能を持つ。

(\*) 点源と見なせる天体を観測した場合に達成される検出感度を表す



## 4-8. 観測機器基本要要求一覧

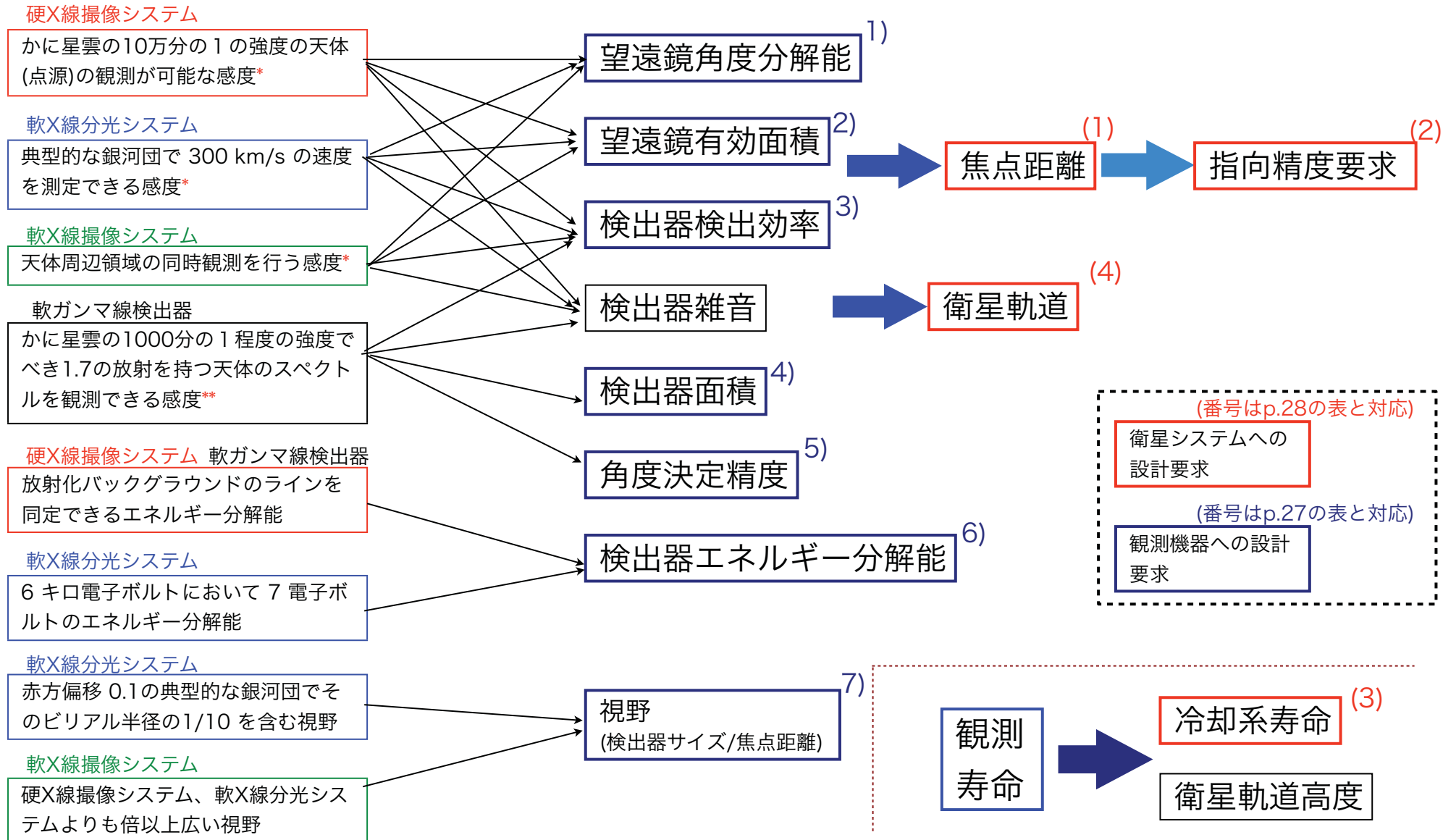


科学目標を達成するために必要な観測機器への基本要要求は以下のようにまとめられる。

	観測機器システム	観測エネルギー範囲	基本要要求
1	硬X線撮像システム (HXT+HXI)	5-80 キロ電子ボルト	数 10 キロ電子ボルトまで集光、撮像能力を持ち、かに星雲の10万分の1の強度の天体(点源)の観測が可能な感度を持つこと。放射化バックグラウンドのラインを同定できるエネルギー分解能を持つこと。
2	軟X線分光システム (SXT-S+SXS)	0.3-10 キロ電子ボルト	6 キロ電子ボルトのエネルギーで 7 電子ボルトの分光性能を持つこと。300 km/s の速度を測定できる感度を持つこと。赤方偏移 0.1の典型的な銀河団で、そのビリアル半径の1/10を含む視野を持つこと。
3	軟X線撮像システム (SXT-I+SXI)	0.5-12 キロ電子ボルト	硬X線撮像システム、軟X線分光システムよりも倍以上広い視野を持つこと。観測天体の周辺領域を同時に観測し、点源を検出する感度、撮像能力、角度分解能を持つこと。
4	軟ガンマ線検出器 (SGD)	10-600 キロ電子ボルト	かに星雲の1000分の1程度の強度で、べき1.7の放射を持つ天体(点源)に対して、スペクトルを600キロ電子ボルトまでの領域で観測できる感度を持つこと。放射化バックグラウンドのラインを同定できるエネルギー分解能を持つこと。



# 4-9. 基本要件から基本設計要求の導出



\* 感度 = (望遠鏡角度分解能x検出器雑音) / (望遠鏡有効面積x検出器検出効率)

\*\* 感度 = (角度決定精度x検出器雑音) / (検出器面積 x 検出器検出効率)



## 4-10. 基本設計要求からの観測機器基本仕様



		基本設計要求	基本仕様	p.26中の番号
1	硬X線撮像システム (HXT+HXI)	観測感度 (望遠鏡角度分解能)	角度分解能 1.7 分角(HPD)以下	1)
		観測感度 (望遠鏡有効面積、検出効率)	有効面積 300 cm <sup>2</sup> 以上(@30キロ電子ボルト)	2), 3)
		バックグラウンドのライン同定	エネルギー分解能 2 キロ電子ボルト以下	6)
2	軟X線分光システム (SXT-S+SXS)	300 km/sの速度分解能	エネルギー分解能 7 電子ボルト以下	6)
		観測感度 (望遠鏡角度分解能)	角度分解能 1.7 分角(HPD)以下	1)
		観測感度 (望遠鏡有効面積、検出効率)	有効面積 210 cm <sup>2</sup> 以上(@6キロ電子ボルト)	2), 3)
		赤方偏移約0.1の典型的な銀河団でそのビリアル半径の1/10を含む視野	視野 3分角以上	7)
3	軟X線撮像システム (SXT-I+SXI)	観測感度 (望遠鏡角度分解能)	角度分解能 1.7 分角(HPD)以下	1)
		観測感度 (望遠鏡有効面積、検出効率)	有効面積 360 cm <sup>2</sup> 以上 (@6キロ電子ボルト)	2), 3)
		軟X線分光システムよりも倍以上広い視野	視野 18 分角以上	7)
4	軟ガンマ線検出器 (SGD)	観測感度 (検出器検出効率)	検出効率 10% 以上 (@100キロ電子ボルト)	3)
		観測感度 (検出器面積)	検出器面積 200 cm <sup>2</sup> 以上	4)
		バックグラウンドのライン同定	エネルギー分解能 2 キロ電子ボルト以下	6)
		観測感度 (点源の分離)	角度決定精度0.6度以下 (@150キロ電子ボルト以下)	5)





## 4-11. 衛星システムへの基本設計要求

ASTRO-H衛星では、プロジェクトの目標を実現するために、搭載観測機器個別に要求される基本仕様の他に、衛星全体に対して以下のような基本設計要求を持つ。

	p.26中の番号	目標を実現するためのシステム要求	基本設計要求
衛星システムへの要求	(1)	検出感度達成のために必要なSXTとHXTの有効面積	軟X線分光システムと軟X線撮像システムは焦点距離約6m、硬X線撮像システムは焦点距離12mを実現する。
	(2)	長い焦点距離に対して必要な高い指向精度	軌道上環境下で高い指向精度を保つための低熱歪み構造、高精度姿勢制御、画像再構成が可能なシステムを実現する。
	(3)	ミッション目標の天体数を観測するために必要な観測機システムの寿命	軌道上での観測寿命3年以上を達成するため、ロバストな冷却系を実現する。
投入軌道及び打ち上げロケット	(4)	宇宙線によるバックグラウンドを低減する	投入軌道として軌道高度は550km、傾斜角31度以下を実現する。
	5	打ち上げコストの最適化	H-IIAロケットによるデュアルローンチが可能なサイズで設計する。



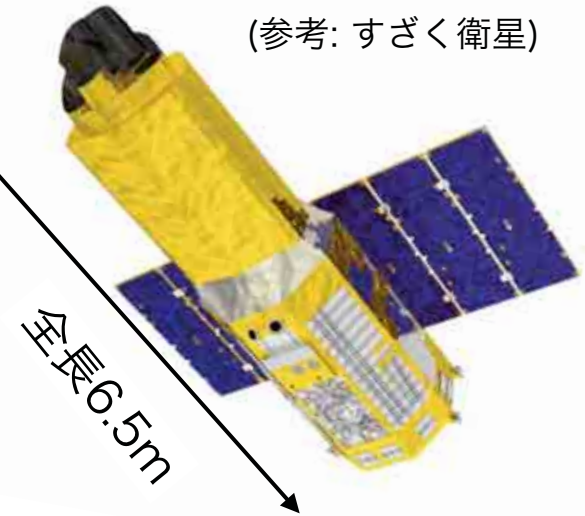
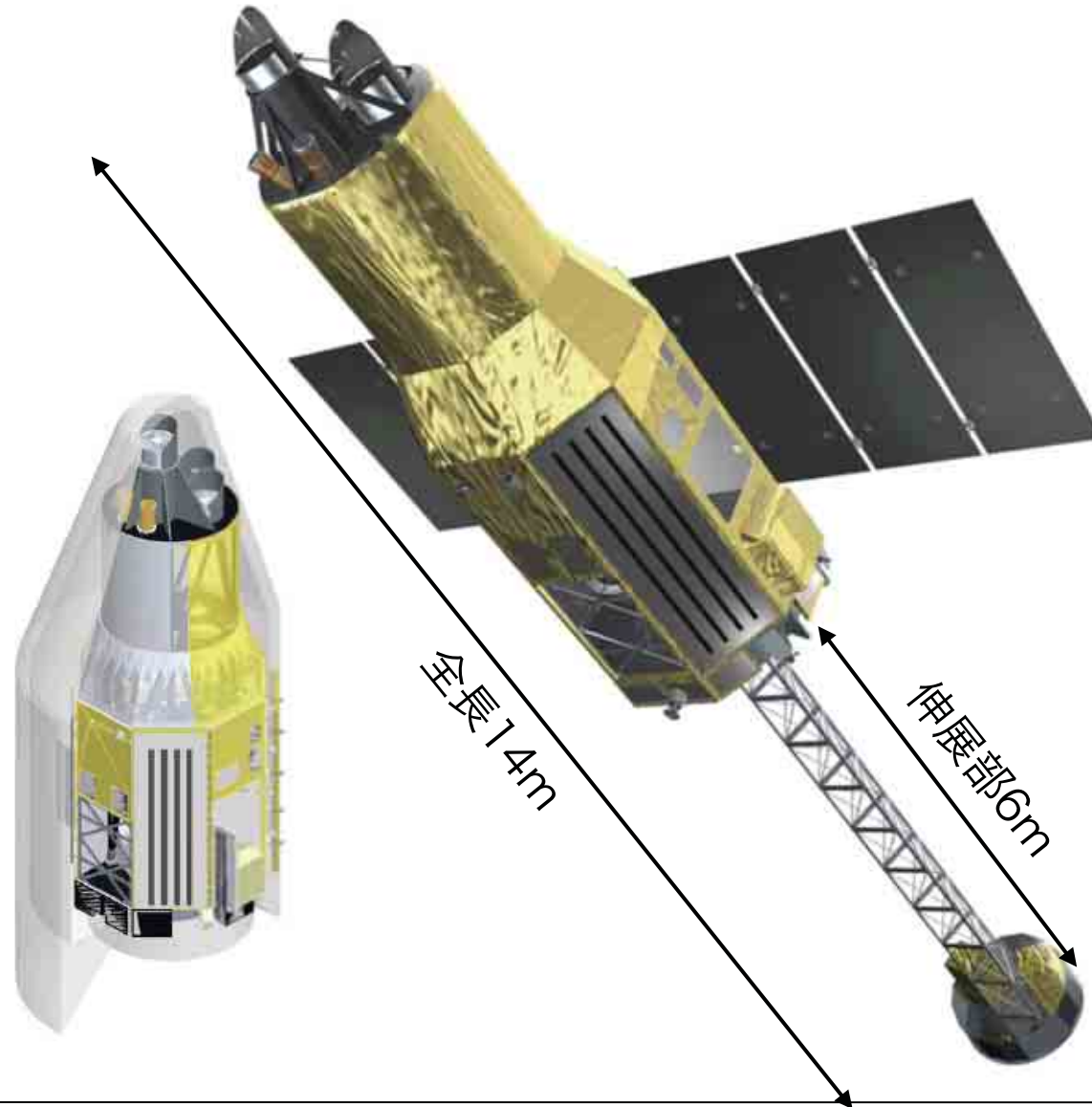
## 4-12. 衛星システムへの基本設計要求に対する選定結果



	基本設計要求	トレードオフスタディ	選定理由と選定結果	新規/ 現存	国産/ 輸入	フロントローディング
1	焦点距離 約6m+12m の実現	望遠鏡と検出器のどちらを伸展式光学ベンチによって伸展させる方式とするかの検討を実施した。	伸展時に要求される精度が緩いこと、衛星の慣性率が相対的に小さく小規模の姿勢制御系で高精度の指向制御が可能なこと、そのためコスト的にも有利なことから、検出器側を伸展させる方式を採用した。	現存	国産	「すざく」で採用した光学ベンチの技術と「はるか」の伸展マストを採用することで現存技術にて実現する。
2	高い指向精度	低熱歪み構造の実現方法(超低熱膨張構造と能動的溫度制御の比較)、星トラッカーの高精度化(海外を含めた既存製品と国内新規開発品の比較)、姿勢系機器配置(星トラッカーとジャイロをサイドパネル、ベースパネル、トッププレートはどこに置くか)、機上アライメント計測方式(光源、センサの方式と配置)について比較検討を行った。	必要とされる衛星リソース(電力、重量等)が少なく、コスト的にも有利なことから、CFRPによる超低熱膨張の光学ベンチを選定した。機上アライメント計測では、シンプルなシステムが可能で、レーザーとコーナーキューブを用いた方式を選定した。内部構造に立ち入って高精度化設計が可能になるため、国内新規開発の次世代星トラッカーを採用し、トッププレート上に配置することとした。	現存	一部 輸入	<ul style="list-style-type: none"> <li>次世代星トラッカーの機械取り付けI/F部などの詳細な検討を行うことで、低熱歪みを実現する設計を固めた。</li> <li>レーザー変位計測システムの概念検討を実施した。</li> </ul>
3	ロバストな冷却系による3年以上の観測寿命	冷媒としての液体ヘリウム/固体ネオンの搭載と、冷媒の寿命を伸ばすための、多段階の機械式冷凍機による冷却方式の様々なコンフィギュレーションを、機械式冷凍機および冷媒システムの単一点故障時にもミッションサクセスを実現させることを条件に検討した。	液体ヘリウムを搭載し、ヘリウム温度以下は「すざく」の実績をもつアメリカの断熱消磁冷凍機を使用、液体ヘリウムの外側を液体ヘリウムに近い温度まで日本の機械式冷凍機(スターリング(ST)、ジュールトムソン(JT))で冷却することにより、寿命の延長を図る。	一部 新規	一部 輸入	「すざく」「あかり」「SMILES」等において機械式冷凍機搭載実績があるが、SPICA、ASTRO-H、IXO等の将来計画を念頭に、さらなる性能と信頼性の向上をすすめてきた。JT冷凍機についてはEMの製作、性能評価試験を行った。



# 4-13. ASTRO-H衛星主要諸元



- 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



# 4-14. 衛星ブロックダイアグラム

