

第 26 号科学衛星(ASTRO-H)  
プロジェクトの事前評価質問に対する回答  
(その 2)

平成 20 年 8 月 26 日  
宇宙航空研究開発機構

評価項目 2(プロジェクトの目標)に関連する質問

2-1	非熱的スペクトル	3 ページ
2-2	プロジェクトの目的と目標について	5 ページ
2-3	検出器の感度についての数値目標	6 ページ
2-4	ミニマムサクセスについて	10 ページ
2-5	タイムスケジュール	12 ページ

評価項目 3(開発方針)に関連する質問

3-1	衛星バス	13 ページ
3-2	次世代衛星の基盤アーキテクチャ	14 ページ

評価項目 4(その他)に関連する質問

4-1	ホイール	16 ページ
4-2	情報セキュリティ	17 ページ
4-3	広報活動について	18 ページ

【本資料の位置付け】

本資料は、平成 20 年 7 月 25 日に開催された第 8 回推進部会および平成 20 年 8 月 7 日に開催された第 9 回推進部会における第 26 号科学衛星(ASTRO-H)プロジェクトの説明に対する構成員からの追加質問に対し、独立行政法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)の回答をまとめたものである。

## 評価項目 2(プロジェクトの目標)に関連する質問

【質問番号 2-1】非熱的スペクトル

【質問内容】

「硬 X 線領域の非熱的スペクトルからは、銀河団内の高いエネルギーの宇宙線に含まれる非熱的エネルギー量を知ることができる」とあるが、この非熱的エネルギーとは何か。

【資料の該当箇所】推進 8-3-2 16 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

熱的スペクトルとは、ある温度をもった物体から放出される電磁波(光)などを指し、そのスペクトルは、分布の「温度」に相当する狭い振動数域に典型的に現れます。たとえば熱的放射の代表である太陽のスペクトル(図 1 のグラフの「星」に相当)は、1014 Hz 近傍のみに現れます。熱的放射には、光と電子が平衡にある黒体放射や、マックスウェル分布をしている電子群からの制動放射、電子とイオンが熱的に電離平衡にある場合の電離イオンからの蛍光輝線放射などが含まれます。

ところが宇宙では、単一温度で表現できない広いエネルギー範囲に分布するものがあります。それらを非熱的粒子、それらのもつエネルギーを非熱的エネルギー、それらの放射を非熱的放射と呼びます。一群の粒子が熱平衡から外れていることにより生じるもので、代表的なものが、なんらかの理由で加速され、その運動エネルギーが 10 桁以上の範囲に分布する宇宙線です。このような非熱的粒子による放射のスペクトルは、熱的な場合と大きく異なります。高いエネルギーに加速され

た電子から期待される電磁放射としては、磁場中で放射するシンクロトロン放射や、それらの電子が宇宙背景放射の光子と衝突し、コンプトン散乱で叩き上げた逆コンプトン放射があります。図1のグラフの「かに星雲」のように、106 から 1026 Hz(電波～ガンマ線)に分布する場合も観測されております。

銀河団は数千万度から 1 億度という高温の熱的粒子で満ちており、軟 X 線領域で特徴的な熱的スペクトルで明るく輝いています。一方で、銀河団には高いエネルギーに加速された非熱的な宇宙線粒子もあると予想されており、それらは非熱的放射を出しているはずで、軟 X 線領域では、非熱的スペクトルは熱的スペクトルに隠されてしまい、観測が難しいですが、硬 X 線領域では熱的放射が急激に暗くなるため、むしろ非熱的放射が勝ってくると予想されます。

ASTRO-H は硬 X 線で高い感度を実現し、この非熱的スペクトルの観測に挑戦します。その結果、放射源となる非熱的粒子のエネルギーと量、すなわち宇宙線の担う非熱的エネルギーの総量わかると、これまで熱エネルギーとして測定されてきた銀河団のエネルギー収支が格段に明らかになると期待されます。

例えば、図 2 中、赤の線は代表的な銀河団で観測された「熱的スペクトル」、青の線は各種の傍証から予測された、宇宙線電子からの「非熱的スペクトル」です。10 キロ電子ボルト以下の領域では、熱的スペクトルに隠されて、非熱的スペクトルの観測は難しいですが、10 キロ電子ボルト以上では、青の「非熱的スペクトル」が主たる放射となる可能性があります。硬 X 線領域での撮像観測がまだ実現していないため、こうした「非熱的スペクトル」の存在は、現在では確定したものとはいえません。

## 【質問番号 2-2】プロジェクトの目的と目標について

### 【質問内容】

プロジェクトの目的 3「ブラックホール極近傍の物質の運動を測定することで重力の歪みを把握し、相対論的時空の構造を明らかにする」という目的設定に対し、プロジェクトの目標は「～測定する」までとされており、ブラックホール重力の効果を明らかにする内容が曖昧であり、目的と目標に略語があるように思われる。フルサクセスで実現が無理であるならば、エクストラサクセスとして記載できないのであろうか。

【資料の該当箇所】 推進 8-3-2 21 ページ

【回答者】 JAXA

### 【回答内容】

ブラックホールの近傍で一般相対性理論の効果を検証することは、X線天文学の長年の課題となっています。これには、元素が発する特性X線のドップラー効果を利用して、ブラックホールの回りを旋回しながら落ちて行く物質の運動を捉えるのが最も有効な方法です。しかし、従来の検出器では X 線エネルギーの分光能力が不足していたため、観測データにある種の解釈を加える必要がありました。解釈が入り込む余地を少なくするためには、よりエネルギー分光能力の高い検出器による観測を是非とも実現する必要があります。

この期待に応えるのが ASTRO-H 衛星です。資料「推進 8-3-2」19 ページの中列下の図に示すように、ASTRO-H 衛星のカリメータ (SXS) を使えば、ブラックホールに落ちて行く物質が発する輝線エネルギーの時間変化の様子を、理論予想との比較に耐える十分な精度で捉えることができます。つまり、目標に掲げた「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」が実現できれば、そのまま「相対論的時空の構造を明らかにする」という目的が達成できることとなります。

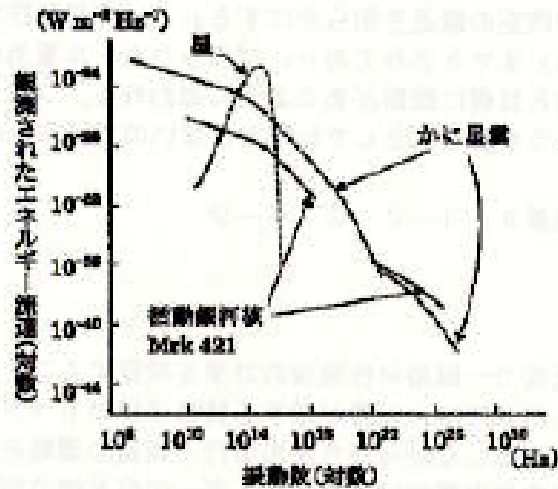


図 1

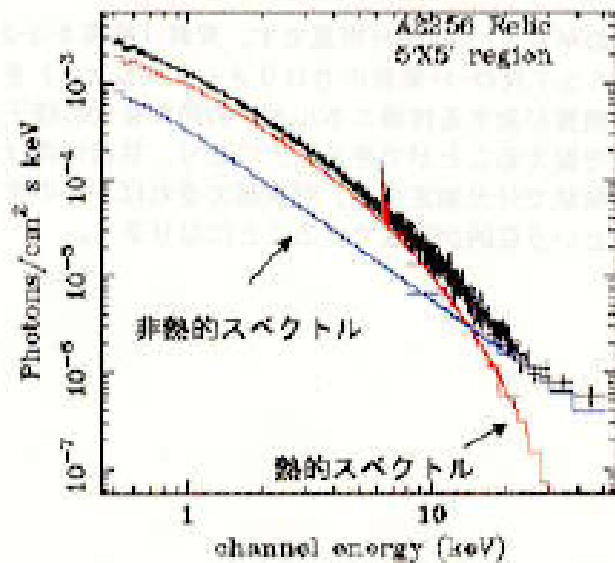


図 2

## 【質問番号 2-3】検出器の感度についての数値目標

### 【質問内容】

目標 4)にある、「かに星雲の 1000 分の 1 程度の強度でべき 1.7 をも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 10 個以上取得する。」はどういう意味を持ち、なぜ宇宙線を生み出す過程を解明することにつながるのか。

【資料の該当箇所】推進 8-3-2 21 ページ

【回答者】JAXA

### 【回答内容】

かに星雲は非常に明るく、また時間変動をしないので「宇宙の灯台」として、複数の X 線衛星がそれを観測し、お互いの観測値が正しいかを確認するために使っています。普通「かに星雲」の強度といったときには、2 から 10 キロ電子ボルトの X 線強度を積分した値を意味し、他の天体はその強度に対して何分の 1 といった説明のしかたをします。巨大ブラックホールは、非常に明るいのですが遠方にあるため、複数の天体を見るためには、かに星雲の 1000 分の 1 程度の強度に対応する感度で観測する必要があります。

非熱的放射では、エネルギーが大きくなるほど単位エネルギーあたりの光子数が少なくなるため（その傾きを対数表示で示したものをべきと呼ぶ）、硬 X 線ではより一層の高感度が求められます。巨大ブラックホールの X 線領域での典型的なべきは、軟 X 線領域では 1.7 であるため、それを延長して予想されるエネルギースペクトルが図 3 のようになります。ASTRO-H では、かに星雲の 1000 分の 1 程度の強度（これは 2 から 10 キロ電子ボルトの軟 X 線領域で定義）で、べき 1.7 をもつ天体のス

ペクトルを、これまで検出が困難だった 600 キロ電子ボルトまでの帯域で観測できる感度を持っています。このような強度の天体は 10 個ほど知られており、ASTRO-H はその全てを観測することを目指します。

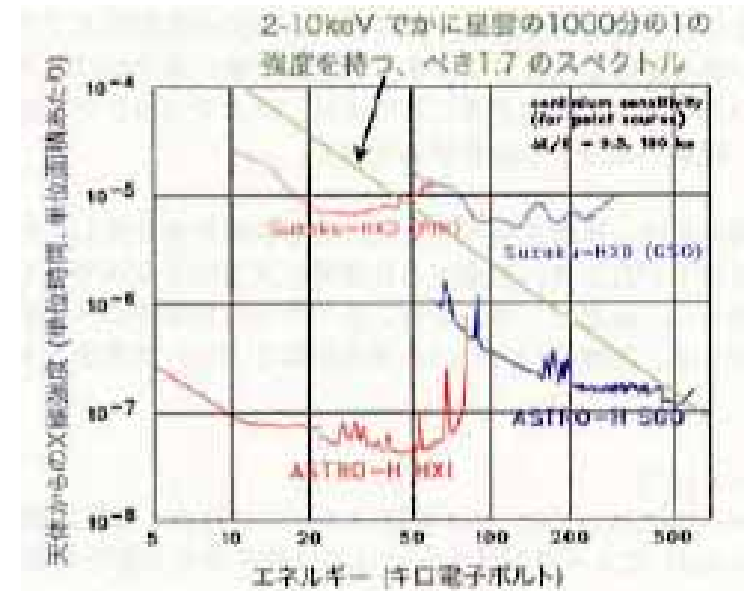


図 3

巨大ブラックホールの放射スペクトルは、軟 X 線領域ではべき 1.7 とわかっていますが、硬 X 線、さらには数 100 キロ電子ボルトまでの軟ガンマ線では検出器の感度が足りず、これまで十分な観測がされていませんでした。この未踏領域での巨大ブラックホール放射は、

1. 10 億度 (100 キロ電子ボルト相当) の温度をもった高温ガスからの熱的放射
2. 相対論的なジェットなどで加速された電子 (非熱的電子) からの非熱的放射のどちらかで生じていると考えられていますが、正確にはわかっていません。ASTRO-H で観測し、300 キロ電子ボルトくらいでスペクトルに折れ曲がりがあれば 1、なければ 2 と結論されます (ブラックホー

ルの種類で結論が異なるかもしれません)。1.の場合、高温ガス中で電子と陽電子が対生成と対消滅を繰り返すという素粒子反応が起きている可能性が高くなります。他方で 2.の場合は、高エネルギーの宇宙線が盛んに生成されている証拠となります。どちらにしても、宇宙物理学としてひじょうに大きな意味をもっています。

このように、硬 X 線から 600 キロ電子ボルトの軟ガンマ線までを観測をすることで、スペクトルの特徴から、X 線がどのような物理機構で放出しているかを知ることが期待できます。さらに、こうした広帯域スペクトルを、10 個程度の天体から取得し、その特徴を系統的に比較することで、巨大ブラックホールにどのような種類があり、その違いがどのように生まれるのかを明らかにできると考えています。

目的である「宇宙線を生み出す過程を解明」との関連ですが、目標の前半に書かれているように超新星残骸の硬 X 線撮像観測を高感度で行うことで、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出来ます。巨大ブラックホールが持つジェットも、宇宙線粒子加速の有力な候補であるため、もしも軟ガンマ線が、放射スペクトルの観測により非熱的放射成分であることがわかれば、ジェットに起因して宇宙線粒子が加速されると解釈されるため、多くの巨大ブラックホールで宇宙線が加速されている可能性が高くなります。

現在では巨大ブラックホールが放出するエネルギーが銀河や銀河団の成長にも影響を与えていると考えられていると同時に、銀河そのものの成長が巨大ブラックホールの成長にも関わりあいがあると考えられています。軟ガンマ線にまでのびるスペクトルを近傍の明るい巨大ブラックホールで観測することにより、巨大ブラックホールの近傍でおこっている高エネルギー現象を理解する必要があります。

なお、この部分には、誤解を招くおそれのある表現がありましたため、定義を明確にする文言に変更させていただき、関連する目標等の文言

にも反映させていただきたいと考えております。さらに、目標 1)、2)、4) のフルサクセス定義中の「感度」に、注釈にて補足させていただきます。御議論いただいた要求性能などに一切変更ありません。

目標 4)

【資料(推進 8-3-2)】

巨大ブラックホールにおいては、かに星雲の 1000 分の 1 程度の強度でべき 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 10 個以上取得する。

【改正案】

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。

目標 1)、2)、4)

【資料(推進 8-3-2)】

「すざく」の 100 倍の感度

【改正案】

「すざく」の約 100 倍の感度(\*)

(\*)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

以下に該当ページの修正案を示します。





## 2-6. 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等級程度の代表的な銀河団において、熱電子エネルギーを測定し、銀河団のエネルギー密度(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、銀河団内の運動エネルギーを測定する。銀河団半径で「大きく」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。
宇宙の複雑な構造の理解	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等級程度の観測された巨大ブラックホールの候補天体々、銀河団半径で「大きく」の約100倍の感度(*)で分光観測し、銀河団との関係を明らかにする。
宇宙の複雑な構造の理解	ブラックホールの周辺領域での相対論的効果の検証の理解	③ 代表的な銀河団の運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エネルギーで連続スペクトルを取得し、同時に観測や吸収線を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構造を生み出す過程を解明	④ 観測の若い銀河団候補を、銀河団半径で「大きく」の約100倍の感度(*)で分光観測して銀河団構造を測定し、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、20から100キロ電子ボルトまでのエネルギーにわたる1000分の1程度で、ペタ1.7を持つ巨大ブラックホールのスペクトルを、数10キロ電子ボルトまでの感度で観測可能な感度で、10倍以上取得する。
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 目標を達成した後、さらに10等級程度の天体の観測を行って約10億年までの宇宙(赤方偏移z)で銀河団内のダークマターの総質量を測定し、総質量と銀河団内の観測可能な質量を比較することによって決定する。(エクストラ目標)

(\*) 感度と見なせる天体を観測した割合に達成される検出感度を表す

2-8. ASTRO-H衛星成功基準  
(サクセスクライテリア)

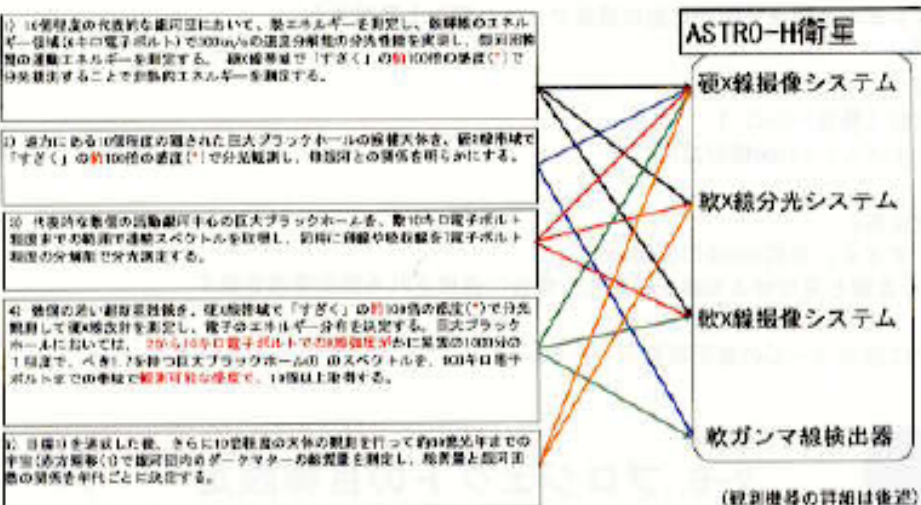
目的	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
観測目標の達成の直接観測	観測目標からの観測線の観測を、数10分分光システムで行う。	① 10等級程度の代表的な銀河団において、熱電子エネルギーを測定し、銀河団のエネルギー密度(キロ電子ボルト)で300km/sの速度分解能の分光性能を実現し、銀河団内の運動エネルギーを測定する。銀河団半径で「大きく」の約100倍の感度(*)で分光観測することで非熱的エネルギーを測定する。	—
巨大ブラックホールの進化とその周辺領域に果たす役割	10キロ電子ボルト程度の感度(100倍)電子ボルトまでの感度(100倍)に相当の10分分光システムで観測可能なブラックホールを数10個観測システムで観測する。	② 遠方にある10等級程度の観測された巨大ブラックホールの候補天体々、銀河団半径で「大きく」の約100倍の感度(*)で分光観測し、銀河団との関係を明らかにする。	予定外の観測目標の達成とされる観測されたブラックホールの観測を全体の約10%まで増加し、銀河団との関係を明らかにする。
ブラックホール周辺領域での相対論的効果の検証の理解	—	③ 代表的な銀河団の運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エネルギーで連続スペクトルを取得し、同時に観測や吸収線を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構造を生み出す過程の解明	—	④ 観測の若い銀河団候補を、銀河団半径で「大きく」の約100倍の感度(*)で分光観測して銀河団構造を測定し、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、20から100キロ電子ボルトまでのエネルギーにわたる1000分の1程度で、ペタ1.7を持つ巨大ブラックホールのスペクトルを、数10キロ電子ボルトまでの感度で観測可能な感度で、10倍以上取得する。	はじめてのシミュレーションの観測結果と、観測結果の比較検証に貢献が期待される。
ダークマター・暗黒エネルギーの探求	—	⑤ 目標を達成した後、さらに10等級程度の天体の観測を行って約10億年までの宇宙(赤方偏移z)で銀河団内のダークマターの総質量を測定し、総質量と銀河団内の観測可能な質量を比較することによって決定する。	—

(\*) 感度と見なせる天体を観測した割合に達成される検出感度を表す

(\*\*) 遠い距離の天体による観測が期待された感度



## 2-7. 目標の具現化



(\*) 感度と見なせる天体を観測した割合に達成される検出感度を表す

【質問番号 2-4】ミニマムサクセスについて

【質問内容】

ミニマムサクセスとして、「鉄輝線の観測を軟 X 線分光システムで行う事」等はサクセスクライテリアとしては低すぎるのではないか。

【資料の該当部分】推進 8-3-2 23 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

軟 X 線分光システムによる銀河団の観測は、撮像分光観測としてはこれまでの 10 倍以上のエネルギー分解能を実現しています。

エネルギー分解能の 10 倍以上の向上は全く新しい観測手段の提供とあってよく、鉄輝線の観測を代表とする X 線を発している高温プラズマのイオン化状態の直接計測、運動速度等の新たな物理状態の観測を可能にし、宇宙の大規模構造を形作る銀河団の進化の解明に繋がるものと期待しています。

そしてこれは「すざく」のマイクロカロリメータに期待されていた新たな観測手段であり、この復活が我々の責務であるとの認識から、ミニマムサクセスとして挙げています。サクセスクライテリアには代表的な観測内容として「鉄輝線の観測」を記述しております。

新たな観測手段により、現在我々が予想していないような現象の発見に繋がることも大きな期待であります。運動エネルギーの測定は、確実に行なうことが期待されるサイエンスで、適切な観測時間をかけることで可能であると予想されるためフルサクセスとしています。

同様に硬 X 線撮像システムは、これまで硬 X 線領域で実現されたことのない、「望遠鏡」による集光撮像観測を実現するものです。全天に広

がって分布している X 線背景放射から、個々の天体を切り出すことを可能とし、焦点におかれた小さな検出器に硬 X 線を集光する技術は、巨大ブラックホールの硬 X 線領域での検出感度を一気に向上させるブレークスルーとなります。

ここでミニマムサクセスとして設定した、「100 キロ秒(注)の観測でかに星雲の 10 万分の 1 の強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。」は、「すざくの 100 倍の感度で観測する」と、おおそは同じですが、完全には一致しません。なぜならば、かに星雲のスペクトルは単純なべき関数で表現できますが、検出器の感度はもっと複雑な形状になるからです。従って、両者を比べると特に 50 キロ電子ボルト以下のエネルギー帯域では「すざくの 100 倍の感度」の方がより高い感度(つまり、より困難な目標)となるため、ミニマムでは前者を、フルサクセスでの記述には後者を用いています。これは例えば、天空の様々な場所を十ヶ所探してようやく一個の天体が見つけれられるような状況であったものが、一カ所の観測で視野中に十個もの天体が観測されるようなものです。資料(推進 8-3-2)に注釈にて補足させていただきま。 (修正ページは質問番号 2-3 をご覧ください。)これによって、これまで知られていなかった隠れたブラックホールがどのくらい存在しているか、それはどのような銀河の中心にあるか、近傍と遠方(過去)では、こうした量に違いがあるかなどがわかるようになります。

このように、「100 キロ秒の観測でかに星雲の 10 万分の 1 の強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。」というのは、新たな観測手段の開拓とそれによる新しい科学の道を開く、という観点からミニマムサクセスとしていただき、系統だった観測については、適切な観測時間をかけることで可能であることからフルサクセスとさせていただきます。

(注)100 キロ秒(約 28 時間)は ASTRO-H で想定される典型的な観測時間

## 【質問番号 2-5】タイムスケジュール

### 【質問内容】

設定された目標を具現化するためのタイムスケジュールの具体的な内容の記載が見受けられない(資料 推進 8-3-2 の 41 ページの計画表への詳細な記載を望む)。

### 【資料の該当部分】

### 【回答者】JAXA

### 【回答内容】

最初に、ASTRO-H 打上げ後に想定されている、運用および観測形態の変化について、次に成功基準との関係についてご説明いたします。

運用および観測形態の変化についてですが、ASTRO-H 打上げ後概ね一ヶ月の期間は、初期運用期間として、定常運用に向けた準備作業を行います。それに続けて約 1 年の試験観測期間に入り、ASTRO-H のサイエンスワーキンググループ主導で、観測計画の立案からデータ解析、結果の発表までを行います。打ち上げから約 1 年を過ぎると公募観測期間に入り、観測提案の審査に基づき、全世界の研究者が対等な立場で ASTRO-H を利用する公募観測期間に移ります。公募観測期間に入ると、ASTRO-H チームでも、ASTRO-H を自由に使うことはできなくなります。

成功基準との関係については、ASTRO-H の目標のうち、ミニマムサクセスは観測機器が正常に動作すれば達成可能なので、試験観測期

間のうちの早い時期、例えば最初の 3 ヶ月のうちに達成可能と考えられます。フルサクセスについては、観測機器が所定の性能を発揮した上に、様々な種類の天体を数十天体観測する必要があります。その達成には、1 年間の試験観測期間終了までかかるものと考えられます。エクストラサクセスについては、公募観測期間も含めて考える必要があります。ただ、公募観測期間中の観測については、すべて観測提案の審査により決定されるため、どれだけの期間でフルサクセスに必要な観測が実行できるか、予想し難いものがあります。ASTRO-H チームが積極的に観測提案を行うことで、概ね 3 年間の目標寿命中に達成可能なものと想定しています。



### 評価項目3(開発方針)に関連する質問

#### 【質問番号 3-1】衛星バス

##### 【質問内容】

衛星の名前だけでは衛星バスの系列がどのような流れになっているのか理解出来ません。衛星の打ち上げ時期、ミッション、主要諸元等と、それらの衛星バスとの関連性(類似性と特殊性)を示した資料は無いでしょうか？

【資料の該当部分】推進9-1 8ページ

【回答者】JAXA

##### 【回答内容】

現在運用中の科学衛星とASTRO-Hについて、打ち上げ時期、ミッション内容、主なサブシステムの仕様の概要を別紙にまとめてありますのでご覧ください。

また共通的な部分と先行バスから変更された部分、またその理由についても記述しております。

このように、「すざく」に始まり、「あかり」、「ひので」と継承されることで発展して来たASTROバスは、多様な天文衛星の要求に応え得る柔軟性の高いバスとなっています。このASTROバスの導入と発展により、(1)開発および搭載実績に基づく信頼性向上、(2)新規開発コストの削減、(3)インタフェースの統一による試験期間の短縮、などの効果が上がっています。

#### 【質問番号 3-2】次世代衛星の基盤アーキテクチャ

##### 【質問内容】

技術的意義のところで期待される次世代衛星の基盤アーキテクチャについて、より詳細に説明してほしい。また、その世界的な位置付けについても示してほしい。

【資料の該当部分】推進8-3-2 13ページ

【回答者】JAXA

##### 【回答内容】

(1)モジュール化、スペースワイヤ、コンピュータ

衛星各機器を機能的に独立なコンポーネント(モジュール)に分解し、モジュール間の接続やお互いのアクセスの仕方を標準化することによって、システムの設計や開発を同時並行的に行うことができるようになるばかりではなく、コンポーネント間で知識や経験の共有が促進されます。このようなモジュール化の概念は、産業の様々な場面で新たな指導原理として注目されており、科学衛星においても、こうした考えを積極的に導入することによって高い信頼性をもち、試験の容易な衛星のアーキテクチャを確立することが大切だと考えております。スペースワイヤは、このような背景で生まれてきたシリアル通信の標準インターフェース規格で、データをネットワークを通じてアクセスする際に必要となる電氣的な信号ばかりではなく、コネクタ、ケーブルからプロトコルまでを規定するものです。これをうまく使うことによって、衛星全体を統合するデータ処理コンピュータ(DHU:Data Handling unit)やミッション機器それぞれのデータ収集コンピュータばかりではなく、センサーやアクチュエータなどもネットワークの中に統合させることが可能となります。

JAXA 宇宙科学研究本部は、ESA、NASA のメンバーと共にスペースワイヤ標準およびそれを衛星内で用いるときのハードウェア標準、リアルタイム応用を視野にいれたプロトコルの設定など、国際委員会メンバーとして関わってきました。現在でも、様々な応用事例に適した形でスペースワイヤ標準を発展させる作業が委員会で行われおり、積極的に参加しております。このように、スペースワイヤ技術は次世代衛星の基幹技術として、それをサポートする高速 CPU などとともに、各宇宙機関で積極的に開発が進んでおり、我が国も国産の技術として確保することが必要です。私どもは日本スペースワイヤユーザー会を組織して情報の共有や開発、さらには日本発の提案を行っていくための議論を行っております。それとともに、JAXA の衛星新コンセプトプロジェクトを通じて、日本独自の設計によるプロトコルチップ、ネットワークの中継を行うための高速ルーター、新たに考案した標準アーキテクチャに基づく宇宙用コンピュータ「スペースキューブ 2」などの開発を行ってきました。ASTRO-H ではこうして積み重ねてきた技術が展開されます。

科学衛星の場合、センサー機器からバス機器までを研究者が関わる場合が多く、衛星バスからセンサーにいたるまでを視野にいれたアーキテクチャを自ら考案するとともに、様々なセンサー試験に実際に適用、試作を行っているという点で ESA や NASA のアプローチと異なります。こうした活動を通じて、すでに多くの製品が作られており各大学でのセンサー試験に用いられております。また、アーキテクチャ設計の際に、組み込みのためのオペレーティングシステムなどのソフトウェアとの親和性、さらに衛星そのものを抽象的な言語で記述するような試みとも連携して研究開発がすすめられており、成果を国際的に発信しております。そのため、この 11 月には第 2 回スペースワイヤ国際会議が日本にて開催されることとなっています。

## (2) 冷凍機

宇宙用冷凍機システムは、「すざく」「あかり」「かぐや」などを通じ、今や、世界的に見て、最も優れた技術と実績を持ちます。ASTRO-H では、寒剤としての液体ヘリウムの使用、スターリング冷凍機、ジュールトムソン冷凍機、断熱消磁冷凍機の 4 種を用います。液体ヘリウムは、1980 年代の無重力化での相分離の実証を経て、IRTS(宇宙赤外線望遠鏡)、「すざく(ASTRO-E2)」、「あかり(ASTRO-F)」と開発を続けてきました。ASTRO-H では、機械式冷凍機を用いる事で、さらに世界でも最も寒剤の蒸発率の小さいシステム(すなわち長寿命のシステム)を目指しています。スターリング、ジュールトムソンという機械式冷凍機は、宇宙科学研究本部一研究開発本部が協力して開発を進めており、「あかり」、「すざく」でスターリング冷凍機を使用、JEM/SMILES ではジュールトムソン冷凍機を使用予定です。これらの冷凍機は、世界的にみても最も冷凍能力の高い宇宙用冷凍機であり、機械式冷凍機で絶対温度 2 K 以下を達成しているのは、日本だけです。そのため、将来ミッションでの鍵となる技術として、今後も戦略的に開発を進める予定です。また最終段に設置される断熱消磁冷凍機に関しては、アメリカと共同で開発を行っており、「すざく」では軌道上で 60 mK という最も低い温度を達成し、ASTRO-H ではさらに 50 mK という温度を目指しています。

## (3) LSI

センサーからの微小なアナログ信号を処理する電子回路を LSI 化すると、サイズが小さくなるばかりではなく、ケーブル等のひきまわしがなくなる事による低雑音化、低消費電力化を達成することができます。数 10、数 100 チャンネルにおよぶセンサーからの信号処理を数個の LSI チップで実現できると、コンポーネントの数も減少させることができるため、低コスト化や試験の簡略化が実現できます。特に、LSI 中でデジタル変換まで施すことができると低雑音化ばかりではなく、センサーシステムの簡略化が促進され、(1) のモジュール化にも資することとなりま

す。

宇宙科学研究本部や大阪大学では、ASTRO-H に搭載される硬 X 線撮像検出器(HXI)、軟ガンマ線検出器(SGD)、軟 X 線撮像検出器(SXI)の各機器に向けて LSI が開発されてきました。これまでに Si 両面ストリップ検出器、CdTe ピクセル検出器、CdTe 両面ストリップ検出器、X 線 CCD に用いる低雑音多チャンネルアナログ LSI が完成しており、並列動作のアナログデジタル変換器(ADC)が組み込まれたものです。これらの性能は世界的にみても、極めて優れたものであるため、IEEE などの国際学会、学術論文などで発表すると同時に、異分野への展開や、産業応用がはかられつつあります。

## 評価項目 4(その他)に関連する質問

【質問番号 4-1】ホイール

【質問内容】

ホイールを Honeywe 目製から MPC 製に変更するとありますが、この MPC とは三菱プレジジョンの意味ですか？ その場合、ホイールはかなり長い間重要アイテムとして国内開発が続けられていたと理解していますが、開発が完了したということですか？ 実寿命試験を含む QT、軌道上実証等はどのようになっていますか？

【資料の該当部分】推進 9-11 15 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

御指摘の通り、MPC とは三菱プレジジョンのことです。

三菱プレジジョンでは、type-M と呼ばれる最大蓄積角運動量 40 Nms のホイールの開発を終えており、認定試験も平成 18 年度に終了しています。認定試験は、QT レベルでの振動衝撃試験、熱真空試験を含んでおり、また、寿命試験については、平成 19 年 12 月から開始しており、現在も問題なく継続中です。軌道上実証については、温室効果ガス観測技術衛星「GOSAT」に搭載されており、現在打上げを待っているところです。

一方、Astro-H に搭載を予定しているのは、type-L と呼ばれる最大蓄積角運動量 80 Nms のホイールです。これは、基本設計は type-M と同じものの、フライホイール部の慣性モーメントを大きくし、最大蓄積角運動量を 2 倍に増やしたホイールです。この type-L のホイールについても QT レベルでの認定試験は終了しています。ただし、現在採用を予定しているプロジェクトは Astro-H 以外にはなく、Astro-H が最初の搭載となる可能性が高いと言えます。

## 【質問番号 4-2】情報セキュリティ

### 【質問内容】

科学ミッションの場合、国際協力は極めて重要ですが、最近では情報 Security も重要な課題となっています。科学上のデータは別として、センサ等には先進的で重要な技術情報も含まれると思いますが、情報 Security に関する問題はどのように取り扱われるのでしょうか？ 我が国の技術情報流出、外国から供給されるハードウェアに関する情報開示等に関する問題、或いはその解決法はどのようになっていますか？

### 【資料の該当部分】

### 【回答者】JAXA

### 【回答内容】

- 1) 「情報セキュリティに関する問題の取り扱い」に関するご質問ですが、情報セキュリティ管理についてはJAXAの「セキュリティ規程」またはその関連文書である「情報セキュリティ規程」等に基づき行われています。(この規程では JAXA の保有する情報を重要度等に基づき区分し、それぞれの区分に応じた情報の取り扱い方法(管理・保管する場所、持ち出し方法等)が規定されています。)
- 2) 「技術情報流出や外国から供給されるハードウェア情報の開示」に関するご質問ですが、まず、わが国から技術情報を提供する相手としては、NASA および米国の大学が予定されています。このうち米国の大学については NASA が窓口となってとりまとめることになっているため、こちらから提供される情報は NASA-JAXA 間で締結される協定等に従って取り扱われます。X 線天文衛星「すざく」の例では、JAXA が開示制限をかけた技術情報を NASA が開示しようとする場合、JAXA の書面での事前承認を得ることが決められています。

また、外国(米国)から供給されるハードウェアについて、情報を入手するための諸手続き(Export License 等)に時間がかかり、開発スケジュールに影響が出るなどの問題が生じていました。このため、必要な技術の洗い出しを早期に行い、技術情報入手のための諸手続きを時間に余裕を持って進めるように計画することで、必要な情報をタイムリーに入手します。

## 【質問番号 4-3】広報活動について

### 【質問内容】

開発体制(全体)には本プロジェクトの開発に直接関係したコミュニティの結びつきが示されている。この中に、開発と直接に関係しないコミュニティまで記載する必要が無いことは理解できるが、我が国が誇る宇宙科学研究分野への取り組みとして、一般社会へのそれなりの開発進行状況を広報する活動があっても良いのではないだろうかと思われる。一般の人々にとって日本が宇宙科学のこの分野で国際的にも期待された存在であることを機会あるごとに広報することも必要であり、本プロジェクトを今後進める上で、その社会的意義を広く共有できる社会環境作りにも留意してほしい。

### 【資料の該当部分】

### 【回答者】JAXA

### 【回答内容】

宇宙科学研究本部 ASTRO-H プロジェクトチームは、以前より広報活

動の重要性を認識しており、ASTRO-H 以前から、X 線天文衛星で得られた最新の成果を一般に公開して来ました。具体的な広報活動の実績は以下の通りです。

- (1) 文部省・宇宙科学研究所時代から績く一般向けの講演会「宇宙学校」に講師を派遣しています。また小中学校などから依頼に応じて、随時、講師を派遣しています。また対外協力室での講演(年 40 回程度)に際しても、得られた成果について数多く取り上げています。同じく ISAS ニュース、ISAS メールマガジン(読者数 5 千人強)でも成果報告を行っており、毎年約 1 万人の方々を訪れる一般公開におきましても来場者の方々と身近に接しながら観測成果についての説明や衛星技術の体験イベントなどを行っています。
- (2) 衛星の製作や、打ち上げ、搭載カメラからの映像をインターネットで公開し、最先端の科学技術を駆使した衛星の制作現場に触れる場を提供しています。これにより衛星そのものを身近に感じ、衛星誕生の段階から応援していただけるよう配慮しています。  
(<http://isas.tv/>)
- (3) 学校教材を意識して制作している ISAS ビデオライブラリ『宇宙へ飛び出せシリーズ』第 4 巻「ブラックホールを探る」で、「あすか」を初めとする日本の X 線天文衛星、気球、ロケットによるブラックホール研究の成果を紹介しています。第 13 巻「星の一生と物質循環」では、現在活躍中の「すざく」の最新成果を紹介する予定です(本年度中に刊行)。
- (4) 観測により、優れた科学成果が得られた場合には、速やかにこれをウェブ上に掲載するようにしています。は成果の「すざく」  
<http://www.astro.isas.jaxa.jp/suzaku/flash/>  
に挙げられていて、ほぼ毎月のペースで最新の成果を掲載しています。このうち、特に科学的インパクトの大きいものについては記者発表を行い(概ね半年から 1 年に 1 回程度)、TV、ラジオなど、さま

ざまなメディアで取り上げられています。

- (5) 新聞、雑誌などの取材には積極的に応じるようにしています。2007 年 6 月号の「ニュートン」、2007 年 12 月号の「ナショナルジオグラフィック日本版」に「すざく」の記事が掲載されました。

高度情報化社会を迎え、ASTRO-H プロジェクトチームでは、このような広報活動はますます重要になって行くと認識しています。宇宙科学研究本部、JAXA 広報と協力し、人的、資金的支援を仰ぎながら、新たな取り組みとして、衛星開発状況を節目ごとにインターネット上に公開する、過去のビデオライブラリーをインターネットでストリーミング配信するなど、広報活動をさらに充実させて行きたいと考えています。



すざく

X線観測



2005年7月打上

重量: 1700 kg

形状: 1.9x2.0x6.5 m

軌道: 近地球略円軌道

X線天体の広帯域観測

- 電源系: 50V非安定分散電源システム
- 通信系: CCSDS対応高速X帯ダウンリンク (4Mbps)
- 姿勢系: 高精度姿勢決定システム(慣性空間固定)
- データ処理系: 天文衛星間でコンポーネントの一部共通化

**ASTRO-Eと  
ほぼ同一設計**

あかり

赤外線観測



2006年2月打上

重量: 952 kg

形状: 1.9x1.9x3.7 m

軌道: 太陽同期軌道

赤外線での全天サーベイ

- 電源系: 50V非安定分散電源システム
- 通信系: CCSDS対応高速X帯ダウンリンク (4Mbps)
- 姿勢系: 高精度姿勢決定システム(反地球指向)
- データ処理系: 天文衛星間でコンポーネントの一部共通化

吹き出しは  
先行バスからの変更理由

ひので

太陽観測



2006年9月打上

重量: 880 kg

形状: 1.6x1.6x4 m

軌道: 太陽同期軌道

太陽磁気活動の精密観測

- 電源系: 50V非安定分散電源システム
- 通信系: CCSDS対応高速X帯ダウンリンク (4Mbps)
- 姿勢系: 高精度姿勢決定システム(太陽指向)
- データ処理系: 天文衛星間でコンポーネントの一部共通化

信頼性向上  
試験の簡素化  
コスト削減

ASTRO-H

X線観測



2013年打上希望

重量: 2400 kg

形状: 3.0x3.0x13.8 m

軌道: 近地球略円軌道

X線天体の撮像分光観測

- 電源系: 50V非安定分散電源システム
- 通信系: CCSDS対応高速X帯ダウンリンク (8Mbps)
- 姿勢系: 高精度姿勢決定システム(慣性空間固定)
- データ処理系: 国際標準規格(スペースワイヤ)の全面的採用、小型/中型科学衛星間の共通化のための標準計算機採用

データ量  
増大に  
対応