

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

平成 20 年 8 月 7 日
宇宙航空研究開発機構

評価項目 1 (プロジェクトの目的 (プロジェクトの意義の確認)) に関連する質問

1-1	80 億光年程度までの宇宙	3 ページ
1-2	Xeus	4 ページ
1-3	ASTRO-G との関連について	5 ページ

評価項目 3 (開発方針) に関連する質問

3-1	開発方針 (1) の第 2 項に関して	6 ページ
3-2	衛星バス	8 ページ
3-3	科学衛星ミッションの Lesson-Learned	9 ページ

評価項目 4 (その他) に関連する質問

4-1	ASTRO-H に対する世界の期待	10 ページ
4-2	冷却系について	12 ページ
4-3	「すざく」の不具合	15 ページ
4-4	「すざく」のトラブルの影響	16 ページ
4-5	冗長系について	19 ページ
4-6	開発計画	20 ページ
4-7	海外機関との協力	21 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 1(プロジェクトの目的(プロジェクトの意義の確認))に関連する質問

【質問番号 1-1】80 億光年程度までの宇宙

【質問内容】

14 頁に「・・・80 億光年程度までの宇宙を探る。」とあります。80 億光年という数字はこの資料の中で特に説明されていないように見受けられます。何で決まるのか、ここまで見えることの意義、これまではどうだったのか、等をご説明下さい。

【資料の該当箇所】推進 8-3-2 14 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

80 億光年彼方の宇宙というのは、宇宙膨張に伴う光子の波長の変化、いわゆる「赤方偏移(z)」が 1 となる頃(80 億年前)を大まかに指しております。この時代は、宇宙の大きさが現在の半分程度になり、時間にしても 137 億年の宇宙年齢の半分以上をすぎ、我々の太陽のような見慣れた星々、中心に巨大ブラックホールをもつ銀河、銀河団のような大きな構造、という現在の宇宙の構成天体がほぼ出そろってきた頃であります。すなわち、均一な初期宇宙から現在のよう多様な構造や活動性を持つ宇宙へのターニングポイントであり、宇宙の進化を研究する上では、一つの目標となる時代です。例えば銀河団の光度関数・質量関数は 33 億年前($z=0.3$)まではよく調べられておりますが、現在($z=0$)と余り違いが見られていません。そこで $z=1$ から 0.3 での進化が宇宙膨張と物質の重力収縮のバランスを知る上で重要な時代と

考えられております。また硬 X 線背景放射の半分程度は、80 億年前($z=1$)までの天体の寄与であると予想されておりますが、この検証は巨大ブラックホールの成長史の鍵となります。

ASTRO-H は超高精度の X 線分光と広い波長域を特徴としており、はじめて X 線でこの重要な時期までを「運動の直接測定」や「望遠鏡を用いた集光撮像観測による硬 X 線領域の高感度観測」といった、本来、必要であるのに、これまでは実現していなかった手段を用いて観測する事を可能とする宇宙天文台です。

【質問番号 1-2】Xeus

【質問内容】

ASTRO-H の研究成果がその後の究極の大ミッション「Xeus」にどのように反映されていくのか。また、「Xeus」との関係性はどうか。「Xeus」とはどのようなミッションとなるのかも加えてください。

【資料の該当箇所】推進 8-3-2 57 ページ

【回答者】JAXA

【回答内容】

ASTRO-H は、マイクロカロリメータによる超高精度分光と硬 X 線撮像観測によって 80 億光年程度(赤方偏移にして 1 程度)までの銀河団や、隠された巨大ブラックホールを、深く、広い波長帯域で観測を行います。運動の直接測定や、今までには感度が足りなくて観測できなかった巨大ブラックホールなどの観測に加えて、我々の銀河系内では超新星残骸の硬 X 線イメージをはじめ捉えることが可能となります。こうした観測能力をもった ASTRO-H は次に続く大型国際 X 線天文衛星のパスファインダーとして各国の研究者から強く期待されています(質問番号 4-1 の回答もご覧ください)

ヨーロッパと日本が共同提案をしている XEUS 計画、アメリカの Constellation-X 計画などのミッションは、2 秒から 5 秒角という高いイメージング能力と、数平方メートルという巨大な有効面積を(過去最大であった XMM ニュートンの数十倍)を併せ持つ事をめざしています。これらが実現すれば、120 億光年以上にある最初のブラックホールや、100 億光年先の銀河団ですら分光観測可能となると予想されます。

近年の宇宙論の急激な発展は、次世代宇宙 X 線望遠鏡の議論をさらに魅力的にしています。日本は X 線天文学の初期から高い技術力を確立し、独自のアプローチでこの分野を切り開いてきました。大型ミッションばかりではなく、小型を含めた将来ミッションのほとんどにおいて ASTRO-H 衛星が先駆けて搭載するマイクロカロリメータと極低温冷凍機、硬 X 線望遠鏡と硬 X 線カメラの組み合わせを搭載しようとしており、必然的に先行する日本のグループの貢献は大きいこととなります。

【質問番号 1-3】ASTRO-G との関連について

【質問内容】

前回の評価をした ASTRO-G の研究は、本来はこの衛星でフォローできるものではないのか。本当に二つの衛星が必要なのか率直にお答えください。

【資料の該当箇所】

【回答者】JAXA

【回答内容】

X 線は、宇宙観測において極めて重要な波長域であり、地上で観測が不可能なことから宇宙望遠鏡として実現することが大切です。

一方で、X 線観測だけを行っていても、宇宙科学の課題を理解することにはなりません。宇宙を理解する上では、様々な波長の電磁波を用いることが必要で、異なる波長域で、それぞれ異なる温度の物体（例えば、X 線はたいへん熱い物体、電波はたいへん冷たい物体が見える）を見ることになり、それぞれ匹敵する深さと広さで観測を行うことが求められます。また、それぞれの波長の光の検出方法の違いから、干渉計によって高い分解能のイメージの観測を行うことができる場合と連続した波長にわたっての分光(スペクトル)観測が可能な場合とがあり、それが逆に、多様なアプローチで宇宙の謎を探ることができる理由ともなっています。

例えば、巨大ブラックホールには、しばしば回りから大量のガスが流れ込んで降着円盤を形成しますが、時に、その降着物質が、逆に、ブラックホール近傍から外に向けて噴き出るジェットという現象も伴います。そして、降着円盤の内縁付近からは強い X 線が出ているのに

対し、噴き出たジェットの様子、形状は電波で詳しく見ることはできません。また、巨大ブラックホールの降着円盤の内縁部には、強い X 線を放射する「熱い」プラズマと、それに囲まれるように、紫外線にピークを持つ放射を出す「冷たい」プラズマがいますと考えられています。このような複雑で動的な観測対象は、それぞれを観測できる装置で総合的に調べる必要があります。一つの波長の観測だけではとても現象を正しく理解できません。

「冷たい」プラズマからの放射は ASTRO-G の波長域である電波で観測することができますが、これまではジェットからの放射とまざってしまい、同定できませんでした。ASTRO-G では、地上の望遠鏡と組み合わせることで得られる高い空間分解能で、この二つの場所からの放射をイメージ上で分離して調べるのが可能です。

ここ数年の間に「すざく」「ひので」「あかり」と3機の天文衛星を続けて打ち上げることができました。ただし、これは ASTRO-E のロケットの打ち上げ失敗による空白期に積み上げられ、延期せざるを得なかったものの回復でした。今回、ASTRO-G に一年ほど遅れたスケジュールで ASTRO-H を提案させていただいておりますが、これは、コミュニティの意見反映させながら行われた宇宙科学における長期的展望の議論の中で検討され、宇宙において、日本が特徴をもって進んでいく上で必要な X 線、赤外線、電波観測の一環で、地上における光赤外観測や電波観測と相補的なものとなっています。

評価項目 3(開発方針)に関連する質問

【質問番号 3-1】 開発方針(1)の第 2 項に関して

【質問内容】 開発方針(1)の第 2 項に、「観測機器については、…、高い信頼性をもって開発する仕組みを導入する。」とあります。先日のご説明の中で趣旨を述べられたようにも思いますが、この「仕組み」の内容の概略を、改めて、ご説明いただけませんか。

【資料の該当箇所】 推進 8-3-2 24 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

以下に内容の概略を列記します。

- 1) 可能なかぎり、全体を統括して設計、製造、試験する体制を導入し、製造基準やインターフェースなどに齟齬がないようにする。また、従来より科学衛星で行われてきた「設計会議」の考え方を踏襲し、全メンバーが一同に介し、設計の進捗状況を確認しあい、設計変更などについて全体で確認をとりながら進める。
- 2) 新たにテクニカルワーキンググループを開発研究の段階で組織する。国内外の専門家によるレビューチームを正式に組織し、段階ごとの設計や進め方についてレビューをする体制をとる。専門家としては宇宙関係ばかりではなく、素粒子実験や、低温実験など進んだ分野の研究者を、国際的なアドバイザーの助言を受けながら、招聘する。
- 3) インハウスで製造するものについては、クオリティコントロールがきちんと行き届くように文書管理やリスク管理、部品管理を行う。そ

のために人をアサインする。他、ここ数年来、JAXA 全体で進められてきた信頼性向上のための管理や必要な検討作業を横通し的に JAXA 内に組織されたエンジニアチームの支援を受けながら行う。

- 4) JAXA における「衛星新概念」研究の一環として研究を進めているネットワーク型の標準アーキテクチャの概念を持ち込み、検出器からの信号処理デジタル回路から、機上データ処理、コマンド処理など、ハードウェアからソフトウェアを貫く信号処理アーキテクチャの標準化をはかる。バス系と観測機器系に関しても、同一の概念にもとづくネットワーク型アーキテクチャを採用することにより、仕様調整や試験も統一された概念のもとで行うことが、できるようになる。標準計算機アーキテクチャを定義するとともに、観測機系では FPGA 内部のモジュール化設計やアナログ LSI を用いることによりセンサー信号を早い段階でデジタル化する技術を採用し、その後を標準デジタル回路で処理を行う。このような標準化により、試験が容易になるばかりではなく、各観測機器が同じ枠組みの中で、しかも、同一のものを試験することになり、試験の質が向上する。マイクロカロリメータに関しては、すでにネットワーク型アーキテクチャに親和性のよい設計となっているため「すざく」で実証された回路を可能なかぎり用いた上で、標準インターフェースを導入する。
- 5) 標準アーキテクチャや標準インターフェースを導入することで試験装置を低コストで作ること、衛星搭載時と同等な電気的環境を提供する地上試験装置として用いることができるようになる。そのため、各大学等に配布して事前に十分な試験作業を行うことができるようになる。
- 6) マイクロカロリメータに関しては、国際協力であるため、さらに特別な方針をたて、高い信頼性を得る仕組みを導入する。(質問番号 4-7 の回答をご覧ください)

【質問番号 3-2】 衛星バス

【質問内容】

これまでに多くの科学衛星が打上げられていますが、衛星バスの考え方はどのようになり、ASTRO-H の衛星バスは其中でどのような位置づけにありますか？ ASTRO-H に関しては、衛星バス部に関する技術課題、或いは新たに開発を要する機器は無いということですか？

天体望遠鏡の場合、長時間一定の方向を向いて撮影することが必要で、その際の姿勢安定が重要と思いますが、X 線望遠鏡の場合はそのような課題は無いのですか？

【資料の該当箇所】 推進 8-3-2

【回答者】 JAXA

【回答内容】

Astro-H につながるバス系が開発されたのは、X 線天文衛星として開発された Astro-E が最初です。Astro-E では、高精度姿勢決定システム(約 10 秒角)、50 V 非安定分散電源システム、CCSDS 対応の高速 QPSK 通信システム(4 Mbps)などを、科学衛星として初めて採用しました。その後、「あかり」や「ひので」では、この技術を継承しつつ、衛星構体やデータ処理系、姿勢制御系を各ミッション毎に最適化して用いています。

Astro-H では、上記天文衛星で継承されて来たバス系の開発方針をさらに一歩進め、まず、データ処理系に新たな考え方を導入します。つまり、次世代の衛星内におけるネットワーク化を想定して、ESA、JAXA、NASA が中心となり、国際標準規格としての検討が進められて

いるスペースワイヤを衛星上のネットワークに採用し、インターフェースや各機器に対するアクセスの仕方などを標準化することによって、各機器をモジュール化の概念からとらえ直す作業を行います。これにより次のようなメリットがあるものと考えられます。

- ・ インタフェース等の標準化によりコンポーネントの種類を減らすことが可能
- ・ ネットワークインタフェースが標準化されるため、電氣的/ソフトウェアのインタフェース確認試験を短縮可能
- ・ 標準コンピュータをベースに地上試験装置を作ることができるので、ミッション機器を開発する大学等での試験が容易になる

なお、ASTRO-H の衛星バスについては、既開発の技術を基に最適化を図っているため、新たに開発を要する機器はありません。

姿勢系については、X 線望遠鏡でも長時間安定して一定方向を向いている事が重要です。資料(推進 8-3-2)の 25 ページにも触れてありますが、「すざく」では衛星構体(サイドパネル)の熱歪みにより、望遠鏡の指向方向が周期的に変化するという問題が発生しました。ASTRO-H の望遠鏡の指向安定度を確保するには、これまでの経験を生かした上で、姿勢系だけではなく、光学ベンチや衛星構体も含めて対策を講じる必要があると考えています。そこで Astro-H では、指向誤差管理表を作成し、姿勢計測誤差、姿勢決定誤差、アライメント誤差、光学ベンチの熱歪み等の誤差配分を管理し、全体として十分な指向安定度が達成できるようにする予定です。

【質問番号 3-3】科学衛星ミッションの Lesson-Learned

【質問内容】

科学衛星ミッションの Lesson-Learned はどのように継承されていますか、また ASTRO-H に対して反映すべき事項にはどのようなものがありますか？

【資料の該当箇所】

【回答者】 JAXA

【回答内容】

今まで開発・運用してきた衛星の Lesson-Learned については宇宙科学研究本部内の研究者グループ内で共有しており、またそれをミッション機器を開発する全国の研究者コミュニティにも展開しつつ、今後開発する衛星に反映しています。

「すざく」における Lessons learned で Astro-H に反映させるべき項目については、資料(推進 8-3-2)25 ページにまとめてあります。これも含めて、「あかり」や「ひので」を始めとする天文衛星、「みどり2」を始めとする実用衛星の開発運用で得られた教訓を、一覧表にまとめて維持改訂しています。この一覧表は、Astro-H チーム内に配布し、情報共有できるようにしています。また、この一覧表には、Astro-H においてどのような対策が取られるかも記載するようになっていきます。この一覧表は、システム文章として今後管理していき、過去の衛星の教訓が確実に設計や試験に反映されるようにします。

評価項目 4(その他)に関連する質問

【質問番号 4-1】 ASTRO-H に対する世界の期待

【質問内容】

世界の X 線天文学の研究コミュニティの中で、ASTRO-H が担っている期待について伺いたい。「すざく」でマイクロカロリメータが動かなかったために各国のプロジェクトにも影響があるとおっしゃっていたが具体的にどのようなことか。また ASTRO-H はその中でそのような責務を担っているのか。

【資料の該当箇所】

【回答者】 JAXA

【回答内容】

マイクロカロリメータは銀河団や超新星残骸などの広がった天体の高温ガスの運動を直接はかることができるために、チャンドラ衛星の提案時 AXAF-S として 1990 年代初頭に提案されて以来、X 線天文学のコミュニティがその実現を熱望しているものです。チャンドラ衛星では現在のイメージング能力 (AXAF-) が実現され、そのかわりにカロリメータは日本の衛星 (ASTRO-E) にて実現することとなりました。

2020 年前後に実現をめざしているアメリカ主導の Con-X 計画、欧日で進めている XEUS 計画と、2 つの巨大計画とも、宇宙で最初のブラックホールや宇宙で最初の銀河団の観測を行うために必要な大面積の X 線望遠鏡をもち、その主たる焦点面検出器はマイクロカロリメータとなっています。現在この二つの計画を統合し、全世界が一体となった大型 X 線宇宙望遠鏡 (IXO) を作ろうという計画が進んでいます。そ

の IXO でもマイクロカロリメータは中心です。

一方で、宇宙、地上を問わず、大きなプロジェクトを動かすときには、技術的、科学的に、ステップ毎に実証しながら進むことが必要です。

「すざく」では、冷凍機技術、マイクロカロリメータの宇宙動作、マイクロカロリメータによって開かれるサイエンスの3つの実証が求められていました。最初の2つについては、成功したものの、サイエンスの実証にはいたっていません。そのため、Con-X や XEUS、あるいは IXO という大きな予算をもって行う計画に必要な「サイエンスの予想」も確実なものになっていません。もしも、「すざく」でマイクロカロリメータが動いていれば、これまで X 線天文学者が手にした事のない、「運動の測定」や「量子力学を駆使した宇宙高温プラズマ研究」など、新しい方向性を示すことができている、X 線天文学の新たな展開が確実に開けることを他の分野の研究者などに示す事ができ、もっと早い段階で、計画をスタートできたと言われています。

平成 25 年(2013 年)の打ち上げを提案している ASTRO-H は、「すざく」で実証した技術を元に、より確実に開発を行い、「マイクロカロリメータの実現とサイエンスの実証」という我が国に課せられた責務を果たすことが目的です。ASTRO-H があがり、2013 年頃から、そのサイエンスを出し始めることが、IXO のような大型 X 線宇宙望遠鏡の推進に要求されることとなります。ASTRO-H はマイクロカロリメータの他に、硬 X 線撮像システムなど、10 年前には実現できなかった検出器も搭載し、次世代宇宙 X 線天文台として統合的な、極めて優れた能力をもちます。実際、この計画に自ら参加して貢献したいという申し出が多くあります。

【質問番号 4-2】 冷却系について

-

【質問内容】

「すざく」でも JT 冷凍機が取り付けられたと思うのですが、その場合と比較して、新たな点をご説明いただけませんか。また、「あかり」との比較もしていただけませんか。

【資料の該当箇所】 推進 8-3-2 27～28 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

「あかり」衛星ではヘリウムが約 1.5 K に冷却され、それを用いて望遠鏡を約 6 K に、赤外線検出器を約 1.8 K に冷却されました。

「すざく」衛星ではヘリウムが約 1.3 K 以下に冷却され、そこから断熱消磁冷凍機を用いて X 線検出器(X 線マイクロカロリメータ)を 0.06 K (60 mK) に冷却しました。

ASTRO-H 衛星では、ヘリウムを約 1.3 K 以下に冷却し、そこから断熱消磁冷凍機を用いて X 線検出器(X 線マイクロカロリメータ)を 50 mK に冷却します。

液体ヘリウムは、外部からの熱負荷応じた量だけ蒸発させながら使用するので、軌道上では有限な寿命を持ちます。この寿命を長くするために、液体ヘリウムの外側を様々な手段で冷却します。

「すざく衛星」の場合には、液体ヘリウムの外側に 17 K の寒剤であ

る固体ネオンがおかれ、液体ヘリウムへの熱負荷を小さくしました。さらに、その外側には、1段式スターリングサイクル冷凍機が取り付けられ、温度約 100 K の熱シールドを作っていました。これは、固体ネオンへの熱負荷を小さくし、固体ネオンの軌道寿命を延ばします。この1段式スターリング冷凍機は現在も軌道上で問題なく動作しております。

ASTRO-H 衛星では、固体ネオンの代わりに、あかり衛星で実証された2段式スターリング冷凍機を搭載します。これは、温度約 20 K と 100 K の熱シールドを作ります。あかり衛星では、20 K シールドの内側に液体ヘリウムタンクを搭載しました。ASTRO-H 衛星では、液体ヘリウムタンクと 20 K シールドの間に、さらにジュールトムソン (JT) 冷凍機を搭載し、約 1.8 K の熱シールドを作ります。約 4 K の低温を作り出す質量数 4 のヘリウムを用いたジュールトムソン (JT) 冷凍機は、国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の暴露部に搭載予定の SMILES 用に開発され、すでに1年を超える寿命試験を終えています。ASTRO-H 衛星に搭載予定のジュールトムソン冷凍機は、質量数 3 のヘリウムを熱作業気体として用いるもので、2 K 以下の低温を作り出すことができます。これは、赤外線天文衛星 SPICA などの将来のミッションのために JAXA が開発してきたものです。

ASTRO-H 衛星では、ジュールトムソン冷凍機は、液体ヘリウムの軌道寿命を延ばすことを主目的に搭載されます。X 線マイクロカロリメータを 50 mK まで冷却する断熱消磁冷凍機は、液体ヘリウム蒸発緩もジュールトムソン冷凍機価みで動作可能です。また、逆に、ジュールトムソン冷凍機価嘲作が万が一、打ち上げ初期に停止した場合にも、2年を超える液体ヘリウムの軌道寿命が予想されます。したがって、液体ヘリウムとジュールトムソン冷凍機は、お互いが代替手段となる、機

能冗長性を持っています。また、2段式スターリング冷凍機も2台搭載し、これらも機能冗長性を持ちます。これらによって、ASTRO-H の冷却システムは、robust性を高めています。

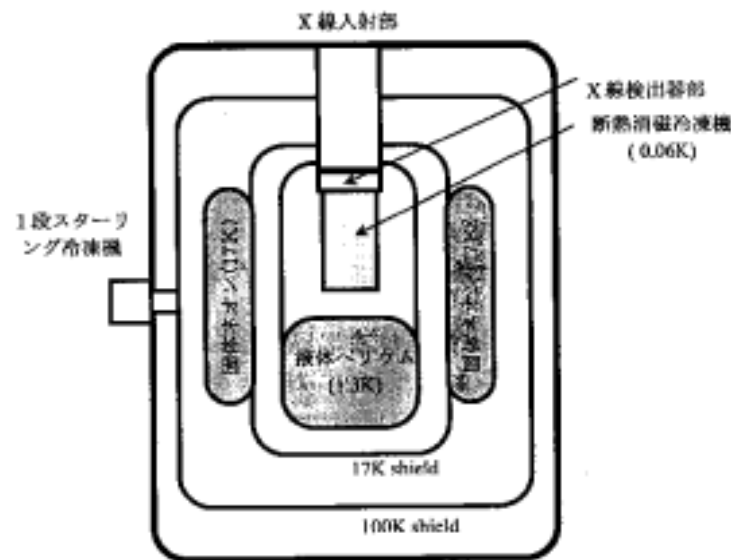


図1 すざく衛星の冷却システムの概念図

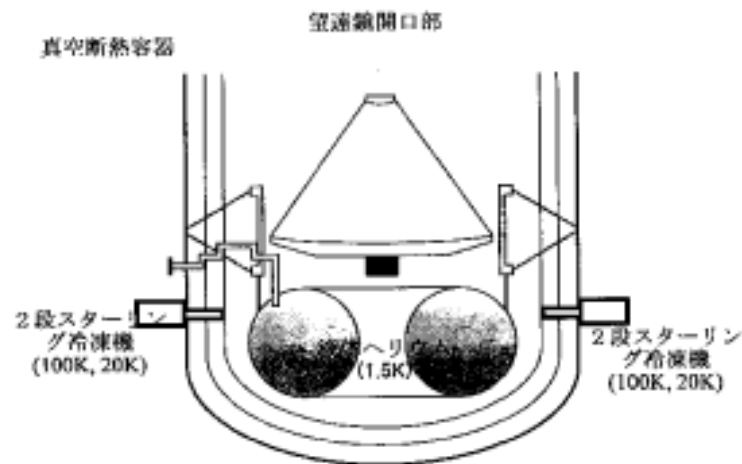


図2 あかり衛星の冷却システムの概念図

【質問番号 4-3】 「すざく」の不具合

【質問内容】

ASTRO-H 衛星では、「すざく」での経験を生かして、設計を行うとされているが、掲げられているすべての不具合に関する原因の究明がなされ、かつ、それらすべてが解決可能なことなのか？

【資料の該当箇所】 推進 8-3-2 25 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

「すざく」で起きたすべての不具合について、Astro-H では解決可能と考えています。以下、資料(推進8-3-2)25 ページに記載してある個々の項目について、どのような方針で解決しようとしているか、概略を示しておきます。

- ・ 液体 He 消失による短寿命化:これについては、質問番号 4-4 に対する回答に詳しく記載してありますので、そちらを参照して下さい。
- ・ サイドパネルの熱歪みによる指向誤差増加:「すざく」では、姿勢系センサがサイドパネルに搭載されていたため、光学ベンチに搭載されている X 線望遠鏡との間にアラインメント誤差が生じました。Astro-H では、星姿勢系も X 線望遠鏡と同じく光学ベンチに搭載するため、サイドパネルの熱歪みの影響を受けることはありません。
- ・ 軌道上コンタミネーション:まず、コンタミの発生を押さえるため、コンタミネーション管理計画を策定し、全コンタミ発生量を許容量以下に低減します。また、もっともコンタミの影響を受け易い SXI

については、ベーキング機能を付加し、コンタミがついても軌道上で飛ばすことができるようにします。

- ・ ヒートパイプ動作不良:すべてのヒートパイプは、冗長構成にします。
- ・ 太陽電池セルの剥がれ:ハニカムコアの空気抜き穴の不良が原因だったので、購入時の受け入れ検査の改善および工程検査の改善を行い、同様の不具合があった場合、確実に発見できるようにします。
- ・ ホイール微小擾乱のセンサへの干渉:「すざく」では、ハニウェル製のホイールを採用しましたが、Astro-H では、ハニウェル製ホイールよりも擾乱特性に優れた MPC 製のホイールを採用する予定です。
- ・ パッテリコントロールユニット(BCCU)からの電磁干渉:まず、BCCU に対する EMC 要求を明確化します。MIL-STD-461C よりも厳しい EMC 要求を満たす BCCU が「かぐや」で開発されているので、それをベースに EMC 要求を満たす BCCU を製作します。

【質問番号 4-4】 「すざく」のトラブルの影響

【質問内容】

「すざく」の液体ヘリウムトラブルによって、アメリカとのコミュニケーション、共同開発の体制は具体的にどのように改善されているのか。

【資料の該当箇所】

【回答者】 JAXA

【回答内容】

「すざく」衛星の液体ヘリウム消失後、JAXAとNASAそれぞれに、独立に不具合原因究明委員会が作られて原因の究明が行われた。

JAXA の原因究明委員会はヘリウム消失に至った物理的な直接原因、その問題発生を未然に防ぐことのできなかつた根本原因、それらに関連する要因を分析し、その結果に基づいて将来のプロジェクトの進め方に対する5つの提言をまとめた(平成18年第3回宇宙開発委員会(2006年1月25日)の宇宙開発委員会にて報告)。

一方、NASAの不具合原因究明委員会(Mishap Investigation Board)の報告書は公表されていないが、昨年(2007年)10月31日にNASA/GSFC(ゴダード飛行センター)において、NASA委員会からASTRO-Hプロジェクトチームに対して口頭で報告された。この報告によると直接原因、根本原因、関連要因についてJAXA委員会と同様の分析結果を得ており、recommendationsについてもJAXA委員会の提言とよく重なっている。

ASTRO-Hプロジェクトチームと日米のASTRO-H SXS(マイクロカロ

リメータ軟X線分光検出器)チーム(以下「SXSチーム」という)はこれらの提言および recommendation を真摯に受け止め、これらを反映した体制により開発研究を進めている。以下にその対応を示す。

提言 1: 開発体制

開発初期においてミッション達成にクリティカルなキー技術を洗い出す(クリティカルアイテムリスト(CIL))

キー技術に対して設計初期から故障モード影響及び致命度解析(FMECA)、仮想故障の木解析(FTA)を実施する。

CIL や FMECA、FTA の結果を衛星システムと共有し、必要なインタフェースをインタフェース管理文書(ICD)により確認、検証する。

開発途中においても、気付き事項をくみ上げる体制が必要。

提言 1 への対応:

SXSチームはCILのチーム内バージョンを既に作成し、維持している。

冷却系の概念設計を進めるにあたって、冷却系の複数案に対して、それぞれFMECAを実施し、その結果に基づいて trade off study を行った。

仮想FTAについては基本設計の中で実施する予定である。

衛星システムとのインタフェースを記述するICDについては2008年9月ごろに第一版を作る予定である。なお、SXSチームでは、CILやFMECAの結果を反映しながら、ICDのチーム内バージョンの作成を既に始めている。

提言 2: 国際協力

部分的な国際協力においても、すべてのサブシステム関係者

が設計会議やレビューに加わるなど、より広く深い協力体制が必要。

相互の要求、要望が延滞なく伝わる体制、それらをICDをはじめとする記録として残し、確実にフォローすることが重要。

提言 2 への対応:

衛星レベルでは、国際システムエンジニアチーム (international Joint Systems Engineering Team, JSET) を日米双方に作る。JSET は ASTRO-H プロジェクトで導入する新しい概念で、衛星のシステム担当、サブシステム担当、メーカーの担当者により構成され、テレビ会議等を活用し、サブシステム間の情報交換を行うとともに、課題解決のための調整窓口の役割も果たす。設計会議には JSET メンバーを含めた海外のプロジェクトメンバーも参加する。(JSET については現在立ち上げ中である。第一回設計会議は 9 月末ごろ実施予定)

サブシステムレベルでは、日米の SXS チーム内コアメンバーによる会議を、電話会議、テレビ会議の形で既に 2-3 週間に一度の割合で実施している。また、SXS の文書、会議の議事録などについては、web(wiki)を活用して、日米で共有を図っている。

提言 3 : end-to-end 試験 (test as you fly) の重要性と限界

技術の割れ目に落ち込んだ問題を発見する手段として end-to-end 試験は重要であるが、XRS のように実施できない場合もあることに留意すべき。

end-to-end 試験およびその代替手段についても、ミッションクリティカルな要求を衛星設計に整合させるのと同様の重要性を有するという認識を持ち、開発の初期段階からミッションクリティカルな要求を実証する方法となるように計画を立てる。

提言 3 への対応:

概念設計の段階から、地上試験による実証方法を同時に検討している。

end-to-end の一つとして宇宙環境を模擬した熱真空試験は重要であるが、地上で実現可能な試験環境で「すざく」衛星で問題になったヘリウム排気を試験することは不可能である。ASTRO-H 衛星ではこの試験不可能な部分を補うために、流体計算の専門家によるシミュレーションを実施しようとしている。

提言 4: 専門家によるレビュー

幅広い視野を有するシステムエンジニア等の専門家をレビューメンバーに加えて、「技術の割れ目」に落ち込んだ問題を発見できる体制を確立する必要がある。

提言 4 への対応:

ASTRO-H プロジェクトの新しい試みとして、Technical Working Group (TWG) を組織する。TWG にはプロジェクト外の様々な分野の世界の専門家で組織される。その専門家の目で、衛星システムやサブシステムをレビューすることが、TWG の目的である。

提言 5: 独立点検 (総点検) の重要性

技術の割れ目に落ちて見えないものを見えるようにする手段として独立点検は重要。

独立点検の時期は、遅くとも FM の設計確定前に実施する必要がある。

独立点検においても FMECA や仮想 FTA を重視すること。

提言 5 への対応:

総点検と同様の独立点検として、提言 4 に対応して設置した TWG におけるプロジェクト外の専門家の目を通したレビューを実施し、また衛星の各フェーズアップレビューも従来どおり実施する。

後者については本年 3 月から 4 月まで約 1 ヶ月かけて、ASTRO-H の System Definition Review (SDR) を実施した。

NASA の参加決定前であったが、冷却系に関する SDR には SXS の米国メンバーも参加した。また、レビューワーとして、プロジェクト外の米国の宇宙用冷却システムの専門家にも参加していただいた。

今後も、Preliminary Design Review (PDR) , Critical Design Review (CDR) などを同様に実施する。

【質問番号 4-5】 冗長系について

【質問内容】

32 ページを見ると、硬 X 線望遠鏡は冗長系となっている一方、軟 X 線望遠鏡関連は冗長系となっていないように思いますがその理解は正しいですか？ 観測機器、電源系、データ通信系等に関する冗長性の考え方はどのようになっていますか？

【資料の該当箇所】 推進 8-3-2 32 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

硬 X 線望遠鏡が 2 台搭載されているのは、必要な有効面積を確保するため、必ずしも冗長系を組むためではありません。最初に科学目標があり、それから各観測装置に必要な有効面積が決まります。X 線望遠鏡の場合、1 台で大きな有効面積を実現するのは(焦点距離を長くする必要があるので)必ずしも容易ではありません。むしろ、台数を増やした方が有利な場合があります。硬 X 線望遠鏡が 2 台になっているのは、まさにこの理由からです。一方、硬 X 線望遠鏡は 2 台あるので、ご指摘のように、結果的に冗長系にもなっています。

軟 X 線分光撮像検出器(SXS)と軟 X 線撮像検出器(SXI)は、確かに 1 系統しかありませんが、内部構成では十分冗長系が考慮されていて、高い信頼性が確保されています。たとえば、SXS では検出器からのシグナルが 4 系統に分けて処理されるので、1 系統が故障しても残りの系統は正常に動作します。また、SX1 では、CCD チップは 4 枚搭載され、それらは並列に動作するようになっています。

電源系やデータ処理系統のバス機器については、(1)衛星喪失に

つながりかねないクリティカルな機器については、単一故障で機能喪失とならないようにフル冗長も含めて適切な冗長系を組む、(2)過去に故障例がなく比較的信頼性が高い機器については、必ずしも冗長系はなくても良いが、十分な信頼性を確保するように努める、という方針を取っています。たとえば、Sバンド送受信機、バッテリー、BCCU (Battery Charge Control unit)、AOCP (Attitude and orbit Control Processor)、STT (STar Tracker)、IRU (Inertial Reference unit)、SMU (Satellite Management unit)、RUTR (RoUTeR)などはフル冗長になっていますし、MW (Momentum Wheel)は4台搭載のうち1台は冗長になっています。一方、例えば、MTQ (Magnetic TorQuer)などは特に冗長系は組んではいませんが、計装配線上で断線冗長にする等の対処を行っています。また、RCS (Reaction Control System)については、MTOとホイール制御で機能冗長が実現できるよう対処しています。

【質問番号 4-6】 開発計画

【質問内容】

ミッション機器は全て評価実証済みとありますが、開発研究段階における課題としてはどのようなものが残されていますか。開発研究段階ではどのような作業を行い、何に目処が付けば、開発に移行出来るということですか？

【資料の該当箇所】 推進 8-3-2 41 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

開発研究段階では、これまで試作試験用モデル (BBM) 等の試作により実証して来たコア技術を元に、フライト品の開発が確実に進める目処がつくまで、開発研究を進めていく予定です。具体的には、各ミッション機器について、以下のような作業を行います。

硬 X 線望遠鏡 (HXT) では、大量の反射フォイルを製作する必要があります。そこで、フォイルの製作・評価・組み立ての各段階を効率化し、開発段階の限られた期間のうちに、(予備も含めた)必要枚数のフォイルを確実に製作できる必要があります。開発研究段階で、この製作手法を確立します。

軟 X 線分光撮像検出器 (SXS) については、資料 (推進 8-3-2) の 26 ページでも触れたように、冷却系の高信頼性化が重要な課題です。開発研究段階では、冷却システムの構成の検討を進め、冷凍機の単一故障や液体ヘリウムの蒸発等にも対応できる、ロバスト性の高い冷却システムの構成を明確にします。

硬 X 線撮像検出器 (HXI) については、テルル化カドミウム化合物半

導体を用いて、数100ミクロンの位置分解能を持つ検出器を実現するために必要な電極構造の検討や、長期動作安定性の検証などを行います。

軟X線撮像検出器(SXI)については、センサーハウジングの検討を進め、冷却性能、コンタミ防止、放射線シールド、X線バッフルなどの点において、十分な性能と信頼性を持つハウジングの構造を明確にします。また、信号処理系の検討を進め、十分なデータ処理能力を持っていることを確認します。

軟ガンマ線検出器(SGD)については、半導体検出部の高密度多段実装技術と、コンプトンカメラとして動作させるために必要な画像再構成手法の確立を行います。

【質問番号 4-7】 海外機関との協力

【質問内容】

本プロジェクトは科学的な基礎研究を目的としたものであり、得られるデータは世界に共通の財産として公開されることになっている。よって、海外の機関との協力関係は重要であり、計画の中でもSXSの開発に関してはNASAが費用負担を決定しているが、他の開発部分に関して、資金サポートまで踏み込んだ海外機関との共同開発の可能性はないのか？

【資料の該当箇所】 推進 8-3-2 45 ページ、46 ページ

【回答者】 JAXA

【回答内容】

NASAの予算計画は、SXSとしてカロリメータばかりではなく、軟X線望遠鏡も含むものです。ASTRO-Hは、国際天文台として機能しますが、そのためには、解析ソフトウェアの開発、軌道上較正、アーカイブなどの作業が発生します。NASAは、このようなソフトの部分についても参加することになっています。また、さらに、これらの作業にスタンフォード大学他、米国の大学等研究機関の協力を得るために、さらなる予算(ScienceExtension)の申請を行っています。また、現段階で、ヨーロッパなどから、資金サポートまで踏み込んだ国際協力の可能性の打診があり、それぞれの技術を生かし、インターフェースをきちんと定義した形で、どのような貢献がありうるか、現在議論を行っている最中です。また、打ち上げ後のユーザーサポートやデータ受信についても、相手国のコスト負担のもとで国際協力の可能性があり、科学成果を最大限引き出すための議論を相手機関の代表と進めています。