

X線分光撮像衛星（XRISM）搭載 Resolve検出器保護膜（ゲートバルブ） 非開放についての原因調査結果と今後への対応

令和7年（2025年）11月13日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所



- 2023年11月5日、所定の運用を行なったが、Resolve検出器の保護膜（ゲートバルブ：GV）のステータスが開放とならない事象が発生
- XRISMプロジェクトチームでResolve検出器入射部透過保護膜不具合に関する調査を行い、独立評価チーム長、S&MA総括による第3者評価も実施
- GVが開放できなかつた原因調査結果と今後への対応について報告する

1. XRISM概要



【ミッションの目的】

- ASTRO-H（ひとみ）のミッションを引き継ぎ、「宇宙の構造形成と銀河団の進化」、「宇宙の物質循環の歴史」、「宇宙のエネルギー輸送と循環」を研究するとともに、「超高分解能X線分光による新しいサイエンス」を開拓する。
- これらの科学目的を達成するために、これまでにない特長と性能で「宇宙の高温プラズマにおける物質循環・エネルギー輸送過程と天体の進化の解明」を進めることが本ミッションの中心的な意義である。

- ✓ 2023年9月7日H-II Aロケット47号機により小型月着陸実証機（SLIM）と共に打上げ
- ✓ 米国航空宇宙局(NASA)、欧州宇宙機関(ESA)と覚書を締結して進めている共同プロジェクト。NASAではジョイントプロジェクトの位置づけ。
- ✓ Nature、日本天文学会誌(PASJ)や米国天文学会誌(ApJL)に掲載され、多数の科学成果を創出中
- ✓ 2023年11月5日、所定の運用を行なったが、Resolve検出器の保護膜（ゲートバルブ：GV）のステータスが開放とならない事象が発生し、現在に至るまで開放されてない状況が続いている

【保護膜概要】

- Resolveの検出器が入る真空容器(デュワ)のX線入射部に設置。
- 地上で大気から検出部を保護。打ち上げ直後は、アウトガスから検出部を保護。
- 保護膜は250ミクロン厚のベリリウム膜で、約1800 eV以下のエネルギーのX線はほぼ吸収され、遮断される。
- 打ち上げ後に開放してX線帯域を約300 eVまで拡げ、所定の有効面積を確保する計画。

【保護膜の観測への影響】

- 非開放の場合、1800 eV以下のエネルギーではほぼ観測ができない。高いエネルギー側でも有効面積減。
- 保護膜が開放されないことでXRISMに期待された科学目標のうち達成できなくなったもののが多数あること、保護膜越しで観測可能な科学目標に対しても有効面積の制限により天体が限られてしまうことなどを科学観測への影響として識別

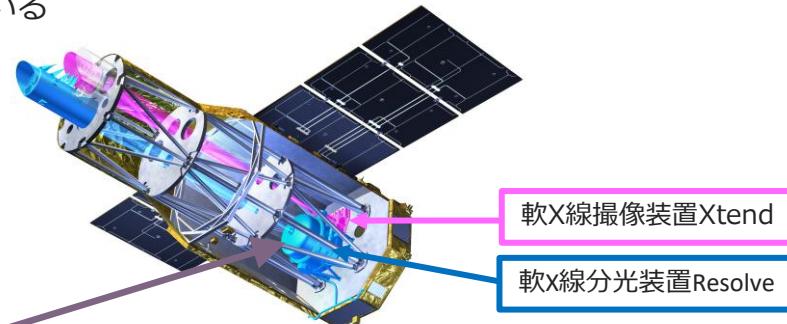


図1 XRISM外観図
Resolveの有効面積

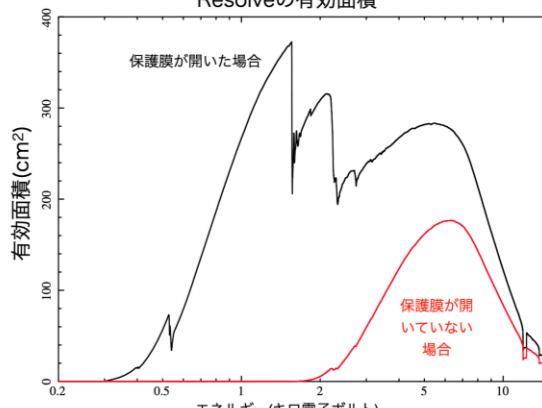
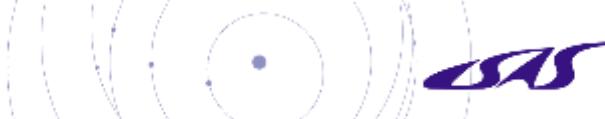


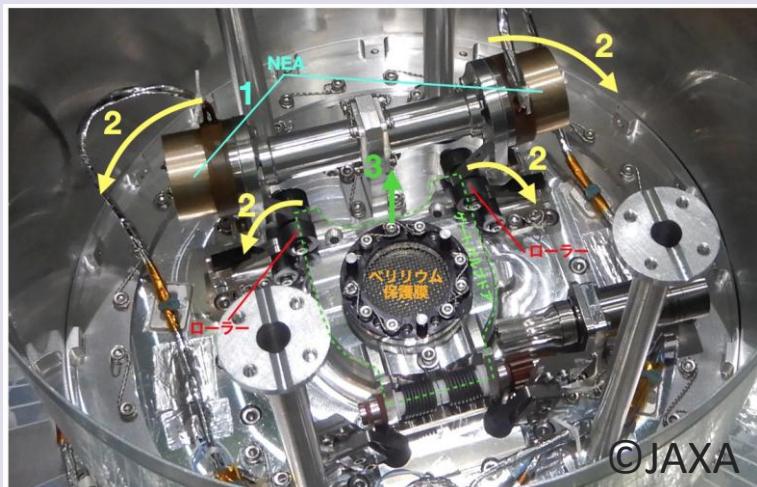
図2 保護膜を通した場合と開放された場合のResolveの有効面積の比較 2

2. Resolve保護膜(ゲートバルブ)



【保護膜（ゲートバルブ）に関する経緯】

- 2023年11月5日、所定の運用を行なったが、Resolve検出器の保護膜（ゲートバルブ：GV）のステータスが開放（OPEN）にならない事象が発生。
- その後、不明事象対策会議、不具合対策会議をNASAも交えて複数回開催し、原因究明を実施。
- 2023年11月-12月、初期の原因推定に基づいて、条件を変えて2回の開放運用を試みたが、開放を確認できず。
- 定常運用移行(2024年2月8日)後、2024年3月に開放運用の4回目を予定していたが、閉じた状態でも観測成果を見込める事、また、開放運用に向けた地上試験を進めるためにも、延期して、当面の間、保護膜がクローズ状態での観測を進めることとした。
- 2025年8月6日宇宙科学・探査小委員会の「宇宙科学・探査ミッションの進捗状況について」において開放運用を実施する方向について報告。
- 2025年8月12日 Resolve保護膜開放運用方針についてNASAと合意。
- 2025年8月31日、第一期公募（GO1）観測完了。2025年9月に、Resolve保護膜開放のための運用を実施。本開放運用では保護膜の開放には至らなかった。



（左図）XRISM Resolve GV付近の写真。フライット品で最終組み立て時のもの。

開放機構の基本動作

1. NEA(非火工品保持解放機構)を切る。
2. クランプアームが動き、クランプアームのローラーが保護膜のドアの上から外れる。
3. 保護膜のドアが開く。

3. Resolve保護膜クローズ状態の直接原因



- NEA(非火工品保持解放機構)がリリースされたあとに、NEAハーネスがGV周りのシリンダ(アパチャバッフル)に接触し、保護膜開放機構の動きを阻害している可能性をFTAで特定。
- 地上試験モデル (engineering model: EM) を用いてフライト品の状態を模擬した試験を実施し、保護膜の開放を妨げる現象が再現された。

FTA: (fault tree analysis, 故障の木解析)

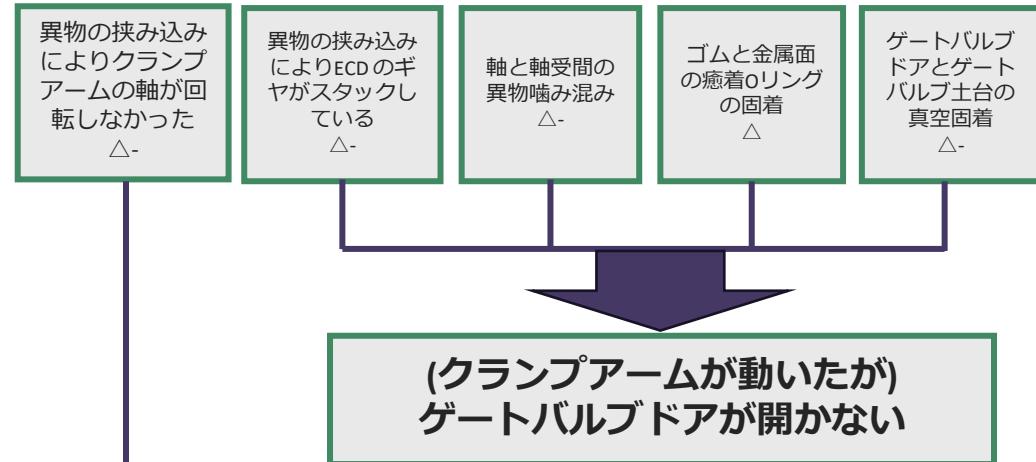
「ゲートバルブのステータスが開放にならなかった」ことをトップ事象とする FTA概要

1次要因	2次要因	3次要因	判定	根拠
テレメトリの表示異常 (GVは開いている)			×	GVが開いていたら観測されるはずのX線イベントの数上昇がみられない
GVが開いていない	NEAに規定の駆動電力が流れていない	送信したコマンドに不備あり	×	地上で検証したコマンドを使用。GVオープン (GVO) # 1、GVO # 2 の運用時の取得データよりGVO # 1 では電流が流れていることが示された。
		衛星バス (電源、通信等の異常)	×	GVO # 1、GVO # 2 の運用時の取得データよりGVO # 1 では電流が流れていることが示された。
		NEAや配線の断線	×	衛星搭載時の検査結果は正常。GVオープンGVO # 1、GVO # 2 の運用時の取得データよりGVO # 1 では電流が流れていることが示された。
	NEAに駆動電流が流れていたが、NEAのフューズが切れなかった	NEAの不具合	×	冗長系であり (NEA2つ、配線4系統) 、すべてが故障することは考えにくい。 GVO # 1、GVO # 2 の運用時の取得データよりGVO # 1 では電流が流れていることが示された。
		NEAに注入したエネルギー不足	×	GVO # 1、GVO # 2 の運用時の取得データよりGVO # 1 では電流が流れていることが示された
NEAのフューズが切れたがGVが開かなかった	GV機構に問題が内在	○	他の要因が排除されたため、本要因が原因と考えられる。	

4. GVが開いていない不具合に対するFTA絞り込み



地上再現試験を踏まえたFTA絞り込み結果を示す。



- 原因と推定される
△ 原因の可能性がある
△- 考えにくいが否定できない
× 原因とは考えられない

クランプアームが動かず
(ゲートバルブドアが開かない)

NEAのフューズが切れたがGVが開かなかった

5. 背景要因とプロジェクトとしての今後への教訓

背景要因

・ 不具合が内在するフライタ品が製作された要因

- ・開放の際、動かなければならぬNEAハーネスの設計段階、図面指示段階での考慮不足
 - ・ゲートバルブの組立図にアパチャバッフルが描かれていない
 - ・ハーネスルーティングの妥当性確認でアパチャバッフルの存在を考慮しなかった等
- ・機構動作阻害要因の検討不足
 - ・機構動作中のハーネスの動きは、アパチャバッフルとのクリアランス確認の対象外となっていた等。

・ 作り込まれた不具合を打ち上げ前に見つけられなかつた要因

- ・検証計画検討が不十分
 - ・「ハーネスの干渉有無」を検知できる試験を計画しなかった等
- ・要素試験と最終状態の差異の検討が不十分
 - ・最終コンフィギュレーション(NEAハーネス最終状態、アパチャバッフルあり)で機構を動かす試験を計画しなかった等
- ・デュワの真空を破れないことから保護膜開放は、test as you fly exceptionだが、その場合の代替の検証計画が不十分
- ・最終外観確認検査が不十分



プロジェクトとしての今後への教訓

・ 機構部品の設計、製造に関する教訓

- ・不具合になりうる設計上の不定性を極力取り除くこと
- ・機構部分で動きのあるものの干渉確認の徹底（図面、試験）

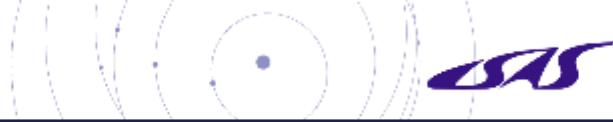
・ 検証計画に関する教訓

- ・ミッションクリティカルなものは原則として、test-as-you-flyに則ったend-to-end 試験による検証を行うこと
- ・検証計画の網羅性は、運用計画に沿って、運用項目ごとに test-as-you-fly を確認すること
- ・Test-as-you-fly 試験ができないもののリスク評価と代替案検討の徹底
- ・最終外観検査は、写真・動画も活用し多くの目で実施

・ プロジェクト活動を実施する上での教訓

- ・設計の基本方針、検証計画の原則は、プロジェクト文書に記載し、周知徹底する。プロジェクト初期段階から実行。
- ・プロジェクトメンバーのスキルアップ、経験者の配置

6. 宇宙科学研究所としての今後の対応



本件はGate Valve機構の不具合という個別の問題ではなく、test as you flyの原則とその例外への対応、およびそれを実施するプロジェクト活動への教訓として捉えるべきものであり、その教訓の他のプロジェクトへの水平展開を行い再発防止措置を行うこととした。

(1) 運用計画に則ったtest-as-you-fly な検証計画の原則（再確認）

(2) 原則を確実に実現するためのプロジェクト活動遂行上の教訓

(2-1) test-as-you-fly原則のプロジェクト文書への記載の徹底

- ✓ test-as-you-fly な検証計画の原則をプロジェクト文書に記載し、周知徹底

(2-2) プロジェクトメンバーのスキルアップ

- ✓ JAXAプロジェクトチーム内で共有・教育することをルール化
- ✓ 中堅・若手が経験値を上げる機会を増やす

(2-3) 審査会運営方法の改革

- ✓ システムズエンジニアリング管理計画書（SEMP）にend-to-end 試験での検証の原則、test-as-you-flyの原則、test-as-you-fly exceptionへの対処方針を記載し、徹底することをルール化し実施状況を確認する
- ✓ 将来計画への貢献のために再発防止策を含めた発生事象の登録をより徹底して実施するよう、プロジェクトに十分なリソースが配分されるように配慮することとする

(2-4) 企業との関係の再構築

- ✓ 企業に対する要求仕様の厳密な定義に並行して、プロジェクト実施の意義や思いを伝える活動を従前以上に活発化させる
- ✓ 中長期的には、生成AIやデジタル設計手法などの新たな情報技術を援用し、企業側の活動が円滑に推進されるようJAXAとして最大限の支援をする



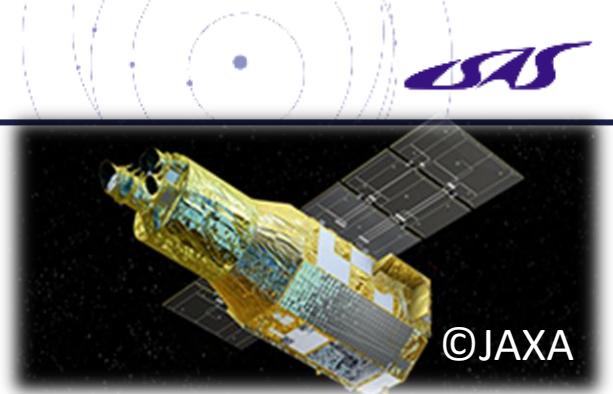
- GVのステータスが開放とならない事象に対する原因究明と教訓の整理を実施した。
- 今回の不具合を踏まえ、所として今後のプロジェクトに対する水平展開としての教訓の整理した。
- 本年9月に原因究明結果を踏まえた開放運用実施したが、開放が確認されなかった。更なる科学成果創出に向けて、多数要望が届いている公募への対応を優先しつつ、今回実施の結果を踏まえ、新たな開放運用に向けた検討を継続する。



【参考】XRISMの科学的成果

■ X線分光撮像衛星 (XRISM) 打上げ日：2023年9月7日

- ✓ 第一期公募科学観測の完了
 - ✓ 2024年9月4日から2025年8月31日まで、第一期の公募科学観測を実施
 - ✓ 117件の観測を完了し、世界中の観測提案者に観測データを配布
 - ✓ 公募科学観測の観測データによる科学成果も創出中
- ✓ 初期性能検証観測 (PV観測) による科学成果創出
 - ✓ Nature誌に掲載された3論文のほか、日本天文学会誌(PASJ)や米国天文学会誌(ApJL)をはじめとする学術誌に40論文以上が掲載されるなど第一級成果を多数創出。(2025年2月、5月、9月にNature論文掲載)
 - ✓ 日本天文学会誌(PASJ)でXRISM特集号刊行
- ✓ 2025年10月第二期公募科学観測開始。第二期も多数の観測提案が届き、更なる科学的成果創出に向けて貢献を行う。



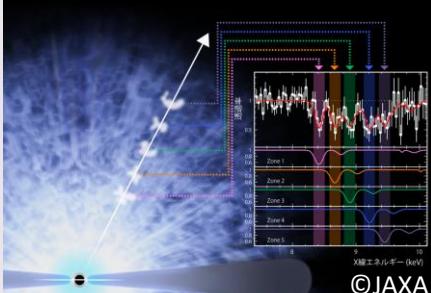
©JAXA

Nature論文掲載 (2025年5月15日)

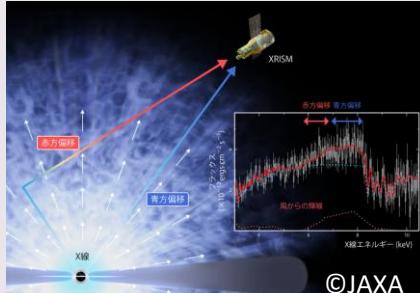
超巨大ブラックホールが撃ち出す超高速のガスの弾丸 (Structured ionized winds shooting out from a quasar at relativistic speeds)

【概要】

- X線分光撮像衛星 (XRISM) の優れた分光能力により、超巨大ブラックホールから超高速で噴き出される風が、予想外に複雑な速度構造を持つことを世界で初めて発見した。
- 複雑な速度構造は、従来考えられていた滑らかな風ではなく、ぶつぶつとした弾丸のような風であることを示唆する。
- ガスの弾丸が持つエネルギーは予想外に大きいことがわかり、従来の共進化の理論モデルでは説明できず、銀河とブラックホールの共進化の新たな可能性が見えてきた。



©JAXA



©JAXA

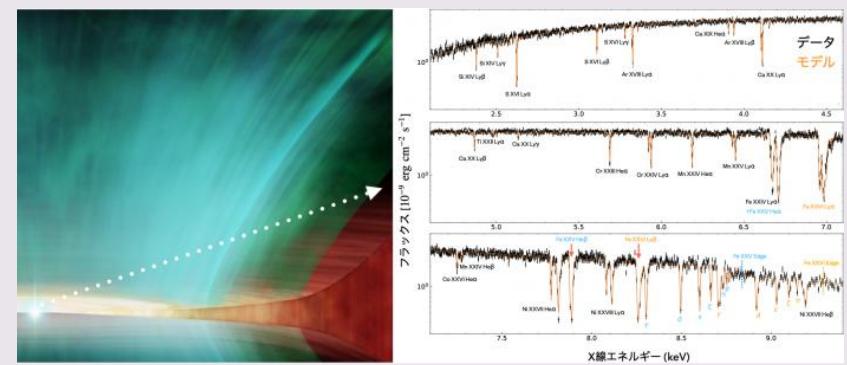
XRISMの軟X線分光装置 (Resolve) で取得された、PDS 456の風による吸収線スペクトル。観測された吸収線プロファイルは、少なくとも5個の弾丸のような風から作り出されている。

Nature論文掲載 (2025年9月17日)

Stratified wind from a super-Eddington X-ray binary is slower than expected

【概要】

- ブラックホールや中性子星のような高密度天体に物質が落下する際に放出される放射が、落下する物質に対して十分な圧力をかけて、逆にそれを外側へと押し戻す臨界点限界に達して、多くの物質が「風」として噴出する瞬間を観測
- XRISMは以前、超大質量ブラックホールのエディントン限界付近で観測された「風」の構造も明らかにしており、そこでは「風」が超高速で塊状だったのに対し、GX 13+1では滑らかな構造を持つことを明らかにした



XRISM搭載軟X線分光装置ResolveによるGX 13+1の観測スペクトル(右)。多数のイオンからの吸収線構造がこの「風」の視線上の密度が大きいことを示している。X線は左図で示した中心天体近傍で発生しており、そのX線を水色で示した「風」を通して観測することで吸収線構造が観測されている。
(クレジット : CfA/Melissa Weiss, XRISM Collaboration)