

資料30-5
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会
(第30回H28.9.29)

X線天文衛星代替機の 検討状況について

2016年9月29日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所長 理事 常田佐久

X線天文衛星代替機の概要

①概要

X線天文衛星の代替機として日本が中心となり、
米欧の国際協力を得て進めるミッション

②打上げ年度

平成32(2020)年度 (予定)

③打ち上げロケット

H2Aロケット

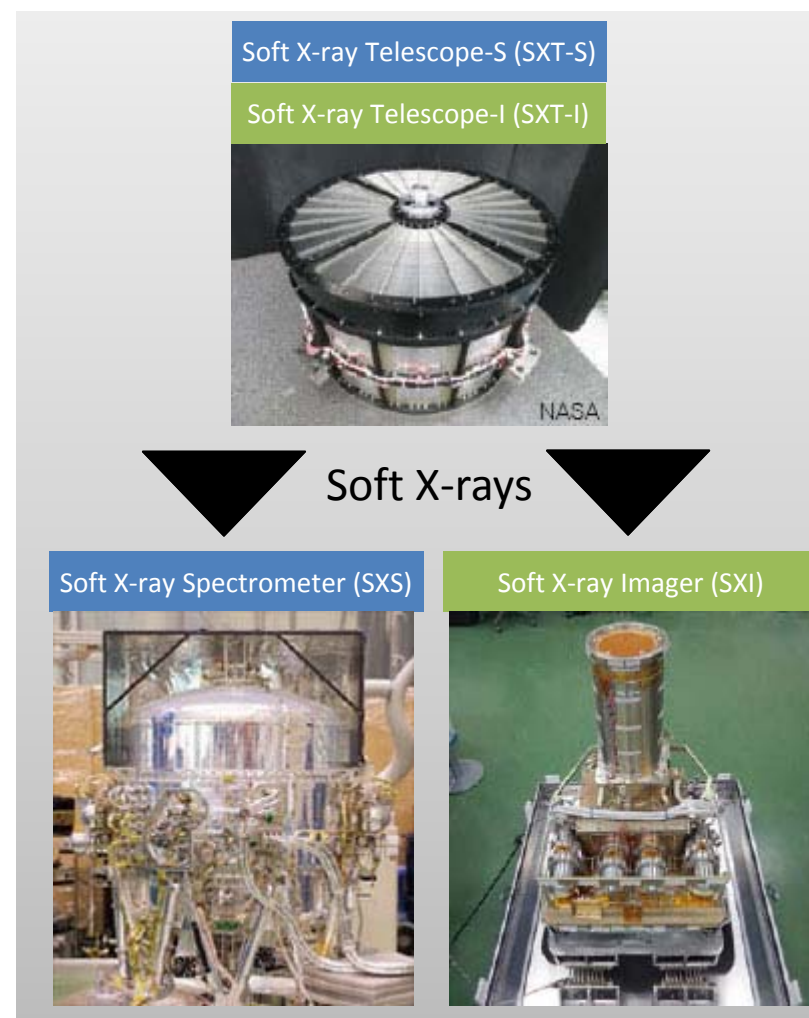
④総開発費(運用費除く)

241億円

(平成29年度概算要求39億円)

⑤主要諸元

SXSを中心とし、SXI,SXTを搭載予定



略称	英語	日本語
SXS	Soft X-ray Spectrometer	軟X線分光検出器
SXI	Soft X-ray Imager	軟X線撮像検出器
SXT-I	Soft X-ray Telescope for Imager	SXI用軟X線望遠鏡
SXT-S	Soft X-ray Telescope for Spectrometer	SXS用軟X線望遠鏡

1. 再発防止対策について

- 『X線天文衛星ASTRO-H「ひとみ」異常事象に関する報告書』記載の以下対策への取り組み状況を報告する。

1.1 直接要因への対策について（調査報告書5.3対応）

- （1） オンボード姿勢決定におけるSTTの使用方法
- （2） FDIR姿勢異常判定における独立センサの使用
- （3） 姿勢制御用パラメータの軌道上書き換え

1.2 背後要因を含めた対策について ～ プロジェクト運営の改革（調査報告書6.2対応）

- （1） プロジェクトマネジメント体制の見直し
- （2） 企業との役割・責任分担の見直し
- （3） プロジェクト業務の文書化と品質記録の徹底
- （4） 審査／独立評価の運用の見直し

略称	英語	日本語	説明
STT	Star Tracker	スタートラッカ	姿勢を検知するセンサの一つ
FDIR	Fault Detection Isolation and Reconfiguration	故障検出, 分離及び再構成	故障を検知し、自動で対策を行う機能

1.1 直接要因への対策について



- (1) オンボード姿勢決定におけるSTTの使用方法について
(センサ出力と計算機(値)との齟齬が生じた場合の設計上の対処)
→ STT出力と姿勢制御系ソフトウェア計算値に一定以上の齟齬が発生した場合には、STTを棄却して姿勢角推定値のみを使用する状態を長期間維持しないこと。

 - (2) 及びFDIR姿勢異常判定における独立センサの使用への対策について
(あるセンサデータが使えない場合の相互補完などのロバスト性の確保)
→ STTからのデータが使えない場合に、太陽センサ出力や発生電力等の実測値を用いた姿勢異常判定を行い確実にセーフホールド移行する。

 - (3) 姿勢制御用パラメータの軌道上書き換えへの対策について
(運用についての作業・検証プロセスの妥当性)
→ パラメータの書換を軌道上で行う場合には、打上げ前に確認されたパラメータで書き換えることを基本とし、確認されていない、または、確認できない場合には事前にシミュレータ等による検証を実施してから送信する。
データ入力誤りへの対策として、「訓練等で運用に使用可能であることを確認したツールのみ」の使用を義務化する。
検証漏れへの対策として、JAXA及び運用支援業者の双方で、ダブルチェックを含む検証結果や検証行為を確認するプロセスを明確化する。
- 上記の詳細は『JAXA不具合情報システム』に登録する。後続のプロジェクトは、同システムを利用して適切な設計対処を行うと共に、審査会でその対処状況を確認する。

1.2 背後要因を含めた対策について～プロジェクト運営の改革

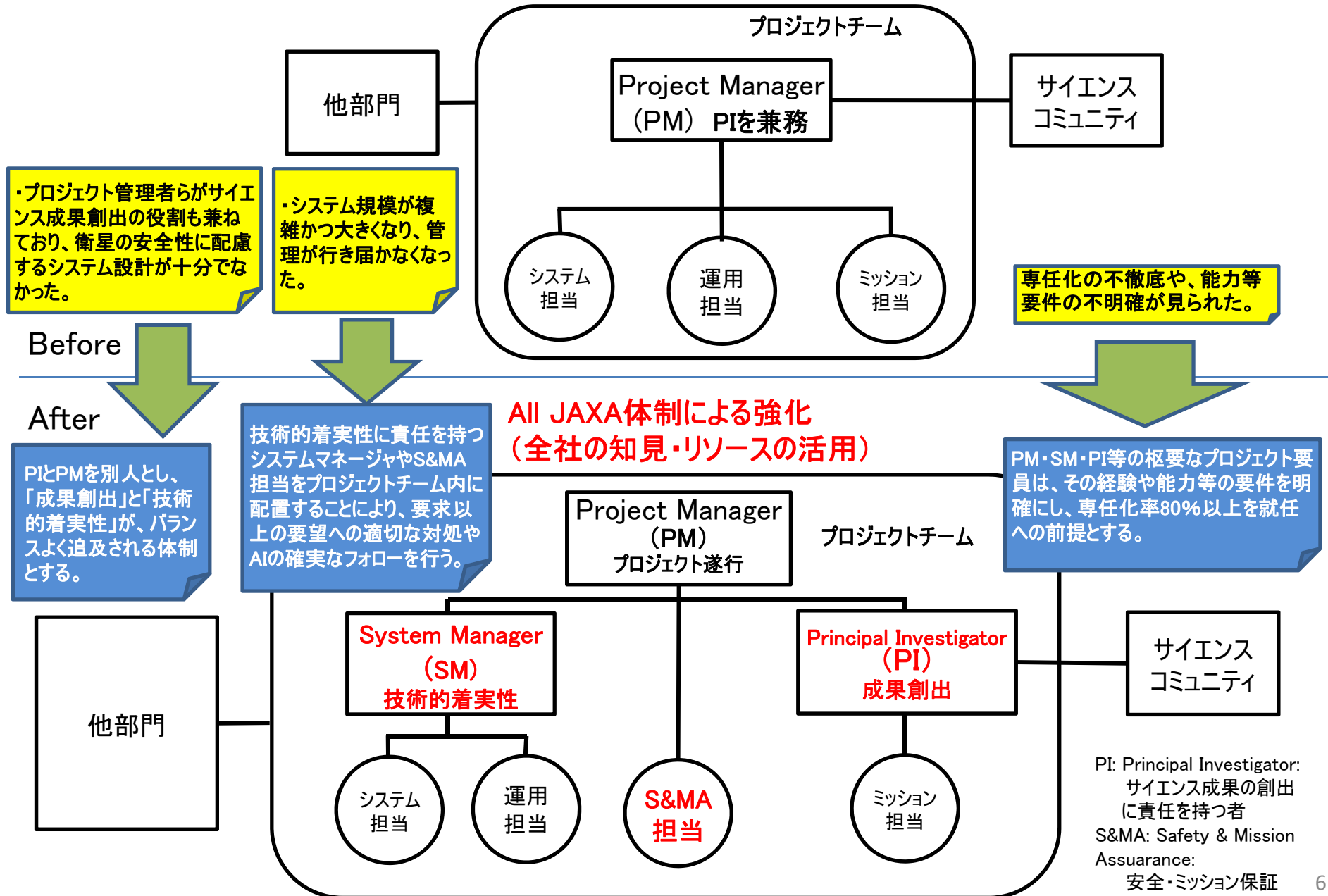
異常事象調査報告書6.2章記載の「背後要因を含めた対策」に対し、プロジェクト運営改革の方向性やより具体的な実行計画を、宇宙科学研究所の様々なメンバー(*)で議論した。

(*)各研究主幹、各プロジェクトマネージャ(経験者を含む)など関係者による検討チーム会合を4回、宇宙研全職員を対象としたタウンミーティングを2回実施。

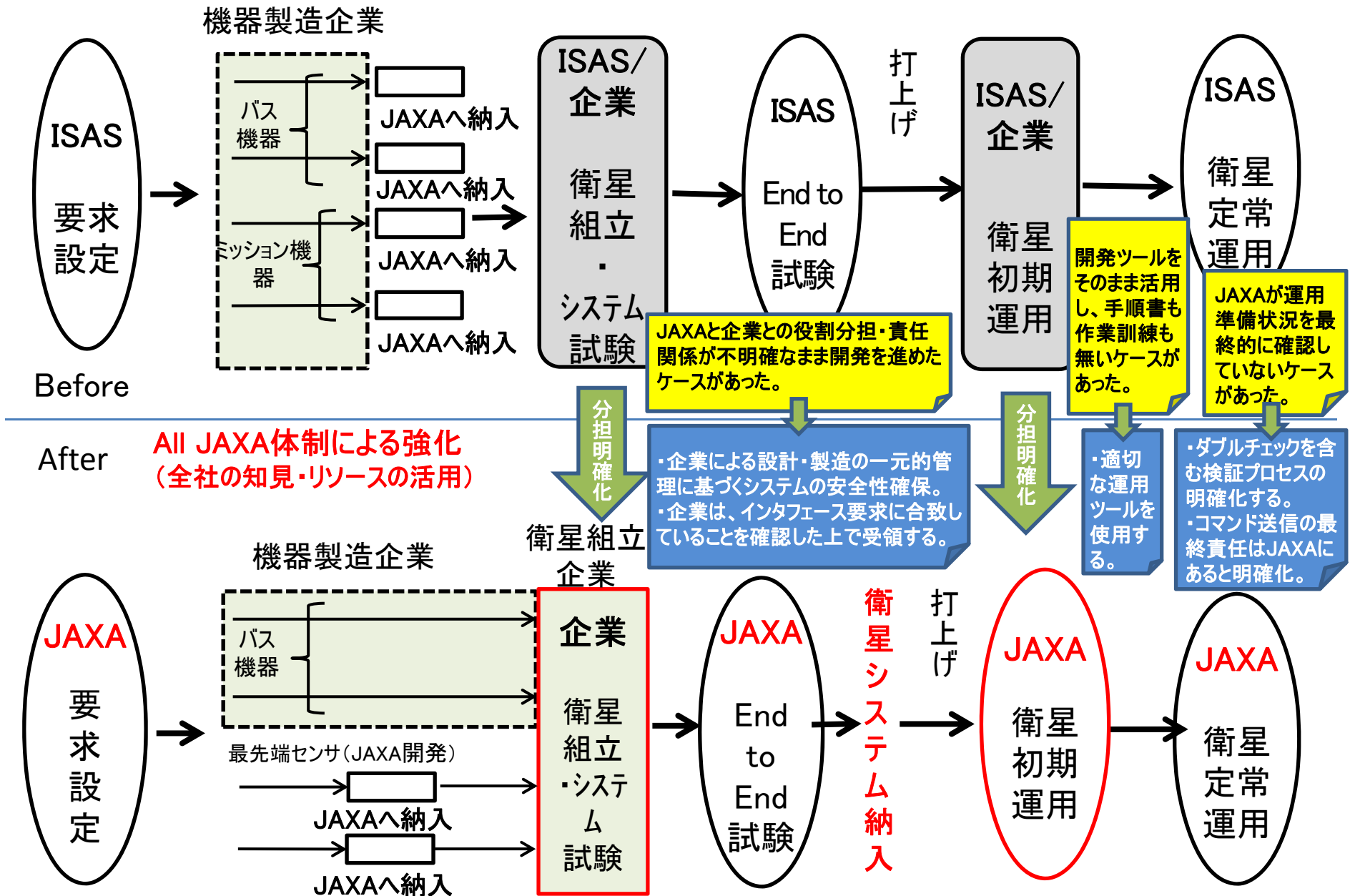
次頁以降に、上記議論で導き出したプロジェクト運営改革の方向性について、その概要を記載する。

今後は、宇宙研の組織運営・プロジェクト運営の改革を進め、最終的には、契約ルールを含め、JAXAの共通的な規程、規則、ガイドラインに取り込む。

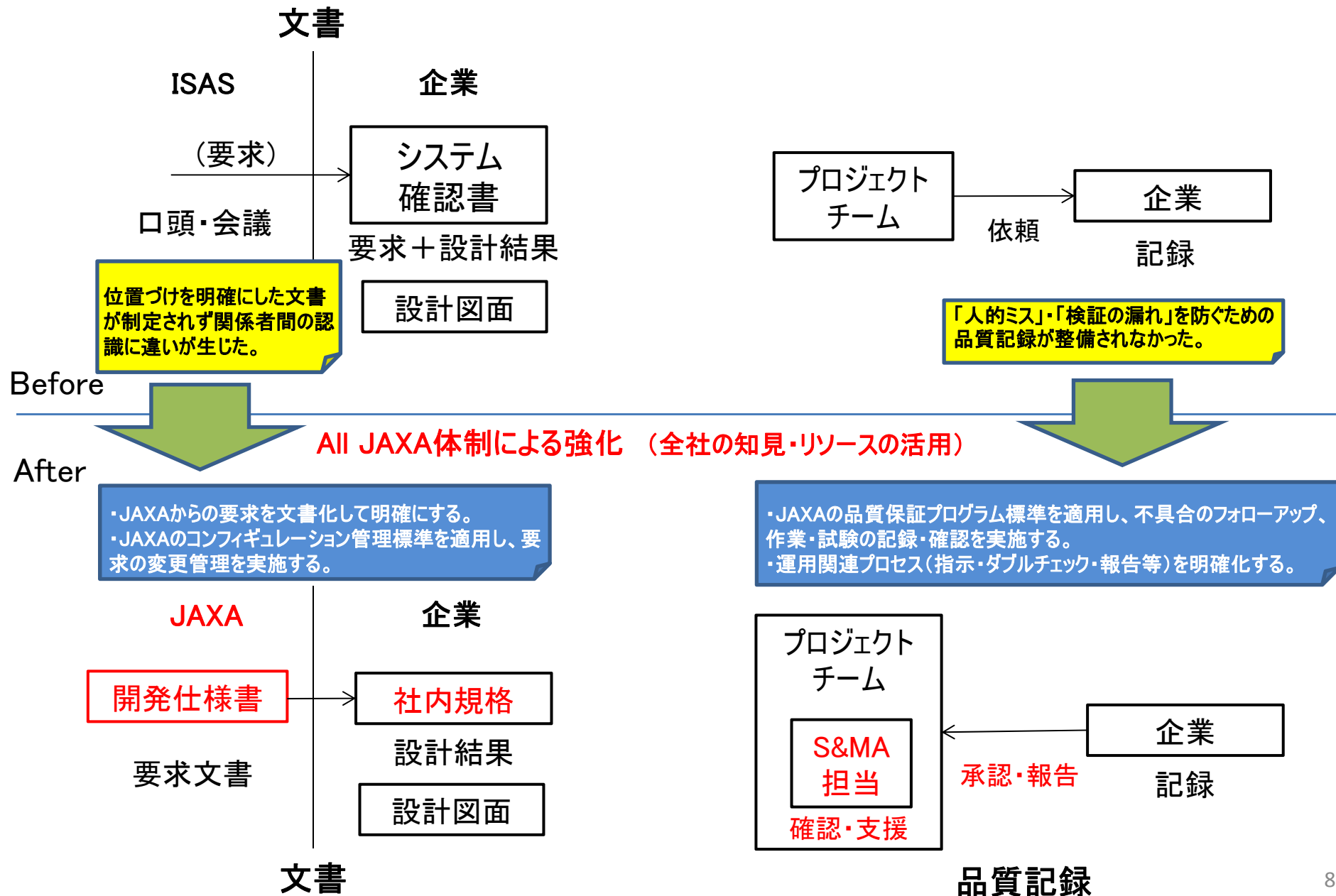
1.2(1)プロジェクトマネジメント体制の見直し



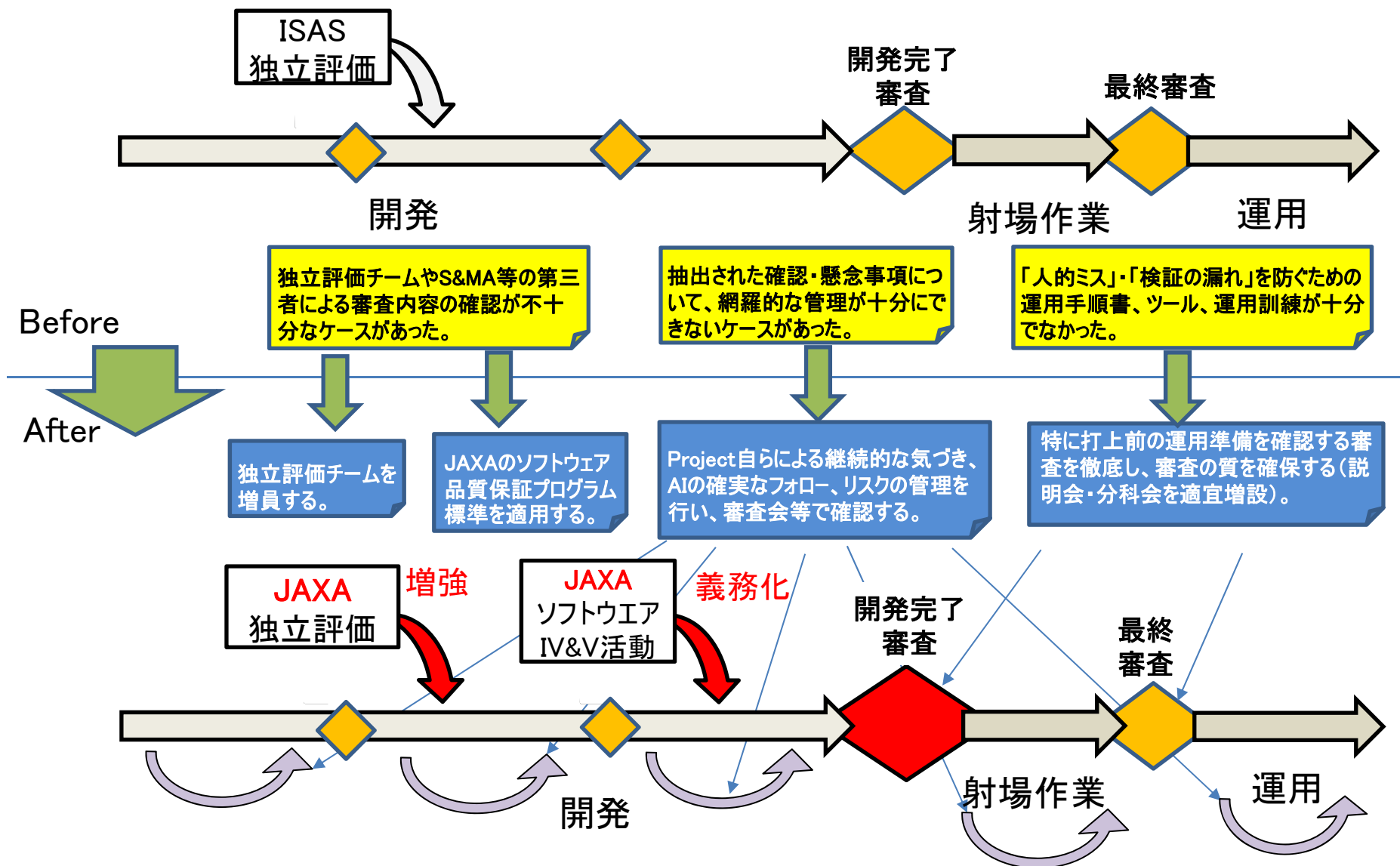
1.2 (2) 企業との役割・責任分担の見直し



1.2(3)プロジェクト業務の文書化と品質記録の徹底



1.2 (4) 審査/独立評価の運用の見直し



All JAXA体制による強化 (全社の知見・リソースの活用)

2. X線天文衛星代替機に向けた調整状況



(1) 政府委員会への報告

- ・7/14: 宇宙開発利用部会
- ・7/19, 8/1: 宇宙政策委員会 宇宙科学・探査小委員会
- ・8/18: 宇宙政策委員会 宇宙産業・科学技術基盤部会
- ・8/26: 宇宙政策委員会

・8/26 宇宙政策委員会での代替機の議論

先の宇宙科学・探査小委員会及び宇宙産業・科学技術基盤部会での議論を踏まえて御検討いただき、「再発防止のための対策については、これまで指摘した内容を含めて、今後JAXAにおいて、適切な対策を実施することが可能であると判断できる。また、これに加えて、代替機の開発については、他の重要な宇宙科学・探査計画に与える影響を最小限にできること、科学コミュニティの一定の理解・支持が得られていること、科学的意義があること、国際的な貢献・信頼回復にもつながること等を確認した。これらの理由から、今後政府において、代替機の開発を目指した作業を進めていくことが適切である。」と纏めて頂いた。

2. X線天文衛星代替機に向けた調整状況



(2) 海外機関との調整

NASAやESAは、高波長分解能のX線天文衛星計画を持たず、国際協力での開発に参加することで、ASTRO-Hに大きな期待を寄せていた。

代替機の開発においては、ASTRO-H開発と同様の役割分担で、NASAやESAから参加の方針が示された。

(調整実績)

- ・8/5: NASA科学局長代理－ISAS所長の会合@NASAゴダード
NASAからX線天文衛星代替機への参加方針が示された。
- ・8/31: ESA対外調整室長－ISAS所長の会合@ISAS
ESAより代替機へ参加方針が示された。
- ・9/22-23: 「レッスズラウンド会合」@NASA
初日はプログラム面、二日目は技術及びマネジメント面について、ASTRO-Hの問題点の確認を行う専門家会合をJAXAとNASAで実施。NASAの過去プロジェクトやASTRO-Hにおけるレッスズラウンドを共有した他、代替機プロジェクトの体制や今後の共同作業の進め方についても協議した。また、同時に開催されたNASA長官－JAXA理事長の会合において、協力の方針であることを再確認した。

今後の予定



JAXAは、ASTRO-Hの運用断念について、観測成果に期待をいただいた国内外の協力関係機関や天文学の研究者、及び多くの国民の方々に対し、その期待に応えられなかった責任を重く受け止め、再発防止策を講じてきた。

今後は、プロジェクトマネージャ選定を含めALL JAXAの体制でX線天文衛星代替機のプロジェクトを準備するチームを速やかに組織し、平成29年度からのプロジェクト開始に向けた準備を進めていく計画である。

また、10月に「ASTRO-H終了審査」を実施し、ASTRO-H開発・運用の全期間にわたる総括を行い、科学要求と衛星の安全を両立させる確実なプロジェクトを推進する。

補足資料

宇宙科学コミュニティの見解

「宇宙理学委員会」、「宇宙工学委員会」(1,000名を超える研究班員から委員が選出)において、ミニマムな装置構成を前提として、X線天文衛星代替機の開発に関する提案に賛同がなされている。

また、X線天体観測を含む「高エネルギー宇宙物理連絡会」においては、自らの改善提案と、上記提案が実現した場合には、総力を挙げてトップクラスの成果を多数生み出す旨の決意表明がなされている。







科学コミュニティ	結論
宇宙理学委員会 宇宙工学委員会	<u>条件付で、X線天文衛星代替機に関するISAS提案に賛同する。</u> 但し、ミニマムでの装置構成における予算・スケジュール規模を想定とする。
宇宙科学 運営協議会	指摘事項に留意することを前提として、 <u>X線天文衛星代替機の検討や交渉に入ることを支持する。</u>
高エネルギー 宇宙物理連絡会	もし機会が与えられるならば、自らの改善提案に従い、総力を挙げて取り組み、トップクラスの成果を必ずや多数生み出すことを約束する。 <u>X線天文衛星代替機を提案させて頂きたい。</u>

上記以外にも、日本学術会議 天文学・物理学分科会 臨時懇談会等において、代替機の状況を説明、様々な立場からの意見交換を行った。

日本が打上げた過去のX線天文衛星の観測実績とASTRO-H衛星の狙い



※論文数は、はくちょう・てんま・ぎんがは過去資料調べ。(2014年9月現在)
あすか・すざくはトムソン・ロイター社“Web of Science”データベースを用いたISAS集計。

名称	打上げ・運用停止年	査読付論文数	主な観測成果
はくちょう 	1979年(打上げ) 1985年(運用停止)	26	ブラックホール天体「白鳥座X-1」にちなんで命名された、日本初のX線天文衛星。小田稔博士(1971年ブラックホール論文の著者、後に宇宙研所長)が発明した「すだれコリメータ」の搭載により、X線天体の天空上の位置を高精度で決定できるようになった。これにより新たなX線バースト源を数多く発見して国際的に高い評価を受け、我が国のX線天文学を一気に世界トップレベルへと押し上げた。
てんま 	1983年(打上げ) 1988年(運用停止)	53	新開発のガス蛍光比例計数管によりエネルギー分解能を2倍以上に向上させて、X線天体の本格的な分光観測の道を拓いた。主な成果は、我々の銀河系の銀河面に沿って存在する超高温プラズマからのX線放射(銀河リッジ放射)の発見など。この銀河X線放射の起源と正体の解明を目指して、後続衛星では必ず観測が行なわれるなど、現在まで続くX線天文学の重要研究課題の一つとなった。
ぎんが 	1987年(打上げ) 1991年(運用停止)	448	当時最大級の面積を持ち高感度でX線天体を観測できる新たな観測装置を搭載。主な成果は、観測開始直後の超新星1987A※のX線検出成功や、多数のブラックホール候補天体の発見等である。この衛星から観測機器を海外研究者と共同開発するなど、国際協力が本格的にスタートした。 (※近傍銀河で4半世紀ぶりに発生した超新星だった。同じ超新星爆発から小柴昌俊博士が岐阜県のカミオカンデを用いてニュートリノを検出し、後にノーベル物理学賞を授与された。)
あすか 	1993年(打上げ) 2001年(運用停止)	2,287	日本で初めての本格的X線望遠鏡や世界初のX線CCDカメラ等を搭載したことにより、感度を飛躍的に向上。主な成果は、活動銀河核から放射されるX線に、ブラックホール近傍の一般相対論的効果によると考えられる特徴を発見し、銀河中心部に超巨大ブラックホールが存在することを支持する初めての直接的証拠を得た。 また国際公募観測も初めて開始した。全観測データは世界中の研究者に公開・利用されており、論文数が飛躍的に増えることとなった。
すざく 	2005年(打上げ) 2015年(科学観測終了)	681	「あすか」よりもさらに感度を高めたX線望遠鏡と広帯域をカバーする観測装置を搭載。主な成果は、超新星残骸中の電離非平衡プラズマの検出、衝撃波による宇宙線加速機構の研究、X線反射星雲の発見、厚いガスに埋もれた活動銀河核の発見、銀河団外縁部での重元素分布の観測による銀河団の進化の解明、マグネター(超強磁場中性子星)の放射機構の研究、などである。
ASTRO-H ひとみ 	2016年2月(打上げ) 2016年3月運用停止	掲載1、 投稿済1 (2016年9月 29日時点)	従来より広帯域かつ10倍以上の感度を持つ検出器を開発して、宇宙の大規模構造とその進化の様子を捉え、その成長を支配していると考えられている暗黒物質の謎や銀河とブラックホールの共進化の謎に挑む。

X線天文学の意義



(宇宙の構造の進化の解明に向けた多波長観測の必要性とX線観測の特徴)



大規模構造は宇宙の進化とともに成長

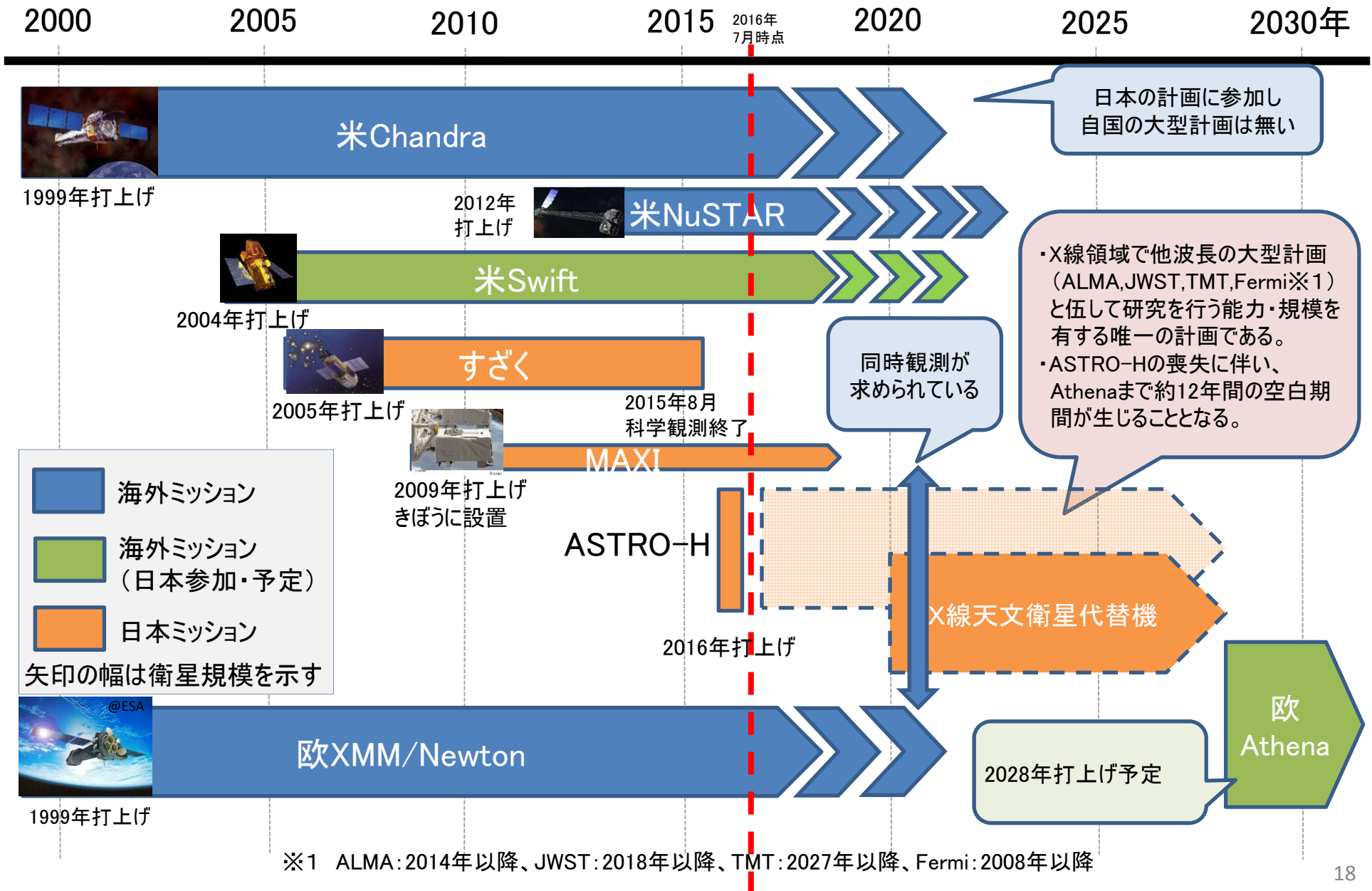
現在のX線天文衛星の状況と国際的期待



- これまでの日本のX線天文学の実績と能力を基に、NASAやESAは2010年代は自国の独自の計画でなくASTRO-Hに国際協力で参加することを選択しており、ASTRO-Hには、世界唯一の大型X線天文衛星としての活躍が期待されていた。
- X線分野では、「すざく」衛星が2015年8月に科学観測を終了した。2016年7月現在、Chandra, XMM-Newtonの衛星が運用中であるがすでに稼働年数が15年以上と長く、検出器の劣化も見られる。米NuSTAR衛星は2012年打上げで新しいが、硬X線の波長域に特化した衛星である。
- 次の大型X線天文衛星計画は、欧州主導で計画しているAthena(2028年打上げ目標)まで無い。すなわち、2010年代後半の他の波長での大型観測が始まる大事な時期にX線天文学の最も重要な部分が空白期となってしまう。(次頁線表参照)。
- ALMA(電波地上望遠鏡)は日米欧国際協力、米国はFermi(ガンマ線衛星)とJWST(可視・赤外衛星)など、X線以外の波長は日本以外の国が主導し、国際協力と競争のなかで観測が実施されている。観測センサー等の開発の技術を維持し続けるためにも、我が国の強みであるX線観測において我が国が主導的に開発をすることは必須である。

世界のX線天文学将来計画

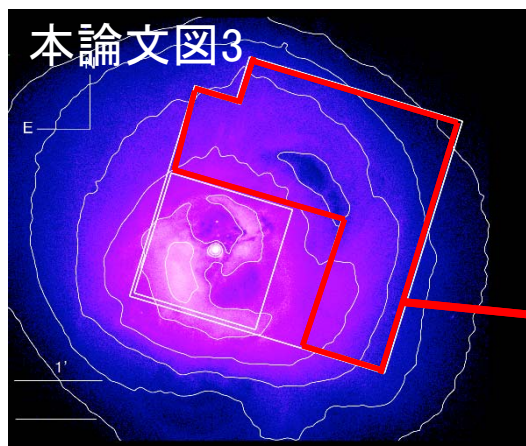
2016年7月現在、
Chandra, NuSTAR, Swift, XMM/Newton, MAXIは、
いずれも2018年までの運用延長予定



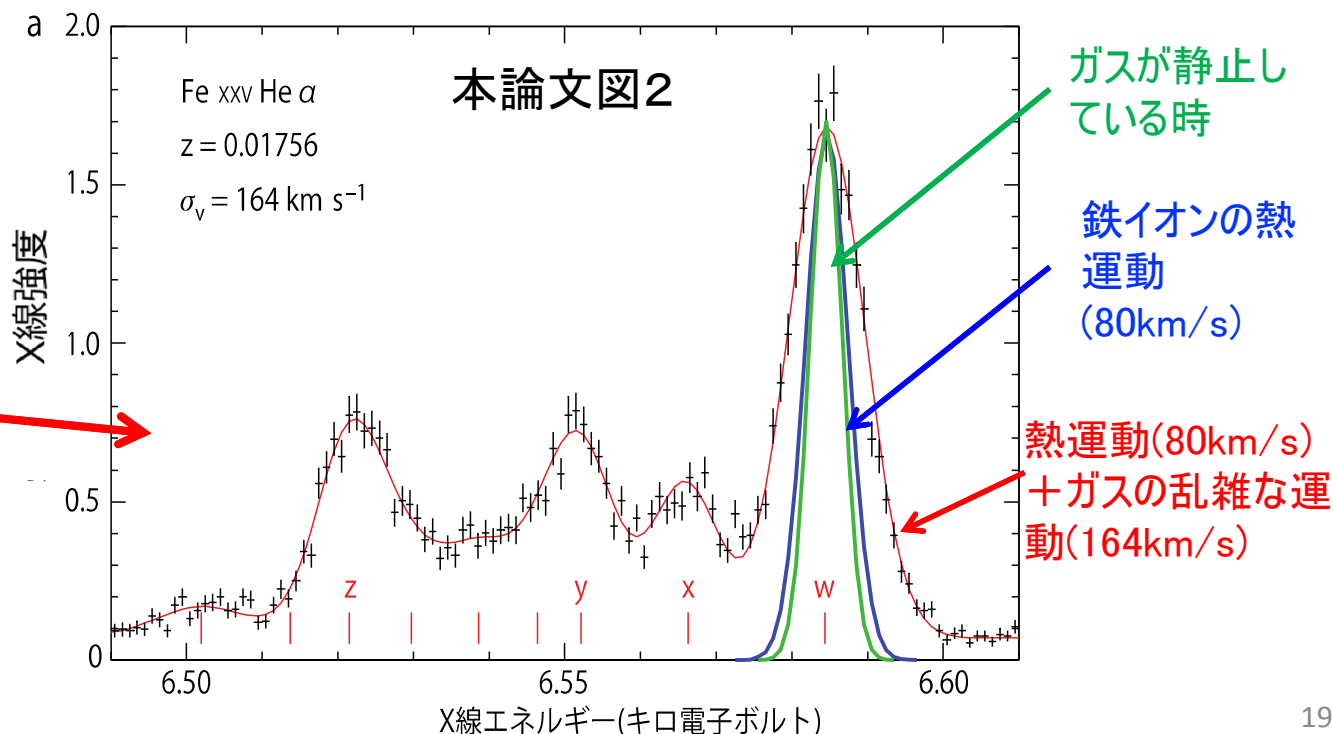
ASTRO-H成果： Nature(7/7付け)掲載論文要旨



- ASTRO-H搭載の軟X線分光検出器は、要求値を上回る優れた分光性能を達成。
- ペルセウス座銀河団中心領域を観測。超巨大ブラックホールから吹き出す高エネルギー粒子の泡が、ガスの激しい乱雑運動を引き起こしていると予想されていた。
- 高階電離した鉄の特性X線の幅を測定し、ガスの乱雑運動の速度を求めたところ、予想外に静かなことが判明した(視線速度150-200 km/s)。
- 超巨大ブラックホールによるガスの加熱という、長年の課題を解く重要な手がかりが得られた。
- ダークマターの質量推定にガスの乱雑運動の影響が小さいことを初めて示した。



本論文図3
チャンドラ衛星画像と
検出器の視野



ASTRO-H事故を踏まえた設計見直し



『システム設計』

最先端の科学観測を実施しつつも、安全を重視したロバストなシステム設計を行う。

『ASTRO-H総点検』

ASTRO-Hの開発・運用を振り返り、その反映事項を抽出して適切に取り組む。

『姿勢制御系ソフトウェア』

ASTRO-Hの直接原因に対して複合的な対策を施し、慣性基準装置(IRU)バイアス誤差の推定値が高止まりが起らない設計とする。



『太陽角異常検出条件』

十分広い視野の粗太陽センサを採用する等、セーフホールド姿勢移行の太陽方向異常検知に、姿勢決定系推定姿勢以外の情報を用いる設計とする。

『運用』

運用準備を確実にするための共通的な支援部門や「運用準備作業のガイドライン」を定義する。運用準備状況を打上1年前から確認し、最終的には第三者の視点も含めて審査する仕組みを構築する。