

委24-2-1

電波天文衛星 (ASTRO-G) の 状況について

2011年8月24日

宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所

目次

1. プロジェクトの概要
 - 1.1 ASTRO-Gプロジェクトの目的
 - 1.2 システム概要
 - (1)システムの全体構成
 - (2)ASTRO-G衛星の概要
 - (3)大型展開アンテナの概要
2. プロジェクトの経緯
 - 2.1 開発及び技術検証の経緯
 - 2.2 顕在化した技術課題とその検証
 - 2.3 大型展開アンテナ技術課題に係る検証結果
3. ASTRO-Gプロジェクトの今後について

はじめに

- 第25号科学衛星 (ASTRO-G) は、宇宙科学コミュニティの提案を受けて平成17年に宇宙科学研究所で選定し、平成20年に宇宙開発委員会の評価を受けて開発を行ってきたものである。
- しかしながら、平成21年1月時点でミッション実現の中核である高精度展開アンテナの技術課題等が明らかになったため、プロジェクトを休止して技術課題の検討及び成立性の検証を行ってきた。
- 約1年半にわたる検討の結果、現在達成可能なアンテナ鏡面精度ではサイエンスの重要な部分が達成できないこと、サイエンス目標を達成可能な範囲に縮退したとしても、当初を大きく上回る資金と期間が必要であること等が明らかとなった。
- これを受け、コミュニティによる科学的価値の評価等を経て宇宙科学研究所としてASTRO-G中止の意向を固め、JAXAの経営審査においてプロジェクトを中止する方向で宇宙開発委員会に評価を提案することが妥当との結論を得た。
- このため、ASTRO-Gプロジェクトを中止する案について宇宙開発委員会での評価をいただきたい。

1. プロジェクトの概要

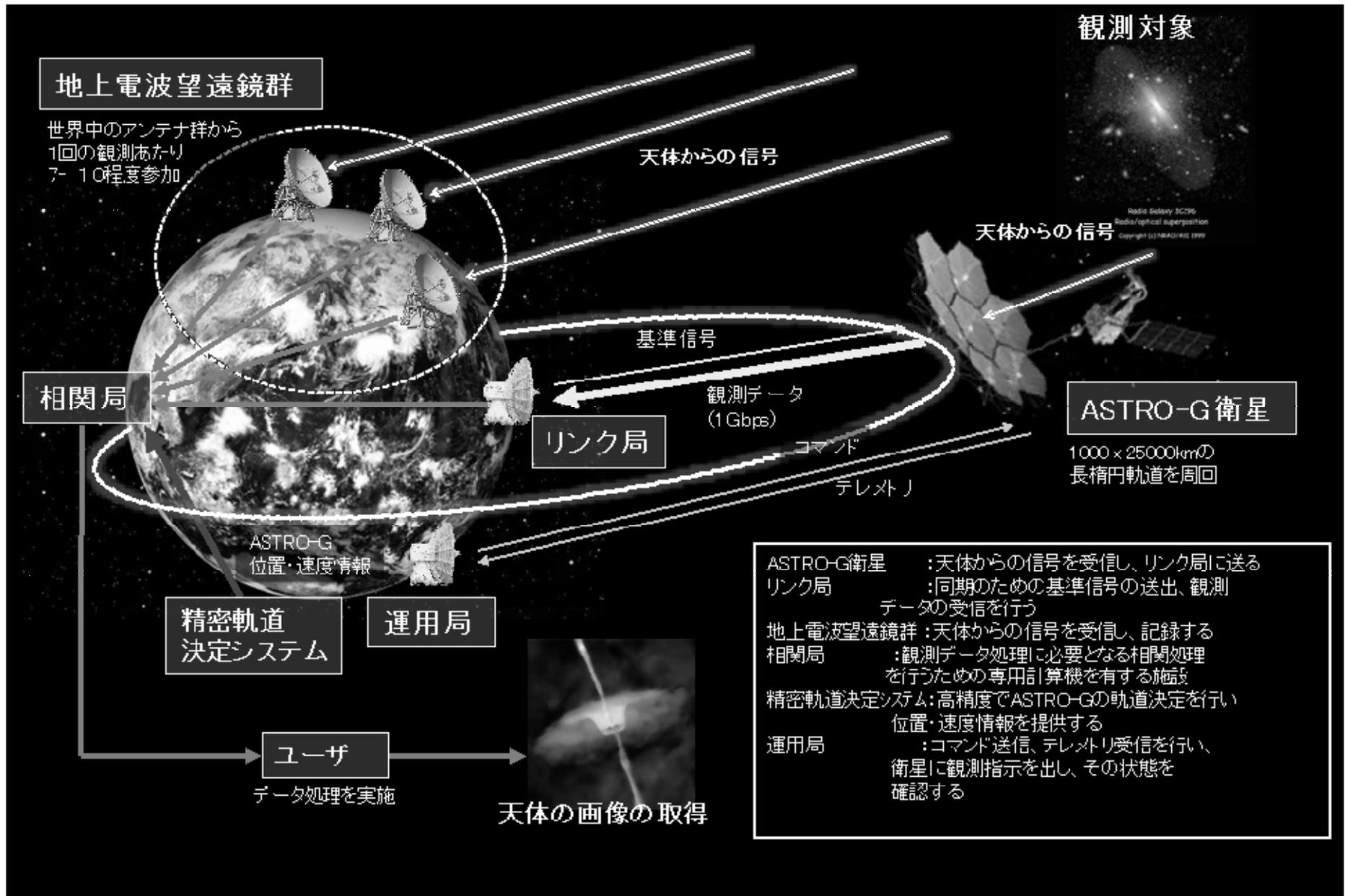
1.1 ASTRO-Gプロジェクトの目的

ASTRO-Gプロジェクトとは、

- ブラックホール重力場を検証する
- 超高エネルギープラズマ現象を探る
- 星形成領域における3次元的ガス運動を把握する
- 世界的にユニークな観測データを世界中の天文学者に提供することにより、人類にとっての新しい知見を得る
- 世界トップレベルの観測データを通じて、天文学をリードできる研究者を育成するを目的とする、JAXAと国立天文台の共同プロジェクトである。

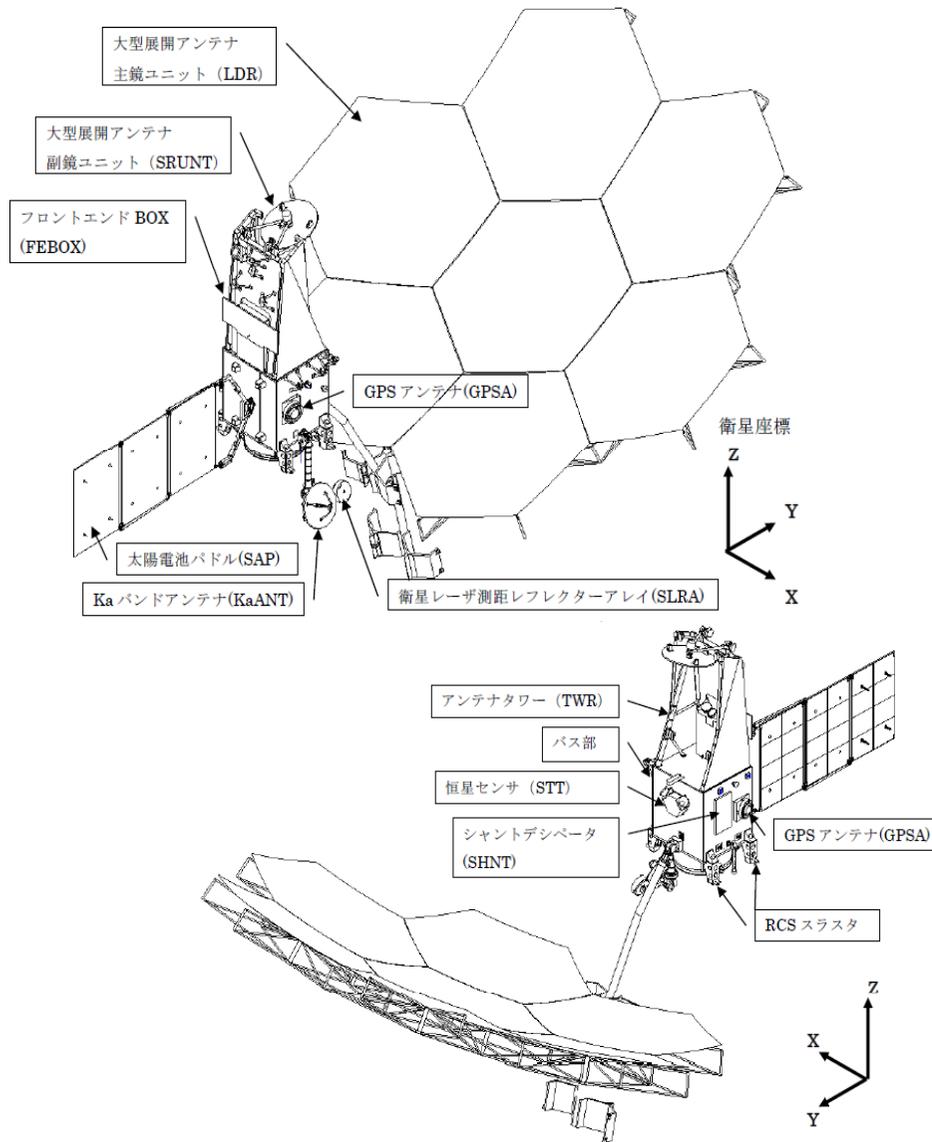


1.2 システム概要 (1)システムの全体構成



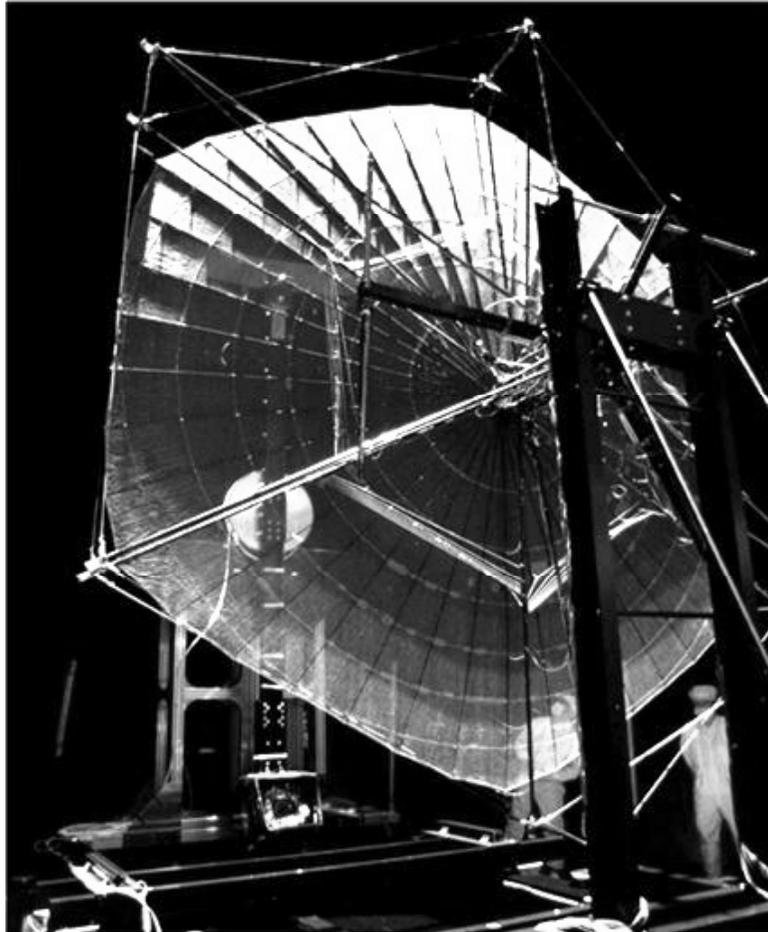
1.2 システム概要 (2)ASTRO-G衛星の概要

主要諸元

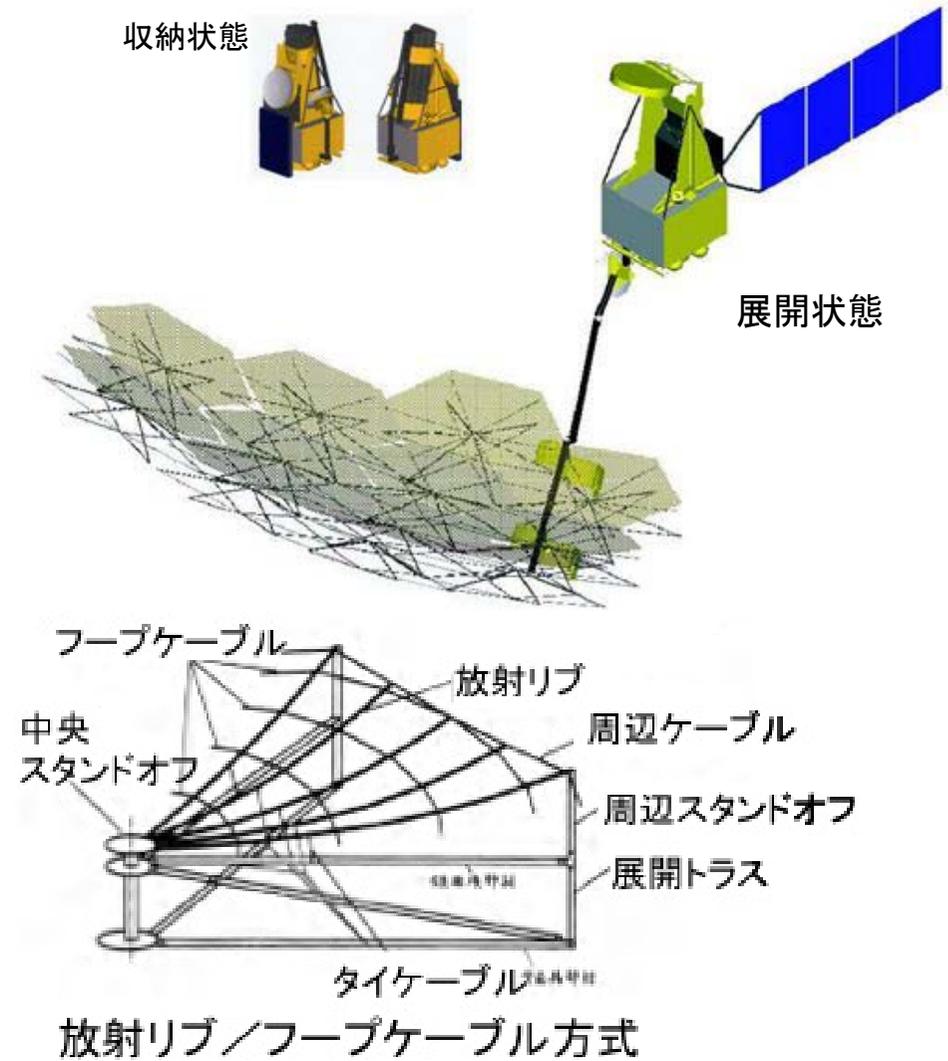


アンテナ	口径9.6m相当の高精度9m展開アンテナ
観測系受信帯域	8GHz帯, 22GHz帯, 43GHz帯
データ伝送速度	(ミッション系) 1 Gbps
観測軌道	遠地点高度25000km, 近地点高度1,000km 軌道傾斜角31degの楕円軌道
外形寸法	2m(X) × 18.1m(Y) × 9.7m(Z) (軌道上展開形状)
衛星質量	約1200kg (推進薬含む)
発生電力(EOL)	約1400W
ロケット	H-IIAロケット
目標寿命	3年

1.2 システム概要 (3)大型展開アンテナの概要



展開アンテナ主鏡 1 モジュールEM。裏面からみた構造。
(熱真空試験時)



2. プロジェクトの経緯

2.1 開発及び技術検証の経緯

時期	実施概要
平成12-17年	開発前段階の研究として試作試験等を実施(LUNAR-Aの教訓反映)
平成17年2月	宇宙理学委員会 ^(注1) の提案を元にVSOP-2(ASTRO-G)を25号科学衛星として選定
平成18年6-7月	宇宙開発委員会での事前評価を受け、開発研究段階に移行
平成19年7月	プロジェクト移行審査(4月)を経てプロジェクトチームを発足
平成20年7-8月	宇宙開発委員会での事前評価を受け、開発段階に移行
平成21年1月	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト進捗報告会^(注2)において <ul style="list-style-type: none"> - 当初予定していたNASAとの協力(地上局等)が不成立になったこと - 大型展開アンテナの技術課題が顕在化したこと および、これらに起因する資金超過が見込まれることを報告 ・これを受け、基本設計確認会に関する業務以外のプロジェクト活動を一旦休止
平成21年2-3月	基本設計確認会において、アンテナの技術成立性を評価するために必要な一部課題の評価が未完了であることを確認
平成21年7月	<ul style="list-style-type: none"> ・大型展開アンテナに関する再設計確認会を行い、アンテナの鏡面精度達成に新たな技術課題が確認された。 ・並行して、ISAS内でプロジェクトと独立の評価チームを設け、アンテナ以外の問題点の洗い出しを実施。

(注1) 大学との共同等による学術研究の実施について審議するISAS所長の諮問委員会のうち、宇宙理学分野に関する委員会。
当該分野のプロジェクト候補の選定等も行う。半数をISAS外の委員で構成。

(注2) LUNAR-Aプロジェクト中止の教訓を踏まえて経営層による定期的な進捗把握を目的として導入。

2.1 開発及び技術検証の経緯(続き)

時期	実施概要
平成21年8-10月	<ul style="list-style-type: none"> ・ミッション成立性に係わる技術課題の検討を行うため、1年程度の成立性検証作業が必要と判断 ・プロジェクト活動全体を休止し、技術的成立性の検証作業に入ることを決定
平成21年11月 －平成22年7月	プロジェクトメンバを含む技術実証チームを置き、技術的成立性の確認のための試験・検証を実施
平成22年7-9月	<ul style="list-style-type: none"> ・技術実証チーム結論を受け、宇宙理学委員会において科学的価値等の観点からASTRO-G計画を再評価。 ・ミッション定義に戻って再検討が妥当と結論
平成22年9-12月	<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙理学委員会での評価結果を踏まえ、宇宙科学運営協議会^(注1)において更に広い視点からASTRO-G計画を評価 ・理学委員会結論を支持。中止が妥当と結論し、宇宙科学研究所長に答申
平成22年12月	宇宙科学研究所としてASTRO-G計画の中止を判断
平成23年1月	<ul style="list-style-type: none"> ・理事会議において宇宙科学研究所の判断を報告 ・ASTRO-Gの中止に向けた準備を開始
平成23年2-5月	ASTRO-G計画教訓委員会 ^(注2) を設置 同計画から抽出すべき教訓及びこれを活かす方向性について審議答申
平成23年6月	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト終了審査を実施し、ASTRO-Gの総括・評価及び終了の妥当性を審査 ・プロジェクト中止が妥当と結論
平成23年7月	理事会議において終了審査結果を報告、了承

(注1) 宇宙科学関連業務の重要事項について審議するISAS所長の諮問委員会。半数をISAS外の委員で構成

(注2) ISAS所長の諮問委員会。JAXA外の有識者4名及びISAS外のJAXA有識者1名で構成

2.2 顕在化した技術課題とその検証

➤ 大型展開アンテナの技術課題

開発移行時の計画に従って速やかに試験モデル(EM)を用いた検証を行った結果、下記に示す技術課題が顕在化し、観測要求上必要な大型展開アンテナの鏡面精度(0.4mm rms)達成が困難となった。このため、プロジェクトを一旦休止し、再開判断に必要な対策を立てて検証を行った。

技術課題	推定要因	対策	検証計画
展開非再現性 (単体モジュール)	フープケーブル材質および端部処理に起因する初期伸び。	フープケーブルの材質変更(撚り有から撚り無へ、長さ変化の小さな材料へ)。フープケーブルの端部処理変更(ループ+かしめから、金具への接着に)。	EM 1 モジュールのケーブルを交換し、収納・展開試験による展開非再現性の実証
フープケーブルの経年伸びによる鏡面形状変化	フープケーブル材質および端部処理に起因する経年的な伸び。		材料試験、要素試験(熱・機械特性、耐宇宙環境試験など)によるケーブル性能の実証
放射リブの膨潤変形(の軽減)	放射リブの大きな脱湿変形	放射リブ材を膨潤変形の小さなポリシアネート系レジンを用いたCFRPに変更。	要素試験(熱・機械的特性、脱湿変形、耐宇宙環境試験)による性能の実証
複数モジュール結合時の鏡面形状予測と展開非再現性	モジュールの初期形状誤差とモジュール結合部遊びに起因する鏡面変形量は地上では7モジュール結合状態で測定できない。解析モデルによる予測が必須。	ETS-VIII大型展開アンテナEM 3モジュールを用いた結合試験で、解析モデルを検証	ETS-VIII 大型展開アンテナEMを改修し、ASTRO-Gの条件に適合した3モジュール結合試験、展開再現性試験を実施し、結合モデルと試験結果との整合性を実証

➤ その他の課題

その他、開発段階において計画していたリスク低減作業のうち、宇宙科学研究所の独立レビューチーム、および、JAXAチーフエンジニアオフィスの評価により、優先度が高いと結論された以下の項目について、プロジェクト再開判断前にリスク最小化の処置を行うこととした。

- 高速データ処理部の放射線耐性
- 要求制御速度・精度を満たす安定な高速姿勢変更制御
- 要求精度を満たす精密軌道決定

2.3 大型展開アンテナ技術課題に係る検証結果

- 大型展開アンテナに関し、以下の対策についての技術実証を実施した。
 - フープケーブルの材質変更による鏡面精度の向上
 - 放射リブの材質変更による膨潤変形の改善
 - モジュール間結合評価の妥当性の確認



これらの技術実証により、ミッション期間の半分に当たる打上げ1.5年後まで鏡面精度1.0mm rmsを実現できる見通しが得られたが、サイエンス要求を満たす鏡面精度0.4mm rmsの達成は困難との結論に至った。

3. ASTRO-Gプロジェクトの今後について

(1) ASTRO-Gプロジェクトの実施主体である宇宙科学研究所が、下記の理由によってプロジェクトを中止する意向を固めた

- 宇宙理学委員会への提案時に示されたサイエンスの重要な部分が、現在の技術で可能なアンテナ鏡面精度では達成できない
- 実現可能な範囲にサイエンス目標をデスコープしても、コストおよびスケジュールの大幅な超過が見込まれ、これを許容すれば、他の科学ミッションへの多大なる影響が及ぶ

(2) これを受け、JAXAはプロジェクト終了審査(経営審査)においてASTRO-Gプロジェクトの総括・評価を行い、中止する方向で宇宙開発委員会に評価を提案することが妥当との結論を得た。

このため、ASTRO-Gプロジェクトを中止する案について、宇宙開発委員会での評価をいただきたい。

參考資料

電波天文学、干渉計、スペースVLBI

電波天文学とは:

天体が放射する電磁波のうち波長の最も長い電波領域を使って観測を行う天文学。X線で主に観測される高エネルギーの電磁波と比べると、電波領域では低エネルギーから高エネルギーのまでの全ての天体现象を捕らえることが出来る。ASTRO-G (VSOP-2) では、8GHz帯(波長3.8cm), 22GHz帯(波長1.3cm), 43GHz帯(波長0.7cm)の3つの周波数帯で観測を行う。

電波干渉計とは:

複数のアンテナを組み合わせることで1つの大きな仮想的アンテナを作る観測方法。電波領域で実用的に使われている。この手法により空間分解能や感度の向上を図ることが可能となり、現在ではX線や赤外の観測と比べて電波領域による天文観測が最も空間分解能が高い。ASTRO-Gでは電波領域において最高の空間分解能を達成する。

なお、干渉計の空間分解能 θ は以下の式で決まる。

$$\theta \text{ (ラジアン)} \sim \lambda \text{ (電波の波長: cm)} / D \text{ (アンテナの間隔: cm)}$$

スペースVLBIとは:

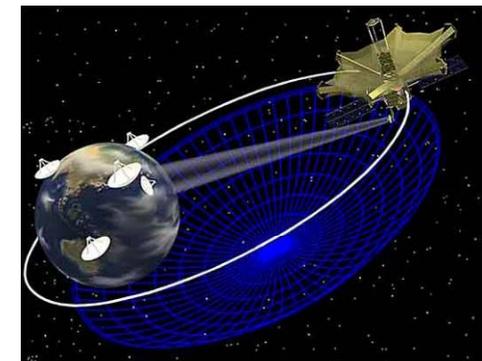
宇宙に電波望遠鏡を置いて、地球上の電波望遠鏡群と干渉計を構成する。アンテナの間隔(D)を地球直径の壁を越えて延ばすことにより、より高い空間分解能の天体画像を取得することが可能となる。ASTRO-Gでは、口径35,000km相当の電波望遠鏡を作ることで、43GHz帯(波長0.7 cm)において空間分解能40 マイクロ秒角程度の天体画像取得を行う。



電波望遠鏡(野辺山45m)



干渉計 (野辺山10m×6台)

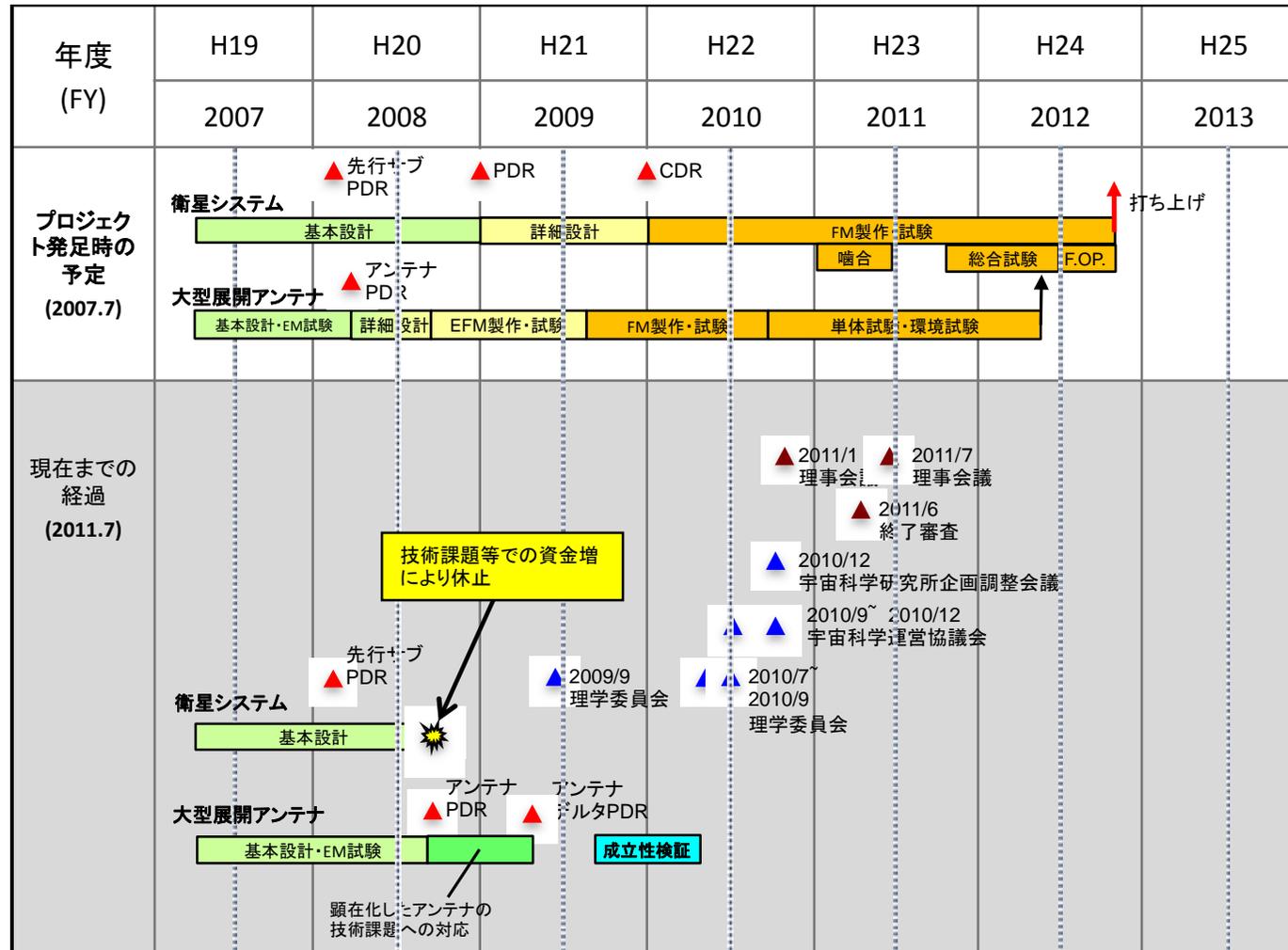


スペースVLBI(「はるか」) 15

ASTRO-Gプロジェクトのサクセスクライテリア

ミニмум サクセス	<p>衛星と地上の電波望遠鏡群を用いてスペースVLBI観測網を構成し、8GHz, 22GHz, 43GHzのいずれかで「はるか」を上回る空間分解能での観測を100観測以上行い、科学的なデータを取得する。</p>
フルサク セス	<p>1) 打上げ後3年以内に300観測以上行う。 2) 上記の観測を通じて、以下の観測成果を得る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 43GHz帯によるスペースVLBI観測を行い、人類史上最高の約40マイクロ秒角の空間分解能且つ、最小検出輝度温度10億度以下でブラックホールに肉迫した領域の直接撮像を実現する。 ➤ ブラックホール近傍から噴出するジェットの高円偏波観測を70マイクロ秒角以上の高分解能で行い、ジェットの「超根元」の磁場の構造の解明に資するデータを取得する。偏波観測の性能は、最小検出可能偏波率5%以下、偏波角精度10度以下とする。 ➤ 8, 22, 43GHzの多周波スペクトル観測を行い、ジェットの「超根元」の電子のエネルギー分布を取得する。 ➤ 22GHzの水メーザ、もしくは43GHzのSiOメーザ放射を観測し、星形成領域における3次元的なガス運動を20マイクロ秒角以下の絶対位置精度で検出する。
エクストラ サクセス	<p>以下の項目のうち1つ以上を達成すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 想定寿命3年を超えて観測を繰り返して行い、時間変化の少ない天体の運動を検出する。 ➤ 相対論的強重力場の証拠となるブラックホールによる影(ブラックホール・シルエット)を観測する。 ➤ 星形成領域のフレアによる電波放射領域の構造を撮像する。 ➤ 観測周波数帯域における世界最高の空間分解能、「はるか」を上回る検出感度を駆使し、他のシステムでは観測し得ない天体現象の観測を実現し、従来考えられていなかった新しい現象を発見し、活動銀河などの天文学上の研究の動向におおきな変化をもたらす。

ASTRO-Gプロジェクトのスケジュール



開発成果とその効果(概要)

項目	開発の成果	成果の活用が期待される用途あるいは技術領域
大型展開アンテナ	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ETS-8で開発されたS帯(2GHz)のアンテナに対して、高周波での使用を目的とした開発を実施し、22GHz帯までは使用できる9m級モジュール型展開アンテナの開発ができる見通しを得た。 ✓ 高精度複合材料等の宇宙環境による特性劣化、クリープ特性等の基礎データを取得した。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 高精度大型宇宙構造物技術 ✓ X〜Ku帯で利用可能な展開型大型アンテナ
高速・高精度姿勢変更を実現する姿勢制御技術	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 大型展開アンテナなどの柔軟構造物を励振せず高速姿勢変更を実現する姿勢制御技術について、制御性能実現の見通しを得た。 ✓ CMG EM実機を用いた特性評価により、JAXAにおいて軌道上での本格的な使用経験がないCMGの制御特性に関する知見を得た。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 柔軟構造を有する衛星の高速姿勢制御技術 ✓ CMGを用いた姿勢制御技術
高精度軌道決定	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 長楕円軌道における精密軌道決定を実現するため、世界初となるGPSとSLR(衛星レーザ測距)を併用した精密軌道決定を検討し、要求実現の見通しを得た。 ✓ SLR用リフレクタアレイ(SLRA)の試作試験を実施し、高精度SLRA技術の国産化の目途を得た 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 長楕円軌道における精密軌道決定 ✓ 高精度軌道決定に用いる国産高精度SLRAの開発
ミリ波帯高感度受信系	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 低雑音低損失の搭載用冷却受信系の開発の目途を得た。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 宇宙機搭載可能な高性能Ka帯受信系
広帯域通信	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 広帯域(1Gbps)サンプリング〜データ処理〜変復調を実現する観測信号系の開発の目途を得た。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ギガビット級広帯域データ伝送技術