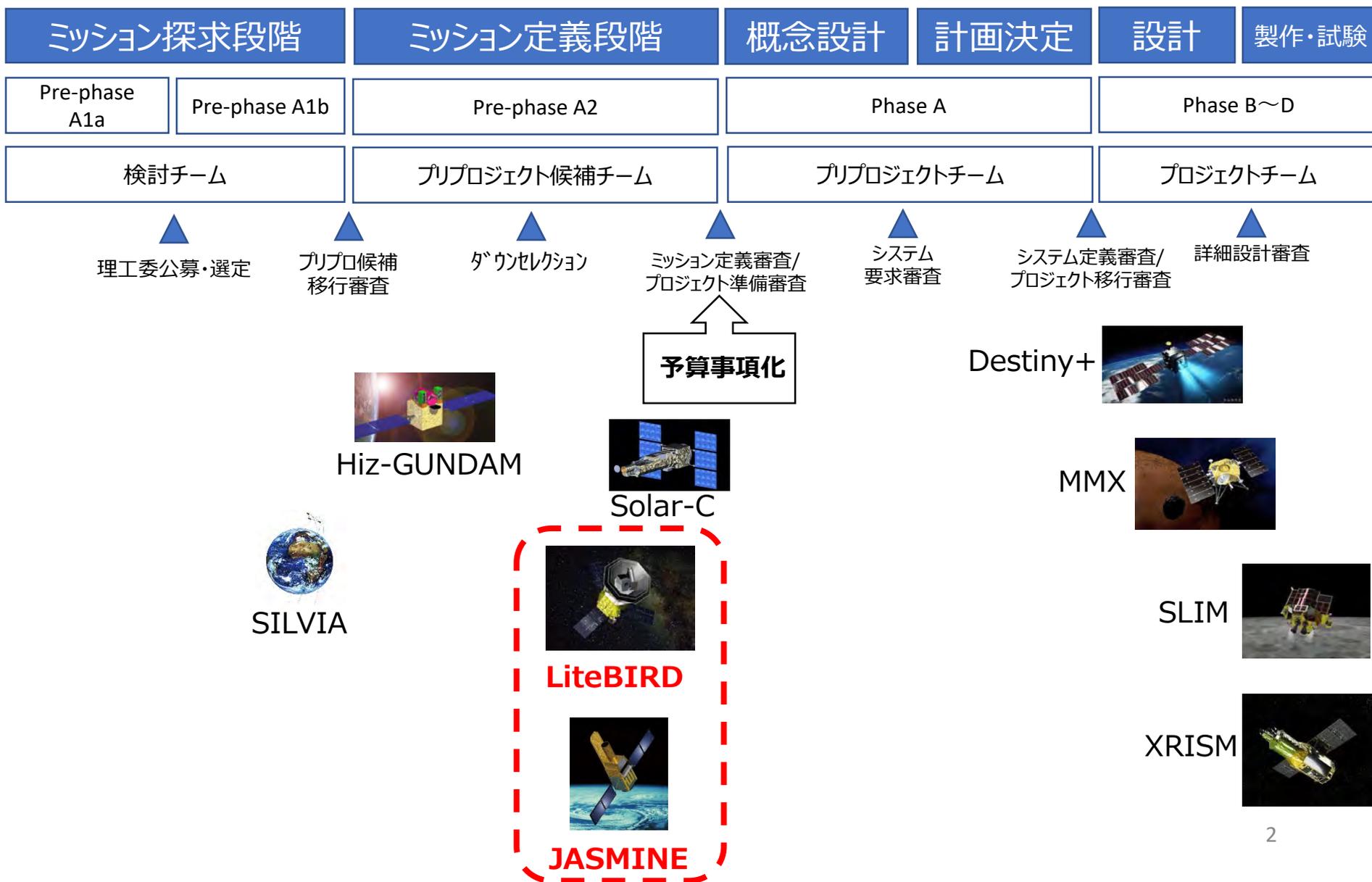


**宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」
及び赤外線位置天文観測衛星「JASMINE」
検討状況について**

令和3年（2021年）11月12日
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究所

1. ISASの開発中ミッションの進捗概要





宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.1 ミッション概要

目的：宇宙背景放射(CMB)を用いたインフレーションの検証

戦略的中型ミッション2号機

人類にとって根源的な知的探求

- ◆ 宇宙誕生の瞬間とは？
- ◆ 宇宙・時空を創るルールブック (究極理論) とは？

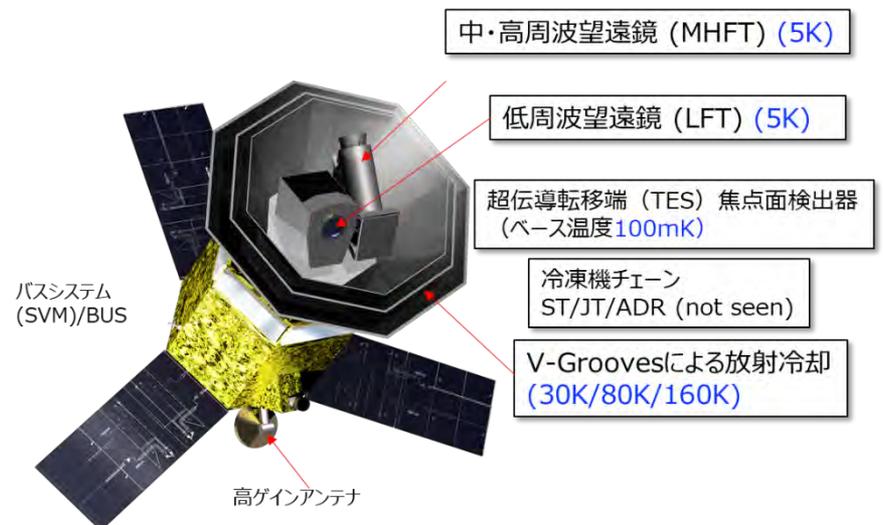
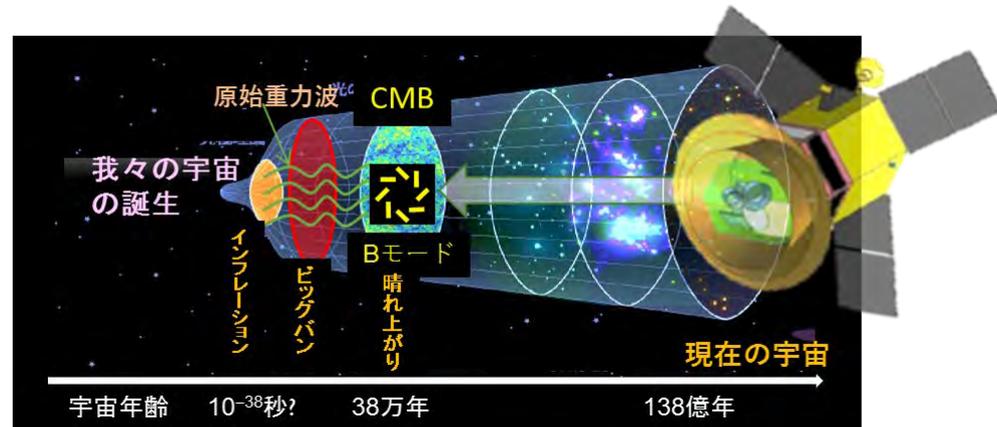
「宇宙のインフレーション仮説」

(佐藤勝彦東京大学名誉教授等が提案) は、熱いビッグバン以前の宇宙に関する最有力仮説。原始重力波の存在を予言。

原始重力波は宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の偏光マップに「指紋」の様な痕跡(Bモードと呼ばれる)を残す。

LiteBIRDはスペースからの観測でのみ可能な「指紋」の全天精査を行い、インフレーション仮説を徹底検証する。

「Bモードの発見は、科学史上最も大きな発見の一つとなる」(レイナー・ワイス、2018年ノーベル物理学賞)



2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.2 経緯

1. 2015年9月25日 戦略的中型宇宙科学ミッション候補としてISAS選考委員会が選定
2. 2016年5月 国際科学審査会 委員長 Lyman Page (プリンストン大学)
3. 2016年8月 ISAS Phase-A1準備審査会
4. 2019年5月 Pre-Phase A2確認会
5. 2019年5月21日 ISASがLiteBIRDを戦略的中型2号機に選定
→選定を踏まえ、同12月 宇宙基本計画工程表記載
6. 2020年3月 NASA MoO落選
→NASAが「MoOを国際協力ミッションには使わない」という方針変換。
→NASA提供を予定していた焦点面検出器の代替案を検討開始
7. 2021年10月 世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)に高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 「量子場計測システム国際拠点」採択
8. 2021年10月 LiteBIRDに関する協定を仏CNES-JAXA及びKEK-ISASと締結
(NASA提供を予定していた検出器検討含む)

2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.3 Phase Aへ向けた検討状況（概要）

- 昨年3月のNASA参加取りやめ後、ISASとして組織的に国内外のパートナー候補と交渉を行い、今般、開発体制の立て直しに目途を付けた。技術検討も進捗したため、宇宙基本計画工程表の達成へ向け、次の開発フェイズ移行の見通しがついた状況。
- 早期に次の概念設計フェイズに移行したうえで、ミッション部のBBM試験を行い、リスクを低減したうえで、メーカ選定及びプロジェクト移行を行っていきたい。

■ 主な検討項目の進捗状況概要

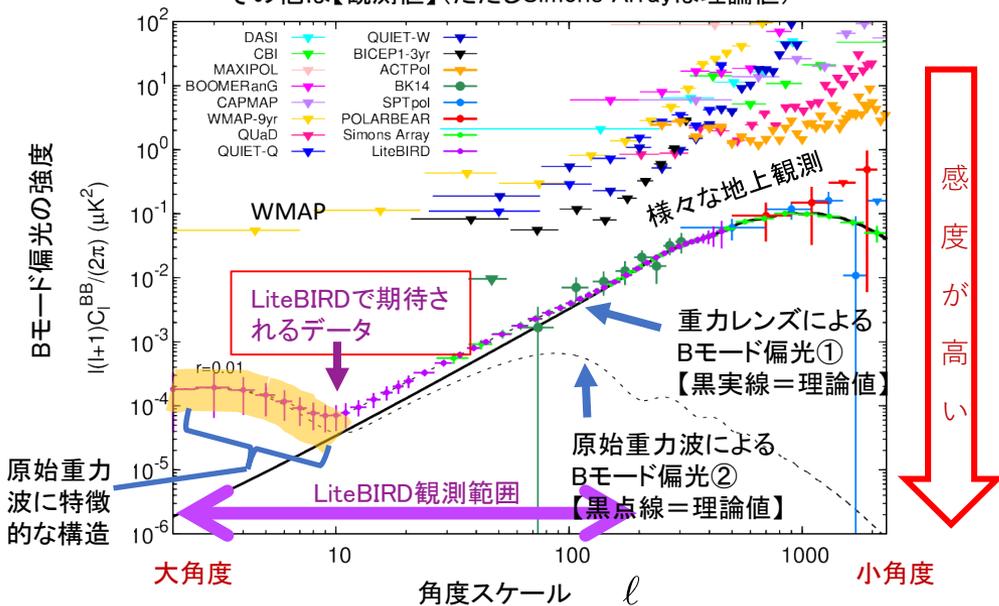
NO	検討項目	進捗状況	主なリスク等
1	ミッションの価値	打上げ時点でのサイエンス価値は非常に優れている	
2	開発体制	国内外のパートナーによる開発体制に目途がついた。	パートナー機関の予算要求、開発リスク
3	技術検討	キー技術含め現段階のシステム実現可能性を確認。	欧州による検出器開発、その他ペイロードモジュールレベルの検証
4	総プロジェクト経費	現時点において戦略中型のコストキャップに収まる見通しを確保	パートナーの予算要求ができなかった場合の対応等
5	スケジュール	2028年度打上げの見通しを確保	欧州側の開発リスク

2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.4 ミッションの価値

- 2020年代に精密なCMB偏光観測を行う衛星は世界的に見てLiteBIRDに絞られたため、欧米の多くの研究者がLiteBIRDに集結。
- 宇宙からの広帯域全天観測は、大気の窓だけで観測する地上に対して圧倒的優位性がある。
- 2020年代において、衛星・地上の競合のなかで、Bモード偏光の観測によりインフレーションの決定的な証拠を世界に先駆けつかむことができるのは、唯一LiteBIRDのみ。

- LiteBIRDは【理論値】
- その他は【観測値】(ただしSimons Arrayは理論値)



LiteBIRDと地上望遠鏡の感度比較

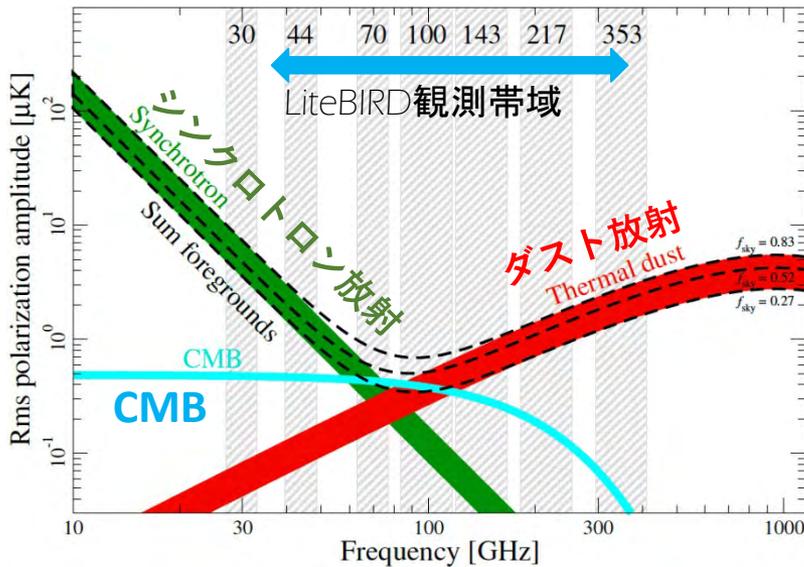
	計画名	時期
衛星	LiteBIRD (日)	2020年代
	Pico (米) ※計画段階	2030年代中盤
	Voyage 2050 CMB Spectral distortion (欧)	2040年代
地上	CMB S4	2029-
	Simons Observatory	2024-

世界の宇宙マイクロ波背景放射の実験計画

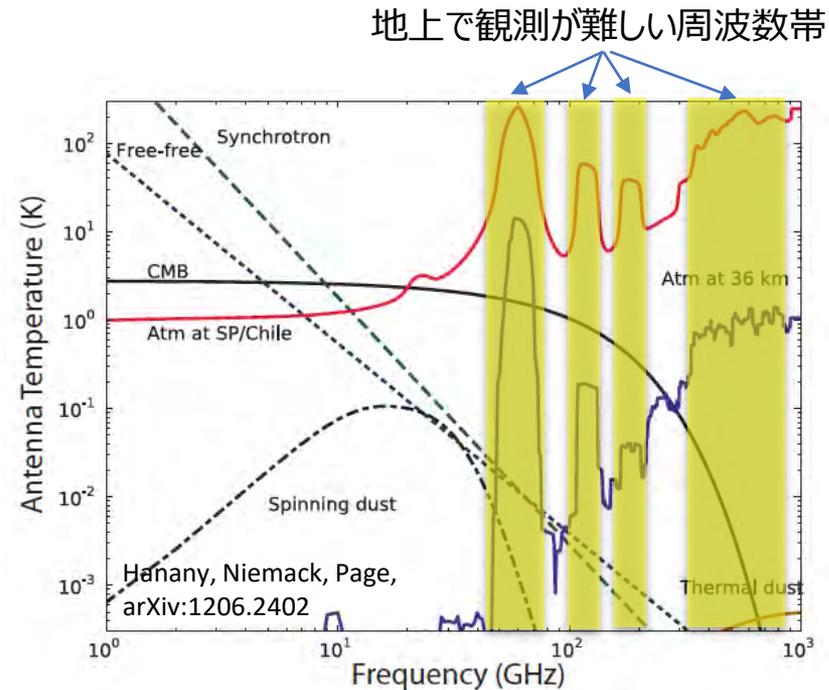
2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.4 ミッションの価値【参考】

- 我々は天の川銀河の中にいるため、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の観測には、天の川銀河の放射（前景放射。左下図）の影響を取り除く必要がある。
- LiteBIRDは34GHz-448GHzでの広帯域の観測によって、その影響を確実に取り除くことが可能である。地上では、大気の影響で観測が難しい周波数帯があるため（右下図）前景放射の影響の完全な除去は困難。



CMBと前景放射（シンクロトロン放射、ダスト放射）のスペクトル

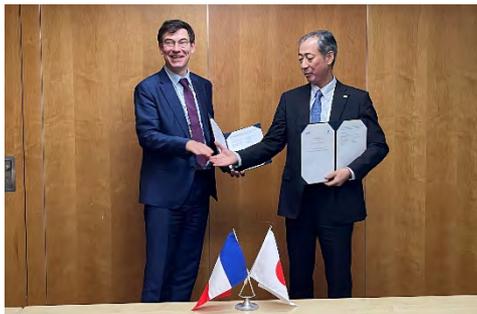
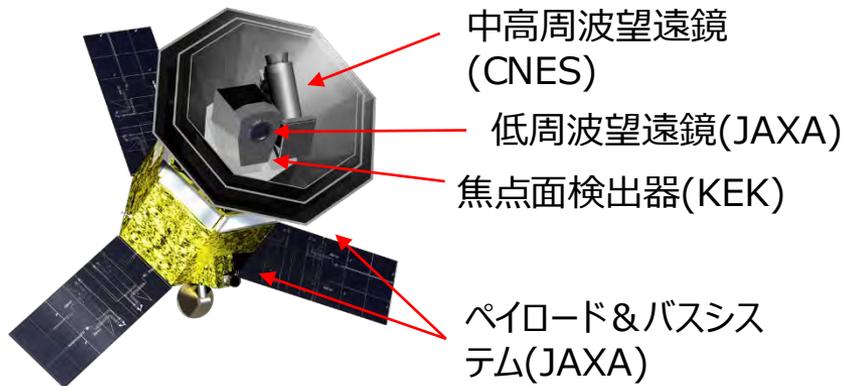


地上で観測が難しい周波数帯

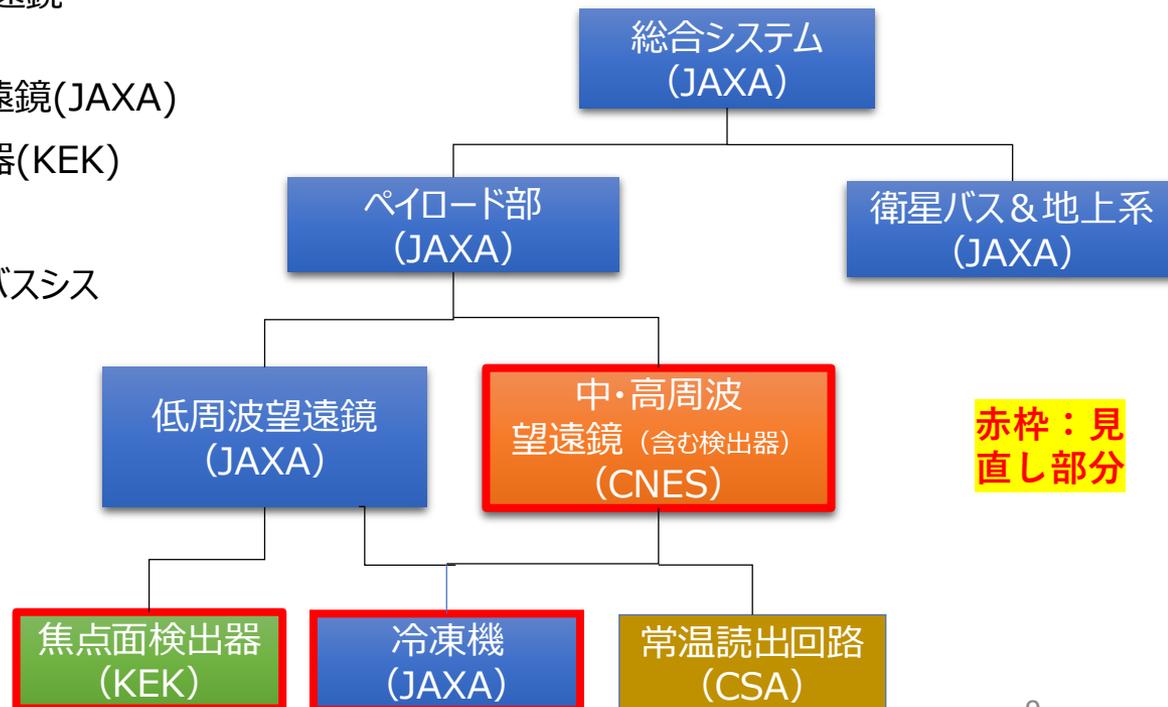
2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.5 開発体制 1 / 2

- NASAの参画取りやめを受け、開発体制の見直しを短期間で実施。仏CNES及び高エネルギー加速器研究機構（KEK）がNASAからの提供を想定していた焦点面検出器を分担する予定。
- KEKでは、世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）に「量子場計測システム国際拠点」が採択され、そのフラッグシップ計画として、LiteBIRDに貢献する体制を構築。
- 本年10月にCNES-JAXA間の協定、及びKEK-JAXA間の協定を締結（加CSAと協定調整中）。これらを踏まえ今後、詳細な技術検討に入る。



本年10月のLiteBIRDに関するCNESとの協定署名式@IAC（山川理事長-バティスタ総裁）



赤枠：見直し部分

2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.5 開発体制 2 / 2

KEKの新しいWPI拠点

量子場計測システム国際拠点

International Center for Quantum-field Measurement Systems for Studies of the Universe and Particles (QUP)

- 文科省 / 日本学術振興会：世界トップレベル研究拠点プログラム
- 本年度 1 件のみ採択 -> QUPを採択
- 本年度から10年間、最大70億円
- KEKがホストし、拠点長のトップダウンで進める独立性が高い拠点
- LiteBIRD PI (羽澄) が拠点長
- LiteBIRDは拠点のフラグシッププロジェクトという位置づけ→焦点面検出器の開発を推進
- カリフォルニア大学バークレー校が「QUPサテライト」として拠点の一部をなす
- KEKが担当する超伝導センサー製作を、サテライトで推進

目標

「量子場」は神羅万象の根源である。本拠点は、

- 宇宙物理、素粒子物理、物性物理、計測科学、システム科学を融合する。
- 融合研究により、量子場を計測する新しいシステムを発明・開発し、宇宙観測や素粒子実験における計測に革新をもたらし、時空と物質の真の姿を解明する。
- 以上の実践から手段の科学として新しい計測学（量子場計測システムロジー）を確立し、さらに、物理学にとどまらない広い分野への応用と社会実装を目指した研究により、高次の融合研究と新たな社会的価値を創出する。



UC Berkeley Satellite

豊田中央研究所サテライト

2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.6 技術的な成立性

- 主要な技術課題の実現性検討、及びシステム概念検討を実施中。
- 現時点で解決が難しい大きな技術課題はない。今後、段階的に検討の進捗を見極めつつ、現時点で次の開発フェイズ移行の技術的な準備は整うと判断。

検討項目		実施状況
主要技術課題 (新規技術)	中・高周波望遠鏡 (含む検出器)	欧州側で実現性検討を4月から実施し、欧州側は開発が可能と判断している。現在詳細な開発計画を欧州側で検討実施中。
	低周波望遠鏡 (含む 検出器)	望遠鏡 (JAXA) 、及びこれまでの実績を踏まえた焦点面検出器 (KEK) の実現性検討を行い、開発計画を策定。
	冷凍機	技術フロントローディングにより先行技術検討を行い、2K-JT、4K-JT、2STの国産採用で目途を得た。
システム設計		システムメーカー2社とのシステム検討を実施し成立性を確認。現在追加のシステム検討を実施中。

2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.7 スケジュール

- 開発体制を再構築し、技術のフロントローディングの成果を取り込むことで、宇宙基本計画工程表通りの開発を行える準備が整う見込み。

年度	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
マイルストーン		▲ MDR		▲ SDR	▲ PDR		▲ CDR		▲ 打上げ
人工衛星 (システム・バス)	概念検討	概念設計 計画決定		基本設計	詳細設計	PFM製作試験			
人工衛星 (ミッション部)	概念検討	設計 開発モデル製作・試験				PFM製作 試験			
	技術のフロントローディング (長寿命機械式冷凍機、放射断熱シールド等)								
	低周波焦点面検出器 (KEK)								
国際協力	中高周波望遠鏡(CNES)								

2. 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星「LiteBIRD」

2.8 まとめ

- ISASとして技術のフロントローディングの成果も活用しながら、宇宙基本計画工程表に基づき、LiteBIRDの早期実現へ向けて全力を尽くす方針。
- LiteBIRDは、2030年代初頭までの他国の衛星や地上観測計画の状況を踏まえても、科学的価値に変わりはなく、国際的にも高く評価されている。
- 昨年、NASAの参加取りやめに直面したものの、国内外のパートナーによる代替策で開発計画を短期間で立て直した。超高感度検出器や冷凍機といった将来のミッションにも繋がるキー技術の基盤強化の機会とする。
- 現状、次フェイズ移行へ向けて準備は整ったと考えている。
- 現段階のリスクとして、欧州側の焦点面検出器の開発スケジュール、及びパートナー機関における予算確保等を認識している。これらリスクについては適宜確認のうえ、ISASとして適切・迅速な対処を行っていく。