

マイクロ波背景放射偏光観測宇宙望遠鏡 (LiteBIRD) の今後の推進計画に関する報告

2026年1月26日

宇宙科学研究所

背景・経緯

2021/11	KEK素粒子原子核研究所(IPNS)との協力覚書締結
2021/12	WPIに採択され、KEKに量子場計測システム国際拠点(QUP)を設置 (LiteBIRD開発推進も主要目的の一つ)
2022/3	IPNS-ISAS/JAXAとの協力覚書にQUPが加わり三者間覚書に改訂
2023/6/20, 2024/1/26	QUP, IPNSとISASの機関間会合実施
2024/2/7	ミッション定義審査(MDR) 本審査会実施
2024/7/3	KEK-ISAS/JAXA機関間公式会合 KEKの所掌における開発課題（技術的難易度、体制、コスト）が顕在化
2024/8/31	KEK LiteBIRD計画諮問委員会
2024/9/13	KEK-ISAS/JAXA機関間公式会合
2024/9/26	Key Decision Point (KDP) 実施 計画見直し(リフォーメーション)案について、一定期間検討を継続する価値が認められると判断。2026年9月頃を目途にKDP-2を行い、その時点での更なる計画の検討継続の価値を判断することとした。
2024/9/29	国外関係機関に本方針について連絡
2025/9/25	KDP-2実施
2025/10/27	宇宙理工学合同委員会で結果報告

LiteBIRD KDP-2の概要と判断結果

■ 実施日: 2025年9月25日

■ 目的

LiteBIRDチームによるKDP以降におけるリフォーメーション案の検討進捗を踏まえ、LiteBIRD計画の継続可否を宇宙科学研究所として判断する(KDP2委員長:宇宙科学研究所 所長)。

■ 評価項目と判断方針

- ・ 評価項目((あ)ミッションの意義価値、(い)技術実現性、(う)コスト、(え)スケジュール、(お)体制)に基づき、有識者からの見解も踏まえて、現状と今後の見通しを多角的に評価(頁5、19-21参照)。
- ・ 上記評価結果を重要なインプットとして活用しつつ、宇宙科学研究所の組織戦略やLiteBIRD計画を取り巻く環境を考慮した上で、総合的な結論が導かれた(頁3-4参照)。

■ 判断結果

LiteBIRDプリプロジェクト候補チームのリフォーメーション案について、KDP(Key Decision Point)以降の検討進捗状況を確認し、あらかじめ設定した評価事項に基づき、KDP-2委員および有識者による評価を実施した。その結果並びに宇宙科学研究所における組織戦略及び組織体制を踏まえ、MDR(その2)に向けて、リフォーメーション案の検討をさらに加速させる必要があると判断する。なお、MDR(その2)の開催に向けて、LiteBIRDチームの準備が十分整ったことを宇宙科学研究所執行部が適時確認することとする。

評価事項に対する見解（1/2）

専門的知見に基づく評価結果を踏まえた各評価事項に対する見解を以下に示す。

評価事項毎の評価の詳細について、参考資料（頁19-21）を参照。

評価項目	評価基準	見解
（あ）ミッションの意義価値	<ol style="list-style-type: none">1) 選定時に評価された科学的意義価値が維持できているか。<ul style="list-style-type: none">・ スレッシュホールドミッションを維持できる見込みがあるか。・ 達成すべき科学目標($dr < 0.002$)から、アウトプットと位置づける全天偏光マップ雑音感度へのフローダウン(F/D)が明確に示されており、ミッション要求が適切に設定されているか。2) インフレーション検証以外のサイエンスの意義価値は明確かつ具体的に示されているか。	LiteBIRDは、戦略的中型計画として要求される「世界第一級の成果創出」を達成し得る見通しを引き続き有している。インフレーション検証に加え、その他宇宙論・素粒子物理・宇宙物理に関する科学創出として、多岐にわたる科学的意義が具体的に示されていることを確認した。また、近年の国際宇宙政策の変化、とりわけ米国の大型宇宙物理ミッションの立ち上げや推進方針の不透明化を背景として、欧州との戦略的国際協力体制をプロジェクト及びその上位の組織レベルで協働して構築しつつある点は、LiteBIRD計画のみならず我が国の宇宙科学全体にとってピンチをチャンスに変える重要な布石となる可能性を持ち、組織戦略や周辺環境対策の観点からも意義・価値があると考ええる。
（い）技術実現性	<ol style="list-style-type: none">1) 見直された観測装置(望遠鏡)の構成により ミッション要求達成の見込みがあるか。<ul style="list-style-type: none">・ 望遠鏡構成のトレードオフ(T/O)は適切に行われているか(観測性能だけでなく、技術成熟度、地上検証、その他のリスクを含めてT/Oが示されているか)。・ ミッション要求から観測装置の主要な性能要求へのF/Dの案が示され、装置性能の実現性が見込みが示されているか。2) 検出器及び低温読み出し技術について、実現性が見込みがあるか。<ul style="list-style-type: none">・ 検出器、読み出し技術のT/Oは適切に行われているか。・ 観測装置の性能要求から検出器及び読み出し回路への主要な性能要求へのF/Dの案が示され、地上観測での実績等を踏まえて技術実現性が見込みが示されているか。3) 衛星システム全体として実現性が見込みがあるか。<ul style="list-style-type: none">・ 観測装置の見直しに伴う、ミッション部 (PLM)及びバスシステムへの影響は検討されており、実現性が見込みが得られているか(リフォーマーシヨンより変更が生じる部分のみ)。・ 観測装置(望遠鏡)、ミッション部、衛星システムでの検証計画の案が示されているか。4) ミッション実現のためのクリティカルな技術について、国内外の専門家の意見を踏まえつつ、現時点のTRLと技術ギャップを明示のうえ、フェイズA中の“NASA”TRL5“相当”の実現含め、技術実証のシナリオの案が示されているか。5) MDR技術分科会A/I、KEKレビュー指摘事項に答えられる見込みがあるか。(リフォーマーシヨンに係る項目のみ)	主要技術課題は明確化されており、開発の方向性は示されていると判断する。より詳細な実現性評価はMDR#2において実施することとし、それらの過程でリスクとその低減策をより具体化することを求める。

評価事項に対する見解 (2/2)

評価項目	評価基準	見解
(う) コスト	JAXAプロジェクト総資金について、適切なコストの圧縮がなされる見込みがあるか。具体的には、JAXA プロジェクト総資金が、実質的な開発経費(留保を除く)として500億円を下回ること。	リフォーメーション案における現時点におけるコスト積算は合理的である。今後の概念検討・設計活動によるコスト上限の確度向上を条件として、現時点でのコスト推算是妥当とする。
(え) スケジュール	以下のスケジュールが成立する見込みがあるか。 1) ΔMDR：KDP-2後 1年以内。 2) 打上げ日程：2030年前半を維持。	リフォーメーションに伴う遅れが見込まれるものの、依然としてミッションの意義・価値が損なわれていないことを確認した。ミッション意義・価値を棄損しない範囲で許容可能と判断する。
(お) 体制	1) ミッション側の体制が整う見込みがあるか。 <ul style="list-style-type: none"> MDR時点において、国内外の協力機関より、フェーズAでの検討協力を得られる見通しを得られているか。国内各機関において、開発に必要な体制が構築できる見込みがあるか。 具体的には、検出器担当を含む国内外の協力機関より、以下の活動への参画に関する意欲が明示的(レター等)に示されているか？ <ul style="list-style-type: none"> JAXA MDR通過後のフェーズA相当の活動へのコミットメント(資金含む) フェーズA相当の活動が順当に完了した場合のフェーズB相当の活動への参画 2) 地上観測との棲み分け、シナジーがタイムスケールも含めて明確に示されており、国内外CMBコミュニティにおいてコンセンサスが得られていることが明示的(レター等)に示されているか？	LiteBIRDチームのリーダーシップの下、国内チーム内の再編成および役割分担と、LiteBIRD チームと機関レベルの協働により国際協力体制の再定義が行われており、MDR#2に向けた活動とその加速を可能とする体制が整いつつあると判断する。

【参考】「技術実現性」に関する評価の詳細

評価基準	評価の詳細
<p>1) 見直された観測装置(望遠鏡)の構成によりミッション要求達成の見込みがあるか。</p> <ul style="list-style-type: none"> 望遠鏡構成のトレードオフは適切に行われているか(観測性能だけではなく、技術成熟度、地上検証、その他のリスクを含めてトレードオフがされているか)。 ミッション要求から観測装置の主要な性能要求へのフローダウンの案が示され、装置性能の実現性が見込みが示されているか。 	<p>望遠鏡構成については、三つの望遠鏡を一つの望遠鏡(LMHFT)とすることで簡素化しつつ、観測性能・技術成熟度・地上検証・リスクを含めたトレードオフ検討が行われていることを確認した。また、ミッション要求から観測装置の主要な性能要求へのフローダウンの例が、その考え方と共に示されていることを確認した。</p> <p>一方で、ミッション要求に対するシステム成立性については、主要な技術課題と、各々の課題に対しての成立性確認に向けた方向性と検討ステップが示されており、システム成立性が期待されるものの、現時点では一定の成立解を示すには至っていないため、検出器・読み出しおよび偏光変調器を含む衛星システム全体の成立性についての検討を加速する必要がある。広帯域HWPの採用や、HWPを用いない観測についての技術的実現性については十分な検証がまだ行われておらず、検討を加速する必要がある。</p>
<p>2) 検出器及び低温読み出し技術について、実現性が見込みがあるか。</p> <ul style="list-style-type: none"> 検出器、読み出し技術のトレードオフは適切に行われているか。 観測装置の性能要求から検出器及び読み出し回路への主要な性能要求へのフローダウンの案が示され、地上観測での実績等を踏まえて技術実現性が見込みが示されているか。 	<p>検出器および低温読み出し技術のベースライン設定においては、キーとなる技術に対してトレードオフ検討が実施されており、観測装置の性能要求からのフローダウンの例が、その考え方と共に示されていることを確認した。</p> <p>一方で、主要な要求について現時点での性能予測が示されており、これに基づき、技術課題の整理や、開発の方向性と実証計画は示されたものの、現時点では実現性が見込みを示すには至っていない。</p> <p>今回示された検出器の調達計画においては、地上観測を含むCMB偏光精密観測の実績がない機関が開発を担当する体制となっていることも踏まえ、過去の実績のみで成立性を十分に裏付けるには至っていないことから、検討を加速し、より詳細な成立性をMDR#2にて評価する必要がある。</p>
<p>3) 衛星システム全体として実現性が見込みがあるか・観測装置の見直しに伴う、ミッション部(PLM)及びバスシステムへの影響は検討されており、実現性が見込みが得られているか(リフォーメーションより変更が生じる部分のみ)。</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測装置(望遠鏡)、ミッション部、衛星システムでの検証計画の案が示されているか。 	<p>観測装置の見直しに伴う、ミッション部(PLM)、およびバスシステムへの影響が検討されており、現時点での実現性についての見込みが示されていることを確認した。また、クリティカルとなる開発項目が識別され、観測装置(望遠鏡)、ミッション部、衛星システムとしての検証計画案が示されていることを確認した。</p>
<p>4) ミッション実現のためのクリティカルな技術について、国内外の専門家の意見を踏まえつつ、現時点のTRLと技術ギャップを明示のうえ、フェーズA中の“NASA TRL5相当”の実現含め、技術実証のシナリオの案が示されているか。</p>	<p>ミッション実現に必要なクリティカル技術については、国内外の専門家の意見を踏まえ、現時点のTRLおよび技術ギャップが示されており、必要なR&Dを段階的に進めてフェーズA中に“NASA TRL5相当”を達成するための技術実証シナリオが提示されていることを確認した。</p> <p>検出器の技術実証シナリオの具体化、詳細化し、実現性を担保するために、より広く国内外の有識者の知見を収集して、網羅的にリスクを低減する計画を立案することを推奨する。</p>
<p>5) 技術分科会A/I、KEKレビュー指摘事項に答えられる見込みがあるか。(リフォーメーションに係る項目のみ)</p>	<p>MDR技術分科会A/IおよびKEKレビューで指摘された事項について、リフォーメーションに係る項目に関しては対応の見通しが示されており、指摘事項に回答できる見込みがあることを確認した。ただし、今後具体化が必要である。</p>

計画の見直し(リフォーメーション)案の概要

LiteBIRDは「宇宙ゼロ時への挑戦」

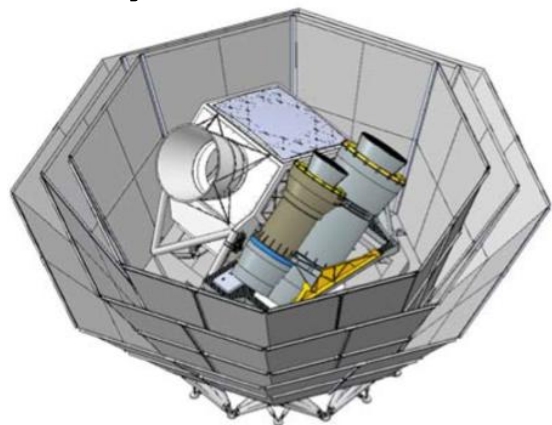
宇宙進化の図は、佐藤勝彦「現代宇宙論の歴史」、シリーズ現代の天文学第2巻、佐藤・二間瀬編『宇宙論』第2版 図1.5 (日本評論社)より

- ビッグバン以前に起きたことを物理的に説明する唯一の理論: **インフレーション宇宙論**
(1980年代初頭に佐藤勝彦らが提案)
 - 誕生直後、宇宙は急激な加速膨張(10^{-36} 秒に 10^{26} 倍)を経験した
 - その際、時空のゆらぎにより、**原始重力波**が発生した
- インフレーション理論を観測で立証するには？
 - 原始重力波の典型的波長は数十億光年→**直接観測は困難**
 - 宇宙マイクロ波背景放射(CMB)を使えば確かめられる
 - CMBに刻み込まれているインフレーションの証拠(**原始Bモード**)を検出すればよい



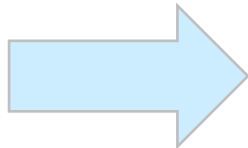
MDR時からの主要な変更点

MDR時



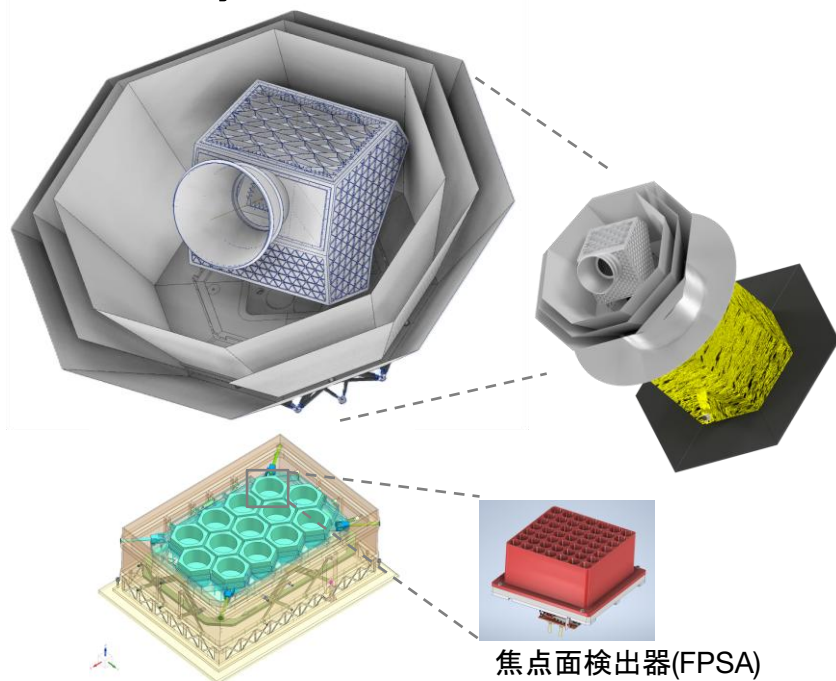
望遠鏡3台, 焦点面検出器3種類
米国製検出器をKEKが調達

Reformation



- 科学目的は維持
- 要求フロー見直し
- 検出器技術の見直し
- 観測装置の簡素化
- 冷却系・衛星見直し
- 体制見直し

KDP-2時

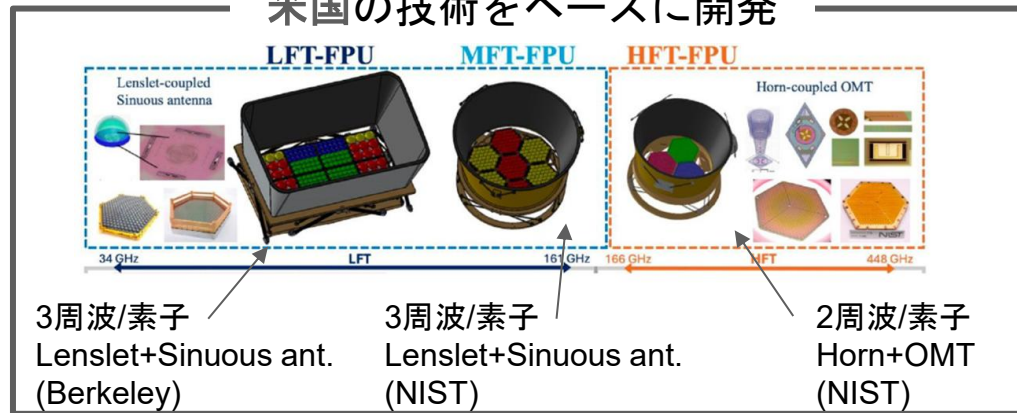


望遠鏡1台, 焦点面検出器1種類
欧州検出器コンソーシアムが検出器を担当

焦点面検出器の見直し案の概要

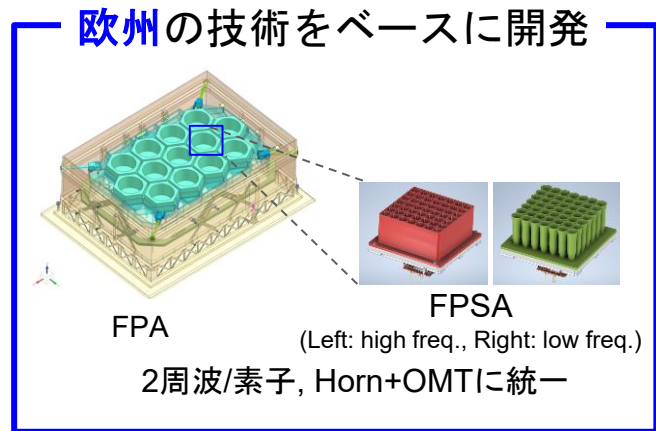
- KEK/QUPからの調達(米国技術) → 欧州の技術をベースとした検出器の調達
- 開発リスクを下げるため、検出器構成の簡素化、採用技術の全面的な見直しを行った。
 - 望遠鏡の統合とともに、3つの焦点面検出器を1つに統合
 - 採用する検出器技術を統一、Wafer提供元も一元化
 - 性能よりもHeritageのある技術の採用を重視(早期のTRL 5の実現)

米国の技術をベースに開発



旧計画の焦点面検出器構成

欧州の技術をベースに開発



Reformationで検討中のFPA/FPSPA

MDR時からの主要な変更点



項目	旧計画（概要）	Reformation案（概要）	見直しの狙い	新たに生じた課題
科学目的	代表的なインフレーションモデルの検証	全天の多周波数帯マイクロ波偏光マップを作成し、代表的なインフレーションモデルを検証するとともに、宇宙論・素粒子物理学・宇宙物理学においてこれまでにない新しい知見をもたらす	全天精密偏光観測のもたらす科学価値の明確化による広範な分野の科学者の結集	特になし
科学目標	代表的インフレーション宇宙理論の検証	<p>①全天多周波数帯マイクロ波偏光マップを活用した、代表的インフレーション宇宙論の検証 →このための許容誤差の水準を約2倍に緩和</p> <p>②全天多周波数帯マイクロ波偏光マップを用いて、宇宙論・素粒子物理・宇宙物理学分野で様々な科学を創出</p>	ミッションの実現性の向上	<p>要求性能の緩和による原子重力波の強度の決定精度の低下 但し、代表的なインフレーション宇宙論の検証は可能な水準は維持</p>
観測装置の構成	望遠鏡 3 台 LFT (JAXA リード+日本各機関) MFT (CNES リード+欧州各機関) HFT (CNES リード+欧州各機関)	望遠鏡 1 台 LMHFT (CNES リード+日欧各機関)	コストを戦略的中型計画の規模に維持しつつ、Planck にて蓄積した技術をベースに日欧加の技術を結集することで確実な開発を行う体制を構築	将来のミッションにつながる技術蓄積・人材育成・コミュニティの強化に向けて、観測装置の開発に我が国が深く入りこむための対応
焦点面検出器	KEK/QUP(米国より調達) モジュール(FPSA)種類：9タイプ バンド数：15バンド 各センサごとに異なる方式を採用	欧州検出器コンソーシアム モジュール(FPSA)種類：6タイプ バンド数：12バンド 全センサで同一の方式に統一	技術的实现性、開発のマネジャビリティを向上	米国に比して実績の少ない欧州検出器の採用 →早期のR&Dによる技術実証の実現
打上げ目標	2032年	2036年	欧州検出器R&Dに要する期間を反映	開発の長期化に伴う体制の維持、コスト上昇の抑制（科学的意義価値に影響はない）

KDP時の主要課題に対する回答 (1/4)




KEK/QUP撤退を踏まえ、代替の体制を構築できるか？


- KDP後の国際情勢の変化に対応し、欧州の技術を活用した検出器開発計画を立案。伊・英・蘭を中心とする国際チームと緊密に連携してESA及び関係機関との調整を進め、欧州を中心とした検出器開発コンソーシアムの体制構築、及びフェーズAでの技術開発活動の実施の目的を得ることができた。
 - Phase A前半に実施する検出器の技術実証(BBM R&D)計画について調整を進め、ASI(伊), UKSA(英), SRON(蘭)に加え, CSA(加), SSO(スイス)の協力の意向をレターにて確認。また、このR&D計画の支援についてESAのコミットメントをレターにより確認した。
 - フライトモデルの調達を見据えたESA科学局との協力枠組みは、Phase Aにて調整を加速する。2025年6月のESA Science Programme Committee (SPC)において、ESA科学局よりLiteBIRDへの協力に係る検討を今後進める旨が説明され、さらに同月のJAXA-ESAハイレベルのバイ会合でも言及されるなど今後の本格的な調整の基盤は整いつつある。


KDP-2後、検出器BBMのR&Dに関するESA技術局ならびに関係各機関との資金拠出の調整が順調に進んでおり、本年前半にBBM開発着手を見込んでいる。


観測装置の開発体制




Payload Module (PLM) 

LMHFT Instrument 


LMHFT Telescope 


Telescope Structure 


Optics


Forebaffle 

Mirrors 

Optical filters 


RF Absorbers 


Polarization Modulation Unit (PMU) 

Focal Plane Assembly (FPA) 


Focal Plane Sub-Assembly (FPSA)


FPA Cryo-Structure 


Sub-K Cooler 


Magnetic shields 


Warm Electronics

Squid Control Unit (SCU) 

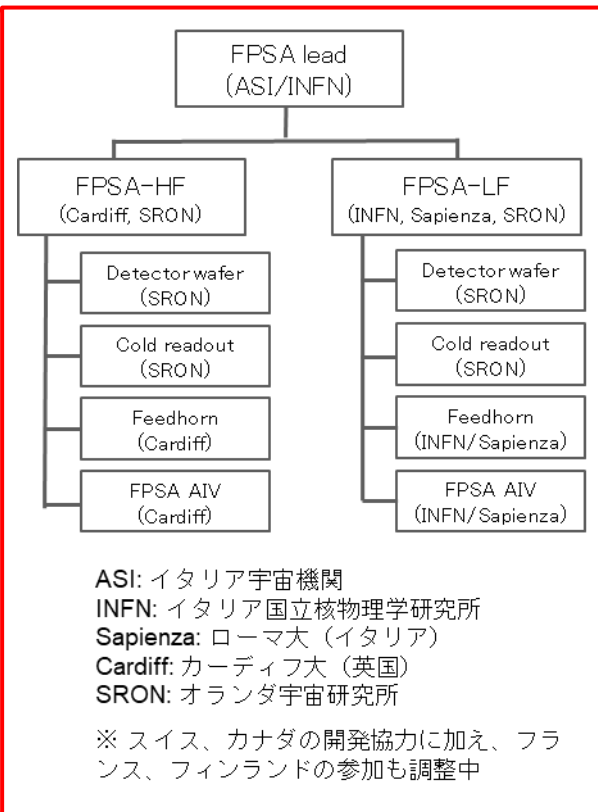
Signal Processing Unit (SPU) 

Thermal Control Unit 

Sub-K Cooler Driver 

PMU Driver 

Cold Harnesses (under coordination)



KDP時の主要課題に対する回答 (2/4)



MDRで指摘されたミッションの難易度の高さ、KEK撤退の理由になった焦点面検出器の実現性をどのように見いだせるか？

- Reformationにより、高い科学的価値を維持する範囲で、科学目標の水準をより現実的なレベルに見直すと共に、3台の望遠鏡を1台に集約するなど観測装置の大幅な簡素化を図り、技術・プログラムの両面でミッションの実現性を確保できる計画に見直した。
 - 予想される前景放射の不定性に対応するマージンに加え、全観測バンドについて感度性能に一定のシステムマージンを確保する要求フロー設定の見通しを得た。
- 検出器について、科学目標からフローダウンされる性能要求と、欧州の既存技術及び地上CMB実験における実績に基づき実現可能と想定される性能を突き合わせ、実績のある技術をベースとして必要なR&Dを実施することで、要求性能が実現可能である見通しを得た。
 - 早期の技術リスクの低減のため、早期のフロントローディングにより、Phase A中にTRL5 (ESA基準)を達成する計画とする。

KDP時の主要課題に対する回答 (3/4)



地上と宇宙の連携を含めて、関連するコミュニティが一体となってミッションを実現する体制が構築できるか？

- 多プラットフォーム(地上・気球・衛星)を選択できるのがCMB観測の顕著な特徴。
- 地上(agile & progressive development & deployment) vs 衛星 (large angular scale, wideband) の相補性はコミュニティで強固に認識されており、歴史的にも両輪で発展。
- CMB-S4 (地上) 計画のキャンセルで、今後の両輪は主に Simons Observatory (地上 : SO) と LiteBIRD (衛星)へと集約された。
- SOリーダーシップからLB計画を全面的に熱意をもって支持するとのレターを受領。
- SO及び現行他地上プロジェクトと、科学・技術・人材交流を深めている。KDP以降、コミュニティが協業するフォーラムを多数立ち上げてきた。

国内においては、JAXA, 東大IPMU, 岡山大が中核となり、ミッションの推進およびコミュニティとの連携強化を図る

他のコミュニティ
(宇宙物理・天文他)

Mission lead

ISAS/JAXA

JAXA LiteBIRD
Project team

SGS (科学データ解析)

東大IPMU

東大IPMU
LiteBIRD team

要求検討・ 系統誤差評価

岡山大

岡山大
LiteBIRD team

CMBコミュニティ

要求定義(ミッション/システム)、宇宙機および Science Ground Segment (SGS※)を含む地上システムの概念設計など、Phase Aに向けての主要な活動について、**JAXA, 東大IPMU、岡山大が緊密に協力して対応する。**

上記機関間の協力を留まらず、KEKや各大学の研究者等の国内コミュニティの巻き込み、近隣分野との連携のさらなる強化に努める。

※LiteBIRDの科学データ解析を行う地上システム

見直されたスケジュールにおいて科学的意義価値を維持できる見込みがあるか？

- 欧州検出器の開発(BBM, DM)に要する期間を反映し、2036年度の打上げを目指すスケジュールを立案。今後、ESAとの協力枠組み構築等の進捗に応じて、引続き 2036年度打上げを視野に入れた計画見直しの検討を進め、今後も段階的にスケジュールの確度を向上させていく。
- 2030年代に計画されている宇宙からのCMB精密偏光観測ミッションは他国になく、地上CMB実験(Simons Observatory等)との相補性も含めて、科学的価値は維持される見込み。なお、新 LiteBIRD では、インフレーション宇宙理論の検証に加えて、全天多周波帯マイクロ波偏光マップを用いて、宇宙論・素粒子物理だけでなく宇宙物理学分野で様々な科学を創出することを科学目標に明記する方針。
今後、多岐にわたるサイエンスに係る科学者を広く巻き込む活動を積極的に推進する。

今後の予定

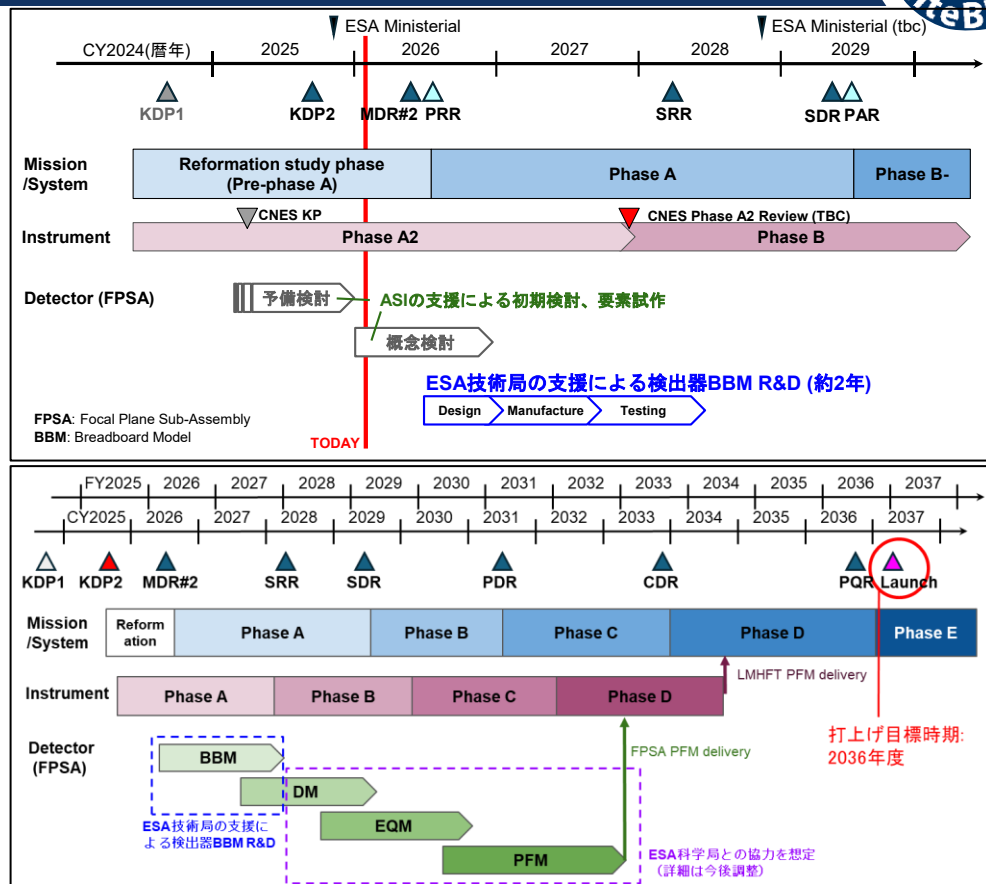


KDP-2の判定結果に基づき、以下の課題への対応状況を確認し、MDR(その2)の実施予定。
これらの課題への対応、及び検出器R&Dの立ち上げに向けた、ESA技術局並びに関係各機関との詳細調整等を実施し、MDR(その2)は**来年度の実施**を目指す。

■ MDR(その2)に向けた主要課題

- ① ミッション要求及び要求フローの明確化
- ② クリティカルな要求に対する実現可能性の確認
- ③ SGSの明確化
- ④ プロジェクト総資金上限値の算出
- ⑤ 国際協力枠組みの具体化

国際チームの勢いを維持しつつ、MDR(その2)に向けて検討を継続・加速する



参考資料

「ミッションの意義価値」に関する評価の詳細

評価基準	評価の詳細
1) 選定時に評価された科学的意義価値が維持できているか。 <ul style="list-style-type: none">スレッショルドミッションを維持できる見込みがあるか。達成すべき科学目標($\delta r < 0.002$)から、アウトプットと位置づける全天偏光マップ雑音感度へのフローダウンが明確に示されており、ミッション要求が適切に設定されているか。	選定時に評価された科学的意義は、スレッショルドミッション ($\delta r < 0.002$) の水準を維持しており、代表的インフレーションモデルの検証に必要な水準を満たしていることも含めて、その意義が確保されていることを確認した。 科学目標から、アウトプットと位置づける全天偏光マップ雑音感度へのフローダウンの考え方が示され、暫定的なミッション要求値も提示されたが、数値の最終的な確定に向けての検討と合わせて、要求フローをよりわかりやすく整理することは引き続きMDR#2までの課題として対応を求めたい。
2) インフレーション検証以外のサイエンスの意義価値は明確かつ具体的に示されているか。	インフレーション検証に加え、その他宇宙論・素粒子物理・宇宙物理に関する科学創出として、多岐にわたる科学的意義が具体的に示されていることを確認した。

「技術実現性」に関する評価の詳細

評価基準	評価の詳細
<p>1) 見直された観測装置(望遠鏡)の構成によりミッション要求達成の見込みがあるか。</p> <ul style="list-style-type: none"> 望遠鏡構成のトレードオフは適切に行われているか(観測性能だけでなく、技術成熟度、地上検証、その他のリスクを含めてトレードオフがされているか)。 ミッション要求から観測装置の主要な性能要求へのフローダウンの案が示され、装置性能の実現性が見込みが示されているか。 	<p>望遠鏡構成については、三つの望遠鏡を一つの望遠鏡(LMHFT)とすることで簡素化しつつ、観測性能・技術成熟度・地上検証・リスクを含めたトレードオフ検討が行われていることを確認した。また、ミッション要求から観測装置の主要な性能要求へのフローダウンの例が、その考え方と共に示されていることを確認した。</p> <p>一方で、ミッション要求に対するシステム成立性については、主要な技術課題と、各々の課題に対しての成立性確認に向けた方向性と検討ステップが示されており、システム成立性が期待されるものの、現時点では一定の成立解を示すには至っていないため、検出器・読み出しおよび偏光変調器を含む衛星システム全体の成立性についての検討を加速する必要がある。広帯域HWPの採用や、HWPを用いない観測についての技術的実現性については十分な検証がまだ行われておらず、検討を加速する必要がある。</p>
<p>2) 検出器及び低温読み出し技術について、実現性が見込みがあるか。</p> <ul style="list-style-type: none"> 検出器、読み出し技術のトレードオフは適切に行われているか。 観測装置の性能要求から検出器及び読み出し回路への主要な性能要求へのフローダウンの案が示され、地上観測での実績等を踏まえて技術実現性が見込みが示されているか。 	<p>検出器および低温読み出し技術のベースライン設定においては、キーとなる技術に対してトレードオフ検討が実施されており、観測装置の性能要求からのフローダウンの例が、その考え方と共に示されていることを確認した。</p> <p>一方で、主要な要求について現時点での性能予測が示されており、これに基づき、技術課題の整理や、開発の方向性と実証計画は示されたものの、現時点では実現性が見込みを示すには至っていない。</p> <p>今回示された検出器の調達計画においては、地上観測を含むCMB偏光精密観測の実績がない機関が開発を担当する体制となっていることも踏まえ、過去の実績のみで成立性を十分に裏付けるには至っていないことから、検討を加速し、より詳細な成立性をMDR#2にて評価する必要がある。</p>
<p>3) 衛星システム全体として実現性が見込みがあるか・観測装置の見直しに伴う、ミッション部(PLM)及びバスシステムへの影響は検討されており、実現性が見込みが得られているか(リフォーメーションより変更が生じる部分のみ)。</p> <ul style="list-style-type: none"> 観測装置(望遠鏡)、ミッション部、衛星システムでの検証計画の案が示されているか。 	<p>観測装置の見直しに伴う、ミッション部(PLM)、およびバスシステムへの影響が検討されており、現時点での実現性についての見込みが示されていることを確認した。また、クリティカルとなる開発項目が識別され、観測装置(望遠鏡)、ミッション部、衛星システムとしての検証計画案が示されていることを確認した。</p>
<p>4) ミッション実現のためのクリティカルな技術について、国内外の専門家の意見を踏まえつつ、現時点のTRLと技術ギャップを明示のうえ、フェーズA中の“NASA TRL5相当”の実現含め、技術実証のシナリオの案が示されているか。</p>	<p>ミッション実現に必要なクリティカル技術については、国内外の専門家の意見を踏まえ、現時点のTRLおよび技術ギャップが示されており、必要なR&Dを段階的に進めてフェーズA中に“NASA TRL5相当”を達成するための技術実証シナリオが提示されていることを確認した。</p> <p>検出器の技術実証シナリオの具体化、詳細化し、実現性を担保するために、より広く国内外の有識者の知見を収集して、網羅的にリスクを低減する計画を立案することを推奨する。</p>
<p>5) 技術分科会A/I、KEKレビュー指摘事項に答えられる見込みがあるか。(リフォーメーションに係る項目のみ)</p>	<p>MDR技術分科会A/IおよびKEKレビューで指摘された事項について、リフォーメーションに係る項目に関しては対応の見通しが示されており、指摘事項に回答できる見込みがあることを確認した。ただし、今後具体化が必要である。</p>

「コスト」「スケジュール」「体制」に関する評価の詳細

評価基準	評価の詳細
<p>(コスト)</p> <p>JAXA プロジェクト総資金について、適切なコストの圧縮がなされる見込みがあるか。</p> <p>具体的には、JAXA プロジェクト総資金が、実質的な開発経費(留保を除く)として500億円を下回ること。</p>	<p>リフォーメーションプランによるコスト削減の結果、JAXAプロジェクト総資金は留保を除き約498.7億円と推算されており、500億円を下回ることが示されていることを確認した。ただし、現時点でのコスト推算の不定性から、今後更にコストが増加する可能性も念頭において、コスト低減策の検討に引き続き努めること。</p>
<p>(スケジュール)</p> <p>以下のスケジュールが成立する見込みがあるか。</p> <p>1) ΔMDR：KDP2後1年以内。</p> <p>2) 打上げ日程：2030年前半を維持。</p>	<p>MDR#2については、KDP2後1年以内に実施する計画が示されている。</p> <p>また、計画変更に伴い打上げスケジュールの遅れが見込まれるものの、依然としてミッションの意義・価値が損なわれていないことを確認した。</p>
<p>(体制)</p> <p>1) ミッション側の体制が整う見込みがあるか。</p> <ul style="list-style-type: none"> MDR2時点において、国内外の協力機関より、フェーズAでの検討協力を得られる見通しを得られているか。 <p>国内各機関において、開発に必要な体制が構築できる見込みがあるか。</p> <ul style="list-style-type: none"> 具体的には、検出器担当を含む国内外の協力機関より、以下の活動への参画に関する意欲が明示的(レター等)に示されているか？ JAXA MDR通過後のフェーズA相当の活動へのコミットメント(資金含む) フェーズA相当の活動が順当に完了した場合のフェーズB相当の活動への参画 	<p>ESA技術局との協力枠組みなど、他機関との調整が進行中であるが、国際協力体制についてESAを含む各機関の協力の意向がレターにより示されていること、これを踏まえた具体的な体制案が示されており、ミッション側の体制が整う見込みがあることを確認した。</p>
<p>(体制)</p> <p>2) 地上観測との棲み分け、シナジーがタイムスケールも含めて明確に示されており、国内外CMBコミュニティにおいてコンセンサスが得られていることが明示的(レター等)に示されているか？</p>	<p>LiteBIRDとSimons Observatory等の地上観測との棲み分け、シナジーが示されていることを確認した。</p> <p>また、Simons Observatoryより、科学的相補性の観点も含めたLiteBIRDへのサポートレターを取得しており、国内外CMBコミュニティのコンセンサスが得られていることを確認した。</p>

代表的インフレーション理論の検証



- これまでの実験で、温度揺らぎ、Eモード偏光、Bモード偏光(レンジング)が測定された
- 原始重力波Bモードは未発見
- 原始重力波Bモードスペクトルは、大角度スケール($\ell=2-10$ あたり)の再電離ピークと、中角度スケール($\ell=80$ あたり)の再結合ピークを生成
- この2つのピークの同時観測により、インフレーション理論はより深く検証される
- 2030年代半ばまでの現在実現可能性がある地上実験計画は再結合ピークを観測
- LiteBIRDは、再電離ピークと再結合ピークそれぞれを同時に観測する。
- もし $r=0.01$ のとき、それぞれのピークで、 3σ 以上で有意に有限な r の存在を示す。

