

# LiteBIRD システムズエンジニアリングの進展

永田竜、綿貫一也、岩渕頌太、小栗秀悟、杉本諒、関本裕太郎、堂谷忠靖、マツダ フレドリック タカユキ (ISAS)  
羽澄昌史 (KEK) 他 LiteBIRD team

## 講演要旨

LiteBIRD は宇宙科学研究所の戦略的中型衛星 2 号機として 2028 年の打上げに向けて推進中の計画である。ミリ波帯において掃天観測を行いマイクロ波背景輻射偏光の全天地図を作成することで、初期宇宙のインフレーションに由来する背景重力波の信号検出を目指す。

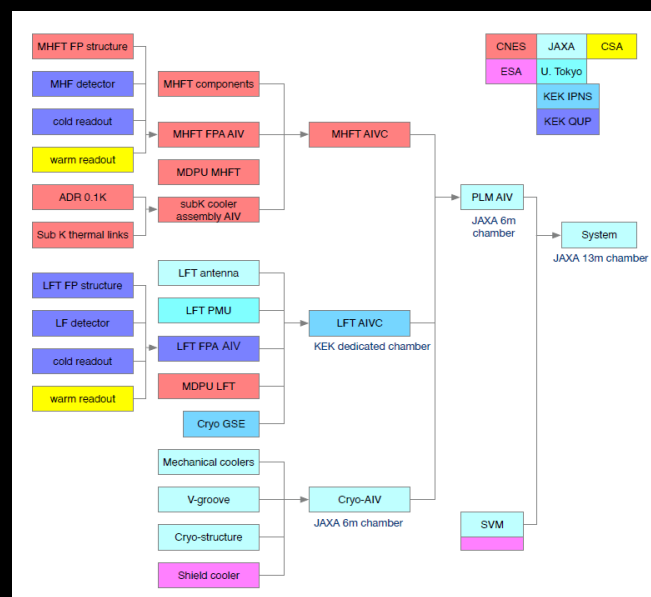
LiteBIRD 計画は現在プリプロジェクト準備段階にあり、ミッションからシステム設計、インテグレーション、運用までの流れを整理して、国際協力のパートナーとの協業体制構築を進めている。今回の発表では海外パートナーとのインターフェース策定についての進展や、MBSE (Model-Based Systems Engineering) を用いた計画全体を統一的に扱うデータベースの構築に関する活動について報告する。

## LiteBIRD システムの概要

LiteBIRD 衛星システムは衛星機体の主要部である service module (SVM) と観測装置群からなる payload module (PLM) によって成り立っている。SVM は L2 点投入とその後のリサージュ軌道維持のための推進・制御機構を保有し、また観測時において自転による掃天観測を実現する姿勢制御機構を持つ。PLM は複数の望遠鏡と極低温冷却機構、および常温の各種装置からなる。34 GHz から 448 GHz までの帯域を低周波望遠鏡 (LFT)、中高周波望遠鏡 (MHFT) の三つの望遠鏡で分担し、多波長観測を行う。各望遠鏡の開口部には偏光変調器を配し低周波雑音から信号を分離する。望遠鏡焦点面には超電導検出器アレイが設置され、断熱消磁冷凍機と 2K ジュール・トムソン冷凍機が運用環境の維持にあてられる。4K ジュール・トムソン冷凍機によって望遠鏡フレーム等が冷却され、スターリング冷凍機群が放射冷却装置 (V-groove) の冷却と各種予冷系を担う。低温部で数千個の検出器と結合した信号読み出し回路が衛星機体を縦断して常温部でデータプロセッサ (MDPU) に接続され、データ取得フローを形成する。

## インターフェースの構成

PLM および衛星システムのインテグレーションは国内システムメーカーが担当し、実装の各段階で JAXA の大型チャンバーを使った試験が行われる。PLM を構成するミッション機器は日欧の宇宙機関を中心に各国の研究組織で開発が分担される。LFT は JAXA 主導で開発され、うち偏光変調器は Kavli IPMU からの調達である。MHFT はフランス国立宇宙研究センター (CNES) がサブシステム試験を含む開発全般を担う。いずれの望遠鏡の場合



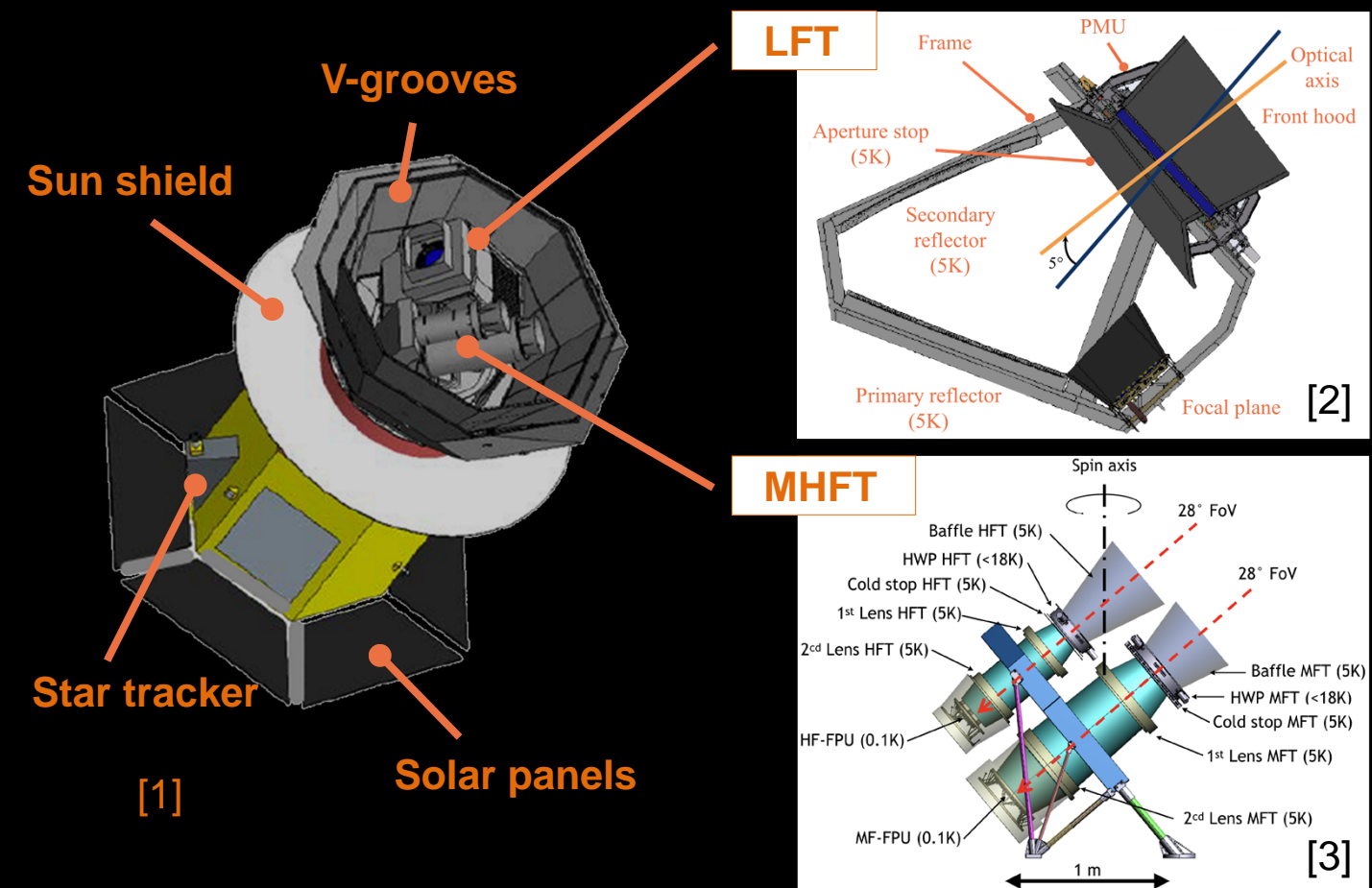
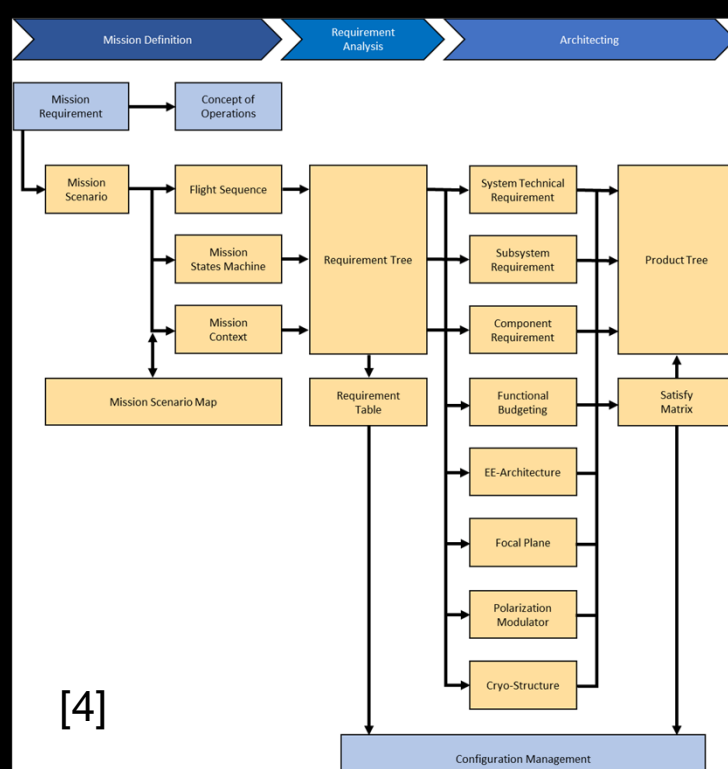
も、焦点面ユニットは量子場計測システム国際拠点 (QUP) の枠組に基づき高エネルギー加速器研究機構 (KEK) を通じて開発担当機関へ供給される。各焦点面ユニットの低温読み出し回路は、カナダ宇宙庁 (CSA) から調達される常温読み出し回路を経由して CNES 供給の MDPU へと接続される。極低温冷却機構の開発は JAXA 統括の下、サブケルビン冷凍機アセンブリについては CNES から納品される。

JAXA への供給物は、インテグレーションの各段階において供給物相互あるいは上位の製品単位との間でインターフェースを形成する。うち MHFT、LFT 焦点面ユニット、常温読み出し回路についてはインターフェース要求の草案が作成され、開発担当機関との間で検討が着手されている。

## MBSE データベースの構築

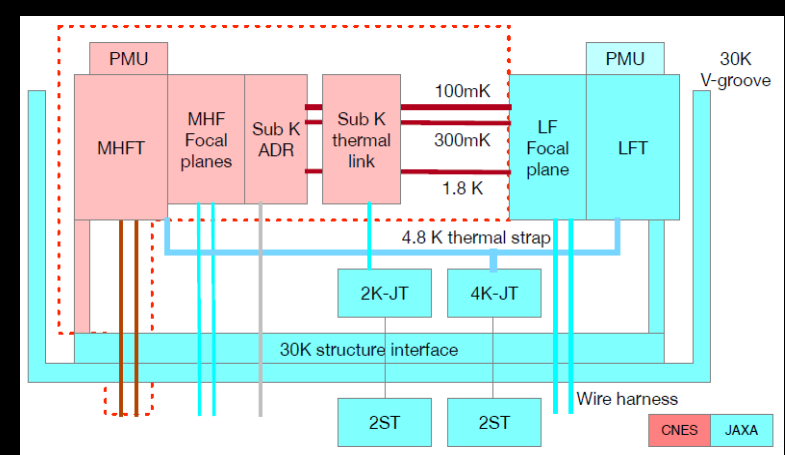
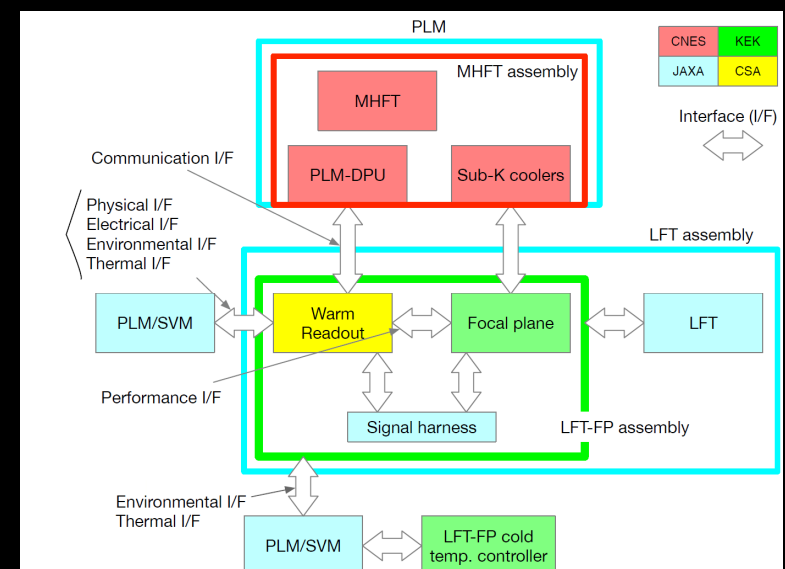
LiteBIRD ではシステムズエンジニアリングの手法としてモデルベースのアプローチを採用し、ミッションからシステム設計、インテグレーション、運用までをモデル化して統一的にあつかうデータベースの構築を進めている。一連のシステム要求を含む動的・静的な構造を網羅したモデル群を利用することで、システムズエンジニアリングの活動コンセプト (領域横断性、反復開発、全体一貫性) を実現し、関連文書類はモデルに紐づけられた形で適時自動生成を行う。

現在は設計分解フェーズに相当し、ミッション要求から派生するシステム要求のフローダウン、個別の仕様定義が



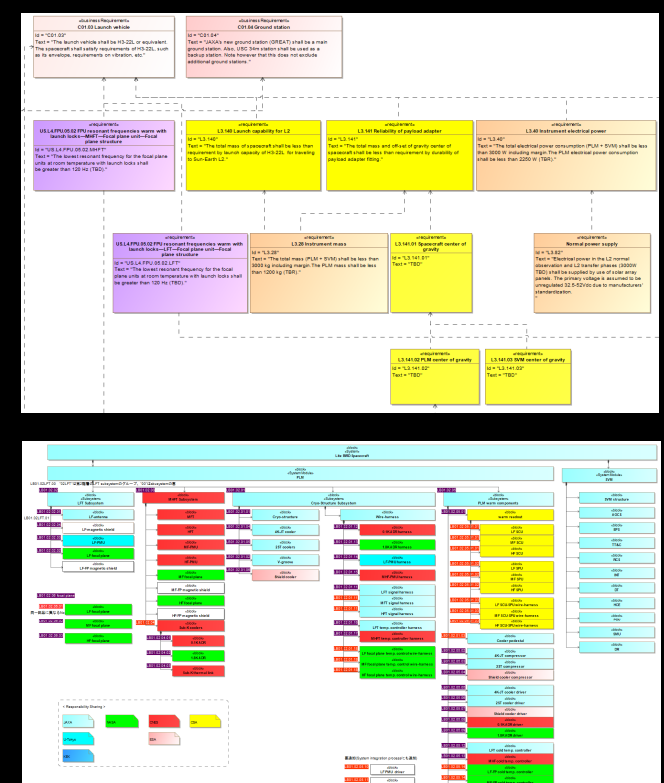
LFT 焦点面ユニットは全体として LFT サブシステムの構成要素をなすとともに、焦点面はサブケルビン冷凍機との、読み出し回路はデータ取得フロー下流の処理系とのインターフェースを持つ。また各温度ステージとの接続を通じて PLM 全体の熱構造の一角を占める。これらインターフェースの策定は JAXA 統括のもとで進められ、外部機関をまたぐ供給物間のインターフェースについても同様に JAXA 主導で調整される。

右図は PLM 実装時における CNES 供給物との熱構造インターフェースである。各望遠鏡の焦点面を横断する形でサブケルビンステージが設けられ、2K、4K、30K の各温度ステージに冷凍機群が付随することで、全体として観測装置の目標感度を実現している。



進められている。

データベースは、総合システムレベルの運用を俯瞰するミッションシナリオマップや、ミッションからシステム、サブシステム、コンポーネントまでの各レベルを網羅する構造化された要求ツリーを保有しており、プロジェクトの要求体系を一貫して記述する。それらに加え、プロダクトツリーによって要求と開発 (及び担当機関) が紐づけられ、またインテグレーションフローによって開発と時系列が関連付けられることで、性能・開発・時間の多次元的なプロジェクト管理の要素を一つの枠組みの中で実現する。



[1] Proceedings of the SPIE, Volume 11443, id. 114432F (2020)

[2] Proceedings of the SPIE, Volume 11453, id. 1145310 (2020)

[3] Proceedings of the SPIE, Volume 11443, id. 114432G (2020)

[4] 第 65 回宇宙科学技術連合講演会 4A01 (2021)