

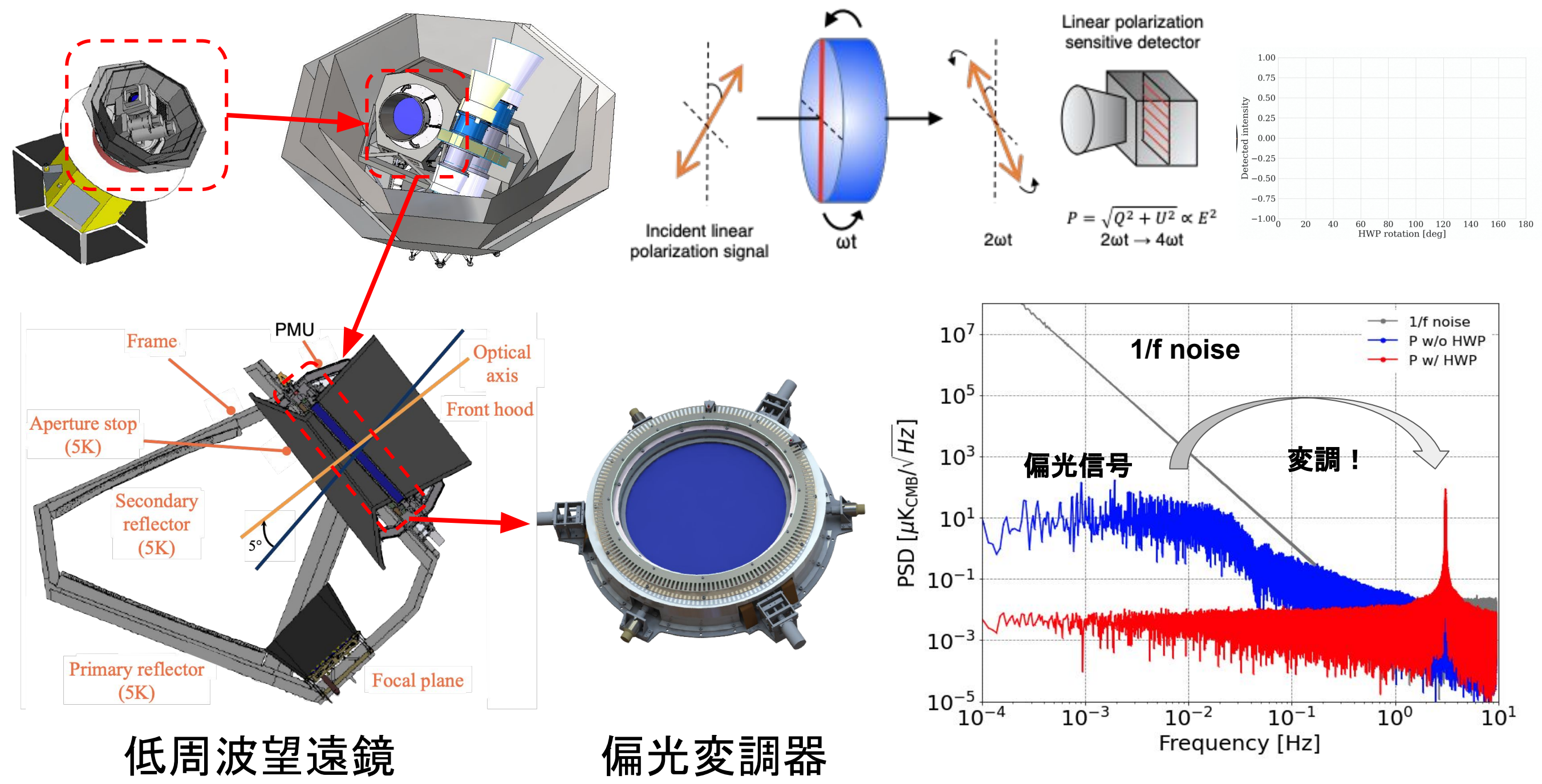
# LiteBIRD衛星低周波望遠鏡用偏光変調器の開発概要

桜井雄基、松村知岳、片山伸彦、高久諒太、小松国幹、杉山真也、星野百合香、長谷部孝、Tomasso Ghigna  
岡山大学、東大Kavli IPMU、東京大学、埼玉大学



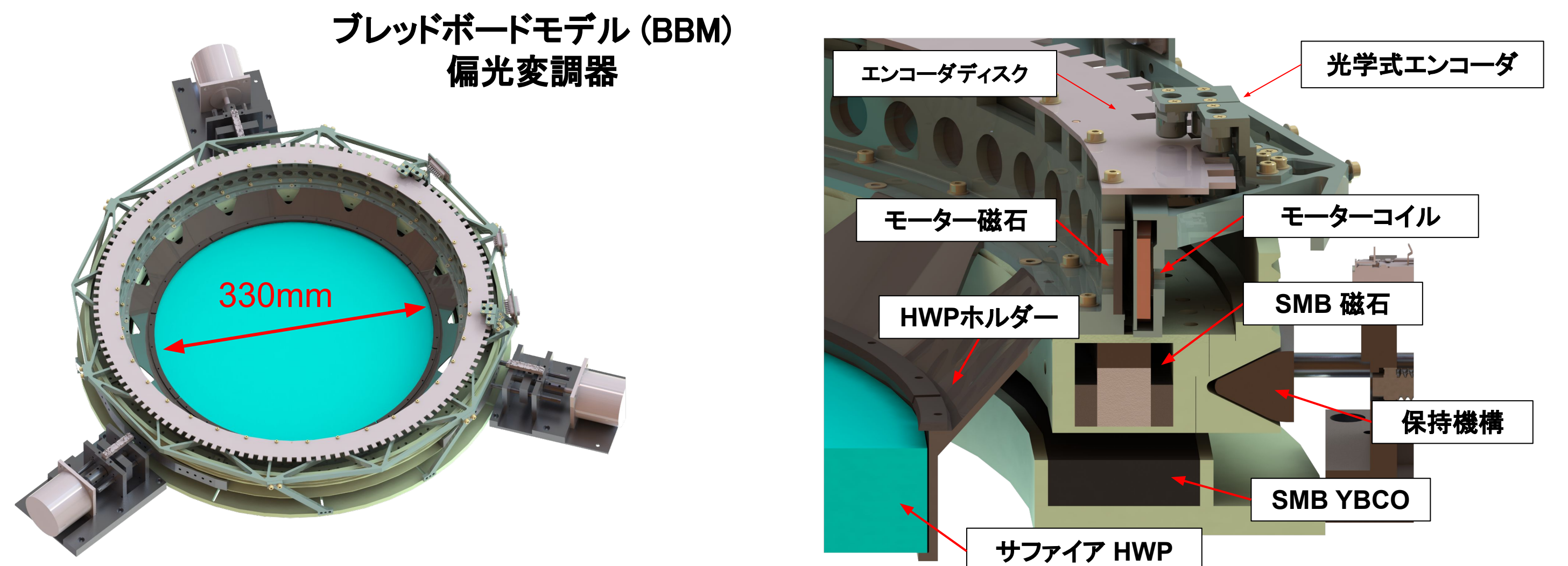
## 概要

- LiteBIRDは宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) のB-mode偏光成分を3年間の全天精密観測を行い、**宇宙のインフレーション**を探索する次世代型衛星計画である。
- 偏光変調器は、微弱なB-mode信号の精密測定を実現する最重要機器の一つである。
- 本発表では、日本グループが開発担当のLiteBIRD低周波望遠鏡に搭載する**サファイア半波長板連続回転式偏光変調器**の要求・設計コンセプトと開発状況を紹介する。
- 偏光変調器 = 連続回転する半波長板により入射直線偏波に変調を付加する装置。
  - 変調によって信号帯域をアップコンバート⇒ **1/f (低周波)ノイズを大幅に低減**
  - 信号直線偏波を回転させることで1検出器で偏光を再構成 ⇒ **検出器の差分起因の系統誤差を消去**



## 装置への要求と設計コンセプト

代表的要求	要求値 (開発目標)	カテゴリー	上位要求	要求根拠
観測周波数帯域	40 – 140 GHz	光学	サイエンス	前景放射除去
半波長板直径	> 480 mm	光学	サイエンス	信号最大化
半波長板透過率・変調効率	> 90-99% (周波数依存)	光学	サイエンス	信号最大化
回転速度	46 rpm	機械	サイエンス	1/f ノイズ除去
回転角検出精度	< ~1 arcmin (周波数依存)	機械	サイエンス	系統誤差
動作温度	~ 5 K	熱	サイエンス	検出器ノイズ
半波長板温度	< 20 K	熱	サイエンス	検出器ノイズ
発熱	< 4 mW	熱	衛星インフラ	冷凍機能力
重量	< 30 kg	機械 (熱)	衛星インフラ	冷凍機能力
寿命	3年間	機械	サイエンス	統計量



広帯域半波長板

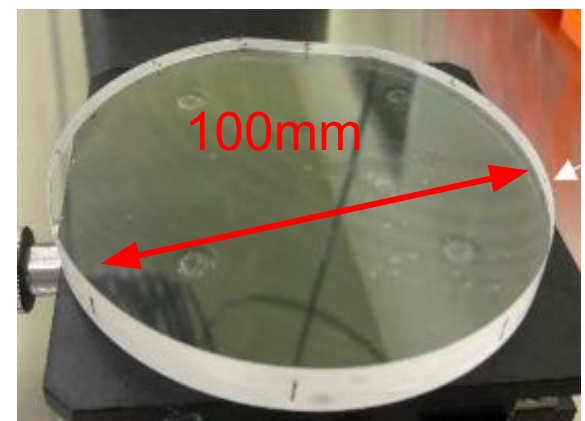
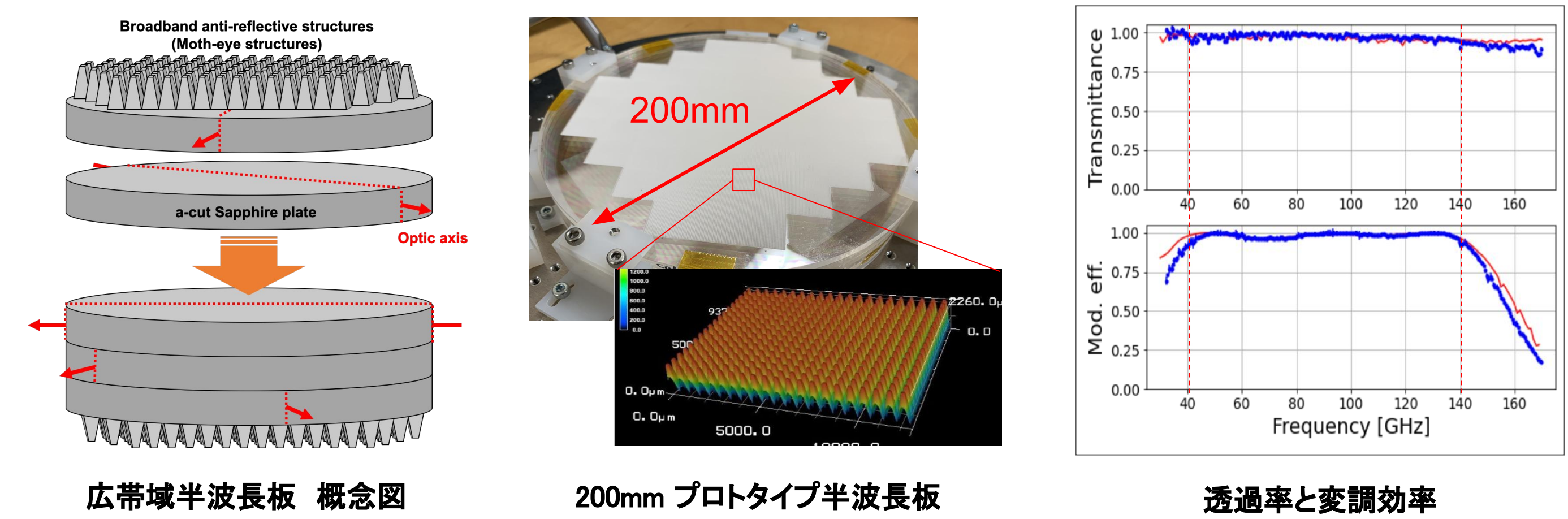
- 半波長板として複屈折材かつ高熱伝導率のサファイアを採用
- 高屈折率に対応する広帯域反射防止処理、多層化によるアクロマティック半波長板

極低温回転機構

- 低温安定動作＋発熱最小化のため超電導磁気軸受を使用した完全非接触回転機構を採用
- 超伝導磁気軸受(SMB): 回転子に永久磁石リング、固定子に高温超伝導体 YBCOリング
- 駆動機構(同期モーター): 回転子に永久磁石、固定子に高純度銅線コイル
- 保持機構: 超伝導体が冷却されるまでの回転子保持、V型アーム＋低温ステッピングモーター
- 角度検出機構: 赤外線LED＋Siフォトダイオードの光学式エンコーダー

## 広帯域半波長板

(Achromatic Half-Wave Plate, AHWP)



水ガラス接着サファイア



CFRP半波長板ホルダー

- レーザーアブレーション加工によるモスアイ(蛾の目)微細構造＋多層サファイアによってプロトタイプを作製→暫定的な要求(開発目標)を達成
- 珪酸ソーダ(水ガラス)による打ち上げ耐性＋光学的影響のない接着方法を開発中
- 打ち上げ＋熱収縮耐性のあるCFRP半波長板ホルダーを試作
- サファイア半波長板の不完全性によって生じる系統誤差を評価中: 結晶軸のずれ、無偏光→偏光の漏れ込み

### 今後の開発課題

実機サイズの製造＋低温光学測定による性能評価

詳細は下記ポスターを参照

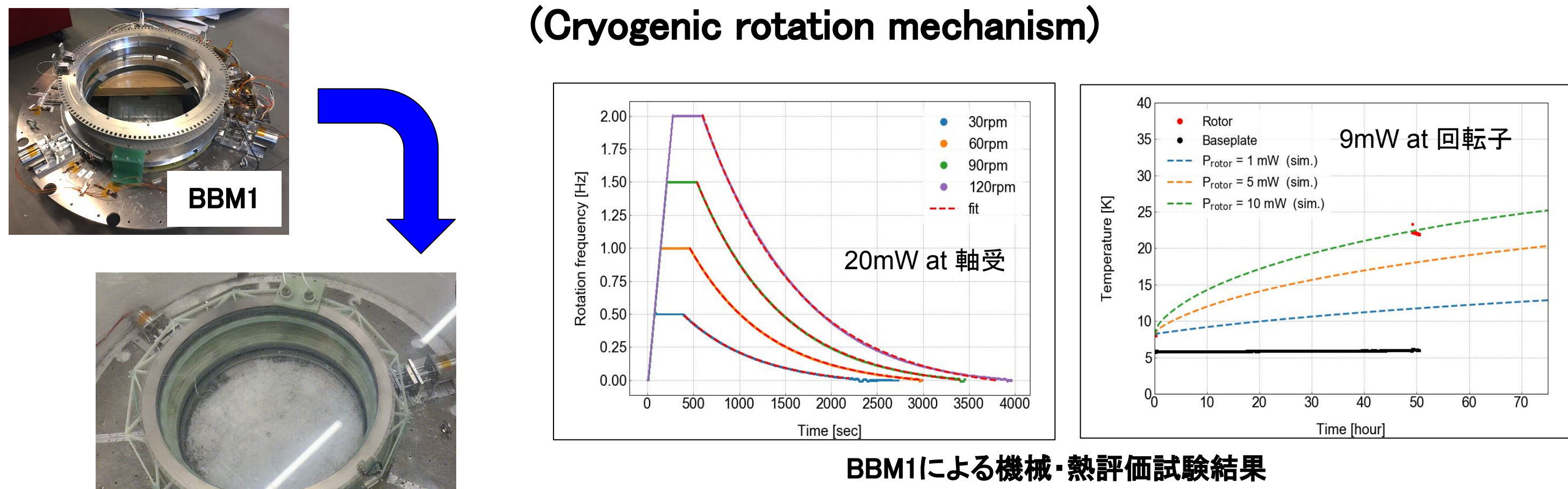
高久諒太 他「LiteBIRD低周波望遠鏡のためのモスアイ反射防止広帯域サファイア半波長板の開発」  
星野百合香 他「LiteBIRD低周波望遠鏡のための半波長板の結晶軸のずれがCMB観測に与える影響について」

## その他の開発

- 機械環境耐性: ロンチロック、構造シミュレーション
- 衛星用常温エレキ部検討
- 宇宙線耐性: 放射線ダメージ、帯電、発熱
- 低発熱ステッピングモーター: 高純度銅線コイル、アニーリング
- 非接触温度計・位置センサー
- バッフル、ストップを含めた開口部システム最適化
- 冗長系検討, etc

## 極低温回転機構

(Cryogenic rotation mechanism)



BBM1による機械・熱評価試験結果

- 准実機サイズの初期プロトタイプ(BBM1)試験から機械的開発目標は達成
  - 5 Kでの安定回転 > 24 hour
  - 角度再構成精度 < ~0.25 arcmin
- 熱＋重量において目標達成が困難であることが判明
  - 実機サイズ概算重量: 50 kg
  - 全体発熱: > 20 mW
  - 回転子発熱(平衡温度): > 9 mW (~35K)
- 大幅な設計改善、特に軽量化を施した2台目のプロトタイプ(BBM2)を製造
  - 実機サイズ重量: 50 kg → 30kg
  - 軽量化(非金属化) = 低損失化
- 常温、LN<sub>2</sub>での損失評価試験が進行中

### 今後の開発課題

4 KクライオスタットにおけるBBM2回転機構の発熱評価、目標達成半波長板を統合しての装置としての統合試験

詳細は下記ポスターを参照

長谷部孝 他「LiteBIRD低周波望遠鏡に用いる偏光変調器回転部の熱損失の研究」

## 展望

- 実機サイズBBMの試作・評価によって、開発目標値をすべて達成することで技術的性能を実証。
- 半波長板＋回転機構の低温統合試験を行うことで、装置としての光学・機械・熱的性能を評価。
- フライトモデルに向けた機械環境を考慮した構造、インターフェース設計。
- 装置の不完全性を考慮した系統誤差解析、要求値の導出。