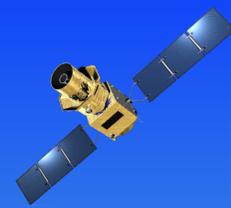


# LiteBIRDのための偏光変調器の開発状況

桜井雄基<sup>1</sup>, 松村知岳<sup>1</sup>, 片山伸彦<sup>1</sup>, 今田大皓<sup>2</sup>, 小松国幹<sup>3</sup>, 石野宏和<sup>3</sup>, 金井啓晃<sup>4</sup>, 高久諒太<sup>4</sup>, 中村正吾<sup>4</sup>, 杉山真也<sup>5</sup>, Tommaso Ghigna<sup>6</sup>, 菅井肇<sup>1</sup>, 大崎博之<sup>7</sup>, 寺尾悠<sup>7</sup>, 下村俊貴<sup>7</sup>, 廣田幸真<sup>7</sup>, 小西邦昭<sup>7</sup>, 櫻井治之<sup>7</sup>, 牧宗慶<sup>8</sup>, 鈴木純一<sup>8</sup>, 片坐宏一<sup>2</sup>, 宇都宮真<sup>1</sup>, 渡邊尚貴<sup>9</sup>, 川崎健夫<sup>9</sup>, 他LiteBIRD Phase A1 team

<sup>1</sup>Kavli IPMU, <sup>2</sup>JAXA/ISAS, <sup>3</sup>岡山大学, <sup>4</sup>横浜国立大学, <sup>5</sup>埼玉大学, <sup>6</sup>Oxford University, <sup>7</sup>東京大学, <sup>8</sup>KEK, <sup>9</sup>北里大学



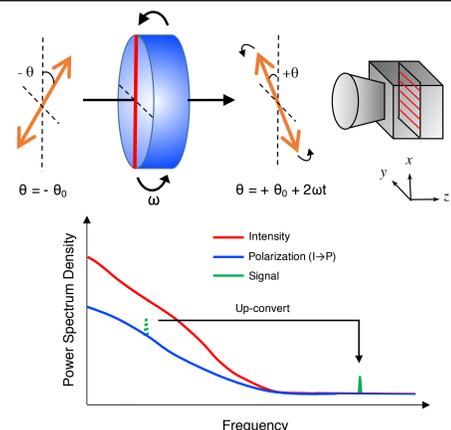
## 概要

LiteBIRDは宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) のB-mode偏光成分の観測により、**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ための最重要開発装置の一つである。本発表では、LiteBIRDに搭載を検討しているサファイア半波長板を使用した**透過型半波長板連続回転式偏光変調器**の開発状況を紹介する。

## 偏光変調器

偏光変調器 … 連続回転する半波長板により入射する直線偏波を回転させる

- ・ 信号偏波の回転によって1つの検出器で偏光測定 ⇒ **検出器の差分起因の系統誤差を消去**
- ・ 信号帯域を変調によってアップコンバート ⇒ **1/f ノイズを低減**



直径	透過率	偏光効率	温度	排熱	回転速度	寿命
Φ = 450 [mm]	> 90% 帯域: 34 ~ 270 GHz	> 98% 帯域: 34 ~ 270[GHz]	< 10 [K]	< 2.0 [mW] (観測時) < 5.0[mW] (再冷却時)	88 [RPM]	> 3年

(Low Frequency Telescopeにおける仕様値)

## 広帯域反射防止構造

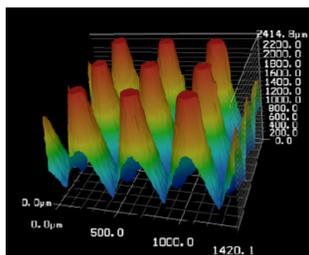
✓ サファイア半波長板では、反射防止膜がない場合 約50%の表面反射がおこる。  
→ LiteBIRDの観測帯域において透過率 > 90%を達成するため、サファイア表面に施す広帯域反射防止膜構造の開発を進めている。

✓ サファイア表面に直接モスアイ(蛾の目)構造をレーザー加工する方法をベースラインとして開発を進めている。広帯域のため、狭いピッチ幅と高いアスペクト比(1:7)を同時に実現する高い加工技術が求められる。

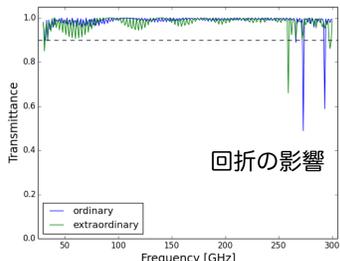
→ **小径サンプルにおいて加工実現性を検証済**

✓ 他に、シリコンやアルミナの表面にモスアイ加工する方法を並行して検討している。

モスアイ構造



加工サンプルの透過率 (シミュレーション)



回折の影響

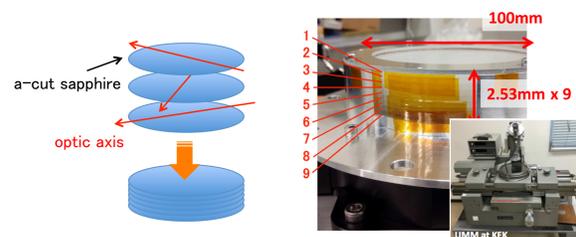
## 広帯域変調効率

✓ LiteBIRDの観測帯域における広帯域変調効率 > 98%は9層の多層型半波長板によって達成可能。

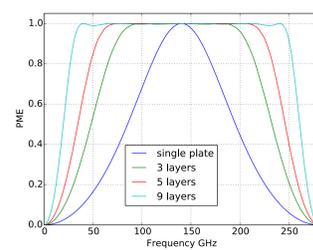
✓ 小型サンプル(Φ=100mm)を用いて**9層サファイア半波長板のアセンブリと偏光効率の測定が完了**している。現状は斜め入射 (<15deg) における測定を行っている。

✓ 実機サイズ (Φ=400mm)のアセンブリと測定を行っていく予定。

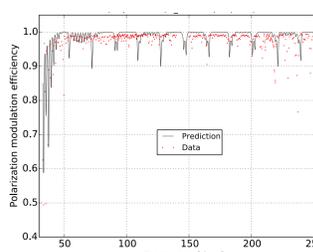
9層サファイア半波長板のアセンブリ



層数による変調効率の変化 (シミュレーション)



9層小型サンプルの測定結果

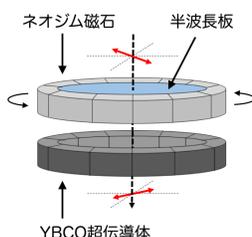


## 極低温連続回転機構の開発

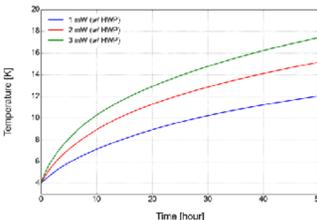
- ✓ 極低温4Kでの低発熱連続回転が要求される。
- ✓ 小型プロトタイプ(Φ=100mm)での原理検証が終了。
- ✓ 実機サイズ(Φ=400mm)の製造と試験を行っている。

### 超伝導磁気軸受

- ✓ ネオジウム磁石とYBCO超伝導体を組み合わせた非接触磁気浮上型回転軸受 → 低発熱化、長寿命化
- ✓ BBMを使用し、熱特性・強度試験を行っている。
- ✓ 並行して新しい磁気回路の開発と製造が進行中。

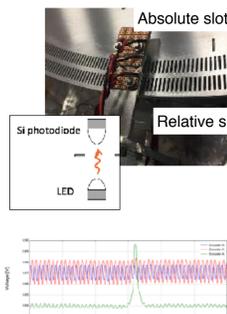


実機サイズBBMの熱特性



### エンコーダ

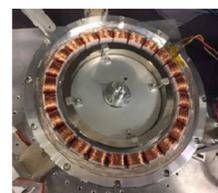
- ✓ LED/SiPDと回転子のスリットを使った回転子の位置検出のための光学式エンコーダ
- ✓ 小型プロトタイプでの4Kでの安定動作と検出感度 $\Delta\theta = 10^{-2}$  deg.を実証済。
- ✓ 実機サイズBBMでの動作確認と測定が進行中。



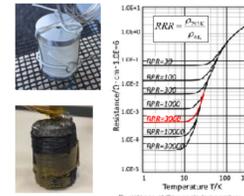
### 非接触型駆動機構

- ✓ ネオジウム磁石と高純度銅線を組み合わせた非接触ACモーターを開発中 → 低発熱化、長寿命化
- ✓ 排熱要求を満たす低発熱コイルを開発中。銅線の純度、コイル成形時のストレス、アニーリングによってジュール発熱量(4Kでの抵抗値)が変化。

駆動系試作機

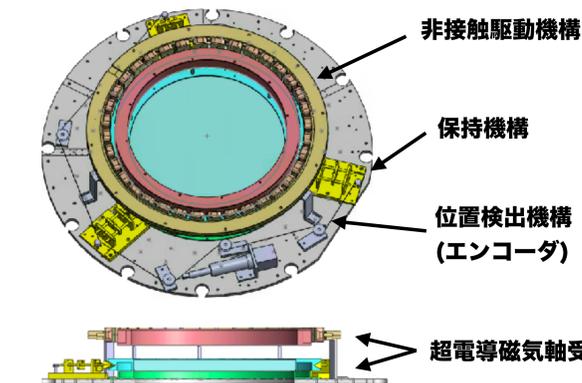
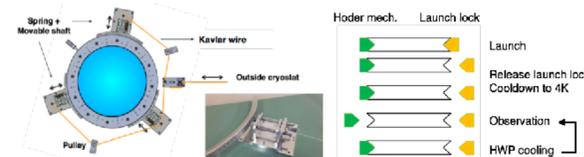


低発熱コイル

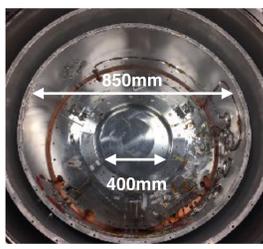


### 保持機構

- ✓ 保持アームと低温ステッピングモーターを用いた「超伝導体冷却までの回転子保持」と「半波長板の冷却」を行う機構
- ✓ 熱コンダクタンスの最適化と寿命試験が進行中。



試験用大型クライオスタット



実機サイズ BBM (Bread Board Model)