LiteBIRDのための偏光変調器の開発状況

松村知岳、片坐宏一、宇都宮真（ISAS/JAXA）、Shaul Hanany, Karl Young (Univ. of Minnesota, Twin Cities),
Viktor Schuetz (LZH)、舟木巧、岡奈緒、石野宏和（岡山大学）、他　LiteBIRD working group

概要

LiteBIRDは宇宙マイクロ波背景放射のB-mode偏光観測により、インフレーション仮説を探索する将来科学衛星である。インフレーションのエネルギースケールを示すテンソル・スカラー比（r）にて、$\delta r<0.001$の観測感度を持ち、代表的なsingle-field slow-roll inflationモデルの探索を実現する。本発表では、LiteBIRDに搭載するための偏光変調器の試作機として作成した。動作温度4Kを想定したサファイア半波長板の連続回転式偏光変調器の開発状況を紹介する。

科学的要求から求められる変調器の必要性及び要求仕様

インフレーション仮説の探索のためのCMB精密偏光観測では以下が求められる。

1） 検出器のlow l（低周波数帯域）での安定性　→　変調によりシグナル帯域をup convertし1/fを避ける。

2） 系統誤差のコントロール　→　検出器間の差分による偏光再構築に依存しないことで、検出器個々の校正要求を軽減。

一方で、偏光変調器を搭載するには以下の使用が求められる。

- φ400mmの開口径。
- 広帯域（50-320GHz）半波長板。
- 発熱の低減（＜数mW）を動作温度～4Kで実現する連続回転システム。

冷却連続回転半波長板のプロトタイプ

開口径（半波長板直径）Φ50mm
動作温度　～4K
回転速度　～1Hz

ステッピングモーターによるリニアアクチュエーター式保持機構

77Kでのステッピングモーター以外の動作確認済み。

断面図

Warm launchを想定し、常温下では保持。Launch lockも兼ねる。打ち上げ後、軸受けの高温超伝導体が臨界温度以下にて回転子を離し、非接触による浮上を実現させる。

広帯域半波長板

LiteBIRDの観測帯域は50-320GHzのため、広帯域（Δv/v～1.5）の変調効率及び透過特性を実現する半波長板が求められる。

広帯域の変調効率

広帯域の変調効率は多層半波長板にて実現が可能である。シミュレーションにより9層の半波長板にてLiteBIRDの帯域をカバーすることができることを以下に示す。

右図：　左パネルは9層による半波長板の変調効率（上）及び、変調位相の周波数特性（下）。右パネルは9層を2セット用意することで、位相の周波数依存性を除去する。

T. Matsumura et al.in prep.

広帯域の反射防止膜

反射防止膜がない場合、40%程度の表面反射がある。低温化での異種材料の接着を避けるため、半波長板の材料であるサファイア表面に直接モスアイ加工を用いた広帯域反射防止膜のプロトタイプを作成。加工例（図：下左）及び期待される等価特性（図下右）。現在、W及びFバンドにて透過測定中。

放射耐性

サファイアにプロトンビーム（～10krad＝5年分相当@L2）を照射。照射前後にて透過率の優位な変化は見られなかった。全観測帯域にて詳細測定中。

ホールセンサーによる磁気式エンコーダー

回転子の永久磁石の磁場の非一様性を利用することでエンコーダー回転位置を再構築。下図は回転子の磁場の非一様性の例（ΔB/B～1%）。

光学式エンコーダー

気球CMB偏光観測実験EBEXにて同様の光学式エンコーダーをSMB式変調器にて採用。回転角度の再構築精度＜0.01°を気球フライトにて実現。

高温超伝導体による非接触浮上式軸受け

第2種超伝導体のピン留め効果により、field cooling後、回転方向の自由度を残し、臨界温度以下にて安定的に浮上を保つ。本システムは気球CMB偏光観測実験EBEXの変調器の軸受けとして採用され、南極周回軌道のフライトで使用された実績を持つ。

まとめ

- LiteBIRDのための4Kにて動作する連続回転式半波長板のプロトタイプを、CMB気球実験EBEXの変調器をベースに設計及び作成し、評価実験をスタートした。
- 今後、4K冷凍機チェンバーにて動作確認、熱的特性の評価を行う。
- 広帯域等価及び偏光特性をLiteBIRD観測全帯域にて評価を行う。