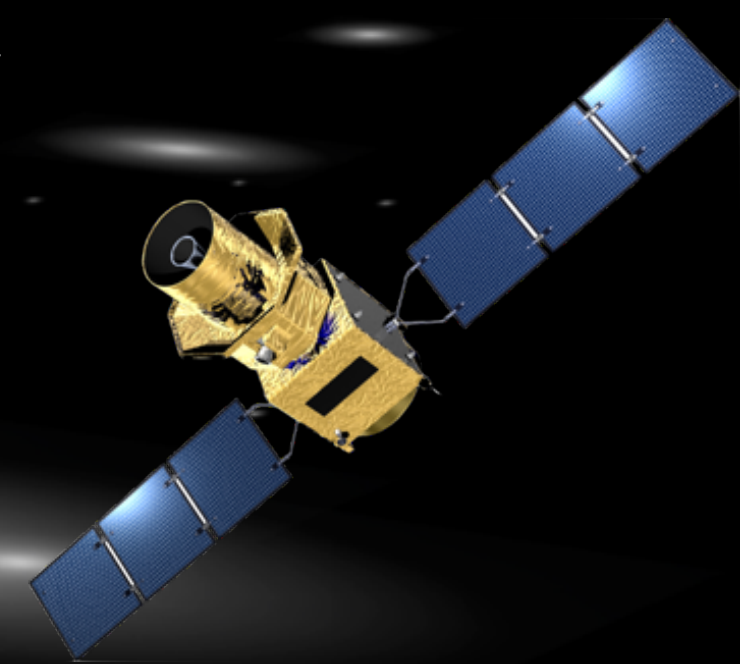


LiteBIRDのための偏光変調器の開発状況

桜井雄基¹, 松村知岳¹, 今田大皓², 菅井肇¹, 片山伸彦¹, 小松国幹³, 高久亮太⁴, 石野宏和³, 羽澄昌史^{1,2,5}, 宇都宮真¹, 山本亮², 片座宏一², 他LiteBIRDチーム

¹Kavli IPMU, ²JAXA/ISAS, ³岡山大学, ⁴横浜国立大学, ⁵KEK



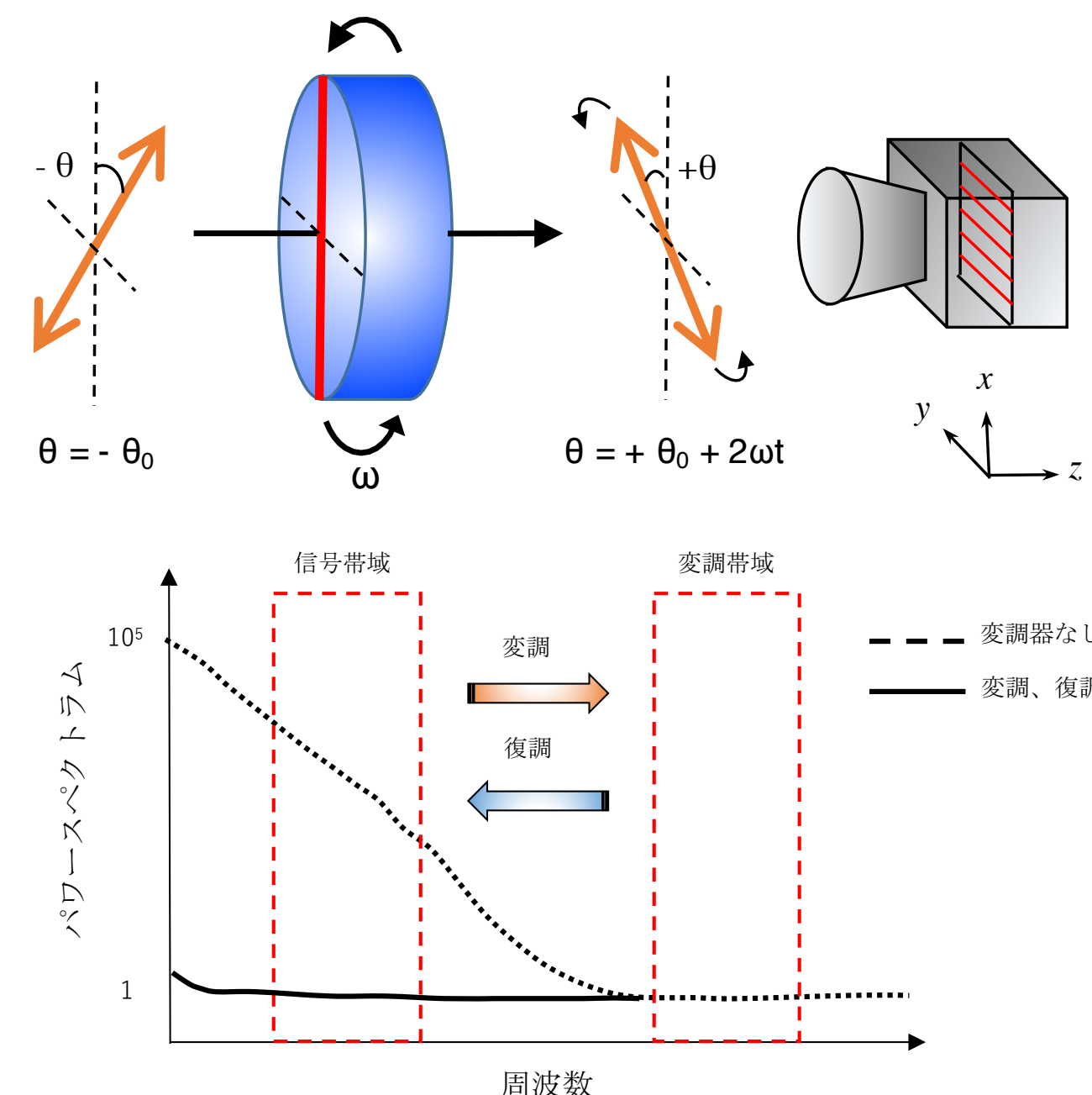
概要

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**の開発状況を紹介します。

偏光変調器の必要性・要求仕様

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**



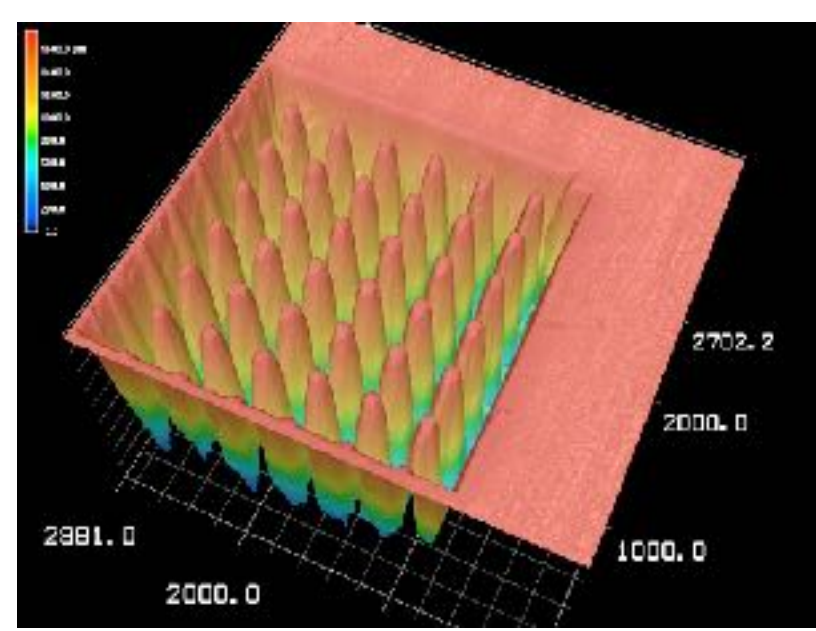
LiteBIRD搭載に求められる代表的な要求仕様

| 直径 | 透過率 | 偏光効率 | 温度 | 排熱 | 回転速度 | 寿命 |
|--------------|---------------------------|----------------------------|----------|------------|----------|------|
| Φ = 400 [mm] | > 90% 帯域: 40 ~ 270 GHz | > 98% 帯域: 40 ~ 270[GHz] | < 10 [K] | < 3.5 [mW] | 1.2 [Hz] | > 3年 |

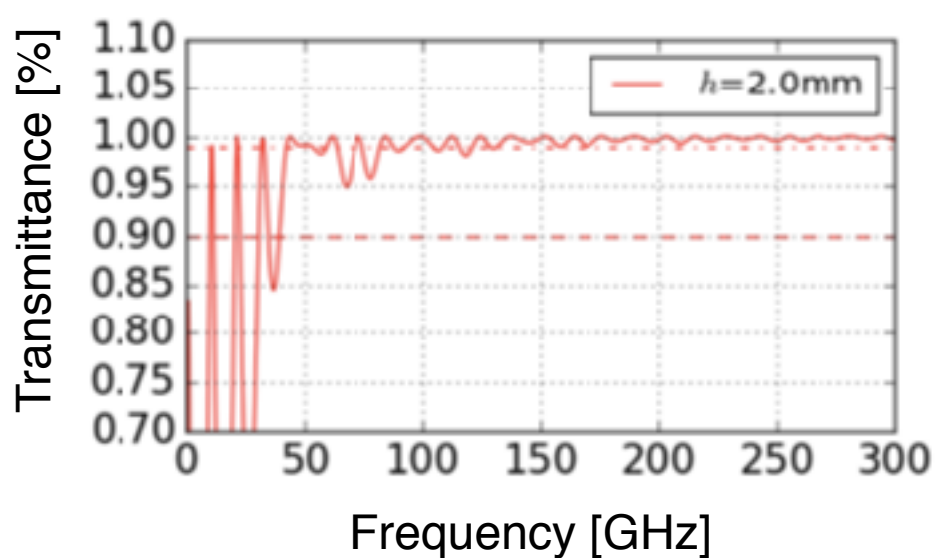
広帯域サファイア半波長板の開発

広帯域反射防止膜

- ✓ 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(0.3mm)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。→ **既に加工の実現性は実証されており、測定準備中。**
- ✓ 他に、サファイア表面に多層の反射防止膜をコーティングする方法を並行して検討している。



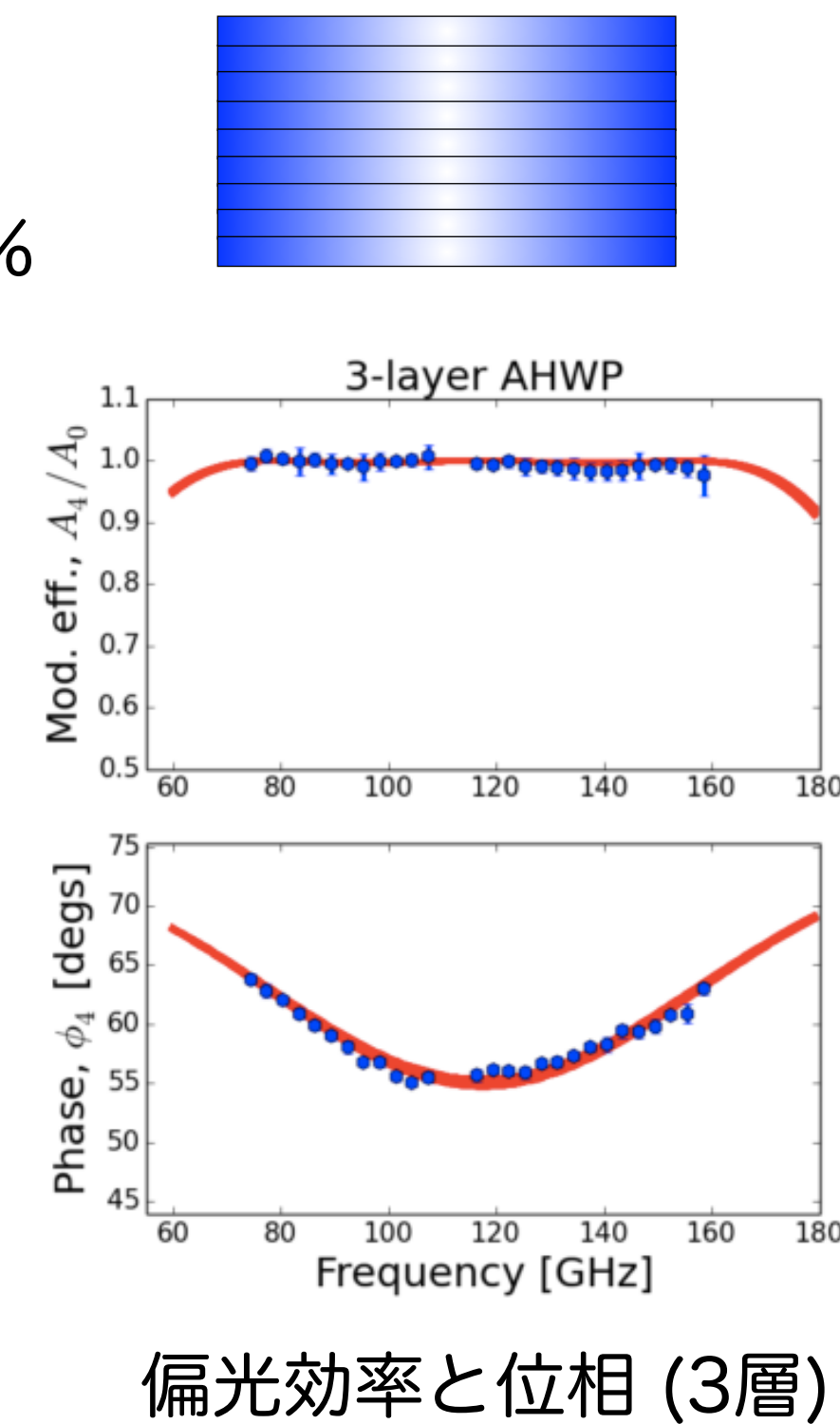
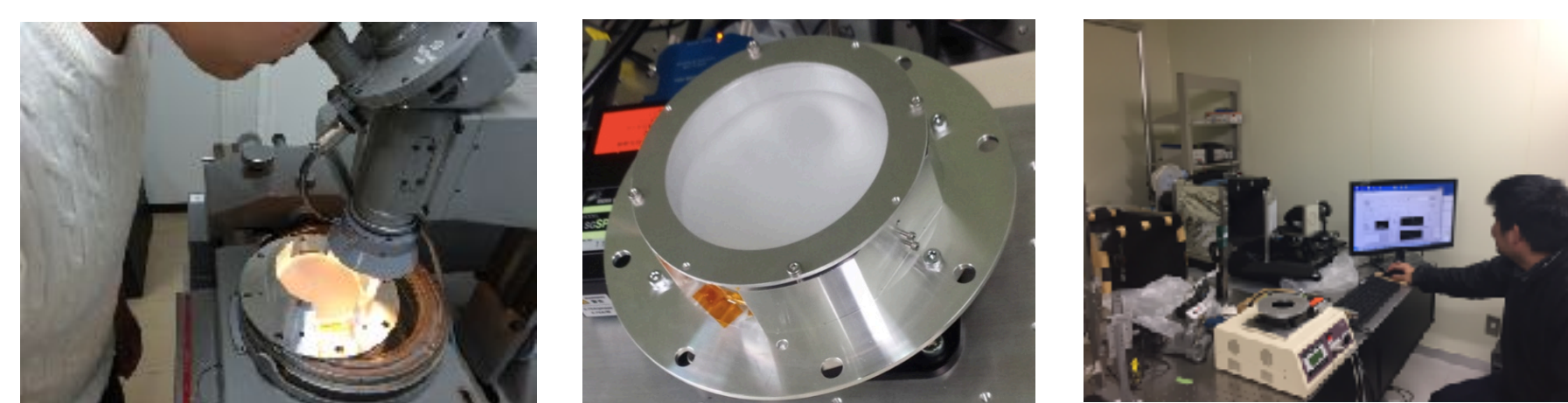
モスアイ構造の加工例



シミュレーションによる目標とする透過率

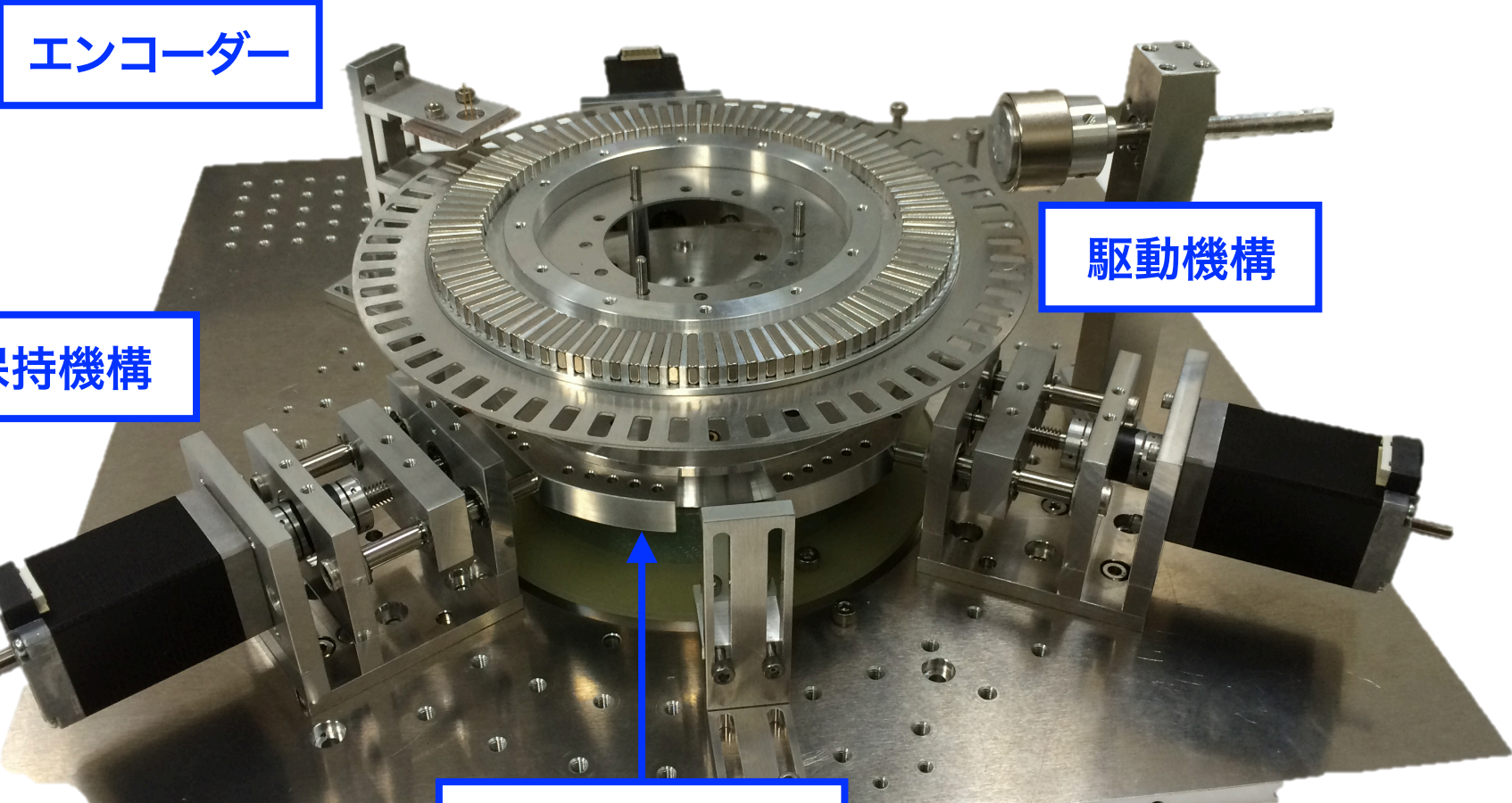
広帯域偏光効率

- ✓ 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である。
- ✓ 現状、Φ=100mmのサファイア半波長板3層での偏光効率の測定によってその**実現性が検証済**である。5層のアセンブリが完了しており、今後7→9層の測定を順次行っていく予定である。



偏光効率と位相 (3層)

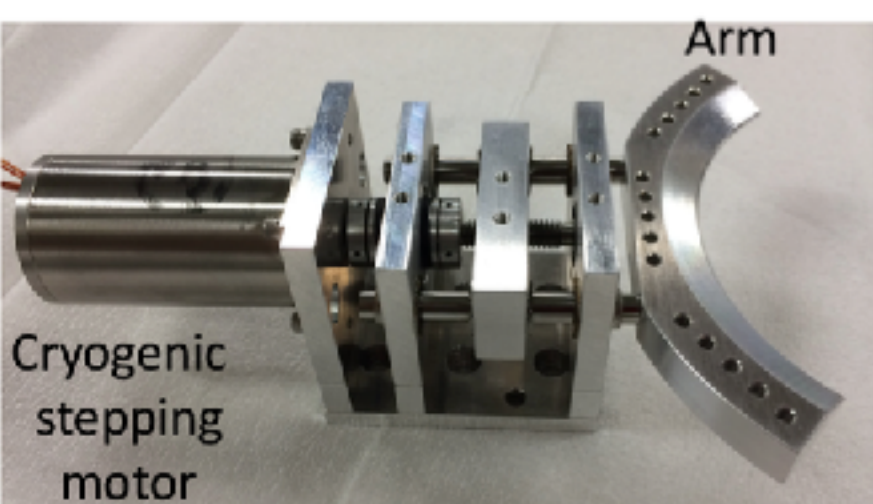
連続回転機構の開発



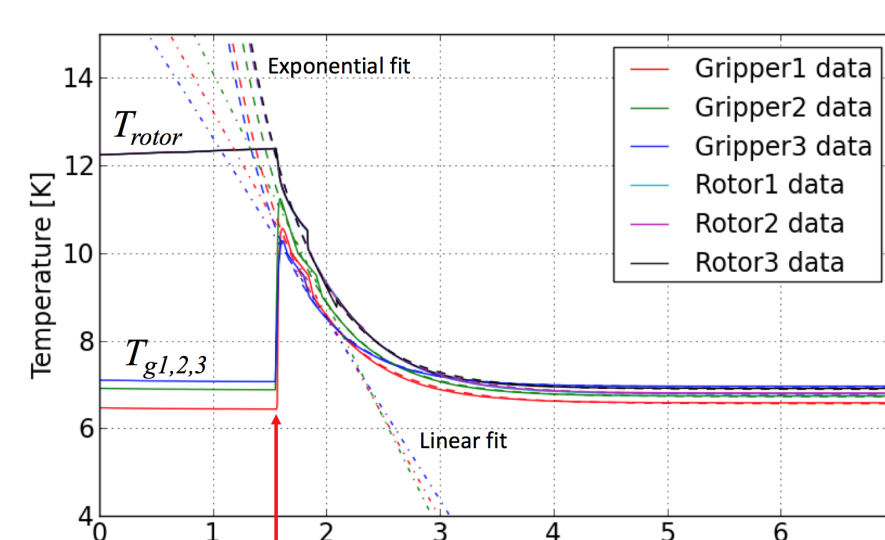
回転機構 小型プロトタイプ
Φ = 65mm, 4K, 1Hz での回転試験

保持機構

- ✓ 保持アームと低温ステッピングモーターによる多目的機構
 1. 軸受の超電導体冷却までの回転子保持
 2. 半波長板の冷却
 3. 保持時の半波長板温度の推定
- ✓ モーターの発熱を低減するため、トルク低減構造を設計、開発中



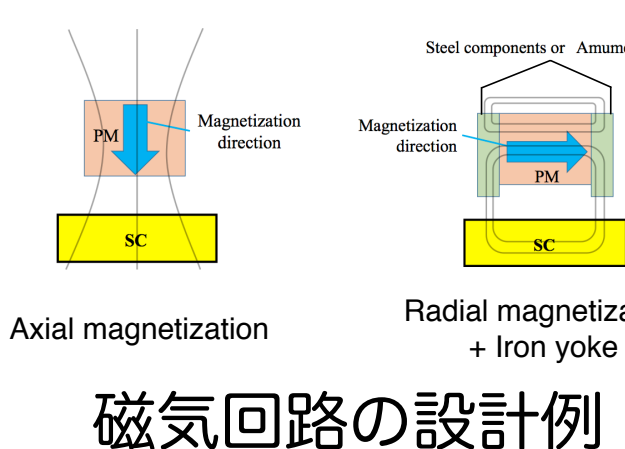
保持アームと低温モーター



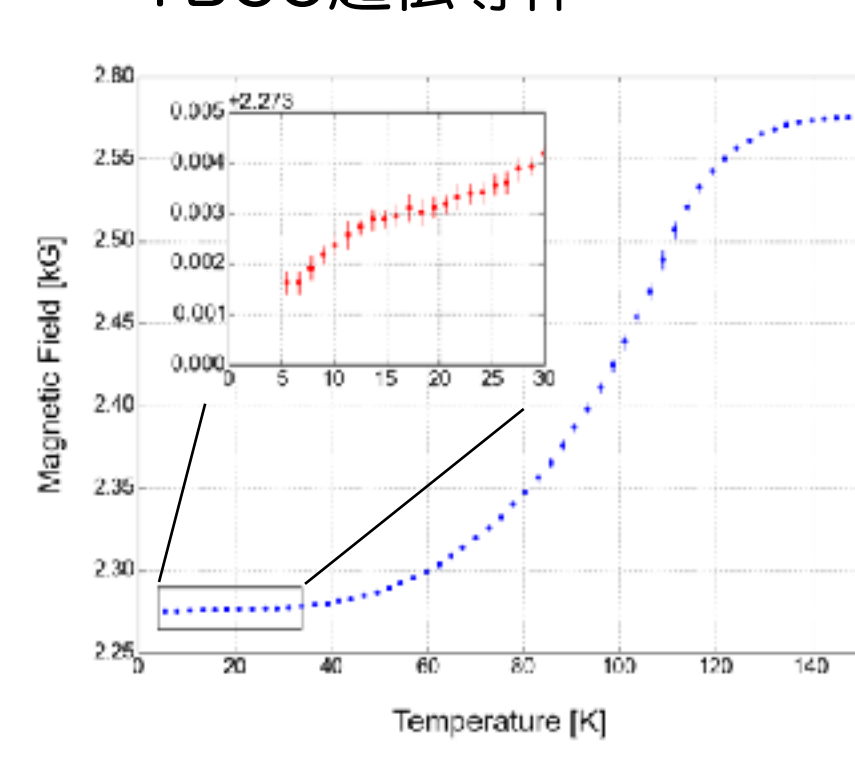
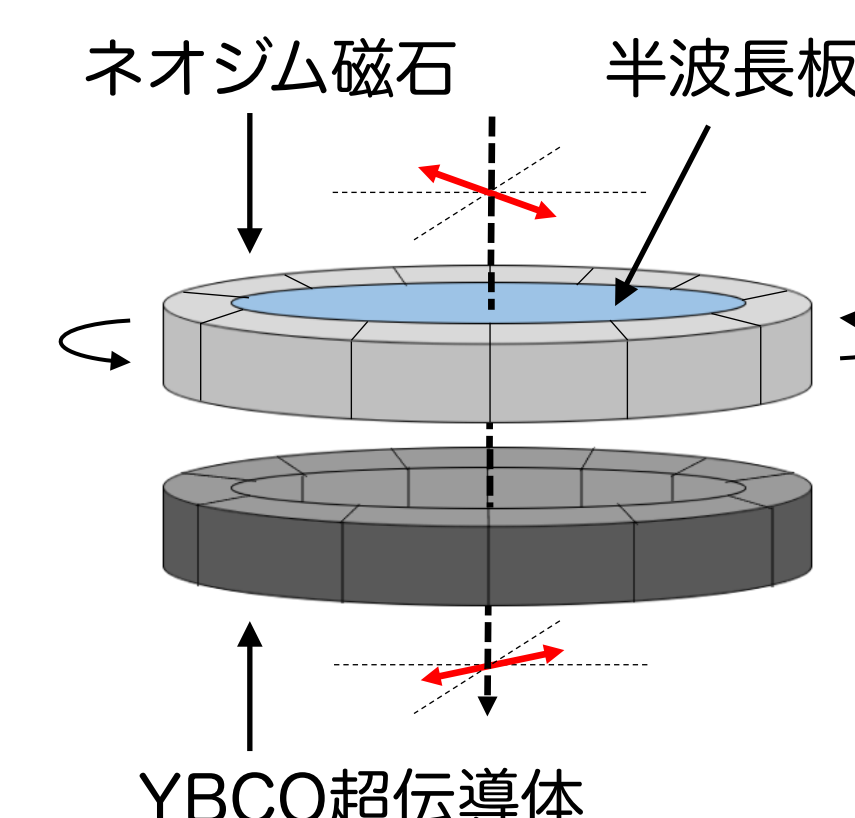
温度推定試験結果

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
- 開発項目
- 磁気回路設計・製造
 - 磁気シールド設計
 - 磁石の温度特性を利用した非接触温度測定



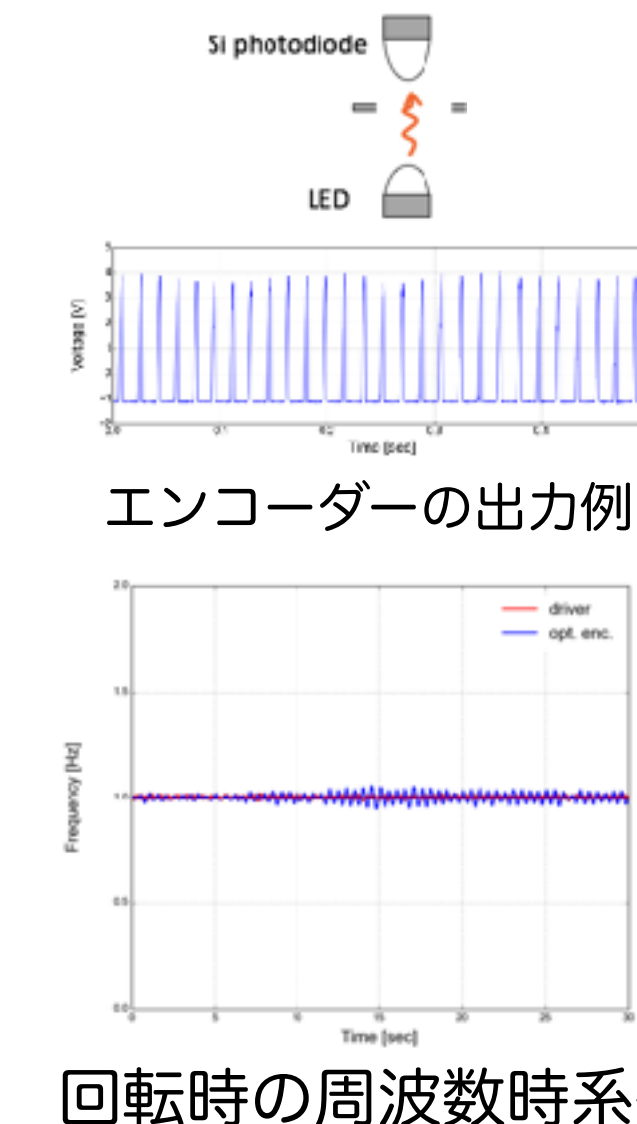
磁気回路の設計例



ネオジウム磁石の磁場温度特性

エンコーダー

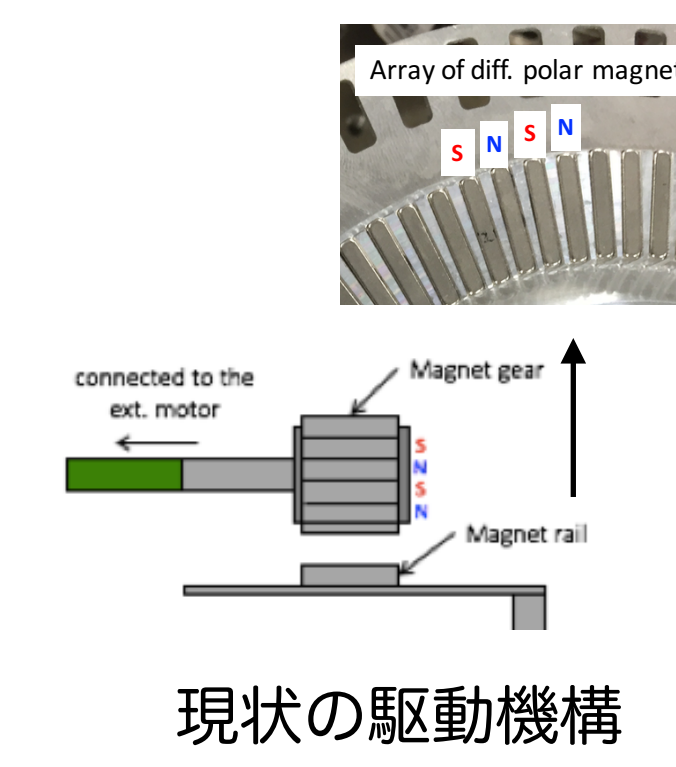
- ✓ LED/SiPDと回転子のスリットを使った回転子の位置検出のための光学式エンコーダー
- ✓ 1Hzでの安定回転を実現済。
- ✓ 検出感度は現状でΔθ=10⁻² deg
- ✓ Δθ=10⁻³ degの達成を目指し、読み出しと回転子スリットの改善を行っている。



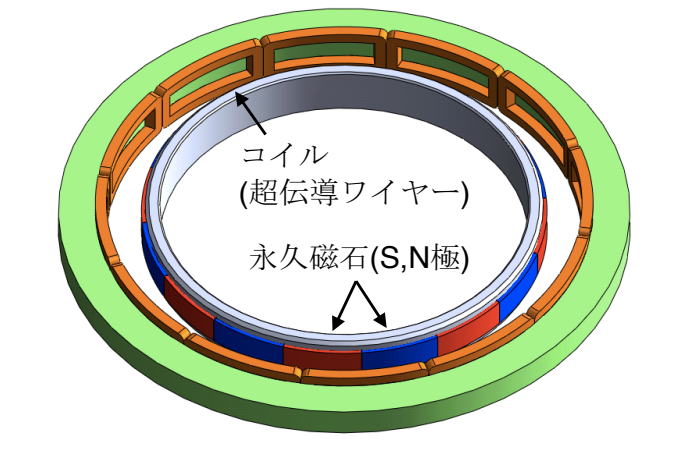
回転時の周波数時系列

非接触型駆動機構

- ✓ 現状、外部モーターに接続した磁気ギアと回転子の磁石レールのカップリングを使用している。
- ✓ ネオジウム磁石とNbTi超電導ワイヤー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



現状の駆動機構

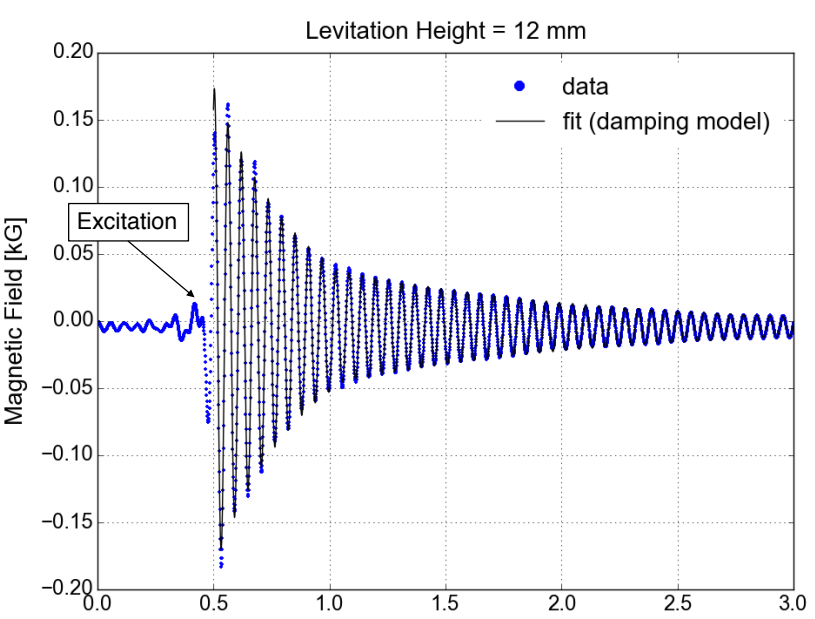


非接触モーターの設計図

実機サイズでの試験

- ✓ 超電導磁気軸受の実機サイズ試験 (液体窒素を使用)。
- 磁気摩擦による発熱量の推定
- 軸受としての剛性の評価
- ✓ 本年度に大型クライオスタットを使用した総合試験を予定。

回転子磁石の磁場一様性



外力を与えた時の磁場変動