

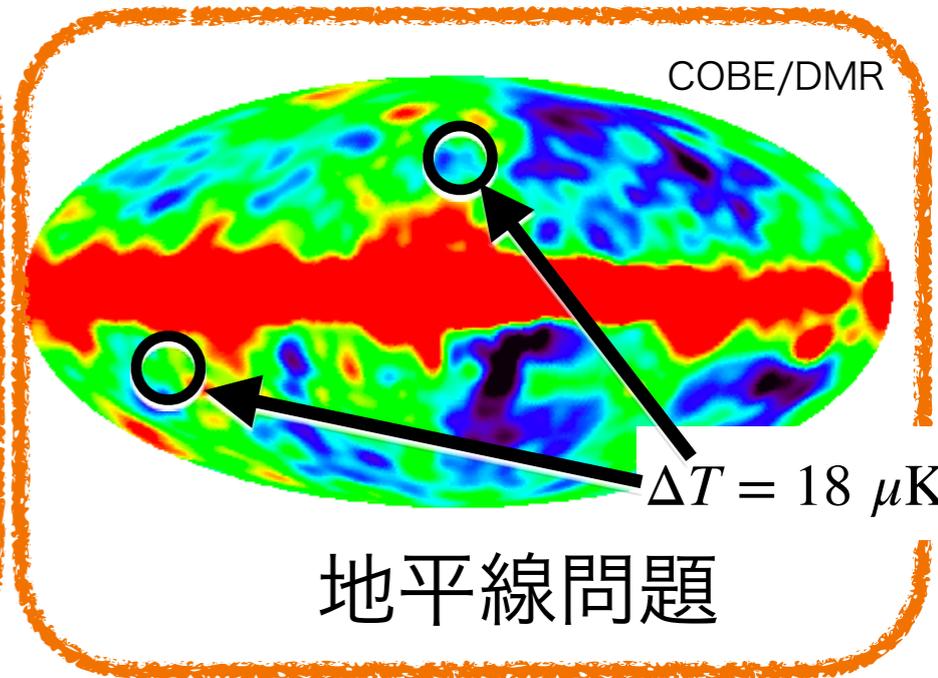
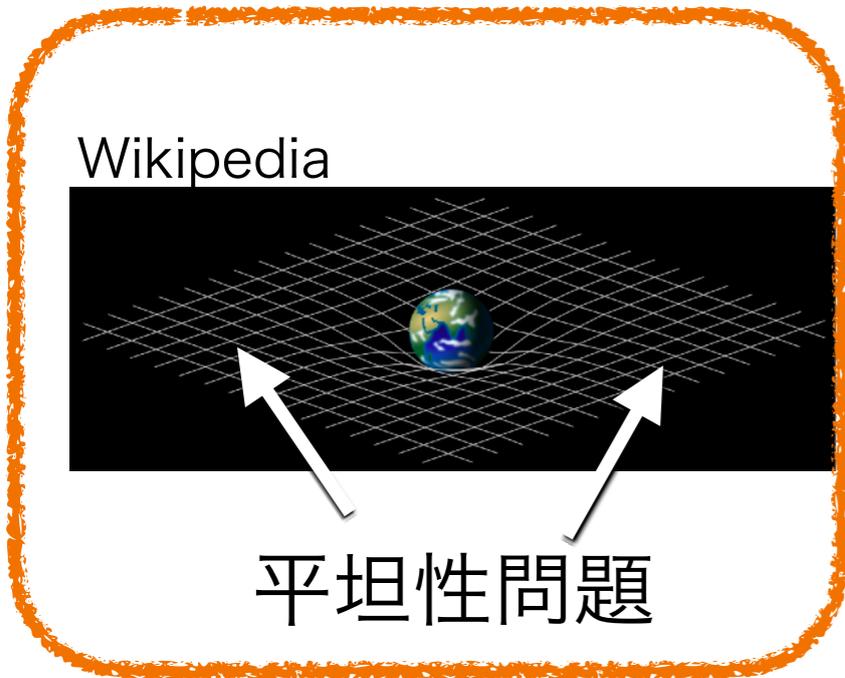
CMB望遠鏡の自動較正に向けた 制御系の開発と評価

京都大学 高エネルギー物理学研究室 中田嘉信



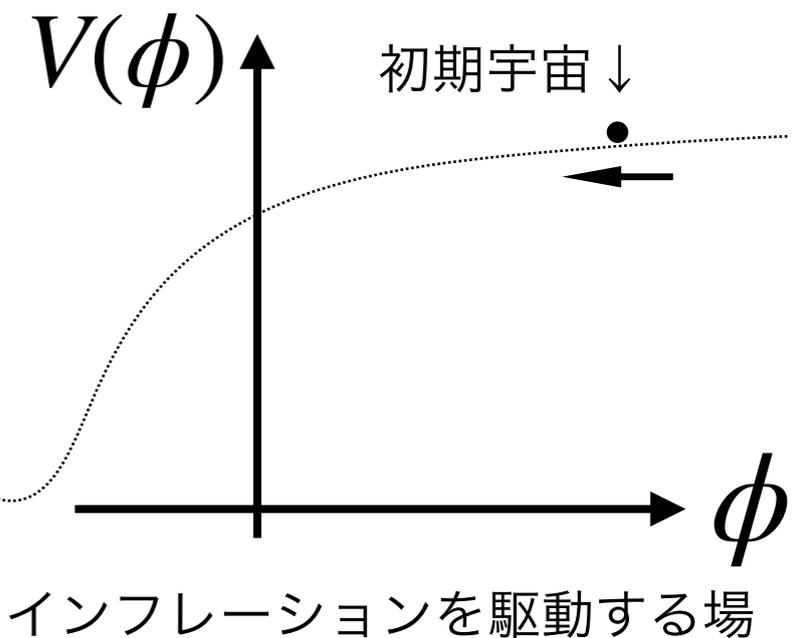
インフレーション宇宙モデル

Λ CDM標準宇宙モデルが抱える3つの課題



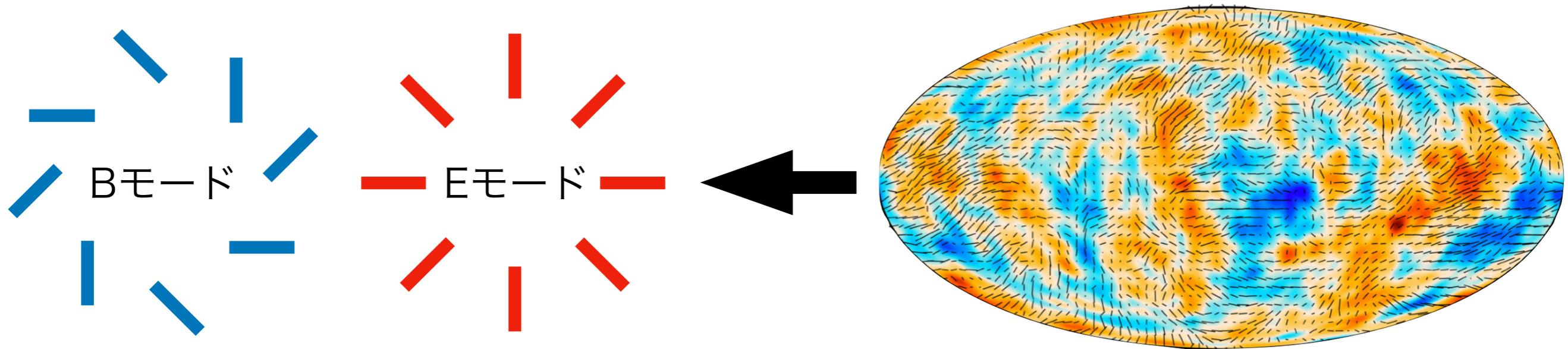
➡ 解決策の有力候補：インフレーションモデル

- ビッグバン以前の宇宙の急速な膨張
- インフレーションは原始重力波（宇宙初期のテンソル型揺らぎ）を预言する
- 原始重力波の証拠をCMB偏光の中に見出すことができる



宇宙マイクロ波背景放射 CMBの偏光 3

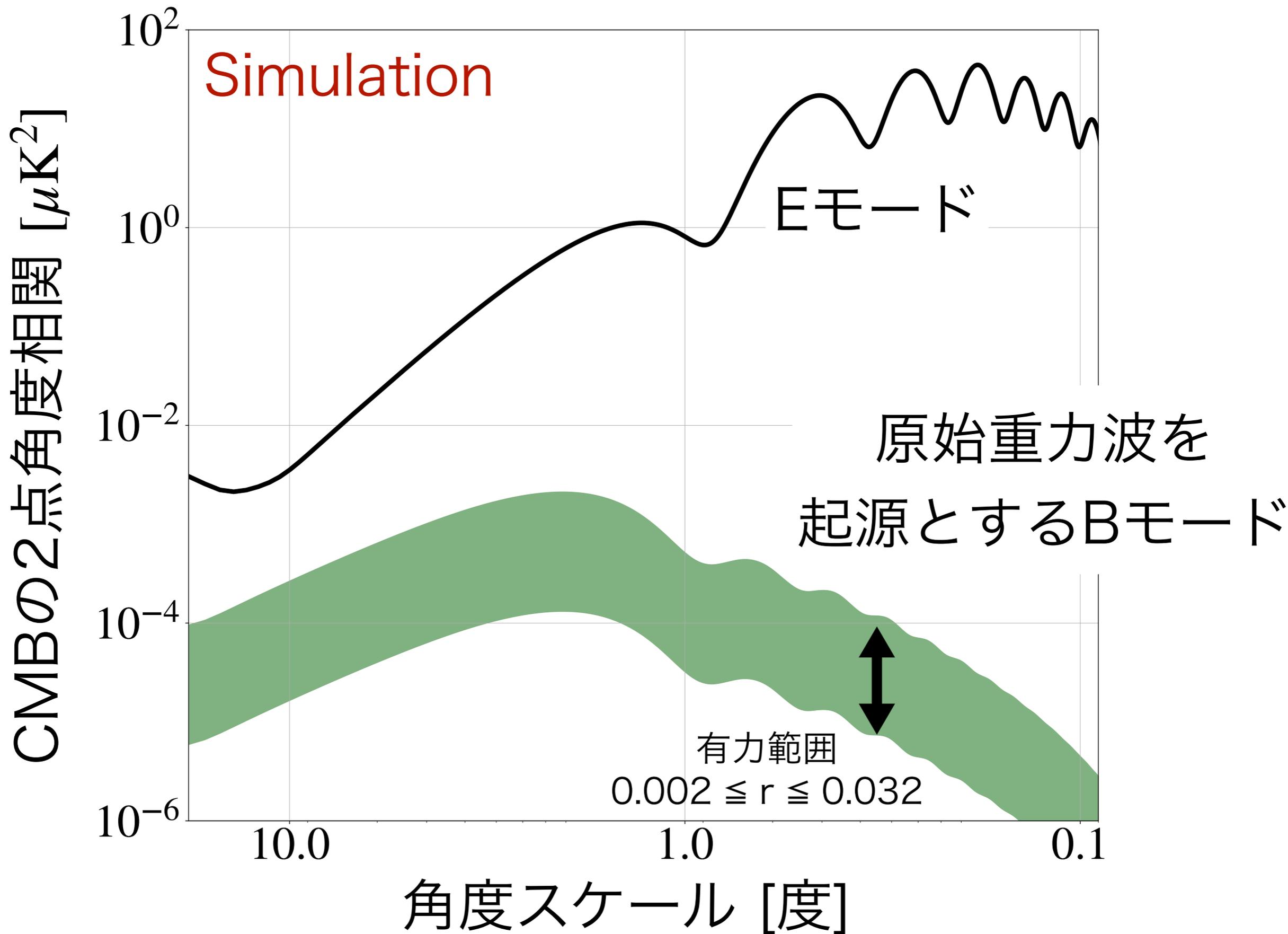
CMBマップ（右）には2種類の偏光パターンがある



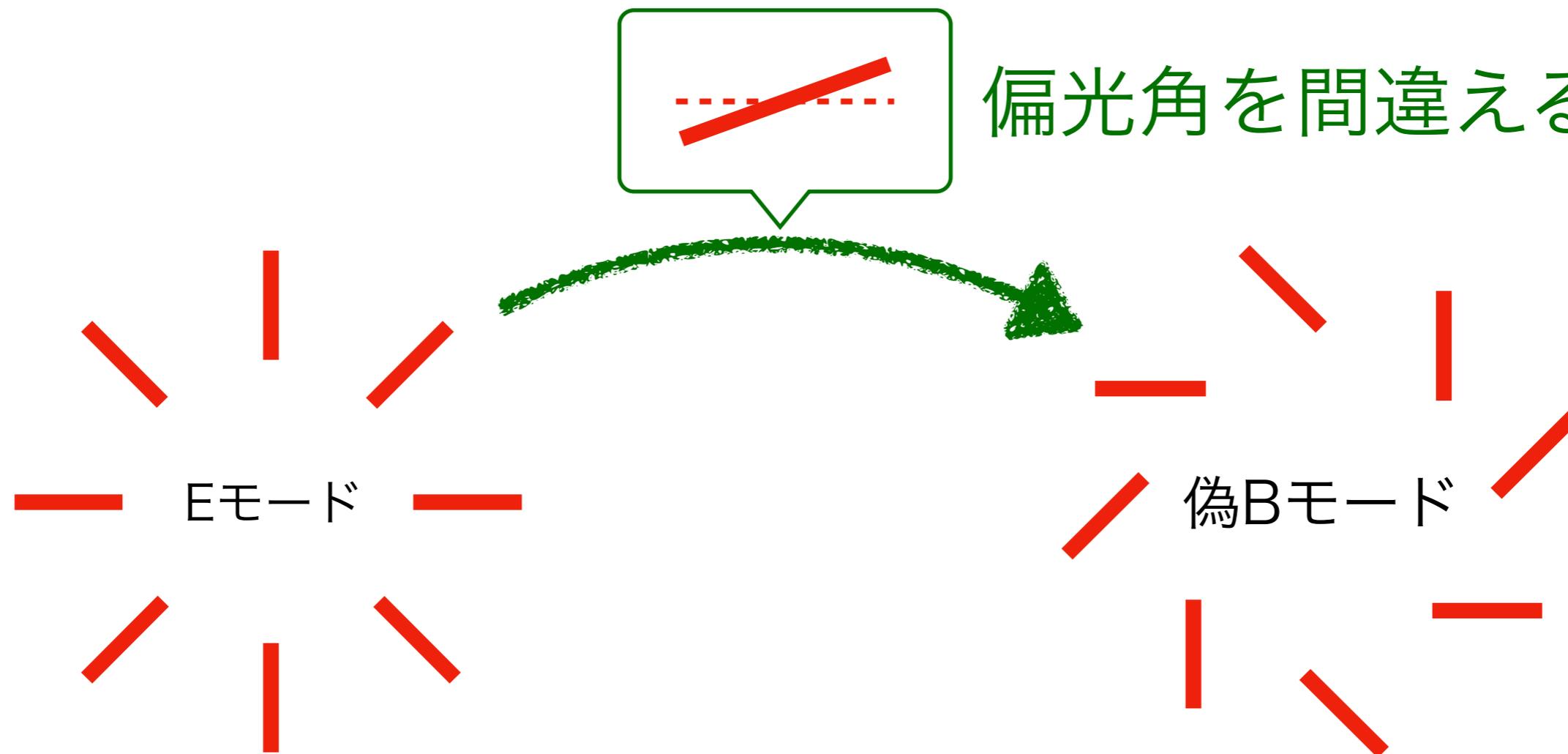
Credit: Planck Collaboration

$$r \equiv \frac{\text{原始重力波の大きさ}}{\text{密度揺らぎの大きさ}}$$

CMBの偏光スペクトル

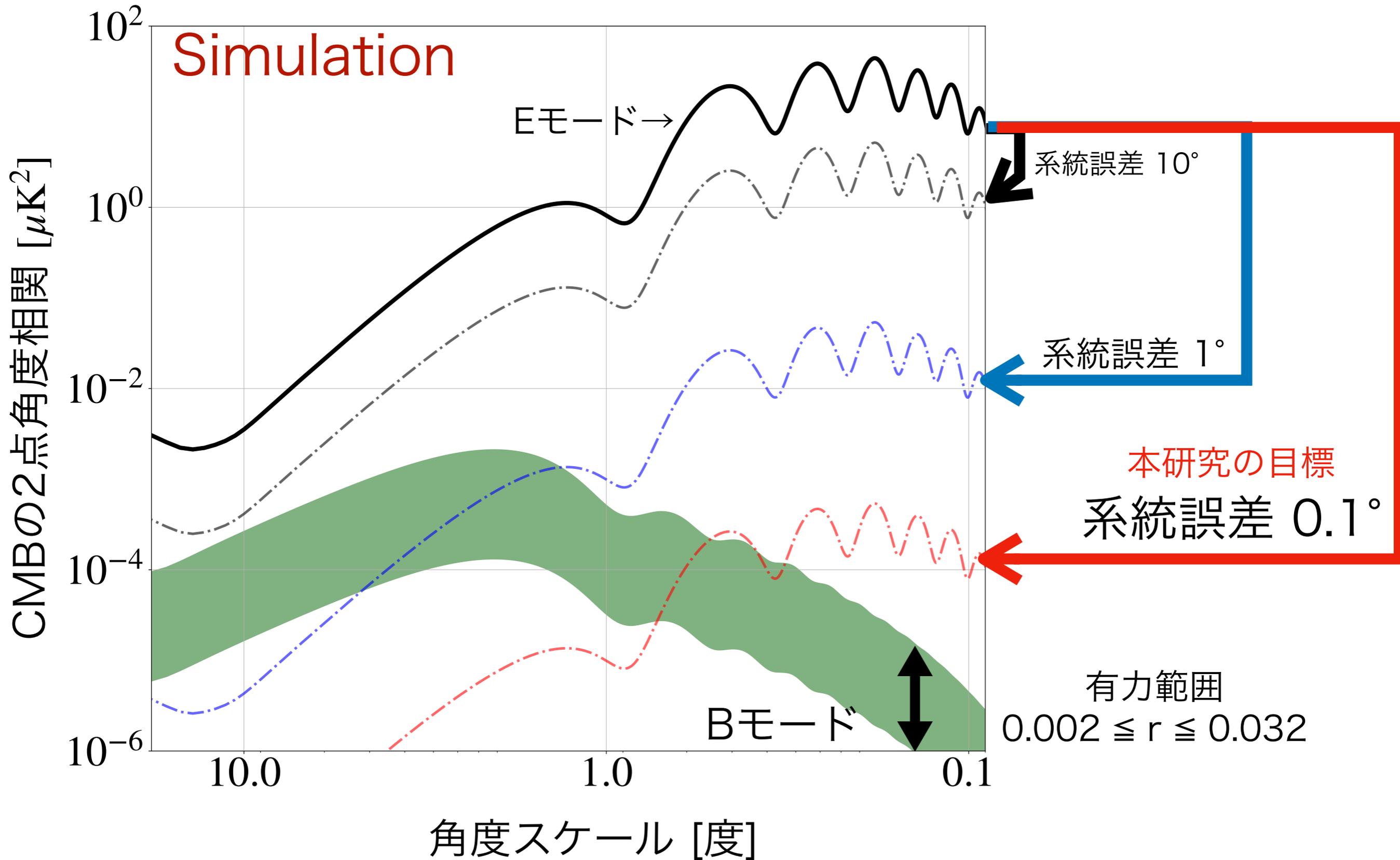


偏光信号の漏れ込み

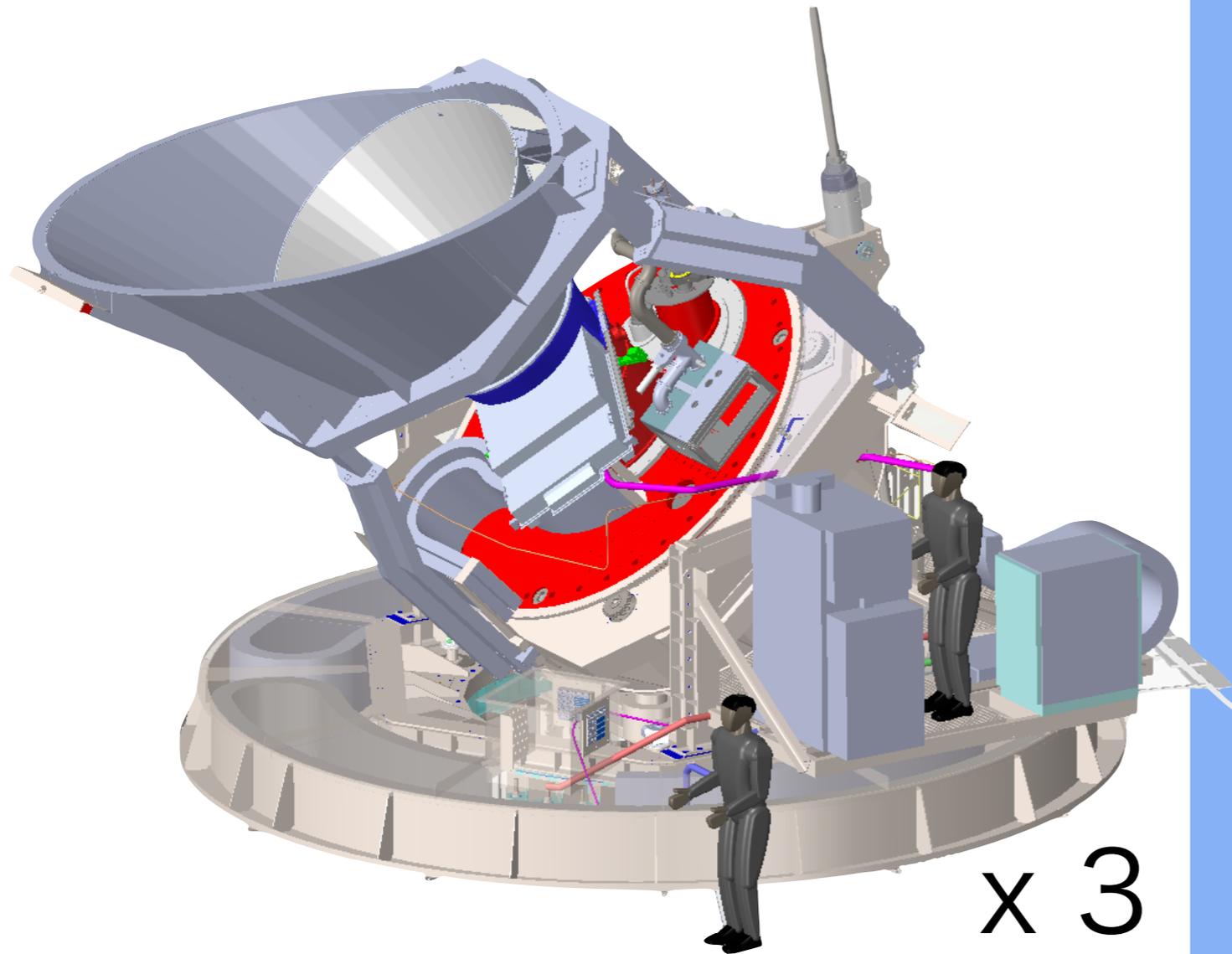


偏光パターンを間違って検出する

偏光スペクトルに見える漏れ込みの影響 6



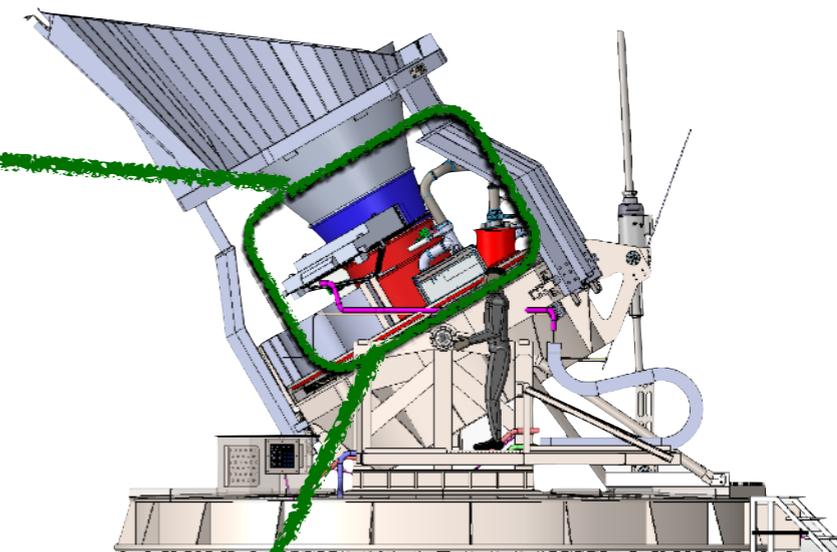
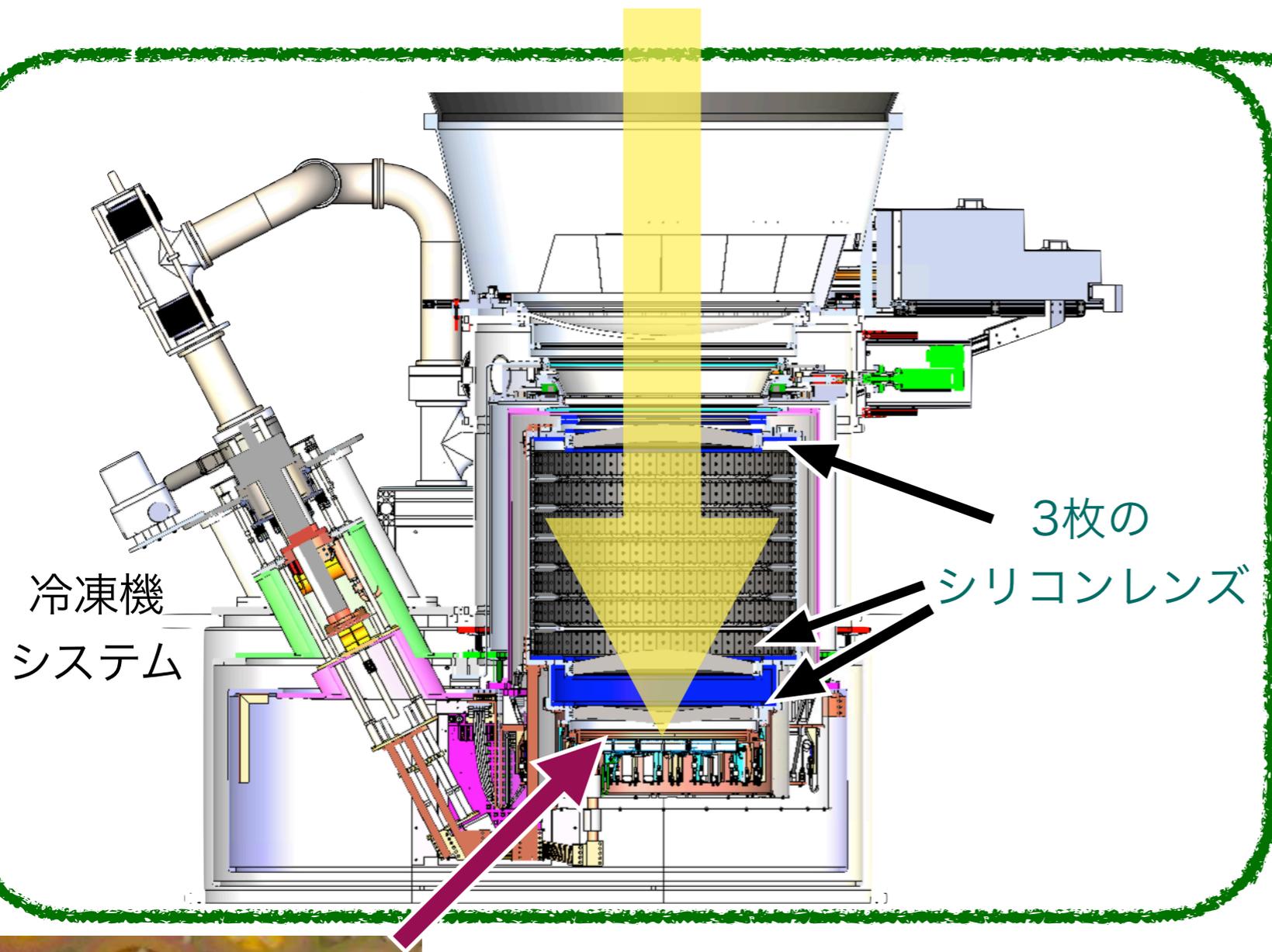
Simons ObservatoryでのBモード探索 7



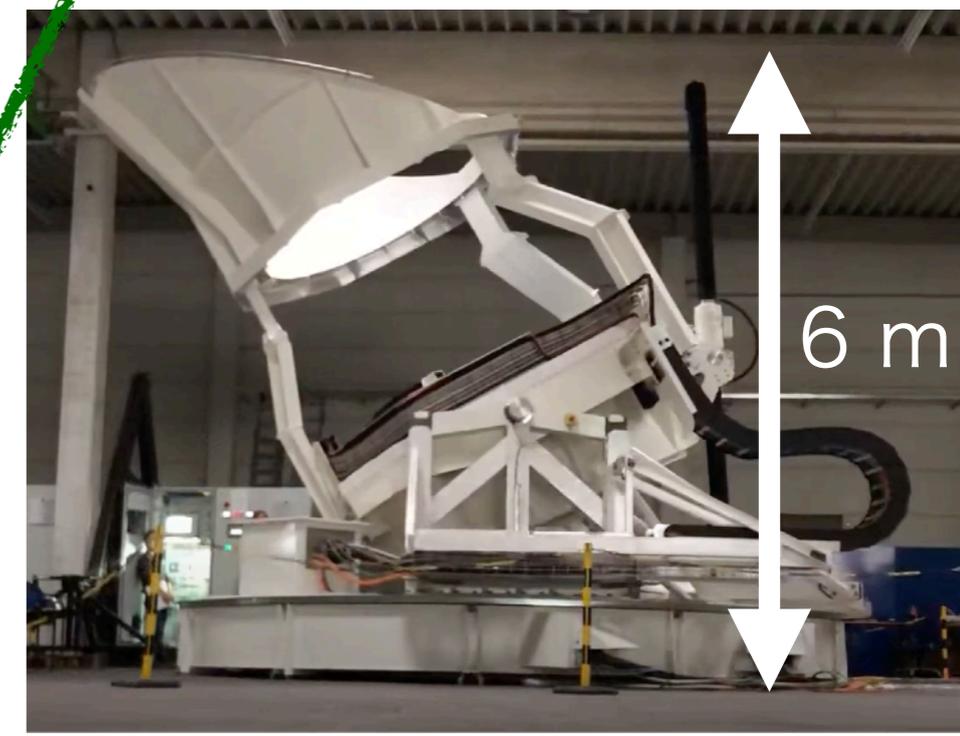
海拔5,200 mにある

アタカマ高地（チリ）でCMB観測を行う

望遠鏡の光学系



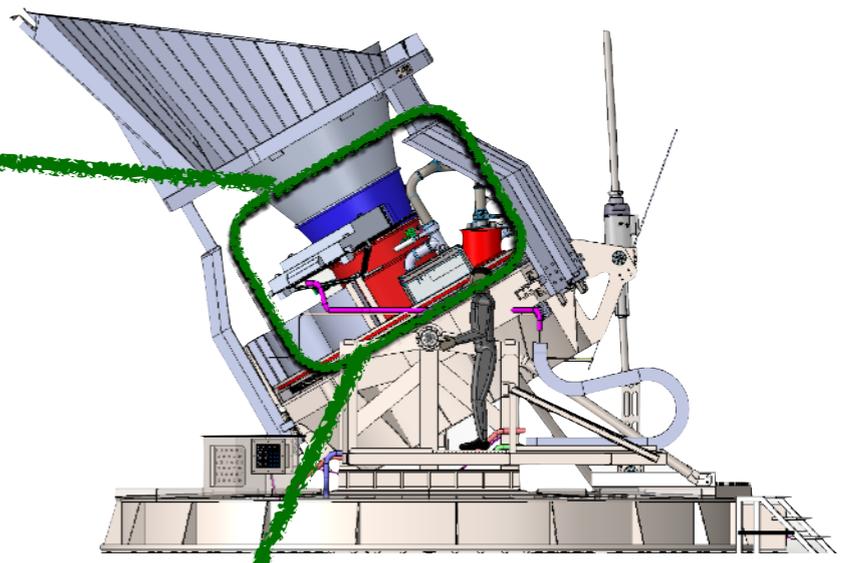
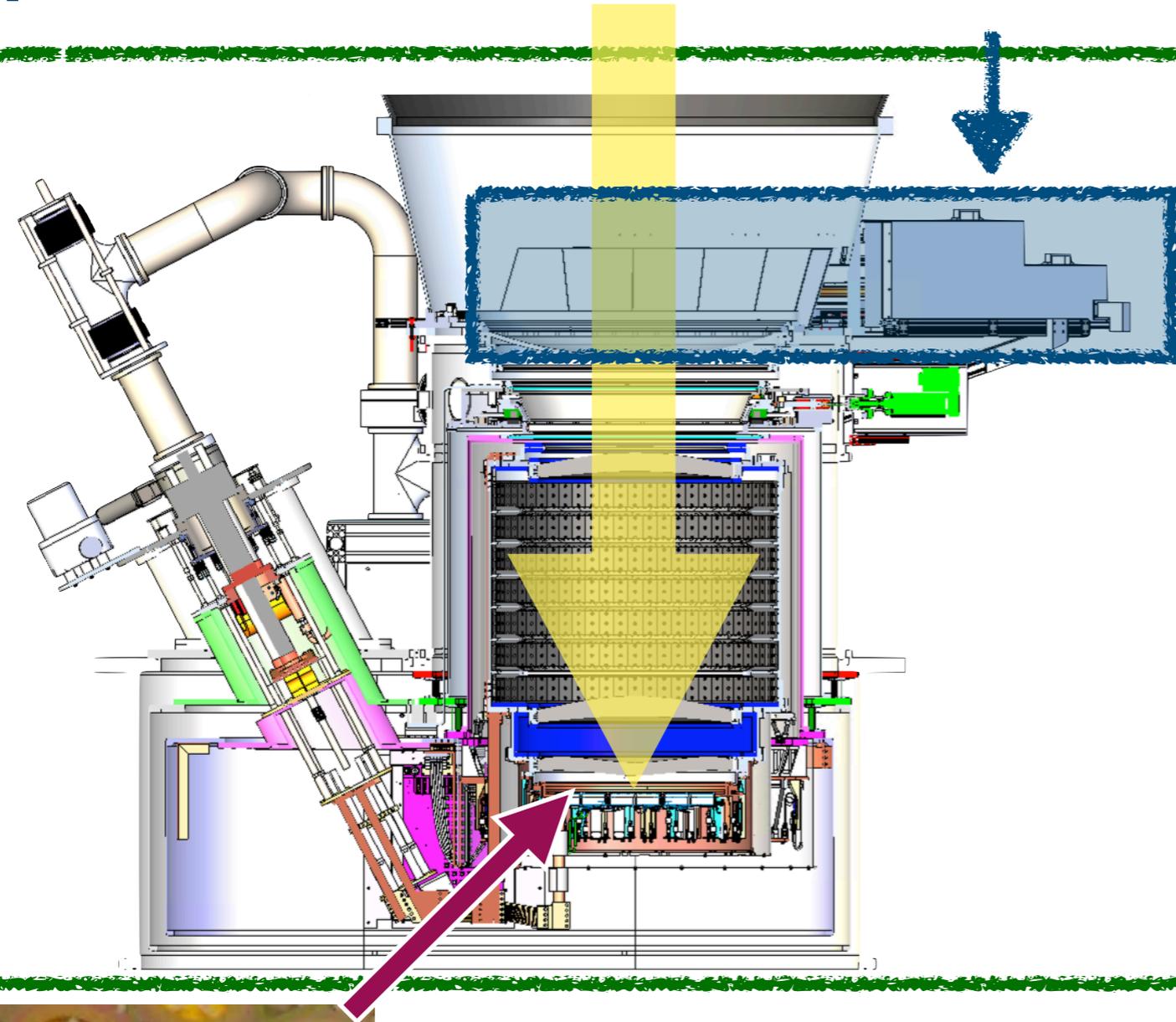
実際の写真



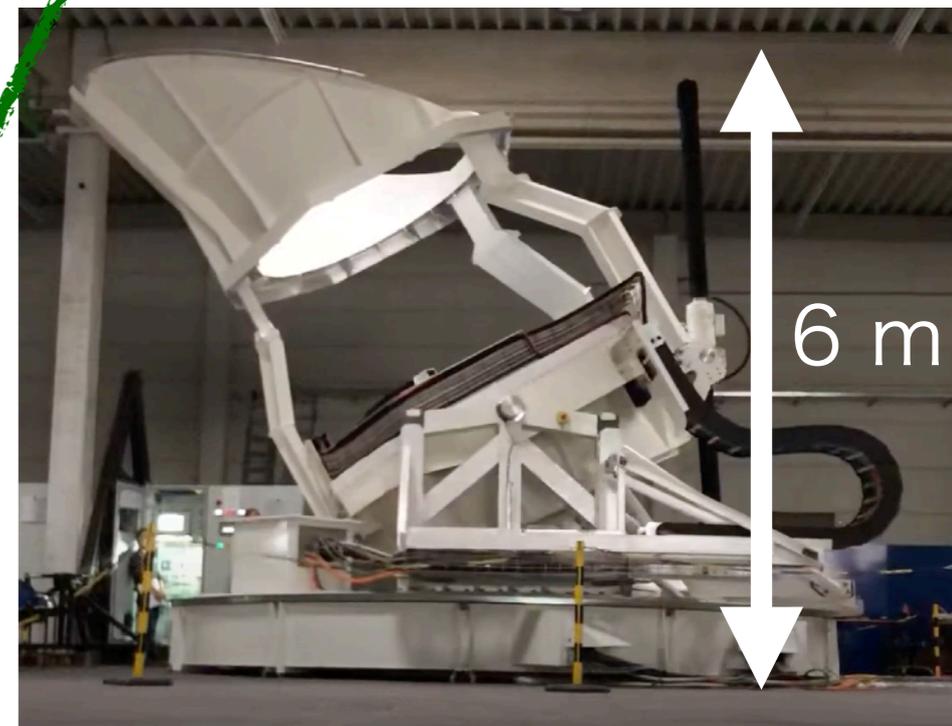
1万個の超伝導検出器 TESとそのアンテナ

偏光角の校正装置

“Sparse Wire Grid Calibrator”

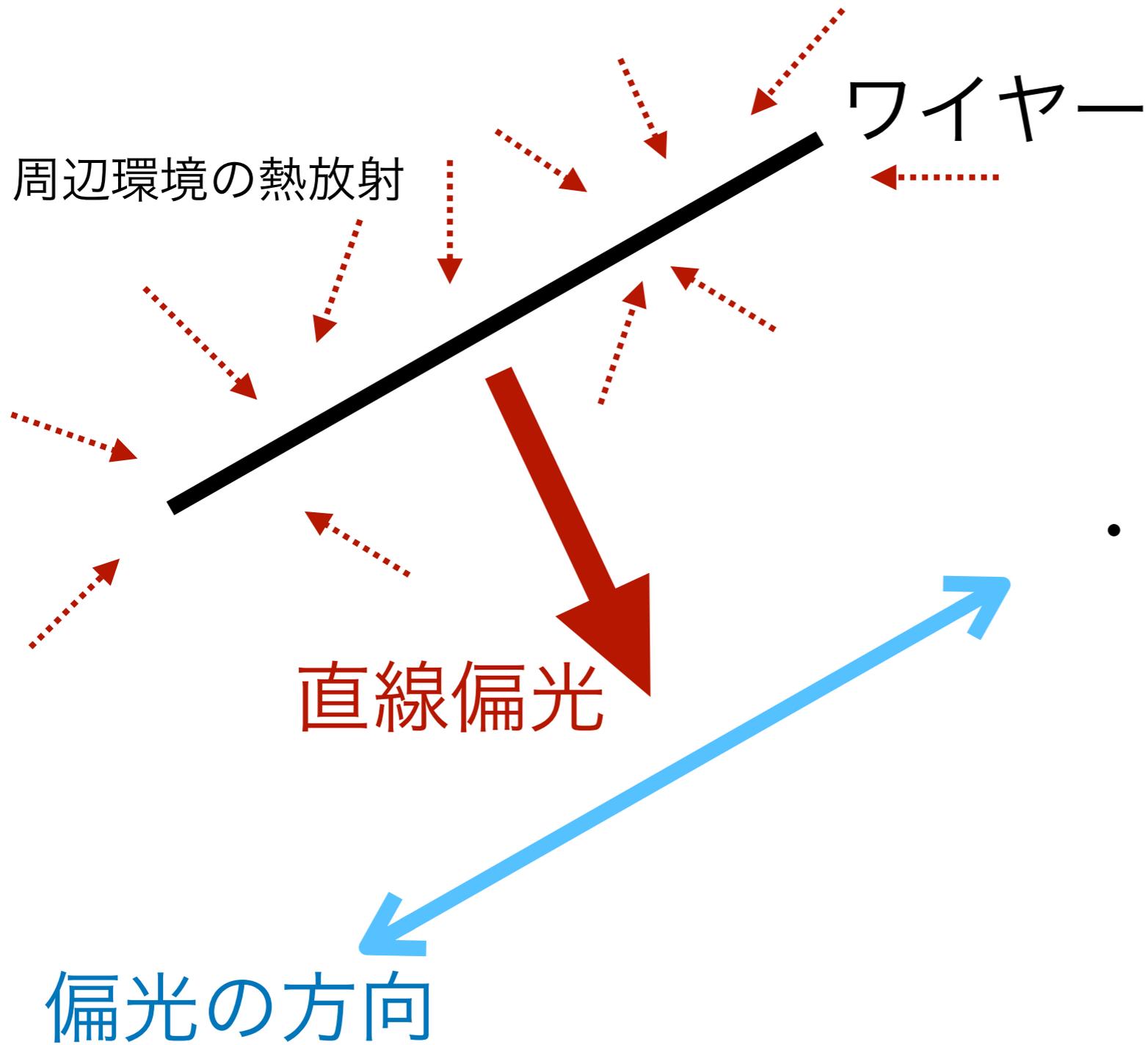


実際の写真



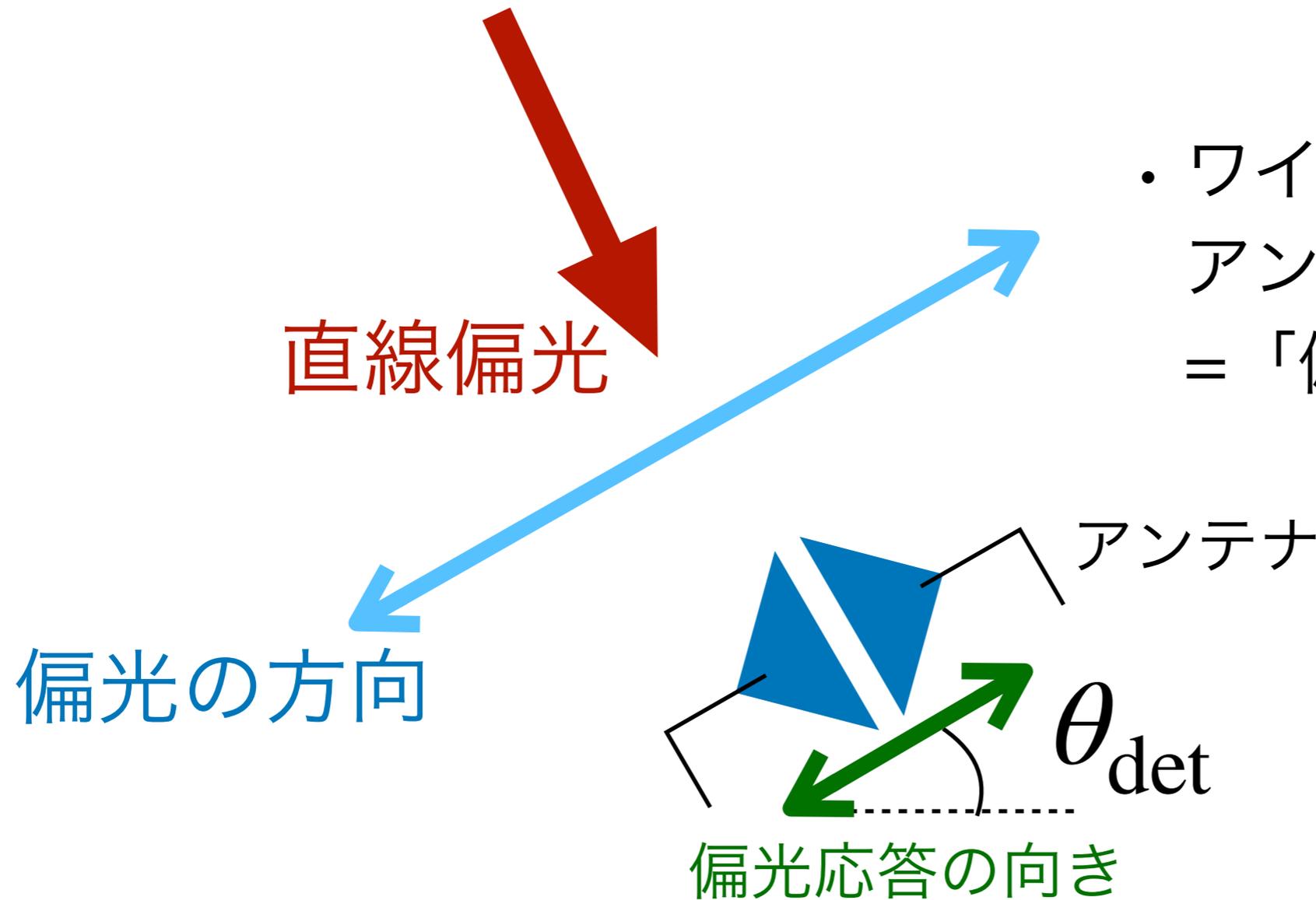
1万個の超伝導検出器
TESとそのアンテナ

ワイヤーによる偏光角の較正（偏光の生成）



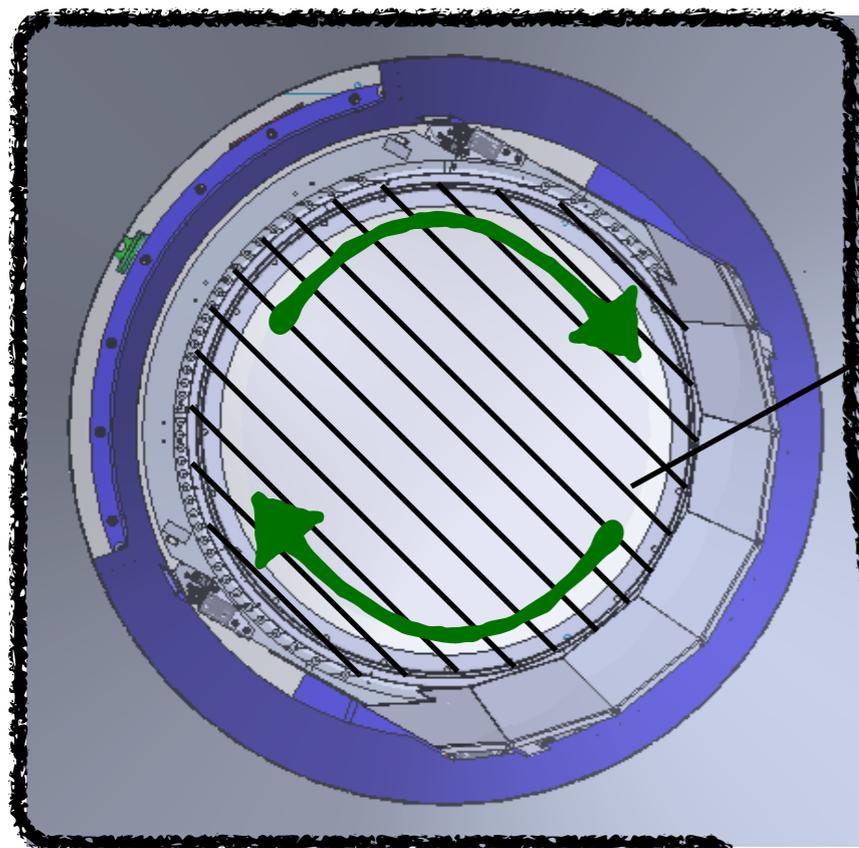
- ワイヤー方向に沿った偏光が生成

ワイヤーによる偏光角の較正（アンテナの較正）



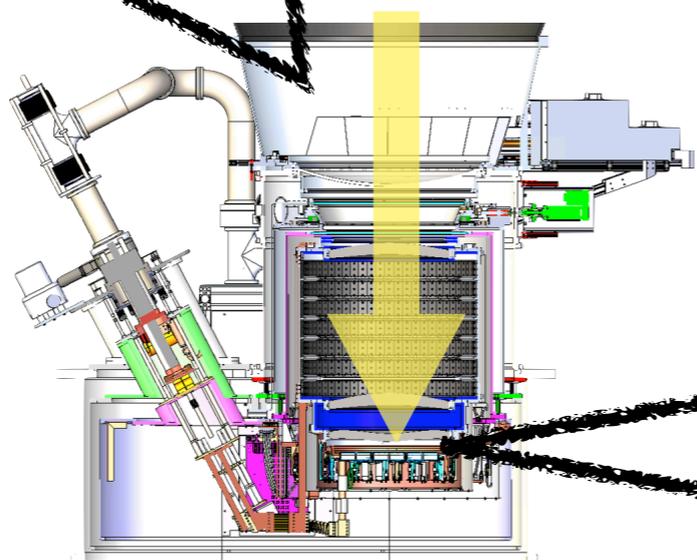
- ワイヤー方向（角度）でアンテナの角度を較正 = 「偏光角較正」

ワイヤーを用いた偏光角較正

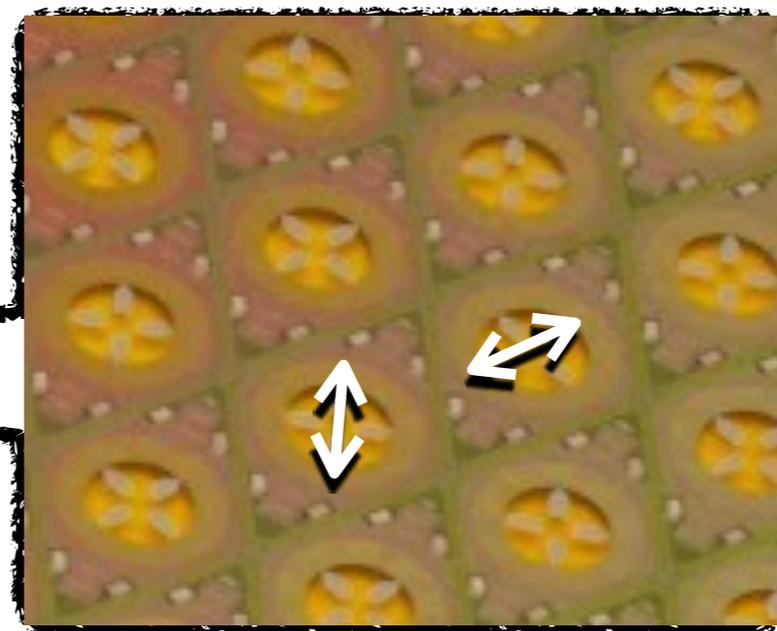


ワイヤー

空側から覗き
こんだイメージ



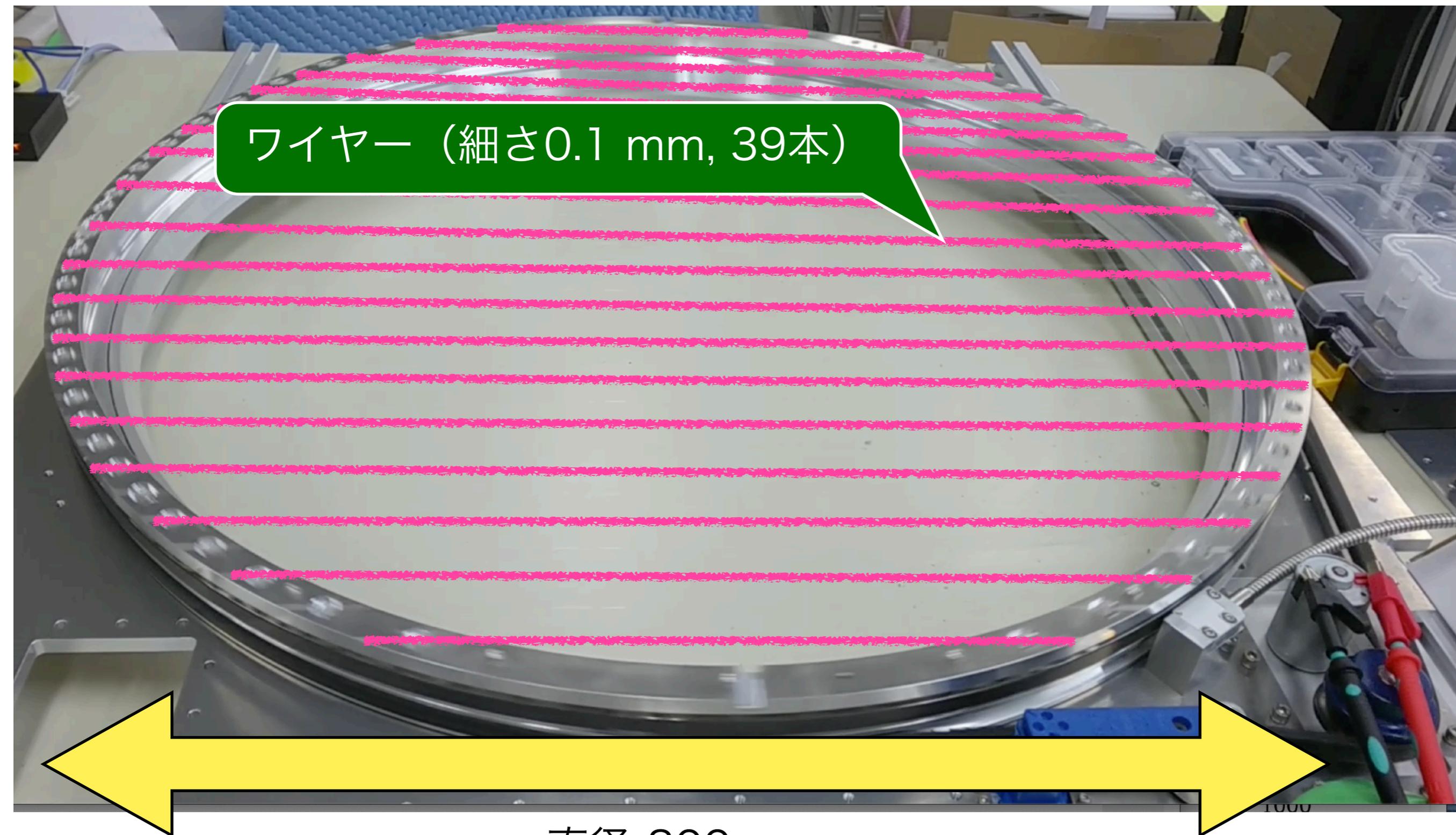
- 最前列にあるので、光学系にかかる系統誤差をまとめて評価できる
- 色々な向きのアナテナを較正するため、ワイヤーの角度を変える必要がある



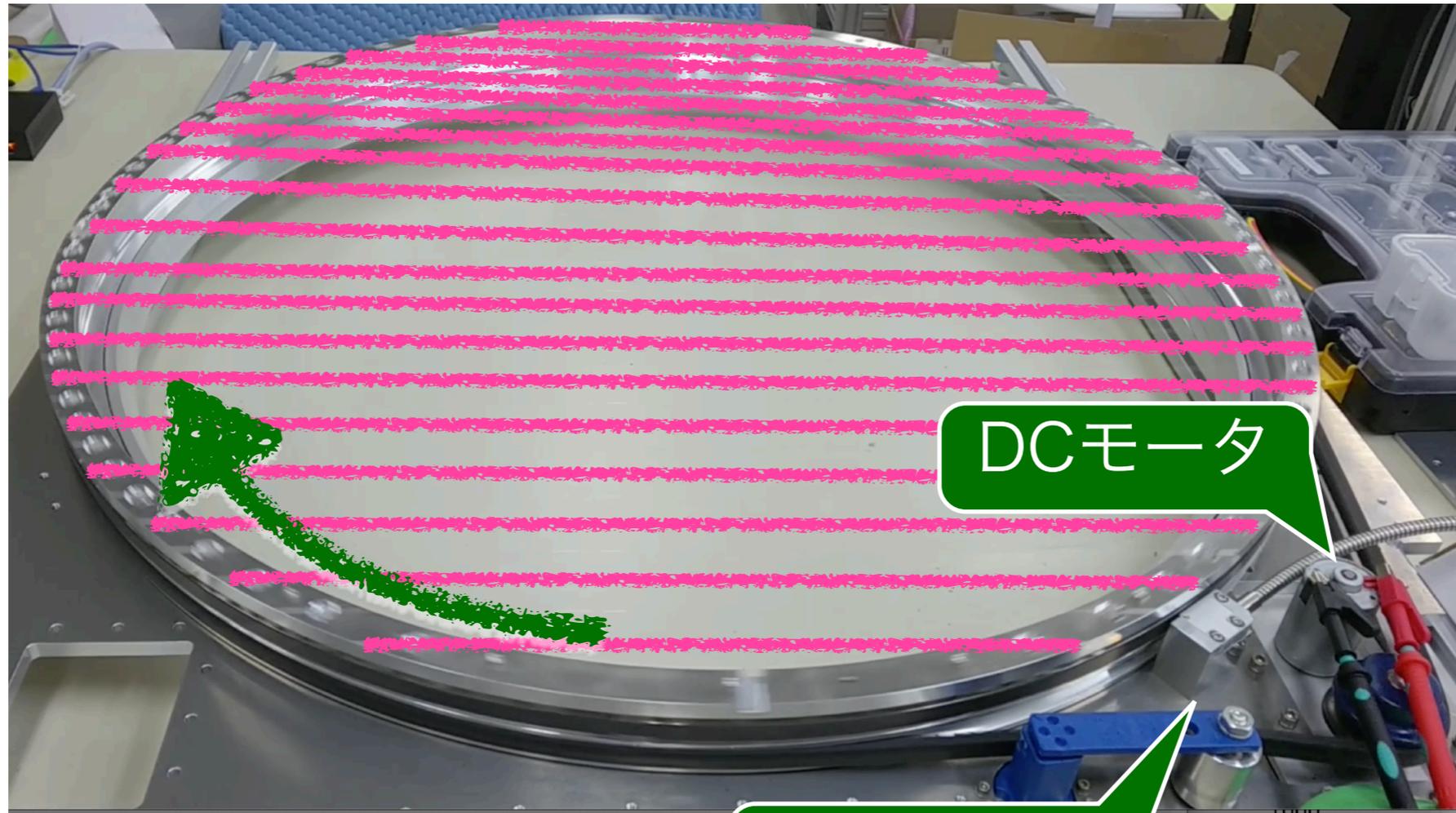
ワイヤーグリッド

ワイヤー (細さ0.1 mm, 39本)

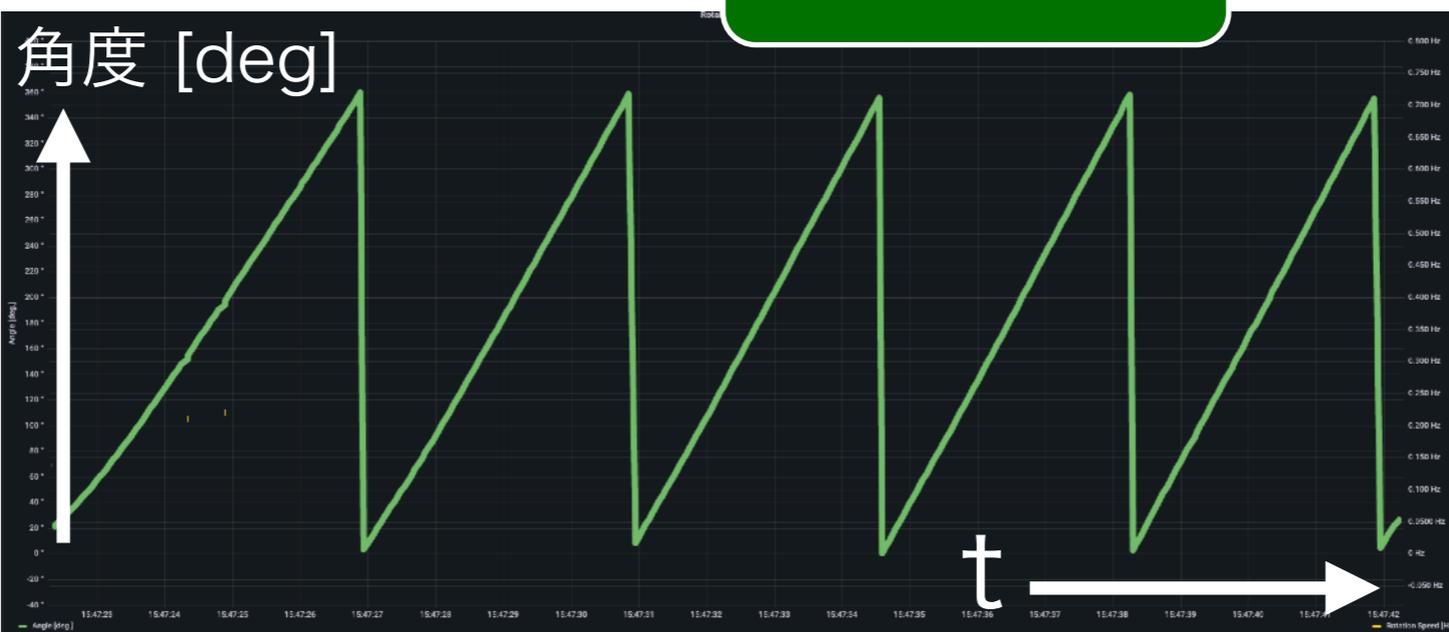
直径 800 mm



ワイヤーグリッドの回転制御とモニタ



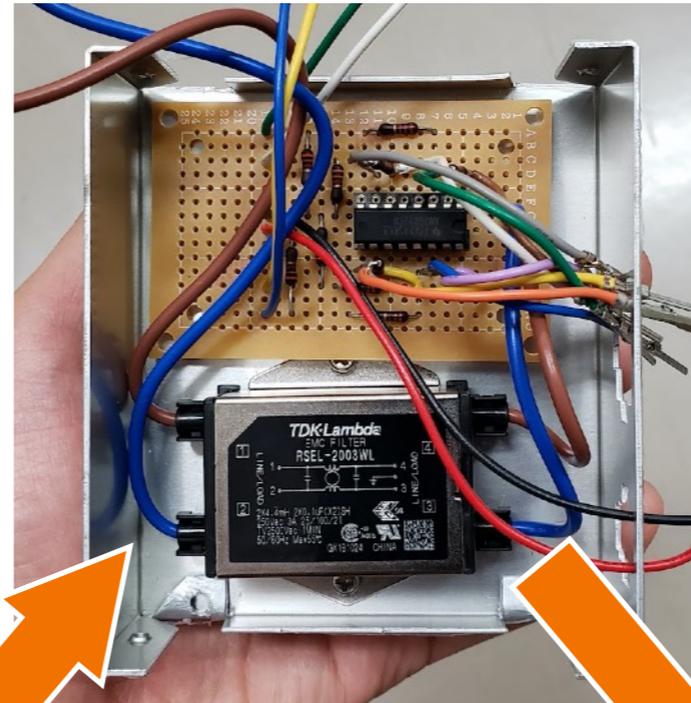
360°



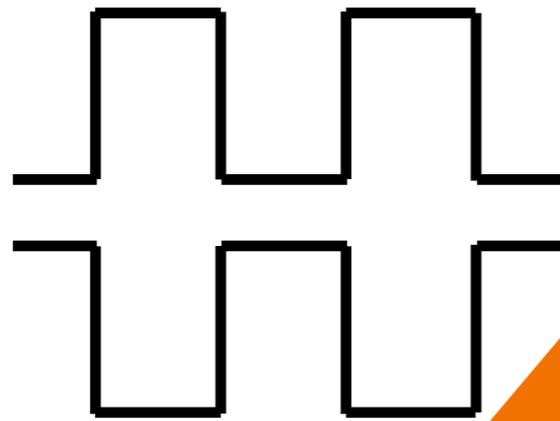
0°

エンコーダの読み出し系の開発

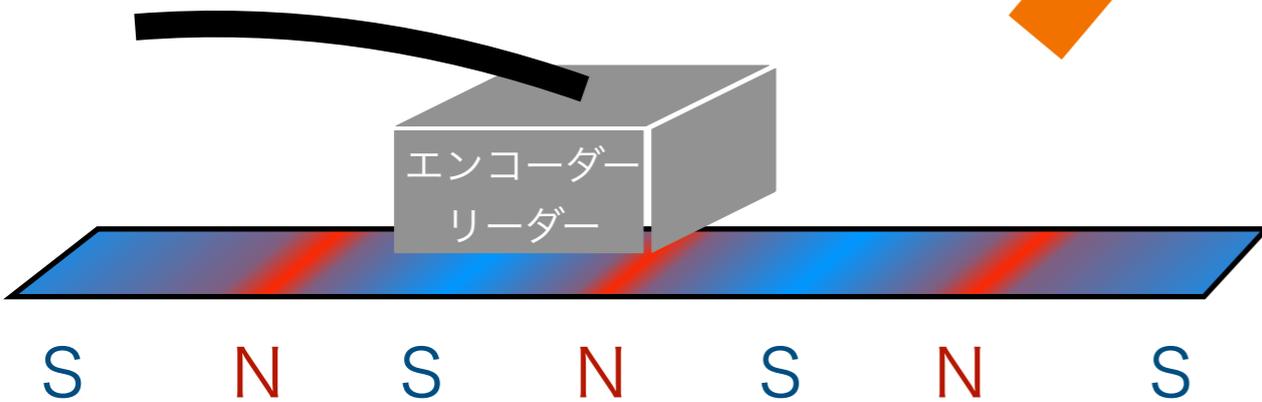
パルス変換回路



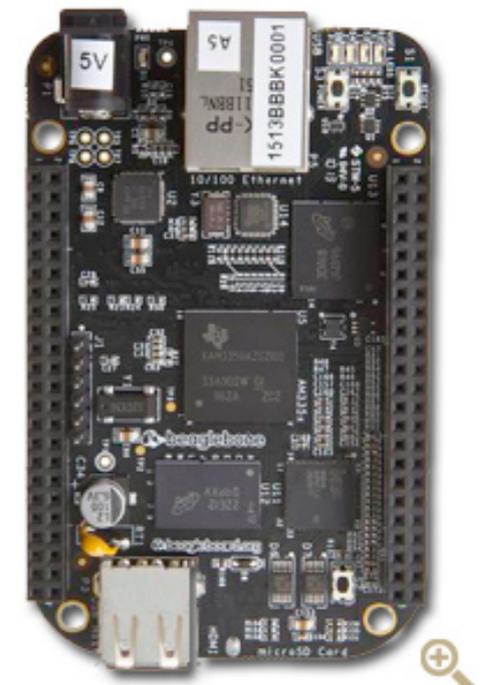
5V 差動



3V シングルエンド



磁気を帯びた
ベルト

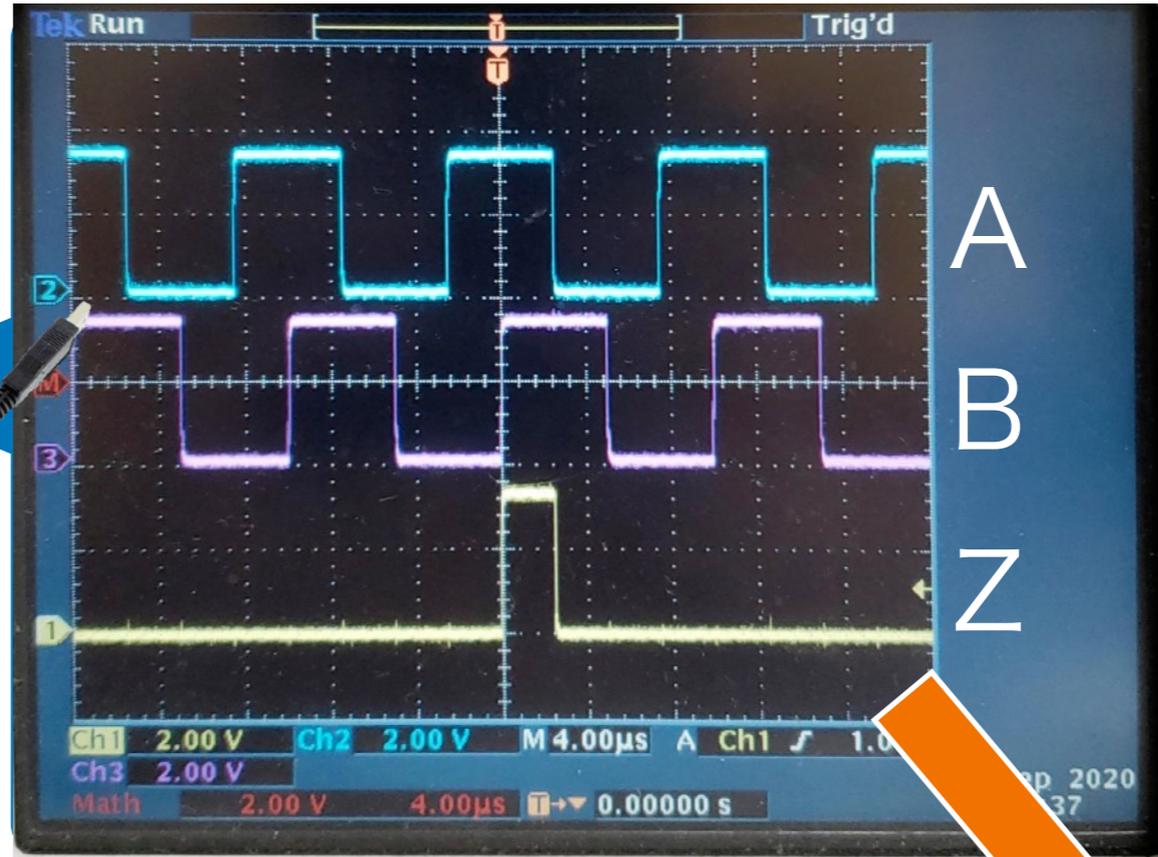


相対参照 [精度 $0.003^\circ \ll$ 目標 0.1°] で
角度を読むエンコーダを採用

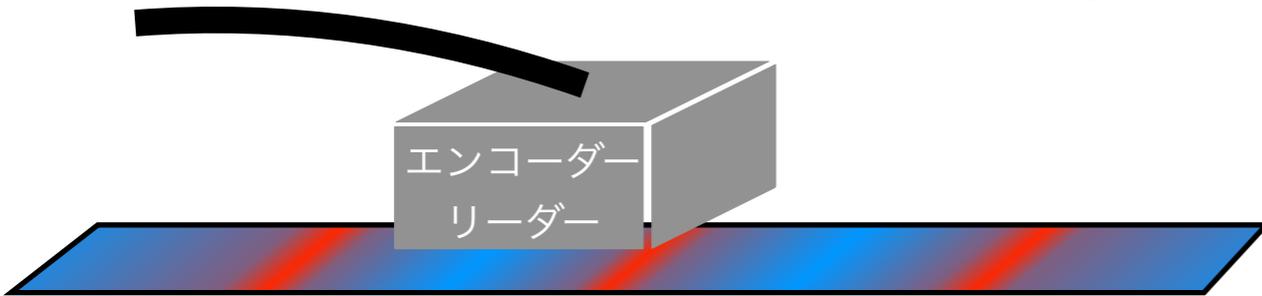
パルスを読み出す mini PC

エンコーダの読み出し系の評価

ファンクションジェネレータ

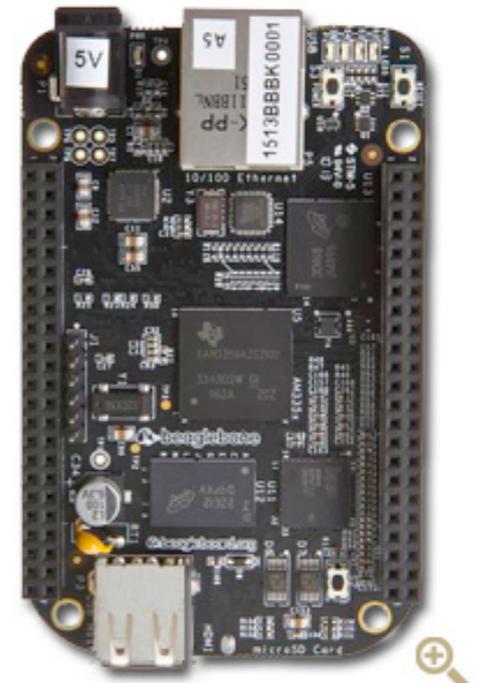


模擬パルスを生成



S N S N S N S

校正装置の仕様限界の4倍の速さの
パルス信号であっても取りこぼすことなく
処理できることを確認



パルスを読み出す mini PC

ワイヤーの角度精度 (合計)

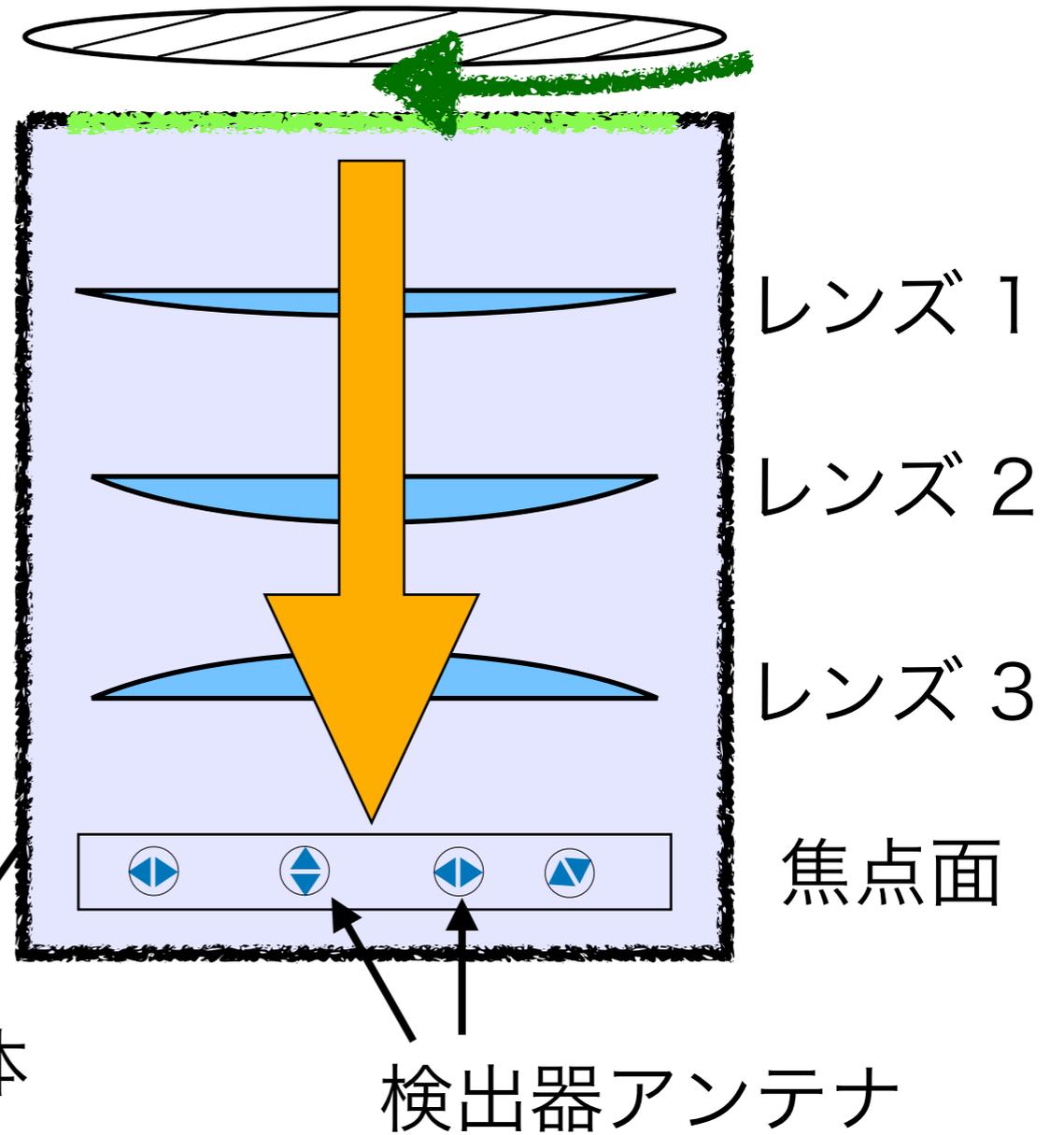
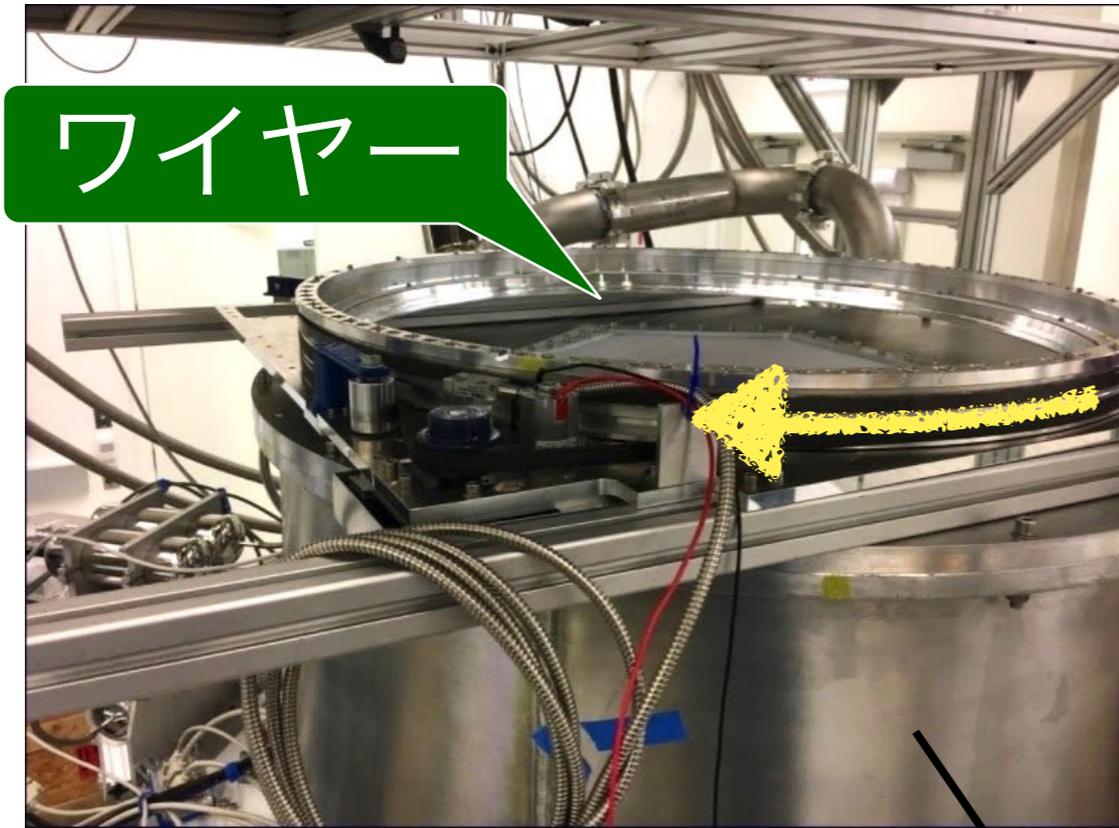
ワイヤーの 張られている精度	0.07°
エンコーダの 読み出し精度	0.003°
重力方向の参照精度 (Sensor Spec)	0.03°

合計 : $0.08^\circ < 0.1^\circ$ (目標)

受信機の光学テスト@シカゴ大学

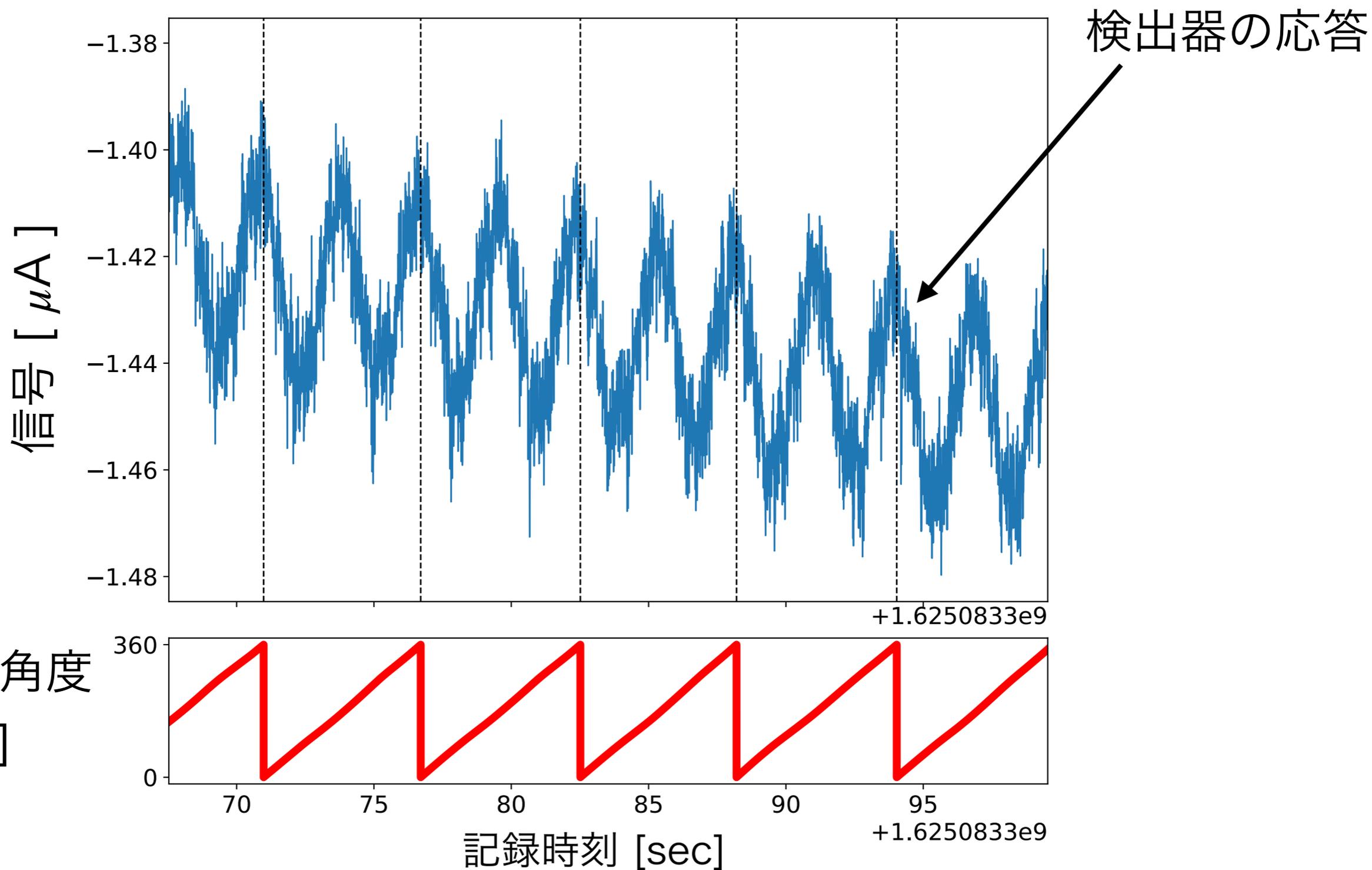
18

～ 0.3 Hz回転



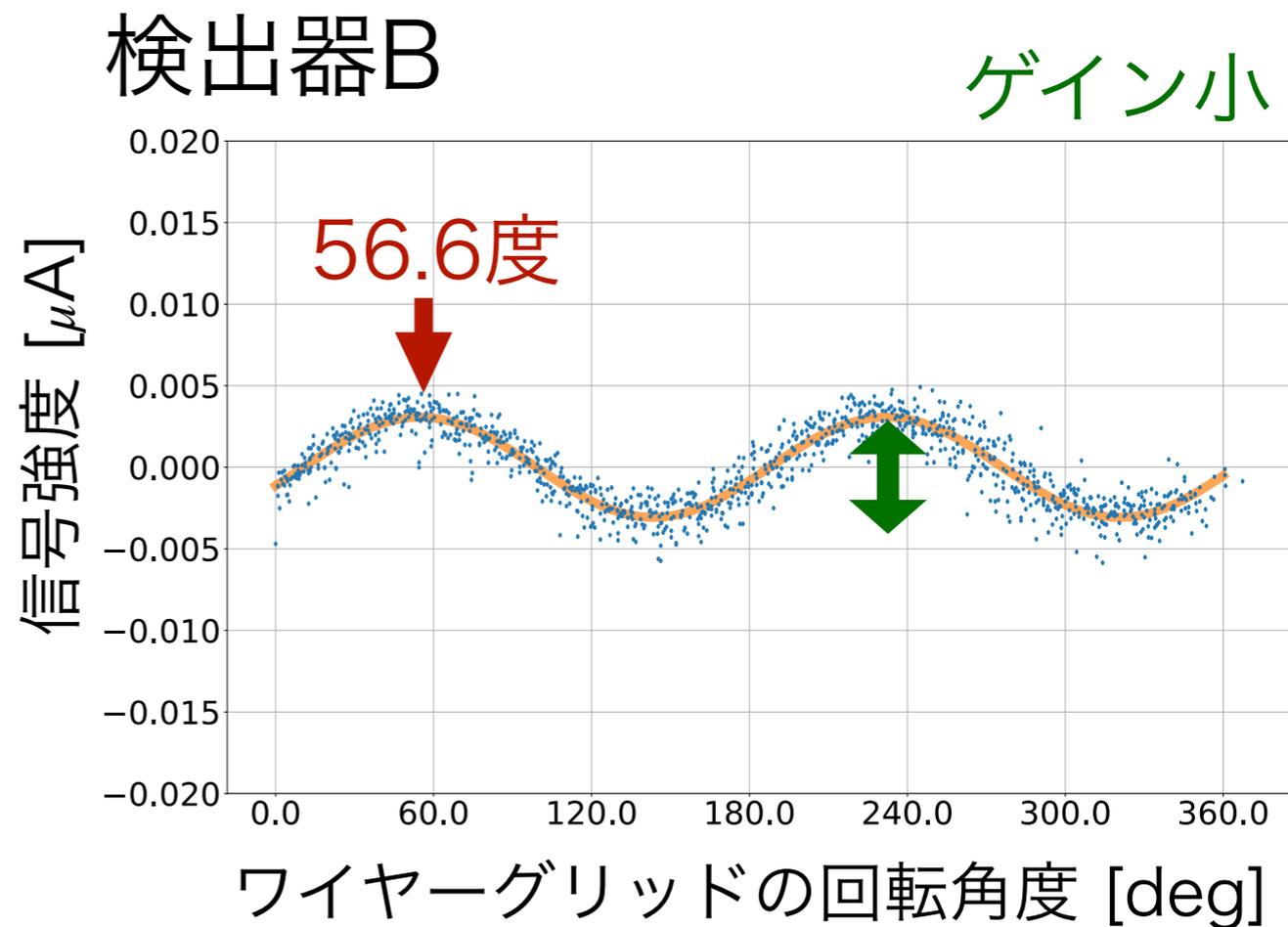
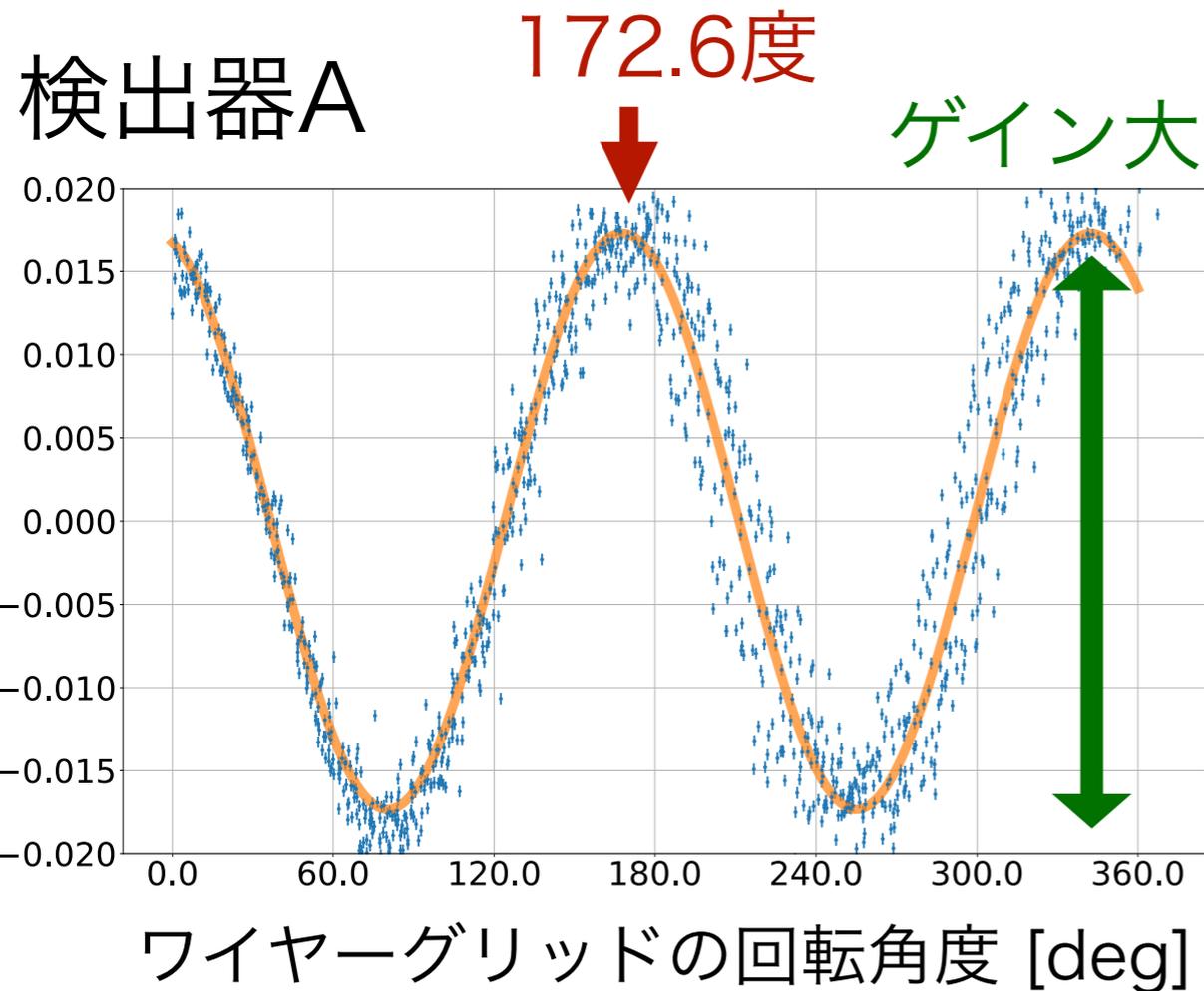
- ・ワイヤーグリッドを連続回転することで検出器の応答を確認

受信機の光学テスト@シカゴ大学



ワイヤーグリッドの回転に同期する信号が見られた

光学テストのデータ解析

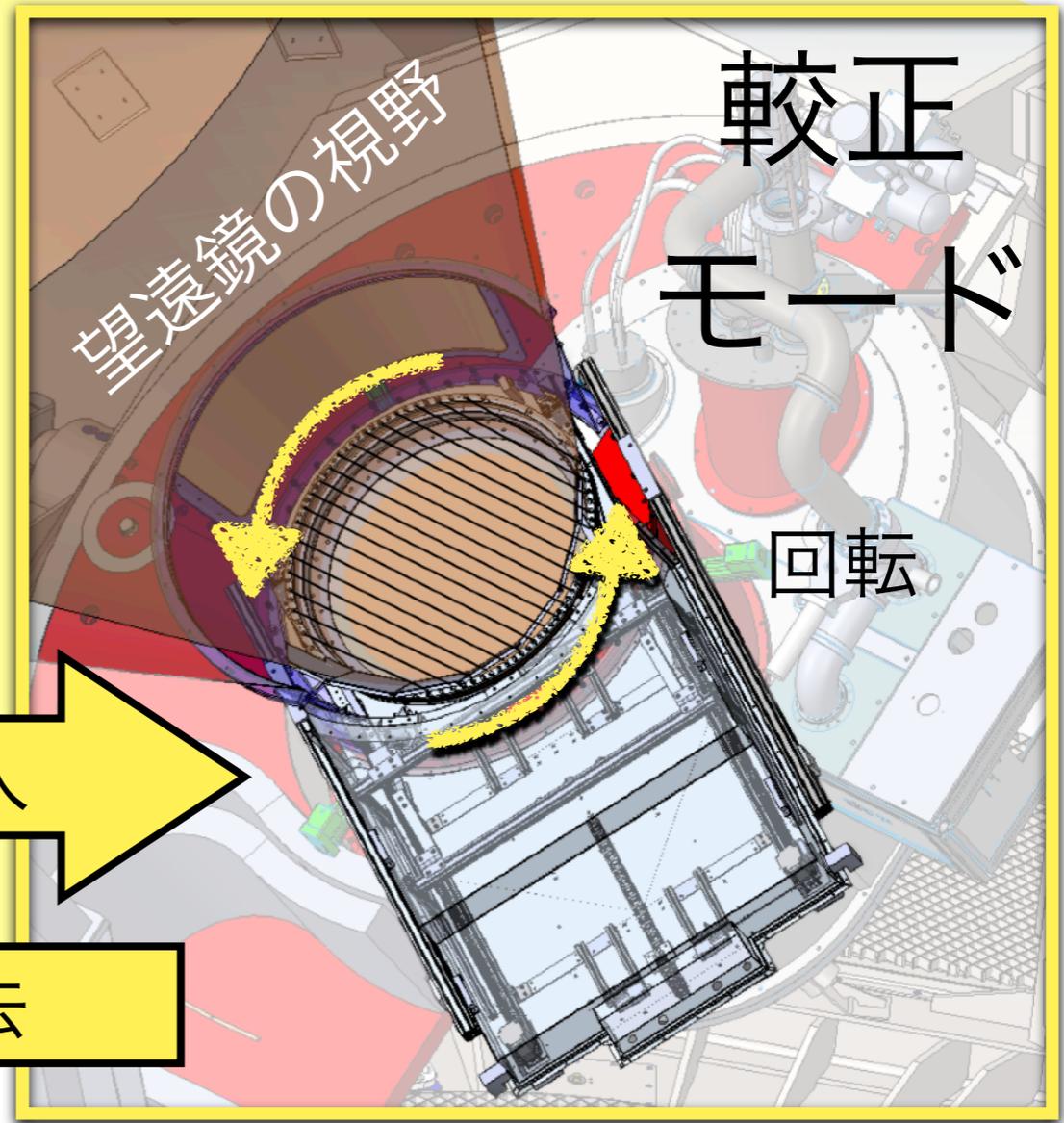
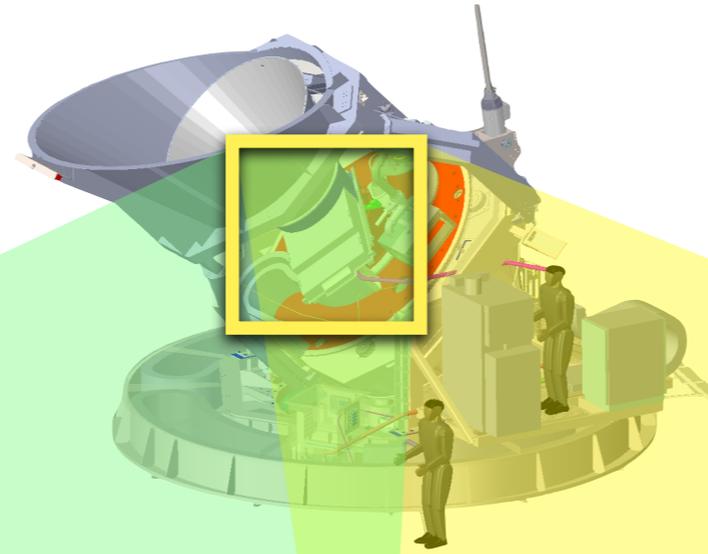


ワイヤーグリッドを用いることで
検出器のゲインや偏光角を確認

Sparse Wire Grid Calibrator

装置の出し入れから
回転までの一連の制御を

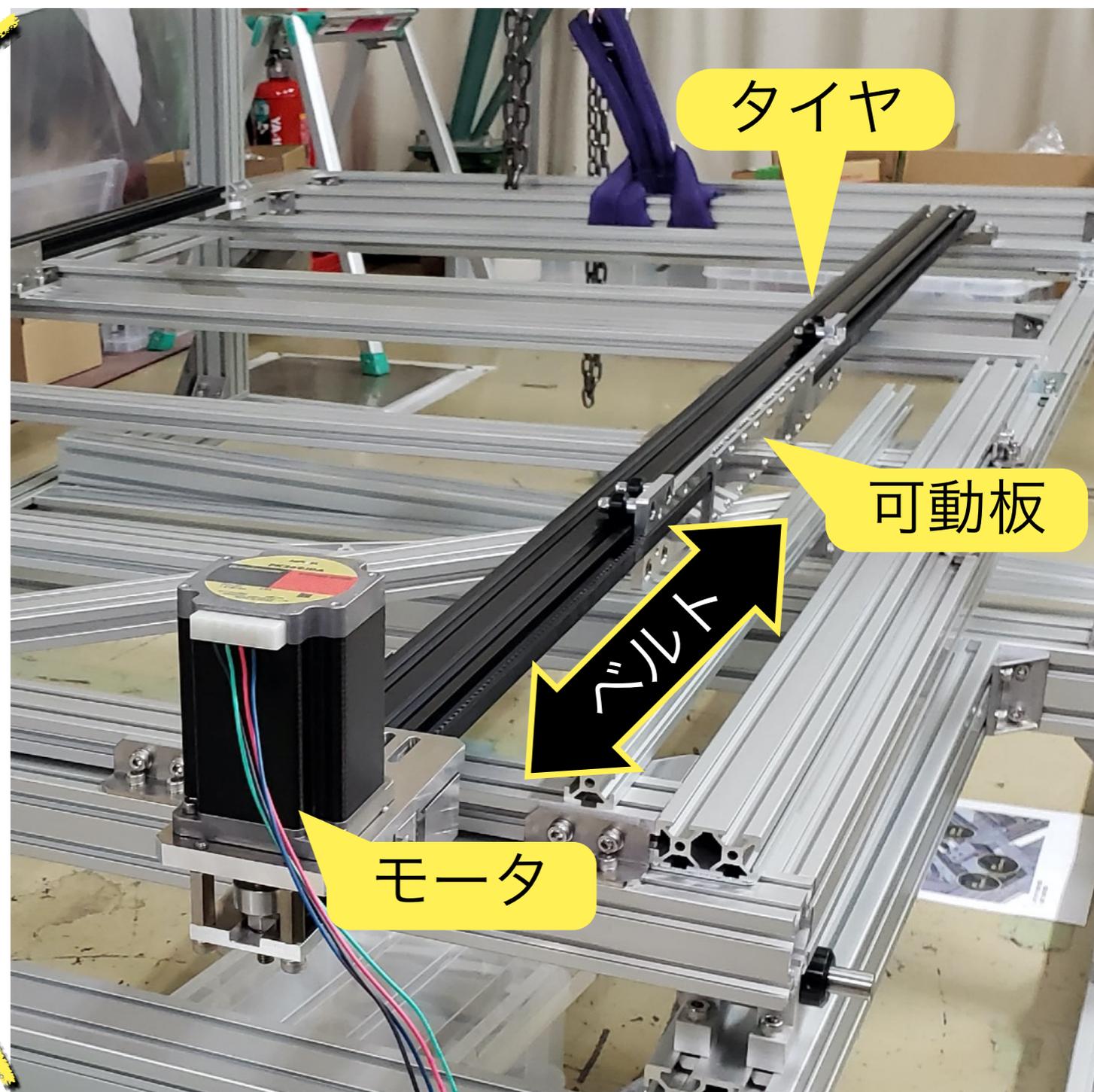
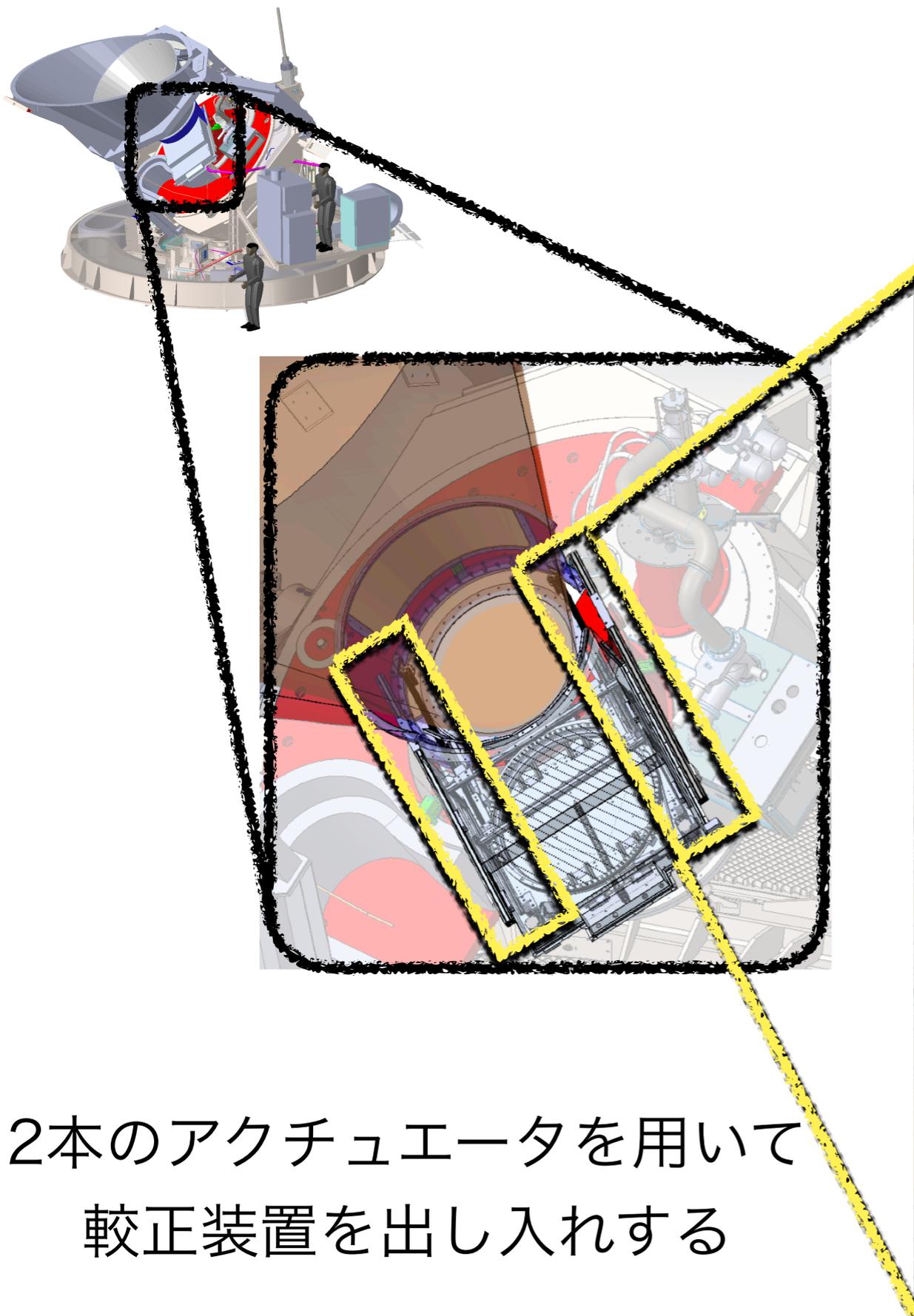
自動化し
10分以内で完了する



挿入

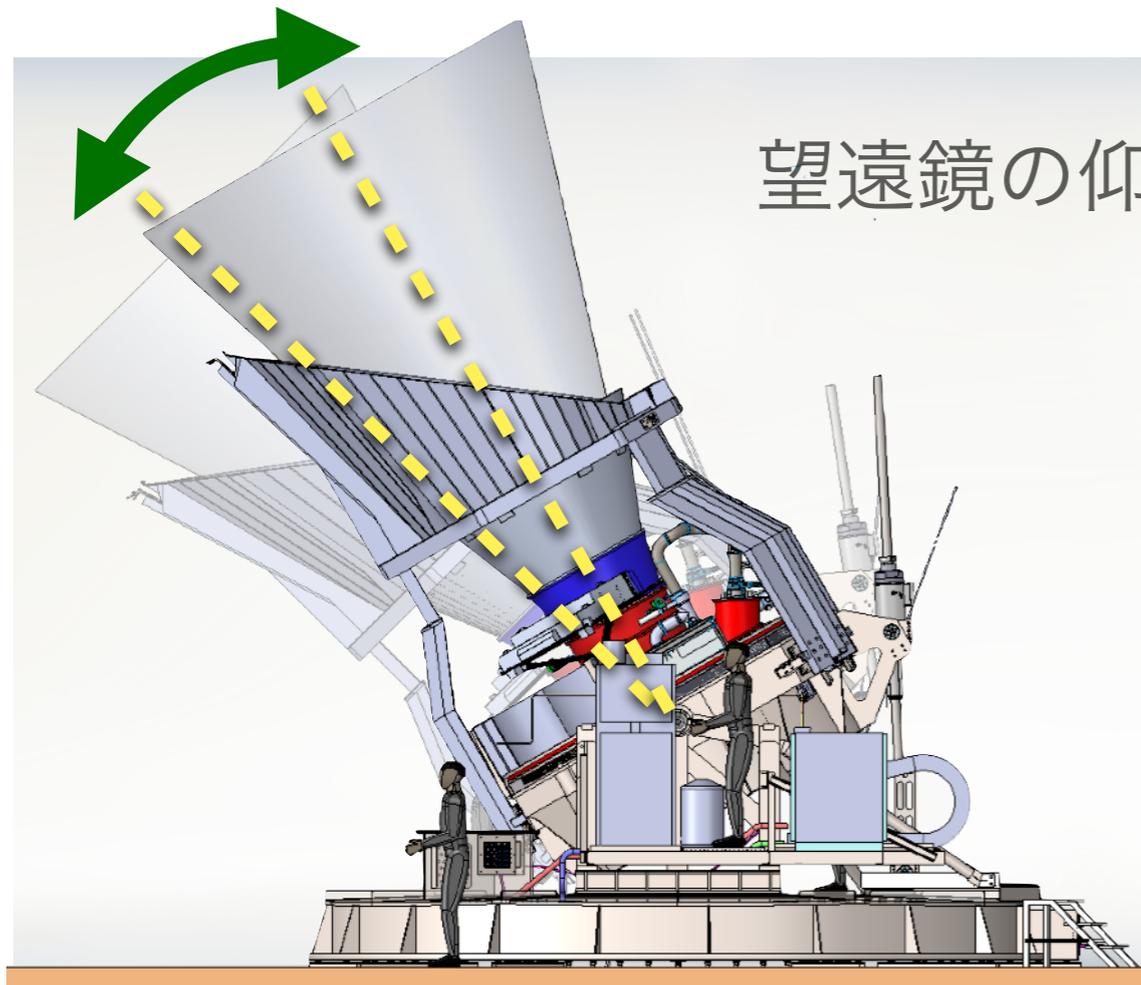
抜去

装置の搬送機構の開発



2本のアクチュエータを用いて
校正装置を出し入れする

耐荷重試験のセットアップ



望遠鏡の仰角



- (上) 観測時のSATの姿勢
- (右) 校正装置を傾ける土台

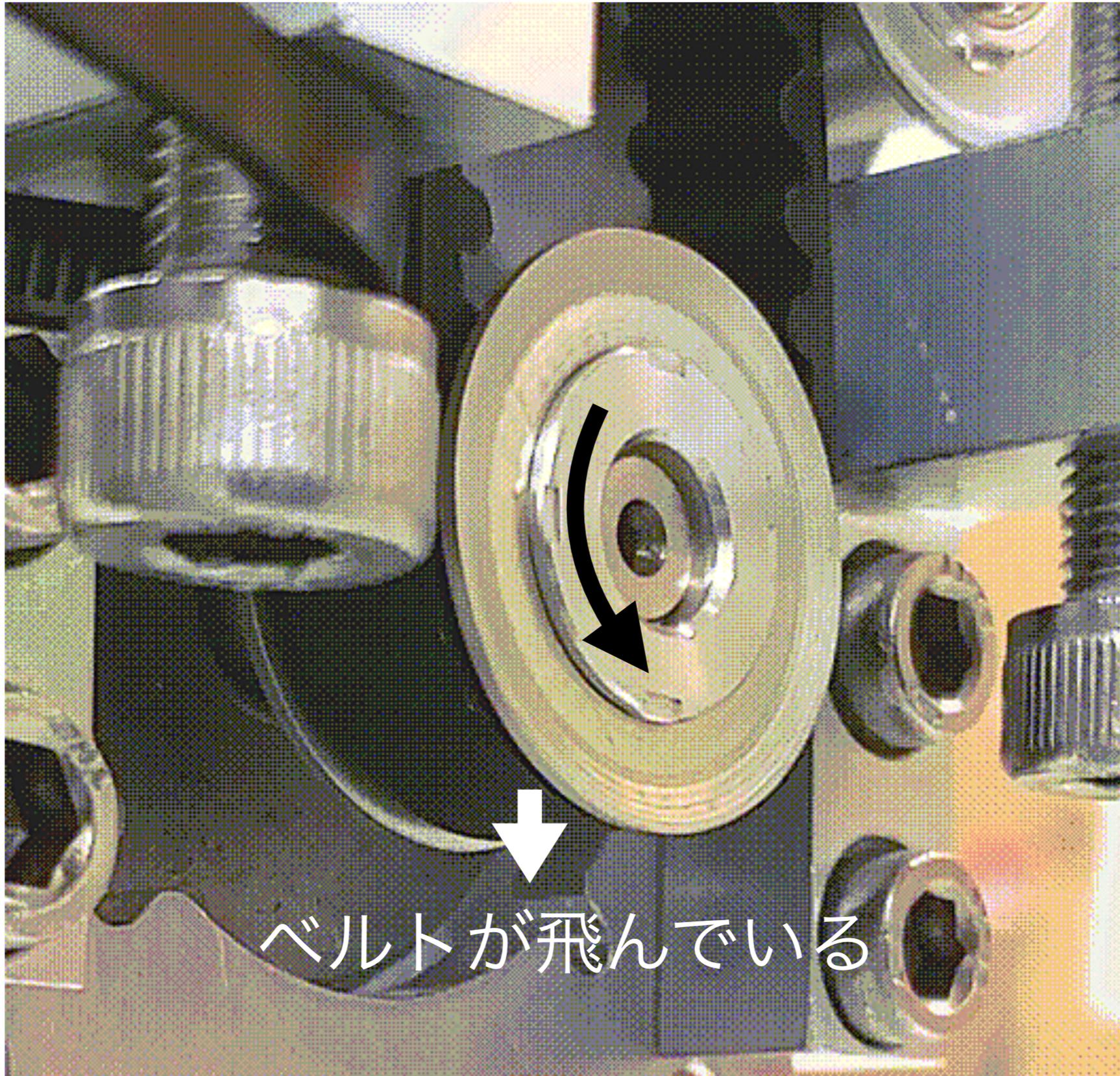
試験用重り

55度

運用上の最大角度

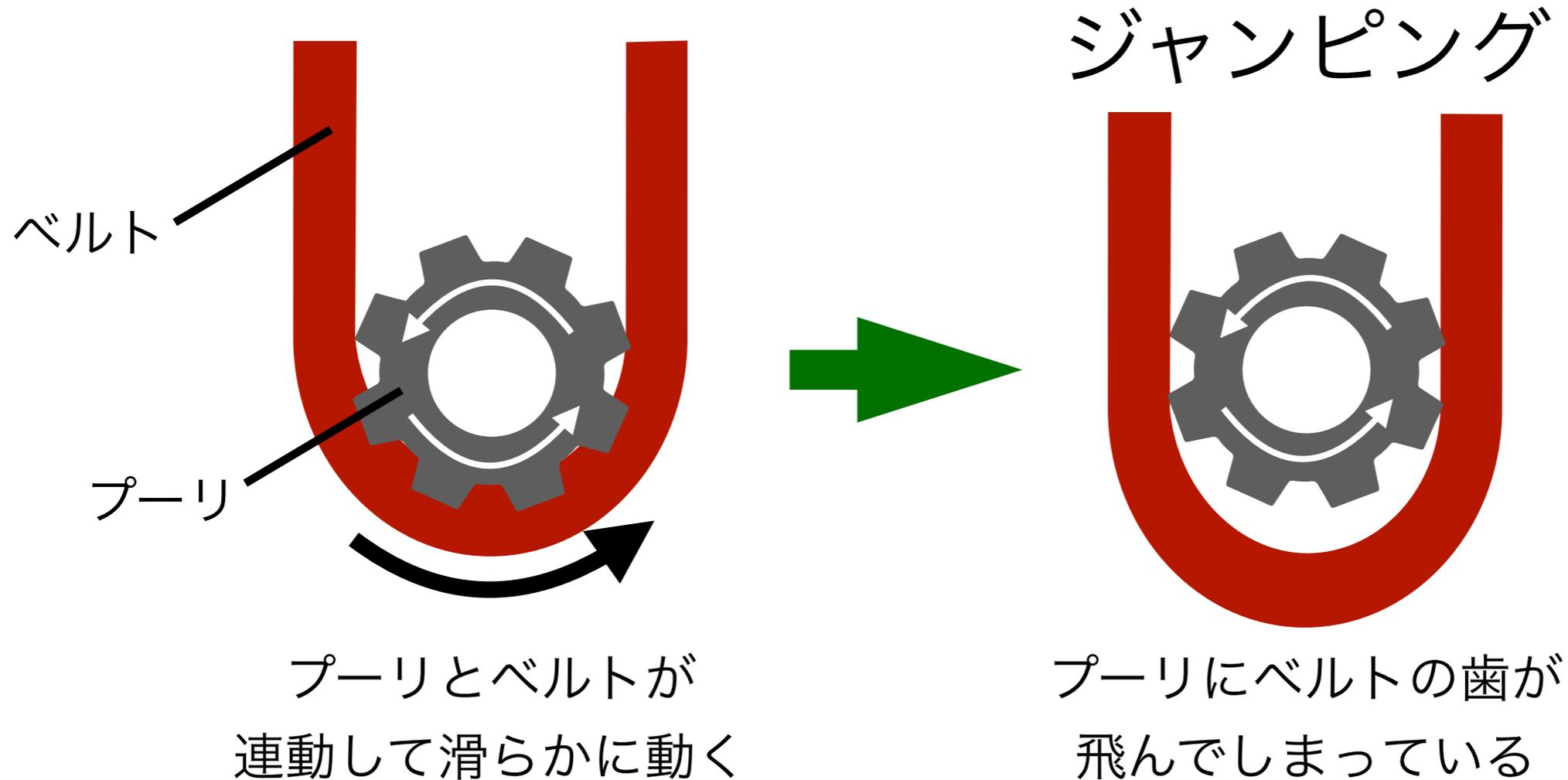
アクチュエータ

直面した問題



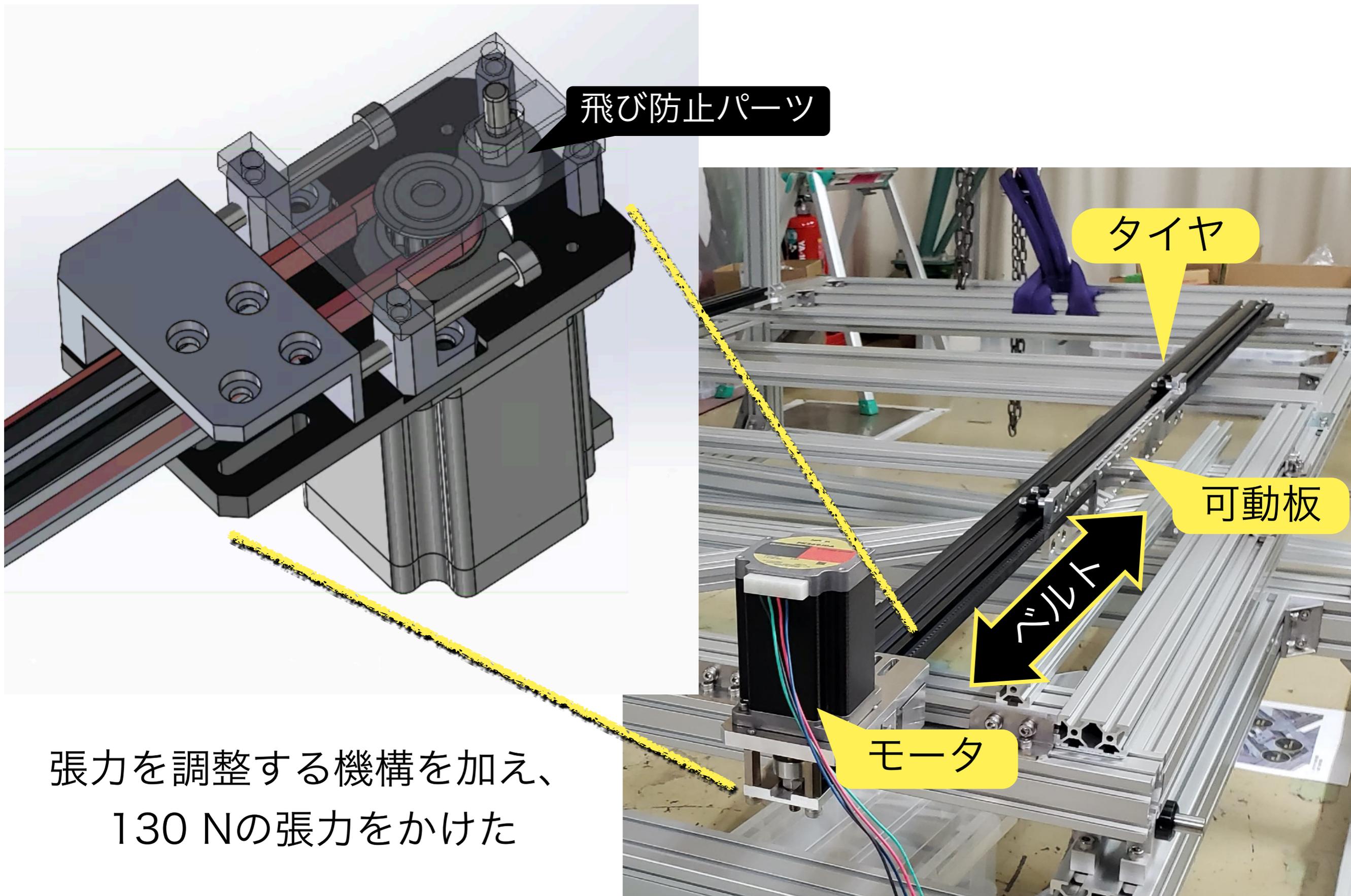
ベルトが飛んでいる

ジャンピングとその対策



- モータ軸に組みついているプーリの上をベルトが滑る
- 傾いた姿勢では装置の落下につながる

ジャンピングとその対策

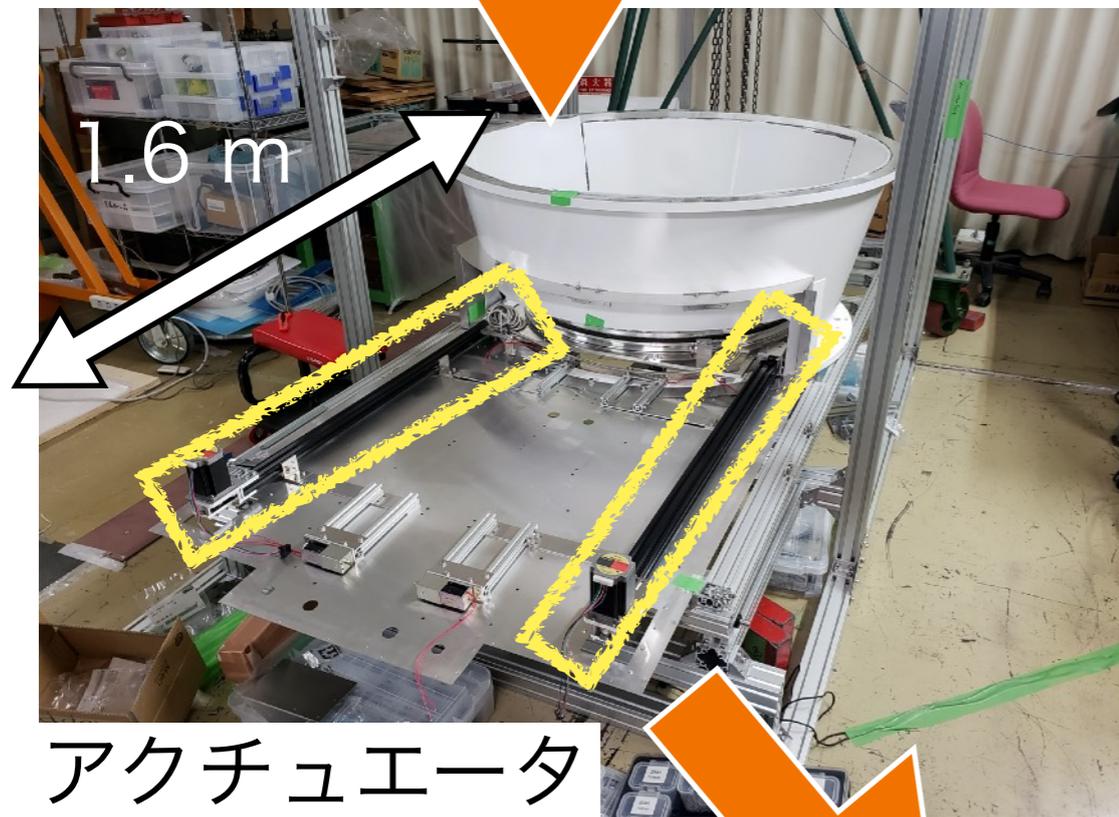
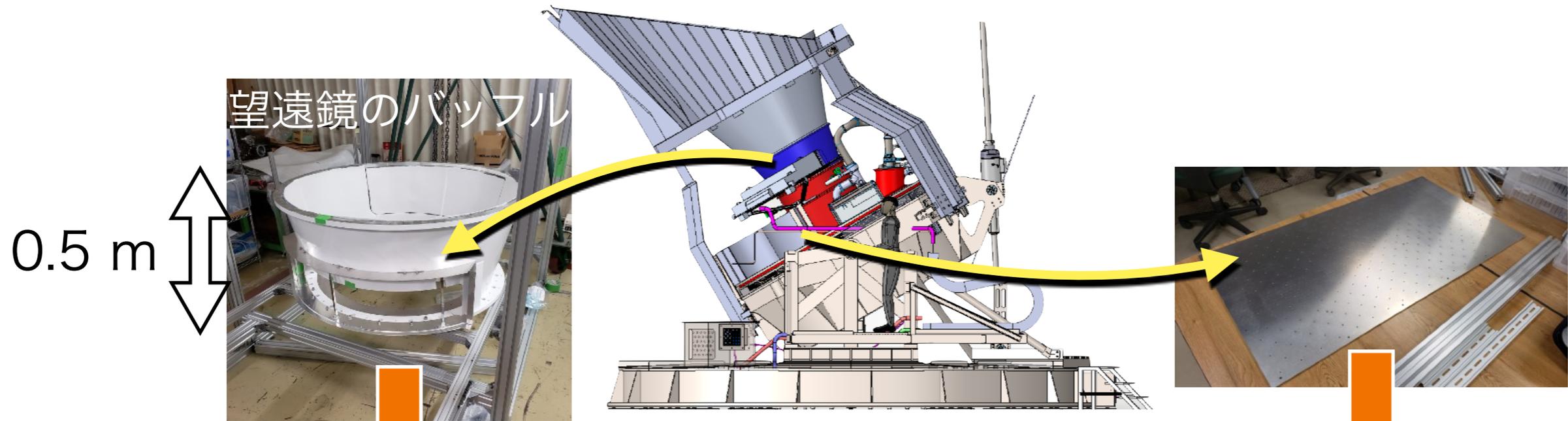


耐荷重試験の結果

- 想定される負荷の3.9倍の耐荷重を達成
- 装置の出し入れを片道90 secで行う



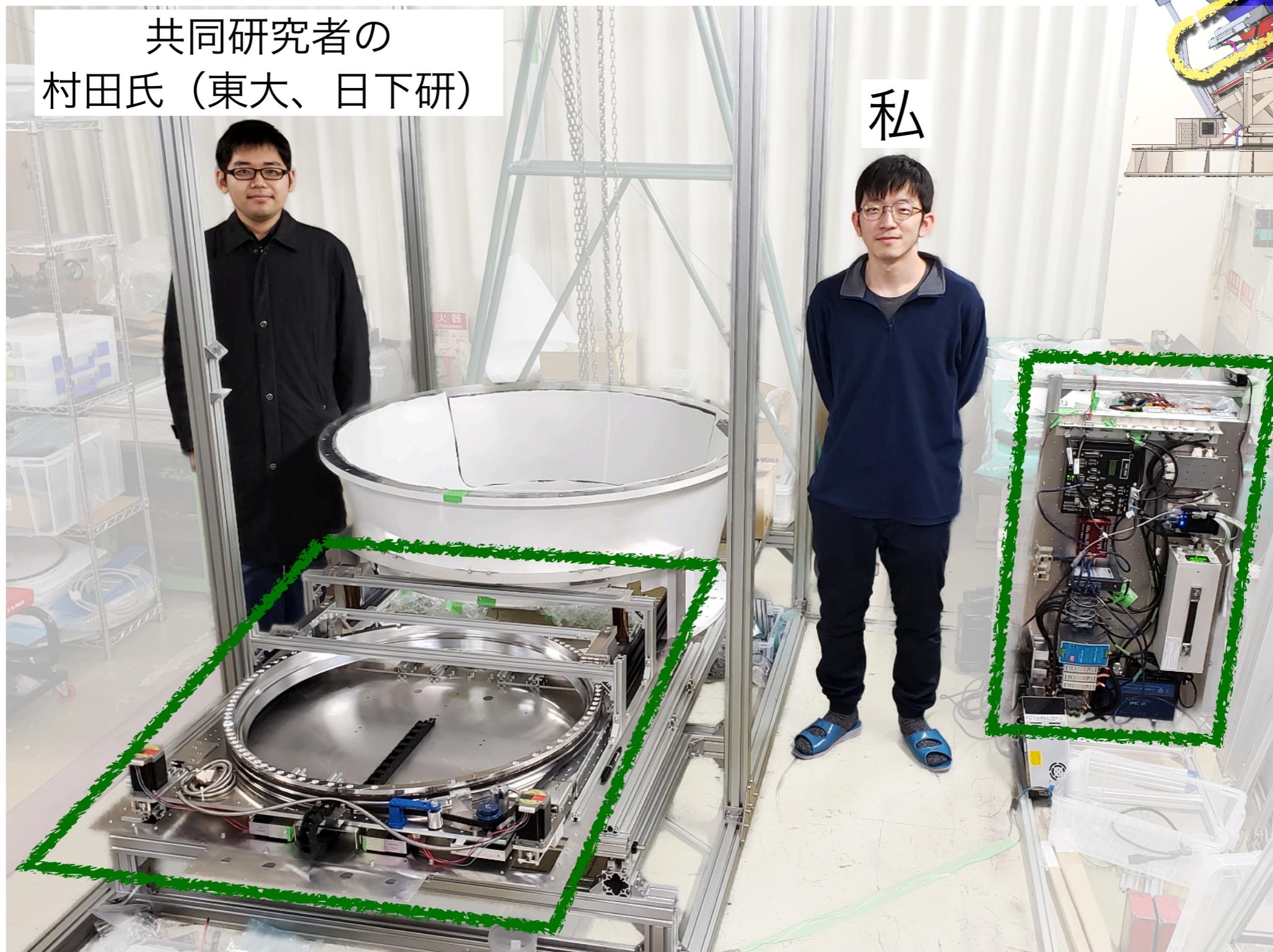
校正装置の全体開発



アクチュエータ
コントローラ



組み上げを終えた較正装置



共同研究者の
村田氏 (東大、日下研)

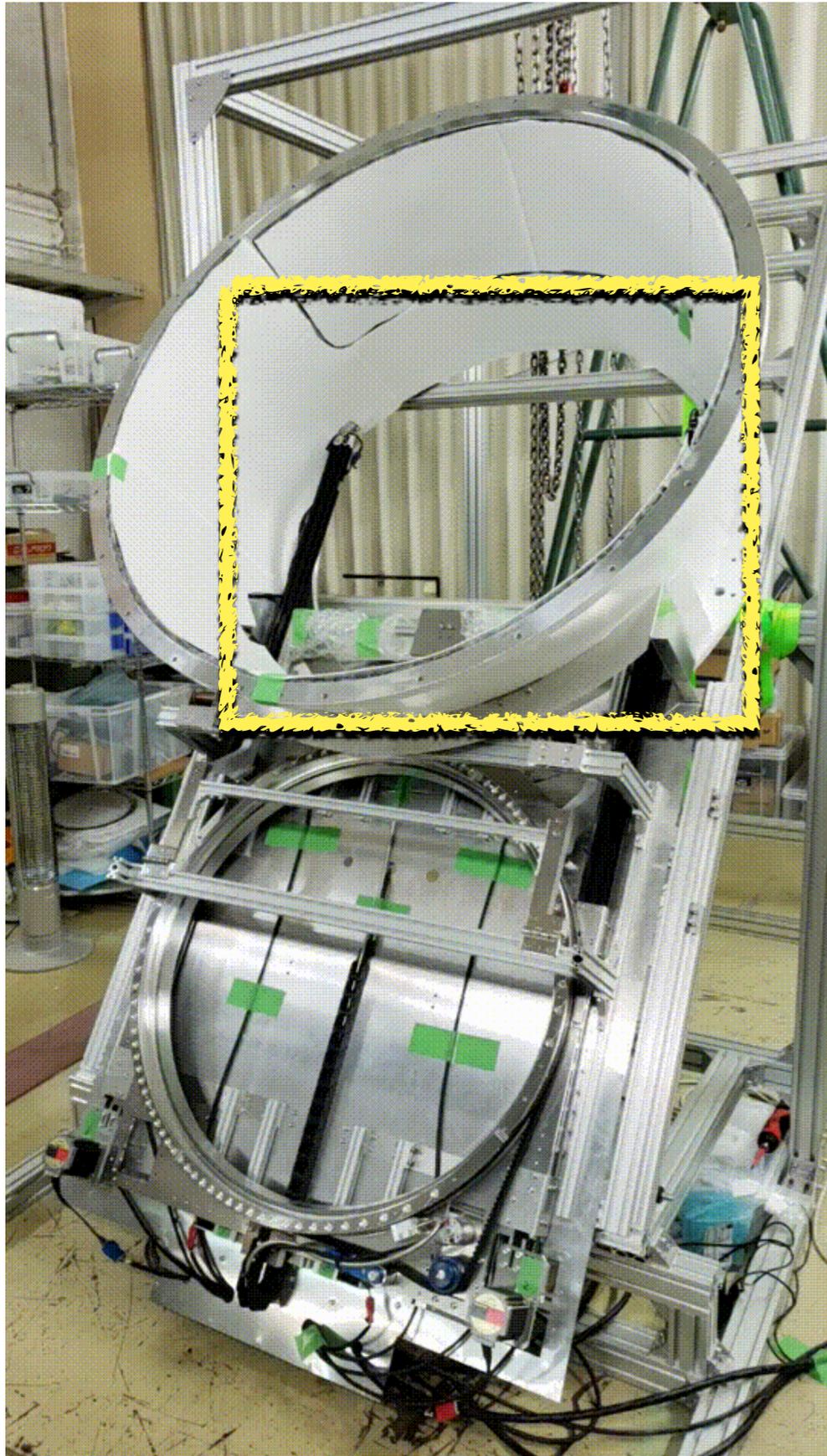
私

制御エレキ

Sparse Wire Grid Calibrator

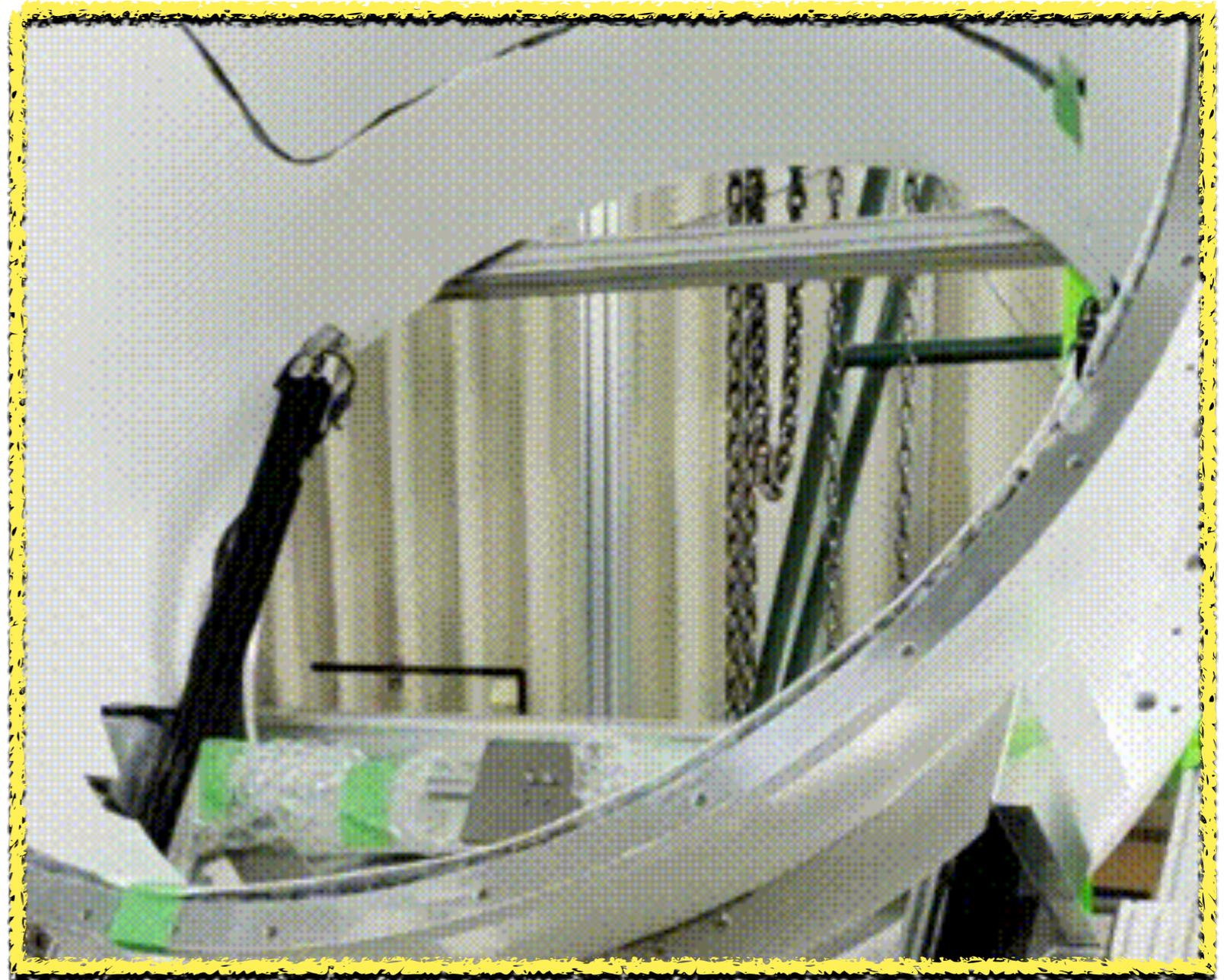
必要な全ての機能を備えた装置が完成！

31



全てリモート制御されている

8倍速



～ 7分20秒/校正1回

まとめ

- CMB偏光の特徴的なパターンBモードの検出はインフレーションの直接的な証拠となる
- 系統誤差を減らすためには、高精度（ 0.1° 以下）かつ短時間（10分以内）で検出器のアンテナを校正したい
- 本研究では高精度な角度読み出し系を開発し、回転と校正装置の出し入れをリモート化することで両目標を達成した
- 開発した校正装置を望遠鏡に搭載し、2023年からCMB観測を開始する予定である