

# GroundBIRD

## 焦点面検出器アレイの開発

美馬 覚(理研)

GroundBIRDコラボレーション

理研:美馬覚、大谷知行、Thushara Damayanthi

高工研:小栗秀悟、内田智久、田島治、吉田光宏、長崎岳人、羽澄昌史

総研大:石塚光

天文台:関本裕太郎、

コリア大;Jihoon Choi、Eunil Won

東大理:蓑輪真、富田望

筑波大:永井誠

東北大:沓間弘樹、服部誠

埼玉大:古谷野凌

# GroundBIRDってどんなもの？

- CMB偏光観測を目的とした実験です



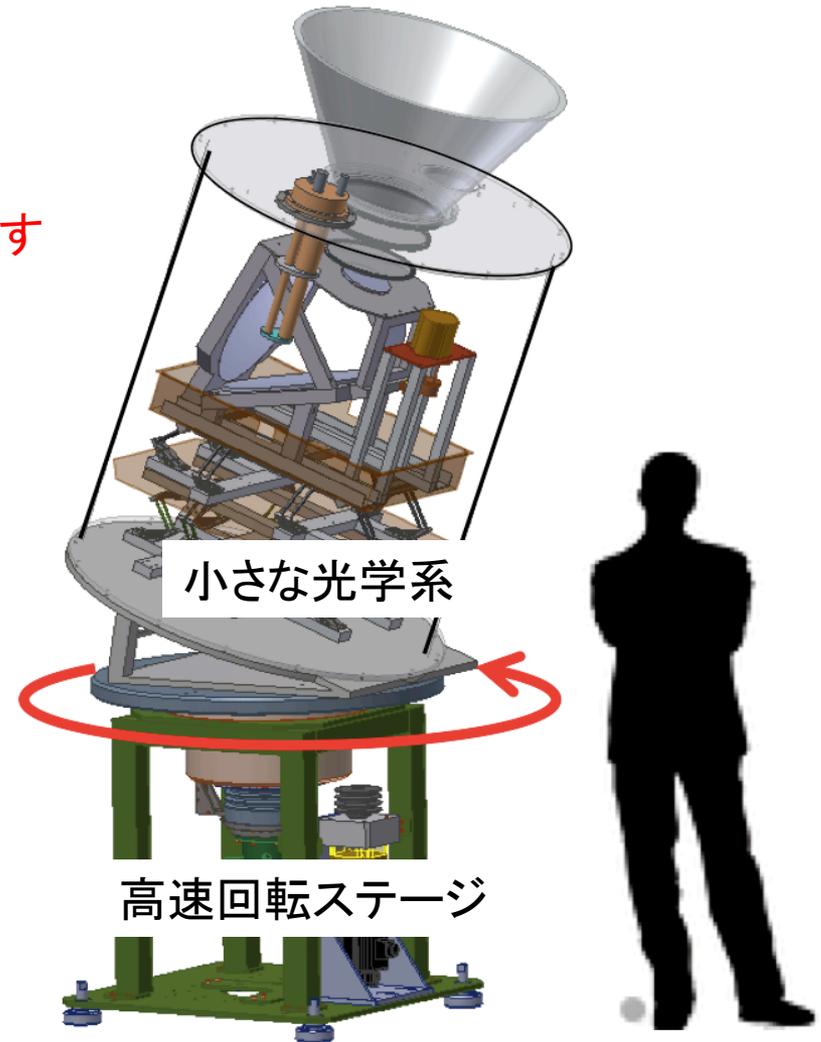
# GroundBIRDってどんなもの？

- CMB偏光観測を目的とした実験です
- 偏光観測に特化します



# GroundBIRDってどんなもの？

- CMB偏光観測を目的とした実験です
- 偏光観測に特化します
- 地上で人工衛星のような観測を実現します



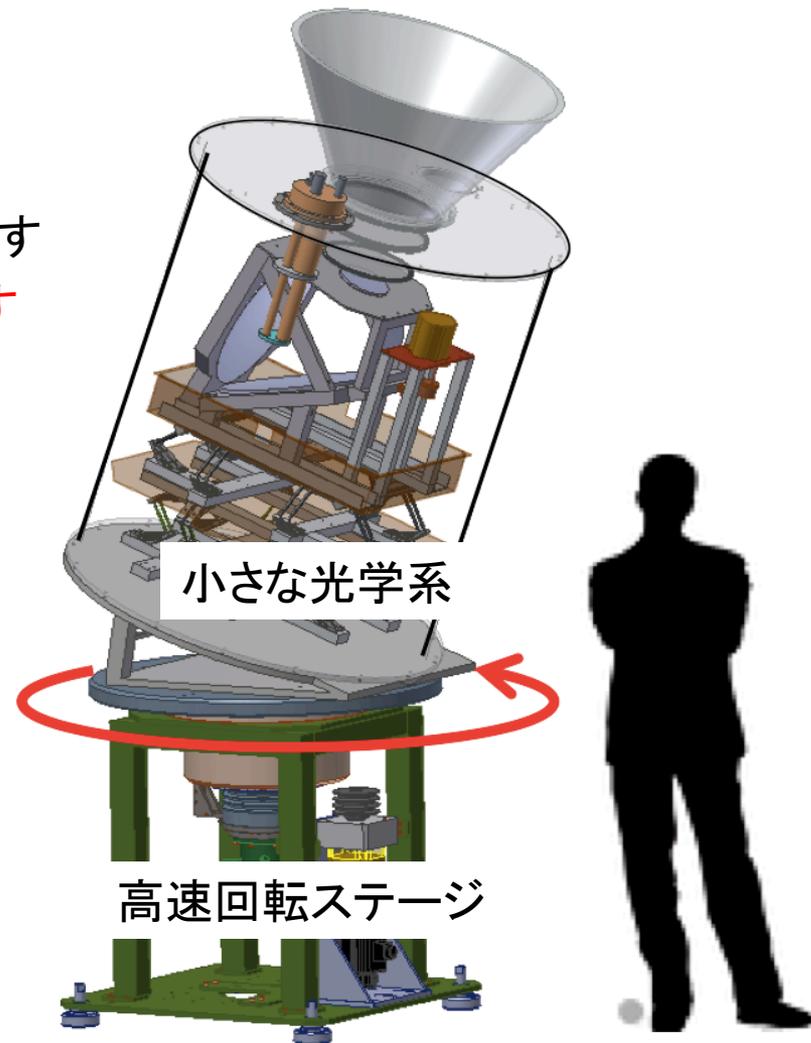
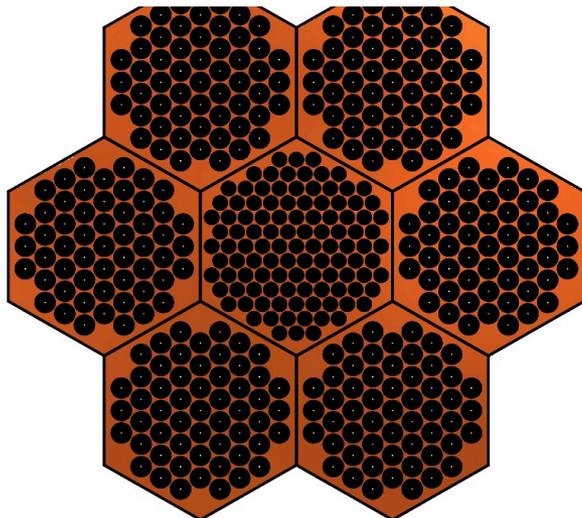
# GroundBIRDってどんなもの？

- CMB偏光観測を目的とした実験です
- 偏光観測に特化します
- 地上で人工衛星のような観測を実現します
- **焦点面検出器にMKIDアレイをつかいます**

1画素2KID  
(~1cm)



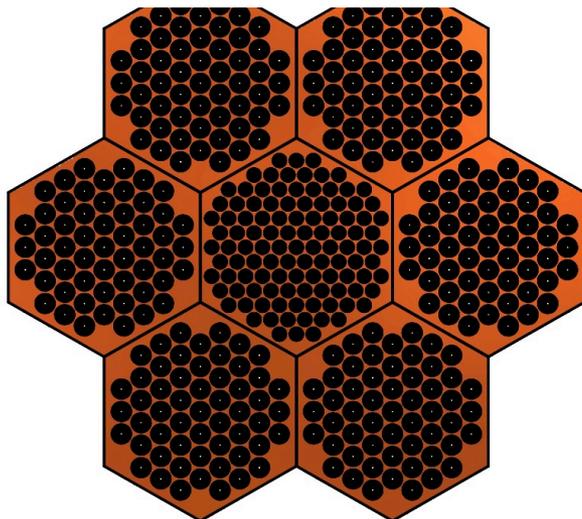
焦点面 (~30cm)



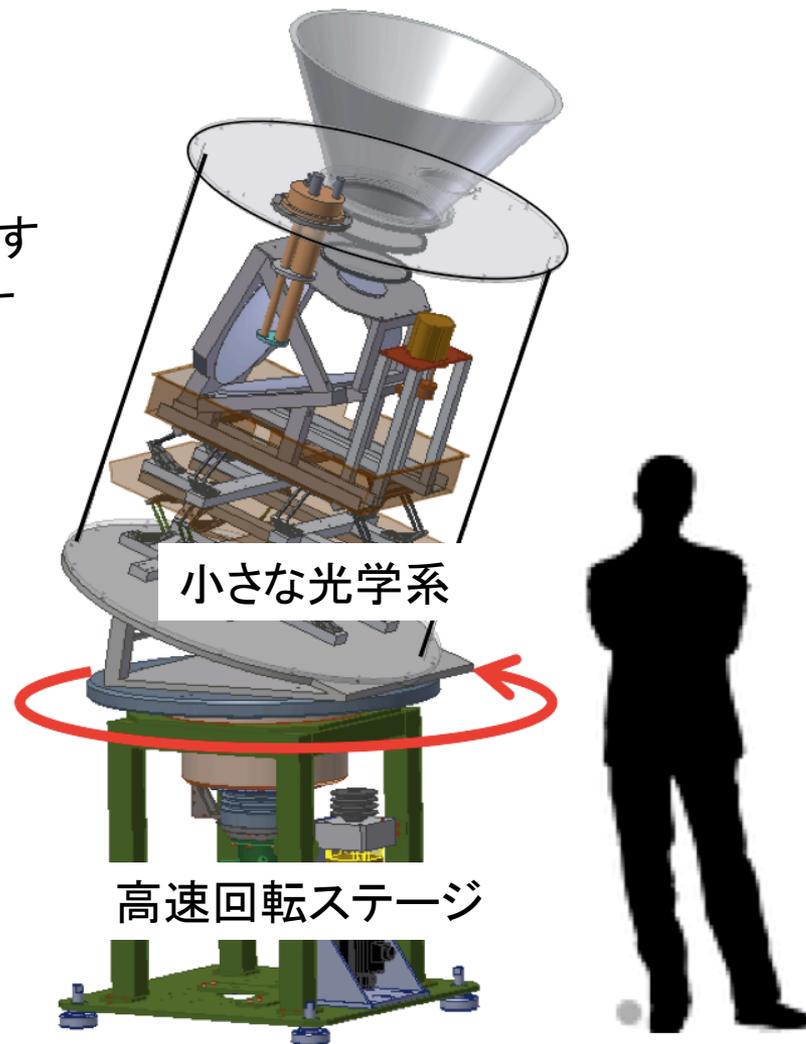
# GroundBIRDってどんなもの？

- CMB偏光観測を目的とした実験です
- 偏光観測に特化します
- 地上で人工衛星のような観測を実現します
- 焦点面検出器にMKIDアレイをつかいます
- **理研(十埼玉大)、KEK、天文台を中心に**  
やっています

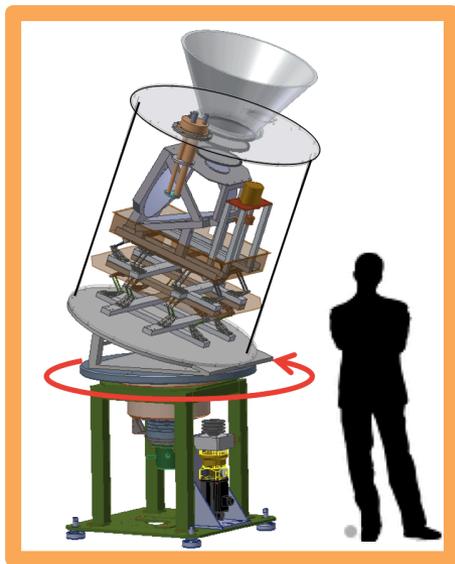
焦点面(～30cm)



1画素2KID  
(～1cm)



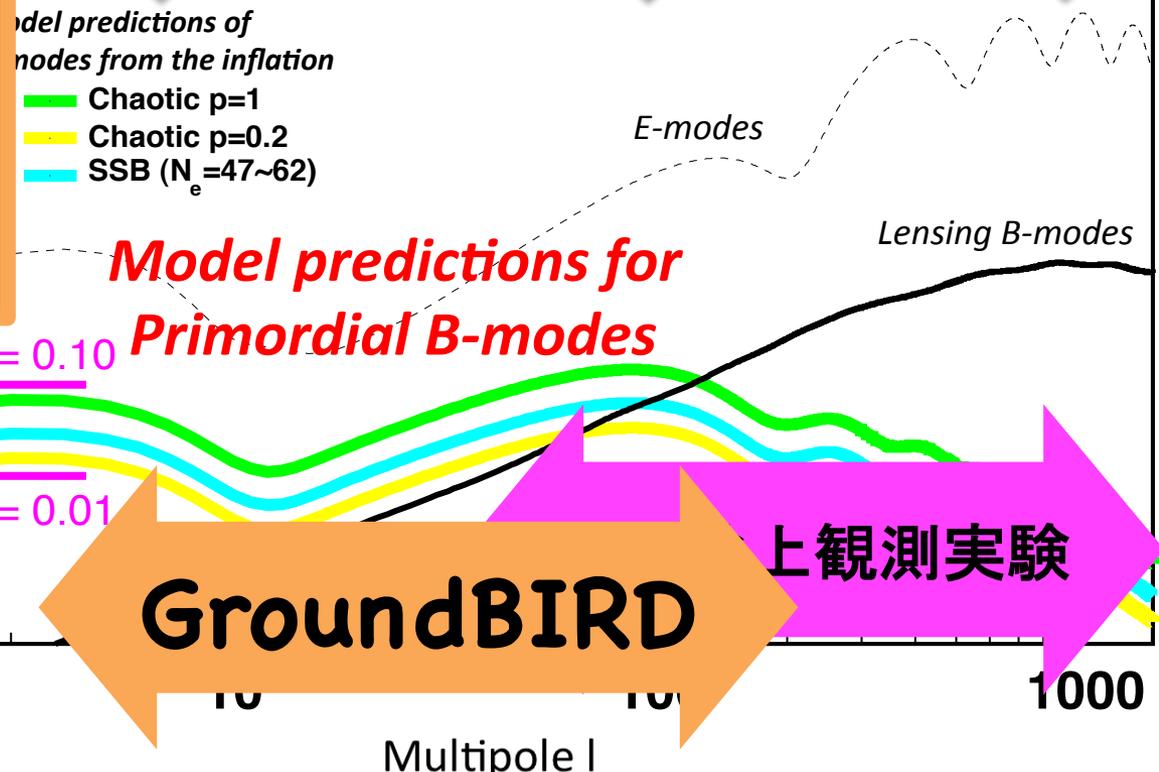
# GBの狙い: 特化 & 広視野



30°

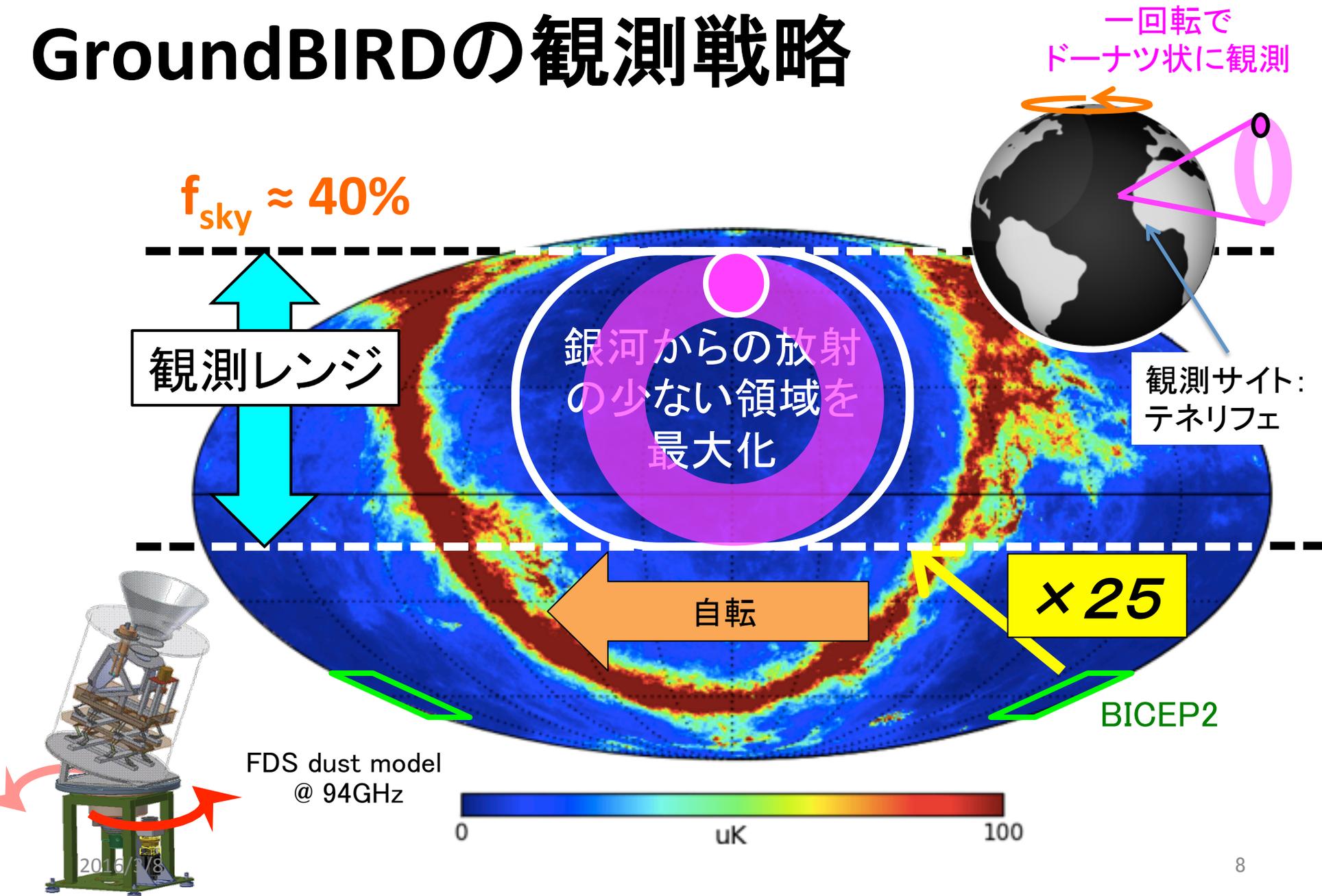
2°

0.2°



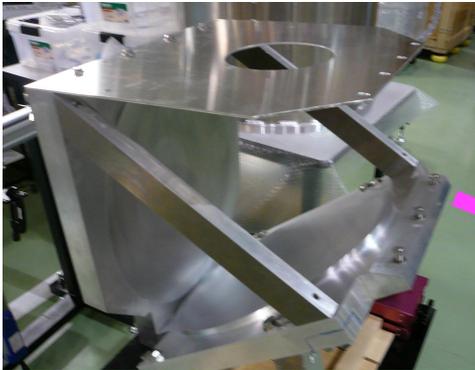
広い視野の観測が重要！

# GroundBIRDの観測戦略



# GroundBIRD - オーバービュー

Details are described in *J. Low Temp. Phys.* 176, 691 (2014),  
and *Proc. SPIE* 8452, 84521M (2012).

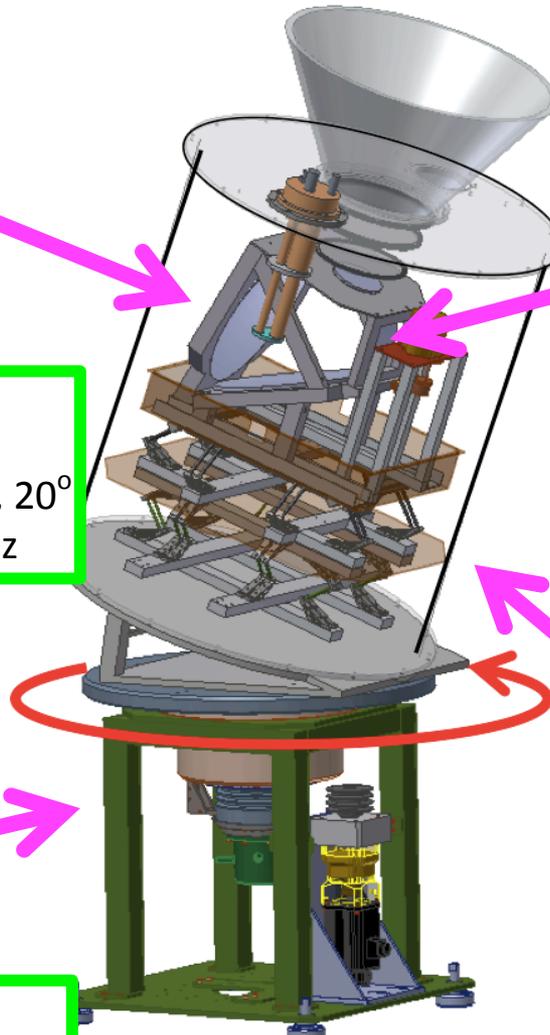


**冷却光学系** at 4 K,  
Mizuguchi-Dragone dual-reflector, 20°  
FoV, 角度分解能 0.6° at 145 GHz

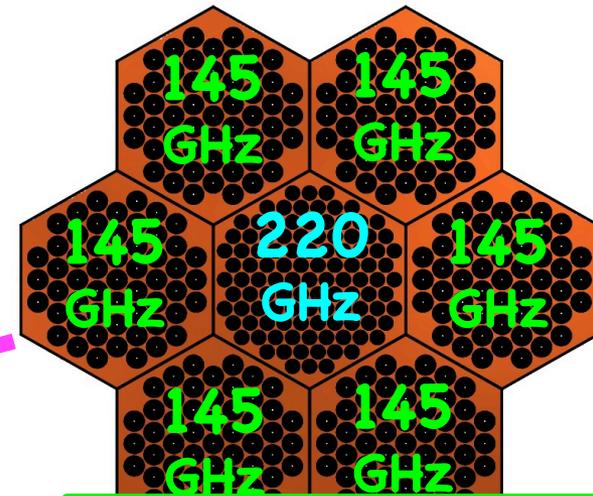


**高速回転スキャン**  
Scan speed of 120°/s, i.e., 20 rpm

2016/3/8



+ スパースワイヤーグリッド  
を使ったキャリブレーション

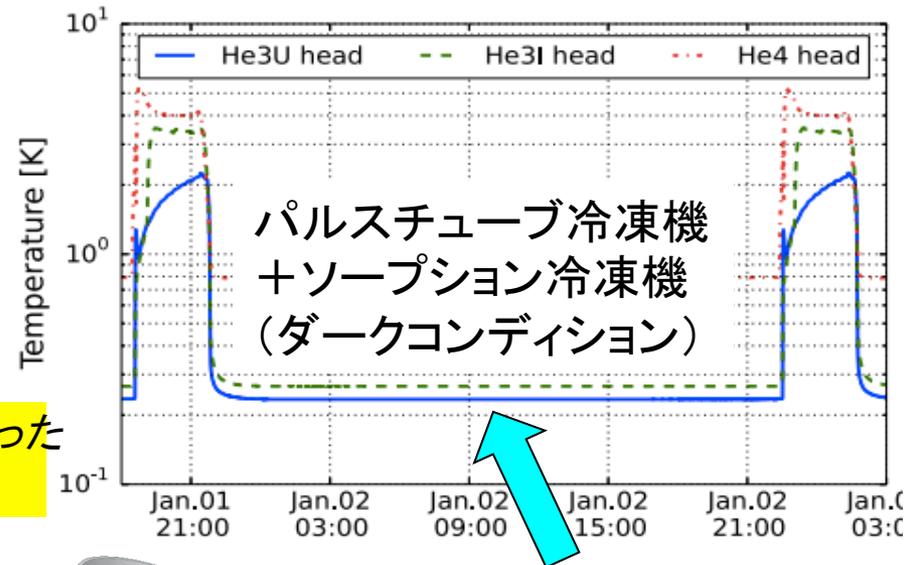
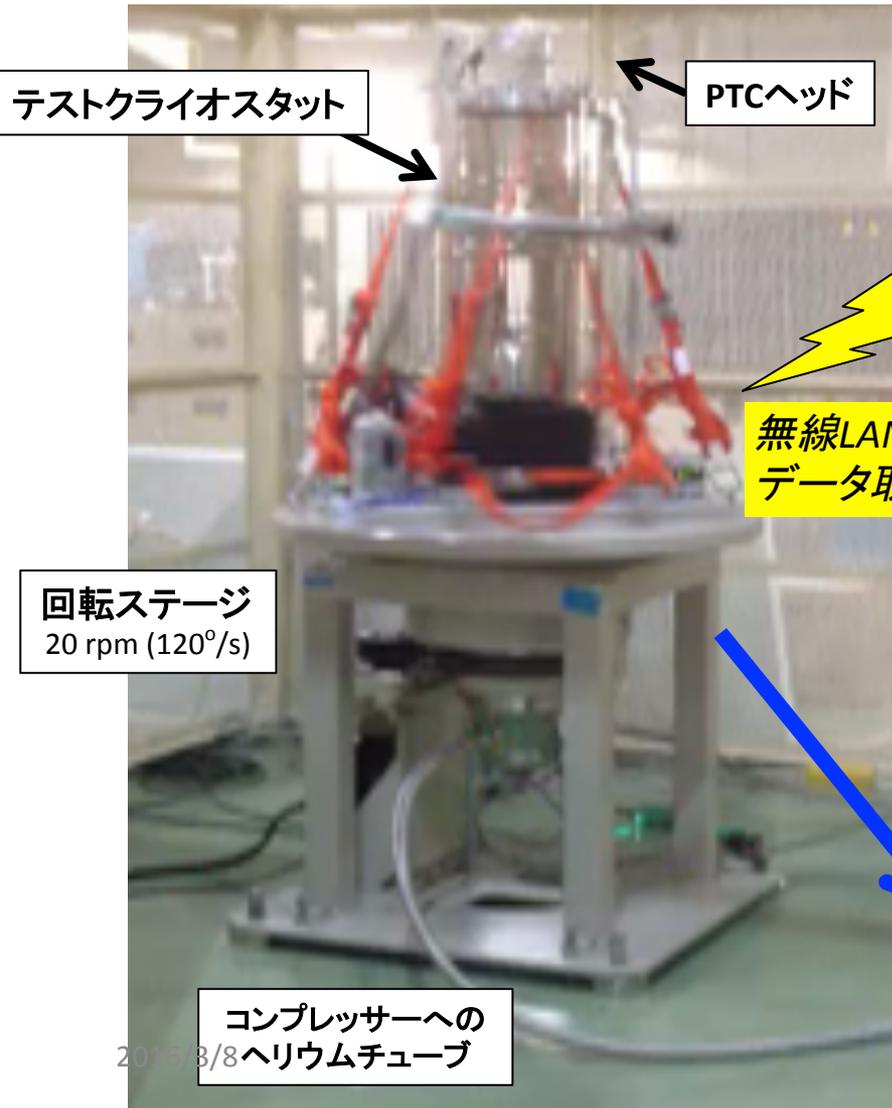


**MKIDs array** on 0.25 K  
660 kids for 145 GHz,  
224 kids for 220 GHz.



クライオスタットはPTC  
とソーブション冷凍機  
で冷却

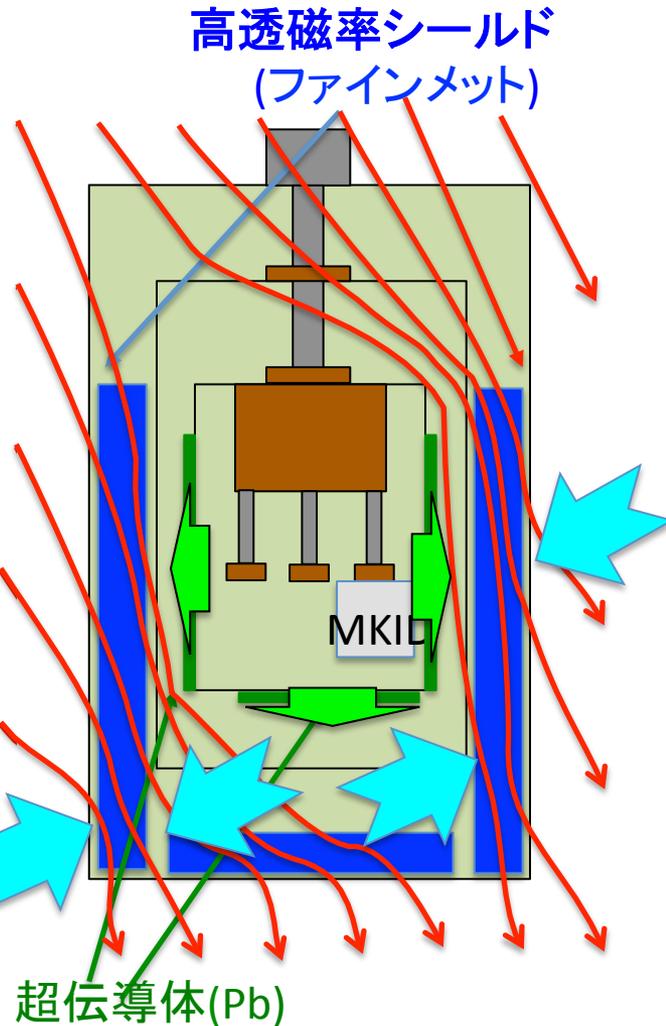
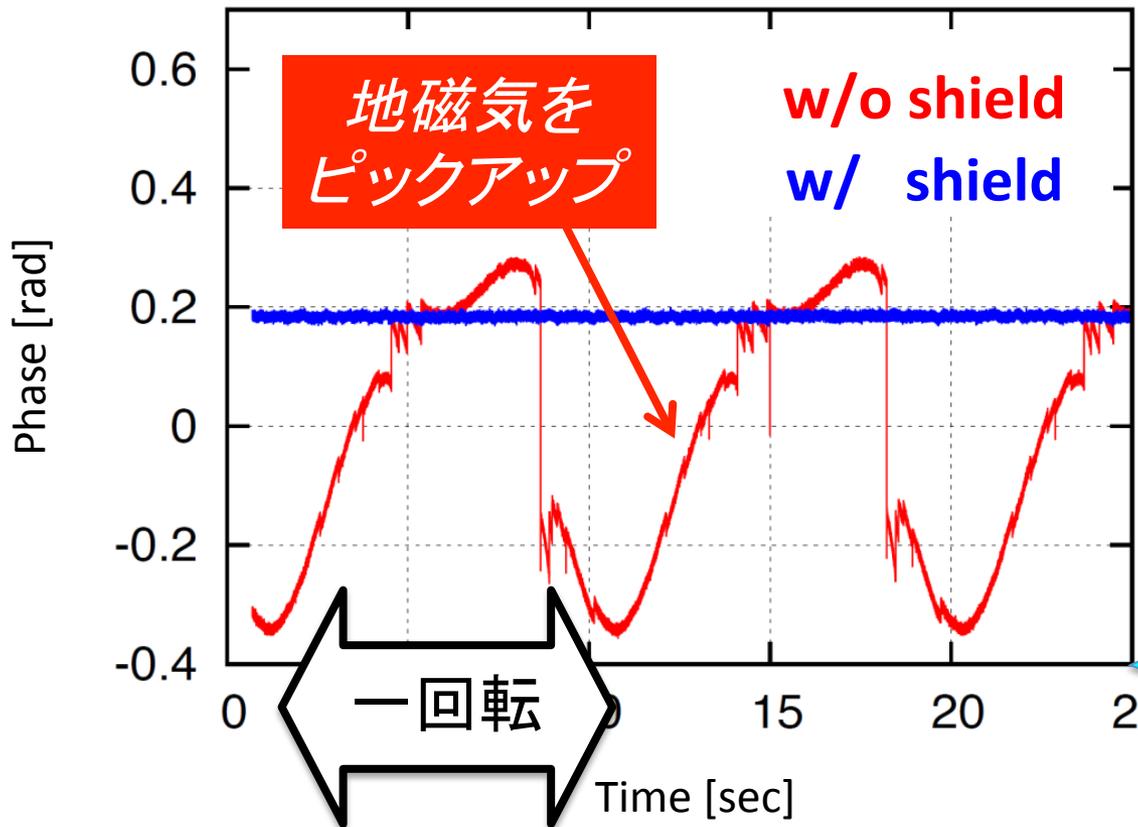
# 高速回転ステージ上での 冷却テスト



**回転ステージ上で  
0.2Kを維持!**

*Rev. Sci. Instrum.* 85, 086101 (2014),  
*Rev. Sci. Instrum.* 84, 055116 (2013).

# 回転ステージ上での 地磁気の影響

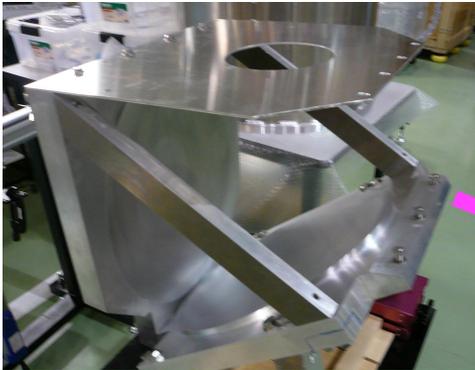


Confirmation of hybrid shield's strategy:

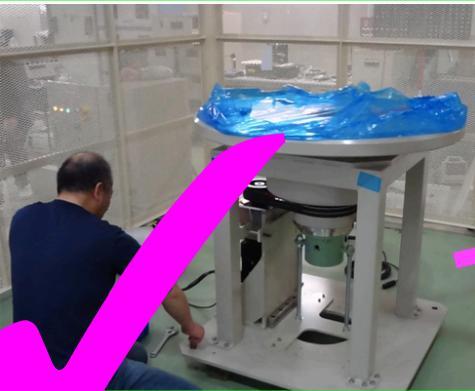
高透磁率シールド(e.g., ファインメット) in 室温  
+ 超伝導シールド(e.g., Pb) at 4K

# GroundBIRD - オーバービュー

Details are described in *J. Low Temp. Phys.* 176, 691 (2014),  
and *Proc. SPIE* 8452, 84521M (2012).

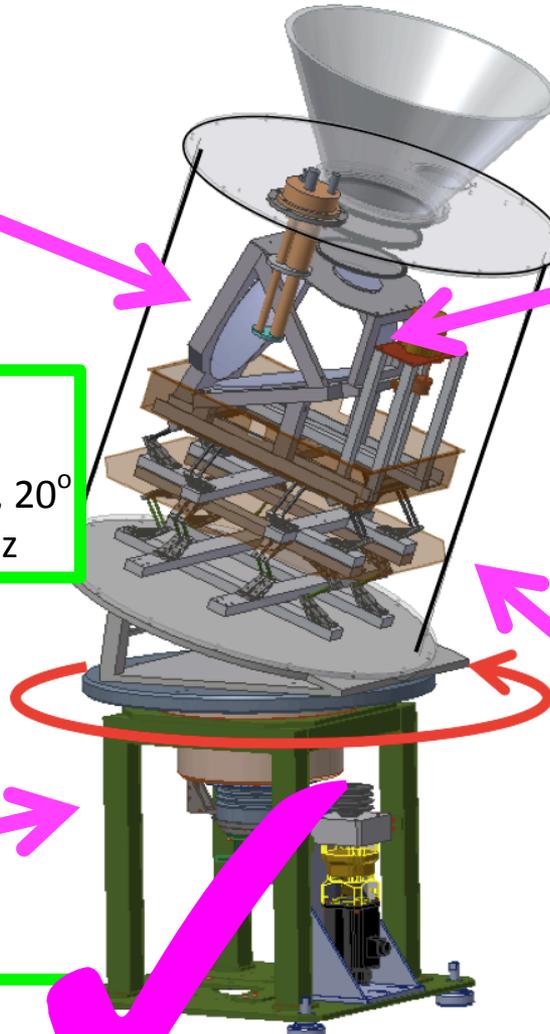


**冷却光学系** at 4 K,  
Mizuguchi-Dragone dual-reflector, 20°  
FoV, 角度分解能 0.6° at 145 GHz

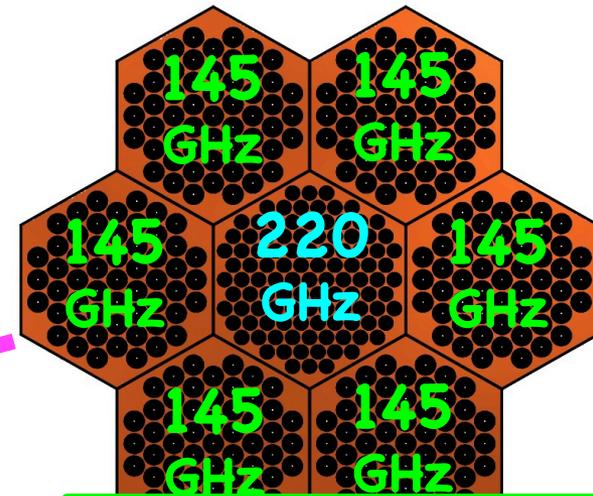


**高速回転スキャン**  
Scan speed of 120°/s, i.e., 20 rpm

2016/3/8



**スパーズワイヤーグリッド  
を使ったキャリブレーション**



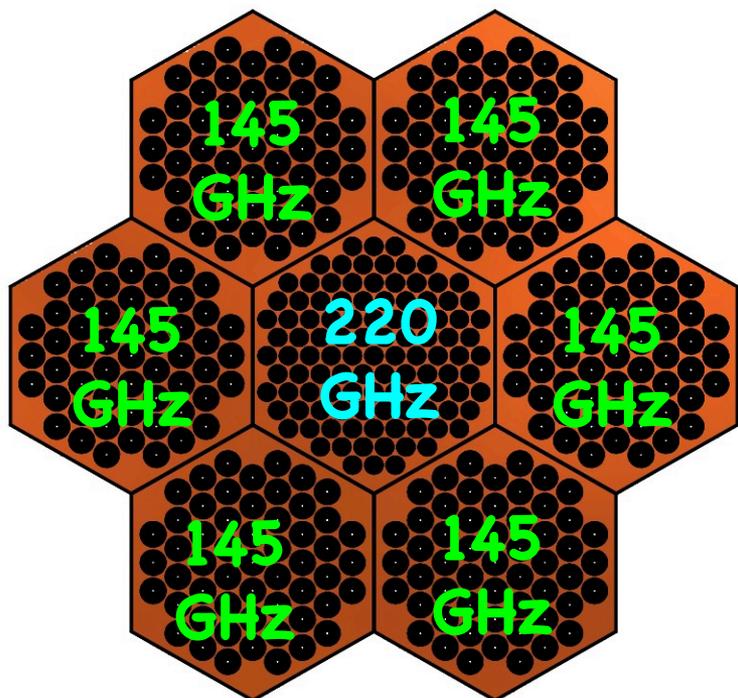
**MKIDs array** on 0.25 K  
660 kids for 145 GHz,  
224 kids for 220 GHz.



クライオスタットはPTC  
とソーブション冷凍機  
で冷却

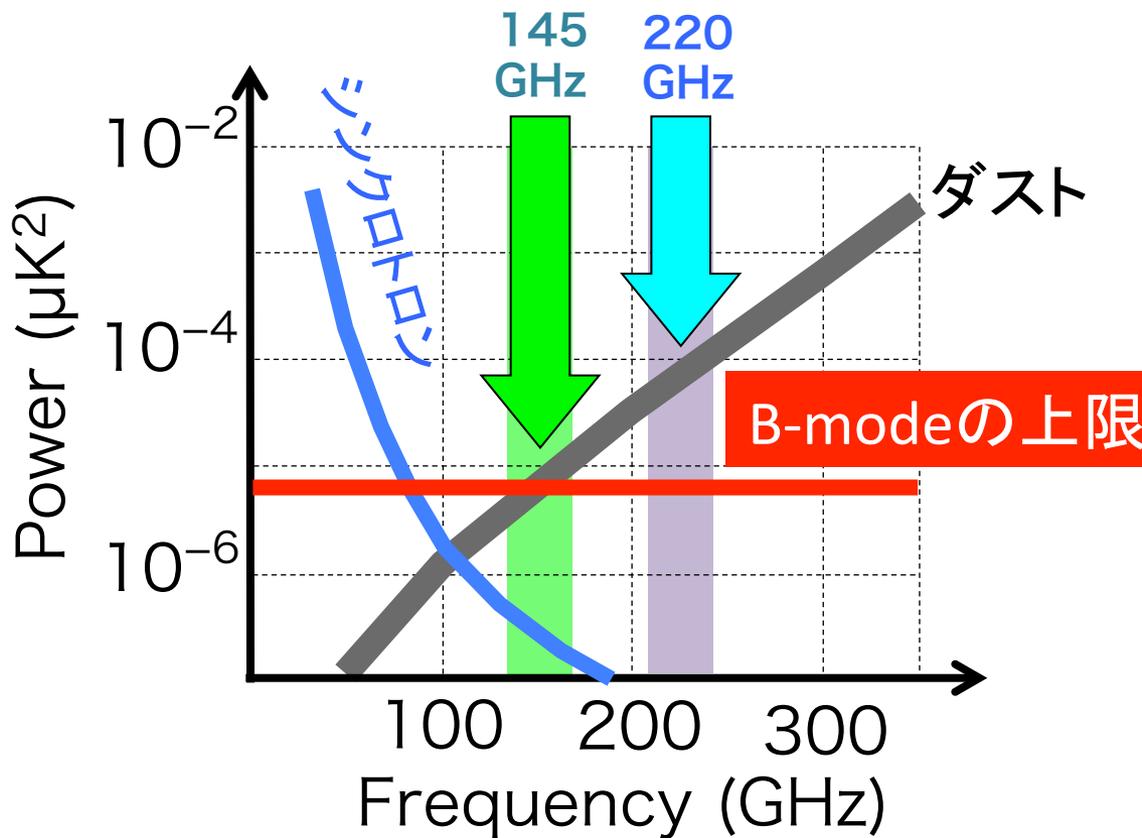
# 焦点面デザインと観測

## GB焦点面デザイン

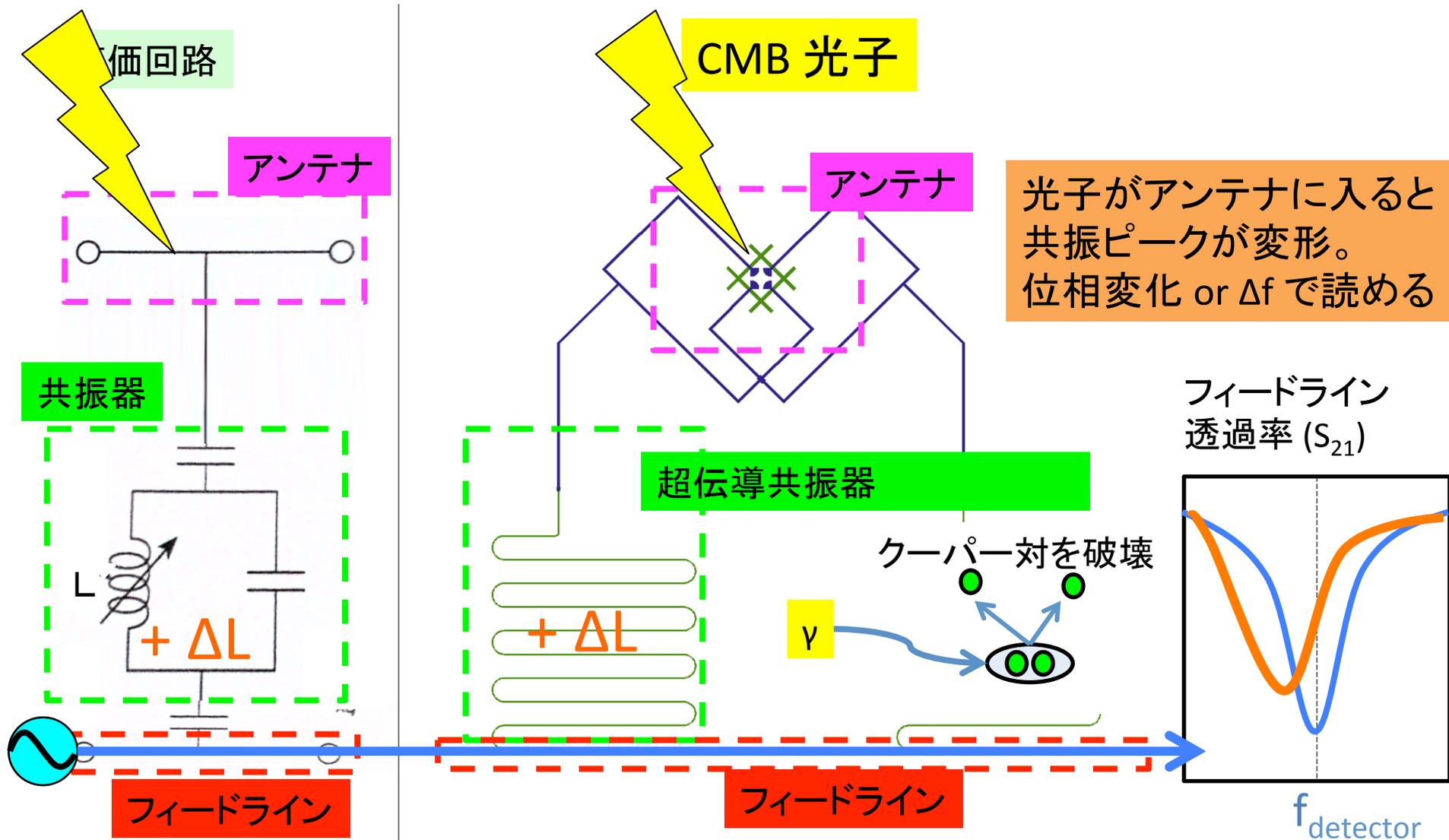


CMB

ダスト



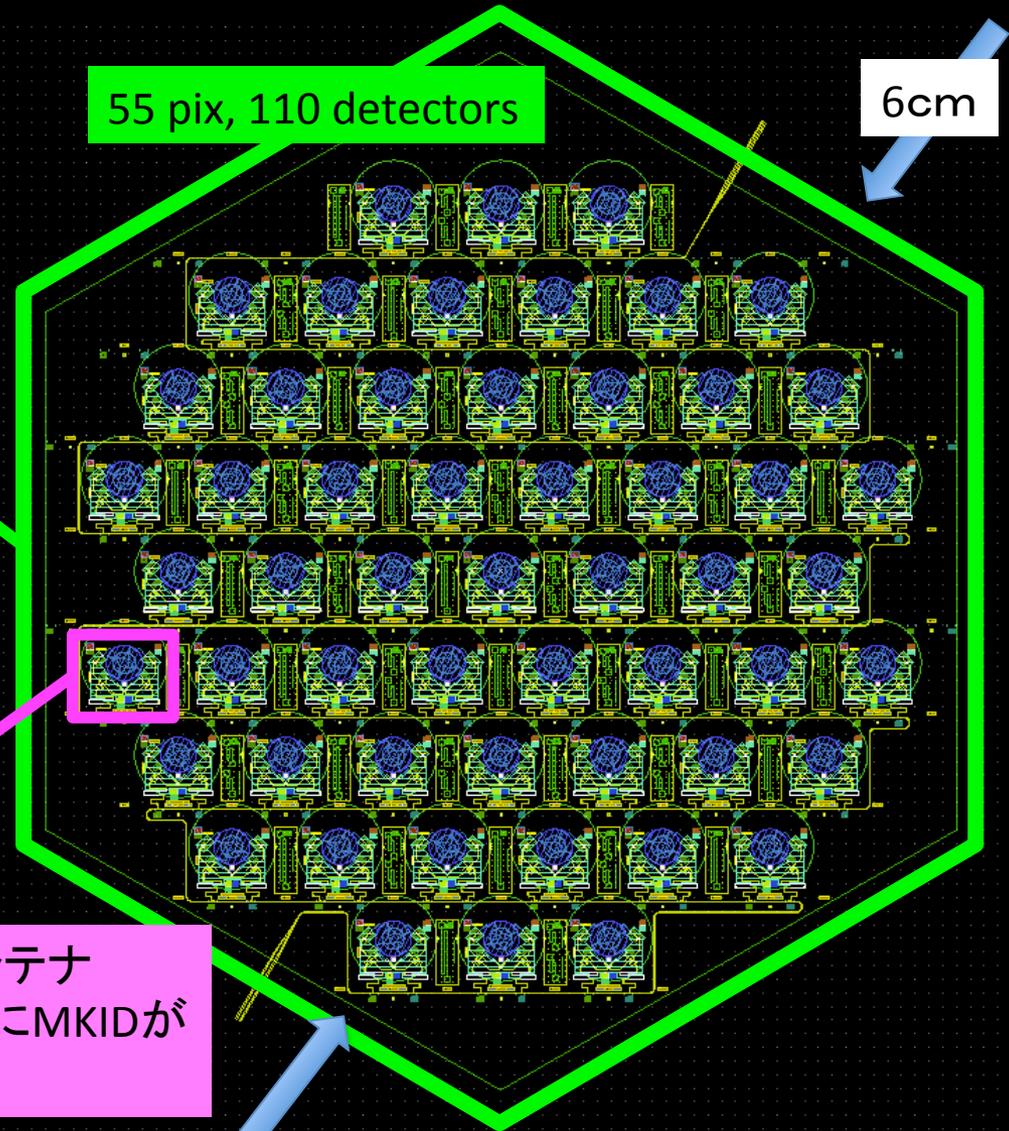
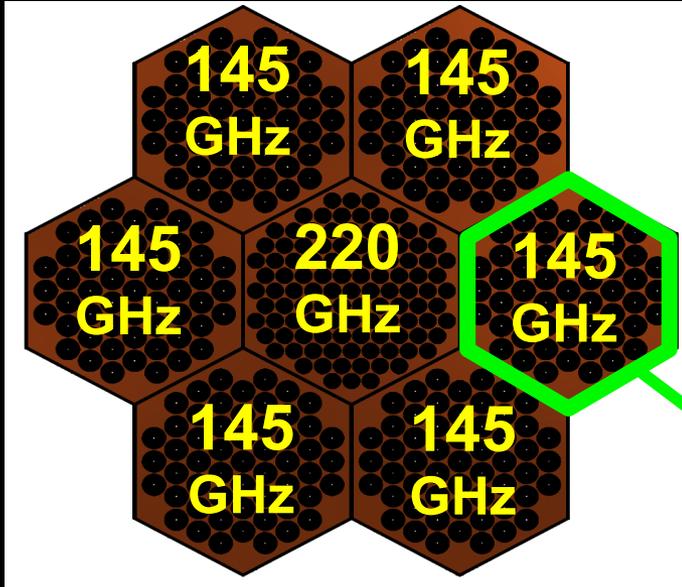
# MKID (Microwave Kinetic Inductance Detector)



Cooper-pair-breaking detector (Al: > 80GHz, TiN: > 30-450 GHz)

# ホーン結合2偏波KID アレイの開発状況

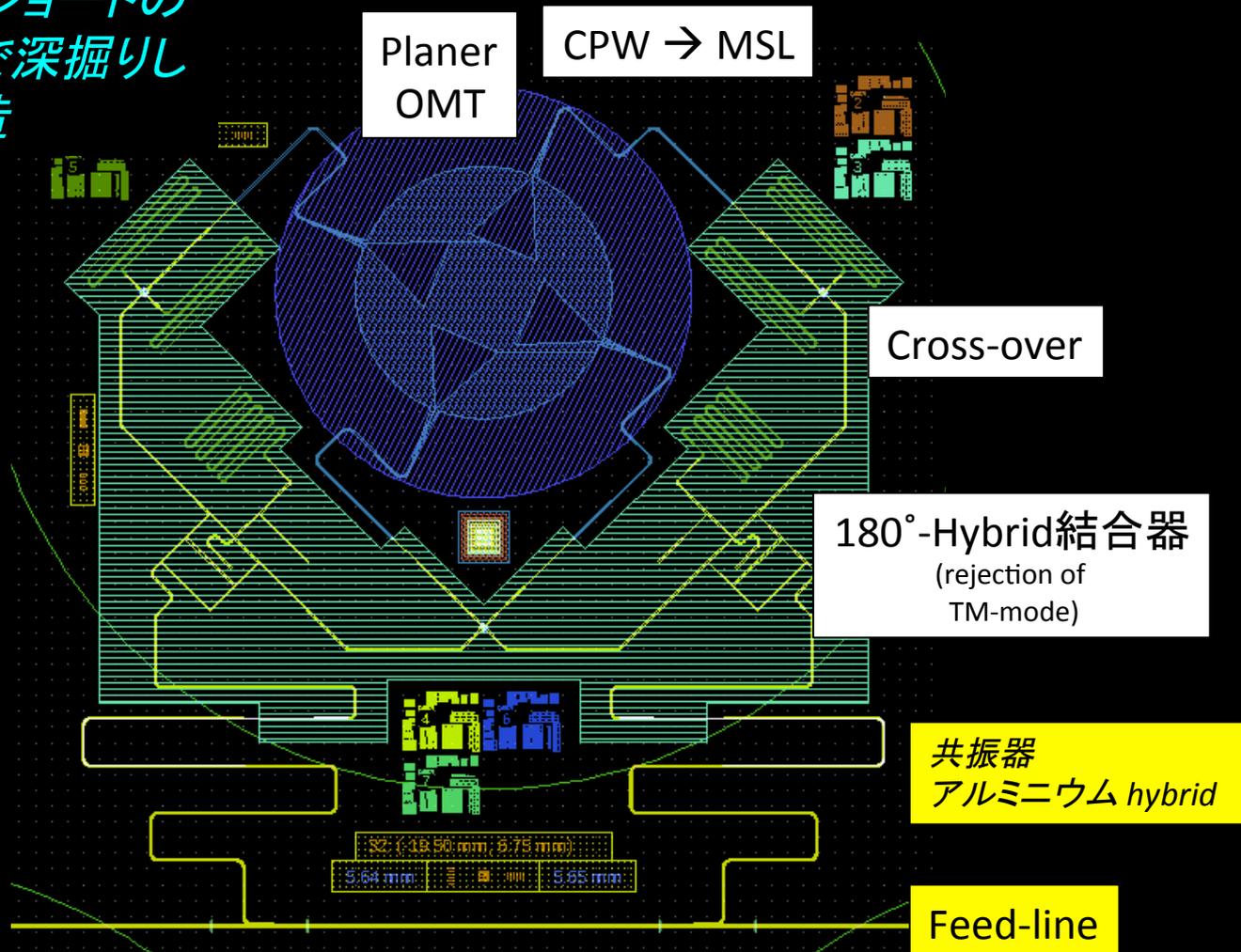
GrounBIRDの焦点面検出器、7ユニット



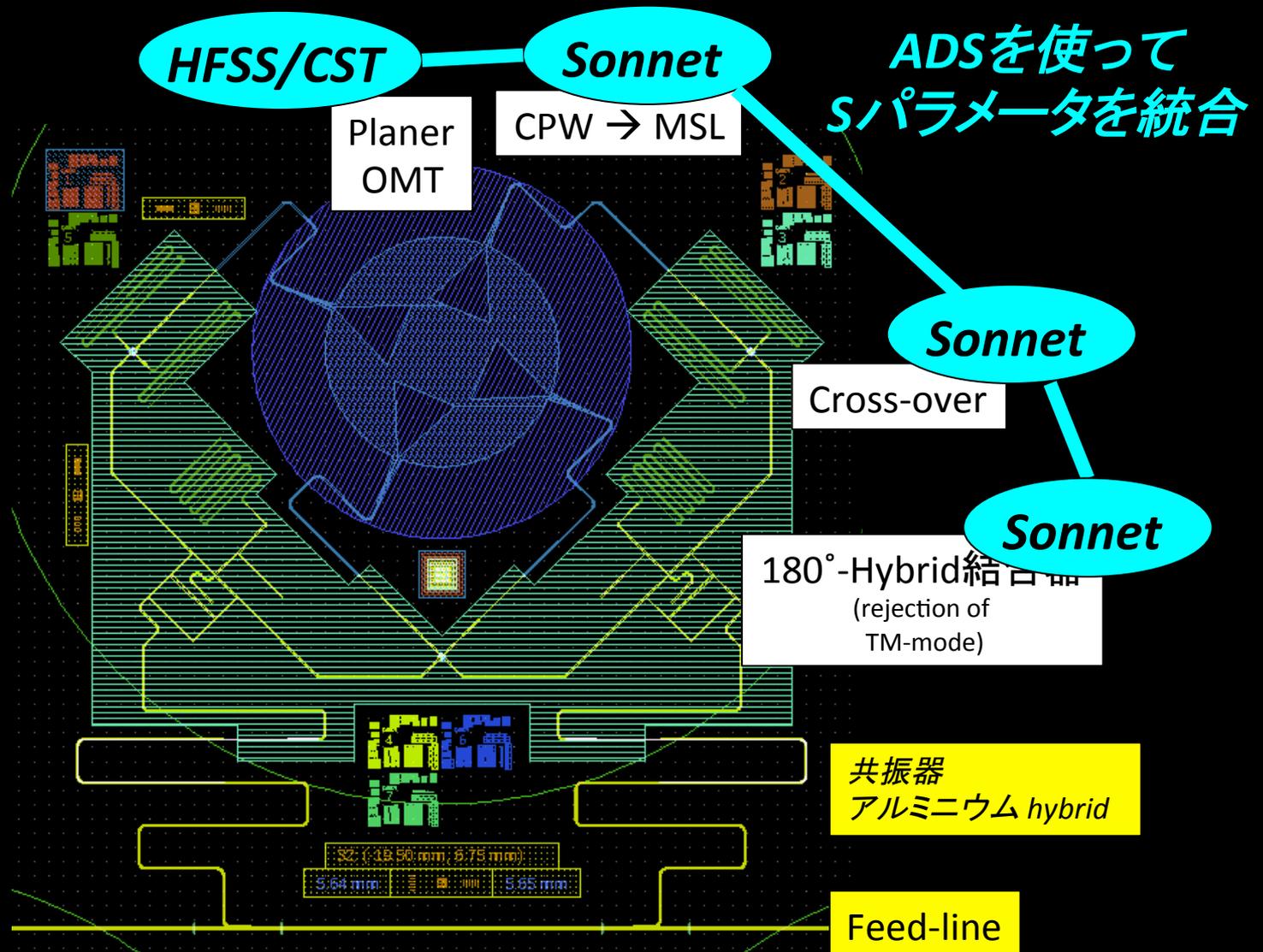
2偏波アンテナ  
それぞれにMKIDが  
二つつく

# ホーン結合両偏波KID 単一画素

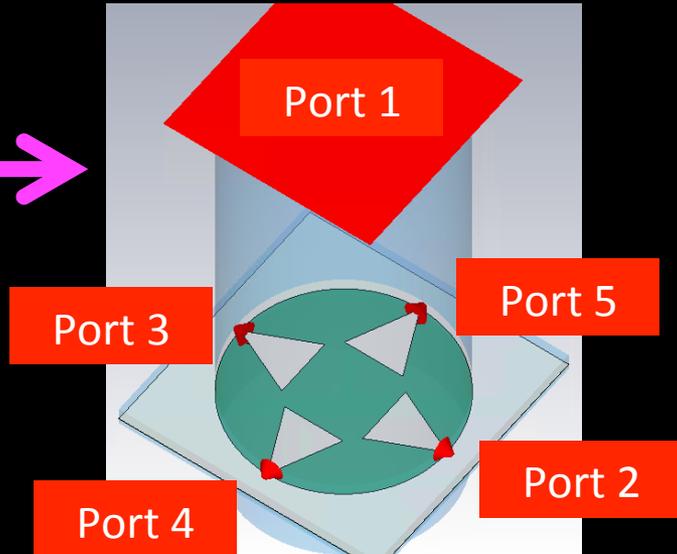
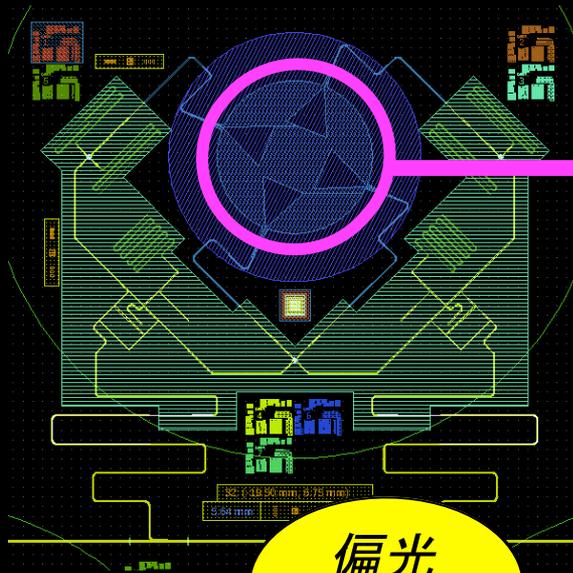
OMTはバックショートのためDeepRIEで深掘りし  
メンブレン構造



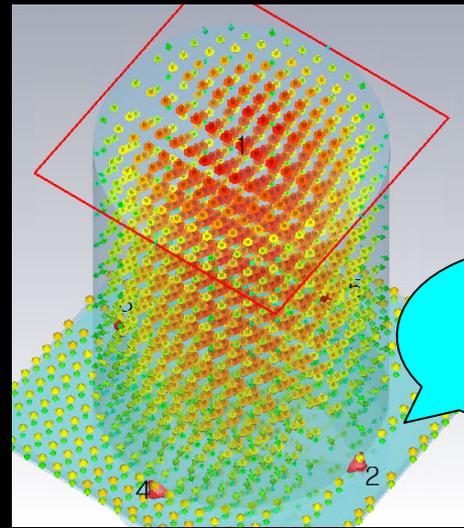
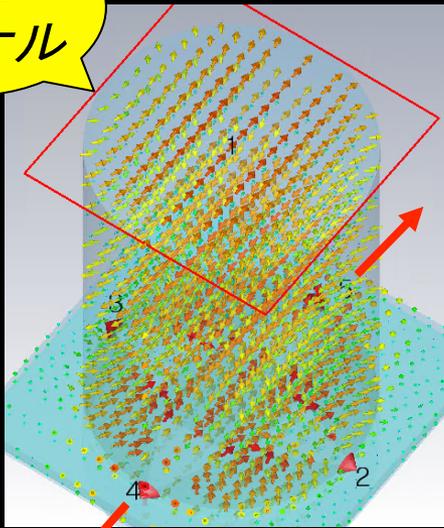
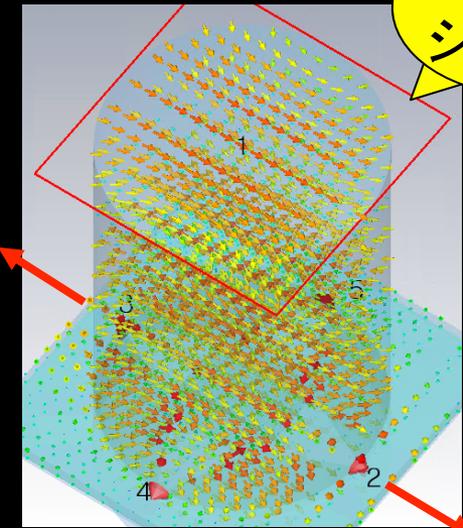
# シミュレーターでの設計



# CSTを使ったHorn-OMT結合

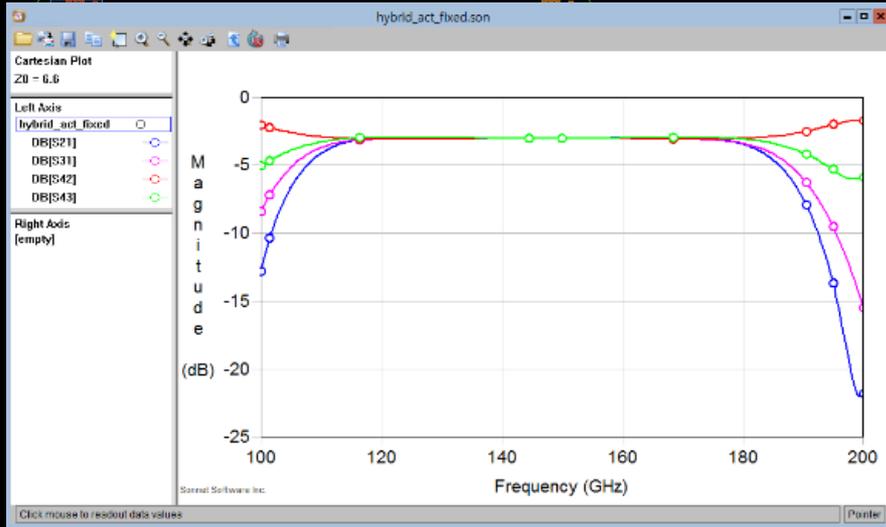


偏光  
シグナル



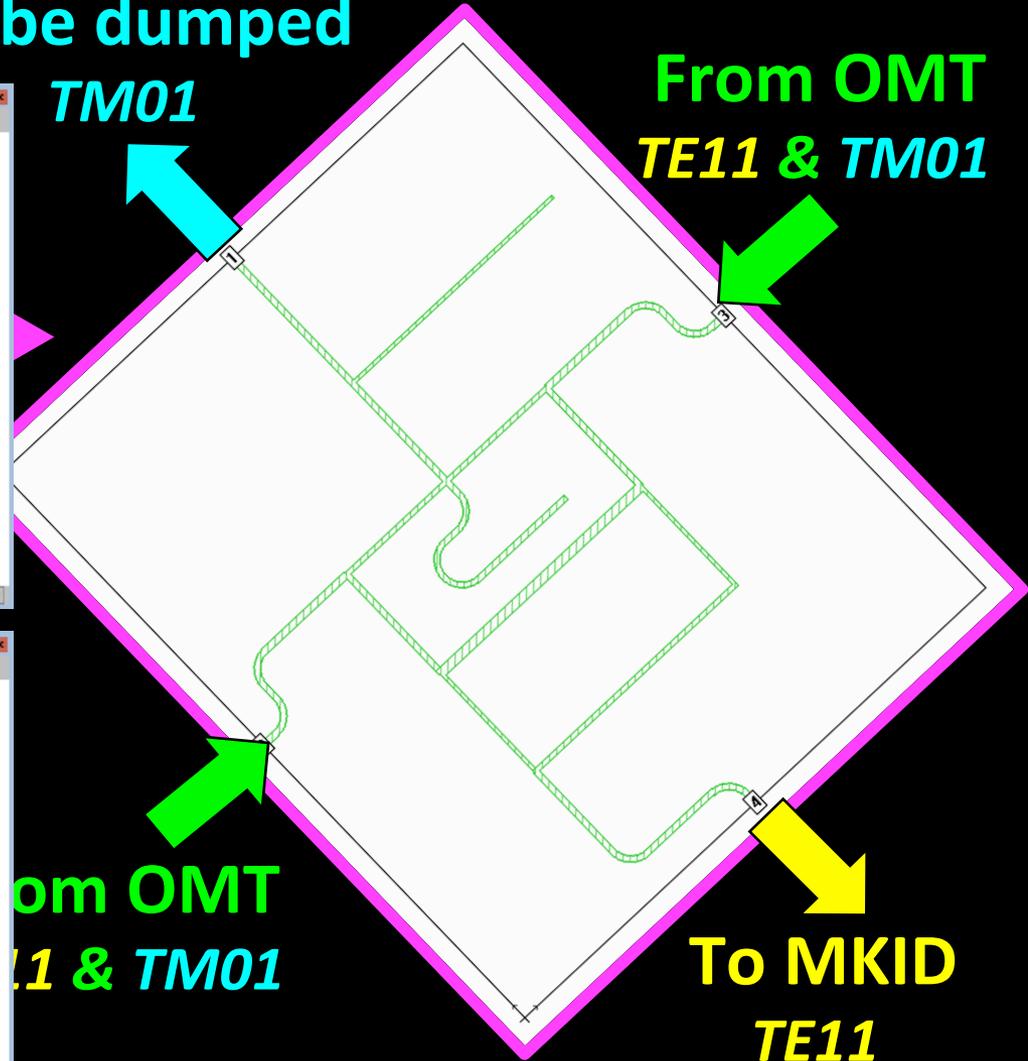
# Sonnetをつ方180°-Hybrid結合器

To be dumped



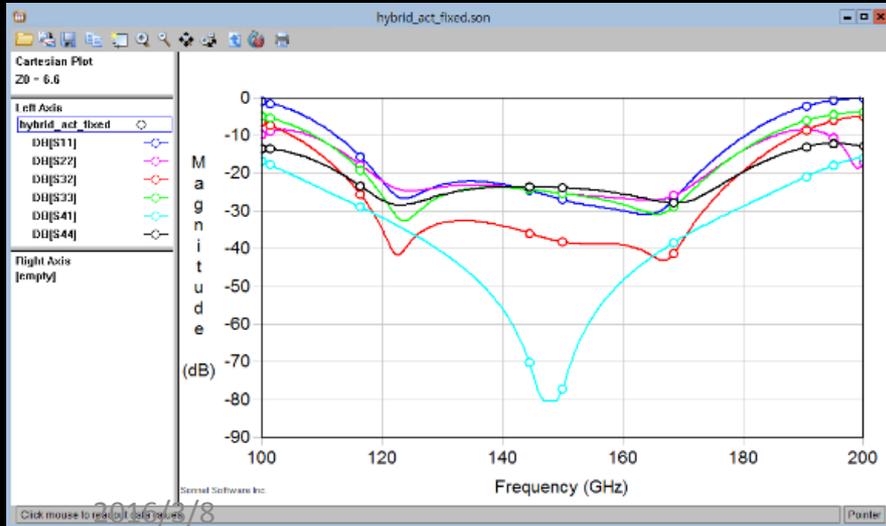
TM01

From OMT  
TE11 & TM01

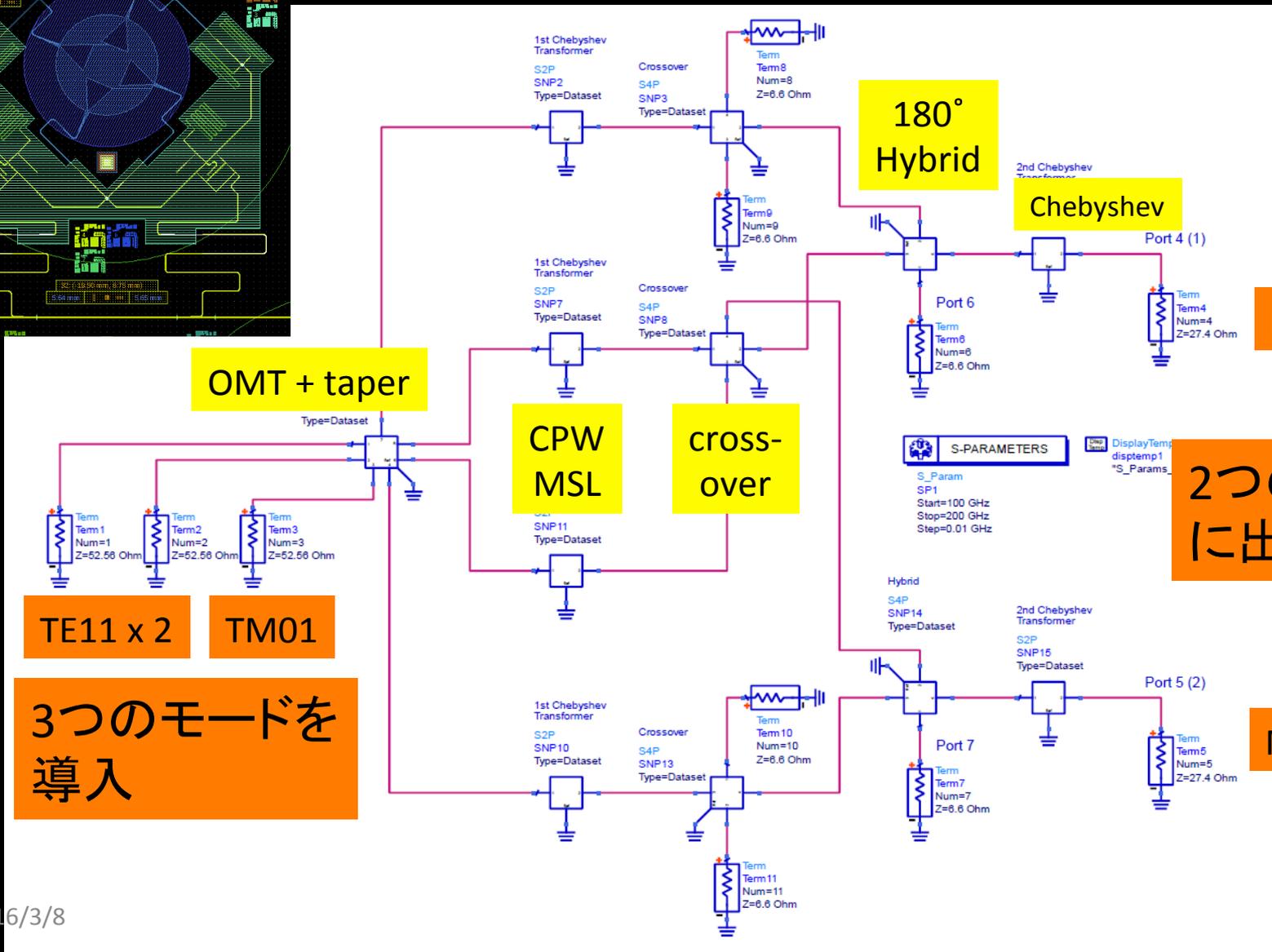
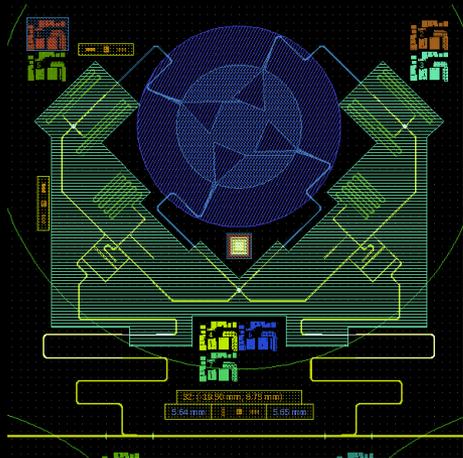


From OMT  
TE11 & TM01

To MKID  
TE11



# ADSを使った全体特性



MKID1

2つのMKID  
に出力

MKID2

OMT + taper

CPW  
MSL

cross-  
over

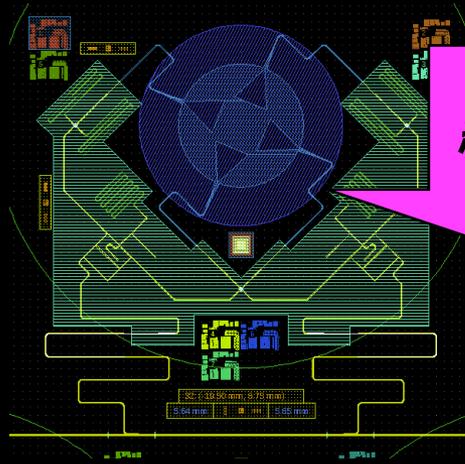
180°  
Hybrid

Chebyshev

TE11 x 2    TM01

3つのモードを  
導入

# ADSを使った全体特性



統合特性

GB's band

良い透過率

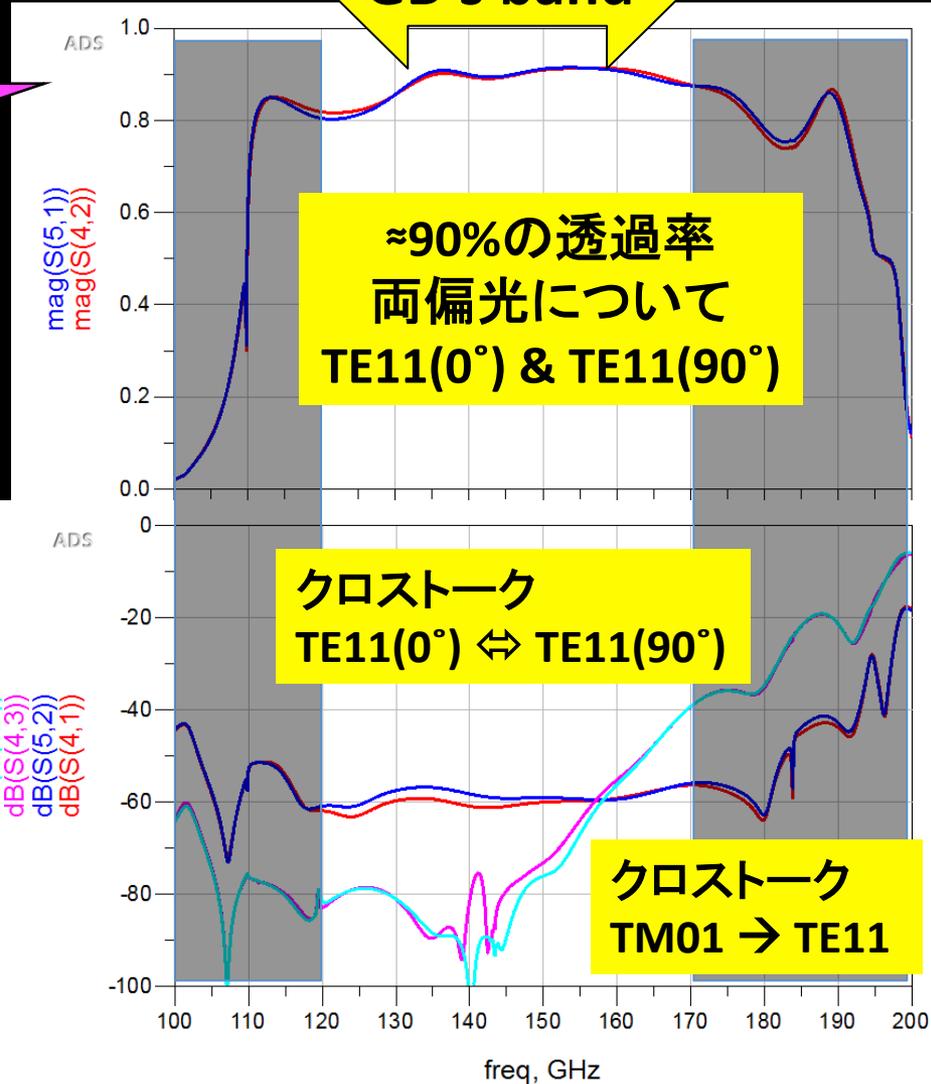
&

低いクロストーク

要求

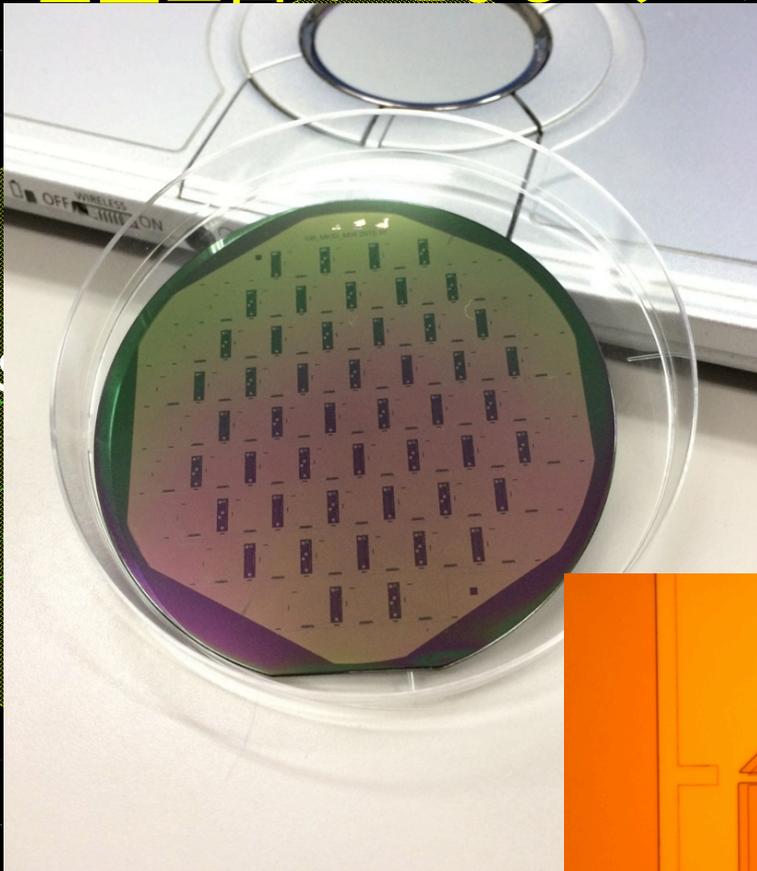
透過率: 高ければ高いほどよい

クロストーク: 30dB未満

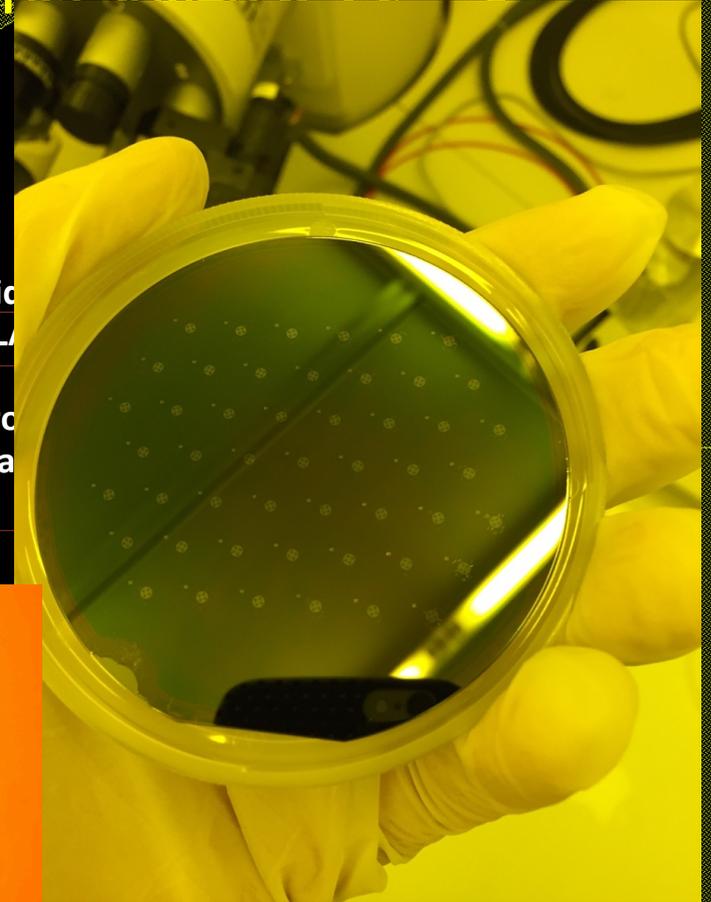


# ハイブリッドな設計 & 試作 作成開始！

Aligner fabrication in RIKEN  
基盤全面でことなるパターン



Stepper fabrication in NAOJ  
それぞれ同じパターン



8. Brid  
INSULA  
6. Cro  
insula

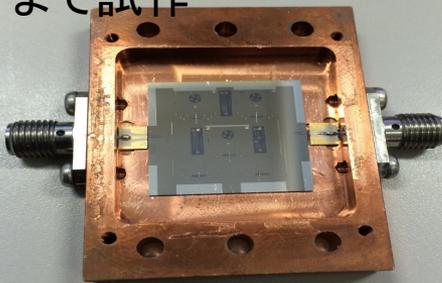


# ハイブリッドな設計 作成開始！

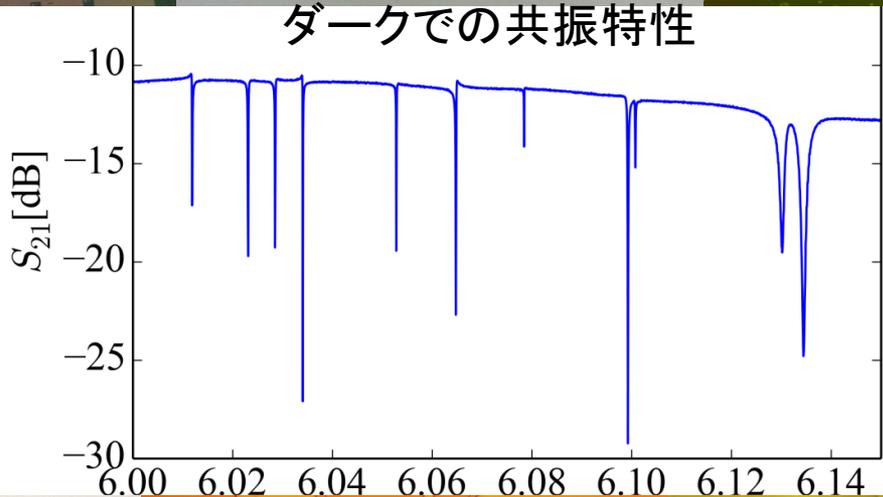
Aligner fabrication in RIKEN

Stenner fabrication in NAOJ

MKIDのNb/Al Hybrid  
まで試作



ダークでの共振特性



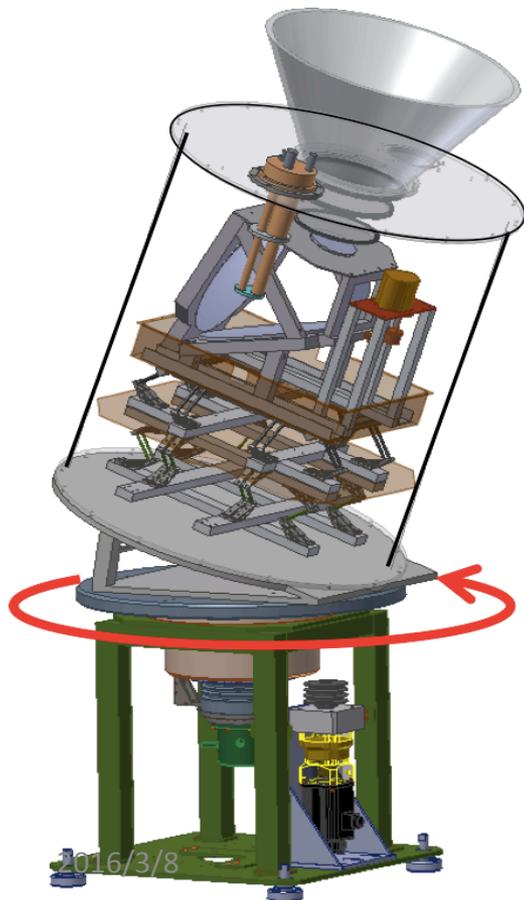
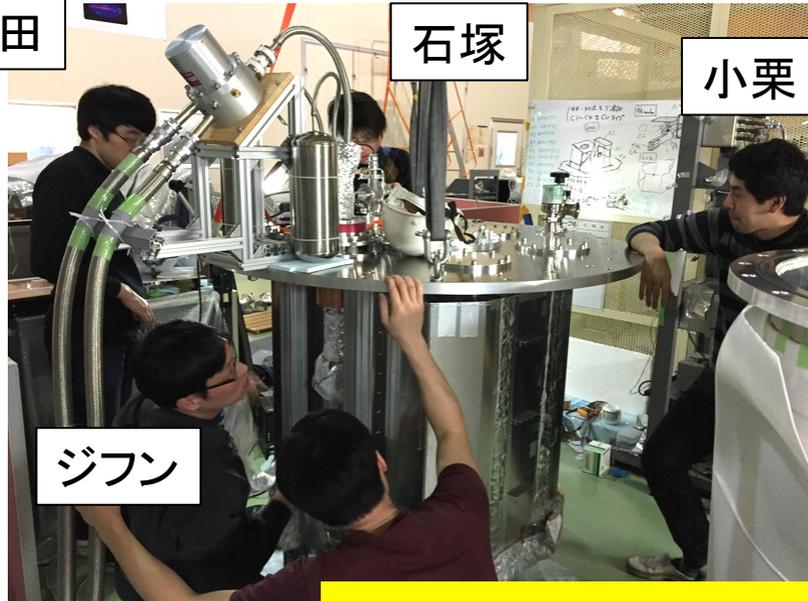
# GBの光導入での試験

富田

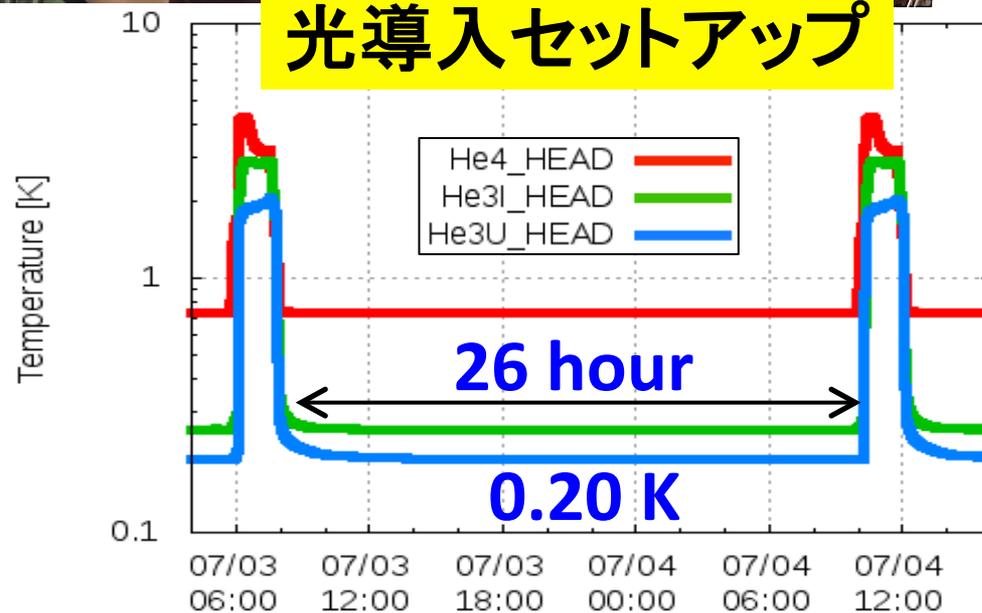
石塚

小栗

ジフン



## 光導入セットアップ



# まとめ

- GBは原始重力波Bモードの「スペクトル」測定をする
  - 原始重力波が宇宙初期からいまにわたって存在していると言う本質の証明をめざす
- 焦点面検出器の開発に注力中
- シミュレーションによるend-to-endデザインの実証
- ハイブリッド・プロセス
  - KIDの大アレイ・多チャンネルリードアウトとミリ波回路の実装の両立
  - プロセスが可能なことは検証した
- 2017年より観測開始