超伝導センサーKIDsを用いた多素子100 GHz帯連続波観測

筑波大学博士前期課程1年　　井上　昴

本多俊介[1], 李豪純[1], 石崎悠治[1], 佐藤優馬[1], 郡山龍介[1],Damian Cherouvrier[2], Juan Macias-Perez[2], 村山洋佑[3], 永井誠[3], 松尾宏[3], 久野成夫[1], 新田冬夢[1], 中井直正[4], 関本祐太郎[5], 成瀬雅人[6]

1. 筑波大学, 2. Univ.Grenoble Alpes, 3. 国立天文台, 4. 関西学院大学, 5. 宇宙研, 6. 埼玉大学

■ Contents

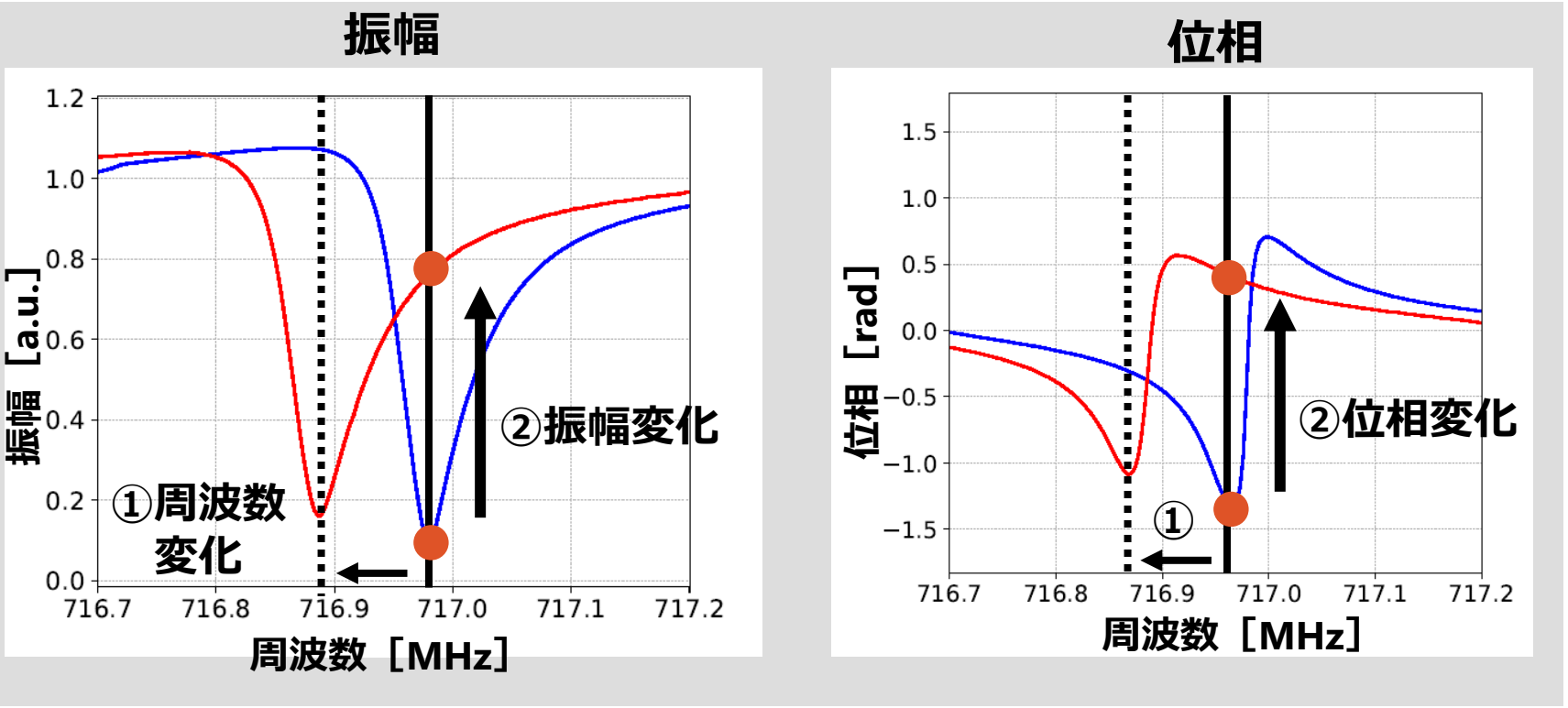
- □ MKID開発状況
- □ LEKIDでの観測に向けた実験室での測定結果

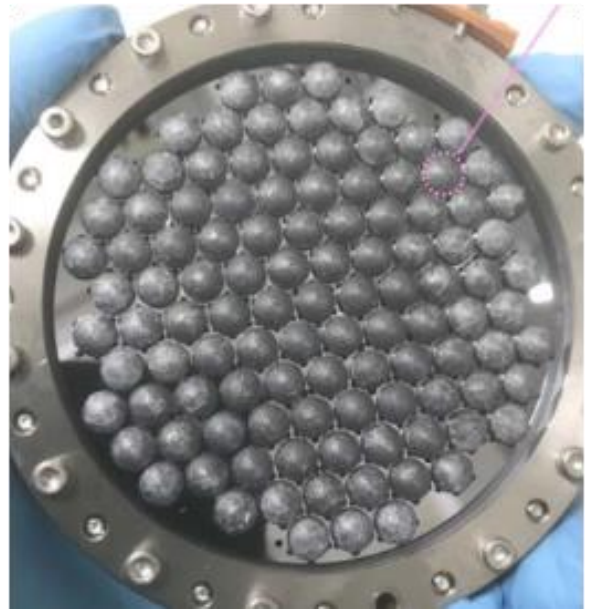
■ MKID｜概要

□ **100 GHz帯連続波**観測を目的とした
109ピクセルMKIDカメラを開発中

Purpose
大質量星形成領域のサーベイ・遠方銀河の探査

原理：光子の入射を超伝導体中の準粒子の生成、それに伴う共振周波数の変化で検出
→信号の振幅・位相変化を読み出す

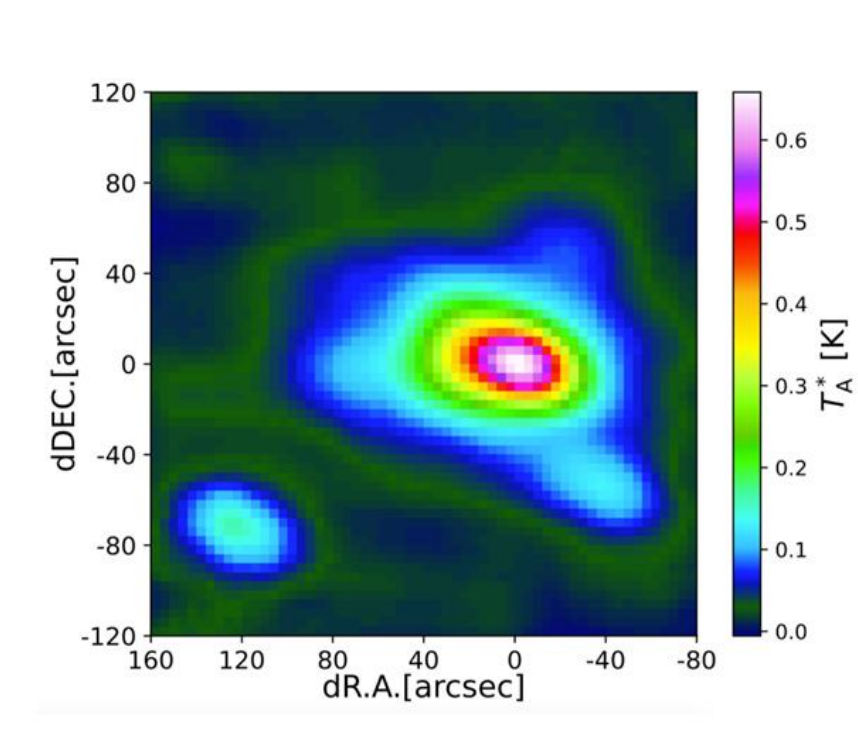




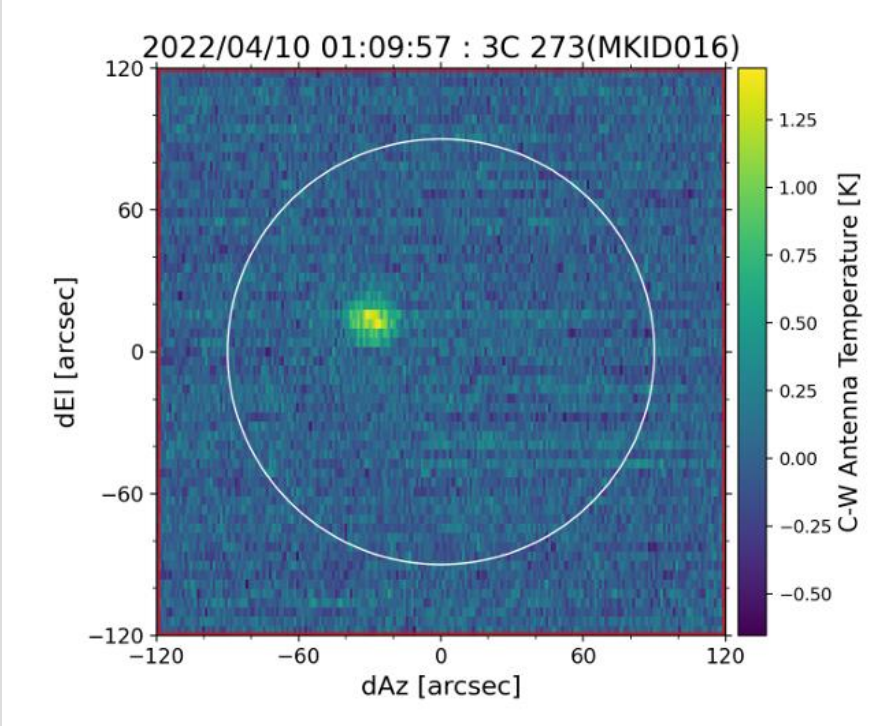
focal plane

■ MKID｜直近の野辺山での観測

2022年観測結果



大質量星形成領域W49A強度マップ



クエーサー3C273のマップ

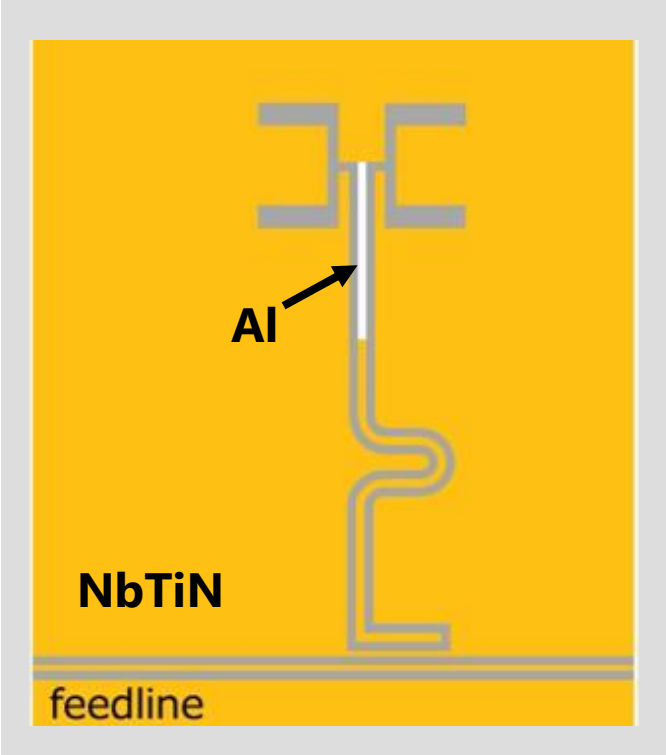
2018年の試験観測より感度が約10倍向上

ただ…

バックグラウンド限界は達成できていない
（MKID・多素子読み出しに改善の余地あり）

■ MKID｜次の観測に向けて

取り組み①：Al-NbTiNハイブリッド型 MKIDの開発



中心線：Al
グランド面：NbTiN

↓

中心線：Al＋NbTiN
グランド面：NbTiN

光子をとらえる部分のみをAlに

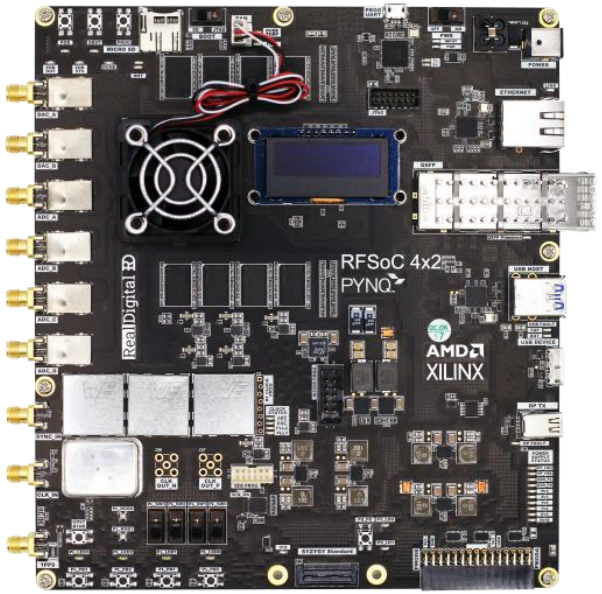
ノイズを低減！

D1李が設計を行っている

取り組み②：新しい読み出し回路の開発

これまでの読み出し回路
⇒ ノイズ＋不調

RFsoc4×2 FPGAboradを使って新しい読み出し回路を作成



M1井上

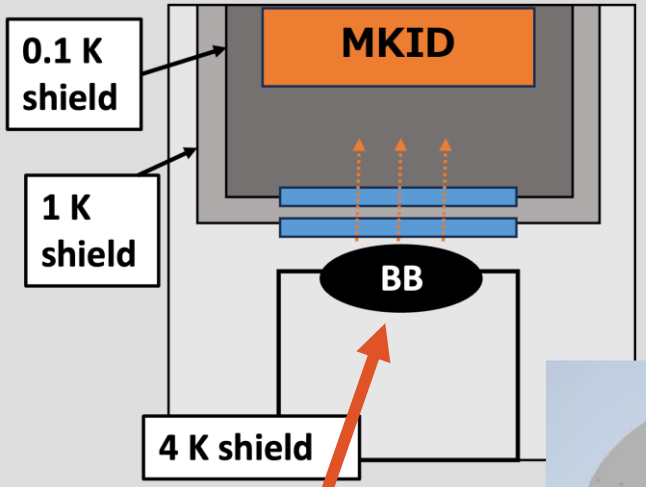
これらが完了し次第、次回観測へ　2025年度春を目指す

■ MKID｜新しい取り組み

①Light tight boxの設計

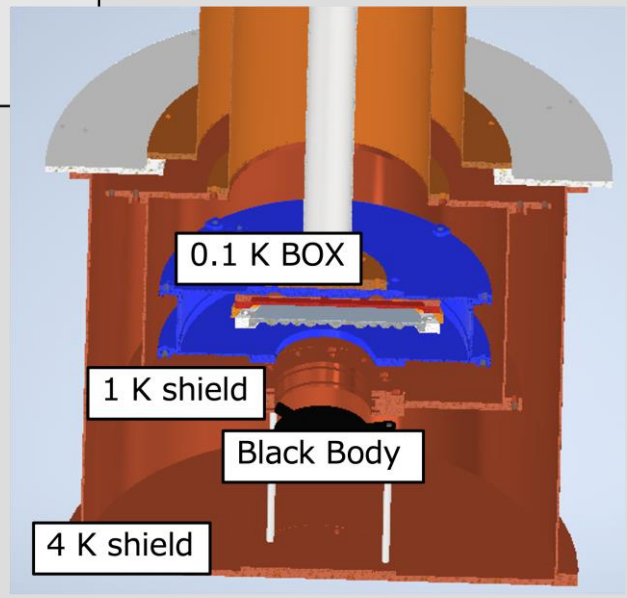
MKIDの光学応答性を詳細に評価

M2石崎



黒体の温度を調節

4－10 K



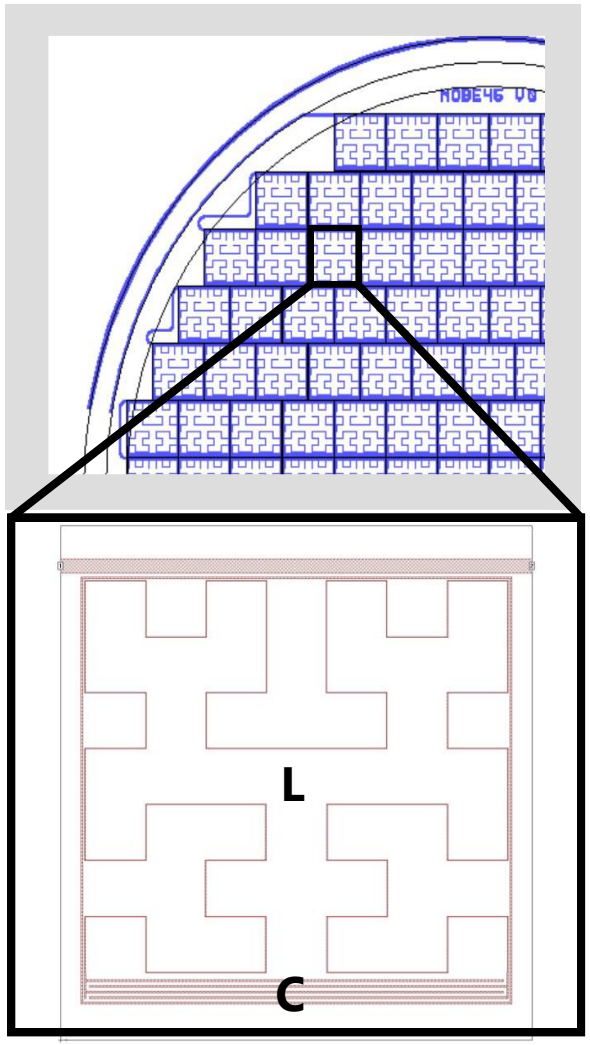
②理研クリーンルームでのMKID作成

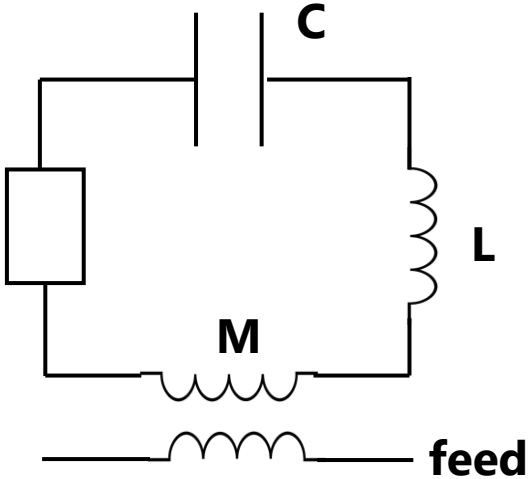
M1佐藤、 B4郡山

■ Contents

■ LEKID｜概要

LEKID : **L**umped **E**lement **K**inetic **I**nductance **D**etector 集中定数型共振器





MKIDとの相違点
- **素子自体が吸収体**（アンテナ・レンズなし）

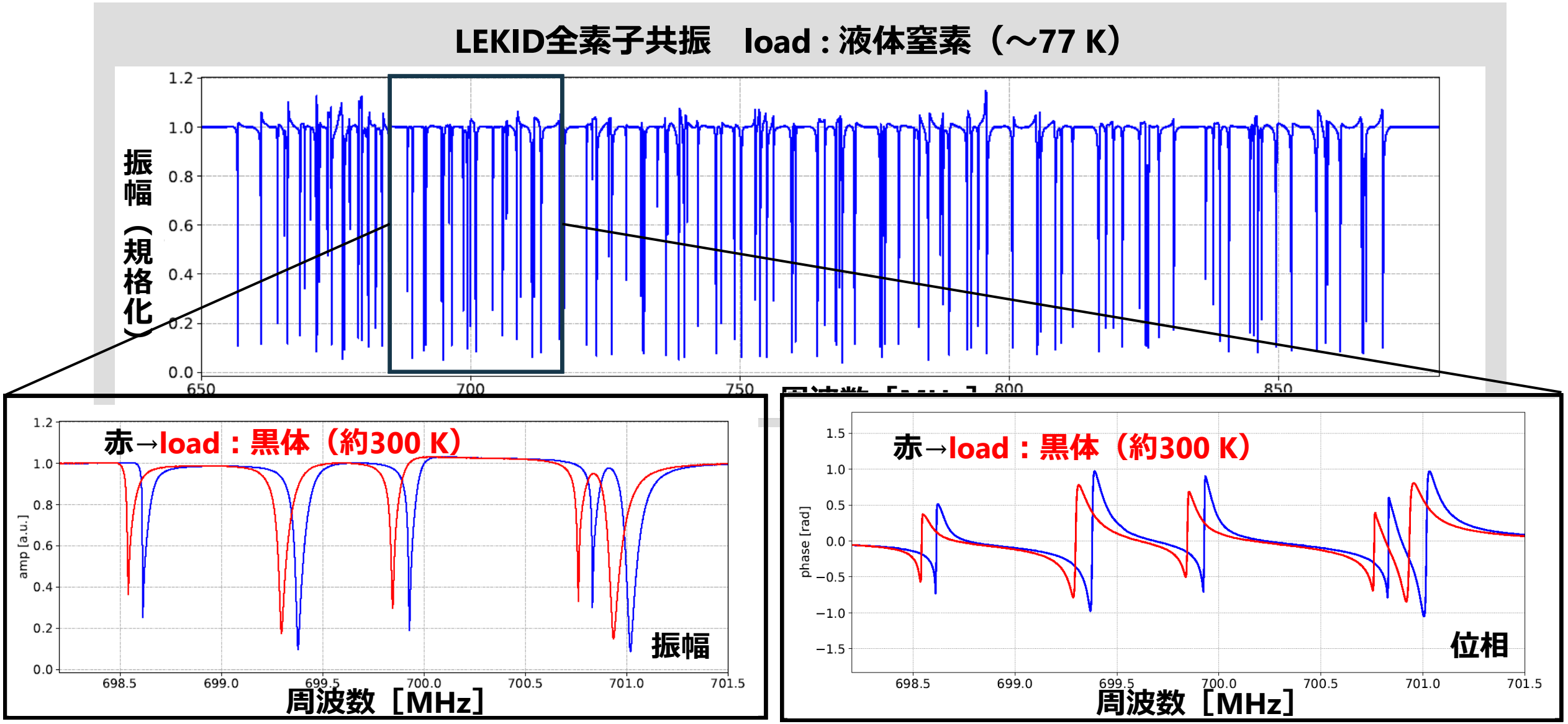
→ **多素子化でのメリット**

100 GHz帯用LEKID

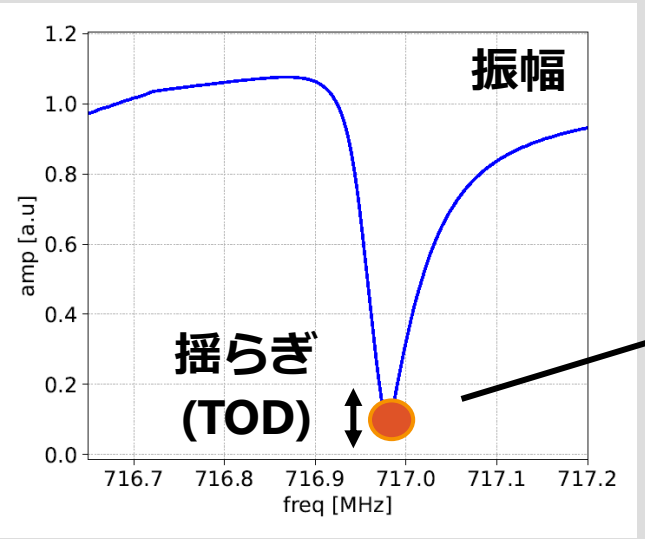
- **ピクセル数：144素子**
- **4.86×4.86 mm^2**
- **両偏波観測**
- **Hilbert meander**
- **超伝導膜：Al-Ti bi-layer**

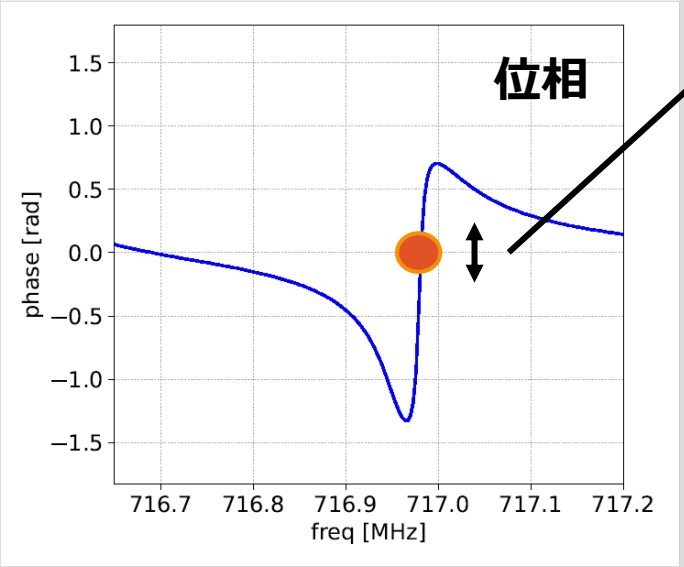
Grenoble Alpes大学とのコラボレーション
10月に野辺山での観測を予定
（3C454.3,3C84,M82を観測、その性能評価を行う予定）

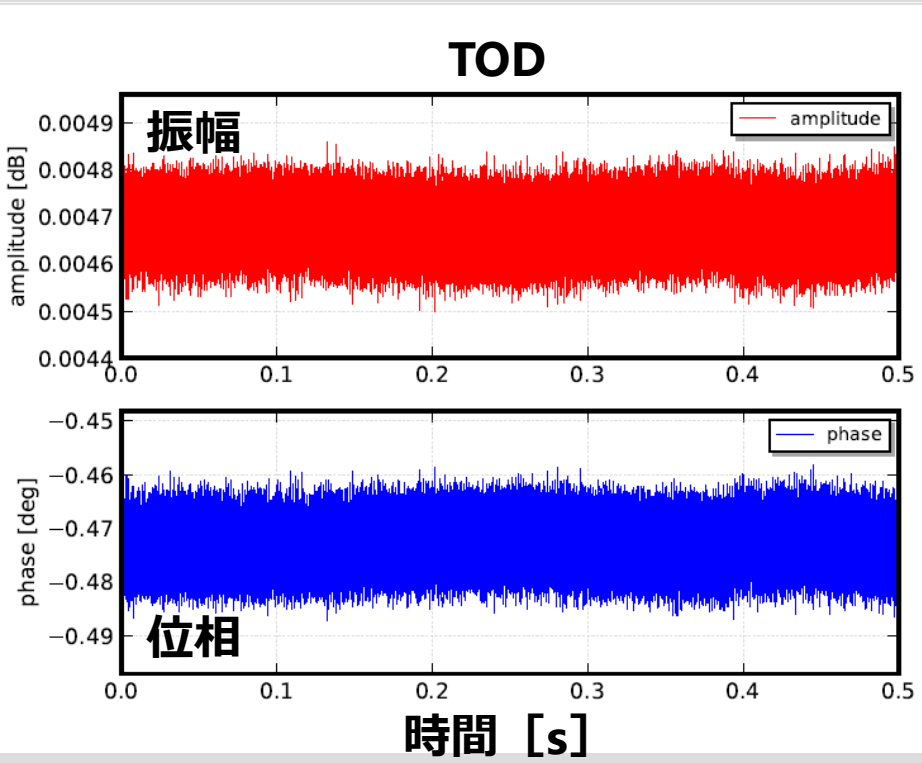
■ LEKID｜全素子の光学応答



■ LEKID｜時系列データ（TOD）の取得



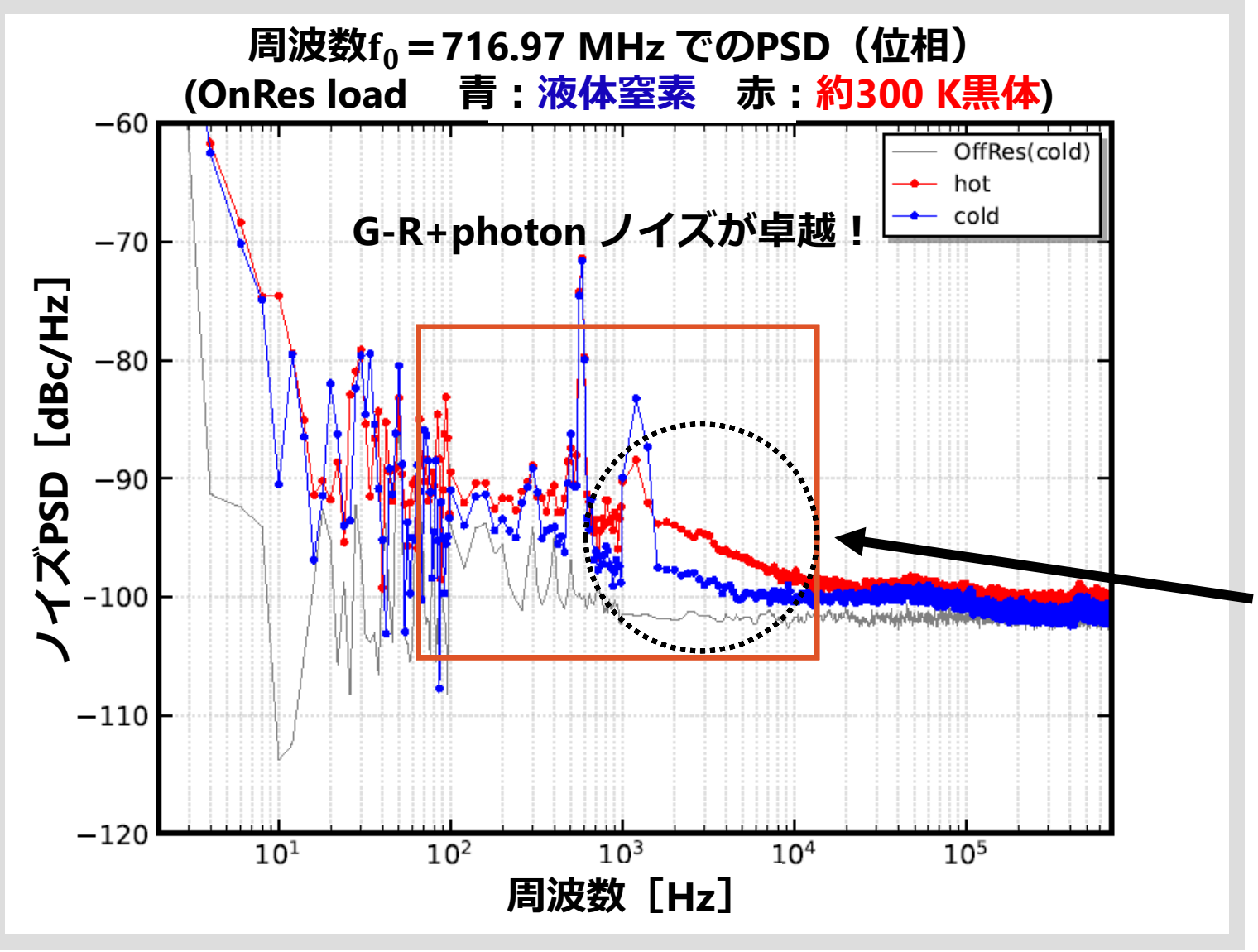




フーリエ変換
PSDとしてノイズを評価

TODは2点でとる
- **OnRes**：共振部分→**素子由来のノイズ**
- **OffRes**：共振部分から1 MHz離れた点→**測定系由来のノイズ**

■ LEKID｜ノイズの評価



□ 光子由来のノイズを確認！

G-R＋photonノイズが卓越している
（準粒子数の揺らぎ起因するノイズ）

↓

入射光子でのみ雑音が決まる
（バックグラウンド限界）

理想的な状態！

入射光子のパワーの増加による
- **ノイズレベルの増加**
- **準粒子寿命の短縮**

(ロールオフのカットオフ周波数の増加)
も確認

これらをもとに、今後は全素子についてNEPを評価する

■ まとめ

□ MKID開発

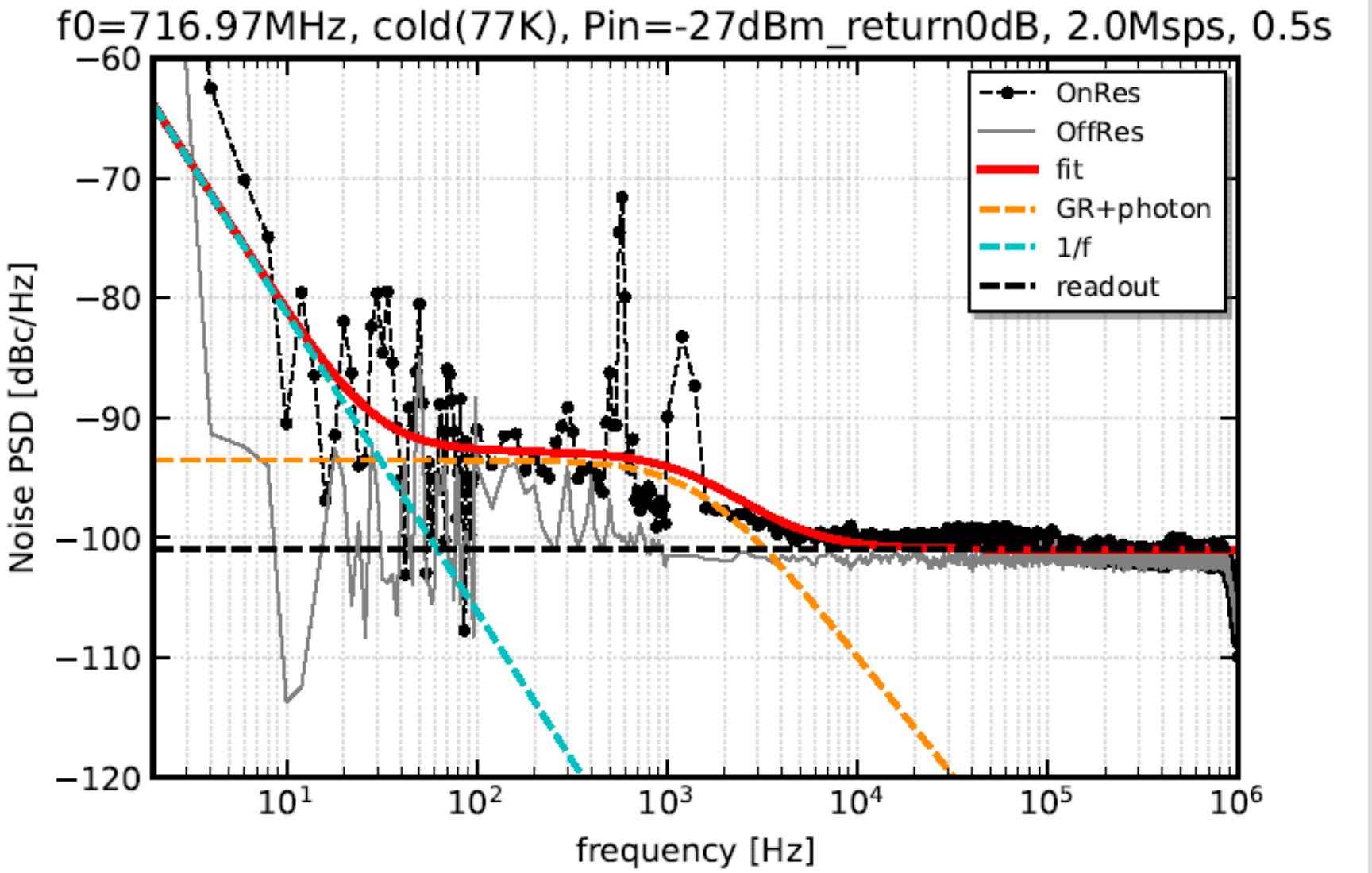
- 2022年の試験観測を踏まえて、設計・読み出し回路をアップデート中
- 光学応答性評価系の設計や理研での作製にも取り組んでいる

□ LEKIDでの観測に向けて

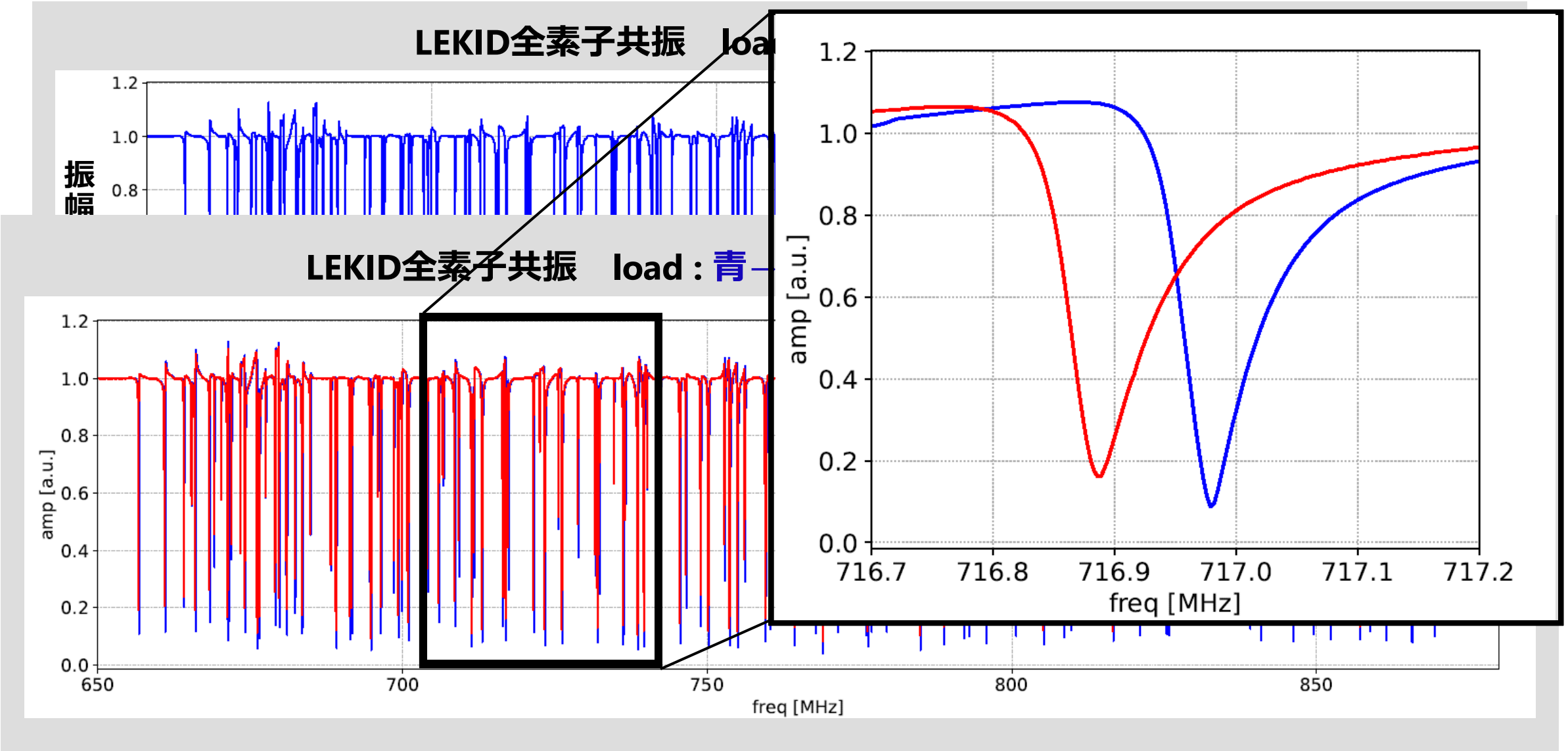
- Grenoble Alpes大学との共同研究の1つとして、10月に野辺山で観測を予定
- 実験室での測定では、入射光子に由来した光子雑音がシステム雑音・検出器雑音を超過していることを確認した
- 今後は全素子についてNEPを評価し、Grenoble Alpes大学での測定結果と比較、観測に向けた準備を行う

backup

■ LEKID | PSD fitting

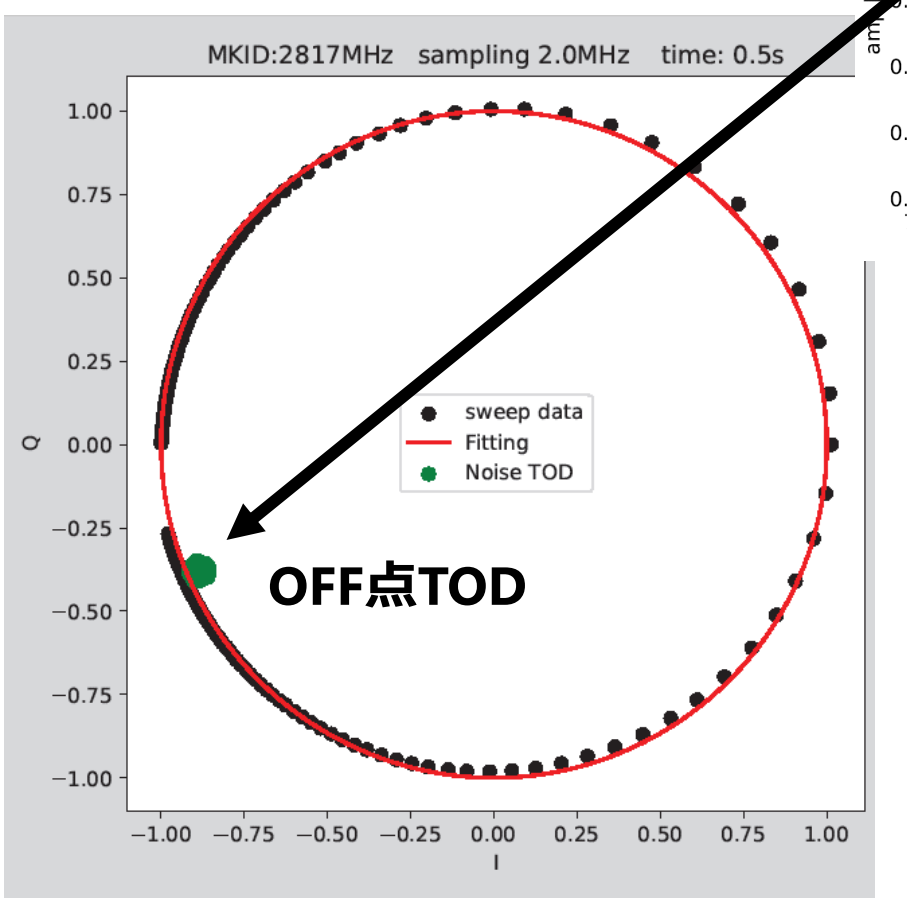


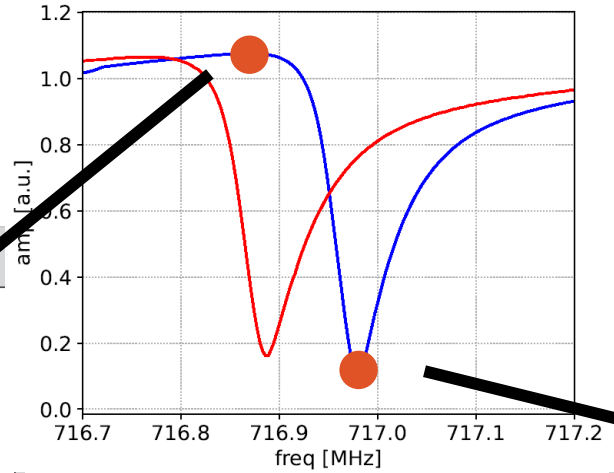
■ LEKID｜全素子の共振



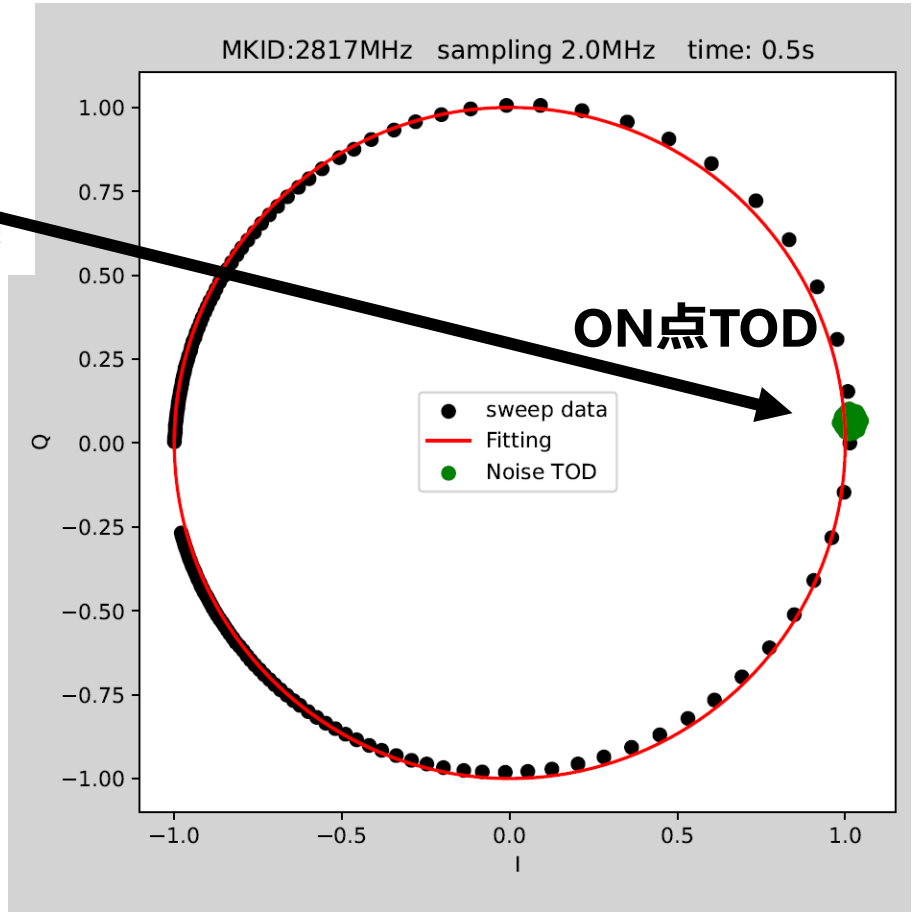
■ LEKID｜共振

共振円：共振の振幅・位相の変化を円として表示





共振がある部分（ON点）
・
共振がない部分（OFF点）
それぞれでTOD（揺らぎ）を取得
フーリエ変換し
ノイズを評価



■ LEKID | NEP

Table 2. Main results of the paper: optical power, noise, and derived NEP for a given optical load corresponding to the typical space environment.

Wavelength frequency	3 mm 100 GHz	2 mm 150 GHz	1.25 mm 240 GHz	850 μm 360 GHz	550 μm 550 GHz
Optical load [pW/pixel]	0.09	0.11	0.14	0.18	1.2
T_{BB} [K]	5	5	8	7	11
Averaged optical resp [kHz/fW]	2.3	0.78	1.1	0.84	0.19
Averaged noise (1–10 Hz) [Hz/ $\sqrt{\text{Hz}}$]	6	3	6.5	5.5	4
NEP [aW/ $\sqrt{\text{Hz}}$]	2.6 ± 0.4	4.0 ± 0.4	5.5 ± 0.5	5.2 ± 1.1	23 ± 3.5
NEP_{Phot} [aW/ $\sqrt{\text{Hz}}$]	2.45	3.4	4.8	5.0	21

Notes. The averaged optical response and noise is derived over the best 30% of the pixels for the arrays at 3 mm, 2 mm, and 1.25 mm. In the case of 850 μm and 550 μm arrays, the best 10% of the pixels are considered. The NEP_{Phot} is calculated from the photon noise at the given optical load.

Grenoble大学の測定系でのNEP

A.Catalano et.al. 2020

今後は全素子のPSDからNEPを算出、
我々の測定系で同様のNEPが得られるかどうかを評価