

# 低コスト・高効率なテラヘルツ波吸収体と 低コスト・高共振Q値な超伝導センサー

国立研究開発法人理化学研究所  
光量子工学研究センター  
テラヘルツイメージング研究チーム  
チームディレクター 大谷 知行  
otani@riken.jp

2025年6月3日

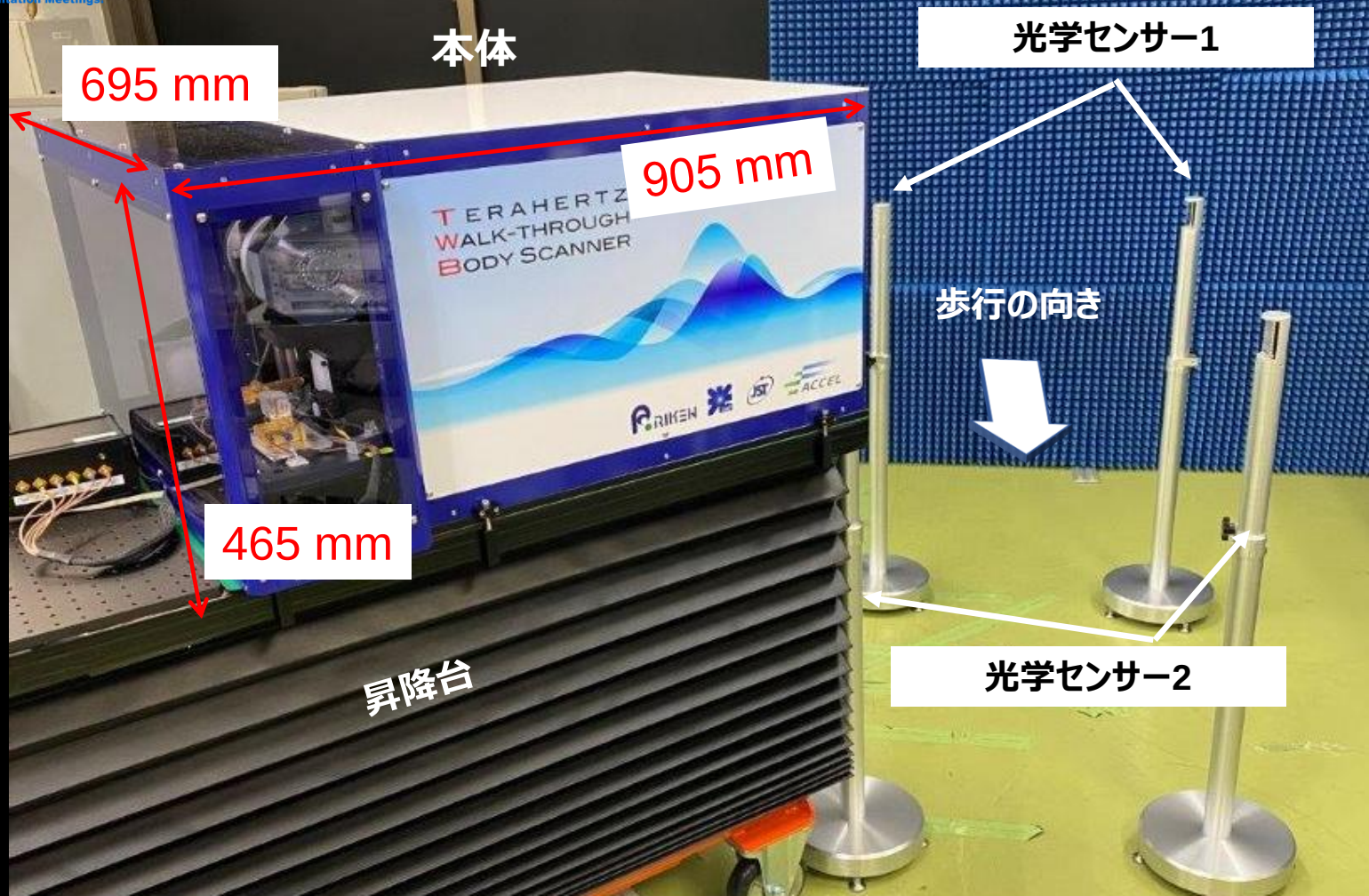
# 本日の内容

## 1. 反射率が低く位相を乱雑化するテラヘルツ吸収体

●パナック(株)との共願

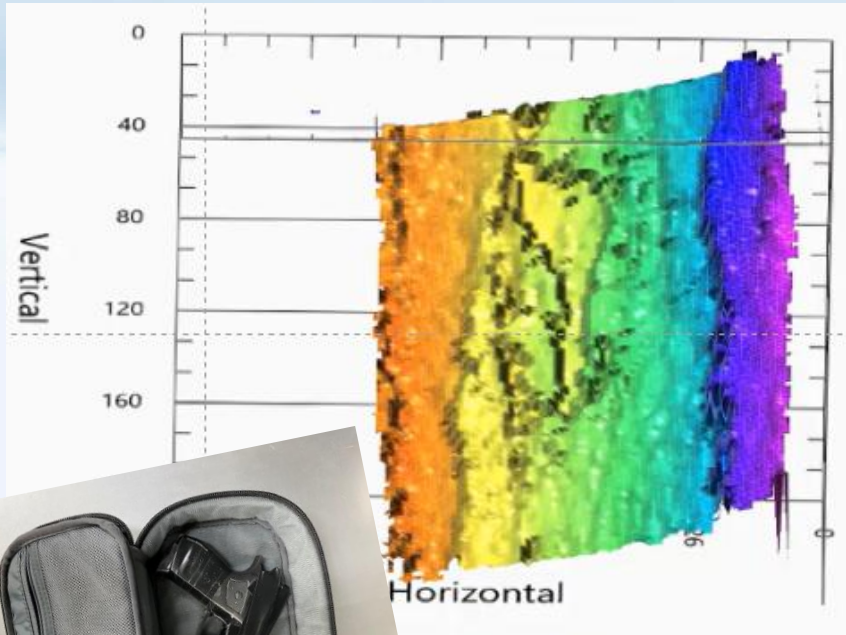
## 2. 高い共振Q値を有する超伝導マイクロ波共振器

## 3. テラヘルツ照射によるタンパク質の構造と機能の制御 (過去の説明会で紹介済、本日は紹介なし)

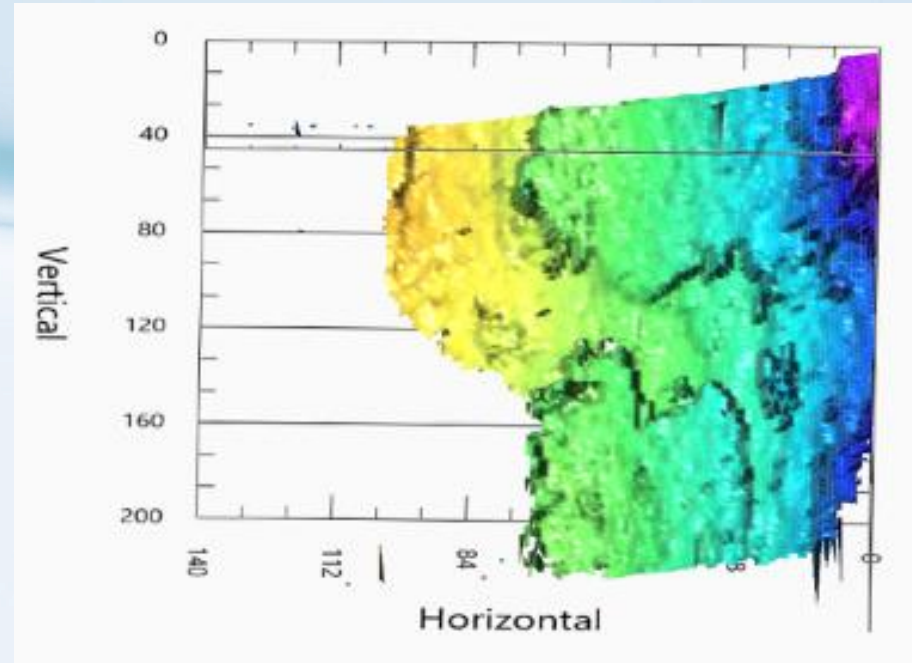


# 危険物の有無による画像の差異

バッグに入った危険物



ポケット内の手と危険物



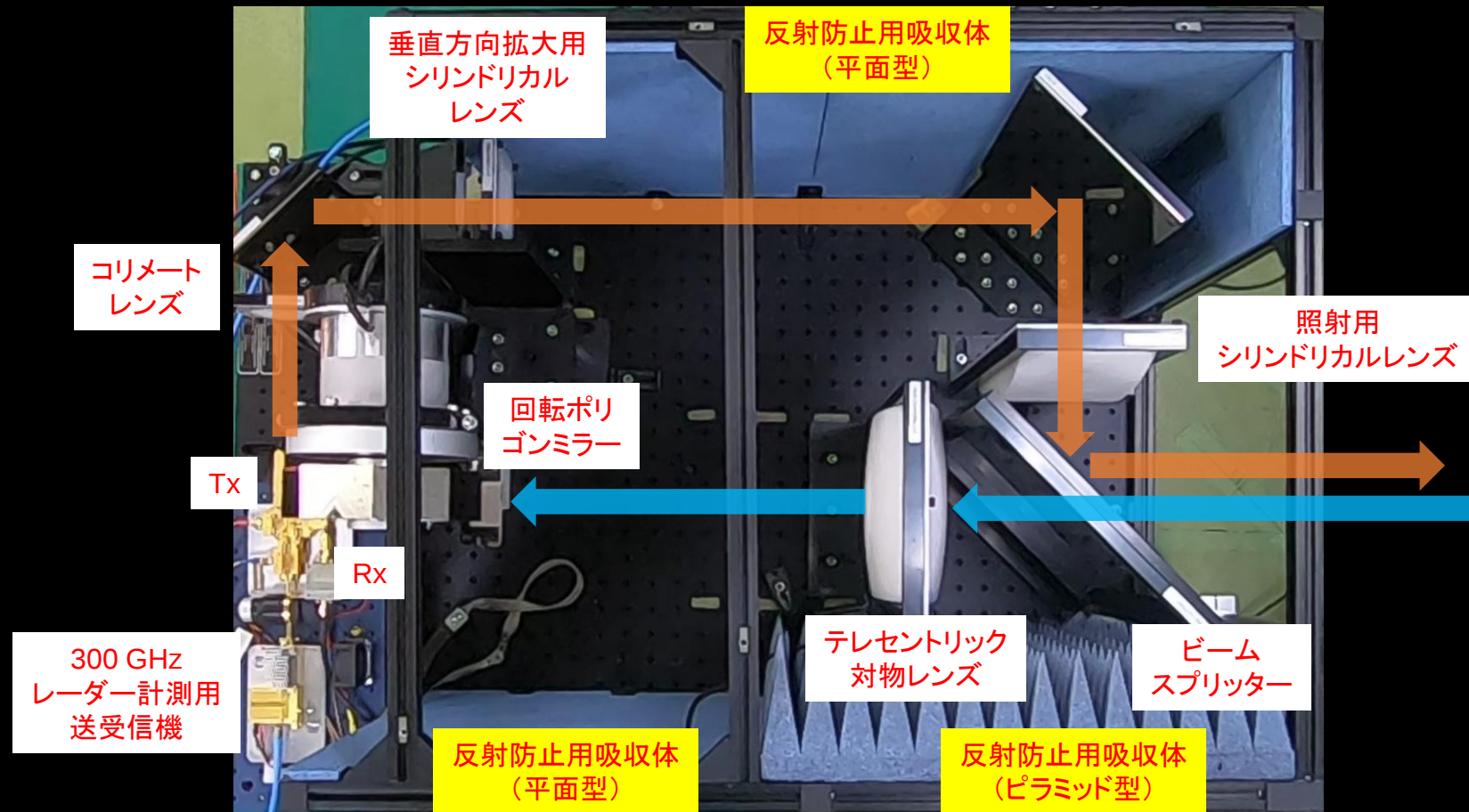
テラヘルツ吸収体

テラヘルツ吸収体

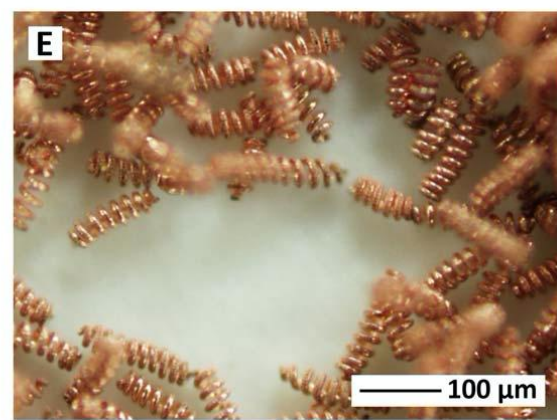
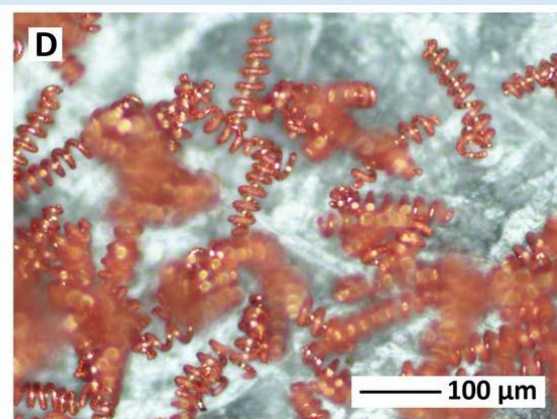
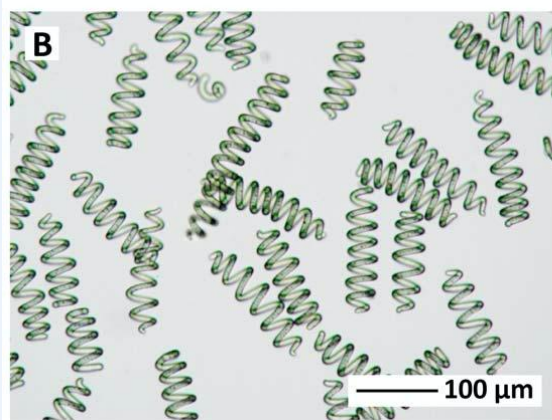
ボディースキャナー本体



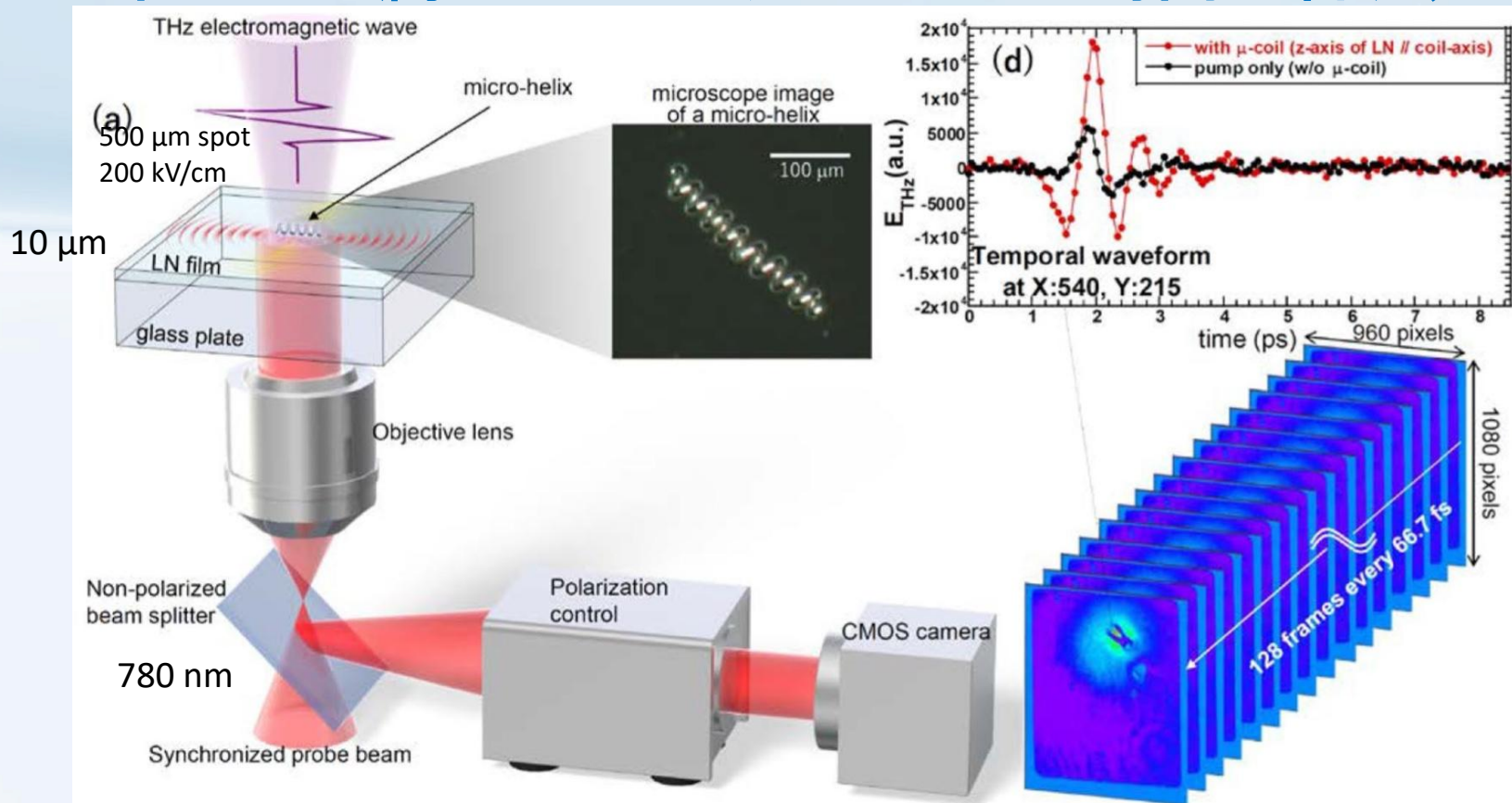
# ボディースキャナー光学系



# ヘリカル構造を持つ藻類(スピルリナ)への金属めっき

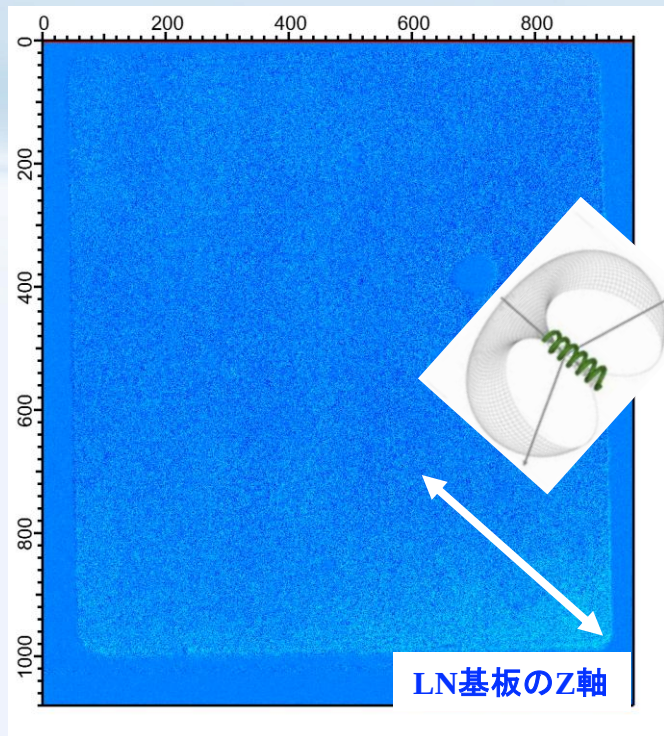


# テラヘルツ近接場顕微鏡を用いた 単一の金属めっきマイクロコイルの時間応答測定

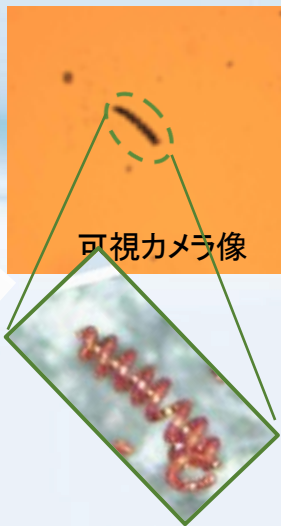


# 単一の金属めっきマイクロコイルの テラヘルツ波に対する応答

## ダイポール放射

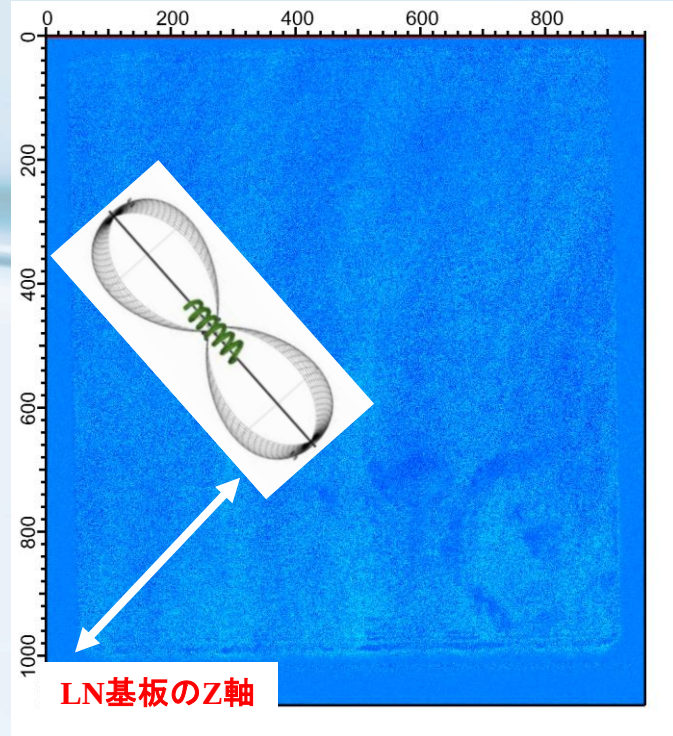


マイクロコイルの長軸に平行な  
偏光を持つTHzパルスの入射

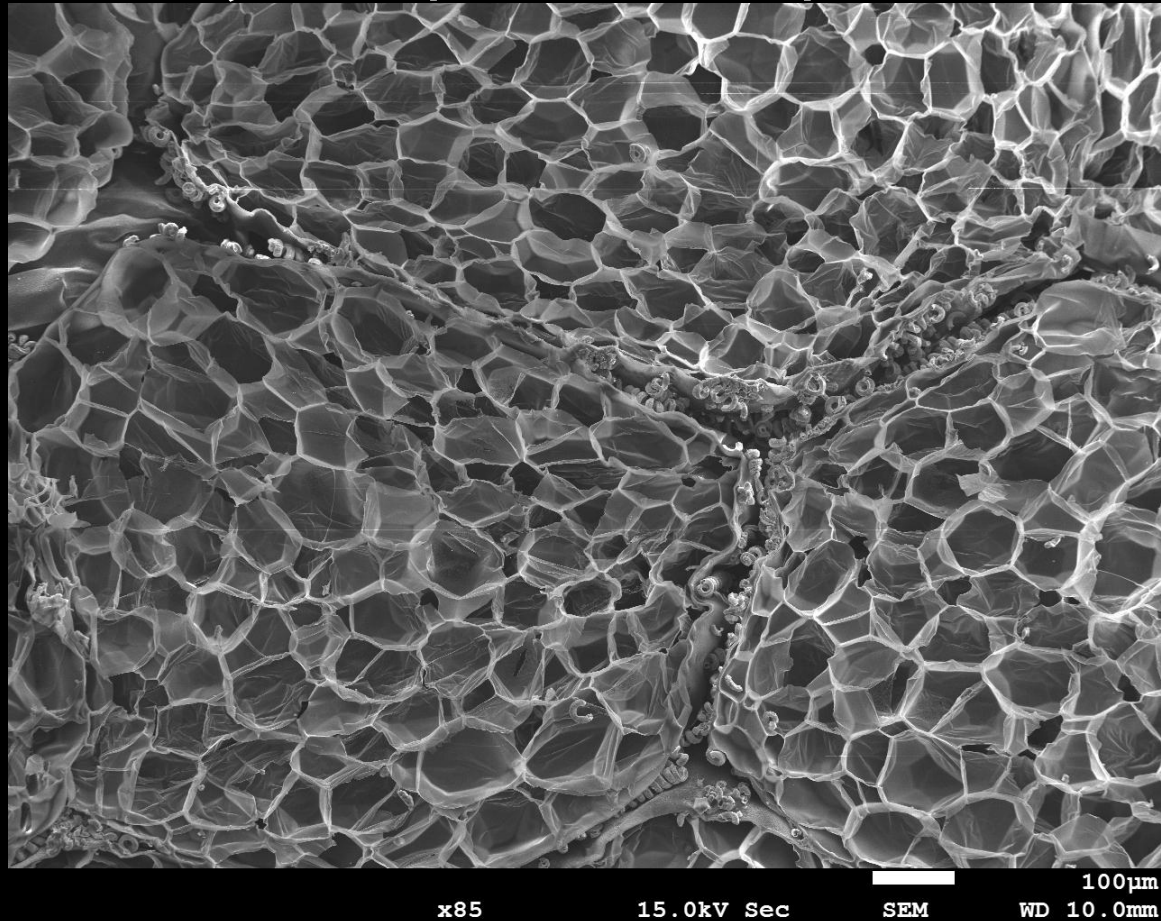


長さ: 143  $\mu\text{m}$   
直径: 24  $\mu\text{m}$   
ピッチ: 7  $\mu\text{m}$   
ピッチ角: 17°

## 軸放射

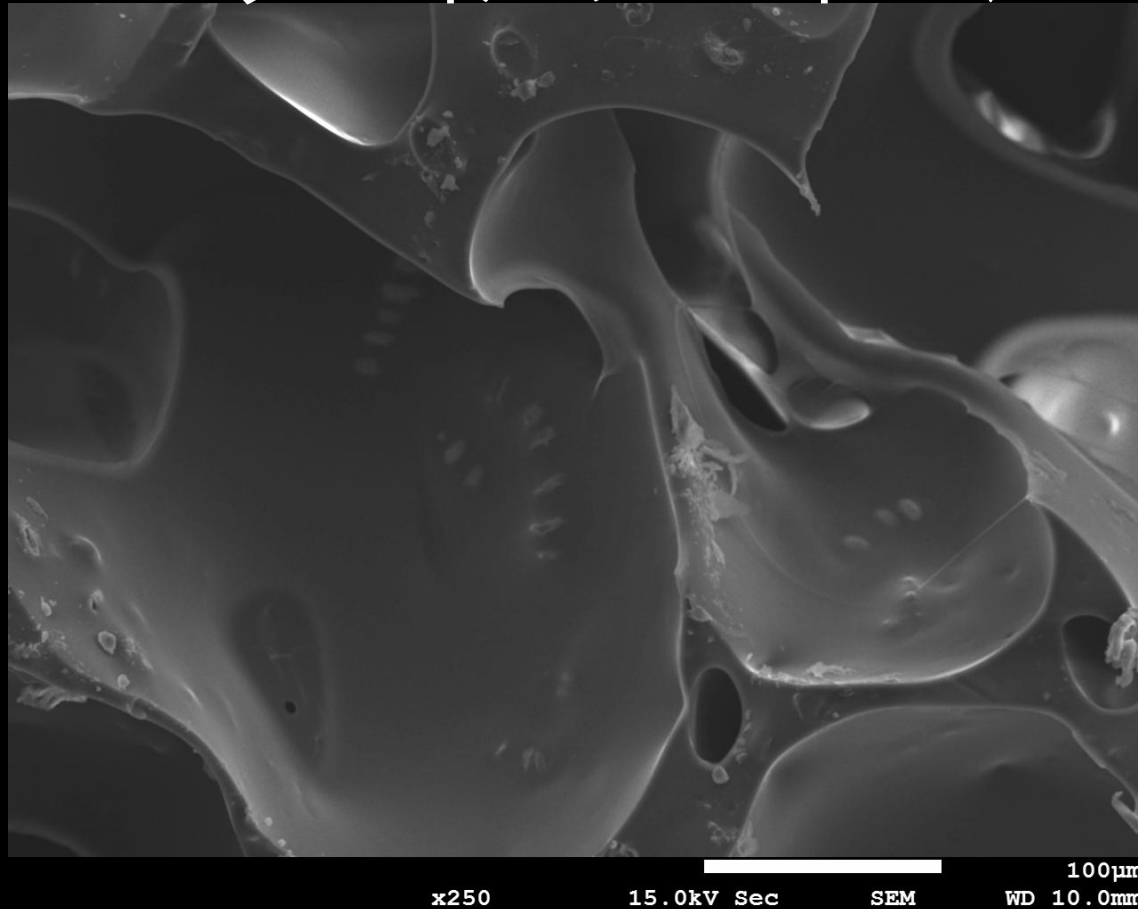


# ポリスチレンフォーム内の マクロコイルのSEMイメージ



N. Kurahashi  
KTPC

# ポリウレタンフォーム内の マクロコイルのSEMイメージ



N. Kurahashi  
KTPC

# 直反射成分の評価方法

ウレタンフォームに埋め込まれた  
銅めっきマイクロコイルの吸収体  
(直径25mm, 厚み5 mm)

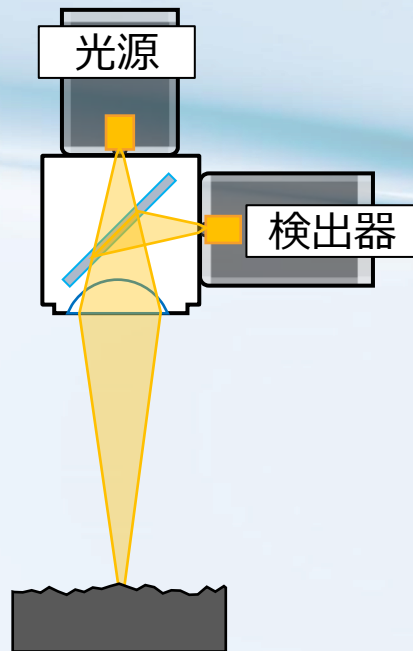
m21: 0.6 w/v %

m22: 2.6 w/v %

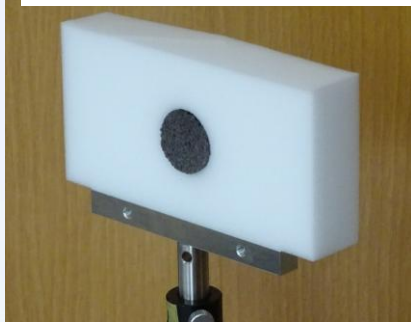
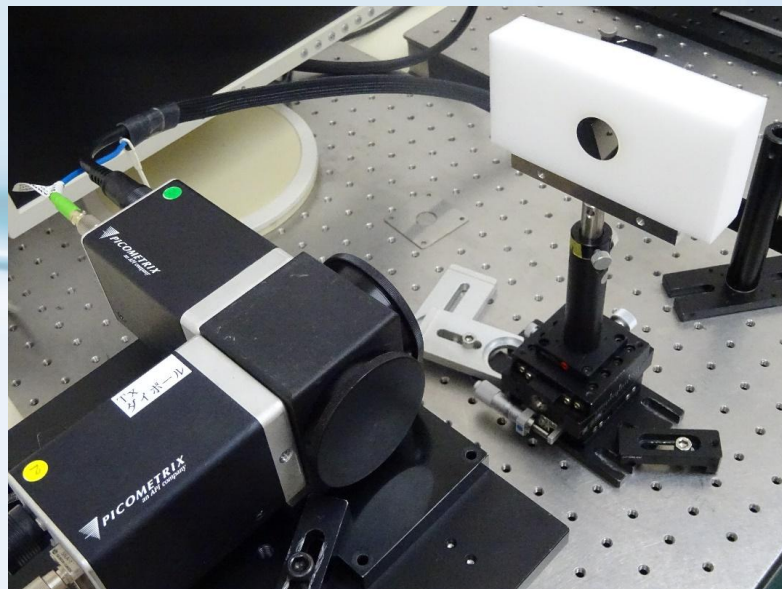


サンプルはメラミンスポンジで  
位置を固定

光学セットアップ

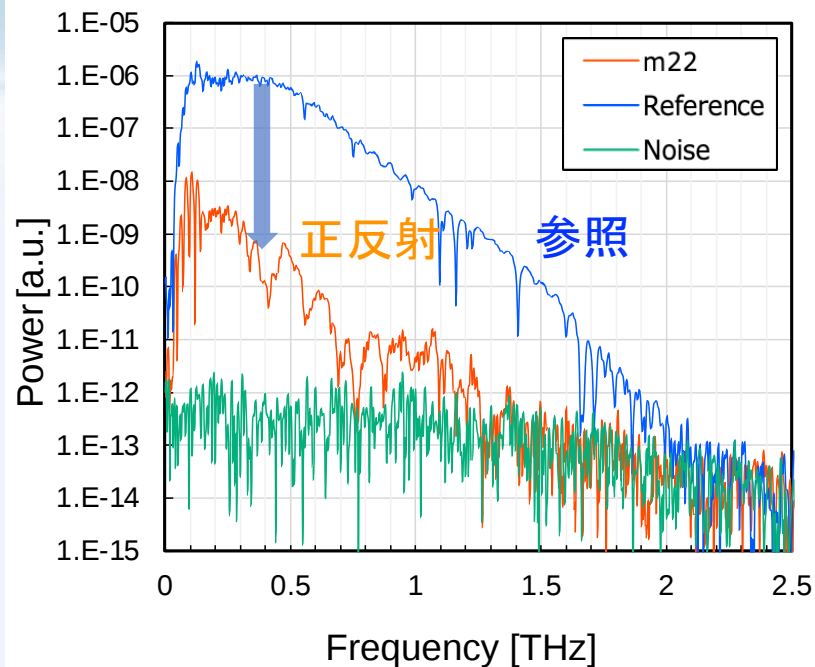


実験風景の写真

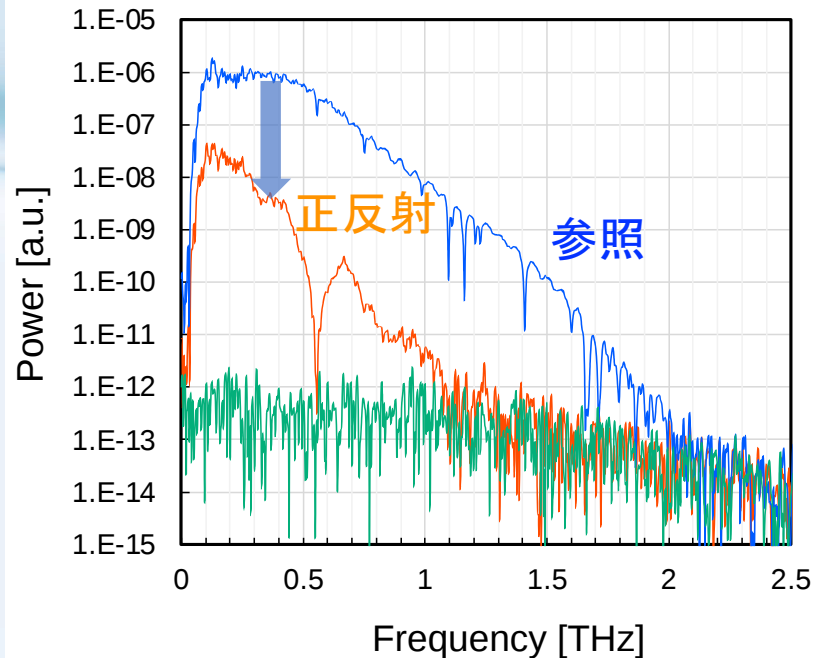


# 正反射成分の比較評価の結果

マイクロコイル吸収体(m22)

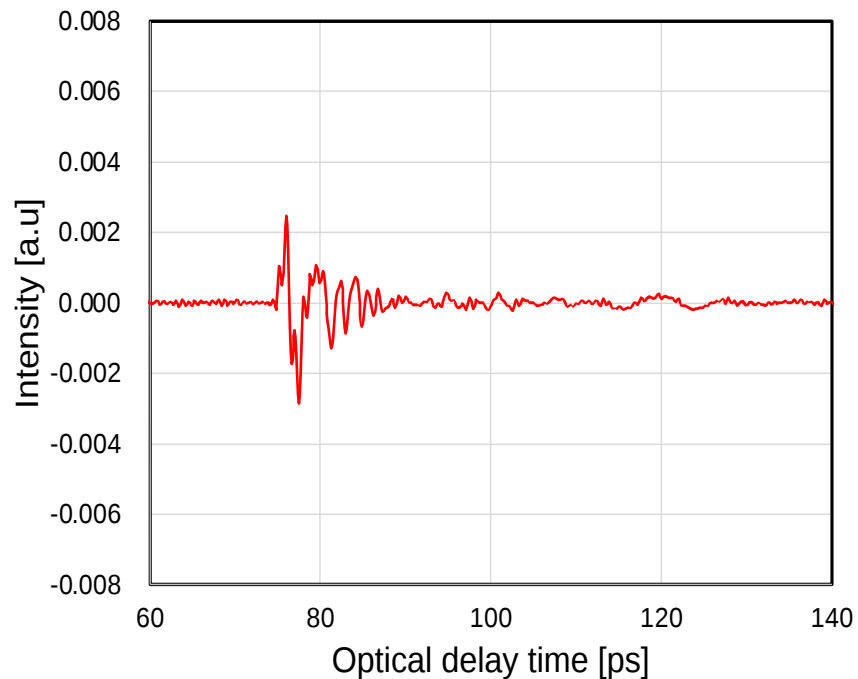


従来の吸収体(Eccosorb, AN-72)

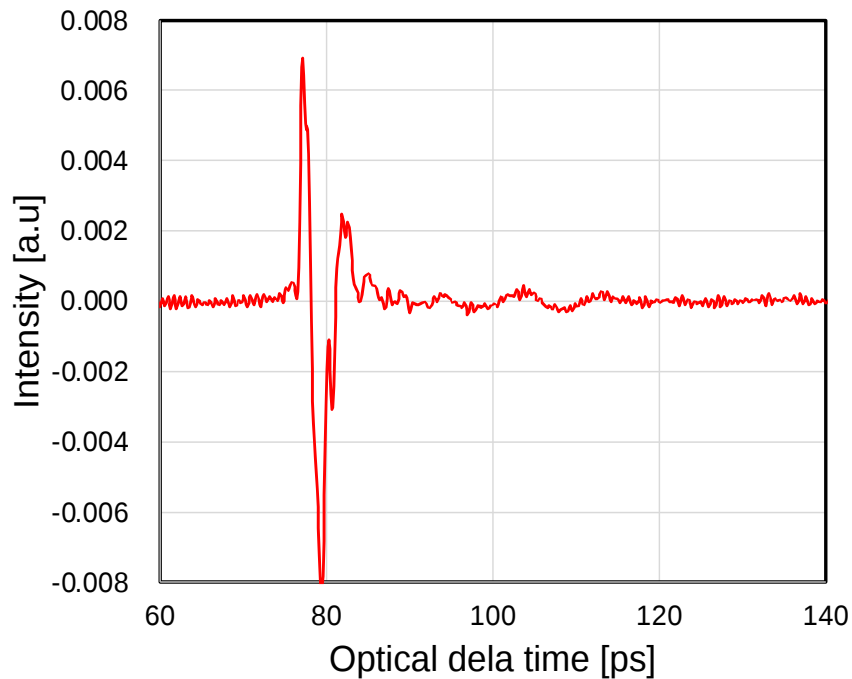


# デコンボリューションで得られた応答関数

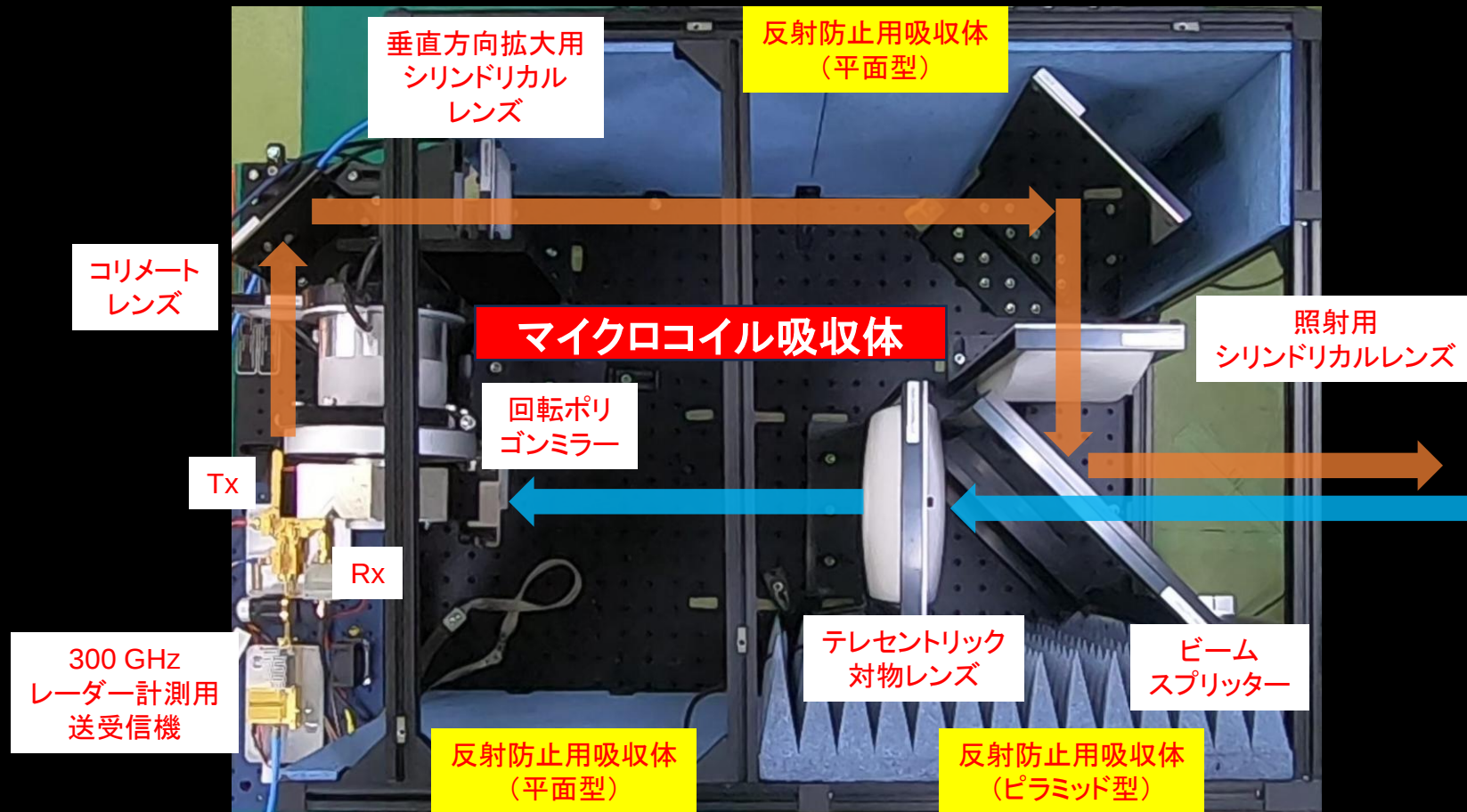
マイクロコイル吸収体(m22)



従来の吸収体(Eccosorb, AN-72)

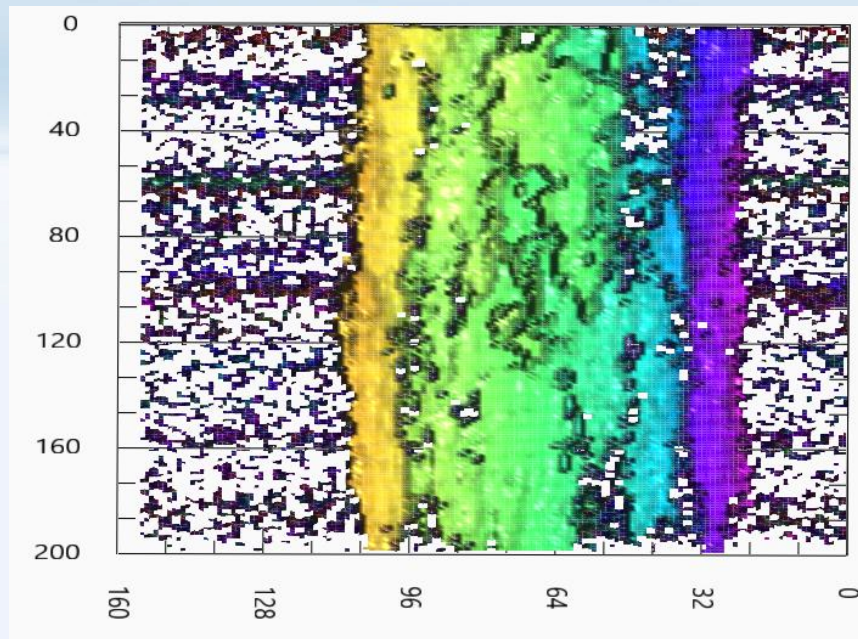


# ボディースキャナー光学系

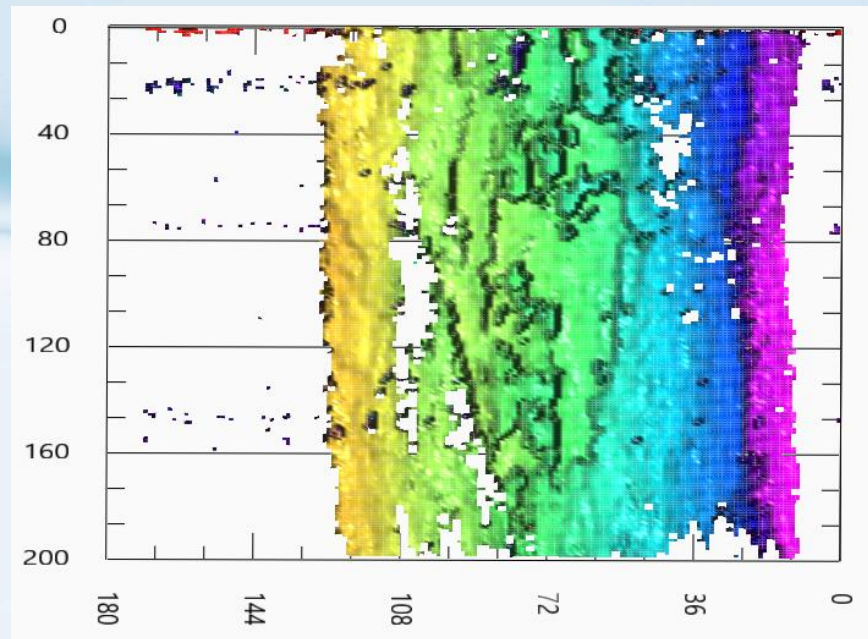


# ボディースキャナーに搭載した実験

マイクロコイル吸収体なし



マイクロコイル吸収体あり



ノイズの低減により  
背景雑音が低下



しきい値を低く設定可能

## 想定される用途

- 本技術をテラヘルツ通信やテラヘルツセンシングシステムの吸収体に適用することで、テラヘルツ波の干渉を低減でき、通信環境の改善やセンシングの感度向上を図れる
- 特に、達成された位相乱雑化機能に着目すると、単なる雑音低減だけでなく、信号の混信が大きく低減できる
- また、母材の形状を自由に調整できるため、システム内に最適な形状で組み込むことが可能

## 企業への期待

- 本特許に関連する未解決の技術課題は特にない。
- 6G情報通信技術やテラヘルツセンシング技術・システムの開発を目指す企業には、本技術の導入が有効と思われる。
- 本特許は（株）パナックとの共同出願であり、同社とも連携して、建設的な利用に協力・展開されることを期待する。

# 本日の内容

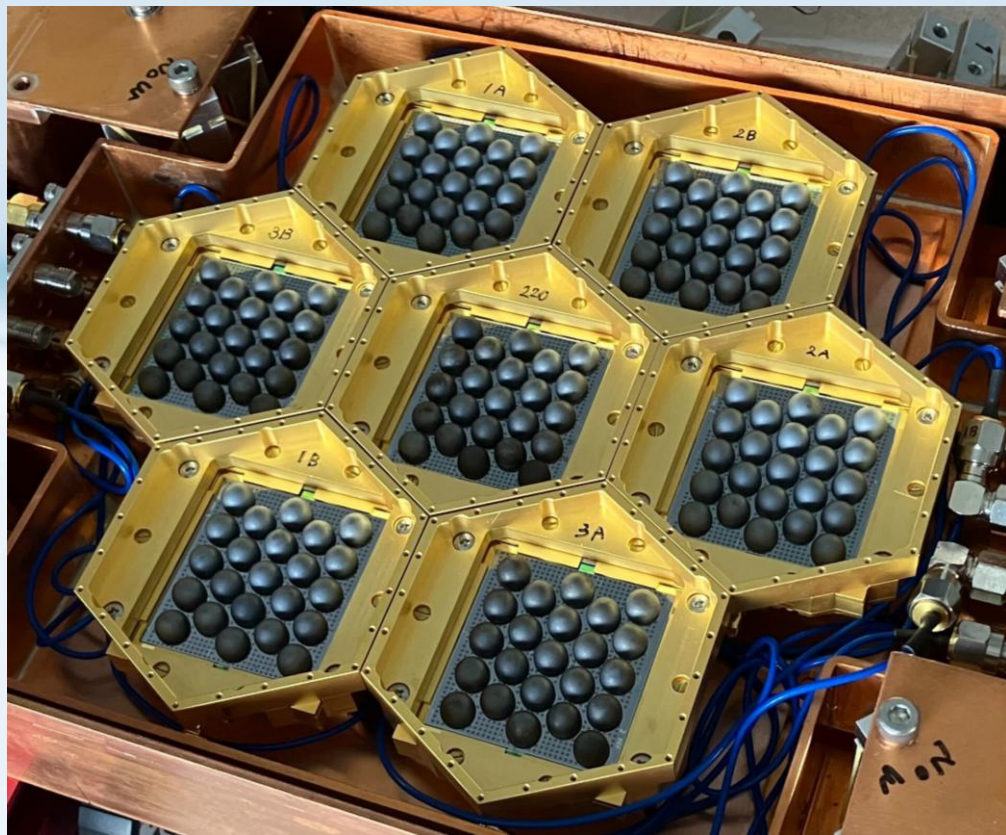
## 1. 反射率が低く位相を乱雑化するテラヘルツ吸収体

- パナック(株)との共願

## 2. 高い共振Q値を有する超伝導マイクロ波共振器

## 3. テラヘルツ照射によるタンパク質の構造と機能の制御 (過去の説明会で紹介済、本日は紹介なし)

# 超伝導検出器を用いたミリ波観測実験



T~0.3 K、感度 (NEP) ~ $10^{-16}$  W/ $\sqrt{\text{Hz}}$

京都大学, 東北大学, つくば大, JAXA, 埼玉大, 韓国・高麗大, スペイン・IAC, オランダ・SRONとの共同研究

# 超伝導マイクロ波力学インダクタンス検出器(MKIDs)

ミリ波アンテナ  
(~110 GHz)

$f_0$

$f_2$

$f_1$

1/4波長マイクロ波共振器(~5 GHz)

マイクロ波信号読み出しフィードライン(~5 GHz)

共振Q値が大きいほど高感度

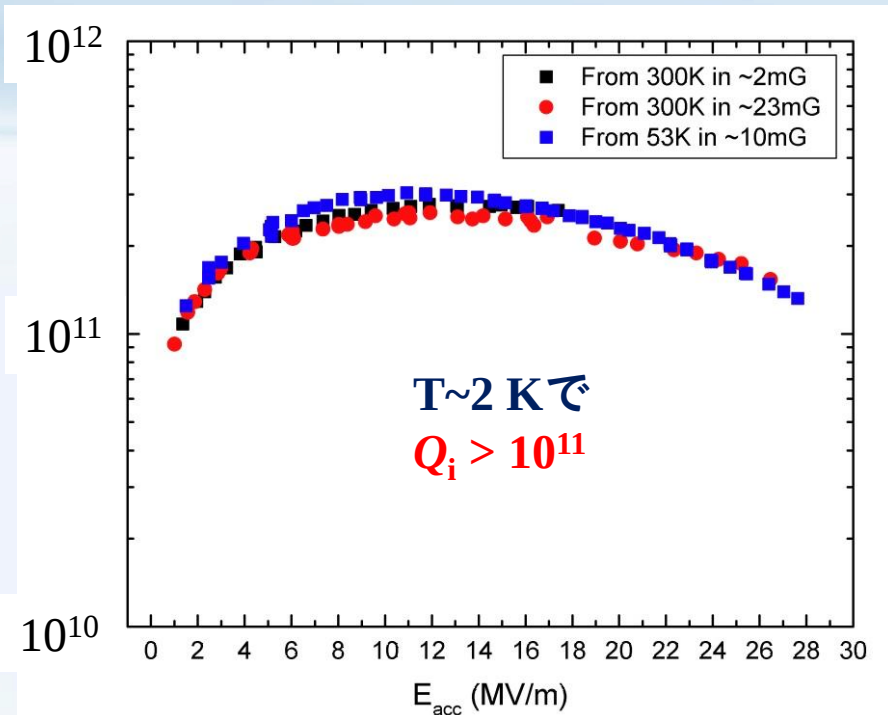
通常は  
 $Q_i \sim 10^{5-6}$  at 0.1 K

これを  
 $Q_i > 10^8$ にしたい

# ヒント：粒子加速器用の超伝導共振空洞

バルクニオブによる空洞 ( $T \sim 2$  K)

cf. Nbの $T_c$ は9.2 K



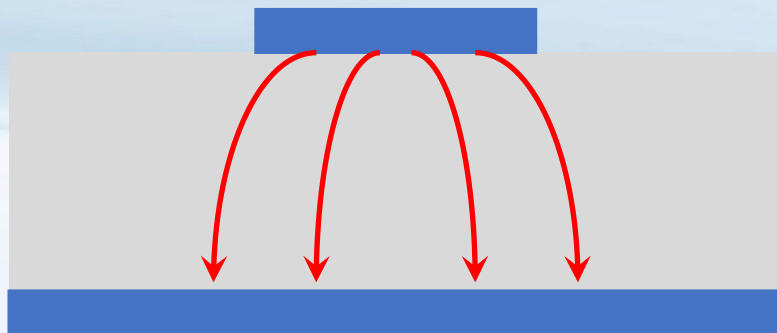
A. Romanenko *et al.* APL 105, 234103 (2014)



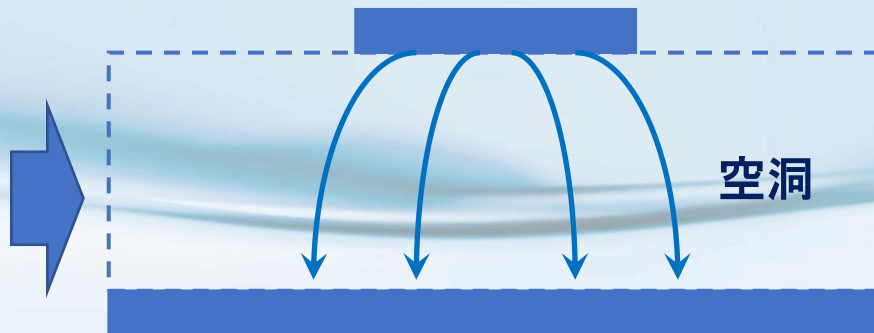
~20 cm

# 解決策：オンチップで空洞を作る

通常のマイクロストリップライン



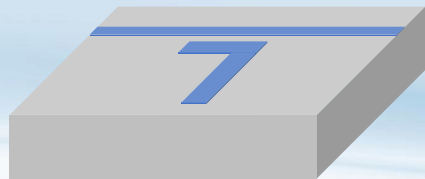
空洞型マイクロストリップライン



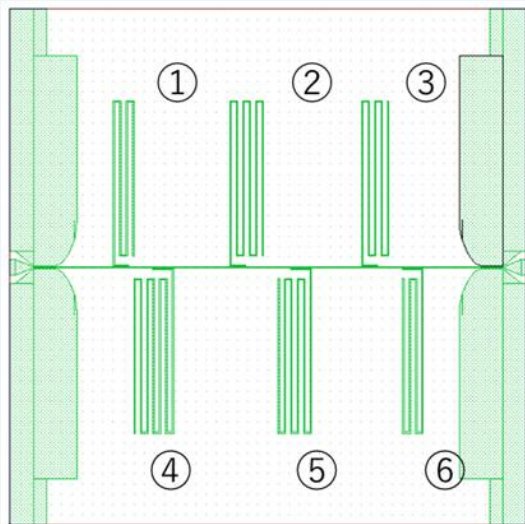
- アイデアはシンプルだが、**効果は抜群**
- フッ酸による表面処理も不要

# デバイスのデザイン

共振器チップ

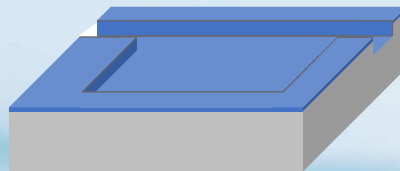


10 mm

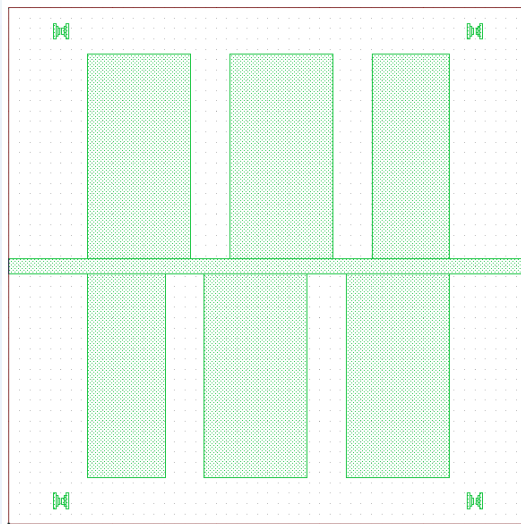


10 mm

グランドチップ



10 mm



ディープRIE 12  $\mu\text{m}$

共振周波数 [GHz]

① 6.73    ④ 6.66

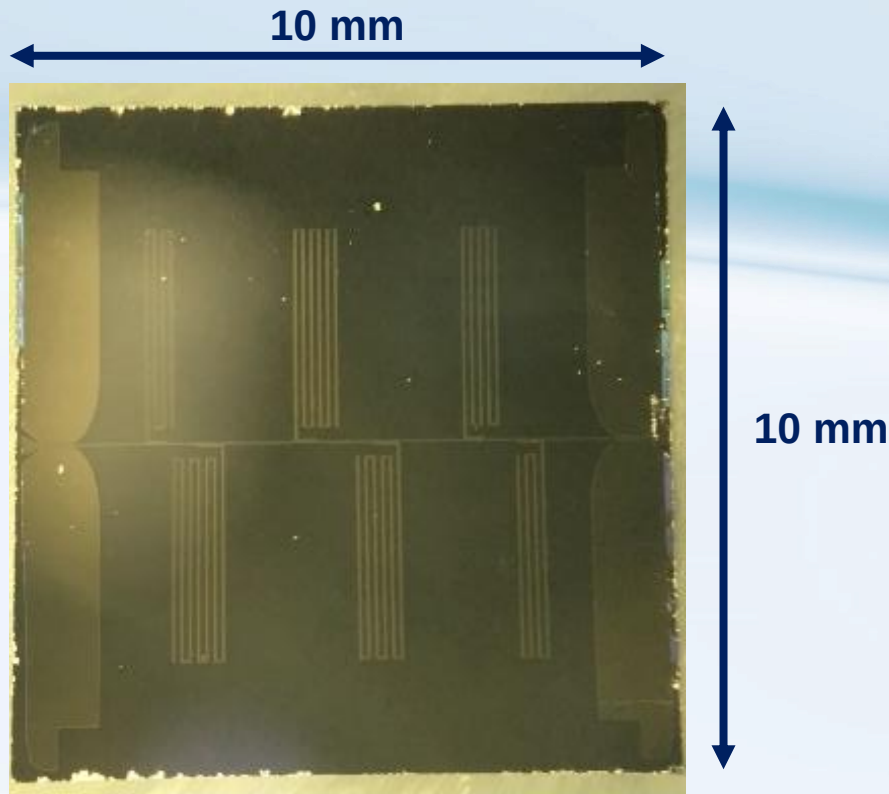
② 4.72    ⑤ 4.68

③ 5.53    ⑥ 4.10

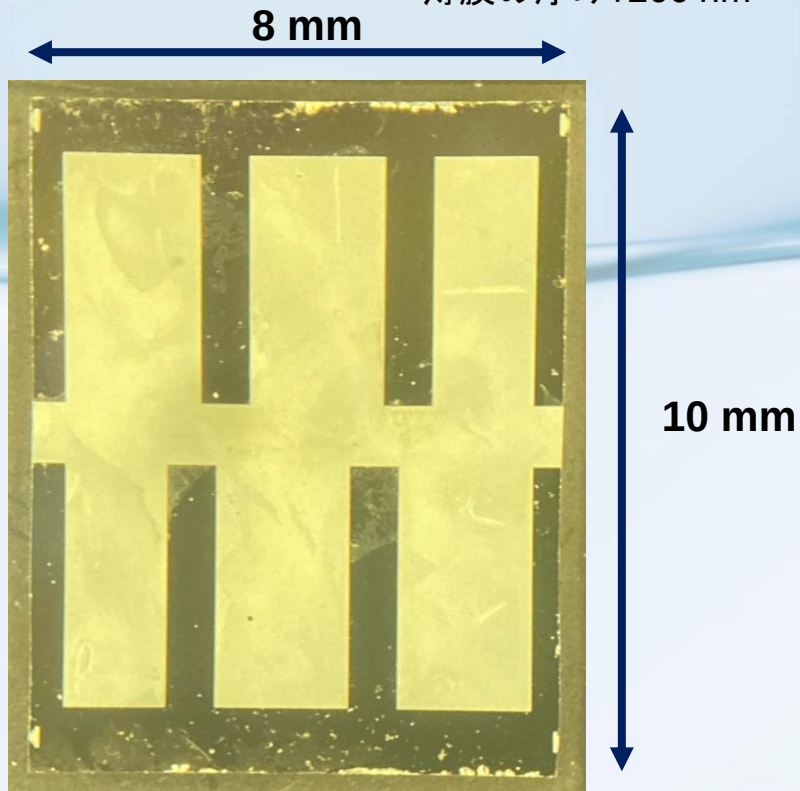
10 mm

## 作製したチップ

基板: Si  
超伝導体: Nb ( $T_C=9.2\text{K}$ )  
薄膜の厚み: 200 nm

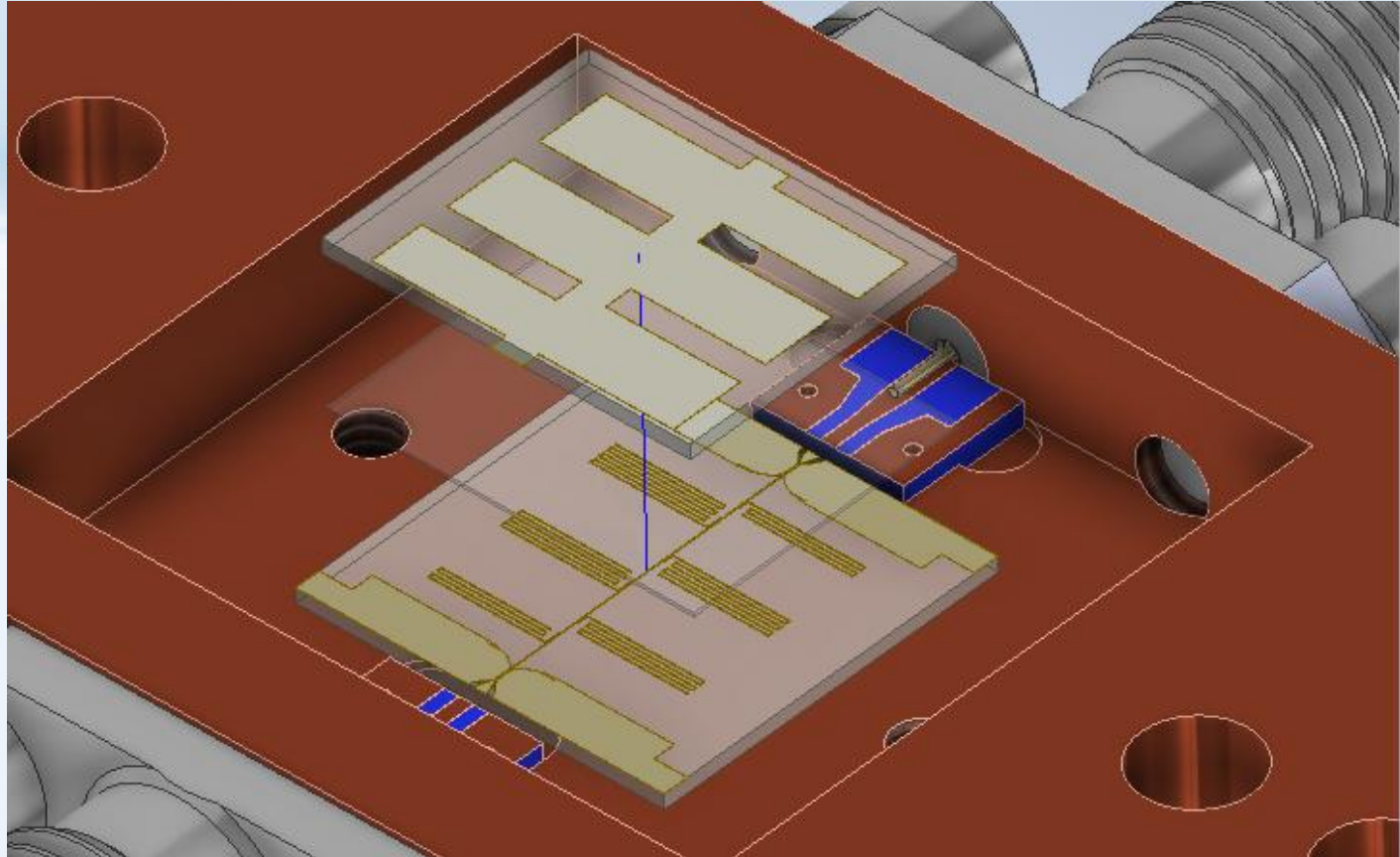


共振器チップ



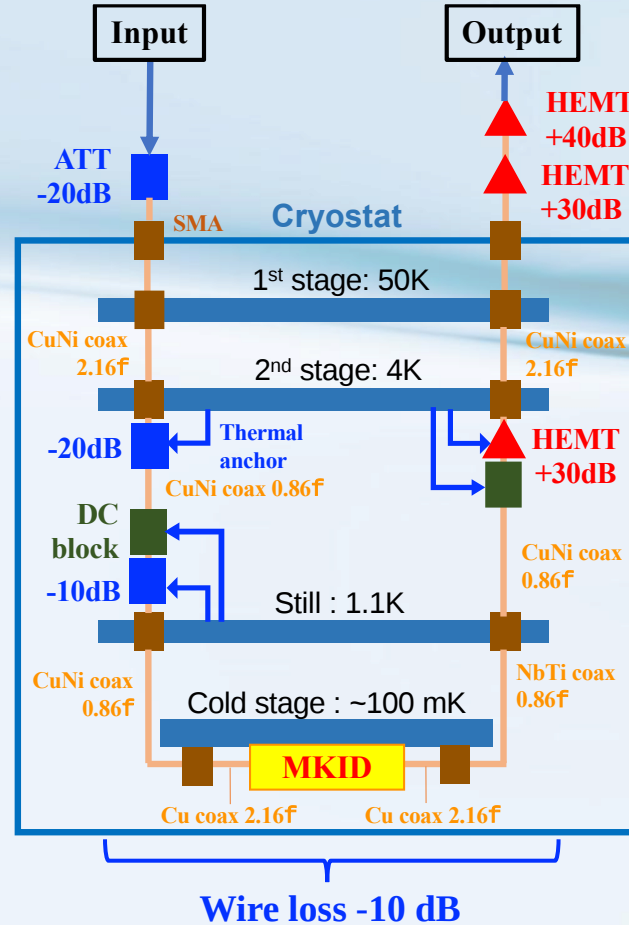
グランドチップ (全面Nb)

# 張り合わせの模式図

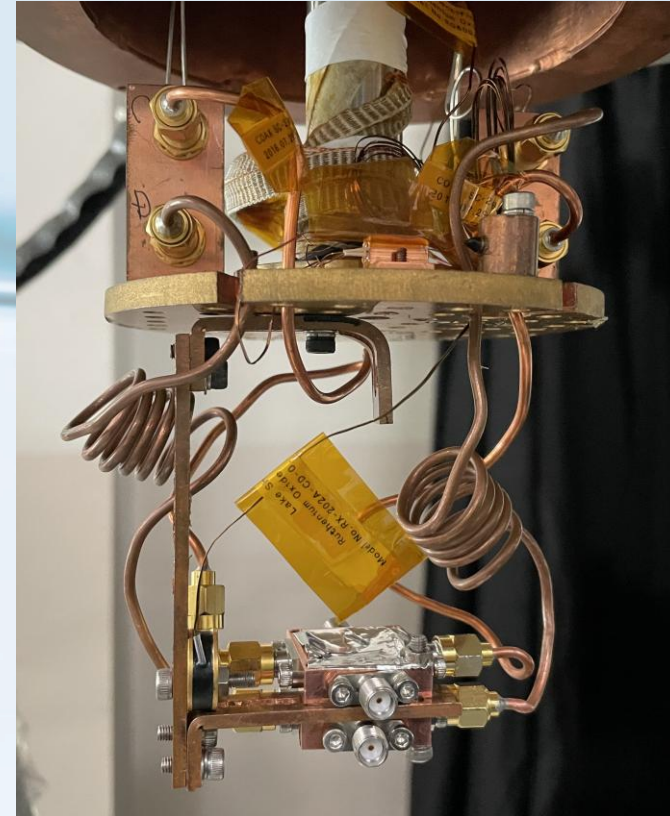


# 実験のセットアップ (~0.1 K)

希釈冷凍機

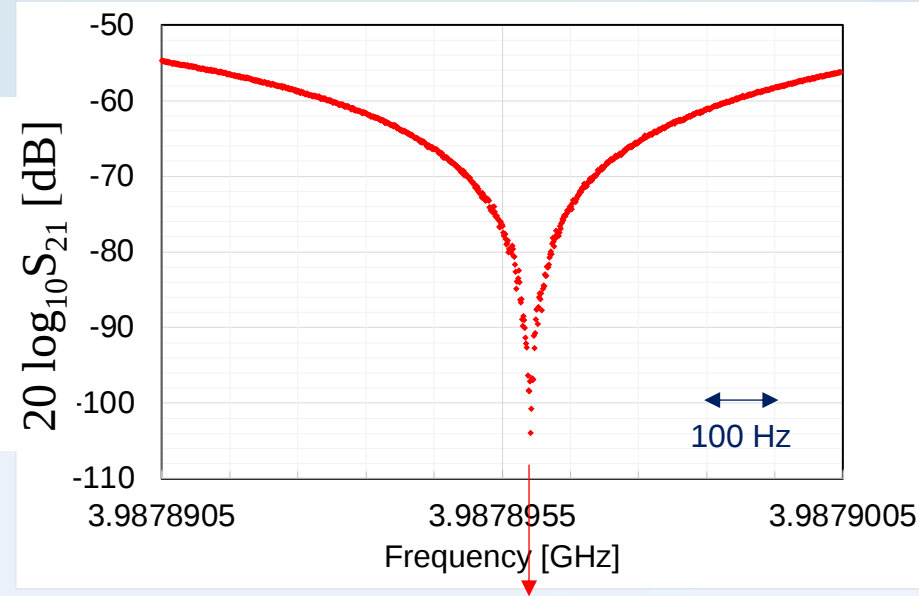
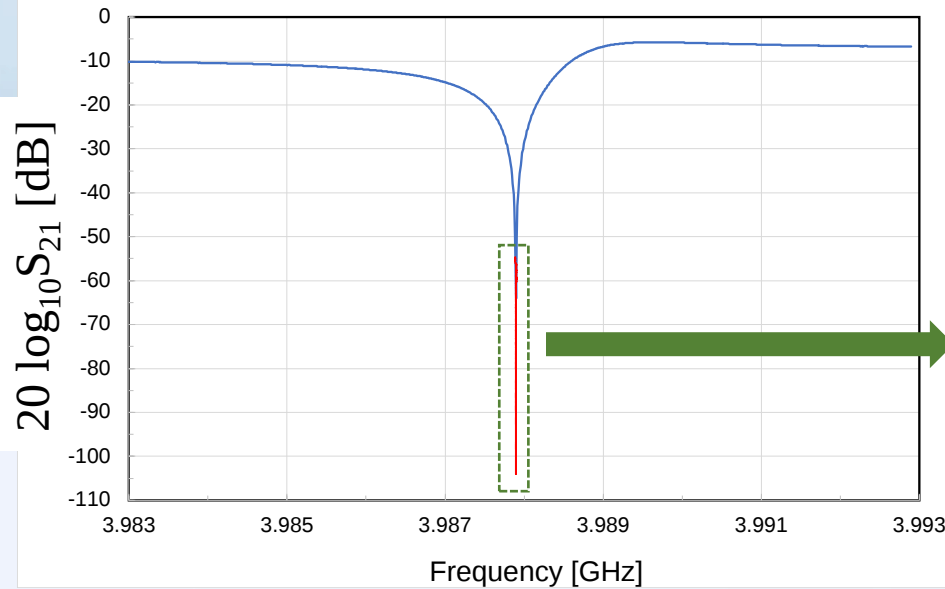


0.1 Kステージ



# 0.1 Kで測定した共振器構造

プレリミナリ



$$Q_r = \frac{f_0}{\Delta f_0}$$

$$Q_i = \frac{Q_r}{S_{21}^{min}}$$

$$Q_r = 1,300$$

$$S_{21}^{min} \sim 94 \text{ dB} = 10^{4.7}$$

$$Q_i \sim 7 \times 10^7$$

整合した結果

$$Q_i \sim 1.0 \times 10^8$$

ピーク幅  $\Delta f \sim 20\text{-}40 \text{ Hz}$

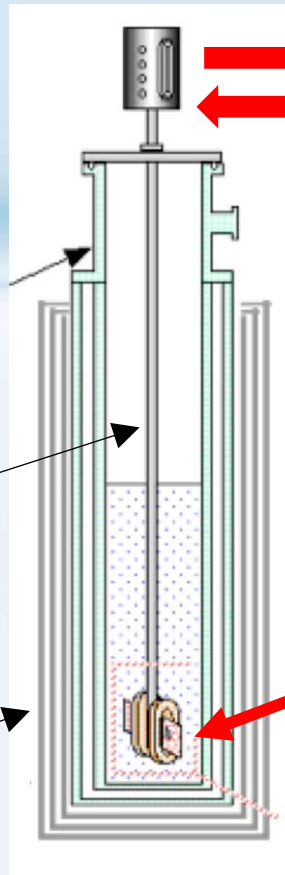
# 液体Heデュワーによる4.2 Kでの測定



FRP  
冷凍機

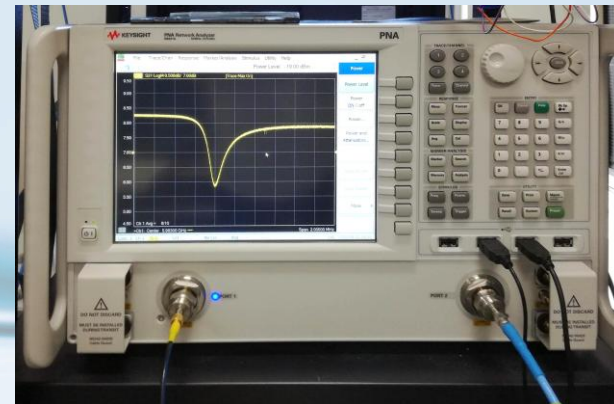
測定棒

3重 $\mu$ メタル  
磁気シールド

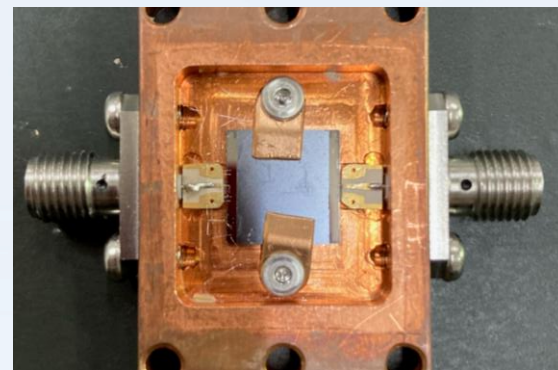


マイクロ波  
信号

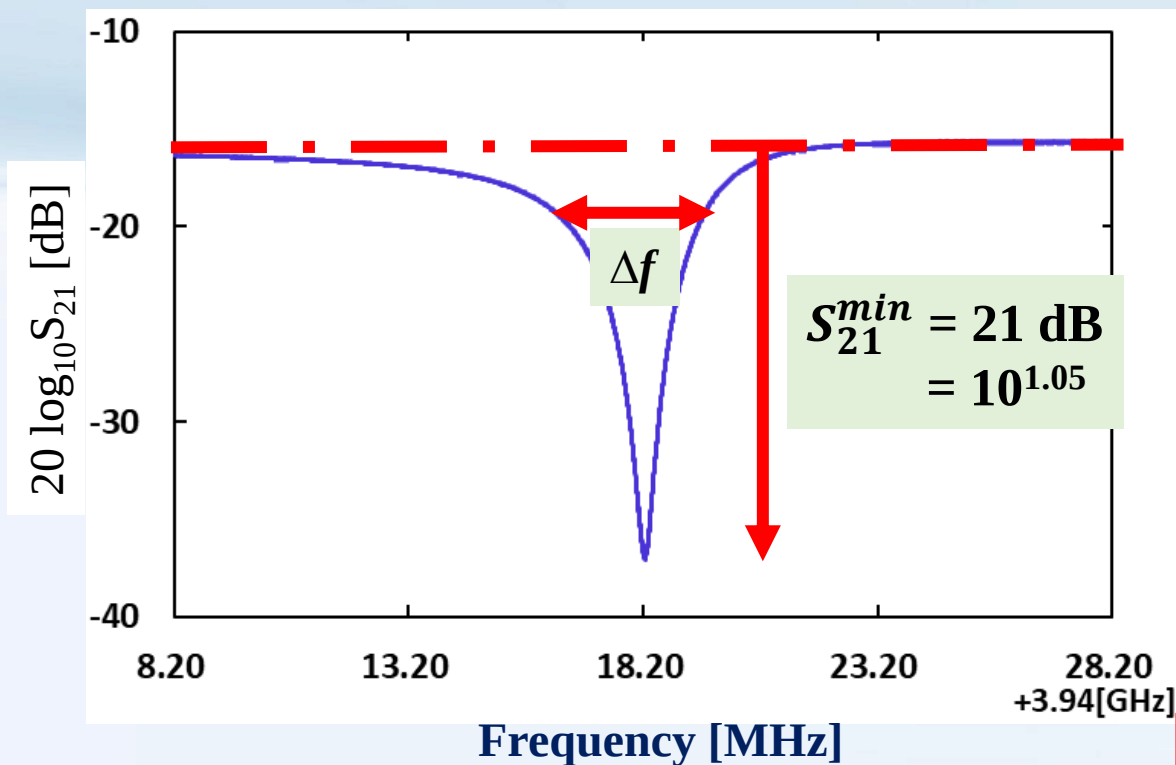
VNA



MKIDs



## 4.2 Kで測定した共振器構造



$$Q_r = \frac{f_0}{\Delta f_0}$$

$$Q_i = \frac{Q_r}{S_{21}^{min}}$$

$$f = 3.94 \text{ GHz}$$

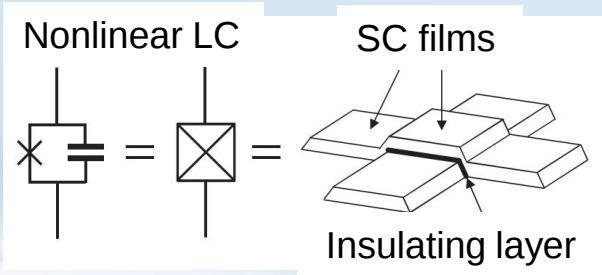
$$\Delta f \sim 3 \text{ MHz}$$

$$Q_r = 1,310$$

$$Q_i \sim 1.5$$

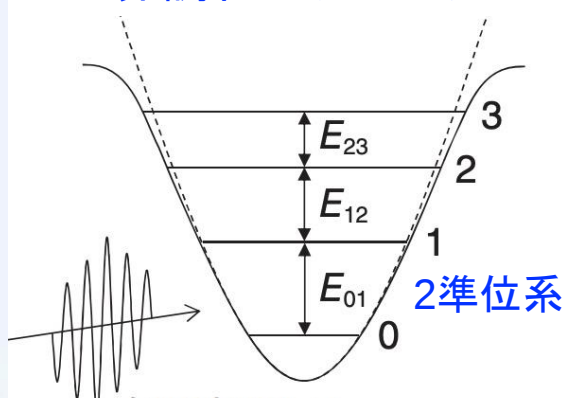
$\times 10^4$   
従来に比べて約10倍向上

# 超伝導量子ビット(Qubit)

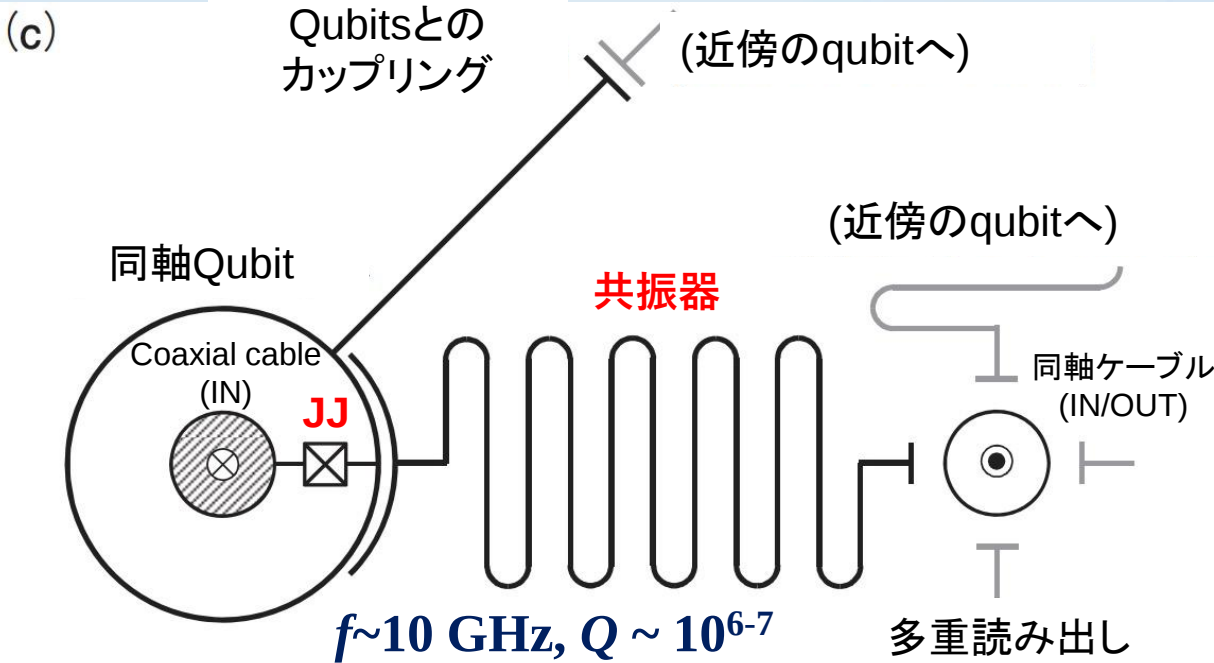


ジョセフソン接合素子

非調和ポテンシャル



マイクロ波パルス~10 ns



$$\tau \approx \frac{1}{f} \cdot Q \approx 0.1-1 \text{ ms}$$

for  $Q \sim 10^{8-10}$

$\tau > 10-1,000 \text{ ms} ?$

## 想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、超伝導共振器デバイスに適用することで、システムの性能向上が図られる可能性が考えられる。
- 上記以外に、新たな量子デバイスやコンポーネントの開発も期待される。

## 企業への期待

- 本技術は、高い感度を必要とするマイクロ波センサー、特に宇宙用機器や量子コンピュータでの活用が期待される
- 本技術には、作製デバイスの評価法と作製再現性の確立という未解決の課題があり、その克服に向けて現在研究開発を進めている。
- この技術の新たな利用法に関心を有する企業との新たな利用可能性に関する議論や共同研究を希望。

# 本技術に関する知的財産権



## 1. 反射率が低く位相を乱雑化するテラヘルツ吸収体

- 「テラヘルツ波拡散体およびその製造方法」
- 特願2023-200044, 出願日2023年11月27日
- PCT/J P2024/040741, 出願日2024年11月15日
- パナック(株)との共願

## 2. 高い共振Q値を有する超伝導マイクロ波共振器

- 「超伝導受動素子、超伝導受動素子の製造方法、およびその受動素子を含む機器」
- 特願2024-541521, 出願日2023年8月9日
- PCT/JP2023/029041, 出願日2023年8月9日
- 理化学研究所の単願

# 産学連携・国プロ等の経歴

- これまで企業との共同研究の実績多数（約20社）
- C社、Db社、Ds社、Ha社、Hi社、I社、J社、Ka社、Ku社、Mi社、Mu社、Na社、Ne社、Ni社、Pa社、Pn社、S社、Ta社、Te社、To社、Tx社ほか
- 共同国プロ、共同特許取得の実績多数
- 現在3社と共同研究実施中

|           |                          |
|-----------|--------------------------|
| 1997-2001 | 文科省・科学技術振興調整費            |
| 2000-2004 | 文科省・科学技術振興調整費（途中まで）      |
| 2003-2007 | 文科省・リーディングプロジェクト         |
| 2004-2006 | 文科省・科学技術振興調整費            |
| 2007-2008 | 東京税関委託研究                 |
| 2009-2010 | JST・先端計測プログラム            |
| 2010-2014 | JST-ANRプログラム             |
| 2011-2014 | JST・先端計測プログラム            |
| 2017-2021 | JST・ACCELプログラム           |
| 2020-2024 | 防衛装備庁・安全保障技術研究推進制度プロジェクト |

# お問い合わせ先

**株式会社理研イノベーション**

**新技術説明会事務局**

Email: [license-contact@innovation-riken.jp](mailto:license-contact@innovation-riken.jp)