

# 宇宙マイクロ波背景放射偏光測定用

## Microwave Kinetic Inductance

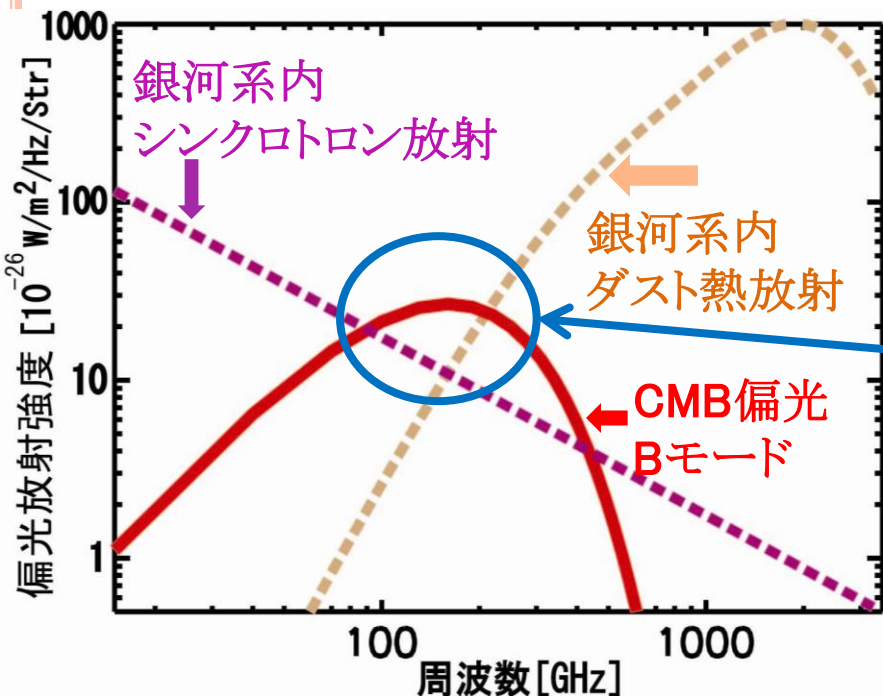
### Detectors(MKIDs)の性能評価

総研大、高エ研<sup>A</sup>、岡山大<sup>B</sup>、理研<sup>C</sup>  
渡辺広記<sup>○</sup>、羽澄昌史<sup>A</sup>、吉田光宏<sup>A</sup>、佐藤伸明<sup>A</sup>、都丸隆行<sup>A</sup>、木村誠宏<sup>A</sup>、岡村崇弘<sup>A</sup>、美馬覚<sup>B</sup>、服部香里<sup>B</sup>、石野宏和<sup>B</sup>、樹林敦子<sup>B</sup>、佐藤広海<sup>C</sup>、有吉誠一郎<sup>C</sup>、大谷知行<sup>C</sup>、  
他KEK測定器開発室:超伝導ミリ波カメラ開発グループ

1

# 観測方法

- 現在我々CMBグループでは、CMBのBモード偏光の精密測定を目的とした小型衛星LiteBIRDを計画している

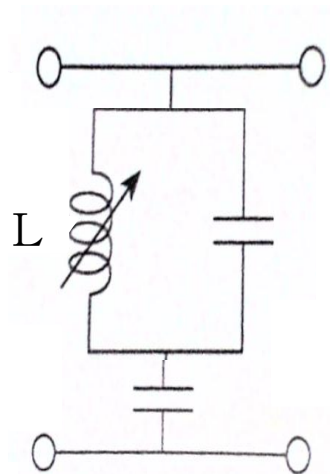


- LiteBIRDからの検出器への性能要求
  - 周波数: 60~250GHzで5バンド
    - 帯域幅は30%
    - フォアグラウンド除去用
  - 超高感度:  $NEP2 \times 10^{-18}$  W/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 
    - CMBのフォトンノイズリミット
  - 約2000個のアレイ



- 多素子化に対して絶大な能力を発揮することのできるMKIDsは、良い候補の一つである

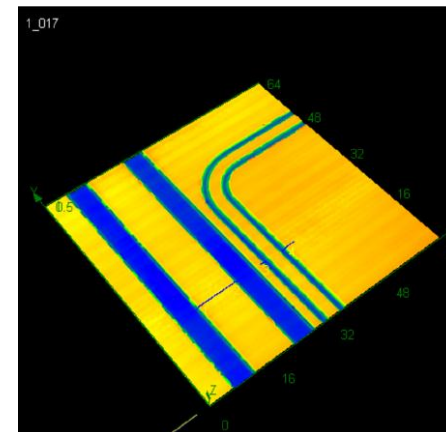
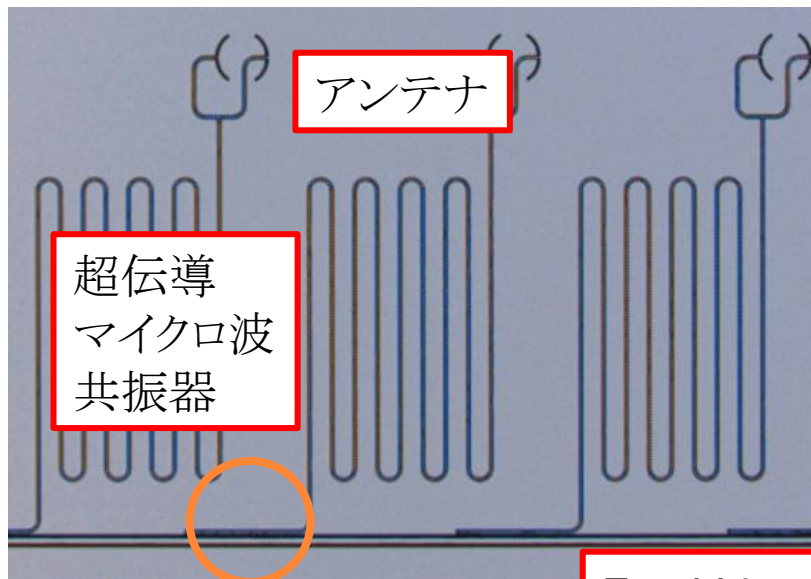
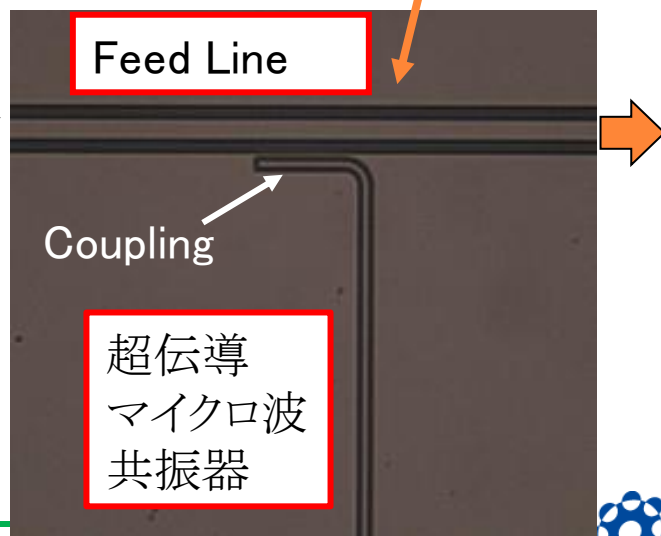
# MKIDs の構造



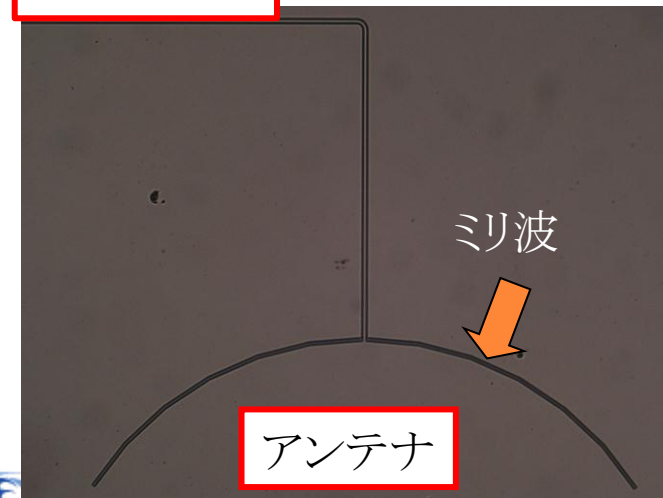
マイクロ波  
~5GHz



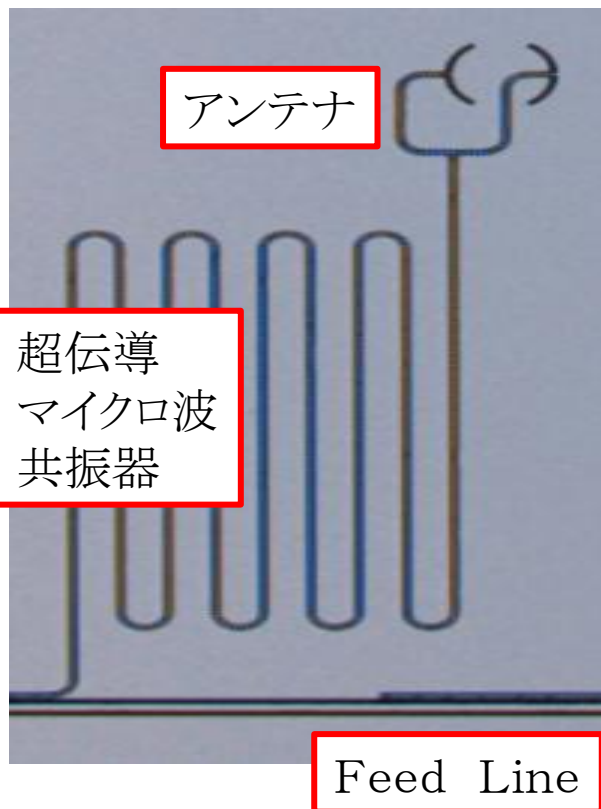
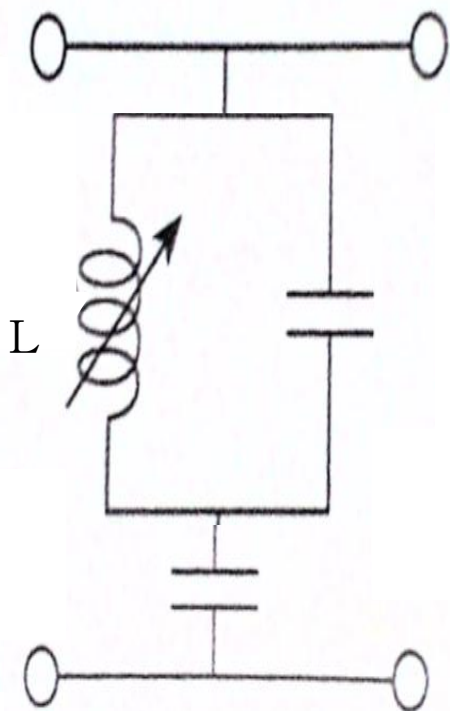
CPW型



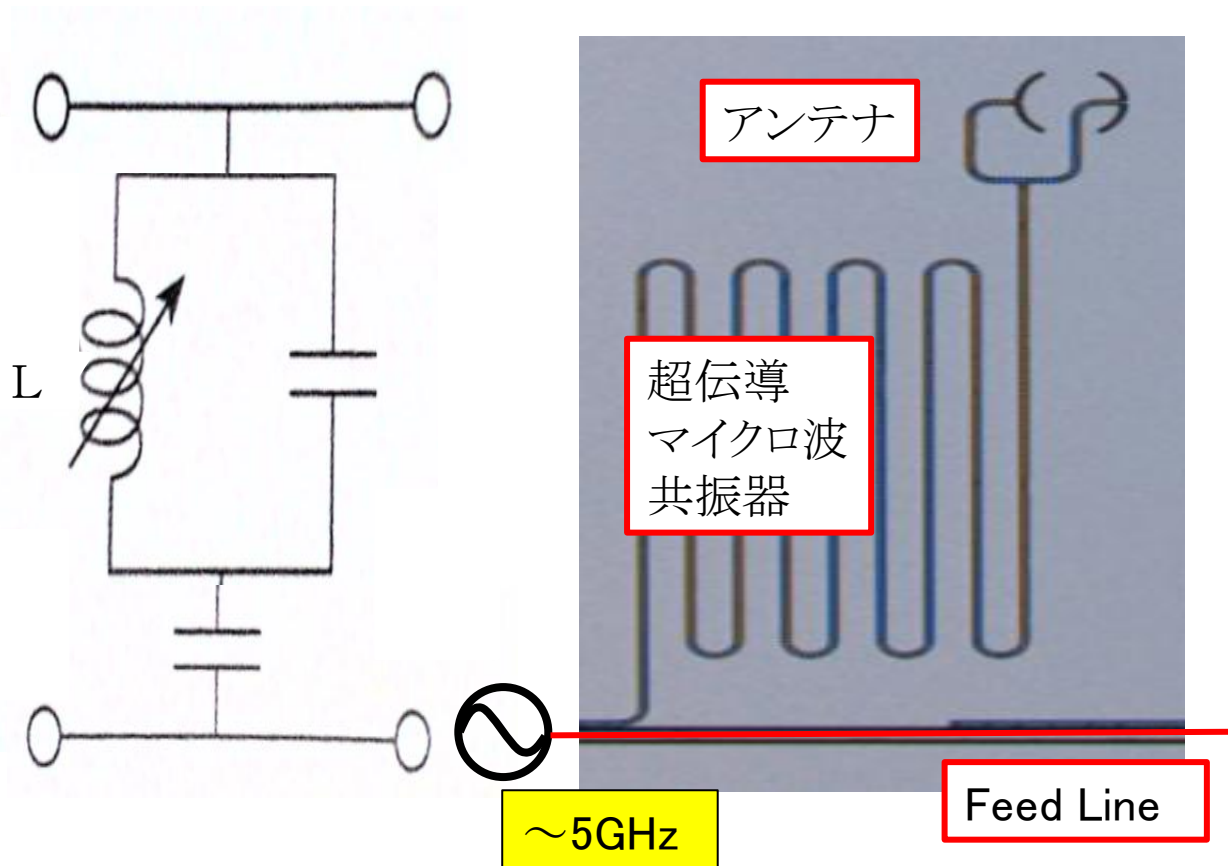
Feed Line



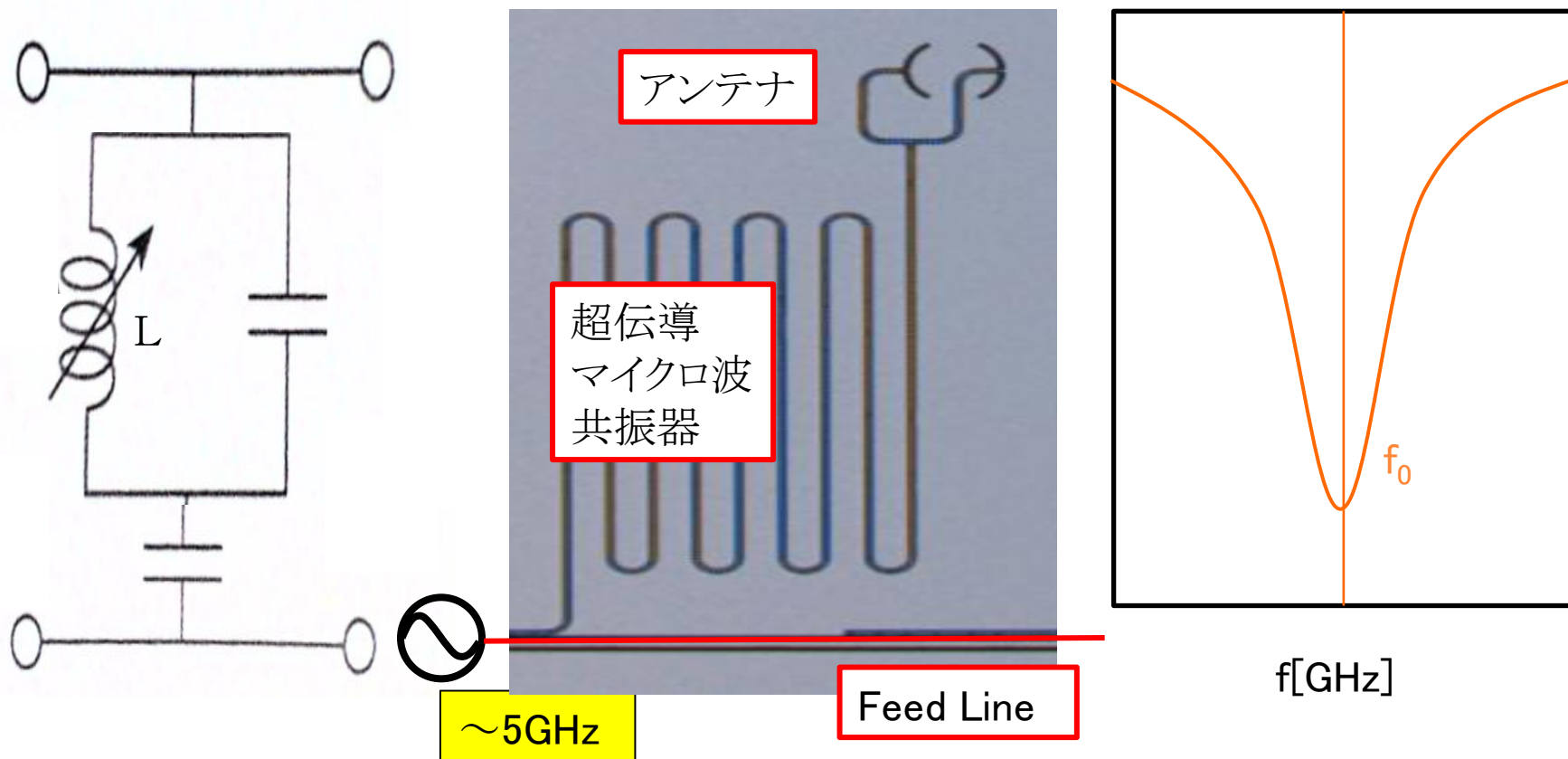
# MKIDsの動作原理



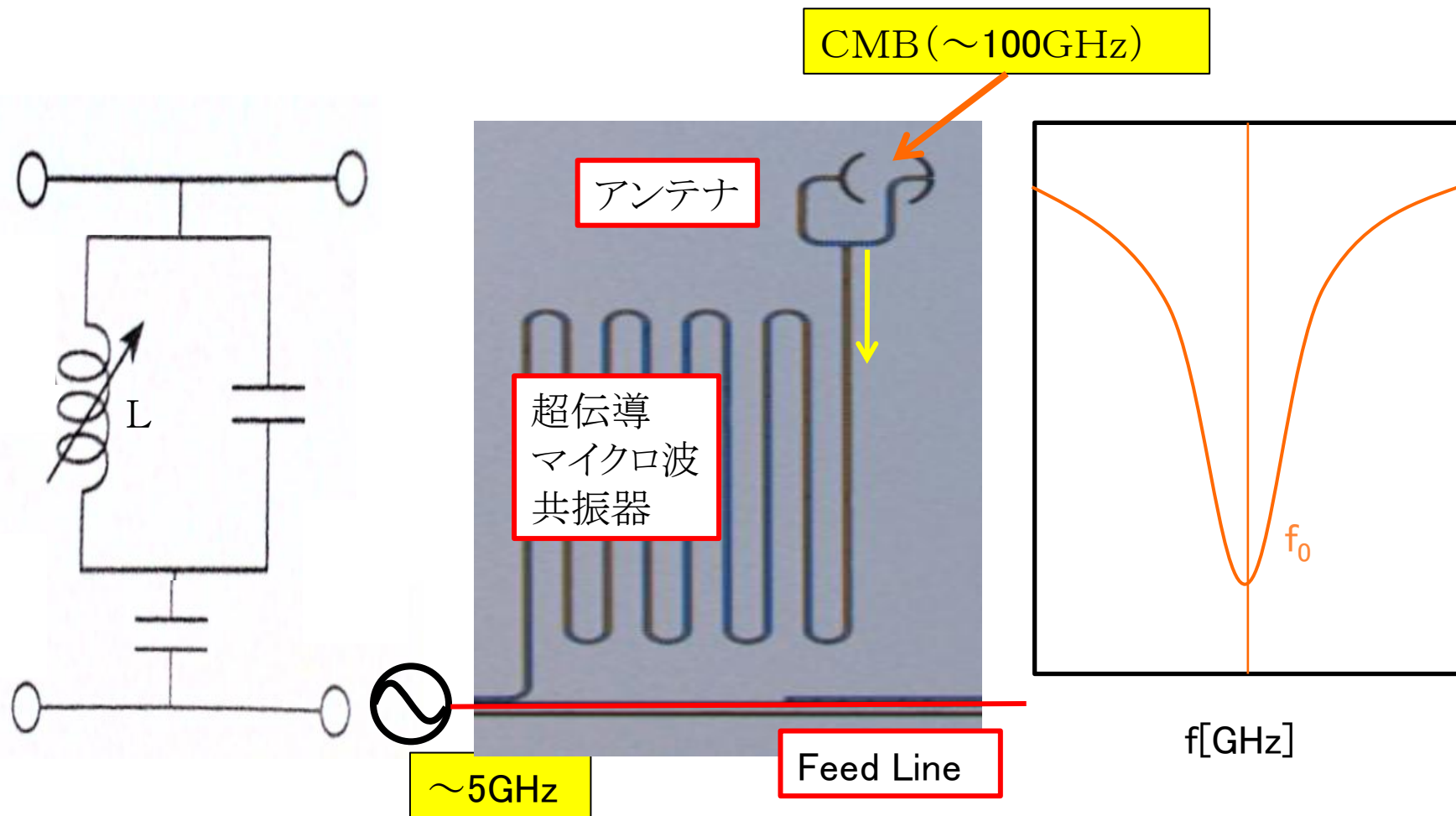
# MKIDsの動作原理



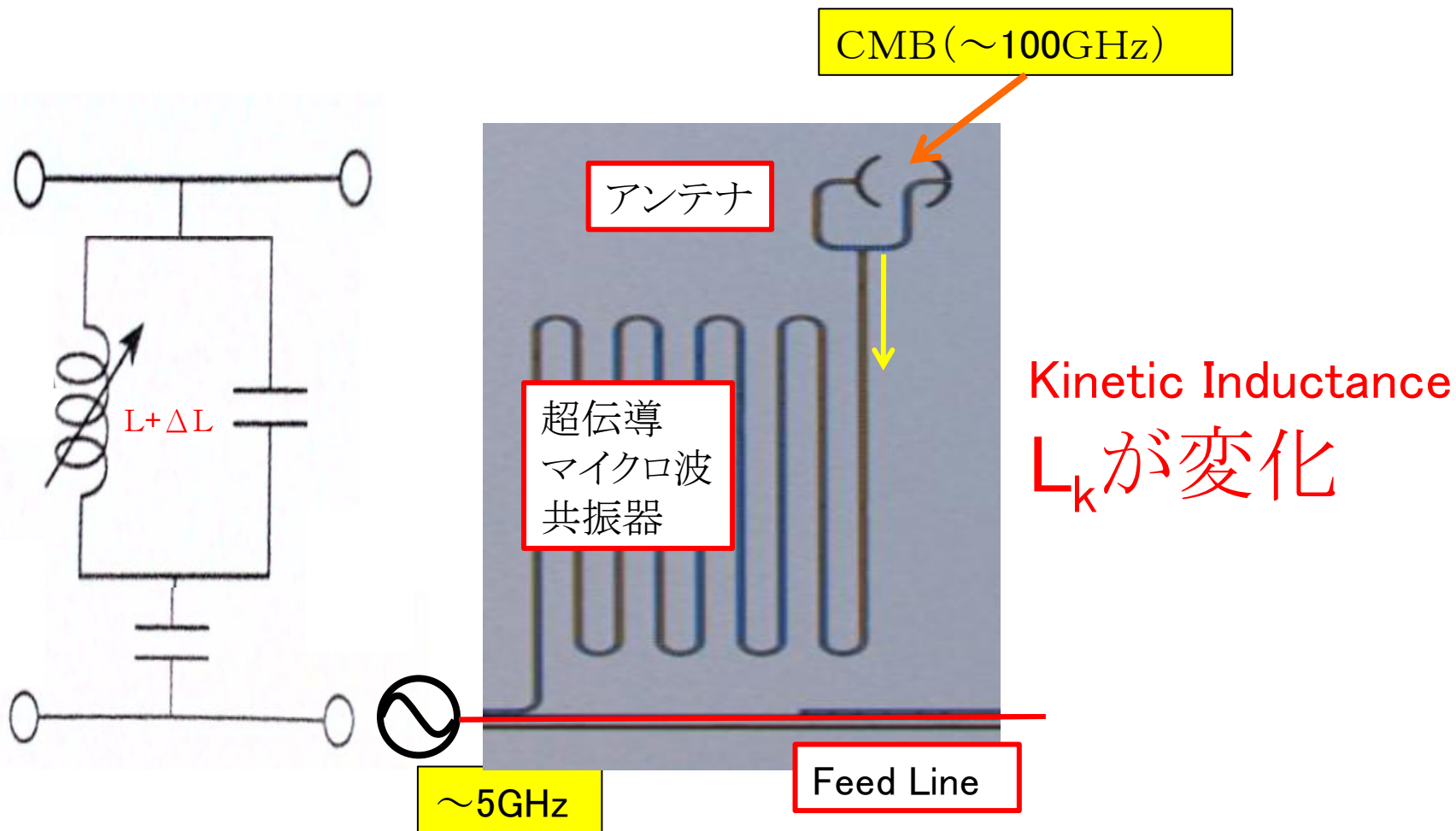
# MKIDsの動作原理



# MKIDsの動作原理

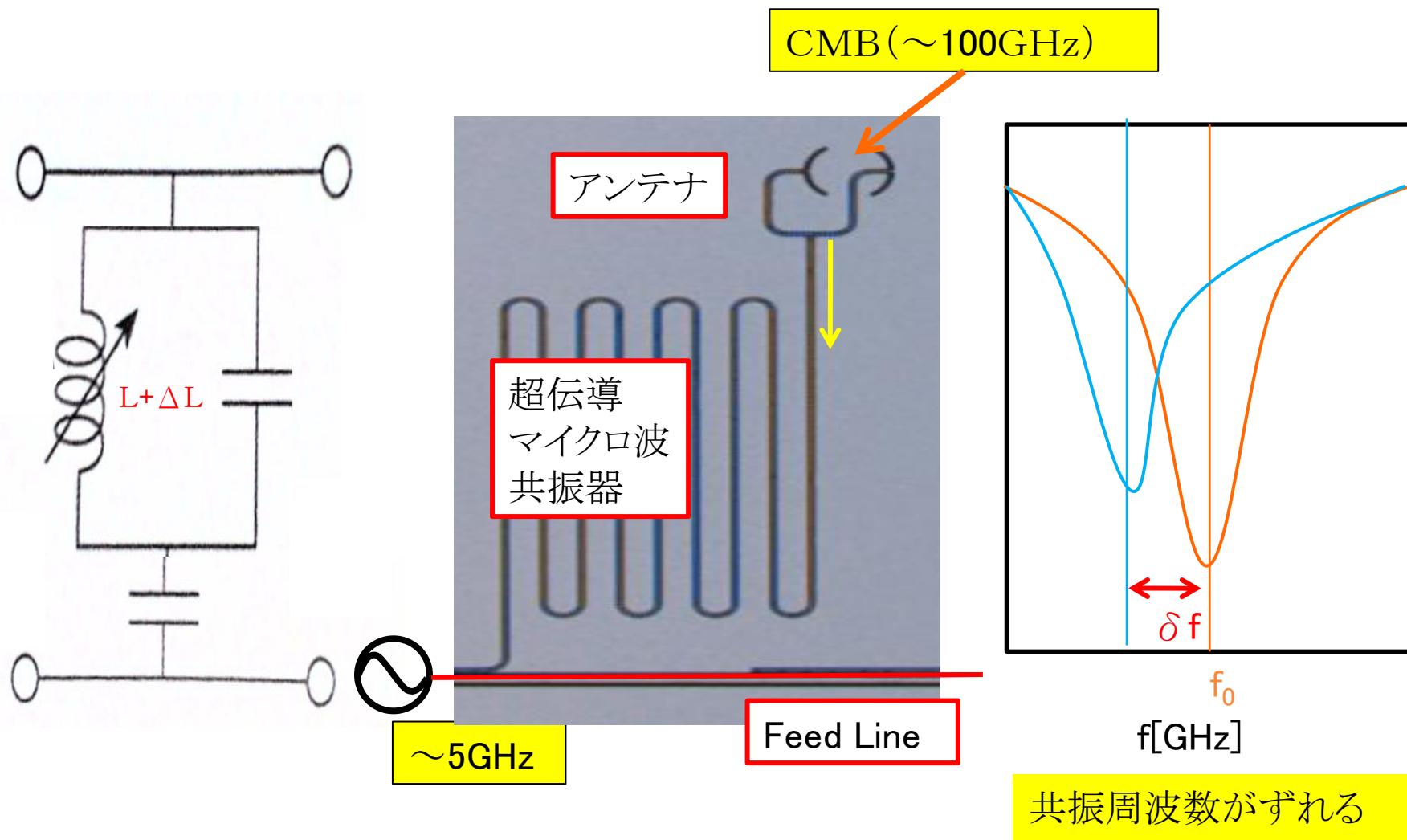


# MKIDsの動作原理

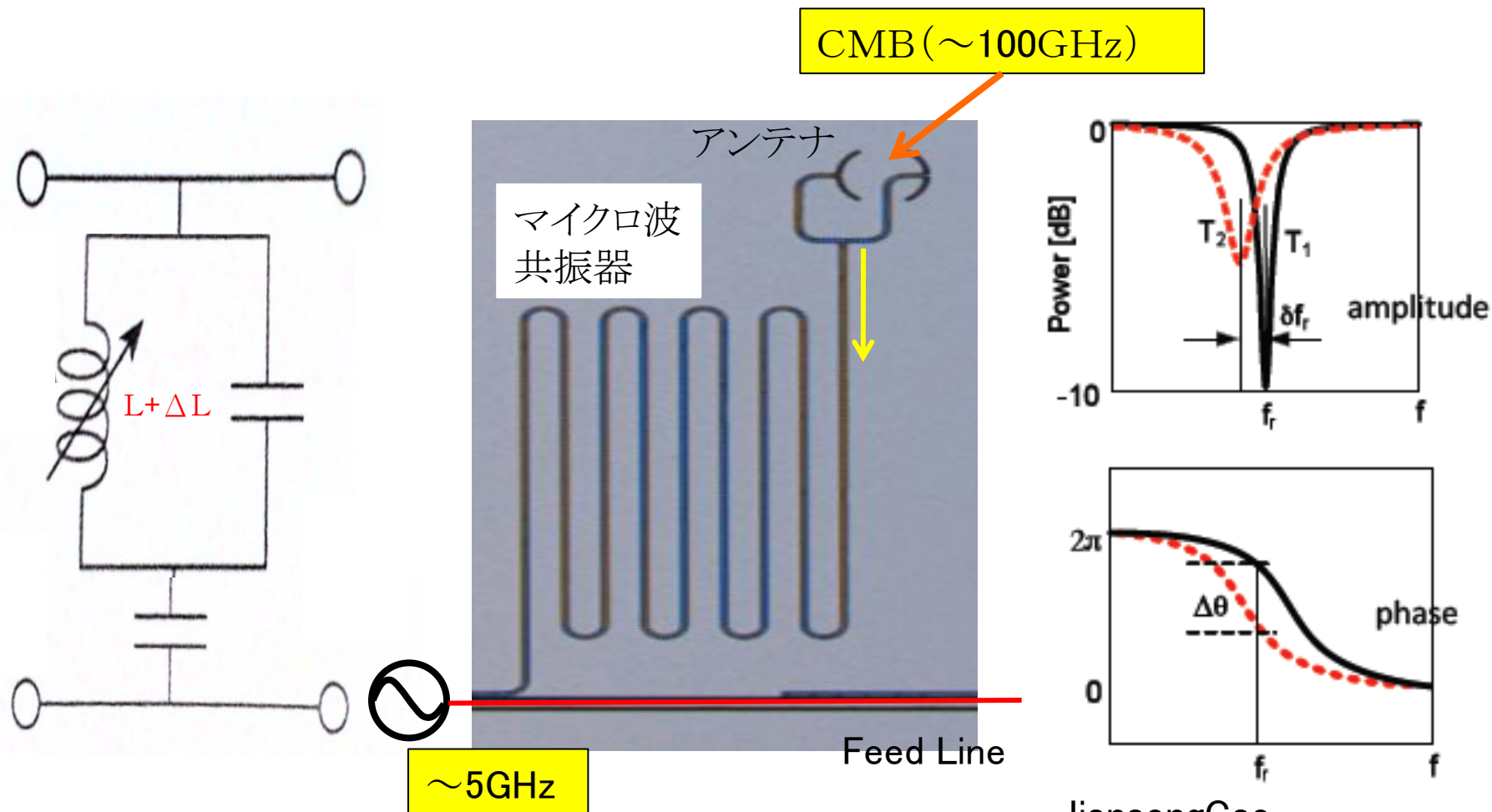




# MKIDsの動作原理

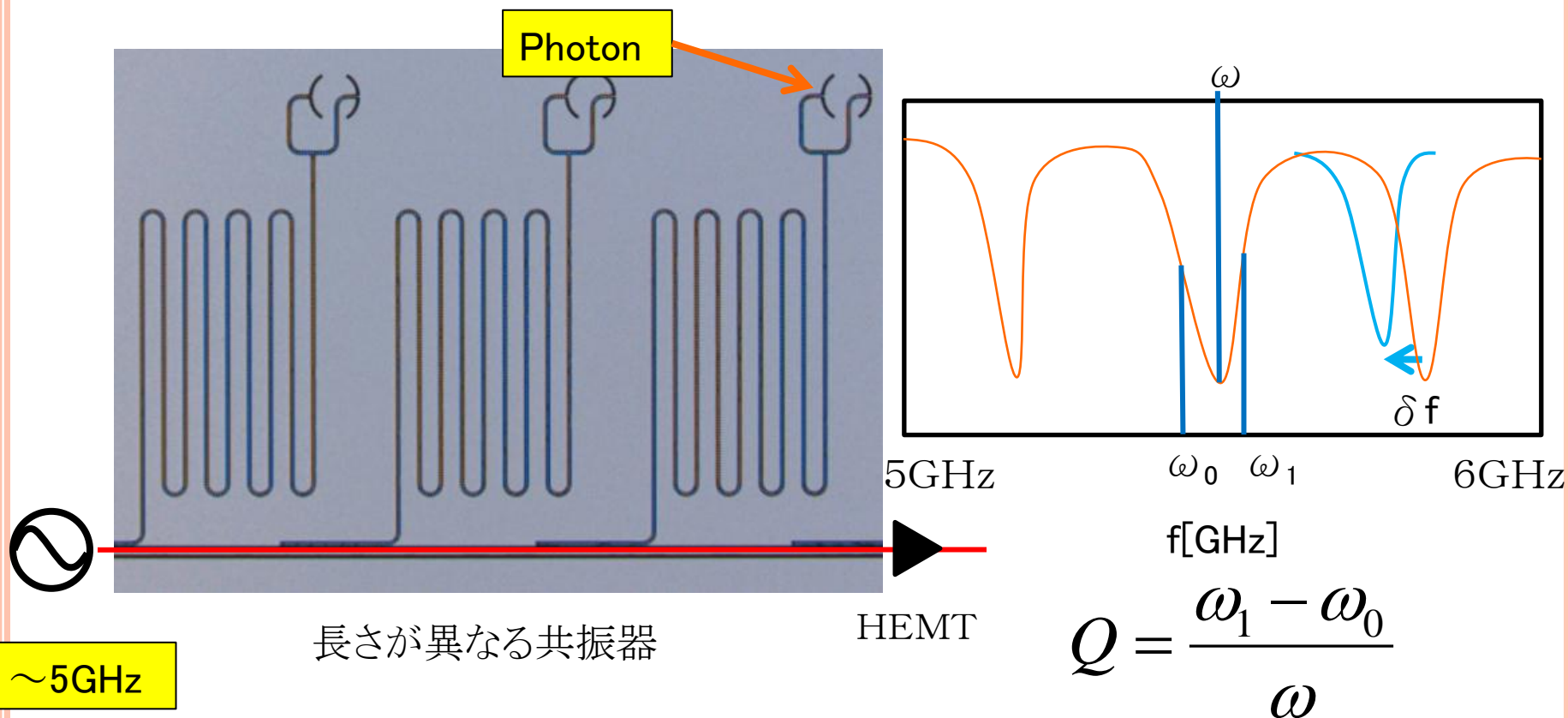


# MKIDSの動作原理



Jiansong Gao  
NIST, Boulder, CO, USA

# マルチプレキシングの原理



- 共振器の長さが異なるので、共振周波数のずれから入射座標と入力パワーが分かる
- Q値が約1,000,000という共振ピークの細いMKIDsを作ることが出来れば、数10MHzのADC一つで1000個の素子の読み出しが可能である

# MKIDsのノイズ限界

- 理想的には、準粒子のG-Rノイズ(生成消滅のPoissonノイズ)で決まる

$$NEP_{GR} = \frac{2\Delta}{\eta} \sqrt{\frac{N_{qp}}{\tau_{qp}}} \propto \exp\left(-\frac{\Delta}{kT}\right)$$

量子効率  $\eta$  準粒子数  $N_{qp}$  準粒子寿命  $\tau_{qp}$

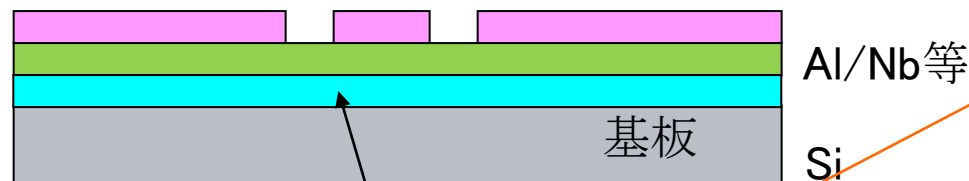
準粒子数、準粒子寿命ともにボルツマン分布に従う

- 体積を小さくする(薄くする)
- 準粒子の寿命を長くする
- 温度は低くする

# MKIDSの作成@KEK



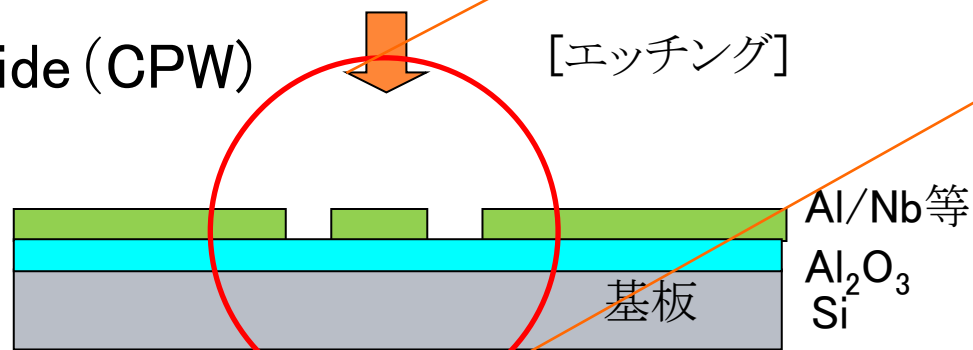
# 伝送線路 / 共振回路の構造と作製



基盤の保護のため $\text{Al}_2\text{O}_3$ の層をエッチングのストップレイヤーとして使用

Coplanar Waveguide (CPW)

[エッチング]



断面図

$1.8 \mu\text{m}$

$3 \mu\text{m}$

# 超伝導体の選択

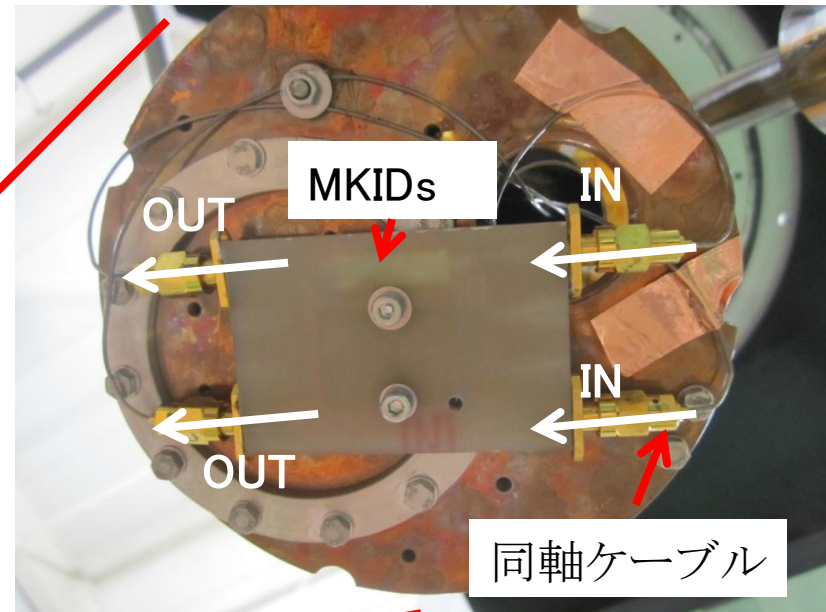
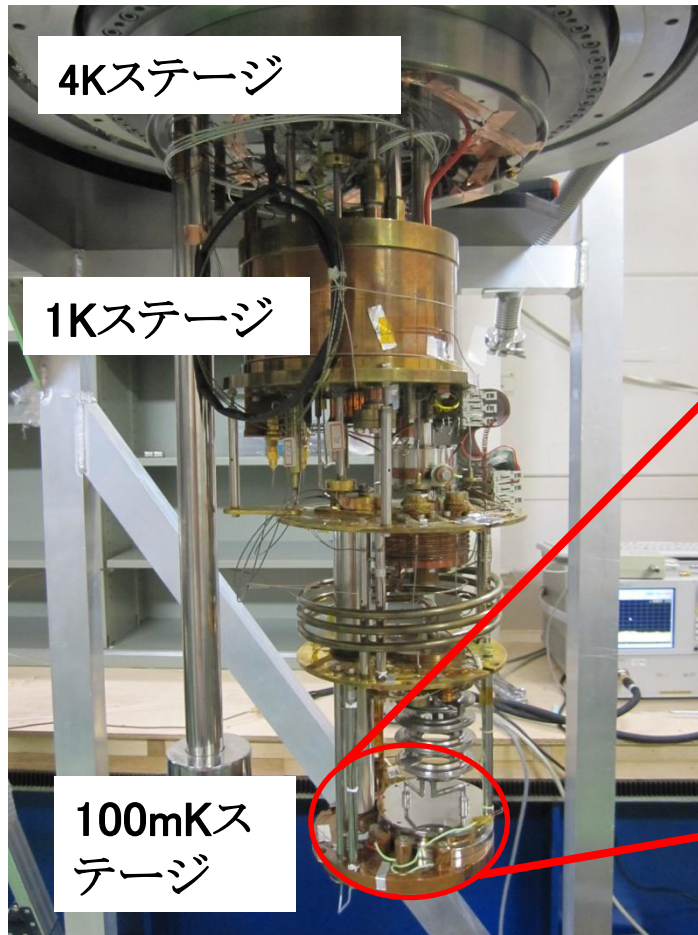
Equation relating  $2\Delta$  to  $T_c$

$$2\Delta(0K) = 3.528kT_c$$

Material	$T_c$ [K]	$2\Delta$ [mV]	Frequency[GHz]
Nb	9.23	3.1	750
Al	1.196	0.34	80

- AlでMKIDsを作製することが出来れば、ミリ波に感度のあるMKIDsを作製することが出来る
  - Alの転移温度は～1.2Kなので100mK程度に冷却のできる希釈冷凍機で測定する必要がある
- ①希釈冷凍機を用いてQ値の測定を行った
- ②ミリ波に対する感度測定を行った
  - ②ミリ波の測定に関しては、現在、希釈冷凍機内にミリ波を照射できる窓が付いていないため、測定は300mKの Sorption冷凍機を用いて行った。

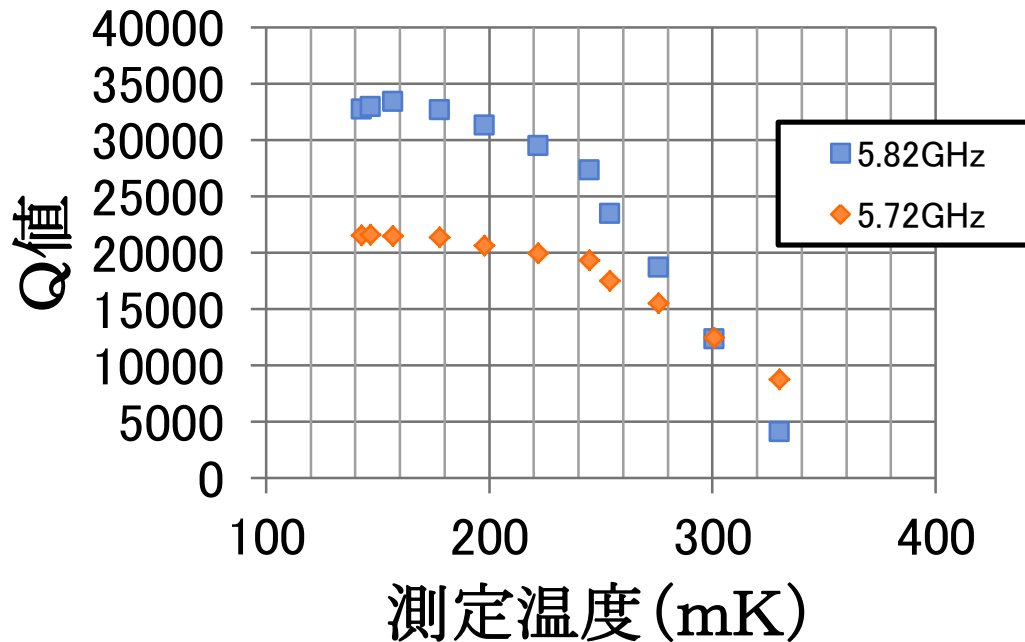
# 希釈冷凍機へのセットアップ





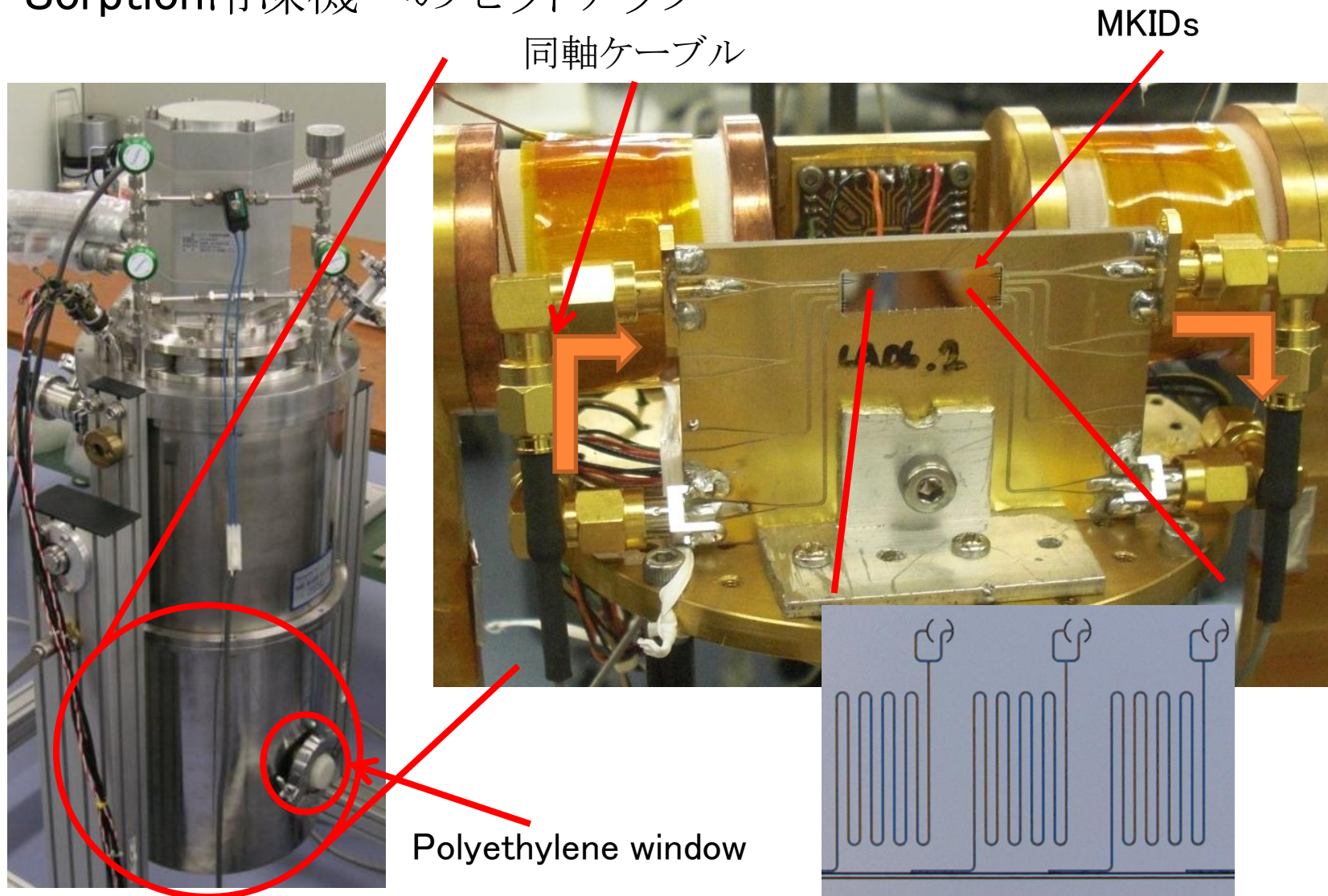
# Q値の温度依存性

測定はQ値が全体でも高かった5.72GHz、5.82GHzについて行った  
それぞれのQ値は約200,000と約400,000に設計されたものである



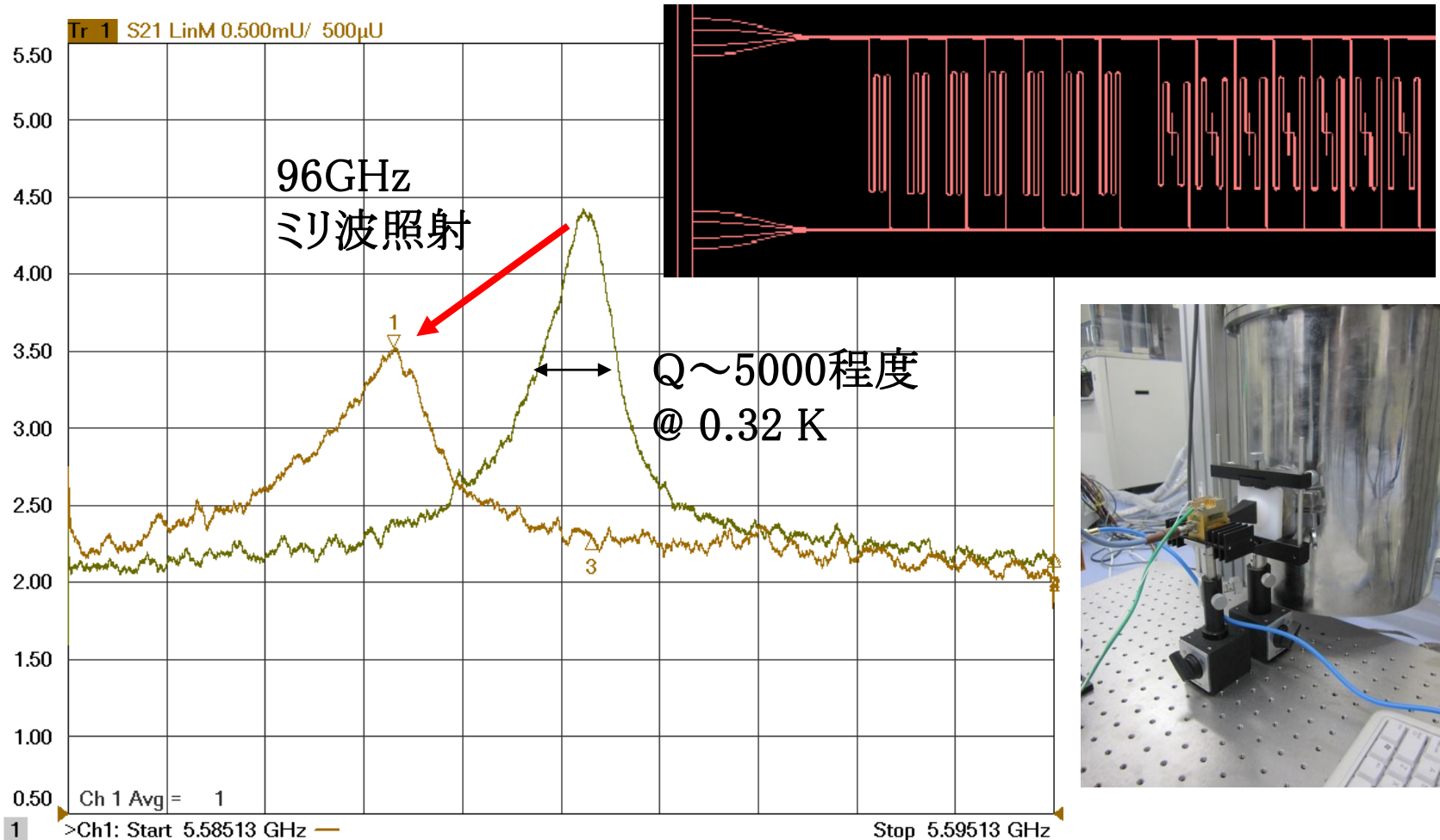
測定温度が低くなるにつれてQ値の上昇がみられた  
140mKでのQ値はそれぞれ約23,000、約34,000

# Sorption冷凍機へのセットアップ



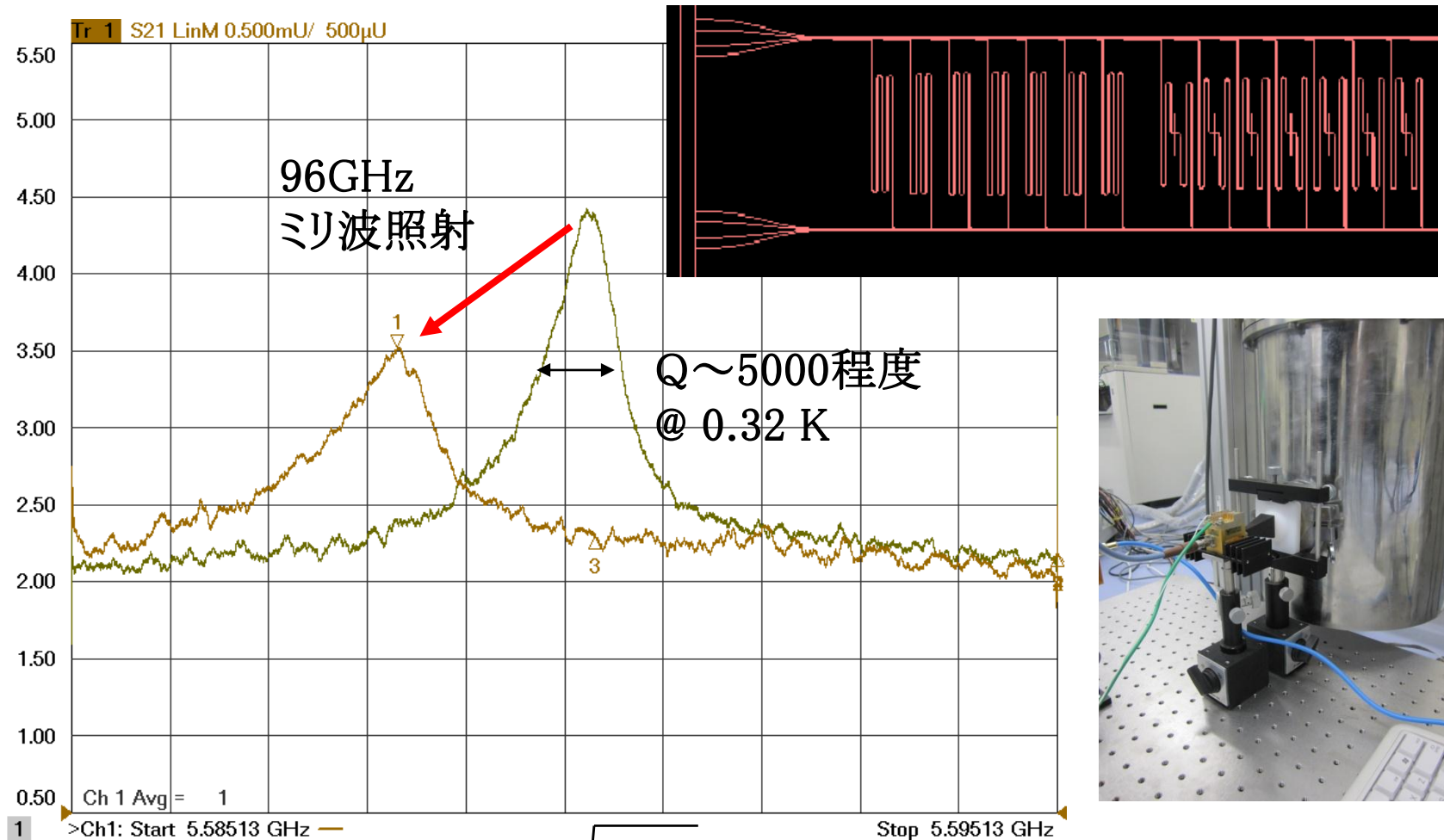
Sorption refrigerator(0.3K)

# Al-MKIDsへのミリ波の照射結果@0.32K



96GHzのミリ波に対してクーパー対解離による  
共振周波数の変化を測定することに成功

# Al-MKIDsへのミリ波の照射結果@0.32K



$$\tau_{qp} = 100ns \quad NEP_{gr} = 2\Delta \sqrt{\frac{N_{qp}}{\tau_{qp}}} = 2 \times 10^{-14} [W / Hz^{1/2}] \quad @0.32K$$

# まとめ

## ○ AI-MKIDsの性能評価(希釈冷凍機)

- 測定温度が低くなるにつれて、Q値の上昇がみられた
- 140mKでQ値は20,000～30,000程度を達成
- Q値の設計値は数10万程度なので、作成工程などの改善が必要
- Q値の低い原因
  - AI膜の純度
  - フォトレジストの残留

## ○ ミリ波の照射実験 (@ 320mK)

- Sorption冷凍機を用いてミリ波の照射実験を行い、96GHzのミリ波をAI-MKIDsでとらえることが出来た
- $NEP = 2 \times 10^{-14} [W/\sqrt{Hz}]$
- 100mKで測定することにより、さらに低いNEP値が期待できる

## ○ 今後の課題

- AIをEV蒸着を用いてさらに純度の良いAIで作成を行う
- フォトレジストが残らないよう、作成工程の改善を行う
- 100mKの希釈冷凍機に光の入射窓を作り、ミリ波の測定を行う