

断熱消磁冷凍機を用いた TES型カロリメータのX線検出実験

宇宙物理実験研究室 松野剛久

目的

TESカロリメータを用いた可搬型X線分光システムについて研究

→実験室において、X線発生装置からのX線スペクトル取得

→まずはX線源でX線スペクトル取得試験

X線検出器 → TES型カロリメータ

冷凍機 → 断熱消磁冷凍機(ADR)

X線源 → ^{55}Fe Mn K α : 5.9keV

Mn K β : 6.5keV

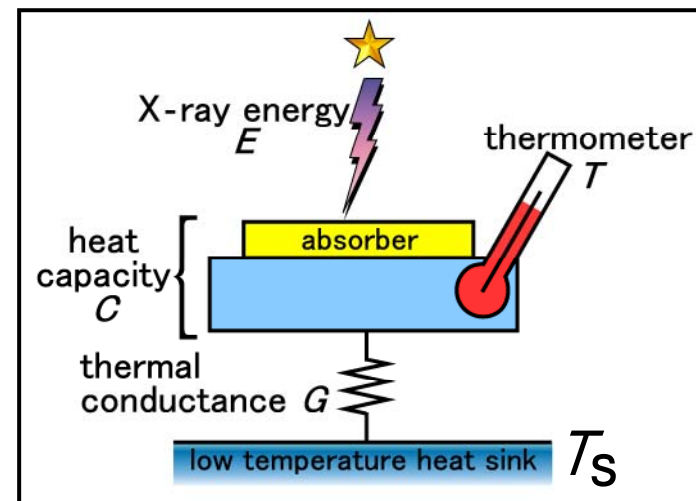
TES型X線カロリメータ

- X線のエネルギーを素子の温度上昇として検出する装置
- エネルギー分解能は素子の熱容量 C , 温度 T と温度計感度 α で決まる

TES型温度計 (Transition Edge Sensor)

超伝導転移端を温度計として利用

RTカーブ



エネルギー分解能

$$\Delta E \propto \sqrt{k_B T^2 C / \alpha}$$

極低温で優れた分解能を発揮!
→極低温に冷す冷凍機が必要

断熱消磁冷凍機

(ADR --- Adiabatic Demagnetization Refrigerator)

カロリメータの性能を引き出すには、極低温で動作させる事が必須
→カロリメータを極低温に冷やせる冷凍機が必要

特徴：小型・可搬型・蒸気冷却

液体He保持時間：約42時間
最低到達温度：63 mK
温度制御：10時間@100 mK

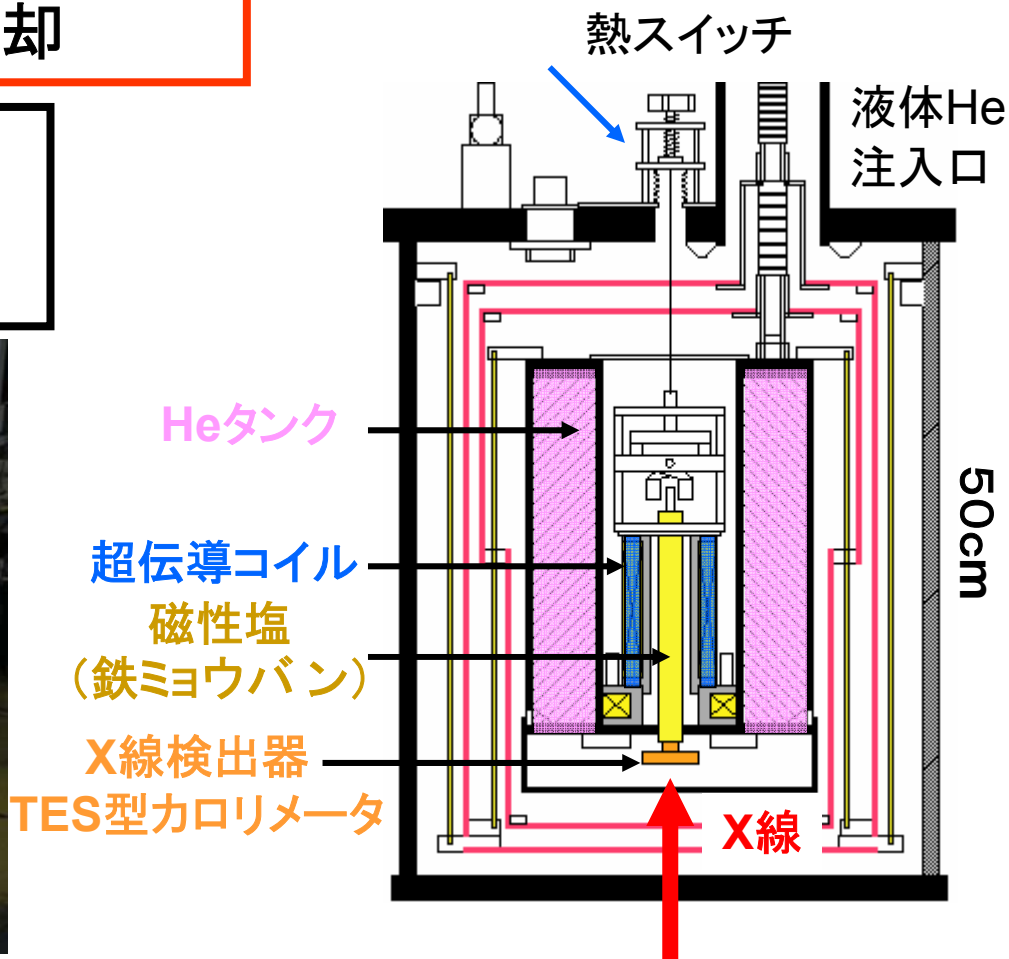


写真1

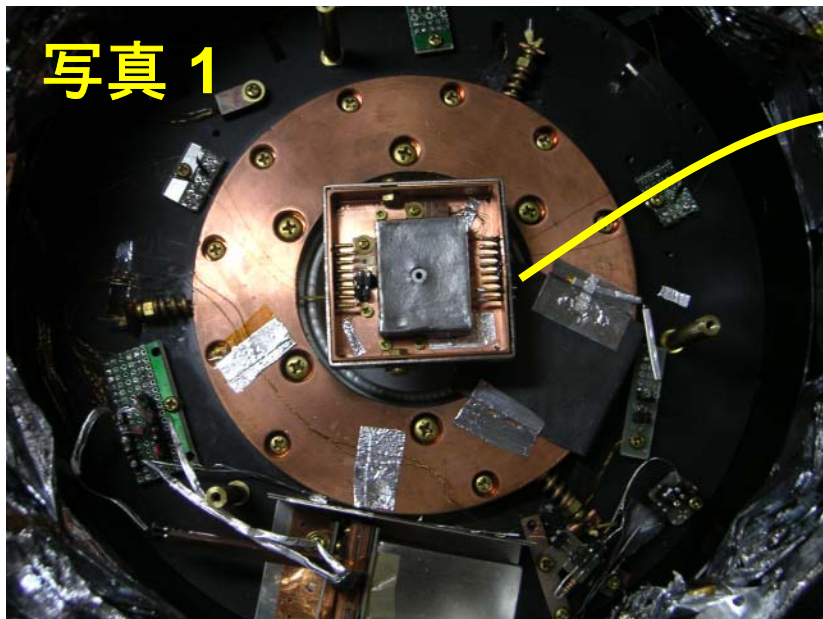


写真2

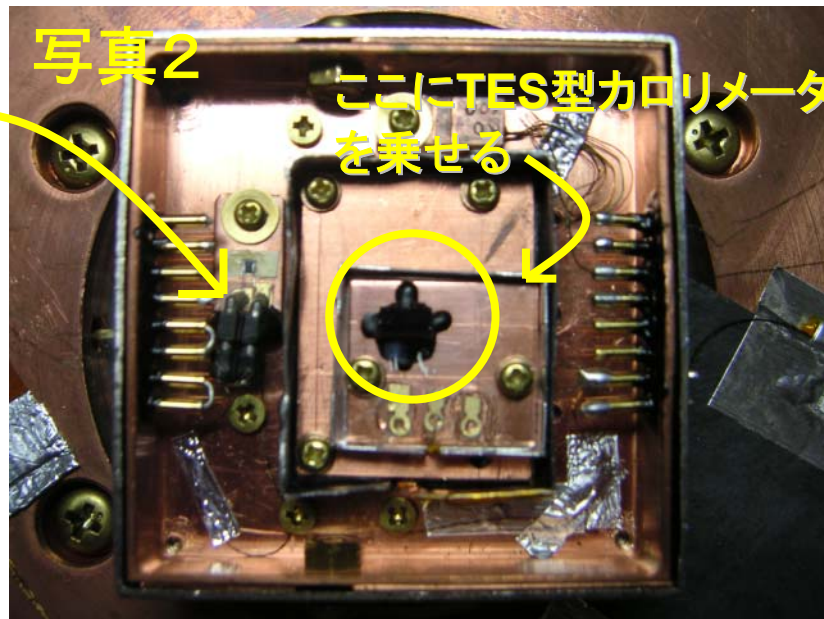


写真3

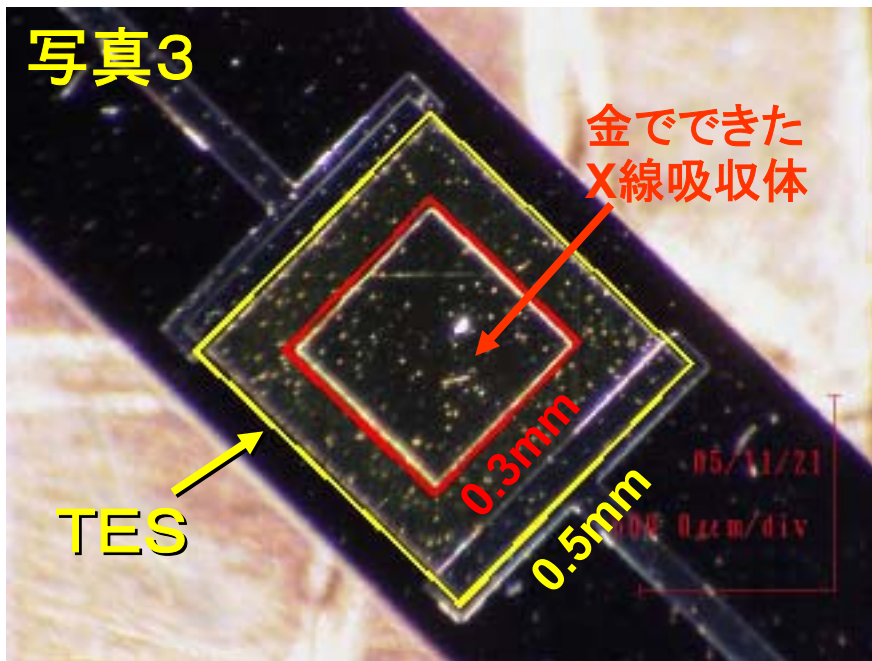
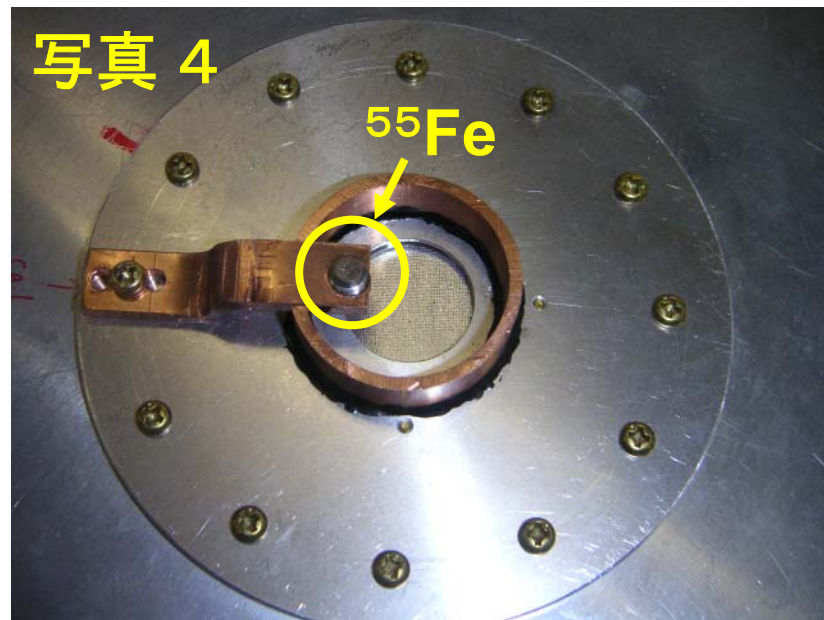


写真4



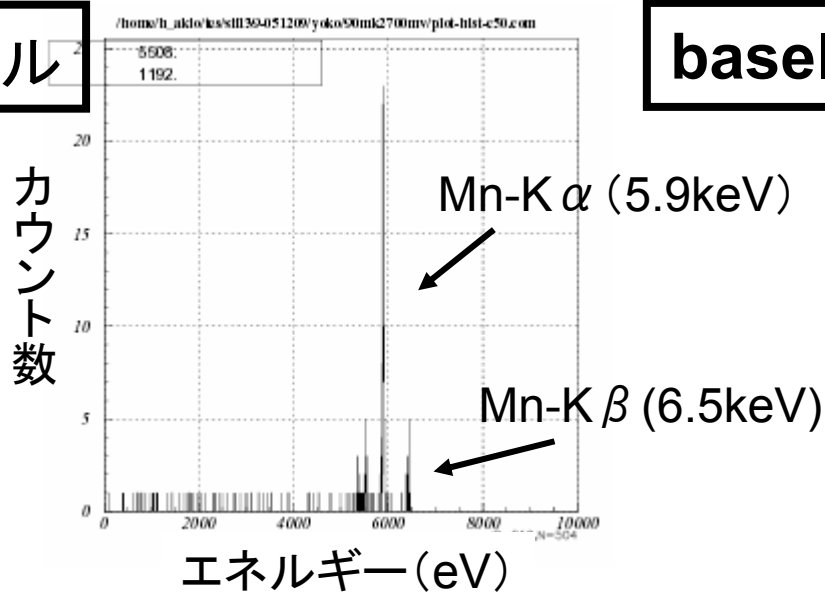
X線検出実験

- 熱浴温度 : 90mK
- カウント数 : 504 count / 2354秒
- 線源 : ^{55}Fe Mn K α : 5.9keV
Mn K β : 6.5keV

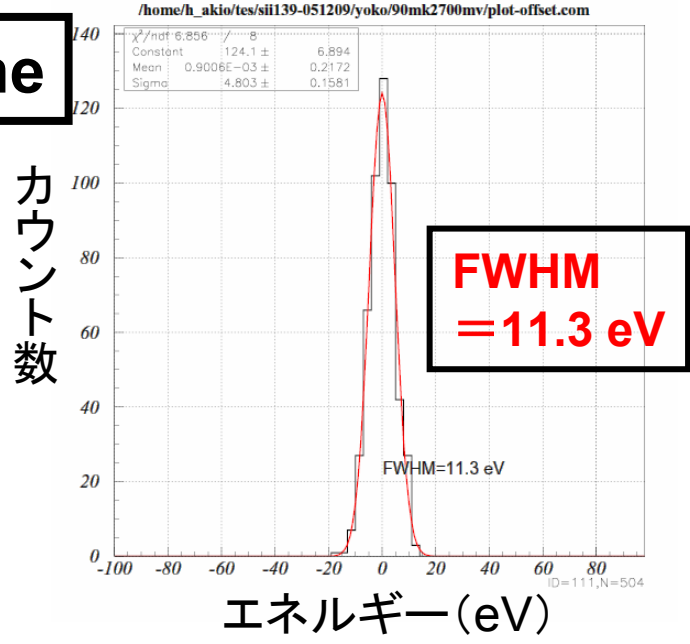
→5.9keVと6.5keVの所に2本の輝線が見えるはず

測定結果

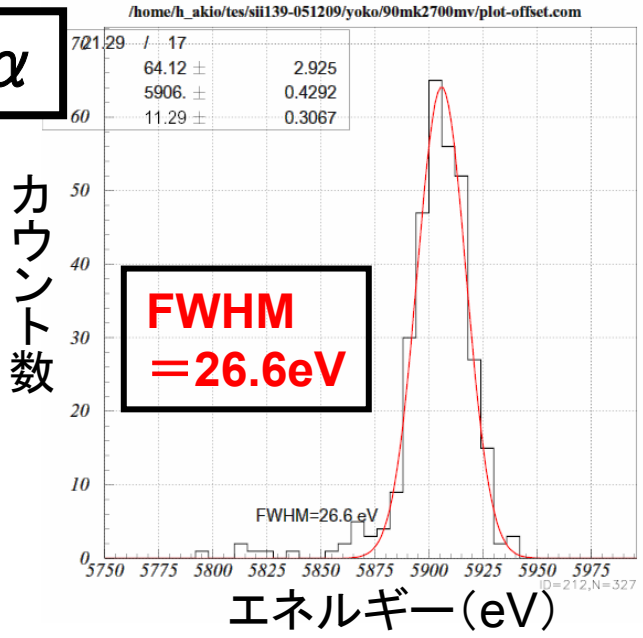
スペクトル



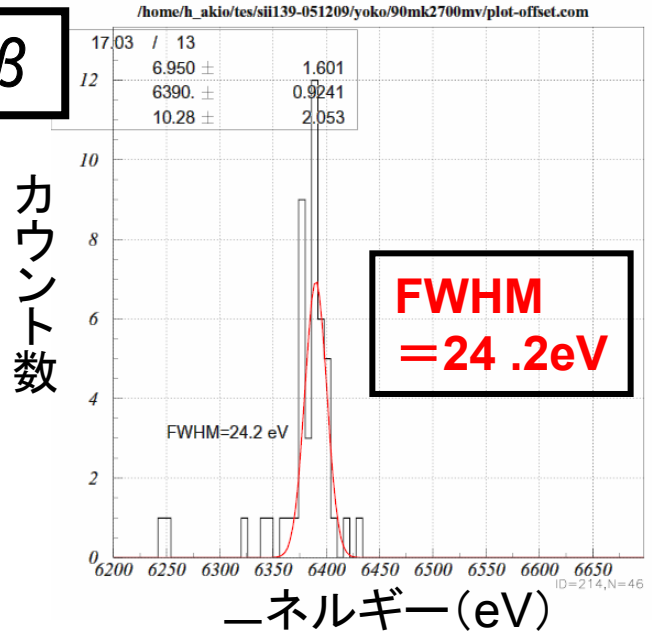
baseline



Mn-K α



Mn-K β



考察

X線のスペクトルとbaselineのエネルギー分解能の差の見積もりを計算した。

$$\Delta E_{\text{FWHM}} = \sqrt{\Delta E_{\text{baseline}}^2 + \Delta E_{\text{ばらつき}}^2} \quad \text{より}$$

$$\Delta E_{\text{ばらつき}} = 19.7 \text{ eV}$$

$\Delta E_{\text{ばらつき}}$ が生じる主な原因

- 熱浴の温度的な揺らぎ → 磁性塩の温度の揺らぎ
- X線の入射位置依存性 → 吸収体に当たる場所で熱の伝わり方が違う

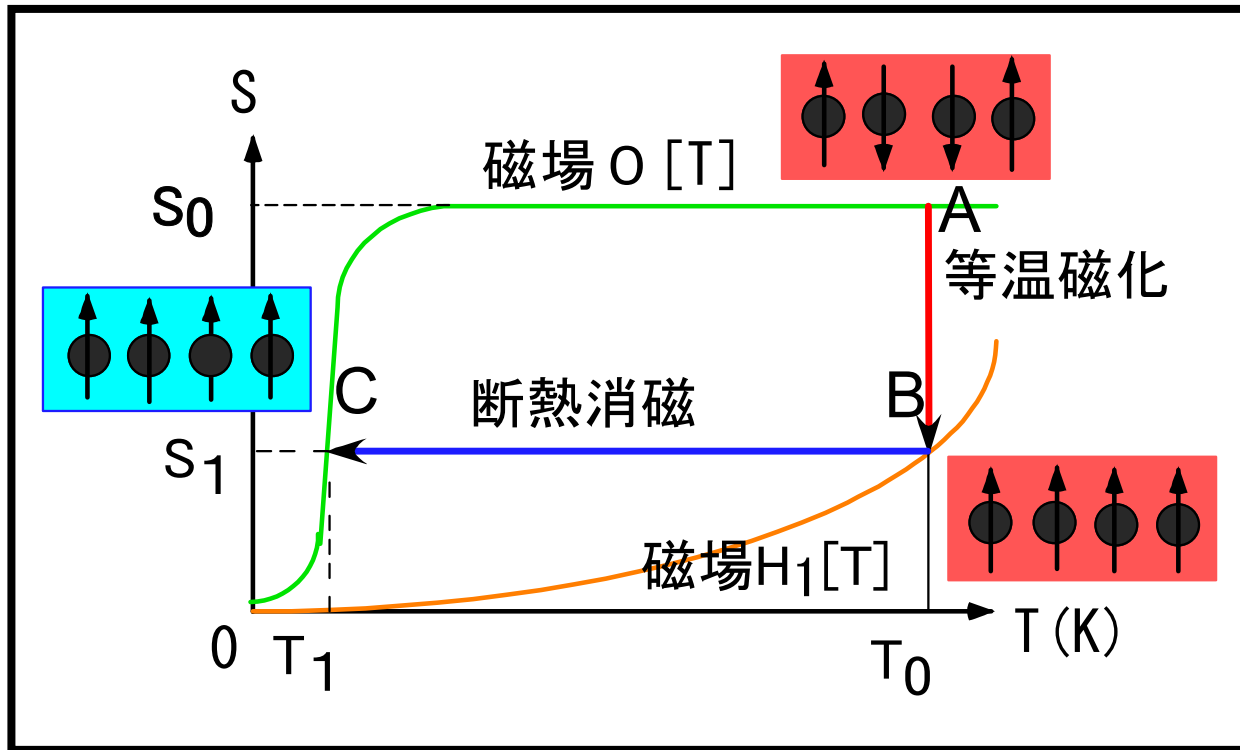
測定結果

- ADRを用いて、TES型カロリメータでMn-K α 、Mn-K β 共にX線スペクトルを検出することができた。

今後の目標

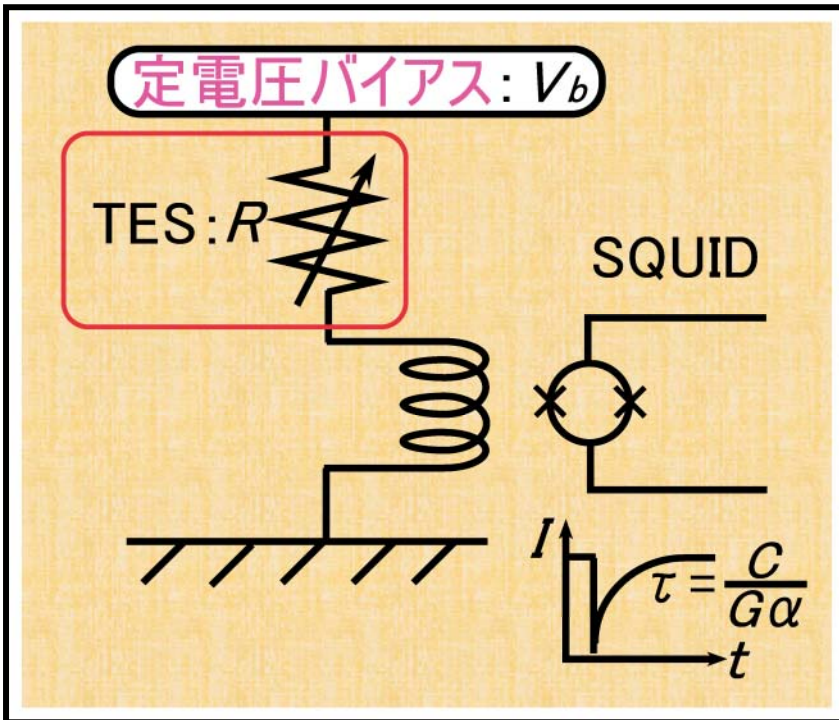
- ADRをX線発生装置と接続してX線スペクトルを取得する。

冷却の原理



磁性体の温度 T とエントロピー S の関係

ETFの原理



TES型カロリメータを定電圧で動作させる

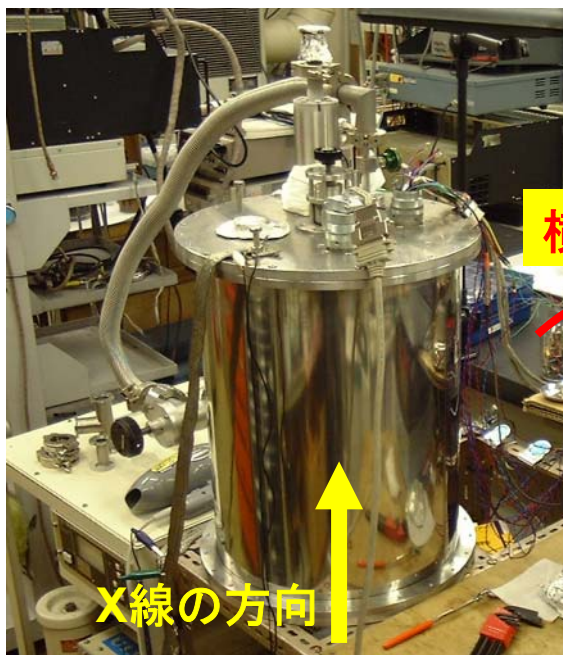
X線が入射した際に温度を下げようとする方向にフィードバックがかかる

TES型カロリメータを安定して温度制御できる

電熱フィードバック X線入射 $\rightarrow T \uparrow \rightarrow R \uparrow \rightarrow I \downarrow \rightarrow$ 発熱減少 $\rightarrow T \downarrow$

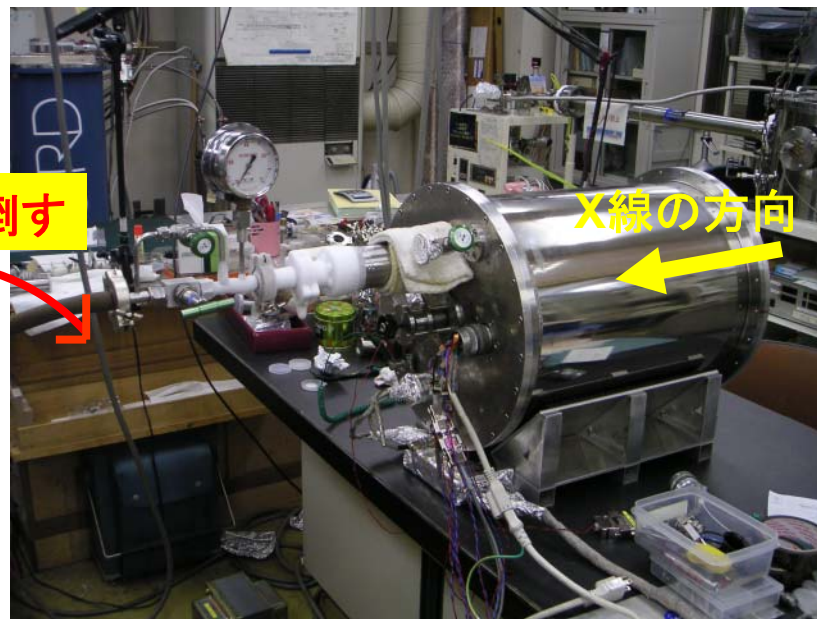
電流変化を検出 (SQUID 利用)

ADRの縦置きと横置き



縦置きのADR

横向きに倒す



横置きのADR

- 普段は縦置き状態で実験。
- 横置きにするとX線発生装置からの平行なX線を測定できる。
(ADRの外部からX線を入射できる！)

横置きにする時に予想される問題点

- 実験中、ADRを横に倒すタイミング
- 安定して横置きにできるか
- セットアップの変化によるノイズの増加