

TES型X線マイクロカロリメータを用いた 電荷交換反応機構の解明(2)

首都大宇宙物理実験研究室と原子物理実験研究室との共同研究

TESカロリメータの地上応用実験のための動作環境試験

○ 榎崇利

木村哲平, 赤松弘規, 江副祐一郎, 石崎欣尚, 大橋隆哉, 石田卓也, 島谷紘史,
田沼肇(首都大), 篠崎慶亮(ARD/JAXA), 満田和久(ISAS/JAXA)

研究目的

電荷交換反応

高電離イオンが中性ガスから電子をはぎとり、X線放射で基底状態へ遷移
 10^{-16} cm²もの大きな衝突断面積

電荷交換X線

太陽風と地球磁気圏ガスが作る軟X線背景放射
惑星の希薄な大気、超新星、銀河風などをプローブする新たな手段
特徴的な輝線 (禁制線、高電離線) を出すが、詳細な性質はまだ不明
→ TESカロリメータによる高いエネルギー分解能の地上実験が必要

具体的目標

電荷交換反応の断面積やX線スペクトルを測定
衝突エネルギー、イオンの種類、ターゲット元素による違いを理解する

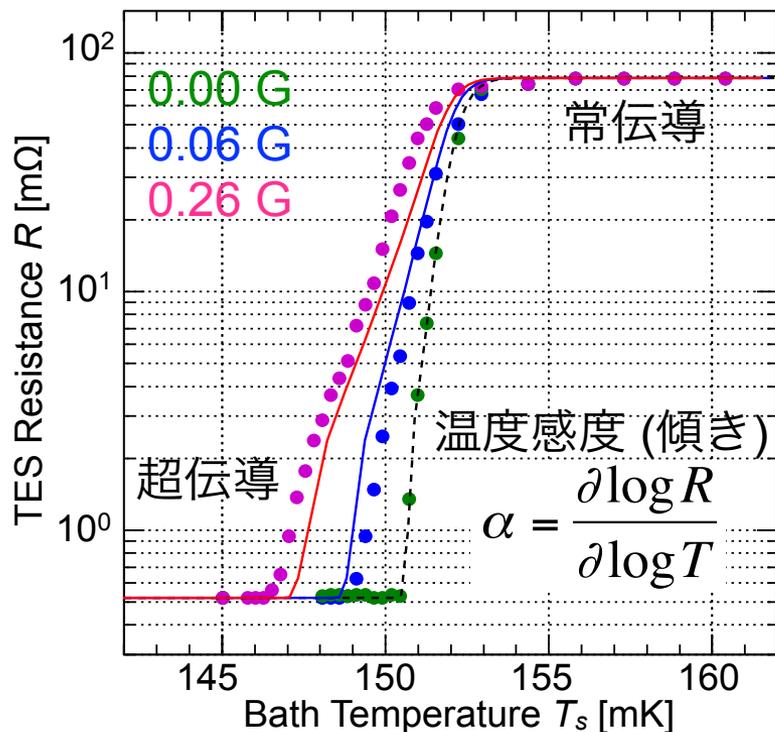
手段

電荷交換X線の発生：首都大原子物理グループの多価イオン衝突実験
X線スペクトルの測定：高分解能のTESカロリメータ (進捗状況: 本発表)

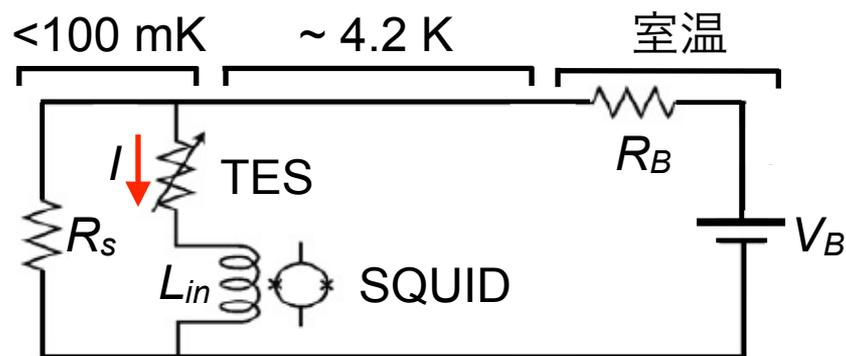
TESカロリメータの動作原理

TES: 超伝導遷移端の急激な抵抗変化を利用した温度計

TESのRT 曲線 (Ishisaki et al. 2007)



TESの回路



SQUID: 超伝導量子干渉計

TES	Ti / Au
lead	Al
size	350 x 350 μm^2
T_c	147 mK

※ T_c : transition temperature

磁場遮蔽の重要性 :

二層薄膜の超伝導転移の特性に磁場が大きく影響

SQUID (超伝導量子干渉素子=微小電流計)は磁場に非常に敏感

2段式断熱消磁冷凍機(ADR)の原理

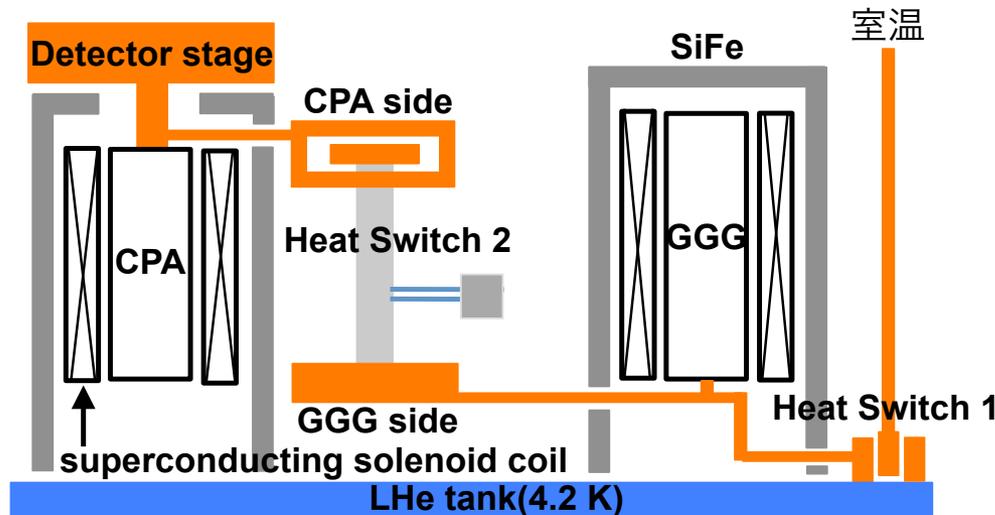
ADRは衛星搭載実績のある唯一の冷凍機

2段式により、**軽量**、**低磁場**で極低温を達成できる

低温動作時は、超伝導コイルの中心で 2000 G 程度

→ TES, SQUID 位置の磁場を下げるのが必須

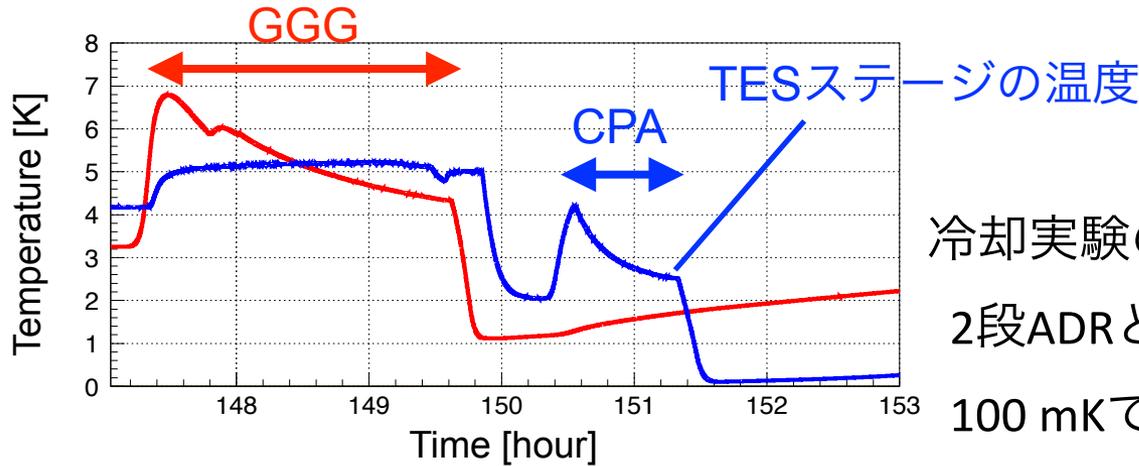
磁性体	GGG	CPA
最大磁場 [G]	33000	27000
最低温度 [mK]	~1000	<100



コンパクトで可搬



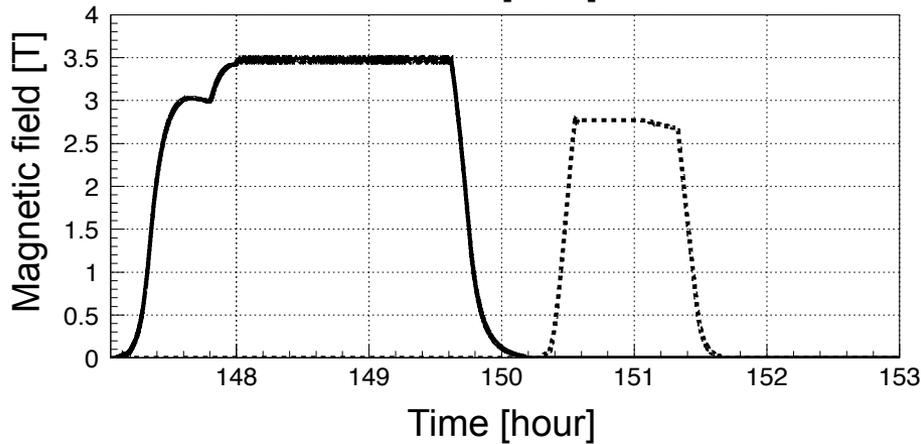
2段式ADRの性能評価



冷却実験の結果

2段ADRとしての冷却に成功

100 mKで2時間保持 (LHe減圧では5時間)



課題

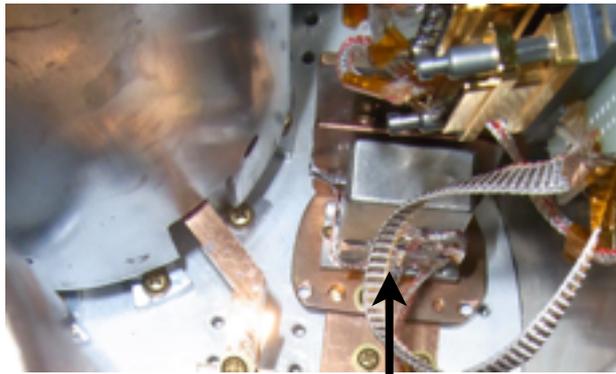
電荷交換実験には10時間程度保持したい

SQUID の動作試験

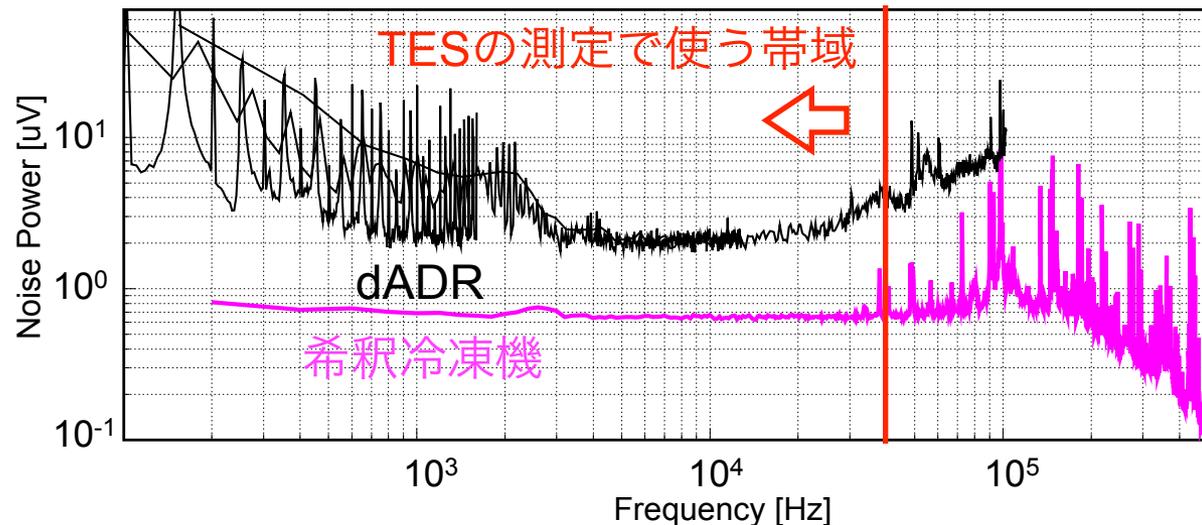
SQUID(超伝導量子干渉計):

TES を流れる電流の微小変化 (X線エネルギー)を読み出すデバイス
磁場にきわめて敏感 (0.1 Gほど)

- ◆ SQUIDの正常動作は確認できた
- ◆ 磁場の弱い場所に設置し、磁気遮蔽も効果的に行った
- ◆ ノイズレベルは、希釈冷凍機(磁場使わない)の3倍程度



磁気シールド: Nb, Permalloy
(SQUID は磁気シールド内)

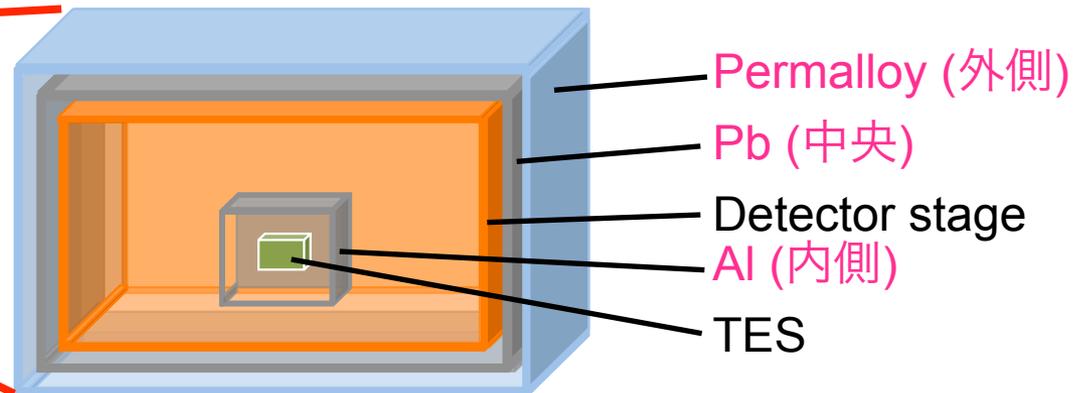
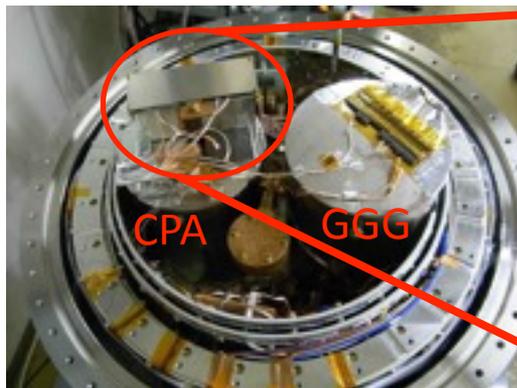


TES 周辺の磁気遮蔽

- ・ TESで動作実績のある3 G以下に磁場を押しさえるため、simulationも利用して多重遮蔽を製作した
- ・ 高透磁率の物質と超伝導物質を併用した磁気遮蔽 (片方だと常温か低温のどちらかでしか働かない)

Shield	thickness	T_c	H_c	μ
Al	0.5 mm	1.2 K	100 G	-
Pb	1 mm	7.2 K	800 G	-
Cryoperm	1 mm	-	-	100000

- ※ T_c : transition temperature
- ※ H_c : critical magnetic field
- ※ μ : magnetic permeability



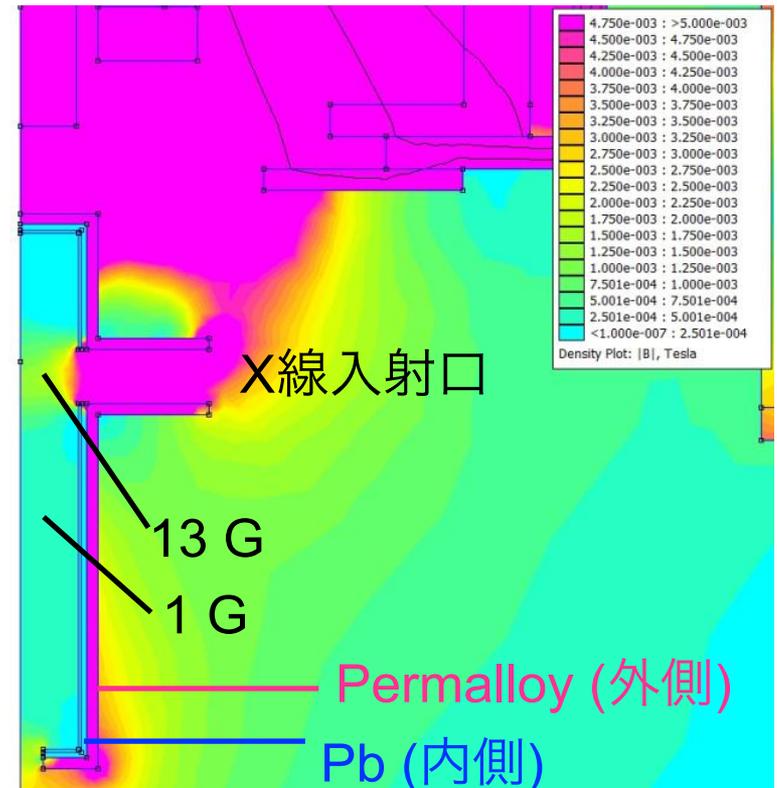
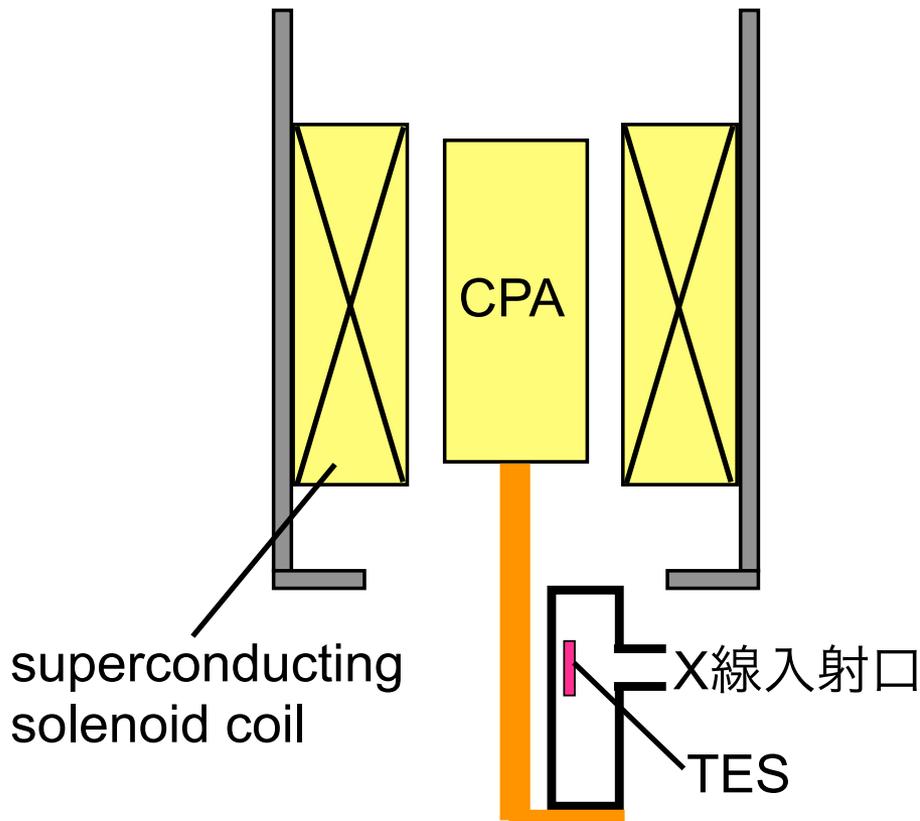
TES 周辺の磁場解析結果

軸対称を仮定した 磁場simulationで13 Gを予想

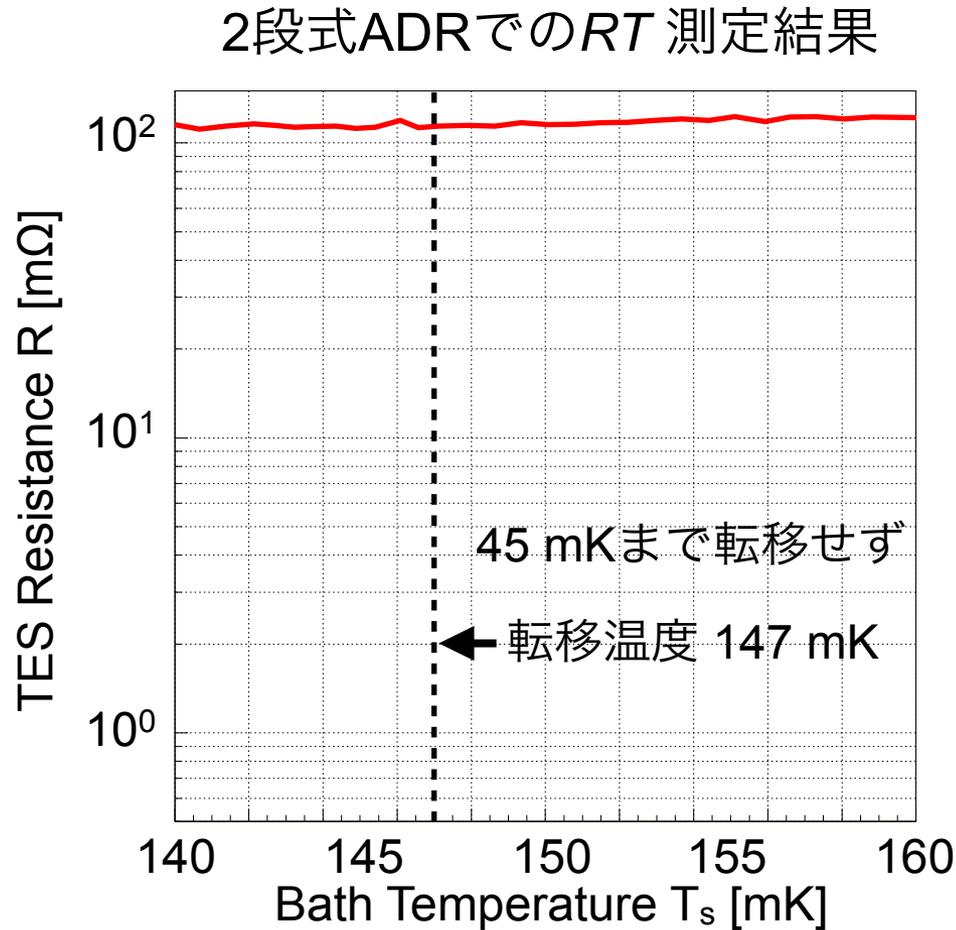
→ さらにAlシールドを追加 → 数G程度と推定される

磁場解析結果

100mK, 磁性体の中心で2000 Gを仮定



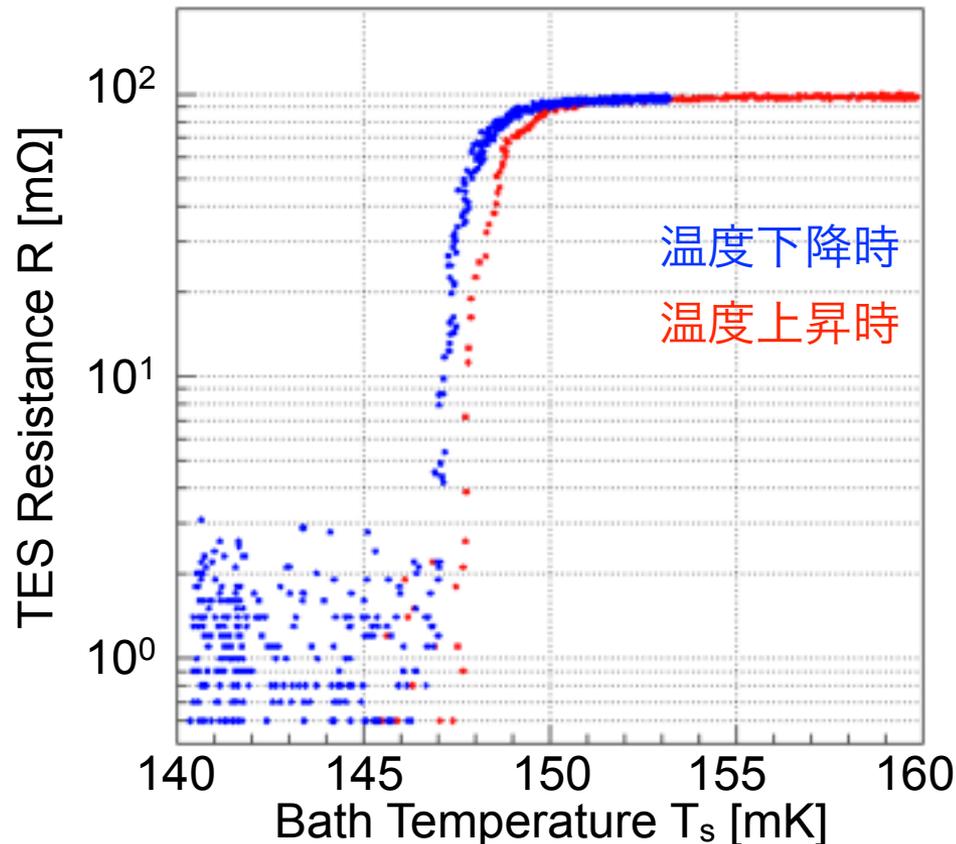
2段式ADRでのRT測定の結果



3 Gまで超伝導転移した実績のある素子で試験したが転移せず

2段式ADRでのRT測定の結果

2段式ADRに導入した素子を希釈冷凍機でRT測定した結果



同素子を希釈冷凍機(磁場無し)で冷却すると転移した
→ 磁気遮蔽に問題あると考えられる

まとめ

電荷交換反応の高分解能分光をめざして、TESカロリメータと2段式断熱消磁冷凍機による地上実験システムの整備を進めた

実験結果

2段式ADRは45mKまで冷却できている

SQUIDの動作に成功

磁場を数Gに低減させる磁気シールドを導入したが、TESが超伝導転移しなかった
転移しない原因は磁場と考えられる

今後

ホール素子を用いてTES周辺の磁場を測定

残留磁場が大きい場合、磁気シールドを増やす、又はTESの位置をずらす
TESの正常動作を経た後、電荷交換X線の測定を実施する