

2段式ADR冷却サイクル に関する研究

宇宙物理実験研究室

浅野 健太郎

2009.3.2

研究目的

TES型マイクロカロリメータ：0.1—10keVのX線に対し高いエネルギー分解能
100mK以下の極低温にてその性能を最大限発揮



宇宙用としては、無重力でも動作する断熱消磁冷凍機ADRを使用

2段式ADR冷却サイクルの最適化

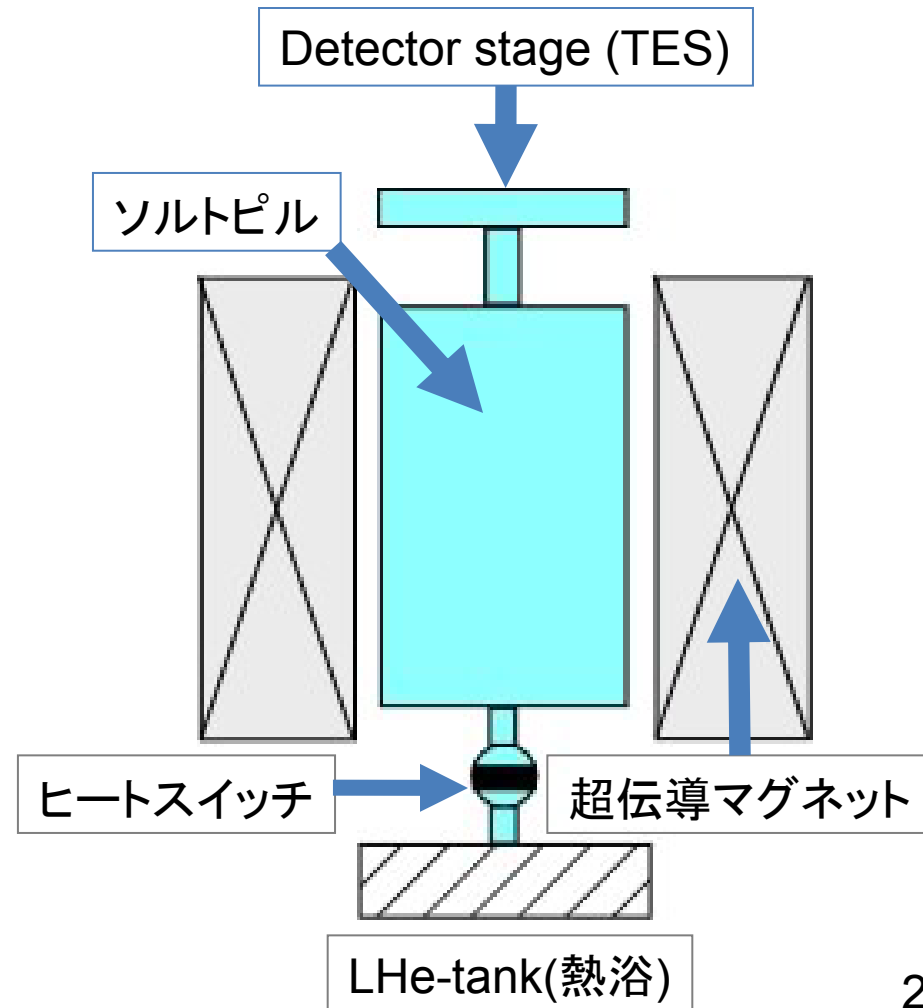
- 低温(50mK)保持時間の延長

将来の宇宙用冷凍技術(TESカロリメータの
プラットフォーム)の基礎データ

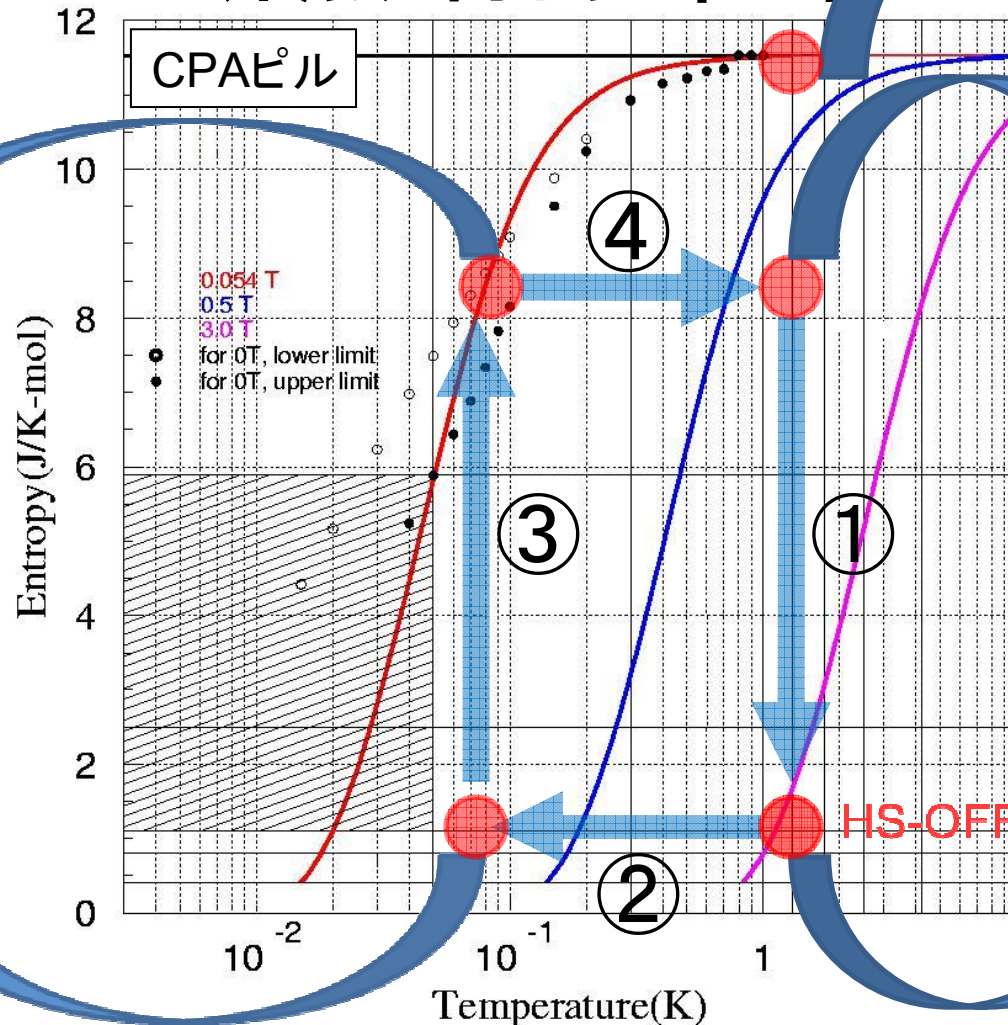
ADR (Adiabatic Demagnetization Refrigerator)

※主要部品は3つ

- 超伝導マグネット
→磁場制御
- ソルトピル
→常磁性体冷媒カプセル
- ヒートスイッチ(HS)
→熱伝導度制御
(高岡さんの発表)



断熱消磁冷却



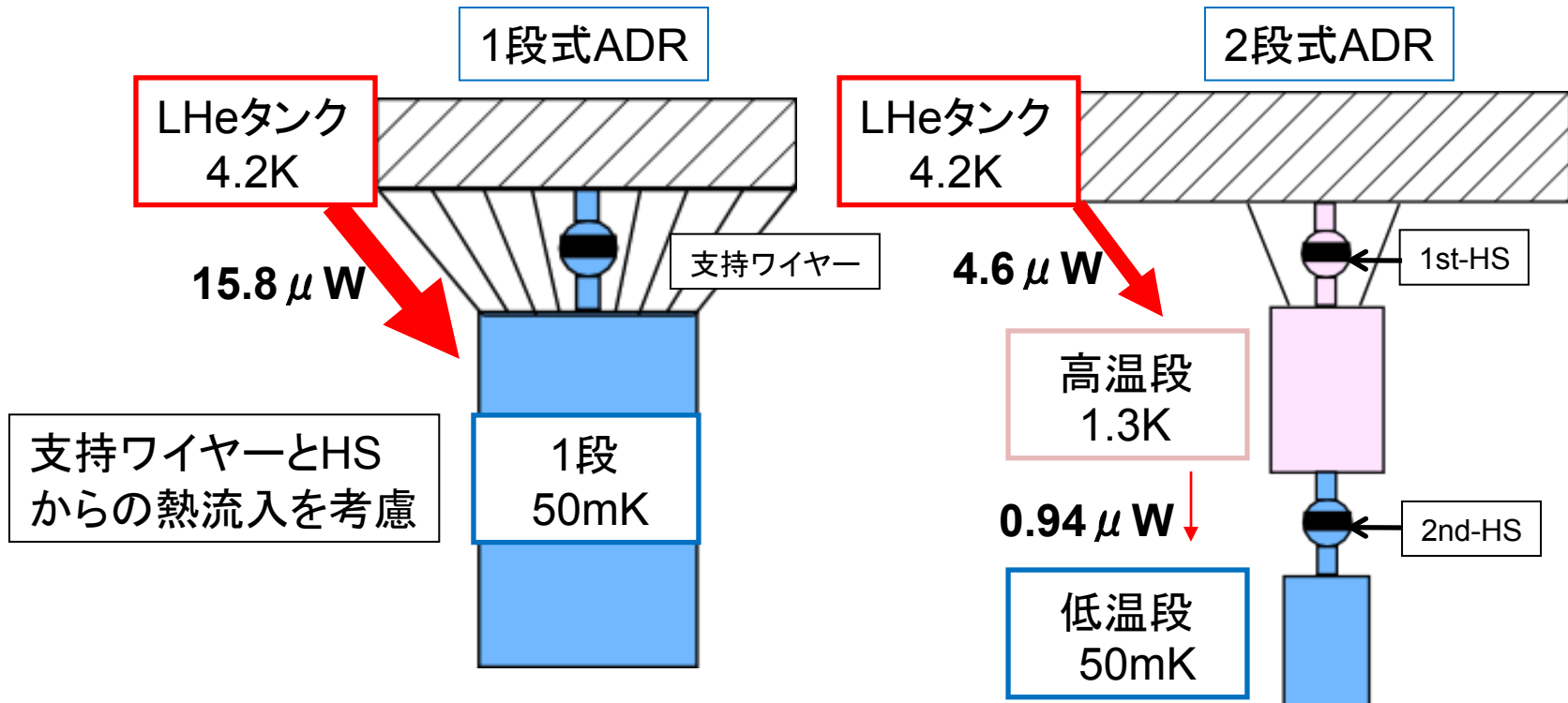
- ①等温励磁 → ②断熱消磁 →
 エントロピーと磁場の熱サイクル
 ③温度制御 → ④断熱励磁

磁場

磁場

低温段への熱流入(1・2段式比較)

断熱消磁4.2K開始・50mK5.7時間保持・最大磁場3.0Tでの見積もり

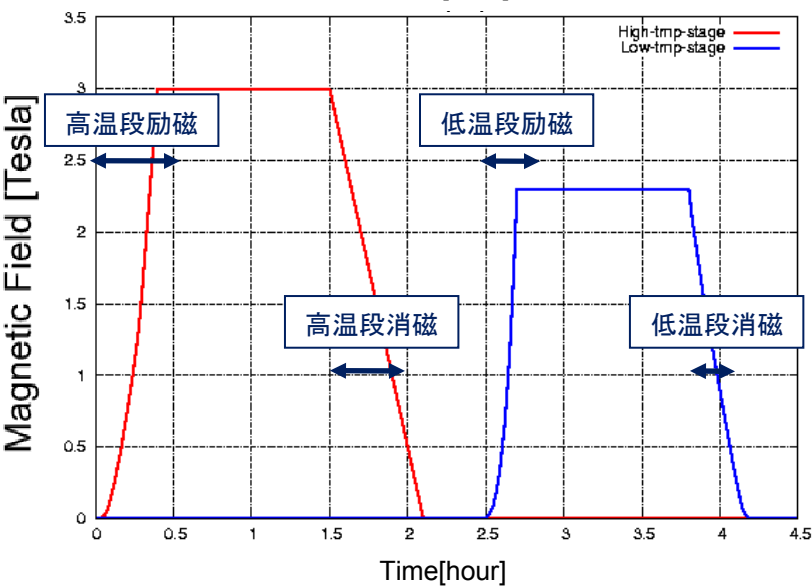
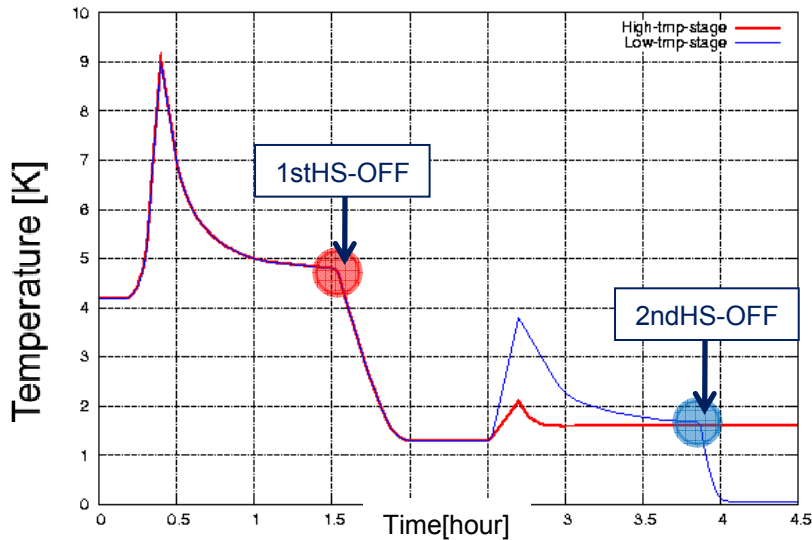


	1段式	2段式高温段	2段式低温段
必要結晶量 [g]	5882(FAA)	600(GGG)	85(CPA)
流入熱 [μW]	15.9	4.6	0.94
排熱量 [J]	367.8	52.4	0.55

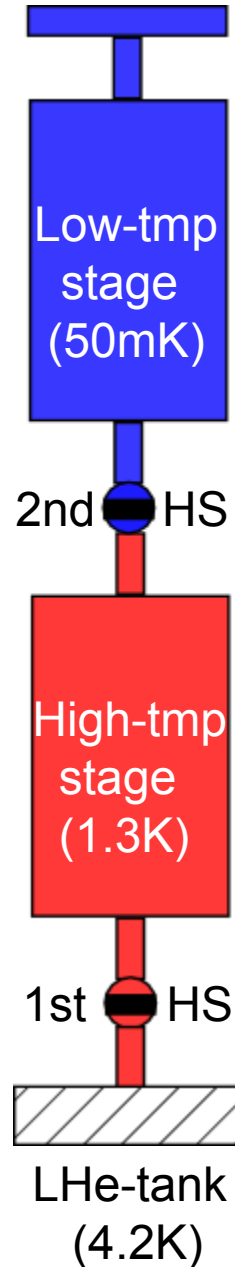
2段式ADRの方が流入熱・必要結晶量 共に少ない

2段式ADR冷却サイクル

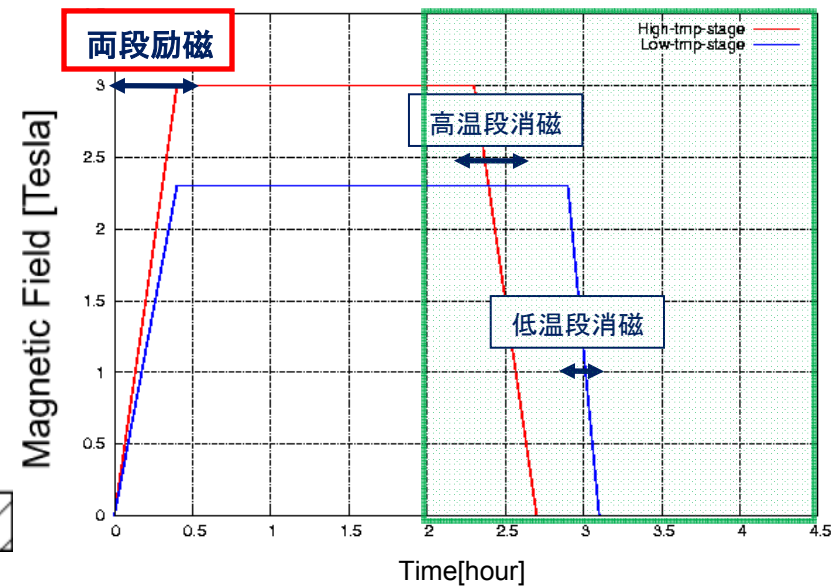
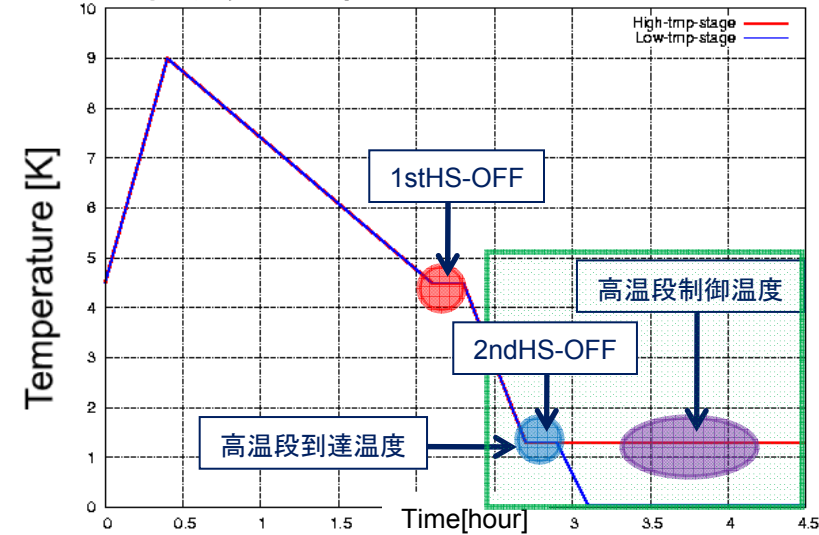
通常の冷却サイクル(実測値)



別々に断熱励・消磁

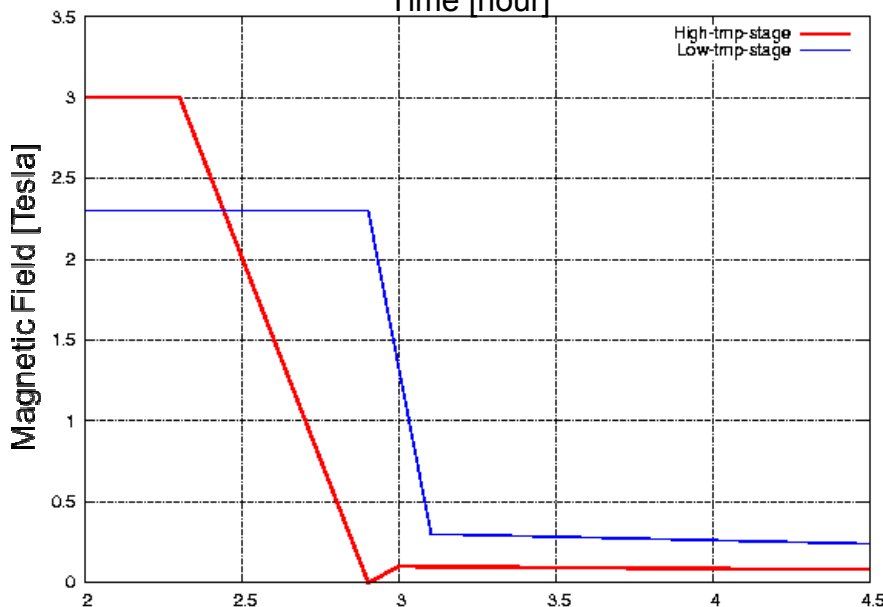
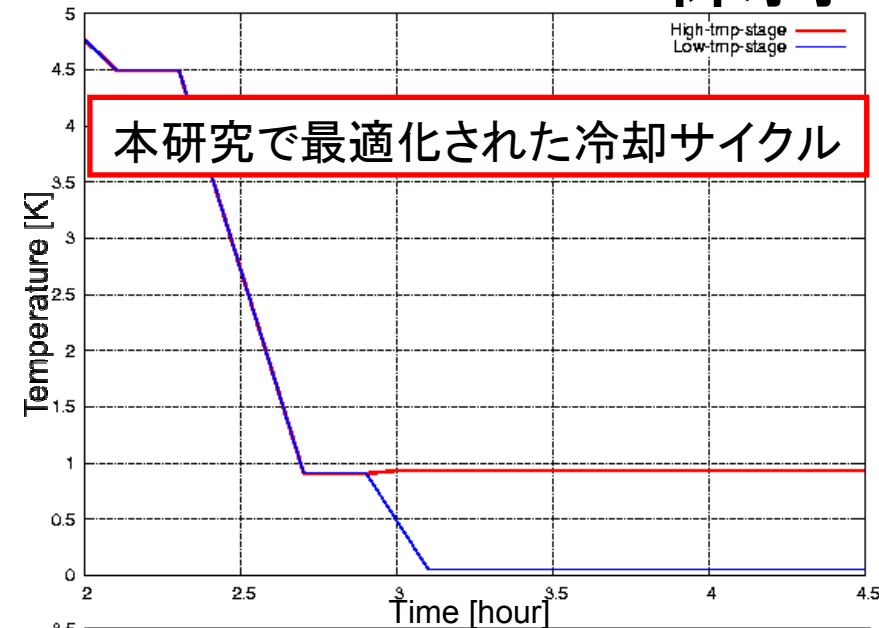


本研究の冷却サイクル(モデル)



同時に断熱励磁

保持時間比較



最適化冷却サイクル条件

- 同時励磁
- 高温段を物理的限界まで冷却
- 制御温度は30mK程高温維持

	通常励磁	同時励磁
高温段 到達温度 [K]	0.97	0.91
高温段 制御温度 [K]	0.97	0.94
50mK保持時間 [hour]	8.36	9.26
保持時間増加率 [%]		10.6



同時励磁サイクル冷却によって10.6%低温保持時間向上

まとめ

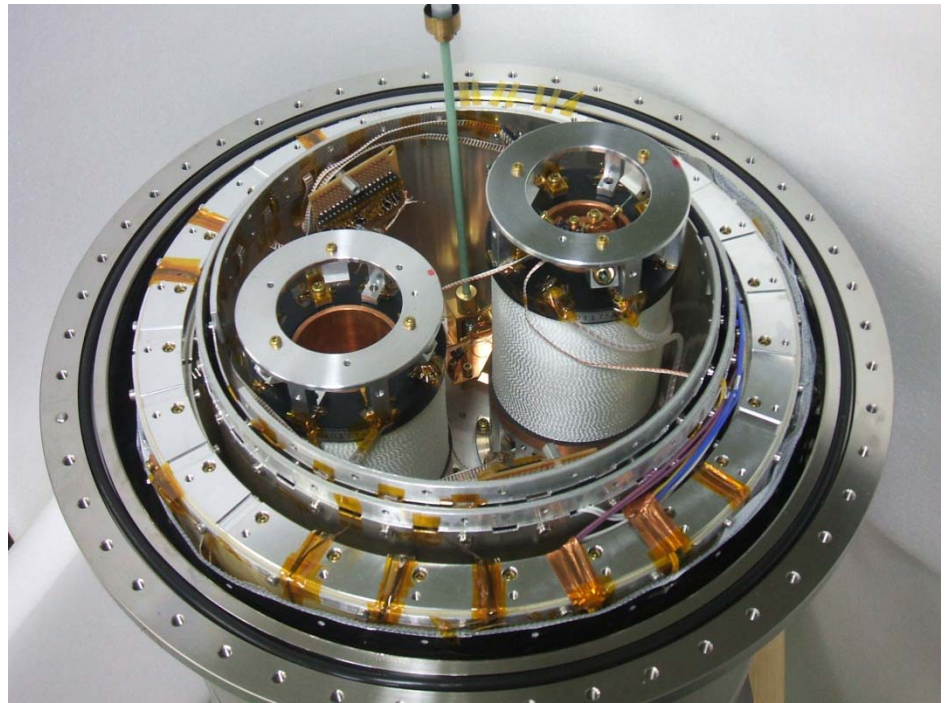
- 同時励磁冷却の有効性を示した
- 冷却サイクルの最適化を行い50mK保持時間を最大で10.6%延長出来る事を示した
- 実験での検証が必要

Appendix

宇宙研2段式ADR

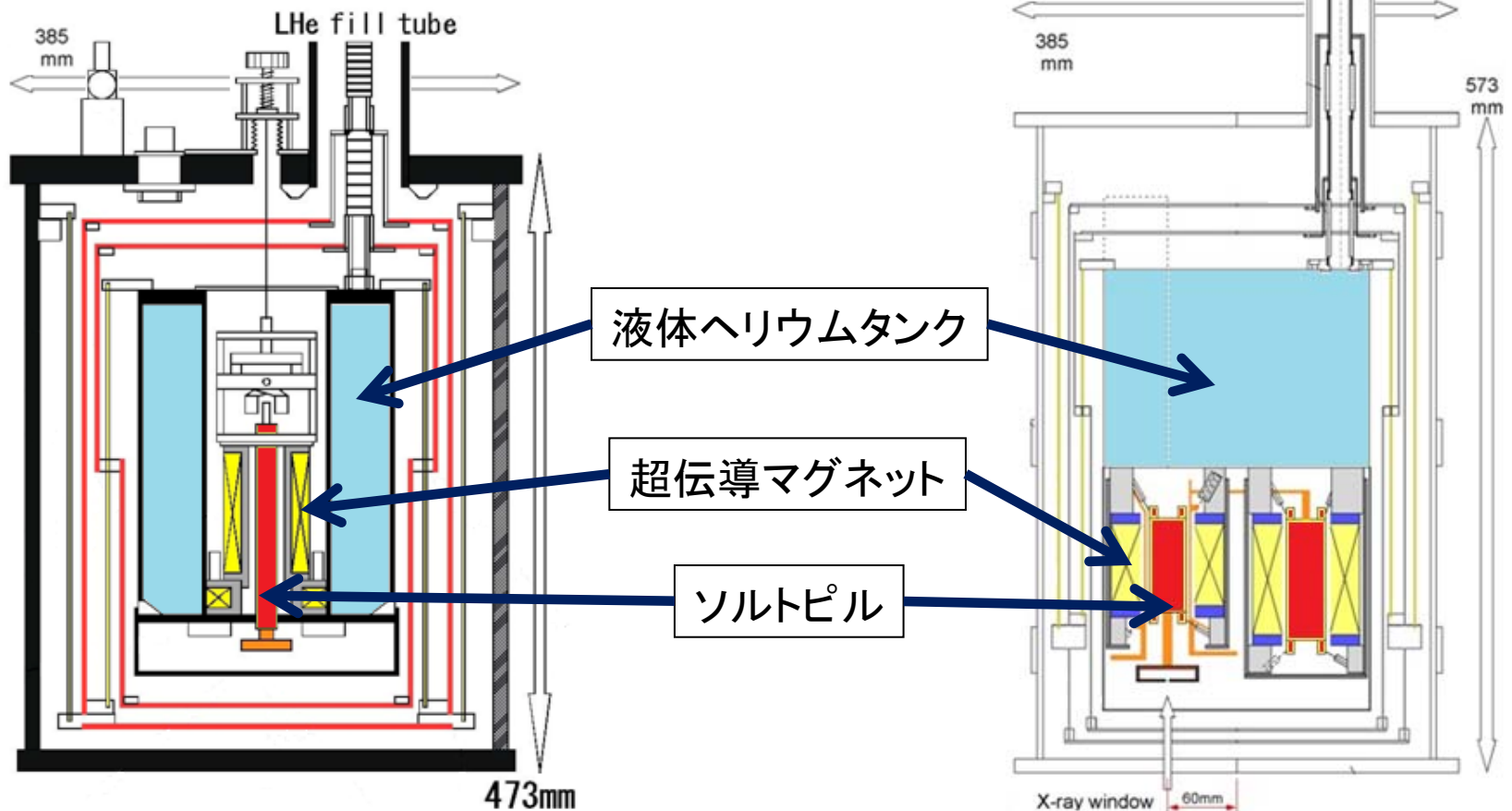


宇宙研2段式ADR外觀



宇宙研2段式ADR内部

1段式と2段式ADR構造



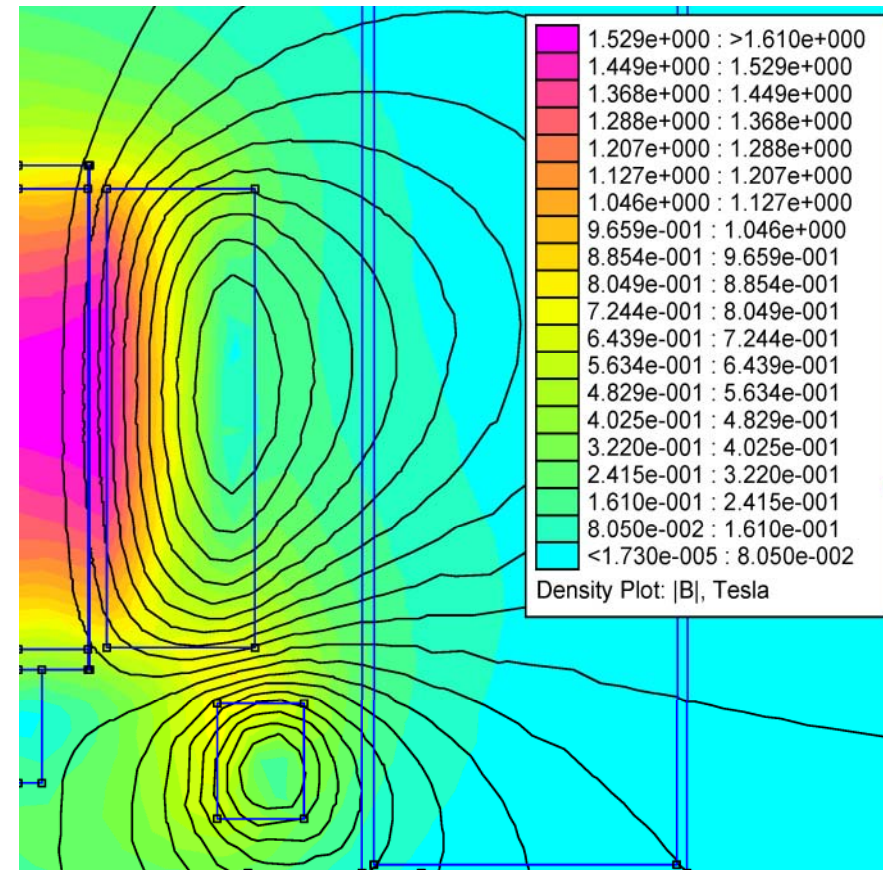
	首都大1段ADR	宇宙研2段ADR
外形 [mm]	$\Phi 385 \times 473$	$\Phi 385 \times 573$
LHe-tank [liter]	7.1	7.4
Saltpill crystal type	FAA	CPA + GGG

超電導マグネット

- 電流を流す事で磁場を作る
- 電流を熱が発生しない



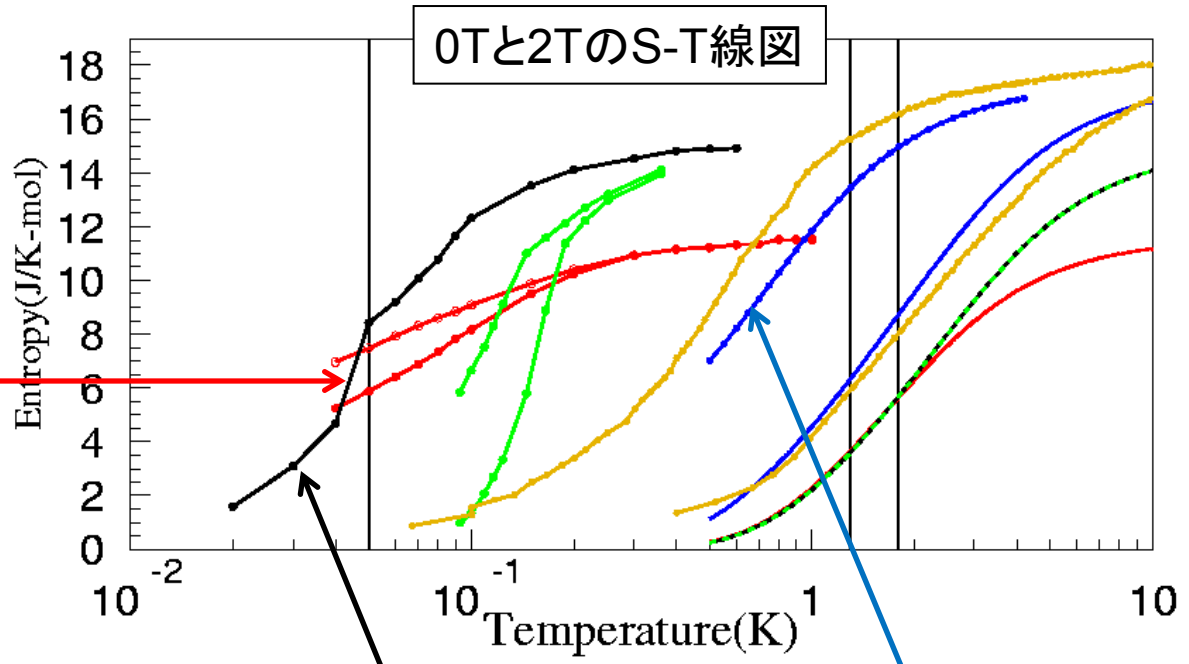
NbTi線 超電導マグネット



磁場分布: シミュレーション

ソルトピル

- 冷媒として常磁性塩を充填したカプセル
- 効率のよい
温度域がある



ソルトピル



CPA
(CrKミョウバン)



FAA
(鉄ミョウバン)



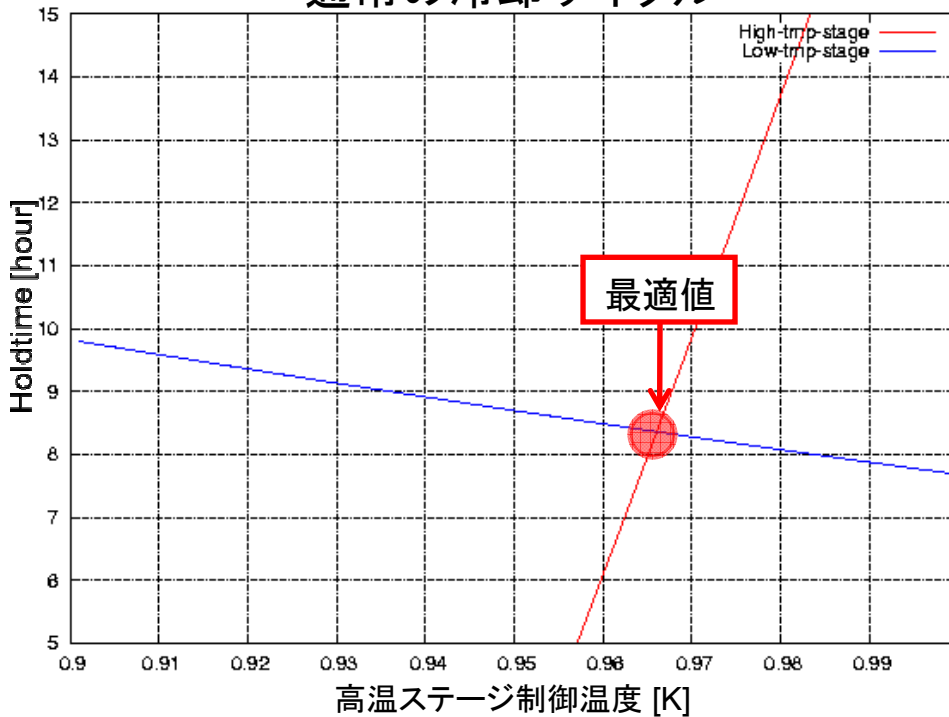
GGG
(Gallium Gadolinium Garnet)

首都大1段・宇宙研2段ADR性能比較

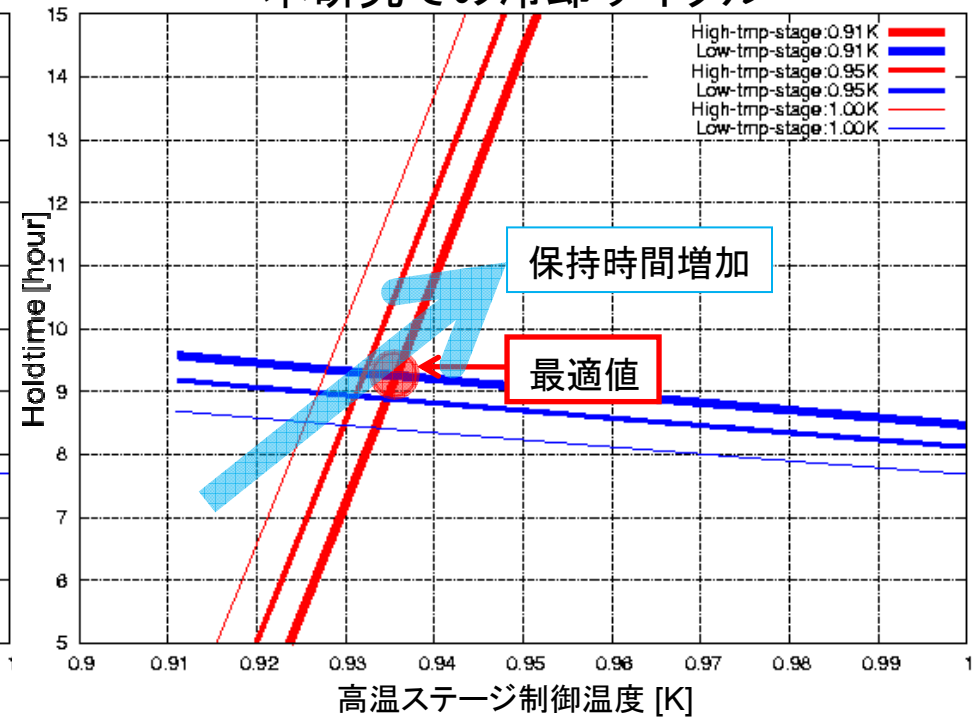
	首都大1段ADR	宇宙研2段ADR
50mK保持時間 [hour]	×	5.7(見積もり)
温度安定度 [rms]	$7\ \mu\text{K}$	$10\ \mu\text{K}$
最低到達温度 [mK]	66	50
LHe保持時間 [hour]	39.5(減圧2.2K)	>51(非減圧4.2K)
断熱消磁開始温度 [K]	2.5	4.5
Saltpill 重量 [g]	89(FAA)	85(CPA)+600(GGG)

保持時間最適値比較

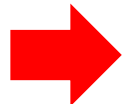
通常の冷却サイクル



本研究での冷却サイクル



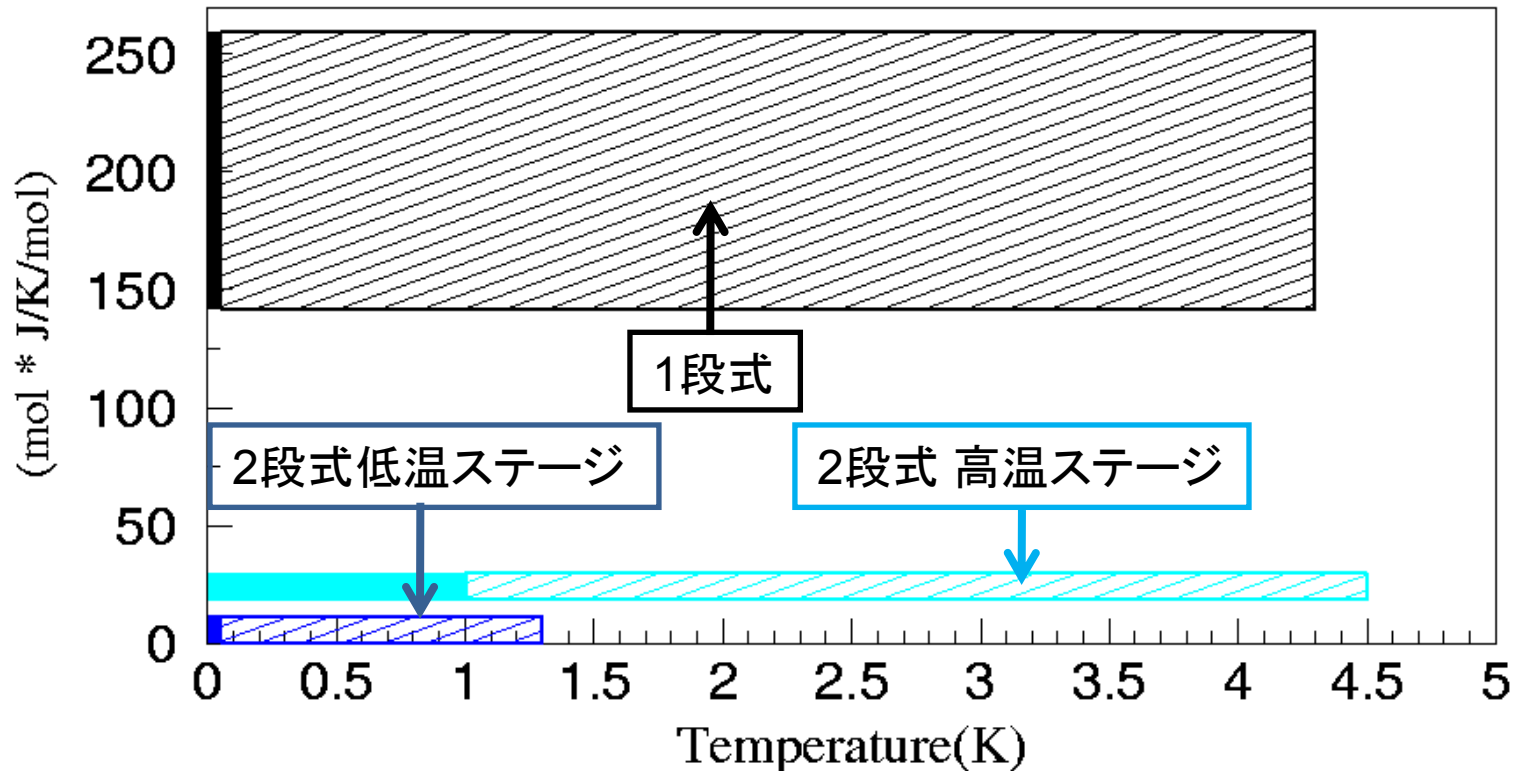
	通常励磁	同時励磁①	同時励磁②
高温段 到達温度 [K]	0.97	0.93	0.91
高温段 制御温度 [K]	0.97	0.93	0.94
50mK保持時間 [hour]	8.36	9.07	9.26
低温保持時間増加率 [%]			10.6



同時励磁サイクル冷却によって10.6%低温保持時間向上

2段式：熱浴への排熱量

断熱消磁4.2K開始で50mKを5.7時間保持で見積もると



	1段式ADR	2段式ADR
必要結晶量 [g]	5882(FAA)	600(GGG)
排熱量 [J]	367.8	52.4

➡ 2段式ADRの方が排熱量・必要結晶量 共に少ない