

# 卒業論文

## 冷却性能向上を目指したsaltpillの製作



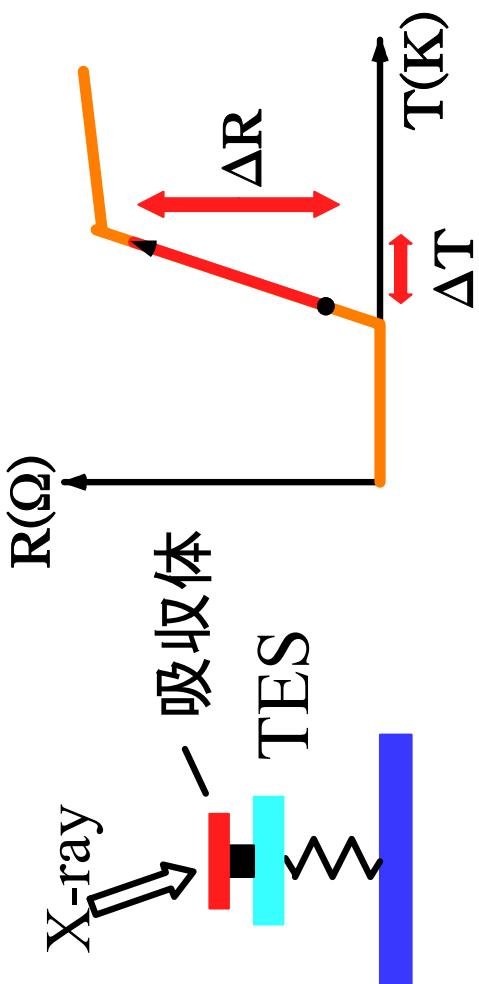
宇宙物理実験研究室

0041030

新妻周子

# ①本研究の目的

◎TES型マイクロカロリメータ



X線入射の際の微細な  
温度変化をとらえる  
TES温度計…  
超伝導遷移端にて  
温度に対し大きな抵抗変化

◎極低温冷凍機  
動作温度 ~100mK程度

無重力空間では  
断熱消磁冷凍機のみ  
実現可能

# ①本研究の目的

◎ TES型マイクロカロリメータ  
X線の入射エネルギーを温度上昇として測定



極低温において、高いエネルギー分解能

このため、断熱消磁冷凍機(ADR)  
が必要。動作温度は、~100mK。

◎ 目的  
ADRの心臓部であるsaltpillの設計、  
組み立て、および結晶作成。

# ①本研究の目的

◎ TES型マイクロカロリメータ  
X線の入射エネルギーを温度上昇として測定



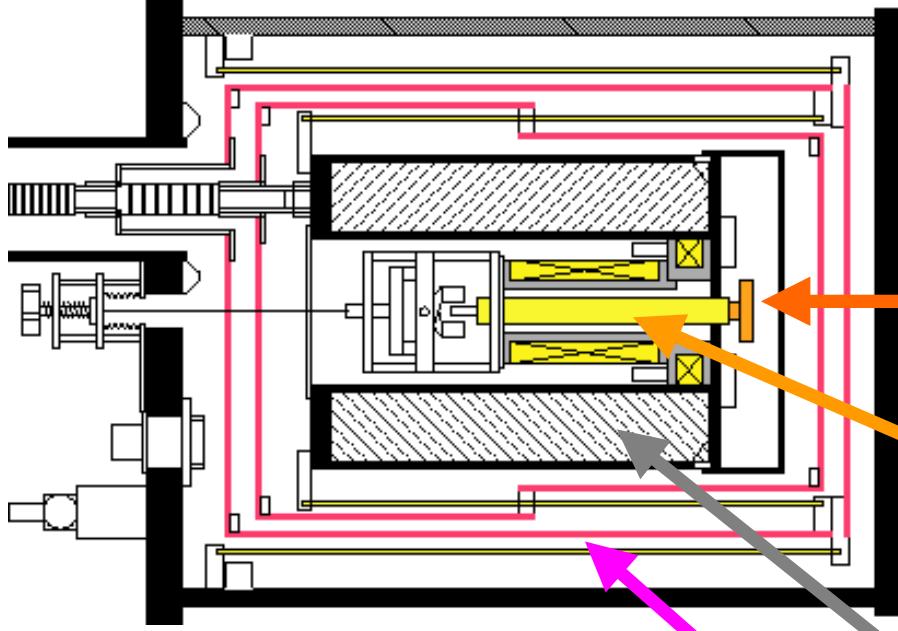
極低温において、高いエネルギー分解能

このため、断熱消磁冷凍機(ADR)  
が必要。最低到達温度は、 $\sim 30\text{mK}$ 。

◎ 研究内容

ADRの心臓部であるsaltpillの設計  
および結晶作成。

## ADRの構造

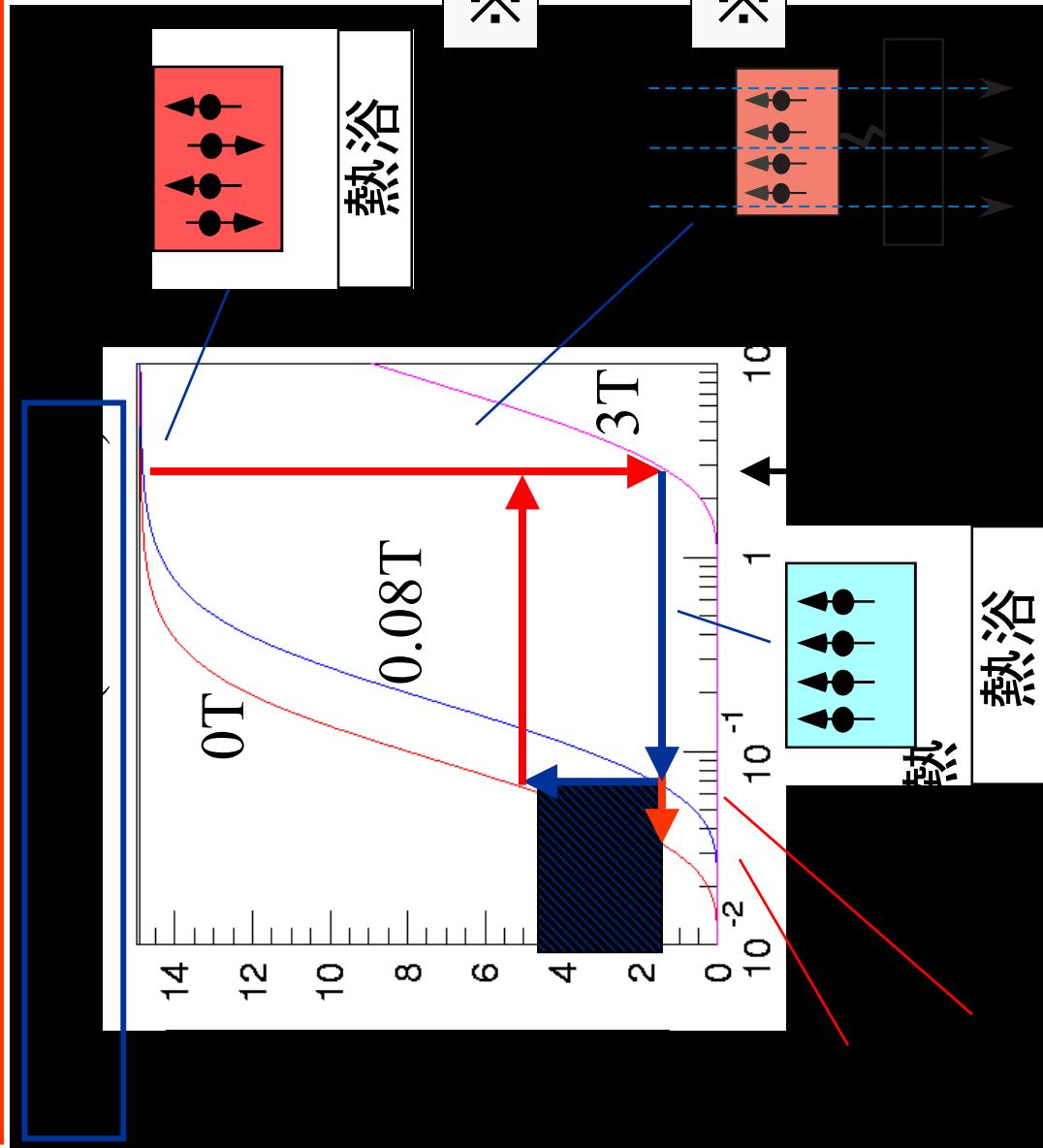


saltpill  
Al  
液体Heタンク  
detector table

## ②断熱消磁の冷却原理

ADR ---Adiabatic Demagnetization Refrigerator

◎極低温における常磁性体の磁気的相転移を利用



## ② 冷却原理

$$B/T = B'/T' = \text{const}$$

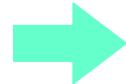
常磁性塩に磁場を与える。



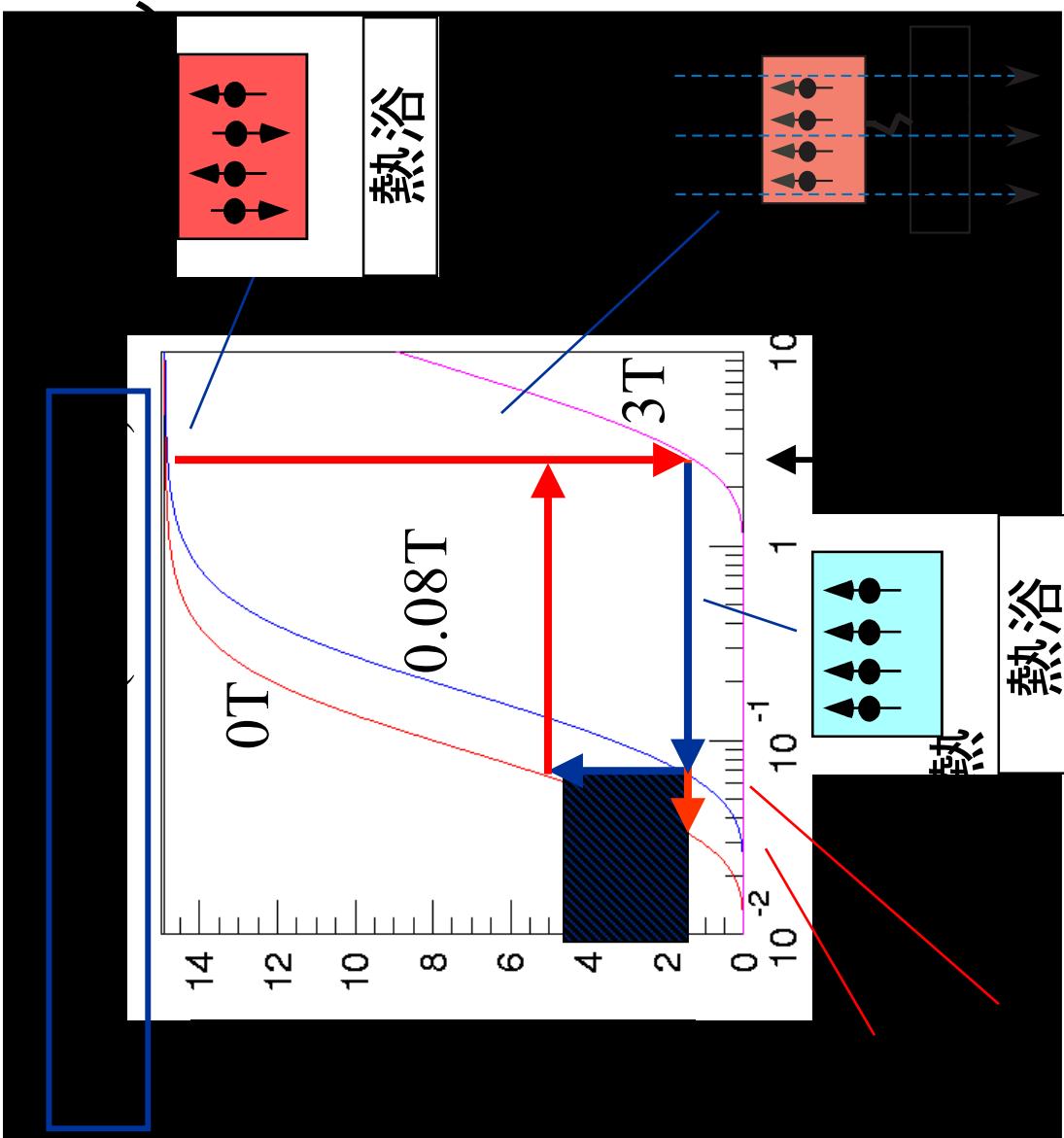
スピinnがそろい、  
エントロピーが下がる。



その状態で断熱し、  
磁場を取り去る。



左上の式に従つて、  
常磁性塩の温度が  
下がる。



## ② 冷却原理

$$B/T = B'/T' = \text{const}$$

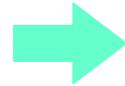
常磁性塩に磁場を与える。



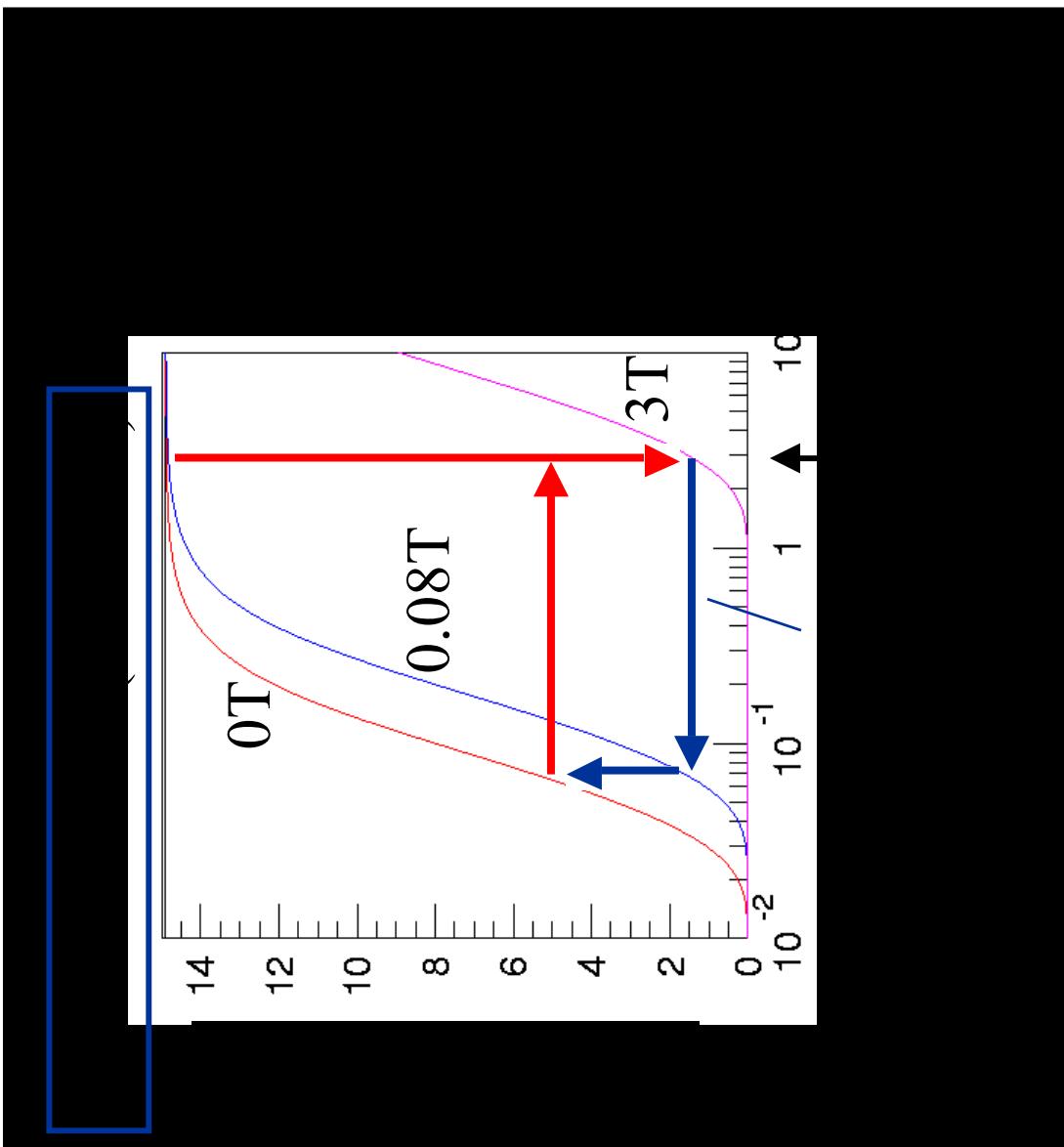
スピinnがそろい、  
エントロピーが下がる。



その状態で断熱し、  
磁場を取り去る。



左上の式に従つて、  
常磁性塩の温度が  
下がる。



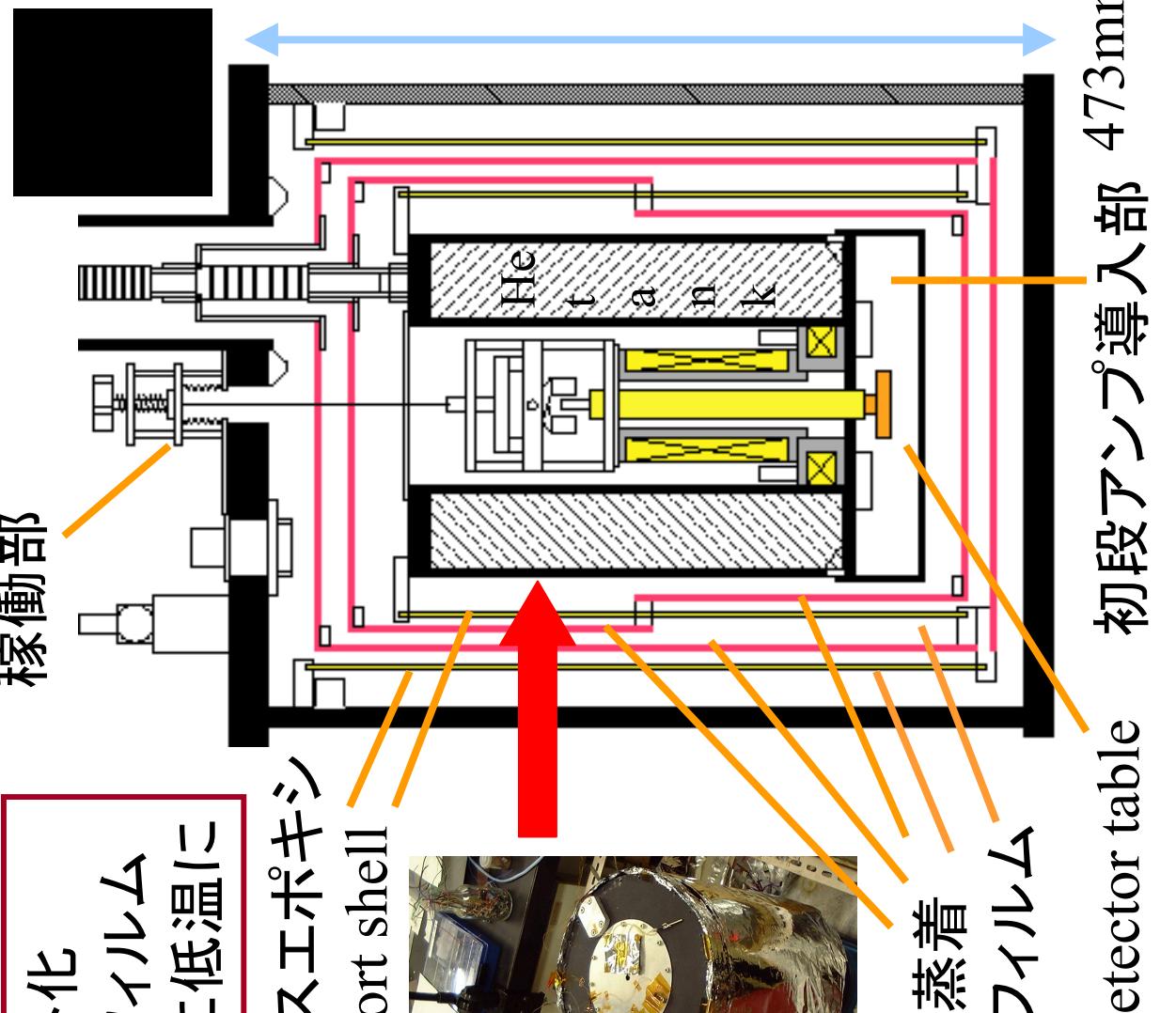
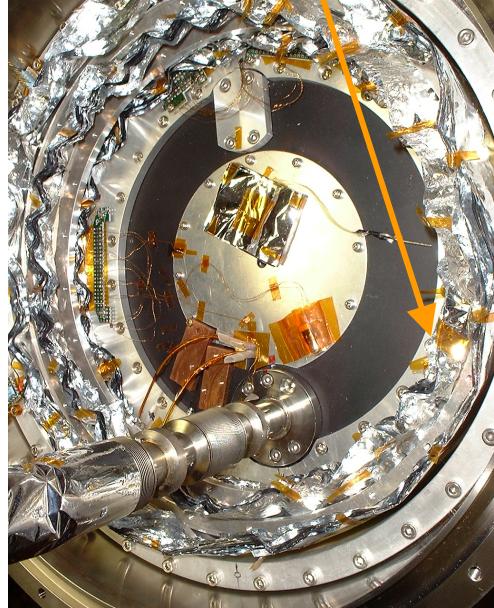
### ③ADRデュワーの構造

ヒートスイッチ

- 蒸気冷却方式 コンパクト化
- 多層断熱 80枚Al蒸着フィルム
- 7ℓ He tank 減圧してさらに低温に

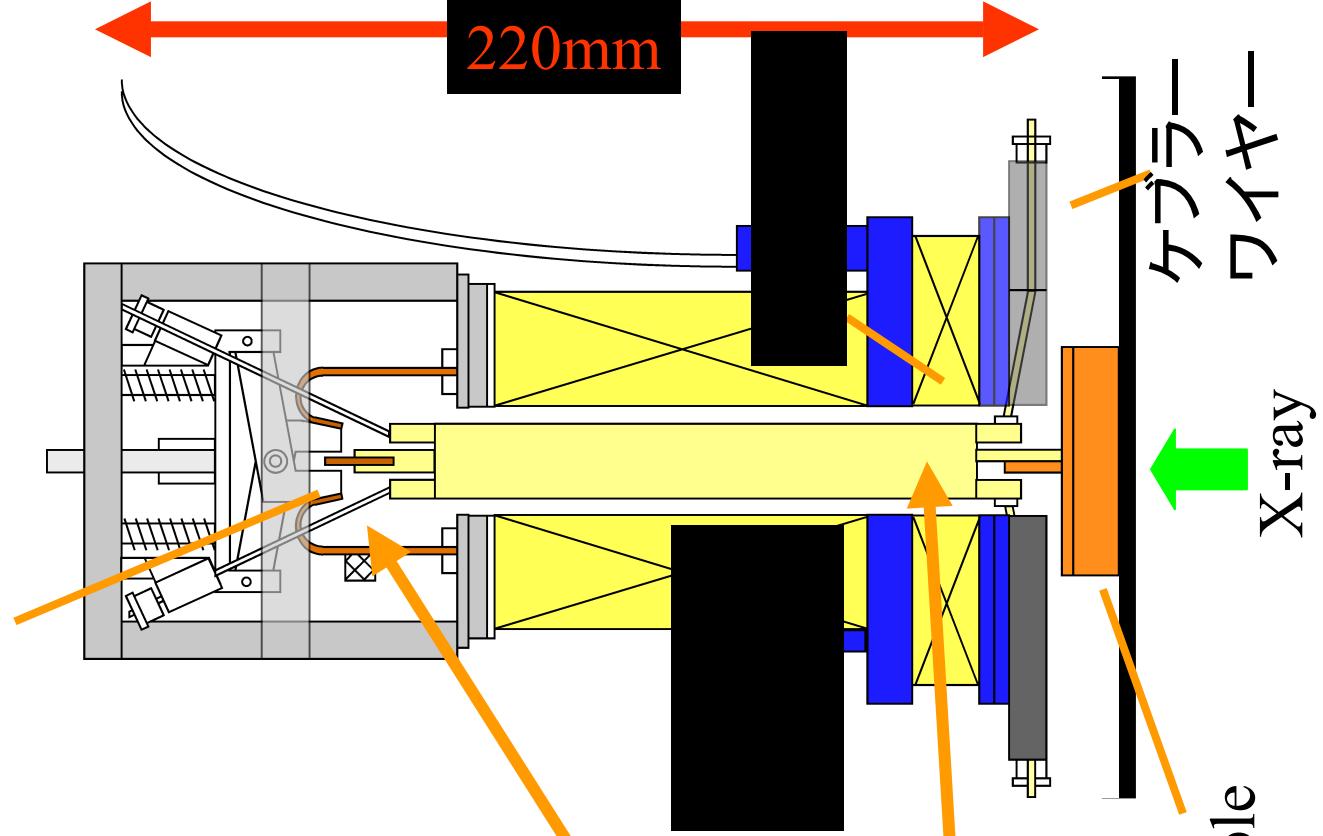
稼働部

ガラスエポキシ  
support shell



## ④ ADR中心部の構造

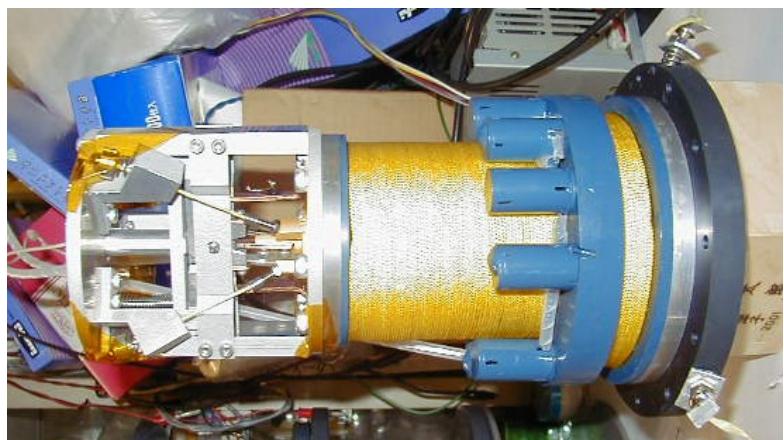
ヒートスイッチ



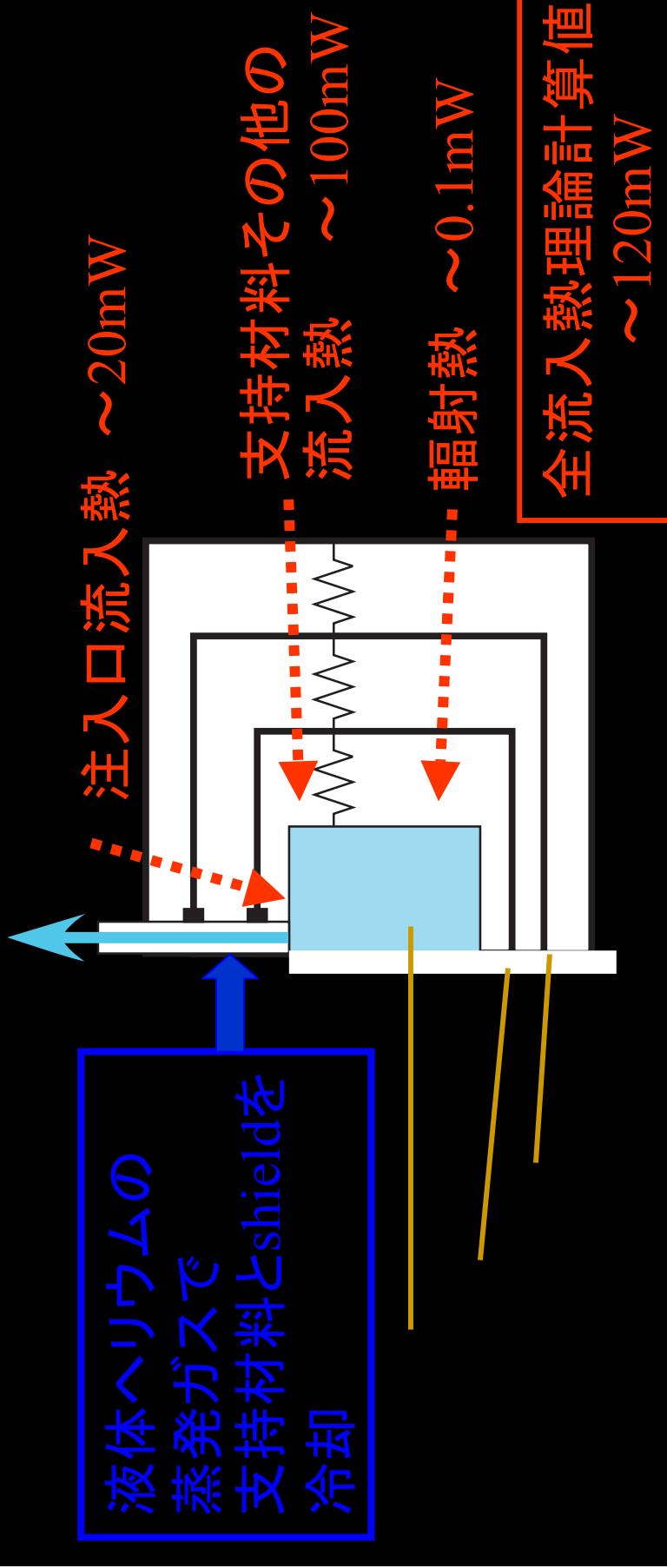
◎ saltpill --- 磁性体のカプセル  
FAA(鉄ミヨウバシ) 89.8g(0.187mol)

◎ 超伝導マグネット

NbTi線 約4万turn max 4T@7.8A  
補償コイル 磁場を99%キャンセル



## ⑤ テュワーネ能



### ◎ 冷却試験結果

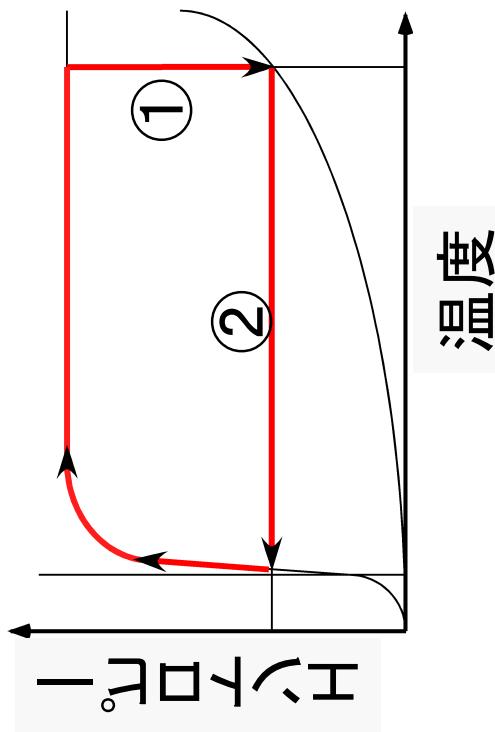
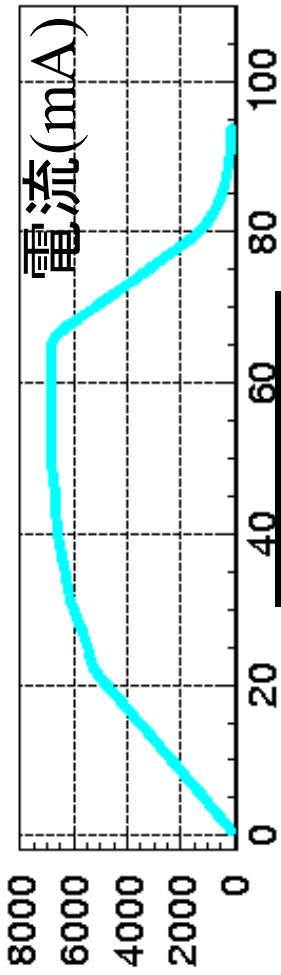
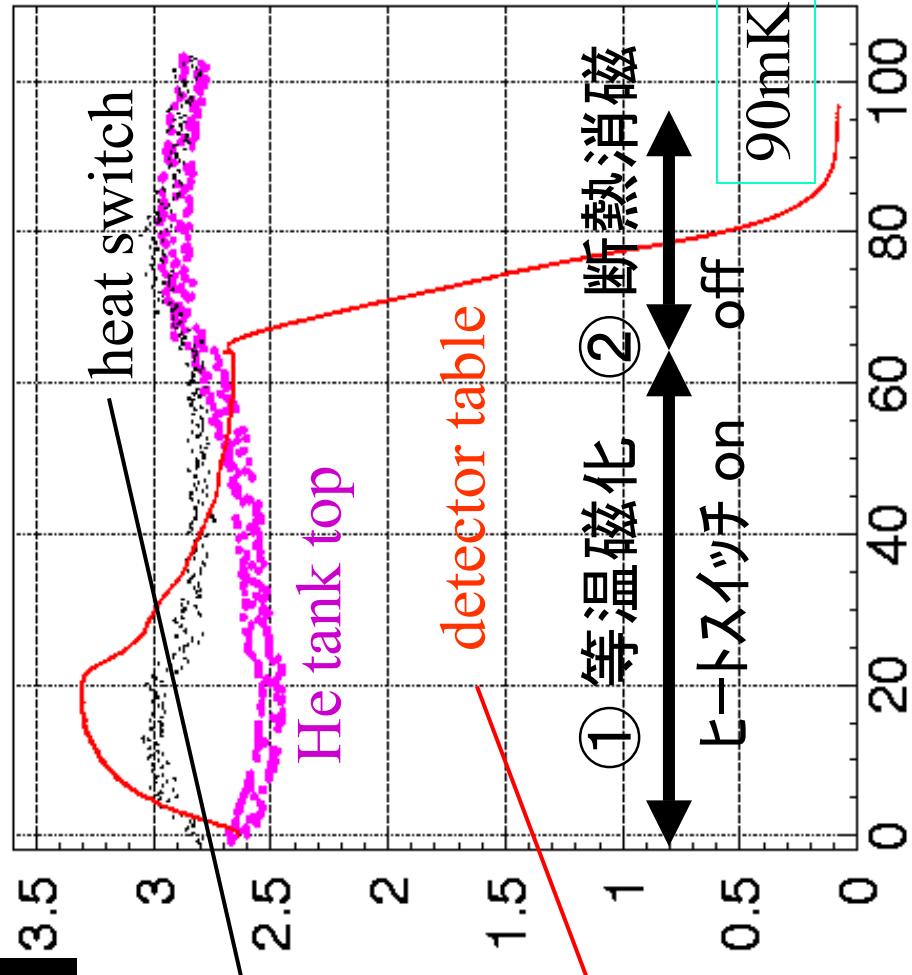
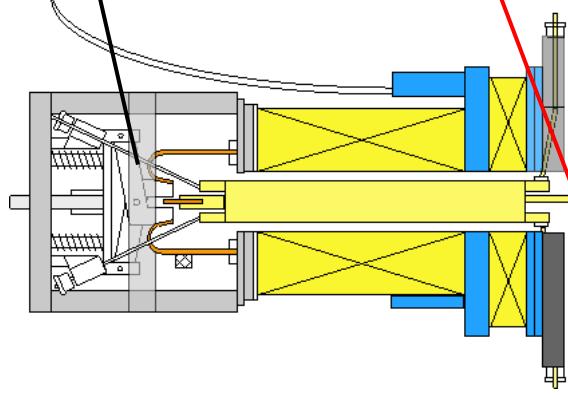
4.2K減圧液体ヘリウム  
---1.7K  
保持時間 --- 24hours

流入熱測定値--- $\sim 127\text{mW}$

ほぼ計算値通り

## ⑥ 斷熱、消磁試験

02/06/28 冷却試験



## ⑦ 冷凍サイクル



デュワー真空引き

4hours

液体窒素予冷

8hours

detector table 77K

液体ヘリウム予冷

3hours 4.2K

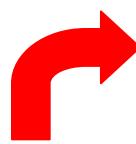
液体ヘリウム減圧

1.5hours 2.5K

等温磁化、断熱消磁

2hours

~100mK  
最終温度到達



= 600~650Gaussと測定  
(15回の断熱消磁試験)

◎ saltpillへの流入熱測定値  
0.6~0.8 μ W(ほぼ設計通り)

◎ 極低温保持時間(熱負荷 1 μ W)

60mK --- 3.1 hours

100mK --- 20.7 hours

## ⑧ 温度制御

磁性体自身を、磁場を用いて制御 ↑

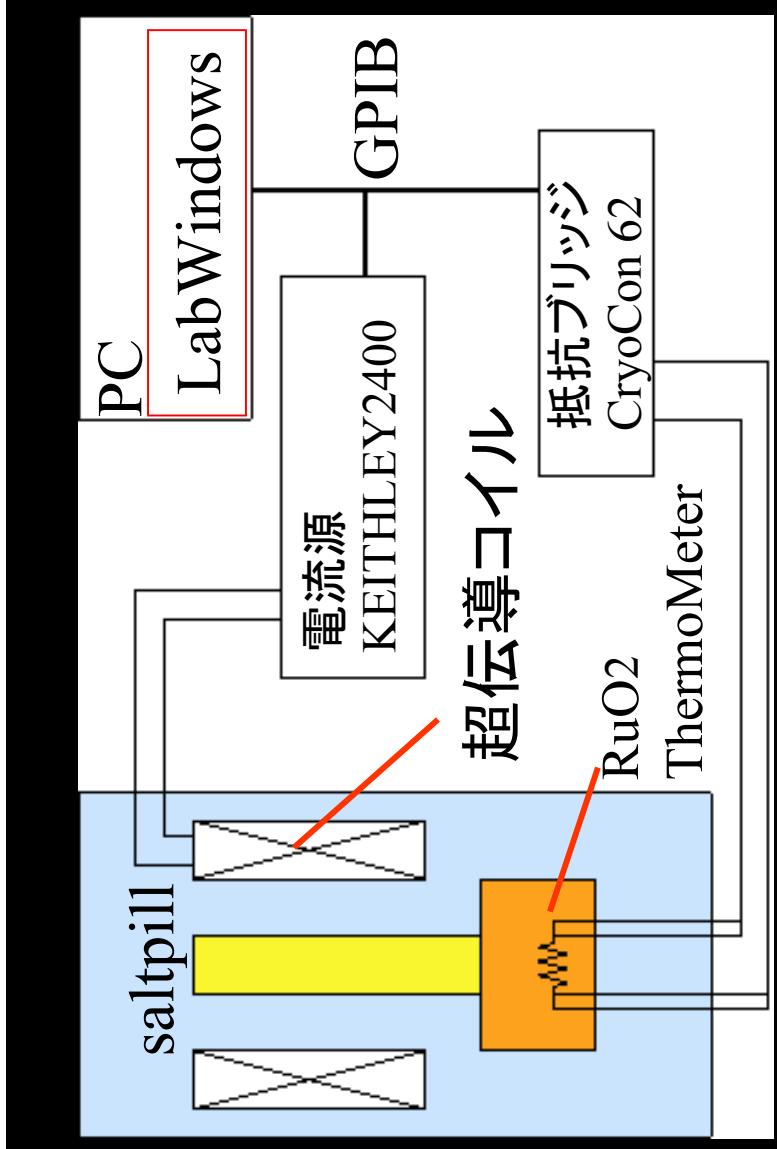
◎コイル電流の方程式(PID model)

P

I

D

$P, I, D$	: 制御パラメータ
$i(t)$	: コイル出力電流
$T$	: 温度平均値
$T_{set}$	: 設定温度
$\Delta T$	: 温度変化平均
$\Delta i$	: 電流変化平均
$\Delta t$	: 平均時間

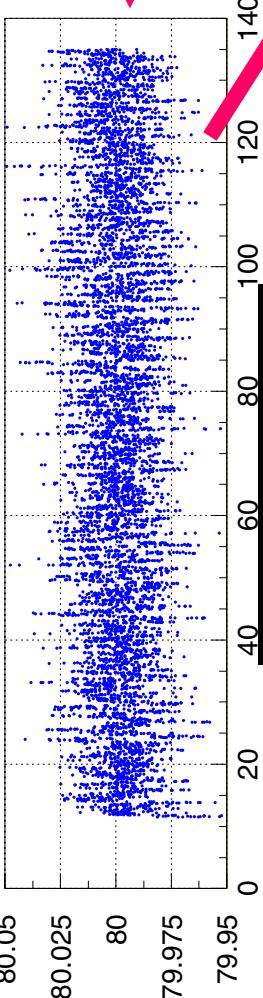


Lab Windowsで  
自動温度モニター、  
電流制御

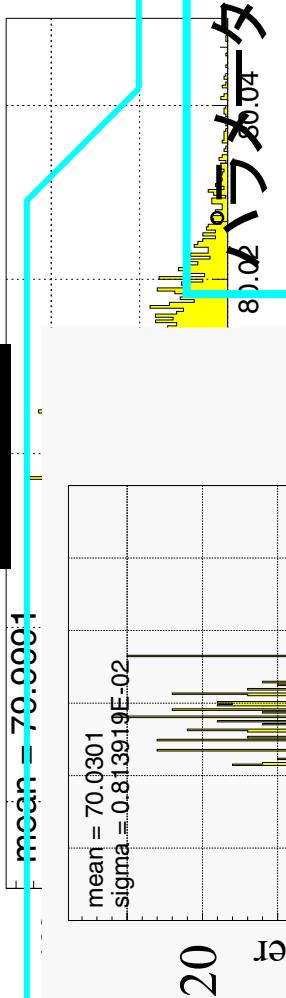
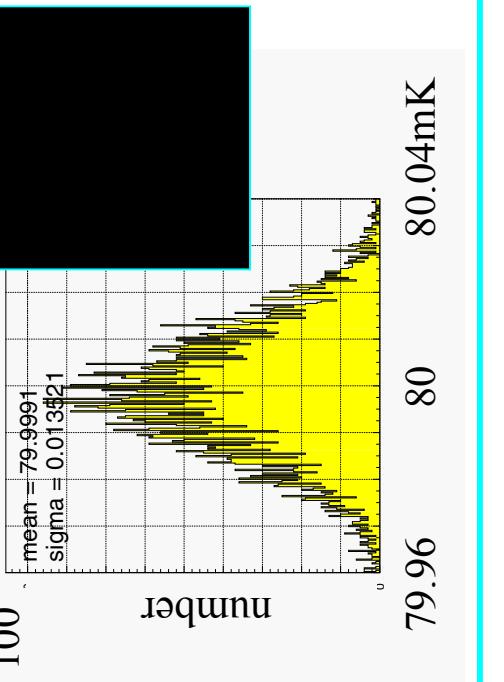
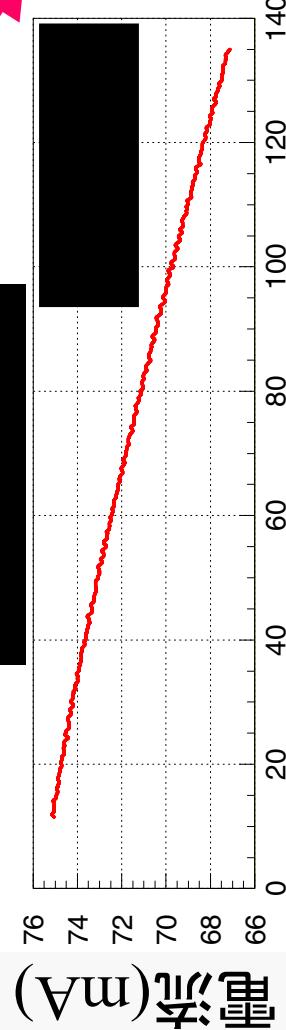
## ⑨ 温度制御試験

◎ 温度測定系のノイズ

$\Delta T_{\text{rms}} = 7.8 \mu\text{K}$  相当 (@100mK)

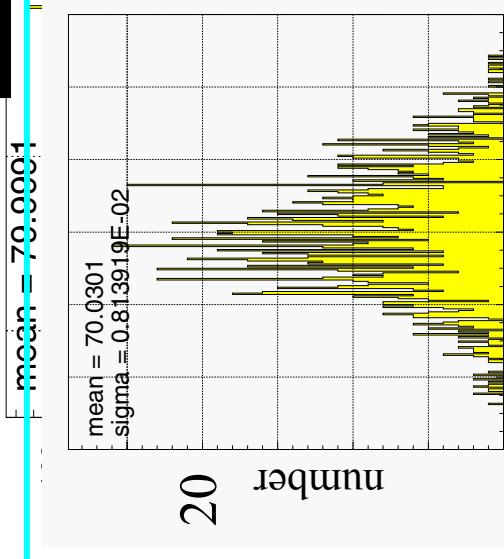


長期ランニング試験  
2時間以上 の制御で  
大きなブレなし(02/11/23)



~~△  $T_{\text{rms}} = 8.1 \mu\text{K}$  @ 70mK~~  
△  $T_{\text{rms}} = 8.04 \mu\text{K}$  をチューニング(03/01/19)

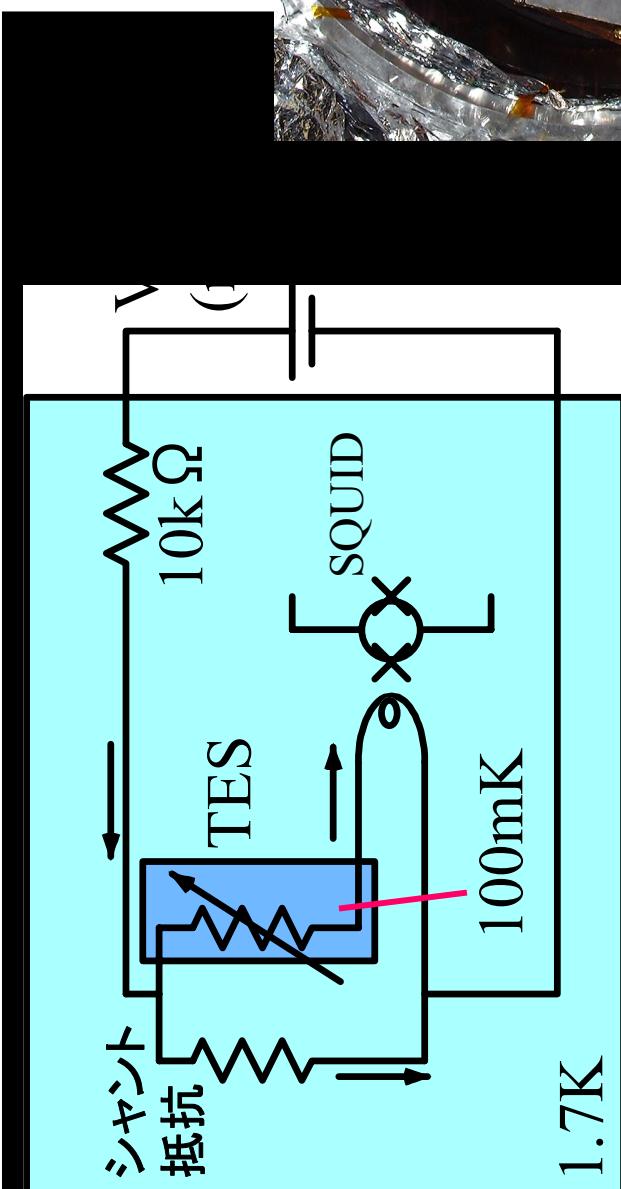
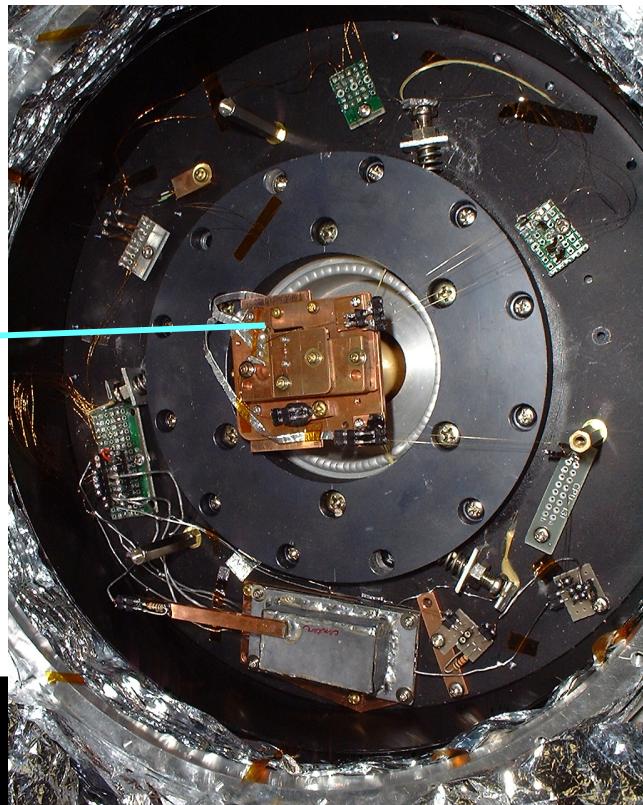
$\Delta T_{\text{rms}} = 8.1 \mu\text{K}$  @ 70mK



温度測定系のノイズが壁

## ⑩TES型力口リメータ導入試験

TES力口リメータを  
マウント



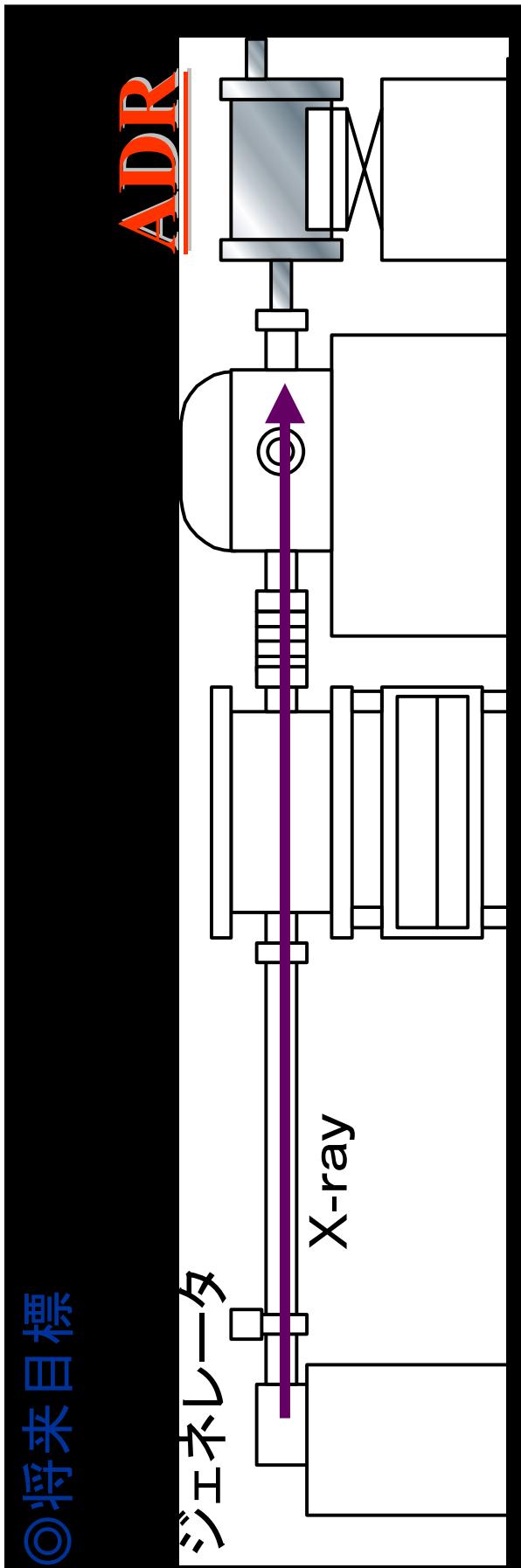
素子 : SII-32(セイコーインスツルメンツ)  
 $Ti/Au = 50/120nm$  の 2 層薄膜  
転移温度 138mK

2回の断熱消磁試験で60-65mKに正常に冷却できることを確認、  
TES力口リメータを超伝導遷移させることは成功

# ⑪ADRの現状と課題

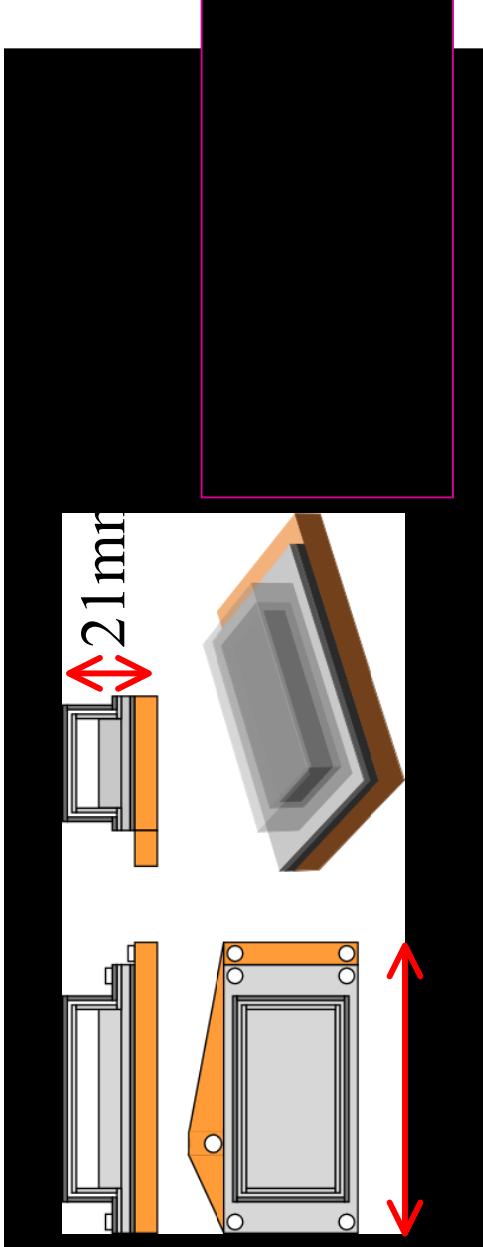
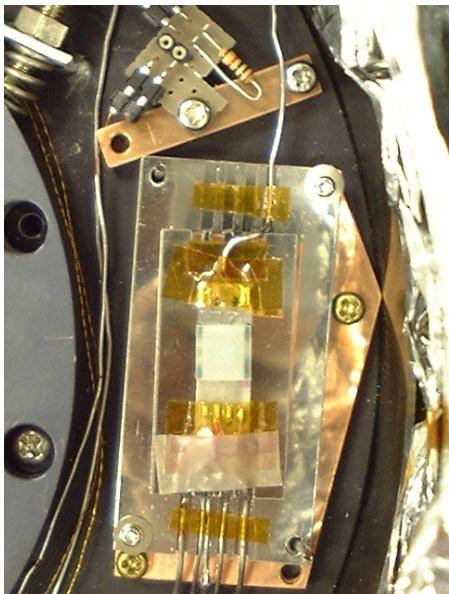
- ◎デュワーフー性能 減圧液体ヘリウム温度 1.7K、保持時間～24hours
- ◎断熱消磁 消磁開始温度 ～3K、最大磁場 ～3T  
100mK以下に到達を確認。
- ◎温度制御  $\Delta T_{rms}=8.1\mu K @ 70mK$ 、2時間以上 の制御を確立
- ◎TES型力口リメータ導入試験 冷却まではOK

- ◎課題 最低温度30mKを目指す、温度安定性 $1\mu K$ 以下  
X線検出



# SQUID system

◎SII(セイコーインスツルメンツ)製  
200 Serial SQUID Array Amp 使用



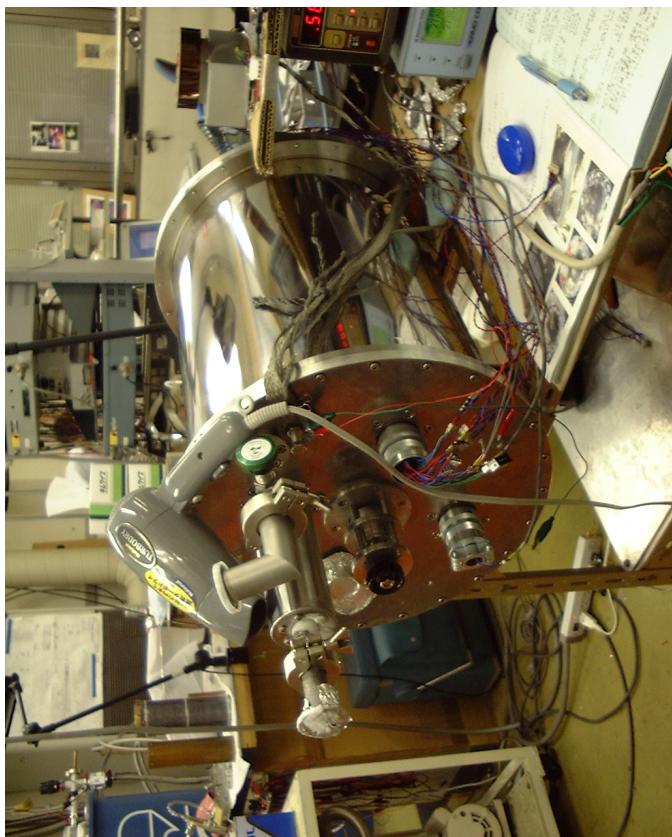
1.7Kにて  
測定モードに入ることを確認

ノイズパワースペクトル

磁気トランジットによるノイズが大きい

# 横に倒しての冷却試験

※液体ヘリウム注入後、注入口が上になるよう倒す  
最初のみ蒸発速度が増す



正常に冷却が可能。流入熱も変化なし

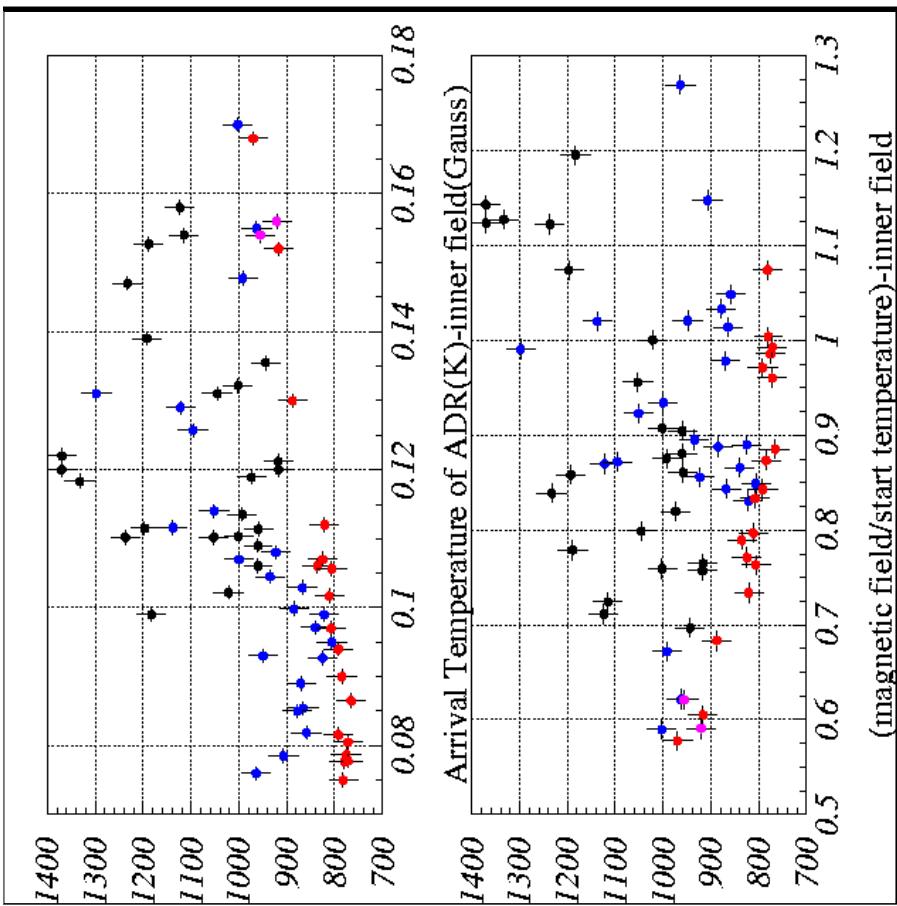
### ③改善点

今のところ最低到達温度は75mK

FFAの本来の

最低到達温度は30mK

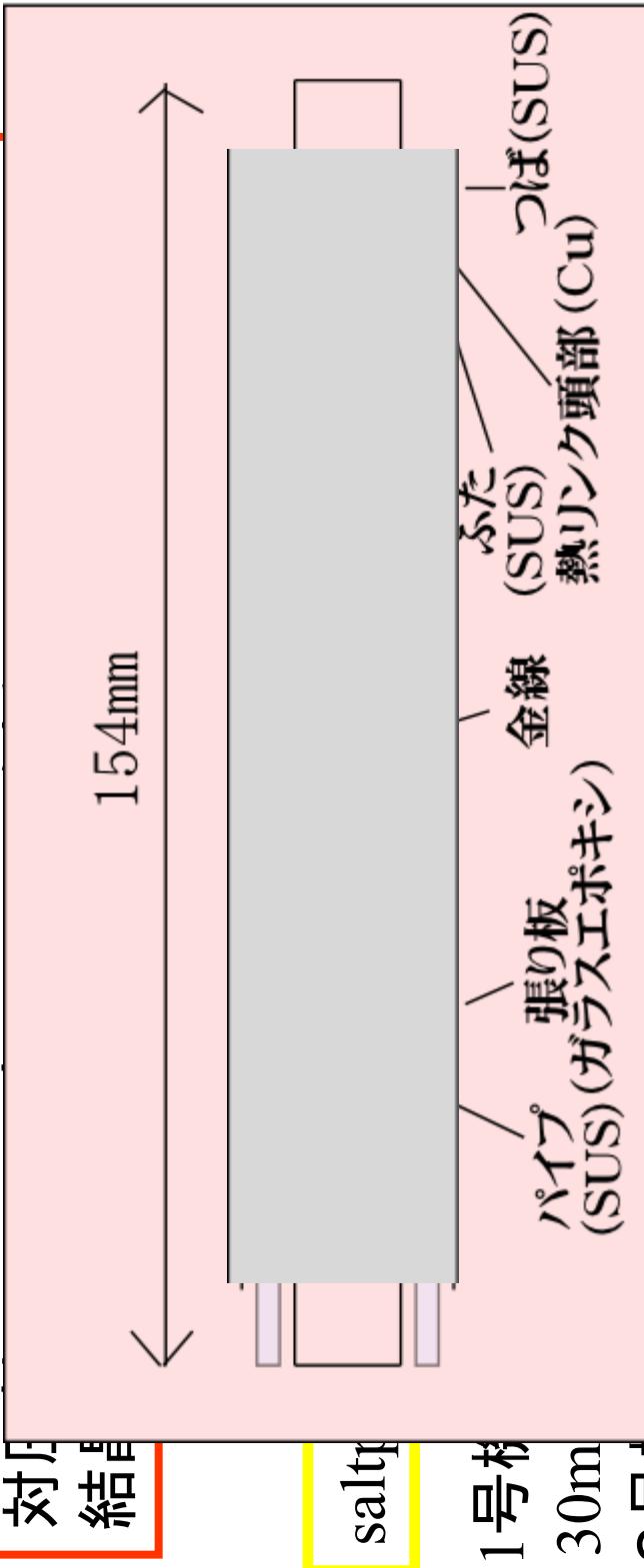
30mKまでいかない一番の  
要因は、saltpillの中の  
結晶の状態にあると思われる。



### ③saltpillの作成

#### ◎saltpillの条件

熱伝導性 --- 0.2mm  $\phi$  金線160本  
対強酸性、対極低温性 --- 内部はSUS,Au,アクリル  
対封結

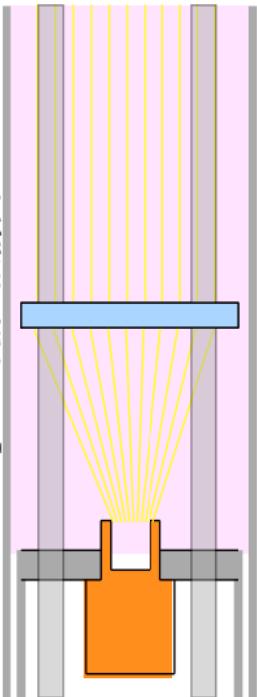


・1号機 30m

・2号機

・3号機

saltpill3号機の設計図

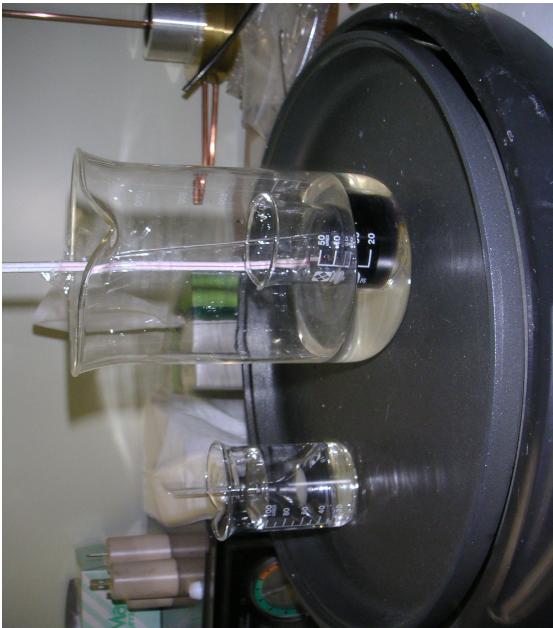


・晶がもれていた

♪省略)

# ④CrKミヨウノバナノ結晶作成

- ◎最低到達温度(理論値)  
鉄ミヨウノバナ---約30mK  
CrKミヨウノバナ---約10mK
- ◎比熱  
鉄ミヨウノバナ>CrKミヨウノバナ



$\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  --- 6.980g  
蒸留水 --- 20g  
温度(※) --- 27°C、30°C、32°C

- <作成方法>
- 1、ビーカーに試料と蒸留水を入れ  
一定の温度(※)で攪拌
  - 2、上をろ過し、数日間放置

左記の方法で結晶が  
約3.4g析出(30°Cの場合)。  
(必要量は約85g)

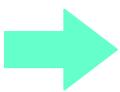
## ⑤現状報告と今後について

- ◎設計と組み立て  
密封方法を改善したsaltpill 3号機を設計。  
今後、実際に組み立て、saltpill内で結晶を育てる。
- ◎結晶  
3.4gのCrKミヨウバシソガニ析出。  
今後、攪拌時の温度、放置時の温度、  
放置日数を変え、最適な条件を決定。

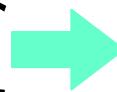
## ② saltpillについて

### ADRの冷却原理

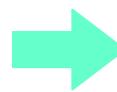
常磁性塩に磁場を与える。



スピントロビームが下がる。



その状態で断熱し、  
磁場を取り去る。



下の式に従って、  
常磁性塩の温度が  
下がる。

$$B/T = B'/T' = \text{const}$$

◎ saltpill  
saltpillの仕事は detector table  
極低温状態にもつていくこと  
この中に磁性体が入る。

