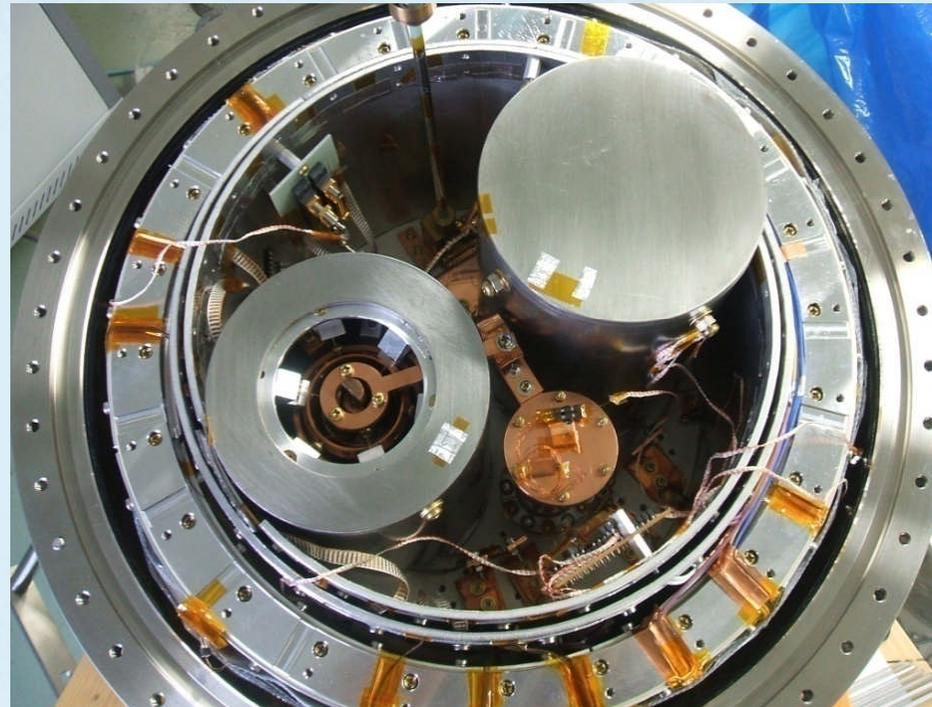


# Cooler system for TES calorimeter

宇宙航空研究開発機構 熱グループ  
篠崎慶亮



# ISAS Double-stage ADR

## 目標:

宇宙用冷凍機の技術実証、  
および地上応用

## 特徴:

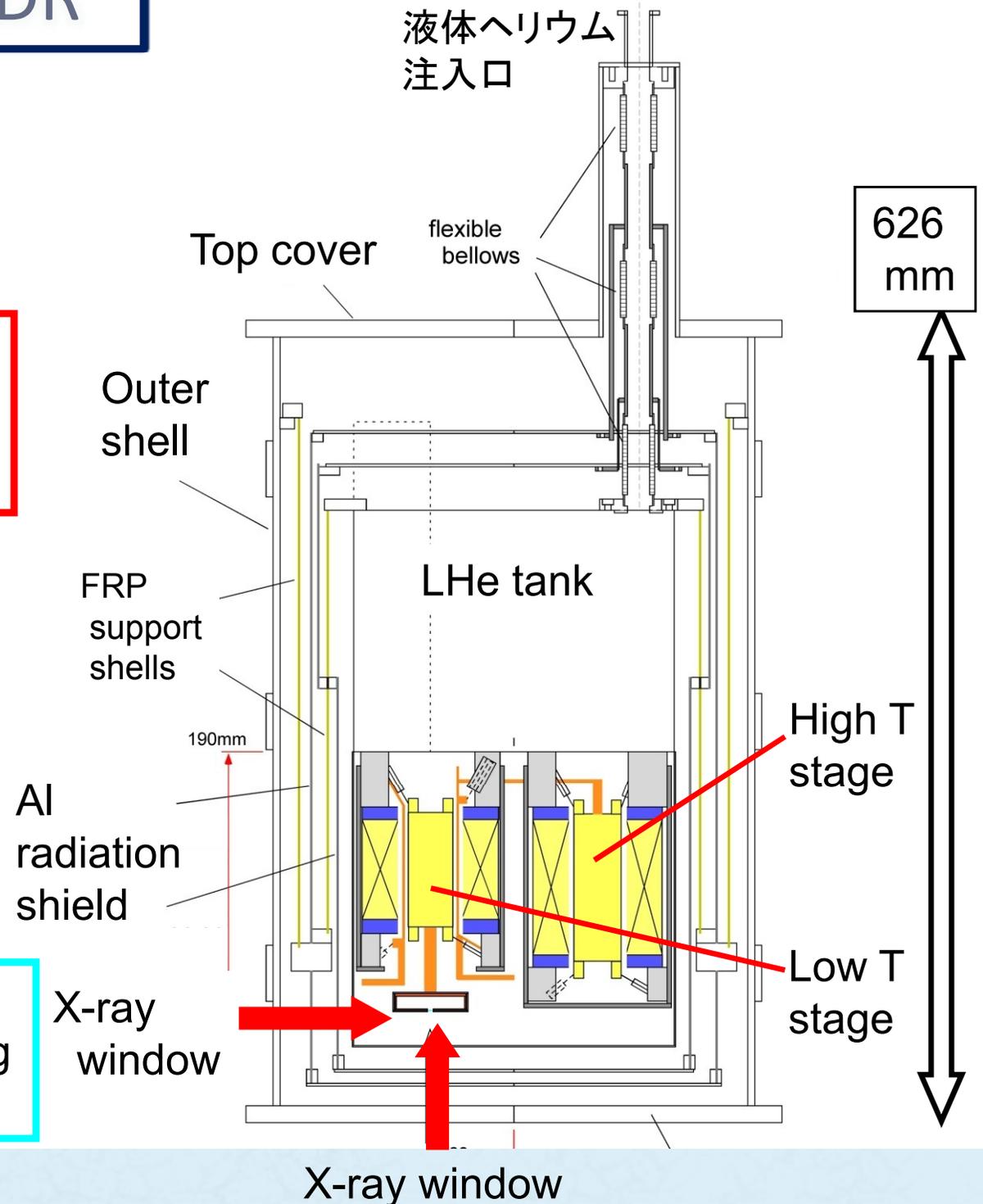
2段式ADR、非減圧、側面入射窓、  
小型、横置き可能(要減圧)

## 性能:

- 保持時間 10時間(at 100mK)
- 液体ヘリウム保持時間  
約50時間(at 7.1L)
- 重量 60--65kg
- 素子数 : 1—10素子(TBD)
- 読み出し系 : TBD

## ○2段式ADR

- high T stage (1K) GGG: 600g
- low T stage (50mK) CPA : 100g



# Current Performance

## --- from 300K to 4.2K ---

- Preparation before experiment
  - 搬入搬出：重量は60kg以上。手による搬入出は避けたい。  
Dewarの回転はリフターが有効。実験台は現在は木台使用。
  - Dewar 開閉：底面部は開閉どちらも約1時間
  - 冷却試験後の常温に戻るまでの時間：24時間よりも早く行なった経験無し
  - 横置き冷却：経験無し。現セットアップでは想定していない  
X線入射窓は側面、底面に用意
- Cooling Cycle from 300K to 4.2K
  - 現在は常温真空引きに24時間、窒素冷却は3—20時間で試験
  - ヘリウム冷却は定常状態になるまで20時間(励消磁試験は8時間後から)。  
OVCS, IVCS, SiFeが冷えるのに時間がかかる。
  - ヘリウム消費量は窒素予冷時間に大きく依存
- LHe Hold time
  - 定常状態では、4.2K(非減圧) 50時間以上、2K(減圧) で40時間以上
  - LHe追加転送は全作業で15分以下、GGG以上の温度領域に悪影響無し
  - 転送中のCPA stageへの影響は未計測

# Current Performance

## from 4.2K to 0.1K --- double-stage ADR

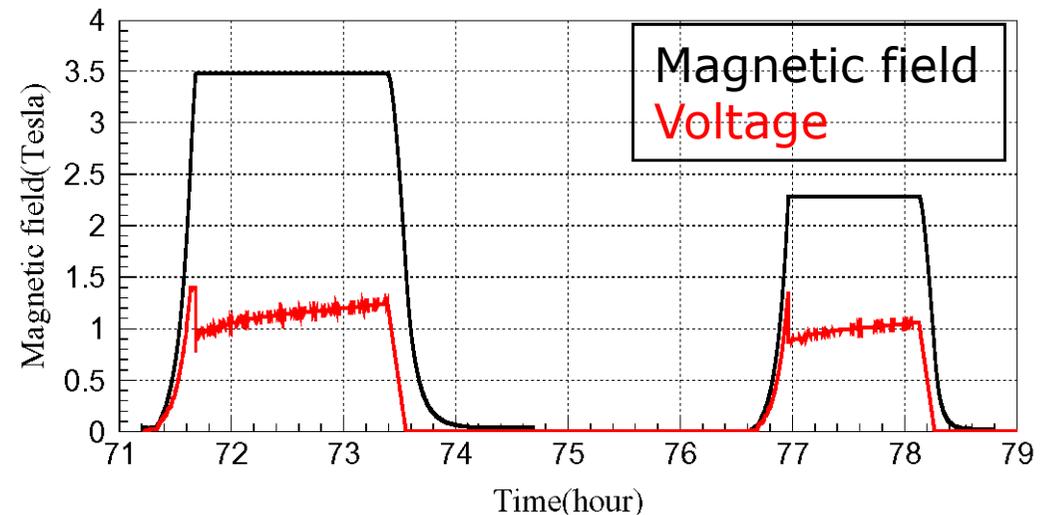
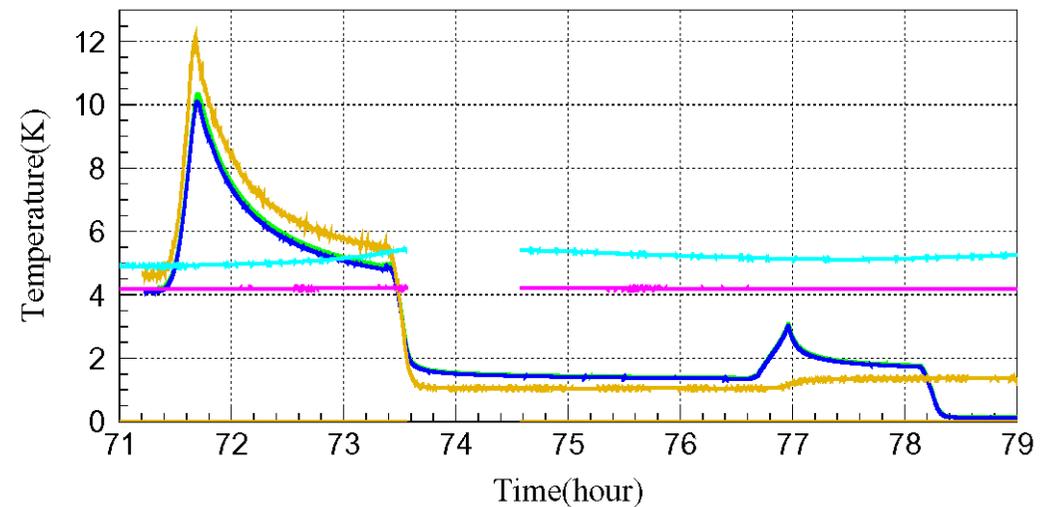
- GGG stage (from 4.2K to 1.3K)
  - 4.2Kより安定して1Kを作り出している。2段サイクル後は1.3K制御。
  - 通常サイクルでは最大11Kまで温度上昇。温度リミットを設け、SQUID shieldがクエンチしないサイクルが必要。
- CPA stage (from 1.5K to 0.1K)
  - 保持時間は0.1Kで約10時間、80mKで5時間、60mKで1時間(予想値)
  - 温度安定度 : 10 $\mu$ K rms 以下
  - PGGHSの性能評価を実施中
- double-stage ADR cooling cycle
  - 現在は2段サイクルに約7時間 (Radiation shieldの温度上昇が問題)
  - He tank --- GGG stage 間のヒートスイッチは手動制御
  - 両stageを同時に温度制御可能
  - 両stageを同時に電流制御できるソースメータを導入試験中
  - さまざまなdouble-stage cycleの試験評価を行う予定

# Typical cooling cycle of double ADR

GGG stage  
CPA stage

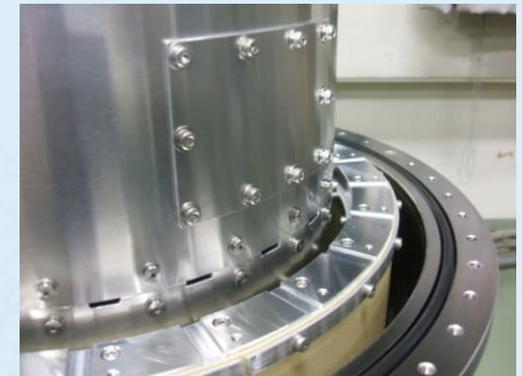
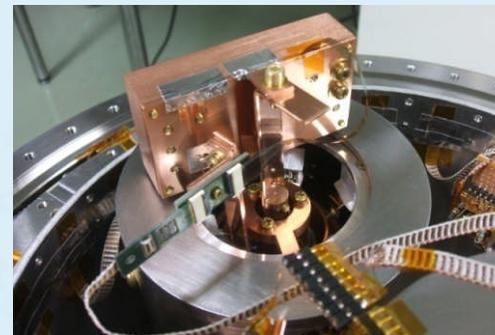
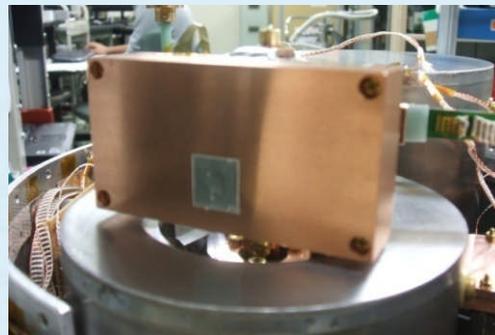
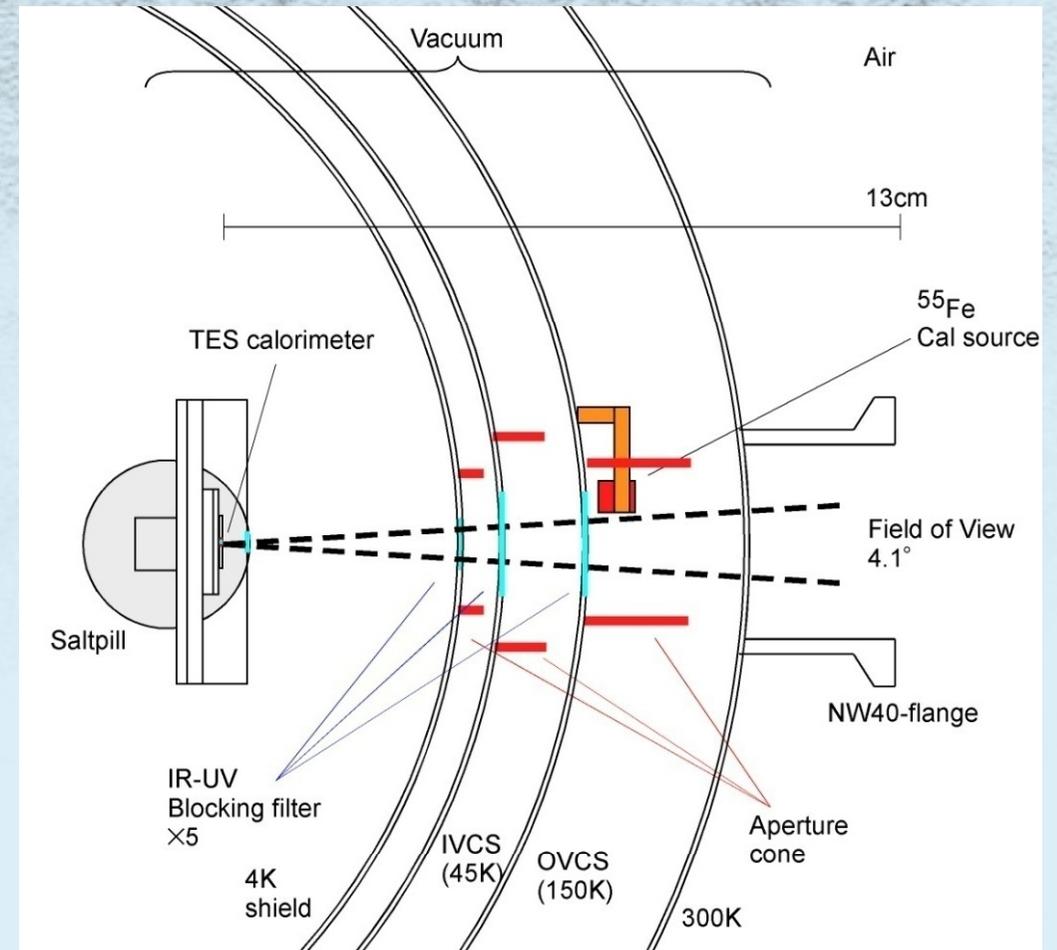
He tank top  
He tank bottom

- 現在2段断熱消磁サイクルはセミオート
- サイクル後、温度制御への移行は手動
- 冷却系はLabView, LabWindowsを用いた制御。  
素子抵抗特性評価やノイズ測定も制御系に取り込む
- 最大磁場は各stageで3, 4Tesla。  
Quenchすると最初からやり直し。



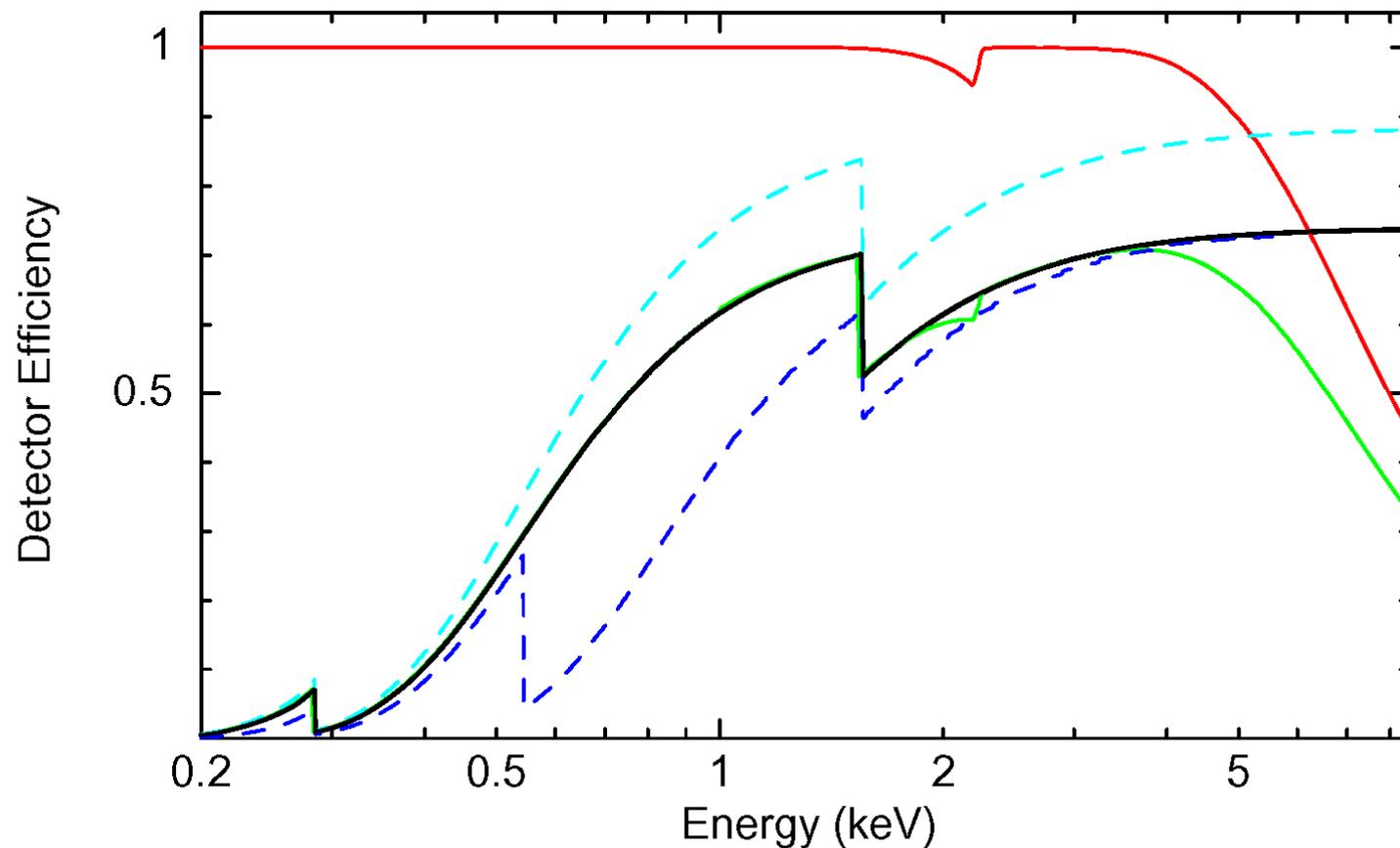
# X線入射窓 (2段式ADRにて)

- 現在のdetector stageの配置案より、TES---フランジ外側間で約13cmもう少し近づける?
- フランジはNW40
- 視野 $4.1^\circ$  (OVCS filterが決めている) detector stageの設計による
- ベローズとGVの導入がおすすめ

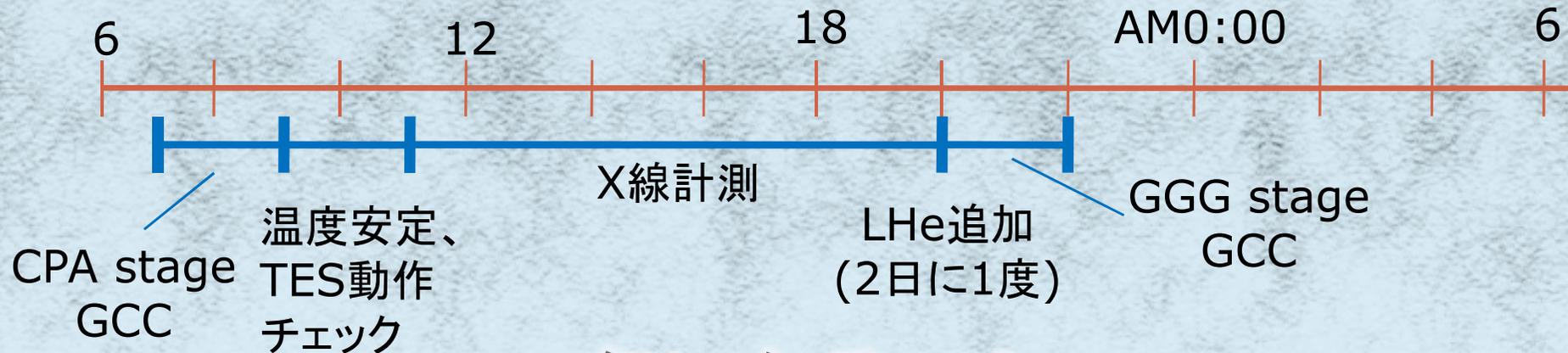


# X線入射窓 (2段式ADRにて)

- In house素子の量子効率
- 入射窓の透過率
- 全検出効率
- ⋯ 霜の影響
- ⋯ 開口効率の向上を狙う
- FWHM 4.8eV at 5.9keV Mn Ka
- Parylene-N(C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>) 4枚, 86%mesh × 2
- 赤×黒
- 黒に1umのH<sub>2</sub>Oが付着した場合
- 94%mesh × 2



## 参考：一日の実験の動き



## 気になること

- 実験メンバー、リーダーを決めましょう
- X線強度の問題 --- 弱すぎないか  
カロリメータは大抵200um角のコリメータを取り付けて検出
- 磁場環境 --- カロリメータは超伝導体、信号読み出しはSQUID使用
- X線入射部にNW40フランジで真空接続。真空接続で大丈夫か。  
デュワー側真空度は $\sim 10^{-4}$ Pa。冷凍機は冷媒が枯渇すると急激に真空度が悪化する
- 機械的振動の影響  
冷凍機側は、LHe冷却後はTMP停止 → 稼動部は無くなる
- 実験可能時間  
100mKは10時間保持を目標、液体ヘリウムは50時間保持。  
構造的にはヘリウム転送直前直後も信号取得可能。
- 光軸合わせはどこまでシビアか

... 最後はノイズとの戦いでしょう ...

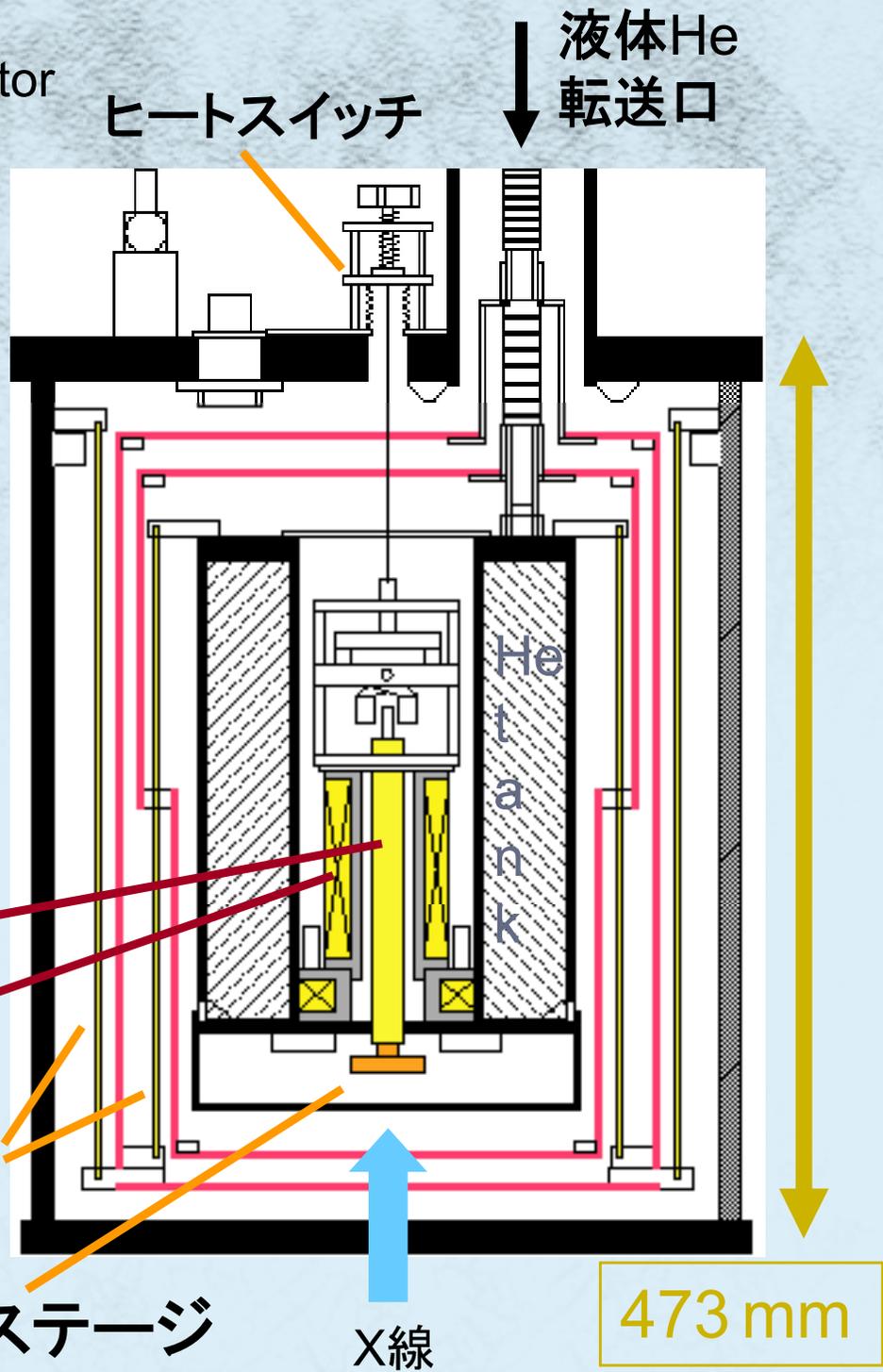
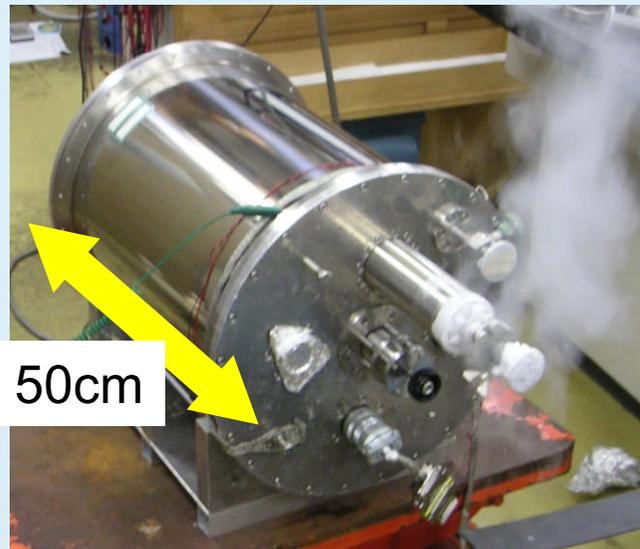
# 断熱消磁冷凍機

ADR – Adiabatic Demagnetization Refrigerator

## Wisconsin大学のロケット実験用 ADRを再設計

- コンパクト性,  
Heタンクのみ、蒸気冷却
- 減圧液体He ~1.7K
- 横置きで冷却可能

- 保持時間 >10時間(100mK)
- 温度安定度 < 10 μK



- FAA saltpill
- 超伝導マグネット
- Glass-epoxy Support shell

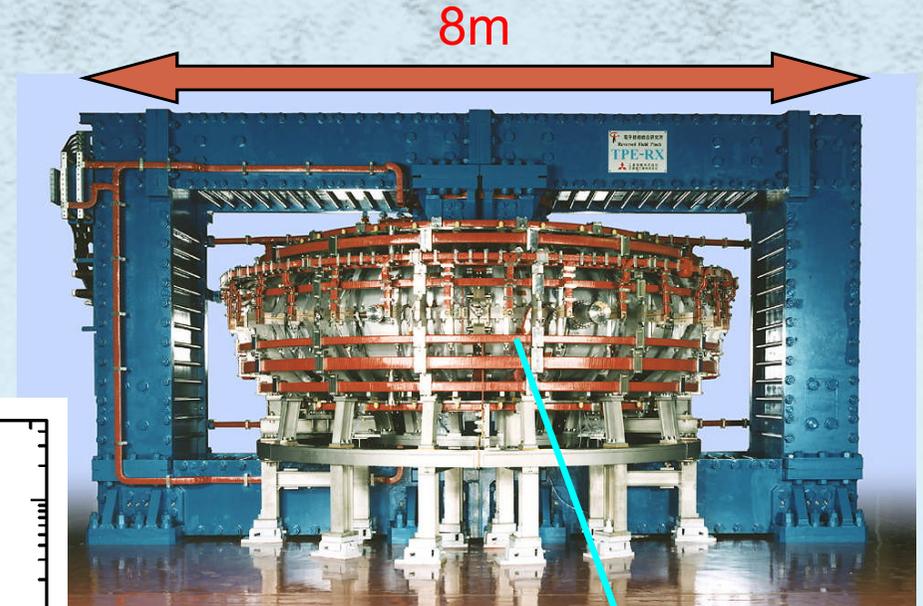
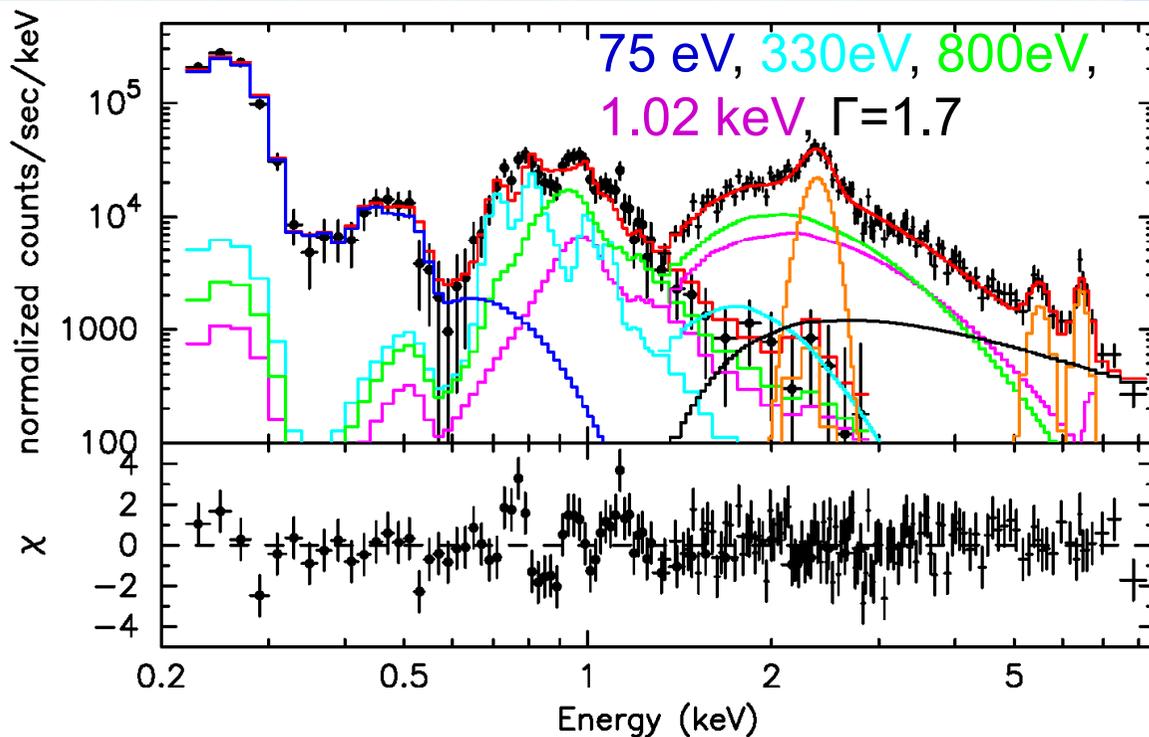
# 実験例1: 地上プラズマの軟X線測定 <sup>10</sup>

- 産業技術総合研究所の逆磁場ピンチプラズマ装置 --- TPE-RXの生成する電子温度  $\sim 600$  eVの重水素プラズマからのX線を測定(世界初) カロリメータの実証試験

Shinozaki et al. 2005a, 2005b

- ・ 温度勾配、不純物量、輻射ロスを計測

電子温度	$T_e = 600$ eV
イオン温度	$T_i = 300$ eV
電子密度	$n_e = 5 \times 10^{12}$ cm <sup>-3</sup>



カロリメータ

コイル

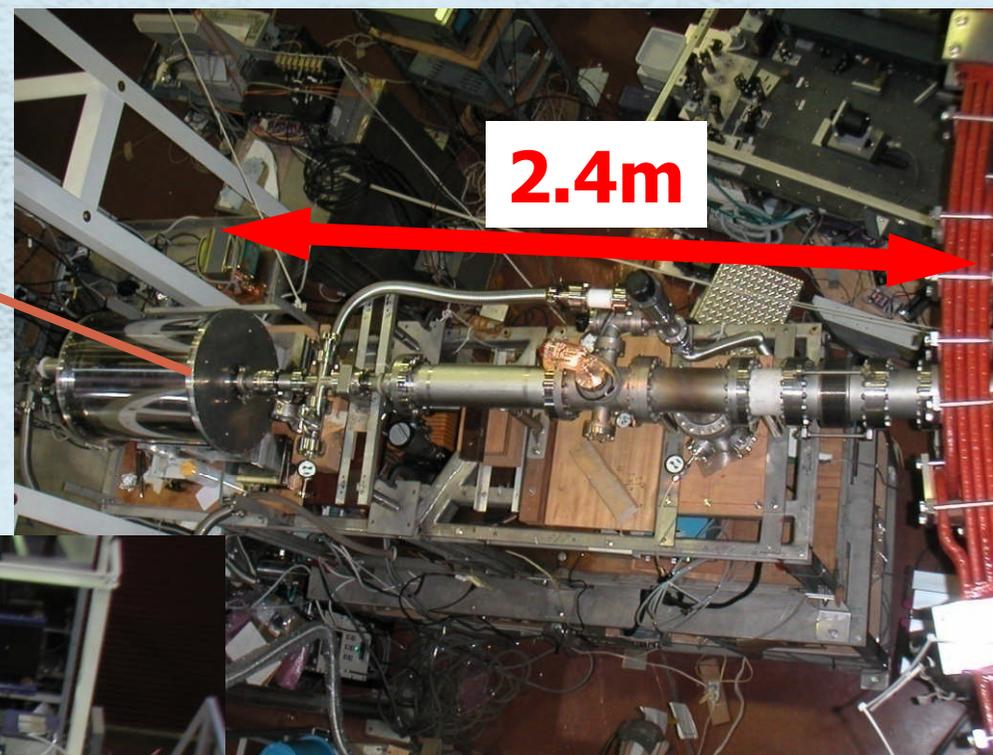
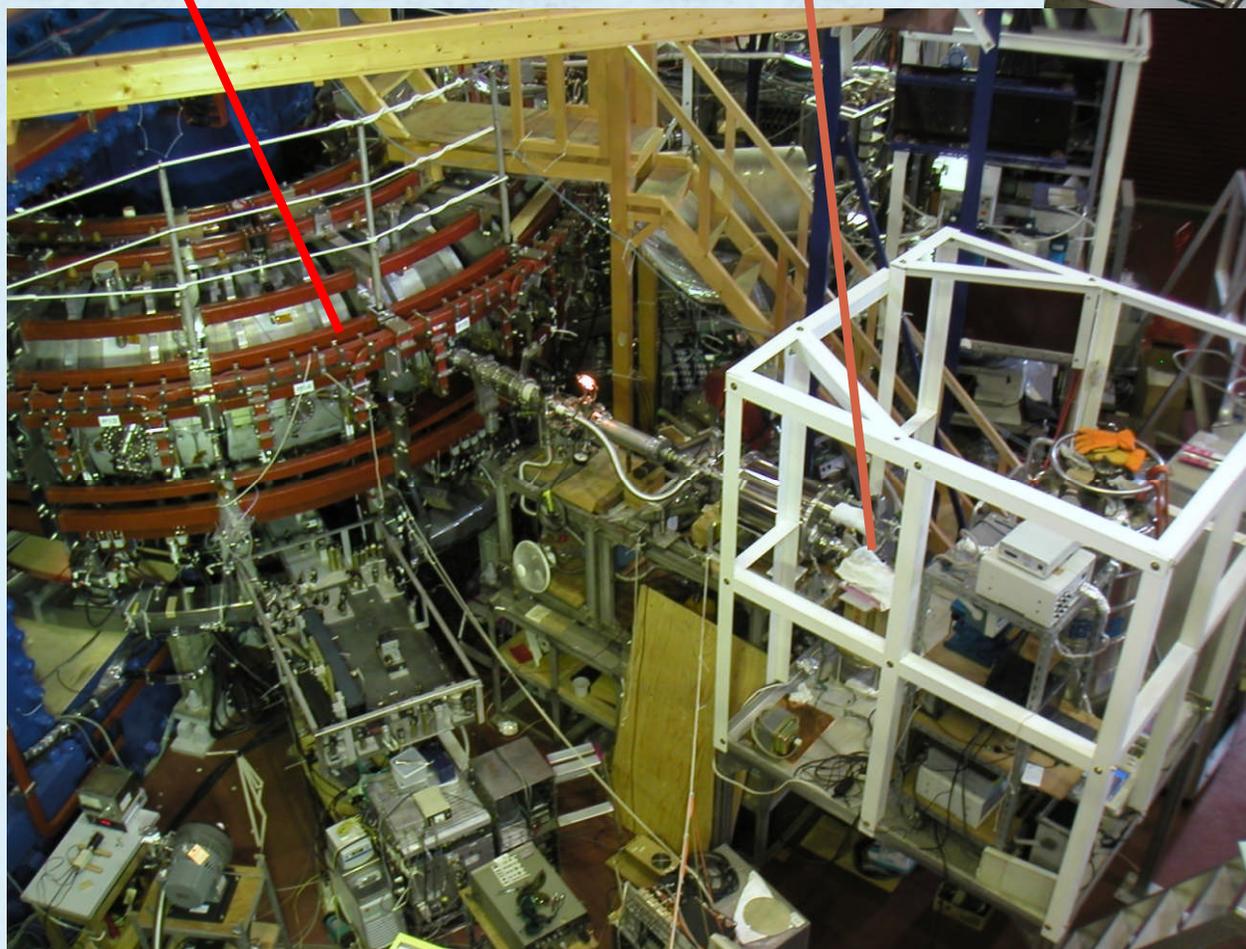


2.4m

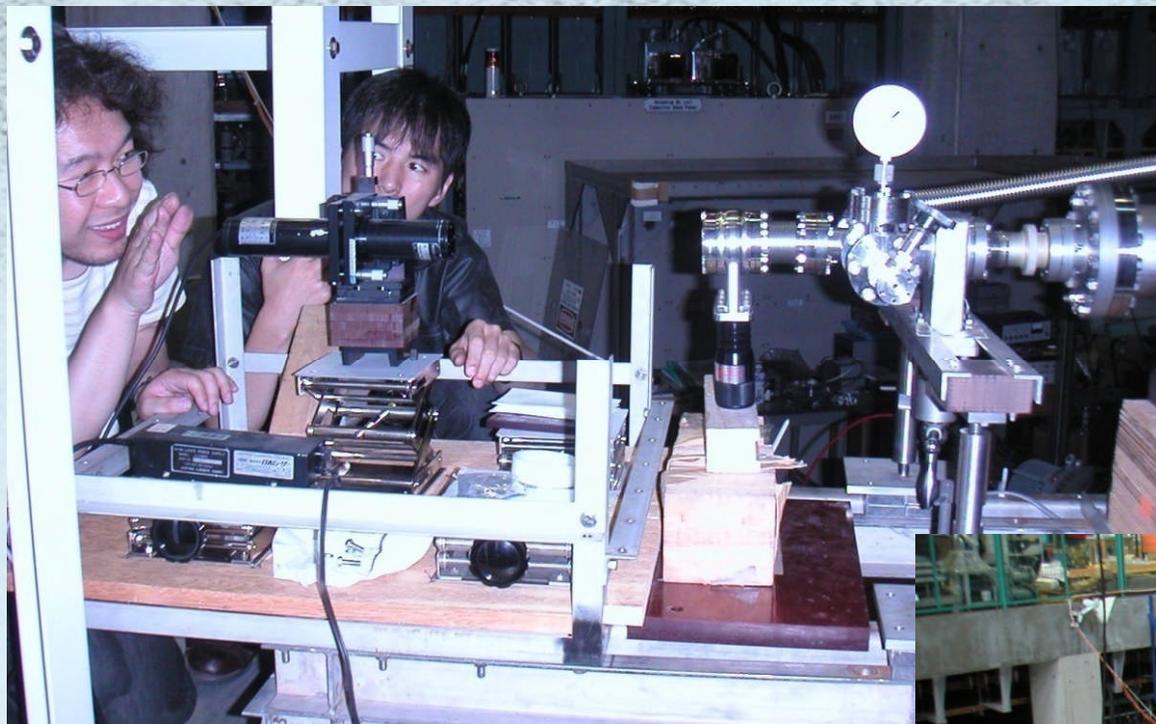
# 実験例1: 実験の様子

TPE-RX  
( $7 \times 10^6$  K)

カロリメータ  
(125 mK)

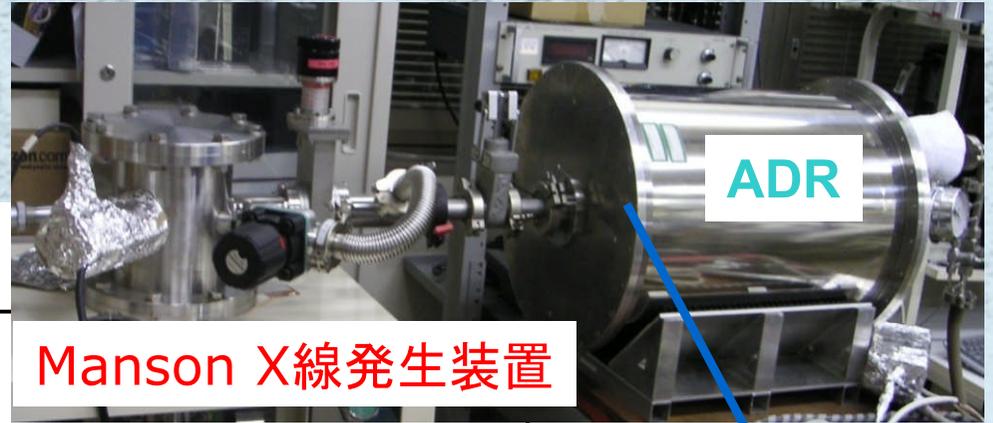


# 実験例1: 実験の様子

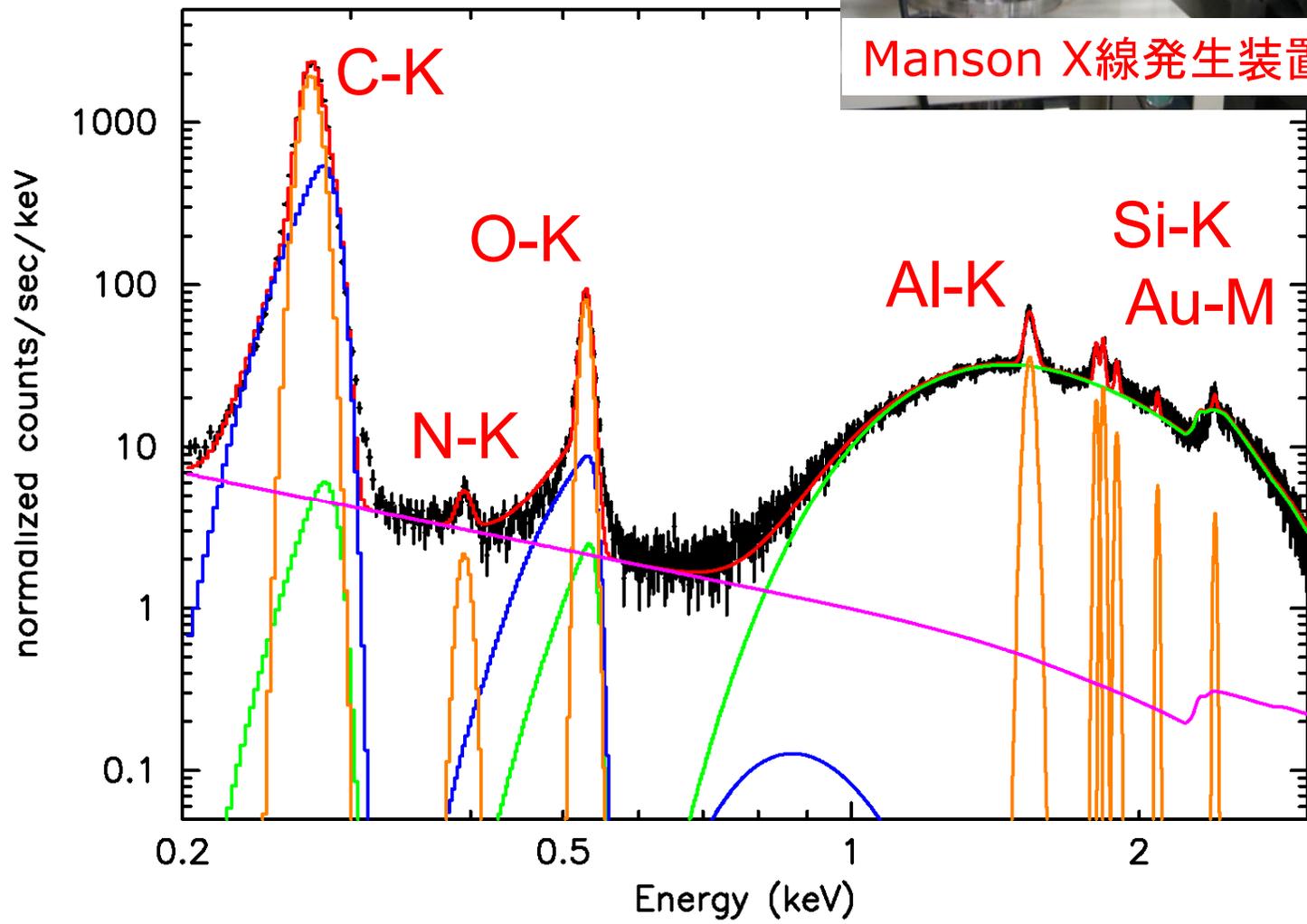


# 実験例2: X線発生装置を用いた軟X線計測

FWHM = 20 eV  
~ 36 c/s, 15 ks, 56万カウント

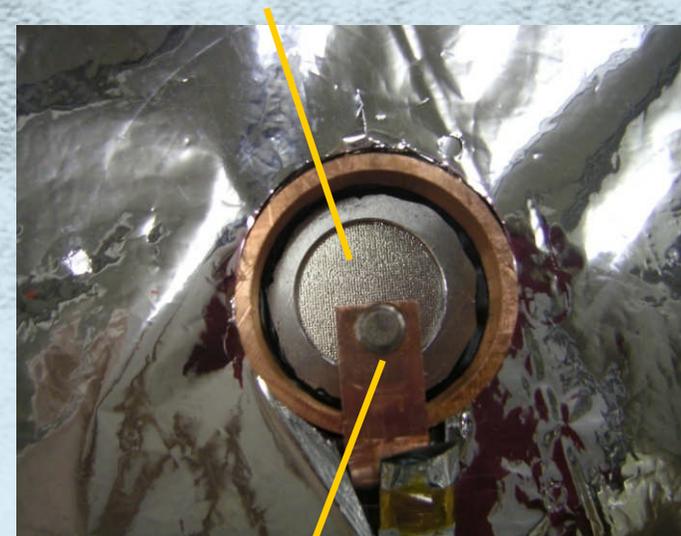
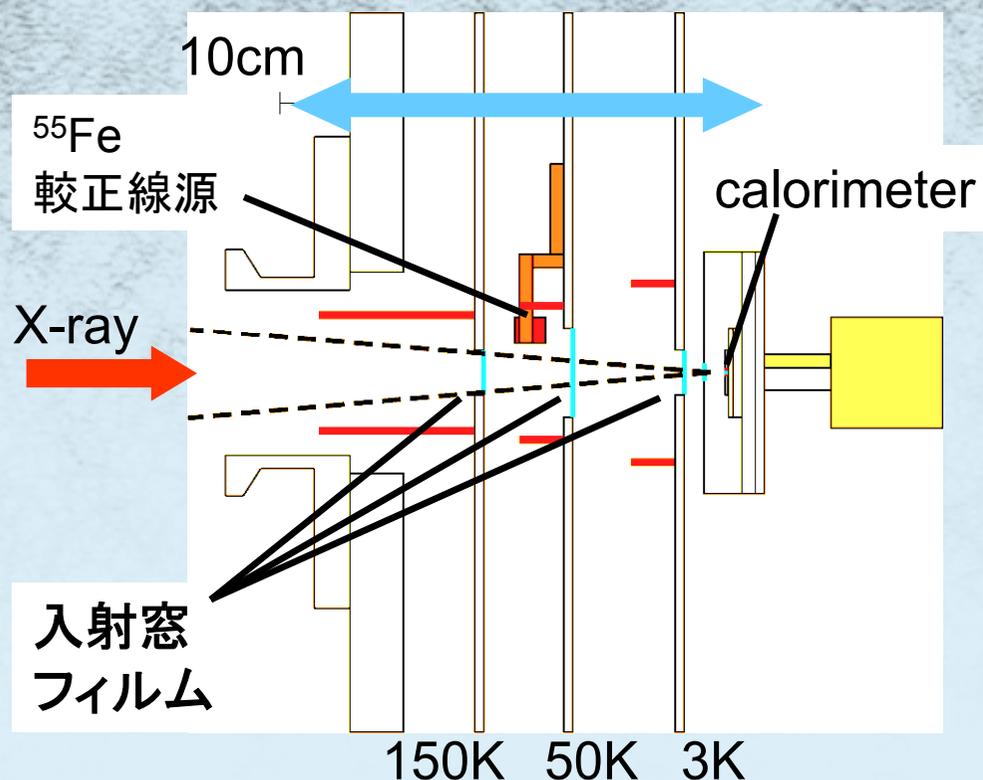


カロリメータ



# 実験例2: X線入射窓

Parylene-Nフィルム Meshあり



$^{55}\text{Fe}$  較正線源

