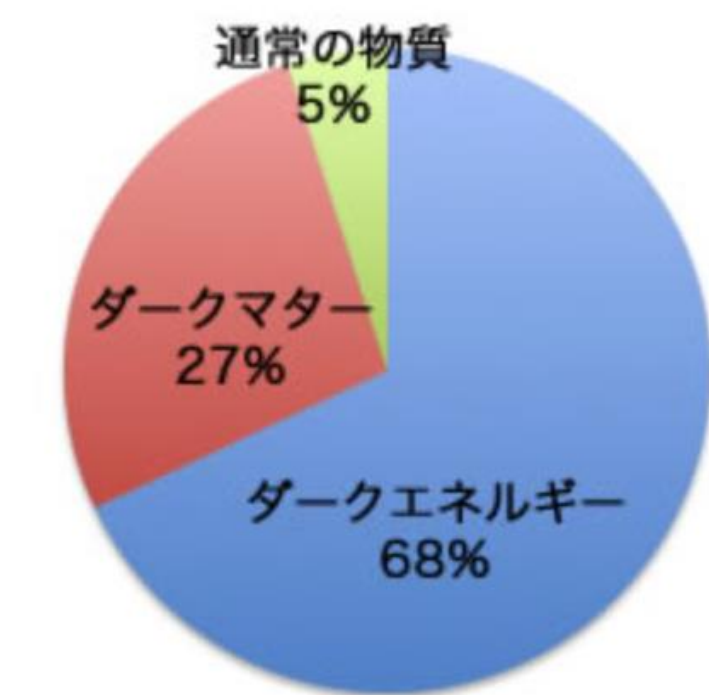


本研究の概要

- **CF₄**は放射線と相互作用時シンチレーション光を出すことから光量測定により**エネルギー情報**を得ることができる
- 大質量化のためにCF₄を液化させた時の**発光特性**、**自己吸収率**や**粒子識別**の評価を行い、将来暗黒物質検出器として使用したい

1.暗黒物質 (ダークマター) とは

- **暗黒物質 (ダークマター)** は様々な天文学的観測によって予言されている標準理論の枠組みを超えた**未発見**の粒子[1]
- 宇宙のエネルギー組成において、暗黒物質は**約27 %**を占める

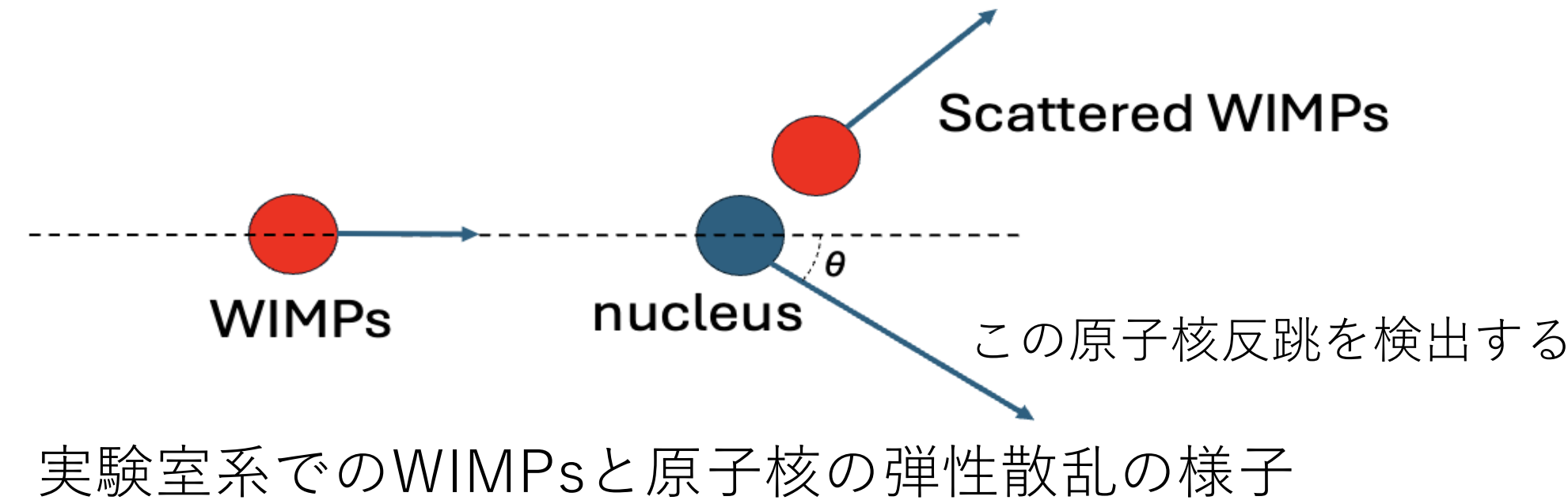


➢ WIMPs(Weakly Interacting Massive Particles)

- 暗黒物質の有力候補
- 弱く相互作用する
- 質量100 GeV/c² ~ 10 TeV/c² 程度

2.WIMPsの直接探索実験

- WIMPs-原子核の**弾性散乱**事象を観測する
- 非常に稀な現象
- 宇宙線由来の背景事象を減らすため地下で実験が行われている
例: イタリアのグランサッソ、日本の神岡など



3.WIMPsと原子核の散乱弾面積

- WIMPs-核子の弾性散乱
 - スピンに依存する (SD) 散乱
 - スピンに依存しない (SI) 散乱

- スピンに依存する (SD) 散乱
 - 散乱弾面積が原子核のスピン量に依存する[2]

$$\sigma_{\chi-N}^{SD} \propto \lambda^2 J(J+1)$$

λ : ランデ因子

J : 原子核の全スピン

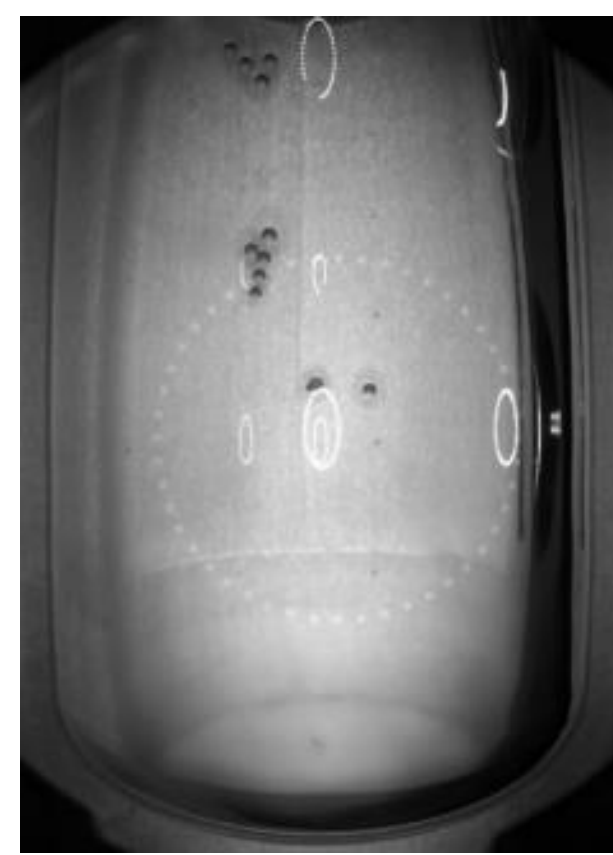
標的原子核ごとの $\lambda^2 J(J+1)$

同位体	J	$\lambda^2 J(J+1)$
¹⁹ F	1/2	0.647
²³ Na	2/3	0.041
¹²⁷ I	5/2	0.007
¹²⁹ Xe	1/2	0.124
¹³¹ Xe	3/2	0.055

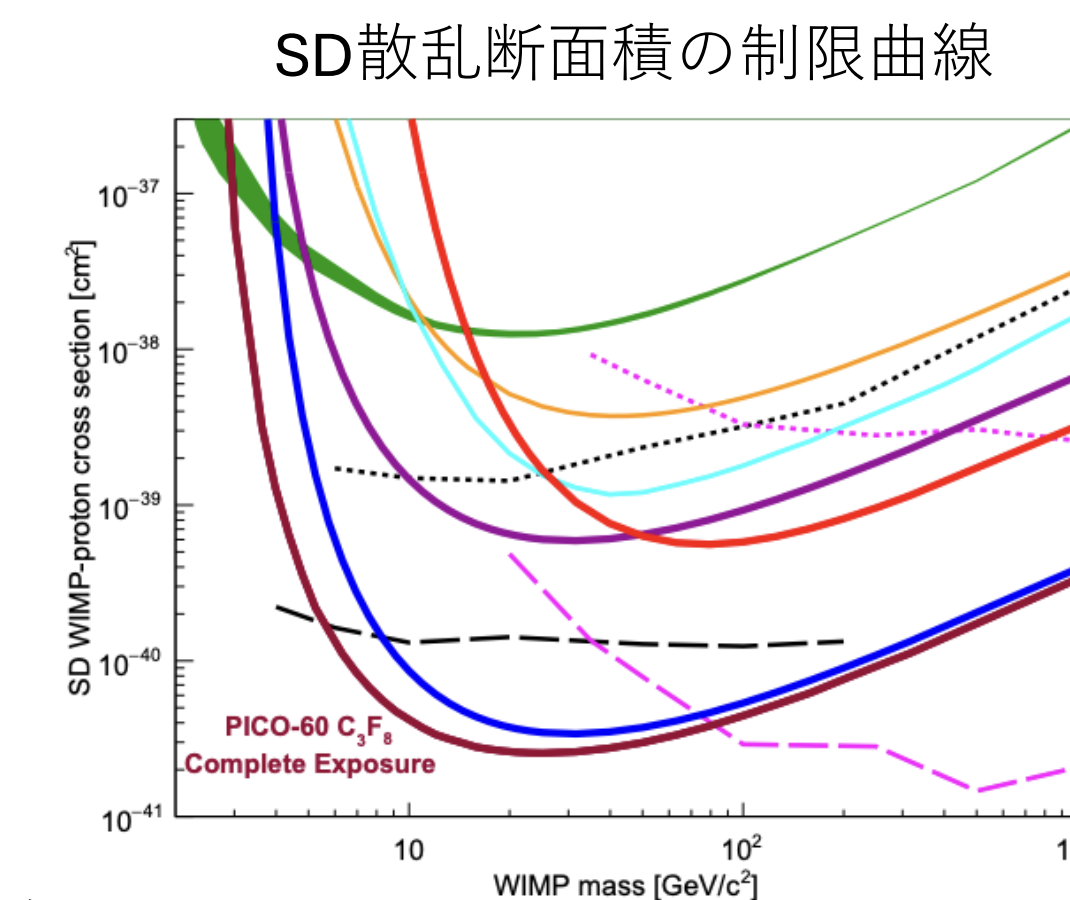
- **¹⁹F**がSD散乱において有利に働く

4.PICO-60実験

- フッ素化合物(C₃F₈)を用いた閾値型の泡箱検出器によるWIMPs探索実験[3]
- カナダオンタリオ州サドベリーのSNOLAB地下実験施設
- 反跳エネルギーが閾値を超えた時に生成される泡を観測する
- SD散乱において現在最も良い感度で探索を行っている



検出器内をカメラで撮影したもの



PICO実験では
反跳原子核のエネルギースペクトル
を見ることができない

本研究のモチベーション
CF₄を用いて**エネルギー情報**
が得られる手法の確立を目指す

5.本研究

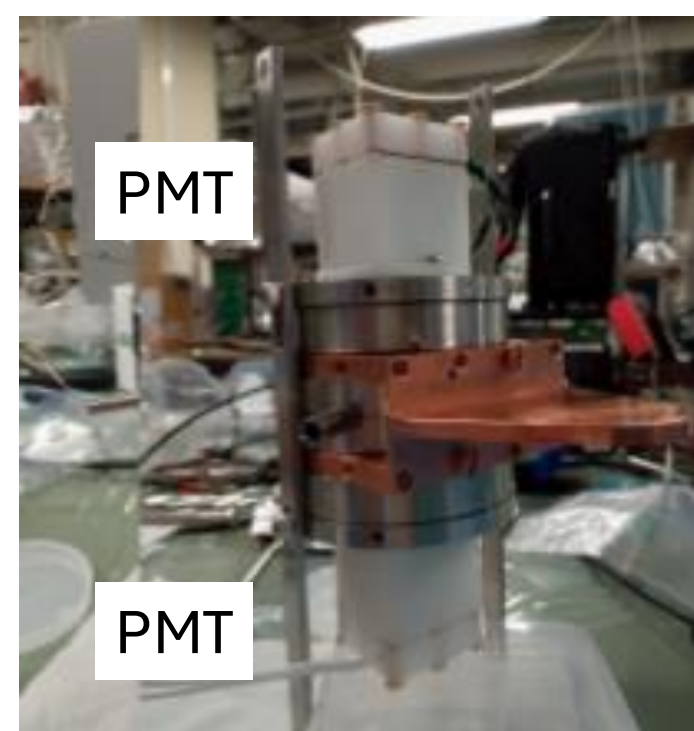
目的

- 液体CF₄のシンチレータとしての性能評価を行う
- CF₄を液化温度まで冷却できるような検出器を開発

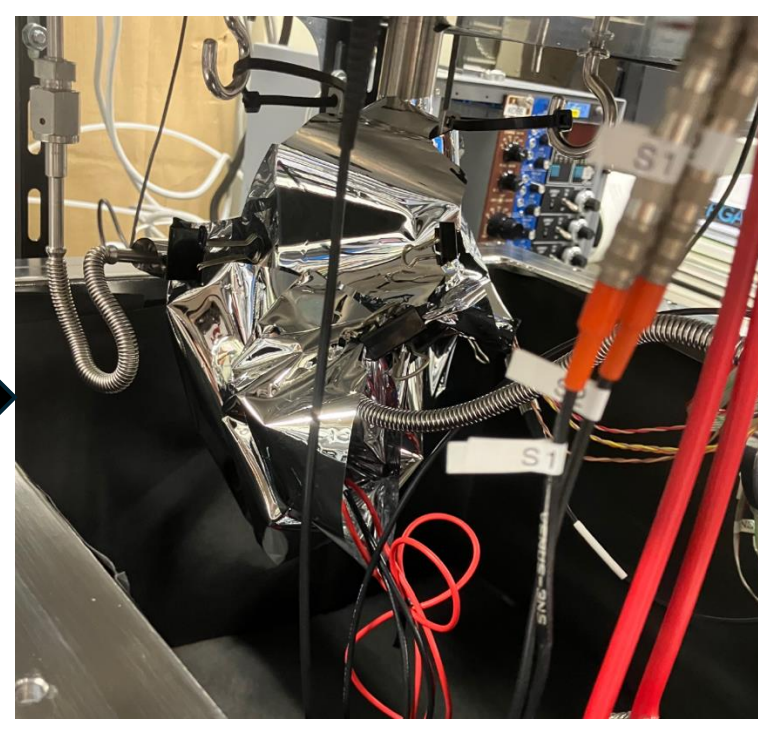
実験装置と冷却

- 真空容器内に銅検出器を配置
- 検出領域部分と冷却機を熱的接触
- 光学窓を検出器の上下に設置して、PMTを外付け
- 検出器内(22×22×42 mm³)にCF₄ガスを導入して、検出器内部をCF₄の沸点以下まで冷却

CF ₄	
分子量	88 g/mol
密度(気体)	3.76 g/L
沸点/融点	143/89 K



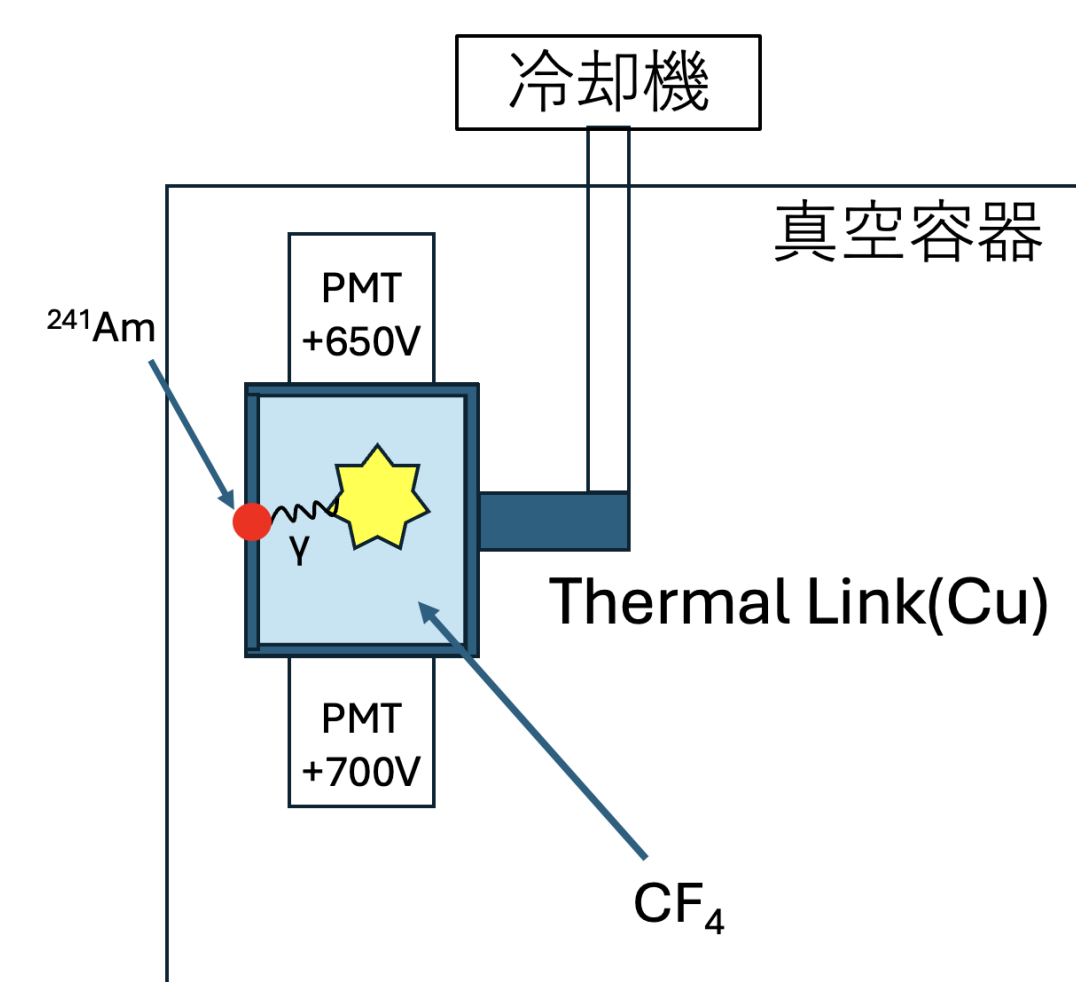
銅検出器
22×22×42mm³



アルミマイラで巻いて
輻射を抑える



浜松ホトニクスのPMT使用
R8520-406

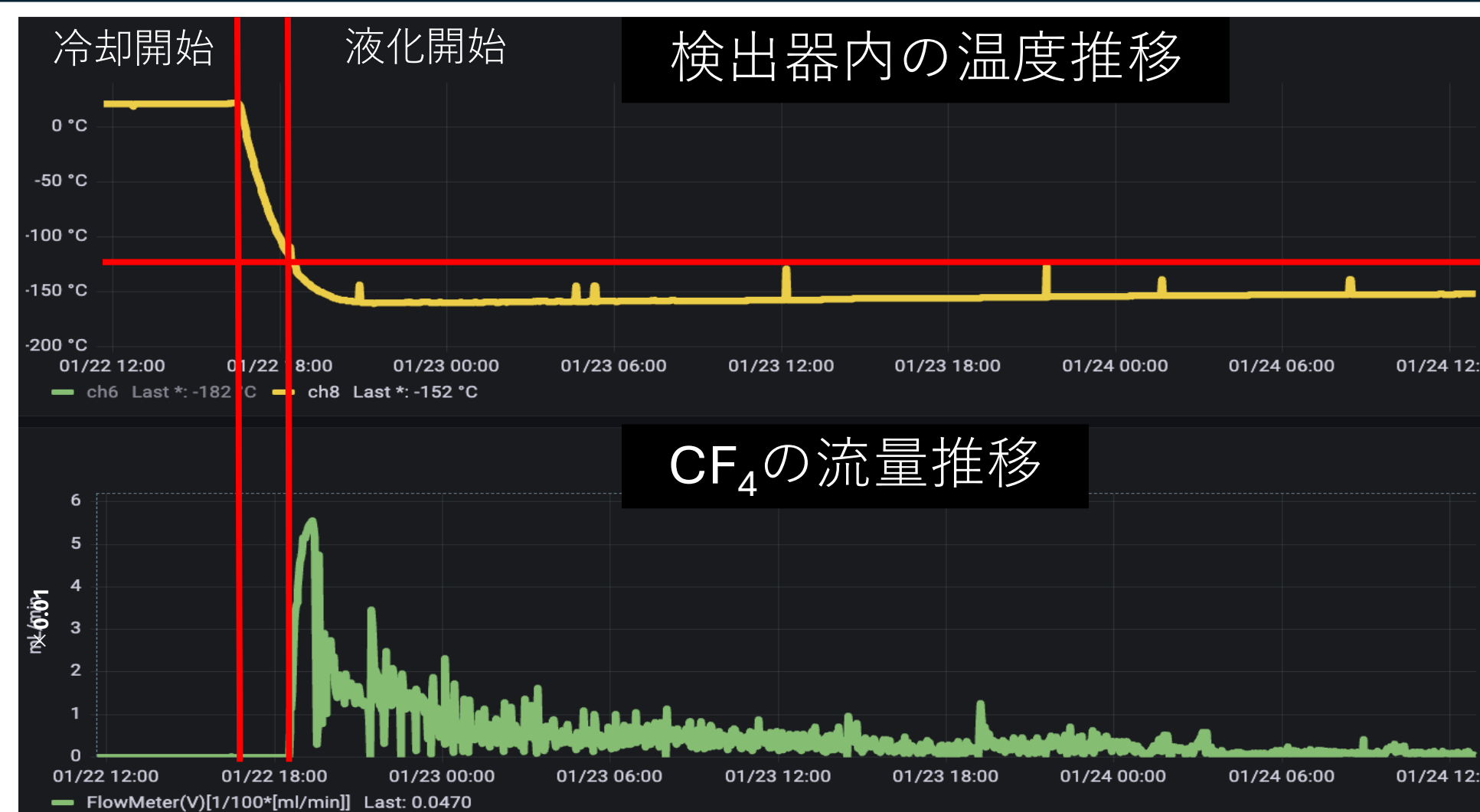


測定 & 解析

- PMTからの信号の波形情報を取得する
- CF₄気体状態と液体状態で発光をみる

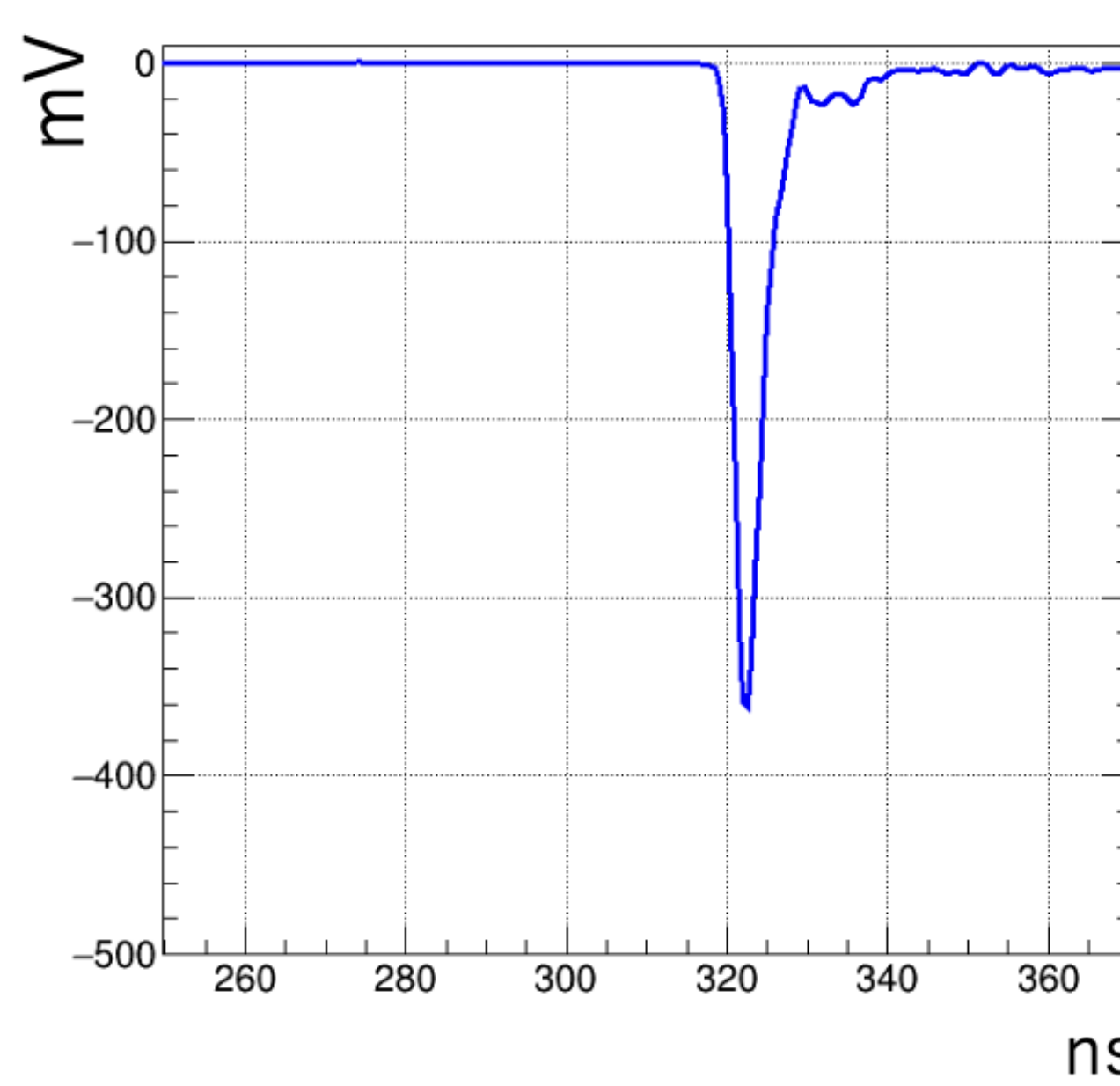


sampling rate : 2 GHz
Dynamic range : -500~500 mV

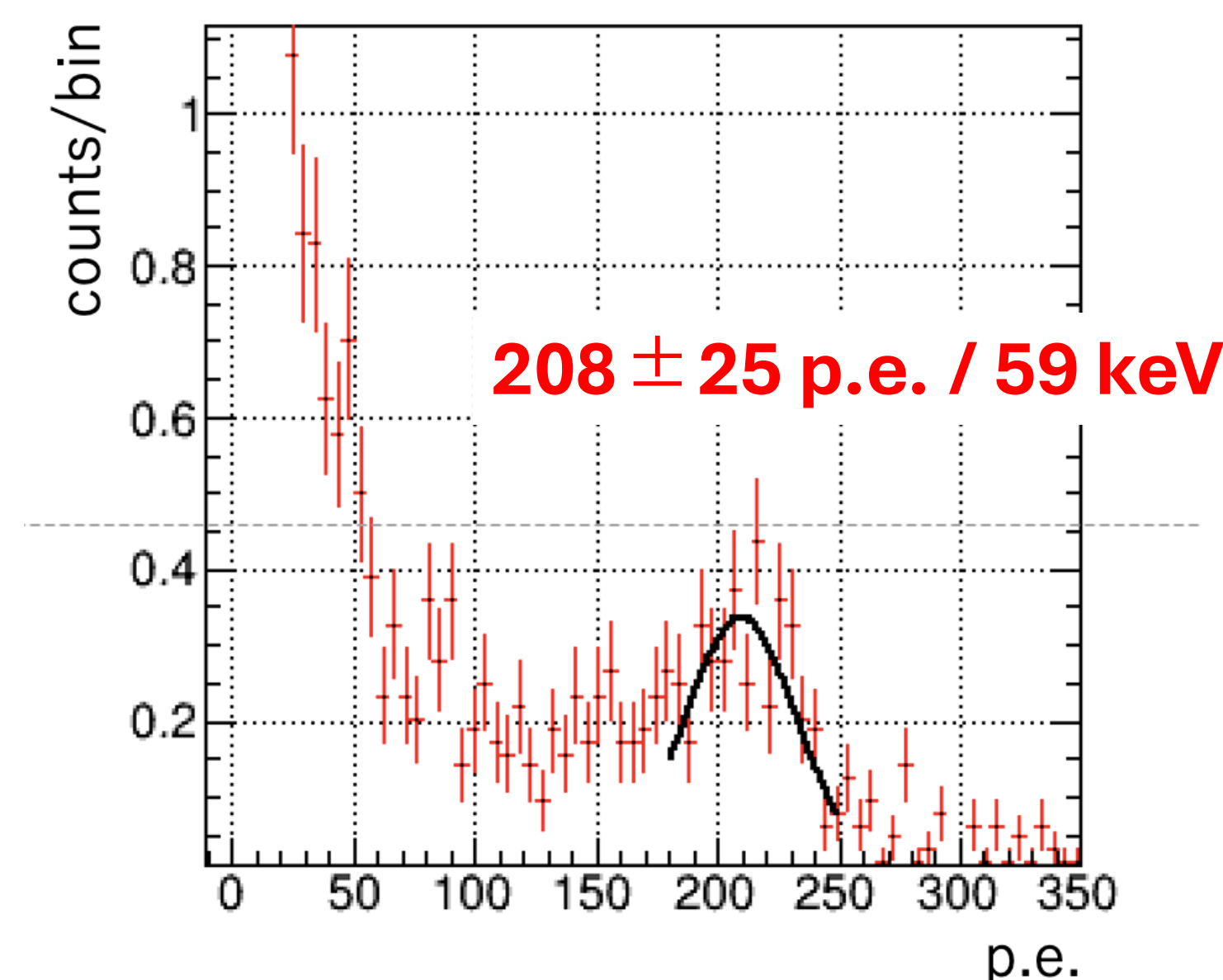


実験時の冷却データ

- 冷却を始めてから2時間でCF₄の沸点を下回る
- CF₄の沸点を下回った直後に液化が始まった
- 2日間にわたって安定して液化できていた



↑液体CF₄の平均発光波形

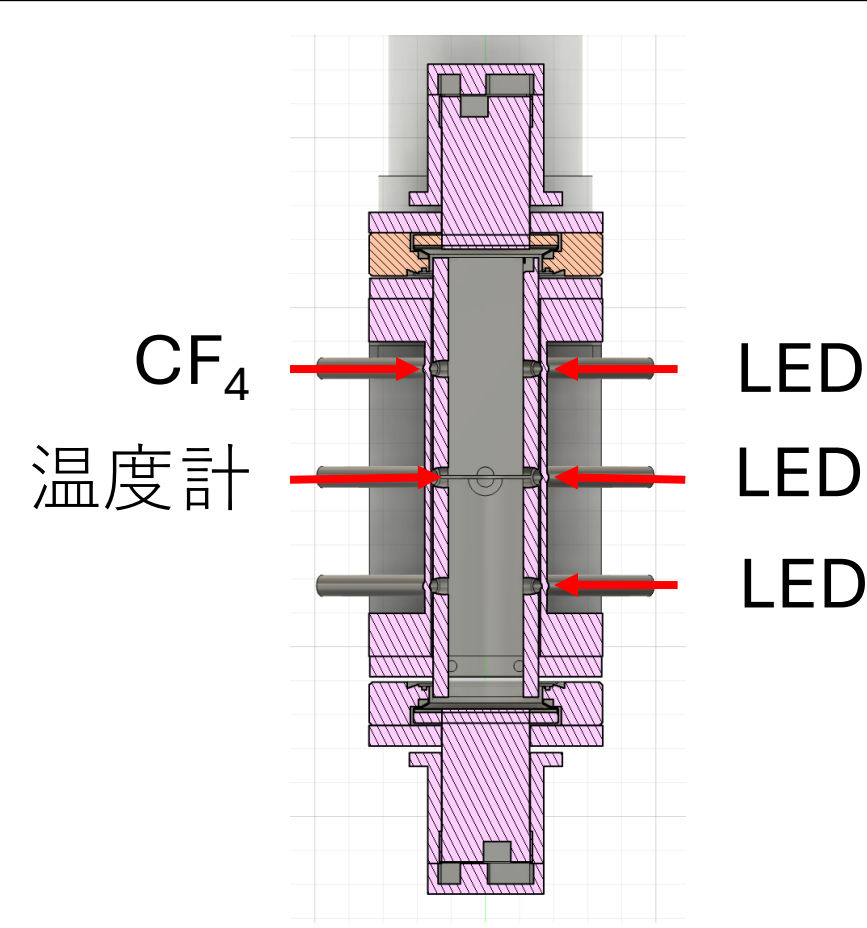
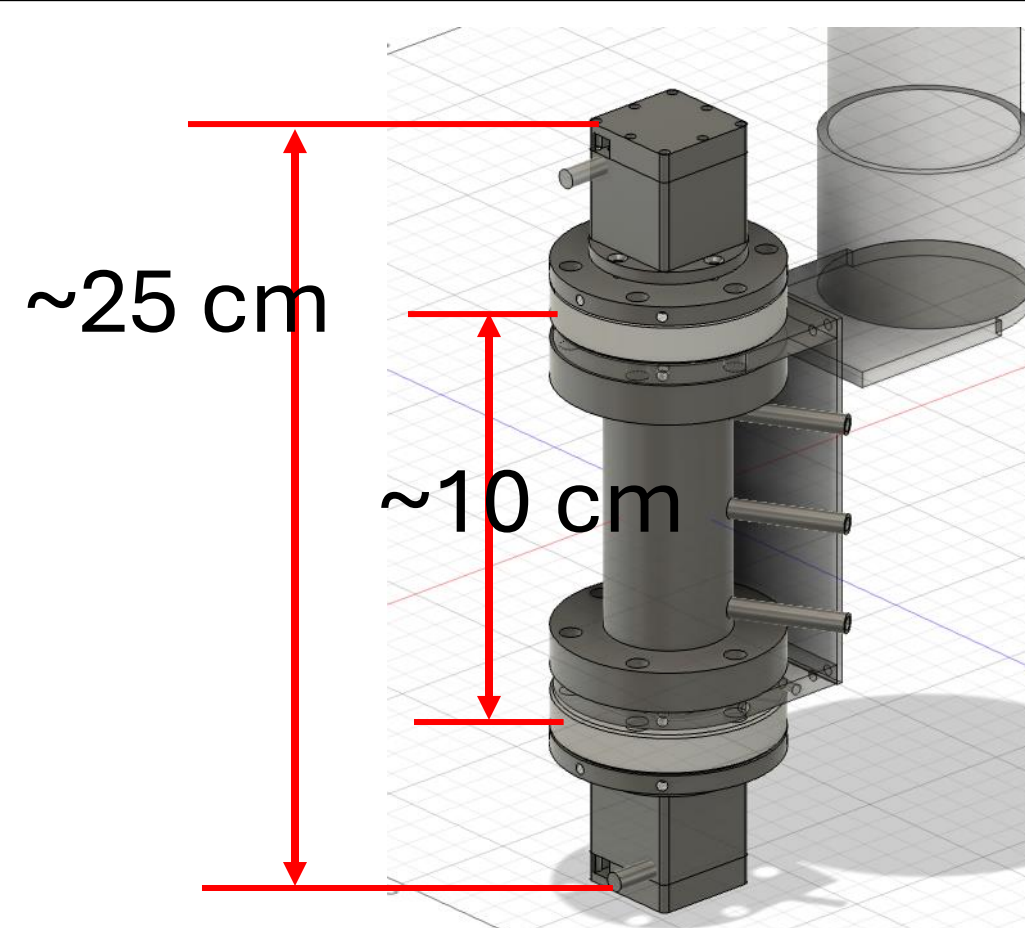


↑²⁴¹Am59keVガンマ線照射時の
液体CF₄の発光スペクトル

- **液体CF₄は光る ! (208 ± 25 p.e. / 59 keV)**
- **nsオーダーの短い発光をする!**

6.新検出器の開発

- 検出器の大型化を目指して
- 次のステップ(現在)
 - 長さ~10 cmの検出器を設計、開発する
 - 液体CF₄の自己吸収率、粒子識別について調べる
- さらに次のステップ(今後)
 - 長さ~40 cmの検出器を設計、開発する
 - 液体CF₄のTPC開発



←現在開発中の検出器の概略図

- 上下に光学窓隔てて、PMTを取り付け
- 検出領域は銅で作成
- 冷却機に熱的接触させる
- 今回よりも検出器を長くする
- CF₄導入ポート、LED照射ポート、温度計ポートの取り付け

7.まとめと今後の展望

- 検出器をCF₄の沸点以下まで冷却できる装置を開発した
- CF₄の液化に成功した
- ²⁴¹Amの59 keVガンマ線由来の液体CF₄の発光をみた
- 今後、液体CF₄での粒子識別や自己吸収率について調べる

参考文献

- [1] <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1978ApJ...225L.107R/abstract>
- [2] [doi:https://doi.org/10.1016/S0927-6505\(96\)00047-3](https://doi.org/10.1016/S0927-6505(96)00047-3).
- [3] <https://arxiv.org/pdf/1902.0403>