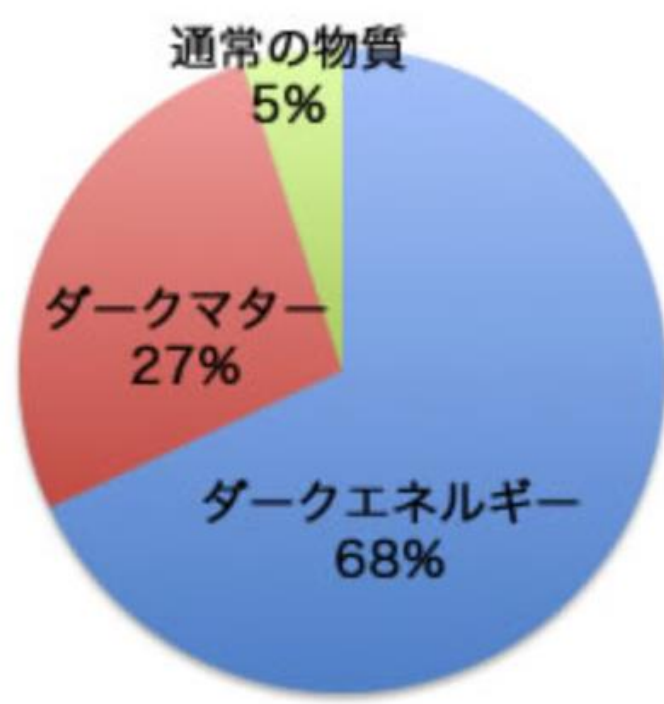


本研究の概要

- 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
- 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

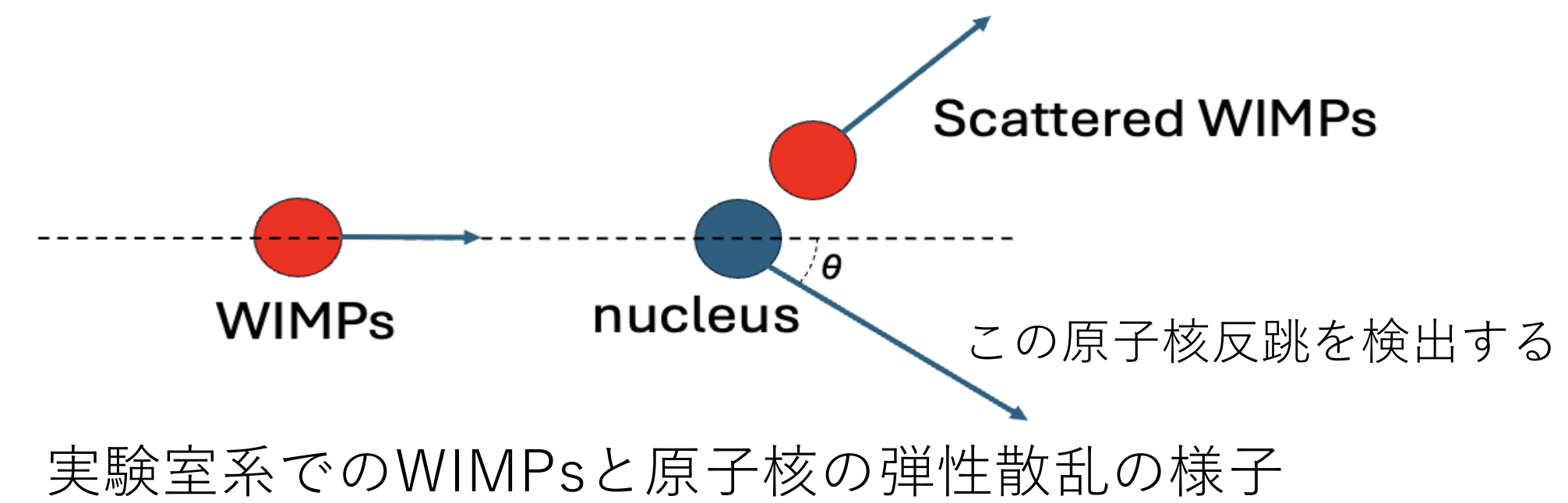


WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles)

- 暗黒物質の有力候補
- 弱く相互作用する
- 質量100GeV/c²~10TeV/c²程度 (陽子1個が1GeV/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



実験室系でのWIMPsと原子核の弾性散乱の様子

3. WIMPsと原子核の散乱弾面積

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

標的原子核ごとのλ²J(J+1)

同位体	J	λ 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

- スピンの依存する (SD) 散乱
 - 散乱弾面積が原子核のスピン量に依存する

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

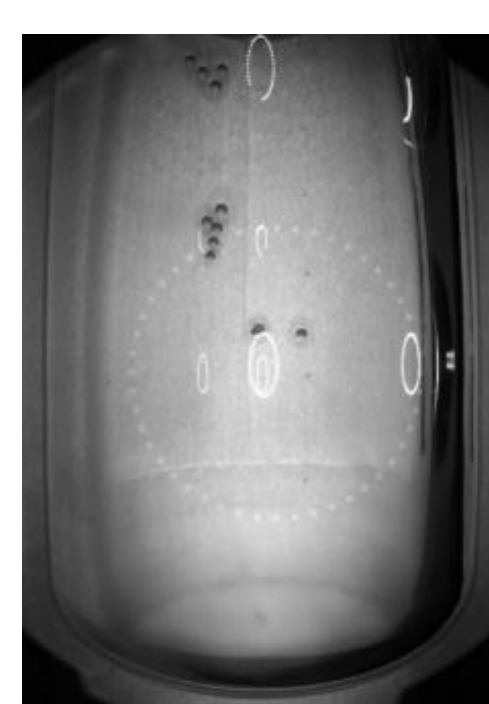
λ: ランデ因子

J: 原子核の全スピン

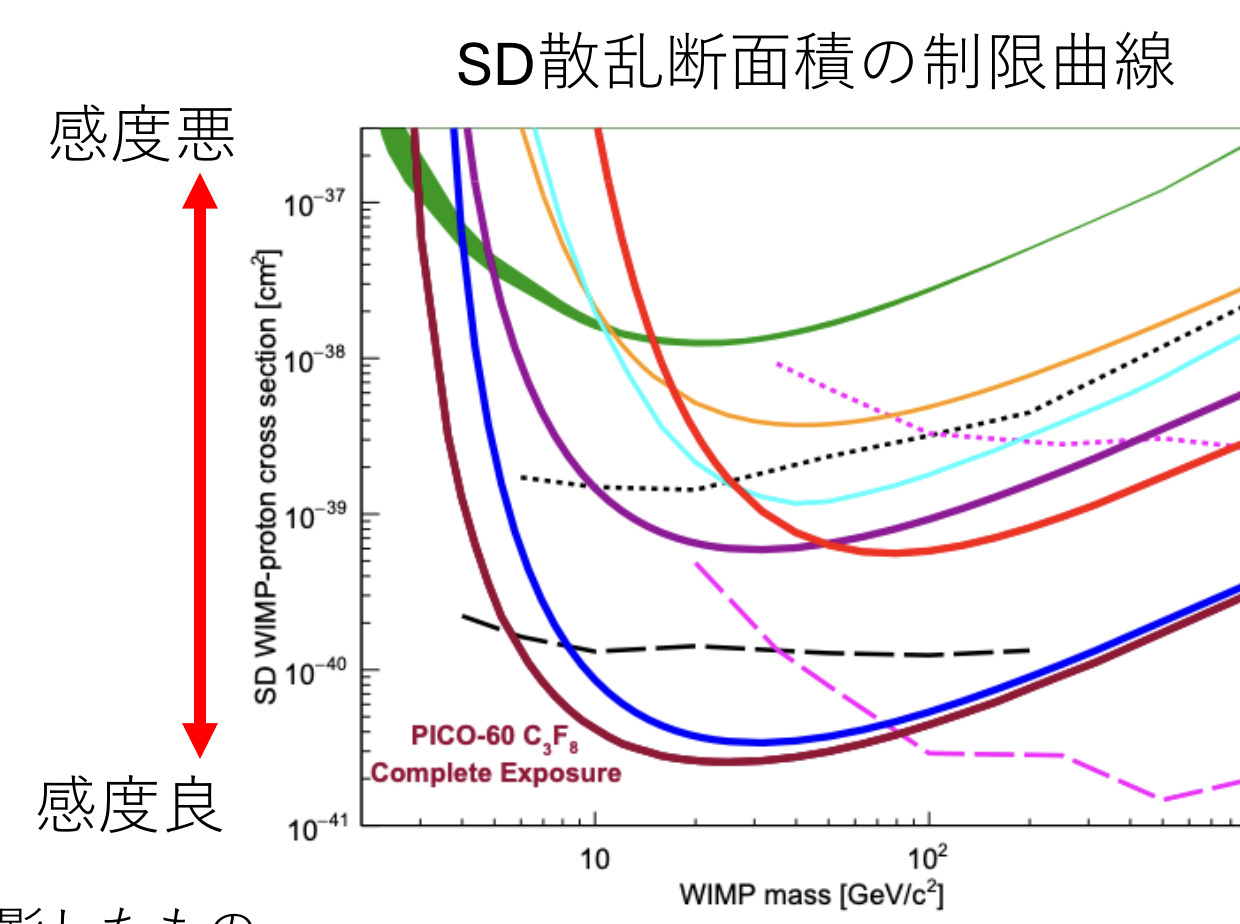
- ¹⁹FがSD散乱において有利に働く

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
- 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



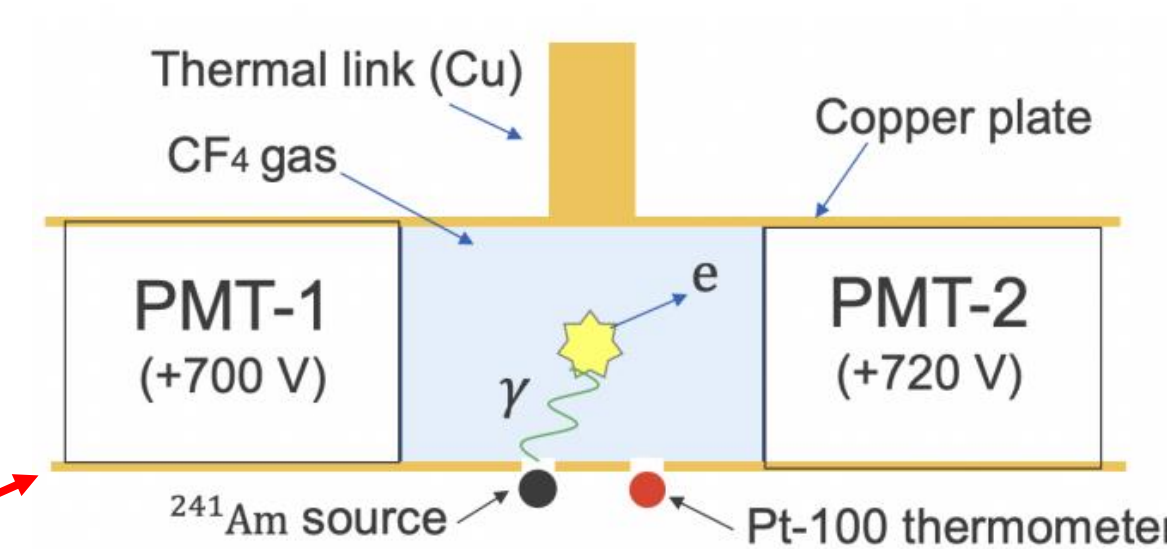
PICO実験では反跳原子核のエネルギースペクトルを見るができない

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. 先行研究にて

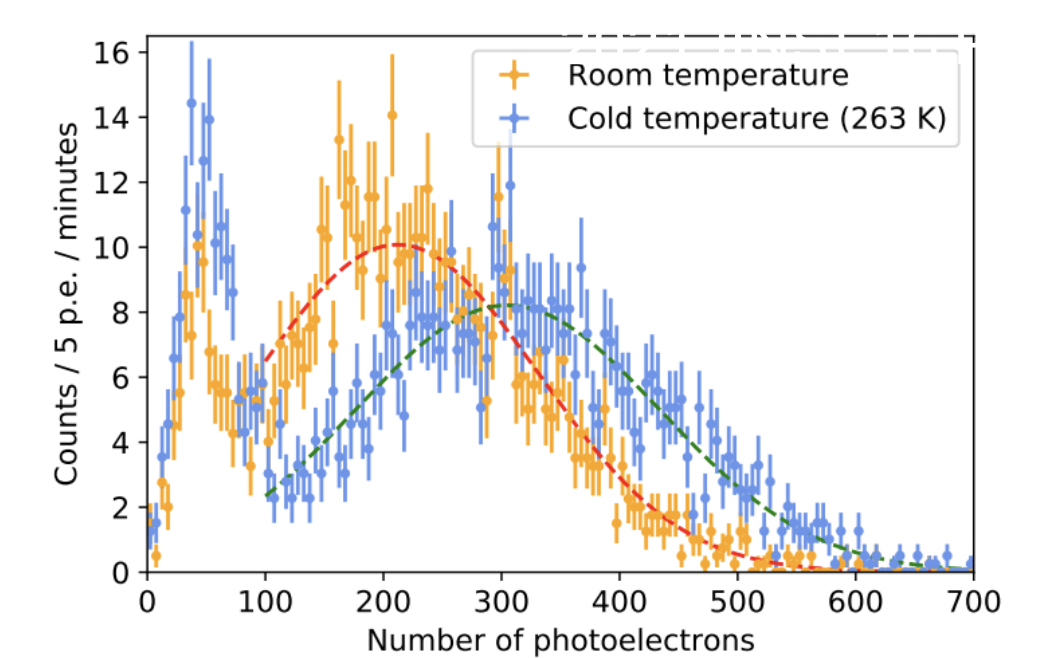
- CF₄ガスの発光を利用したシンレータ
- 2個のPMT(光電子増倍管)でシンチレーション光を捉える
- 検出器(2.8×2.8×4.1cm³)にCF₄ガスを導入
- ²⁴¹Amの59keVのガンマ線を照射
- CF₄ガスを263K(-10°C)まで冷却を行った
- 室温時と冷却時のガンマ線由来の発光量をみる
- 40%の光量増加が見られた

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



銅板でPMTも含めた検出器全体を熱的に接続

2021 JINST 16 P12033より



6. 本研究

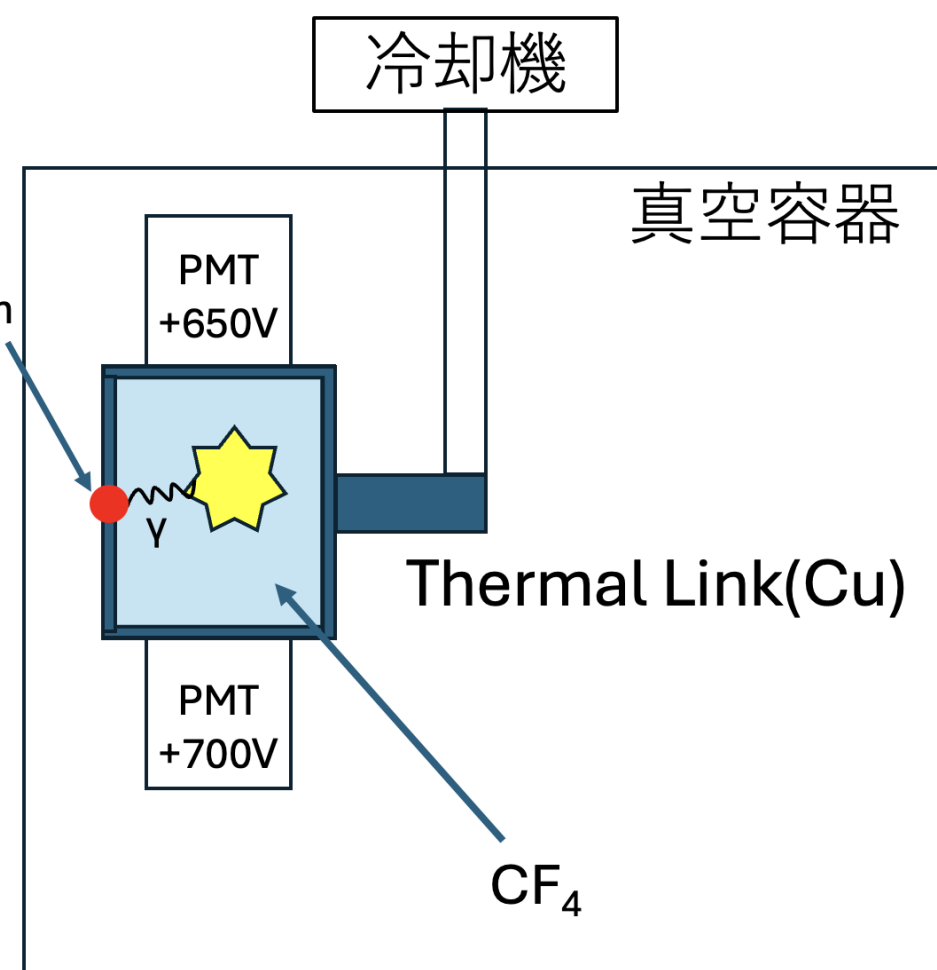
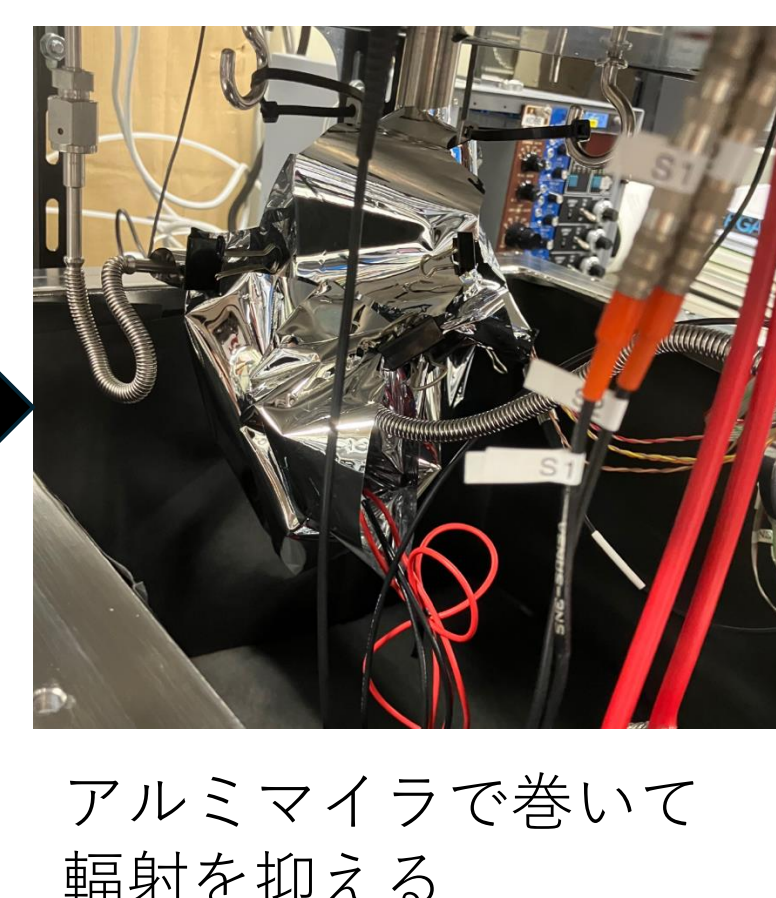
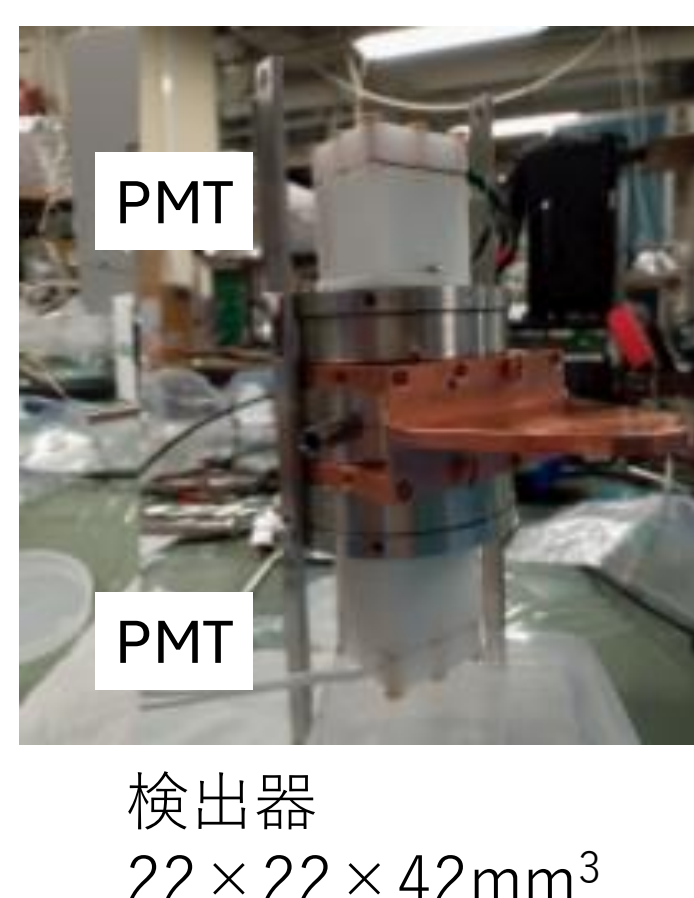
コンセプト

- 先行研究と基本的な手法は同じ
- 上下2つとも先行研究と同じPMTを使用
- 液化温度まで冷却できるように装置を改良↓



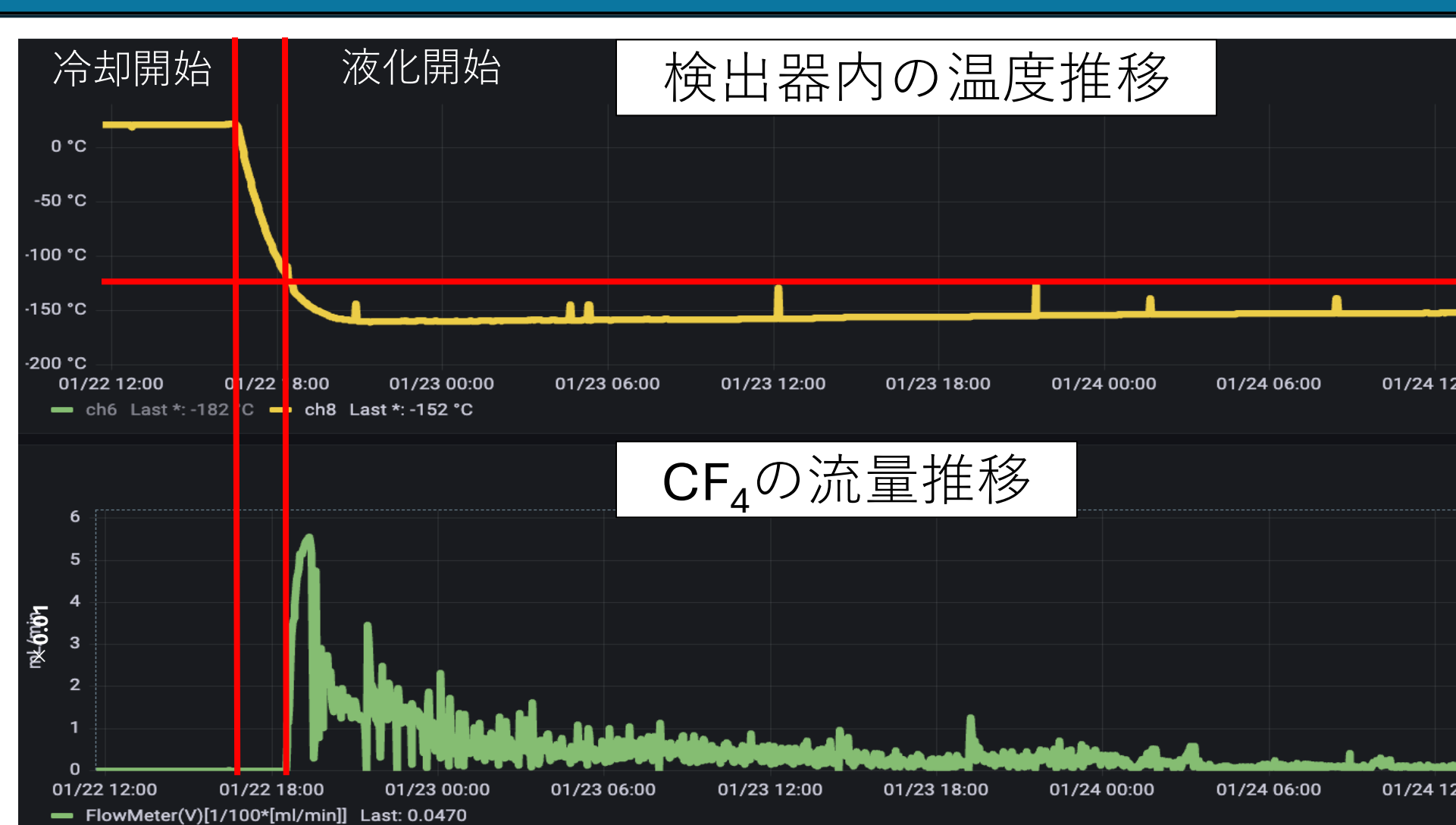
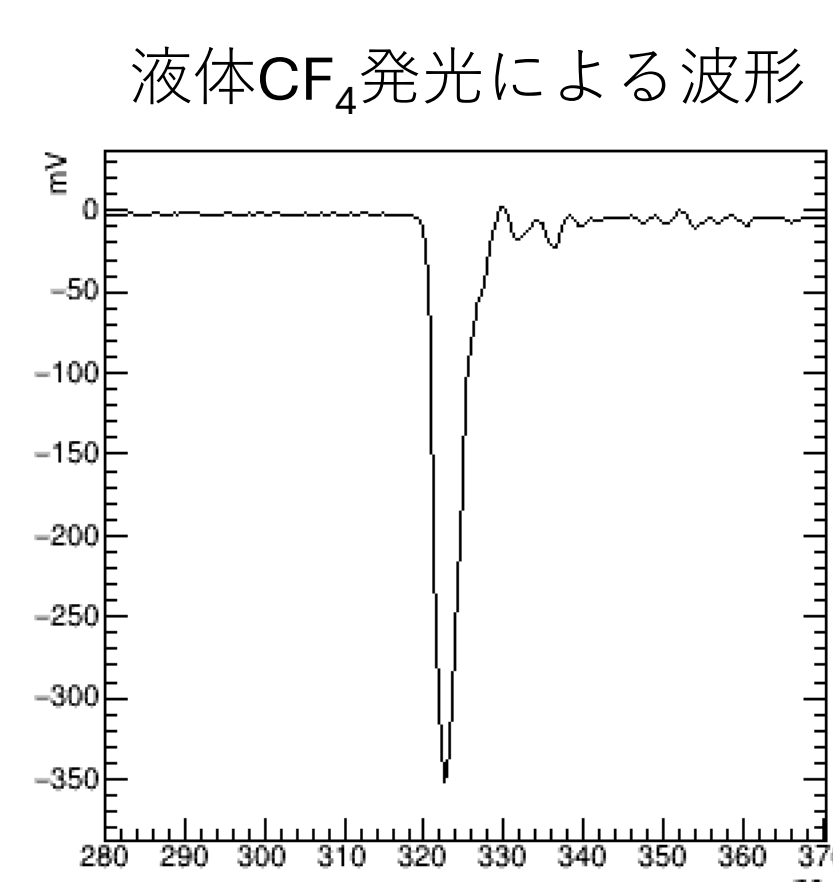
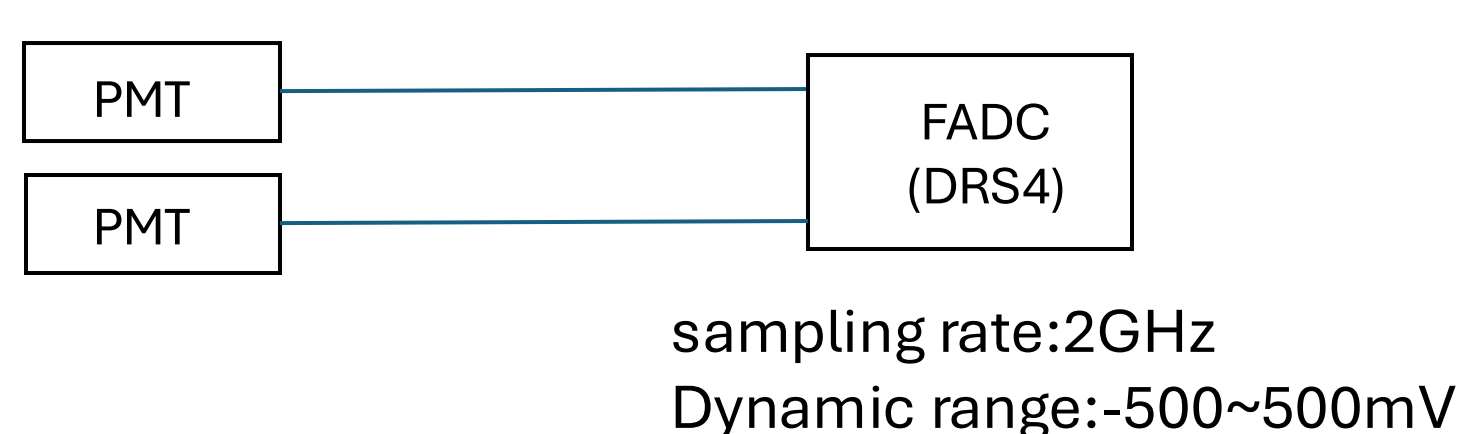
実験装置と冷却

- 真空容器内に検出器を配置
- 検出領域部分と冷却機と熱接触を改善(先行研究からの改良ポイント)
- 光学窓を検出器の上下に設置して、PMTを外付け(先行研究からの改良ポイント)
- 検出器内(2×2×4.2cm³)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



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

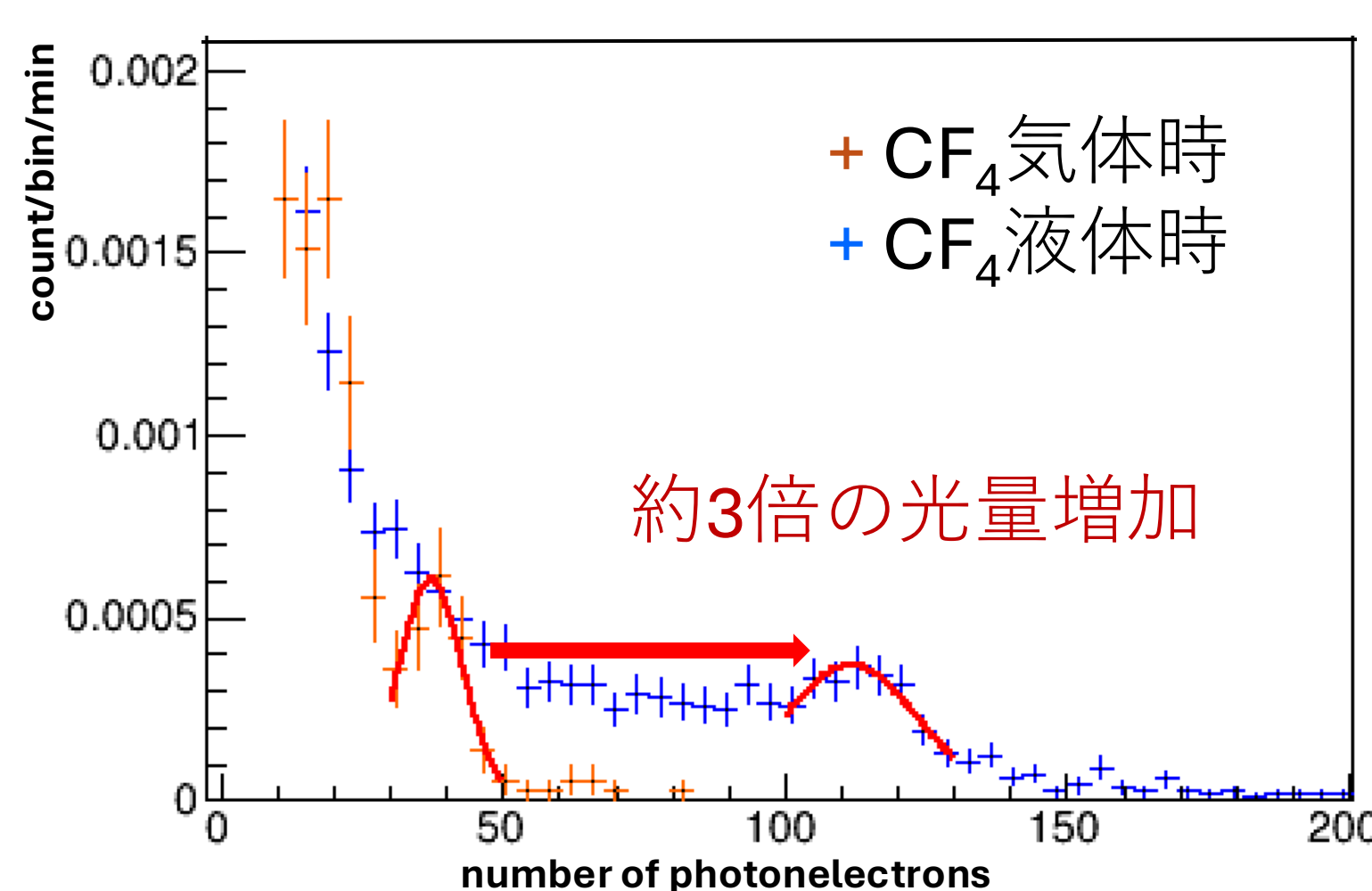


実験時の冷却データ

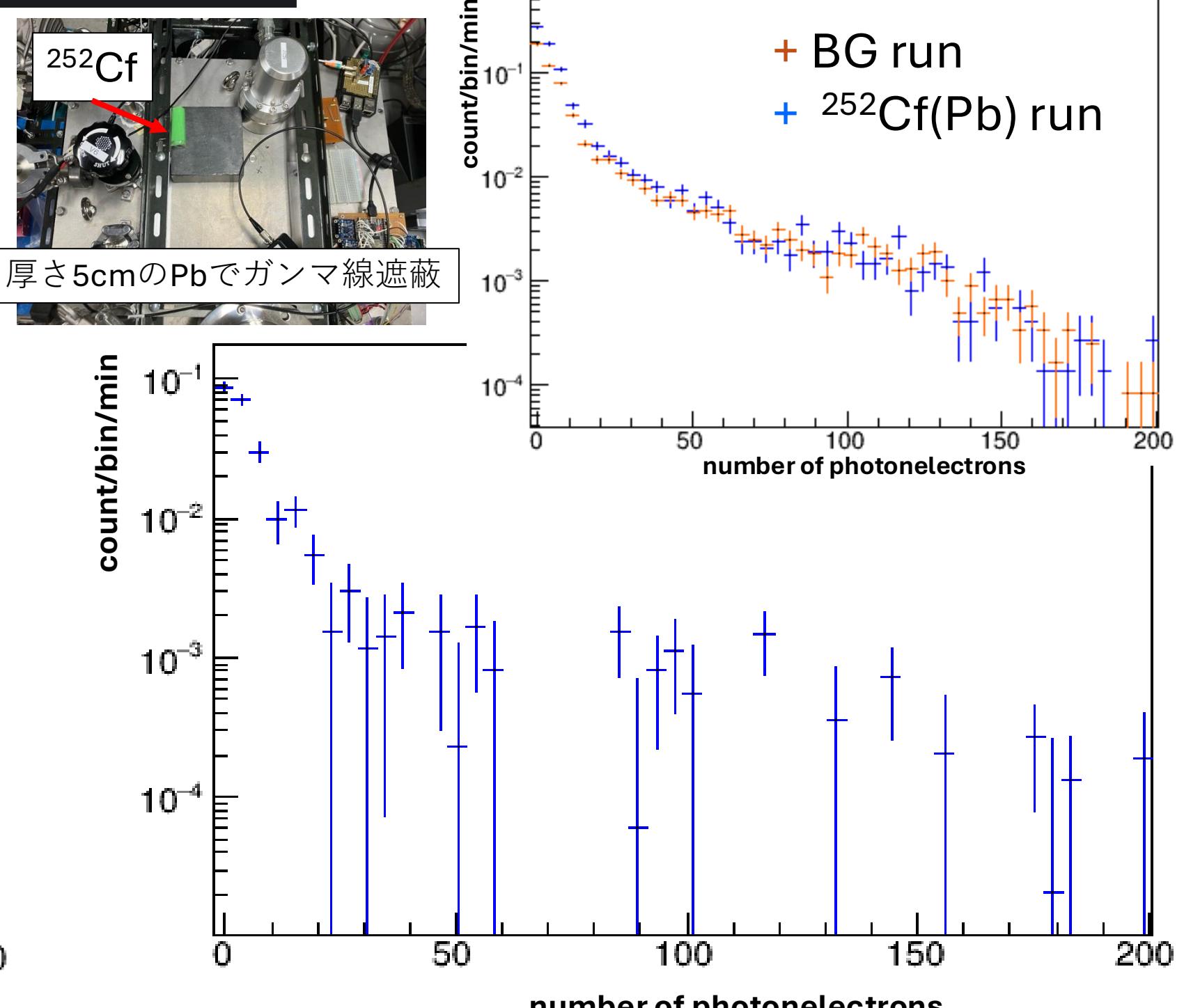
- 冷却を始めてから2時間でCF₄の沸点を下回る
- CF₄の沸点を下回った直後に液化が始まった
- 2日間にわたって安定して液化できていた

CF₄発光による光量スペクトル

- ²⁴¹Am59keVのガンマ線、²⁵²Cfの中性子線を照射



- ²⁴¹Am59keVガンマ線照射時のCF₄気体時と液体時の光量測定の比較結果
- 気体時
 - mean 37.3 ± 5.7 p.e.
- 液体時
 - mean 111.6 ± 10.8 p.e.
- 約3倍の光量増加があった



- CF₄液体時の²⁵²Cf線源照射時(Pb遮蔽)とBG測定の比較結果
- 右上図は重ね書きしたもの
- 左下図は二つを差し引いたもの
- 中性子由来の原子核反跳の連続スペクトル成分が見えた

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
- ²⁴¹Am59keVガンマ線照射時、気体時に比べて液体時では約3倍の光量増加がみられた
- 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

- doi:https://doi.org/10.1016/S0927-6505(96)00047-3.
- https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1978ApJ...225L.107R/abstract
- https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/16/12/P12033