



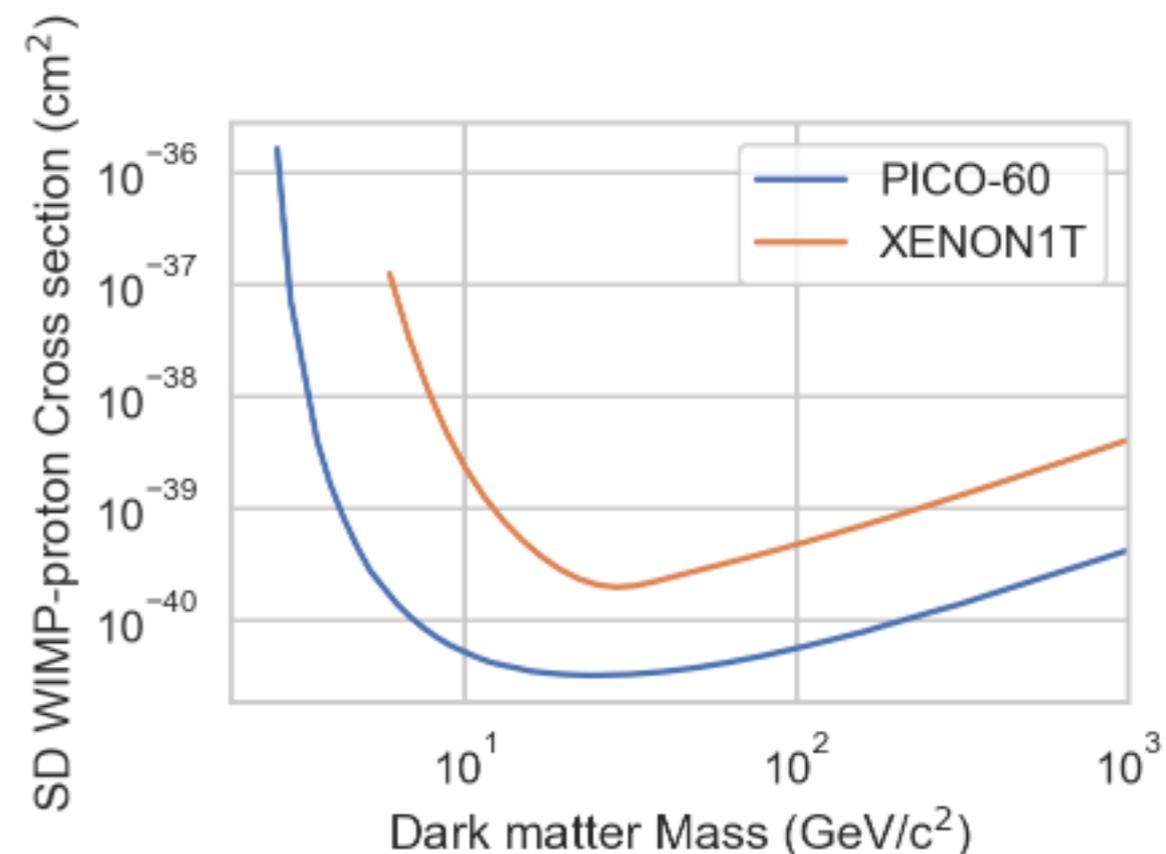
# スピン依存する暗黒物質検出のための 液化CF<sub>4</sub>発光測定研究

水越 慧太<sup>1</sup>, 前田 剛志<sup>1</sup>, 身内 賢太郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup>神戸大理

日本物理学会 2020年秋季大会 9月16日 10:00- 16aSK-5

- スピン依存する (Spin dependent, SD) 散乱を用いたWIMPs 直接探索
  - 未検出
  - 現状の制限はPICO-60実験の  $3.2 \times 10^{-41} \text{ cm}^2 @ 25 \text{ GeV}/c^2$ .
  - **泡箱の検出器, 標的  $^{19}\text{F}$**
  - 次世代 PICO 500 が準備中.
- 閾値型の検出器を用いた実験が発見を主張したとき,  
**エネルギースペクトルを測定したい.**  
→シンチレーターを準備しておく

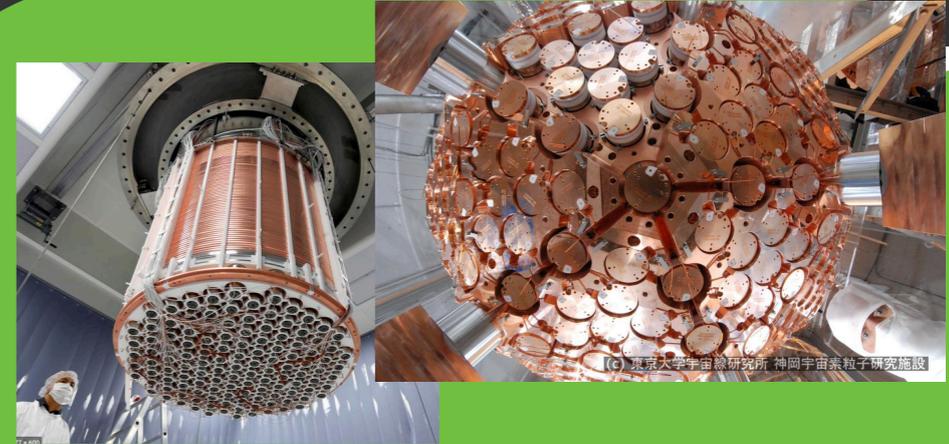


スピン依存するWIMP-protonの  
断面積の上限値 (C.L. 90%)

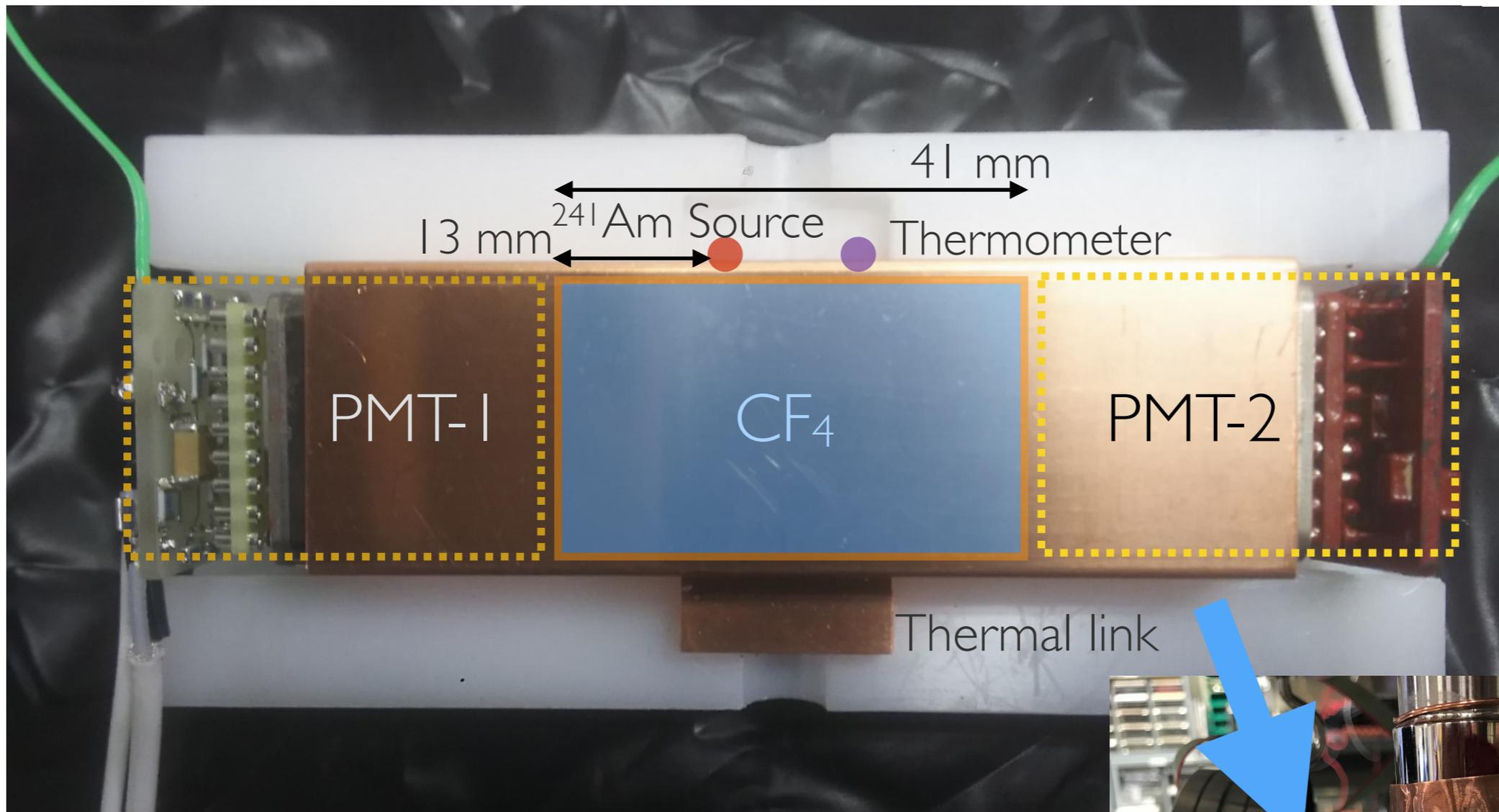
PICO-60 : PRD100 022001

XENON1T: PRL122 141301

- $^{19}\text{F}$ を標的核とした  
シンチレーターの開発
- **大型化をめざして液化 $\text{CF}_4$  (→比較的安価)の試験**
  - 既存の実験に, 標的物質を入れ替える提案をする
- 基礎的なシンチレーターとしての特性の理解をめざす
  - **→まずは低温にして光をみる**
- ガスから液体にするためには冷凍機だけでは不足 (前口演参照).  
→ 液体窒素で予冷する
- 本口演では液化にむけた準備状況について報告する.

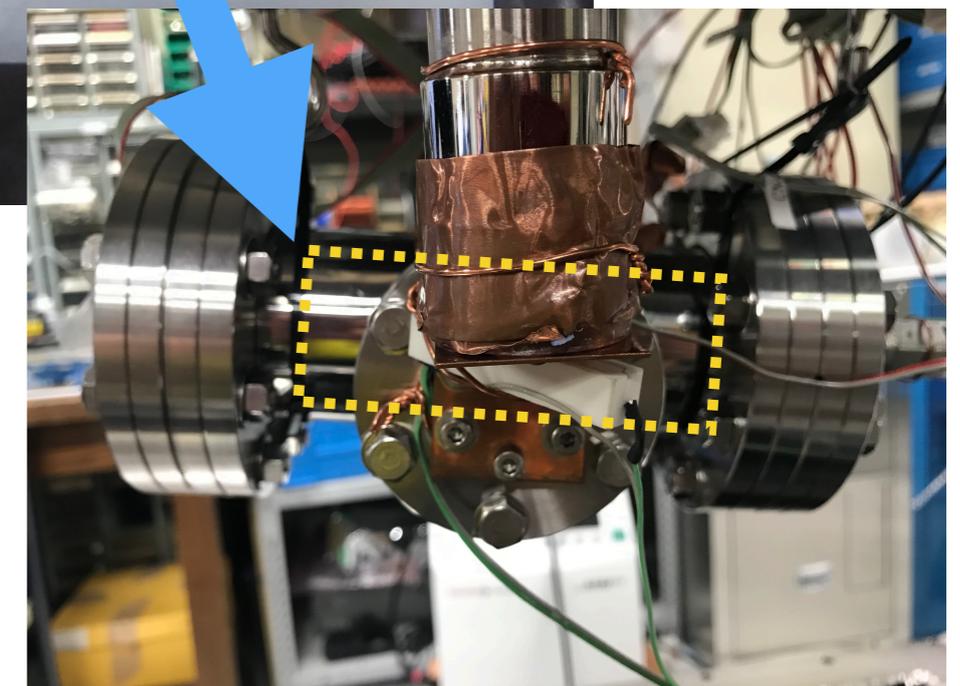


# 検出器内部



PMT:  
R8520-406

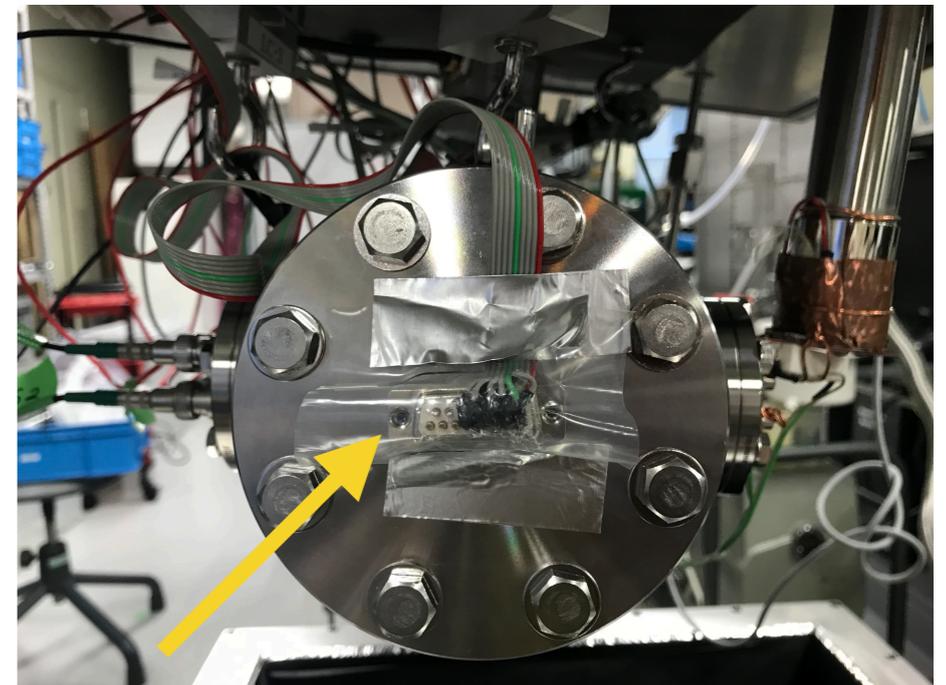
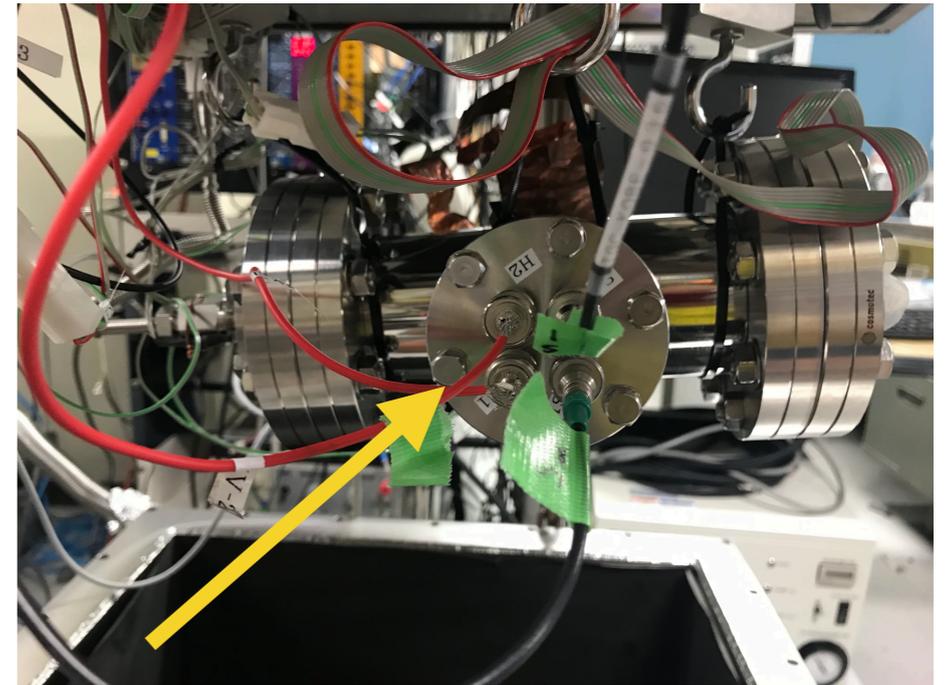
冷凍機:  
PDC08



- $\text{CF}_4$ を封じて, 光電子増倍管(PMT)を両側に設置
- 内部に $^{241}\text{Am}$ 線源と温度計設置
- 冷凍機と熱的に接続

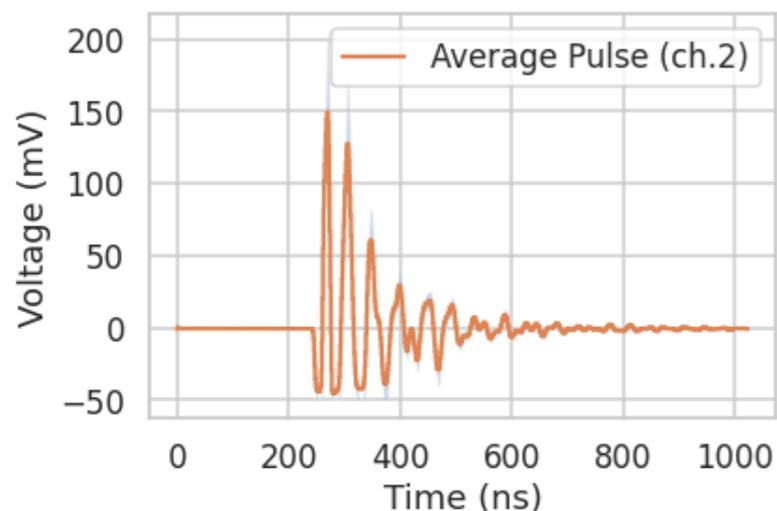
# 液化のための準備

- 断熱するために外を真空中
  - リークを防ぐ
- 低温環境では思わぬところからリーク
  - 今回は信号, HVのフィードスルーがリークするように
- 温度計などのフィードスルーから接続
- 無事リークを止めることができた
  - →さらに低温にすることができる
  - →リング状のノイズが増加した
- 液体窒素で予冷してより低い温度に
- 常温と低温 (~160 K) で光量を比較する



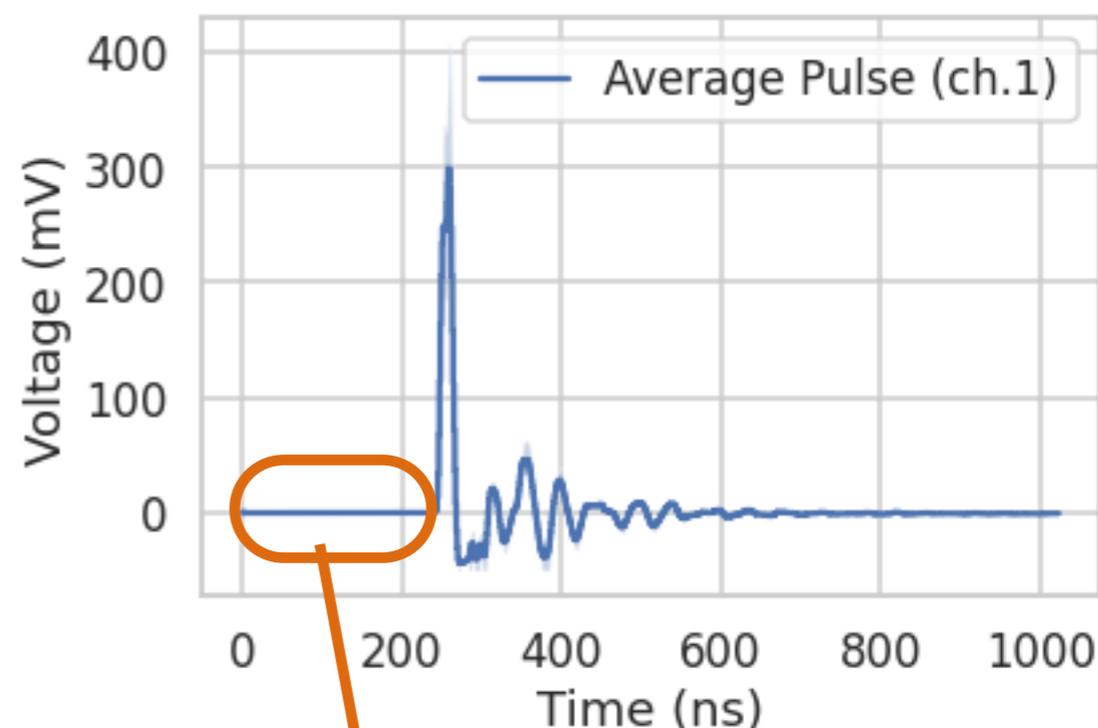
# 波形とSPE計算

- トリガー前のベースラインで Single photoelectron (SPE)波形を積分する
- 初期30 binを暫定ベースラインとし 5 mV離れた波形の周囲を積分する

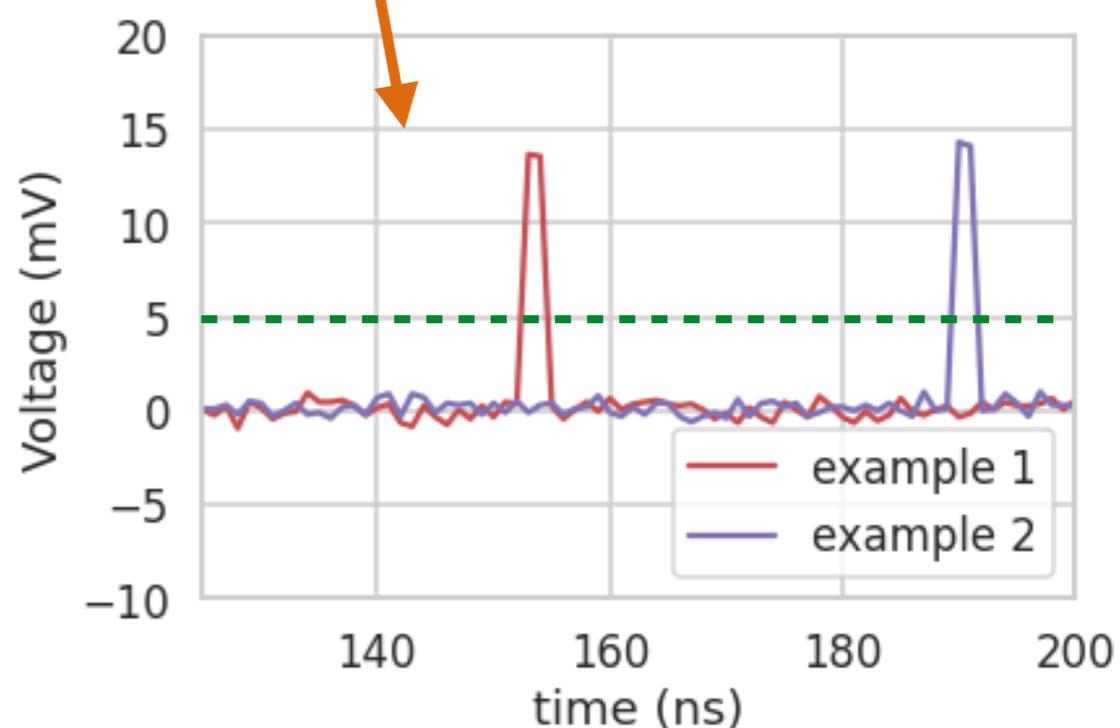


PMT-2の平均波形

はげしいリング状のノイズが見えてしまっている。



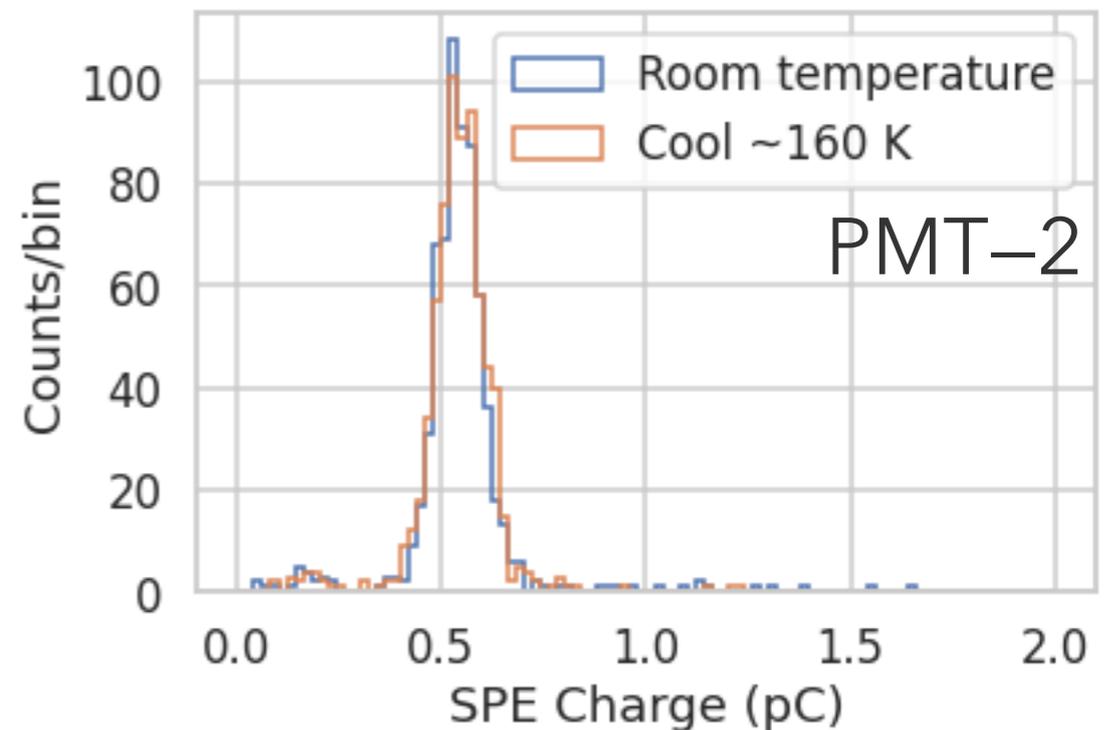
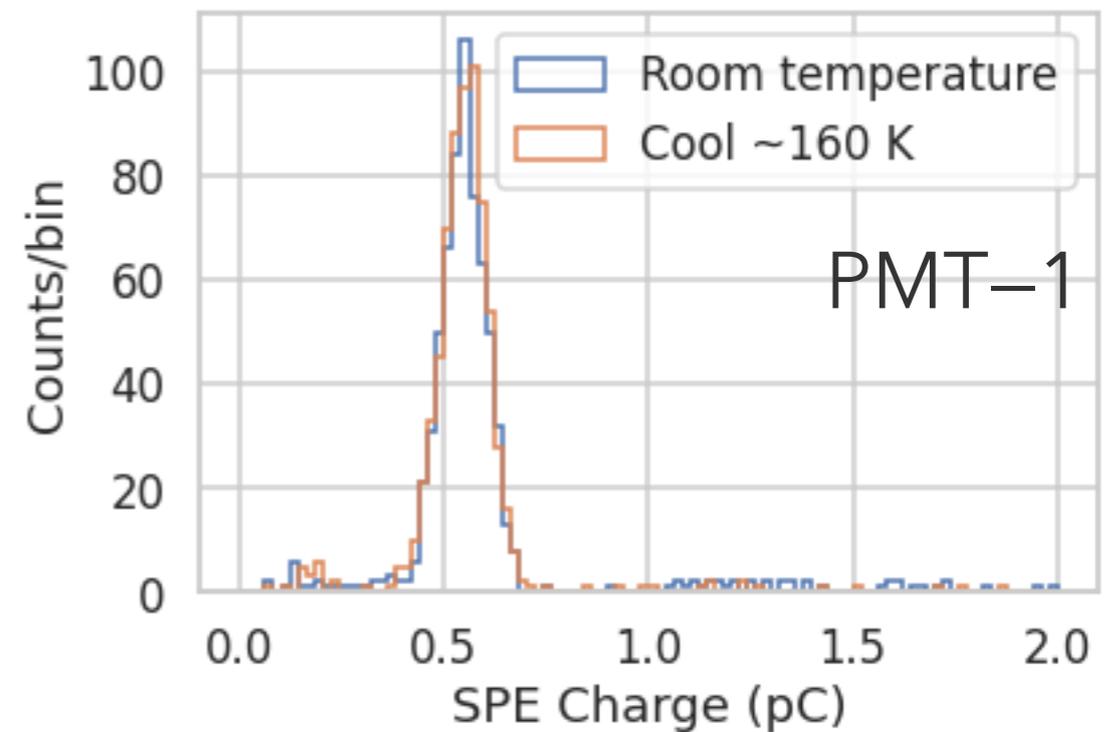
PMT-1の平均波形 影は4分位範囲



SPE 波形の例

# 温度によるゲイン変動

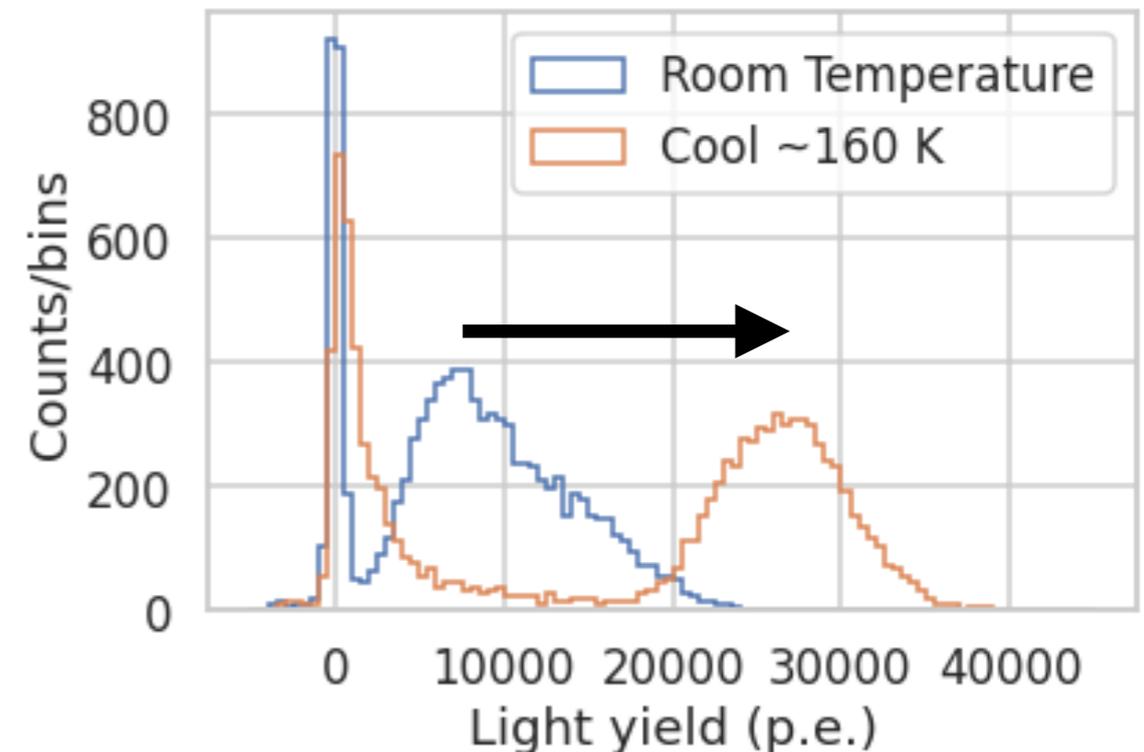
- ~160 K程度まで冷却しても PMTのゲインはほとんど変動しない.
- 比較的高い温度で見られたのと同様の傾向
- このSPE分布を正規分布で Fittingし, 光量導出に用いる



SPE 電荷分布

# 温度変化による光量増加

- **ノイズ(リンギング)の増加によって,**  $^{241}\text{Am}$ 線源のガンマ線 ( $\sim 60 \text{ keV}$ ) が隠れてしまう (前口演の手法)
- 明るいアルファ線 ( $\sim 5.5 \text{ MeV}$ ) を用いて光量を比較
  - ただし, このアルファ線は検出器を突き抜けるので, エネルギーの較正には不適
  - 突き抜けた場合:  $\sim 4 \text{ MeV}$
- **非常に大きな光量増加  $\sim 3$ 倍!**
- 今後, 光量が温度によって連続的に増加していくことを確認したい.



## 異なる温度での光量分布

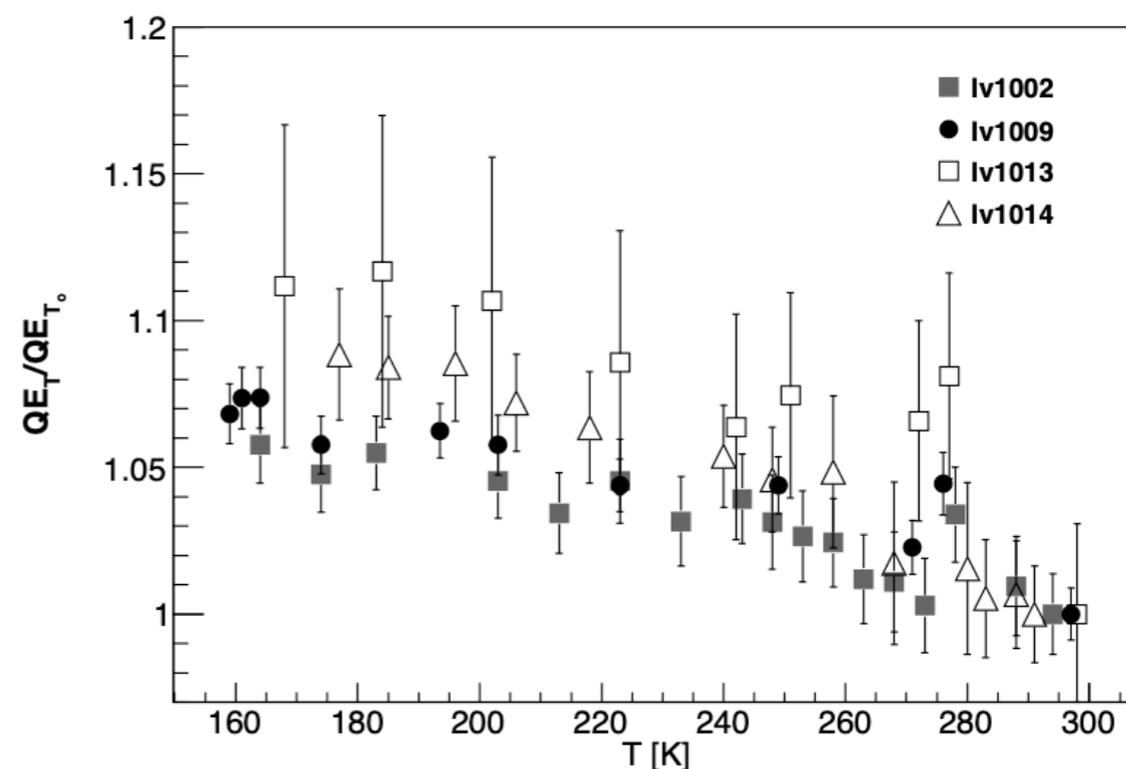
検出器内圧力は $\sim 1.2 \text{ kPa}$ に揃えて比較

ここでは両PMTの光量の和を示す

$$N_{\text{Observe}} = N_{\text{Original}} \times \Omega \times \epsilon_{\text{QE}} \times C_{\text{Gain}}$$

$N_{\text{Observe}}$	観測光量
$N_{\text{Original}}$	生成光量
$\Omega$	PMTの立体角
$\epsilon_{\text{QE}}$	PMTのQE
$C_{\text{Gain}}$	ゲインの係数

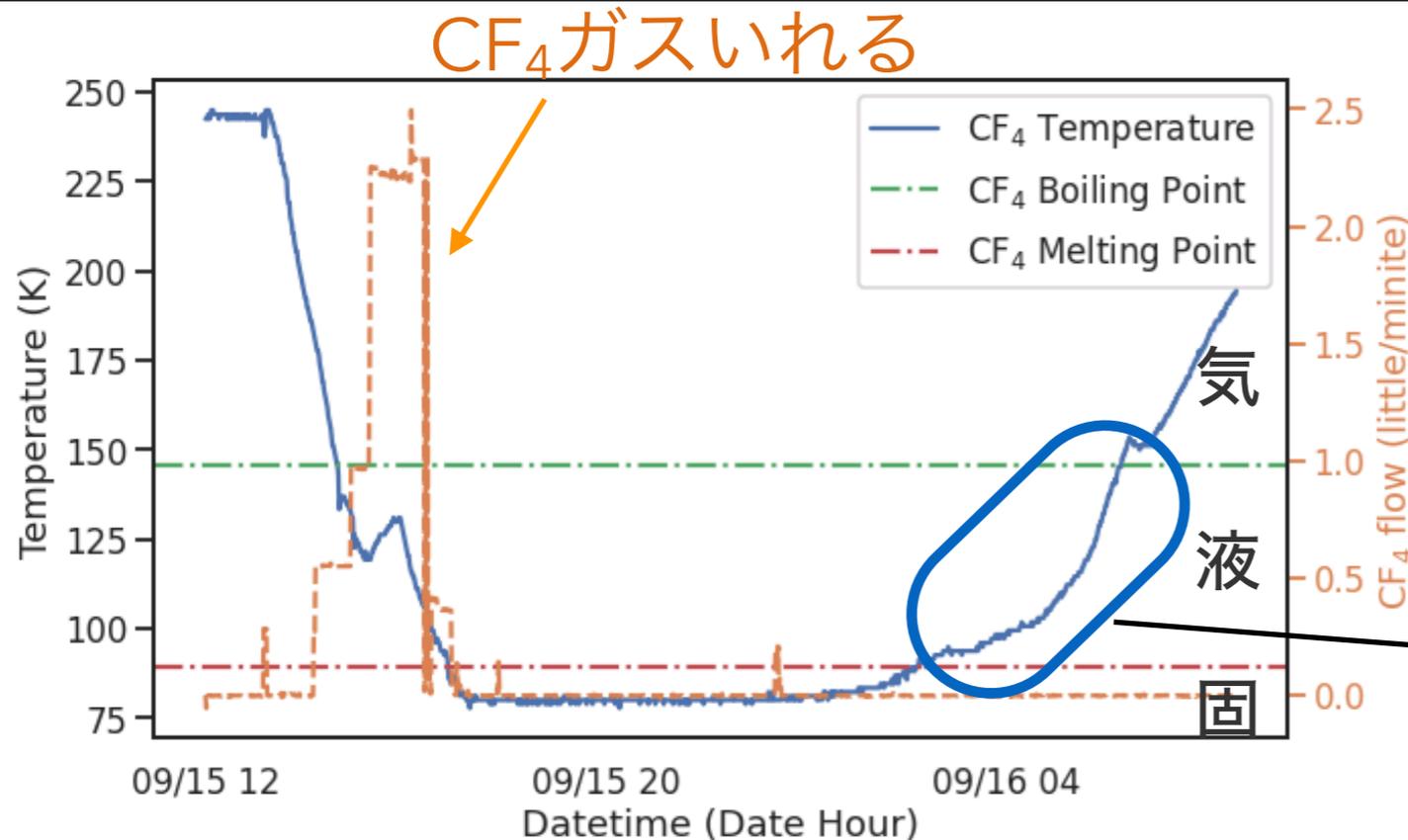
- PMTの立体角は温度依存なし
- QEは関連先行研究 (右図) より  
5–11%の上昇と測定済み
- ゲインは温度に依存しない
- SPE分布で確認
- 数倍にみえる光量は,  
やはり**実際に光量が増えている**



温度とPMTのQE

JINST 7 P10005

# 液化にむけて



CF<sub>4</sub>ガスを導入しながら  
液体窒素と冷凍機で冷却  
液相を超えて固体になってしまった。

この部分を特に解析中

## ガス温度の時間変化

- さらに冷却 → 液化温度まで冷やせることを確認
- 緩やかに自然昇温することで、光量の変化の推移を観測できると期待している。
- 将来への課題: もう少し繊細な温度のコントロール

- スピン依存する暗黒物質探索のために, フッ素を含んだシンチレーターの開発をおこなっている.
- 液化CF<sub>4</sub>シンチレーター を目指してR&D中
- **ガスCF<sub>4</sub>は低温で大きく光量が増加する**
  - 液化CF<sub>4</sub>では, どうだろうか?
- 装置の光検出器は改善の余地がある.
- 実験装置に, **CF<sub>4</sub>を液化する性能があることを確認した.**
  - 今後, 光量のデータが取れることを期待している.

Backup slides

# 標的原子核

- スピンをもった原子核が必要
- 候補内でフッ素 ( $^{19}\text{F}$ ) は有望
- フッ素は安い!!

$$C_N^{\text{SD}} \propto \left( \alpha_p \langle S_p \rangle_N + \alpha_n \langle S_n \rangle_N \right)^2 \frac{J+1}{J} = \lambda^2 J(J+1),$$

**Table 1.** Target isotopes for SD dark matter[5]

Target	$J$	Natural abundance (%)	$\lambda^2 J(J+1)$
$^1\text{H}$	1/2	100	0.750
$^7\text{Li}$	3/2	92.5	0.244
$^{11}\text{B}$	3/2	80.1	0.112
$^{15}\text{N}$	1/2	0.4	0.087
$^{19}\text{F}$	1/2	100	0.647
$^{23}\text{Na}$	3/2	100	0.041
$^{127}\text{I}$	5/2	100	0.007
$^{133}\text{Cs}$	7/2	100	0.052
$^3\text{He}$	1/2	$1.3 \times 10^{-4}$	0.928
$^{17}\text{O}$	5/2	$3.8 \times 10^{-2}$	0.342
$^{29}\text{Si}$	1/2	4.7	0.063
$^{73}\text{Ge}$	9/2	7.8	0.065
$^{129}\text{Xe}$	1/2	26.4	0.124
$^{131}\text{Xe}$	3/2	21.2	0.055
$^{183}\text{W}$	1/2	14.3	0.003