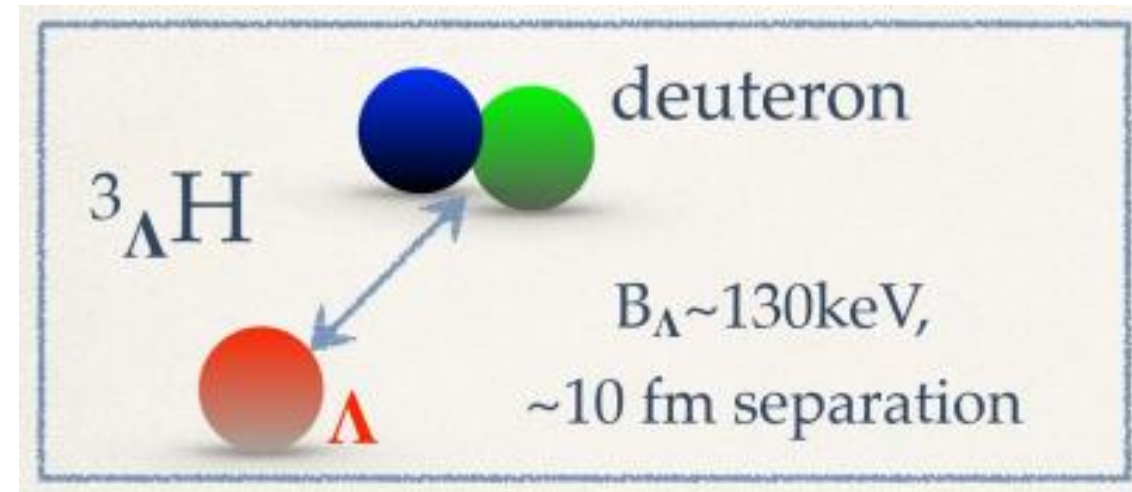


ハイパートライトンの 寿命直接測定のための カロリメーターの建設

東北大学大学院 鶴田雅人

For J-PARC E73 collaboration

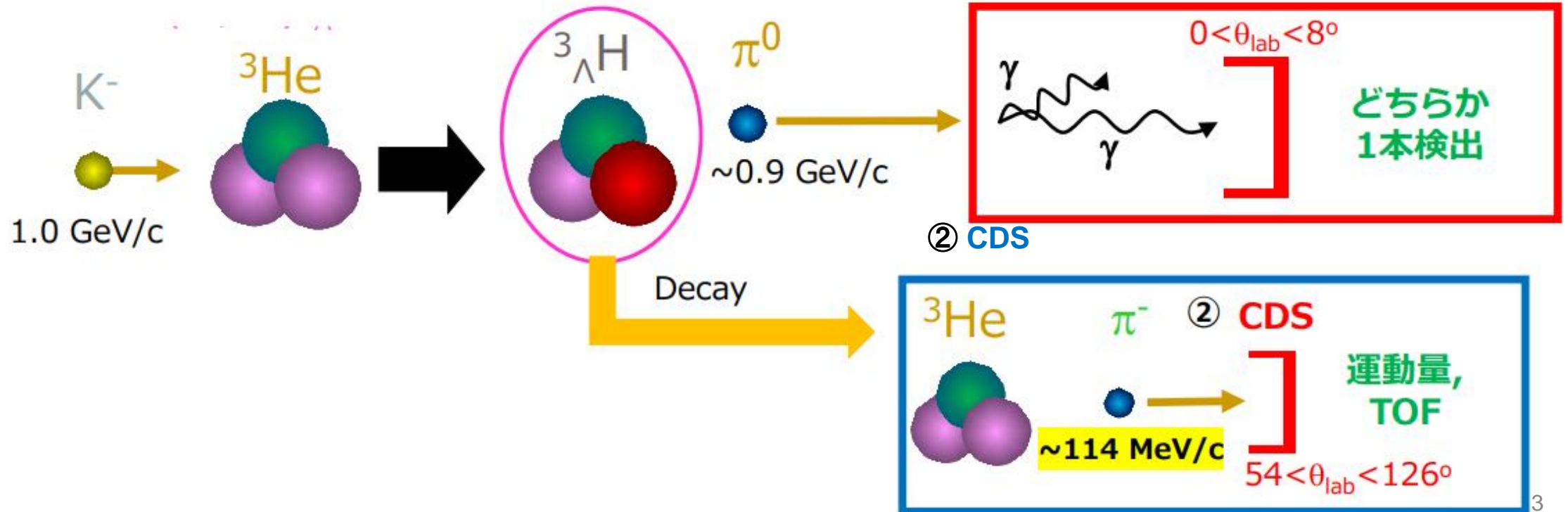
ハイパートライトン



- ハイパートライトン ${}^3_{\Lambda}\text{H}$
 - 最も軽いハイパー核、 Λ と核子の相互作用のカギ
- ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ は束縛エネルギーが小さい $\sim 130 \text{ keV}$ 程度
 - Λ とdeuteronの波動関数の重なりが小さい
 - フリー Λ に近い寿命($\sim 260 \text{ ps}$)を期待
- 近年の実験(STAR, ALICE, HypHI)でこれより短い寿命が報告
 - これらは重イオン衝突実験による崩壊距離からの算出
 - 最も短いものでSTAR実験 $142^{+24}_{-21}(\text{stat.}) \pm 29(\text{syst.}) \text{ ps}$ (2018年)
- E73実験では ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ の崩壊時間による寿命の測定を行う。

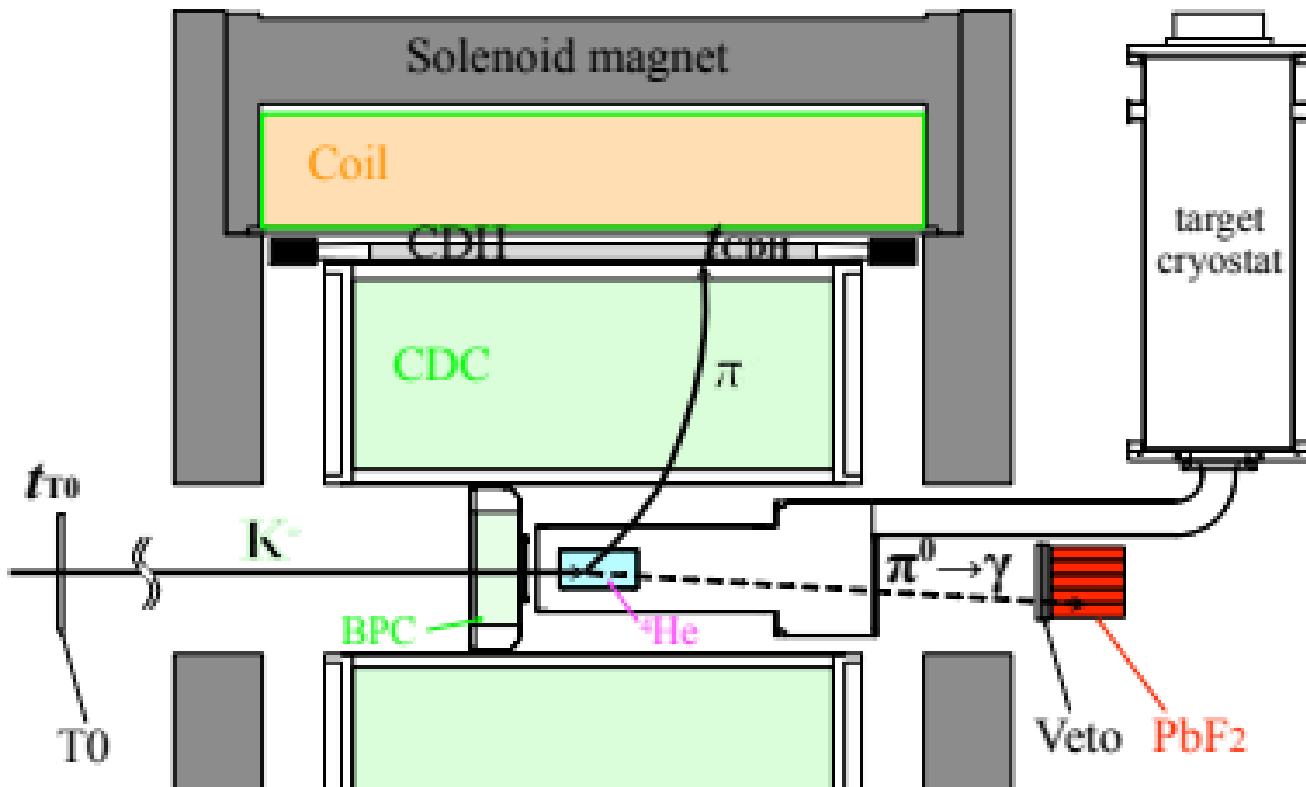
実験手法

- ${}^3\text{He}(K^-, \pi^0){}_\Lambda^3\text{H}$ 反応を用いる。
- π^0 の再構成の代わりに超前方かつ $\sim 600\text{MeV}$ の γ を検出する
- ほぼ静止した ${}_\Lambda^3\text{H}$ から崩壊した π^- を検出

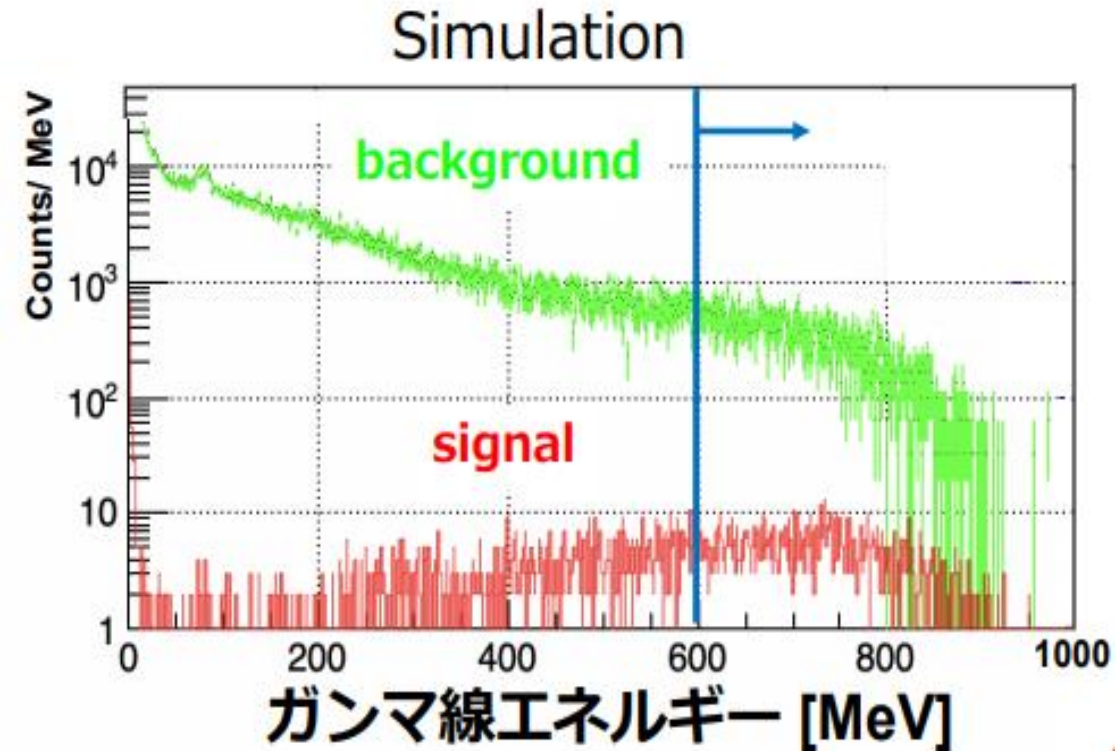


実験手法 (2)

- 装置全体の配置
 - 標的を囲むように飛跡検出器を設置
 - ビーム軸方向(前方0度)に電磁カロリメーターを配置



- 前方 γ タグによってS/N比の改善が見込まれる



※赤石 貴也 新学術領域「クラスター階層」第二回検出器ワークショップ 4

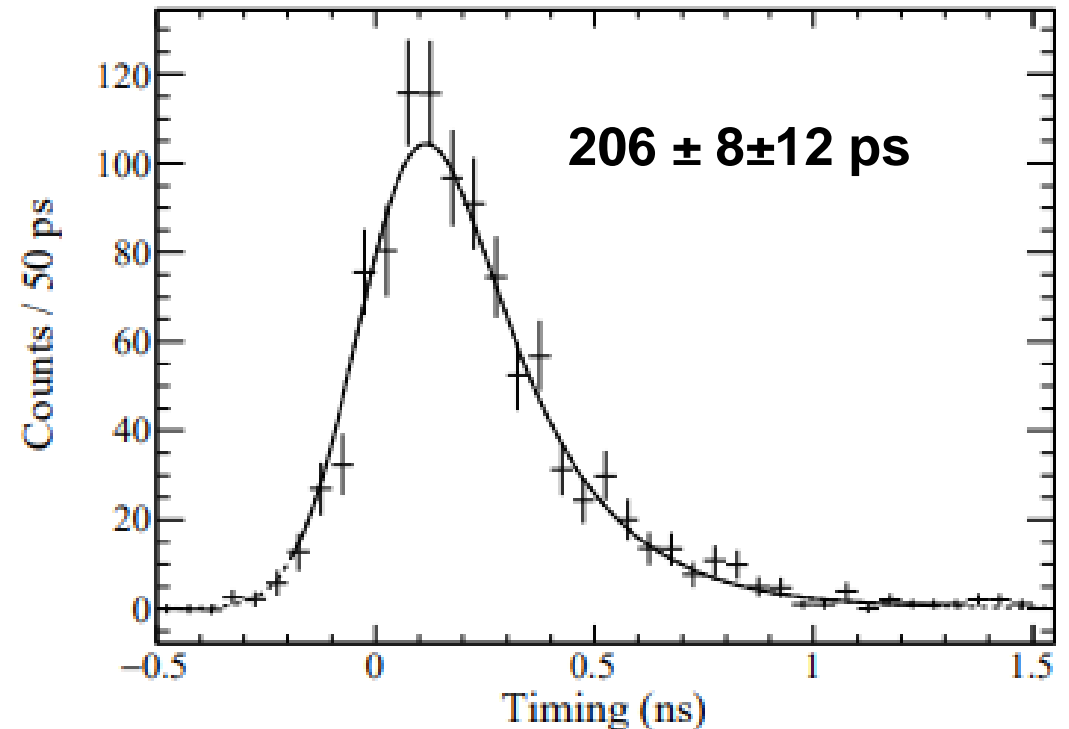
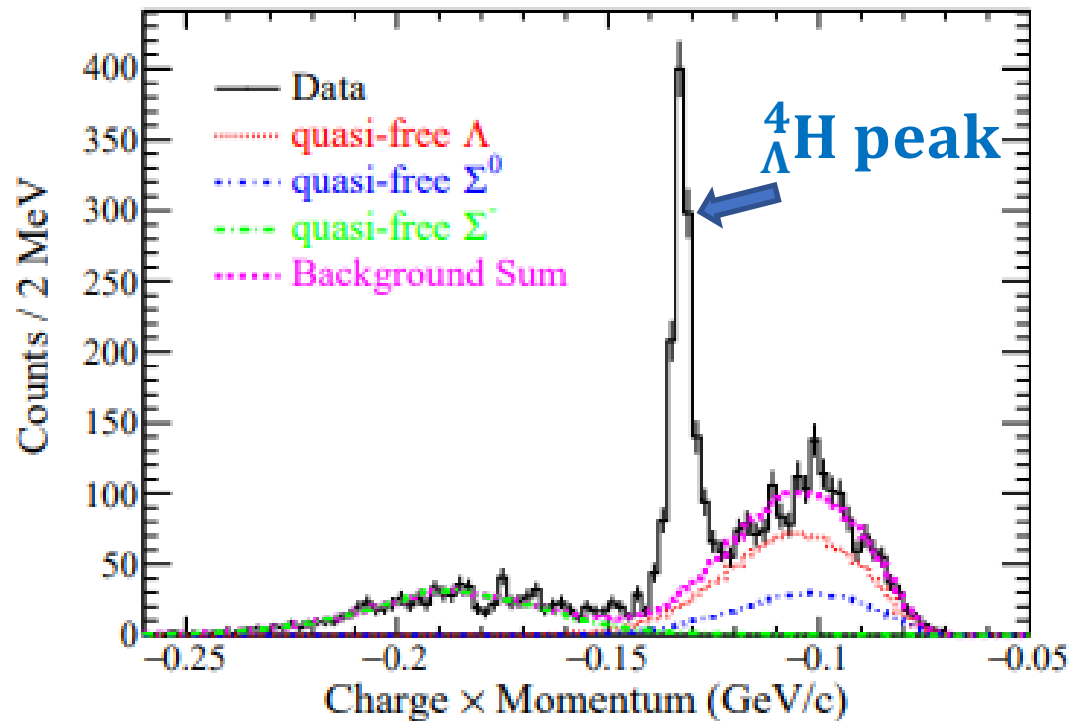
前方カロリメーターの仕様

- ・ ビーム軸に置かれるため、高速応答性と高い放射線耐性が必須
- ・ 鉛フッ素、鉛ガラスのカロリメーターを採用
 - ・ 典型的な応答の速さ...30~40ns
 - ・ 高い放射線耐性

	鉛フッ素	鉛ガラス
放射長	0.93cm	1.7cm
モリエール半径	2.22cm	2.89cm
密度	7.77g/cm ³	5.2g/cm ³
屈折率	1.82	1.81

(K^-, π^0) 反応による ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ 生成の確認

- E73実験のパイロット実験として ${}^4\text{He}(K^-, \pi^0){}^4_{\Lambda}\text{H}$ 実験を実施
- 明確に ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ の識別に成功
- 導き出された ${}^4_{\Lambda}\text{H}$ の寿命は過去の測定結果と一致

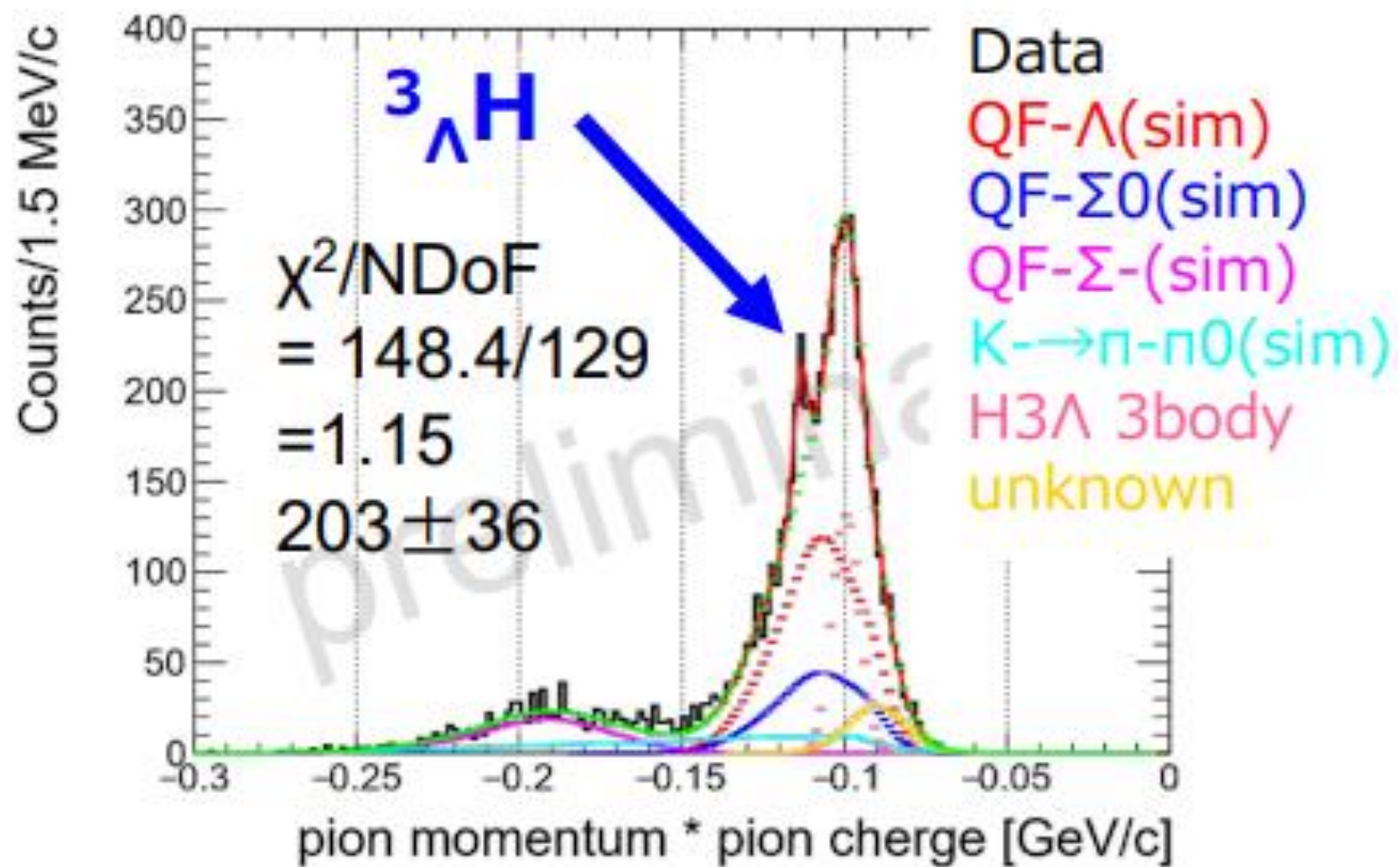


arXiv:2302.07443v1 [nucl-ex] 15 Feb 2023

この方法で ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ の寿命の直接測定を行えることを確認

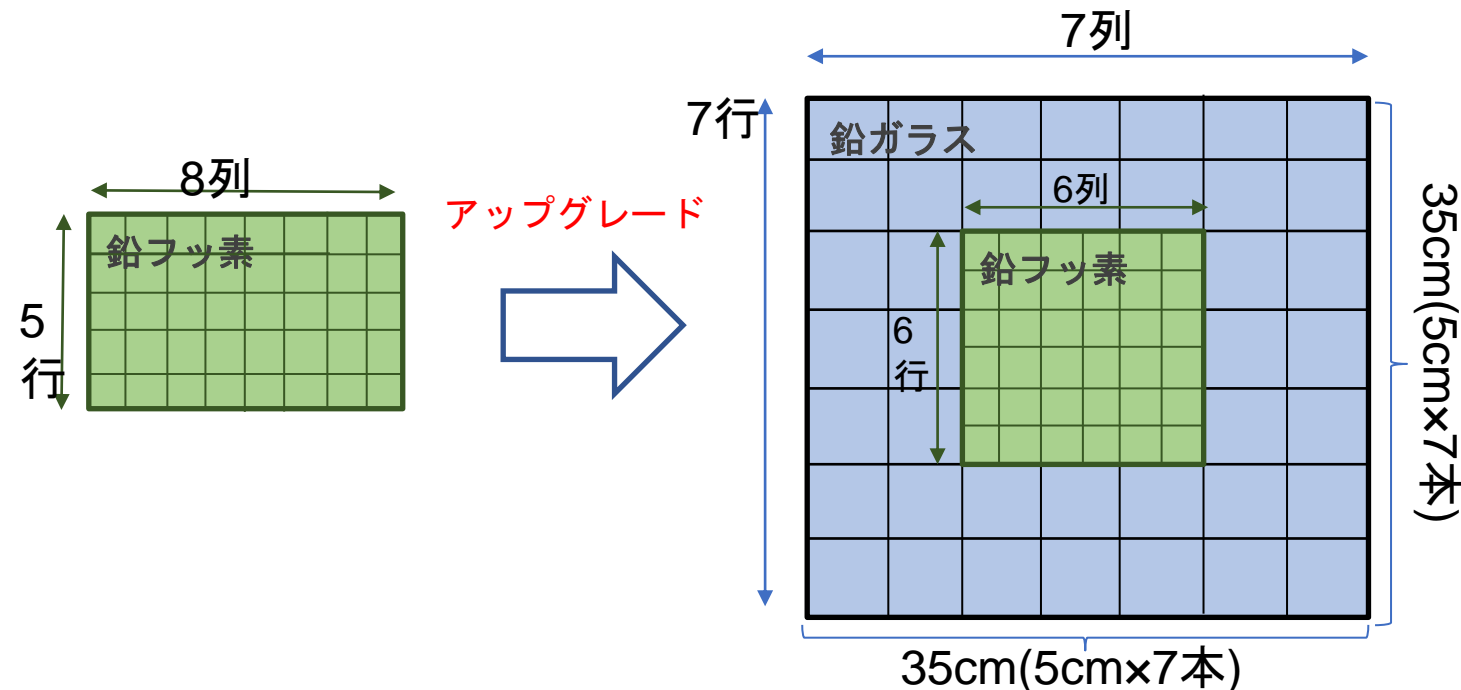
${}^3_{\Lambda}\text{H}$ 生成断面積の確認

- ${}^3\text{He}(K^-, \pi^0){}^3_{\Lambda}\text{H}$ の反応を使用し ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ 生成断面積の測定のため実験を行った。
- π^- の運動量分布から ${}^3_{\Lambda}\text{H}$ を識別に成功した。
- 詳細は講演番号22pU1-6 (赤石) 参照
- 寿命測定には統計が少ない



カロリメーターのアップグレード

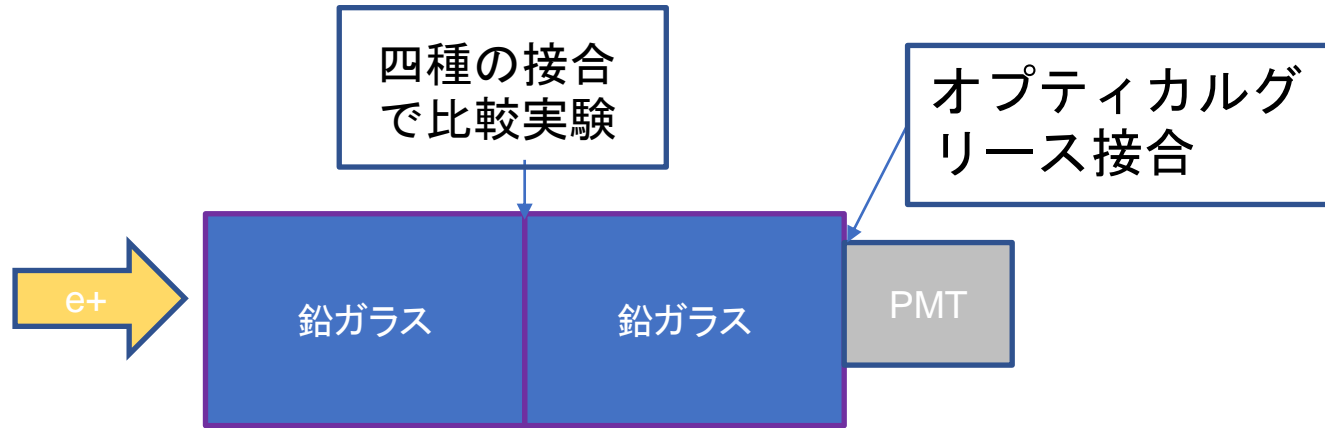
- ・ 先述の実験から立体角の増設する。
- ・ 鉛フッ素カロリメーター6×6本の周囲を鉛ガラスシンチレーター二層で囲う構造とした。
- ・ 鉛ガラスは幅二層10cm、長さ26cm(15放射長)を採用



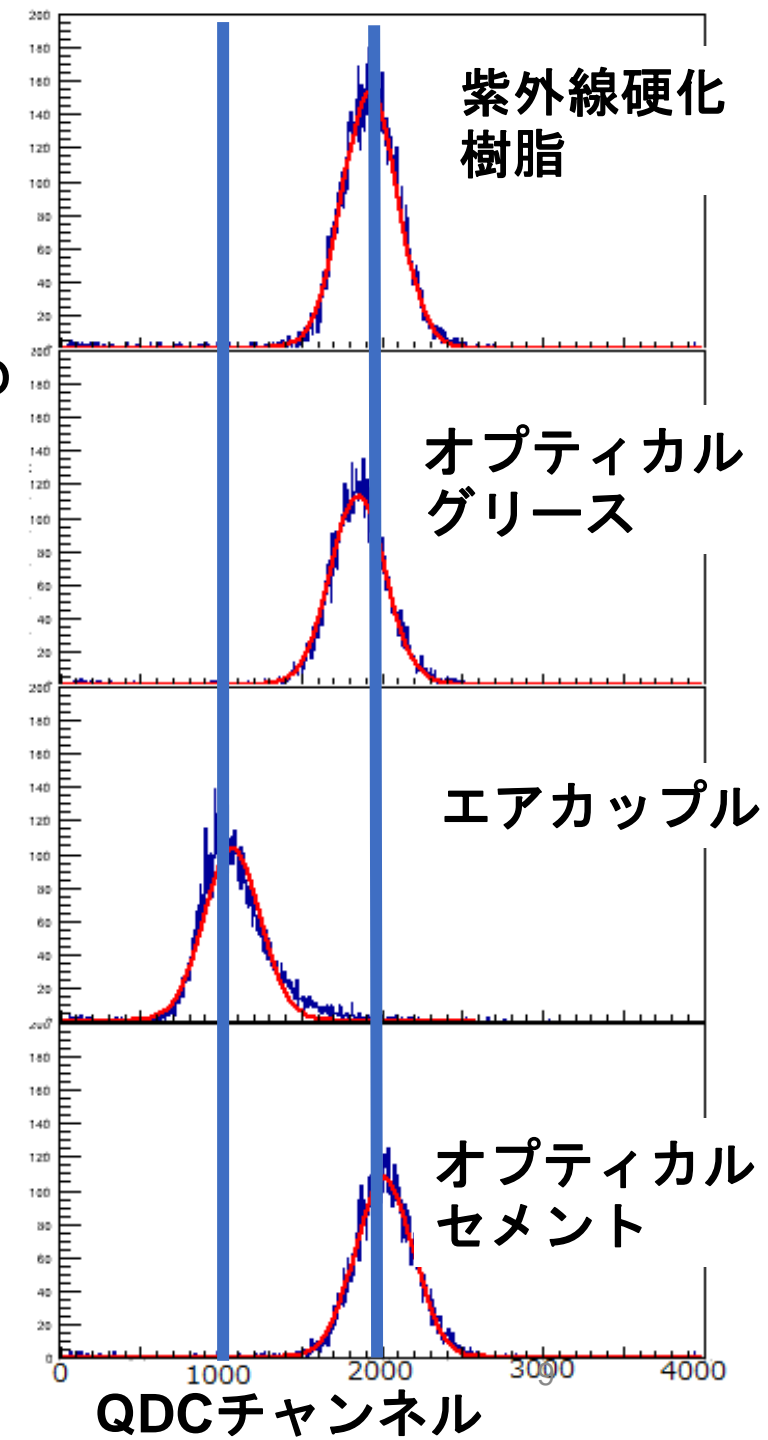
	鉛フッ素	鉛ガラス
放射長 X_0 (cm)	0.93	1.7
モリエール半径(cm)	2.22	2.89
密度(g/cm ³)	7.77	5.2
ジオメトリ(cm ³)	2.5 × 2.5 × 14	5 × 5 × 26

鉛ガラスの接合方法の決定

- 放射長26 cm の鉛ガラス実現のために
長さ13 cmの鉛ガラスを2個縦に繋ぐ必要がある

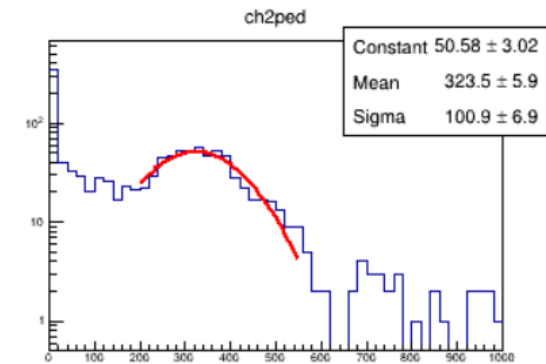
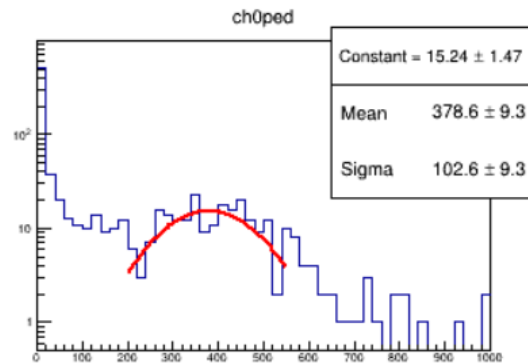
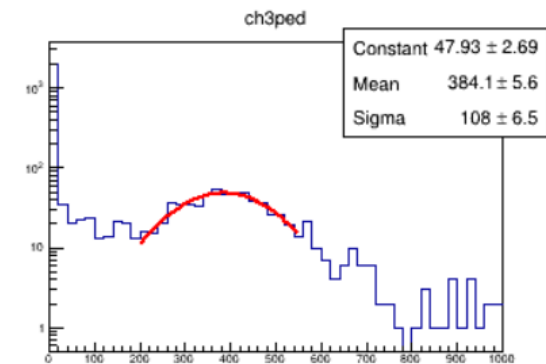
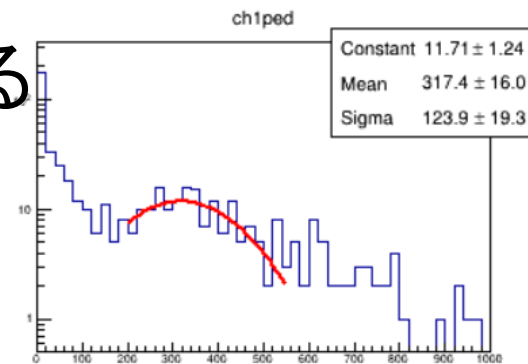
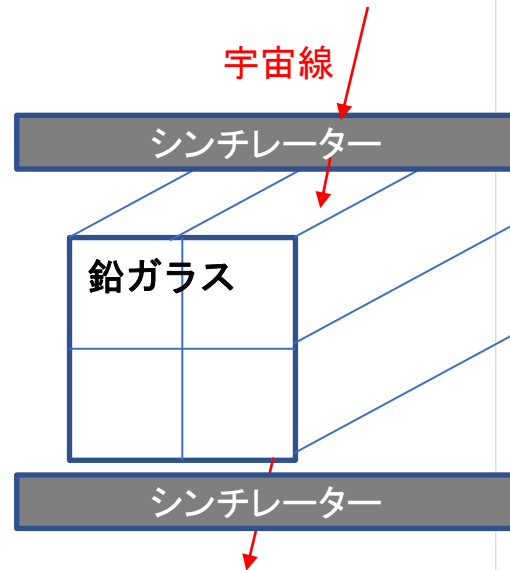
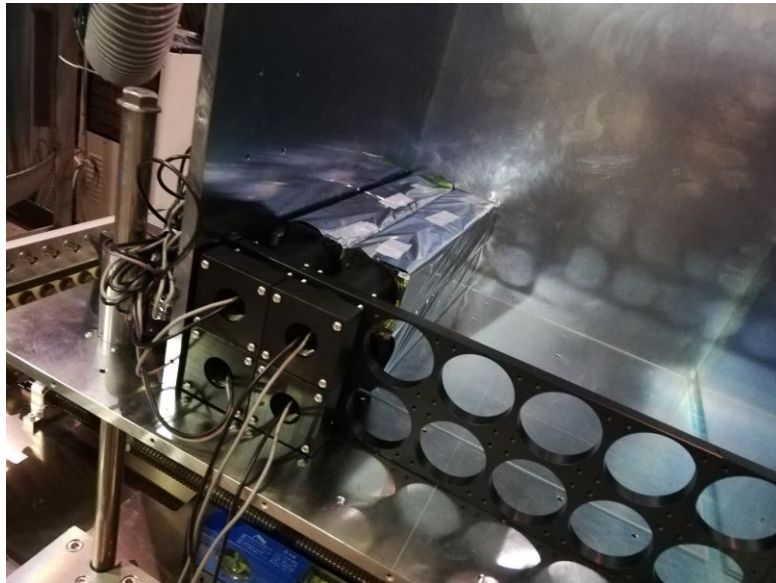


- 電子光物理学研究センター600MeV/c の e^+ ビームを使い、性能評価を実施
- エアカップル以外に有意な差はなかった。
→オプティカルグリースに決定



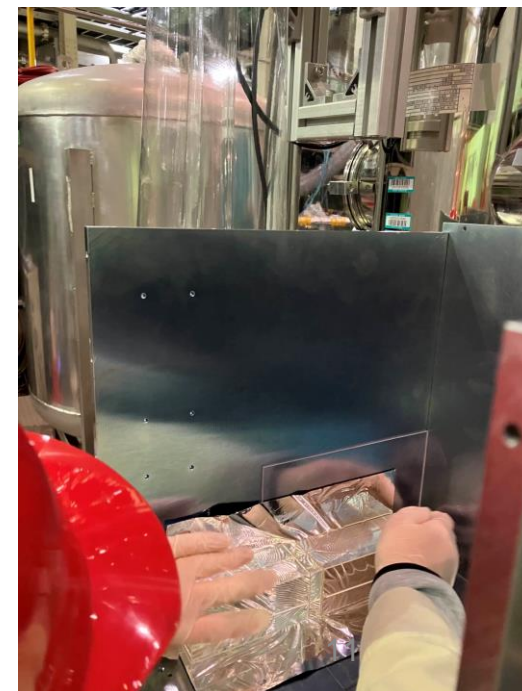
カロリメーター建設の現状

- ・ J-PARCにてカロリメーターの積み上げを開始した
- ・ 一段階ごとに随時基本性能確認測定(QA)を行う。
 - ・ 宇宙線測定によって接合や低ゲインなどの不備がないか確認する
- ・ QA 試験のためのシステム構築終了
- ・ 4月末までに建設完了を目指している



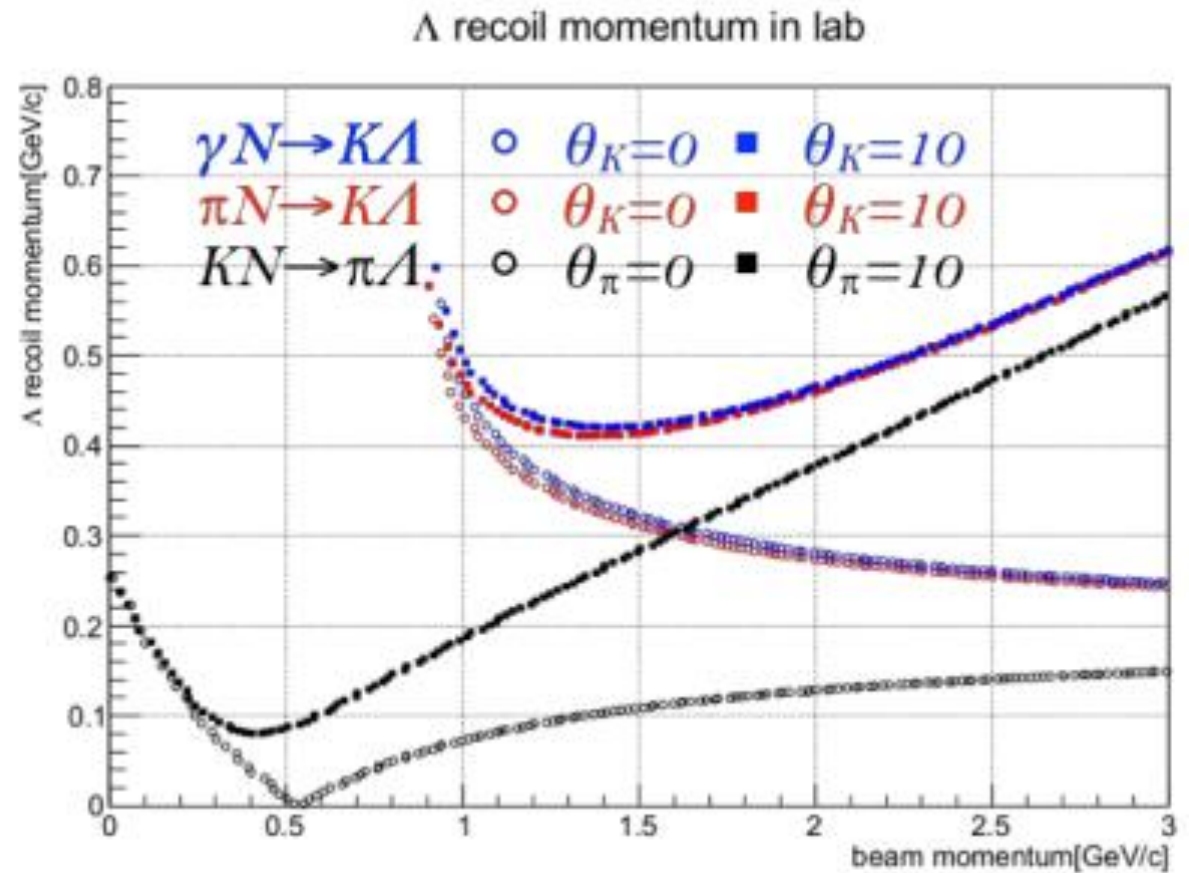
まとめ

- E73実験は(K^- , π^0)を使い、ハイパートライトンの寿命を直接測定することを目的とした実験である
 - ${}^3_{\Lambda}$ H生成は確認済み→講演番号22pU1-6
 - ${}^4_{\Lambda}$ Hの寿命測定からわれわれの方法で寿命測定が可能であることを確認
- 立体角増加のためカロリメータの増設を実行中
 - ビーム実験によって接合方法を決定：オプティカルグリース
 - 鉛ガラスモジュール個々の性能を確認しながらE73前方カロリメータを現在建設中
 - 4月末までに建設完了予定
 - 組み上がり次第、実際のビームを使い、分解能等を確認したい

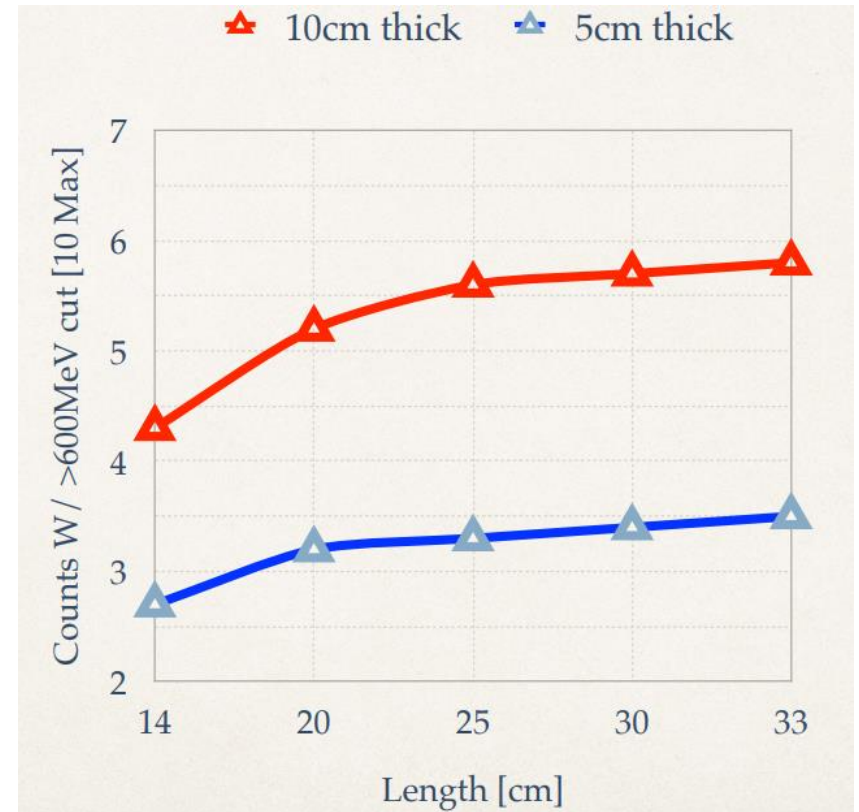


バックアップ

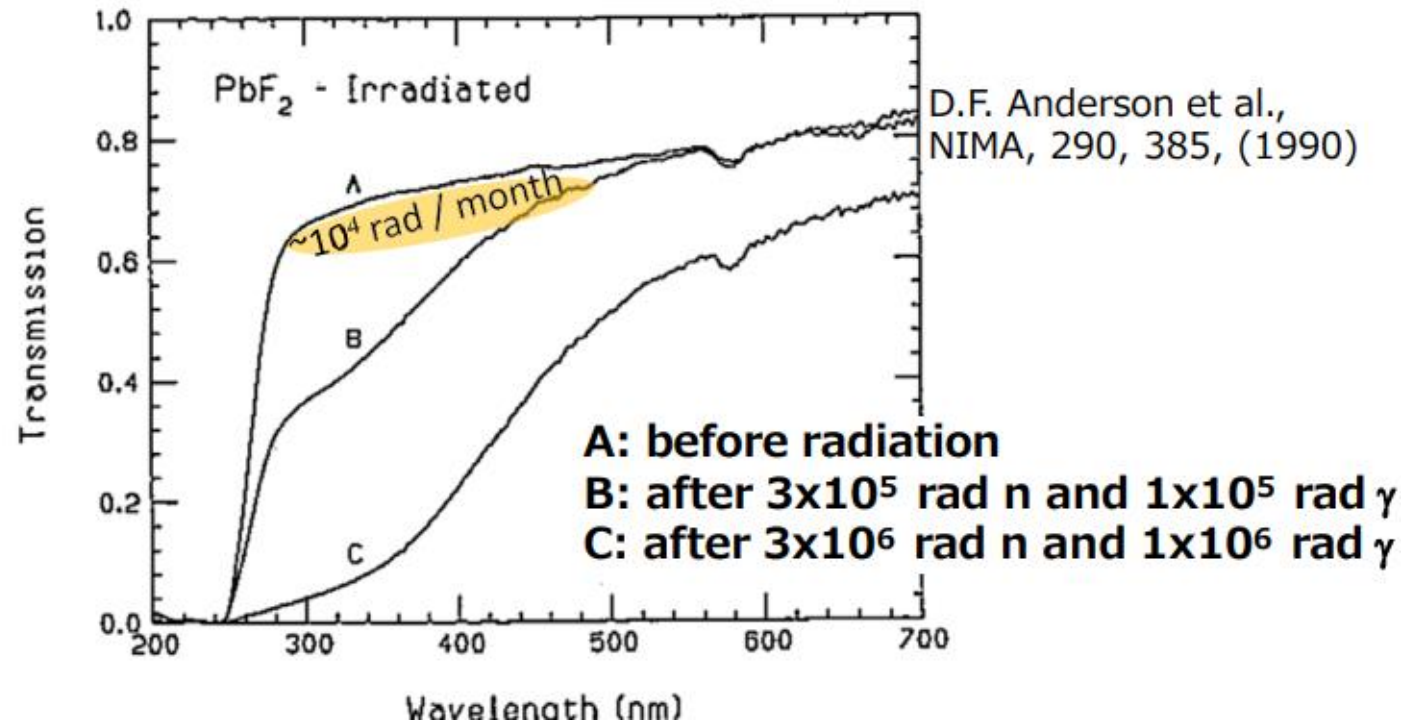
Momentum transfer



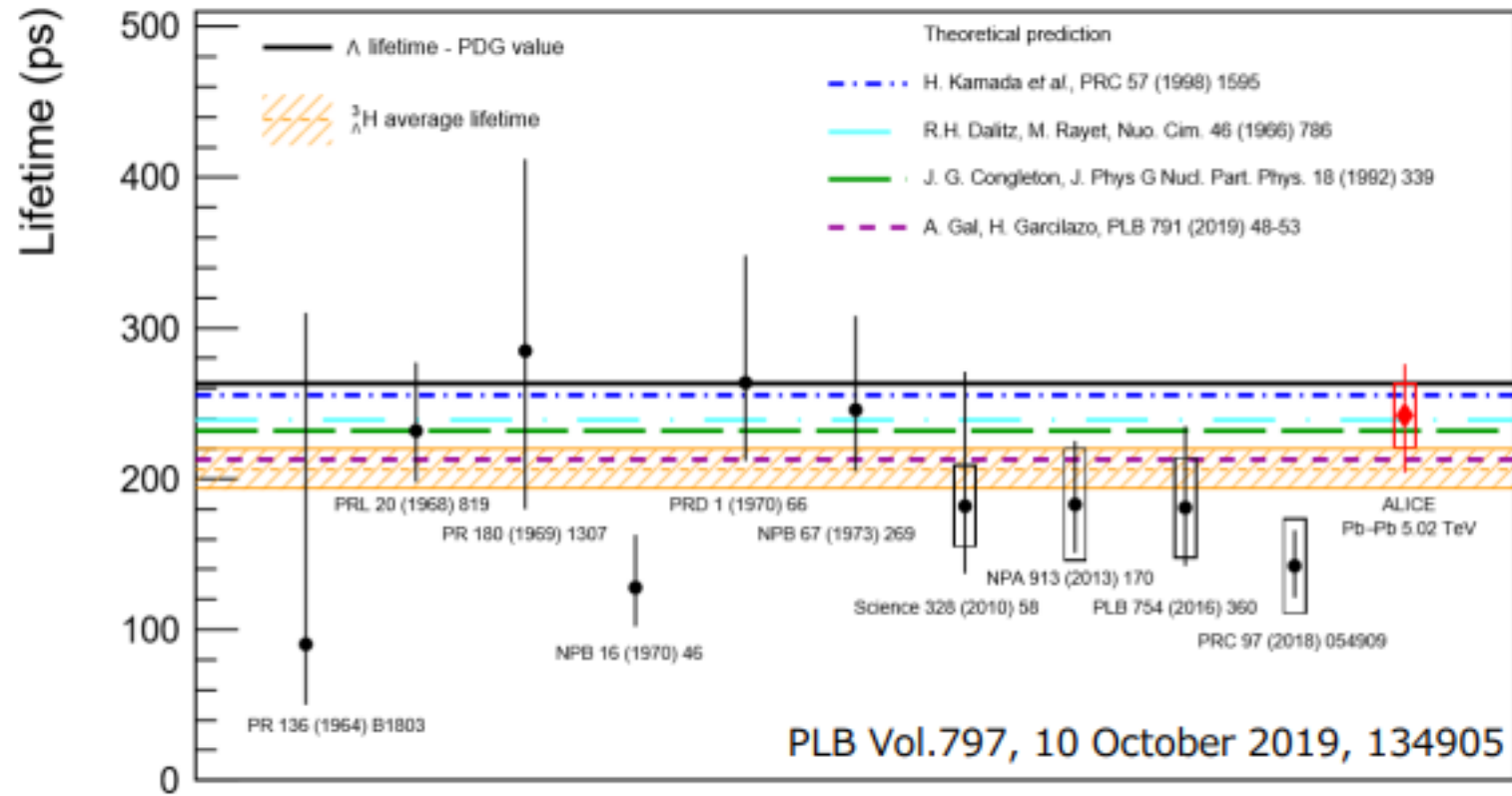
LeadGlassシミュレーション



鉛フッ素放射線耐性

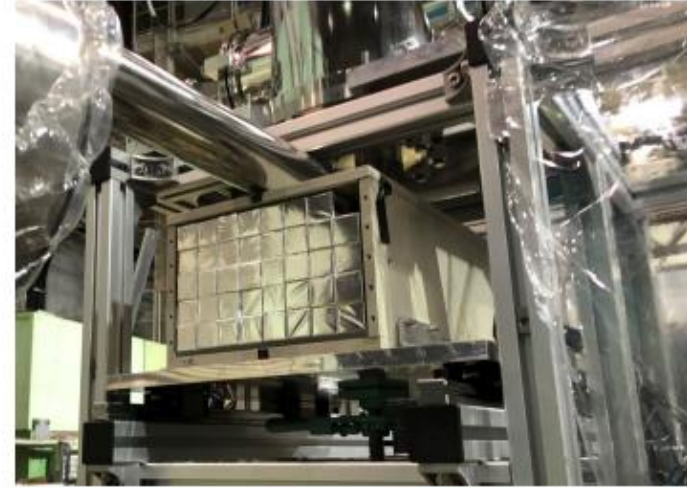


${}^3_{\Lambda}H$ ライフタイム

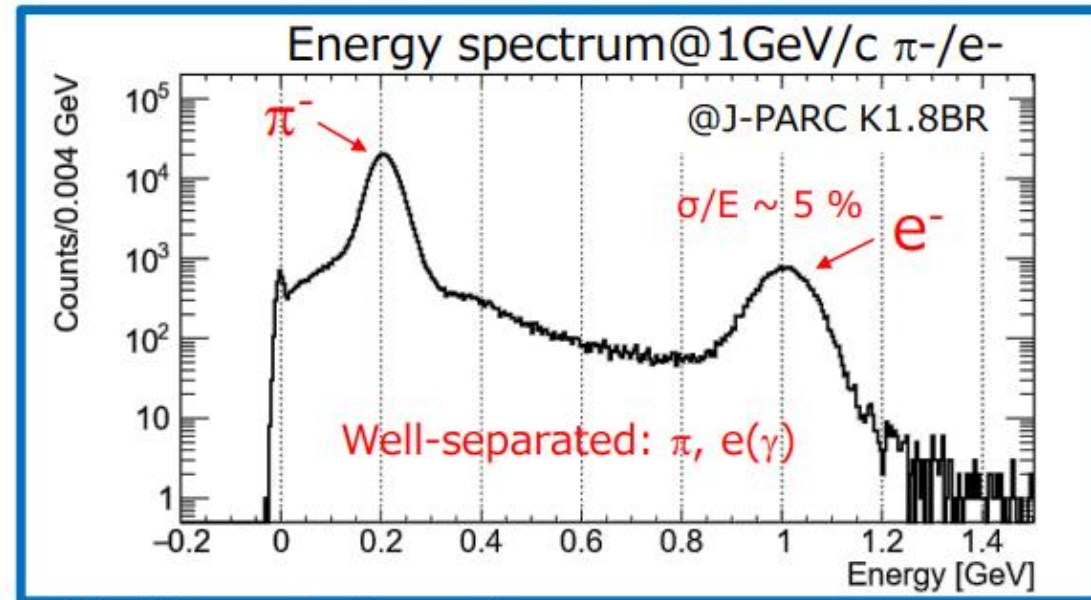
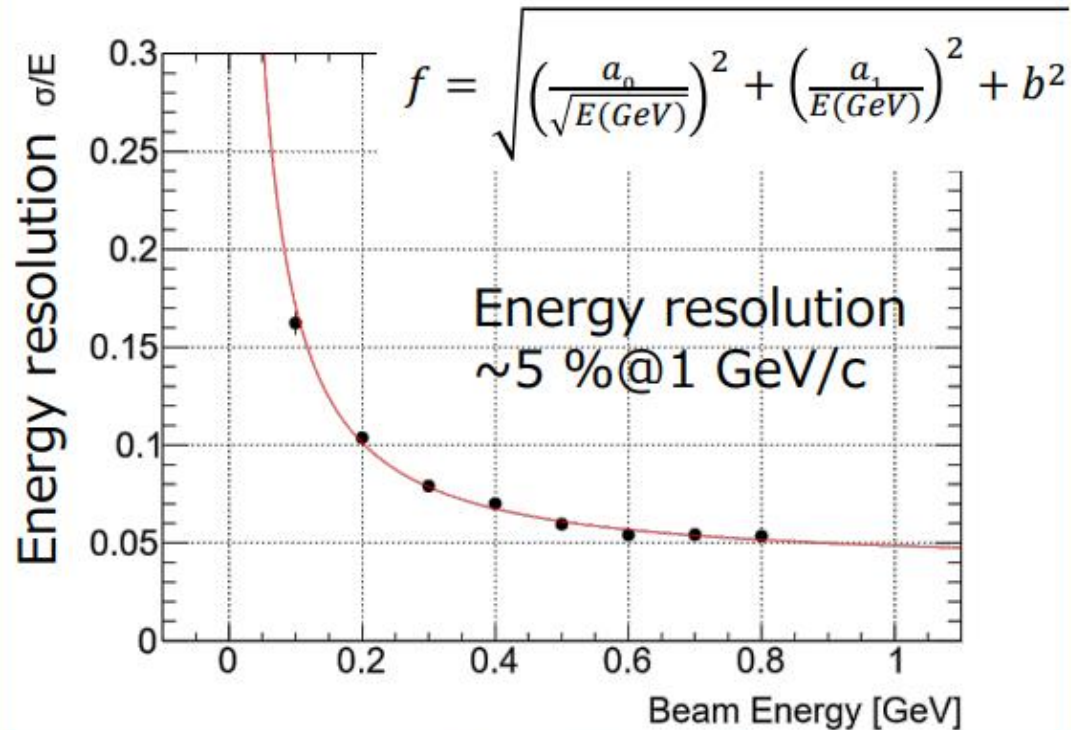


PbF₂ calorimeter performance

- PbF₂ calorimeter is installed into the meson beam line to tag fast π^0
- 40 segments used

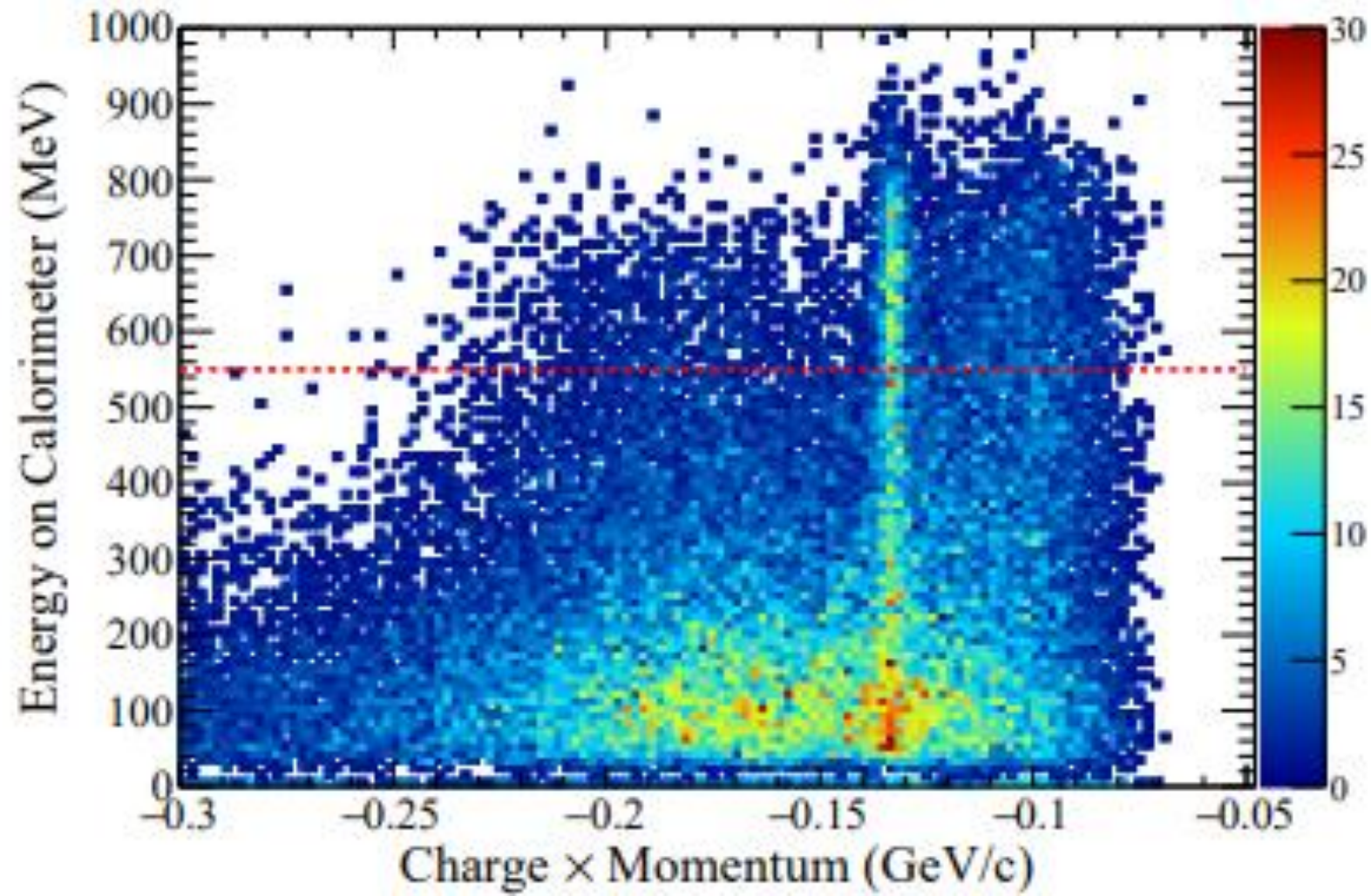


2019.12: Test experiment @ ELPH e⁺ beam



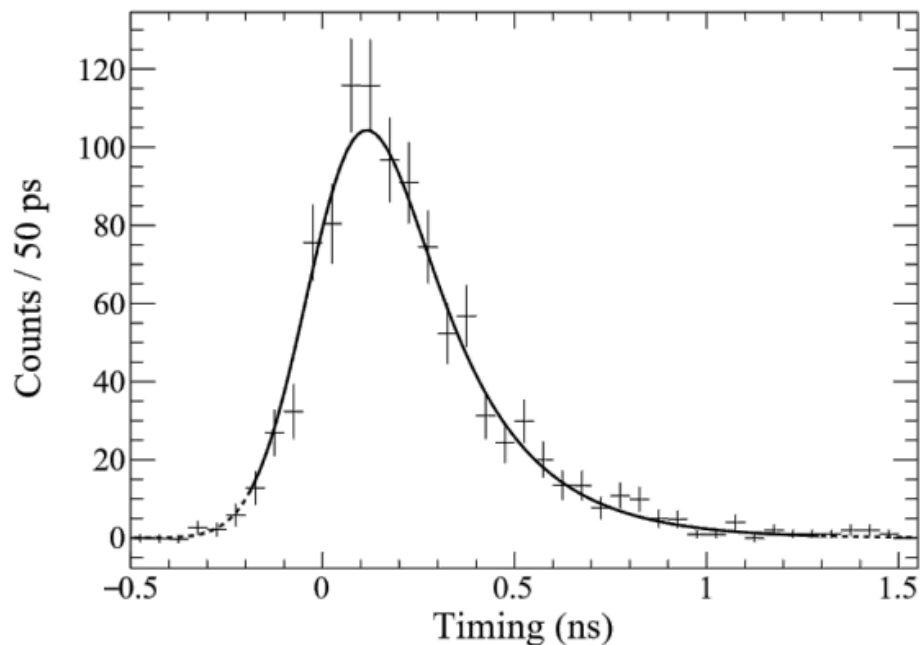
Good performance to distinguish $\pi^-/e^-, \gamma$

前方カロリメーターでのカット



${}^4_{\Lambda}\text{H}$ lifetime

$206 \pm 8(\text{stat.}) \pm 12(\text{syst.}) \text{ ps}$



Contribution	Value
Intrinsic bias of J-PARC T77 approach	$\pm 2 \text{ ps}$
Uncertainty from γ selection	$\pm 4 \text{ ps}$
Uncertainty of time calibration	$\pm 7 \text{ ps}$
Uncertainty of background subtraction	$\pm 5 \text{ ps}$
Uncertainty in fitting process	$\pm 7 \text{ ps}$
Total (quadratic sum)	$\pm 12 \text{ ps}$

- $194^{+24}_{-26} \text{ ps}$ @KEK stop K-
 - H. Ota, et al., Nucl. Phys. A 547, (1992), 109c-114c
- $218 \pm 6(\text{stat.}) \pm 13(\text{syst.}) \text{ ps}$ @STAR, Au-Au collision
 - PRL 128, 202301 (2022)

