

# 日本物理学会 第76回年次大会

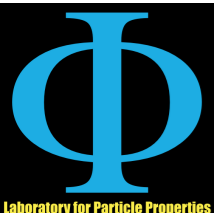
## J-PARC/BL05における中性子寿命測定実験： 中性子ガス散乱起因の背景事象についての調査

名古屋大学 素粒子物性( $\Phi$ )研究室

長谷川 拓郎

名大, KEKA<sup>A</sup>, 東北大<sup>B</sup>, 京大<sup>C</sup>, 東大<sup>D</sup>, 九大<sup>E</sup>, 東工大<sup>F</sup>, JAEA<sup>G</sup>, 筑波大<sup>H</sup>, 阪大<sup>I</sup>, 総研大<sup>J</sup>

広田克也, 市川豪<sup>A</sup>, 家城齊<sup>B</sup>, 猪野隆<sup>A</sup>, 岩下芳久<sup>C</sup>, 梶原昇吾<sup>D</sup>, 加藤悠<sup>D</sup>, 北口雅暁, 北原龍之介<sup>C</sup>, 古賀淳<sup>E</sup>, 牧瀬壮<sup>E</sup>, 松崎俊<sup>E</sup>, 三島賢二<sup>A</sup>, 茂木駿紀<sup>D</sup>, 森川滉己, 森下彩<sup>E</sup>, 長倉直樹<sup>D</sup>, 中野祐輔, 生出秀行<sup>F</sup>, 岡部宏紀, 音野瑛俊<sup>E</sup>, 關義親<sup>G</sup>, 関場大一郎<sup>H</sup>, 嶋達志<sup>I</sup>, 清水春樹<sup>J</sup>, 清水裕彦, 杉澤悠紀<sup>H</sup>, 角直幸<sup>E</sup>, 角野浩史<sup>D</sup>, 竹谷薫<sup>A</sup>, 田辺友彦<sup>D</sup>, 富田龍彦<sup>E</sup>, 上原英晃<sup>E</sup>, 山田崇人<sup>D</sup>, 山下了<sup>D</sup>, 矢野浩大<sup>E</sup>, 横橋麻美, 吉岡瑞樹<sup>E</sup>



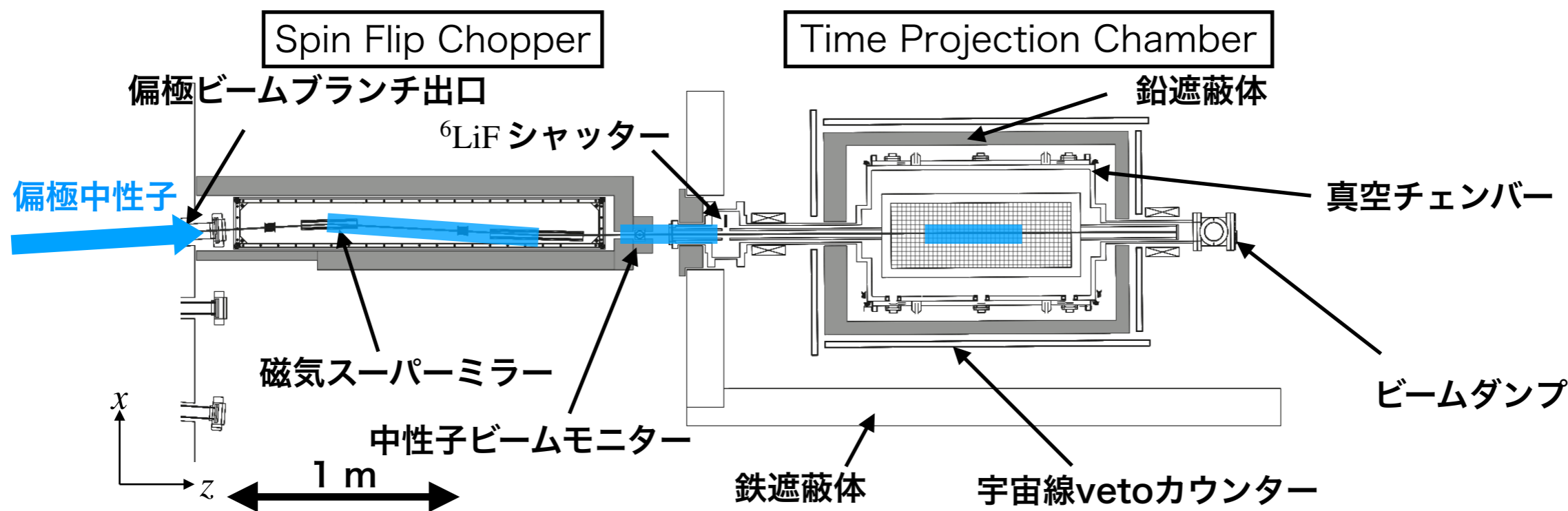
# 中性子寿命測定

- 中性子寿命の値はビッグバン元素合成理論やCKM行列のユニタリ性検証に重要
- ビーム法と超冷中性子(UCN)貯蔵法の間には 8.5 s (4.0 $\sigma$ )の乖離 (Neutron Lifetime Puzzle)
- ガス検出器TPCで  $\beta$  崩壊事象数と冷中性子束 (=  ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ 反応事象数) を同時計数

$$\text{中性子寿命} : \tau_n = \frac{1}{\rho\sigma v} \frac{S_{\text{He}}/\epsilon_{\text{He}}}{S_{\beta}/\epsilon_{\beta}}$$

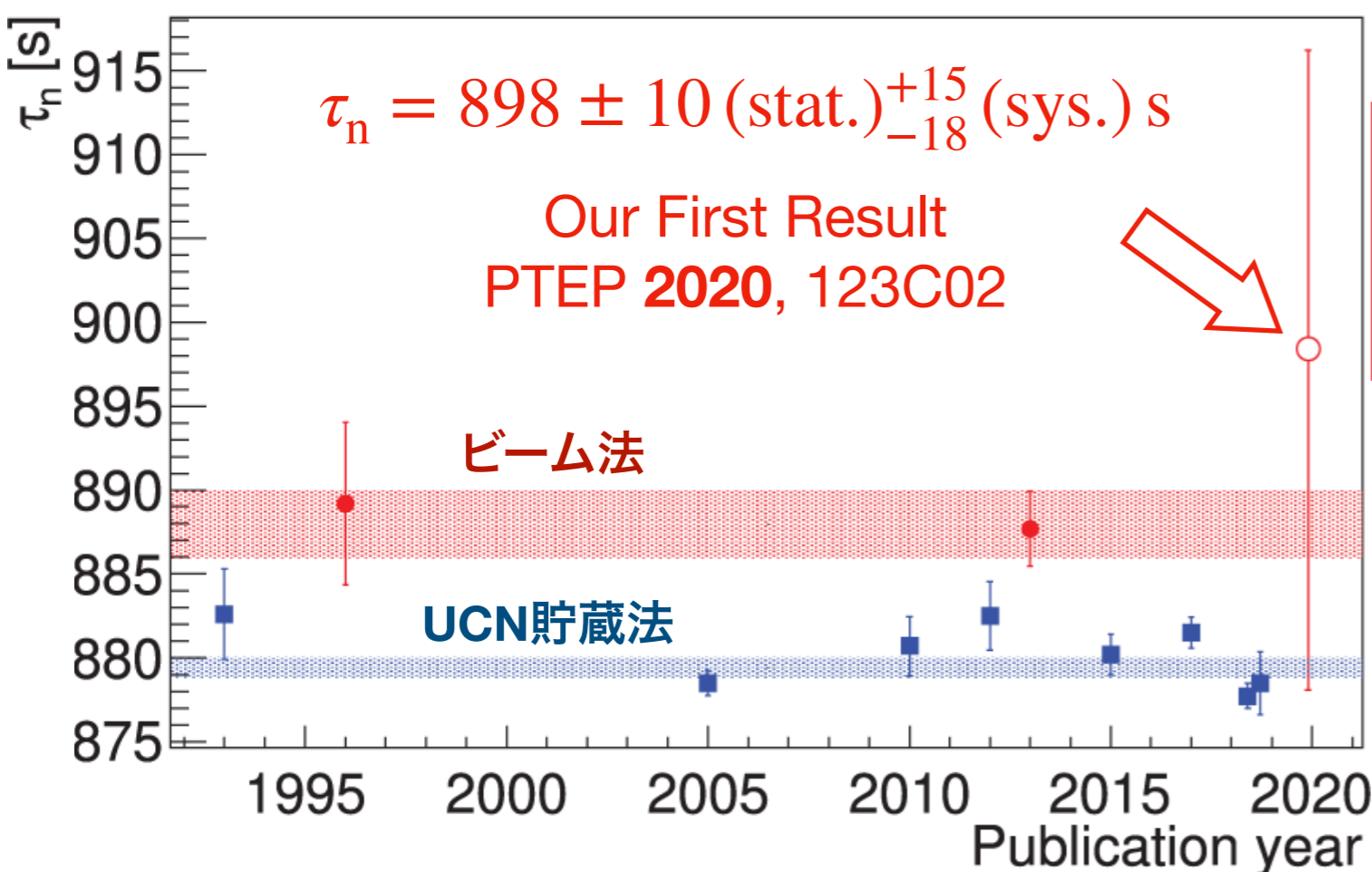
$\rho$ ... ${}^3\text{He}$ 数密度  
 $\sigma$ ... ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ 反応断面積  
 $v$ ...中性子速度  
 $S$ ...検出事象数  
 $\epsilon$ ...検出効率

- 従来とは異なる系統誤差を持つ手法で精度 1 s (1%) での  $\tau_n$  測定を目指している
- 上流からの背景事象抑制のためにSFCで中性子をバンチ化していることが特徴



# 物理解析結果

- 2014年-2016年に取得したデータを用いて最初の物理解析結果を発表



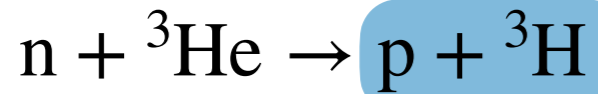
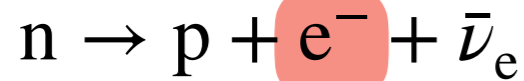
Year	Gas set number	MLF power [kW]	Total incident neutrons [ $\times 10^{11}$ ]
2014A	1	300	0.2
2015A	1	500	0.2
2016A	4	200	1.2
2017A	8	150	0.8
2017B	9	300, 400	3.7
2018A	6	400, 500	~4
2019A	3	500	~2

統計量7.7倍 (統計的不確かさ ~ 4 s)

- $\beta$ 崩壊に対する背景事象である中性子とTPC内ガスとの散乱由来の背景事象が支配的な系統的な不確かさの要因 (系統的な不確かさ: +2 / - 14 s)
- 統計量が増えたことで、中性子エネルギーごとの解析が可能となった
- 本講演では、ガス散乱由来背景事象の中性子バンチごとの調査について報告する

# $\beta$ -like事象の選別手順

- TPCで  $\beta$  崩壊と  ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$  反応を同時検出



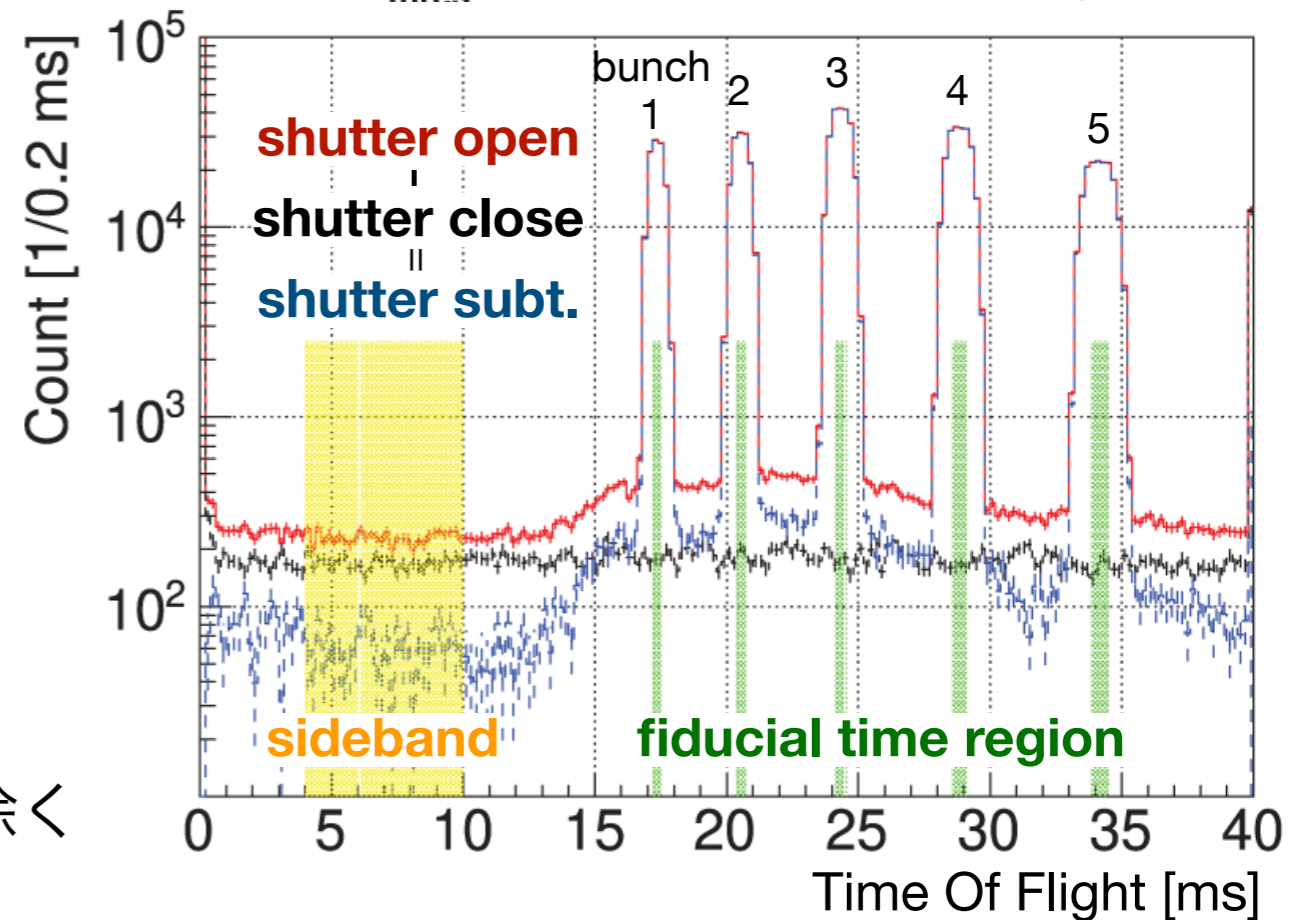
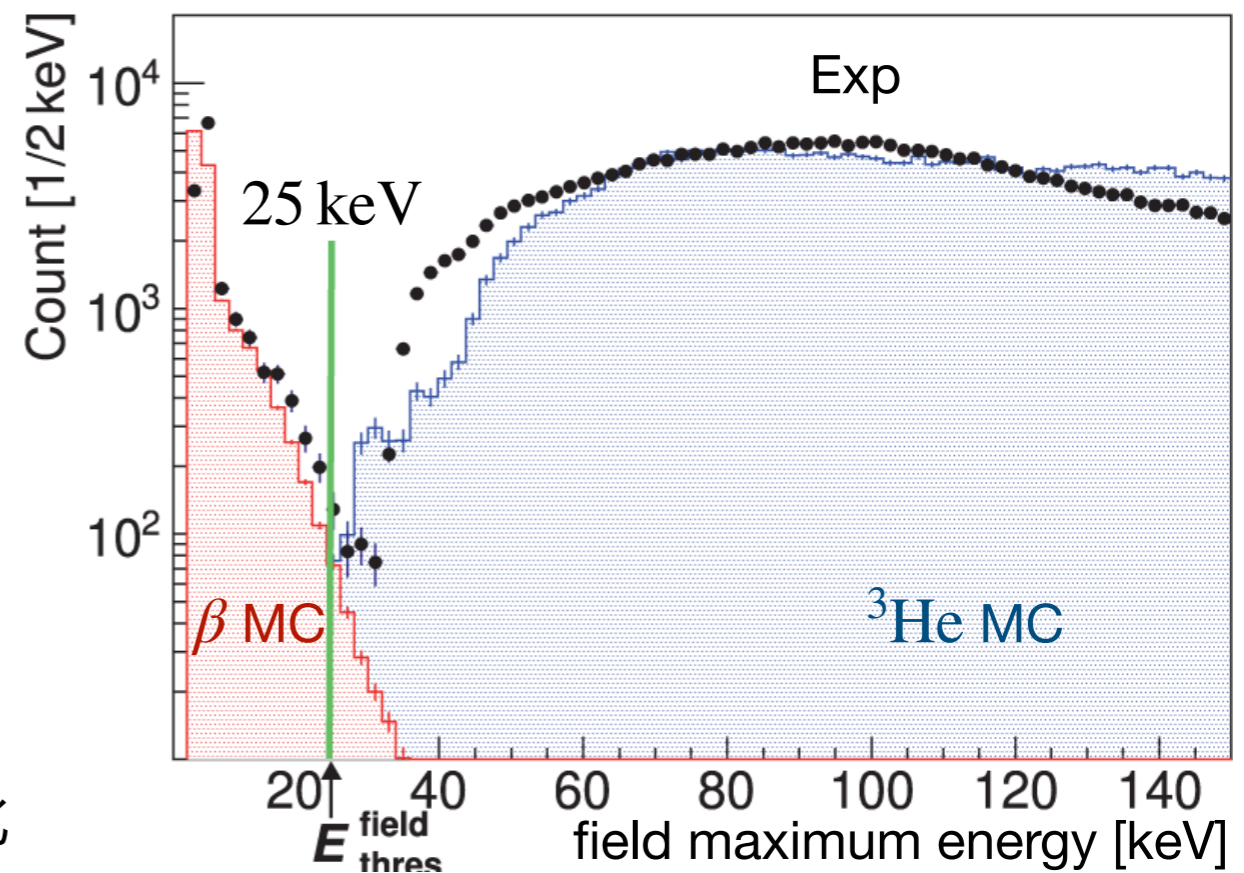
- 損失エネルギーの違いから事象を切り分け

- Spin Flip Chopperで1パルスを5つにバンチ化  
→ 上流からの $\gamma$ 線起因の背景事象を抑制

- バンチがTPC有感領域に含まれる時間  
と中性子がTPCに入射しない時間を定義

- TOF条件とTPC上流の ${}^6\text{LiF}$  shutter条件より異なるTOF分布を持つ背景事象を取り除く

- ドリフト長についての条件から  
中性子ビーム軸領域以外からの飛跡を取り除く

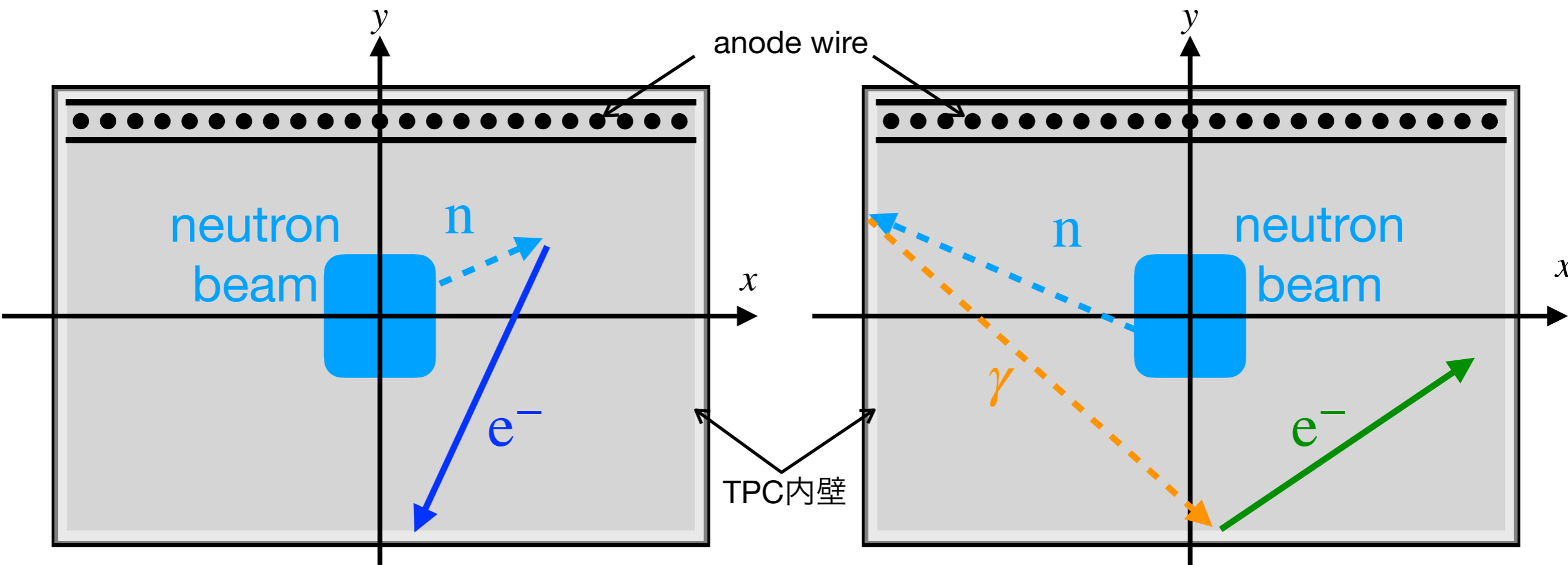


# $\beta$ -like事象に対する背景事象

- 中性子の散乱断面積が小さい $^4\text{He}$  (85%) と $\text{CO}_2$  (15%) をTPCに封入しているが、一部の中性子はガス分子によって散乱しビーム軸から離れた場所で $\beta$ 崩壊を起こす / TPC内壁まで到達し $^6\text{LiF}$ と $(n, \gamma)$ 反応を起こす

ガス散乱中性子 $\beta$ 崩壊事象  $\beta_{\text{scat}}$

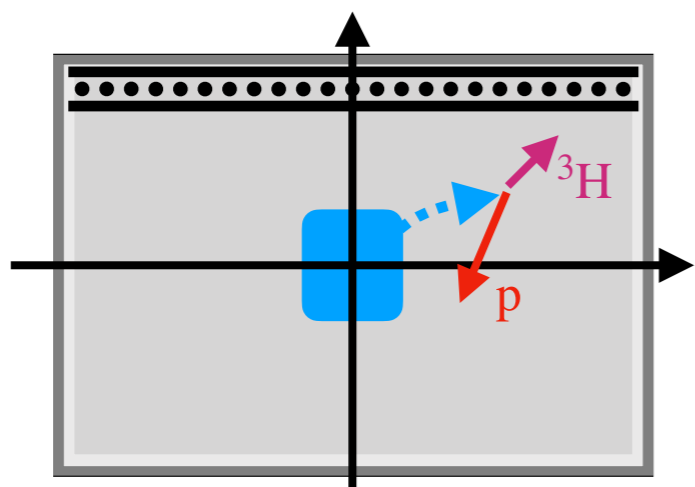
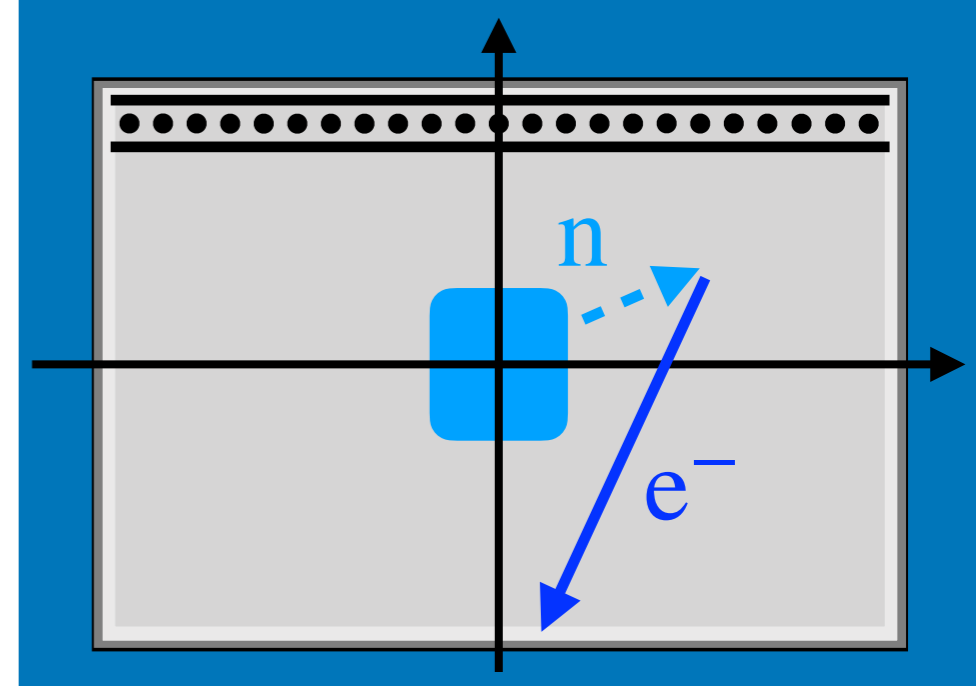
ガス散乱中性子 $^6\text{LiF}$ 吸収反応  $(n, \gamma)$



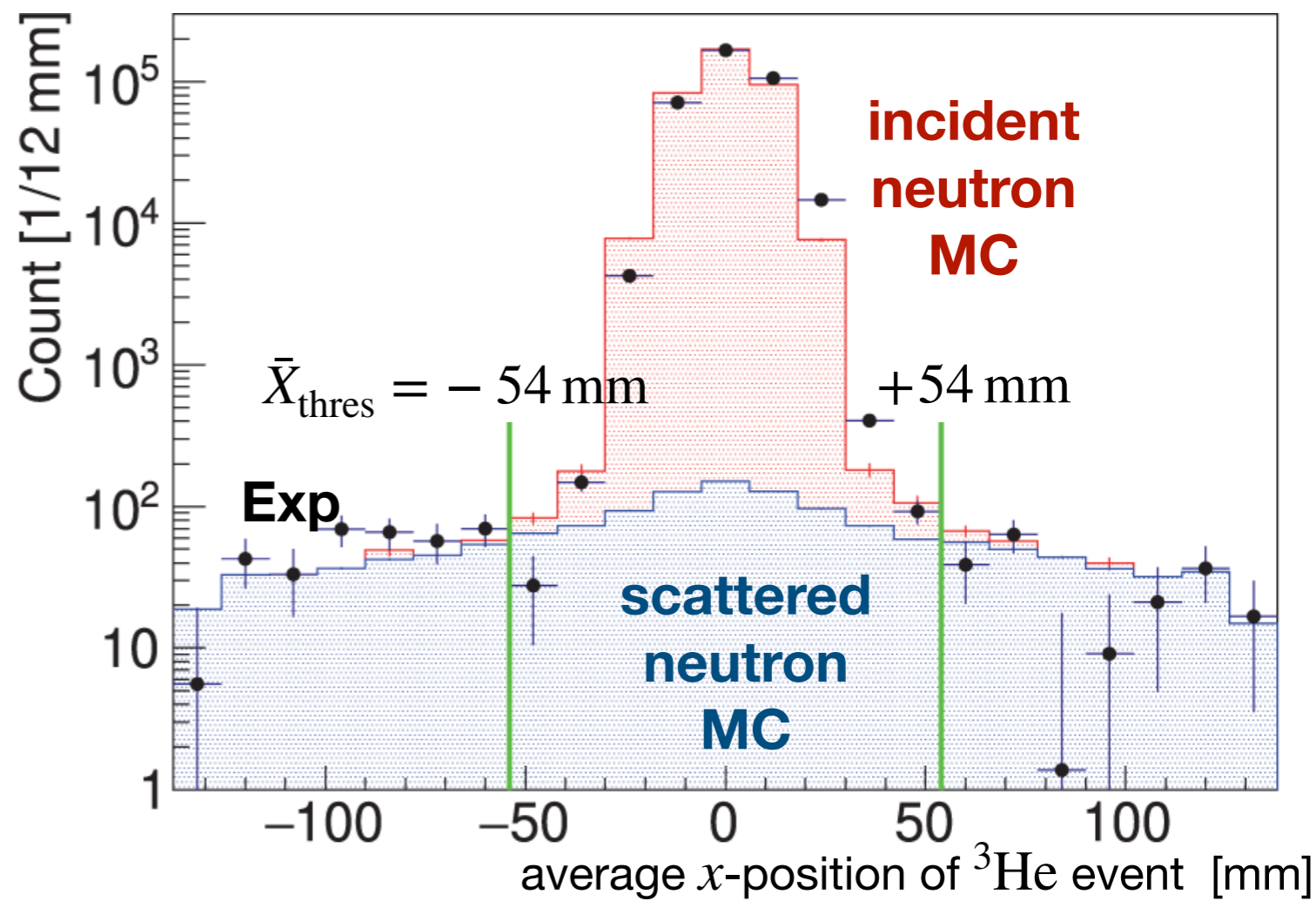
- ドリフト方向の相対座標のみでは $\beta$ 崩壊と見分けがつかないのでMCを用いてビーム軸上で起きる $\beta$ 崩壊に漏れ込む背景事象数を見積もっている

# ガス散乱中性子 $\beta$ 崩壊事象 $\beta_{\text{scat}}$

- ガス散乱中性子 $\beta$ 崩壊事象とは、  
ビーム軸から離れた領域で $\beta$ 崩壊を起こす事象
- 散乱を受けた中性子のベータ崩壊事象数は  
入射中性子数に対する  
散乱される中性子数の割合 $\xi_{\text{scat}}^{\text{He}}$ から  
求めることができる

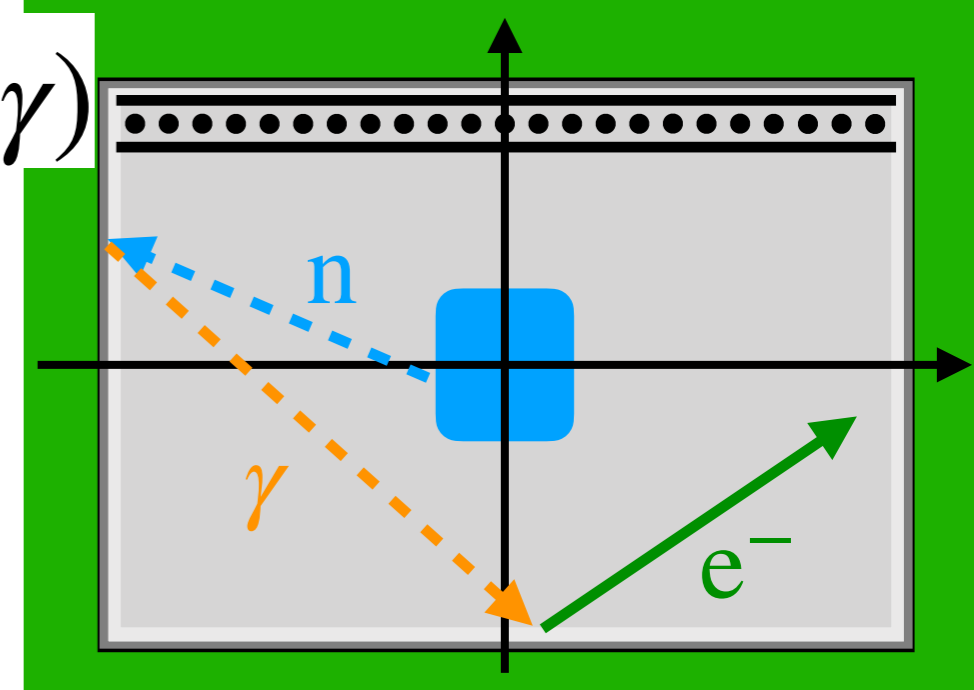


- ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ 反応の重心位置の $x$ 分布
  - $N_{\text{in}}^n$  ... 入射中性子数
  - $N_{\text{scat}}^n$  ... 散乱される中性子数
- これらの割合 $\xi_{\text{scat}}^{\text{He}}$ から $\beta_{\text{scat}}$ を評価する



# ガス散乱中性子 ${}^6\text{LiF}$ 吸収反応 ( $n, \gamma$ )

- $\beta$ 崩壊事象とガス散乱中性子 ${}^6\text{LiF}$  吸収反応の切り分けのために $x$ 軸上の位置についての変数を導入



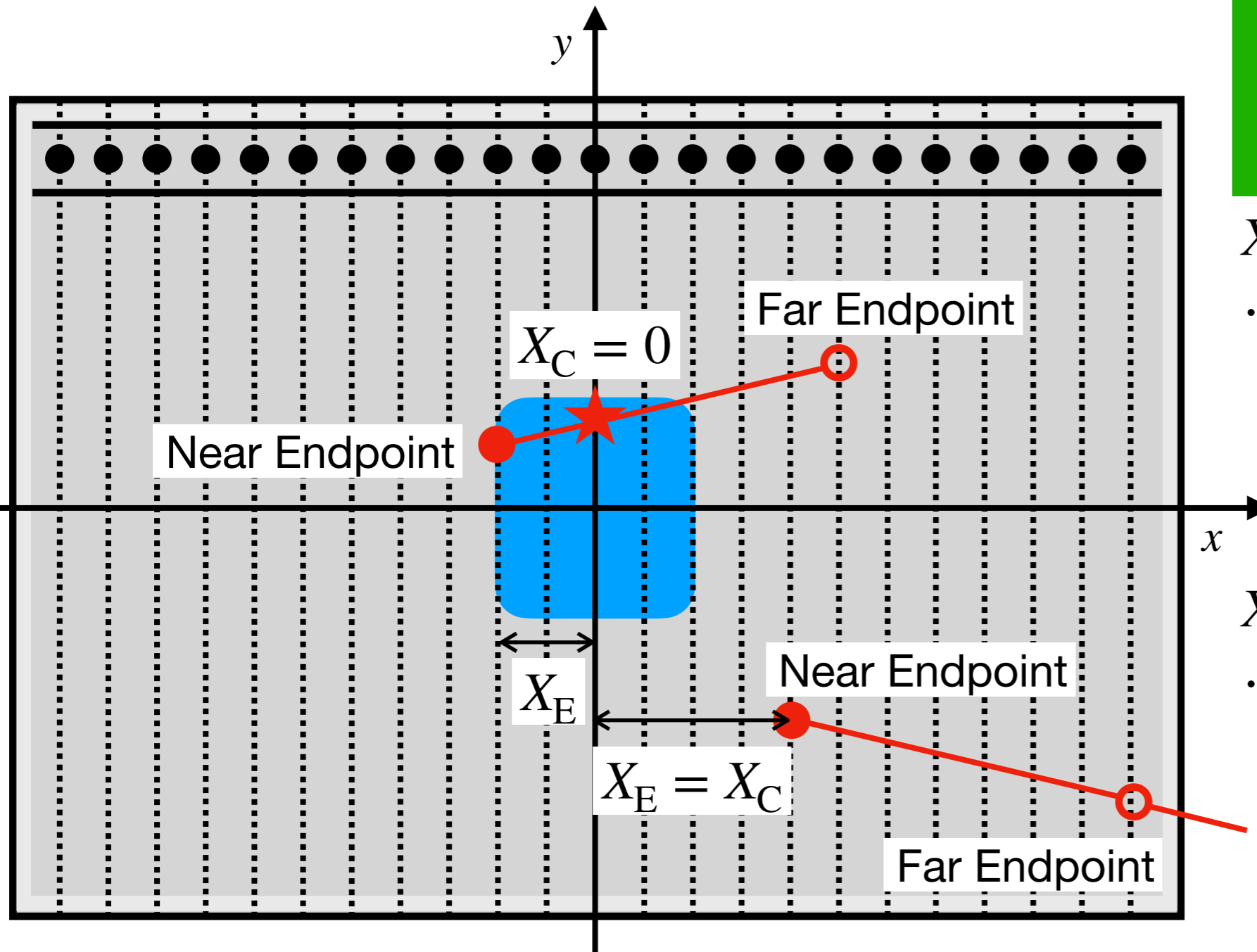
$X_C$  [ch] (1 ch = 12 mm)

…原点に最も近いヒットしたアノードワイヤと原点との間の $x$ 軸に沿った距離

$X_E$  [ch]

…原点に最も近い飛跡の端点と原点との間の $x$ 軸に沿った距離

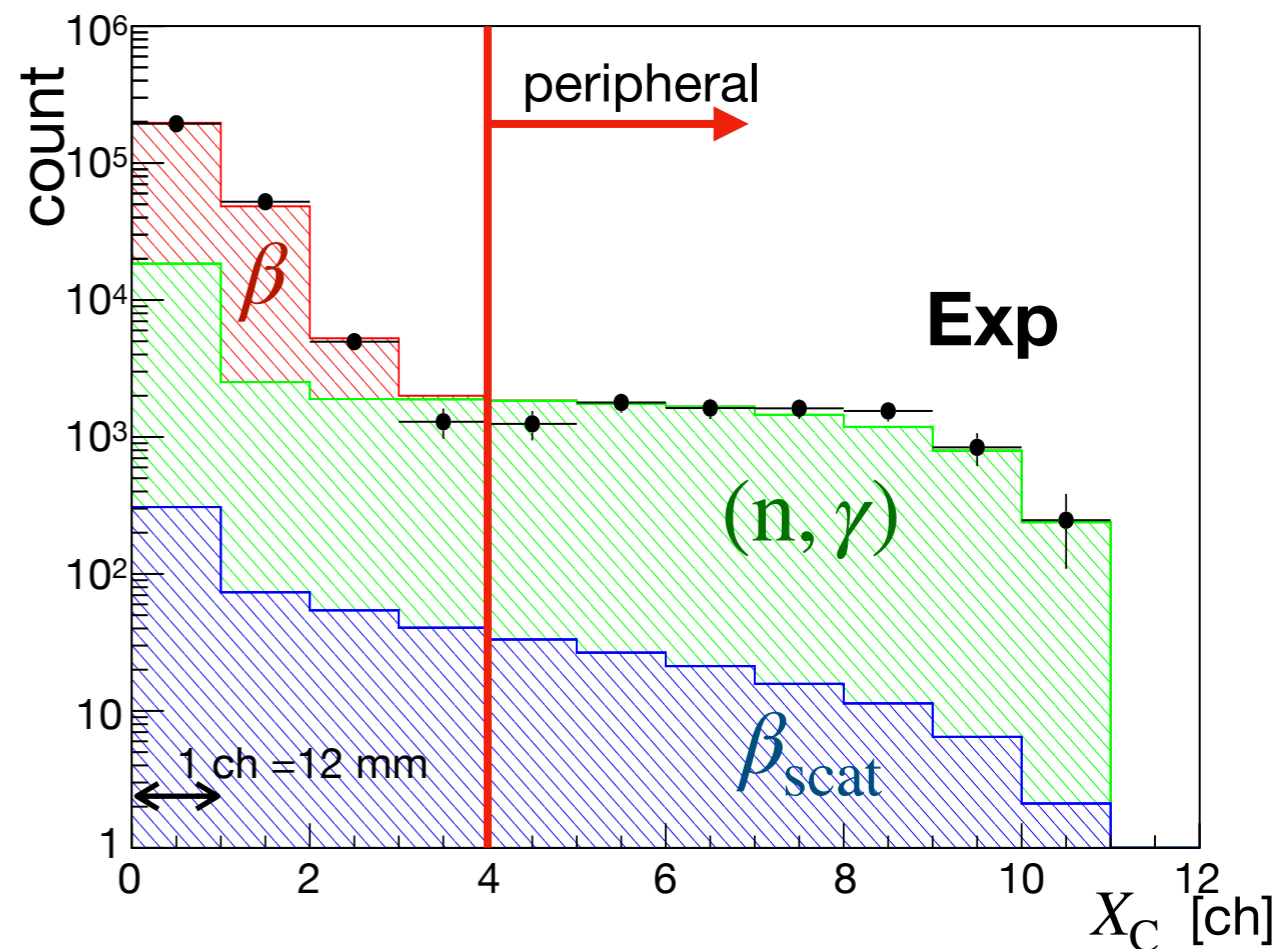
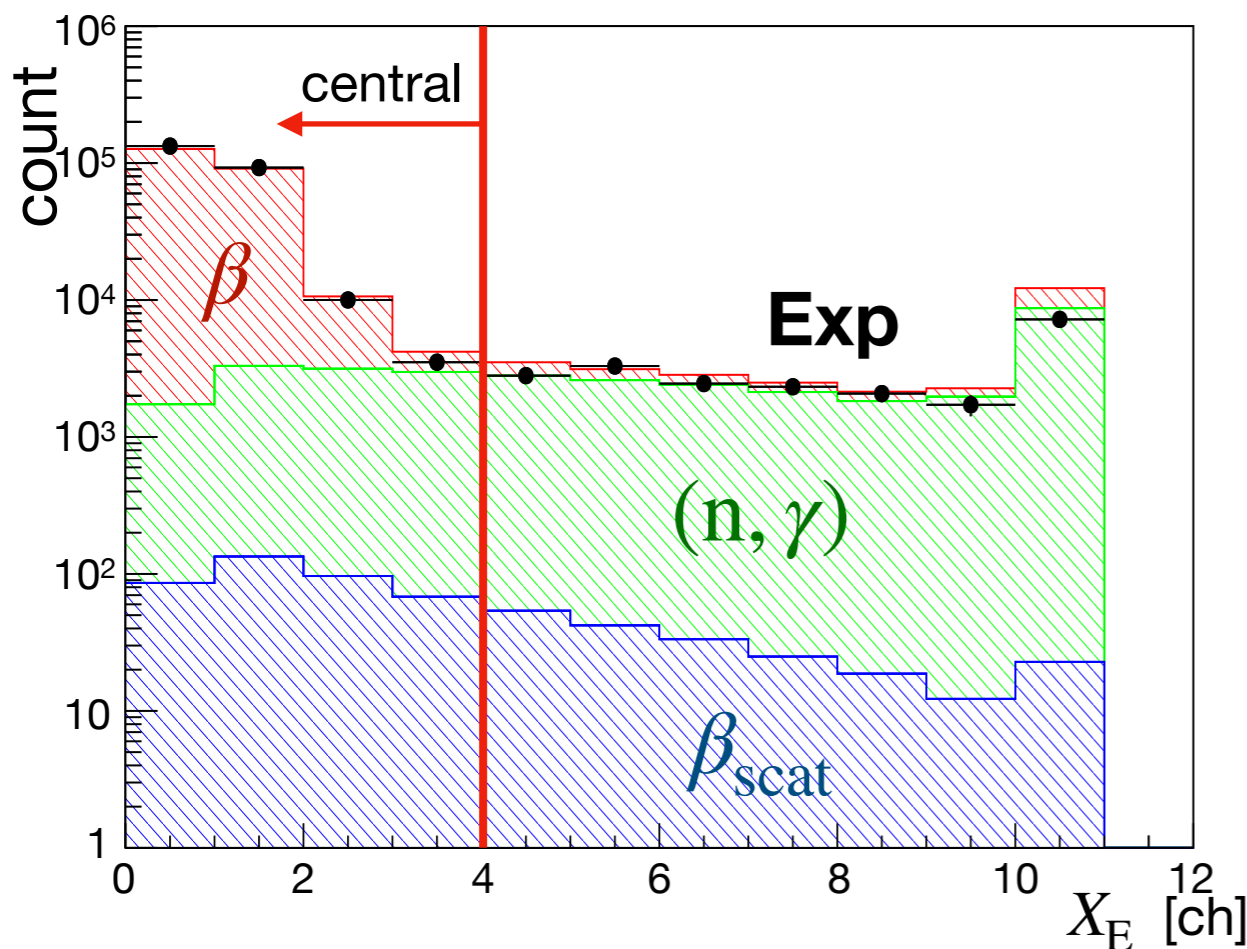
(常に $X_C \leq X_E$ が成立)



# ガス散乱由来の背景事象

- $X_C$ と $X_E$ の分布から事象を分類し, 信号 ( $\beta$ ) に漏れ込む背景事象を見積もる

1. ビーム軸領域 (central region) :  $X_E \leq 4$
2. 周辺部 (peripheral region) :  $X_C > 4$



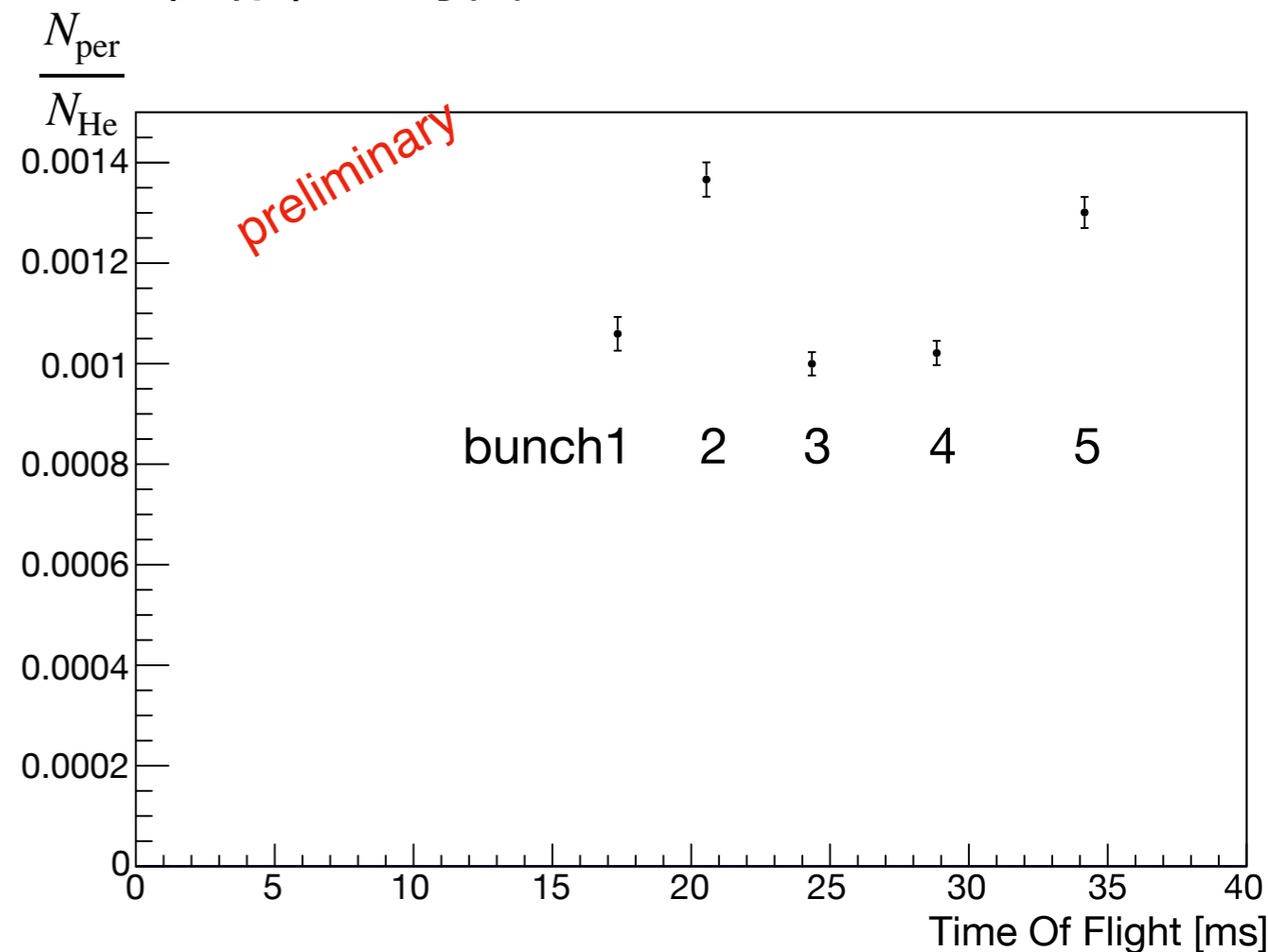
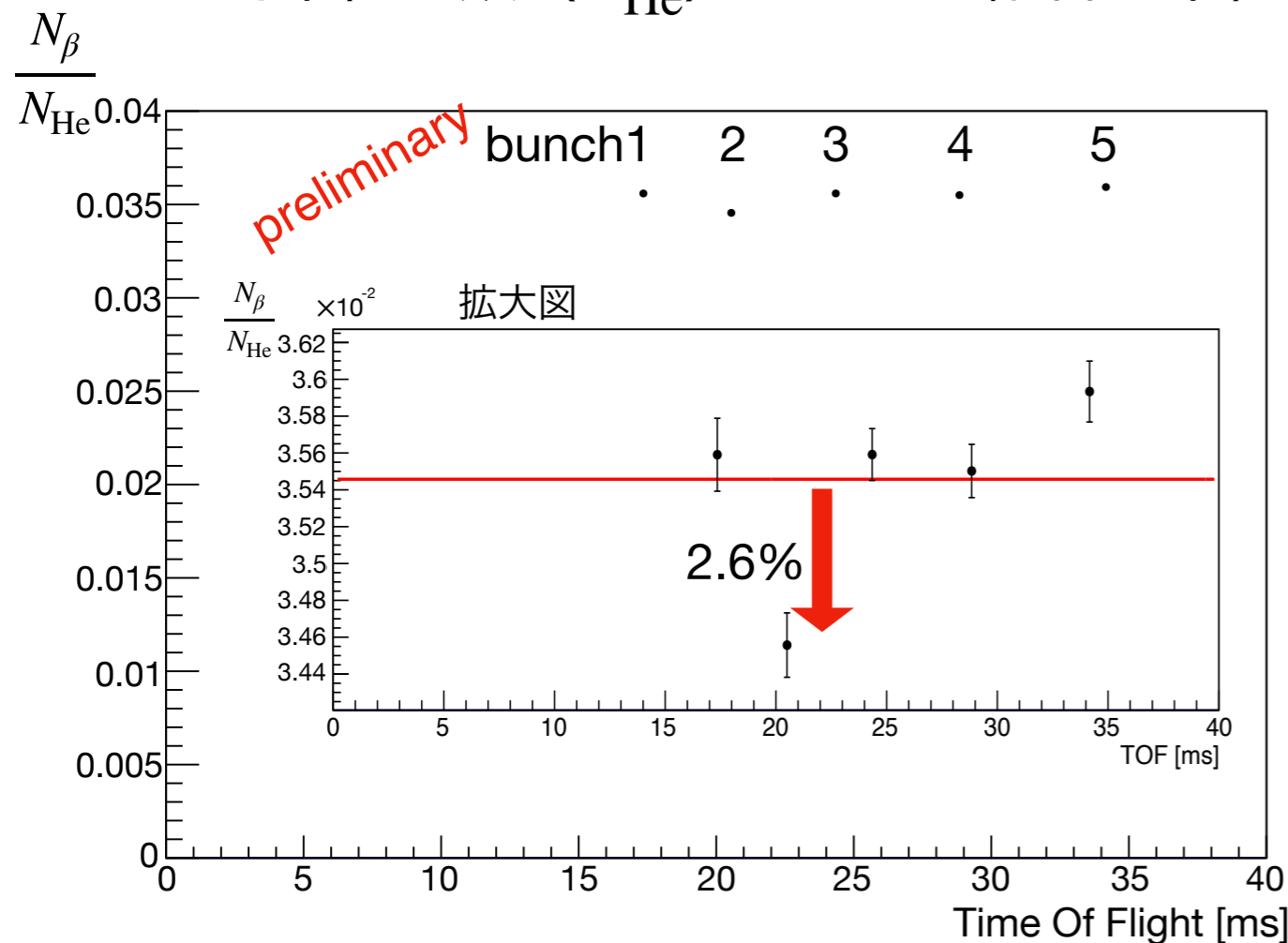
- peripheralでの背景事象数 ( $(n, \gamma) + \beta_{scat}$ ) が, 当初実験セットアップを想定した Monte-Carloシミュレーションより約**3.2倍** 多い  
→ 想定していない背景事象の存在を示唆 ( ${}^6\text{LiF}$ 板に外側から中性子が入射している?)

- 現状, peripheralでの背景事象数が実験を再現するようにMCを規格化 ( $C \times (n, \gamma) + \beta_{scat}$ )



# $\beta$ 崩壊事象数・背景事象数のバンチ依存性

- $\beta$  崩壊事象数 ( $N_\beta$ ) と ガス散乱背景事象数 ( $N_{\text{per}}, X_C > 4$ ) の入射中性子数 ( $N_{\text{He}}$ ) に対する割合の中性子TOF依存性を導出



- BGが全てガス散乱によるものであるならば, BGの事象数比  $\frac{N_{\text{per}}}{N_{\text{He}}}$  は線形になる
- バンチ2において,  $\frac{N_\beta}{N_{\text{He}}}$  が小さく,  $\frac{N_{\text{per}}}{N_{\text{He}}}$  が大きくなっている  
→ 同一の原因によるものなのか, 今後詳細な解析を進める

# まとめと展望

- 現在J-PARC BL05にて我々が行っている中性子寿命測定実験においてガス散乱中性子とTPC壁材の ${}^6\text{LiF}$ 吸収反応に由来する背景事象が最も大きな系統的不確かさを計上
- ビーム軸から離れた領域 (peripheral region) での背景事象が実験セットアップを想定したMonte-Carloシミュレーションより約3.2倍多い
- 統計が十分に得られたことで可能となった、ガス散乱背景事象数の中性子Time Of Flight依存性に着目した解析を行っている
- bunch毎に $\beta$ 崩壊事象数とガス散乱背景事象数が異なることがわかった
- 今後、さらなる解析を進めてperipheral regionにおける背景事象が増加している原因を究明しガス散乱由来の背景事象による系統的不確かさの削減を目指す