

講演番号16pS12-2

ニュートリノ中性カレント反応精密測定のための核子・酸素原子核反応に関する研究

岡大理, 京大理^A, Padova University^B, Toronto University^C, TRIUMF^D,
神大理^E, Stanford University^F, RCNP^G

蓬萊 明日, 小汐 由介^A, 福田 大輔^A, 芦田 洋輔^A, 中家 剛^A, Roger Wendell^A,
森 正光^A, Gianmaria Collazuol^B, Corina Nantais^C, Akira Konaka^D,
鈴木 州^E, 竹内 康雄^E, 矢野 孝臣^E, Hiro Tanaka^F, 嶋 達志^G

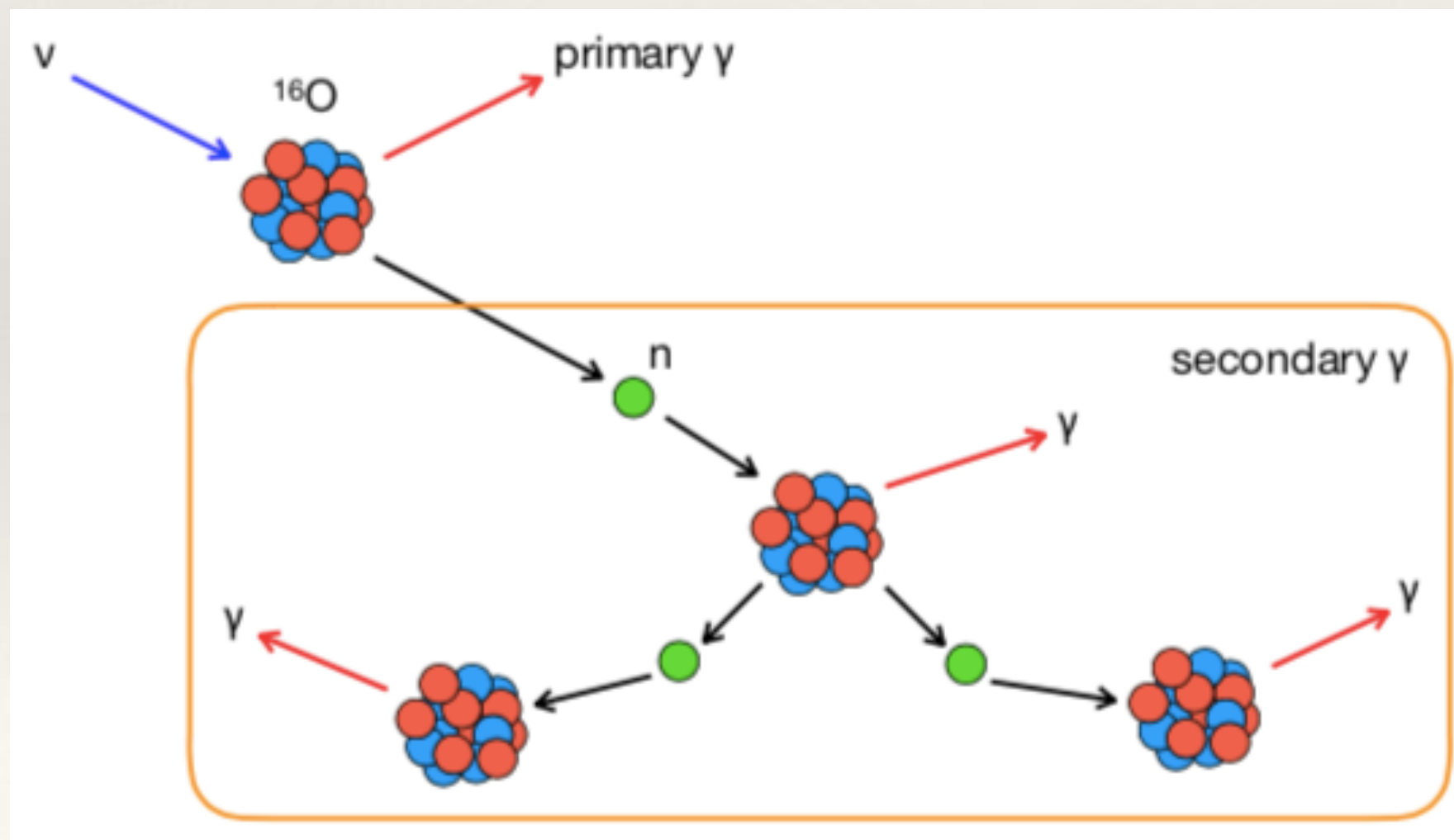
- ・ イントロダクション
 - NC elastic
 - 実験目的
- ・ 有機液体シンチレータの波形弁別テスト
- ・ 今後の計画

中性カレント弾性散乱(NC elastic)反応

3

この反応をT2Kで精密に測定することは、水チェレンコフ検出器での
超新星背景ニュートリノ、ダークマター探索感度向上に重要

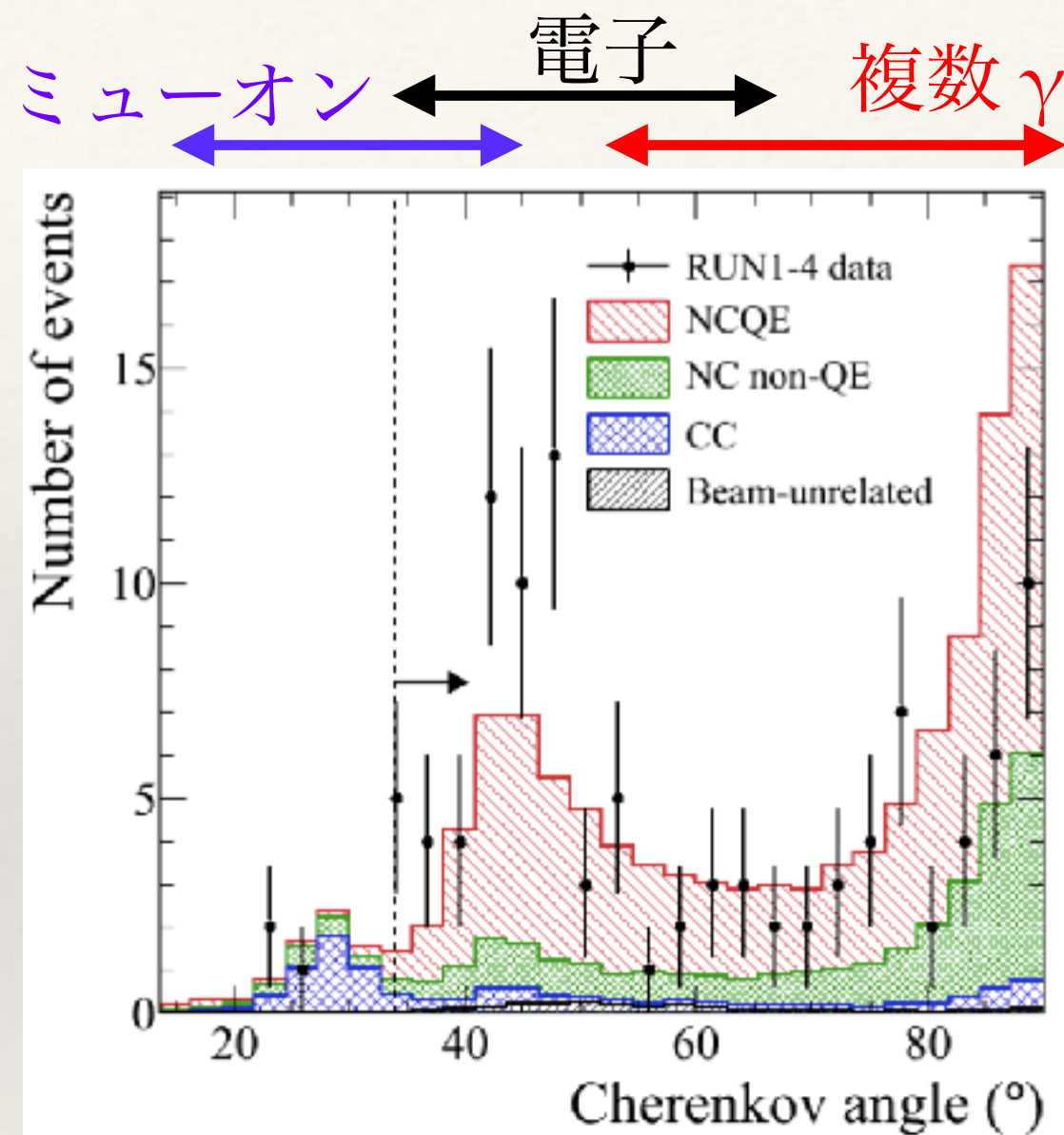
T2Kのビームエネルギー (~630MeVがピーク)では、核子を弾き出す反応が支配的



NC elastic反応断面積

4

	Signal
Interactions	NCQE
Fraction of sample	68%
Flux	11%
Cross section	—
Primary- γ production	10%
Secondary- γ production	13%
Detector response	2.2%
Oscillation parameters	—
Total systematic errors	20%



K.Huang, Ph.D Thesis, Kyoto University (2016)

→ 中性子反応由来の γ 線放出モデルに不完全な部分がある

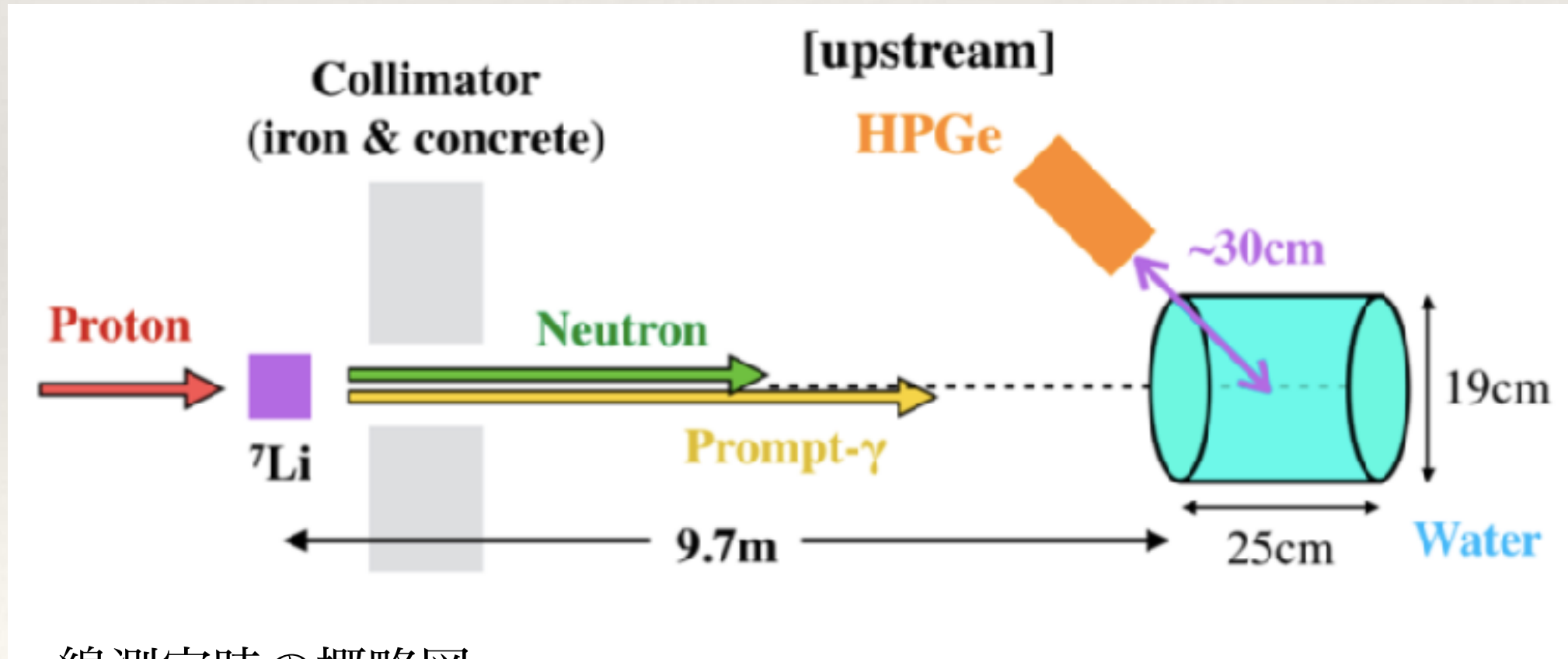
実験概要

5

- 中性子, 酸素原子核反応から放出される γ 線の生成断面積を測定する

→ γ 線, 中性子フラックスの測定を行う

大阪大学核物理研究センターで実験



γ 線測定時の概略図

前回実験

6

使用したもの

LaBr₃(Ce) : γ 線

BC-501A : 中性子フラックス

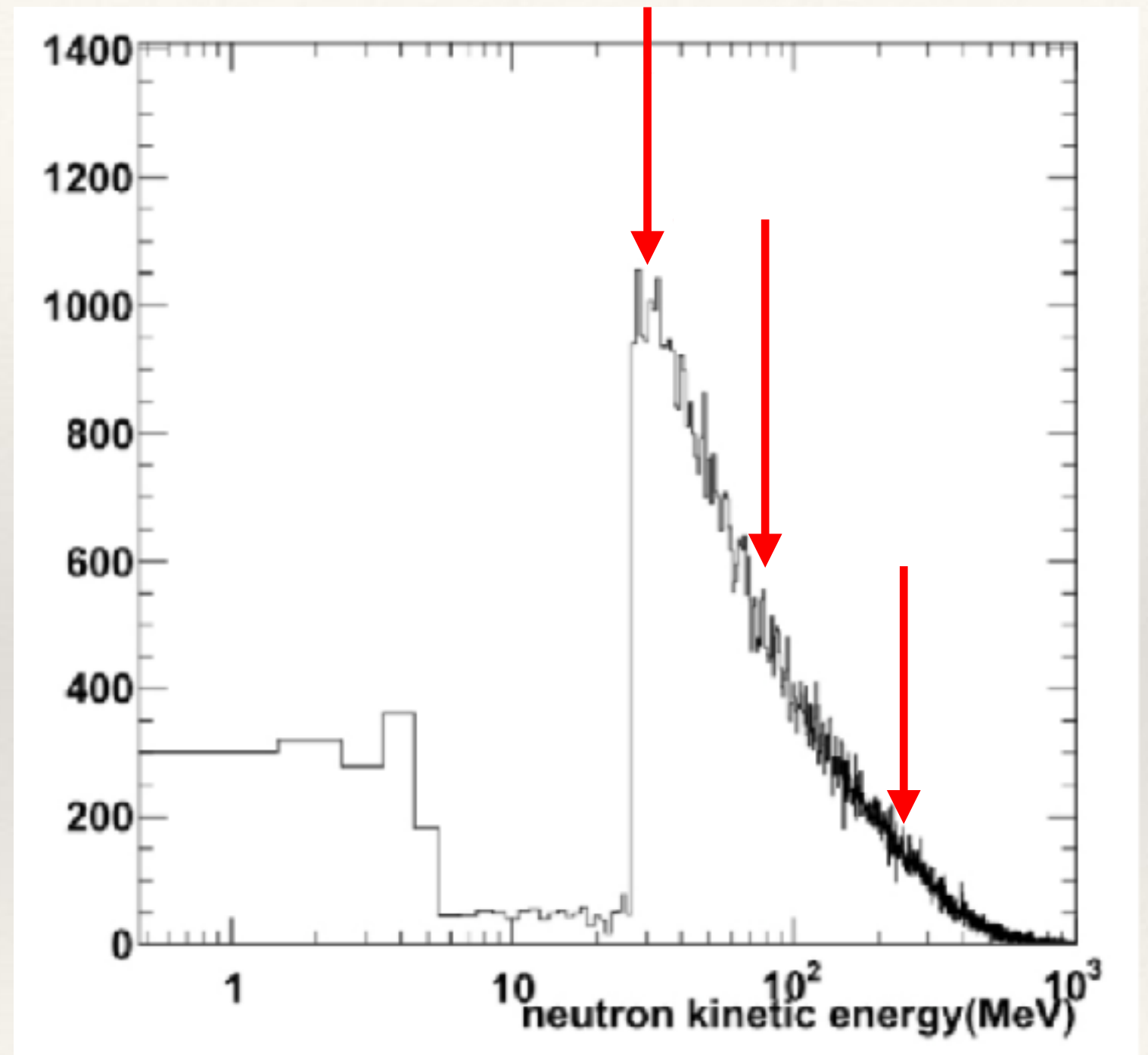
データ取得: Charge-ADC

ビームエネルギー: 80 MeV

データ点を増やすために

30 MeVと246 MeVでも

実験を行う



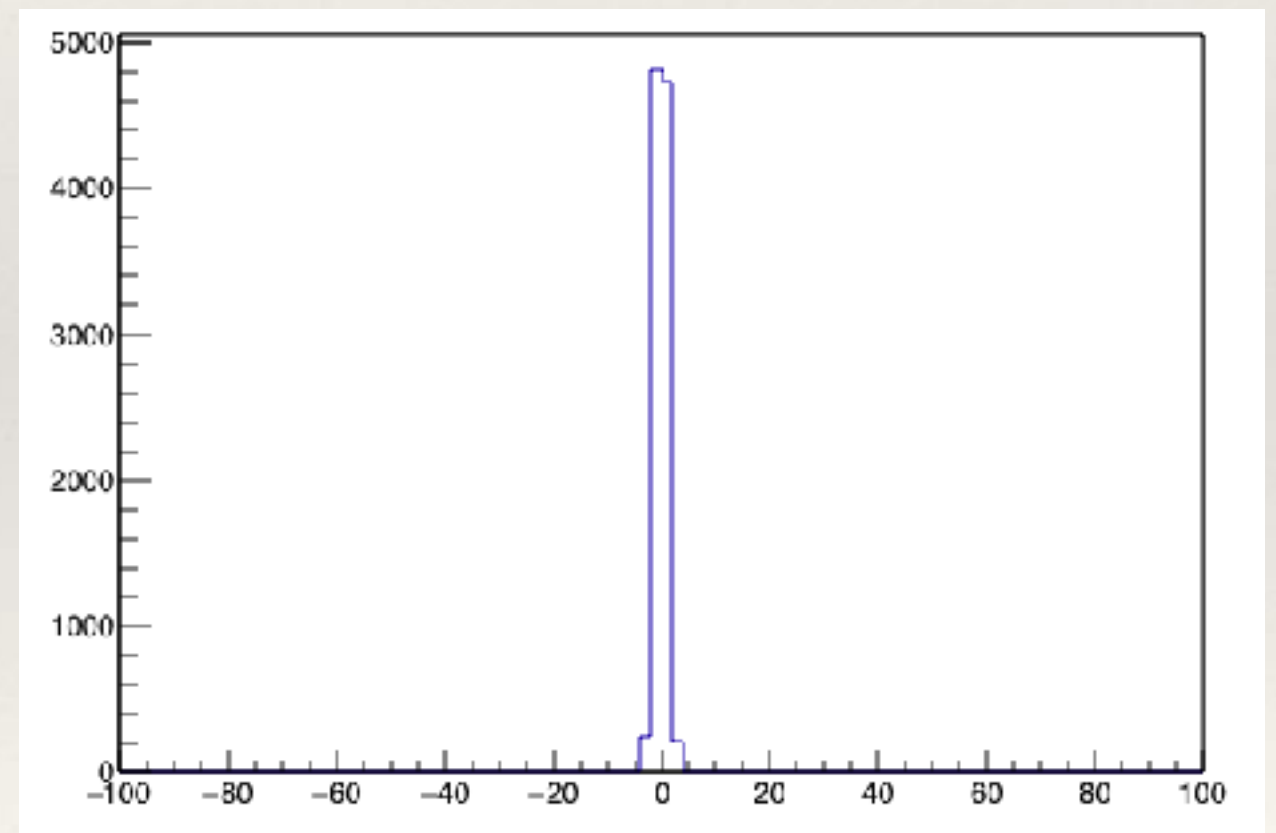
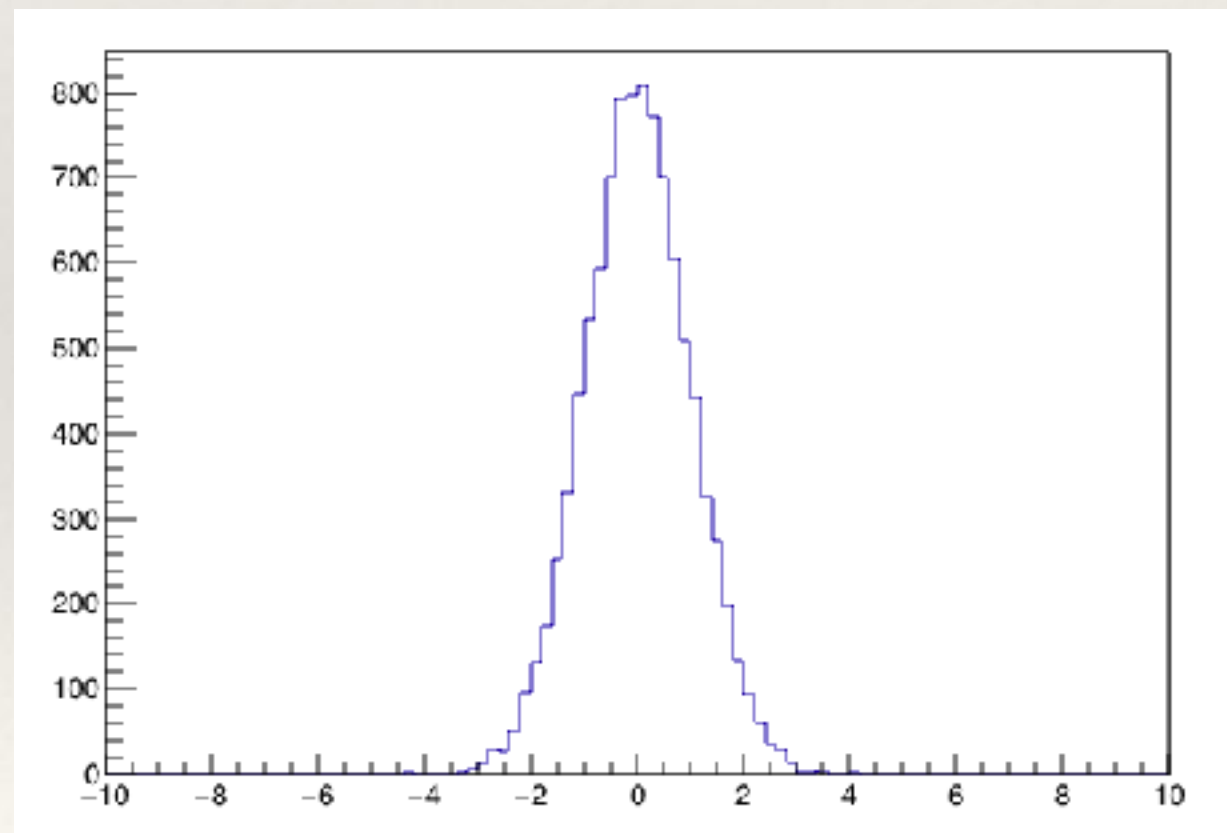
問題点

7

問題点1:

中性子フラックス測定時

Charge-ADCだとdynamic rangeが狭く、高エネルギー損失事象を測定できない

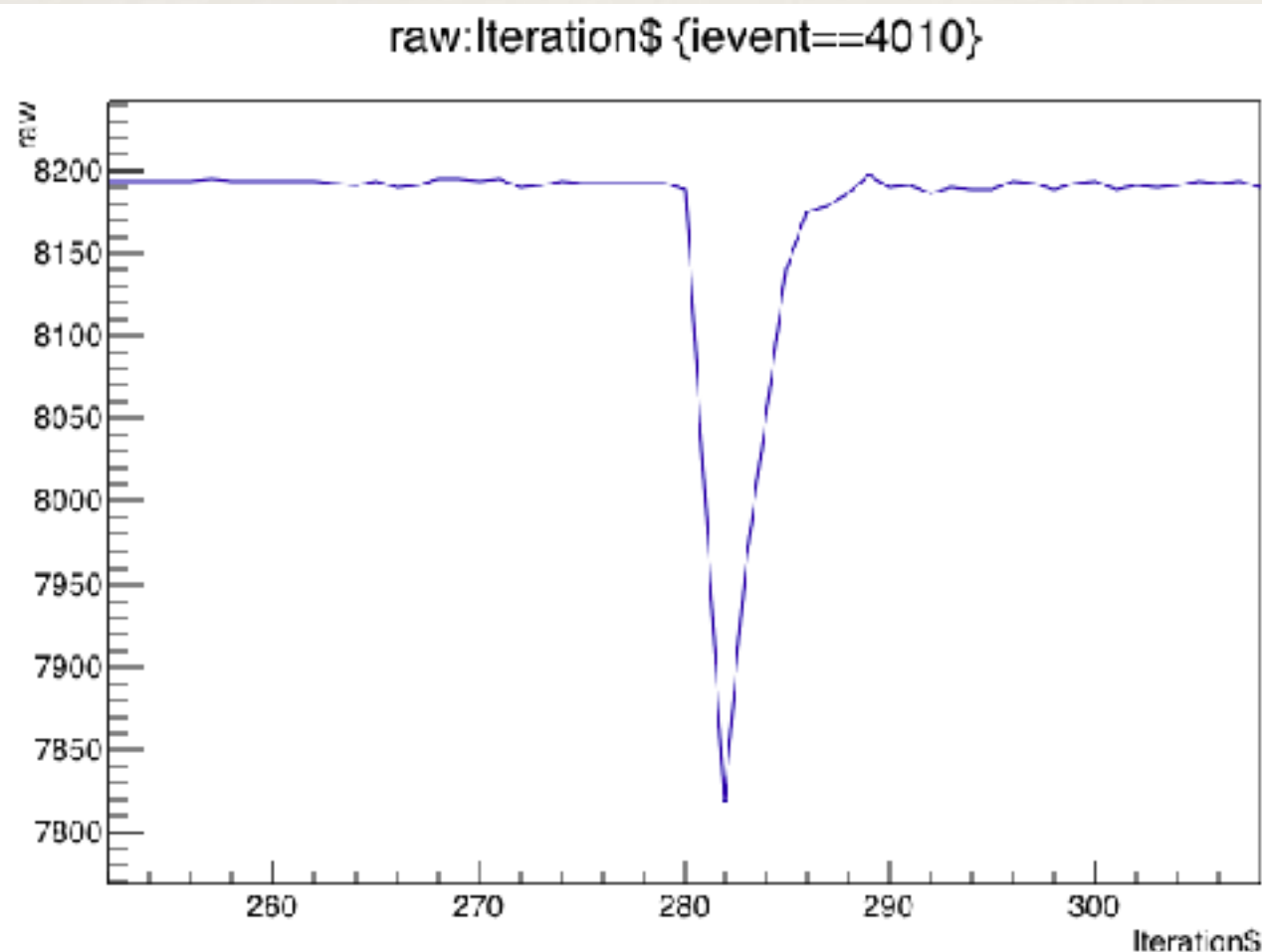


入力信号を減衰させて解析ウィンドウ内に収めた例

問題点1:

中性子フラックス測定時

Charge-ADCだとdynamic rangeが狭く高エネルギー損失事象を測定できない



使用するモジュールを
Flash-ADCに変更する

→波形からタイミング情報を
引き出すことも可能に

問題点

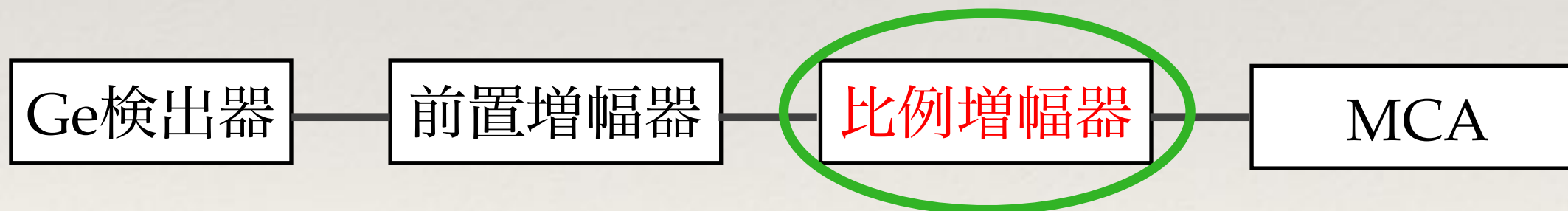
9

問題点2:

γ 線検出器のエネルギー分解能が十分でなく、系統誤差が大きくなる

使用する検出器を高分解能なゲルマニウム検出器に変更する

新たな問題点



ゲルマニウム検出器の一般的な波高分析

波形整形により時間情報が失われる

次回(E525)実験に向けて

10

使用するモジュールをCharge-ADCからFlash-ADCに変更するため

- ・有機液体シンチレータの波形解析手法
- ・ゲルマニウム検出器の波形解析手法

をチェックする必要がある

次回(E525)実験に向けて

11

使用するモジュールをCharge-ADCからFlash-ADCに変更するため

- ・有機液体シンチレータの波形解析手法
- ・ゲルマニウム検出器の波形解析手法

をチェックする必要がある

本講演では実験で使用予定である有機液体シンチレータのデータ取得をFADCで行い γ 線, 中性子イベントの弁別テストについて述べる

- ・ イントロダクション
- ・ 有機液体シンチレータの波形弁別テスト
- ・ 今後の計画

セットアップ

13

Flash-ADC (CAEN D5725)

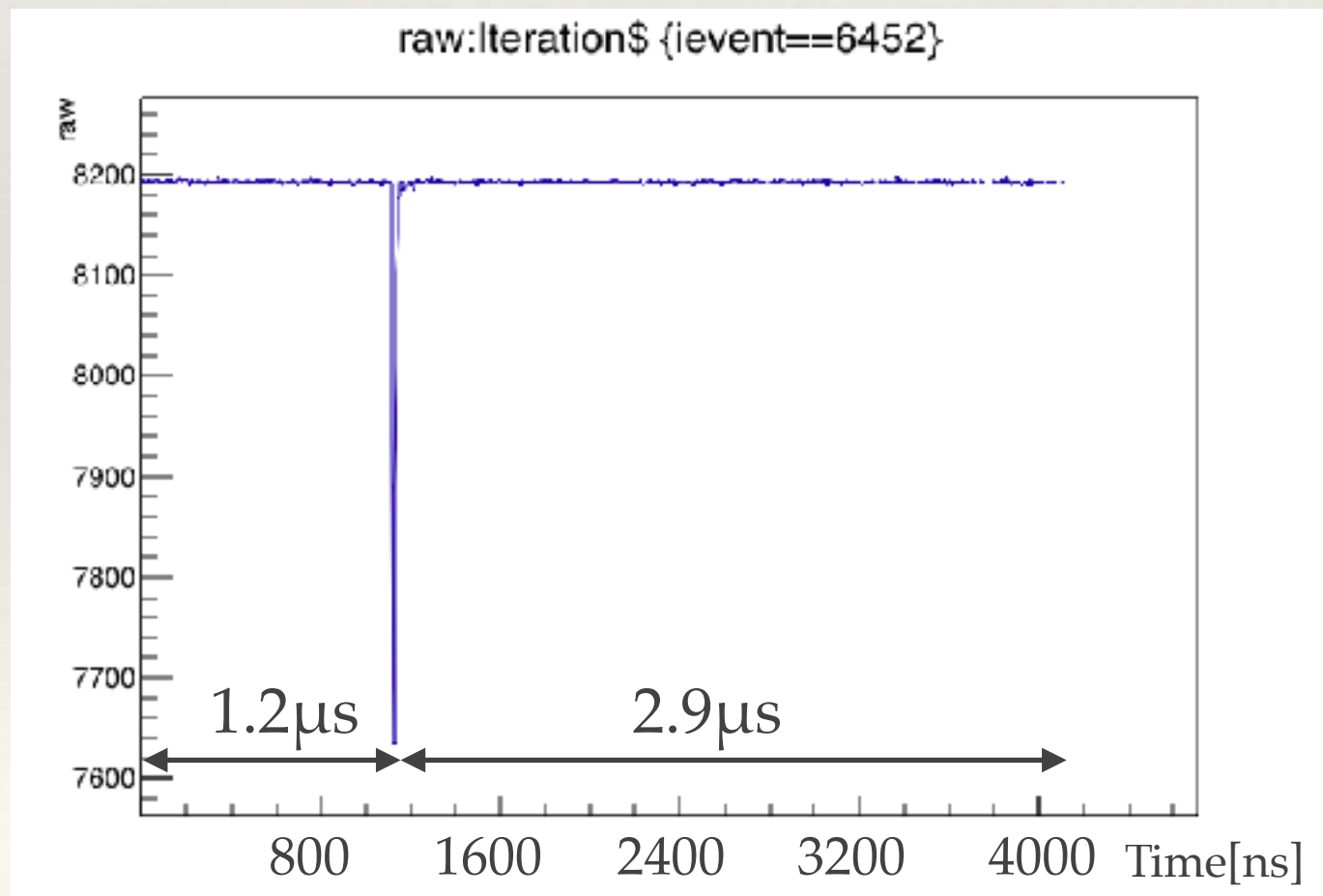
- 14bit
- dynamic range 2V_{pp}
- 250MS/s

液体シンチレータ

- BC501A (NE213)

使用線源

- 中性子線源: ^{252}Cf
- γ 線源: ^{60}Co



取得波形の例

最大で4.1 μs まで取得可能

波形はトリガーの位置から

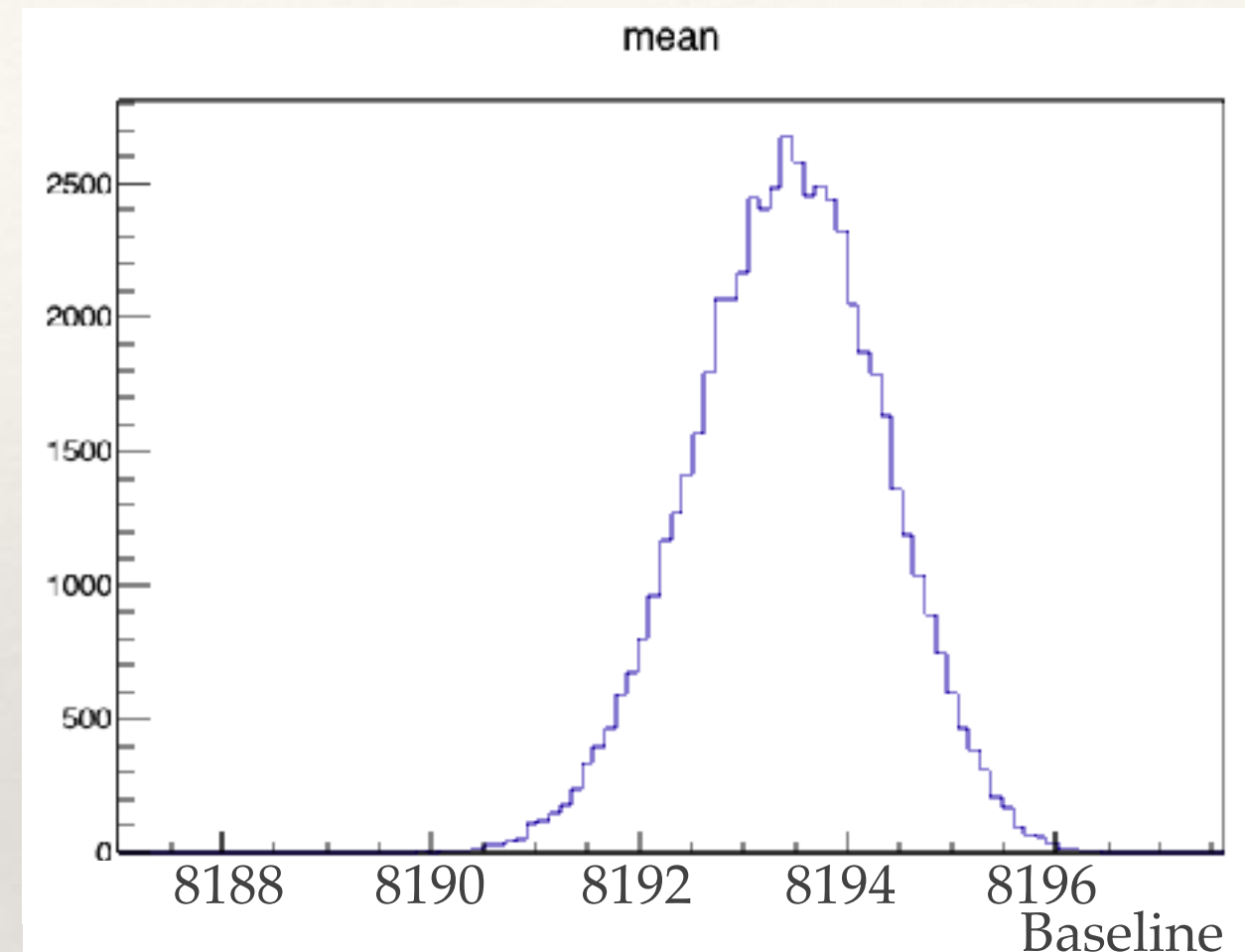
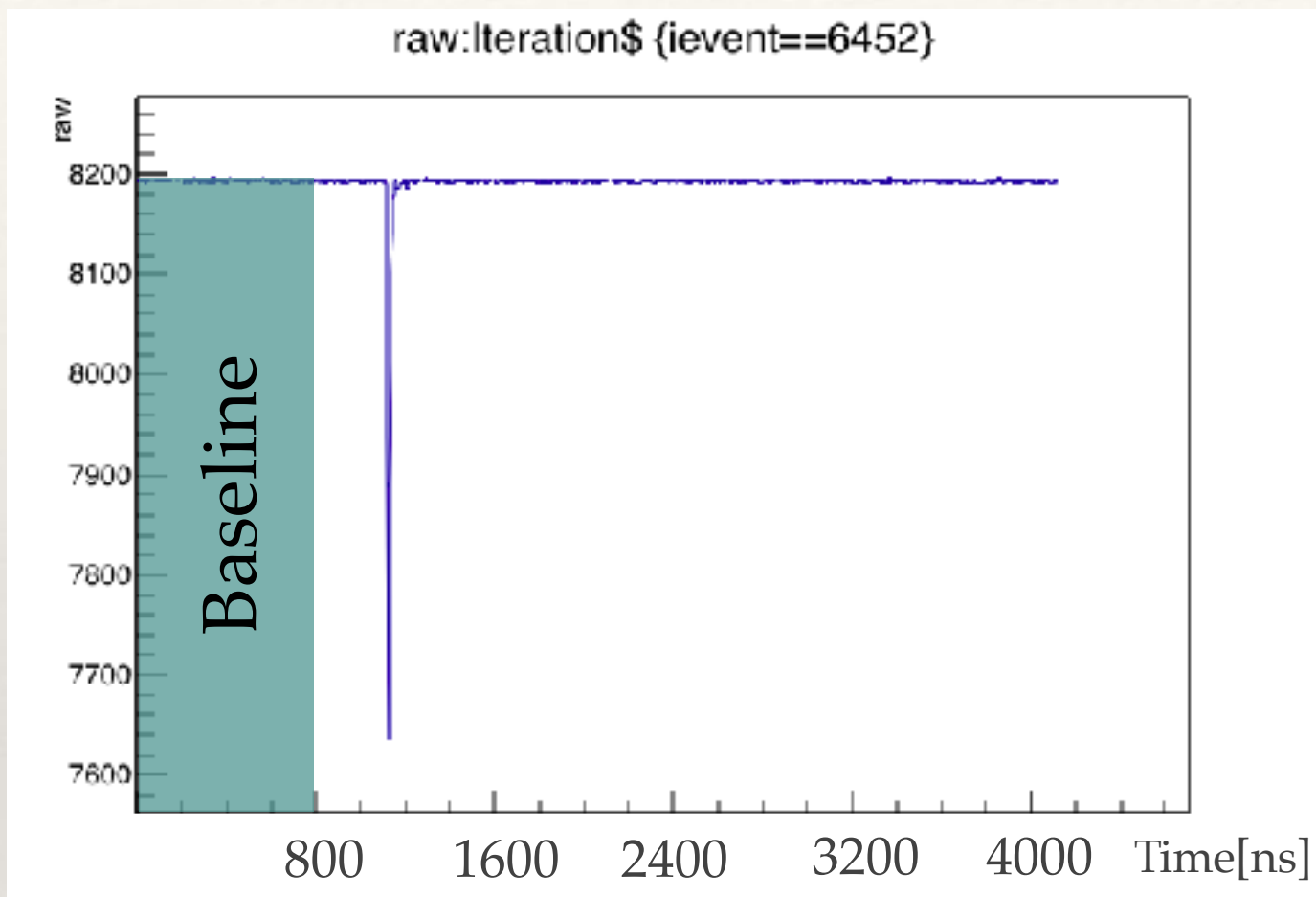
1.2 μs 前

2.9 μs 後

を取得した

Baseline, rms

14



800nsまでのデータ(200点)の中央値を
baselineとして使用

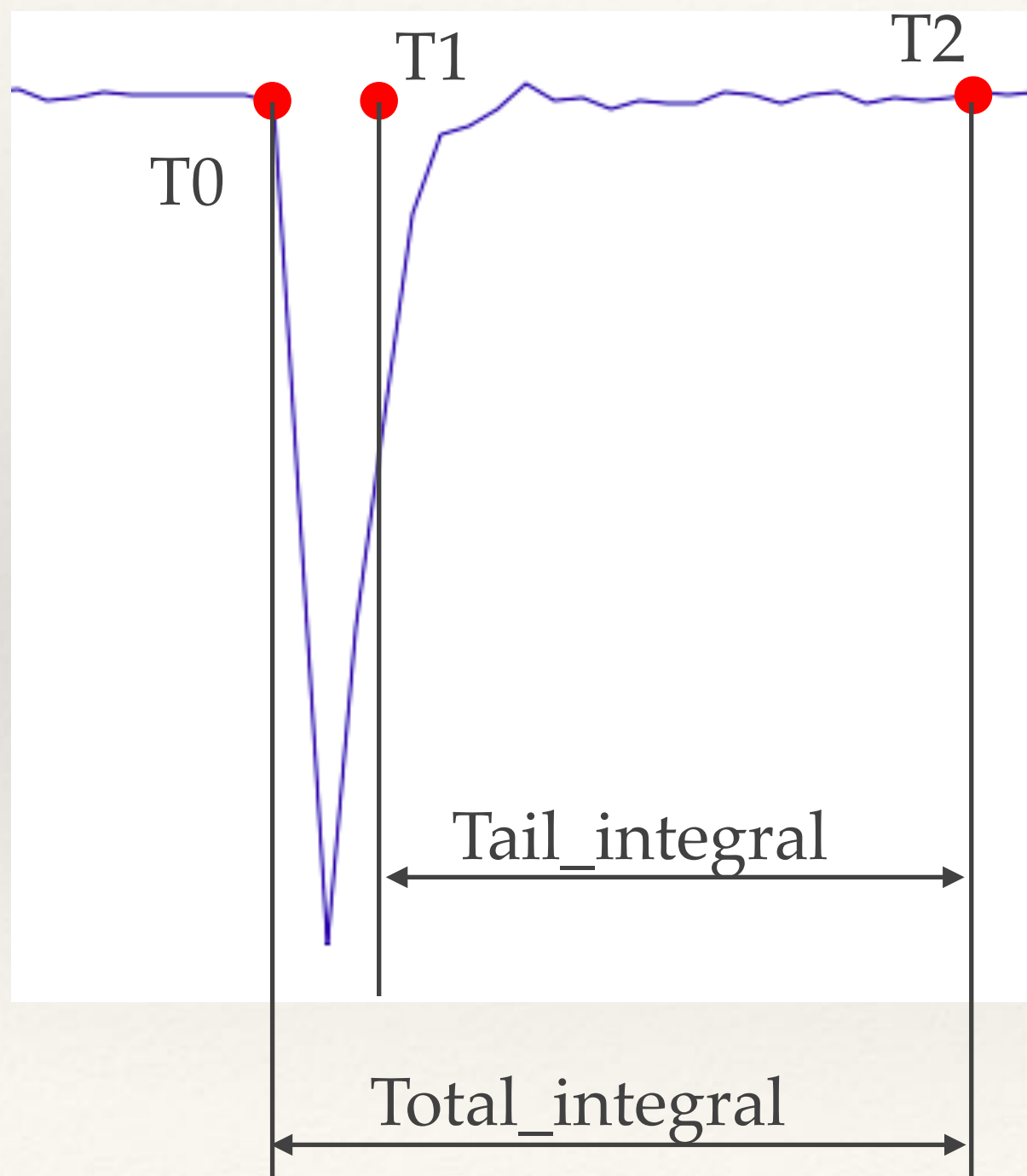
rmsを算出した

1回の測定で得られる全波形のbaseline
測定の最中に大きく変化していない

波形弁別

15

入射粒子によって波形が異なることを利用する



Pulse shape discrimination (PSD) Parameterを

$$\frac{Tail}{Total} \quad \text{とした}$$

T0: 立ち上がり時間

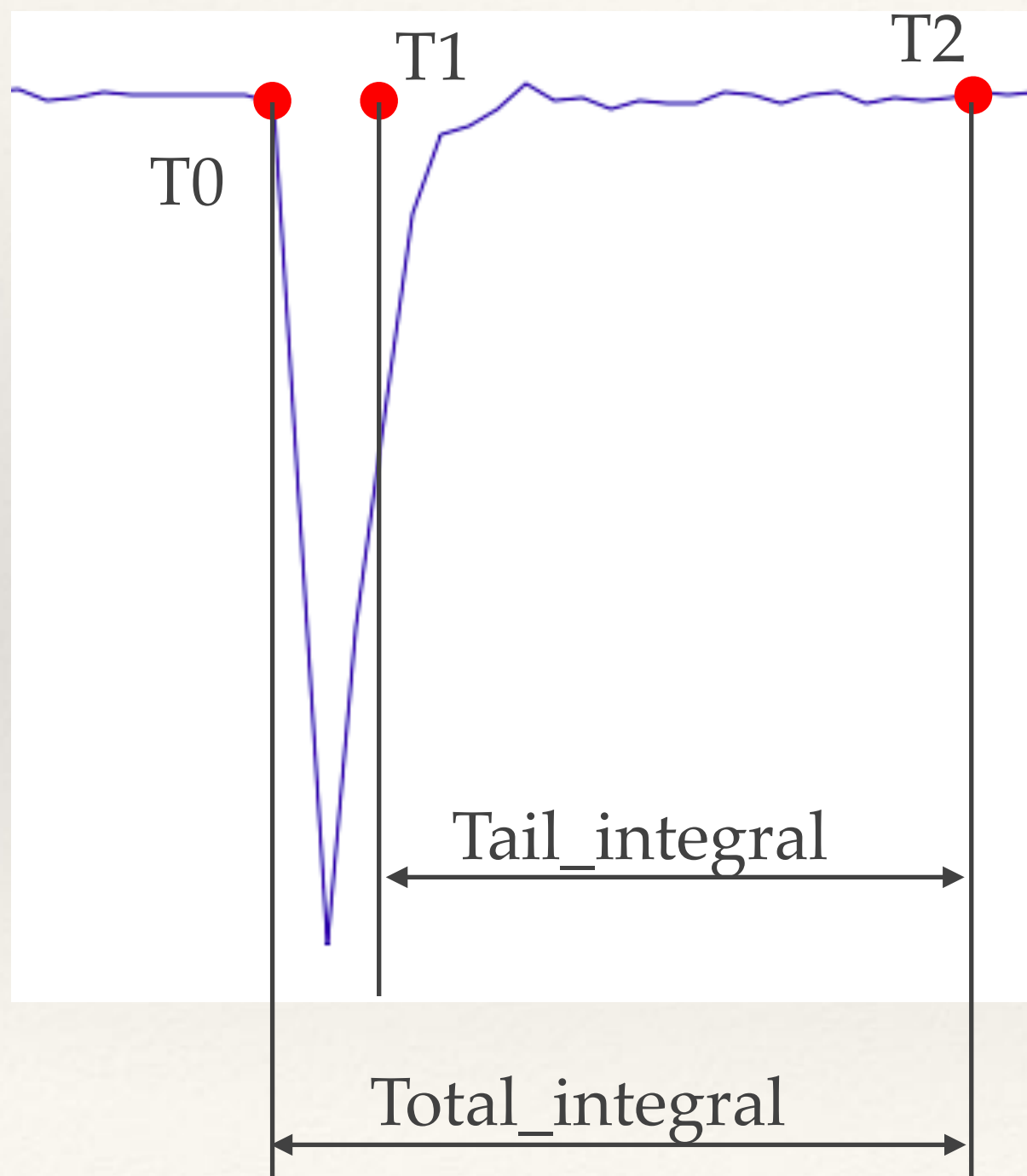
T1: テール開始時間

T2: 積分終了時間

波形弁別

16

入射粒子によって波形が異なることを利用する



T0:

データ値とbaselineの差が 5σ を超えた点

T1:

可変

T2:

T0+200 ns

パイルアップが含まれないようレートを調整

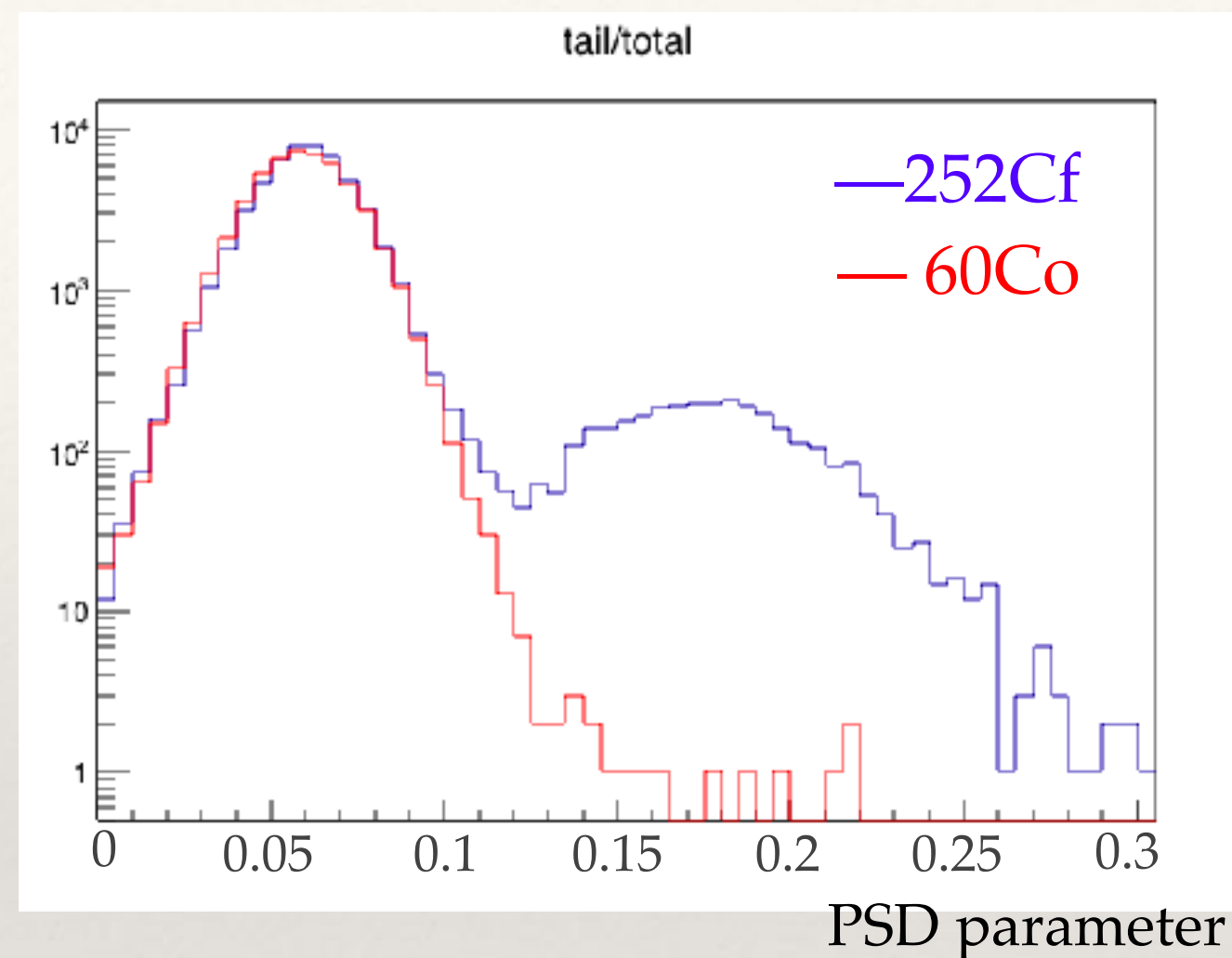
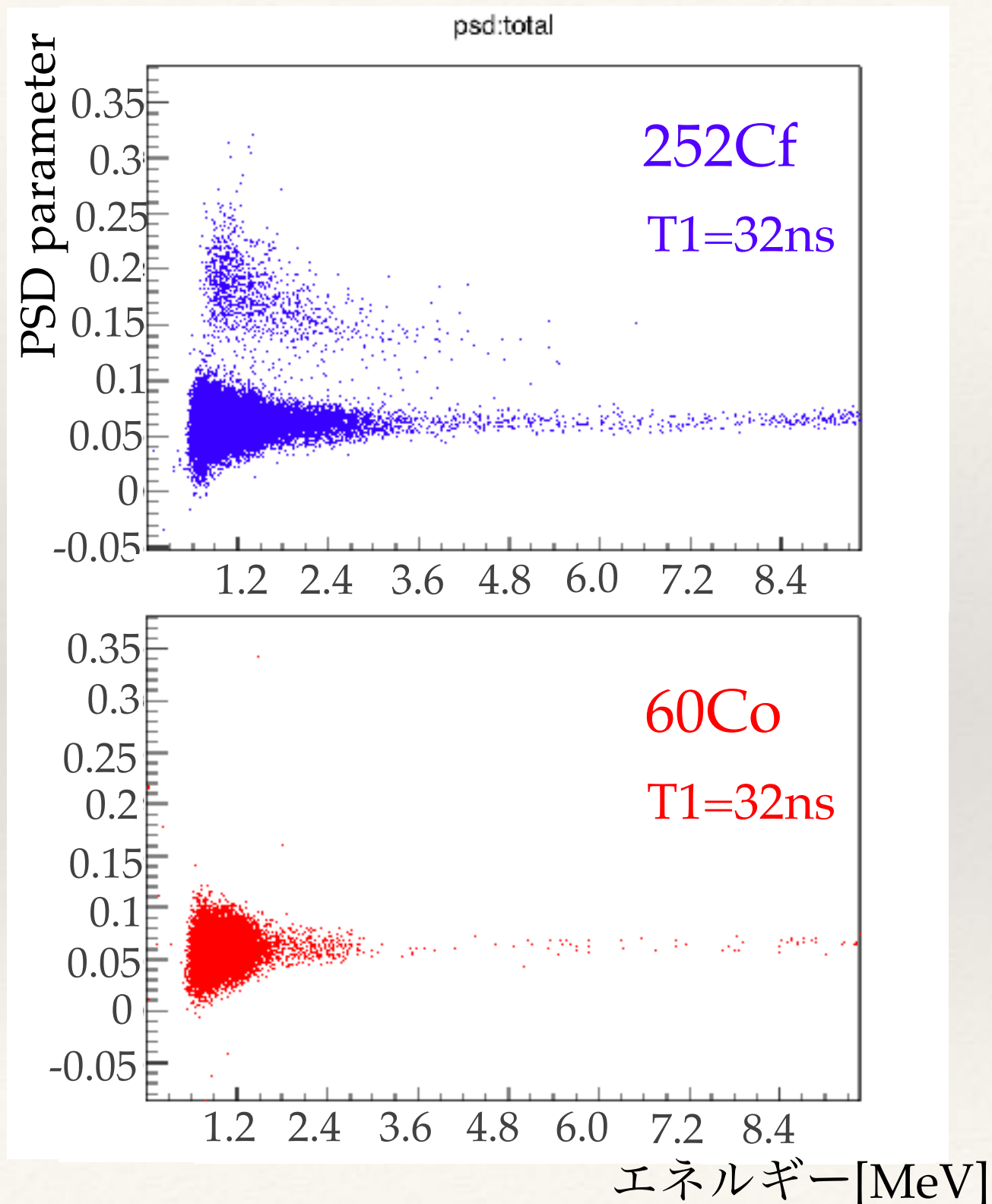
有機シンチレータの減衰定数は一般に数ns

程度であるため、200 nsあれば十分に

評価可能

波形弁別性能評価

17



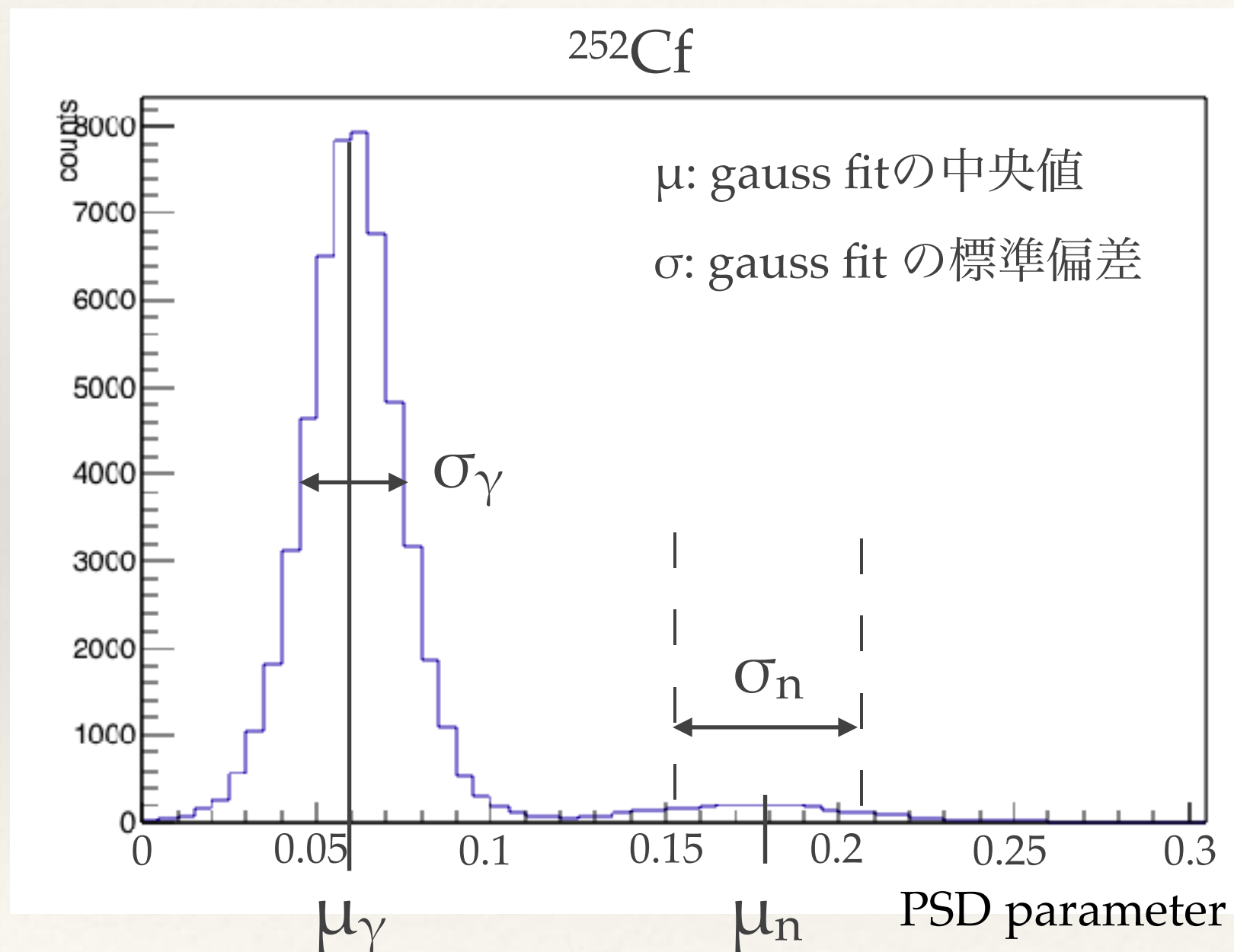
全エネルギー領域のPSD parameter分布

綺麗に分かれており、弁別が可能

Figure of merit(FOM) 計算方法

18

T1を最適化するためにFOMを用いる



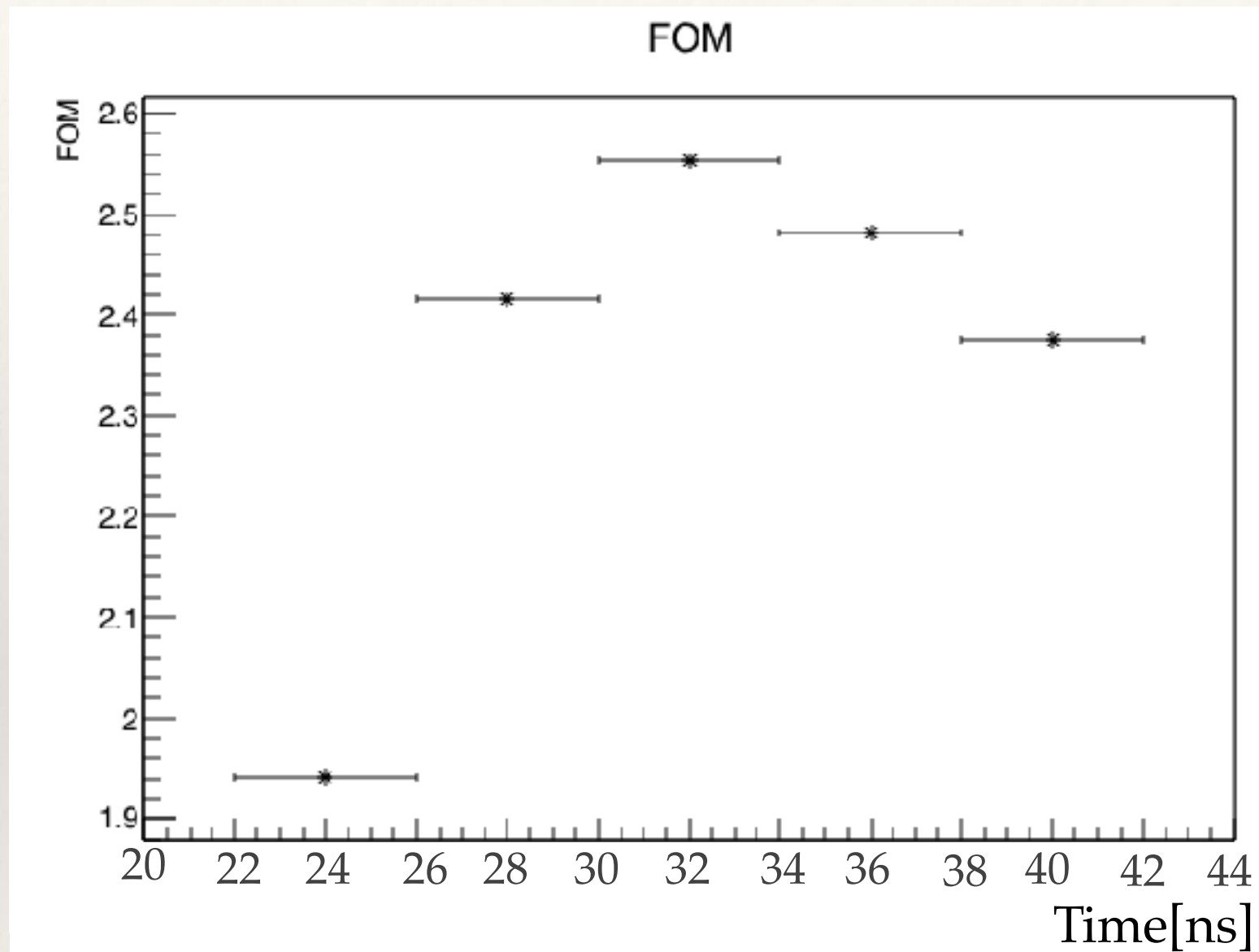
2つのピーク中央値の差
2つのピークの標準偏差の和

$$\left(FOM = \frac{|\mu_\gamma - \mu_n|}{\sigma_\gamma + \sigma_n} \right)$$

→2ピークがどれだけ
離れているかを示す

Figure of merit(FOM) 結果

19



誤差はfitting errorのみ

おおよそ 2σ 以上離れている
中でも **T1=32ns** が良い値

使用予定のFADCを用いたPSD
手法を確立できた

本番でもこの方法で
T1を最適化する

E525実験に向けて

20

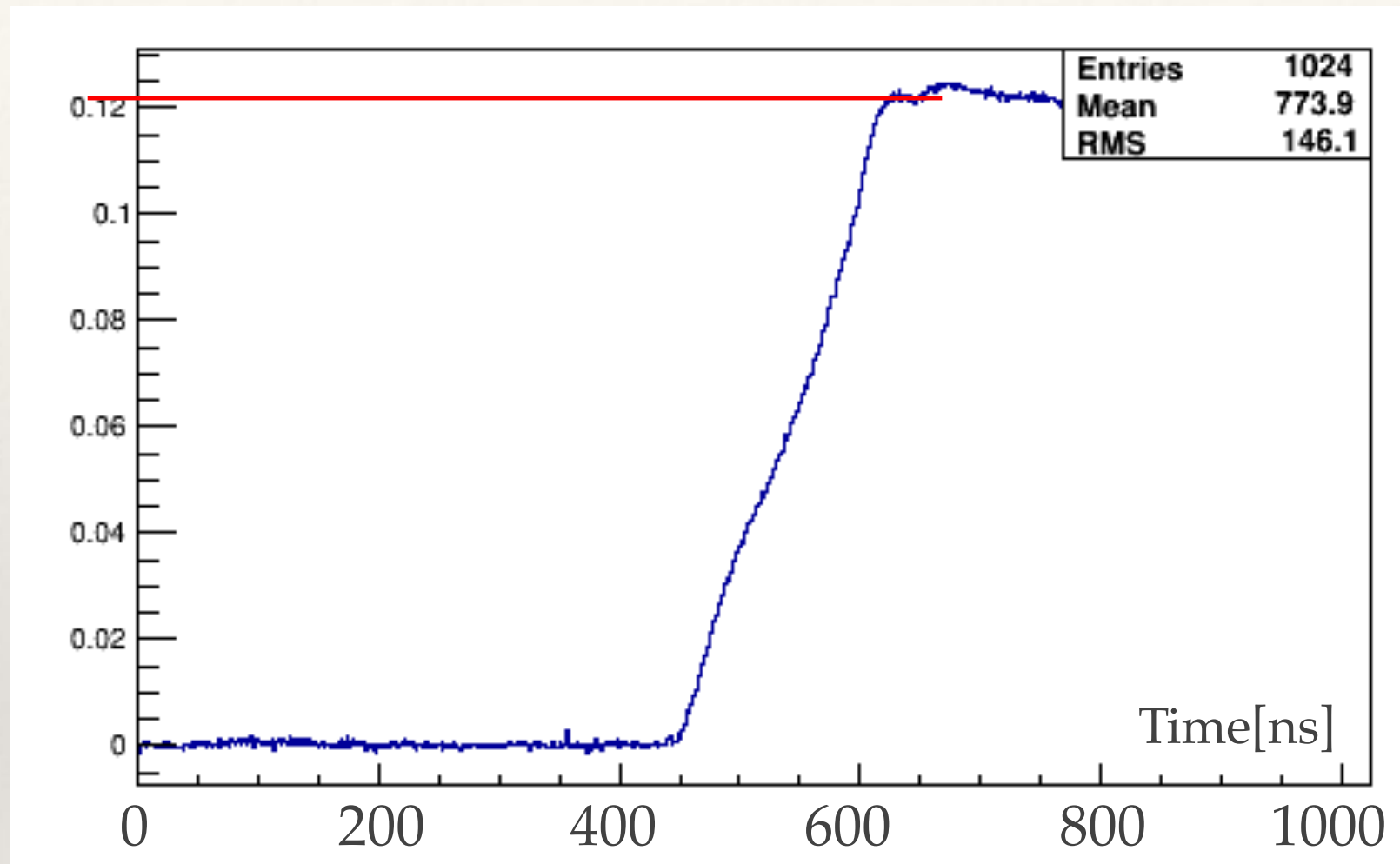
使用するモジュールをCharge-ADCからFlash-ADCに変更するため

- ・ 有機液体シンチレータの波形解析手法
- ・ ゲルマニウム検出器の波形解析手法

をチェックする必要がある

ゲルマニウム検出器の波形解析

21



p型のHPGeの波形情報を取得した (GEM-20180-P)

時間情報を失わないようにするために波形整形を行っていない

この波形からエネルギー、時間の再構成を行えるようにする

今後の予定

22

- DAQの整備
- ゲルマニウム検出器の波形解析手法確立
- 実験ジオメトリの最適化

→時間分解能やDAQのレート耐性等の情報より器具の配置を決定する

今年度中に実験予定

- NC elastic反応断面積の誤差が大きく、十分理解できていない
 - 特に中性子, 酸素原子核反応による γ 線放出の誤差が大きい
- 系統誤差を小さくするために γ 線生成断面積測定実験を行なっている
 - 次回実験ではビームのエネルギーを変更してデータ点を増やす
- ビーム実験時には波形解析が求められる
 - 波形解析によるBC-501AのPSD性能を評価
 - HPGeの波形解析手法を確立することが課題

Back up

超新星背景ニュートリノ (SRN)探索

25

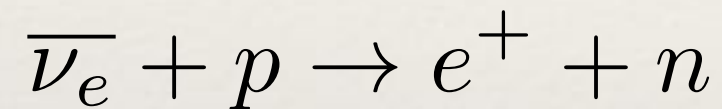
- ・ スーパーカミオカンデ (SK) でのSRN検出が目的
- ・ 事象の識別のために超純水にガドリニウムを溶かす(SK-Gd計画)
- ・ Gdを溶かしても識別できない事象 (NCQE反応)がある

→中性カレント 準弾性散乱(NCQE)反応を
詳細に理解することが実験の目的

SKでのSRNの反応過程

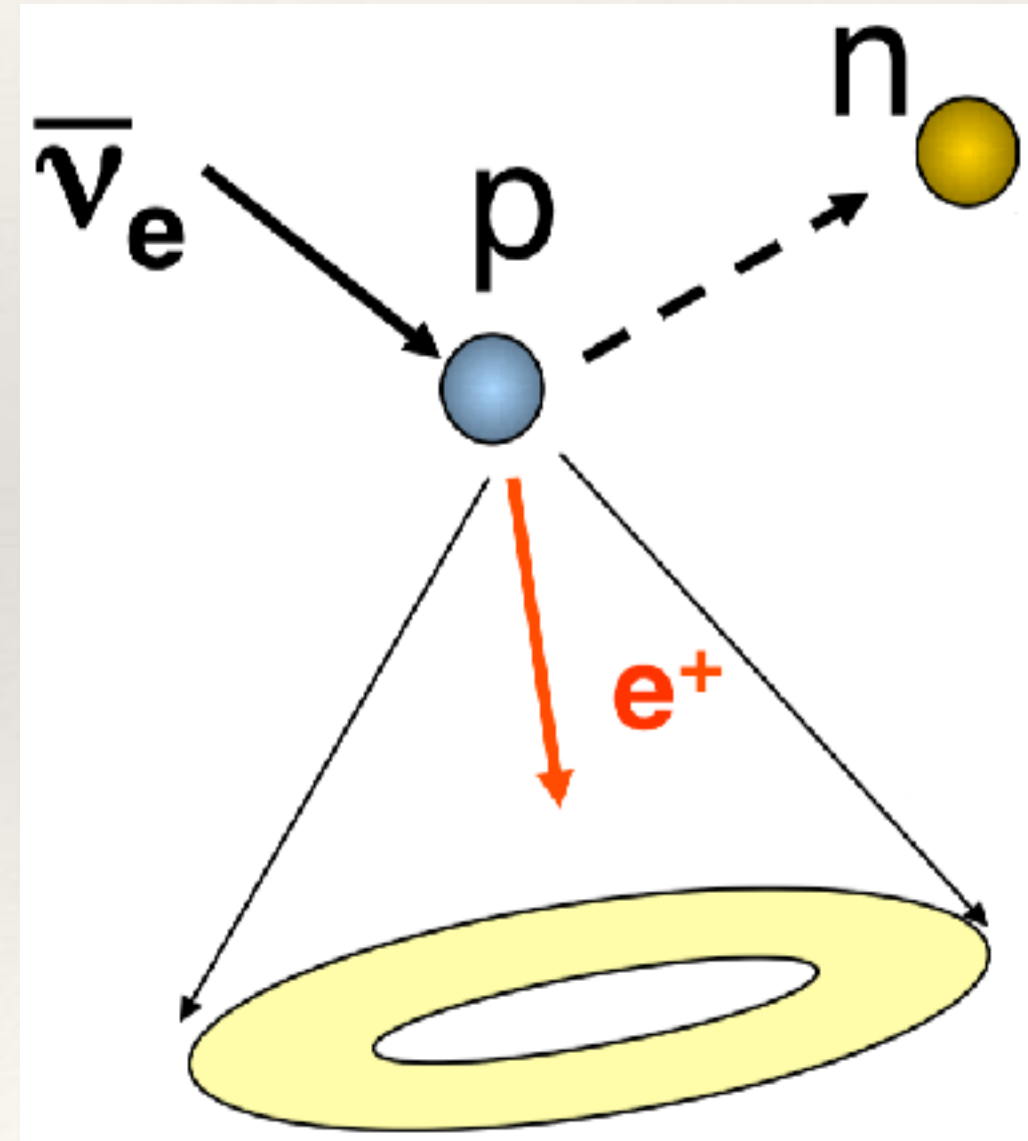
26

水中の水素原子核 (陽子) とニュートリノが反応



生成物の陽電子がチェレンコフ光を放出

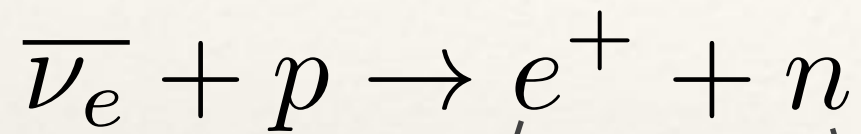
SKではそれを検出する



区別ができない二つの事象

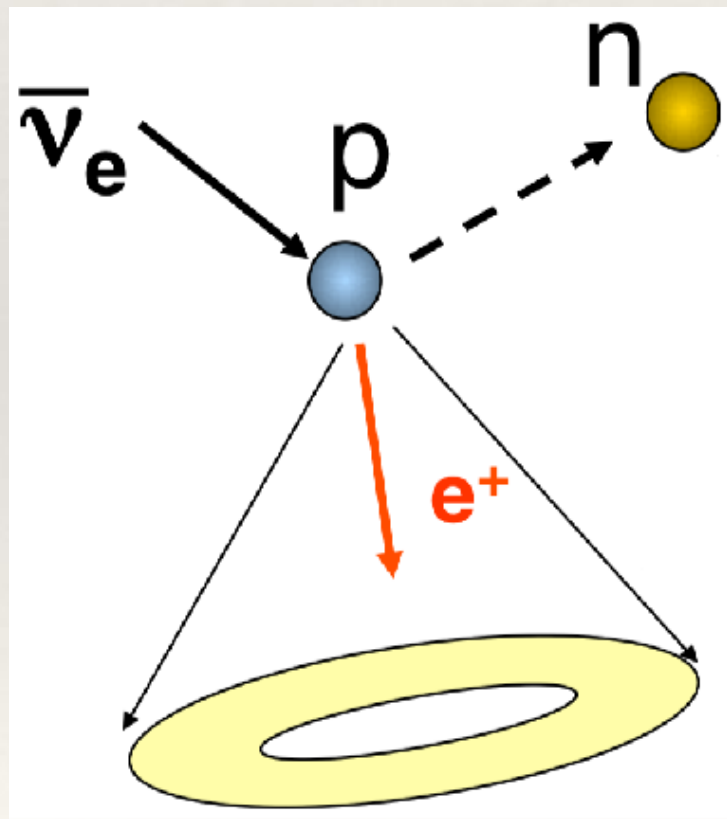
27

SRN

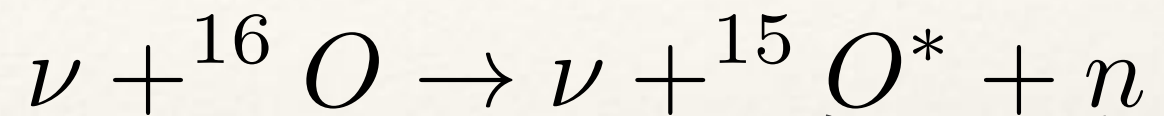


チェレンコフ光を発生

Gdで捕獲



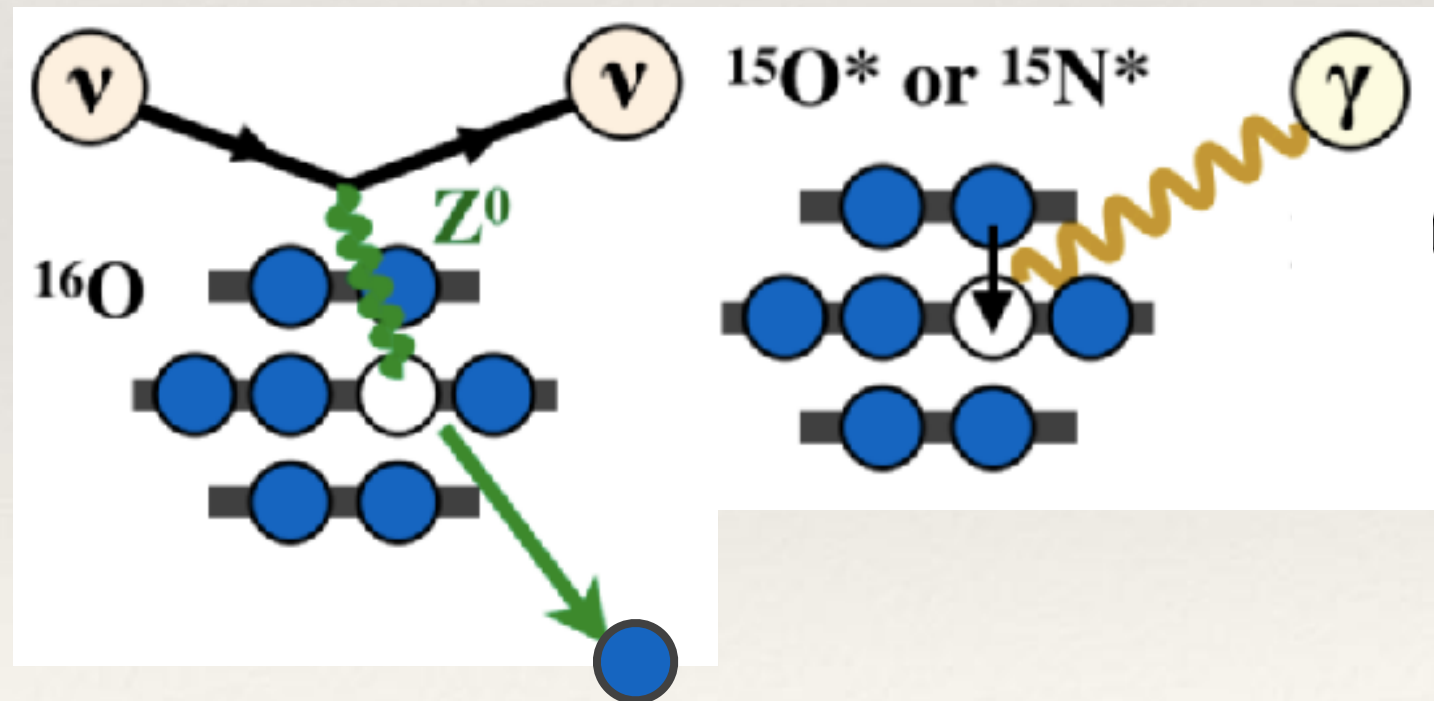
NCQE



脱励起γ線放出

Gdで捕獲

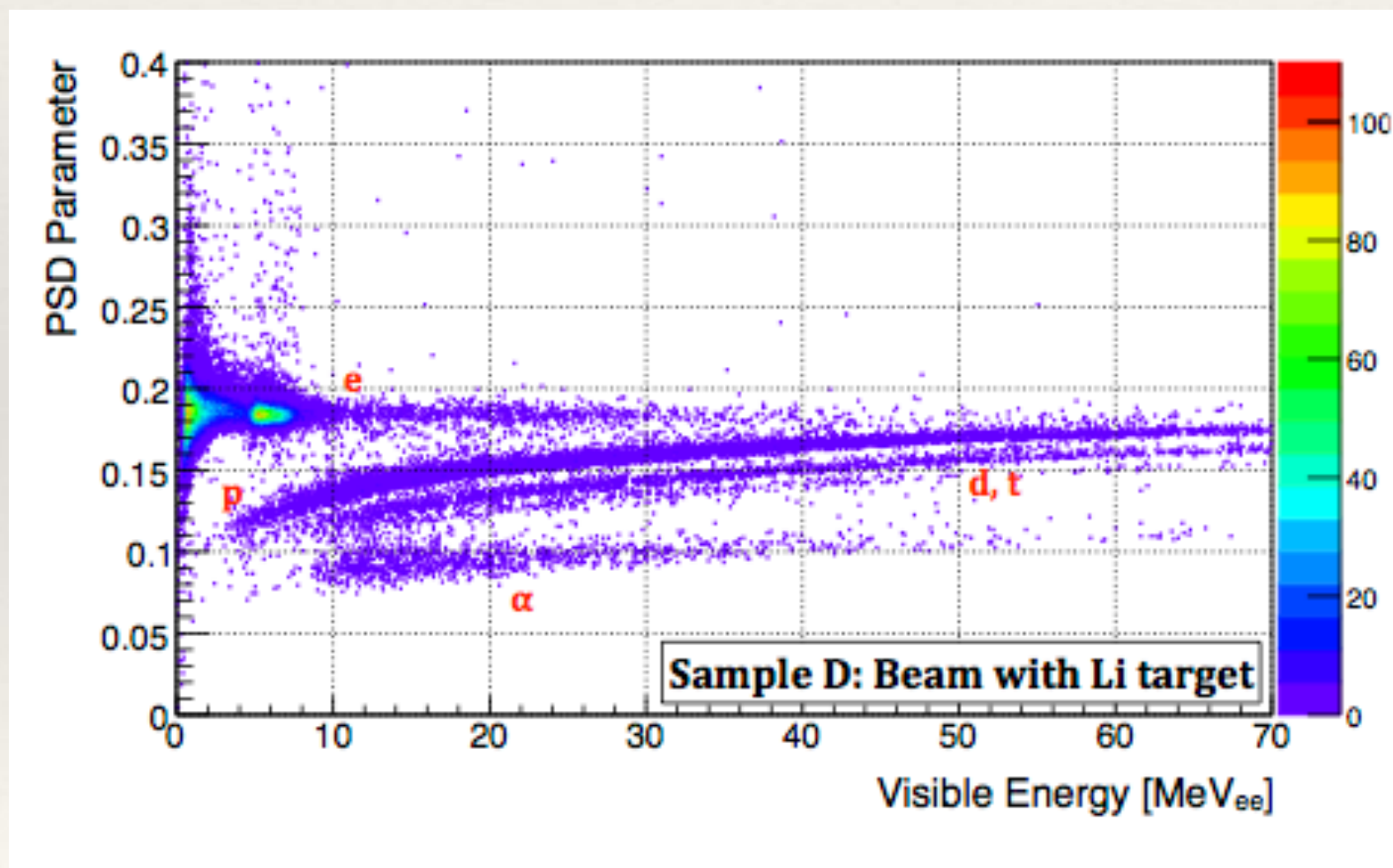
チェレンコフ光を発生



CsIの波形弁別能力

中性子バックグラウンド測定にはCsI検出器を用いる

事前実験よりCsIは波形弁別能力を有することがわかっている



Y Ashida H Nagata Y Koshio T Nakaya R Wendell, PTEP 043H01, 2018

Ge波形の時間再構成方法

29

Constant fraction timing (CFT)

Amplitude and risetime compensated timing (ARC)

どちらも

- 波形を複製
- 元波形 f 倍増幅(アテネート)
- 複製波形 符号反転してディレイ (CFT: 長い ARC: 短い)
- 2 波形を足す
- ゼロ交差がタイミング

ゲルマニウム検出器の波形解析

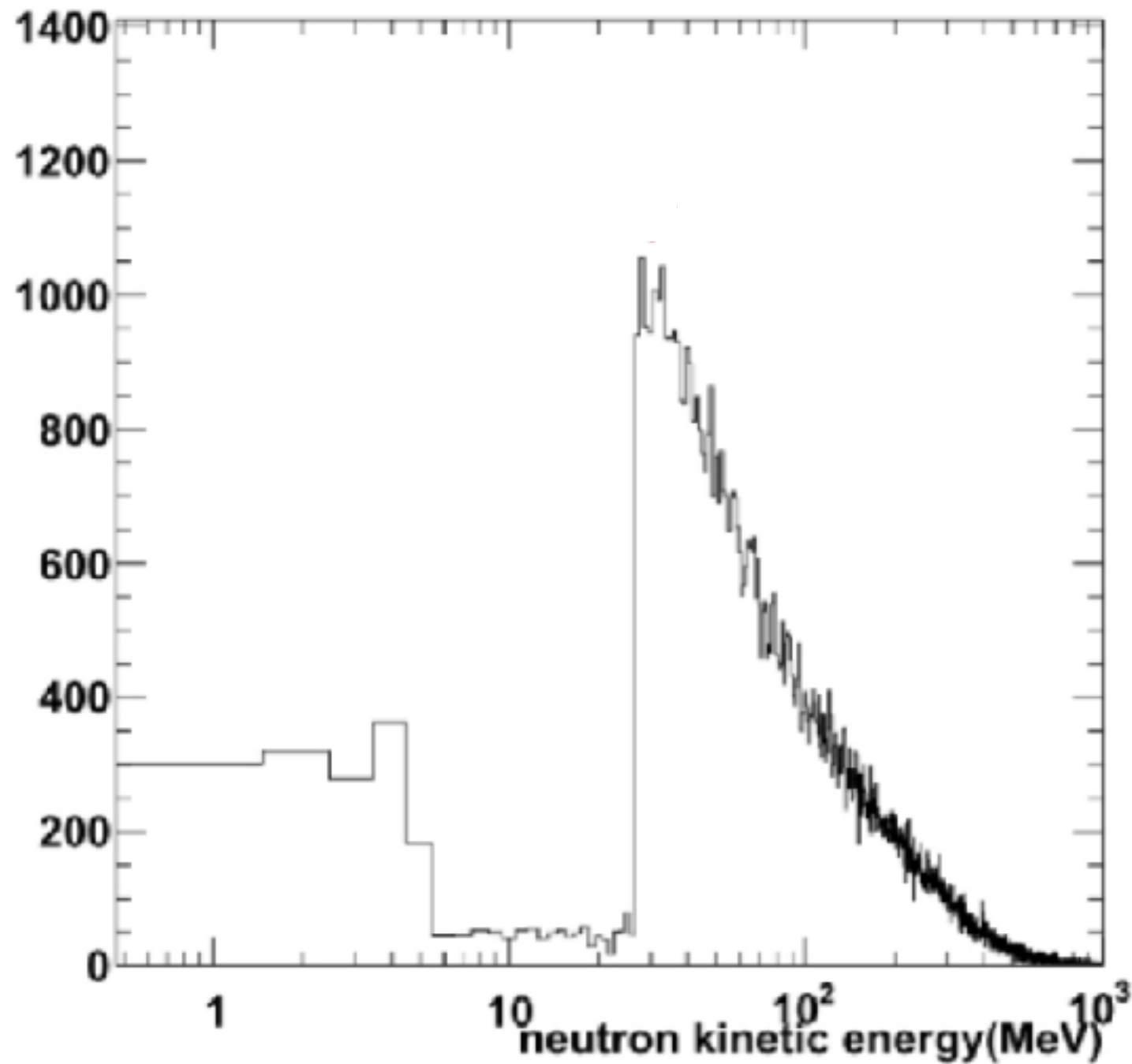
30

- ・エネルギー再構成には波高の情報を用いる
 - ・時間再構成の手法を確立させる
- 分解能はコインシデンス測定にて確認する



中性子のエネルギー

31

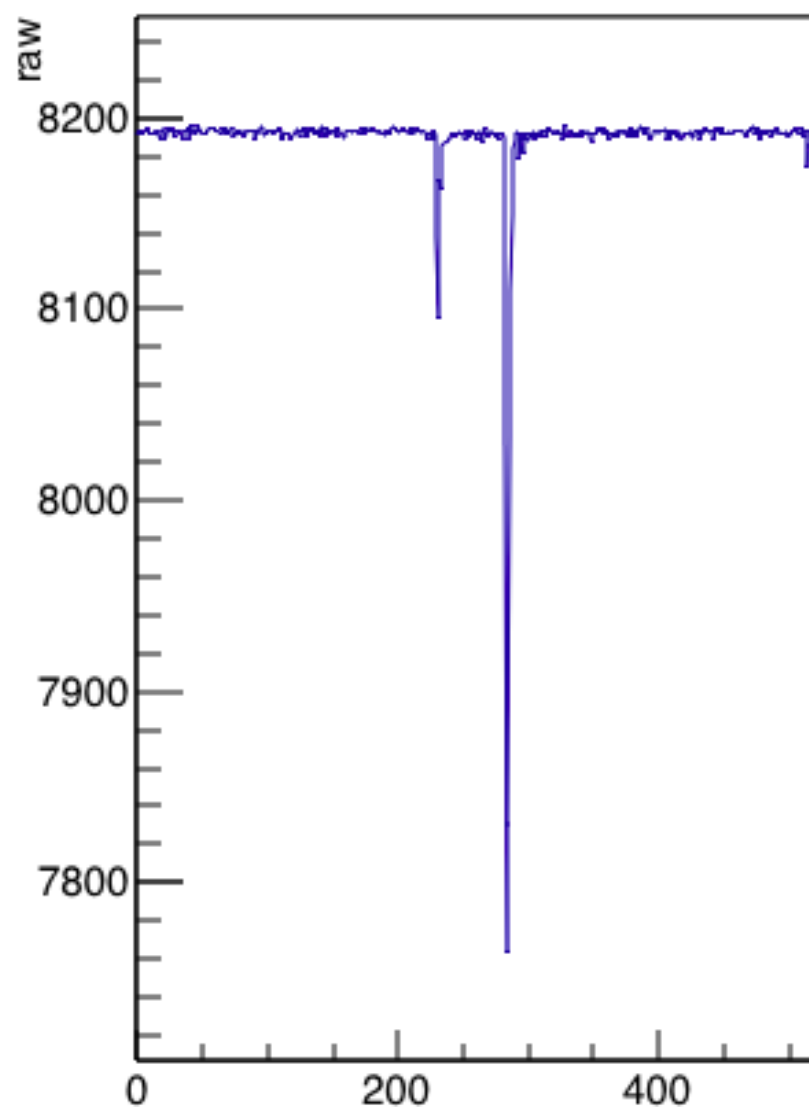


T2KからSKにビームを打ち込んだ際に
得られる中性子のエネルギー分布
(モデルにNEUTを使用している)

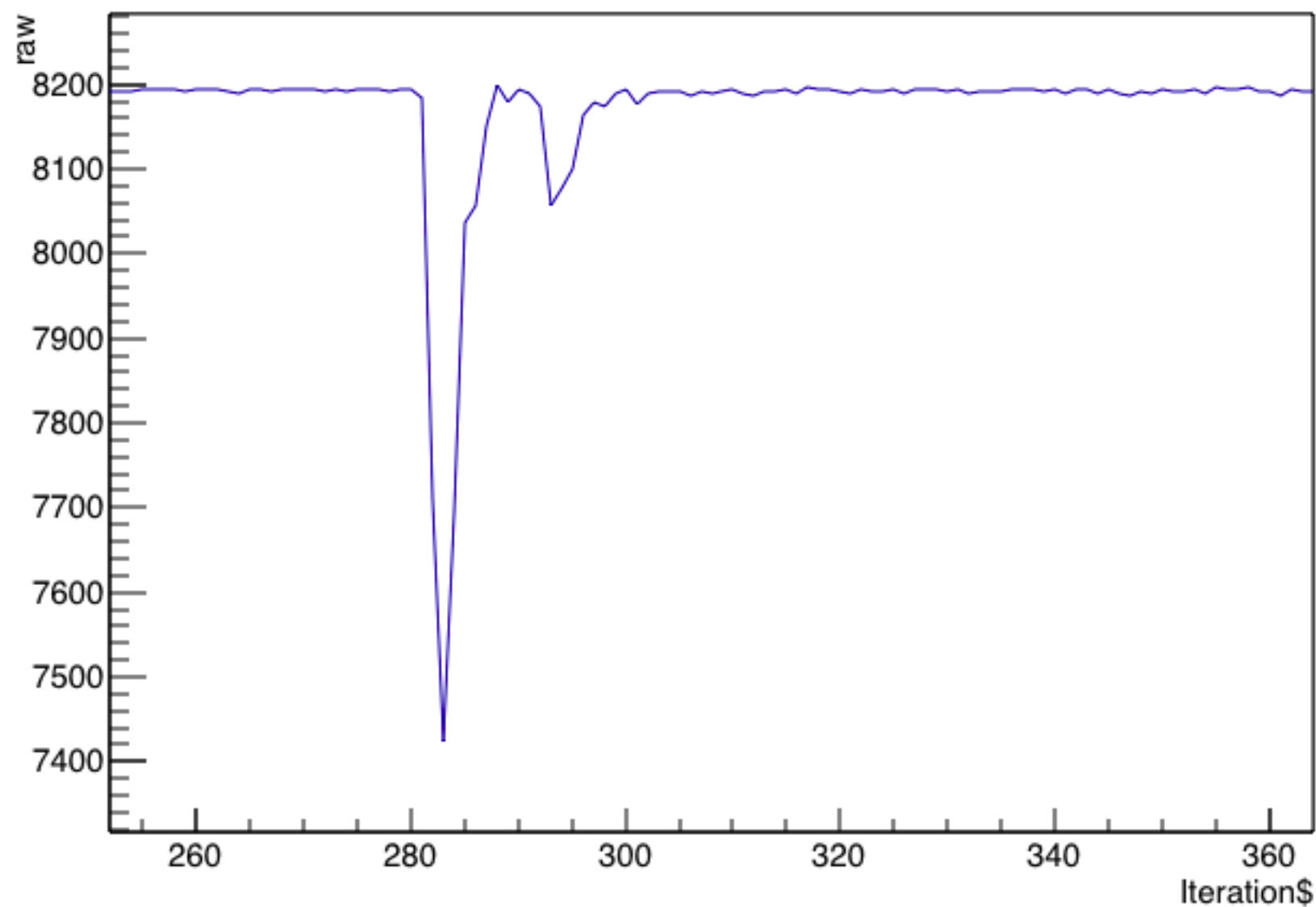
^{60}Co による高PSD parameter事象例

32

raw:Iteration\$ {ievent==27556}

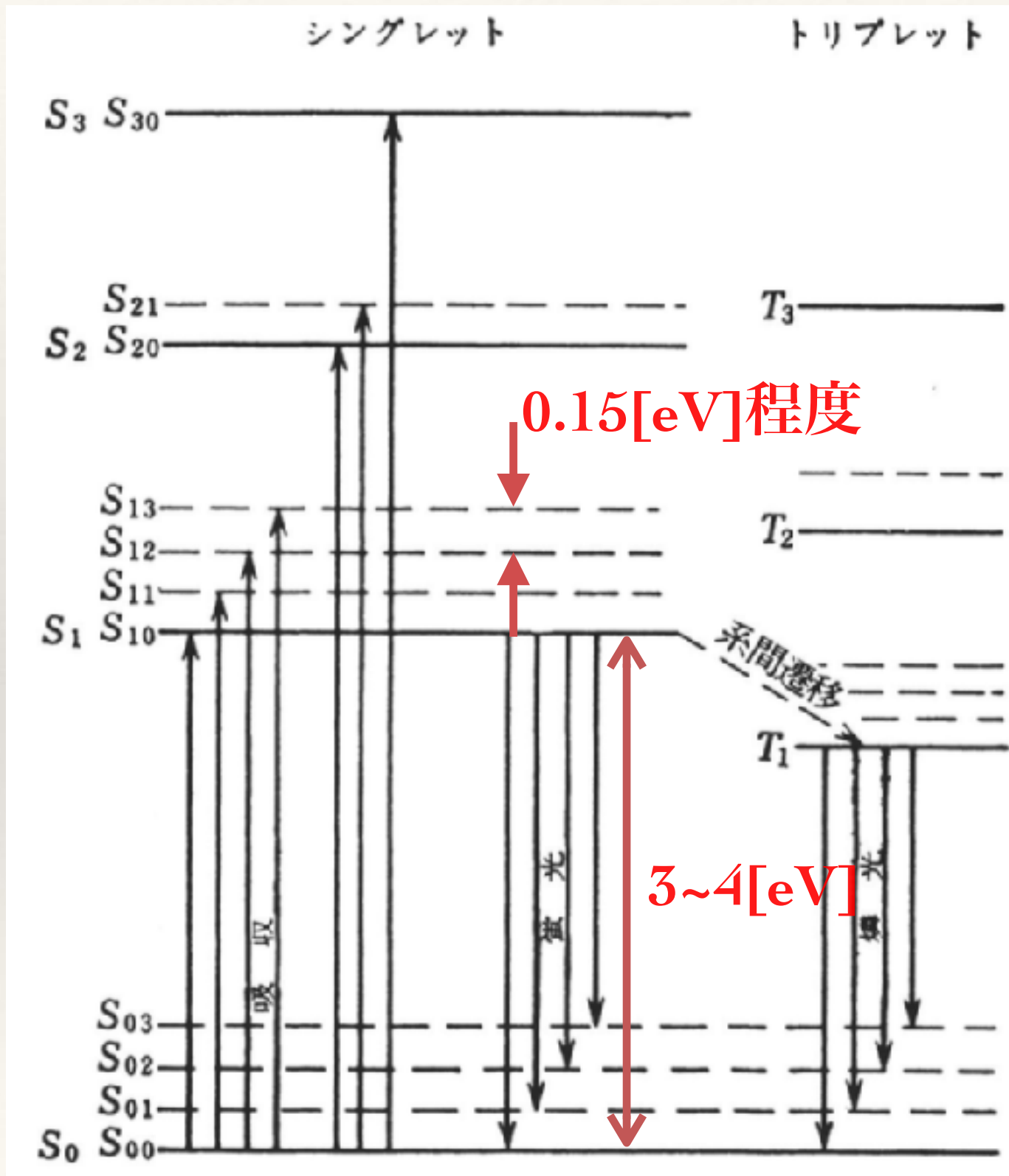


raw:Iteration\$ {ievent==17613}



有機シンチレータ 発光過程

33



放射線により S_1 に励起

大部分は S_1 から S_0 へ

光子を放出(蛍光)

系間遷移を経て T_1 へ移ることも

T_1 から S_0 でも光子を放出(燐光)

熱的励起により T_1 から S_1 へ戻り S_0 へ落ちることもある(遅発蛍光)

T2K：ニュートリノフラックス

34

