

# ハイパーカミオカンデ実験の 前置検出器ND280++に向けた SciFiトラックターのシミュレーション

東北大理, KEK<sup>A</sup>, 京大理<sup>B</sup>

若林大貴, 市川温子, 小川智久<sup>A</sup>, 木河達也<sup>B</sup>

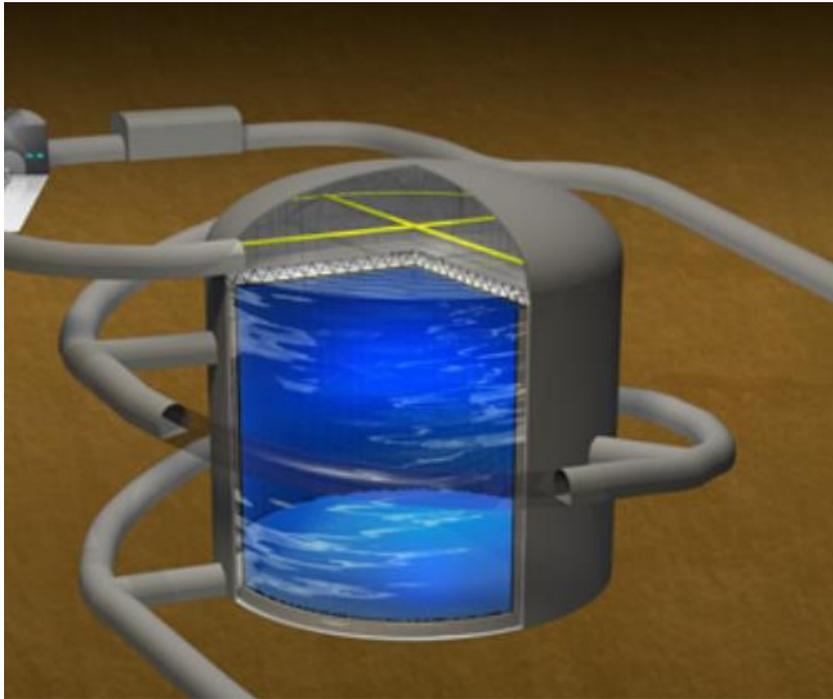
日本物理学会 2022年秋季大会

2022年9月8日

# ハイパーカミオカンデ実験

---

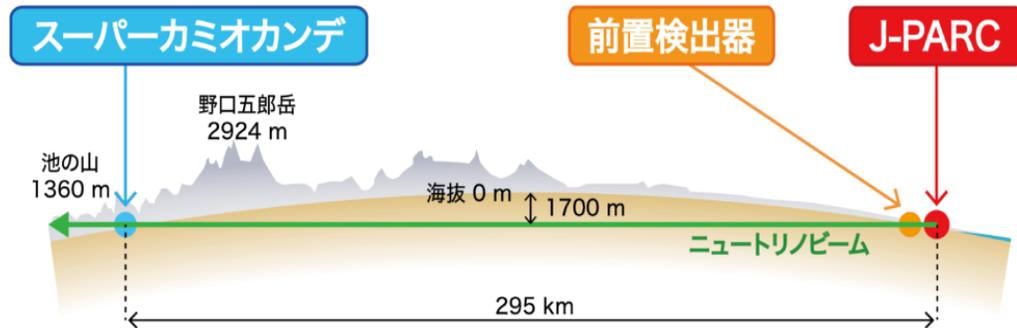
- 大型水チェレンコフ検出器を使用するスーパーカミオカンデ実験の後継
- 2027年に観測開始を予定



- 研究テーマとなる物理
    - 陽子崩壊探索
      - 大統一理論の検証
    - ニュートリノ天文学
      - 超新星背景ニュートリノ
      - 太陽ニュートリノ
    - ニュートリノ質量階層性
    - **レプトンセクターのCP対称性の破れ**
      - 物質優勢宇宙の謎解明
- 長基線ニュートリノ振動実験

# 長基線ニュートリノ振動実験

## T2K実験



- J-PARCで作ったニュートリノを295km離れたSK(スーパーカミオカンデ)に向けて照射する長基線ニュートリノ振動実験
- 後置検出器であるSKと**前置検出器ND280**でニュートリノ振動を観測する
- ND280では振動前のニュートリノビームを測定し、フラックスや反応断面積に制限をかける

## HK(ハイパーカミオカンデ)実験

- T2K実験を継承
- 後置検出器としてハイパーカミオカンデを使用

### SKとHKの比較

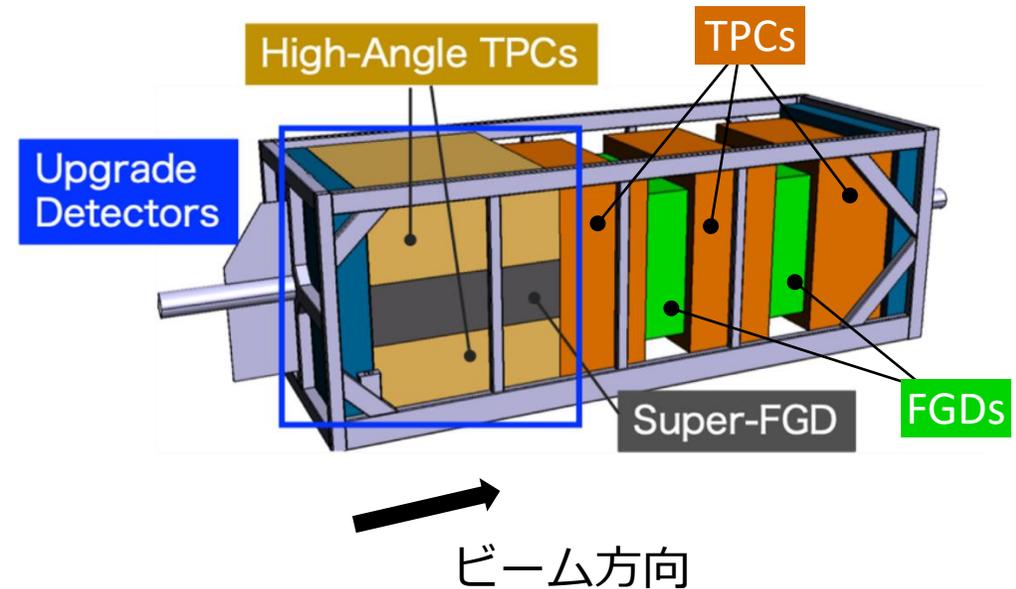
	SK	HK
有効体積[kt]	22.5	190
PMT[個]	11,146	40,000

- **前置検出器ND280のアップグレードも**計画中である

# ND280++へのアップグレード

- 前置検出器ND280の課題

- 現在は主に炭素標的(プラスチックシンチレータ)の検出器を使用している
- 水標的のSKと炭素標的のNDの違いが系統誤差となる
- 統計量が増加すると、この系統誤差の影響が大きくなる

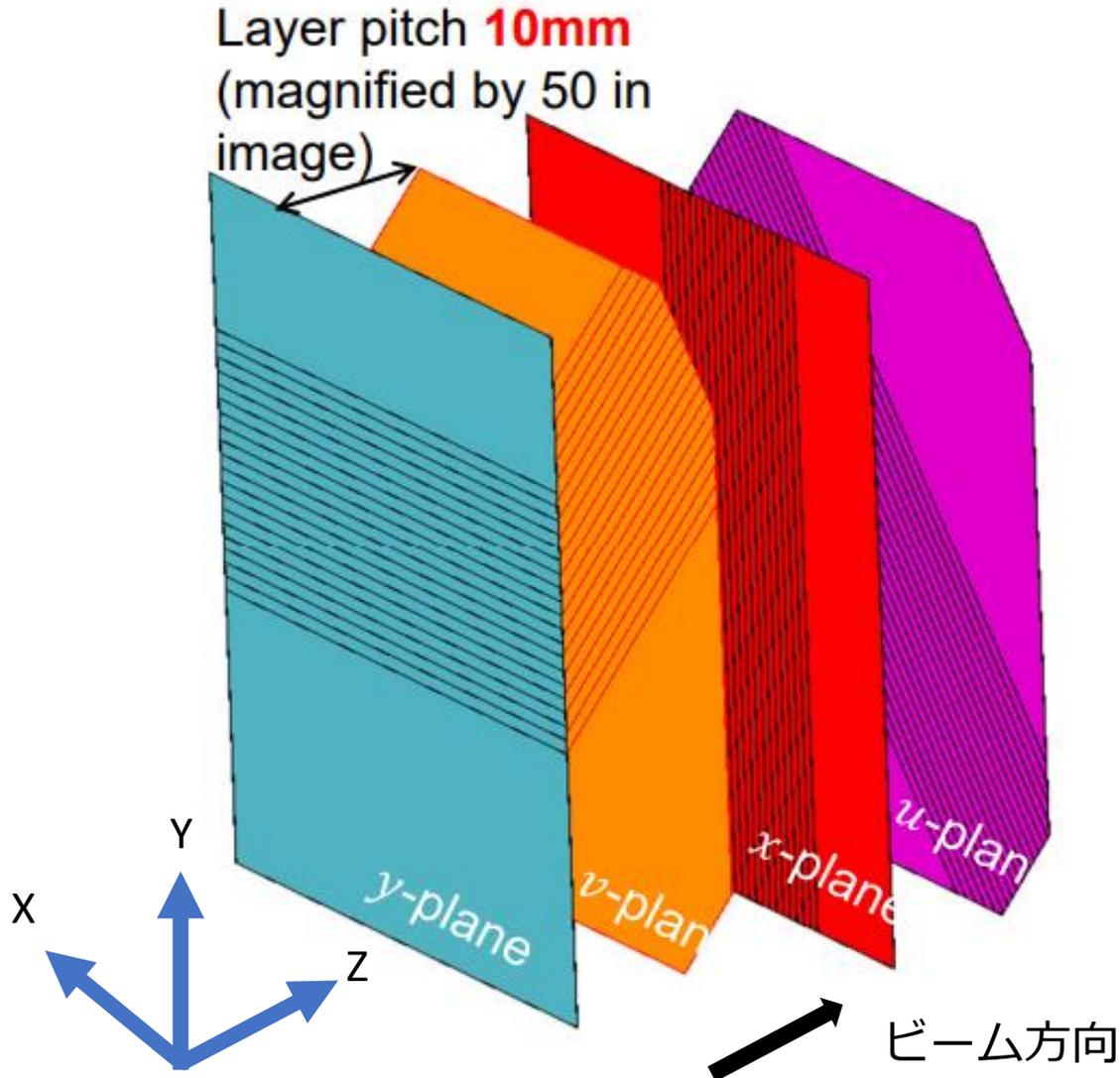


- 解決策

- ND280++ではHKと同じ水標的検出器の導入を計画中
- 候補：SciFiトラックー
- 課題：水の比率を高く保ちつつ、飛跡の検出効率、粒子識別能がプラスチックシンチレータ検出器と同程度の性能を得たい

\*SciFi = **Sc**intillation **F**iber

# SciFiトラックターの概要



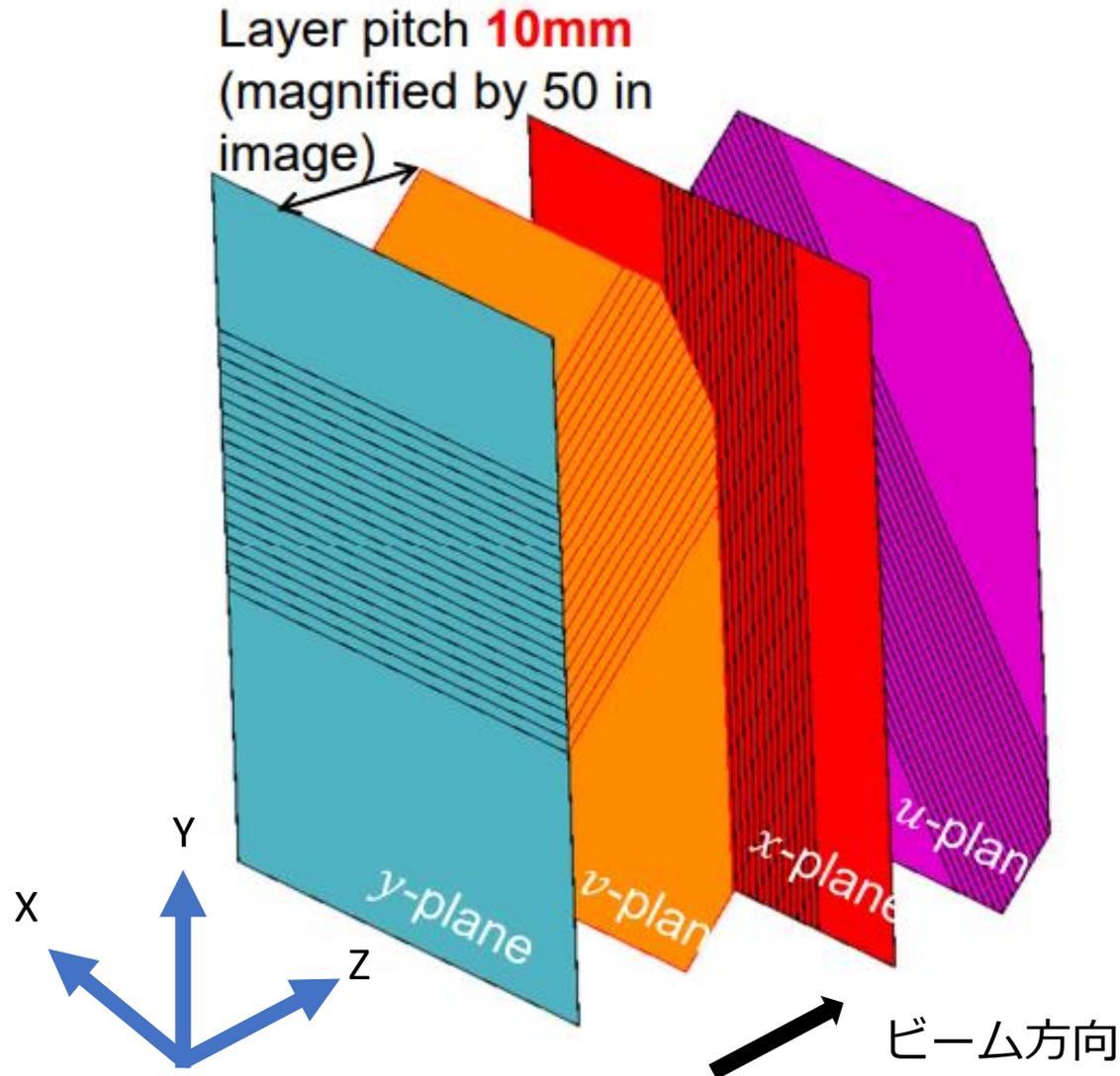
- SciFi : コアがシンチレーター
- 1mm\*1mm角状SciFiを並べたシート
  - ファイバー方向 : 1mmの位置分解能
- SciFiシートを10mmピッチで並べて水タンクに沈める

SFGDとSciFiの比較

検出器	SFGD	SciFi
体積[m <sup>3</sup> ]	1.92*1.82*0.56	2*2*0.5 *1
channel数 [ch]	60k	100k
H2Oの比率[%]	0	<b>90</b>
光量 [p.e.]	35 [1]	29 [2]

\*1検出器のサイズは検討中

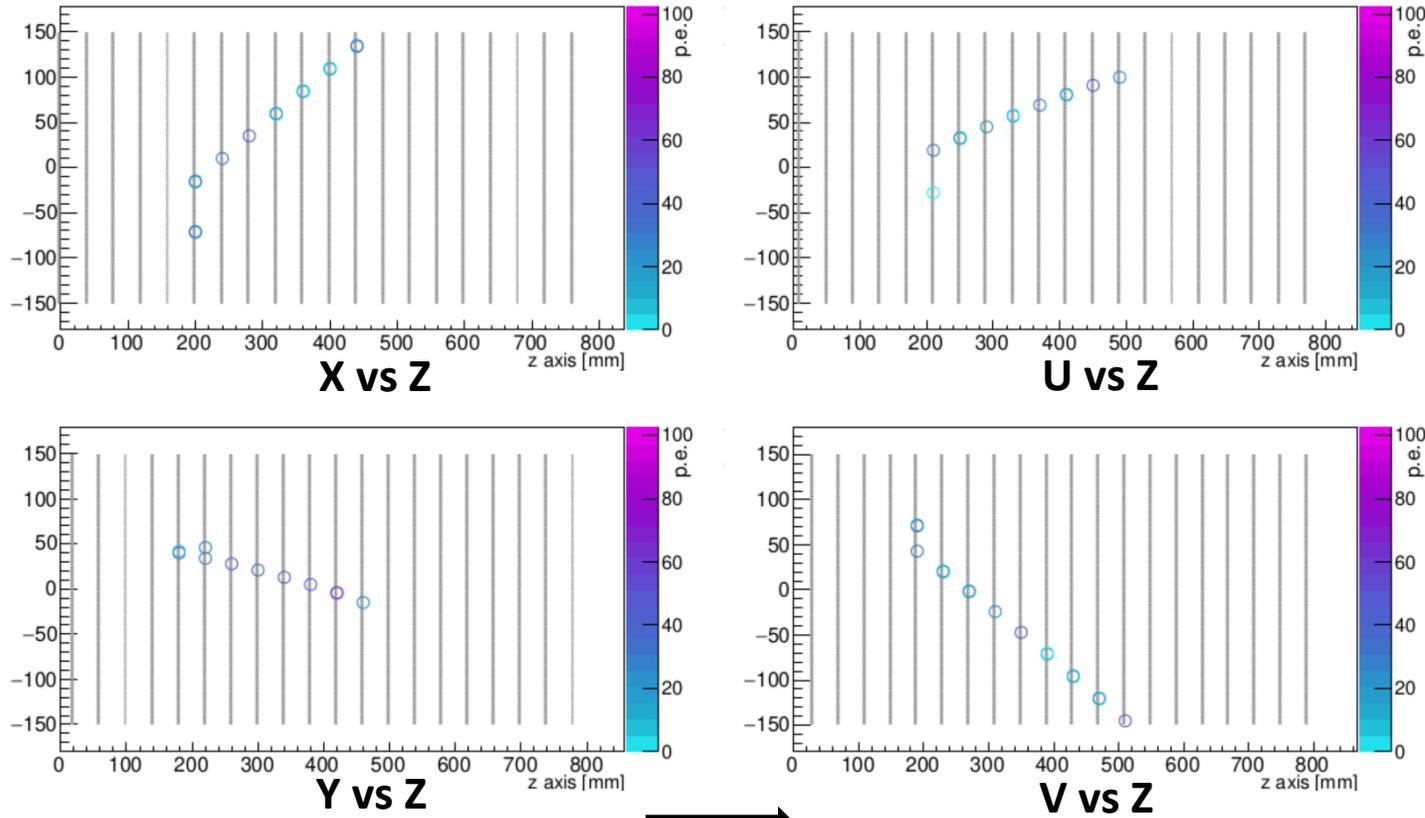
# SciFiトラックカーでのトラックの再構成



- ファイバー方向は各layerごとに45°ずつ回転
- トラックの再構成
  - トラックをXZ平面とYZ平面に射影し一次関数で表わす
$$y = az + b$$
$$x = cz + d$$
- **4つのパラメータ**を決める条件は、トラックが
  - 4つのlayerを通る
  - 3つのlayerを通る & あるZで他のトラックと交わる(vertexの存在)

# Event simulation $\nu_\mu$

$\nu_\mu$ :Reco

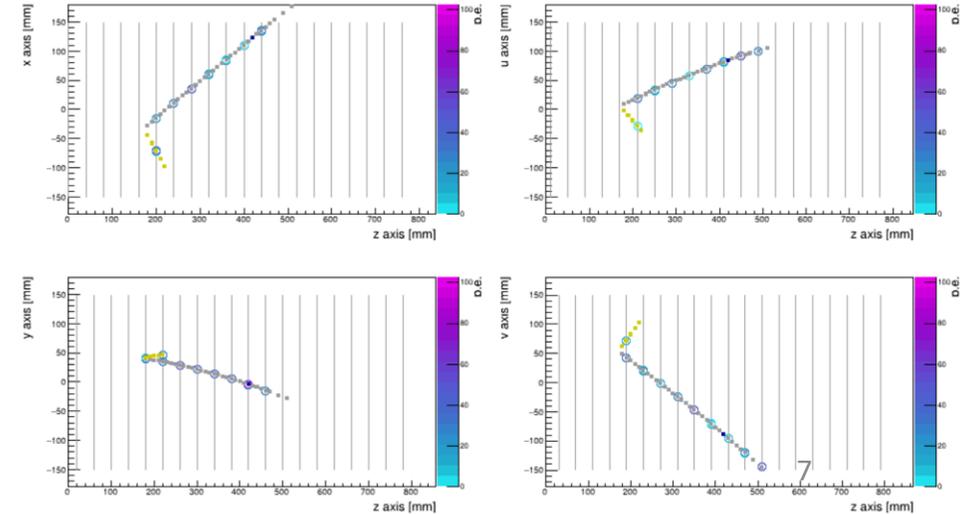


→  
ビーム方向

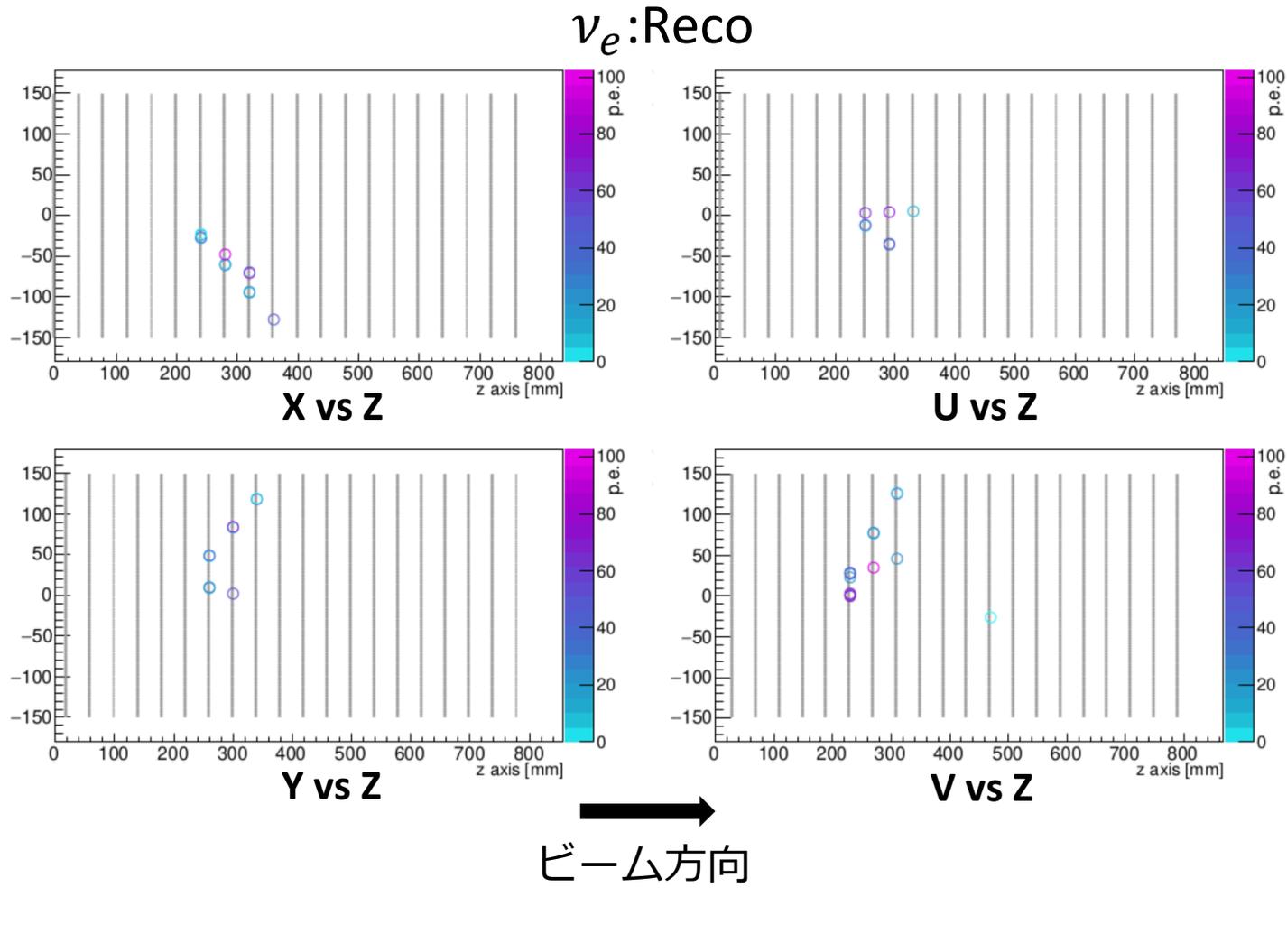
- 675MeVの $\nu_\mu$ のCCQEをシミュレーション  

$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$$
- 短いトラックにも感度をもつ
- 陽子が4layer以上通過しているので再構成できそう

■  $\mu$   
 ■ p

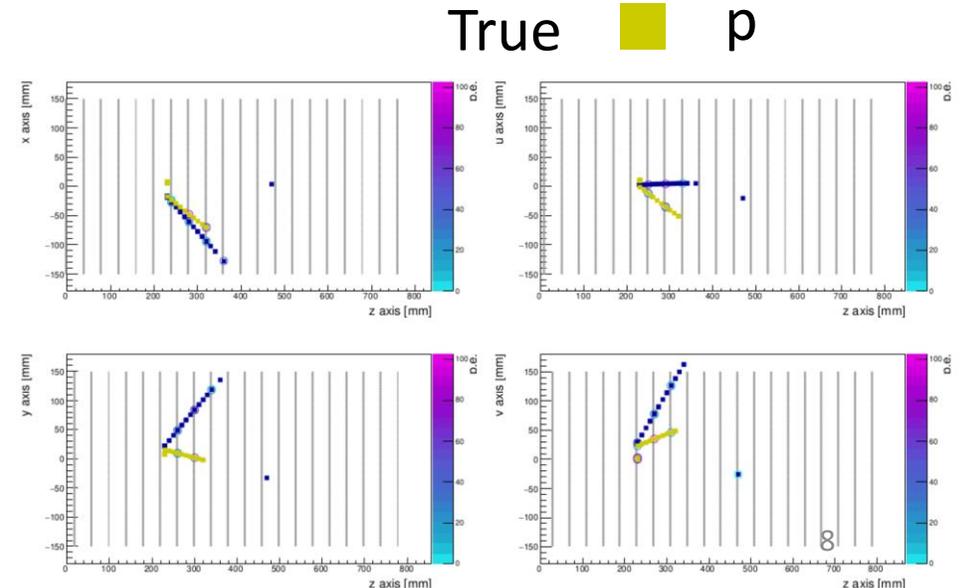


# Event simulation $\nu_e$



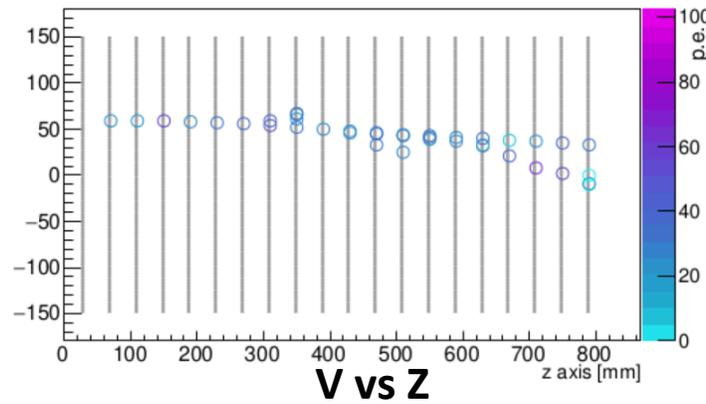
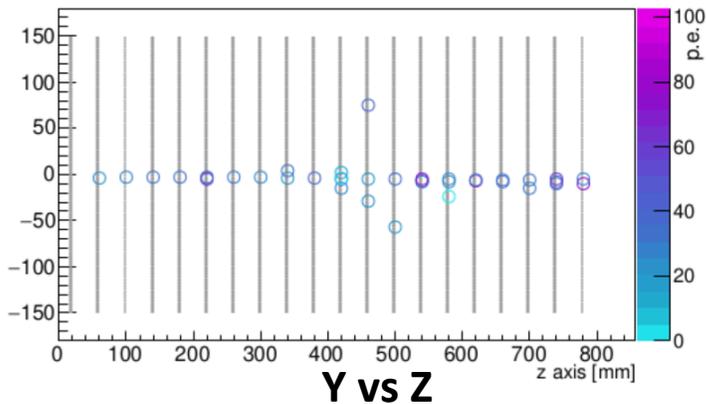
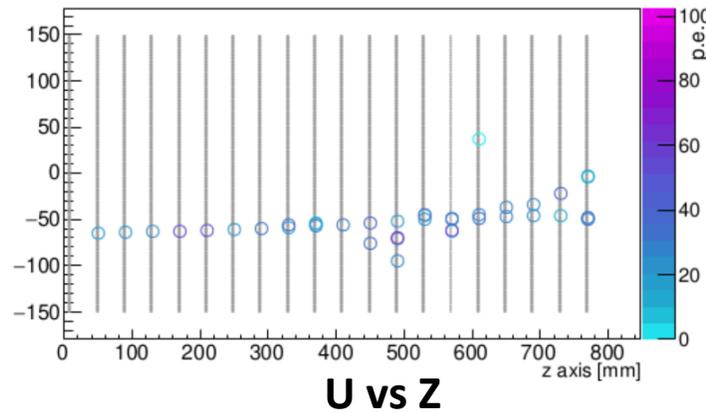
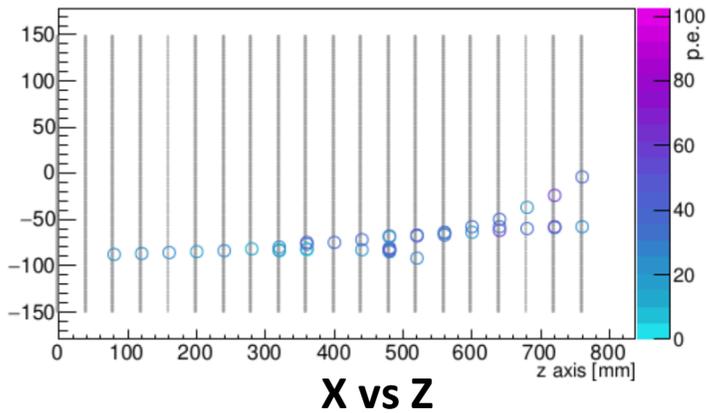
- 675MeVの $\nu_e$ のCCQEをシミュレーション  
 $\nu_e + n \rightarrow e^- + p$
- 短いトラックにも感度をもつ。
- 陽子が4layer以上通過しているので再構成できそう

■  $e^-$   
 ■ p



# Event simulation e-

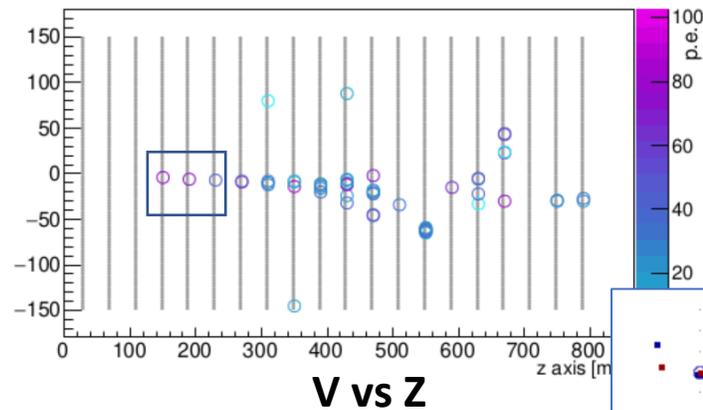
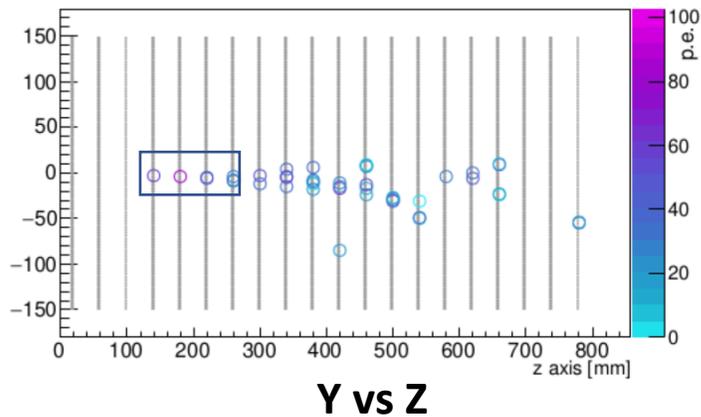
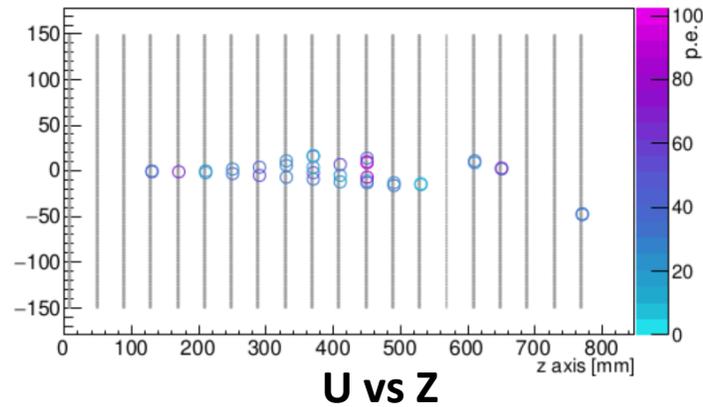
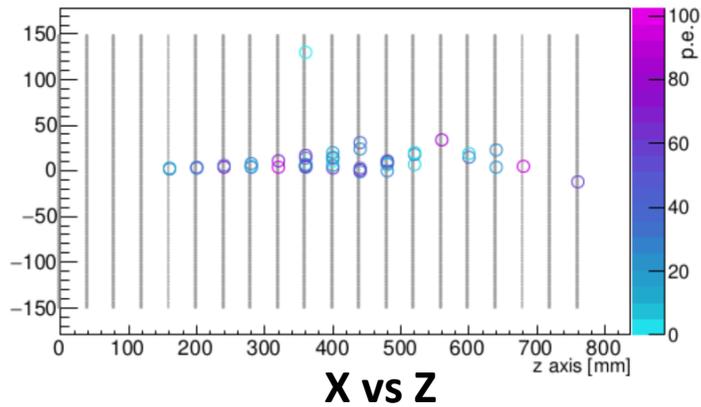
## e-:Reco



- 675MeVのe-をz方向に入射した
- e-の識別
  - 主に $\pi^0$ から生じる $\gamma$ が $\nu_e$ イベントのBGとなる
  - $\nu_e$ イベントを検出するためには生成されるe-を識別できることが重要

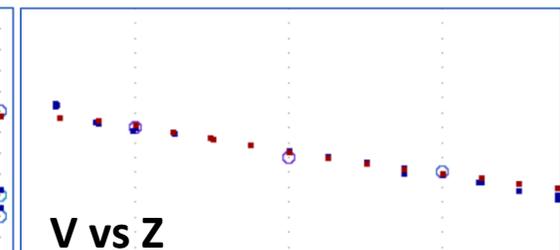
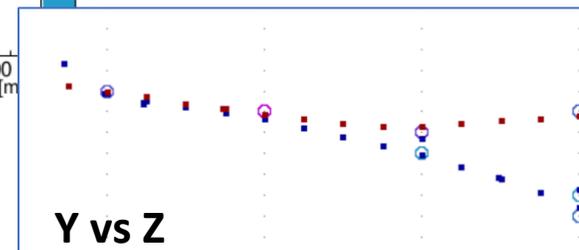
# Event simulation $\gamma$

$\gamma$ :Reco

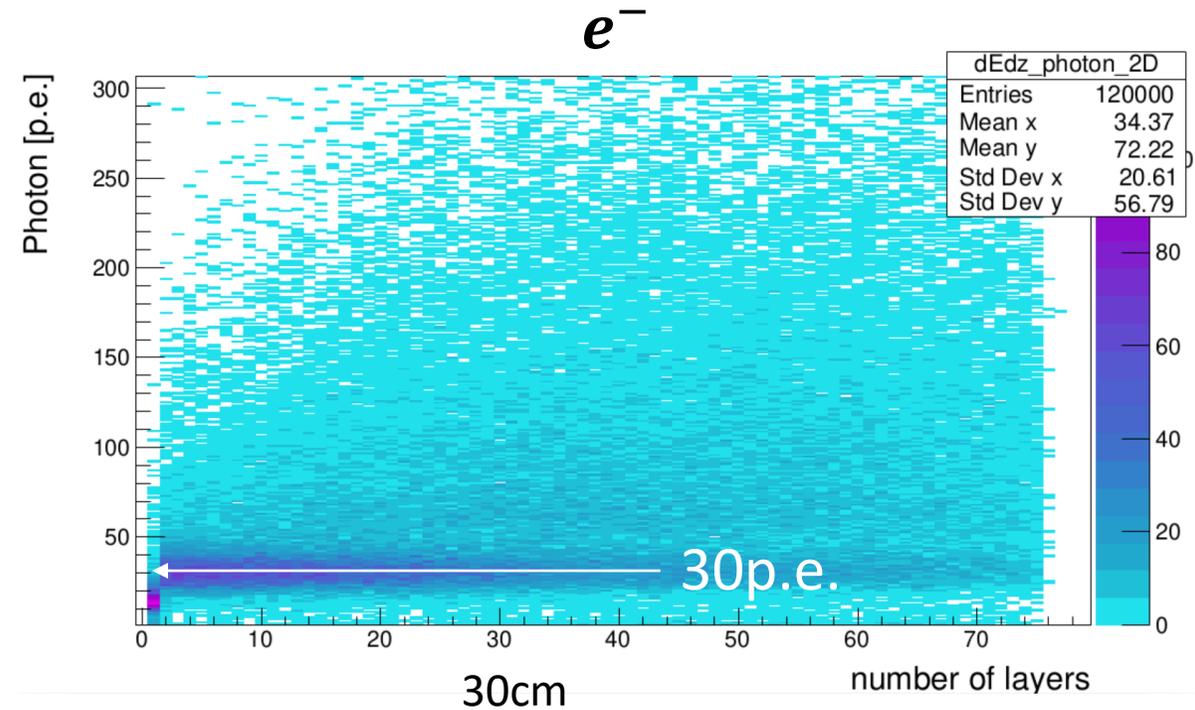
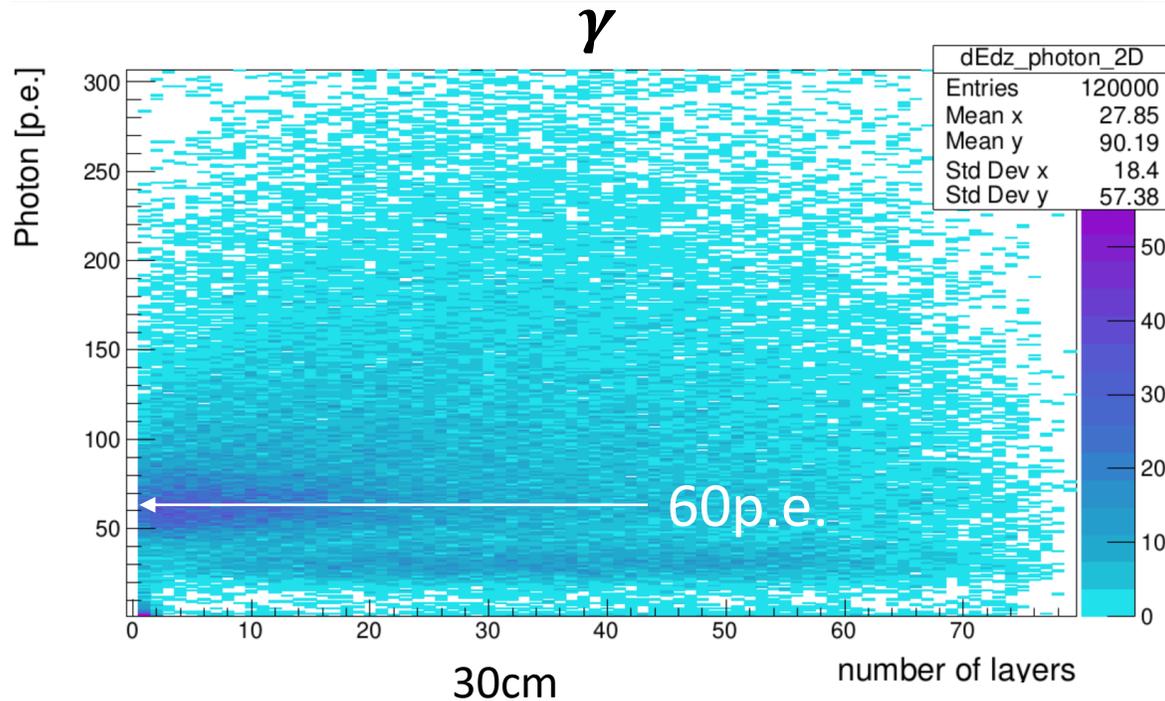


- 675MeVの $\gamma$ をz方向に入射した
- 上流の信号が大きい
  - 対生成した $e^+/e^-$ が同じファイバーにヒットしている

True ■  $e^-$   
■  $e^+$



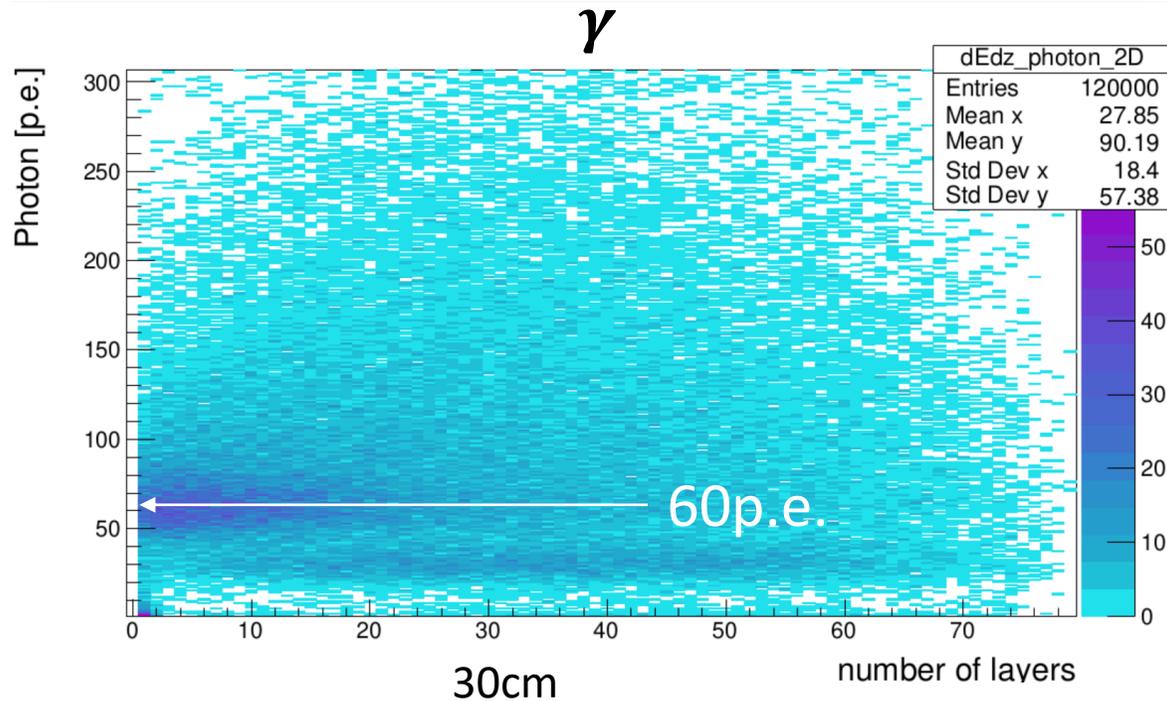
# 光子数分布: $\gamma$ vs $e^-$



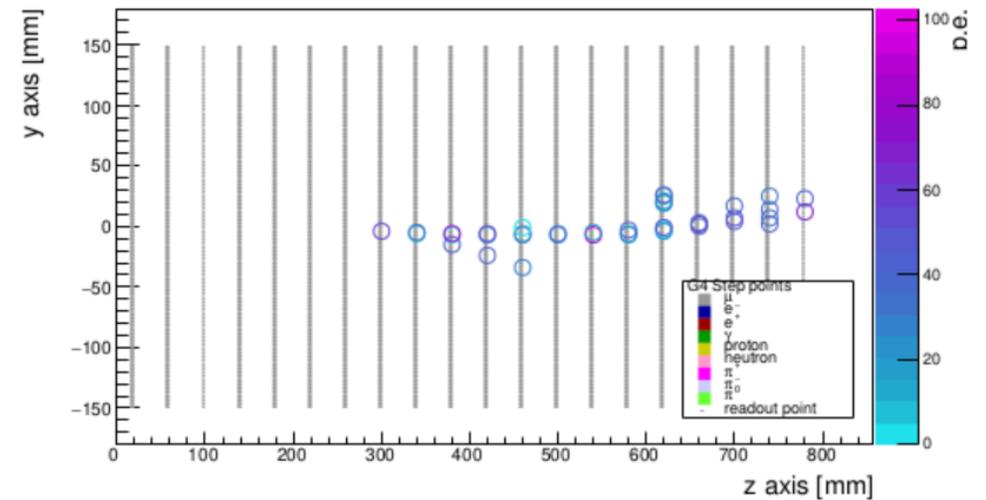
- 675MeVの $\gamma$ 線と電子をlayerに垂直な方向にそれぞれ入射して1500イベントを得た
- 横軸：最初にヒットしたlayerを基準にしたlayer数
- 縦軸：各layerの光子数の和

- 電子と $\gamma$ を判別する手がかりとして期待

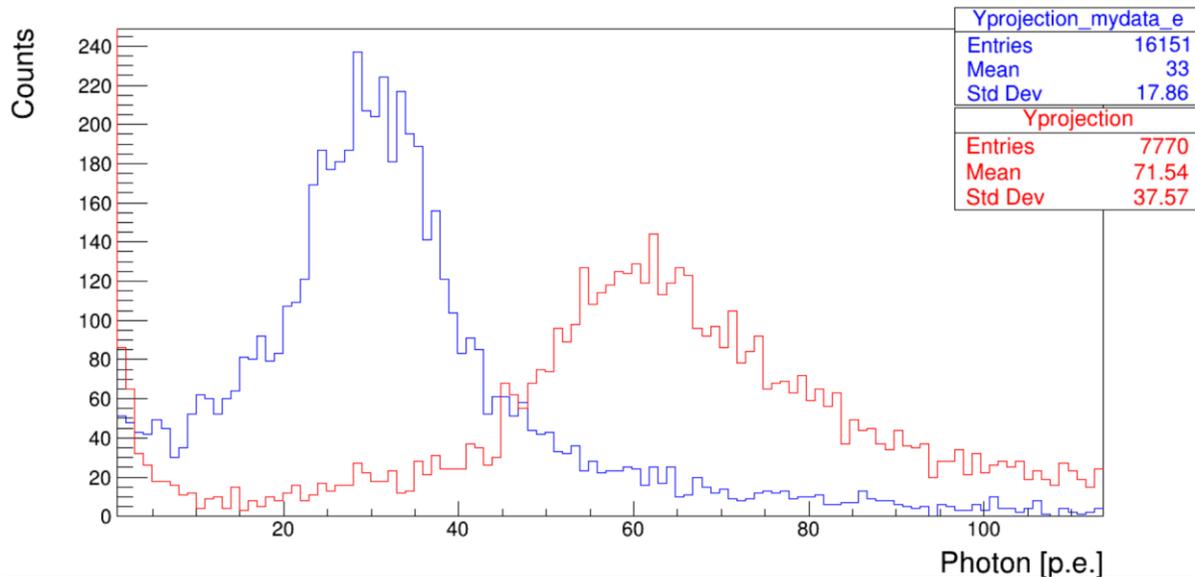
# 光子数分布: $\gamma$



- $\gamma$ にも30p.e.に小さなピーク
  - 電子との判別を妨げるかも
  - 対生成した $e^+/e^-$ のエネルギーが小さい方が止まっている



# 光子数分布：Y軸投影



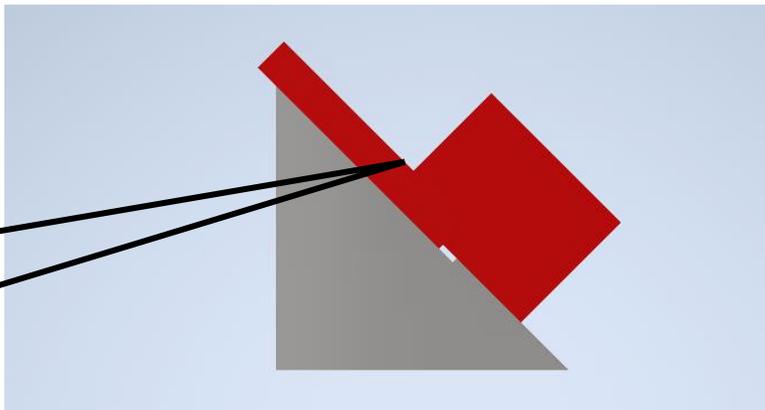
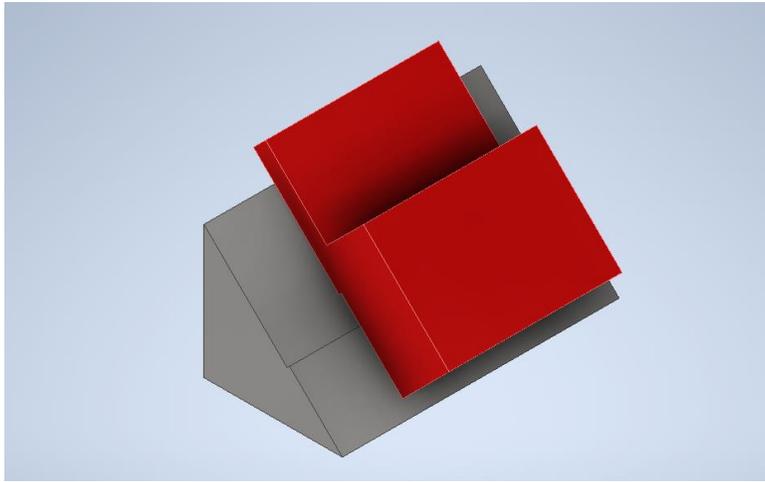
- 前項の2DヒストグラムをY軸に投影
  - ヒットした最初の4layerのみ
- 約45p.e.を閾値に分けられそう
- 更に信号事象と背景事象のトポロジーの情報を使うことでさらなる分解能が期待できる

# ファイバー溶着方法の比較（予想）

溶着方法	①熱接着シート	②ペンキ	③エポキシ	④熱溶着
詳細	熱接着シートを貼り付け加熱	ペンキを塗って固定	エポキシ充填して硬化	ファイバー同士を加熱溶着
物質量の少なさ	△	△	△	○
大型化	?	○	○	?
水への長期的耐久性	△	△	△	?
クロストーク	△	○	△～○	?
ダメージの少なさ	△	△～○	○	?

参考：株式会社クラレ様・エムライン様「ファイバアレイ化案資料」

# 熱溶着のためのjig案



おもりを  
載せて圧力  
を調整

## 概要

- 上下でファイバーとカプトンヒーター(0.2mm厚)、更にカプトンシート(断熱用)をはさみ加熱する。



- jigの材質
  - 上：真鍮
  - 下：SUS

## 溶着後の取り組み

- ファイバーの耐久性や光漏れがないかを確認する

# まとめ

---

- ハイパーカミオカンデ実験に向けて、新たな水標的の前置検出器の設置を検討中
- 前置検出器ND280++に向けてSciFiトラックー応答のシミュレーションを行った
  - トラック上流の光子数分布による電子と $\gamma$ の識別が期待される
- SciFi シート作成のための熱溶着試験の準備を進めている
  
- 今後の課題
  - 電子と $\gamma$ の判別についてさらに解析を進める
  - トラックの3次元再構成に着手する
  - 熱溶着試験を実施し、ファイバーの耐久性などを調べる

# 参考文献

---

- [1]A. Blondel, “A fully-active fine-grained detector with three readout views ” arXiv:1707.01785 (2018).
- [2]平本 綾美, ”ニュートリノ反応測定実験に用いる高位置分解能 Scintillating Fiber Trackerの開発” 京都大学修士論文 (2017).

Back up

# Simulation tool version

---

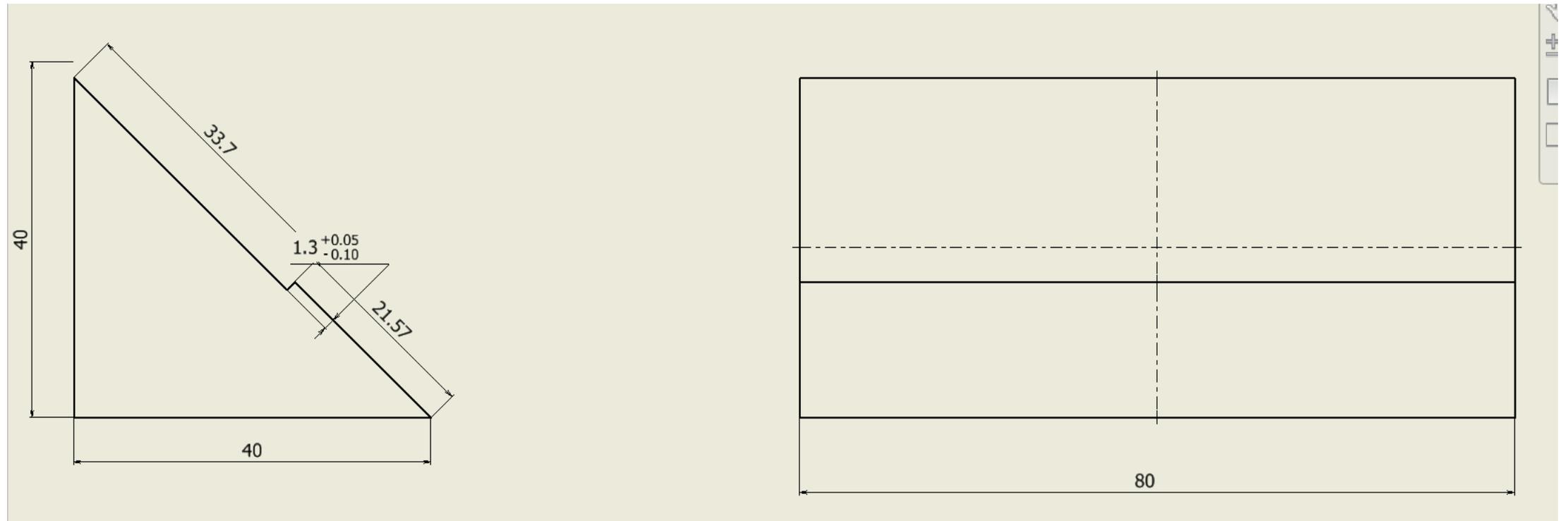
- Geant4.10.05.p01
- NEUT\_5.4.0.1

# なぜUV？：以前の構成

---

- Q:XYXYではない理由は？
- :必ず見やすい2平面を選べる
  - XYXYだと2方向からしか見えない
  - XUYYだと4方向から見える
  - 少なくとも直感的にはわかりやすい

# jigの図面





# 上側jigの質量

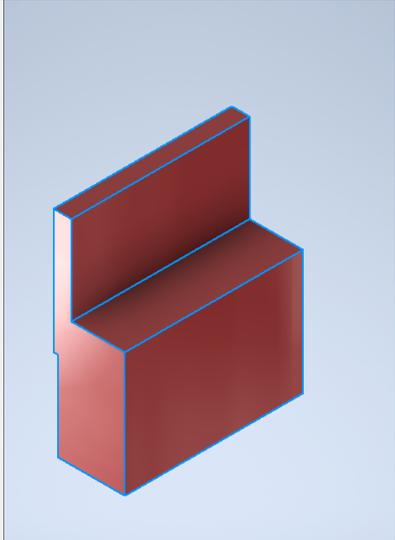
材料(M)  
真鍮、ソフト イエロー

密度(D) 要求される精度(Y)  
8.470 g/cm<sup>3</sup> 低

一般的なプロパティ

質量(S) 335.624 g (相対誤差: ) × 重心  
0.000 mm (相対誤差: )  
面積(B) 9585.000 mm<sup>2</sup> (相対) Y 7.563 mm (相対誤差: )  
体積(V) 39625.000 mm<sup>3</sup> (相対) Z -0.800 mm (相対誤差: )

慣性プロパティ  
慣性モーメント(B) グローバル(G) 重心(C)  
主慣性モーメント



- 真鍮 : 336g

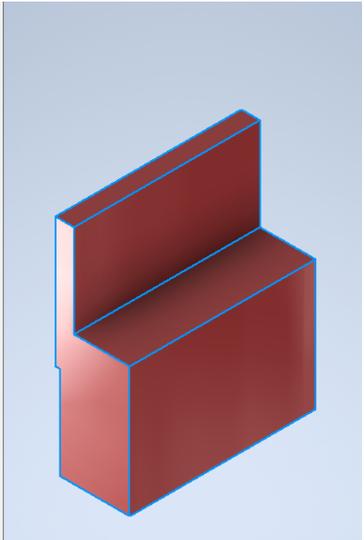
材料(M)  
ステンレス鋼

密度(D) 要求される精度(Y)  
8.000 g/cm<sup>3</sup> 低

一般的なプロパティ

質量(S) 317.000 g (相対誤差: ) × 重心  
0.000 mm (相対誤差: )  
面積(B) 9585.000 mm<sup>2</sup> (相対) Y 7.563 mm (相対誤差: )  
体積(V) 39625.000 mm<sup>3</sup> (相対) Z -0.800 mm (相対誤差: )

慣性プロパティ  
慣性モーメント(B) グローバル(G) 重心(C)  
主慣性モーメント



- SUS : 317g