

# *NINJA* 実験における 水標的検出器の解析

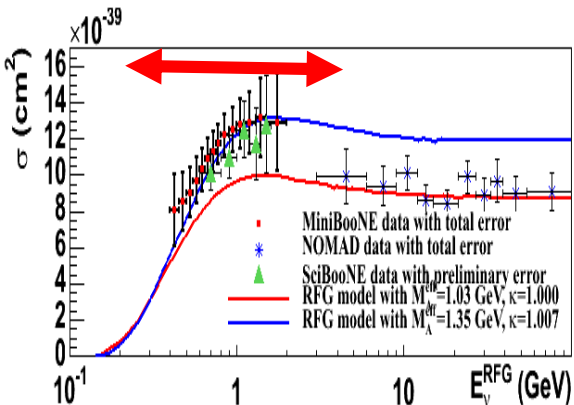
名古屋大学 M1 鈴木 陽介

# NINJA 実験

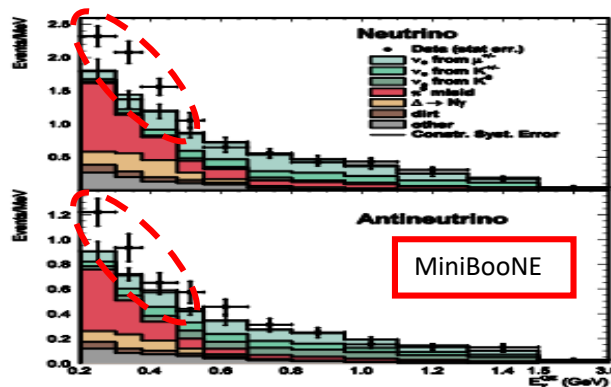


Neutrino Interaction research with Nuclear emulsion and J-PARC Accelerator

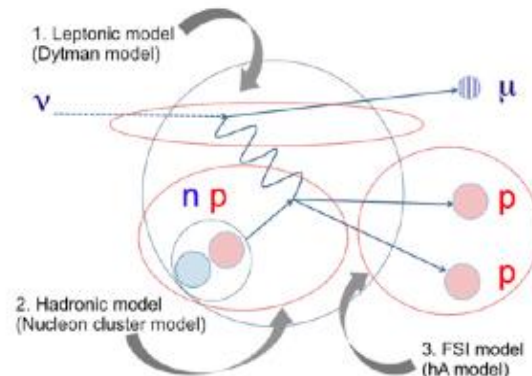
## 低エネルギーニュートリノ反応 (~1GeV) の精密測定実験



反応断面積が高Eと低Eで矛盾



低Eで電子ニュートリノのエクセス?  
→ステライルニュートリノ?

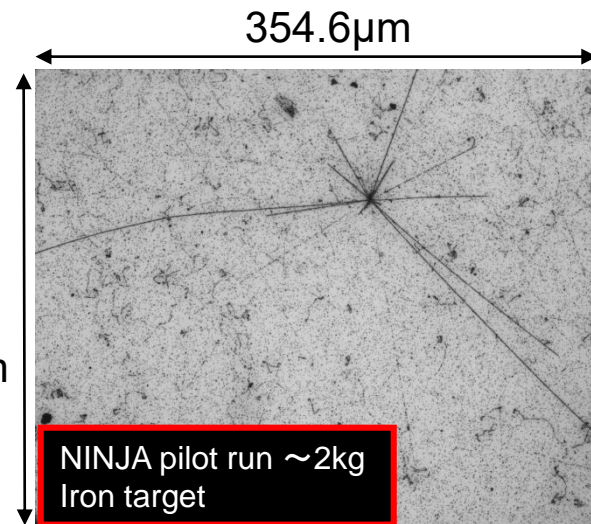


未知のMEC(Meson Exchange Current) 反応(2p2h)

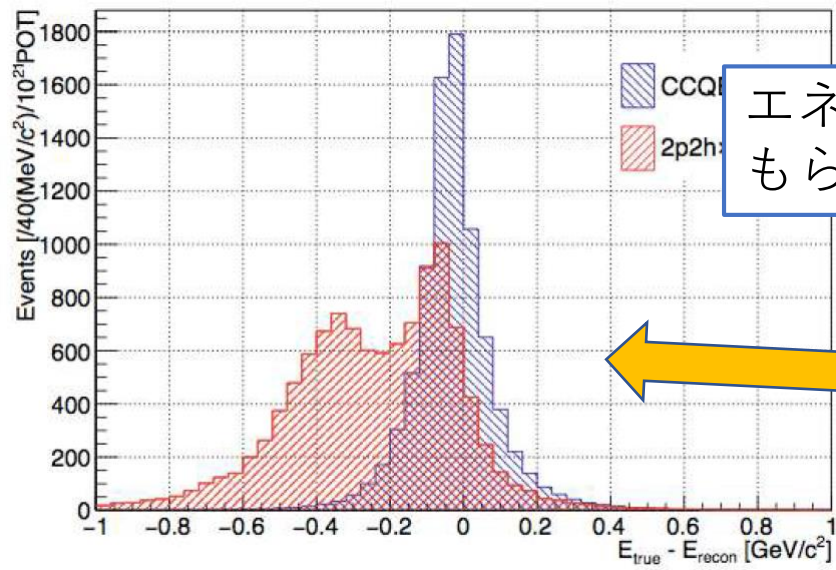
## →原子核乾板による精密測定

- サブミクロンの位置分解能
- 標的原子核を自由に選べる
- 4πに感度を持つ3次元飛跡検出器
- 大型化が容易
- 低エネルギー粒子(30MeV, proton)の検出可能

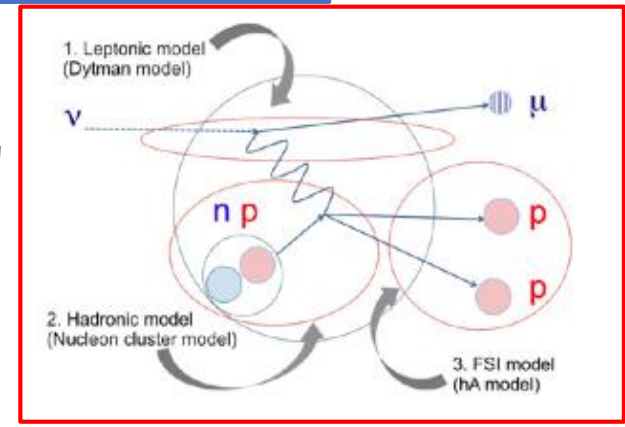
281.6μm



## NI Neutrino 低エネルギー



エネルギーが低く見積もられる



未知のMEC(Meson Exchange Current) 反応(2p2h)

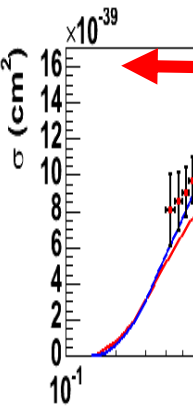


Figure 2: Neutrino energy reconstructed assuming CCQE mode

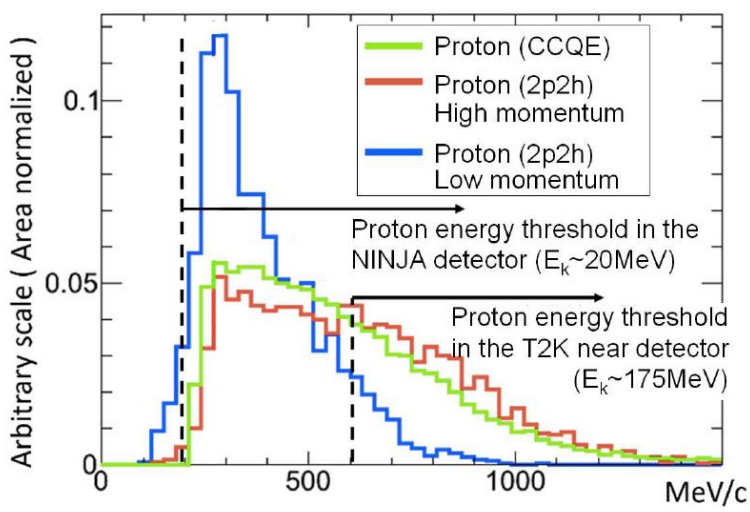
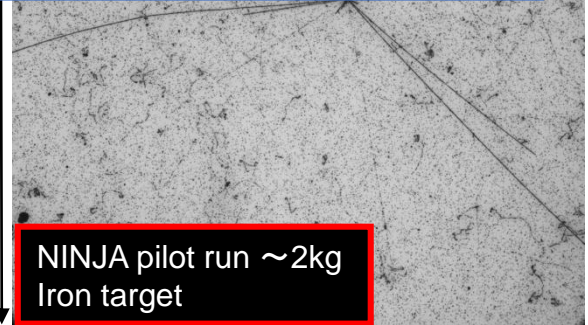
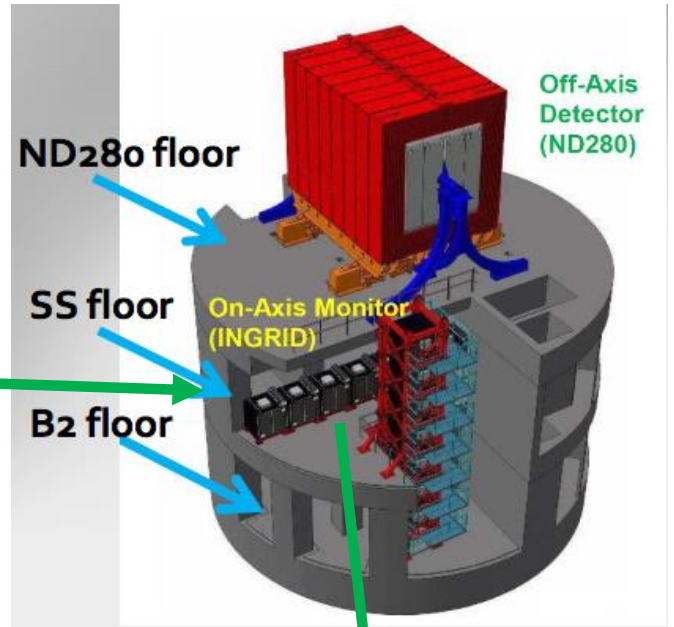
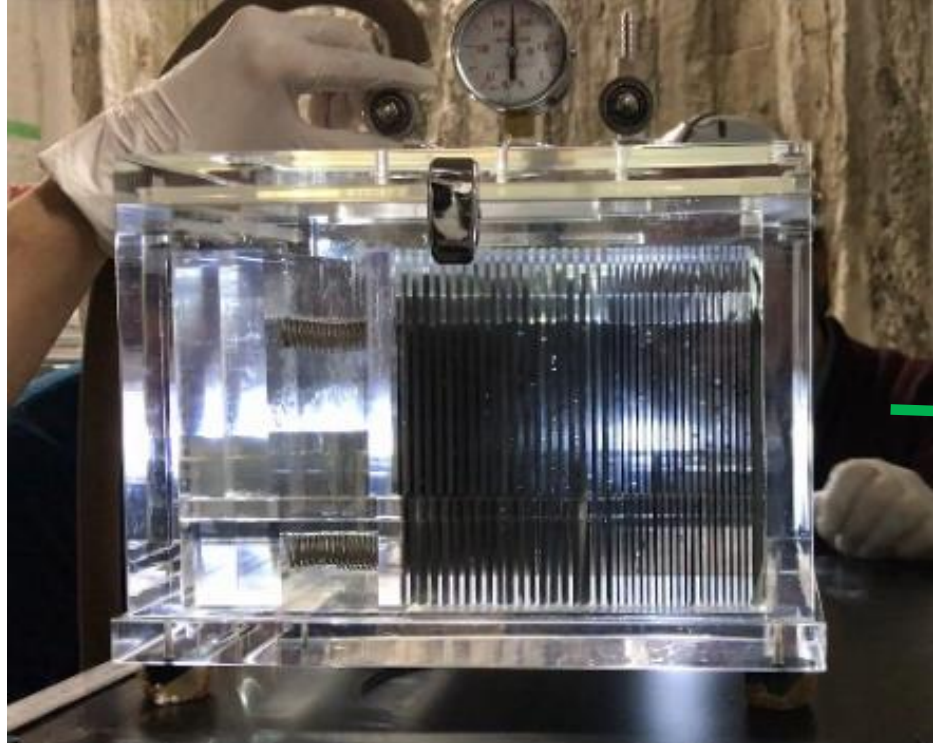


Figure 3: Proton detection capability from CCQE and 2p2h in the emulsion detector and the current T2K near detector.

354.6μm  
低いエネルギーの陽子も  
検出可能

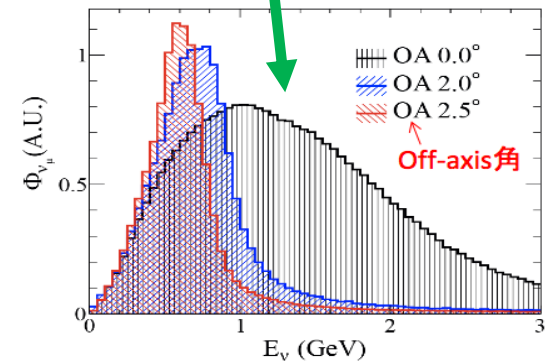
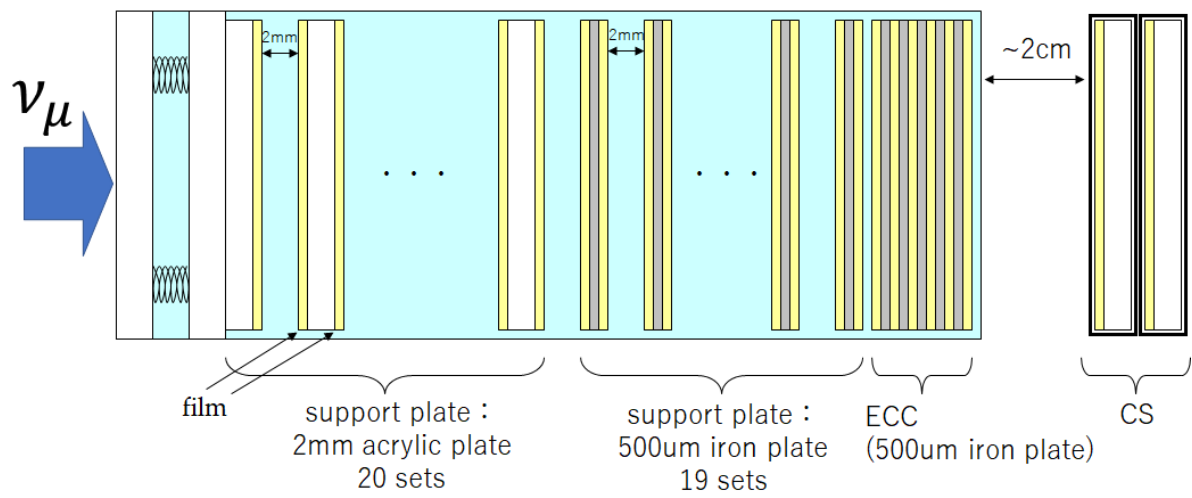


# RUN7-water Chamber-



SS floor

upper stream:: PL77 → PL01 ::down stream



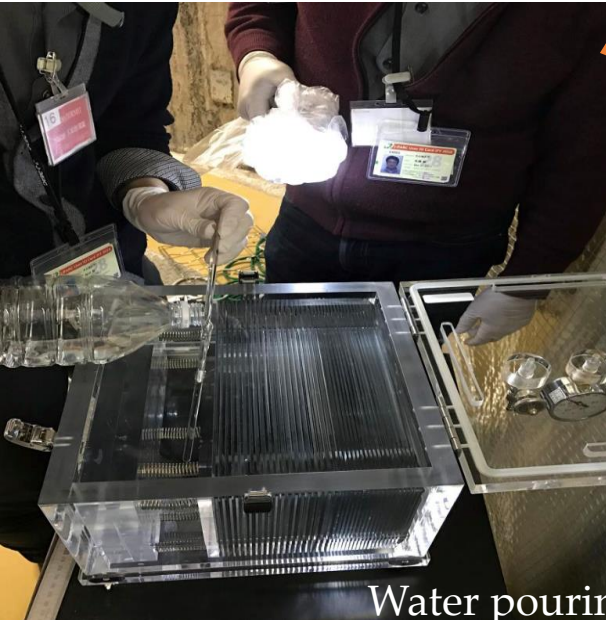




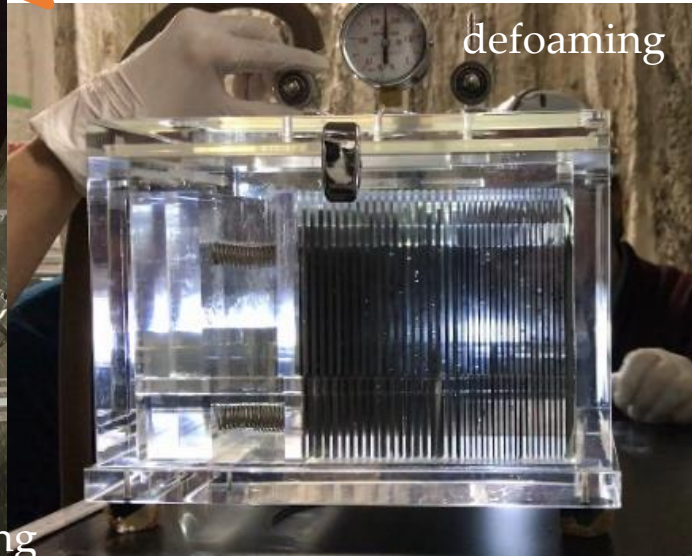
Film, Spacer piling



Spring inserting



Water pouring



defoaming



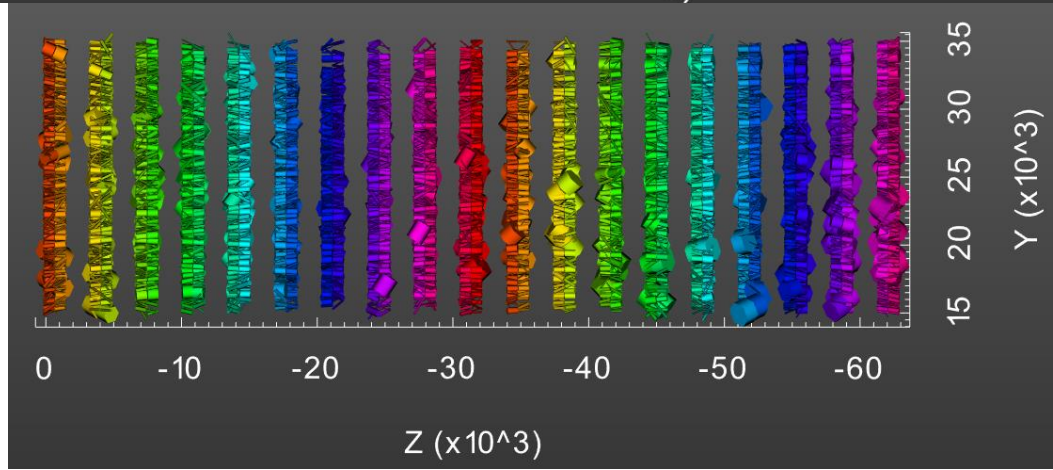
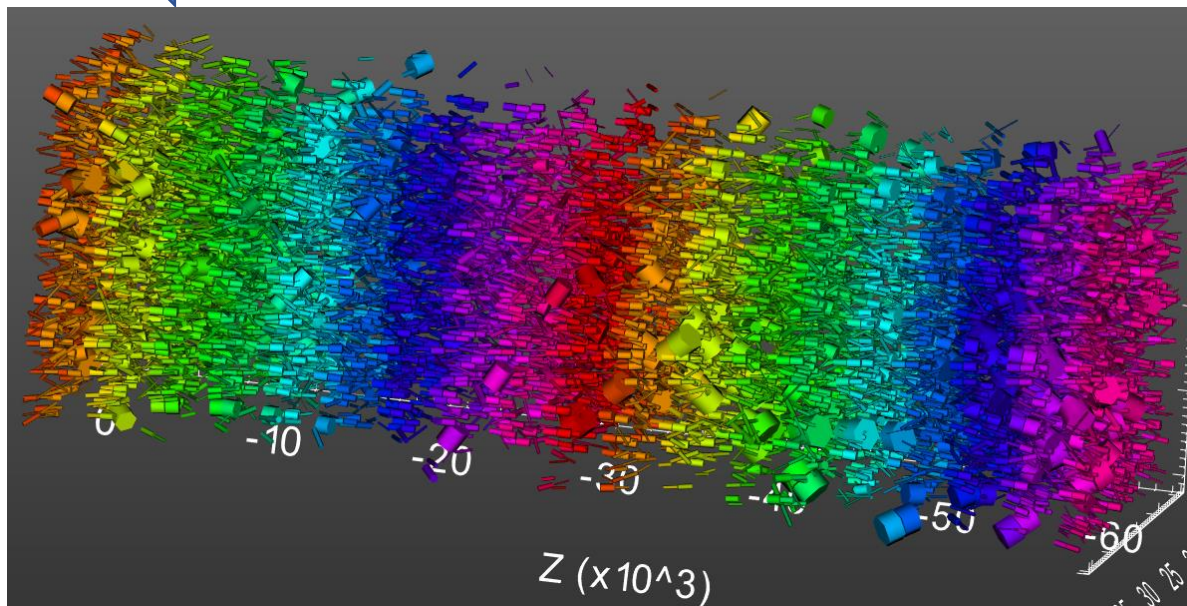
Into the wine cellar



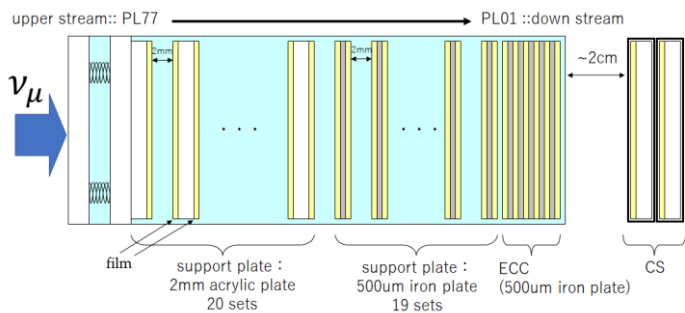
# Analysis

2cm\*2cmに2361本  
約500本/cm<sup>2</sup>  
(track>2film)

$\nu_{\mu}$



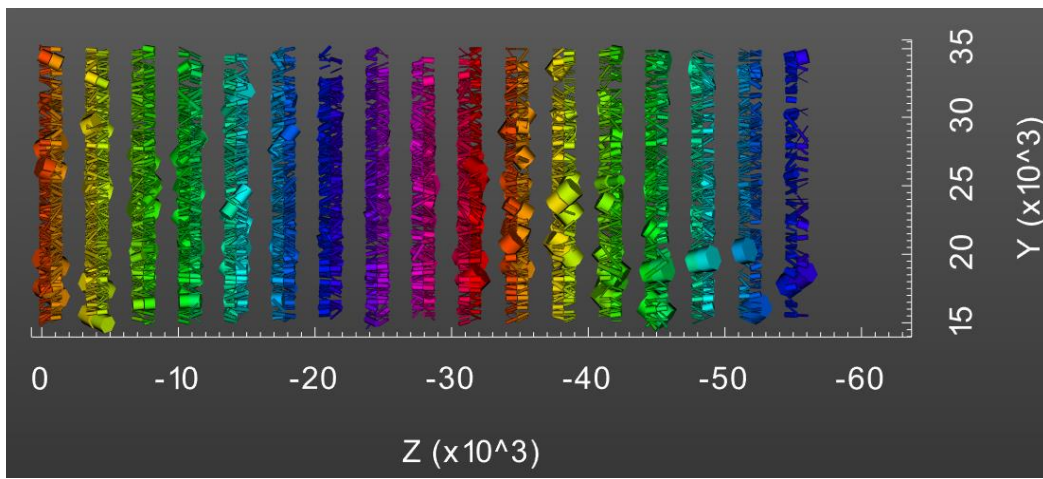
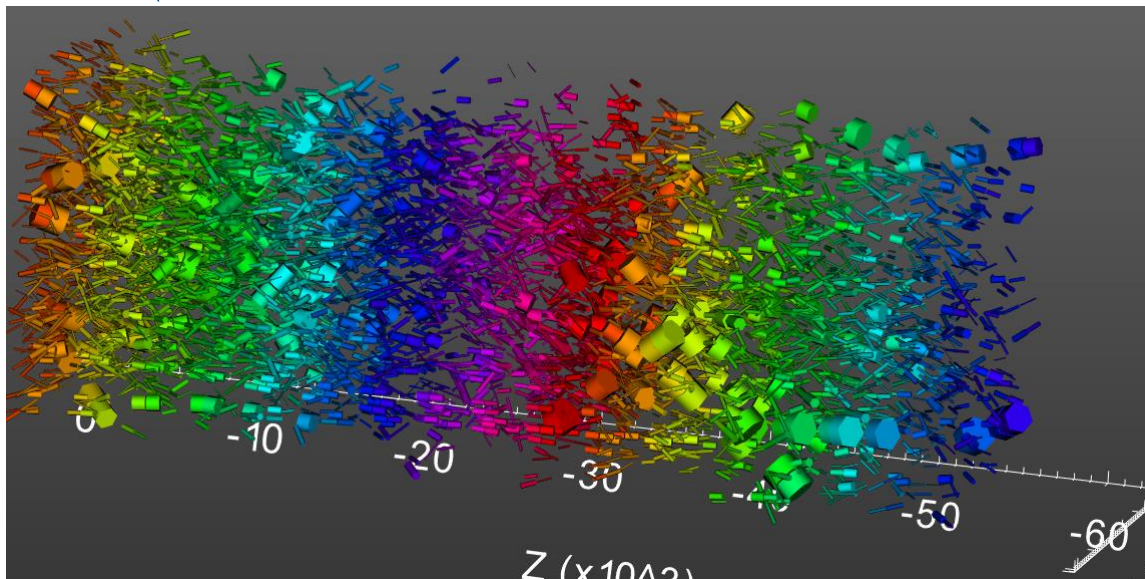
1. Track reconstruction
2. Veto  
(upper stream & edge out)
3. VTX search  
(track>2film)  
(VTX>2track)
4. Remove Fe  
interaction candidate
5. Extrapolate
6. VTX search



# Analysis

2cm\*2cmに1632本  
約400本/cm<sup>2</sup>  
(track>2film)

$\nu_{\mu}$



1. Track reconstruction

2. Veto

(upper stream & edge out)

3. VTX search

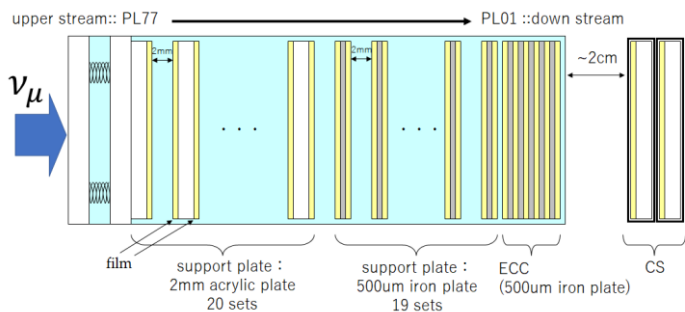
(track>2film)

(VTX>2track)

4. Remove Fe  
interaction candidate

5. Extrapolate

6. VTX search



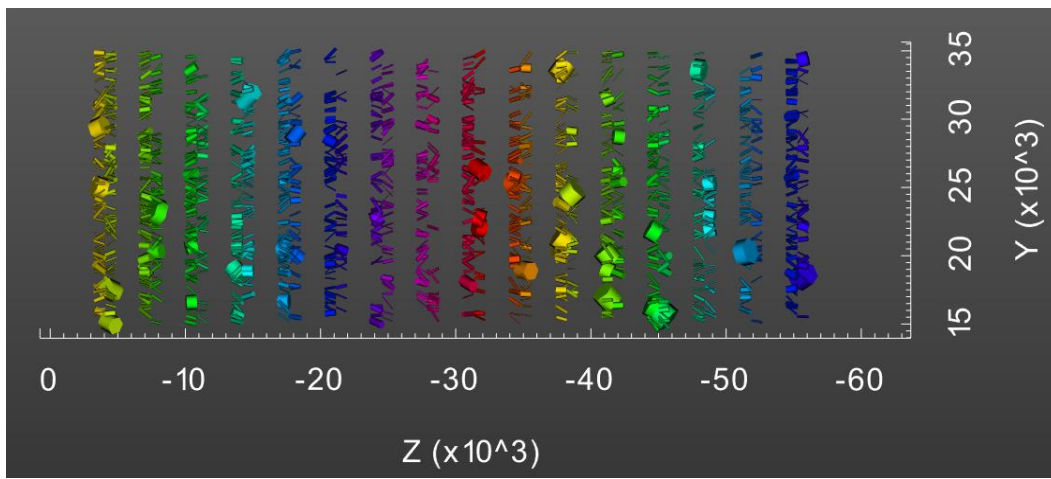
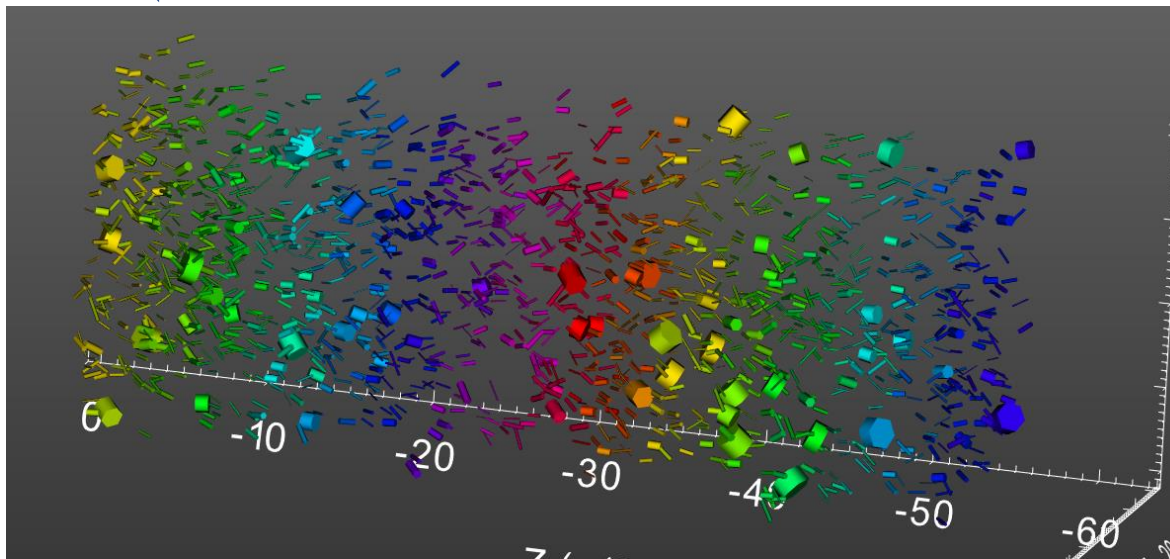


# Analysis

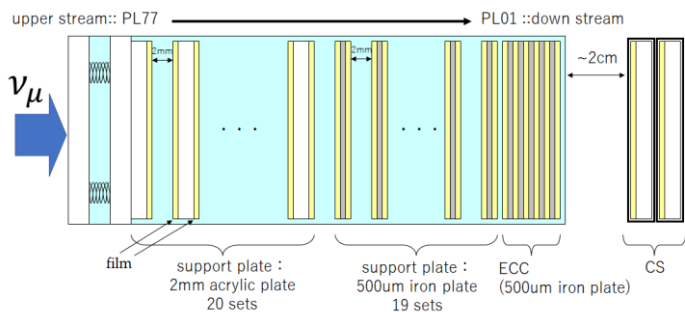
最上流のfilmのtrackのみ  
を取り出し、VTXを探す。

2cm\*2cmに1632本  
約10本/cm<sup>2</sup>/film  
(track>2film)

$\nu_{\mu}$



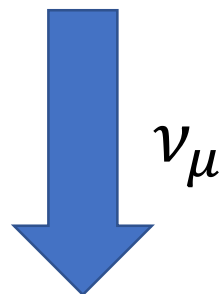
1. Track reconstruction
2. Veto  
(upper stream & edge out)
3. VTX search  
(track>2film)  
(VTX>2track)
4. Remove Fe  
interaction candidate
5. Extrapolate
6. VTX search



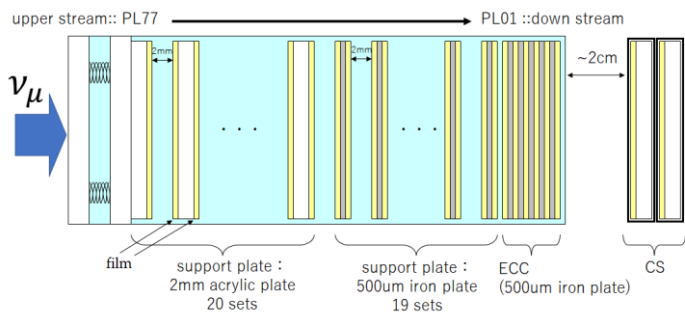
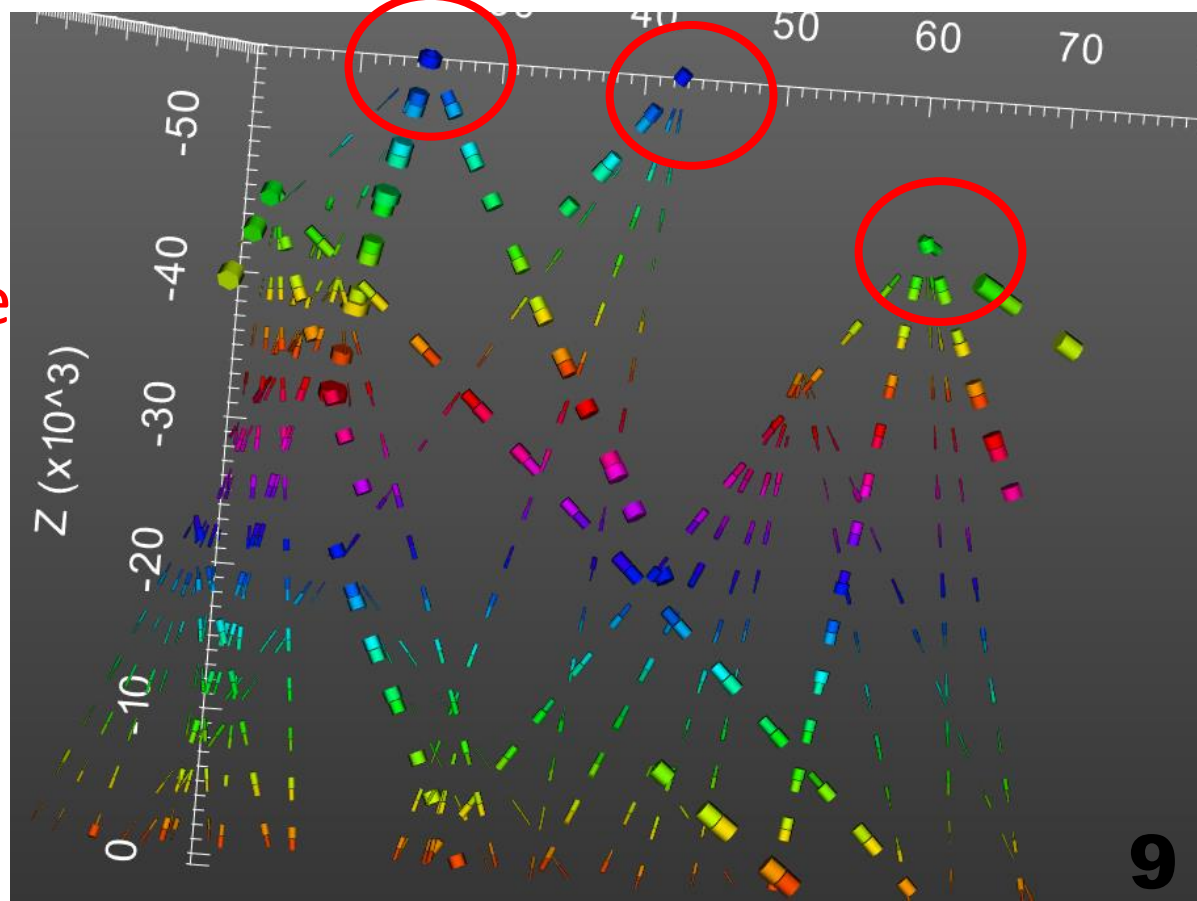


# Analysis

1. Track reconstruction
2. Veto  
(upper stream & edge out)
3. VTX search  
(track > 2 film)  
(VTX > 2 track)
4. Remove Fe  
interaction candidate
5. Extrapolate
6. VTX search



鉄反応を構成している  
trackは取り除く

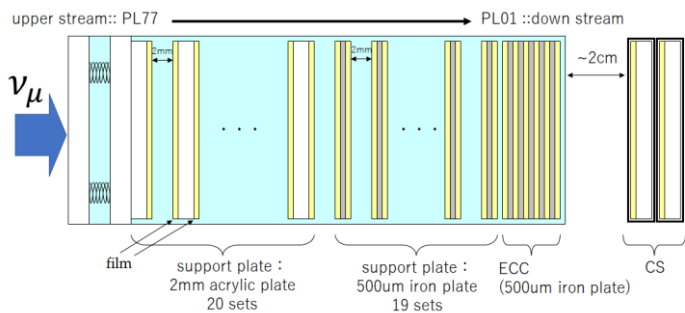
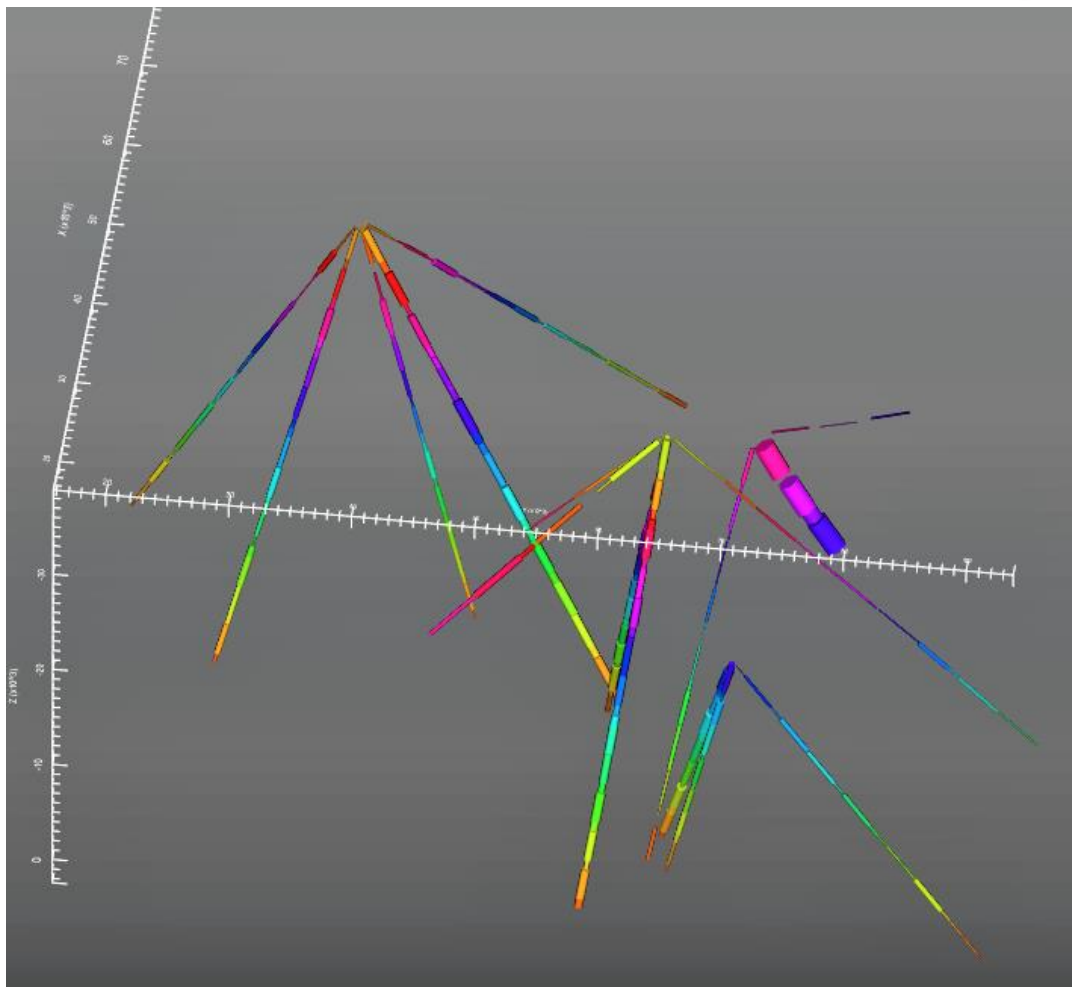


# Analysis

水反応候補



1. Track reconstruction
2. Veto  
(upper stream & edge out)
3. VTX search  
(track>2film)  
(VTX>2track)
4. Remove Fe  
interaction candidate
5. Extrapolate
6. VTX search



現在3trk以上でVTXを組む水反応候補は10個見つかったている  
(back ground 期待値1.5)



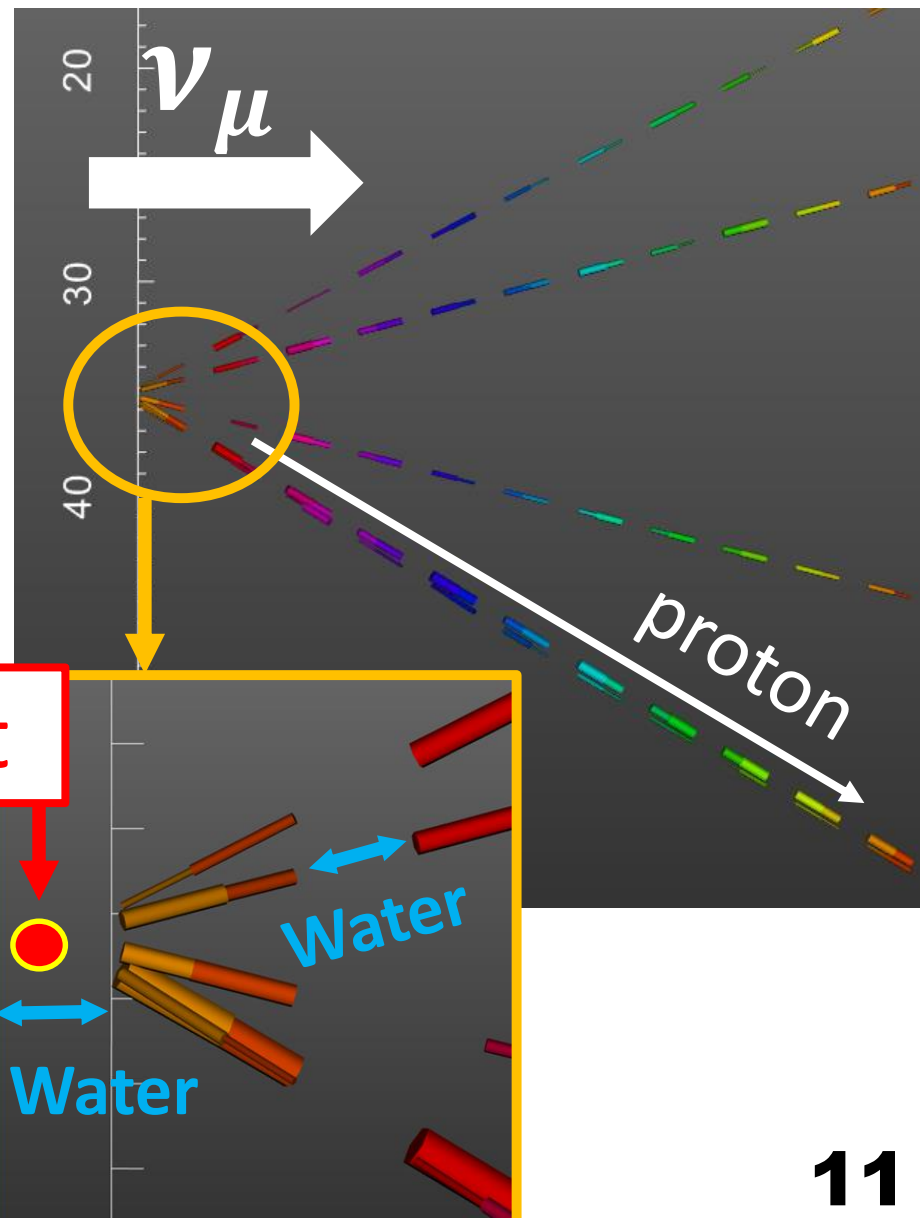
# Analysis

1. Track reconstruction
2. Veto  
(upper stream & edge out)
3. VTX search  
(track > 2 film)  
(VTX > 2 track)
4. Remove Fe  
interaction candidate
5. Extrapolate
6. VTX search

Upper stream plate 

**Water interaction candidate!!**

**VTX Point**

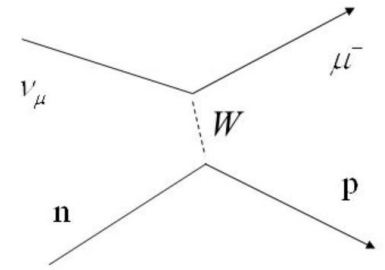


# 展望1： Particle identification (electronID)



- $\nu_\mu$  反応からは電子は出ない
- 電子識別ができればBGが減らせる!

Charged Current

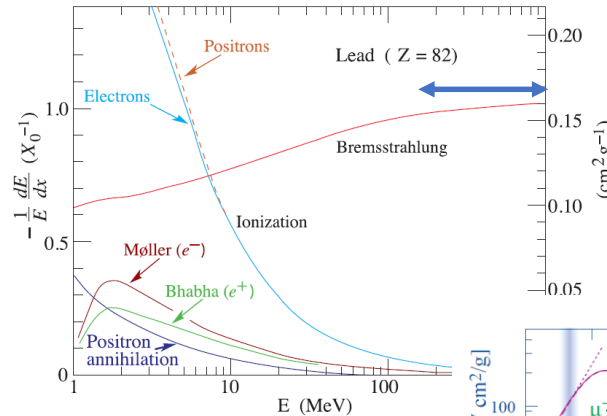


$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$$

○物質中でのエネルギー変化の違いを利用

## • 電子

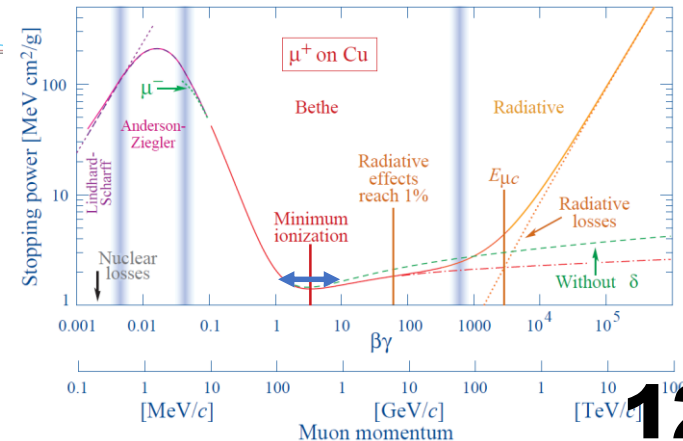
- Bethe-Bloch
- 制動放射
- $E(x) = E_0 \exp(-\frac{x}{X_0})$



## • パイオン(ミュオン)

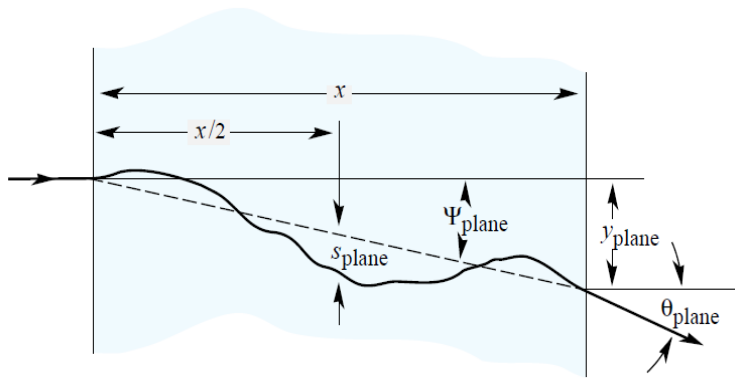
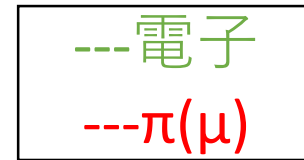
- Bethe-Bloch
- $E(x) \simeq E_0$

エネルギー変化の違いを見たい





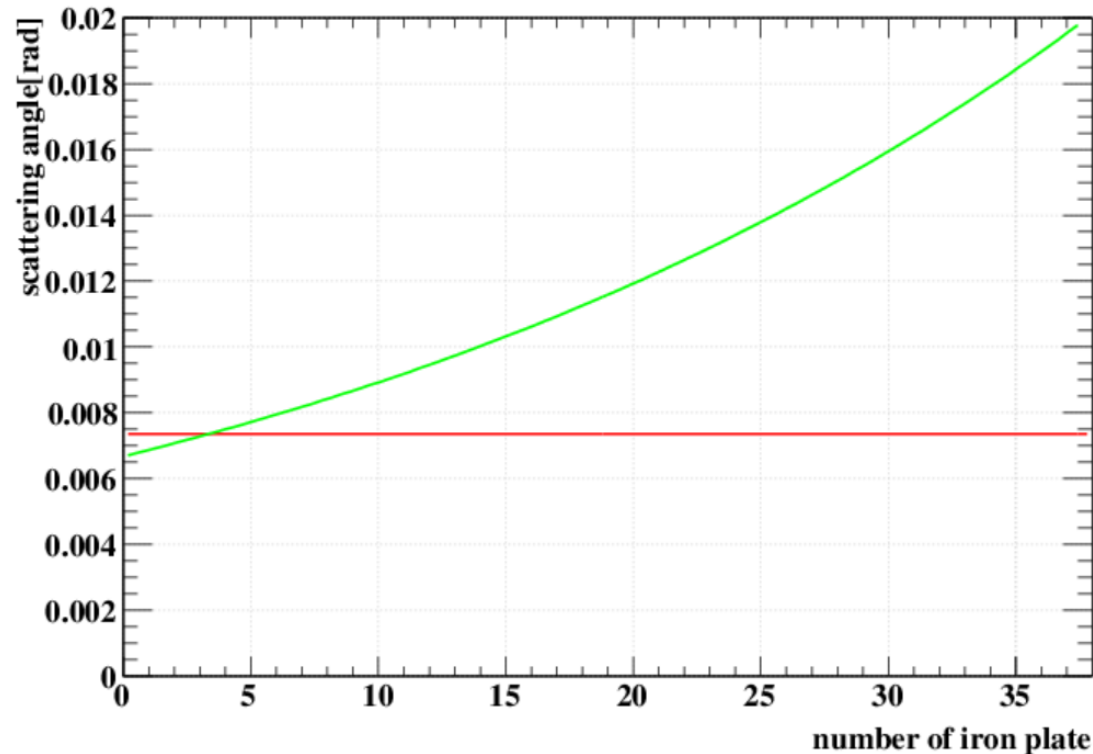
# MCSによる運動量の測定



$$\theta_0 = \frac{0.0136}{pc\beta} \sqrt{\frac{x}{X_0}} \left\{ 1 + 0.038 \ln \left( \frac{x}{X_0} \right) \right\}$$

鉄の制動放射長： $X_0 = 1.719 \text{ cm}$

pion VS electron [300MeV/c]

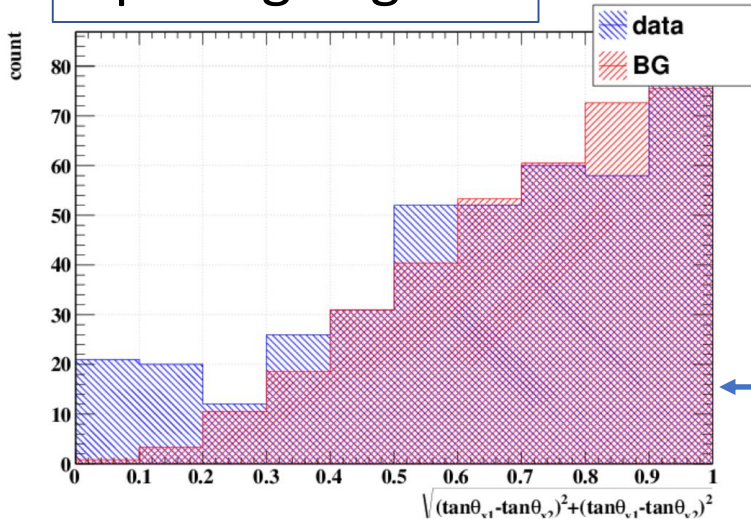


鉄板を貫通する前後の散乱角を比較  
→運動量の変化を見る

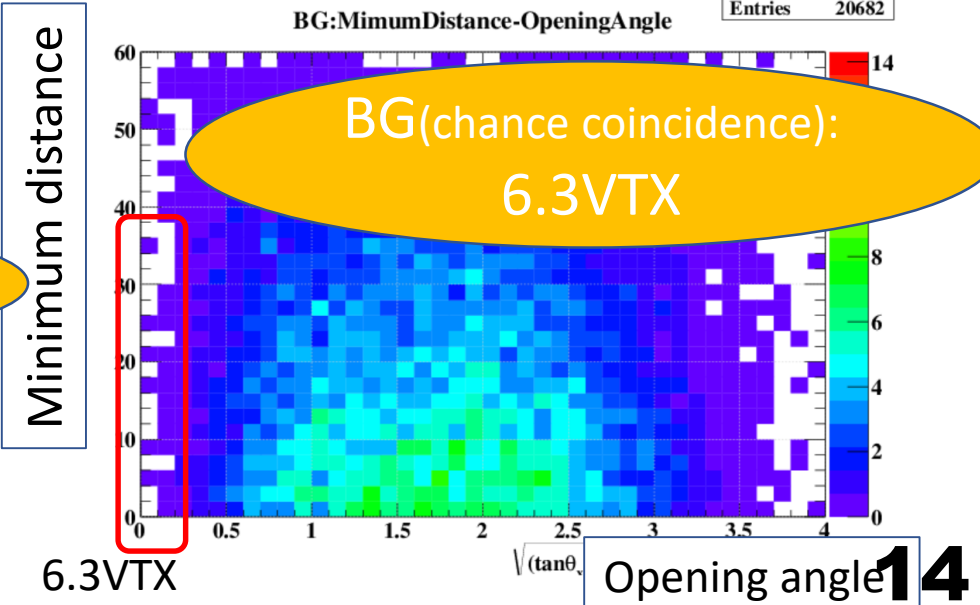
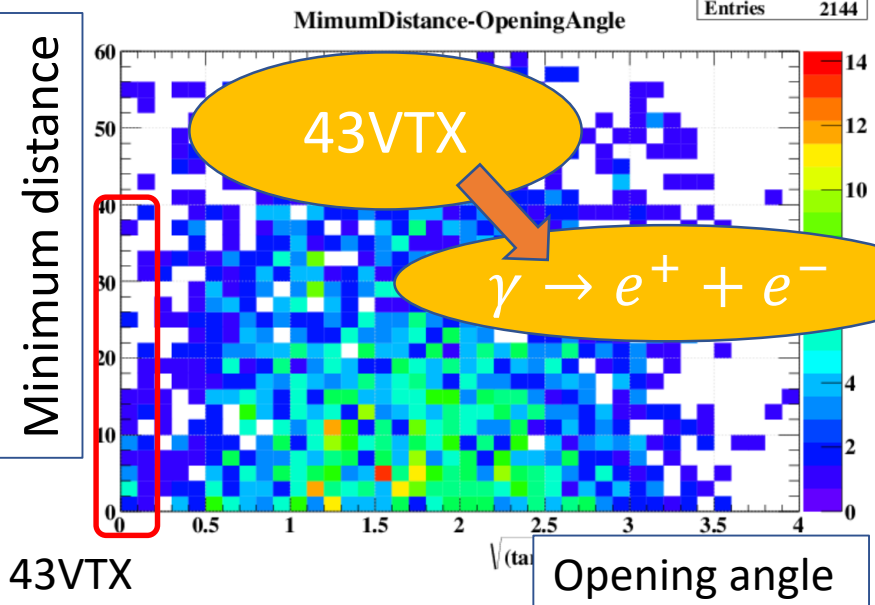
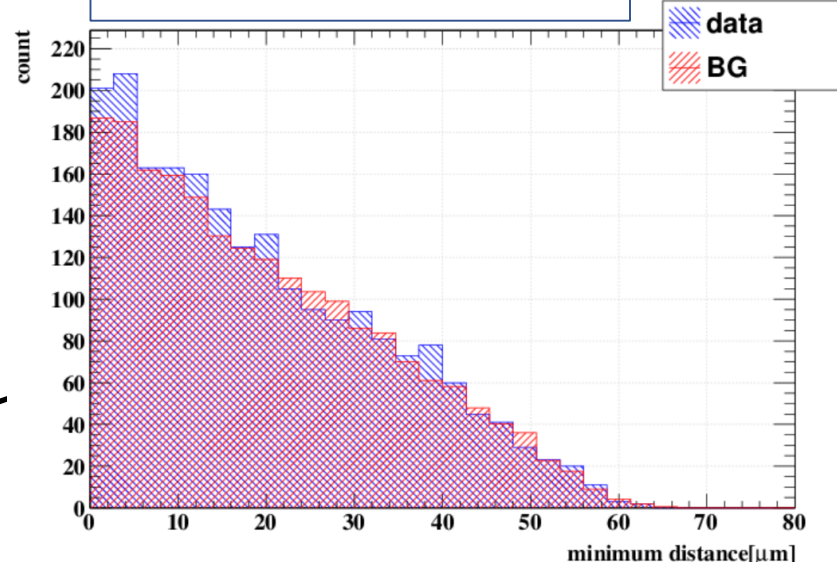
# Electron sample

2trk VTX 2mip( $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ )

Opening angle

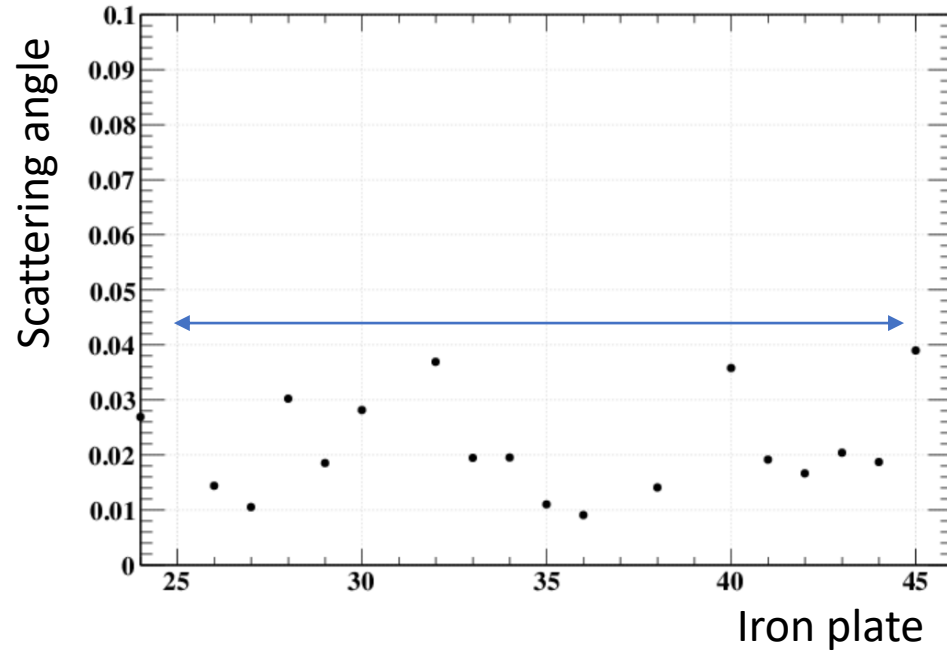


Minimum distance





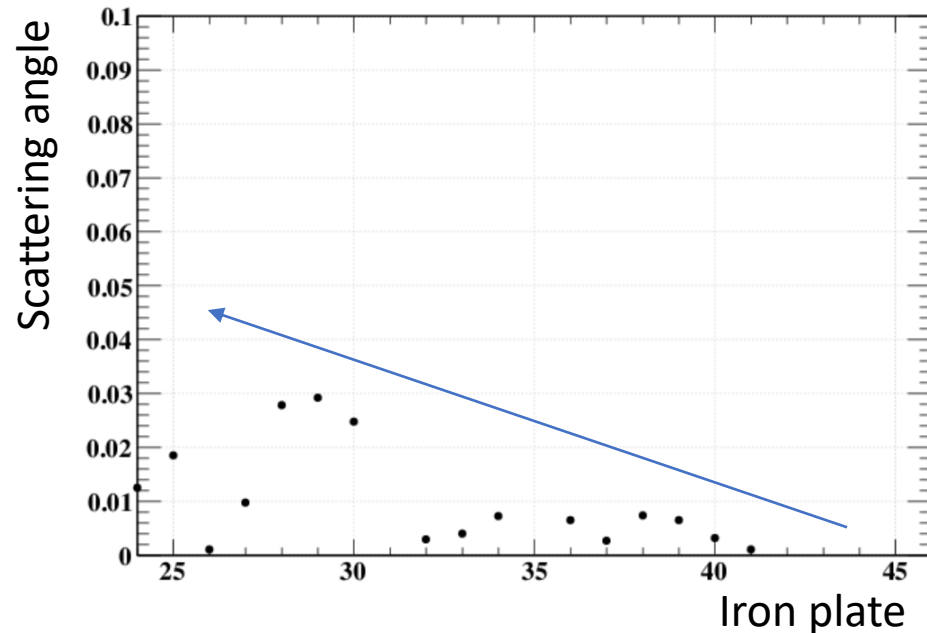
chain=14862 Nseg=1 :dangle



←上流から下流まで貫通したトラック  
μと予想される

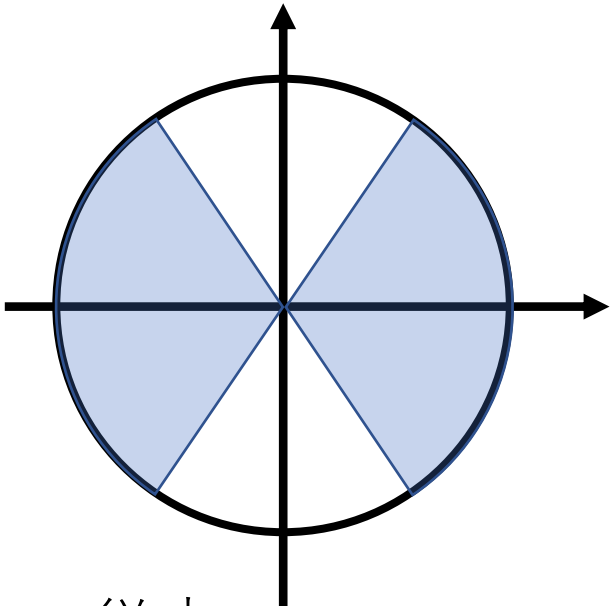
**Preliminary**

chain=203279 Nseg=1 :dangle

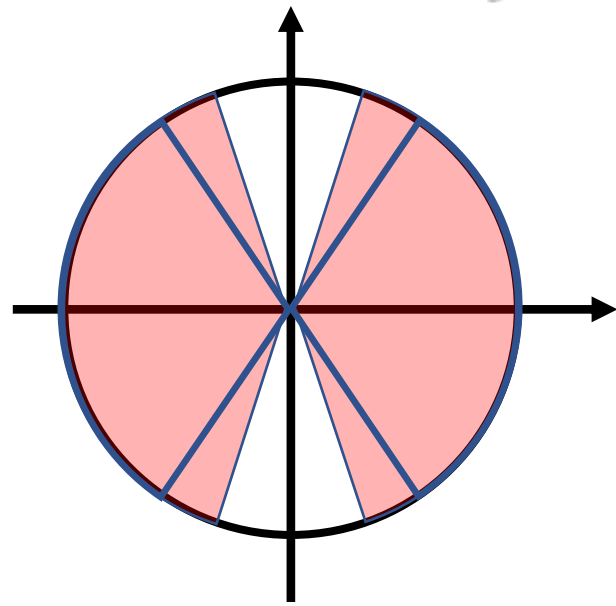


←2trkVTXで $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ と判定されたトラック。eと予想される

# 展望2：大角度飛跡の再構成 NINJA



従来: $\tan\theta\sim 1.5$   
 $56.3^\circ$  (0.98rad)  
立体角44.5%



大角度: $\tan\theta\sim 3.0$   
 $71.6^\circ$  (1.25rad)  
立体角68.4%

23.9%up

1

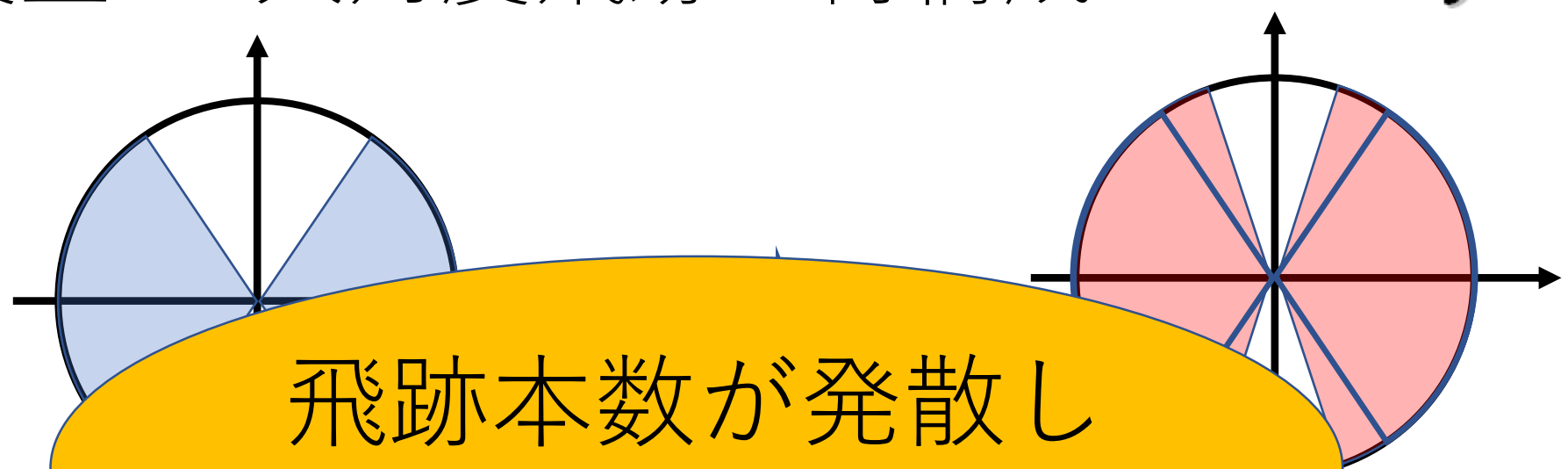
読取のアルゴリズム上  
計算量は4倍



マシンの高速化により  
実用的な速度で可能に

4

# 展望2：大角度飛跡の再構成 NINJA



飛跡本数が発散して  
処理が困難に

従来  
56.3° (0.98rad)  
立体角44.5%

23.9%up

$\tan\theta \sim 3.0$   
71.6° (1.25rad)  
立体角68.4%

1

読取のアルゴリズム上  
計算量は4倍



マシンの高速化により  
実用的な速度で可能に

4



# 先行研究：大角度飛跡自動認識での偽飛跡の処理( $\tan\theta < 1.5$ )

## 偽飛跡

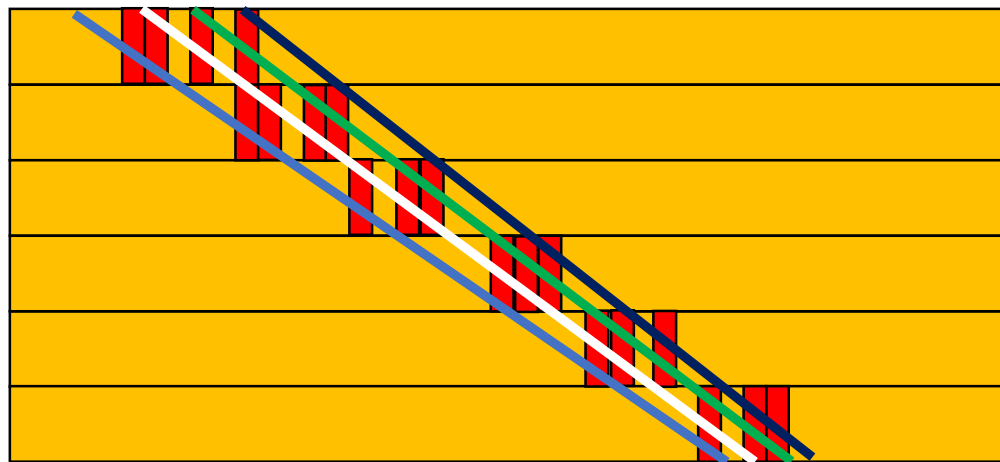
- 角度の大きい飛跡が複数本の飛跡として認識される
- 飛跡の進行方向にできる



1本化の処理を行う必要あり



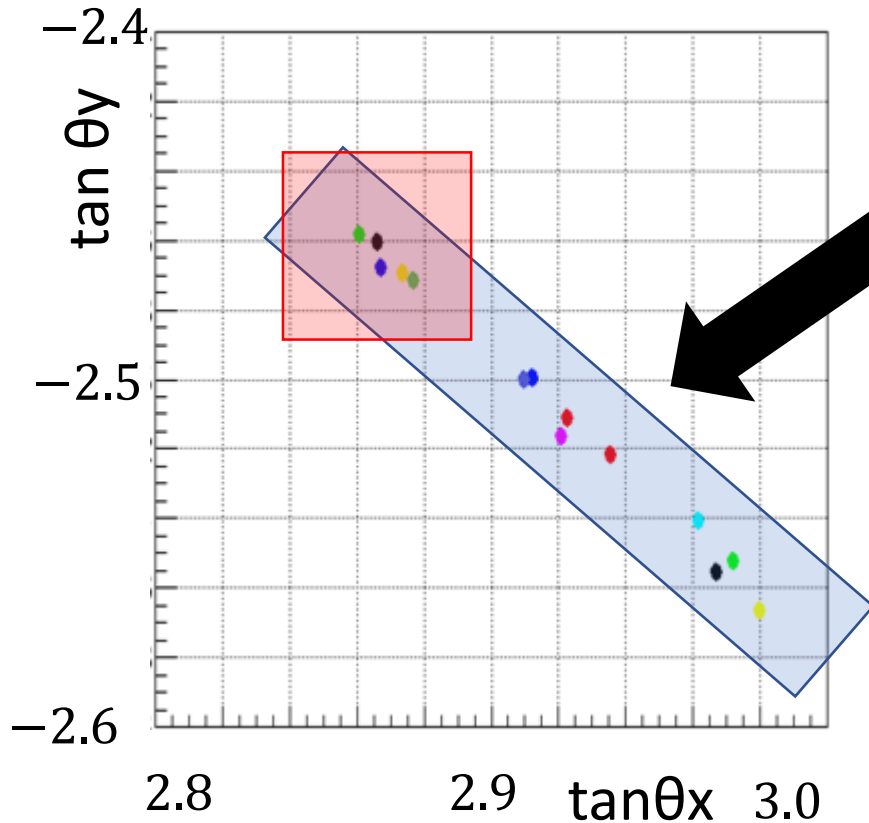
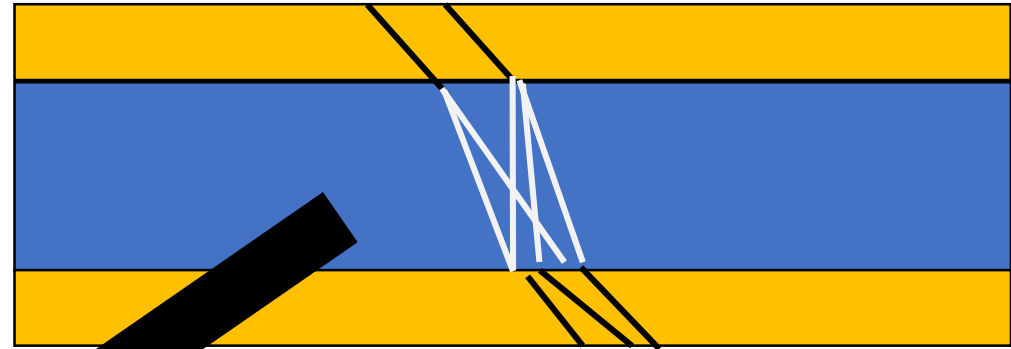
飛跡の進行方向に沿った領域で一本化を行った



$\tan\theta \approx 3.0$ の角度では偽飛跡がより多数発生

1本化が不十分だった

# 偽飛跡の特徴 (角度分布)

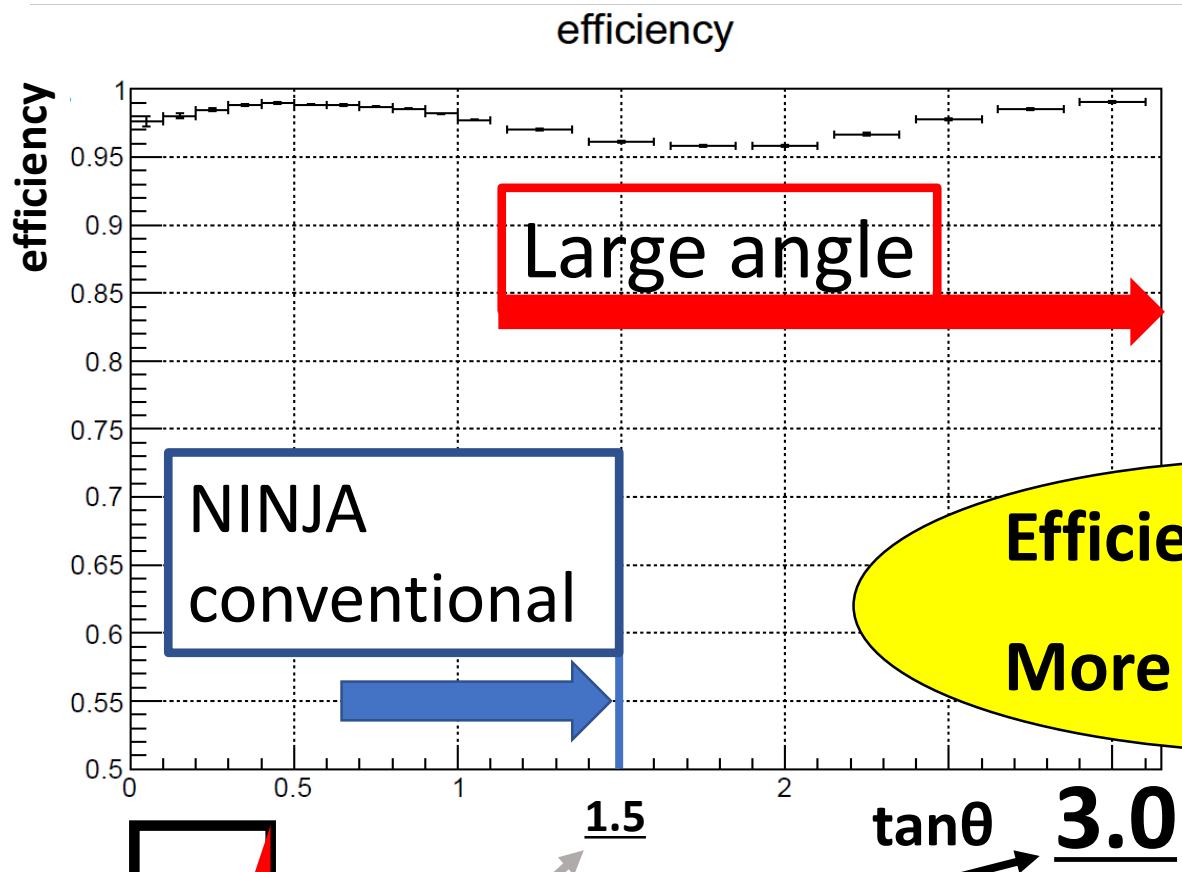


ベース間をつなげた飛跡で  
飛跡進行方向に沿った領域で  
一本化を行った

- 赤 : 従来の処理領域の取り方
- 青 : 今回行った処理領域の取り方

tanθx:tanθyグラフで半径方向  
(飛跡の進行方向)に偽飛跡ができる

# 大角度飛跡：検出効率

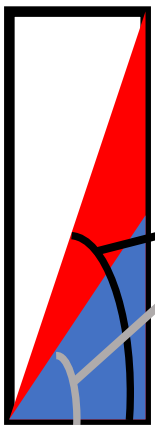


←95%

←90%

acceptance:  
 $\tan\theta \sim 3.0$

Efficiency:  
More than **95%**!



低エネルギーニュートリノ  
反応の検出に有効!

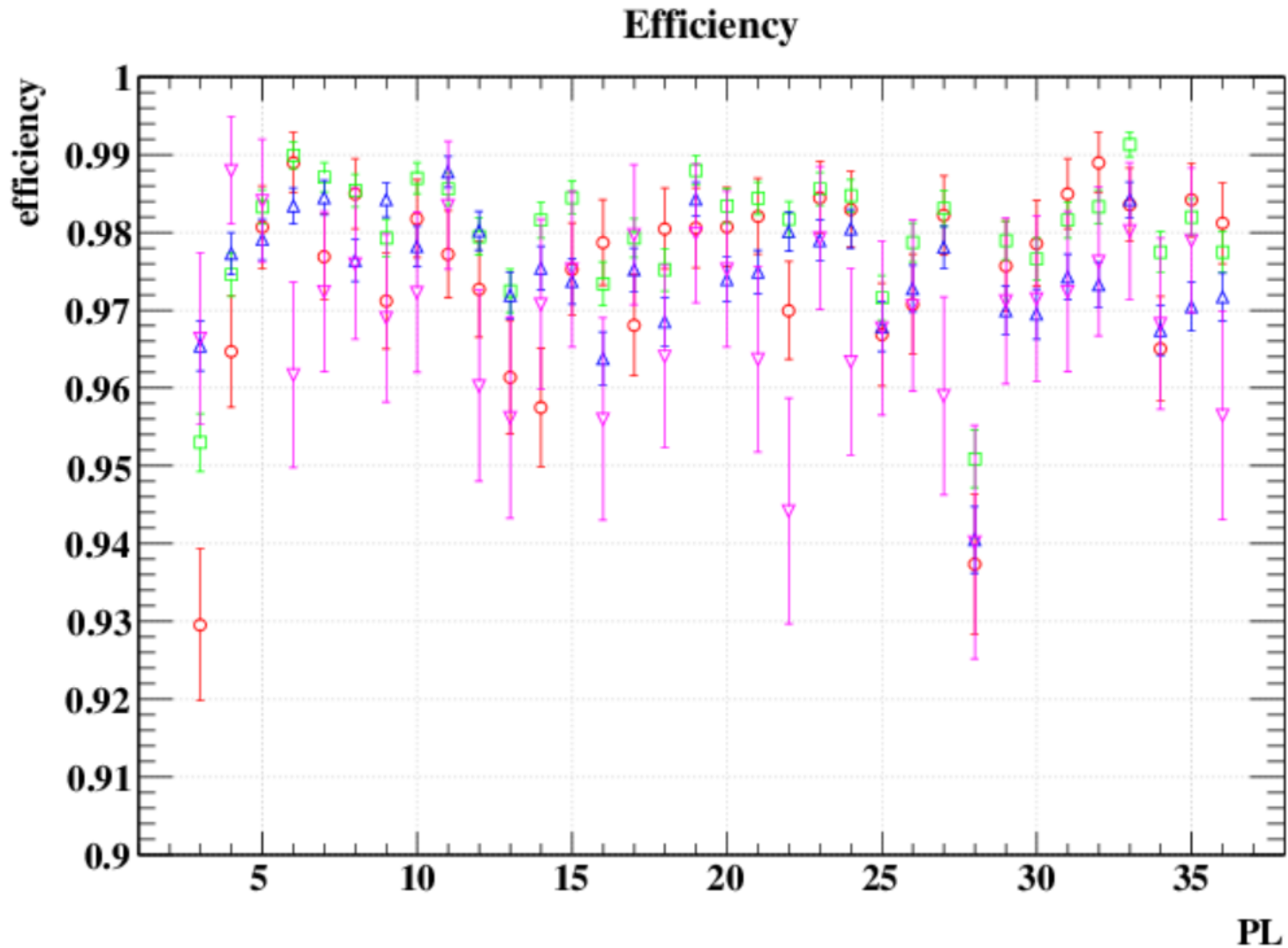


## まとめ

- 3track以上でVTXを組み合わせることにより、水反応候補を10個検出した
- バックグラウンド除去のため、新たに粒子(電子)識別を行っている。
  - 電子のサンプルとしてe-pairの検出も確認した
- 角度アクセプタンスを向上させた飛跡読み取りにおいて、飛跡再構成を可能にした。
- $\tan\theta < 3.0$ の飛跡において検出効率が95%を超えることを確認した。

Back up

# RUN7 efficiency





# 物質中でのエネルギー変化

- 電子

- Bethe-Bloch
- 制動放射

- $E(x) = E_0 \exp(-\frac{x}{X_0})$

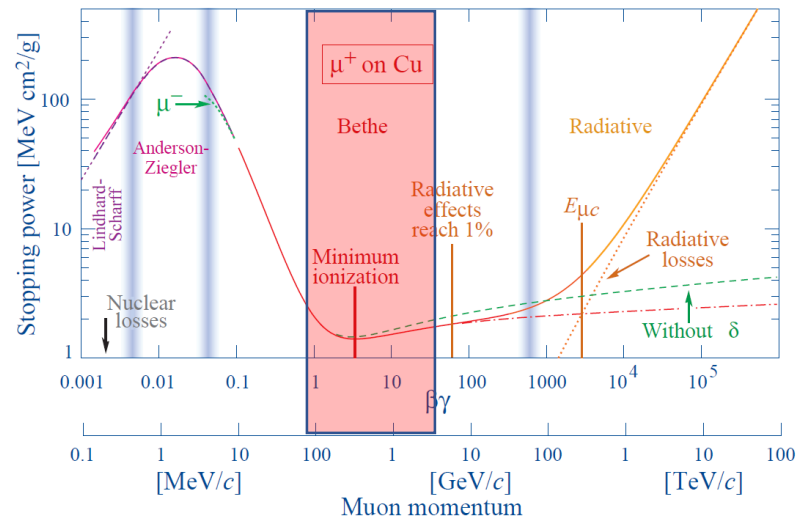
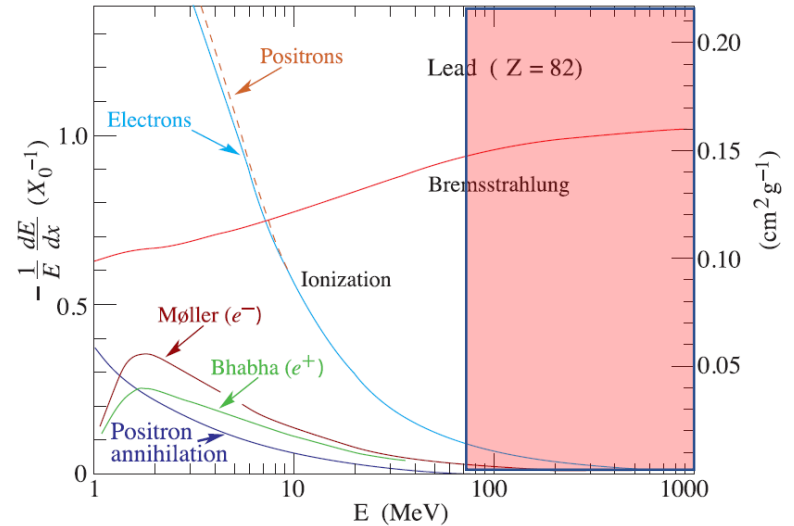
- パイオン(ミューオン)

- Bethe-Bloch
- $E(x) \simeq E_0$

エネルギー変化の違いを見たい



運動量(  $p\beta$  )の測定ができるので粒子を仮定して(質量を決めて)エネルギーになおす



# 飛跡読み取りアルゴリズム

16層の厚さ、シフト量→角度の決定  
計算速度で角度が制限される

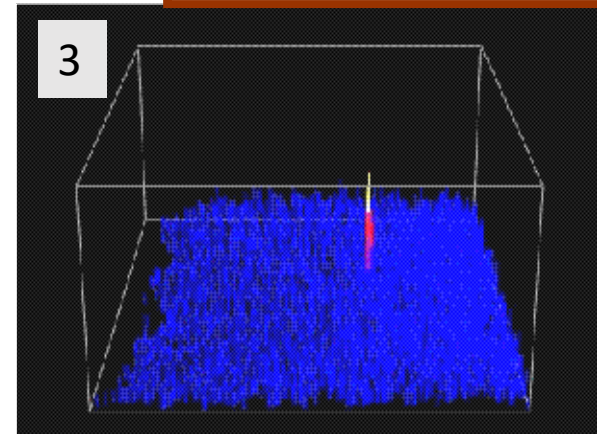
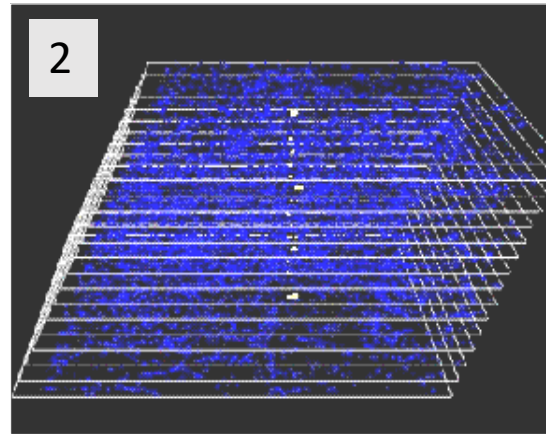
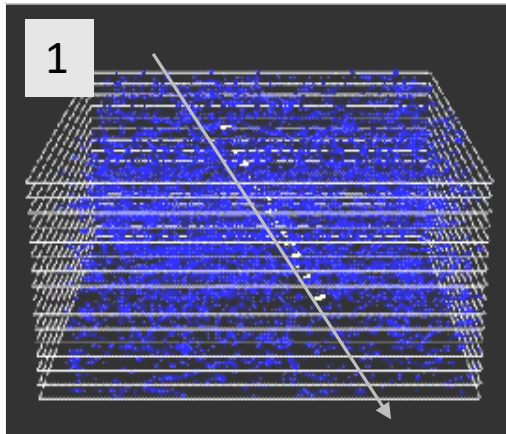
原子核乾板は  
4 $\pi$ 検出器



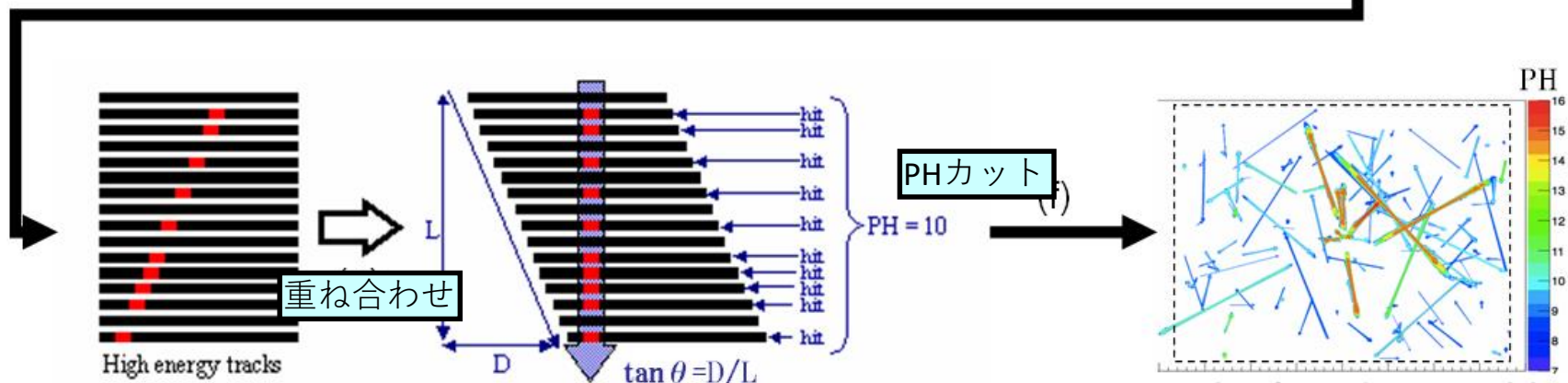
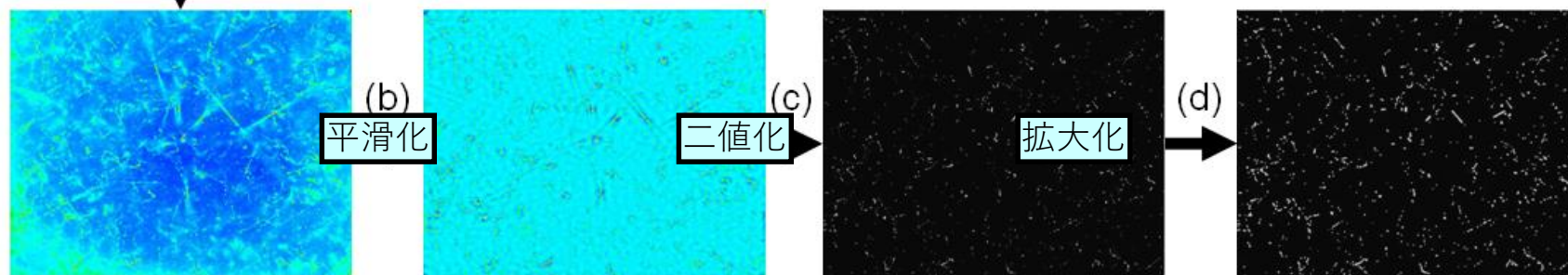
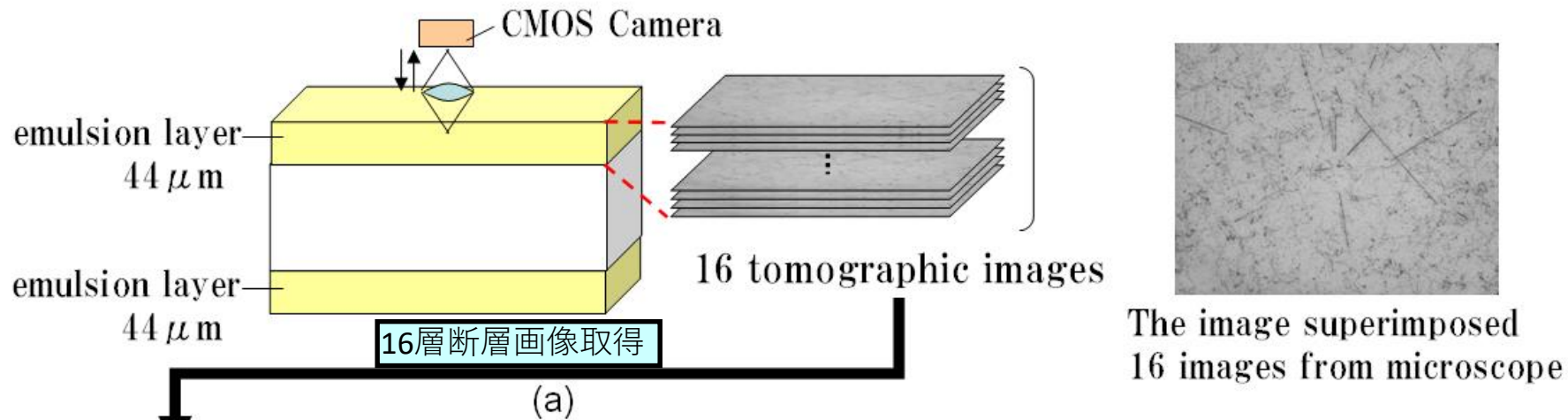
飛跡の自動認識で角度  
アクセプタンスが決定

1. 16層の断層映像の撮像
2. 画像をシフトさせる
3. 重ね合わせピークを検出

*Invented by K.Niwa in 1974*



# 原子核乾板における自動飛跡認識



Result of track recognition **26**

# Base track ghost

- 最適なbase trackの選択
  1. PHVが高いもの(飛跡の濃さ、 $dE/dx$ に相当)
  2. 直線性が良い(base track と micro trackの角度差が小さい)もの
- 2本のベーストラックを1本にしてしまう確率

Base track 密度:

全角度範囲( $\tan\theta$  -2.6~2.6)で約250本/mm<sup>2</sup>

クラスタリング条件

位置: 200um\*50um,

角度: 1.0\*0.2

クラスタリング条件を満たす領域内のbase track 期待値は  
 $250 * (200 * 50) / (1000 * 1000) * (1.0 * 0.2) / (5.2 * 5.2) = 0.0185$ 本  
( $\tan\theta$ に対し等方的角度分布を仮定)

クラスタリング状圏内に同時にbase trackが2本存在する確率  
→0.000168 :クラスタリング10000回で一回巻き込み発生?  
(ポアソン分布を仮定)

# Base track ghost

- 最適なbase trackの選択
  1. PHVが高いもの(飛跡の濃さ、 $dE/dx$ に相当)
  2. 直線性が良い(base track と micro trackの角度差が小さい)もの
- 2本のベーストラックを1本にしてしまう確率

Base track 密度:

全角度範囲( $\tan\theta$  -2.6~2.6)で約250本/mm<sup>2</sup>

クラスタリング条件

位置: 200um\*200um,

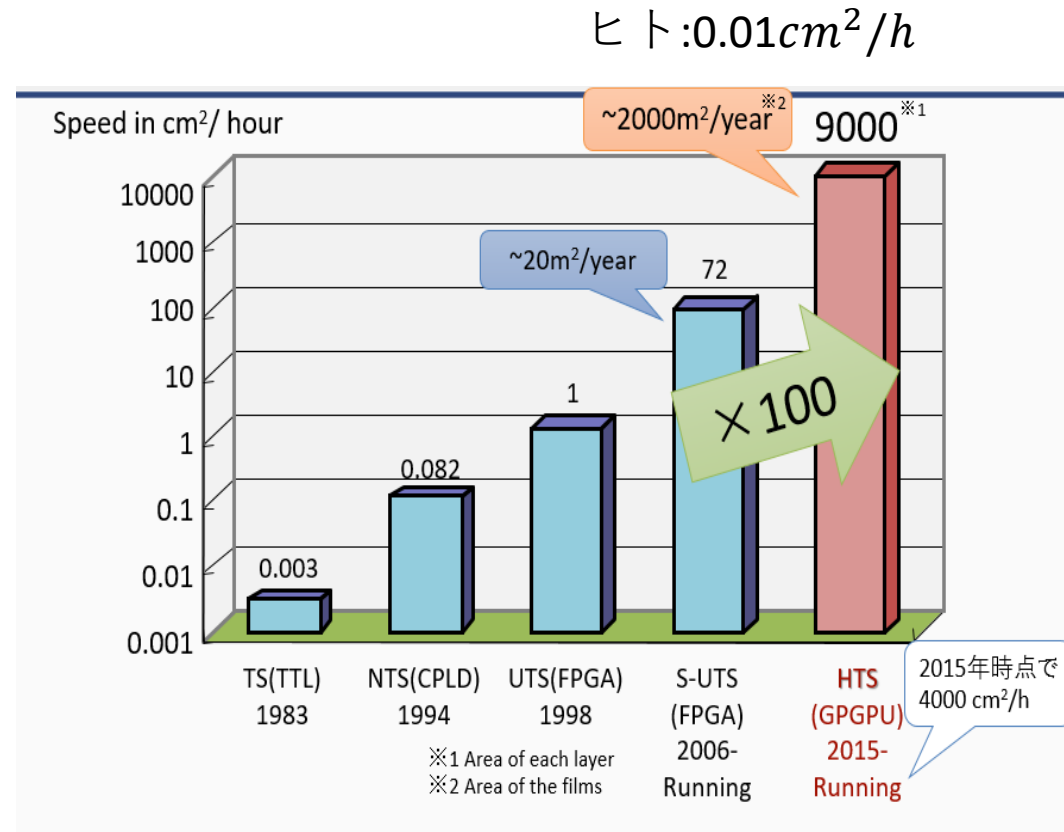
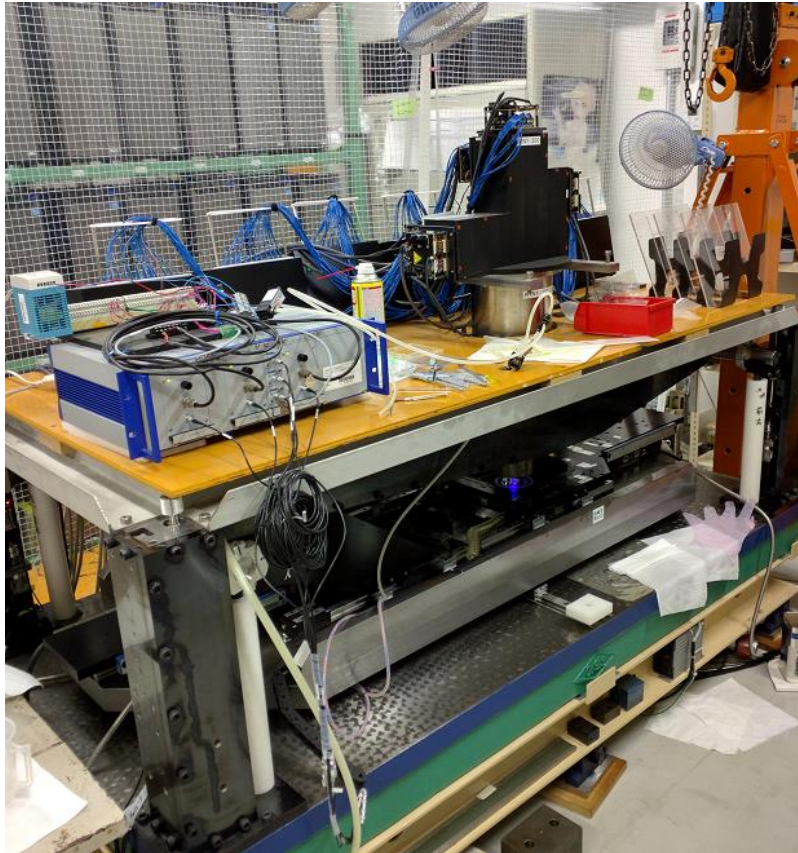
角度: 1.0\*1.0

クラスタリング条件を満たす領域内のbase track 期待値は  
 $250 \cdot (200 \cdot 200) / (1000 \cdot 1000) \cdot (1.0 \cdot 1.0) / (5.2 \cdot 5.2) = 0.37$ 本  
( $\tan\theta$ に対し等方的角度分布を仮定)

クラスタリング状圏内に同時にbase trackが2本存在する確率  
→0.047 : 検出効率に5%程度の効果が予測される  
(ポアソン分布を仮定)



# HTS(track selector)



HTSにより乾板内すべての飛跡の読み取りが可能に  
→乾板全面読み取りによる解析が可能に!!