



# ILCにおける FPCCD崩壊点検出器のための シミュレーションソフトウェア開発

東北大学 M2  
釜井 大輔

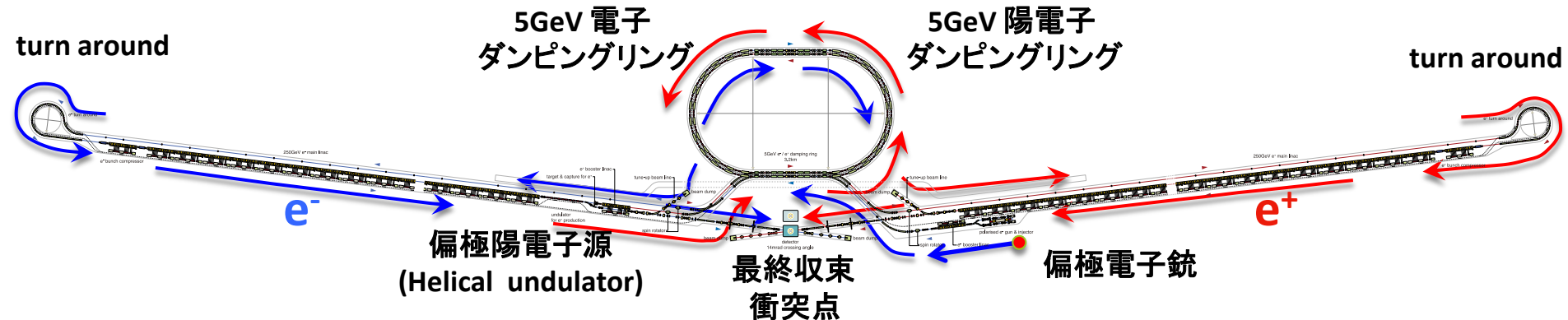
2011/8/18

原子核三者若手夏の学校2011 in 滋賀

# ILC

1

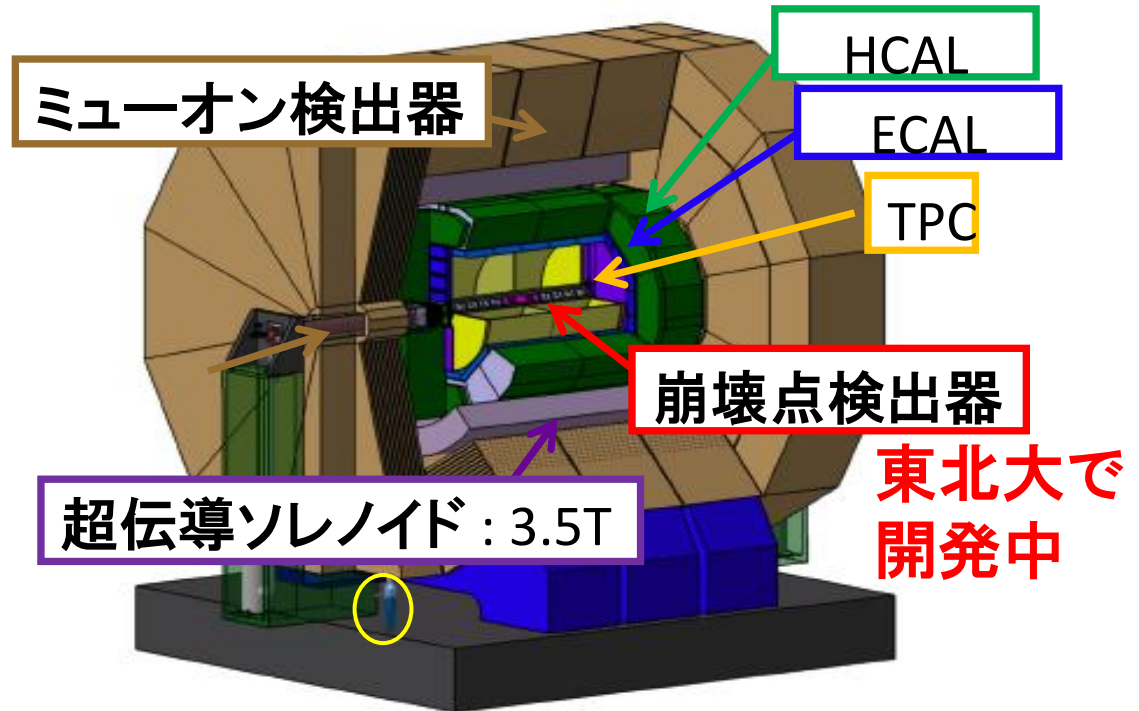
- International Linear Collider (国際線型加速器)
  - 電子・陽電子衝突型線型加速器
  - 全長 : 31km
  - 重心エネルギー : 500 GeV (→ 1 TeV)
  - ピークルミノシティ :  $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
  - 電子・陽電子を偏極させる



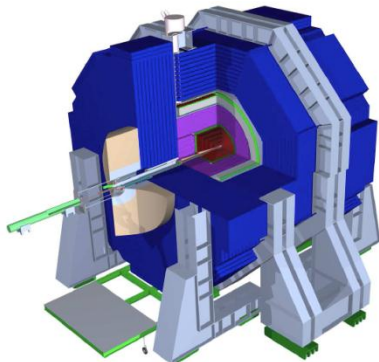
# ILCの測定器

2

## ■ ILD測定器



## ■ SiD測定器



2つの測定器を交互に使う予定

# ILCの崩壊点検出器

3

## ILCが目指す物理

- 標準理論を超える物理
- Higgsの精密測定

—  $H \rightarrow bb, H \rightarrow cc, \dots$  etc

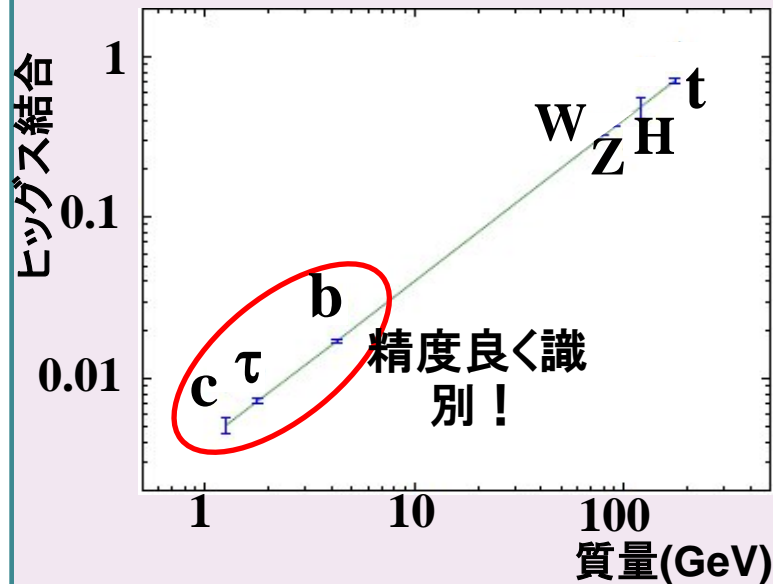


b, c クォークを精度よく識別(フレーバータグ)

要求される  
衝突係数分解能

$$\sigma = 5 \oplus \frac{10}{p\beta \sin^{3/2} \theta} (\mu m)$$

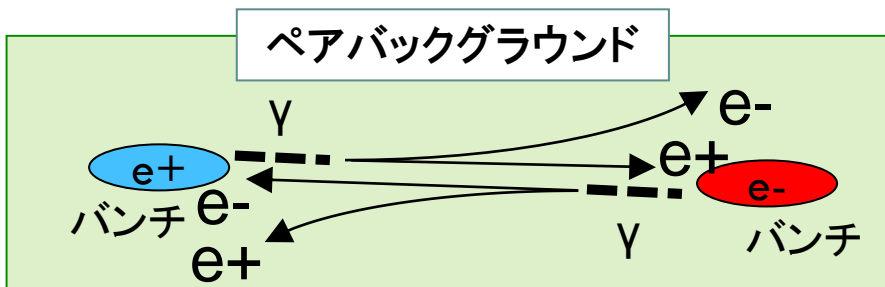
ヒッグス結合と質量の相関



# FPCCD崩壊点検出器

4

- 崩壊点検出器の課題
  - 衝突点に最近傍に設置 ( $R = 1.6 \text{ cm}$ )

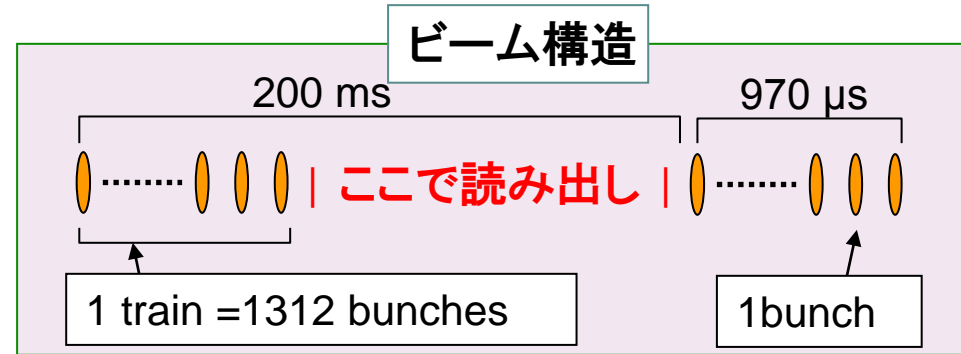
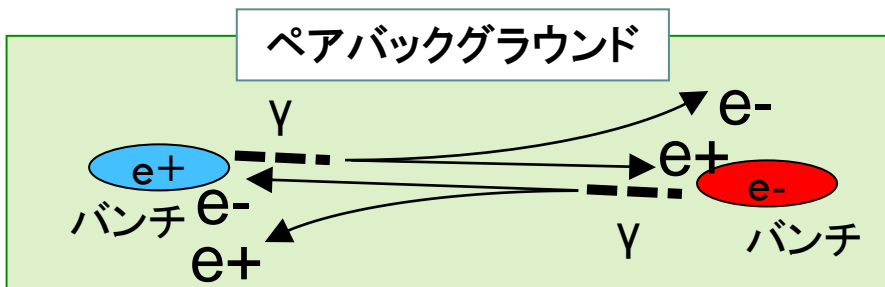


# FPCCD崩壊点検出器

5

## ■ 崩壊点検出器の課題

- 衝突点に最近傍に設置 ( $R = 1.6 \text{ cm}$ )
- 1トレイン分のデータ蓄積して読み出しを行う









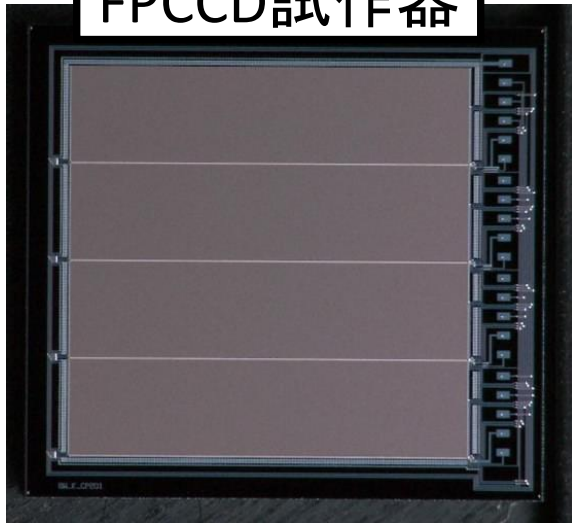
# FPCCD崩壊点検出器の特徴

8

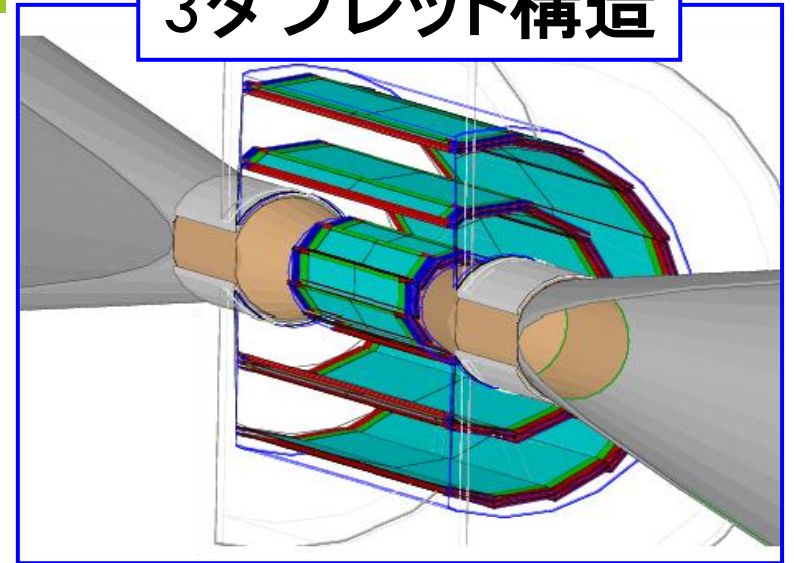
## FinePixelCCD崩壊点検出器

- ピクセルサイズ :  $5 \text{ um} \times 5 \text{ um}$
- 総ピクセル数 :  $\sim 10^{10}$  pixels
- 全空乏型CCD
- トレイン間で読み出し

FPCCD試作器



3ダブレット構造



# FPCCD崩壊点検出器の特徴

9

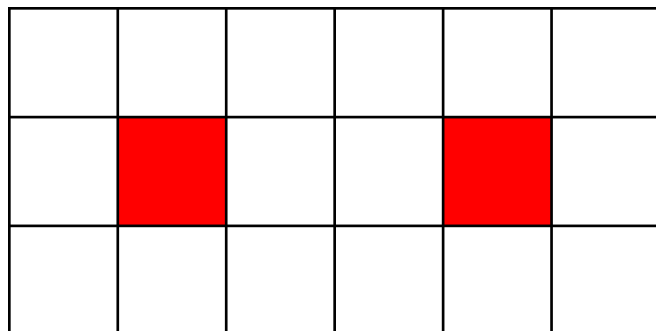
## FinePixelCCD崩壊点検出器

- ピクセルサイズ : 5  $\mu\text{m}$  x 5  $\mu\text{m}$
- 総ピクセル数 :  $\sim 10^{10}$  pixels
- 全空乏型CCD
- トレイン間で読み出し

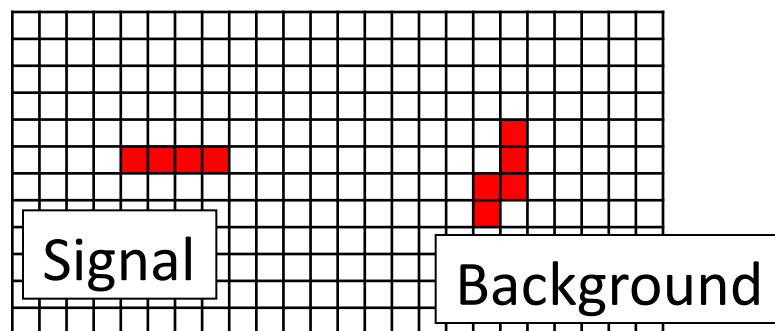
## FPCCDの利点

- 高い位置分解能
- 高い衝突係数分解能
- ピクセル占有率の低減
- 高い2粒子分解能
- ビーム由来の高周波ノイズの影響を受けない

クラスター形状による入射方向識別



Large pixel size



FPCCD

# シミュレーションソフトウェア開発

10

- 検出器の性能を理解するためにシミュレーションが必要
  - 大まかな流れ
    - Geant4 でイベントを作成
    - イベントにより検出器から得られる信号を作成
    - 作られた信号から粒子の通過点を再構成
    - 通過点から飛跡を再構成
    - Particle Flow Algorithmでイベントを再構成
  - ILC専用のシミュレーションパッケージはFPCCD崩壊点検出器に対応していなかった。
- **FPCCD崩壊点検出器のためのソフトウェアを開発した。**

# FPCCDのためのソフトウェア

11

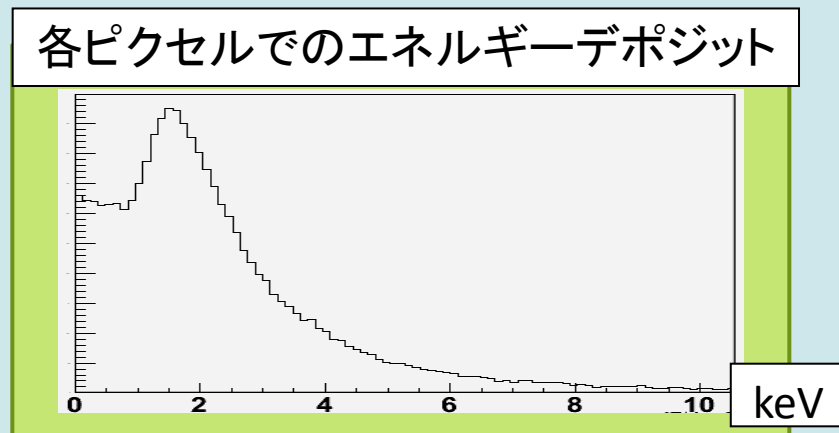
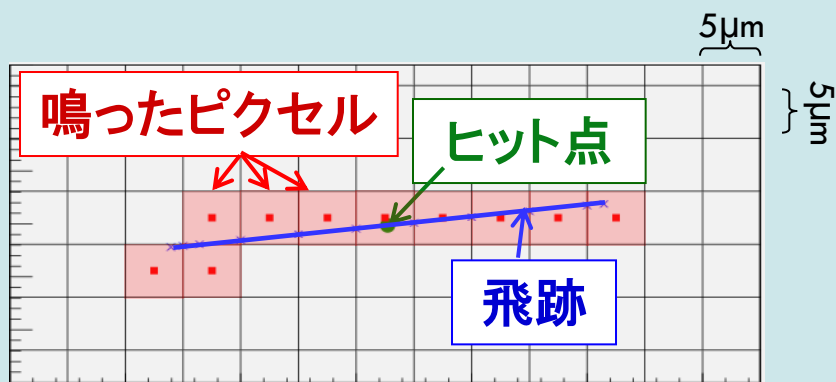
- FPCCD崩壊点検出器を導入した場合の測定器の性能を評価したい。
- 必要なソフトウェア
  - FPCCDから得られる信号を作成 (デジタイズ)
  - 信号から粒子の通過点を再構成 (クラスタリング)
  - バックグラウンドとシグナルを重ね合わせる (オーバーレイ)
  - 通過点から飛跡を再構成 (トラッキング) ← 開発中

これらを開発し、ILC専用のパッケージに組み込んだ。

# FPCCD デジタイザー

12

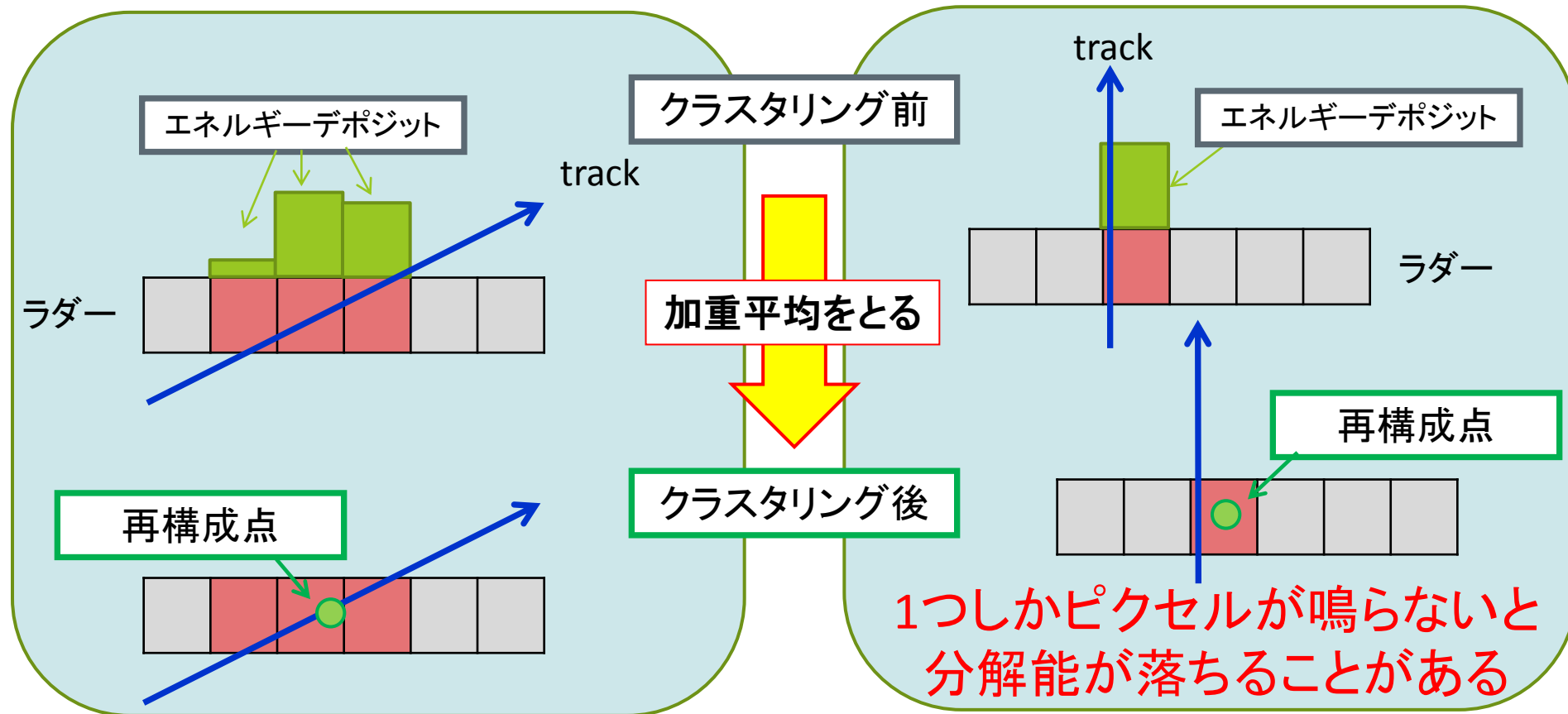
- ヒット点の位置と運動量を取得。
- 位置と運動量から飛跡を計算。
- 飛跡とピクセルの境界との交点から鳴ったピクセルを特定する。
- エネルギーデポジットを通過距離に比例して割り振り、ランダウ分布で振る。



# FPCCD クラスタリング

13

- 隣接したピクセルはクラスターとみなす。
- エネルギーデポジットによる加重平均としてヒット点を再構成する。



# シミュレーションの結果

位置分解能

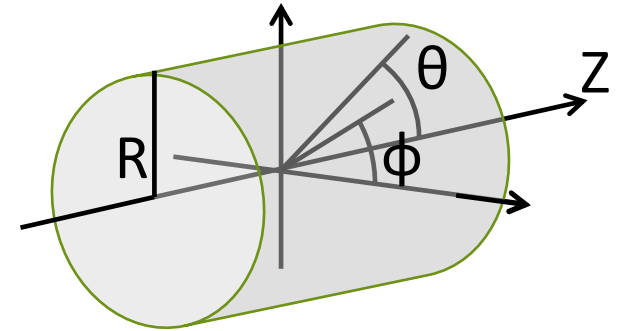
衝突径数分解能

ピクセル占有率

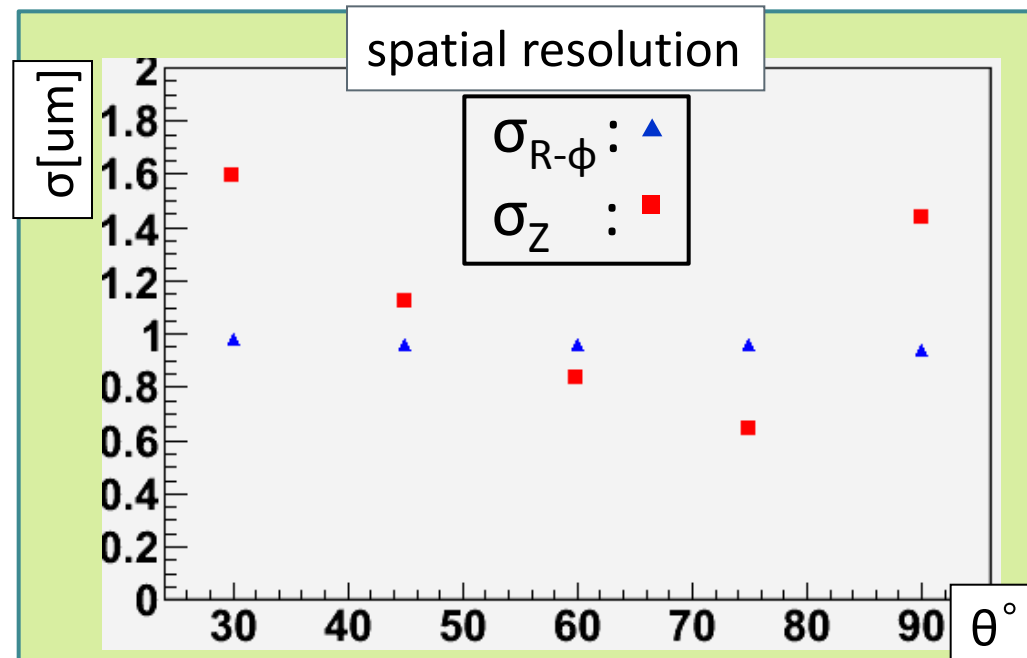
# 位置分解能

15

- 各レイヤーでの位置分解能の $\theta$ 依存
  - 1  $\mu\text{m}$  よりも良い分解能が得られた。
  - 垂直方向では分解能が悪い。



$\theta$	$\sigma_z$	$\sigma_{R-\phi}$
90°	1.5 $\mu\text{m}$	0.94 $\mu\text{m}$
75°	0.64 $\mu\text{m}$	0.96 $\mu\text{m}$
60°	0.83 $\mu\text{m}$	0.96 $\mu\text{m}$
45°	1.2 $\mu\text{m}$	0.96 $\mu\text{m}$
30°	1.6 $\mu\text{m}$	0.98 $\mu\text{m}$
LOI	2.8 $\mu\text{m}$	2.8 $\mu\text{m}$



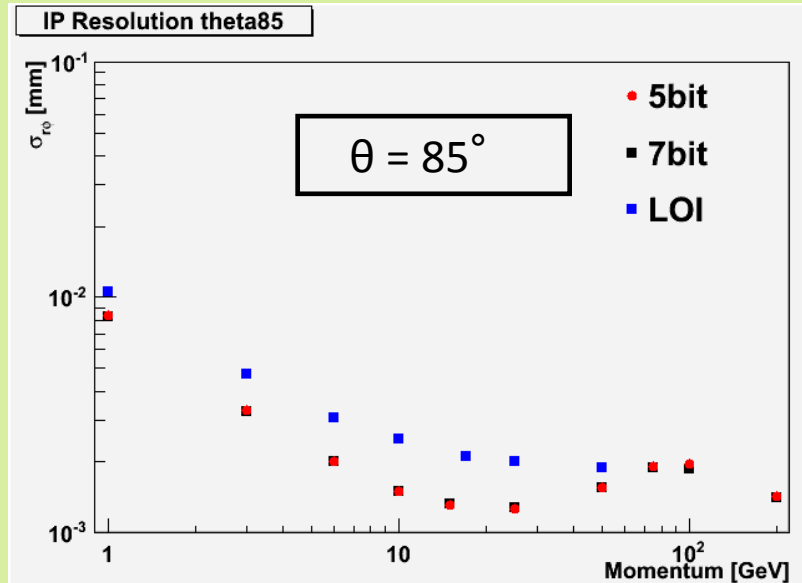
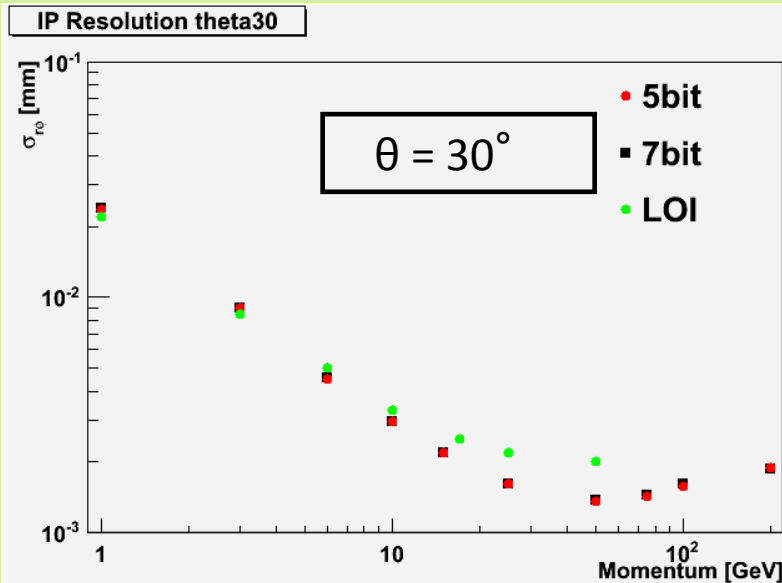


# 衝突径数分解能

16

- 運動量ごとの R- $\phi$  方向の衝突径数分解能
  - 要求性能を十分に満たす分解能が得られた
  - 7bits と 5bits の読み出しでほとんど差は無い

Impact parameter resolution



※LOI は 10um角を想定した従来のスタディ 5bitsと7bitsのプロットは被ってしまっている

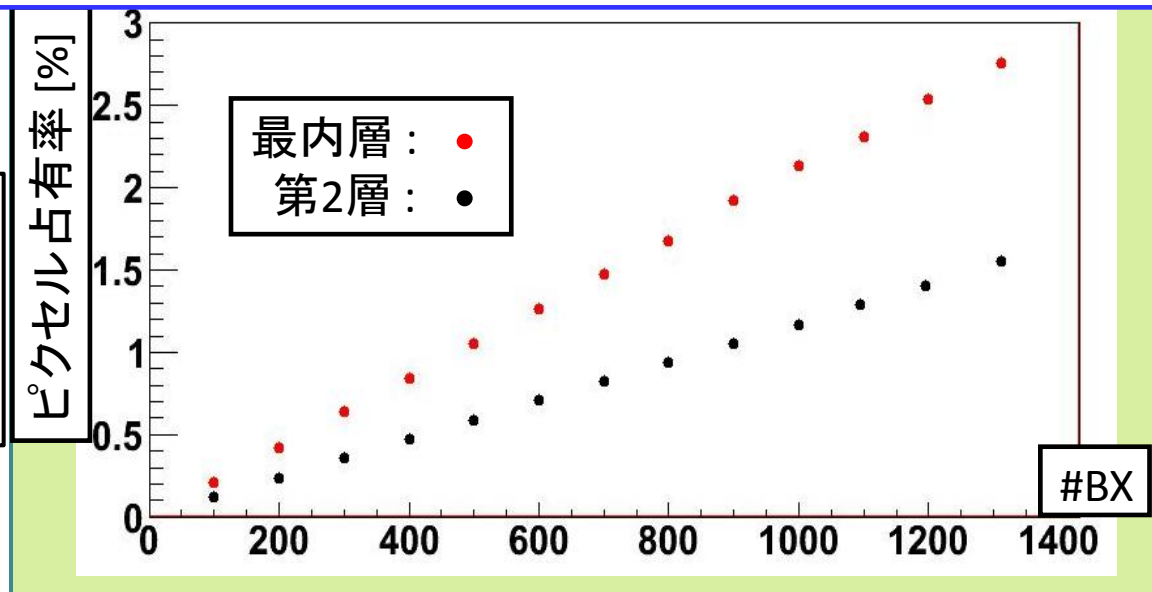
# ピクセル占有率

17

- SB2009 wTF, 500 GeV, 1トレイン(1312BX)分のペアバックグラウンドによるピクセル占有率
  - 最内層 : 2.76 %、第2層 : 1.55 %

従来のCCDに比べ非常に低い占有率が得られた。

最内層でのピクセル占有率 vs バンチ衝突回数



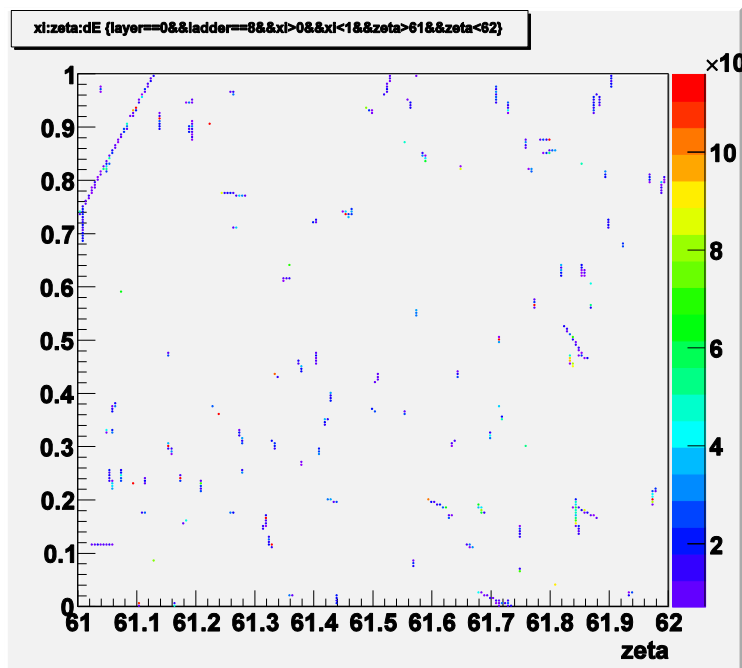
$$\text{ピクセル占有率} = \frac{\text{ヒットしたピクセル数}}{\text{全体のピクセル数}}$$

# ペアバックグラウンド分布

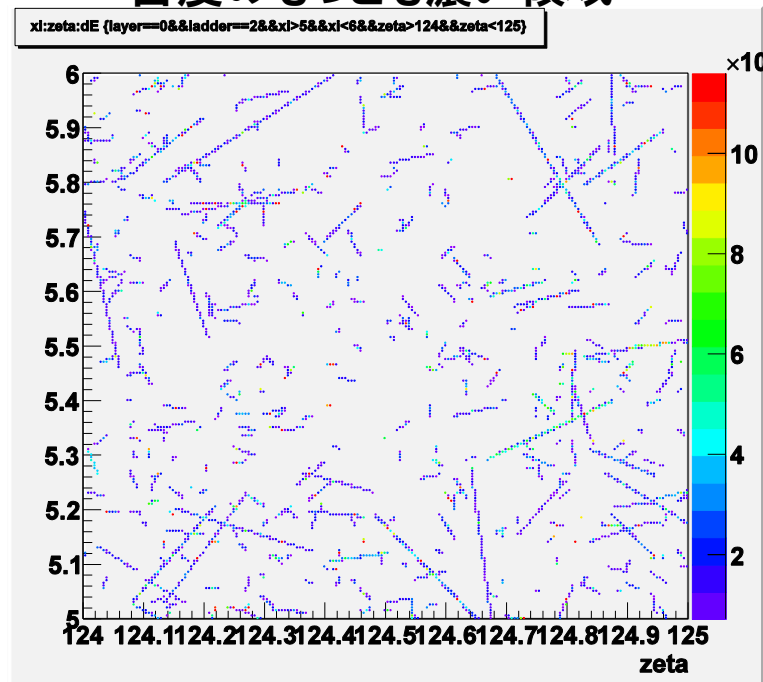
18

- 1トレイン分のペアバックグラウンドを蓄積した際の最内層のピクセルヒットの様子。
- $1\text{mm}^2$  の範囲をプロット。各点が $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$ のピクセルに対応している。

密度のもっとも薄い領域



密度のもっとも濃い領域



19

# 開発中のソフトウェア

トラッキングソフトウェア

# トラッキングソフトウェア

20

- 既存のトラッキングソフトウェアに変わって、FPCCD崩壊点検出器の特徴を生かしたトラッキングソフトウェアを開発中
- **トラッキング**

1. トラックファインディング  
複数のヒット点からトラックを形成しうるヒット点を見つける

2. トラックフィッティング  
ヒット点が形成するトラックのパラメーターをフィットする

■ Old :

一般的な  
トラックファインディング

$X^2$  フィット

■ New :

FPCCDの構造を生かした  
トラックファインディング

Kalman Filter

←  
**開発中**

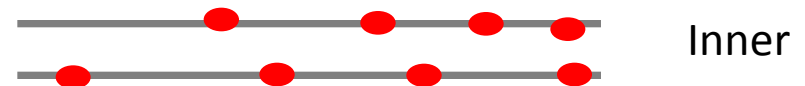
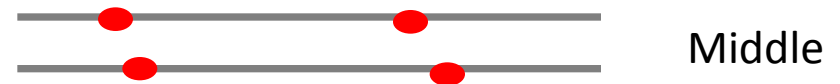
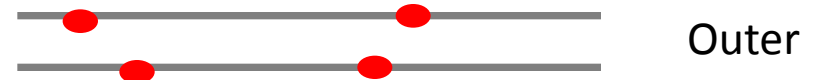
↑  
**完成**

# トラックファインディング – ベクトルヒット

21

- トラックファインディングのアルゴリズムについて
  - 3ダブレット構造を生かしてトラックを探す。

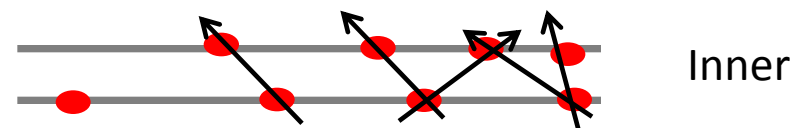
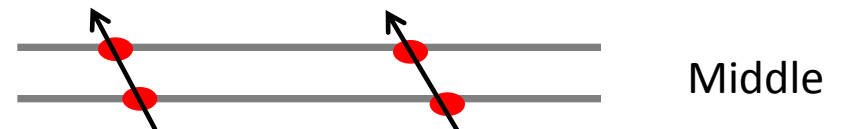
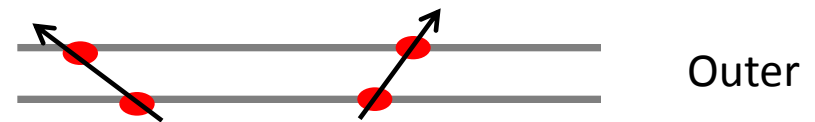
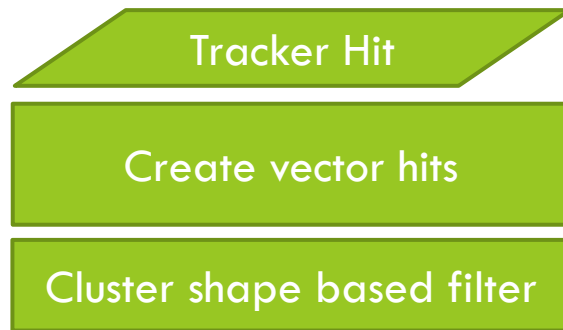
Tracker Hit



# トラックファインディング – ベクトルヒット

22

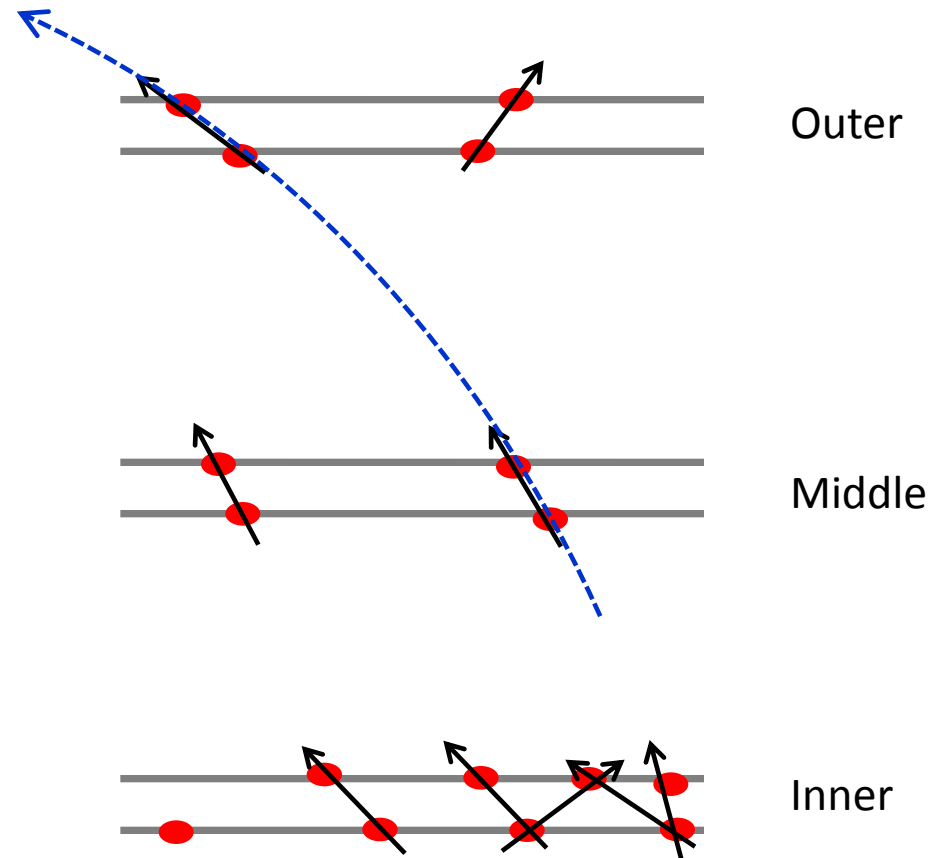
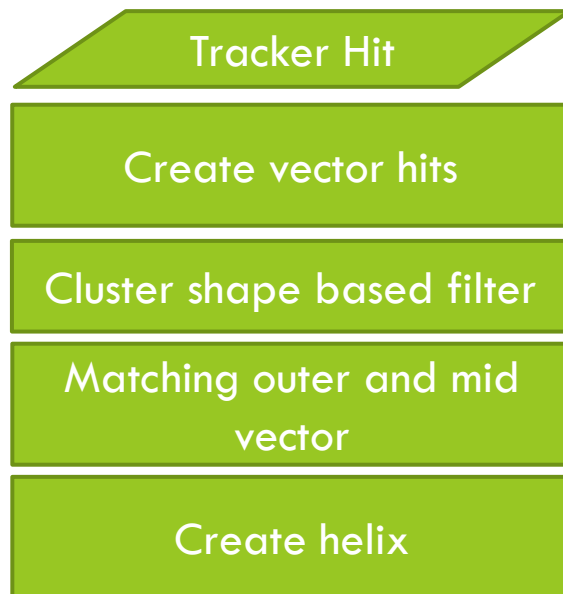
- ペア2層でベクトルヒットを作る。 ベクトルヒット : ↑
- クラスタ形状によってフィルタリングを行う。



# トラックファインディング – ベクトルヒット

23

- 外側2層だけでだけでヘリックスを作る(最内層はバックグラウンドが多いため)。→ **スピードアップが期待できる**

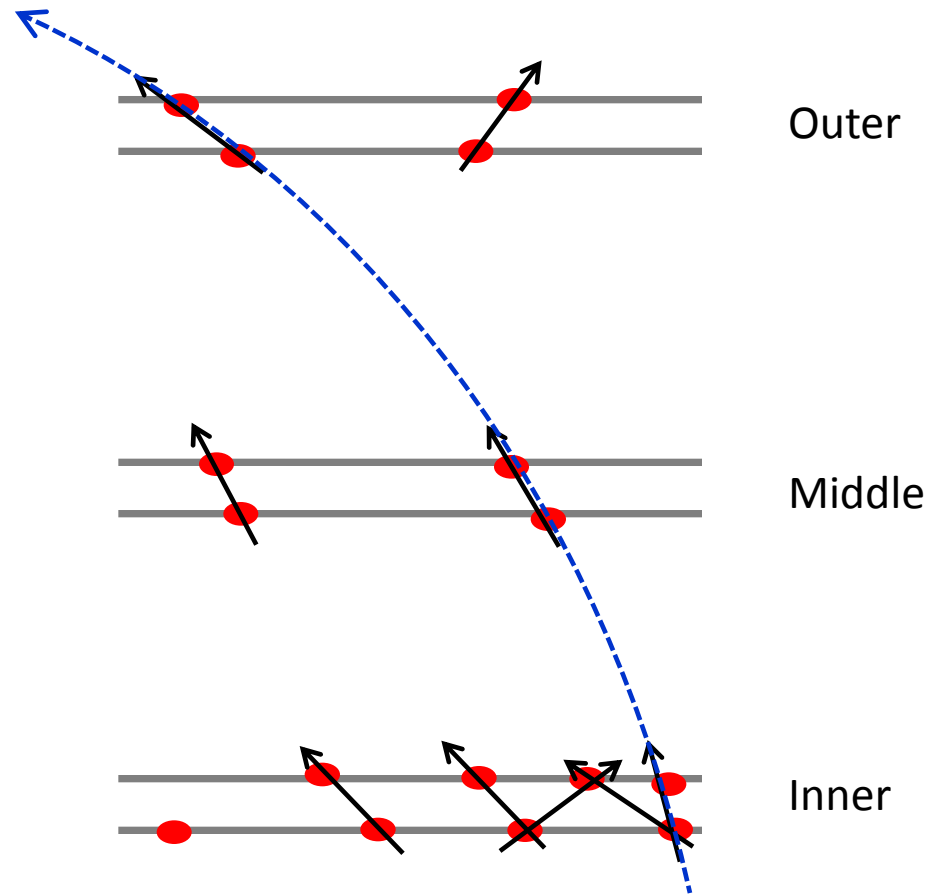




# トラックファインディング – ベクトルヒット

24

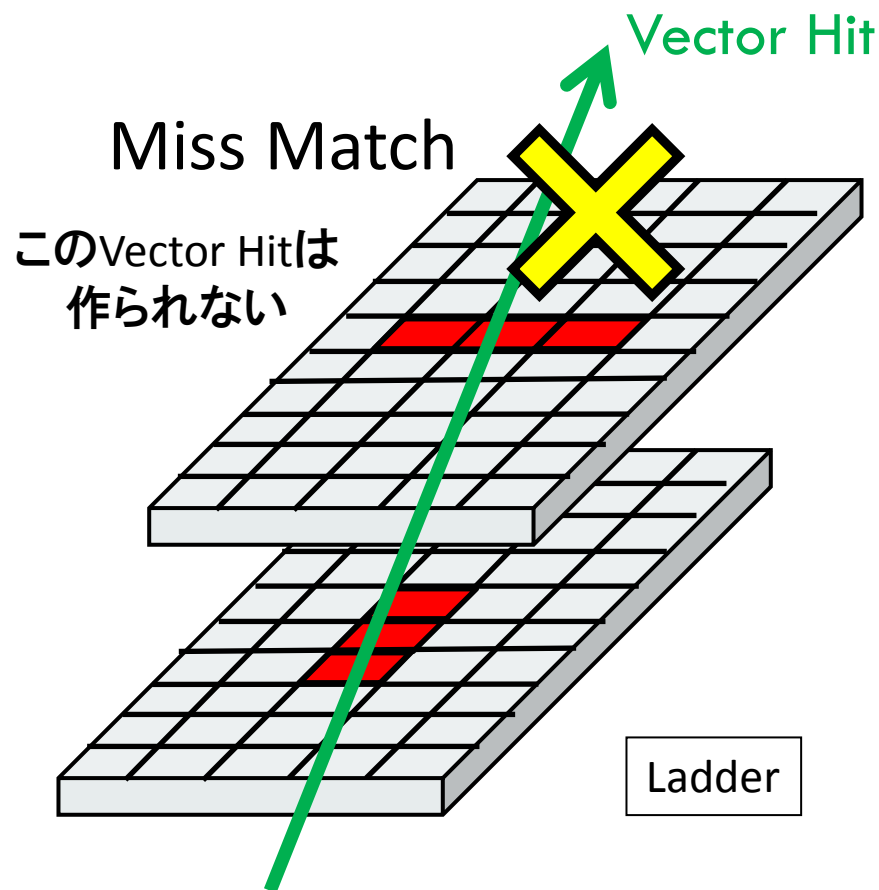
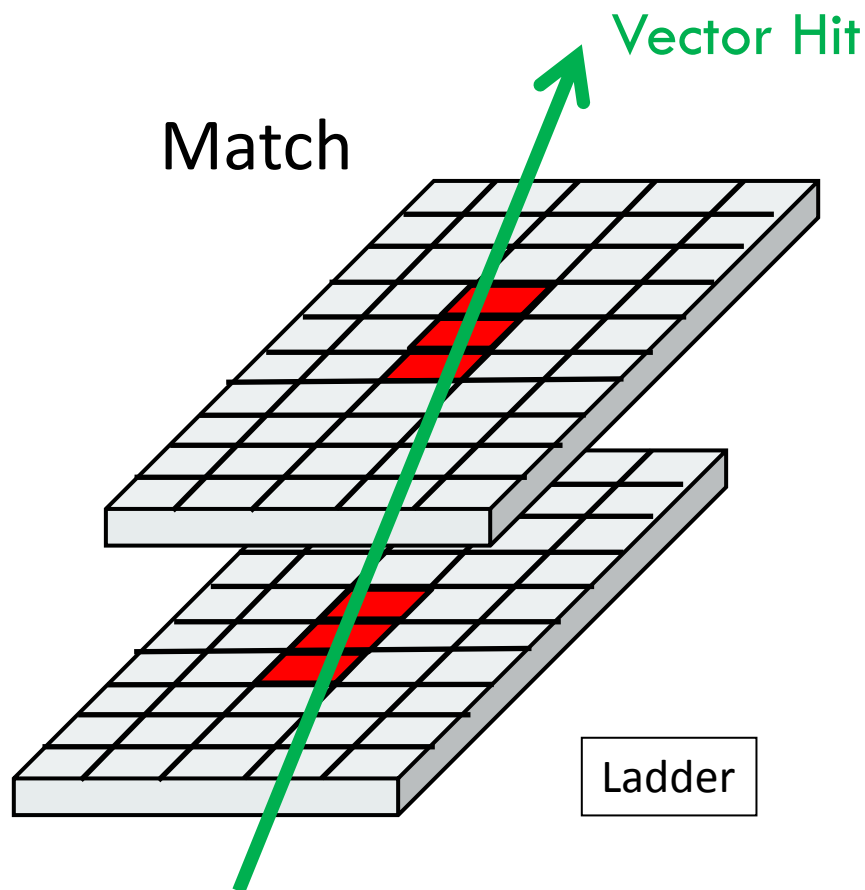
- 最内層までヘリックスを伸ばし、トラックを決める。



# トラックファインディング – クラスター形状フィルタ

25

- Vector Hit を作る際にクラスターの形状を見て整合をとる。
  - より正確な Track Finding が期待できる



# トラッキングソフトウェアまとめ

26

- FPCCD崩壊点検出器の特徴を生かしたトラッキングソフトを開発している。
  - Kalman Filter によるトラックフィッティング
    - 完成
  - ベクトルヒット・クラスター形状を用いたトラックファインディング
    - スピードアップ・精度向上が期待できる。
    - 開発中

# まとめ

27

- ILCの崩壊点検出器として、FPCCD崩壊点検出器の開発をしている。
- FPCCD崩壊点検出器の性能評価のためのシミュレーションソフトウェアを開発を行った。
- 衝突径数分解能・ピクセル占有率はほぼ要求性能を満たすことが分かった。
- 現在トラッキングソフトウェアを開発中。
  
- FPCCD崩壊点検出器を導入した場合の測定器の性能を評価する予定。
  - フレーバータグ性能