



# ILCにおける FPCCD崩壊点検出器についての シミュレーションによる性能評価

東北大学 釜井大輔

東北大学, 高工研<sup>A</sup>, 信州大学<sup>B</sup>,  
杉本康博<sup>A</sup>, 田窪洋介<sup>A</sup>, 藤井恵介<sup>A</sup>, 宮本彰也<sup>A</sup>,  
佐藤比佐夫<sup>B</sup>, 山本均

2011/9/16

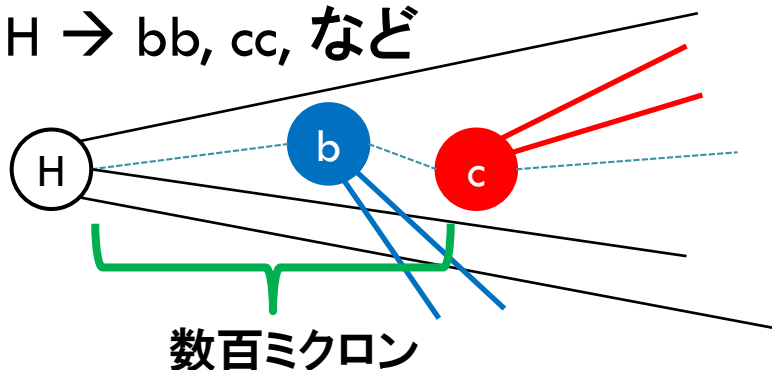
日本物理学会 2011年秋季大会 弘前大学



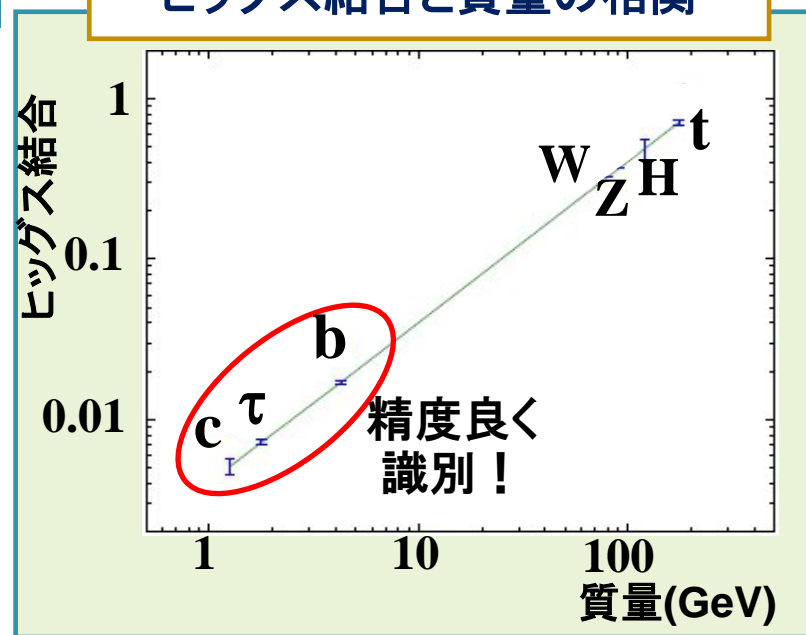
# ILCの崩壊点検出器

2

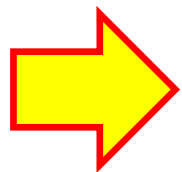
- ILCが目指す物理
  - 標準理論を超える物理
  - Higgsの精密測定
    - H → bb, cc, など



ヒッグス結合と質量の相関



b, c クォークを精度良く識別(フレーバー・タグ)



要求される  
インパクトパラメーター  
分解能

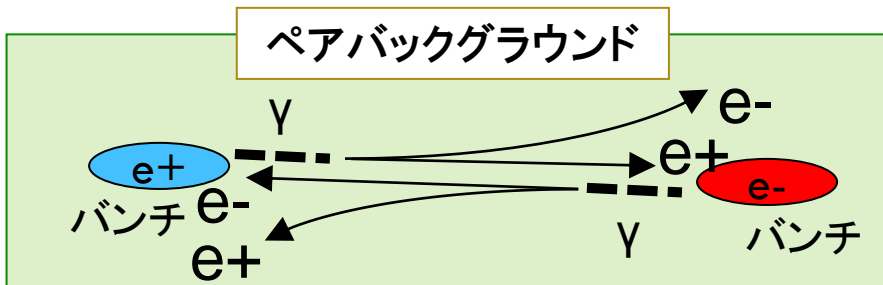
$$\sigma_{IP} = 5 \oplus \frac{10}{p\beta \sin^{3/2}\theta}$$

# 崩壊点検出器への要求

3

## ■ 崩壊点検出器の課題

- 衝突点の最近傍に設置される検出器 ( $R=1.6$  cm)

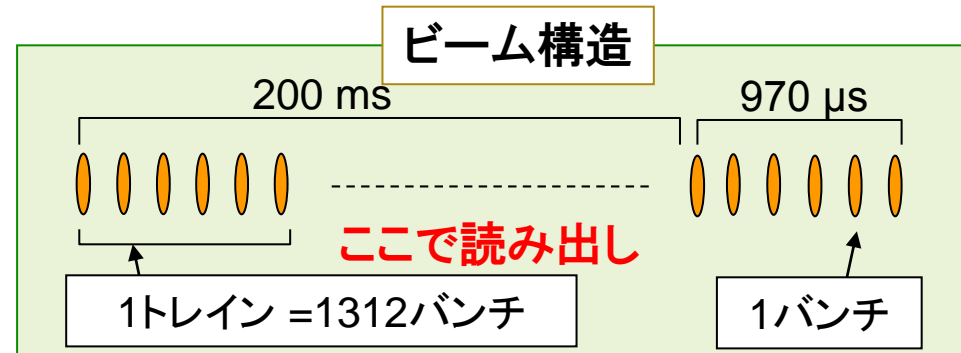
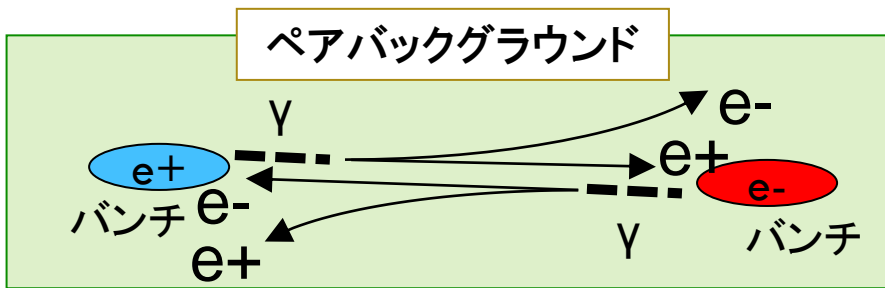


# 崩壊点検出器への要求

4

## ■ 崩壊点検出器の課題

- 衝突点の最近傍に設置される検出器 ( $R=1.6\text{ cm}$ )
- 1トレイン分のデータを蓄積して読み出しを行う

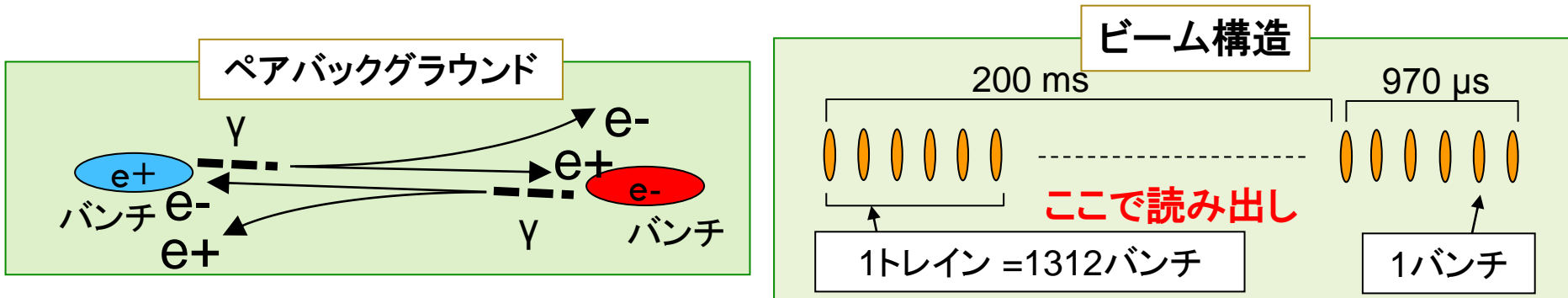


# 崩壊点検出器への要求

5

## ■ 崩壊点検出器の課題

- 衝突点の最近傍に設置される検出器 ( $R=1.6$  cm)
- 1トレイン分のデータを蓄積して読み出しを行う



➡ ペアバックグラウンドによるピクセル占有率が問題となる。

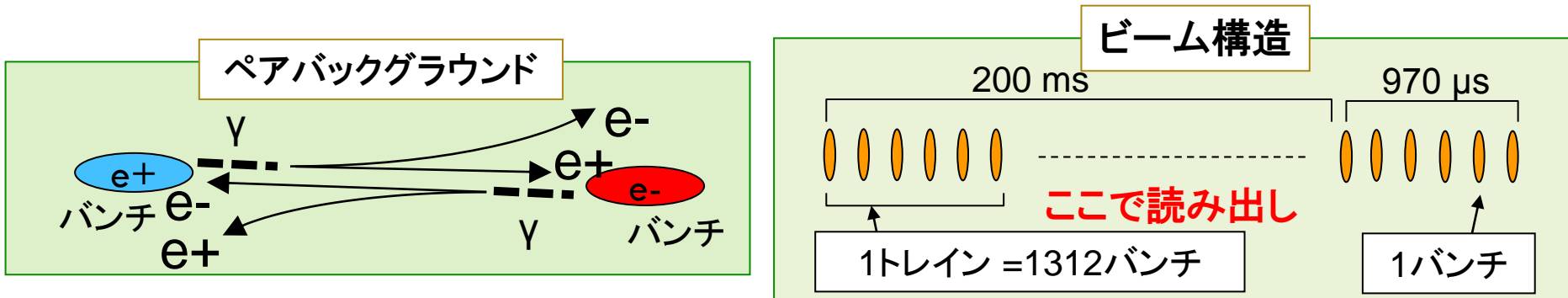
- $20 \times 20 \mu\text{m}^2$  CCD で数十%  $\rightarrow$  1%程度にしたい

# 崩壊点検出器への要求

6

## ■ 崩壊点検出器の課題

- 衝突点の最近傍に設置される検出器 ( $R=1.6$  cm)
- 1トレイン分のデータを蓄積して読み出しを行う



➡ ペアバックグラウンドによるピクセル占有率が問題となる。

- $20 \times 20 \mu\text{m}^2$  CCD で数十%  $\rightarrow$  1%程度にしたい

解決策：ピクセルを小さくする  $\rightarrow$  FinePixelCCD!!

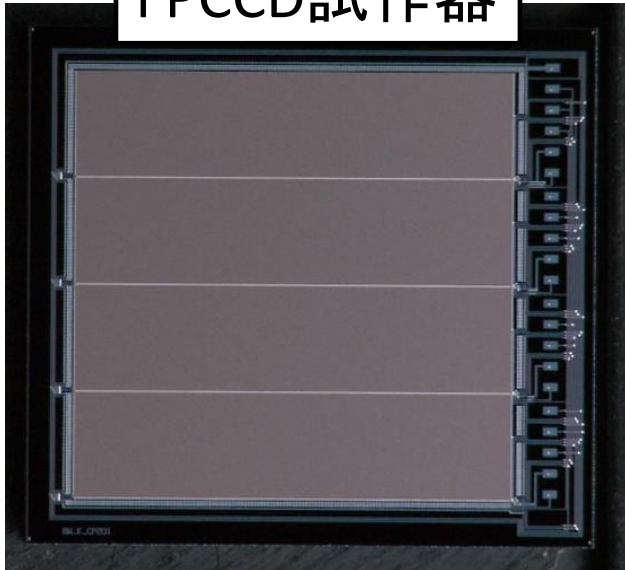
ILCのためにFPCCD崩壊点検出器を開発している。

# FPCCD崩壊点検出器

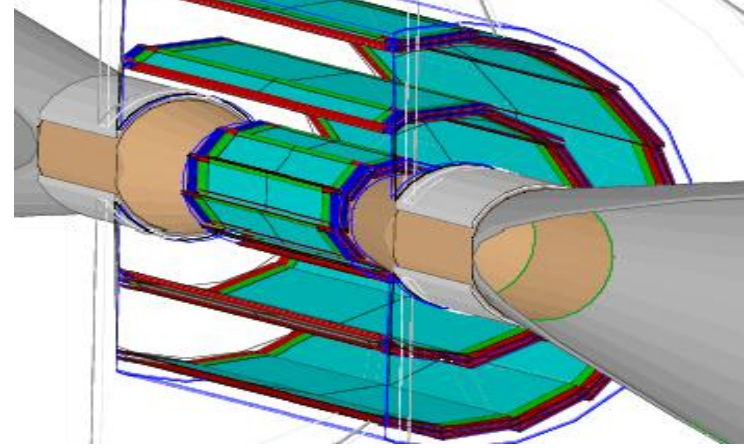
7

- **FinePixelICCD崩壊点検出器**
  - ピクセルサイズ :  $5 \times 5 \text{ } \mu\text{m}^2$
  - 総ピクセル数 :  $\sim 10^{10}$  pixels
  - 全空乏型
  - トレイン間に読み出し

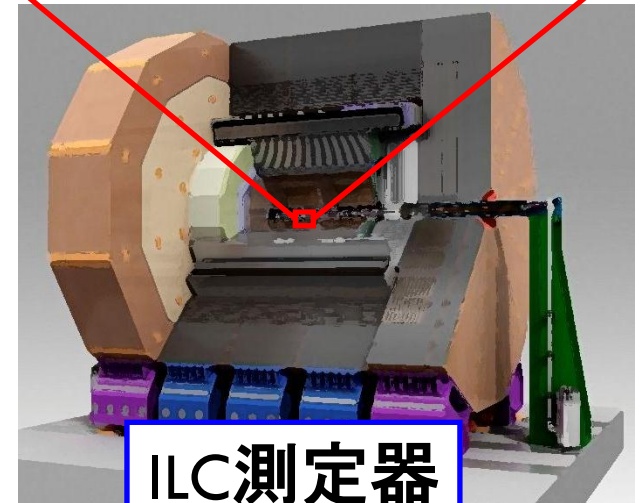
FPCCD試作器



3ダブレット構造



ILC測定器





# FPCCD崩壊点検出器の利点

8

## FinePixelCCD崩壊点検出器

- ピクセルサイズ :  $5 \times 5 \text{ } \mu\text{m}^2$
- 総ピクセル数 :  $\sim 10^{10}$  pixels
- 全空乏型
- トレイン間に読み出し



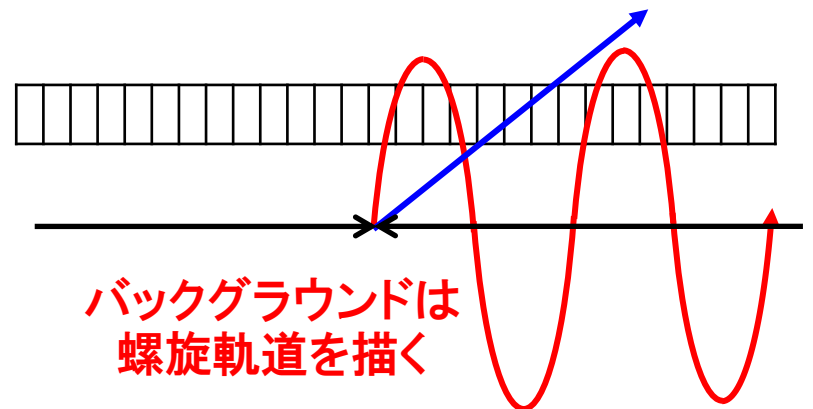
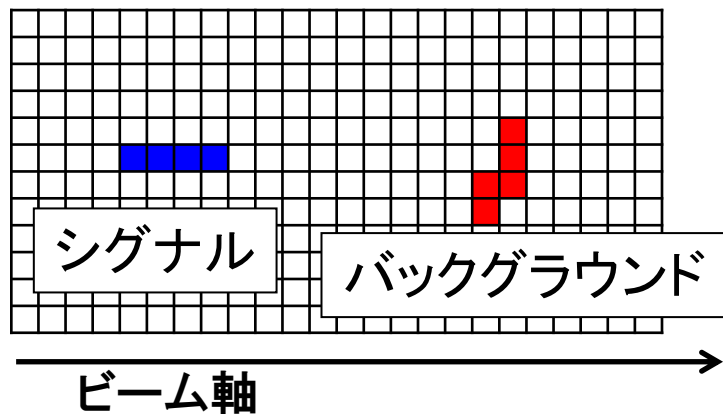
高い位置分解能・インパクトパラメーター分解能

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



# FPCCDのためのソフトウェア

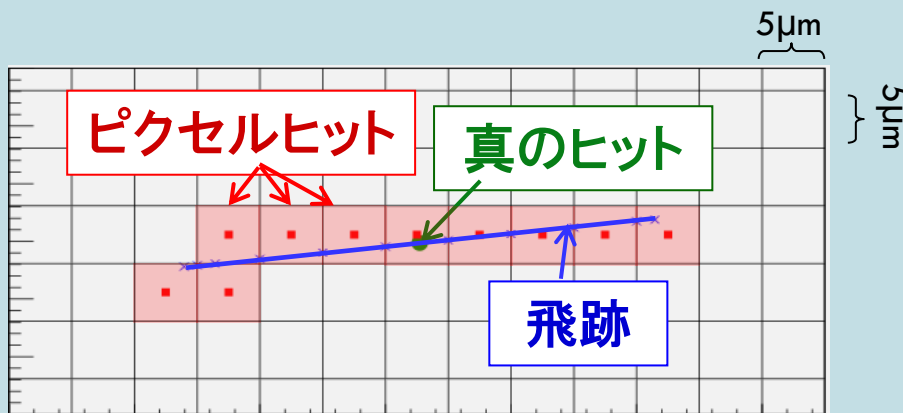
9

- 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。
- 必要なソフトウェア
  - FPCCDから得られる信号を再現(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)  
これらを開発し、ILC専用のパッケージに組み込んだ。
  - 通過点から飛跡を再構成 (トラッキング) ← 開発中

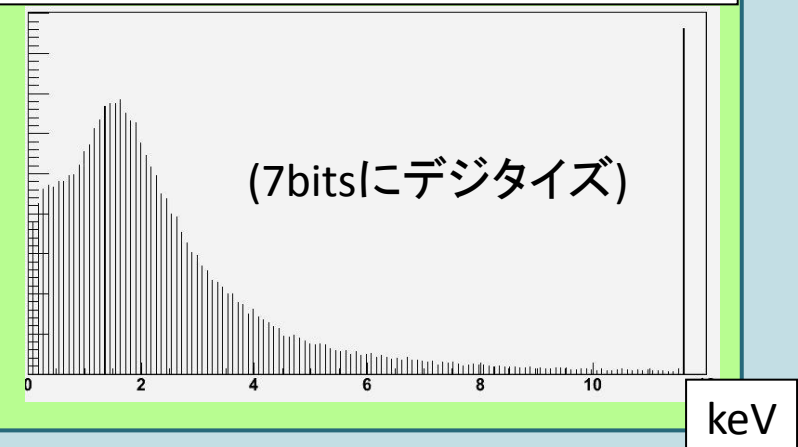
# FPCCDデジタイザー

10

- FPCCDからの出力を再現
  - ヒット点の位置と運動量を取得し、飛跡を計算する。
  - 飛跡とピクセル境界との交点から出力のあるピクセルを特定する。
  - 粒子の通過距離からエネルギーデポジットを算出し、ランダウ分布で近似する。
  - ノイズを乗せる。



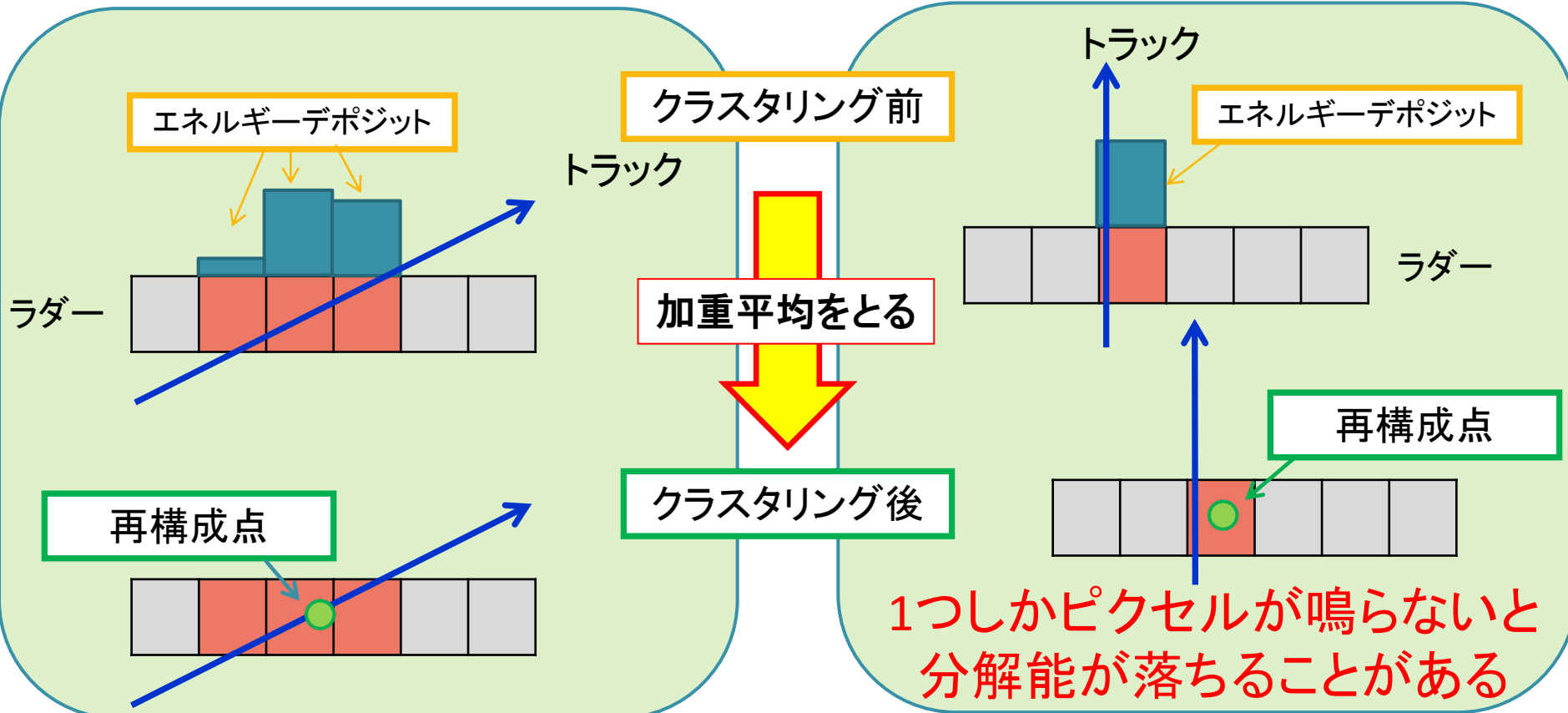
各ピクセルのエネルギーデポジット



# FPCCDクラスタリング

11

- 粒子の通過点を再構成
  - 隣接したピクセルを1つの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通過点を再構成。



# シミュレーション結果

位置分解能

インパクトパラメーター分解能

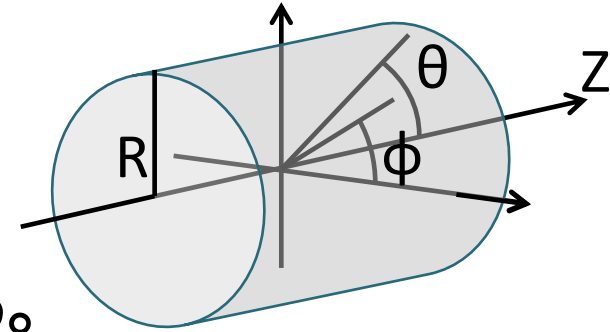
ピクセル占有率

(既存のトラッキングソフトを使用)

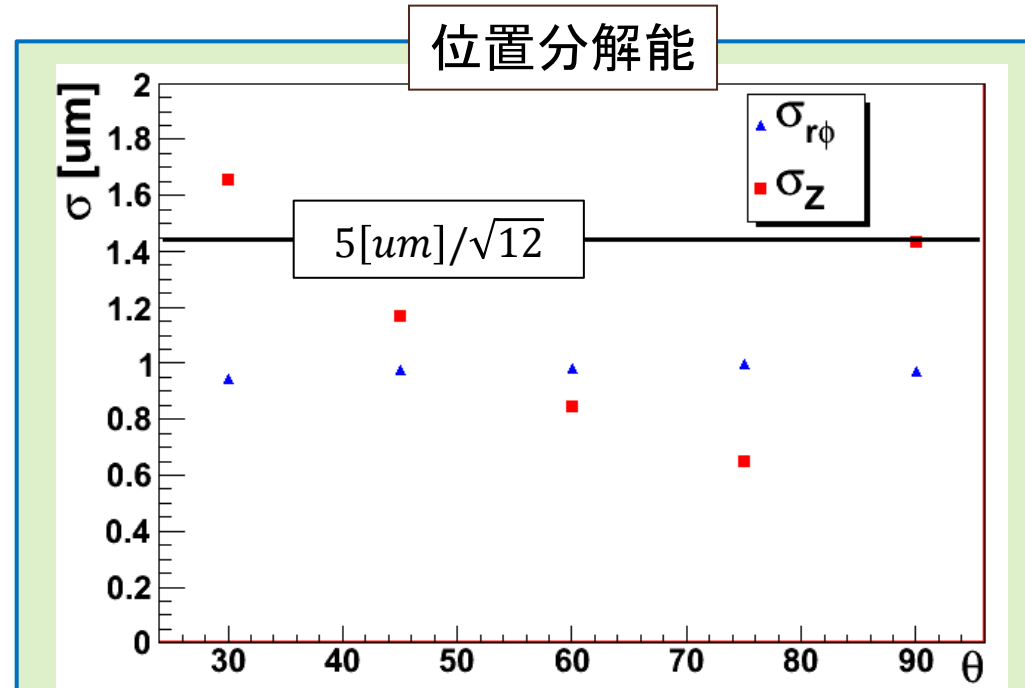
# 位置分解能

13

- 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R- $\phi$ 分解能が得られた。
  - $\theta$ が小さいほどZ分解能は悪い。
  - 垂直方向のトラックはZ分解能が落ちる。



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

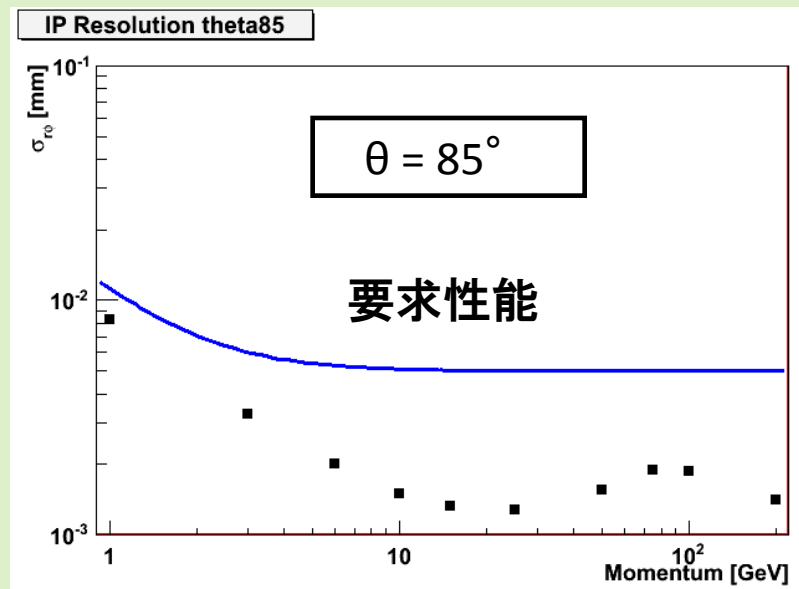
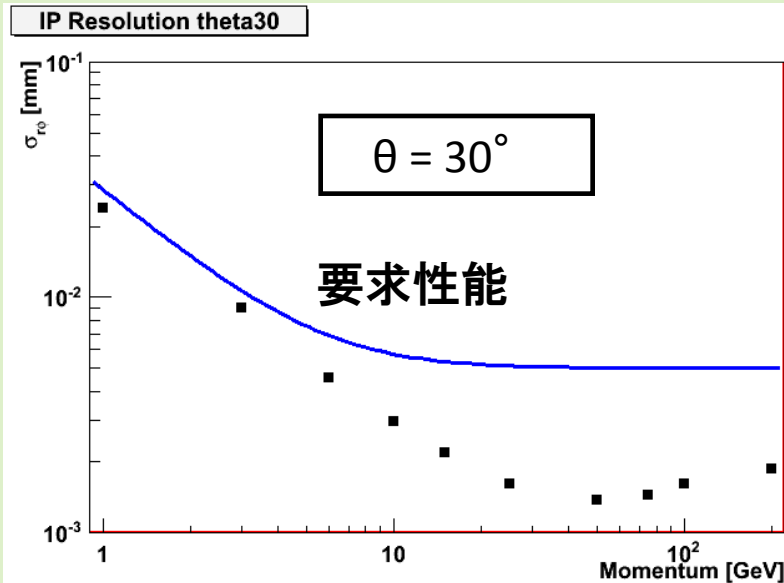


# インパクトパラメーター分解能

14

- 運動量ごとのR- $\Phi$ 方向のインパクトパラメーター分解能
  - $\sigma_{\text{ノイズ}}$ : 50 e<sup>-</sup>/pixel, スレッショルド: 200 e<sup>-</sup>/pixel
  - 要求性能を十分に満たす分解能が得られた。

## インパクトパラメーター分解能



# ピクセル占有率

15

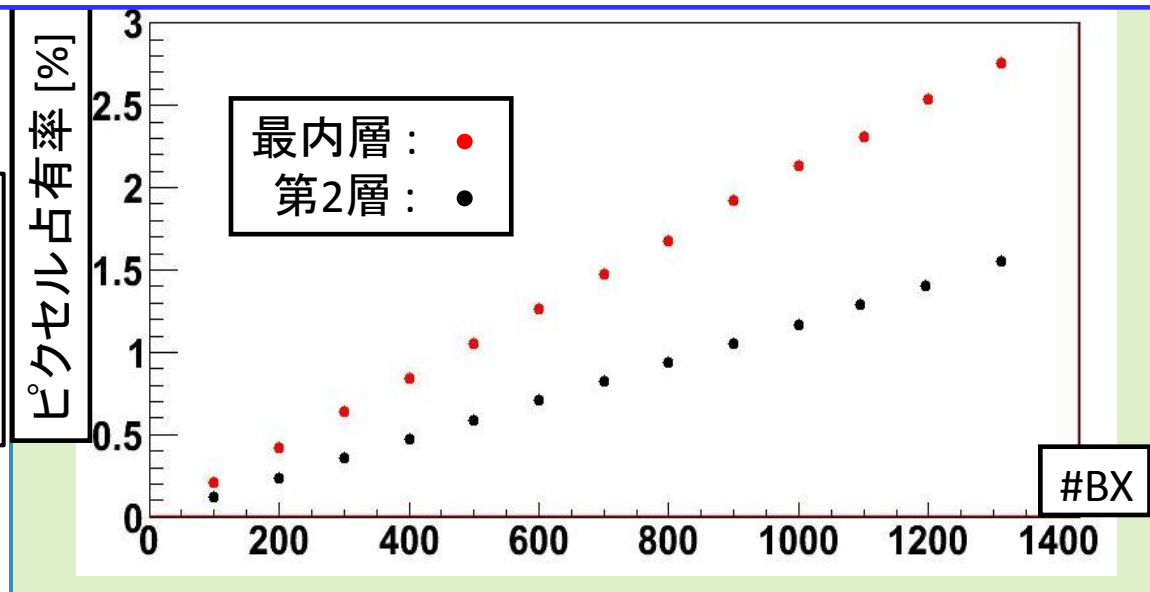
- 1トレイン分のペアバックグラウンドによるピクセル占有率

- 最内層内側 : 2.76 % , 最内層外側 : 1.55 %

従来のCCDに比べ、非常に低い占有率が得られた。

→ この環境で十分精度良くイベント再構成ができるか調べる。

最内層でのピクセル占有率 vs バンチ衝突回数



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



16

# 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

17

- 既存のトラッキングソフトウェアに変えて、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

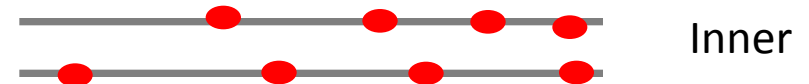
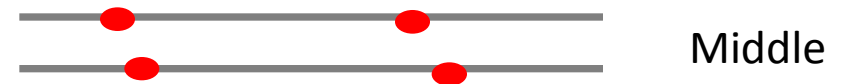
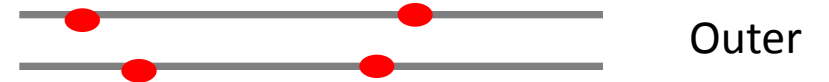
↑  
**開発中**

↑  
**導入が完了**

# トラックファインディング – ベクトルヒット

18

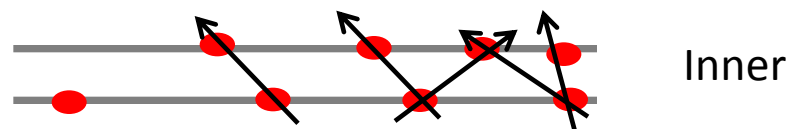
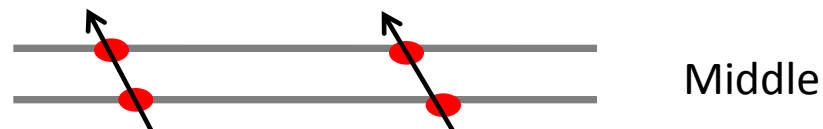
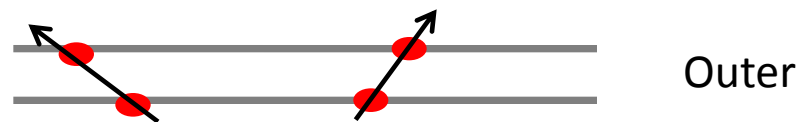
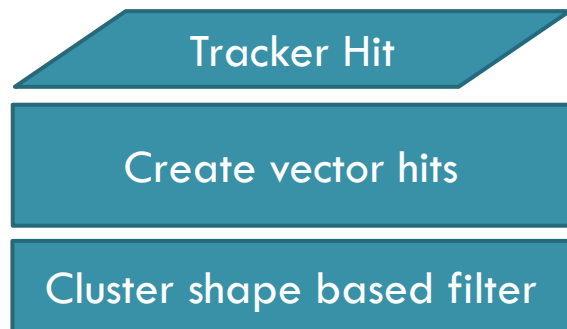
- トラックファインディングのアルゴリズムについて
  - 3ダブレット構造を生かしてトラックを探す。



# トラックファインディング – ベクトルヒット

19

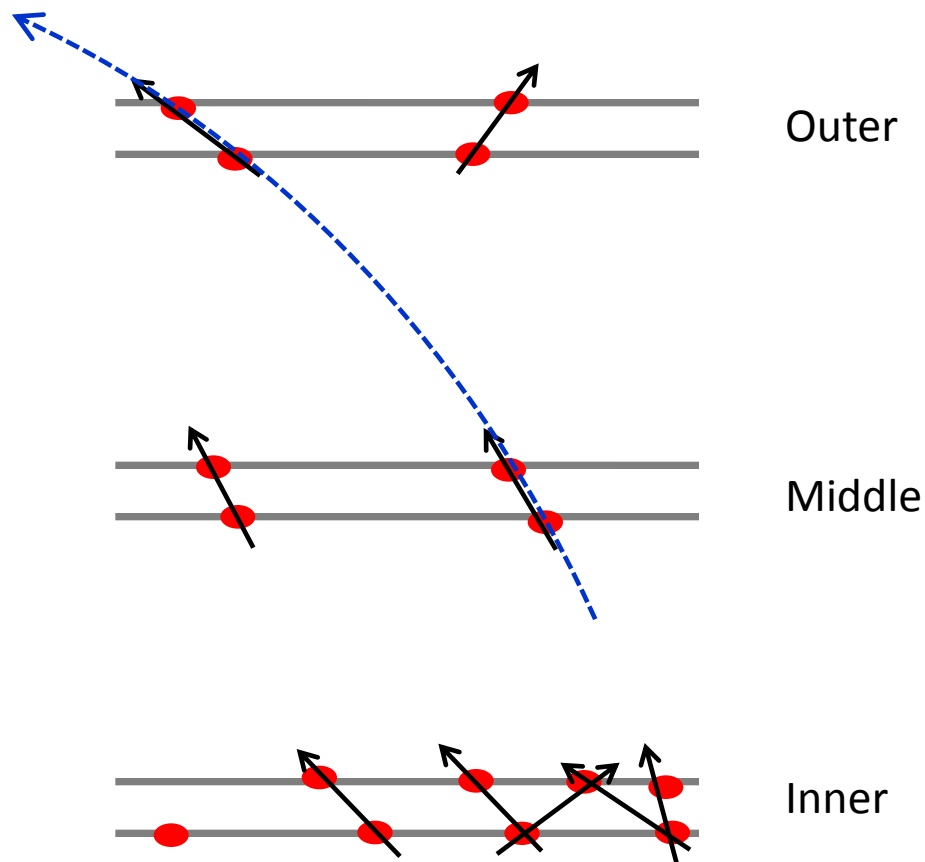
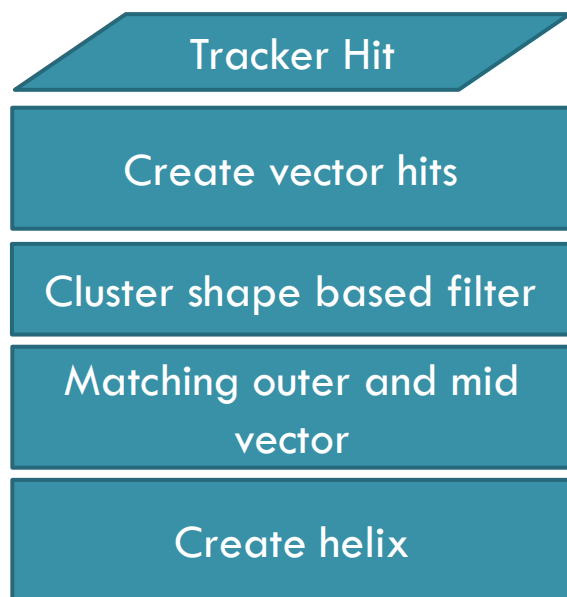
- ペア2層で**ベクトルヒット**を作る。 ベクトルヒット: ↑
- クラスター形状によってフィルタリングを行う。



# トラックファイニング – ベクトルヒット

20

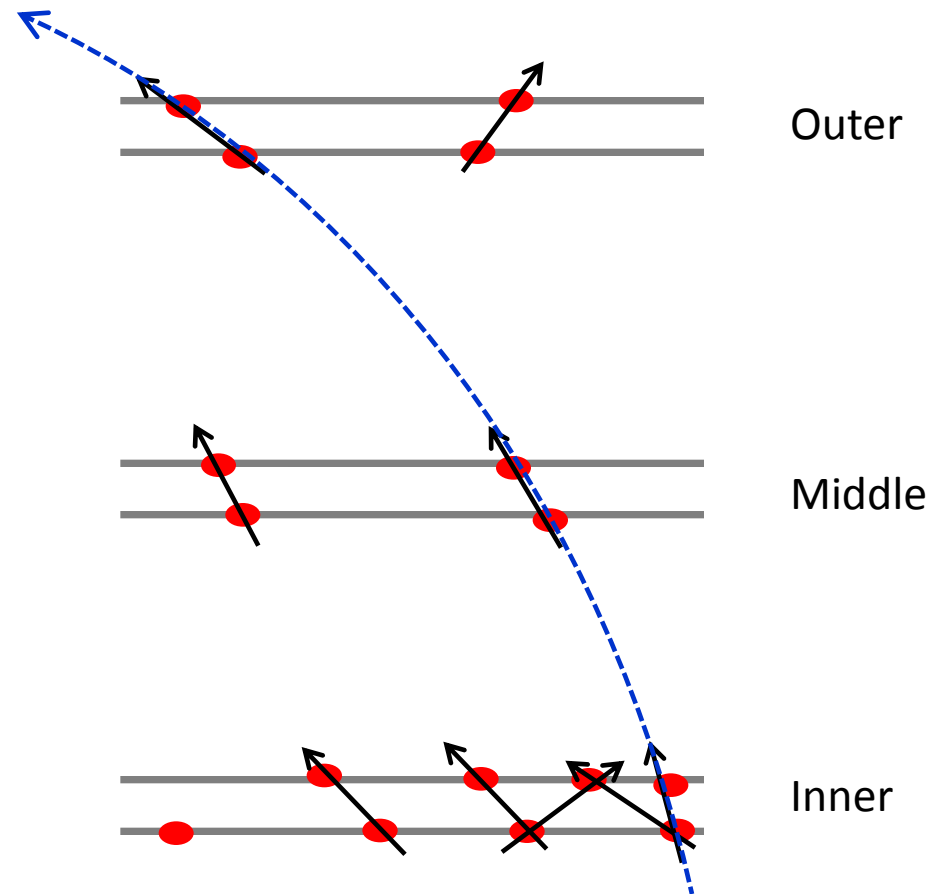
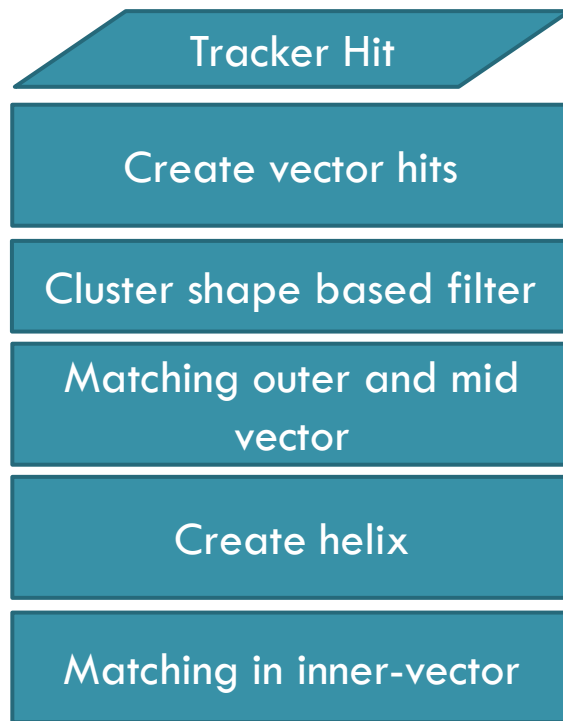
- 外側2層だけでヘリックスを作る(最内層はバックグラウンドが多いため)。 → **スピードアップが期待できる**



# トラックファイニング – ベクトルヒット

21

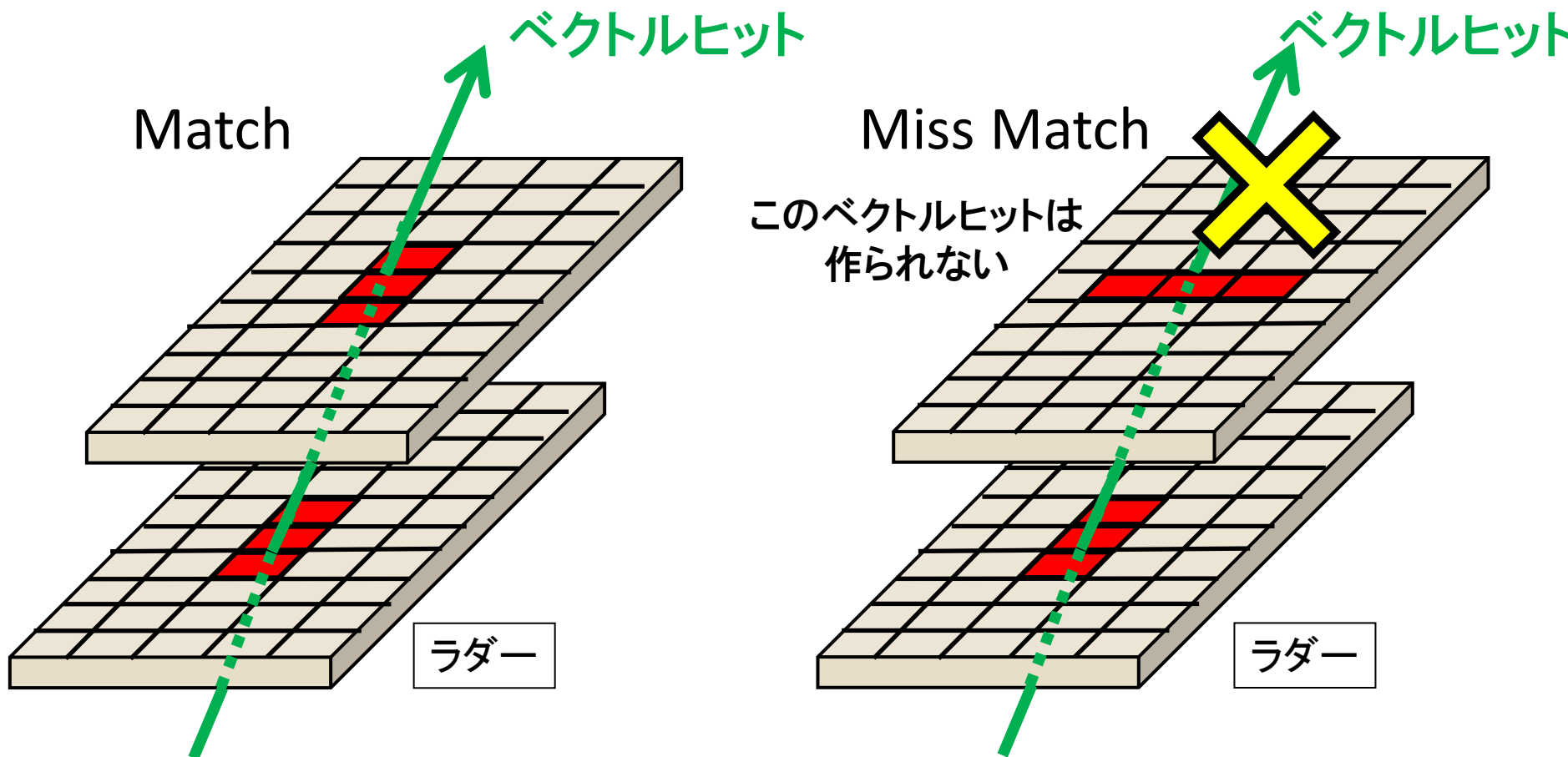
- 最内層までヘリックスを伸ばし、トラックを決定する。



# トラックファインディング – クラスター形状フィルタ

22

- ベクトルヒットを作る際にクラスター形状により整合をとる。
  - より正確なトラックファインディングが期待できる



# まとめと予定

23

- ILCの崩壊点検出器として、FPCCD崩壊点検出器を開発している。
- 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の開発を行った。
  - 位置分解能 :  $\sigma_{R-\phi} < 1 \text{ um}$
  - インパクトパラメーター分解能 : 要求性能をクリア
  - ピクセル占有率 : 最内層内側 2.76%, 最内層外側 1.55%
- 現在トラッキングソフトウェアを開発中
- 予定
  - バックグラウンドの影響の評価
  - フレーバータグ性能の評価