

# 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

- 国際リニアコライダー (ILC)
- FPCCD崩壊点検出器
- FPCCDソフトウェア
- FPCCD崩壊点検出器のシミュレーション結果
- まとめ

東北大学 M1  
釜井 大輔

# 国際リニアコライダー (ILC)

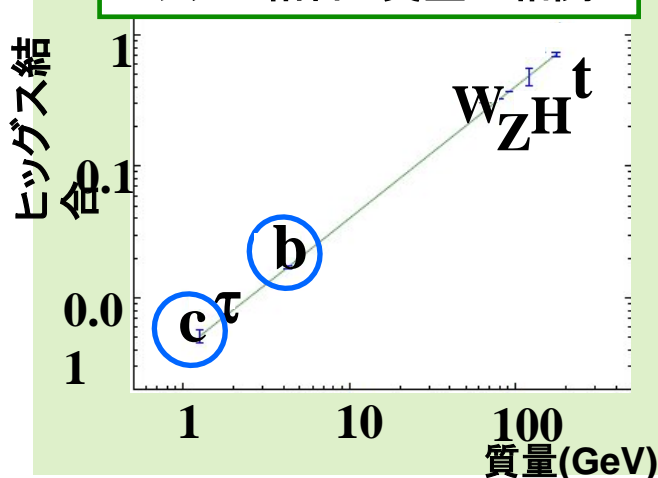
## ILCとは

- 電子・陽電子衝突型の次世代線形加速器
- 重心エネルギー : 500 GeV (→ 1 TeV)
- 最大ルミノシティ :  $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

## ILCの目的

- 超対称性模型・余剰次元・リトルヒッグスなどの新物理の検証
- **ヒッグス粒子の精密測定** ( $H \rightarrow b\bar{b}$ ,

ヒッグス結合と質量の相関

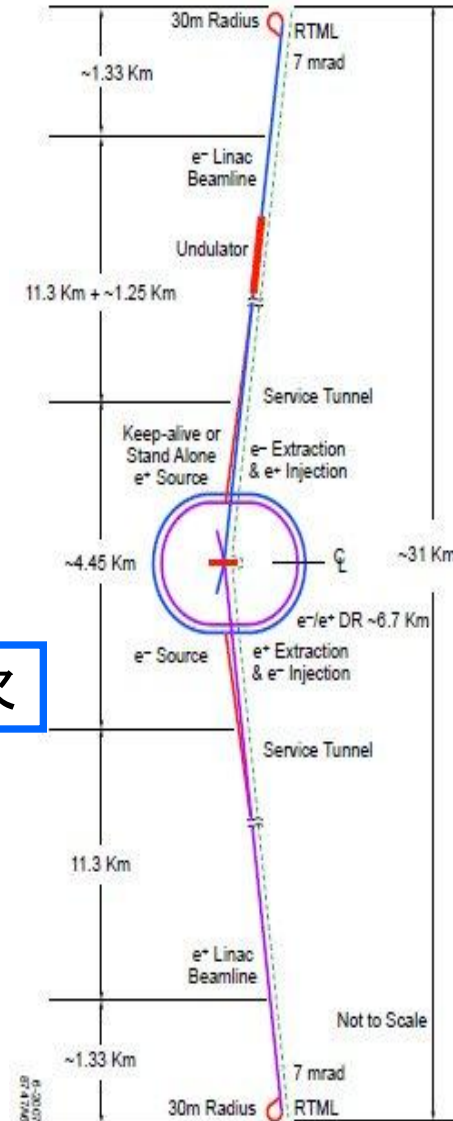


b, cクォークの同定が不可欠

要求崩壊点分解能

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

**FPCCD崩壊点検出器  
を開発している**



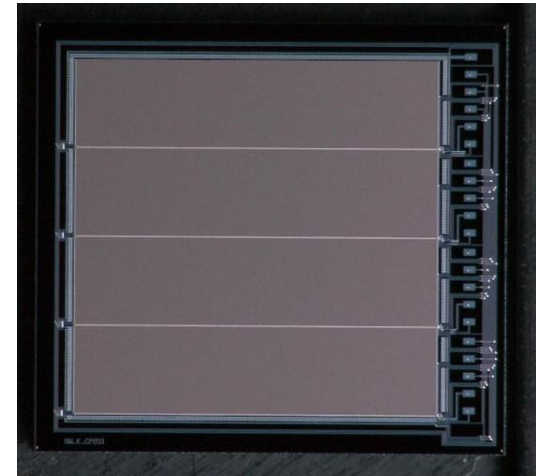
# FPCCD崩壊点検出器

## FinePixelCCD崩壊点検出器

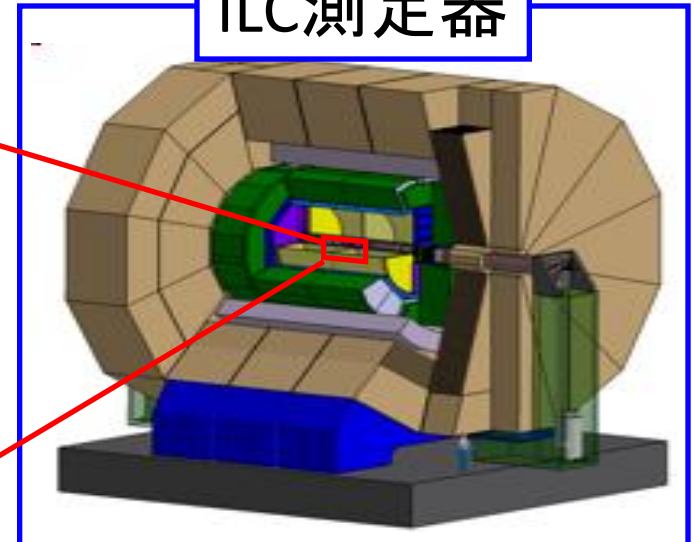
- ピクセルサイズ： $5 \times 5 \mu\text{m}^2$
- 有感層の厚さ： $15 \mu\text{m}$
- 総ピクセル数： $\sim 10^{10}$ ピクセル
- 全空乏型CCD
- 6層(3層×裏表)

これまでに無い**高精細なCCD**を用いることで**多くの利点**がある

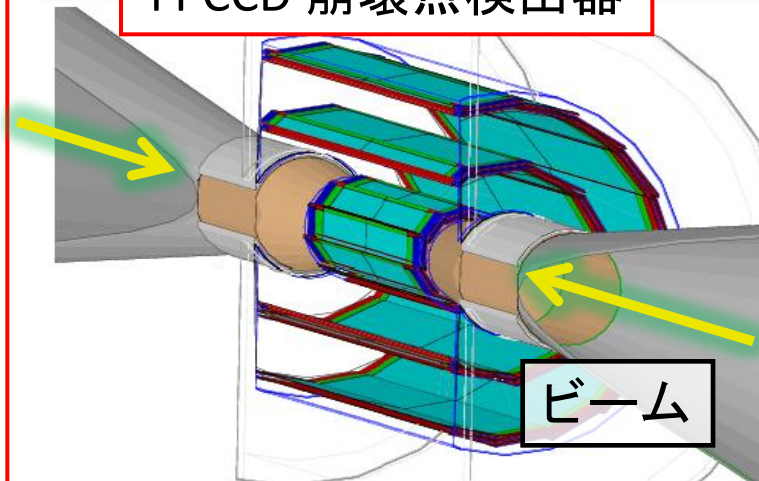
## FPCCD試作器



## ILC測定器

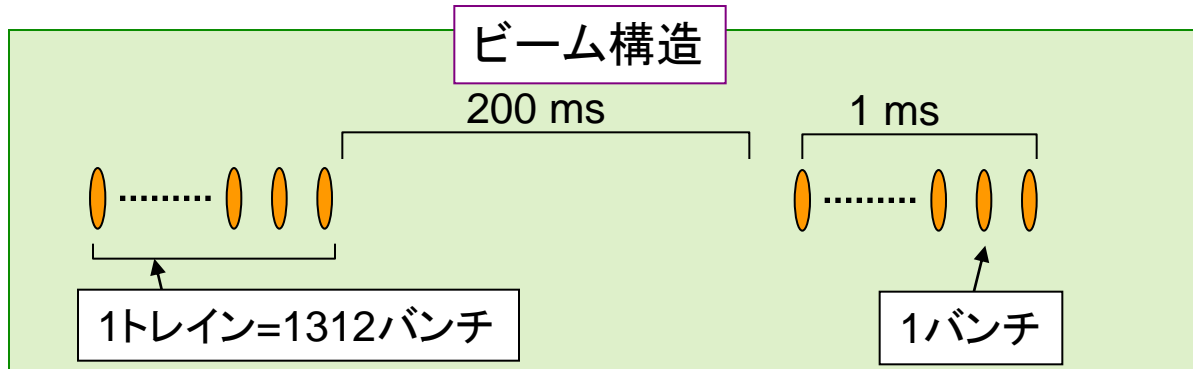


## FPCCD 崩壊点検出器



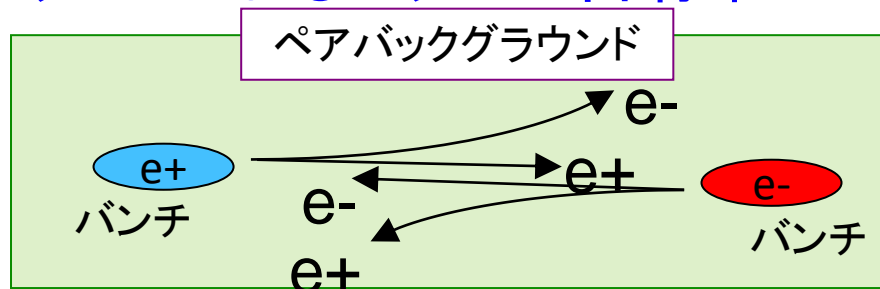
# FPCCD崩壊点検出器の利点(1)

□ トレイン間に読み出すため高周波ノイズの影響を受けない



□ 高精細の CCDを用いることで占有率を軽減できる

ペアバックグラウンドによるピクセル占有率

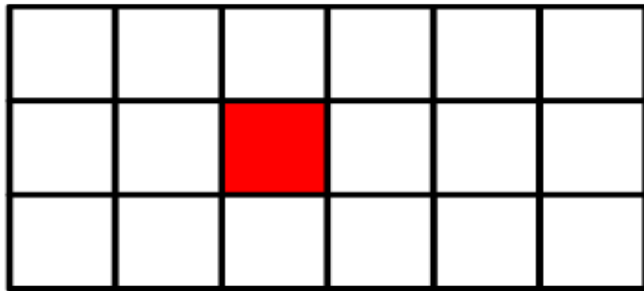


ビーム軸に垂直な方向の運動量が小さい

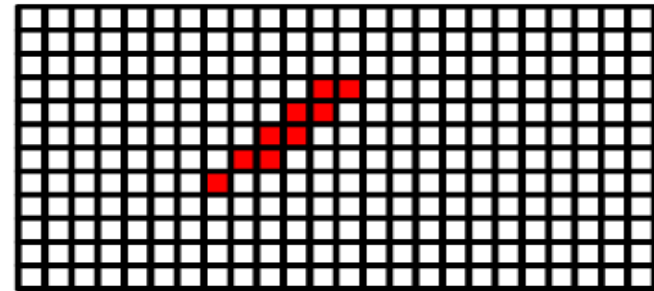
- 1トレイン分のデータを蓄積してから読み出す
- 従来の $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ のCCDでは占有率10%程度
- ピクセル数が多いので占有率を軽減できる(1%程度を目指す)

# FPCCD崩壊点検出器の利点(2)

- ピクセルが細かいので高い位置分解能が得られる
- 全空乏化されており高い2粒子分解能が得られる
- ヒットしたピクセルの形状からバックグラウンドを識別して取り除くことができる



ピクセルが大きい



FPCCD

→ FPCCDのこれらの性能を評価するためにソフトウェアを開発している

# FPCCDのためのソフトウェア開発

## ILCソフト

ILCのシミュレーションを行うための共通のソフトウェアパッケージ  
— トラッキングツールも含まれている

FPCCDのシミュレーションに必要なもの

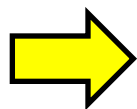
- FPCCDデジタイザー
  - 各ピクセルからの出力を作る
- オーバーレイ
  - バックグラウンドの出力を被せる
- FPCCDクラスタリング
  - 粒子の通過点を計算する

ILCソフトの一部

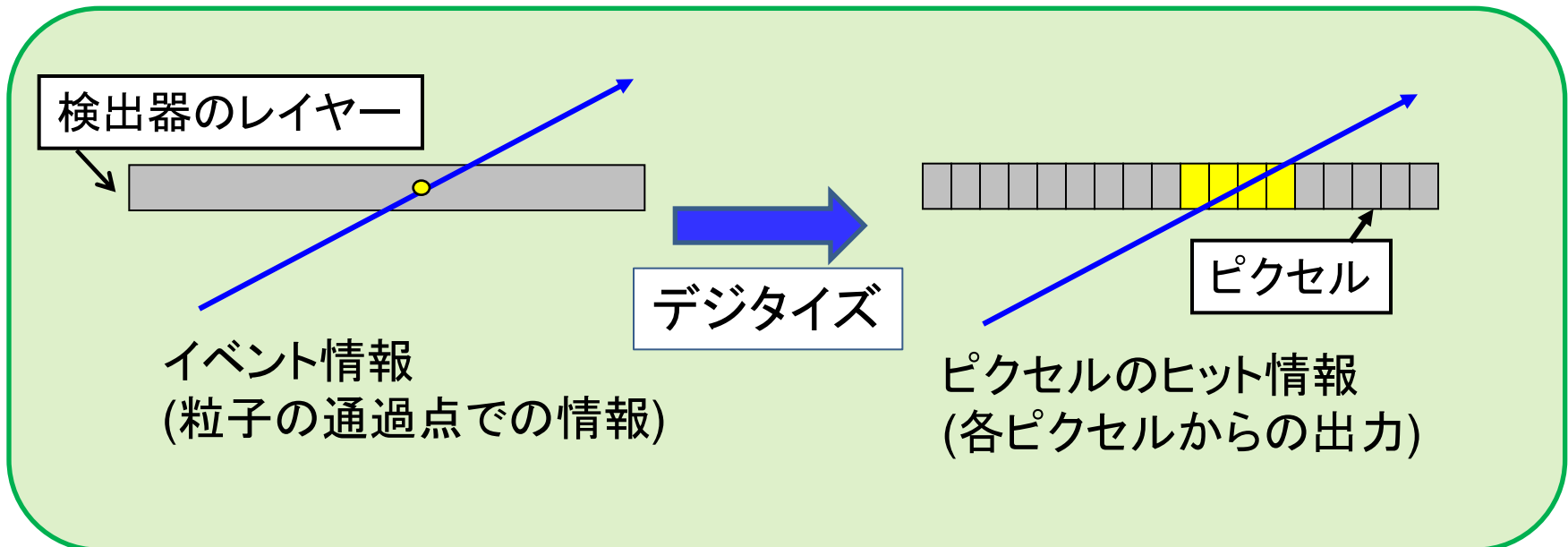
これらのソフトウェアを開発した

# FPCCDデジタイザー

- FPCCD崩壊点検出器のシミュレーションには各ピクセルからの出力が必要
- イベント情報からは粒子の通過点での情報しか得られない  
イベント情報からピクセルのヒット情報を作る **デジタイザーが不可欠**

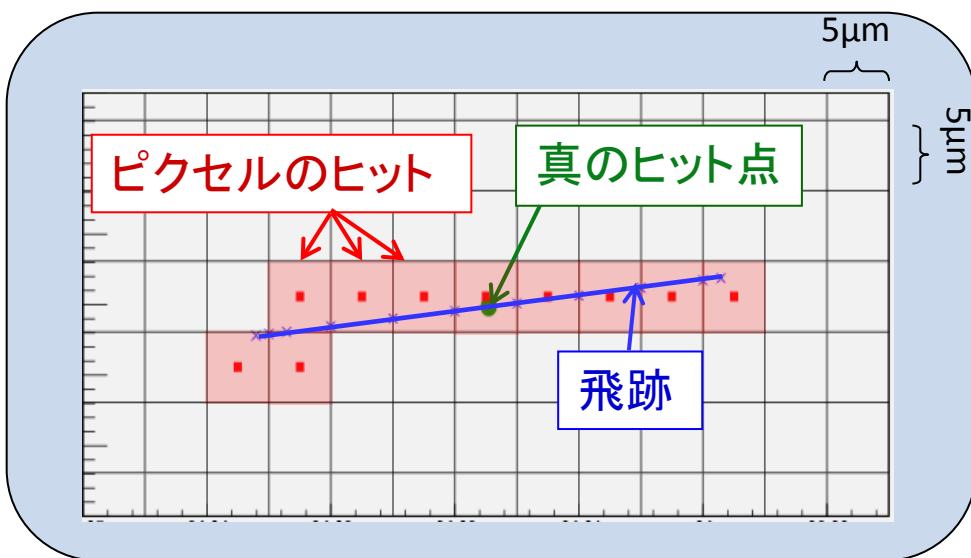


FPCCDデジタイザーを開発した

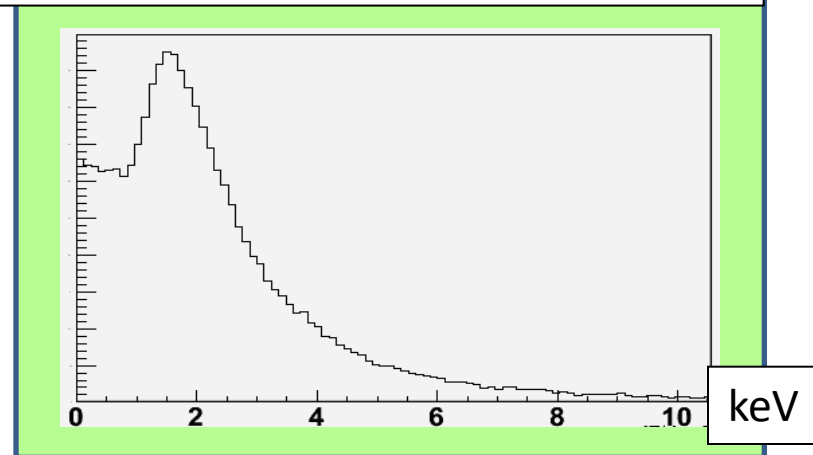


# FPCCDデジタイザーのアルゴリズム

- ヒット点の位置と運動量を取得
- 飛跡を算出
- 飛跡とピクセル枠との交点からヒットしたピクセルを特定する



ピクセルごとのエネルギーデポジット



- ピクセルごとのエネルギーデポジットを算出
  - $dE/dx$ の分布はランダウ分布で近似

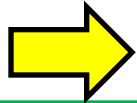


ピクセルの位置とエネルギーデポジットのみが出力される

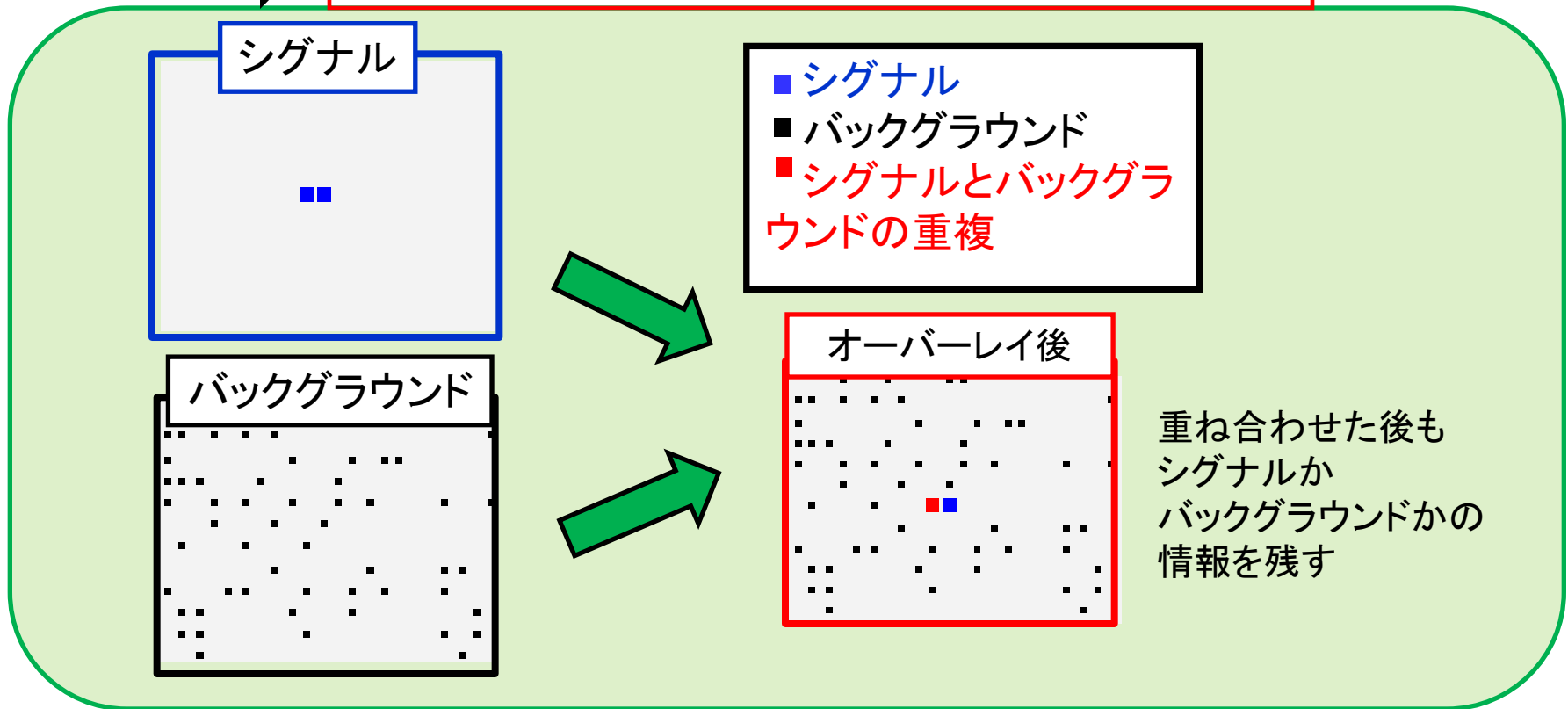


# オーバーレイ(重ね合わせ処理)

- FPCCDは1トレイン分のデータを溜めて、一度に読み出す。
- 1トレインの間に生じる大量のバックグラウンドが問題となる。
- バックグラウンドのデータとシグナルのデータを重ね合わせたのシミュレーションが必要



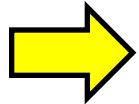
オーバーレイプロセッサを開発した



# FPCCDクラスタリング

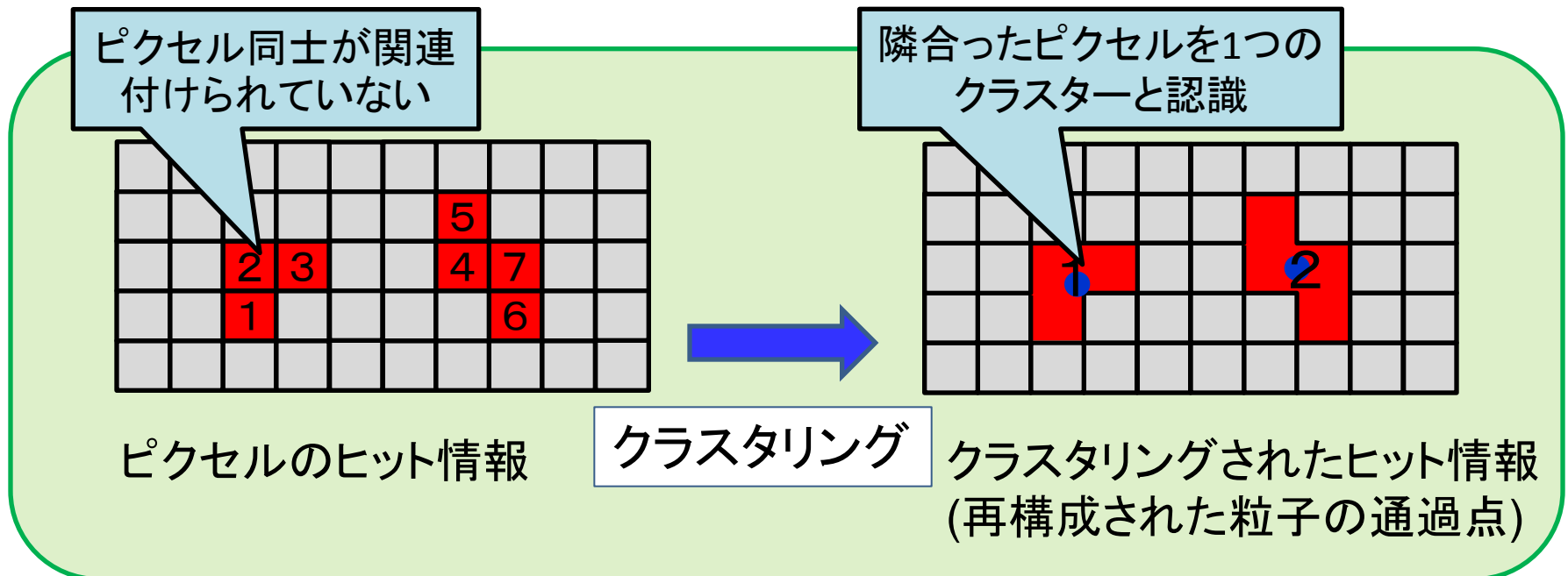
- 飛跡を再構成するために粒子の通過点を決定したい
- デジタイジングをした段階では、ピクセル毎にバラバラの情報があるだけ

ピクセルの塊を識別(クラスタリング)することが必要



FPCCDクラスタリングを開発した

クラスタのエネルギーの重心を粒子の通過点として出力する



# FPCCD崩壊点検出器のシミュレーション<sup>10</sup>

開発したソフトウェアを用いてFPCCD崩壊点検出器のシミュレーションを行った

## 最終目的

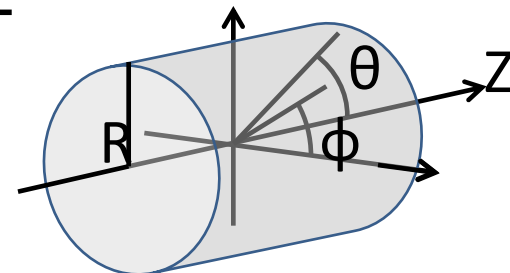
バックグラウンド環境下でのFPCCD崩壊点検出器の性能の評価

## 今回行った解析

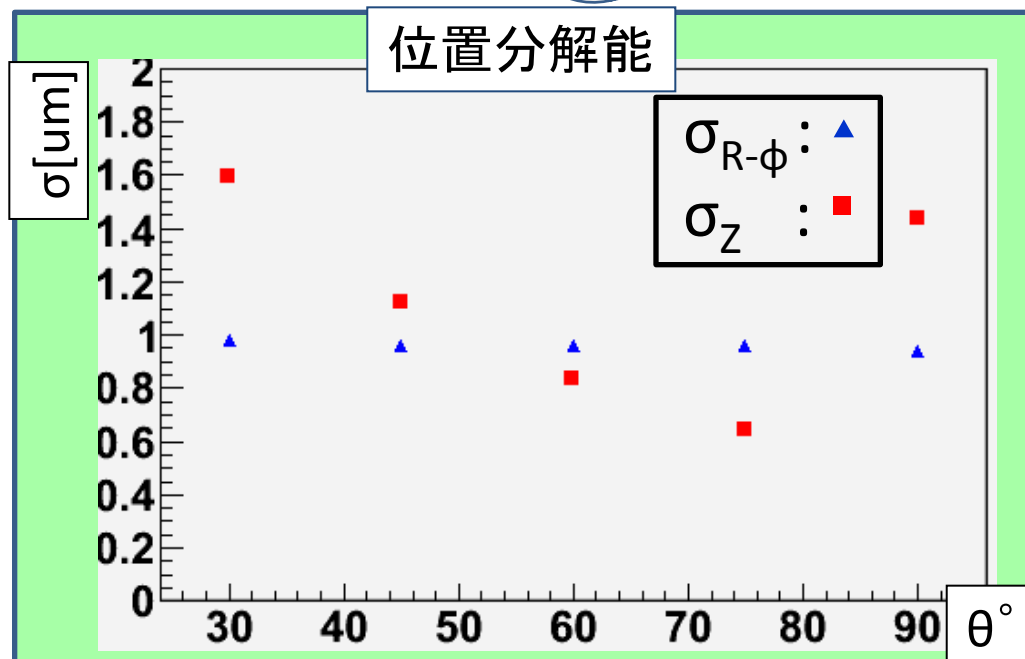
- 位置・崩壊点分解能 (バックグラウンド無し)
- ペアバックグラウンドによるピクセル占有率
- バックグラウンド除去アルゴリズム

# 各ヒット点に対する位置分解能

- 最内層における、 $\theta$ ごとの位置分解能を調べた
  - $\mu^-$  (運動量 100GeV)
  - $\sigma_{\text{ノイズ}}$  : 50 電子 / ピクセル.
  - スレッシュホールド : 200 電子 / ピクセル.



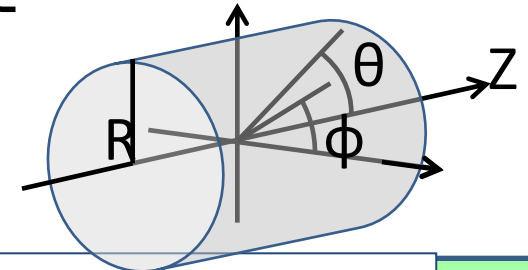
$\theta$	$\sigma_z$	$\sigma_{R-\phi}$
90°	1.5 $\mu\text{m}$	0.94 $\mu\text{m}$
75°	0.64 $\mu\text{m}$	0.96 $\mu\text{m}$
60°	0.83 $\mu\text{m}$	0.96 $\mu\text{m}$
45°	1.2 $\mu\text{m}$	0.96 $\mu\text{m}$
30°	1.6 $\mu\text{m}$	0.98 $\mu\text{m}$
LOI value	2.8 $\mu\text{m}$	2.8 $\mu\text{m}$



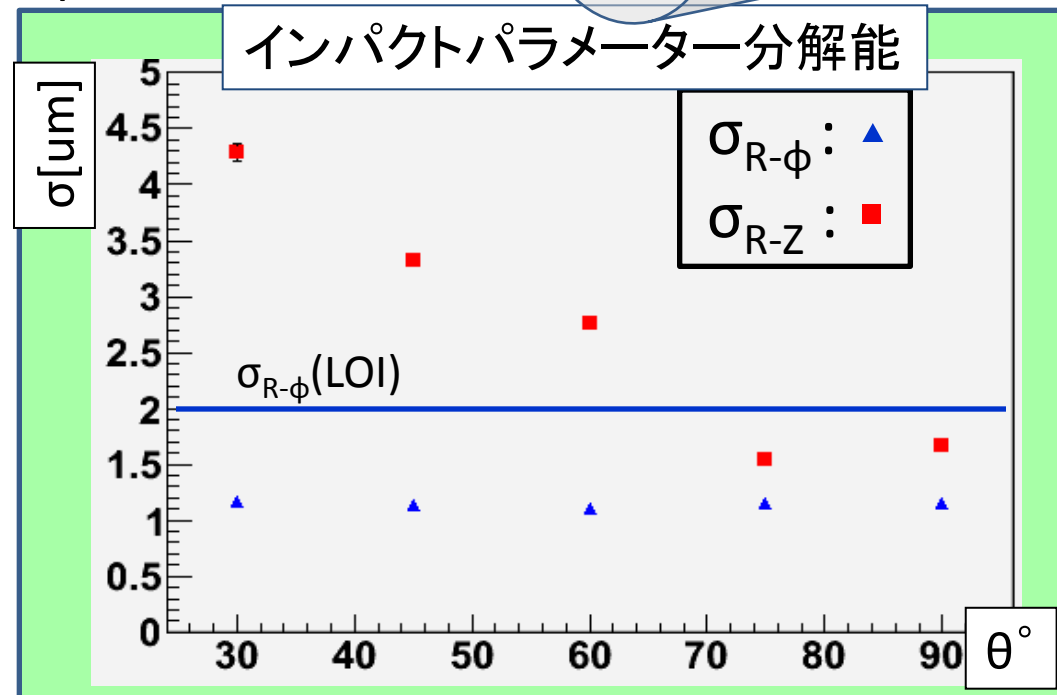
- z方向の分解能は角度が浅くなるほど悪くなる。
- R- $\phi$ 方向の分解能は $\theta$ に依存しなかった。
- 垂直なトラックはz方向の分解能が悪い。(ピクセルの境目のため)

# 崩壊点分解能

- $\theta$ ごとのインパクトパラメーター分解能を調べた
  - $\mu^-$  (運動量 100GeV)
  - $\sigma_{\text{ノイズ}}$  : 50 電子 / ピクセル.
  - スレッショルド : 200 電子 / ピクセル.



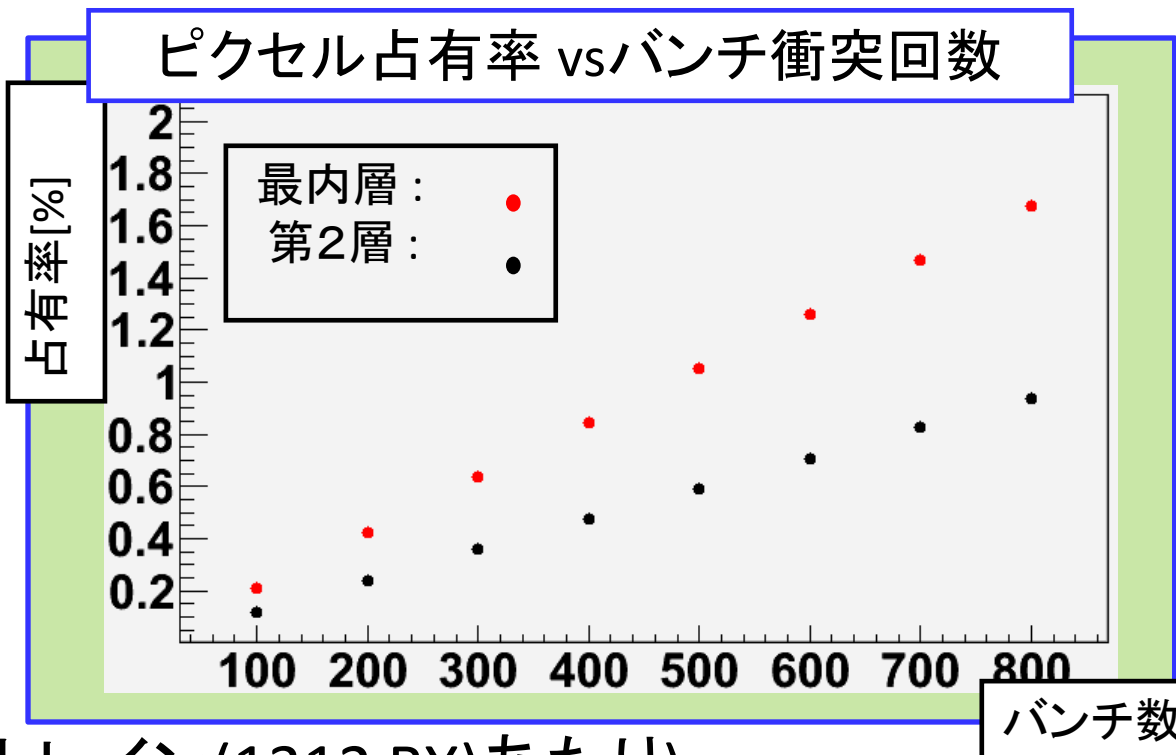
$\theta$	$\sigma_{R-Z}$	$\sigma_{R-\phi}$
90°	1.7 $\mu\text{m}$	1.2 $\mu\text{m}$
75°	1.5 $\mu\text{m}$	1.2 $\mu\text{m}$
60°	2.9 $\mu\text{m}$	1.1 $\mu\text{m}$
45°	3.4 $\mu\text{m}$	1.1 $\mu\text{m}$
30°	4.3 $\mu\text{m}$	1.2 $\mu\text{m}$
LOI vale	-	2.0 $\mu\text{m}$



- インパクトパラメーター分解能は概ね位置分解能と比例している。
- ミューオン(100 GeV)について、要求性能を満たしている。

# ペアバックグラウンドによる占有率

FPCCDの最内層におけるピクセル占有率を見積もった。



ピクセルサイズ :  $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$   
 厚さ :  $15\mu\text{m}$   
 重心エネルギー : 500 GeV

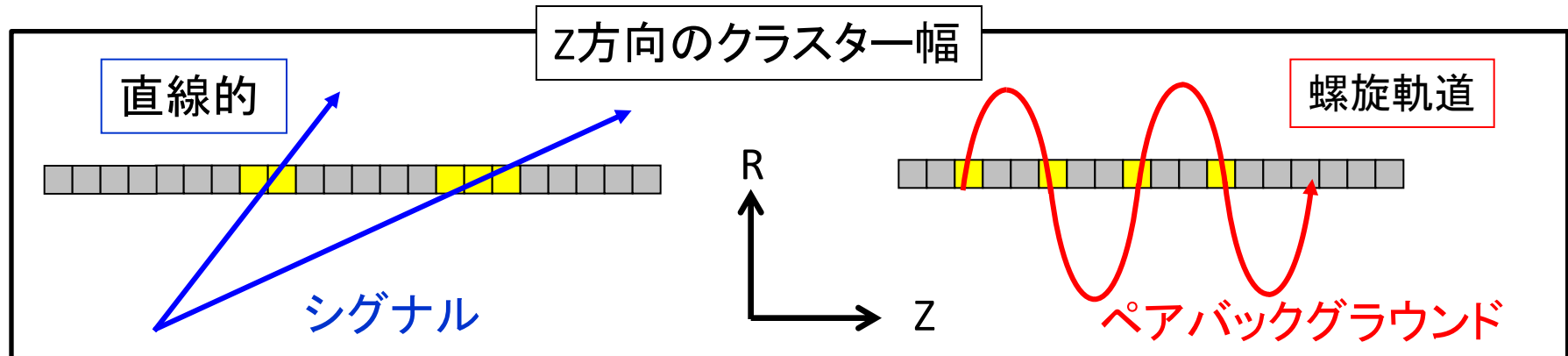
外挿ピクセル占有率(1トレイン(1312 BX)あたり)

- 最内層 : **2.76%** 第2層 : **1.55%**  
 従来のCCD検出器( $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ )に比べると非常に低い  
 しかしさらに改善したい(1%以下を目指す)  
 →バックグラウンド除去アルゴリズムを開発した。

# バックグラウンド除去アルゴリズム

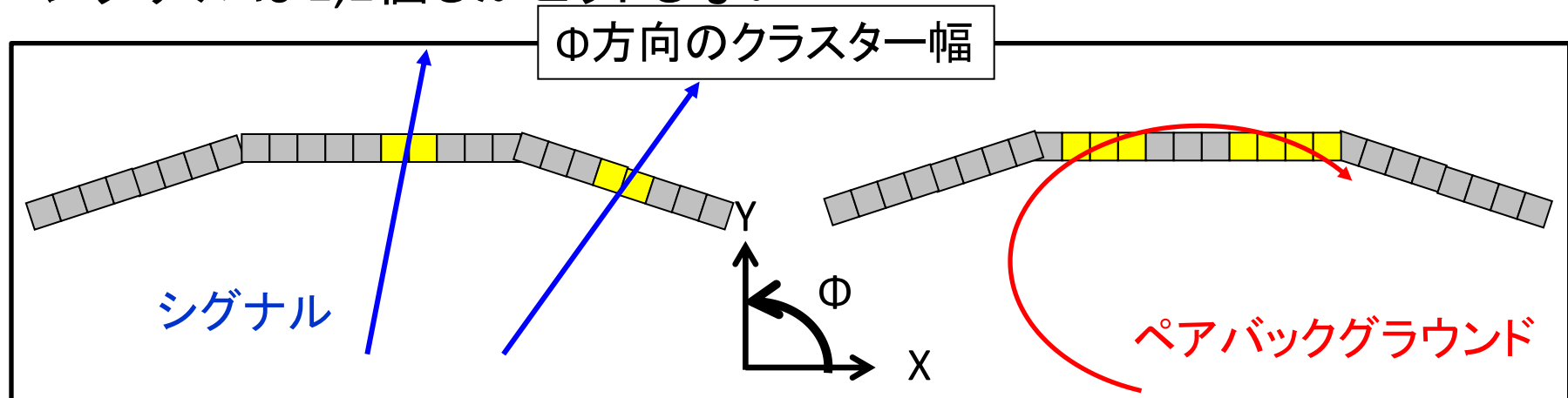
## Z方向のクラスター幅

- シグナルの場合、Zに依存して大きくなる。



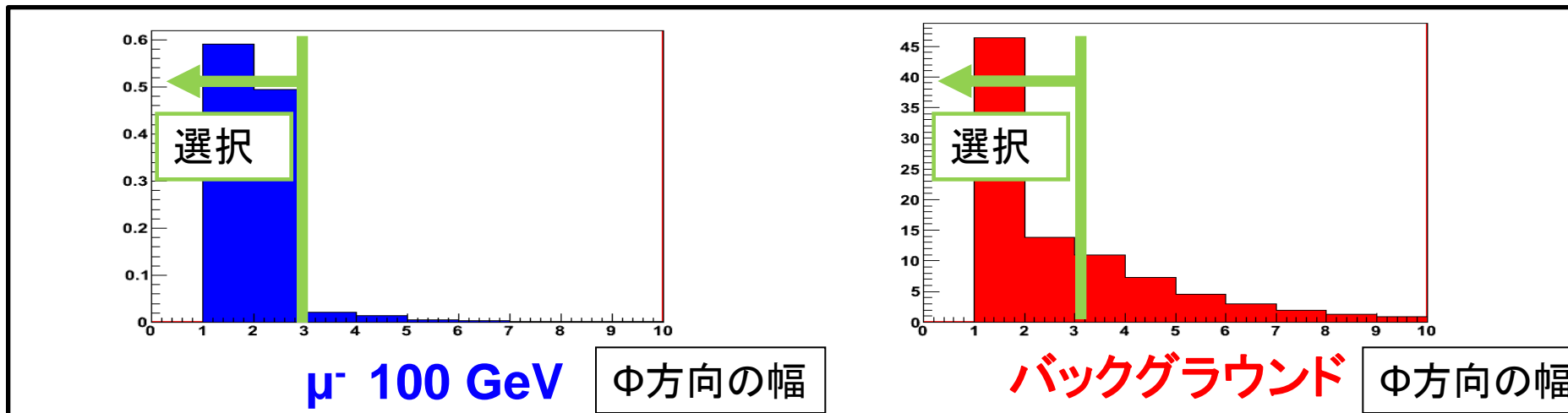
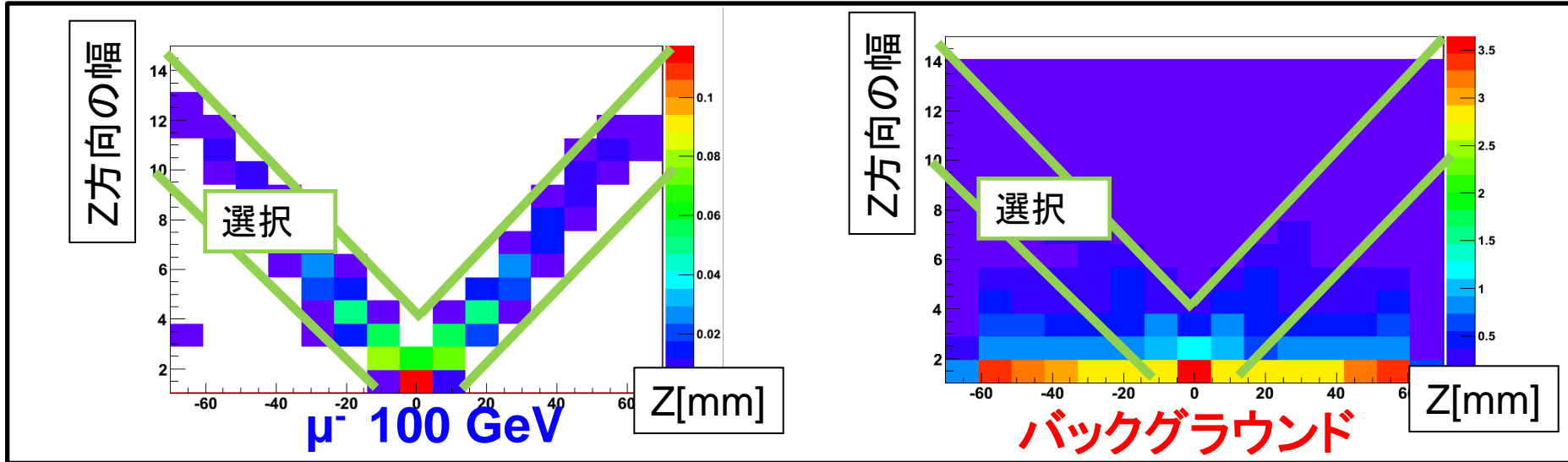
## $\phi$ 方向のクラスター幅

- シグナルは1,2個しかヒットしない



# クラスター幅によるカット

$\mu^-$  (100GeV)とバックグラウンドで特徴的な分布が見られた。  
 緑線の内側を選択





# バックグラウンド除去の結果

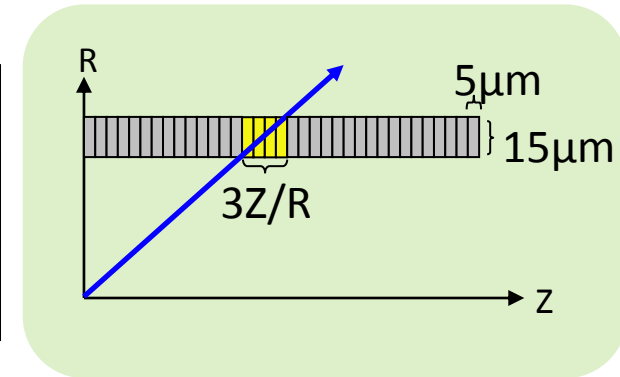
条件：

$$3R/Z - 2 \leq z \text{方向のクラスター幅} \leq 3R/Z + 2$$

$$\phi \text{方向のクラスター幅} \leq 2$$

## 選択効率

	最内層	第2層
$\mu$ - (運動量 100GeV)	99.2%	99.7%
ペアバックグラウンド	8.53%	9.37%



## 実効ピクセル占有率

	最内層	第2層
カット前	2.6%	1.4%
カット後	0.22%	0.13%

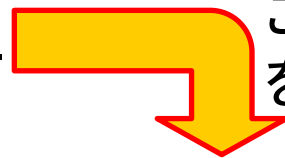
➤ 10分の1以下

- $\mu$ - イベントを 99% 以上残しつつバックグラウンドによる占有率を10分の1以下に軽減することができた。
- 低エネルギーのイベントの選択効率を上げることが課題。

# まとめ

## ■ ILCのFPCCD崩壊点検出器のためのソフトウェアを開発した

- FPCCDデジタイザー
- オーバレイプロセッサ
- FPCCDクラスタリング



これらを用いてシミュレーションを行った

## FPCCD崩壊点検出器のシミュレーション結果

### ■ 位置分解能

- $\sigma_{R-\phi} = 0.86 \text{ um}$
- $\sigma_z = 0.64 \text{ um} (\theta = 75^\circ)$

### ■ IP分解能

- $\sigma_{R-\phi} = \sim 1.2 \text{ um}$
- $\sigma_{R-Z} = 1.5 \text{ um} (\theta = 75^\circ)$

### ■ 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% (1312BXあたり)

### ■ バックグラウンド除去

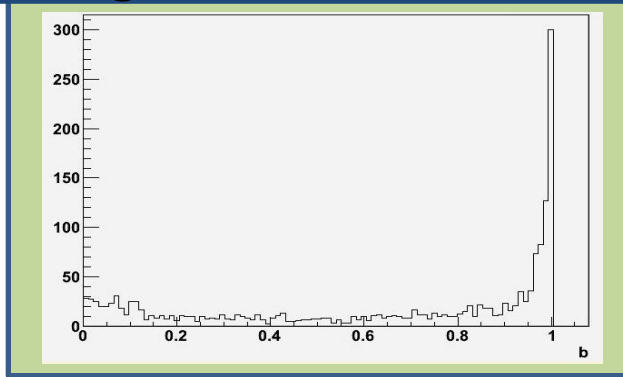
- $\mu^-$  (100 GeV) を99%残し、バックグラウンドを90%除去できた

- 崩壊点分解能は要求性能を満たしている。
- バックグラウンド除去の効率を上げることが課題。

# 今後の予定

## ■ フレーバータギング・電荷識別性能の評価

b-tag on ee  $\rightarrow$  bb event



- ILCでb, c クォークをどの程度見分けられるか。
- バックグラウンドの影響はどれだけあるのか。

## ■ バックグラウンド除去アルゴリズムの改良

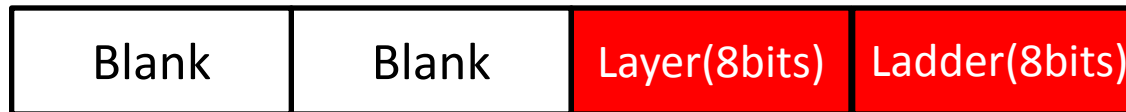
## ■ トラッキングソフトウェアの開発

バックアップ

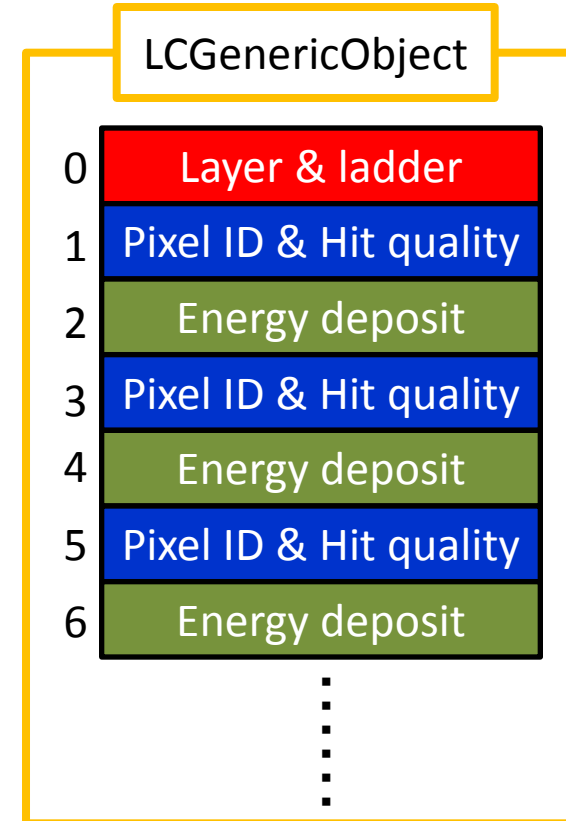
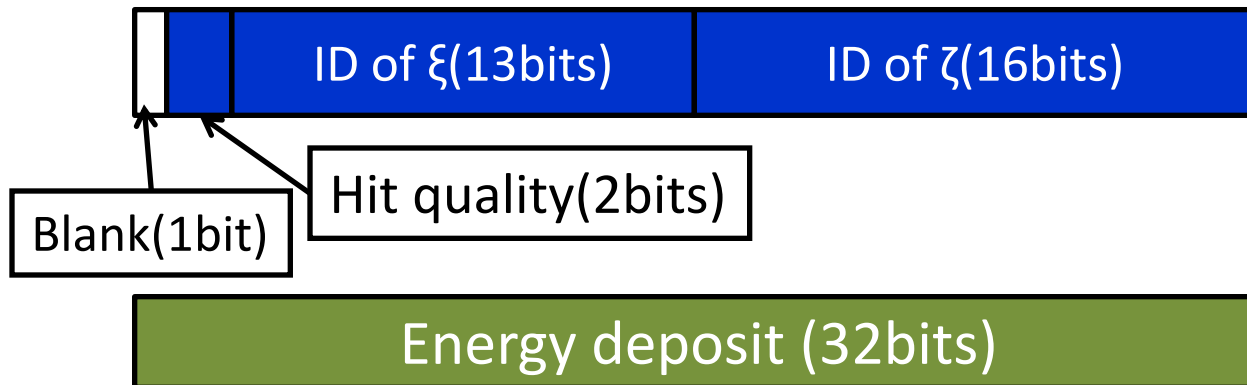
# FPCCD デジタイザーからの出力

## 出力データのフォーマット

- 最初のワード(32 bits) にそのエレメントのレイヤーとラダーの番号を入れる。



- 各ピクセルごとに2ワードが使われる。



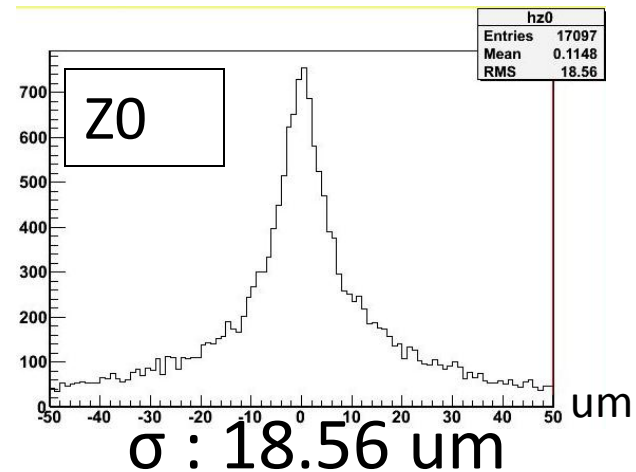
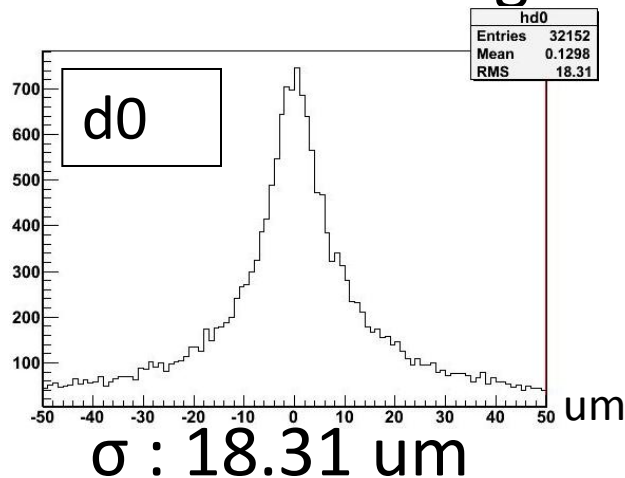
- エレメントの数はヒットがあったラダーの数に等しくなる。
- 1 エレメントのデータサイズ:  $(2 \times N_{\text{hits}} + 1)$  ワード
  - 空いたビットは今後のために使われる。

# Cut efficiency

- The cut efficiency of preliminary cut condition were checked on  $tt \rightarrow bbqqqq$  event.

Cut efficiency	Layer1a	Layer1b
$tt \rightarrow bbqqqq$	91 %	91 %
Pair background	25 %	28 %

- The IP resolution degradation due to this cuts was checked.



- The resolution were  $\sim 20\%$  worse.