

# 国際リニアコライダーにおける FPCCD崩壊点検出器のための ソフトウェアの開発

2010/08/06

東北大学

釜井 大輔

# イントロダクション

- 国際リニアコライダー
- 崩壊点検出器
- FPCCD崩壊点検出器
- FPCCDソフトウェア
  - FPCCDデジタイザー
  - オーバーレイプロセッサ
  - FPCCDクラスタリング
  - バックグラウンド除去アルゴリズム
- まとめ

# International Linear Collider (ILC)

## ILCとは

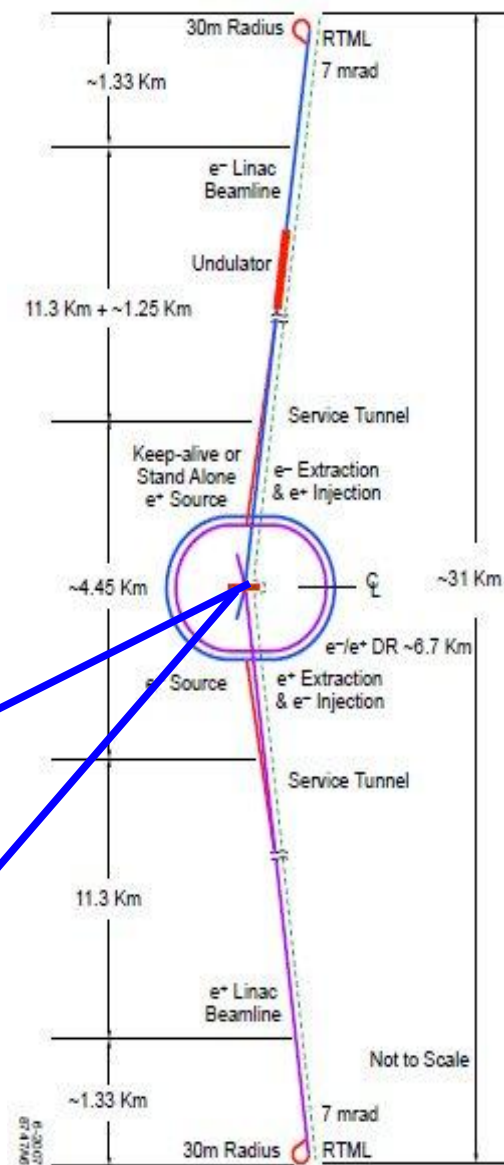
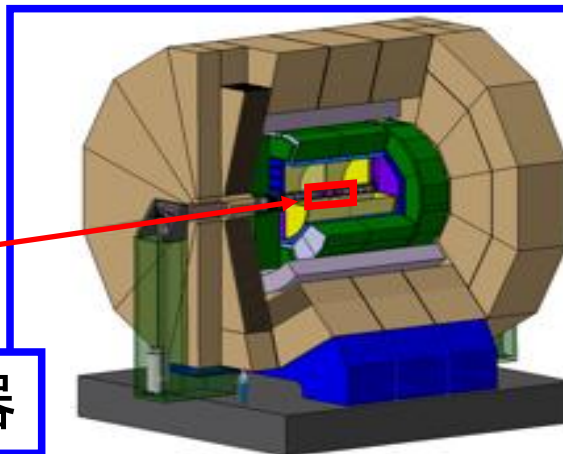
- 電子・陽電子衝突型の次世代線形加速器
- 全長：約30 km
- 重心エネルギー：500 GeV (→1 TeV)
- 最大ルミノシティ： $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

## ILCの目的

- ヒッグス粒子の精密測定
- 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

崩壊点検出器

ILC測定器



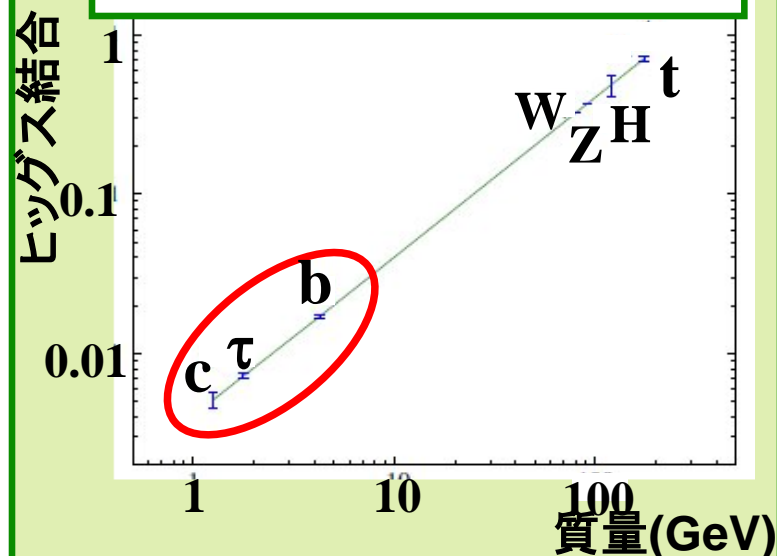
# 崩壊点検出器

## 崩壊点検出器の目的

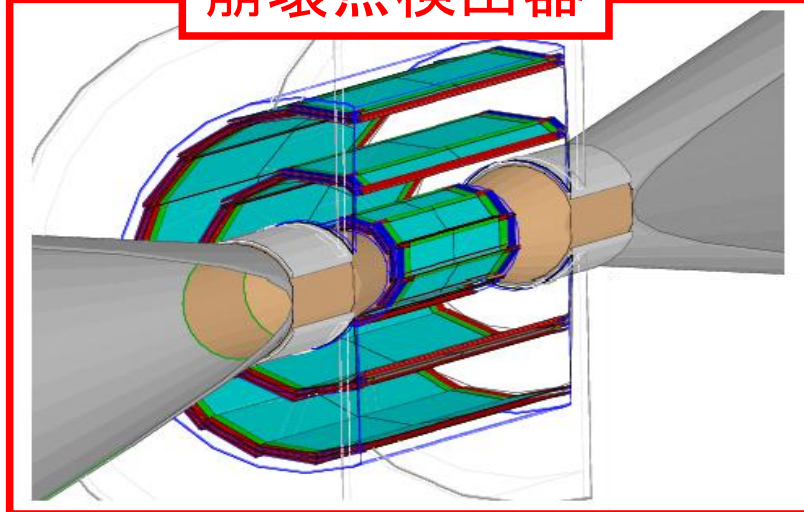
- 飛跡検出
  - 粒子の崩壊点の精密測定
  - $b$ ,  $c$ ,  $\tau$ の同定
- ヒッグス結合と質量の相関を測定

→ ヒッグス模型の検証

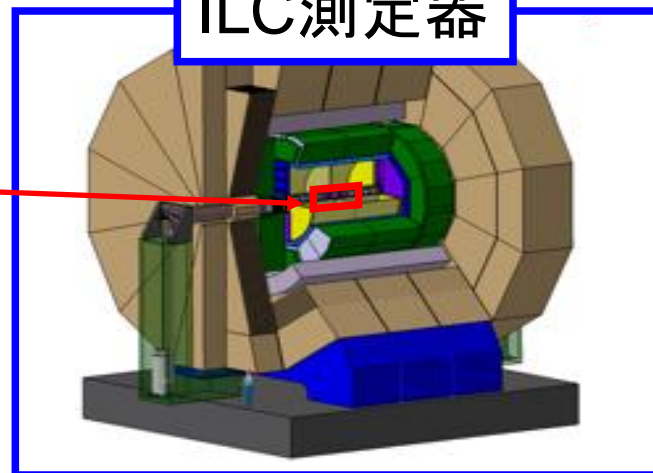
## ヒッグス結合と質量の相関



## 崩壊点検出器



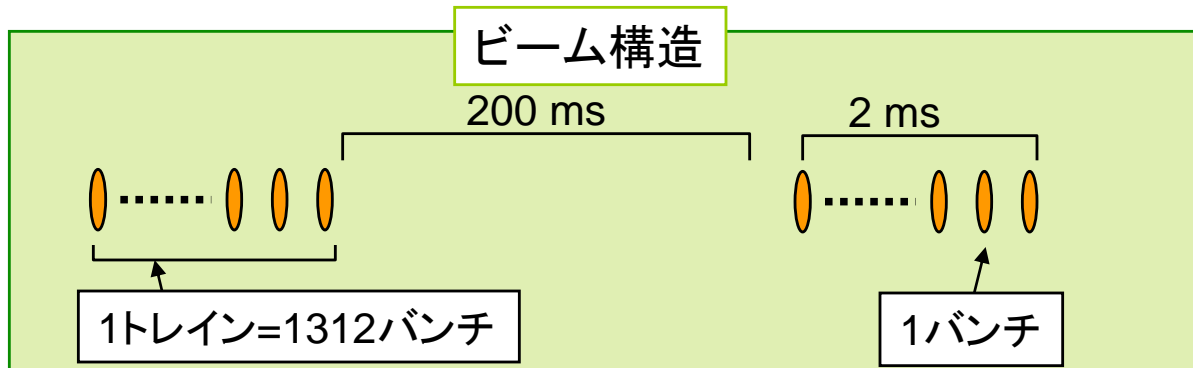
## ILC測定器



# 崩壊点検出器の要求性能

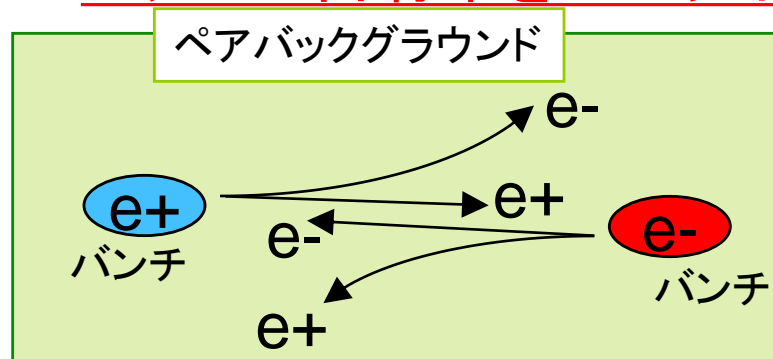
## 崩壊点検出器の読み出し

- トレイン間の200 msに読み出しを行う



## ペアバックグラウンドによるピクセル占有率

- 崩壊点検出器はもっとも内側に位置し影響を受けやすい
- $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ 程度のピクセルサイズでは占有率10%以上
- ピクセル占有率を1% 以下程度に抑えたい

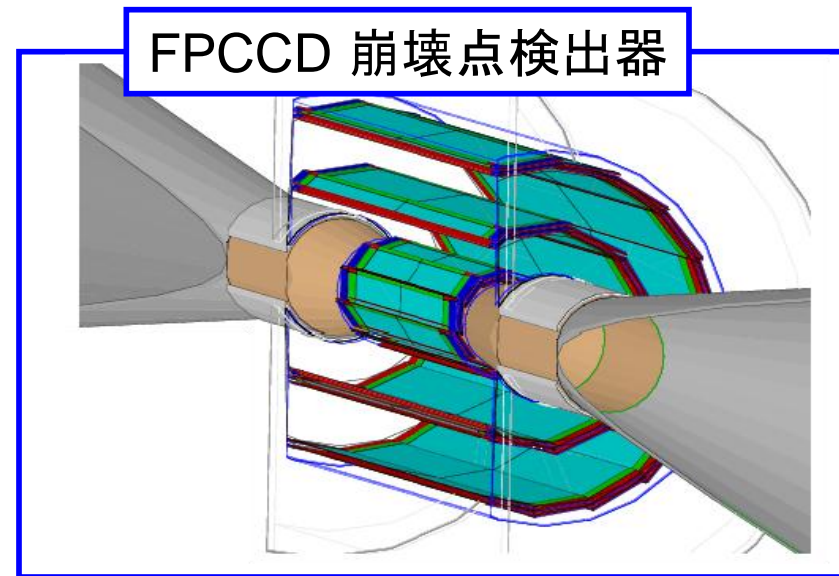


解決策：FPCCD崩壊点検出器  
(高精細のCCDを使用する)

# FPCCD崩壊点検出器

## FinePixelCCD崩壊点検出器

- ピクセルサイズ： $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$
- 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)
- 最内層半径：16mm



FPCCDにすることによって以下のことが期待される

- 高い位置分解能
- 高い2粒子分解能
- 粒子の入射方向識別によるバックグラウンド除去

FPCCD崩壊点検出器の性能評価のためのソフトウェアを開発している

# FPCCDソフトウェア

# FPCCDのためのソフトウェアの開発

検出器を最適化するためには、その性能の評価が不可欠

## 性能評価の流れ

1. イベントを生成する。
2. 検出器でどのような出力があるかシミュレートする。
3. 出力を解析して、イベントを再構成する。
4. 元のイベントと再構成されたイベントを比較する。  
(両者の位置の差を取って位置分解能を調べるなど...)

FPCCD崩壊点検出器の性能評価のためのソフトウェアを開発している

- FPCCDデジタイザー
  - オーバーレイプロセッサ
  - FPCCDクラスタリング
- } 2.検出器の出力をシミュレート  
 } 3.出力を解析してイベントを再構成

→今日の発表では

1. これら3つのソフトウェアについて
2. これらソフトウェアを使ったバックグラウンド除去について報告する



# FPCCDデジタイザー

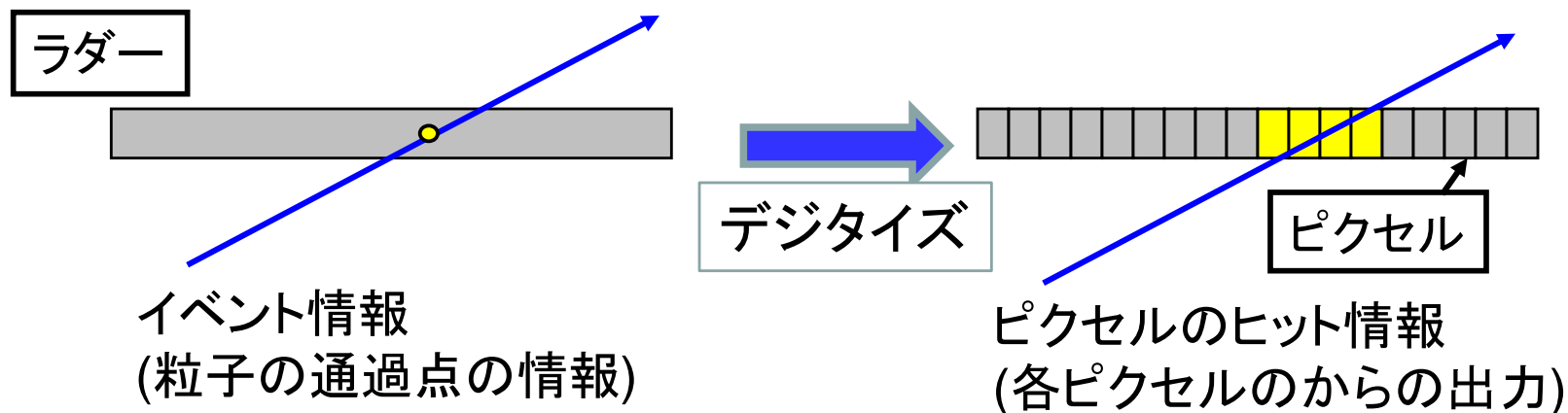
FPCCDの性能評価には

イベントのヒット情報(粒子がどこを通ったか)から

ピクセルのヒット情報(各ピクセルからどれだけの出力があるか)を作ること(デジタイズ)が必要

イベント情報からはラダーと飛跡の交点の情報しか取得できない

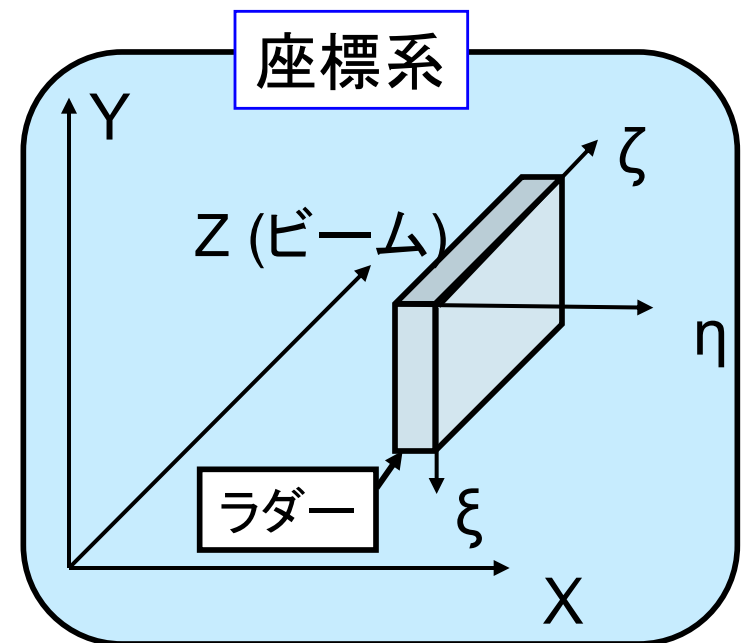
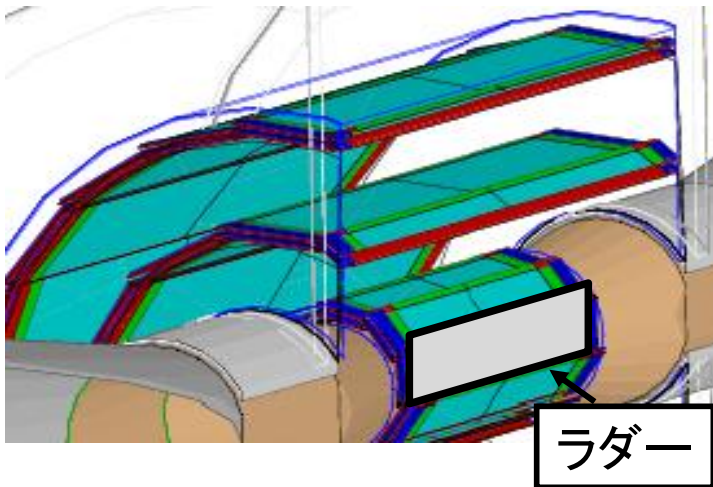
→FPCCDデジタイザーを開発した



# FPCCDデジタイザーのアルゴリズム

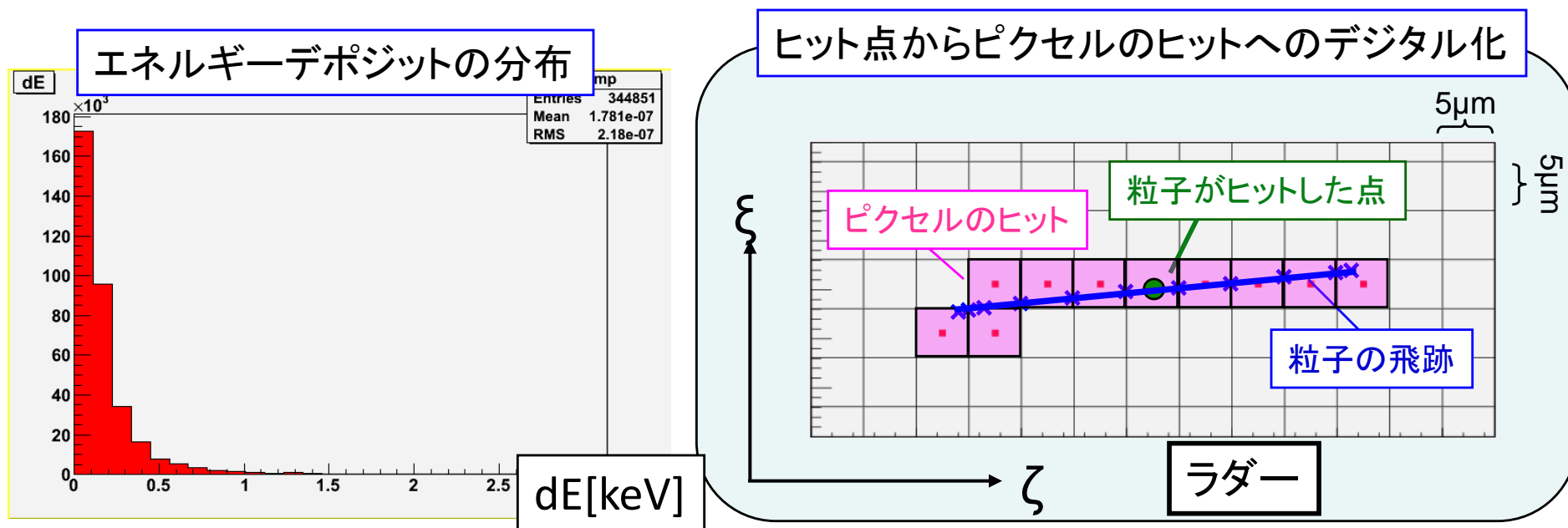
- アルゴリズム概要

1. 粒子が通過した点と、その点での運動量を取得
2. それらの情報を各ラダーごとの座標系に変換
3. それらの情報から粒子の飛跡を計算
4. 飛跡と交わったピクセルのエネルギーデポジットを計算する



# FPCCDデジタイザーの動作確認

イベントのヒット情報から正しくピクセルのヒット情報を作れているか

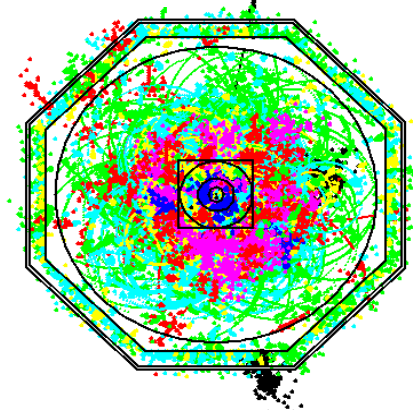
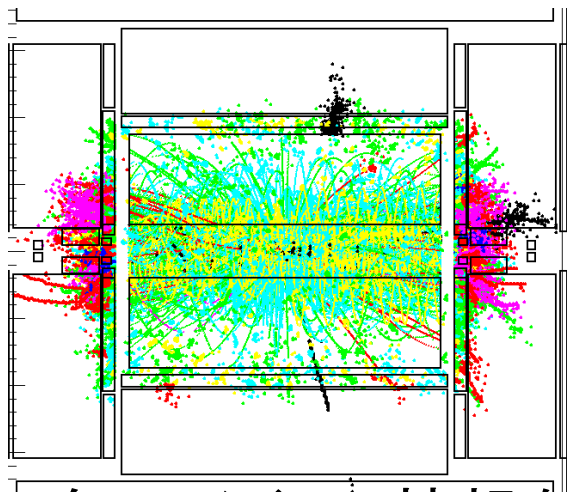


正しくデジタイズができています  
 → FPCCDのシミュレーションが可能になった

# オーバーレイプロセッサ

イベント情報はバンチの衝突(BX)ごとに作られる。

FPCCDは1トレイン(1312バンチ)を一度に読み出す。



→バンチ毎のイベント情報を重ね合わせる必要がある

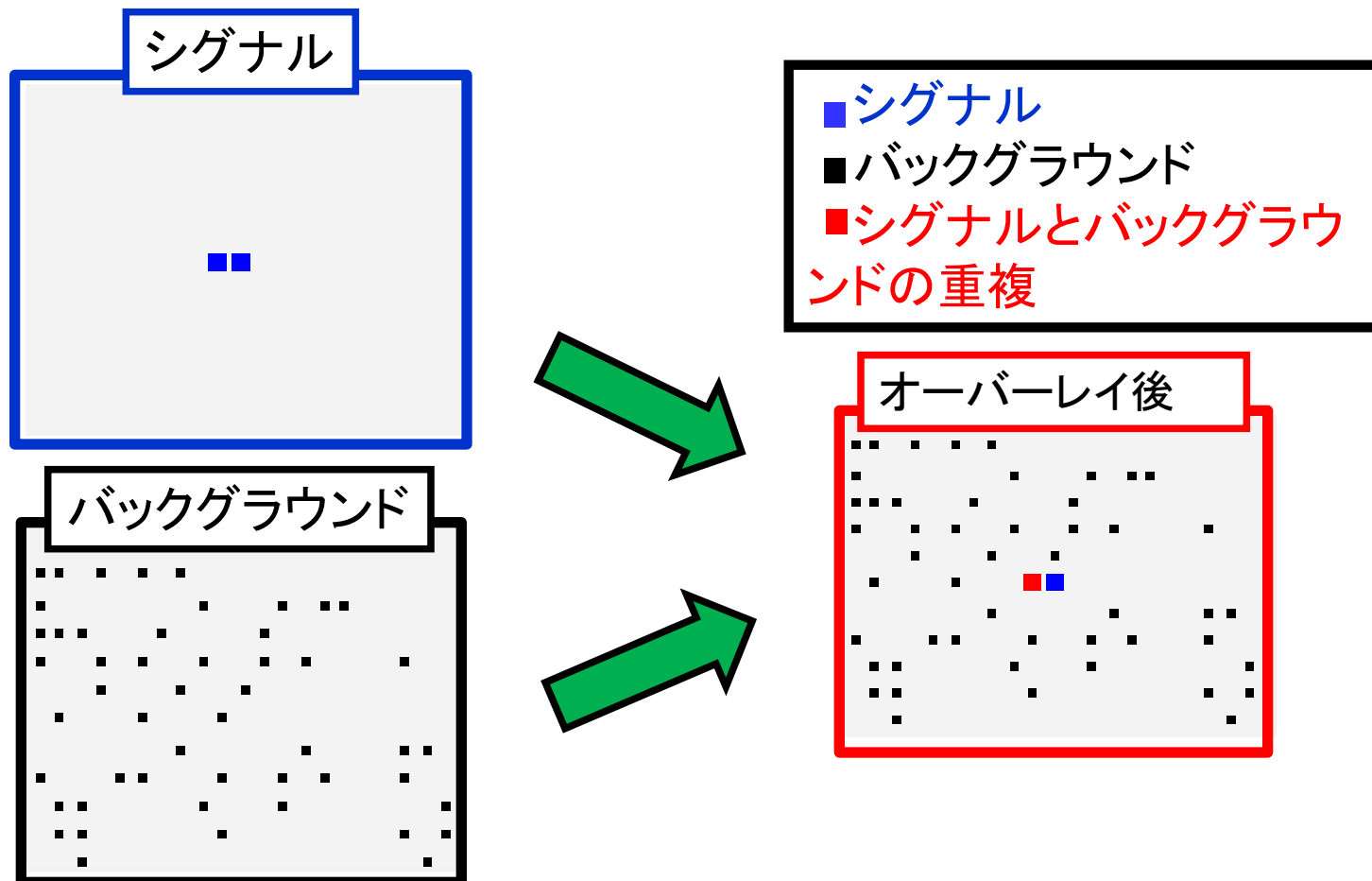
→FPCCDのためのオーバーレイ(重ね合わせ)プロセッサを開発した

オーバーレイプロセッサ

同じピクセルに2つ以上のヒットがあった場合、それらのエネルギーデポジットを足し合わせる。

# オーバーレイプロセッサの動作確認

シグナルとバックグラウンドを正しく重ね合わせることができるか

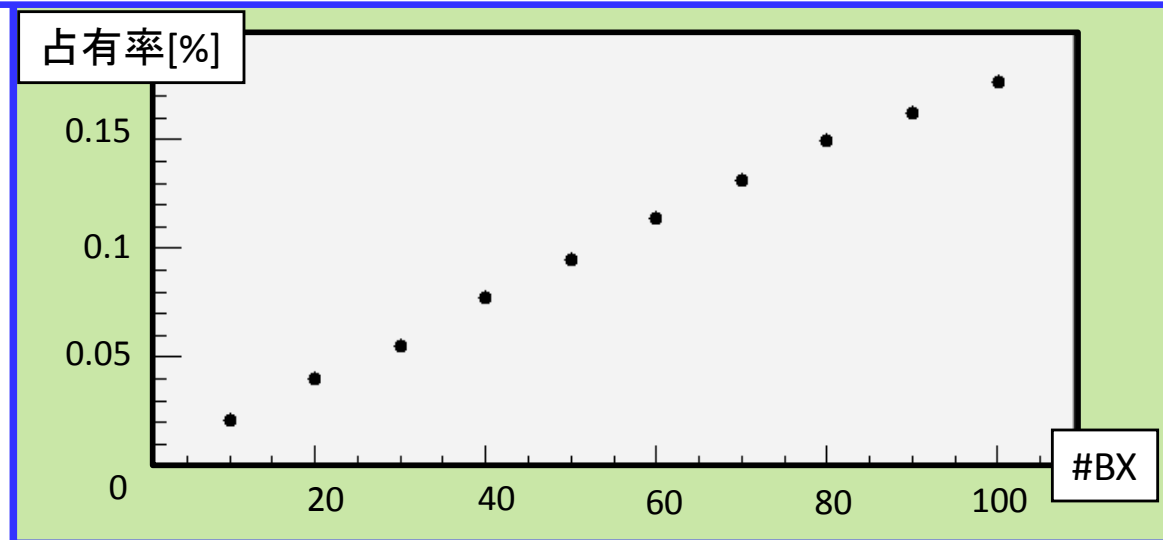


正しく重ね合わせができています  
→バックグラウンドの評価が可能になった

# ペアバックグラウンドによるピクセル占有率

FPCCDの最内層におけるピクセル占有率を見積もった。

最内層でのピクセル占有率 vs バンチ衝突回数



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 : ~2.5% 1トレイン(1312 BX)あたり

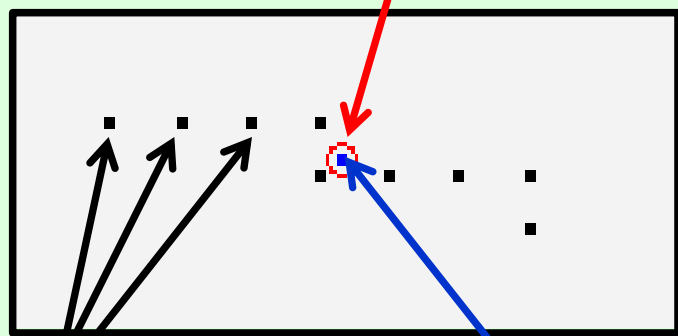
- 従来のCCD検出器( $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ )に比べると非常に低い
- しかしさらに改善したい(要求性能は1%以下)  
→バックグラウンド除去のアルゴリズムを開発



# FPCCDクラスタリングの動作確認

イベント情報本来のヒット点、デジタイズされたピクセルヒット、クラスタリング後のヒット点をまとめてプロットした。

クラスタリング後のヒット点

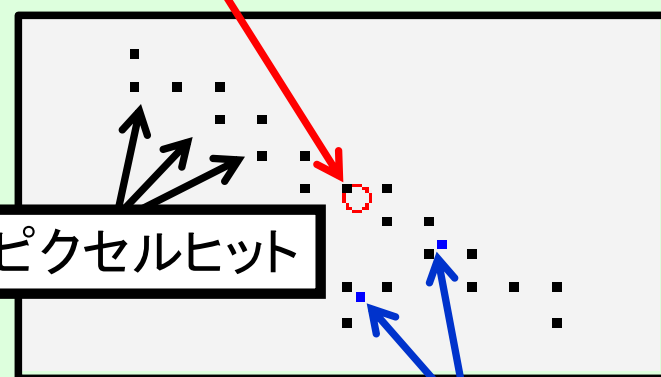


ピクセルヒット

本来のヒット点

正しくクラスタリングされている

クラスタリング後のヒット点



ピクセルヒット

本来のヒット点

2つのクラスターが重なっている

ピクセルヒットが重なった場合に、クラスターを分離するアルゴリズムを考える必要がある

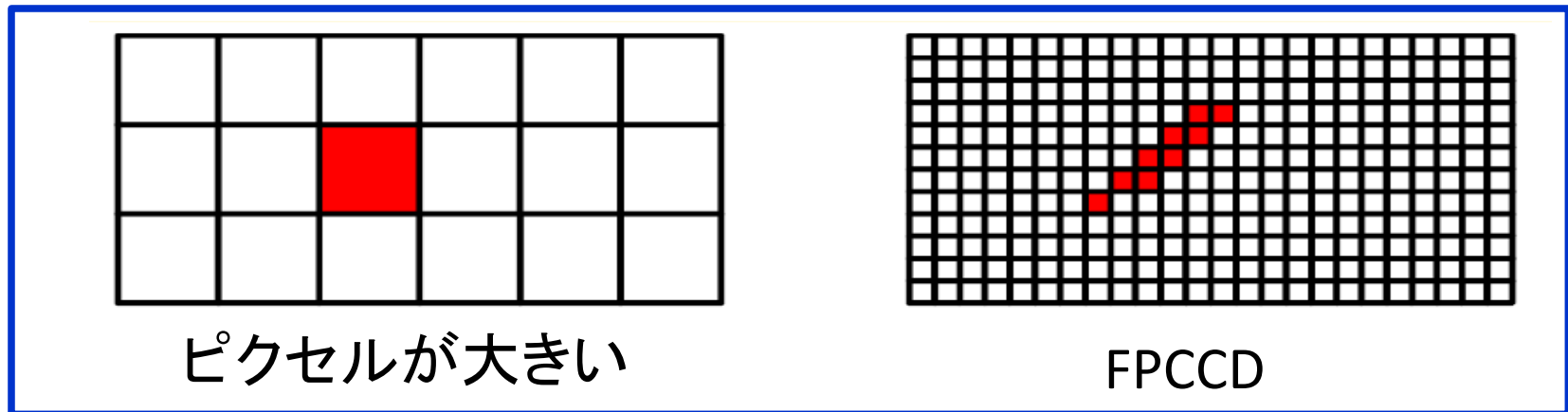


# ペアバックグラウンド除去

ペアバックグラウンド  
によるピクセル占有率 : ~ 2.5% (1トレイン)

要求性能は ~ 1%以下 → さらに改善したい

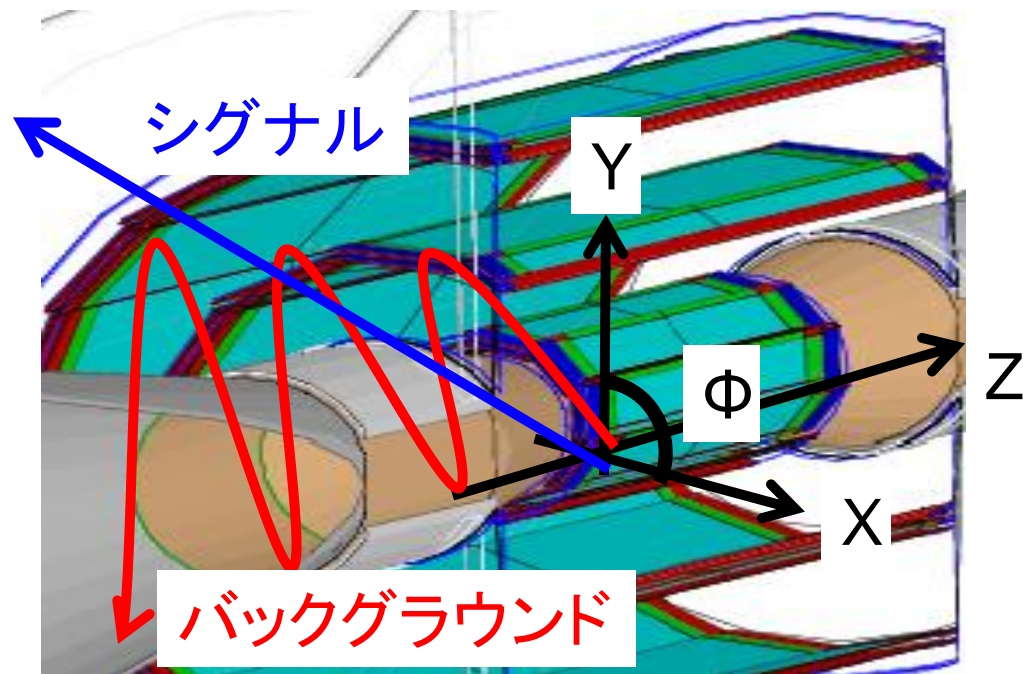
## • ペアバックグラウンド除去アルゴリズムの開発



- FPCCDではクラスターの形を識別できる
- クラスターの形の違いからシグナルとペアバックグラウンドとの分離を行う
- ペアバックグラウンド粒子が螺旋軌道を描くことを利用する

# ペアバックグラウンド除去アルゴリズム

- 検出器にはビーム軸方向に3.5Tの磁場がかかっている
- ペアバックグラウンドはビームと垂直方向の運動量が小さいため螺旋軌道を描く

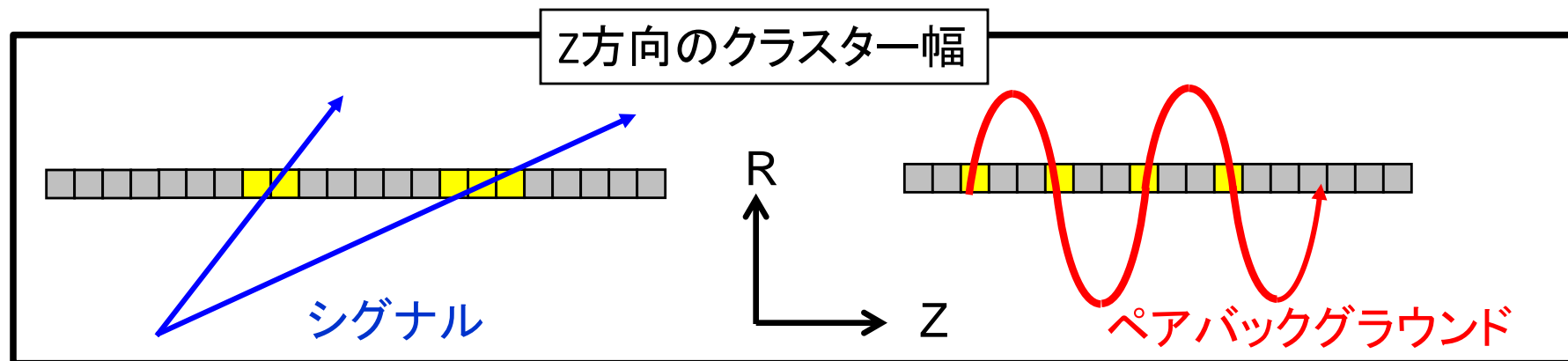


- クラスターの、Z方向の幅と $\Phi$ 方向の幅に特徴が現れる
- この特徴を使ってバックグラウンド除去を行う

# クラスターの形によるバックグラウンド除去

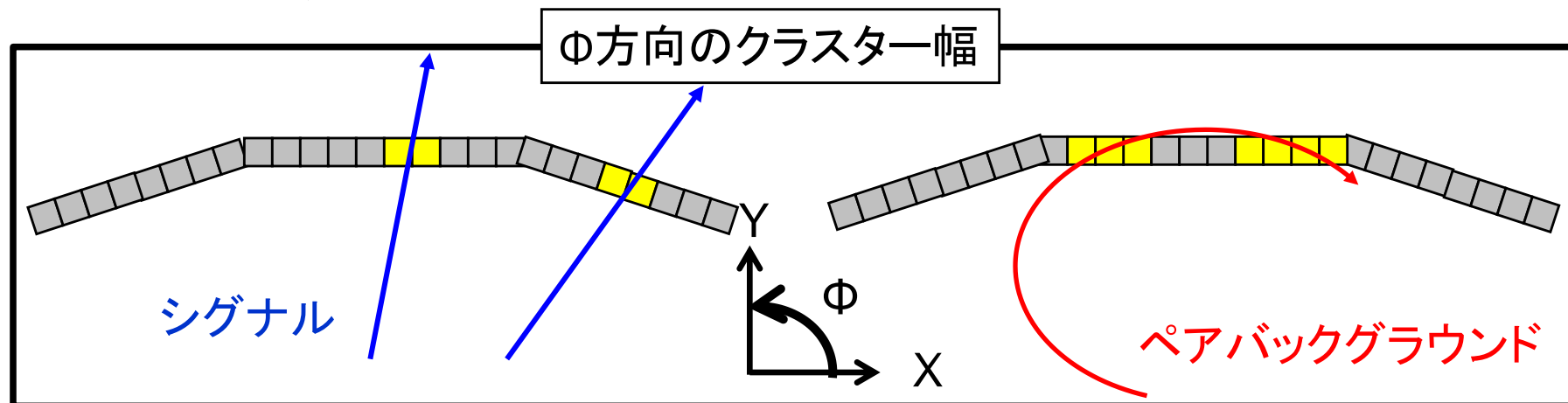
## Z方向のクラスター幅

- シグナルの場合、Zに依存して大きくなる。

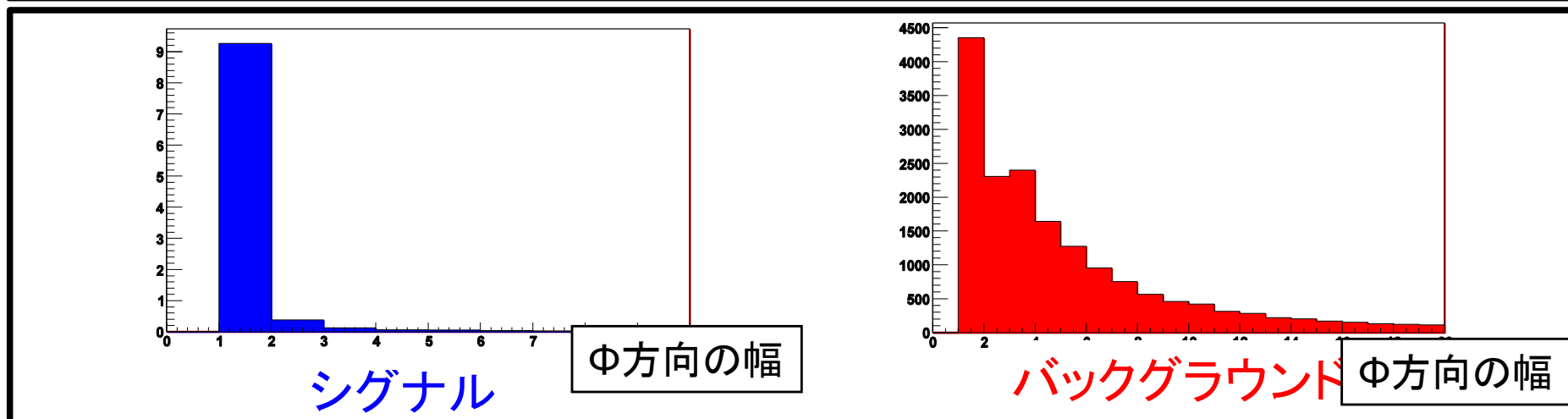
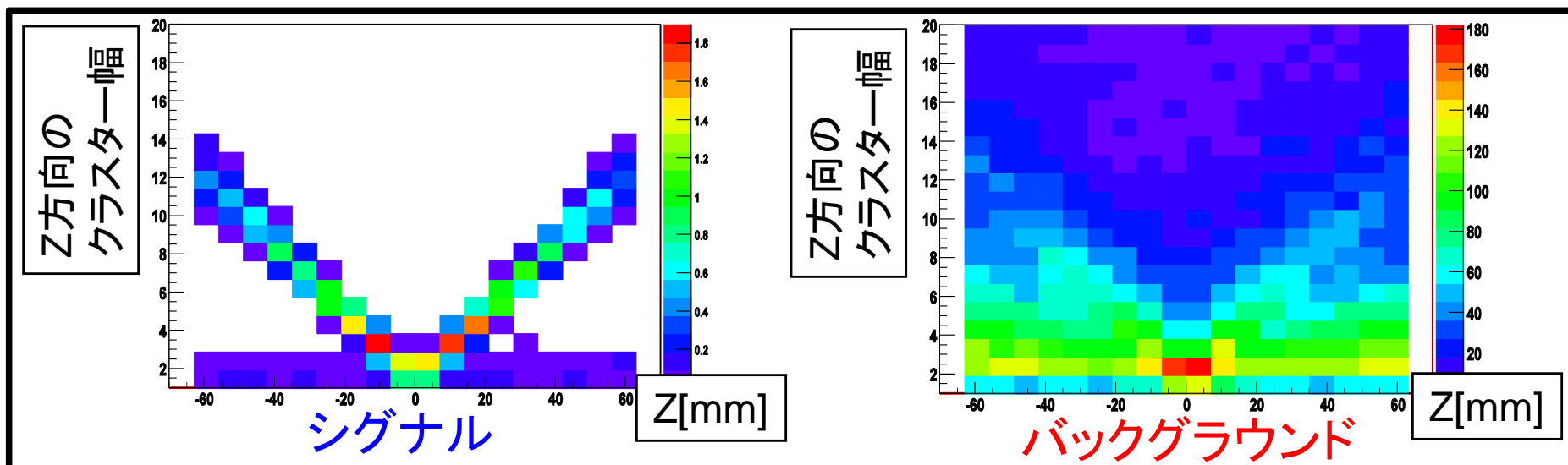


## $\Phi$ 方向のクラスター幅

- シグナルは数個しかヒットしない



# クラスター幅の分布



予想通り特長的な分布が見られた  
 →これを利用して除去が可能である

# 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ている

## ■ FPCCDデジタイザー

イベント情報からピクセルのヒット情報を作る

## ■ オーバーレイプロセッサ

複数のイベントの情報を重ね合わせる

ピクセル占有率を見積もった

最内層のピクセル占有率：～2.5% (1トレイン)

今後の予定

## ■ FPCCDクラスタリング

FPCCD崩壊点検出器の分解能の評価

重なったクラスタの分離

クラスタの形状によるバックグラウンド除去アルゴリズム

## ■ FPCCDトラックファインダー

クラスタリングされたヒット情報から粒子の飛跡を計算する

FPCCD崩壊点検出器のイベント再構成能力の評価