

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 ソフトウェア開発

- 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、高工研^A

釜井 大輔

田窪 洋介、長嶺 忠、山本 均、杉本 康博^A、宮本 彰也^A

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→bb, H→cc)



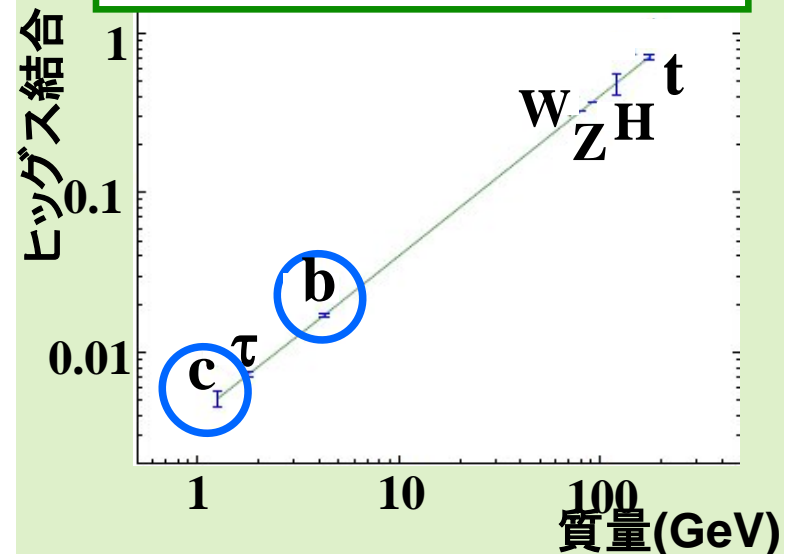
b, cクォークの同定が不可欠

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

ヒッグス結合と質量の相関



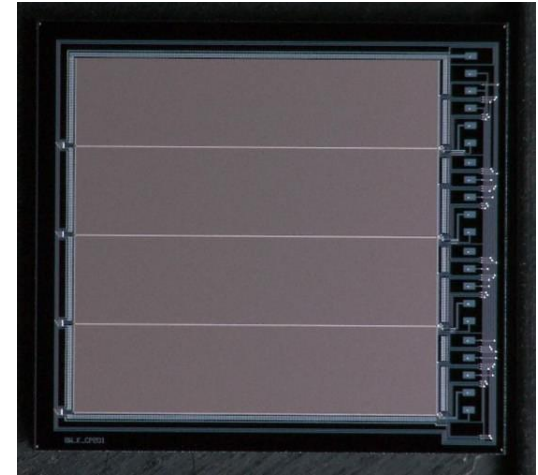
FPCCD崩壊点検出器

FinePixelCCD崩壊点検出器

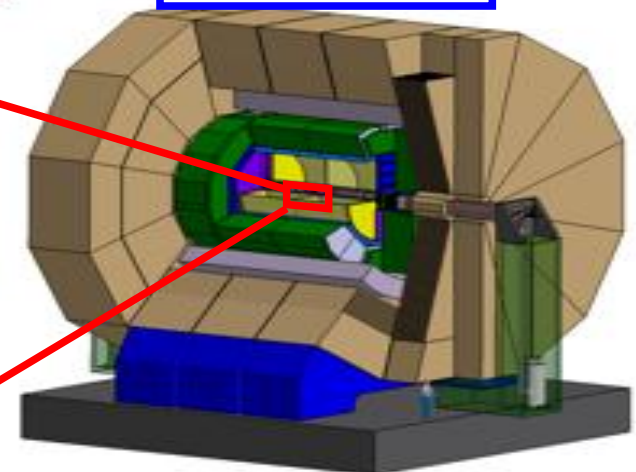
- ピクセルサイズ： $5 \times 5 \mu\text{m}^2$
- 有感層の厚さ： $15 \mu\text{m}$
- 総ピクセル数： $\sim 10^{10}$ ピクセル
- 全空乏型CCD
- 6層(3層×裏表)

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

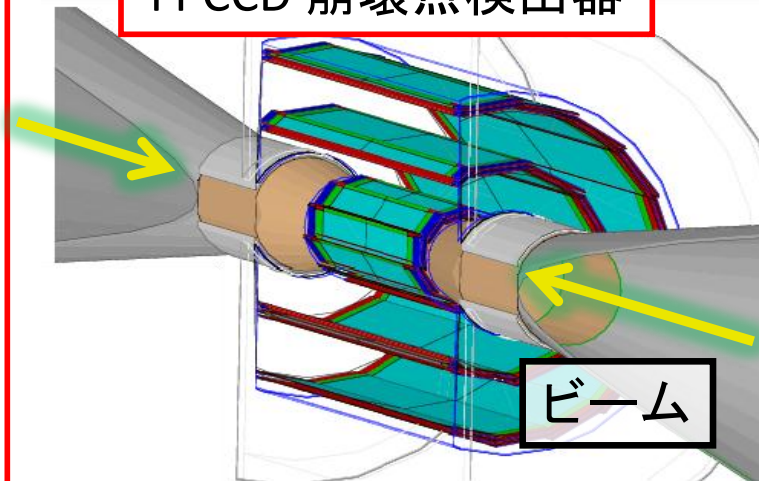
FPCCD試作器



ILC測定器



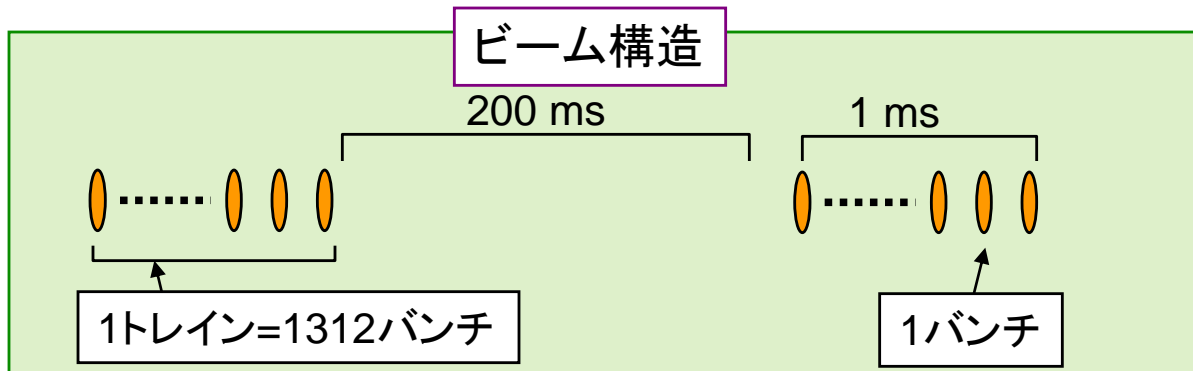
FPCCD 崩壊点検出器



ビーム

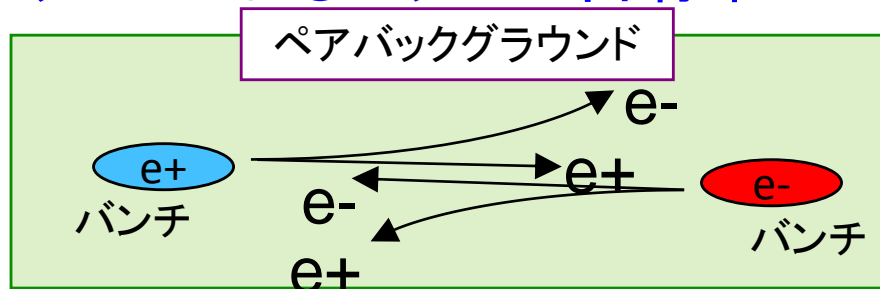
FPCCD崩壊点検出器の利点(1)

□ 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

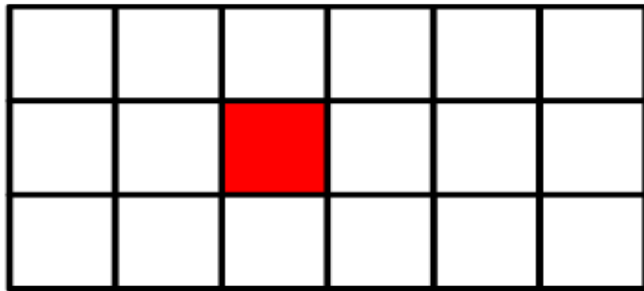


ビーム軸に垂直な方向の運動量が小さい

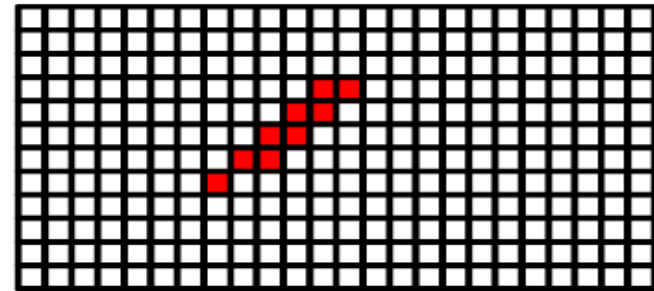
- 1トレイン分のデータを蓄積してから読み出す
- 従来の $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ のCCDでは占有率10%程度
- ピクセル数が多いので占有率を軽減できる(1%程度を目指す)

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

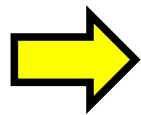
- FPCCDデジタイザー
 - 各ピクセルからの出力を作る
- FPCCDクラスタリング
 - 粒子の通過点を計算する

ILCソフトの一部

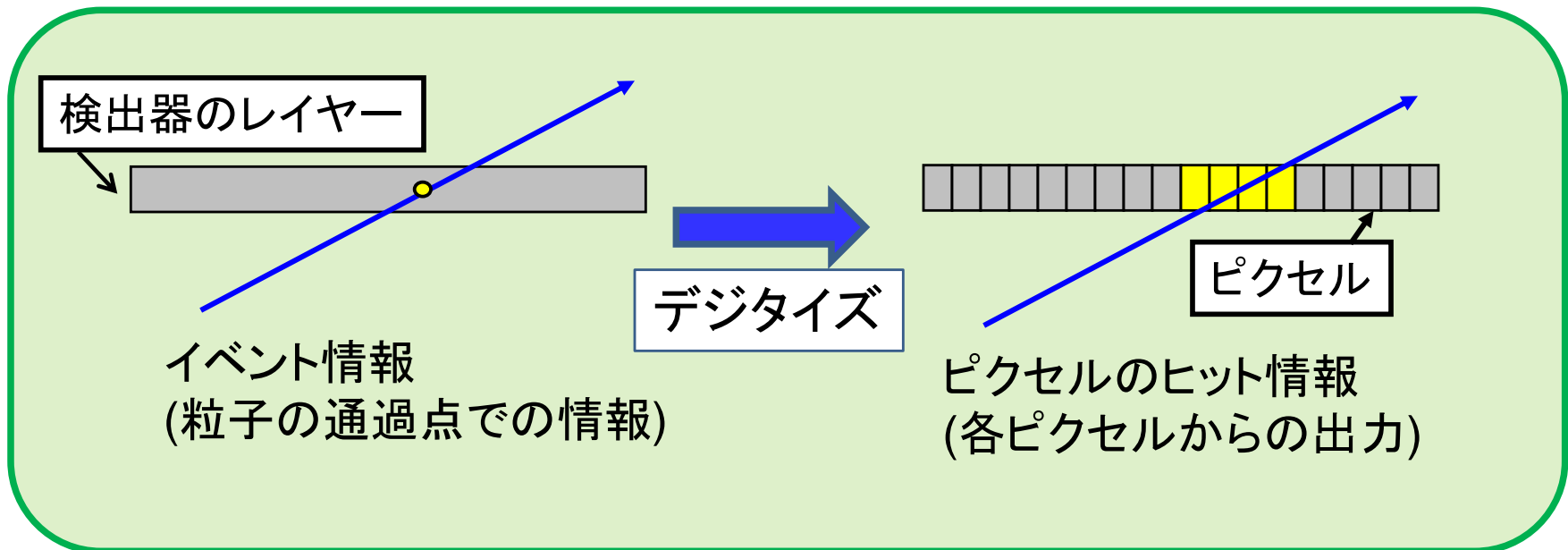
これらのソフトウェアを開発した

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**

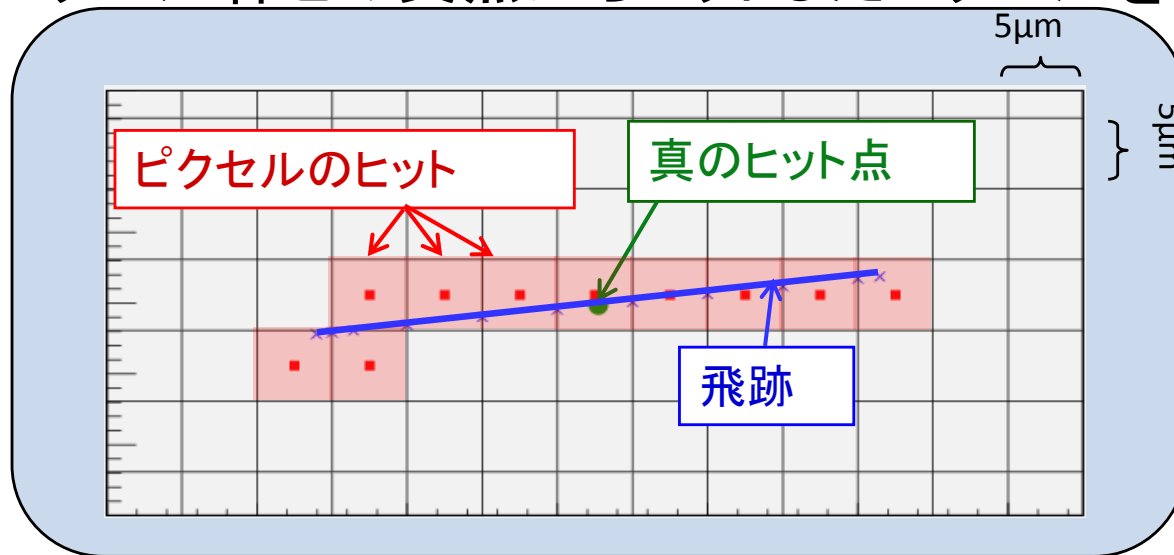


FPCCDデジタイザーを開発した



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

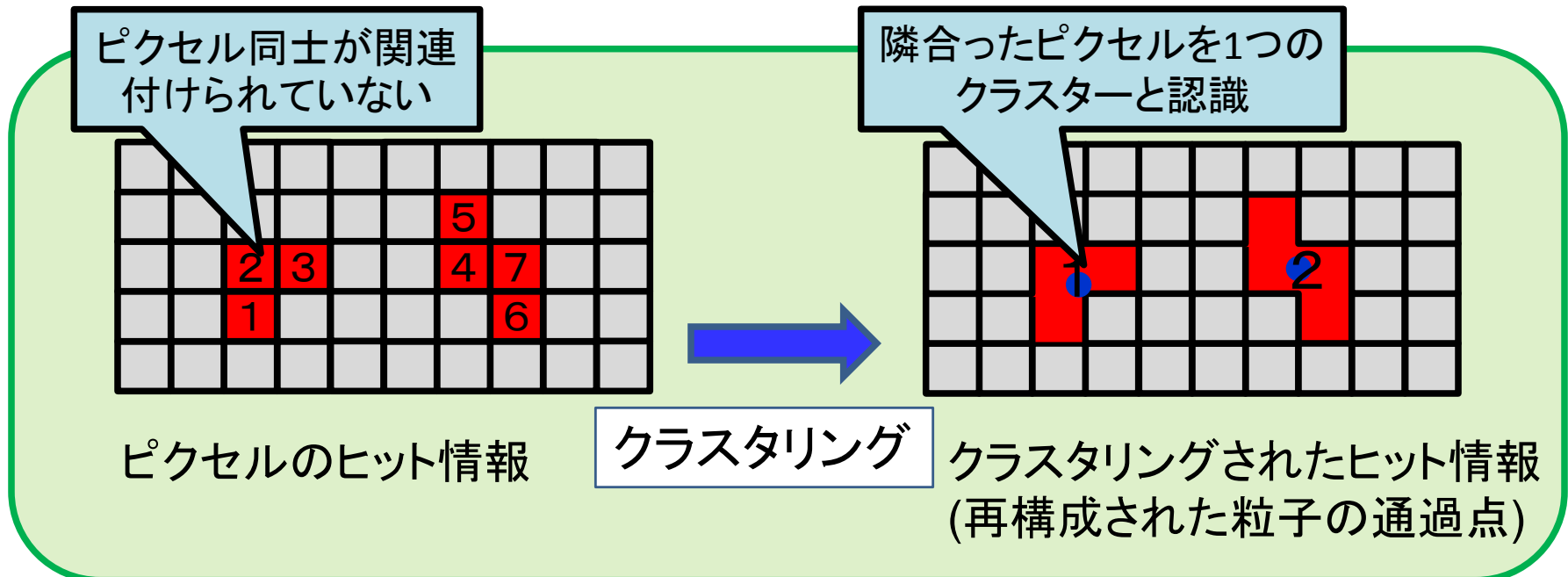
FPCCDクラスタリング

- 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⁹

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

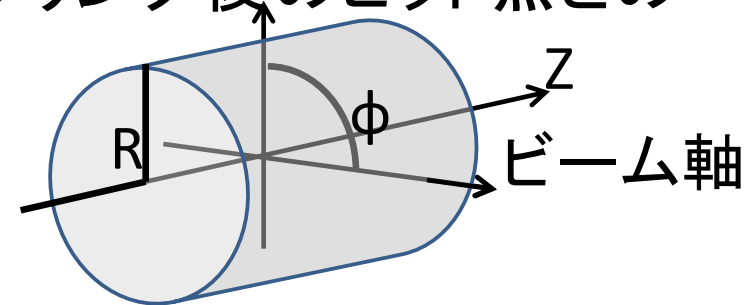
今回行った解析

- 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
- ペアバックグラウンド除去アルゴリズム

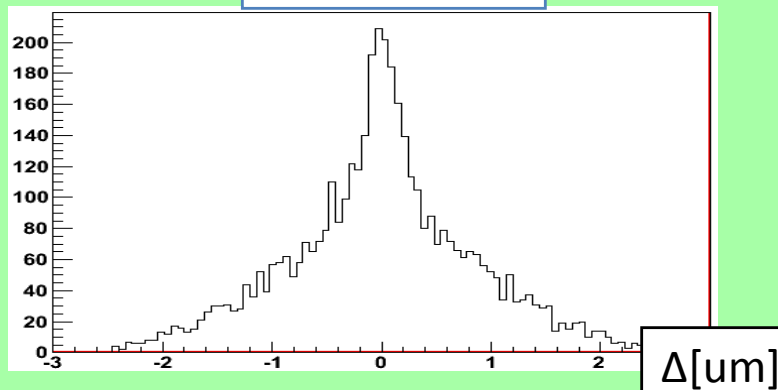
各ヒット点に対する位置分解能

最内層における真のヒット点とクラスタリング後のヒット点との差の分布。

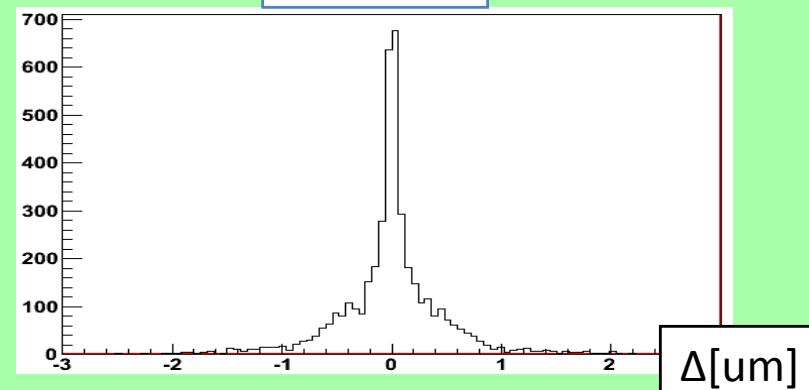
μ^- (運動量 100 GeV)



R- ϕ 方向



Z方向



$$\underline{\sigma_{R-\phi}} = 0.86 \text{ } \mu\text{m}$$

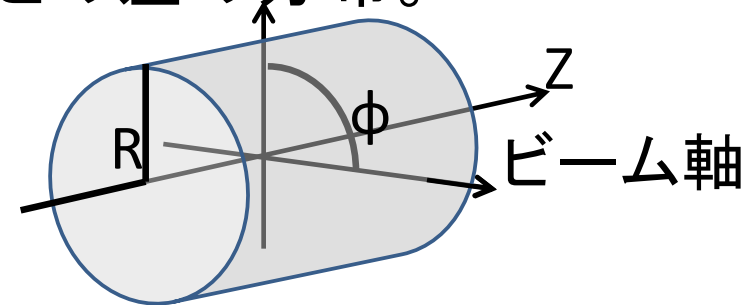
$$\underline{\sigma_z} = 0.39 \mu\text{m}$$

両者とも非常に高い分解能が得られた。

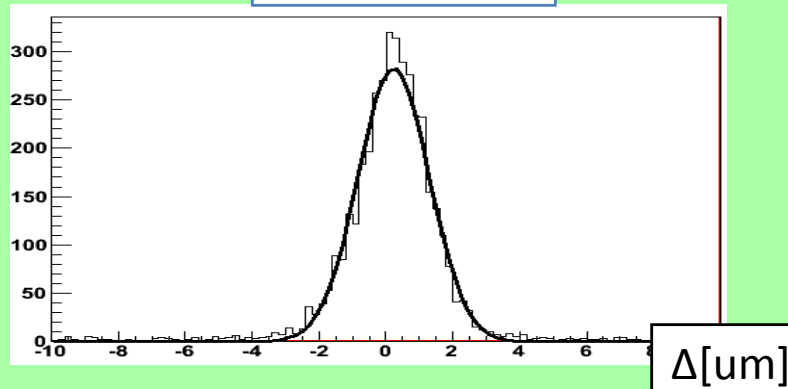
崩壊点分解能

真の崩壊点と再構成した後の崩壊点との差の分布。

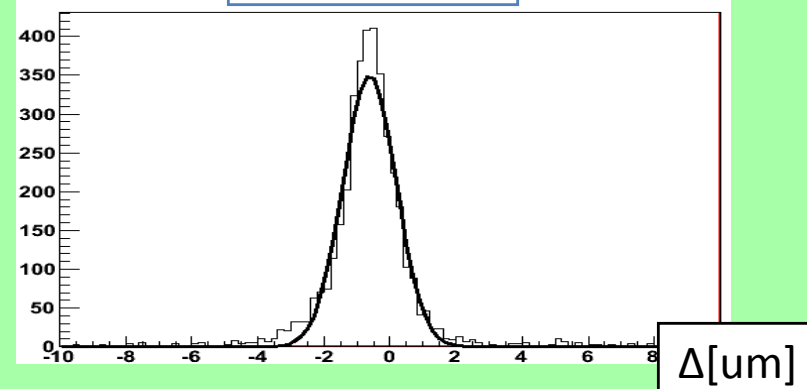
μ - (運動量 100 GeV)



R- ϕ 方向



R-Z方向



$$\underline{\sigma_{R-\phi} = 1.1 \text{ um}}$$

$$\underline{\sigma_{R-Z} = 0.82 \text{ um}}$$

100 GeV の μ - については

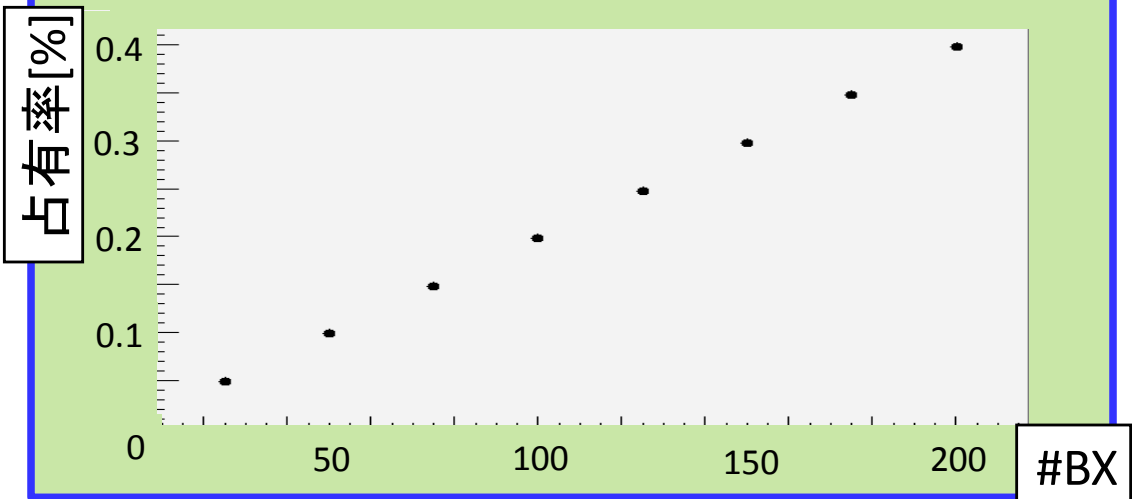
要求性能を十分に満たしている

ペアバックグラウンドによる占有率

重心エネルギー 500 GeV での**最内層、第2層**のピクセル占有率を見積もった。

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

最内層でのピクセル占有率 vs バンチ衝突回数



外挿ピクセル占有率 (1トレイン(1312BX)あたり)

最内層 : 2.6% , 第2層 : 1.4%

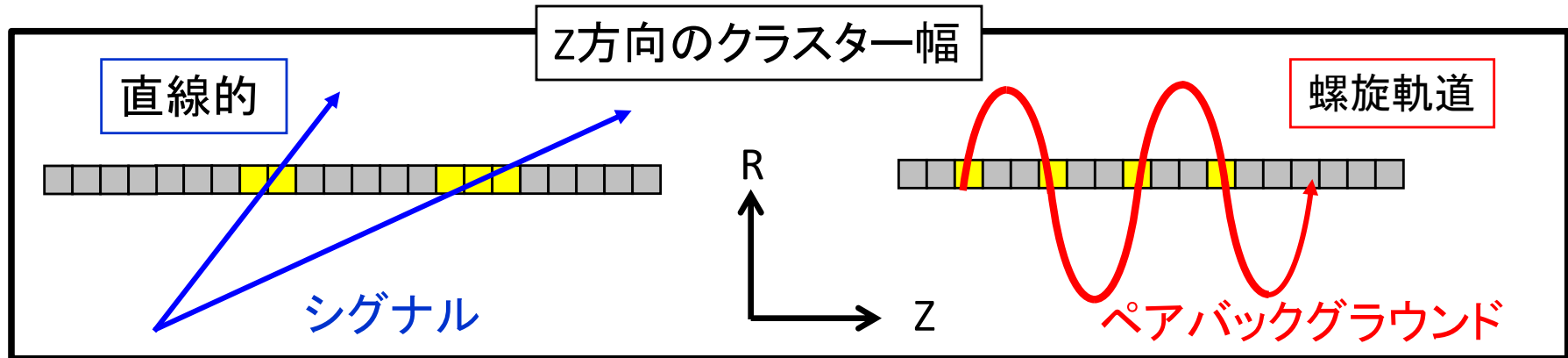
- 従来のCCD検出器(20 × 20 μm²)に比べると非常に低い
- しかしさらに改善したい(1%以下を目指す)

→バックグラウンド除去の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

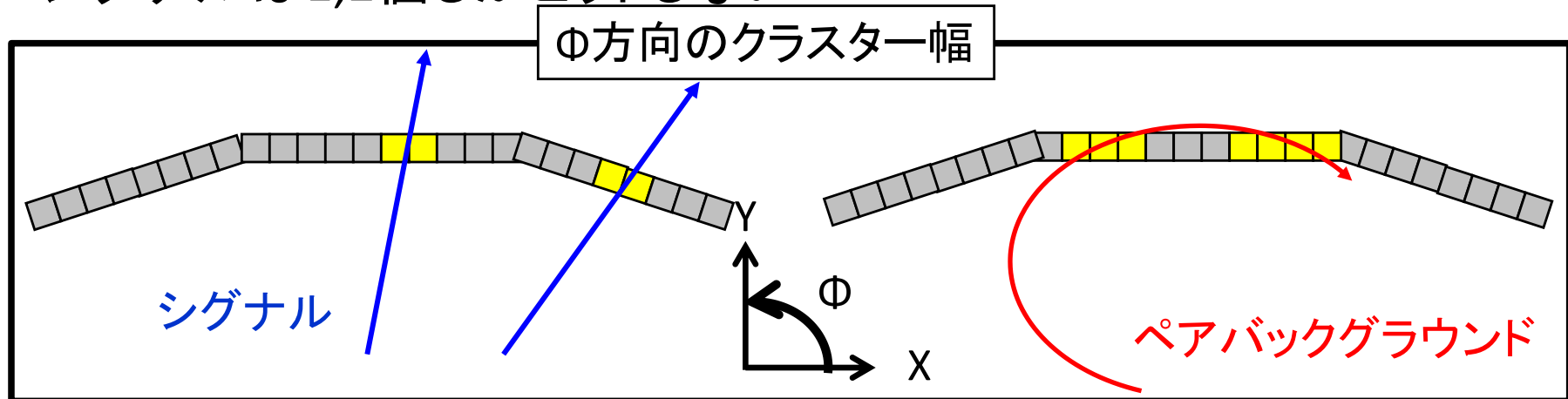
Z方向のクラスター幅

- シグナルの場合、Zに依存して大きくなる。



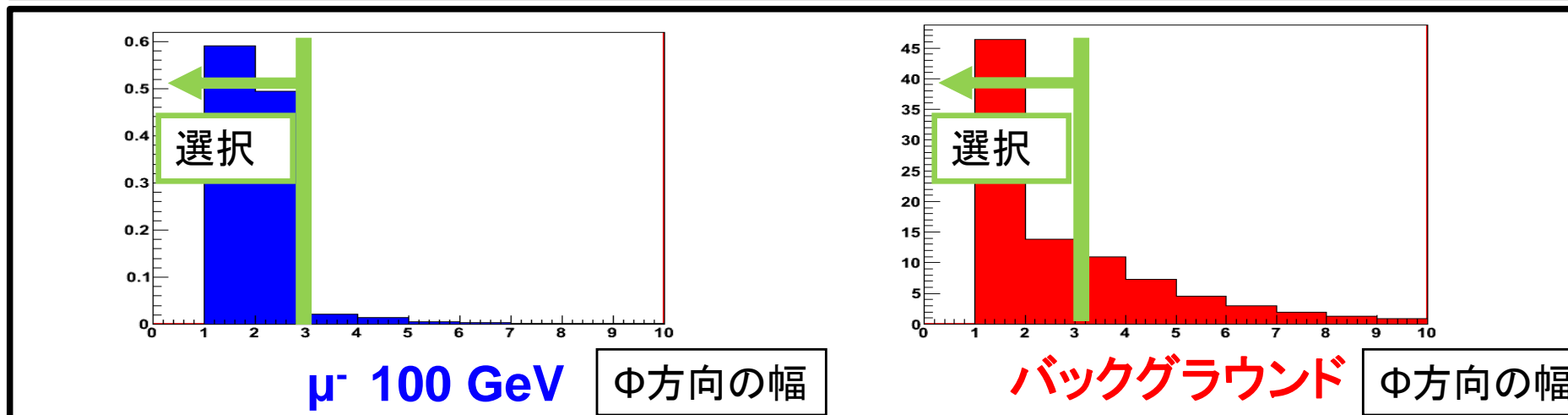
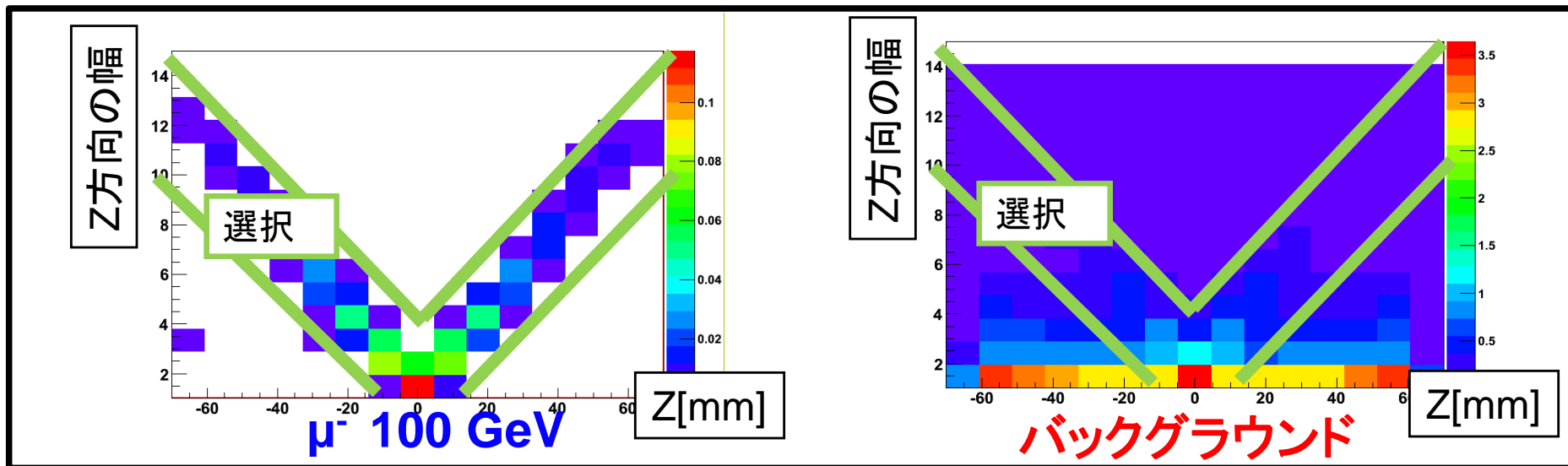
ϕ 方向のクラスター幅

- 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

μ^- (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

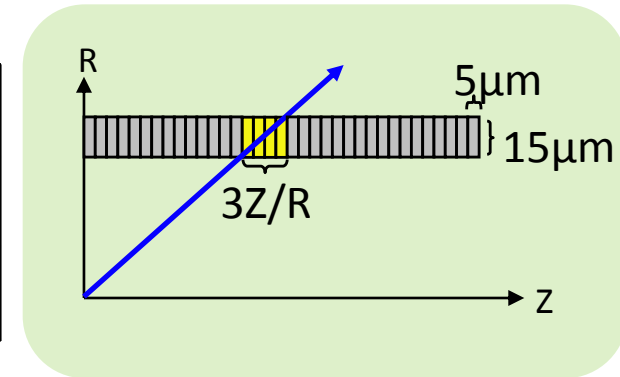
条件：

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

$$\phi \text{方向のクラスター幅} \leq 2$$

選択効率

	最内層	第2層
μ - (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

- μ - 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
 - FPCCDクラスタリング
- } ILCソフトの一部

FPCCD崩壊点検出器のシミュレーション結果

- 位置分解能
 - $\sigma_{R-\phi} = 0.86 \text{ um}$
 - $\sigma_z = 0.39 \text{ um}$
 - 崩壊点分解能
 - $\sigma_{R-\phi} = 1.1 \text{ um}$
 - $\sigma_{R-Z} = 0.82 \text{ um}$
- μ^- (運動量 100 GeV)
 については分解能の
要求性能をクリア!
- ピクセル占有率
 - 最内層 : 2.6%, 第2層 : 1.4% (1312BXあたり)
 - バックグラウンド除去アルゴリズム
 - μ^- (運動量 100GeV) の選択効率 最内層 : 99.2%, 第2層 : 99.7%
 - 実効ピクセル占有率 最内層 : 0.22%, 第2層 : 0.13%

バックグラウンド環境下でのFPCCDの性能評価を行う予定