



FPCCD崩壊点検出器専用の トラックファインダー開発状況

東北大学
修士2年
森 達哉

目次

1. FPCCDの紹介
2. クラスター形状によるBGプリカット開発状況
3. FPCCD専用トラックファインダー開発状況

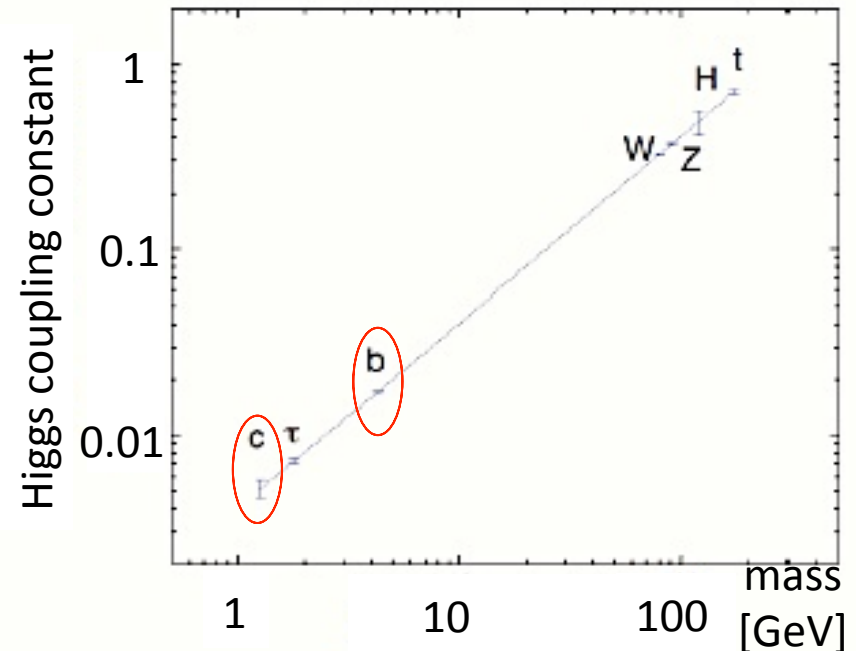
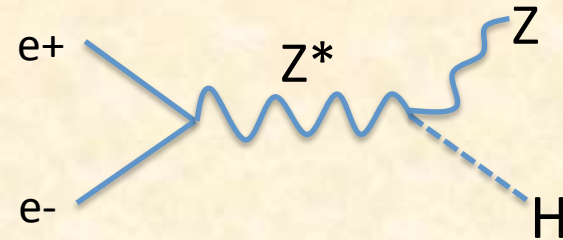
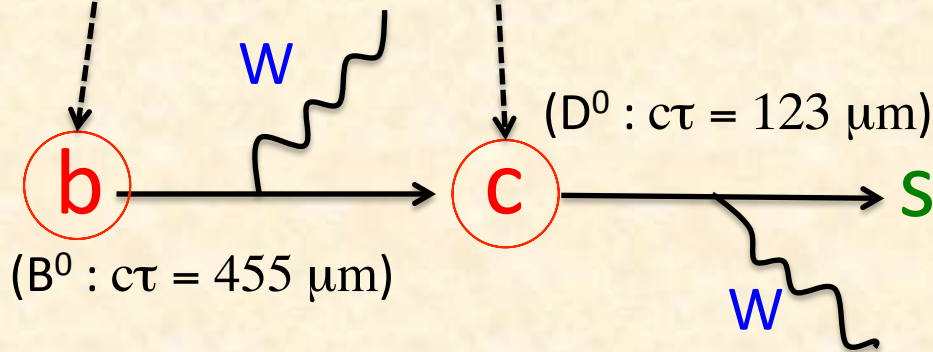
Framework: ILCSoft v01-16 (<http://ilcsoft.desy.de/portal>)

崩壊点検出器

ILCの大きな目的のひとつ:

c、bクォークとHiggsとの結合定数の精密測定(Belle、LHCでは困難)

H \rightarrow bb, cc, gg を正確に再構成したい



→高分解能なVertex Detectorが必要→FPCCD

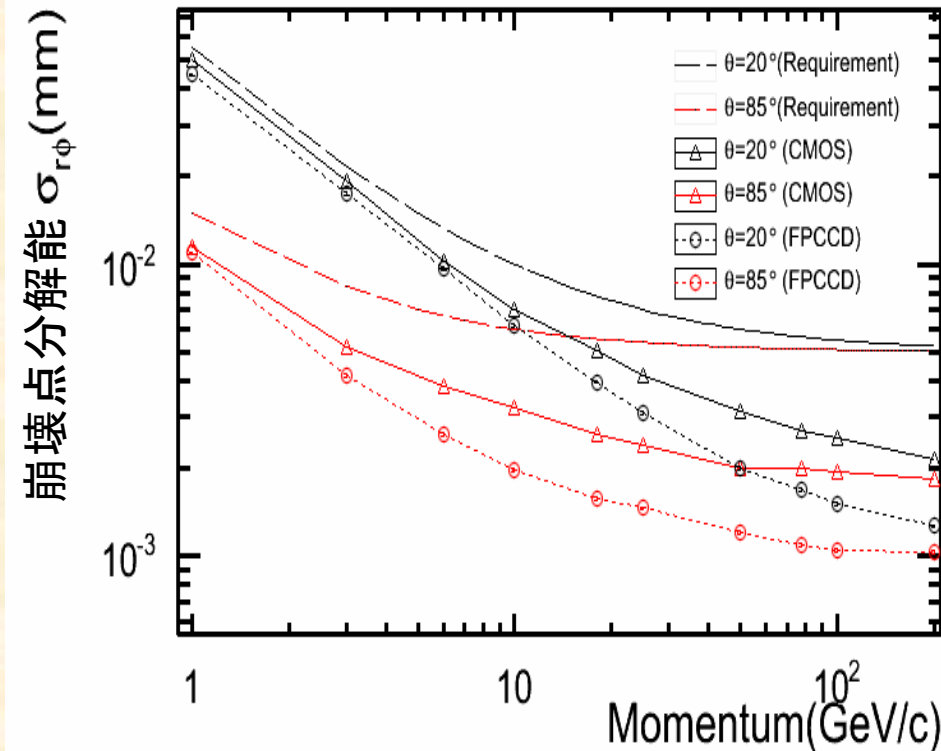
Fine Pixel CCD Vertex Detector (FPCCD)

FPCCDの特徴

ピクセルの大きさ: $5 \times 5 \mu\text{m}^2$
 厚み: $50 \mu\text{m}$ (その内 $15 \mu\text{m}$ は有感層)
 ピクセル数: ~ 10 億個

高分解能 & 低占有率

過去の性能評価の結果



レイヤー	衝突点からの距離
0, 1	16 mm, 17 mm
2, 3	37 mm, 38 mm
4, 5	58 mm, 59 mm

E_{CM} (GeV)	レイヤー0における pair BG 1 train分の占有率(%)
250	0.8
350	0.9
500	2.8
1000	19.6

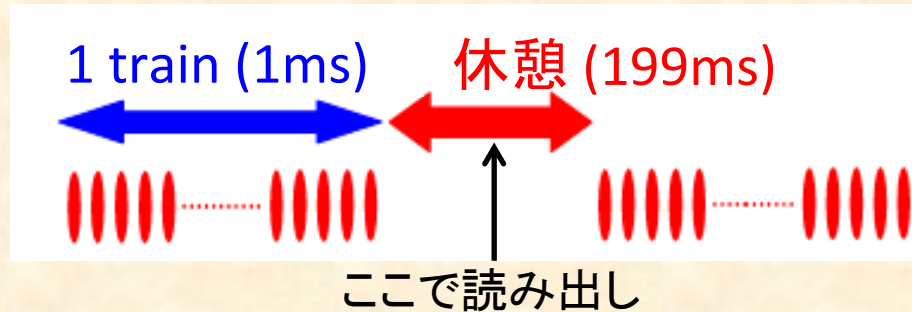
Fine Pixel CCD Vertex Detector (FPCCD)

FPCCDの難点

読み出し : 1 train分貯めてから

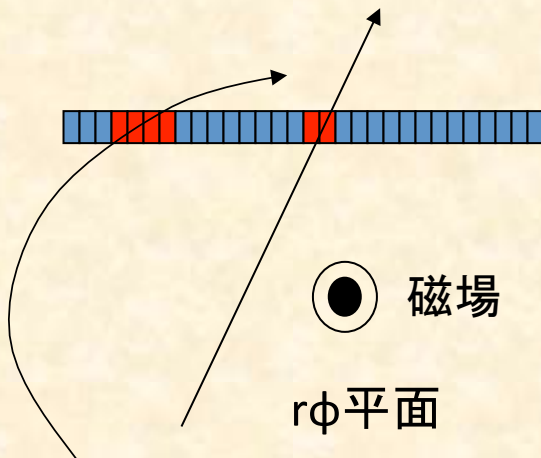


ヒット点が山のようにあって
トラッキングが難しい



FPCCDの長所

ピクセルヒットの塊(クラスター)ができる



- クラスター形状から粒子の入射方向を推定できる
- クラスターを作る各ピクセルのEnergy depositの平均から粒子の通過点を高精度で推定可



クラスター形状によるBGプリカット
開発状況

BGプリカット

- トラッキングをする前に、
 - シグナル クラスタ : keep
 - BG クラスタ : Cut

すれば、

1. トラッキングに掛かる時間 : 短くなる
2. トラック外挿のミス : 減る

1st Cut

以下のように長いクラスターは除外するようにした

Requirement		
ピクセル数	クラスター幅 in $r\phi$ 方向	クラスター幅 in 磁場方向
< 20	< 10 pixels	< 15 pixels

例えば、 $t\bar{t}$ 350GeVイベントが作るクラスターの**99.87%**は保持されるのに対し、

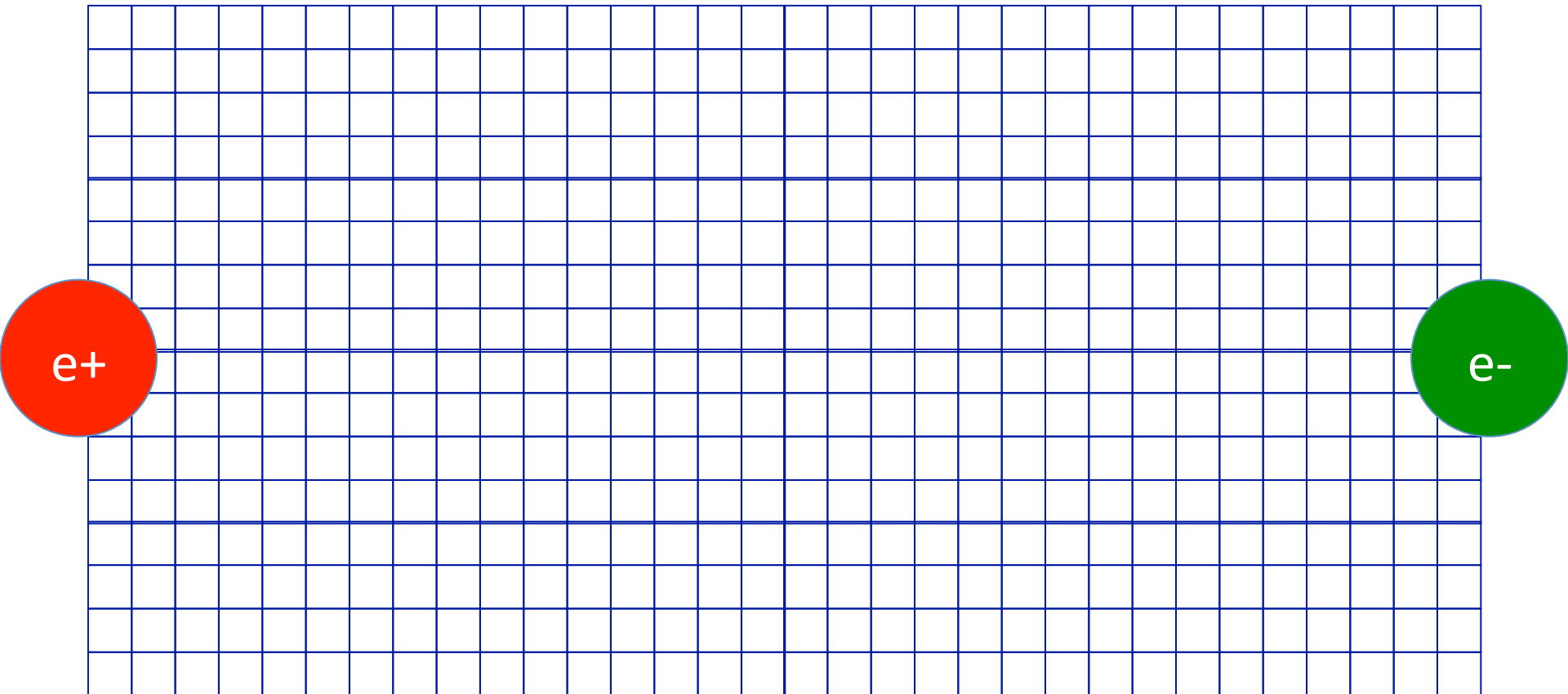
BG @ 350GeV

layer No.	# of clusters before 1st Cut	# of clusters after 1st Cut	reduction of cluster rate
0	673500	626660	7%

これだけじゃあまり旨味が出ない

クラスタの傾きと座標の相関

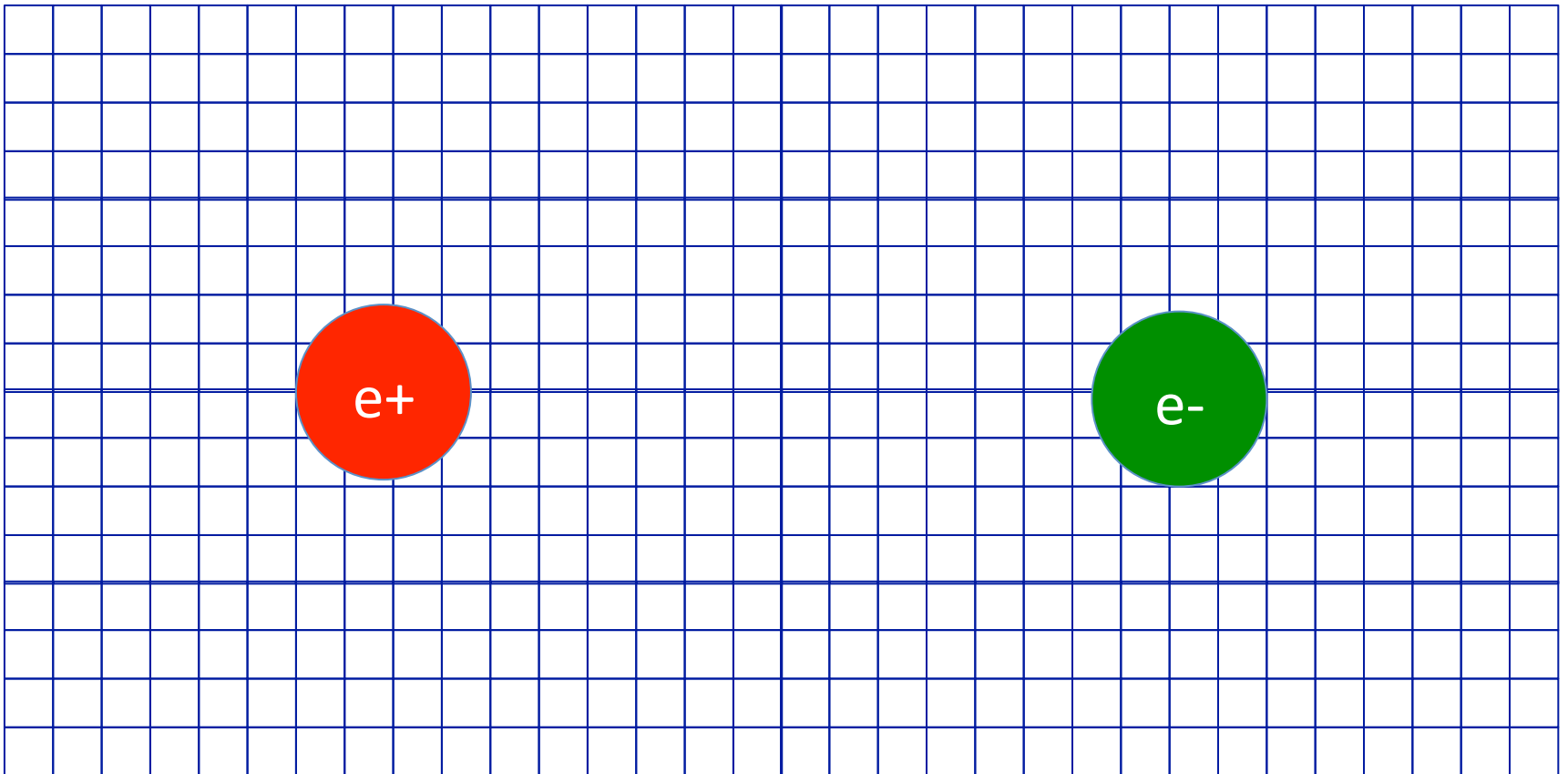
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスタの傾きと座標の相関

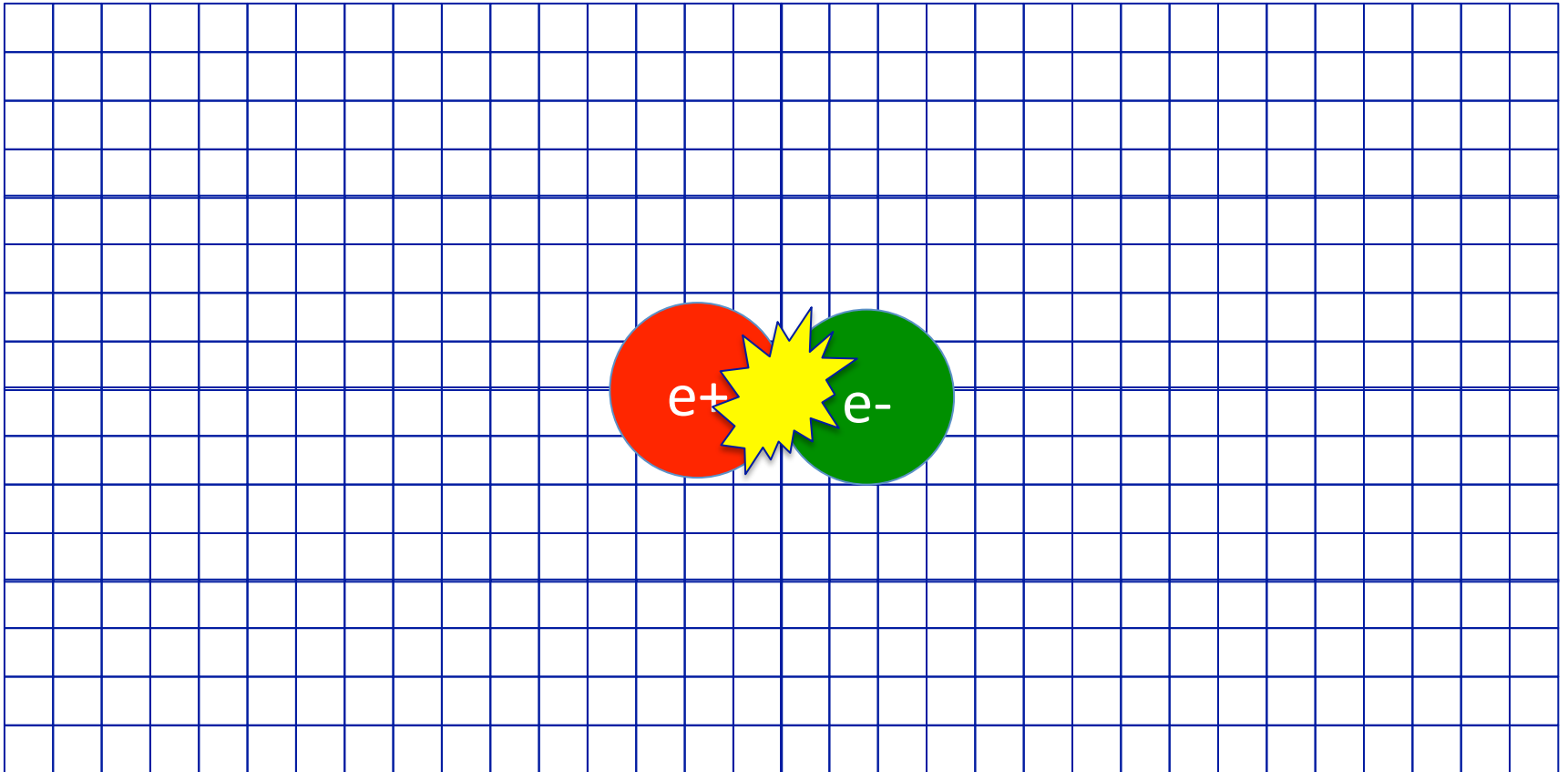
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

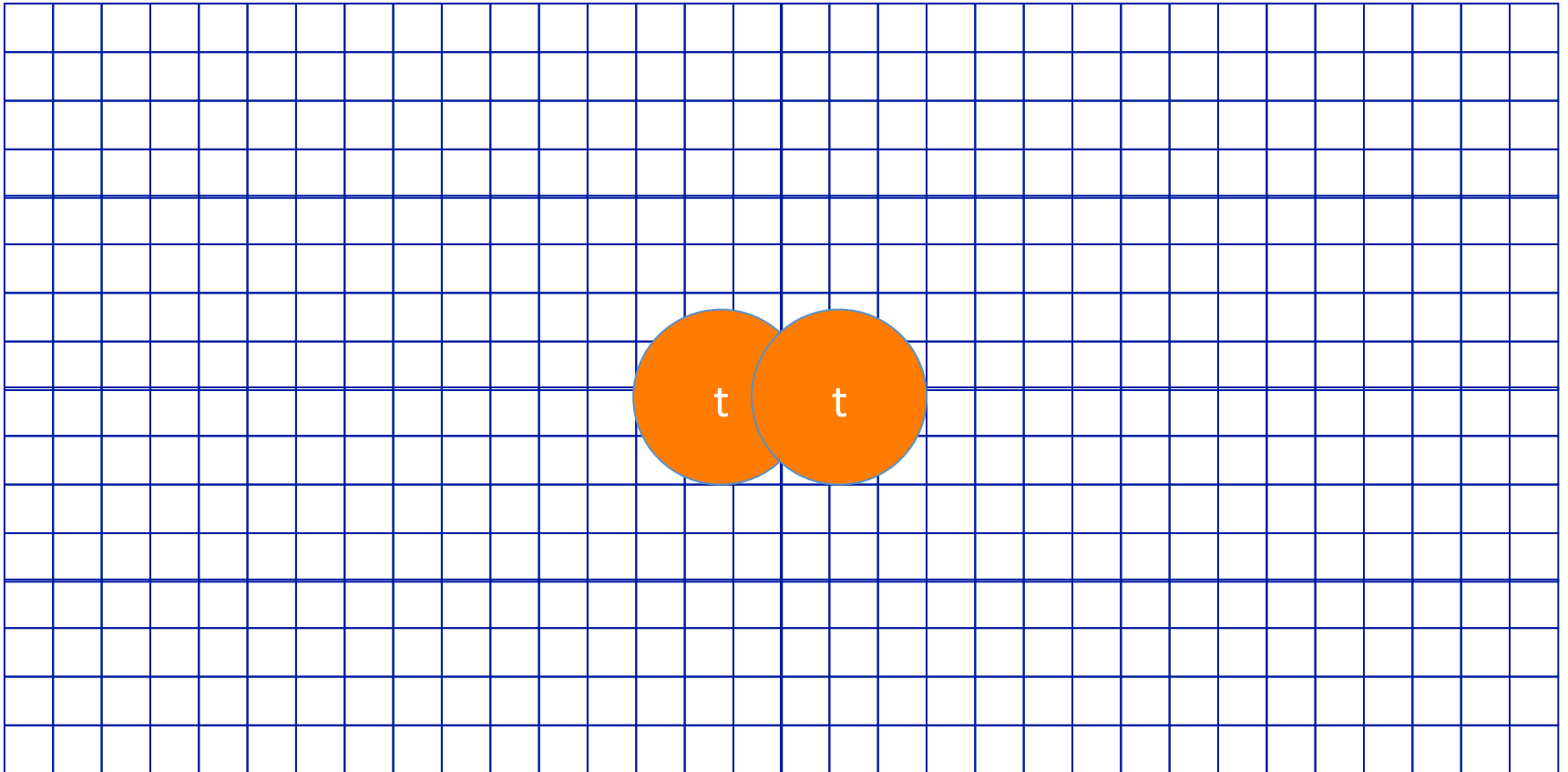
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ

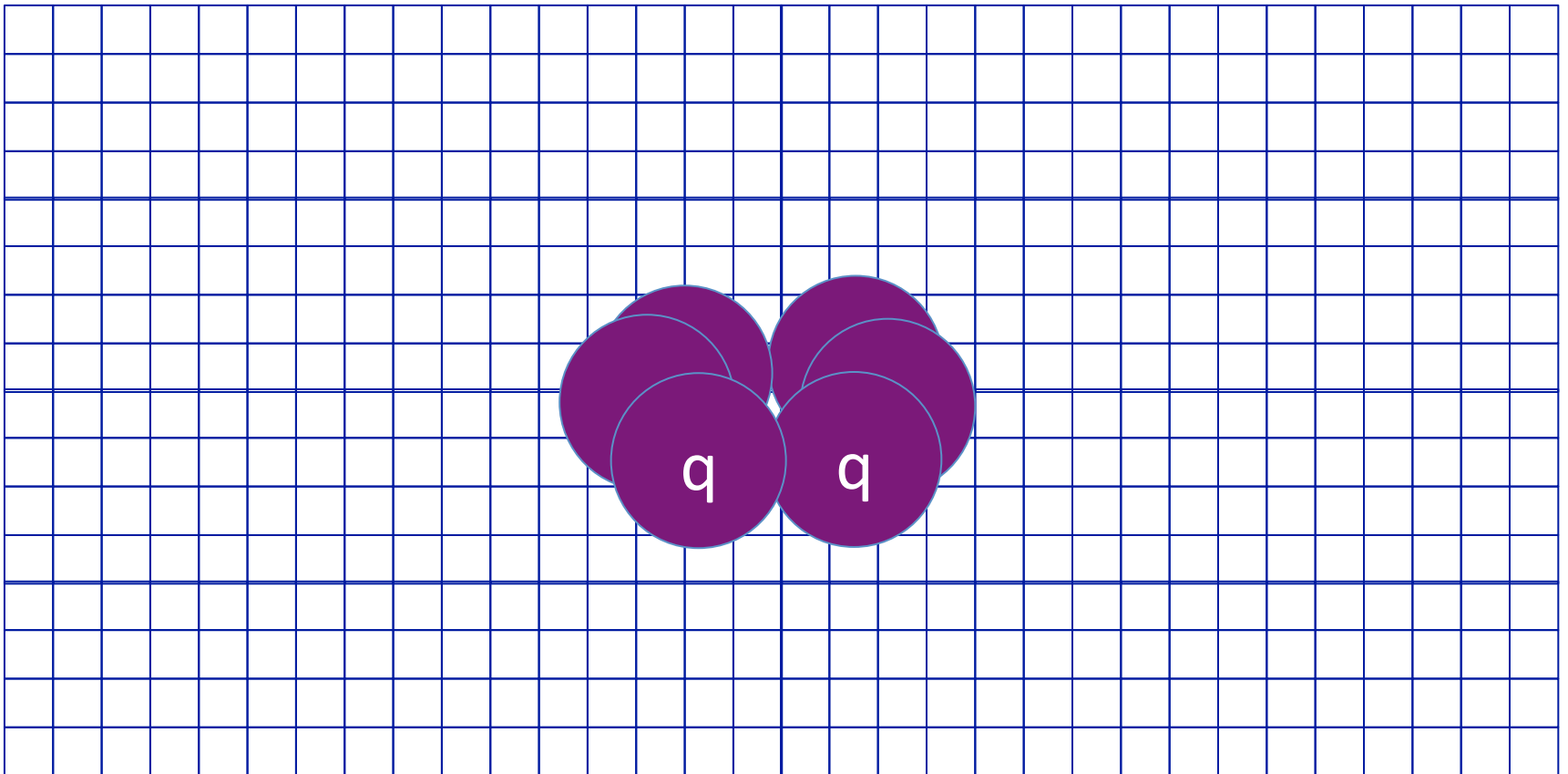


最内層のラダー

簡単のためtopクォークっぽい素粒子が2つできたとする

クラスターの傾きと座標の相関

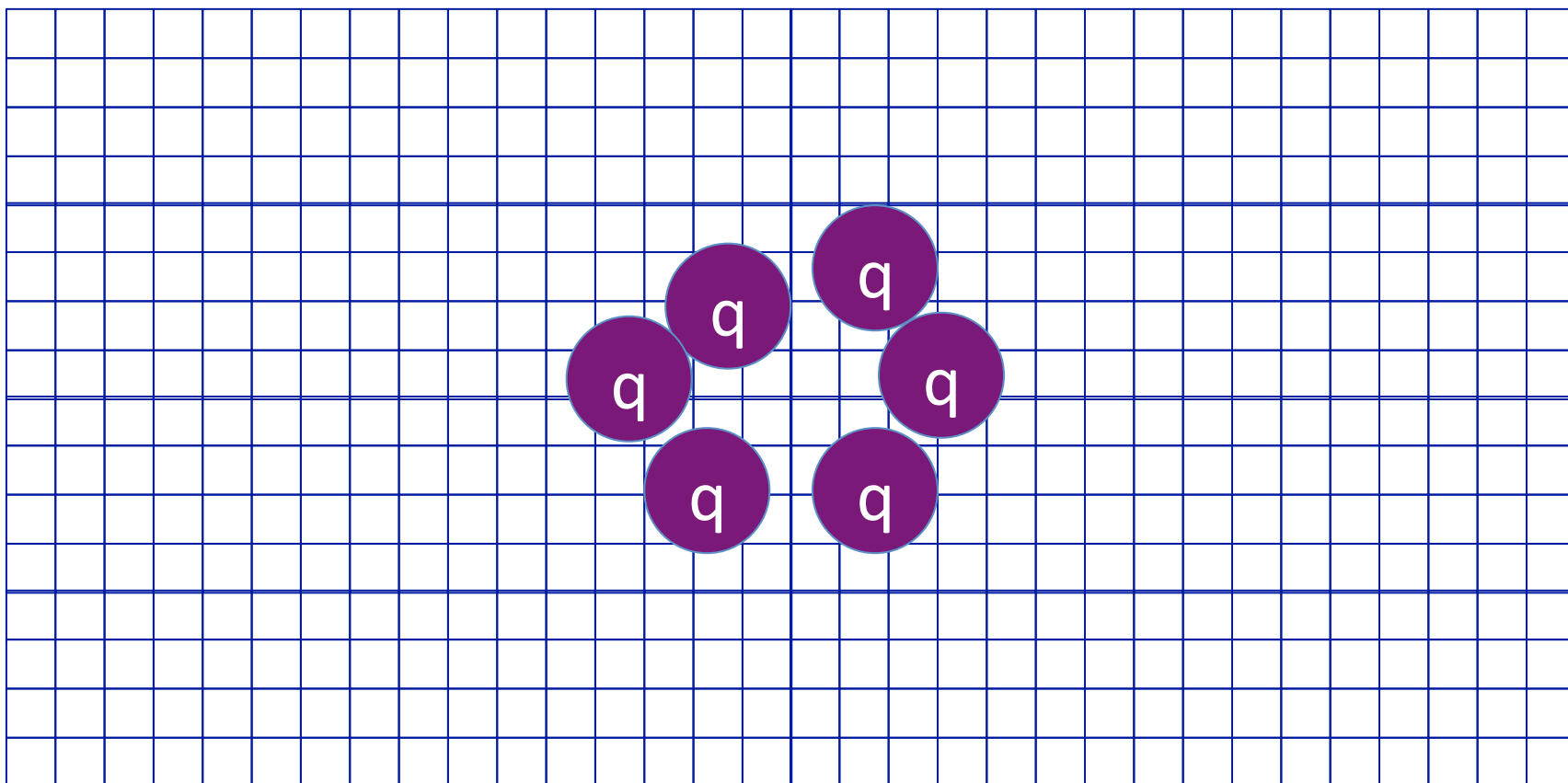
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

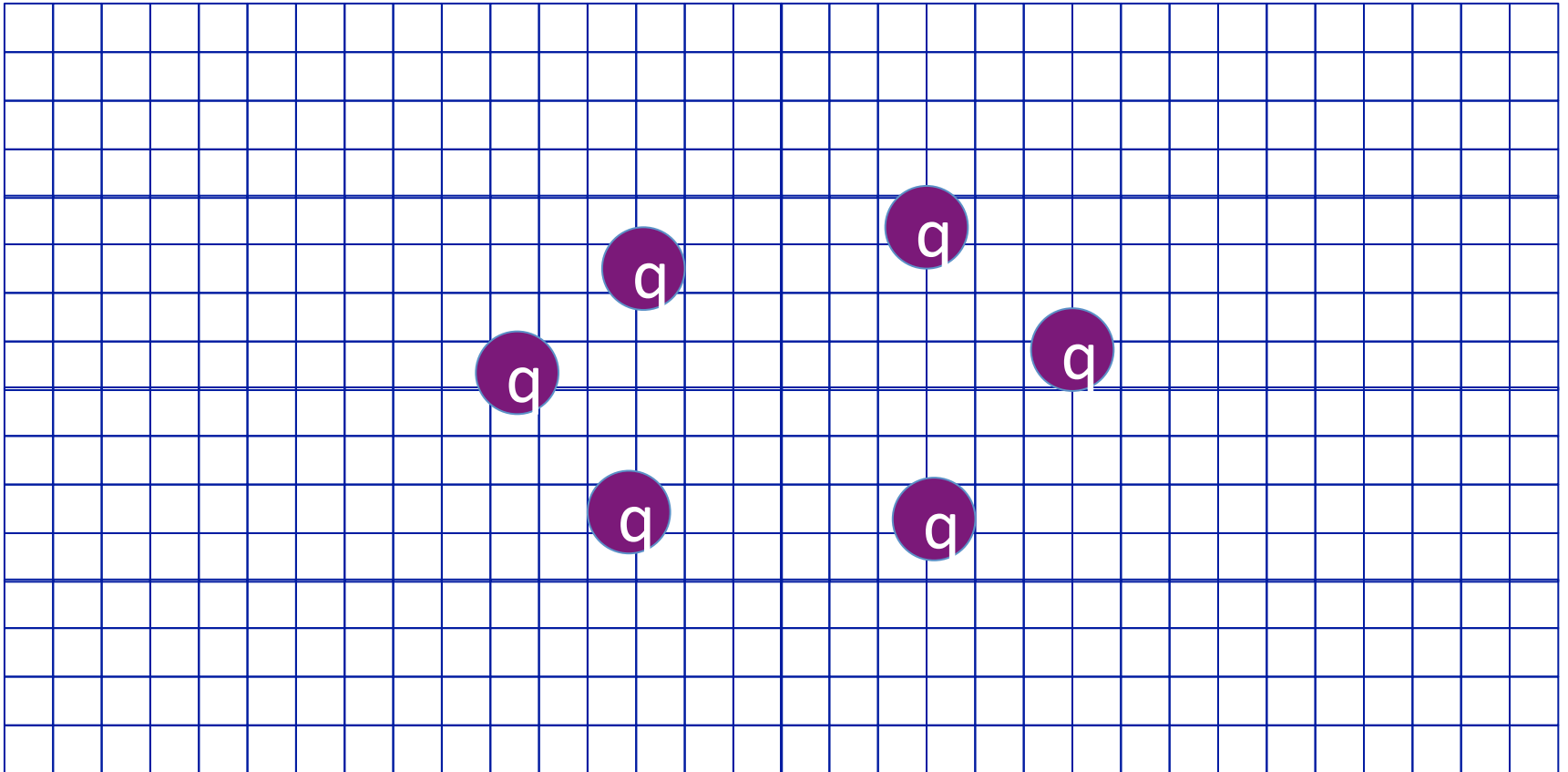
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

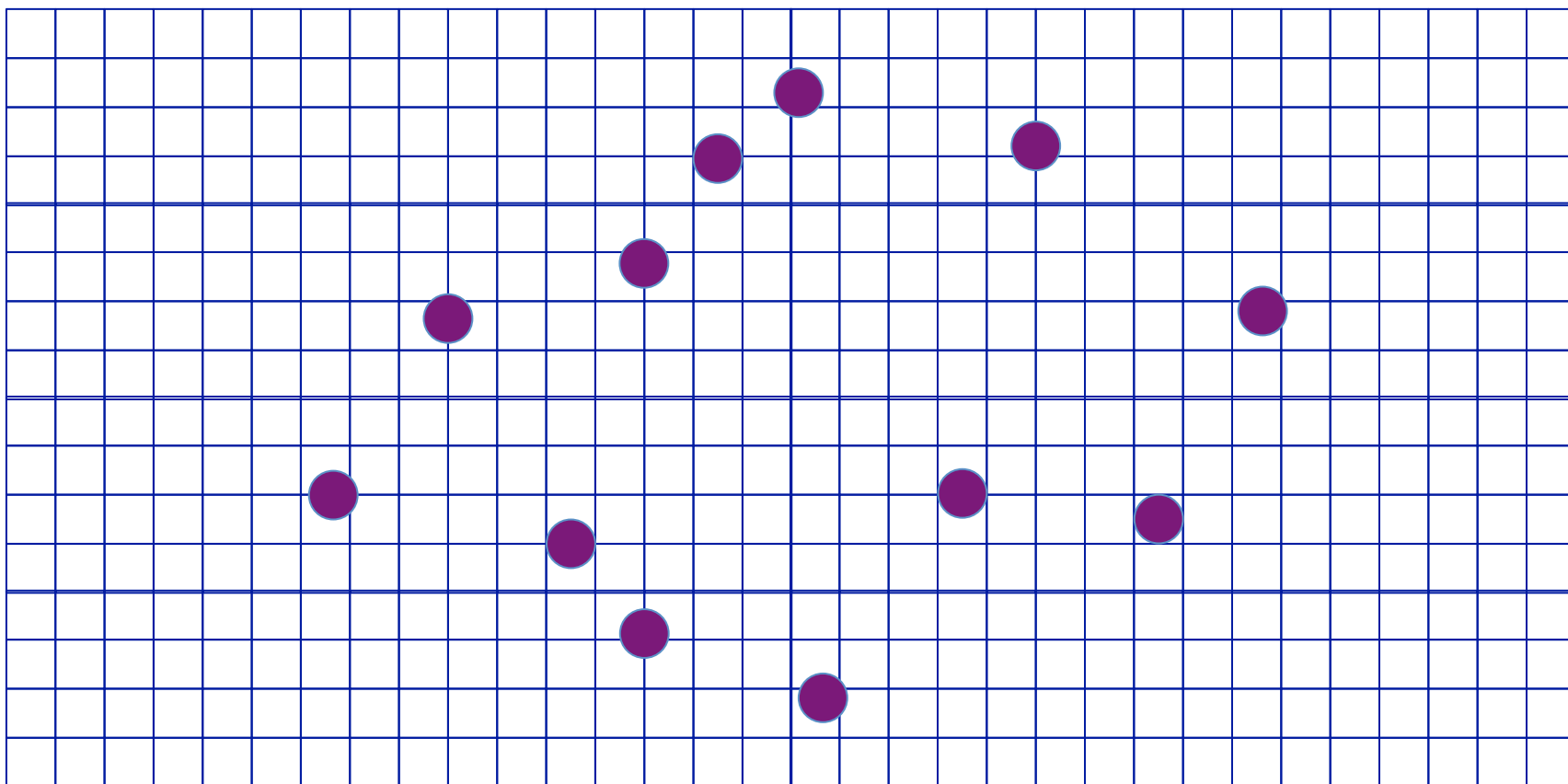
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

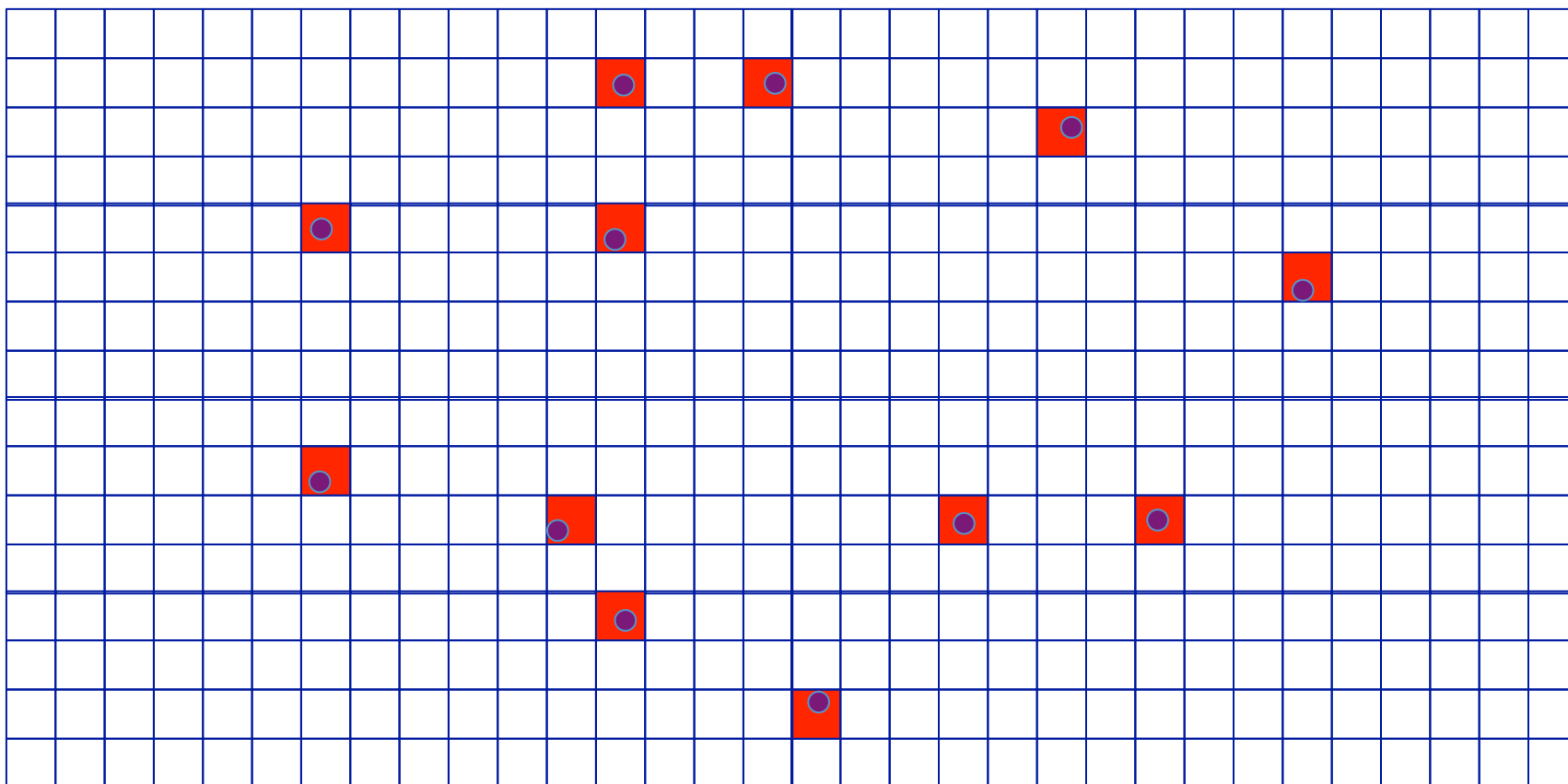
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

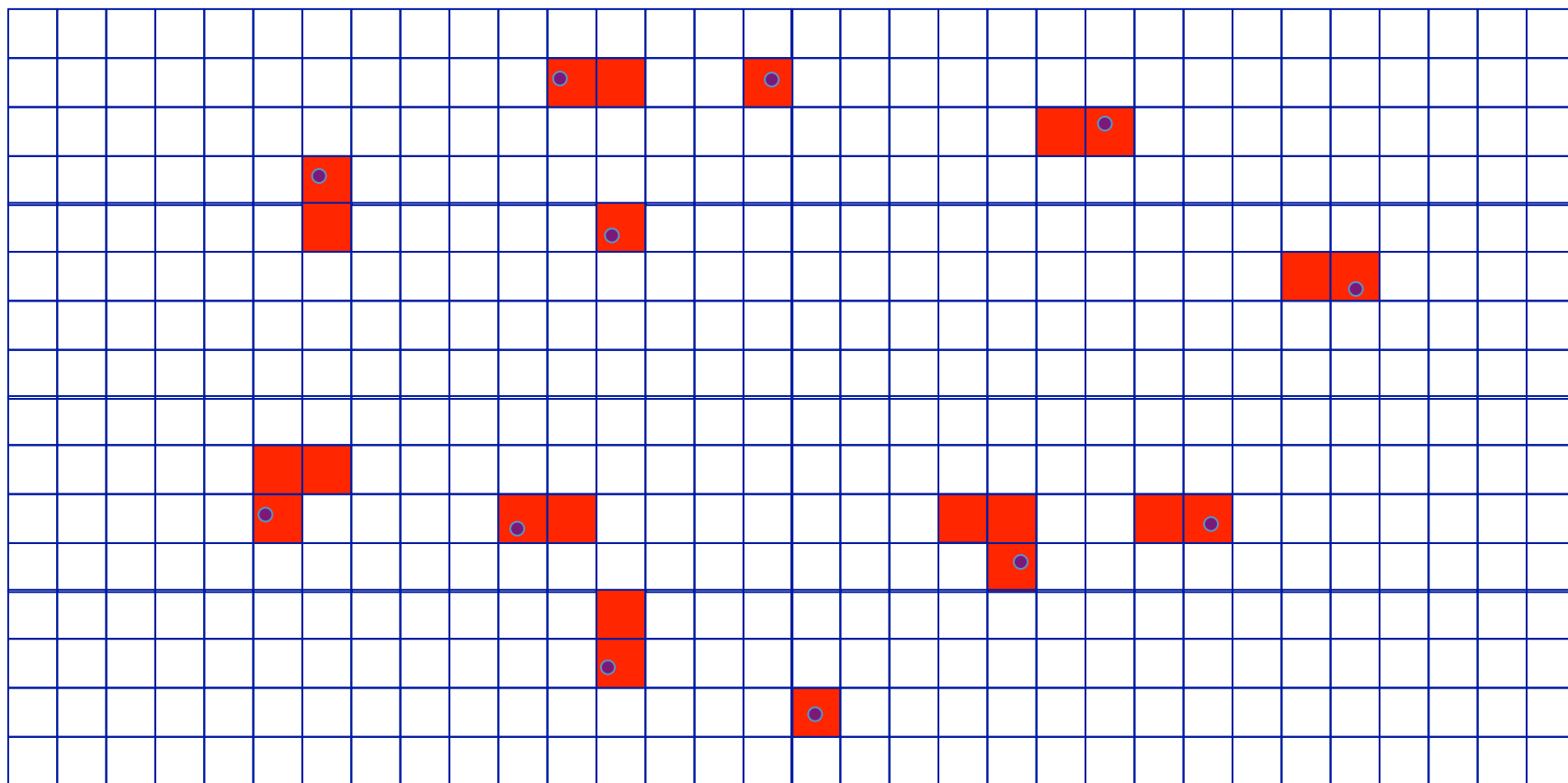
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

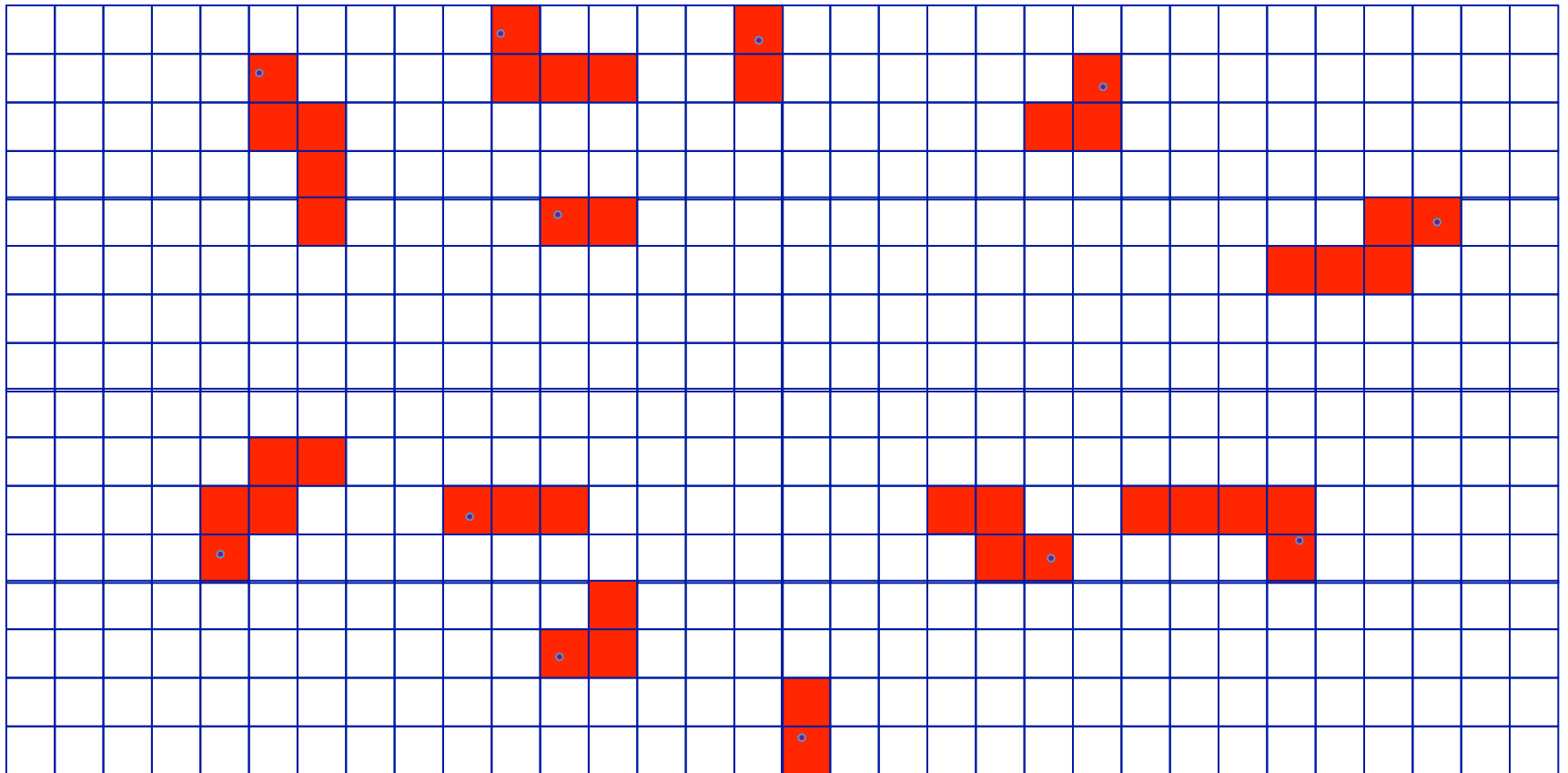
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

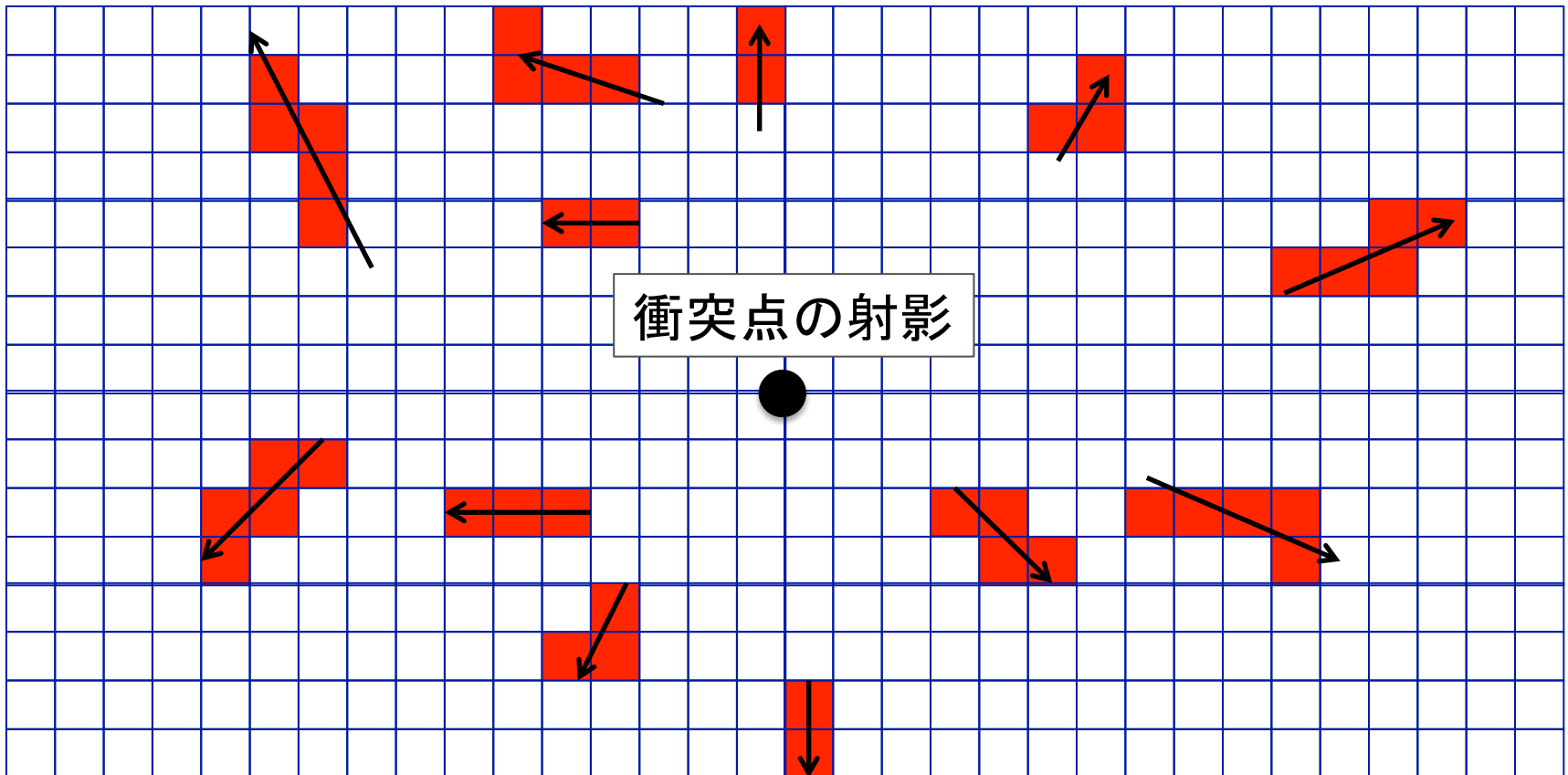
基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ



最内層のラダー

クラスターの傾きと座標の相関

基本的に、シグナルイベントの粒子は衝突点から高 P_T で飛ぶ

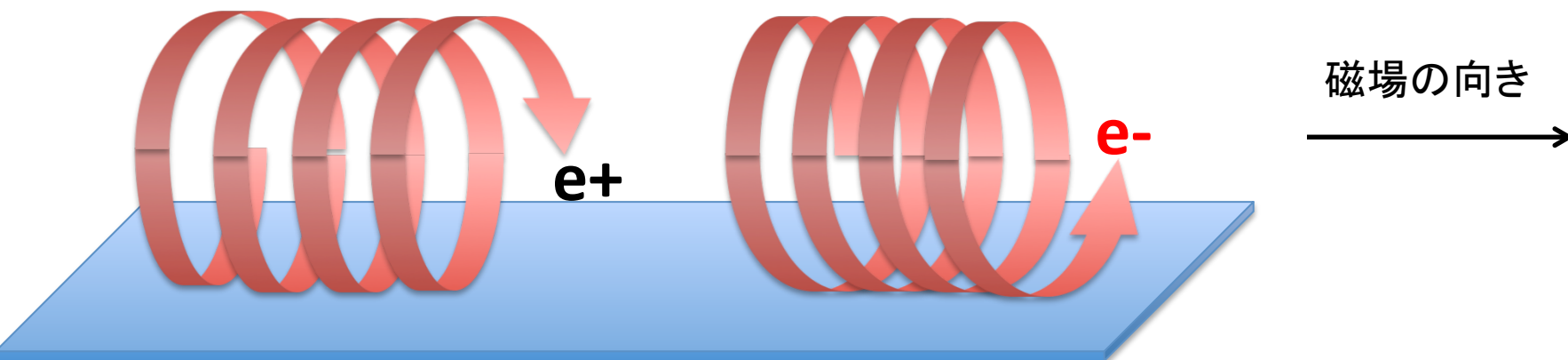


最内層のラダー

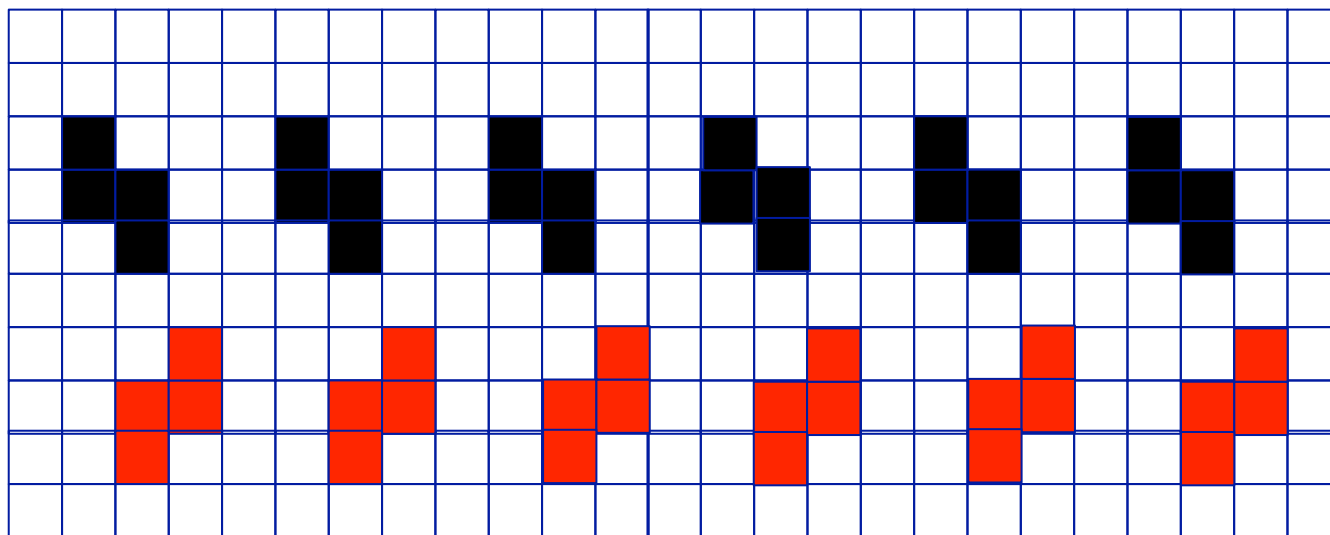
衝突点をラダーに射影した位置から見て、
クラスターは放射状に広がる傾向がある

クラスタの傾きと座標の相関

一方、BGイベントは基本的に螺旋状の e^+e^- が飛ぶ

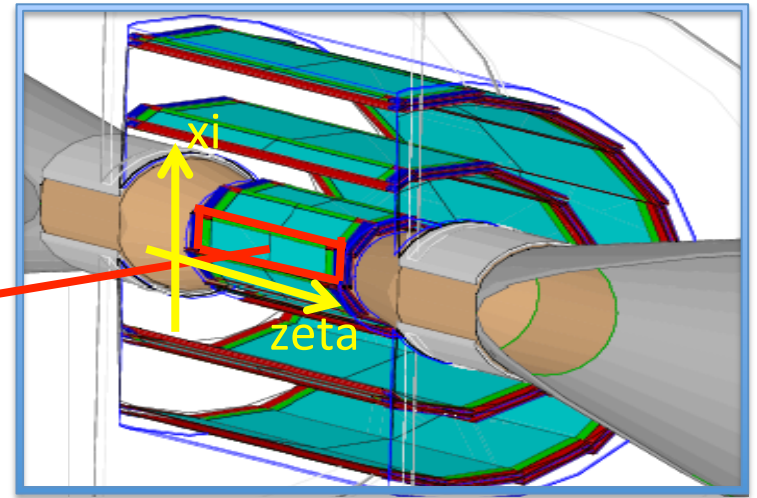
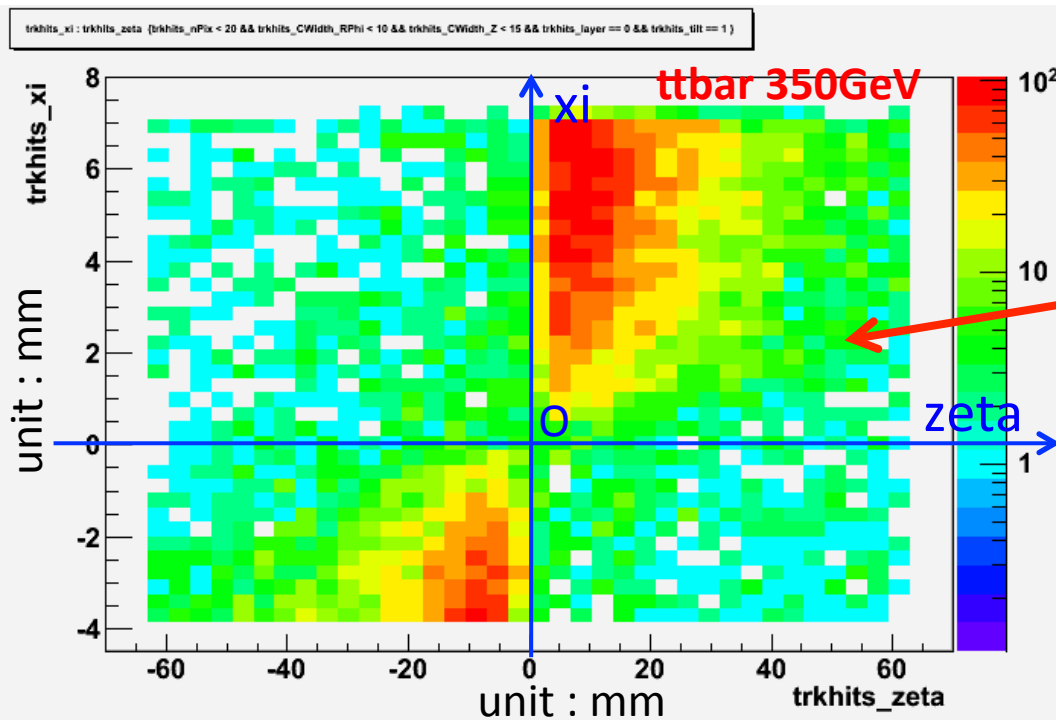


ラダー平面に射影 ↓

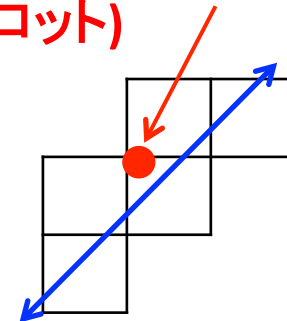


BGの場合クラスタの傾きと座標の間に相関は無い

クラスターの座標と傾きの相関を利用した “Area Z Cut”



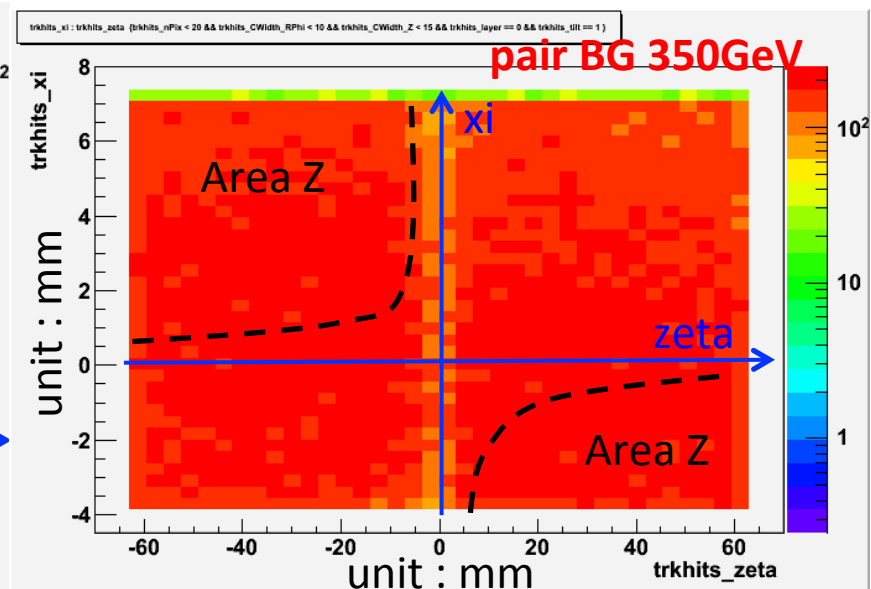
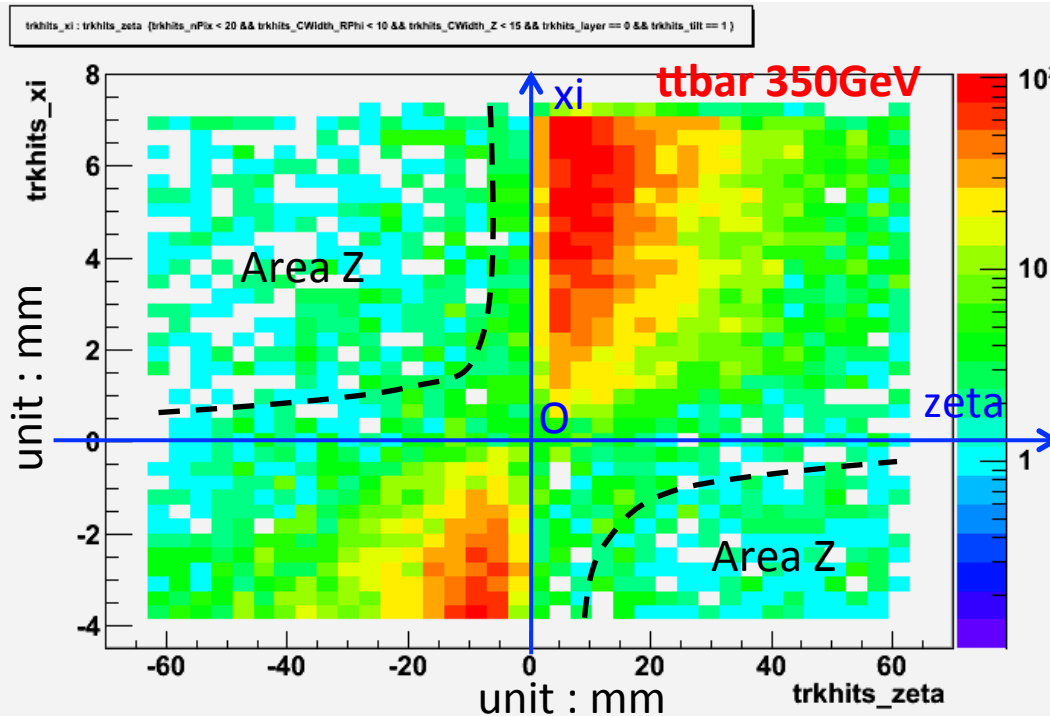
クラスター形状、Energy deposit
から計算された**ヒットの位置**
(これをプロット)



↑のピクセルの一つ一つを
プロットしている訳ではない

上のヒストは→のような
右斜め上 or 左斜め下 に伸びるクラスターから
計算された**ヒットの位置**を**プロット**してる

クラスターの座標と傾きの相関を利用した “Area Z Cut”



BGイベントは一様に分布しているのが分かる

→ Area Z をカットしてもいいかもしれない

“1st Cut” + “Area Z Cut”の効果

Area Z Cutの掛 け具合	ttbar 350GeV cluster yeild	BG 350GeV cluster yeild
まあまあ緩め	98.3%	81.4%
最もキツイ	95.8%	62.5%

ttbar 350GeVのクラスターが2~4%失われている

→実際にトラックの再構成をして何%まで許されるか評価する予定

Layers Transparency Camera Cuts Graphic Tools Help

GENERAL SHORTCUTS:
 [F] Front project
 [ESC] Quit CED
 [n] Toggle shortcut frame
 [CTRL+z] Undo
 [r] Reset view
 [R] Reset CED
 [F] Front view
 [s] Side view

Save screenshot original size (1920 X 1036)
 large (7680 X 4144)
 very large (19200 X 10360)
 very very large (38400 X 20720)
 extrem large (192000 X 103600)

[~] Toggle all detector layers
 [W] 05: SiTracks
 [E] 06: Clupatratracks
 [P] 07: MarlinTrTracks
 [B] 08:
 [N] 09:
 [M] Decrease detector cut angle
 [->] Move in +x-direction
 [->] Move in -z-direction
 [~] Toggle all data layers

DATA LAYERS:
 [W] 01:00: MCParticle
 [U] 01: VXDCollection, ...
 [Z] 02:
 [3] 03: TruthTracks
 [4] 04: ForwardTracks

[H] 13:
 [I] 14:
 [J] 15:
 [K] 16:
 [L] 17:
 [M] 18:
 [N] 19:
 [O] 20:
 [P] 21:
 [Q] 22:
 [R] 23:
 [S] 24:
 [T] 25: VXD
 [U] 26: SIT

[I] 27: FTD
 [K] 28: TRC
 [J] 29: ECAL
 [L] 30: HCAL
 [U] 31: Yoke
 [I] 32: Coil
 [K] 33: LDCAL, Beamed, ...
 [L] 34: SET

[V] 35:
 [X] 36:
 [Y] 37:
 [Z] 38:
 [A] 39:
 [S] 40:
 [D] 41:
 [F] 42:
 [G] 43:
 [H] 44:

FPCCD専用トラックファインダー 開発状況

トラックファインダーってなに？

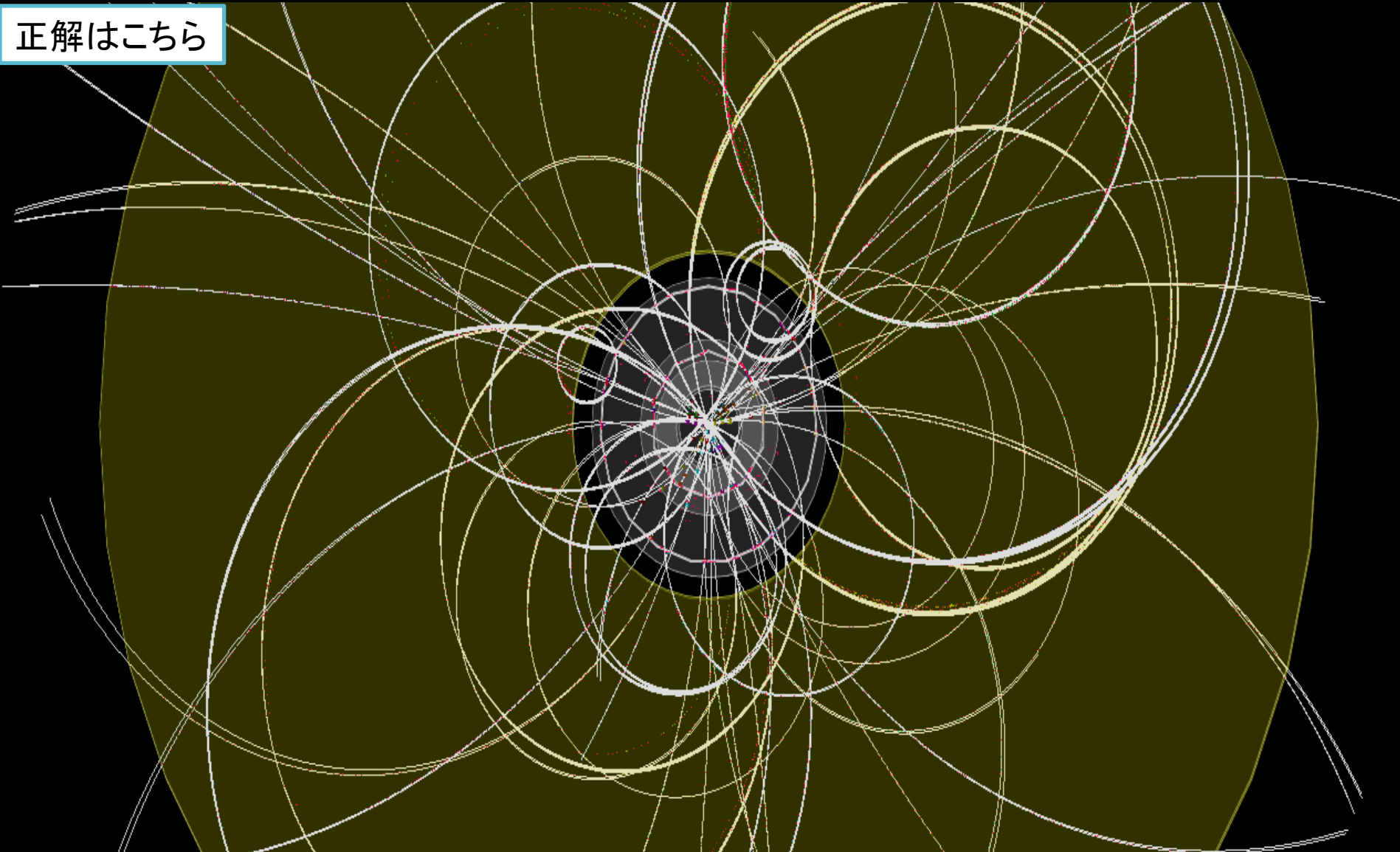
図：ttbar 350 GeV のイベントが残すヒット点(赤)
ttbar 350 GeV イベントはVXDだけでも大体600ヒット生成する。



問題：ヒット点からトラックを再構成してください(鉛筆でトラックを引いてください)

トラックファイnderってなに？

正解はこちら



人力じゃ面倒だし正確さに欠けるし主観が入る
→トラックファイnderは自動でトラックを再構成するのに必要なヒット点を選別する

トラッキングをいじることになった経緯

以下の点で標準のトラッキング(DBDで使用)はFPCCDに合わない

1. $\sim 1 \text{ um}$ の位置分解能を想定していない

→トラックFitのアルゴリズムを変えることで対応した

2. 1 train分のBGヒットが溜まることを考慮していない

→KEKの計算機を使ったとき、

ttbar 350GeVイベントを1000イベント分トラッキング : 約3時間

同イベントにBGを1 train分乗せて1イベントトラッキング : **少なくとも2時間以上**

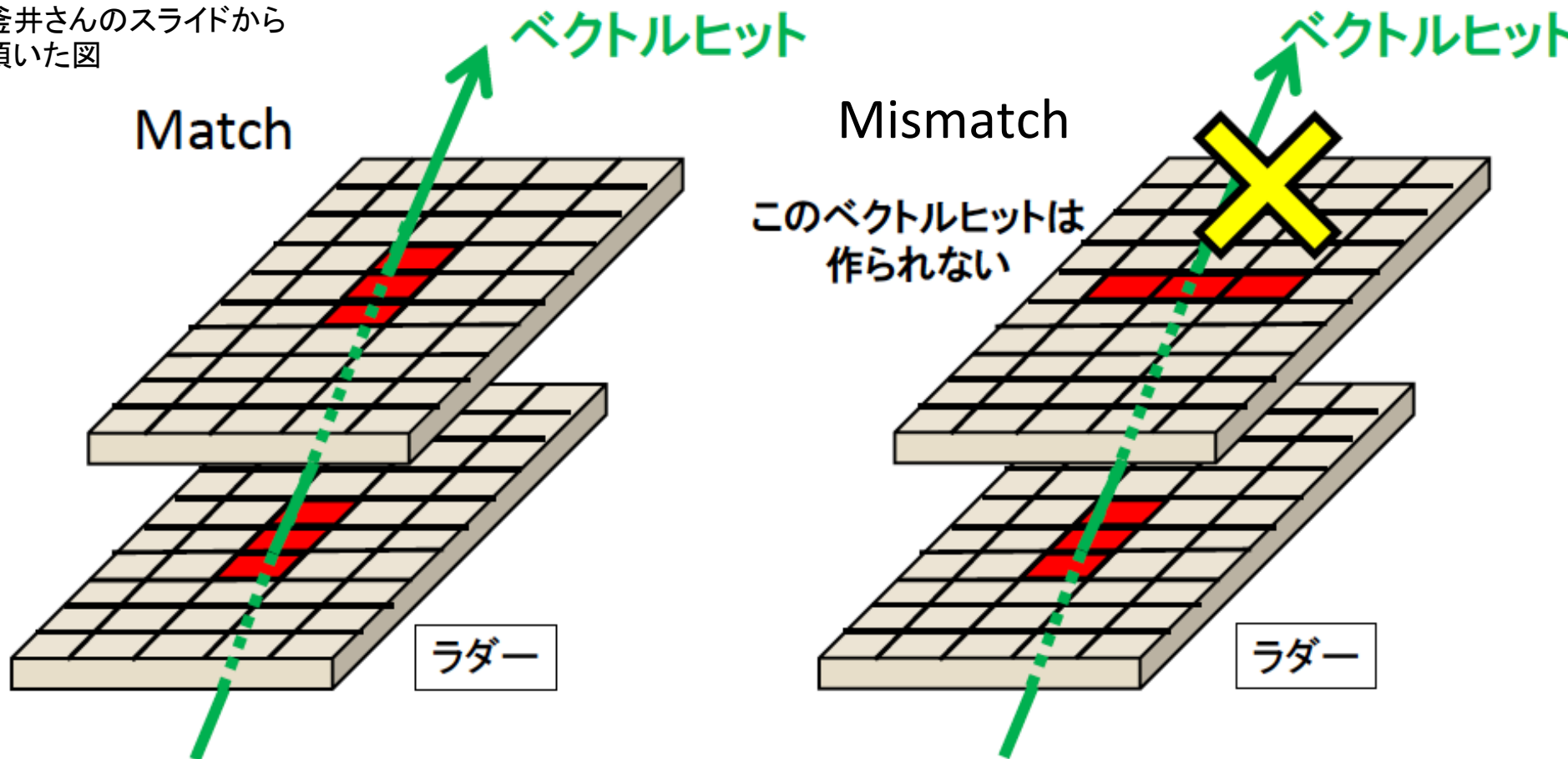
3. FPCCD独自のクラスター形状の情報を考慮していない

→クラスター形状を用いたトラックサーチアルゴリズムを追加した

クラスター形状をトラックの外挿処理で使う

クラスター形状は粒子の軌道に大きく依存する

釜井さんのスライドから
頂いた図



→クラスター方向ベクトルの内積を計算する
アルゴリズムを実装した、現在最適化中

Summary & Plan

Summary

- 標準のトラックファインダーではFPCCDの力を最大限に引き出せない (Low P_T の粒子が苦手)
 - FPCCD専用トラックファインダーの開発へ
- FPCCD専用トラックファインダーを開発中、クラスター形状を用いたトラック外挿のアルゴリズムを実装した
- BG対策としてクラスター形状によるプリカットのアルゴリズムを実装した

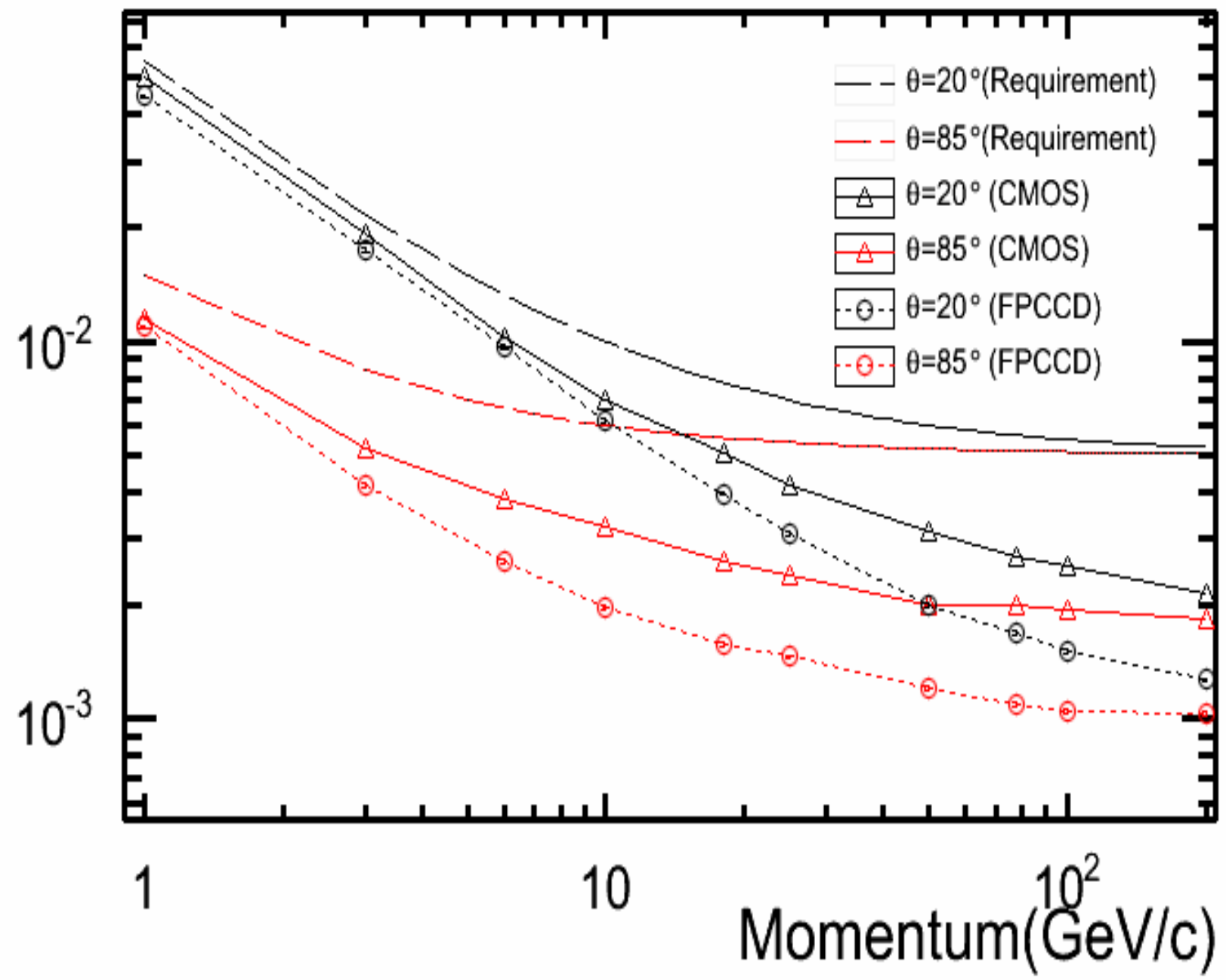
Plan

- クラスター形状によるカットの最適化
- FPCCD専用トラックファインダーのクラスター形状を用いた外挿アルゴリズムの最適化
- BG環境下で $t\bar{t}$ イベントなどの多粒子事象をトラッキングできるようにアルゴリズムの変更、最適化を行う

以下Appendix

崩壞點分解能

$\sigma_{r\phi}$ (mm)



- $\theta=20^\circ$ (Requirement)
- - $\theta=85^\circ$ (Requirement)
- △ $\theta=20^\circ$ (CMOS)
- △ $\theta=85^\circ$ (CMOS)
- $\theta=20^\circ$ (FPCCD)
- $\theta=85^\circ$ (FPCCD)

Momentum (GeV/c)

トラッキングをいじることになった経緯

以下の量を評価した↓

$$\text{高品質トラック生成効率} : \eta \equiv \frac{\text{VXDヒットを5つ以上持つトラックの数}}{\text{サンプルの}\mu^+\text{の数}}$$

