



ILCのためのFPCCD崩壊点検出器 のシミュレーションによる性能評価と ソフトウェア開発

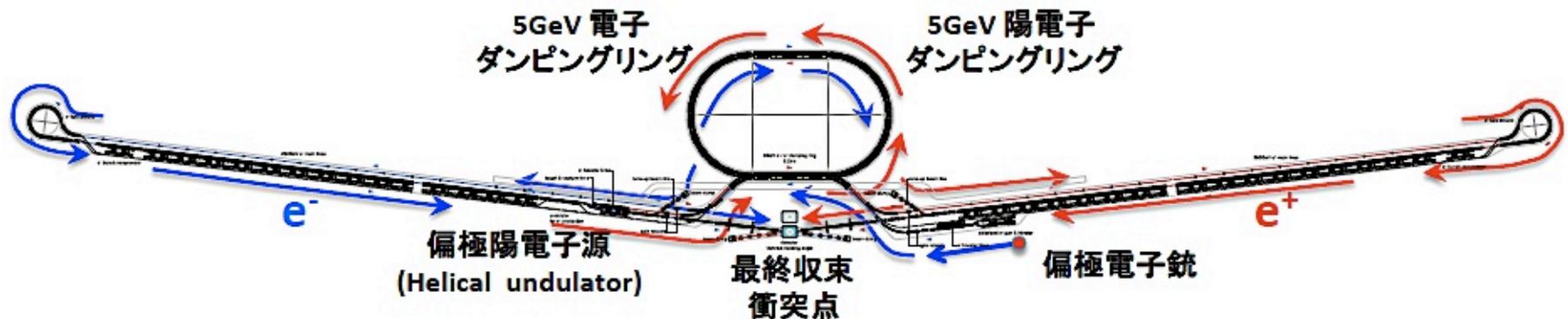
東北大学

修士一年

森 達哉

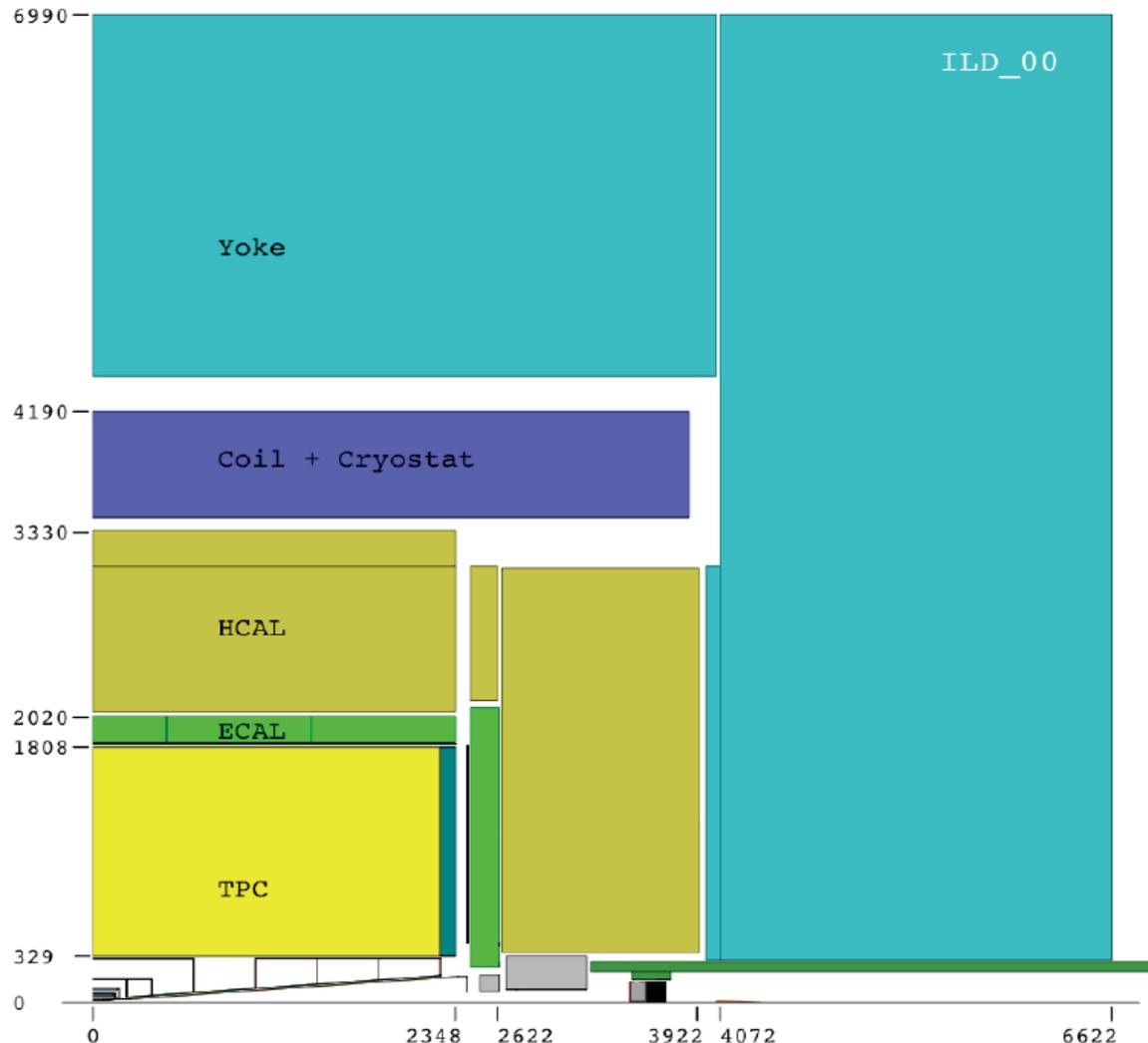
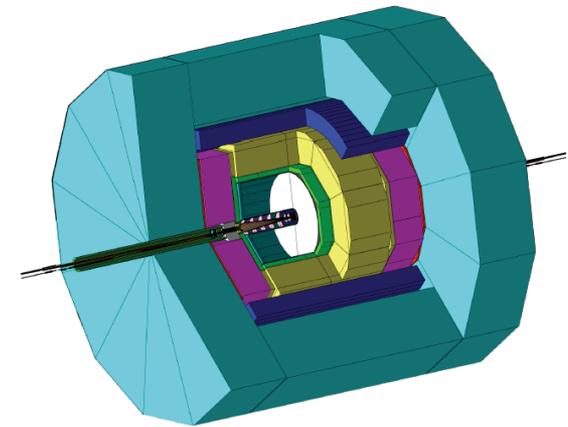
ILCの紹介

- International Linear Collider(国際線型加速器)
 - e^+e^- 衝突型加速器
 - $E_{CM} = 250 \sim 500 \text{ GeV}$ (アップグレード: 1 TeV)
 - $\mathcal{L} = 2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
 - 全長31km
 - 候補地はまだ決まっていない(どの国でやるかも決まっていない)
日本の候補地: 北上山地、背振山系
→2013年7月、どちらか一つに絞られる予定



ILC の検出器ILDの紹介

下の図はビーム軸に平行な断面の右上1/4に相当

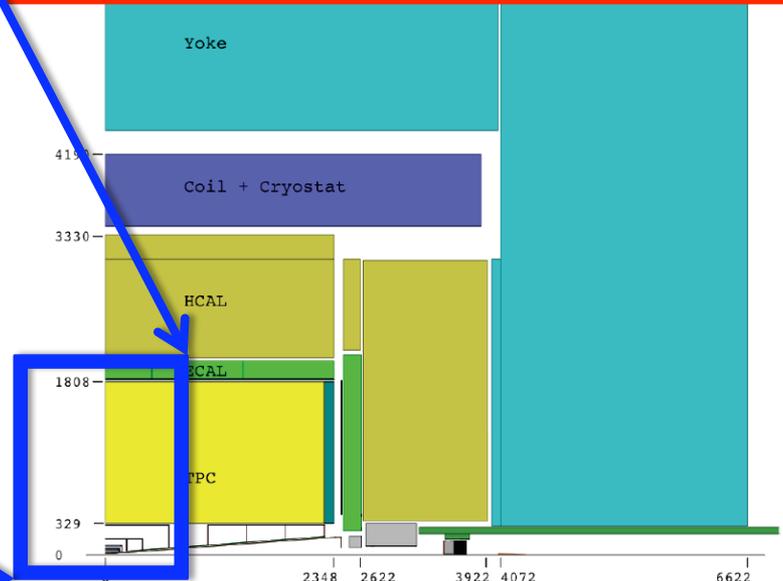
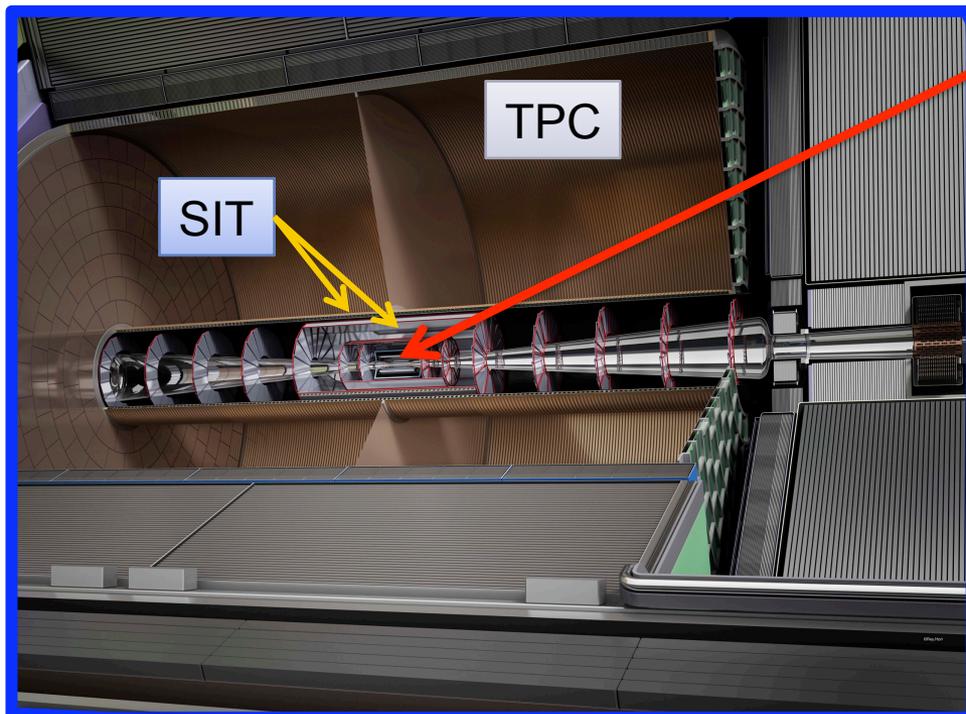
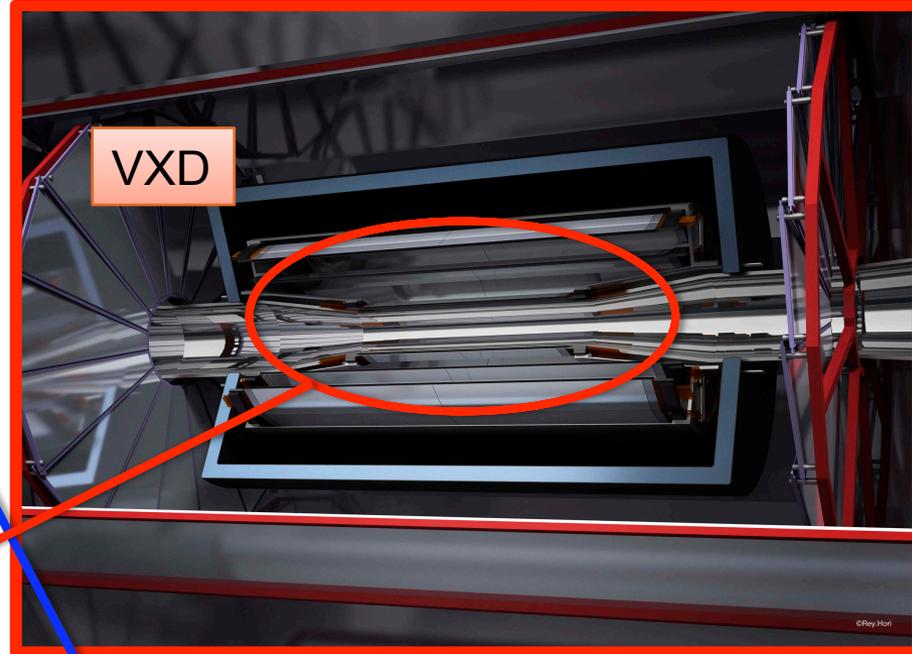


Model Name		ILD
Simulator		Mokka
B field (T)		3.5
Beampipe R_{min}		14.5
Vertex	Geometry	ladders
Detector	Layers	3 doublets
	R_{min}	16.0
Barrel	Layers	2 cylinders
SIT	Radii	165, 309
TPC drift region	R_{min}	395
	R_{max}	1739
	z_{max}	2247.5
TPC pad rows		224
ECAL barrel	R_{min}	1847.4
	Layers	20+9
	Total X_0	23.6
ECAL endcap z_{min}		2450
HCAL barrel	Layers	48
	R_{max}	3330
λ_I (ECAL+HCAL)		6.86

ILC の検出器ILDの紹介 ~トラッカー部分~

主要なトラッカーは最内層から

- **VXD(崩壊点検出器)**
 - SIT(Silicon Intermediate Tracker)
 - TPC(Time Projection Chamber)
- の順に配置



以下では**ILC**の主要目的のひとつ

ヒッグス精密測定

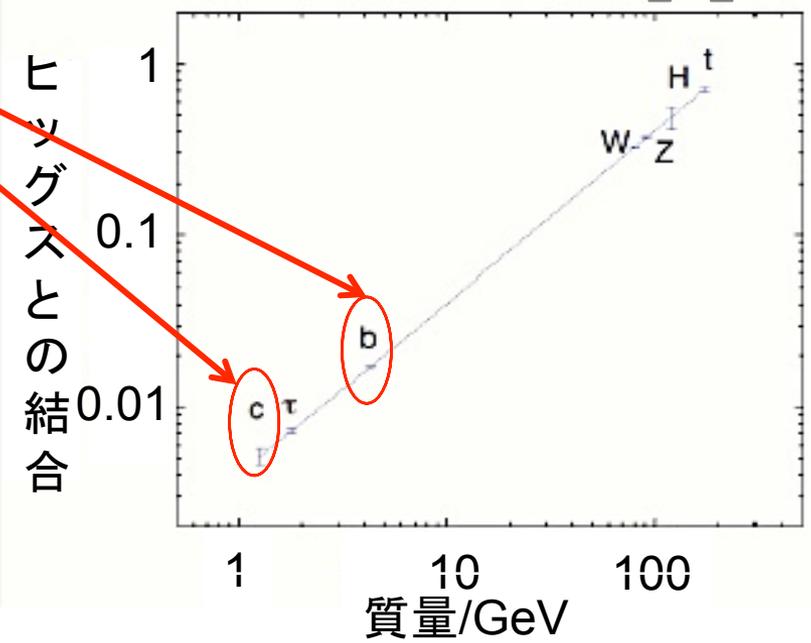
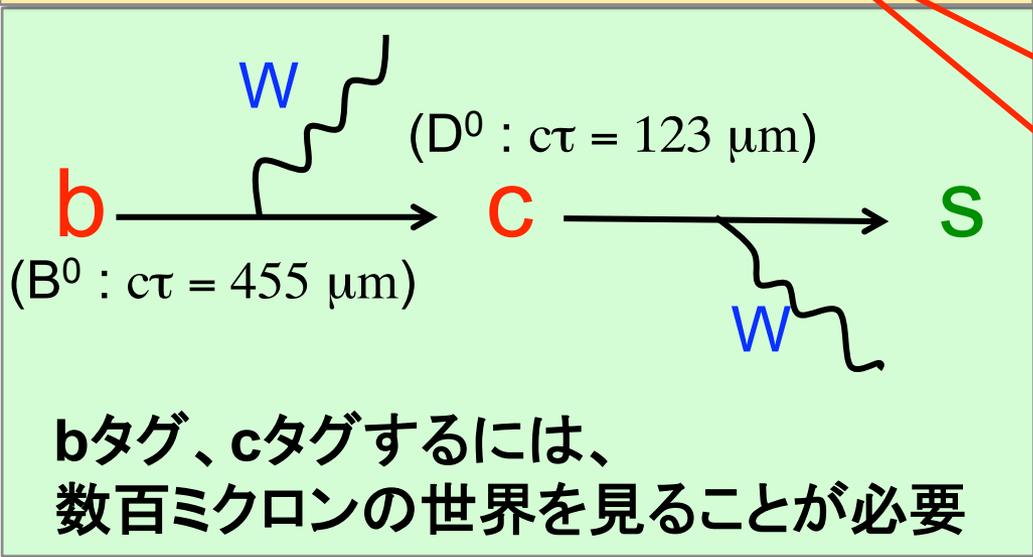
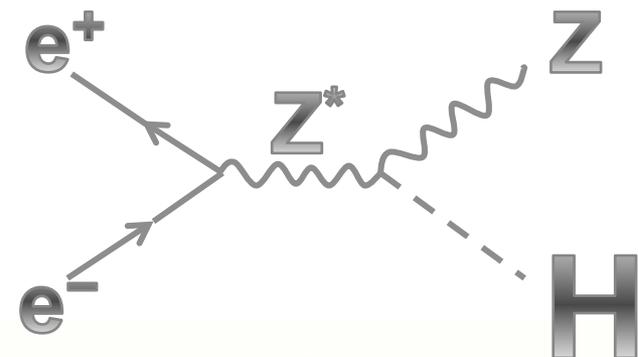
に絞ってプレゼンをさせていただきます

SUSY ダークマター BSM
には触れない

ILCのヒッグス精密測定について

ハドロンコライダーでは測定が難しいヒッグスとのc結合定数や自己結合定数もレプトンコライダー(ILC)なら精密測定できる!

- ILCの主なヒッグス生成過程 $ee \rightarrow ZH$ (ゴールドデンモード)
- $H \rightarrow bb, cc$ を見ることができれば結合定数を測定できる!

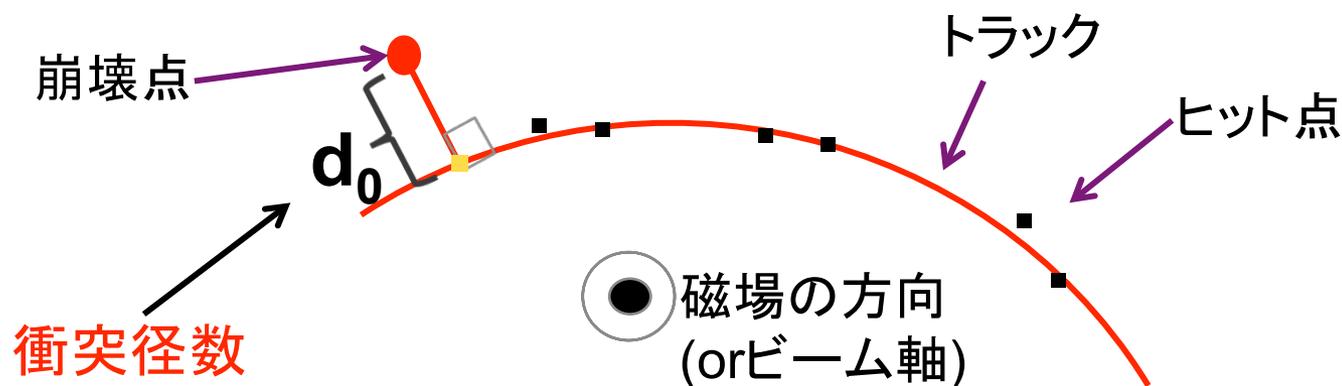


優れた空間分解能を持つ崩壊点検出器が必要

精密なbタグcタグに必要な分解能について

→タグ能力の一つの指標として**衝突径数分解能**がある

崩壊点検出器における”衝突径数”の定義:



衝突径数分解能

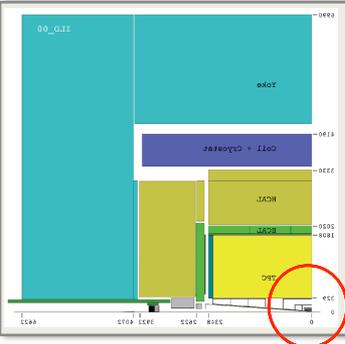
$$\sigma_{r\phi} = 5\mu\text{m} \oplus \frac{10\text{GeV}/c}{p \cdot \sin^{3/2} \theta} \mu\text{m}$$

p は粒子の運動量[GeV/c]、 θ はビーム軸からの角度

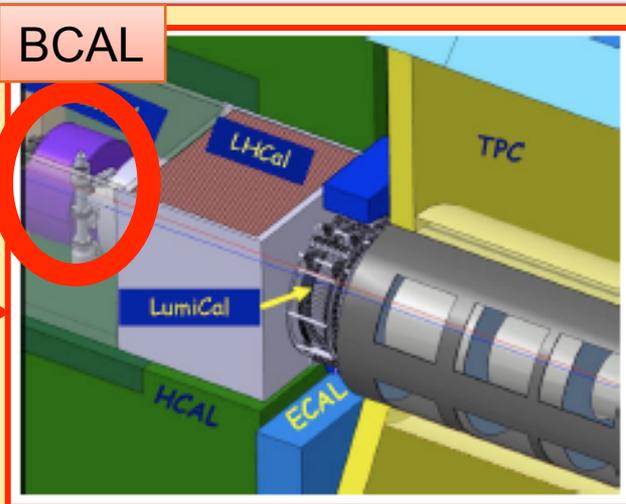
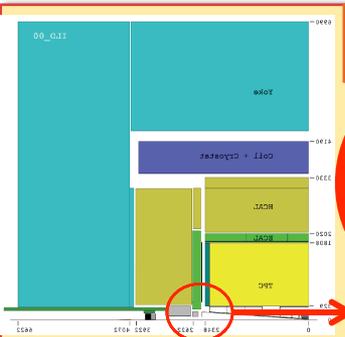
衝突径数分解能が良い → 精密なb-タグ、c-タグ

崩壊点検出器の背景事象について

しかしながら衝突径数分解能だけでなく背景事象も考えないといけない
崩壊点検出器は以下の**ビーム由来の背景事象**が問題になる



- e^+e^- 背景事象(ee pair background)
 - ビーム衝突点付近に生じるBeamstrahlungからの γ が対生成して生じる



- **Backscatter背景事象**

- ビーム形状をモニターする
カロリメーター(BCAL)
から発生する

これらの背景事象下でトラッキングできる必要がある

bタグcタグに要求されるピクセル占有率について

精密なbタグ、cタグをするためには背景事象ピクセル占有率を少なくする必要がある

崩壊点検出器における背景事象ピクセル占有率の定義:

$$\text{占有率} = \frac{\text{(背景事象に反応したピクセル数)}}{\text{(全ピクセル数)}}$$

背景事象
ピクセル占有率

各レイヤー毎に2~3%以内

ピクセル占有率が低い→トラッキング効率あがる
→bタグ, cタグしやすい

これらの要求性能を満たす 崩壊点検出器は？

精密なbタグ、cタグをするために必要な性能↓

衝突径数
分解能

$$\sigma_{r\phi} = 5\mu\text{m} \oplus \frac{10\text{GeV}/c}{p \cdot \sin^{3/2} \theta} \mu\text{m}$$

pは粒子の運動量[GeV/c]、 θ はビーム軸からの角度

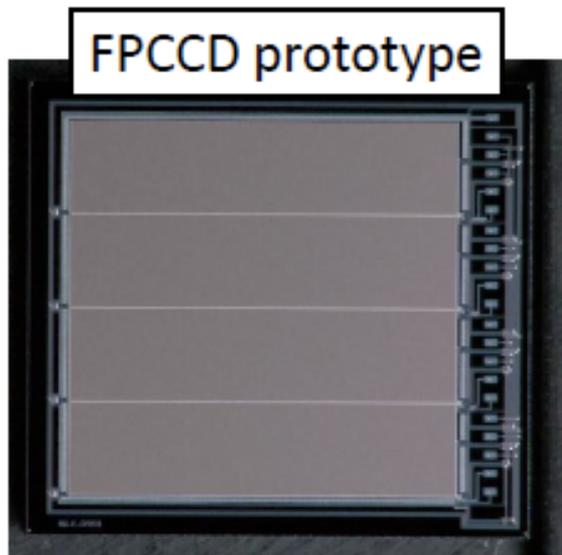
背景事象
ピクセル占有率

各レイヤー毎に2~3%以内

**FPCCD崩壊点検出器なら
できるに違いない**

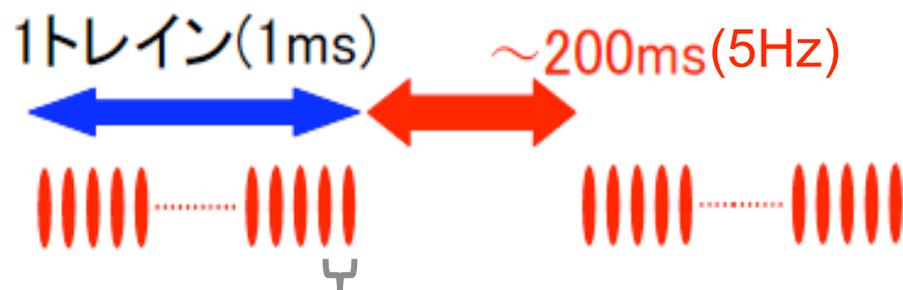
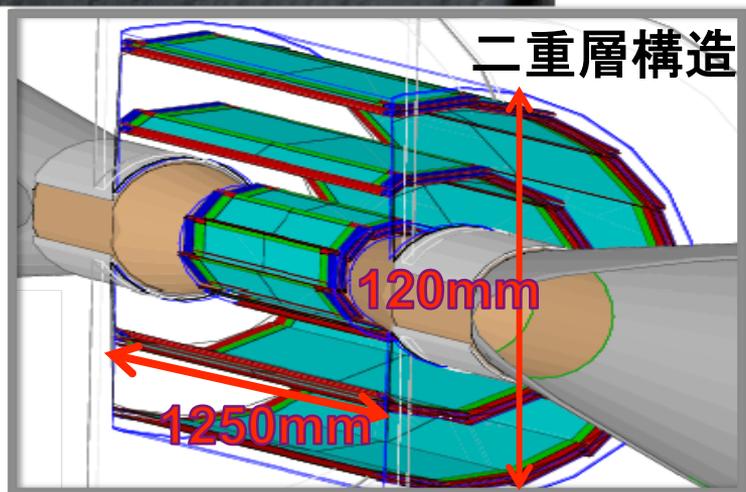
FPCCD崩壊点検出器の紹介

FPCCD(Fine Pixel CCD)の大きな特徴は
非常に小さなCCD(Fine Pixel CCD)



- 面積 $5\ \mu\text{m} \times 5\ \mu\text{m}$
厚み $50\ \mu\text{m}$ のピクセル
約10億個
- 優秀な
衝突径数分解能!!
ピクセル占有率!!
(消費電力:大)

- FPCCDの他の特徴
全空乏CCD 二重層構造(二重層 x 3)
読み出しは1トレインごと



バンチ間 600 ns
1トレインあたり約1300バンチ
(500 GeV)

今回シミュレーションで評価したもの

①各レイヤー毎の背景事象ピクセル占有率

背景事象データ: $E_{\text{CM}} = 500 \text{ GeV}$, 1 TeV での e^+e^- , backscatter

②衝突係数分解能(背景事象無し&有り)

検定粒子: μ^+ の一粒子事象

背景事象データ: $E_{\text{CM}} = 1 \text{ TeV}$ での e^+e^- , backscatter

③トラッキング効率

検定粒子: μ^+ の一粒子事象

背景事象データ: $E_{\text{CM}} = 1 \text{ TeV}$ での e^+e^- , backscatter

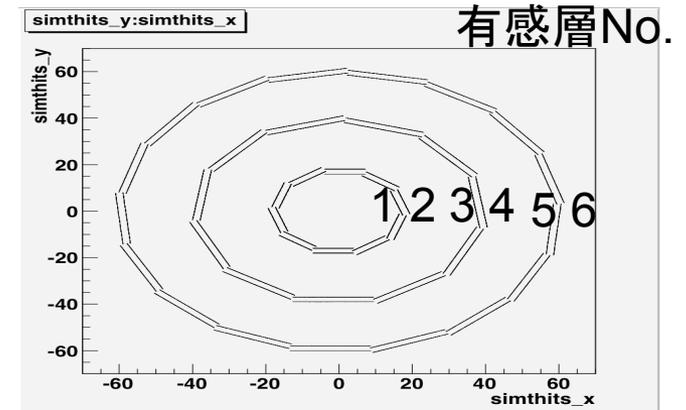
背景事象ピクセル占有率

背景事象ピックアップセル占有率：結果

占有率 = (背景事象に反応したピックアップセル数) / (全ピックアップセル数)

有感層No.	占有率(%) at 500 GeV		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	2.8	1.1	1.7
2	1.6	0.7	0.9
3	0.1	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0
6(最外)	0.0	0.0	0.0

有感層No.	占有率(%) at 1 TeV		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	19.6	5.1	14.5
2	10.4	3.1	7.3
3	0.2	0.2	0.1
4	0.2	0.1	0.1
5	0.0	0.0	0.0
6(最外)	0.0	0.0	0.0



500 GeV は問題ない！

1 TeV の物理を探るにはこのままだと厳しい

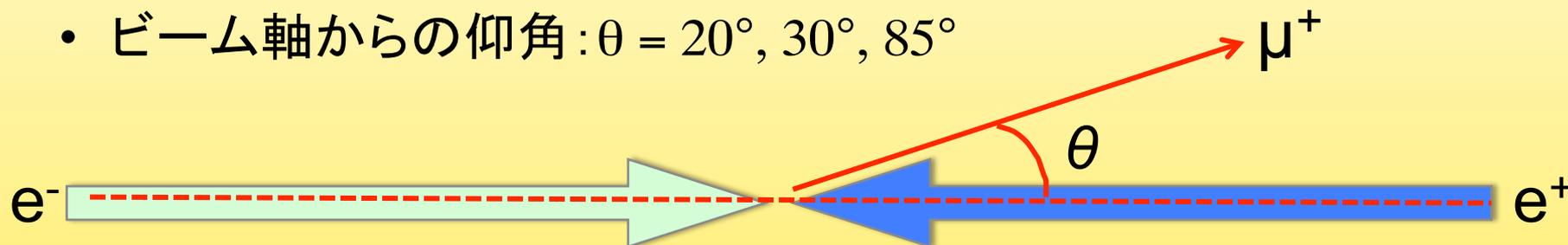
→backscatterの影響が大きいので対策が必要

衝突係数分解能(背景事象無し)

シミュレーションの構成と評価の仕方

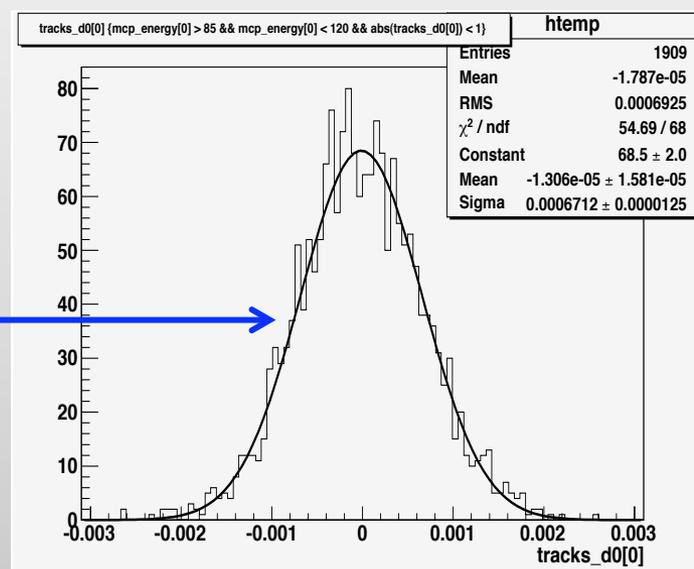
シミュレーションの構成

- 事象: μ^+ の一粒子事象
- 運動量: 1, 3, 6, 10, 18, 25, 50, 78, 100, 200 GeV/c
- ビーム軸からの仰角: $\theta = 20^\circ, 30^\circ, 85^\circ$

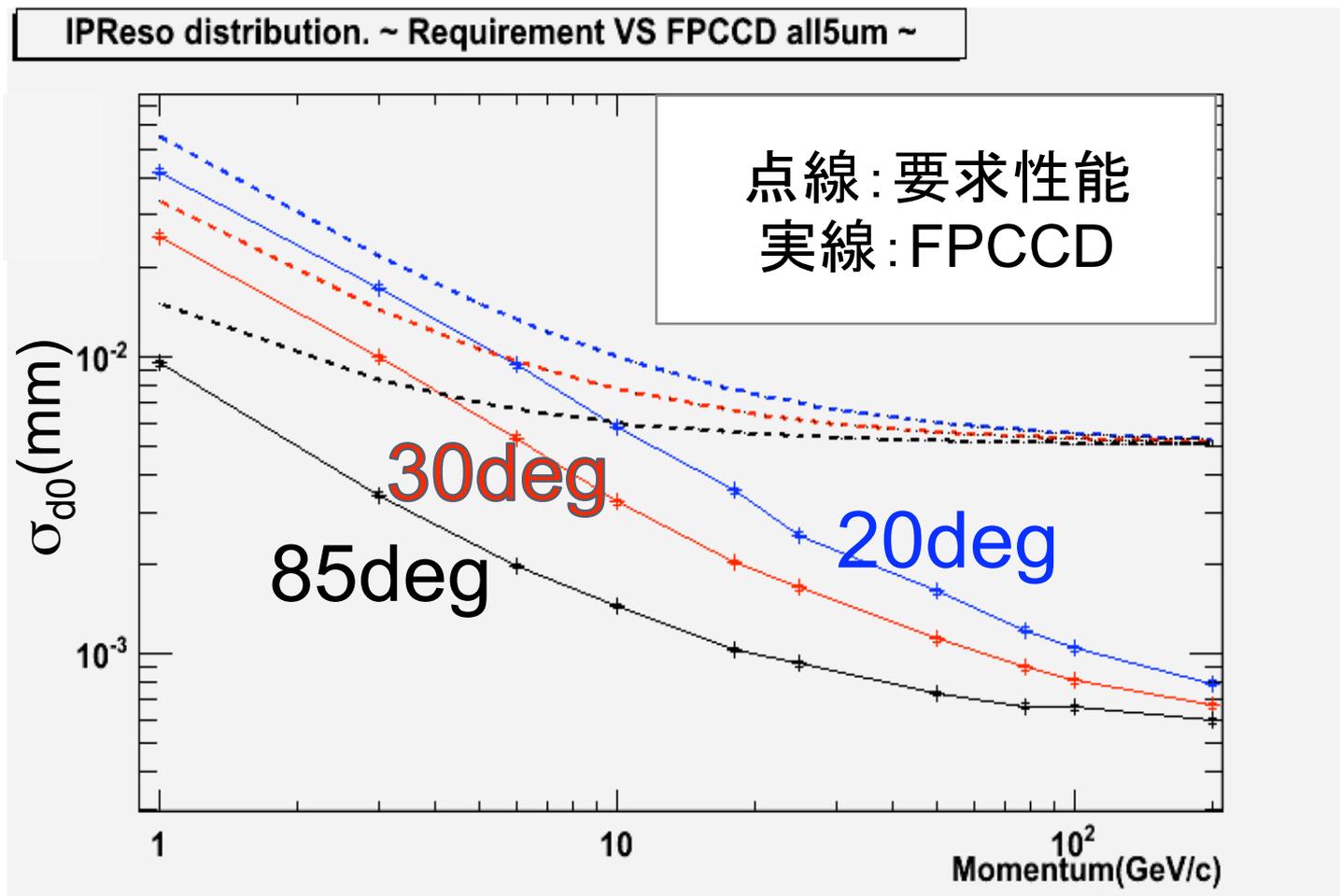


衝突径数分解能の評価の仕方

- μ^+ のトラックの衝突径数 d_0 のヒストグラムを作る
- ガウシアンフィットする
- フィットパラメーターの σ を衝突径数分解能とする



衝突係数分解能(背景事象無し): 結果



FPCCDは要求性能を十分満たす

読み出しの消費電力の削減

衝突係数分解能の要求: **充分満たす!! かなり優秀!!**

なので

ピクセルを大きくして読み出しの消費電力を下げられる可能性あり

ピクセルサイズ (1,2層目)	ピクセルサイズ (残りの外側4層)	消費電力
5 um	5 um	111 W
5 um	6 um	80 W
5 um	8 um	49 W
5 um	10 um	34 W
6 um	12 um	23 W
6 um	6 um	63 W

約70%
減!

Q. なぜ消費電力下がるの?

A.

ピクセル: **大** ならば 全ピクセル数: **減**

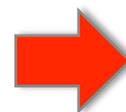
∴消費電力が下がる

この設定で衝突係数が
それほど悪くならなければ
魅力的な数値

チェック①：背景事象ピクセル占有率

ピクセルサイズ $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ VS $10 \times 10 \mu\text{m}^2$

有感層No.	占有率(%) at 1 TeV $5 \times 5 \mu\text{m}^2$		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	19.6	5.1	14.5
2	10.4	3.1	7.3
3	0.2	0.2	0.1
4	0.2	0.1	0.1
5	0.0	0.0	0.0
6(最外)	0.0	0.0	0.0

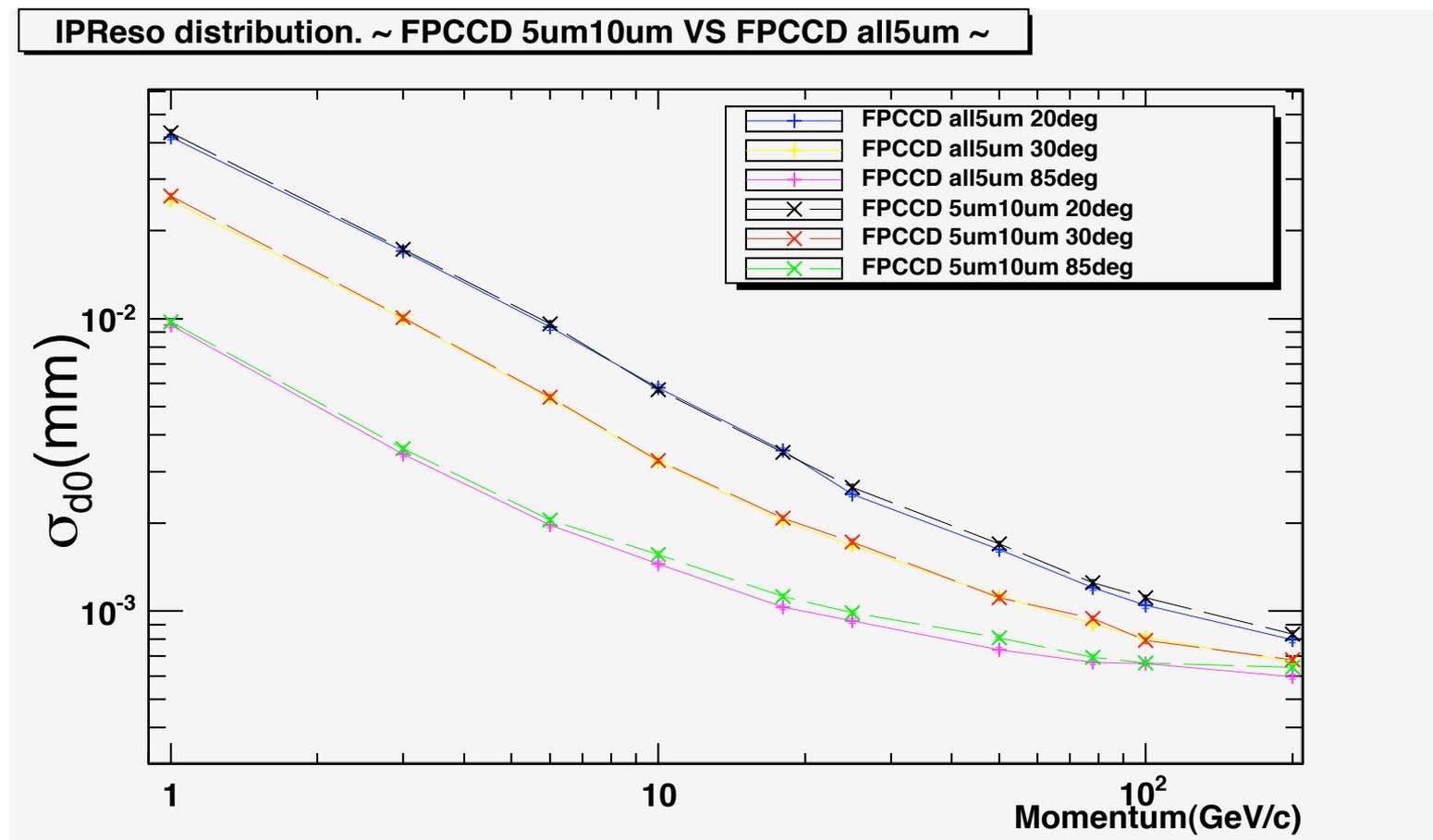


有感層No.	占有率(%) at 1 TeV $10 \times 10 \mu\text{m}^2$		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	—	—	—
2	—	—	—
3	0.5	0.4	0.1
4	0.5	0.3	0.1
5	0.1	0.1	0.0
6(最外)	0.1	0.1	0.0

→外側4層はピクセルサイズを $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ にしても良い

チェック②：衝突係数分解能

“全て5×5 μm²” VS “内側2層5×5 μm² 外側4層10×10 μm²”



ほとんど同じ！ どうやら内側二層のピクセルが衝突係数に効く
この設定はひとつの有力候補になった

衝突係数分解能(背景事象あり)

トラッキング効率

背景事象下のトラッキングのための ソフトウェアの改善

既存のソフトウェアでは、FPCCDの背景事象下における
トラッキングシミュレーションに対応していなかった

理由1. 凄まじい背景事象→CPU、メモリを食いつぶす

背景事象の本質的でない部分の軽量化が必要

→追加した機能: 背景事象が有効になる範囲を指定する

理由2. ヒット点とモンテカルロヒット点のリンク付けをする機能がなかった

→追加した機能:

μ 粒子に関するヒット点とモンテカルロヒット点のリンク付け

背景事象のヒット点とモンテカルロヒット点はリンク付けしない

シミュレーションの構成とトラッキング効率の定義

事象: μ^+ の一粒事象

(崩壊点検出器の各レイヤーに1ヒット以上残し、SITに2ヒット以上残すものを選ぶ)

運動量: 100, 30, 10, 3, 1GeV/c

ビーム軸からの仰角: 85° **方位角:** -120° から -60° の間で一様に発射する

背景事象: e^+e^- とbackscatter($E_{cm} = 1 \text{ TeV}$)

背景事象の元になるバンチの数:

0, 1, 100, 200, 500, 1000, 2650BX (BX: Bunch Crossing)

トラッキング効率: $\eta \equiv \text{分子/分母}$

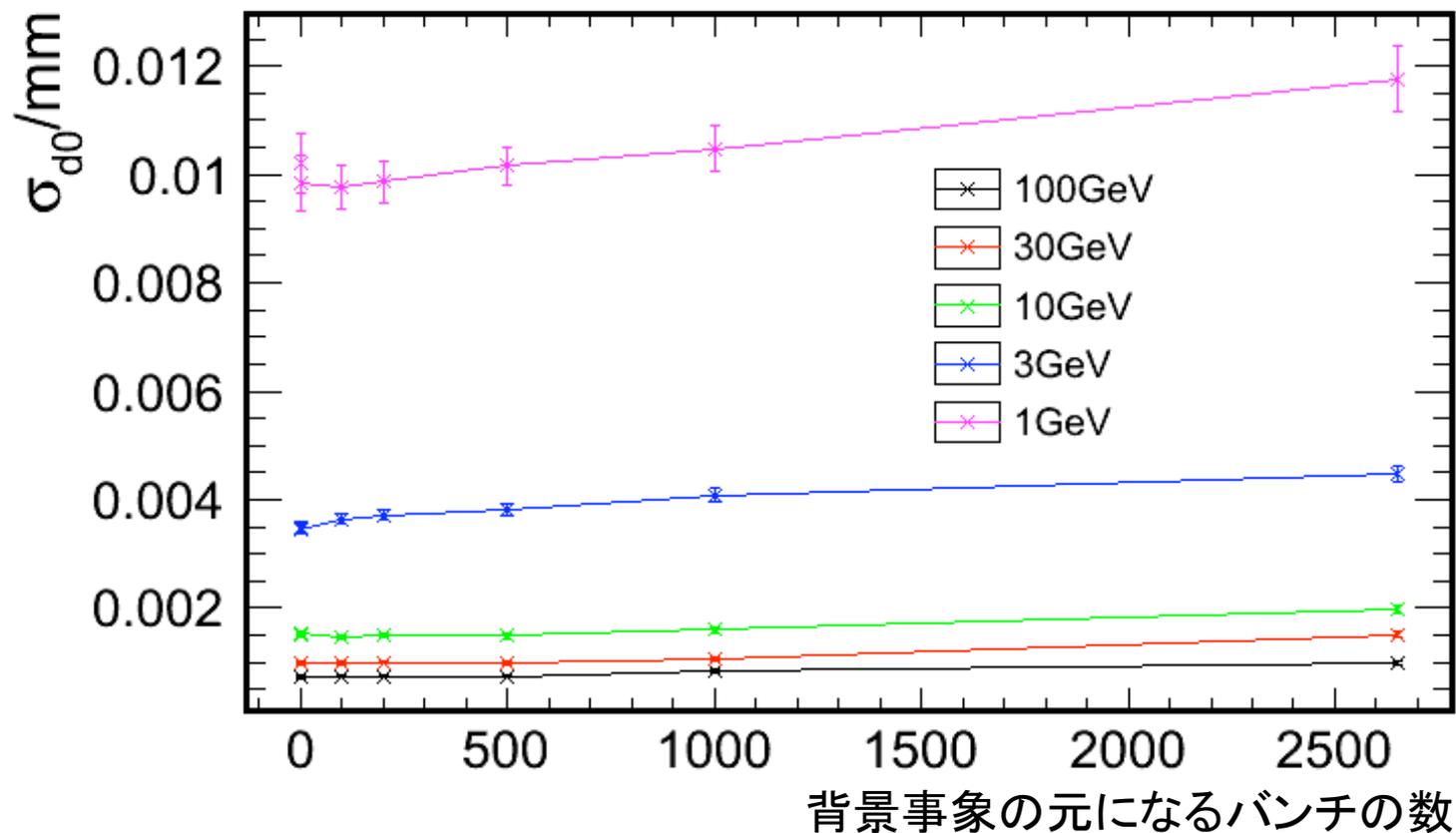
分子: トラッキングにおいて

- 崩壊点検出器で5ヒット以上
- 時間射影チェンバー(TPC)で10ヒット以上

を使っている μ^+ トラックの数

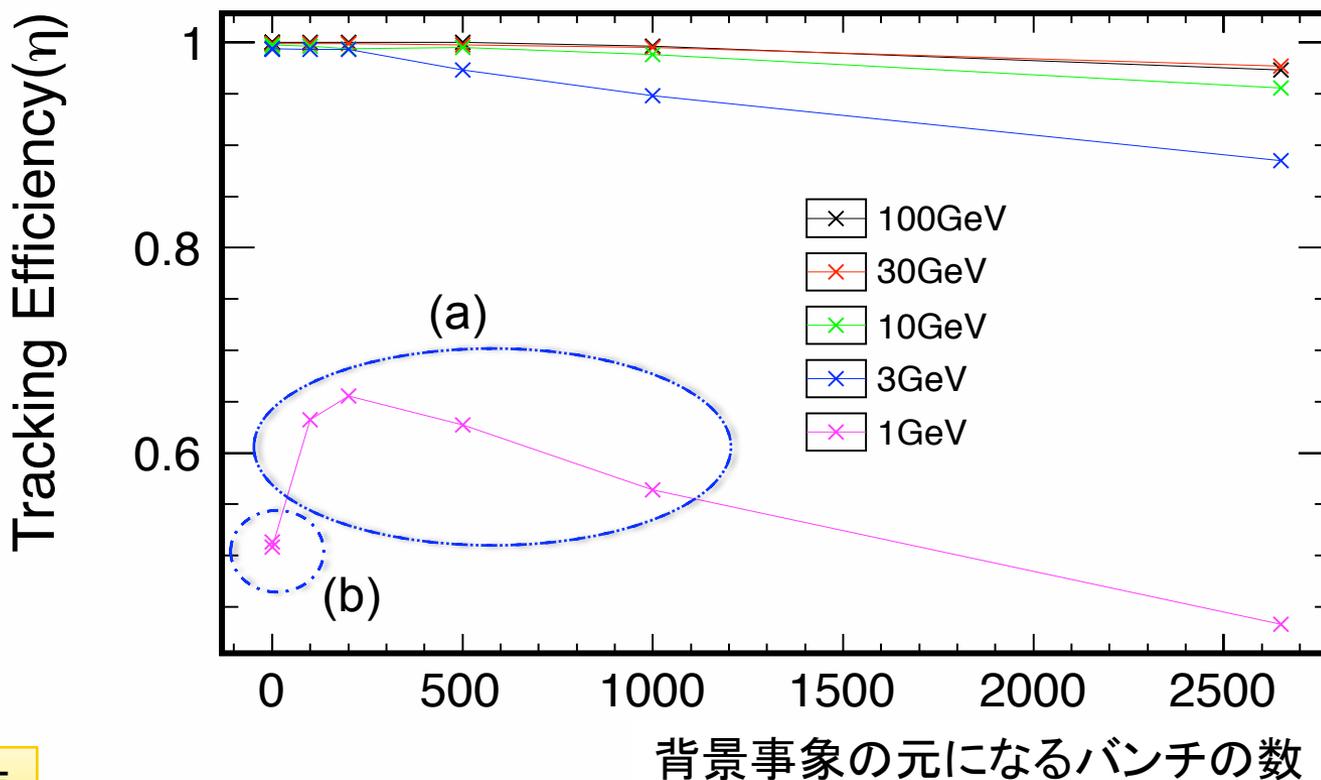
分母: μ^+ の数

衝突係数分解能(背景事象有り): 暫定結果



背景事象があってもあまり低下しない

トラッキング効率：暫定結果



主な問題点

- 条件「崩壊点検出器で5ヒット以上」をクリアしていない
 - 1 GeVで0BXより100~1000BXほどの背景事象が有る時の方がトラッキング効率が高い(a)
 - 1 GeVで0BXのときに既にかなりトラッキング効率が低い(b)
- 既存のトラッキングアルゴリズムをチェックor修正する必要あり

まとめと今後

- ILCでFPCCD崩壊点検出器を使うと

1. 背景事象ピクセル占有率の要求性能 : **Good!!**
(under $E_{cm} = 500 \text{ GeV}$)
2. 衝突係数分解能の要求性能 : **Very Good!!**
3. 外側4層のピクセルを $5 \times 5 \mu\text{m}^2 \rightarrow 10 \times 10 \mu\text{m}^2$ にしたとき
衝突係数分解能 : **Almost Same!!** → 読み出しの要求性能を緩和可能
4. 背景事象下の衝突係数分解能 : 背景事象が増えてもほとんど悪化しない

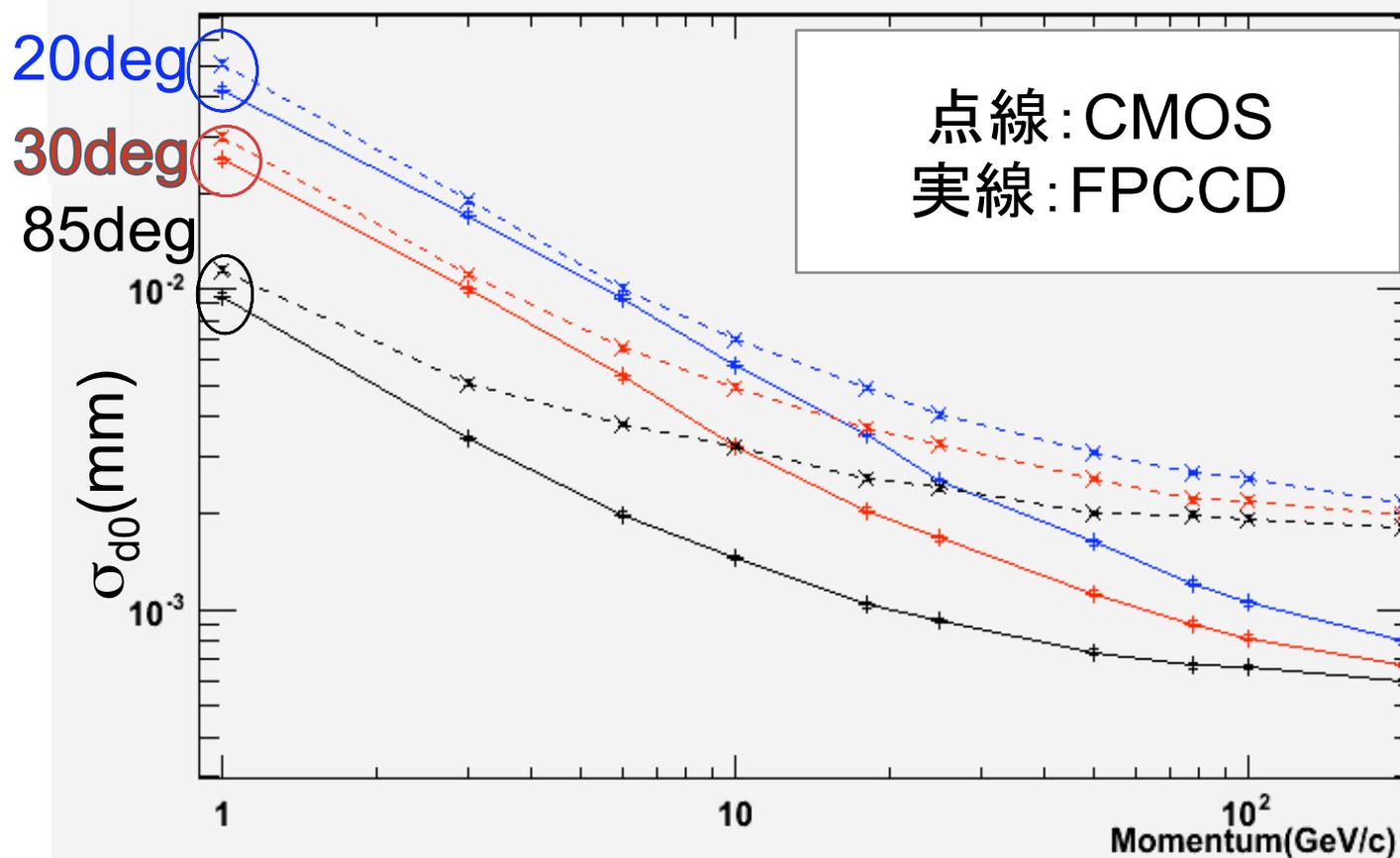
- 今後すべきこと

1. トラッキング効率を改善するため、トラッキングアルゴリズムのチェックと修正を行う
2. 今年の6月に行われるFPCCD試作機のビームテストに向けて解析コードを作る
3. ビームテスト結果とシミュレーションの結果を比較する

バックアップ：FPCCDとCMOSの比較

* 崩壊点検出器の案としてFPCCDの他にCMOS等があります

IPReso distribution. ~ CMOS VS FPCCD all5um ~



分解能はFPCCDの方が優れている