

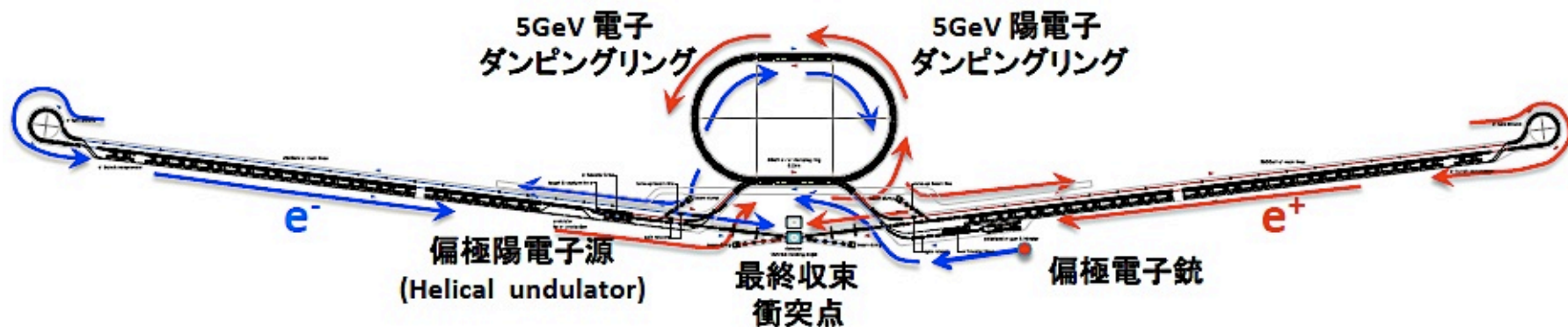


国際リニアコライダーのための
FPCCD崩壊点検出器のシミュレーション
による性能評価とソフトウェア開発

森達哉 釜井大輔 宮本彰也^A
杉本康弘^A 石川明正 加藤恵里子 山本均
東北大学 KEK^A

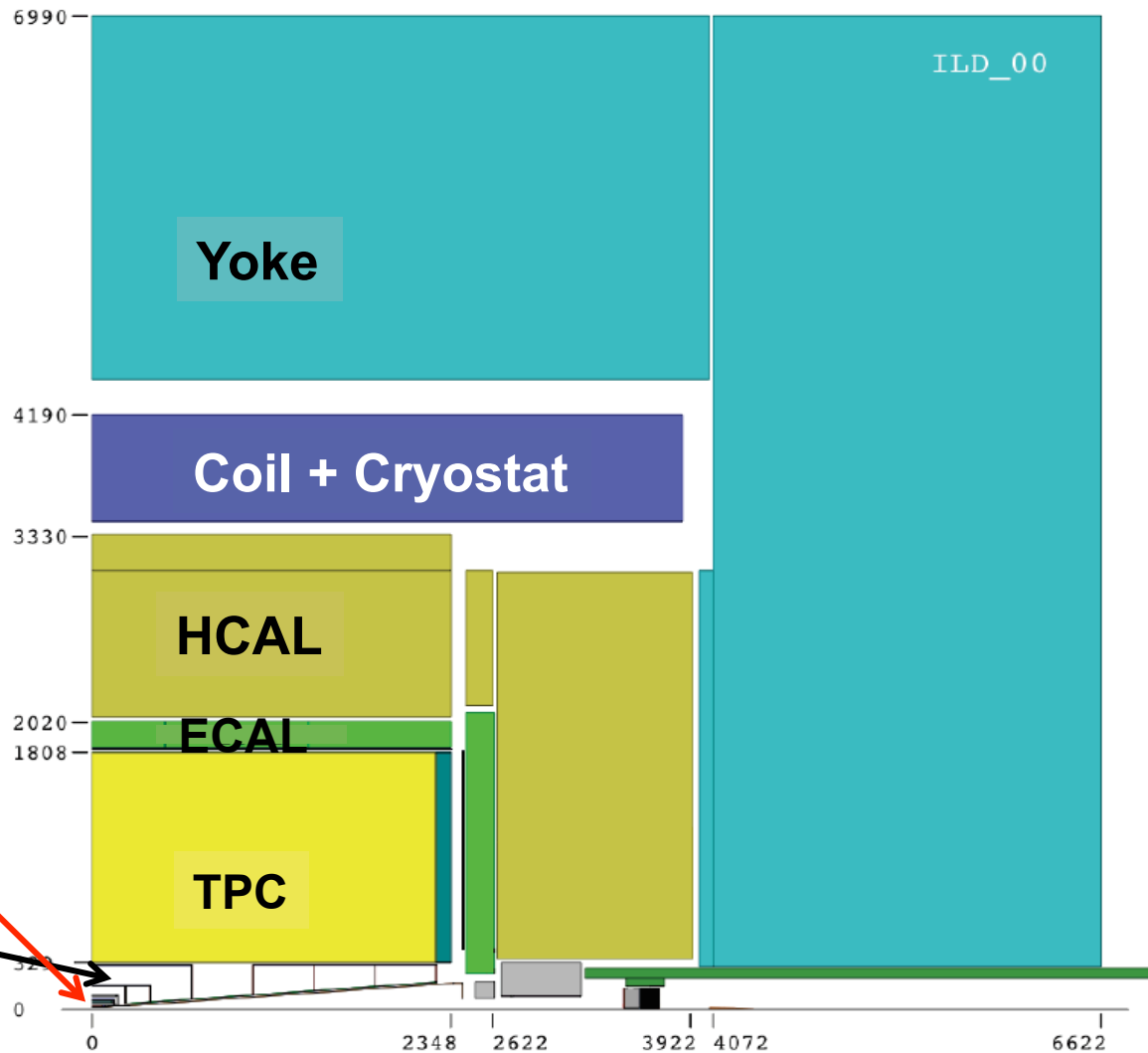
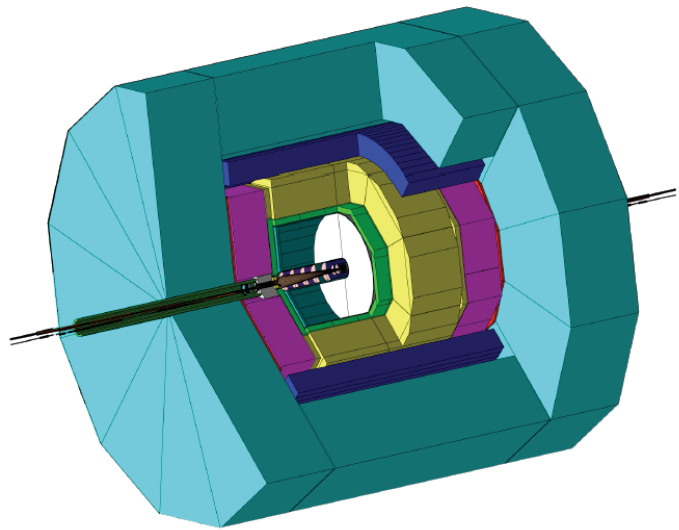
ILCの紹介

- 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 (1TeVアップグレード : 50km)



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1/4に相当

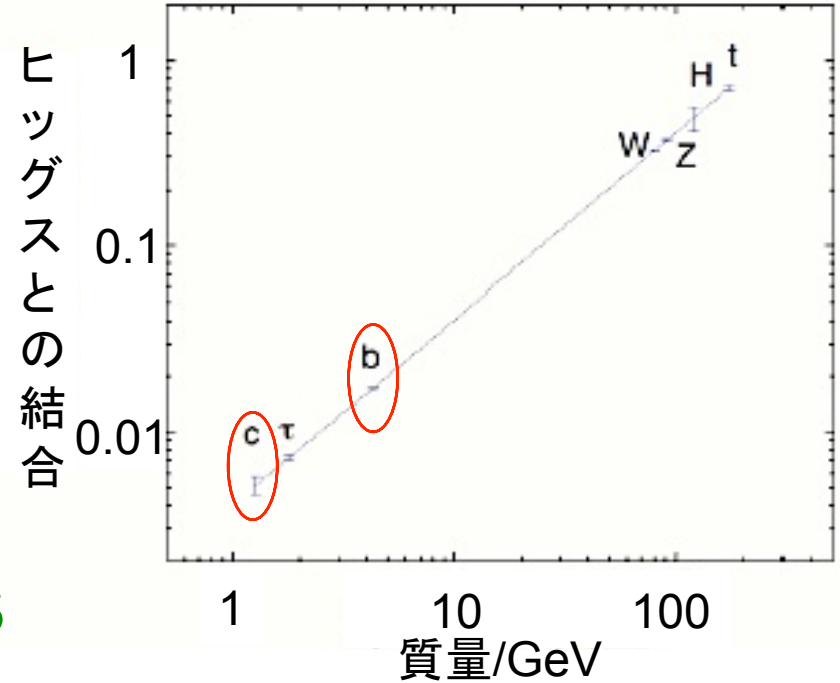
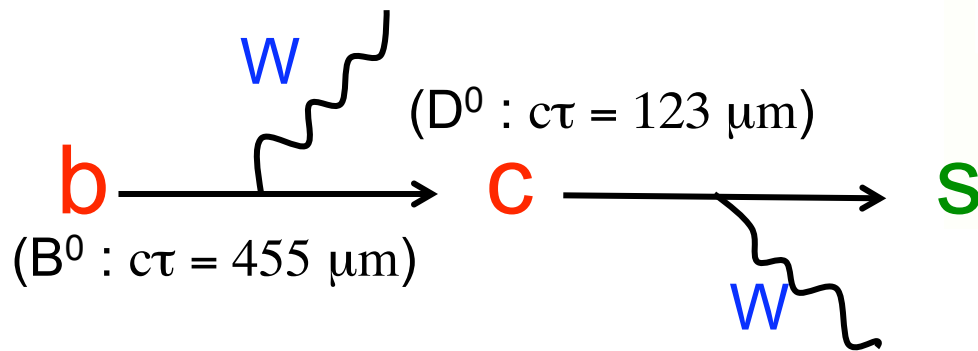


主な検出器は内側から
VXD(崩壊点検出器)
SIT
TPC
ECAL
HCAL
...

ILC のヒッグス精密測定について

LHCでは測定が難しいヒッグスとのc、b結合定数もILCなら精密測定できる!
(自己結合定数も測れる!)

H \rightarrow bb,cc,ggを区別できれば
結合定数を測定できる!

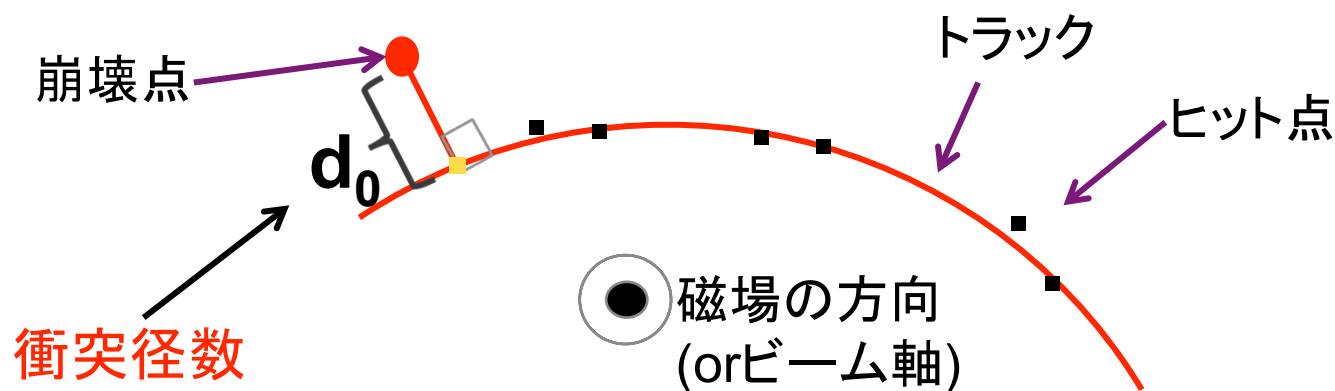


優れた空間分解能を持つ崩壊点検出器が必要

衝突径数分解能について

衝突径数分解能がいいとb,c,gの区別が付きやすくなる

崩壊点検出器における”衝突径数”の定義:



衝突径数分解能

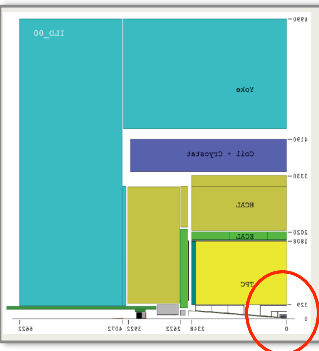
$$\sigma_{r\phi} = 5\mu\text{m} \oplus \frac{10\text{GeV}/c}{p \cdot \sin^{3/2} \theta} \mu\text{m}$$

p: 粒子の運動量[GeV/c]、 θ : ビーム軸からの角度

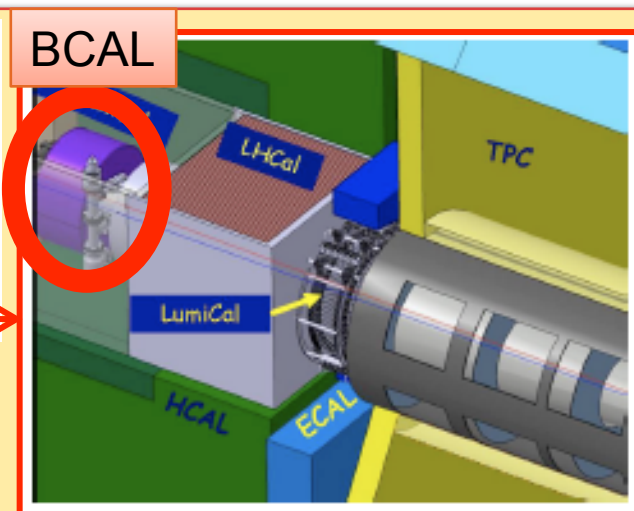
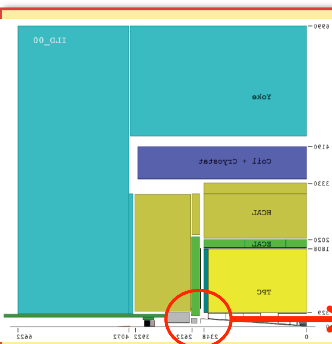
衝突径数分解能が良い → 精密なb-タグ、c-タグ

崩壊点検出器の背景事象について

また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する必要がある

b、cタグに要求されるピクセル占有率

精密なbタグ、cタグをするためには
ピクセル占有率を小さくする必要がある

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



トラッキング時にヒットが拾いやすくなって
衝突径数分解能があがる

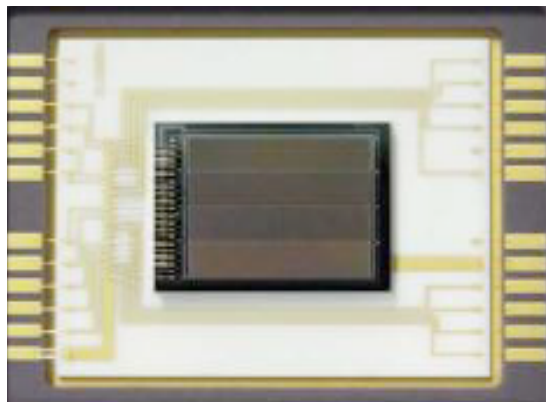


bタグ, cタグしやすい

FPCCD崩壊点検出器の紹介

FPCCDの大きな特徴：非常に小さなCCD(Fine Pixel CCD)

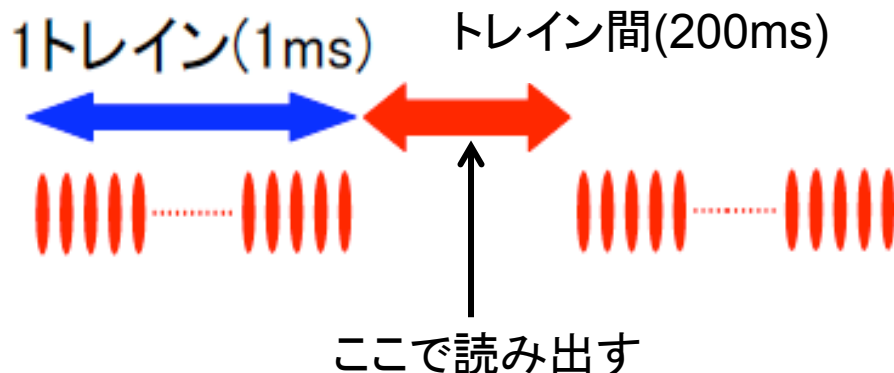
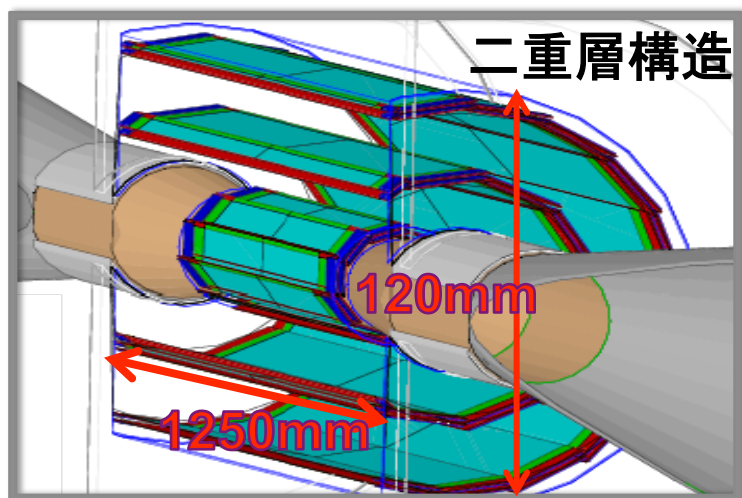
FPCCD試作機： $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$



- 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



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: $E_{\text{CM}} = 500 \text{ GeV}, 1 \text{ TeV}$ でのeepair, backscatter

②衝突径数分解能(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eepair, backscatter

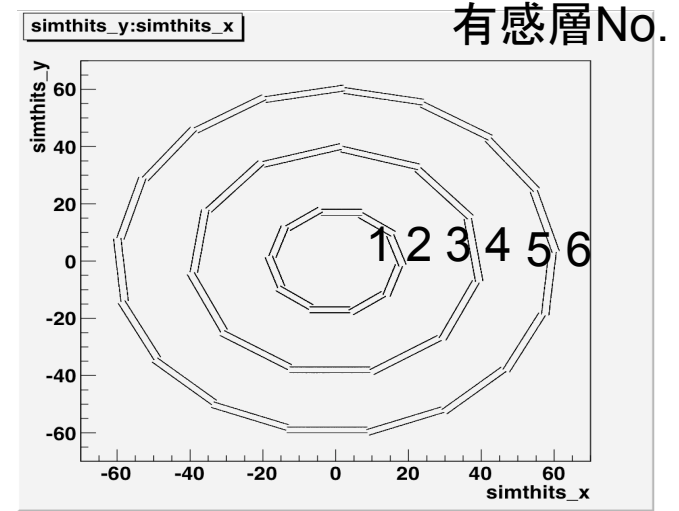
③崩壊点検出器におけるトラッキング効率

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eepair, backscatter

ピクセル占有率

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

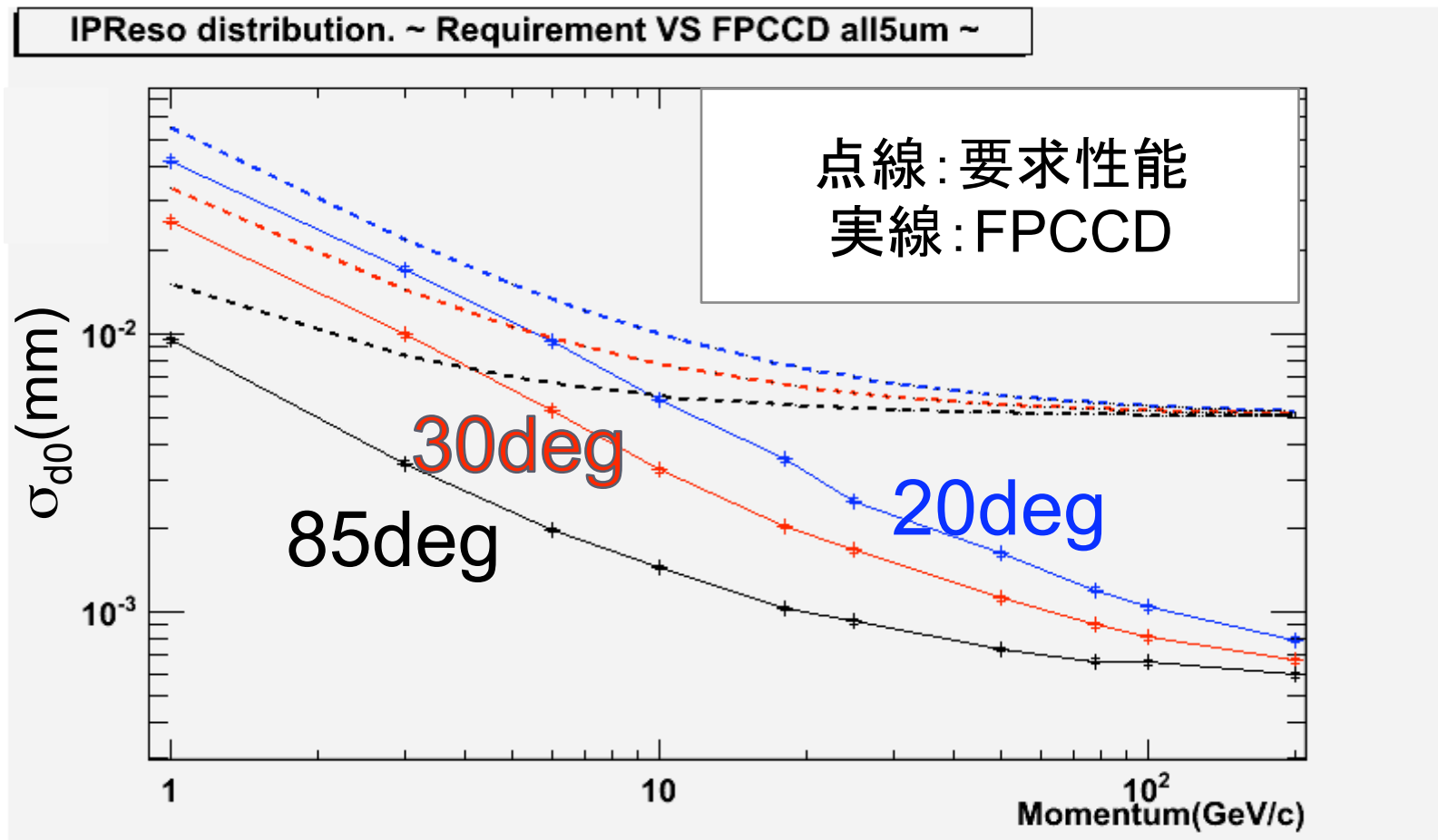
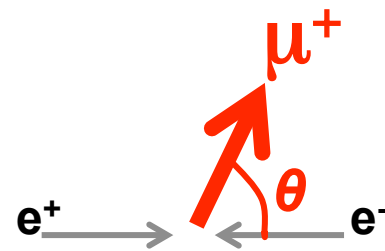


有感層No.	占有率(%) at 1 TeV		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	19.6	5.1	14.5
2	10.4	3.1	7.3
3	0.2	0.2	0.1
4	0.2	0.1	0.1
5	0.0	0.0	0.0
6(最外)	0.0	0.0	0.0

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

衝突径数分解能(背景事象無し)



FPCCDは要求性能を満たす
特に横運動量の高い粒子に対する分解能が素晴らしい

読み出しの消費電力の削減

衝突径数分解能：非常に優秀!!

→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

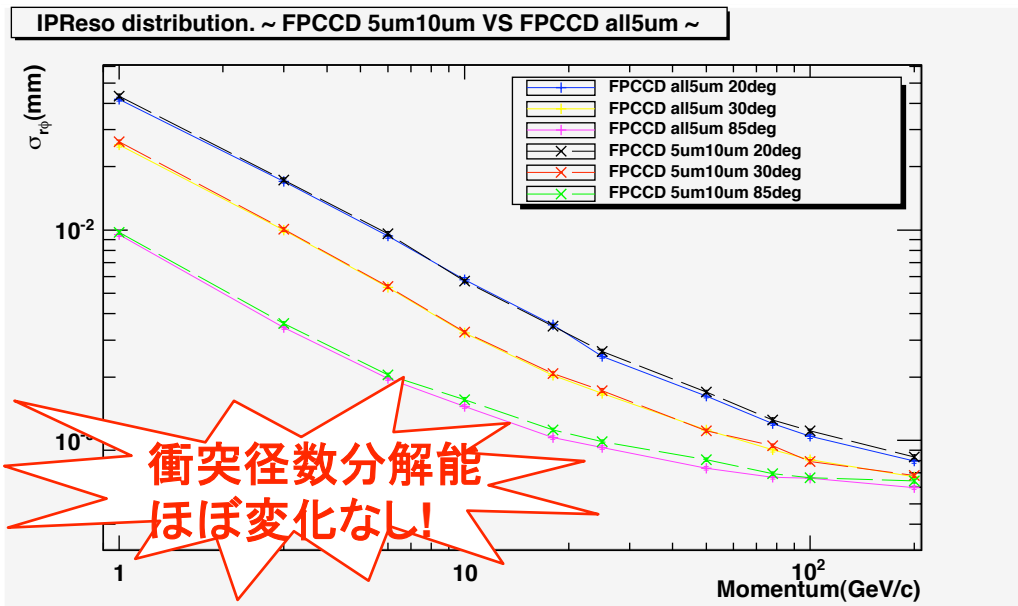
ピクセルサイズ (1,2層目)	ピクセルサイズ (残りの外側4層)	消費電力
5 μm	5 μm	111 W
5 μm	10 μm	34 W

約70% 減!

占有率、衝突径数分解能の要求を満たすかチェック↓

占有率(%) at 1 TeV 10 x 10 μm^2		
all	ee pair	backscatter
0.5	0.4	0.1
0.5	0.3	0.1
0.1	0.1	0.0
0.1	0.1	0.0

3%以内!



5 μm 10 μm の設定は占有率、衝突径数分解能の要求を満たす
→消費電力70%減は可能!!

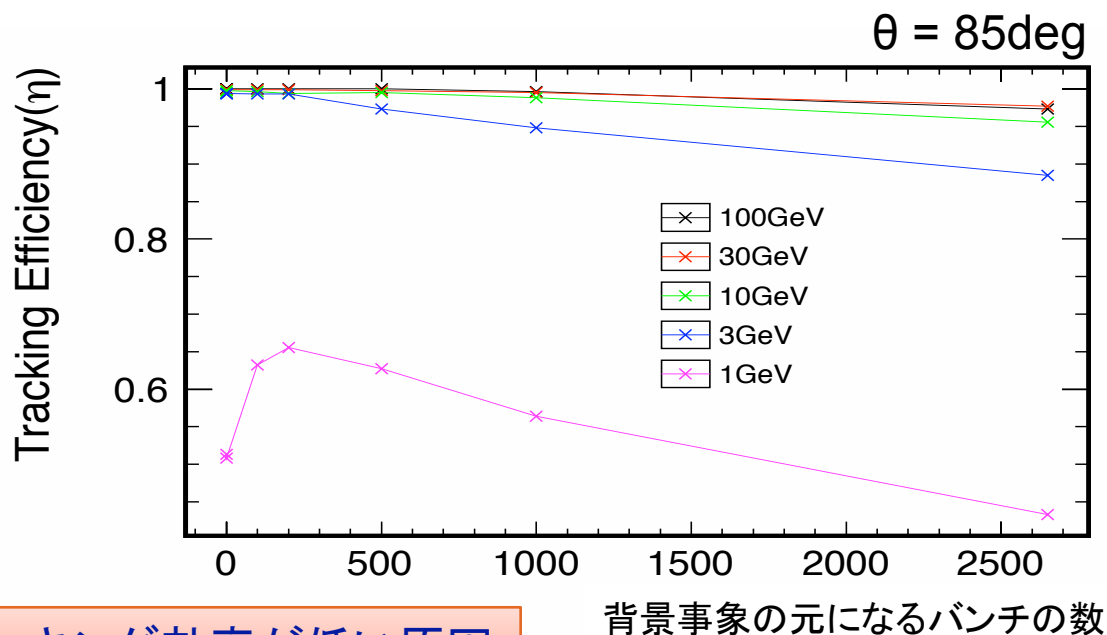
崩壊点検出器におけるトラッキング効率

トラッキング効率: $\eta \equiv$ 分子/分母

分子: トラッキングにおいて崩壊点検出器で5ヒット以上かつ

時間射影チェンバー(TPC)で10ヒット以上使っている μ^+ トラックの数

分母: μ^+ の数



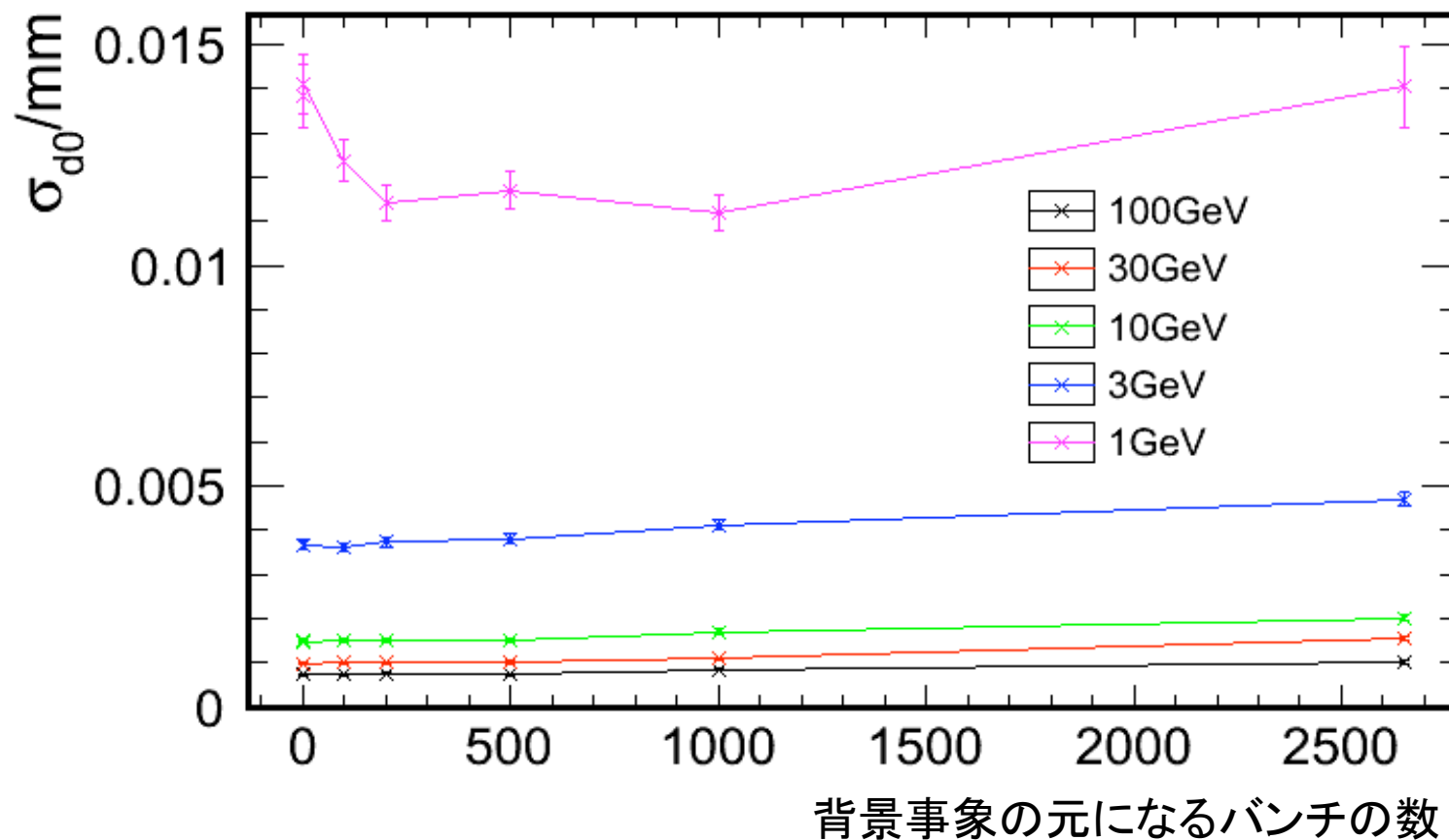
1GeVのトラッキング効率が低い原因

- VXDにあるヒットを5つ以上拾えていない
 - 1GeVなどの磁場によりカールして飛ぶ粒子のためのトラッキングアルゴリズムがFPCCDに上手く噛み合っていない

→FPCCD用のトラッキングコードを作る必要あり

衝突径数分解能(背景事象有り)

$\theta = 85\text{deg}$

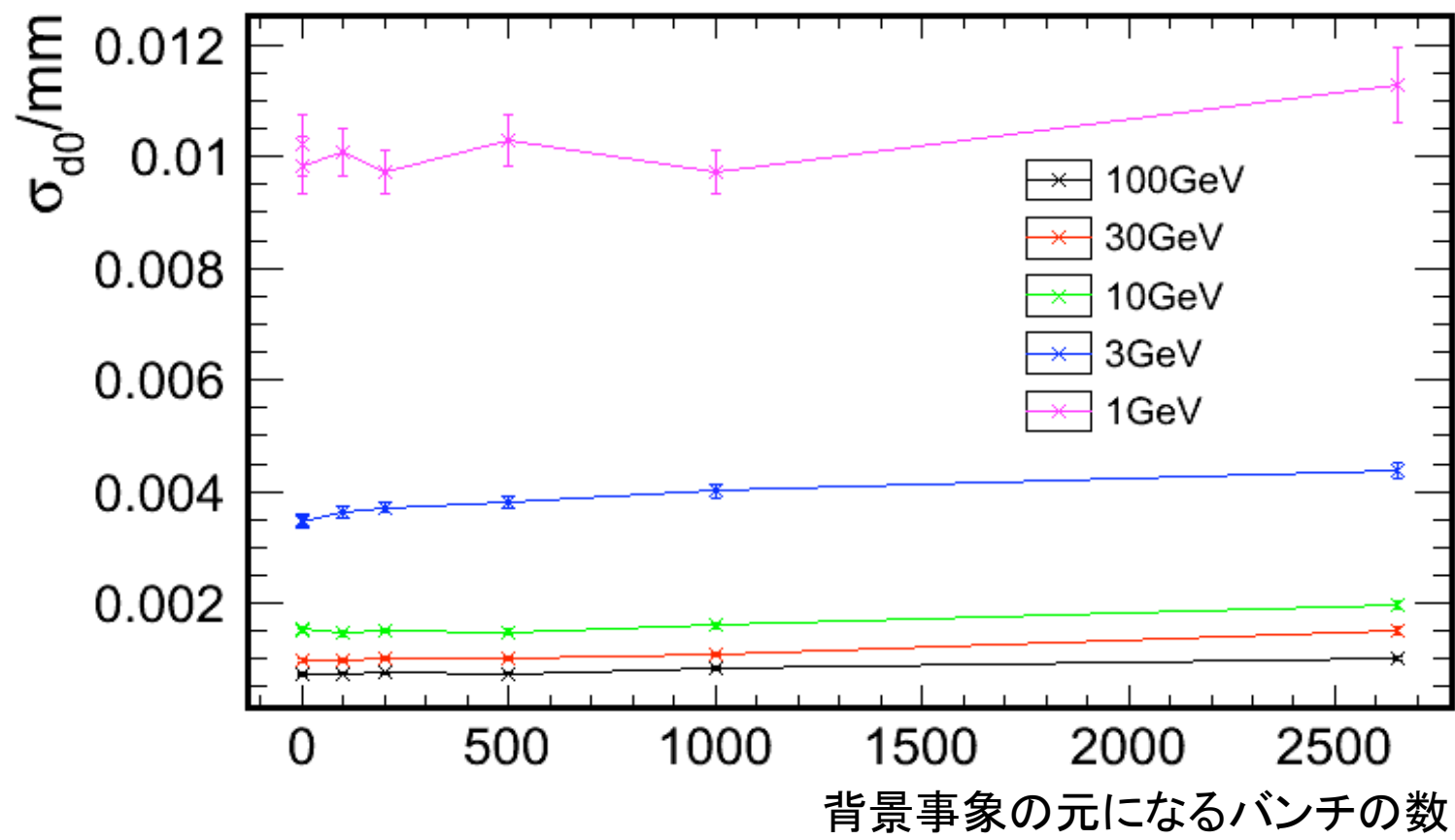


背景事象が増えてもあまり低下しない

衝突径数分解能(背景事象有り)

崩壊点検出器のヒットを5つ以上使っているトラックで評価

$\theta = 85\text{deg}$



崩壊点検出器の情報を使えば
低い運動量の粒子のトラッキング精度が改善される

まとめと今後

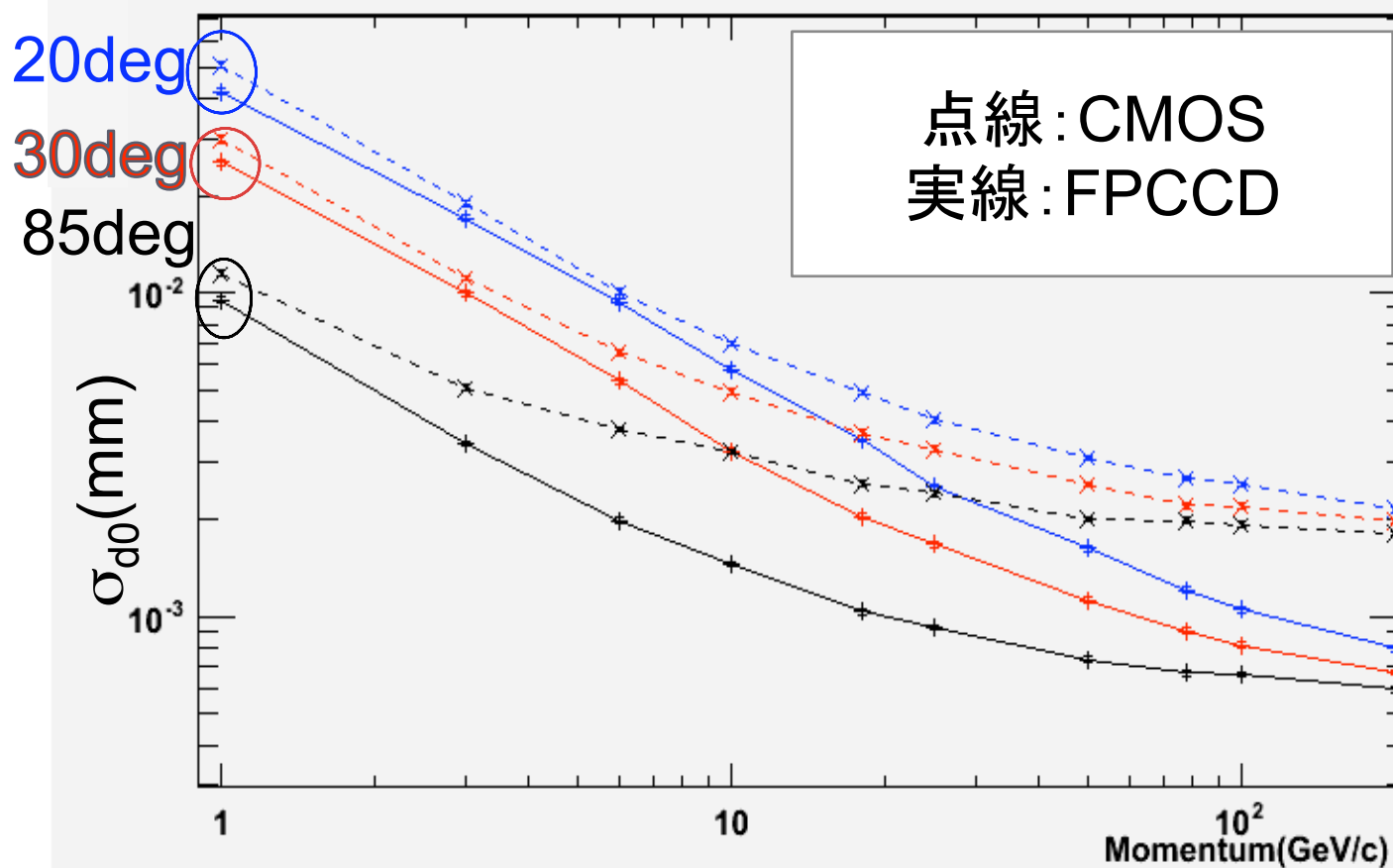
- **FPCCD崩壊点検出器をシミュレーションで評価した結果、**
 1. ピクセル占有率の要求性能 : **Good!!**
(under $E_{cm} = 500 \text{ GeV}$)
 2. 衝突径数分解能の要求性能 : **Very Good!!**
 3. 外側4層のピクセルを $5 \times 5 \mu\text{m}^2 \rightarrow 10 \times 10 \mu\text{m}^2$ にしたとき
衝突径数分解能 : **Almost Same!!** → 消費電力を70%減らせる！
 4. 背景事象下の衝突径数分解能 : **背景事象が増えてもほとんど悪化しない**
- **今後すべきこと**
 1. 約1 GeV の横運動量をもった粒子に対するトラッキングを改善するためFPCCD用のトラッキングコードの開発
 2. トラッキング改善後にフレーバータグの性能評価

以下バックアップです

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

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

