

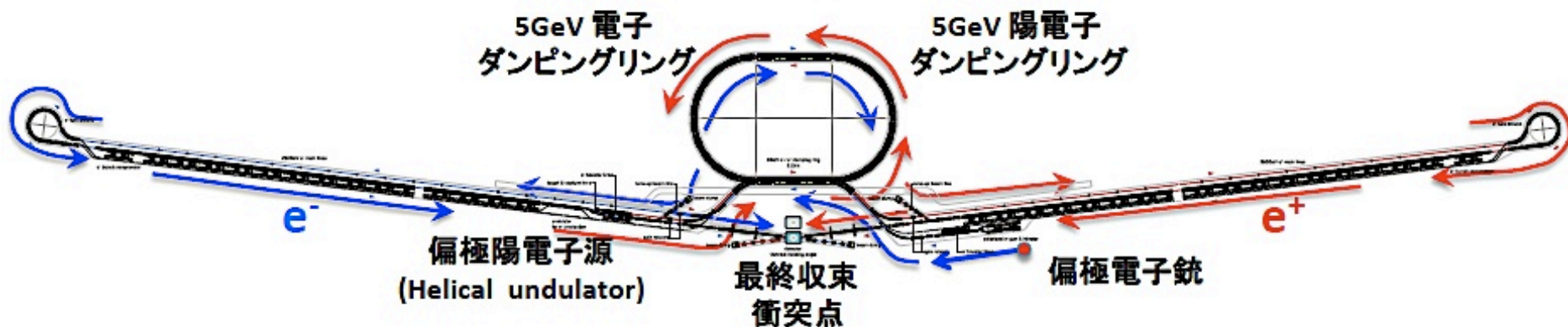
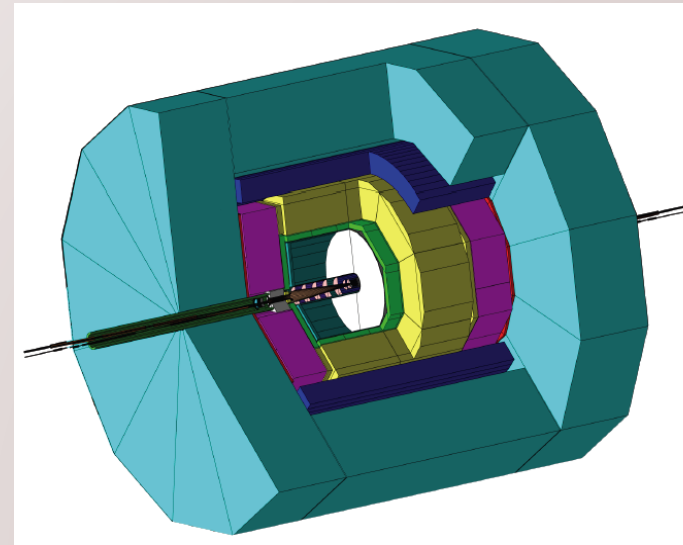
FPCCDを用いたトラッキングと フレーバータグの研究

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

イントロダクション

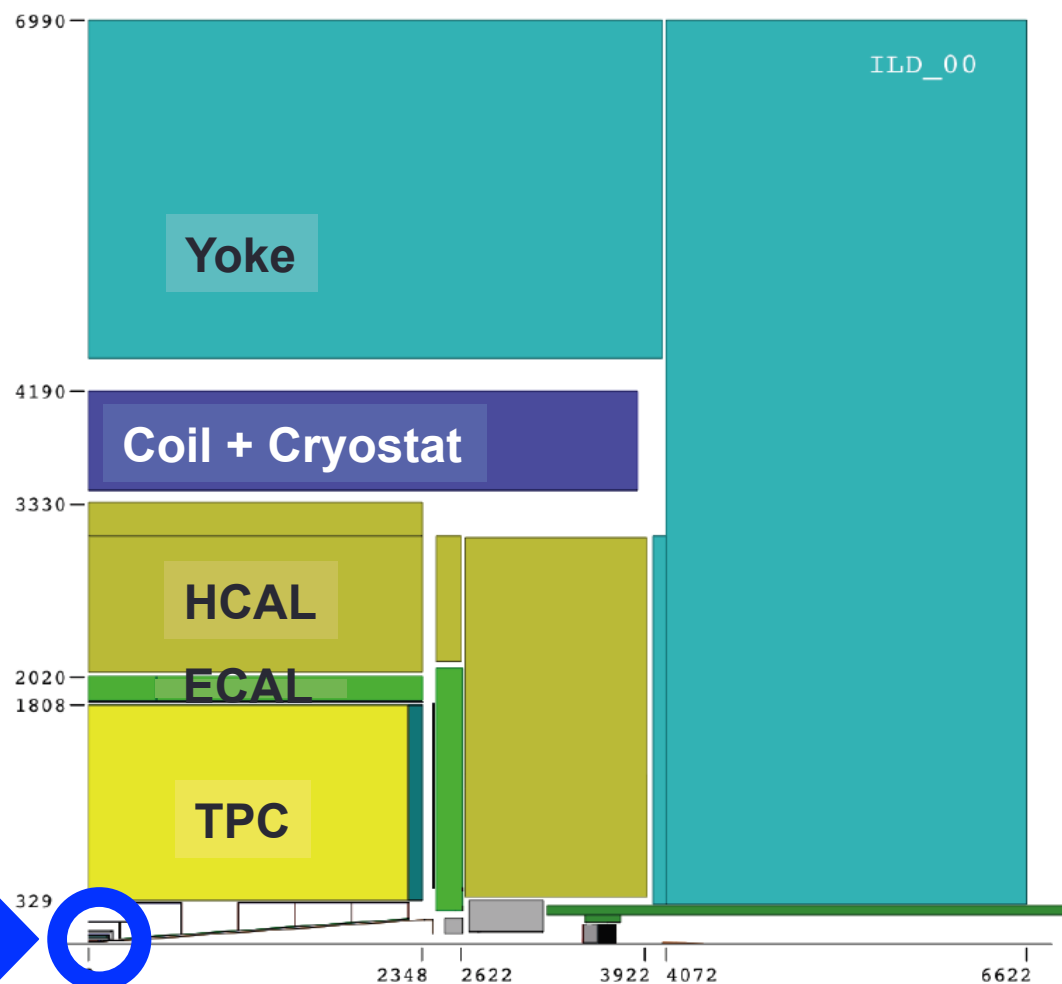
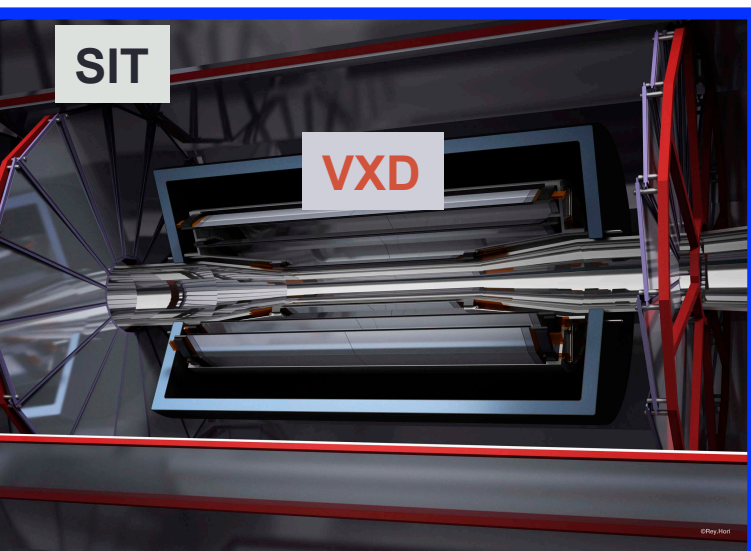
国際リニアコライダー(ILC)の紹介

- e^+e^- 衝突型加速器
- $E_{CM} = 250 \sim 500 \text{ GeV}$
(アップグレード : 1 TeV)
- $\mathcal{L} = 2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} @ 1 \text{ TeV}$
- 全長 31 km :
(1 TeVアップグレード : 50 km)
- 202X年に運転開始が期待される



ILC の検出器ILDの紹介

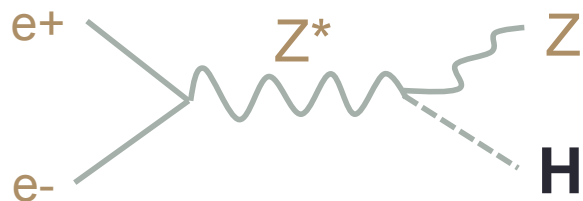
トラッカーは内側から
崩壊点検出器(VXD)
SIT
TPC



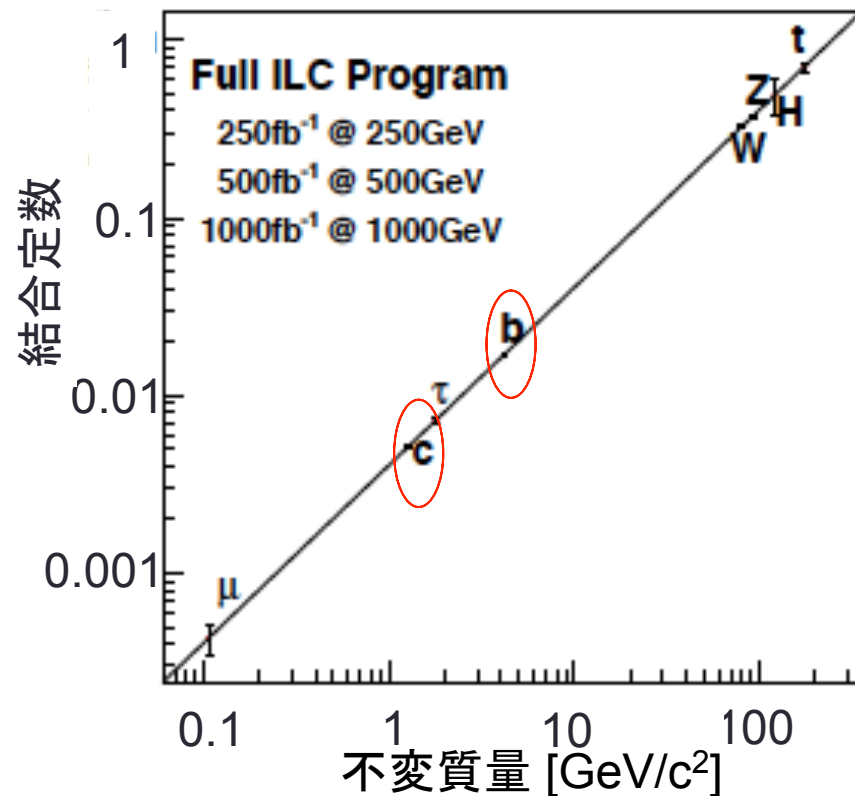
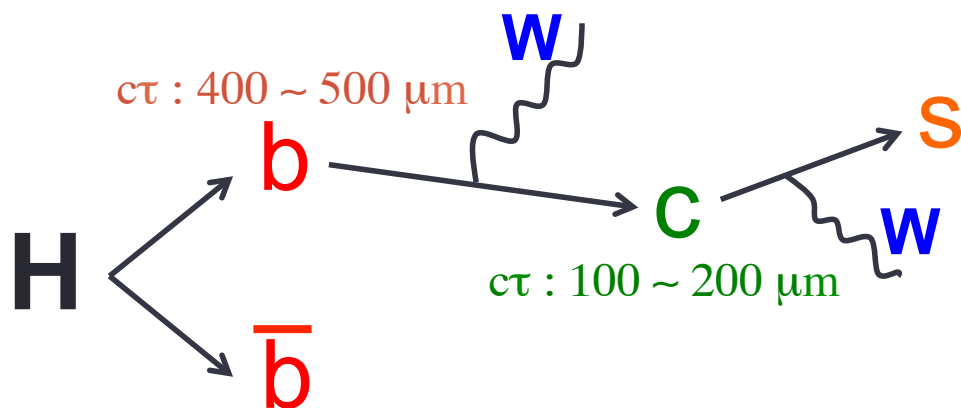
崩壊点検出器の役目

ILCの主な目的の一つ：

「c、bクォーク、gluon」と「Higgs」との
結合定数の精密測定



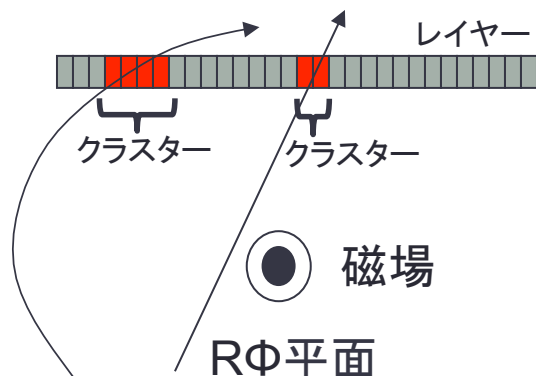
$H \rightarrow bb, cc, gg$ を正確に区別したい



高分解能な崩壊点検出器が必要 → FPCCD

FPCCD崩壊点検出器

- FPCCD (Fine Pixel CCD)の特徴
- 厚み: 50 μm (その内15 μm は有感層)
- ピクセル数: \sim 4億個
- ピクセルヒットの塊(クラスター)ができる

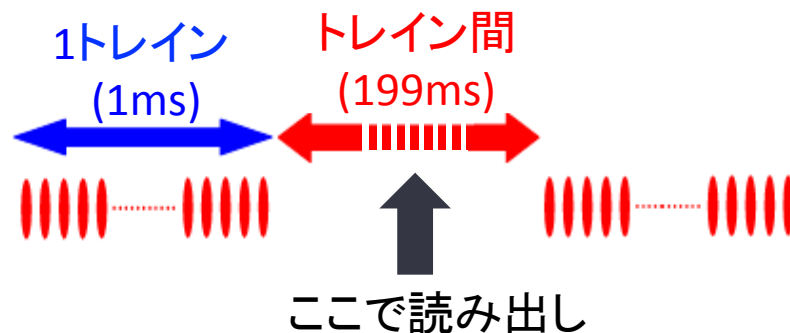


- ✓ 入射方向を推定できる→トラック外挿に役立つ
- ✓ 位置分解能が良い
- ✓ BGとシグナルの判別ができる

Geometry

レイヤー	衝突点からの距離(mm)	ピクセルサイズ(μm^2)
0, 1	16, 18	5 × 5
2, 3	37, 39	10 × 10
4, 5	58, 60	10 × 10

- 読み出し: 1312バンチ(1トレイン)毎



メリット:

Electromagnetic Interference (EMI) によるノイズは無視できる

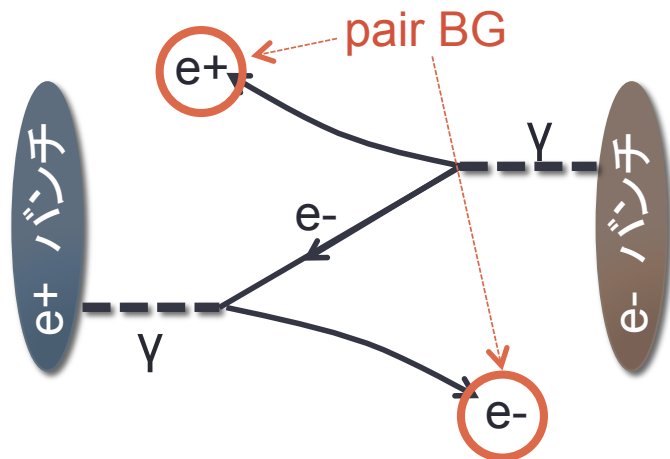
デメリット:

ヒット点が多くなるので
トラッキングが難しい

ピクセル占有率とImpact Parameter Resolution

- 崩壊点検出器における支配的なBG : **e+e- pair BG**

(日本物理学会 2013春季大会で発表)



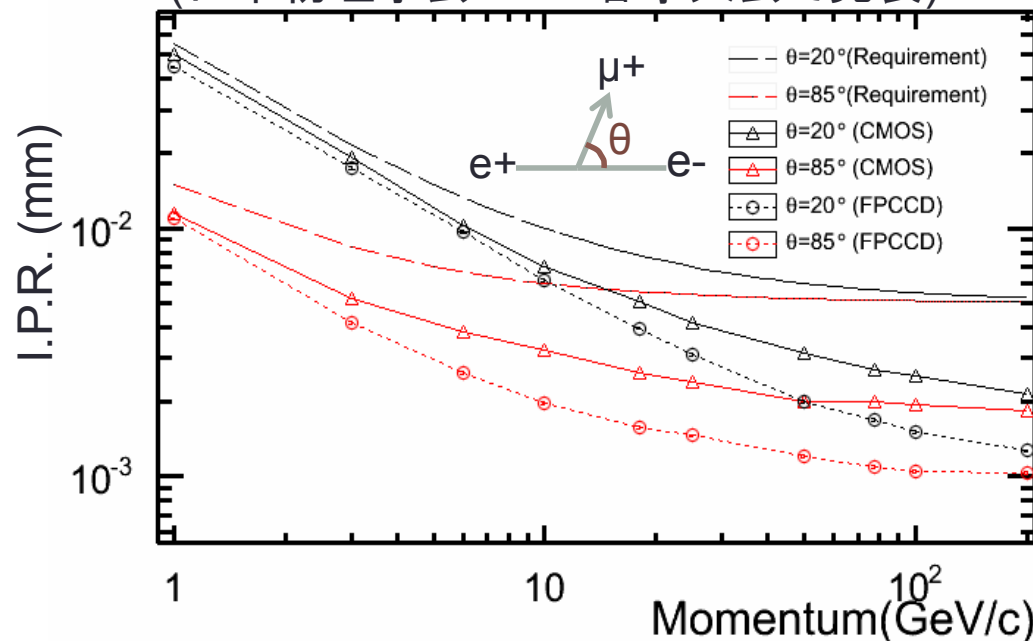
E_{CM} (GeV)	最内層の占有率(%)
250	0.8
350	0.9
500	2.8
1000	19.6

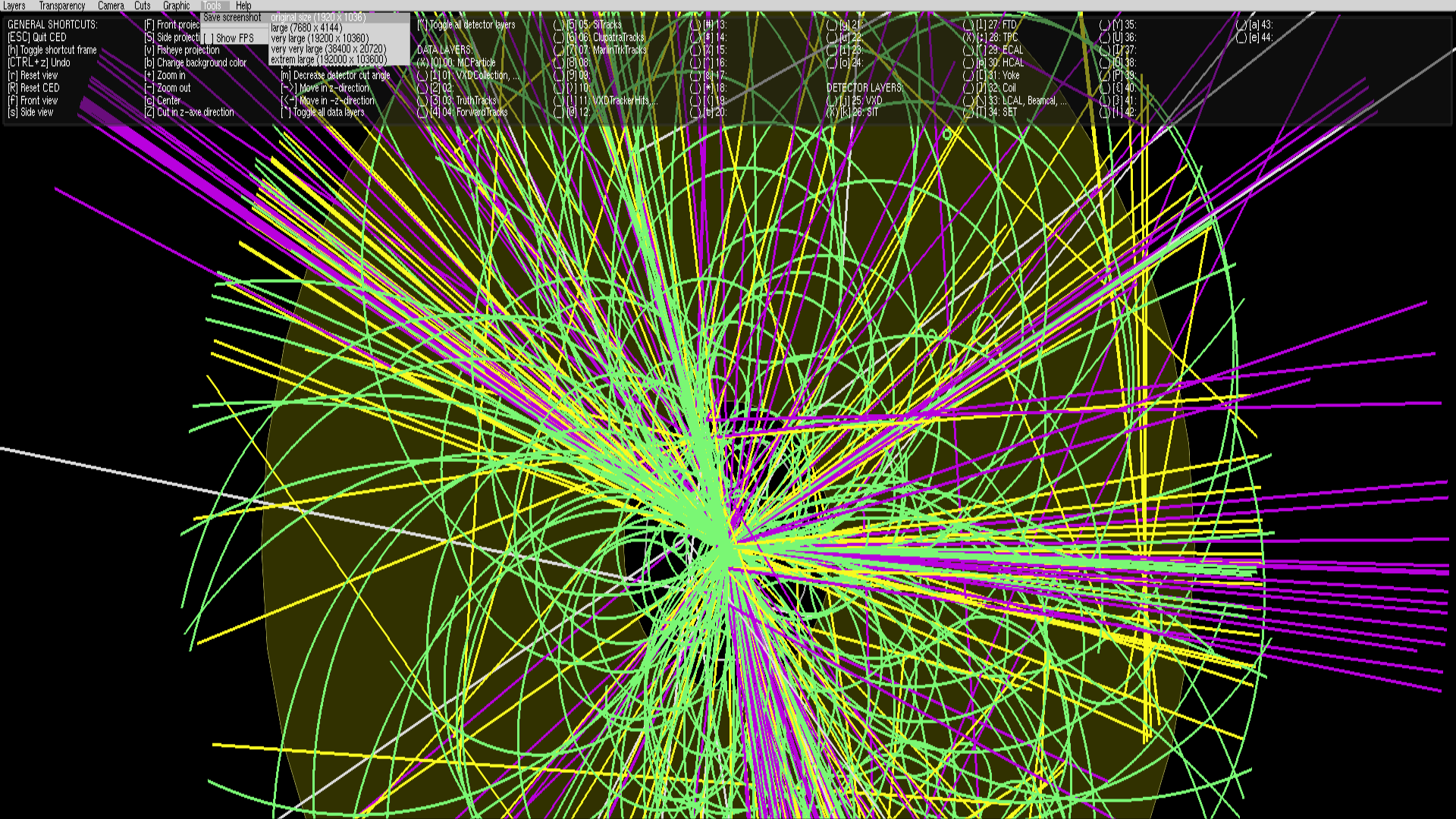
(日本物理学会 2013春季大会で発表)

- Impact Parameter Resolution (I.P.R.)の要求値

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

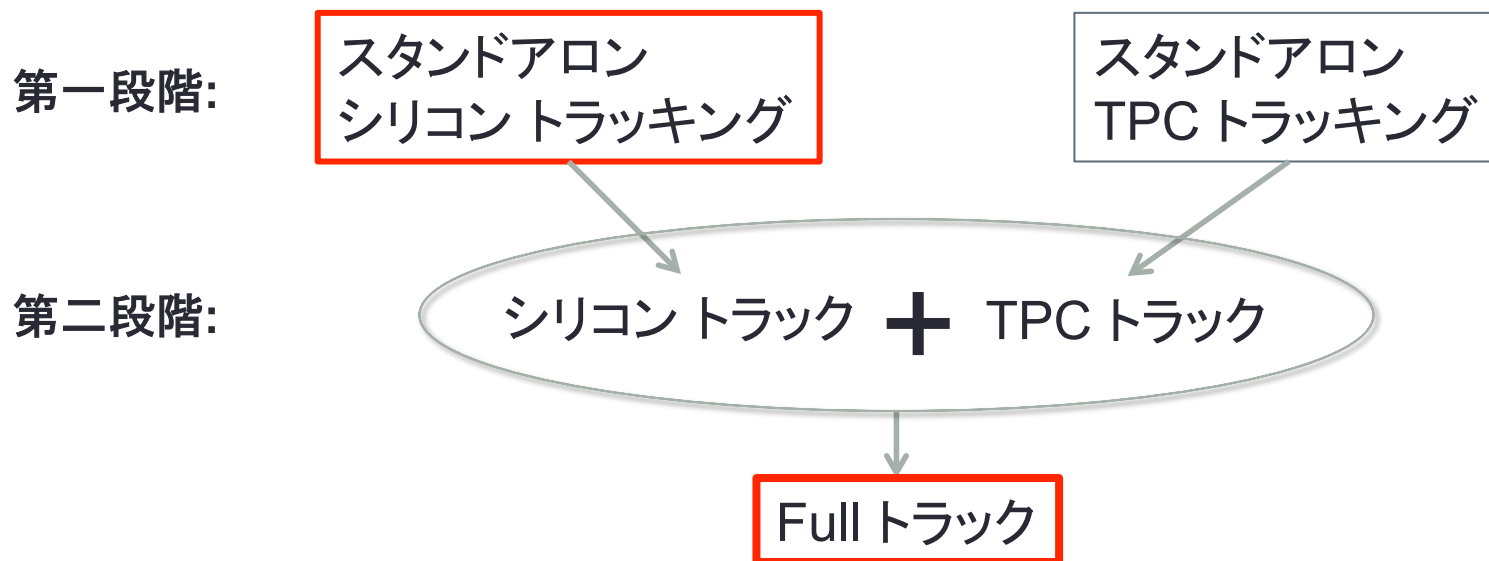
→要求値を満たし、
高Pでは~ **1 um** の分解能を持つ





FPCCD専用トラックファインダーの開発

現行のトラックファインダー



現行のトラッキング + FPCCDのパフォーマンス

高品質トラック再構成率 : $\eta \equiv$

VXDヒット数 ≥ 5 && ヒットの純度 $> 75\%$ を満たすトラックの数

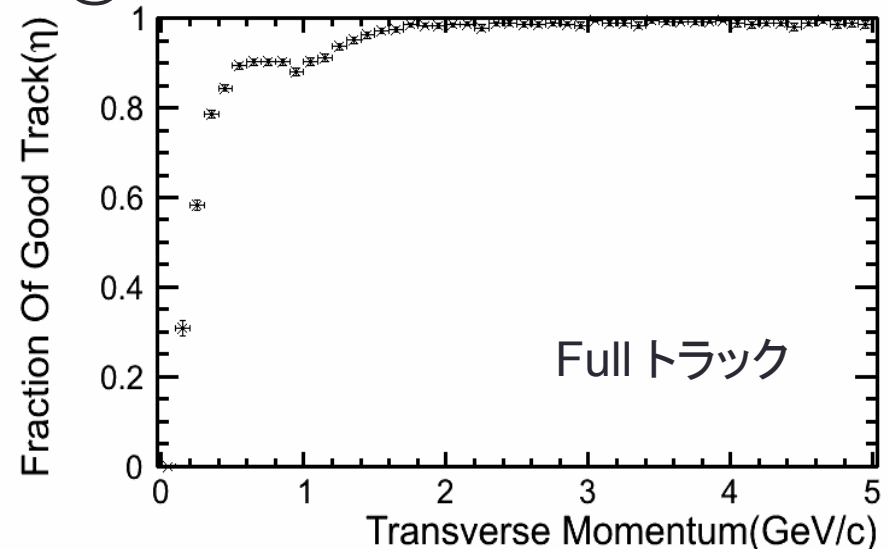
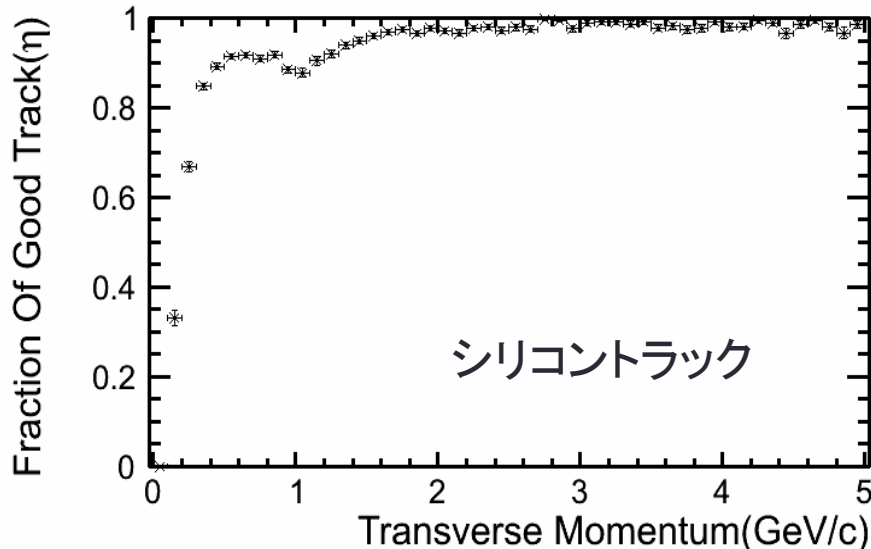
VXDヒット ≥ 6 && SITヒット ≥ 4 を生成するMCParticleの数

参考 : 到達に必要な P_T

TPCの内径 : $> 0.4 \text{ GeV}/c$

TPCの外径 : $> 1.8 \text{ GeV}/c$

サンプル: $t\bar{t}$ @ 350 GeV



Fullトラックが $1.7 \text{ GeV}/c$ 以下では効率が悪い \rightarrow **FPCCD専用トラックファインダー**

FPCCD専用トラックファインダー

Motivation :

$P_T < 1.7 \text{ GeV}/c$ でも高品質トラック再構成率を99%にする

開発方針 :

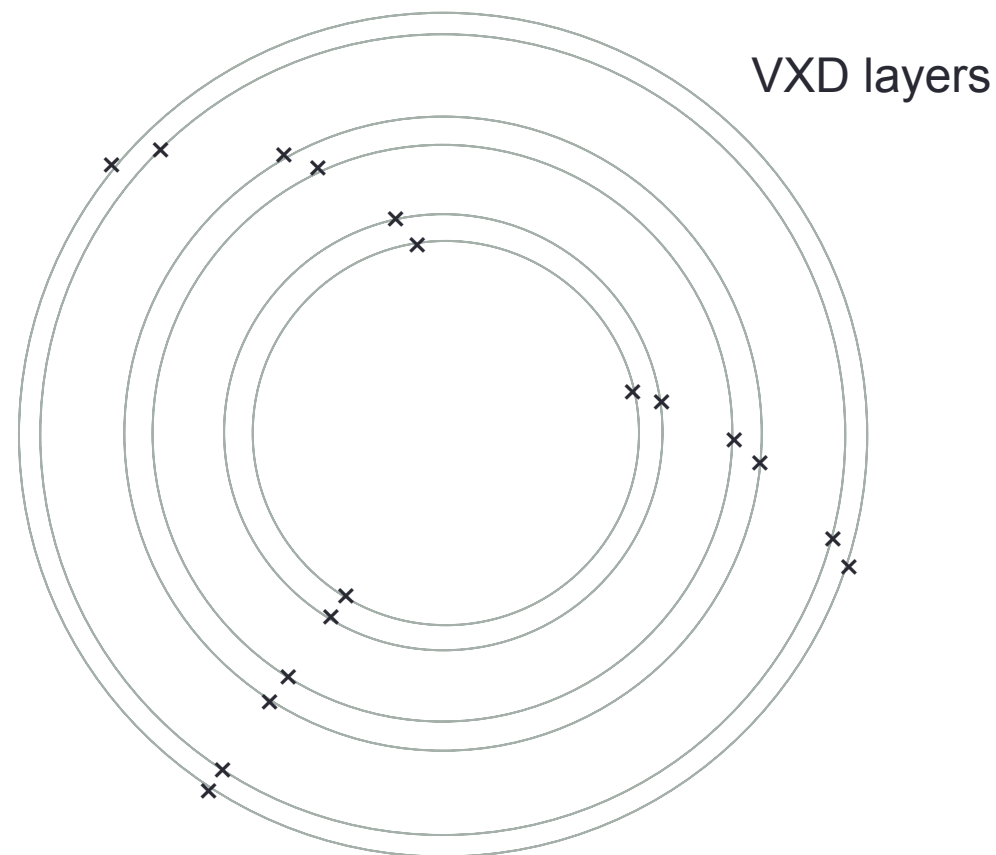
シリコントラックの時点で効率が悪い → Fullトラックも悪くなる



シリコントラックキングの部分を改良

現行のシリコンラッキング

本当はSITも関係するが
簡単のためVXDだけで考える

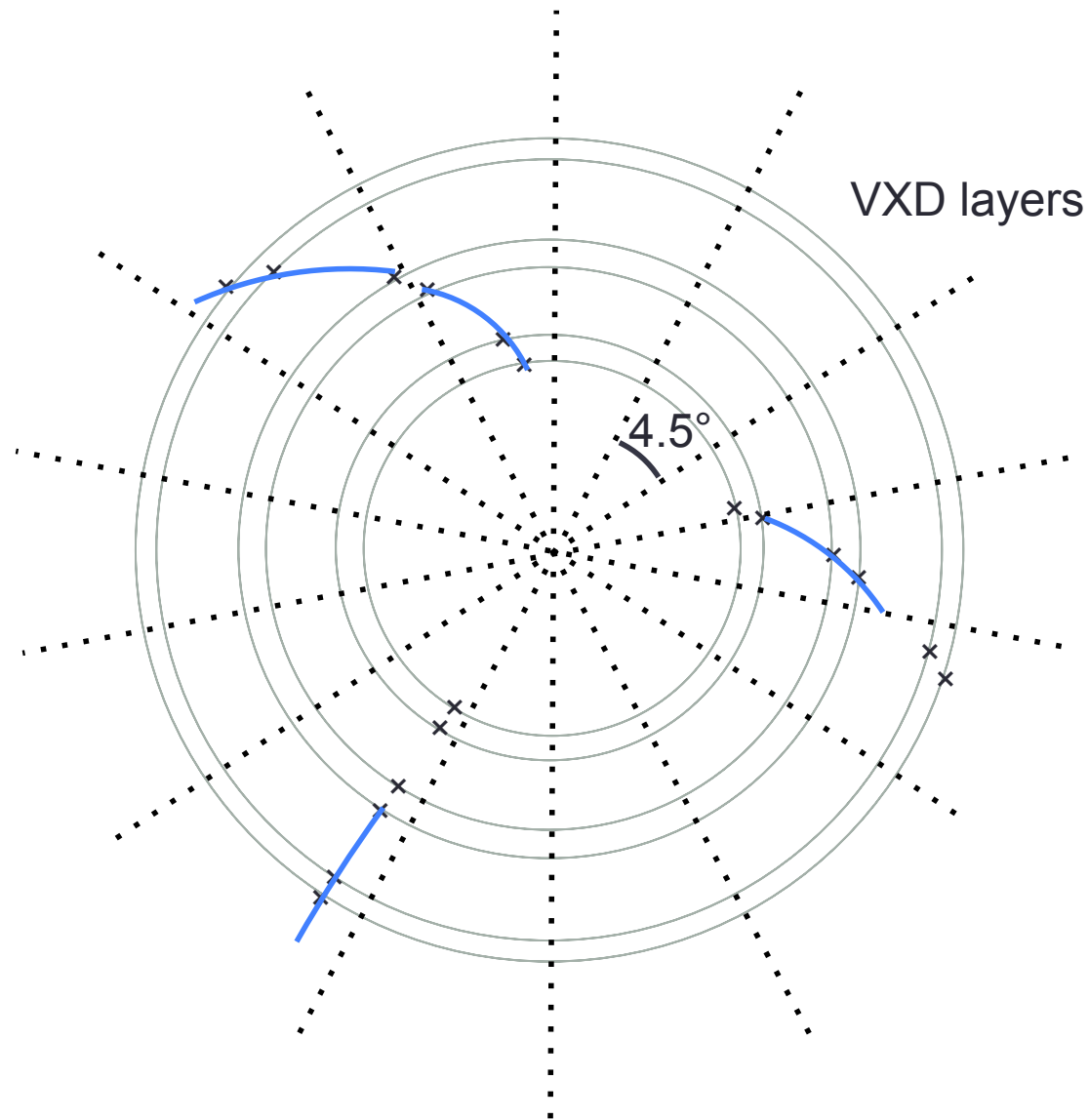


簡単のためVXD layersを円筒型で近似

現行のシリコントラッキング

トラックシード生成

φ方向に4.5°ずつ区切られた
各エリア内にある3層上の
各ヒットからトラックシードを生成



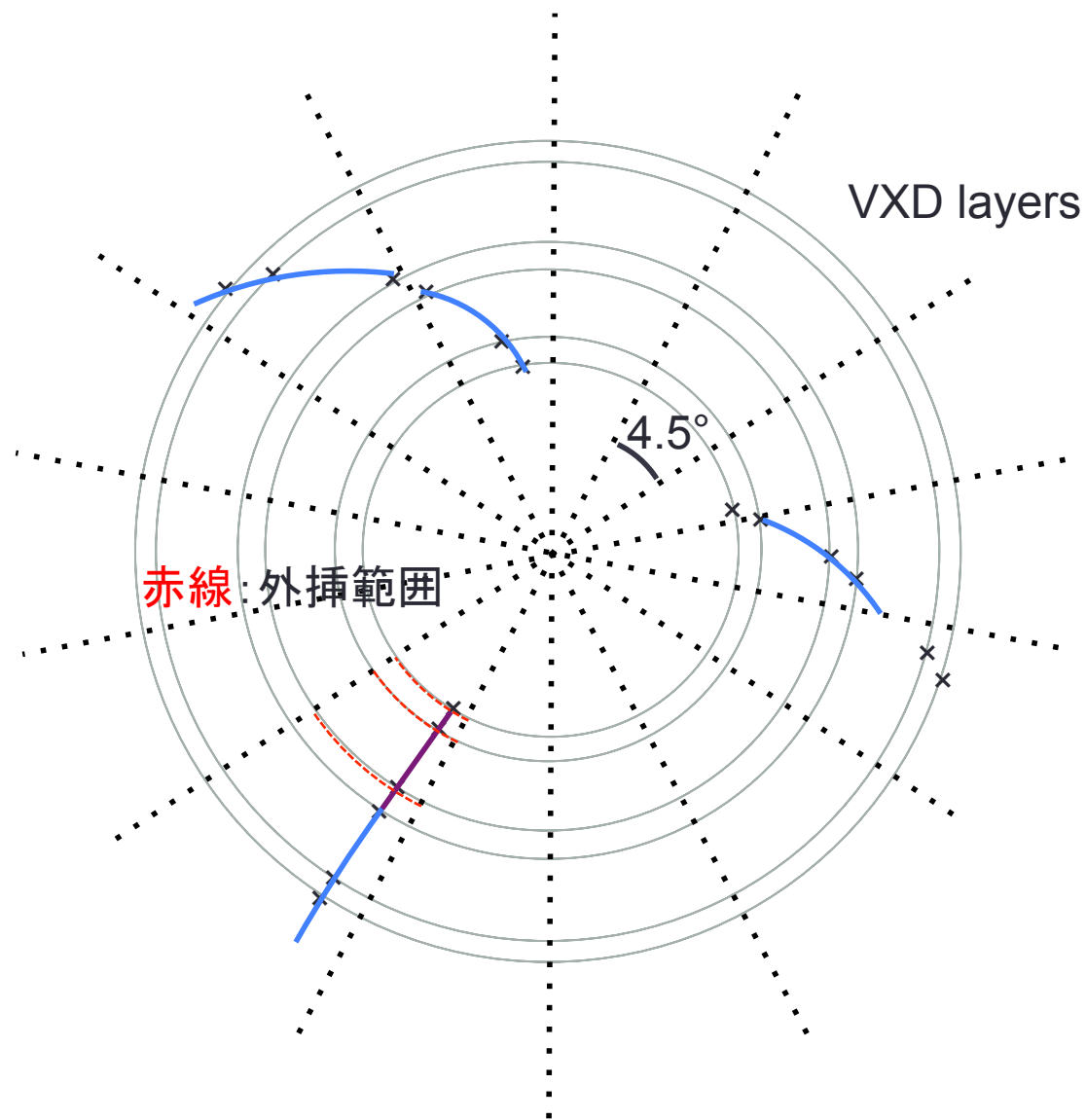
現行のシリコントラッキング

トラックシード生成

外挿処理

外挿するエリア:
同様に ϕ 方向に
区切られたエリア内

使用フィッター:
シンプル・ヘリックスフィット



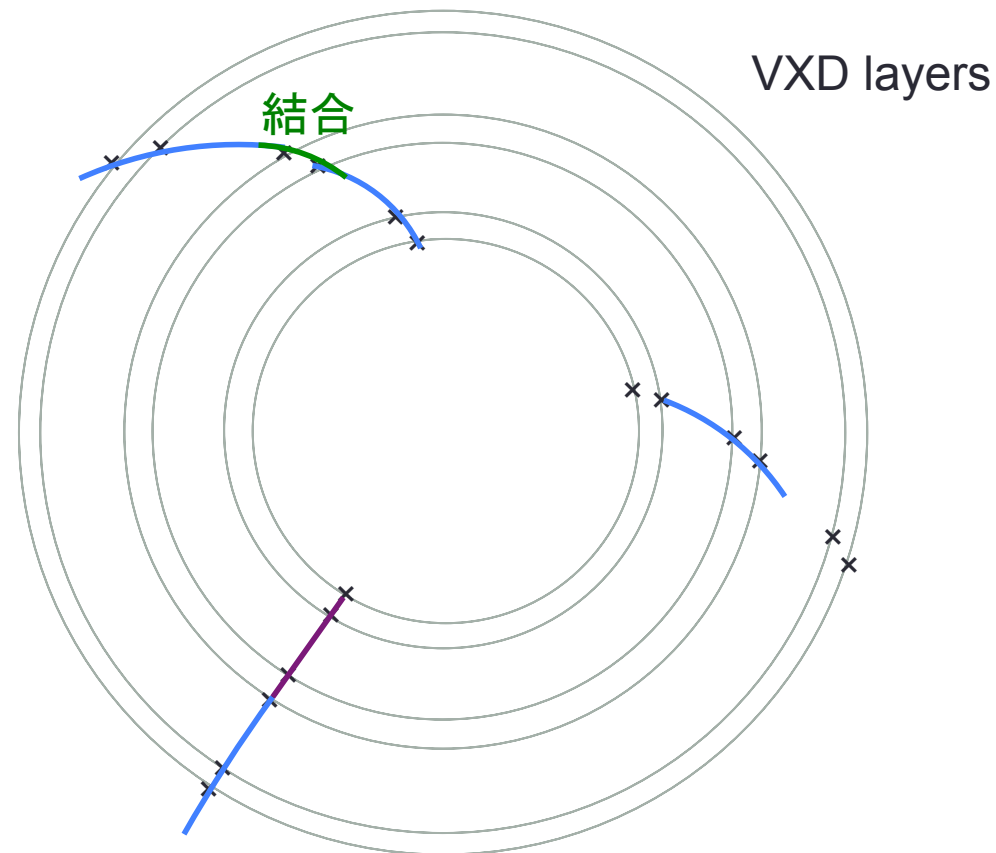
現行のシリコントラッキング

トラックシード生成

外挿処理

細切れトラックの結合

可能ならトラックと
トラックを結合



現行のシリコントラッキング

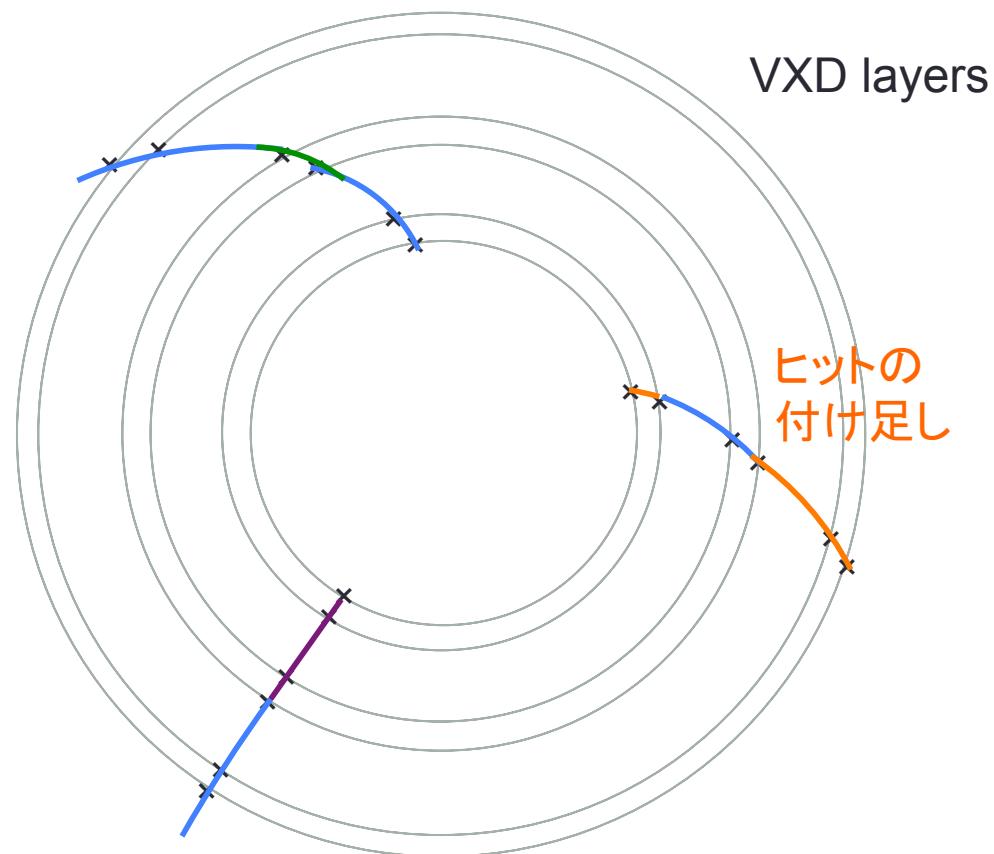
トラックシード生成

外挿処理

細切れトラックの結合

ヒットの付け足し

残っているトラックに
可能な限りヒットを付け足す



現行のシリコントラッキング

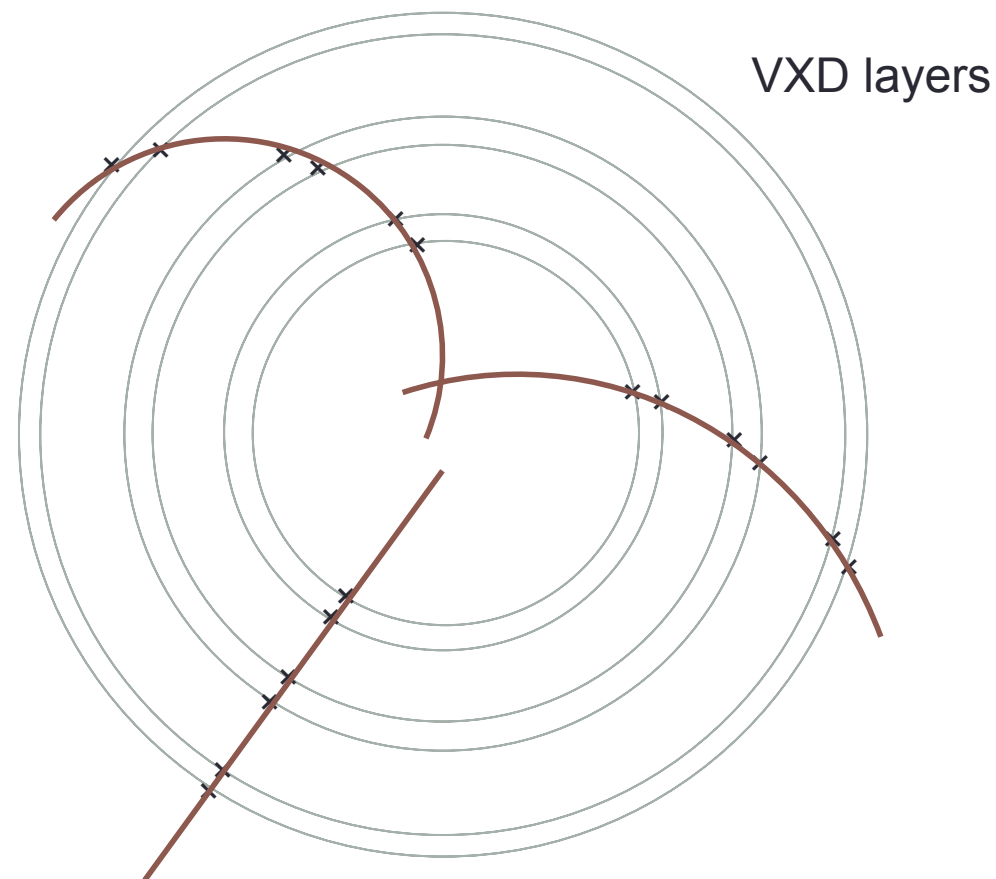
トラックシード生成

外挿処理

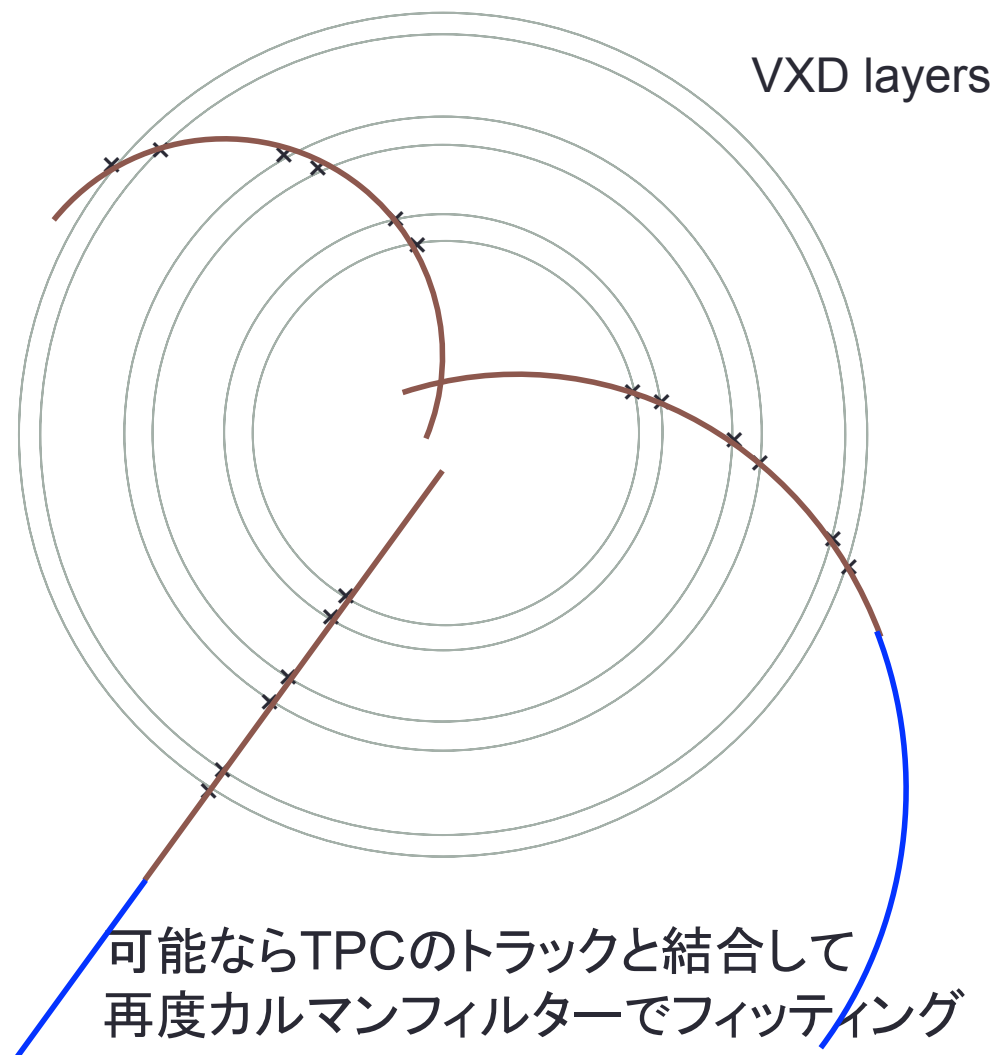
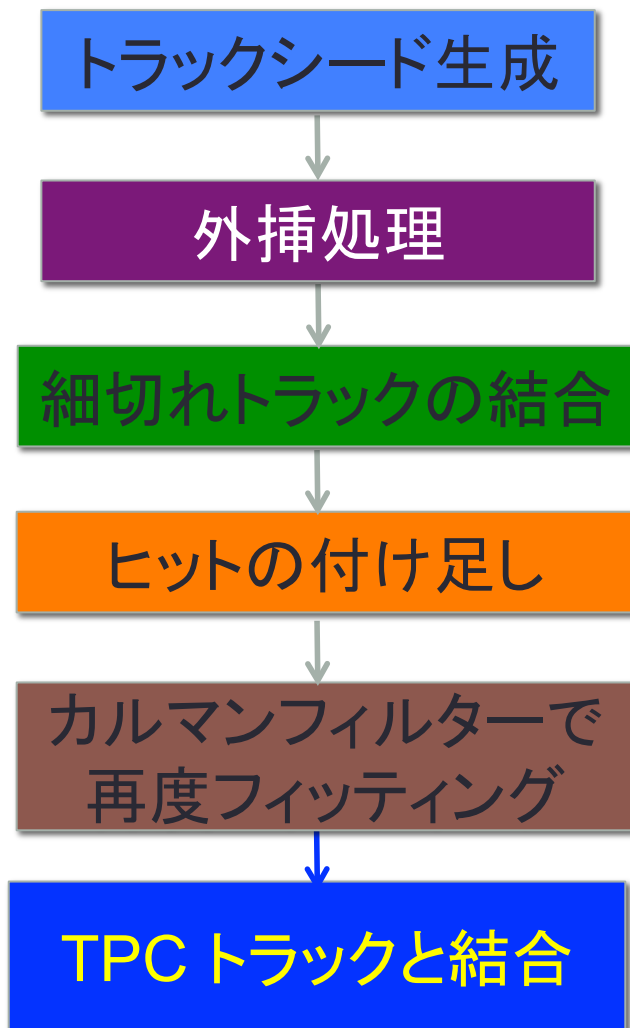
細切れトラックの結合

ヒットの付け足し

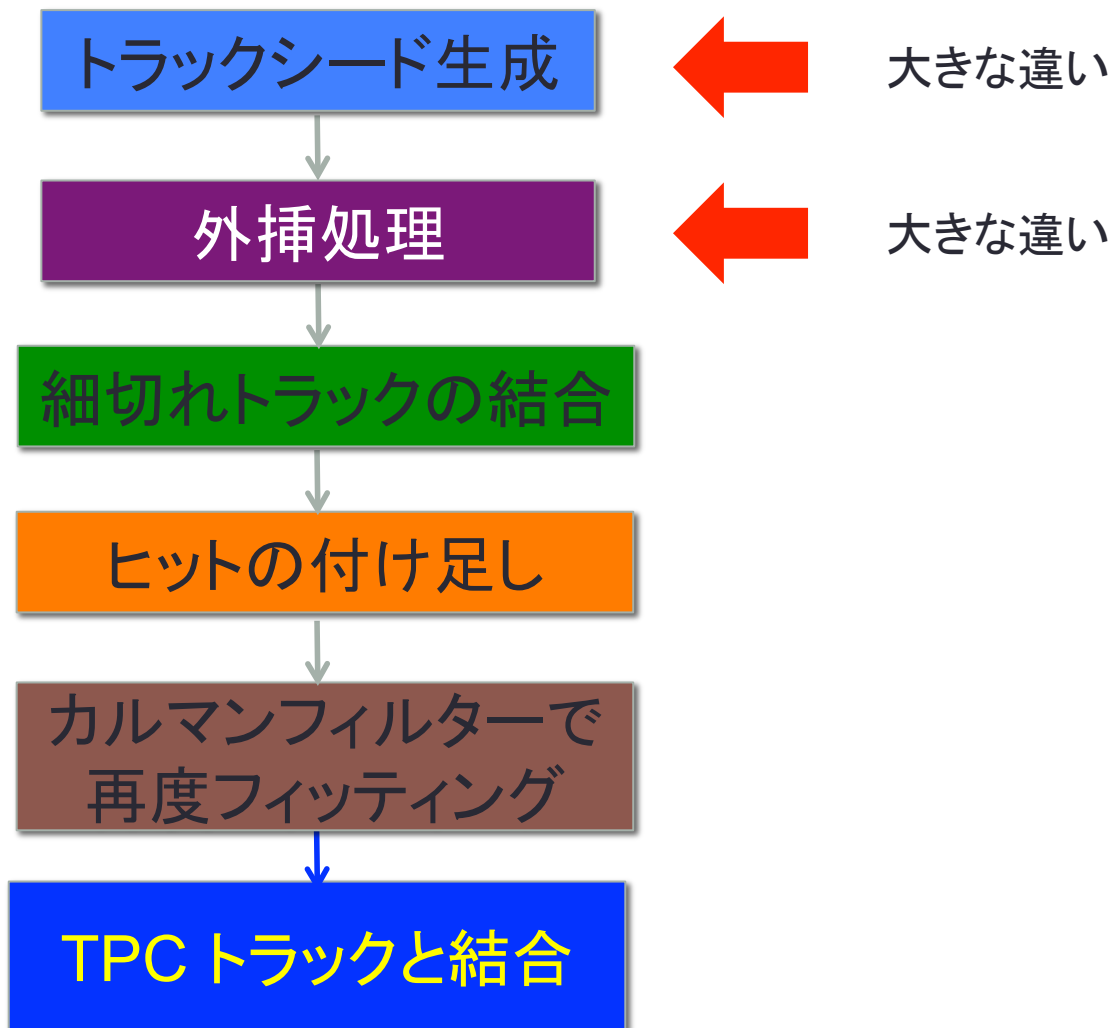
カルマンフィルタで
再度フィッティング



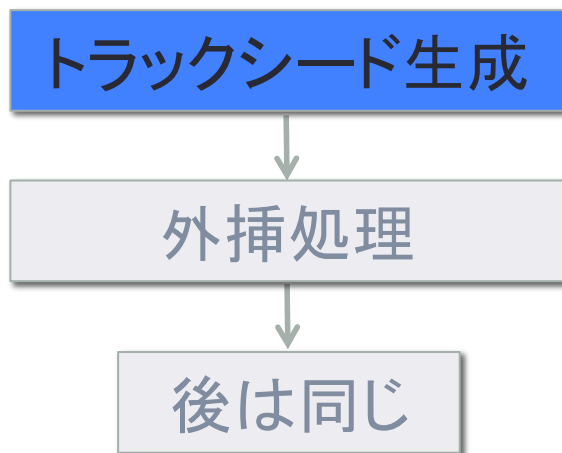
Fullトラック



現行版とFPCCD専用の違い

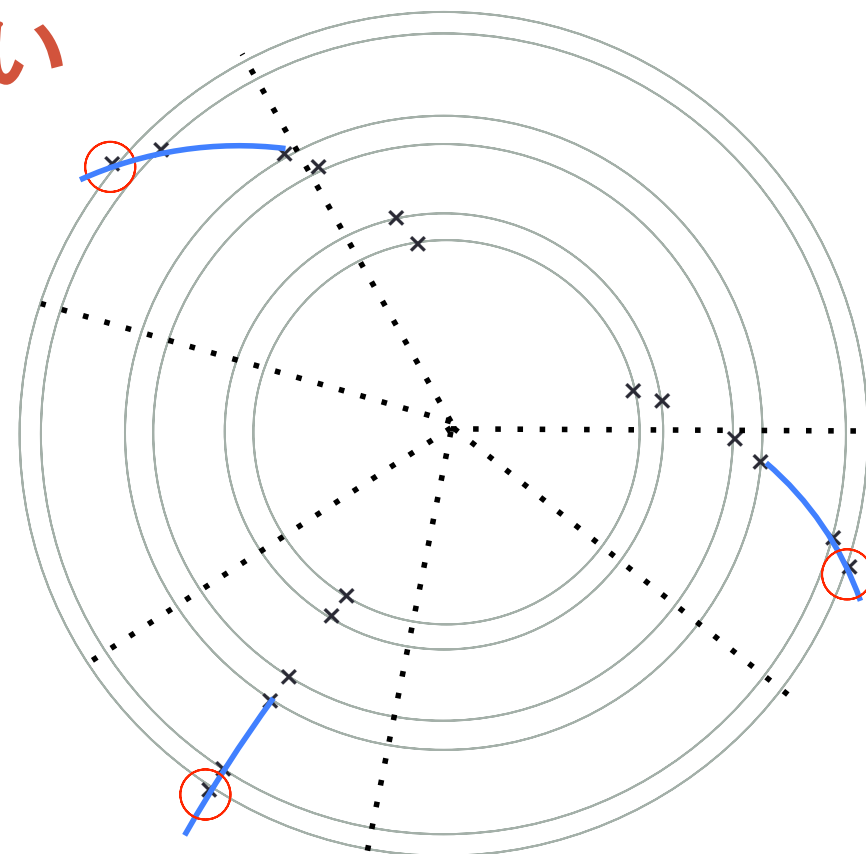


現行版とFPCCD専用の違い



(現行版)

Φ方向に4.5°ずつ区切られた
各エリア内にある3層上の
各ヒットからトラックシードを生成



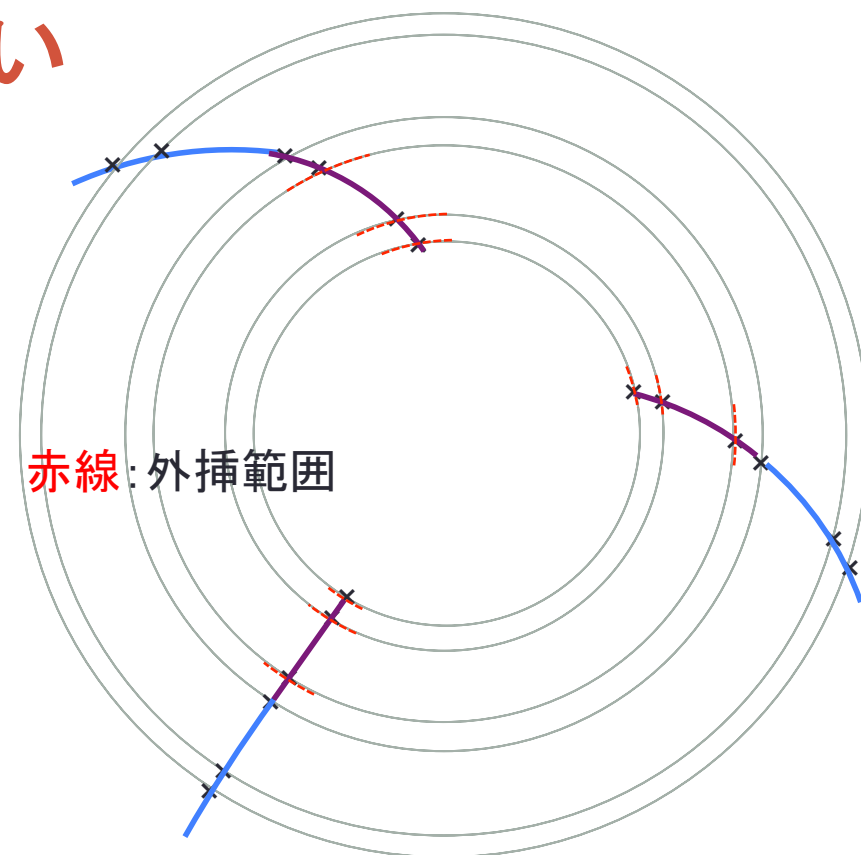
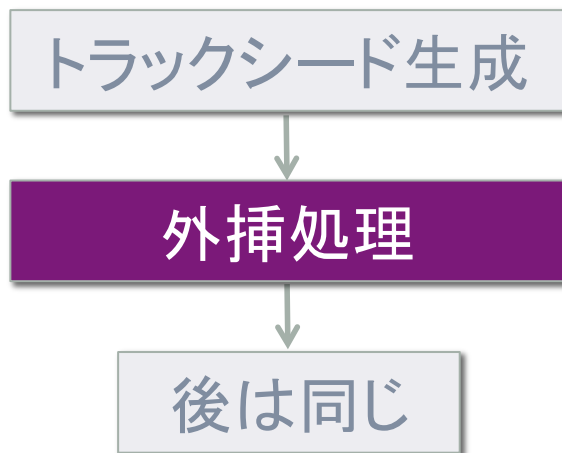
(FPCCD版)

最外層のヒットを基準に $P_T > 0.18 \text{ GeV}/c$
のトラックを拾えるΦ幅を計算



そのエリア内にある3層上の
各ヒットからトラックシードを生成
(外側3層のみ使用)

現行版とFPCCD専用の違い



(現行版)

外挿するエリア:

Φ 方向に

区切られたエリア内

使用フィッター:

シンプル・ヘリックスフィット

(FPCCD版)

外挿するエリア:

フィッターから得られるトラックパラメターから決定

使用フィッター: カルマンフィルター

クラスターの情報: 使用→外挿ミス削減

FPCCD専用トラックファインダーのパフォーマンス

高品質トラック再構成率 : $\eta \equiv$

VXDヒット数 ≥ 5 && ヒットの純度 $> 75\%$ を満たすトラックの数

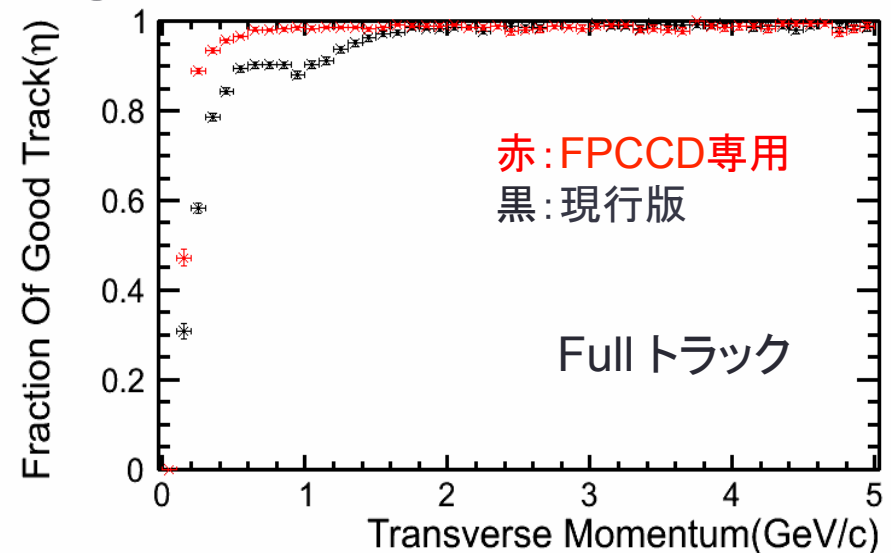
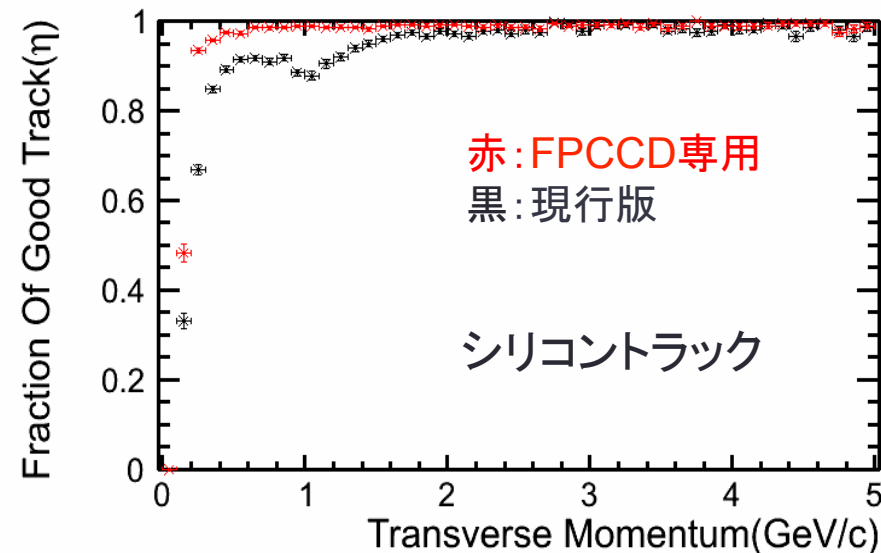
VXDヒット ≥ 6 && SITヒット ≥ 4 を生成するMCParticleの数

参考 : 到達に必要な P_T

TPCの内径 : $> 0.4 \text{ GeV}/c$

TPCの外径 : $> 1.8 \text{ GeV}/c$

サンプル: $t\bar{t}$ @ 350 GeV



Fullトラックが $0.6 \text{ GeV}/c$ まで再構成率 $\sim 99\%$ を維持

FPCCD専用トラックファインダーのパフォーマンス

高品質トラック再構成率 : $\eta \equiv$

VXDヒット数 ≥ 5 && ヒットの純度 $> 75\%$ を満たすトラックの数

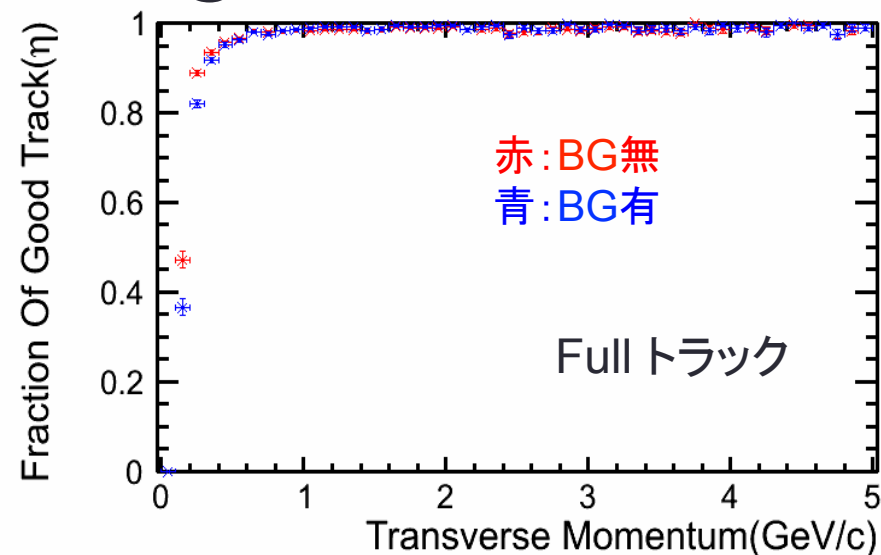
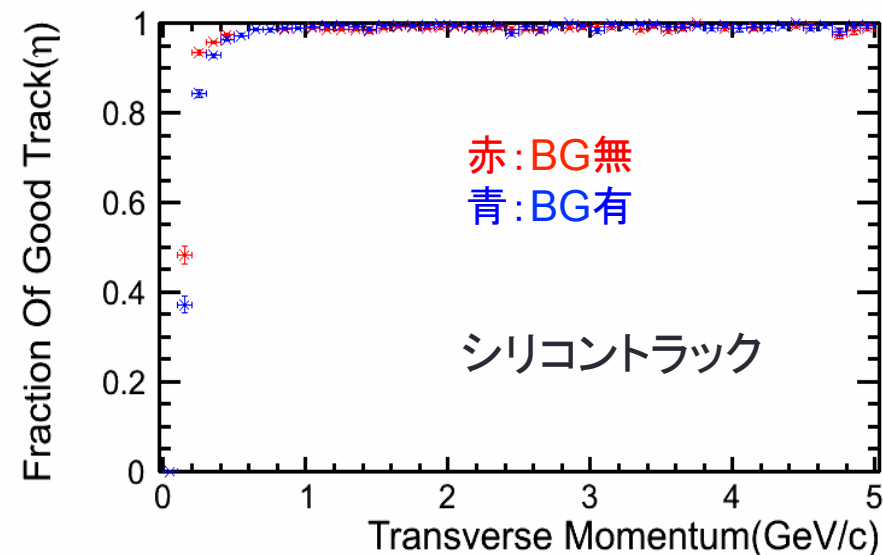
VXDヒット ≥ 6 && SITヒット ≥ 4 を生成するMCParticleの数

参考 : 到達に必要な P_T

TPCの内径 : $> 0.4 \text{ GeV}/c$

TPCの外径 : $> 1.8 \text{ GeV}/c$

サンプル : $t\bar{t}$ + pair BG @ 350 GeV



再構成率は $0.6 \text{ GeV}/c$ まではほぼ悪化しない

フレーバータグ性能評価

フレーバータグ性能評価 セットアップ

フレーバータグとは

→再構成された崩壊点の数と質量からクォークの識別をする

MCサンプル : $Z \rightarrow bb, cc, qq$ ($q : u, d, s$) @ 91.2GeV

Efficiencyの定義 :
$$\frac{\text{Signal jet数 (True jetが正しく識別された数)}}{\text{True jet数}}$$

Purityの定義 :
$$\frac{\text{Signal jet数}}{\text{Signal jet数} + \text{Noise jet数}}$$

崩壊分岐比の仮定 :

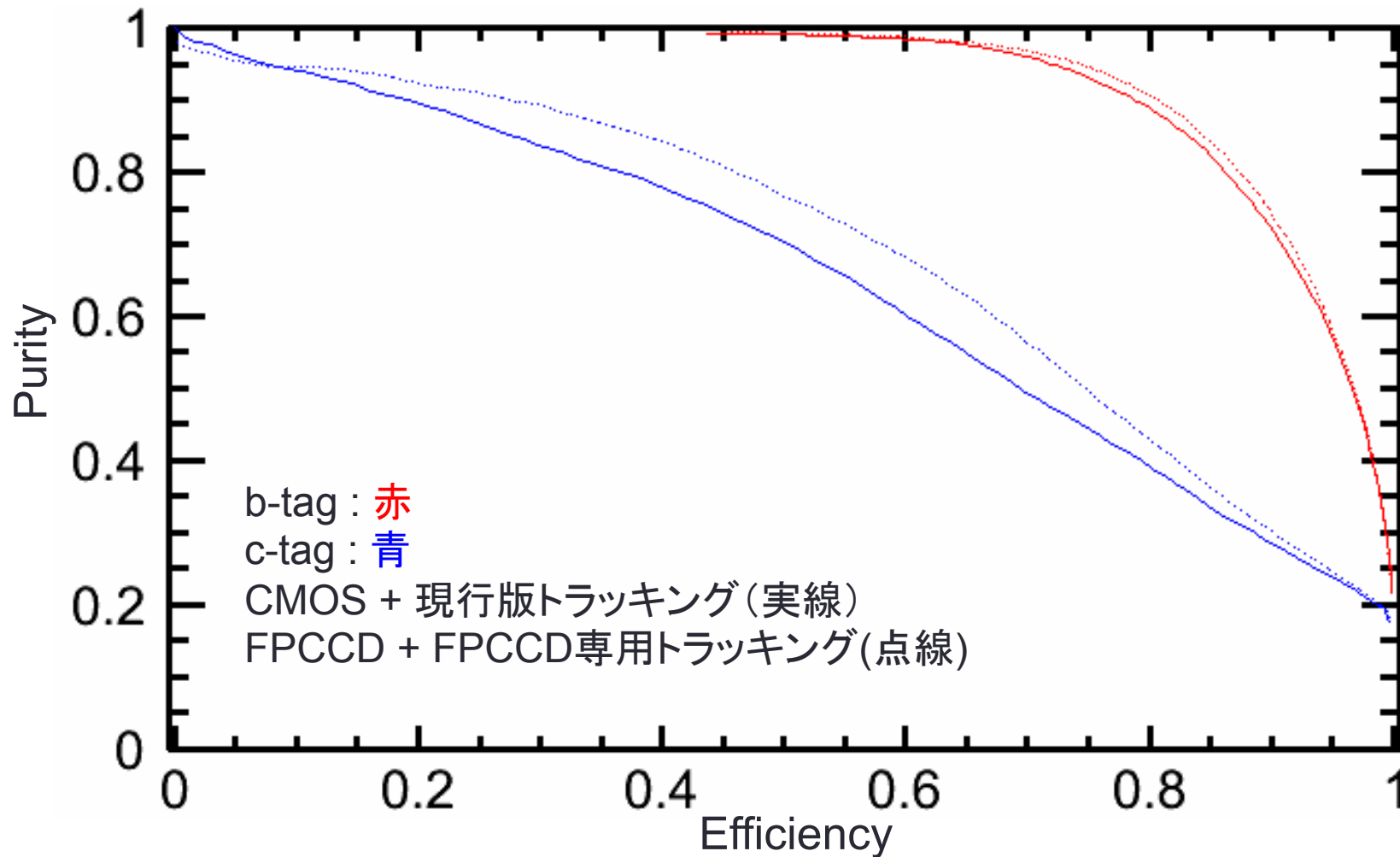
→Purityを評価するために必要

$$\text{BF}(Z \rightarrow bb) = 0.1512$$

$$\text{BF}(Z \rightarrow cc) = 0.1203$$

$$\text{BF}(Z \rightarrow qq) = 0.428$$

フレーバータグ性能評価



FPCCD +
FPCCD専用トラッキング



b-tag : purity 90%でefficiency 2% Up
c-tag : purity 70%でefficiency 7% Up

まとめと今後

◆まとめ

- FPCCD専用トラックファインダーを開発中
 - 現段階での高品質トラック再構成率を評価した
 - ▶ 現行版に比べLow P_T 領域で改善
 - 現段階でのフレーバータグの性能を評価した
 - ▶ 現行版に比べフレーバータグ精度は改善

◆予定

- 引き続きFPCCD専用トラックファインダーの開発 (Low P_T 領域の高品質トラック再構成率 → 改善)
- フレーバータグの最適化
- $e+e^- \rightarrow ZH$ における $H \rightarrow bb, cc, gg$ のフレーバータグの性能評価
- Pair BGを考慮したフレーバータグの性能評価

Appendix

Appendix : A

トラックシード生成に使うレイヤーの組み合わせ

レイヤーID	衝突点からの距離(半径) [mm]	検出器の種類
0	16	VXD
1	18	VXD
2	37	VXD
3	39	VXD
4	58	VXD
5	60	VXD
6	153	SIT
8	300	SIT

現行のスタンドアロン・シリコントラッキング

8 6 5 8 6 4 8 6 3 8 6 2

8 5 3 8 5 2 8 4 3 8 4 2

6 5 3 6 5 2 6 4 3 6 4 2

6 3 1 6 3 0 6 2 1 6 2 0

5 3 1 5 3 0 5 2 1 5 2 0

4 3 1 4 3 0 4 2 1 4 2 0

(計24通り)

FPCCD専用トラックファインダー

8 6 5 8 6 4 8 5 4 6 5 4

5 4 3

(計5通り)

Appendix : B

トラックシードのサーチエリアの ϕ 幅の決め方

FPCCD専用トラックファインダー

8 6 5 8 6 4 8 5 4 6 5 4

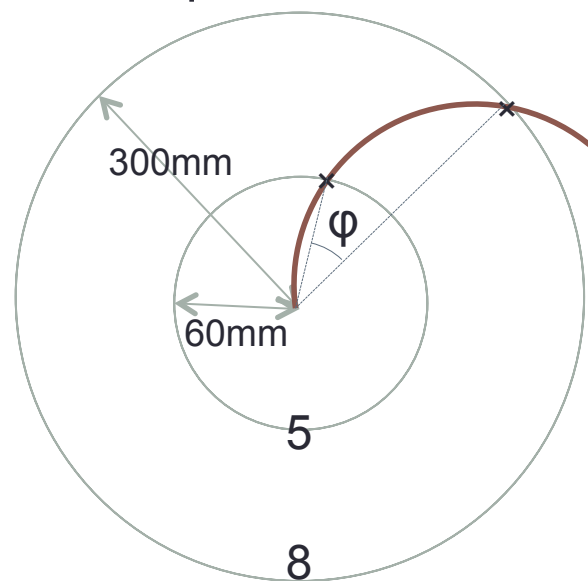
5 4 3

(計5通り)

例 :

8 6 5の組合せでトラックシードを作る場合、 $P_T = 0.18 \text{ GeV}/c$ の円弧と8,5のレイヤーとの交点から ϕ 幅を決定

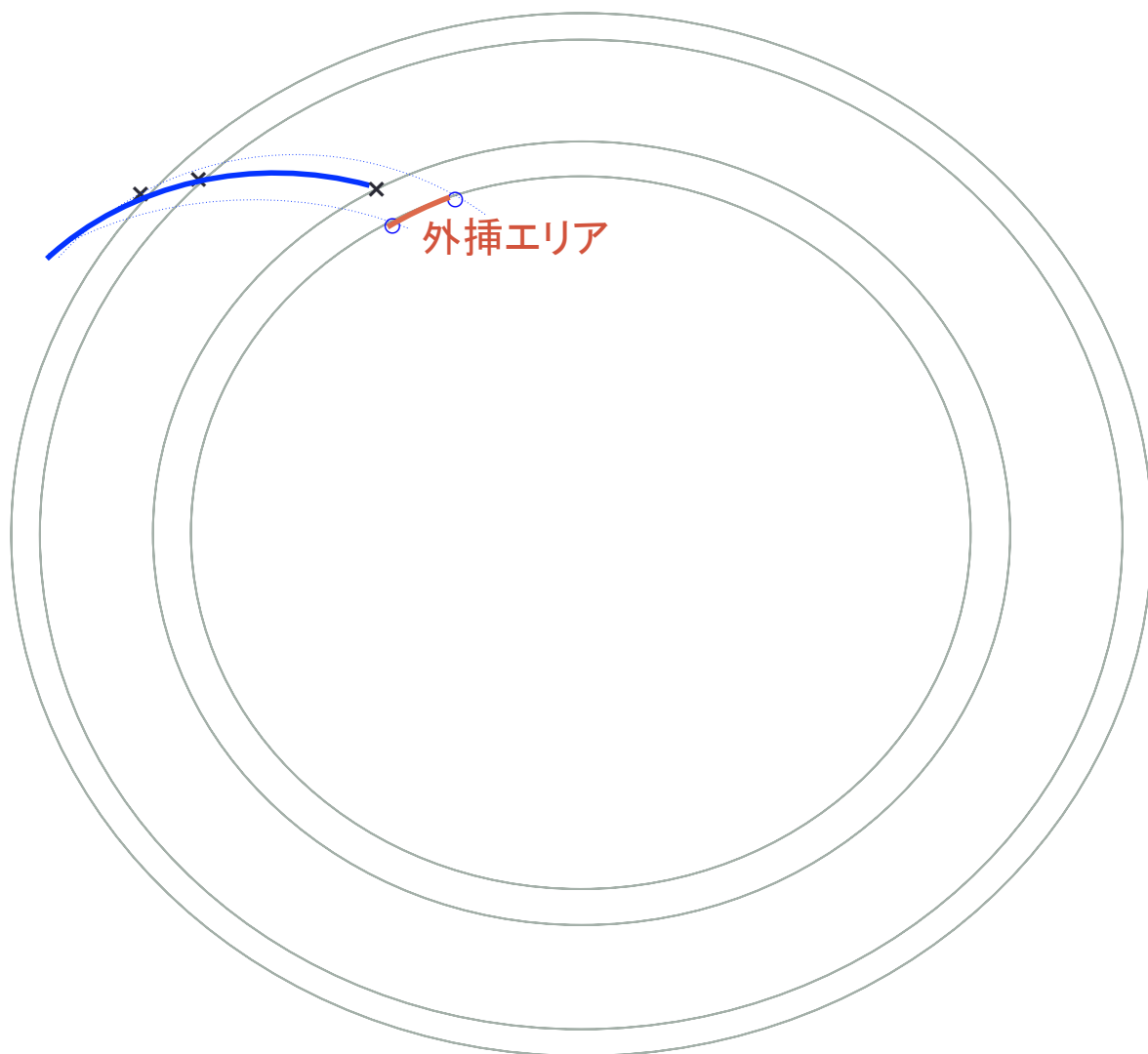
レイヤーID	衝突点からの距離(半径) [mm]	検出器の種類
0	16	VXD
1	18	VXD
2	37	VXD
3	39	VXD
4	58	VXD
5	60	VXD
6	153	SIT
8	300	SIT



Appendix : C

外挿処理における外挿エリアの決め方

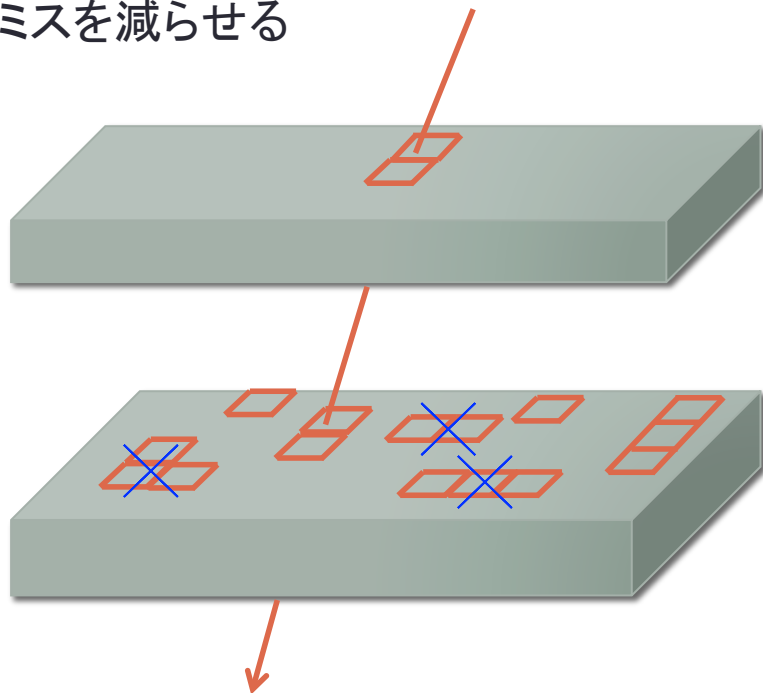
トラックパラメターの
 d_0 , z_0 , ω とその誤差
から外挿範囲を決める



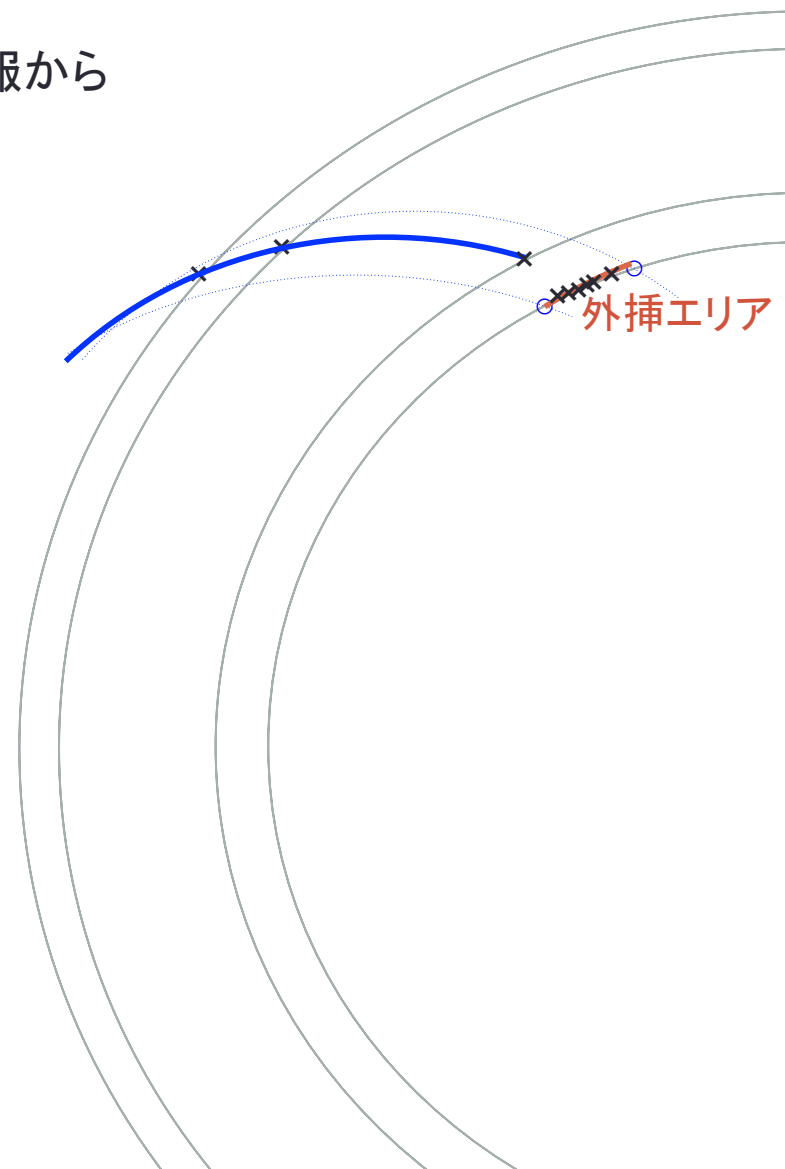
Appendix : D

クラスターの情報を活かした外挿処理

外挿エリアに多数のヒットがある場合、クラスターの情報から外挿ミスが減らせる



外挿候補のクラスターの内、トラックシードのクラスターと内積をとり、0.4以下のものは候補からはずす



Appendix : E

トラック結合処理における致命的なバグの除外

- トラックとトラックを結合する条件(現行版)
 1. トラックパラメターの Φ_0 , $\tan\lambda$ の値がほぼ同じ
 2. 2つのトラックを結合してシンプル・ヘリックスフィットしたとき、その chi^2/ndf の値が十分小さい
- バグの内容
 - 条件1は曲率が大きく異なる間違った組合せでもクリアしてしまう
 - 大きく異なる組合せのトラックをシンプル・ヘリックスフィットした場合、本来なら chi^2/ndf の値が非常に大きい値を返す or エラーの報告があるはずだが、現行版では $\text{chi}^2 = 0$ を返す。このため chi^2/ndf が十分小さいとみなされてしまい、間違ったトラック同士が結合するという事が起きていた
- バグの修正内容
 - 条件1はそのまま
 - フィット結果で $\text{chi}^2 = 0$ の時はフィットエラーとみなして結合しないことにした