



FPCCD Vertex Detector Performance Estimation

B workshop 11/7
Tohoku University
M1 Tatsuya Mori

目次

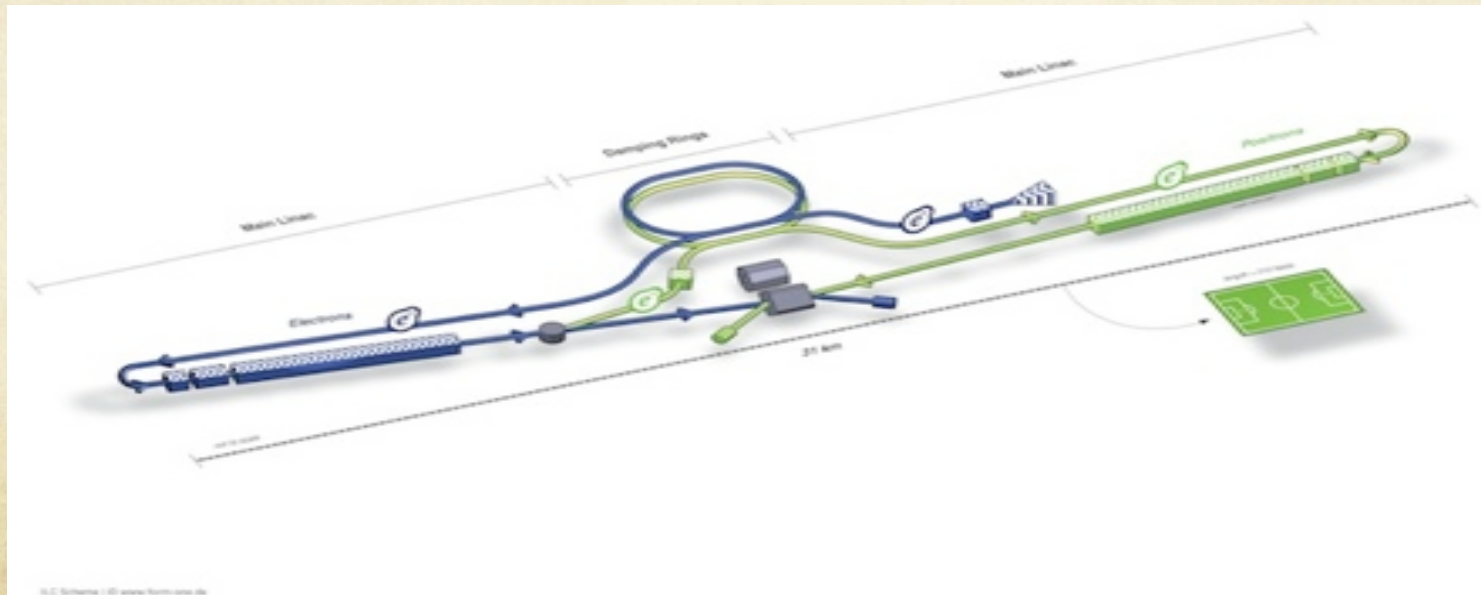
- Introduction to FPCCD Performance Estimation
- Occupancy Estimation in FPCCD
- Estimation of “Impact Parameter Resolution”
in FPCCD

Introduction to FPCCD

Performance Estimation

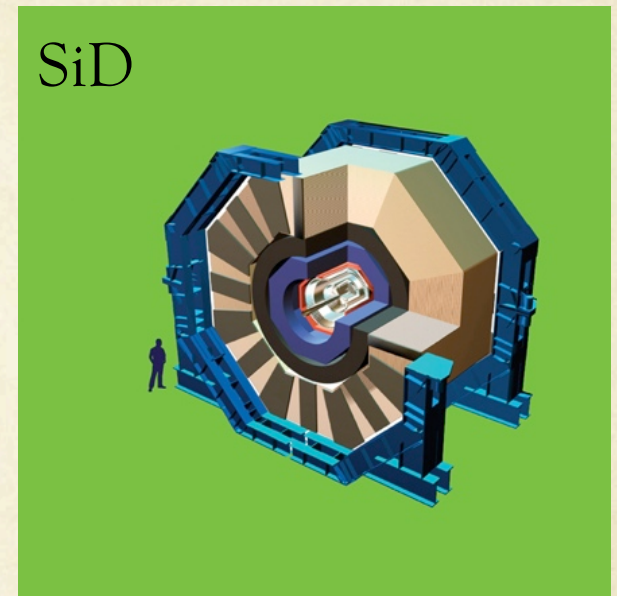
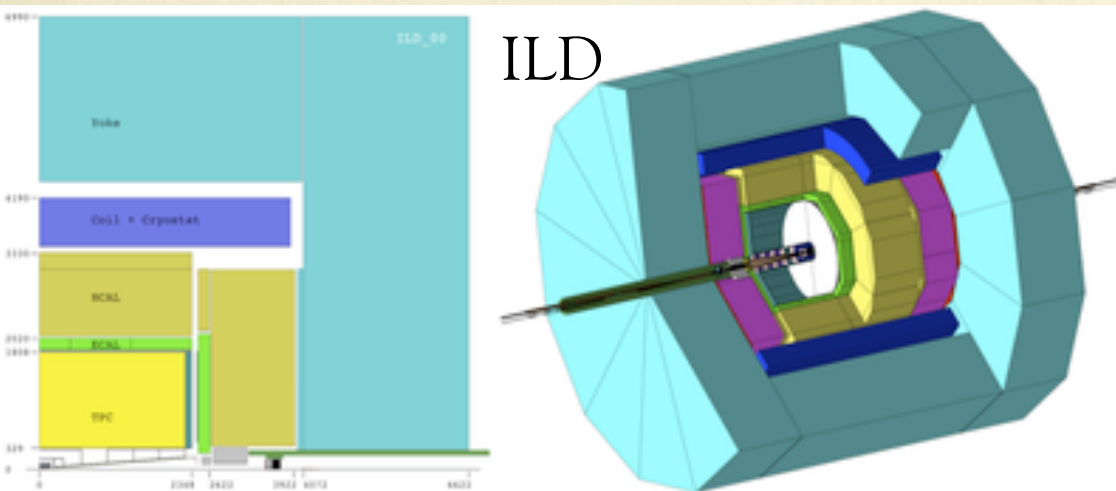
簡単なILCの紹介

- International Linear Collider、将来計画。
- $e+e$ コライダーで最大重心系エネルギーは500GeV、アップグレードで1TeVまであがる予定。
- 主に**Higgsの精密測定が目的。**
(Dark Matter、SUSY探索にも期待できる性能)



ILCの検出器、ILDとSiD

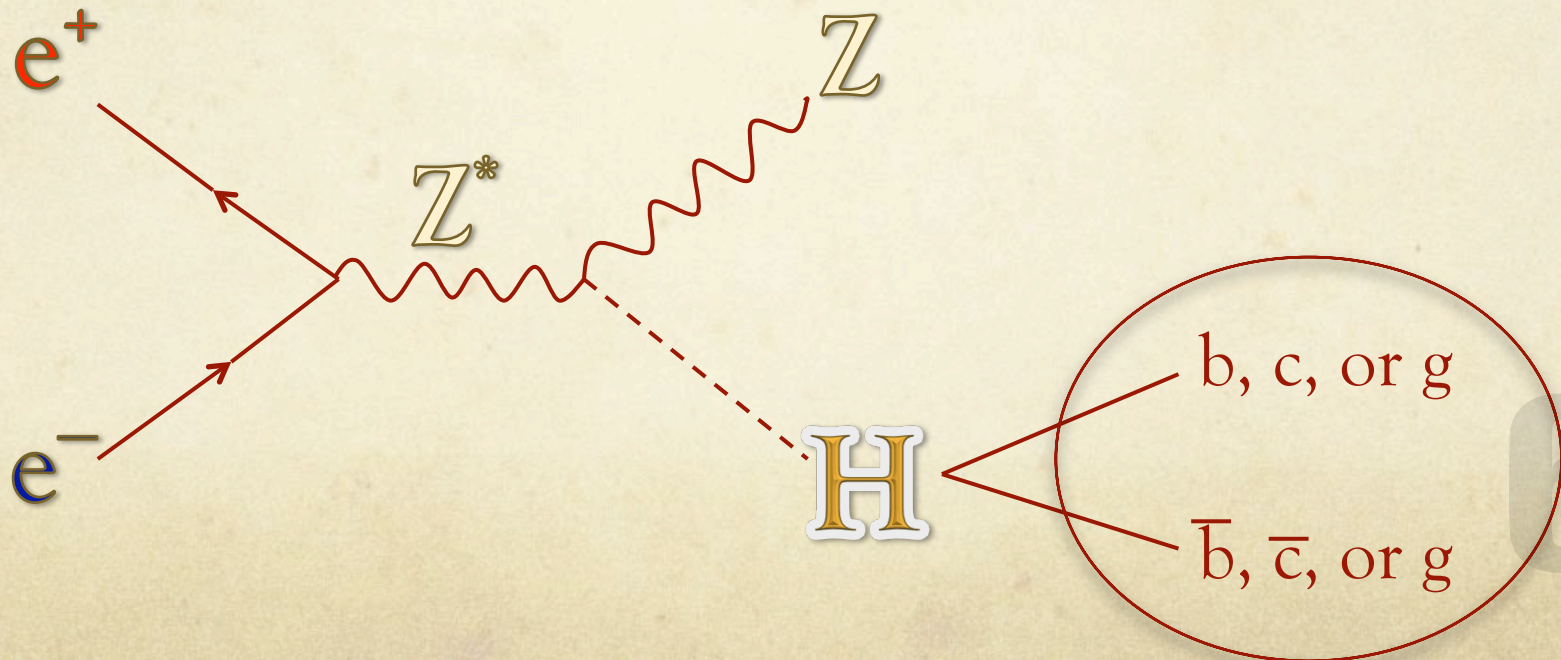
- ILCでは現在2つの検出器モデル、ILDとSiDが候補になっています。



当発表ではILDモデルを前提に話をさせていただきます。

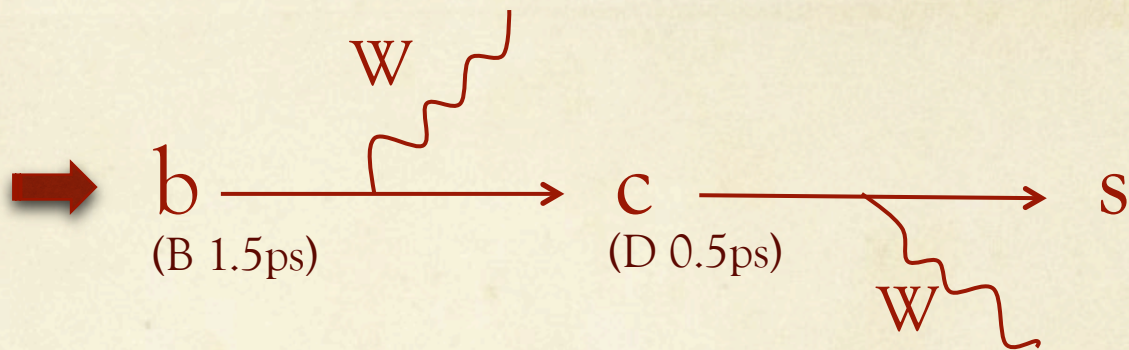
ILCでの主なHiggs生成過程

- $H \rightarrow 125\text{GeV}$
 - $Z \rightarrow 91\text{GeV}$
- 216GeV \rightarrow ILCなら直接生成できる。
レプトンコライダー
なのでクリーンな環境
で解析できる。



見たいHiggsの崩壊パターン

Higgsの結合定数の
測定のため、
このような状況を見つ
けたい...



これを識別するのに必要な情報...

1) **Vertexの数**

2) **Lifetime (or Flight Length)**

これらの情報を精度よく採取したい。

Vertex Detectorに
委ねる。

Vertex Detectorの要求性能

Occupancy

各レイヤー（有感層）毎に
約3%以内

Impact Parameter
Resolution

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

p は粒子の運動量[GeV/c]、 θ はビーム軸からの仰角

Vertex Detectorにおける”Occupancy”の定義：

$$\text{Occupancy} = \text{荷電粒子に反応するPixel数} \div \text{全Pixel数}$$

→Occupancyが低ければ低いほど
粒子の痕跡は埋もれにくい

Vertex Detectorの要求性能

Occupancy

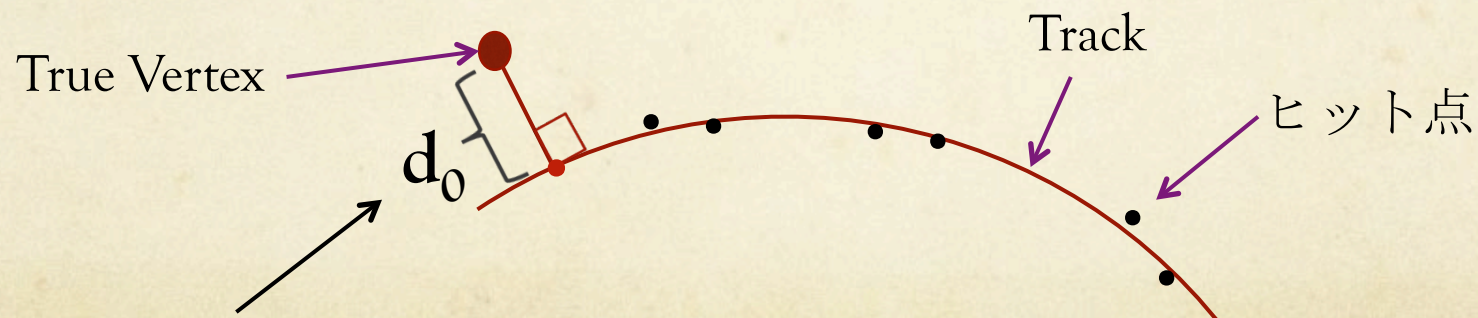
各レイヤー（有感層）毎に
約3%以内

Impact Parameter
Resolution

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

p は粒子の運動量[GeV/c]、 θ はビーム軸からの仰角

Vertex Detectorにおける”Impact Parameter”の定義：



TrackのTrue Vertexに最近接な点と、
True Vertexとの間の距離 d_0 をImpact Parameterという。

FPCCD Vertex Detector案

ILCのVertex Detectorの要求性能を満たすにはどのような設計にすればいいのか？



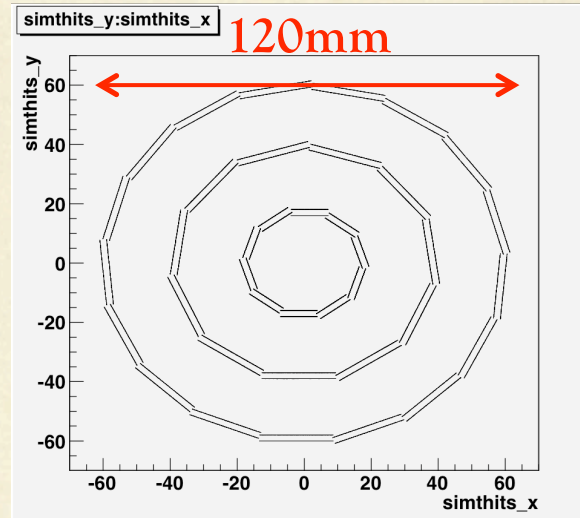
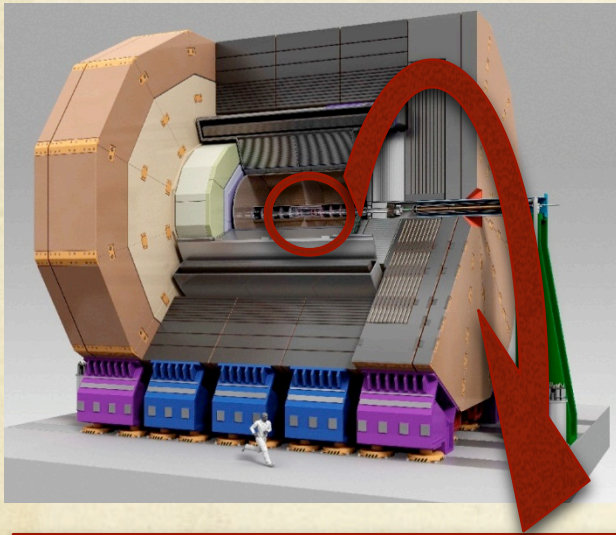
○ 日本では

FPCCD

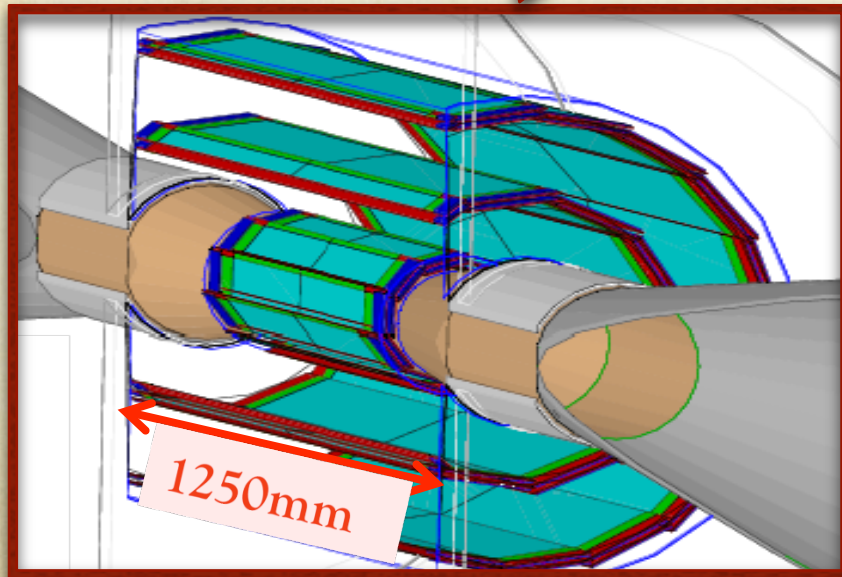
(Fine Pixel Charged Coupled Device)

を使ったVertex Detectorの研究が盛んに行われています。

FPCCD Vertex Detector スペック



- 直径120mm
- 長さ1250mm
- 6層(3×2)の有感層



- Pixel Size : $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$
- 全Pixel数 : 約10億個
- ただし1train毎に読み出す

Occupancyと
Point Resolutionの
性能が良さそうな予感

ILCにおける主なBackground

レプトンコライダーはクリーンな環境とはいえ、
Backgroundは無視できない。

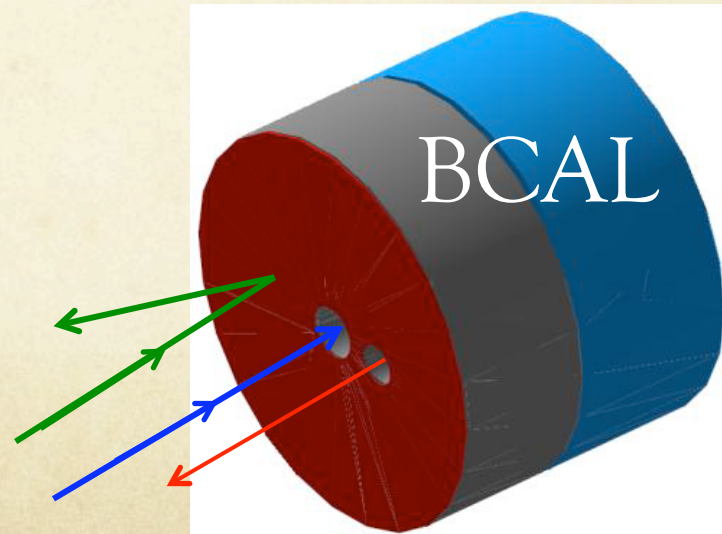
○ eepair Background

○ Beamstrahlungからの γ が対生成して生じる。

○ Backscatter

○ Beamの形状をモニターするCalorimeter(BCAL)から発生する。

入射ビーム
反対側のビーム
Backscatter



Simulation Setup

○ 今回シミュレーションで見積もったもの

①各レイヤー毎のOccupancy

BGデータ : $E_{cm}=500\text{GeV}$ 、 1TeV でシミュレートされたeepair、backscatterのデータ

②Impact Parameter Resolution

検定粒子 : μ^+ をVertex Detectorの中心から飛ばす。

BGデータ : 無し

どちらも**FPCCD Vertex Detector**の設定で見積もりました。

使用フレームワーク : ILCSoft v01-16 (<http://ilcsoft.desy.de/portal>)

(内訳 : Mokka, Marlin, FPCDDigitizer, FPCCDClustering等)

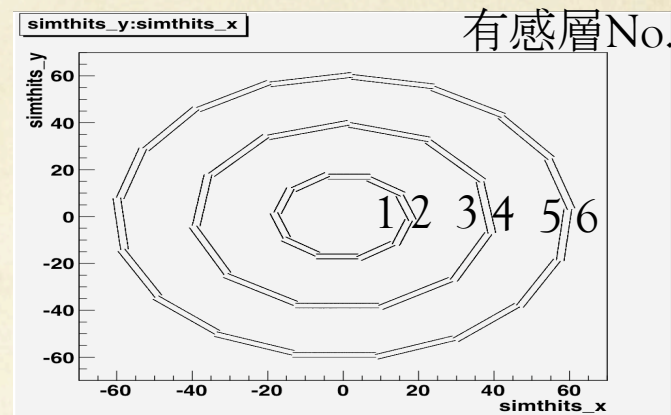
Occupancy Estimation in FPCCD

Occupancy見積り結果 with FPCCD

500
GeV

有感層No.	Occupancy(%)		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	2.772	1.083	1.689
2	1.557	0.684	0.874
3	0.047	0.042	0.005
4	0.040	0.032	0.008
5	0.009	0.007	0.002
6(最外)	0.008	0.005	0.003

500GeVは問題ない！
ee→ZHは十分可能



1 TeV

有感層No.	Occupancy(%)		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	19.626	5.144	14.482
2	10.446	3.141	7.305
3	0.241	0.180	0.060
4	0.204	0.148	0.056
5	0.047	0.033	0.014
6(最外)	0.046	0.029	0.017

1TeV は問題あり。
1TeVの物理を探るには
このままだと厳しい。

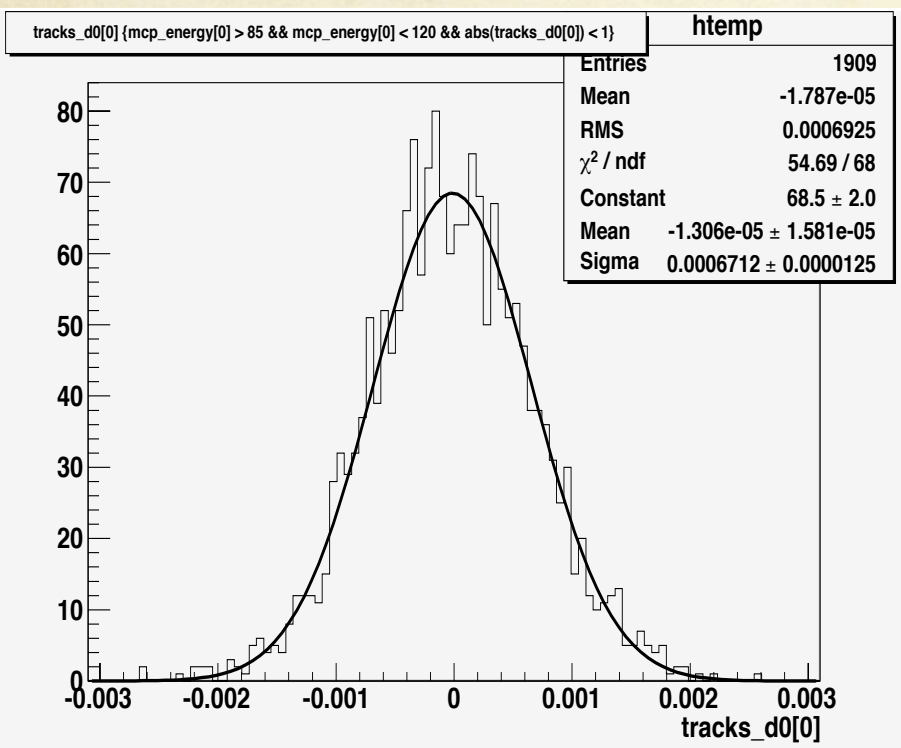
→B.S.の影響が大きいので
対策が必要。現在検討中。

Estimation of
“Impact Parameter Resolution”
in FPCCD

Impact Parameter Resolutionの 算出方法

- μ^+ をVertex Detectorの中心から飛ばして
Impact Parameter のd0を測る。それを何度も繰り返す。

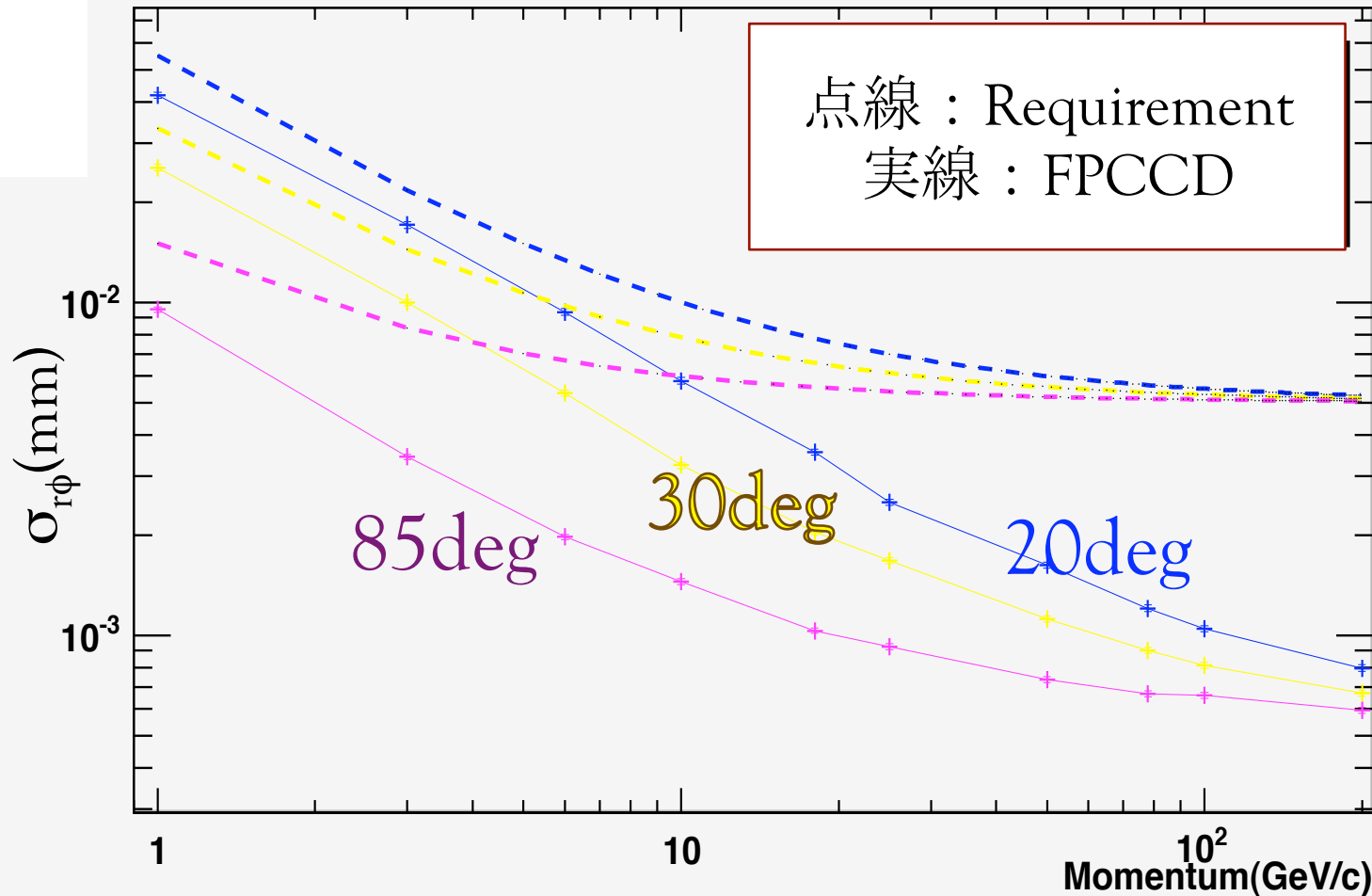
ある程度サンプルが溜まったらガウシアンフィット。



この σ を
Impact Parameter Resolution
とします。
以後、 $\sigma_{r\phi}$ と表記

Requirement VS FPCCD

IPReso distribution. ~ Requirement VS FPCCD all5um ~

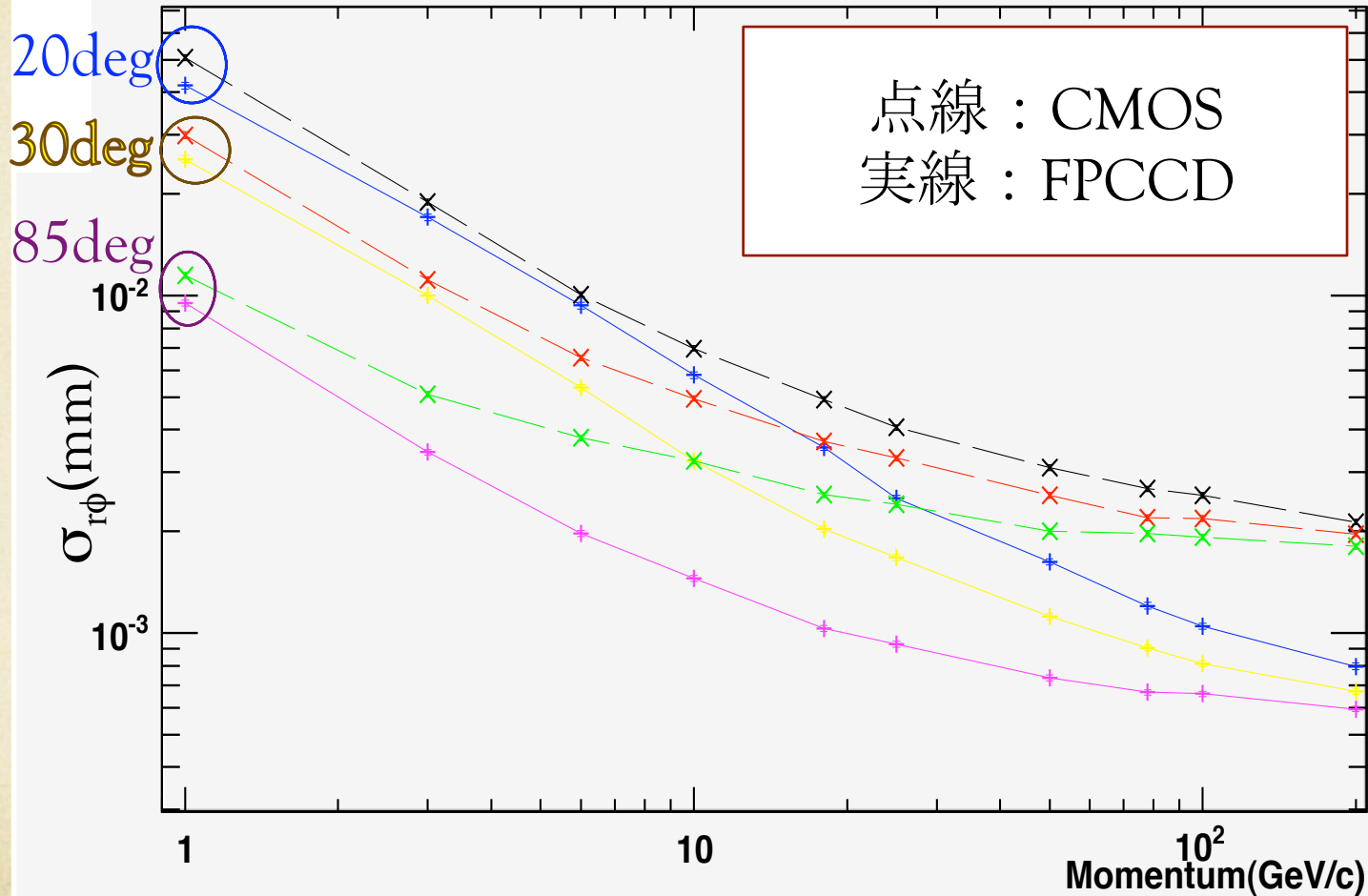


FPCCDは要求性能を十分満たす。

CMOS VS FPCCD

* 有感層の案としてFPCCDの他に、CMOS等があります。

IPReso distribution. ~ CMOS VS FPCCD all5um ~



ResolutionはFPCCDのが高い。

こんなに高性能なら・・・

by FPCCD読み出し回路の開発者、KEKの杉本さん

- 余裕で $\sigma_{r\phi}$ の条件クリア。それなら少し性能を落として読み出し回路の消費電力を下げたい！！

Pixel size (1 st ,2 nd layer)	Pixel size (other outer layer)	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

有感層の大きさは変更しないとして、
Pixel size : **大** ならば 全pixel数 : **減**
∴消費電力がさがる。

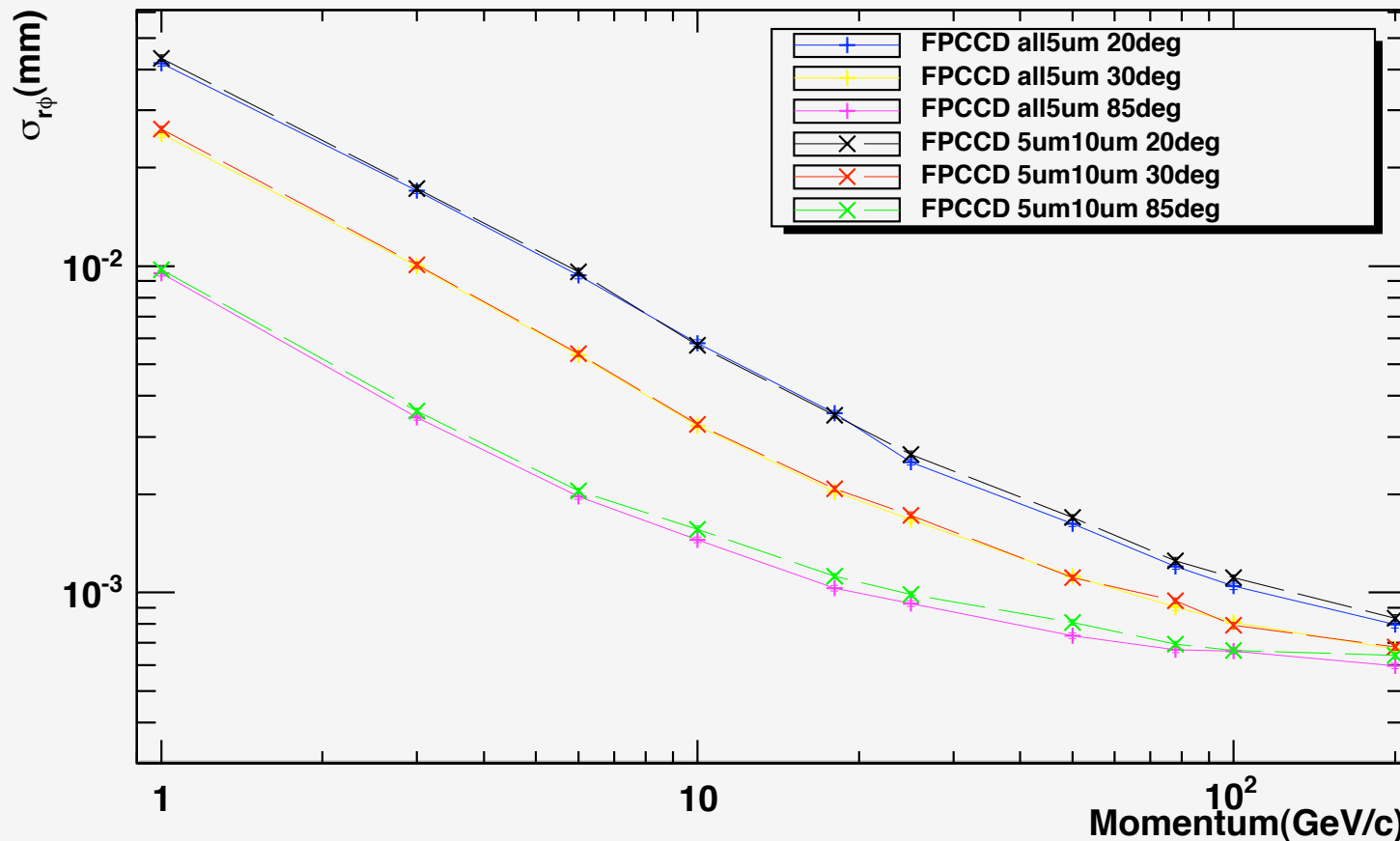
→ このセッティングで $\sigma_{r\phi}$ が致命的に悪くならなければこの数値は魅力的。

このセッティングで見積もりました。

*杉本さんの消費電力の見積り、一部抜粋。
詳細はAppendixへ

All5um VS 5um(内)10um(外)

IPReso distribution. ~ FPCCD 5um10um VS FPCCD all5um ~



ほとんど同じ！ どうやら内側2層が $\sigma_{r\phi}$ に効くようです。
5um10umのセッティングも有力候補になりました。

Pixel Size 10um の Occupancy

- しかし、5um 10um の場合、外側 4 層の有感層の Pixel Size は 10um なので Occupancy が悪化する。
 - よって Occupancy < 約 3% に収まるか、が問題。

FPCCD の Pixel を全て 10um にしたときの Occupancy 見積り結果

有感層 No.	Occupancy (%)		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	19.626	5.144	14.482
2	10.446	3.141	7.305
3	0.241	0.180	0.060
4	0.204	0.148	0.056
5	0.047	0.033	0.014
6(最外)	0.046	0.029	0.017

1TeV、Pixel 5 μ m



有感層 No.	Occupancy (%)		
	all	eepair	backscatter
1(最内)	44.061	11.564	32.497
2	23.568	7.089	16.479
3	0.546	0.406	0.140
4	0.460	0.332	0.129
5	0.107	0.075	0.032
6(最外)	0.104	0.064	0.039

1TeV、Pixel 10 μ m

全く問題ない。

まとめ/今後

- ILCのVertex Detectorの有感層にFPCCDは適役
- FPCCDなら500GeVのBackgroundでシグナルが埋もれない(Occupancy 良)
- FPCCDならVertexを高精度で識別できる(Impact Parameter Resolution $\sigma_{r\phi}$ 最良)
- FPCCDのPixel Sizeのセッティングに内側2層5um、外側4層10umの選択肢が追加。(読み出し回路の要求性能を下げられる)

今後：現在BGを載せた状態でのImpact Parameter Resolutionと、Tracking efficiencyの見積りをしています。

Appendix : 用語解説

- Beamstrahlung : ビーム衝突の直前、大量の γ が発生する現象。Ecmが上がるとより γ が多く出る。
- Backscatter : 主に電子に起こりやすい現象。粒子検出器はイオンガスや液体シンチや半導体等を使い、荷電粒子の通過による電離により信号を得るが、運動量が低かったり、質量の小さい荷電粒子の場合、多重クーロン散乱の影響で進行方向が真逆になって検出器から出ていくことをいう。
- CCD : 主にカメラ等に使われる。Pixelに荷電粒子が通ると電荷が貯まり、その電荷量からEnergy Depositを計算する。CMOS案との違いは、ビーム衝突点におけるEMI(ElectroMagneticInterference)によるノイズに強いところ。CMOS案はコンデンサを用いて電圧のパルスを信号とするためEMIを拾ってしまう。。

Appendix : 消費電力の見積り詳細

○ Assumptions

Readout frequency	10 Mpix/s
Readout time	200 ms
Vertical shift time	40 us/line
Power consumption	15 mW/ch
Chip size (in/out)	11x62.5mm ² / 22x125mm ²
Number of chips (in/out)	40 (=10x2x2) / 112 (=11x17)x2x2)

○ Results

Pixel size (in)	Pixel size (out)	# of ch/chip (in)	# of ch/chip (out)	# of ch (total)	Power consumption
5 um	5 um	28	56	7392	111 W
5 um	6 um	24	39	5328	80 W
5 um	8 um	18	23	3296	49 W
5 um	10 um	15	15	2280	34 W
6 um	12 um	10	10	1520	23 W
6 um	6 um	16	32	4224	63 W

Previous estimation: Readout frequency = 12.5 Mpix/s