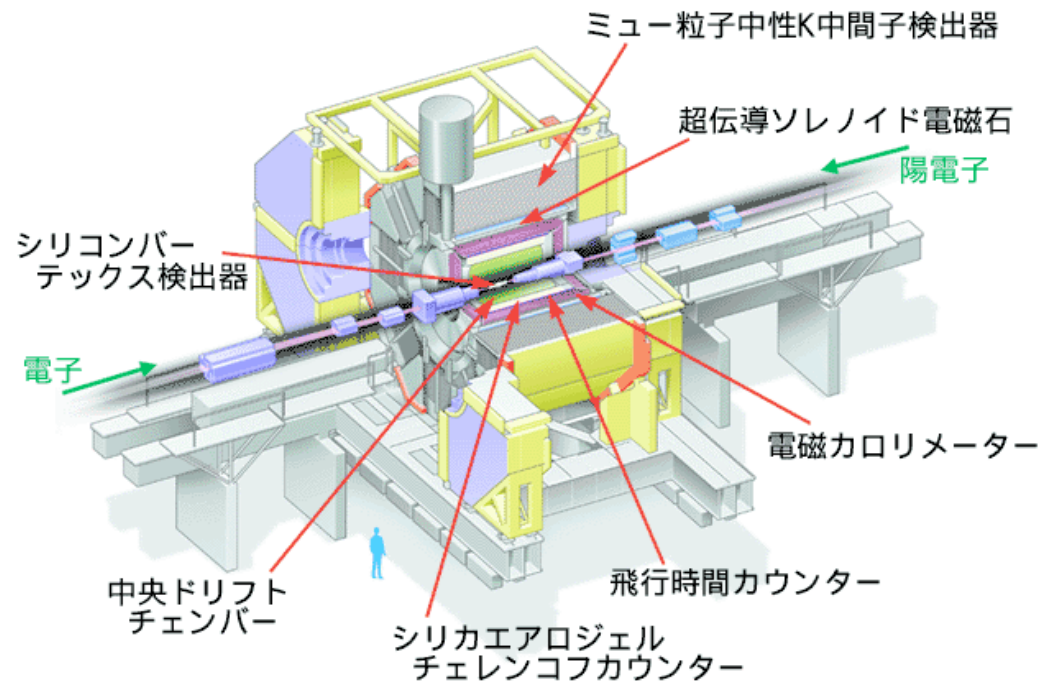


# Belle 検出器

## “Particle Detectors”

### Claus Grupen and Boris Shwartz”

齋藤智之

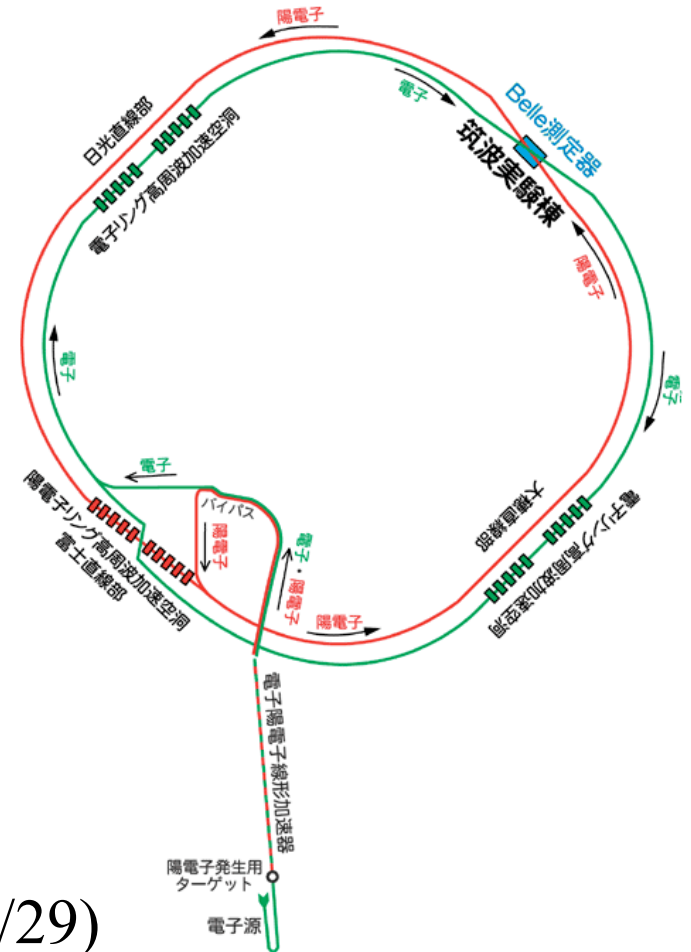


2010/05/20 Belle セミナー

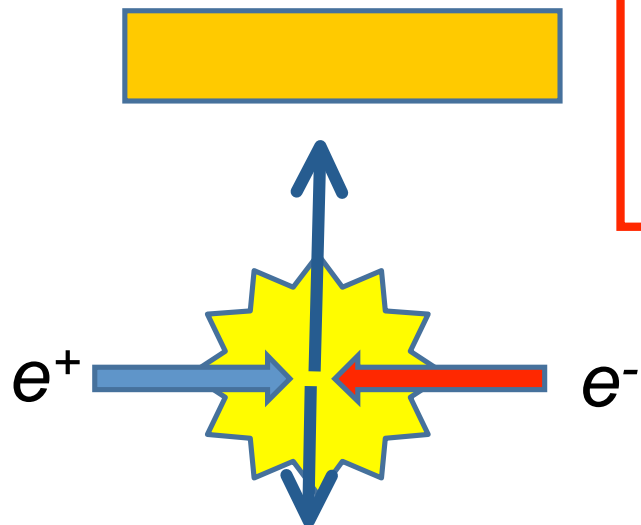
# KEKB

## 特徴

- ☛ Energy asymmetric  
( $e^-$  : 8 GeV,  $e^+$  : 3.5 GeV)
- ☛ B 中間子の崩壊に特化した設計  
⇒ CP-violation study
- ☛ 1周3km
- ☛ 世界初クラブ空洞導入
- ☛ Peak luminosity  
 $2.1083 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  (世界最高)
- ☛ Integrated luminosity  
 $1000\text{fb}^{-1}$  突破 (世界最高、2009/11/29)

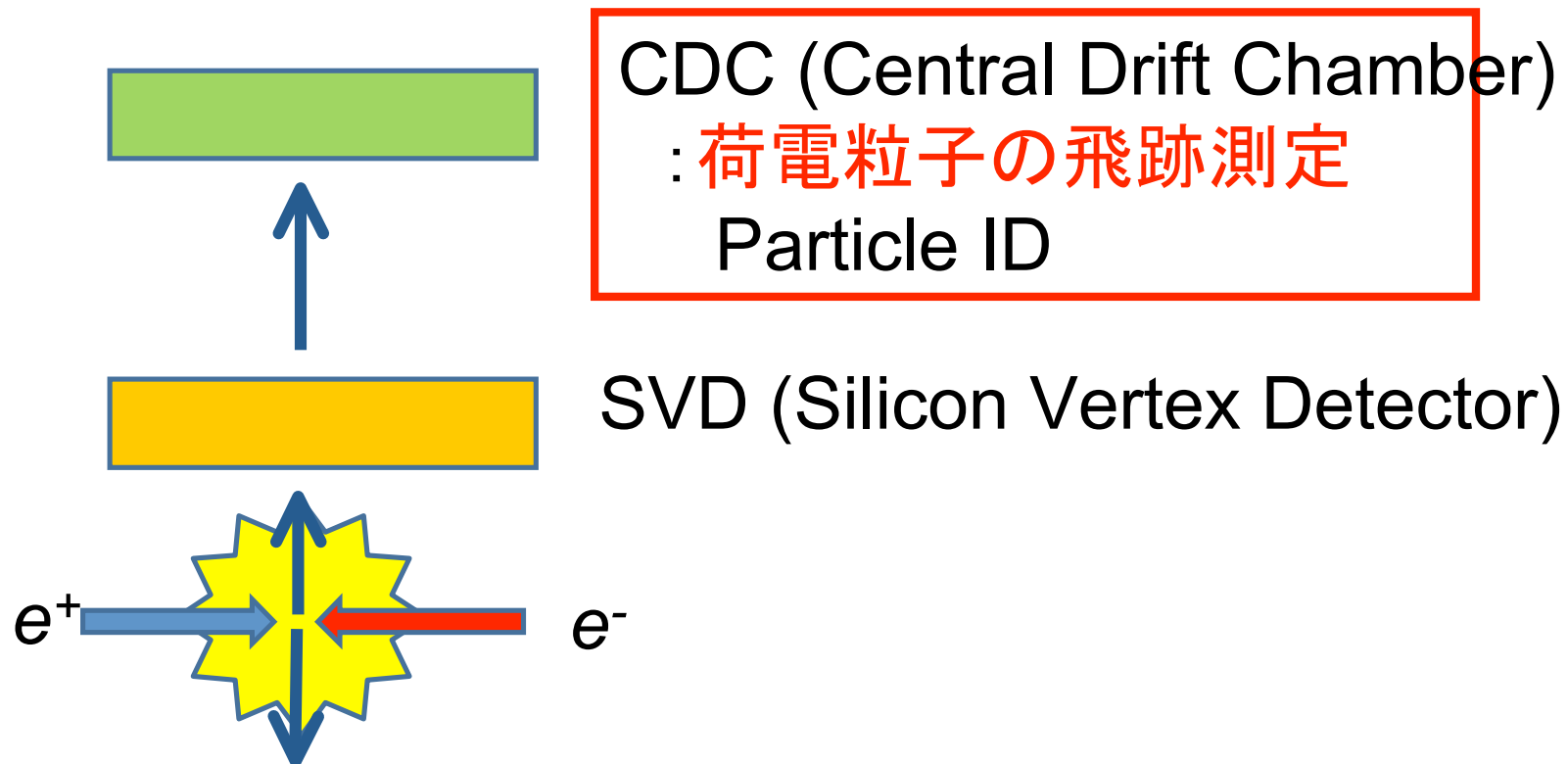


# Detector 概要 1/7

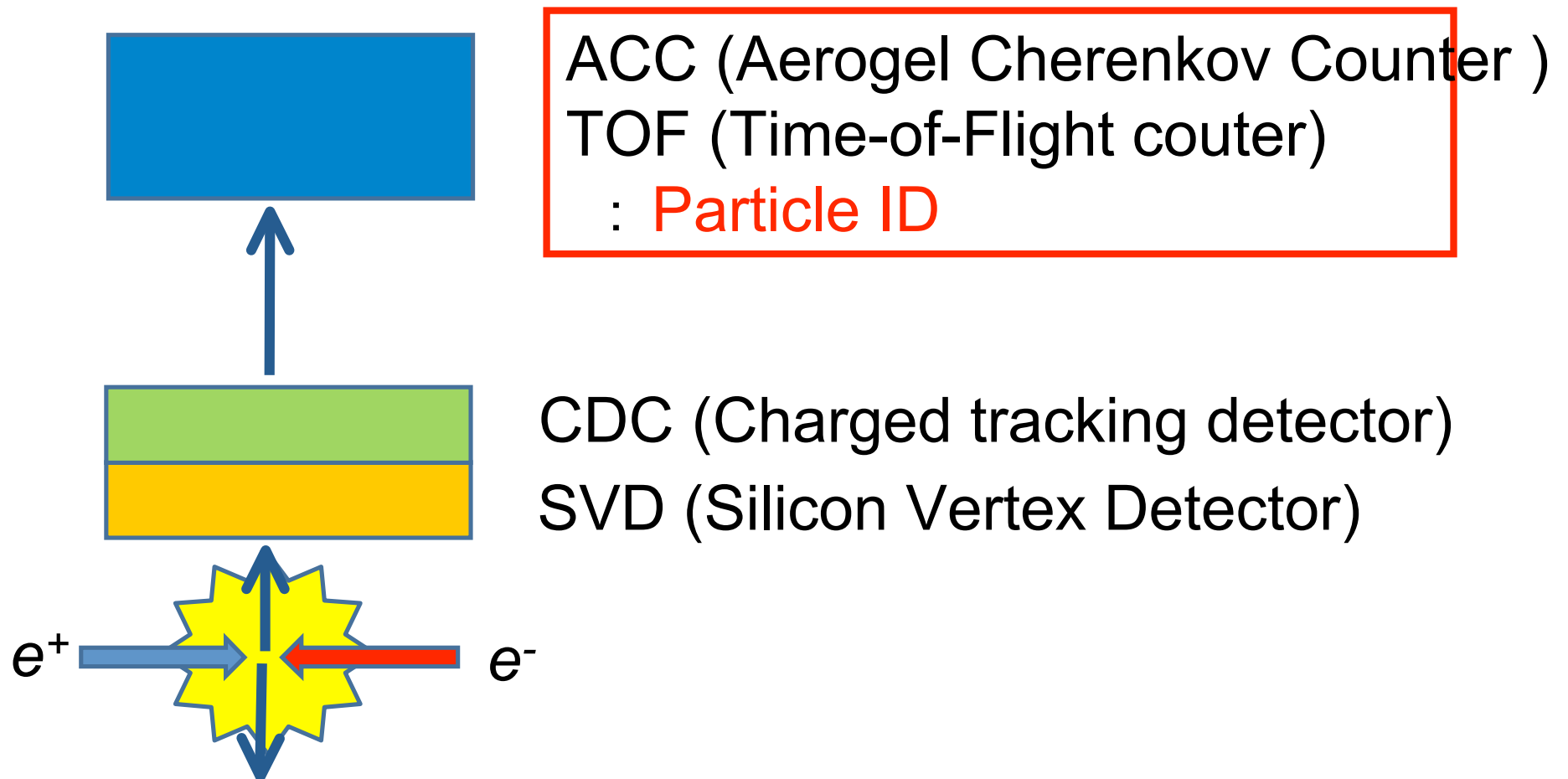


SVD (Silicon Vertex Detector)  
: B中間子の崩壊点測定  
Beam pipeのすぐ外側

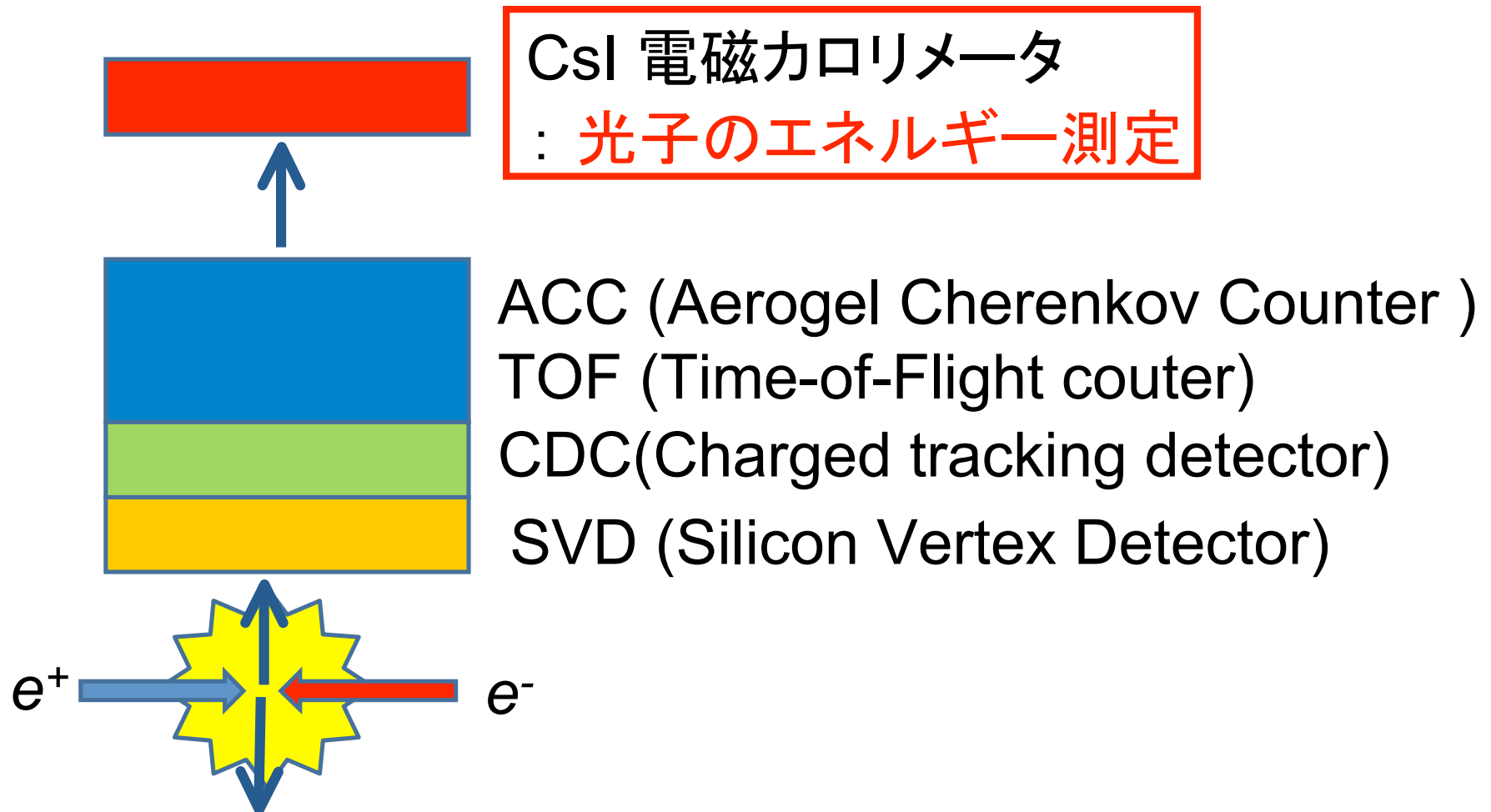
# Detector 概要 2/7



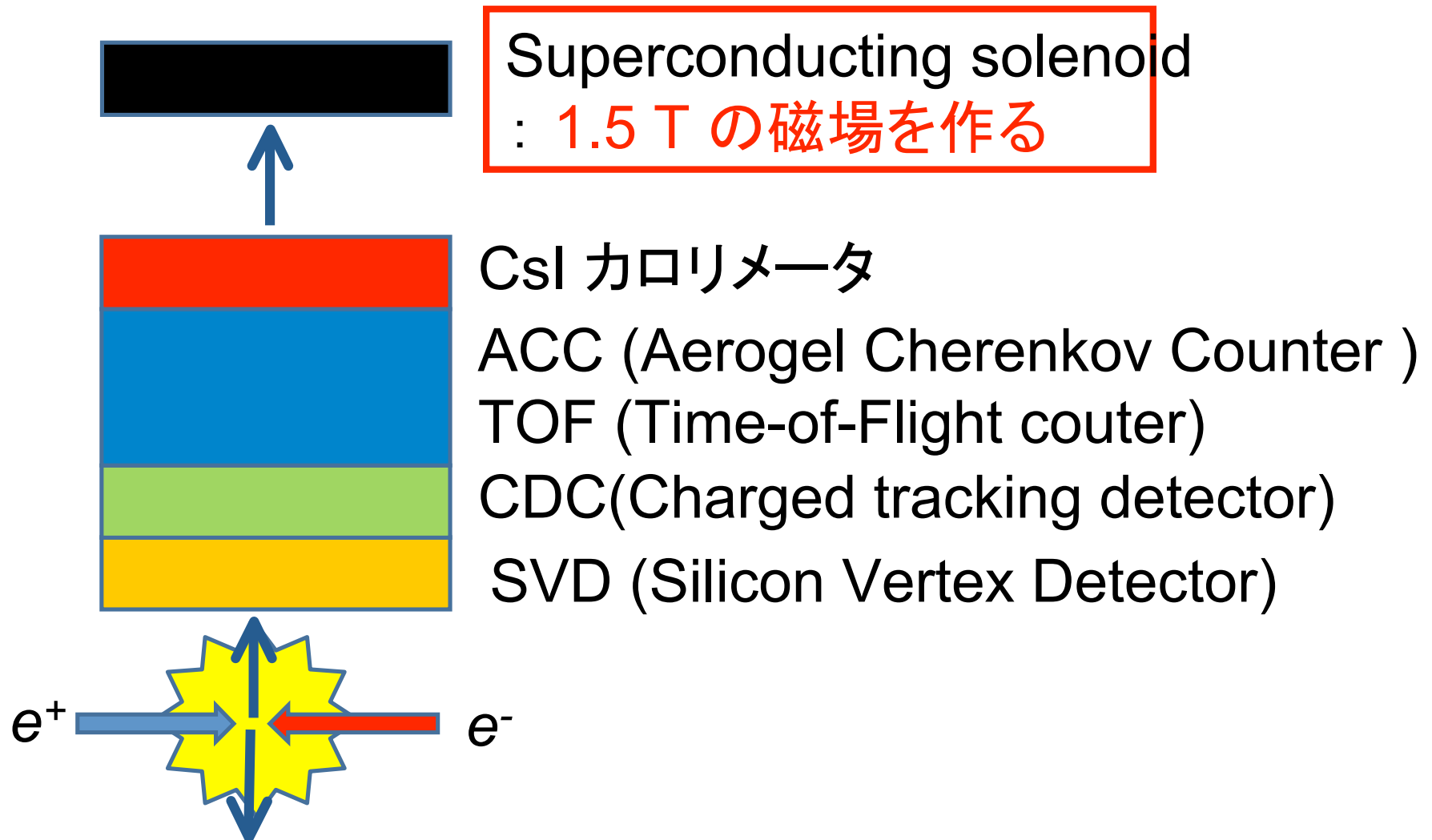
# Detector 概要 3/7



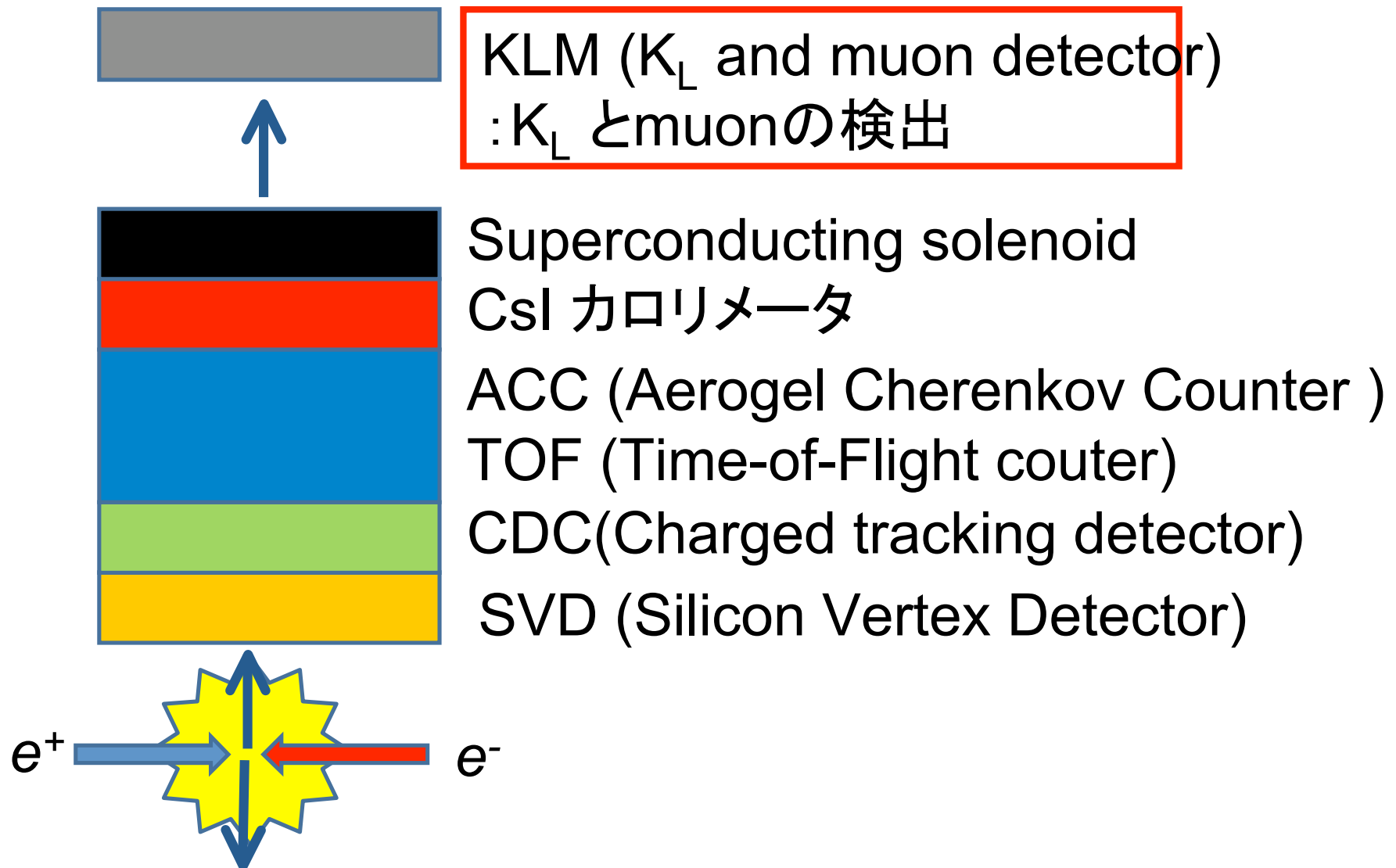
# Detector 概要 4/7



# Detector 概要 5/7

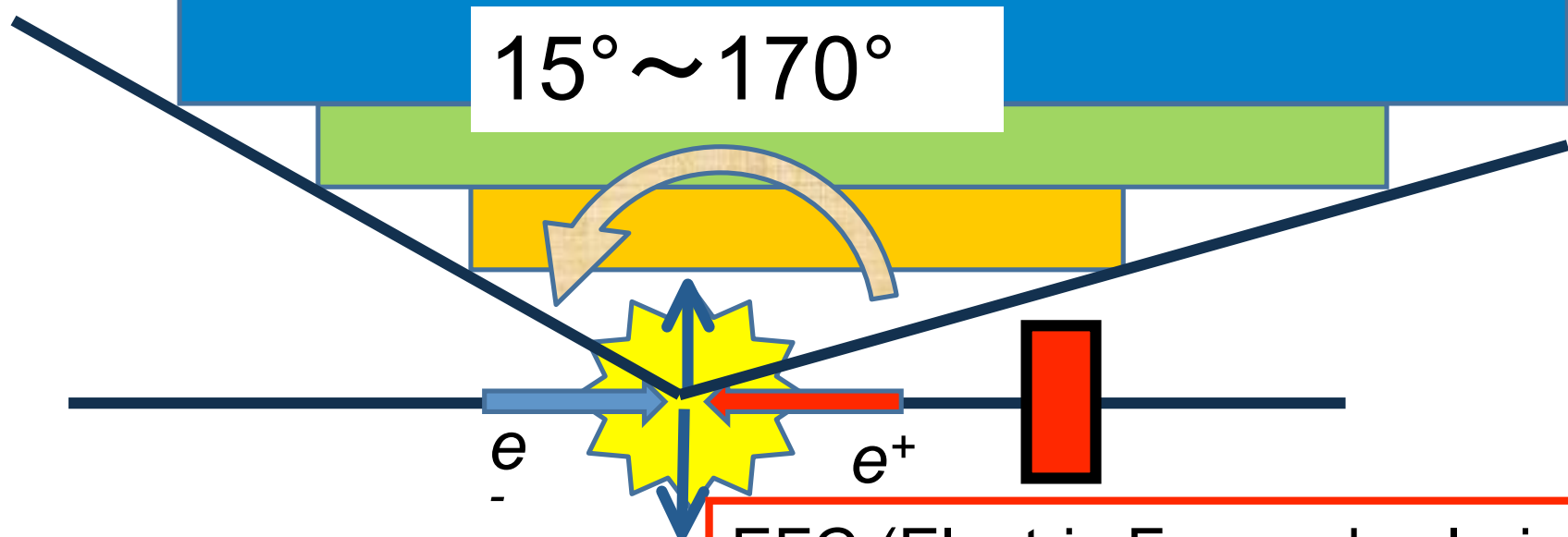


# Detector 概要 6/7





# Detector 概要 7/7



EFC (Electric Forward calorimeter)  
: 前方に飛んできた粒子のエネルギー測定

# Silicon Vertex Detector (SVD)

1/3

Belleで重要になるのは運動量 $\sim 1\text{GeV}$ の粒子  
⇒崩壊点の精度はmultiple Coulomb scatteringが効く

## SVDに求められること

### IPに近い

- ☛ 支持構造: 物質量のすくないもの、硬い
- ☛ 読み出し回路: 放射線耐性 → 200 krad/year  
ビームバックグラウンド → hitが多くなる

shaping time 短くしたい

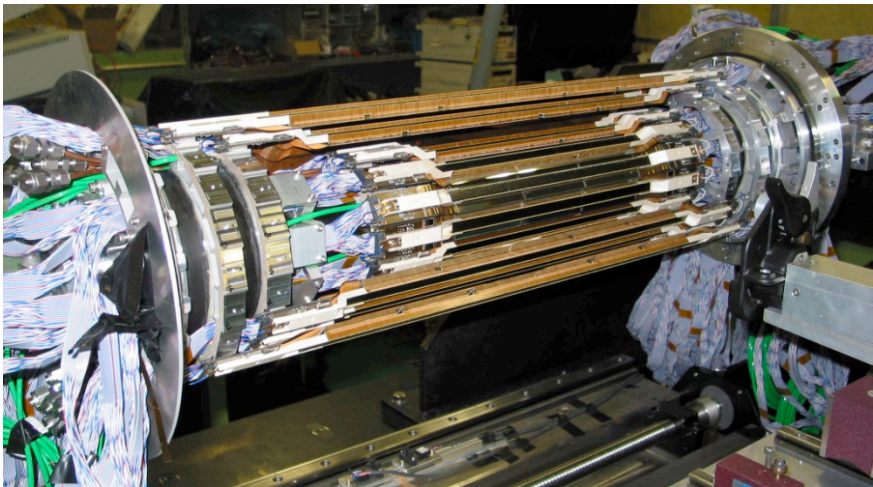
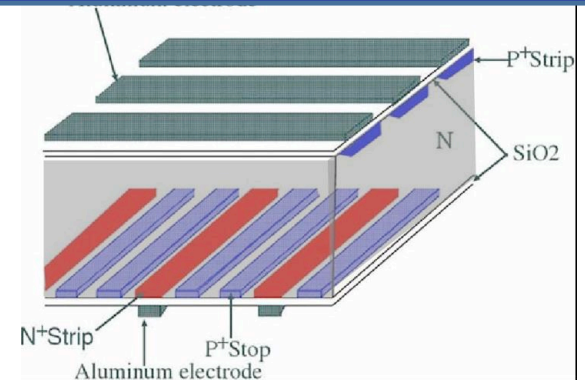


妥協点を探す

ノイズ減らしたい

# Silicon Vertex Detector 2/3

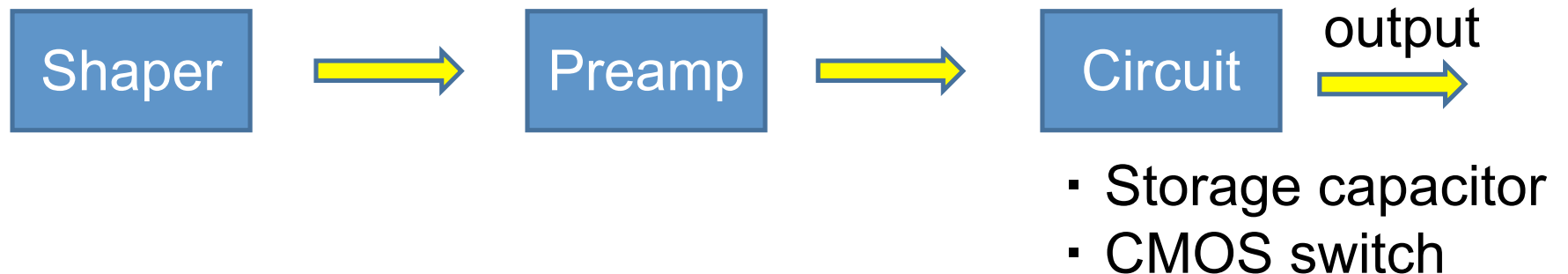
- ☛ 多重はしご構造
- ☛ 両面シリコンストリップ検出器
- ☛  $17^\circ < \theta < 150^\circ$
- ☛ 有感層の厚さ:  $300\mu\text{m}$
- ☛ ストリップのピッチ:  $75\mu\text{m}$  (p側)、 $50\mu\text{m}$  (n側)  
⇒ 位置分解能に相当



# Silicon Vertex Detector 3/3

## VA1TA 積分回路

- ☛ チップサイズ : 0.35
- ☛ 読み出しチャンネル : 128
- ☛ 放射線耐性 : 20 Mrad
- ☛ preampをそれぞれのチャンネルが持つ



# Central Drift Chamber (CDC)

1/5

## Geometry

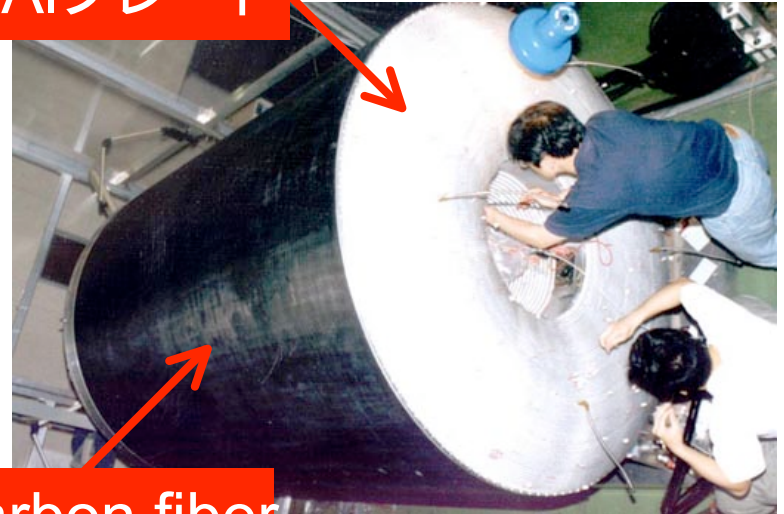
- ☛ z方向が非対称
- ☛ 半径：内側－102 mm, 外側－2400mm

## Chamber

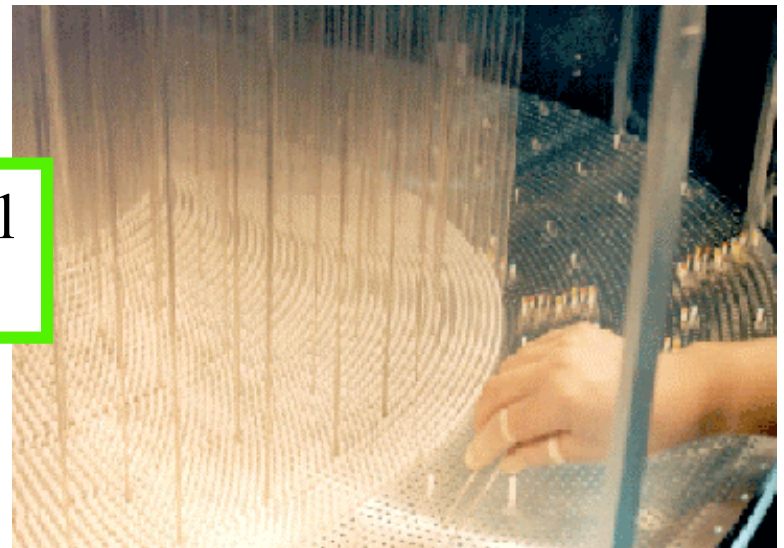
- ☛ Sense wire
  - Gold-plated tungsten
  - 直径 30  $\mu\text{m}$
- ☛ Anode (Field) wire
  - アルミニウム
  - 直径 126  $\mu\text{m}$
  - Axial wire 5本
  - Stereo wire 6本

Drift cell  
8400

Alプレート



Carbon fiber



# Central Drift Chamber (CDC)

## 2/5

### Low-Z gas

- ☛ multiple-Coulomb scattering抑制
    - 運動量分解能up
  - ☛ 成分 He: C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> = 1:1
    - エタンはdE/dxの精度がよい
    - Radiation length 長い(640nm)
    - 比較的低い電場でドリフト速度が飽和
- ⇒ calibration容易、performance安定、信頼

# Central Drift Chamber (CDC)

3/5

## Electronics

Preamp

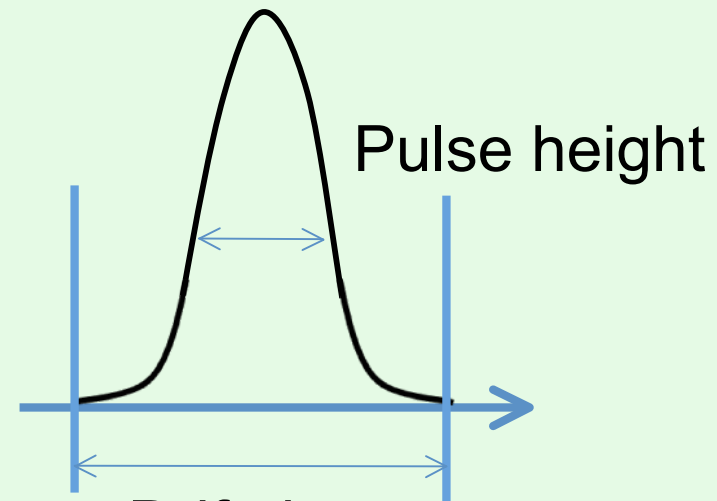
30m twisted  
pair-cable

Shaper  
-Discriminator  
-QTC module

## Shaper-Discriminator-QTC module

: 電荷を時間へ変換

シグナルを形作って識別



TDC/ADC 読み出しと同じ

# Central Drift Chamber (CDC)

## 4/5

### Spatial resolution Drift 距離の関数

- ⇒ Fig 13.5 (宇宙線で測定)  
2本のセンサーの真ん中を粒子が通ったとき  
精度が最もよい

### Momentum resolution Transverse momentum $P_T$ の関数

- ⇒ 式 13.3 (宇宙線muonで測定)
- 粒子の電荷によるsystematic errorなし
  - $e+e^- \rightarrow \mu+\mu^-$  で測定されたのは  
 $\sigma_{P_T}/P_T = (1.64 \pm 0.04)\%$  (4 ~ 5.2 GeV)



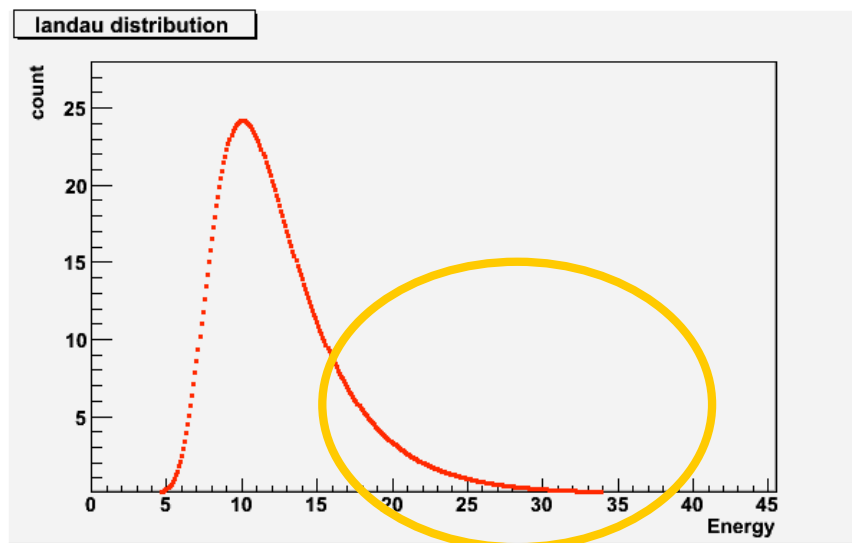
# Central Drift Chamber (CDC)

## 5/5

dE/dx measurement Particle IDに用いる

### Truncated-mean method

測定されたdE/dxのうち大きい方20%を捨てる  
⇒ 残った事象でエネルギーの平均をしてdE/dxを決定



ランダウ分布のtailの影響を小さくできる

測定結果  
dE/dx 精度: 7.8 %

# Aerogel Cherenkov-counter (ACC)

1/4

ACCとTOFはParticle IDに重要

ところでParticle IDとは？ ⇒ 粒子の質量測定

☞ 質量測定 = 運動量測定 + 速度測定

$$m = p \cdot \sqrt{\beta^{-2} - 1}$$

運動量測定

$$p[\text{GeV}/c] = 0.3 \cdot \rho[m] \cdot B[\text{Tesla}]$$

速度測定

- ① 飛行時間差法
- ② エネルギー損失法
- ③ **チェレンコフ法**

# Aerogel Cherenkov-counter (ACC)

2/4

チェレンコフ光: 荷電粒子の速度がその物質の光速を越えたときに出る光

## Geometry

- ☛ Barrel
  - 960のカウンターmodule ( $\phi$ 方向に60cell)
- ☛ Endcap
  - 228 module (同心の5層)



全てがIPの方向を向いている (図13.6)

# Aerogel Cherenkov-counter (ACC)

3/4

## Counter

- ☛ aerogel tile 5枚 (12×12×12 cm<sup>3</sup>のAlの箱に入っている)
- ☛ Finemesh photomultiplierによりCherenkov光を測定

直接aerogelにくっついている⇒ 有効領域大、gain大

## Silica aerogel

- ☛ 透明、固体
- ☛ 屈折率: 1.006~1.08  
( $\pi$ とKを区別には**屈折率1.01~1.03**)
- ☛ 透明度の落ち  
⇒ 表面を疎水性にすればOK

	物質	屈折率
固体	ガラス	1.47
	シリカエアロジェル	1.006~ 1.08
液体	水	1.33
	液体水素	1.112
気体	二酸化炭素	1.00045
	空気	1.000292

# Aerogel Cherenkov-counter (ACC)

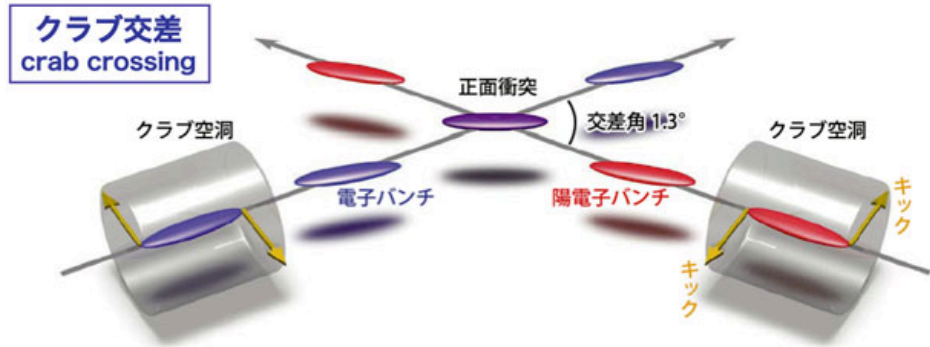
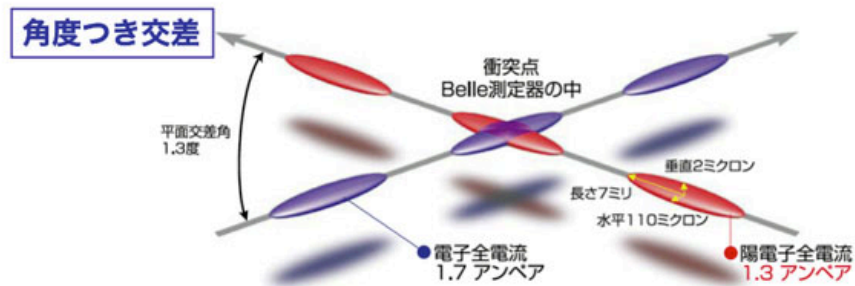
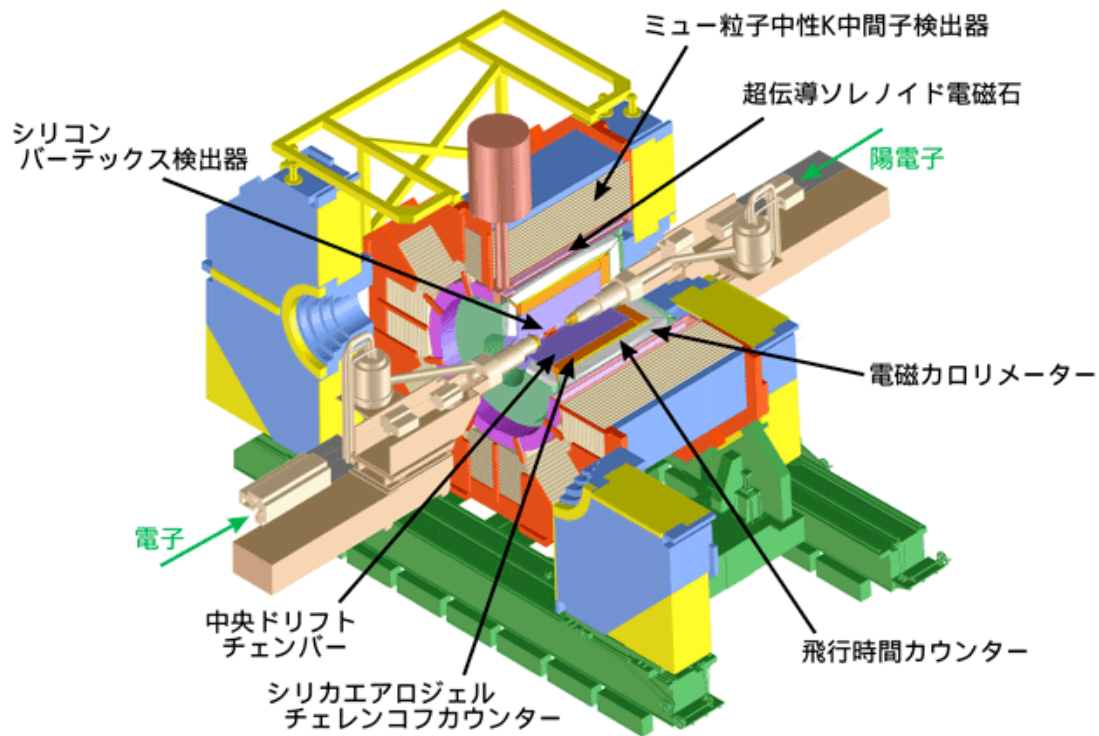
4/4

## ファインメッシュ光電子増倍管

- ☛ Borosilicate glass(ホウケイ酸ガラス)window
- ☛ bialkali photocathode(光陰極)
  - ・光→電子 (光電効果)
  - ・量子効率 25%
  - ・シンチレータに合う
- ☛ 大きなgain
  - ・適切なHVで $\sim 10^8$
  - ・磁場の強さの関数で減少



$e^\pm$ (Bhabha)と $K^\pm$ (図13.6)を区別できる (図13. 7)



KEK HPより