

Central Drift Chamber(CDC)

~ 中央飛跡検出器 ~

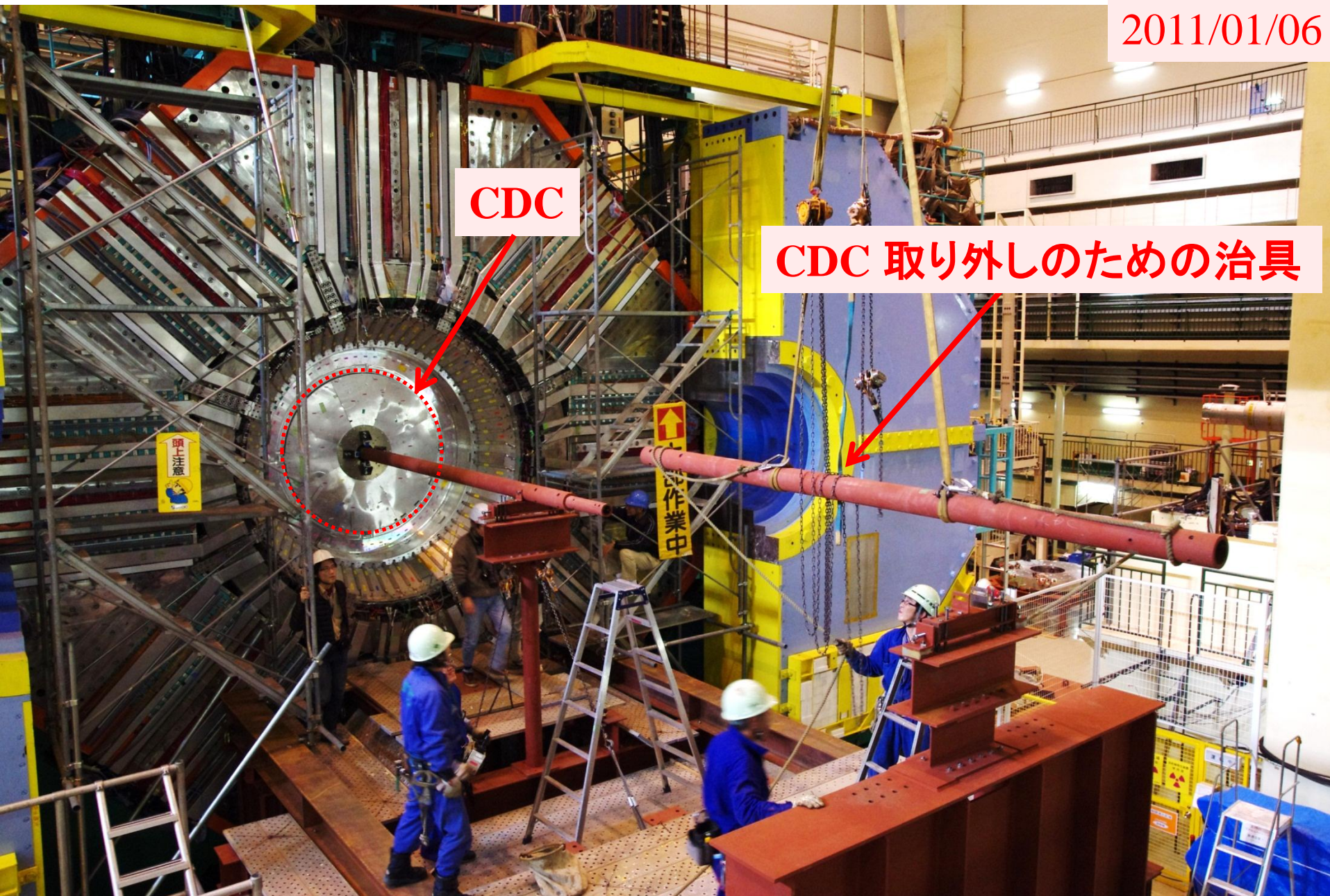
東北大 D2
佐藤 優太郎

目次

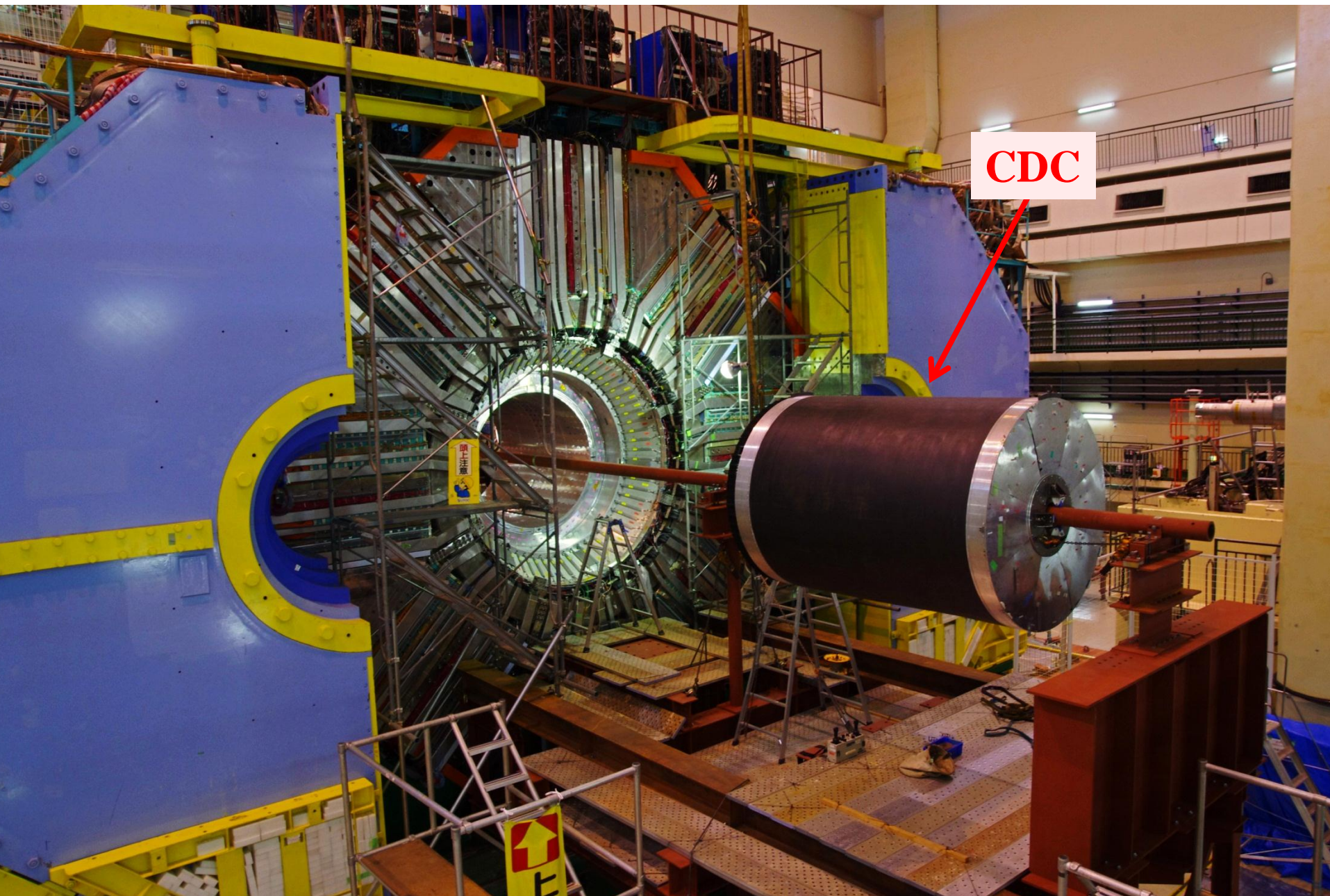
1. Central Drift Chamber(中央飛跡検出器) の役割
2. 測定原理
 - ワイヤーチェンバー
 - ドリフトチェンバー
 - z 方向の位置測定
 - dE/dx 測定とPID (Particle Identification, 粒子識別)
3. Belle での要求性能 / Belle II のために必要なアップグレード
4. それぞれのコンポーネント
 - ガス
 - 構造
 - ワイヤー
 - エレキ
 - 3Dトリガー
5. まとめ

CDC アンインストール(取り外し)の様子

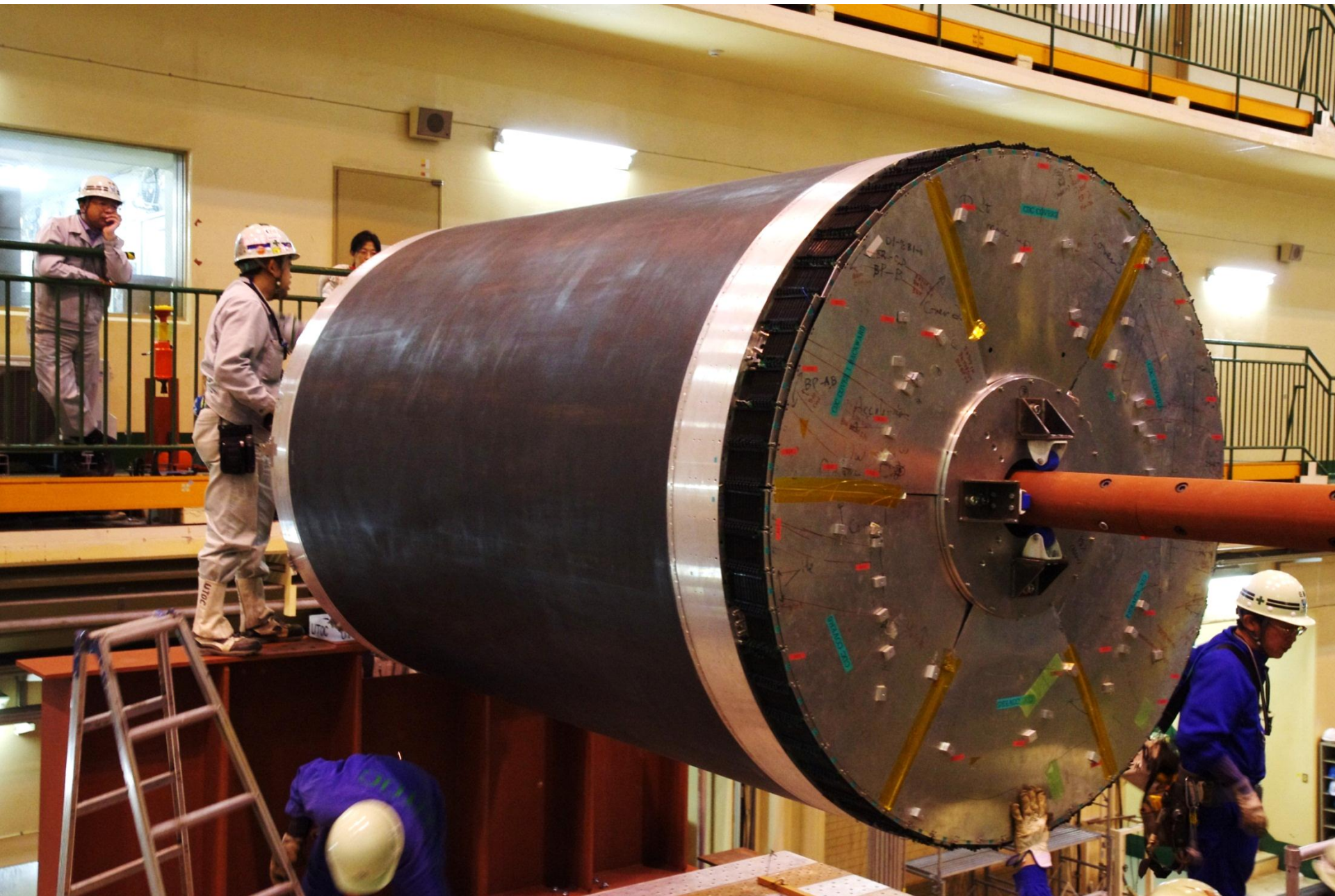
2011/01/06



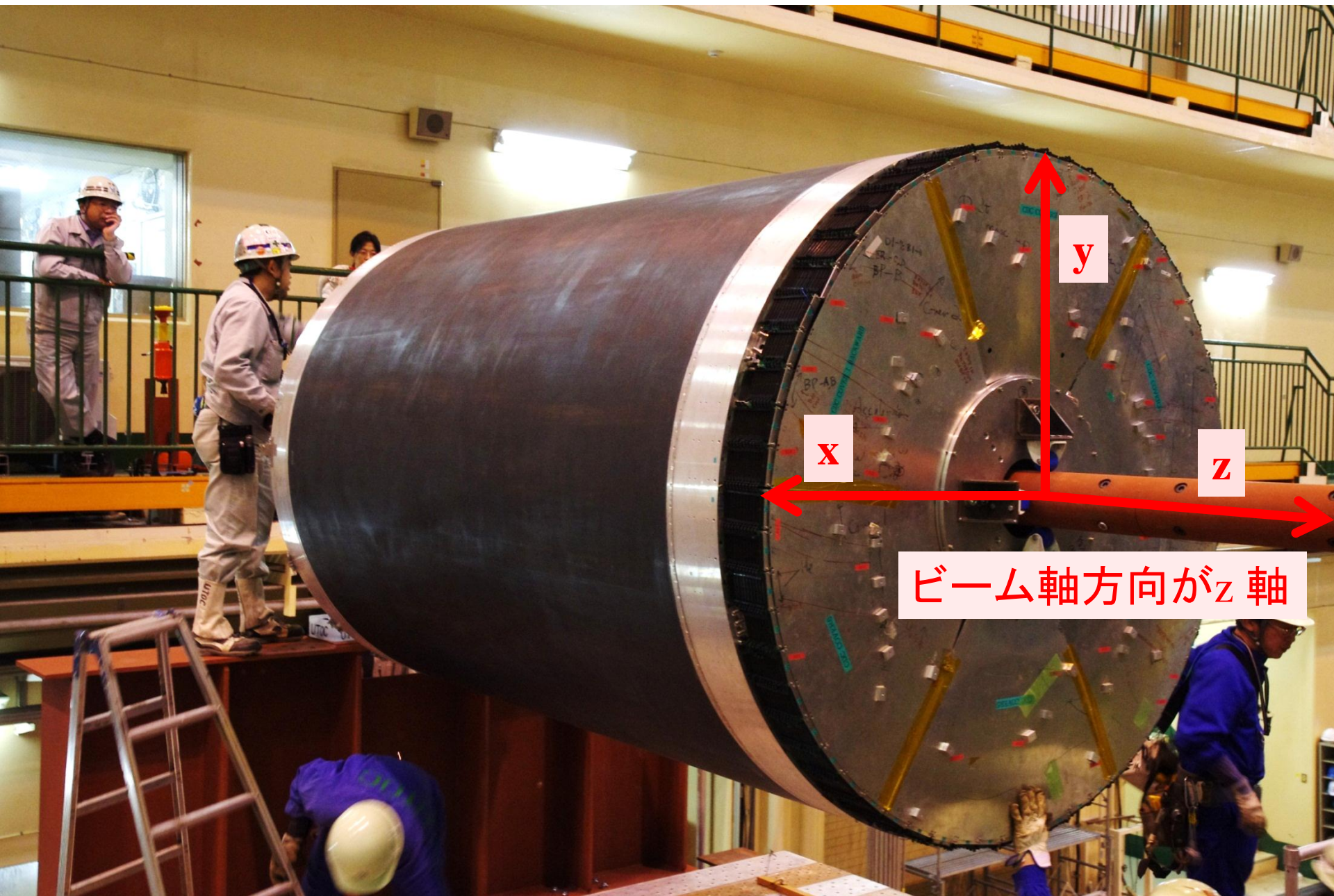
CDC アンインストール(取り外し)の様子



CDC アンインストール(取り外し)の様子



CDC アンインストール(取り外し)の様子

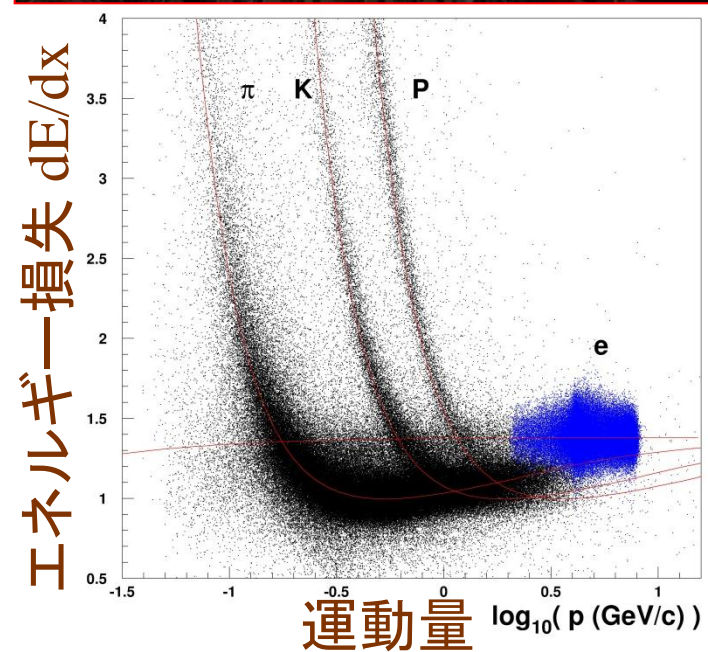
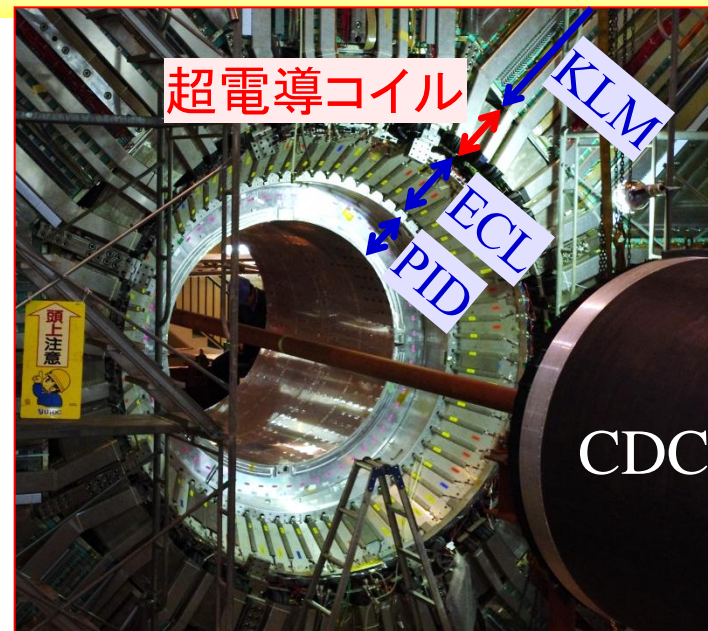
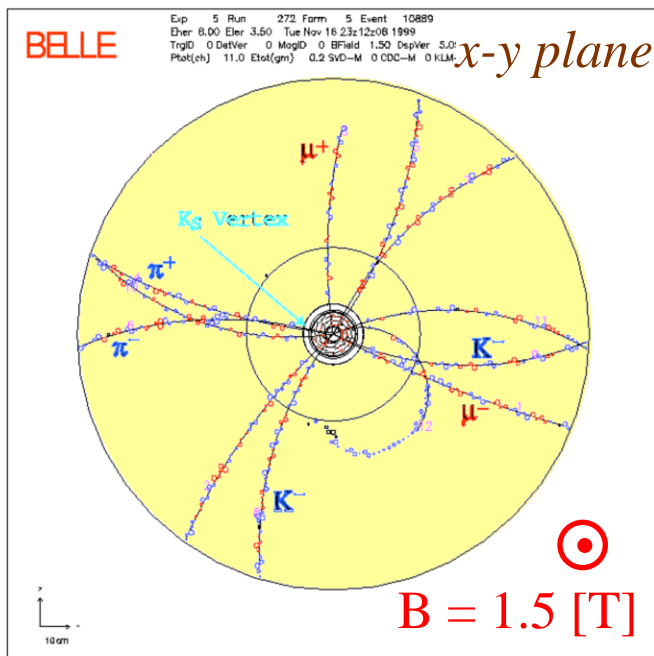


CDC の役割

- 荷電粒子の飛跡を測定
 - 曲率から運動量を決定

$$p \text{ [GeV]} = 0.3 \times 1.5 \text{ [T]} \times r \text{ [m]}$$

(運動量) (磁場) (回転半径)

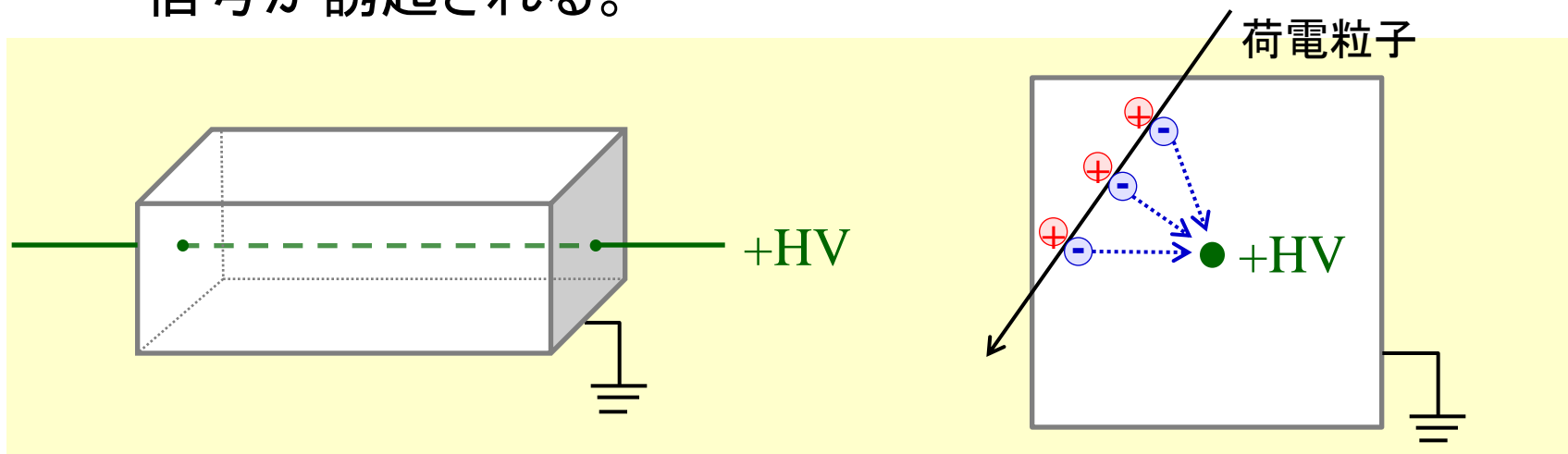


- 粒子識別(PID) の情報を取得
 - エネルギー損失 dE/dx

ワイヤーチェンバー

原理

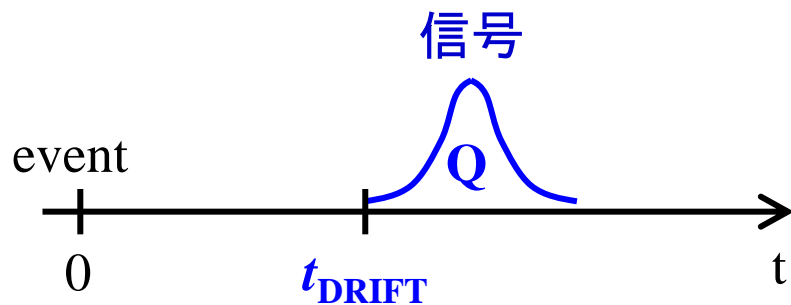
1. 荷電粒子がチェンバー内を通過すると、
充填されているガス分子をイオン化して、電子を生じさせる。
2. 発生した電子は電場によって、中心のワイヤーに向かって、
移動 (ドリフト) する。
3. ワイヤー近傍の高電場($\propto 1/r$) で、電子なだれによる増幅が起き、
信号が誘起される。



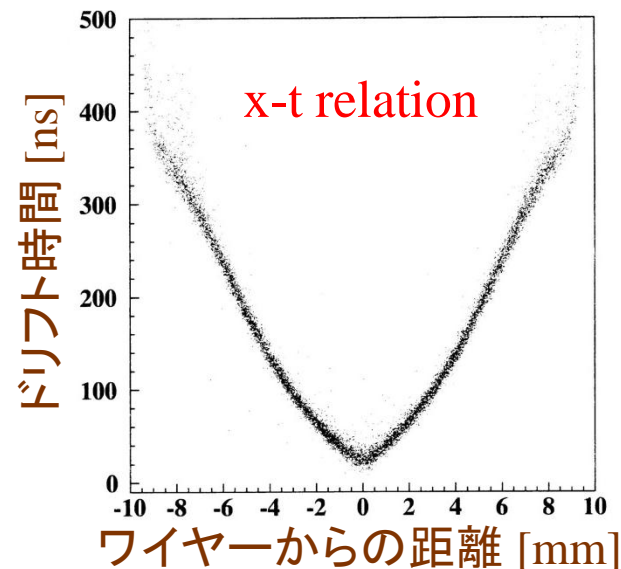
- この信号を測定することにより、
荷電粒子が通過した位置と落としたエネルギーが分かる。

ドリフトチェンバー

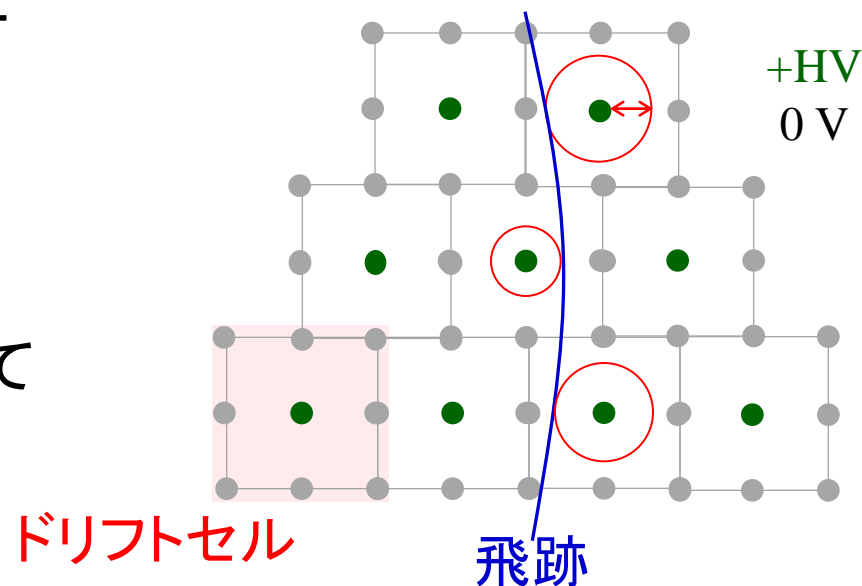
- 電子のドリフト時間を利用することで、より精密な位置測定ができる



- 高電場ではドリフト速度は一定。
- ドリフト時間から、通過した飛跡とワイヤーの距離が分かる。

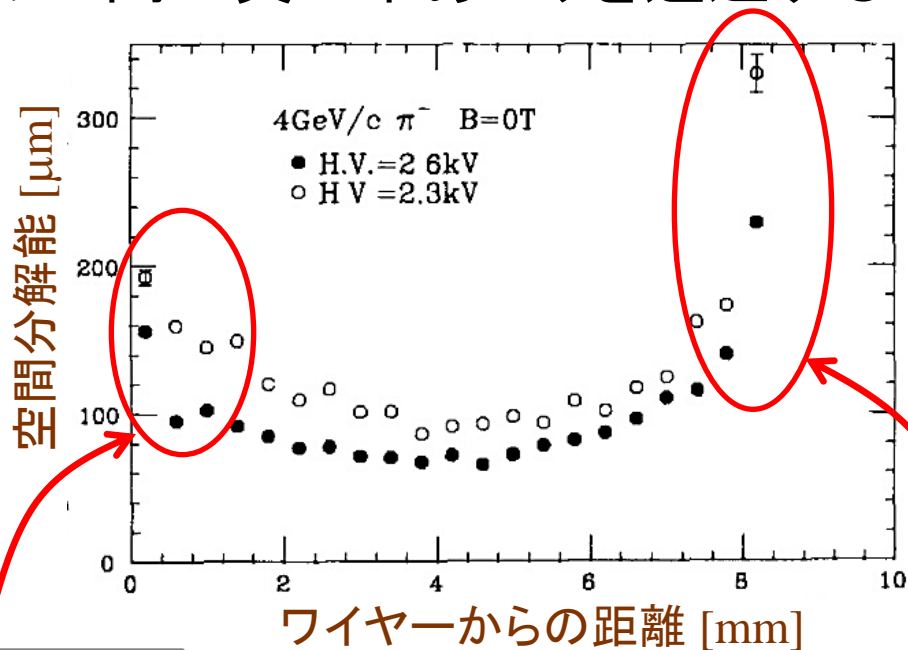


- 粒子の飛跡は円に接する線として再構成される。



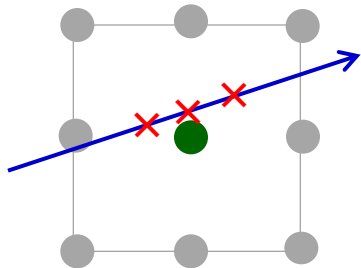
ドリフトチェンバー

- 分解能は、ワイヤー間の真ん中あたりを通過するときが一番良い。



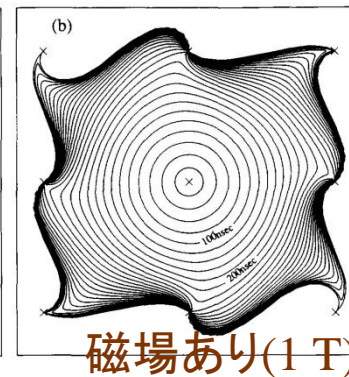
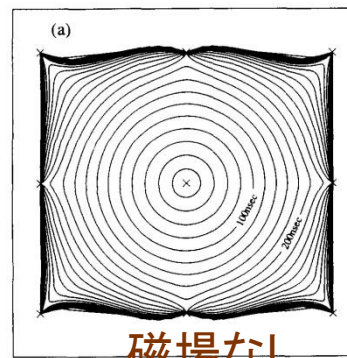
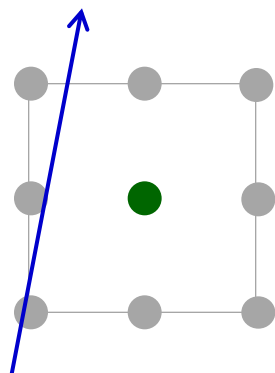
ワイヤー近傍

ガスイオン化の統計的
ふらつきで悪化。



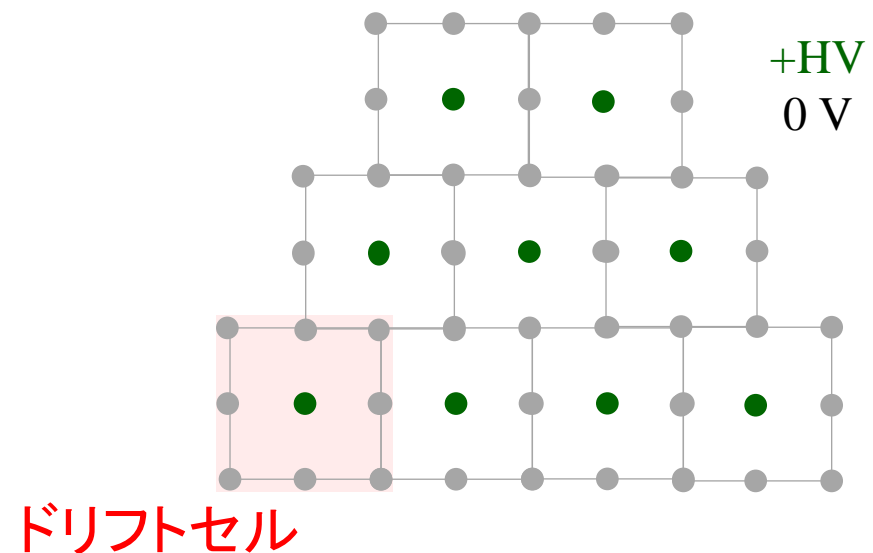
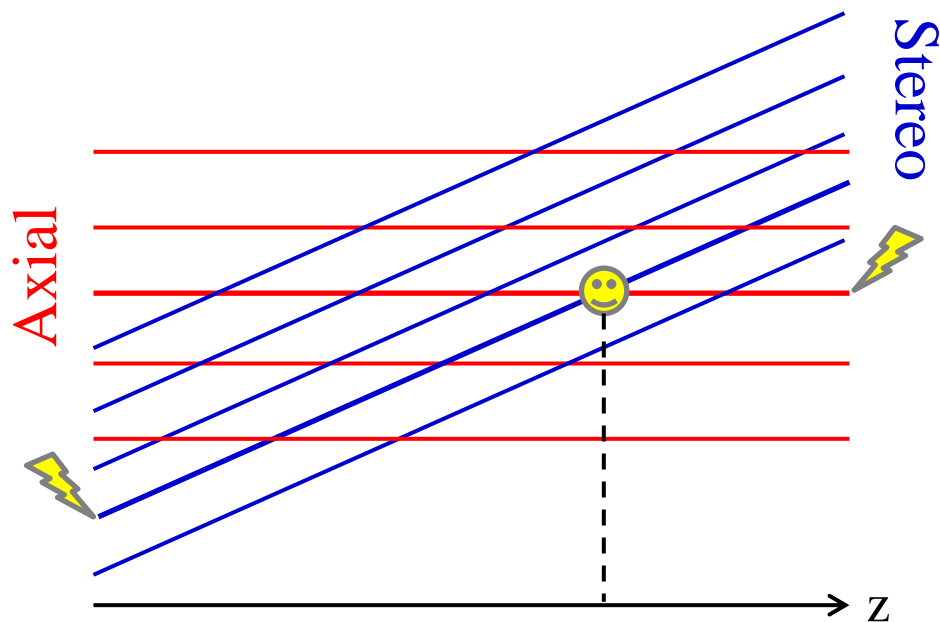
セルの境界

電場のゆがみで悪化。



z 方向の位置測定

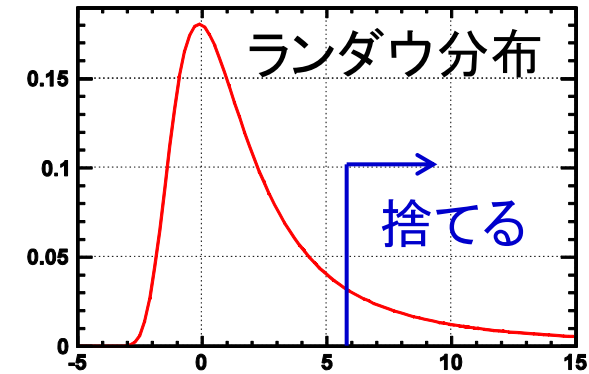
- ステレオワイヤーにより、z 方向の位置測定を行う。
 - フィールドワイヤー (0V)
 - センスワイヤー (+HV)
 - アクシャルワイヤー (z 軸に対して平行)
 - ステレオワイヤー (z 軸に対して斜め)



dE/dx 測定とPID

dE/dx 測定(Truncated-mean method)

- 測定されたdE/dxのうち、大きい方の20%を捨てて、残りの80%で平均して値を決定。
 - ランダウ分布のテールの影響を少なくする。



PID(粒子識別)

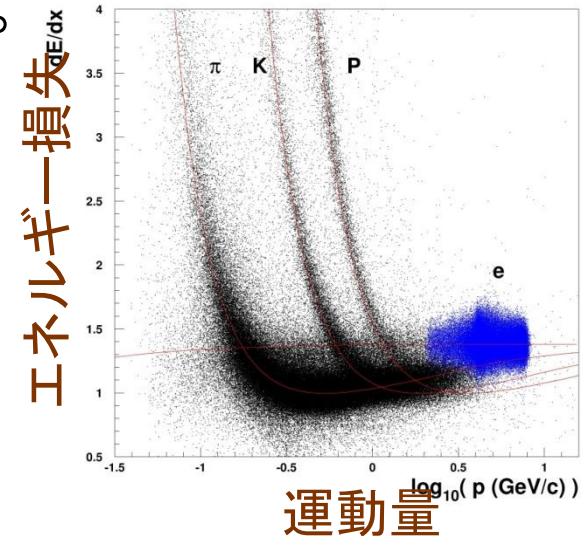
- Total likelihood : 各検出器のLikelihoodの積。

$$P_i = P_i^{CDC} \times P_i^{ToF} \times P_i^{ACC} \quad (i = K, \pi, e, \mu, p)$$

CDCのLikelihood

$$P_i^{CDC} = \frac{e^{-\chi_i^2/2}}{\sqrt{2\pi}\sigma_{dE/dx}}$$

$$\chi_i^2 = \left(\frac{\text{測定値} - \text{期待値}}{\sigma_{dE/dx}} \right)^2$$



Kとπを識別

- 1に近いほどKらしい。
- 0に近いほどπらしい。

- Likelihood ratio : $\text{Prob}(K : \pi) = \frac{P_K}{P_K + P_\pi}$

要求性能

Belle での要求性能

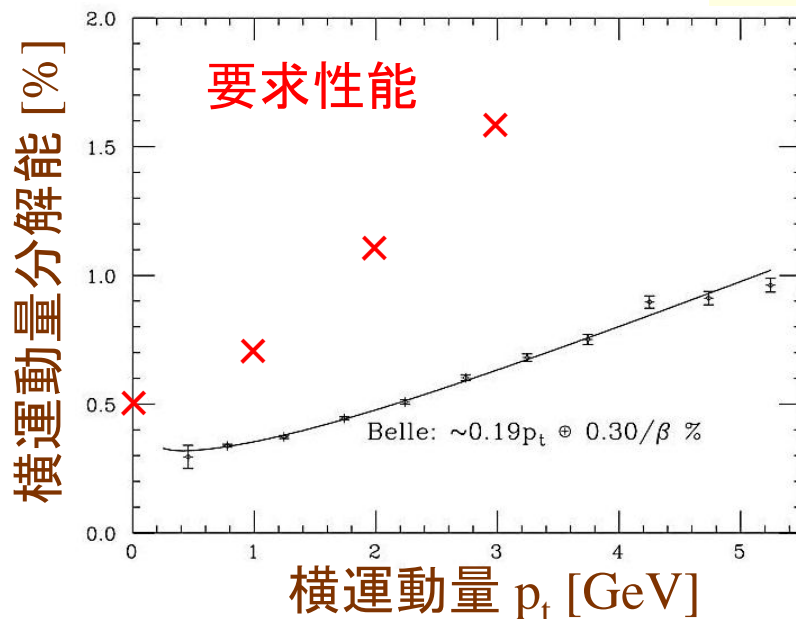
$p_t \geq 100 \text{ MeV}$
 $17^\circ < \theta < 150^\circ$

の荷電粒子に対して、 $\frac{\sigma_{p_t}}{p_t} \sim 0.5\% \sqrt{1 + p_t^2}$ (p_t in GeV)

+ 粒子識別のためのdE/dx

- これらの要求を満たすようにBelle CDC が設計された。

→ 測定された実際の性能 (CDC+SVD) $\sim 0.19p_t \oplus \frac{0.30}{\beta} \%$



多重散乱

- Belle CDC は良い性能で10年間安定して動作した。

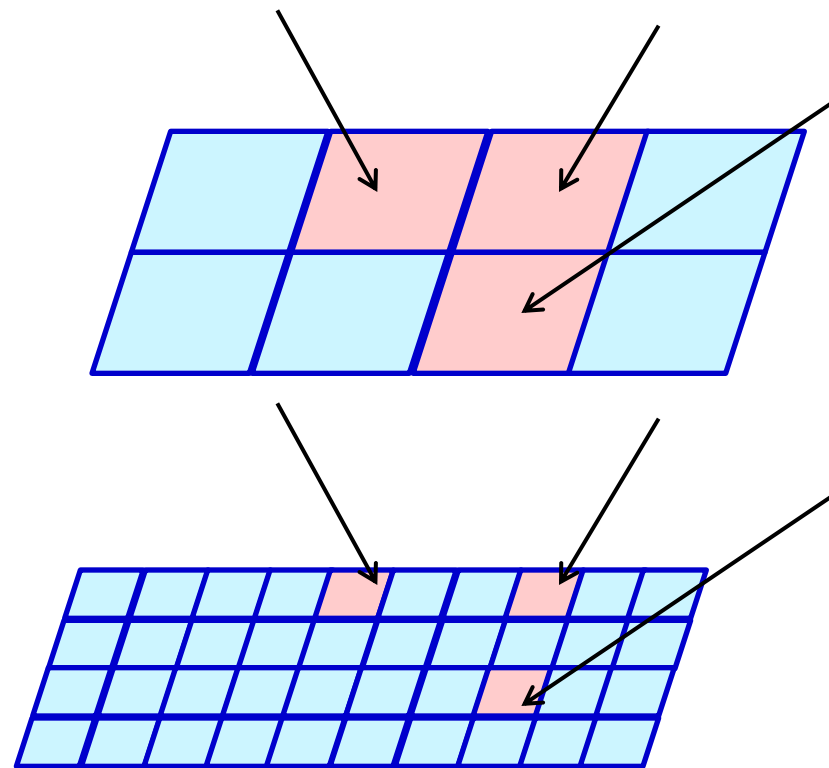
Belle II に必要なアップグレード

問題点

- ビームバックグラウンド増大によるtracking efficiency の低下
- Occupancy(占有率) の増加

対策

- スモールセル
- 新しい読み出しエレクトロニクス

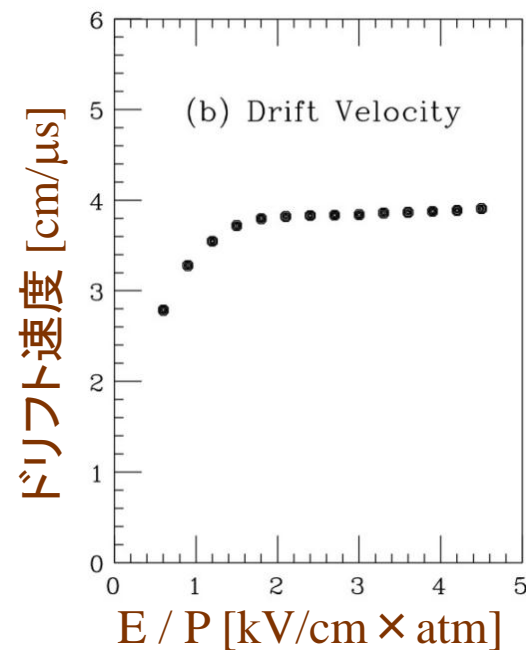


- それぞれのコンポーネントについて順番に話していきます。
- ガス、構造、ワイヤー、エレキ、3Dトリガー

ガス

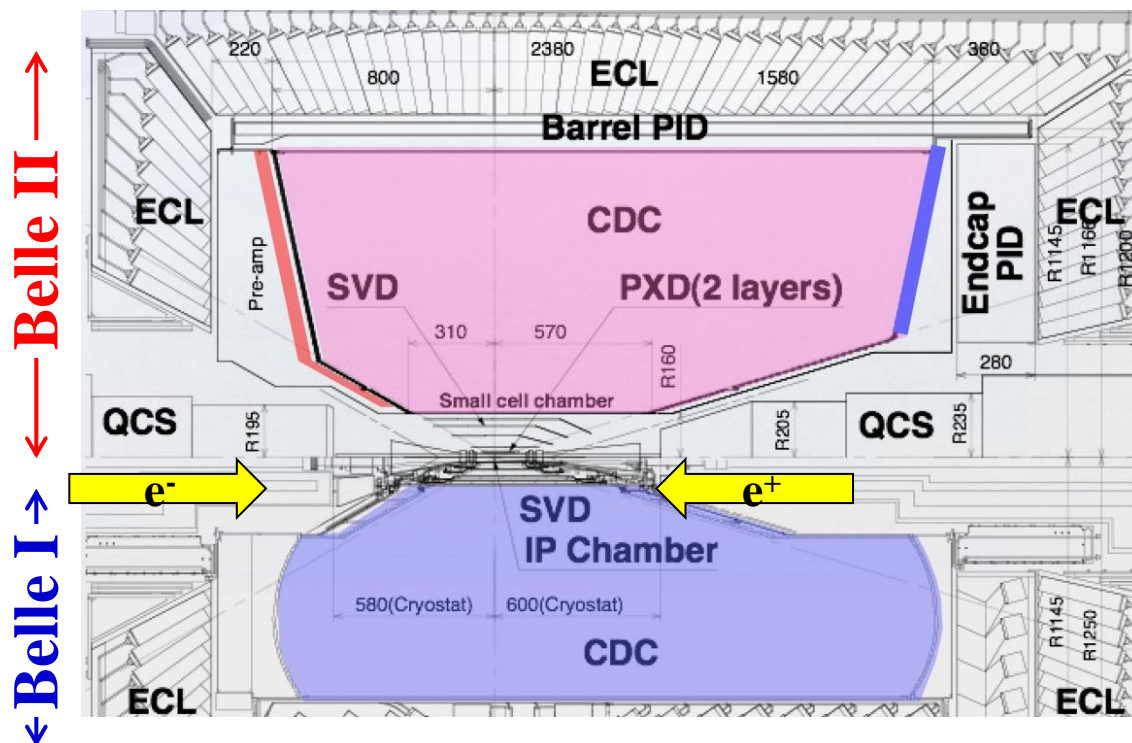
$$\text{散乱角度 } \theta \propto \frac{1}{p\beta} \sqrt{\frac{x}{X_0}}$$

- Belle ではLow Z gas が好ましい。
 - 多重散乱の効果を最小にすることが重要。
 - アルゴンベースのガスより光電効果の反応断面積が小さいため、synchrotron radiation B.G. 低減にも有効。
 - Belle では、**ヘリウム(He, 50%) + エタン(C₂H₆, 50%)** を使用。
 - 放射長が長い($X_0 \sim 640$ m)
 - 低い電場でドリフト速度が飽和。
 - キャリブレーションが容易、安定性、信頼性
 - ドリフト速度も遅くない。
 - (遅すぎると電子の収集時間が長くなりすぎて問題になる)
 - dE/dx の分解能が良い。
- Belle II でも同じガスを使用。



構造

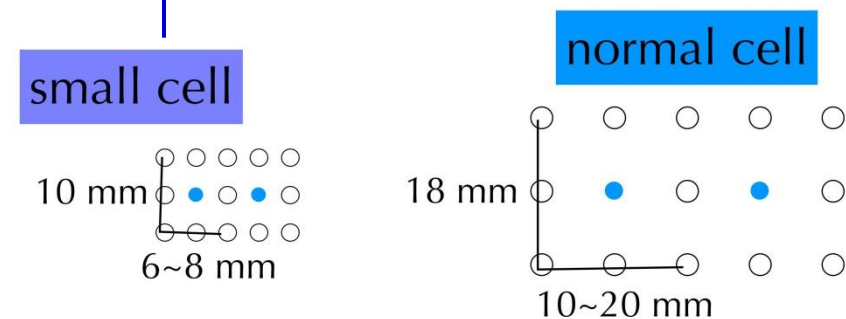
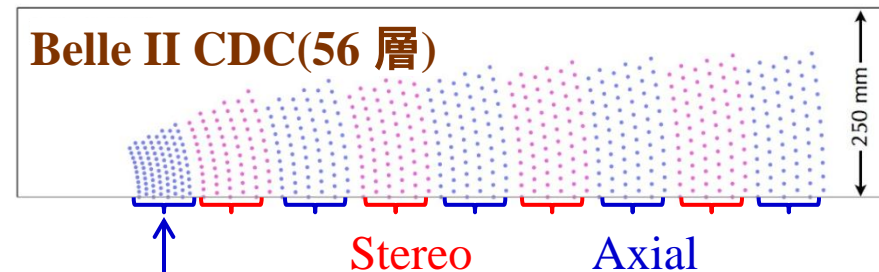
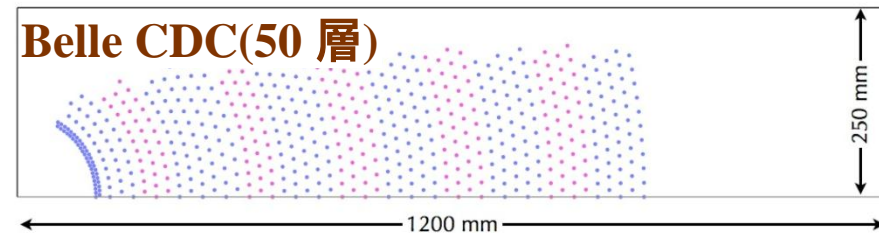
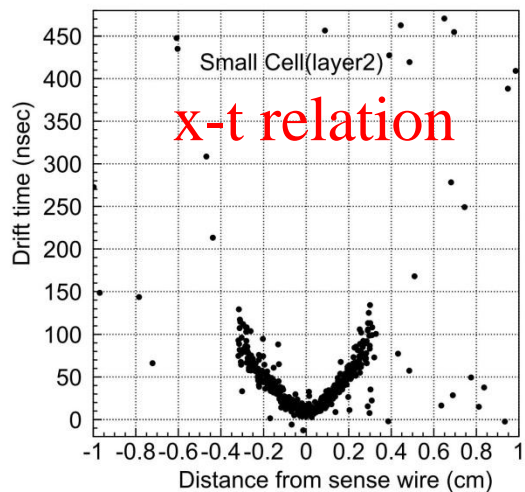
- 内径は大きくなる。
 - 高B.G. を避ける。(SVD がカバー)
- 外径も大きくなる。
 - バレル PID (TOP) がコンパクトになるため。
- エンドキャップの形状が変化。
 - ワイヤの張力によるエンドキャップの変形を軽減。



ワイヤー

スモールセル

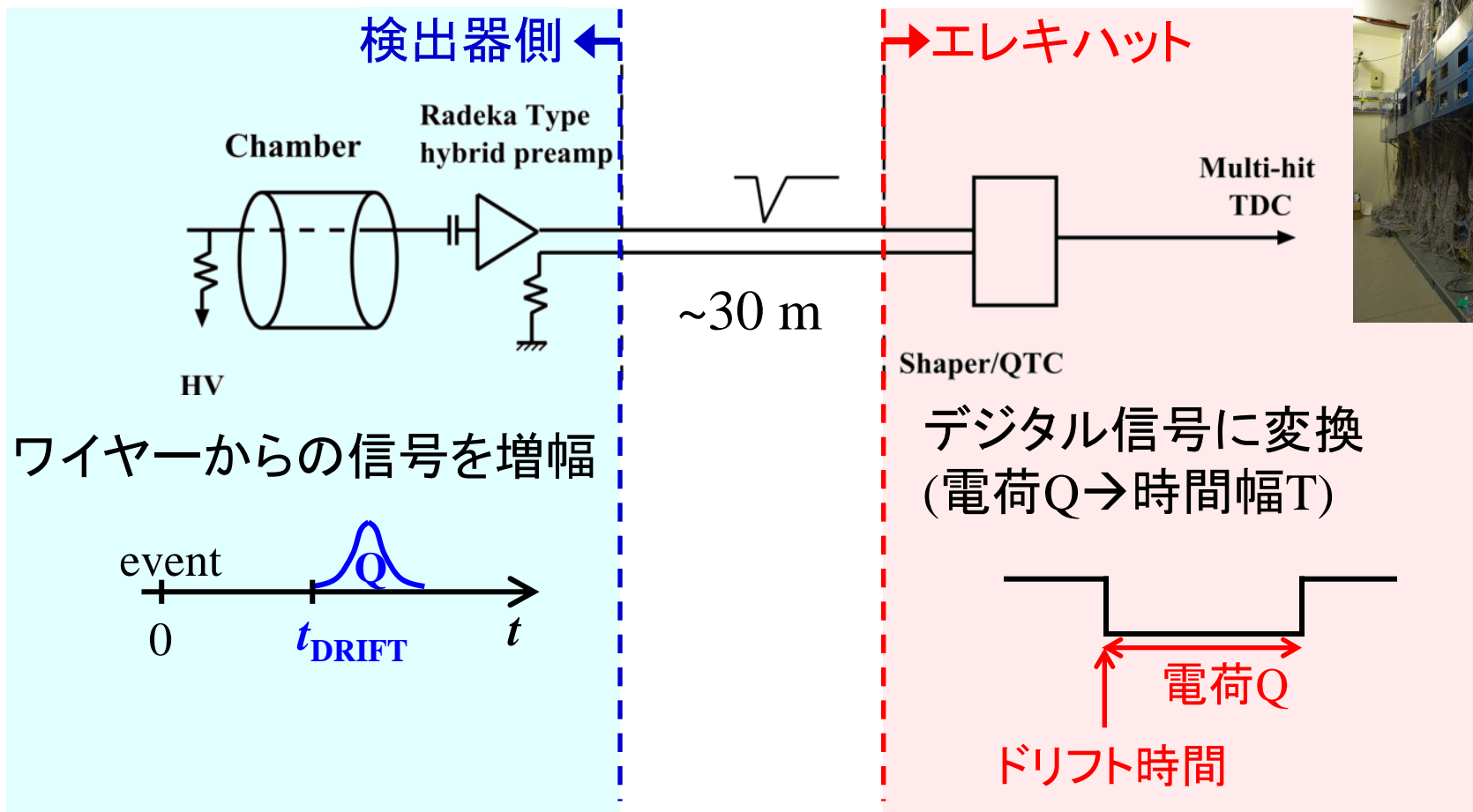
- 2003 年夏(SVD1→SVD2)にスモールセルチェンバーをインストール
 - 1 本当たりのヒットレートが減る。
 - 最大ドリフト時間が短くなる。



- フィールドワイヤー
 - アルミニウム (直径120 μm)
- センスワイヤー(axial and stereo)
 - 金メッキしたタングステン(直径30 μm)
 - ~8,400 本 → ~14,000 本

エレキ

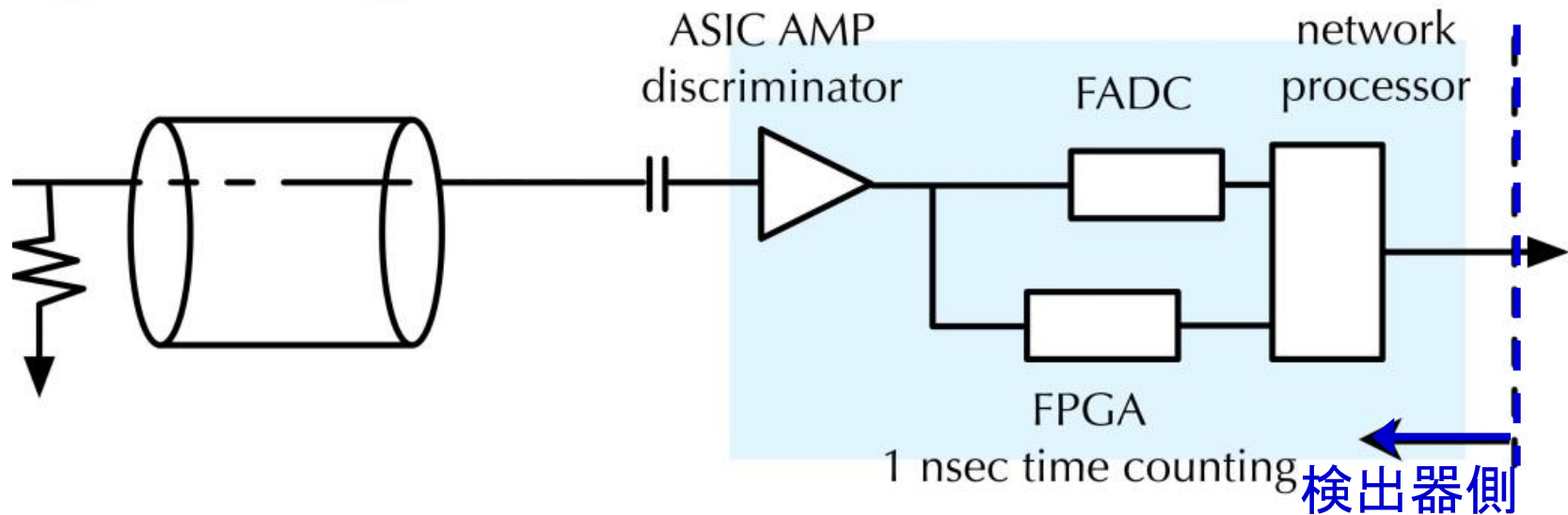
Belle のエレキシステム



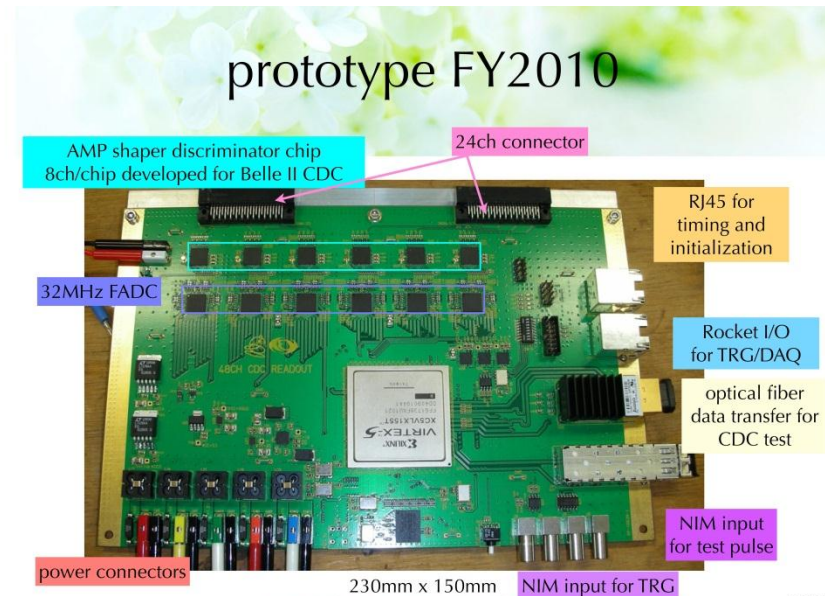
- 電荷を時間幅として記録するため、デッドタイムが生じる(1~2 μs)。
- Belle II での高いB.G. 環境に耐えるためには、
小さなデッドタイムのエレキシステムが必要がある。

エレキ

Belle II のエレキシステム



- 検出器側でデジタル信号に変換。
- 電荷をFADCにより読み出すことで、ほぼデッドタイムレス(~ 200 ns)。



3D トリガー

トリガーシステム

- 目的とする反応かどうかを高速で判断して、データを保存するかどうか決定する。
 - 飛跡トリガー
 - エネルギートリガー
- いらぬ反応：宇宙線、加速器のビーム由来のイベントなど。

→ トリガーレートが高すぎると、デッドタイムが多くなり、使い物にならないので、トリガーレートを抑えることが必要。

3D トリガー

- 2D トラッカーに加えて、
z 方向の位置情報を用いることで、トリガーレートを抑える。

まとめ

- Central Drift Chamber(中央飛跡検出器) は
 - 荷電粒子の飛跡(運動量)
 - 粒子識別の情報(dE/dx)を測定する。
- Belle II の高いB.G. によるtracking efficiency の低下とOccupancy(占有率) の増加に対応するため、アップグレードを行っている。
 - スモールセル
 - 新しいエレキ
 - 3Dトリガー

Table 28.6: Properties of rare and molecular gases at normal temperature and pressure (NTP: 20° C, one atm). E_X , E_I : first excitation and ionization energy; W_I : average energy per ion pair; $dE/dx|_{\min}$, N_P , N_T : differential energy loss, primary and total number of electron-ion pairs per cm, for unit charge, minimum ionizing particles.

Gas	Density, mg cm^{-3}	E_x eV	E_I eV	W_I eV	$dE/dx _{\min}$ keV cm^{-1}	N_P cm^{-1}	N_T cm^{-1}
Ne	0.839	16.7	21.6	30	1.45	13	50
Ar	1.66	11.6	15.7	25	2.53	25	106
Xe	5.495	8.4	12.1	22	6.87	41	312
CH ₄	0.667	8.8	12.6	30	1.61	37	54
C ₂ H ₆	1.26	8.2	11.5	26	2.91	48	112
iC ₄ H ₁₀	2.49	6.5	10.6	26	5.67	90	220
CO ₂	1.84	7.0	13.8	34	3.35	35	100
CF ₄	3.78	10.0	16.0	54	6.38	63	120