

# ATLAS実験衝突データを用いた シリコンストリップ飛跡検出器の性能評価

東京工業大学  
寄林 侑正



陣内 修、東城 順治<sup>D</sup>、池上 陽一<sup>D</sup>、海野 義信<sup>D</sup>、  
木村 直樹<sup>F</sup>、近藤 敬比古<sup>D</sup>、高嶋 隆一<sup>C</sup>、寺田 進<sup>D</sup>、永井 康一<sup>E</sup>、  
中野 逸夫<sup>B</sup>、花垣 和則<sup>A</sup>、原 和彦<sup>E</sup>、寄田 浩平<sup>F</sup>

東工大、A:阪大、B:岡山大、C:京都教育大、D:高工研、E:筑波大、F:早大理工研、他アトラスSCTグループ

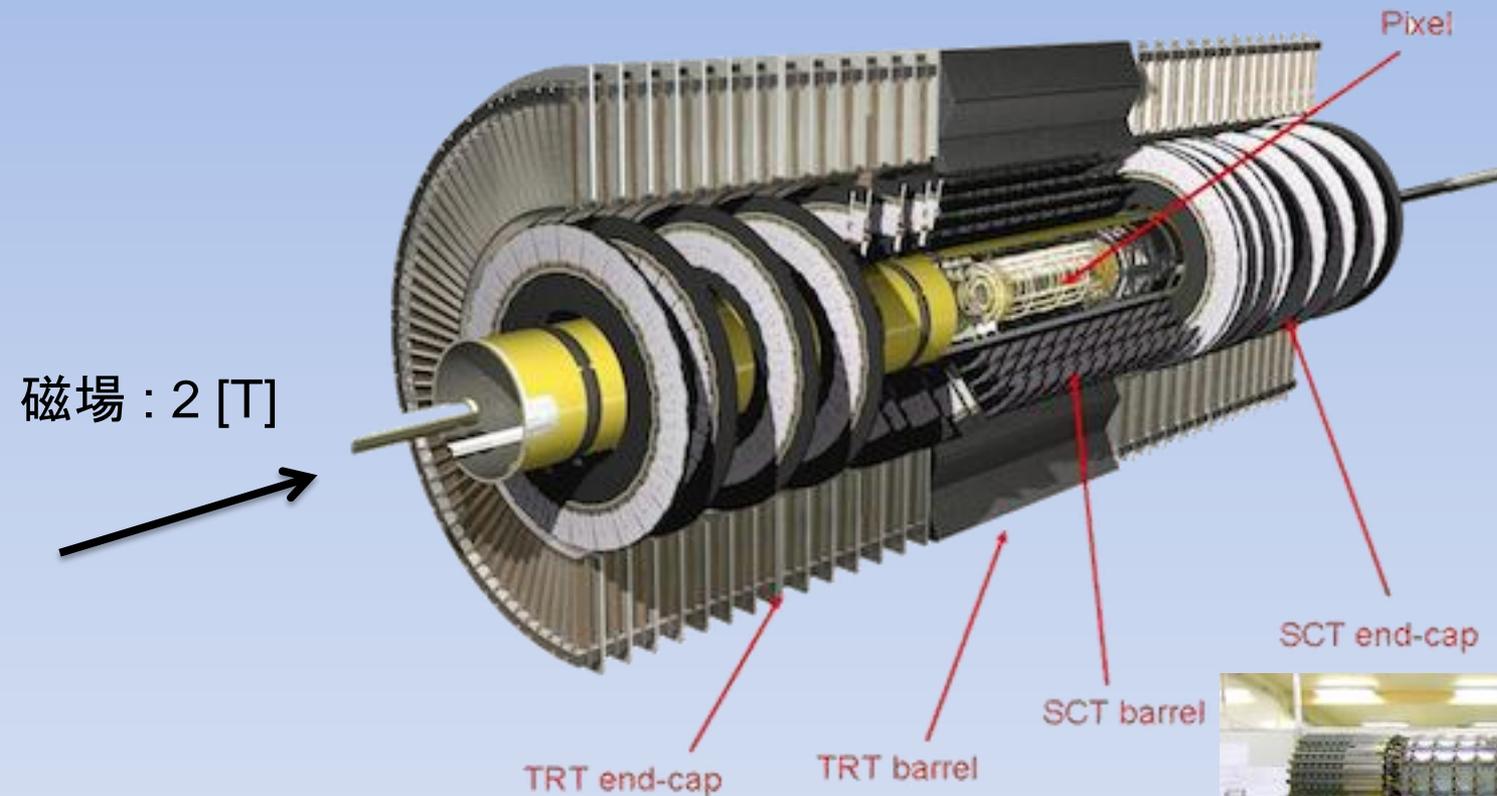


# 内容

1. 内部飛跡検出器とSCT
2. ローレンツ角
3. 2010年のローレンツ角推移
4. 今後
5. 実データとシミュレーションのずれ
6. まとめ

**目的： 検出器の性能評価の指標としてローレンツ角をモニターする**

# 1. 内部飛跡検出器とSCT



Semi-Conductor Tracker (SCT) ...

バレル部: 4 Layers (1 Layer にセンサー 2 枚)

エンドキャップ部: 9 Disks

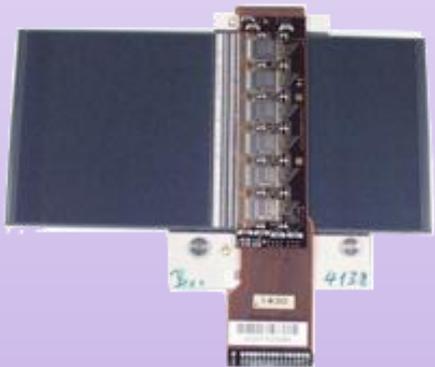
# 内部飛跡検出器とSCT

Semi-Conductor Tracker  
(SCT)

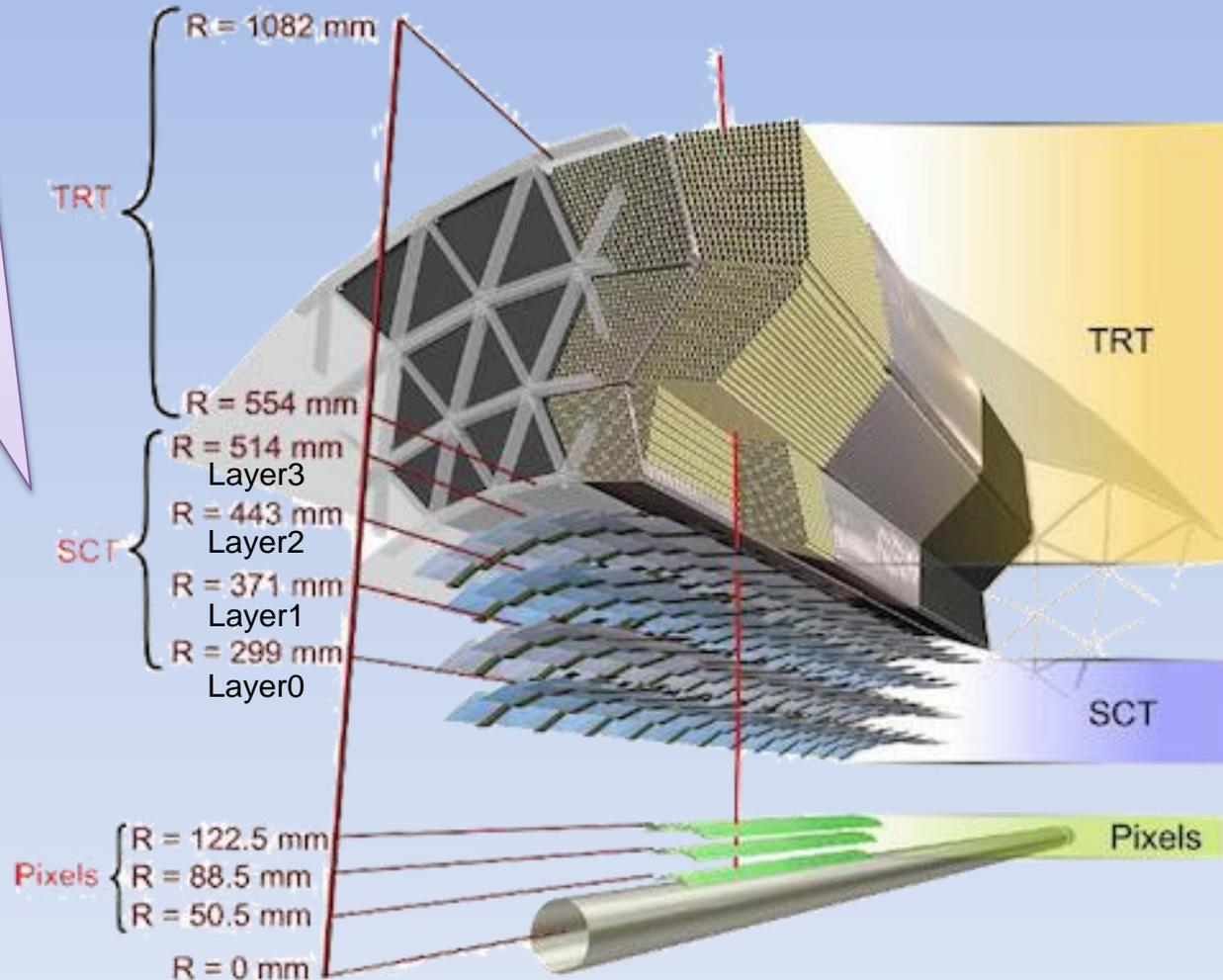
バレル部: 4 Layers  
(1Layerにセンサー2枚)

片方のセンサーが  
40mrad傾いているため、  
2枚1組で位置測定ができる。

シリコンの厚さ: 285 $\mu$ m  
ストリップ間隔: 80 $\mu$ m



128mm

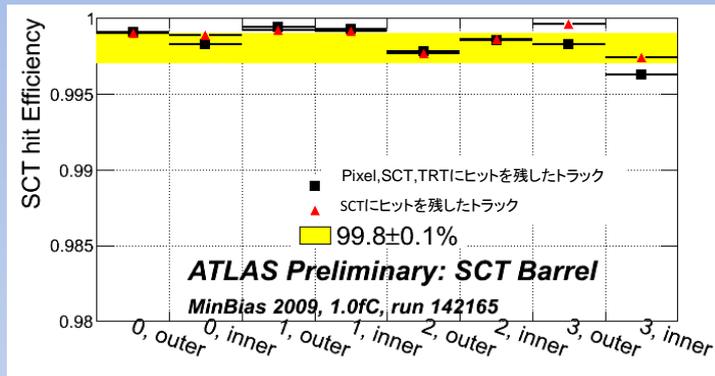


# SCTのパフォーマンス

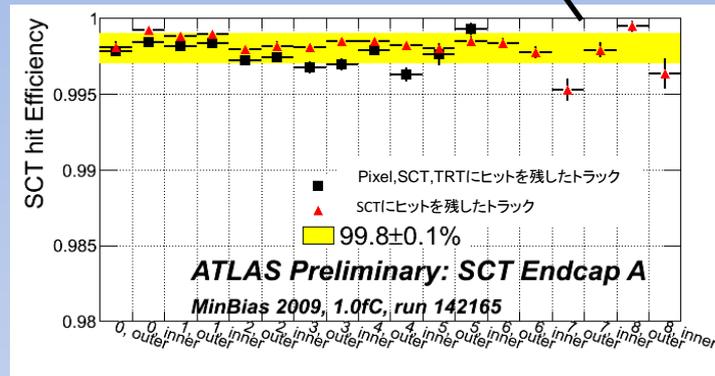
アクセプタンスの違いによってSCTのみでしか測定できない領域

検出効率

バレル部



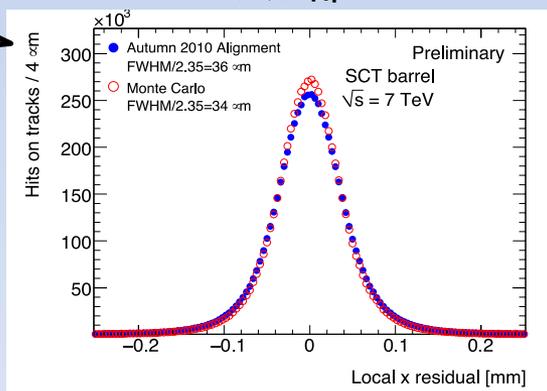
エンドキャップ部



2009年のSCTの検出効率は99.8%であった。

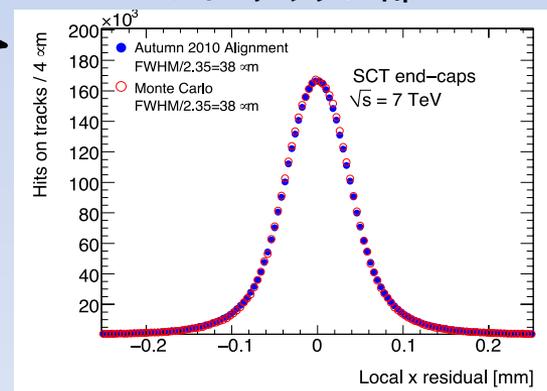
SCT上でのヒット位置と再構成したトラックの通過位置の差

バレル部



FWHM  
MC: 34[μm]  
Data: 36[μm]

エンドキャップ部



FWHM  
MC: 38[μm]  
Data: 38[μm]

2010年10月取得データの分解能は

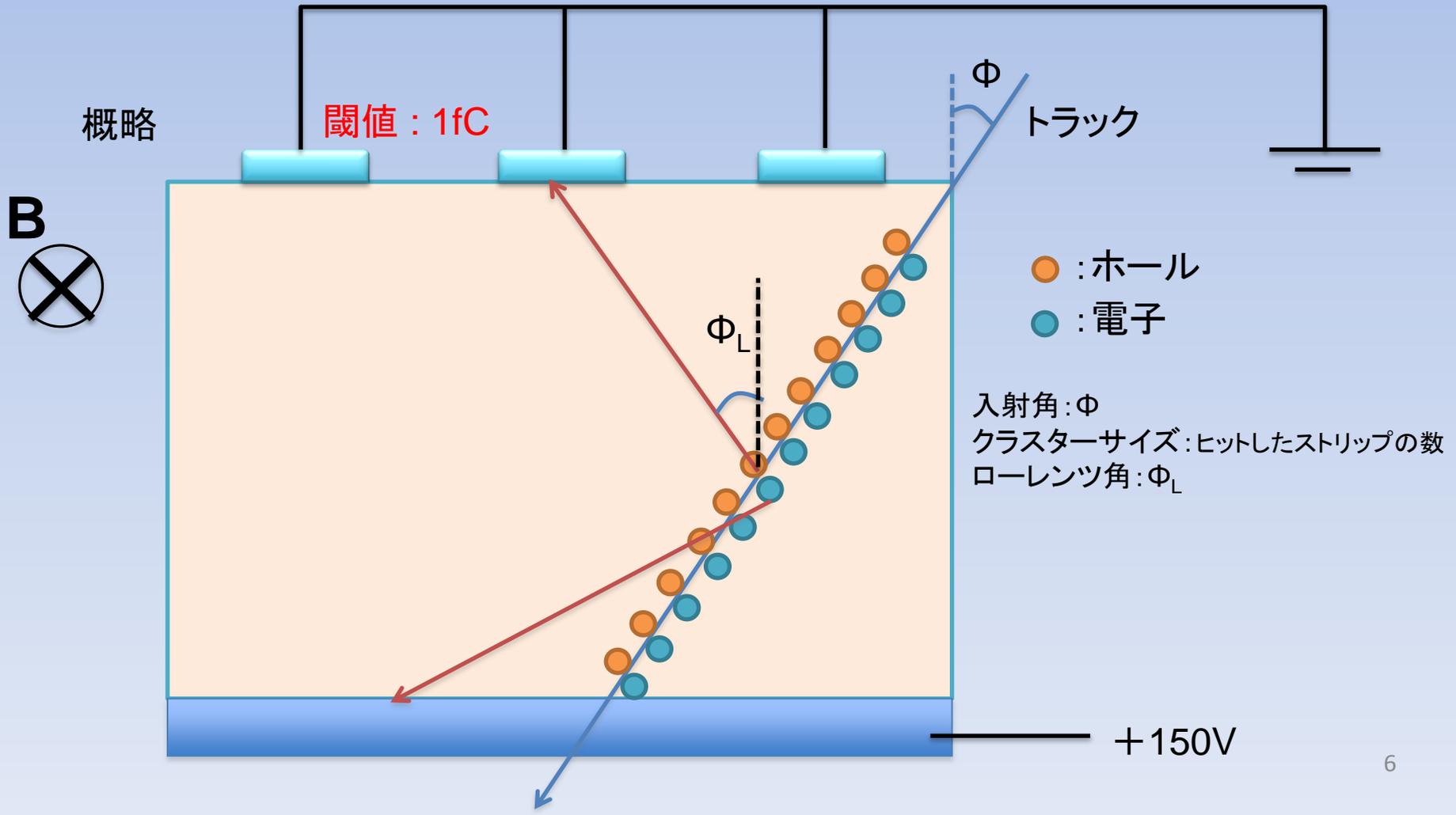
SCTセンサーの位置補正が完全なシミュレーションと非常によく合っている。

→データ取得時のSCTセンサーの位置補正が数μmオーダーでうまくいっている。

# 2. ローレンツ角

ローレンツ角・・・電化収集の際、ローレンツ力によってホールの移動方向が曲げられた角度

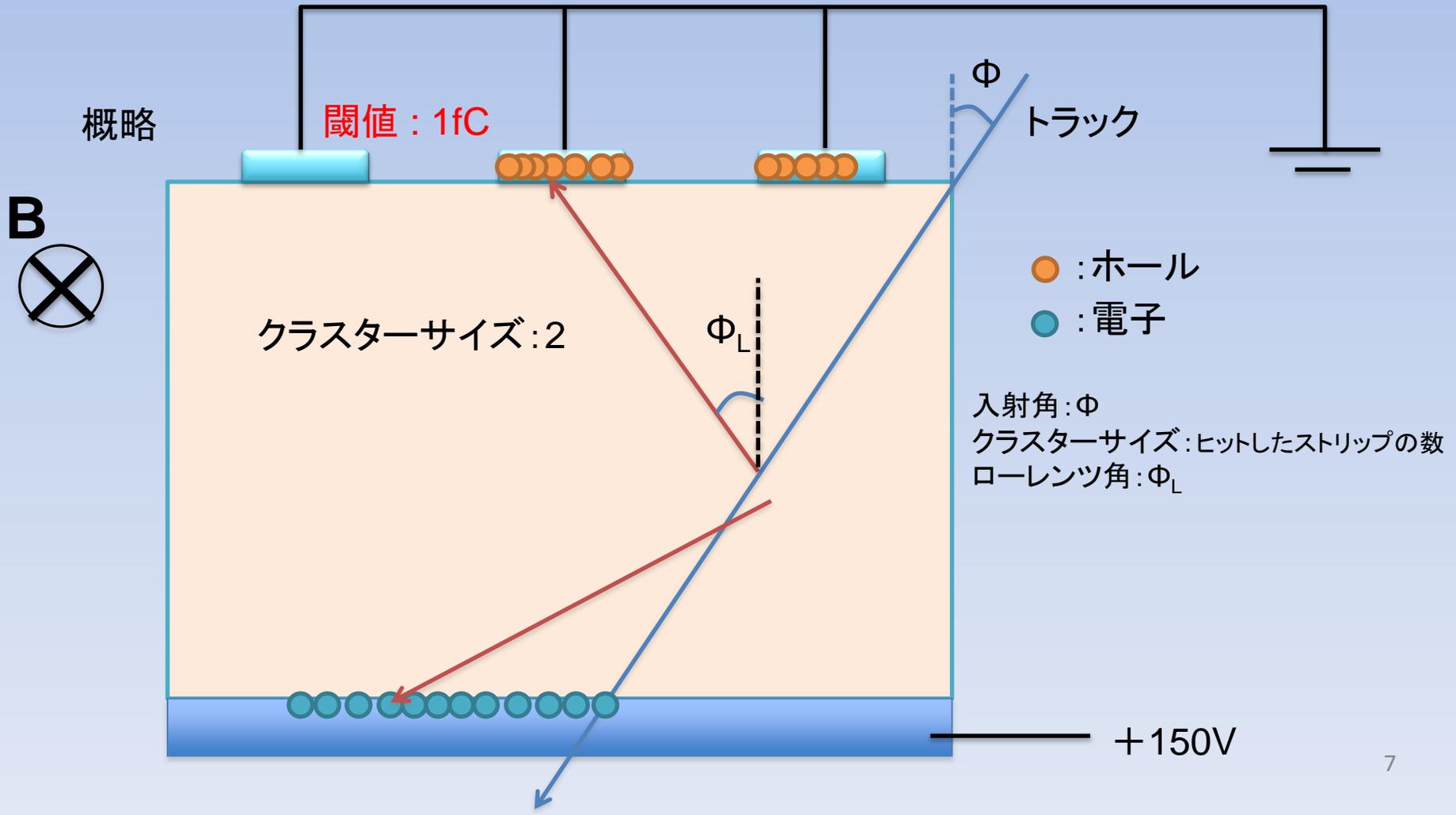
$$F = q(E + v \times B)$$



# 2. ローレンツ角

ローレンツ角・・・電化収集の際、ローレンツ力によってホールの移動方向が曲げられた角度

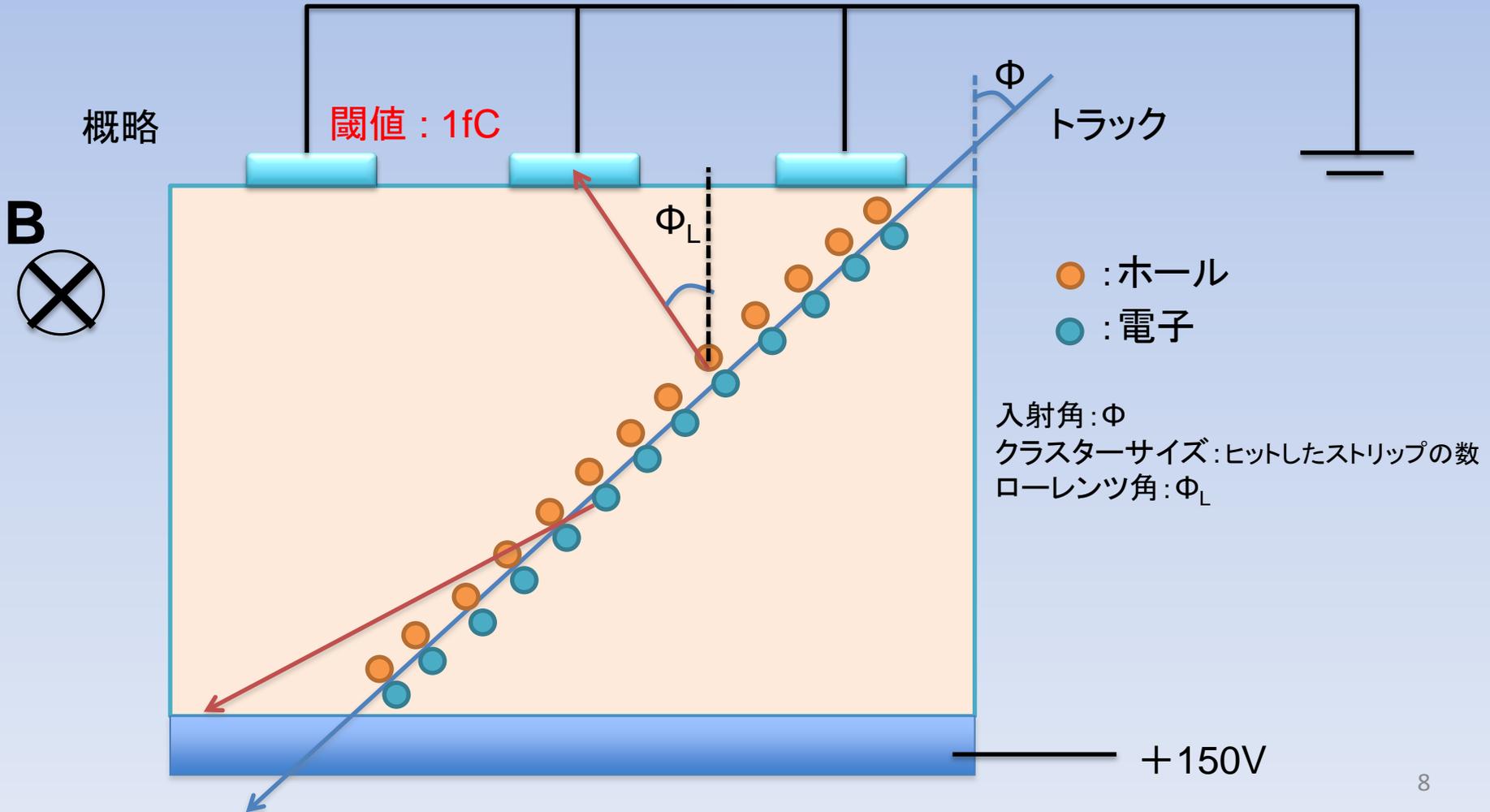
$$F = q(E + v \times B)$$



# 2. ローレンツ角

ローレンツ角・・・電化収集の際、ローレンツ力によってホールの移動方向が曲げられた角度

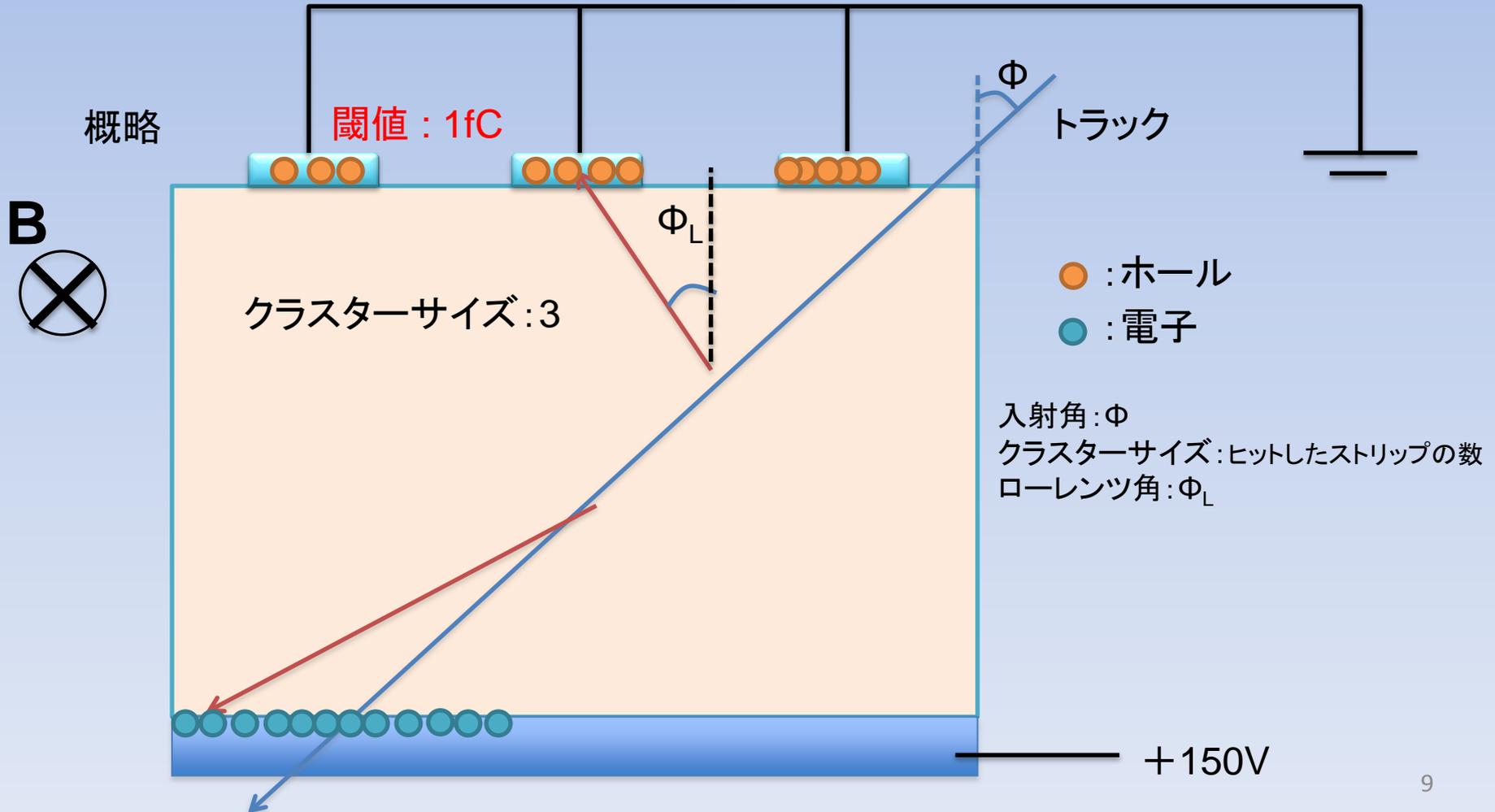
トラックがより角度を持って入射した場合・・・



# 2. ローレンツ角

ローレンツ角・・・電化収集の際、ローレンツ力によってホールの移動方向が曲げられた角度

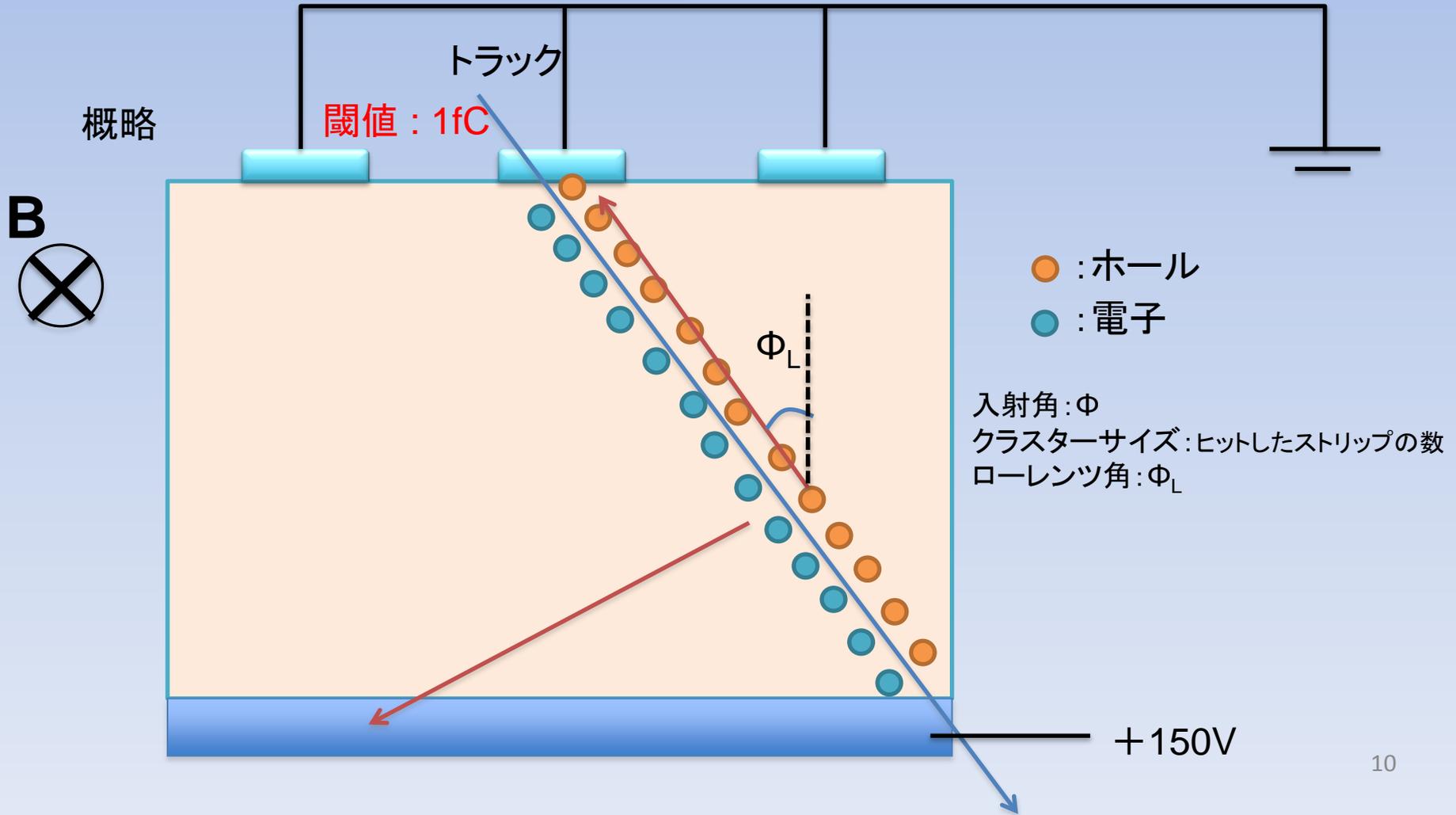
トラックがより角度を持って入射した場合・・・



# 2. ローレンツ角

ローレンツ角・・・電化収集の際、ローレンツ力によってホールの移動方向が曲げられた角度

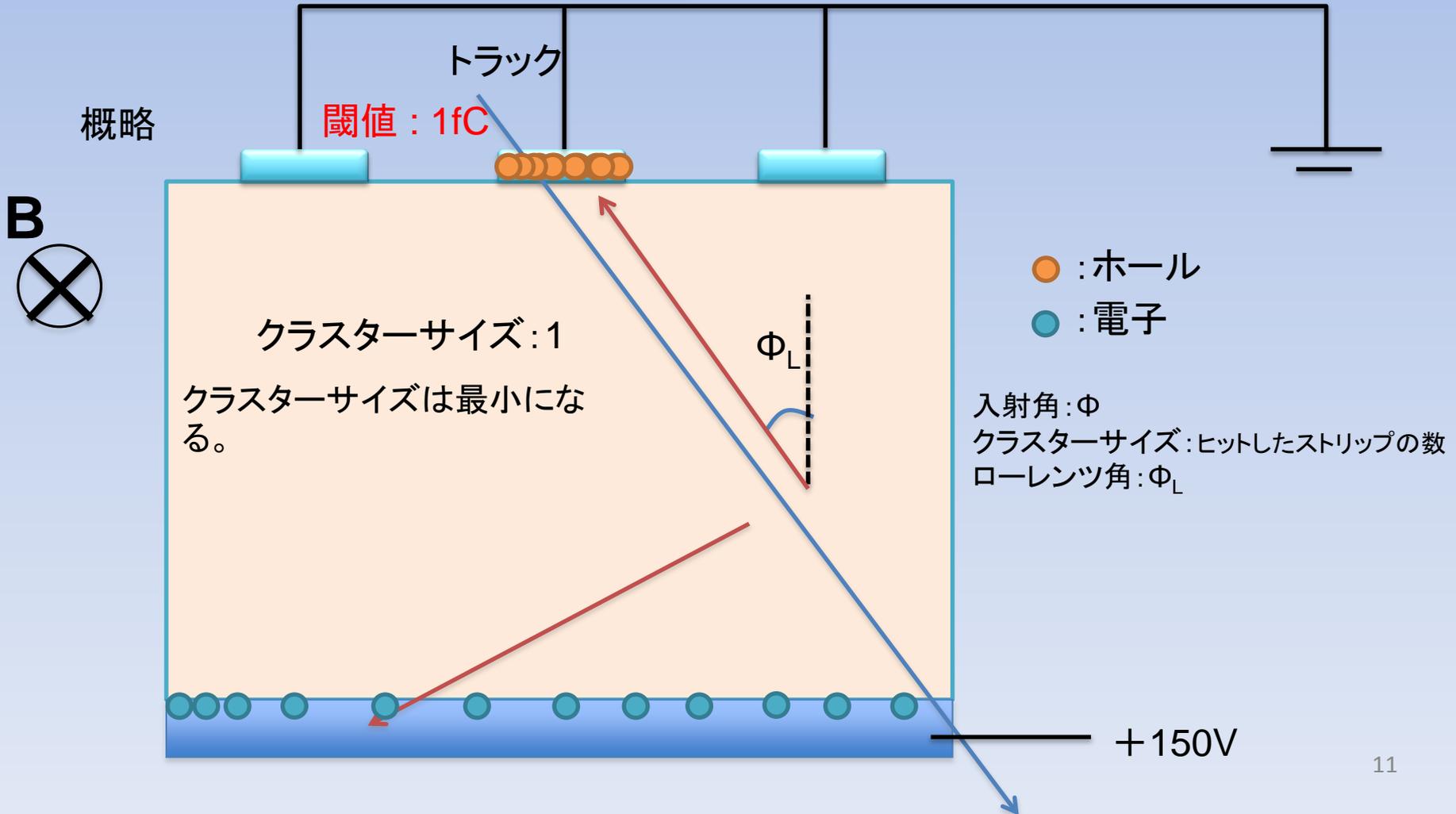
トラックがローレンツ角で入射した場合・・・



# 2. ローレンツ角

ローレンツ角・・・電化収集の際、ローレンツ力によってホールの移動方向が曲げられた角度

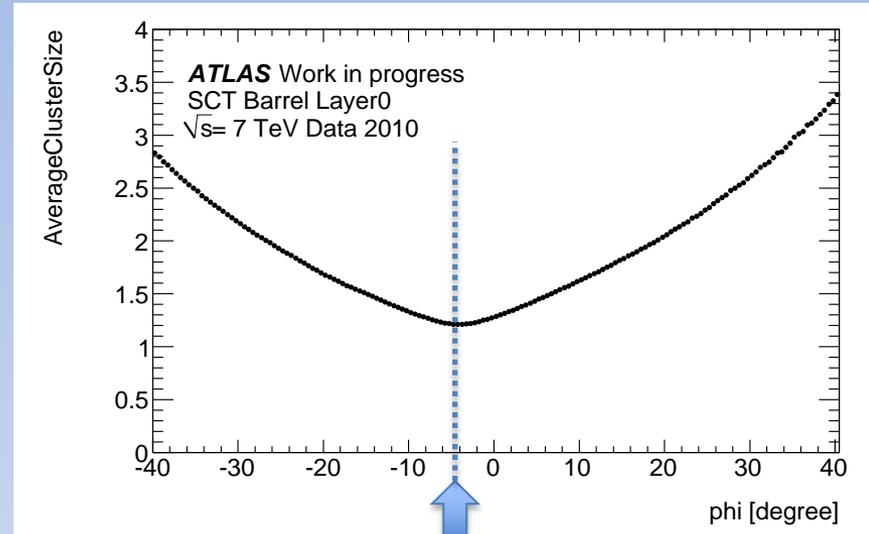
トラックがローレンツ角で入射した場合・・・



# 2. ローレンツ角 —フィット関数—

トラックのクラスターサイズの平均を縦軸にし、横軸に入射角を取ると右図のようになる。

以下のフィット関数によりローレンツ角を求めることができる。



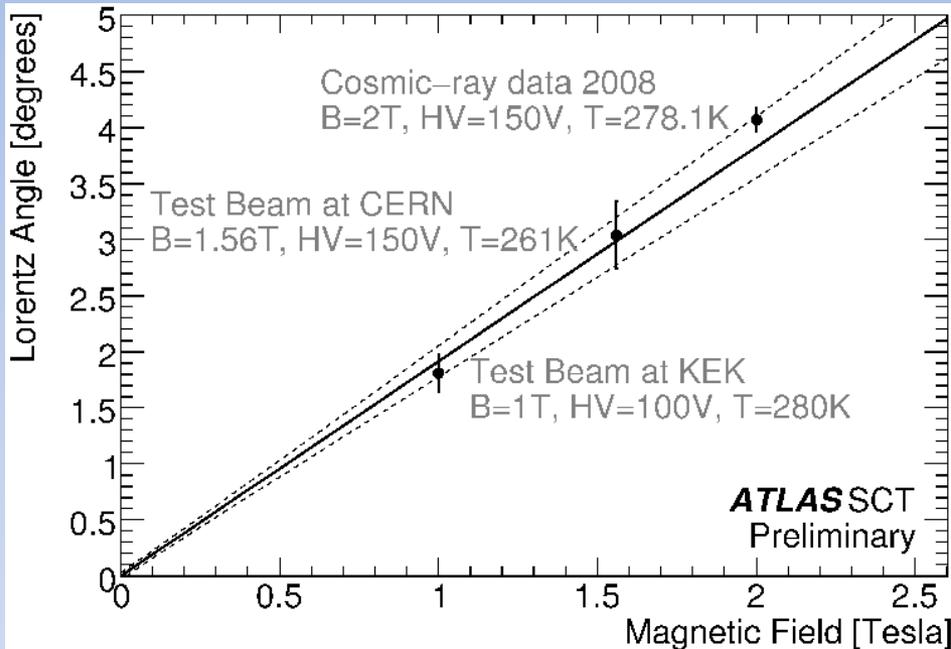
ローレンツ角

$$f(\varphi) = (a|\tan \varphi - \tan \varphi_L| + b) \otimes \text{Gaussian}(\varphi)$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} (a|\tan \varphi' - \tan \varphi_L| + b) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\varphi - \varphi')^2}{2\sigma^2}\right) d\varphi'$$

平均クラスターサイズを再現する式に、収集される電荷の拡散の効果を考慮したものである。

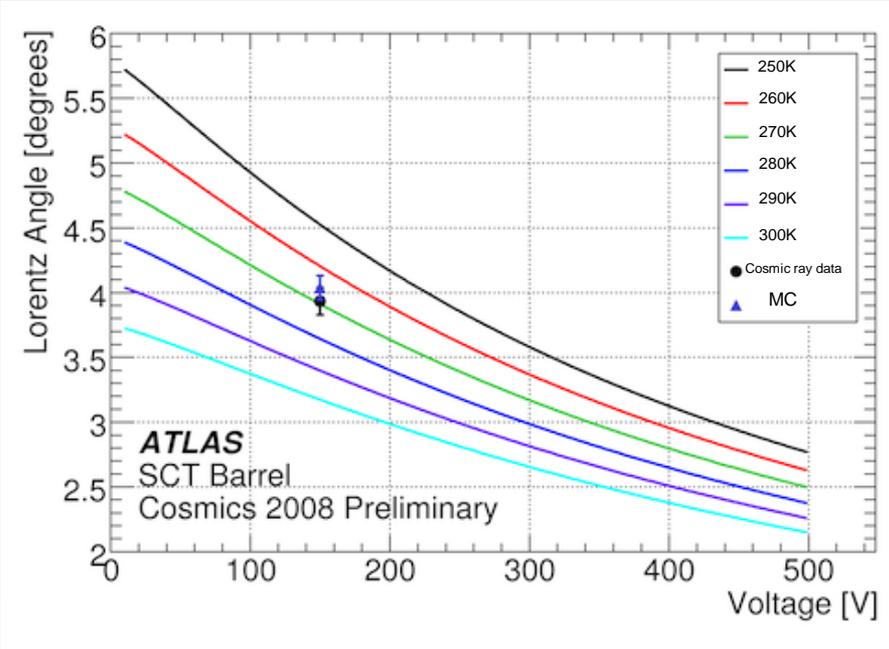
# 2. ローレンツ角

ローレンツ角は磁場や電場、温度で値が変わるため、検出器の状態を反映した値になる。



磁場の変化によるローレンツ角の変化

各データはHV=150V, T=273Kに合わせてある



印加電圧, 温度変化によるローレンツ角変化

ローレンツ角をモニターすることで異常検知の一つの指標になる

# 2. ローレンツ角 — 放射線損傷 —

ローレンツ角から放射線損傷の度合いを探ることを考える。

$$E_Z = \frac{V_B}{w_d}$$

$$w_d = \begin{cases} d & (V_B \geq V_D) \\ \sqrt{\frac{V_B}{V_D}} d & (V_B < V_D) \end{cases}$$

$E_Z$ : シリコン内電場  
 $w_d$ : 空乏層の厚さ  
 $d$ : シリコンの厚み (285 $\mu\text{m}$ )  
 $V_D$ : 完全空乏化電圧  
 $V_B$ : 印加電圧

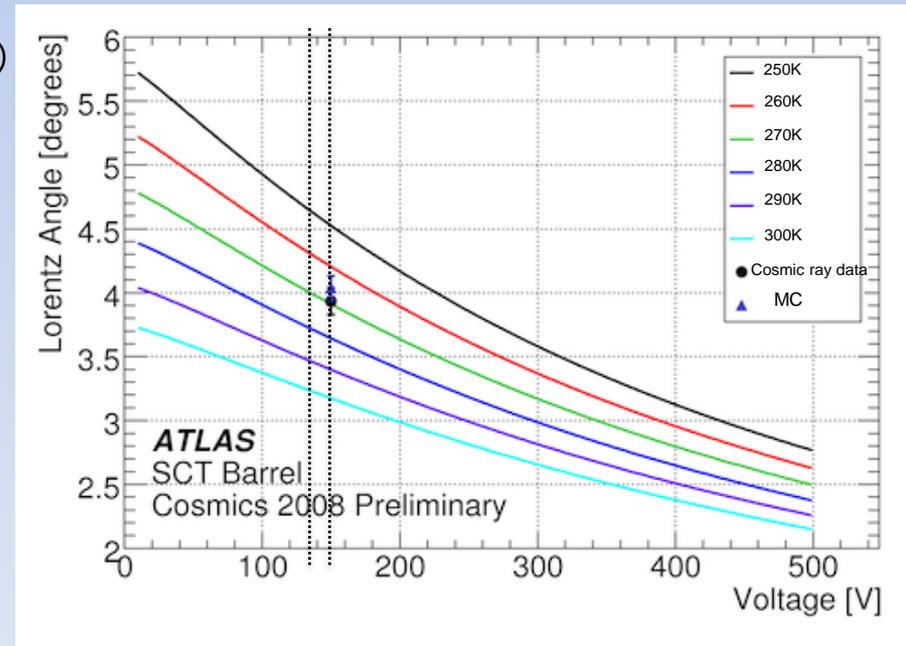
放射線損傷を受け空乏層の一部が崩れる

- $w_d$  が小さくなる (放射線損傷で空乏層が減少)
- シリコン内の電場は大きくなる
- ローレンツ角は右図より小さくなる

Ex) 完全空乏化が5%解除

- ⇔  $\sqrt{\frac{V_B}{V_D}}$  が0.95倍になる
- ⇔  $V_D \rightarrow \left(\frac{100}{95}\right)^2 V_D$  へ変化した状態
- ⇔  $V_B \rightarrow \left(\frac{95}{100}\right)^2 V_B$  へ変化した状態
- $V_B=150\text{V} \rightarrow \sim 135\text{V}$  へ変化した状態

右の図よりおよそローレンツ角は0.1~0.2度大きくなる



# 3. 2010年のローレンツ角推移 — トラックセレクション —

以下の条件をトラックに課した。

上4つはATLASのトラックの選別で一般に用いられているものである。

- $P_t > 500\text{MeV}$

$P_t$ : 横方向運動量

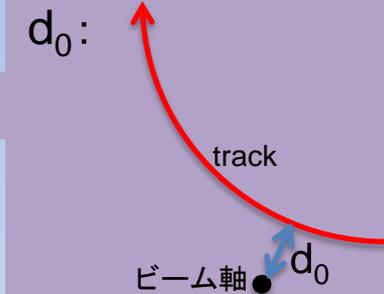
- $|d_0| < 1\text{mm}$

- $\#SCT\text{Hits} > 6$  (8枚中)

ヒットのあったSCT, Pixelの数

- $\#pixel\text{Hits} > 1$  (3枚中)

- $\text{Charge} < 0$



SCTは中心方向に

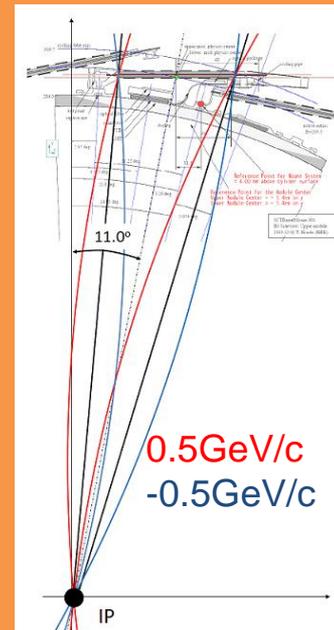
$-11^\circ$  (Layer0,1)、

$-11.25^\circ$  (Layer2,3)

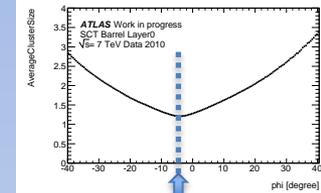
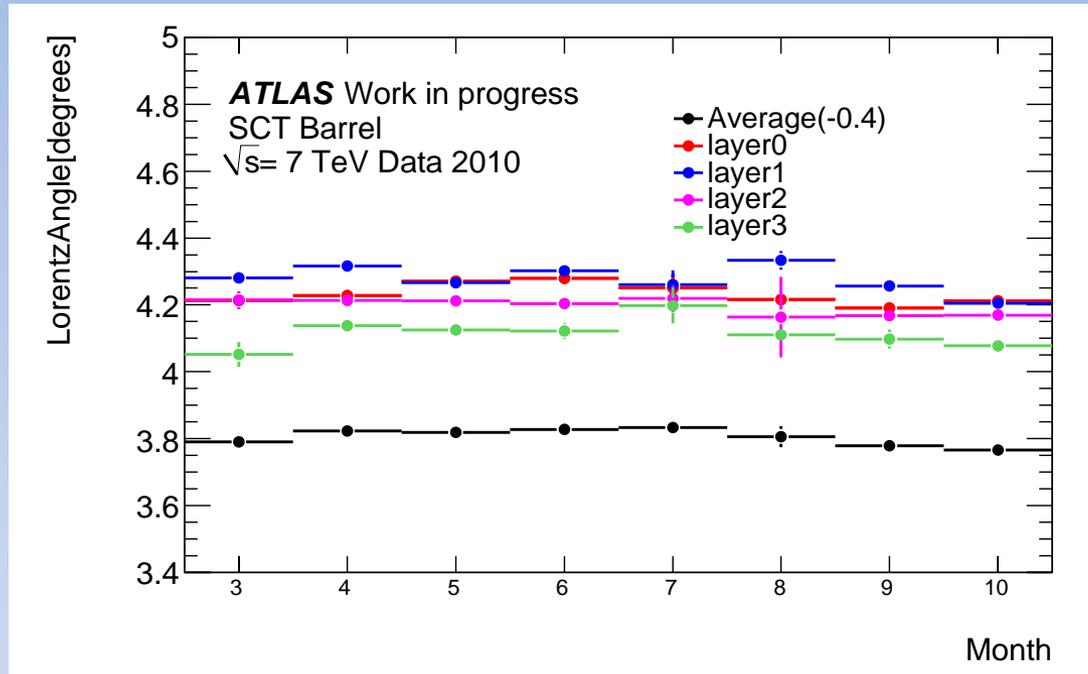
傾いているため、負の電荷のトラックがSCTに垂直に入りやすい。

ローレンツ角は垂直方向に近い場合、

負の電荷のトラックがローレンツ角を構成する主なものである。



# 2010年 —ローレンツ角—



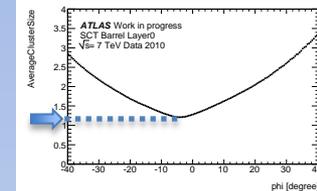
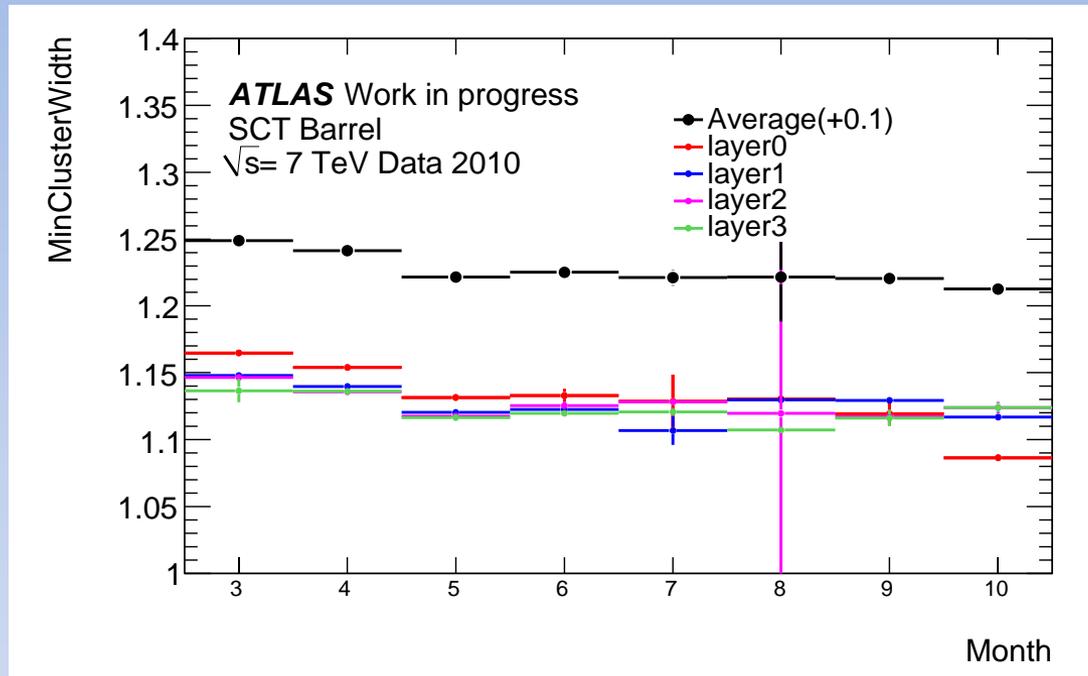
3層目は、他の層と温度が異なるためローレンツ角は小さくなっている。(0～2層: 2°C、3層: 4.5°C)  
各層各月でローレンツ角にばらつきはあるが、各層の平均を取ったものでは各月安定した値になっている。  
各月 層平均をとったものは、

$$4.217^{+0.015}_{-0.051}[\text{degrees}]$$

デザインミノシティ( $1.0 \times 10^{34} [\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}]$ )で今後走らせた場合、1時間程度の統計では  
 $\pm 0.001[\text{degrees}]$

の統計誤差で測定ができる。

# 2010年 —最小クラスターサイズ—



5月にストリップでの電荷収集タイミングを変えている。  
 それに対応して最小クラスターサイズに変化が現れている。  
 各層各月ではばらつきはあるが、各層の平均を取ったものでは5月以降各月安定している。  
 5月以降の各月 層平均をとったものは

$$1.120^{+0.010}_{-0.008}$$

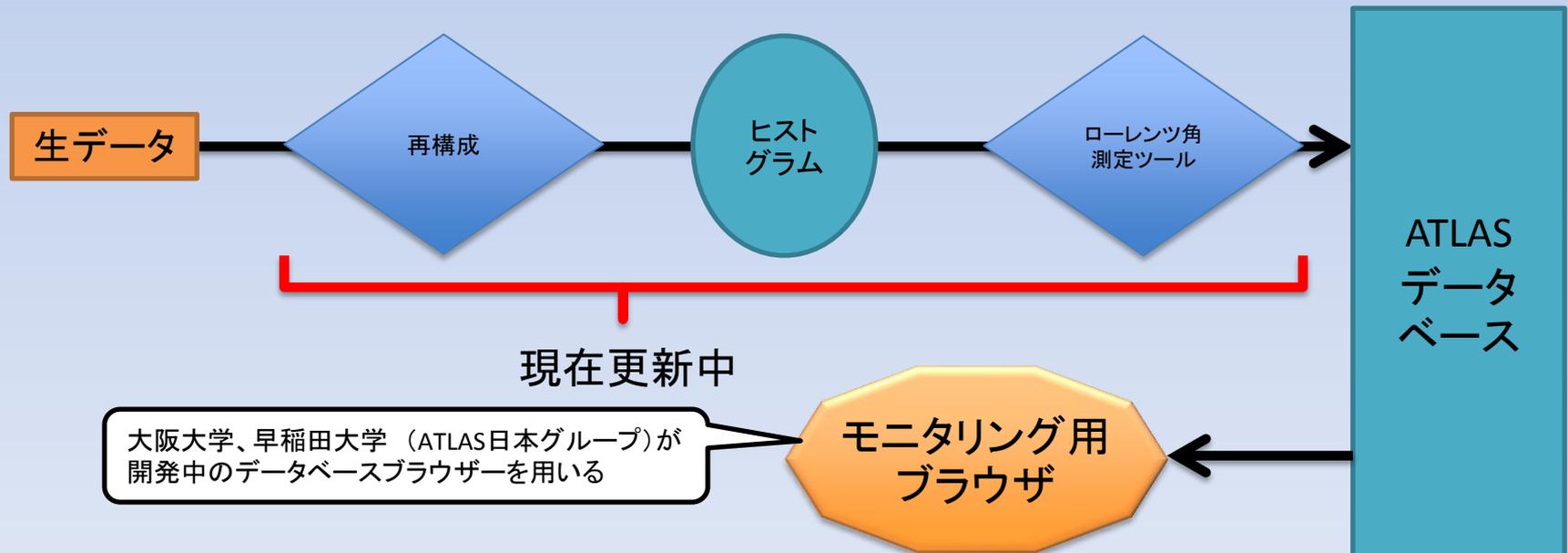
デザインミノシティ( $1.0 \times 10^{34} [\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}]$ )で今後走らせた場合、1時間程度の統計では  
 $\pm 0.0002$

の統計誤差で測定ができる。

# 4. 今後

## データベースへのアップロード

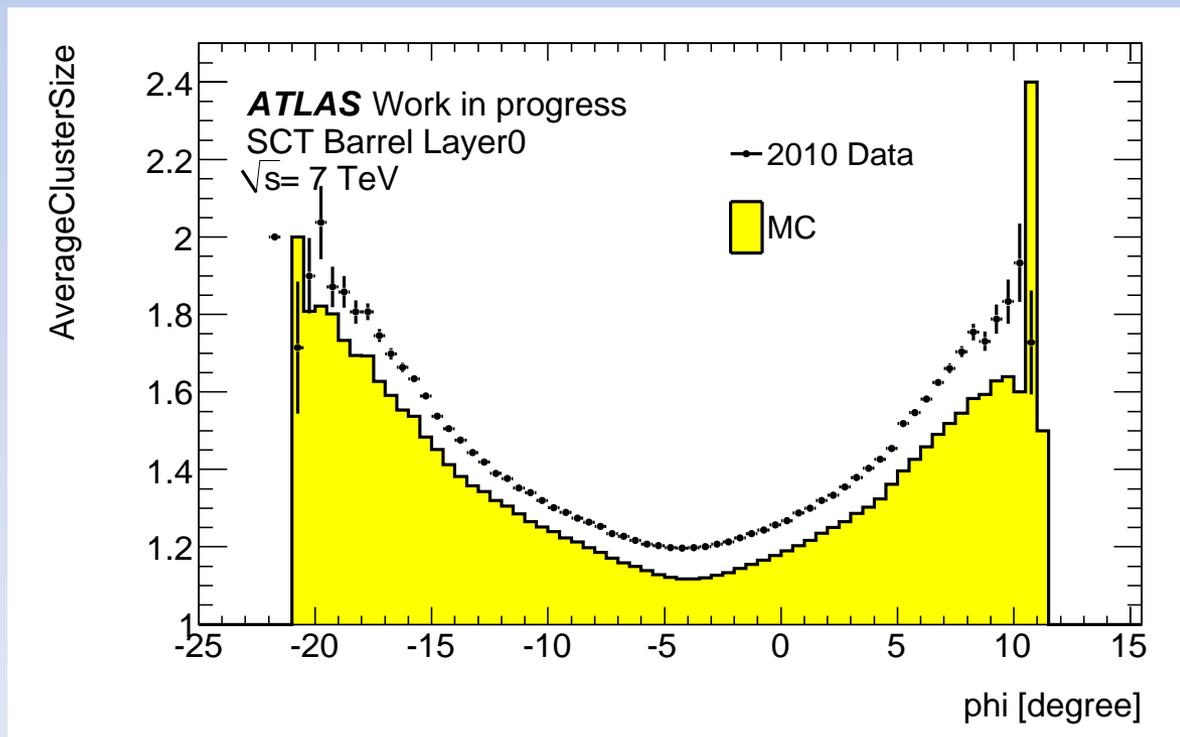
- 今後ATLASのデータベースへ各ラン毎のローレンツ角と最小クラスターサイズを追加する予定
- ランで電場や磁場に異常があった場合、それらの値に変化が表れる
- 放射線損傷によってもローレンツ角や最小クラスターサイズに変化が見られると考えられるため、長期的には放射線損傷の度合いを間接的に測定しモニターできる



各ランごとの値を長期にわたり容易に観測可能になる

# 5. 実データとシミュレーションのずれ

- 現在、シミュレーションと実データの最小クラスターサイズ、ローレンツ角が一致していない
- この原因を追及中
  - トラックのQualityによる変化
  - 電荷収集プロセスなどを直したシミュレーションも見ている



# 6. まとめ

- SCT内のローレンツ角を測っている
- ローレンツ角を定期的に測ることで  
検出器の磁場や電場の状態が推測できる
- 2010年のローレンツ角と最小クラスターサイズは安定していた
- 今後、データベースへアップロードし、長期的な観測を目指す
- 現在DataとMCでのローレンツ角にずれがあり、原因を究明中