

LHC-ATLAS実験SCTシリコン 飛跡検出器のコミッショニング

高エネルギー物理学研究室

41419130

岡本 敦志

内容

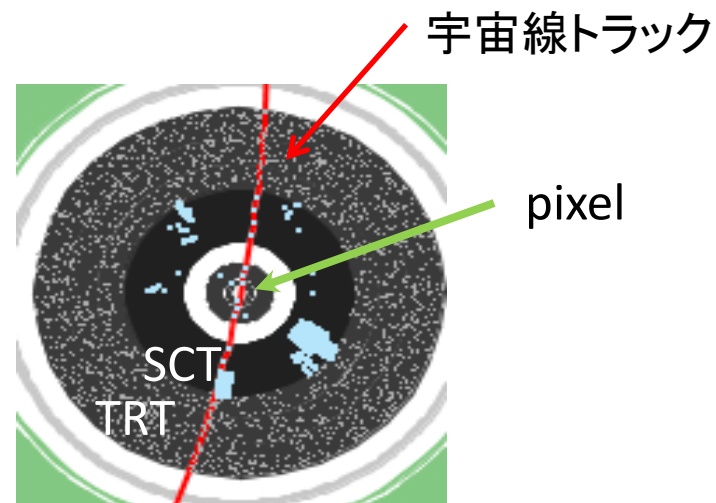
1. 研究の目的
2. LHC加速器とATLAS検出器
3. SCT飛跡検出器
 1. 動作原理
 2. デジタイゼーション
 3. ホール角
 4. クラスタサイズ
4. 解析結果
 1. ホール角
 2. クラスタサイズ
5. まとめ

1. 研究の目的

- 2008年9月、LHC-ATLAS検出器が地下に移動して初めて磁場(2T)をかけた状態で稼働。
- LHC-ATLASで2008年10月に行われた宇宙線コミッションングデータを解析。



本研究の目的

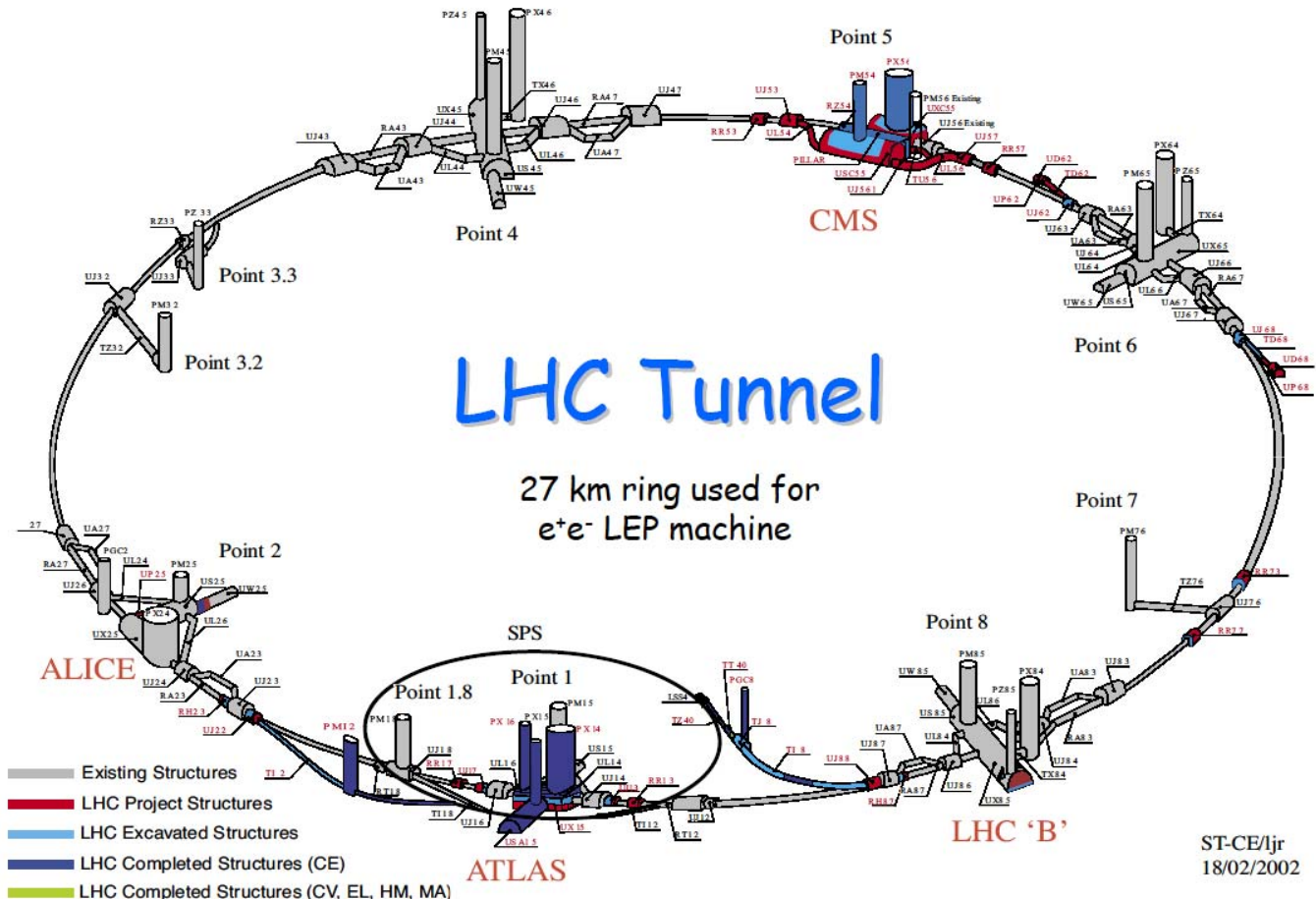


内部飛跡検出器のイベントディスプレイ

SCT (SemiConductor Tracker) 半導体飛跡検出器の

1. 入射角と検出効率の関係を調べる。
2. **クラスターサイズ**をシミュレーションと比較する。
3. 磁場のかかった状態での**ホール角**を求める。
→ デジタイゼーション・パラメータの評価を行う。

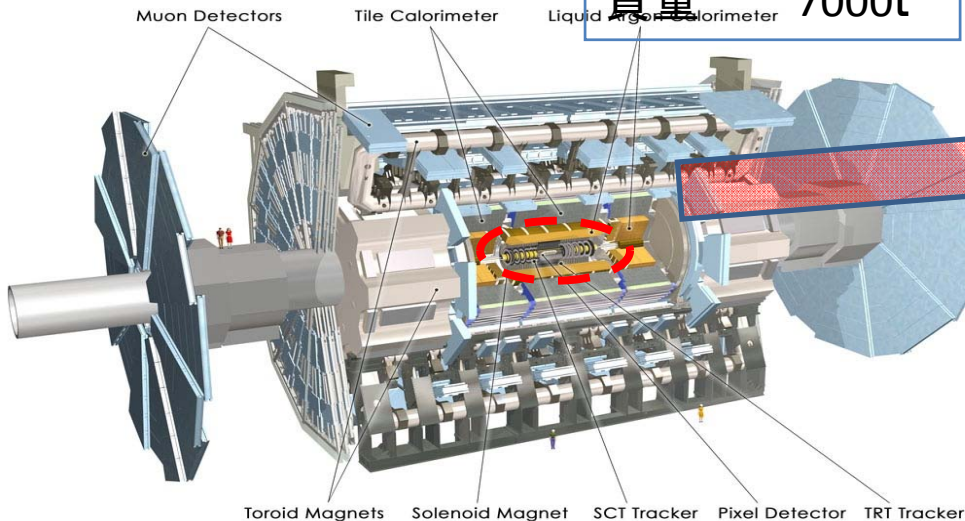
2. LHC(Large Hadron Collider)加速器



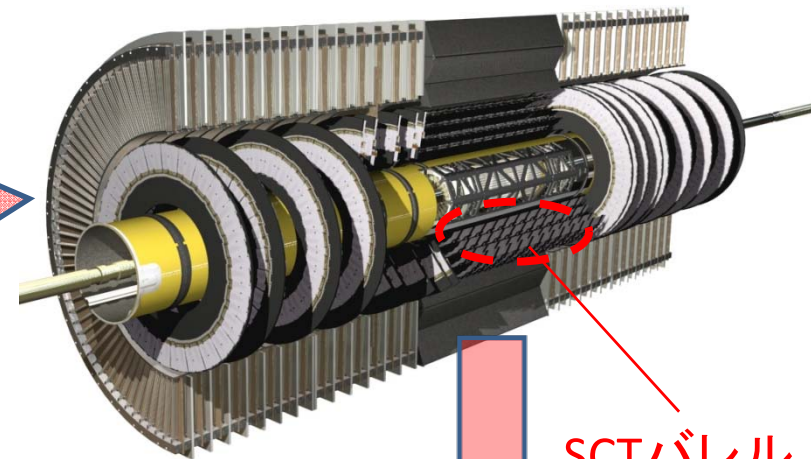
- 重心系のエネルギーが14TeVの陽子・陽子衝突型加速器。
- 2008年9月10日にビーム入射が開始された。
- ヒッグス粒子、超対称性粒子、余剰次元の発見が主要な目的。

ATLAS検出器

全長 43m
高さ 22m
質量 7000t

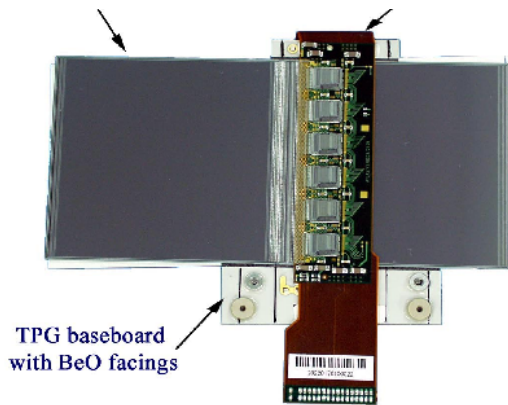


内部飛跡検出器



2Tソレノイド磁場

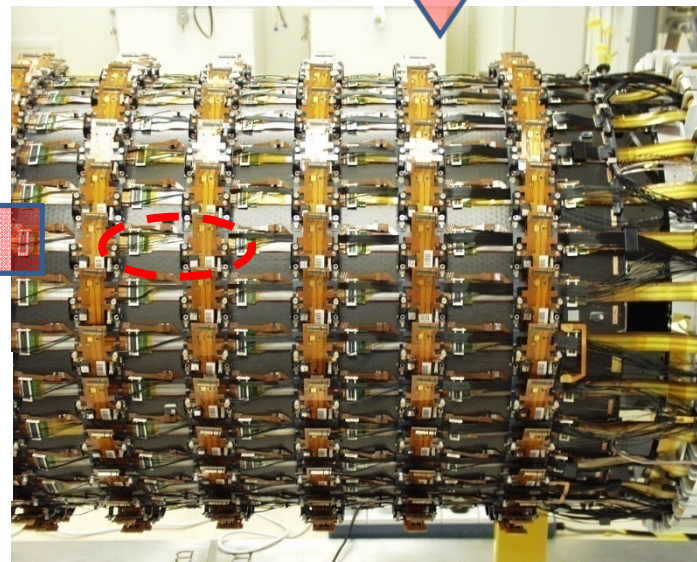
4枚のシリコンから成る



2009/2/24

128 mm

2112台のSCT
バレルモジュール



3 SCT飛跡検出器

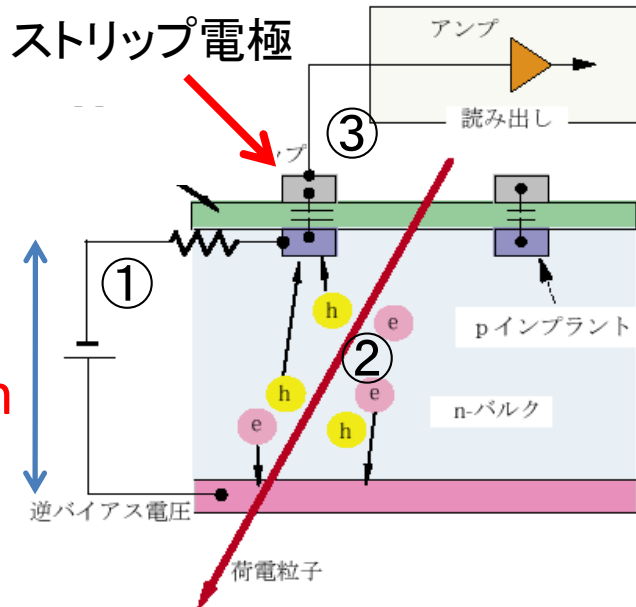
3.1動作原理

ストリップ間隔

80 μm

断面図

厚さ
285 μm



信号読み出しまでの流れ

- ① 逆バイアス電圧 (通常150V) をシリコン半導体にかけることによって空乏層を作る。
- ② 荷電粒子が通過した時に電子正孔対を作る ($80e-h/\mu\text{m}$)。
- ③ p型半導体 (ストリップ電極) に電荷が収集され、アンプを通った後デジタル信号に変換される。

荷電粒子がSCTモジュールに垂直に通過したとき

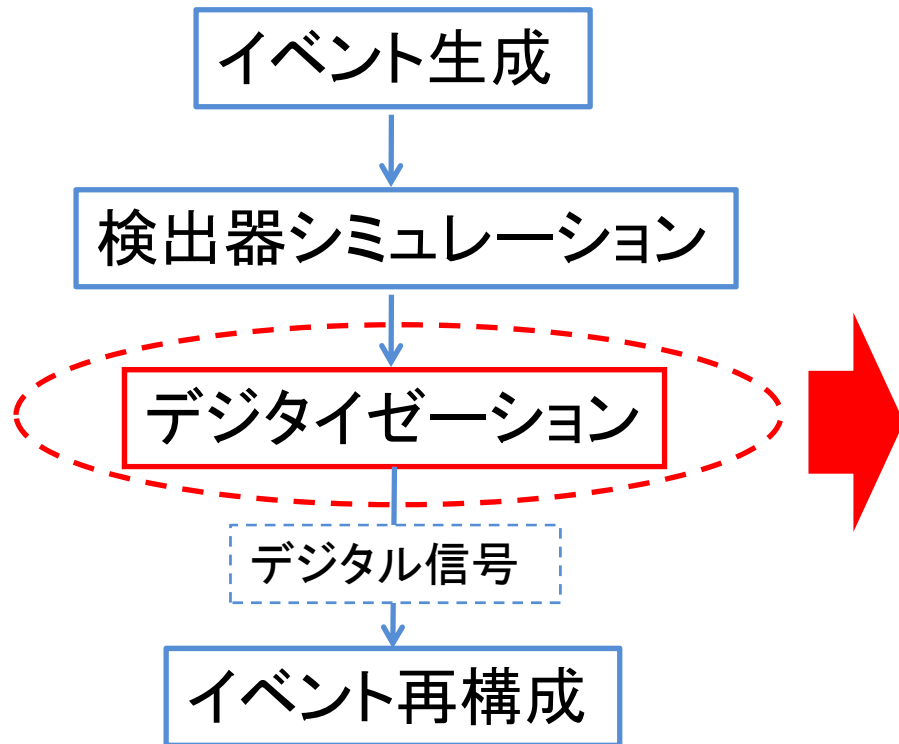
1 μm あたり80個の電子正孔対が生成 → 285 μm で22600個(3.6fC)

- ・通常 閾値 1fC、バイアス電圧 150V で稼働。
- ・放射線損傷時には バイアス電圧450Vにする必要がある。

3.2 デジタイゼーション

シミュレーションで本実験を正確に再現するために...

シミュレーションの流れ



デジタイゼーションで代表する設定されているパラメータ

1. 電荷収集

センサー温度	-7°C
逆バイアス電圧	150V
全空乏化電圧	70V
ホール角	4.02° (-7°C)
電荷収集速度	約21ns

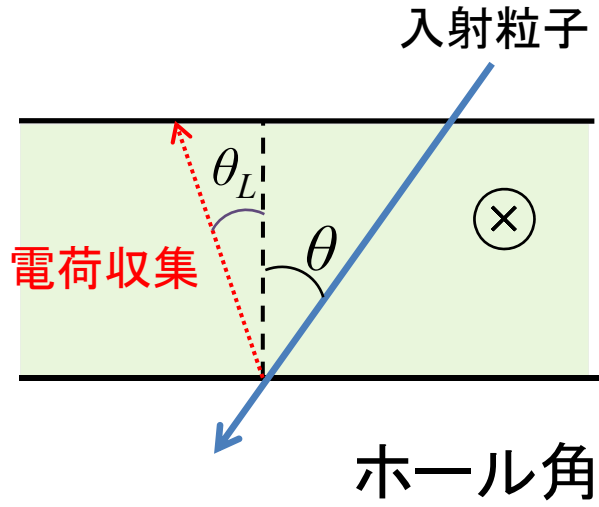
2. 信号読み出し

クロストークによる電荷のロス	10%
ABCDピーキングタイム	21ns

これらのパラメータを実データと比較して、評価する。

3.3 ホール角

磁場があるときの電荷収集



$$\tan \theta_L = \mu_H B = r \mu_d B$$

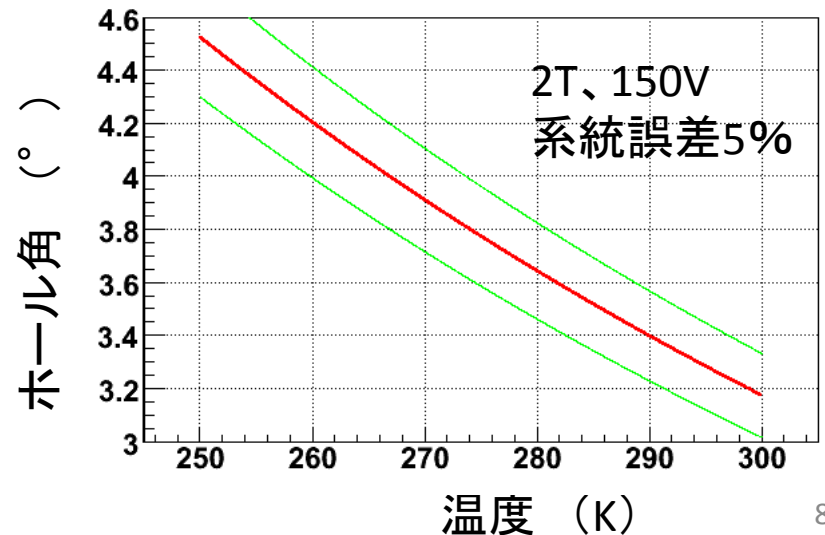
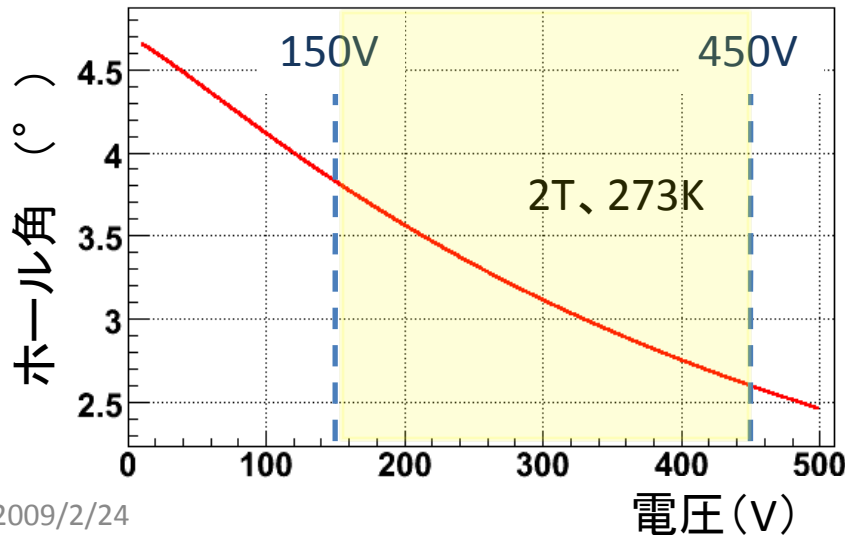
$$\mu_d = \frac{v_s / E_c}{\left[1 + (E / E_c)^\beta \right]^{1/\beta}}$$

μ_d : ドリフトモビリティ

r : Hallファクター

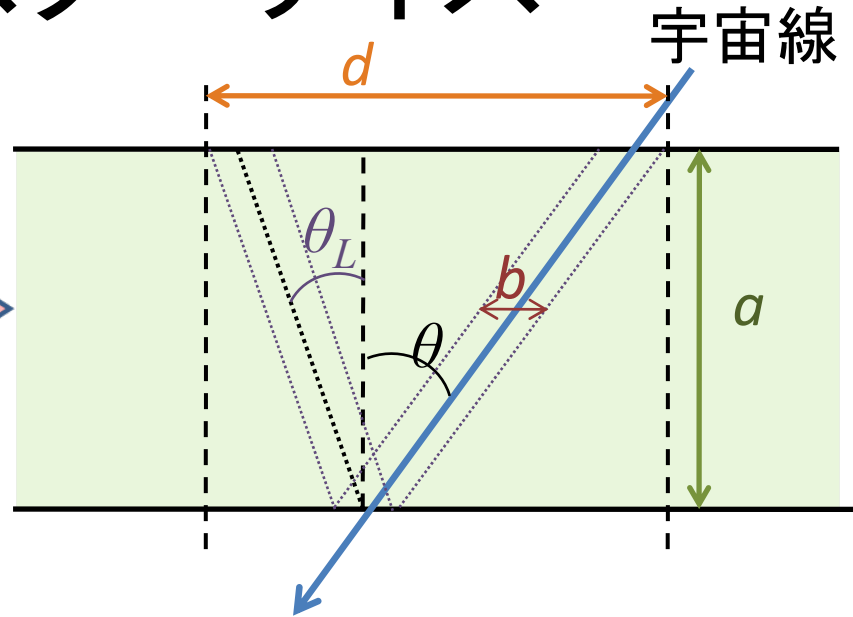
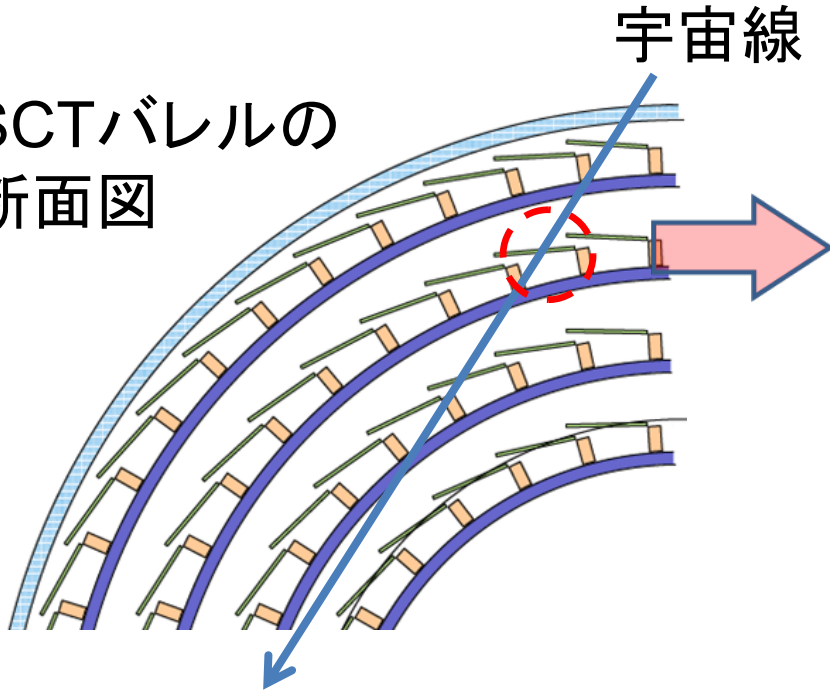
μ_H : Hallモビリティ

磁場、電圧、温度に依存



3.4 クラスターサイズ

SCTバレルの
断面図



さまざまな入射角とそれに付
随したクラスターサイズを調
べる。

クラスターサイズ：
連続してヒットしたストリップの数

d : クラスターサイズ

θ_L : ホール角

θ : 入射角

a : 空乏層

b : クラスターサイズの最小値

$$d = a |\tan\theta - \tan\theta_L| + b$$

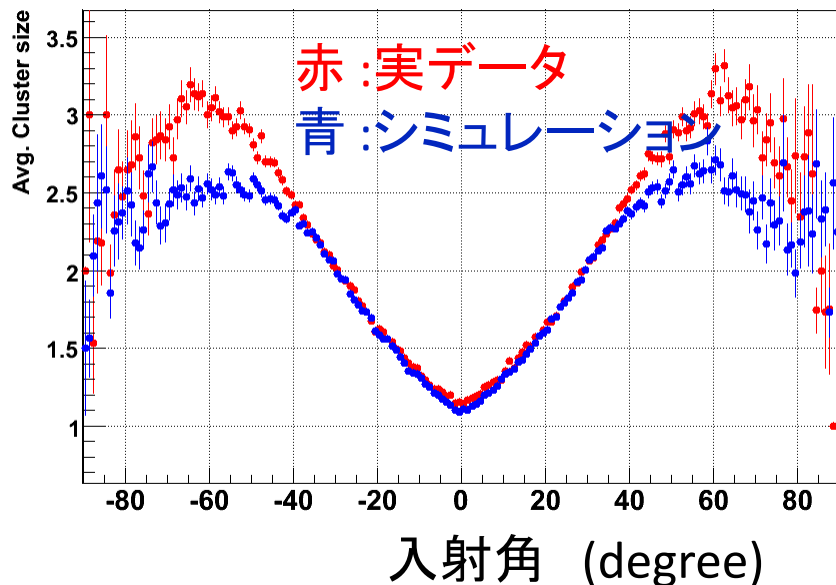
(磁場がかかっていないとき $\theta_L=0$)

4. 解析結果

4.1 ホール角

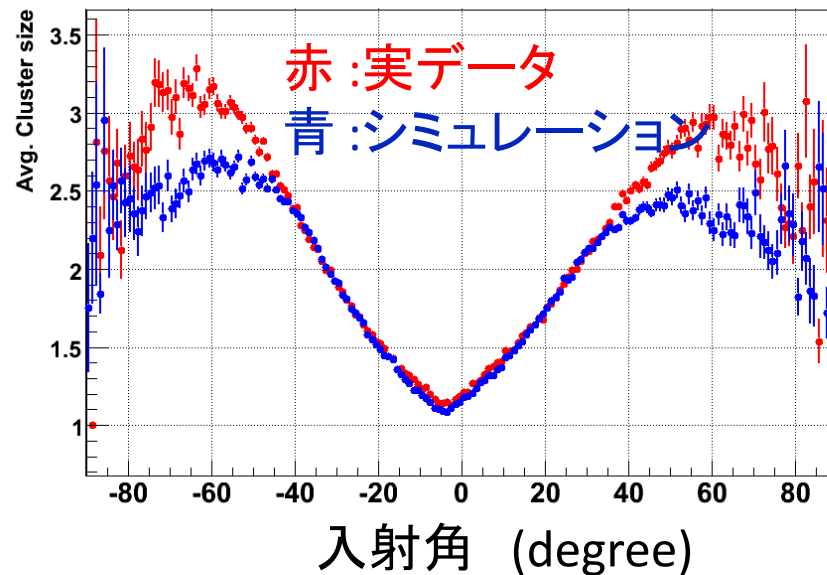
<cluster width> vs phiWafer

磁場なし



<cluster width> vs phiWafer

磁場あり(B=2T)



- 磁場ありではクラスターサイズの最小値が入射角 0° からずれている。
→ 0° からのずれ = ホール角
- 入射角 40° 付近から実データのほうがクラスターサイズが大きくなる。
→デジタイゼーション・パラメータによる違い。

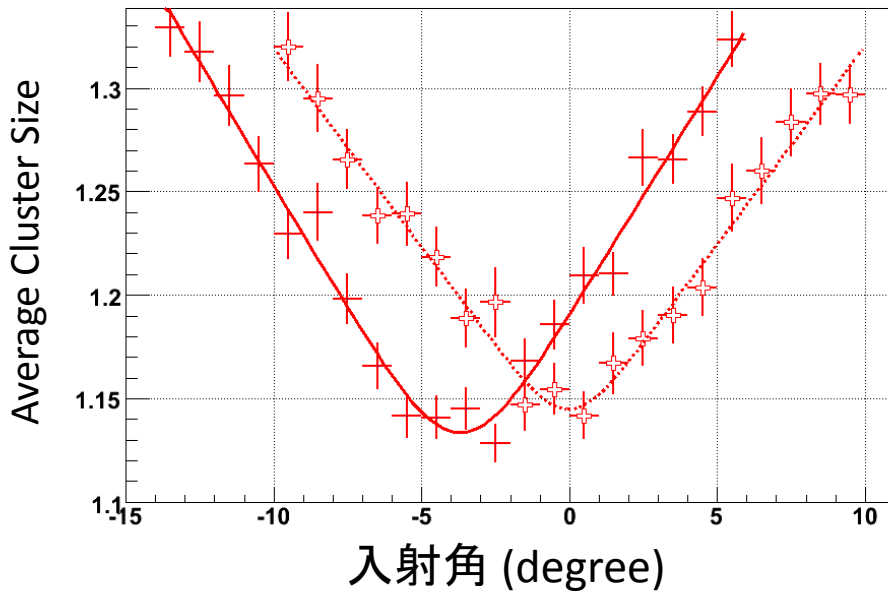
ホール角フィット

フィット関数

$$(a|\tan \theta - \tan \theta_L| + b) \otimes \text{Gauss}(\theta)$$

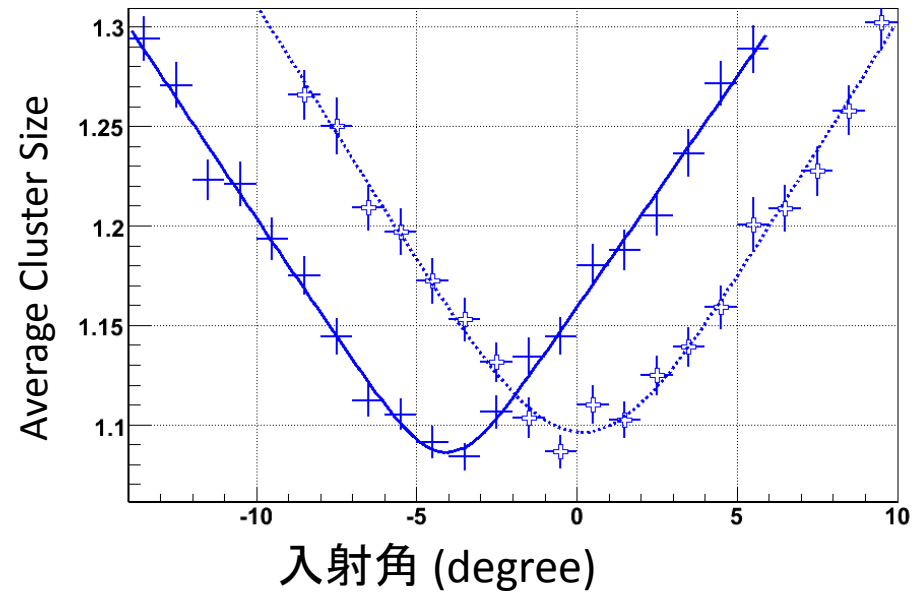
Real Data

<cluster width> vs phiWafer



MC

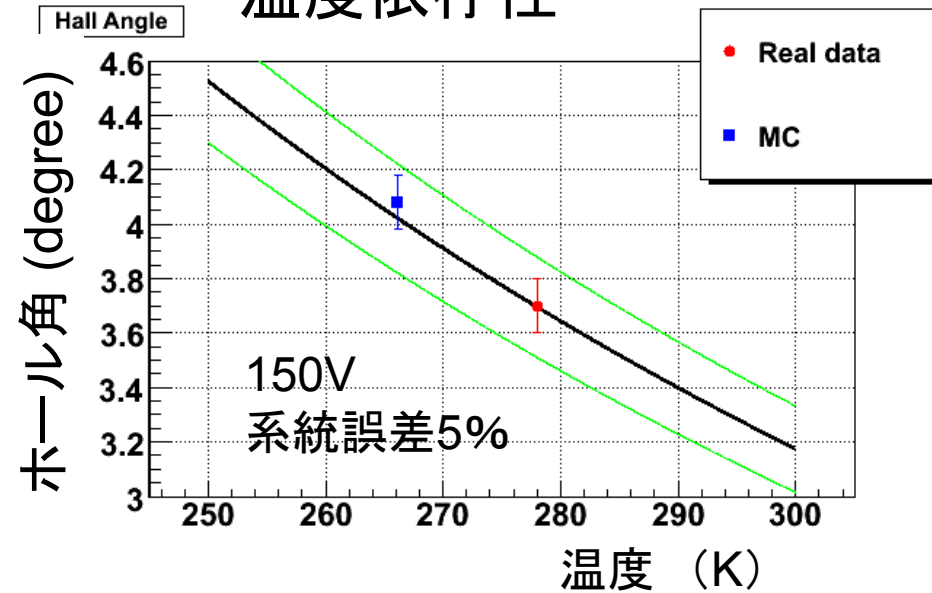
<cluster width> vs phiWafer



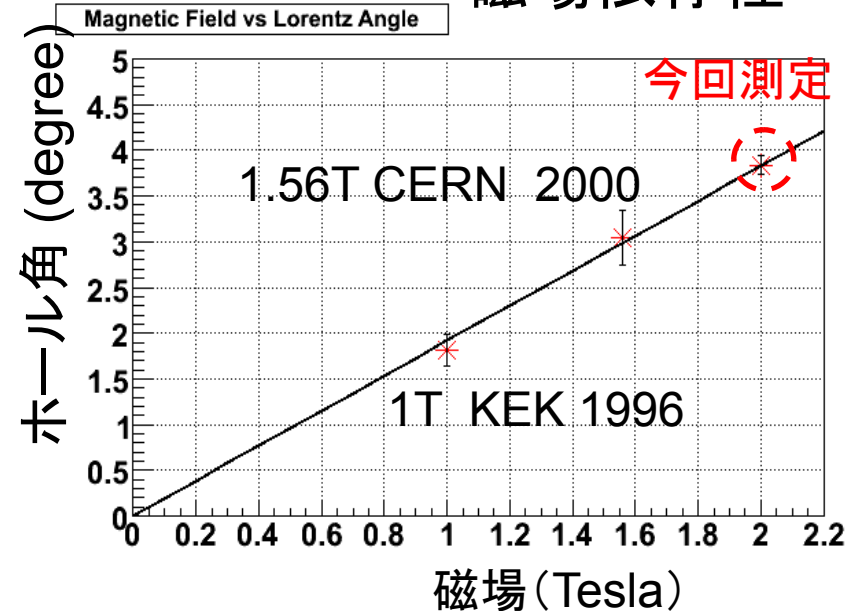
	ホール角 (degree)	クラスターサイズの最小値
実データ (磁場あり)	-3.70 ± 0.10	1.13 ± 0.01
実データ (磁場なし)	0.04 ± 0.19	1.15 ± 0.01
シミュレーション (磁場あり)	-4.08 ± 0.10	1.09 ± 0.01
シミュレーション (磁場なし)	0.16 ± 0.12	1.10 ± 0.01

デジタイゼーションモデルとの比較

温度依存性



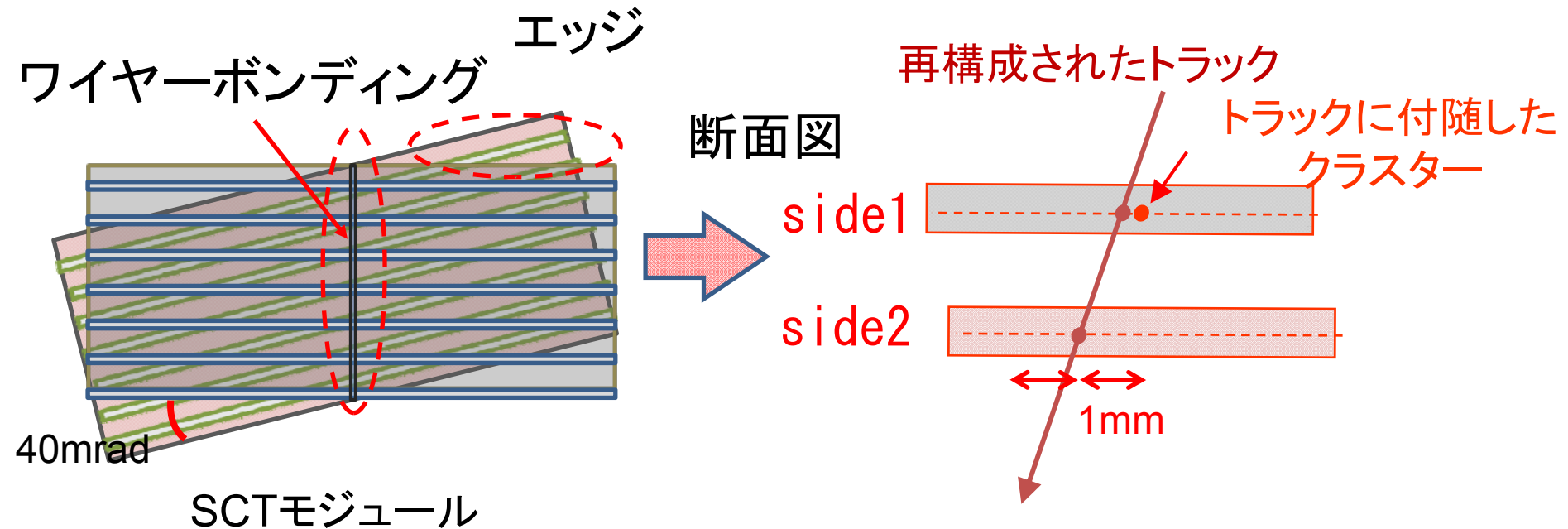
磁場依存性



273K、150Vに補正

	磁場	電圧	温度 (センサー)	ホール角 (測定値)	ホール角 (モデル)
実データ	2T	150V	4.6±1°C	-3.70±0.10°	-3.71°
シミュレーション	2T	150V	-7°C	-4.08±0.10	-4.02°

4.2 クラスターサイズ



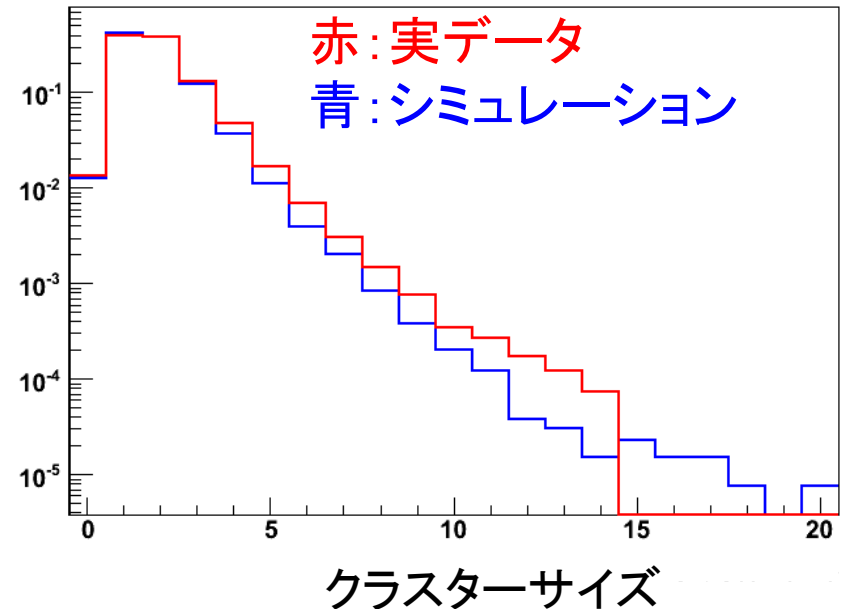
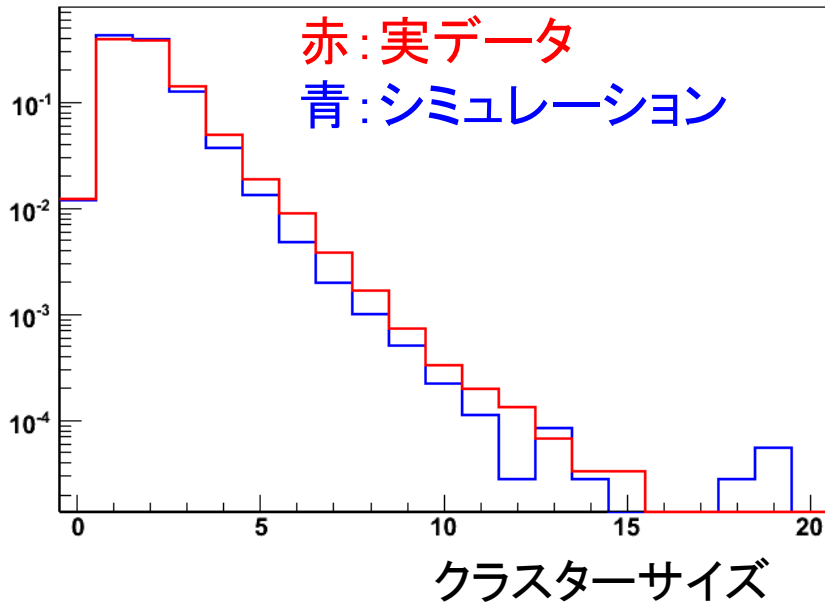
- Side1にトラックに付随したクラスターがあるときside2のトラックから1mm以内のクラスターを探す。
- SCTモジュールのエッジ、ワイヤーボンディング付近の検出効率の悪い部分をカット (Fiducial カット)。

クラスターサイズ

B=0T, 別サイド (1mm以内)

B=2T, 別サイド (1mm以内)

エッジ、ボンディング付近 2mm カット

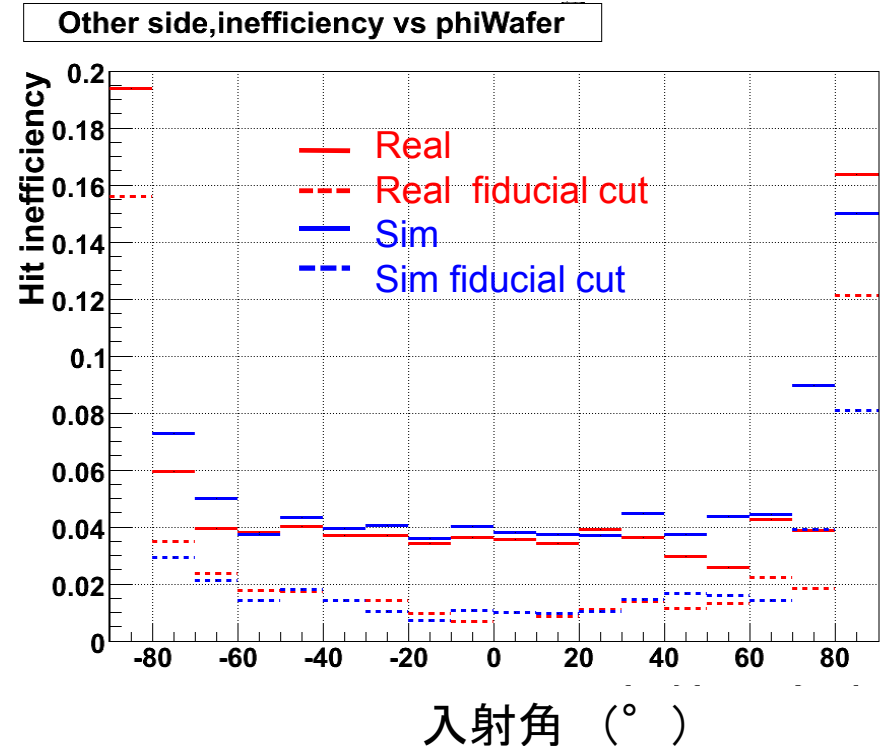
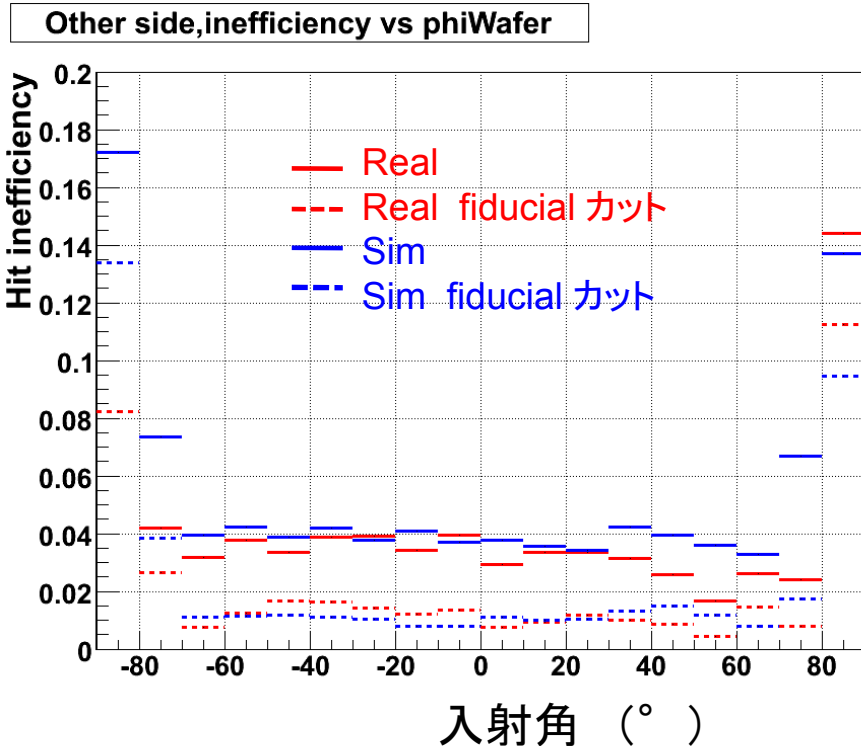


- クラスターサイズ=0(非検出効率)は実データ、シミュレーションともに約1%、これはdead channel の数に相当する。
- クラスターサイズは大きいところで実データの方が約1大きくなる。

非検出効率

B=0T (別サイド 1mm以内)

B=2T (別サイド 1mm 以内)



入射角70° まで非検出効率一定(磁場なし1%以内、
磁場あり2%以内)

5.まとめ

- LHCアトラス実験のSCT飛跡検出器の宇宙線コミッショニングを行った。
- SCTデジタイゼーションパラメータの評価を行った。

ホール角

- ホール角は磁場、電圧、温度に依存していることが観測された。
- ホール角の測定結果とデジタイゼーションモデルによる計算結果は良く一致している。

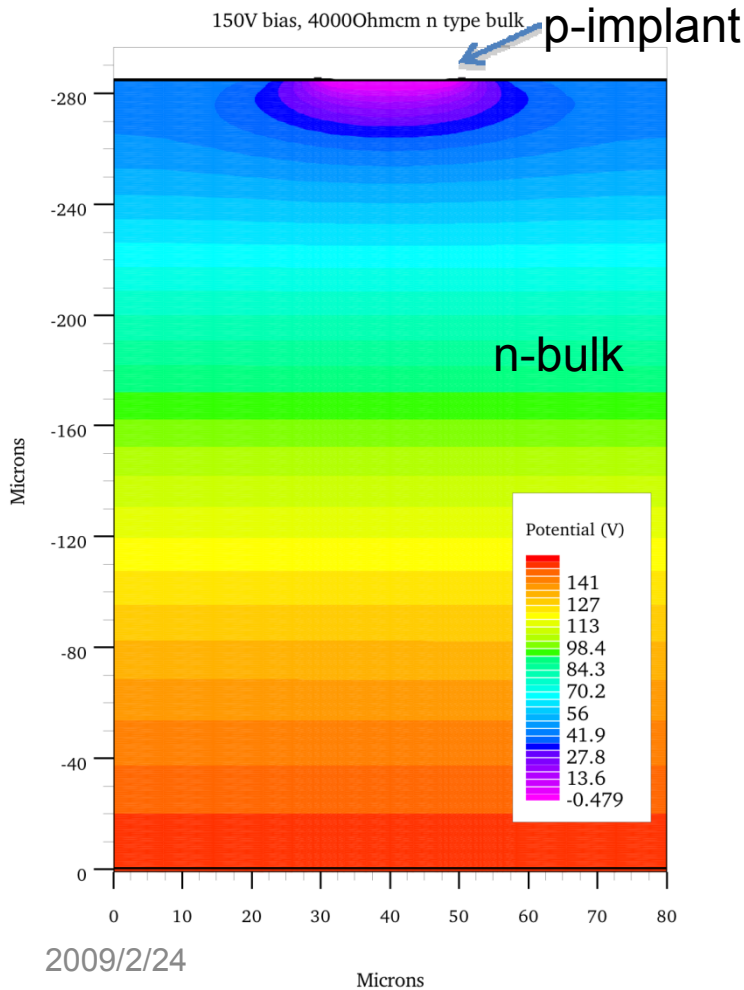
クラスターサイズ

- 入射角 40° 以内ではクラスターサイズはよく一致している。
- クラスターサイズの最小値は実データのほうが約0.05大きいですが、その差は小さい。隣り合ったストリップ間の干渉効果によるものと考えられる。
- 入射角 70° 付近まで非検出効率はほぼ一定である(約1%)。

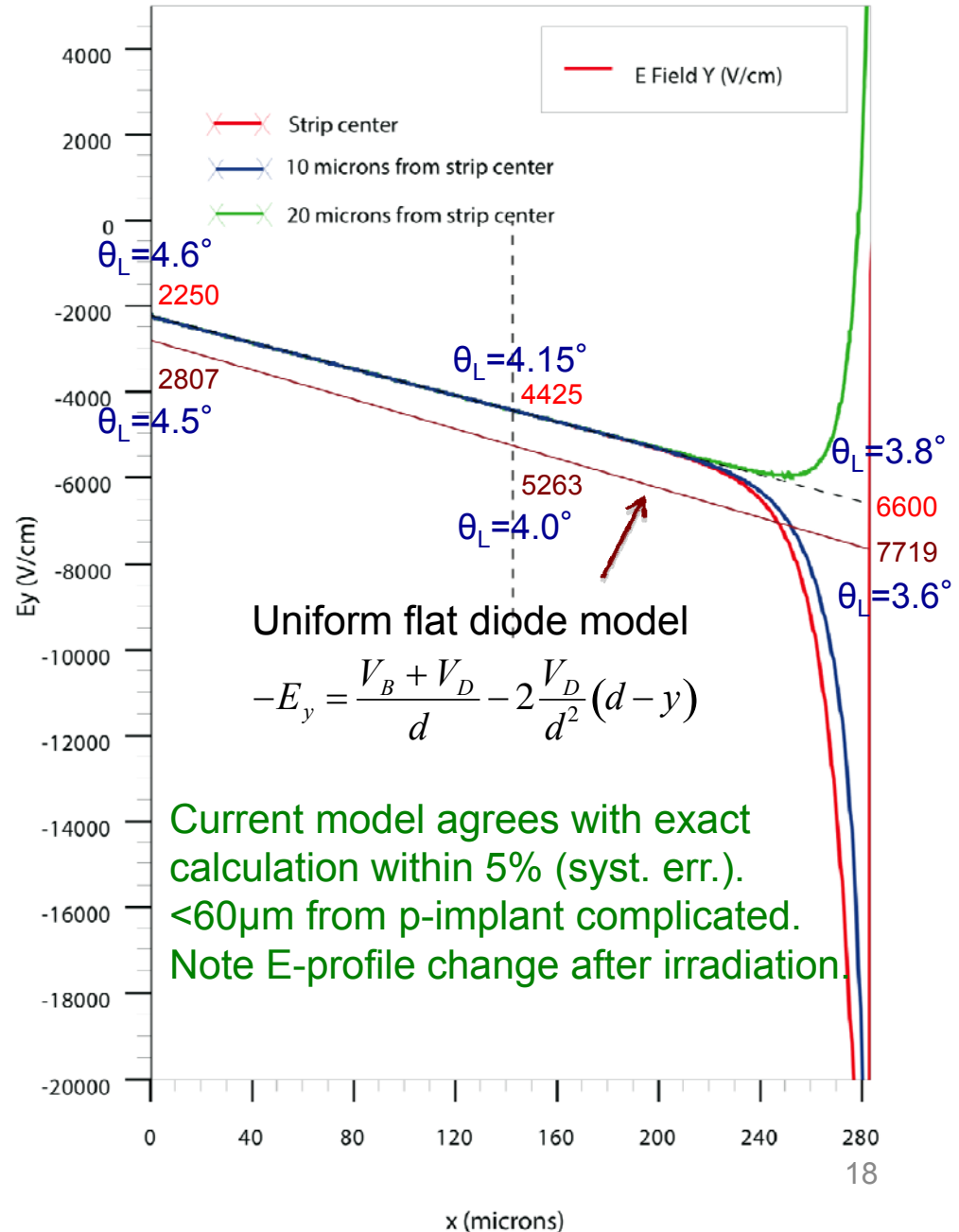
Back up

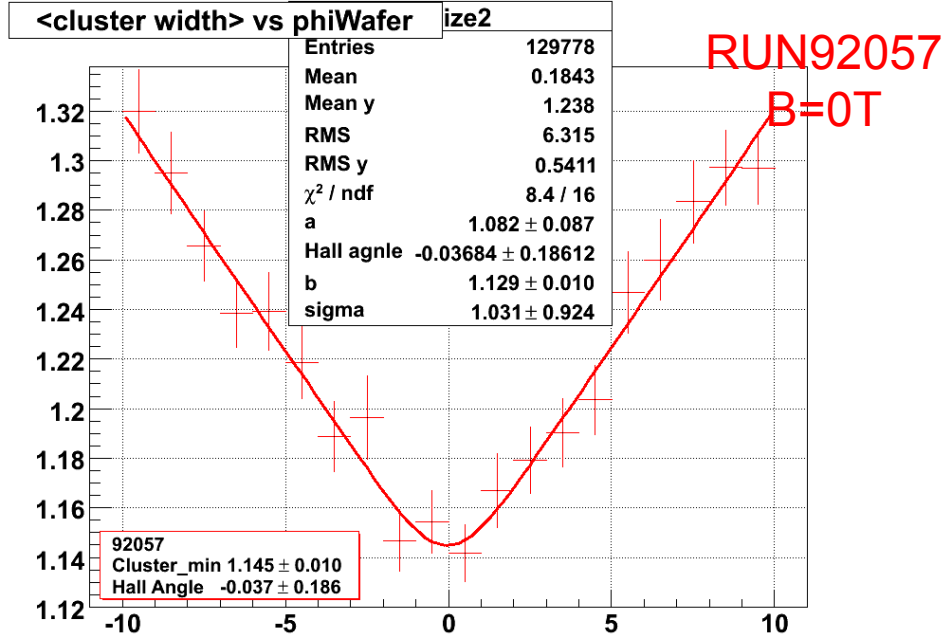
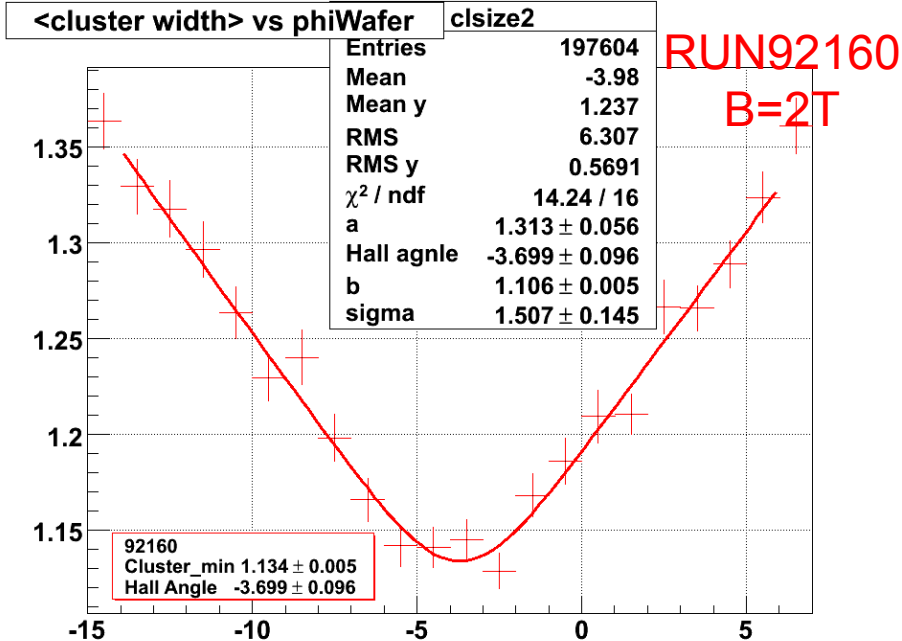
TCAD simulation

Mathieu Benoit (LAL), Preliminary result.

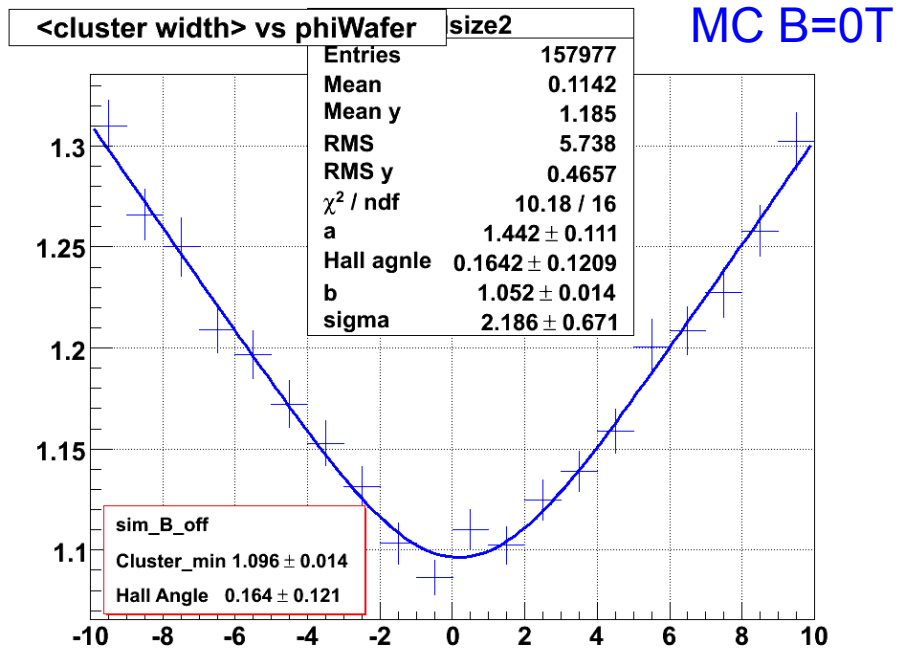
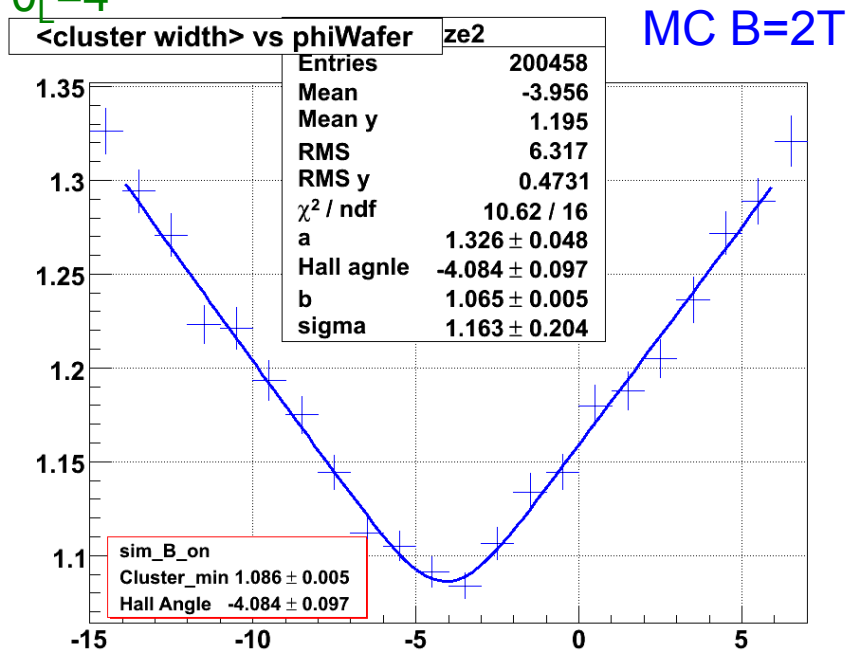


V = 150V, 4KOhmcm n-bulk





Q) Are slope and sigma parameters reasonable ? A) expect $a \sim 1.7$, $\sigma = 1-2^\circ$?
 $\theta_L = 4^\circ$



Hall (Lorentz) angle model

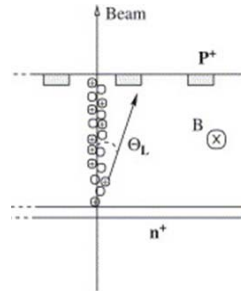
ATL-INDET-2001-004

$$\tan \theta_L = \mu_H B = r \mu_d B$$

μ_H : Hall mobility

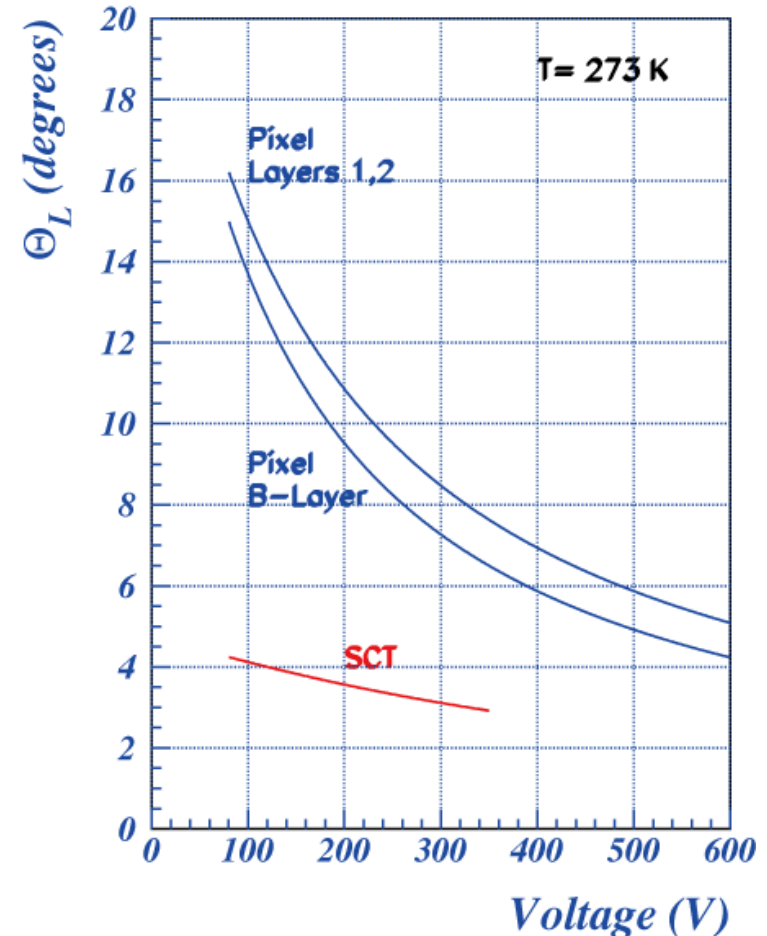
r : Hall factor ≈ 1

$$\mu_d = \frac{v_s / E_c}{\left[1 + (E / E_c)^\beta \right]^{1/\beta}} \quad (\text{drift mobility})$$



	Electrons	Holes
$v_s(\text{cm s}^{-1})$	$1.53 \cdot 10^9 \cdot T^{-0.87}$	$1.62 \cdot 10^8 \cdot T^{-0.52}$
$E_c(\text{V cm}^{-1})$	$1.01 \cdot T^{1.55}$	$1.24 \cdot T^{1.68}$
β	$2.57 \cdot 10^{-2} \cdot T^{0.66}$	$0.46 \cdot T^{0.17}$
r	$1.13 + 0.0008 \cdot (T - 273)$	$0.72 - 0.0005 \cdot (T - 273)$

Valid for $T > 250\text{K}$,
E along $\langle 111 \rangle$ crystallographic direction



Parametrization: C. Jacoboni *et al.*, Solid-State Electronics 20 (1977) 77-89.
 T. Lari, ATL-INDET-2001-004

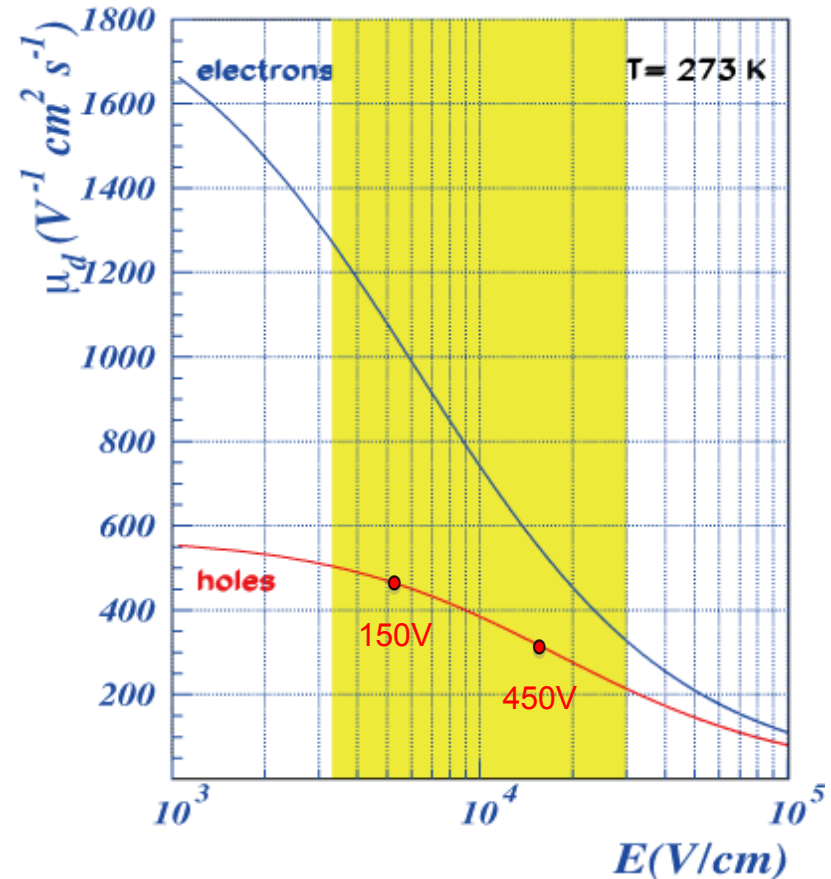
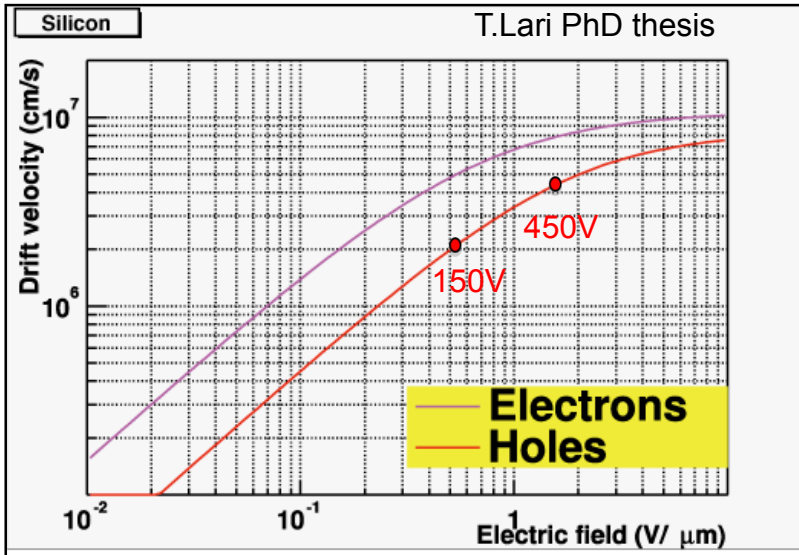
Implemented into SCT Digitization S.Gadomski, ATL-SOFT-2001-005

Bias voltage dependence

$$\tan \theta_L = \mu_H B = r \mu_d B$$

$$\mu_d = \frac{v_s / E_c}{\left[1 + (E / E_c)^\beta \right]^{1/\beta}} \quad (\text{drift mobility})$$

ATL-INDET-2001-004



drift velocity saturation at high electric field

→ drop of "mobility" = v/E

→ drop of Lorentz angle

$$\left. \frac{\partial \theta_L(V, T)}{\partial V} \right|_{150V, 273K} \approx -0.005^\circ / V$$

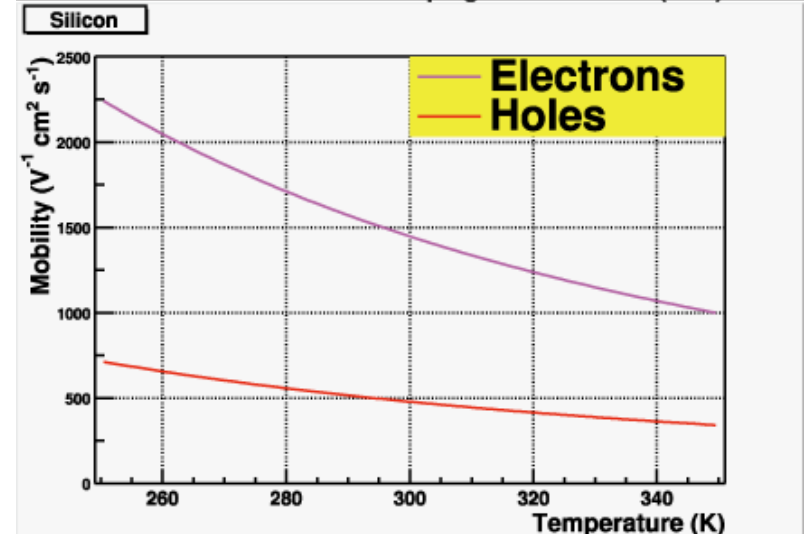
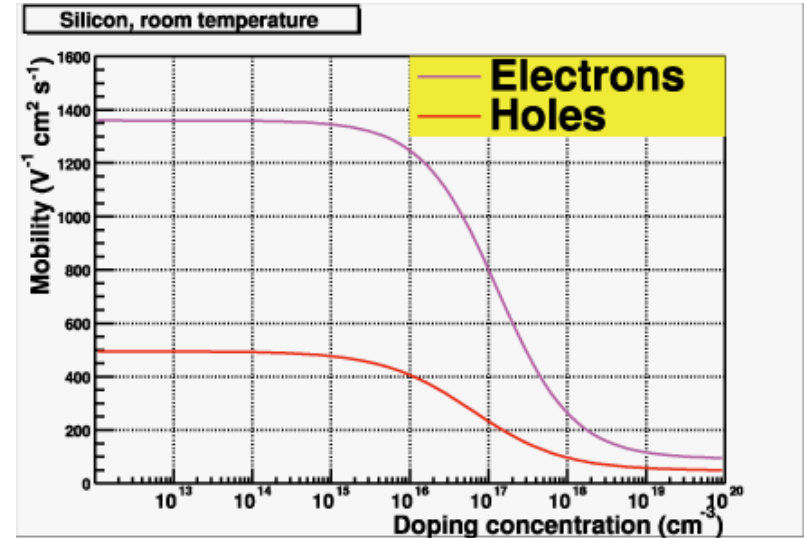
Temperature dependence

T.Lari PhD thesis

$$\tan \theta_L = \mu_H B = r \mu_d B$$

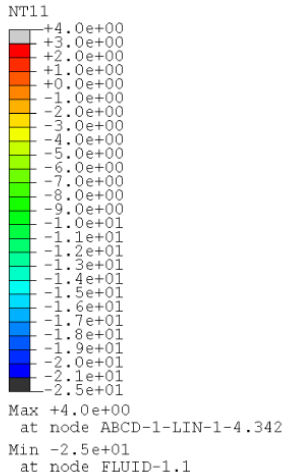
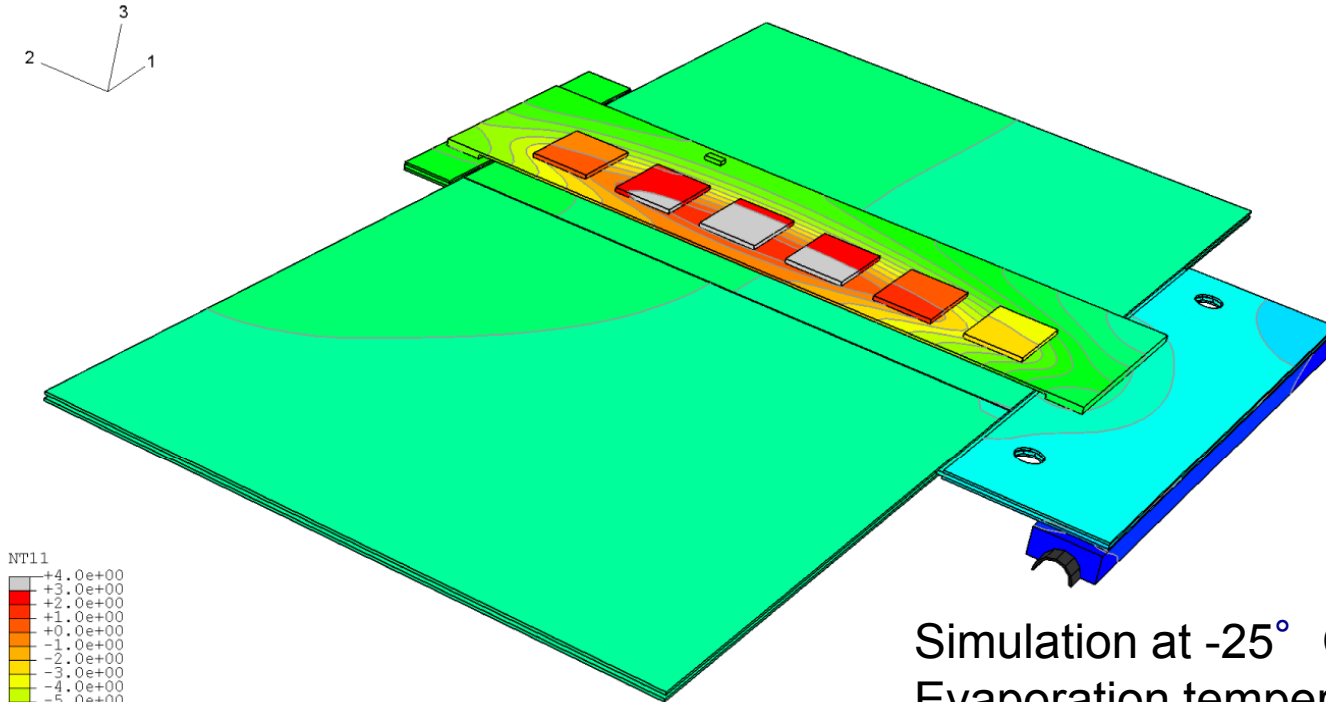
$$\mu_d = \frac{v_s / E_c}{\left[1 + (E / E_c)^\beta\right]^{1/\beta}} \quad (\text{drift mobility})$$

$$\left. \frac{\partial \theta_L(V, T)}{\partial T} \right|_{150V, 273K} \approx -0.027^\circ / K$$



Sensor Temperature

Graham Beck



Existing Barrel Module. First try with Coolong Block.
 ODB: BM2K_6.odb ABAQUS/STANDARD Version 6.5-1 Tue Jul 24 13:12:38 GMT Daylight Time 2007

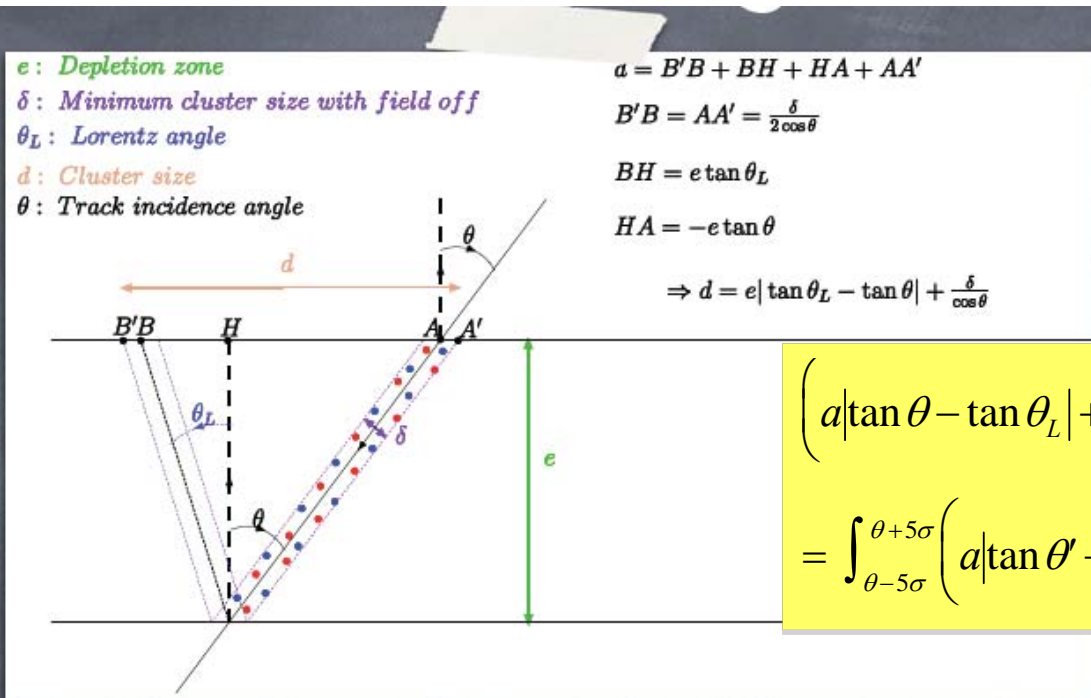
Step: Cooled, Hybrid Power On
 Increment 10: Step Time = 400.0
 Primary Var: NT11
 Deformed Var: not set Deformation Scale Factor: not set

Simulation at -25° C fluid temperature.
 Evaporation temperature was -9.61° C
 this year (Steve McMahon).

Legend: The contours are 1 degree, from -21C to +3C (maximum 24 contours allowed by Abaqus).
 The full temperature range is -25C (fluid) to +4 (front of central ASICS).

Hall angle vs incidence angle

- Parabolic or Hyperbolic function did not fit data well ($\chi^2/\text{dof}=2-4$).
- Employ more elaborated function used for Pixel (T.Lari).
 - Geometrical tangent function smeared with Gaussian.
 - a is slope, b is minimum cluster size, empirical $1/\cos\theta$.



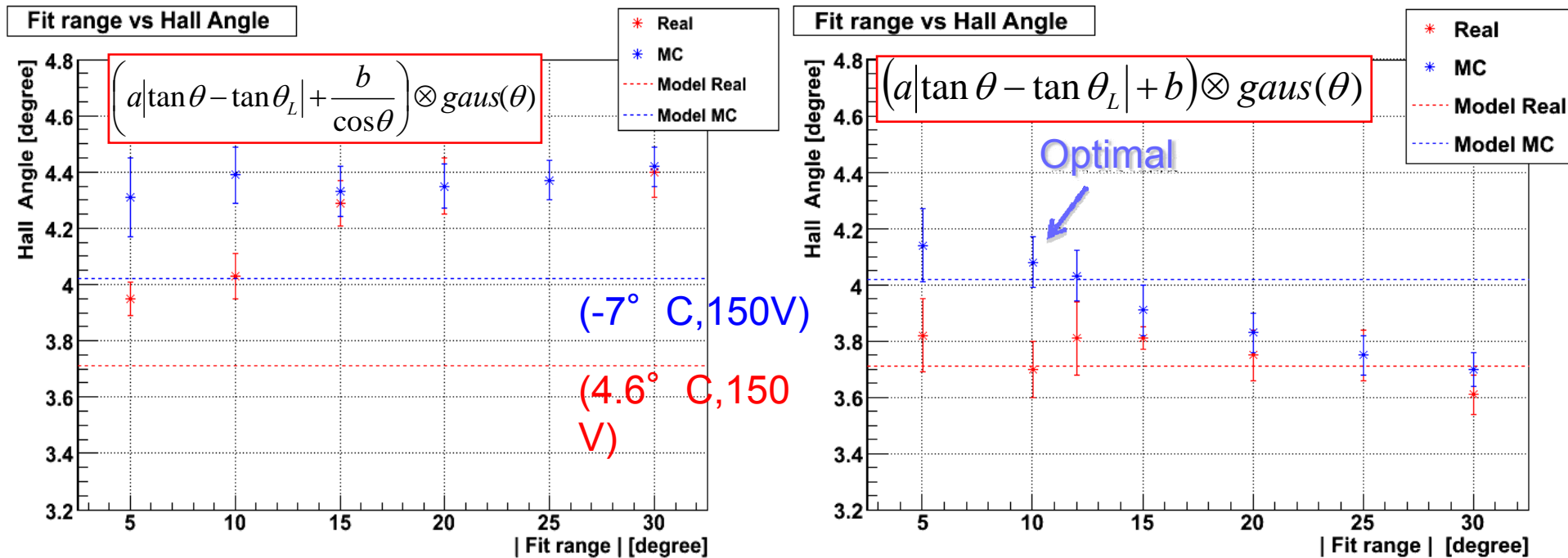
S. Montesano
ID week, Nov. 27, 2008

$$\left(a |\tan \theta - \tan \theta_L| + \frac{b}{\cos \theta} \right) \otimes \text{Gauss}(\theta)$$

$$= \int_{\theta-5\sigma}^{\theta+5\sigma} \left(a |\tan \theta' - \tan \theta_L| + \frac{b}{\cos \theta'} \right) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\theta - \theta')^2}{2\sigma^2} \right) d\theta'$$

or “b” term only instead of $b/\cos\theta$?

Lorentz angle fitting bias



MC T=-7° C

Cosmic data

Sensor temperature T=4.6±1° C

G.Beck Jan. 15, 2009

SCT Software Meeting

- Min+ -|fit range| fitting
- Bias induced for large fitting range.
- Bias introduced with b/cosθ fitting.
- Min+ -10 degree fitting with b only seems to be optimal.

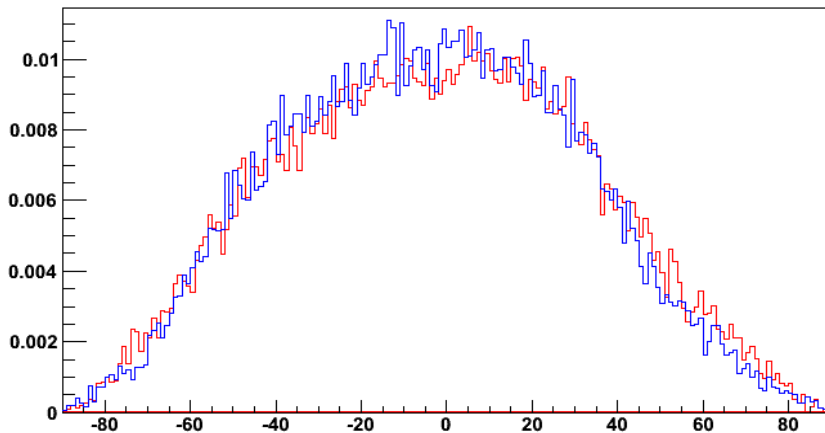
Incidence Angle to phi wafer

$B = 0T$

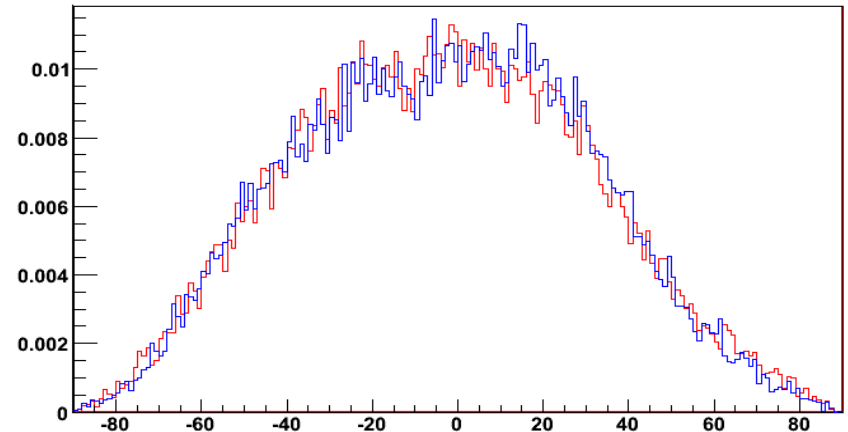
$B = 2T$

Red Real data

Blue MC



Incidence angle (degree)



Incidence angle (degree)

Q) Why distributions look asymmetric ?