



LHC加速器ATLAS実験用 SCTシリコン飛跡検出器 に関する基礎研究

筑波大 岡山大^A 京都教育大^B 高工研^C
中村 雄一

中村浩二、宗像孝光、望月亜衣、内藤大輔^A、原和彦、池上陽一^B、氏家宣彦^C、
海野義信^C、高力孝^C、近藤敬比古^C、高嶋隆一^B、田中礼三郎^A、寺田進^C、中野逸夫^A

- LHCとATLAS SCT検出器
- superLHC
- superLHC用シリコン検出器の設計
 - N-on-Pセンサー
 - レイアウト
- まとめと今後の課題



LHC実験

ヨーロッパCERN研究所で、2007年から7 TeV陽子を衝突させる。

(ルミノシティーは 10^{34} /cm²s、衝突間隔は25nsec)

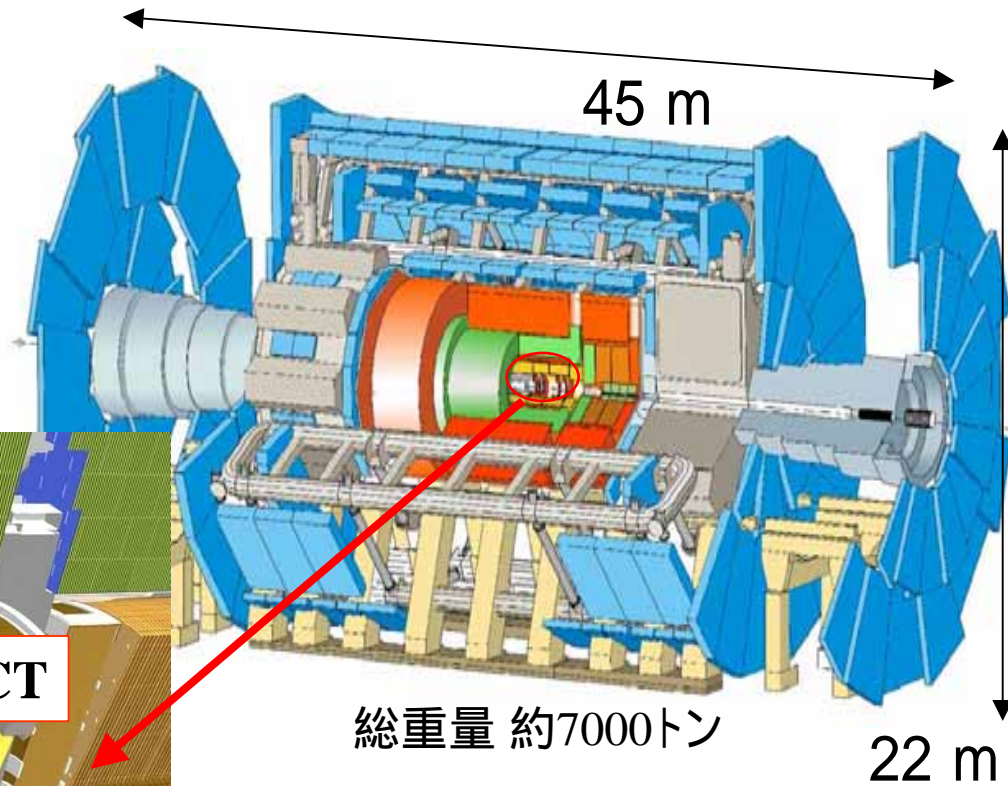
ATLASは汎用検出器のひとつで、Higgs粒子の探索を最大目標とする。





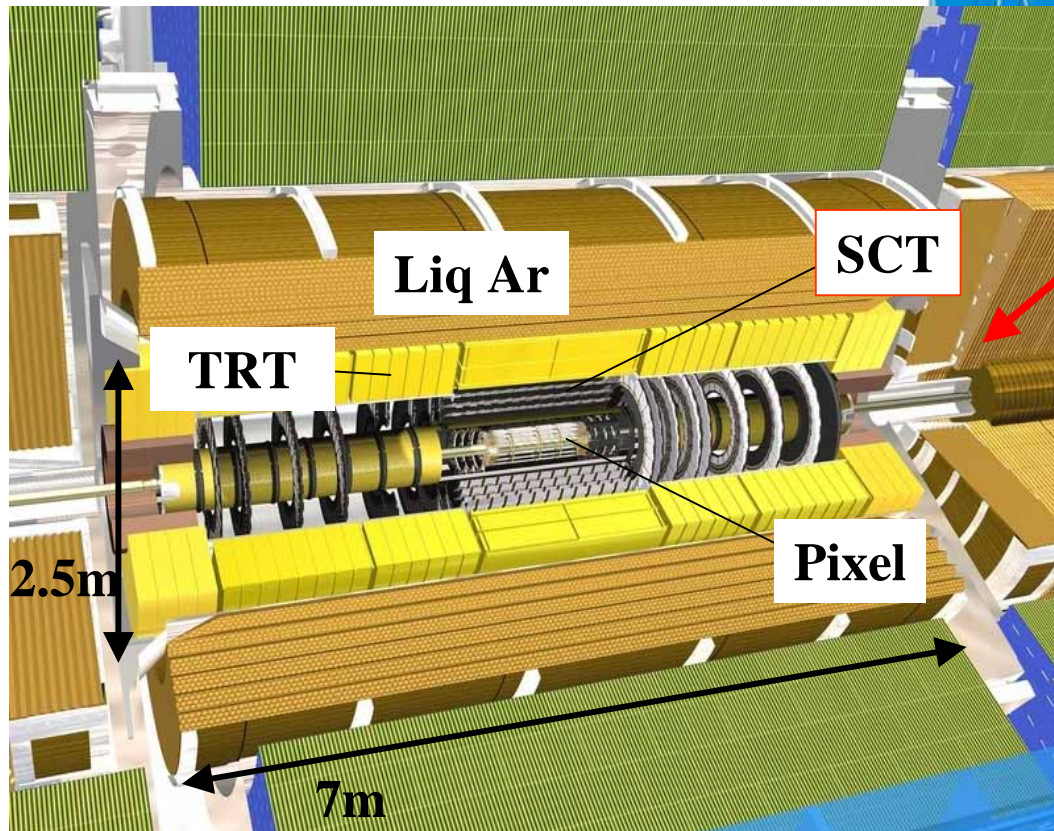
ATLAS検出器、内部飛跡検出器

- 内部検出器
- 電磁カロリメータ
- ハドロンカロリメータ
- ミューオンシステム
(ミューオンチェンバー及びトロイド電磁石)



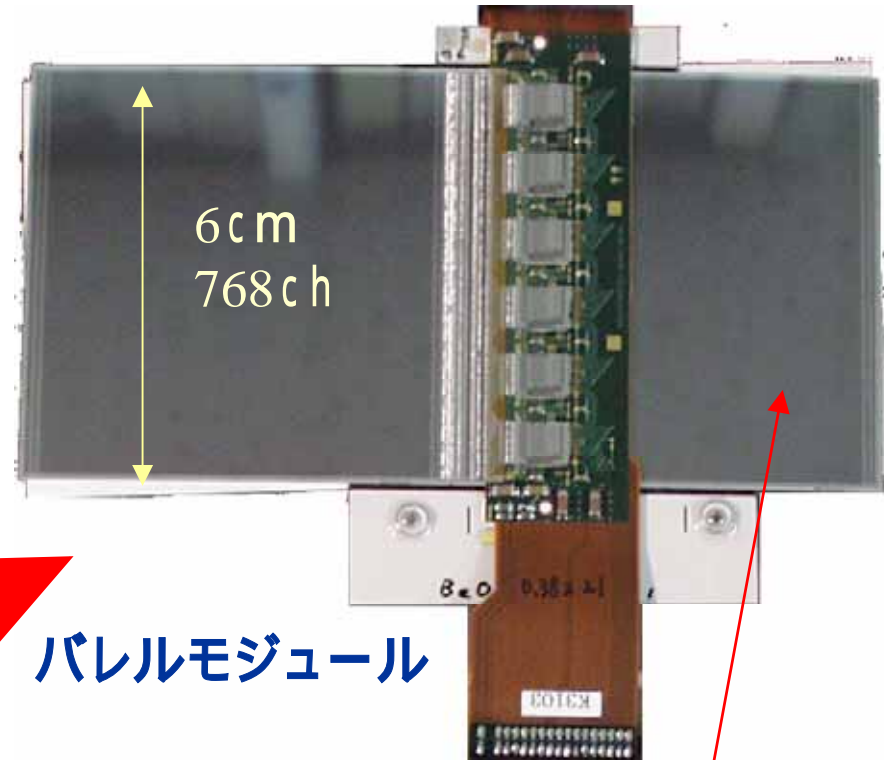
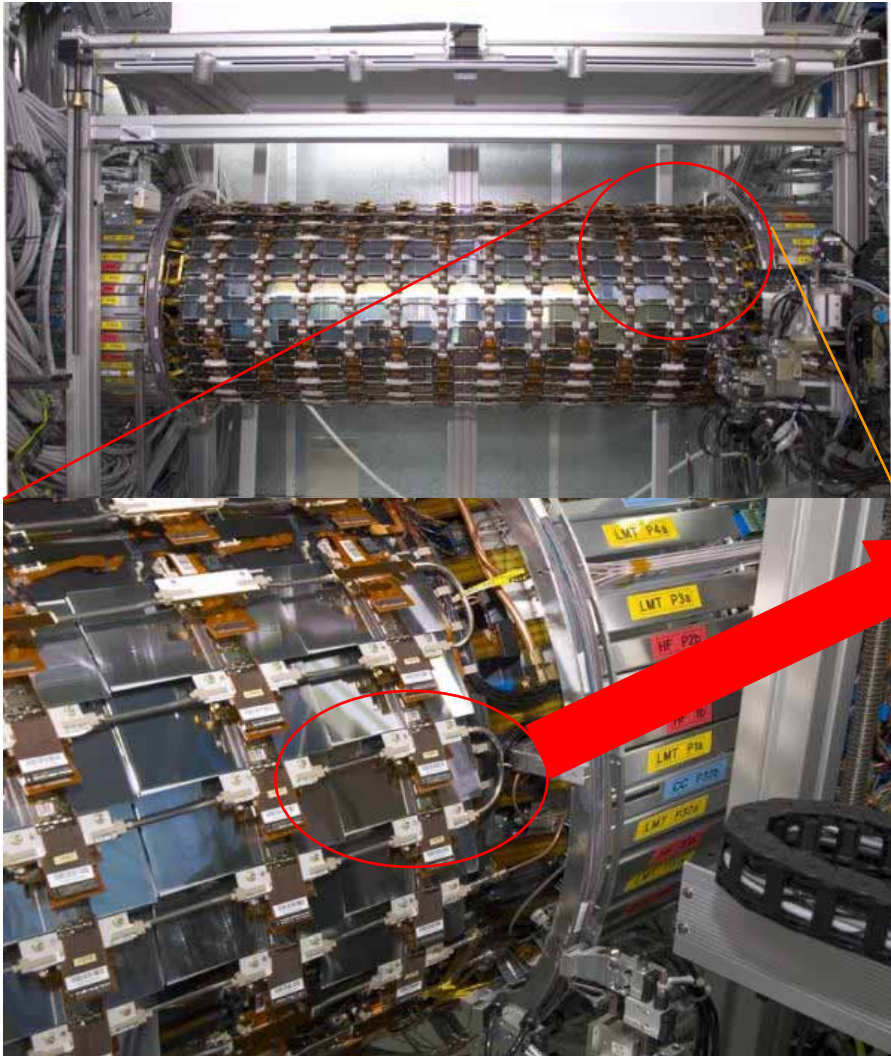
内部飛跡検出器 (2Tの磁場中)

- PIXEL (3層)
- SCT: Semi Conductor Tracker
(4層: 片面Si microstripを8層)
- TRT: Transition Radiation Tracker
(36層のstraw tubes 4mm)





SCTシリコン飛跡検出器



バレルモジュール

シリコンセンサ (6x6cm) を表裏2枚ずつ、
40mradのステレオ角をつけて接着。

日本グループはバレル部(全2112台)、980台(予備も含む)のモジュール製作を完了。
モジュールのシリンダーへの据付は全4層完了し、CERNにてシリンダーの組上げ中



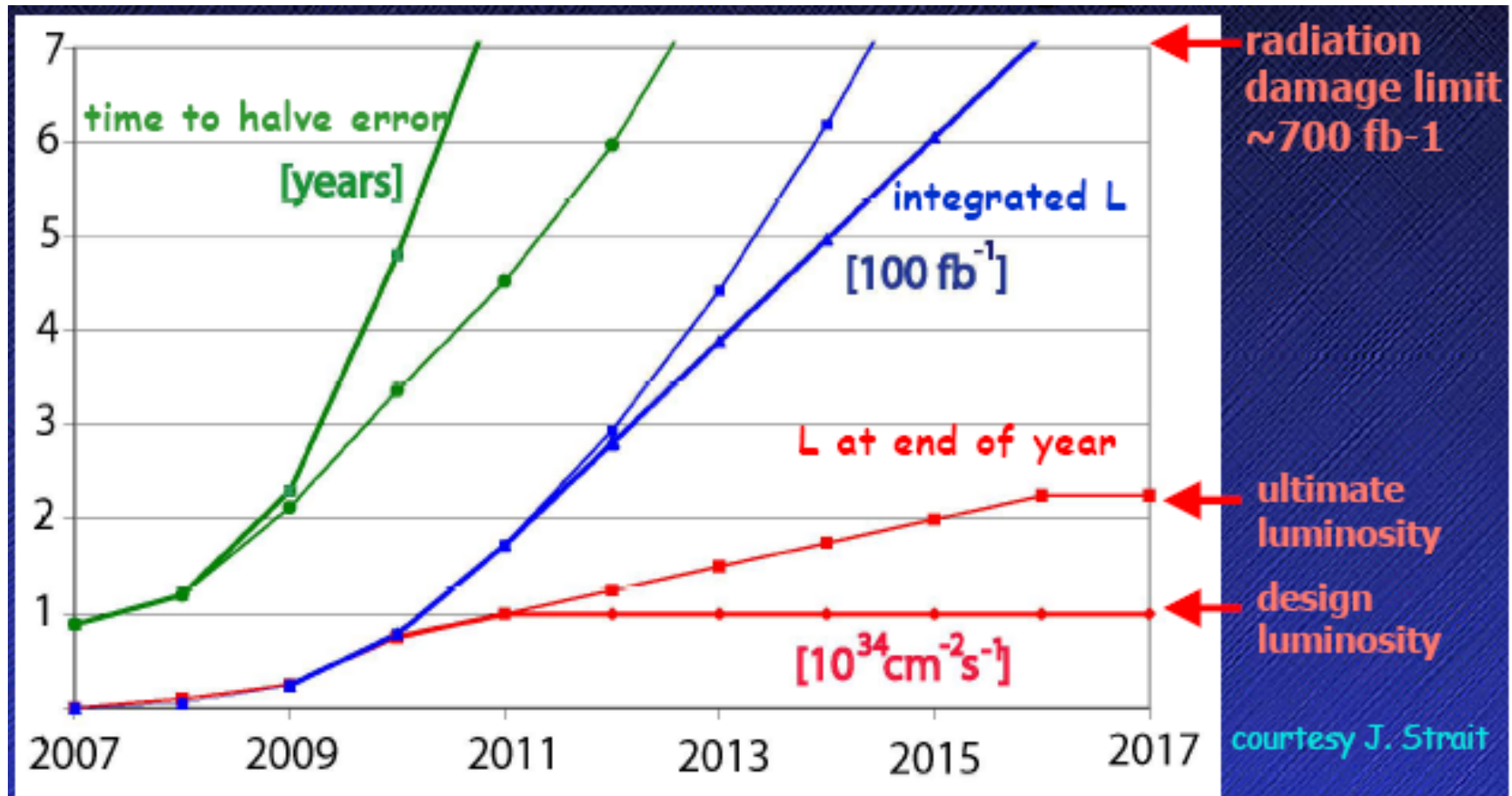
熱シールドへの取り付け (B6)





Super LHC

low (最終収束電磁石)の寿命 ($\sim 700\text{fb}^{-1}$) は2014 ~ 2016年。
交換後にルミノシティを10倍程度 ($10^{35}/\text{cm}^2/\text{s}$) にしたい
(詳細な設計は検討中) **superLHC**





Super LHC 用内部飛跡検出器の検討

粒子数密度や放射線レベルの増大: TRT Si microstrip にする
ケーブリング用スペース (現在のまま) やコスト: ch数に対する制限

✓ 現在位置のSCTの設計として

- ストリップ長 (12cmを3cm程度にする): どうモジュール化するか
- 放射線に強いセンサー ($3 \times 10^{14} \sim 10^{15} / \text{cm}^2$)



N-on-P センサーの評価
バルク素材の評価

✓ 新しい外側のSCTの設計として

- ストリップ間隔をどうするか?
- 層数やRは何cmにするか?



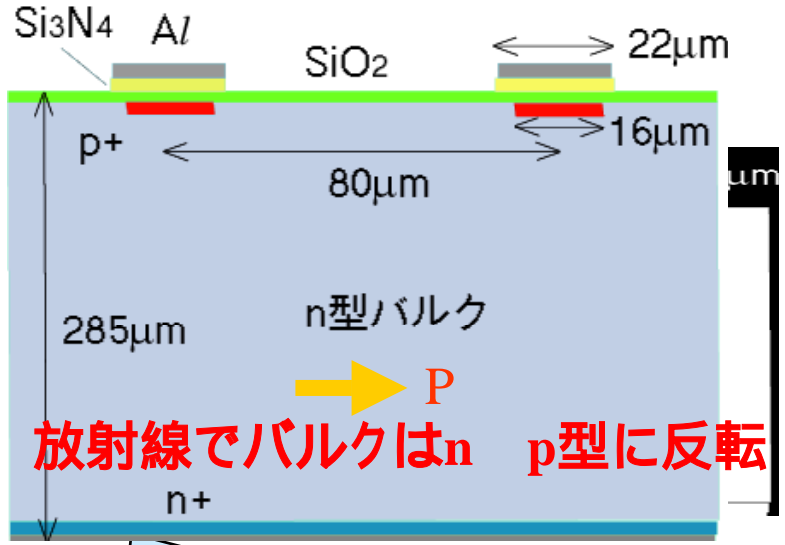
G4によるシミュレーション

- 現在のSCTセンサーで放射線耐性は十分

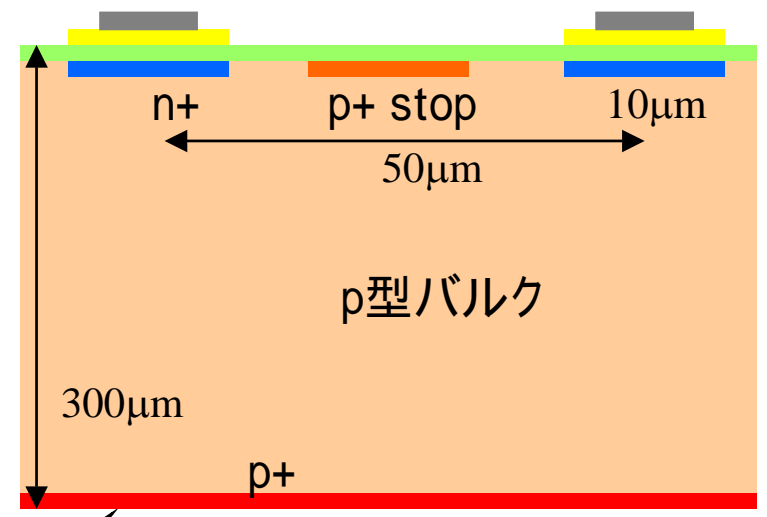


N-on-P シリコン飛跡検出器

P-on-N (現在のSCT)

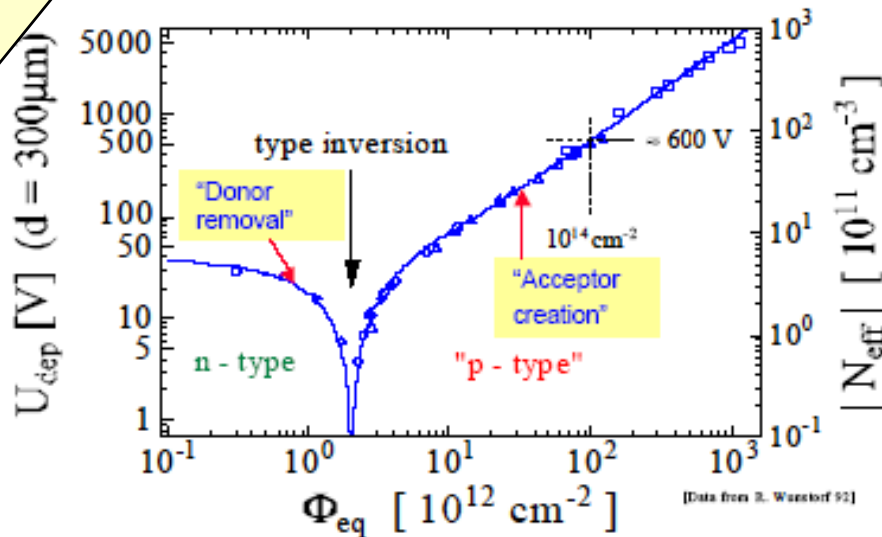


テストしたN-on-Pセンサー (SDC仕様で10年前に陽子照射)



P-N接合が裏面に移動するため、全空乏化して電荷分離・収集効率を上げる
 耐圧がセンサーの寿命 (現SCT < 500V)

P-N接合がストリップ側: 部分空乏でも電荷分離が良く、バイアス依存がきれい
 S/Nがセンサーの寿命

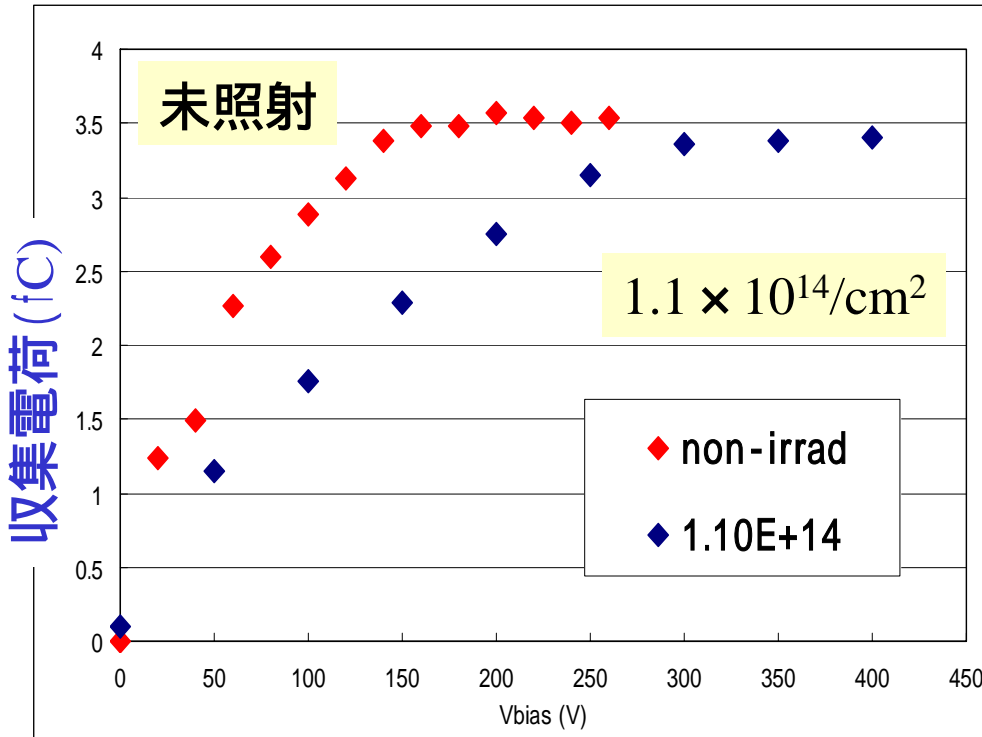




電荷収集曲線

$1.1 \times 10^{14}/\text{cm}^2$

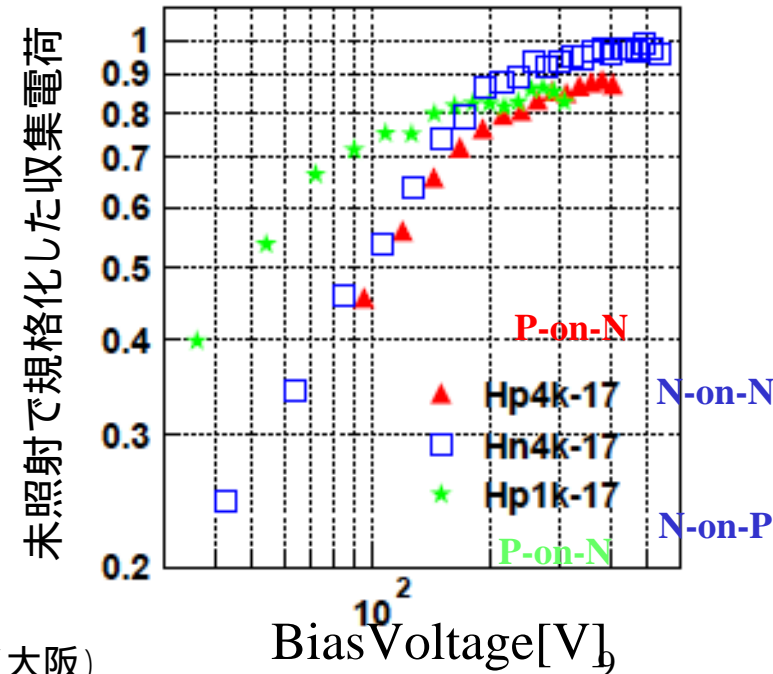
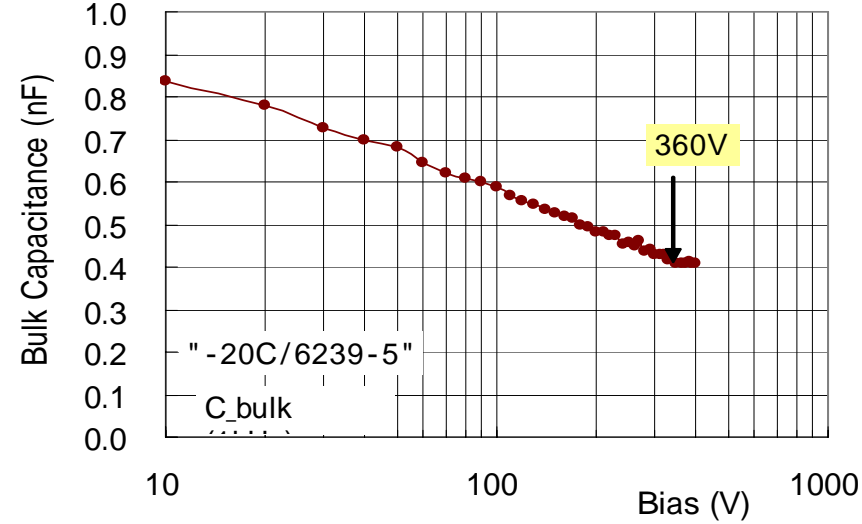
電荷収集曲線をレーザーを入射して評価



バイアス電圧

- ✓ 全空乏化電圧 (C-V参照) で収集率はプラトー
- ✓ 未照射と比べ、収集電荷の減少は少ない
- ✓ P-on-Nでは15%減少し、全空乏化電圧を超えたバイアスが必要 (右図)

照射サンプルのC-V曲線





ストリップ間の電荷分割

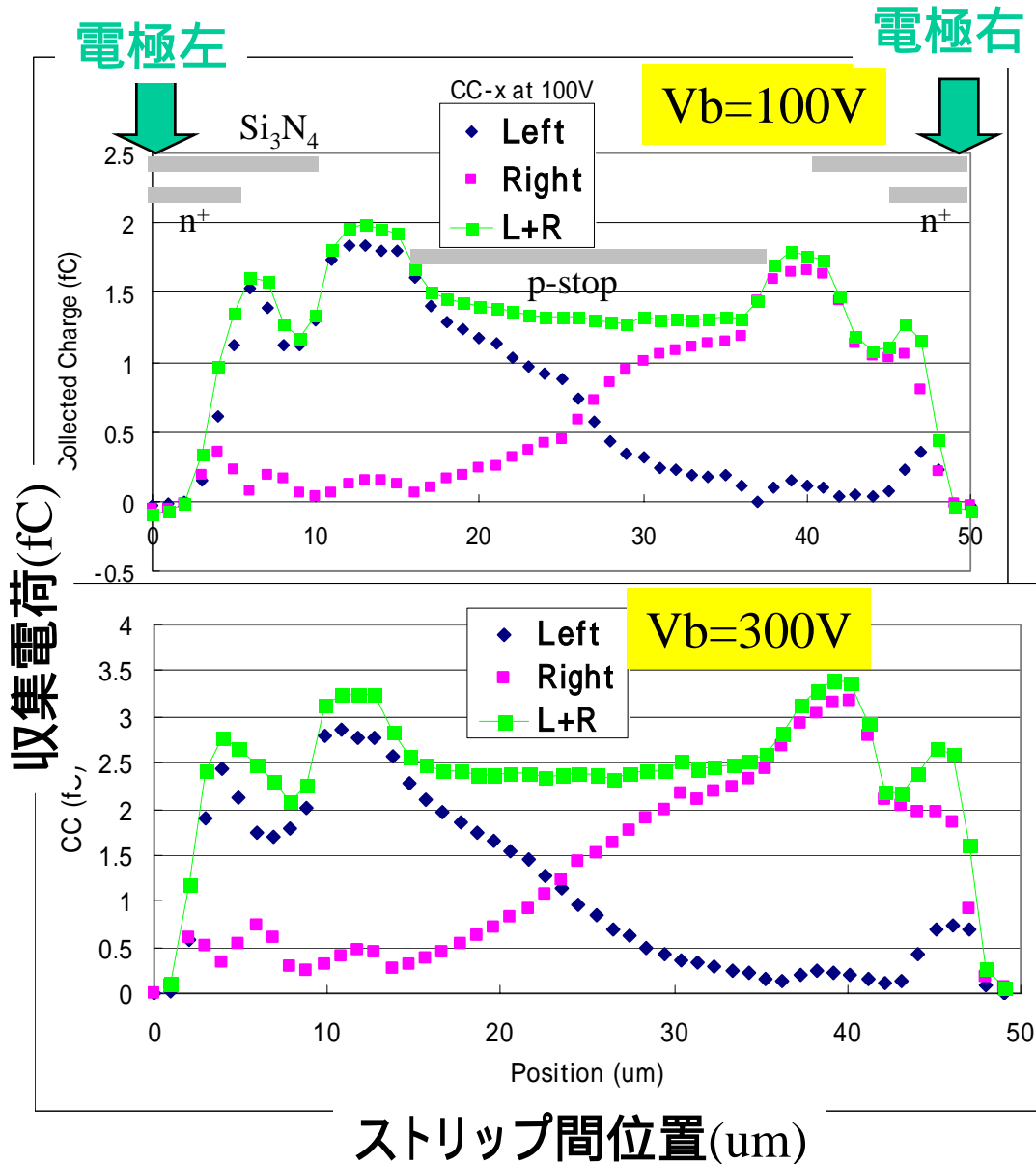
放射線照射されたセンサーの隣接電極間の電荷分割を、レーザーを1 μm ごとに入射して測定

青: 左の電極で読み出された電荷

赤: 右の電極で読み出された電荷

緑: 両方の電荷の和

アルミ、酸化膜、p-stopによる吸収・反射による構造が見られるが、
全空乏化していない電圧 ($V_b=100\text{V}$)
でも信号分離は良い





内部飛跡検出器のレイアウトシミュレーション

GEANT4.6.0でのシミュレーション

$x=6\text{cm}, y=100\text{cm}, z=0.03\text{cm}$ のシリコンを配置する。

磁場はx方向に2Tかけている。

RはsLHCで候補であるものを用いる。

内側3層: PIXEL (ストリップピッチ $50\ \mu\text{m}$)

中側3~4層: SCT (ストリップピッチ $80\ \mu\text{m}$)

外側1~3層: SCT

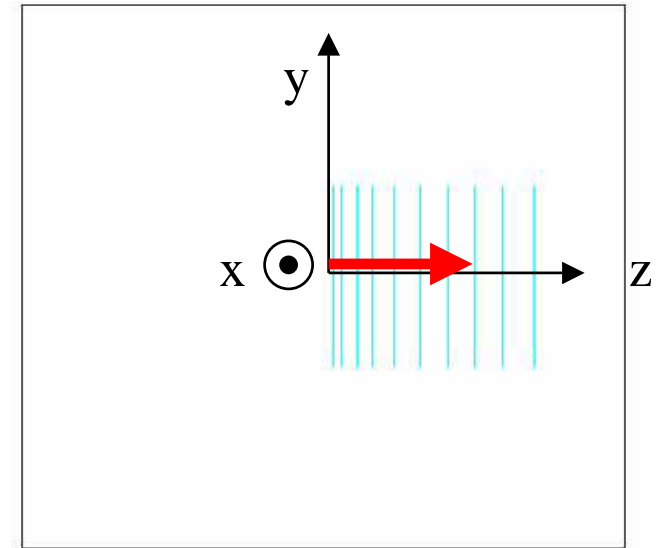
(ストリップピッチ $80, 120, \dots, \mu\text{m}$)

5, 10, 100 GeVの μ^- を(0, 0, 1)から入射し、

曲率半径より、イベント毎に飛跡を再構成する。

内側と外側のシリコンは固定しておく。

どの程度まで運動量を再構成できるかをみる。



$R=5, 9, 17, 24, 35, 48, 62, 75, 89, 105[\text{cm}]$



運動量再構成

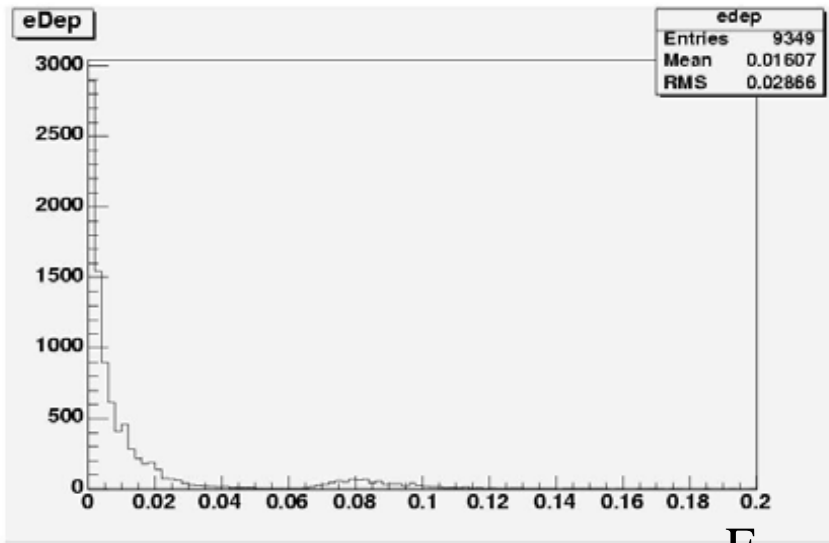
エネルギー損失のグラフ μ^- 5 GeV 100event

各ステップごとのエネルギー損失を
ヒストグラムにつめたものである。(左上図)

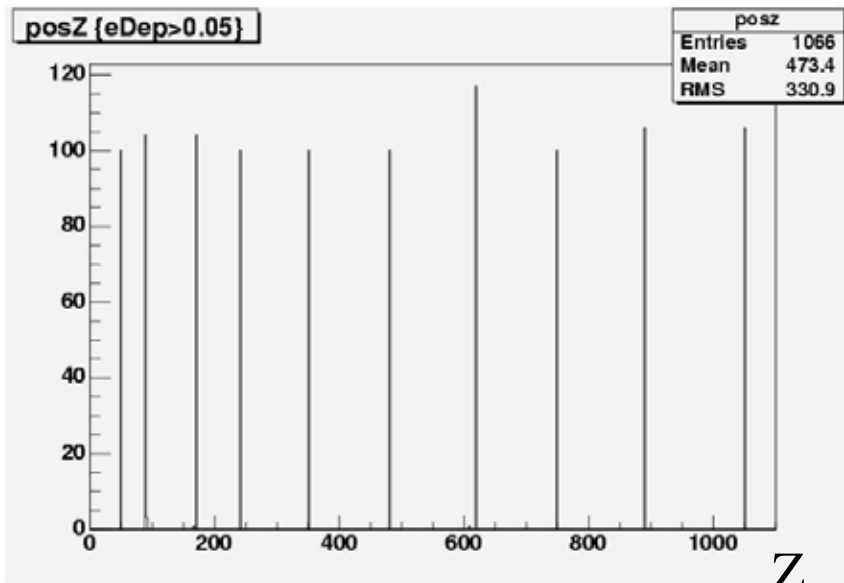
エネルギー損失量 $> 50\text{KeV}$ とすると、
シリコンでエネルギーを落としている
zの位置が分かる。

今後は、各ストリップごとにストリップの長さを
仮定してデジタイゼーションを行い、
1イベントごとに運動量を再構成する。

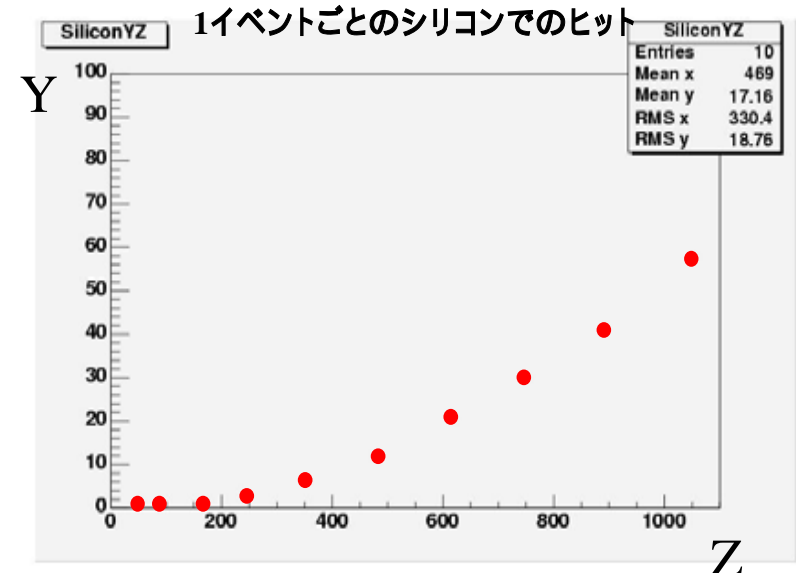
最終的に、superLHCに適切なデザインを出す。



E



Z



Z



まとめと今後の課題

• 放射線耐性のあるセンサー

- 照射したN-on-Pセンサーを測定し、予想どおり、部分空乏化でも信号が分離されることを確認。
- N-on-Pセンサーを新たに試作中で、 $10^{15}/\text{cm}^2$ に達する照射実験を計画中
- MCzは酸素不純物が多く、放射線耐性に優れているという報告がある。MCzのサンプルも試作中

• 外側のシリコン飛跡検出器のレイアウト

- GEANT4のシミュレーションを通してsLHCに対応できる内部飛跡検出器のデザイン(SCTのレイヤー数、R等)を決定する。GEANT4を通して、簡単なgeometryでの飛跡再構成を引き続き研究する。