

n-in-p型Pixel検出器の ビーム試験による性能評価

日本物理学会2013年秋季大会 2013年9月23日

筑波大学 萩原 睦人

原和彦 (筑波大)

陣内修, 本橋和貴, 留目和輝, 山口大貴, 永井遼 (東工大)

中村浩二, 池上陽一, 海野義信, 高力孝, 寺田進, 山田美帆,
田窪洋介 (KEK)

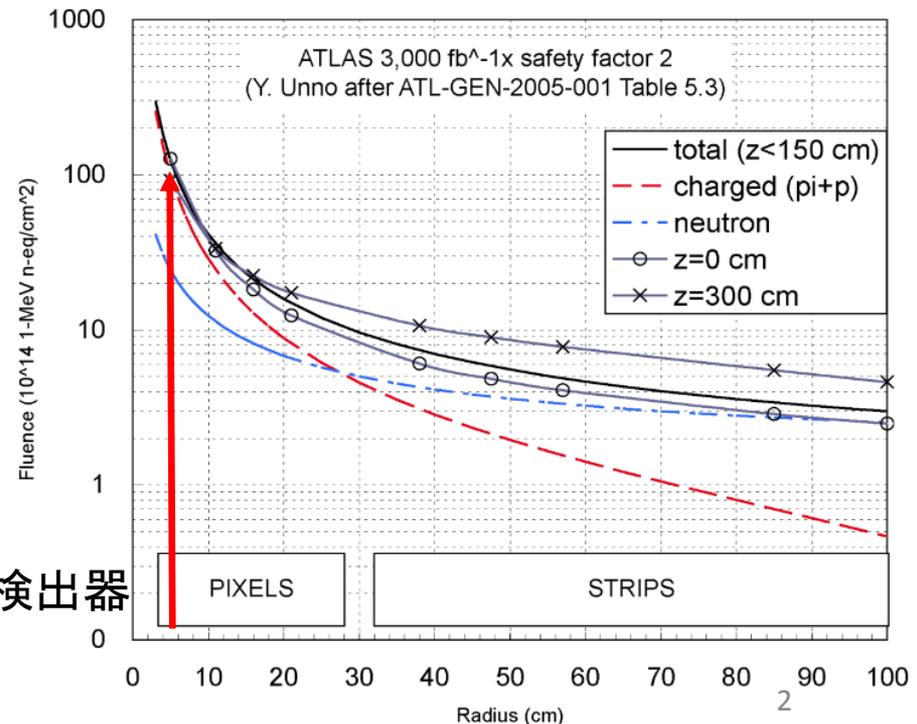
BogelspacherFelix (Karlsruhe Inst.)

MuenstermanDaniel (Dortmund Univ.)

他ATLAS PPSコラボレーション

High Luminosity LHC (HL-LHC)

- HL-LHC(2023年～)ではATLAS検出器の内部飛跡検出器は全て半導体検出器に置き換わる
- HL-LHCの環境下ではピクセル検出器の最内層($R=5.5\text{cm}$)では $2 \times 10^{16} n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$ の放射線が予想される
- そのため、放射線耐性に優れたセンサーを開発する必要がある
- また、ヒット占有率を0.4%以下に抑えるためにピクセルの大きさを変更する必要がある($400\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ から $250\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ に変更)



最内層のピクセル検出器

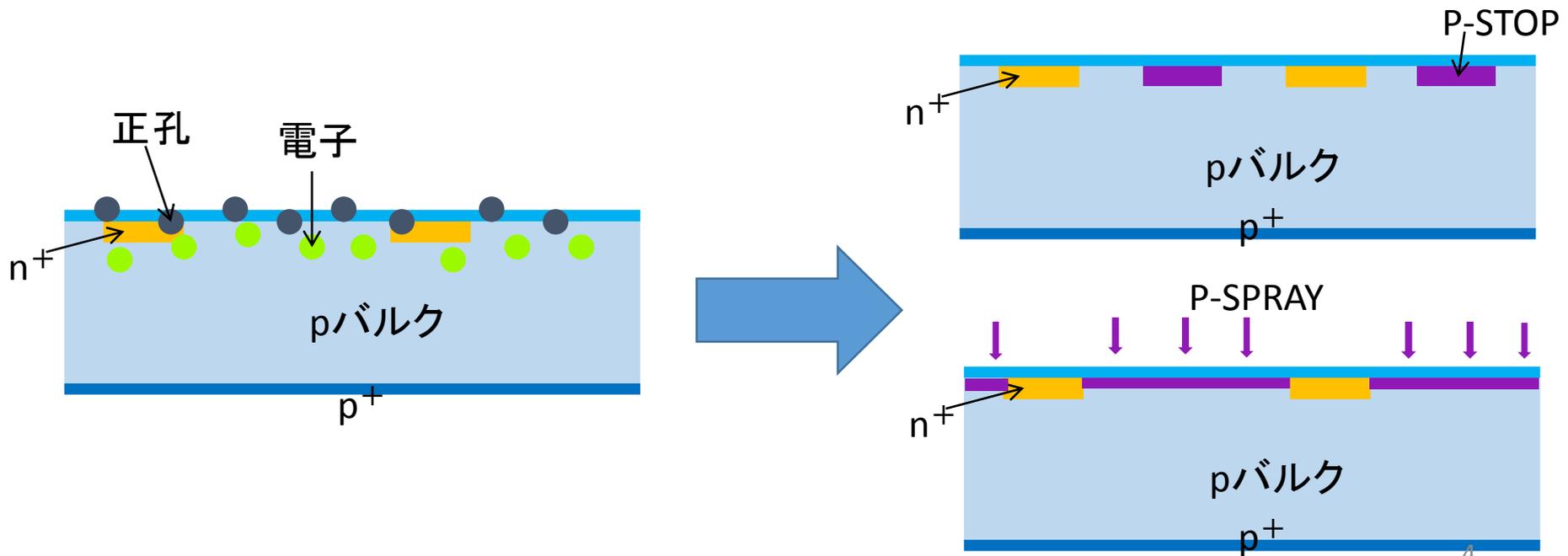
ピクセル検出器



- high luminosity LHCの実験で使われる候補としてn-in-p型の開発が進められている
- ピクセル検出器はATLASで最も内側に設置される検出器のため、特に高い放射線耐性が要求される
- n-in-p型は放射線により半導体の型が反転しない、電子を収集するため電荷収集効率が良い、片面プロセスなので信頼性が高い・安価などの利点がある
- この新しいセンサーに対して性能の評価を行っていく必要がある
- **今回は実際にATLAS検出器に設置される角度でピクセル検出器をビームテストした結果(検出効率等)について発表する**

ピクセルの分離

- 放射線を受けると酸化膜に正孔が蓄積される
→可動性の電子がバルク部と酸化膜の界面に蓄積、ピクセル間の信号の分離を悪くする
- p型不純物濃度の高いp-stop、p-sprayを施し、電子の移動を遮断



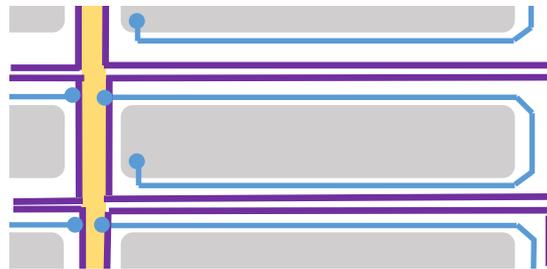
ピクセル検出器の構造

- バイアス構造: バイアスレールと接続
 - ✓ポリシリコン(1M Ω)
 - ✓パンチスルー
- p-stop構造
 - ✓common p-stop
 - ✓individual p-stop
- バイアスレールの近傍は特に電荷収集が悪くなるがビーム入射角に依存する
- 下の3つの図の構造のサンプルについてビームテストを行った

common p-stop Poly-Si



individual p-stop Poly-Si

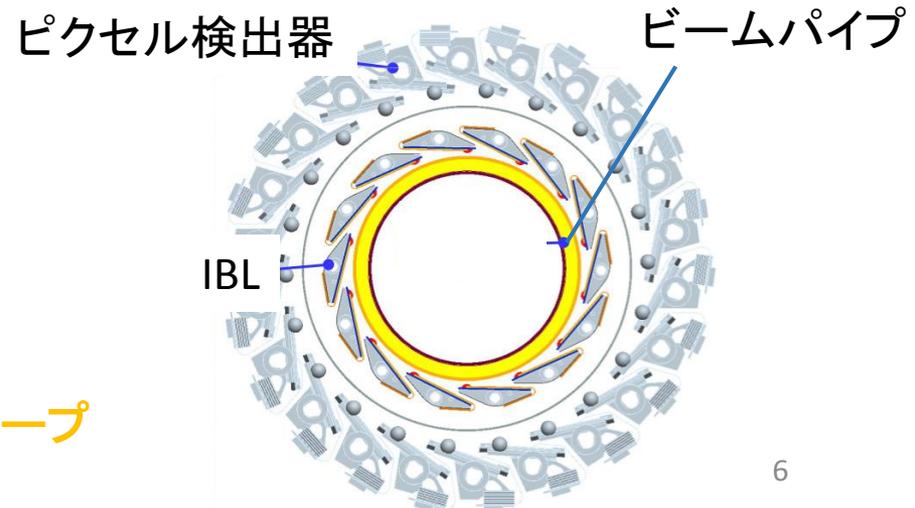
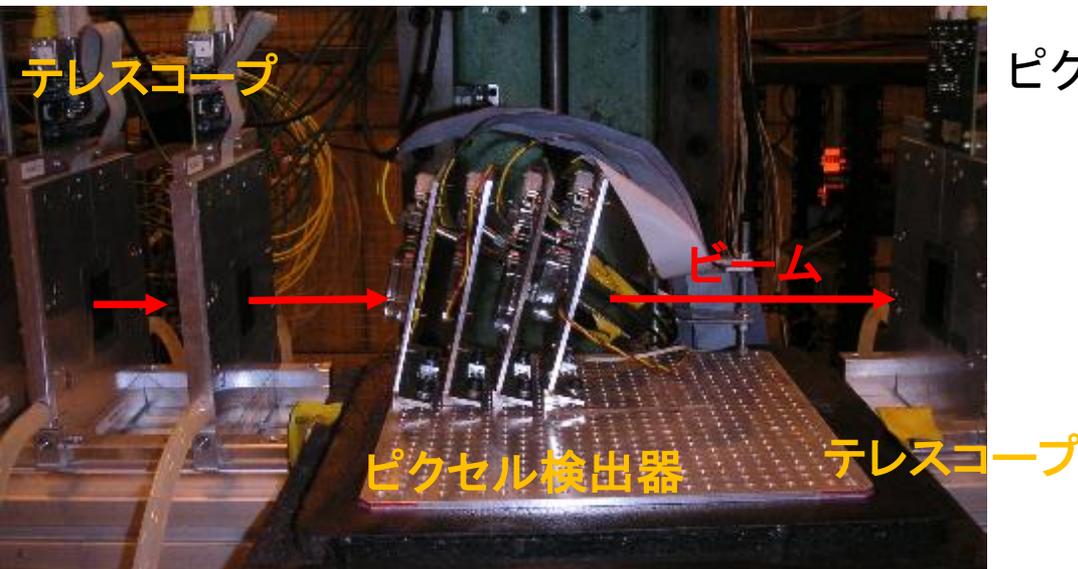


individual p-stop Punch Through



ビームテスト

- CERNにおいて2011年7月にテストビームを行った
- ビーム上流側、下流側にトラッキング用のテレスコープをそれぞれ3台並べ、その間にピクセル検出器を設置した
- テレスコープの位置分解能は $5\mu\text{m}$
- ビームは 120GeV の π を用いた
- ピクセル検出器の角度をビームが垂直に入射する角度を基準に 0 度、 15 度にして設置

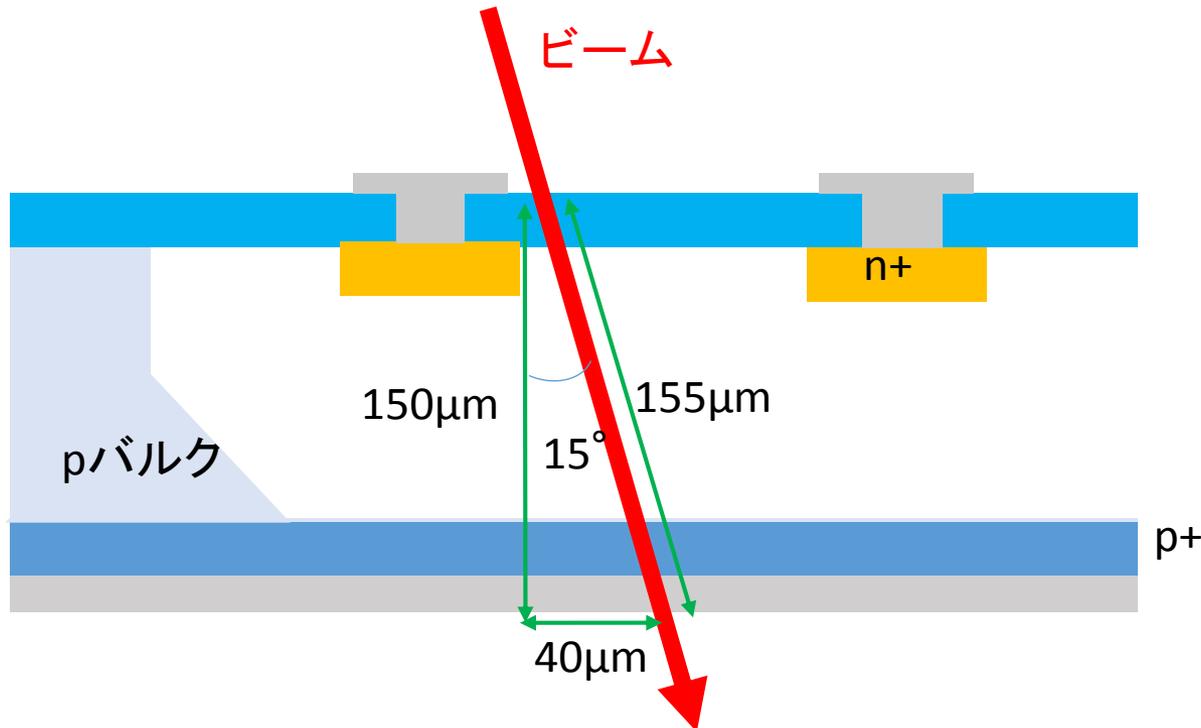


ビームテストの試験項目

- ϕ 方向に0度、15度傾けた場合の比較
- η 方向(ビーム垂直入射を90度とした場合、9.4度・4度)に大きく傾け、空乏層の状態の評価
- 放射線(陽子、中性子、ガンマ線)を照射したサンプルの比較
- ピクセルの構造(バイアス構造、ピクセル分離構造)の違うサンプルの比較

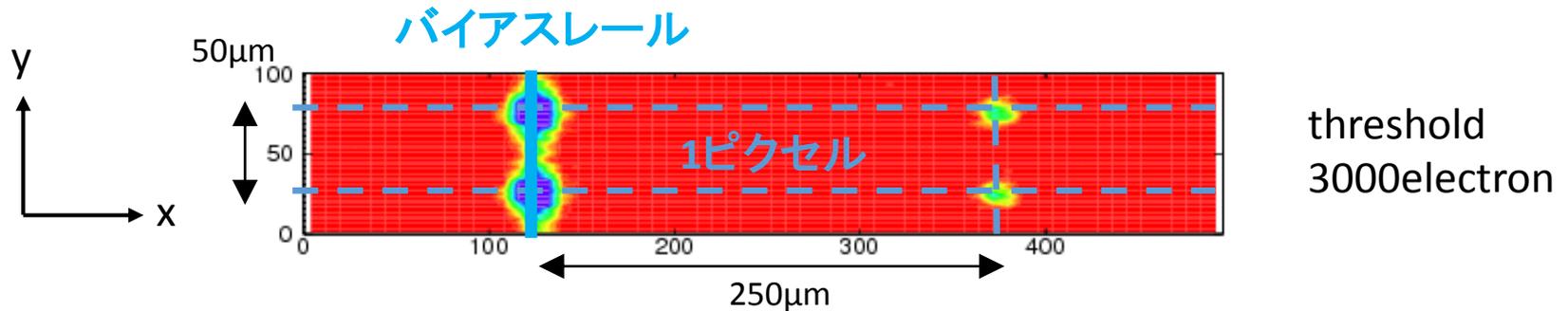
ビーム経路

- センサーの厚さは全てのサンプルで $150\mu\text{m}$
- 15° 傾けた場合、ビームは下図のように入射する
- 垂直にビームを入射したときに比べると、ビームの経路の長さは3%程度伸びる



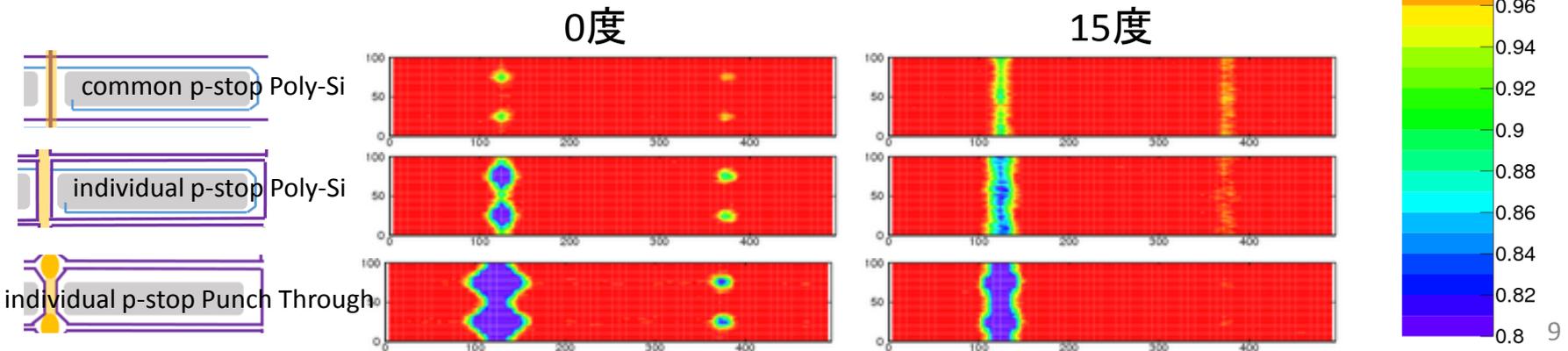
検出効率(1)

- 全ピクセルの検出効率の平均をとった2次元グラフを示す
(トラック位置からx方向±400 μm 、y方向±150 μm の範囲をヒットとした)



15度傾けると検出効率の低い部分がy方向に伸びている

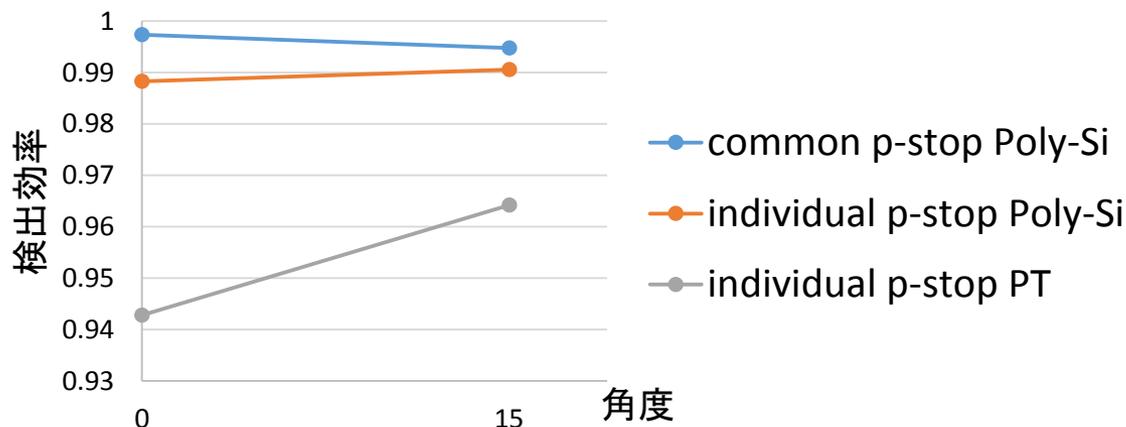
ピクセルの四隅は隣り合ったピクセルと発生した電荷を分け合うため検出効率が落ちる



検出効率(2)

- 下表、下図は全体の検出効率
- 15度傾けた場合、検出器効率はパンチスルーのサンプルが大きく改善していた

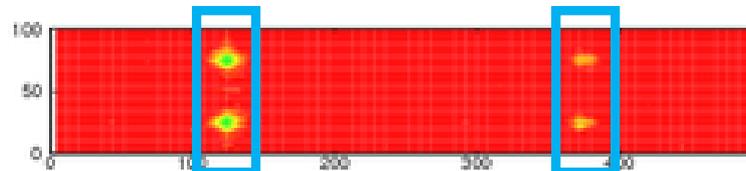
角度	0	15
common p-stop Poly-Si	0.99734 ± 0.00006	0.99480 ± 0.00008
individual p-stop Poly-Si	0.98825 ± 0.00012	0.99056 ± 0.00011
individual p-stop PT	0.94277 ± 0.00027	0.96420 ± 0.00023



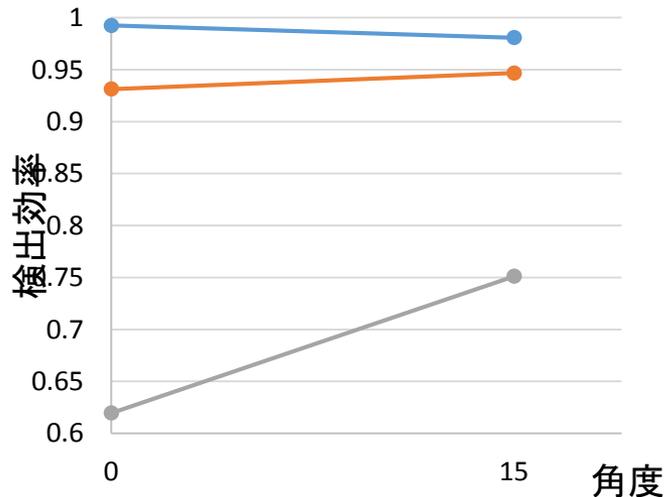
検出効率(3)

- 最も検出効率の悪かったバイアスレール付近とバイアスレールがない側の四隅の検出効率は以下ようになった
- パンチスルーのサンプルはともに大きく改善していた

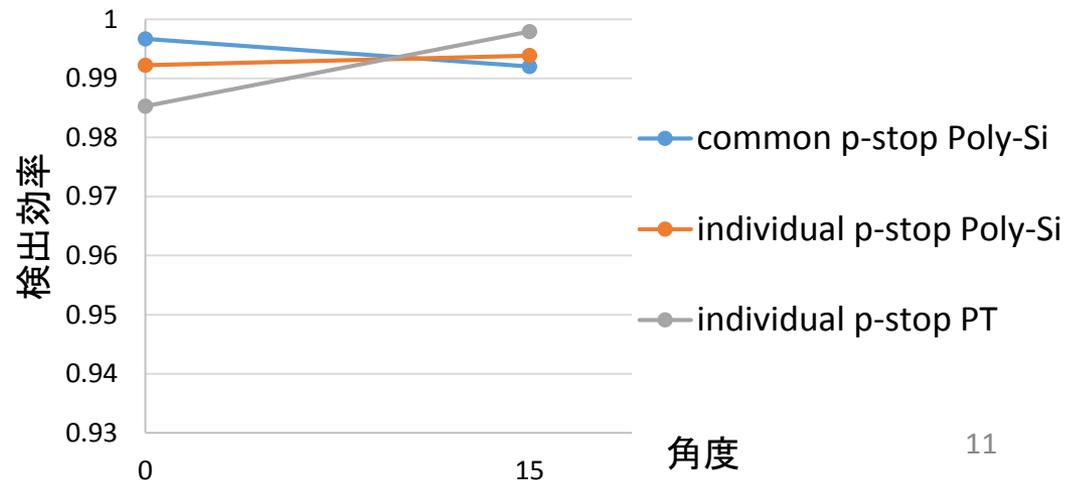
それぞれピクセルの境界±35μm幅



バイアスレール側の検出効率

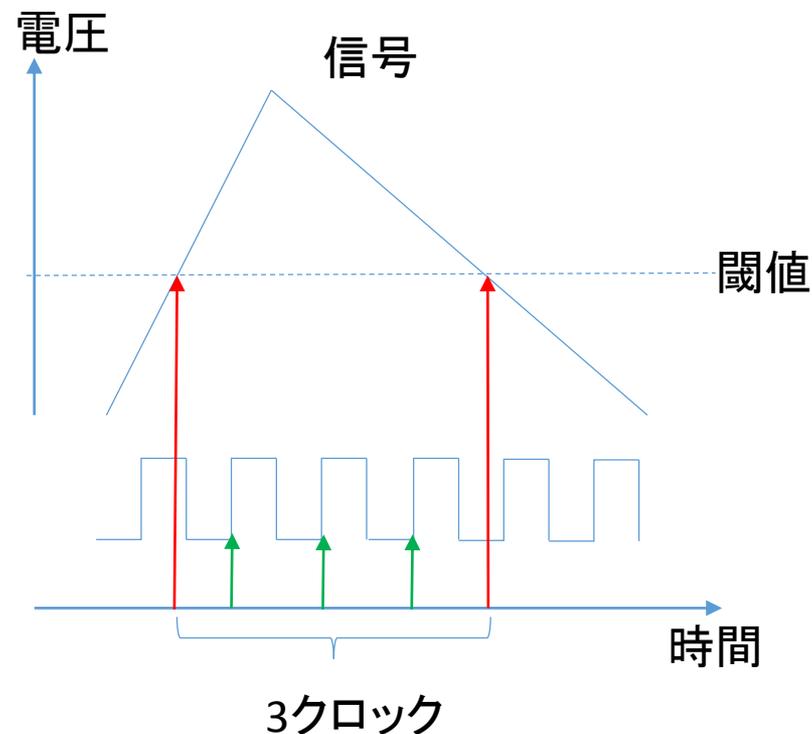


バイアスレール反対側の検出効率



Time Over Threshold (TOT)

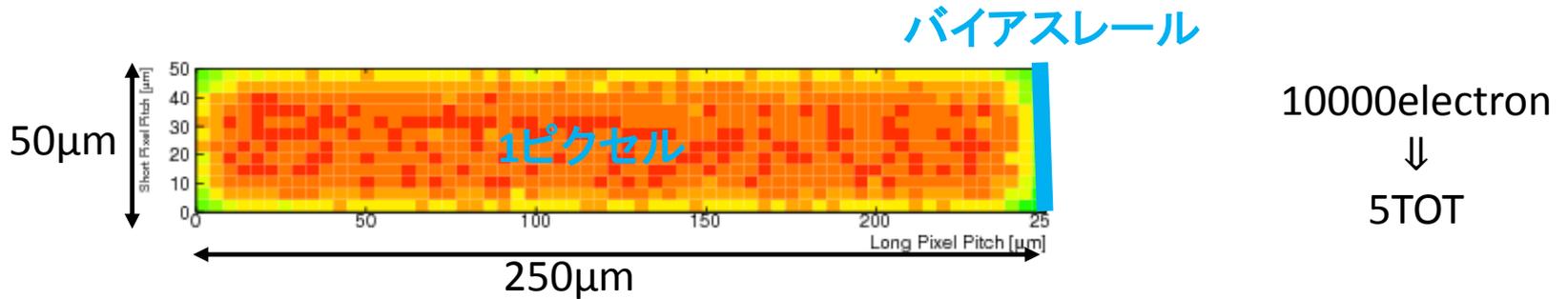
- ピクセル検出器の特徴の一つとしてTime Over Threshold(TOT)の測定がある
- 信号電圧が閾値電圧より高くなっている時間を測定することで収集された電子数を求めることができる
- これによりピクセル層での荷電粒子の損失エネルギーがわかる



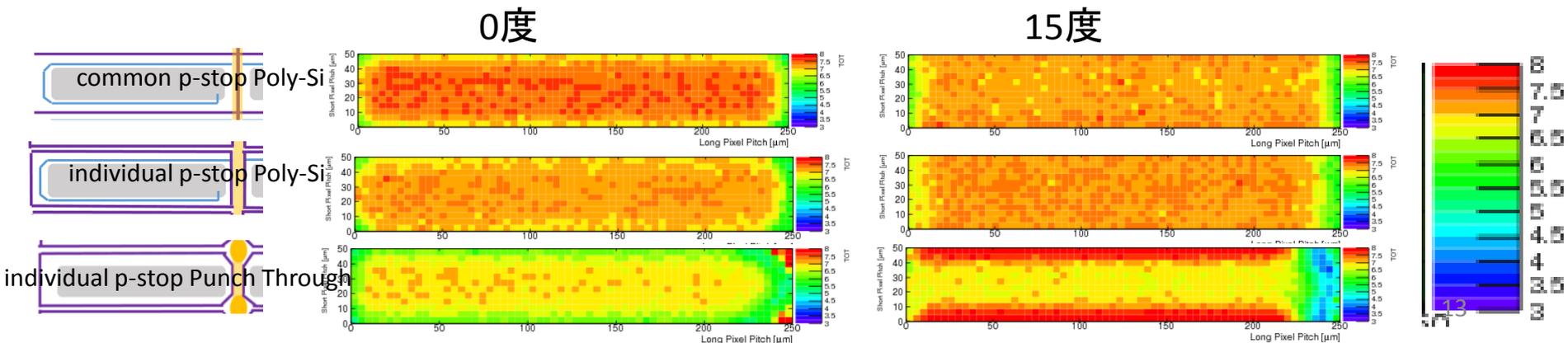
※右図ではTOTは3

TOT

- 全ピクセルのTOTの平均をとった2次元グラフ



15度傾けた場合、Poly-Siではピクセルの境界のTOTは一様になる
15度傾けた場合のパンチスルーでは境界のTOTは過剰に反応する(クラスターTOTの計算アルゴリズムによるもの)



まとめ

2011年のビームテストの結果から、n-in-p型ピクセル検出器の検出効率とTOTについて評価した

- 今回取り上げたサンプルの中では検出効率においてcommon p-stop、Poly-Siの組み合わせが最も良いことがわかった
- 15度傾けることで検出効率やTOTの一様性が改善する
- common p-stop、Poly-Siでは99%以上の検出効率を得られたがバイアスレールの下では98.08%
- 検出効率の低下は収集電荷量(TOT)の低下で理解できる