



P-061 TCADシミュレーションを用いたX線SOI 픽セル検出器の電荷収集の研究

根岸 康介 (6217619@ed.tus.ac.jp),

幸村孝由, 萩野浩一, 大野顕司, 鎌田敬吾, 鴫田翔哉, 古知武, 田中圭太, 林田光揮 (東京理科大学),
鶴剛, 田中孝明, 内田裕之, 原田颯大, 奥野智行, 佳山一帆, 天野雄輝 (京都大学),
森浩二, 武田彩希, 西岡祐介, 福田昂平, 日田貴熙, 行元雅貴 (宮崎大学), 松村英晃 (IPMU),
新井康夫, 三好敏喜, 岸本俊二, 倉知郁生 (KEK), 他SOIPIXグループ

➤ ABSTRACT

我々は、次世代の X 線天文衛星搭載用に、SOI 技術を用いたイベント駆動型 픽セル検出器であるXRPIX(X-Ray soiPIXel)を開発している。XRPIXはX線が入射した 픽セルのみを読み出すことで、数 μ sの高い時間分解能を実現する。

先行研究より、イベント駆動読み出しにおける分光性能がフレーム読み出しよりも悪化していることが明らかになった。これは回路層のデジタル回路とセンサー層のBPWとの間の容量結合により、トリガー信号とBPWとが干渉を起こすためであった。この干渉によりアナログ信号が変化し、ノイズが乗ることによって分光性能の悪化が引き起こされていた。そこで、我々は回路層とBPWとの干渉を抑えるためにDouble SOI構造を導入した新たな検出器を開発した。これはBOX 層の中間に電位を固定したmiddle-Si層を導入し、静電シールドとして働かせることで容量結合を切ることを目的としたものである。

この新たな検出器に対してKEK-PFでサブ 픽セルレベルのX線照射試験を行ったところ、 픽セル境界付近でスペクトルの波高値の低下が確認された。これは 픽セル境界直下で生じた電荷が読み出されるまでの間に失われていることを示している。

そこで、本研究では電荷損失の原因を明らかにするために、TCADシミュレーションを用いてセンサー層内の電場の構造と生じた電荷の輸送過程について調査を行った。

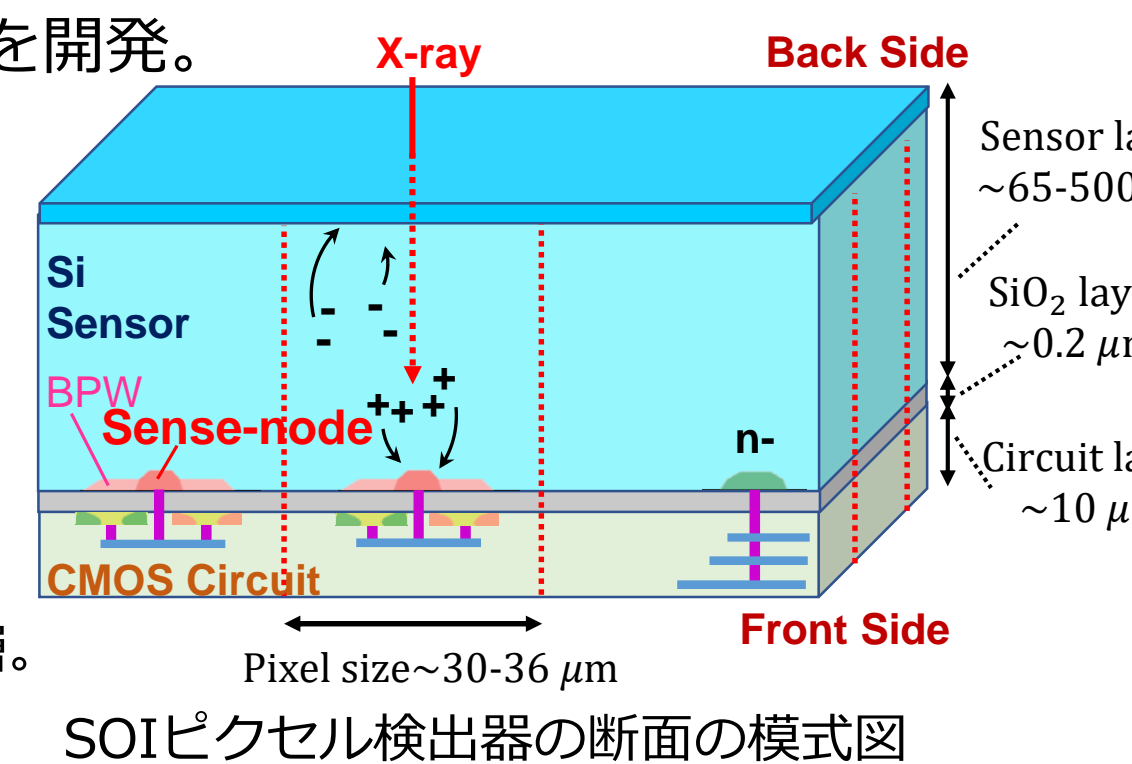
➤ XRPIX

宇宙X線観測用に X 線SOI 픽セル検出器“XRPIX”を開発。

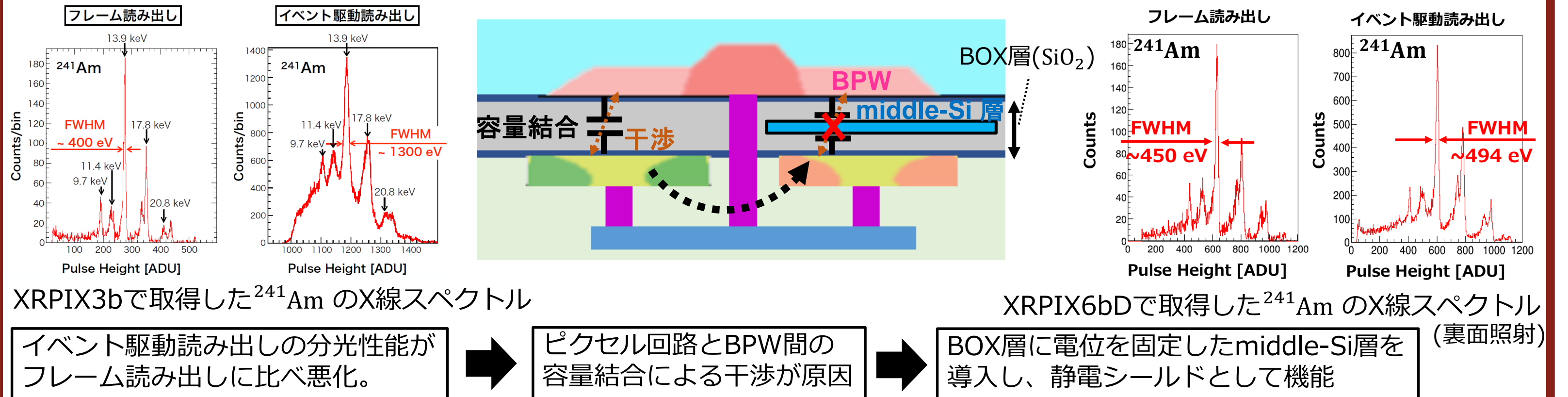
- 高抵抗率で分厚いSi のセンサー層
- 数 μ mの高い時間分解能
- CCDに匹敵するエネルギー分解能

BPW (Buried P-Well)

CMOS 回路の直上にあたるセンサー部分に形成された薄いP層。バックゲート効果を抑制している。



➤ Double-SOI 構造



XRPIX3bで取得した²⁴¹AmのX線スペクトル

イベント駆動読み出しの分光性能がフレーム読み出しに比べ悪化。

픽セル回路とBPW間の容量結合による干渉が原因

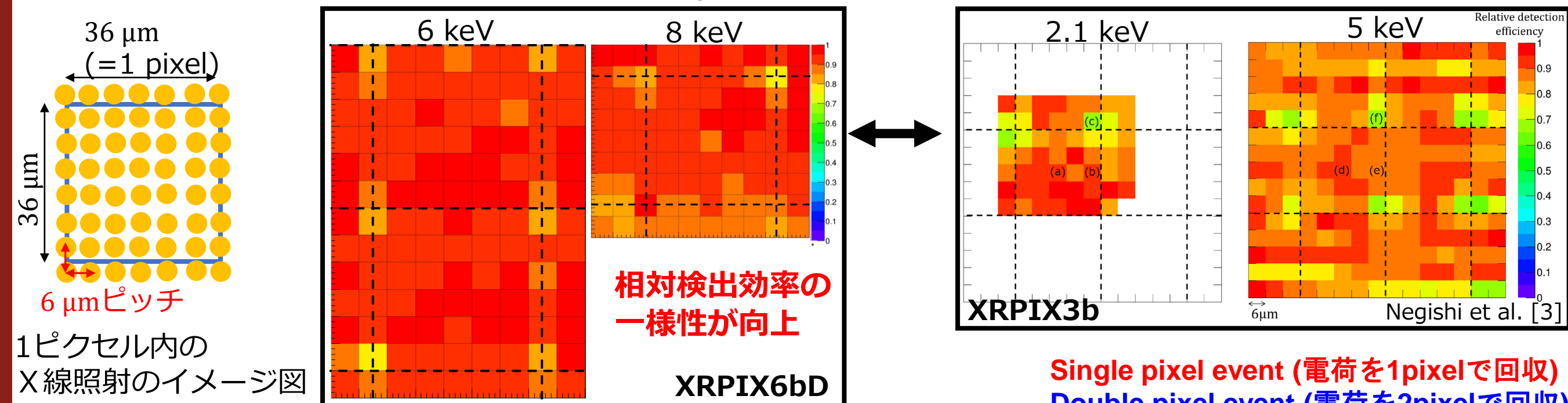
XRPIX6bDで取得した²⁴¹AmのX線スペクトル (裏面照射)

BOX層に電位を固定したmiddle-Si層を導入し、静電シールドとして機能

➤ 実験結果

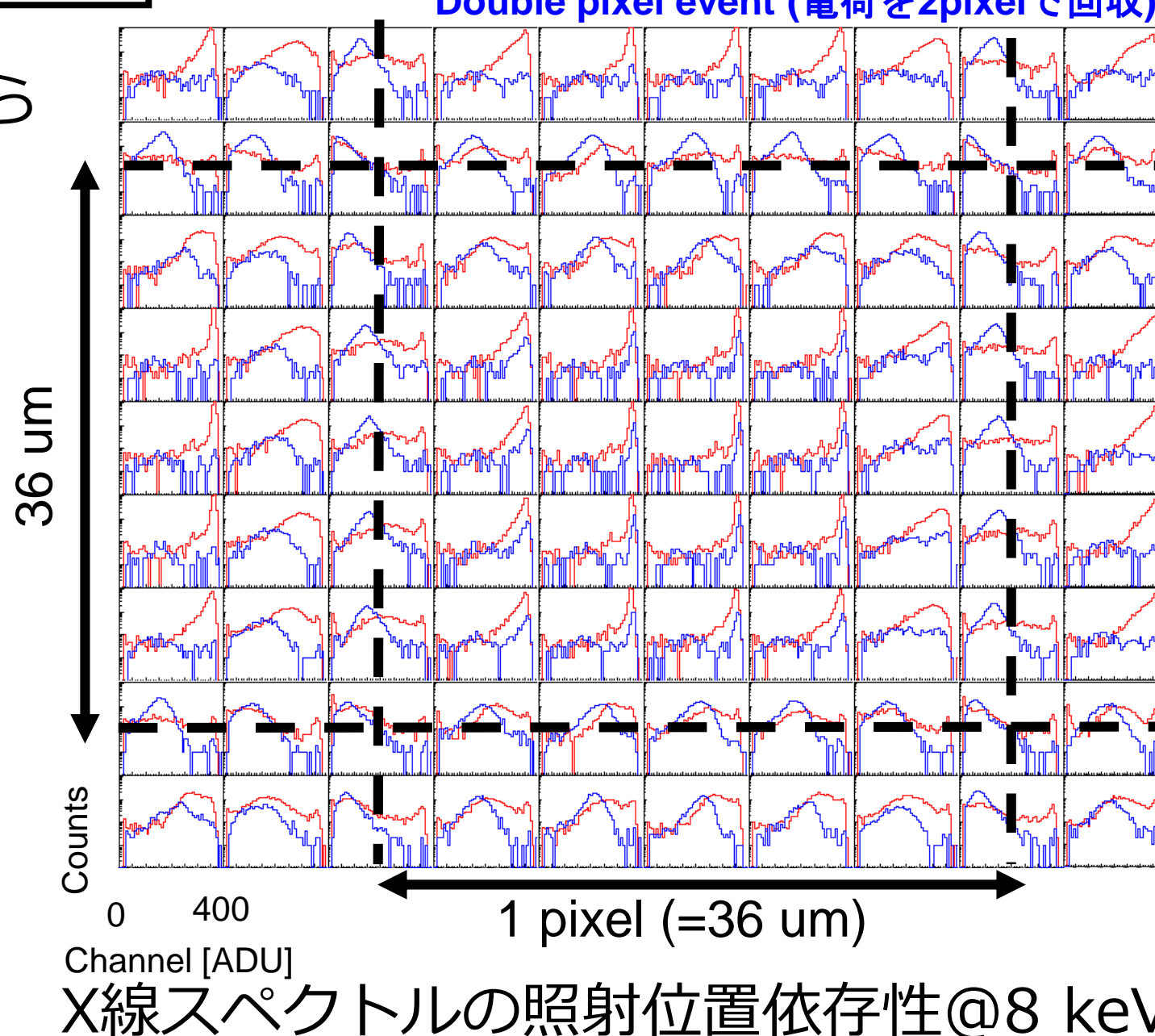
■ サブ 픽セルスケールのX線照射試験

- ✓ XRPIX6bDにビーム直径4 μ m ϕ の単色の軟X線を数 μ mピッチで照射した。

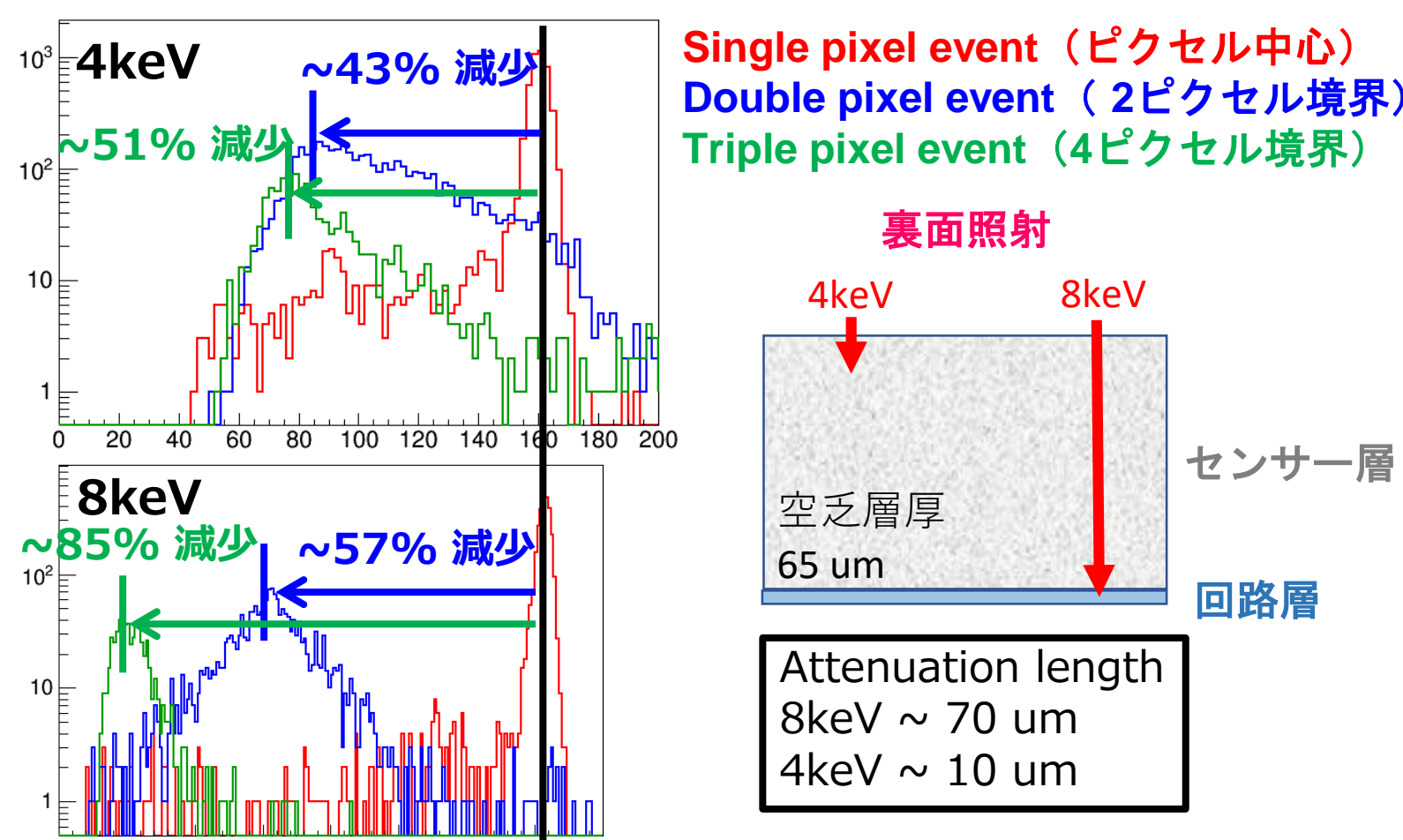


- ✓ 6 μ mずつ照射位置をずらしながらデータ取得。
- ✓ XRPIX3b(Single-SOI)と比べ、相対検出効率の一様性が向上。

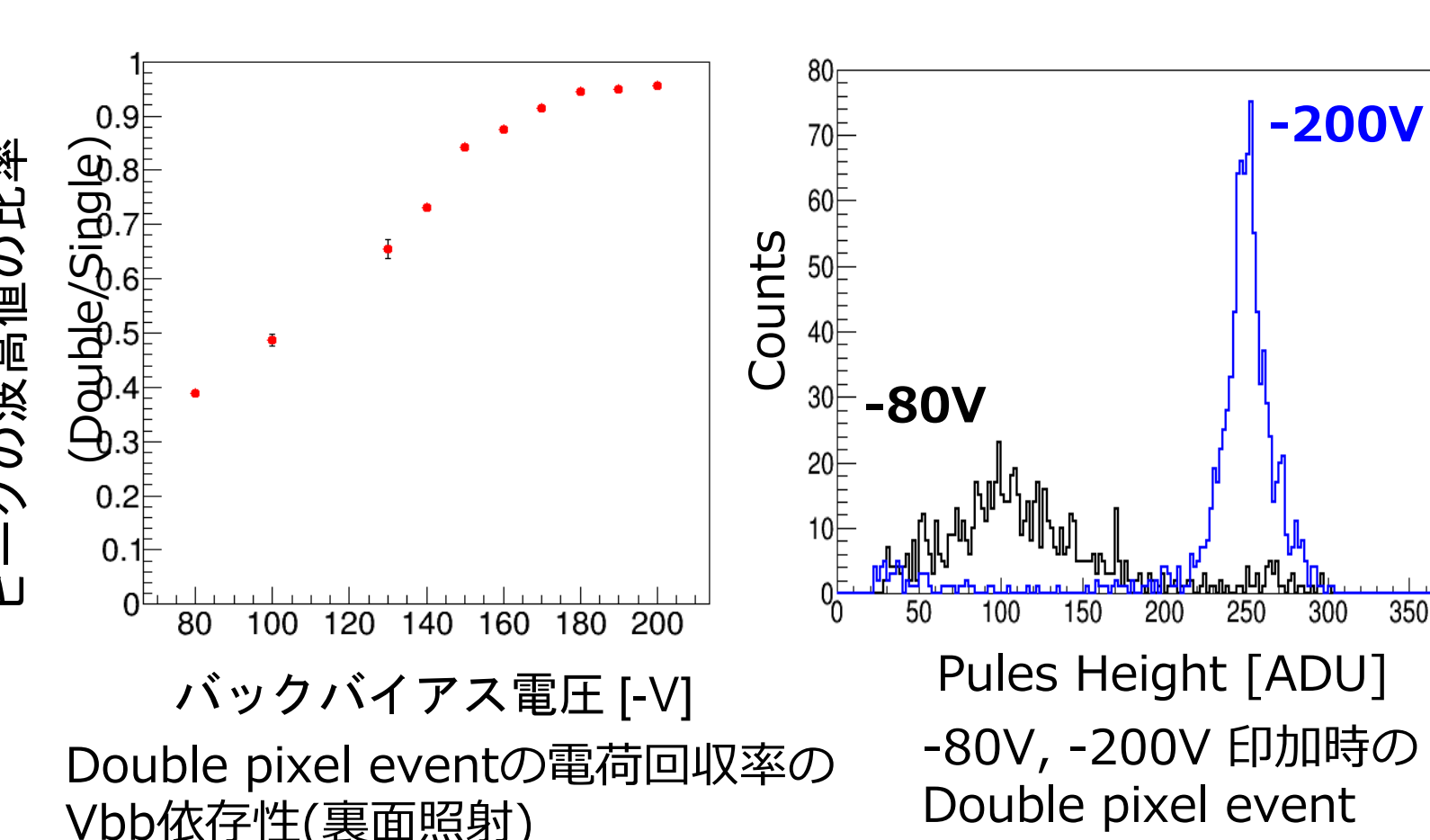
- ✓ 8keVのスペクトルより、 픽セル中心部ではsingle pixel eventが支配的となり、 픽セル境界ではdouble pixel eventが支配的となる。



■ 4keVと8keVの電荷回収率の比較



■ 電荷回収率のバイアス電圧依存性

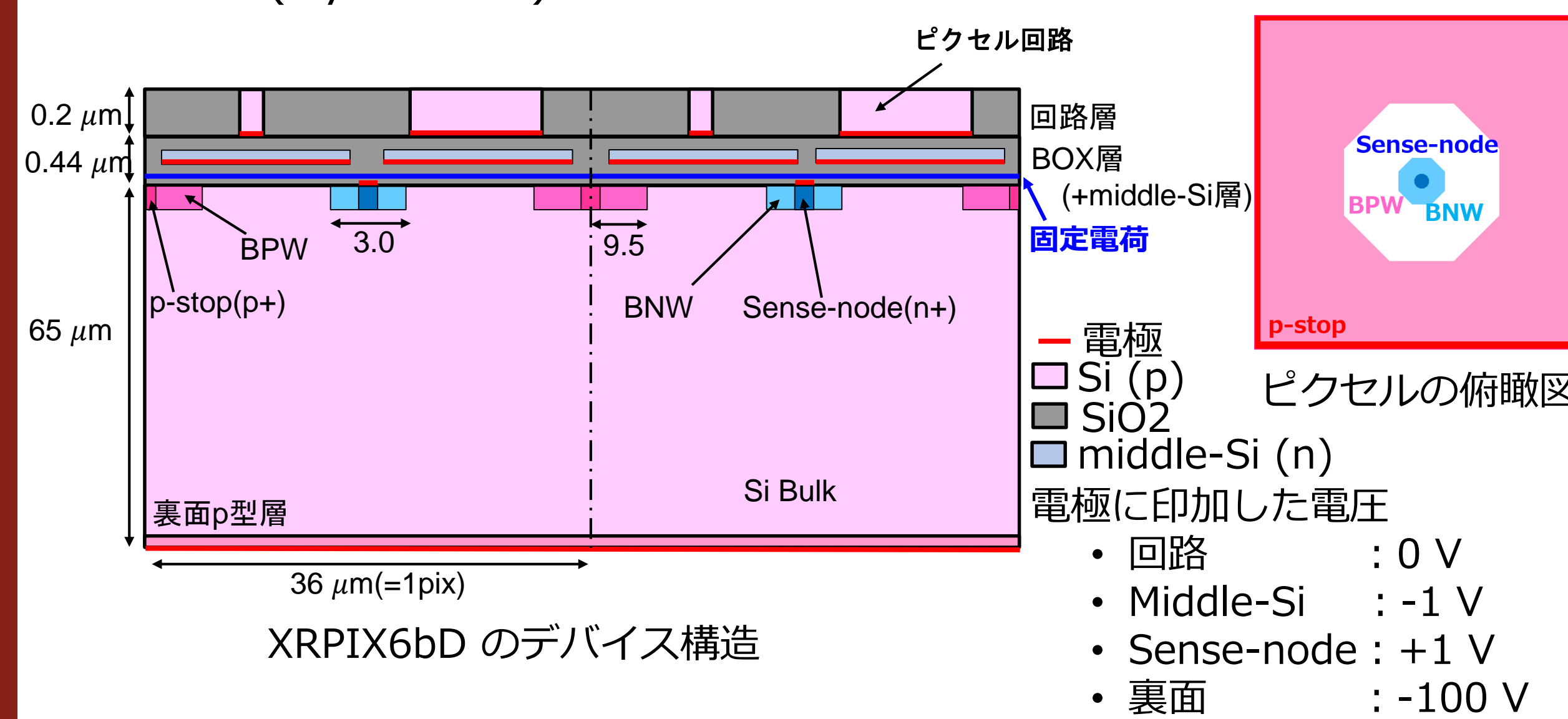


- ✓ 8keVを照射したデータでは、2 픽セル境界でdouble pixel eventのピーク位置がsingle pixel event に比べて~57%減少。
- ✓ また、4 픽셀境界では~85%減少している。
- ✓ 境界部に発生した電荷が回収できていない。
- ✓ 4keV照射の場合は、拡散により回収率は増加する。

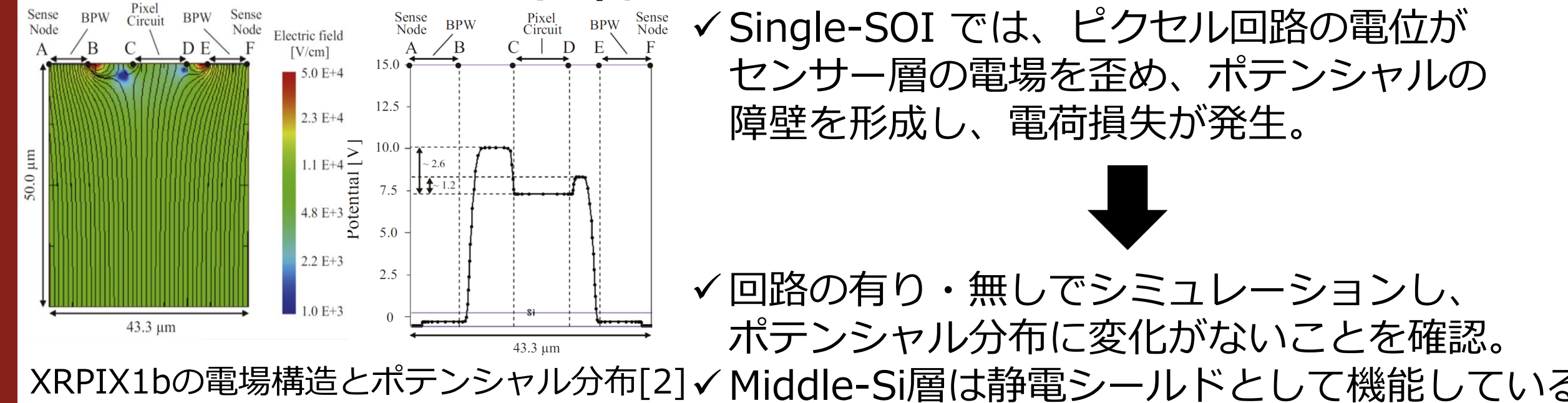
➤ TCADシミュレーション

■ XRPIX6bDのデバイス構造

- ✓ センサー層内の電場構造と発生した電荷の輸送経路を調査するために、TCAD (HyENEXSS) を用いてシミュレーションを行った。



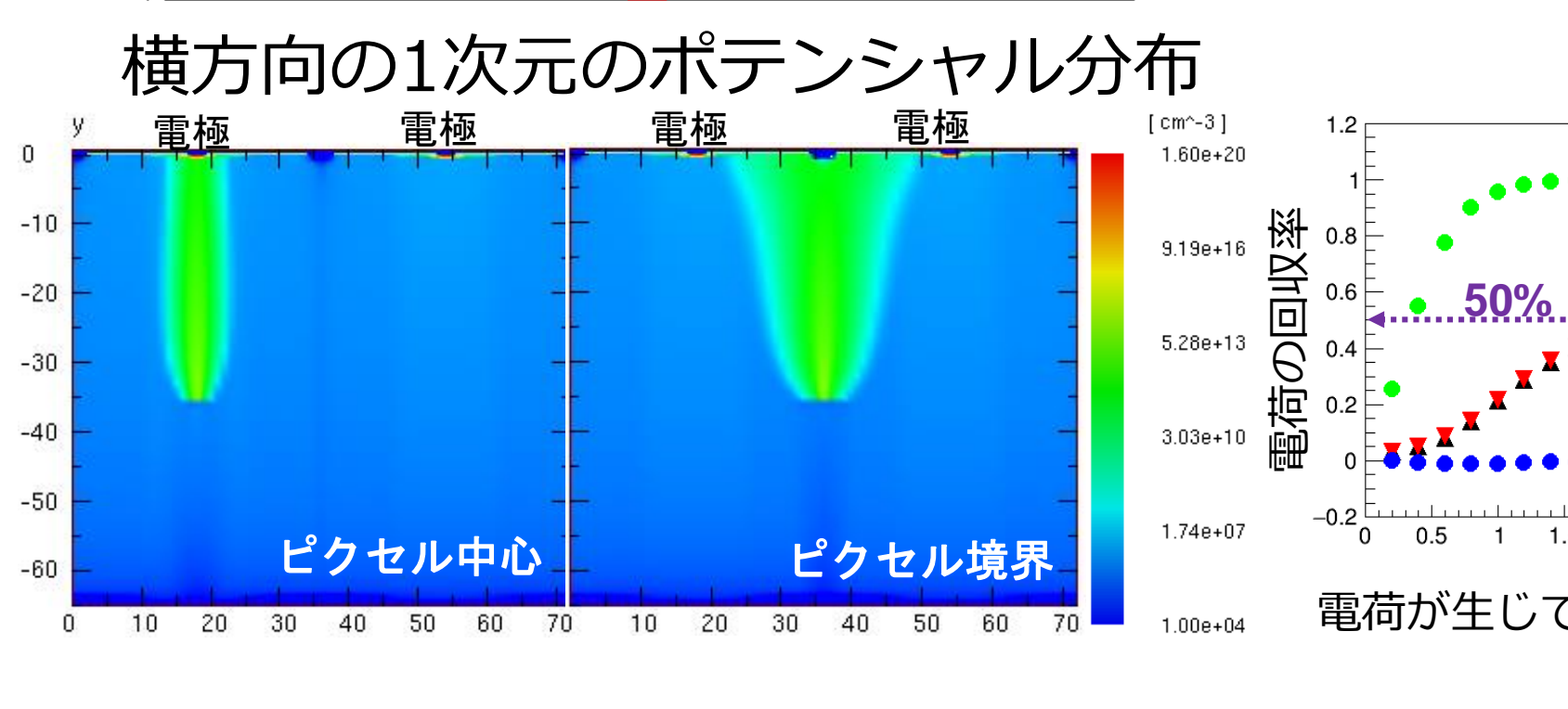
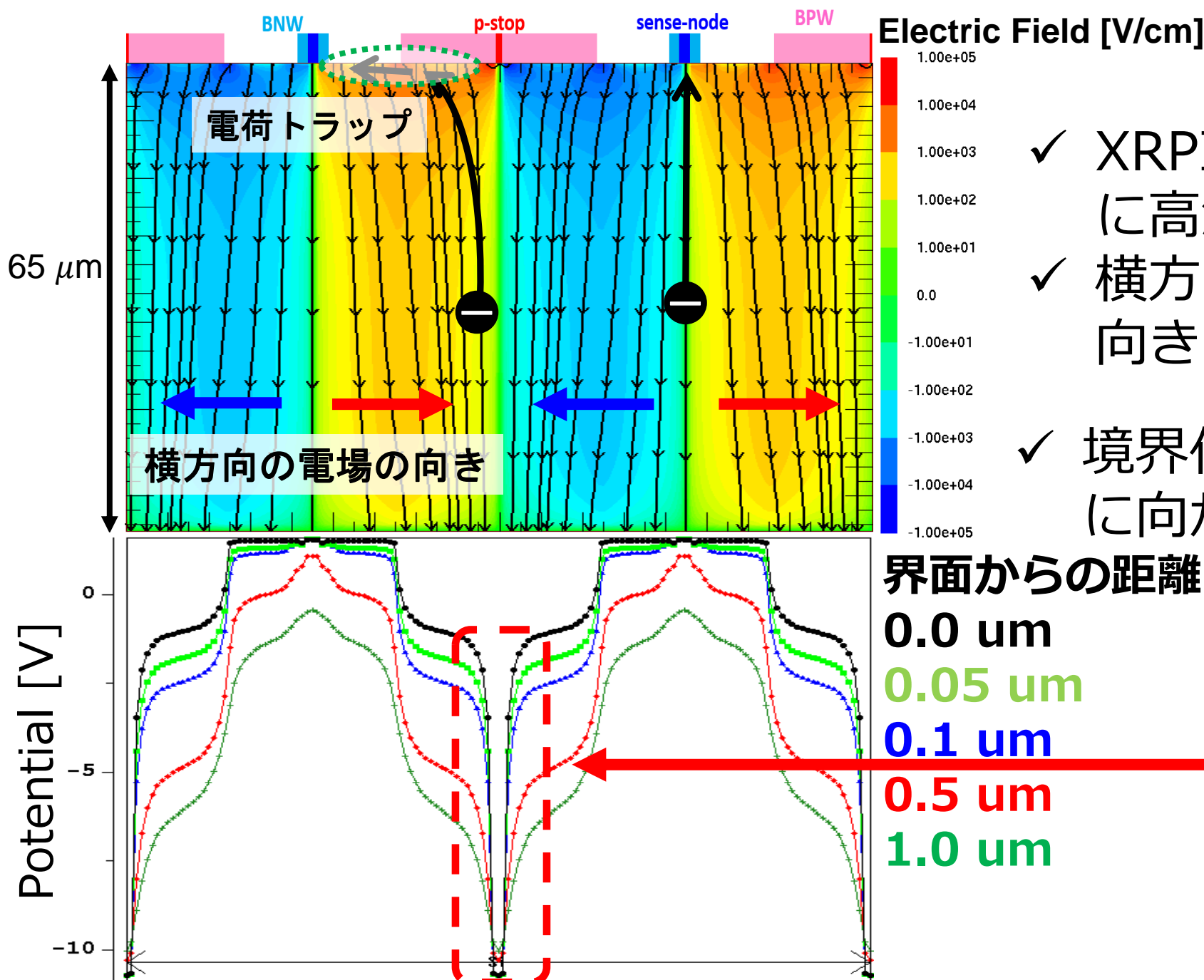
■ 픽セル回路の影響



- ✓ Single-SOI では、 픽セル回路の電位がセンサー層の電場を歪め、ポテンシャルの障壁を形成し、電荷損失が発生。

- ✓ 回路の有り・無しでシミュレーションし、ポテンシャル分布に変化がないことを確認。

■ 電場構造と電荷の輸送経路



- ✓ XRPIX6bDでは電極間を分離するために、境界部分に高濃度p (p-stop) をインプラントしている。
- ✓ 横方向の電場は境界から電極側に電子が移動する向きに形成されている。
- ✓ 境界付近で発生した電荷はp-stopを逃れるように界面に向かい、横方向に移動して電極で回収される。

- ✓ 横方向のポテンシャル分布：p-stopとBPWによってポテンシャルの壁が出来、 픽セル境界に集まりにくく構造になっている。

- ✓ 픽セル境界直下はp-stopの影響が強く、電荷損失の原因となるポテンシャル障壁は存在しない。
- ✓ そのため、電荷損失の原因は界面付近でのトラップが考えられる。

➤ まとめ

- Double-SOI構造を導入した新たな素子に対し、サブ 픽セルレベルのX線応答を測定したところ、 픽セル境界に照射した場合は電荷損失を起こすことが確認された。
- 電荷の回収率がVbbに依存することから、電荷損失の原因はセンサー層内の電場に関係すると考えられる。
- そこで、TCAD (HyENEXSS) を用いて電場と電荷の輸送過程についてシミュレーションを行った。
- Middle-Si層が静電シールドとして機能することで 픽セル回路の影響は排除出来ている。
- シミュレーションの結果、境界付近で発生した電荷はp-stopを避けて界面に到達し、電極まで移動する。
- 픽セル境界直下はp-stopの影響で電荷をトラップするようなポテンシャル障壁は生まれにくい。
- そこで、電荷損失の原因としては界面付近で横方向に移動している電荷がトラップされている可能性が考えられる。

➤ Reference

- [1] 3D TCAD Simulator HyENEXSS, Developed by Selete. Semiconductor Leading Edge Technologies Inc.
- [2] H. Matsumura et al. 2015, NIM A, 794, 225
- [3] K. Negishi et al. 2018, NIMA,

第19回 宇宙科学シンポジウム
@宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
(相模原キャンパス)
2019.01.09, 10