

高放射線照射されたシリコン半導体粒子検出器の性能評価

K.SATO, K. HARA, K.ONARU, D. DAIGO, S.WADA (U Tsukuba),
Y. IKEGAMI, Y. UNNO, M.TOGAWA, K.NAKAMURA, K.HANAGAKI(KEK)
ATLAS-J Silicon Group, Hamamatsu Photonics K.K.

背景

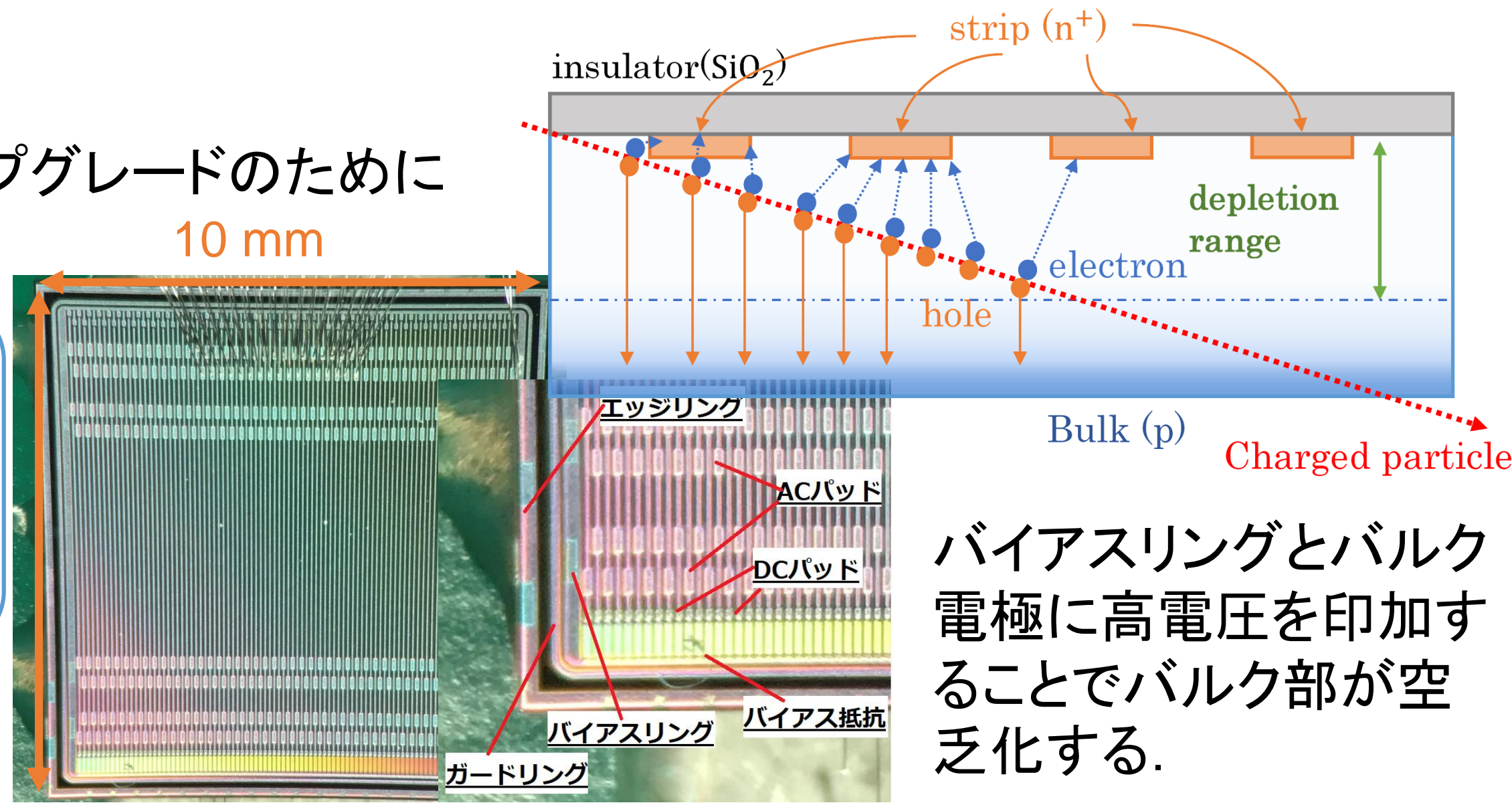
欧州CERN研究所のハドロン衝突型加速器LHCは現在高輝度化に向けた準備中であり、高輝度化されたLHC (HL-LHC) でのATLAS最内層におけるシリコン半導体検出器は 1×10^{16} 1-MeV n_{eq}/cm^2 ほどの放射線に晒される。さらに、将来のハドロン衝突器の実験では稀な新物理の探索のためにより衝突輝度を上げる必要がある。そのような高放射線環境下でシリコン半導体検出器がどのように振る舞うか、現在の検出器に対して 1×10^{17} n_{eq}/cm^2 まで照射された場合の性能の変化について調べた。

シリコン半導体検出器

2012年にATLAS検出器のアップグレードのために試作されたストリップセンサー

- p型バルク, n型ストリップ電極
- 電極ピッチ: 84 μm
- 厚さ: 320 μm
- 大きさ: 10 mm \times 10 mm

10 mm



バイスリングとバルク電極に高電圧を印加することでバルク部が空乏化する。

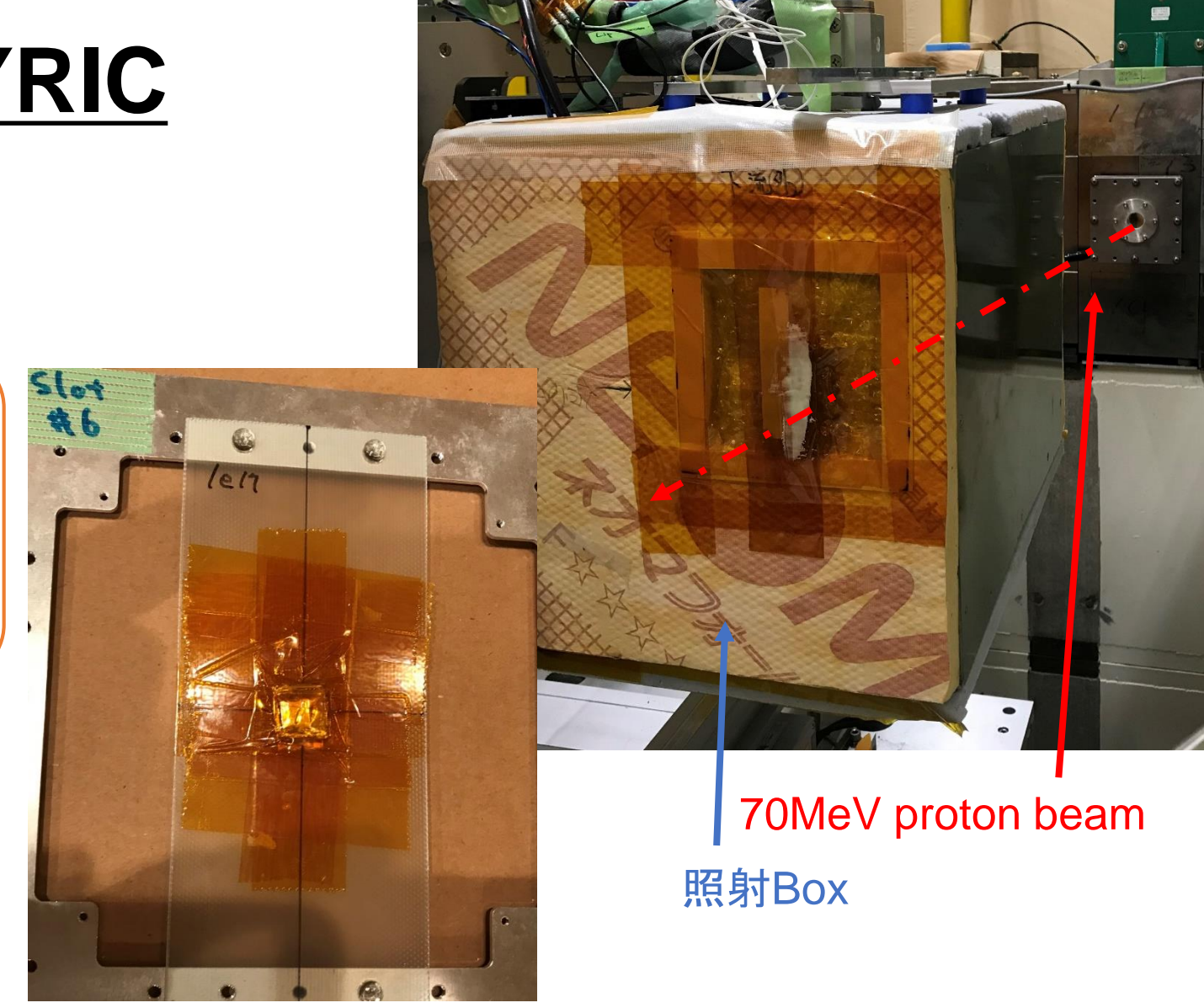
陽子線照射 @東北大学CYRIC

70 MeVの陽子線を照射

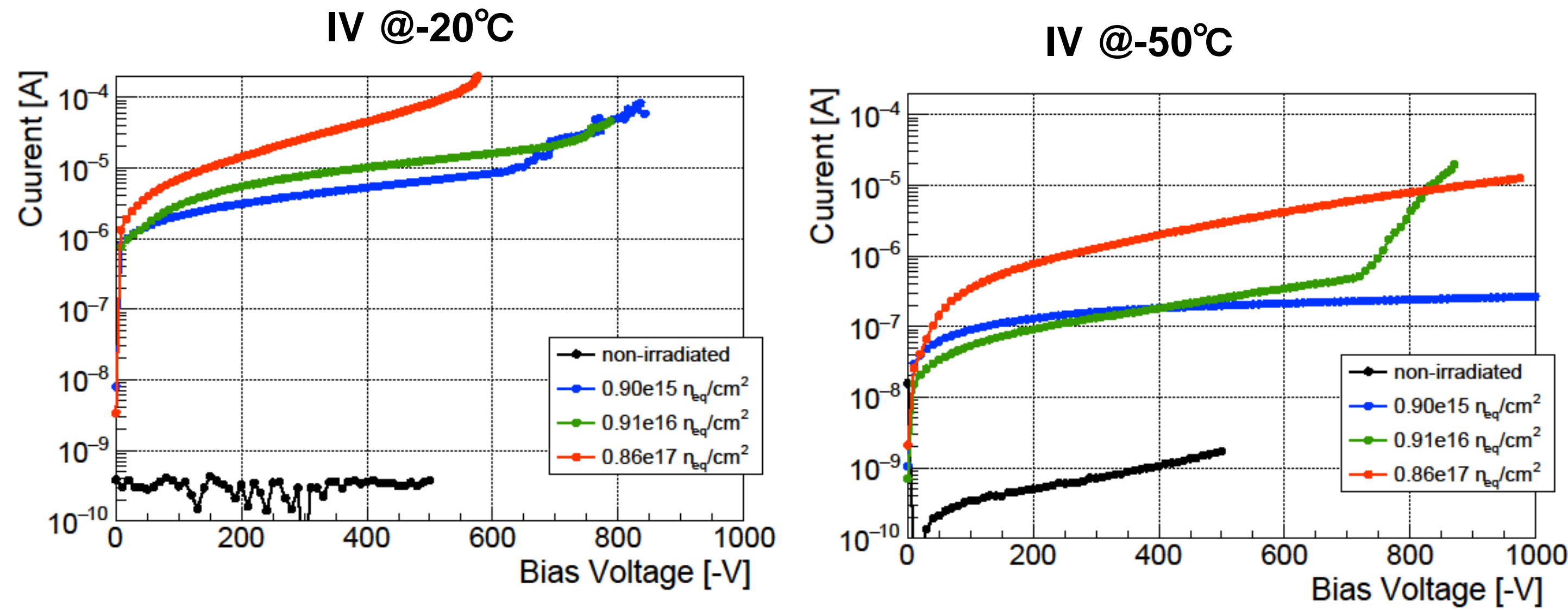
フルエンス

- 0.90×10^{15} 1-MeV n_{eq}/cm^2
- 0.91×10^{16} 1-MeV n_{eq}/cm^2
- 0.86×10^{17} 1-MeV n_{eq}/cm^2

+ 未照射
の4点で性能評価

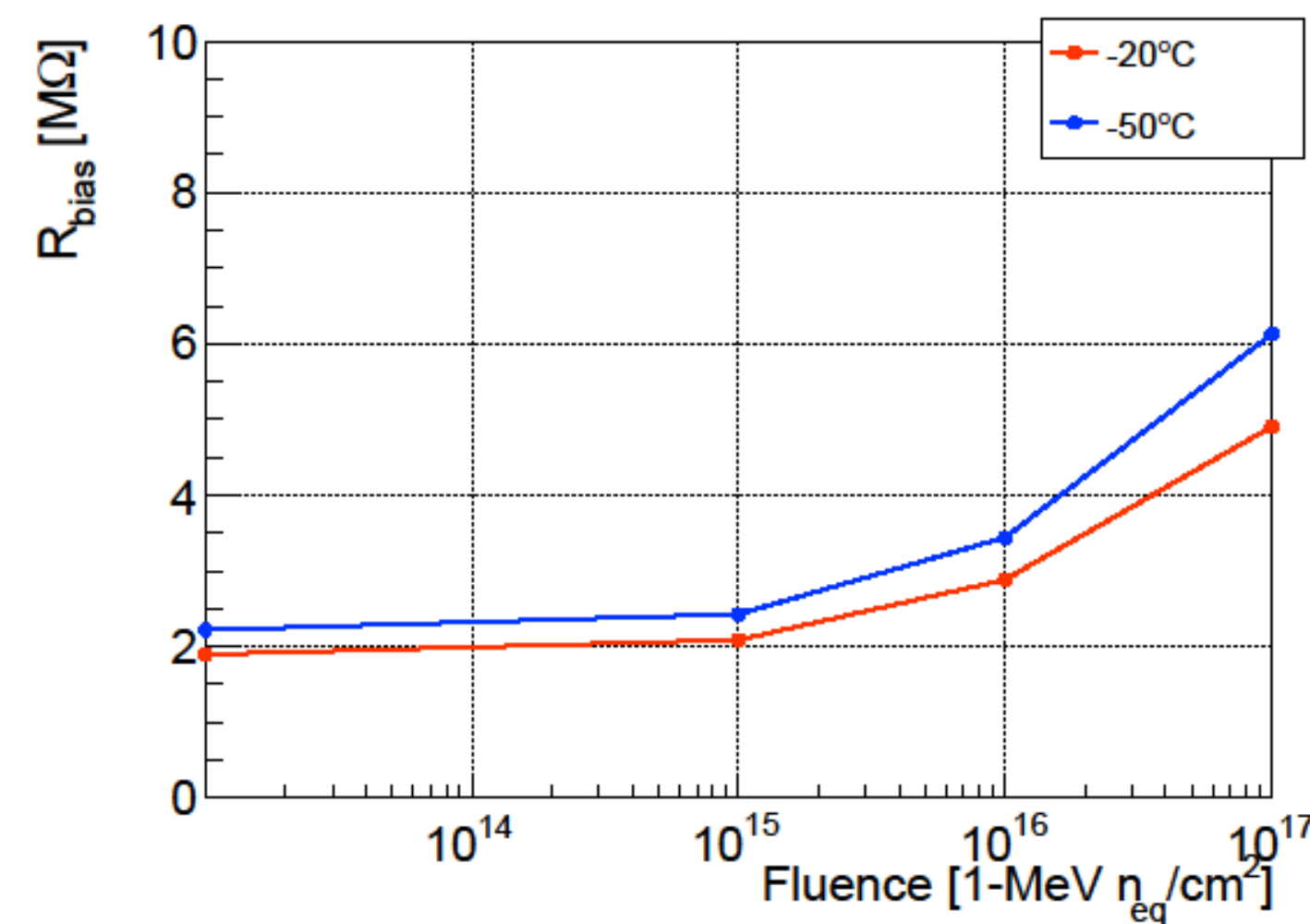


IV (暗電流の逆バイアス電圧依存性)



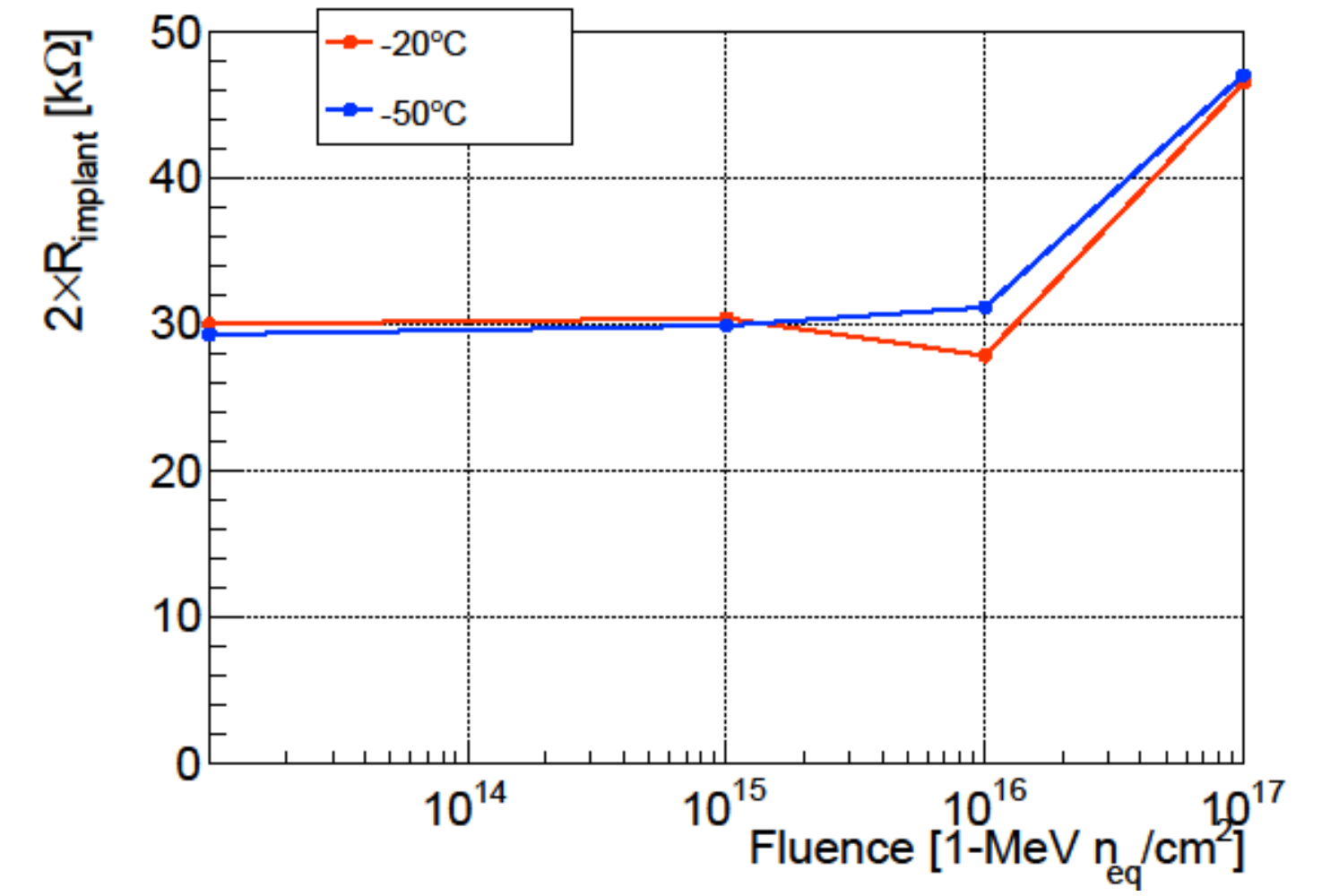
フルエンスの増加に伴い暗電流も増加することが、 1×10^{17} n_{eq}/cm^2 でも確認された。 1×10^{17} n_{eq}/cm^2 での電流値は 1×10^{15} n_{eq}/cm^2 の15倍だった。(@-1000V)
低温環境下でも暗電流が大きく、これを抑えるためにセンサー厚を小さくする必要があると考えられる。

バイス抵抗



フルエンスの増加に伴いバイス抵抗値の上昇を確認した。
ストリップ間抵抗~数GΩに対して小さくストリップ同士の分離に関して問題ないと考えられる。

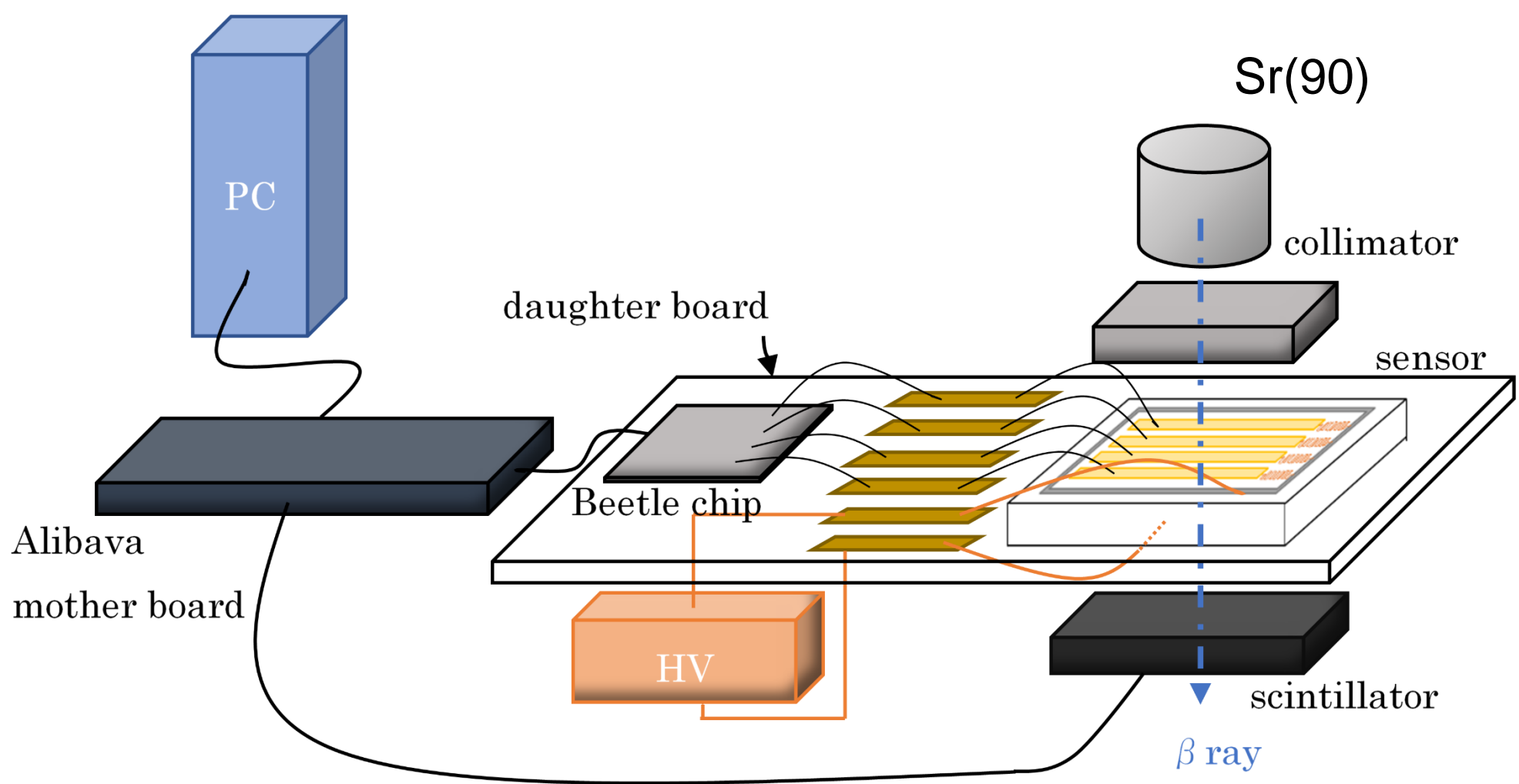
インプラント電極の抵抗



n型インプラント電極の抵抗値が 1×10^{17} n_{eq}/cm^2 で増大した。照射によるp型不純物の増加が、n型インプラントにも影響を与えることがわかった。

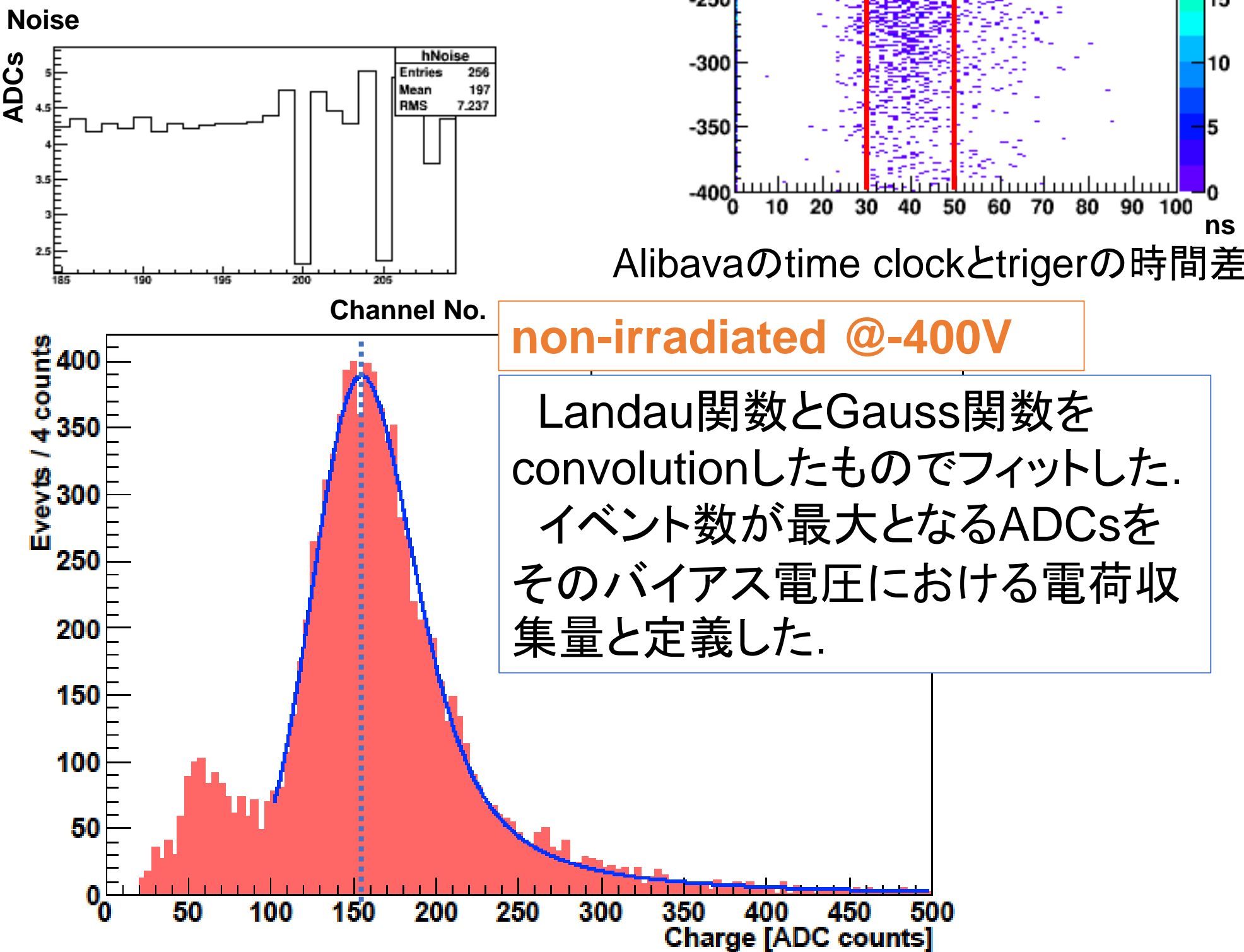
電荷収集量 @-40°C

● β 線測定の設定アップ

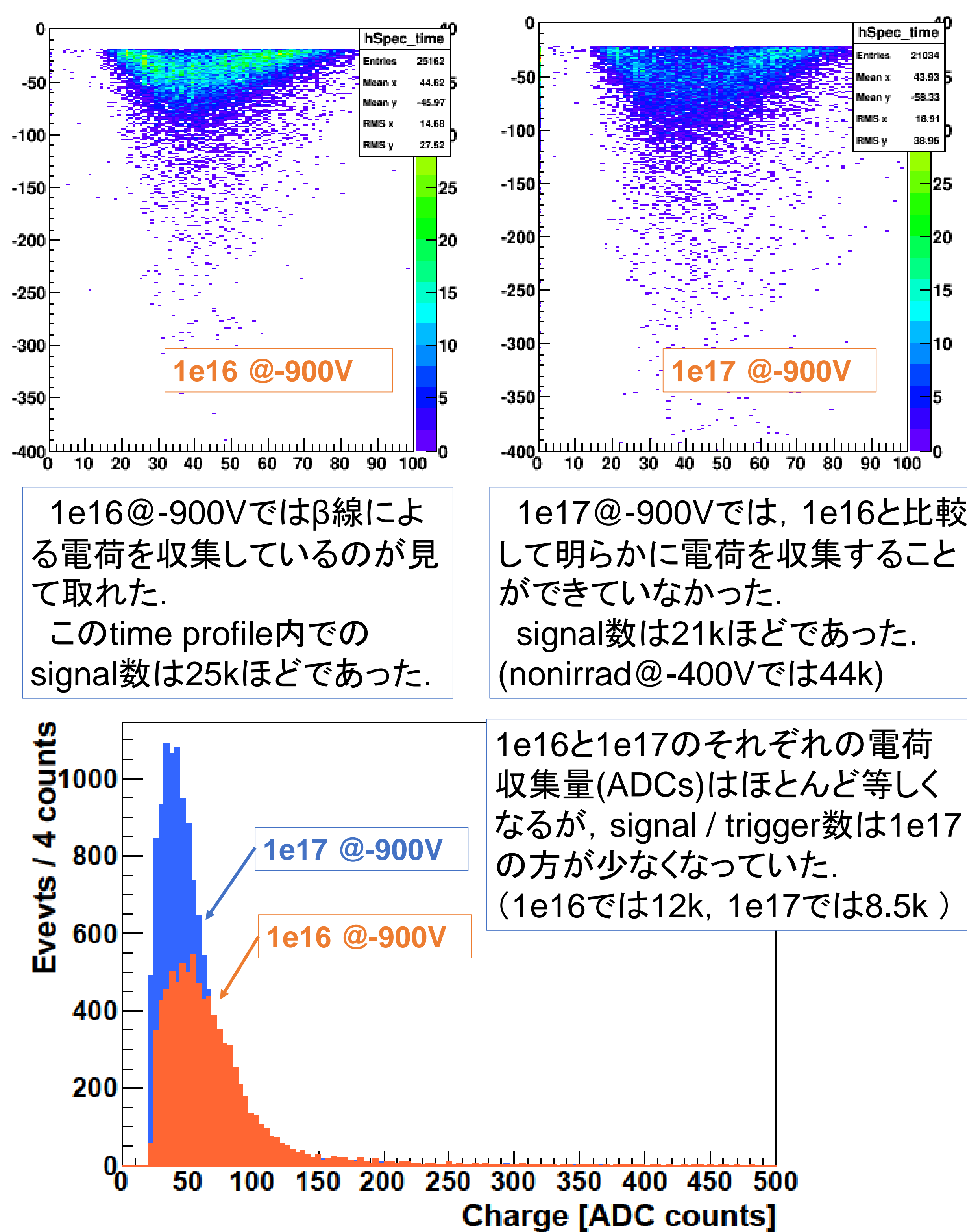


● 評価方法

- trigger数: 100k events
- Noise: ~4.5 ADCs
- Seed Cut: S/N > 5
- Neighbor Cut: S/N > 1
- Time Cut: 30 ~ 50 ns



● 1e16 vs. 1e17



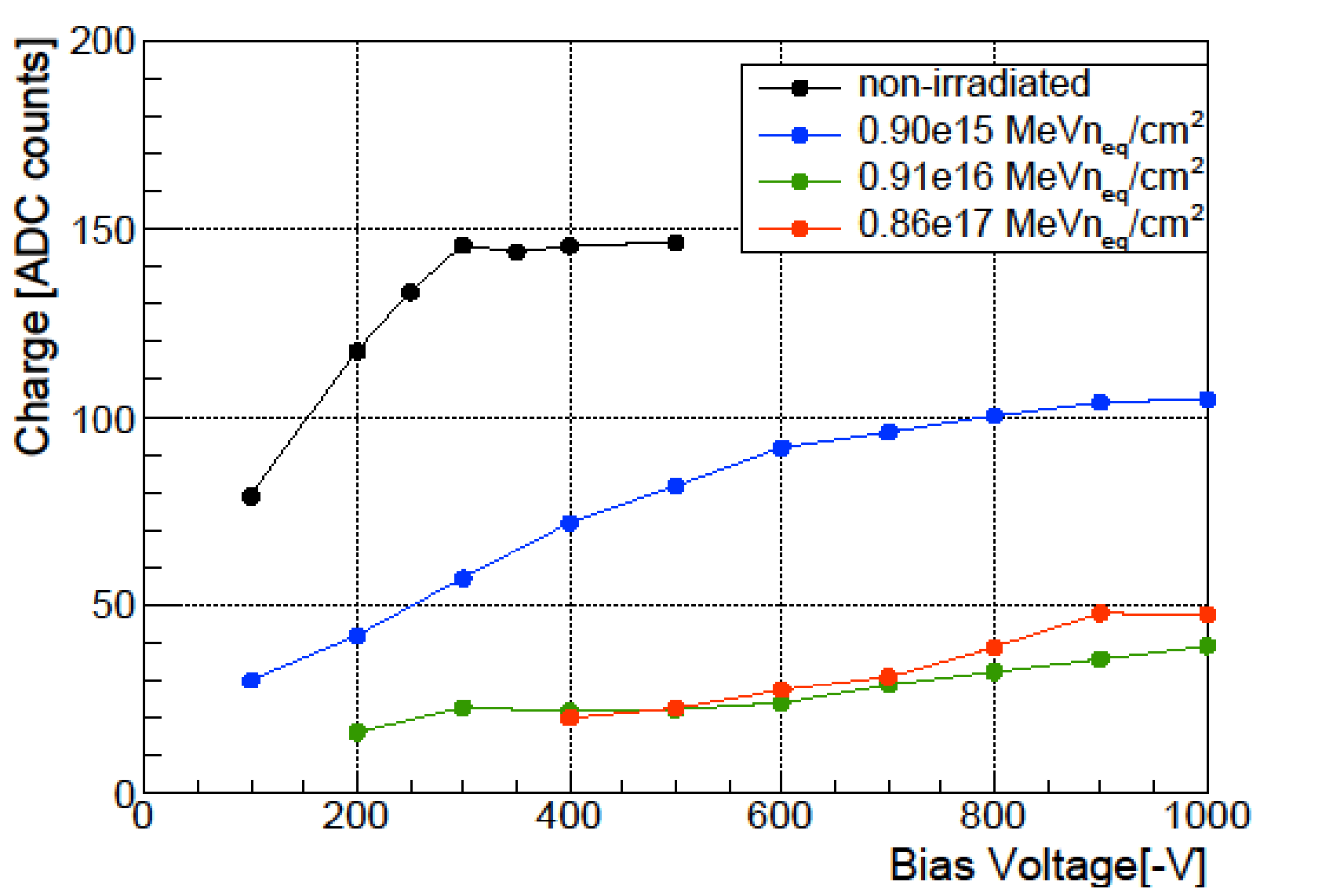
1e16@-900Vでは β 線による電荷を収集しているのが見て取れた。
このtime profile内でのsignal数は25kほどであった。

1e17@-900Vでは、1e16と比較して明らかに電荷を収集することができていなかった。
signal数は21kほどであった。
(nonirrad@-400Vでは44k)

1e16と1e17のそれぞれの電荷収集量(ADCs)はほとんど等しくなるが、signal / trigger数は1e17の方が少なくなっていた。
(1e16では12k, 1e17では8.5k)

● 測定結果

フルエンスと電荷収集量 @-40°C



-40°Cにおける電荷収集量では 10^{16} 、及び 10^{17} n_{eq}/cm^2 は 10^{15} n_{eq}/cm^2 に対して半分程度であった。
しかしながらsignal / trigger数では 10^{16} n_{eq}/cm^2 より 10^{17} n_{eq}/cm^2 の方が少なかった。
これは偶然 β 線が電極の近傍を通過し、電極近くでのキャリア移動に応じた信号量を測定したものと考えられる。
 10^{17} n_{eq}/cm^2 での電荷収集量を大きく増やすために、電極間隔を狭くすることや、センサー厚を小さくすること(同じバイアス電圧に対して空乏層をより広げるため)が考えられる。

結論

2×10^{15} n_{eq}/cm^2 以下のフルエンスで使用するATLASシリコンストリップ検出器を用いて、 1×10^{17} n_{eq}/cm^2 まで照射した場合の検出器性能変化を調べた。
暗電流を抑えるため、従来の環境温度(-20°C)をさらに下げる必要がある。電荷収集量は大きな劣化が見られ、収集量を増やす構造にする必要がある。また、バイス抵抗との増加に加え、新たにn型インプラント電極も影響を受けることがわかった。
従って 1×10^{17} n_{eq}/cm^2 では、シリコンストリップ検出器を従来と同じ方式で使うことが難しく、新たな検出器構造を考える必要がある。具体的には、電荷収集距離を短くしたり、ピクセル型にして検出容量を下げ、より低ノイズで作動できる検出器が候補である。