



ASTRO-H搭載ガンマ線検出器フライトSi-Pad性能評価

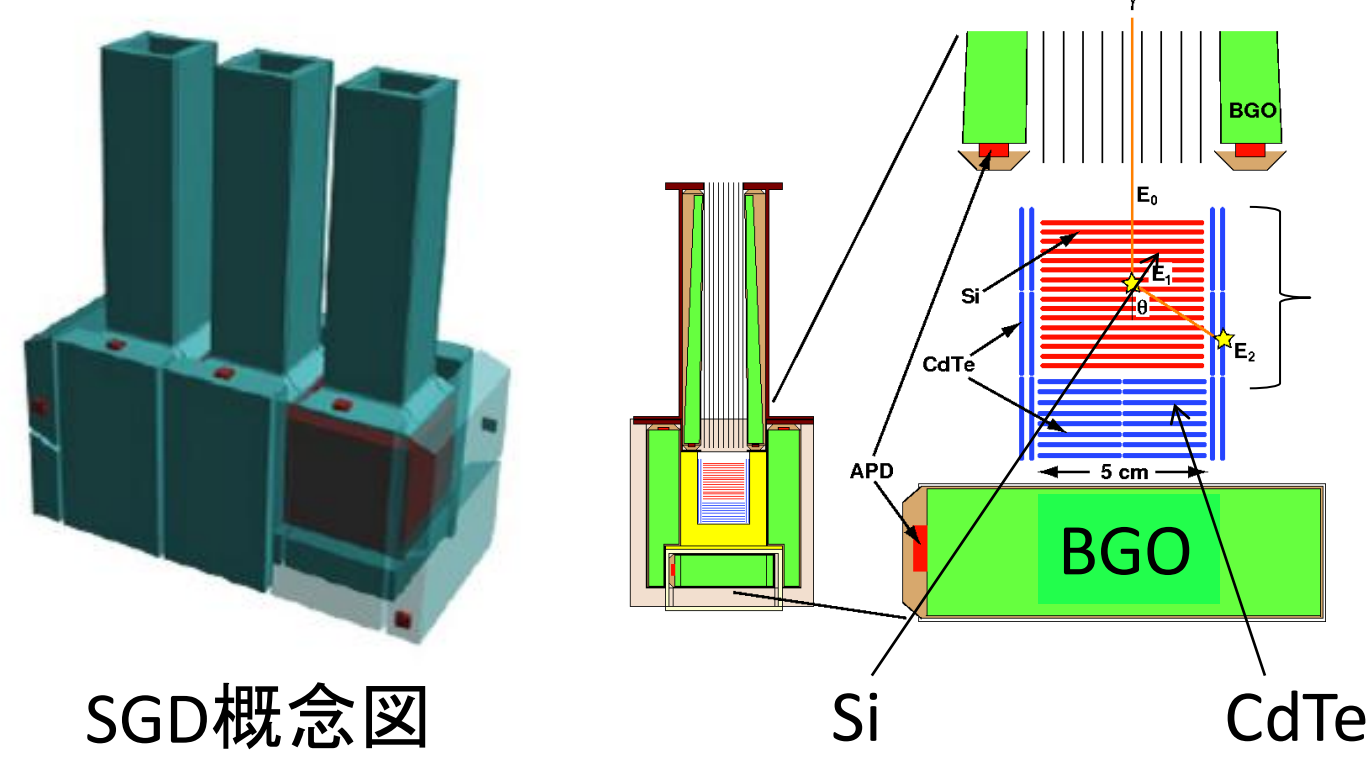
○中村竜、朴寅春、上野一誠、林克洋、深沢泰司、水野恒史、高橋弘充、(広島大学)、田島宏康(名古屋大学)、田中孝明(京大理)、榎戸輝揚(理研)、渡辺伸、国分紀秀、高橋忠幸、太田方之、福山太郎、齊藤新也(ISAS/JAXA)、中澤知洋(東京大学)、他HXI/SGDチーム

- ・製造された衛星搭載型Si-Pad sensorのランク付けし、良い素子を選定
⇒ASTRO-H衛星に搭載
- ・衛星軌道上でSi-Pad sensorが受ける放射線損傷による性能の劣化を評価
⇒運用に問題がないか確認

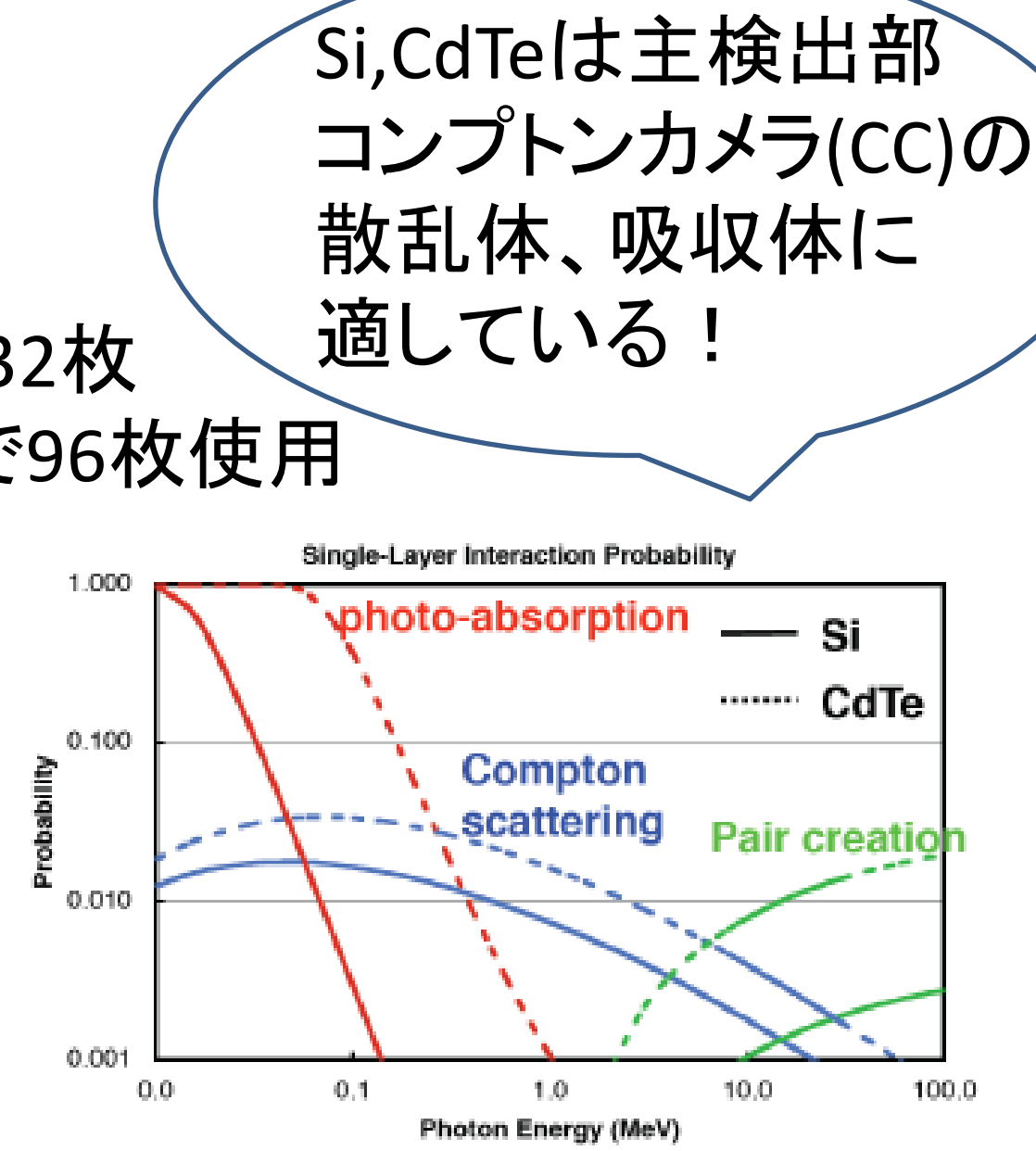
1.ASTRO-H搭載軟ガンマ線検出器SGD

◆SGD (エネルギー帯域:10-600keV)

ASTRO-HにSGD2台搭載



Si-Padが32枚
SGD1台で96枚使用



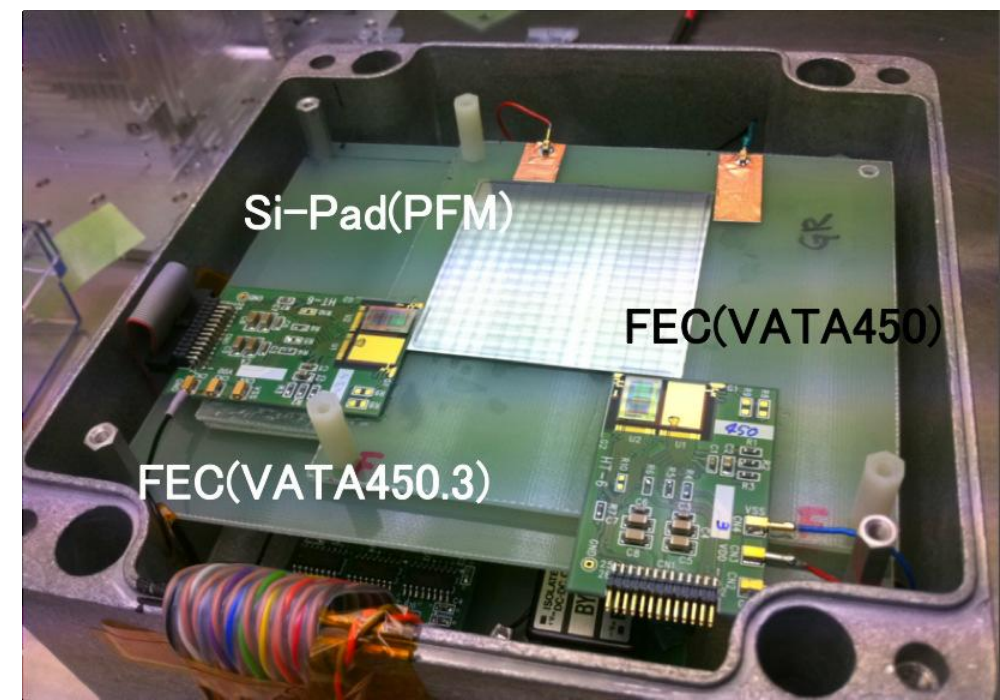
コンプトン運動学により光子の到来方向を特定!

$$\cos\theta = 1 - \frac{m_e c^2}{E_2} + \frac{m_e c^2}{E_1 + E_2}$$

目標: すぎくHXDより1桁良い感度

2.Si-Pad

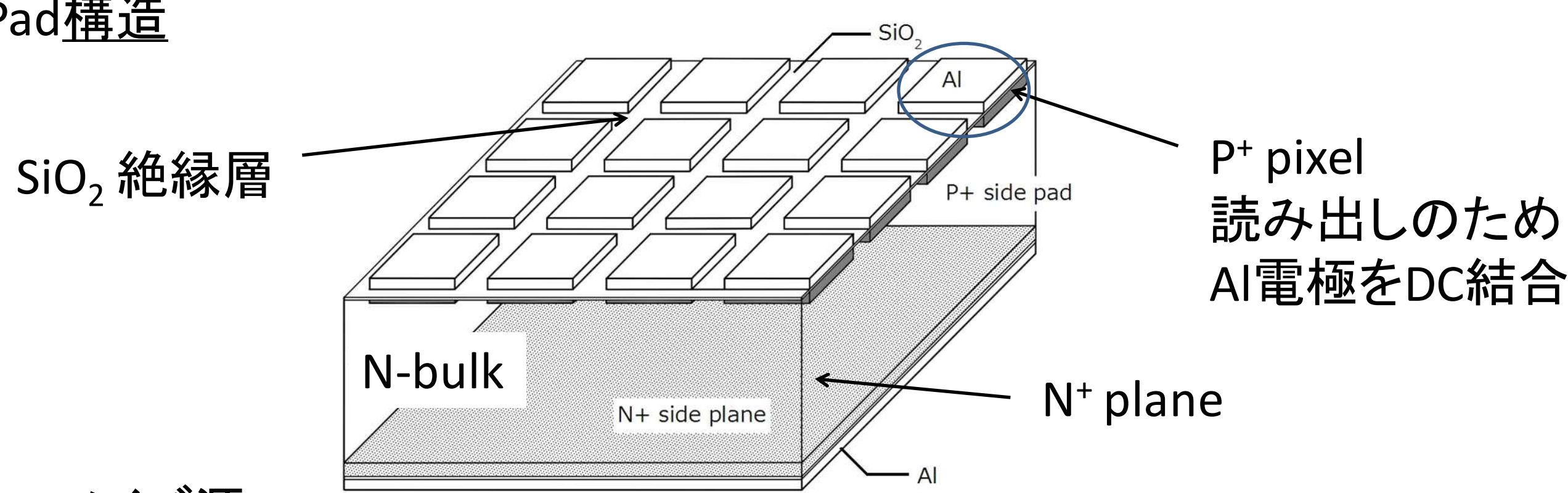
◆Si-Pad仕様・目標性能



センサー領域	5.39 × 5.39cm ²	エネルギー領域	10-600keV
有効面積	5.12 × 5.12cm ²	観測範囲	0.5° - 1°
1ピクセル面積	3.2 × 3.2mm ²	角度分解能	40°
ピクセル数	16 × 16ch	エネルギー分解能	2keV@40keV
厚さ	0.6mm		
1ピクセル暗電流	50pA@-15°C		
1ピクセル容量	10pF		

- ・ASICにより64ch同時読み出し
- ・2011年度までに衛星搭載型(FM)製造完了

◆Si-Pad構造



◆Si-Padノイズ源

Si-Padセンサーのエネルギー分解能のノイズの近似式

$$\Delta E_{RMS}^2 = A \cdot I_n \tau + \{f(C_{in})\}^2 + K_{1/f} [keV^2]$$

エネルギー分解能 → 第1項目 → 電流性ノイズ
→ 第2項目 → 容量性ノイズ
→ 第3項目 → 容量性ノイズ (1/fノイズ)

放射線の影響により悪化する

CR-RC整形回路の場合
A: 整形回路等による定数
I_n: 暗電流[nA]
C_{in}: 等価入力容量[pF]
K_{1/f}: 1/fノイズの比例係数

5.放射線損傷によるブレイクダウンの変化

◆ブレイクダウン測定

・目的

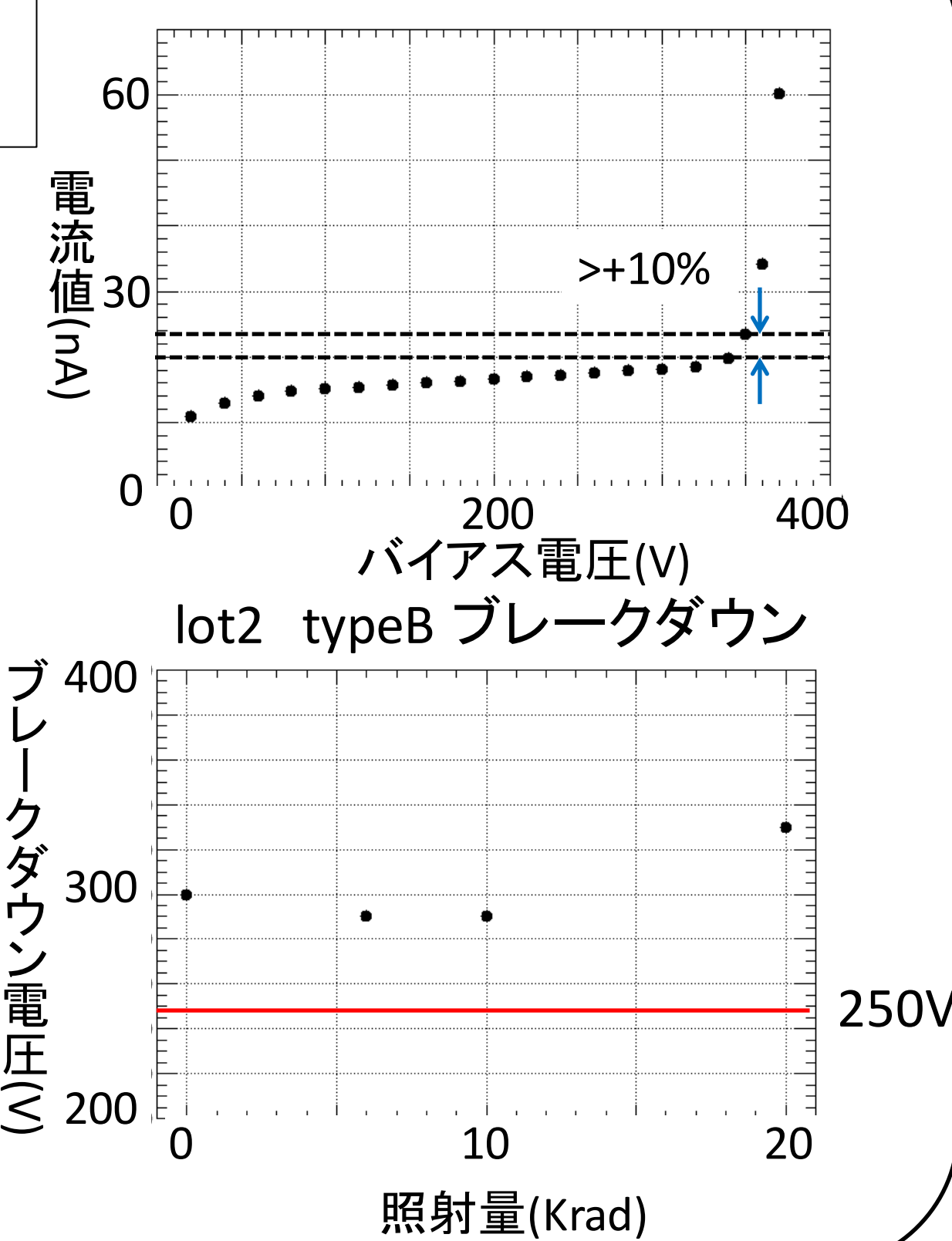
SGDの運用電圧値は250Vである。素子のブレイクダウン値が250V以下で起こらない事を確認する

・ブレイクダウン電圧値定義

HVを10V上げた時に暗電流値が10%以上増加した時にブレイクダウンが起きたとみなす

運用環境の電圧値でのブレイクダウンは起こらないことを確認した

測定条件
温度: -15°C



まとめ

実際にSGDに搭載するSi-Padの選定の定義を1.規格化した暗電流値のばらつきが小さい素子 2.素子全体の暗電流値が小さい とし求めることでFM Si-Padの中で良い素子の選定を行った。
FM Si-Padの放射線損傷の影響については照射による暗電流値は増加したものの分解運用には問題ない範囲であった。
ブレイクダウンは運用電圧値以下でブレイクダウンを起こさない事を確認した。

3.衛星搭載型 Si-Pad ranking

SGD2台に使用されるSi-Padは192枚

製造した衛星搭載型Si-Pad 333枚から性能の良い素子を選定する必要がある

◆選定方法

良い素子の次の様に定義

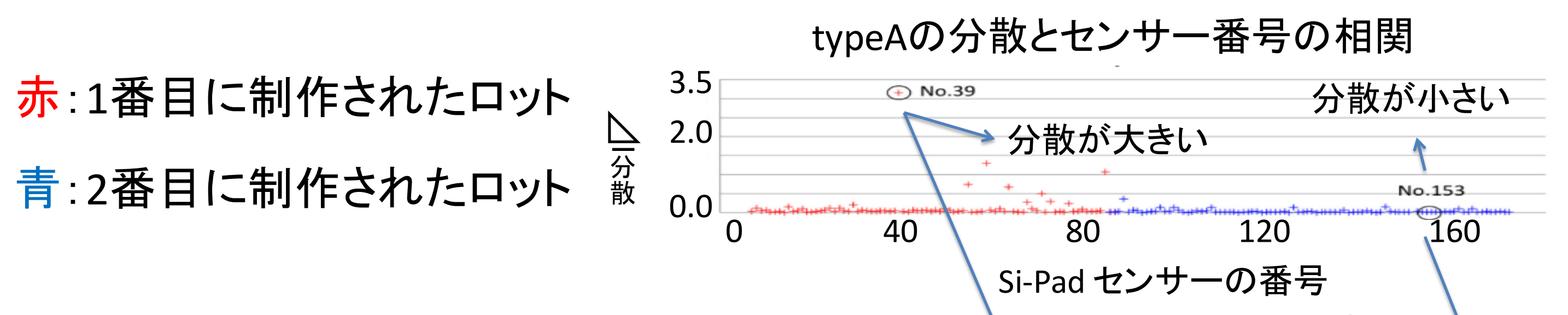
1. 規格化した暗電流値の分散が小さい
2. 素子の全体の暗電流値が小さい

i.端のchの電流値が高いので、電流の位置依存性を消すために各ch位置毎に全素子にわたる平均を求め、その値で規格化

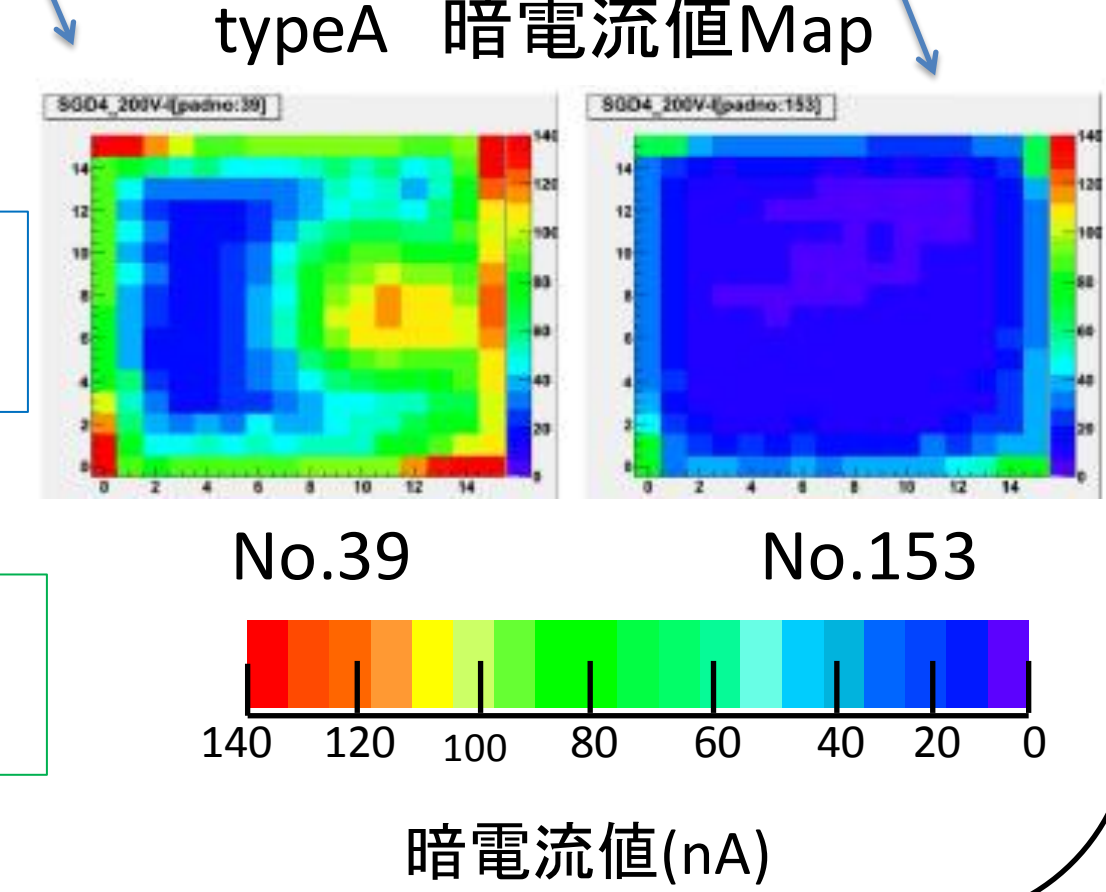
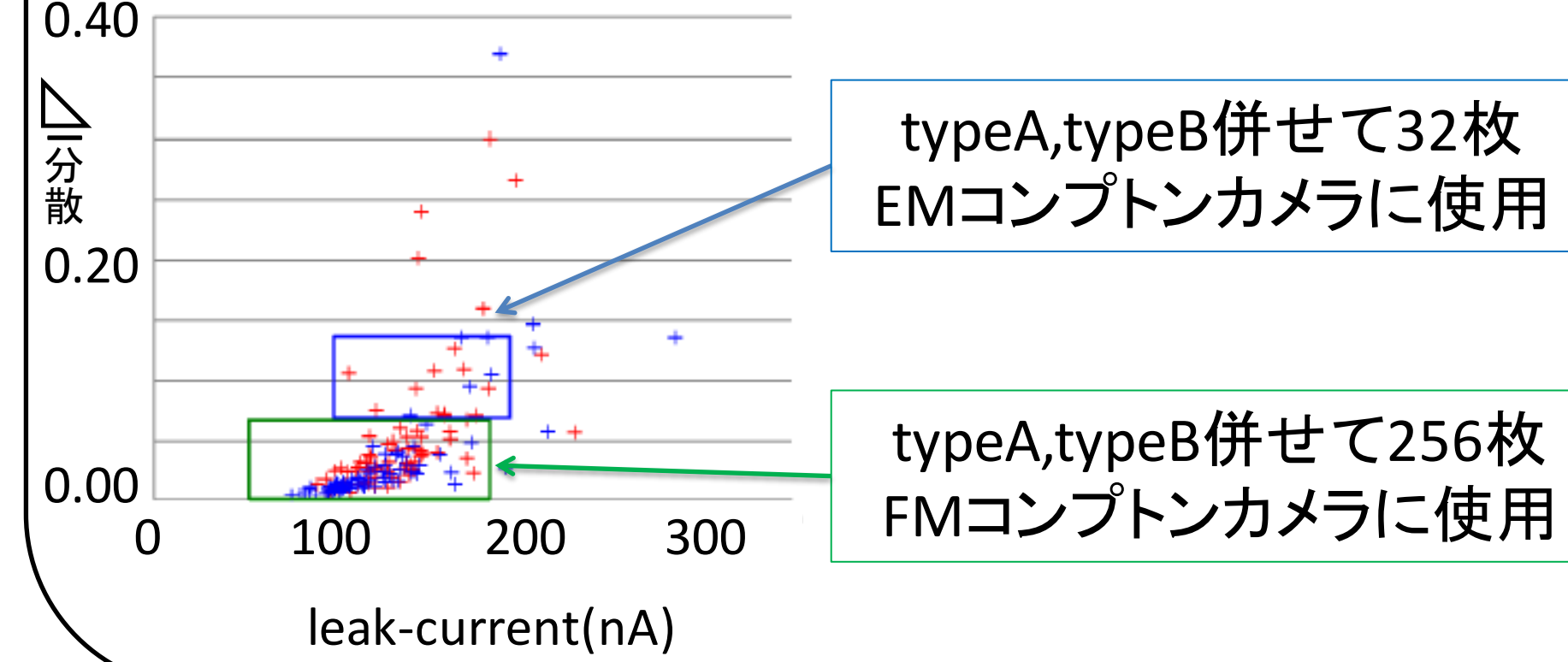
$$I_{規格化}(sensor, ch) = \frac{I(sensor, ch)}{\sum_{sensor=1}^n I(sensor, ch)}$$

ii.規格化したch 毎の暗電流値を各素子内の全chにわたって平均をとり、各素子についてこの平均値からの分散をとる

$$\Delta I_{分散}(sensor) = \frac{\sum_{ch=1}^{256} (I_{規格化}(sensor, ch) - \frac{\sum_{ch=1}^{256} I_{規格化}(sensor, ch)}{256})^2}{256}$$

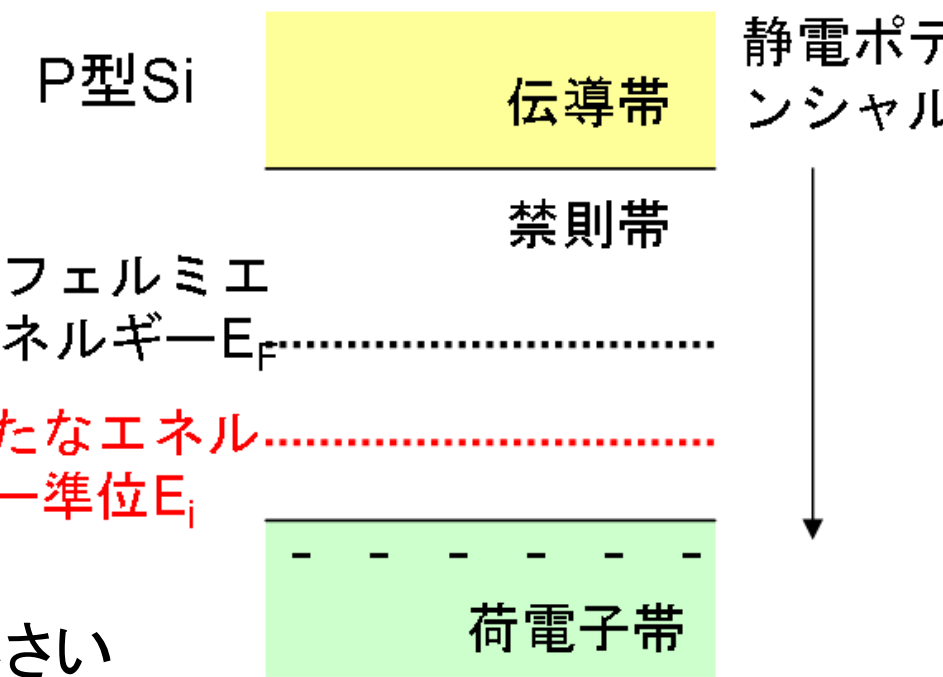


typeAの規格化暗電流と全暗電流の相関



4.Si-Padで考えられる放射線損傷

- ・ガンマ線による表面損傷
→素子の加工による影響が出やすい
FM Si-Padについても評価する必要がある
- ・プロトンによるバルク損傷
→バルク損傷の度合いはSiの材質の違いによる影響が大きい
PFM(FMと同様の材質)の素子に13年分の照射を行った。
照射後の暗電流値は45pA@-15°C以下であったので影響は十分小さい



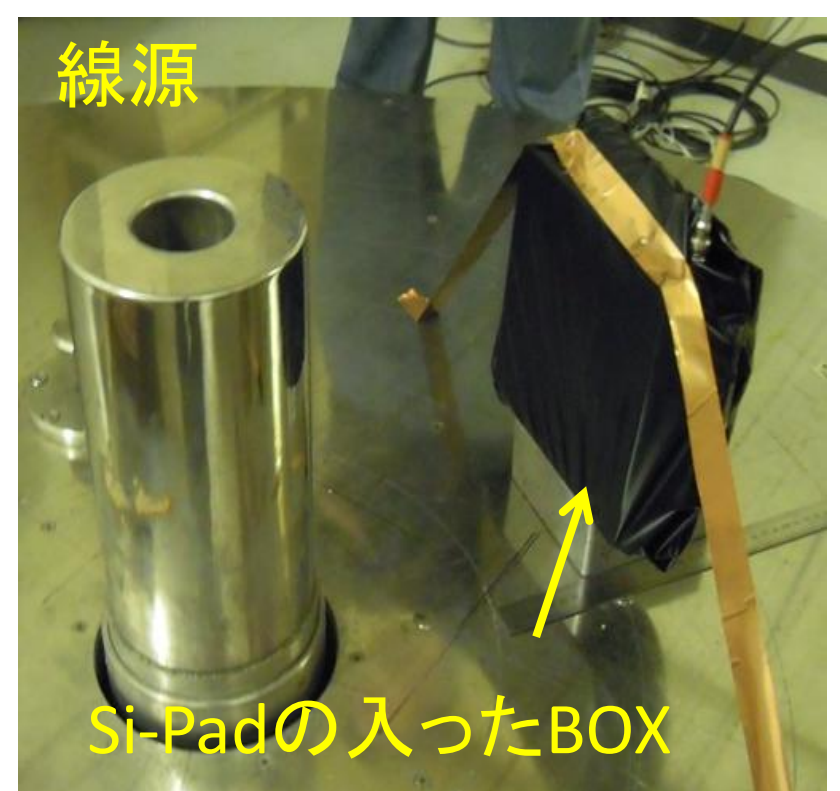
どちらの損傷も半導体エネルギーギャップ内に新たなエネルギー準位が形成され電子のトラップが起こりやすくなる。⇒暗電流が増加し性能悪化につながる

◆ガンマ線照射

ガンマ線照射には⁶⁰Coを使用

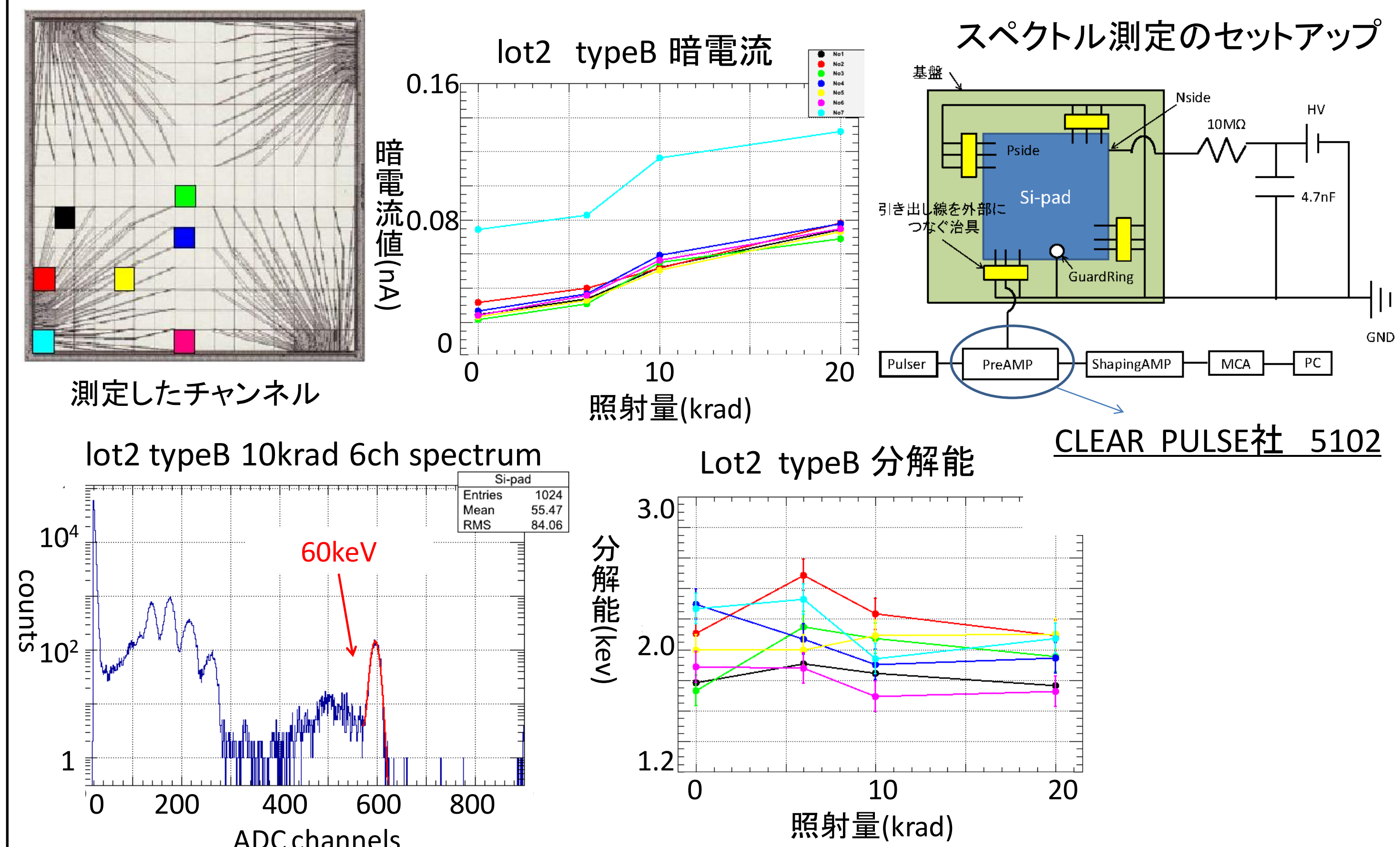
軌道上で受ける量を1年間
2krad(安全ファクター4)として照射

照射量	6krad	10krad	20krad
対応年数	3年分	5年分	10年分



広島大学工学研究科放射線総合実験室における照射の様子

◆結果 測定条件 温度: -15°C 電圧値: 250V



容量性ノイズによる分解能は1.5~2.0[keV]であるのに対して、運用期間5年分相当のガンマ線照射による暗電流の増加での分解能劣化は0.05[keV]程度にしかならないため、運用に支障がないと考えられる