

ATLAS 実験アップグレードにおける MicroMEGAS 検出器の 放射線耐性の研究

神戸大学 粒子物理学研究室
長坂憲子

1. LHC-ATLAS 実験について
2. γ 線を用いた耐久試験
 - 2-1. 検出器の性能の変化
 - 2-2. 中性子を用いた試験
 - 2-3. 表面の調査
3. まとめ

1. LHC-ATLAS 実験について

2. γ 線を用いた耐久試験

2-1. 検出器の性能の変化

2-2. 中性子を用いた試験

2-3. 表面の調査

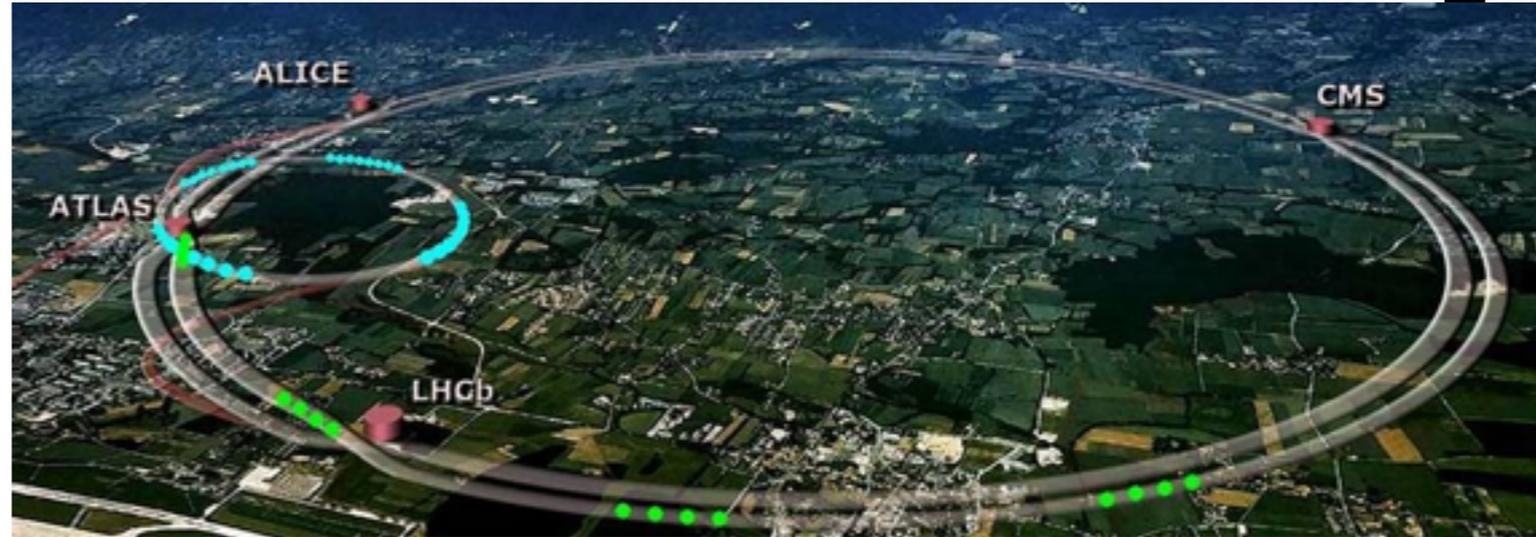
3. まとめ

LHC-ATLAS Experiment

*Large Hadron Collider (LHC)

陽子・陽子衝突型の円形加速器

- スイス・ジュネーブ郊外
- 周長 約27 km
- 重心系エネルギー 13 TeV
- 瞬間ルミノシティ $\sim 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- 衝突頻度 40 MHz

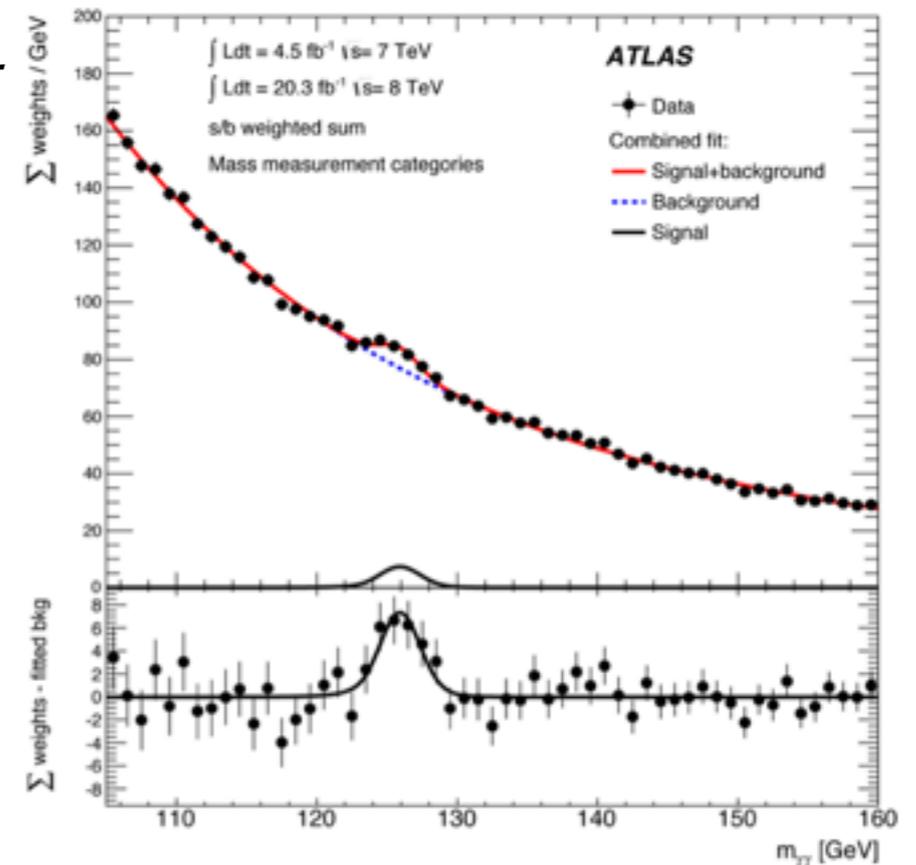


$H \rightarrow \gamma\gamma$

*A Toroidal LHC ApparatuS (ATLAS)

2012年、ヒッグス粒子を発見。

ヒッグスの精密測定、未発見のヒッグスの崩壊過程、標準模型を超える物理の探索などを行っている。



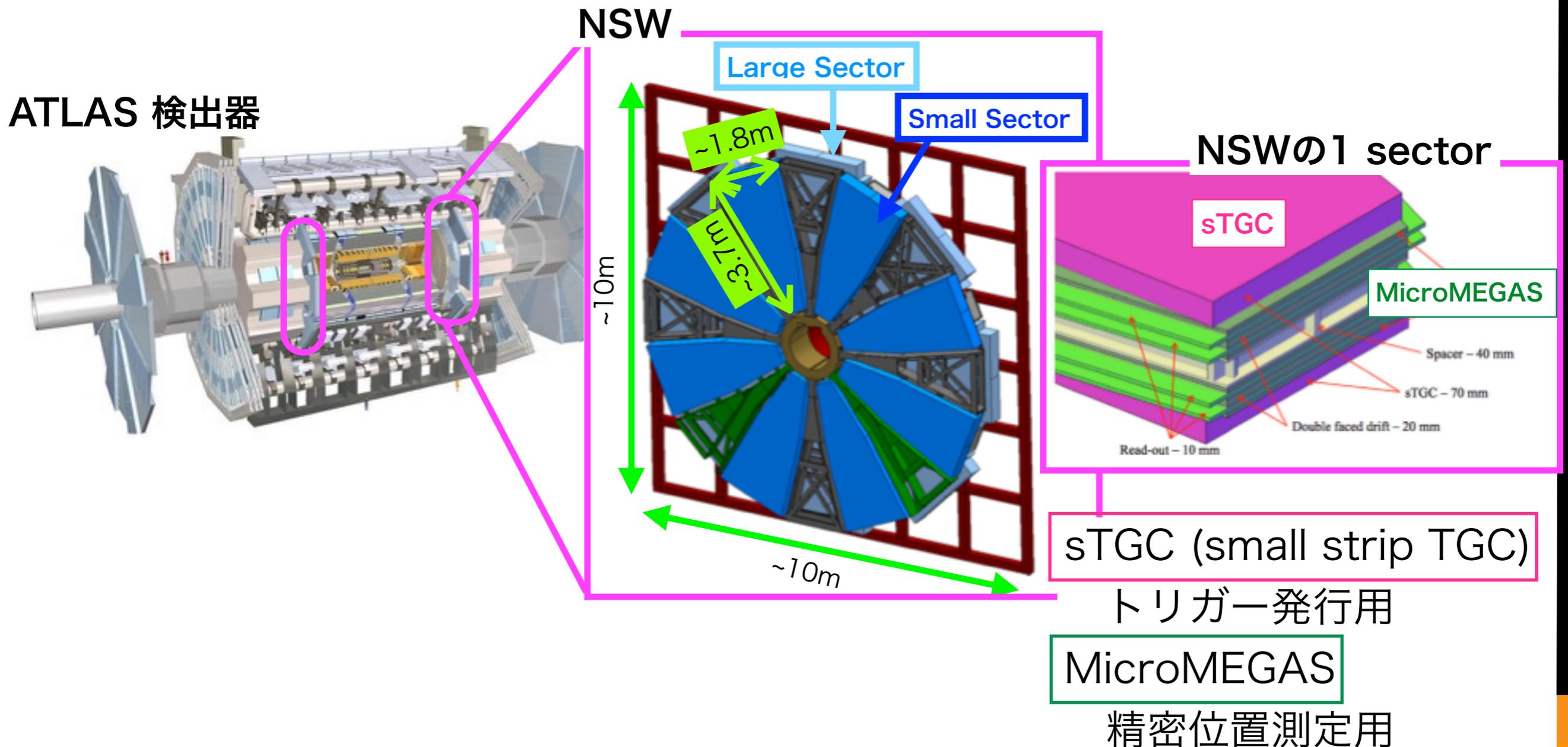
衝突エネルギーと統計量を上げるために、段階的にLHCをアップグレード。
ATLAS 検出器もアップグレード。

New Small Wheel (NSW) Project

ルミノシティが増加すると、衝突頻度が増加する。

-> ミューオン検出器の衝突点に一番近い部分の性能低下と、
フェイクトリガーの増大が問題に。

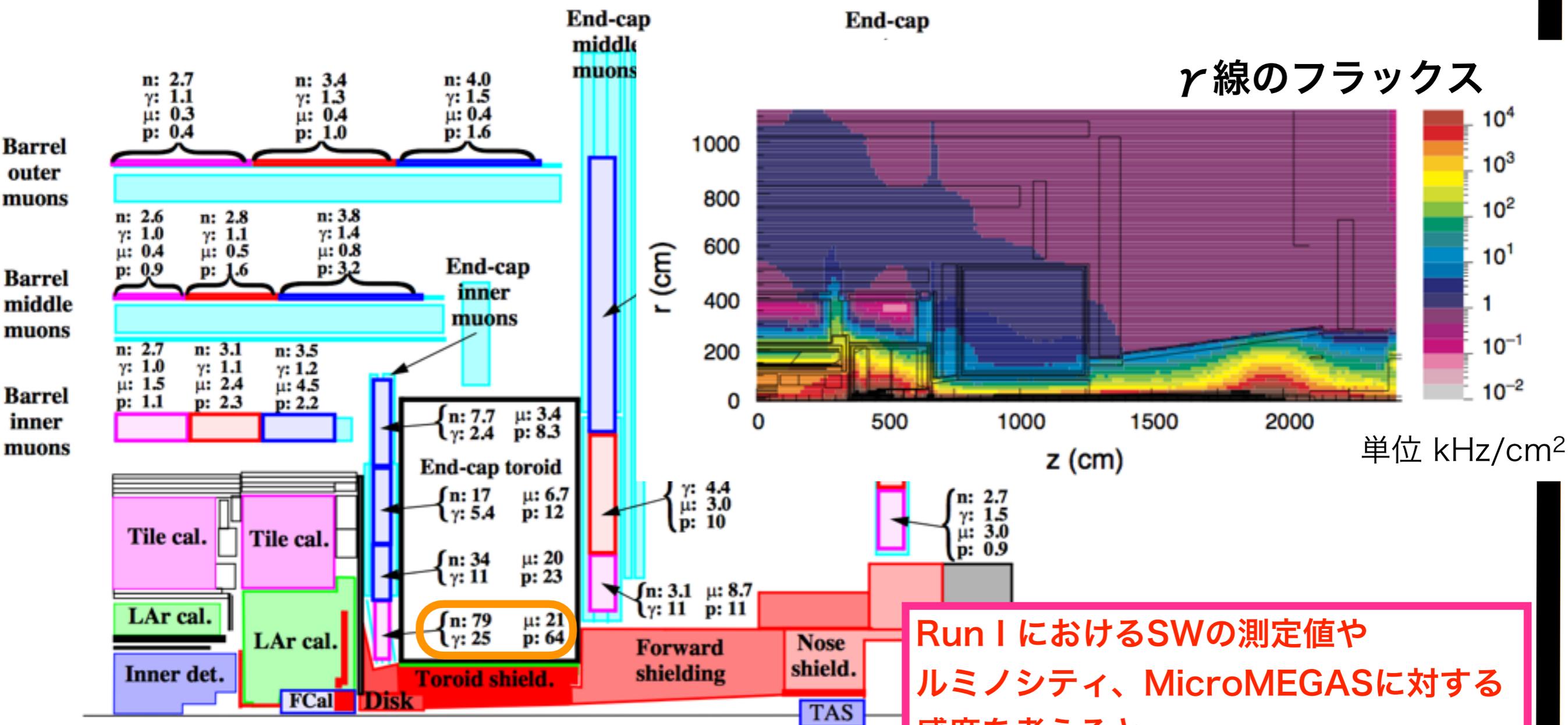
現在のミュオン検出器の一部を New Small Wheel (NSW) 検出器へ取り替える。



NSW の環境下

予想されるミュオン検出器上でのバックグラウンドのフラックス (simulation)

重心系エネルギー 14 TeV、瞬間ルミノシティ $1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 、バンチ間隔 25 nsec を想定



単位

μ, p : Hz/cm²
n, γ : kHz/cm²

→ NSWでの最大フラックスは
n 79kHz/cm²
γ 25kHz/cm²

Run I におけるSWの測定値や
ルミノシティ、MicroMEGASに対する
感度を考えると、
MicroMEGASへの
γの最大ヒットレートは、
1.5 kHz/cm²

1. LHC-ATLAS 実験について

2. γ 線を用いた耐久試験

2-1. 検出器の性能の変化

2-2. 中性子を用いた試験

2-3. 表面の調査

3. まとめ

γ 線を用いた耐久試験

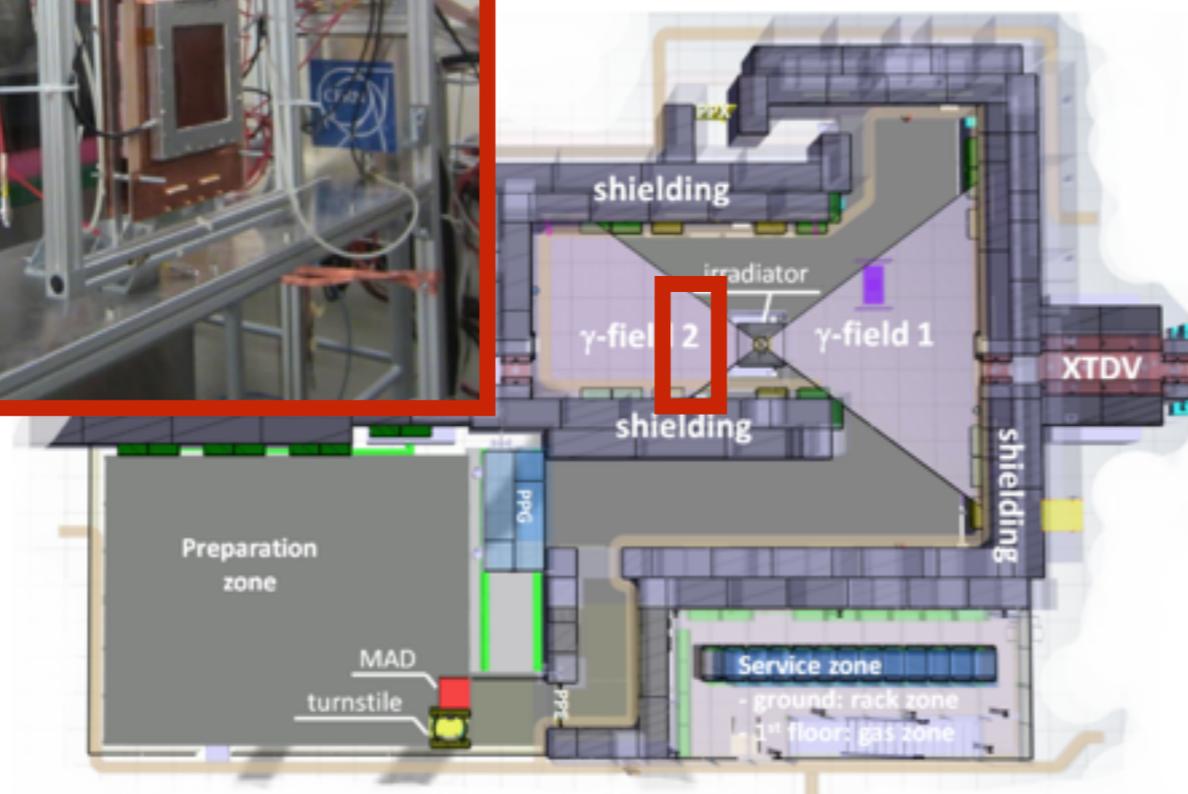
目的：Backgroundとなる γ の照射を行ない、検出器がどうなるかの耐久試験。

場所：CERN SPS EHN1施設 GIF++

線源： ^{137}Cs 14 TBq @GIF++ (CERN) , γ flux : 130 MHz/cm²
-> γ hit rate : 130 kHz/cm²



- γ のhit rateは、HL-LHCの約100倍 (HL-LHC 1.5 kHz/cm²)
- 検出器の有感領域は、10×10 cm²
- 検出器は、580 V(gain 5000)で動作
- ガスは、Ar : CO₂ = 93 : 7 を常流
- アノード電流や電荷の時間情報等のデータを取得



γ 線照射前後での

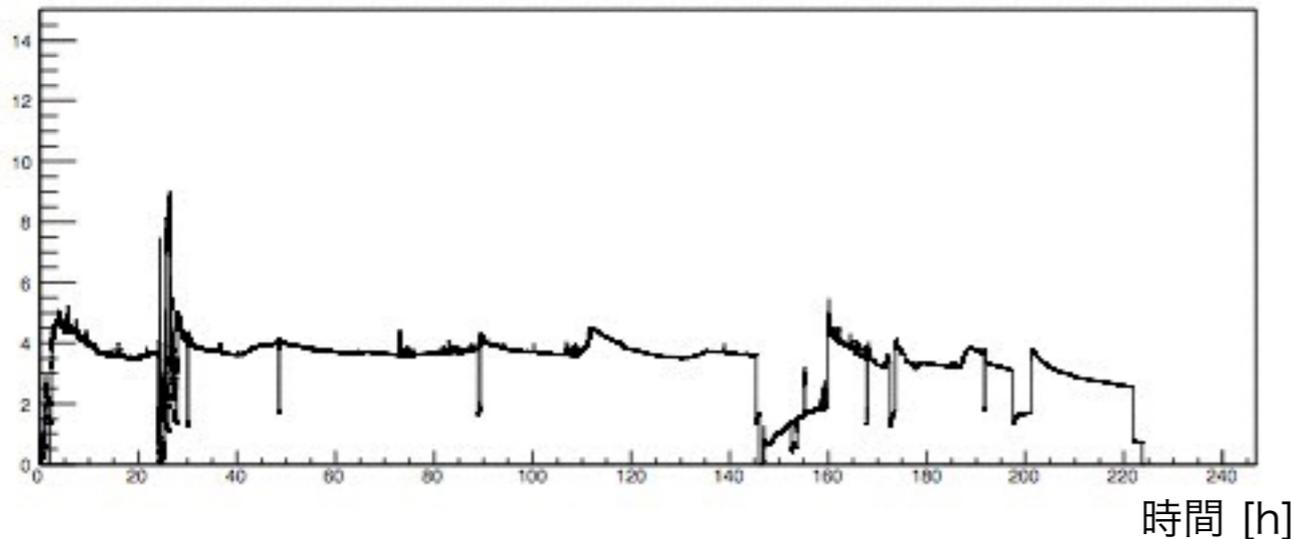
- 増幅率
- 位置分解能、検出効率
- 中性子を用いた試験
- 表面抵抗値
- 表面調査

γ 線照射量

γ 線照射試験 1回目 約210時間の照射。

アノード電流のモニター

アノード電流 [μ A]



アノード電流より

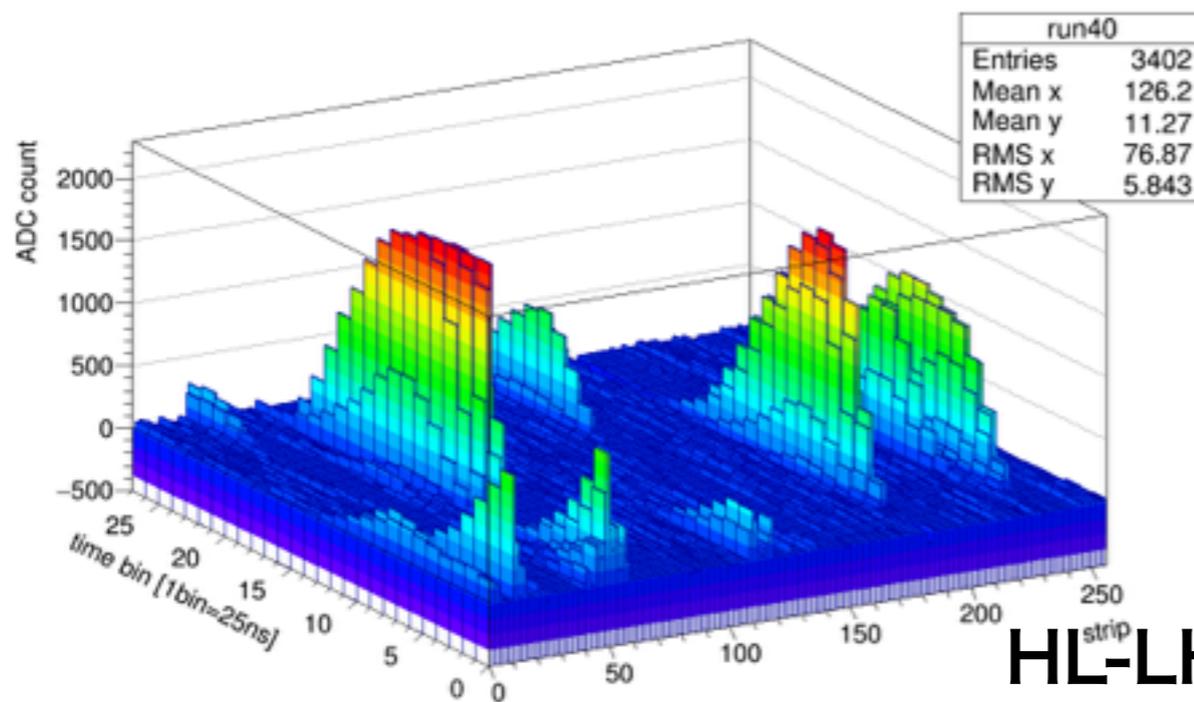
全照射量は、 28 mC/cm^2

電荷の時間情報から、ヒット数を算出し、
総ヒット数は、 $7.6 \times 10^{10} / \text{cm}^2$

HL-LHC 10年分の γ 線に相当する照射に成功。

γ 線照射試験 2回目 約90日間の照射。

イベントディスプレイ



電荷の時間情報から、ヒット数を算出し、
総ヒット数は、 $7.8 \times 10^{11} / \text{cm}^2$

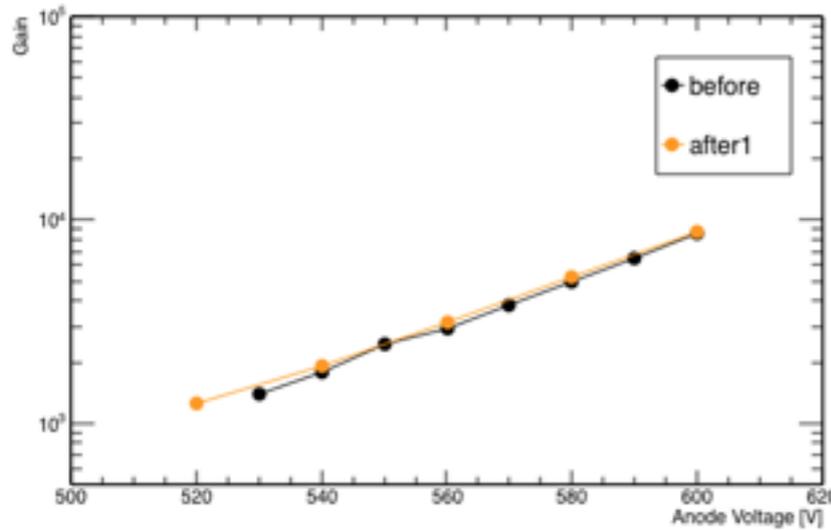
HL-LHC 80年分の γ 線に相当する照射に成功。

1. LHC-ATLAS 実験について
2. γ 線を用いた耐久試験
 - 2-1. 検出器の性能の変化**
 - 2-2. 中性子を用いた試験
 - 2-3. 表面の調査
3. まとめ

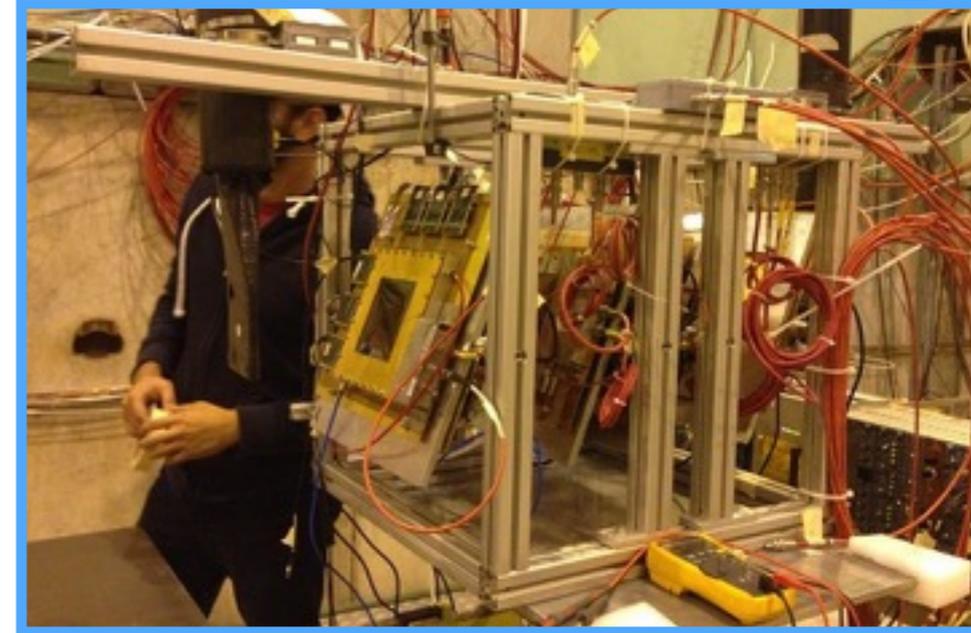
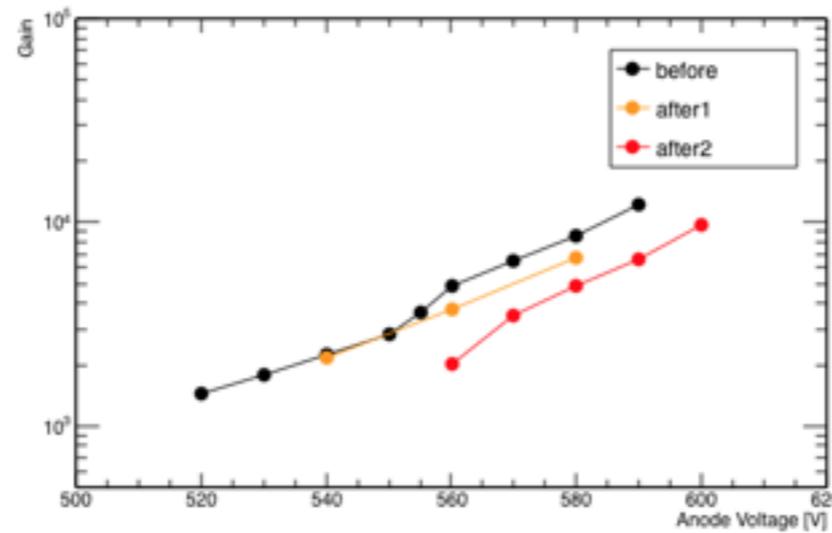
検出器の性能の変化

*増幅率

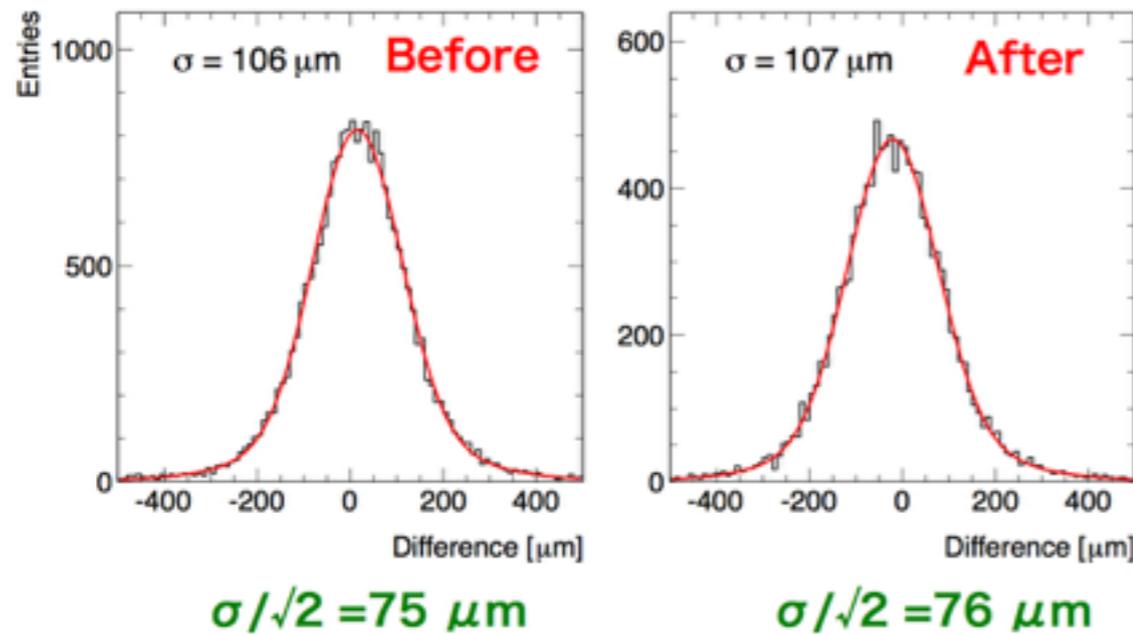
J13 Gain Curve



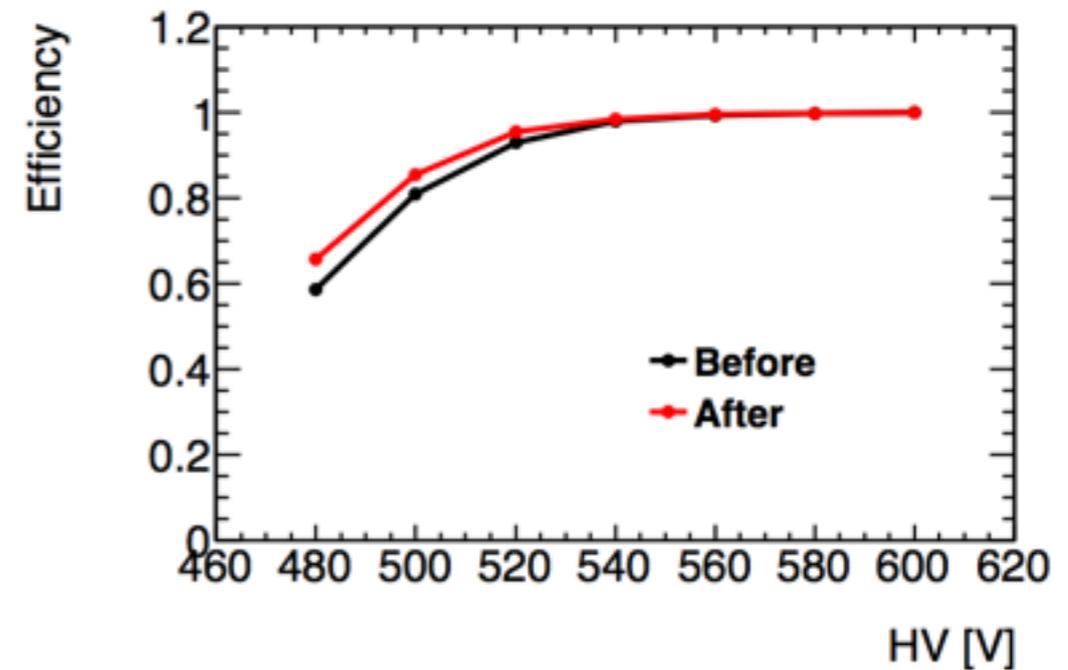
J14 Gain Curve



*位置分解能



*検出効率



NSWの想定運用期間である、HL-LHC 10年分の照射では、増幅率、検出効率、位置分解能とも変化は見られず。

HL-LHC 80年分の照射では、増幅率の低下を確認。

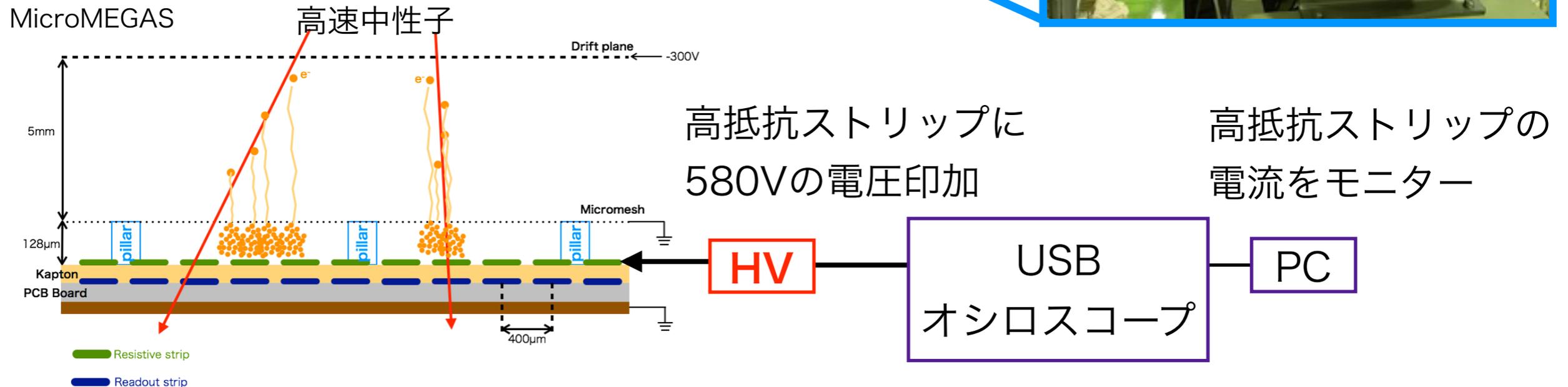
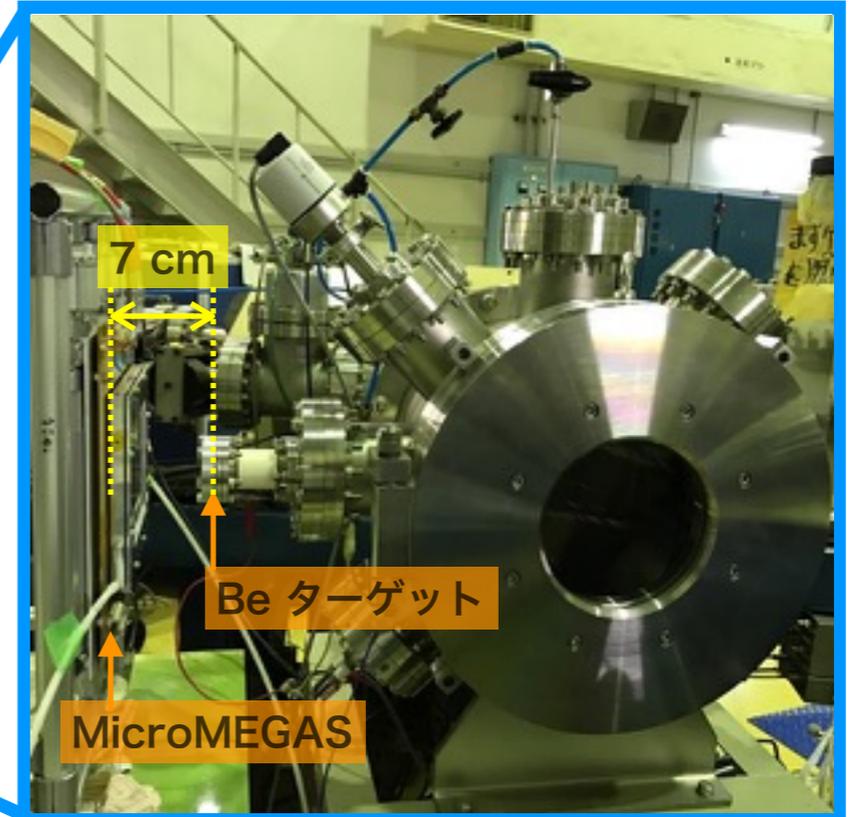
1. LHC-ATLAS 実験について
2. γ 線を用いた耐久試験
 - 2-1. 検出器の性能の変化
 - 2-2. 中性子を用いた試験**
 - 2-3. 表面の調査
3. まとめ

中性子を用いた試験

目的：中性子環境下における γ 線照射前後でのMicroMEGASの動作試験

場所：タンデム加速器@神戸大学海事科学部

検出器：HL-LHC 80年分の γ 線照射前後のMicroMEGAS

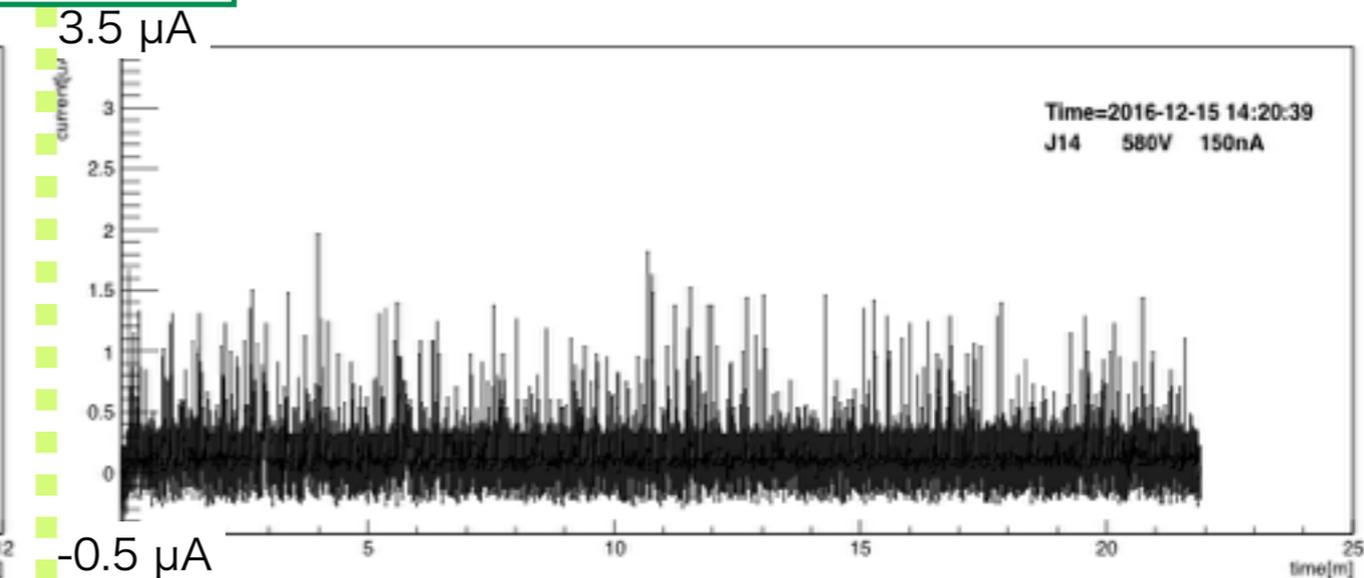
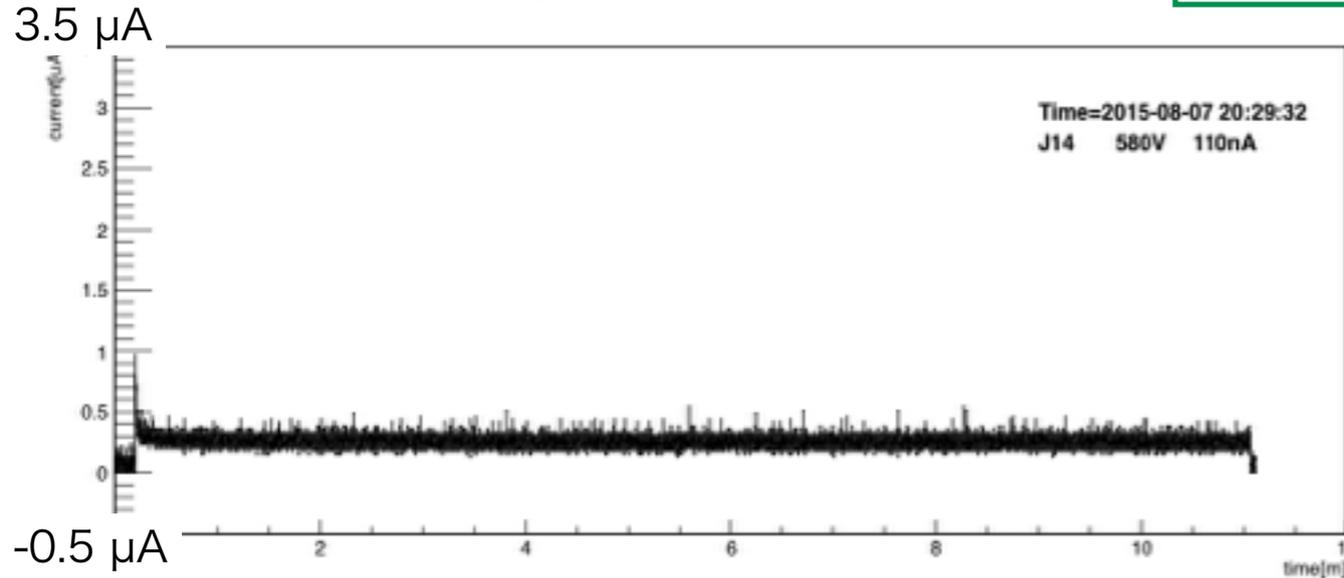


中性子環境下での検出器の動作

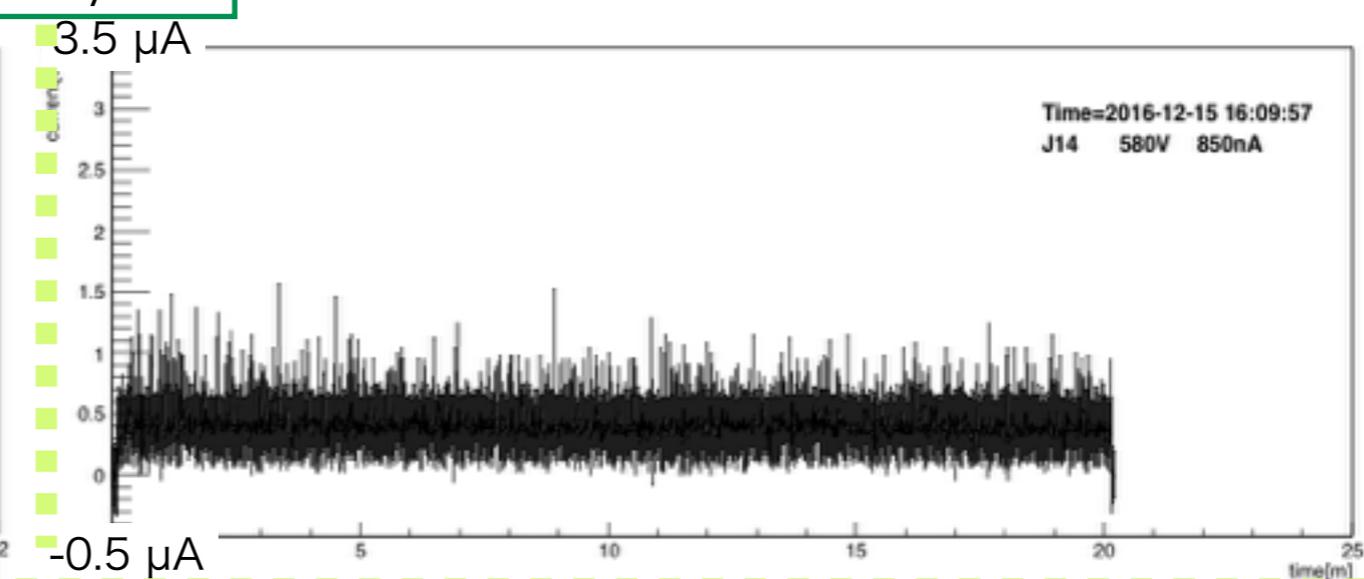
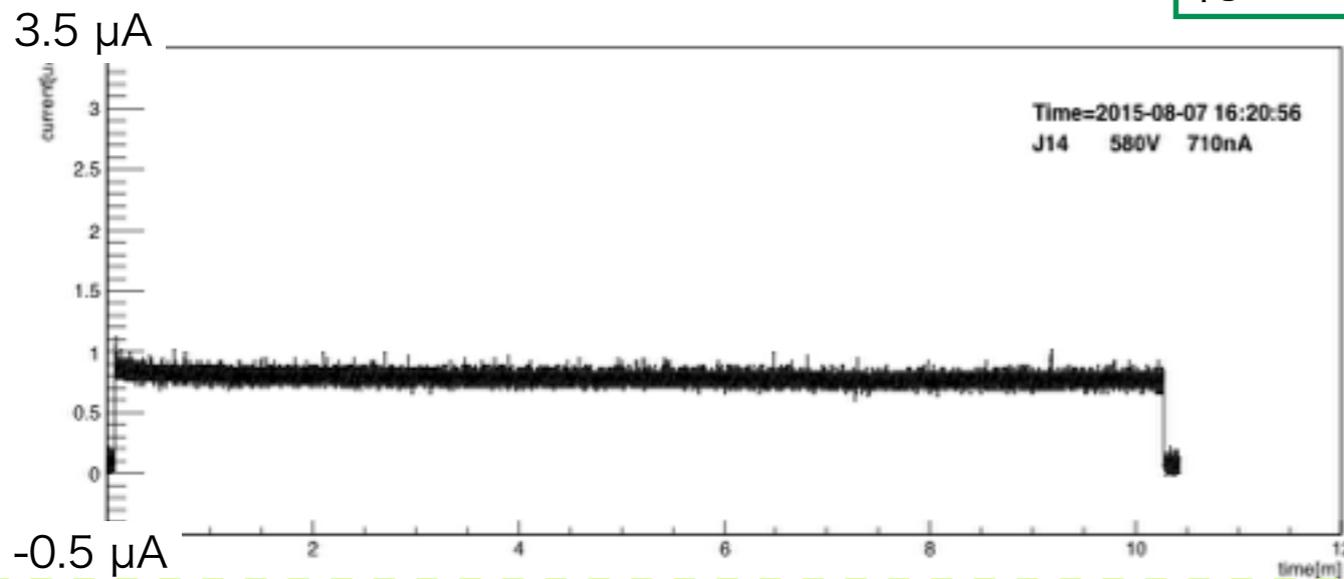
γ 線照射前

約 1 MHz/cm²

γ 線照射後



約 6 MHz/cm²



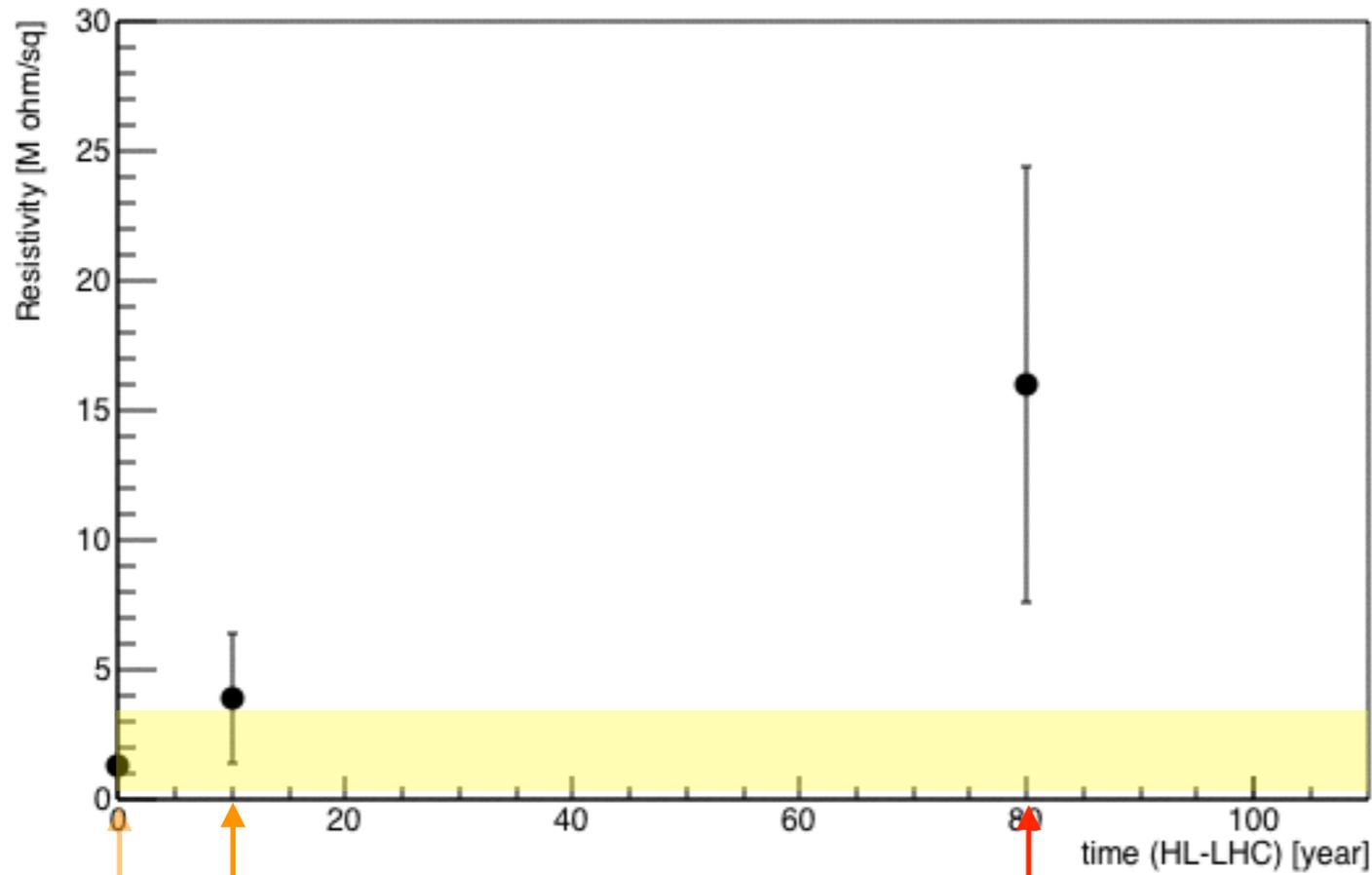
高速中性子がガス原子核を反跳し、反跳原子核が検出器内で大きなエネルギーを落とすとアノードに大きな電流が流れ、放電が生じる。

照射前後で、放電が増加。 -> 照射後のMicroMEGASの高抵抗ストリップに何かが付着して、検出器内が綺麗な状態ではないかも。

1. LHC-ATLAS 実験について
2. γ 線を用いた耐久試験
 - 2-1. 検出器の性能の変化
 - 2-2. 中性子を用いた試験
 - 2-3. 表面の調査**
3. まとめ

表面抵抗値の変化

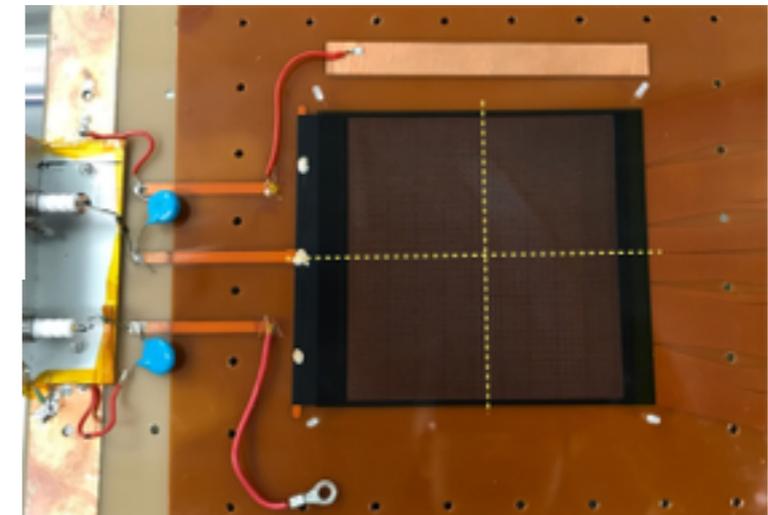
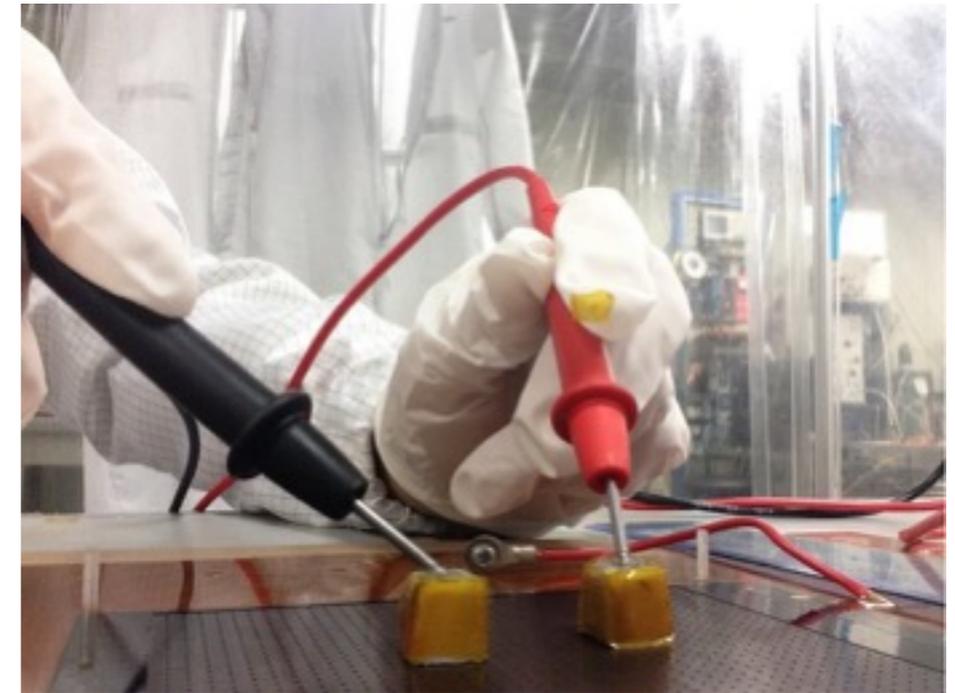
表面抵抗値



γ 照射前

γ 照射 HL-LHC 10年分

γ 照射 HL-LHC 80年分

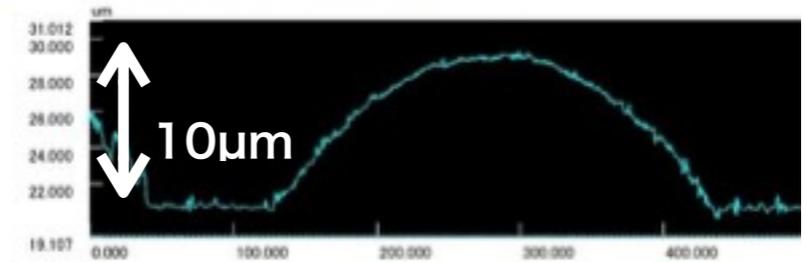
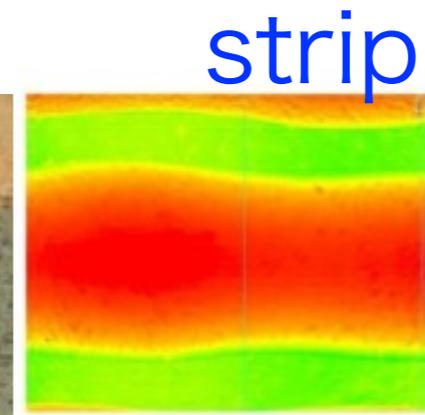
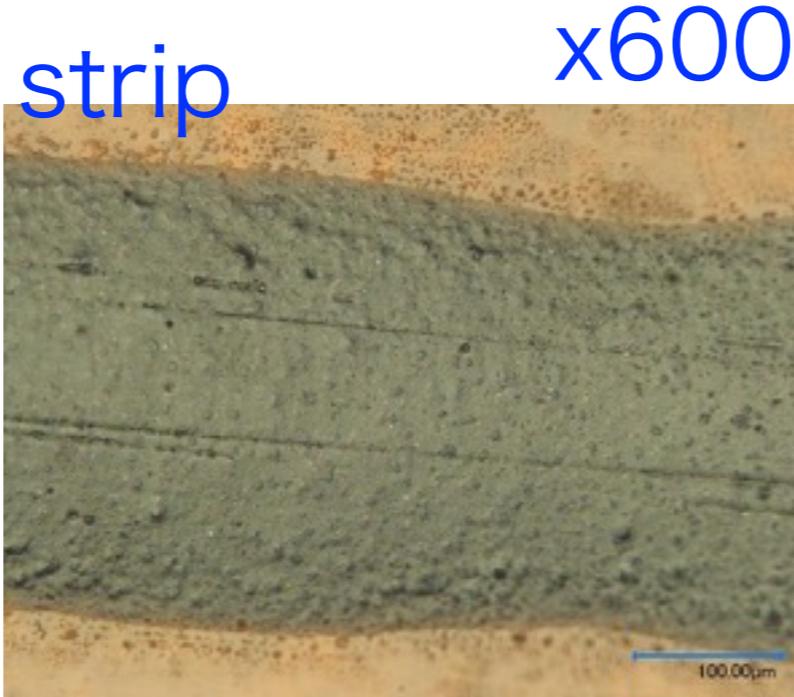
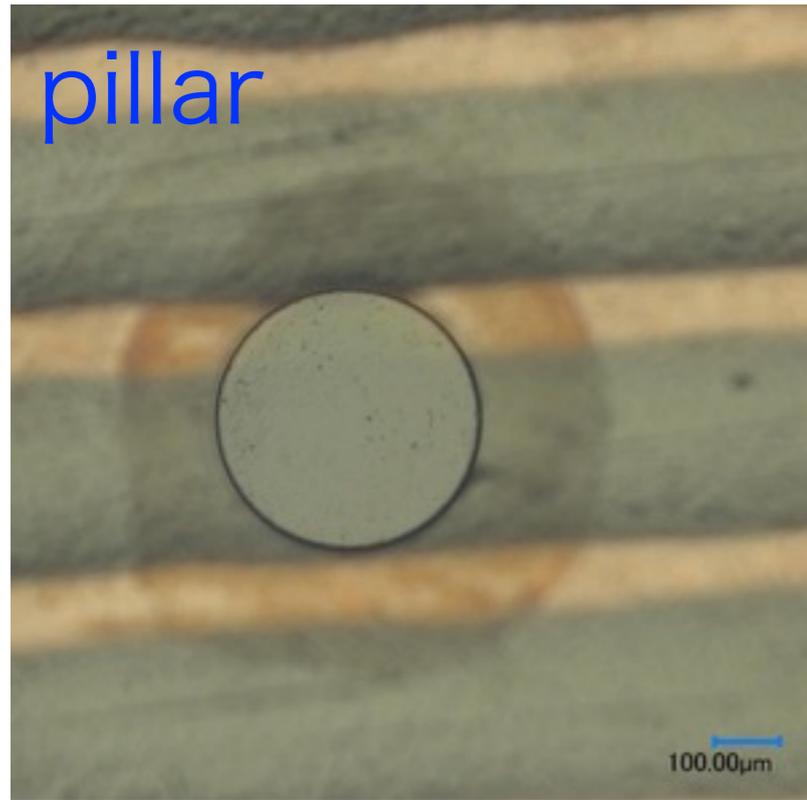


※検出器表面を4 or 9分割にして測定。
※誤差は標準偏差。

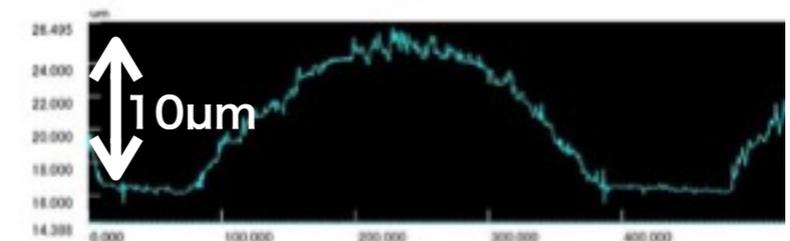
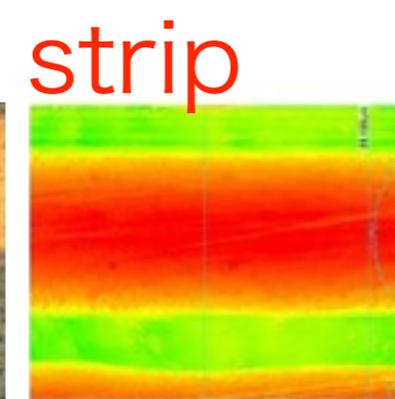
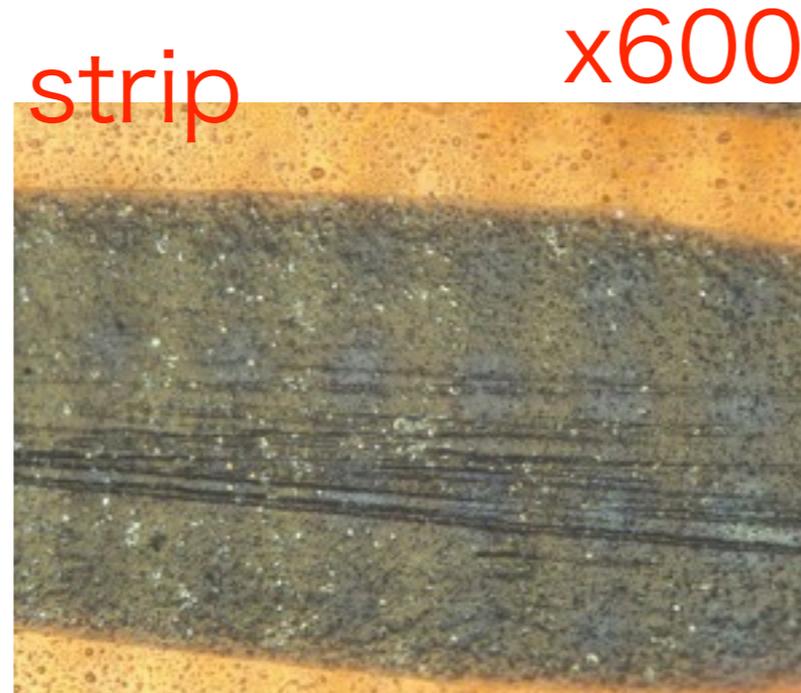
NSWにおけるMicroMEGASの高抵抗ストリップの抵抗値の許容量は0.35 ~ 3.5 M Ω /sq と定められている。
 γ 線照射すると抵抗値の増加が見られた。

表面調査 レーザー顕微鏡

γ を照射していない検出器

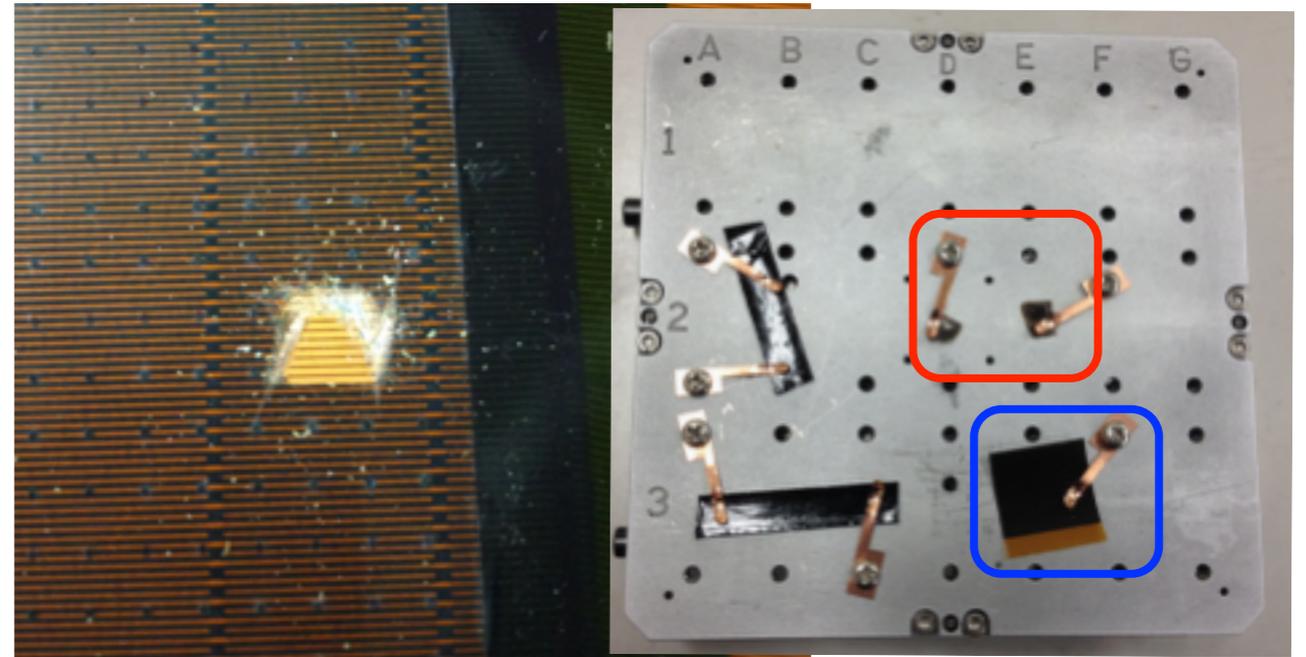
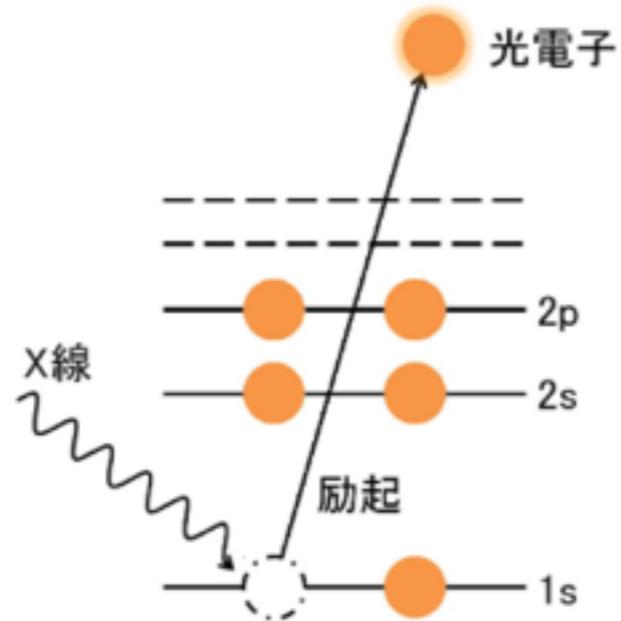


γ を照射した検出器

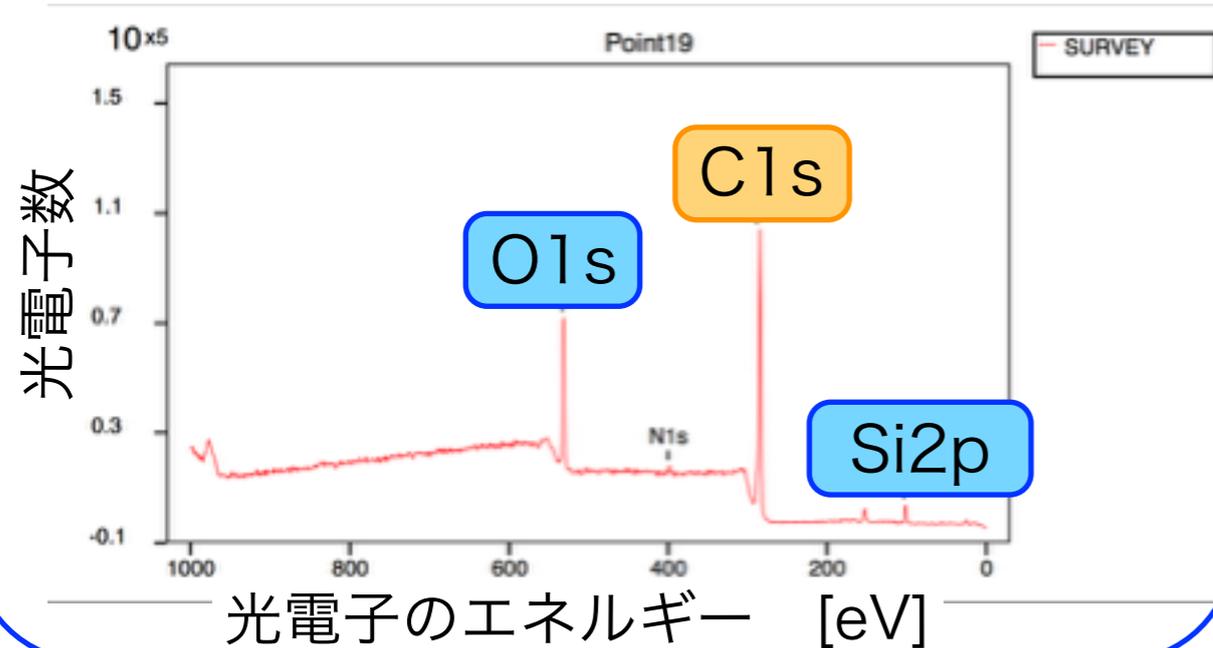


表面調査 元素組成の変化

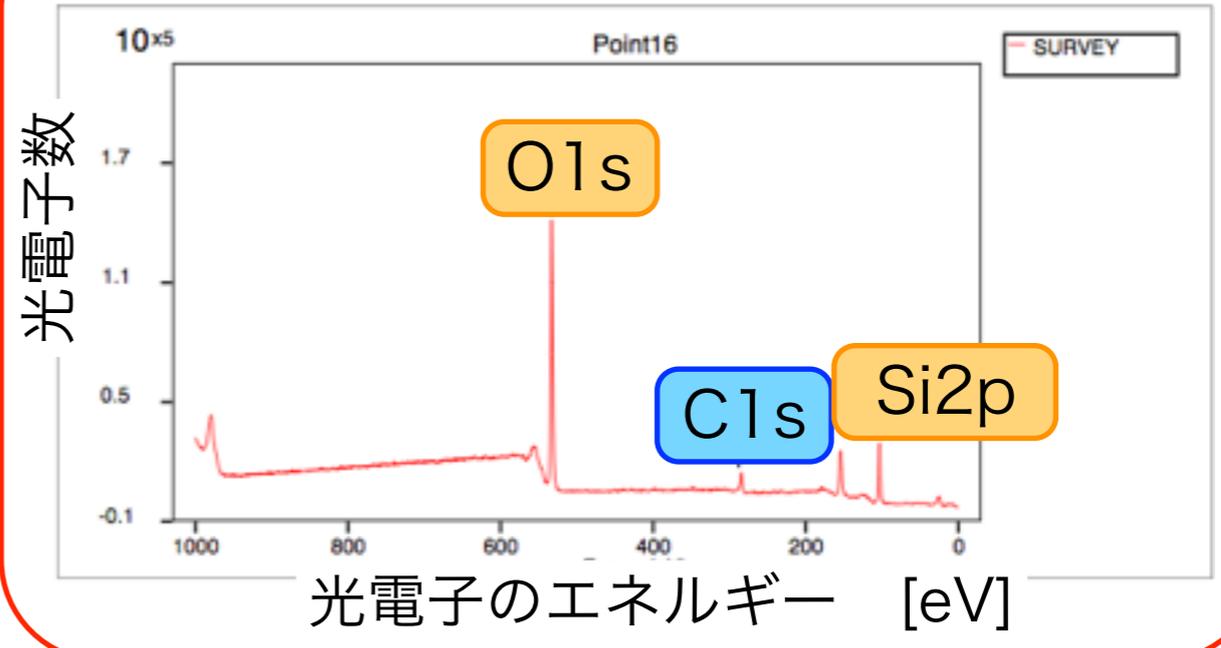
走査型光電子分析装置(XPS)を用いて試料表面の元素組成を分析。
 評価可能な検出深さは数nm程度。



γを照射していない検出器



γを照射した検出器



抵抗値の増加、strip2~3μmの高さ変動、表面ザラザラ -> 表面にSiO₂が付着か

まとめ

- 2019~20年に、New Small Wheelとして、MicroMEGAS検出器をATLASに導入予定。
- MicroMEGASの小型試作器を用いて、 γ 線の耐久試験を行った。
NSWの運用期間であるHL-LHC 10年分とその8倍に匹敵する γ 線の照射に成功。

HL-LHC 10年分では

- 表面抵抗値が、2 M Ω /sq から約 4 M Ω /sq に増加。
- 表面の元素分析により、高抵抗ストリップ上にSiO₂の付着を示唆。
- 増幅率、検出効率、位置分解能の変化は見られず。

NSW の10年の運用において、検出器のパフォーマンスの低下には問題ないと考えられる。

HL-LHC 80年分では

- 中性子を用いた試験より、電圧降下が発生し、増幅率が約50%低下。
- 表面抵抗値が約十倍増加し、SiO₂の付着を示唆。

10年以上の運用は、検出器のパフォーマンスが低下する可能性あり。

- 表面抵抗値の増加の原因となったSiO₂の追求をするために、今後、検出器周りにSiを使わない小型試作器を製作し、さらなる調査が必要。