

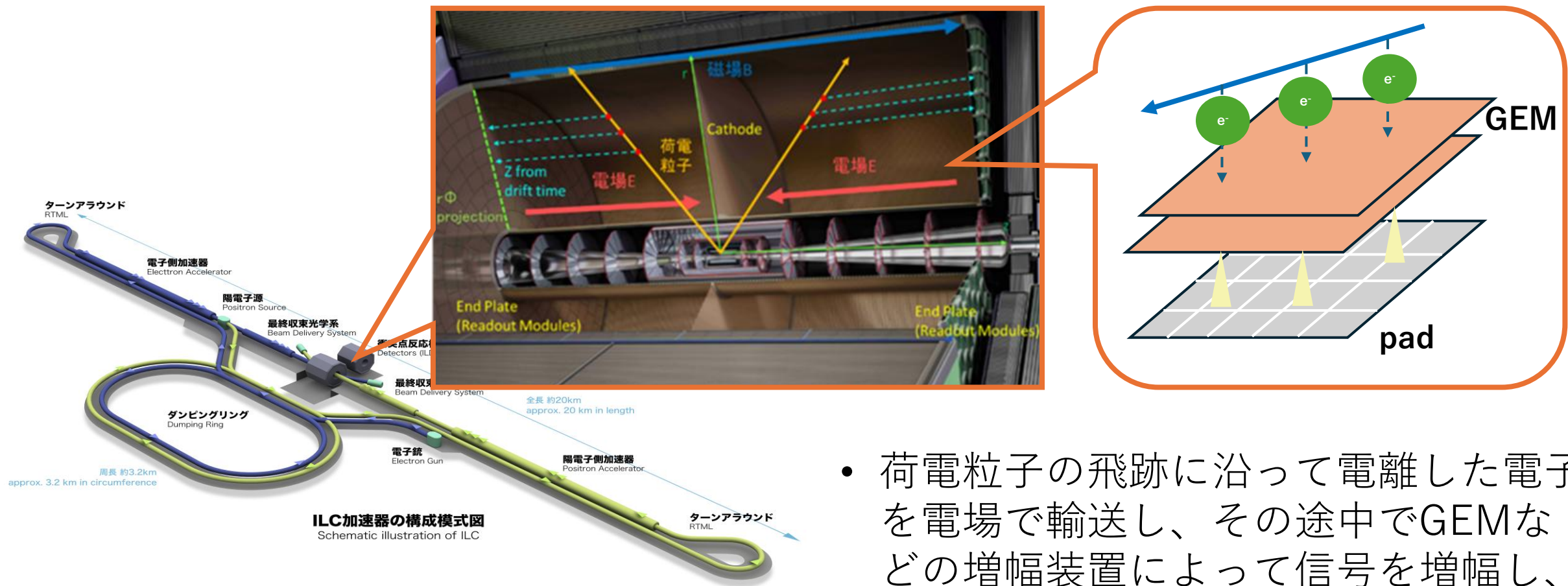
GEMの電荷増幅率の位置依存性 および厚み依存性調査

及川航平, 渡邊夏七子, 田中頼人, 庄司愛子, 成田晋也, 細川律也

岩手大学

導入

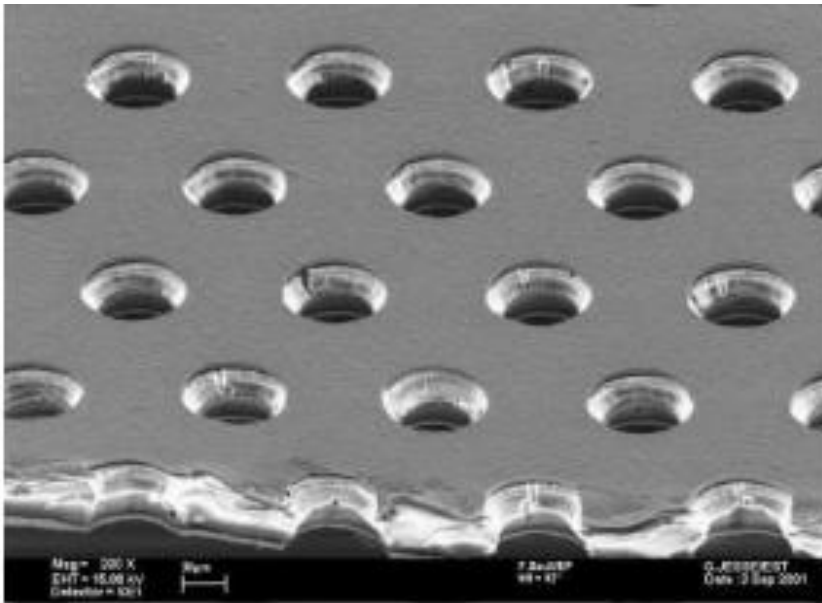
- 信号増幅装置として、GEM (Gas Electron Multiplier)の使用が検討されている。



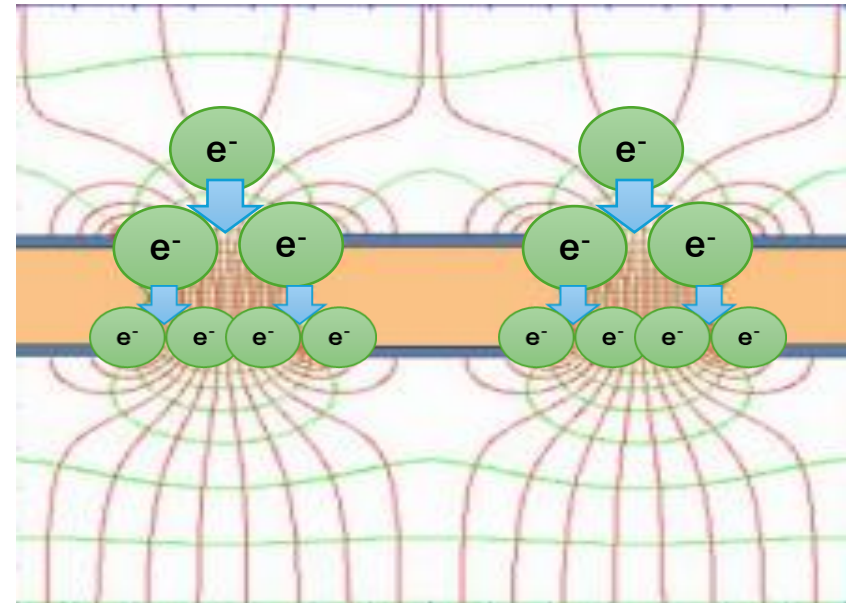
- 荷電粒子の飛跡に沿って電離した電子を電場で輸送し、その途中でGEMなどの増幅装置によって信号を増幅し、アノードで読み出す。

ガス電子増幅器(GEM : Gas Electron Multiplier)

- ① ガス中で多孔絶縁基板両面に電位差を与え、孔の中に高電場を生み出す。
- ② ドリフトした電離電子が孔を通過すると、電離電子が加速されガス分子と電離を繰り返す。
- ③ この電子雪崩機構により電子を増幅させる。



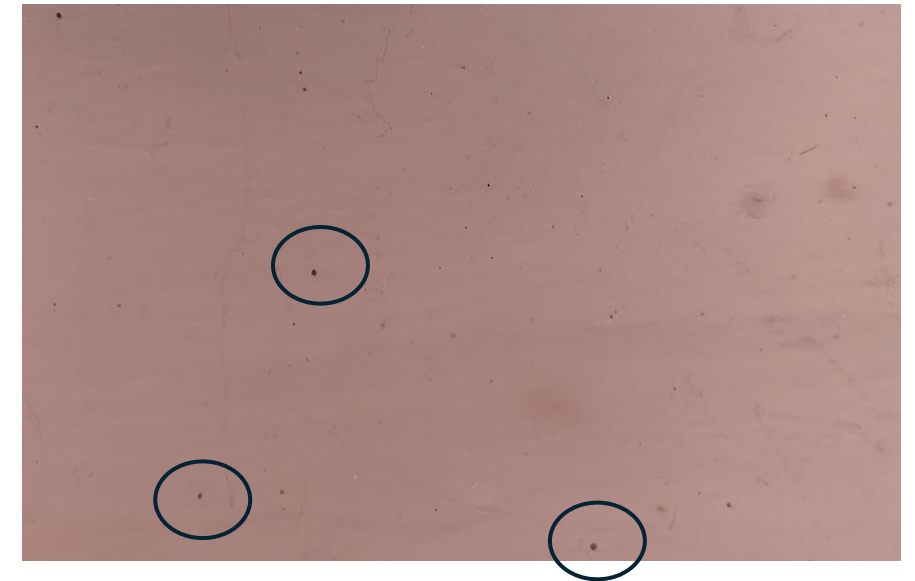
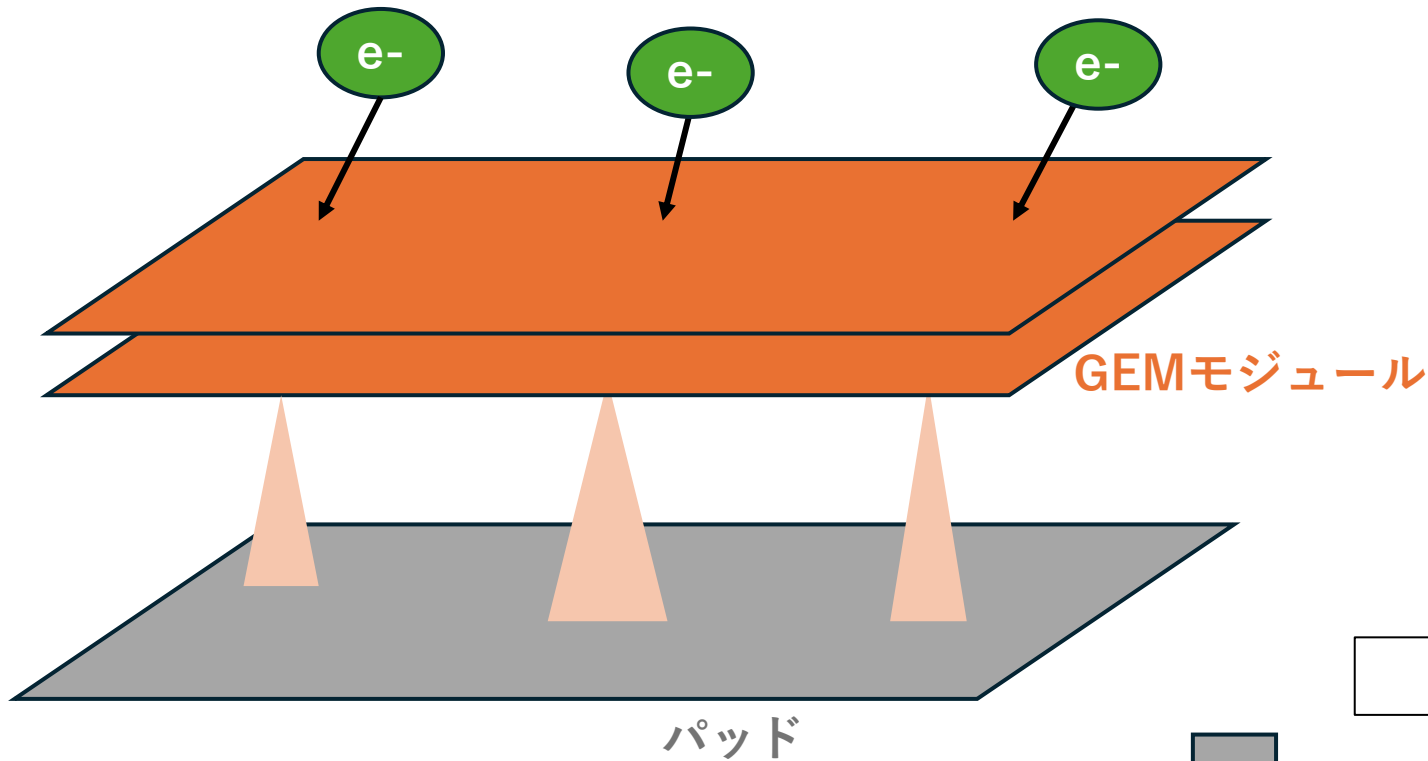
GEMの表面拡大図



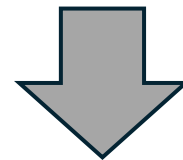
GEM近傍の電気力線とガス増幅

GEMの課題

- GEMの電荷増幅率に位置依存性がある場合、局所的に電荷増幅率が大きくなるため放電が起きGEMの損傷につながる。

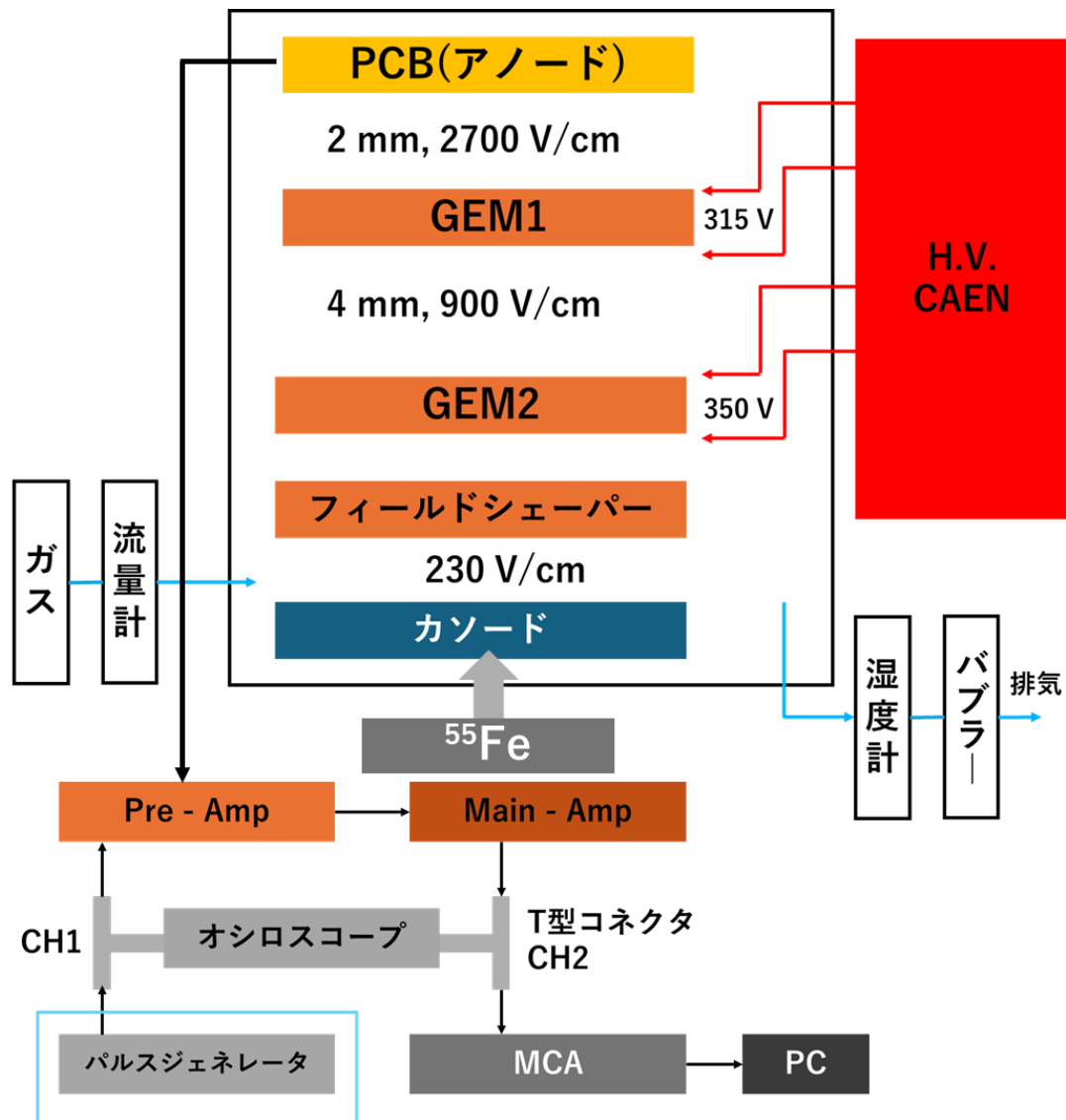


GEMが黒く変色している部分

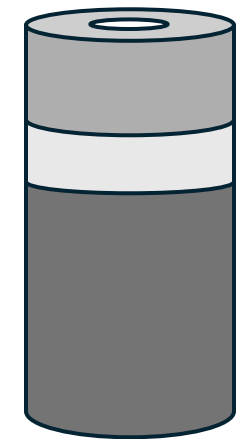
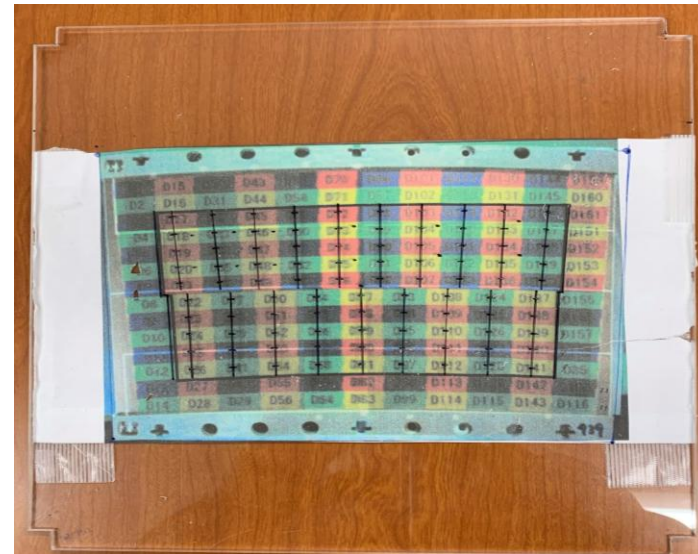


✓ 電荷増幅率の位置依存性とその原因の調査が求められる。

実験セットアップ



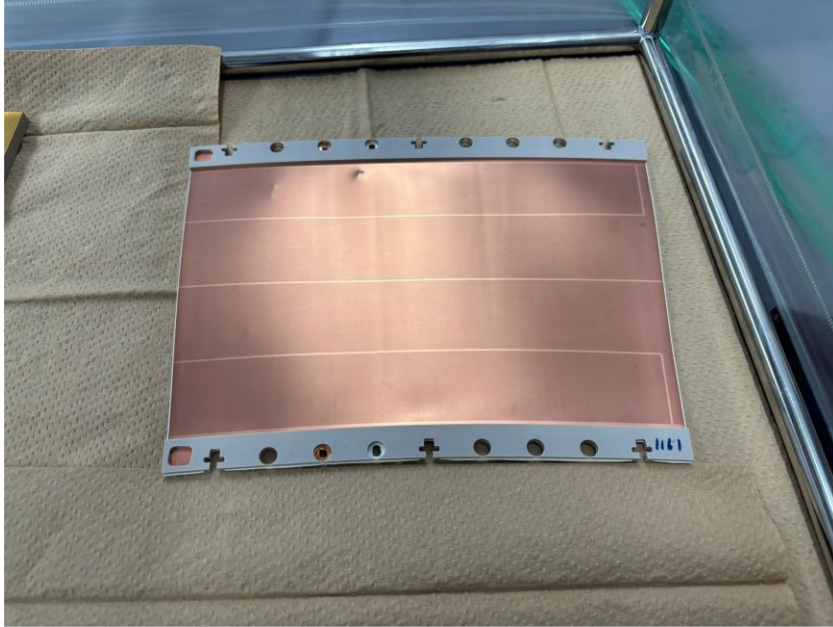
- ① 測定前にチェンバー内を乾燥させるため、N₂を1時間程度流す。
- ② 次に、T2K(Ar : CF₄ : iso-C₄H₁₀ = 95 : 3 : 2)を3時間流す。
- ③ T2Kを置換した後、GEMに電圧を印加する。
(アノード側のGEMの印加電圧は315 V、カソード側のGEMの印加電圧は350 Vに固定)
- ④ GEMに電圧を印加した後、5.9 keVのX線源を置き、MCAで電荷信号取得する。



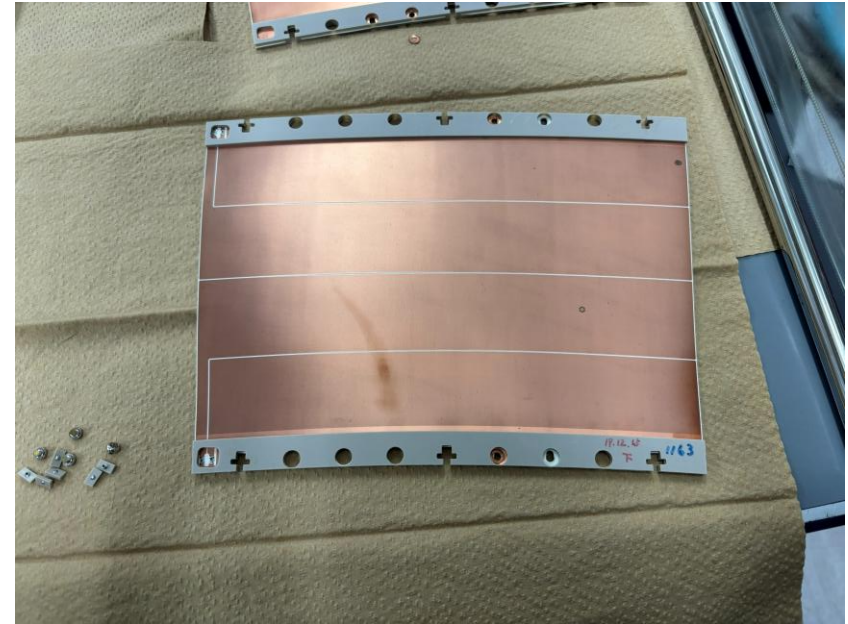
コリメータ
線源(⁵⁵Fe)
台

線源マップをカソード下部に設置した

アジアGEMモジュール (増幅用GEM)



カソード側のGEM

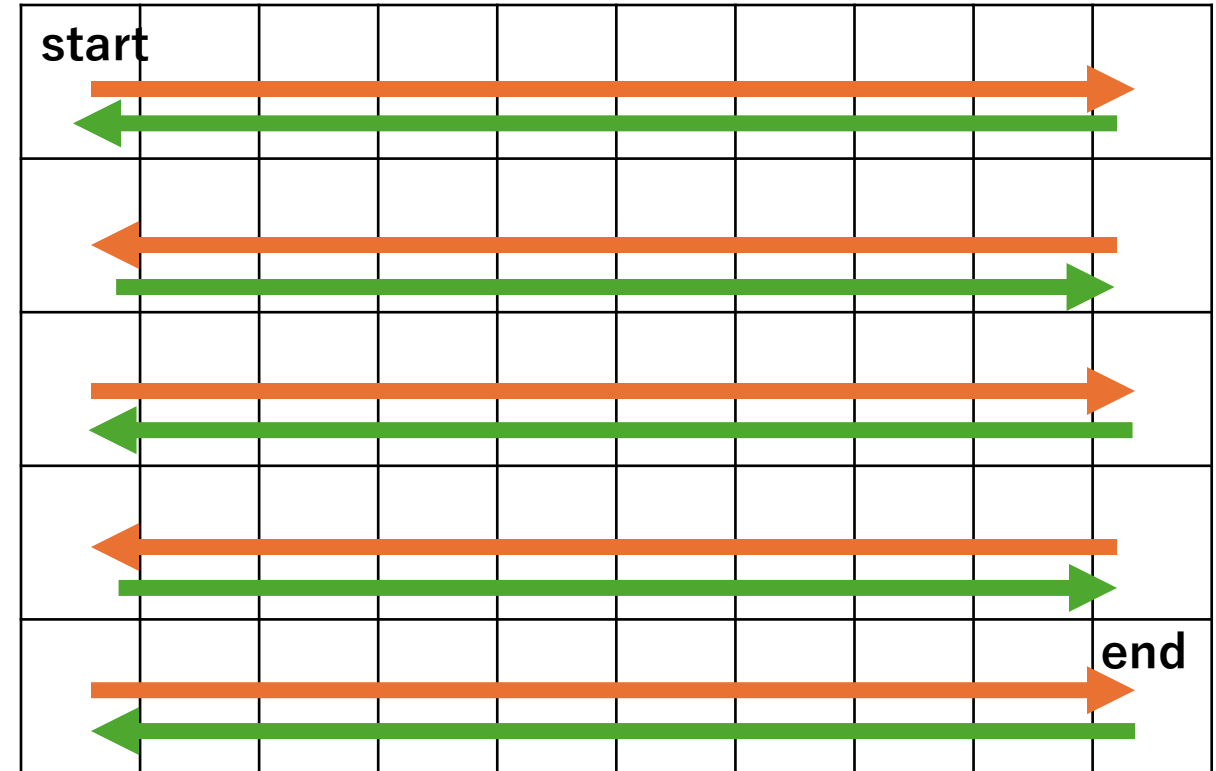
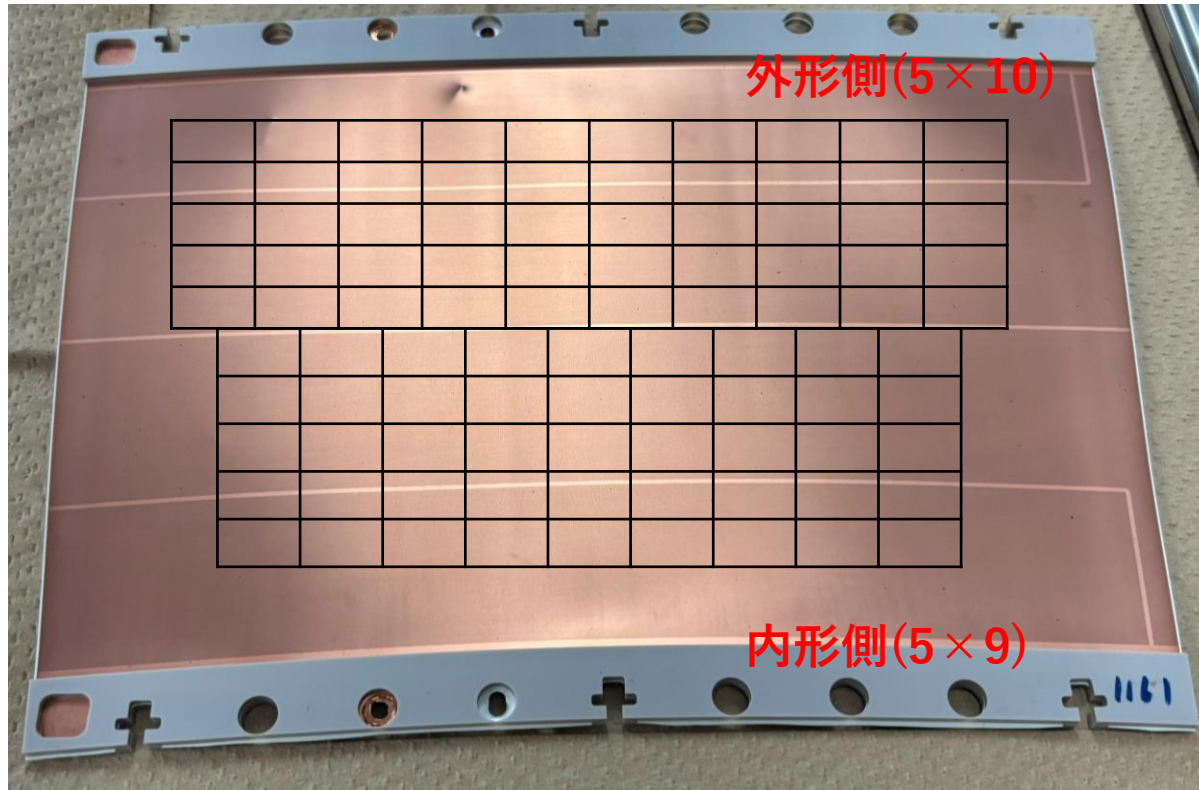


アノード側のGEM

| | |
|--------|-------------------|
| 絶縁層の材質 | LCP |
| 厚み | 100 μm |
| 孔径 | 70 μm |
| 孔間隔 | 140 μm |

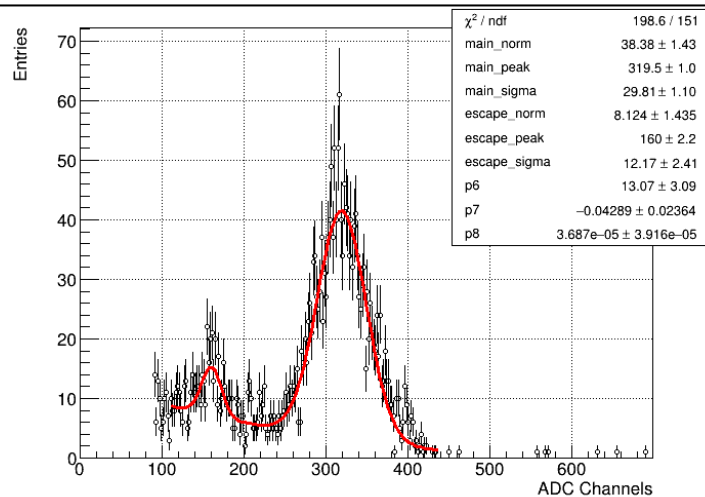
電荷増幅率の位置依存性測定の方法

- 外形側を(5×10)、内径側(5×9)に分割し線源を移動させて空間電荷分布を測定した。
- 左上から測定を開始し、下図のように測定した。
→測定順を逆方向にした場合についても測定した。



電荷増幅率算出法とキャリブレーション

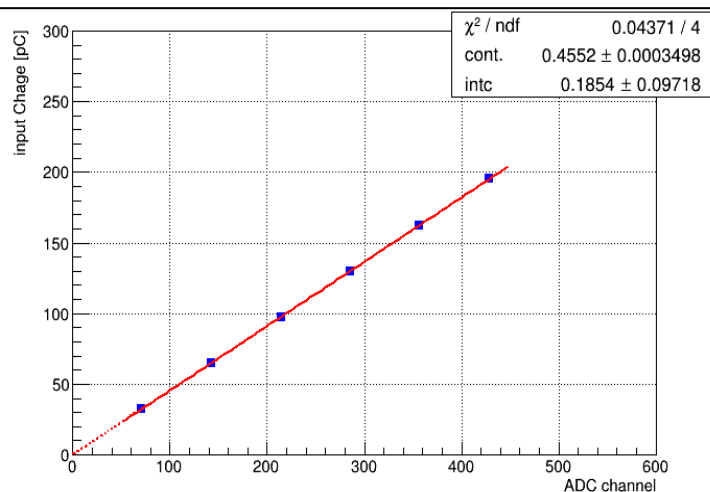
MCAで取得した信号電荷分布



測定で得られた信号電荷分布

- ① 2つのガウス関数と2次曲線でフィッティングをおこない、フォトピークのピーク値を求める。
- ② 求めた値を校正曲線に代入し、電荷量に換算する。

キャリブレーションの一例



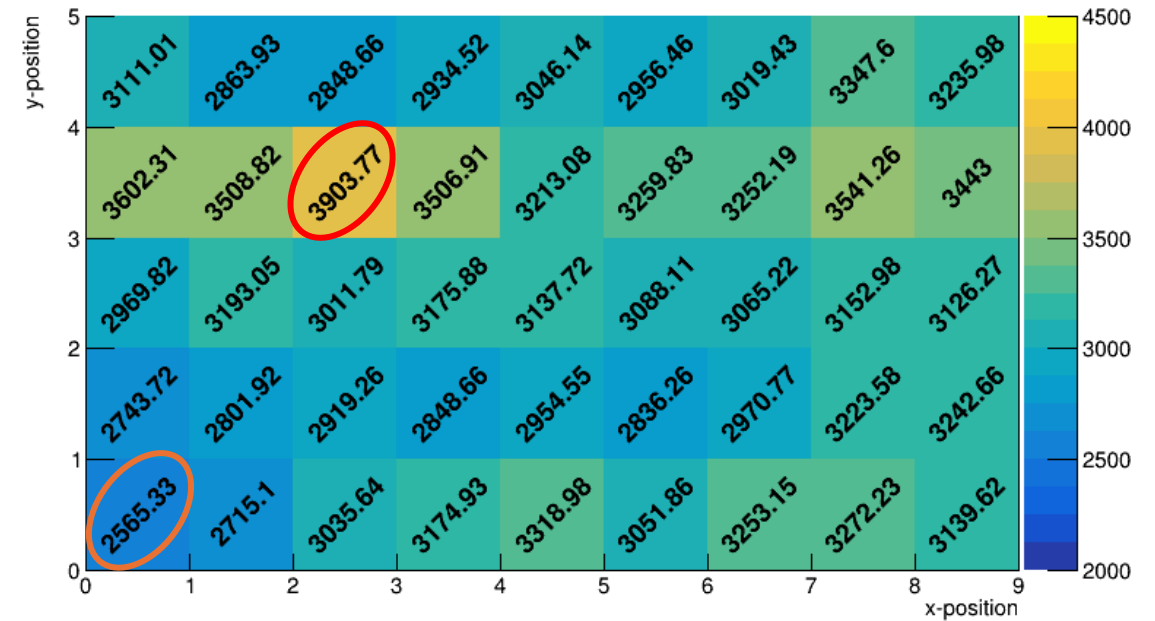
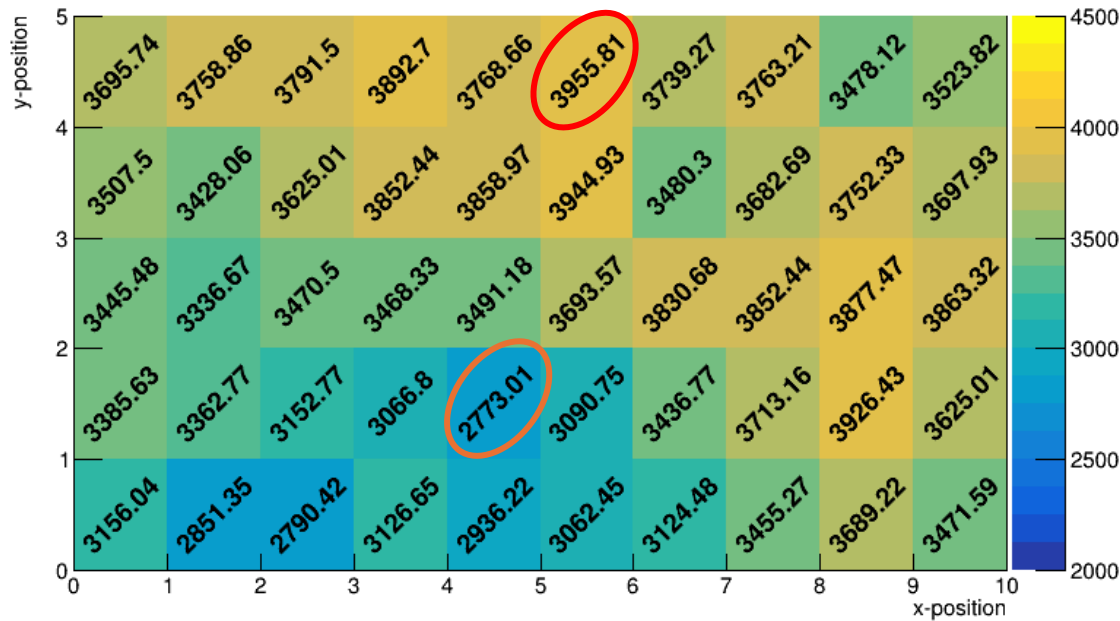
縦軸：カウント数
横軸：電荷量に相当する量

キャリブレーション

- ① パルスジェネレータから-25 mV ~ -150 mVの信号を送り、MCAで電荷信号分布を取得する。
- ② フィッティングで得られた結果を用いて校正曲線を求める。

$$\text{Gain} = \frac{\text{測定で得られた電荷量}}{\text{初期の電荷量}}$$

アジアGEMモジュールの電荷増幅率の位置依存性の結果

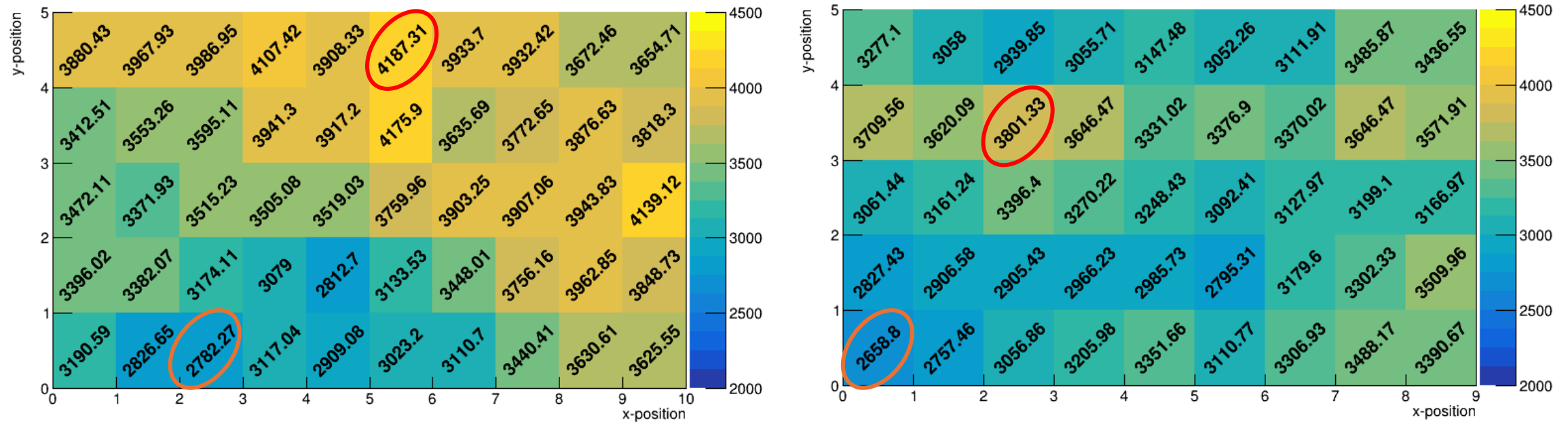


左)：電荷増幅率の空間電荷分布
右)：電荷増幅率の空間電荷分布

外形側(カラーバー：電荷増幅率)
内径側(カラーバー：電荷増幅率)

- 外形側では右上にかけて電荷増幅率が高く、内径側では左側の部分と左下にかけて電荷増幅率が低い。
- アジアGEMモジュールにおいて、電荷増幅率の空間非一様性があった。

アジアGEMモジュールの電荷増幅率の位置依存性の結果（逆順）

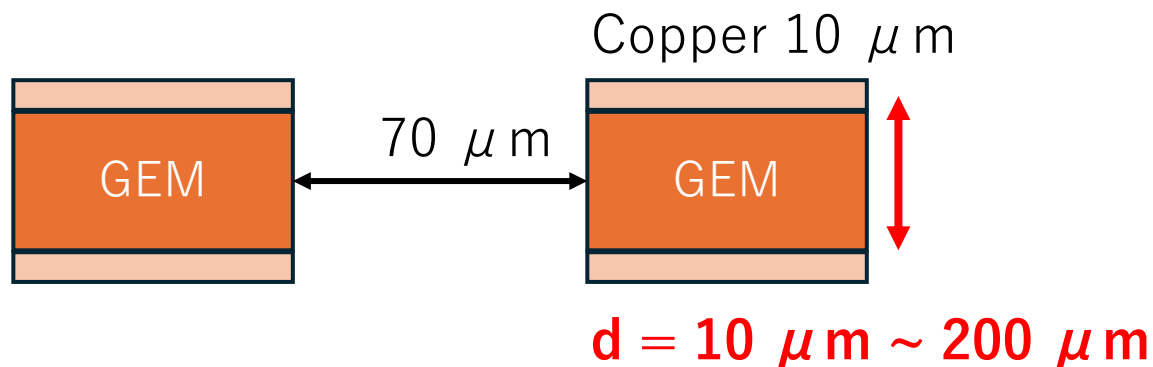


左)：電荷増幅率の空間電荷分布 外形側(カラーバー：電荷増幅率)
右)：電荷増幅率の空間電荷分布 内径側(カラーバー：電荷増幅率)

- 同様の実験結果が得られていることから、測定順による電荷増幅率の空間電荷分布への影響はないと言える。
- ✓ 電荷増幅率の空間非一様性の原因を調査する必要がある。

シミュレーション方法

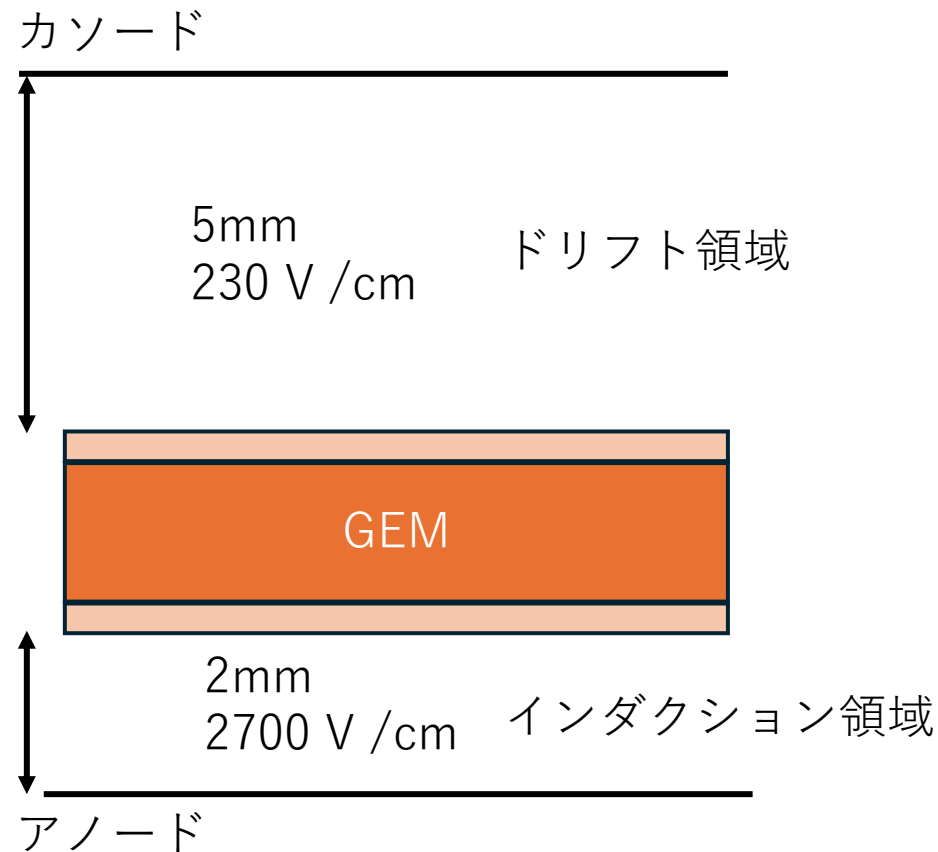
- シミュレーションにはANSYSとGarfield++を使用した
- GEMの厚みを変化させて、電荷増幅率の厚み依存性についてシミュレーションした



印加電圧 = 315 V, 350 V, 400 V, 500 V

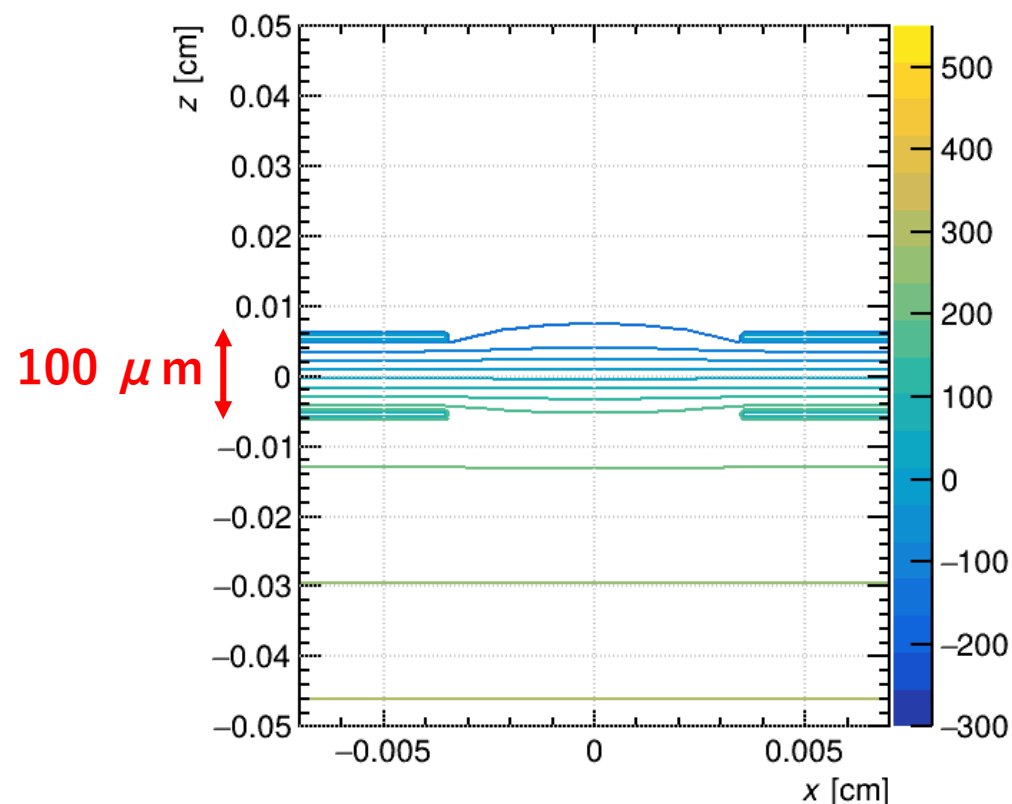
使用ガス : T2K(Ar : CF₄ : iso-C₄H₁₀ = 95 : 3 : 2)

| | |
|--------|--------------------|
| 絶縁層の材質 | LCP |
| 絶縁層の厚み | $100\ \mu\text{m}$ |
| 孔径 | $70\ \mu\text{m}$ |
| 孔間隔 | $140\ \mu\text{m}$ |
| 電極の厚み | $10\ \mu\text{m}$ |

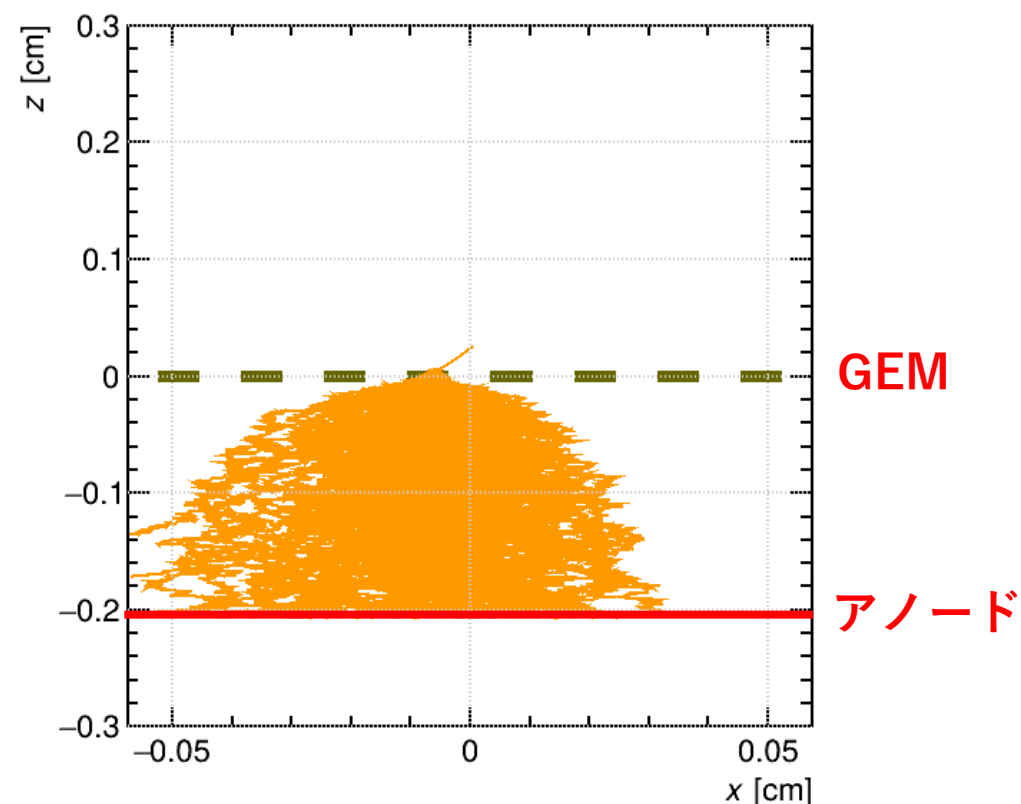


GEM近傍の等電位線とガス増幅のシミュレーション結果

- 電場を形成するANSYSとガス電子増幅をシミュレートするGarfield++を用いてシミュレーションした。

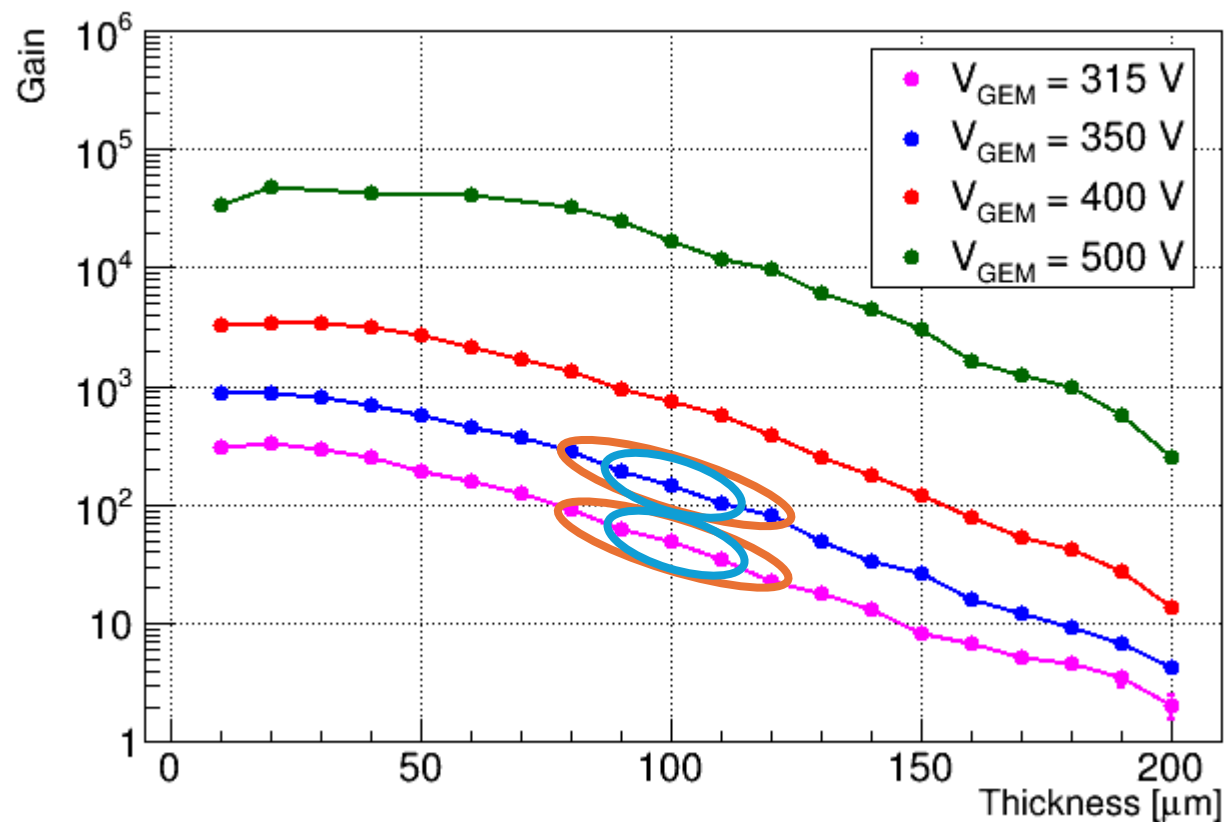


縦軸：垂直方向の距離
横軸：水平方向の距離
カラーバー：電圧 [V]



縦軸：垂直方向の距離
横軸：水平方向の距離
黄色：電子

電荷増幅率の厚み依存性のシミュレーション結果



縦軸：電荷増幅率

横軸：アジアGEMモジュールの厚み

- ① GEMの厚みが10 %変化したとき、電荷増幅率の変化は、

| 印加電圧 | 電荷増幅率の変化 |
|-------|----------|
| 315 V | ~15 |
| 350 V | ~50 |

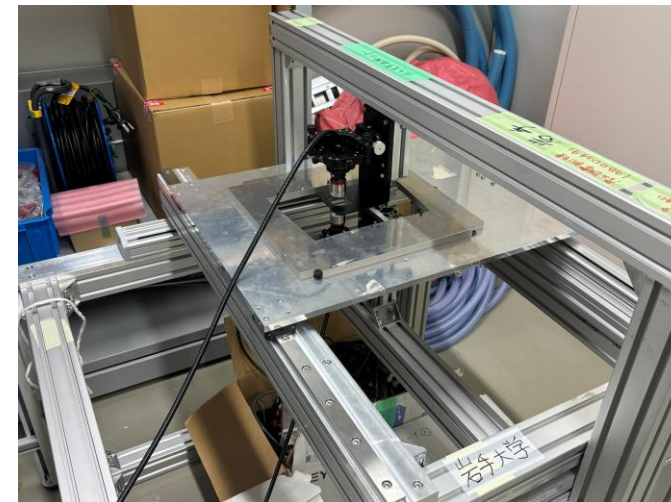
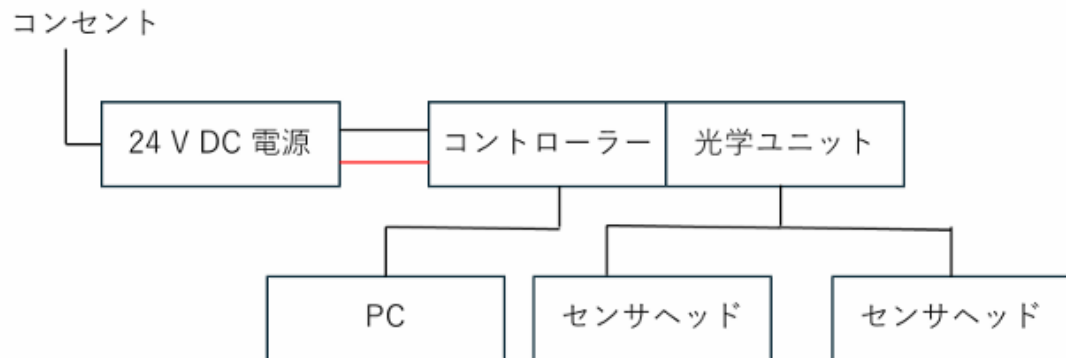
- ② GEMの厚みが20 %変化したとき、電荷増幅率の変化は、

| 印加電圧 | 電荷増幅率の変化 |
|-------|----------|
| 315 V | ~40 |
| 350 V | ~144 |

- 実験で使用しているGEMの厚みが不均一である場合、それが電荷増幅率に影響を与える。
- これが電荷増幅率の空間非一様性の原因である可能性として考えられる。

厚み測定のセットアップと測定前の設定

セットアップ

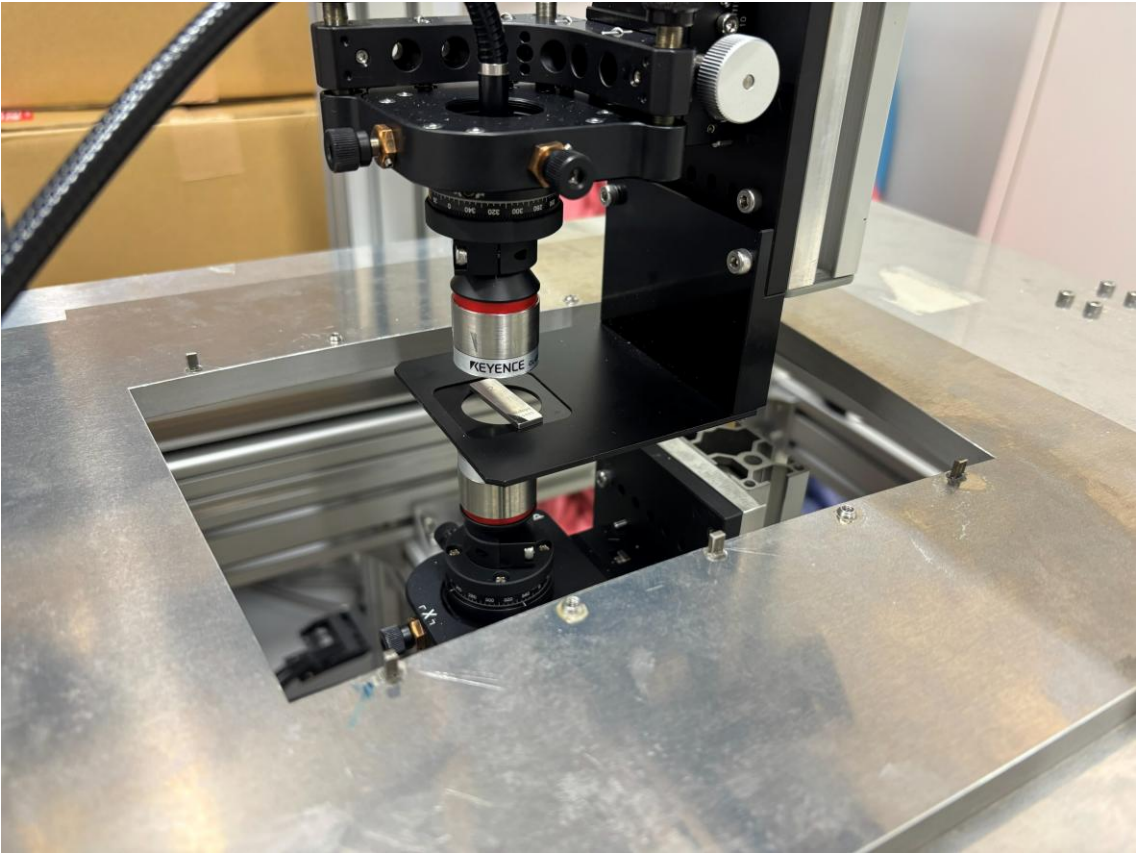


設定手順

- ① 光学センサーを基準ワークを挟んで設置する
- ② 光学センサーの角度を調整する
- ③ スクリーンとL型治具を使用して粗い光軸合わせをする
- ④ スクリーンを取り外して精密な光軸合わせをする
- ⑤ ゲージブロックを使用してオフセットの設定をする

✓ 測定には光学センサー用のソフトウェアツールを使用した

ゲージブロックを使用したオフセットの設定と厚み測定

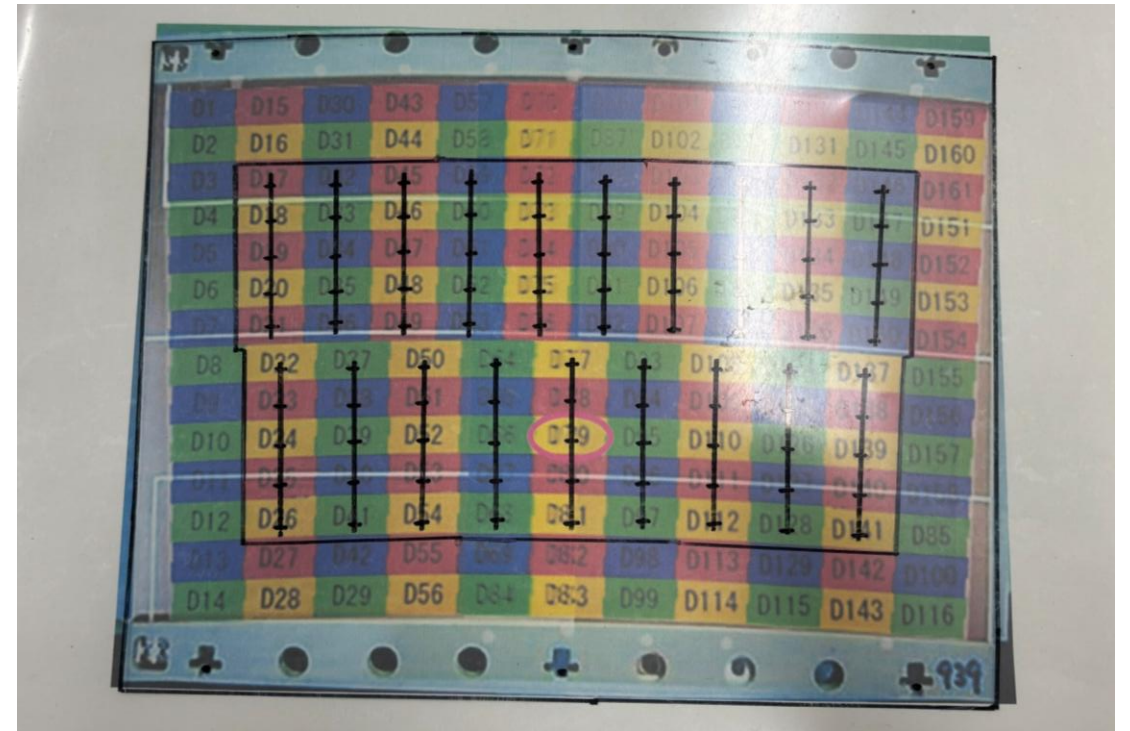
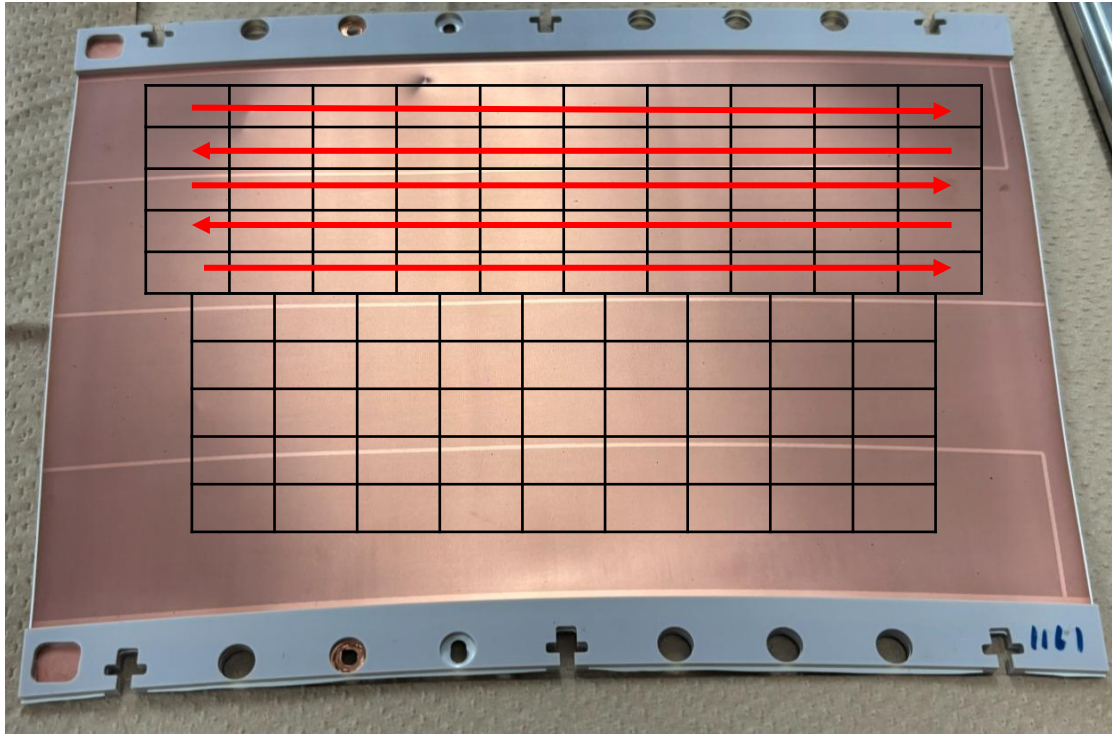


ゲージブロックの測定結果 (mm)

| | 測定前 | 測定後 |
|-----|---------------|---------------|
| 1 | 2.0019 | 1.9338 |
| 2 | 2.0019 | 1.9341 |
| 3 | 2.0023 | 1.9344 |
| 4 | 2.0023 | 1.9345 |
| 5 | 2.0028 | 1.9347 |
| 平均値 | 2.0022 | 1.9343 |

ゲージブロックの厚みをアジアGEMモジュールの厚みを測定する前後に測定した。

アジアGEMモジュールの厚み測定方法

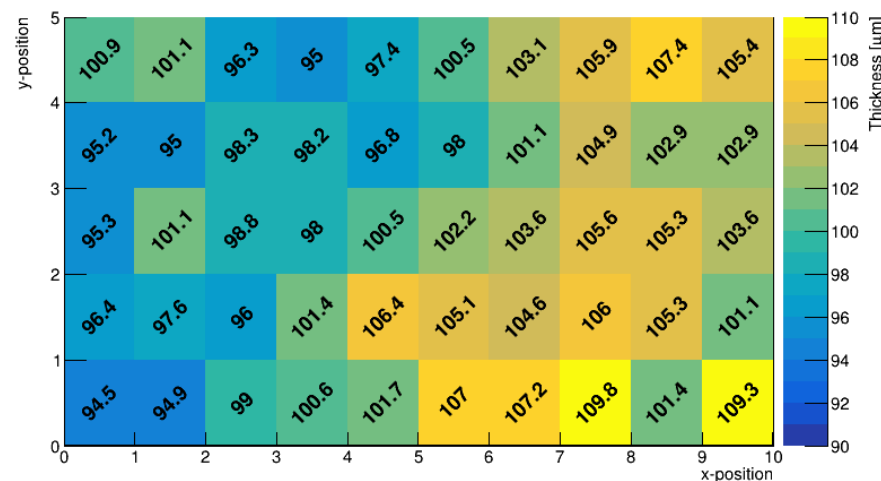


厚み測定用マップ

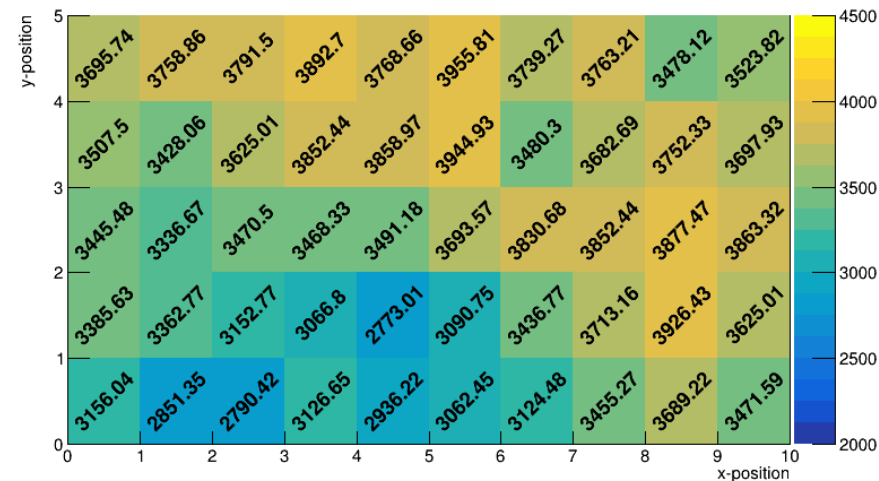
測定点は位置依存実験と同様に、外形側(5 × 10)、内径側(5 × 9)に分割し、95点をスポット毎に測定した。

アジアGEMモジュールの厚み測定の結果

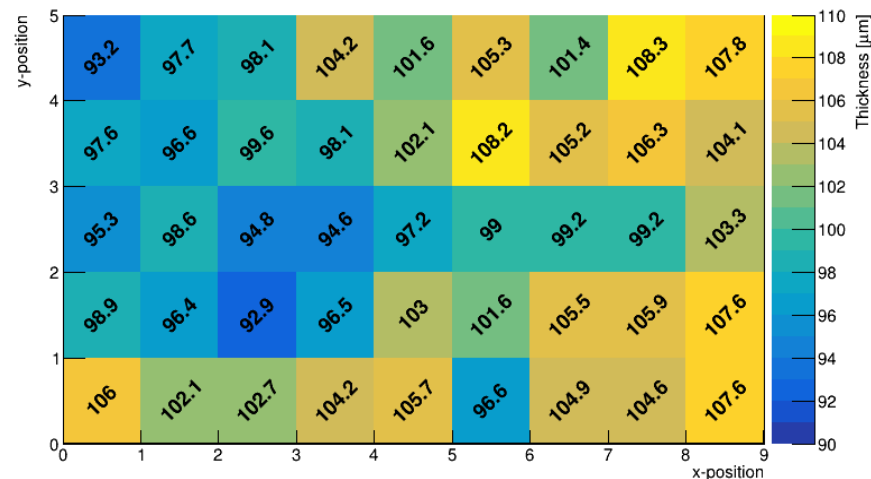
外径側



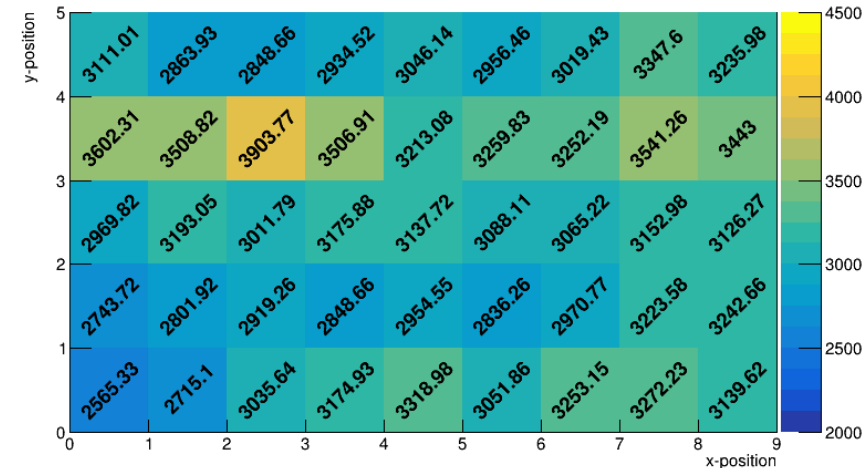
外径側



内径側



内径側



アジアGEMモジュールの厚み (カソード側) [μm]

電荷増幅率の位置依存性

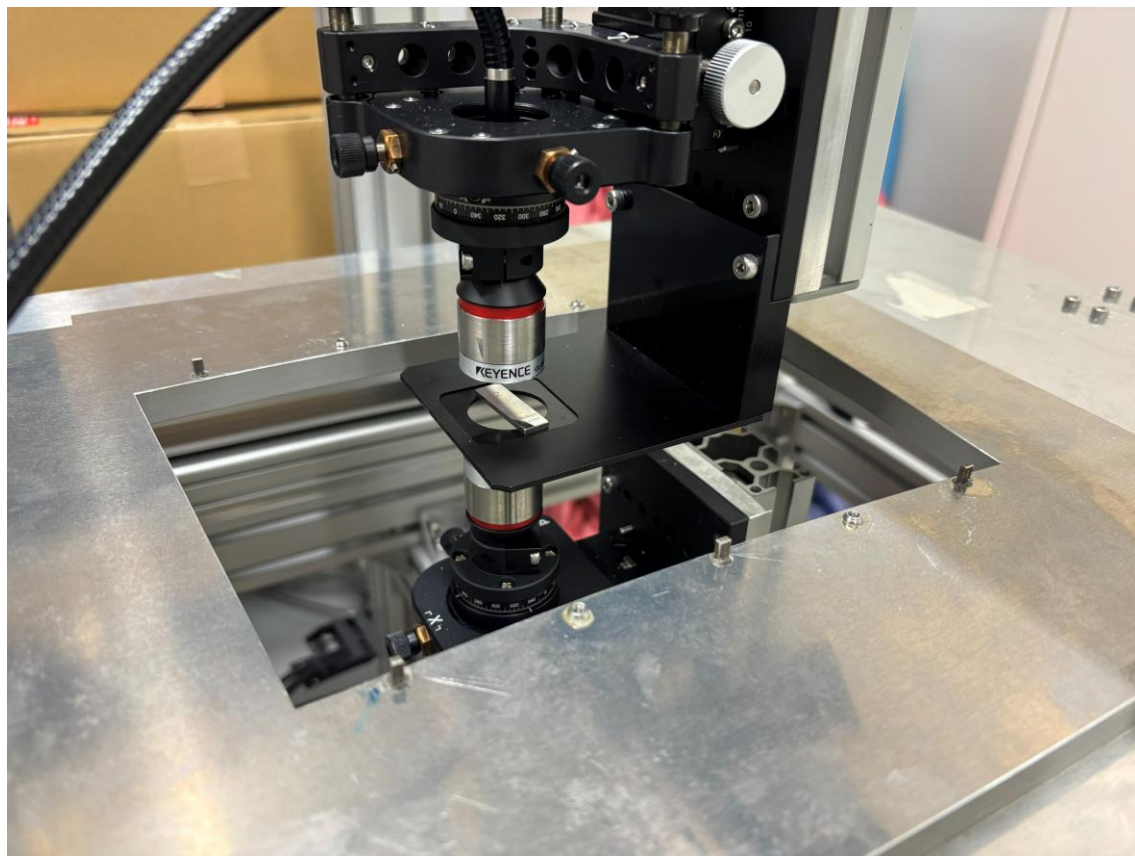
- カソード側のアジアGEMモジュールの厚みが100 μm であることから、最大で~9.8 %、最小で~0.8 %の厚みの変化が見られた。

まとめ

- 本研究では、GEMの位置依存実験とその非一様性の原因調査のため、ANSYSとGarfield++を用いたシミュレーションと実際にアジアGEMモジュールの厚み測定をおこなった。
- 実験により現在使用しているGEMでは電荷増幅率の空間電荷分布に非一様性がみられた。
- 厚み依存性のシミュレーションではGEMの電荷増幅率の非一様性の原因がGEMの厚みの不均一性であることが可能性として考えられた。
- アジアGEMモジュールの厚み測定では、電荷増幅率と厚みのシミュレーションで得られた傾向に反する結果が得られた。

Back up

ゲージブロックを使用したオフセットの設定と厚み測定

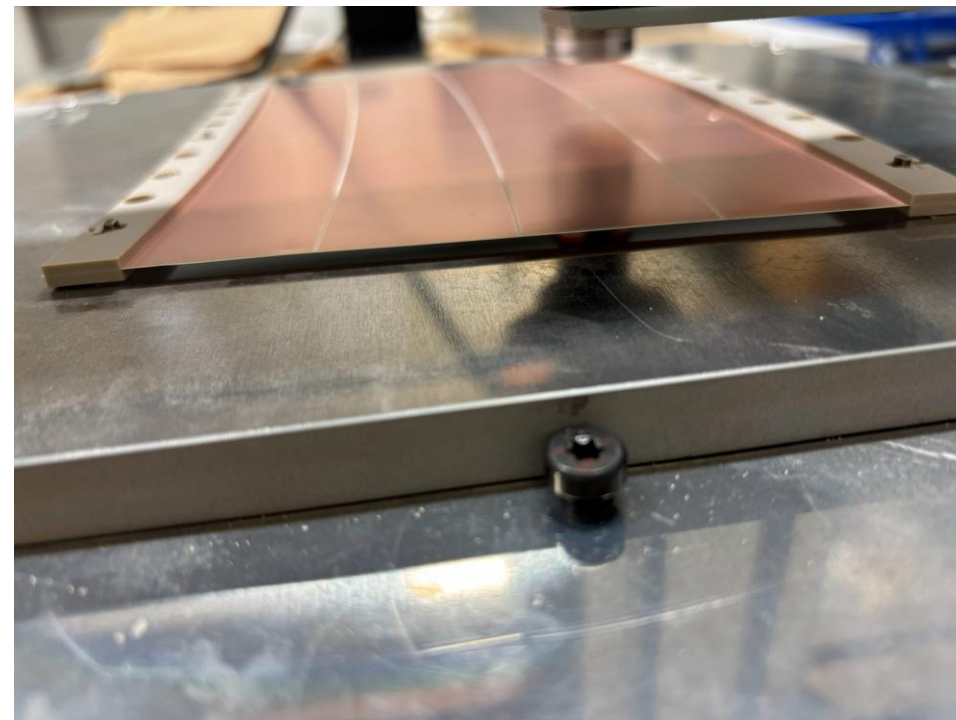
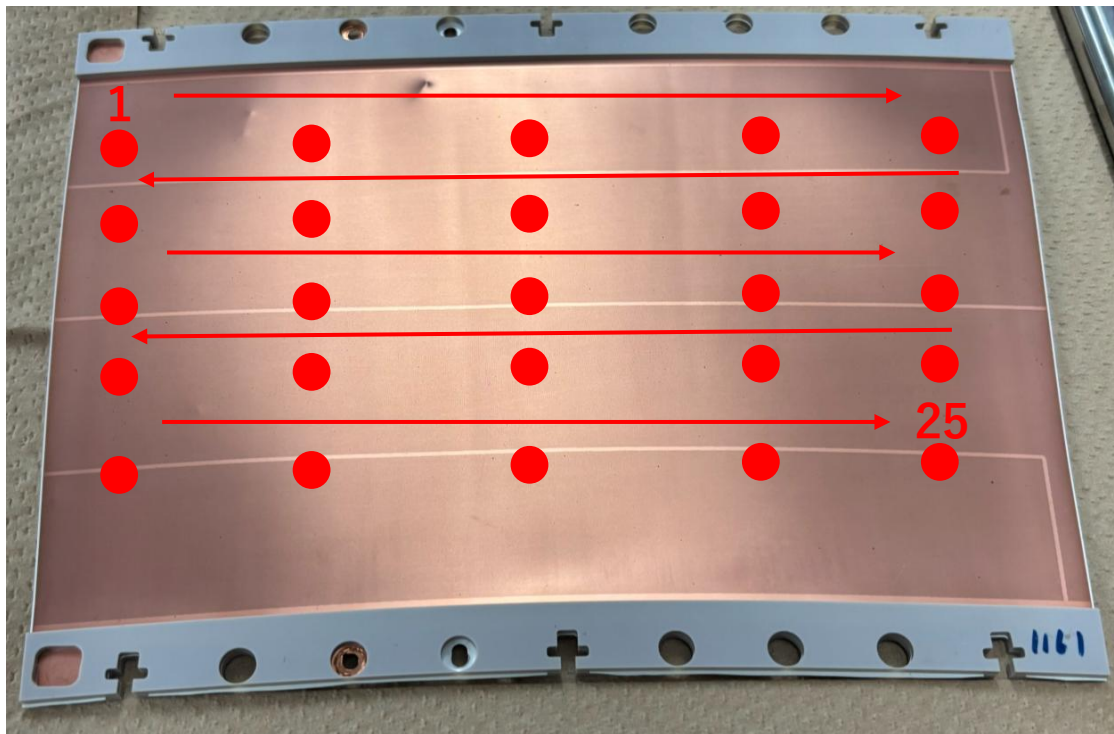


ゲージブロックの厚みをアジアGEMモジュールの厚みを測定する前後に測定した。

ゲージブロックの測定結果 (mm)

| | 測定前 | 測定後 |
|---|--------|--------|
| 1 | 2.0000 | 1.9903 |
| 2 | 2.0023 | 1.9905 |
| 3 | 2.0030 | 1.9907 |

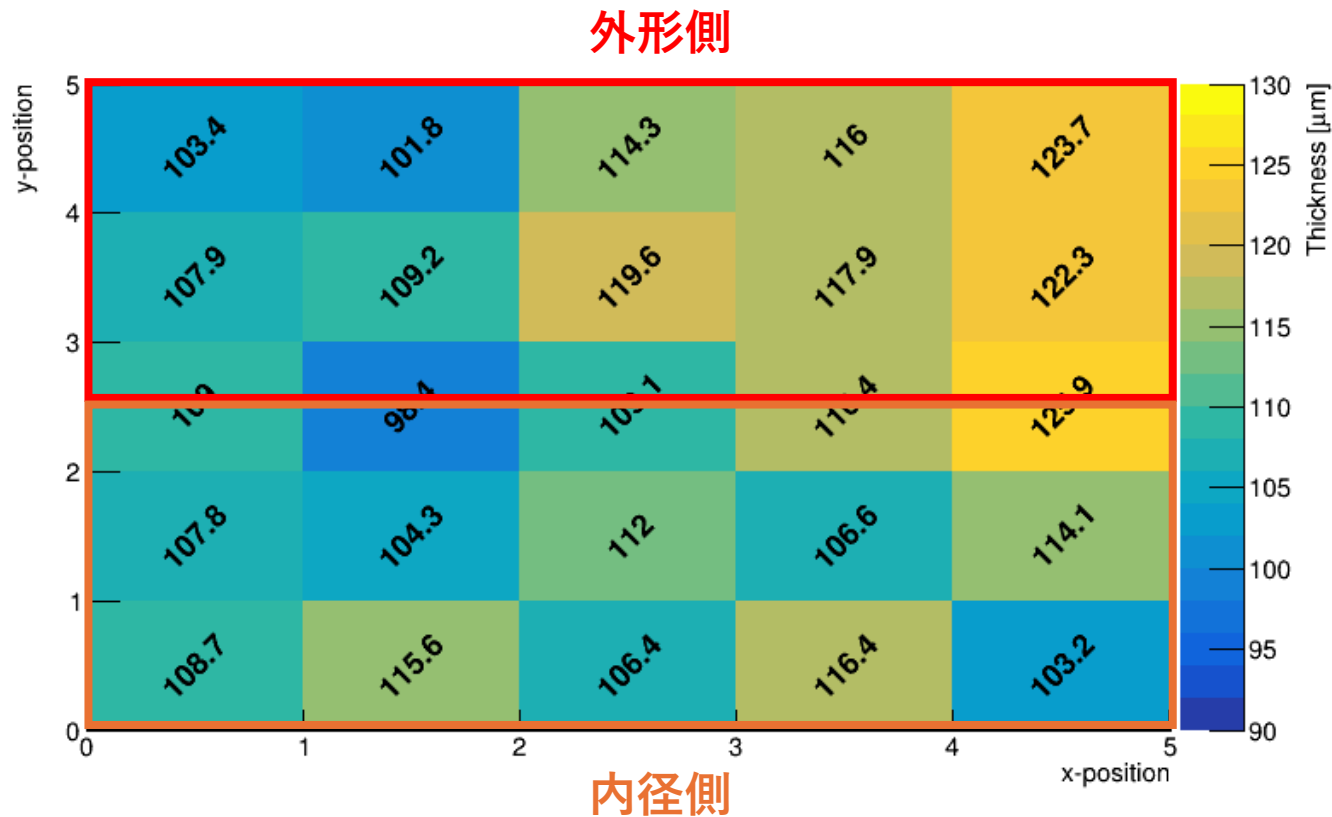
アジアGEMモジュール(1161)の厚み測定



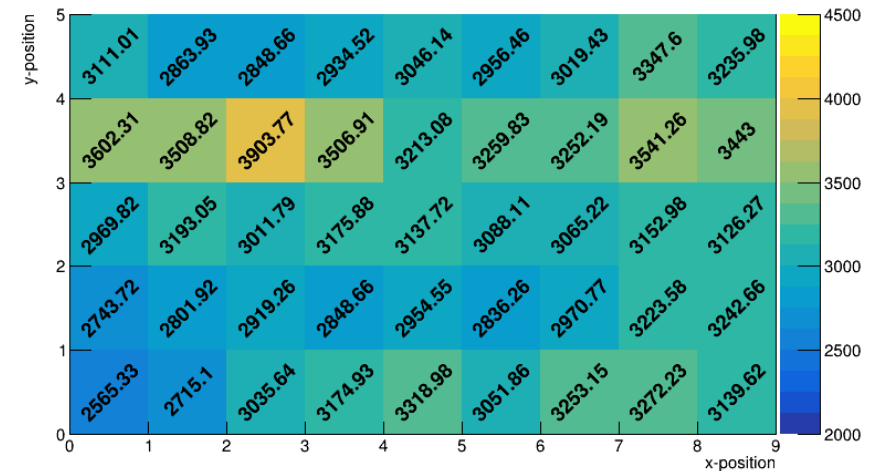
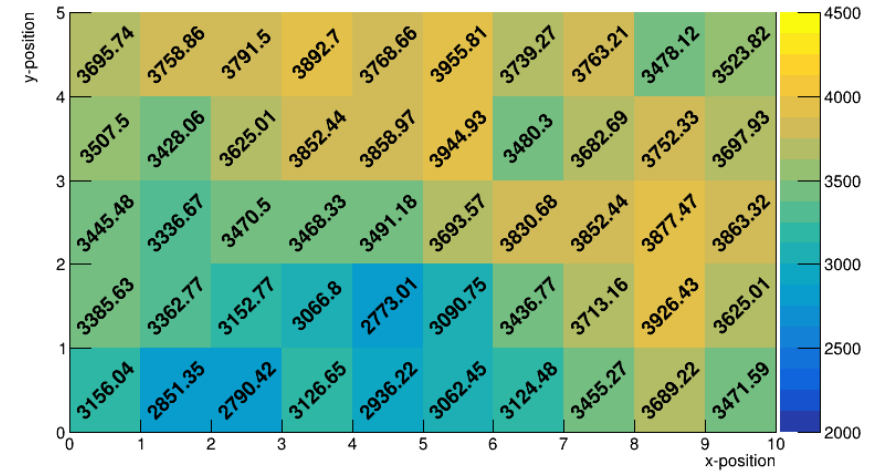
横から見た様子

- GEMの白い線を基準にして、電荷増幅率の空間電荷分布測定での測定範囲に収まるように25点を決定した。
- 測定は左上から始め、図の矢印のようにスポット毎のGEMの厚みを測定した。

アジアGEMモジュール(1161)の厚み測定結果



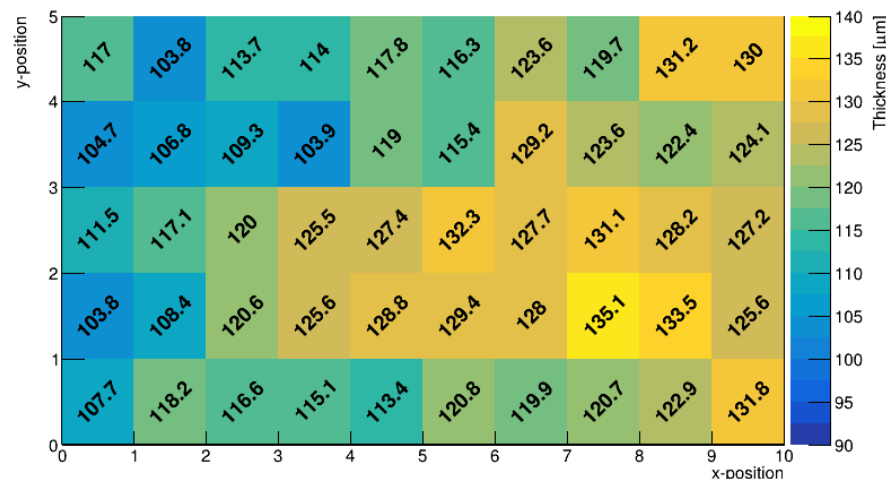
カラーバー：アジアGEMモジュールの厚み [μm]
X軸,Y軸：XY面



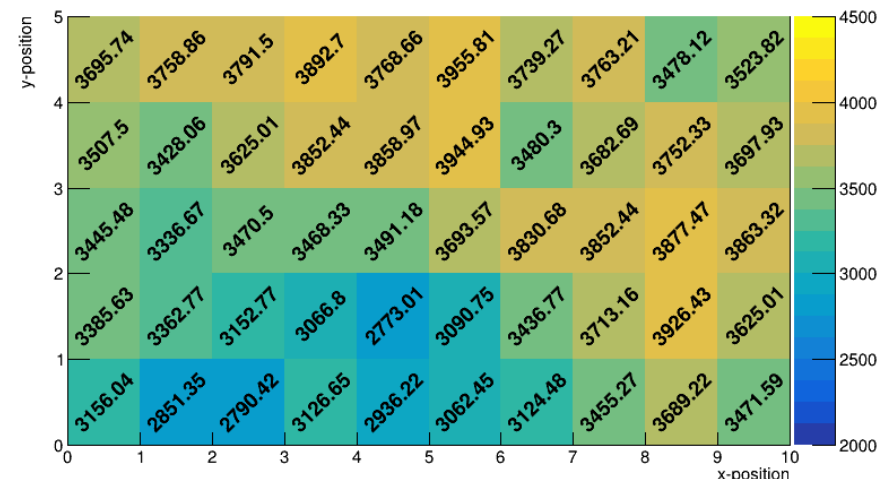
- カソード側のアジアGEMモジュール(1161)は右上が厚く、左の一部分において薄い。
- アジアGEMモジュールは100 μm 厚であることから、最大で~26 %、最小で~1.6 %の厚みの差がある。

アジアGEMモジュールの厚み測定の結果

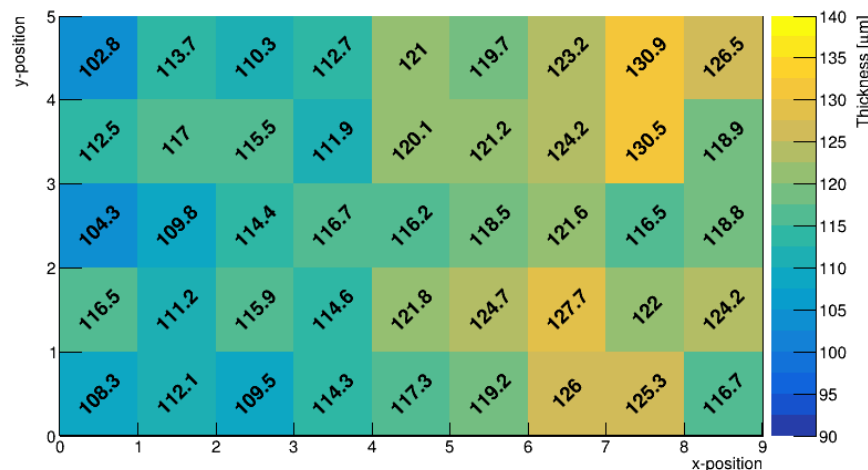
外径側



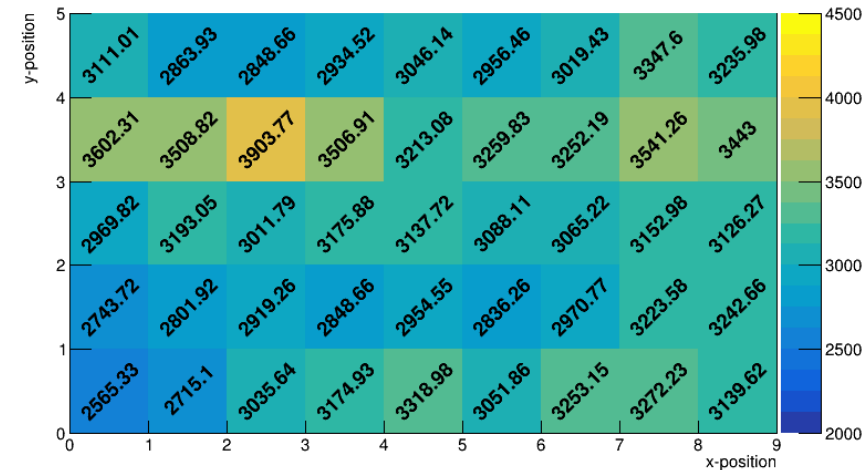
外径側



内径側



内径側



アジアGEMモジュールの厚み (カソード側) [μm]

電荷増幅率の位置依存性

- カソード側のアジアGEMモジュールの厚みは外径側の右の部分と内径側の右の一部で厚い。
- ✓ シミュレーションの傾向と反する結果が得られた。