

概要

微細加工技術によって作られるガス電子増幅器(GEM、Gas Electron Multiplier)は従来のワイヤーチェンバーに比べて高い増幅率と良い解像度の放射線画像を撮れるという点がある。しかし、ガス検出器は硬X線などの高いエネルギーを持つ放射線に対して感度が低いことから、宇宙での利用は難しいとされてきた。工学院大学では、宇宙利用・医療応用を念頭に置いた硬X線検出器を、GEMを利用したガス検出器で開発することを目的として、今年度より研究を立ち上げた。本研究の第一段階として、GEMを搭載したガスチェンバーの実験システムの構築、基礎研究として一般的なGEMの性能評価を行った。ここでは、その経過について報告する。

1. GEM(Gas Electron Multiplier)

1. GEMの説明と増幅メカニズム

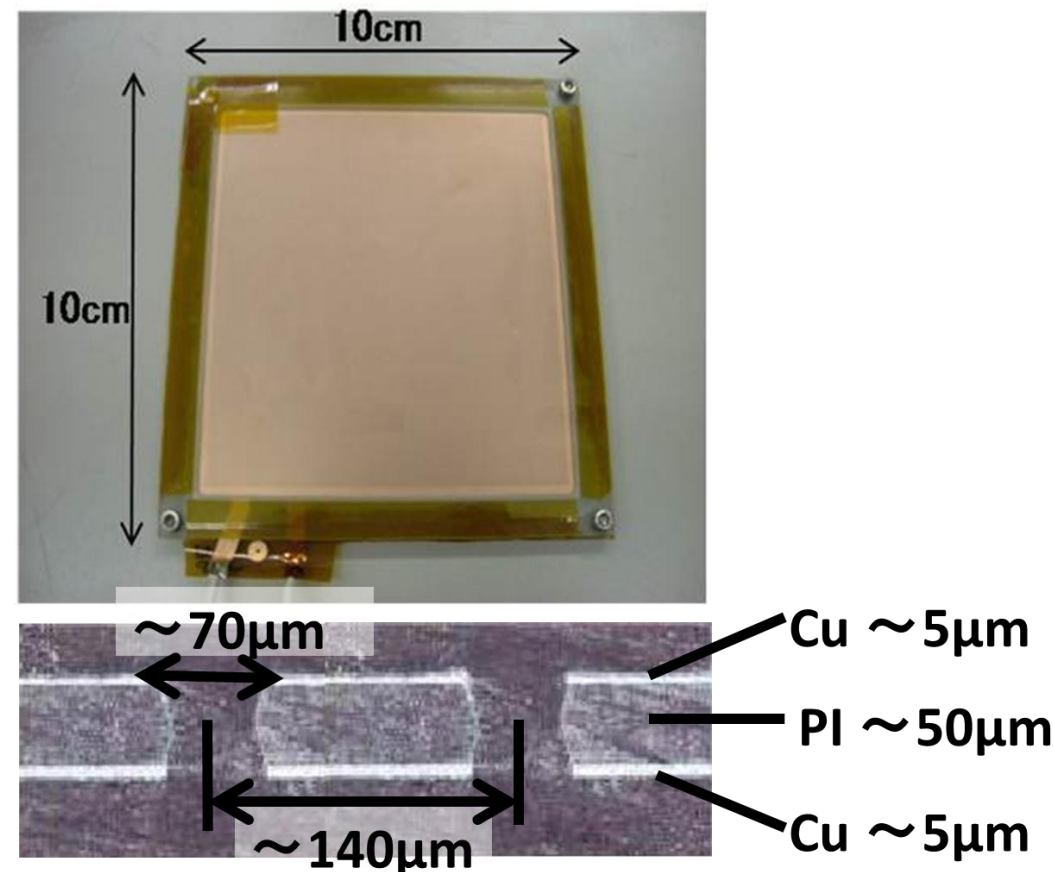


図1 GEM概観(上)、GEMの断面図(下)

- GEMはポリイミドに銅をサンドした薄膜に無数の孔をあけたもの
- 両面の銅を電極として高電圧を印加する。

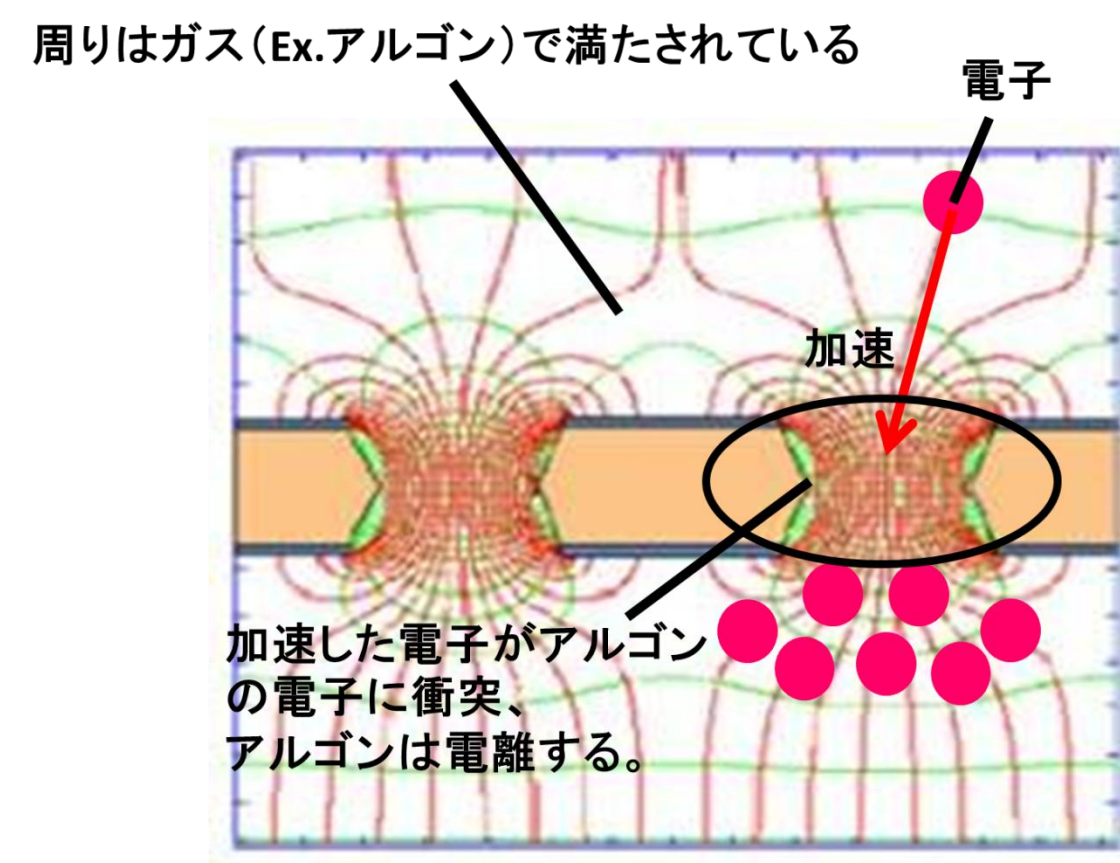


図2 GEMの電場構造と増幅メカニズム
赤の曲線: 電気力線
緑の曲線: 等ポテンシャル線

- 高電圧によって孔内部に生じた強電場によって電子は加速、衝突電離で電子数を大幅に増やす。

2. 硬X線の検出方法

ガスとX線の相互作用は**光電効果**が主

光電効果の起きる確率

$$\tau \sim \text{constant} \times \frac{Z^n}{E^{3.5}}$$

τ : 光電効果の起きる確率

Z : 原子番号

E : X線のエネルギー

n : X線のエネルギーで決まる4~5の定数

原子番号の大きな物質となら**光電効果が起きやすい**

GEM表面にZ=79のAuをコーティング

GEM表面のAuで硬X線を捕える

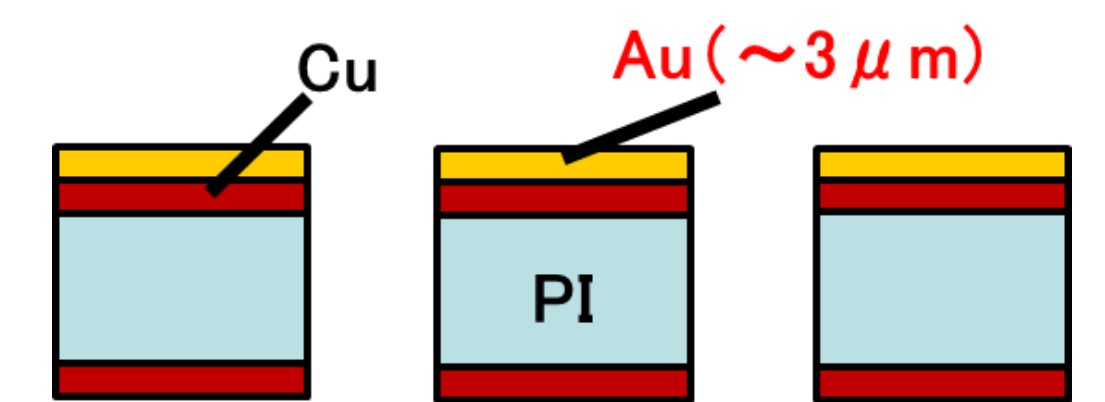
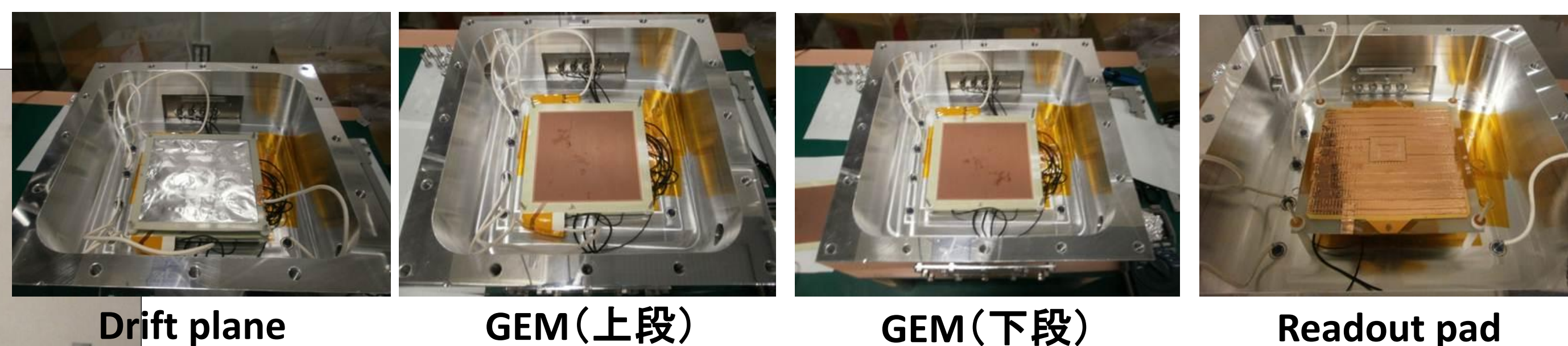


図3 Au-GEM

2. 今回の報告内容と実験概要

1. 実験システムの構築



2. 基礎研究

構築した実験システムで実験を行う

1. サイエナジー社製のGEMを用いてX線スペクトルを取得する。
2. GEMの基本的な性能であるgain、エネルギー分解能を求める。
3. GEMの長時間運用に対するgainの安定性を調べる。

実験条件

- 校正線源: ^{55}Fe (5.9keV)
- 使用ガス: P10ガス (Ar:CH₄=9:1)
- 使用GEM: サイエナジー社製「SMASH」を2枚使用
LCP厚:100μm, Cu厚:8μm, pitch size :140μm, 孔の直径:70μm

gainとエネルギー分解能の算出方法

➢ gain

1. GEMで増幅後の電荷量はMCAでデジタル変換して記録する。
→X線スペクトルのピークのデジタル値から増幅後の電子の電荷量を逆算

校正式

$$Q = 0.247x + 31.7$$

$Q[\text{fC}]$ 増幅後の電子の電荷量

$x[\text{ch}]$ デジタル変換されたデジタル値

2. 増幅後の電荷量から増幅後の電子の数を求める。
3. ArガスとX線の相互作用によって生じる初期電子(~212個)との比をgainとする。

➢ エネルギー分解能

X線スペクトルのメインピークに対してガウス関数をフィットし、その半値幅をエネルギー分解能とする。

3. 実験結果

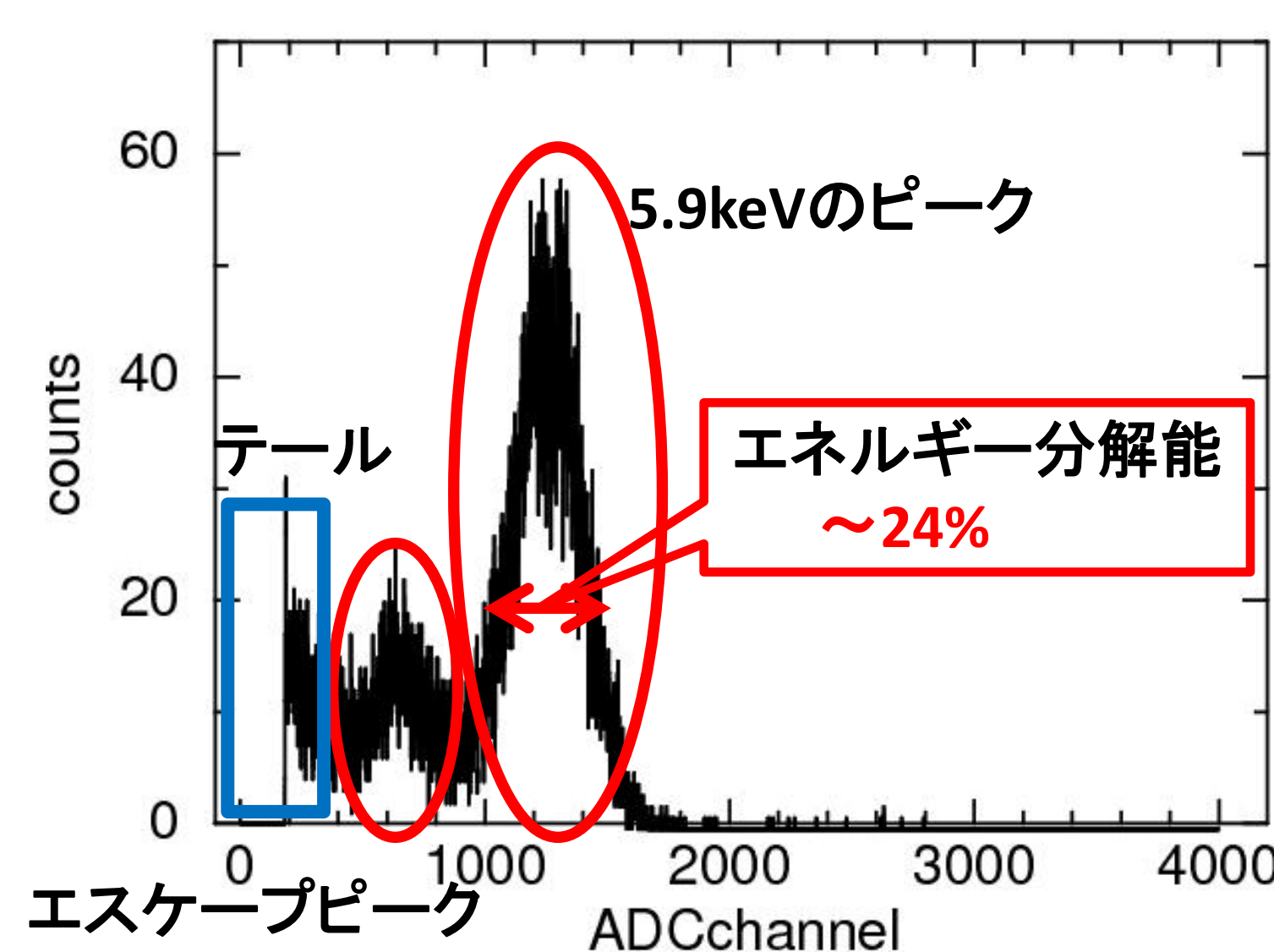


図5 取得したX線スペクトル

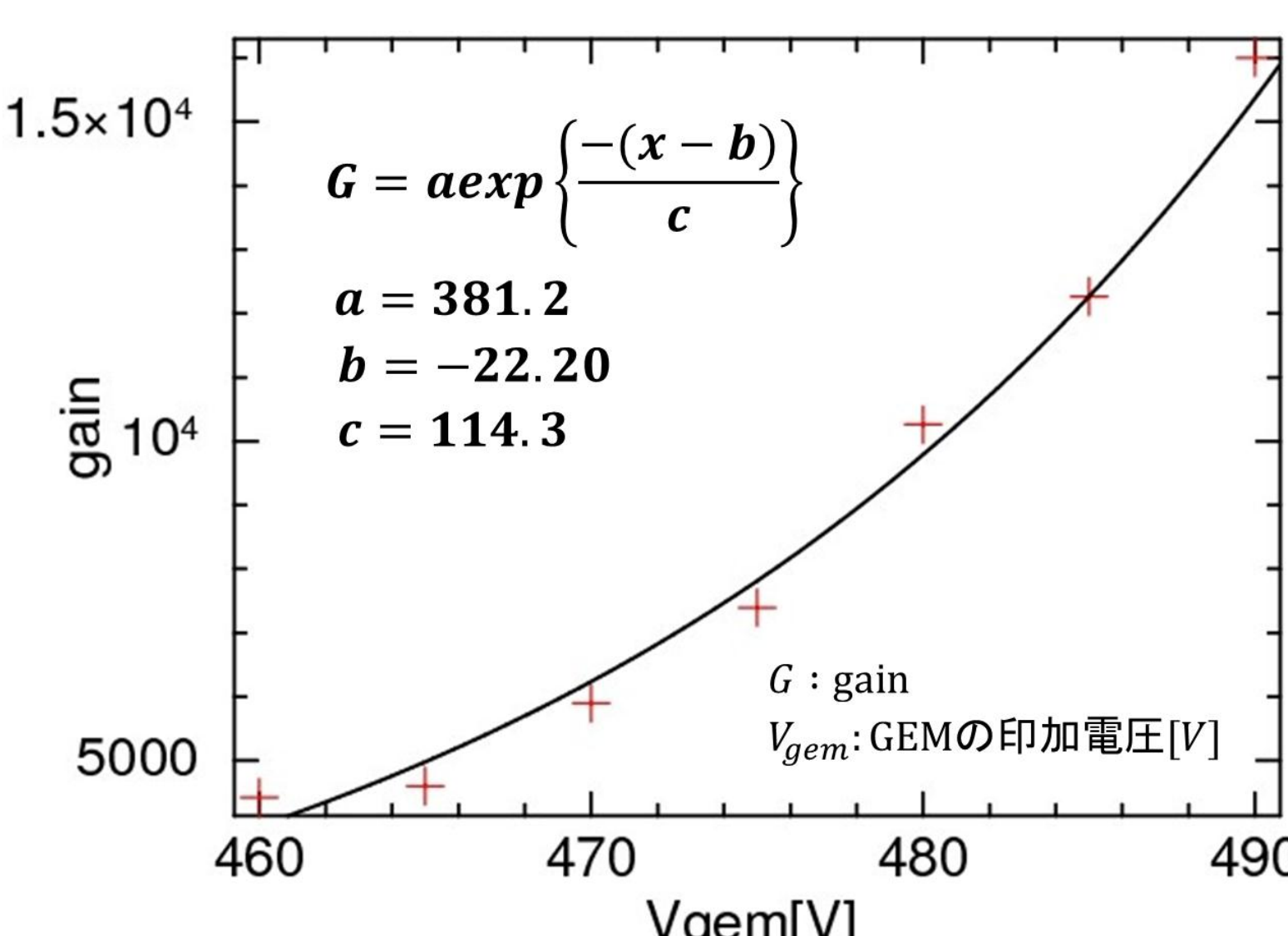


図6 gain curve

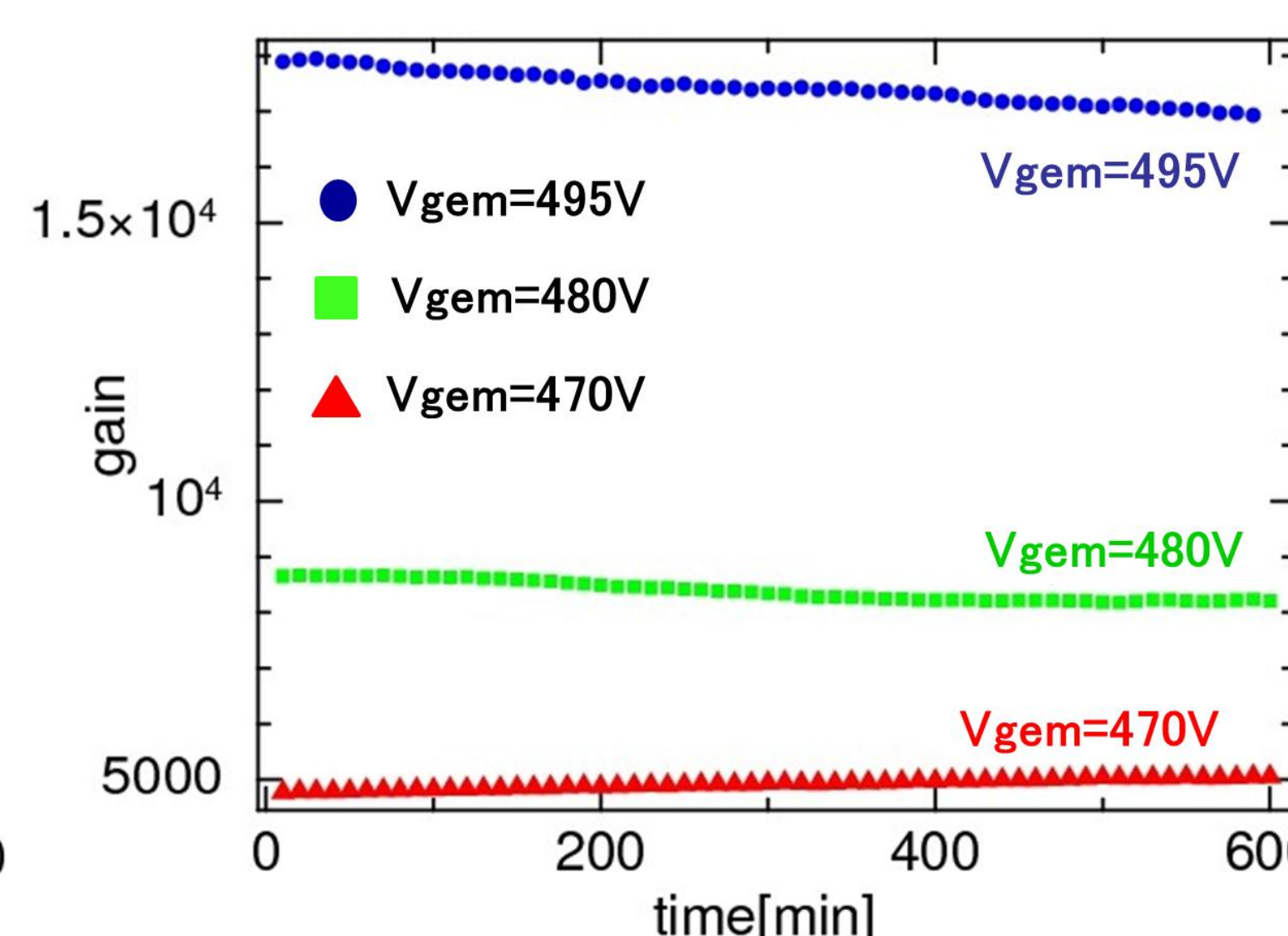


図7 印加電圧ごとのgainの時間変動

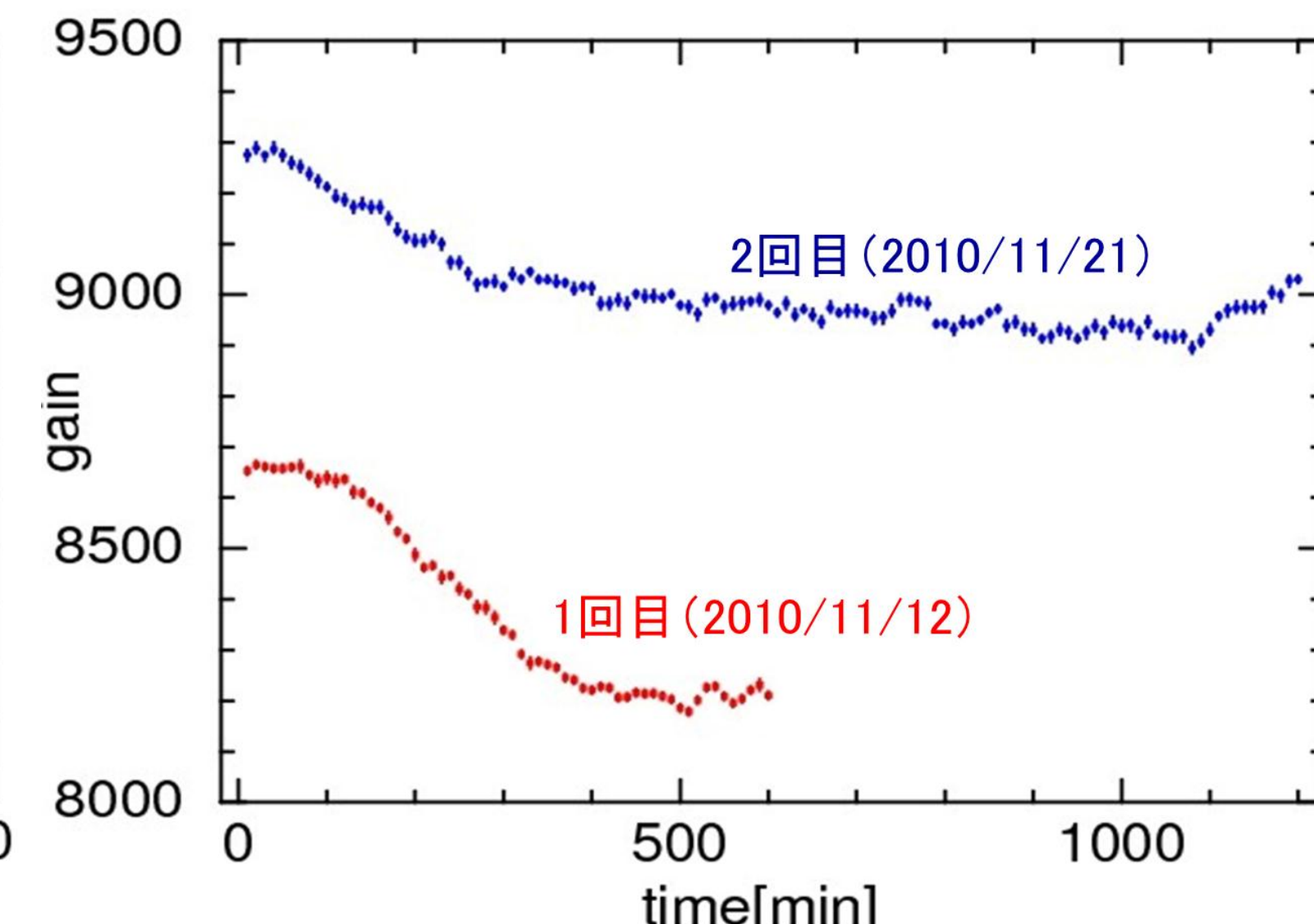


図8 gainの時間変動の再現性(480V)

- 左のテールは実験システムのノイズ
→より低エネルギー側のX線の検出のためにノイズを低減する必要がある。
- 5.9keVのX線のピークとエスケープピークからなる典型的なエネルギースペクトルを得ることができた。

- GEM2枚それぞれが460V~490Vで5000~15000倍のgainを得ることができた。
- 今の実験システムではGEM2枚の間の電場とreadout padとGEMの間の電場の強度が変わってしまうため、Vgemによる純粋なgainとは言えない。
→各領域の電場を固定して実験を行う。

- gain変動の仕方は印加電圧ごとに異なるが、いずれも5~6%以内に収まっている。
 - ・470V: 単純に上昇する。
 - ・480V: 最初は安定し、だんだん減少し、また安定する。
 - ・495V: 単純に減少する。
- 変動がGEMの特性か、外的要因かは今後調査する。

- 1回目と2回目で、変化の仕方が似ている。
→変動の仕方について再現性を確認した。
- 2回目は1回目よりもgainが~8%程度高くなっている。
→原因については今後調査する。

4. まとめと今後の予定

1.まとめ

- GEM開発のための**実験システムを構築した。**
- GEMの性能を表す基本的なパラメータであるgainとエネルギー分解能を求めたところ、**460V~495Vの印加電圧で10³~10⁴倍のgain、5.9keVで24%のエネルギー分解能**となった。
- **10時間の稼働でGEMのgainは5~6%変動した。**変動の原因はまだ検討中である。

2.今後の予定

- 時間変動の原因として、**ガスの温度・圧力が挙げられる**
→温度・圧力をモニターして再度長期稼働実験をする
- 基礎研究の継続
- Au-GEMの性能評価