MPGD6@山形大学10/11/26・27

J-PARC E15実験におけるTPCのためのTGEM開発2010

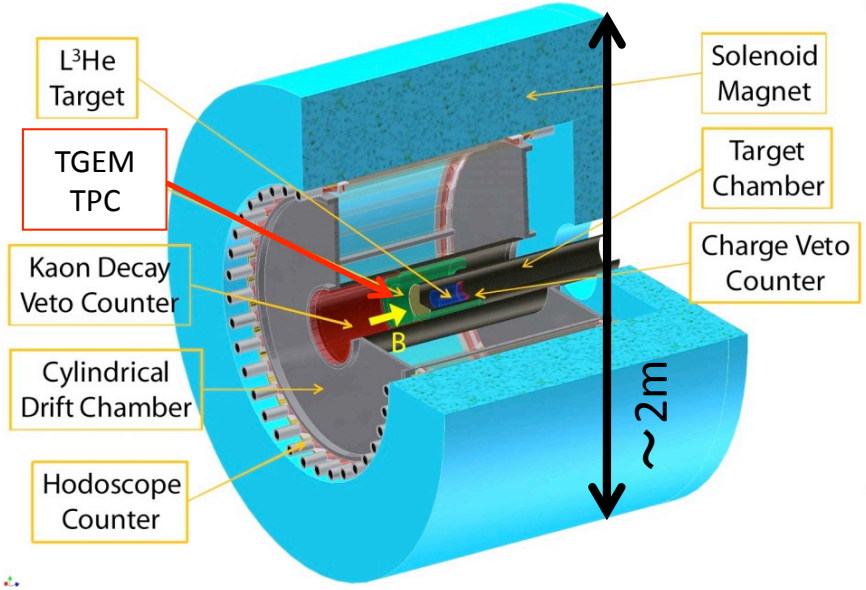
徳田真(東工大)
佐久間史典(理研)
岩崎雅彦(理研)

Contents

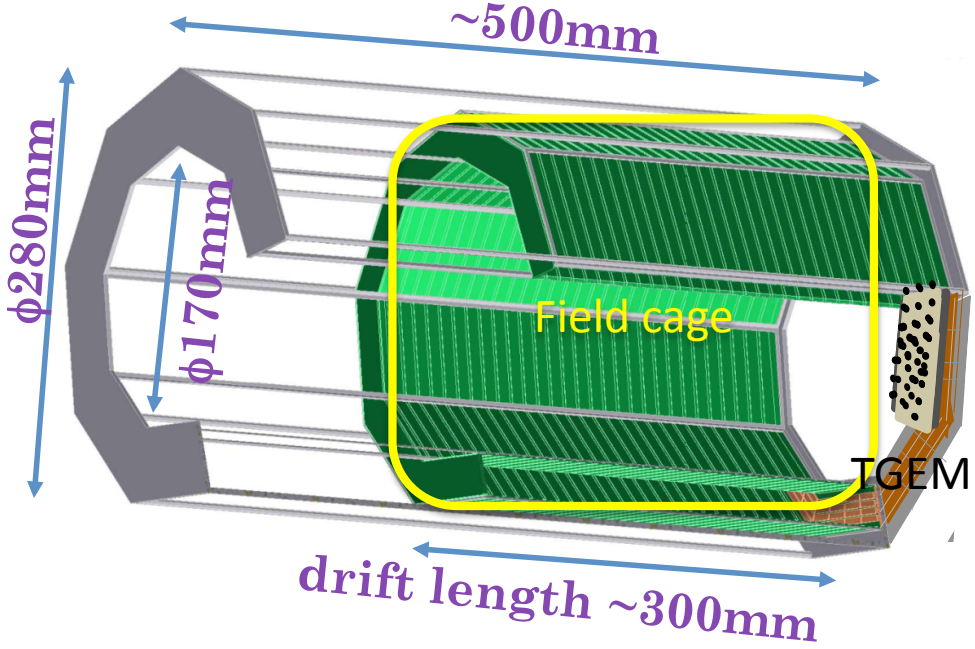
- Introduction
- 前回までのながれ
- Carbon TGEM study
- 長時間安定動作について
- ９角形TGEMの現状
- まとめとこれから

Introduction

- J-PARC E15実験のためにTGEM-TPCを開発中
- E15実験はK中間子原子核(K-pp)を探索する実験である
- 円筒型飛跡検出器群CDSによってK-ppのInvariant massを同定する
- TGEM-TPCはCDSの中心付近に設置するため非常にコンパクトな検出器になる

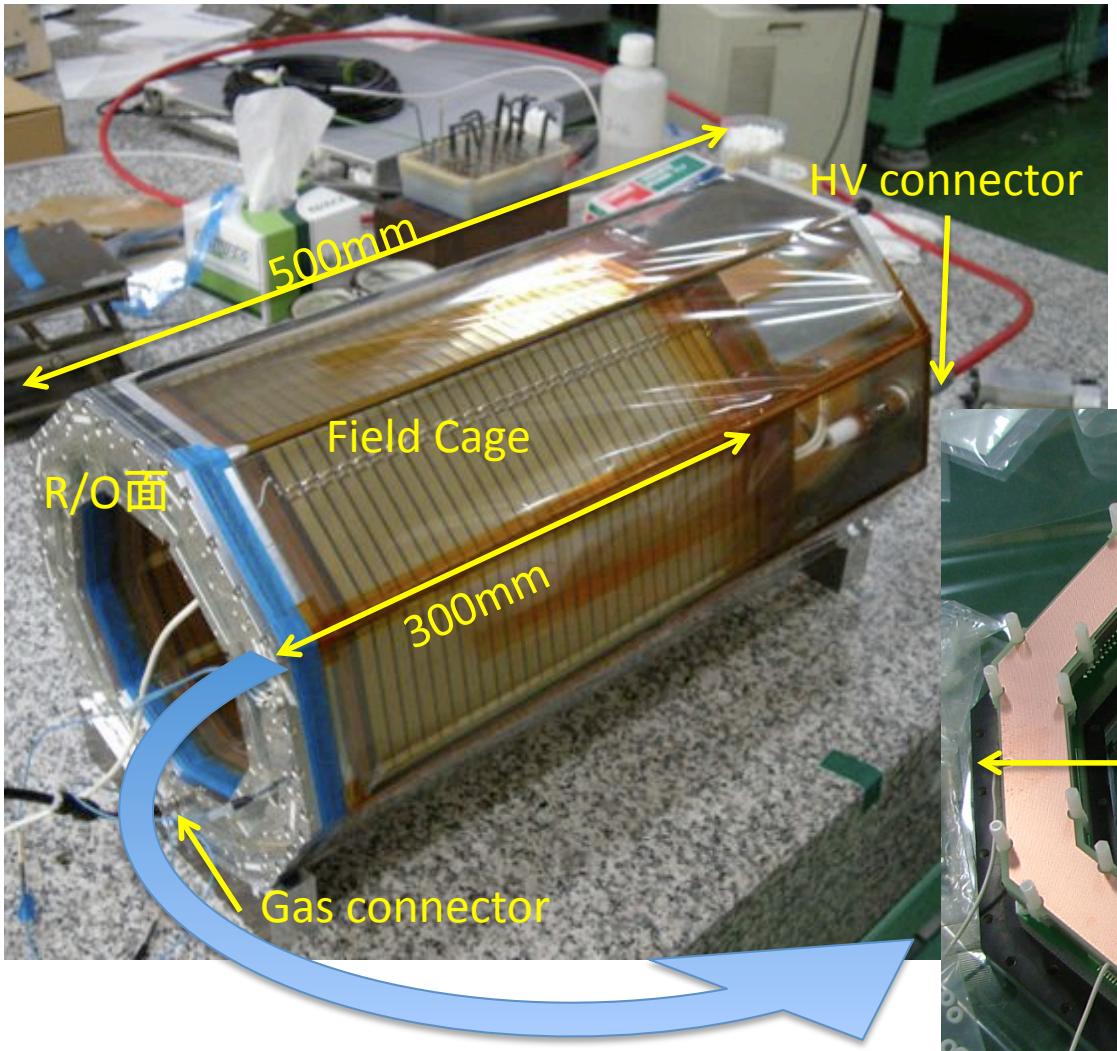


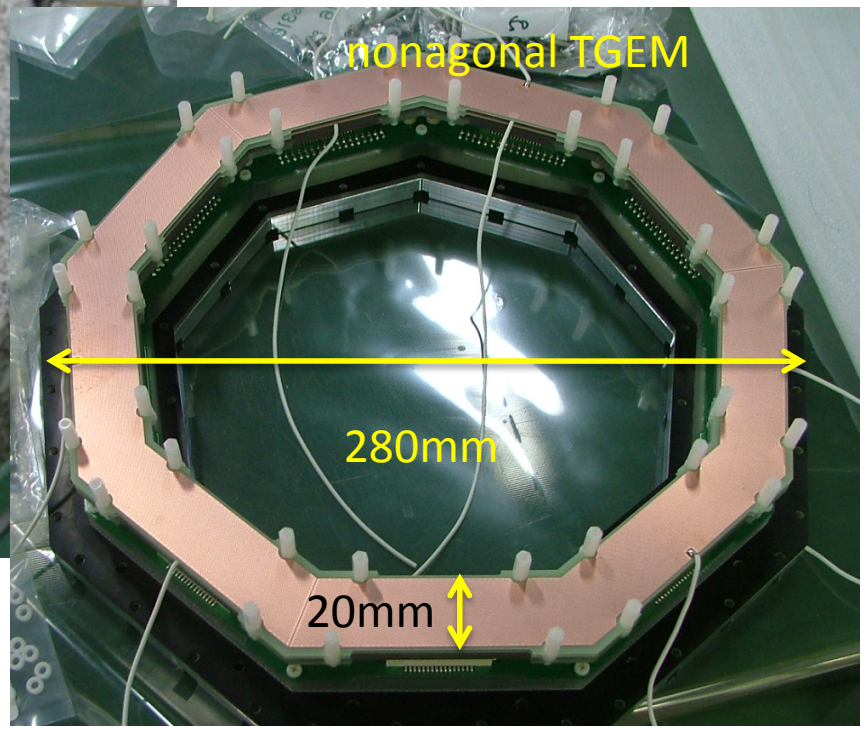
円筒型飛跡検出器群CDS



TGEM-TPC

実際のTGEM-TPC





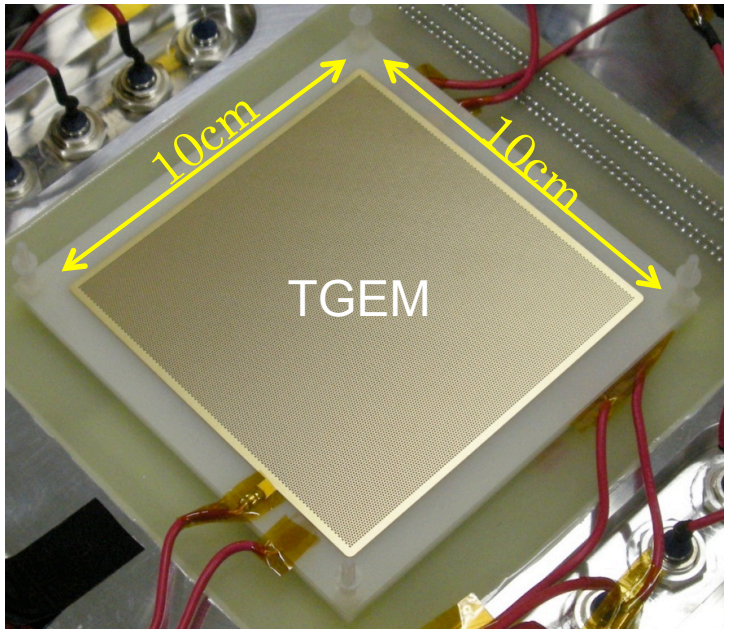
9角形TGEMを動かすため、
10cm x 10cmのTGEMの特性を調べている

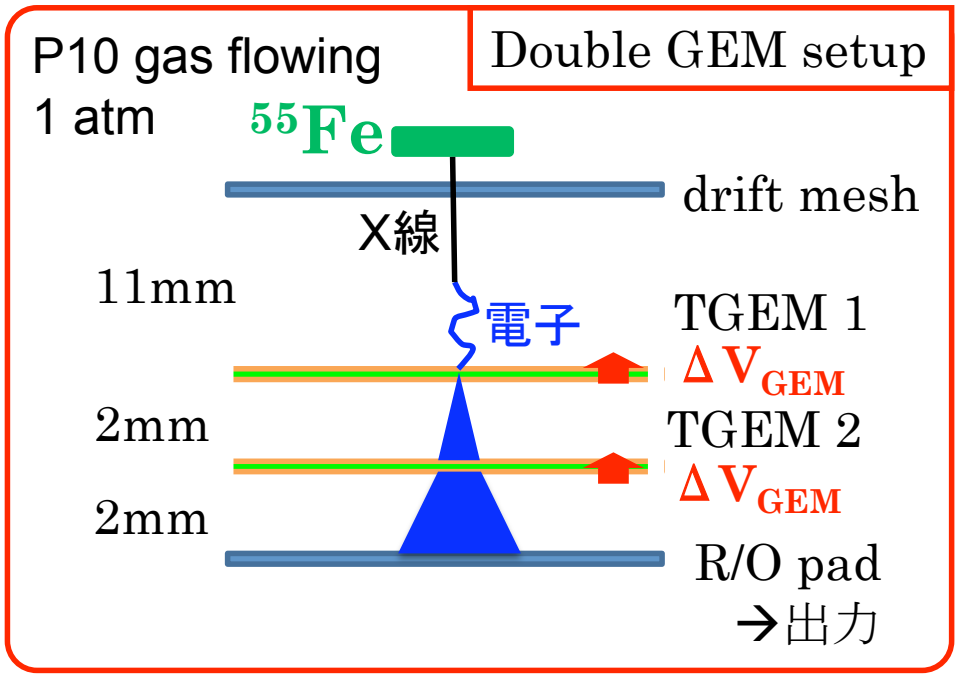
10cm x 10cm TGEMの測定

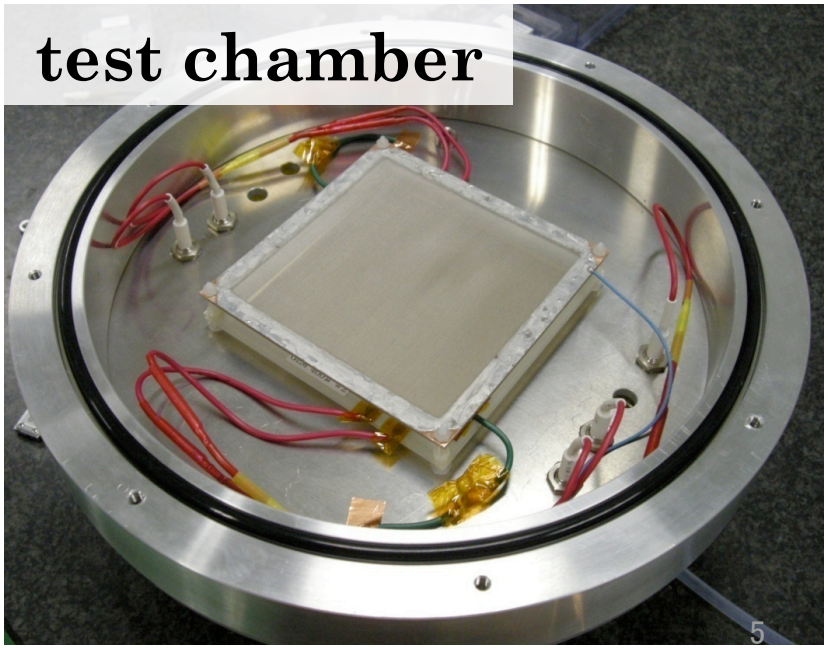
大きさ10cm×10cmのTGEM作製

TGEMテスト実験

- 増幅度測定：10^4以上で動作するか？
- 長期間動作測定：安定かどうか？







TGEMの種類

開発しているTGEM(林栄精器(株)に設計、東海電子(株)で作成)

No.	Electrode	Thickness[μm]	Hole-diameter[μm]	Rim[μm]	
1	Cu	200	300	50	×2
2		200	500	–	×2
3		400	300	–	×5
4		400	500	–	×2
5	Cu	400	300	30	×2
6				50	×2
7				100	×2
8	C	400	300	–	×17＋6
9	C	600	300	–	×2
10	C/Cu	400	300	–	×4
			極板の大きさは全て10cm×10cm		計44枚

TGEMの種類

TGEMの構造

厚さ

400μm　200μm

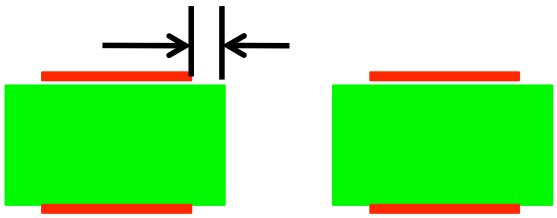
孔径

300μm　500μm

放電防止の加工

Rim構造

Rimの大きさ(30,50,100μm)



高抵抗極板

Carbon-TGEM　Hybrid-TGEM

前回のまとめ

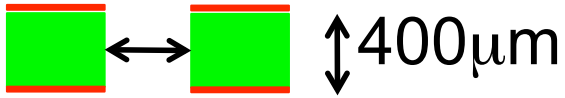
- 厚さと孔径
  - 厚さ:孔径＝200:300,200:500,400:300,400:500を作成
    厚さ:400μm、孔径:300μmの最大gainが最も高い
- Cu-TGEMのRimの効果
  - 利点:gainが大きくなる
  - 欠点:Rimが大きいほどgainが不安定である
    ->Rimはなるべく小さく作る
- Carbon-TGEMとその問題
  - 最大gainは必要な増幅度に達している
  - 製作課程に置ける再現性なし(2勝9敗)->今回はこの続き
- Hybrid-TGEMの作成
  - Hybridは安定して十分なgain
  - 製作課程に置ける再現性あり

前回のまとめ

TGEMの構造

厚さ、孔径

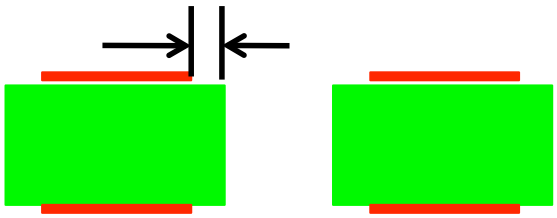
300μm



放電防止の加工

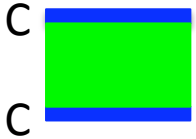
Rim構造

Rimなるべく小さく30μm



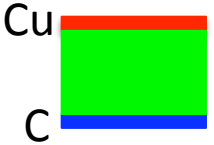
高抵抗極板

Carbon-TGEM



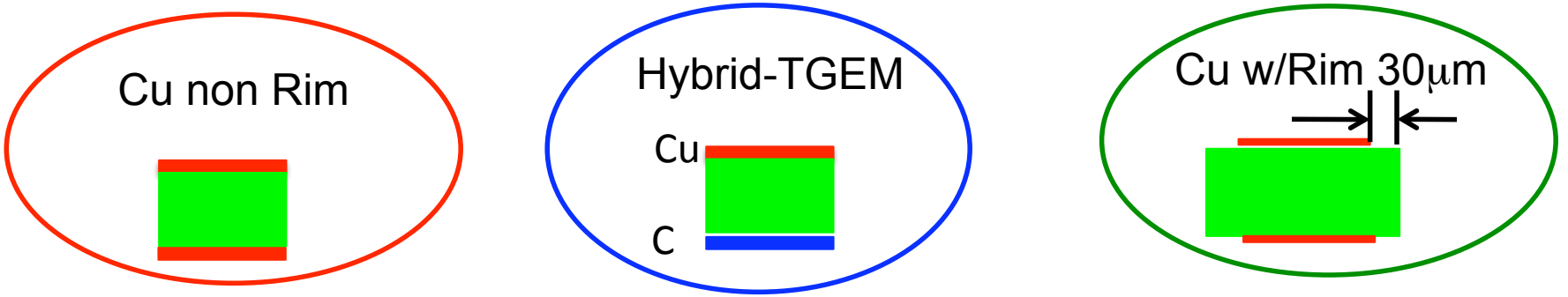
作製再現性がない

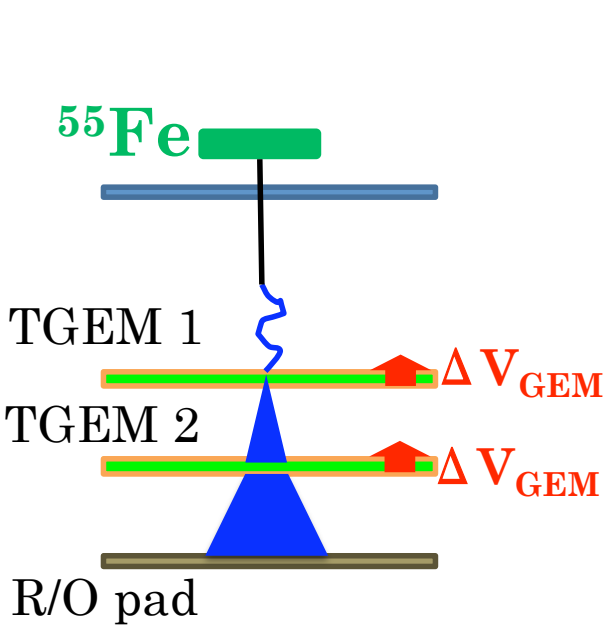
Hybrid-TGEM

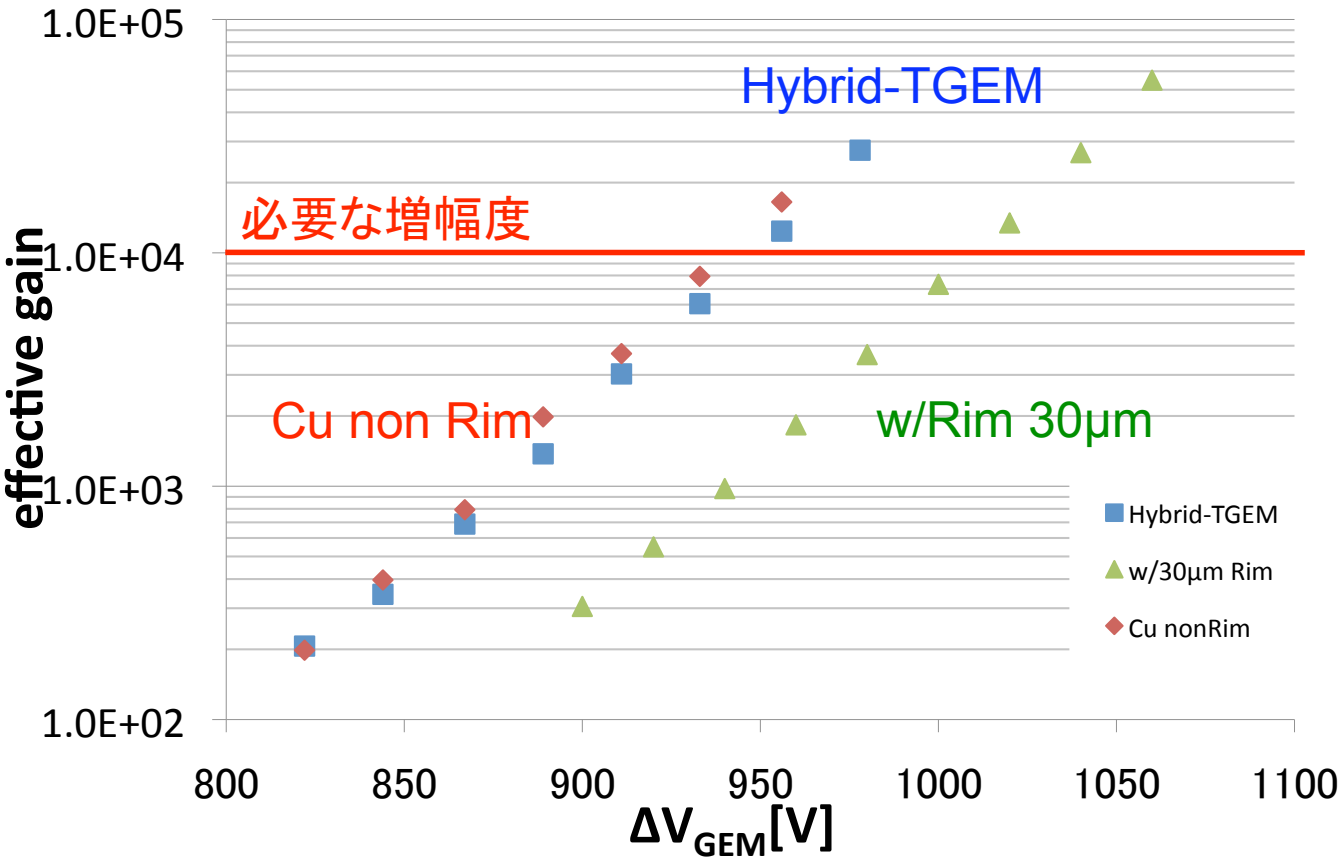


作製再現性がある

主なTGEMの増幅度







放電防止の処理により、増幅度10^4以上で安定に動作

Carbon TGEM study

- 高抵抗なCarbonを極板に用いることで放電防止する。
- １つ目がたまたま良く動いたが、作製工程に置ける再現性が無いことが分かった。
- 孔内にカーボンが付着することにより放電のパスを形成するのが原因と考えられる。
- 改善策として
  - Insulatorを変更したTGEMを作成
  - レイテック(株)のポリミドエッチングを行った

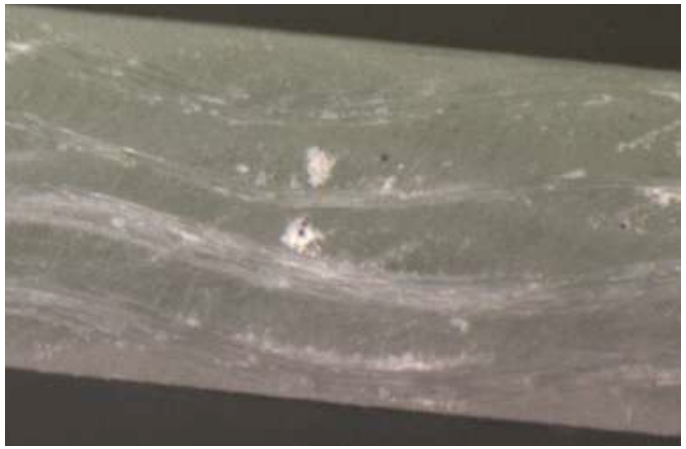
Carbon TGEM study

理研で開発しているTGEM(Carbon)

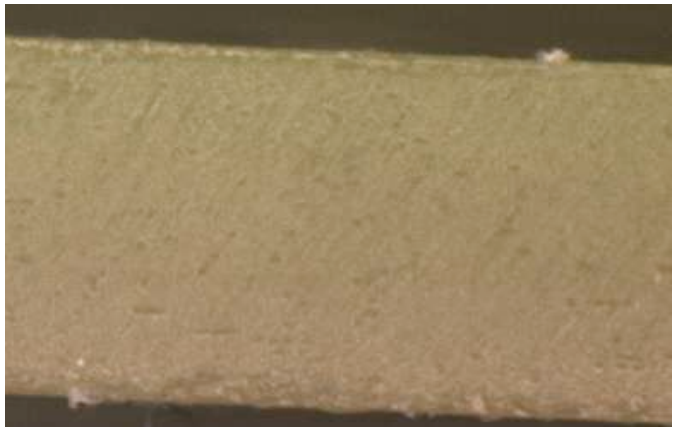
Electrode	Insulator	Thickness[μm]	Hole-diameter[μm]	Max gain	
C	FR4	400	300	over 2×10^4	x4
C	FR4/UV	400	300	–	x7
C	G10	400	300	～10^3	x4
C	Glass paper	400	300	over 2×10^4	x8

インシュレーターの違い

FR4



Glass paper



Glass paperの場合：孔内に付着したCarbonを
ポリミドエッチング(レイテック(株))によって除去できる

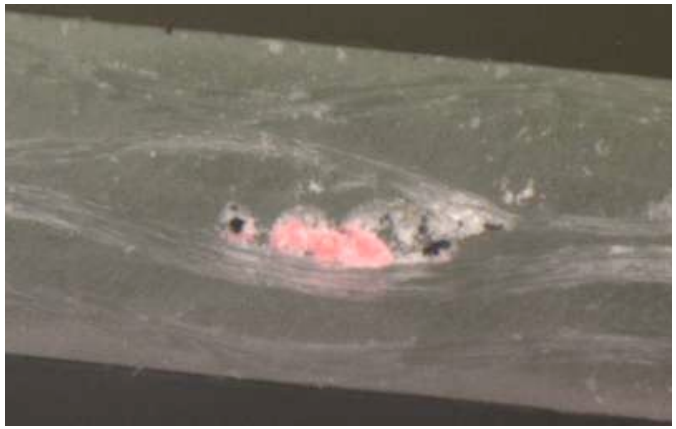
Carbon TGEM study

理研で開発しているTGEM(Carbon)

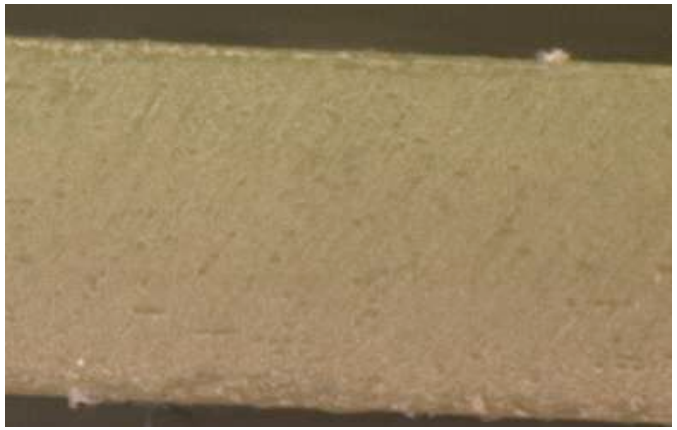
Electrode	Insulator	Thickness[μm]	Hole-diameter[μm]	Max gain	
C	FR4	400	300	over 2×10^4	x4
C	FR4/UV	400	300	–	x7
C	G10	400	300	～10^3	x4
C	Glass paper	400	300	over 2×10^4	x8

インシュレーターの違い

FR4



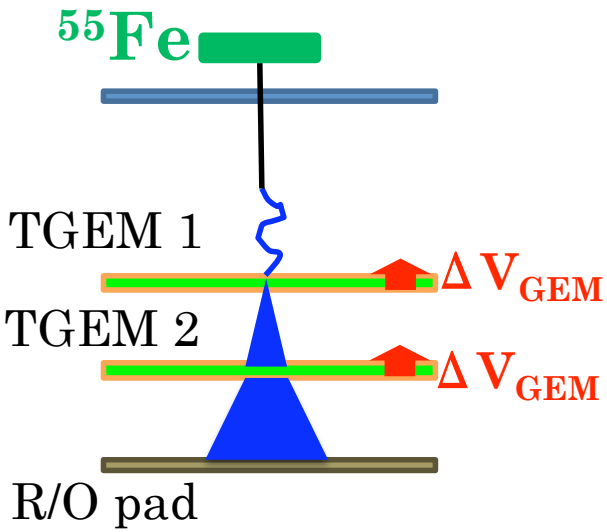
Glass paper

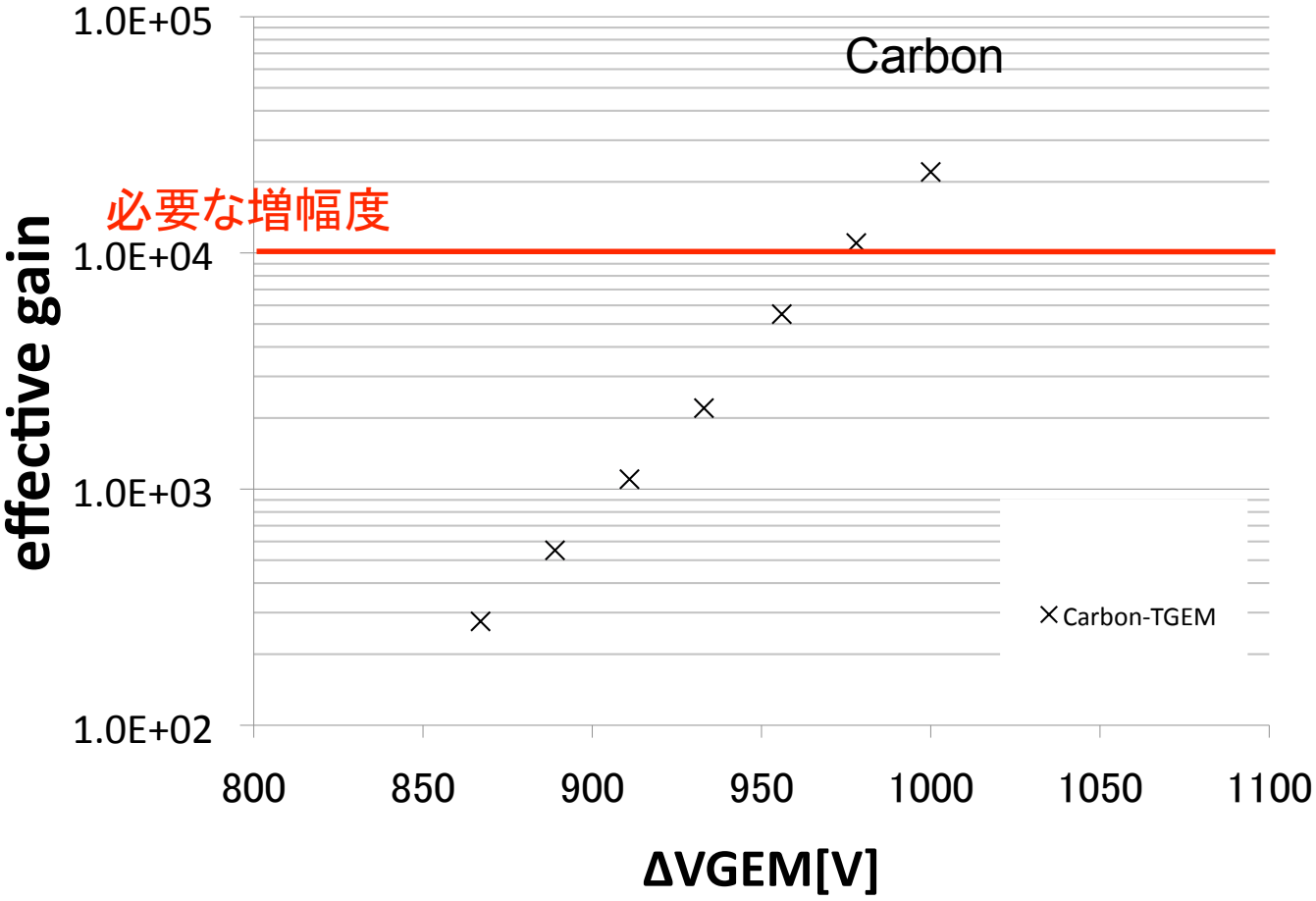


Glass paperの場合：孔内に付着したCarbonを
ポリミドエッチング(レイテック(株))によって除去できる

Carbon TGEM gain

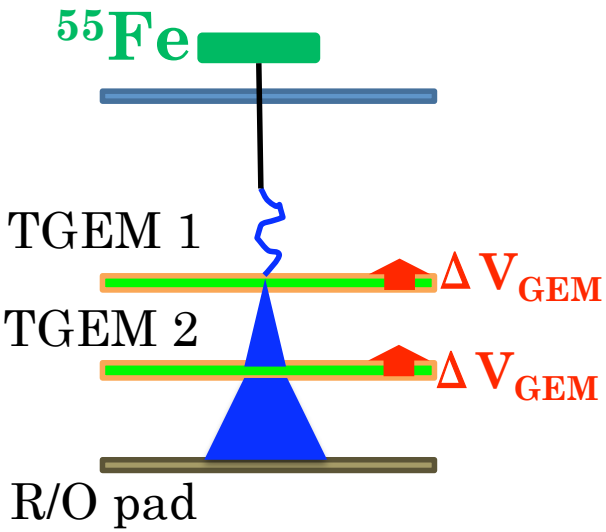
Glass paperインシュレーターでポリミドエッチングした
Carbon TGEMは必要な増幅度を達成

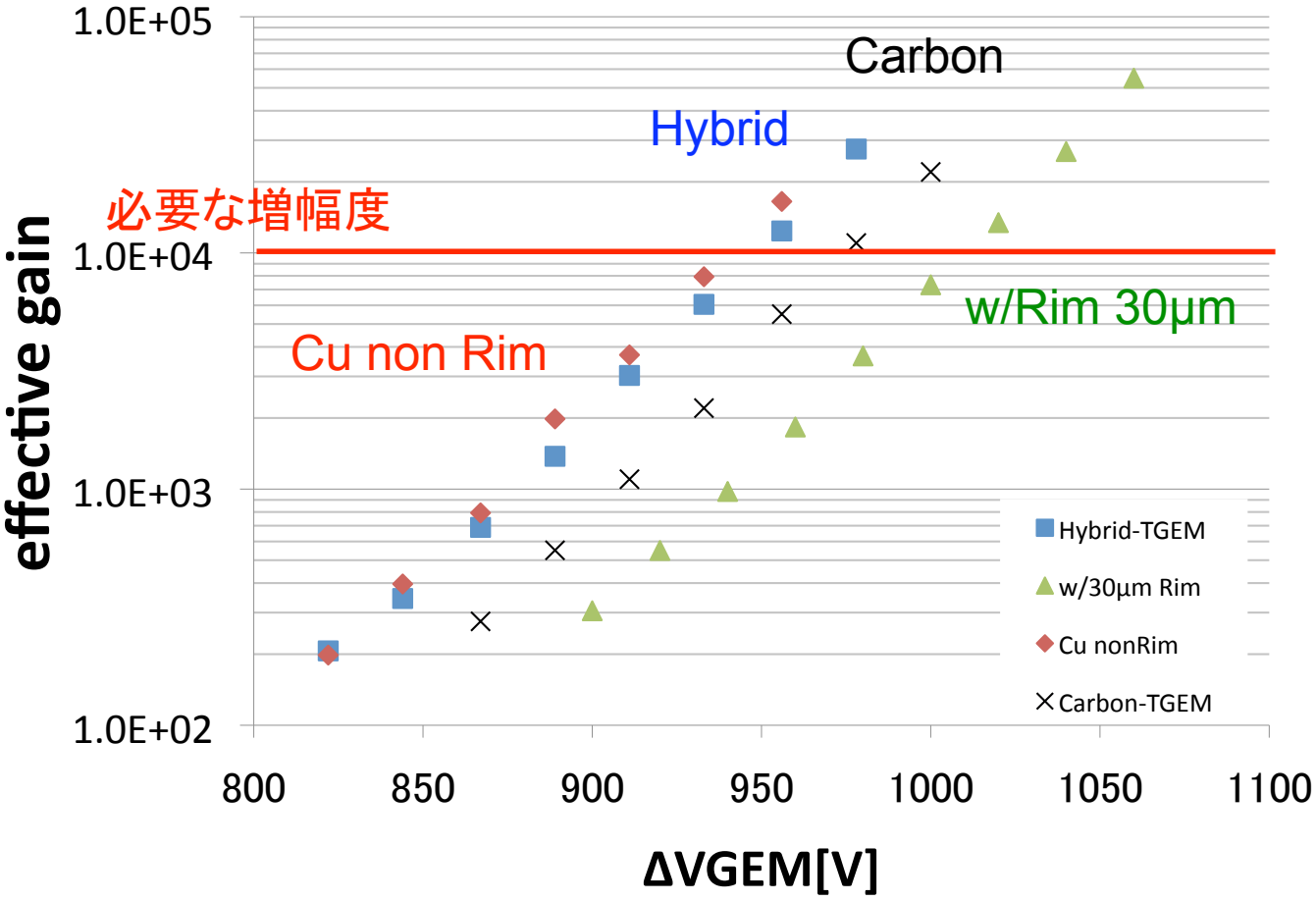




Carbon TGEM gain

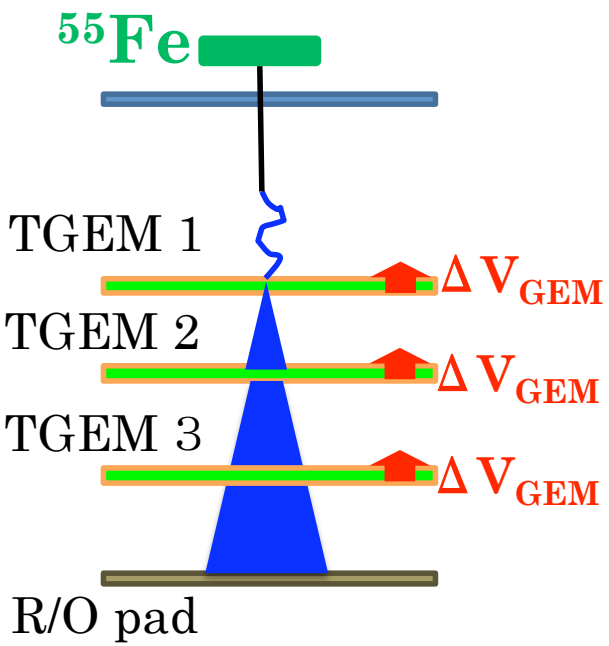
他のTGEMと比較するとこのようになる

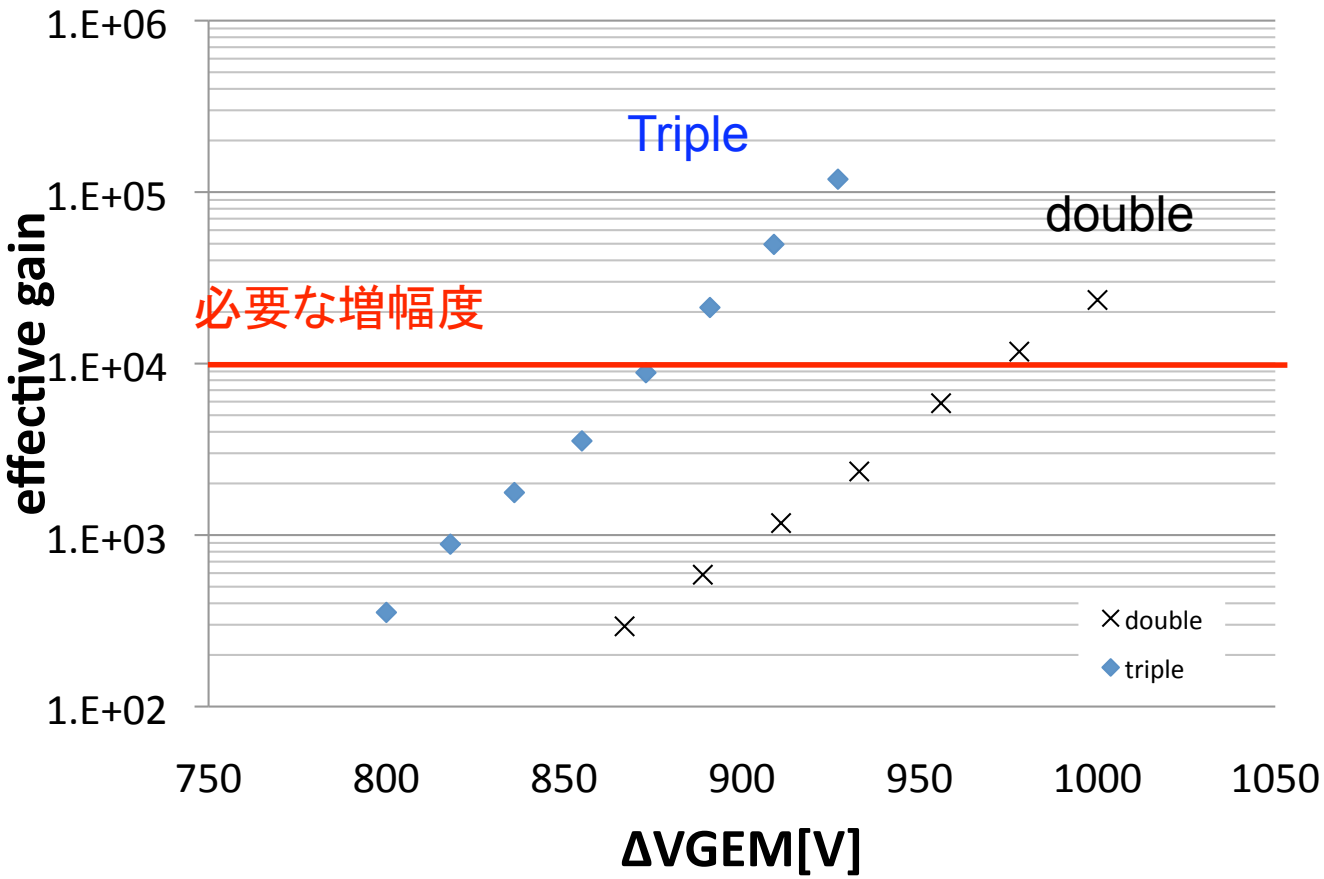




Triple Carbon TGEM

本TPCではTGEMの物質量は関係ない。
余裕を持ったオペレーションのために、TGEMを3枚での増幅度を調べた。





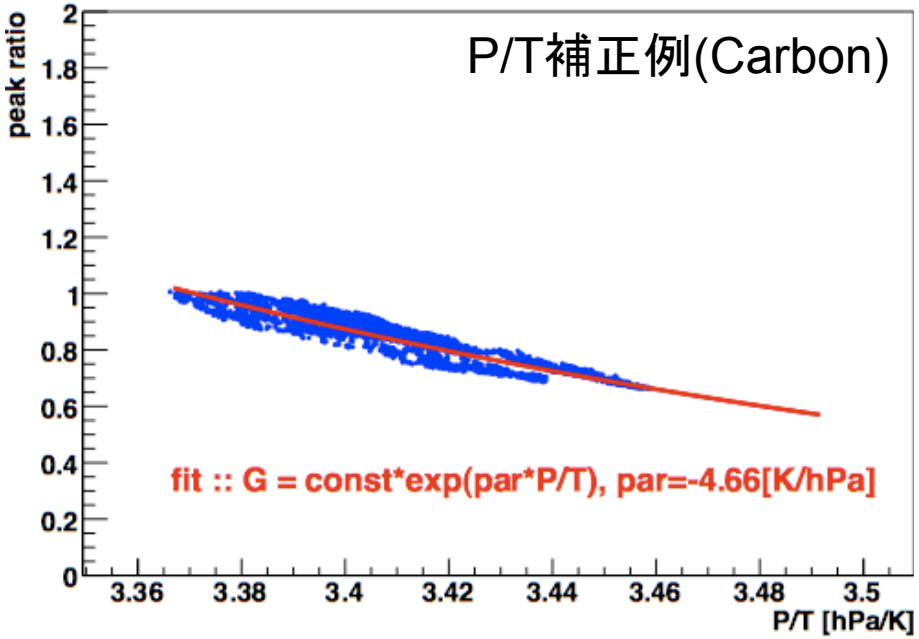
低いΔVGEMでより高い増幅度を得られることを確認

Carbon TGEM まとめ

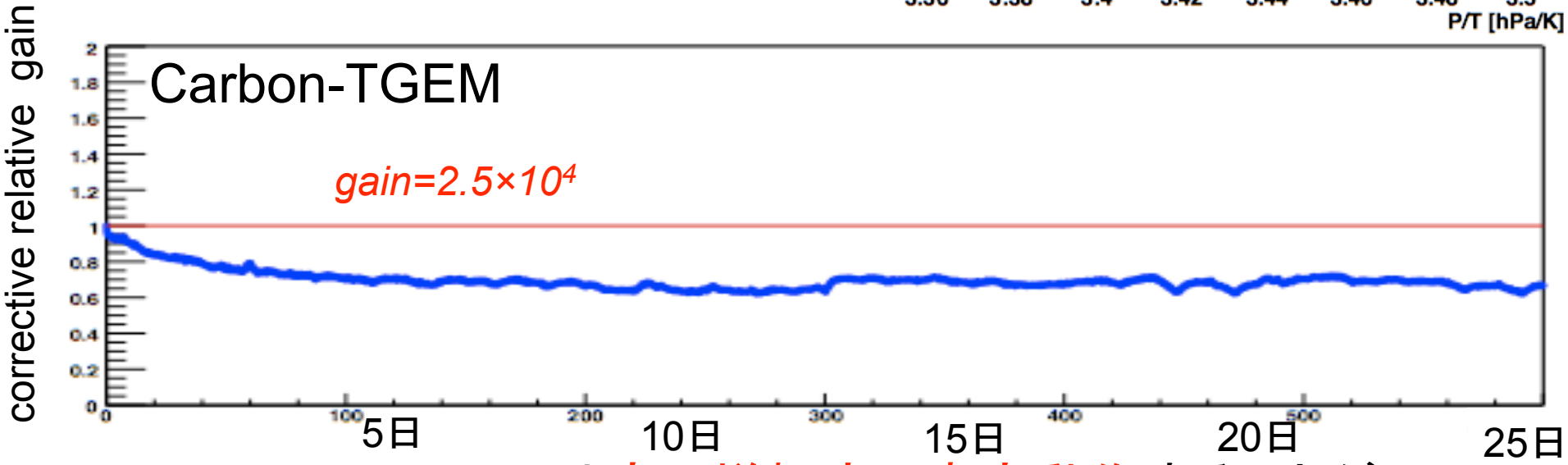
- 高抵抗なCarbonを極板に用いることで放電防止する。
- Carbon TGEMは必要な増幅度~10^4以上で動作
- Glass paperインシュレーター＋ポリミドエッチング(レイテック(株))により、再現性のある作製が可能になった。
- Triple TGEMで動作を確認。最大増幅度は10^5に達する。

長時間における増幅度の安定性(P/T補正)

ADCを用いて長時間測定
測定したTGEMの種類
- Carbon-TGEM　25日間
- Cu-TGEM (30μm Rim)　9日間
- Hybrid-TGEM　25日間

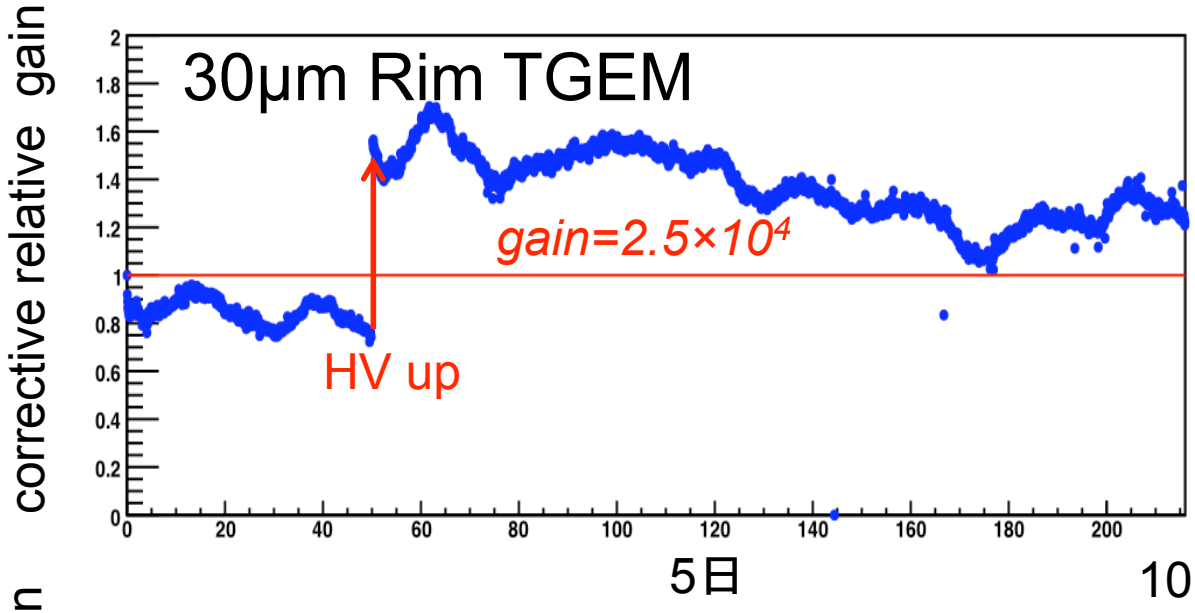


P/T補正を右図のように行った

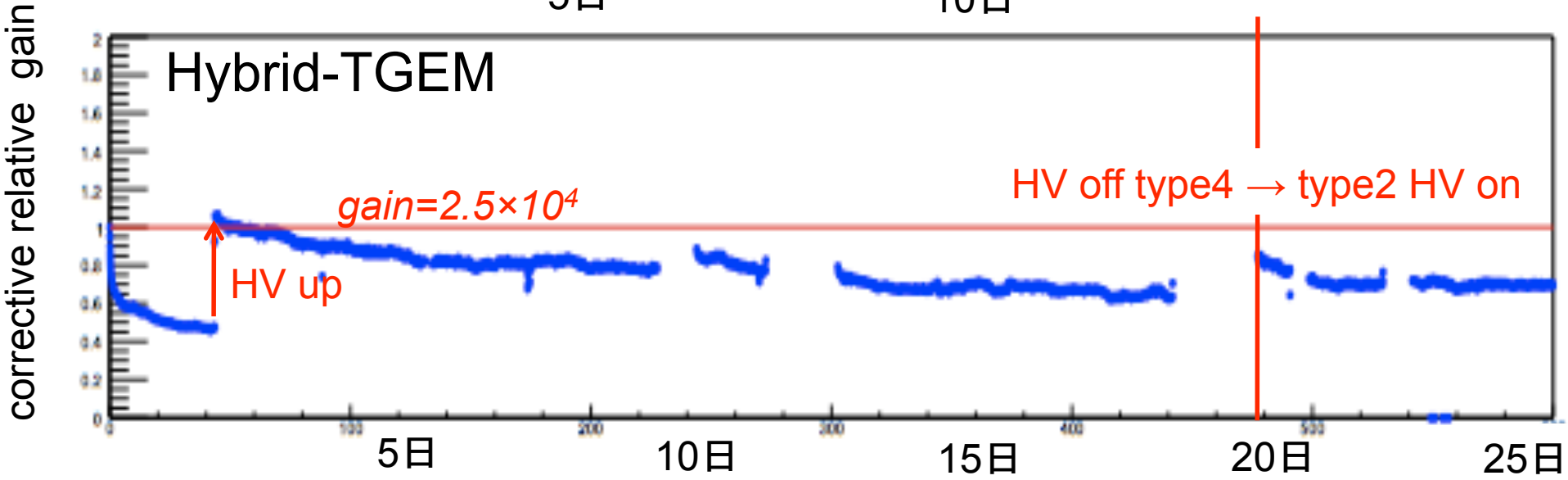


Carbon-TGEMでは高い増幅度で安定動作することが確認出来た(20%以内/週間、5%以内/日の安定性)

長時間における増幅度の安定性(P/T補正)



P時間依存性
Rimによって生じるチャージアップ
不安定動作か？



Hybrid-TGEMも高い増幅度で安定動作することが確認出来た（20%以内/週間、5%以内/日の安定性）

長時間における増幅度の安定性のまとめ

- ADCを用いて長時間測定
- 測定したTGEM
  - Carbon-TGEM　　25日間
  - Cu-TGEM (30μm Rim)　9日間
  - Hybrid-TGEM　　25日間
- 共通してHV印可後に増幅度の低下が見られる
- Carbon、Hybridは安定して動作した
- Cu w/Rim 30μmは増幅度が不安定
  - Rimによるチャージアップ？

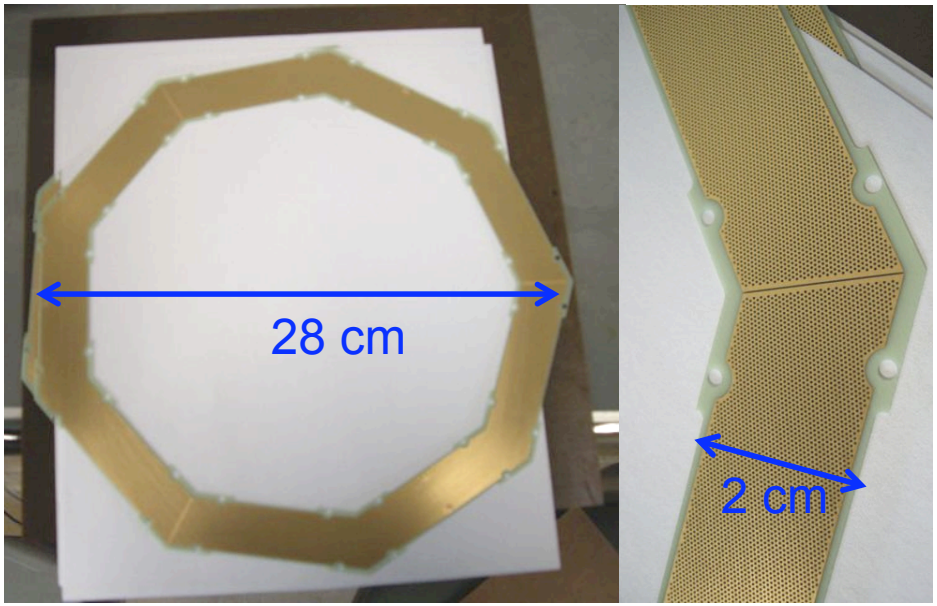
９角形TGEMの現状

９角形TGEM

TPC用のTGEMは9角形

片面の極板を3分割する
(TGEMの電気容量を抑えるため)

TGEMのほとんどが有感領域



作成したTGEMの種類
- Cu-TGEM
- Cu-TGEM (30μm Rim)
- Hybrid-TGEM

９角形TGEM作製時点では、Carbonはうまくいってなかった。

９角形TGEMの現状

- Cu-TGEMはgain ～10^3で動くが、増幅度が足りない
- Cu-TGEM(30μm Rim)はRimがうまく出来ず、シグナルが見えるより低いΔVGEMでスパークする
- Hybrid-TGEMは孔内にCarbonが付着しているためか、シグナルが見えるより低いΔVGEMでスパークする
- TGEMの面積が大きくなることによって、10cm × 10cmのTGEMで解決した問題が再び問題として上がってきた。

これから

- Carbonを用いて９角形TGEMを作製する
- TGEMを３枚にしてオペレーションを行う。

まとめ

- J-PARC E15実験のためにTGEM-TPCを開発中
- Carbon,Hybrid,Cu w/RIm30μmは必要な増幅度を達成
- Carbon TGEM
  - Glass paperインシュレーター＋ポリミドエッチング(レイテック(株))により再現性の課題をクリア
  - 10cm x 10cmでは我々の要求を満たしている。
- 長期安定性
  - Carbon、HybridはOK
  - Rimがあるとgainの安定性が悪い
- TPC用 ９角形TGEM
  - Rim作製がうまくいかなかった。
  - Hybrid TGEMは微妙かも
  - TGEMは大きくなると難しい

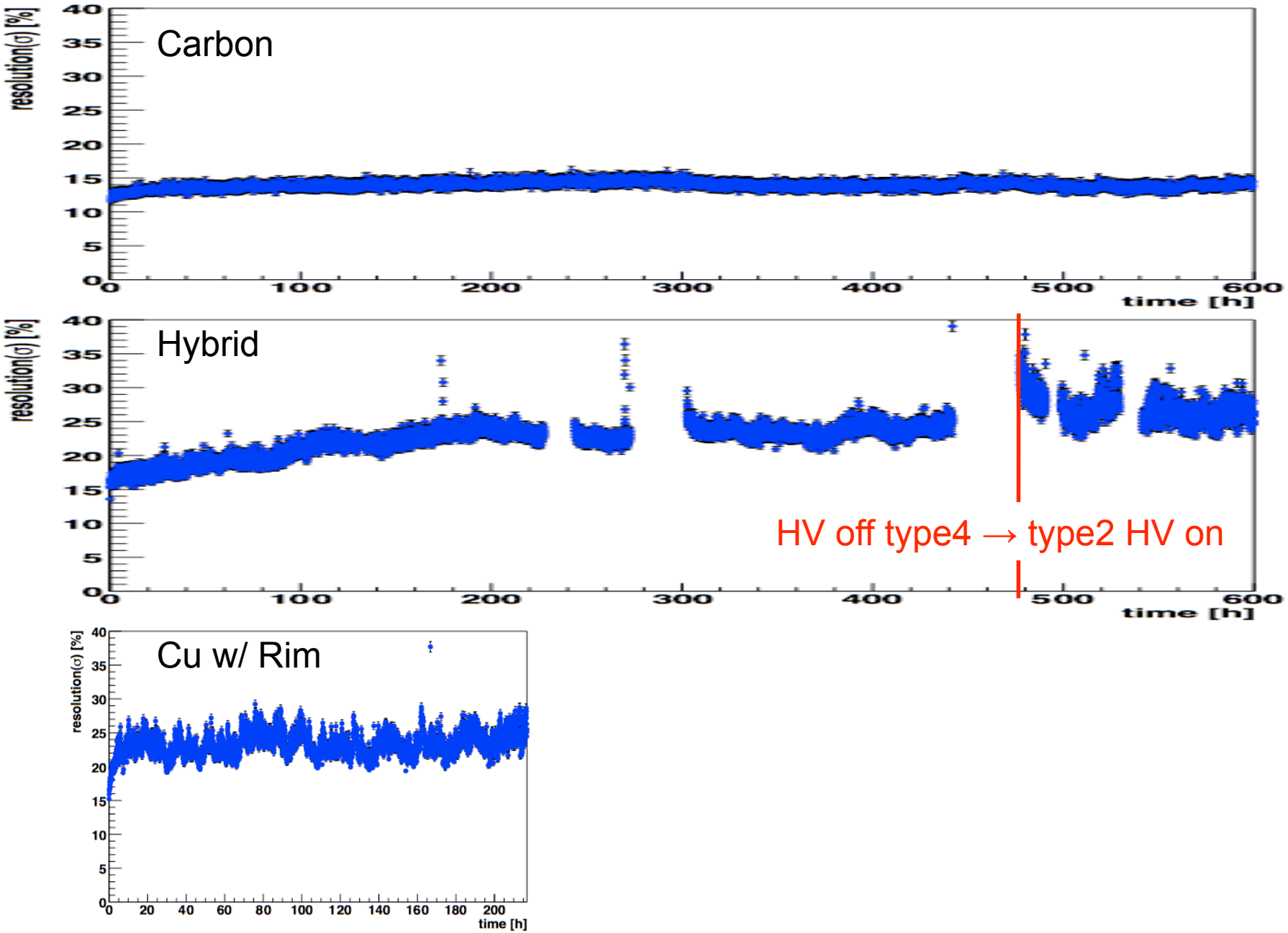
これから

- Triple TGEMでの安定性？
- 次は９角形TGEMでチャレンジ

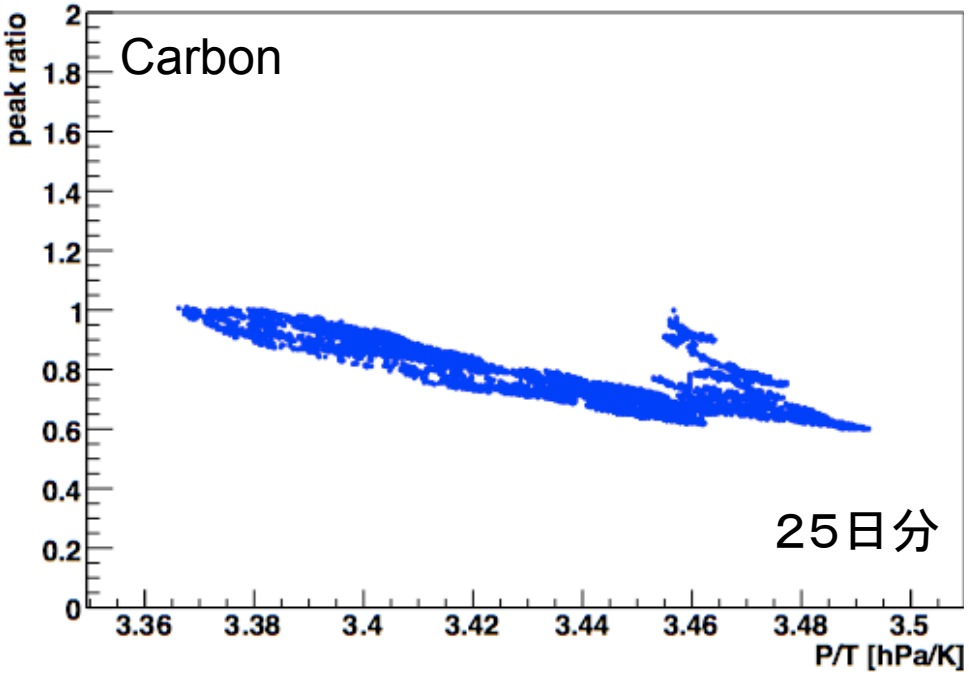
ありがとうございました。

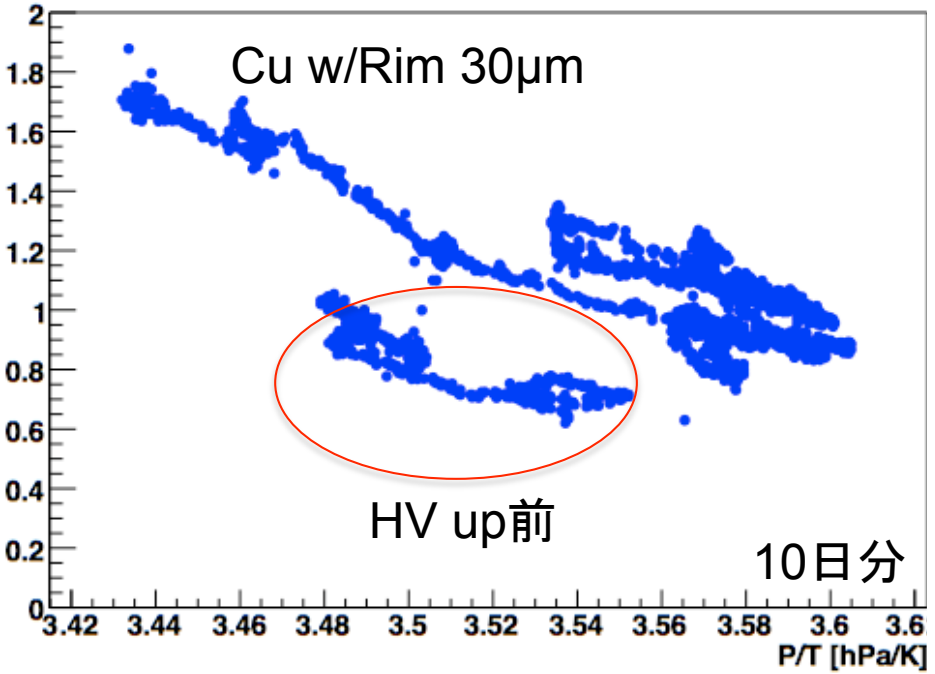
Back up

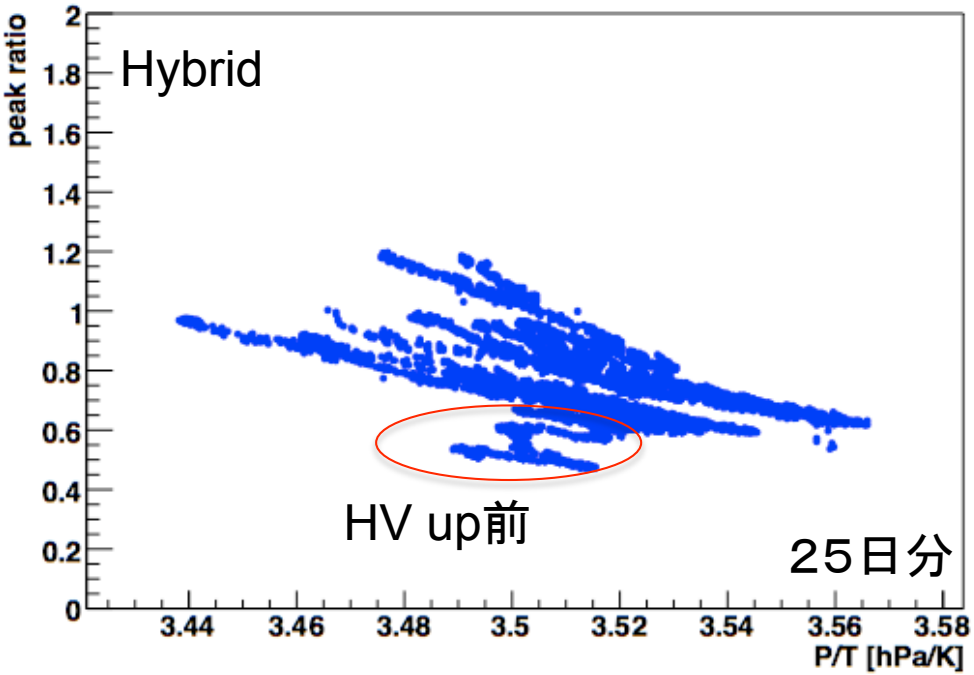
長時間におけるエネルギー分解能



relative gain V.S. PT



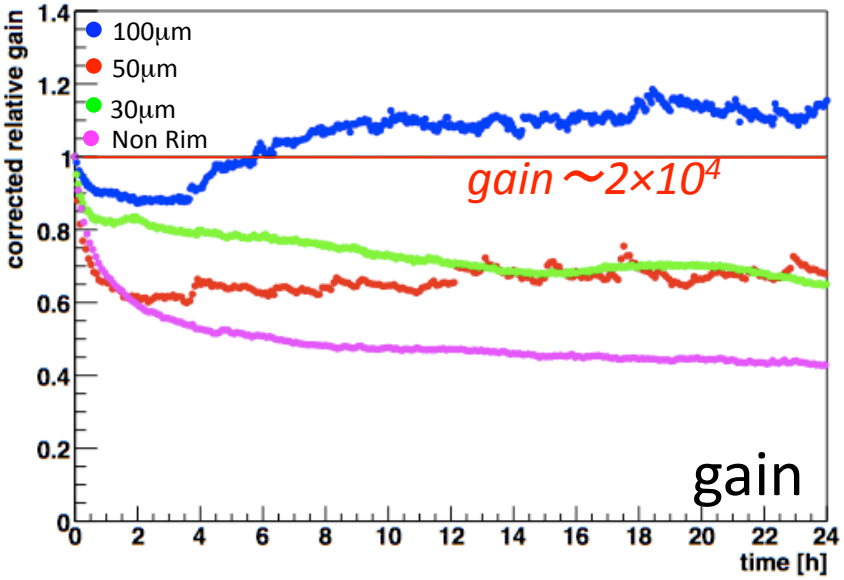


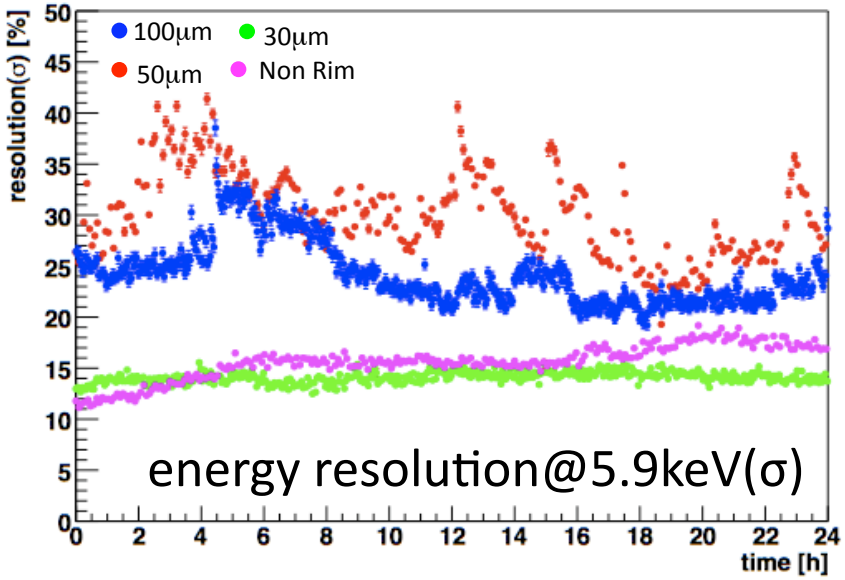


gainとresolutionの時間依存性(24h)

E_{drift}=150mV				
ΔV_{GEM}	:	E_{trans}	:	E_{induct}
1	:	2.5	:	7.5

Rimが小さいと時間が経過するとともにgainが減少して行く





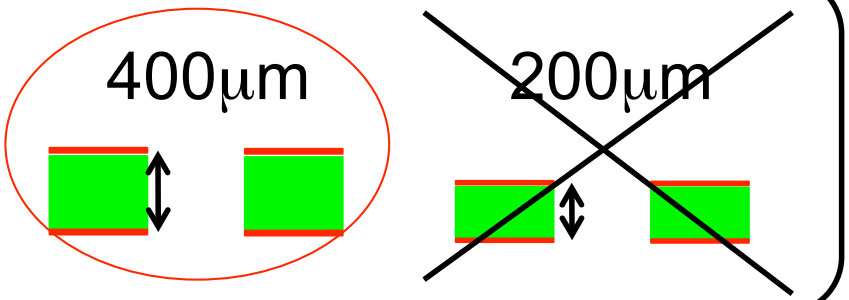
Rimが大きい(● 、●)と動作が不安定

Rimが小さい(● 、●)と動作が安定

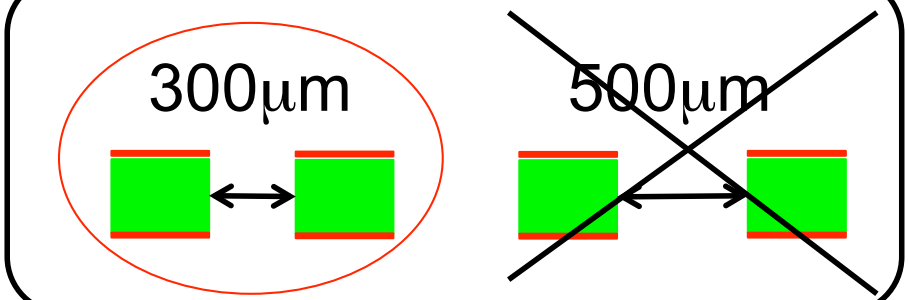
前回のおさらい

TGEMの構造

厚さ

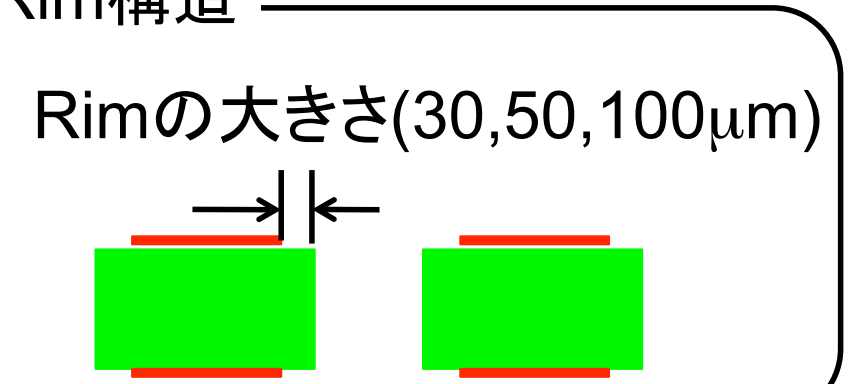


孔径

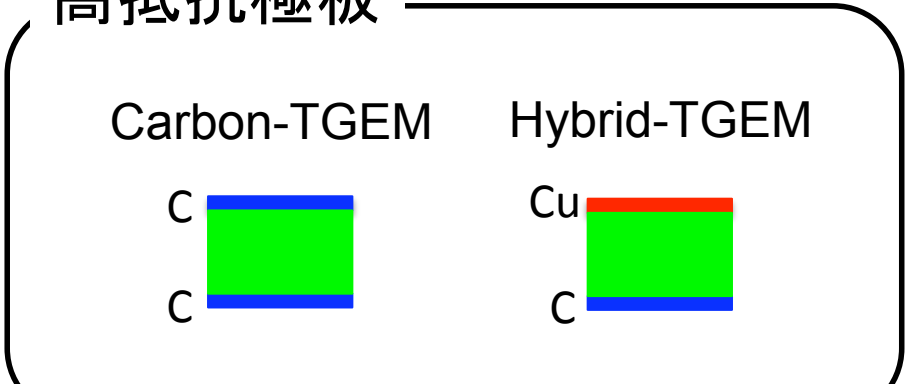


放電防止の加工

Rim構造



高抵抗極板

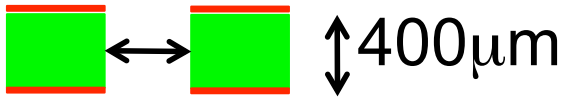


Carbon TGEM study

TGEMの構造

孔径、厚さ

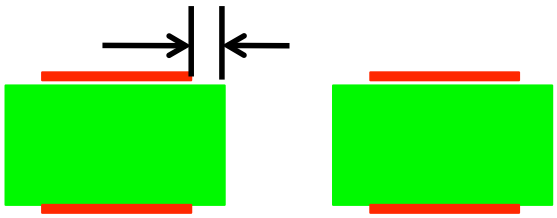
300μm



放電防止の加工

Rim構造

Rimなるべく小さく30μm



高抵抗極板

Carbon-TGEM

C

C

作製再現性がない

Hybrid-TGEM

Cu

C

作製再現性がある

再現性を得るためstudy

Rimについて

Rimの作り方は2通り

マスク方式→50μm, 100μm Rim

ドリル＋マスクエッチング

利点

Rimを大きくできる

欠点

Rimが均等に出来ずらい

TGEMの大きさに限界がある

エッチング方式→30 μm Rim

ドリル＋レジストエッチング

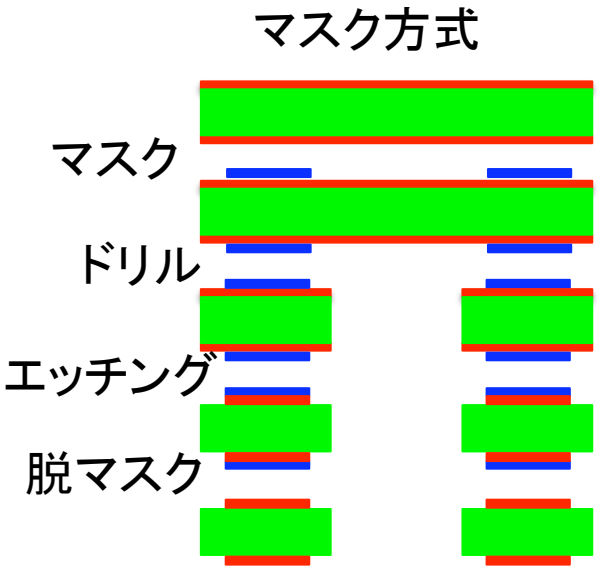
利点

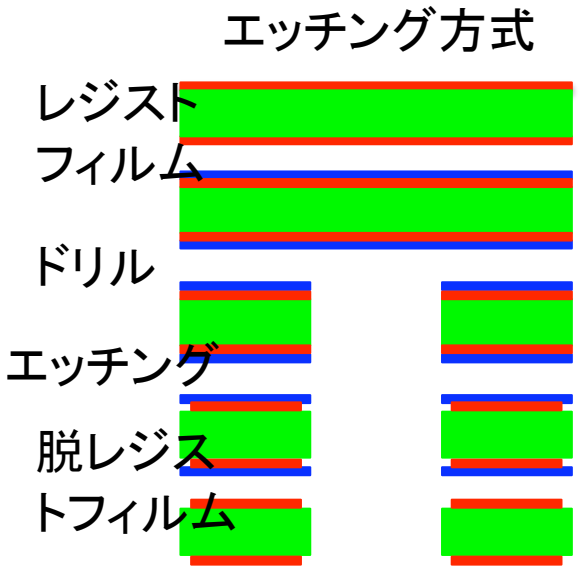
ドリル穴とRim穴の位置がずれない

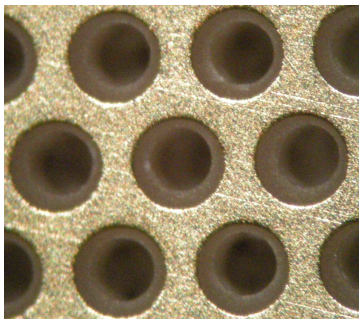
大きなTGEMでも作れる

欠点

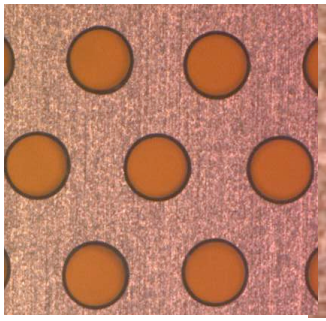
大きなRimを作ることが出来ない



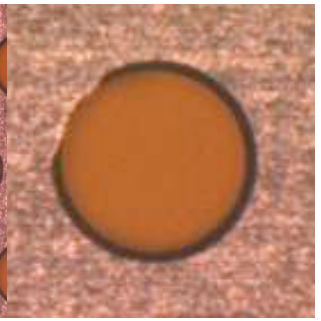




マスク方式



エッチング方式

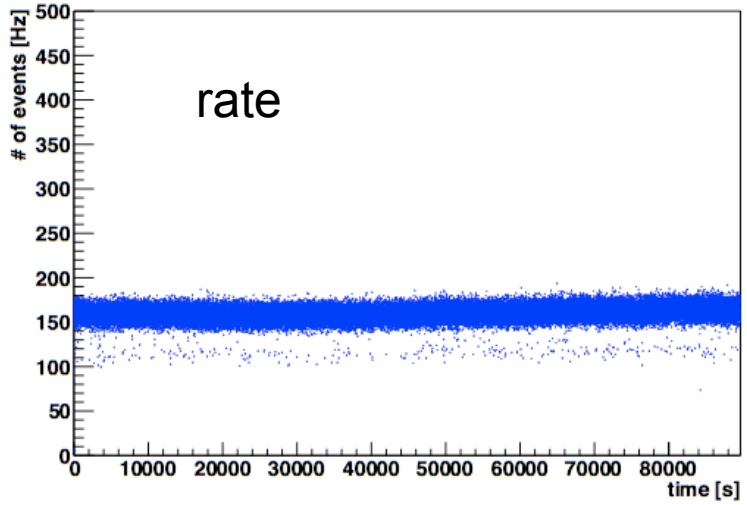


失敗例

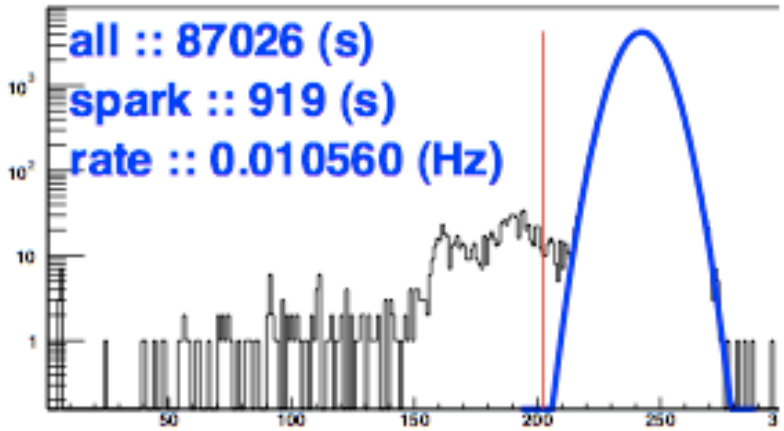
Rimが大きいと動作の不安定性が大きくなるため、
Rimをきれいに、なるべく小さくする

スパーク頻度の測定方法

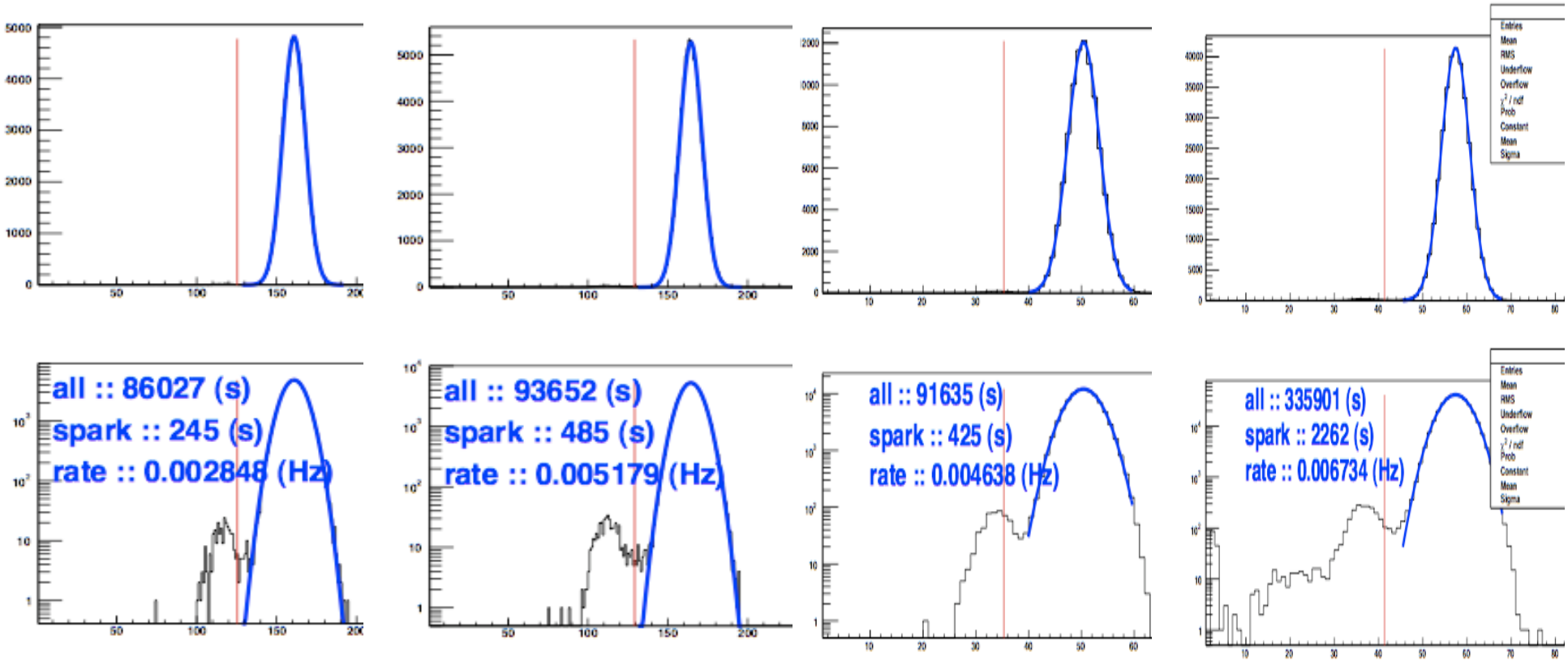
スパークすると一時的に電圧がさがるため、信号の検出頻度が減少する



そこで検出頻度をガウス関数でフィットし、信号頻度が5σ以下をスパークが起きていると判断した

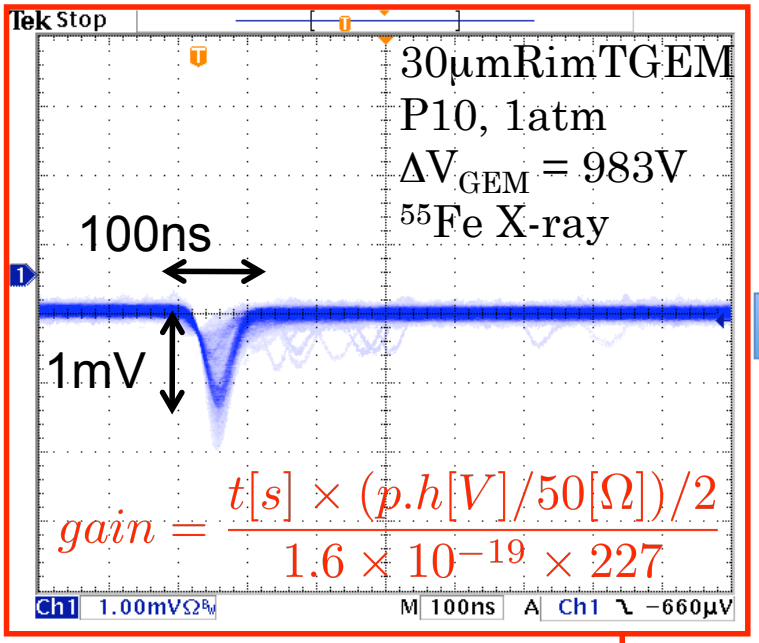


Spark rate Cu-electrode



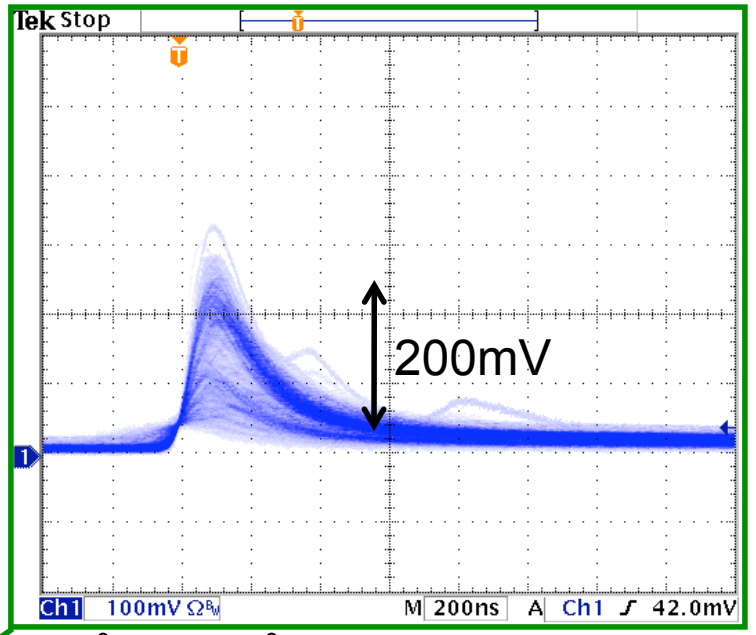
100μm	50μm	30μm	Non Rim
0.003Hz	0.005Hz	0.005Hz	0.007Hz

増幅度の計算方法



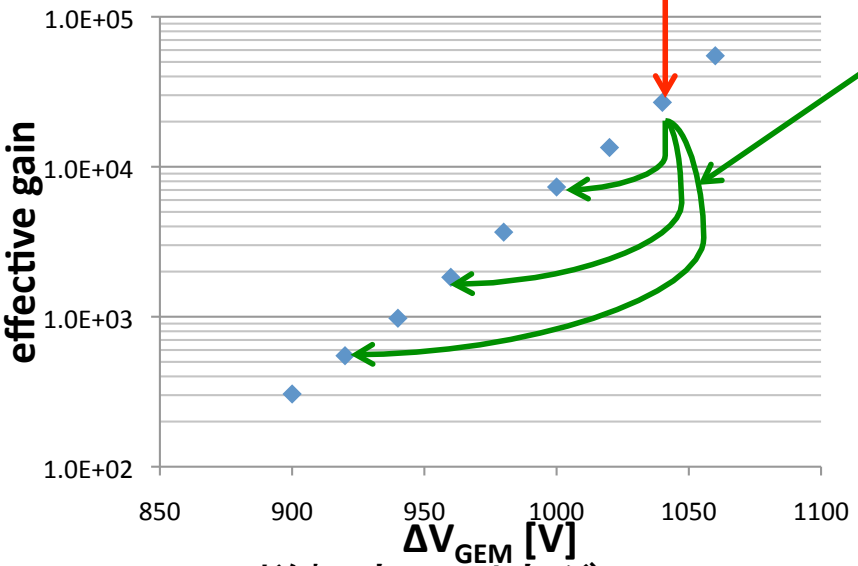
読み出しの出力信号

プリアンプ

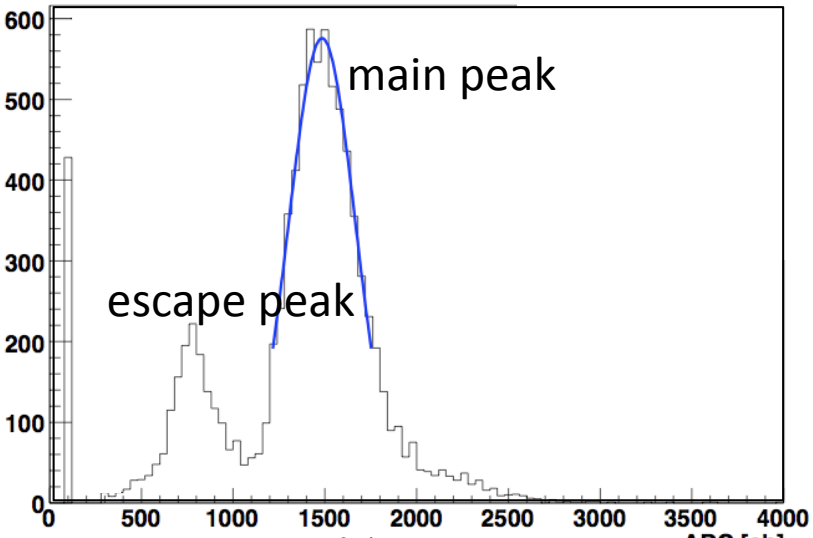


プリアンプ出力

ADC



増幅度の測定グラフ

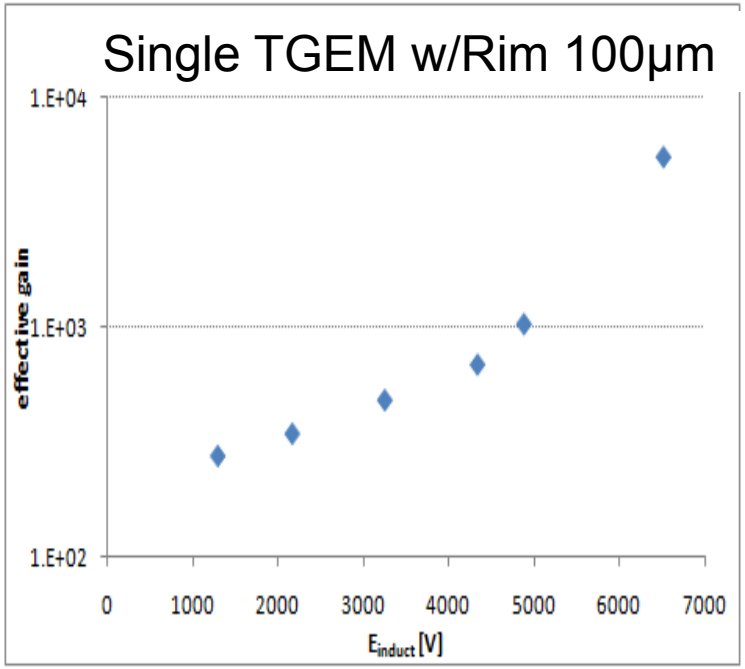


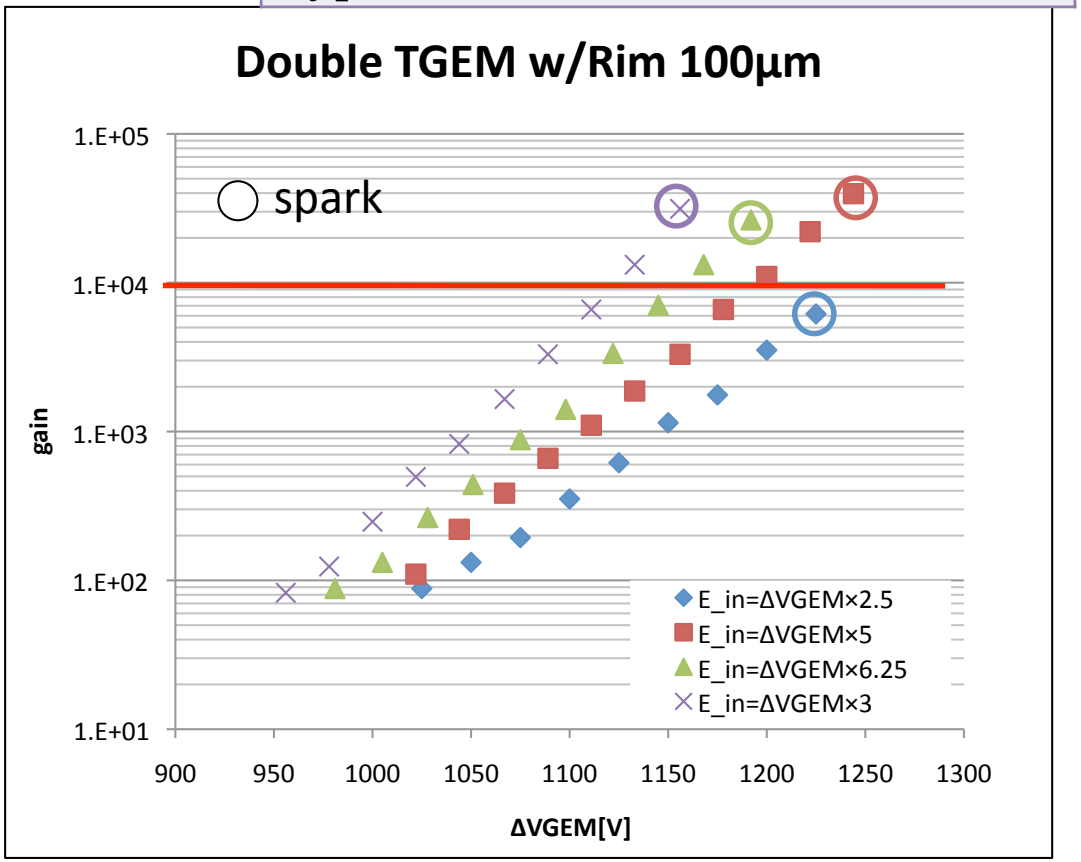
ADCスペクトラム

TGEM gain $E_{induction}$ dependence

HV dividerによってEinductionを変化させた。

E_{drift}=150mV					
	ΔV_{GEM}	:	E_{trans}	:	E_{induct}
type1	1	:	2.5	:	2.5
type2	1	:	2.5	:	5
type3	1	:	2.5	:	6.25
type4	1	:	2.5	:	7.5



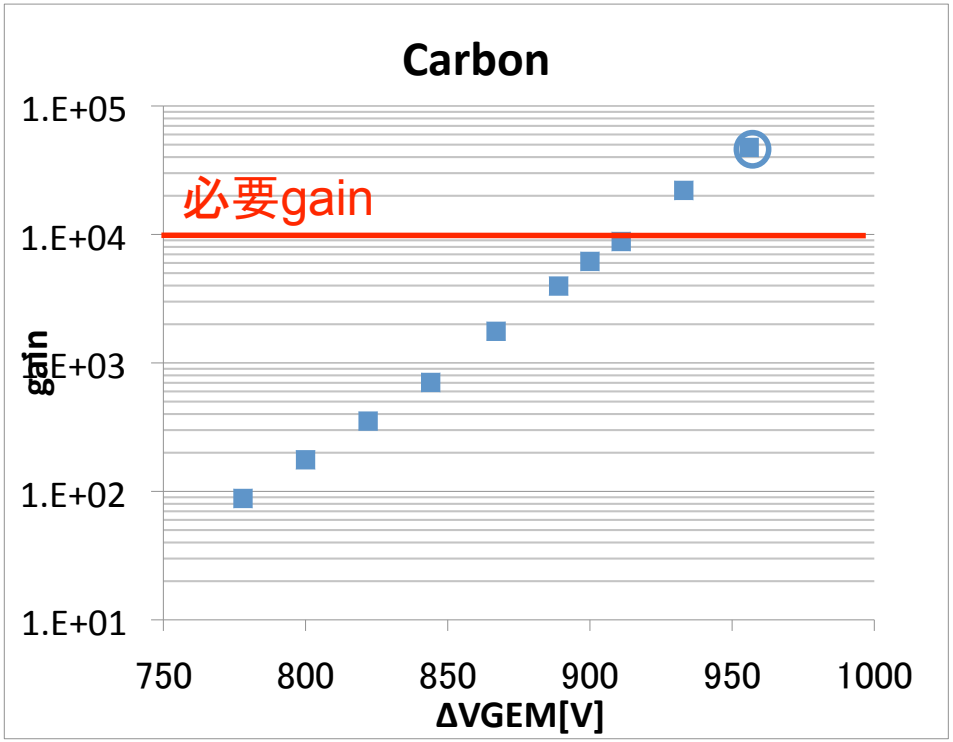


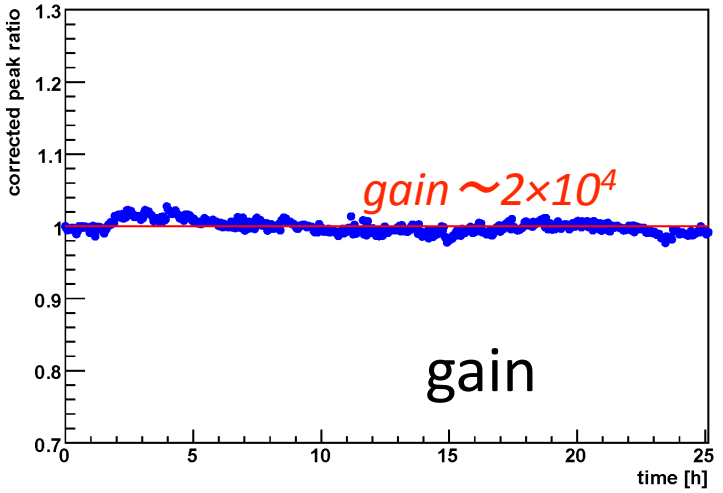
なるべく、安定なものを選ぶためΔVGEMの低いところで、
高いgainの得られるHV divider type4を選択する

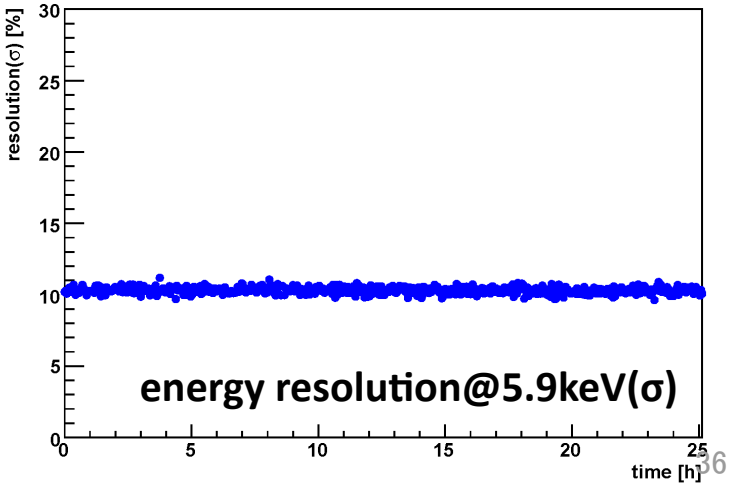
gain及び時間依存性(24h)

E_{drift}=150mV				
ΔV_{GEM}	:	E_{trans}	:	E_{induct}
1	:	2.5	:	7.5

第１回試作



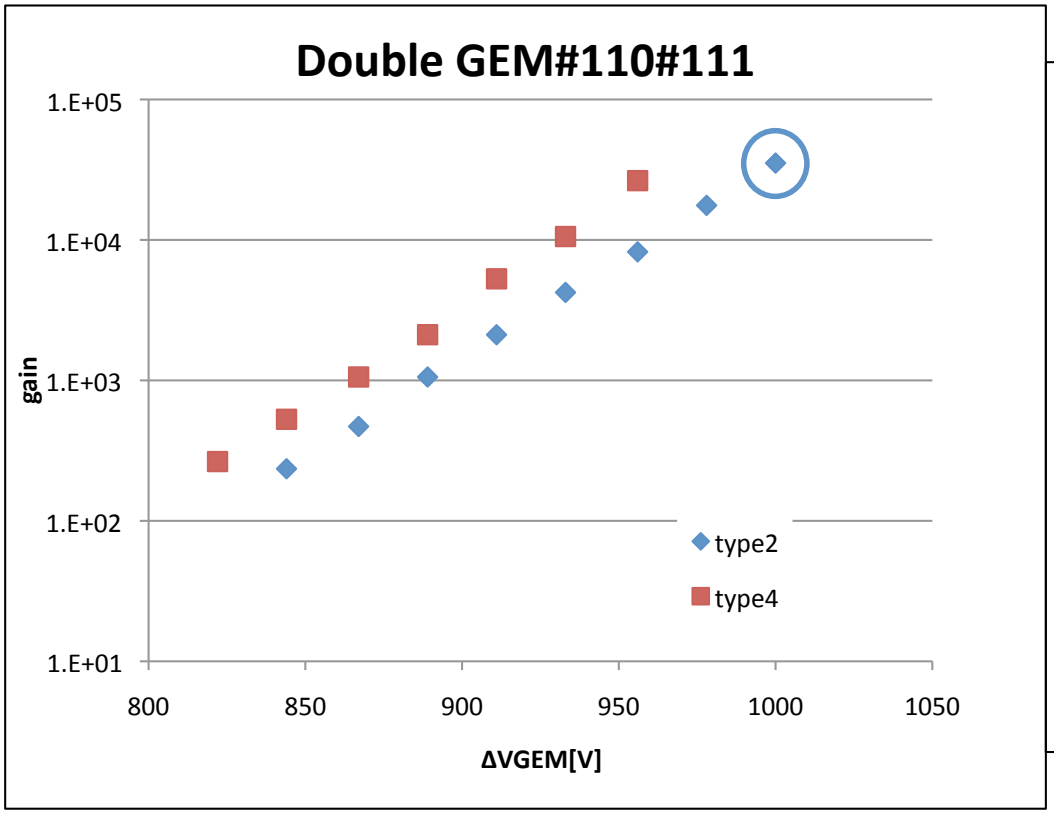


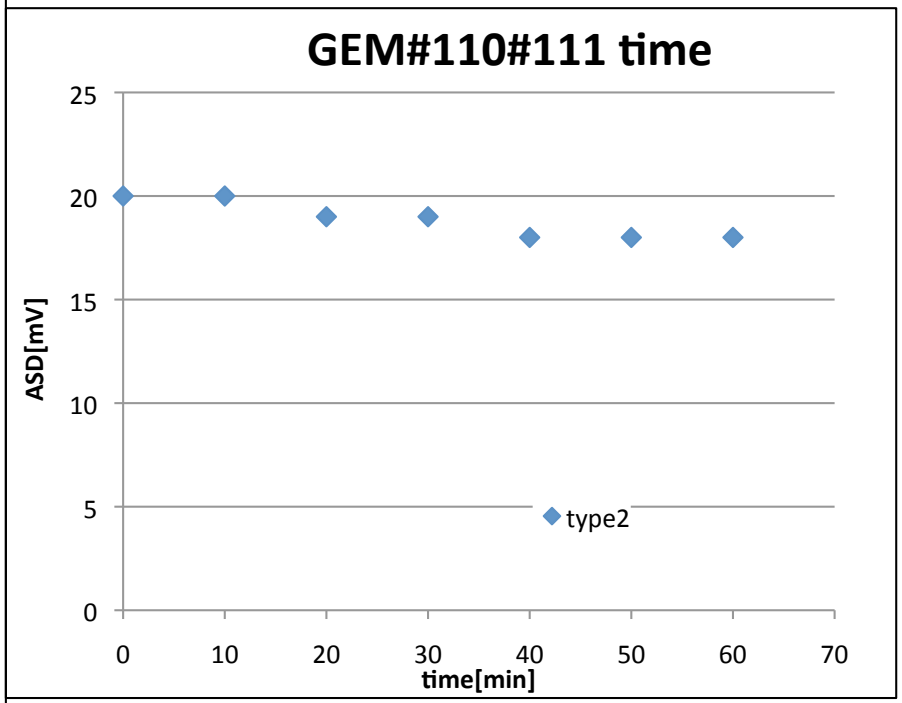


非常に良く動いていた

CEM3

E_{drift}=150mV					
	ΔV_{GEM}	:	E_{trans}	:	E_{induct}
type2	1	:	2.5	:	5
type4	1	:	2.5	:	7.5





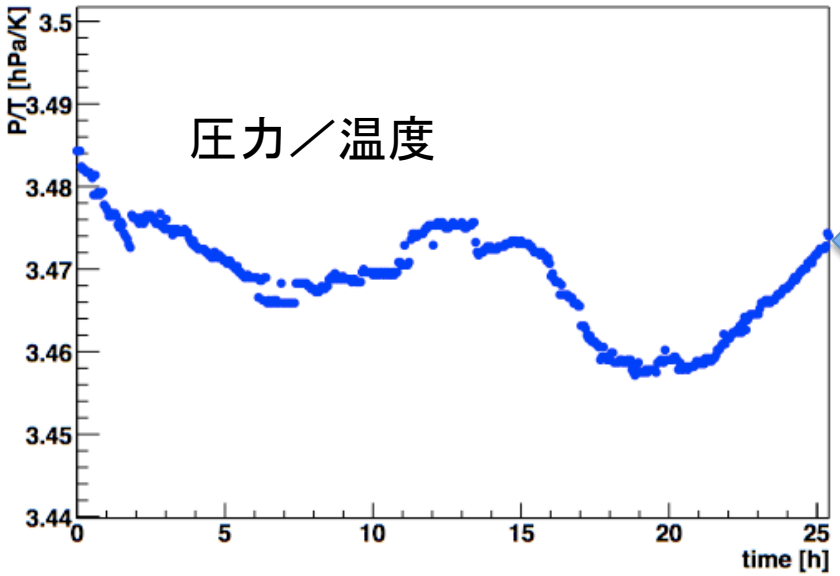
C-electrode TGEMの改善策

使えない(すぐに放電する)Carbon TGEMをどうにかするために、下記のようなさまざまな試みを行った(試した歴史順)

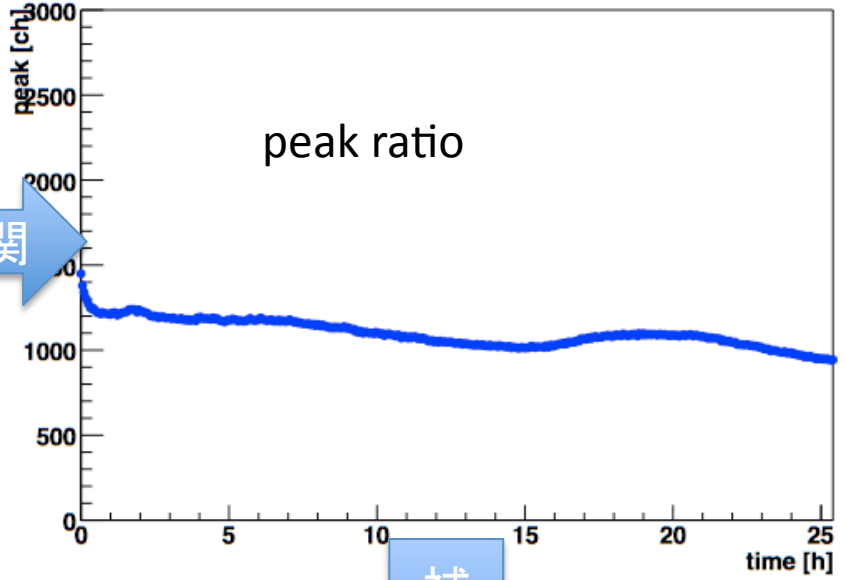
- アルコールで洗浄→×
  - ・全く改善せず
- プラズマエッチング→△
  - ・元々バリのない物は改善の兆しがあったが、完璧な改善はない
  - ・Carbonのバリは取れない
- レジストフィルムや静電気防止ブラシによるバリの除去→△
  - ・バリは取れる、しかし、これだけでは電圧がかかるようにはならず
- スチーム洗浄→×
  - ・全く改善せず
- レイテック(株)の魔法の水でエッチング→？
  - ・基盤材料によって、効いたり効かなかったり
  - ・エッチング時間によって、効いたり効かなかったり
  - ・有望だが、さらなるstudyが必要
- 基板材料を変える(FR4/UV→CEM3)→？
  - ・魔法の水でエッチングした物しか試してないが、gainは十分である。
  - ・有望だが、さらなるstudyが必要

これらを組み合わせてどうにかCarbon TGEMを動くようにしたい

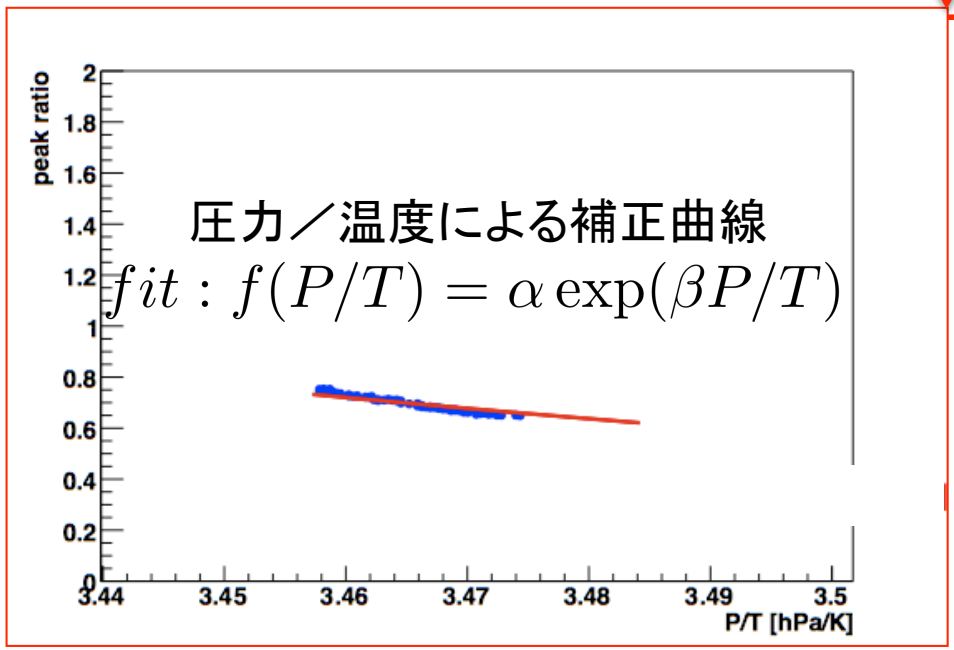
gainのP/T補正

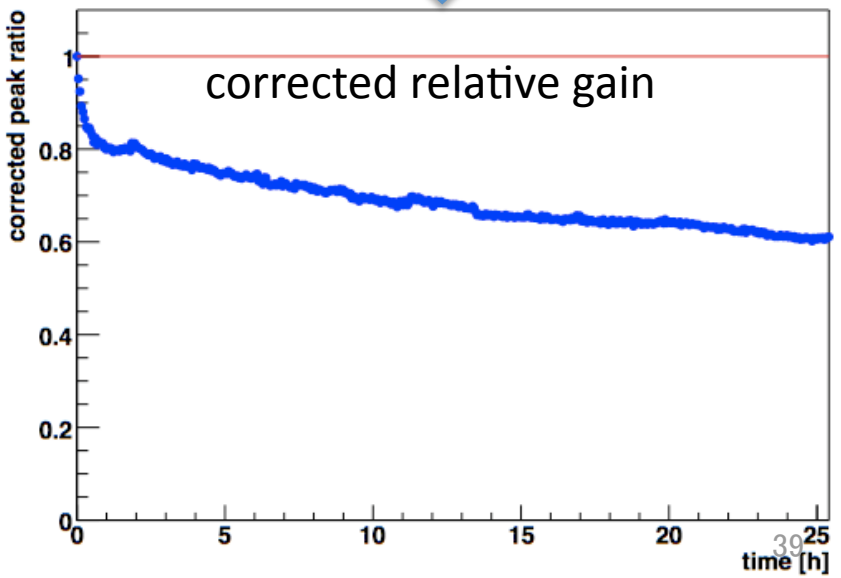


相関



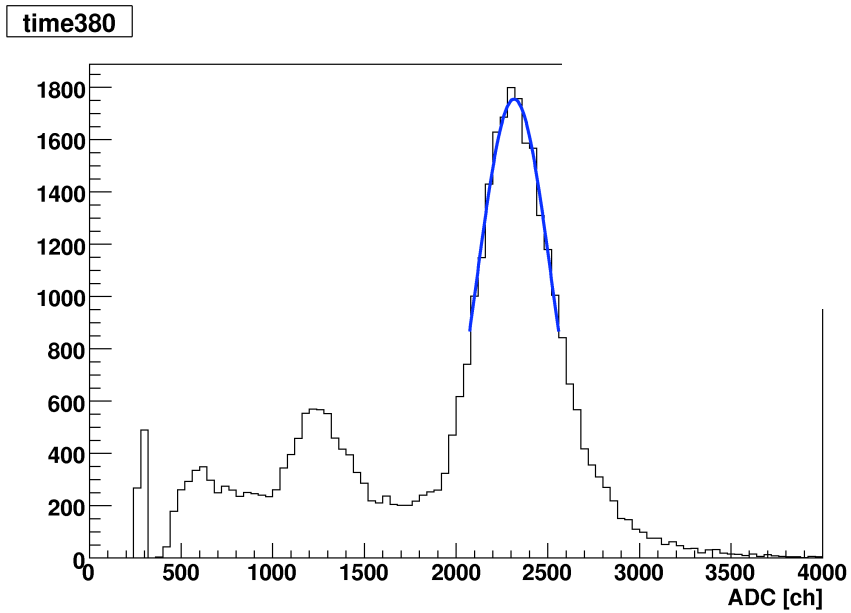
補正

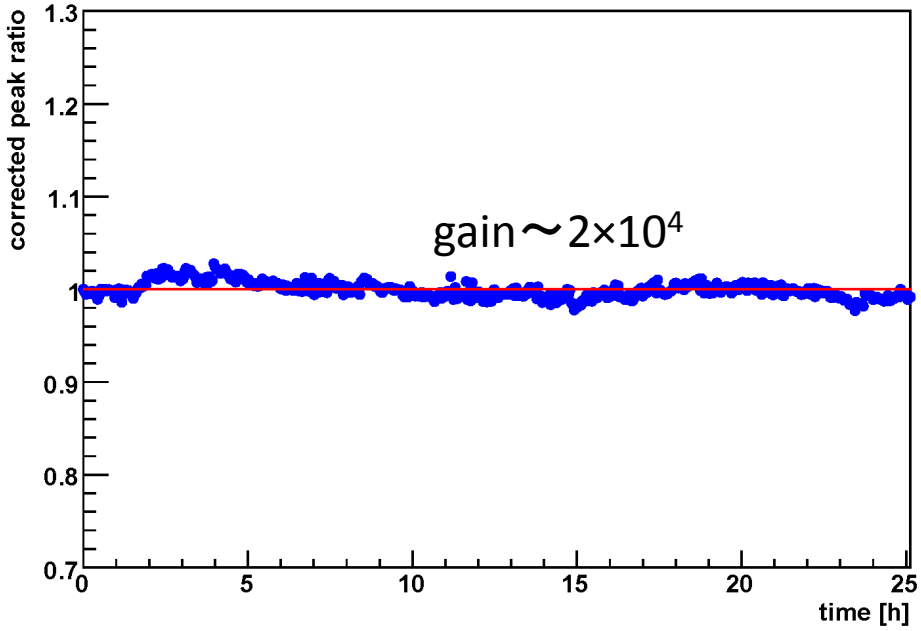


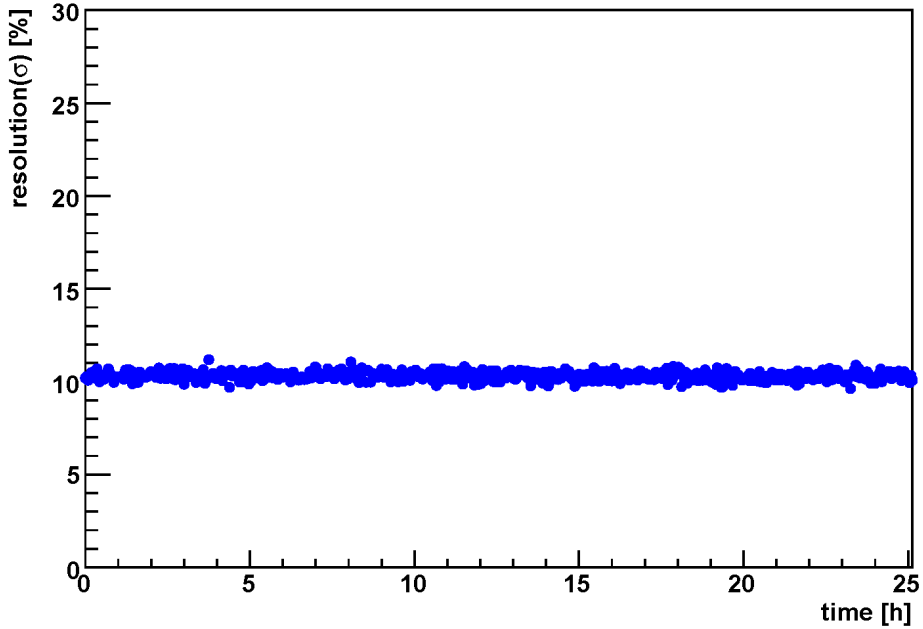


RETGEM (Carbon) stability

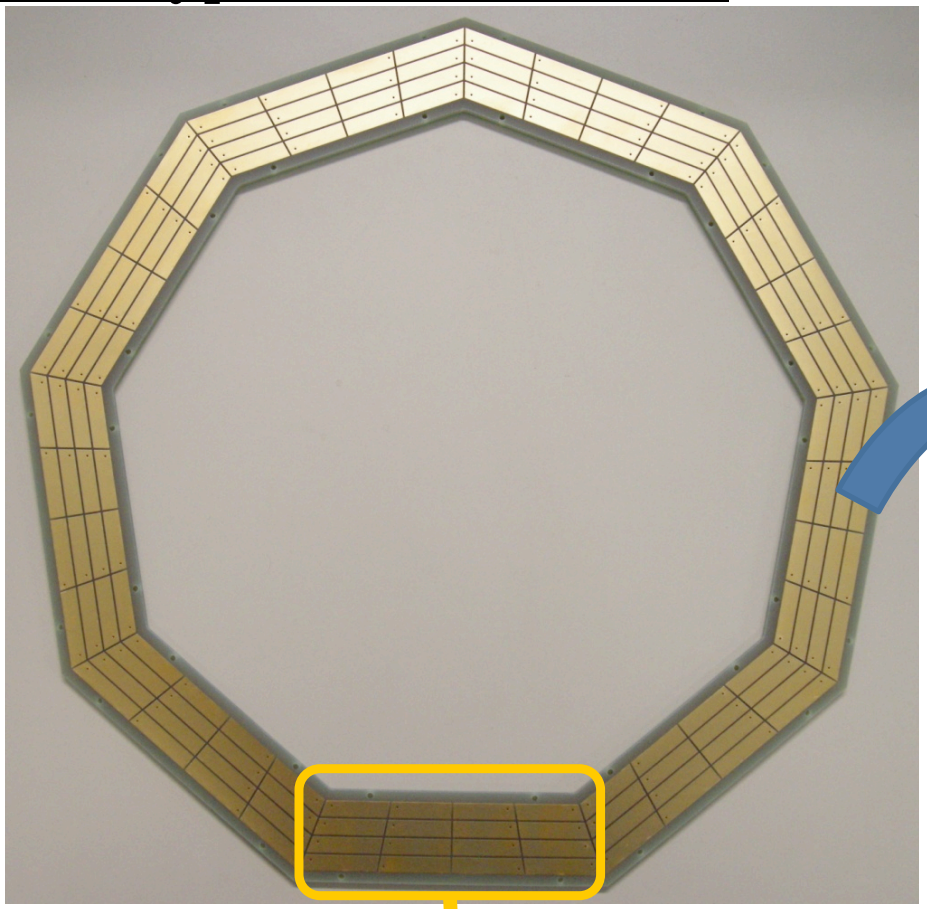
E_{drift}=150mV					
	ΔV_{GEM}	:	E_{trans}	:	E_{induct}
type4	1	:	2.5	:	7.5

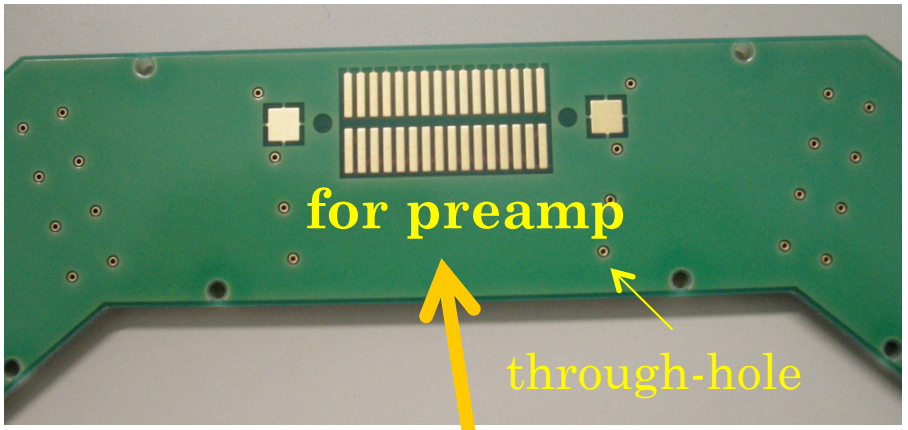


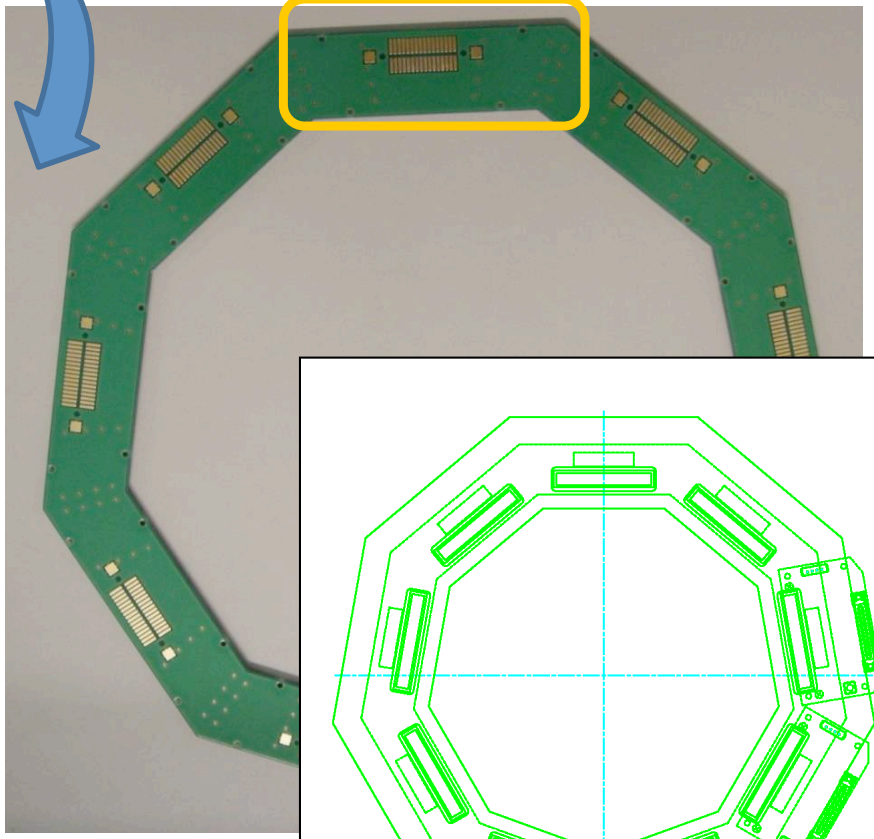


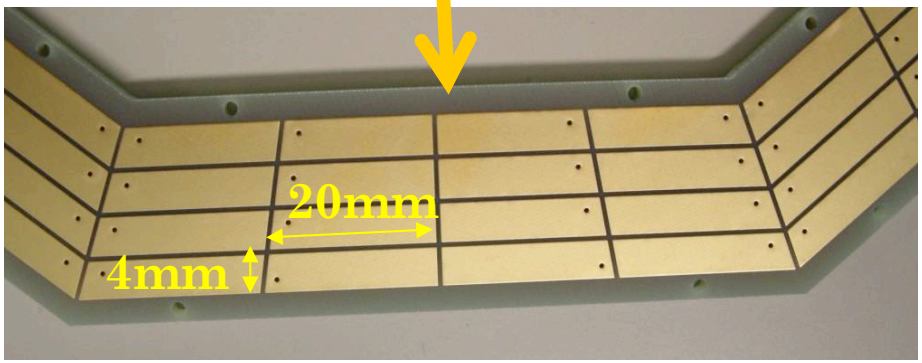


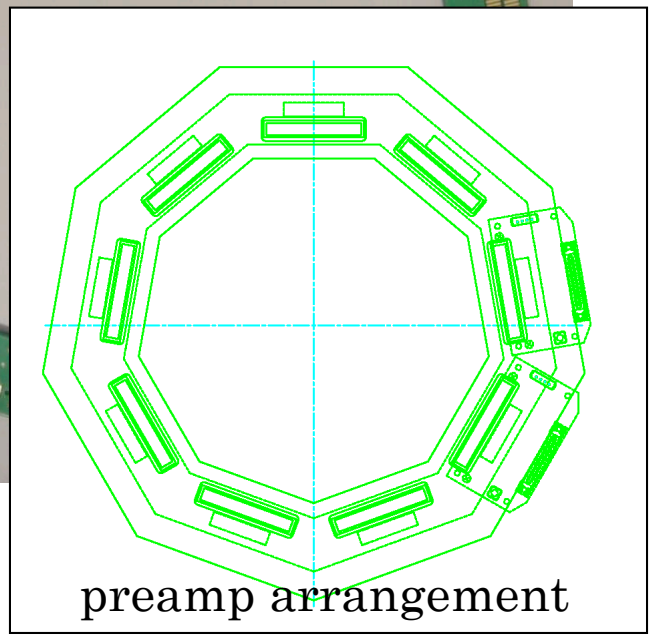
Prototype of Readout-Pad



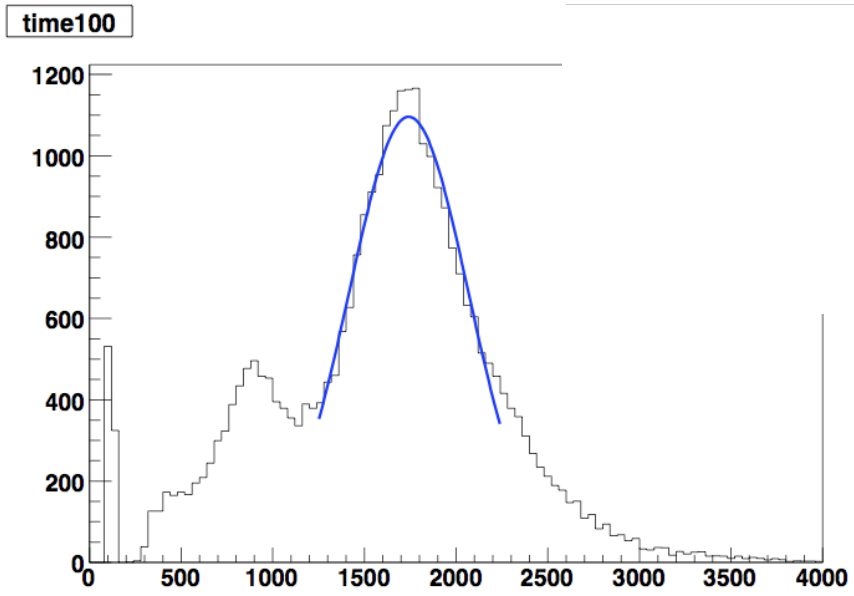
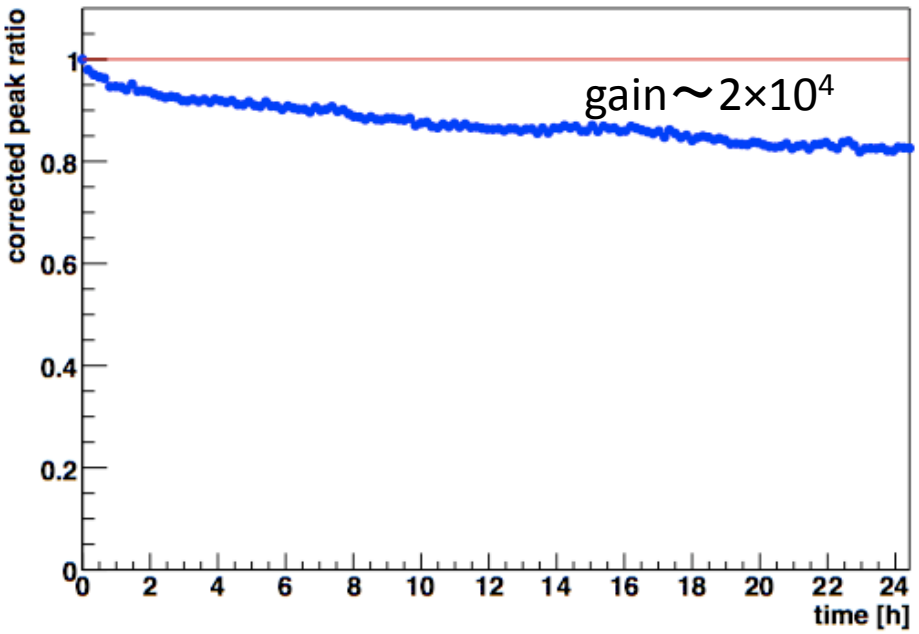
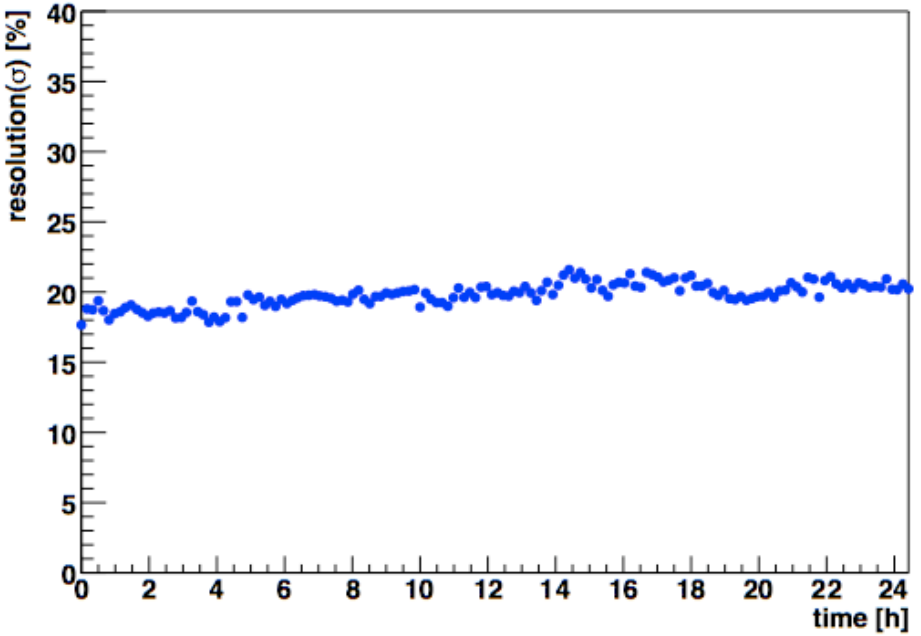








***ASD-chip*を用いて、時間情報のみを取り出す**

Hybrid TGEM

E_{drift}=150mV					
	ΔV_{GEM}	:	E_{trans}	:	E_{induct}
type4	1	:	2.5	:	7.5