

J-PARC E15実験におけるTPCの ためのTGEM開発2009

徳田真(東工大)

佐久間史典(理研)

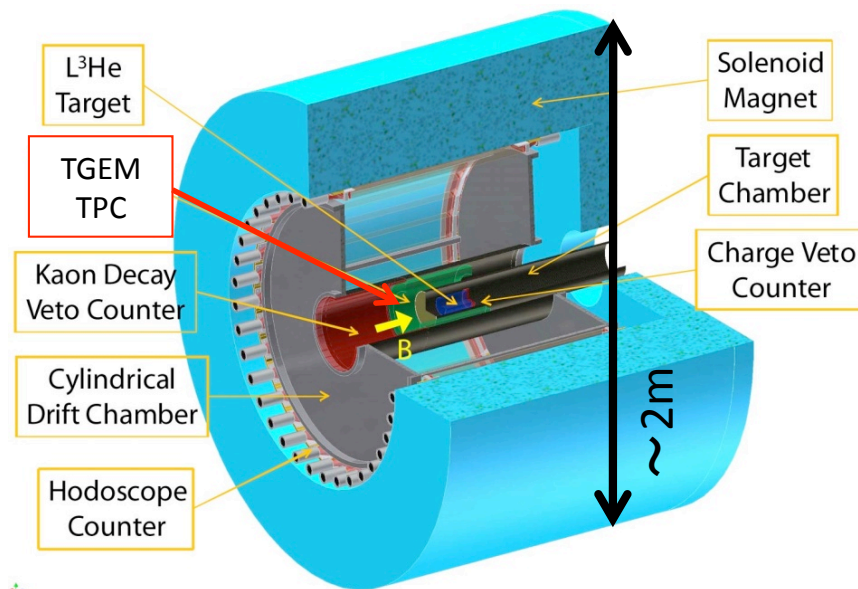
岩崎雅彦(理研)

内容と結論

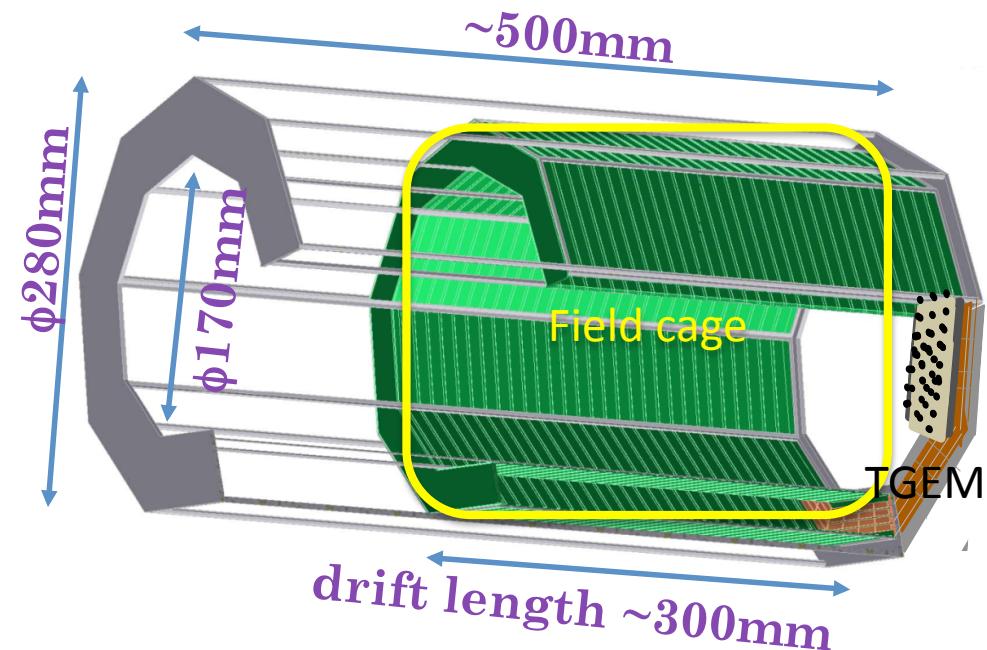
- J-PARC E15実験のためのTGEM-TPCの紹介
- TGEMについて(gain $\sim 10^4$ で安定動作を目標に開発中)
- Cu-electrode TGEMは実用レベルで動く
- C-electrode TGEMが最終目標。しかし、まだ遠い・・・
- C/Cu-electrodeのHybrid-TGEMはCとCuの良いところ取り

J-PARC E15実験のためのTGEM-TPCの紹介

- E15実験はK中間子原子核(K-p_p)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-p_p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

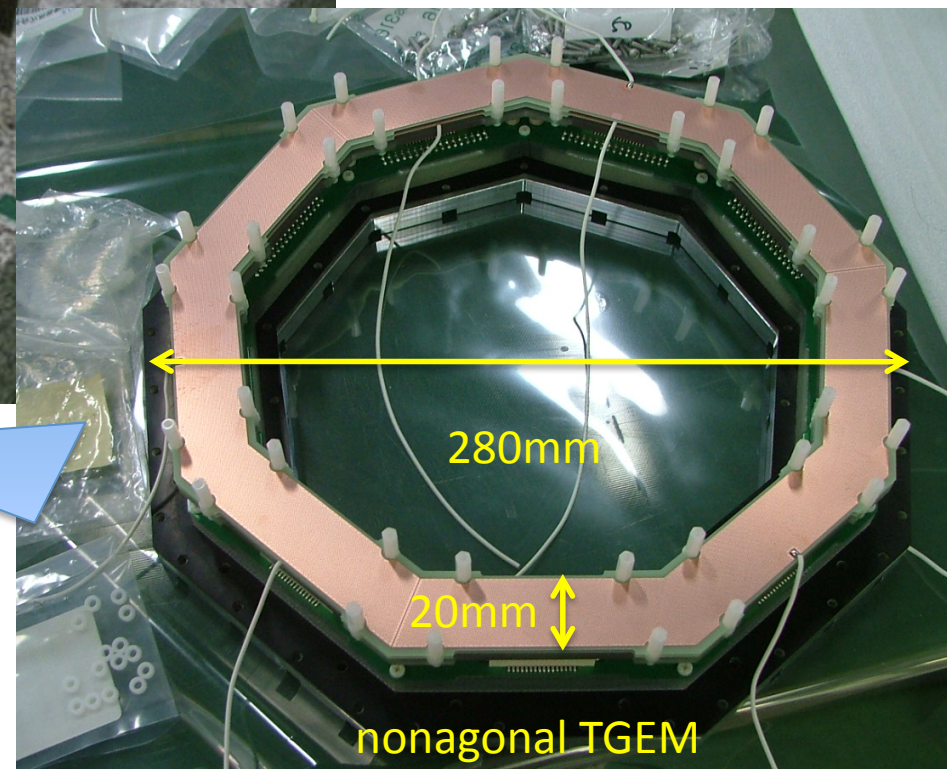
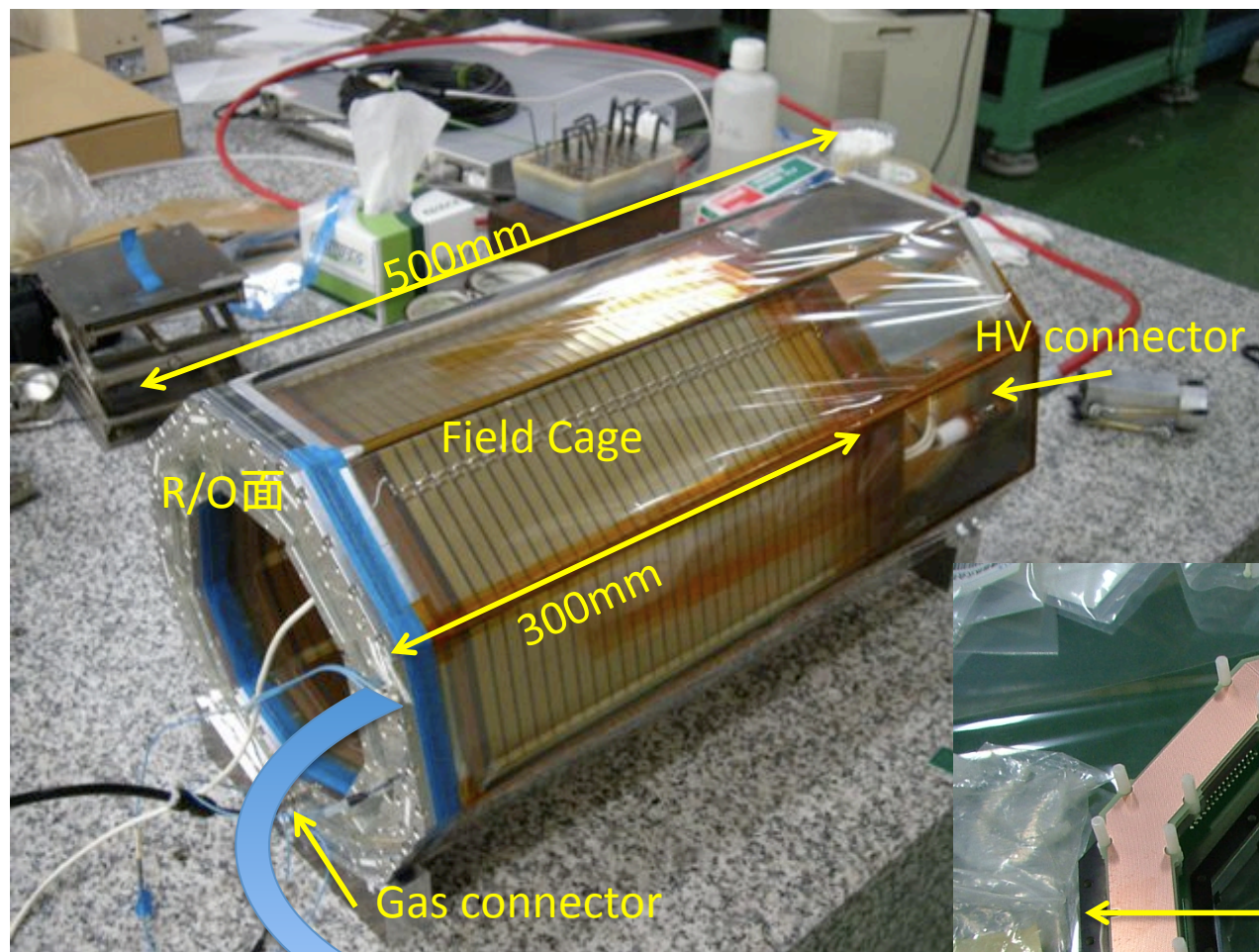


円筒型飛跡検出器群CDS



TGEM-TPC

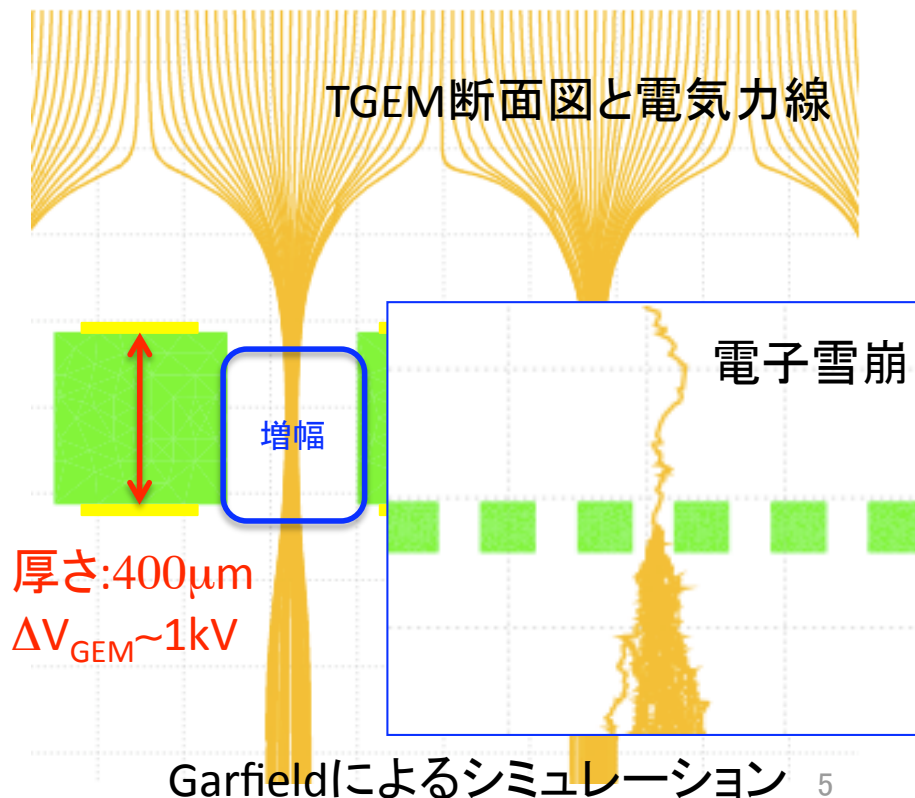
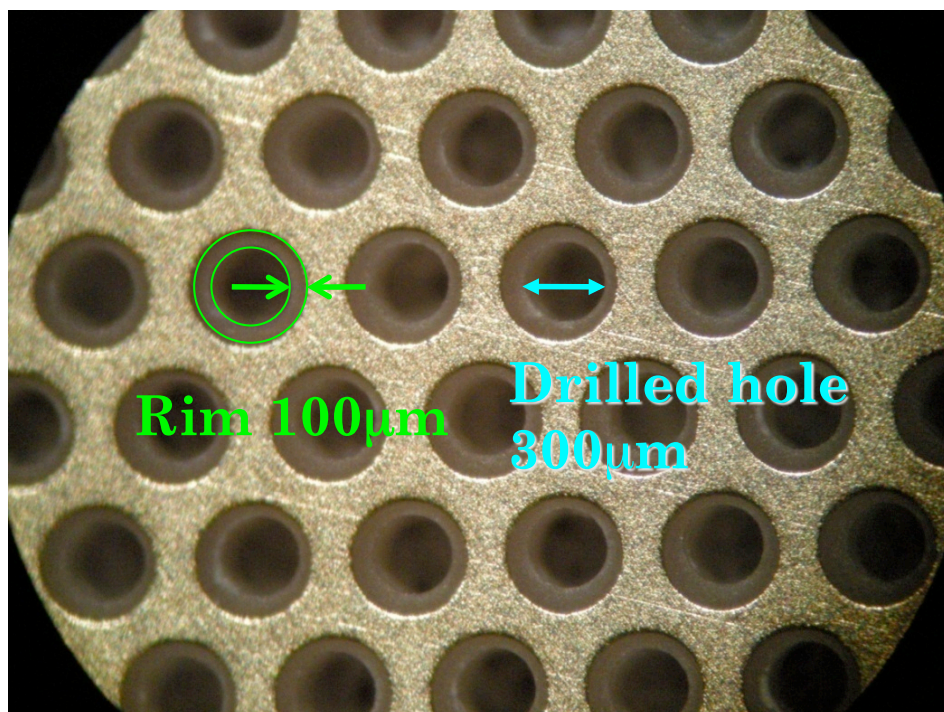
実際のTGEM-TPC



TGEMについて(インシュレーター 400 μ m厚)

Thick-GEM、TGEM、THGEM

- ・ロバスト(強靱)、シンプルな製造工程、1枚あたりのゲインが高い
- ・double-clad G10(FR4)基板を材料に、通常のPCB技術を用いて安く作ることが出来る
- ・foil-GEMに比べて、取り扱いが楽、オペレーションが楽(多少の放電で死なない)
- ・電極やインシュレーターの素材を変えることによって、さらに安定したTGEMを作ることが出来る可能性
- ・「穴」はドリルで空け、放電防止の「穴の周りの逃げ(Rim)」はケミカルエッチングで空ける



Rimの作り方

Rimの作り方は2通り

ワイツマン式

ドリル＋マスクエッチング

利点

Rimを大きくつくることができる

欠点

ドリル穴とRim穴の位置がずれる

作れるTGEMの大きさに限界がある

CERN式

ドリル＋レジストエッチング

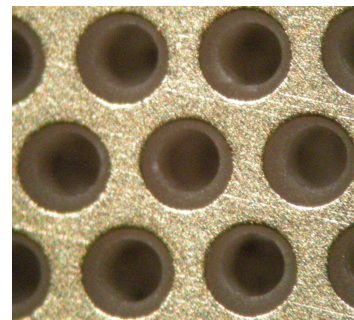
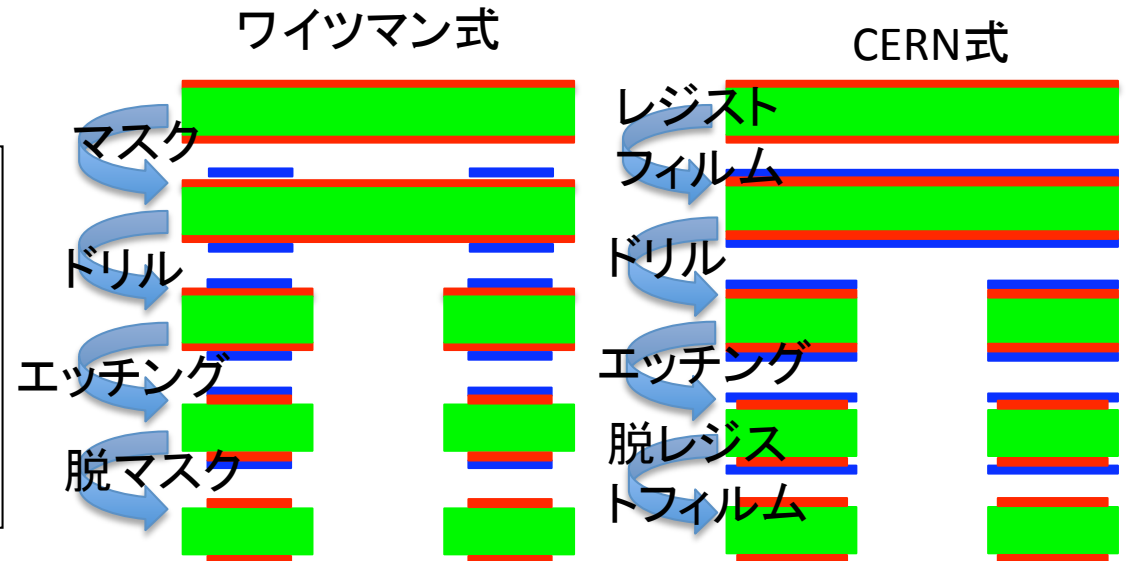
利点

ドリル穴とRim穴の位置がずれない

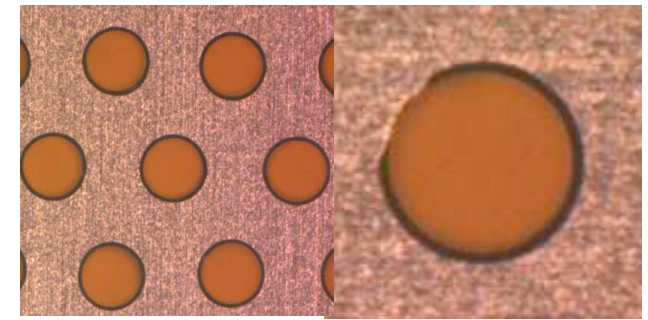
大きなTGEMでも作れる

欠点

大きなRimを作ることが出来ない



ワイツマン式



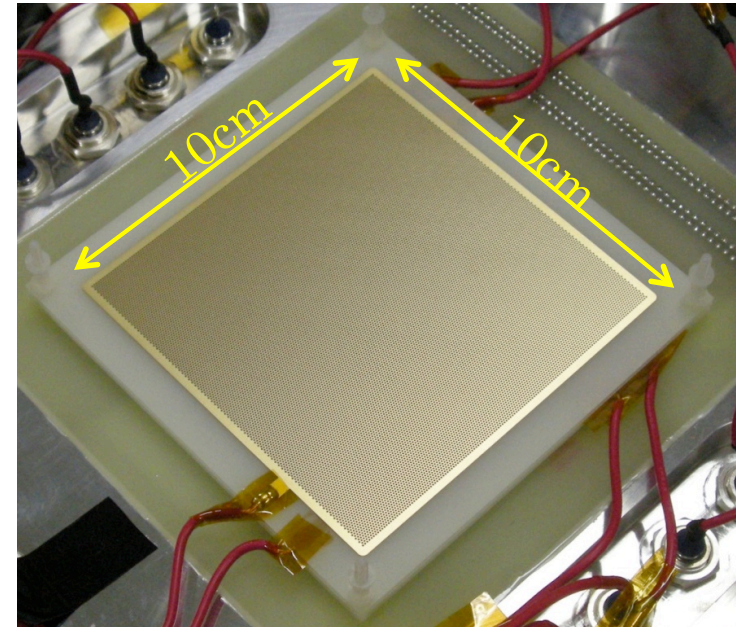
CERN式

失敗例

Rimが大きいと動作の不安定性が大きくなるため、最近の流れはRimをきれいに、なるべく小さくする方向になっている

目標とするTGEMのスペック

- 大きさ10cm×10cmで一様なgainを持つ
- Gain $\sim 10^4$ で安定動作
- Gain及びEnergy resolutionの長時間(最大1ヶ月くらい)安定性(10%)



しかしながらTGEM@1atmは実は難しい

- うまくいっているTGEMは小さいことが多い(3cm×3cmくらい)
- gain/resolutionがあまり安定でない※特にRimが大きいとき

大きいTGEMの基本性能はあまり良くわかってないので、さらなる検証が必要

作成したTGEMの組成と構造

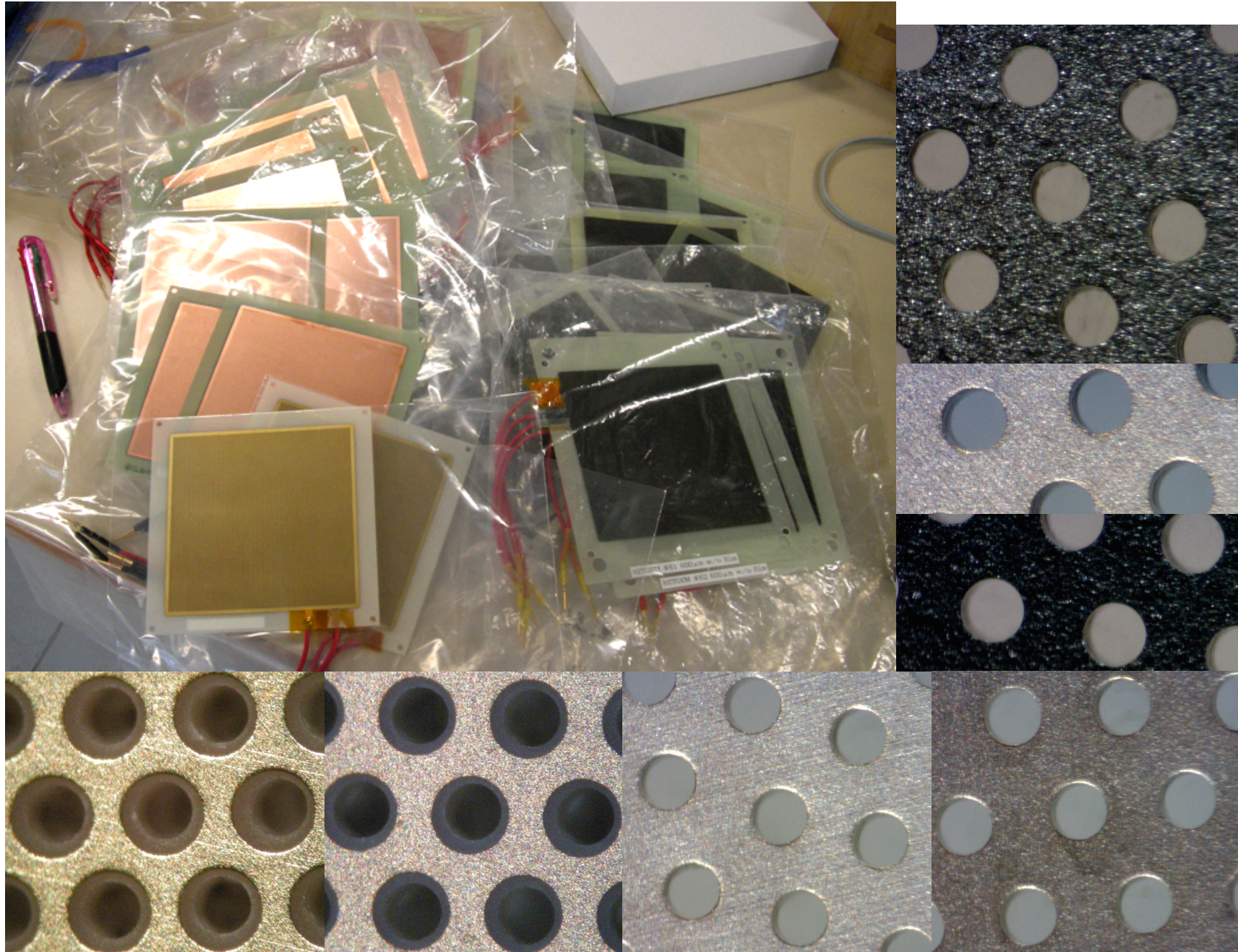
理研で開発しているTGEM(林栄精器(株)に設計、東海電子(株)で作成)

No.	Electrode	Insulator	Thickness[μm]	Hole-diameter[μm]	Rim[μm]	
1	Cu	FR4/UV	200	300	50	× 2
2	Cu	FR4/UV	200	500	—	× 2
3	Cu	FR4/UV	400	300	—	× 5
4	Cu	FR4/UV	400	300	30	× 2
5	Cu	FR4/UV	400	300	50	× 2
6	Cu	FR4	400	300	100	× 2
7	Cu	FR4/UV	400	500	—	× 2
8	C	FR4	400	300	—	× 4
9	C	FR4/UV	400	300	—	× 7
10	C	G10	400	300	—	× 2
11	C	CEM3	400	300	—	× 2
12	C	FR4	600	300	—	× 2
13	C/Cu	FR4/UV	400	300	—	× 4

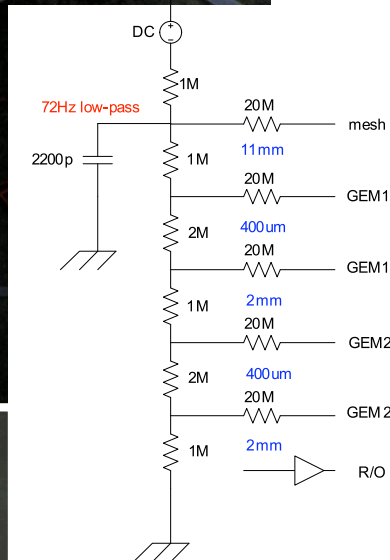
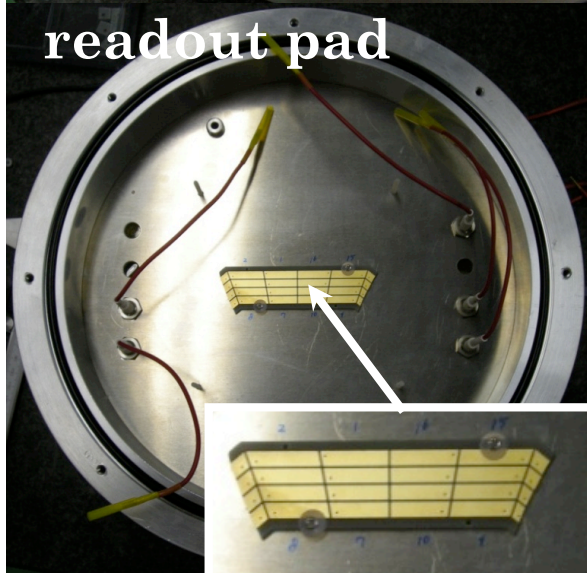
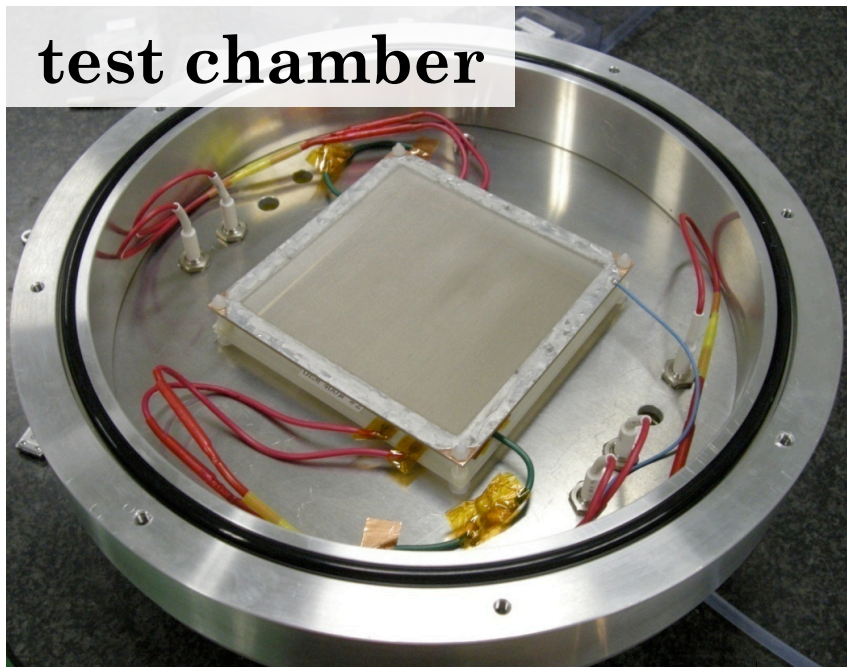
極板の大きさは全て10cm×10cm

計40枚

作成したTGEMたち

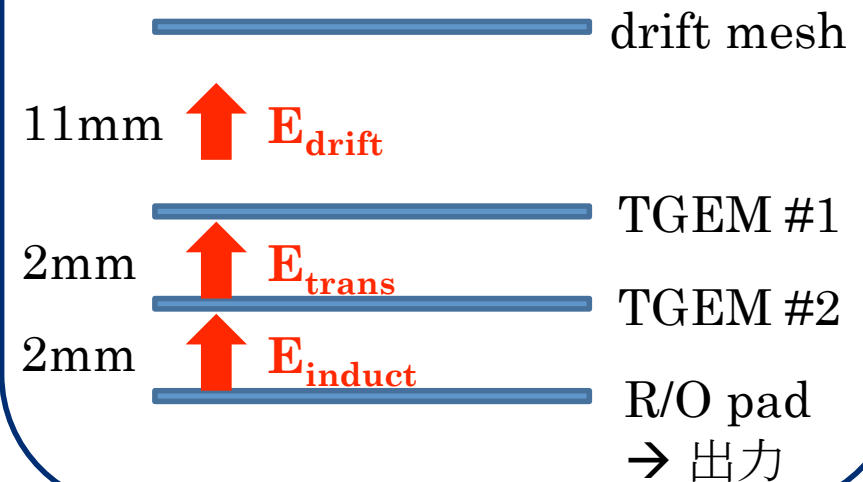


Test chamber setup



setup

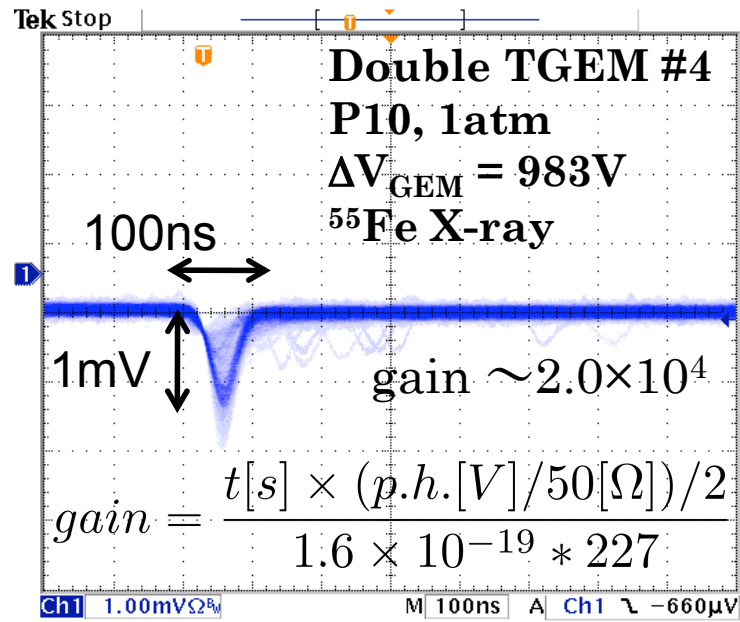
^{55}Fe



●gasはP10, 1atmを使用

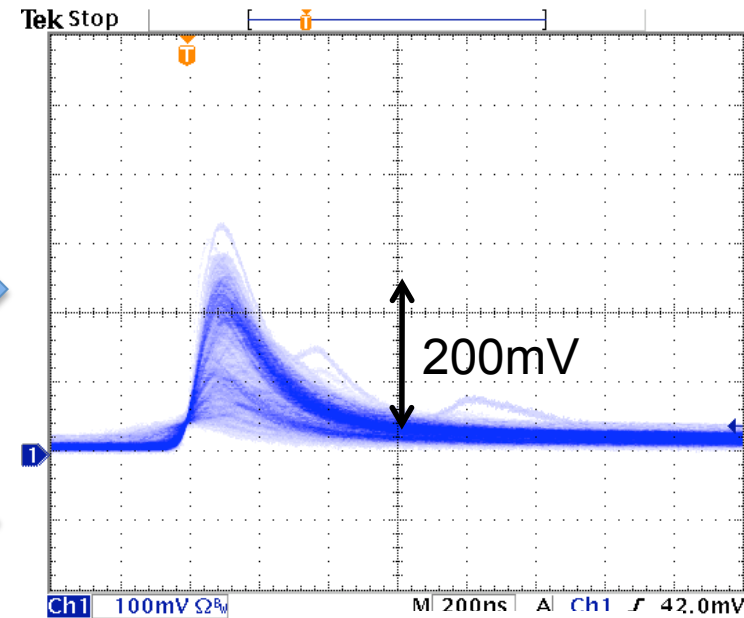
●HV dividerは抵抗チェーンで作成

実際のシグナルと目標



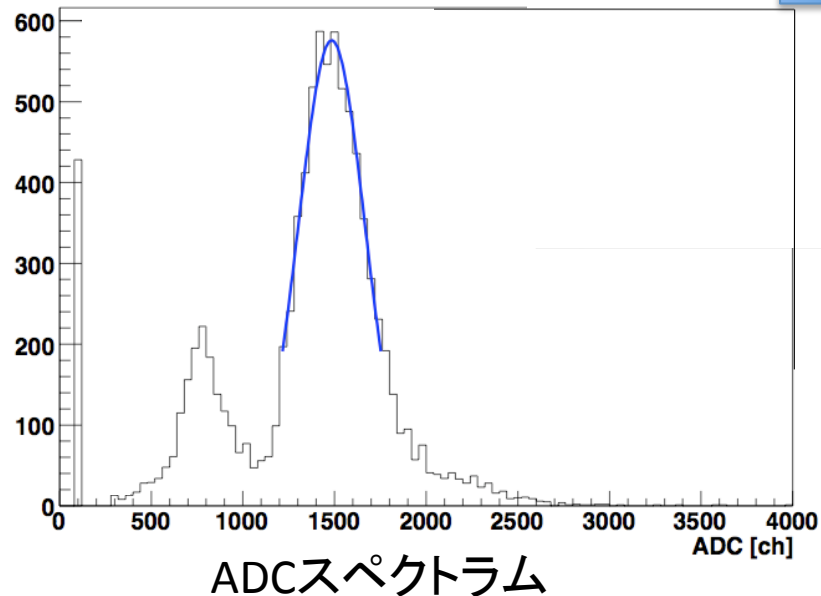
生シグナル

プリアンプ



プリアンプアウト

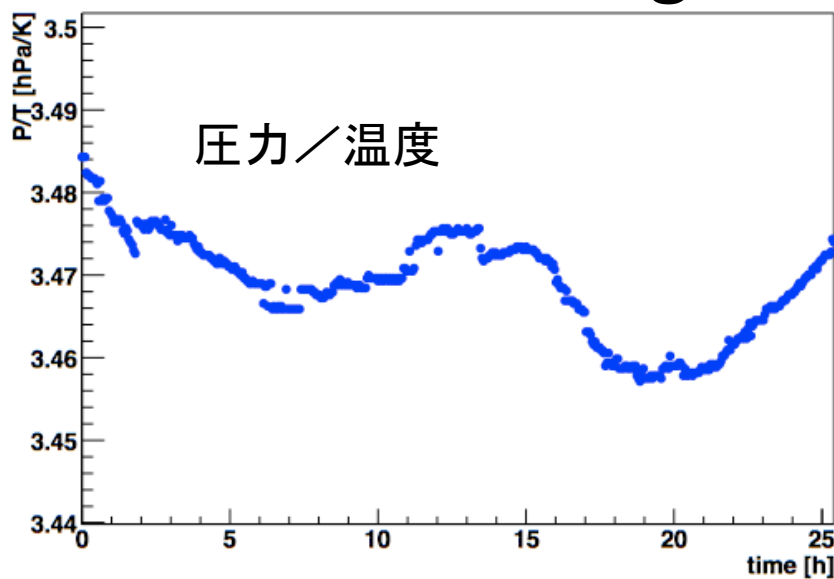
ADC



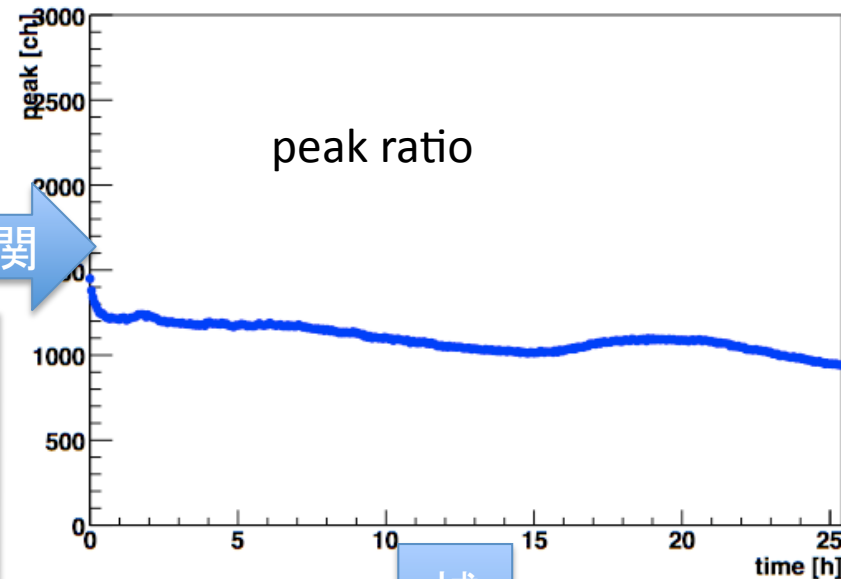
TGEM studyにおける目標

実際に掛ける V_{th} を考慮して、
effective gain $\sim 1 \times 10^4$
長時間安定動作

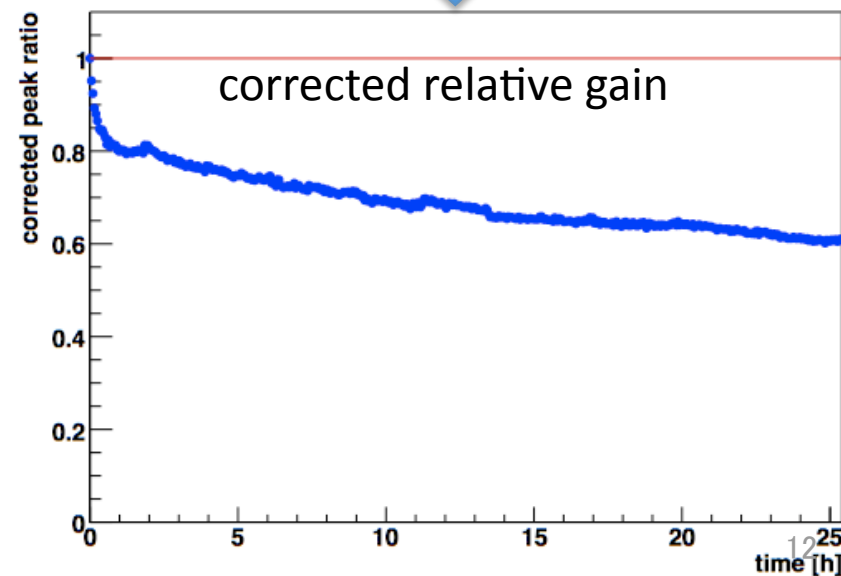
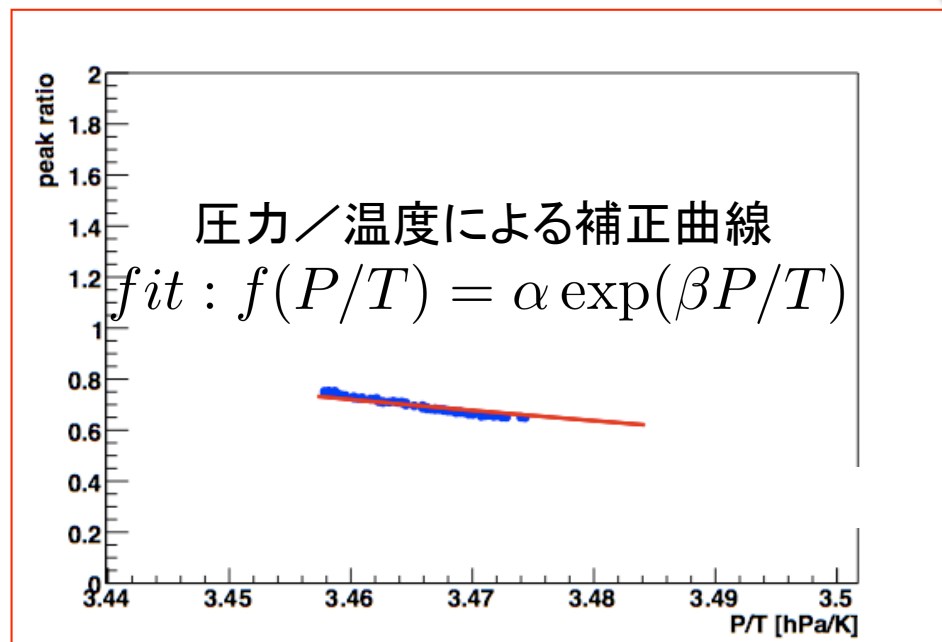
gainのP/T補正



相関



補正



Cu-electrode TGEM

理研で開発しているTGEM(Cu)

No.	Electrode	Insulator	Thickness[μm]	Hole-diameter[μm]	Rim[μm]	Max gain
1	Cu	FR4/UV	200	300	50	$\sim 10^3$
2	Cu	FR4/UV	200	500	—	—
3	Cu	FR4/UV	400	300	—	$\sim 10^4$
4	Cu	FR4/UV	400	300	30	over 2×10^4
5	Cu	FR4/UV	400	300	50	over 2×10^4
6	Cu	FR4	400	300	100	over 2×10^4
7	Cu	FR4/UV	400	500	—	$\sim 10^3$

50,100 μm のRimはワイツマン式(マスクエッチング)による
30 μm のRimはCERN式(レジストフィルムエッチング)による
Rim無し (#3)はOPC処理(銅を溶かすエッチング)を行っている

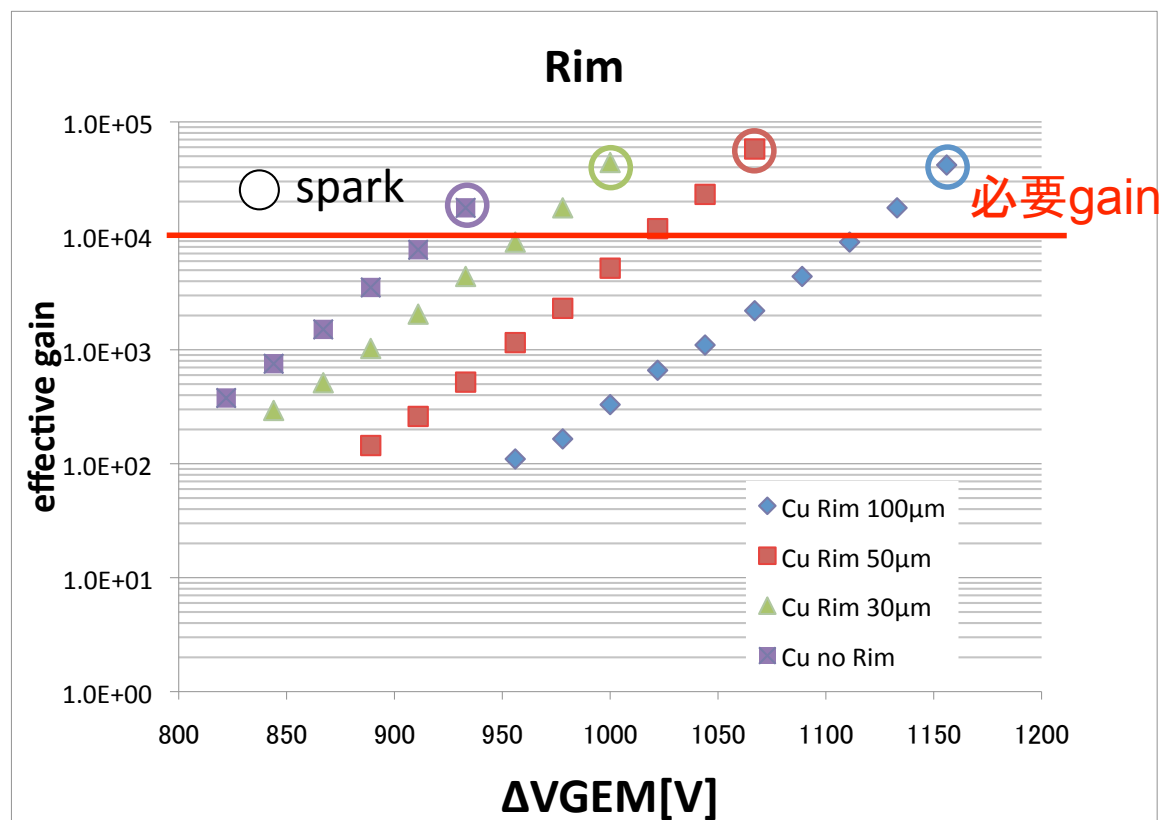
良く動くのは厚さ400 μm 穴径300 μm のTGEM

それぞれの ΔV_{GEM} によるgainと安定性について次に示す

gainのRimサイズによる依存性

Rimが大きいほどHVが必要

$E_{\text{drift}}=150\text{mV}$		
ΔV_{GEM}	E_{trans}	E_{induct}
1	2.5	7.5

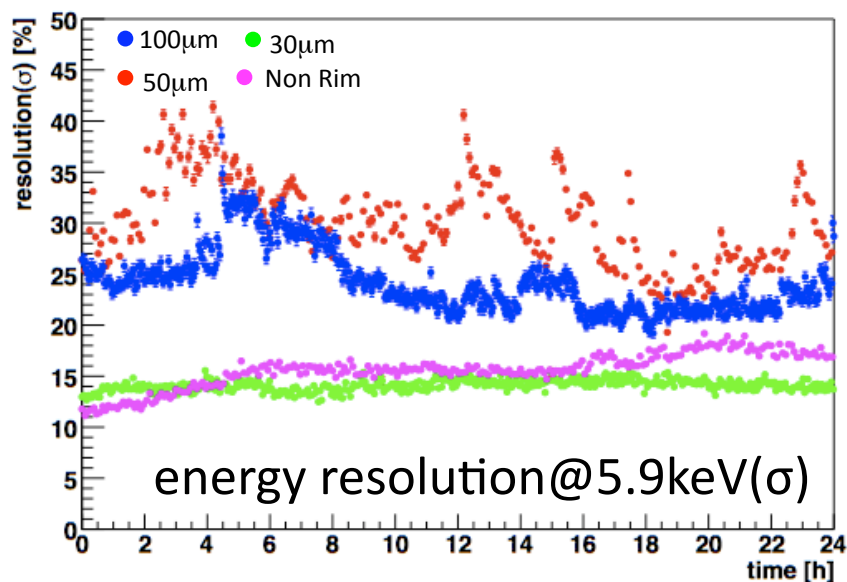
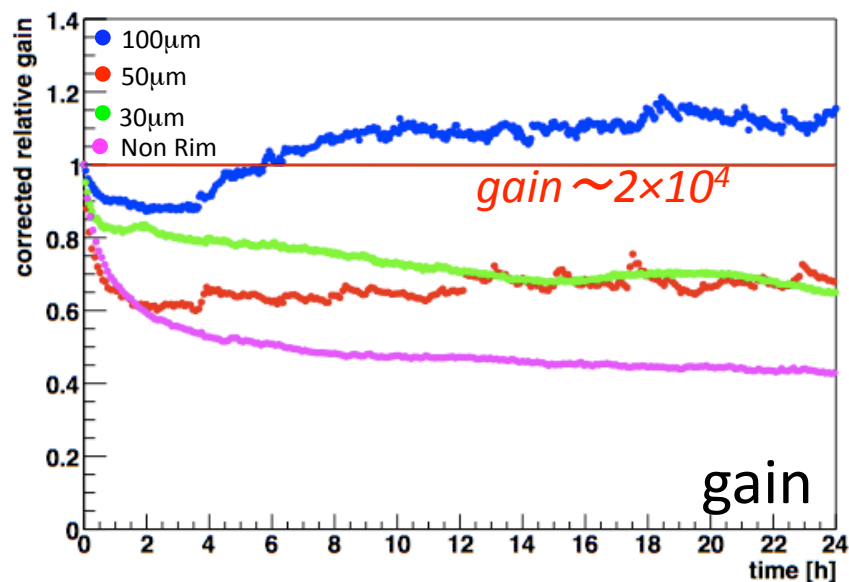


10⁵付近がガス増幅の限界(⁵⁵Feを用いてるため)
およそ十分なgainが得られている

gainとresolutionの時間依存性(24h)

$E_{\text{drift}}=150\text{mV}$		
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

Cu-electrode TGEMのまとめ

- 400 μ 厚の穴径300 μ mのTGEMは十分なgainを得られる
- Rimが大きいとgain/resolutionが不安定になる
- 特にRim30 μ m が実用レベルで使えそうである

C-electrode TGEM

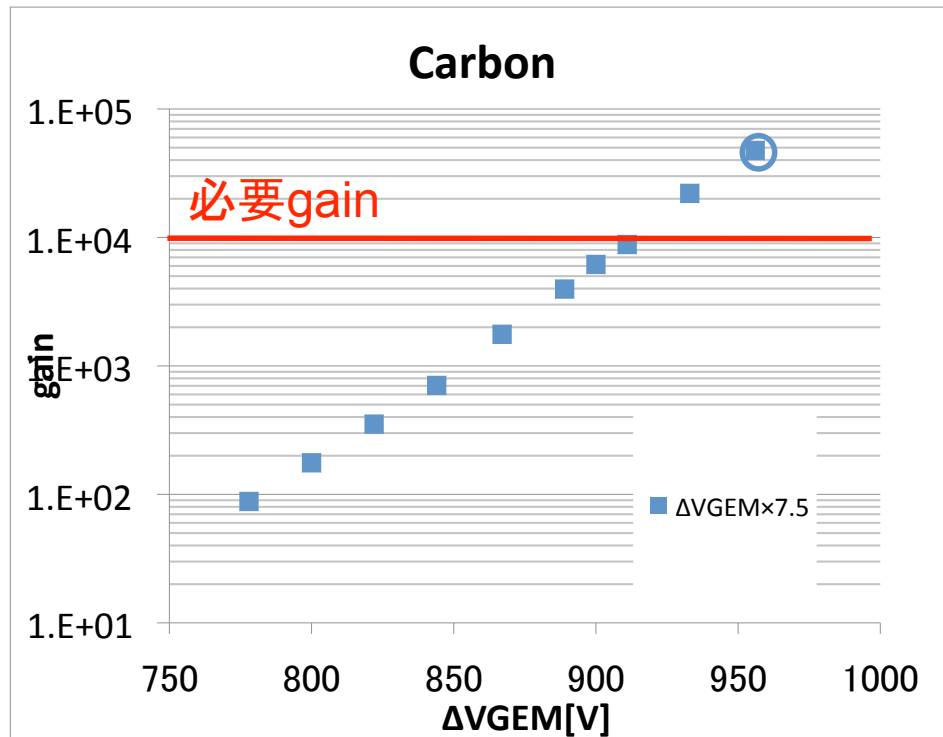
理研で開発しているTGEM(Carbon)

No.	Electrode	Insulator	Thickness[μm]	Hole-diameter[μm]	Rim[μm]	Max gain
8	C	FR4	400	300	–	over 2×10^4
9	C	FR4/UV	400	300	–	–
10	C	G10	400	300	–	$\sim 10^3$
11	C	CEM3	400	300	–	over 2×10^4
12	C	FR4	600	300	–	$\sim 10^2$

Rimの無いもので動くTGEMを作りたい
高抵抗なCarbonで極板を作った

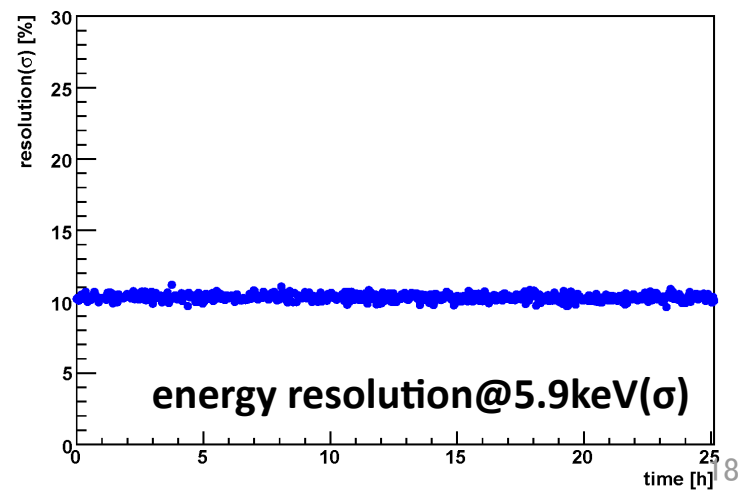
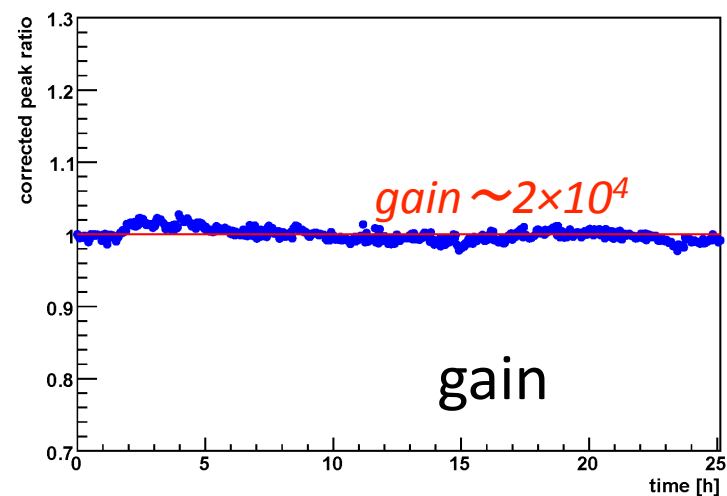
gain及び時間依存性(24h)

第1回試作



非常に良く動いていた

$E_{\text{drift}}=150\text{mV}$		
ΔV_{GEM}	E_{trans}	E_{induct}
1	2.5	7.5



C-electrode TGEMはまだ遠い・・・

しかし、現実には厳しい

Carbon TGEMは製造工程の再現性がない！

- 1.最初に制作したTGEMは4枚中2枚しか動かなかった
- 2.最初のTGEMと同じFR4基盤素材がもう手に入らない
- 3.極板の片面に出来るバリによる放電
- 4.穴内部のCarbonによる放電

2勝9連敗



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)

- アルコールで洗淨→×
 - 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
- スチーム洗淨→×
 - 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いないが、gainは十分である。
 - 有望だが、さらなるstudyが必要

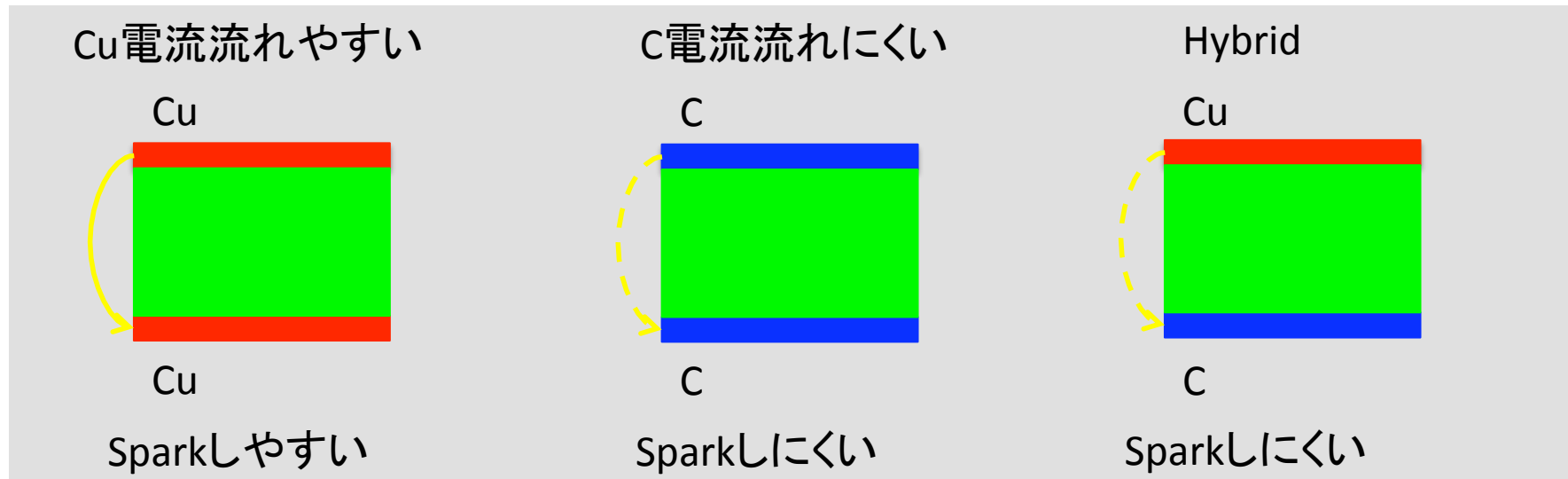
これらを組み合わせてどうにかCarbon TGEMを動くようにしたい

C-electrode TGEMのまとめ

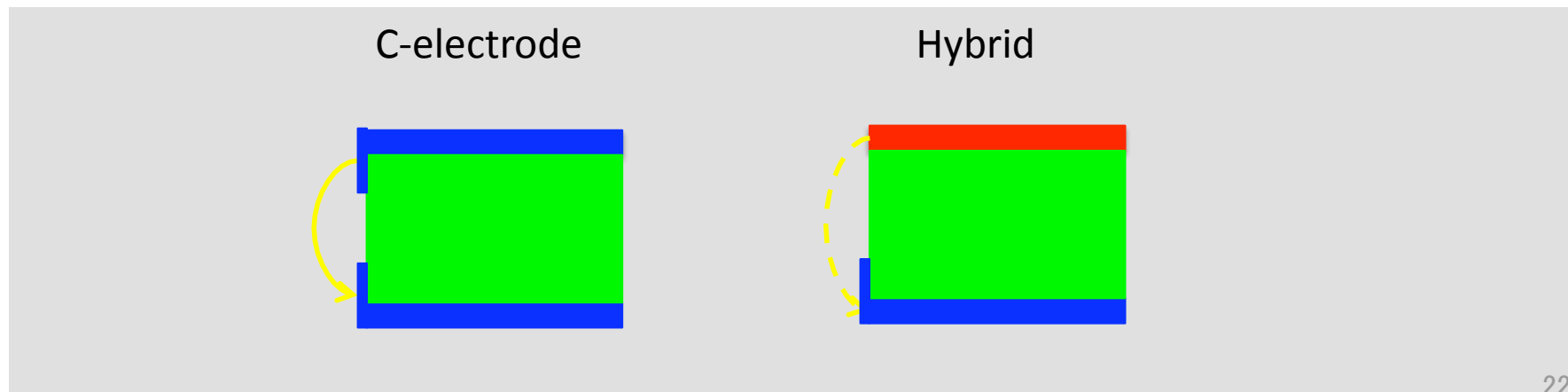
- はじめはうまくいった
gain、安定性ともに申し分無し
- はじめの結果を再現するTGEMが作れない
2勝9連敗
- いろいろな改善策を試したが、道半ば・・・
はじめのCarbonTGEMの性能を再現する事が目標

C/Cu-electrodeのHybrid-TGEMは良いとこ取り

原理的には片方の極板がResistiveであればsparkしにくいはず



Sparkの原因と考えられる穴内のCarbonの付着を減らせる

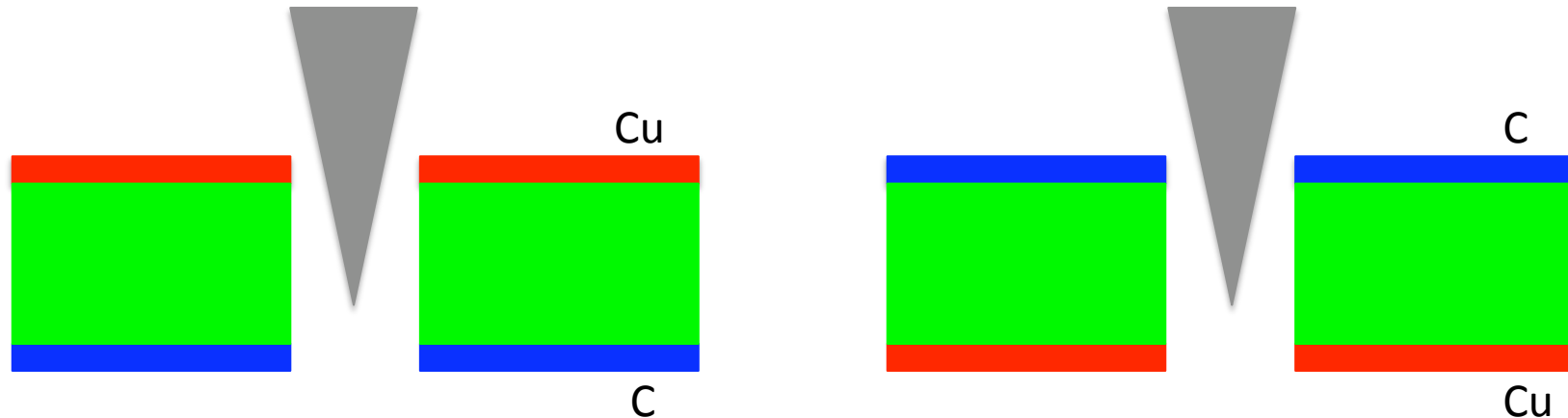


C/Cu-electrode TGEMの作成

理研で開発しているTGEM (Hybrid)

No.	Electrode	Insulator	Thickness[μm]	Hole-diameter[μm]	drill	
13	C/Cu	FR4/UV	400	300	Cu $\rightarrow$ C	$\times 2$
	C/Cu	FR4/UV	400	300	C $\rightarrow$ Cu	$\times 2$

ドリル方向の違いから2種類作成



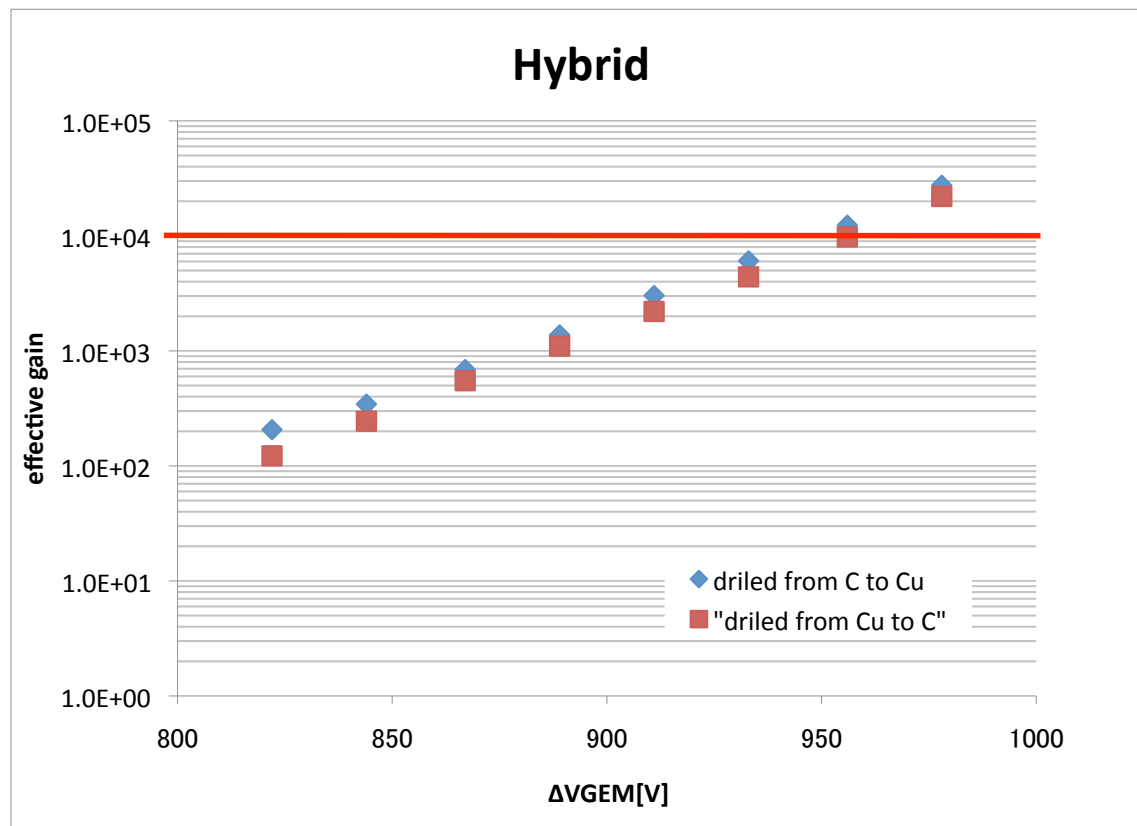
銅のバリの除去のためOPC処理(銅を溶かすエッチング)をした

C/Cu-electrode Hybrid TGEM

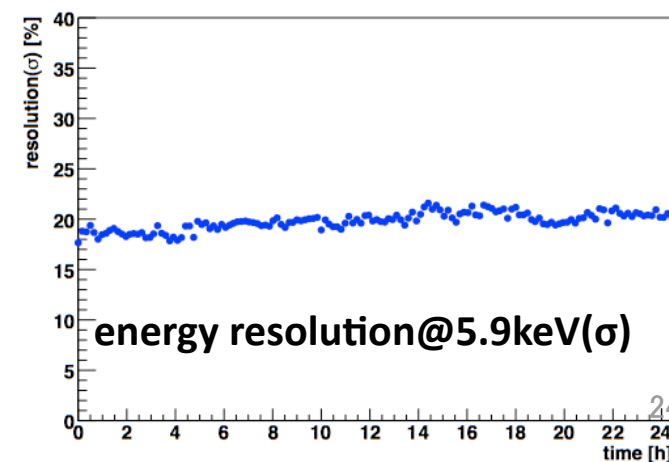
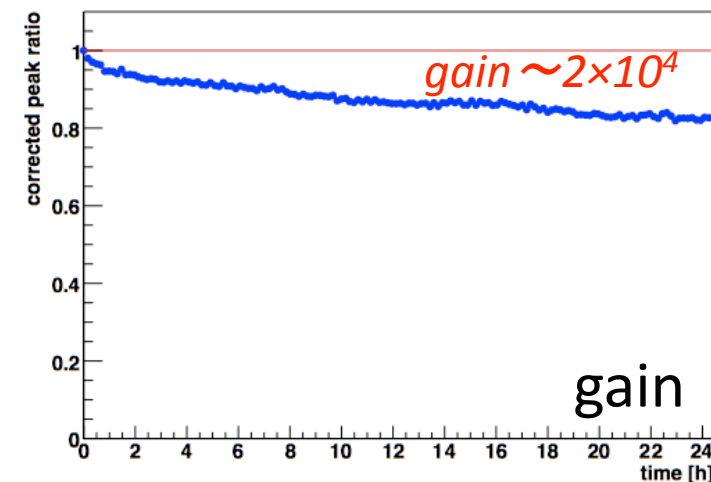
$$E_{\text{drift}} = 150 \text{ mV}$$

$$\Delta V_{\text{GEM}} : E_{\text{trans}} : E_{\text{induct}}$$

$$1 : 2.5 : 5$$



作成したHybrid-TGEMは
2種類とも動いた。



Hybrid TGEMのまとめ

- C/Cu-electrodeのHybrid-TGEMは良いところ取り
- ドリルの入射方向を変えて2種類作った
- Hybrid TGEMならRim無しでも実用レベルにある

まとめ

- J-PARC E15実験アップグレードのためにTGEM-TPCを開発中
- 世の中、TGEM@1atmはそんなに簡単ではない
- Cu-electrode TGEM(CERN式Rim)は実用レベルで動く
- C-electrode TGEMはまだ遠い・・・
- C/Cu-electrode TGEMはRim無したが、実用レベルで動く

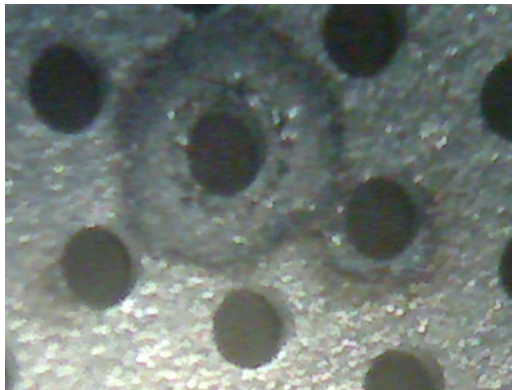
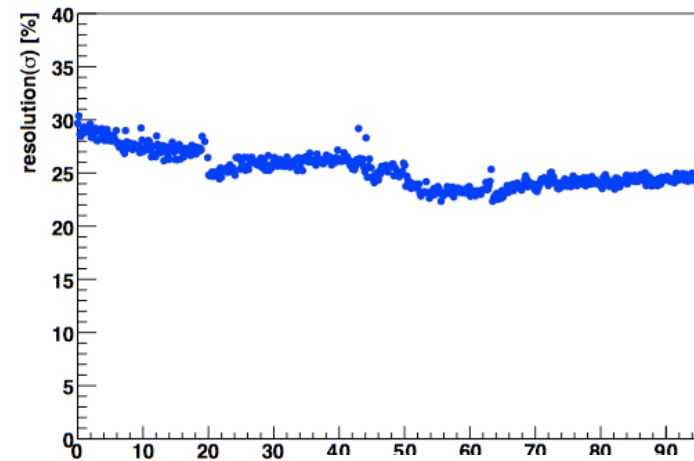
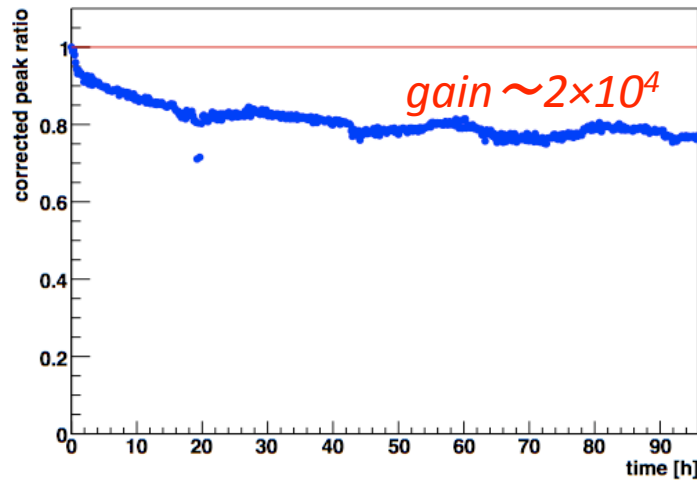
これから

- TGEM(Cu Rim30 μ m)、Hybrid-TGEMでTPC用9角形TGEMを作りstudy
- 数週間レベルの長期安定性をみる
- Carbon TGEMは来年度以降また頑張ります

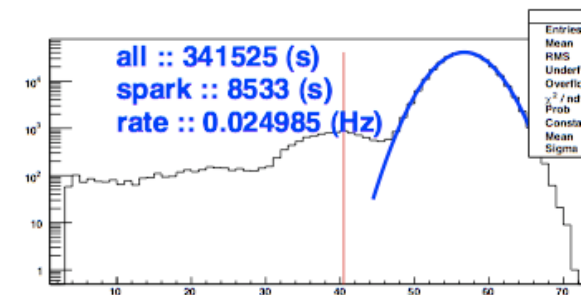
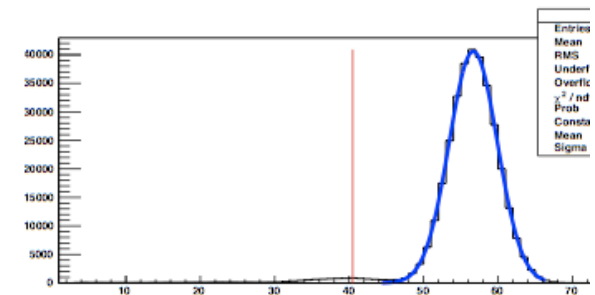
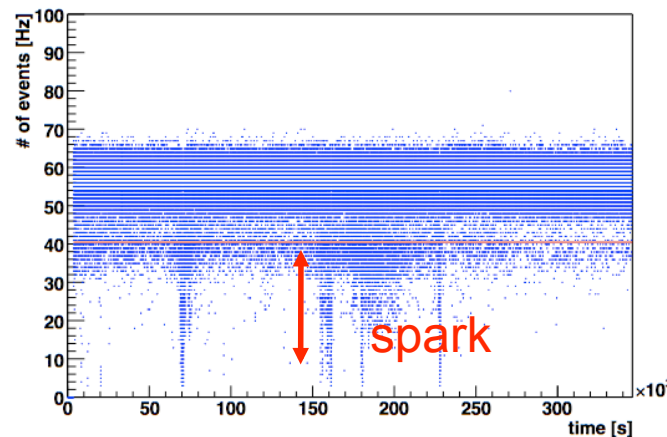
Back up

TGEM(Carbon)の劣化

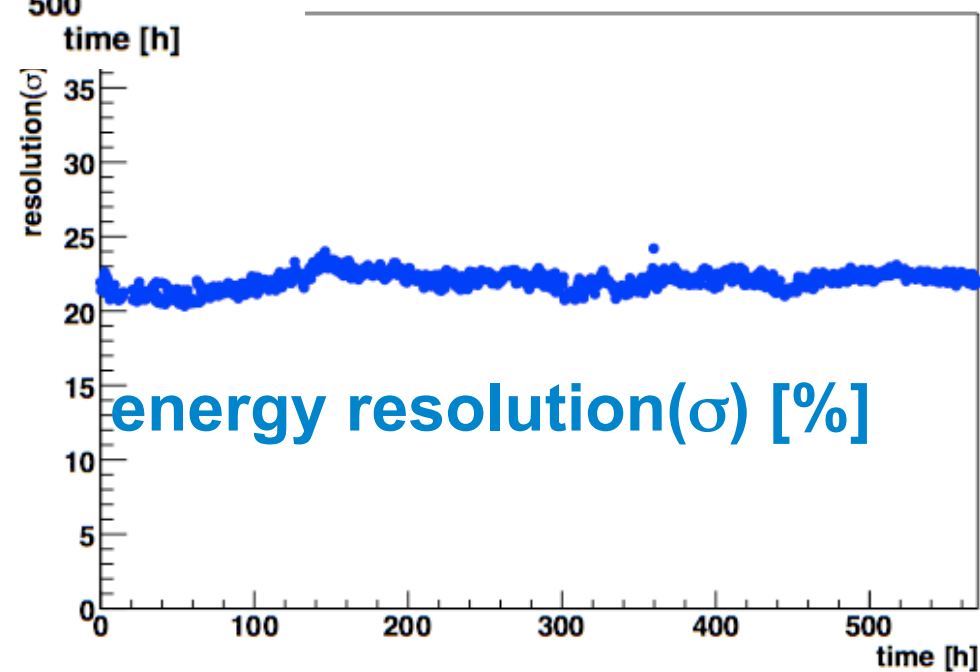
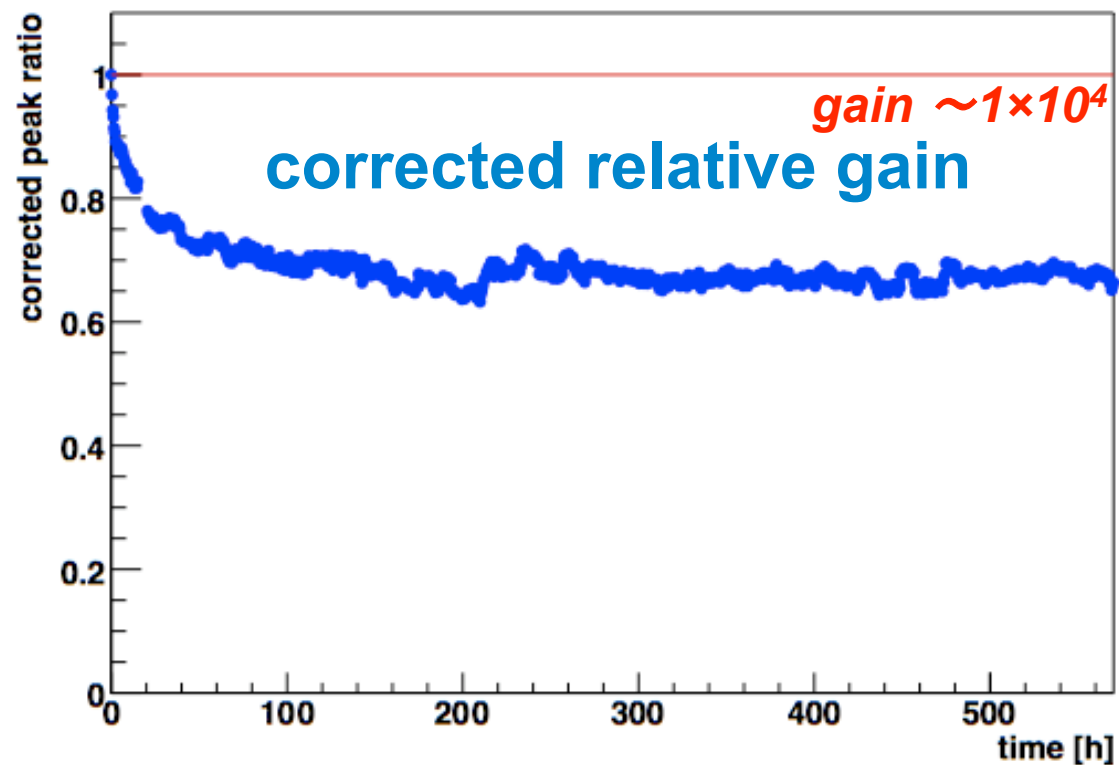
測定による過負荷から
スパークが多くなり数力
所の放電による欠損の
ため使えなくなった



#50 spark跡

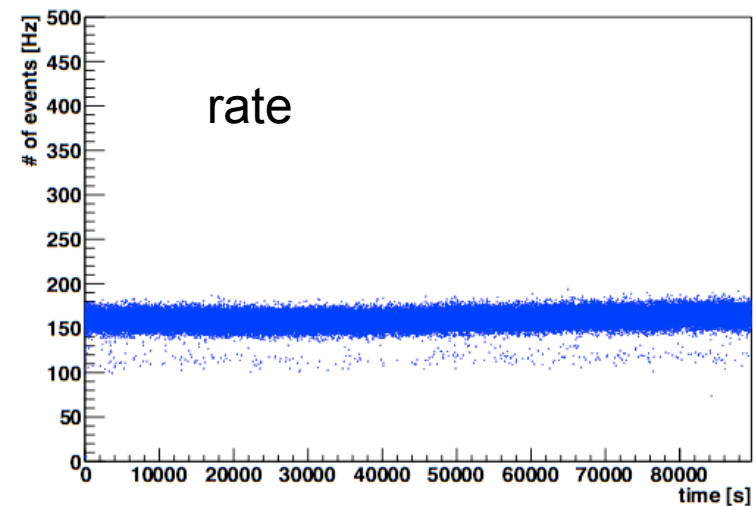


Carbon長時間 劣化後

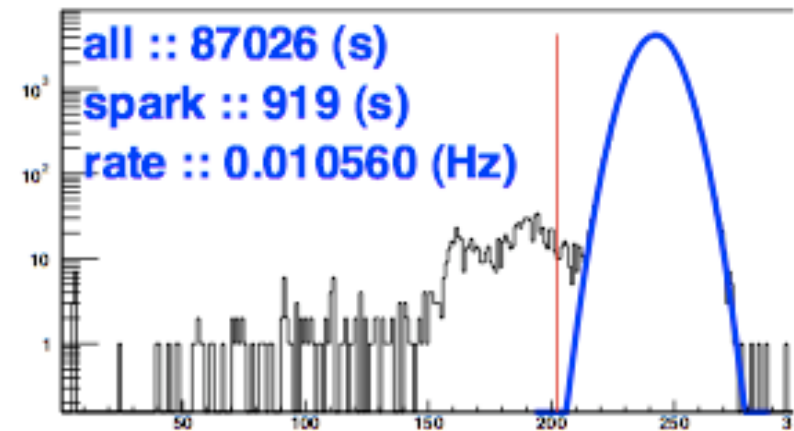


スパーク頻度の測定方法

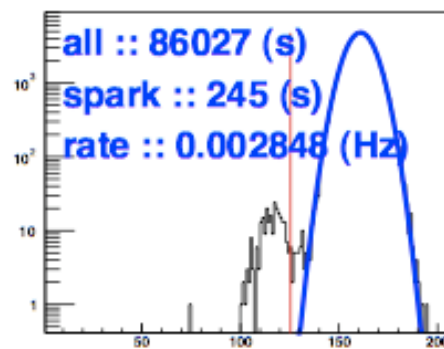
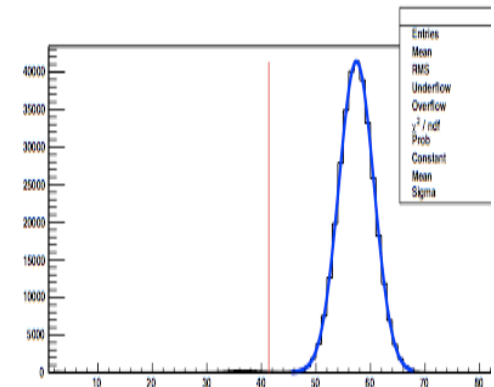
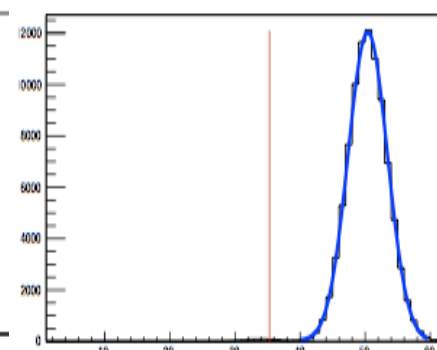
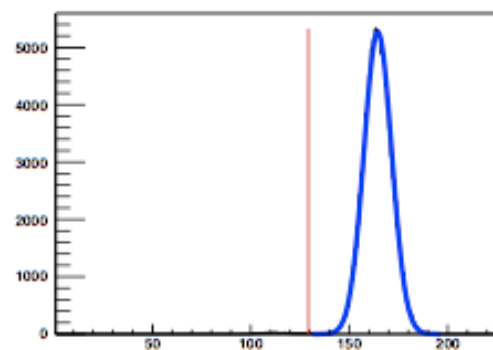
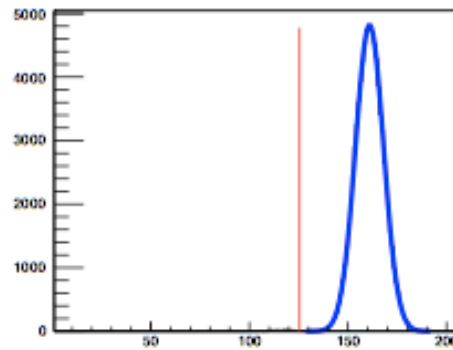
スパークすると一時的に電圧がさがりため、
信号の検出頻度が減少する



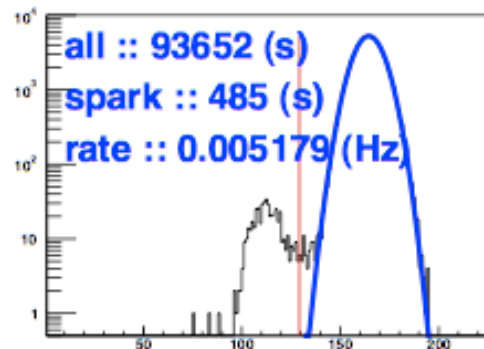
そこで検出頻度をガウス関数でフィットし、信号頻度が 5σ 以下をスパークが起きていると判断した



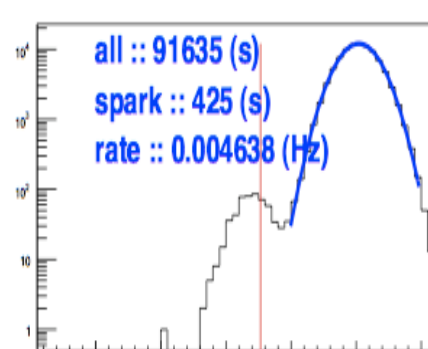
Spark rate Cu-electrode



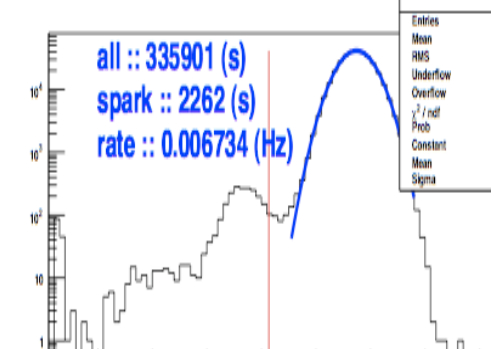
100μm
0.003Hz



50μm
0.005Hz



30μm
0.005Hz

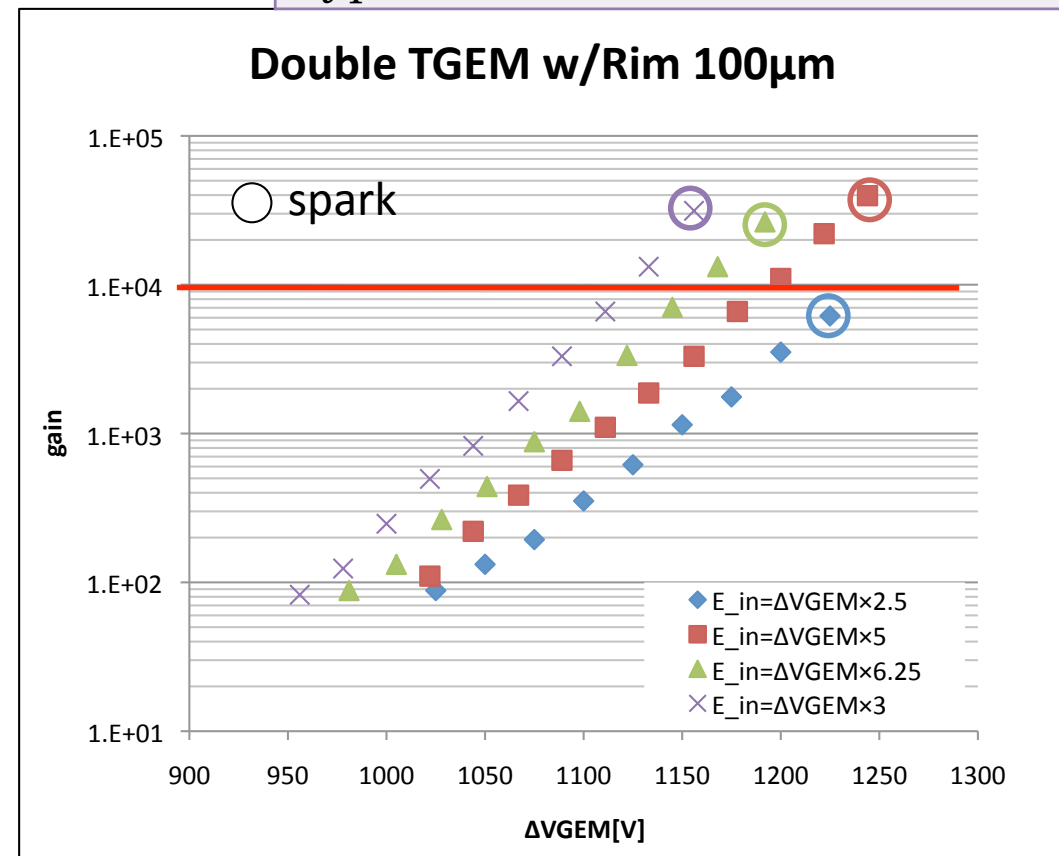
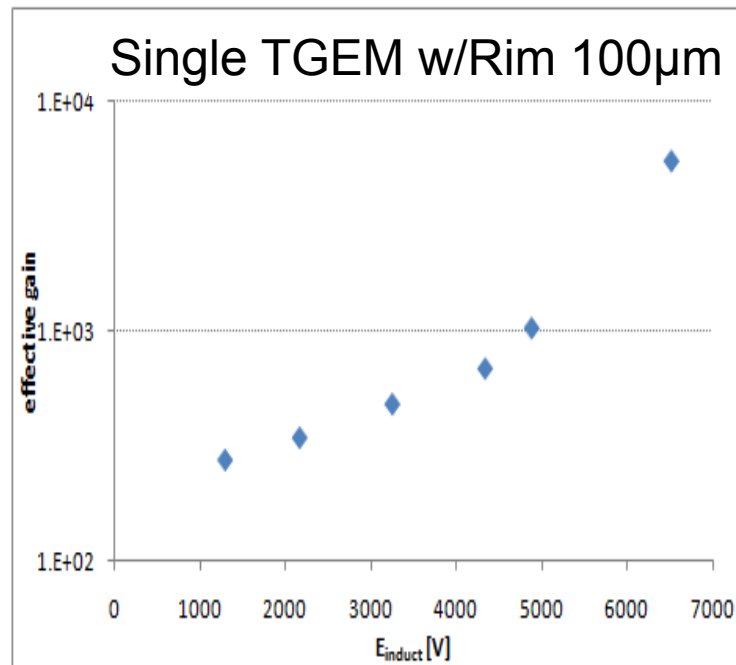


Non Rim
0.007Hz

TGEM gain $E_{\text{induction}}$ dependence

HV dividerによって $E_{\text{induction}}$ を変化させた。

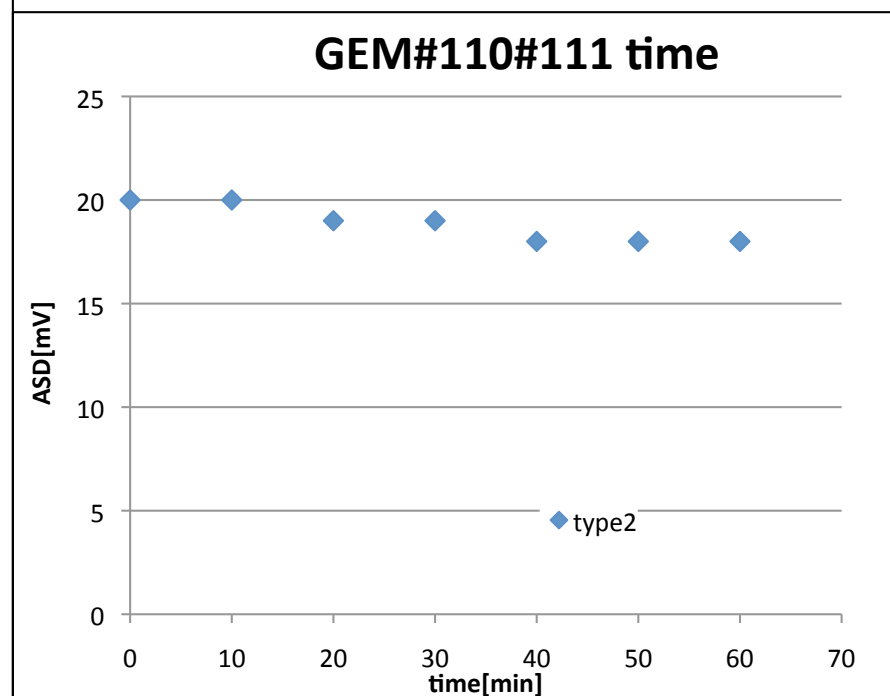
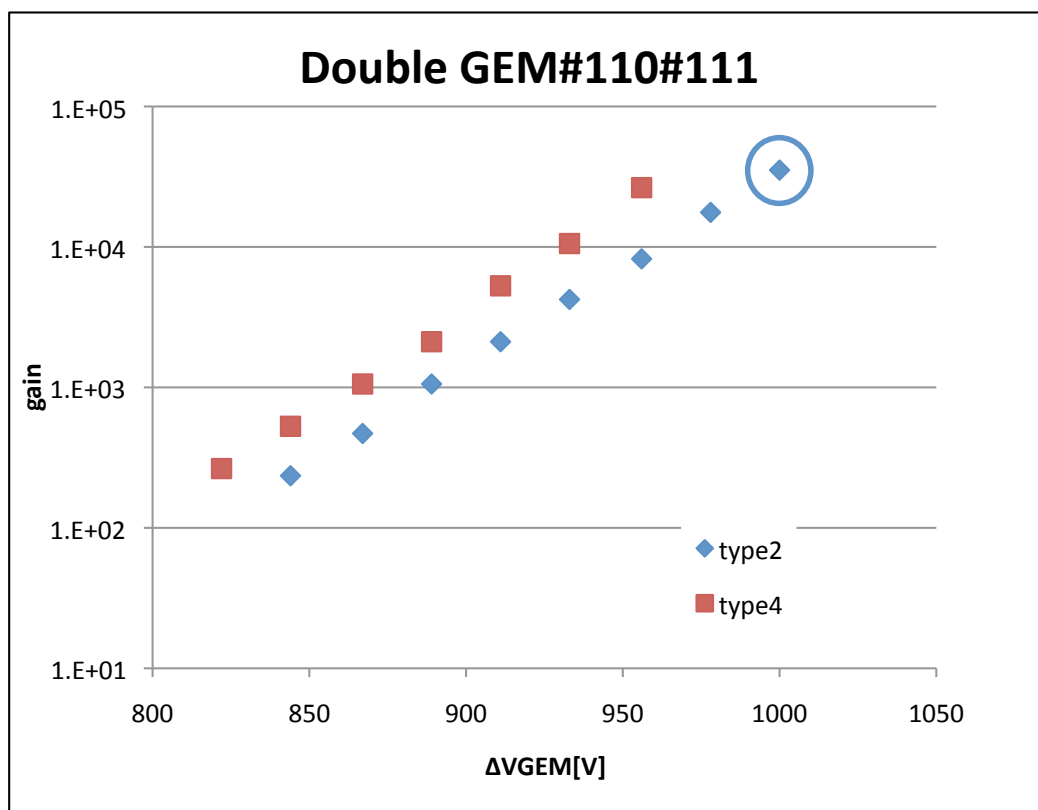
$E_{\text{drift}}=150\text{mV}$			
	ΔV_{GEM}	E_{trans}	E_{induct}
type1	1	2.5	2.5
type2	1	2.5	5
type3	1	2.5	6.25
type4	1	2.5	7.5



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

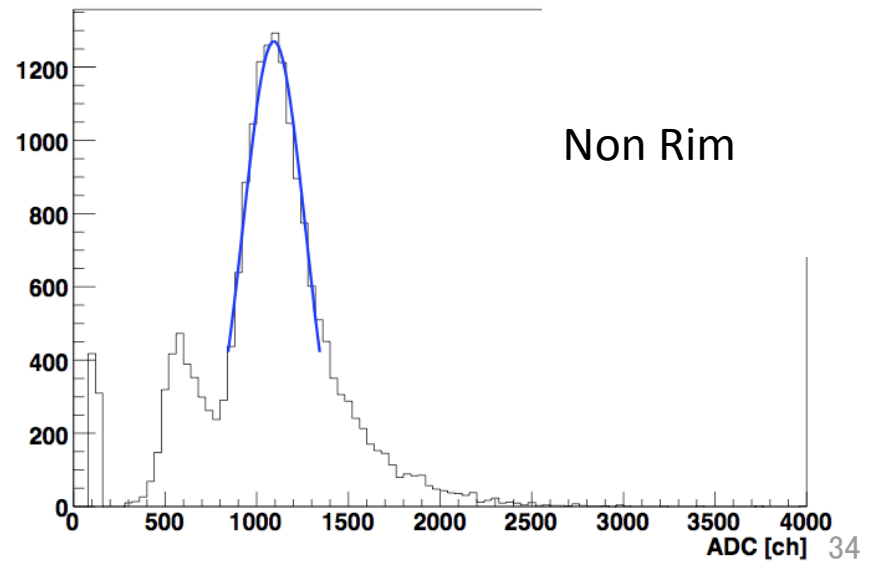
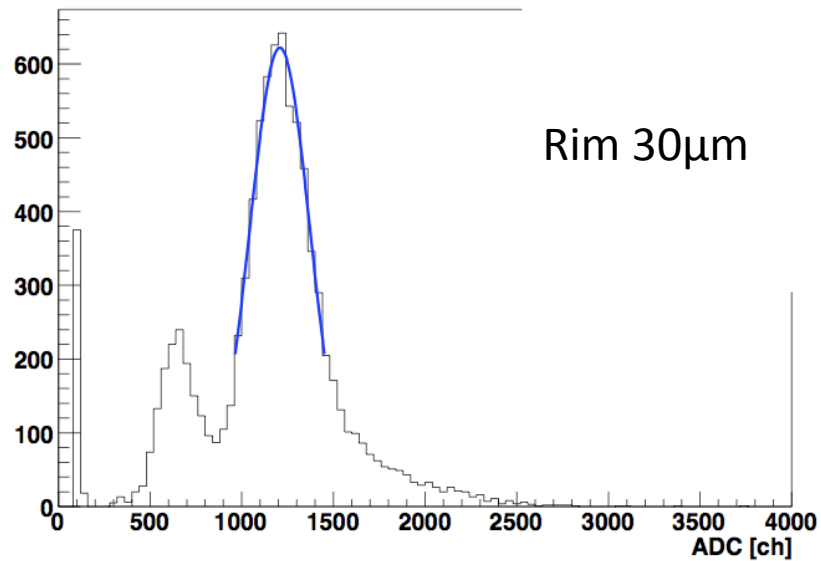
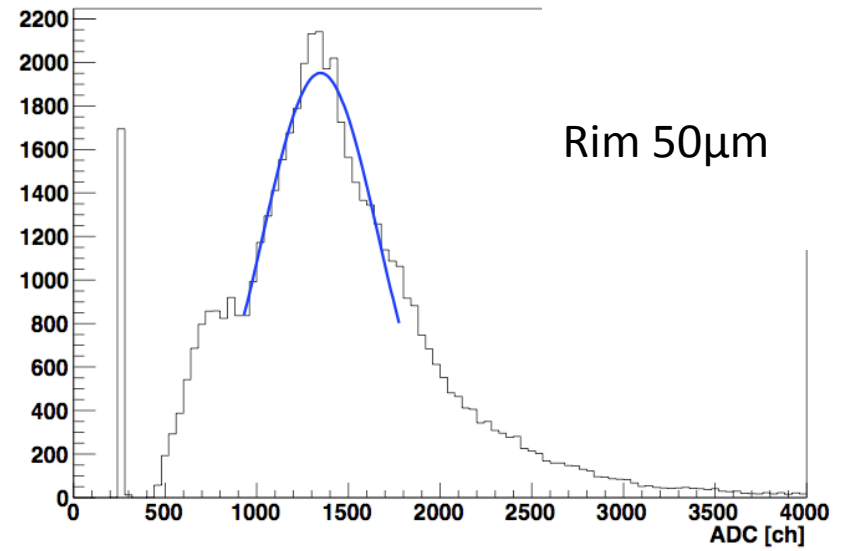
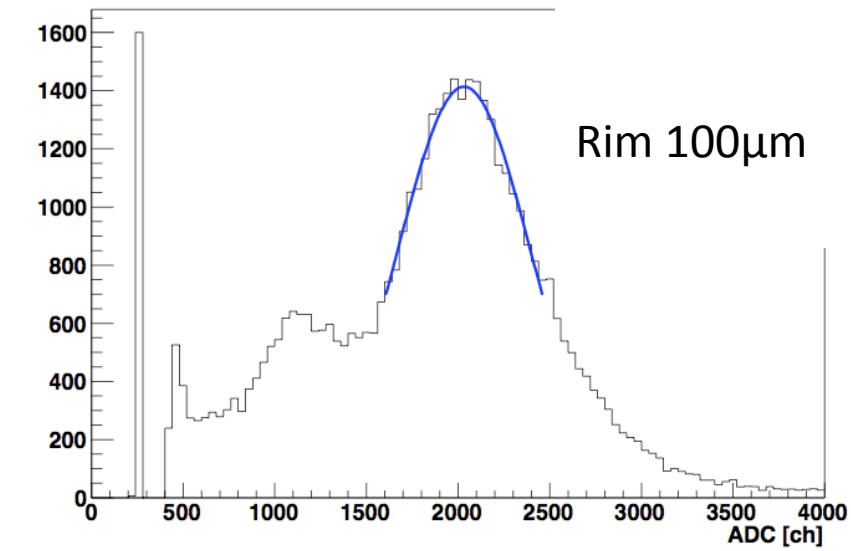
CEM3

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



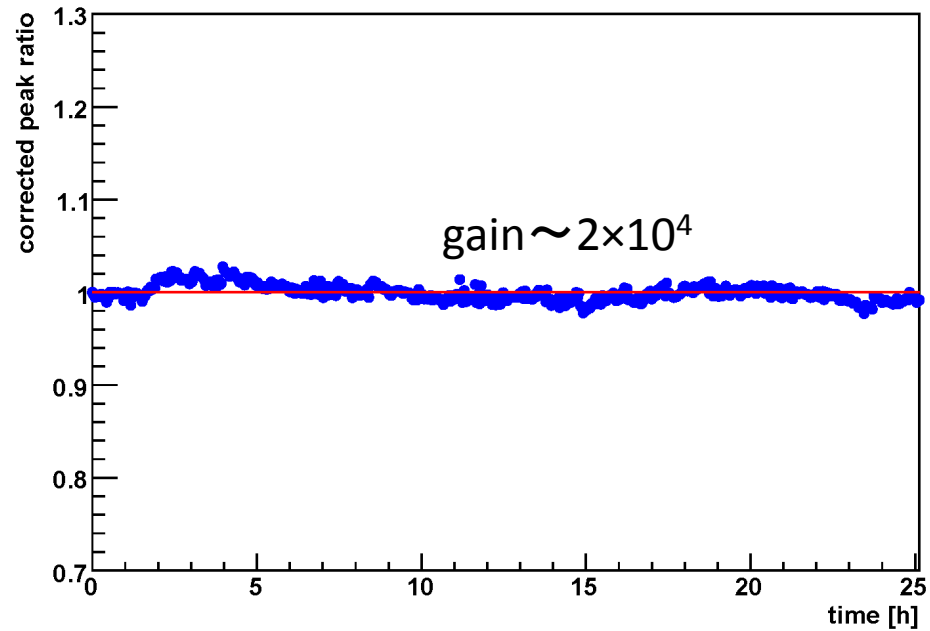
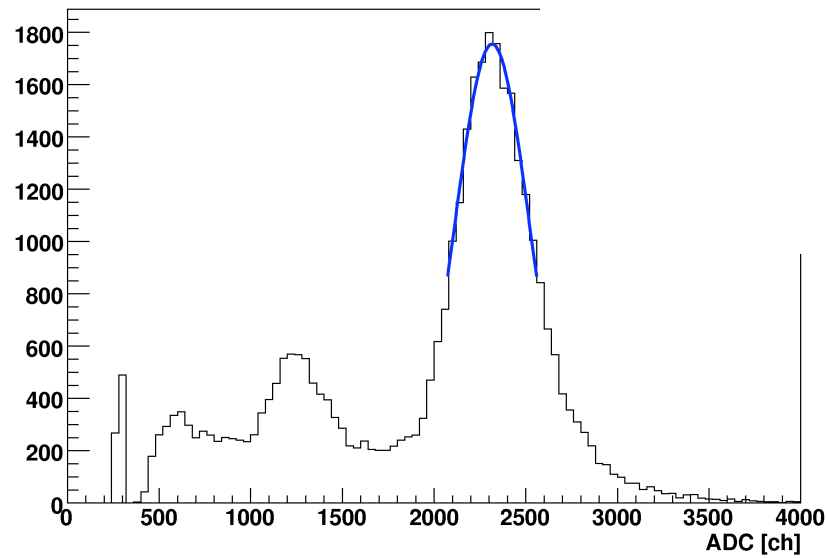
TGEM ADC spectrum

$E_{\text{drift}}=150\text{mV}$			
$\Delta V_{\text{GEM}} : E_{\text{trans}} : E_{\text{induct}}$			
type4	1	2.5	7.5



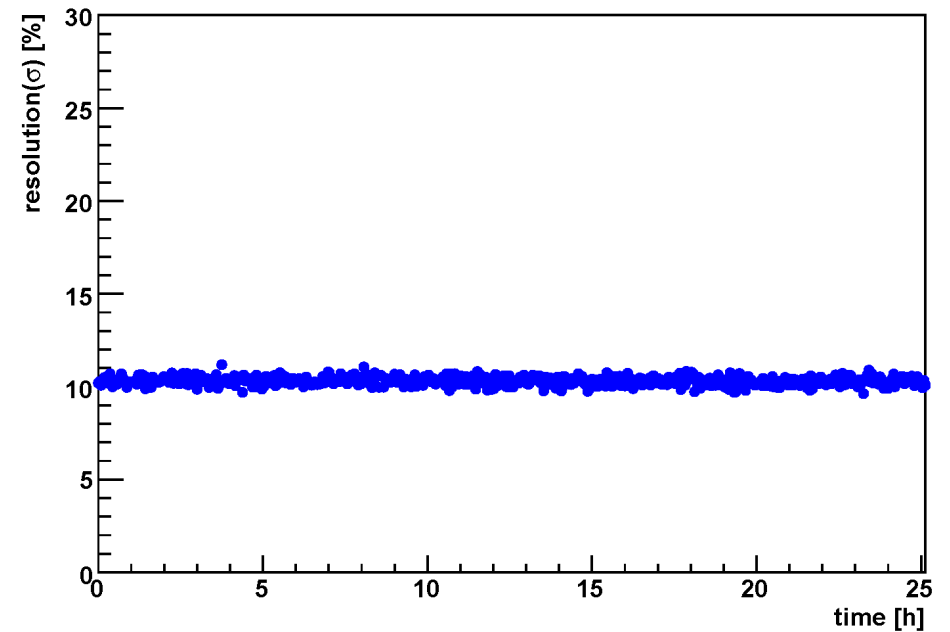
RETGEM (Carbon) stability

time380



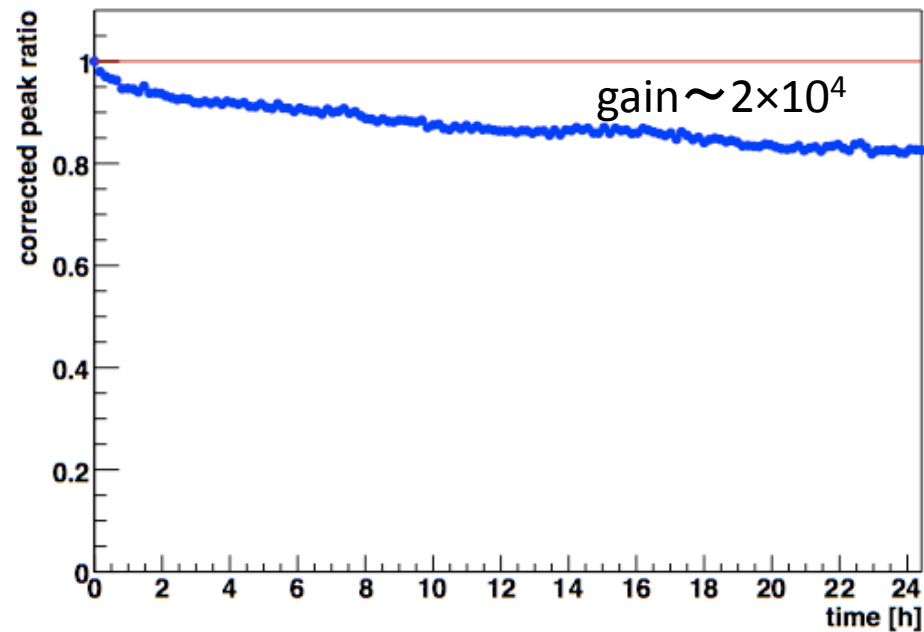
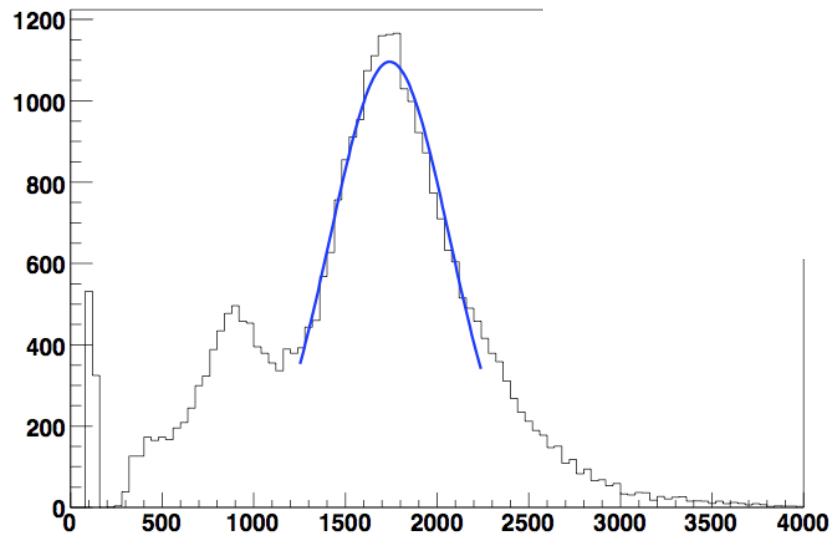
$E_{\text{drift}} = 150 \text{ mV}$

	ΔV_{GEM}	E_{trans}	E_{induct}
type4	1	2.5	7.5



Hybrid TGEM

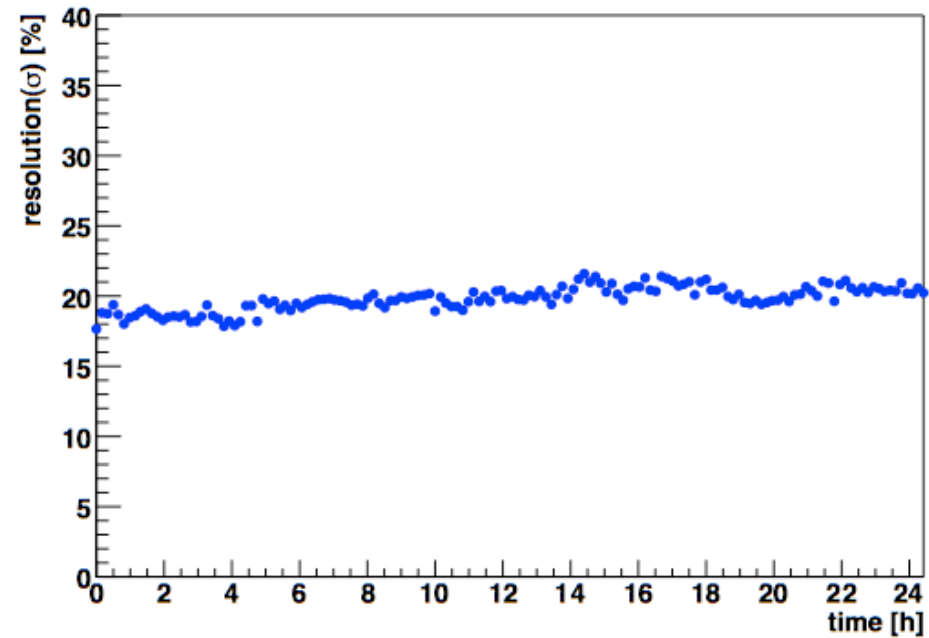
time100



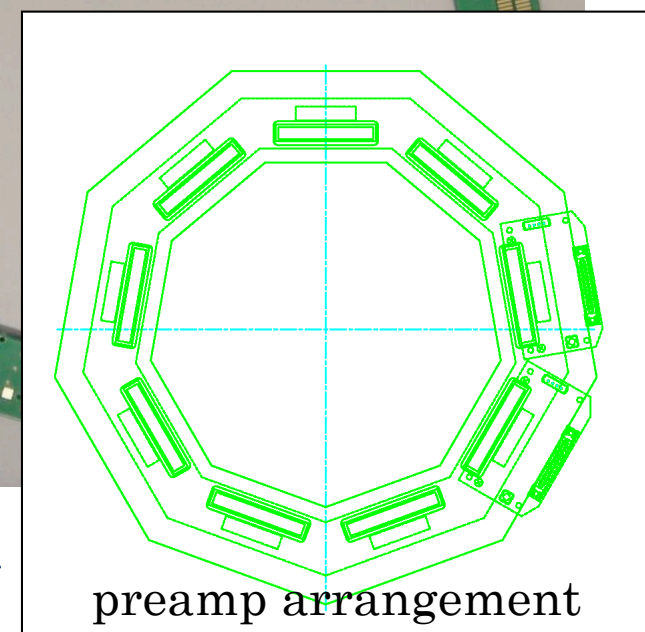
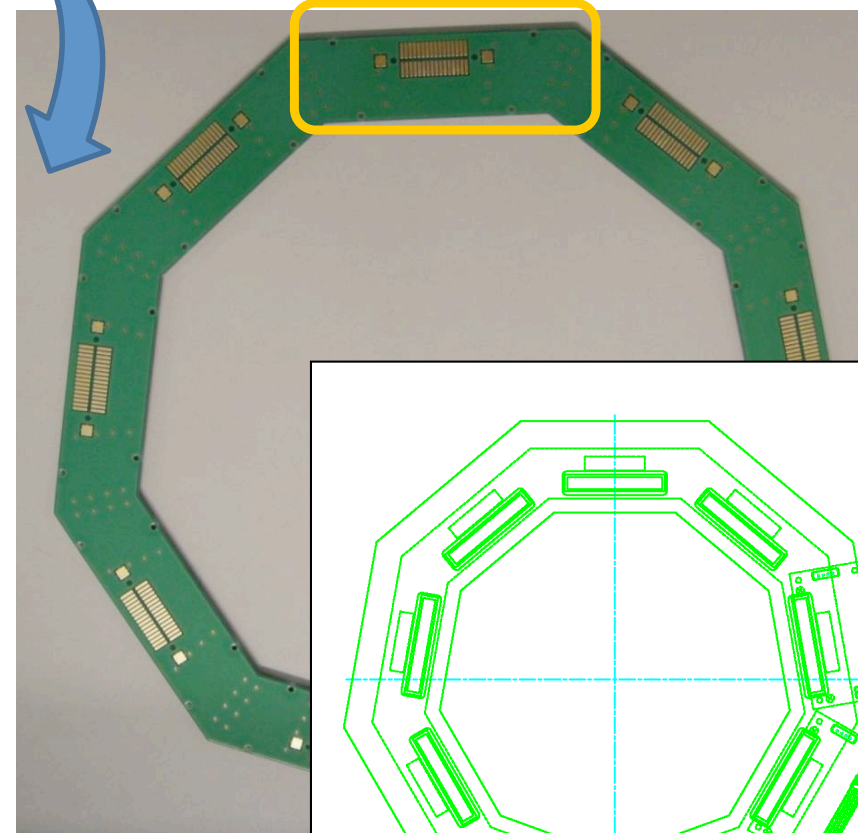
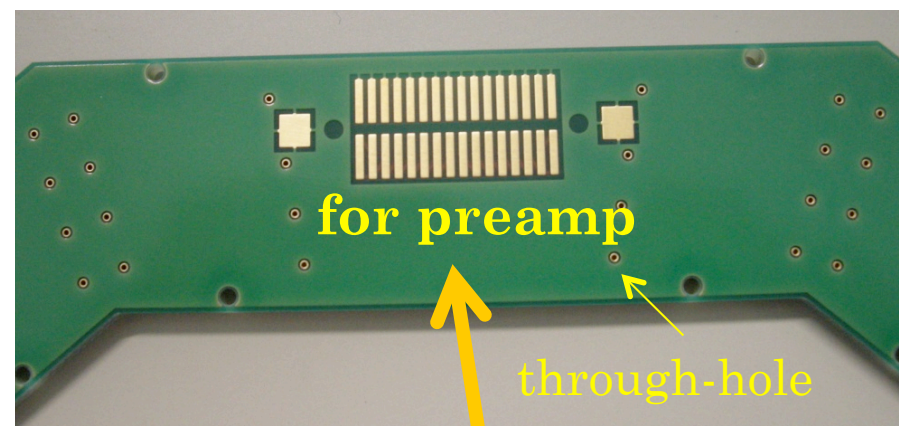
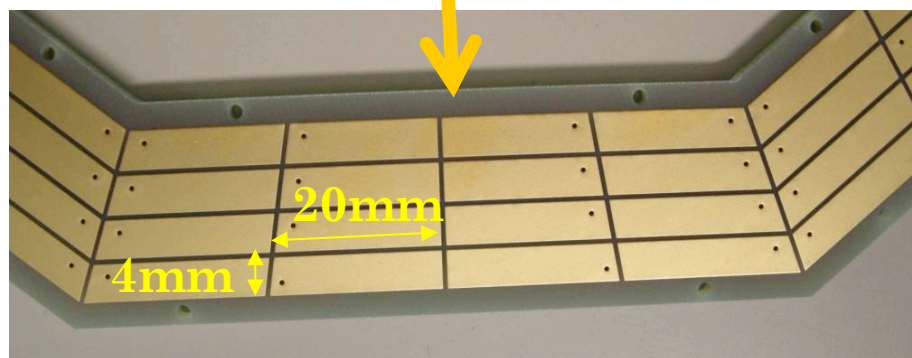
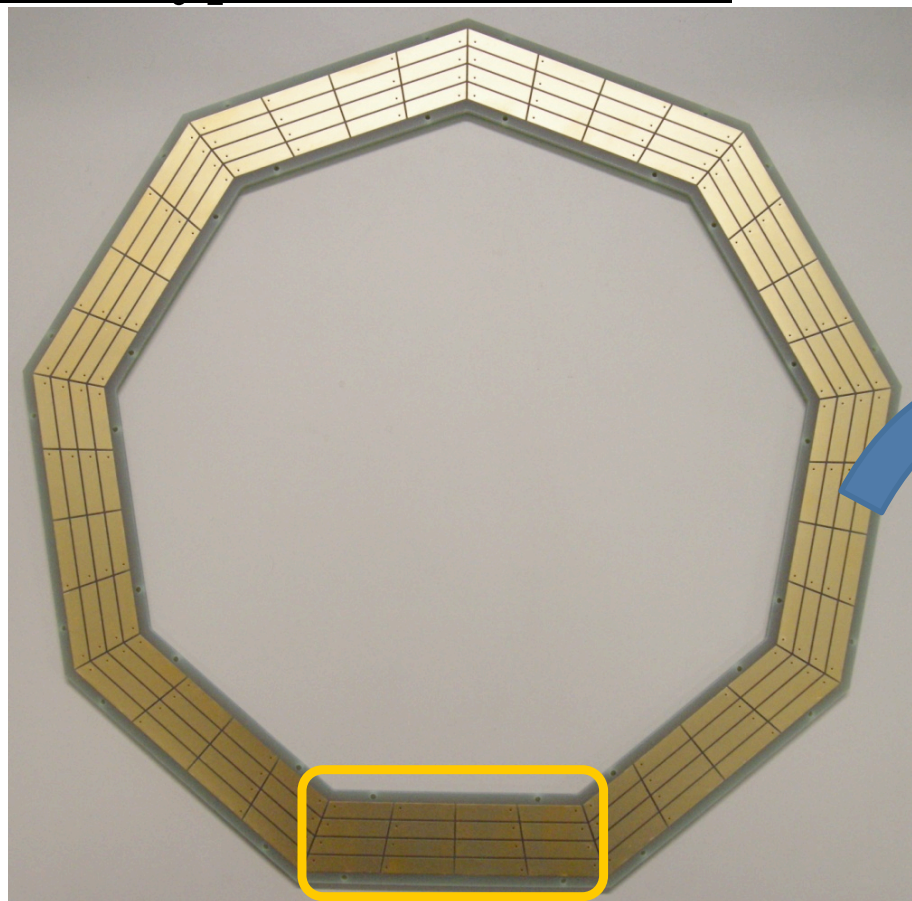
$E_{\text{drift}} = 150 \text{ mV}$

$\Delta V_{\text{GEM}} : E_{\text{trans}} : E_{\text{induct}}$

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

