

陰イオンガス中における MPGDの特性理解

2018年2月18日

第24回ICEPPシンポジウム@白馬

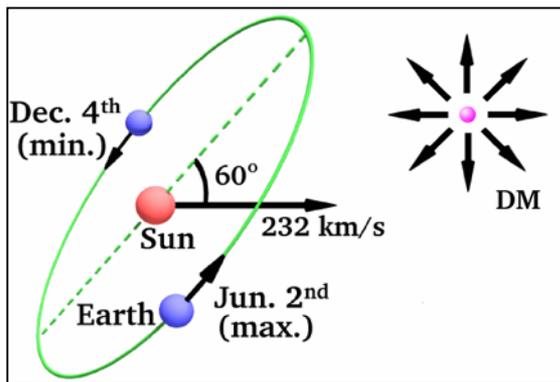
神戸大学 M1 石浦宏尚

NEWAGE

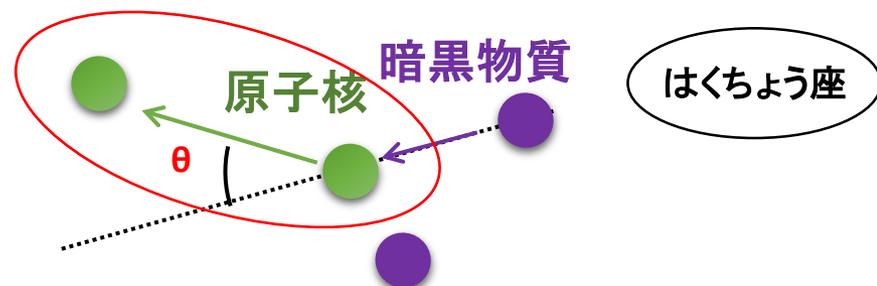


- 神戸大主導の**方向に感度を持つ**暗黒物質直接探索実験
- ガス検出器「 μ -TPC」を用いて到来方向異方性の観測を目指す

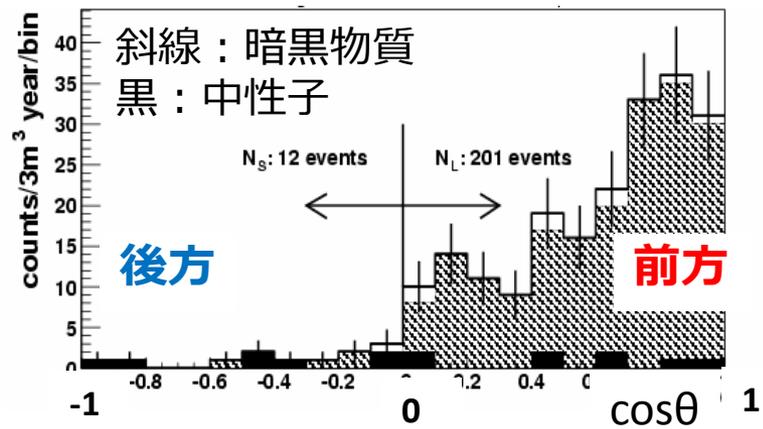
これを捉えたい



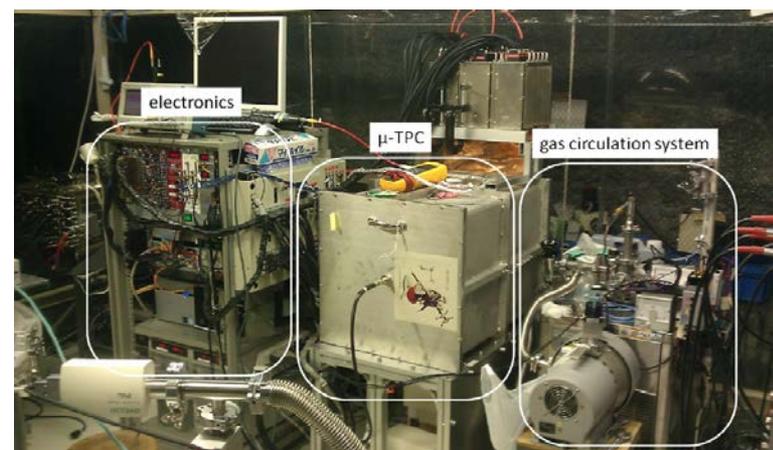
太陽系が銀河中を動いて受ける「暗黒物質の風」の向きを観測したい



暗黒物質と原子核の反跳



Physics Letters B 578 (2004) 241-246



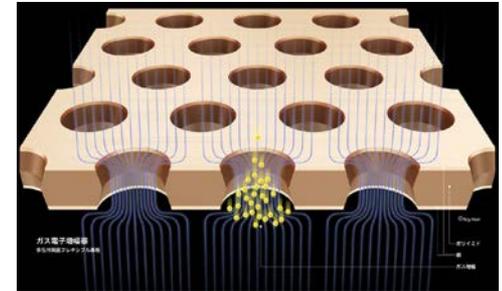
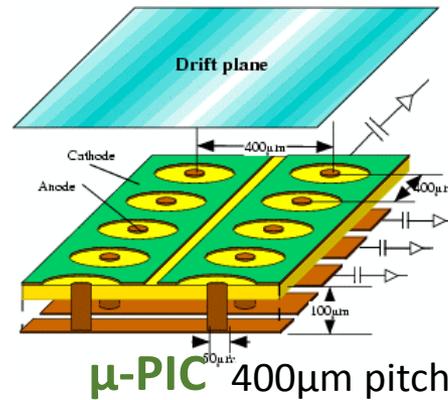
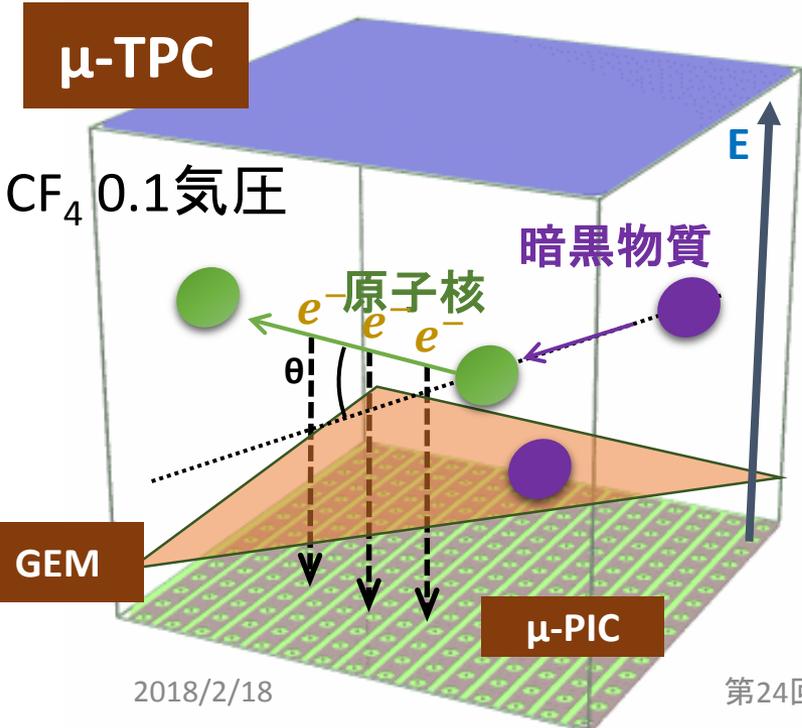
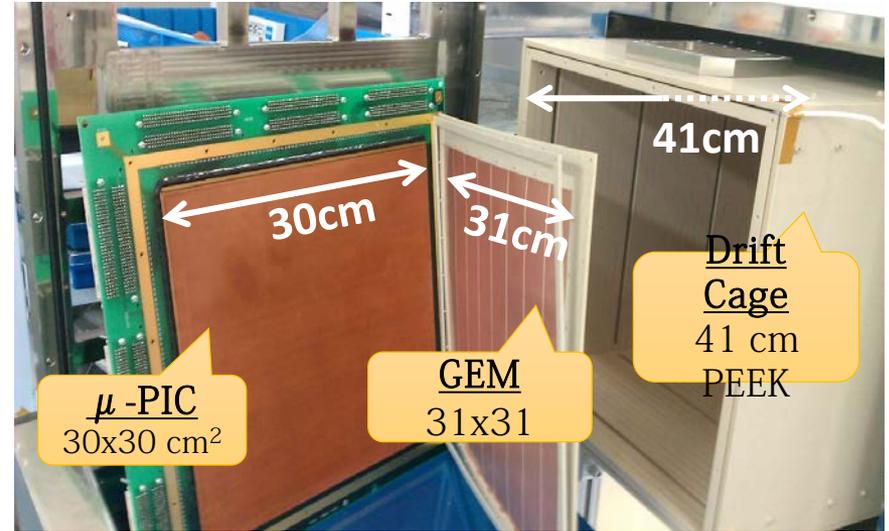
NEWAGE検出器 NEWAGE -0.3b' @神岡

期待される到来方向異方性(シミュレーション)

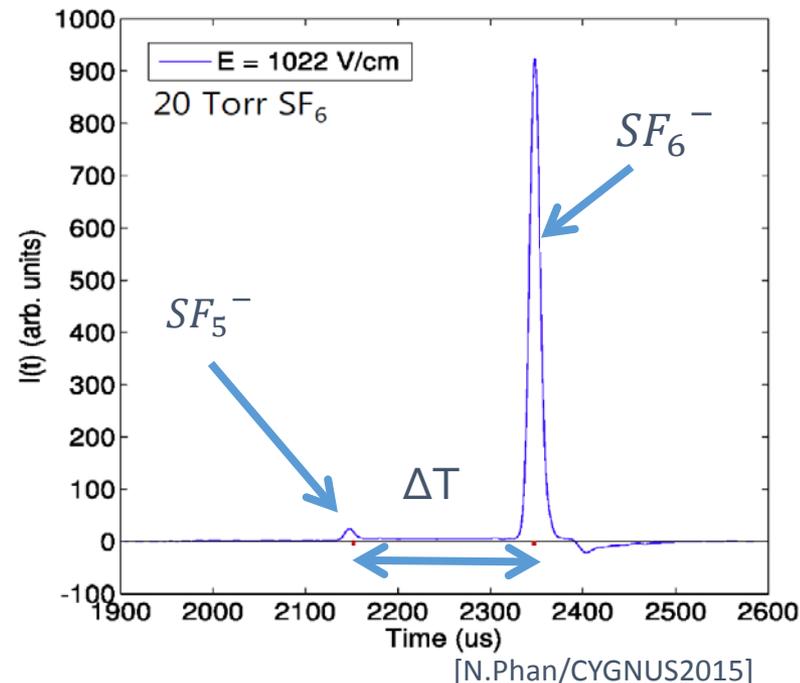
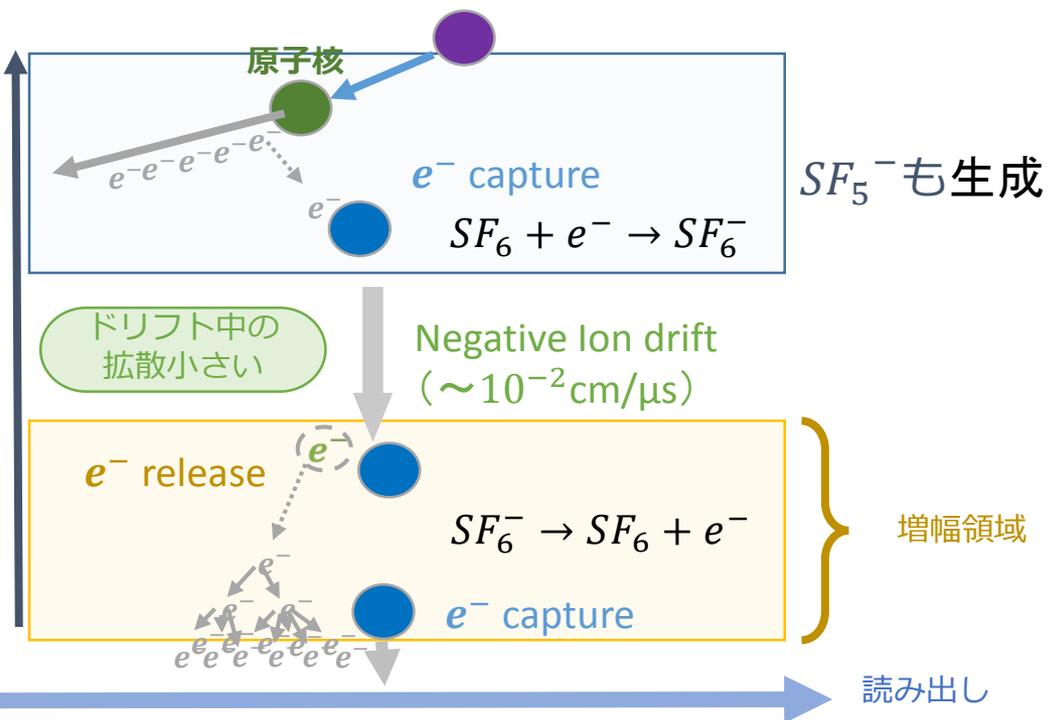
検出器: μ -TPC

- マイクロパターンガス検出器 μ -PIC を読み出しに用いた3次元飛跡検出器

- μ -PIC : 2次元飛跡(x&y)
- 信号時間差+ドリフト速度 : z
→ 3次元飛跡



陰イオンガスμTPCの原理



●陰イオンガスを用いたz軸方向絶対位置決定

DRIFTグループ (英・米) : 陰イオンガスを用いてz軸方向の絶対位置決定に成功

ドリフト速度の異なる複数イオン到達時間差

→絶対位置 $z = (t_a - t_b) \frac{v_a v_b}{v_b - v_a}$ 決定

陰イオンガス μ TPCによるBG対策

- 現在の μ -TPCの課題：バックグラウンド

→ μ -PICのガラス繊維由来 α 線

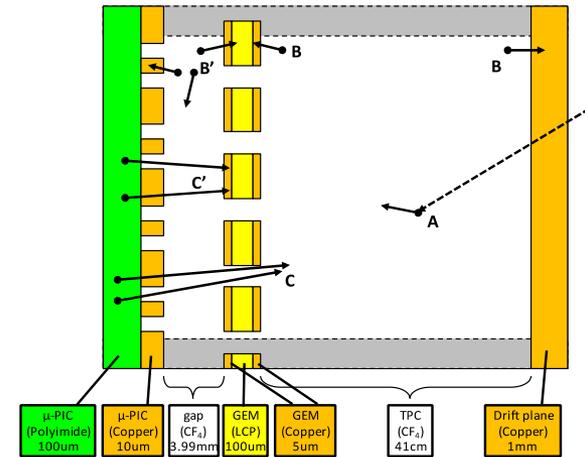
- 対策

- μ -PICの低アルファ化によるBG低減（橋本JPS2017秋）
- z軸方向への有効体積カット
(ただし従来の μ -TPC：ドリフト方向については相対位置のみ)

→陰イオンガス μ TPCを用いての絶対位置決定&有効体積カット

取り組みとして

- 陰イオンガス中でのMPGD特性理解（MyWork）
- NI μ TPC/LArTPC用ASIC(LTARS2016 K01)の性能評価（中澤講演）
- 陰イオンガス μ -TPCの開発（池田JPS2017秋）



SF₆中でのMPGD動作報告

SF6 and MPGD Overview(石浦 CYGNUS gas meeting他)

	Gain Device	Pressure(Torr)	Max gain	⁵⁵ Fe Eres(σ)	Ref
New Mexico, US	1mm, 400um GEM(CERN)	20-100	3000	25%	JINST12(2017)P02012
Frascati, Italy	3x 50um GEM (Kapton, CERN)	150-370 610(mixture)	5000	Landau	arXiv: 1710.01994
Hawai, US	Thick GEM	40Torr	3500		
Kobe, Japan	u-PIC + 100um GEM(LCP, Scienergy) , 3x 100um GEM(LCP, Scienergy)	20-152	2000 @ uPIC+GEM 20torr / 10000 @ 3xGEM 120torr	30% / 50%	arXiv: 1709.06219v1
Welleseley, US	128, 256um MicroMegas(CERN)	30-50	300	~40%	
Sheffield, UK	400um GEM(UK)	30, 40, 50,(100)	6000 @30,40torr		

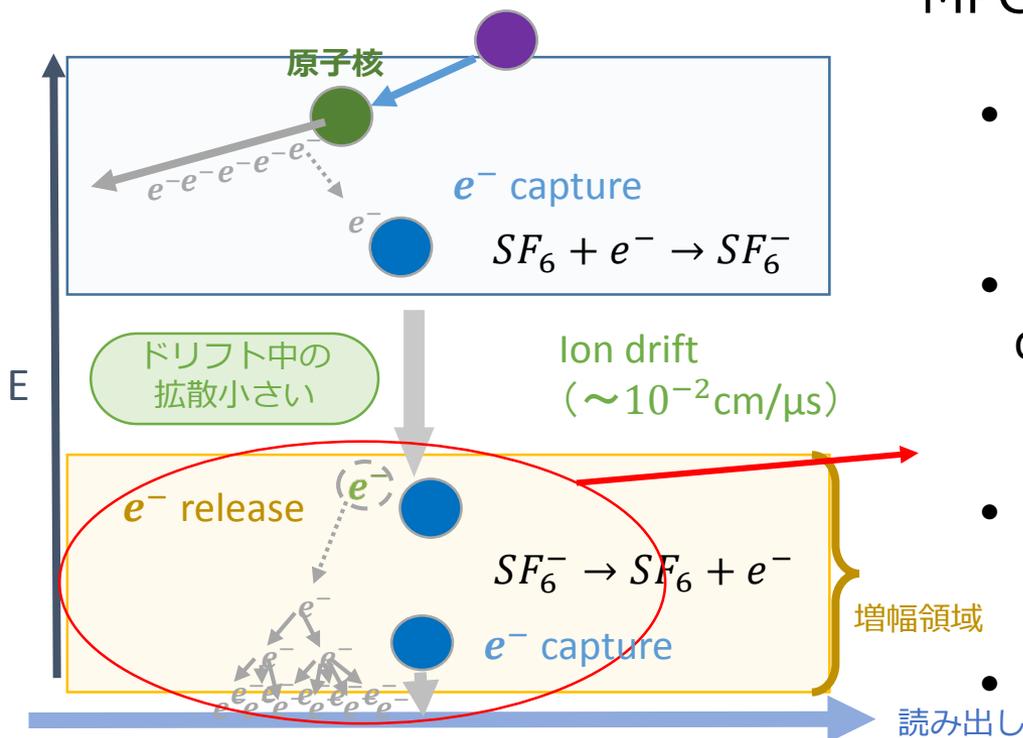
様々なMPGD、条件での動作報告

研究動機：

SF₆中で100 μ mのGEMを用いたTriple/Double-GEMを動作させ性能評価し、他の結果も含めて統一的な陰イオンガス中でのMPGD特性理解につなげたい

陰イオンガス中でのMPGD

MPGD領域において理解したいこと



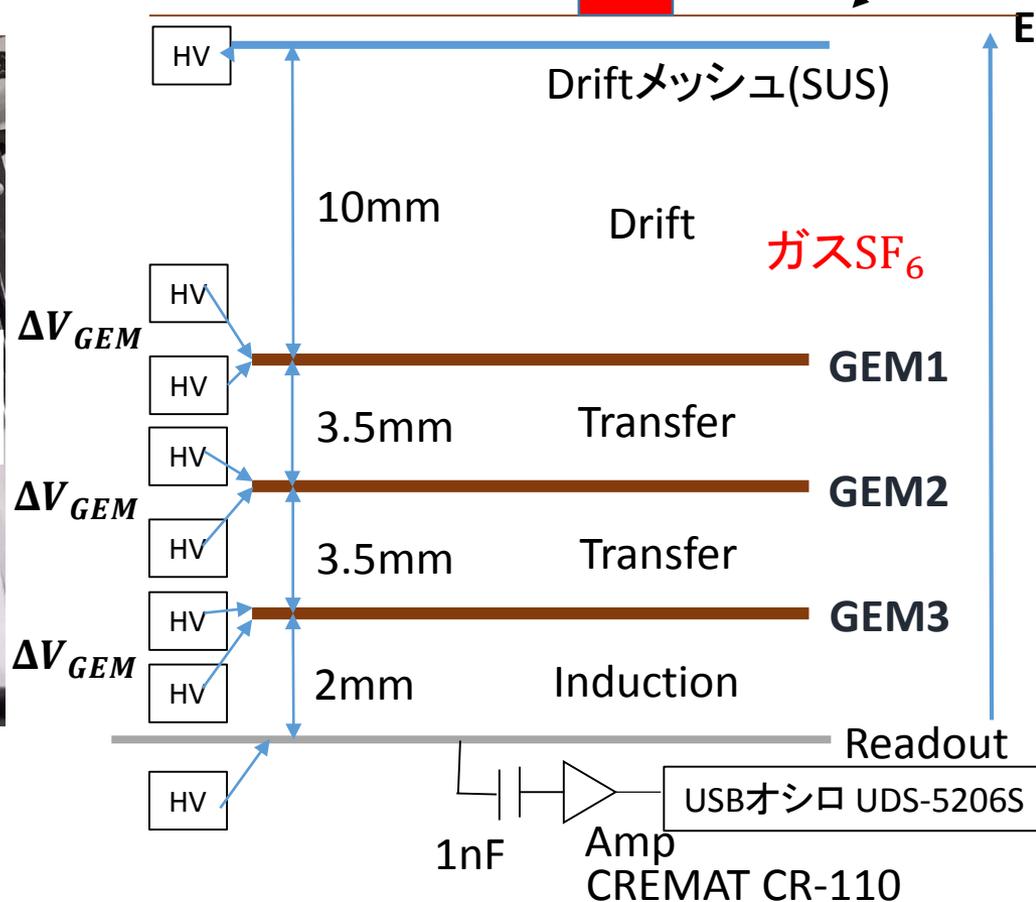
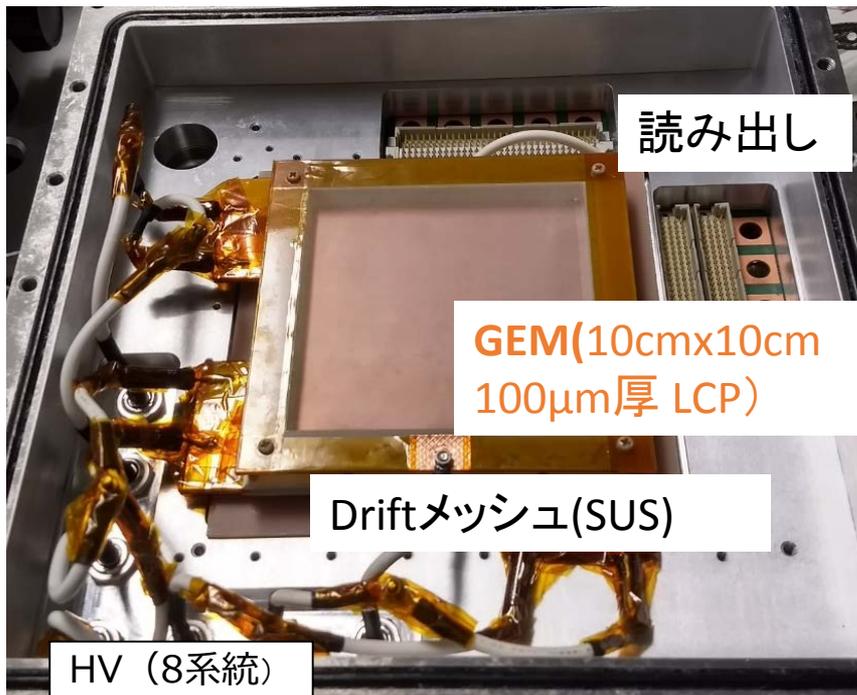
- 電子をSF₆が捕獲するattachmentの電場依存
- 増幅領域内でSF₆⁻が電子を放す detachmentの平均自由行程の電場依存 → 増幅領域の大きさに比べてどうか
- 増幅領域内での増幅の電場依存と増幅領域の大きさ
- 圧力依存

これらを踏まえた上で、先行研究及び実験とシミュレーションから陰イオンガス中でのMPGDの特性を理解したい

まずはMPGDの中でもパラメータを変えやすいGEMを用いて実験を行った

セットアップ(Triple-GEM)

線源
カプトン窓



Amp: CREMAT CR-110, Gain : 1.4V/pC, 時定数:140 μ s
 Readout: 400 μ m pitch strip読み出し 24strip(9.6mm)束ねて使用
 HV: Drift, 3つのGEMのTop&Bottom, Readoutに独立して電圧を
 かけられるように

SF₆ 中でのTriple-GEM動作試験

- Ar + C₂H₆ 90:10 1気圧中でTriple GEMの動作確認→そのセットアップ流用
- SF₆ 20~120 Torrで55Fe線源 5.9keV X線の信号確認

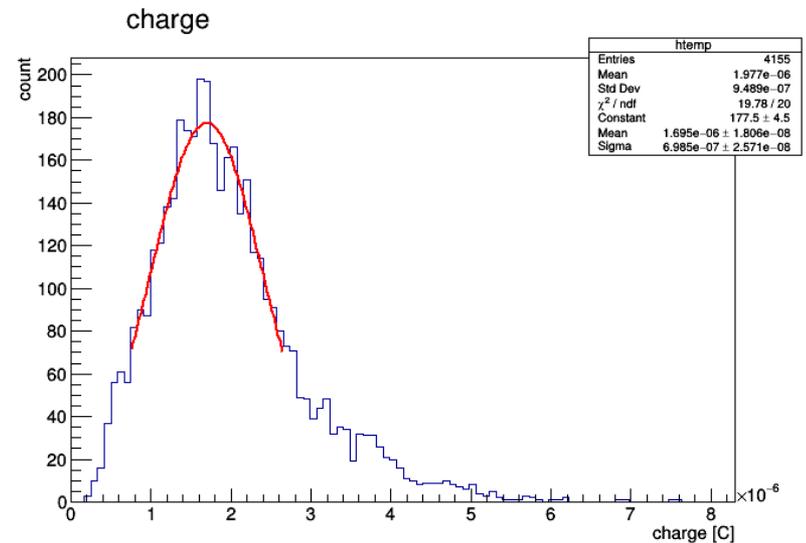
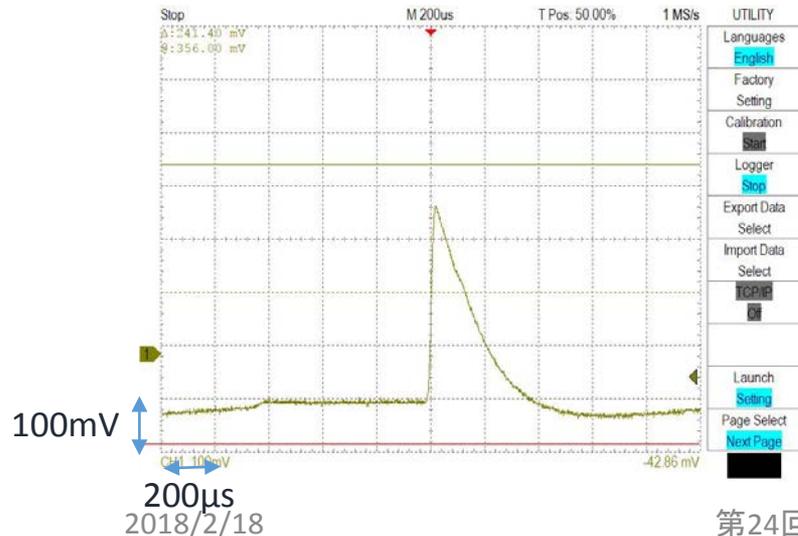
●測定方法

USBオシロで取得した波形→積分してガスゲインを計算

●測定内容

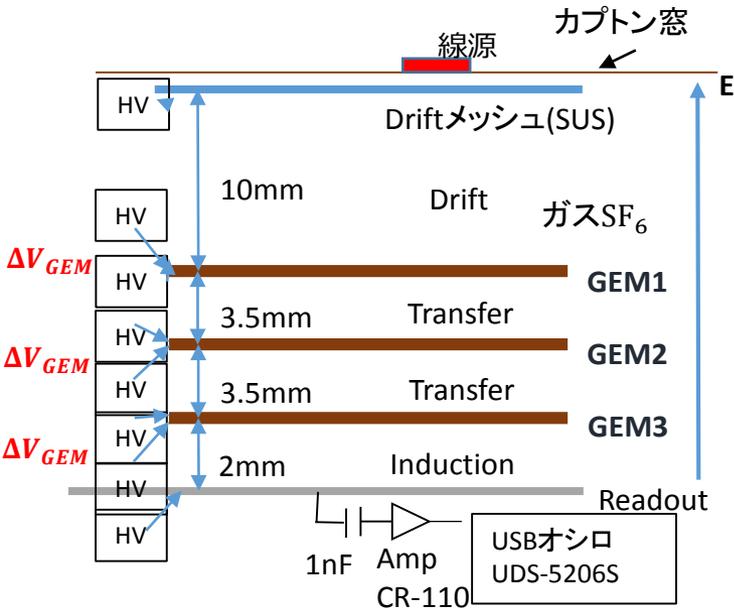
□ ΔV_{GEM} とガスゲインの関係をいくつかのガス圧について測定

□Drift, Induction, Transferの各電場を変えてガスゲイン測定

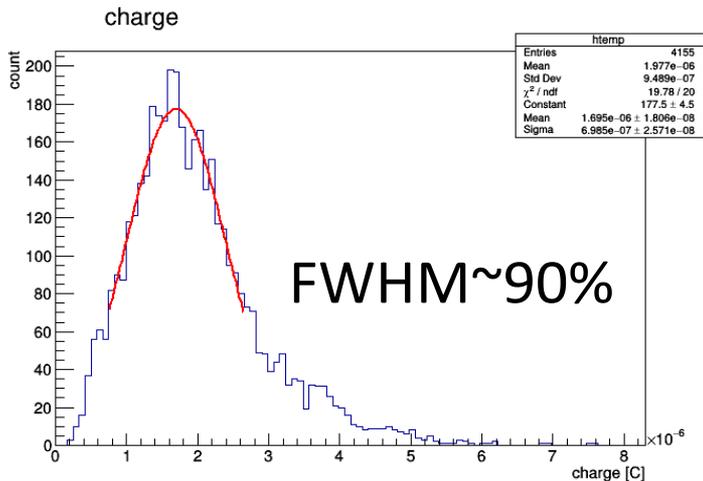
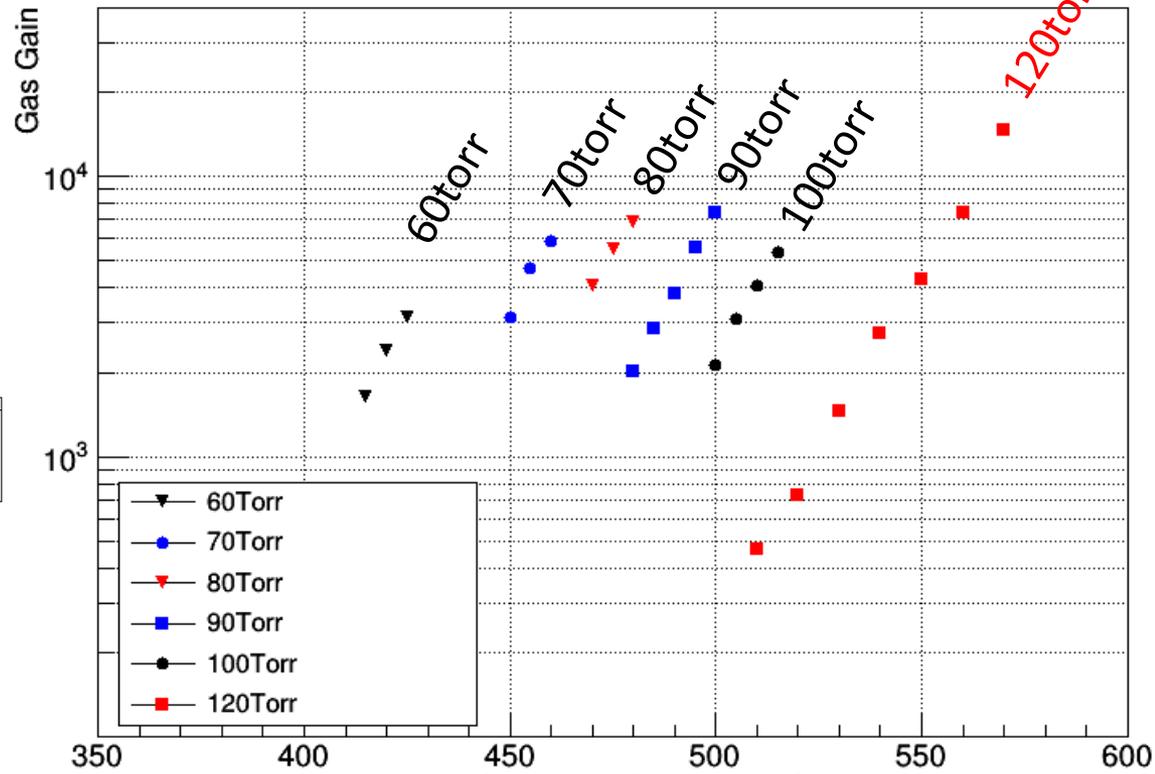


Triple-GEM ガスゲイン(SF_6)

Drift 1kV/cm
 Transfer 2.86 kV/cm
 Induction 2.5 kV/cm に固定



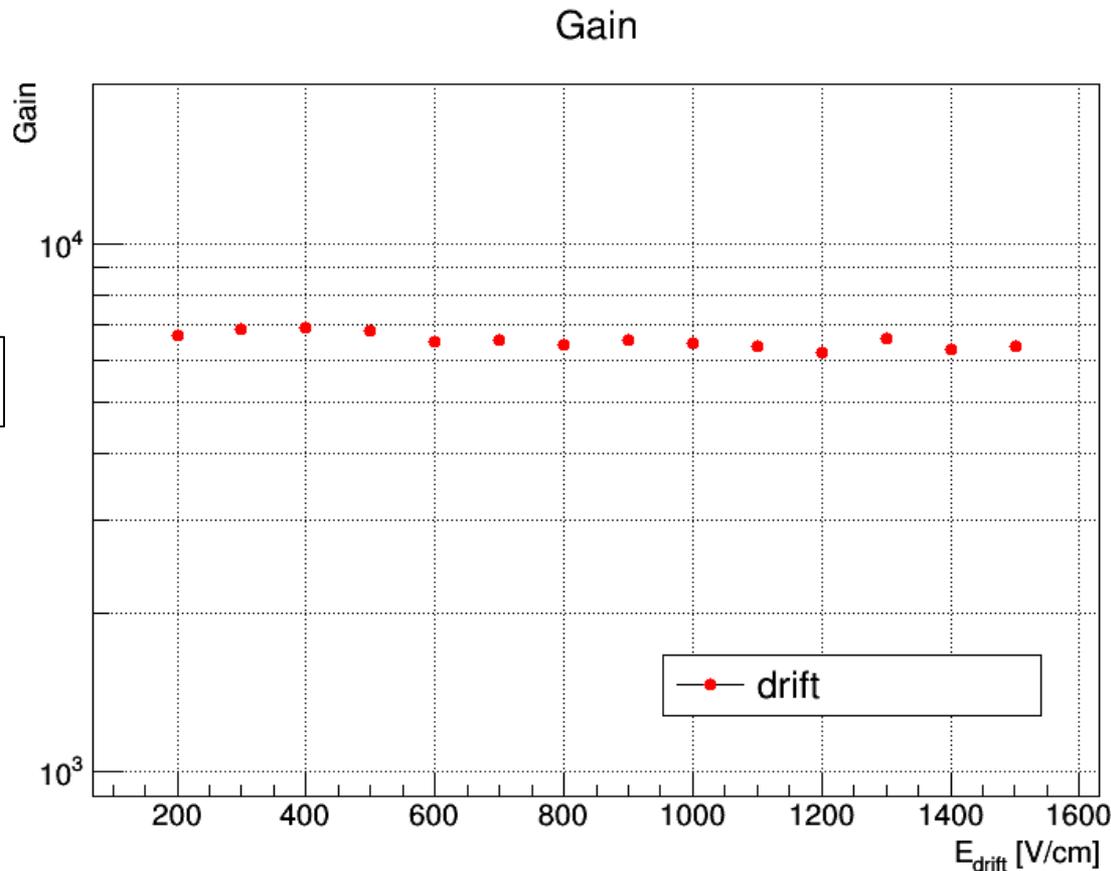
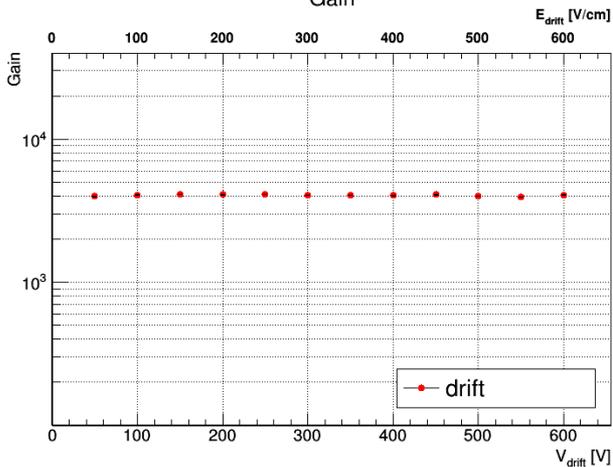
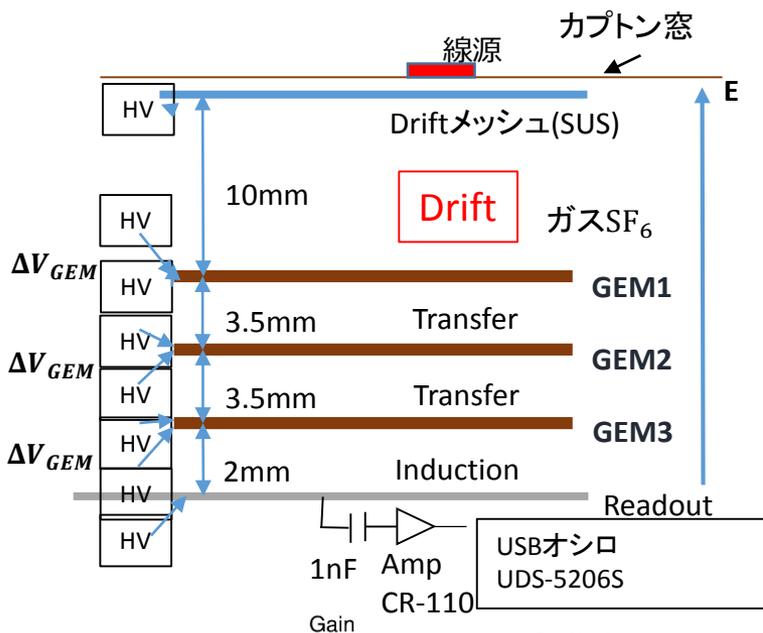
SF_6 60~120torr での ΔV_{GEM} とガスゲイン



ガスゲイン $10^3 \sim 10^4$ を得た。
 圧力が低いほど、動作電圧は低くなる

ガスゲイン vs Drift電場

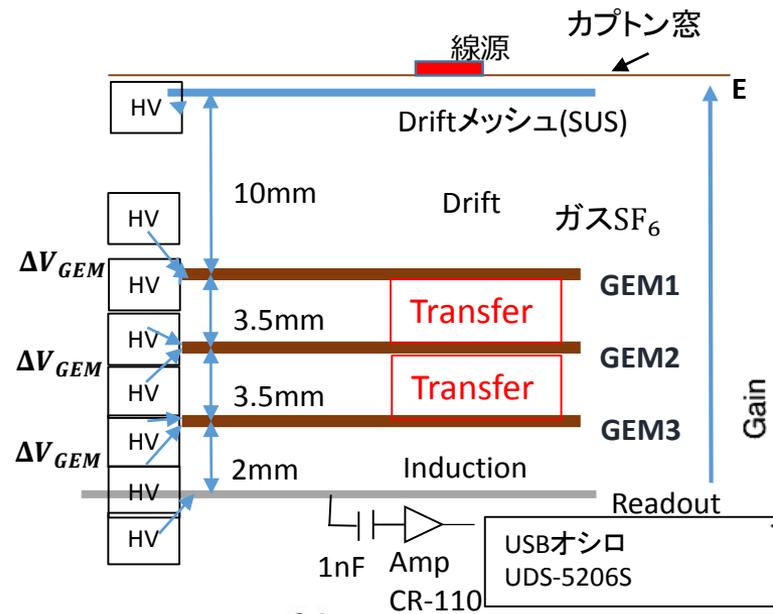
$\Delta V_{GEM} = 520V$
 Transfer 2.86 kV/cm
 Induction 2.5 kV/cm
 SF₆ 100torr



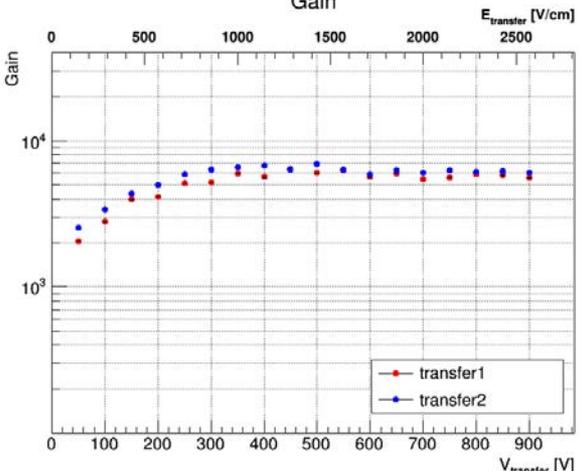
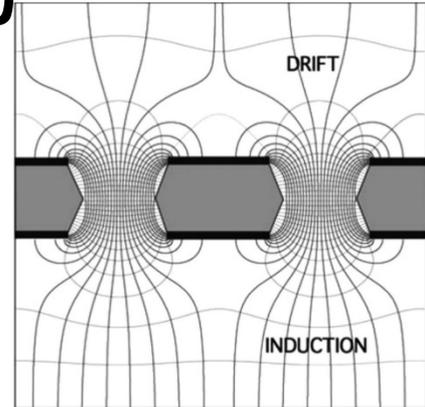
ゲインのDrift電場依存は見られなかった

Ar + C₂H₆ (90:10) 1気圧
 JPS2017秋石浦

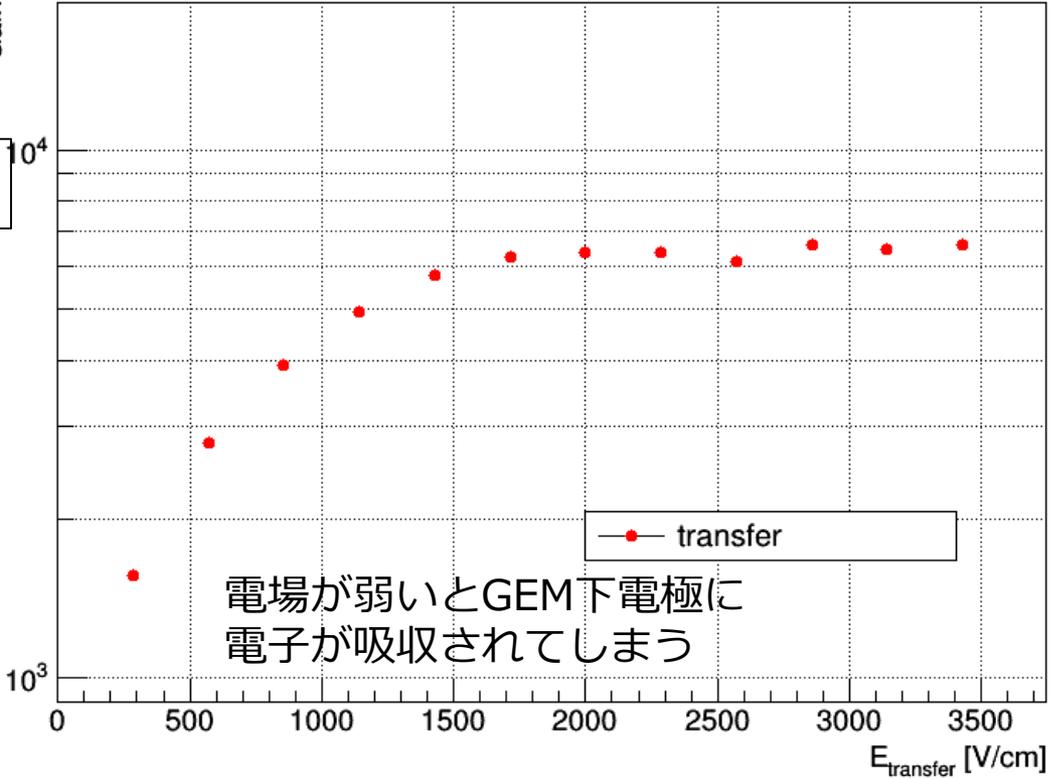
ガスゲイン vs Transfer電場



$\Delta V_{GEM} = 520V$
 Drift 1kV/cm
 Induction 2.5 kV/cm
 SF₆ 100torr
 Gain



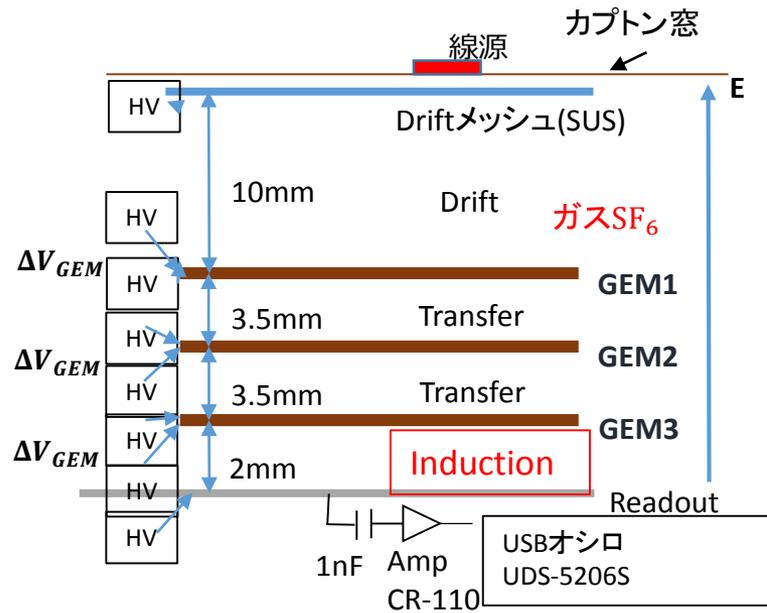
Ar + C₂H₆ (90:10) 1気圧
 JPS2017秋石浦



電場が弱いとGEM下電極に
 電子が吸収されてしまう

一定に落ち着く

ガスゲイン vs Induction電場



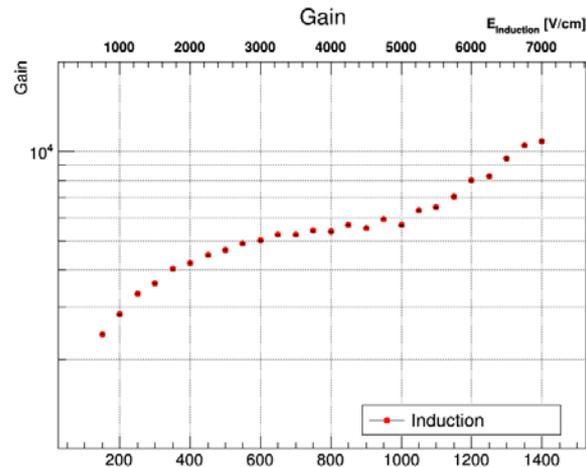
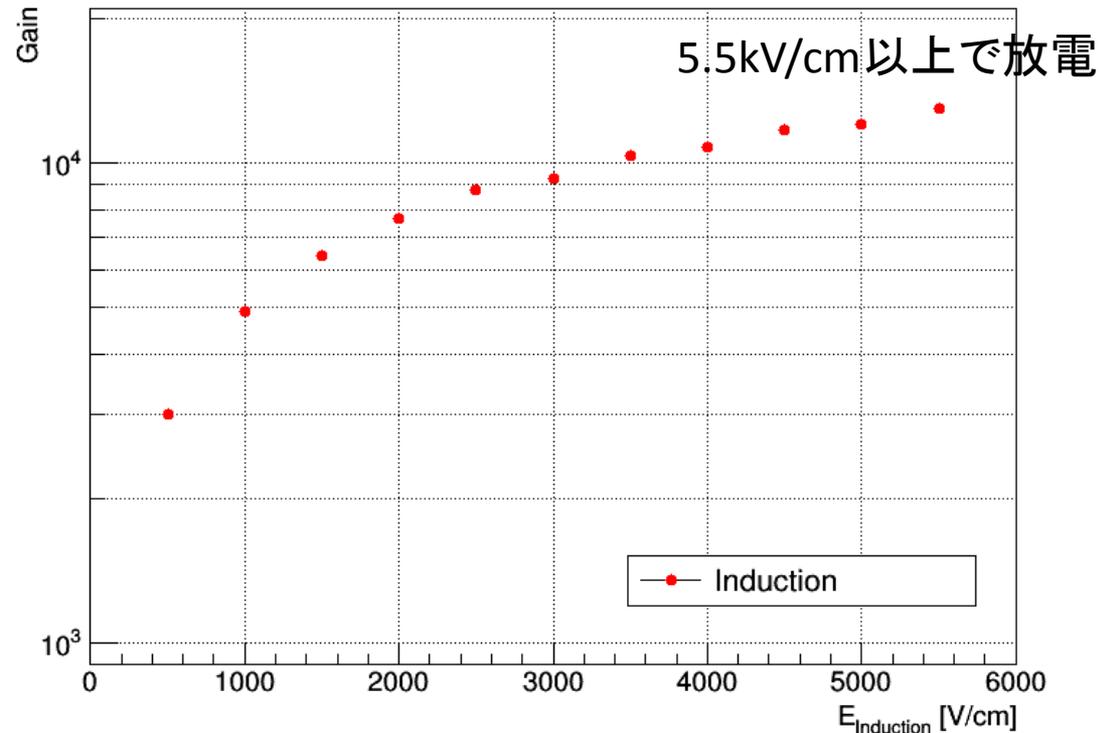
Induction @SF6 100torr

$\Delta V_{GEM} = 520V$

Drift 1kV/cm

Transfer 2.86 kV/cm

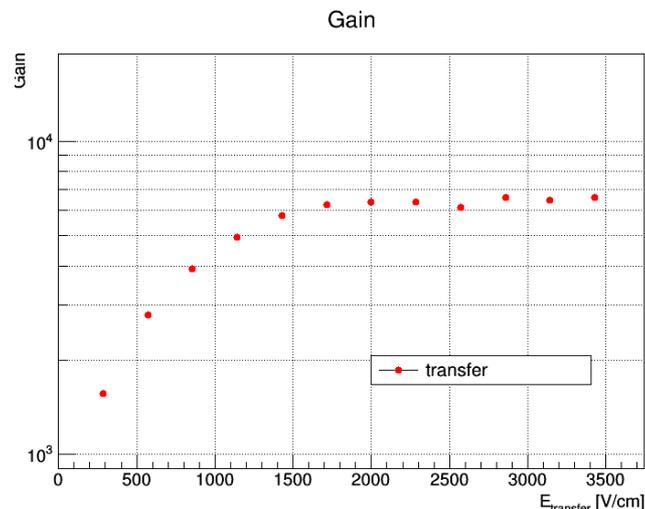
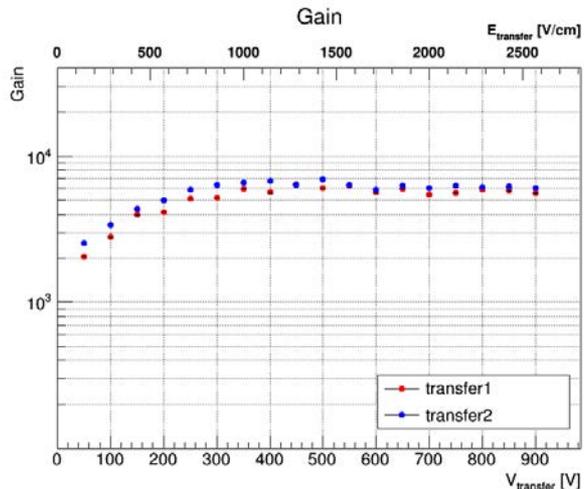
Gain



Ar + C₂H₆ (90:10) 1気圧
JPS2017秋石浦

プラトーとなっているところまでは
Ar + C₂H₆と同じ傾向を得た

考察

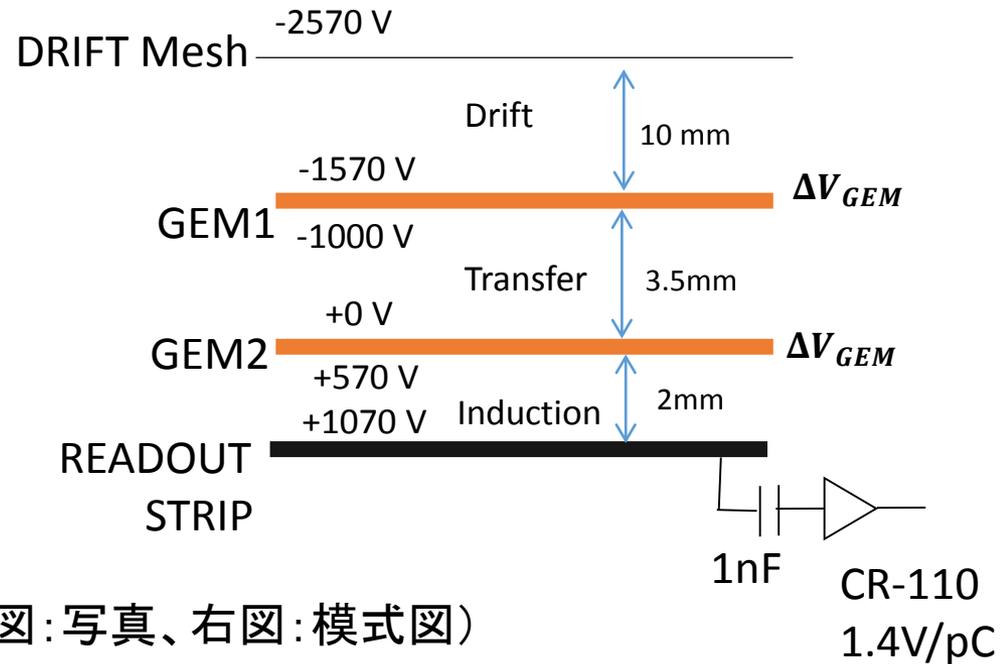
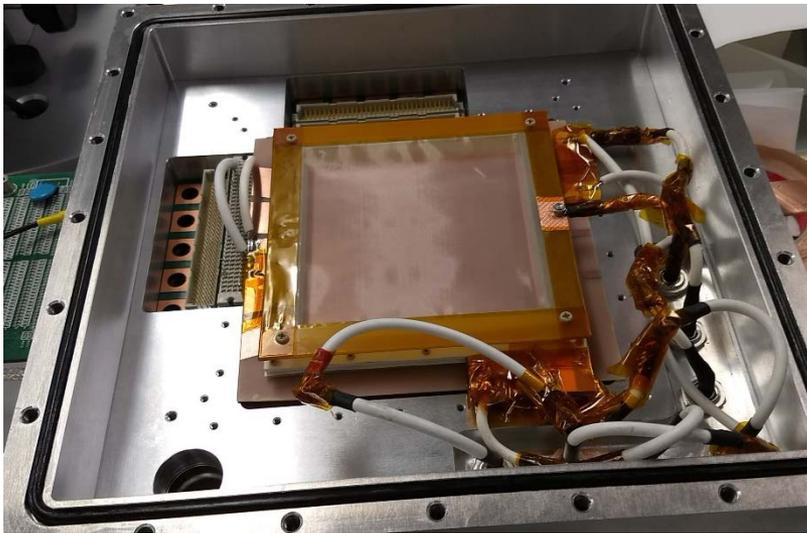


Transferとゲイン(左Ar+C₂H₆, 右SF₆)

- 今回得られたガスゲインとDrift, Transfer, Inductionの関係の結果
 - 以前測定したAr + C₂H₆ (90:10) 1気圧での結果と似た傾向
違い: FWHM~90%(Ar + C₂H₆のときは25%くらい)
- SF₆が介在するが、各電場とゲインの関係はAr + C₂H₆ (90:10) 1気圧の結果とエネルギー分解能以外似た傾向
 - 増幅過程において陰イオン/電子はどう働く?
 - 電場構造について詳しく調べ、増幅がどこで行われているか調べる必要
- FWHMの悪さはGEMの枚数によるもの?
 - GEM枚数を減らしてDouble-GEMとして確かめる

Double-GEM

- エネルギー分解能とGEM枚数の関係について調べるため、GEM枚数を2枚に

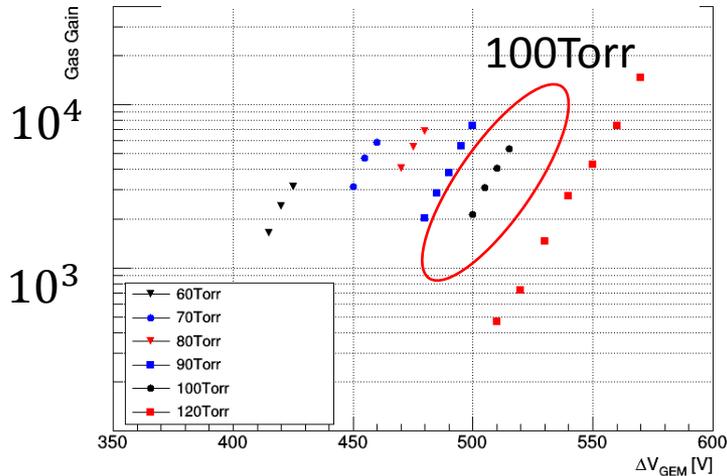


Double-GEMセットアップ(左図:写真、右図:模式図)

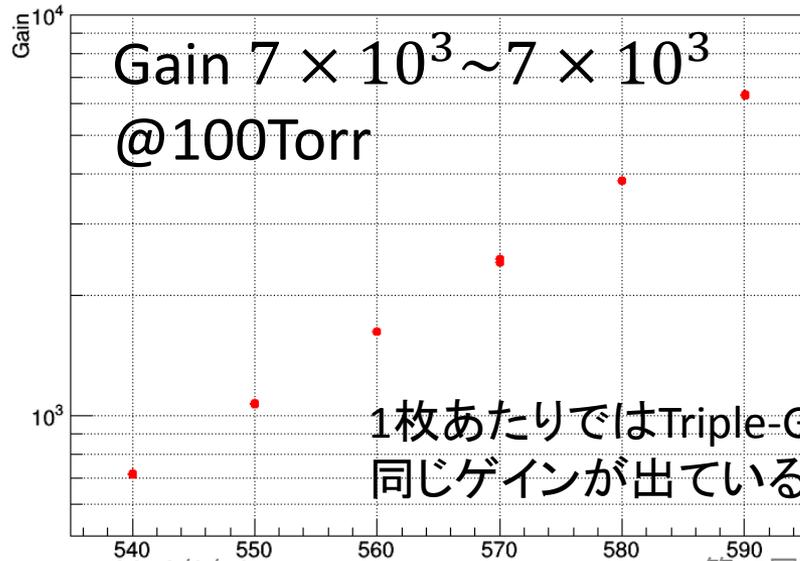
Double-GEM Result

Drift 1kV/cm
 Transfer 2.86 kV/cm
 Induction 2.25 kV/cm
 に固定

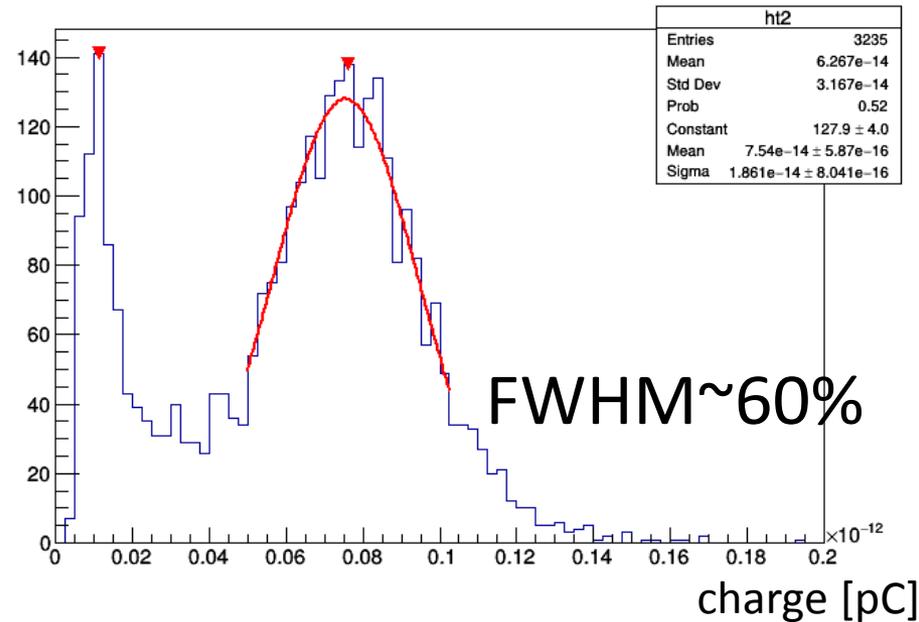
Triple-GEM ガスゲイン



Gain @ 100 Torr SF6 Double-GEM



$\Delta V_{GEM}=550V$



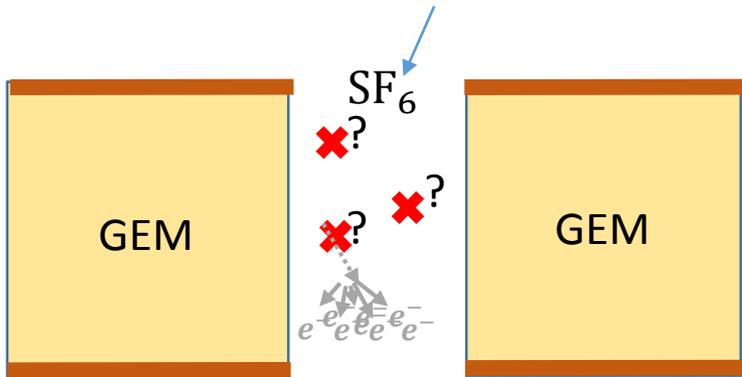
FWHM ~ 60%

GEM毎にエネルギー分解能が悪化？

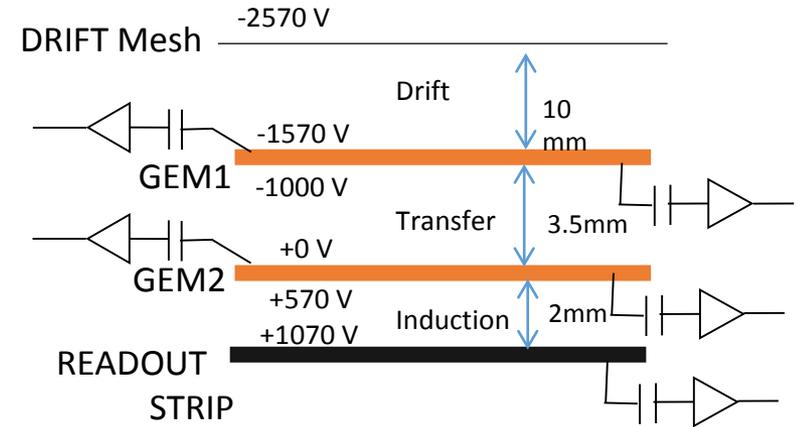
Double-GEMで
 FWHMの向上及び
 Triple-GEMと同程度ゲイン

- GEM1枚当たりのゲインを下げて安定動作させようとTriple-GEMにするとFWHMが悪化する

➤ GEM : SF₆中では多段にするとエネルギー分解能が悪化



どこでSF₆が電子をdetach→増幅開始?



- ホール中で増幅開始位置（ドリフト方向）のバラツキがFWHMの悪さに
 - 要調査
- Transfer領域では電子 or 陰イオンどちらが移動？
 - GEM間信号時間差を確認（電子と陰イオンでドリフト速度 $10^2 \sim 10^3$ 違うため）

今後とまとめ

◆ 今後

- GEM(100 μ m厚)の各パラメータ(ΔV_{GEM} 、電場、ガス圧、GEM枚数など)を変えさらなるSF₆ガス中特性の確認
- MicroMegas等の他のMPGD、例えばSF₆ガス中における試験
- 実験とシミュレーション(Garfield++等)両方による電場構造&ジオメトリ及び陰イオンの挙動の理解

◆ まとめ

- SF₆ 60~120 TorrでTriple-GEMの最大ガスゲイン $\sim 10^4$, FWHM $\sim 90\%$
- Triple-GEMを用いてDrift, Transfer, Induction電場とゲインの関係を測定
- Ar + C₂H₆(90:10)とSF₆というガスの違いにもかかわらず、傾向としてはFWHM以外同じような結果を得た
- SF₆ 100Torr Double-GEMで最大ガスゲイン 10^4 、GEM枚数を減らすとエネルギー分解能が向上しFWHM $\sim 60\%$

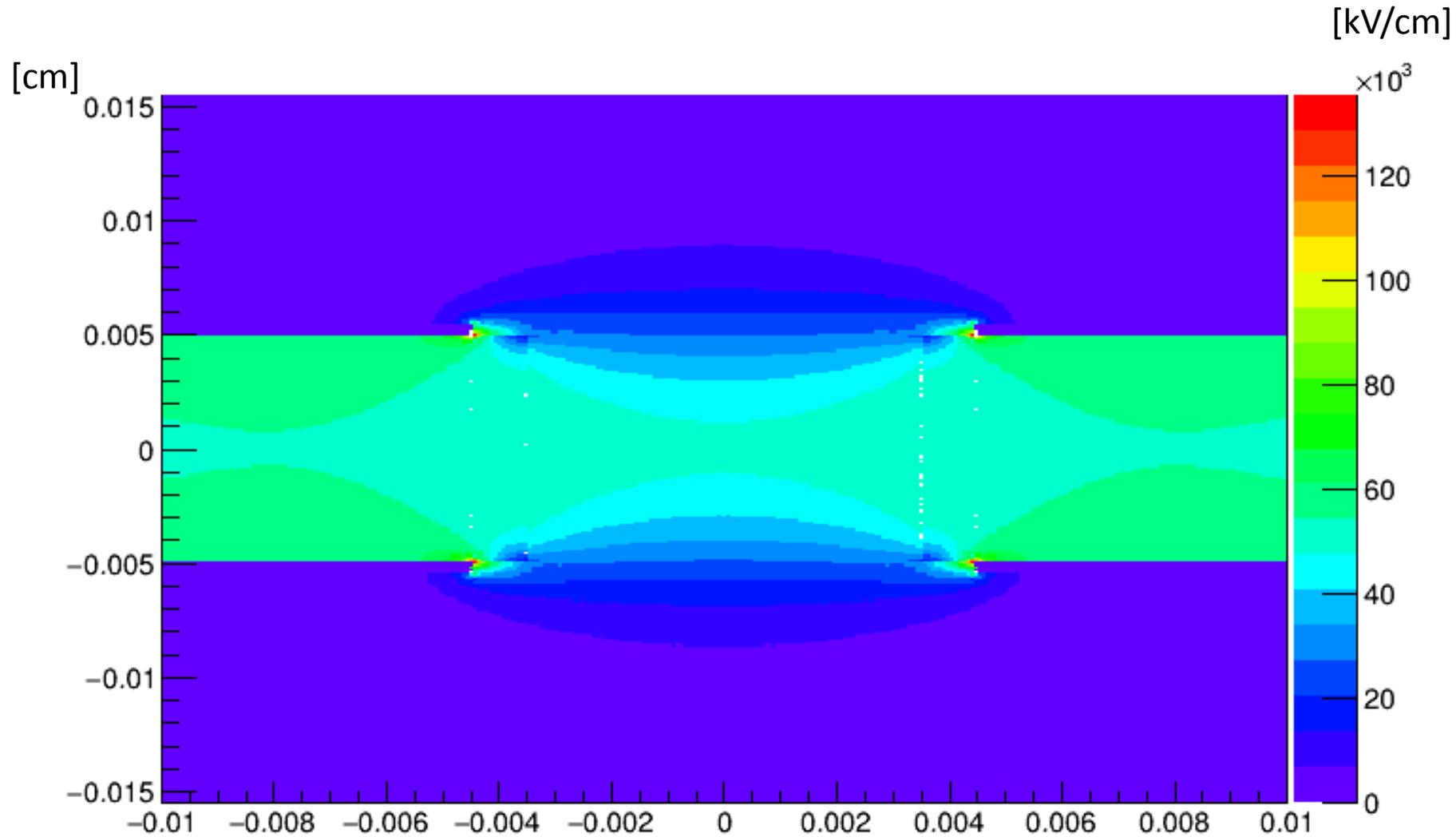
Backup

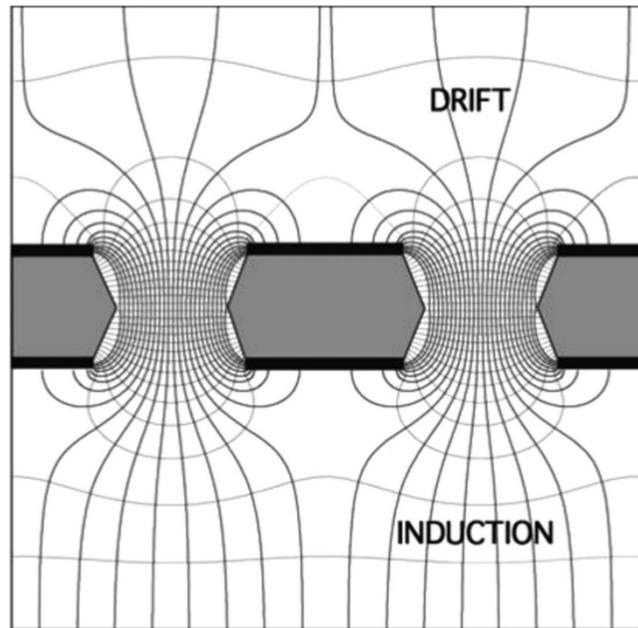
SF₆

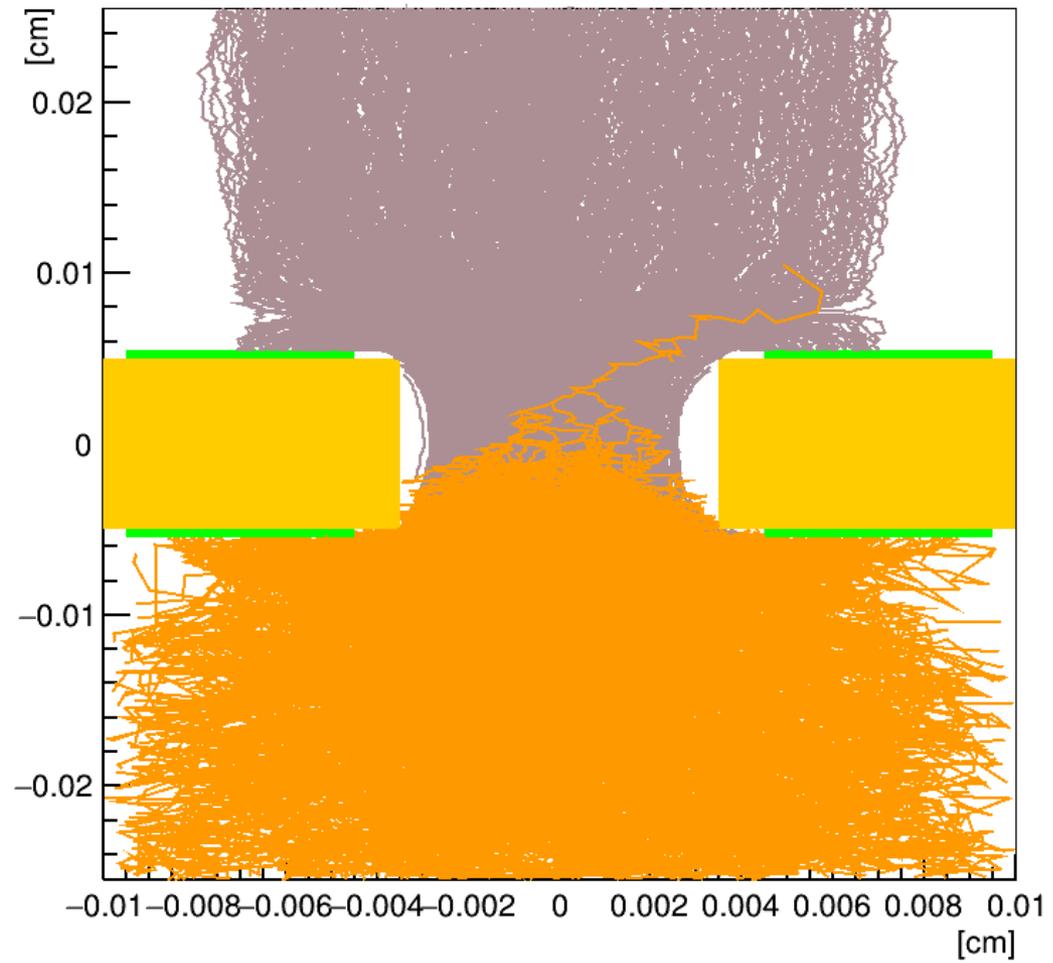
- $\text{SF}_6 + e^- \rightarrow \text{SF}_6^{-*}$
- $\text{SF}_6^{-*} \rightarrow \text{SF}_6 + e^-$

- $\text{SF}_6^{-*} + \text{SF}_6 \rightarrow \text{SF}_6^- + \text{SF}_6$
- $\text{SF}_6^{-*} \rightarrow \text{SF}_5^- + \text{F}$

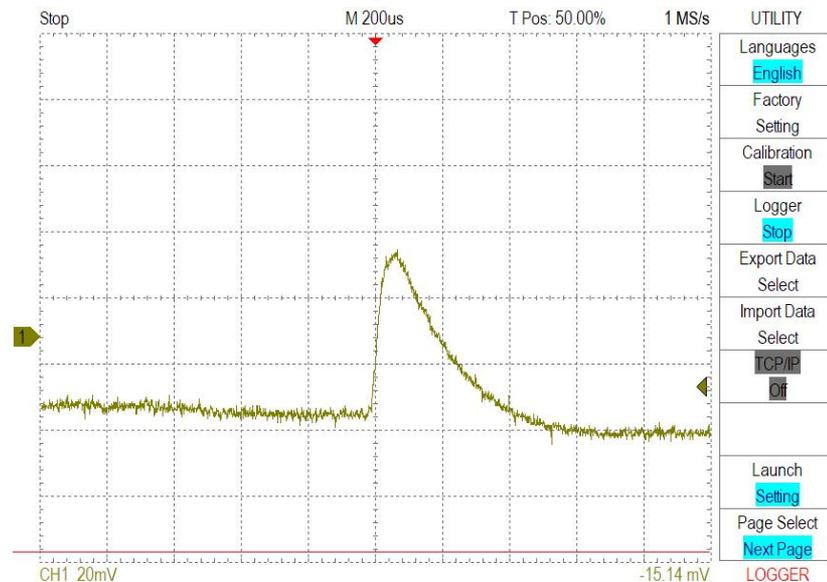
GEM 電場構造







ゲイン取得



^{55}Fe 線源による5.9keV X線を用いる

USBオシロで取得した波形から電荷量を計算し、
アンプゲイン等と合わせて計算

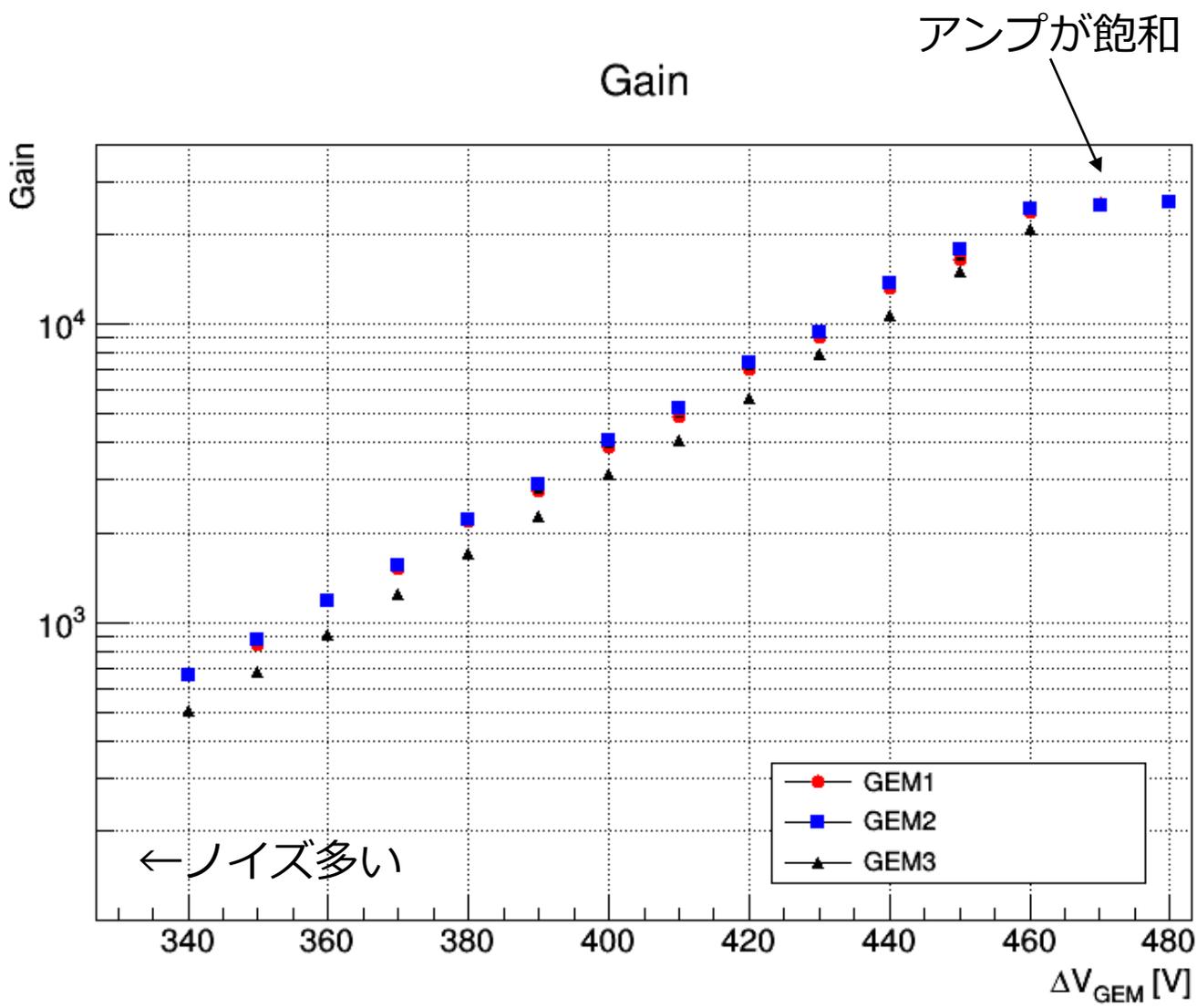
$$\frac{E_d}{W} \times e^- \times G_{gas} \times G_{amp} = Q$$

E_d : Energy Deposit、 G_{gas} :ガスゲイン、 G_{amp} :アンプゲイン、

Q:アンプからの電荷

ΔV_{GEM} と Gain

共通パラメータ
Ar + C₂H₆(90:10) 1気圧
V_{Drift} = 200 V
V_{Transfer} = 857 V/cm
他GEM $\Delta V_{\text{GEM}} = 340\text{V}$ 固定



GEM1,2とGEM3の測定日は異なる

Ar + C₂H₆(90:10) 1気圧

ガスゲイン要請値 (2017池田智法修士論文より)

- SRIMから、SF6 20Torr中で
最小8keVのdeposit

- $Q = \frac{E_d}{W} \cdot e \cdot G$

(Q:ストリップで検出される電荷, E_d :
ストリップに落ちたエネルギー, W: W値, e:, 電気素量, G:
ガスゲイン)

- 20Torrで80fC/1000[
gas gain]

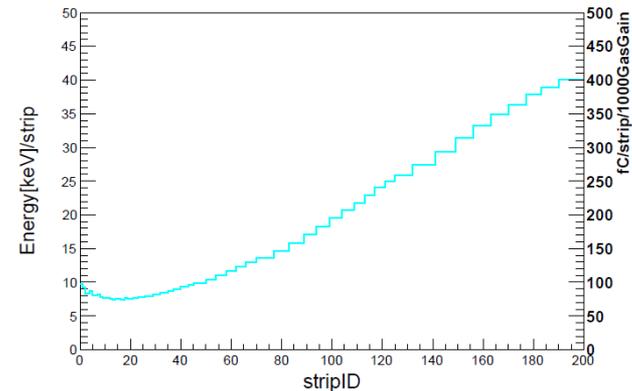


図 7.16: SRIM による μ -PIC のストリップに落とすエネルギー
及び電荷量の関係。

Transfer電場とGain

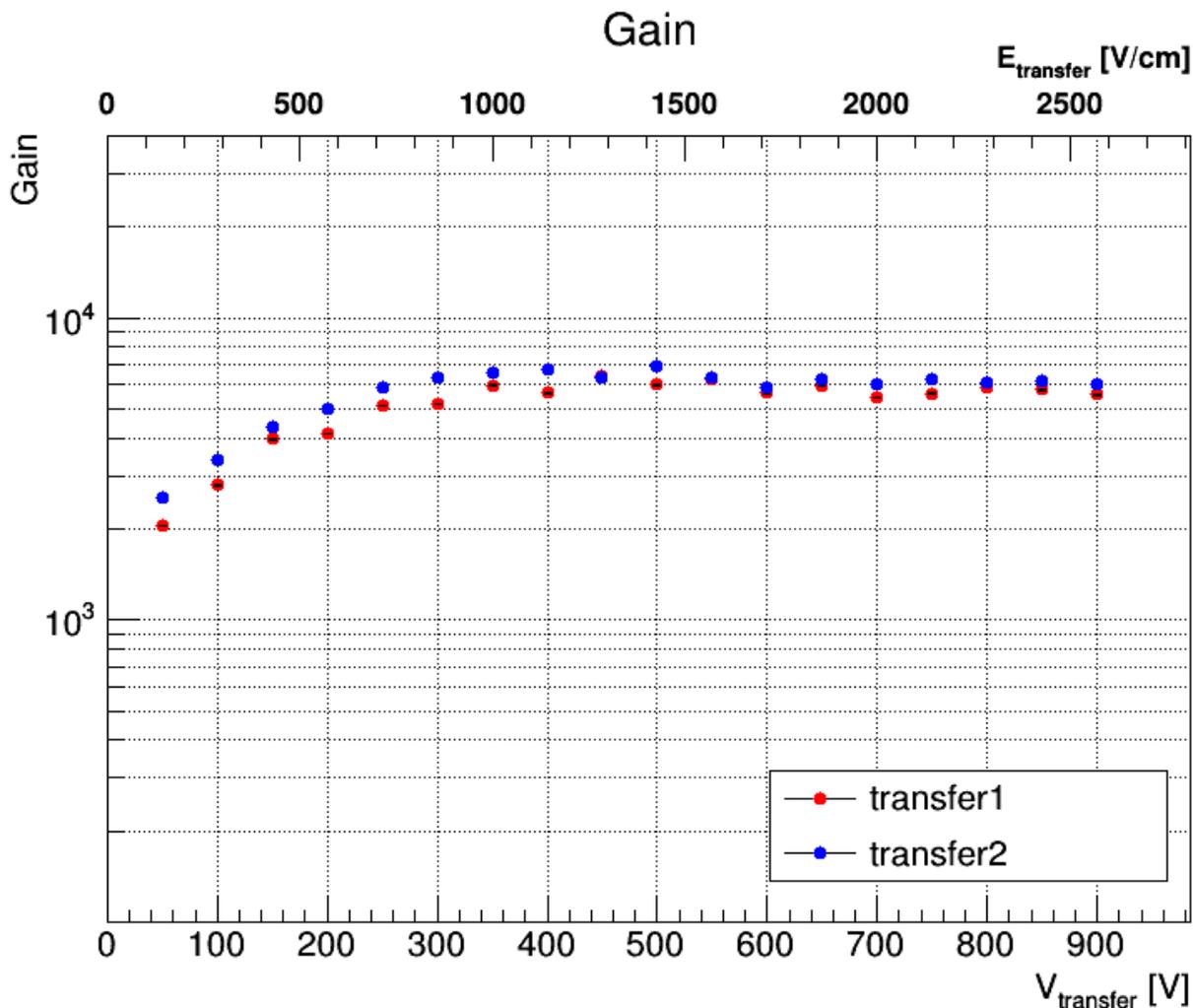
共通パラメータ

Ar + C₂H₆(90:10) 1気圧

$\Delta V_{\text{GEM}} = 360 \text{ V}$

$E_{\text{Drift}} = 200 \text{ V/cm}$

$E_{\text{Induction}} = 1500 \text{ V/cm}$



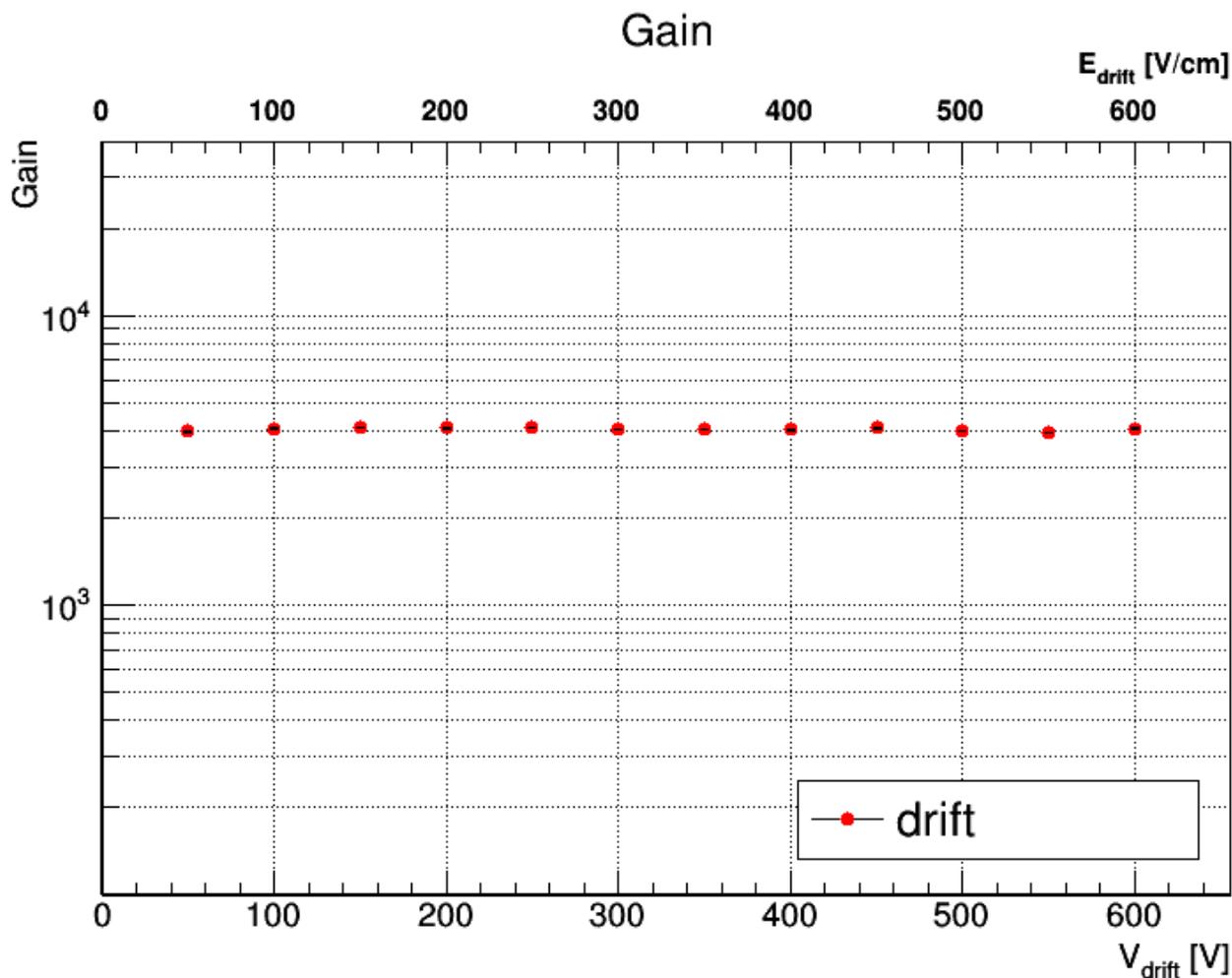
1000 V/cmを超えたあたりからゲインが上がりなくなる

下がっているかはこの測定結果からはわからず

Ar + C₂H₆(90:10) 1気圧

Drift電場とGain

Ar + C₂H₆(90:10) 1気圧
 $E_{\text{transfer}} = 857 \text{ V/cm}$
 $\Delta V_{\text{GEM}} = 360 \text{ V}$
 $E_{\text{Induction}} = 1500 \text{ V/cm}$

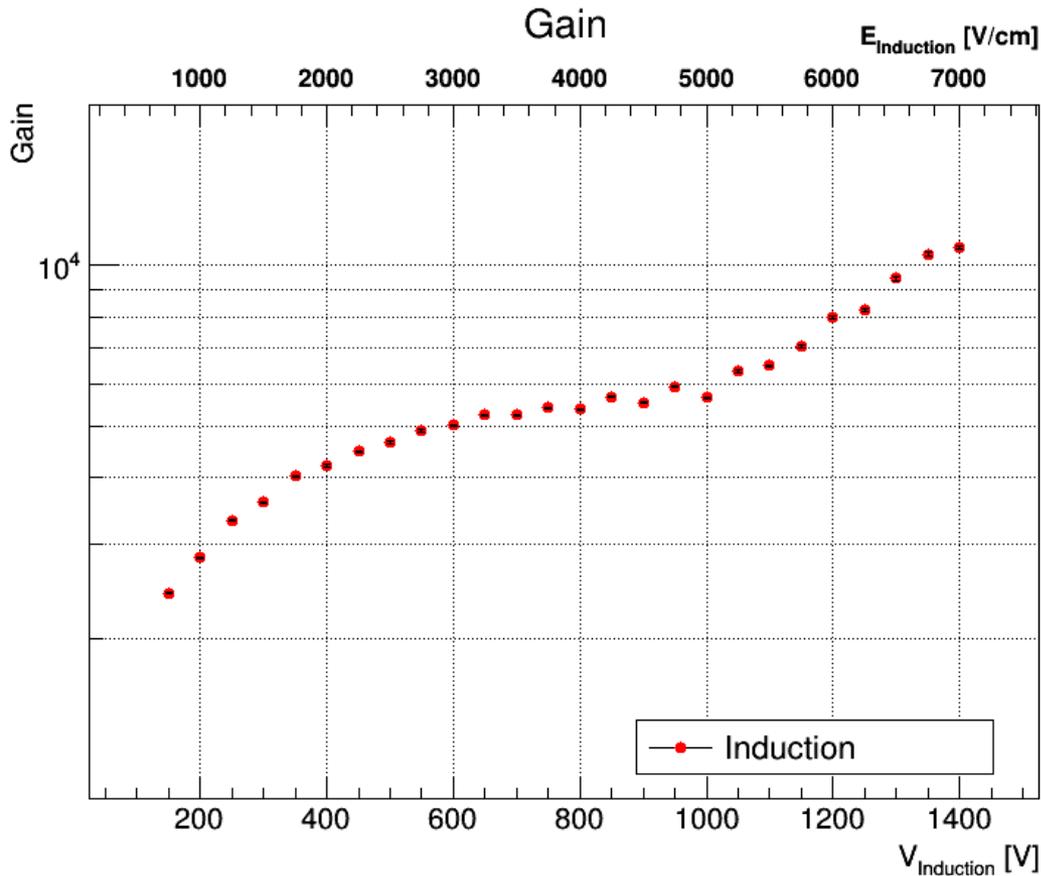


測定している範囲では
変化は見られなかった

Ar + C₂H₆(90:10) 1気圧

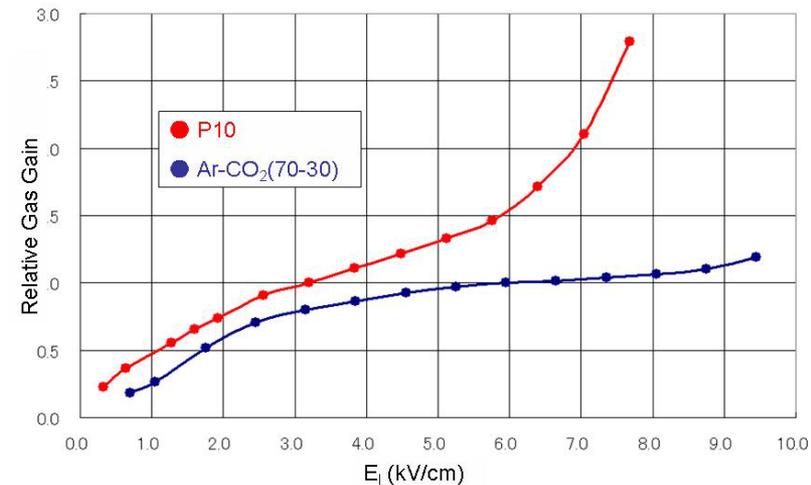
Induction電場とGain

Ar+C₂H₆ 1atm
 $\Delta V_{GEM} = 350V$
 $E_{Drift} = 200V/cm$
 $E_{Transfer} = 857V/cm$



3000 V/cmから5000 V/cm
で一旦緩やかになった後、再
び上昇に転じている

杉山史憲 修士論文
(東京理科大学 2008)
での測定結果 (下図) と同一傾向



Ar + C₂H₆(90:10) 1気圧