

ILC飛跡測定器における GEM型ゲート装置の特性評価

Characteristic evaluation of Gating GEM in ILC track measuring instrument

平成28年度修士論文審査会

Master's thesis presentation

岩手大学 大学院 工学研究科 電気電子・情報システム工学専攻

博士前期課程2年 22315022

成田研究室 庄司愛子 Aiko Shoji(Iwate Univ.) 1

■ ILC実験 (International Liner Collider) : 線形加速器で加速させた電子と陽電子を衝突させる実験



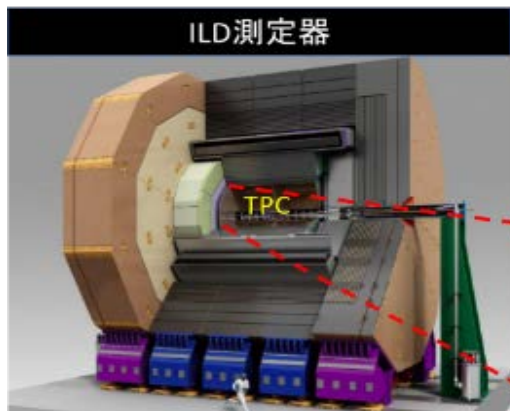
目的

- 質量の起源とされるヒッグス粒子の精密測定
- 素粒子物理学の標準理論を超える新たな物理の探求

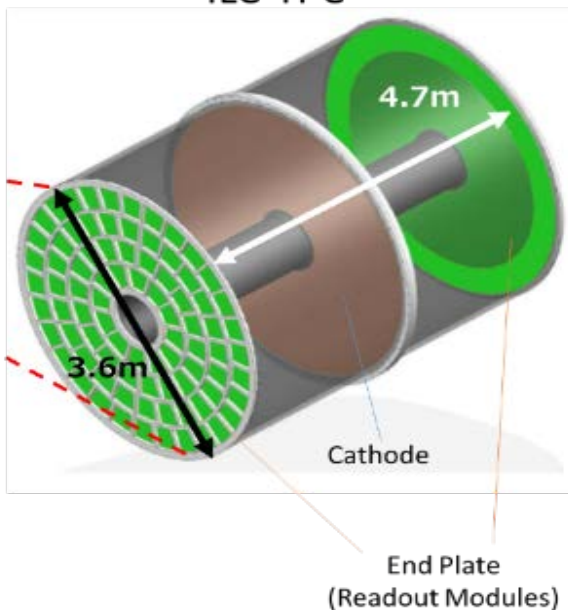
測定器

電子と陽電子の衝突で生じる様々な粒子の情報を得るために複数の検出器から構成

■ ILD測定器 (International Large Detector) : ILC実験で用いられる測定器の一つ



ILC-TPC

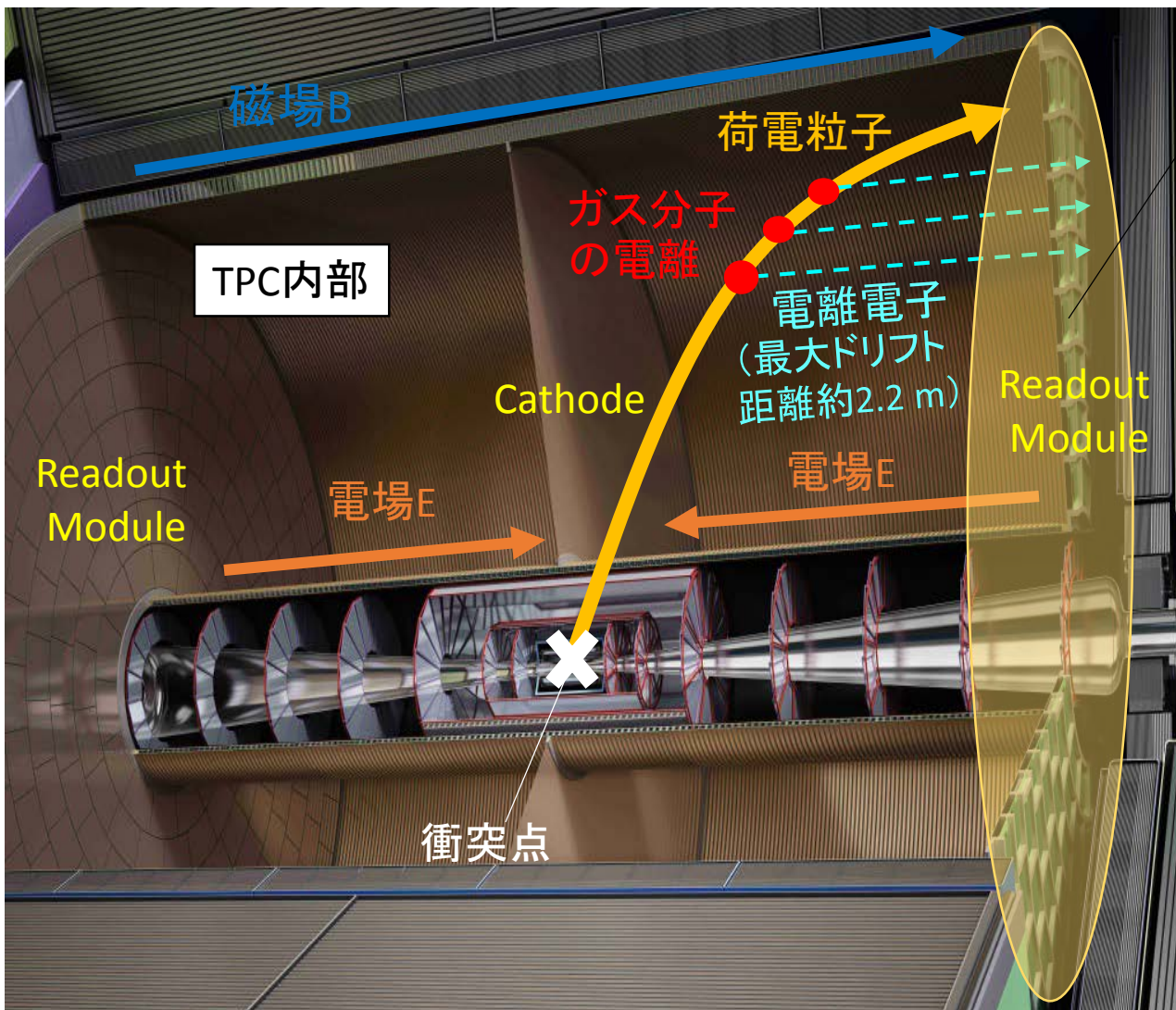


中央飛跡検出器として
TPC (Time Projection Chamber)
の使用が予定

役割

磁場 (3.5 T) で曲げられた
荷電粒子の飛跡を検出

■ ILC-TPCの動作原理



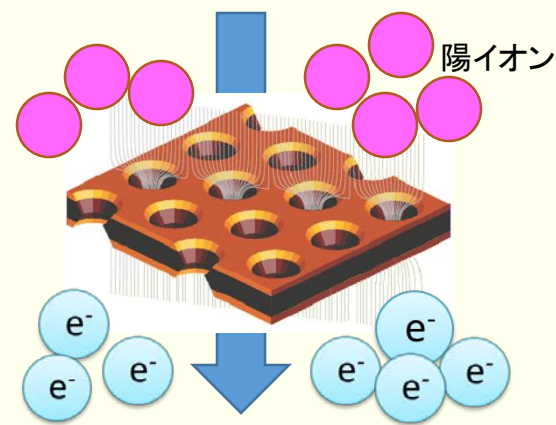
ガス増幅 させて
電気信号として読み出す

[ガス増幅器の例]

ジェム

GEM (Gas Electron Multiplier)

両面の銅板に電位差を与え
電子が孔を通過すると雪崩
式に増幅



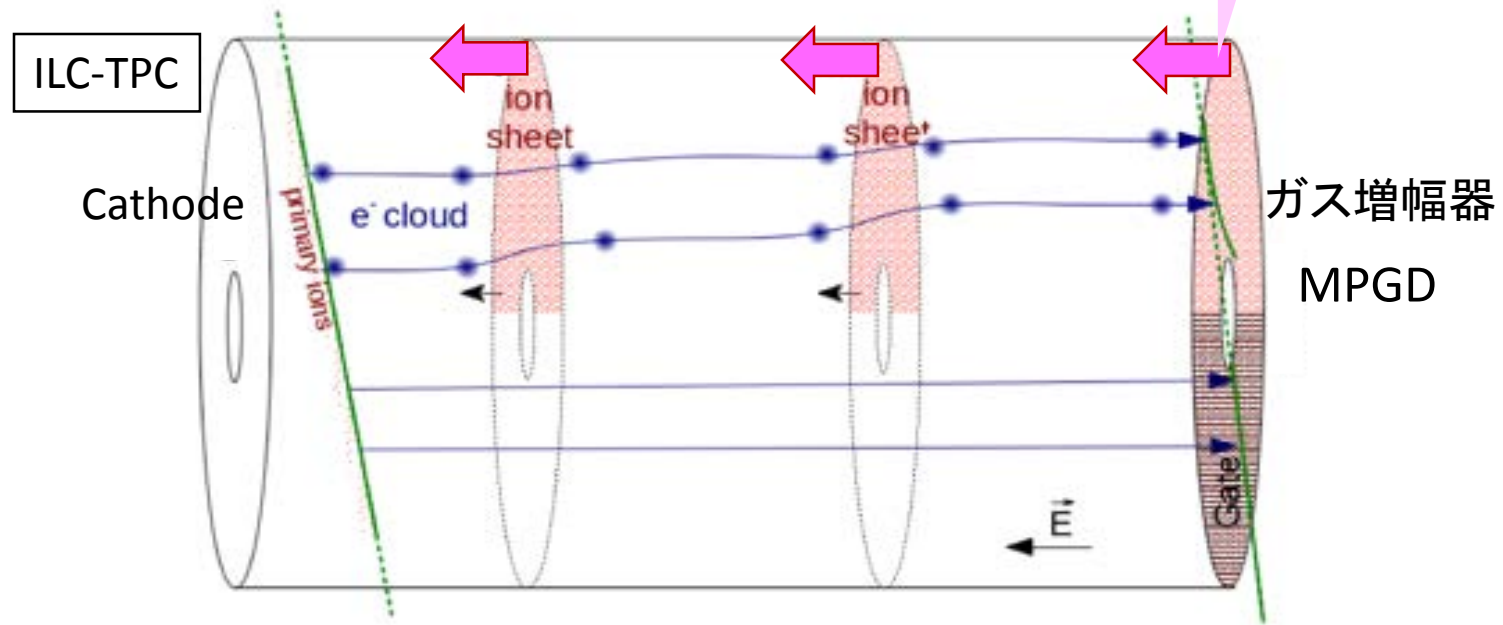
電子とともに
陽イオンも発生する

- 正確な飛跡の位置情報を得るためにドリフト電場の一様性が要求される

ガス増幅で発生する陽イオンがドリフト領域へ逆流(陽イオンフィードバック)

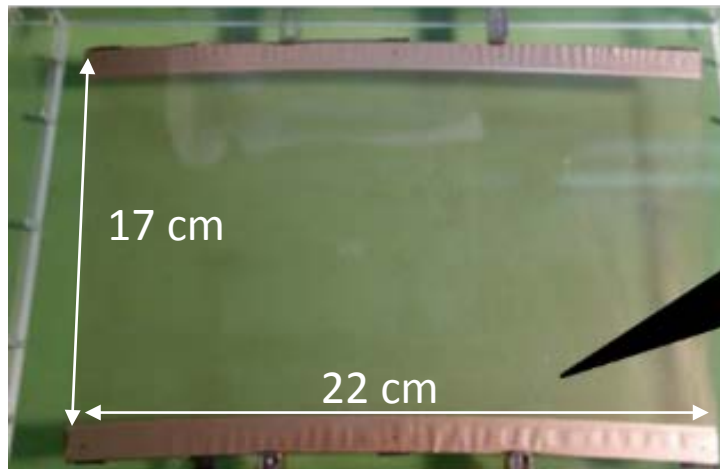
⇒電場を乱してしまう

⇒飛跡が本来の位置とずれて検出されてしまう



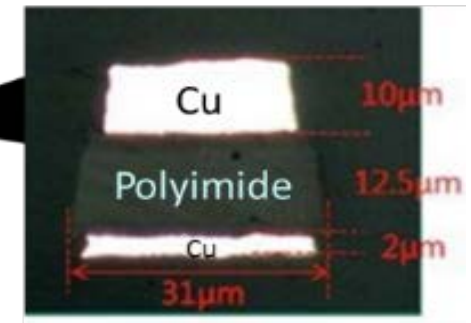
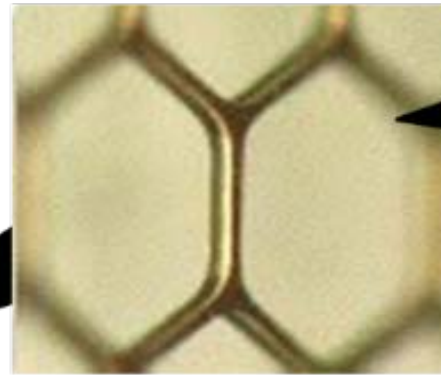
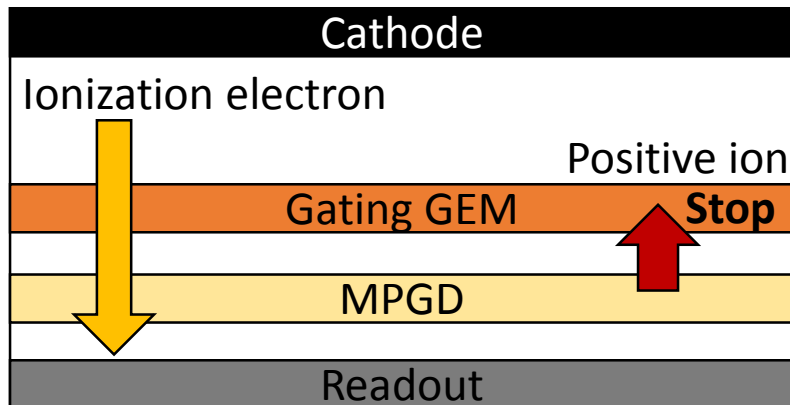
改善策

ゲート装置による陽イオンの吸着



GEM型ゲート装置(フジクラ製)

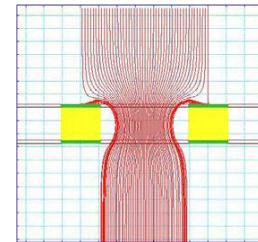
(ゲート装置の設置イメージ)



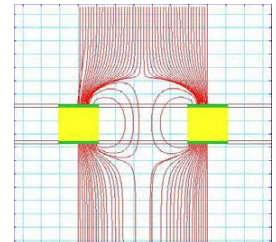
- Hole size 304 μm
- Optical aperture ratio: 82%

銅電極に電位差を与えることで動作

ゲート
Open ->



ゲート
Close ->



(要求される性能)

磁場3.5 T、ドリフト距離2.2mにおいて

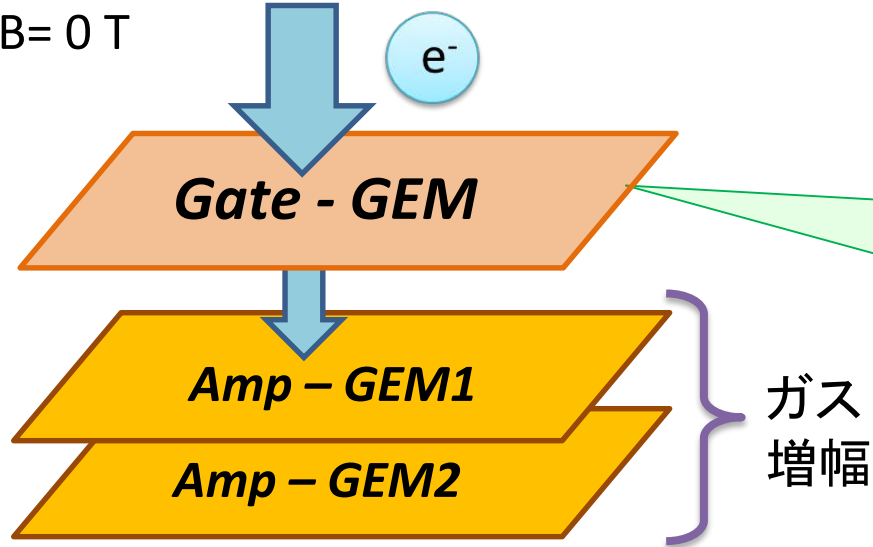
高い電子透過率(>80%)・高い陽イオン阻止率

本研究ではGEM型ゲート装置の特性評価として

X線やレーザー、電子ビームを用いたときのゲート装置の電子透過率の測定をおこなった

X線、レーザーを用いた電子透過率の測定

$B = 0 \text{ T}$



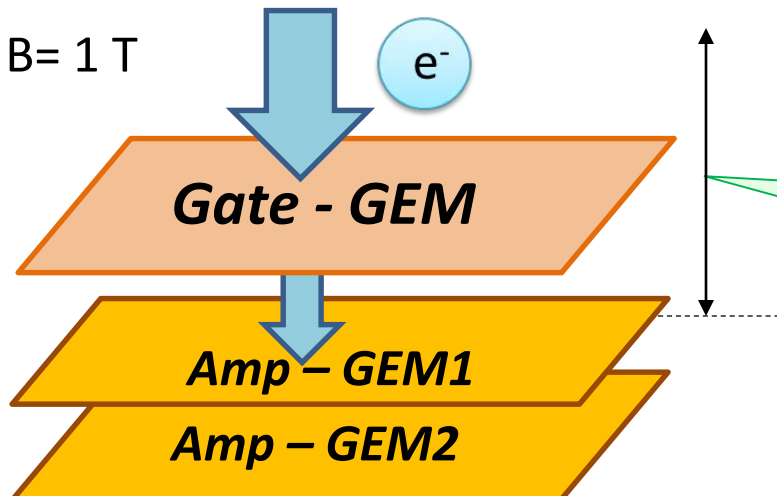
Measurement of electron transmittance using X-ray, laser

電位差を
-15.5 ~ 20 V に変化させる

- ゲート装置の電位差に対する電子透過率・阻止率の変化を検証
- 陽イオンの阻止能の見積もり

電子ビームを用いた電子透過率の測定

$B = 1 \text{ T}$



Measurement of electron transmittance using electron beam

ドリフト距離を
12.5 ~ 550mm に変化させる

- ドリフト距離に対する電子透過率を検証

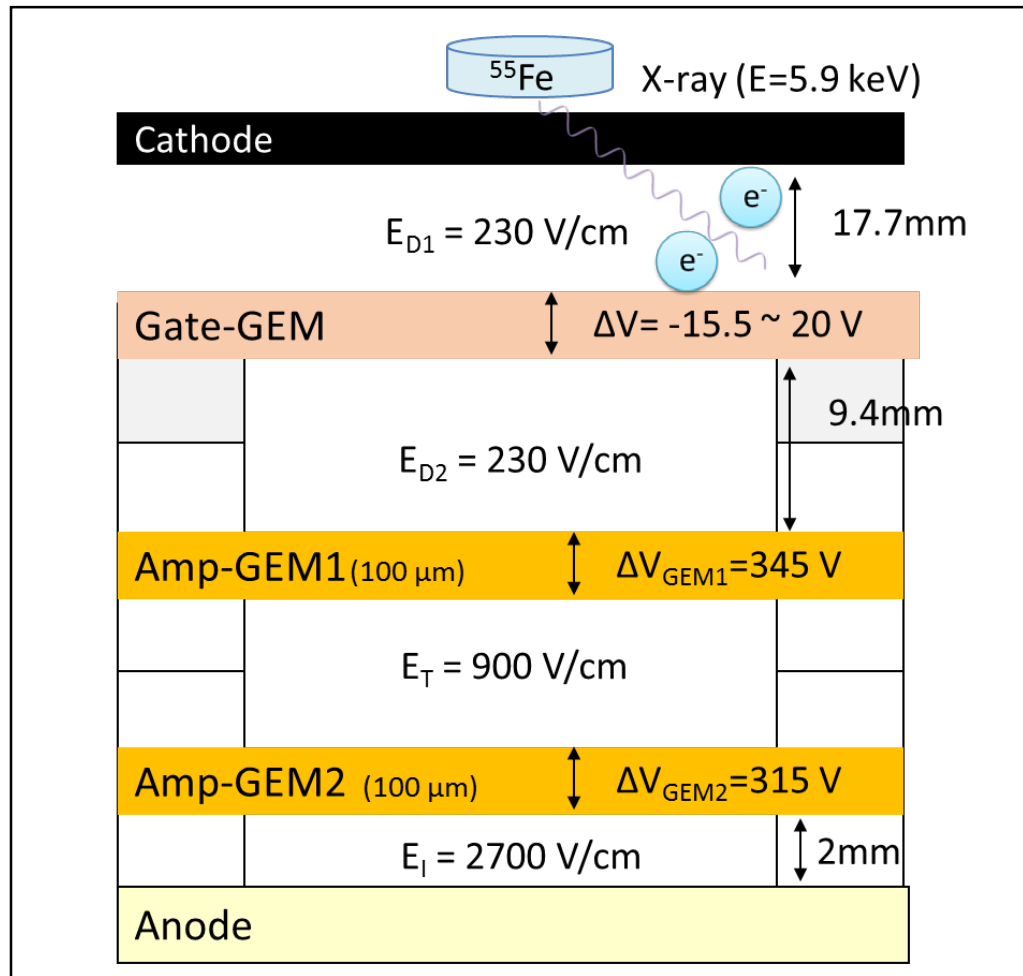
^{55}Fe を用いた電子透過率の測定

7

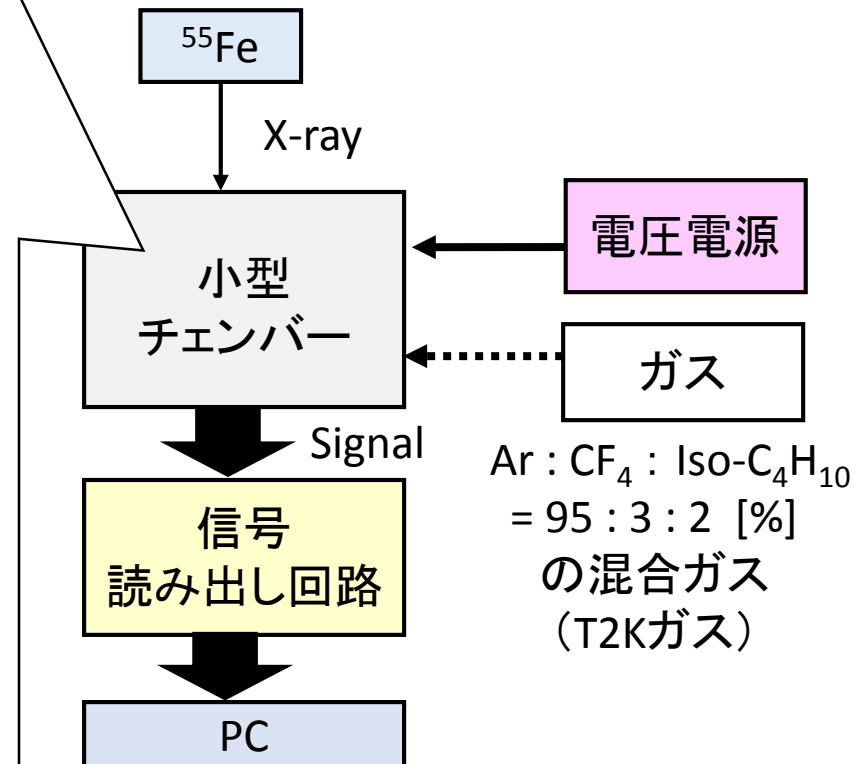
Experimental Setup using an ^{55}Fe Source

測定
手順

- 小型チェンバー内にゲート装置、増幅用GEM(2枚)を設置し、ガスを流す
- カソード、ゲート装置、増幅用GEMにそれぞれ電圧を印加し電場を形成
- ^{55}Fe (X線源)を配置し、電離電子を発生させる
- 電離電子をアノードまで到達させ、電気信号として読み出す



(測定装置概略図)

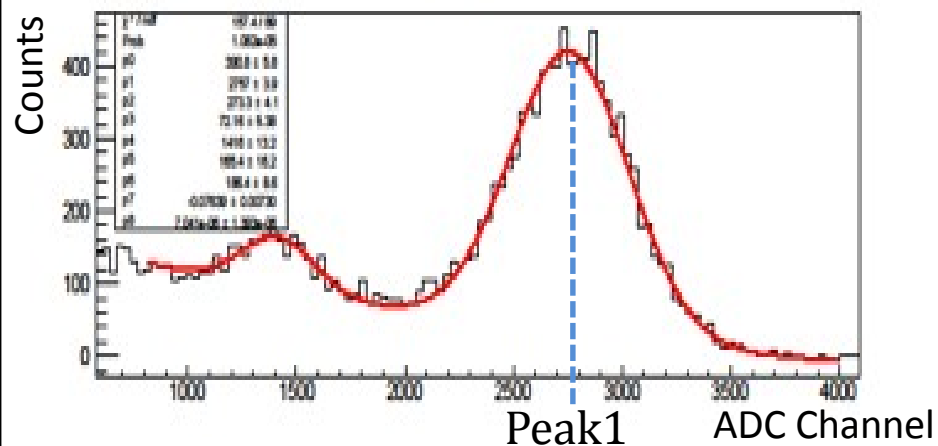


^{55}Fe での測定時の電子透過率の導出

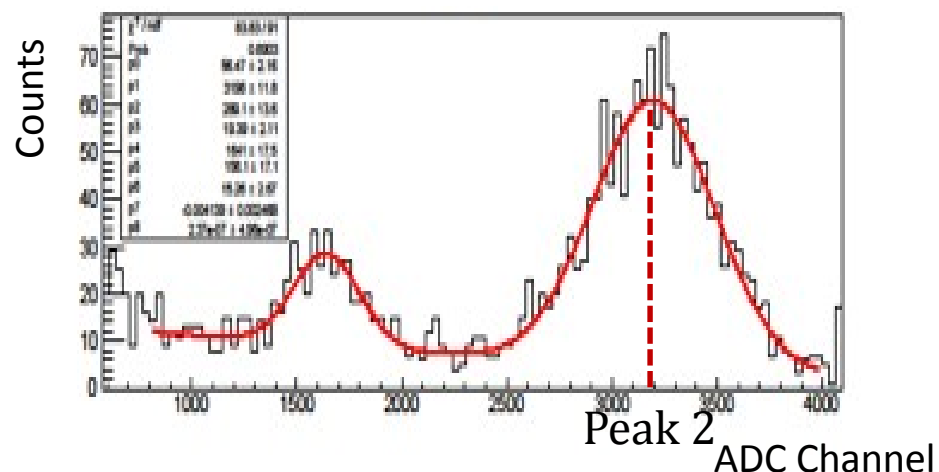
8

信号電荷分布の例 ($\Delta V_{\text{Gate-GEM}} = +2.5\text{V}$) Examples of the pulse height distribution

ゲート装置有りの時の
信号電荷分布



ゲート装置無しの時の
信号電荷分布

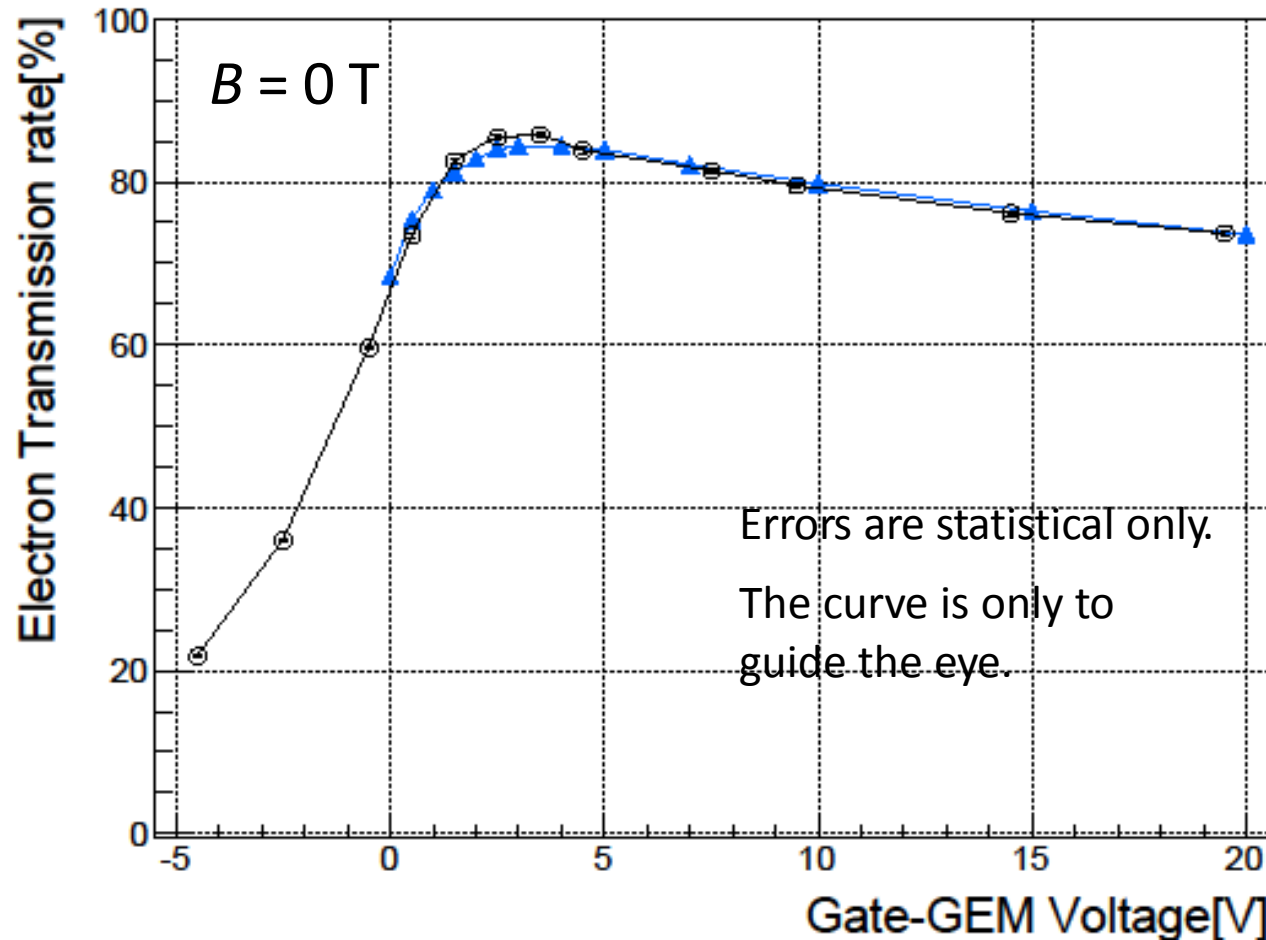


$$(\text{電子透過率}) = \frac{\text{ゲート装置有りでの信号電荷量}}{\text{ゲート装置無しでの信号電荷量}} \times 100 [\%]$$

^{55}Fe 線源による測定結果(電子透過率)

9

Electron transmission rate vs. ΔV measured with ^{55}Fe



Black circle :
Data points

Blue triangle:
K. Ikematsu, simulation
Conference Record

DOI: 10.1109/NSSMIC.2014.7431237

- 電子透過率は最大で約85%(電位差3.5V)⇒以降では電子透過率は漸減
- 電位差を逆転すると閉状態になり、透過率は急減
- 電位差が-4.5 V以降では信号が微弱になり観測できず

レーザーを用いた電子透過率の測定

10

Experimental Setup using a Laser

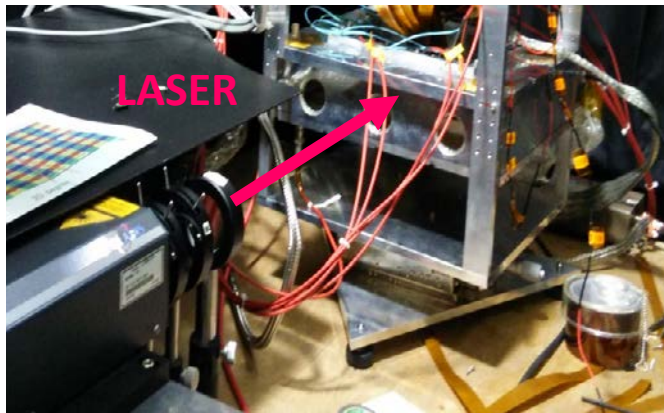
(レーザーの照射位置)

Laser

Nd:YAG ($\lambda = 266 \text{ nm}$)

Rep. 20 Hz PFN. 95 %

Primary electrons: about 600 / pad row



Cathode

 $E_{D1} = 230 \text{ V/cm}$

17.7mm

Gate-GEM

 $\Delta V = -0.5 \sim -15.5 \text{ V}$ $E_{D2} = 230 \text{ V/cm}$

9.4mm

Amp-GEM1 (100 μm) $\Delta V_{\text{GEM1}} = 345 \text{ V}$ $E_T = 900 \text{ V/cm}$ Amp-GEM2 (100 μm) $\Delta V_{\text{GEM2}} = 315 \text{ V}$ $E_l = 2700 \text{ V/cm}$

2mm

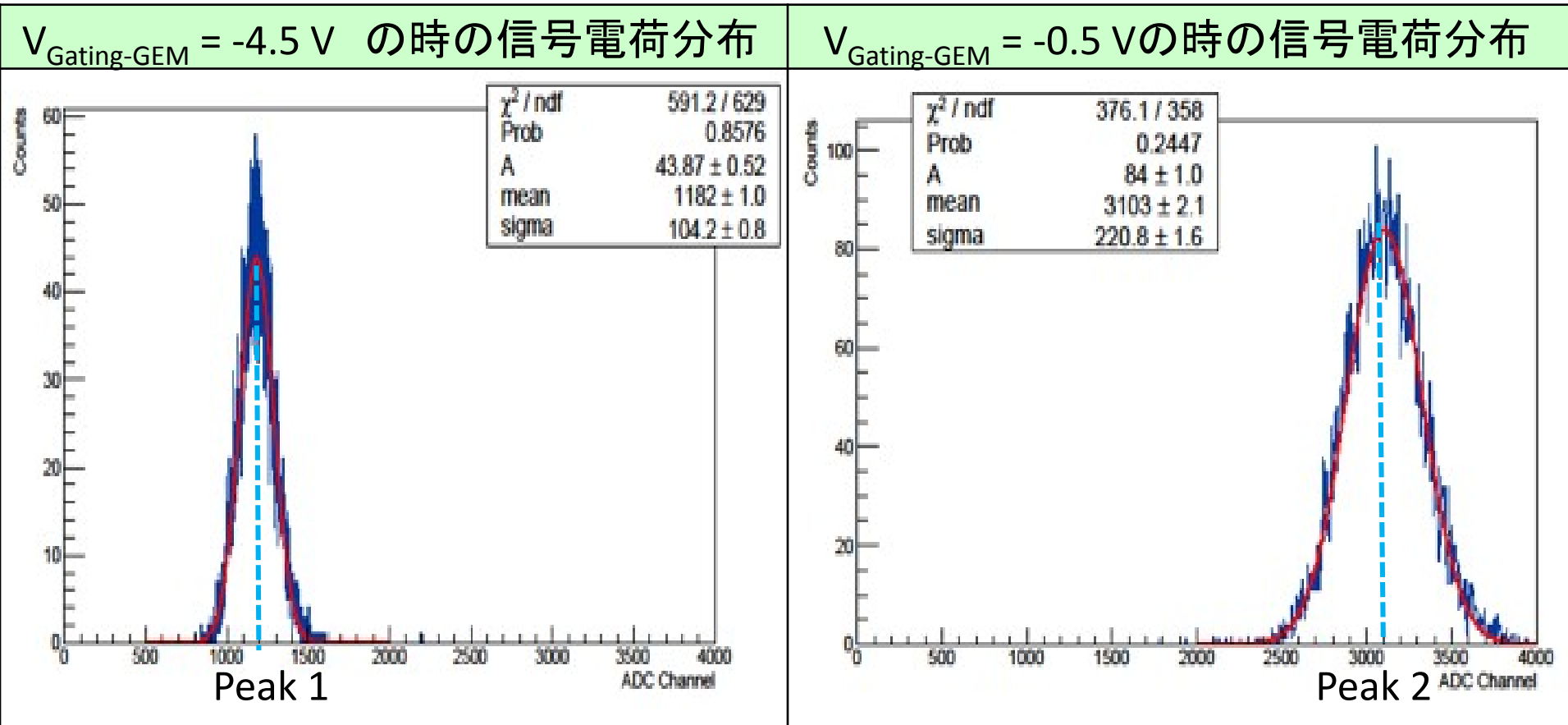
Anode

(使用ガス) Ar : CF₄ : Iso-C₄H₁₀ = 95 : 3 : 2 [%] の混合ガス (T2Kガス)

レーザーでの測定時の電子透過率の導出

11

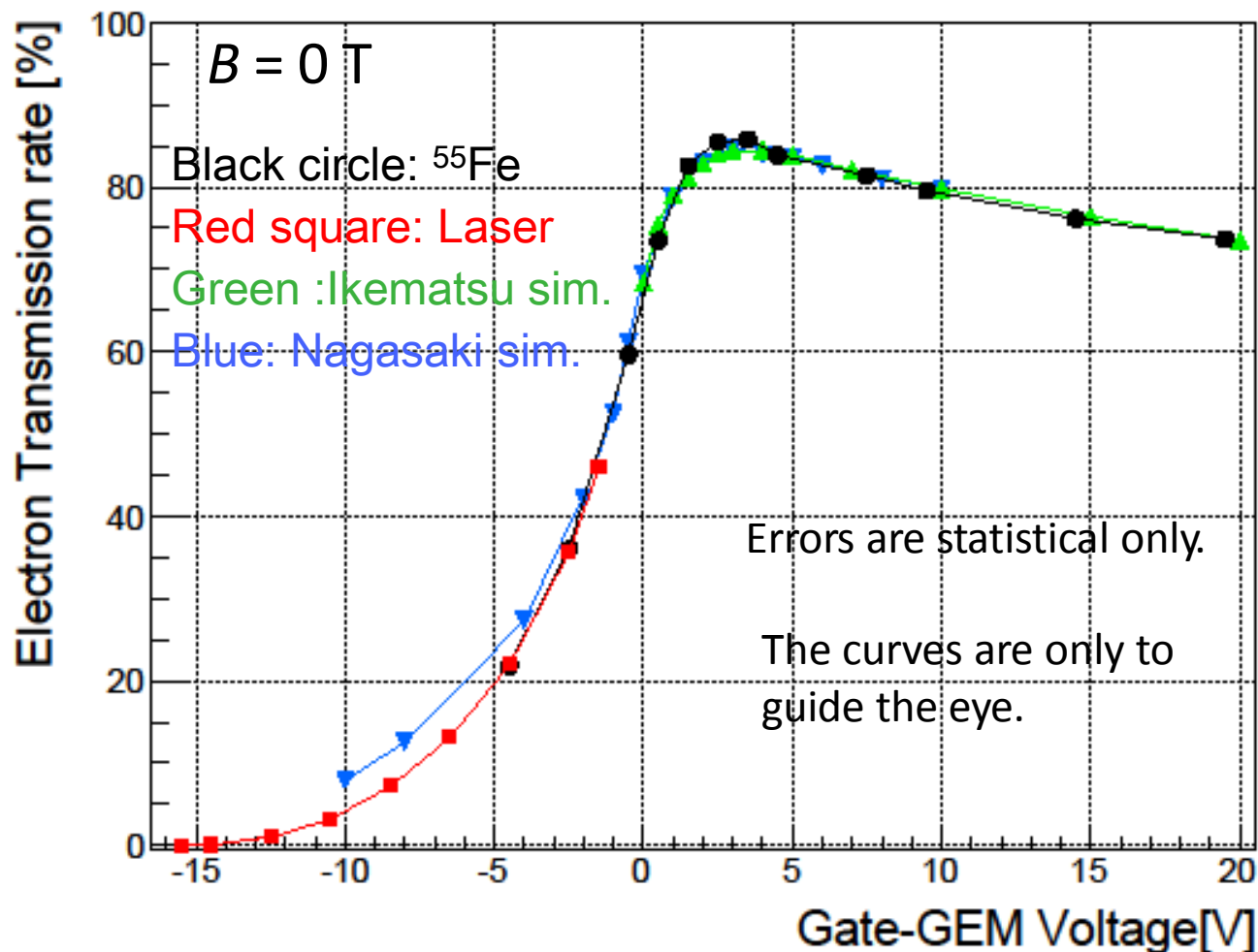
Examples of the pulse height distribution



$$(\text{電子透過率}) = \frac{\text{ゲート装置有りでの信号電荷量}}{\text{ゲート装置無しでの信号電荷量}} \times 100 [\%]$$

結果：電子透過率の電位差依存性

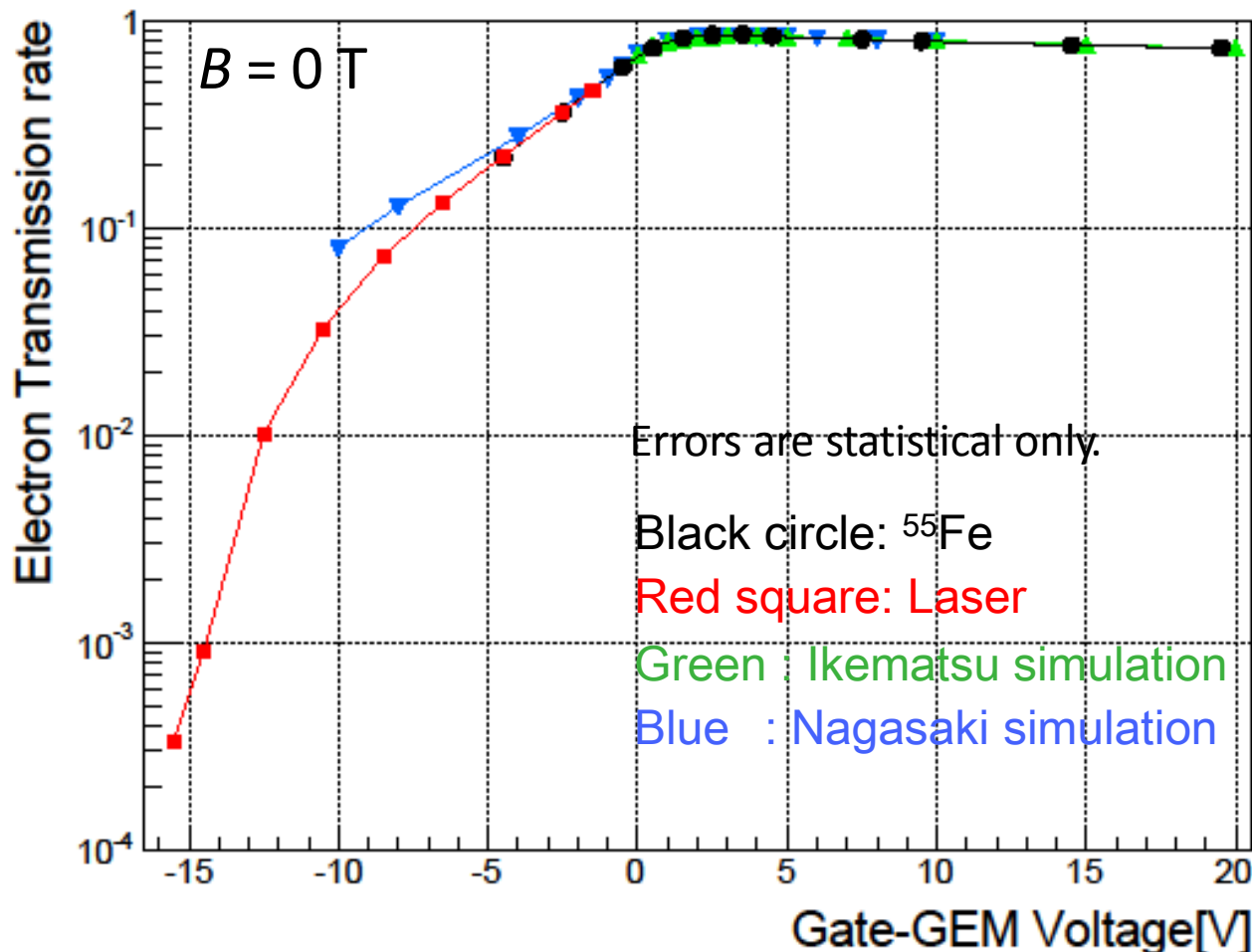
12

Electron transmission rate vs. ΔV Measure with the Laser and ^{55}Fe 

- 透過率は減少（阻止率は増加）

結果：電子透過率の電位差依存性 (log scale)

13

Electron transmission rate vs. ΔV Measure with the Laser and ^{55}Fe 

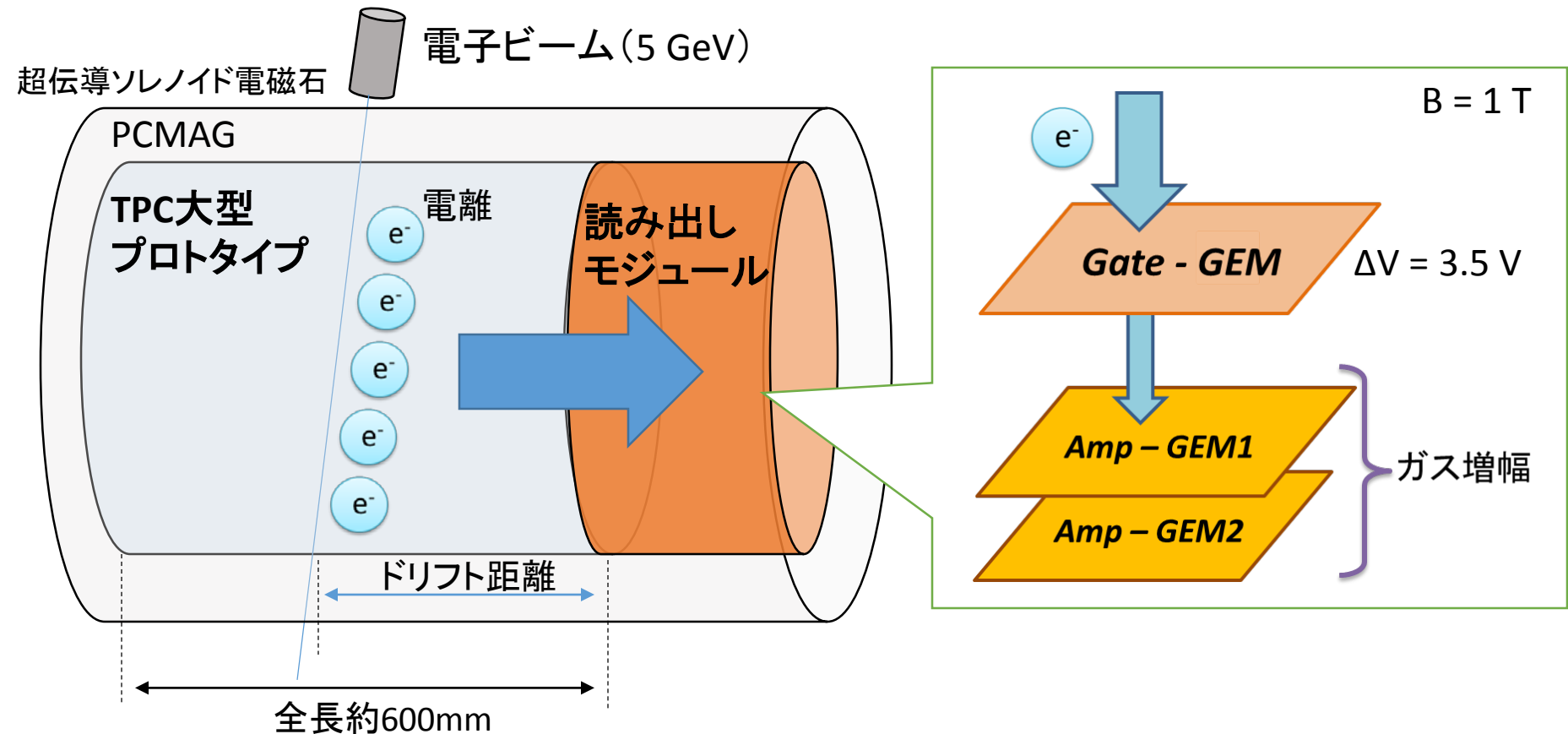
- 透過率は減少(阻止率は増加)
- -14.5 V時に透過率は $0.09 \pm 0.056 \%$, -15.5 V時に透過率は $0.03 \pm 0.006 \%$
 $\Rightarrow$ -15.5 V時に阻止率は99.97%以上

電子ビームを用いた電子透過率の測定

14

Experimental Setup using Electron Beam

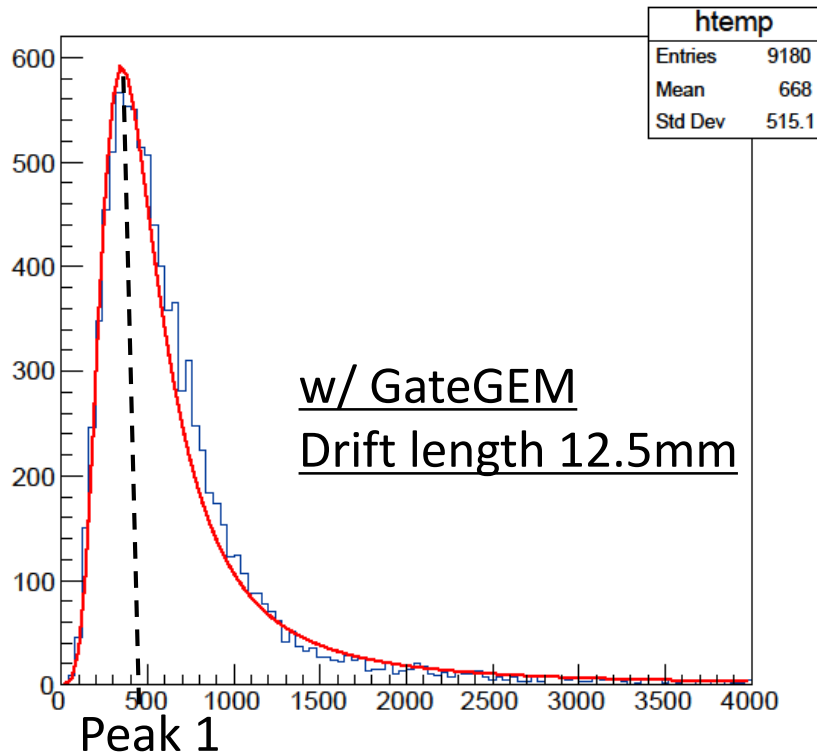
- DESY(ドイツ電子シンクロトロン)で、磁場1 Tにおいて
ゲート装置の電位差が3.5 Vの時の電子透過率を、電子ビームを用いて検証
- ドリフト距離を12.5～550mmに変化させて検証



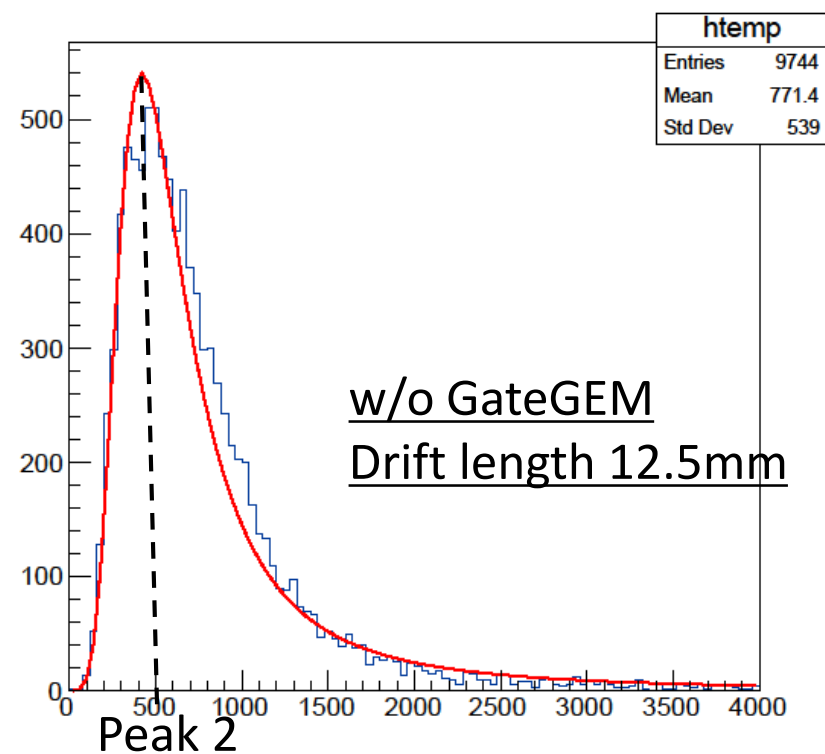
(使用ガス) $\text{Ar} : \text{CF}_4 : \text{Iso-C}_4\text{H}_{10} = 95 : 3 : 2 \text{ [\%]}$ の混合ガス (T2Kガス)

Examples of the pulse height distribution

ゲート装置有りの時の信号電荷分布



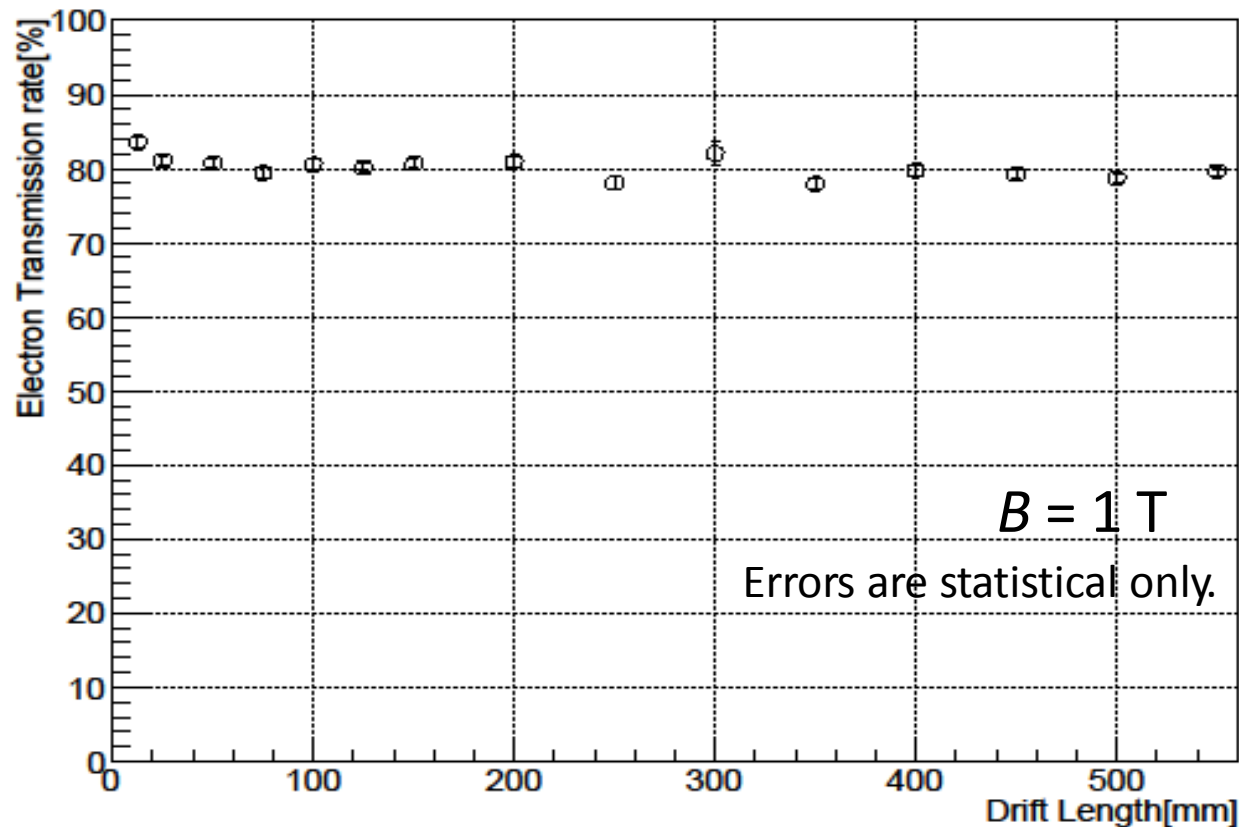
ゲート装置無しの時の信号電荷分布



$$(\text{電子透過率}) = \frac{\text{ゲート装置有りでの信号電荷量}}{\text{ゲート装置無しでの信号電荷量}} \times 100 [\%]$$

結果: 電子透過率

Electron transmission rate vs. Drift length Measure with the electron beam



- ドリフト距離が小さいと電子透過率は高くなっている
- 全体的に透過率は80%程度となっているが, ドリフト距離ごとにばらつきがみられる
⇒TPC内部の圧力や温度が電荷に影響を与えている可能性があるため補正をする必要

本研究では、ILC-TPCのために開発されたGEM型ゲート装置の特性評価としてゲート装置の電子透過(阻止)率の測定をおこなった。

X線、レーザーを用いた電子透過率の測定

- 磁場0 Tにおいて、電位差が3.5Vの時電子透過率は最大で約85%
- 電位差が-15.5Vの時電子透過阻止率は99.97% 以上

⇒陽イオンは電子より拡散距離が小さいため、

陽イオンに対する透過阻止率では電子より大きいことが期待できる。

電子ビームを用いた電子透過率の測定

- 磁場1Tにおいて、ゲート装置の電子透過率は80%程度となっているが、ドリフト距離ごとにばらつきがあり、TPC内部の圧力や温度が電荷に影響を与えている可能性がある。
- それら影響を考慮して、正確な透過率を得ることが今後の課題である。

Thank you for your attention !

Fin.