

# 高速中性子に対する抵抗電極 $\mu$ - **PIC**の動作の抵抗値依存性

MPGD&アクティブ媒質TPC合同研究会

神戸大学 長崎大智

## Topic

- DLC  $\mu$ -PICについて
- 実験セットアップ
- 中性子レートと面抵抗値の関係
- 読み出し位置による違い
- まとめと今後

# Micro Pixel Chamber ( $\mu$ -PIC)

## ➤ Micro Pattern Gaseous Detector (MPGD) の 1 種

- プリント基板技術を用いて制作
- 陽極、陰極ストリップによる二次元読出
- 高位置分解能 ( $\sim 100\mu\text{m}$ )
- 高入射許容量 ( $< 10^7/\text{mm}^2\text{sec}$ )

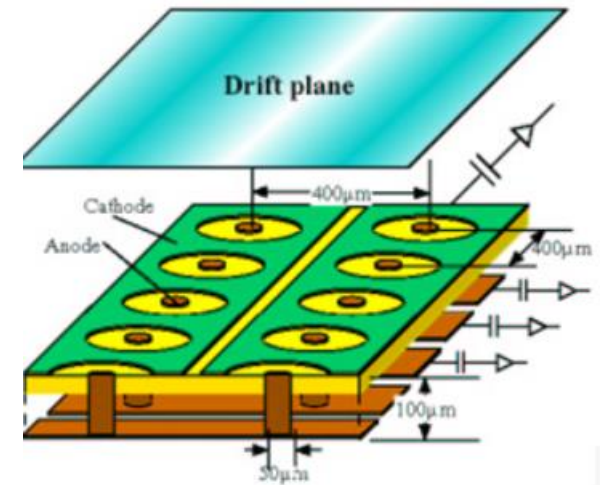
## ➤ 神戸大学のグループでは $\mu$ -PICの安定動作に関する研究

### Raether limit

→ガス検出器では増幅電子数 $10^8$ を超えると放電

- 陽極、陰極間の間隔が短く、空間電荷密度が上昇するためRaether limit が $10^{6\sim 7}$ まで減少
- 少ないGainで電子数がRaether limitに達し、放電→**検出器の故障の原因**

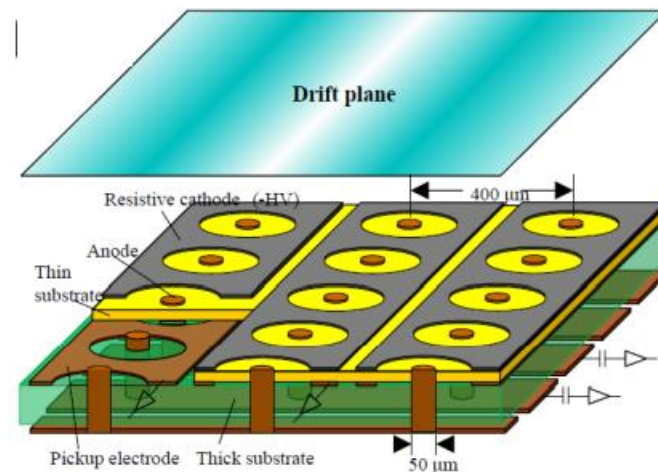
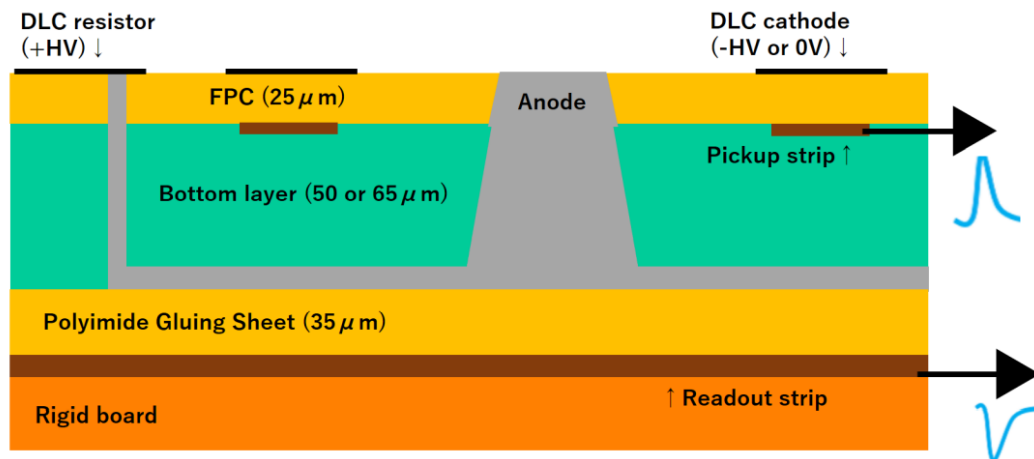
- **放電に強い検出器が必要**



# DLC $\mu$ -PIC

## ➤ 陰極にDiamond Like Carbon(DLC)を用いた $\mu$ -PIC

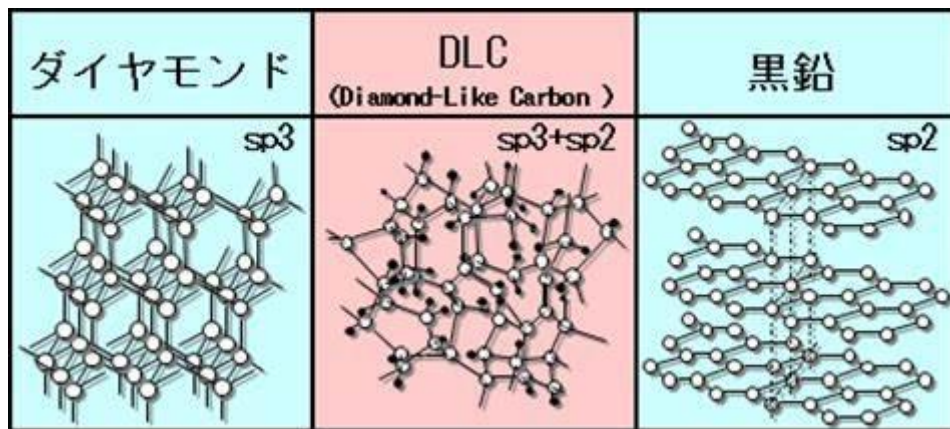
- ❑ 電極間で放電が発生した際に、陰極の抵抗でオームの法則に従い、電圧降下が発生し、ゲインを下げ、発生電子数をさげ放電を抑える→放電抑制



# 高抵抗電極 $\mu$ -PIC

- 神戸大のグループで高抵抗電極としてDLCを開発、 $\mu$ -PICに採用

DLC



- SP<sup>2</sup>構造(グラファイト)とSP<sup>3</sup>(ダイヤモンド)の両方の構造を持つ素材
- 面抵抗値を50k $\Omega$ /sqからG $\Omega$ /sqの範囲で調節可能
- ポリイミドへの高い吸着力
- 様々なMPGDへの応用

<https://japaneseclass.jp/dictionary/%E7%84%A1%E5%AE%9A%E5%BD%A2%E7%82%AD%E7%B4%A0> から引用

Projects using DLC (December 11 2020):

		progress	R value	gap	voltage	Paschen
-FTM	-Amplification disk dia 3	100M	50um			
	-Amplification disk dia 3	300M	50um			
	-Amplification disk dia 3	600M	50um			
-Gianni	-14 STD uRwell detectors Urania 10x10	95%	80M	50um		
	<u>-4 PEP uRwell 10x10</u>	80M	50um			
	<u>-4 PEP LHC-B uRwell 25x30</u>	80M	50um			
	-6 SRPC high values	1-3 G	2mm			
	-2 detector uRwell for cleaning 10x10	100%	?	50um	630V	630V
-Cibinetto	-1 detector uRwell STD 10x10	30M	50um			
-Warren Lynch	-1 detector uRwell flexible 10x33	60M	50um			
-Zhou yi	<u>- 2 PEP uRwell 50x50</u>	80M	50um			
-Kondo	-PRAD II 1.4m x 50cm PEP uRwell	80M	50um			
	-uRwell with capacitive spreading	40M	50um			
	-New Capacitive sharing R/O boards	40M	n/a			
-Eraldo	-STD 10cm x10cm PEP uRwell	80M	50um			
-T2K	-40x40 Resistive MM Production 32 p	10%	200K	100um	920V	990V
-Mauro	-2 DLC SBU (Dots Vs lines) MM prototypes	30M	100um			
-LSBB	<u>-50x50 Resistive MM production 20 pieces</u>	100M	100um	920V	990V	
-Kiselev	-10cm x10cm uRwell on Zig Zag	40M	n/a			
-Emilio Depero	-Resistive MM with genetic coding	30M	100um			
-Salvador	<u>-3x3 uRwell with X/Y R/O</u>	30M	50um	630V	630V	
-TPC for nuclear research	<u>-dia 10 GADGET II resistive MM</u>	10M	100um	940V	990V	
	<u>-20x30 TEXAT resistive MM</u>	1.7M	230um	1400V	1500V	

# DLC $\mu$ -PIC

---

➤ 陰極抵抗値の異なる 3 種類の $\mu$ -PIC

- RC47 (1M $\Omega$ /sq)
- RC48 (50M $\Omega$ /sq)
- RC49 (500M $\Omega$ /sq)

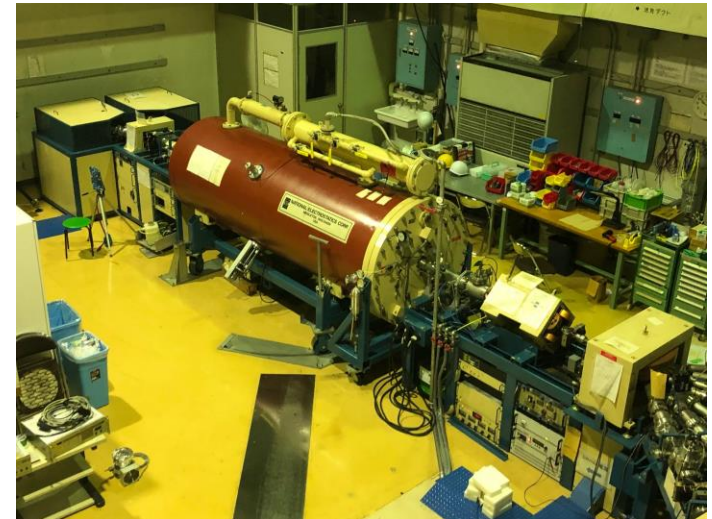
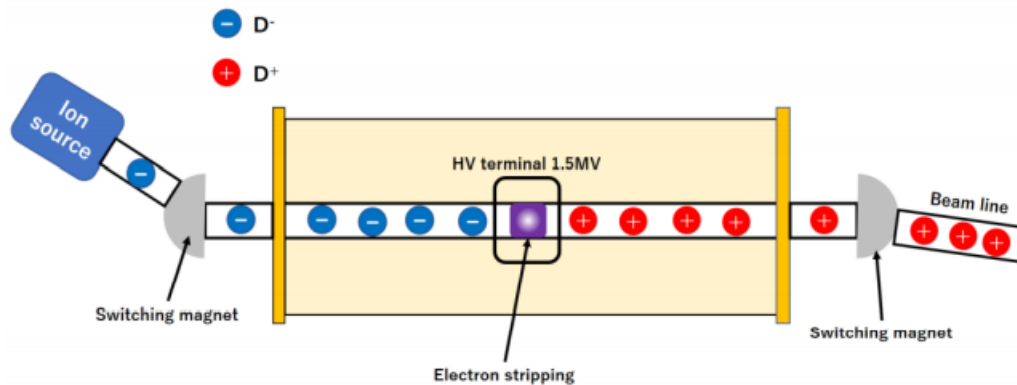
➤ 抵抗値毎に放電抑制性能やGainに違いがみられる。

→ 検出器に最適な抵抗値を求める。

➤ 高速中性子を照射し、意図的に放電を引き起こし、抵抗値毎の放電抑制性能を評価する。

# 高速中性子を用いた試験

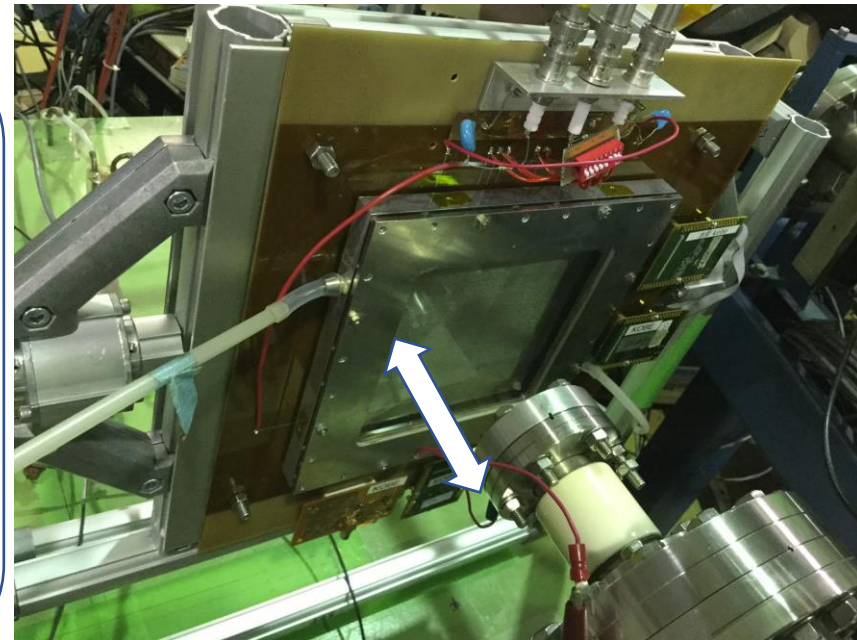
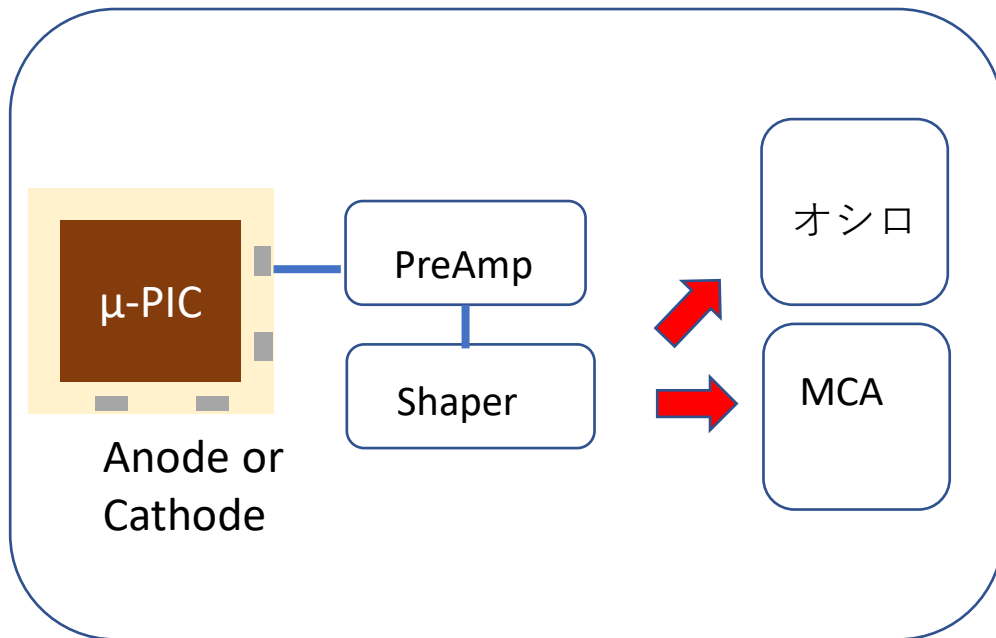
- ▶ タンデム加速器@神戸大学海事科学部
  - ${}^9\text{Be}(d,n)$ 反応でエネルギー2MeVの持つ中性子
  - 中性子発生量:最大 $10^8$  /sec
  - 今回の実験で放電は観測されず





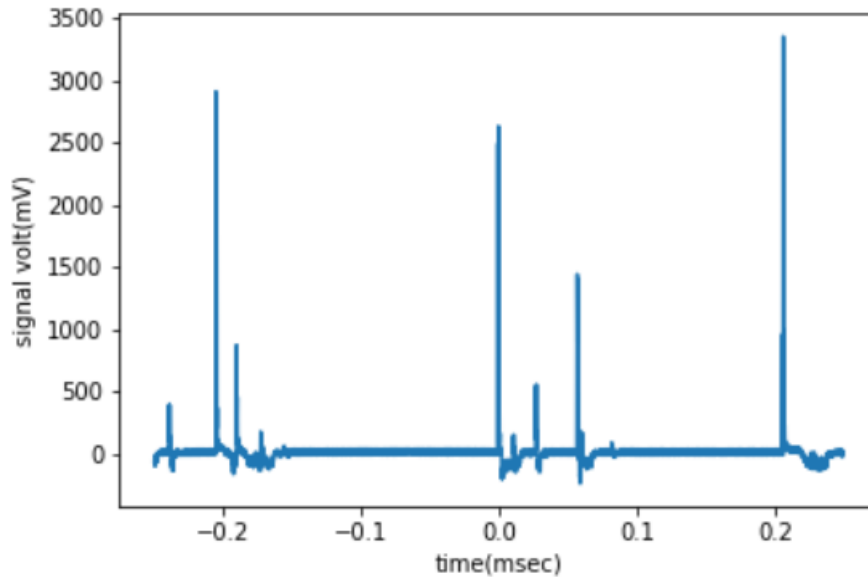
# 実験セットアップ

- 使用ガス→Ar:C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (70/30)
- ターゲットからの距離3,10,30cmと中性子レートを変化
- 電圧を560~660Vの範囲で変化させ測定
- 複数チャンネルの信号をまとめて測定



# 中性子レートの比較

- オシロスコープの信号を任意時間内測定



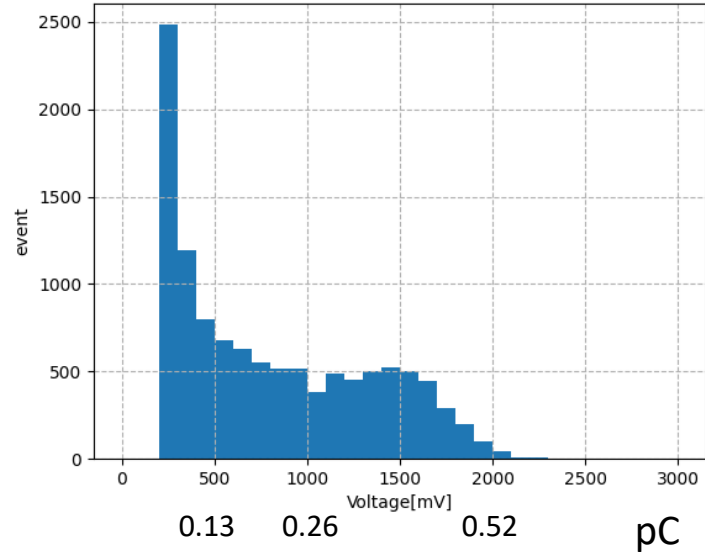
- オシロスコープで観測された信号を用いて解析
- 閾値を設け中性子由来の信号をセレクション
- 中性子レートを変えて面抵抗値毎に検出器の反応を見る

# 中性子レートの比較 RC47(1M $\Omega$ )

- ターゲットからの距離、ビーム発生数を調整し中性子レートを変化させ測定。電極間660V

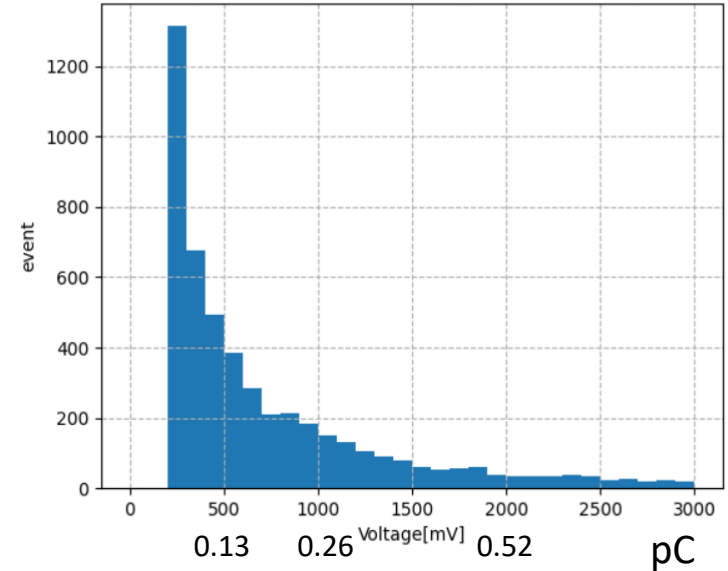
$10^3\text{Hz/cm}^2$

Histsmp:[47]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_100Volt\_660[V]



$10^6\text{Hz/cm}^2$

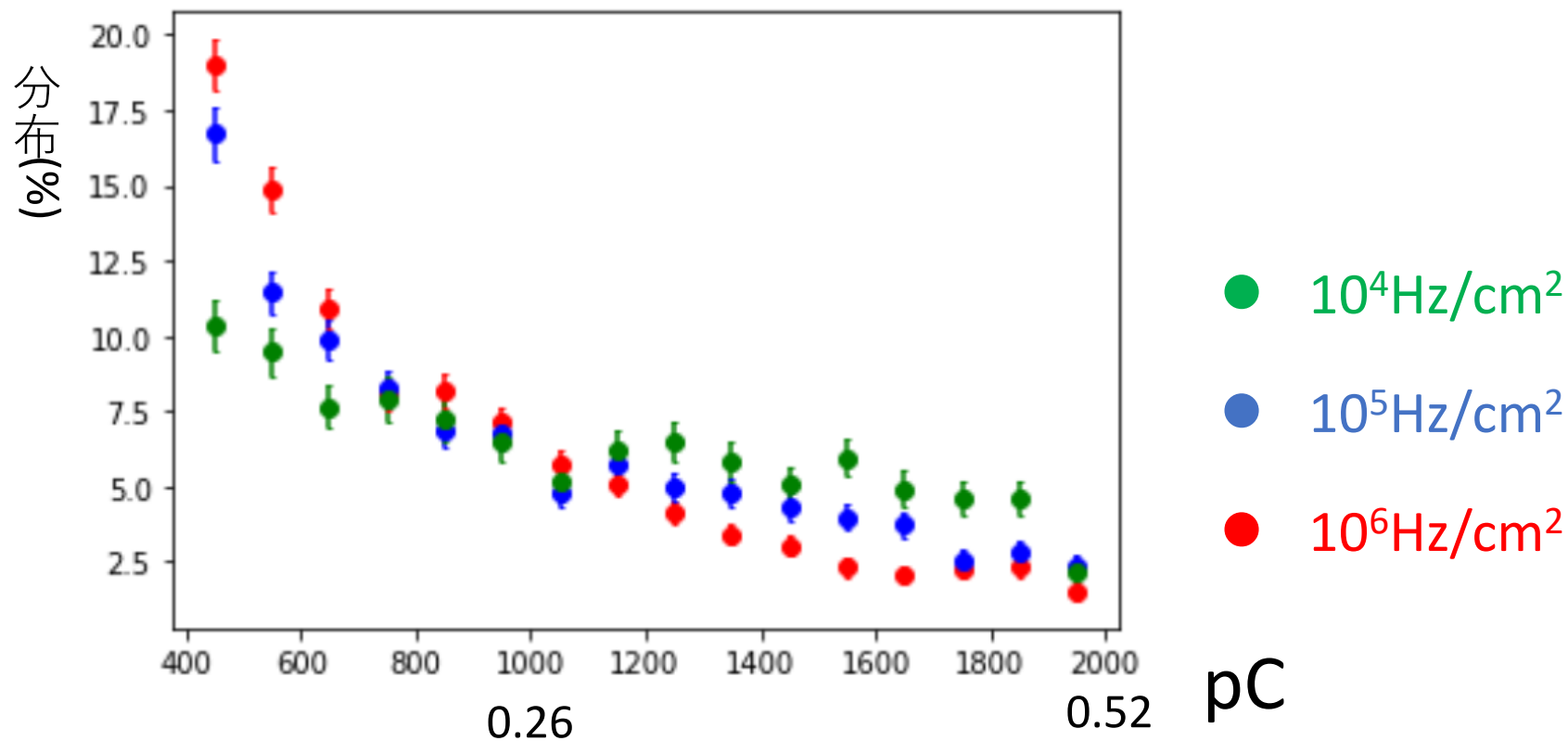
Histsmp:[47]read\_2,position\_3cmthreshold\_200[mV],target\_1000Volt\_660[V]



- 高レート中性子下で0.52pC以上の強い信号がみられる→パイルアップ

# 中性子レートの比較 RC47(1M $\Omega$ )

- 中性子の波高分布はピークがでないため、波高分布を用いGainを推察
- 0.1pCから0.52pCまでの信号でノーマライズした波高分布



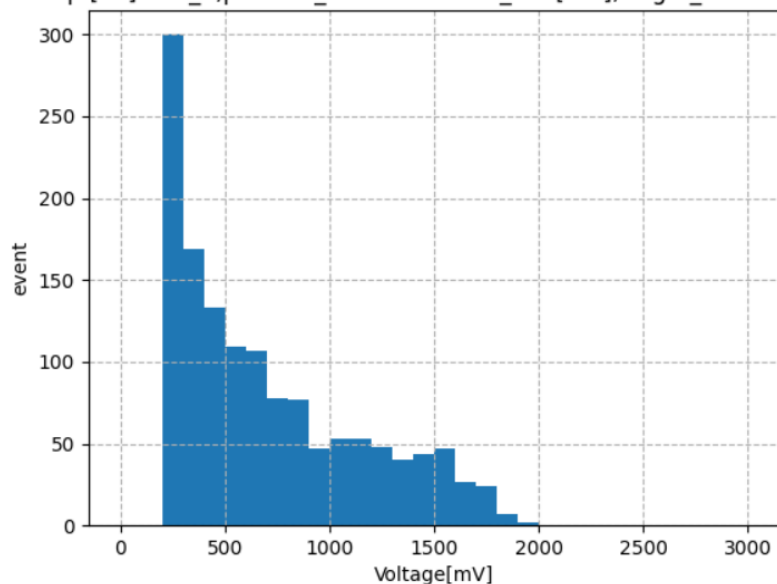
- 中性子レートが高くなると強度が高い信号の分布が減る

# 中性子レートの比較 RC48(50M $\Omega$ )

- ターゲットからの距離、ビーム発生数を調整し中性子レートを変化させ測定。電極間660V

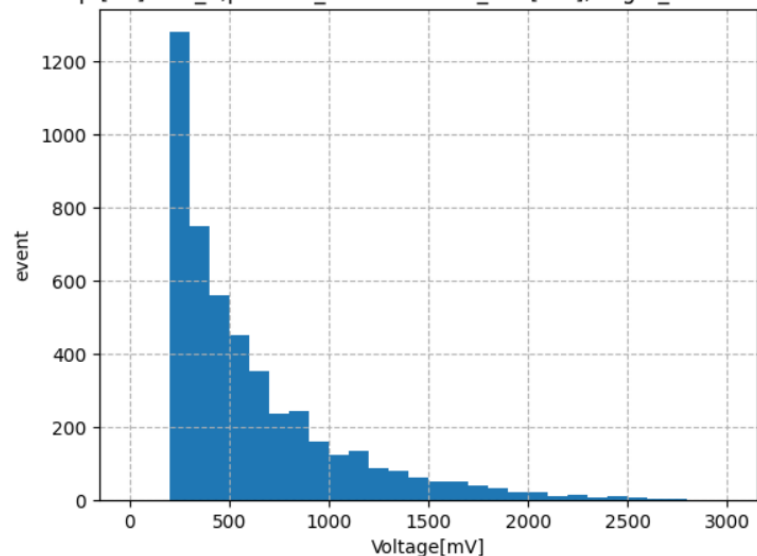
$10^3\text{Hz/cm}^2$

Histsmp:[48]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_100Volt\_66

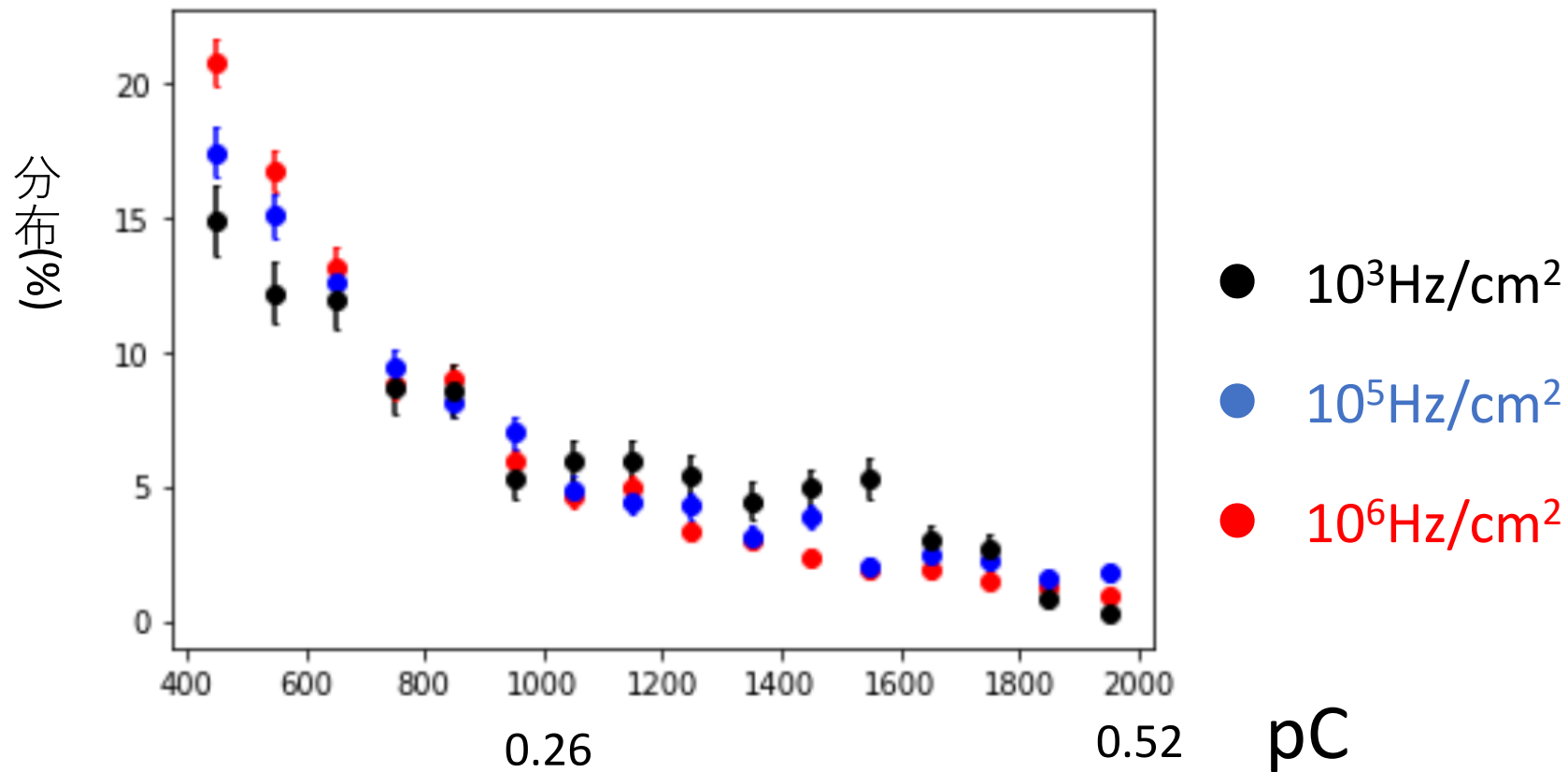


$10^6\text{Hz/cm}^2$

Histsmp:[48]read\_2,position\_3cmthreshold\_200[mV],target\_1000Volt\_66



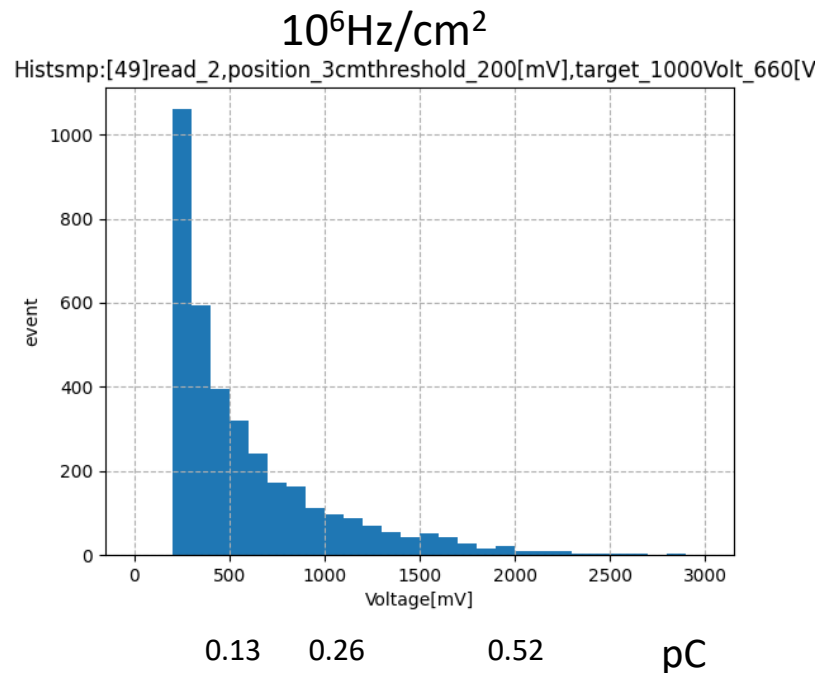
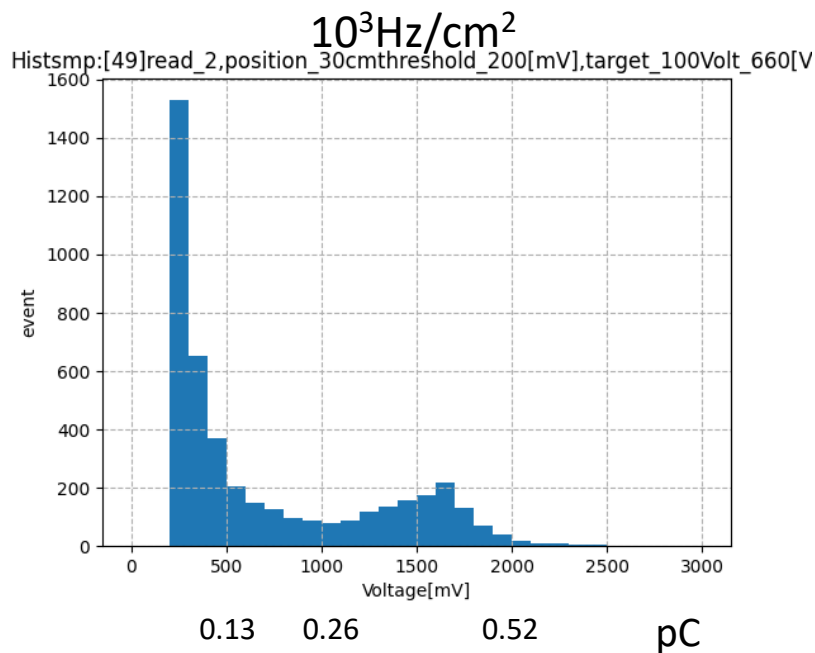
# 中性子レートの比較 RC48(50M $\Omega$ )



➤ 中性子レートによる差はない？

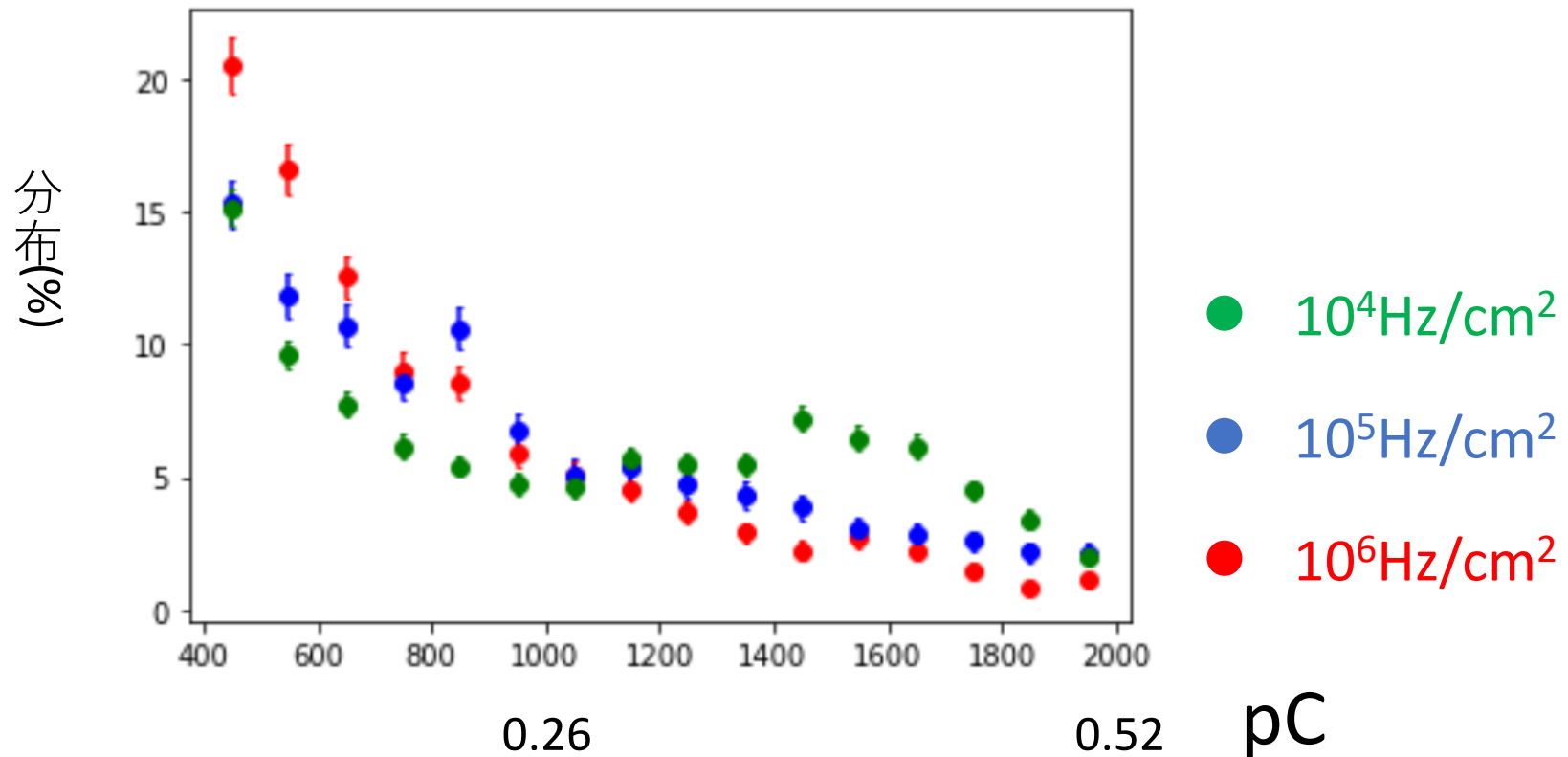
# 中性子レートの比較 RC49(500M $\Omega$ )

➤ 電極間電圧660V



➤ 高レートでは相対的に高い波高分布が少ない

# 中性子レートの比較 RC49(500MΩ)



- 中性子レートが $10^4 \sim 10^5$ の間の変化で信号減衰の傾向が顕著
- 高レート下では、観測したい信号も落とす可能性がある → 抵抗値高すぎ

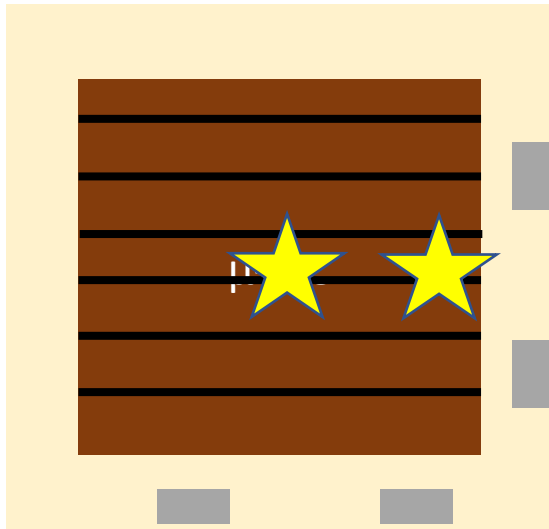


# 中性子レートの比較

---

- 異なる中性子レートに対する3種類の面抵抗値を持つDLC- $\mu$ -PICの反応
- 高中性子レートでは、面抵抗値が低い $\mu$ -PICだと低中性子レートでは見えなかった0.52pC以上の強い信号が観測されている→パイルアップ
- パイルアップは面抵抗値が低いほど観測される傾向にある
- 0.1pCから0.52pCの範囲の信号でノーマライズした波高分布をとると、500M $\Omega$ /sqの $\mu$ -PICを $10^4\sim 10^5$ Hz/cm<sup>2</sup>の変化で、強度の強い信号の減衰が顕著
- 50M $\Omega$ /sqの $\mu$ -PICでノーマライズした波高分布を異なる中性子レートで測定したが、中性子レートに対する優位な変化は見られない
- 1M $\Omega$ /sqの $\mu$ -PICでは、波高分布に $10^4\sim 10^5$ Hz/cm<sup>2</sup>の変化で信号減衰の兆候が見られる→今後の精査が必要

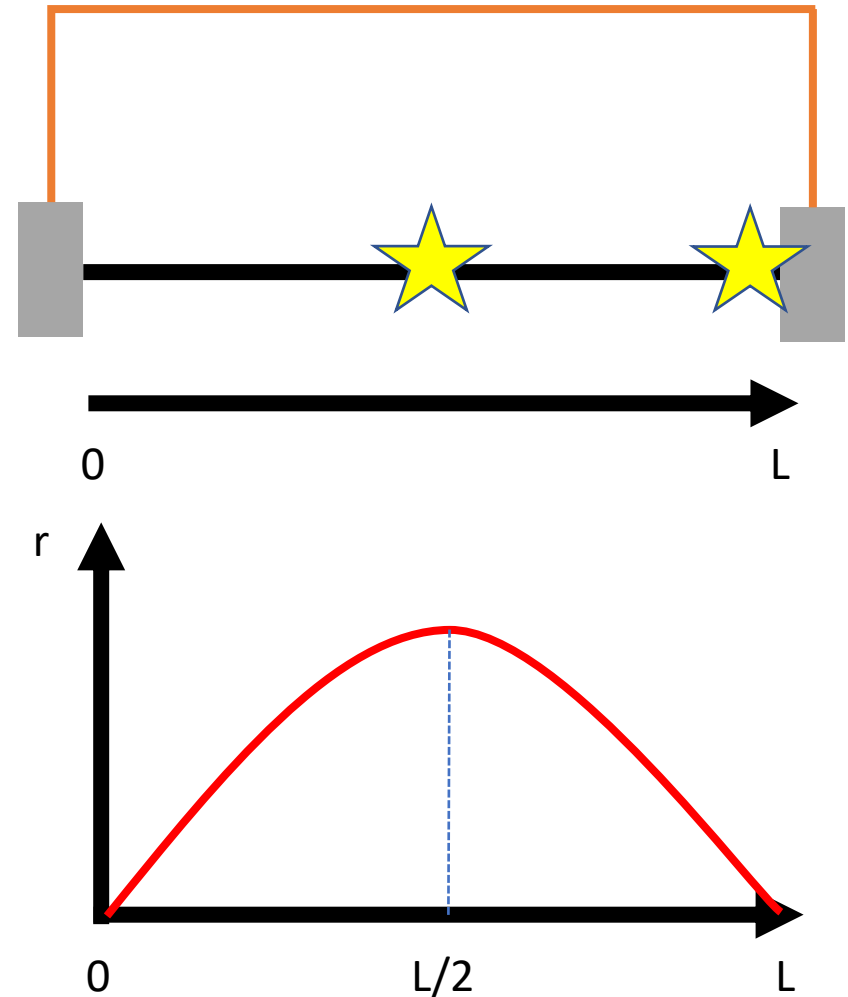
# 検出位置の違いの比較



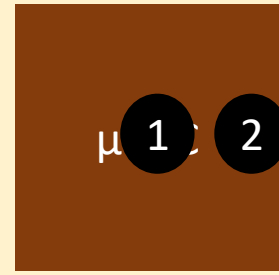
Cathode 読み出し

Anode 読み出し

- Anodeは読み出し位置の違いによって検出信号に違いがでる可能性

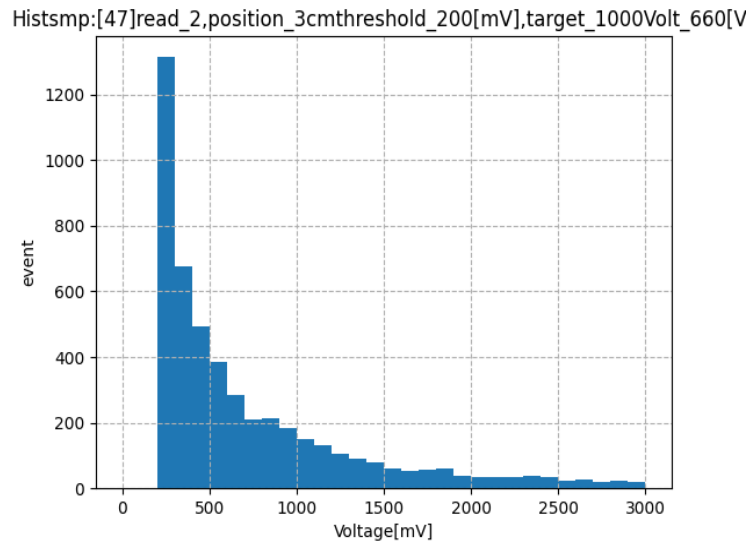


# 検出位置の比較 RC47(1M $\Omega$ )

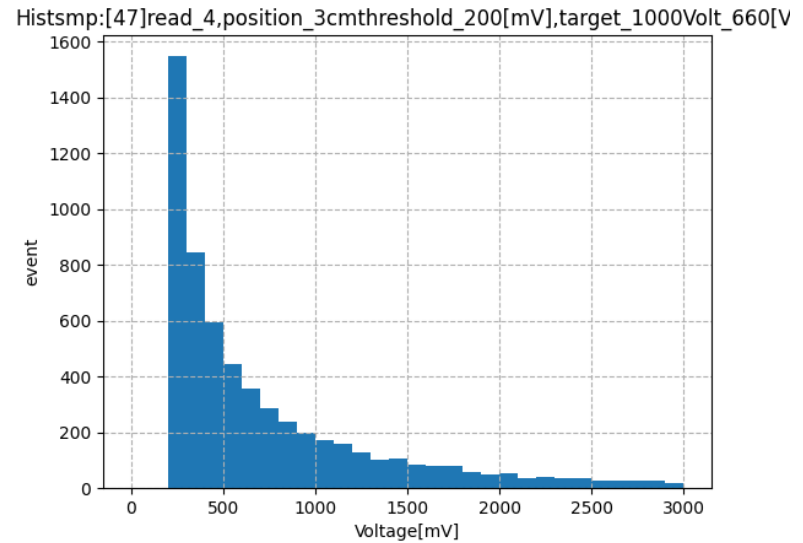


- 検出面当たり  $10^6\text{Hz/cm}^2$  の中性子レート、電極間660Vで測定

## 1. Anode 中央

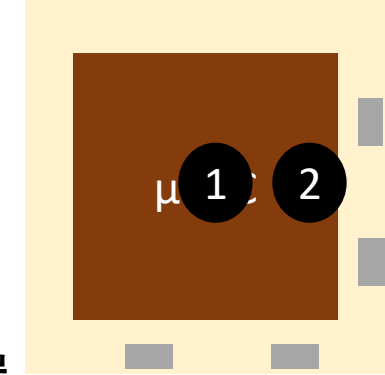


## 2. Anode 端



- 中性子照射位置によるイベントヒストグラムに変化はない

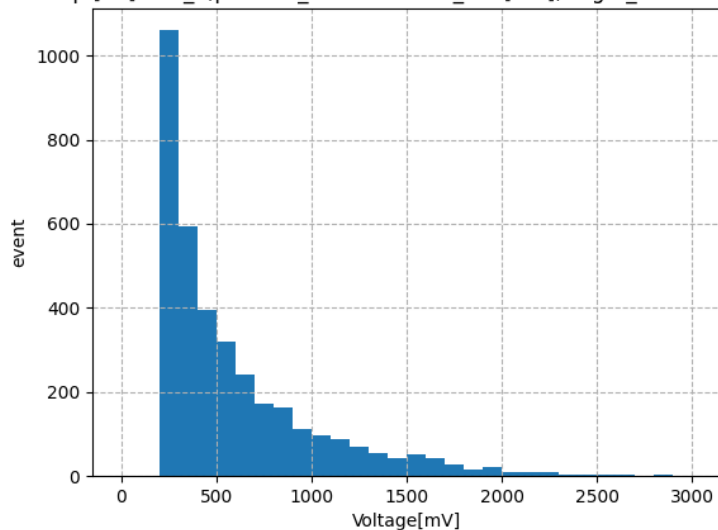
# 検出位置の比較 RC49(500M $\Omega$ )



➤ 検出面当たり  $10^6\text{Hz/cm}^2$  の中性子レート、電極間660Vで測定

## 1. Anode 中央

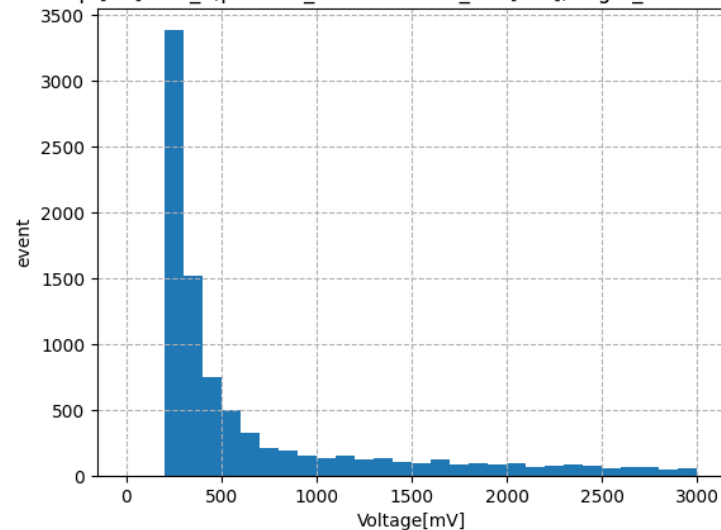
Histsmp:[49]read\_2,position\_3cmthreshold\_200[mV],target\_1000Volt\_660[V]



0.13 0.26 0.52 pC

## 2. Anode 端

Histsmp:[49]read\_4,position\_3cmthreshold\_200[mV],target\_1000Volt\_660[V]

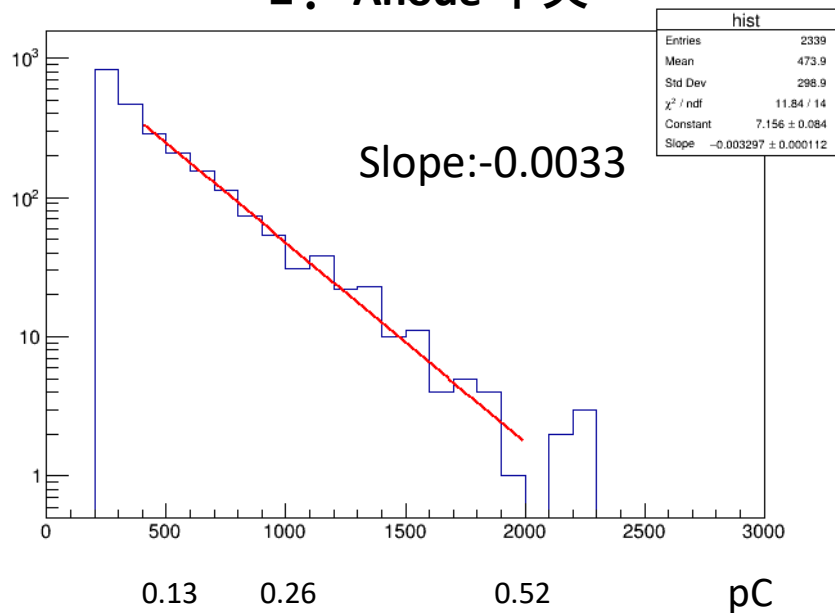


0.13 0.26 0.52 pC

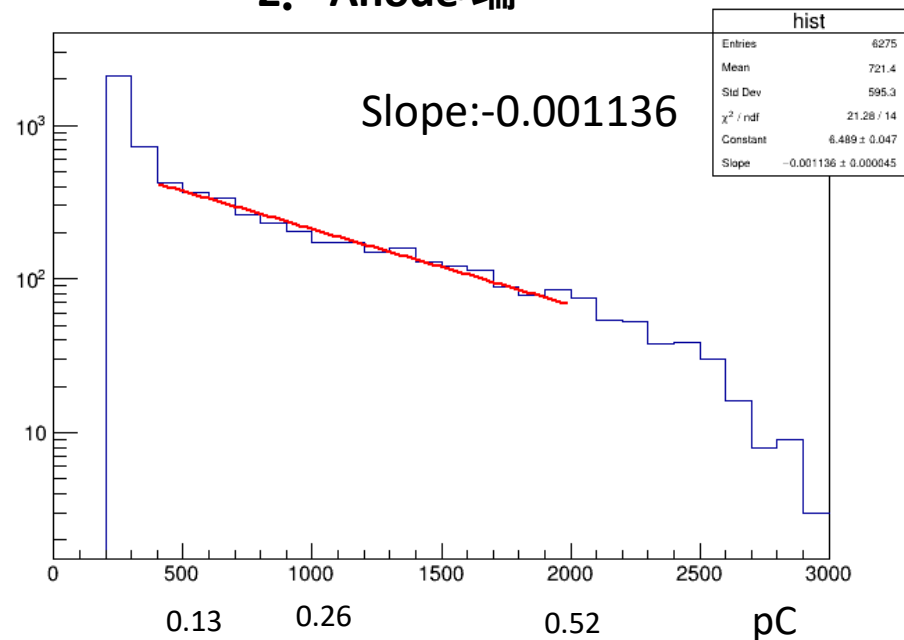
➤ ヒストグラムの形が違う

➤  $10^6 \text{Hz/cm}^2$  の中性子レートの波高分布

### 1. Anode 中央



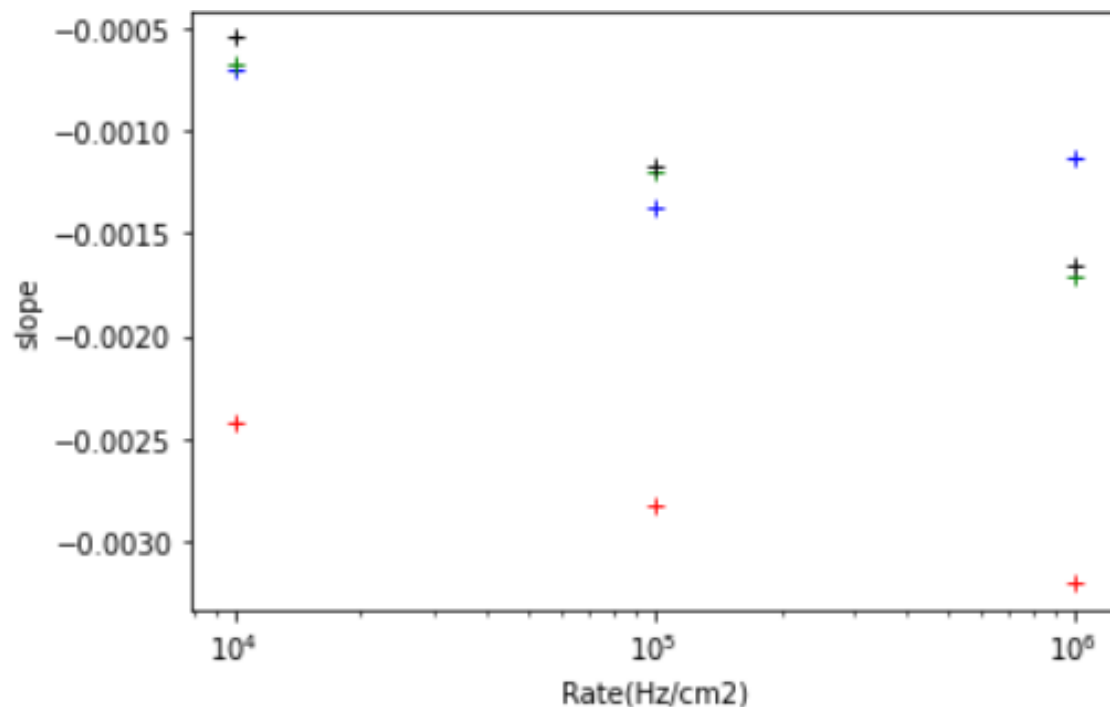
### 2. Anode 端



➤ 0.1pCから0.52pCの範囲のヒストグラムを指数関数でフィッティング

➤ Anode中央とAnode端で読み出しをした時で傾きが大幅に違う

➤ 異なるレートでフィッティングの傾きをプロット



● RC49 Central

● RC49 Edge

● RC47 Central

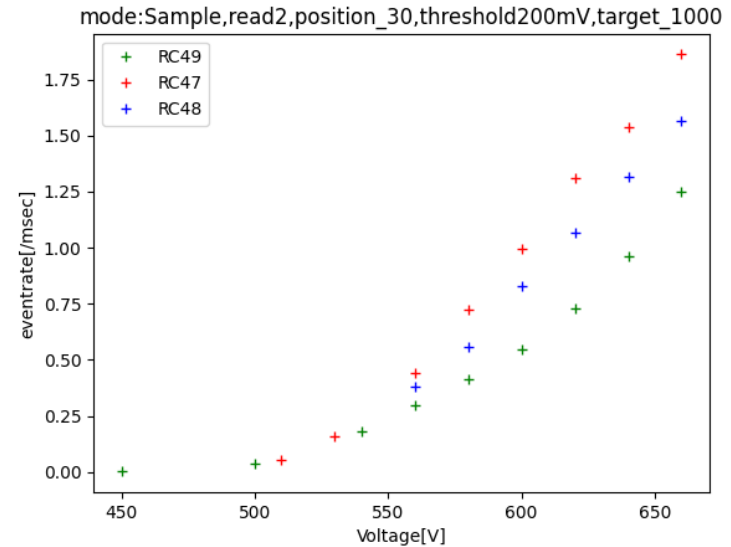
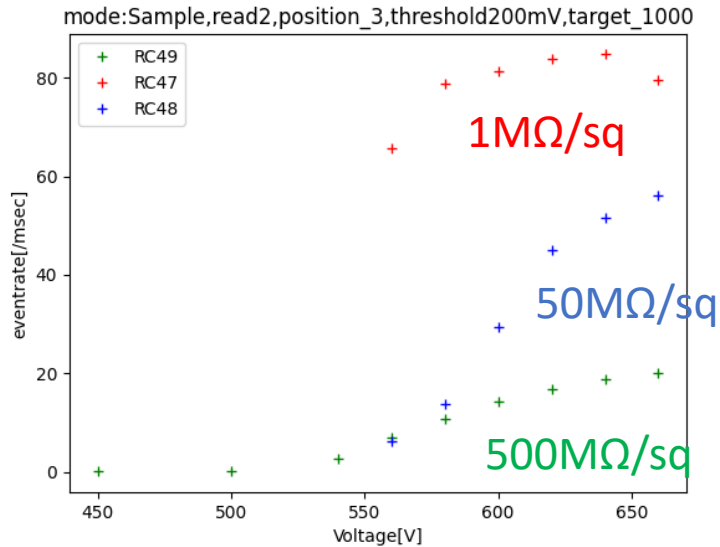
● RC47 Edge

➤ RC47のSlopeは読み出し位置にかかわらず変化なし

➤ RC49は読み出し位置が中央のほうがより急な傾き→信号減衰

# 印加電圧とサンプルごとのレート

- 各サンプルごとに閾値(200mV)を超えるイベントレートを測定



- 同じ電圧でも電極抵抗値が高いほど閾値を超えるイベントが少ない
- 中性子レートが高いほどこの傾向が強い

# まとめ

---

- 高速中性子を用いた抵抗電極 $\mu$ -PICの性能評価
- 今実験では放電信号は観測されず
- 抵抗値が高い $500\text{M}\Omega/\text{sq}$ の $\mu$ -PICを $10^4\sim 10^5$ のレートでオペレートすると、信号減衰が顕著にみられ、抵抗が低い $\mu$ -PICではその傾向が弱くなる。
- $1\text{M}\Omega/\text{sq}$ の $\mu$ -PICでは、抵抗値低いにも関わらず、 $10^4\sim 10^5$ のレートで信号減衰の兆候が見られた
- 読み出し位置の違いにより、波高分布に違いが生じる

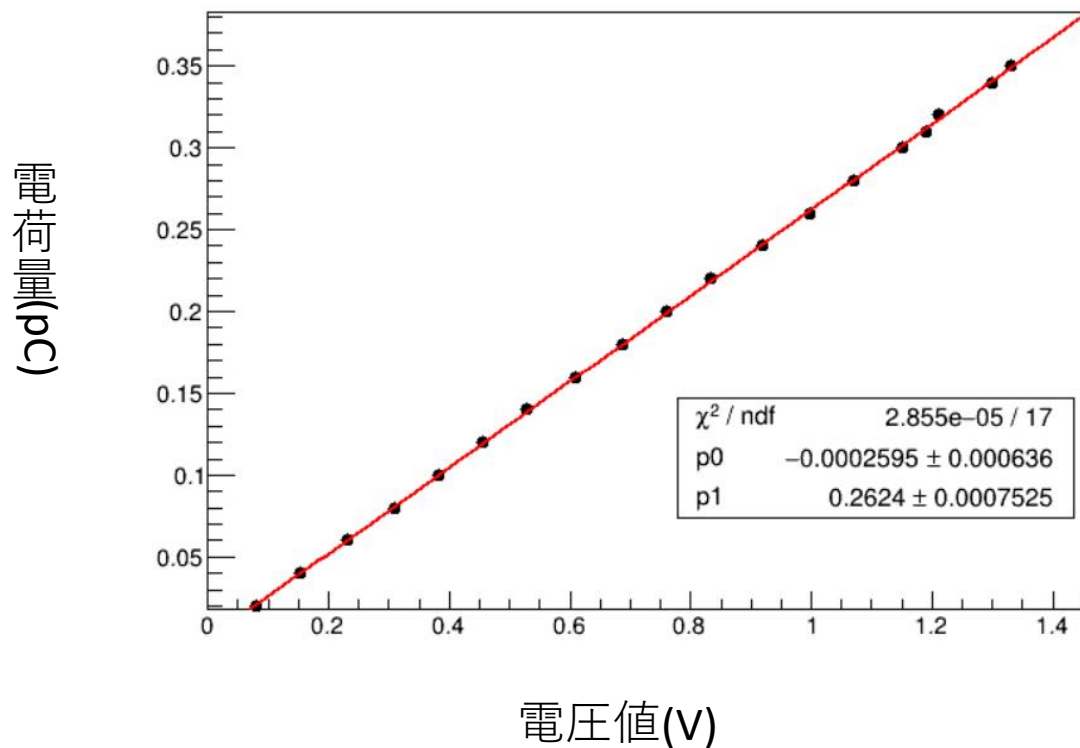
## 今後

- 1月のタンデム実験で今回取れなかった放電の信号観測
- Scalable Readout System(SRS) を用いた多ch読み出し

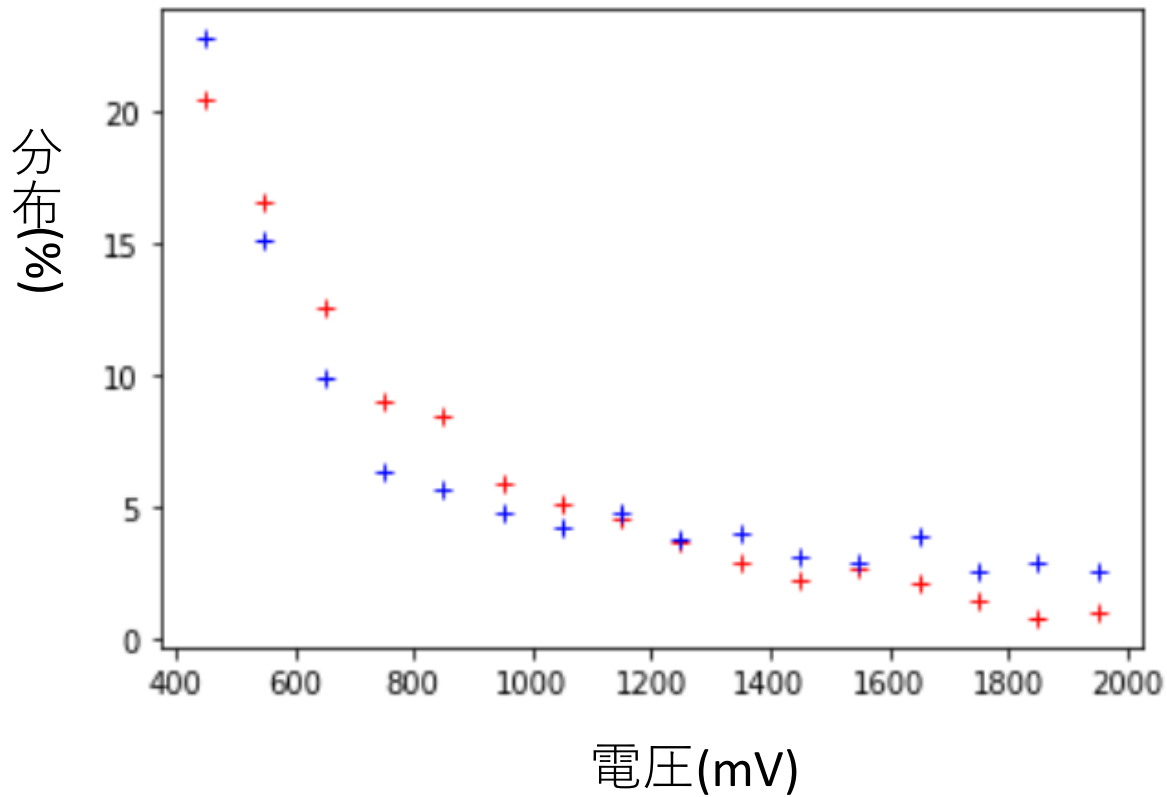


Back up

# 放電の見積もり



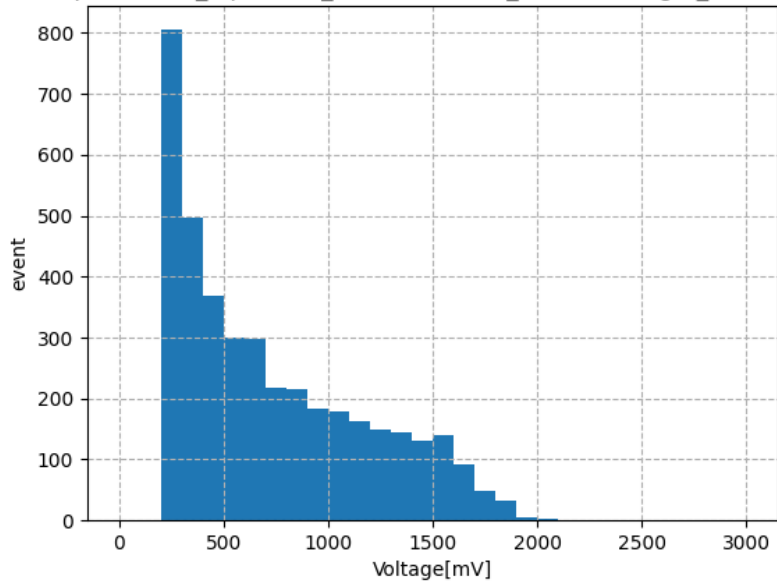
- 容量が既知のコンデンサを用い、測定に用いたアンプとシェイパーを較正
- 較正の式によると2Vの信号でも電子数 $3 \times 10^6$ 程度であり、今実験で観測した信号がrather limit に到達したとは言い難い



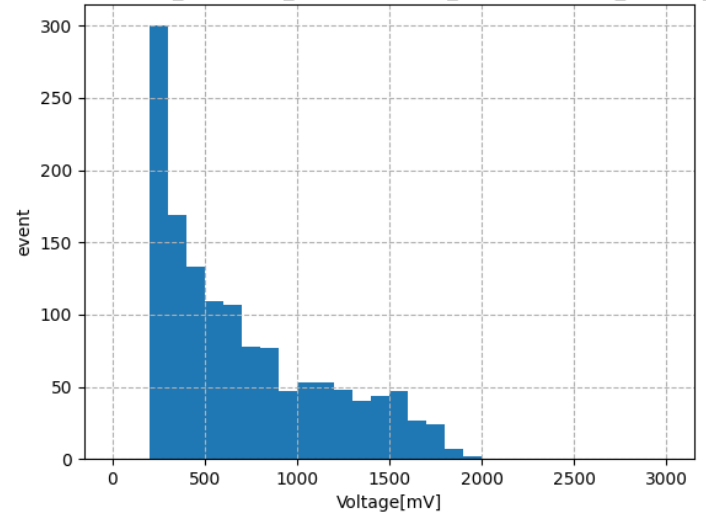
- Anode Edge
- Anode Central

➤ 多少Edge読み出しの方が信号が大きい

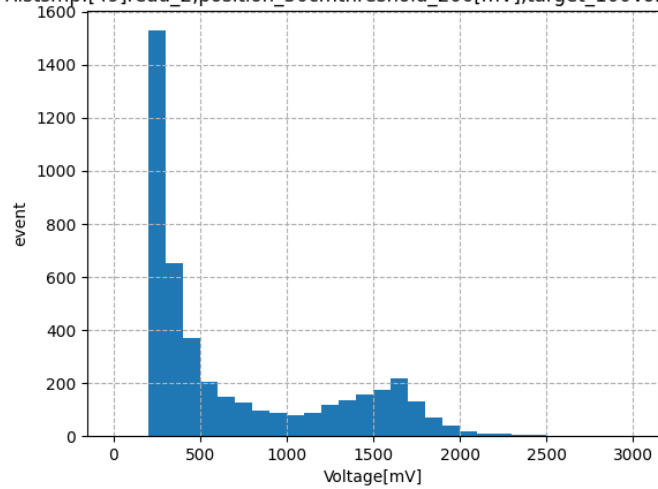
Histsmp:[48]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_10Volt\_660[V]



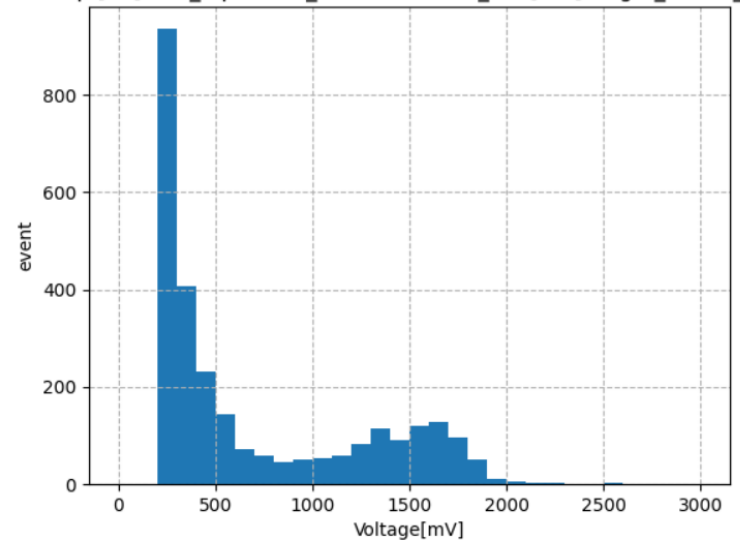
Histsmp:[48]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_100Volt\_660[V]



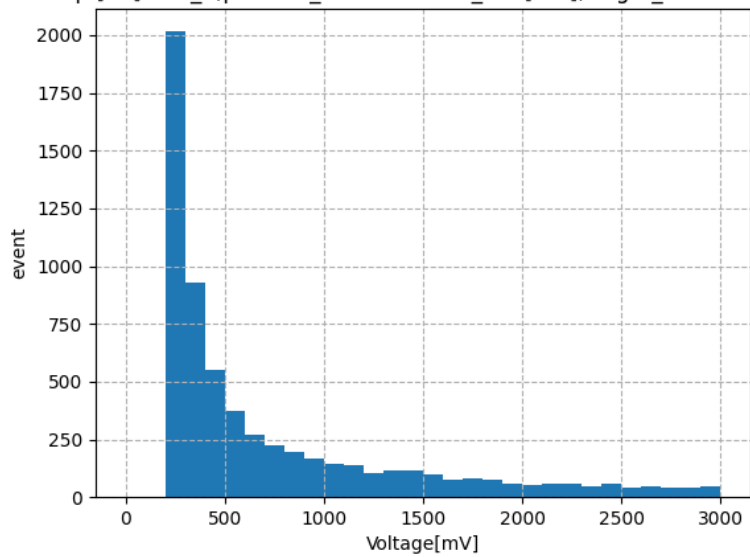
Histsmp:[49]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_100Volt\_660[V]



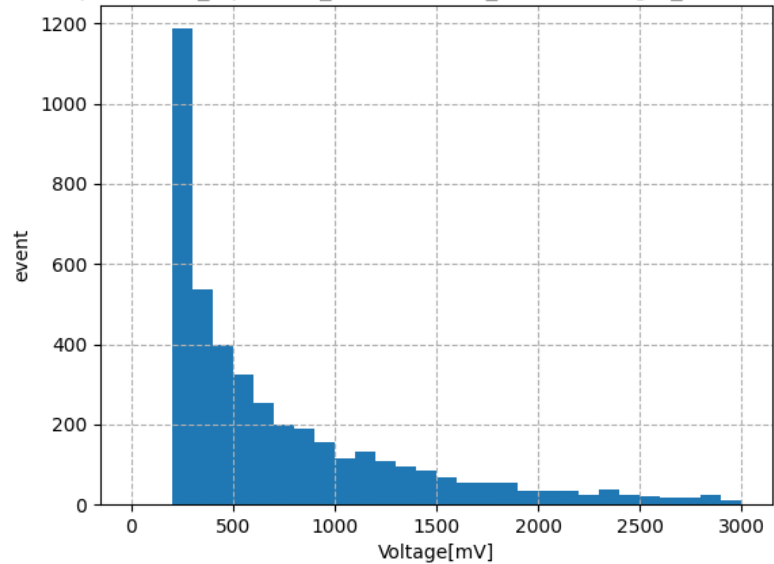
Histsmp:[49]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_10Volt\_660[V]



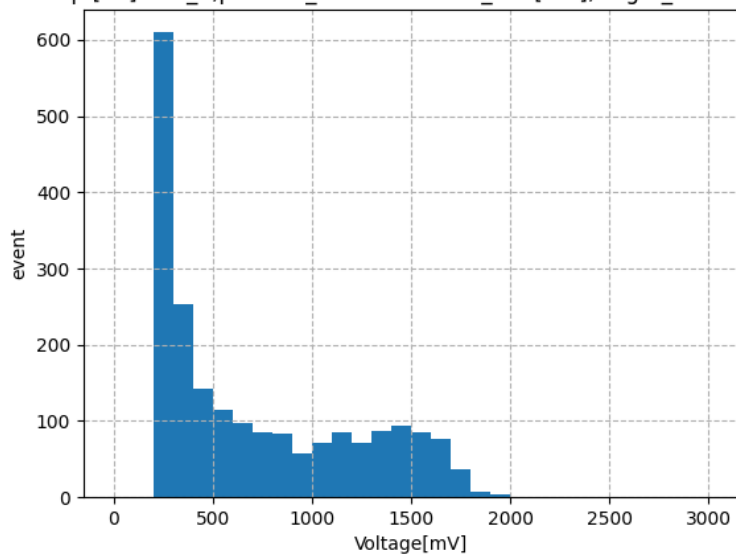
Histsmp:[47]read\_1,position\_3cmthreshold\_200[mV],target\_1000Volt\_660[V]



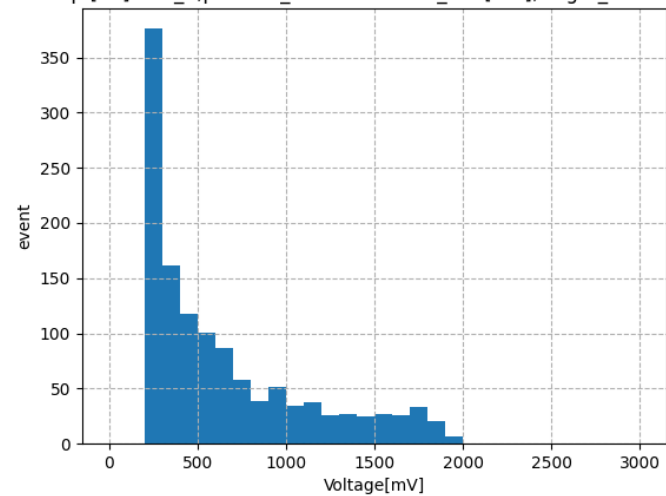
Histsmp:[48]read\_1,position\_3cmthreshold\_200[mV],target\_1000Volt\_660[V]



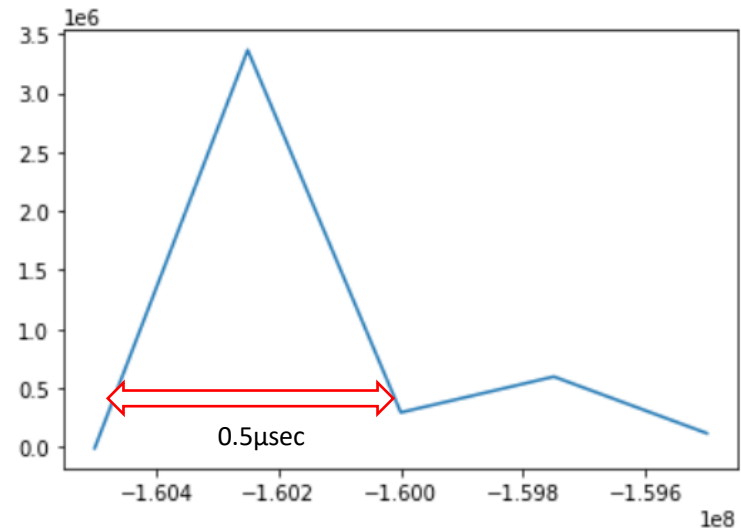
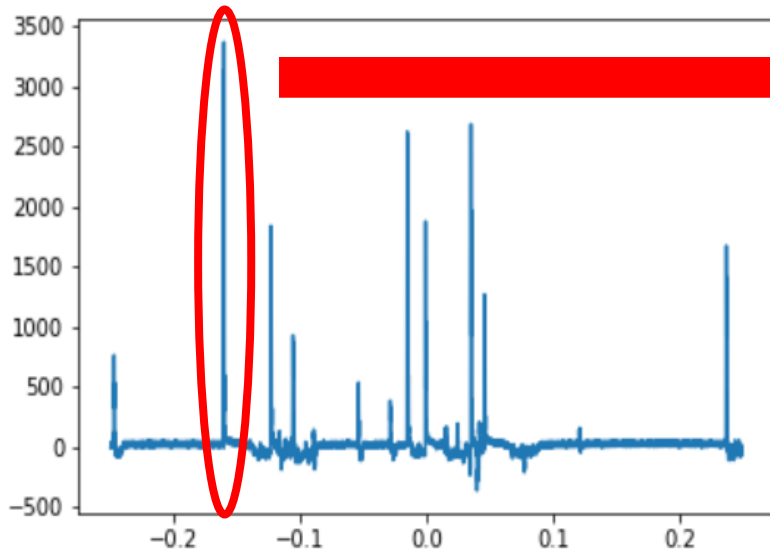
Histsmp:[47]read\_1,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_10Volt\_660[V]



Histsmp:[48]read\_1,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_10Volt\_660[V]



# パイラアップの見積もり



1 イベントの信号幅を求め全イベント数から全イベント幅を算出し、時間当たりの信号発生確率を求める。パイラアップ確率はそれの2乗

$$P(\text{pile up}) = (\tau(\text{event}) \times n(\text{events}) / \text{total\_time})^2$$

# パイルアップの見積もり

---

- 各サンプルごとにパイルアップ確率を算出

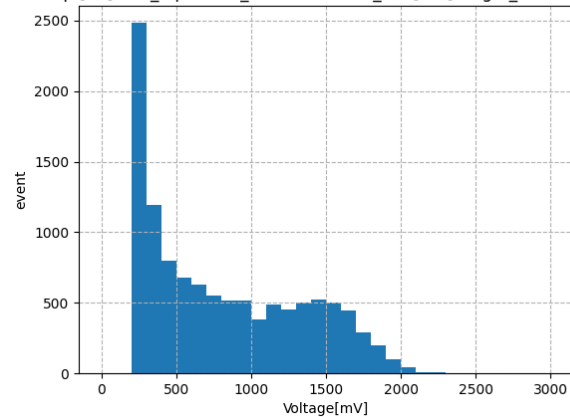
High Rate

Sample	Pile(cal) %	Pile(2V) %	Pile(2.5V)
RC47	7.7	8.60	5.12
RC48	5.5	2.11	0.64
RC49	1.9	1.70	0.58

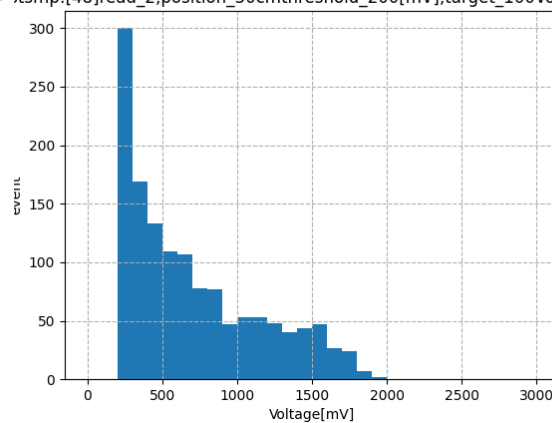
# 高速中性子照射実験

- 検出面あたり  $8.84 \times 10^2$  Hz/cm<sup>2</sup> の中性子レート、電極間電圧660Vでの測定

Histsmp:[47]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_100Volt\_660[V];tsmp:[48]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_100Volt\_660[V]

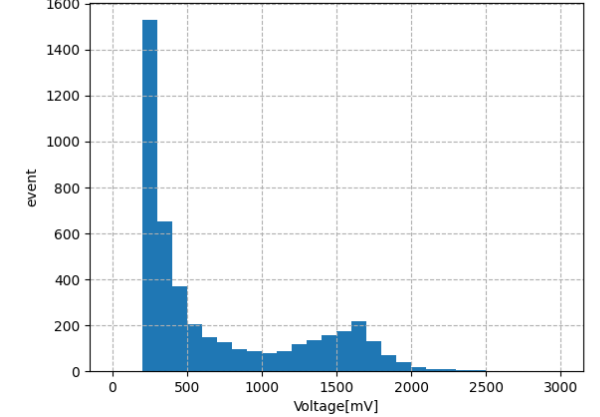


RC47



RC48

Histsmp:[49]read\_2,position\_30cmthreshold\_200[mV],target\_100Volt\_660[V]



RC49

- 1.5Vあたりにピークのようなものが見えている
- アンプorシェイパーのサチレーション?



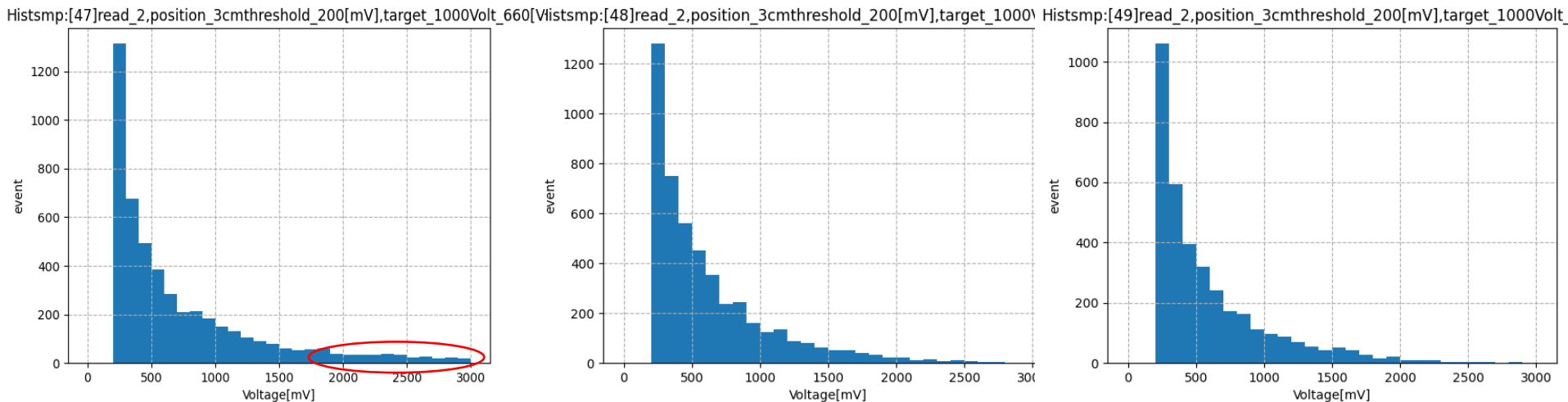
# 高速中性子照射試験

- 中性子レート  $8.84 \times 10^5 \text{Hz/cm}^2$ , 電極間電圧660Vの測定

RC47

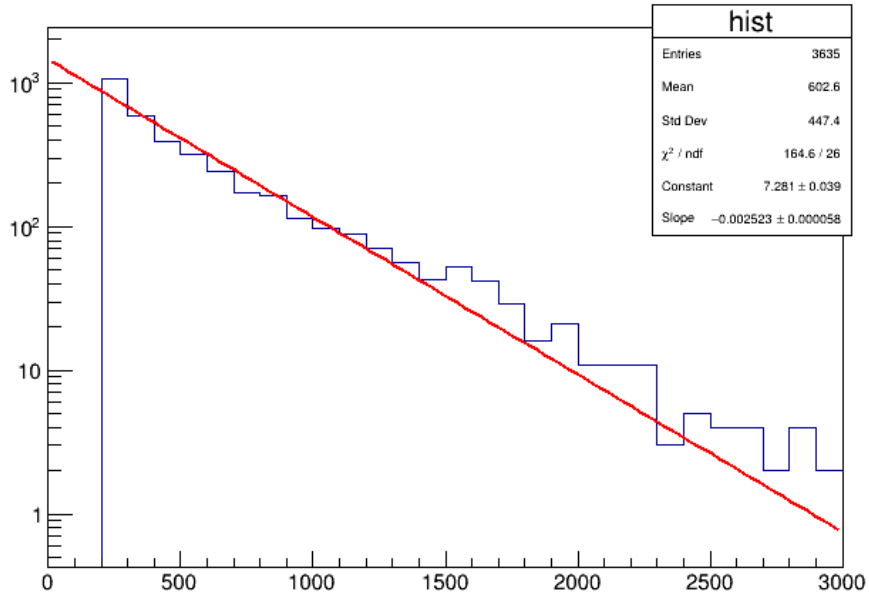
RC48

RC49



- 低レート時に見られたピークがみられない。
- RC47が2V以上の大きな信号が多くみられる。

hist



hist

