

NEWAGE実験51: 方向感度を持った暗黒物質 探索のためのR&D

池田 智法^A

身内賢太郎^A、橋本隆^A、石浦宏尚^A、中村輝石^A、伊藤
博士^A

神戸大学^A

2018年日本物理学会秋季大会@信州大学

低BG化のためのR&D

- ✓ 2015年の結果では μ -PICに含まれる不純物U/ThからのBGを確認

U/Th測定結果

測定試料	[g]	^{238}U [ppm] U系列	^{232}Th [ppm] Th系列
PI 100 μm	35	0.39 ± 0.01	1.81 ± 0.04
ガラス繊維	15	0.84 ± 0.03	3.48 ± 0.12
CuSO_4	72	< 0.009	< 0.06
GEM	27.0	< 0.022	< 0.12

- ✓ μ -PICのBGを削減する研究に尽力
- ✓ 低バックグラウンド化のための2つのアプローチ

1. Low- α μ -PIC

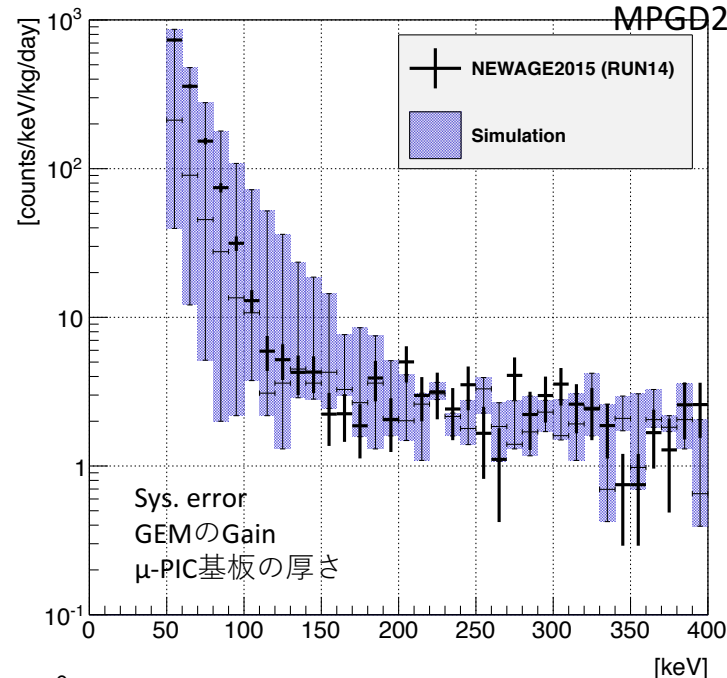
→検出器の性能評価を完遂

→2017年12月から神岡にインストール

2. NI μ TPC

→現在性能評価中

測定したU/Th量から計算されたエネルギースペクトル
MPGD2016橋本



橋本の発表

16pS13-6

その1. Low- α μ -PIC

- ✓ μ -PIC基板の表面素材を低BG素材に変更

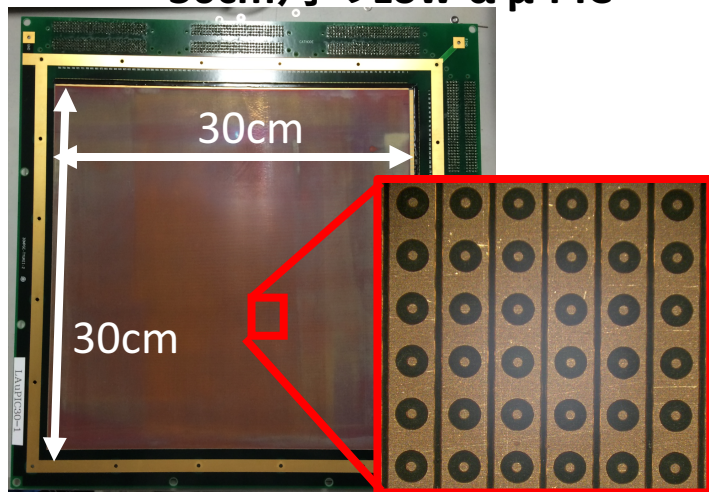
新材料のU/Th測定結果

測定試料	^{238}U [ppm]	^{232}Th [ppm]	備考
PI100 μm	0.39 ± 0.01	1.81 ± 0.04	現行の μ -PIC材料
PI+エポキシ	$< 2.98 \times 10^{-3}$	$< 6.77 \times 10^{-3}$	新材料

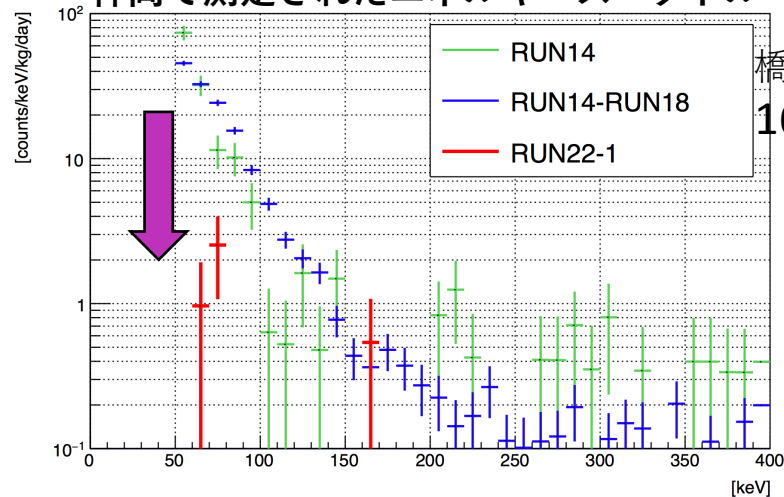
→含有量1/100倍を達成

- ✓ 大型検出器(30 \times 30cm²)の開発・評価を完遂し、神岡にインストール

30cm角のLow- α μ -PIC



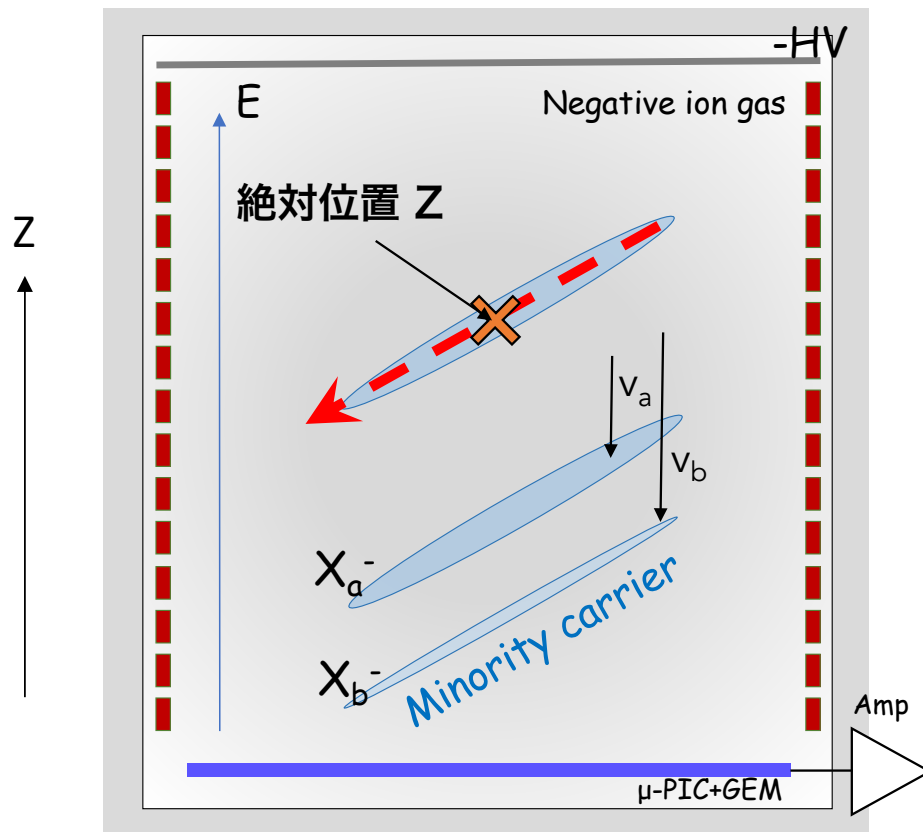
神岡で測定されたエネルギースペクトル



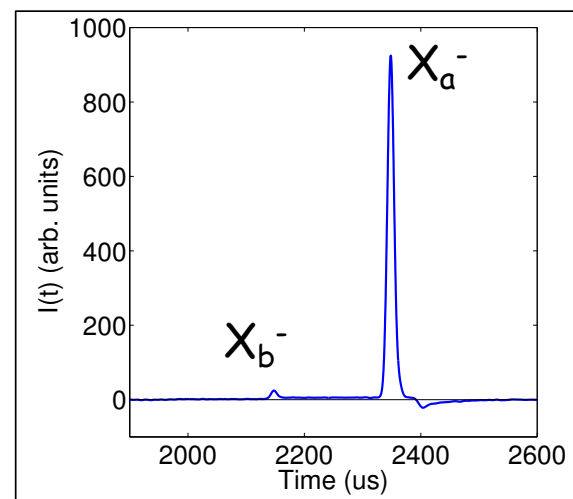
橋本隆の発表から
16pS13-6

その2. NI μ TPC

- ✓ 陰イオンガス検出器を μ TPCに応用 = Negative ion μ TPC



信号波形



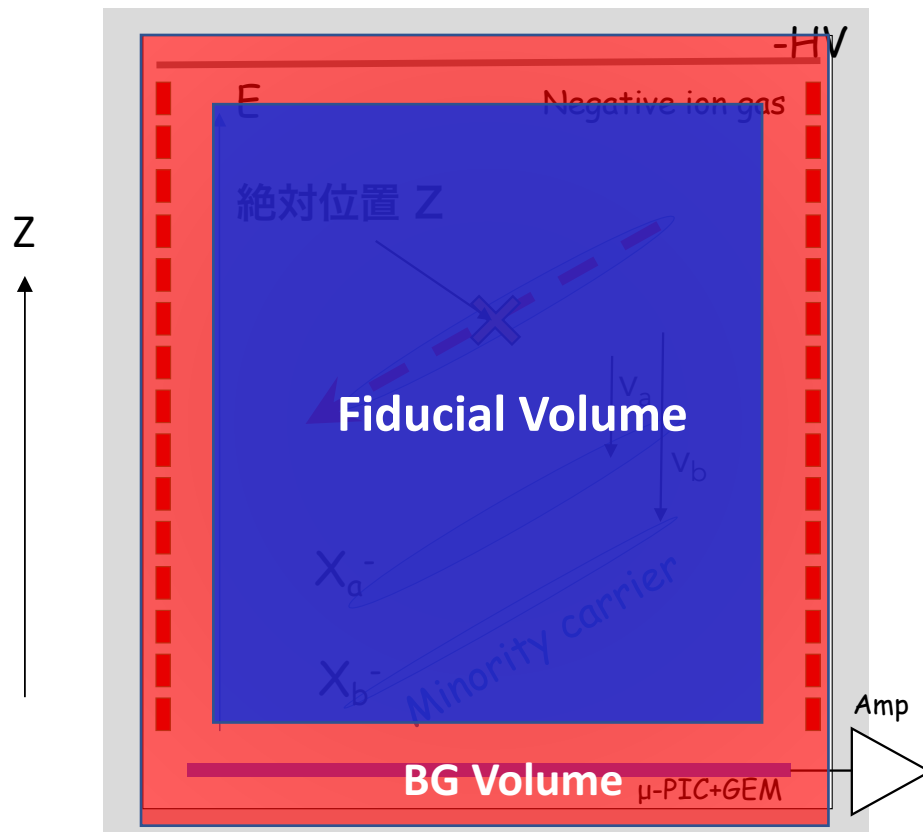
N.Phan talked @CYGNUS2015

$$z = (t_a - t_b) \frac{v_a v_b}{(v_b - v_a)}$$

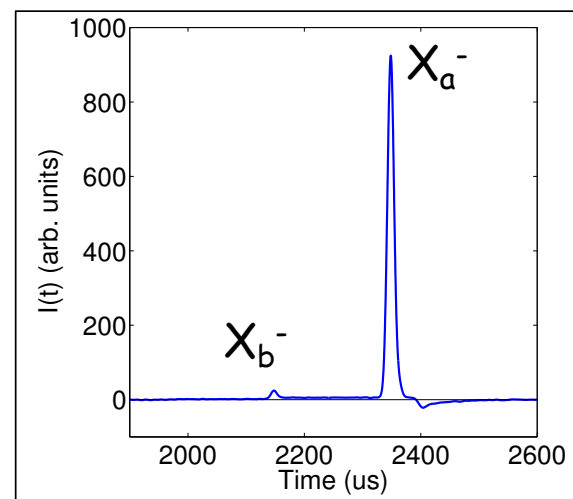
- 陰イオンガス特有の信号(マイノリティピーク)を用いることで Z 軸方向の絶対位置を決定できる

その2. NI μ TPC

- ✓ 陰イオンガス検出器を μ TPCに応用 = Negative ion μ TPC



信号波形



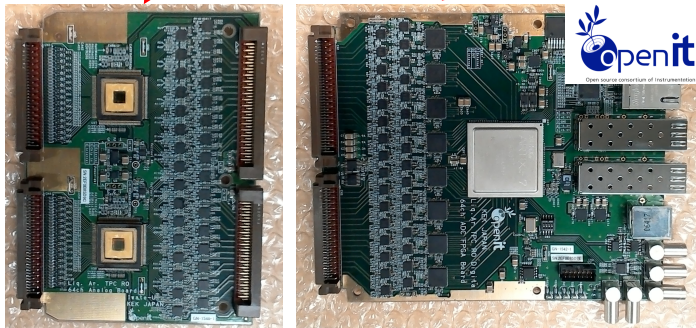
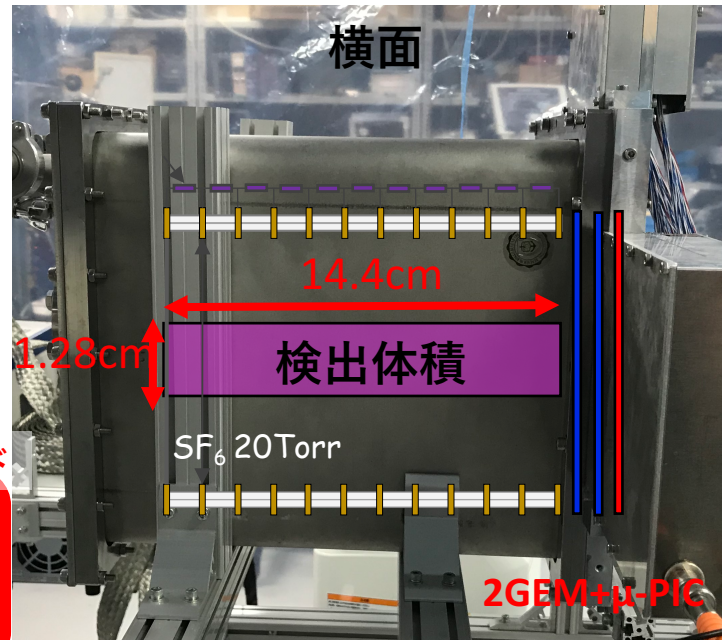
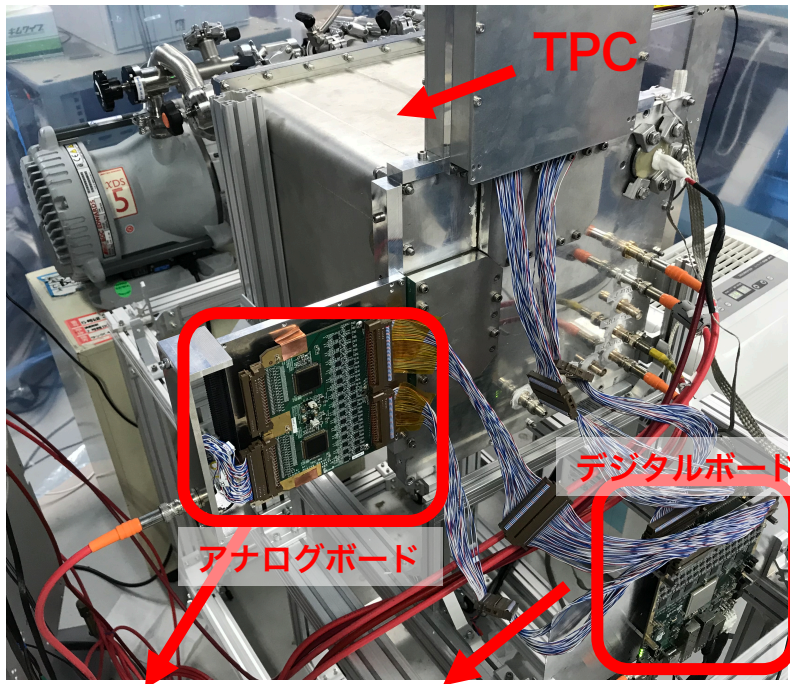
N.Phan talked @CYGNUS2015

$$z = (t_a - t_b) \frac{v_a v_b}{(v_b - v_a)}$$

- Full-Fiducialカットによってさらに感度が向上

NI μ TPCの開発

✓ 10cm角の μ -PICを使った小型のNI μ TPCの開発



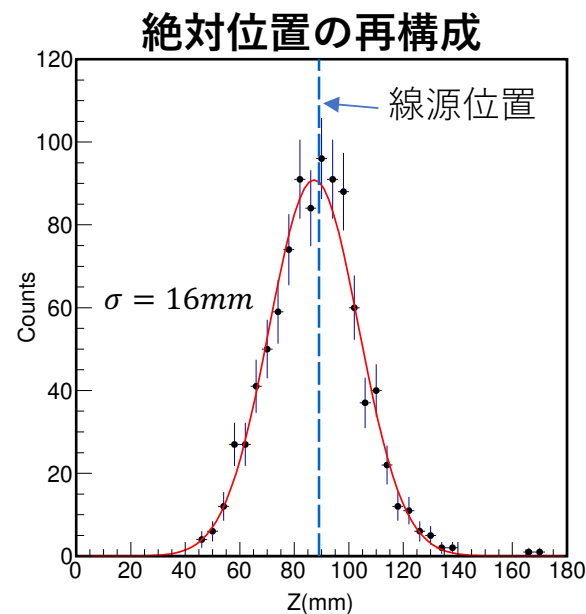
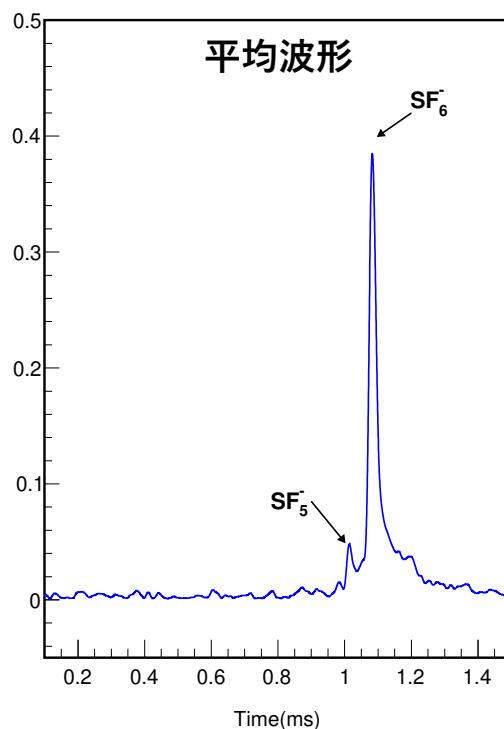
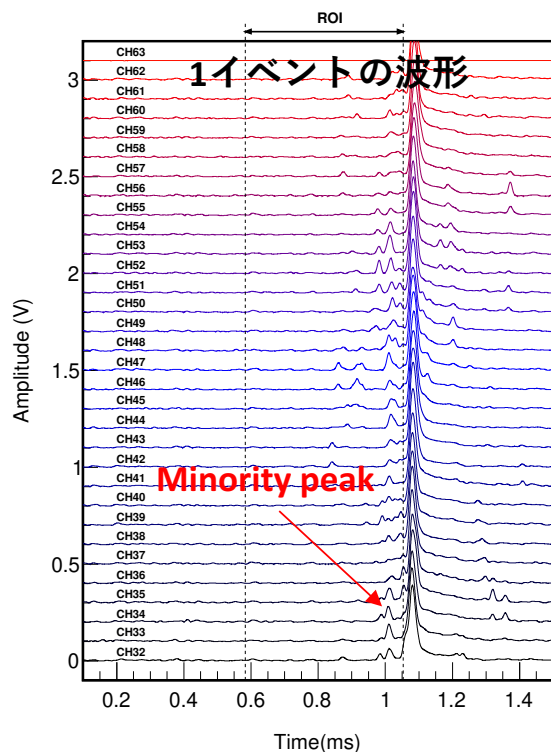
✓ 検出体積は1.28cm × 2.56cm × 14.4cm

← KEKで開発された液体アルゴン検出器用の読み出しボードを利用

- 64 × 2チャンネル読み出し

NI μ TPCの開発:Zの分解能測定

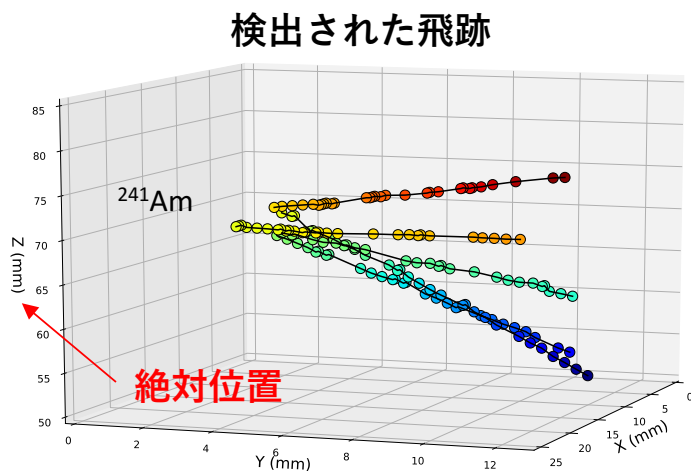
- ✓ 多チャンネル読み出しボード(LTARS-2014)を用いてマイノリティチャージの読み出しに成功



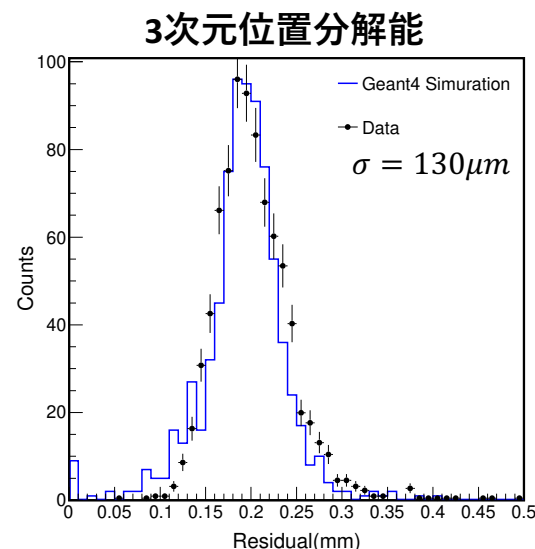
- 絶対位置Zの位置分解能16mmを達成

NI μ TPCの開発:飛跡検出

- ✓ NI μ TPCの飛跡検出能力の評価を行った

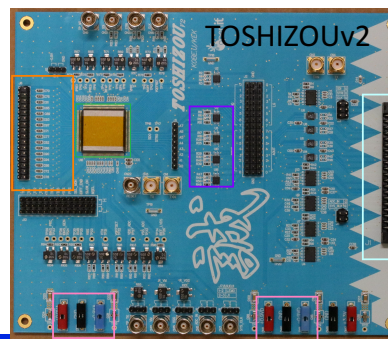


- **3次元位置分解能130 μ m**を達成
- Zの位置決定と飛跡検出の同時測定が可能

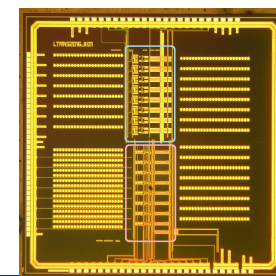


- ✓ 大面積読み出しに向けて、NI μ TPC専用の読み出しボードを開発中

	要請値	測定値
Gain high/low [mV/fC]	10/0.5	10.05/0.54
ENC@300pF	4000	6000
Dynamic range high/low [fC]	80/1600	160/2400



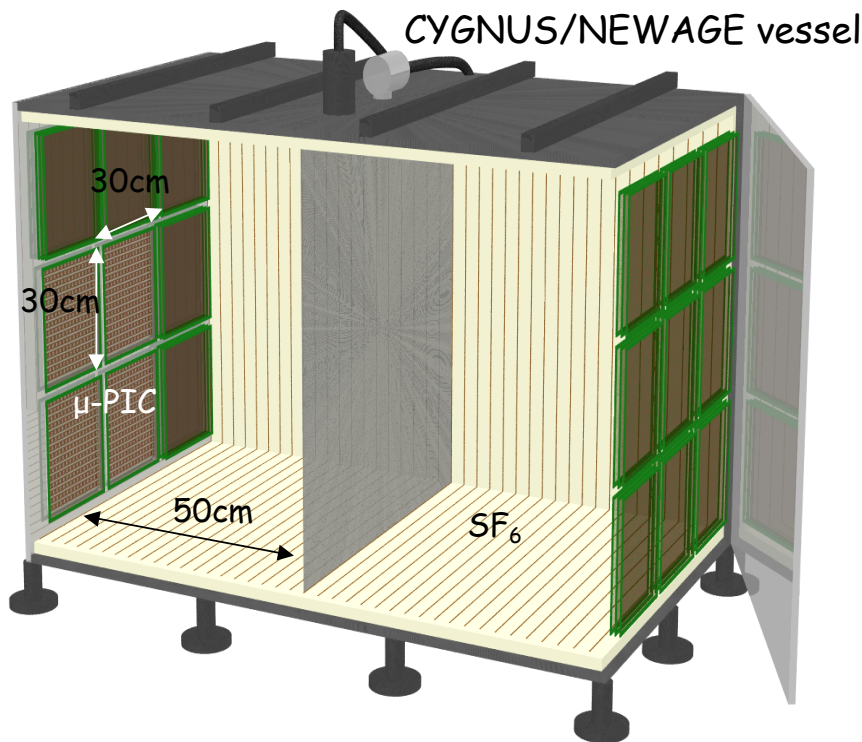
←ASICチップ評価用ボード



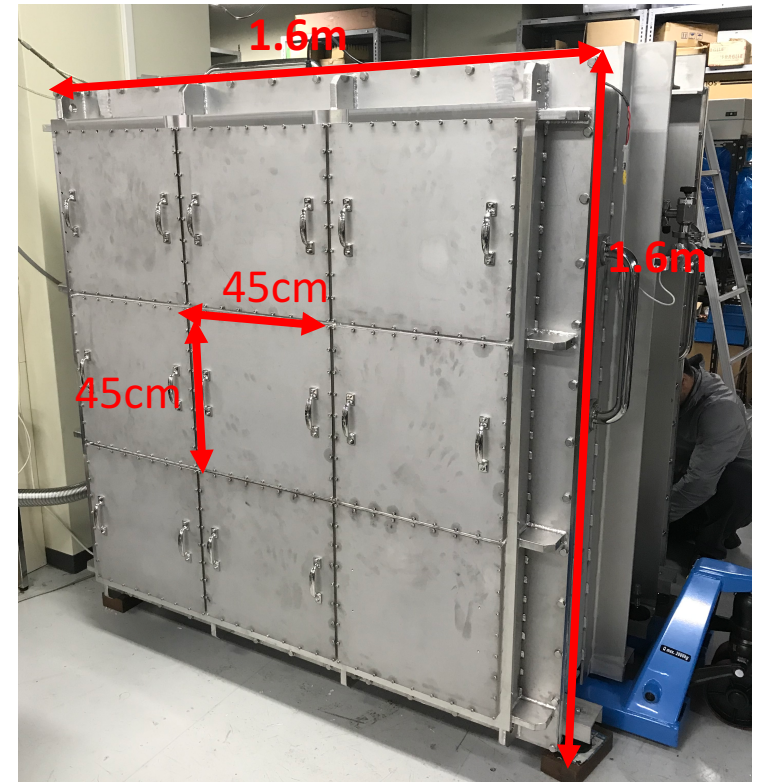
ASICチップ
LTARS2016_K01

大容積検出器の開発

- ✓ 容積 1m^3 の真空容器を製作、神戸大学に搬入



実物写真

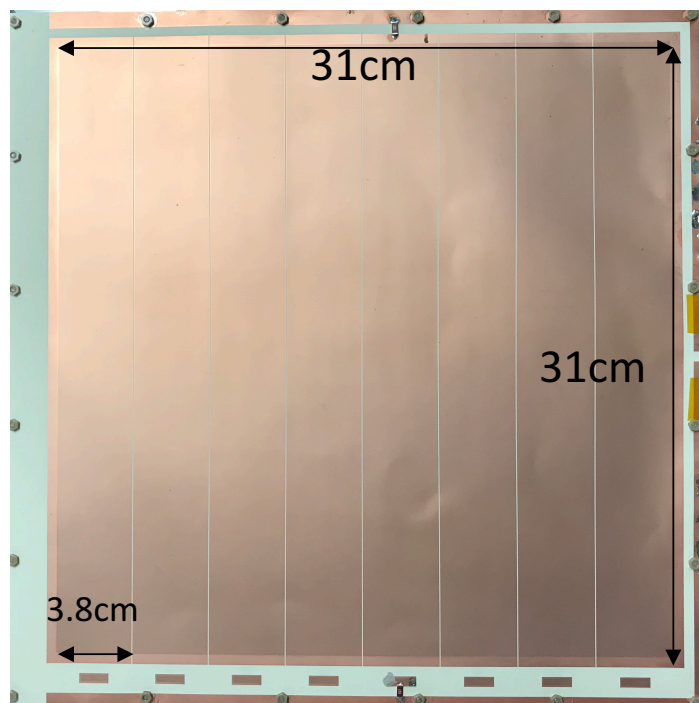


- ✓ 将来は 2m^2 の検出面積の読み出しを行いたい
- ✓ まずはBGの確認のため、GEMだけで読み出しを行う→**ダブルGEMの開発へ**

大型ダブルGEM検出器

- ✓ 大容積検出器に使用するための大型ダブルGEM検出器($31 \times 31\text{cm}^2$)を開発

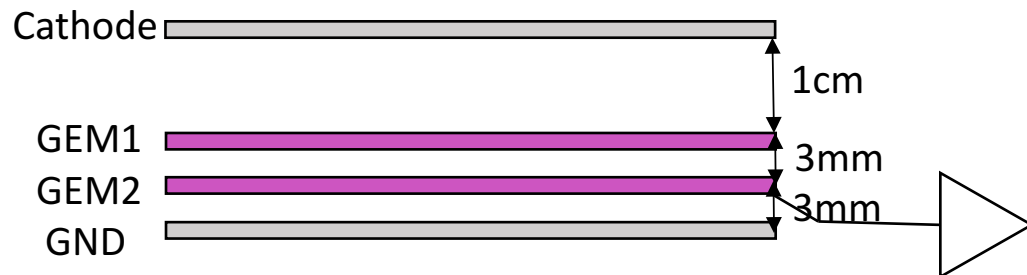
実物写真



厚さ: $100\mu\text{m}$

素材: Liquid crystal polymer (LCP)

ダブルGEM構成図



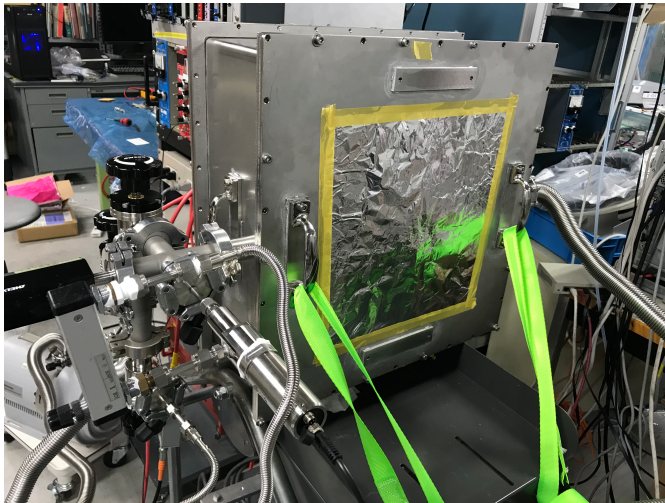
- ✓ 材料は**低BG**なものを使用

U/Th含有量

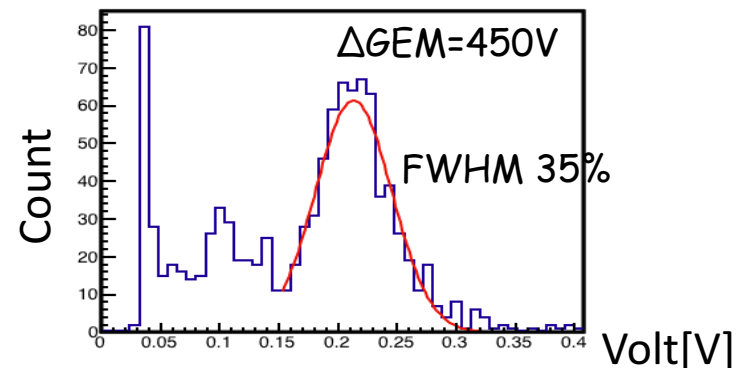
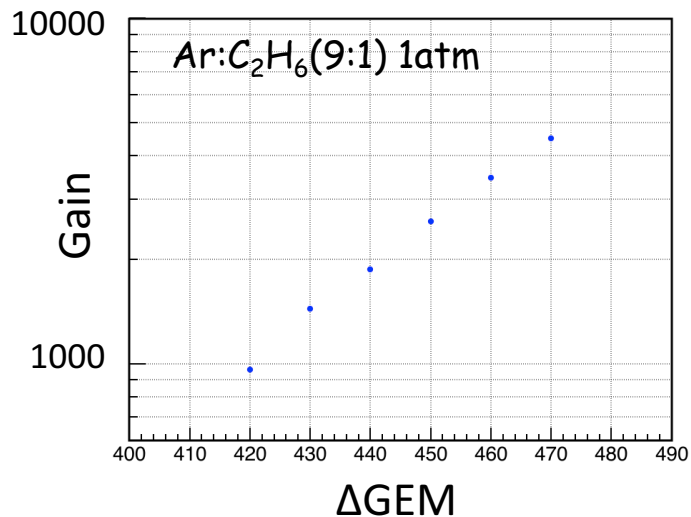
	^{238}U [ppm]	^{232}Th [ppm]
$\mu\text{-PIC}$	1.17 ± 0.01	5.84 ± 0.03
GEM	<0.02	<0.12

大型ダブルGEM検出器:基礎試験

- ✓ 大型検出器の1ユニットと同サイズの真空容器を製作
- ✓ Ar:C₂H₆(9:1)ガスを用いてダブルGEM検出器の基礎特性を評価



- ✓ 標準ガスでのガスゲインは十分に
出ている
- ✓ 今後、陰イオンガスSF₆での試験を
開始する



まとめ

□ NEWAGE実験では低BG化のための研究が行われている

✓ Low- α μ -PIC

- 神岡ヘインストール済み、RUN継続中

✓ NI- μ TPC

- 小型の試験機を開発
- 性能評価中

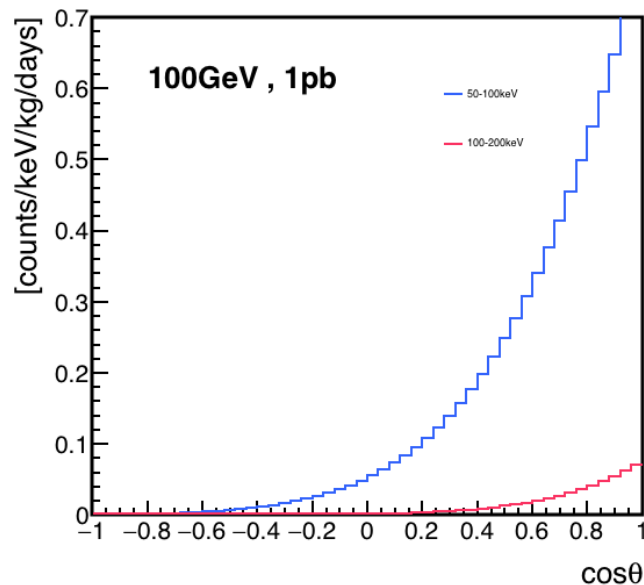
□ 検出器の大型化に向けた検出器開発が進められている

✓ 30cm角2段GEM検出器の開発

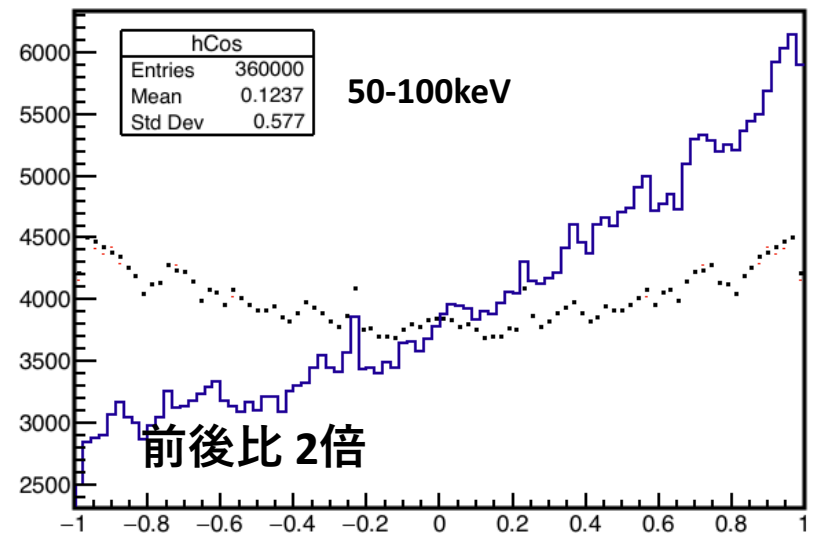
- 標準ガスでの基礎試験終了
- 陰イオンガスの試験へ

Back-up

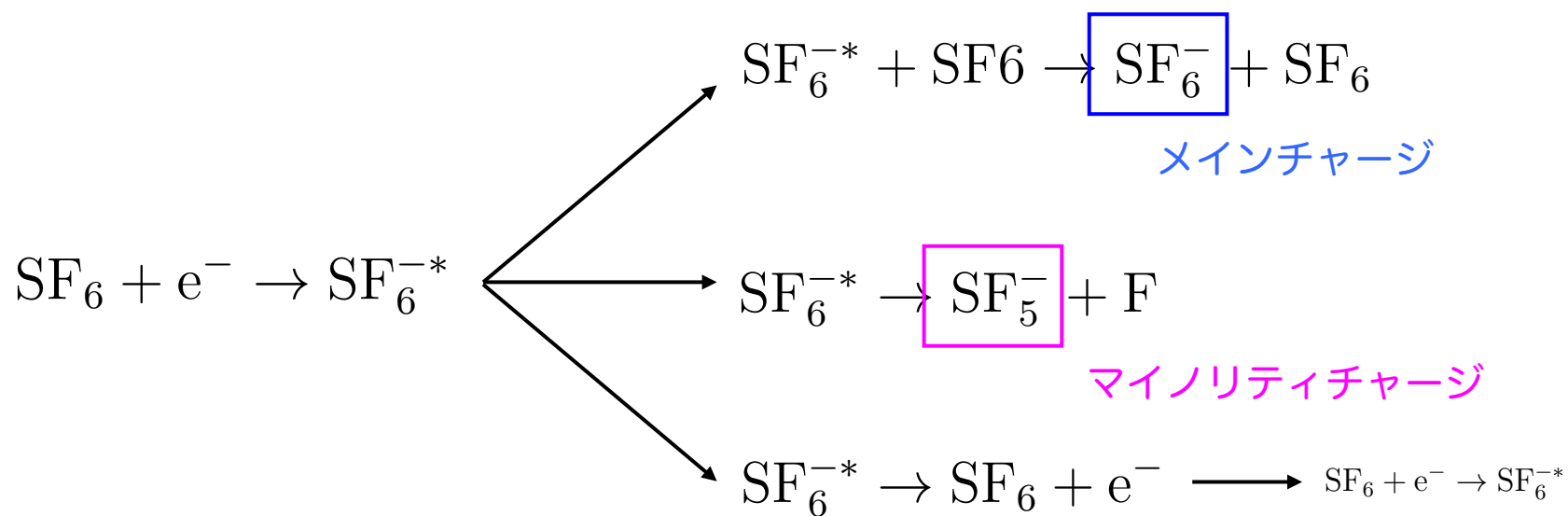
方向感度のポテンシャル



100GeV



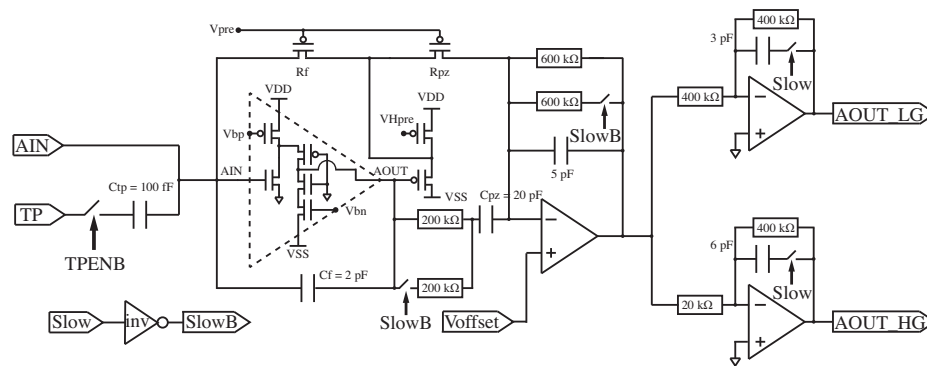
× 角度分解能 × Head-tailの分解能でフル



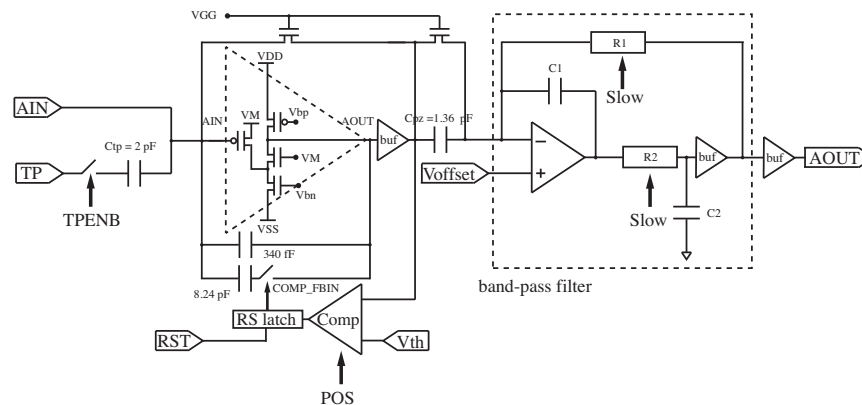
ASICの開発

- 2つの回路(Static/Dynamic)のTEGチップを製作

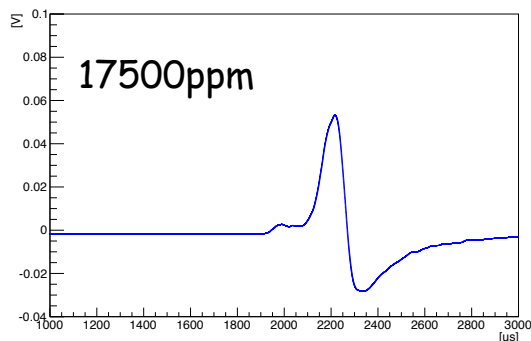
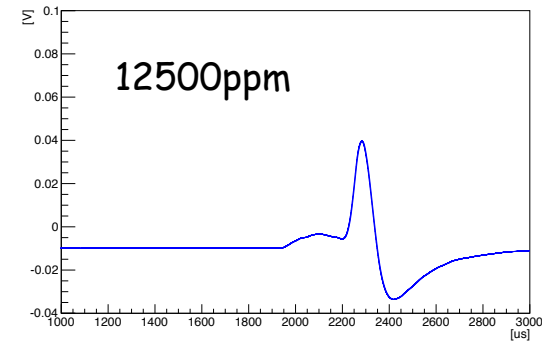
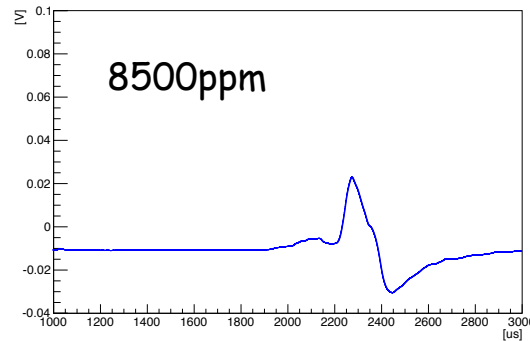
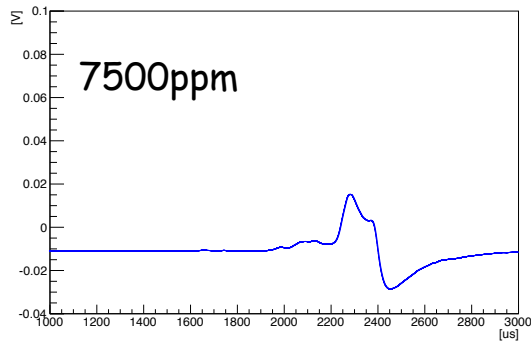
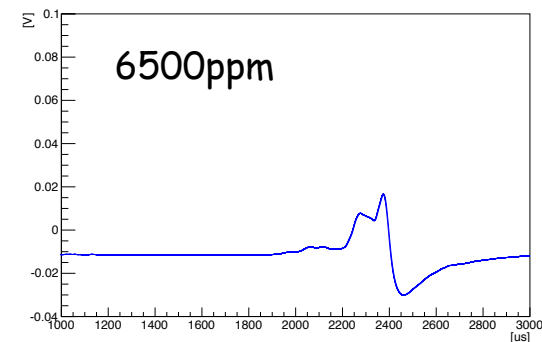
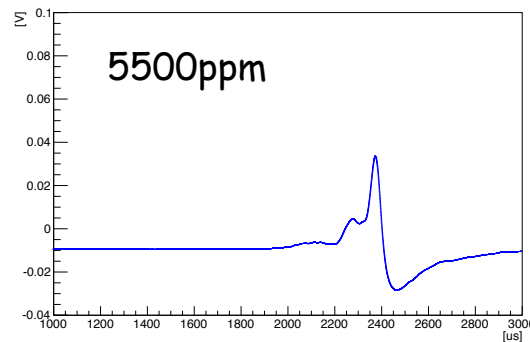
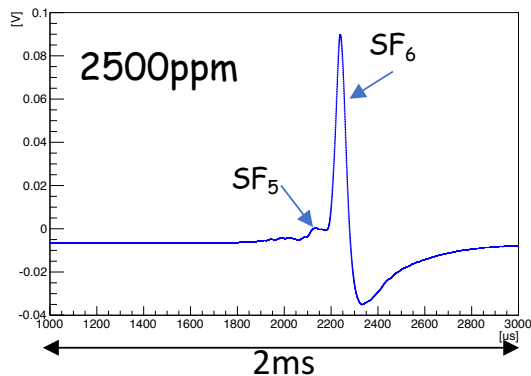
Static architecture



Dynamic architecture



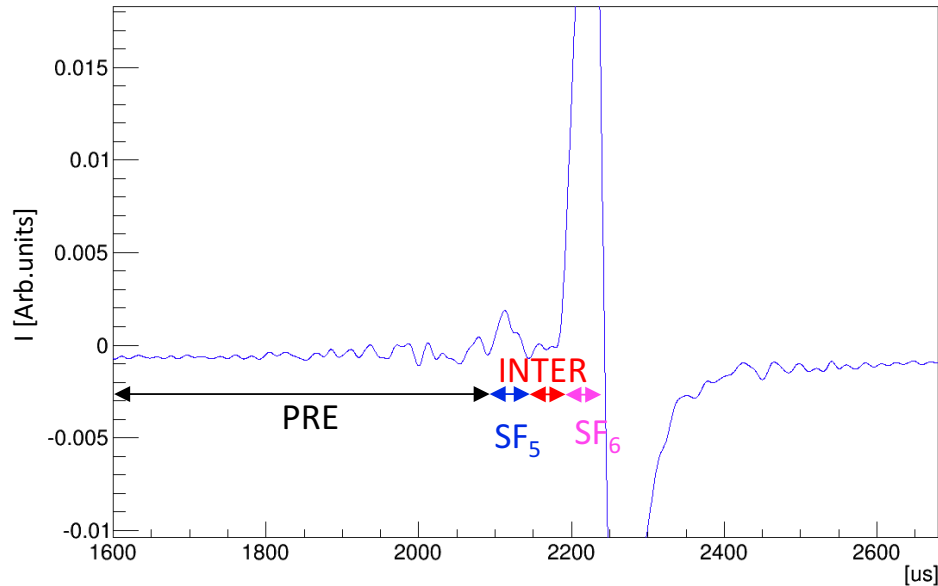
アウトガスによる影響



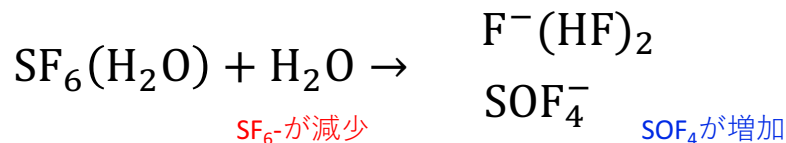
- H_2O の混入量が増加すると
 - SF_5 のピークが大きくなるように見える
 - SF_5 よりドリフト速度の速い電荷が増える

アウトガスによる影響

電荷の定義図

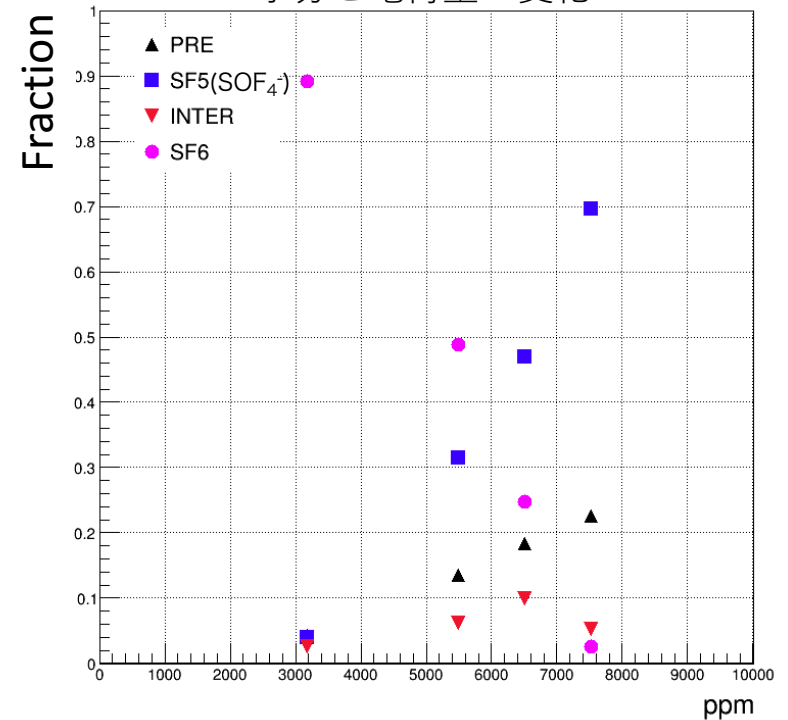


- $\text{SF}_6^-(\text{H}_2\text{O})$ と H_2O の反応



- 電荷量の変化は SF_6 と H_2O の反応で説明できる
- SF_5^- 領域の電荷の増加は SOF_4^- が寄与している
- $\text{F}-(\text{HF})_2^-$ と SF_4O^- の生成比は1:4(*J. Phys. Chem. A* **2001**, 105, 3527-3531)、PREチャージは $\text{F}-(\text{HF})_2^-$ で説明可能

水分と電荷量の変化



SF_5^- の質量 : 127.05g/mol
 SOF_4^- の質量 : 124.05g/mol
 $\text{F}-(\text{HF})_2^-$ の質量 : 59.00g/mol