LTCC μ-PICの放電耐性及びガスゲインの定量的評価

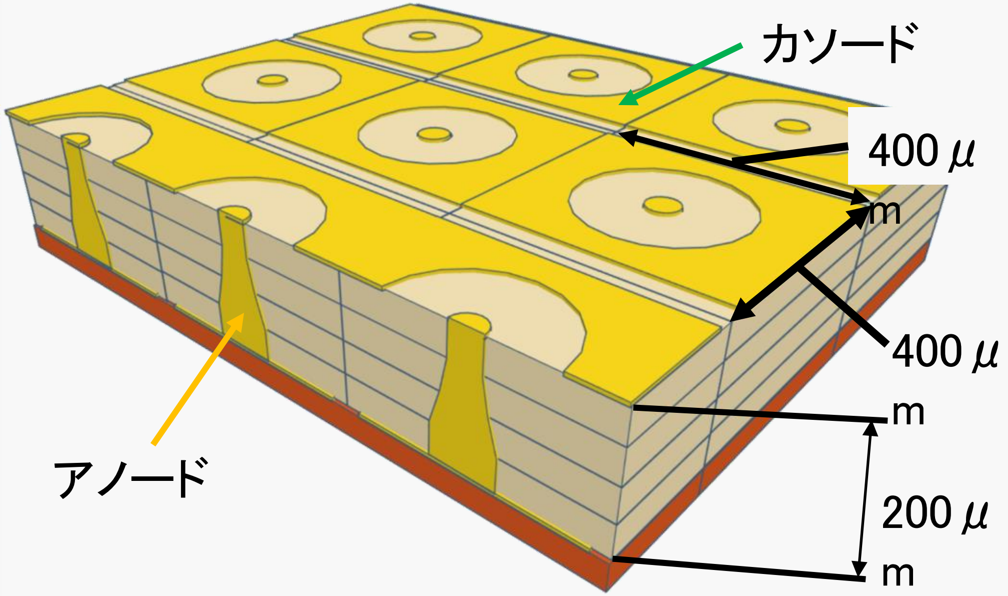
神戸大学粒子物理研究室　説田暉 越智敦彦
東京都立産業技術研究センター　小宮一毅 武内陽子

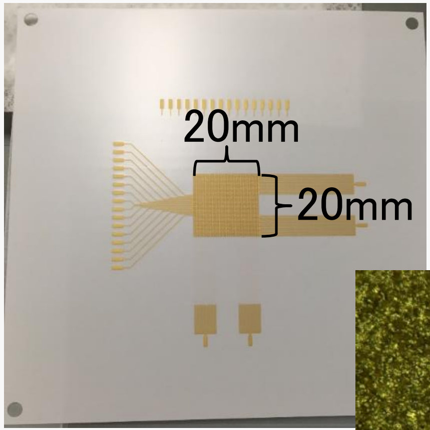
発表概要

- LTCC μ-PICの概要
- 定量的評価について
- 結果
  - ガスゲイン
  - 放電レート, 放電の大きさ(電荷量)
  - 導通路について
- まとめ・今後

LTCC μ-PICとは

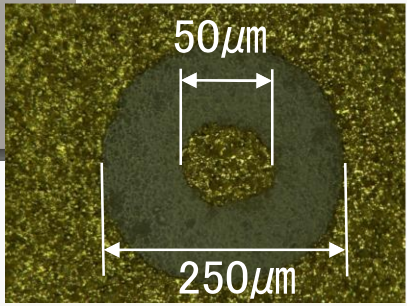
- MPGDの一種であるμ-PICにLTCCという素材を用いた
- LTCC–Low Temperature Co-fired Ceramics-(低温焼結セラミックス)は1000℃以下で焼成できて焼結前の加工が簡単





実物を上から撮った写真

1ピクセル拡大写真



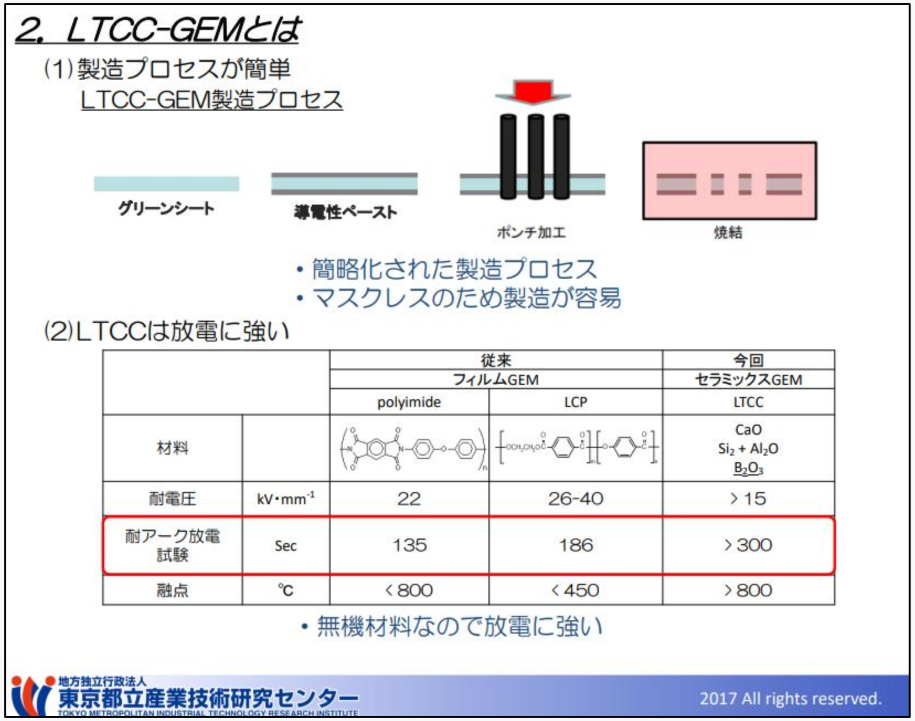
値は設計値

- 無機素材のため放電しても導通路ができにくい
- 小型の試作機を開発し、試験中
- ポリイミドを使用した従来のものに比べ、放電に対する耐久性の向上が期待

低温焼結セラミックス(LTCC)

➢低温焼結セラミックス(Low Temperature Co-fired Ceramics)

- アルミナセラミックスにガラス成分を混ぜ、1000℃以下で焼成できるようにしたもの。
- 内部導体として金、銀などの使用が可能
- 無機素材のため放電しても導通路ができにくい
- 焼結前の加工が簡単



抜粋：東京都立産業技術研究センター 小宮一毅など
「LTCC-GEMを用いた中性子イメージング」

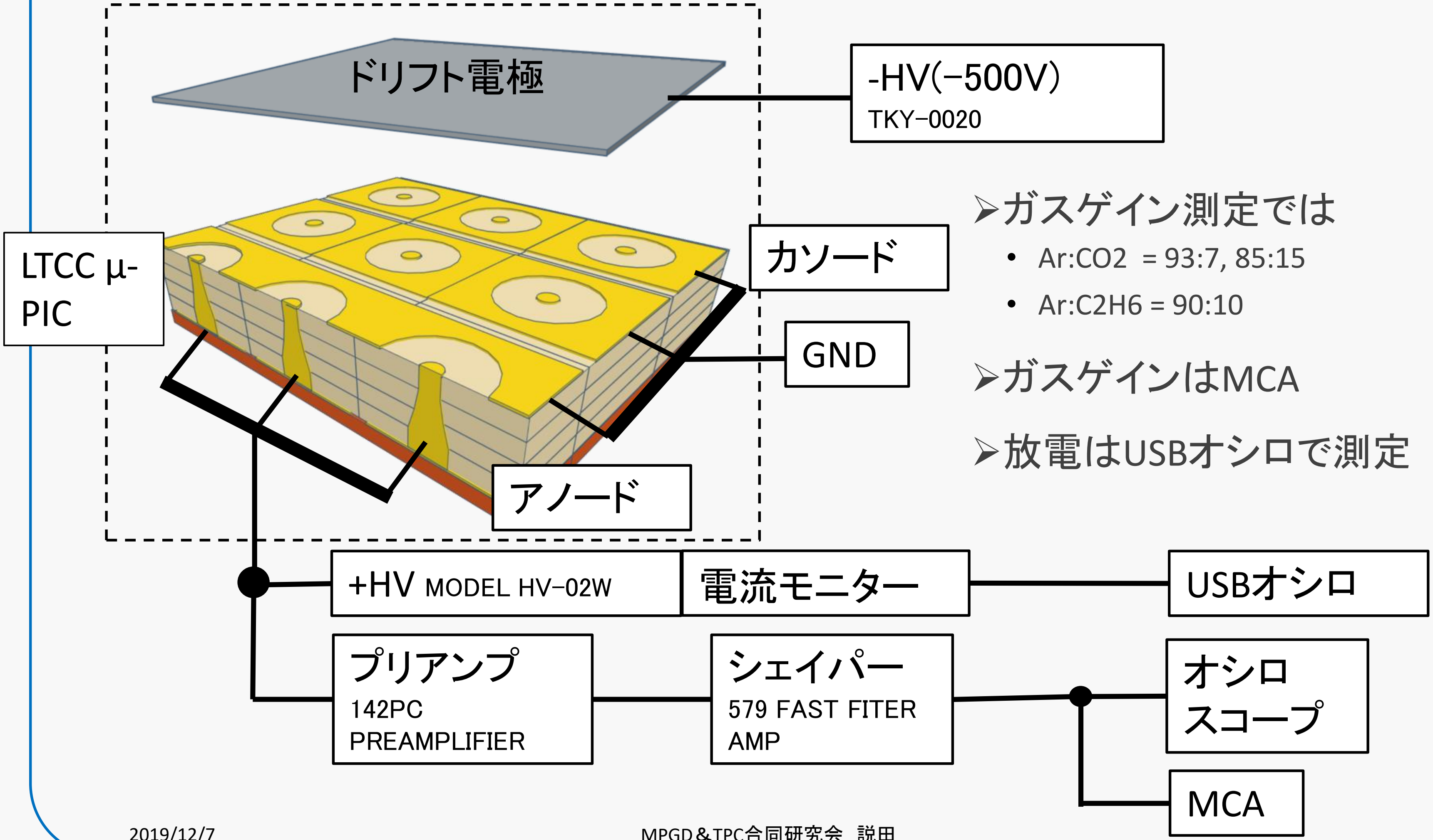
定量的評価について

評価項目と方法

- ガスゲイン
  - ^{55}Feによる信号をMCAで取得・解析
- 放電レート
  - 高速中性子を用いた放電頻度（放電回数/入射中性子数）の計測
- 放電の大きさ
  - 印加電圧・混合ガスなどの違いに対する放電の電荷量の測定

セットアップ図

実験セットアップのブロック図

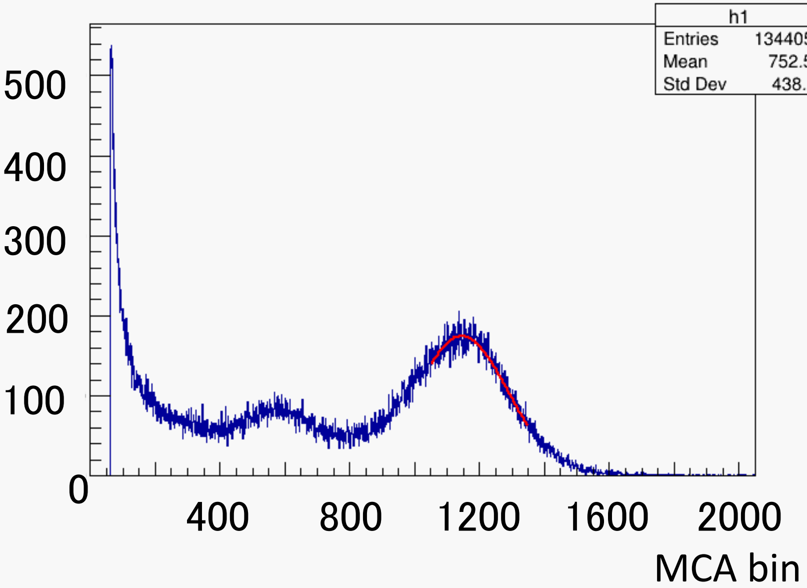


- ➢ガスゲイン測定では
  - Ar:CO2 = 93:7, 85:15
  - Ar:C2H6 = 90:10
- ➢ガスゲインはMCA
- ➢放電はUSBオシロで測定

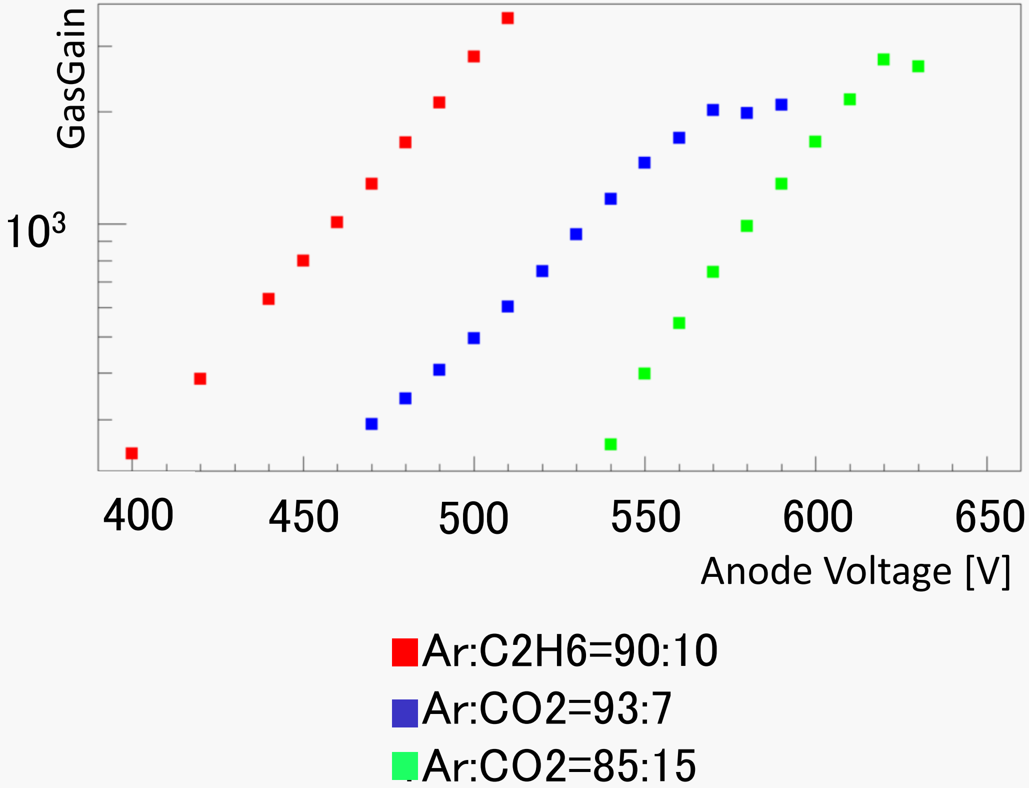
ガスゲイン

- MCAで取った^{55}Feスペクトルの5.9KeVピークをガウスフィット
- ピーク位置→電子数に変換してガスゲインを求めた

^{55}FeスペクトルAr:C2H6=90:10,Va=500



混合ガスごとのLTCC μ-PIC ガスゲイン



放電レート

➢神大海事科学部のタンデム静電加速器試験設備にて高速中性子を用いた放電のレート、放電に対する耐久性について測定

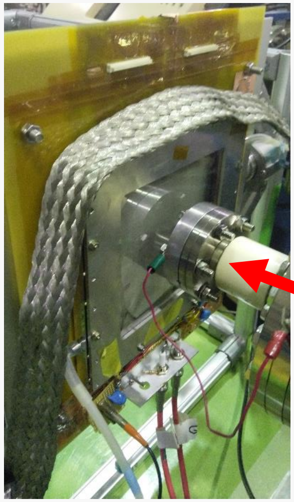
- ガスはAr:CO2=93:07, Ar:C2H6=70:30
- 2019/03/04～10　放電レートと印加電圧の関係
- 2019/07/29～08/04 総放電回数・耐久性

→数万回以上放電しても導通しなかった

実験用回路に組こんだ
LTCCμ-PIC

矢印はビーム方向

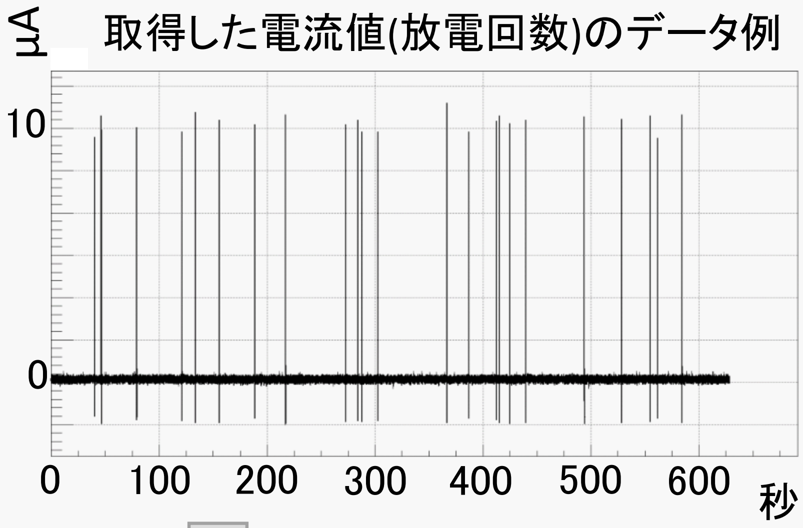
タンデム静電加速器試験場



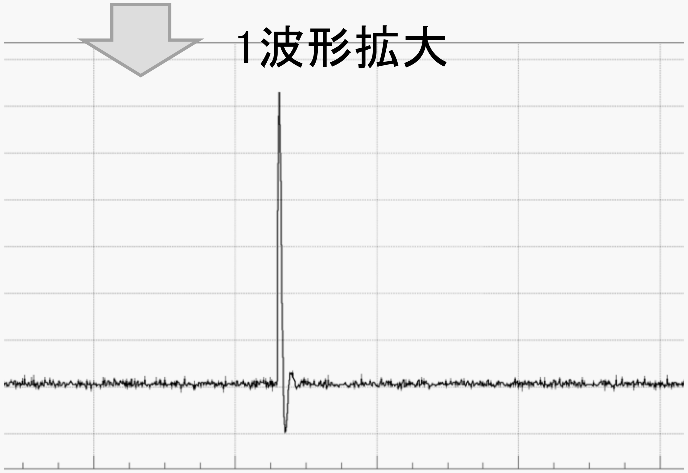
実験状況

放電レート

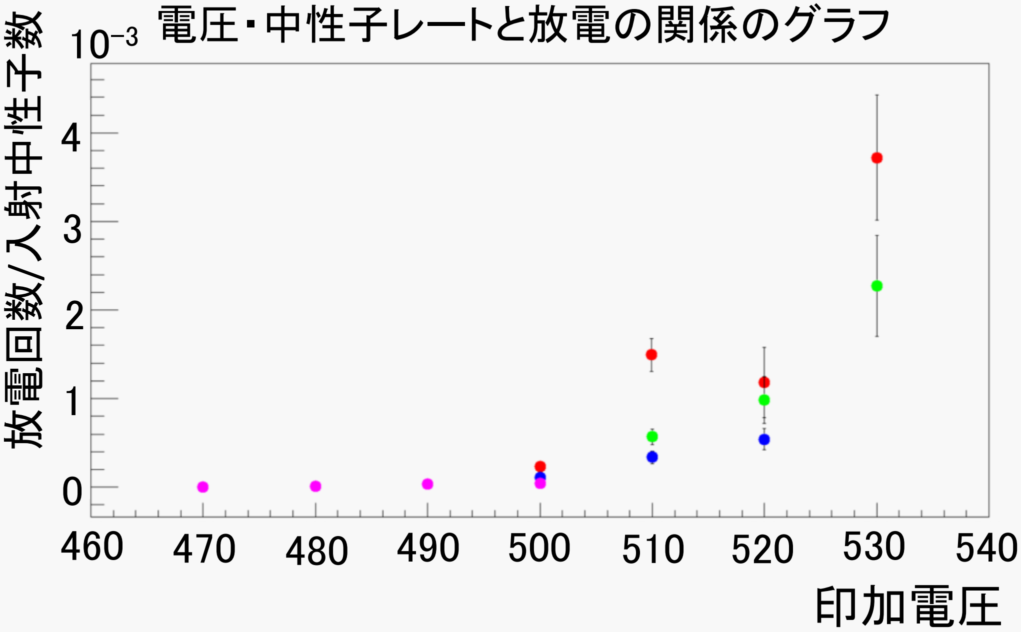
取得した電流値(放電回数)のデータ例



1波形拡大



電圧・中性子レートと放電の関係のグラフ

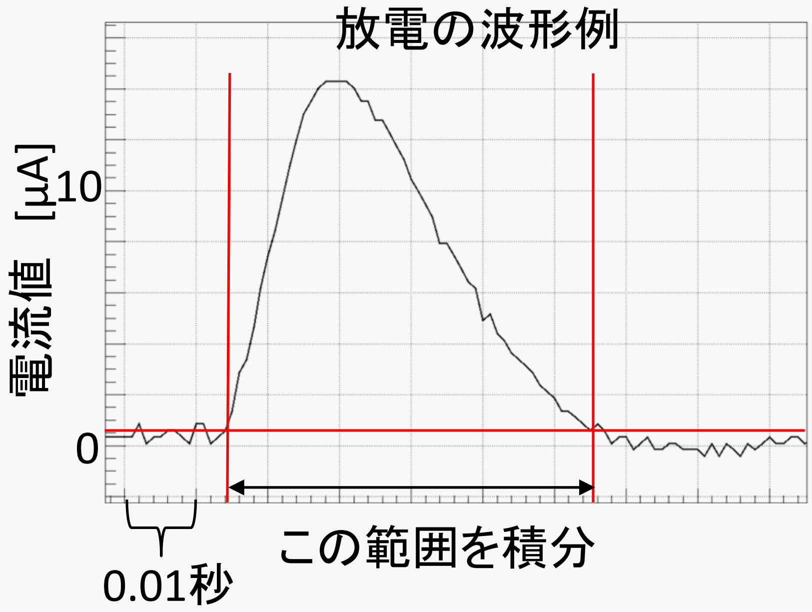


色分けは検出器の検出範囲当たりに
入射してくる中性子数の違い

- (赤) 1.42e2 Hz
- (青) 1.13e2 Hz
- (緑) 1.13e3 Hz
- (マゼンタ) 1.42e4 Hz

放電の電荷量

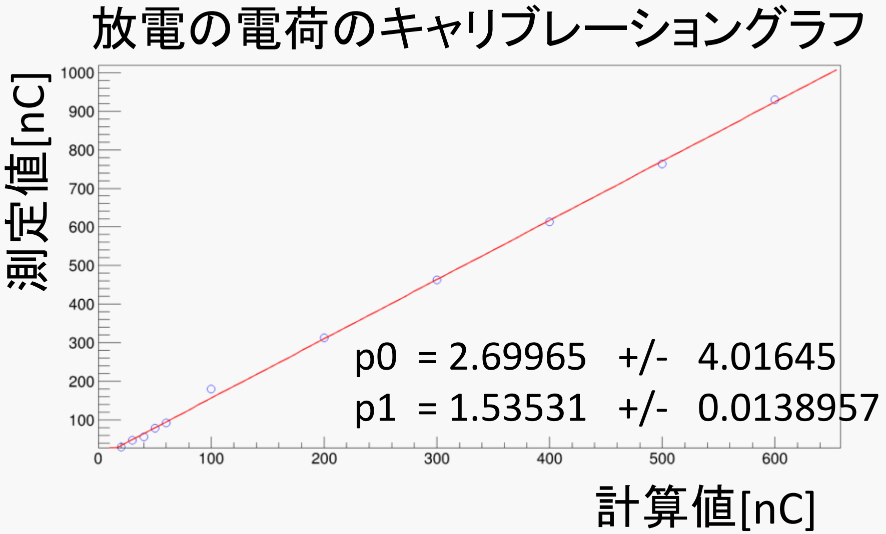
➢放電波形を積分し、その電荷量の分布・印加電圧との関係を評価



➢+HVの電流モニターからの値を200sample/sで測定

➢電流値≤0.5μAの領域を積分

➢HVモニターの値を実際の電荷量と対応させるためにキャリブレーションをする



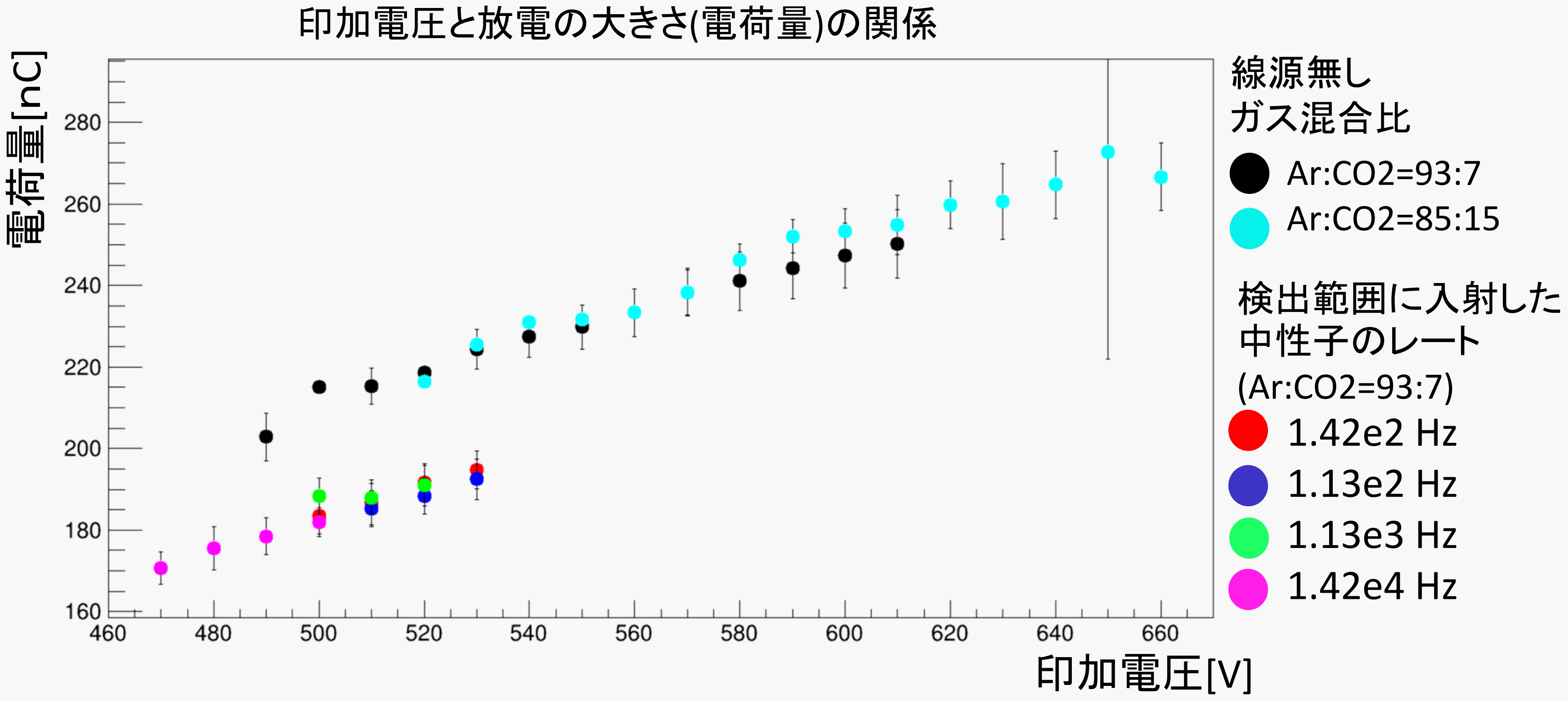
➢容量が既知のコンデンサに測定に用いた＋HVで高電圧をかけて放電を起こす

- 計算値は 容量C×電圧ΔV[nC]

放電の電荷量

- 印加電圧と放電の大きさ(電荷量)の平均値との関係を
  - 線源を使わない
  - 高速中性子(昨年3月の中性子試験)

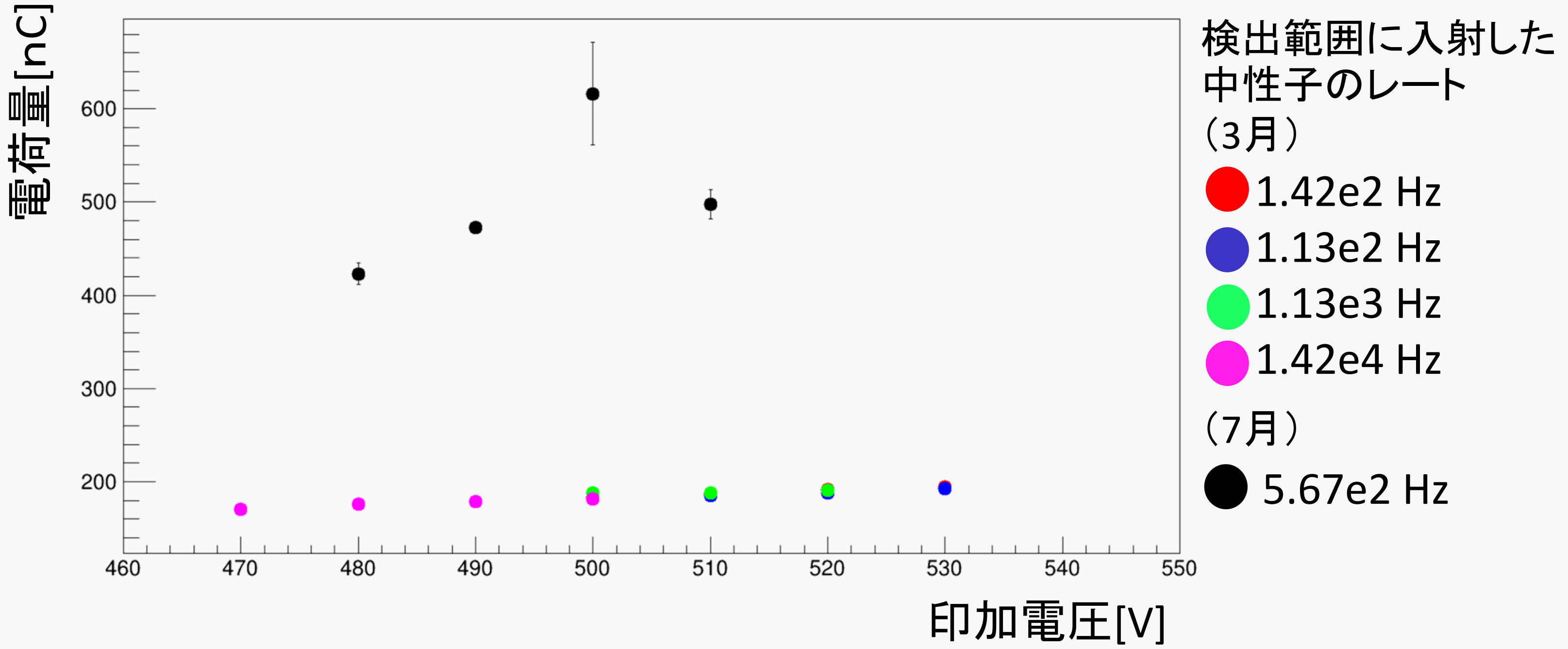
  のデータについて比較した



課題点

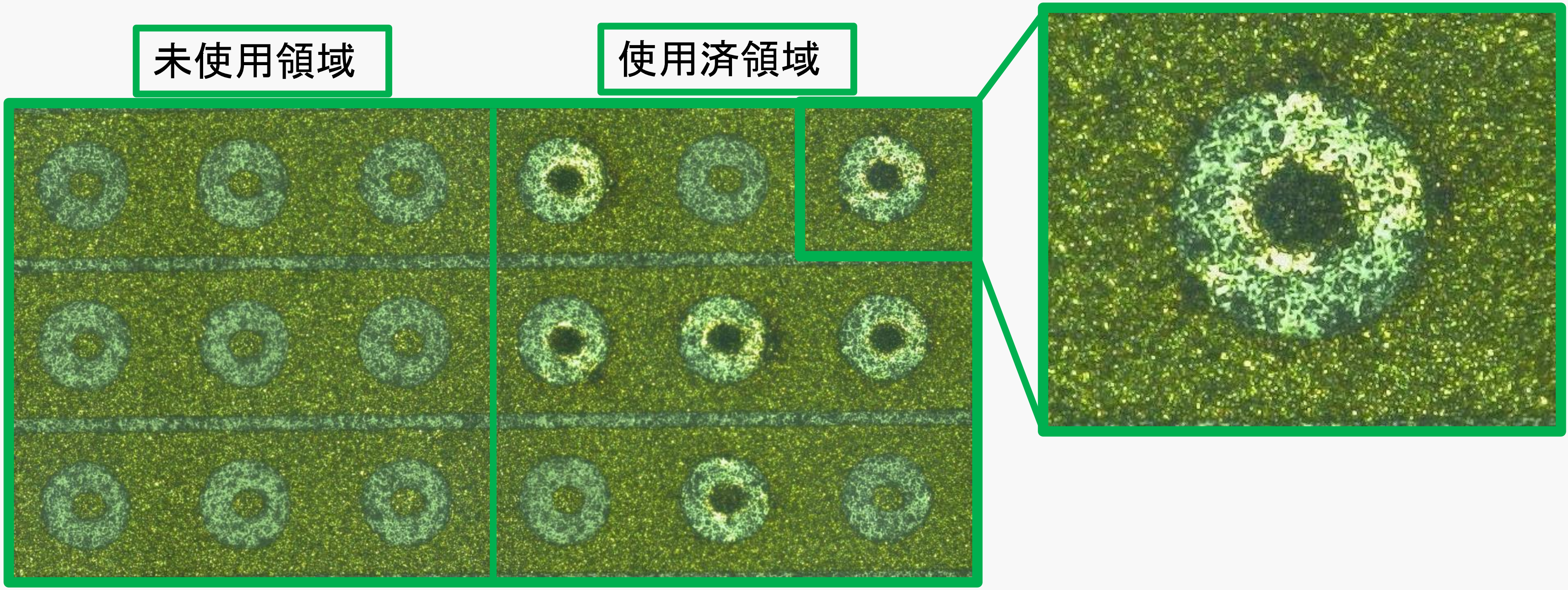
- ➢昨年3月の中性子試験と今年7月の中性子試験で放電の大きさに違い
  - 7月の入射中性子レートは3月に試験した範囲内, ガス混合比同じ（Ar:CO2=93:7）
  - 何か条件が違った可能性→今月の中性子試験で調査予定
- ➢導通しやすい放電の大きさが曖昧
  - 現状600nCより大きい放電が続くとき導通しやすいが場合による

中性子を用いた放電試験における違い



電極の様子

- 放電、導通後の電極を顕微鏡で確認
  - アノードが黒く変色
  - アノード・カソード間に変色している部分がある
- 二次電子分光などで変色部分の物質探索を行った



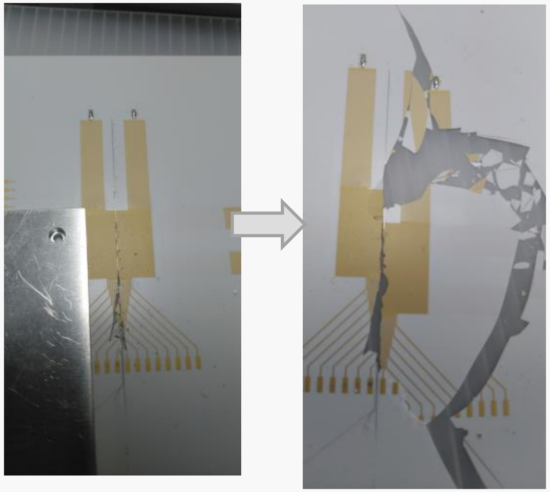
導通路の調査

- 二次電子分光による導通路の物質調査を試みた

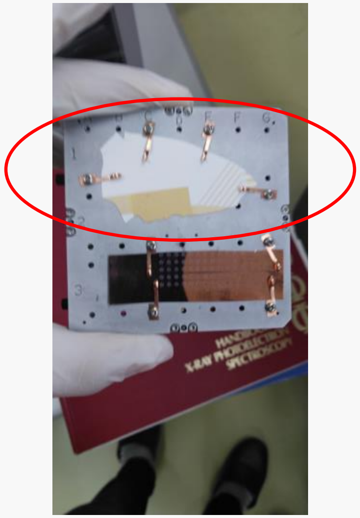
　→変色している部分としていない部分で大きな差がなかった

　→導通路は金電極が放電によって広がった？

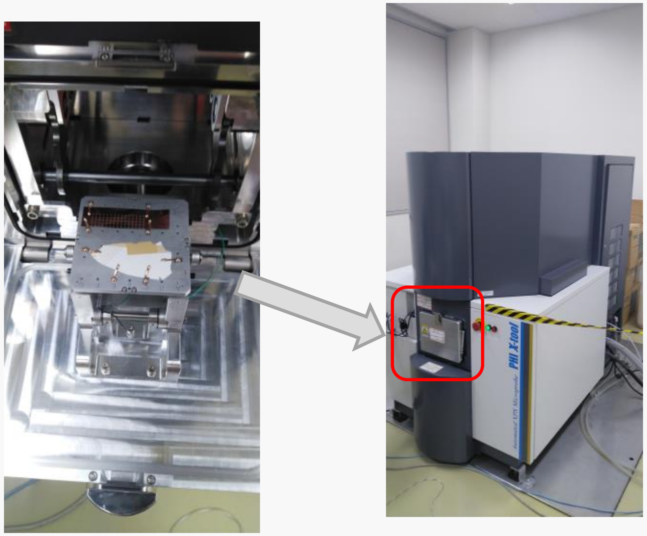
1、放電(導通)させたL2をカッターで切り取り



2、検査する部分を専用のステージに固定



3、装置に入れて試験する



まとめ

- LTCCμ-PICのガスゲイン・放電について測定した
  - ガスゲインはAr:C2H6=90:10で最大3000くらい
- 放電レート
  - 高速中性子を用いた放電に数万回以上耐え、放電率は10^{-3}/入射中性子
- 放電の大きさ
  - 電荷量を用いて比較可能↔中性子を用いた放電試験において不一致性
  - 600nC以上の大きさの放電が多くなると導通しやすい傾向
- 導通路は金ペースト電極が放電で広がった可能性あり

今後

- ピクセル・面積当たりの放電の総電荷量と導通の関係を調査
  - 中性子を用いた放電試験の不一致性を調査
- 多電極読み出し(DAQ環境を確認中)

BACK UP

ガスゲインの計算

- 初期電子の電荷はArのW値26eV、^{55}FeからのX線5.9keVより
  - $1.60 \times 10^{-7}[pC] \times \left(\frac{5900[eV]}{26[eV]}\right) = 3.63 \times 10^{-5}[pC]$
- パルスジェネレータとオペアンプのテスト端子を用いたキャリブレーションの式(傾き, 切片)から
  - 電荷量[pC]＝ (MCA bin−切片)/傾き　・・・(2)
- (2)式より計算した測定電荷(MCA)から
  - ガスゲイン＝測定電荷$[pC]/3.63 \times 10^{-5}[pC]$