LTCC μ-PICの開発に向けた性能シミュレーション

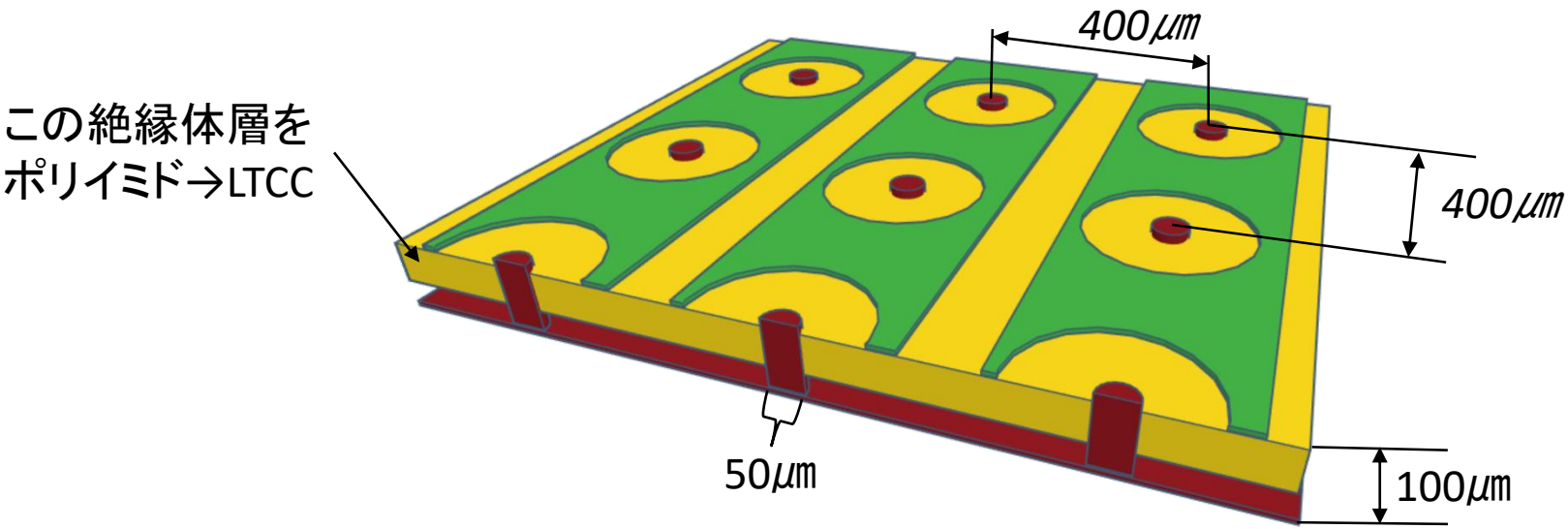
神戸大学粒子物理研究室　説田暉 越智敦彦 石飛由介
東京都立産業技術研究センター　小宮一毅 武内陽子

発表概要

- LTCC μ-PICについて
- 開発動機・設計
- シミュレーションの目的・手法
- シミュレーションの結果
- まとめ・今後に向けて

LTCC μ-PICとは

- 絶縁体層部分を従来のポリイミドではなく低温焼結セラミックス(LTCC)を用いて製造するμ-PIC
- 都立産業技術研究センター、平井精密と共同で小型の試作機を開発中
- 放電抑制能力の向上が期待される



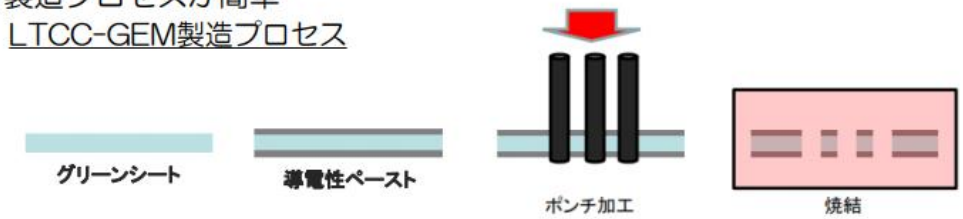
低温焼結セラミックス(LTCC)

- 低温焼結セラミックス(Low Temperture Co-fired Ceramics)
  - 1000℃以下で焼成できるので内部導体として金、銀などの使用が可能
  - 放電に強い
  - 製造、加工が簡単

2. LTCC-GEMとは

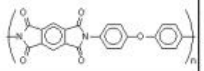
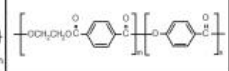
(1)製造プロセスが簡単

LTCC-GEM製造プロセス



- 簡略化された製造プロセス
- マスクレスのため製造が容易

(2)LTCCは放電に強い

		従来		今回
		フィルムGEM		セラミックスGEM
		polyimide	LCP	LTCC
材料				CaO $Si_2 + Al_2O$ B_2O_3
耐電圧	$kV \cdot mm^{-1}$	22	26-40	＞15
耐アーク放電試験	Sec	135	186	＞300
融点	℃	＜800	＜450	＞800

- 無機材料なので放電に強い

地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター TOKYO METROPOLITAN INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE
2017 All rights reserved.

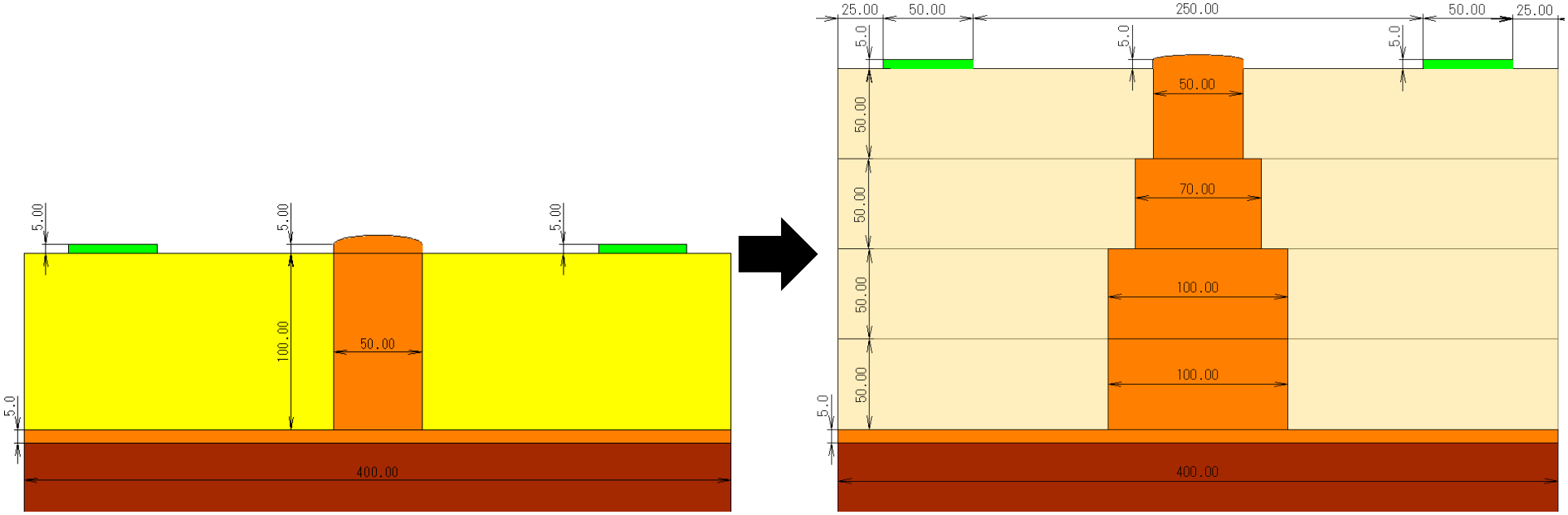
抜粋：東京都立産業技術研究センター 小宮一毅など
「LTCC-GEMを用いた中性子イメージング」

設計（デザインの変更点）

- 絶縁体層：厚さ100μmのポリイミド層1層に直径50μmの穴

  →厚さ50μmのLTCC層を4層重ね、穴の直径は1層目から順に50, 70, 100, 100μm

- 穴の直径の違いはLTCC各層のアライメントを調整するため



:アノード　:カソード　:底板

:ポリイミド　:LTCC

シミュレーションの目的・手法

目的

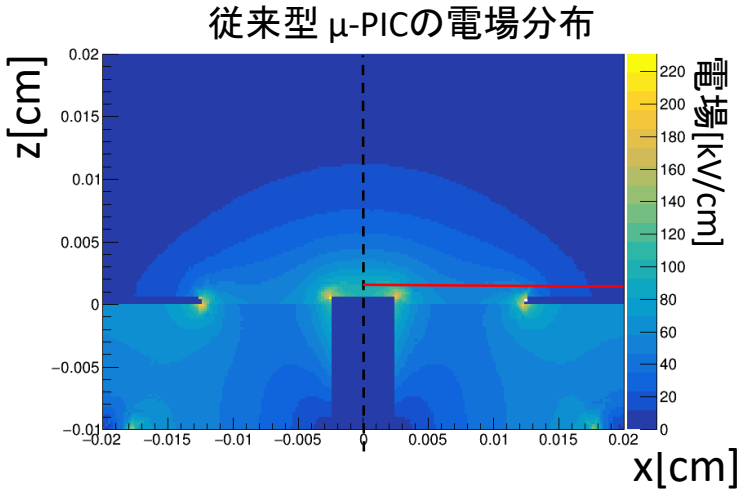
- 従来のμ-PICと性能を比較する
  - アノードの高さ、下の方が広がったデザインによる違い
  - 絶縁体層の比誘電率の違い（ポリイミド=3.5, LTCC=7.7）
- LTCC4層のアライメントのズレによる影響がでるか調べる

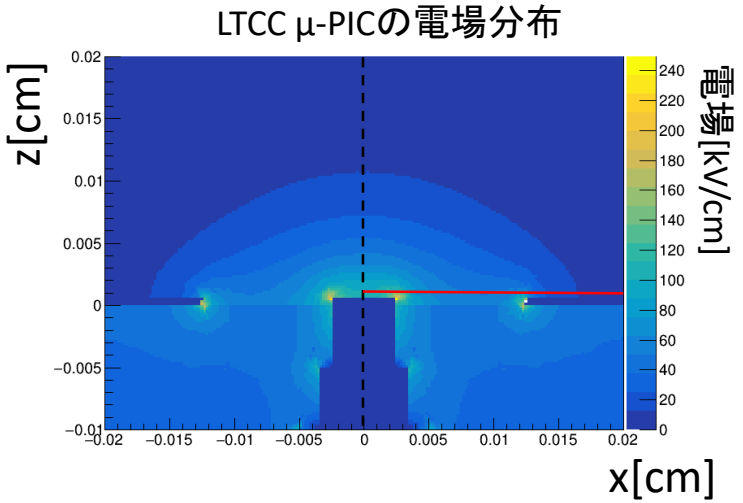
手法

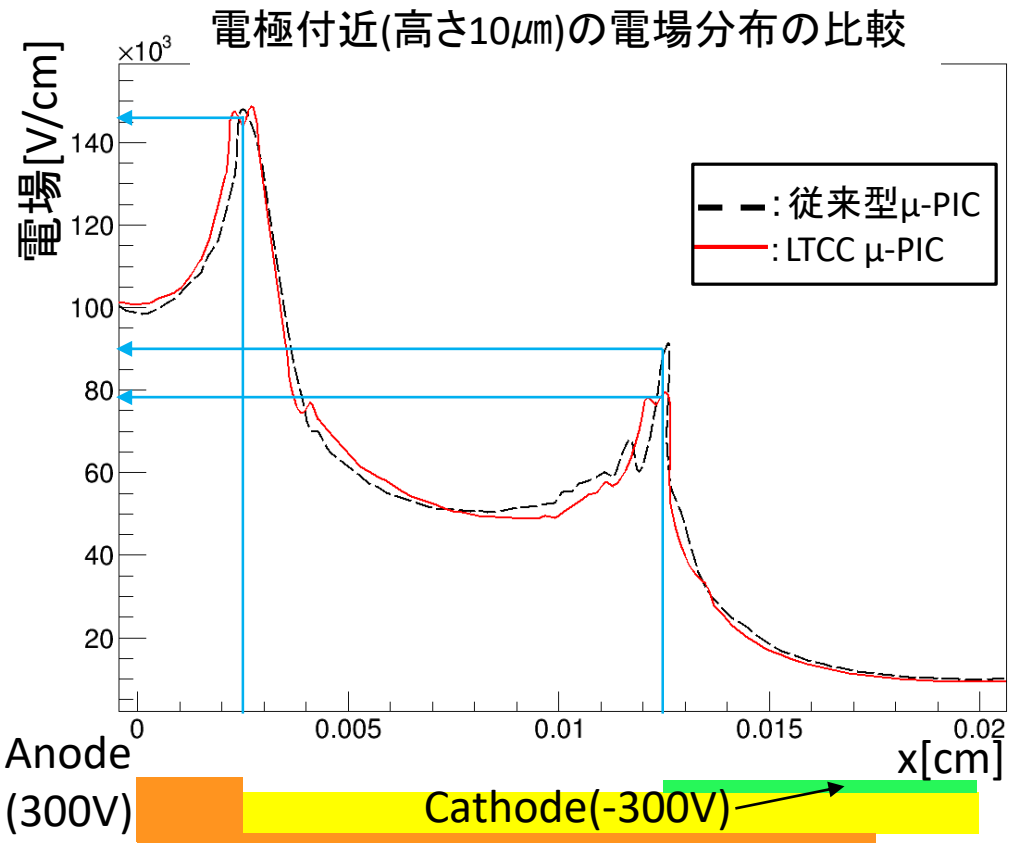
- Garfield++ を使ってシミュレーションを行う
  - 検出器の電極付近の電場構造、増幅率、二次電子の分布について調べる
  - 電圧はアノード＝300V, カソード＝-300V, ドリフト電極＝-600V
  - 混合ガスの比率は　Ar : C_2H_4 = 90 : 10

シミュレーションの結果

- 電場構造
  - アノード付近の電場の大きさに対してカソード付近の電場が小さいほど理想的



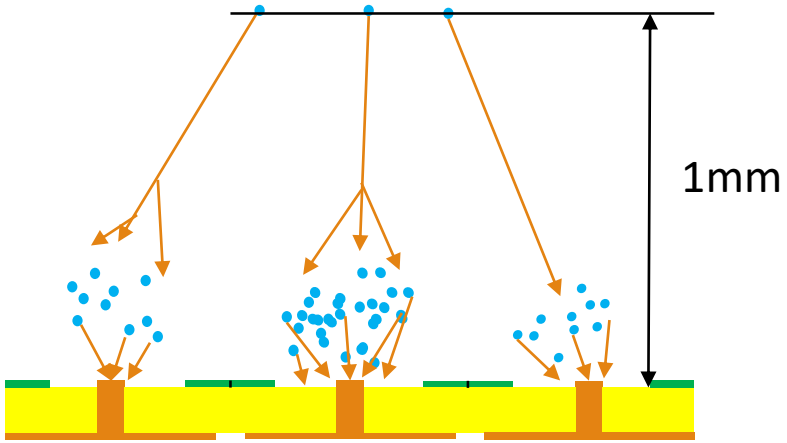




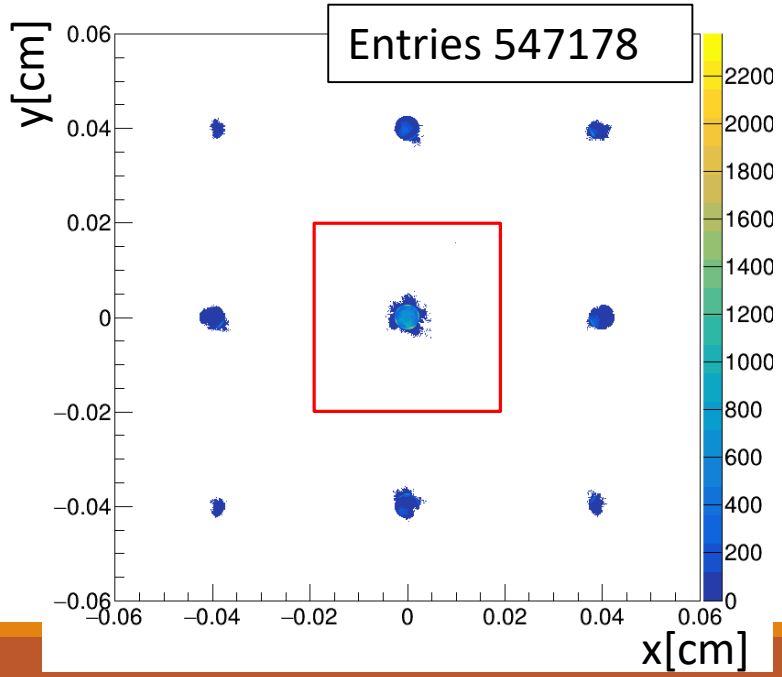
アノード端の電場÷カソード端の電場
従来型μ-PIC＝1.66
LTCC μ-PIC　＝1.82

シミュレーションの結果

- 増幅率・二次電子分布
  - 電子を基板上1mm、下図の赤線枠内のランダムな位置で電子発生100個発生
  - 増幅率＝N/100
  - 電子の収集率[%]＝N_C / N ×100
    - **N：発生した二次電子の総数,**
    - **N_C：アノード以外に到達した電子をcutした後の総数**



二次電子の到達位置の水平面上分布

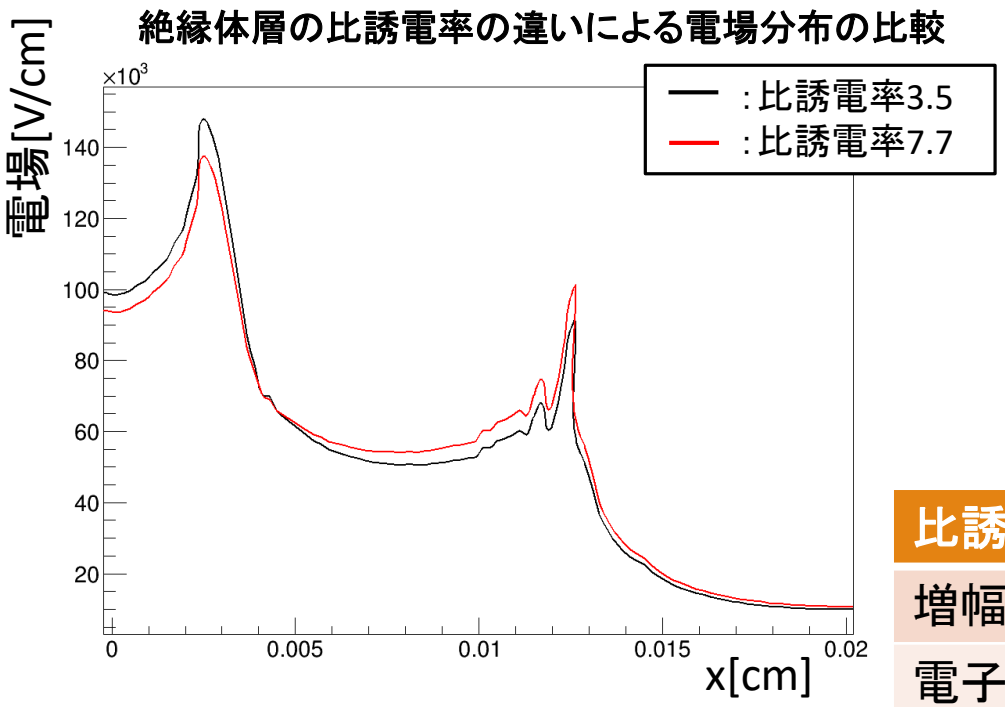


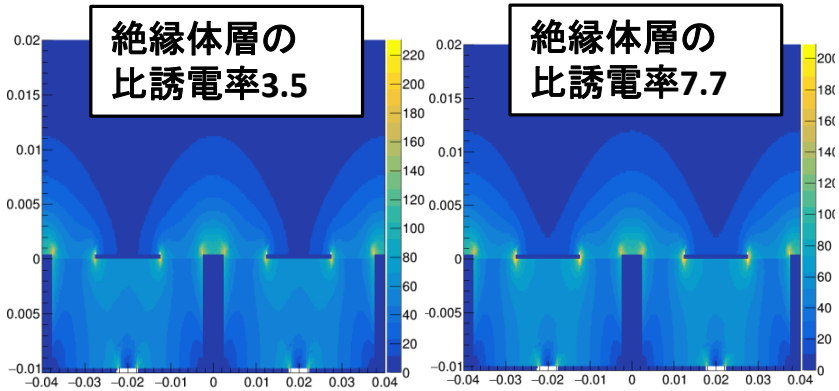
	従来型μ-PIC	LTCC μ-PIC
増幅率	5.5×10^3	5.3×10^3
電子の収集率	98.8%	98.5%

※誤差の評価はしていない

比誘電率の違い

- 絶縁体層の比誘電率は　ポリイミド：LTCC＝3.5：7.7
- 比誘電率の違いによる電場などへの影響を調べた
  - 従来型μ-PICのジオメトリで比誘電率のみ変えて比較



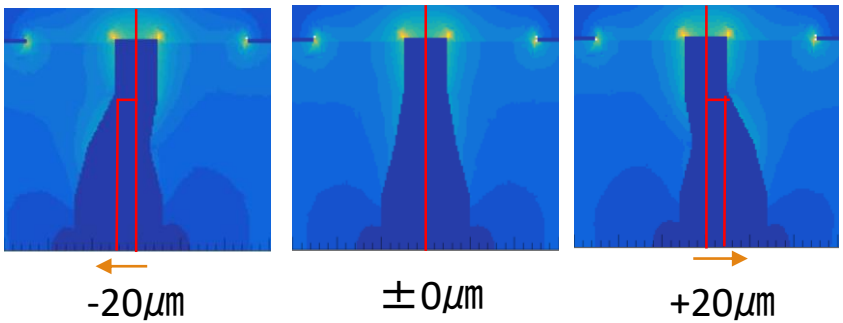


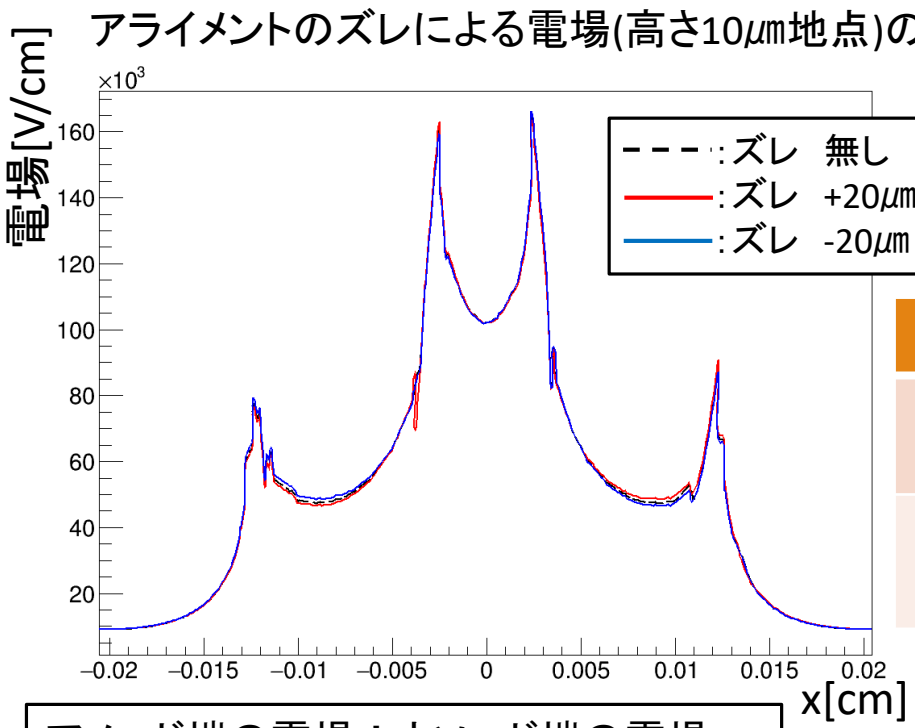
比誘電率	3.5	7.7
増幅率	5.5×10^3	3.9×10^3
電子の収集率	98.8%	97.9%

アノード端の電場÷カソード端の電場
比誘電率3.5＝1.66
比誘電率7.7＝1.40

アライメントのズレの影響

- 横方向(x方向)に±20μmずれたときとズレがないときの電場構造・増幅率・電子の収集率を比較





	ズレ無し	ズレ+20μm	ズレ-20μm
増幅率	6.6×10^3	6.5×10^3	6.4×10^3
電子の収集率	98.7%	99.1%	99.2%

アノード端の電場÷カソード端の電場

x<0 | x>0

ズレ無し＝2.53|2.36

ズレ+20μm＝2.59|2.29

ズレ-20μm＝2.45|2.41

- アライメントのズレによる影響はない

まとめ

- 低温焼結セラミックス（LTCC）を用いたμ-PICを制作中
- 従来のμ-PICに比べて
  - 増幅率の低下ほとんど無し
  - 素材特性および電場構造から放電抑制能力の向上が期待できる
- アライメントのズレによる影響はない

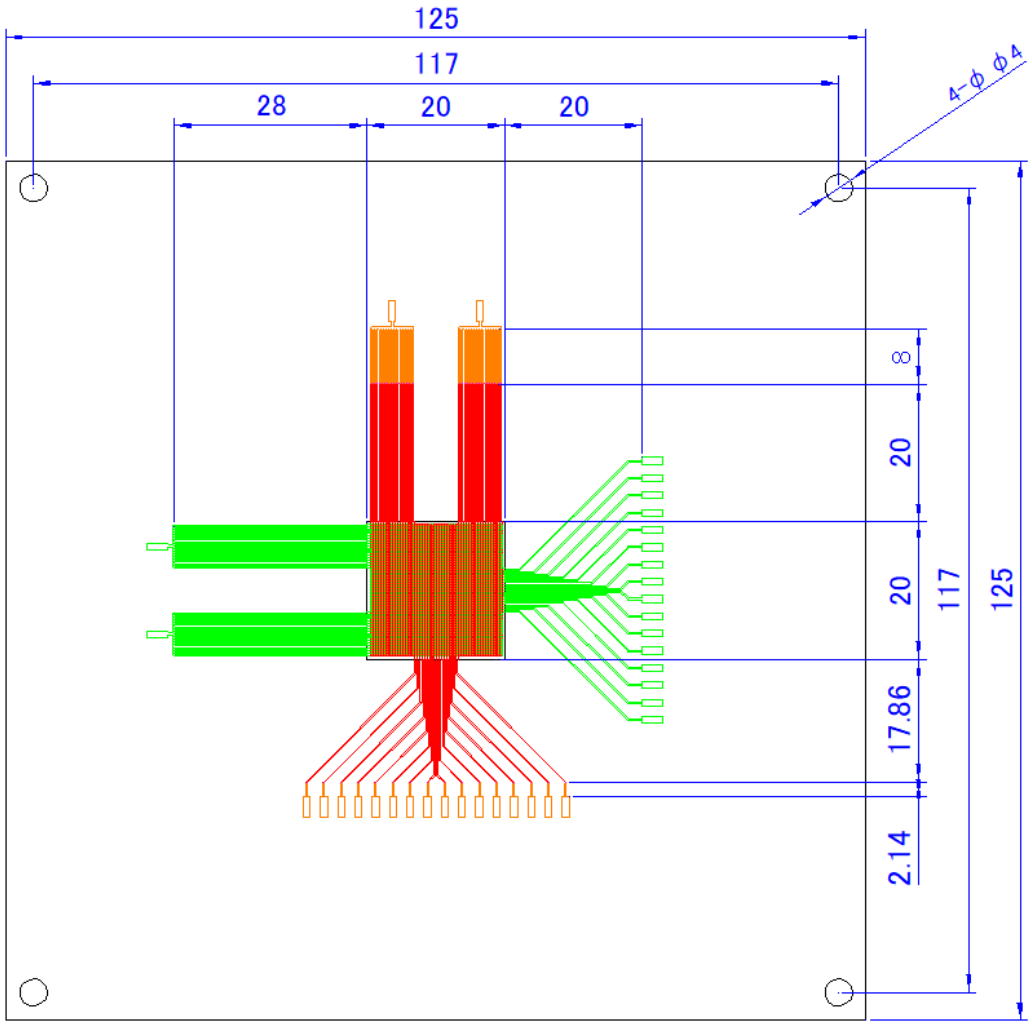
今後の予定

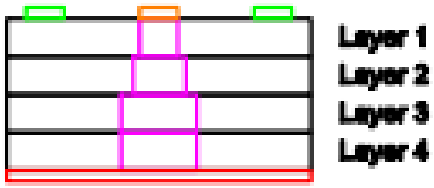
- 試作機が出来次第、動作試験を行う予定
- アライメントのズレについて精査する

Backup

開発状況

➢試作機の設計図が平井精密工業から届いており、見積もりをしていただいている

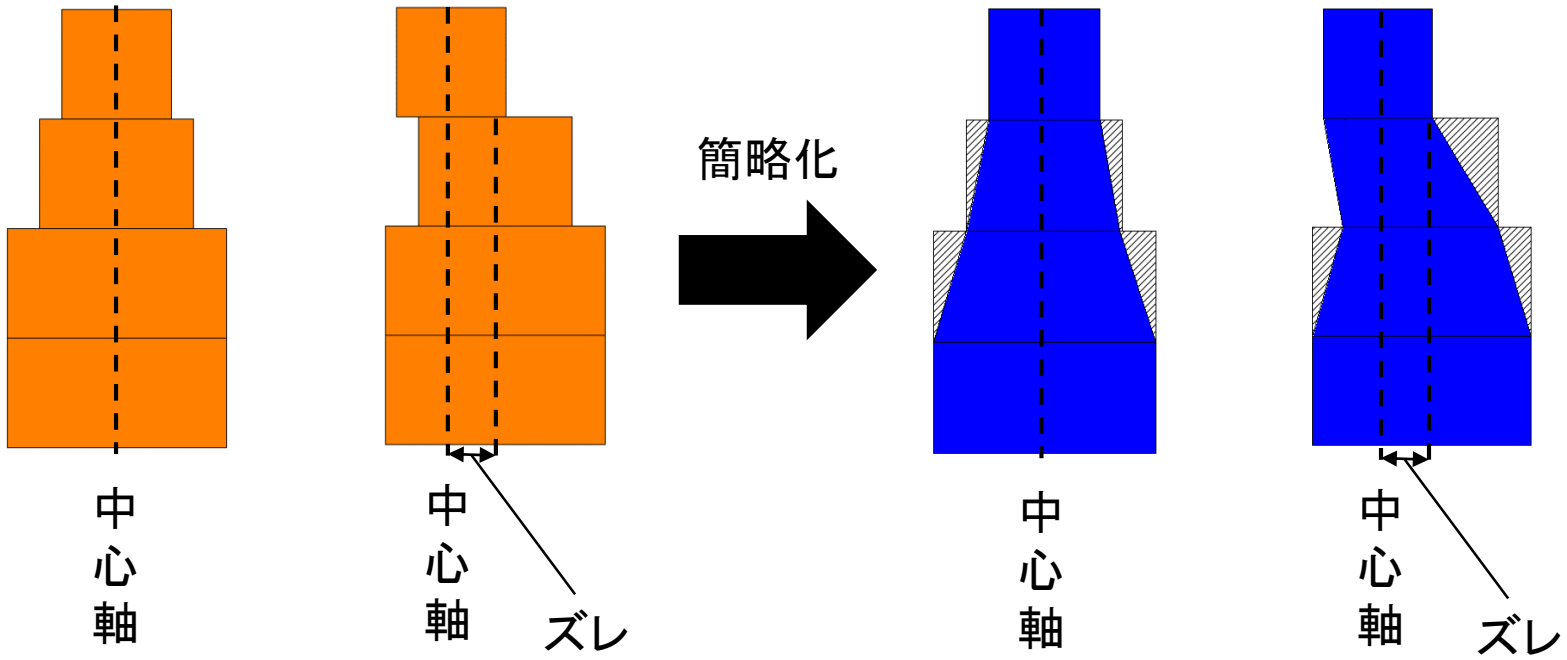




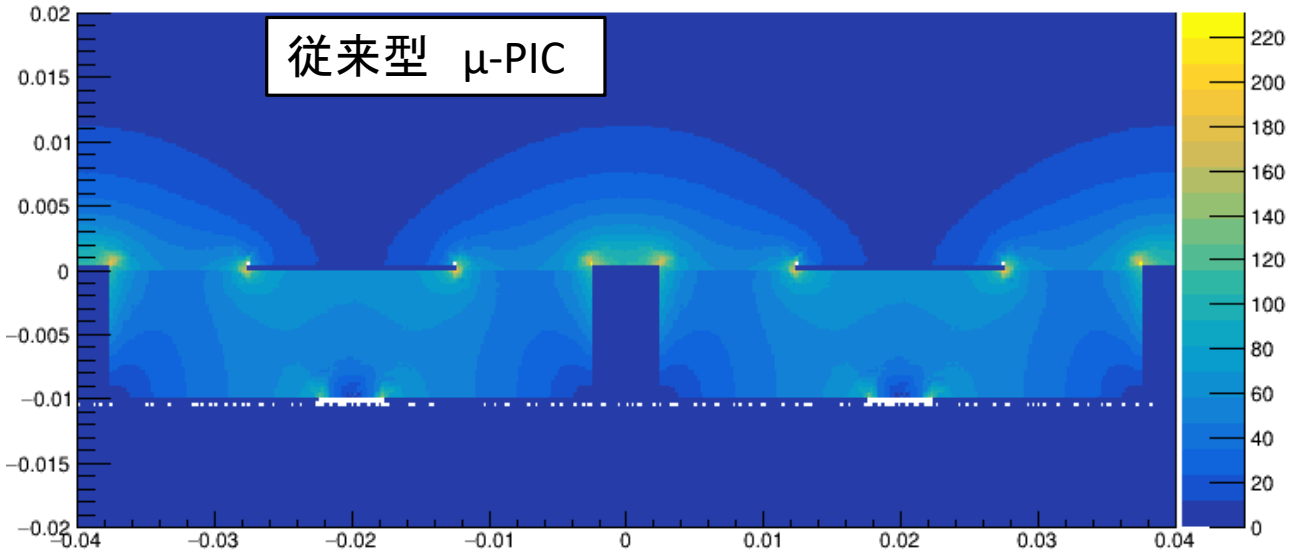
断面構成図
(1素子分、Scale 100:1)

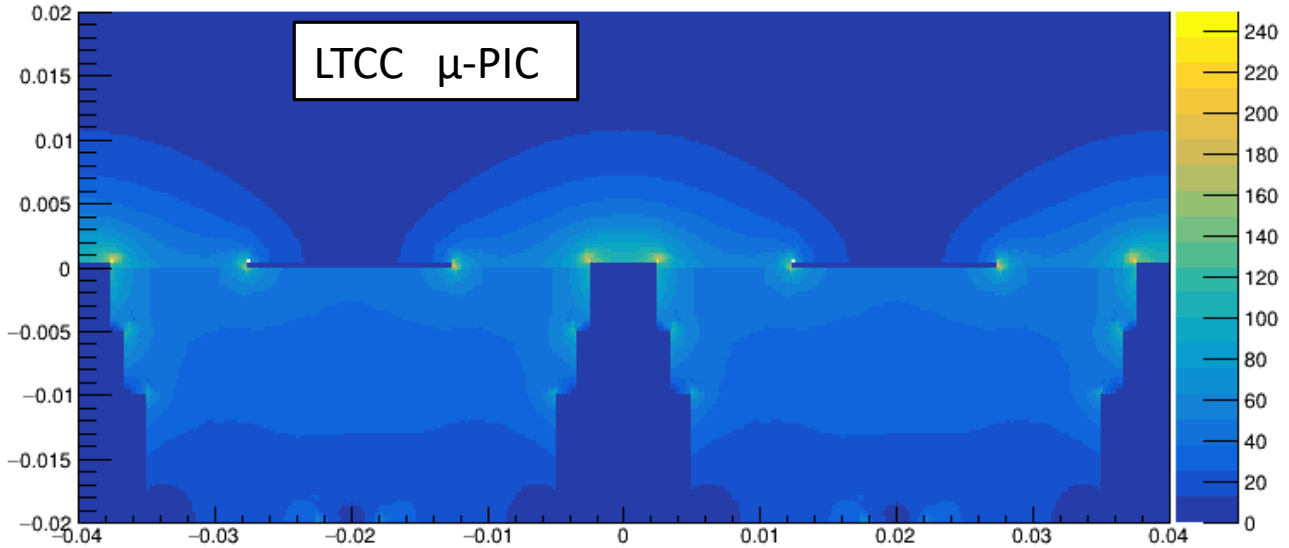
アライメントのズレについて

- 設計上、LTCC層を4層重ねる→アライメントがずれる可能性がある
- アライメントがずれたときの電場・二次電子の分布について、ジオメトリを簡略化してシミュレーション行った

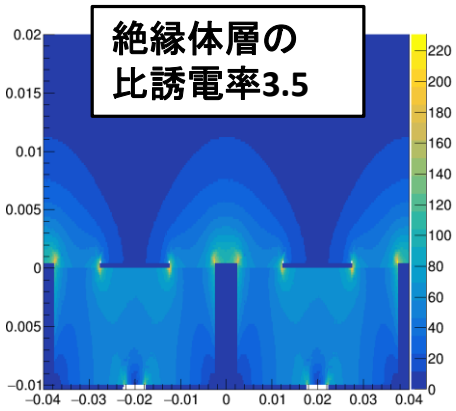


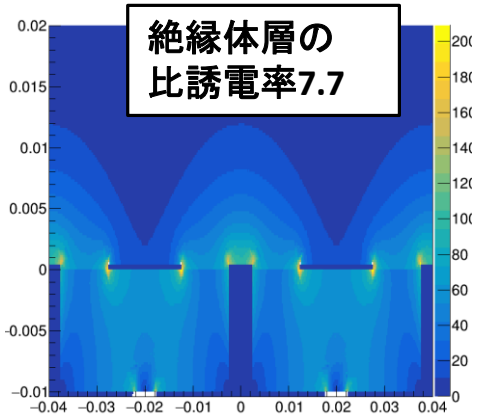
電場分布

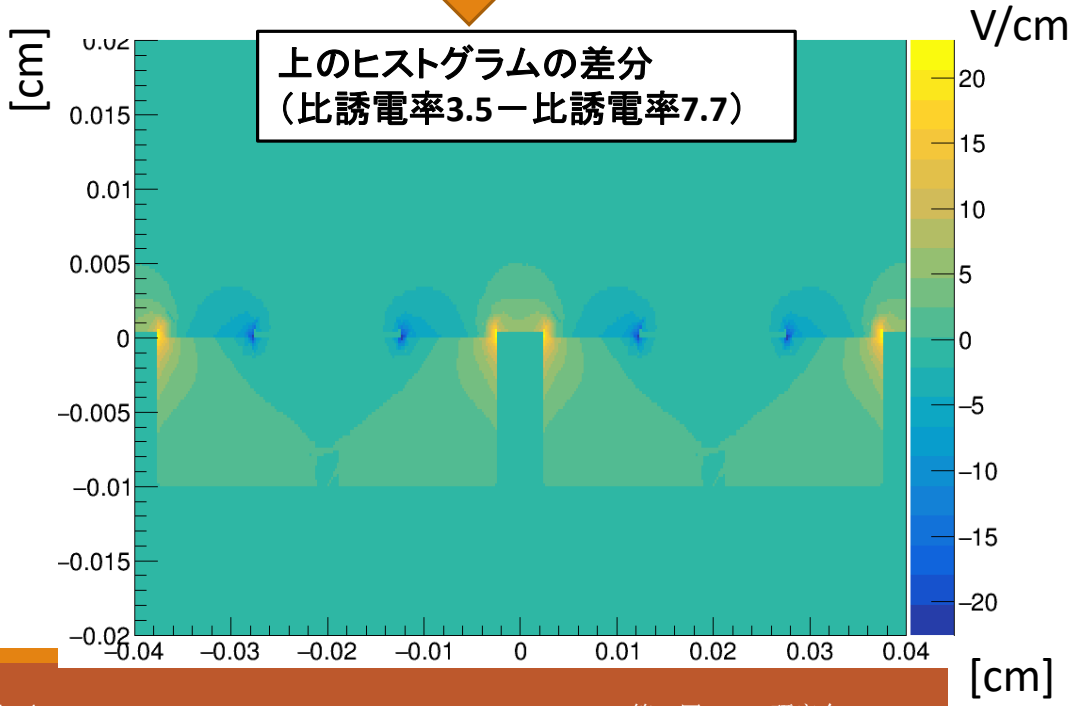

従来型 μ-PIC
0.02
0.015
0.01
0.005
0
−0.005
−0.01
−0.015
−0.02
−0.04
−0.03
−0.02
−0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0


LTCC μ-PIC
0.02
0.015
0.01
0.005
0
−0.005
−0.01
−0.015
−0.02
−0.04
−0.03
−0.02
−0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0

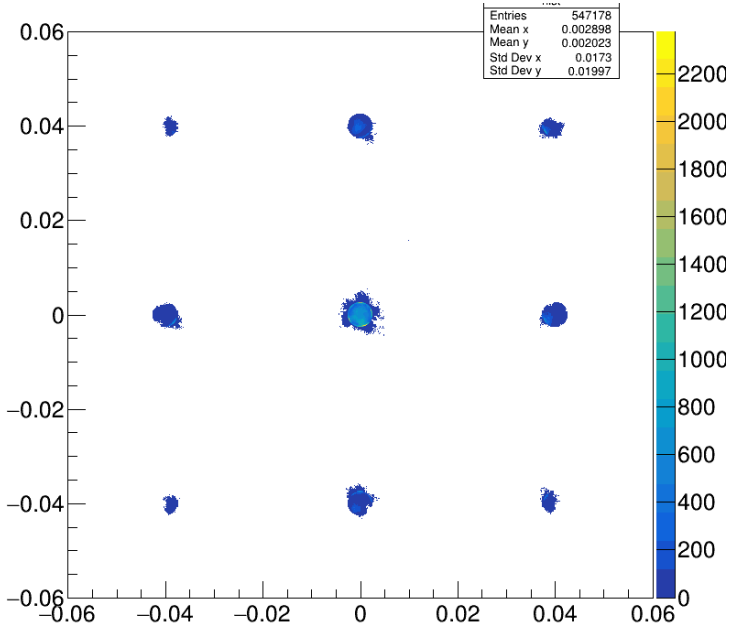
比誘電率の違い

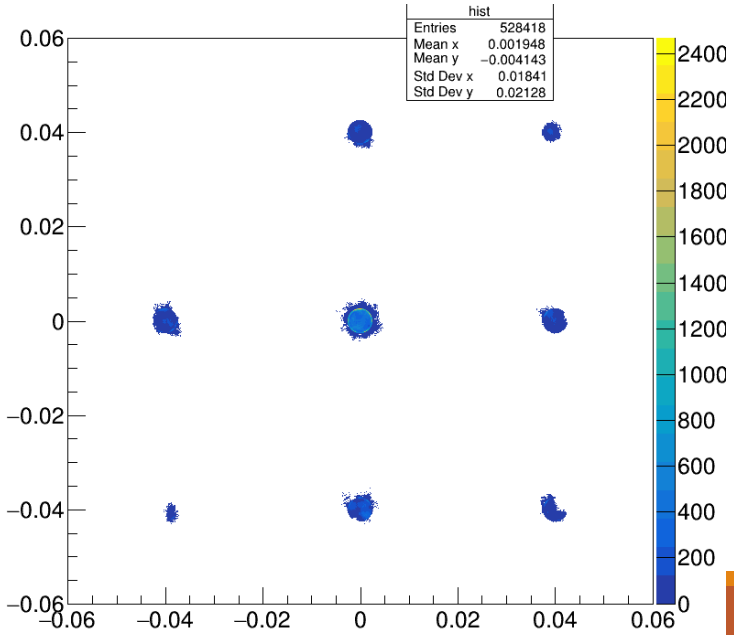

絶縁体層の
比誘電率3.5


絶縁体層の
比誘電率7.7


上のヒストグラムの差分
（比誘電率3.5－比誘電率7.7）
V/cm
[cm]
[cm]

増幅率・二次電子分布

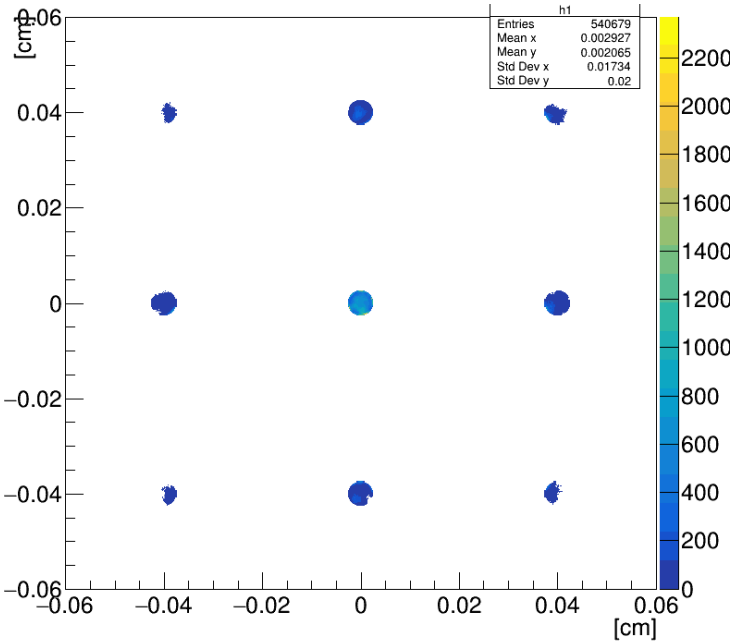


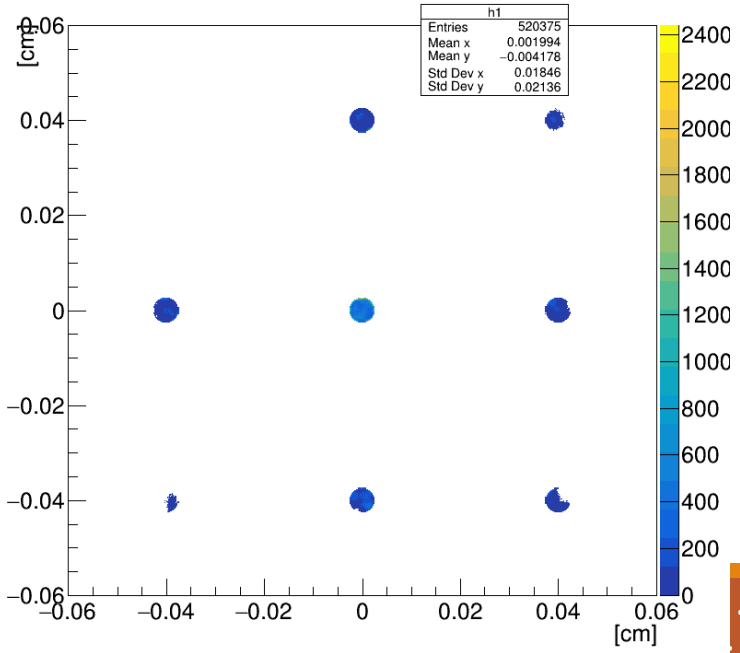


従来型

cut

LTCC





イベント数

	従来型μ-PIC	LTCC μ-PIC
cut前	547,178events	528,418events
cut後	540,679events	520,375events
増幅率	5.5×10^3	5.3×10^3
電子の収集率	98.8%	98.5%

比誘電率	3.5	7.7
cut前	547,178events	385,512events
cut後	540,679events	377,318events
増幅率	5.5×10^3	3.9×10^3
電子の収集率	98.8%	97.9%

ガス：エタンに変更初期電子50

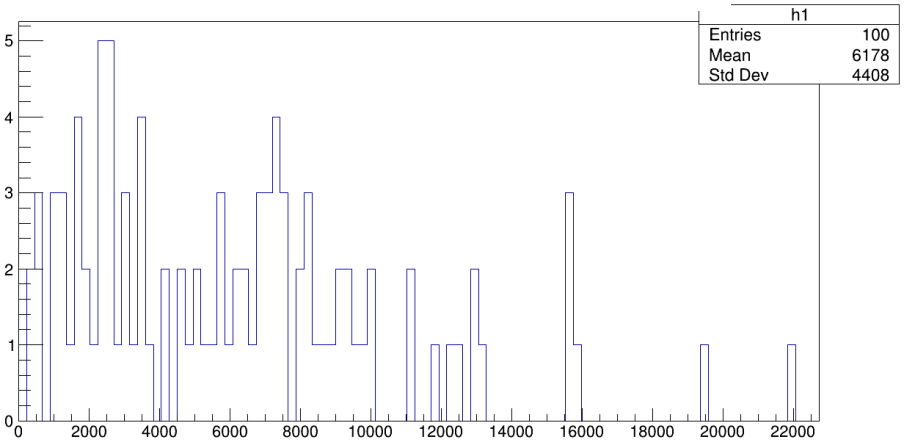
通常版μ-PIC

増幅率9.1×10^3

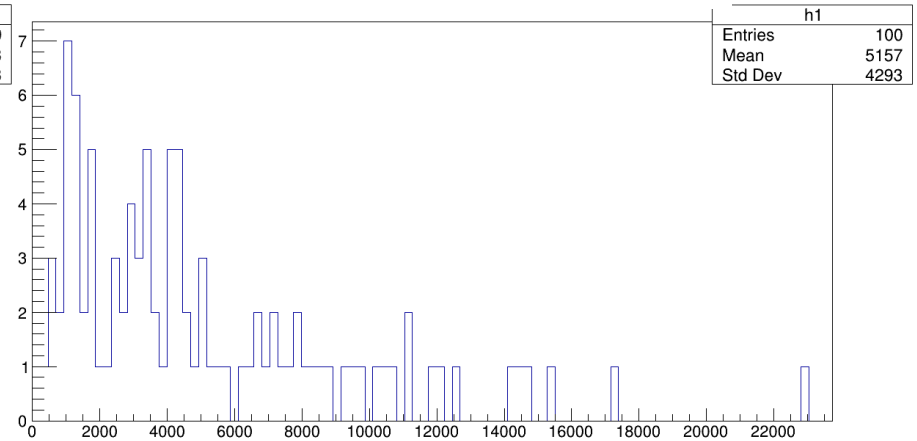
収集率98.1%

増幅率の評価（参考）

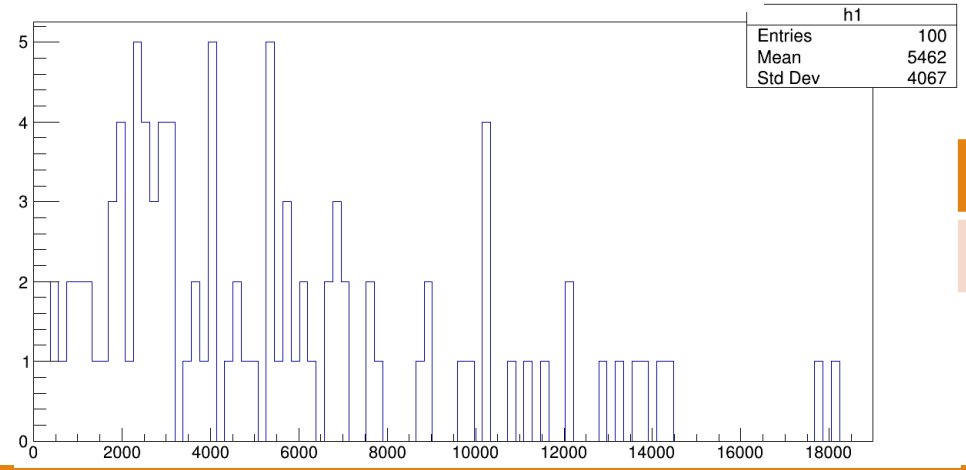
LTCC μ-PICの増幅率分布



従来型 μ-PICの増幅率分布



アライメント評価ジオメトリの増幅率分布



	LTCC	従来型	アライメント
Sigma/√100	440.6	429.3	406.7