

NI μ TPC/LArTPC用 ASIC(LTARS2016_K01)の性能評価

ICEPP

神戸大学

中澤 美季

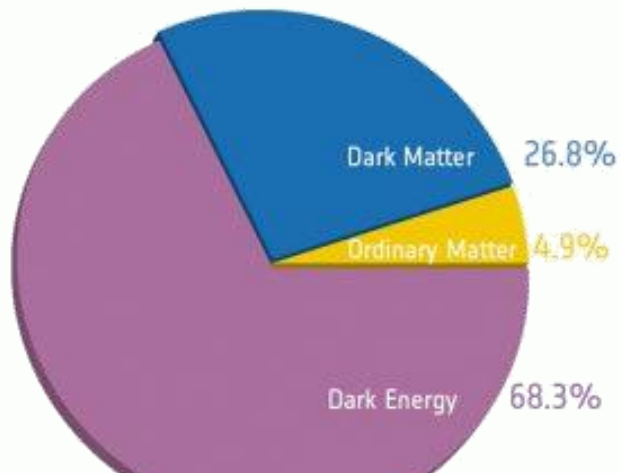


目次

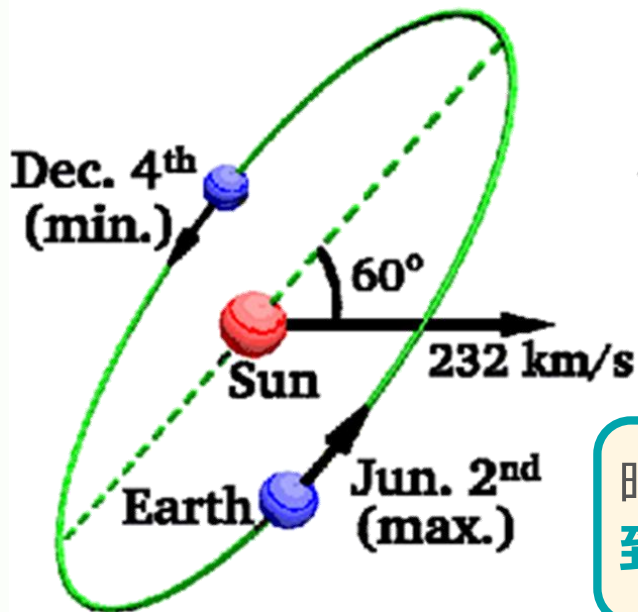
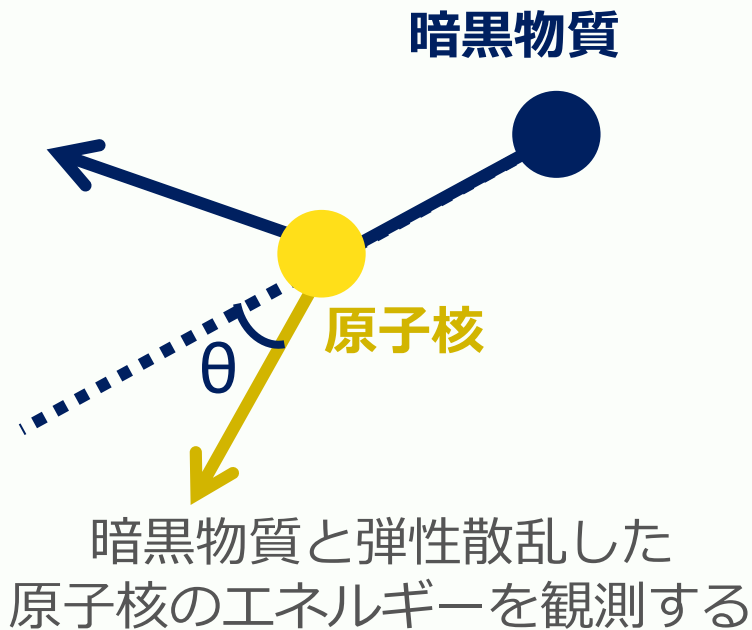
1. 暗黒物質
2. NEWAGE
3. 陰イオンガス3次元飛跡検出器(NI μ TPC)
4. NI μ TPC用ASIC(LTARS2016_K01)の開発
5. LTARS2016_K01性能評価
6. LTARS2016_K01とガス検出器の接続試験
7. まとめ

My Work

1. 暗黒物質



宇宙の約26.8%は**暗黒物質**

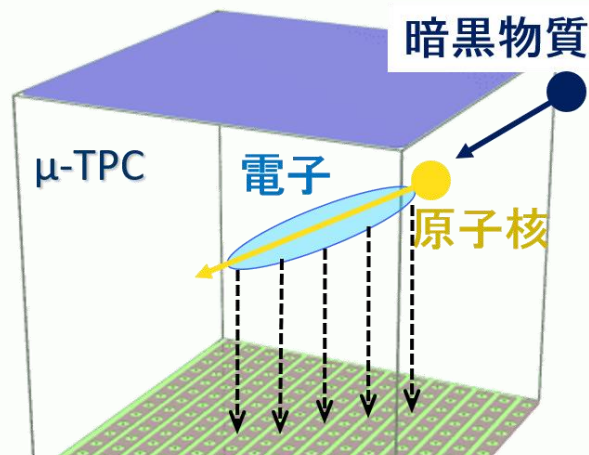


暗黒物質の「風」を捉える
到来方向に感度を持つ暗黒物質直接探索実験

2.到来方向に感度を持つ 暗黒物質直接探索実験



NEWAGE NEw general WIMP search with an Advanced Gaseous tracker Experiment

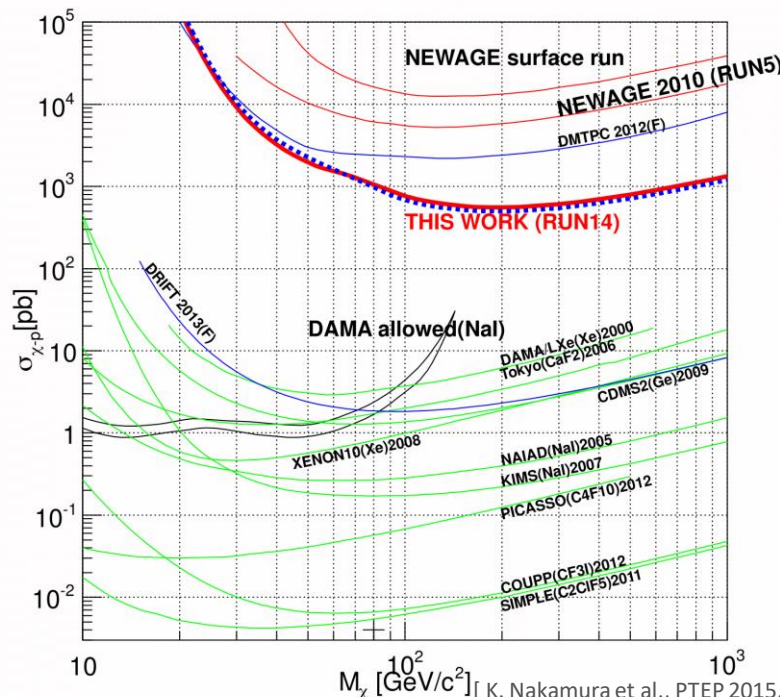


TPC(Time Projection Chamber)
2次元位置情報
+
時間情報
→
3次元
飛跡検出

NEWAGEは2次元画像飛跡
検出器μ-PIC(micro Pixel
Chamber)を読み出しにし
たμTPCを使用

NEWAGE最新結果

SD 90% C.L. upper limits and allowed region

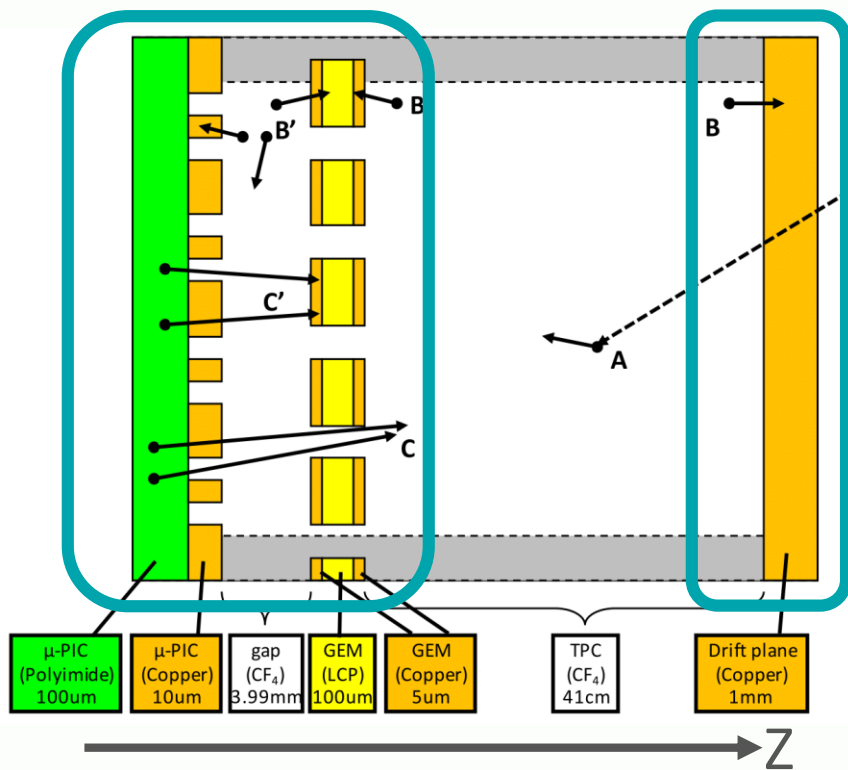


到来方向に感度を持つ探索手法で**世界最高感度**
しかし従来型の感度には届いていない
→**バックグラウンド低減による感度向上が急務**

2. NEWAGE

バックグラウンド低減のために

NEWAGE検出器バックグラウンド候補



[修士論文図3.7]

[K. Nakamura, PhD thesis.]

バックグラウンド源

= μ -PIC中の放射性不純物由来の α 線



対策

① 低 α μ -PICの製作

μ -PICに含まれる放射性不純物を低減したものを製作

② 陰イオンガス μ TPC(NI μ TPC)の開発

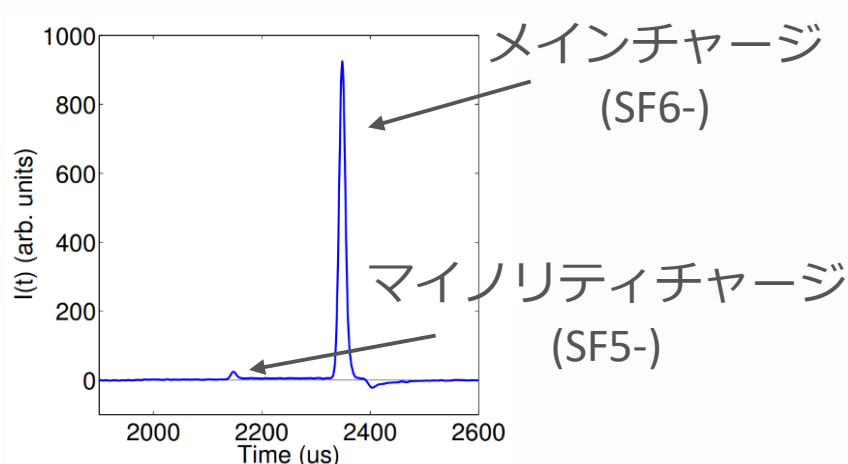
Z軸方向の絶対位置を得ることで μ -PIC由来の α 線事象を特定し、有効体積カットをかけて除去

本研究

3.陰イオンガス3次元飛跡検出器 (NI μ TPC)の開発

陰イオンTPC(NITPC)

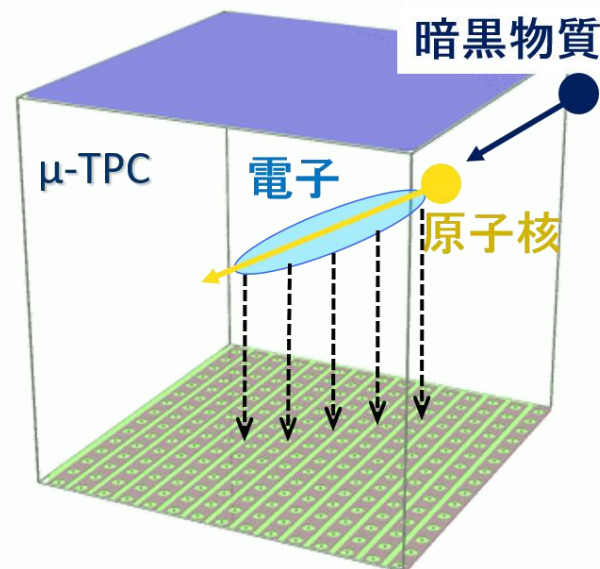
- 陰イオンがドリフト(拡散が小)
→位置分解能&角度分解能向上
- マイノリティチャージ検出
→有効体積カットが可能



[N. Phan et al., Journal of Instrumentation 12, P02012 (2017).]

μ TPC

- 読み出しにMPGDを使用
→100 μ m程度の位置分解能達成



NI μ TPCの開発

4. NI μ TPC用ASIC(LTARS2016_K01)の開発

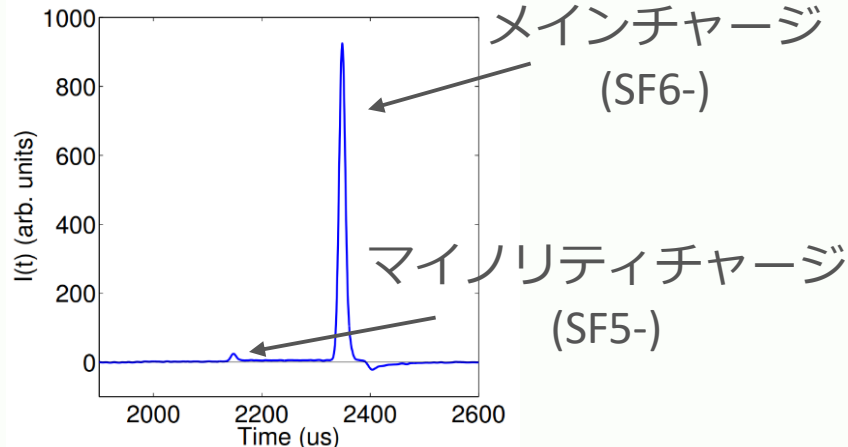
陰イオンTPC(NITPC)

陰イオンのドリフト速度(数10-2cm/ μ s)
は電子(数cm/ μ s)に比べて遅い
→時定数大の回路が必要

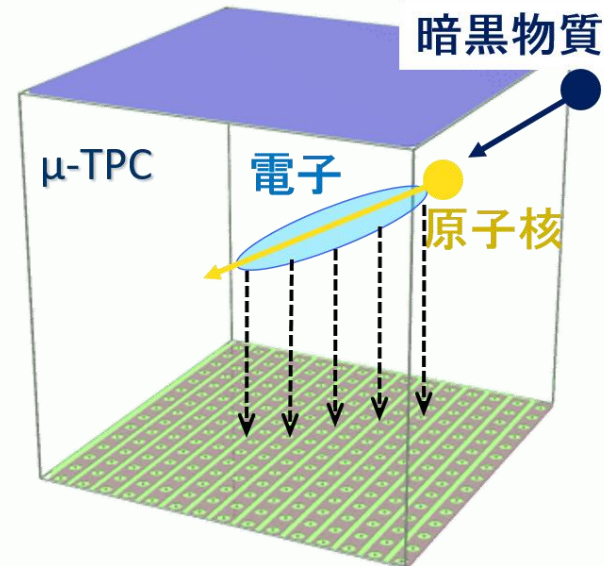
マイノリティチャージは
メインチャージの数%
→ダイナミックレンジ大の回路が必要

μ TPC

小面積で多チャンネル処理可能な
ASIC(Application Specified Integrated
Circuit)の使用が実用的



[N. Phan et al., Journal of Instrumentation 12, P02012 (2017).]



NI μ TPC用ASIC(LTARS2016_K01)の開発

4. NI μ TPC用ASIC(LTARS2016_K01)の開発

検出器からの主な要請と開発方針

	要請	従来の ガス検出器用回路	開発方針
時定数	4 μ s	100ns程度	液体アルゴン検出器用回路 (1 μ s)を改変
検出器容量	300pF	数pF～数100pF	検出器容量に配慮した設計
ダイナミック レンジ	3fC～1600fC	～数10fC	2種類のゲイン(High Gain/Low Gain)を持つ回路

上表の開発方針のもとLTARSの開発を進めた。

4.LTARS設計思想

大ダイナミックレンジ達成のために...

「MT回路」 「TK回路」

2つのアプローチで臨む

基本設計：KEKの専門家
設計段階での**中澤担当部分**：
パラメータ設定⇔シミュレーションによる性能評価(主に新設計のTK回路)

MT回路(既存回路の改良)

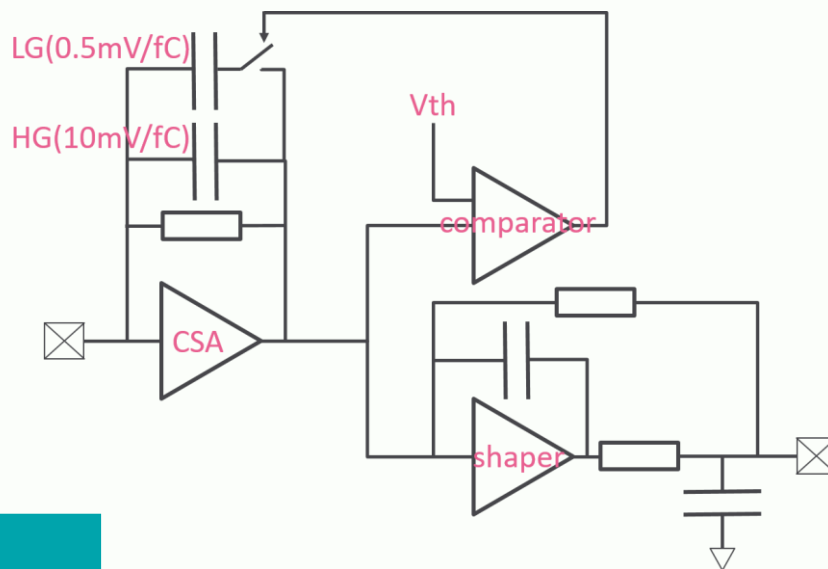
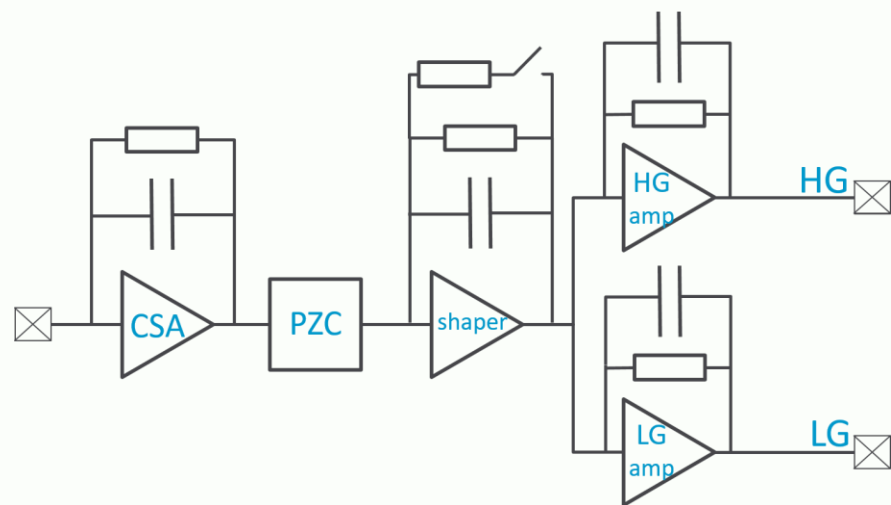
○ 実績ある回路

△ 後段にアンプを2種類(HG/LG)用意
→出力CHが2倍に...

TK回路(新設計)

△ 「ゲインの自動切換え」という新たな試み→動くか分からない...

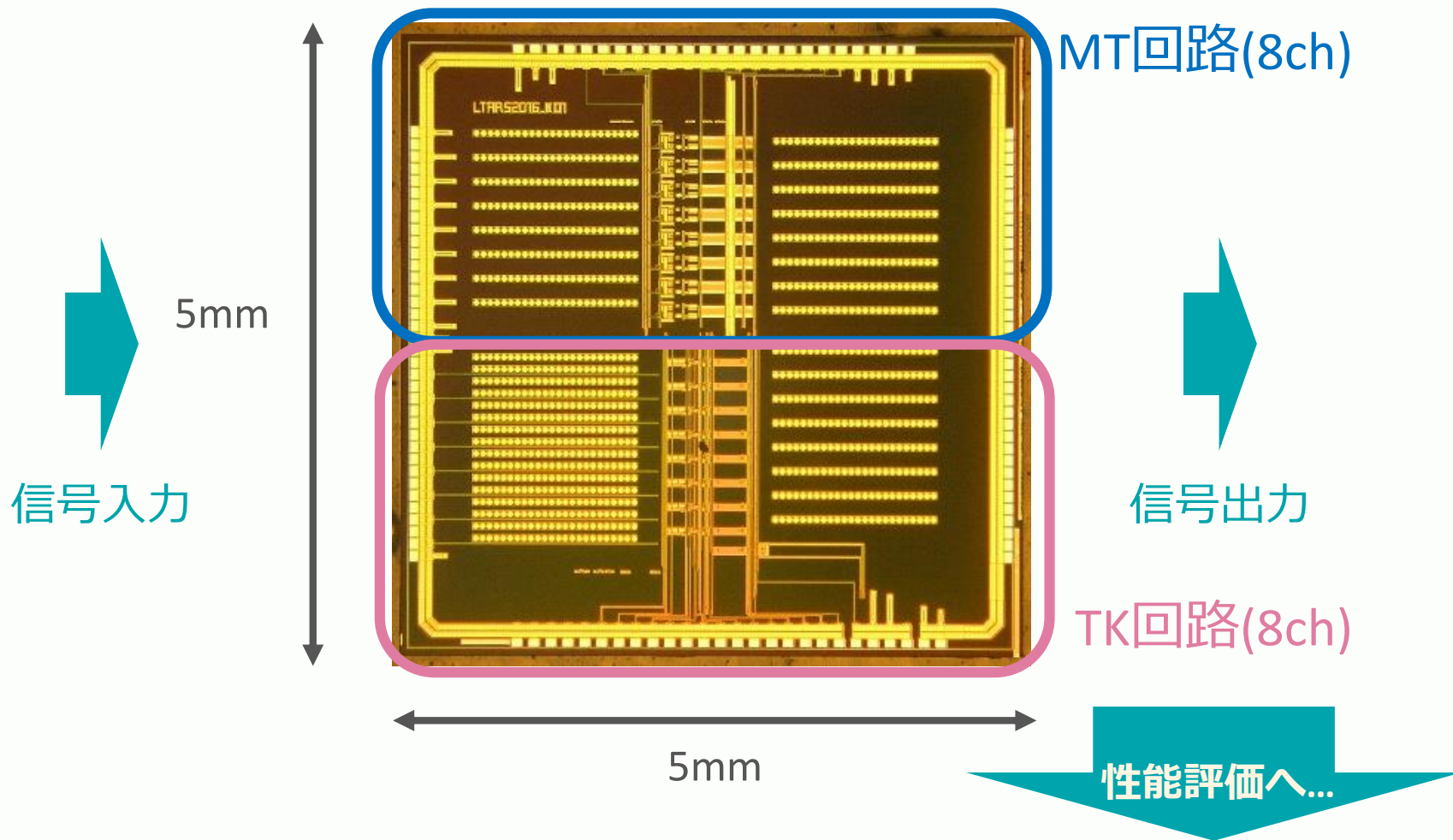
○ 出力CH数が減らせる



製作へ...

4.LTARS製作・完成

LTARSチップ完成！



5.LTARS性能評価 にむけて

チップ単体では評価できない...

評価基板「TOSHIZOU」「TOSHIZOUv2」を設計&製作(中澤担当)

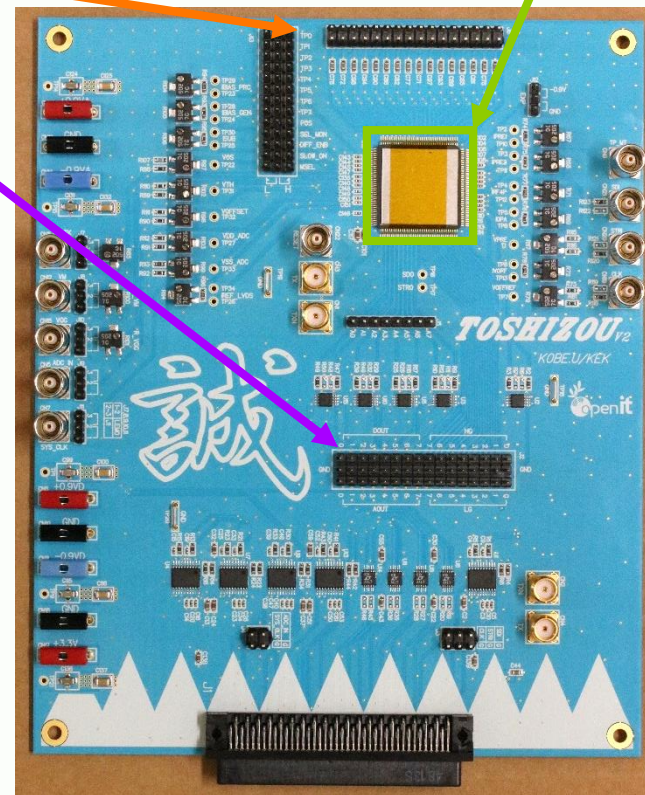
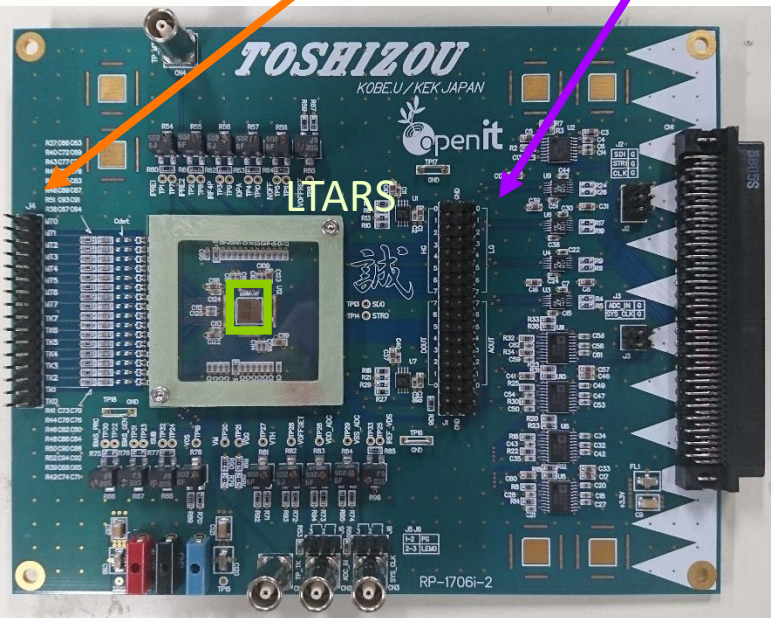
TOSHIZOU

信号入力部分

TOSHIZOUv2

LTARS

信号出力部分

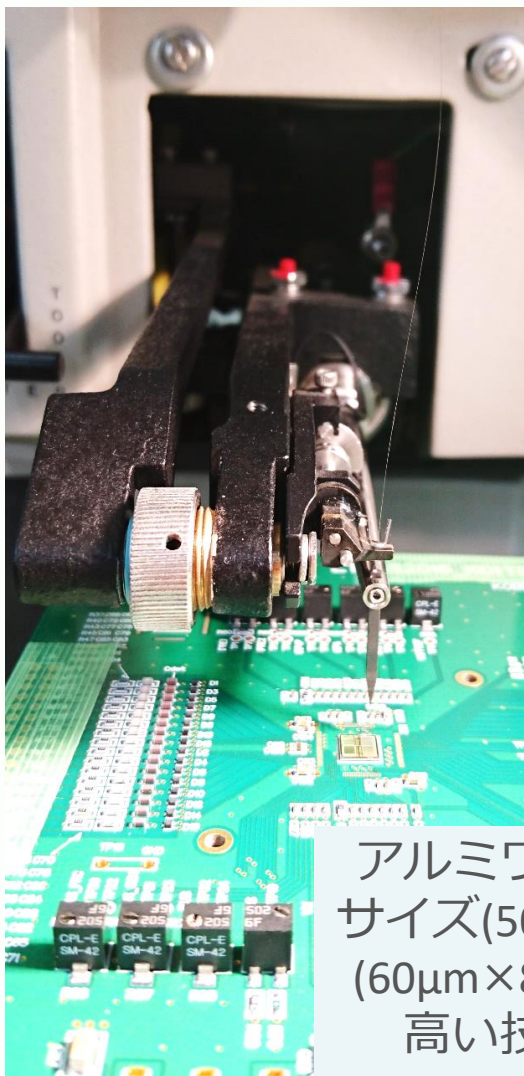
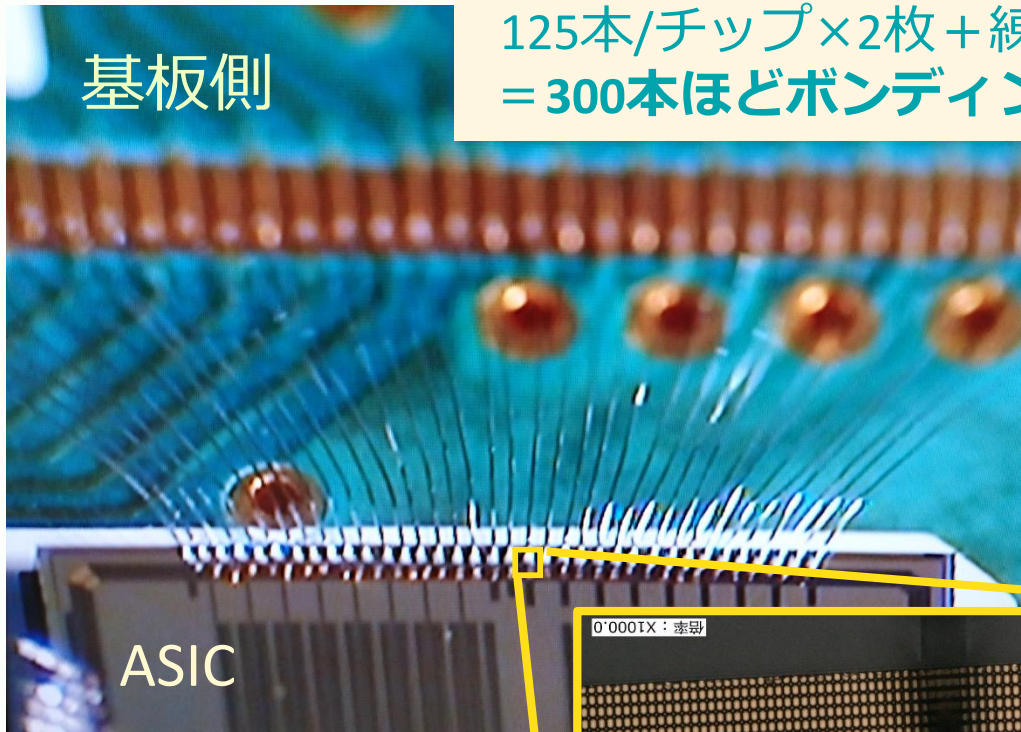


- LTARSをワイヤーボンディングで実装(ノイズ低減を期待)
- MT回路性能評価に使用

- LTARSをパッケージ化して実装
- TK回路性能評価&ガス検出器との接続試験に使用

5.LTARS性能評価 にむけて(続) ワイヤーボンディング

ボンディング装置

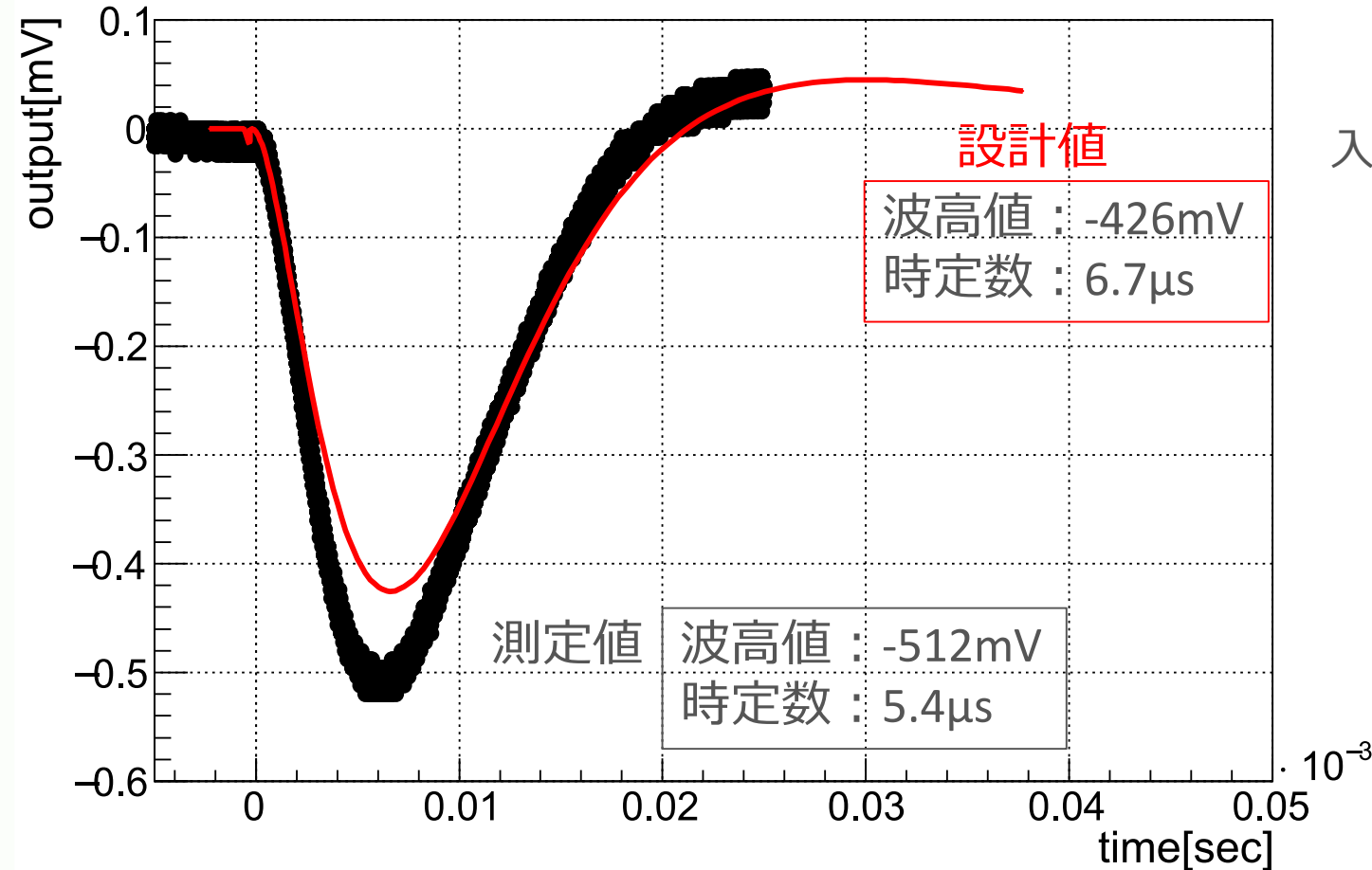


アルミワイヤーが圧着された後の
サイズ(50 μ m)がASICの패드サイズ
(60 μ m×86 μ m)とほぼ同じでかなり
高い技術を要することが判明



5.LTARS性能評価 (MT回路/時定数)

MT_waveform



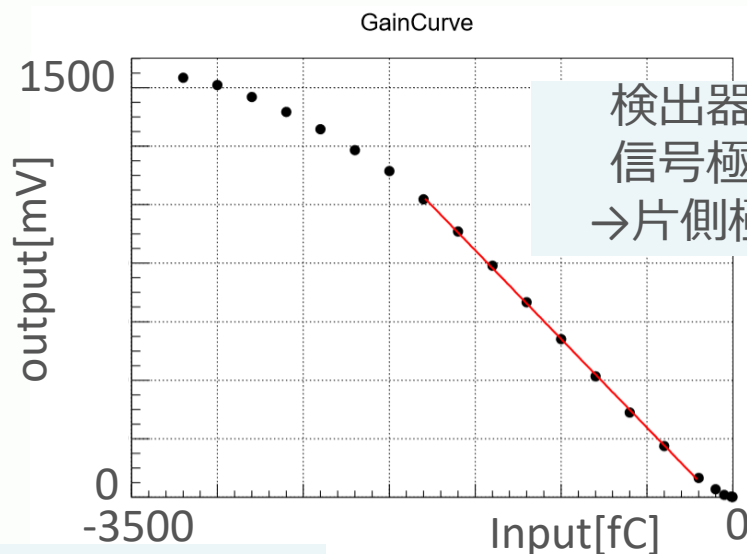
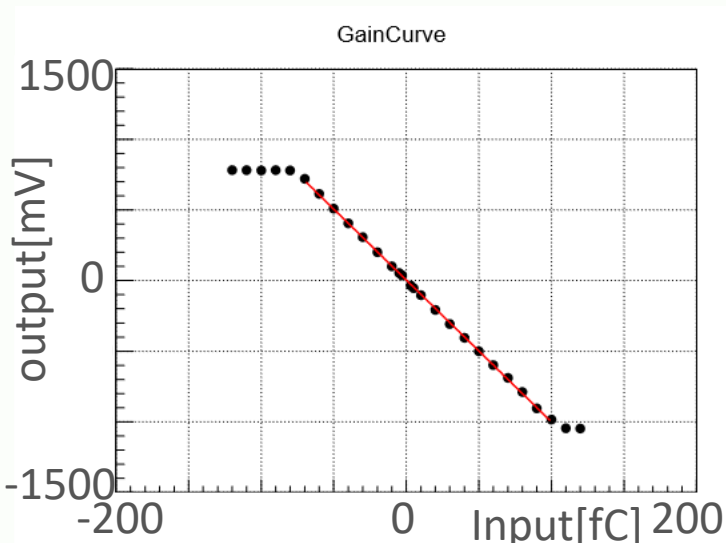
入力信号 : 50fC

測定された波形は製作精度の範囲内で設計通り
(設計値と測定値の差が容量値や抵抗値の製造ばらつきが原因)

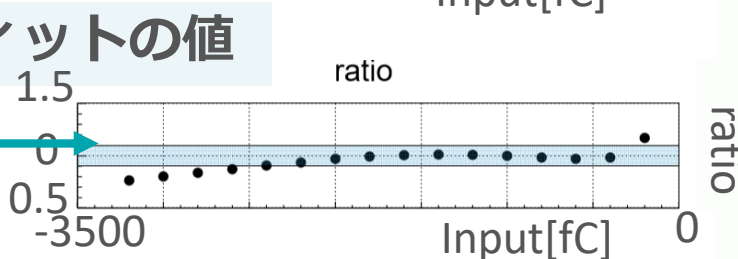
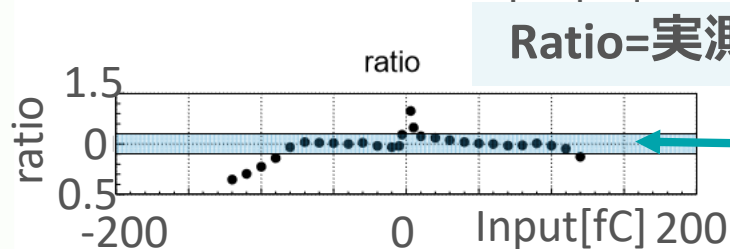
5.LTARS性能評価 (MT回路 /ゲイン・ダイナミックレンジ)

High Gain

Low Gain



検出器接続の際は
信号極性が定まる
→片側極性は現実的



Ratio=実測値/フィットの値

±10%

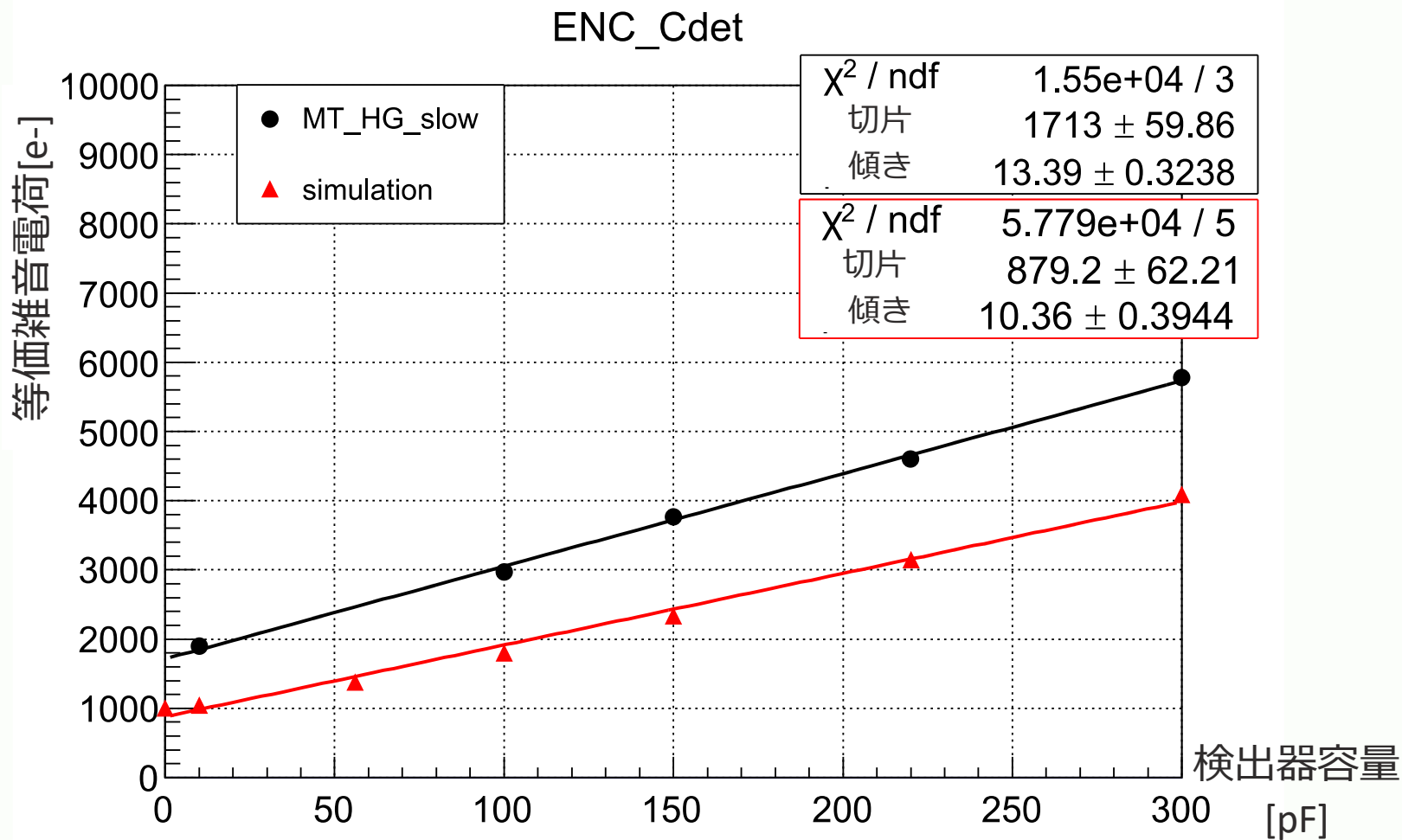
ゲイン : $10.05 \pm 0.04 \text{ mV/fC}$
ダイナミックレンジ : $-80 \text{ fC} \sim 110 \text{ fC}$

ゲイン : $0.60 \pm 0.00 \text{ mV/fC}$
ダイナミックレンジ : $-1600 \text{ fC} \sim 800 \text{ fC}$

HGは10%以内の線形性でダイナミックレンジ要請値($-80 \text{ fC} \sim 80 \text{ fC}$)達成

LGは片側極性でダイナミックレンジ要請値($-1600 \text{ fC} \sim 1600 \text{ fC}$)達成

5.LTARS性能評価 (MT回路/ノイズ)



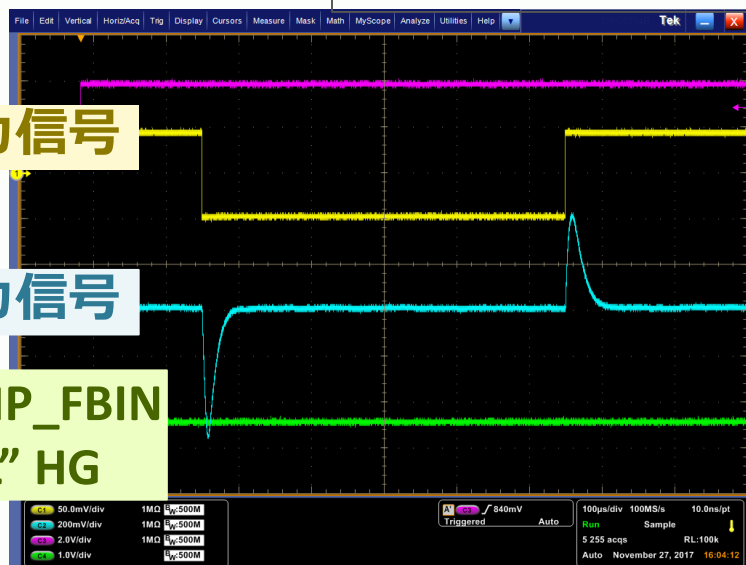
ノイズ容量依存性の傾きは設計値と製作精度の範囲内で一致

測定値と設計値の切片(検出器容量0pF)の差はレイアウト配線容量が原因

5.LTARS性能評価 (TK回路/ゲイン自動切換え)

HGモード

入力信号 : 90fC
出力信号 : 550mV

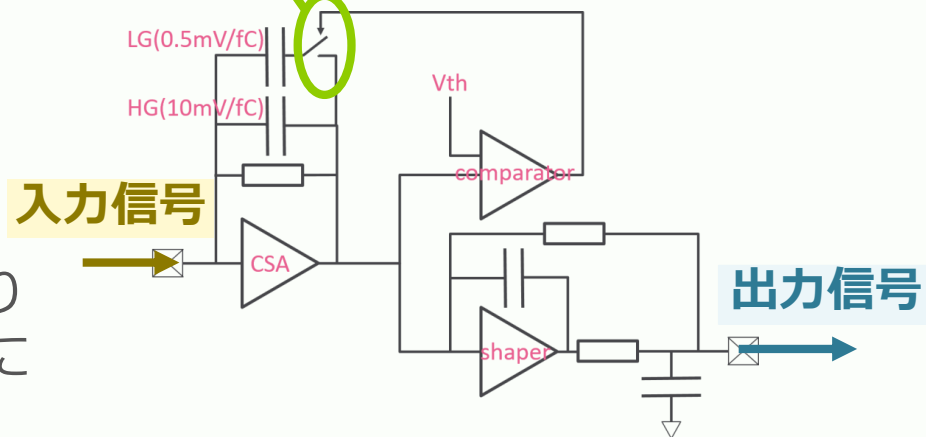


LGモード

入力信号 : 100fC
出力信号 : 50mV



信号入力時はHGモード
ある閾値を超えるとCOMP_FBIN
(コンパレータ出力)が“H”になり
LGモードに切換わる = ゲイン小に

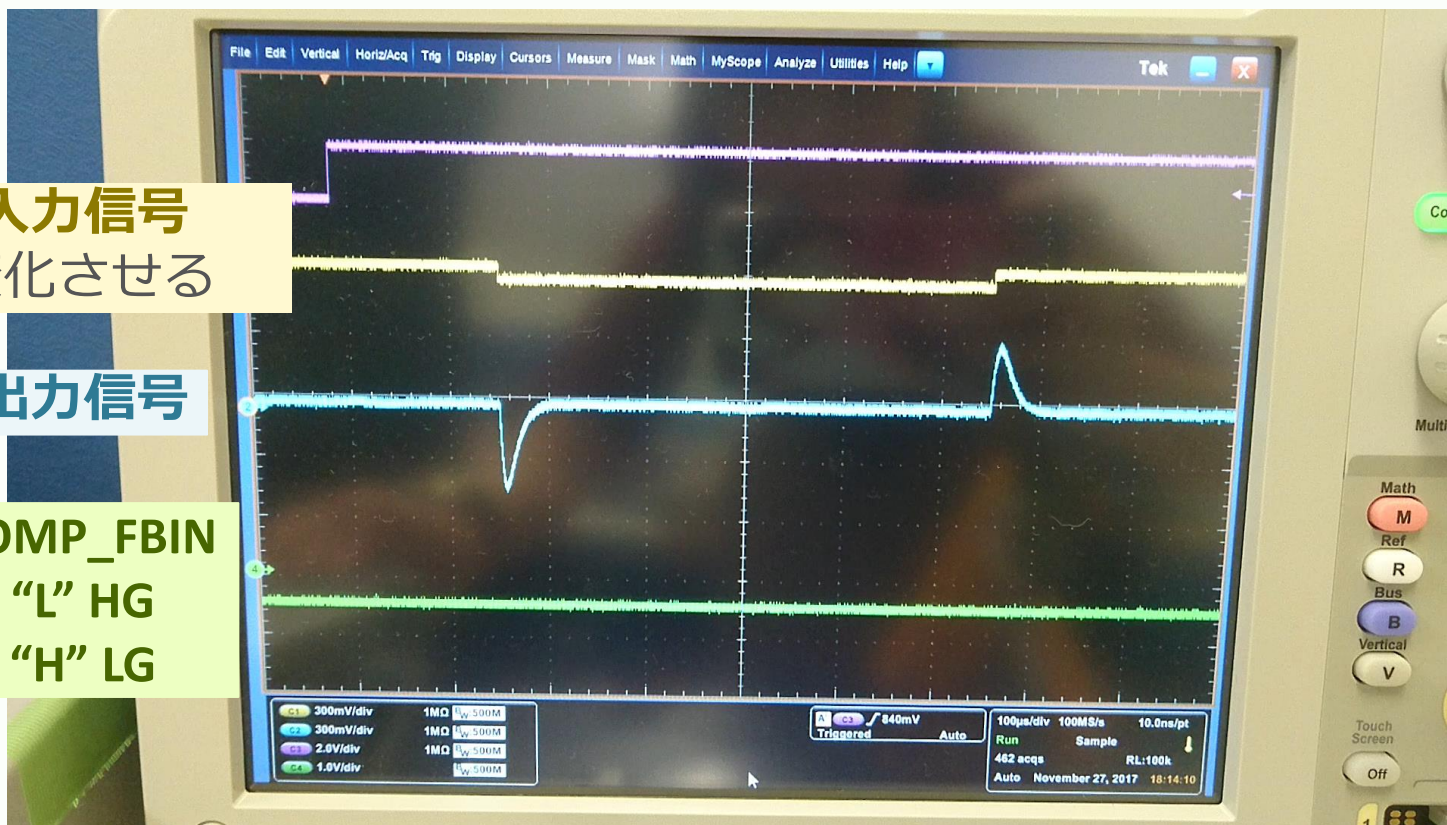


5.LTARS性能評価 (TK回路/ゲイン自動切換え)

入力信号
変化させる

出力信号

COMP_FBIN
"L" HG
"H" LG



設計通りの動作を確認

閾値を超えるとCOMP_FBINが”H”になり出力信号が小さくなる

5.LTARS性能評価 (まとめ)

	High Gain(マイノリティピーク)	Low Gain(メインピーク)
時定数	4 μ s	○
検出器容量	300pF	
ノイズ (電子数)	<2000 (0.3fC) ○	<6.4 $\times 10^2$ (10fC) ○
ダイナミックレンジ	-80fC \sim 80fC ○○	-1600fC \sim 1600fC ○
ゲイン	10mV/fC ○	0.5mV/fC ○○

○ MT回路の達成項目

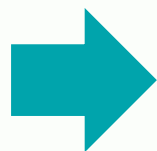
○ TK回路の達成項目

MT回路

- ほぼ要請値達成

TK回路

- 要請値未達成の項目が多いが、トランジスタの改良&一部レイアウトの見直しで達成可能だと考えられる。



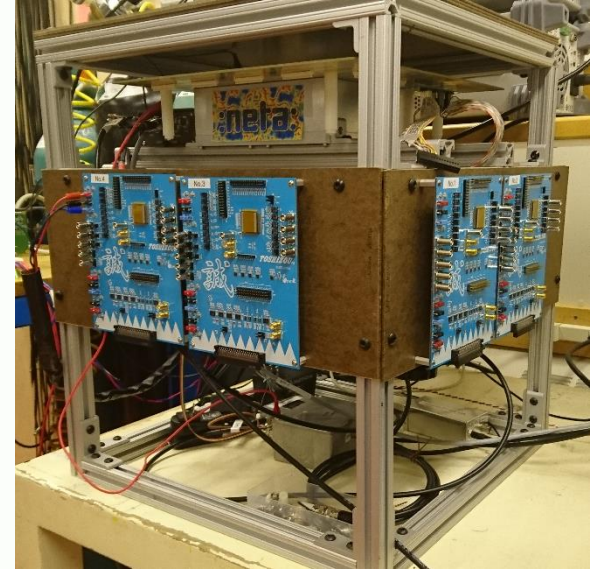
MT回路でガス検出器との接続試験を実施

6.LTARSとガス検出器の接続試験

@ボストン wellesley大学

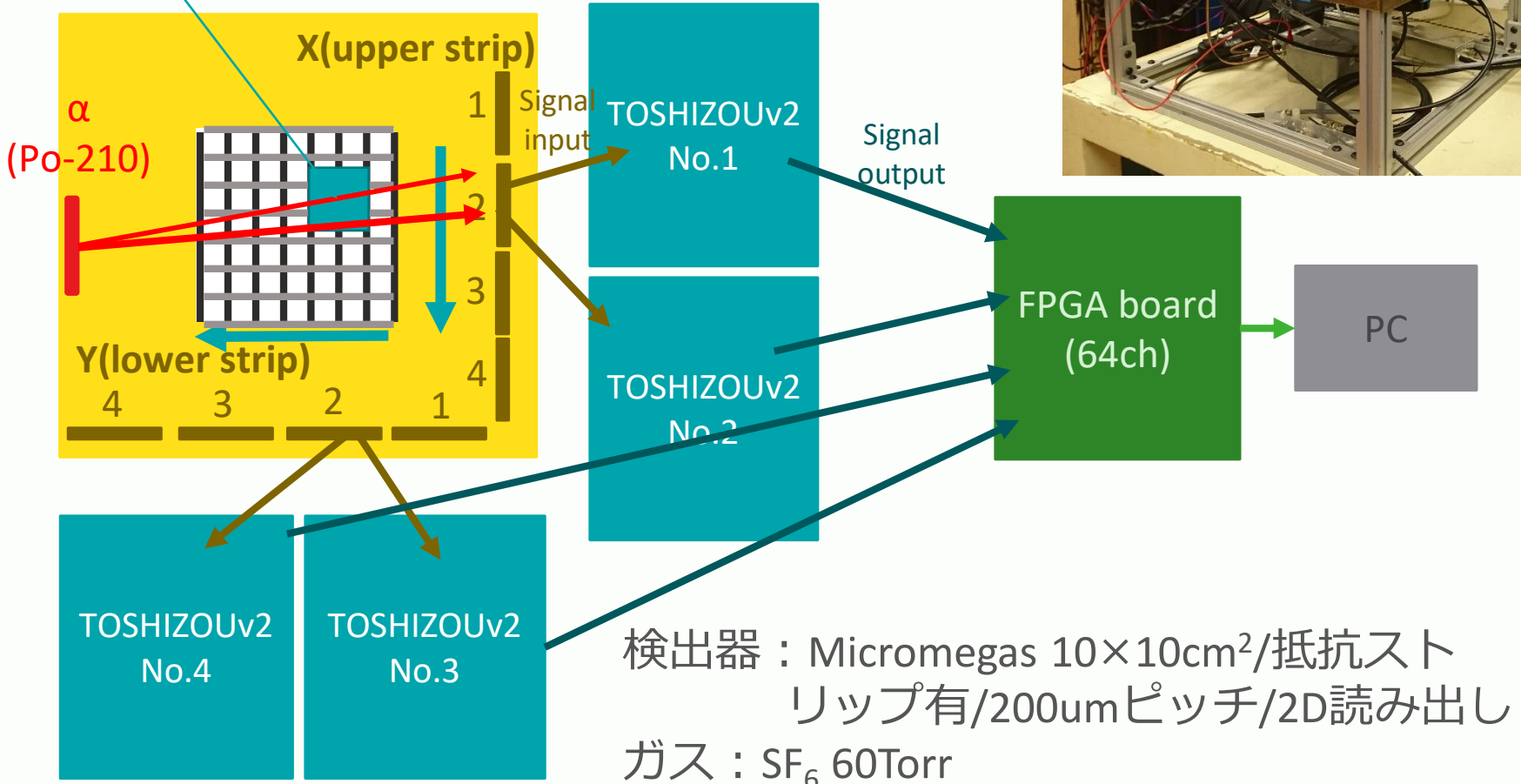
2017年10月24日16:00～11月1日4:00

2018/2/14



有効面積
 $3 \times 3 \text{mm}^2$

測定セットアップ



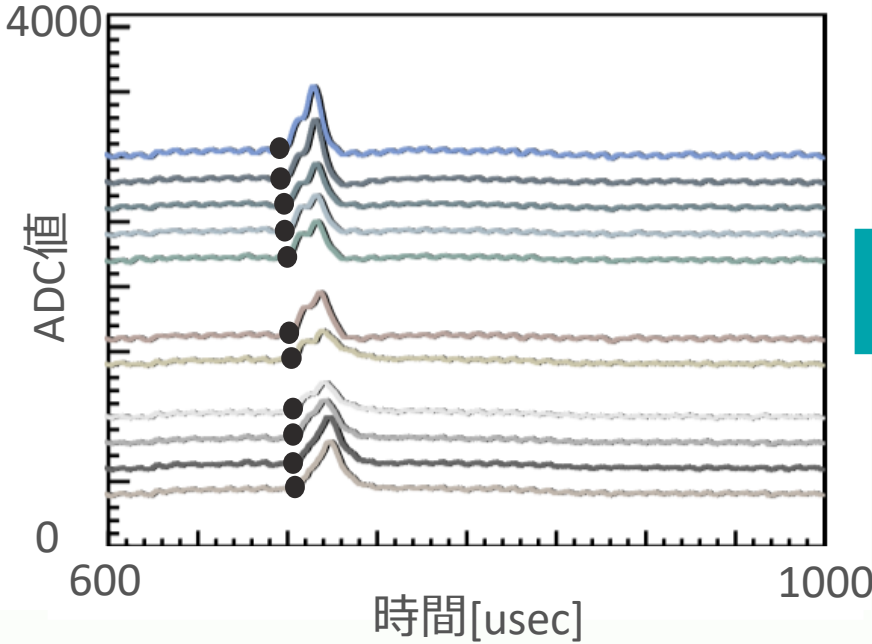
ICEPP2018

6.LTARSとガス検出器の接続試験

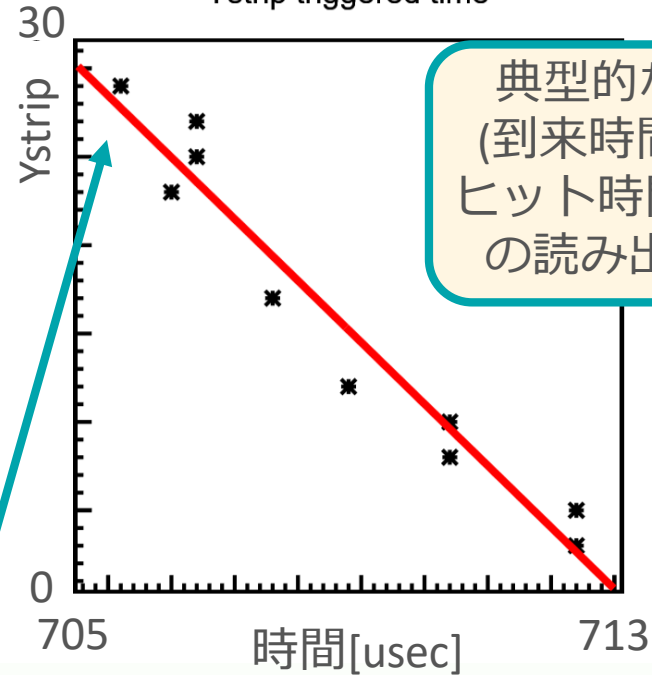
あるイベントの各ストリップでの波形

ストリップごとのヒット時間

Y strip(Zoomed)



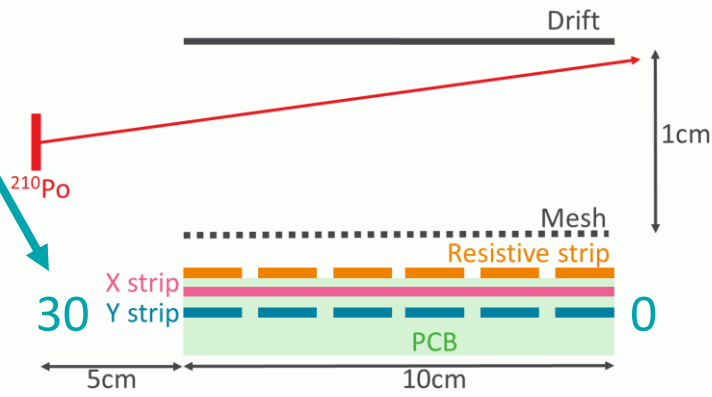
Ystrip triggered time



典型的なTPC信号
(到来時間に従って
ヒット時間がずれる)
の読み出しに成功

Strip30の信号到達時間が一番早い

200 μ mピッチでの飛跡検出に成功
NI μ TPCの読み出しとして使用可能であることが実証された。



7.まとめ

- NEWAGEの感度向上を目指すNI μ TPC用読み出し回路としてLTARS2016_K01をKEKと共同開発した。
- LTARSはダイナミックレンジ拡大のために「MT回路」「TK回路」を搭載。
- 評価基板「TOSHIZOU」「TOSHIZOUv2」を用いて性能評価(主に時定数、ゲイン、ダイナミックレンジ、ノイズの測定)を行った。
- MT回路はほぼすべての要請値を達成。
- TK回路はゲインの自動切換えに成功。
要請値未達成の項目は多いがトランジスタの性能改善により実用レベル達成が期待できる。
- ガス検出器との接続試験からLTARSがNI μ TPCの読み出しとして使用可能であることが示された。
- 要請値を満たしたLTARSでNEWAGEの検出感度を大幅に更新し、大型化による将来的な感度向上にもつながると期待。

END



ご清聴ありがとうございました。