

# 液体アルゴンTPC用 読み出しエレクトロニクス開発の現状

2015年7月25日 計測システム研究会@RCNP

坂下健(KEK/IPNS)

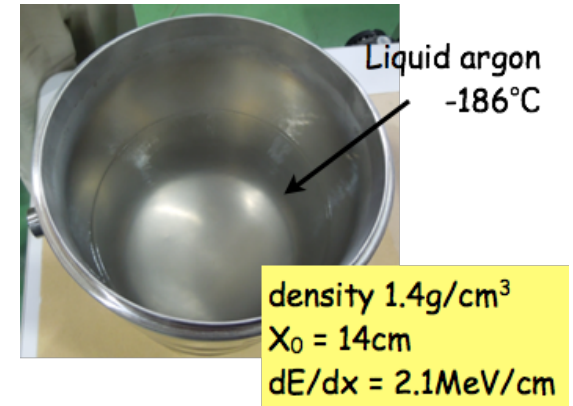
R&D collaboration with Iwate University, Yokohama National University  
and Kure National College of Technology

1. 液体アルゴンTPC測定器開発の概要
2. アノード読み出し基板開発
3. 読み出しエレクトロニクス開発
4. まとめ

# Introduction

## ● 液体アルゴンTPC測定器

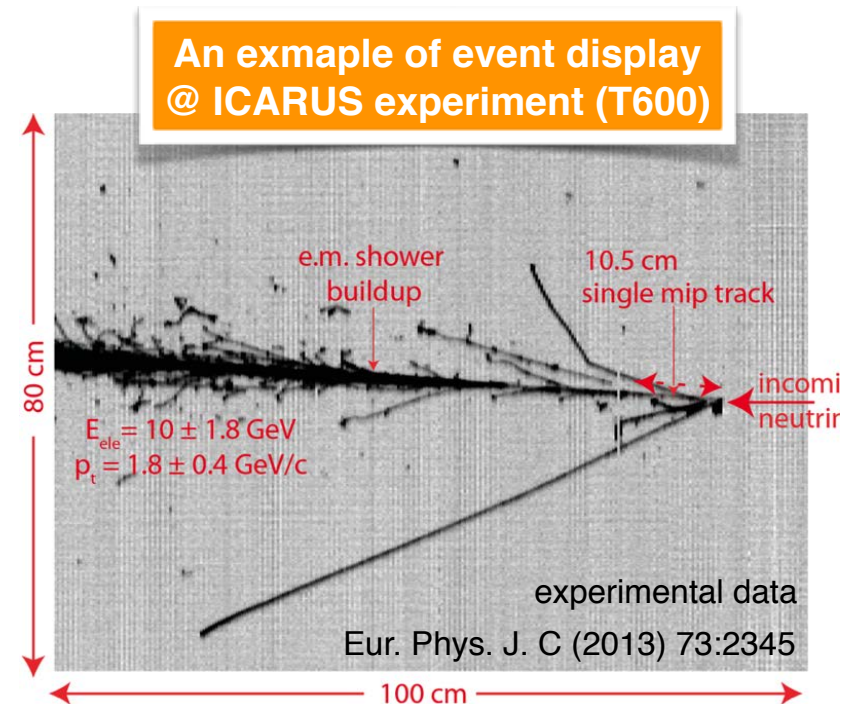
- 荷電粒子の飛跡を3次元で捉える
- 高い粒子識別能力、高精度なエネルギー損失測定能力を持つ



## 将来の大型(10kton以上)ニュートリノ測定器の候補

c.f. DUNE 10kton detector = 58m x 14m x 12m (plan)

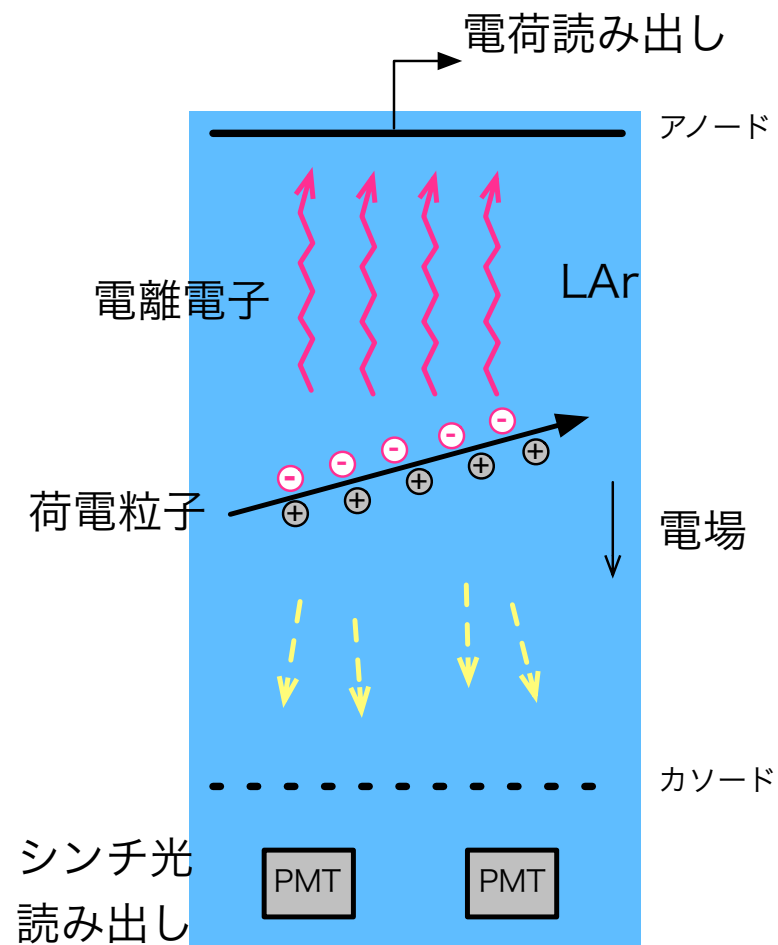
ICARUS実験のイベントディスプレイ(data)→  
ICARUS測定器 300ton x 2module は  
現在までに実現できている最大の大きさ



# LArTPC測定器の原理

## 電離電子を捉える

- 読み出し面(アノード)で2次元(3mm~4mm pitch)の情報+時間で3次元飛跡を測定
- 最小電離損失粒子による信号量は、約1fC/mm
- 液体中では増幅はない
- ドリフトの途中で不純物(O<sub>2</sub>,H<sub>2</sub>O)による電離電子の減衰が起こる: 0.1ppbで3msecドリフト(4.8m\*)後に約1/3  
→長いdriftには高純度なLArが必要
- ドリフト電子のdiffusionは小さい(5mドリフト後に1-2mm以下)



(\* 500V/cmの電場の時)

# 大型LArTPC測定器開発

## 長いドリフト長の実現が鍵

- event containment
- reduce # of readout channel (cost down)

c.f. ICARUS(300ton) : ~27000ch  
(1.5m drift, 2x4m x 20m anodes)

WA105(700ton): ~7680ch  
(6m drift, 6m x 6m anode)

## 必要な要素技術：

### ① 信号読み出し面および読み出しエレクトロニクス

電離電子の信号を信号-雑音比10以上で読み出す

### ② 液体アルゴンの純化装置

純度0.1ppb以下の長期維持

### ③ 高電圧生成装置

数百kV以上の高電圧生成

コストを抑えて大型化する  
技術の確立が喫緊の課題



# 大型化にむけた要素技術の開発

KEKでは国内大学との共同研究で大型化に向けた要素技術開発を小型測定器を用いて進めている

大学院生が活躍

その一つが電離電子信号の読み出し部分の開発

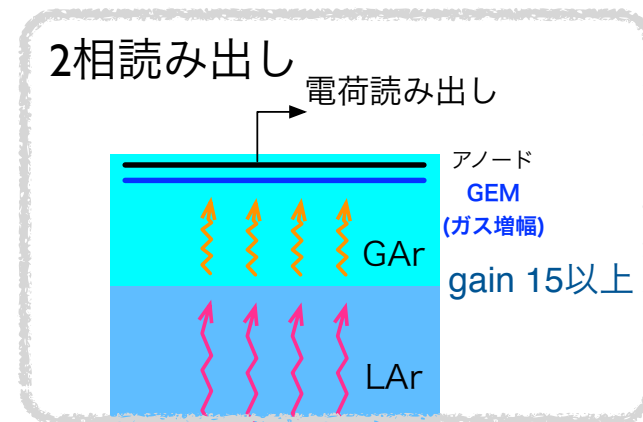
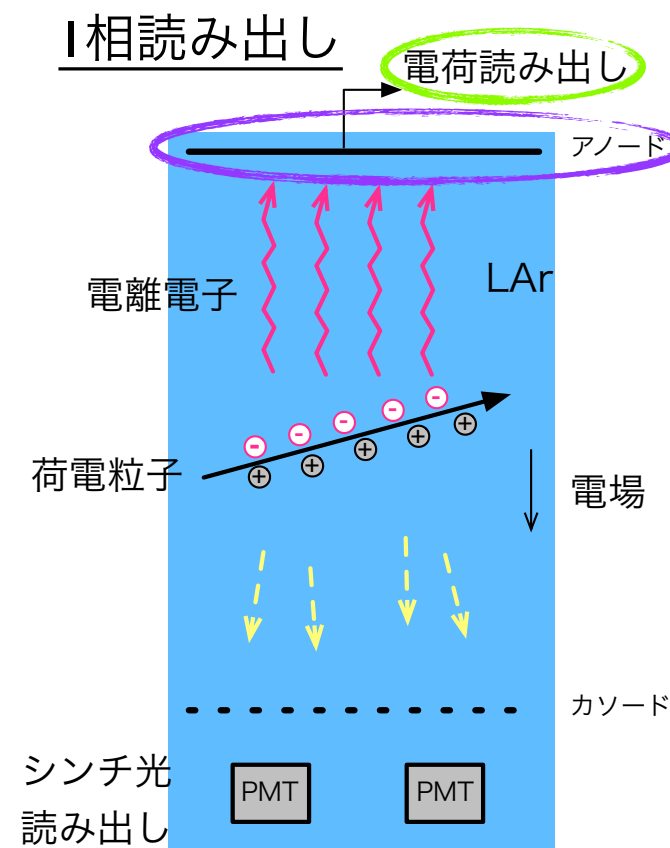
今日の話

- 2次元アノード読み出し面
- 電荷読み出しエレクトロニクス

現在はアノード面を液体中において電離信号を捉える”1相読み出し”でR&Dを進めている

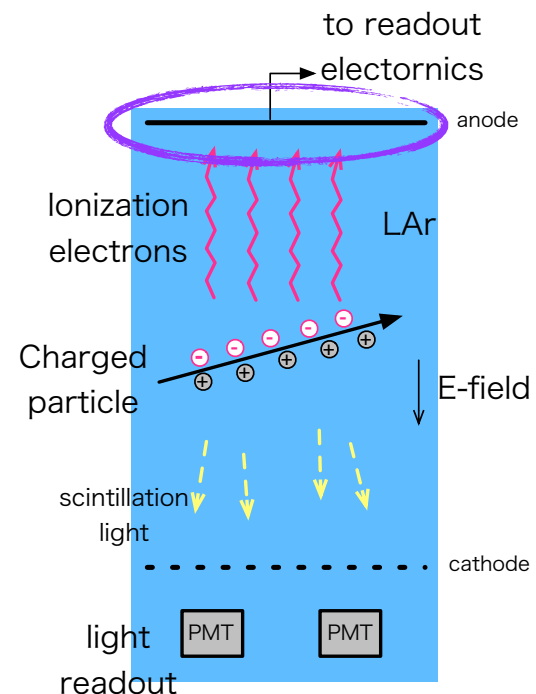
信号: 1fC/mm, 増幅なし

開発目標: 信号-ノイズ比(S/N) 10以上 (for MIP)

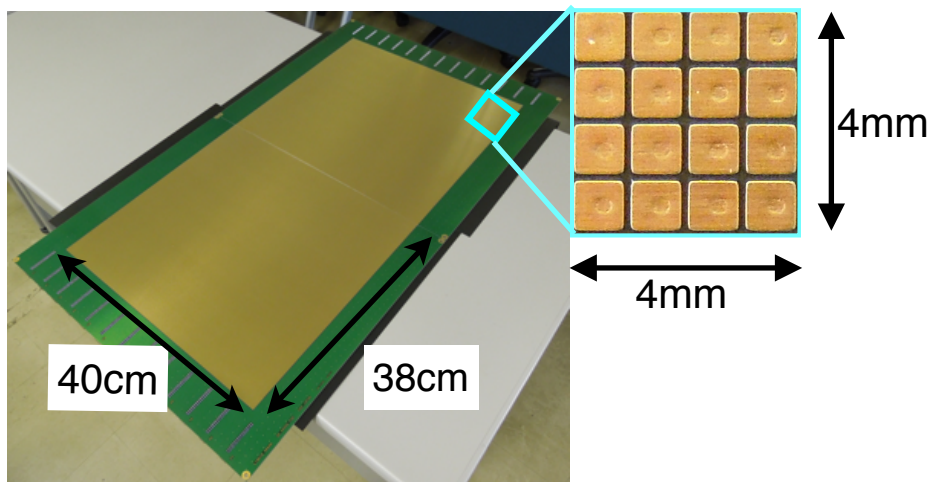


# 2次元アノード読み出し面(strip読み出し基板)

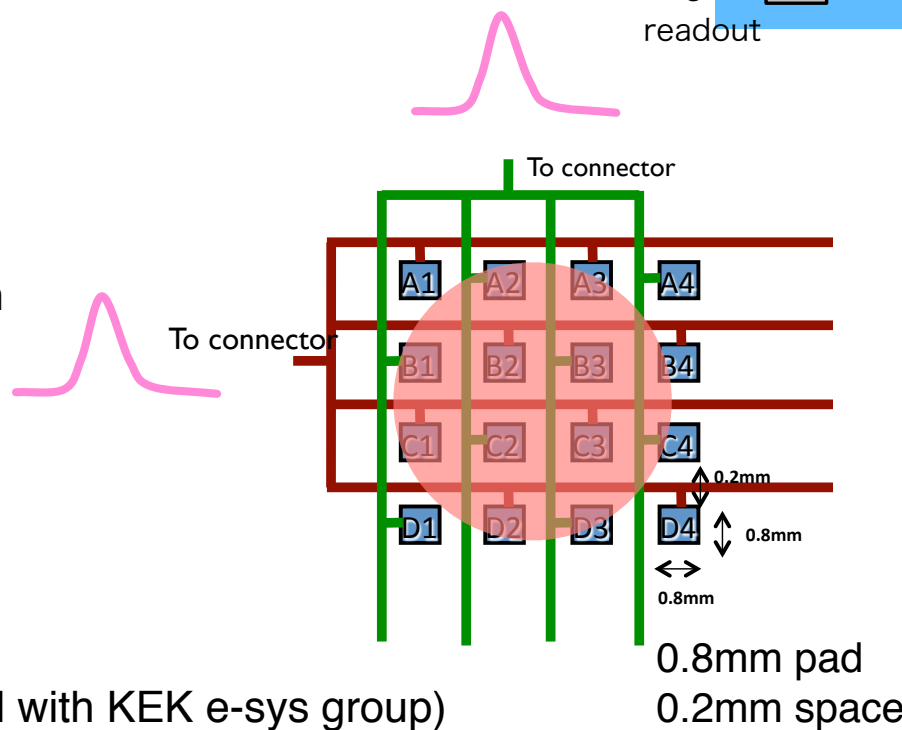
- 多層基板技術を用いて開発
- 0.8mm<sup>2</sup>の電極を4列ずつ接続して4mm strip読み出しを構成
  - 電荷はx,y方向に1/2ずつ分配。信号の形はx,y方向で同じ
- 製造可能な基板の大きさは最大50cm x 50cm
  - 2枚以上を接続して大面積読み出しを実現



## 76cm x 40cm anode



4mm pitch readout. 380ch in total

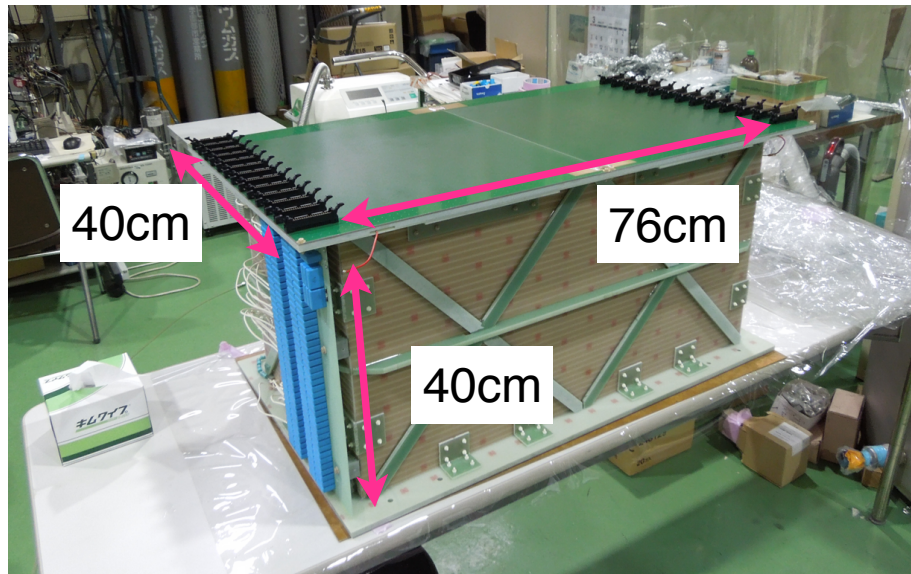


(developed with KEK e-sys group)

0.8mm pad  
0.2mm space

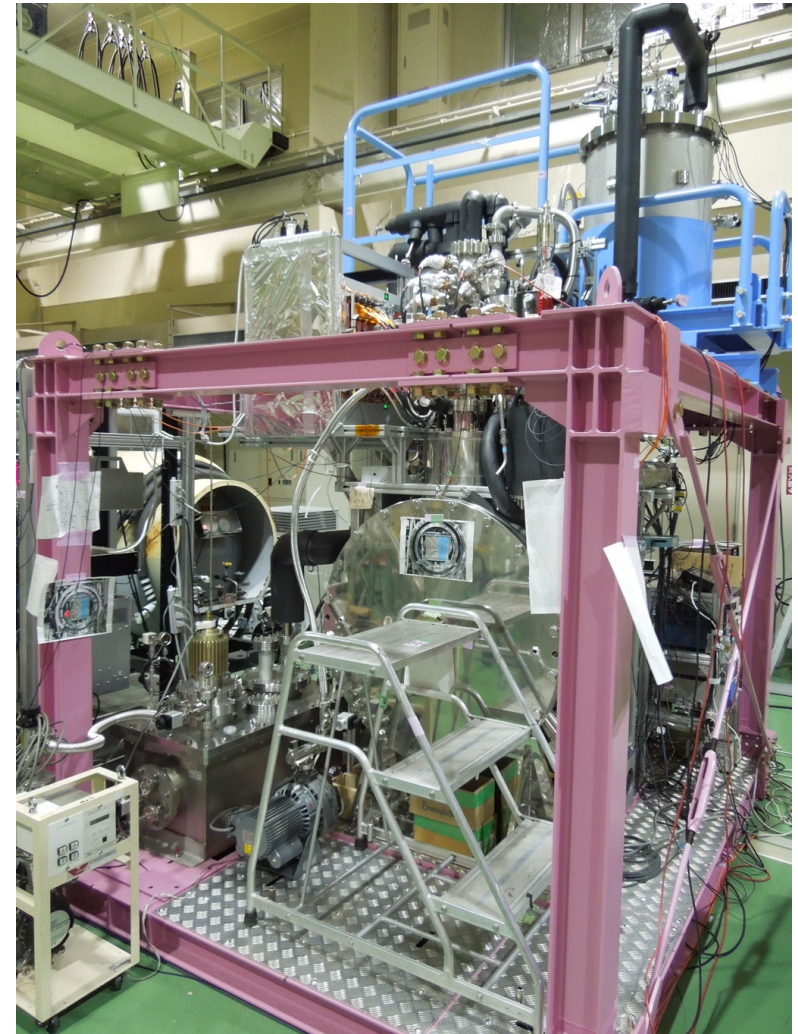
# 大型アノード基板の宇宙線試験

76cm x 40cm x 40cm(drift長)のTPC (in 250L低温容器)で宇宙線イベントを用いて評価



## 250L測定器

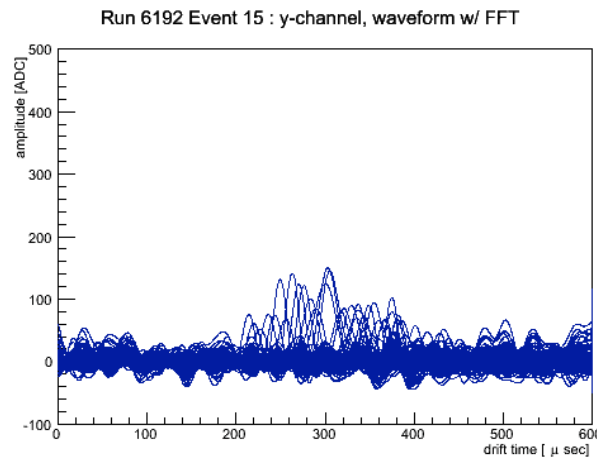
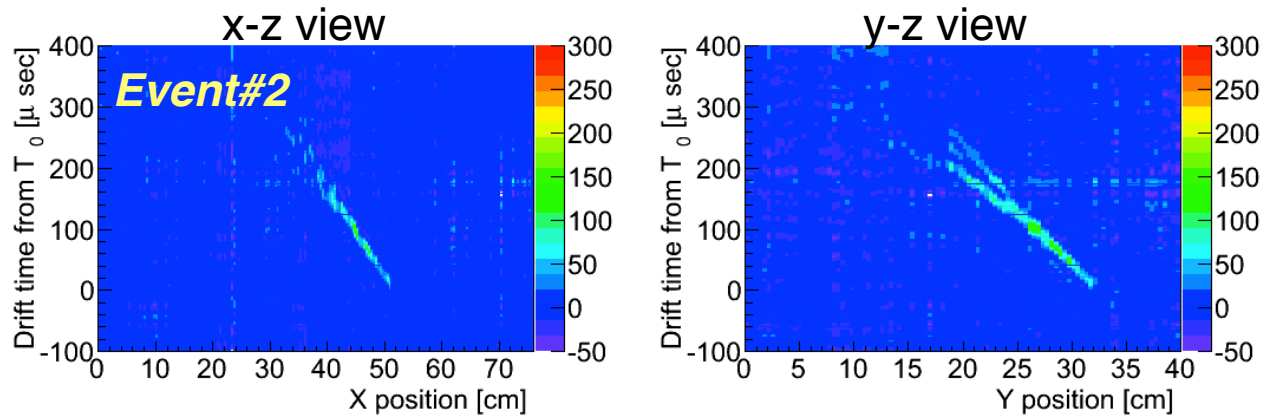
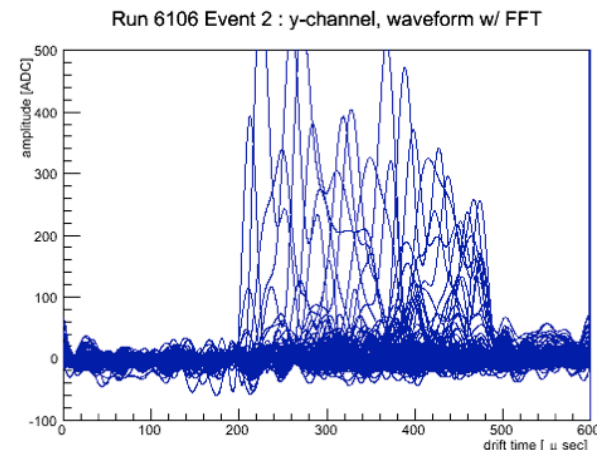
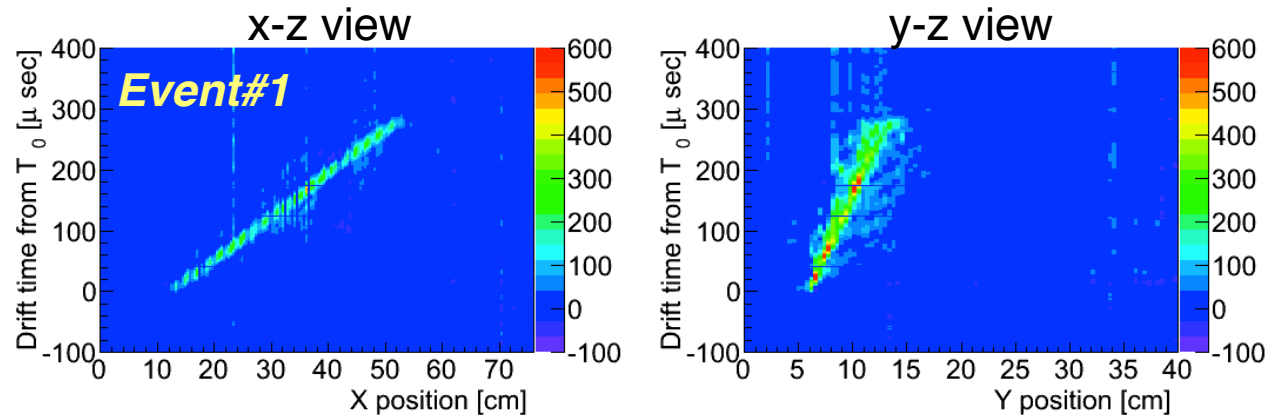
- gas循環装置+filterによるpurification
- 外部cryostat+coolerによるLAr再生成
- Cockcroft-Waltonを用いた高電圧生成
- **CAEN TPC readout electronics**





# 宇宙線事象の例

## ★ shower-like eventの例

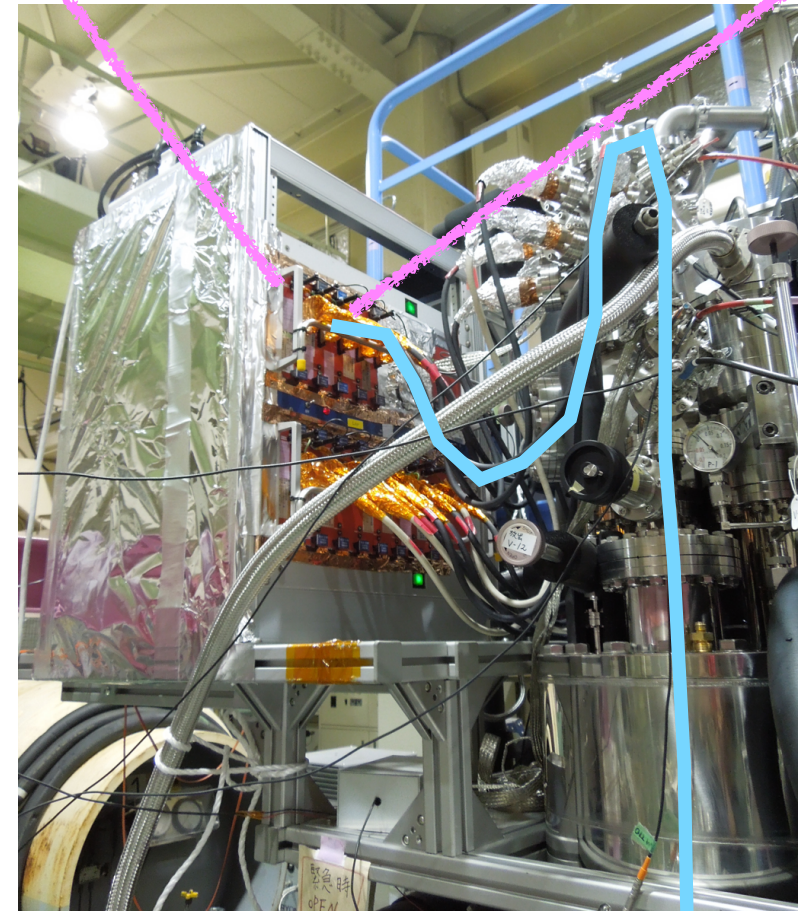
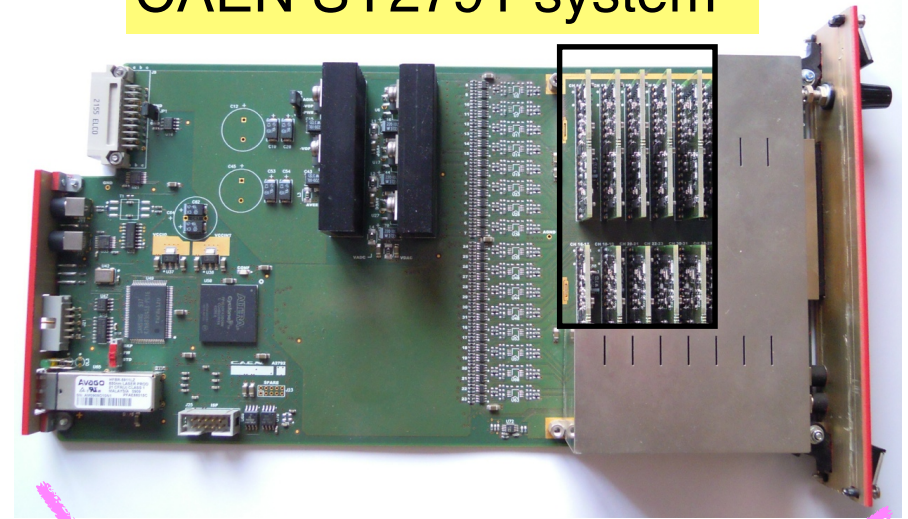


現状ではノイズが多く、最小電離損失粒子に対するS/Nは10以下. . .

# ノイズが多い要因の1つ

クレートハウジング型エレキを使って  
いたためアノード読み出し基板から  
pre-ampまでの信号線が~3mと長い

CAEN SY2791 system



→ 今後の改善：

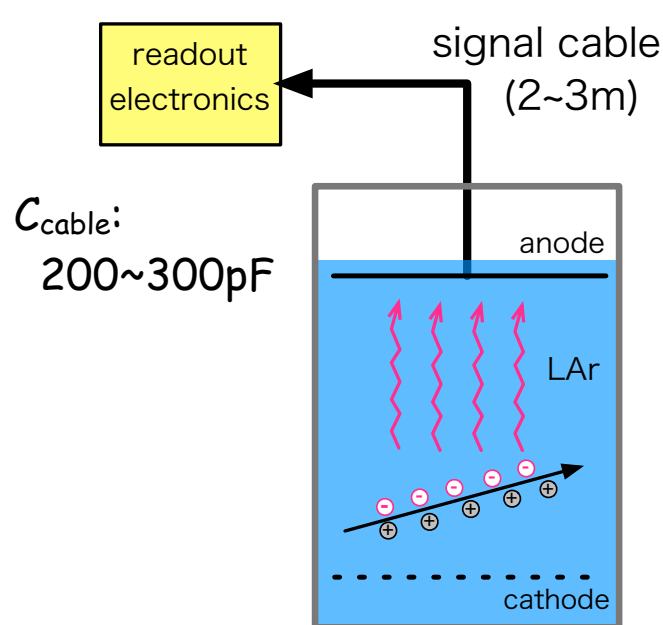
- アノードとpre-amp間のケーブル長を短く
- 読み出しエレクトロニクスの改良
- アノード基板の静電容量を小さく

# 電荷読み出しエレクトロニクスの開発

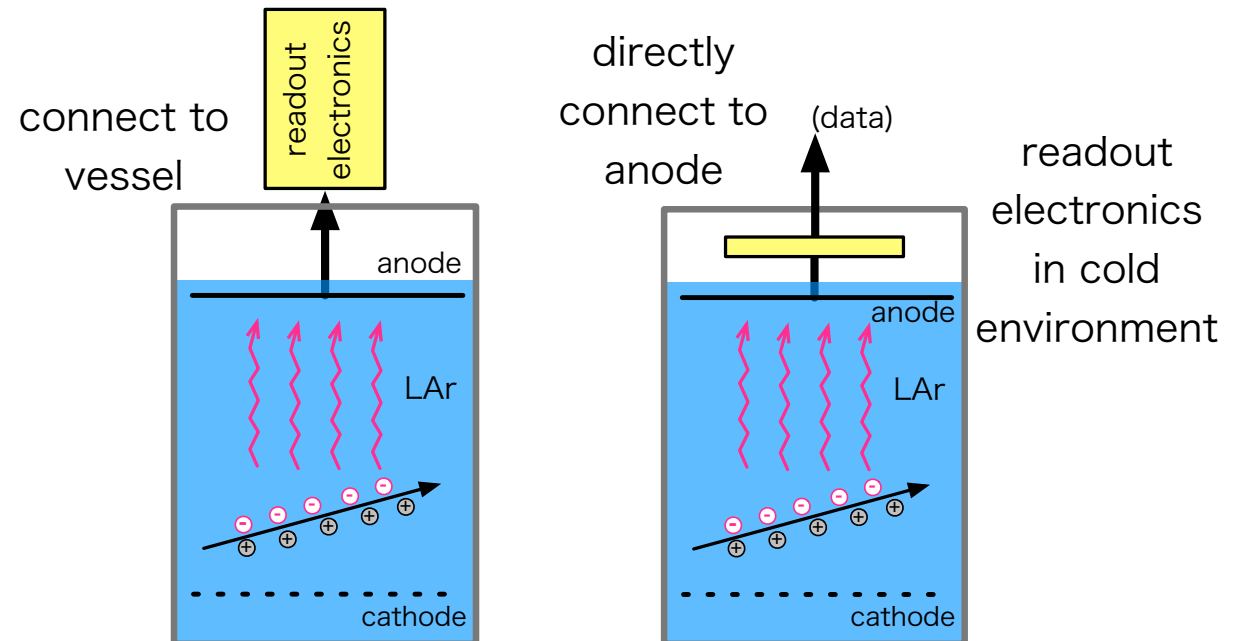
- ❶ 低コストで低ノイズなエレクトロニクスの開発
- ❷ コンパクトにしてできるだけアノード面に近づける

(測定器容量を小さくする)

## Present configuration



## Possible improvements

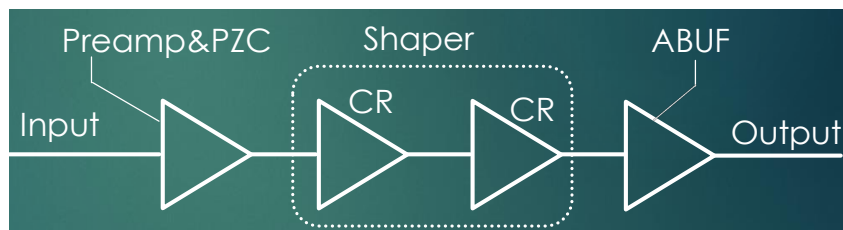


# 低コストで低ノイズなエレクトロニクスの開発 (1)

## LTARS ASICの開発 (2013~2014)

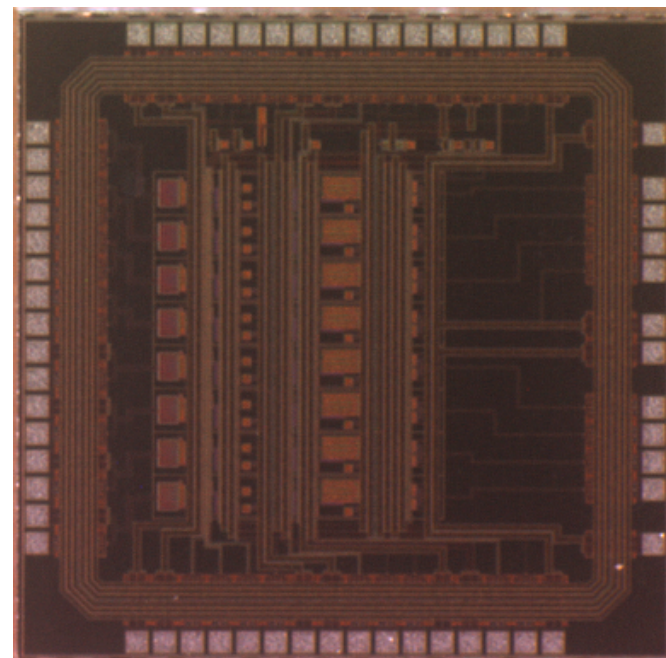
- pre-amp. & shapers in a chip
- ~100pFの測定器を想定
- 電源電圧  $\pm 2.5V$
- 低温環境下での動作を目指して開発
  - まず常温での試験を進める

### block diagram



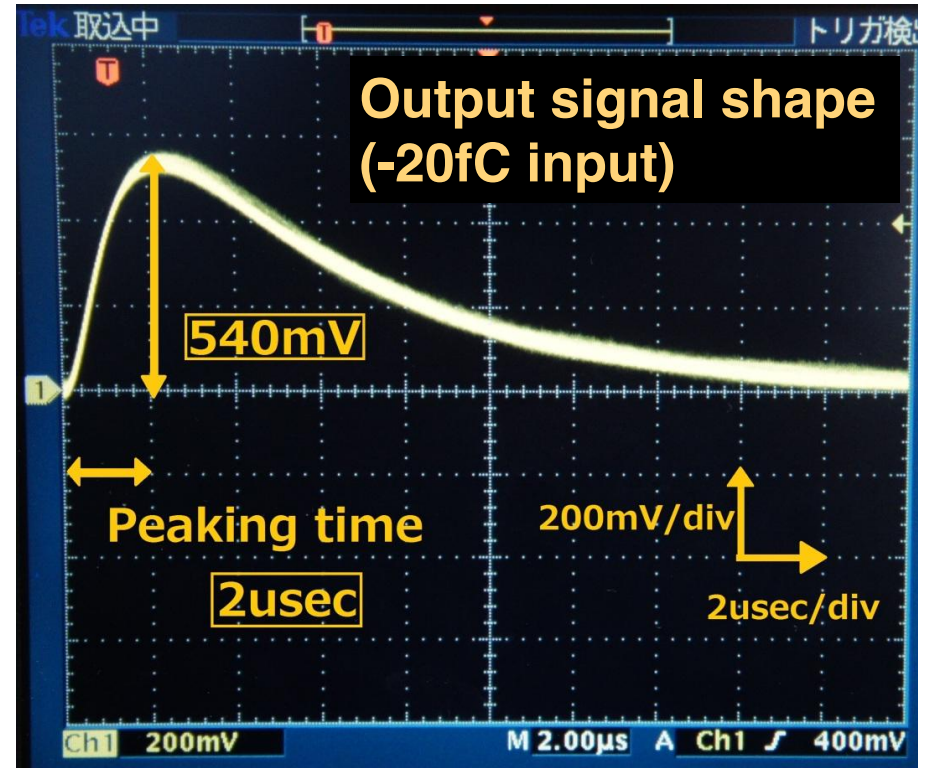
### LTARS ASIC chip

(8ch in a chip. size = 2.8mm x 2.8mm)





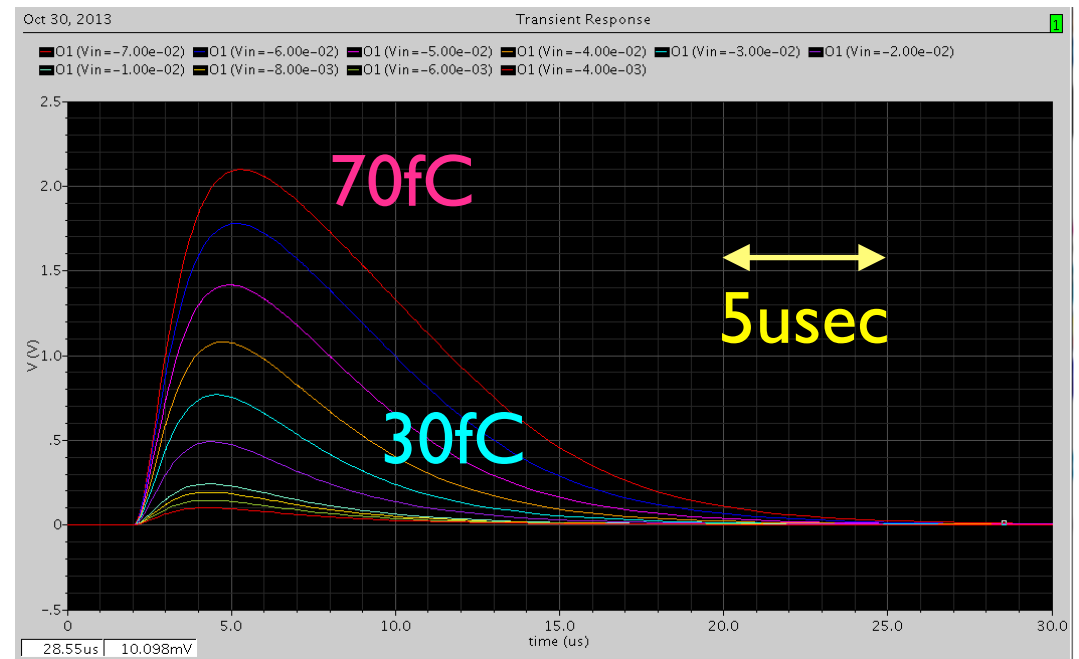
# ● LTARS ASIC基礎特性の測定(テストボード)



## LTARS ASICの特性を確認

- 出力波形
- 入力電荷と出力波高の関係
- conversion gain
- ノイズ性能(in ENC)

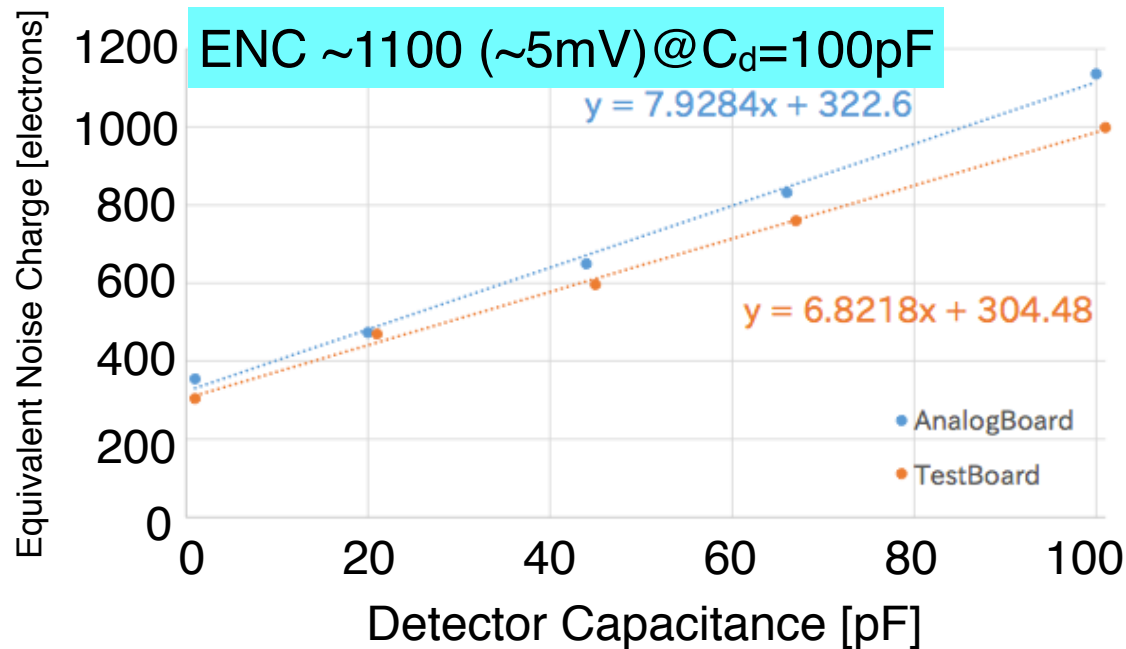
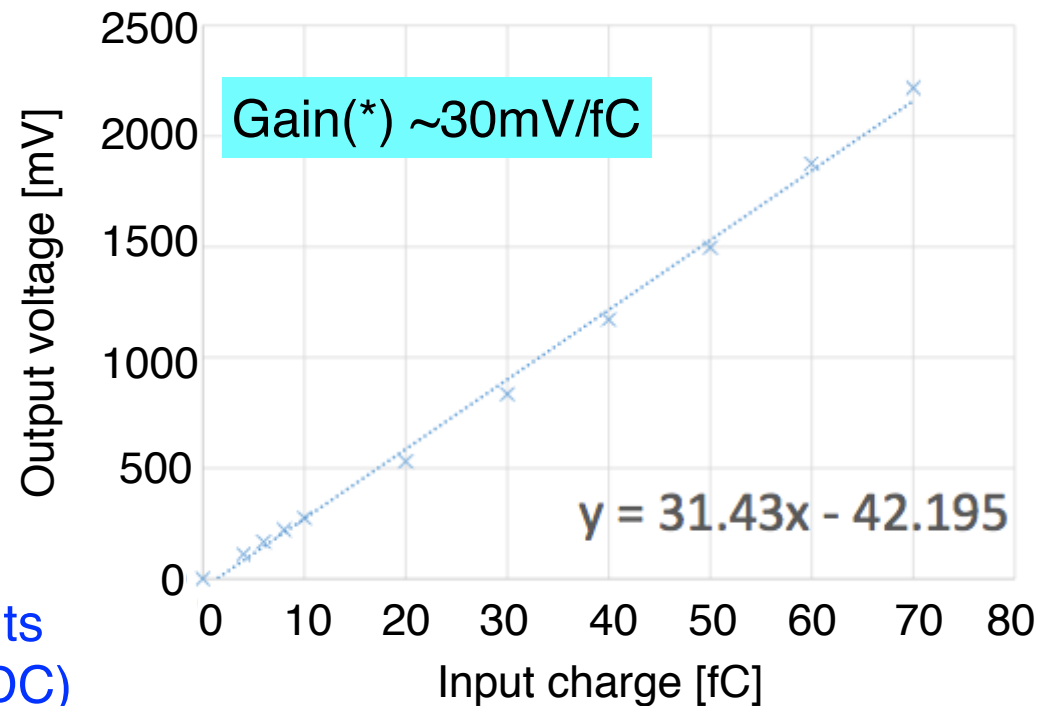
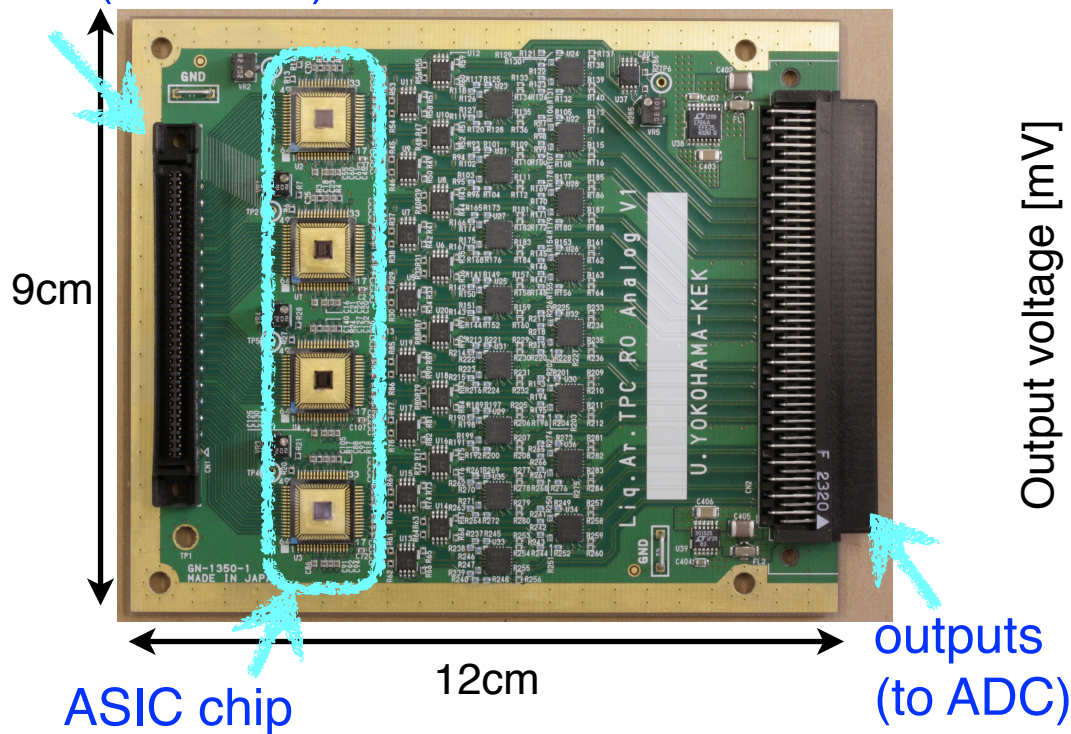
ASIC design時に予想していた  
(simulation)結果と一致





# ● 32ch アナログ信号処理ボード開発 & 基礎特性の測定

inputs (from LAr)



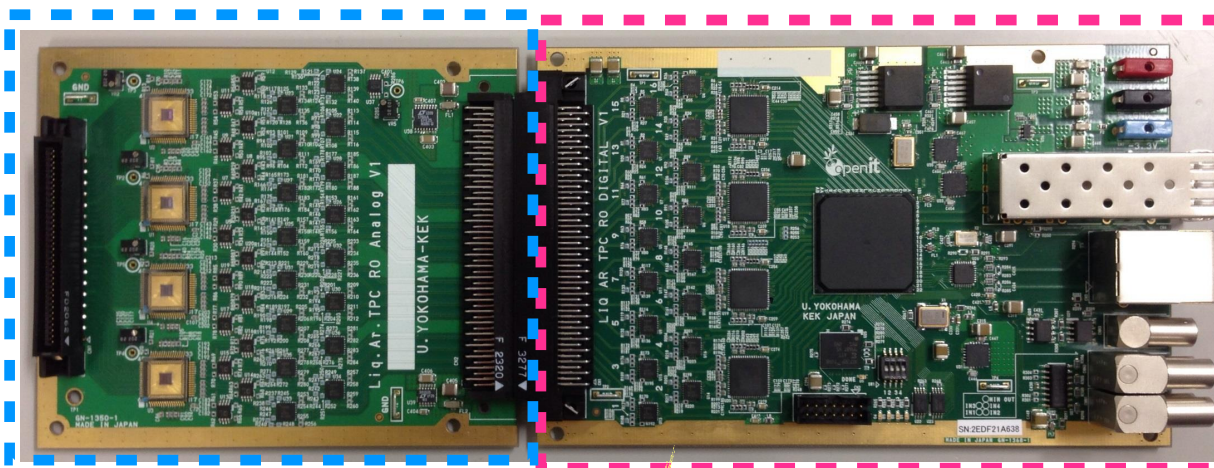
(\*) ~10% decrease of gain @  $C_d=100\text{pF}$

アナログボードでも  
ASIC design時に予想していた  
(simulation)結果と一致

all the measurement done by Y.Iwazaki  
(Yokohama National University)

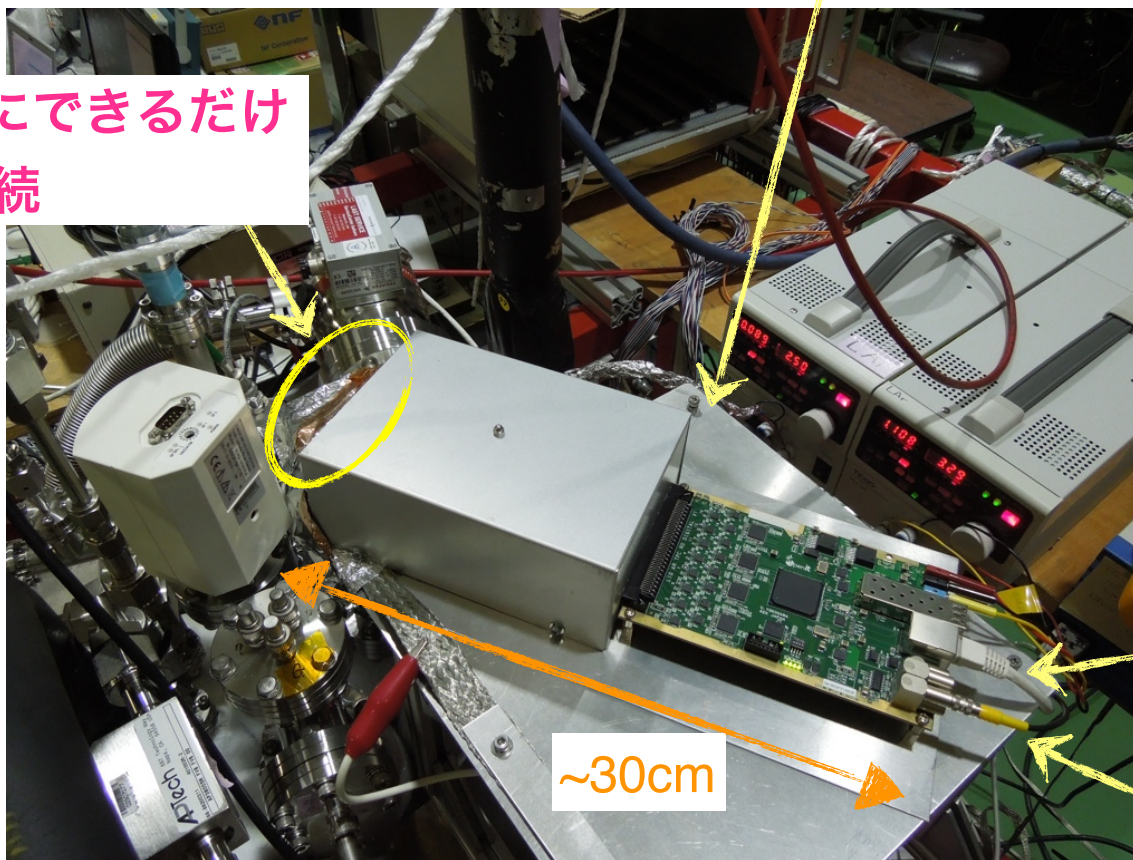
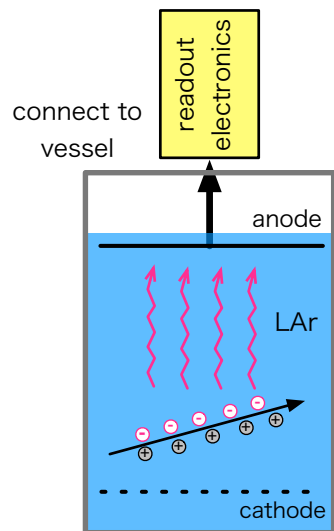
● 読み出しエレキ全体をコンパクトにして低温容器に直接接続

32ch analog board



digital board

アノード面にできるだけ  
近づけて接続



32ch differential inputs (2Vpp)  
12bits FADC (10~40MSPS)  
Airtix-7 FPGA  
Ethernet (RJ45 or SFP)  
NIM-in 4ch, NIM-out 1ch  
size: 9cm x 14.5cm

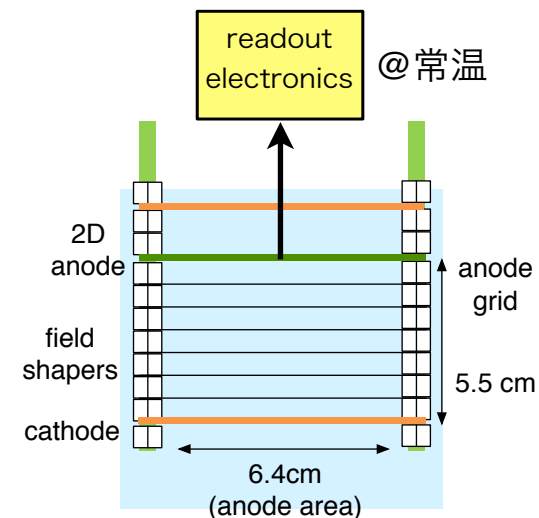
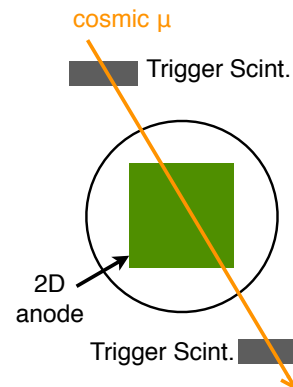
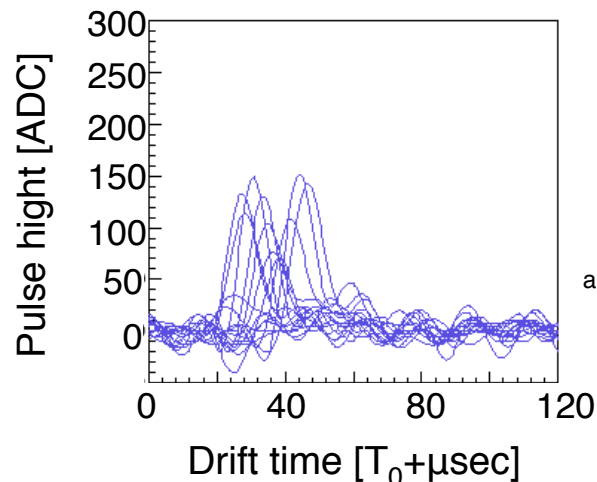
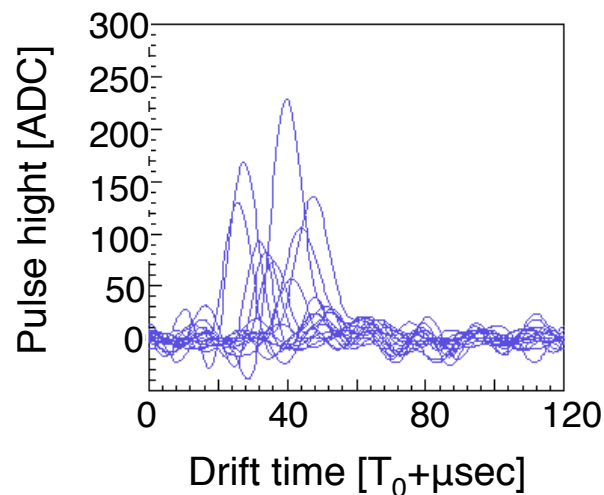


Ethernet for DAQ  
(SiTCP)

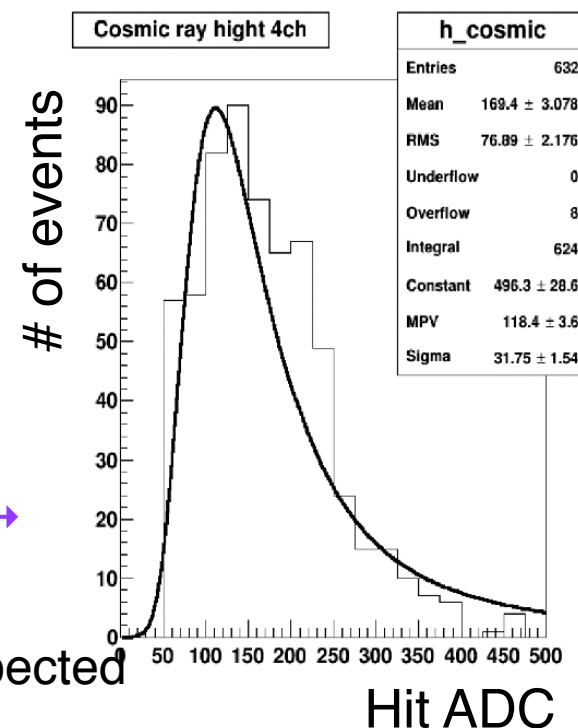
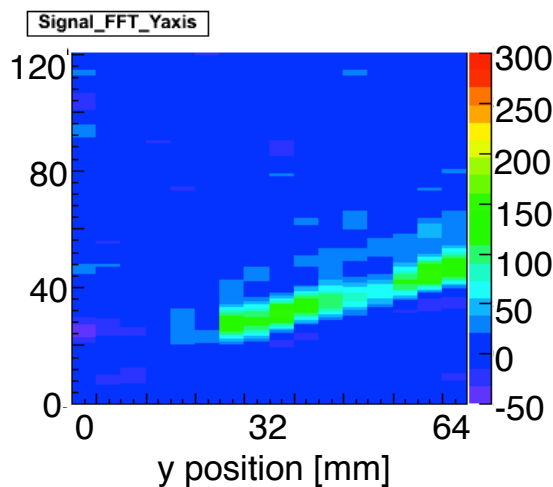
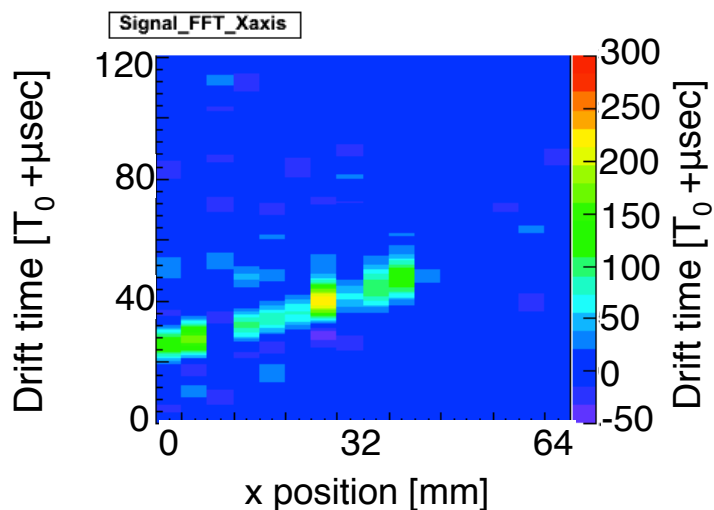
External trigger input



# 小型測定器を用いて宇宙線からの信号を読み出し試験



約600宇宙線トラックを再構築して  
宇宙線ミュオンからの信号量を評価



MIP signal ~120ADC in ch4 →  
(noise ~11ADC in RMS)

signal size, noise size are as expected

S/N 10以上で信号読み出しできている

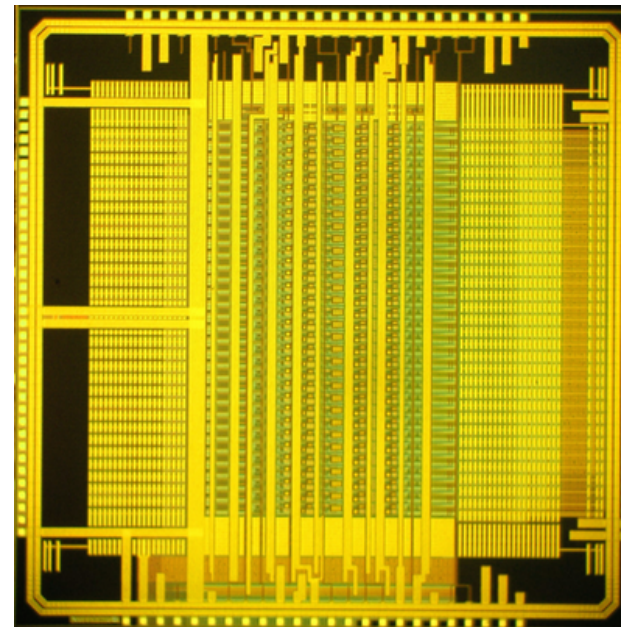
# 低コストで低ノイズなエレクトロニクスの開発 (2)

## LTARS2014 ASICの開発 (2014~)

### LTARSからの改良/変更点

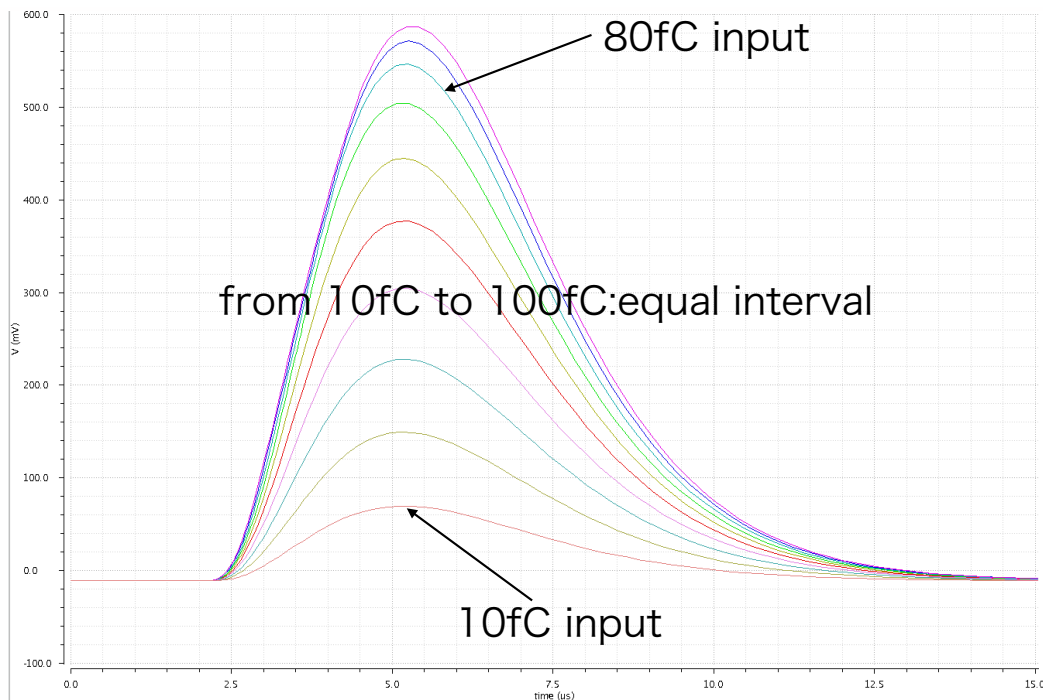
- 高密度化 (32ch in chip)
- ~300pFの測定器を想定
- 電源電圧  $\pm 0.9V$
- 省電力化 (< 50mW/32ch)
- ENC ~2000 @300pF
- conv. gain ~9mV/fC  
(2相読み出しの信号も見えるように)

LTARS2014 ASIC chip (5mm x 5mm)

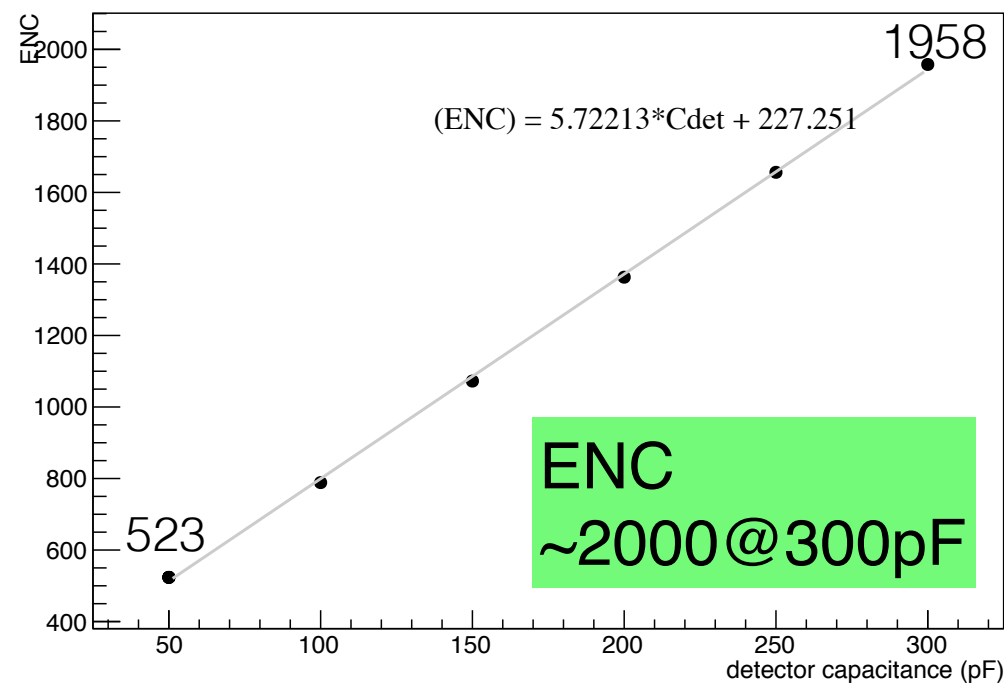
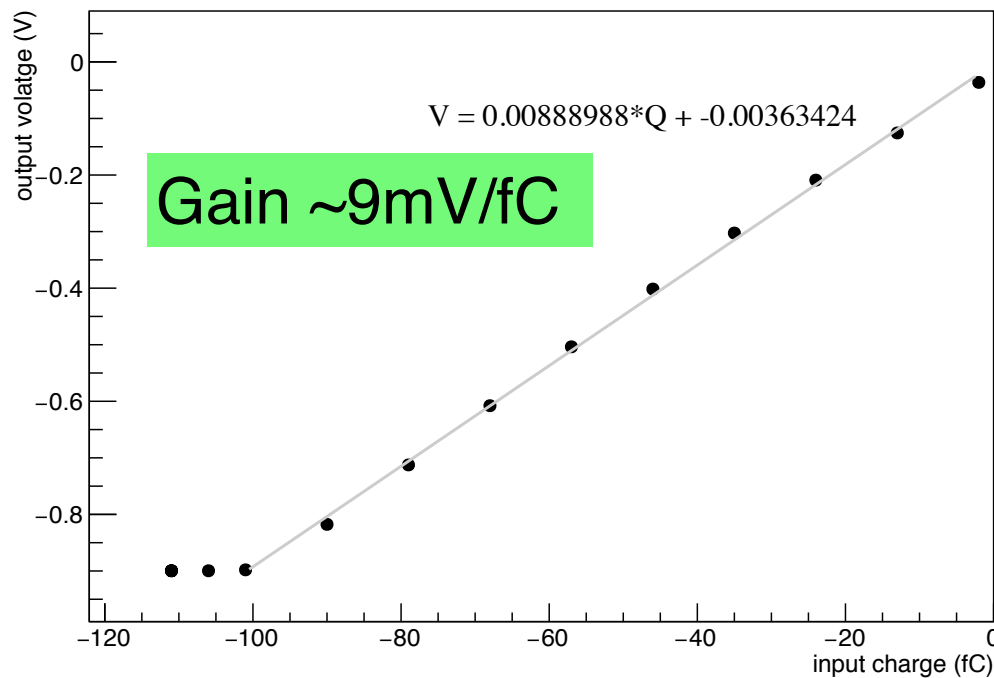


(developed with KEK e-sys group,  
one of Open-it projects [http://openit.kek.jp/  
project/LTARS2014/LTARS2014](http://openit.kek.jp/project/LTARS2014/LTARS2014))

# simulation study



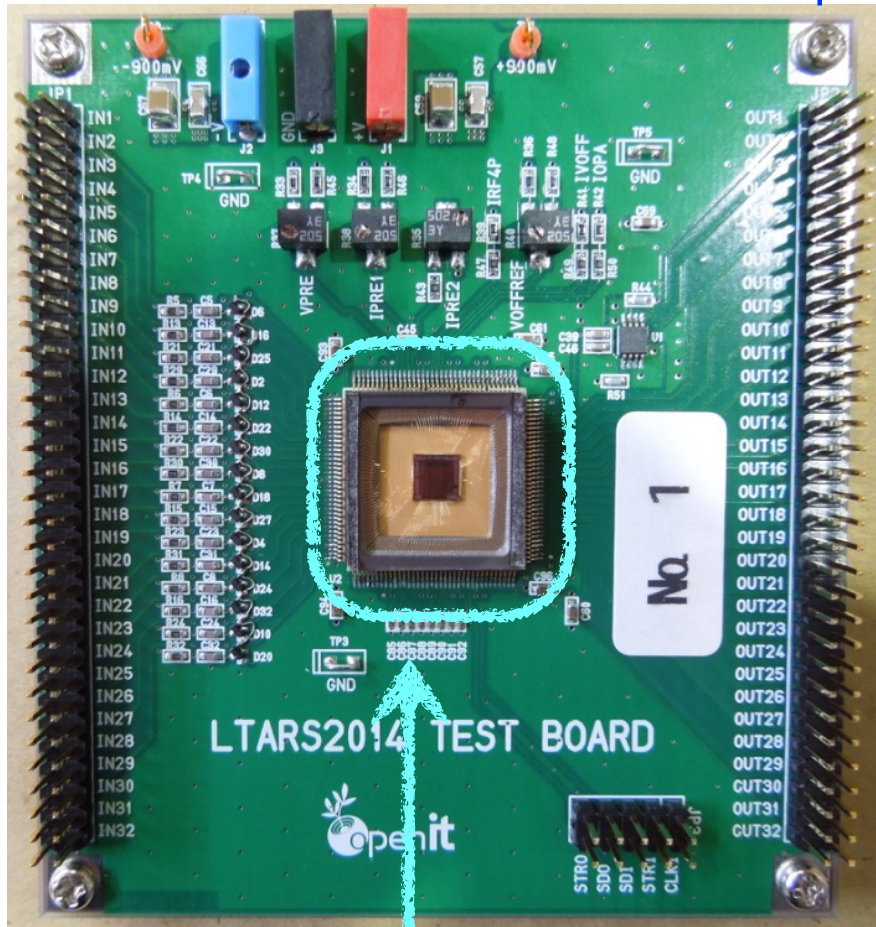
M.Tanaka (KEK)  
Laura Zambelli (KEK)



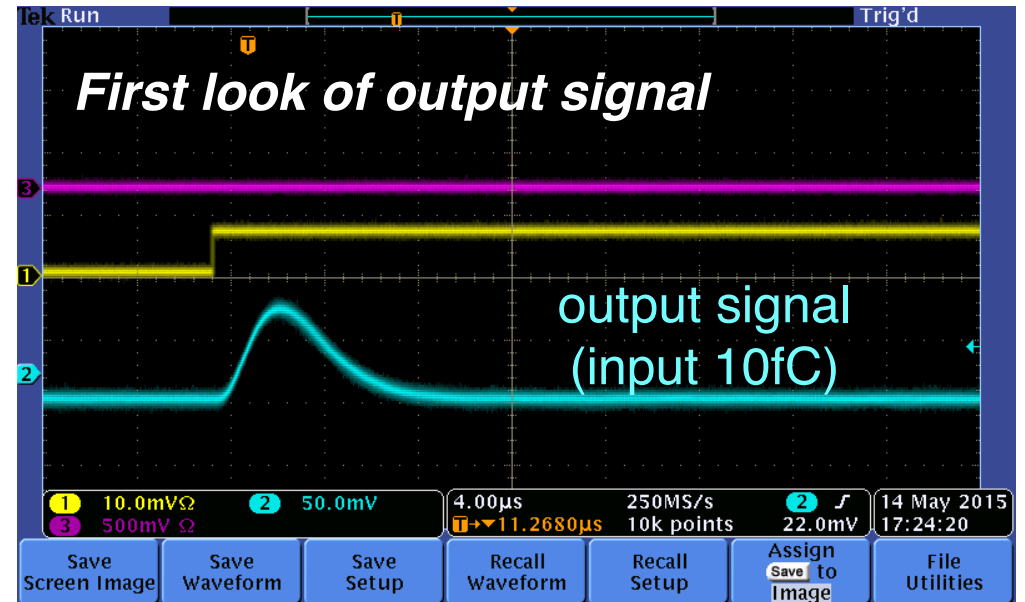
# ● LTARS2014 ASIC基礎特性の測定(テストボード)

inputs

outputs



ASIC chip



現在、ASICの特性を確認中

- 出力波形
- 入力電荷と出力波高の関係
- conversion gain
- ノイズ性能(in ENC)

# まとめ

- 液体アルゴンTPC測定器の大型化にむけた要素技術の開発を進めている
- 開発している要素技術の1つが読み出し部分：2次元アノード基板と低コスト低ノイズな読み出しエレクトロニクス
  - これまでにLTARS ASICを開発し、 $S/N > 10$ で最小電離損失信号を測定できた(エレキは常温に置いて)
  - 現在、改良版ASIC LTARS2014を開発中
- 今後は、小型LArTPC測定器を用いたLTARS2014の評価や低温での動作試験を進めていく