

# 液体アルゴン検出器 R&Dの現状とプラン

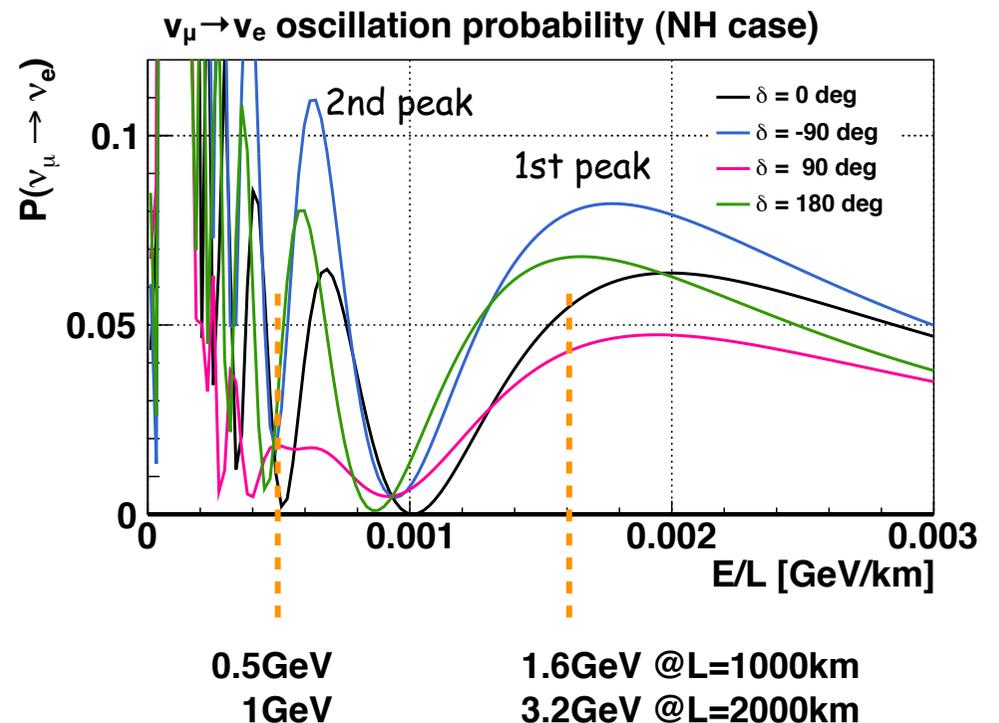
2013/12/8, ニュートリノフロンティア研究会

坂下健 (KEK IPNS)

1. Motivation
2. 検出器の大型化に向けた開発の現状とプラン
3. まとめ

# Motivation

- ニュートリノ振動実験で広いエネルギー領域を一つ実験で捉えて振動パターン(1st peak だけでなく2nd peak)を測定したい
  - 数GeVまでのエネルギーを  
良い分解能で測定、高いe/ $\gamma$ 分離能力、  
複数粒子な終状態の $\nu$ 反応識別が必要
- このような性能を持つ将来の大型  
検出器として液体アルゴンTPC  
検出器を考えている



実際の検出器性能に基づいた実験評価が必要

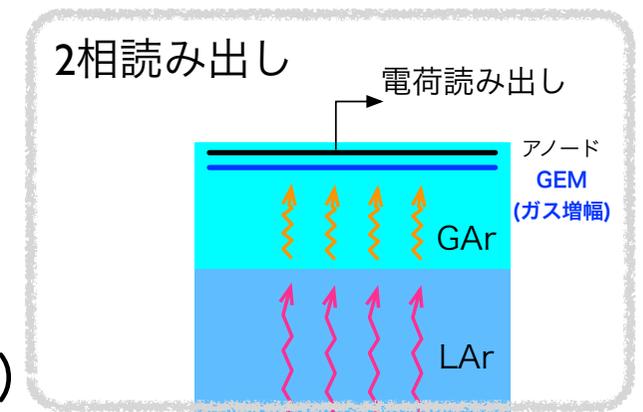
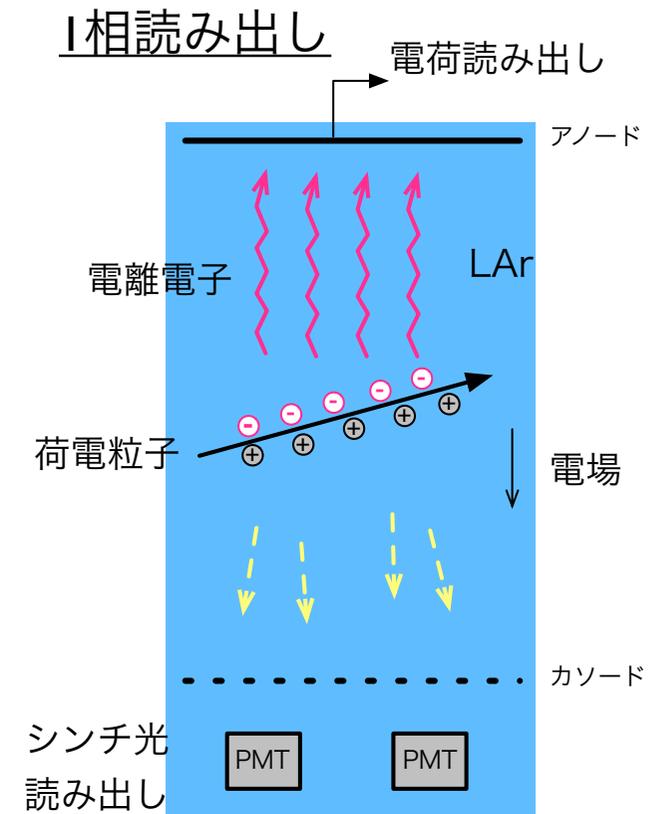
→ 大型化(>20kton)のR&D、検出器性能の理解を進めて行く

# 液体アルゴンTPC検出器

## 電離電子での粒子測定

- 電離電子の電荷を2次元で読み出してドリフト時間情報と合わせてトラックの三次元情報を捉える
- Minimum ionizing particleによる電離電子数は、e-ion recombination後(x2/3\*)で1fC/mm (~6000e-/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1/e →長いdriftには高純度なLArが必要
- ドリフト速度 ~1.6mm/μsec (\*)
- ドリフト電子のdiffusionは小さい (5mドリフト後に1-2mm以下)
- シンチレーション光または加速器timingでT<sub>0</sub>を決める

(\* 500V/cmの電場の時)



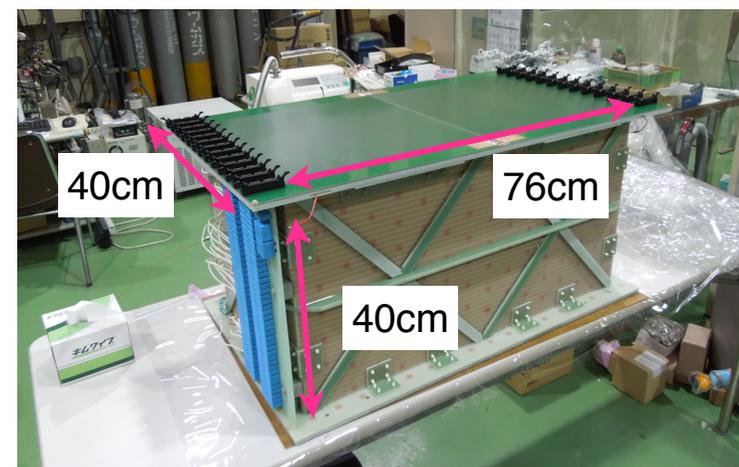
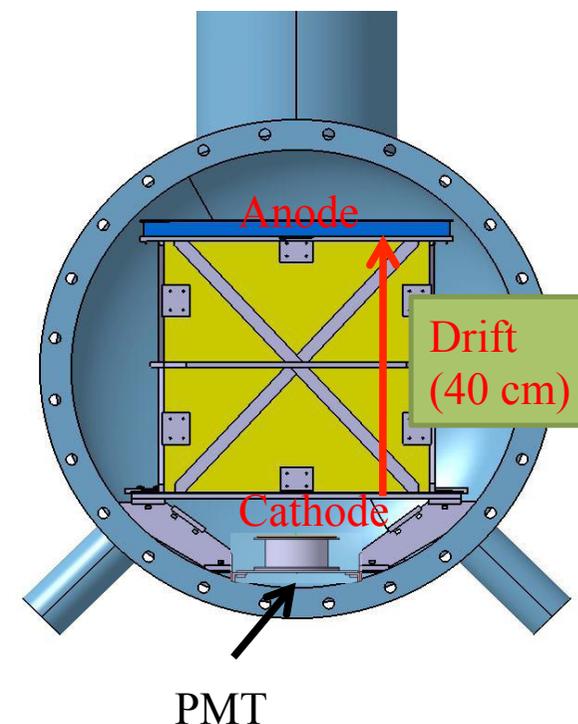
# 大型検出器への課題

- 長ドリフト ( $\geq 5\text{m}$ )での電離電子検出の実現
  - 長ドリフト: 読み出しchannel数を減らす、事象のcontainment
  - 開発項目: (1)アルゴン純度(0.1ppb以下)、(2)高電圧(250kV以上)、(3)低ノイズ高ゲイン読み出し(信号雑音比10以上)
- 検出器応答の理解
  - 宇宙線、荷電粒子を用いてエネルギー測定、飛跡測定等の理解
  - ニュートリノ反応事象の測定
- 実際の検出器応答に基づいた検出器シミュレーション
- イベント再構築ツールの開発

大型検出器を作る時の指標として検出器技術を一つずつ  
確実に把握しながら各項目の開発を進めている

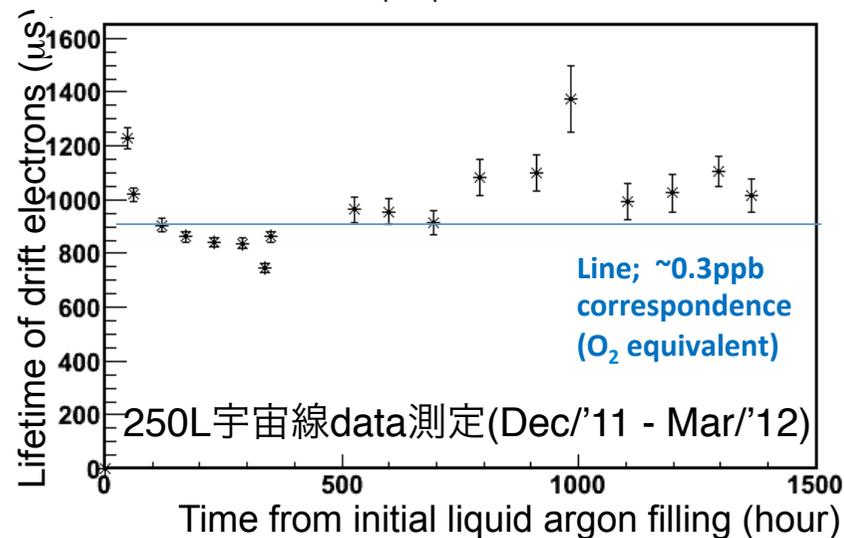
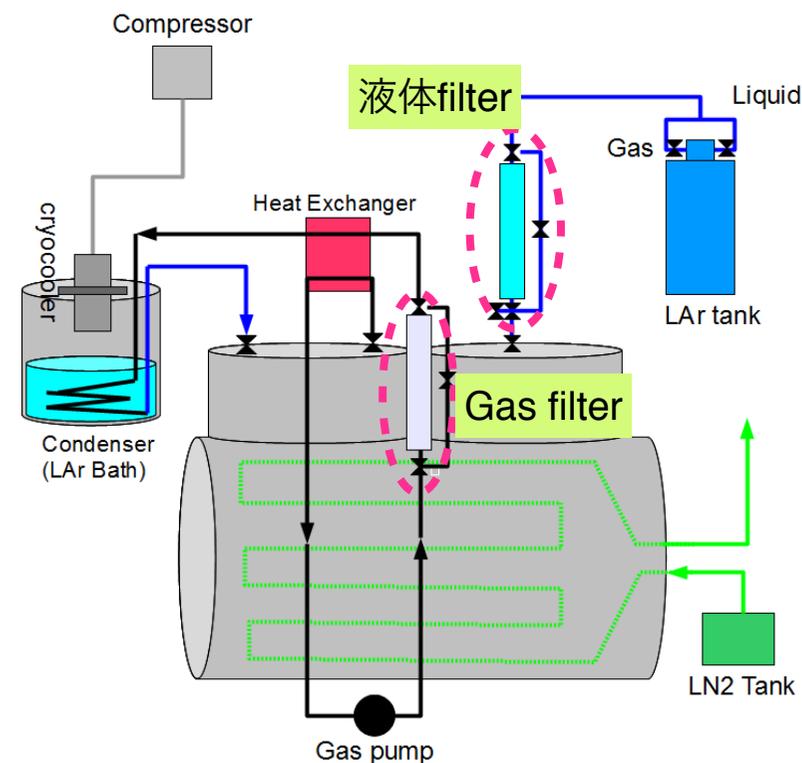
# 250L LAr TPC検出器

- 250L液体アルゴン容器に有効体積  
40cm x 40cm x 76cmのTPCを設置
- 2010年10月にJ-PARC K1.1BRにて荷電  
粒子ビームテスト(T32実験)
  - $K^+$ , proton beam (540MeV/c ~ 800MeV/c)
  - 1次元アノード読み出し(76strips, 1cm pitch)
- 低温・循環装置の改良、高電圧装置  
R&D、2次元アノード読み出しの  
試験を進めている



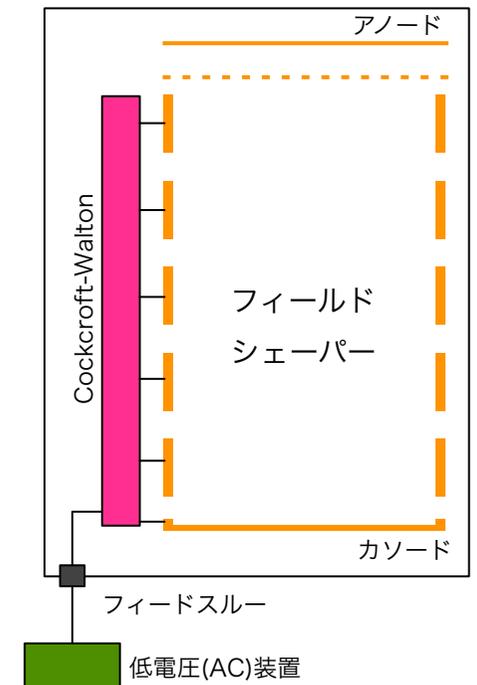
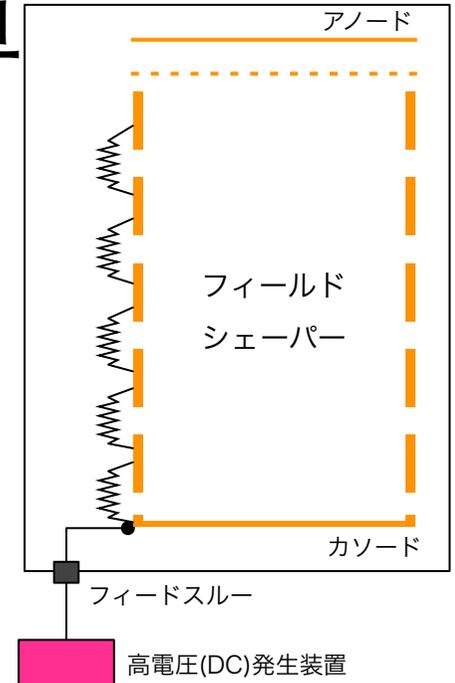
# 開発項目(1): アルゴン純化装置と低温装置

- 純化装置 ( $O_2$ ,  $H_2O$ の除去)
  - 液体(始めの注入の時): 銅+モレキュラーシーブのフィルター(custom made)
  - ガス: 市販の純化フィルター(SAES社製 Microtorr)
- 液体アルゴン純度を $\sim 0.3\text{ppb}$ で長期間維持できた実績がある
- 今後は、純化装置の改良、液体循環の確立などを進めていき、純度 $0.1\text{ppb}$ 以下の長期間維持を目指す



# 開発項目(2): 高電圧装置

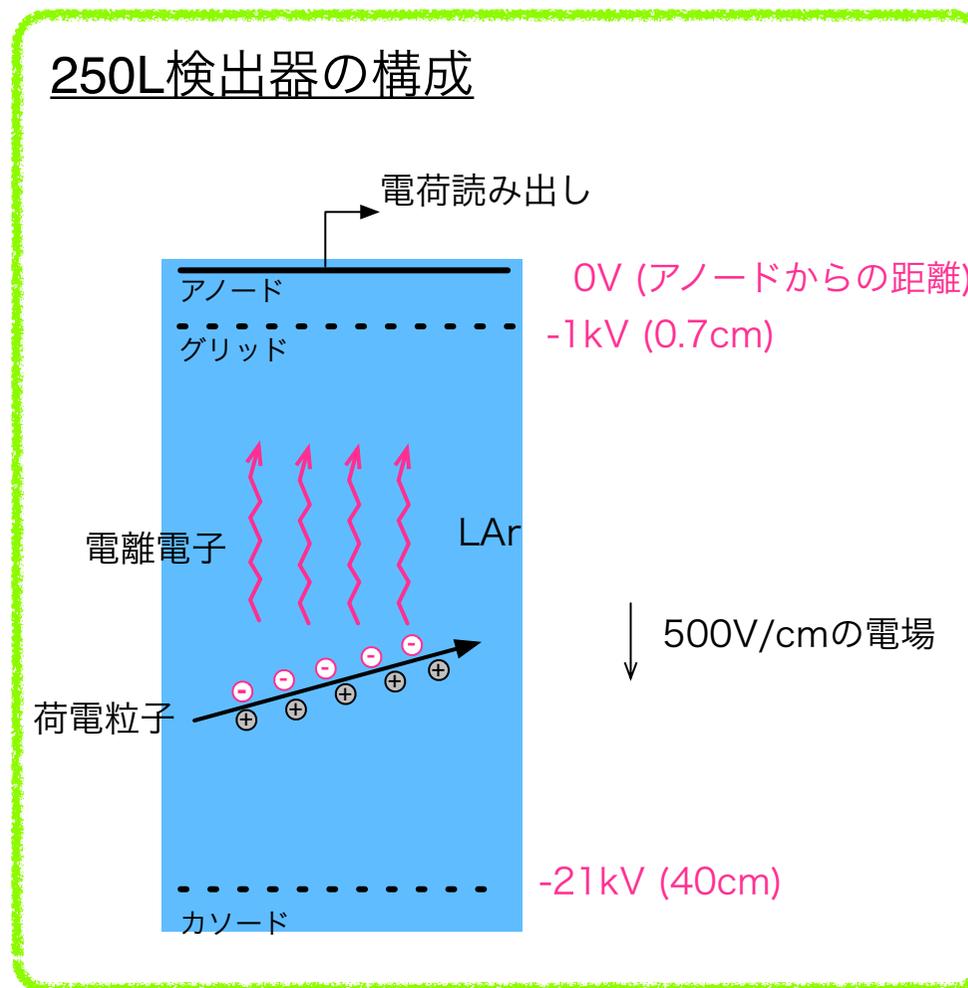
- 500V/cm以上の電場を生成したい → 250kV@5m drift L.
  - 初期recomb.を抑える、ドリフト速度を1mm/μsec以上に
- 外部電源またはCockcroft-Walton(CW)を用いた液体アルゴン内での高電圧生成  
(次のトーク: 岩手大 渡邊さんの話し)
- LArでの絶縁耐電圧、対地絶縁などの理解も進めていく



|    | 外部から供給                                  | 内部(CW)で生成   |
|----|---|---|
| 利点 | 運転電圧がモニタできる<br>内部の構造がシンプル               | フィードスルー部分での放電の心配がない(外部からは数百V AC)                        |
| 欠点 | 数百kV以上の電圧を容器外から入れないといけない(フィードスルー部分での放電) | 運転電圧がモニタできない<br>段数が増えると電圧が非線形になる<br>LAr内で部品数が多いため保守性が低い |

# 開発項目(3): 電離電子の読み出し

- 1相+2次元アノードの構成  
(比較的シンプルな構成)の  
R&Dを進めている
- 電離電子読み出しの評価には、  
LAr純度、電場分布、ノイズ  
など様々な要素が関係する  
ため各要素の確実な理解が必要  
(次のトーク: KEK佐藤さんの話し)
- 開発要素
  - 読み出し部分の構成 (2次元アノード基板、グリッドの張り方など)
  - 読み出しエレクトロニクス  
(次のトーク: 横国大 岩崎さんの話し)



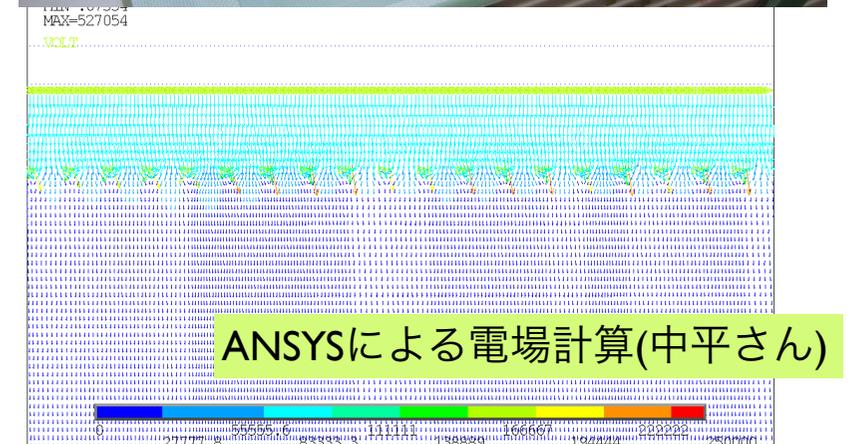
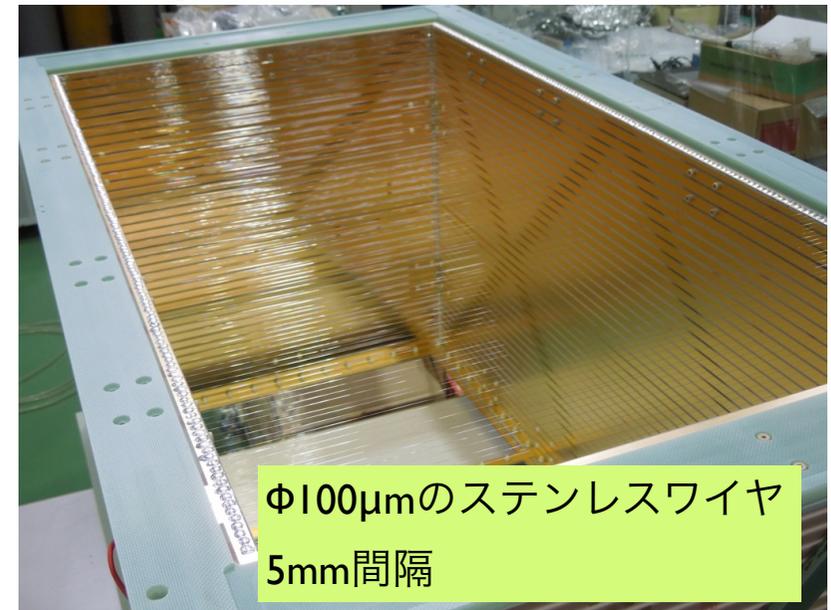
# 検出器技術の知識蓄積

- アノードグリッドの設計・製作

- 電場の理解が重要。アノードとの間の電場が読み出し信号の形を作る
- またワイヤーの張り方も重要。張力が足りないと、アノードとグリッドの間で放電が起きる可能性がある
  - 必要な張力を計算：降伏強度、重力サグ、電磁気力、熱膨張率を考慮

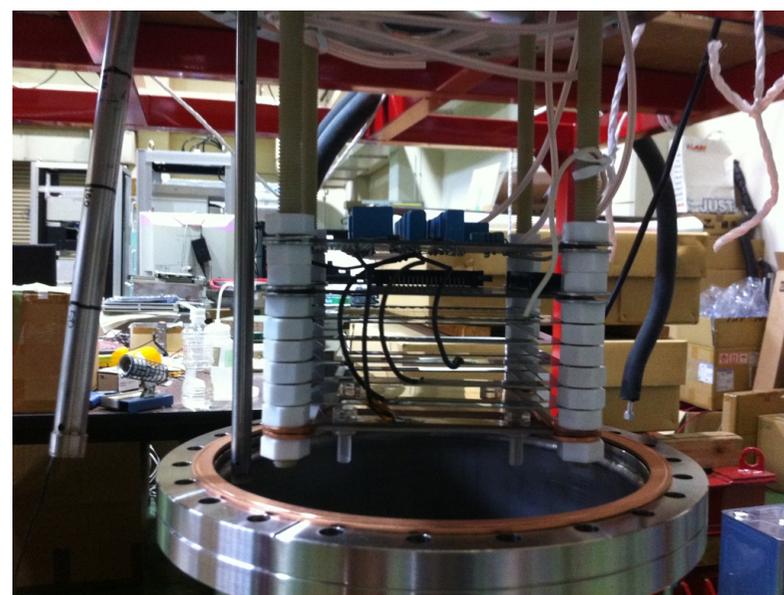
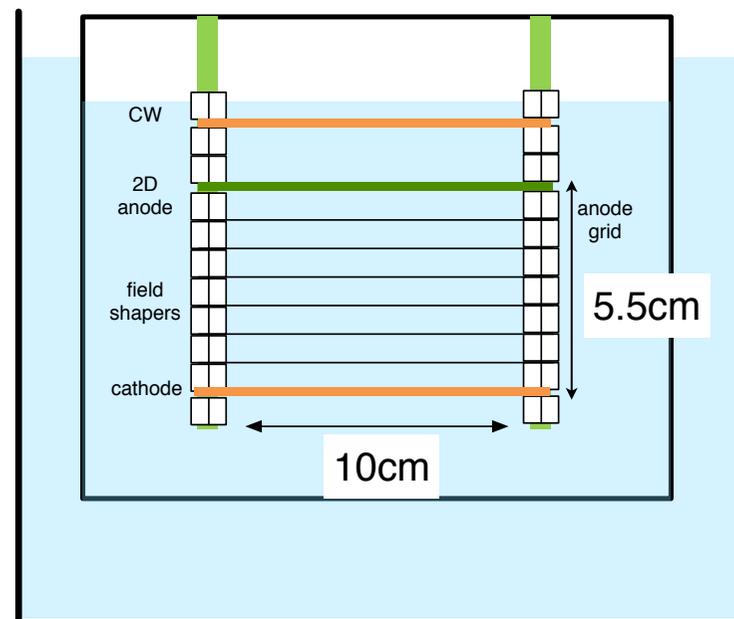
- 検出器容器の中(特にLAr環境)で使っても大丈夫な物の選定が必要

- 例: R&Dの中で真空環境を作るが、真空中の塩ビ被覆ケーブルはNG...



# 小型LAr TPC検出器を使った開発

- 各項目の開発をスムーズに進めるため小型のLAr TPC検出器を用いる
- 10L検出器
  - 6.4cm x 6.4cm x 5.5cm TPC (ドリフト長5.5cm)
- 例えばアノード基板の宇宙線試験は、検出器準備からデータ収集まで約2.5週間くらい



# まとめ(今後のR&Dプラン)

## 大型検出器の実現にむけた課題

- 長ドリフトでの電離電子読み出しのために3つの項目(高純度、高電圧、読み出し)の開発
- 検出器応答の理解
- イベント再構築ツールや検出器シミュレーションの開発

## この課題解決にむけて

- 250L LAr検出器、小型LAr検出器を使った開発(+技術知識の蓄積)
- (開発要素の実証機として)有効体積~1トンの検出器を製作を検討している
- 荷電粒子についてはWA105@CERN(大型検出器のプロトタイプ: 6m x 6m x 6mの検出器。 approved project)でのR&Dも検討している