

DCBA実験の現状

首都大学東京 M1 堀 悠平

DCBA実験

DCBA : Drift Chamber Beta-ray Analyzer

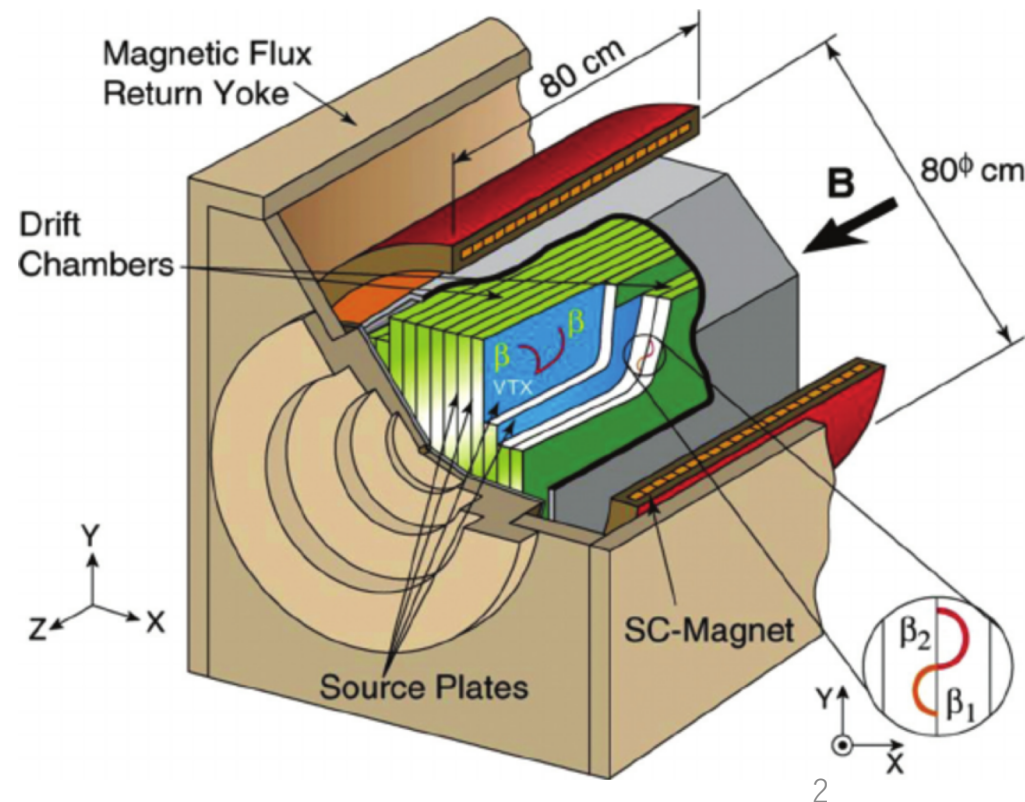
ドリフトチェンバーを用いた飛跡再構成型二重ベータ崩壊実験

➡ 2本の β 線の飛跡から運動量を算出

線源 : ^{150}Nd

^{100}Mo

(Q 値 : 3.37MeV , 3.00MeV)



飛跡再構成型の特徴

利点：

- γ 線などの中性バックグラウンドに対して不感
- 他の手法と比較して多くの情報が得られる
 - 2つの β 線それぞれの4元運動量, 電荷
 - 崩壊点の位置

飛跡再構成型の特徴

欠点：

- より良い精度を得るためには線源の量を多くする必要がある



相反する要求

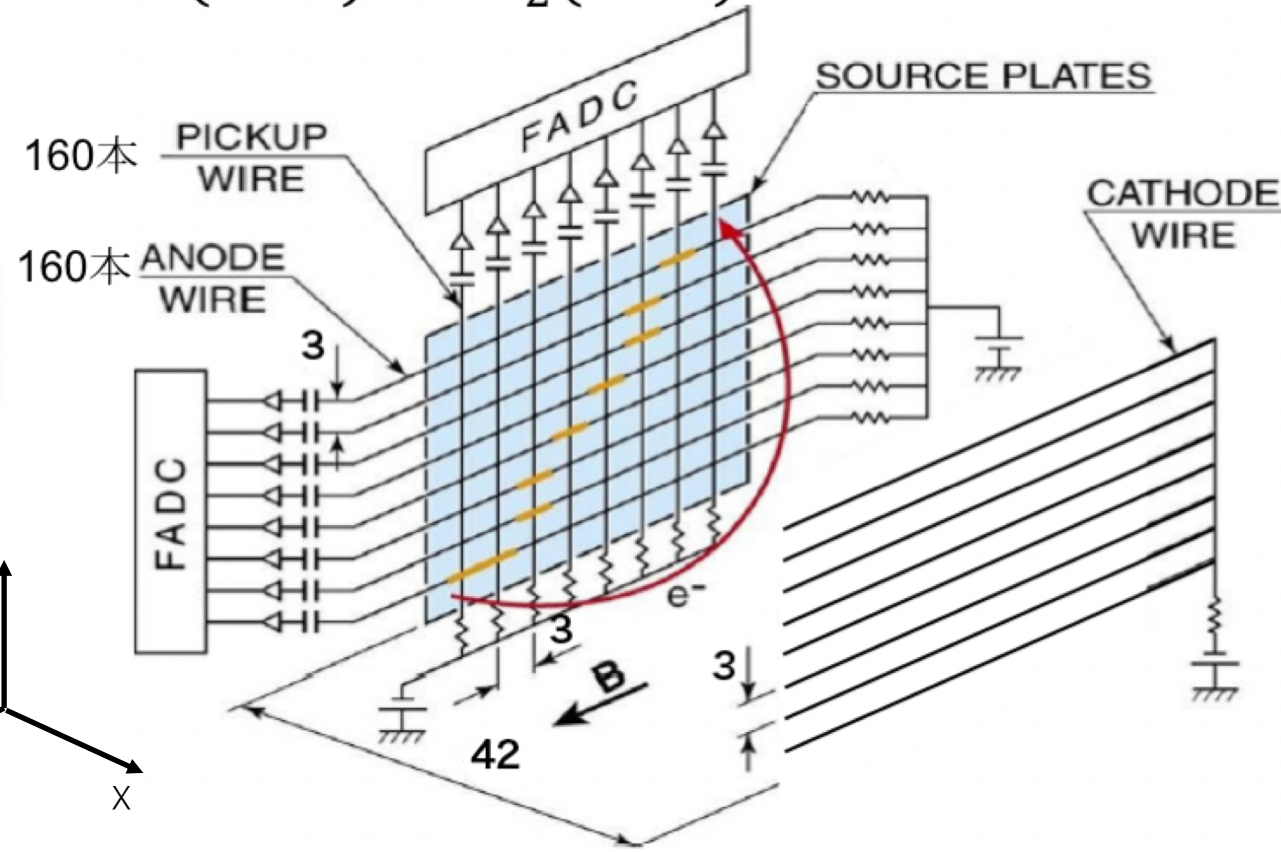
- より良いエネルギー分解能のためには検出器内の物質量を少なくする必要がある



他の手法に比べて崩壊核を増やすことが困難

原理

Gas: He(85%) + CO₂(15%)



Z方向に一様磁場 B

→ β 線が螺旋運動し
ガスが電離

ANODEに+、PICKUP,
CATHODEに-の高電圧

→ 一様電場により電離電
子が-X方向にドリフト
し、ANODE付近で電子
雪崩が起きる

原理

飛跡再構成：

X ：ドリフト時間

Y ：アノードワイヤーの検出位置

Z ：ピックアップワイヤーの検出位置

円軌道成分

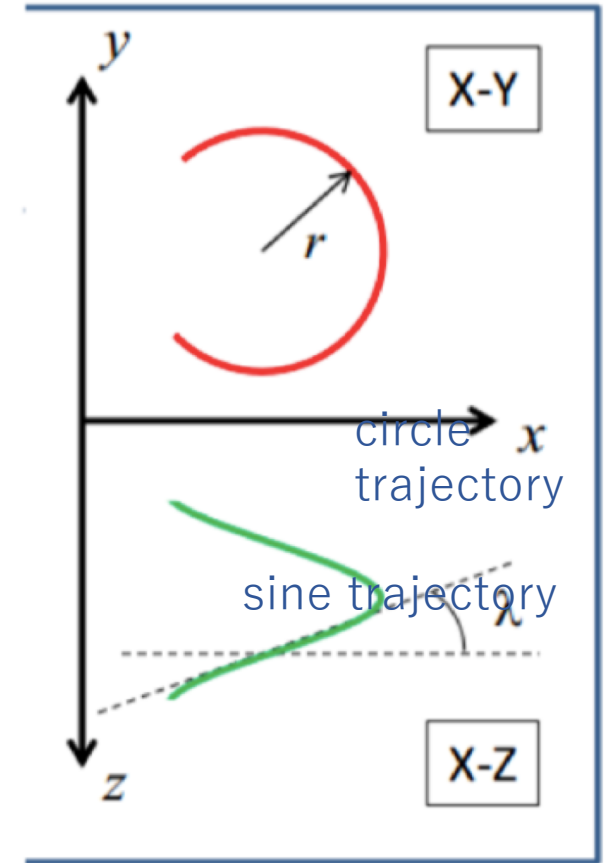
$$p_t = 0.3rB$$

Z 成分

$$p_z = p_t \tan \lambda$$

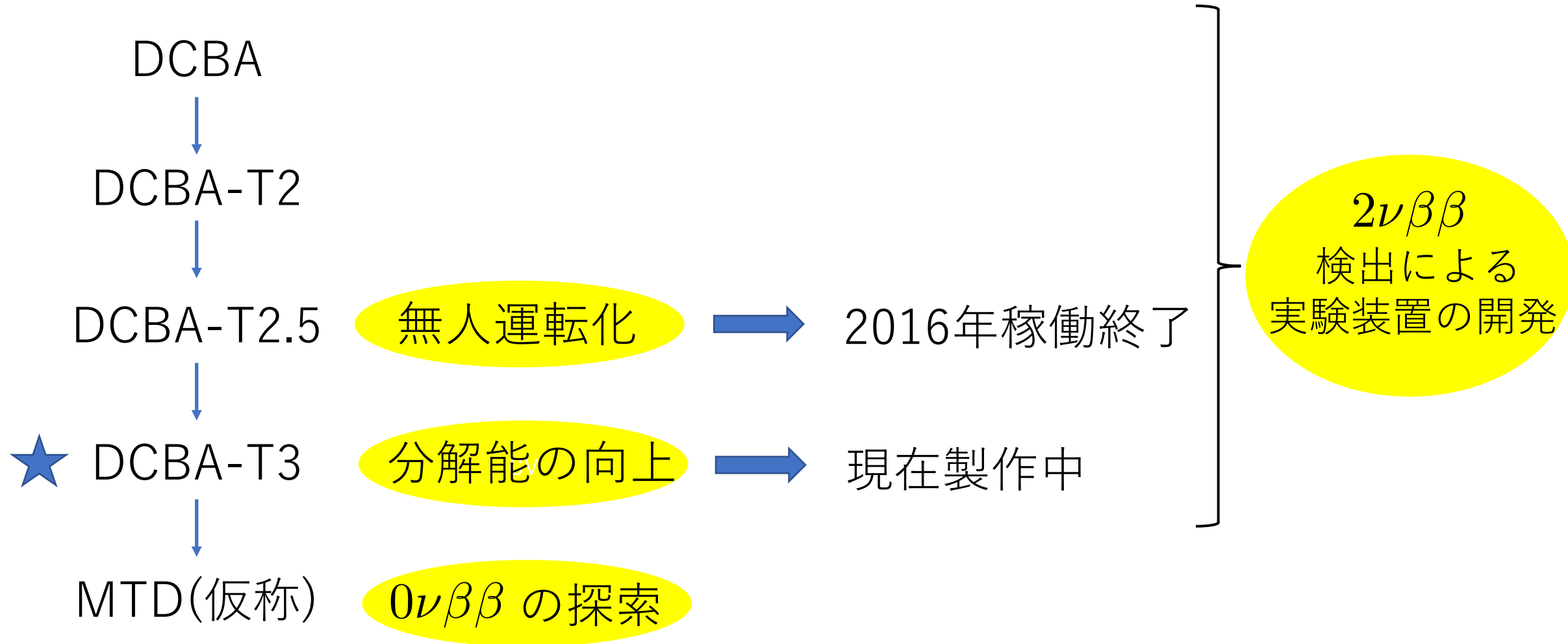
運動エネルギー

$$T = \sqrt{p_t^2 + p_z^2 + m_e^2} - m_e$$



運動量 $p[\text{MeV}/c]$
磁束密度 $B[\text{kG}]$
曲率半径 $r[\text{cm}]$
ピッチ角 λ
運動エネルギー $T[\text{MeV}]$

測定器



DCBA-T2.5

線源: ^{100}Mo 0.03mol

磁場: 0.8kG

チェンバーの数: 2

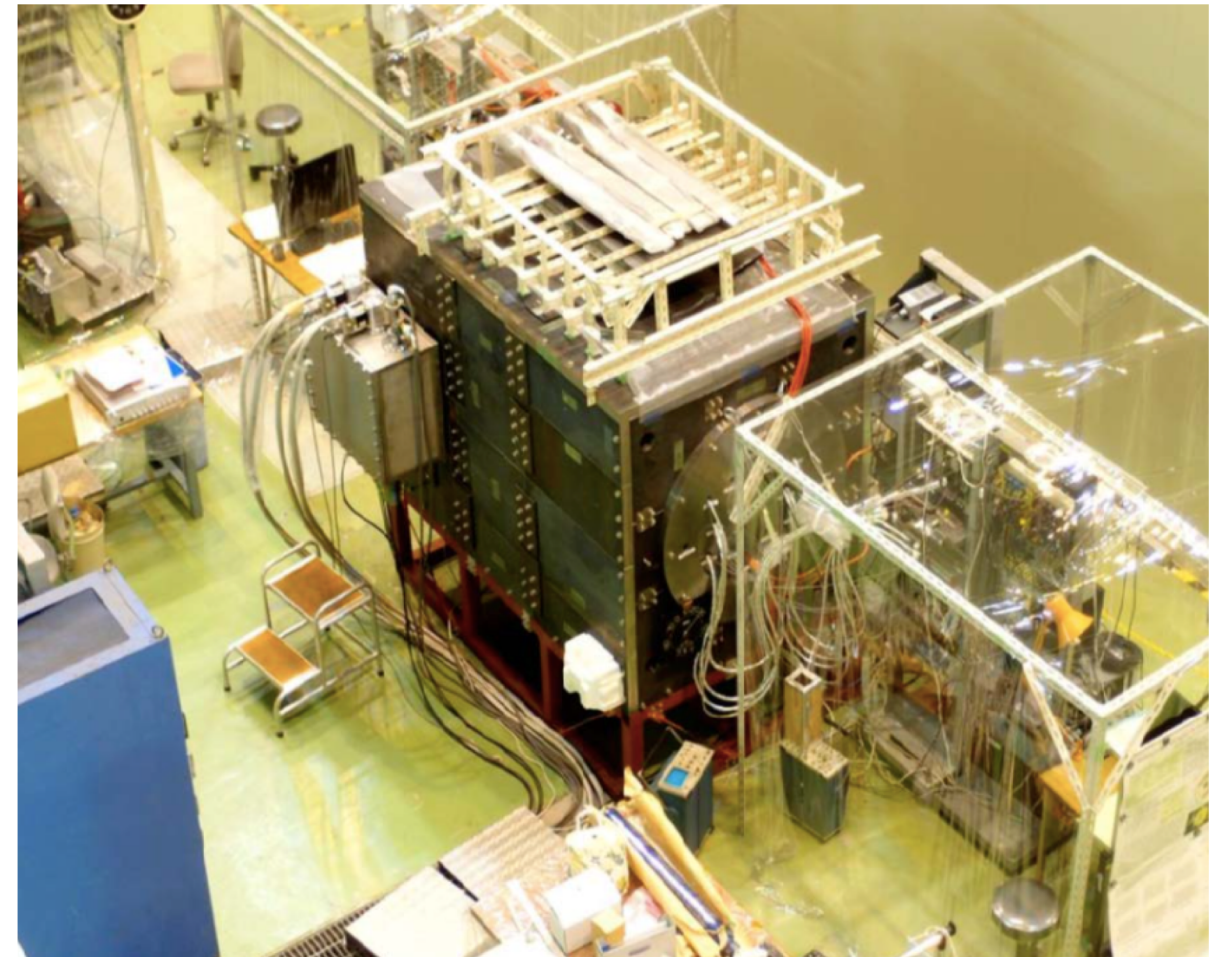
ワイヤー間隔: 6mm

T3用超伝導ソレノイドコイル使用



24時間無人運転が可能

DCBA-T2.5の外観



DCBA-T3

MTDに向けたプロトタイプ
(線源: ^{150}Nd 0.18mol)

T2.5からの変更点

•ワイヤー間隔の減少 6mm $\longrightarrow$ 3mm

→ エネルギー分解能の向上

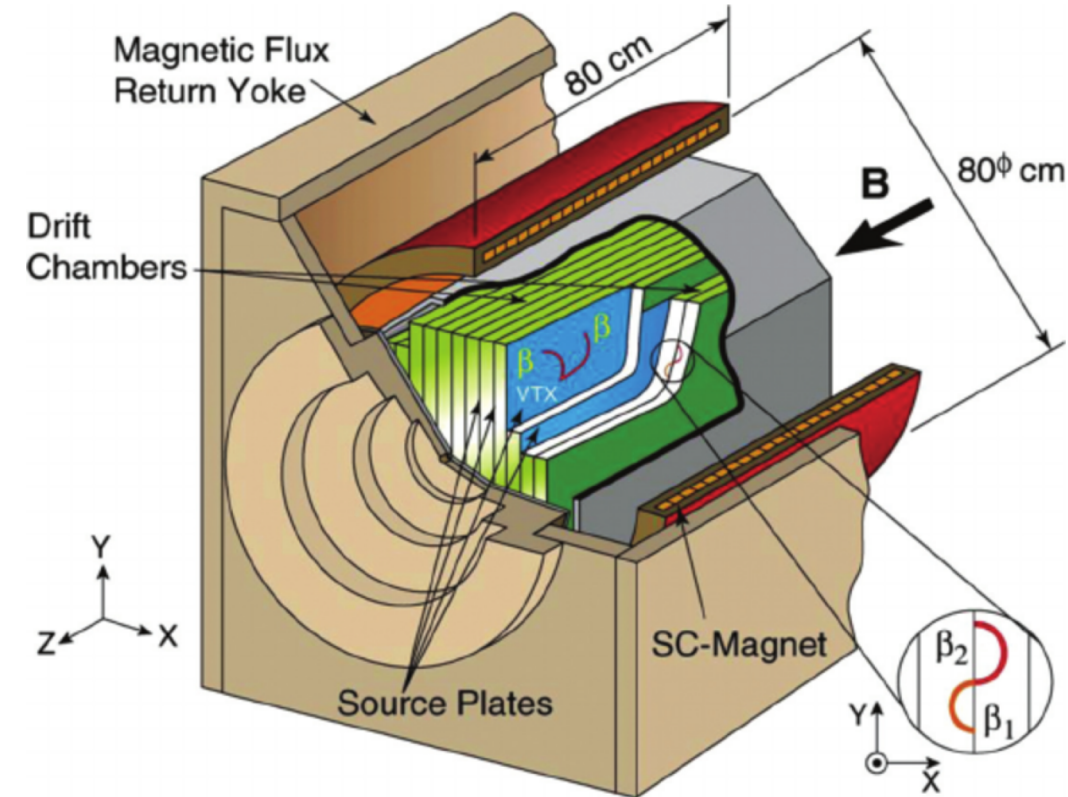
•チェンバー数の増大 2 $\longrightarrow$ 12

→ より多くの事象を同時に検出

•磁場の増強 0.8kG $\longrightarrow$ 2kG

→ 螺旋運動半径の縮小

DCBA-T3の外観



4(X) $\times$ 48(Y) $\times$ 48(Z) cm³/chamber: 8 chamber
4(X) $\times$ 28(Y) $\times$ 48(Z) cm³/chamber: 4 chamber

首都大での研究

- DCBA-T3で用いるチェンバーの開発、動作確認を行っている
 1. 円筒型比例計数管によるガス増幅率測定
 2. 宇宙線飛跡測定

チェンバー1枚の写真



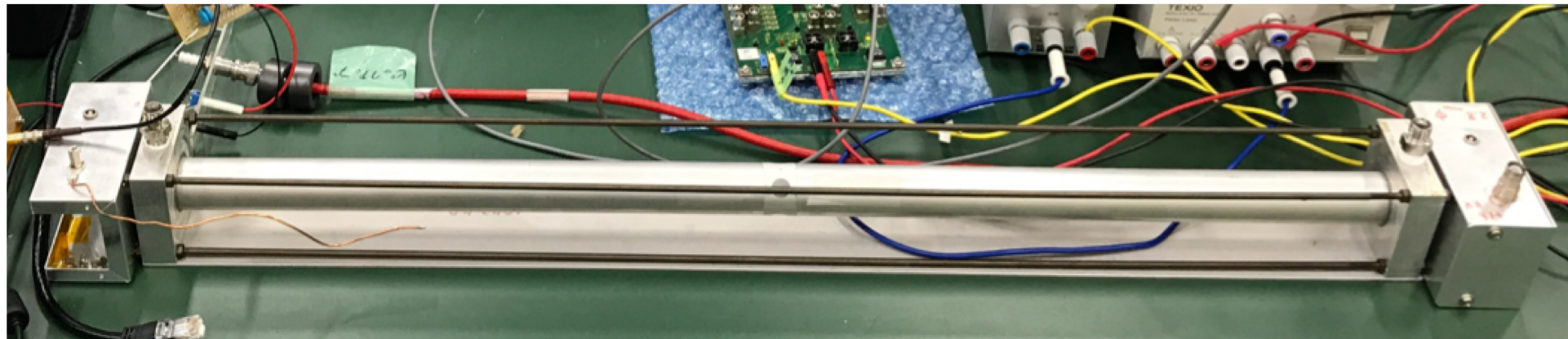
ガス増幅率の測定

円筒型比例計数管(チューブチェンバー)を用いた
読み出し機器のテストおよびガス増幅率の測定



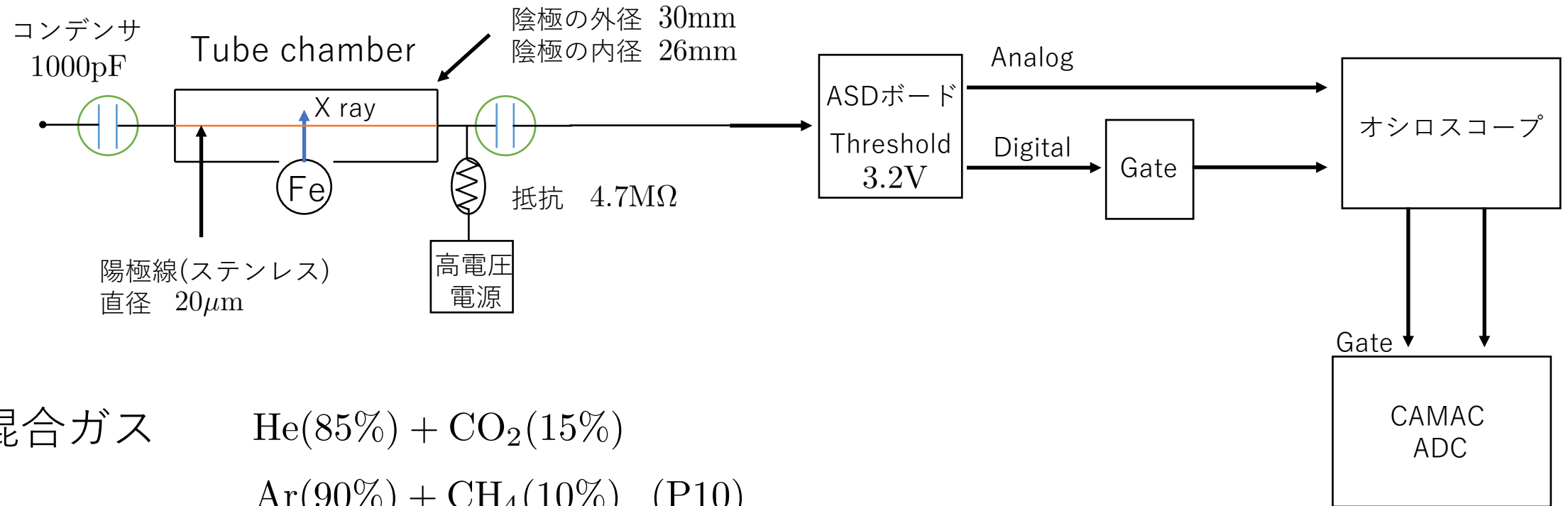
T3チェンバーで期待される信号の大きさの見積もり

線源: ^{55}Fe (5.9keV)



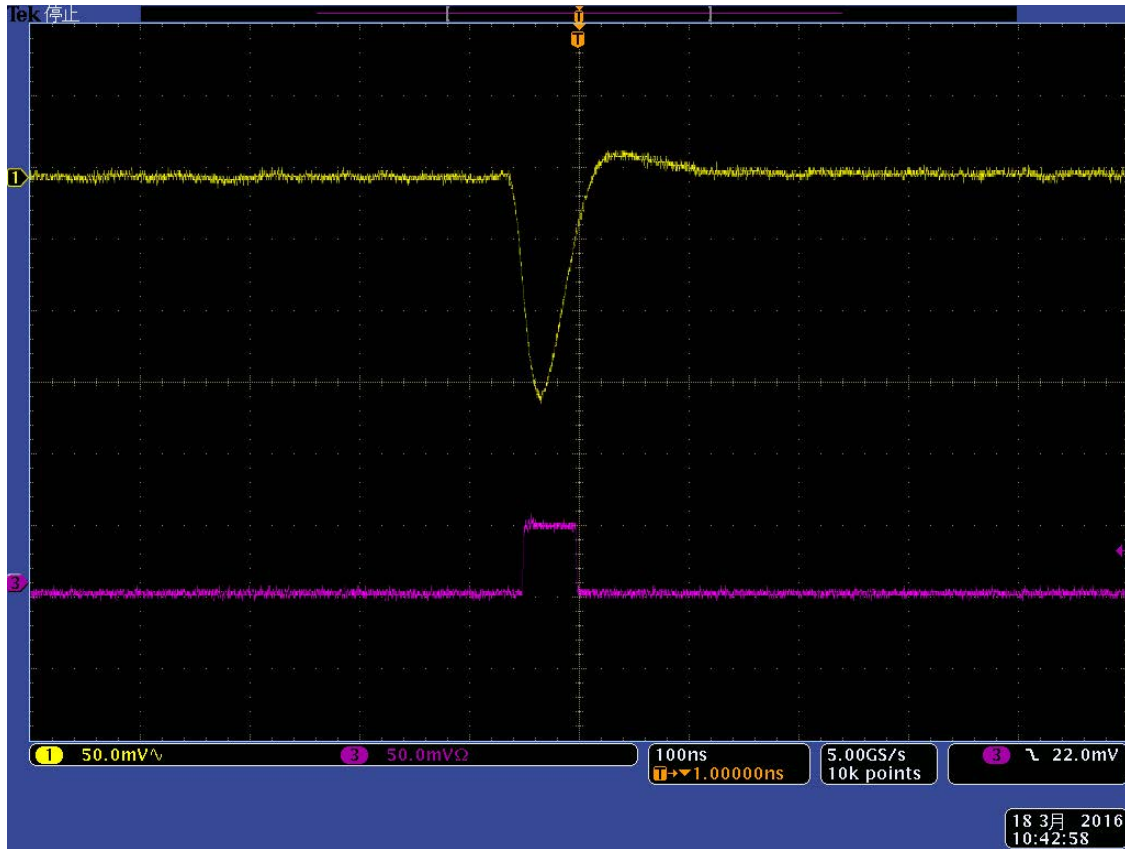
ガス増幅率の測定

チューブチェンバーのセットアップ



ガス増幅率の測定

^{55}Fe 波形例



(※出典 Yoshioka Teruaki M論)

ガス増幅率

$$M = \frac{(\text{初期電荷量 [C]})}{(\text{増幅後の電荷量 [C]})}$$

He/CO2 $M = 1.1 \times 10^4$

P10 $M = 4.5 \times 10^4$

期待される宇宙線ミュオンの信号量

He/CO2 ~ 2.5 (ADC count)

→ 小さい！

P10 ~ 46 (ADC count)

宇宙線測定

T3本格稼働前のチェンバー動作確認

- アノードワイヤーによる宇宙線信号検出
- 磁場なし
- ワイヤー160本のうち64本を使用
- ピックアップ 0V (本来は-300V の予定)
- 2種類のガス He/CO₂ P10

宇宙線測定

首都大で用いるT3チェンバー

チェンバー単体のテスト用

新たにガスコンテナを作成

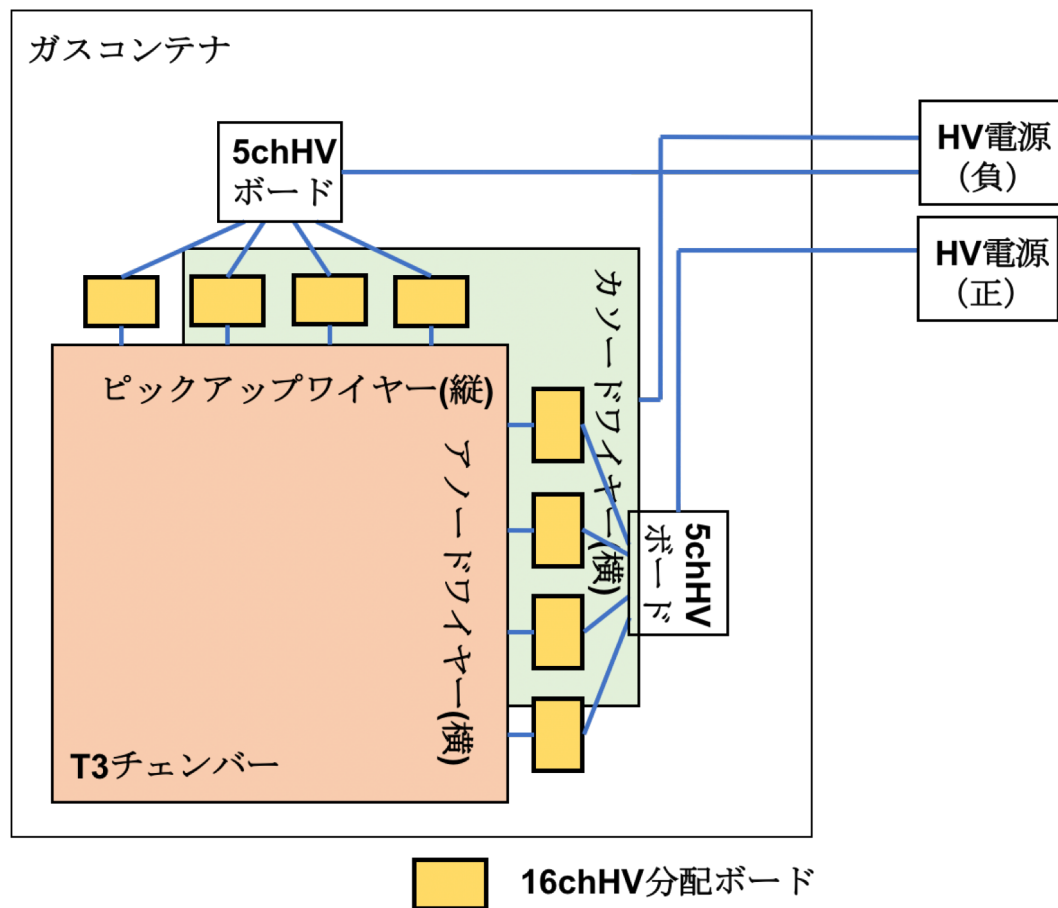


酸素や水分によるドリフト電子の吸収を防止



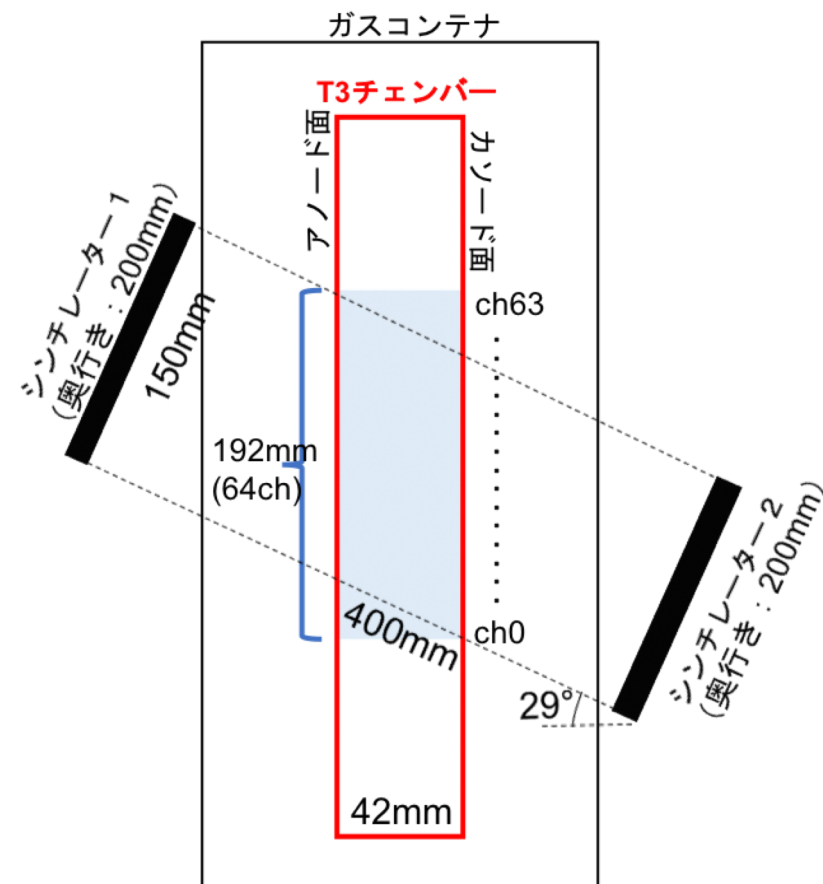
宇宙線測定

HVの配線



(※出典 Yoshioka Teruaki M論)

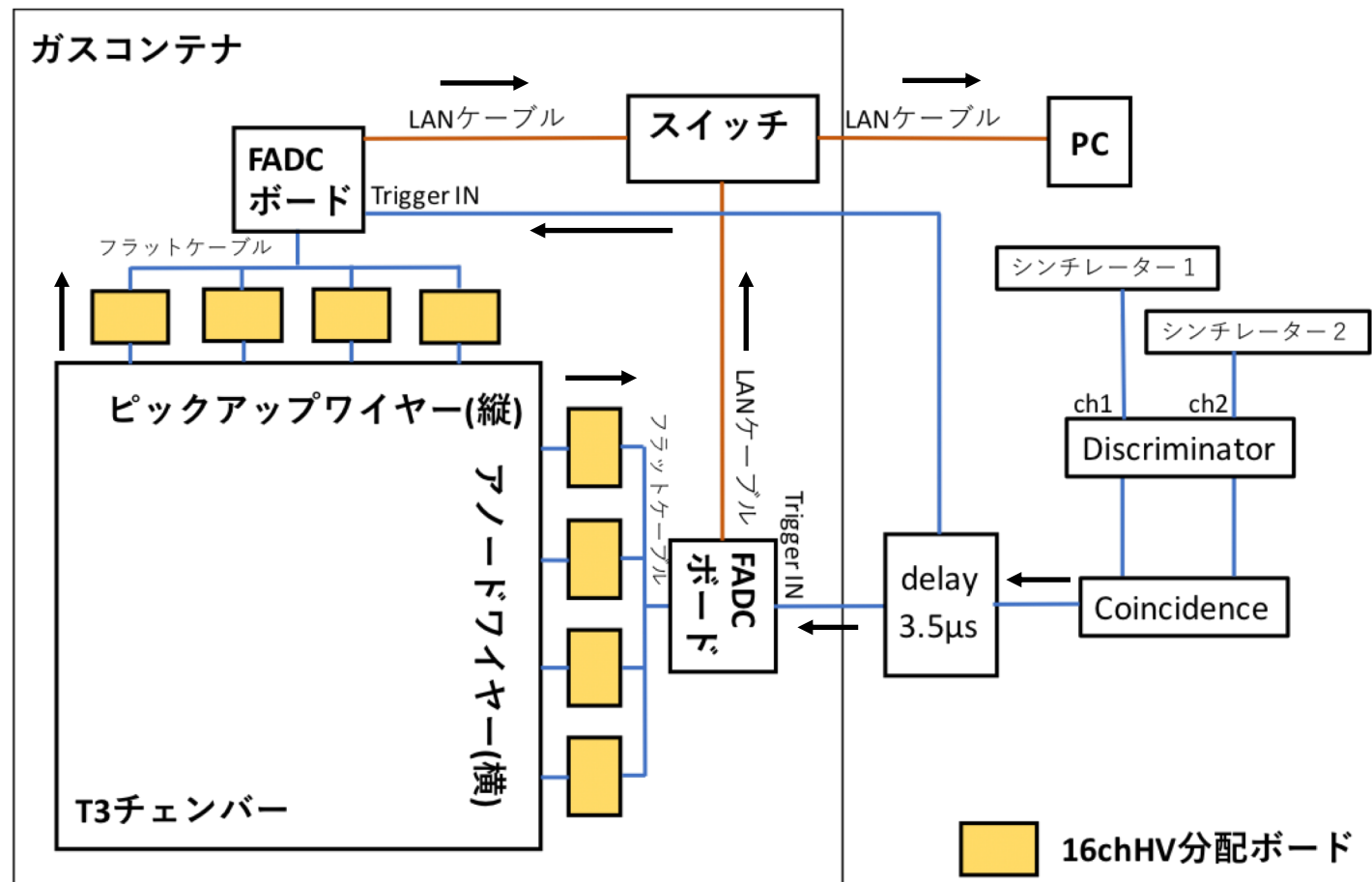
宇宙線トリガーカウンタのセットアップ



(※出典 Yoshioka Teruaki M論)

宇宙線測定

宇宙線トリガーカウンタの読み出し配線



宇宙線測定

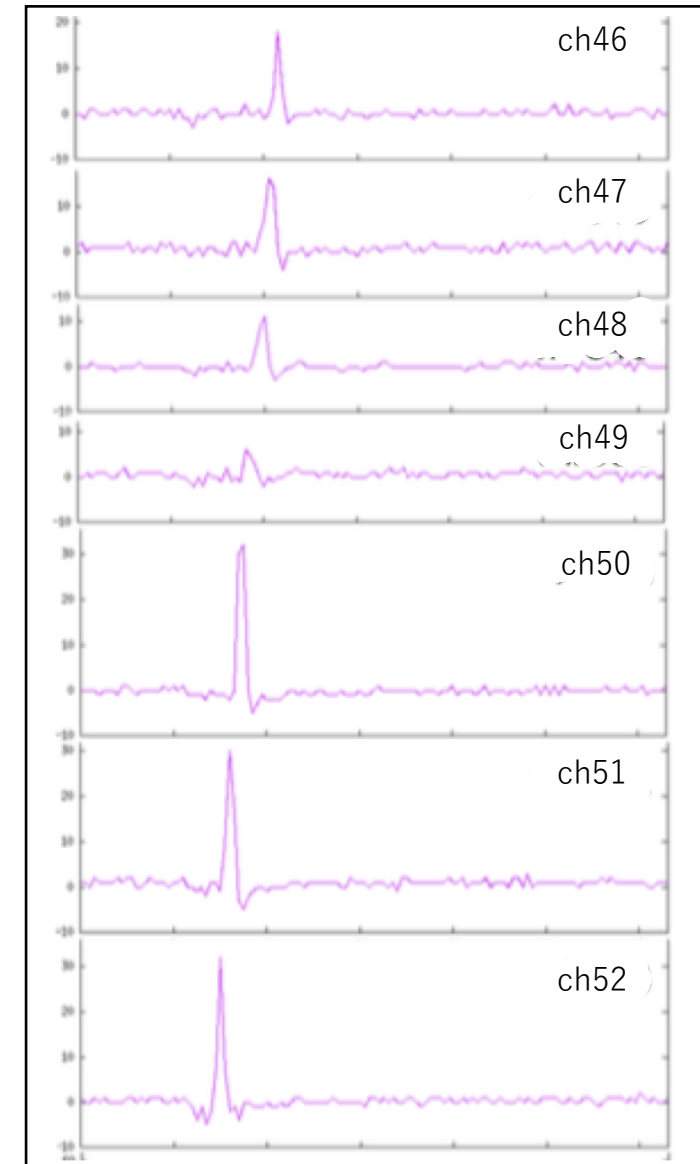
P10ガスで観測された信号例

横軸：ドリフト時間 縦軸: ADC count

ワイヤーごとに検出される時間にずれ



宇宙線飛跡の確認

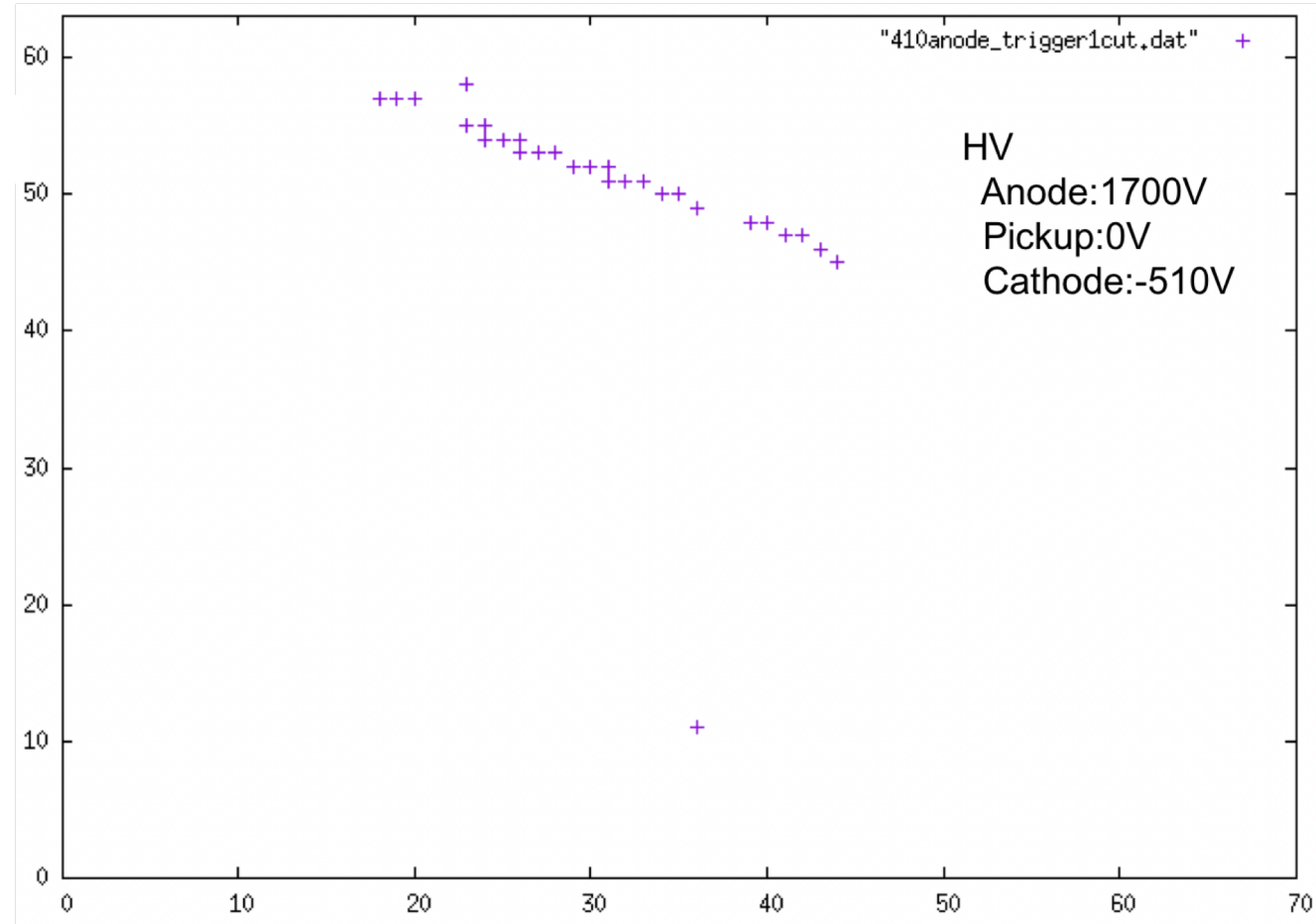


(※出典 Yoshioka Teruaki M論)

宇宙線測定

P10ガスの宇宙線の飛跡

ワイヤーナンバー

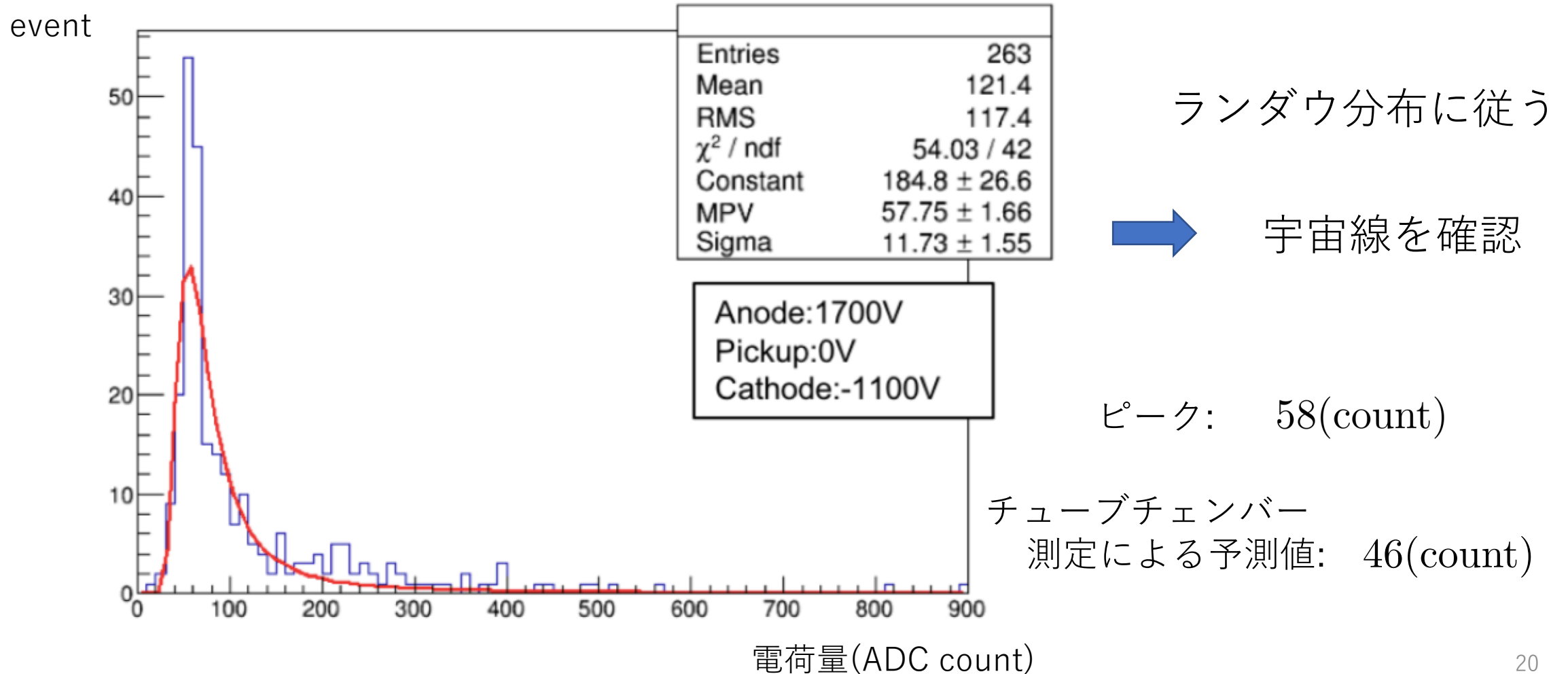


31.25ns

(※出典 Yoshioka Teruaki M論)

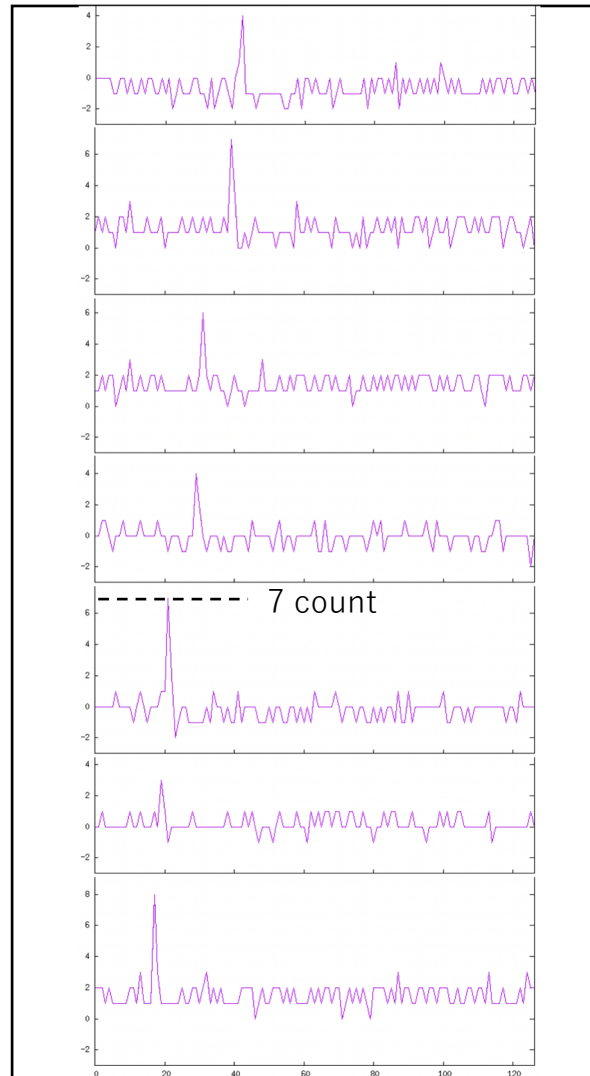
宇宙線測定

P10ガスでの宇宙線の電荷量分布の例



宇宙線測定

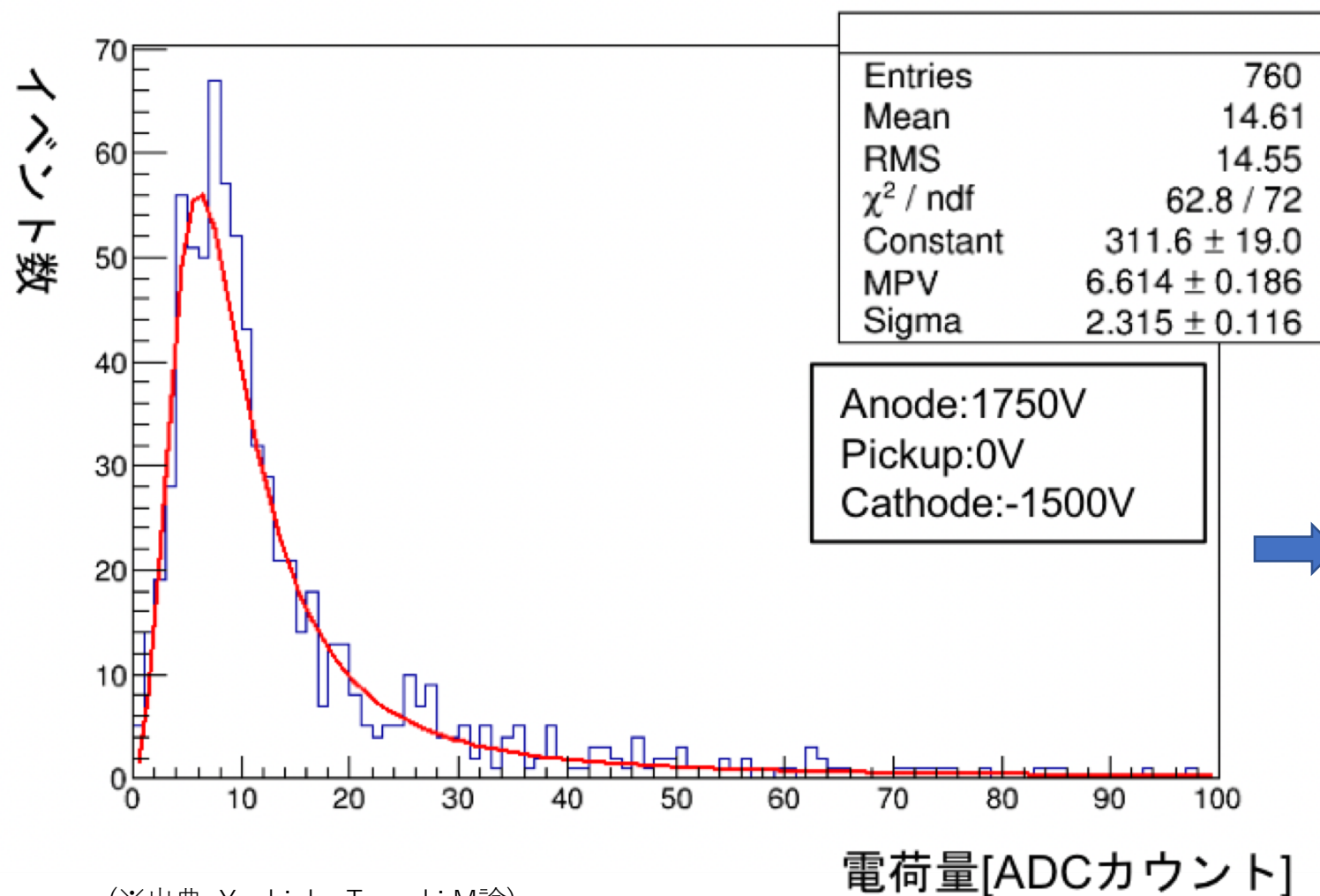
He/CO₂ で観測された信号



(※出典 Yoshioka Teruaki M論)

宇宙線測定

He/CO₂ での宇宙線電荷分布



ピーク: 7(count)

予測値: 2.5(count)

飛跡再構成にはまだ不十分

→
エレクトロニクスを増幅率や
ガス増幅率を上げる必要がある

まとめ

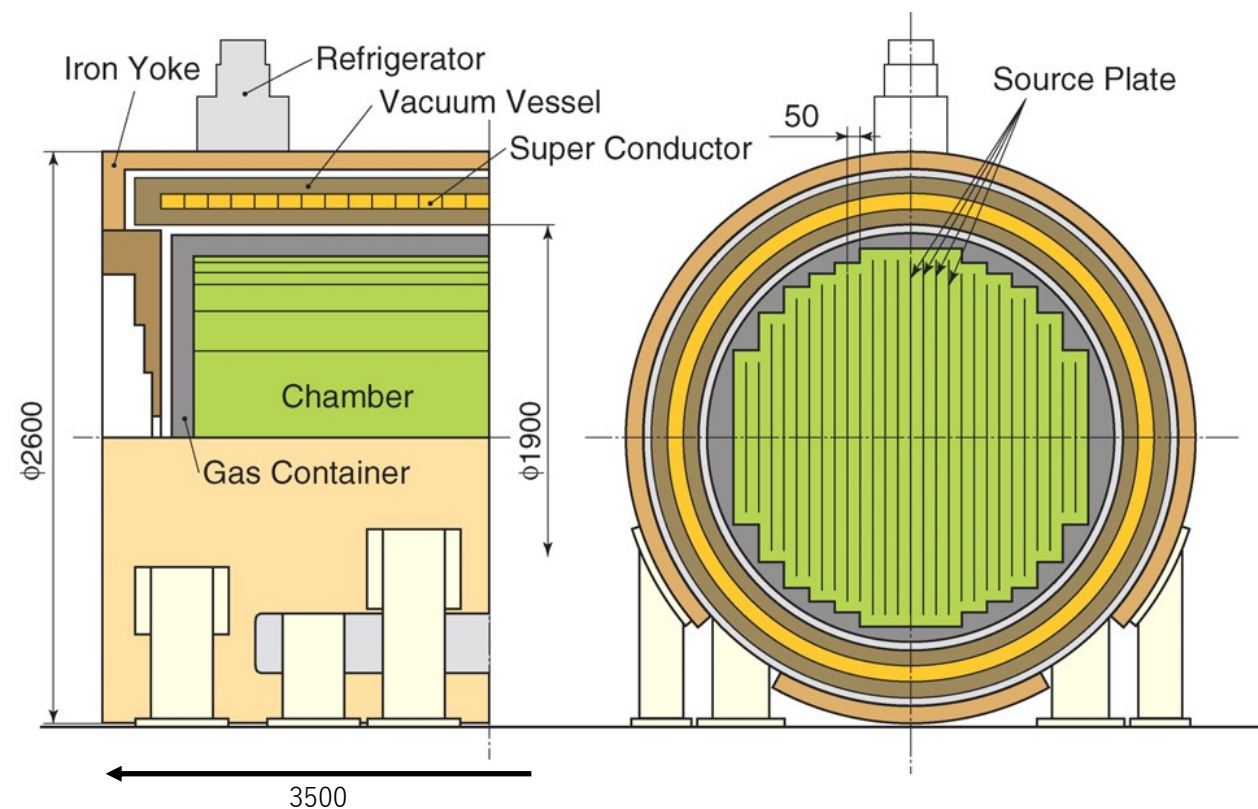
- 現在はDCBA-T3製作中
- 首都大ではT3用のチェンバーの開発、テストを行なっている
- P10ガスでの宇宙線測定により、チェンバーの動作を確認
- He/CO₂ でも信号は観測できたが、大きさが不十分なためガスやエレクトロニクスを増幅率を上げる必要がある

Back up

MTD(Magnetic Tracking Detector)

$0\nu\beta\beta$ の探索を目指す

- 装置の大型化
- ソース量の増大 (約1000倍)
- 複数台製作(10台程度)



MTDで期待される分解能

Geant4によるシミュレーション

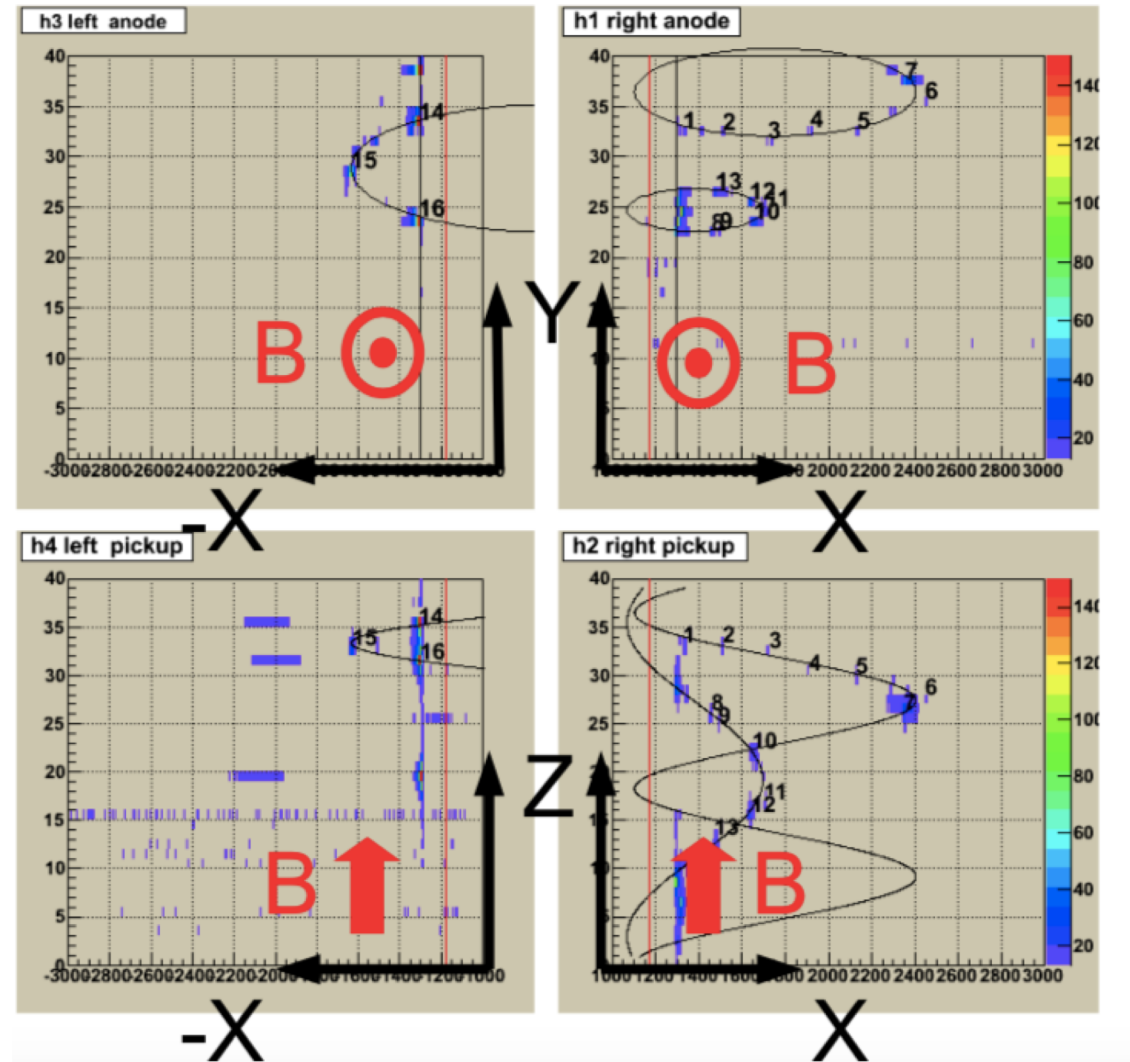
$$\frac{\text{FWHM} = \sqrt{2} \times 80\text{keV}}{3370\text{keV}} \simeq 3.4\%$$

1年間のMTD実験で到達できるニュートリノ有効質量

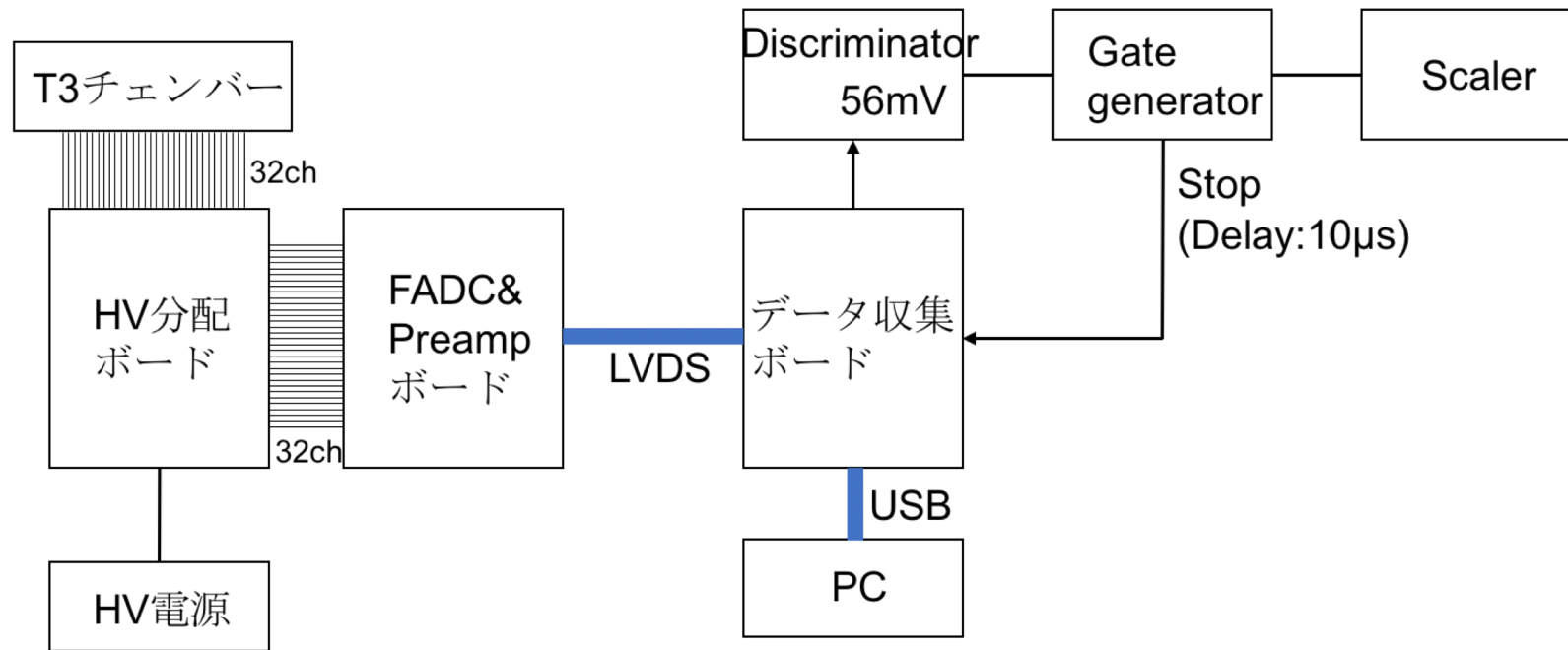
Nd ₂ O ₃ の厚さ	15mg/cm ²	40mg/cm ²
天然ネオジム (¹⁵⁰ Nd 5.6%)	0.8eV	0.5eV
濃縮ネオジム (¹⁵⁰ Nd 60%)	0.2eV	0.1eV

台数を増やす  最小 20meV 程度まで探索可能

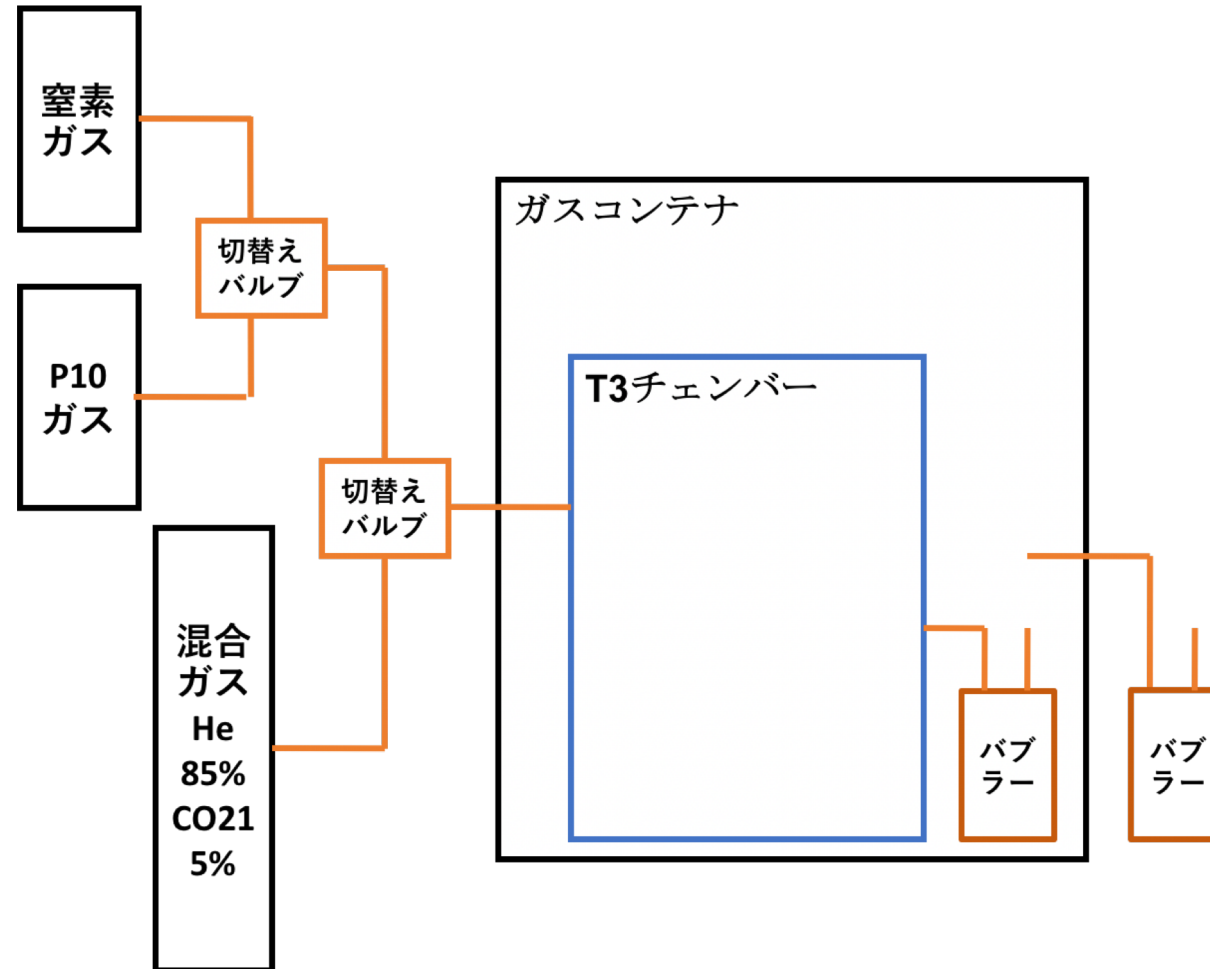
T2.5で測定したデータ例



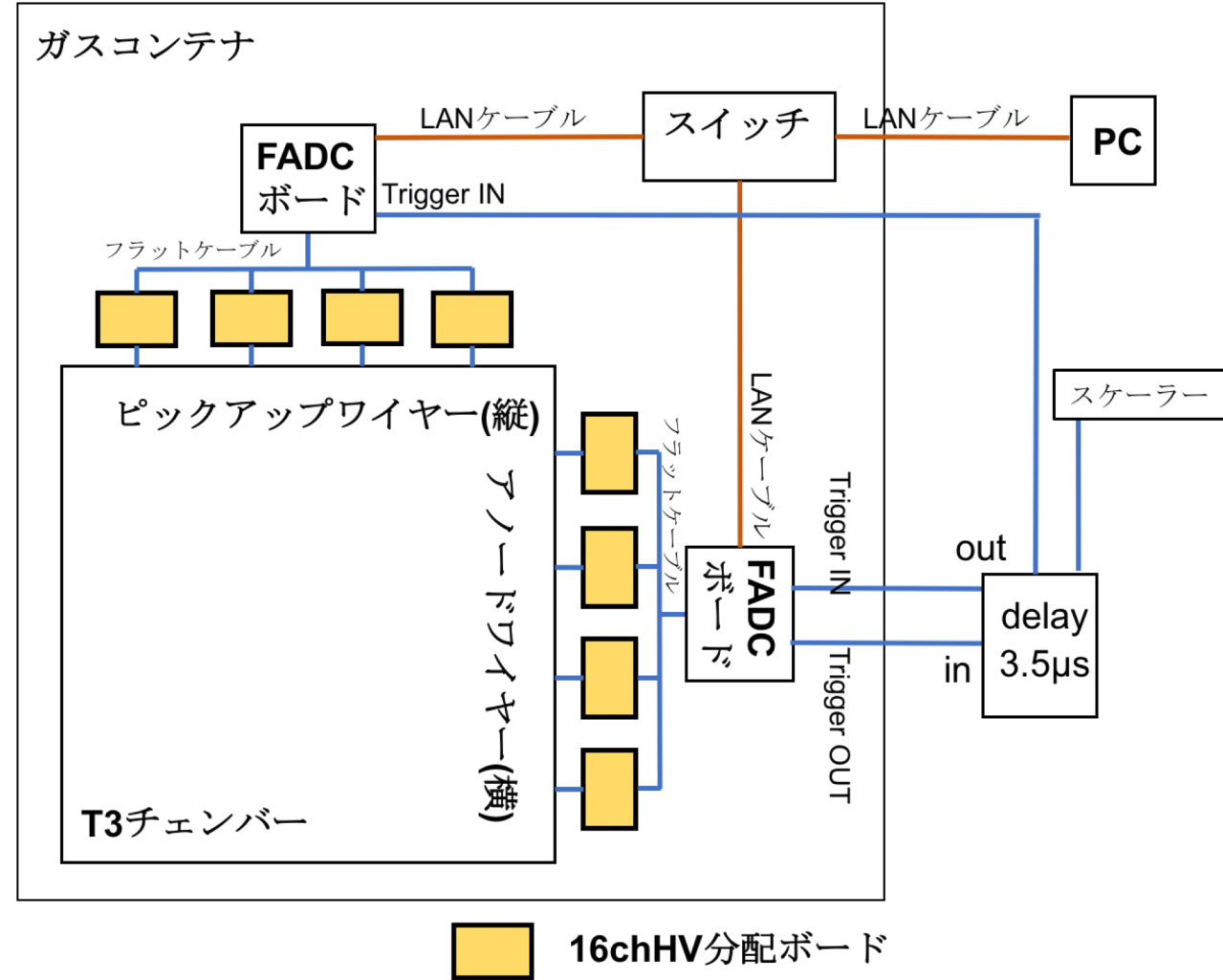
KEKでの読み出し回路



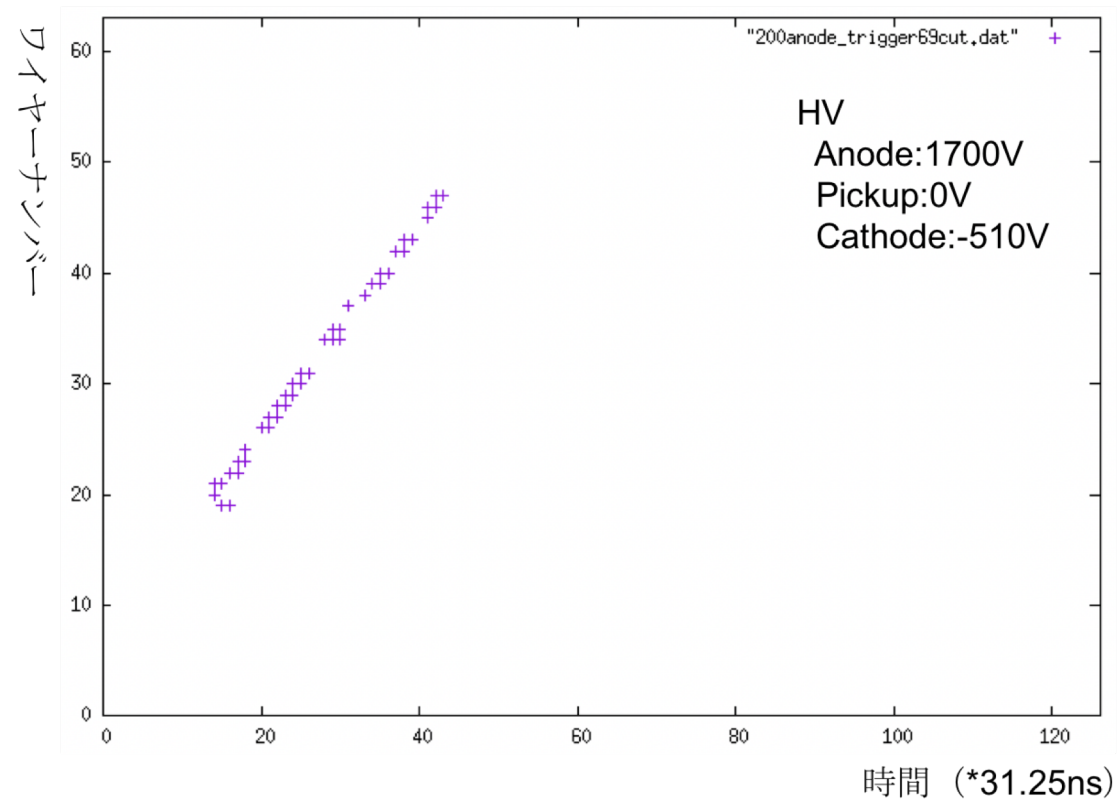
ガス配管



セルフトリガー時の読み出し配線



P10ガスの宇宙線アノード信号(セルフトリガー)



ドリフト速度と電場の関係

