

大型、安価、高時間分解能の 新型光検出器の開発

名古屋大学 修士1年

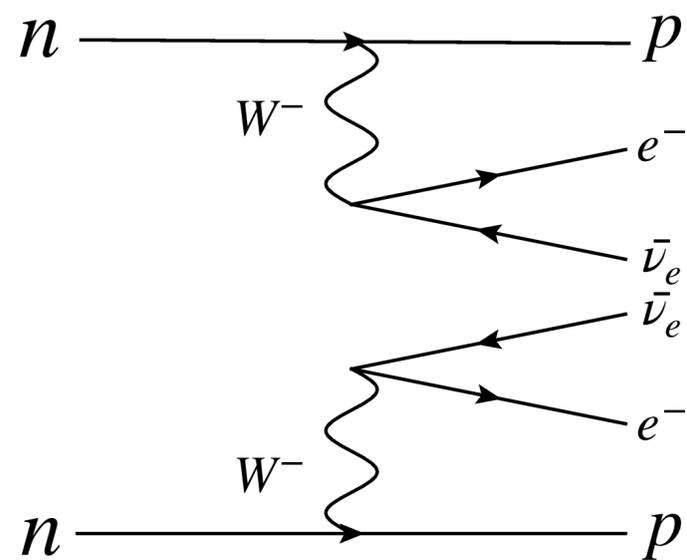
大久保亮吾

目次

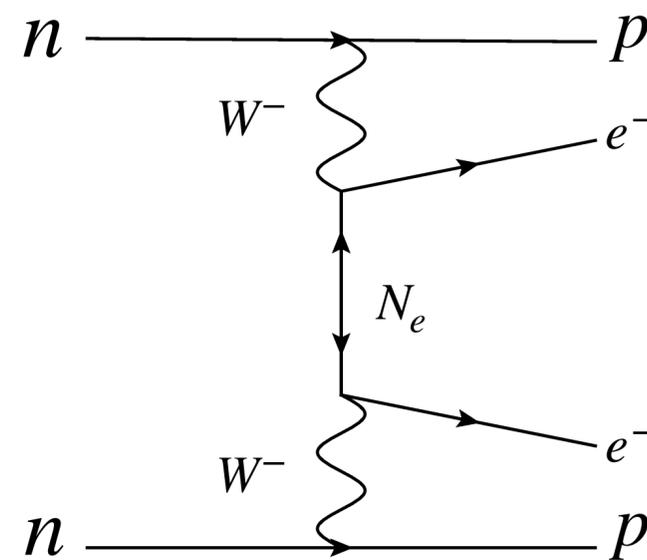
- インTRODクシヨン
- 新型光検出器
 - 試作機の概要
 - 動作試験および時間分解能測定
 - ヒットレートによるゲインの変化
- まとめ

ニュートリノレス二重ベータ崩壊

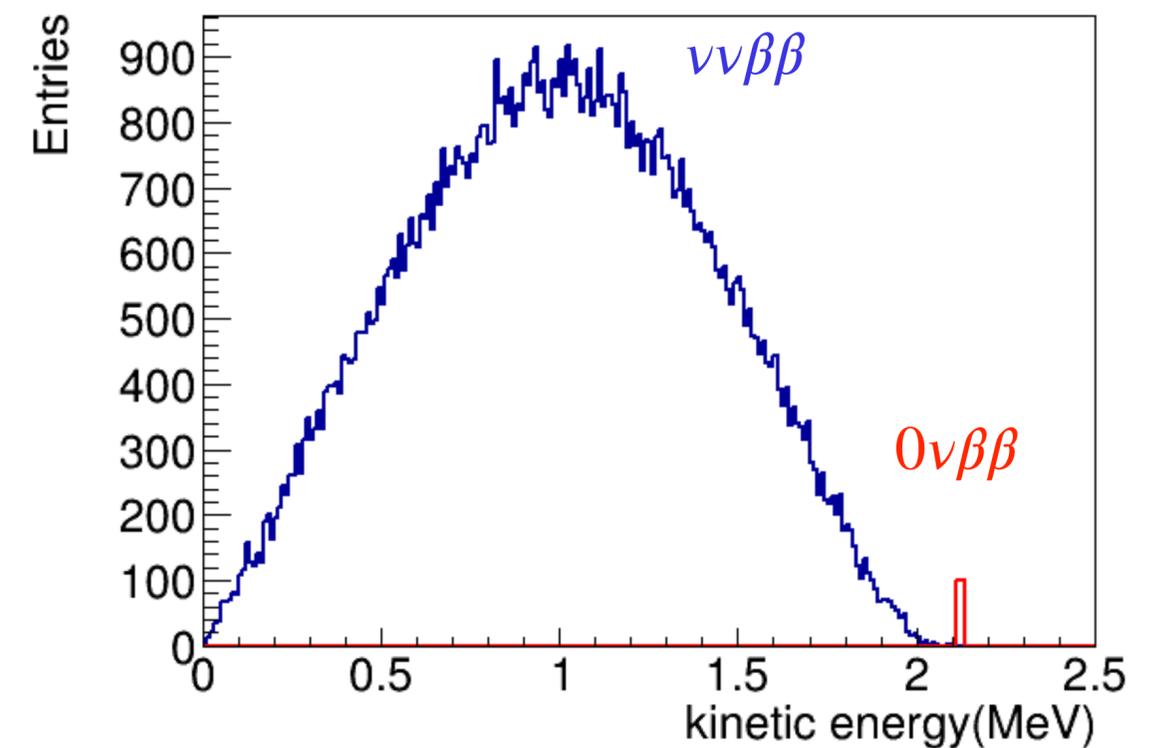
$\nu\nu\beta\beta$



$0\nu\beta\beta$

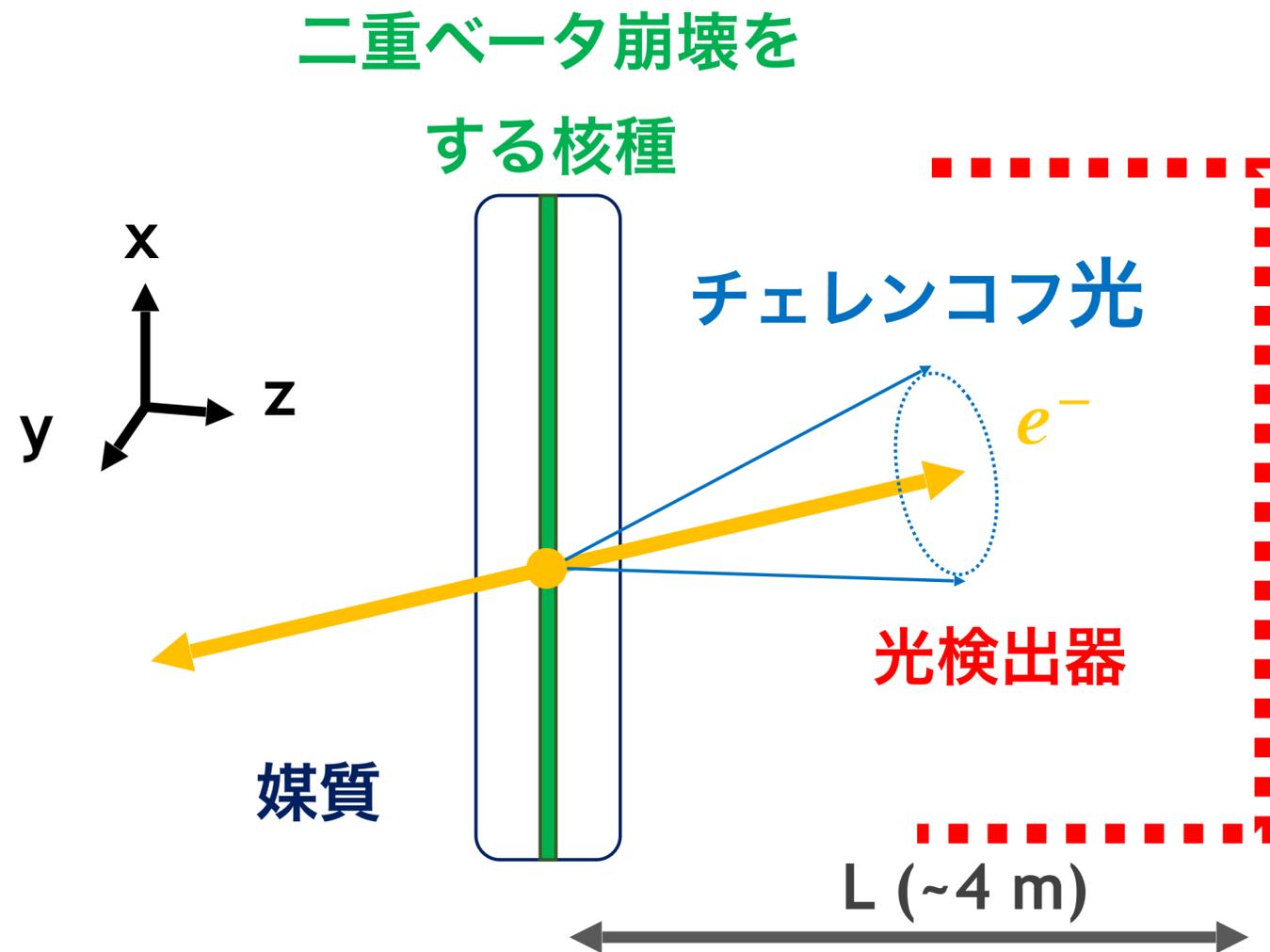


$0\nu\beta\beta$ の信号



ニュートリノがマヨラナ粒子であれば、終状態にニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊が起こる

$0\nu\beta\beta$ 探索実験



電子の速度を測ることでエネルギーを測定する

$$\beta = \sqrt{\frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + L^2}{c(t - t_0)}}$$

$$\Delta\beta = \frac{\beta^2 c}{L} \Delta t$$

t_0, x_0, y_0 : チェレンコフ光のヒットした時間と場所

t, x, y : 電子がヒットした時間と場所

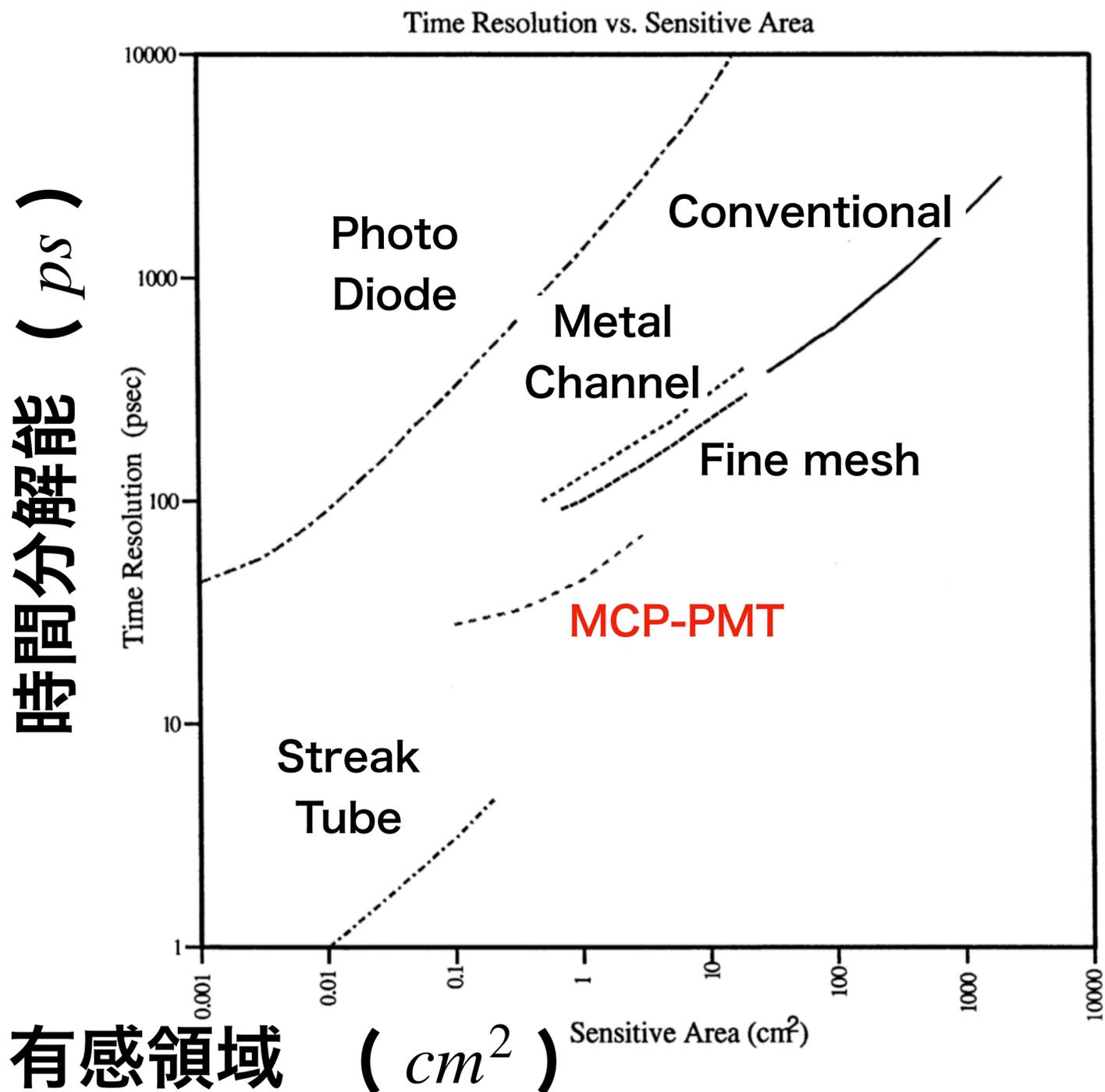
高精度で測定するには、長い飛行距離(~4m)と

高時間分解能(~30ps)が必要

→高時間分解能で、大面積を覆うことのできる

大型・安価な検出器を使用する必要がある

最適な検出器



- 光検出器は大型化するほど時間分解能が低くなる傾向がある。
- MCP-PMTは時間分解能の観点ではこの実験に適切であるが、高価であり、大きさも小さい。

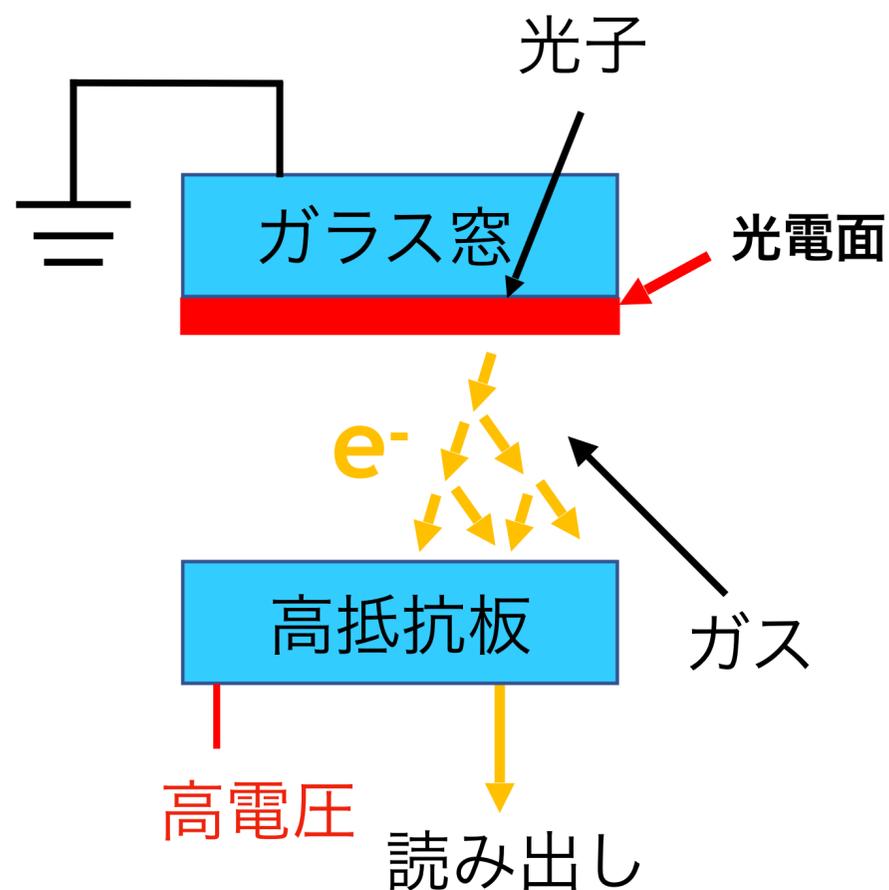
大面積、安価、高時間分解能の新型光検出器を開発する必要がある。

新型光検出器

ガス増幅によって光電子を検出する新型の光検出器を開発する。

この検出器の特徴

- 高時間分解能
- 単純な構造→安価
- 内部がガスで満たされていて、大気圧になっている→大型化が簡単



研究開発の方針

① 新型検出器の動作実証

- 時間分解能と収集効率の評価

② 検出器の特性の理解

- さらなる高時間分解能化のための調査

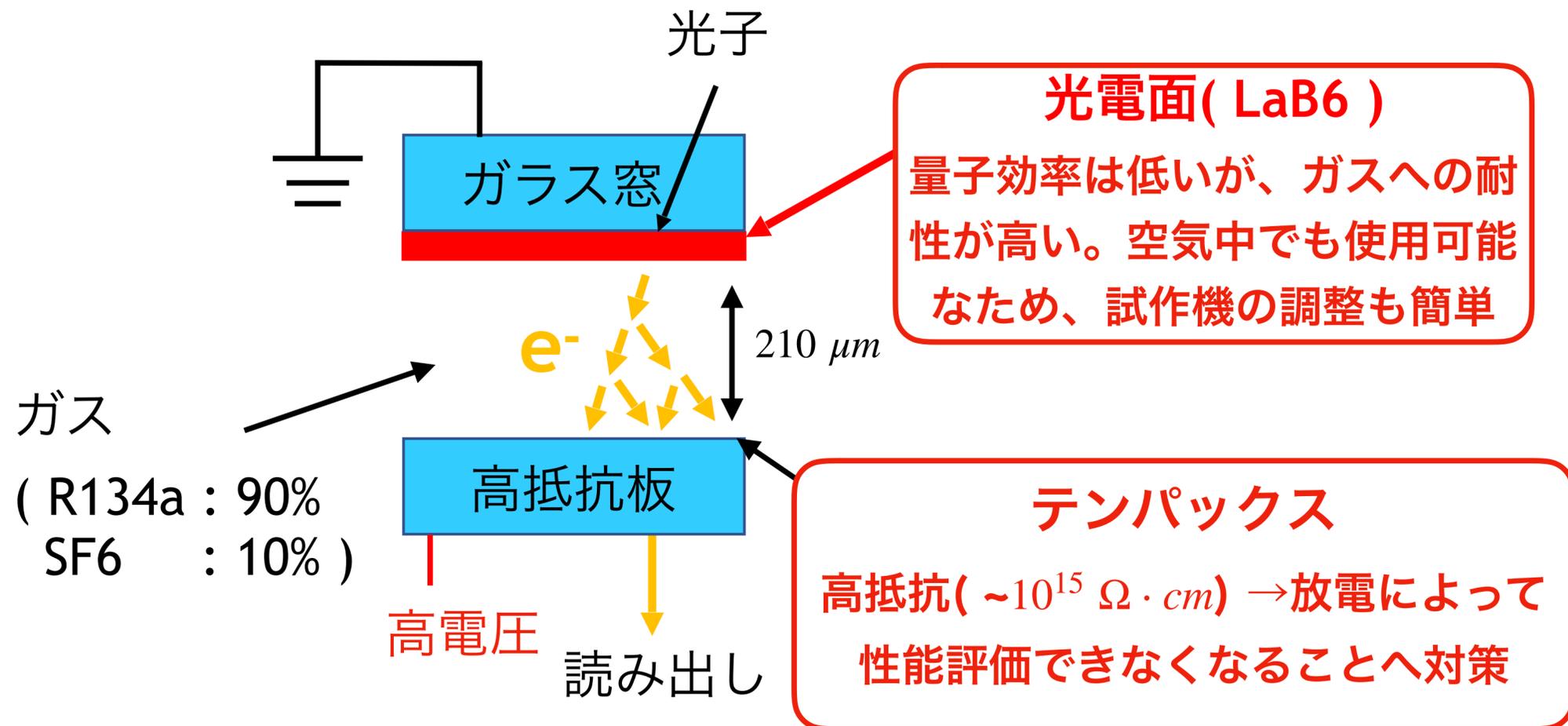
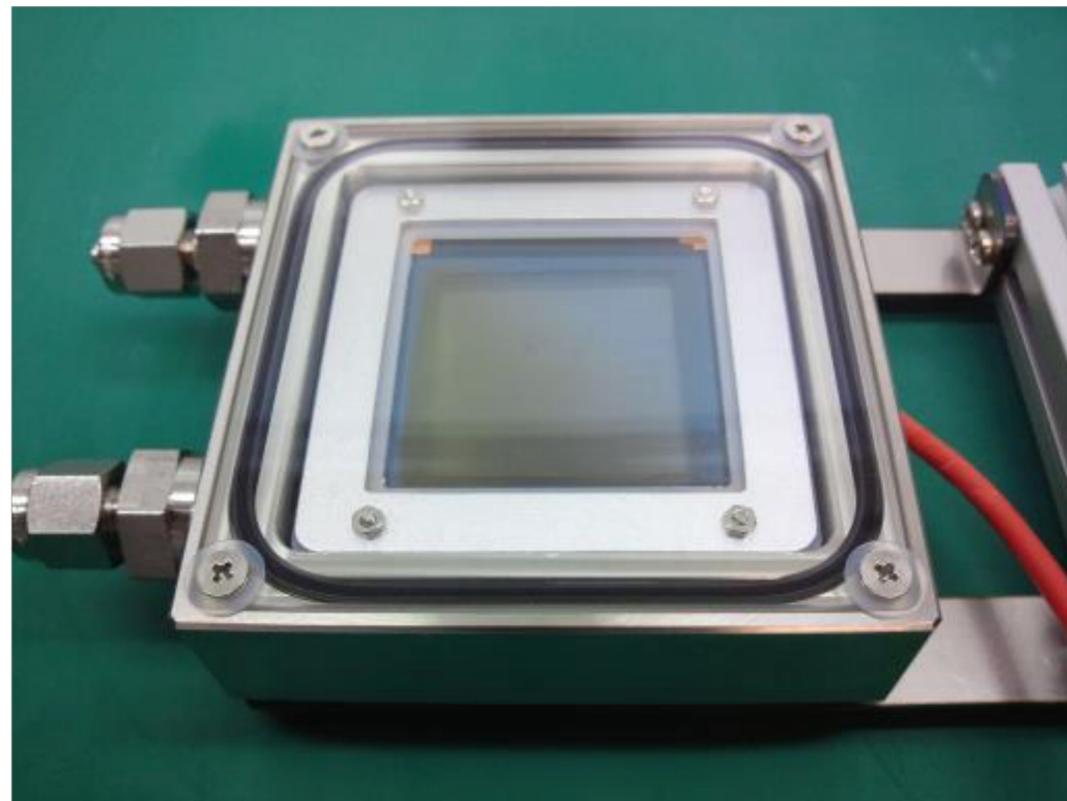
③ 実用化に向けた開発

- 光電面の開発など

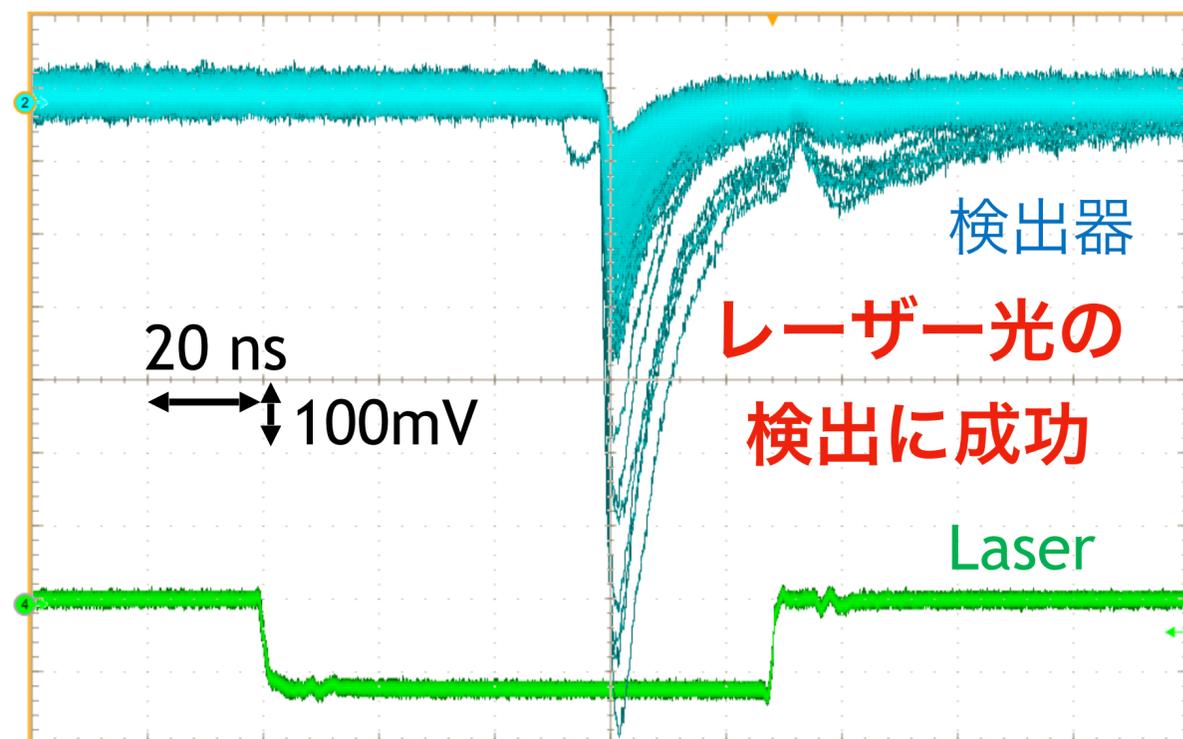
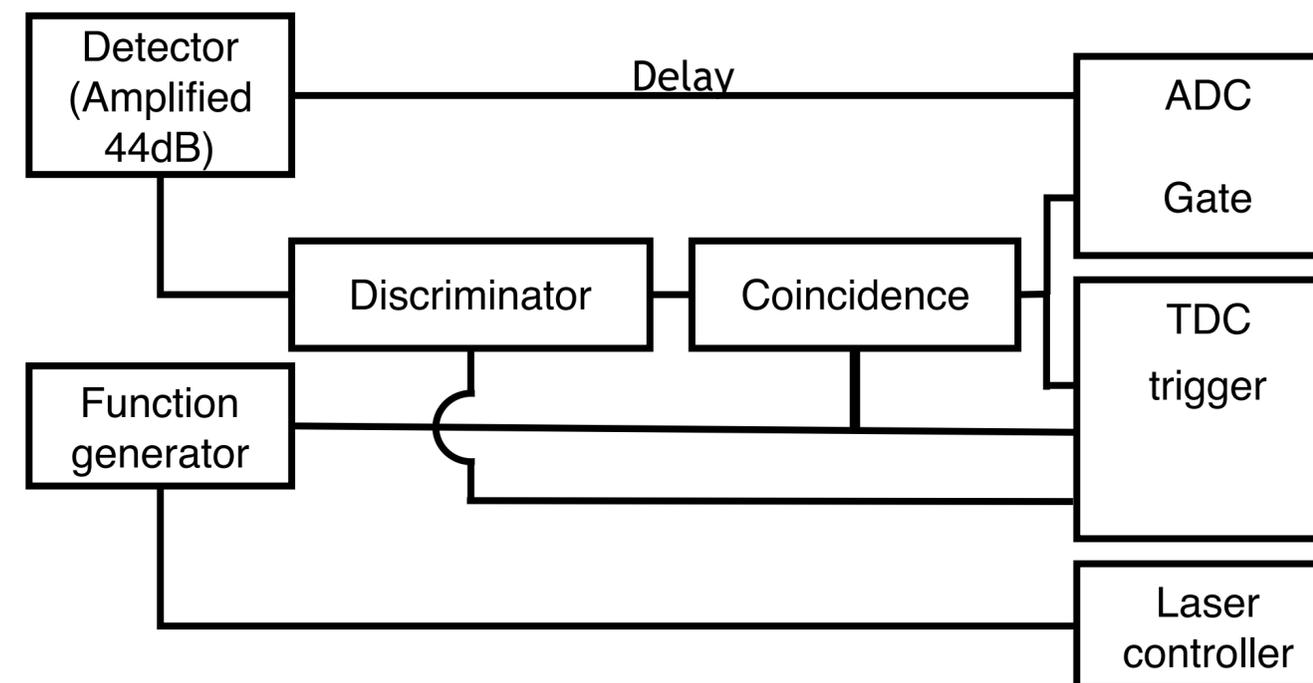
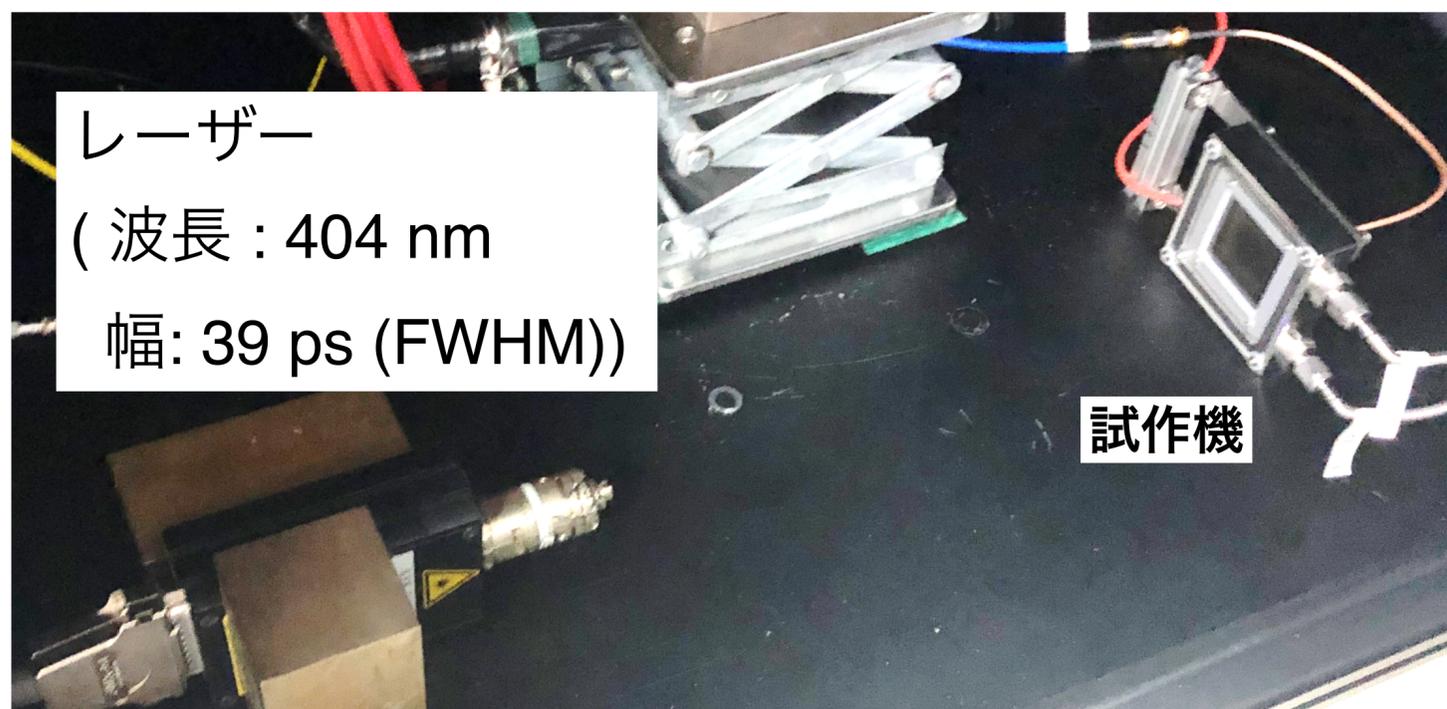
確実に動作する試作機を作成し、動作実証と最初の性能評価を行うことを目指す

新型光検出器の試作機

確実に単光子検出化可能で、時間分解能、収集効率の評価を行うことのできる
試作機を作成することを目指す。



試作機の動作試験と時間分解能測定

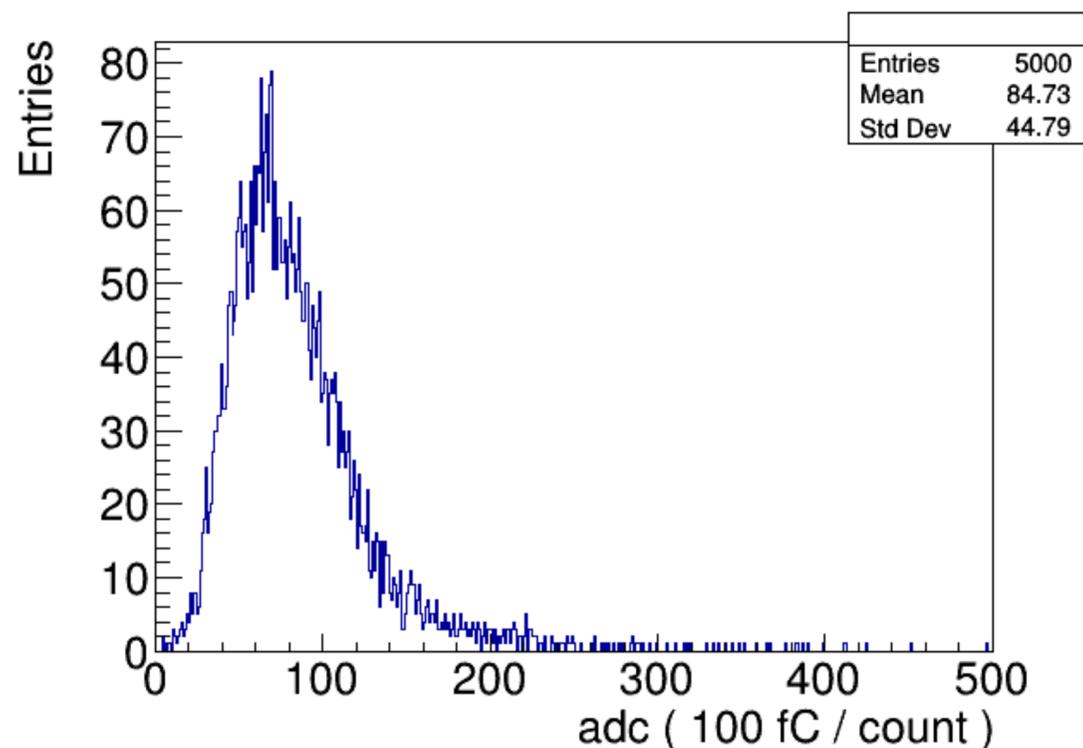


新型光検出器を用いてレーザー光の
検出に成功。

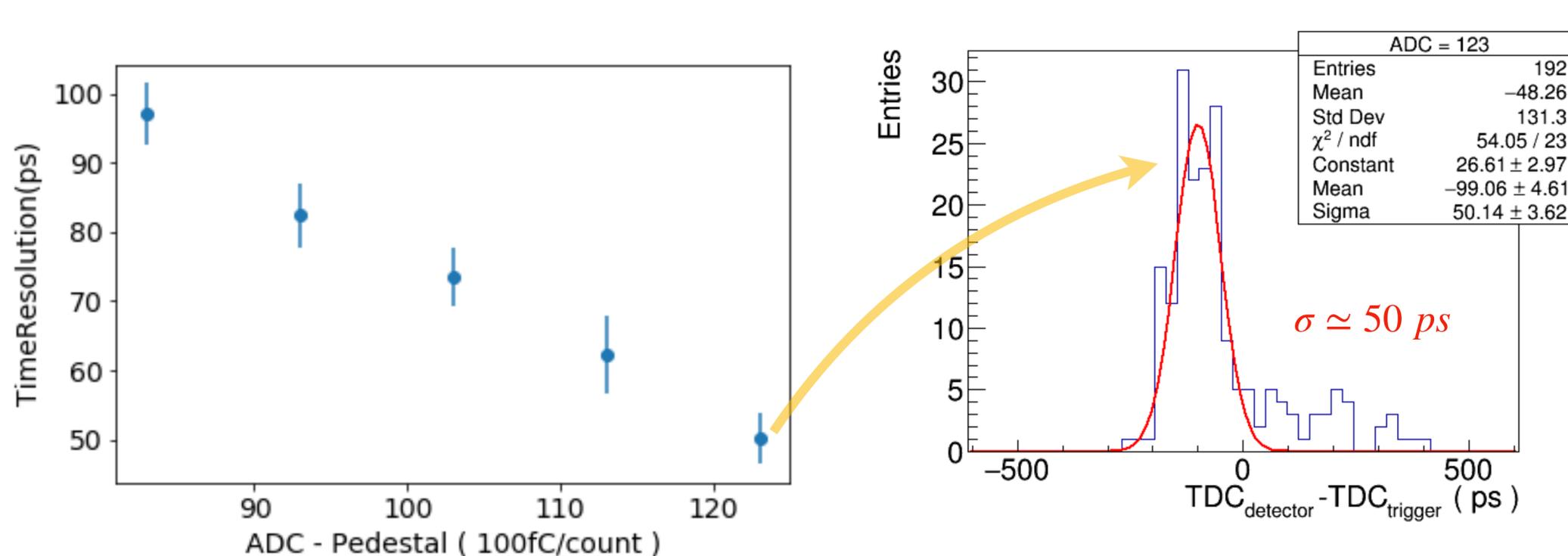
→時間分解能の評価を行う

測定結果

出力電荷



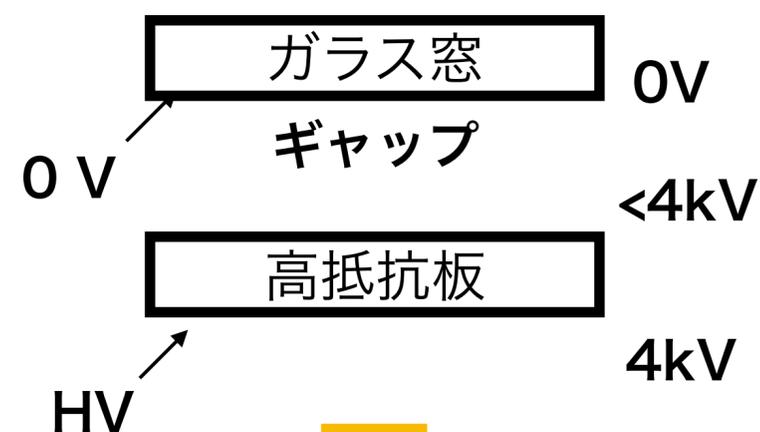
出力電荷と時間分解能



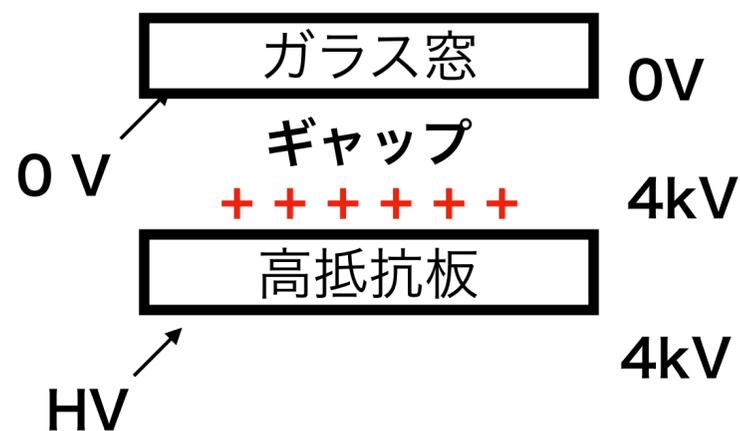
- 時間分解能測定に成功した。レーザーのパルス幅 $\sigma \approx 17 \text{ ps}$, TDCの分解能 $\sigma \approx 35 \text{ ps}$ を考慮すると、
この検出器の分解能は $\sigma \approx 32 \text{ ps}$ である。
- 時間分解能はS/Nで決まっているため、この検出器の持つ可能性を評価する上ではさらにゲインの高い領域で評価し直すのが適切である。

検出器内部の電場

電圧印加直後



十分な時間が経過したとき

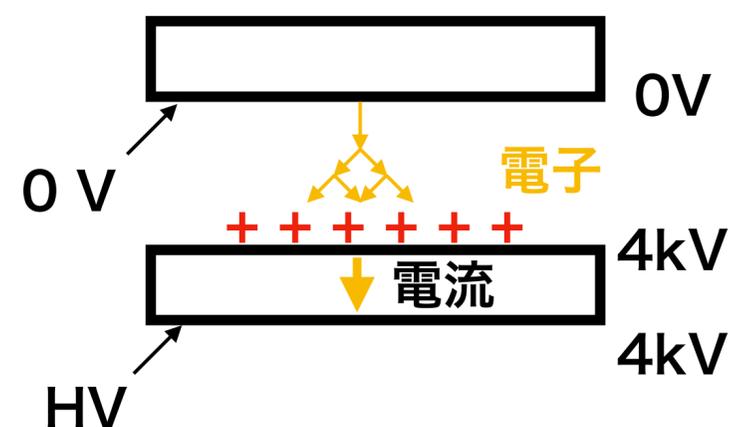


- 高抵抗板へ4kVを印加した時、ギャップ間の電場は4kVよりも小さい。
- 高抵抗板はほぼ絶縁体だが、わずかな電流が流れることができる。
- 十分な時間が経過すれば、高抵抗板は帯電し、ギャップ間の電圧は4kVになる。
- 帯電にかかる時間は抵抗率で決まる。 $\rho = 10^{15}\Omega \cdot cm$ のとき、およそ数十分程度必要。

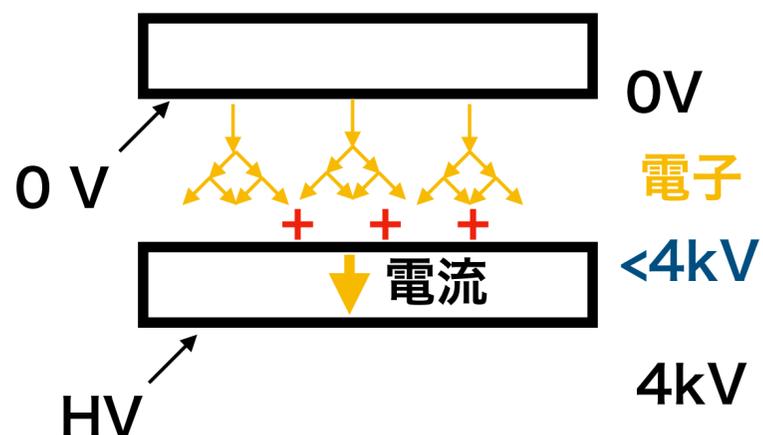
放電を防止するために高抵抗板の抵抗率を高くしているため、高抵抗板が帯電しにくい状況になっていることが想定される。

ヒットレートによる検出器内部の電場の変化

低ヒットレート時



高ヒットレート時

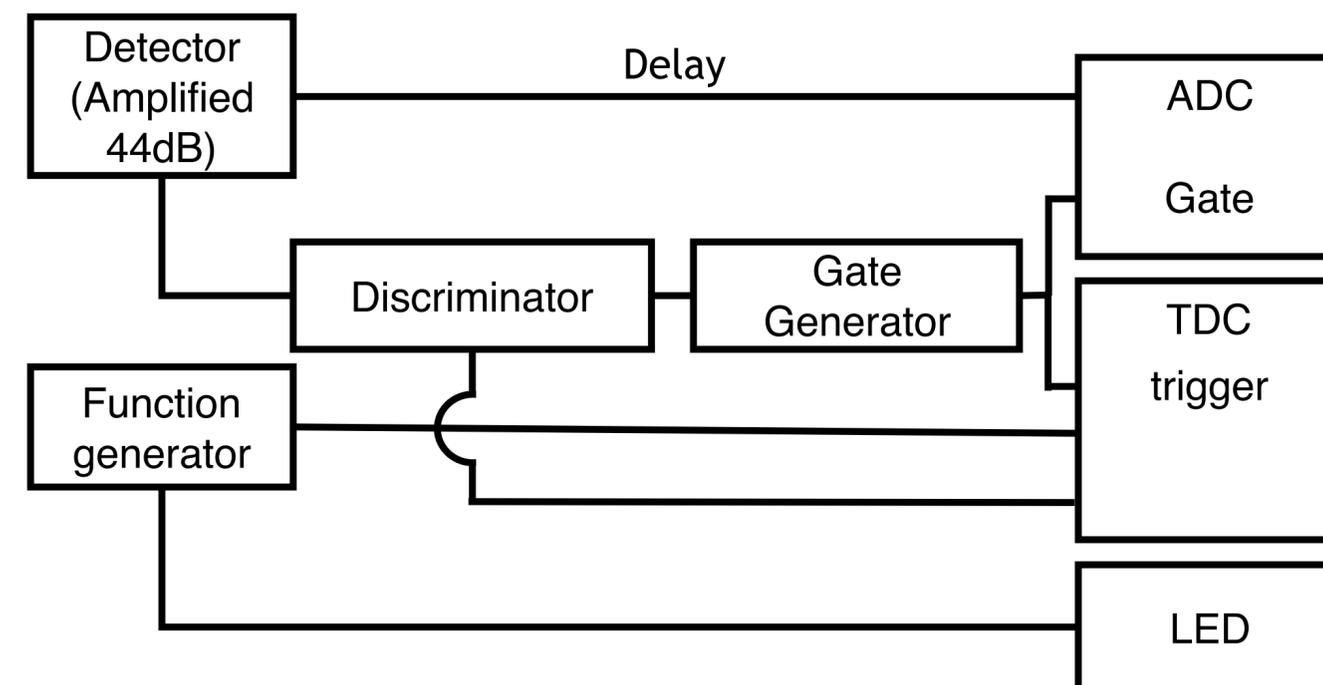


- 検出器内で増幅され、高抵抗板に蓄積される電子は、高抵抗板を流れることによって吸収される。
- 電荷の緩和に必要な時間は高抵抗板の帯電に必要な数十分であるので、ヒットレートが高すぎるとゲインが低下することが予測される。

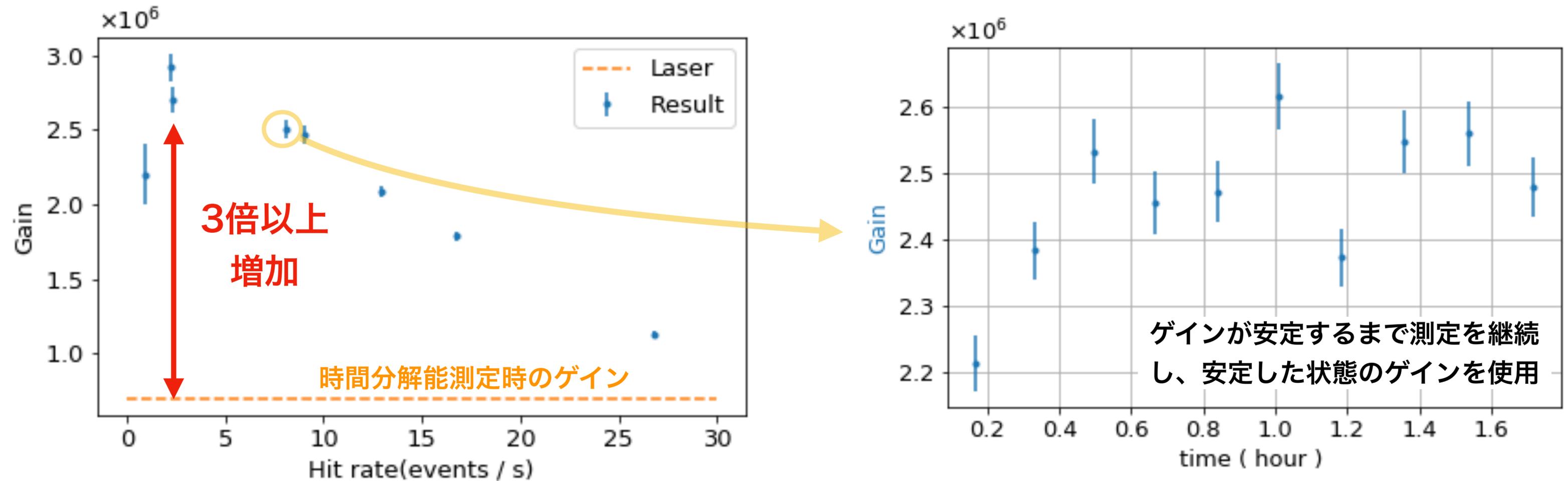
ヒットレートとゲインの関係を測定し、ゲインへ影響しないヒットレートを調べる

ヒットレートを変更した時の ゲイン変化測定のためのセットアップ

- 効率的に測定を行うために光源をより短波長、高輝度のLED($\lambda = 275 \text{ nm}$)へ変更。レーザーによる時間分解能評価に最適な信号の検出レートを調べる。
- ヒットレートはLEDだけでなく、宇宙線の影響もあるため、LEDとのコインシデンスをトリガーとせず、検出器からの信号を全て記録する。



ヒットレートを変えることによるゲインの改善



ゲインはヒットレートによって変動していることが確かめられた。
ヒットレートが約1Hzの 때가ゲインが最大で、時間分解能評価に最適である。

まとめ

- ニュートリノレス二重ベータ崩壊は、ニュートリノがマヨラナであるかどうかを確かめる上で重要。
- 新たなニュートリノレス二重ベータ崩壊探索実験のために、大型、安価、高時間分解能の新型光検出器を開発中。
- 新型光検出器が光子を検出可能であることを示し、時間分解能測定を行なった結果、ゲインが高い場合に最大30ps程度の高い時間分解能を持つことを示した。
- 時間分解能評価に最適な条件を調べるために、ヒットレートとゲインの関係を調べ、最適なヒットレートとすることでゲインが3倍高い条件で時間分解能測定を行うことができることがわかった。