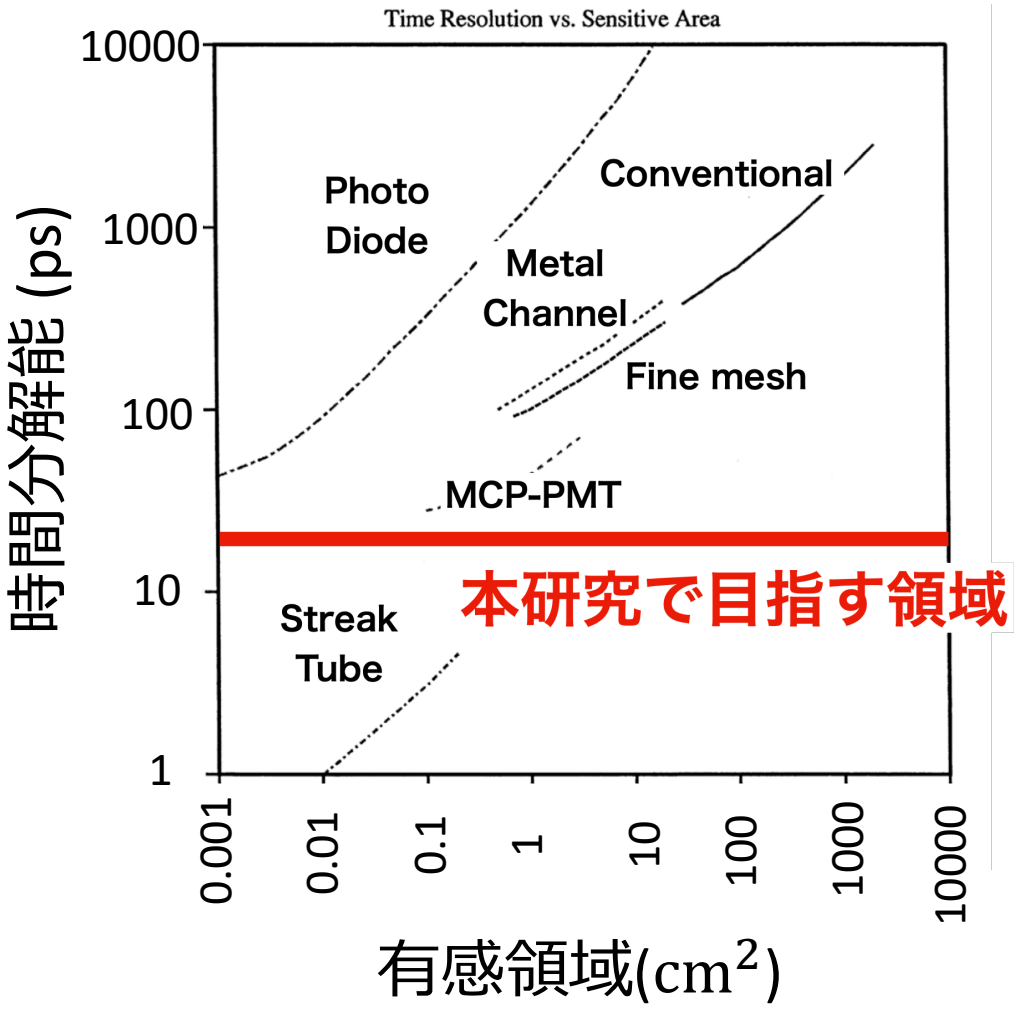
大型・安価・高時間分解能の新型光検出器GasPMの開発

名古屋大学 M2
大久保亮吾

本研究の目標



- 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。
- 高時間分解能を持つ光検出器としてはMCP-PMTが代表的であるが、O(10^3)\$/cm^{2}の非常に高価な検出器であるなどの欠点がある。

→高時間分解能・大面積・安価な新型光検出器の開発を目指す

K. Arisaka, Nucl. Instrum. Meth. A 442 (2000) 80.

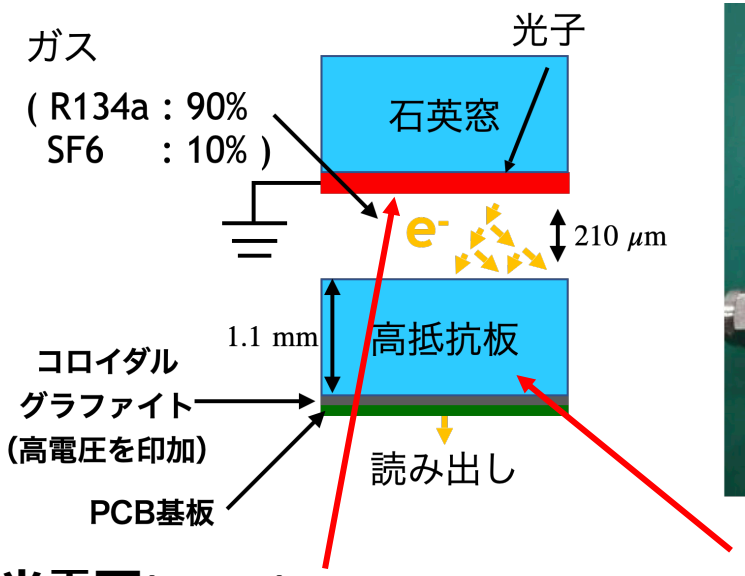
GasPM (Gaseous PhotoMultiplier)

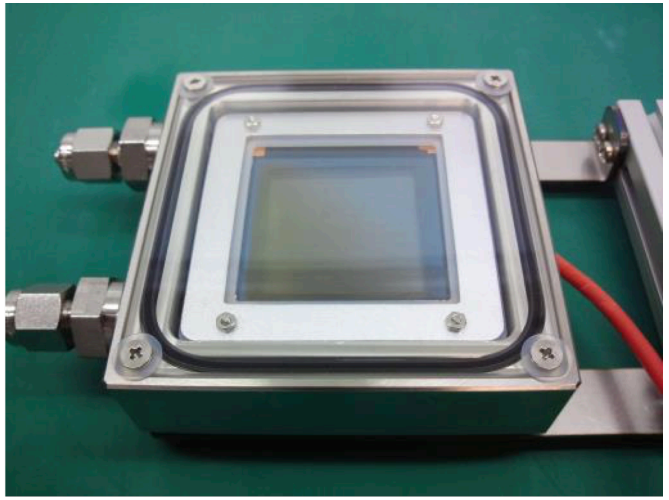
GasPMは、光電子をガス増倍させる新型の光検出器である。

GasPM の利点

- 高速なアバランシェ増倍による**高時間分解能**($\sigma \simeq 10-20$ ps)
- 場所によらず一様に増倍することができ、内部を真空にする必要もないので、**分解能を下げずに用意に大型化可能。**
- 単純な構造によって**安価**に作成可能。

GasPMの試作機





光電面(LaB6)
量子効率は低いが、ガスへの耐性が高い。空気中でも劣化しにくいため試作機の調整も簡単。

テンパックス
高抵抗(~ $10^{15}\Omega \cdot$ cm)
→放電によって性能評価できなくなることへ対策。

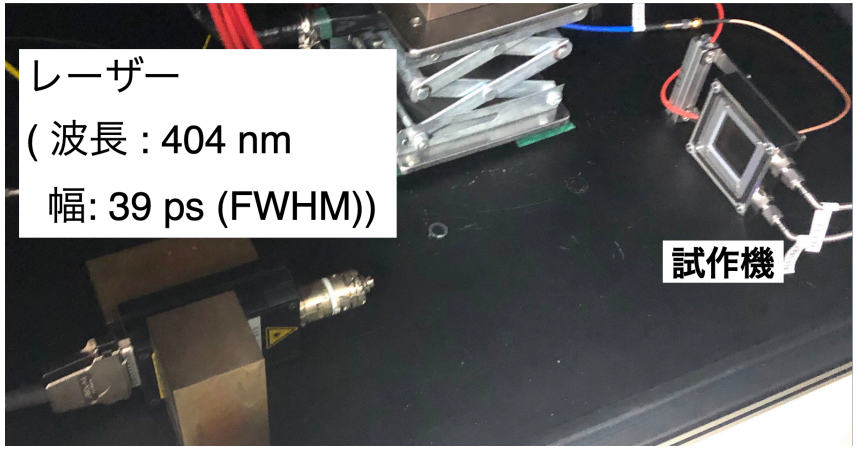
この試作機を用いてGasPMの時間分解能やガス増倍特性など基本的性質を理解する。

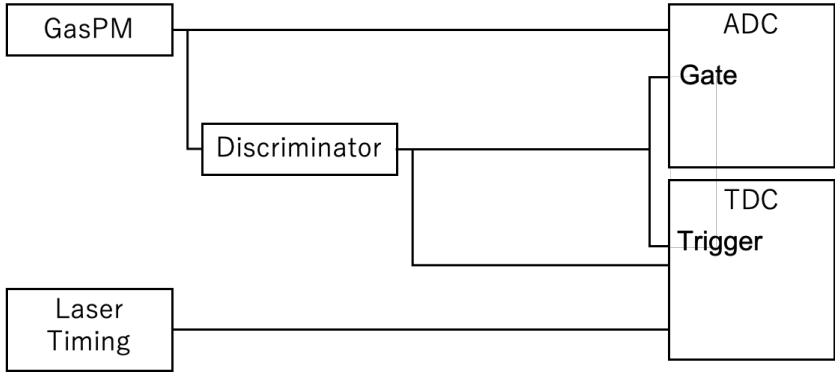
GasPMの開発状況

- GasPMの試作機の設計・製作(完了)
- **時間分解能評価　(本発表)**
- GasPMの収集効率の測定
  - 測定のための試作機を開発中。
- GasPMの実用的な光電面の開発
  - 光電面の素材を検討し、試作機を開発中。

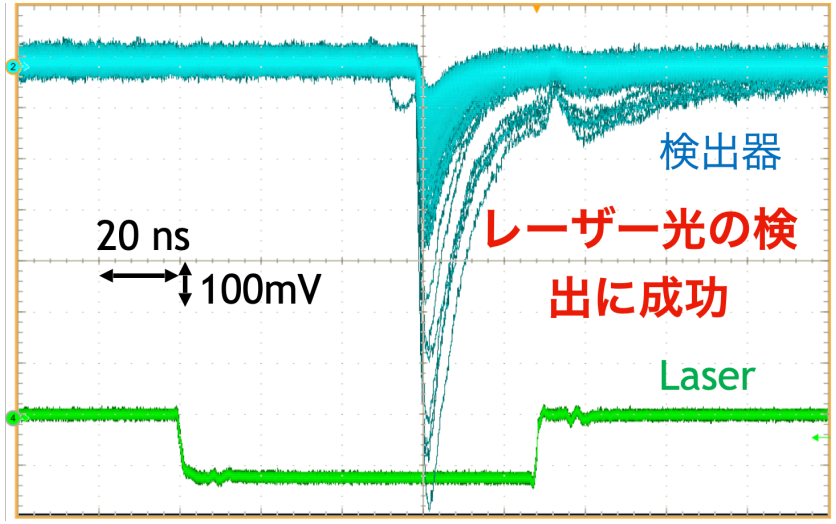
GasPMの時間分解能測定

測定のセットアップ





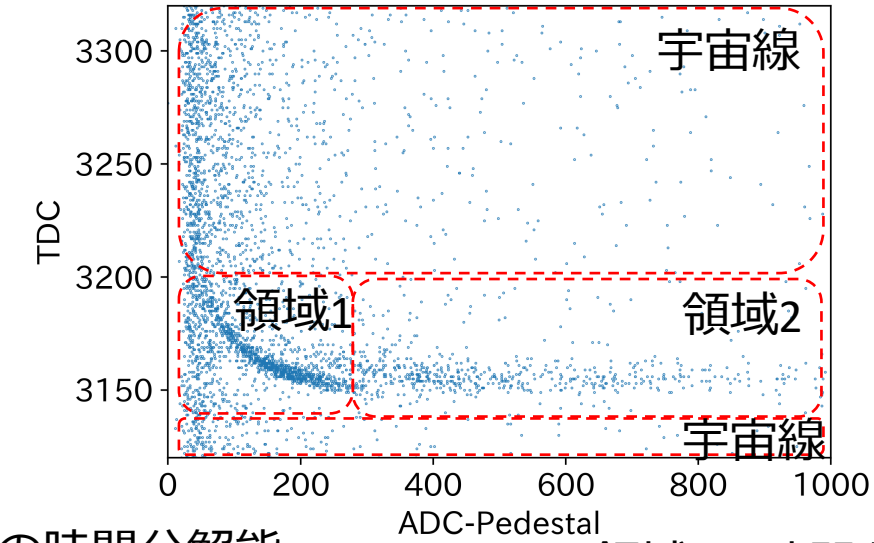
GasPMの信号



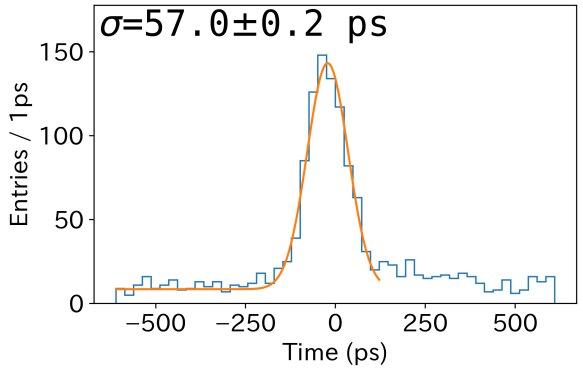
- GasPM試作機にピコ秒パルスレーザーを照射し、GasPMでレーザー光検出に成功。
- 初の時間分解能評価を行なった。

時間分解能測定結果

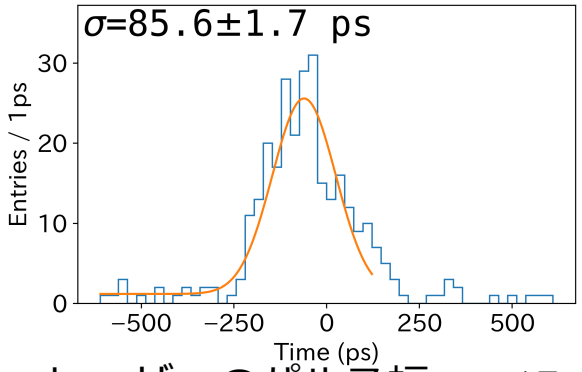
GasPMの信号の分布



領域1の時間分解能



領域2の時間分解能



（時間分解能にTDCの分解能$\sigma = 35$ ps, レーザーのパルス幅$\sigma = 17$ psを含む）

レーザー光を検出した信号はADC≃300でヒットタイミングがずれる。これを領域1と領域2に分けて分解能を評価した。

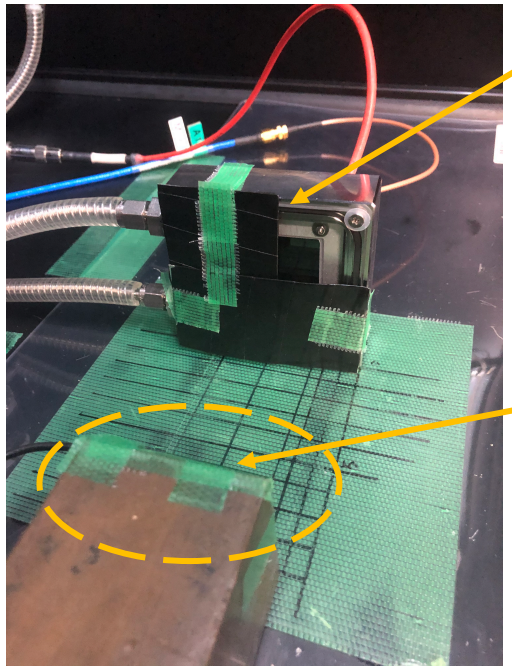
- 領域1では**$\sigma = 57$ psの時間分解能を示す。**目標値(10~20ps)には達していないが、GasPMの試作機としては高い時間分解能である。
- 領域2では時間分解能が悪く、タイミングもずれているため、この信号によりGasPMの全信号の時間分解能は低下してしまう。

領域2でヒットタイミングがずれ、分解能が悪い原因を探り、さらなる高時間分解能化を目指す。

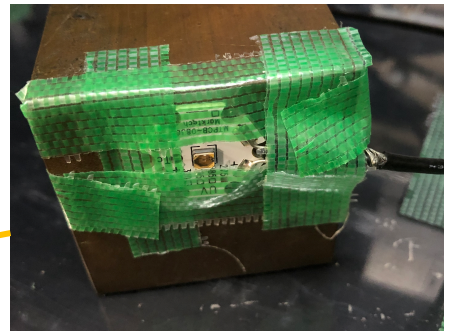
増倍率の位置依存性の測定

GasPMの増倍率の位置依存性を光電面を1/9ずつ使用しながら増倍率を測定する。

位置による増倍率の変動が確認されれば、内部電場が一様になっていないことの証拠となる。内部電場が非一様だと、ヒットタイミング、増倍率が位置により変動する事で時間分解能が低下する。



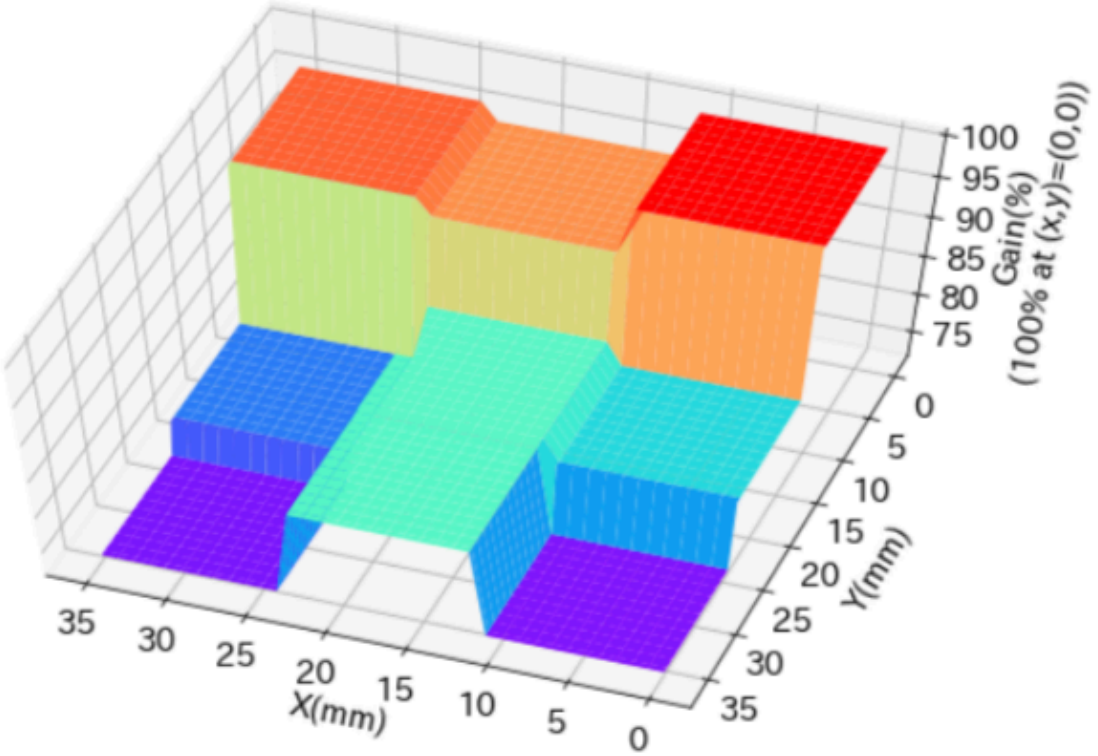
GasPM
(光電面の一部をカバーで隠す)



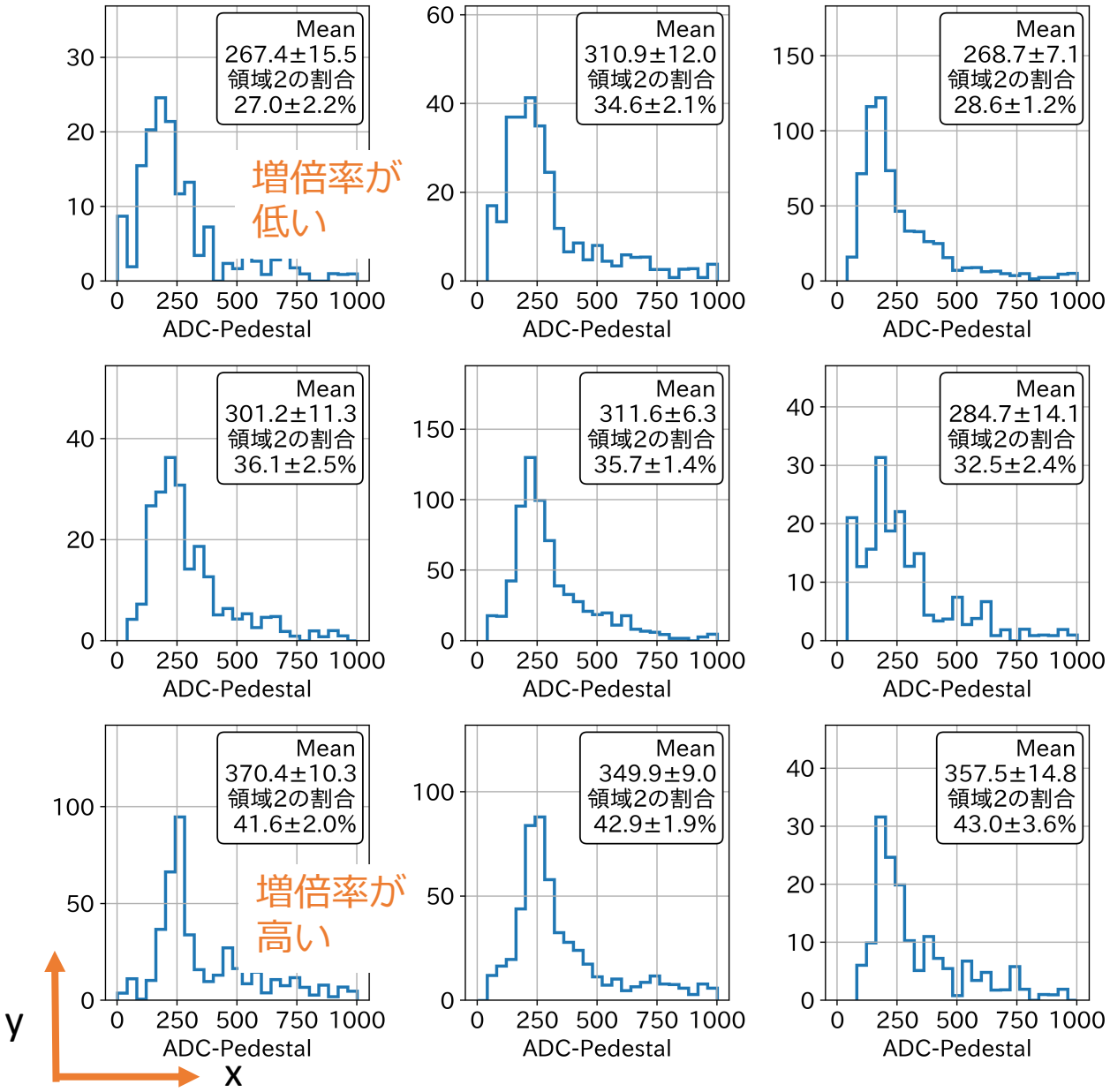
LED
(波長 275 nm,
幅 166 ns)

増倍率の位置依存性

測定方法の改善とさらなるデータ取得で本当に変動しているか確かめる必要がある。
レーザー光を用いてヒットタイミングの違いを測定し、これが時間分解能にどの程度影響するかを調べる。



増倍率の位置依存性
(プロット位置は使用した光電面の位置に対応)

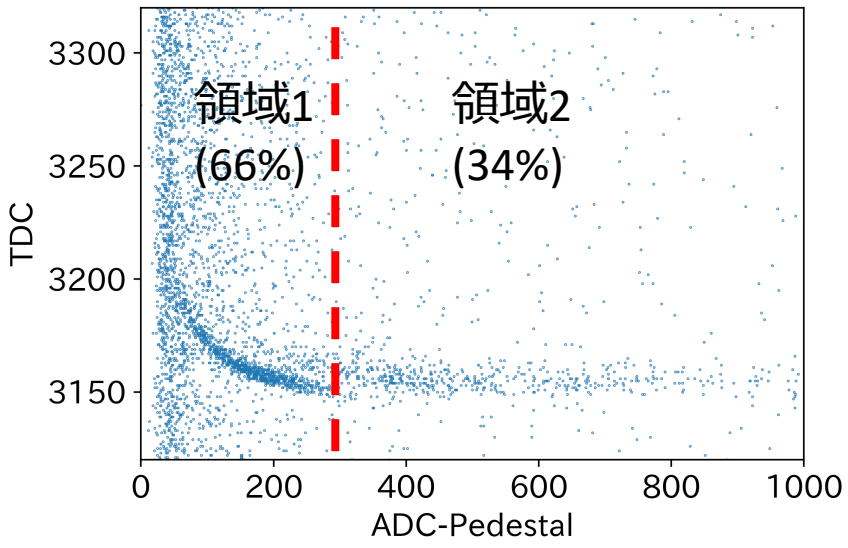


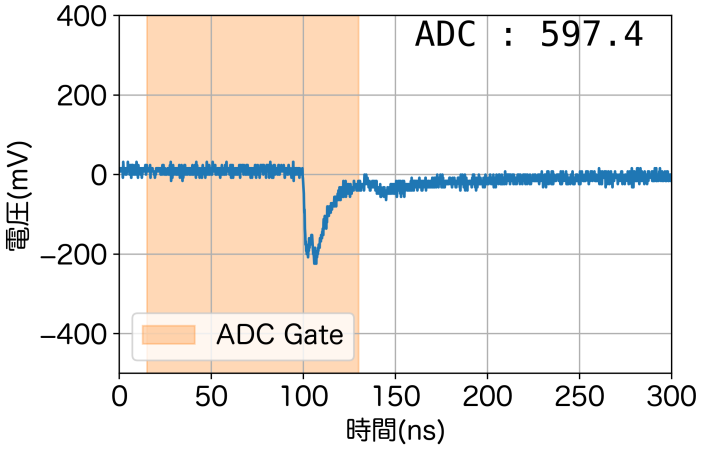
複数パルス発生率の測定

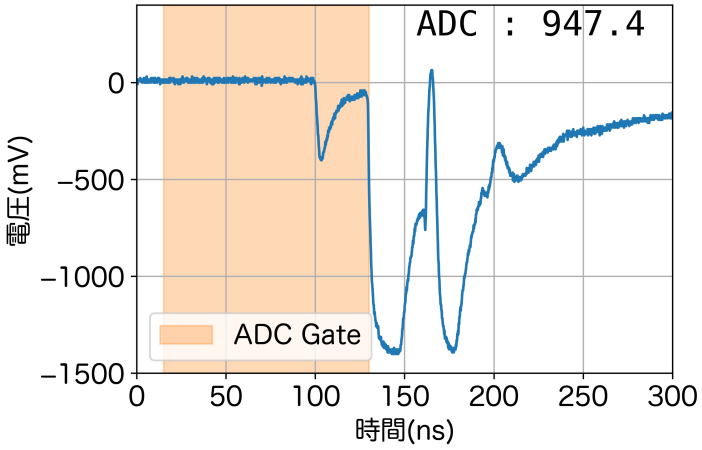
領域1でアバランシェ増倍によるパルスを一つだけカウントしていて、領域2でストリーマ放電など複数のパルスがADCゲート内にしているとすると、TDCは変わらず、ADCのみ右側にシフトする。このことによって正しくタイムウォーク補正ができず時間分解能が悪化すると考えられる。

→領域1と領域2 でADCのゲート内でストリーマ放電などによって複数パルスが発生する割合を調べる。

GasPMの信号の分布



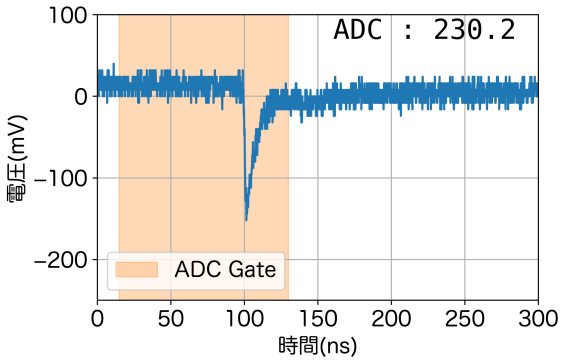




ストリーマ放電
励起されたガスからの紫外線放出によって周囲のガスが電離され、別のアバランシェ増倍が次々と発生する現象。

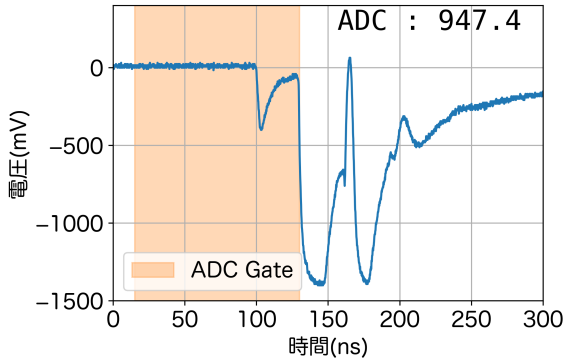
領域による複数パルス発生率の測定結果

領域1の信号

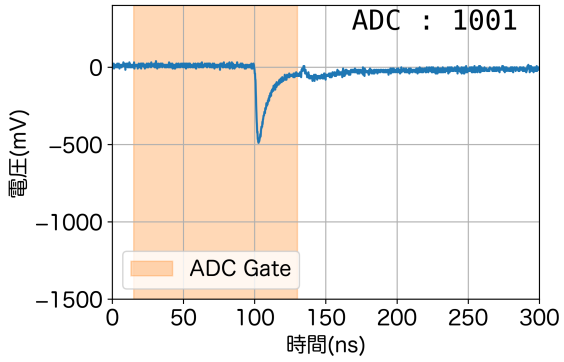


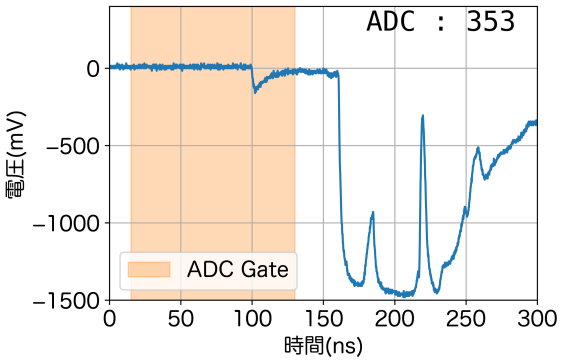
二つ目のパルスをADCゲート内に含まない信号
(領域1の100%)

領域2の信号



二つ目のパルスをADCゲート内に含む信号
(領域2の21%)



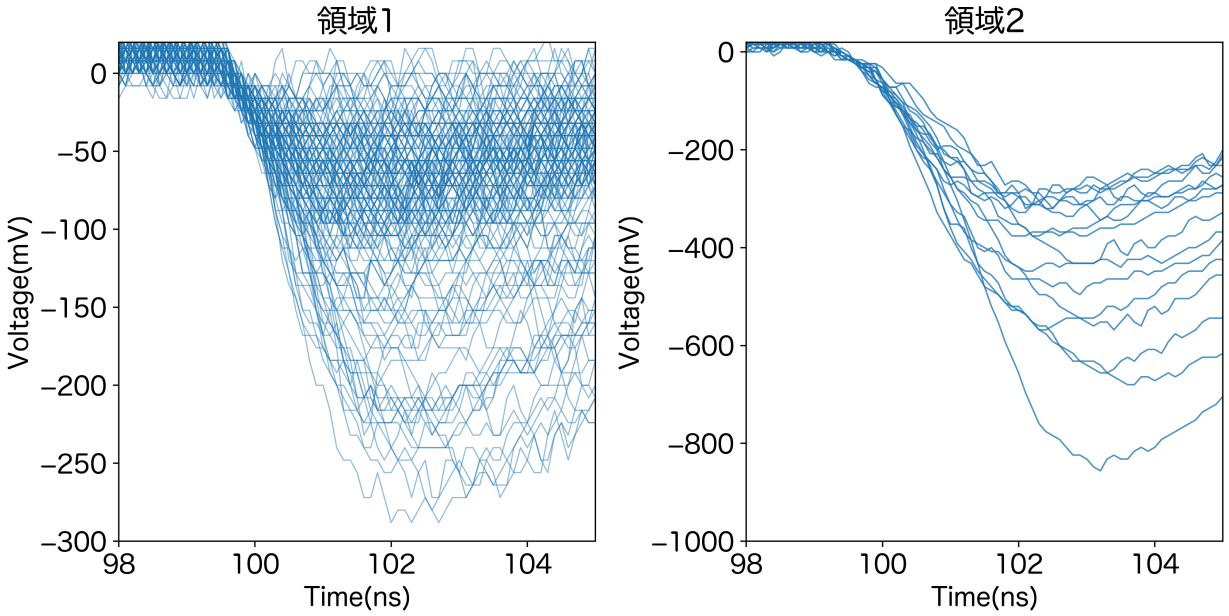


二つ目のパルスをADCゲート内に含まない信号
(領域2の79%)

二つ目のパルスをADCゲート内に含む信号の割合は21±2%であり、**領域2のうち21%は複数のパルスの電荷をカウントしていたことで時間分解能が低下していた事が明らかとなった。**

立ち上がり時間の測定

- 領域2の信号の立ち上がり時間が領域1の信号の立ち上がり時間よりも長ければ、領域2でヒットタイミングがずれ、時間分解能が悪くなることを説明できる。
- 領域2で立ち上がりが遅い原因や時間分解能にどの程度影響するのか、今後さらに詳細に調べる予定である。



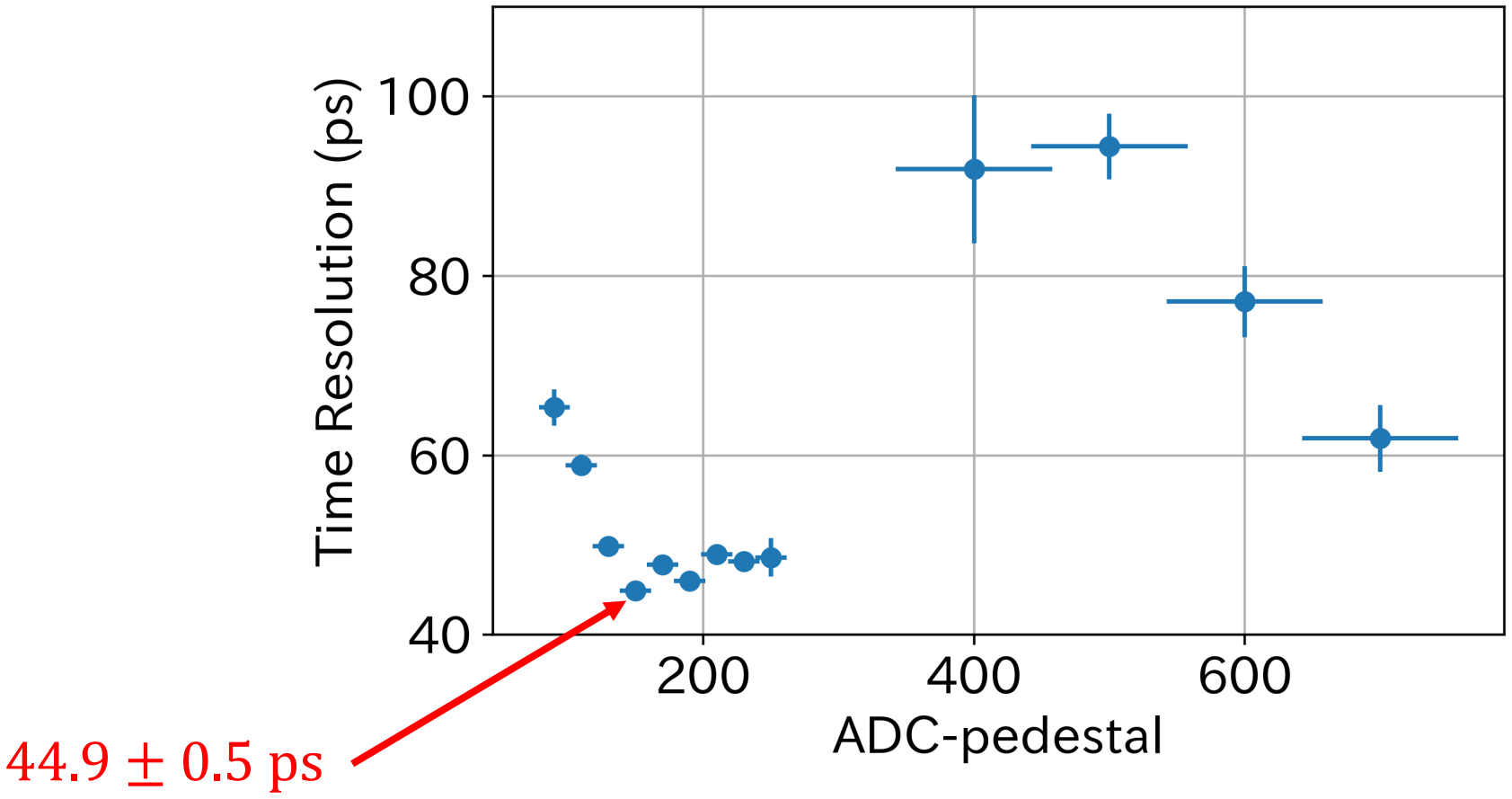
まとめ

- 大型・安価・高時間分解能を目指したガス増倍型の新型光検出器、GasPMを開発中。
- GasPMの初の時間分解能評価を行い、増倍率の低い領域で**$\sigma = 57$ ps**の高い時間分解能を得た。
- GasPMのさらなる高時間分解能化のため、以下の点について測定した。
  - 電場の非一様性
    - 位置により増倍率が20%程度変動することが分かり、電場が非一様になっている可能性を示した。
  - ストリーマ放電の発生
    - 時間分解能の悪い領域ではストリーマ放電が多く発生している事が分かり、領域2の信号の約20%はこれが原因で時間分解能が低下している。
  - 信号波形の変化
    - 時間分解能の悪い領域で信号波形が鈍り、ヒットタイミングの遅れや時間分解能の悪化を引き起こしていることを明らかとした。

今後の展望

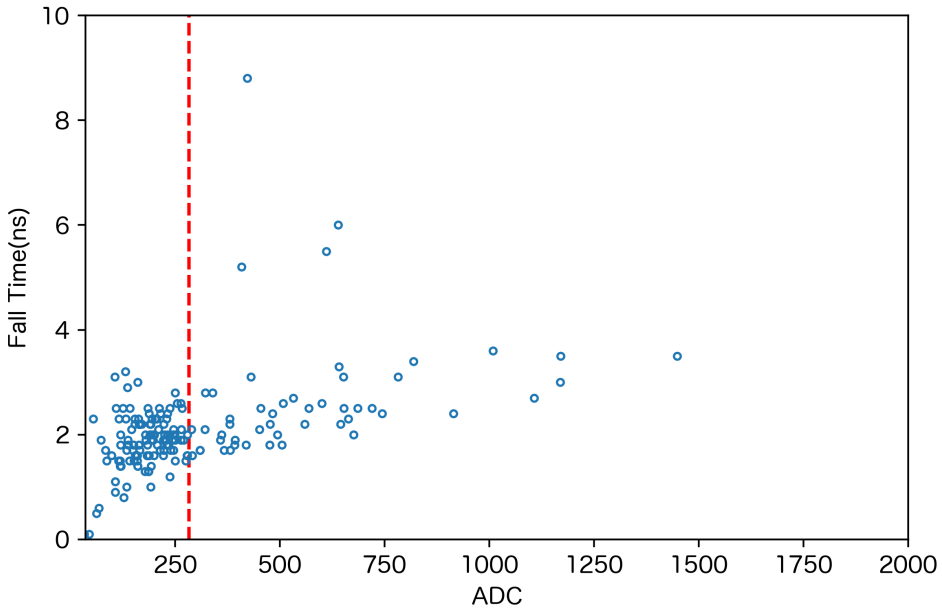
- GasPMの時間分解能を悪化させる要素が時間分解能に与える影響の大きさとこれらの要素が発生する原因を追求し、σ~20 psを目標にGasPMの時間分解能を向上させる。

時間分解能の出力電荷依存性

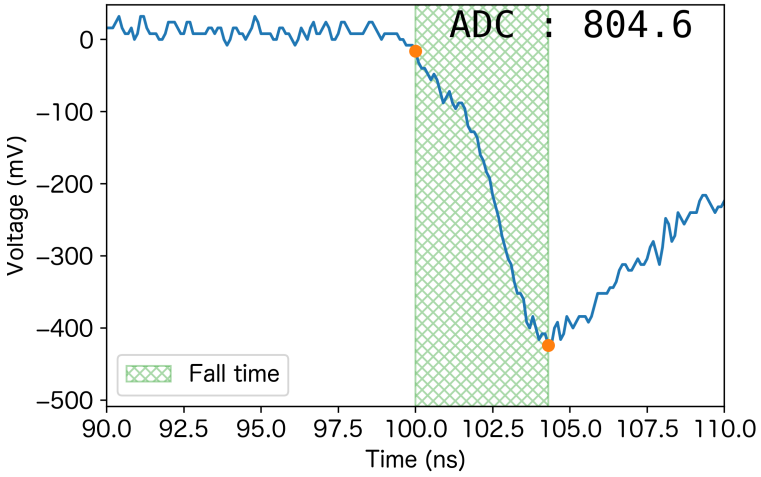


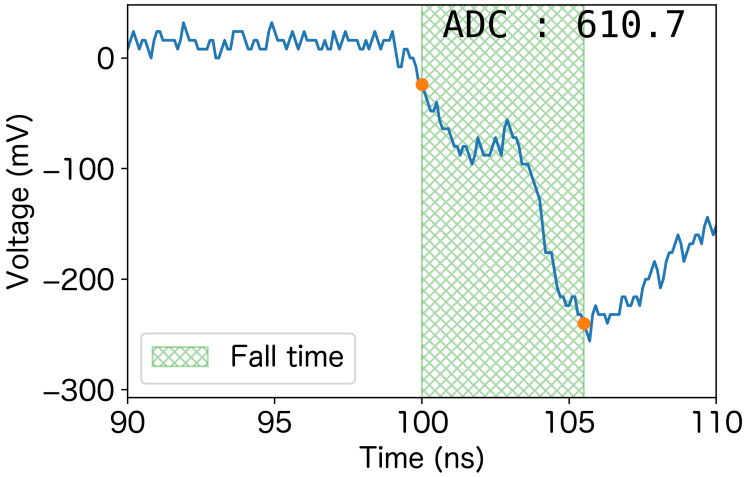
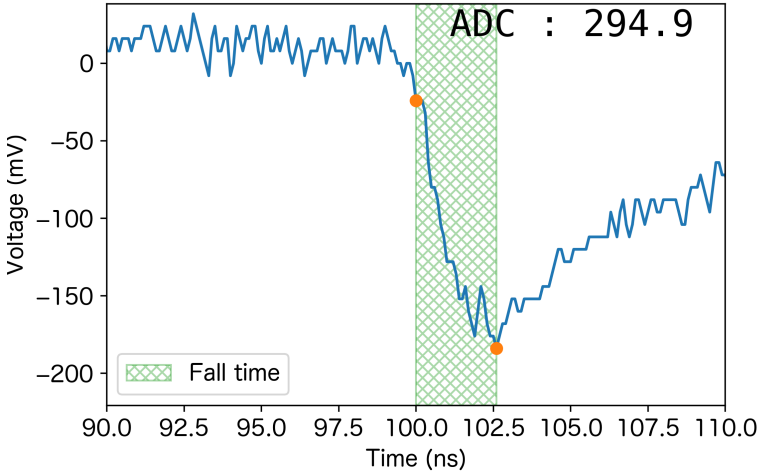
立ち上がり時間の分布

- 領域2には立ち上がりの遅い信号が多数存在する。このような信号によってヒットタイミングのズレや時間分解能の悪化が引き起こされている。



立ち上がりの遅い信号





立ち上がりの速い信号