

MRPC飛行時間測定器の時間分解能向上を目指すガスギャップ幅の最適化

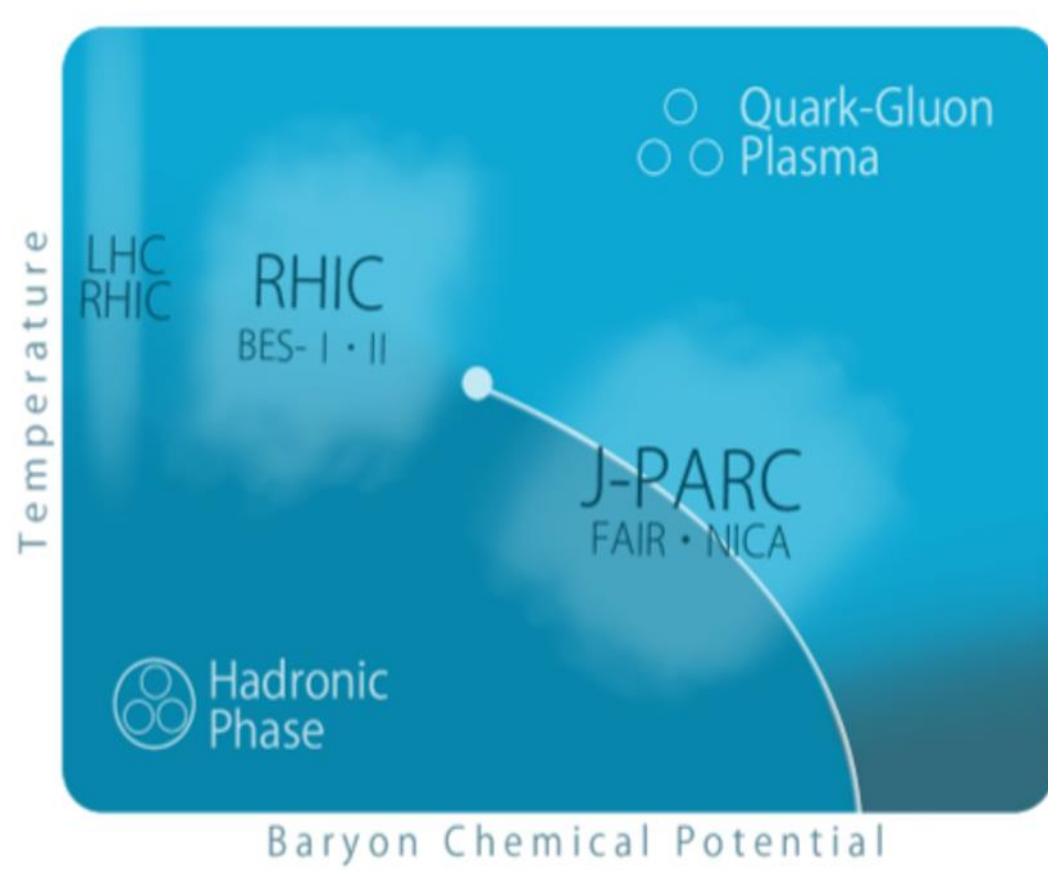
筑波大理工, 筑波大数理^A, 筑波技大^B

佐藤一輝, 中條達也^A, 稲葉基^B, 野中俊宏^A, 小山亮平^A

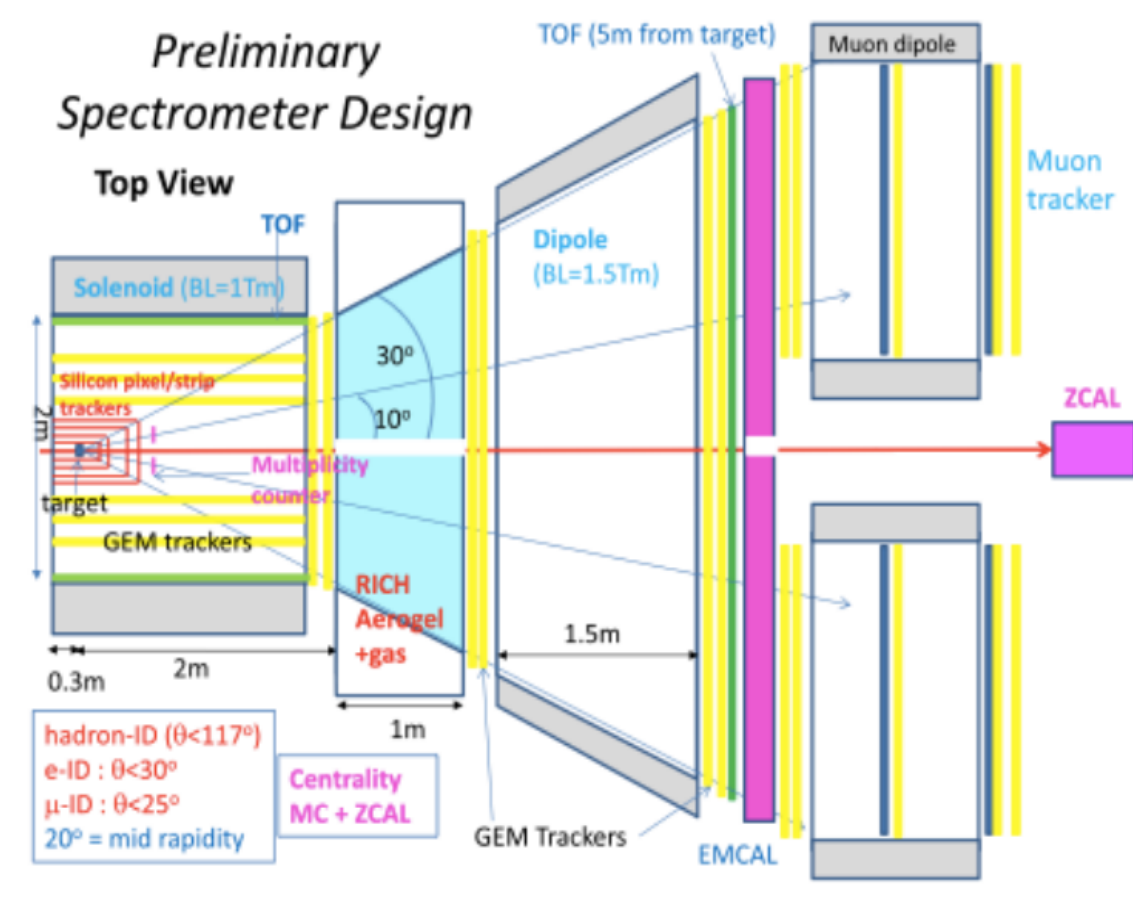


J-PARCにおける重イオン衝突実験計画

- J-PARCの大強度ビームを活かして世界最高のバリオン密度状態の物理量を測定することを目指し、重イオン衝突実験の計画が進行中(左下図)。
- 飛行時間測定器が衝突点から1mの位置に置かれるため、時間分解能30psが必要。(右下図中 TOF)。
- MRPCは、先行研究によって高い時間分解能の実現と大型化が技術的に可能とされており、飛行時間測定器として導入を検討中。

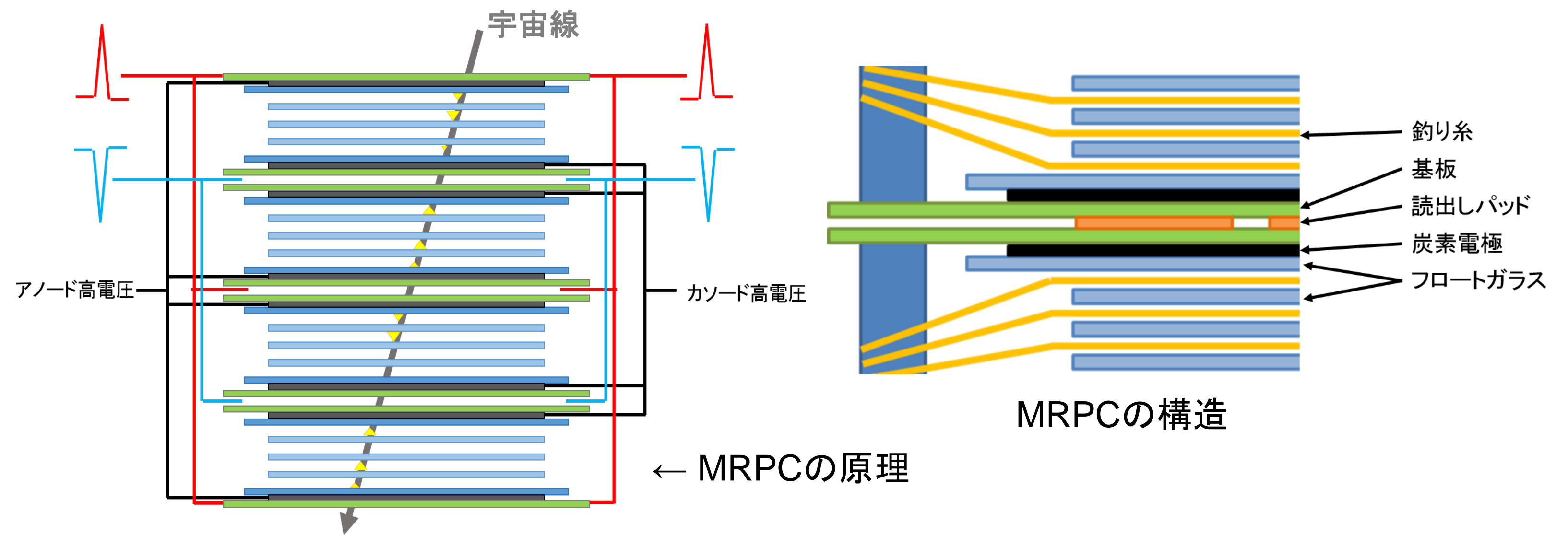


QCD相図 [1]



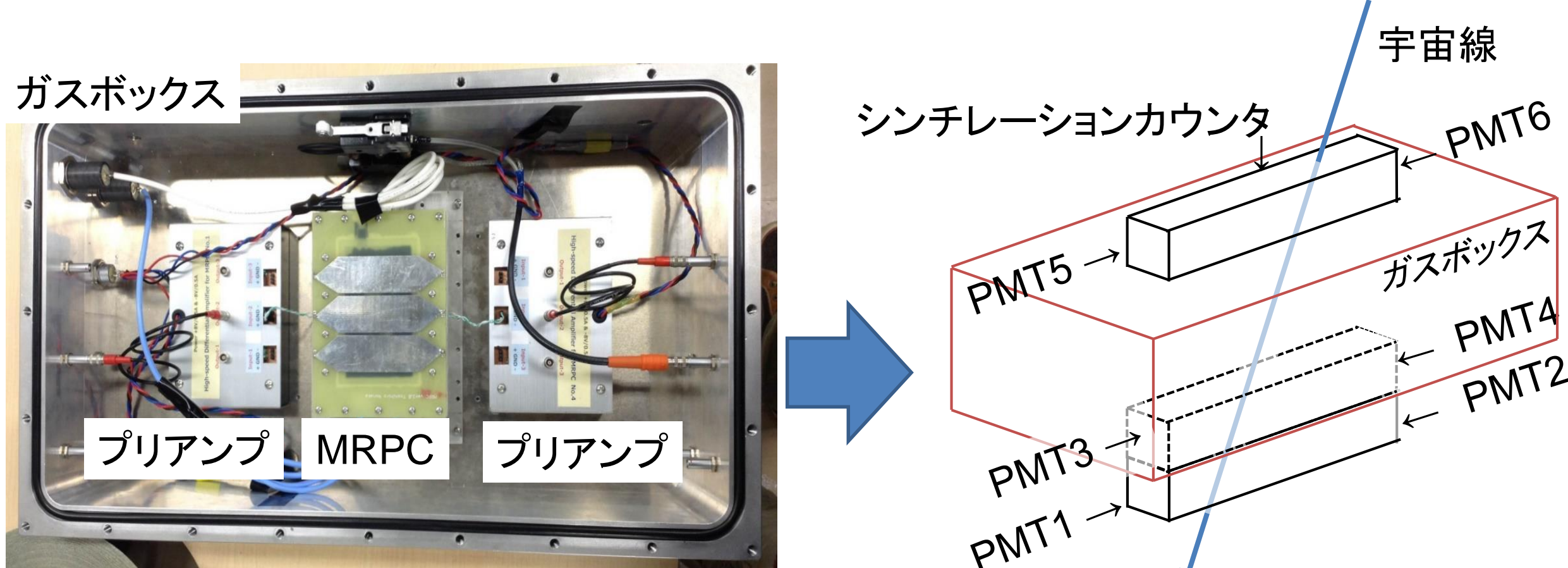
J-PARC検出器配置予定図 [2]

Multi-gap Resistive Plate Chamber, MRPC



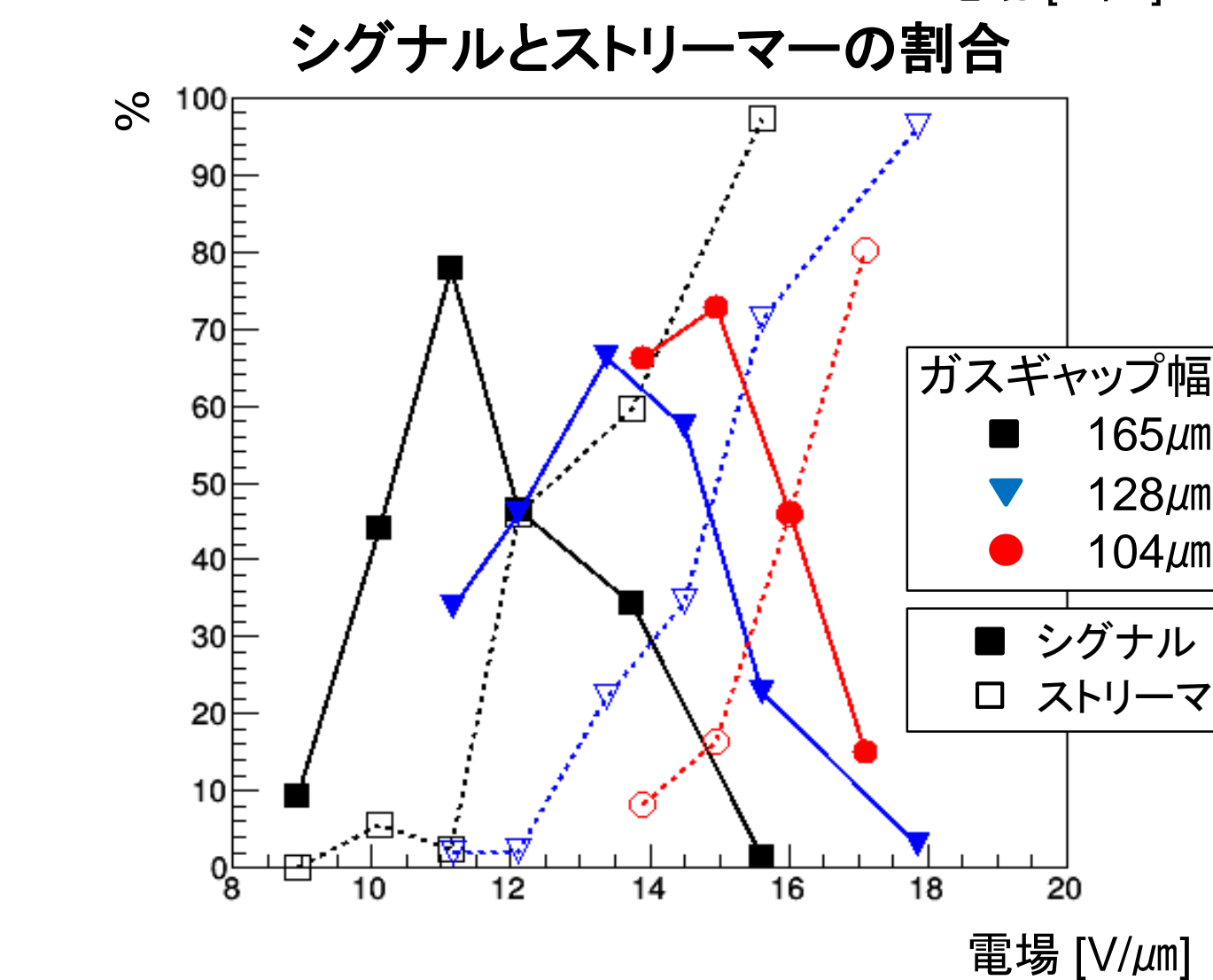
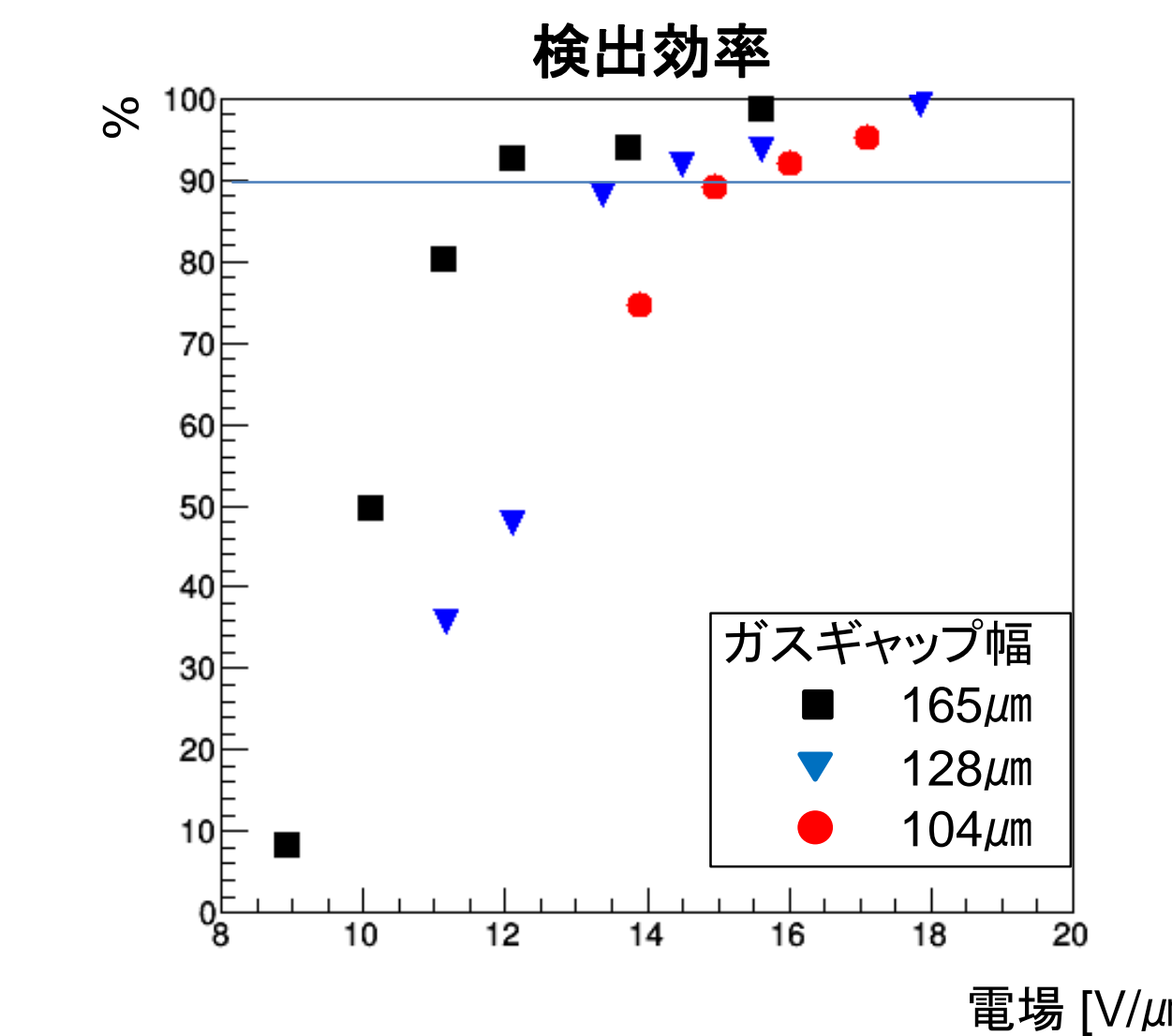
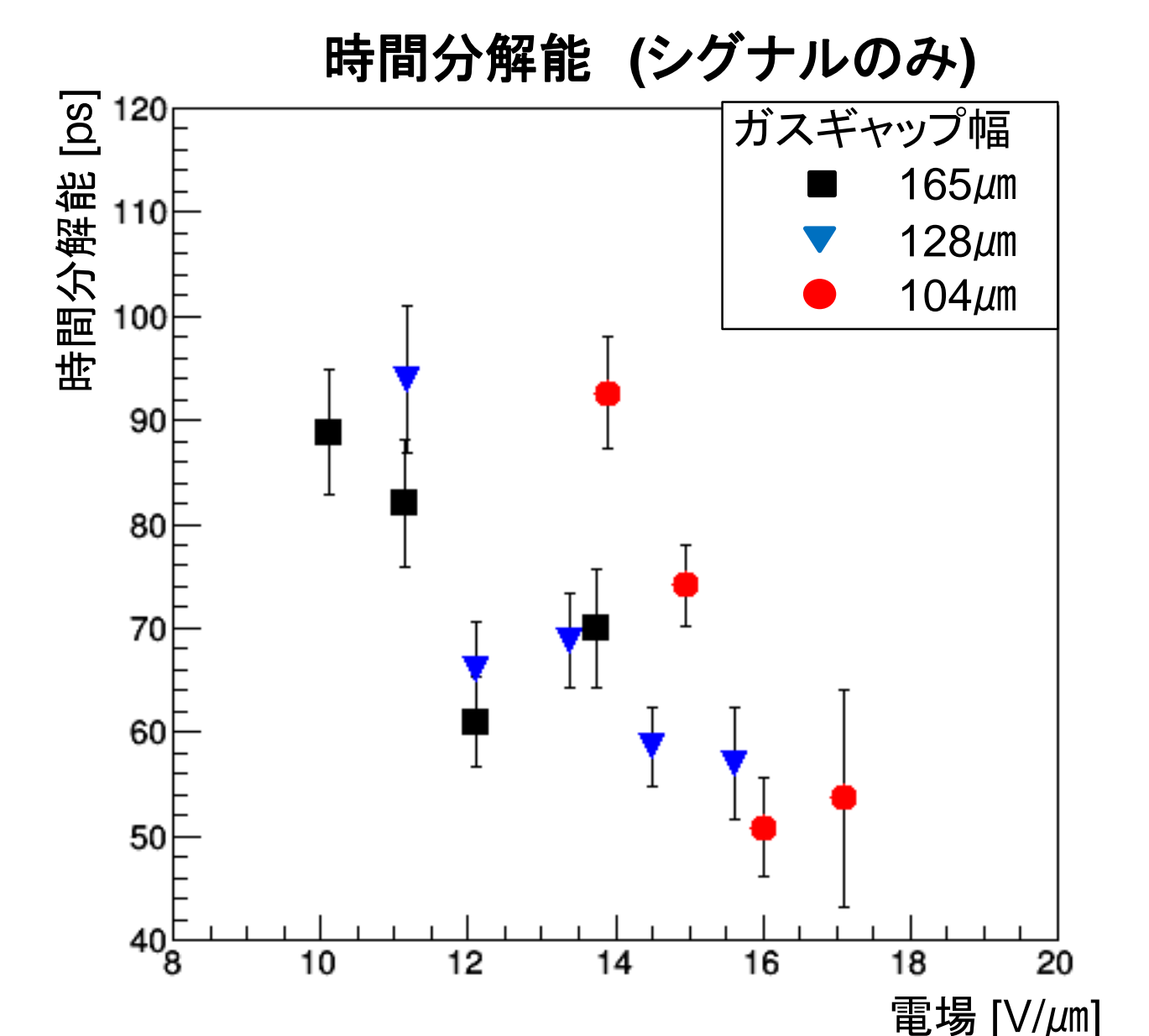
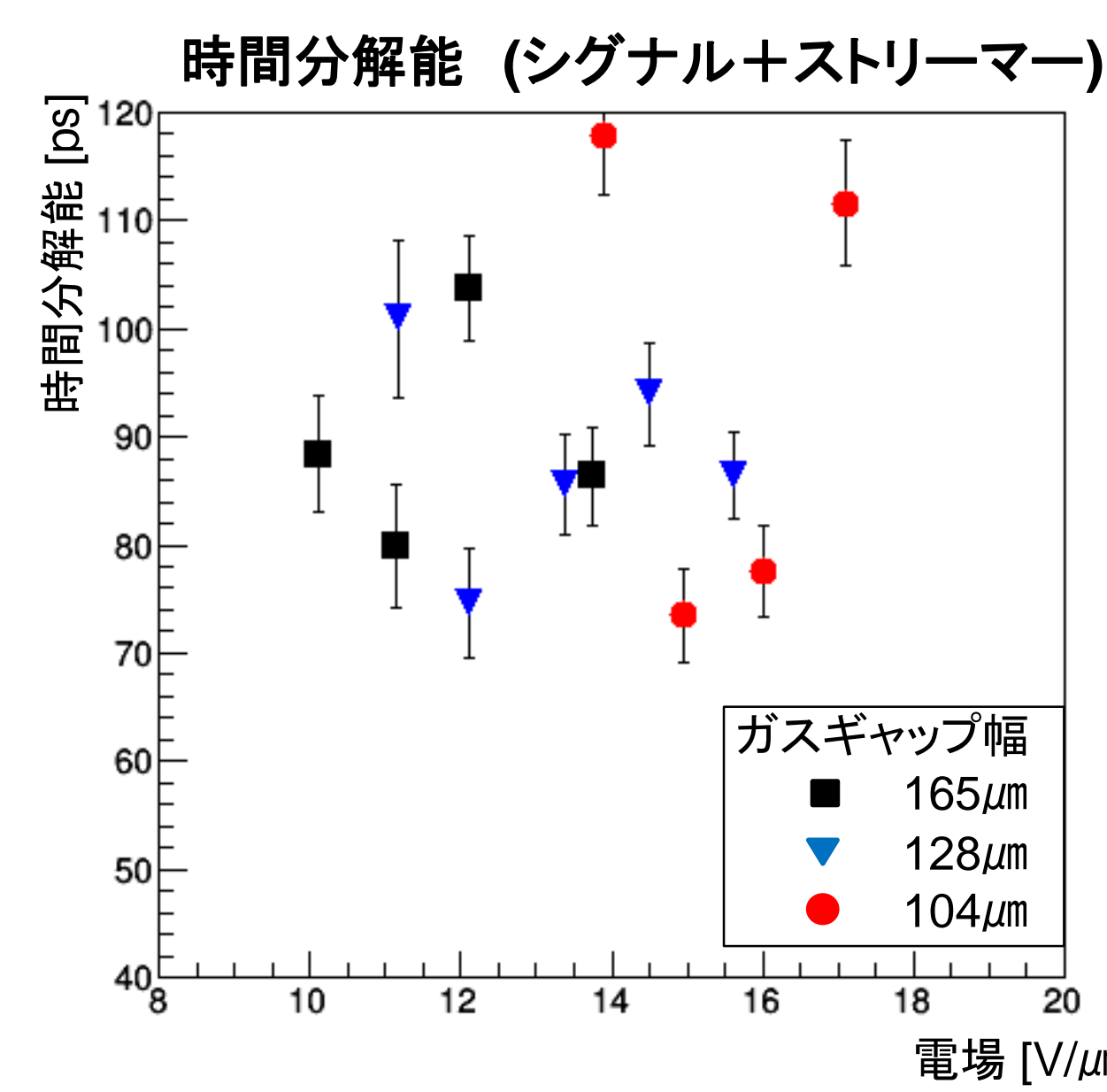
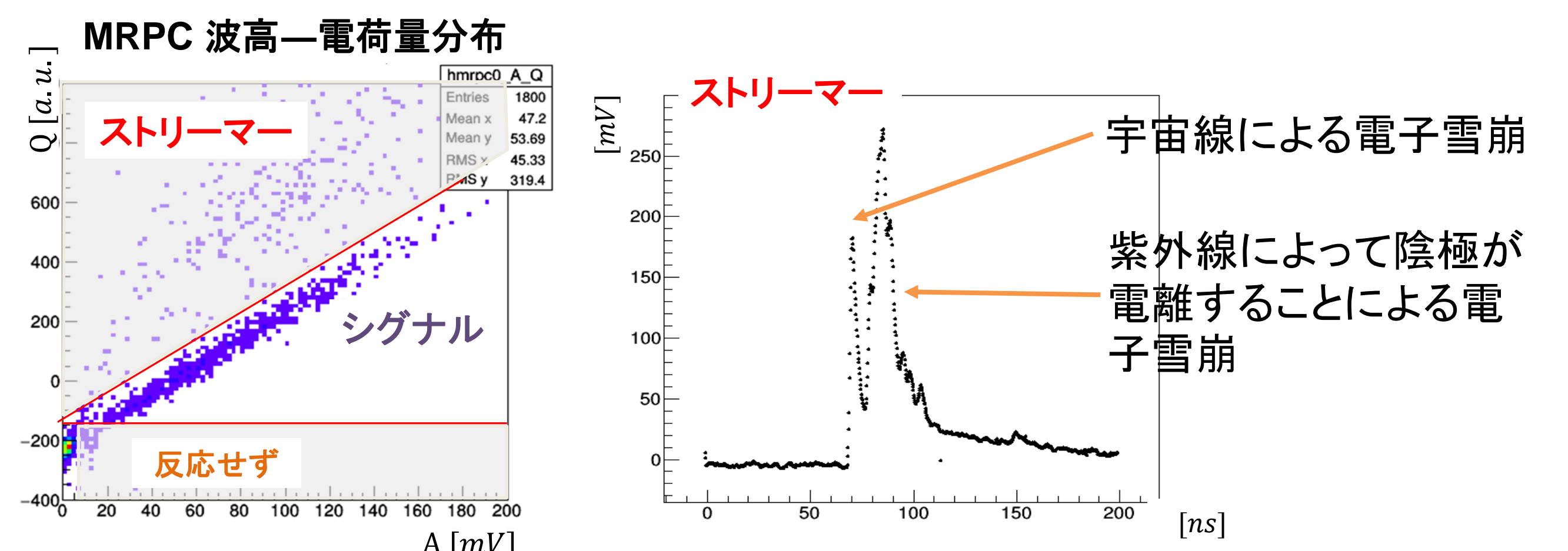
- 釣り糸をスペーサーとしてガラス板を積み重ね、上下を電極と読み出しのついた基板で挟む構造のガス検出器。
- 荷電粒子の入射でガスが電離し、電子雪崩が発生。読み出しパッドに電荷を誘起。
- 先行研究によってガスギャップ数を増やすほど、またガスギャップ幅を狭くするほど時間分解能が向上する傾向にあることが報告されている。
- ✓ ガスギャップ幅165 μm 4段MRPCで最高47.5 \pm 3.4ps (2015年度、筑波大学グループ。宇宙線による性能評価。[3])

宇宙線による性能評価



- 反応ガス R134a 20mL/min
- クエンチングガス SF₆ 2mL/min
- ✓ クエンチングガスとは... 紫外線を吸収するガス。ガス分子の脱励起に起因する紫外線を吸収し、紫外線によって陰極が電離されて発生する信号(ストリーマー)を抑制する。
- スタートカウンター シンチレーションカウンタを3本重ね、それぞれの信号到達時間の平均をスタート時間とする。

実験結果



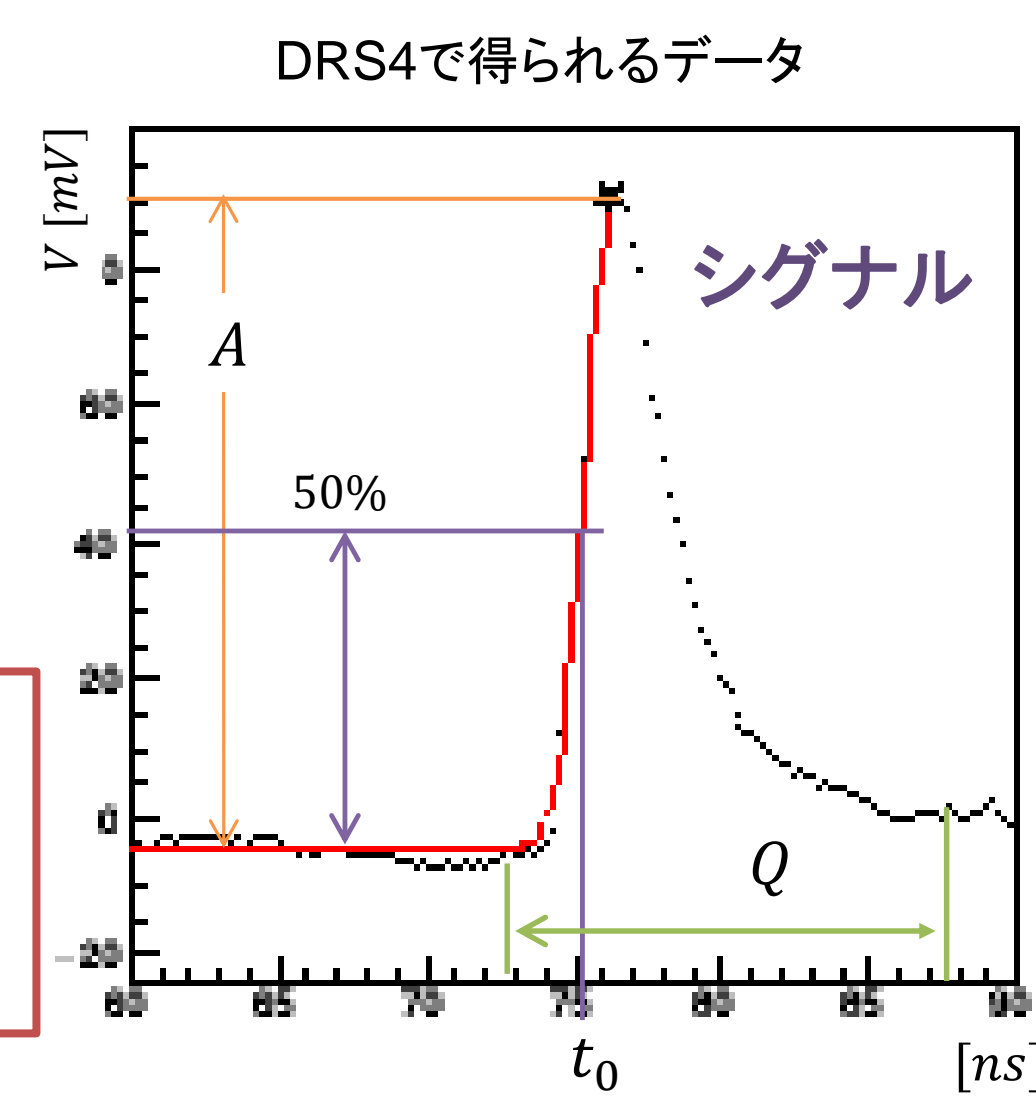
- 左図からギャップ間電場を上げることで検出効率を上げられることが分かる。検出効率が9割の付近で最高の時間分解能はガスギャップ幅104 μm で73.5 \pm 4.4 psであった。
- また、右のシグナルのみを用いた解析では全体として時間分解能が改善した。特に最高の時間分解能は104 μm で50.6 \pm 4.7psとなった。
- 各MRPCの最高時間分解能はシグナルの割合が最大になるときではなく、シグナルとストリーマーが1:1程度で発生している電場の下で実現した。

データの抽出

フィット関数

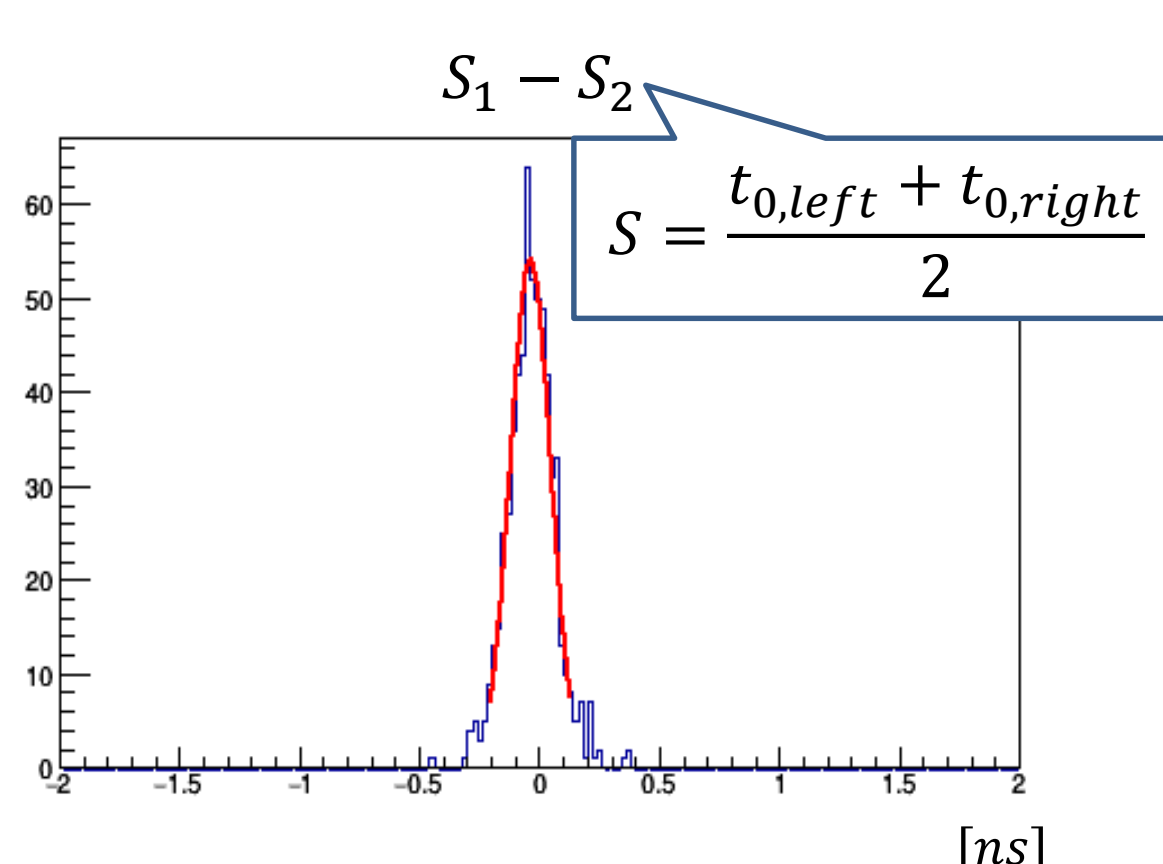
$$f(x) = C_1 + \frac{C_2}{1 + \exp\left(\frac{x - C_3}{C_4}\right)}$$

- A: 波高 [mV]
- Q: 電荷量(ピーク付近の積分) [a.u.]
- t₀: 波高の半分に達した時間 [ns]



時間分解能の評価方法

スタートカウンターの時間分解能

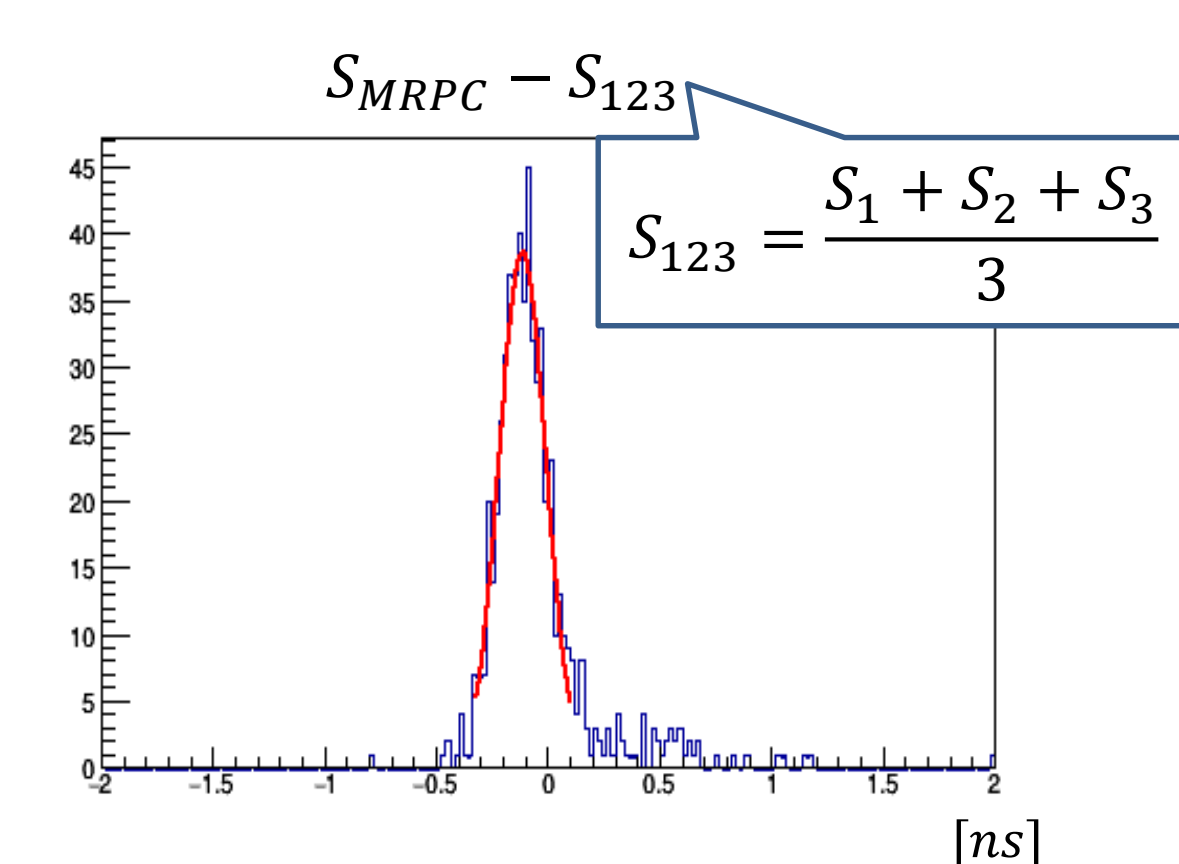


$$\sigma_{\text{Single}} = \frac{\sigma_{S1-S2} + \sigma_{S2-S3} + \sigma_{S3-S1}}{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_{S123} = \frac{\sigma_{\text{Single}}}{\sqrt{3}}$$

$\sigma_{\text{Single}} \sim 70\text{ps}$
 $\sigma_{S123} \sim 40\text{ps}$

飛行時間



$$\sigma_{\text{MRPC-S123}}^2 = \sigma_{S123}^2 + \sigma_{\text{MRPC}}^2$$

➔ MRPCの時間分解能 σ_{MRPC}

今後の展望

- 統計の多い陽電子ビームを用いた性能評価実験(2016年夏予定)。
- S/N改善のためMRPCごとにリアンプ利得および周波数帯域幅を調整。
- クエンチングガスを増やしストリーマーをより抑制することで時間分解能を改善。
- MRPC基盤にグラウンドを配置(ソニーEMCS(株)とのコラボレーション)。

出展

1. H.Sako et al. "J-PARC Heavy-Ion Program (Version 0.50)" 2015, 5, 15
2. H.Sako et al. "Towards the heavy-ion program at J-PARC" 2014, 8, 26
3. 『高時間分解能飛行時間測定器 Multi-gap Resistive Plate Chamber (多段型MRPC) の開発; データ収集システムの構築と宇宙線による性能評価』 野中俊宏 筑波大学数理物質科学研究科2014年度修士論文 2015.3