



大阪大学
The University of Osaka

COMET実験に用いる トリガー検出器の読み出し回路開発

住村明紀、上野一樹、吉沢直道、Thomas Bouillaud^A、水野貴裕^A

田中真伸^B、庄子正剛^B、藤井祐樹^C、Jonathan Bonnard^D、Alex Miles^E

大阪大学、九州大学^A、KEK^B

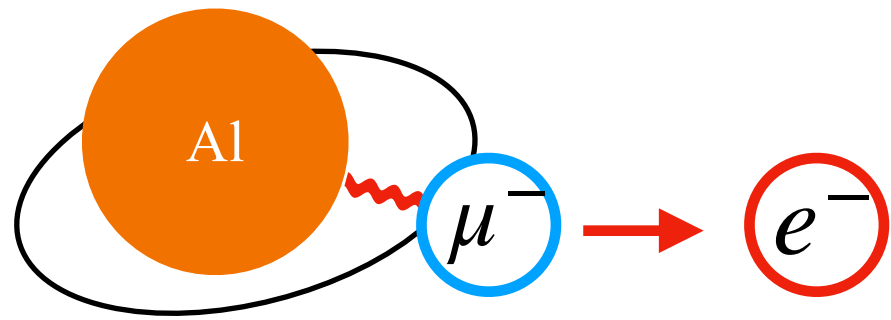
Imperial College London^C、Université Clermont Auvergne^D、Monash University^E

COMET Phase-I実験

- μ -e転換過程の探索 @ J-PARC



→ 信号事象は105 MeV/cの運動量を持つ単一電子



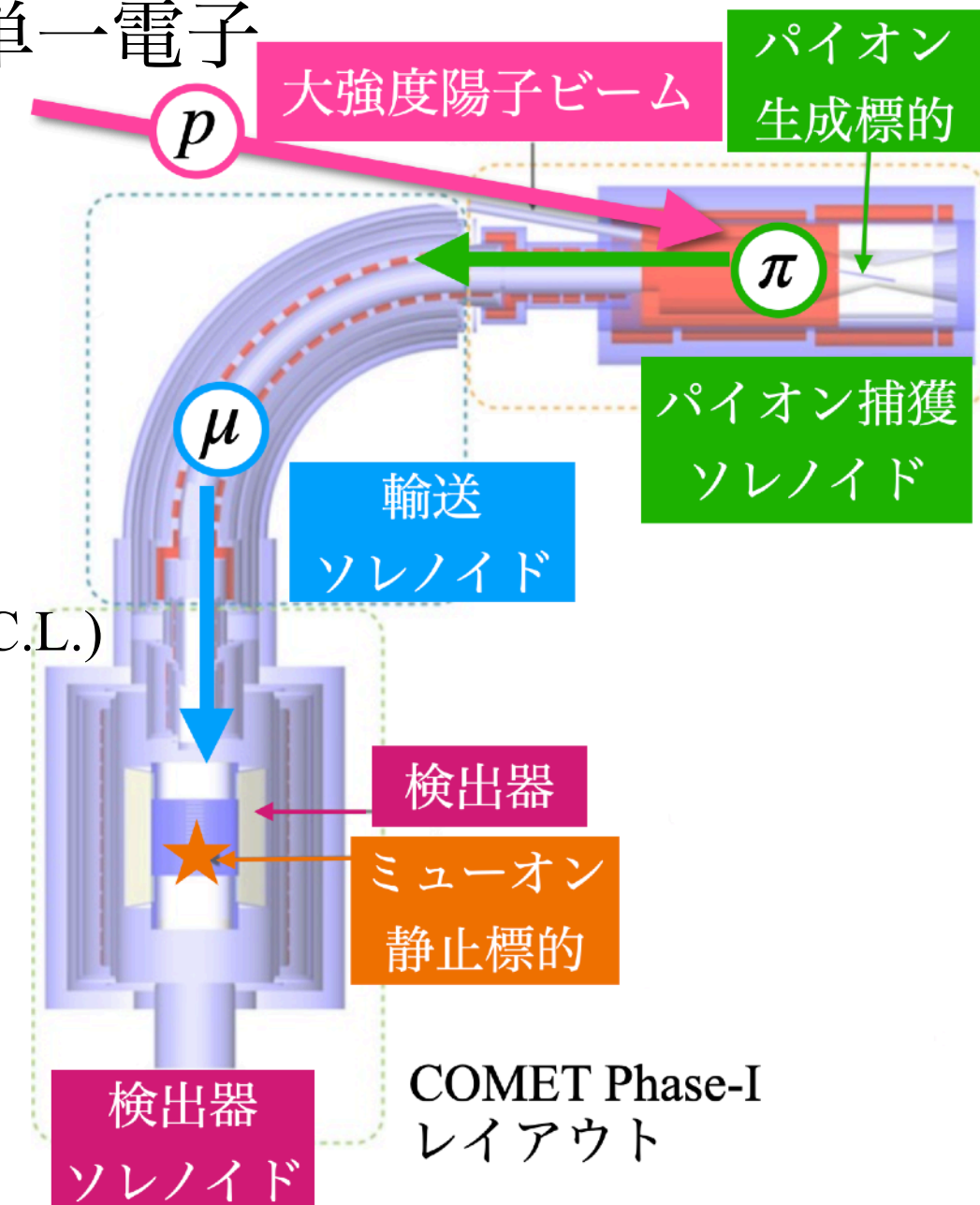
- 目標単一事象感度： 3×10^{-15}

Cf) 現在の分岐比の上限： 7.0×10^{-13} (90% C.L.)

(Au標的 SINDRUM II 2006)

DOI:10.1088/0954-3899/29/8/306

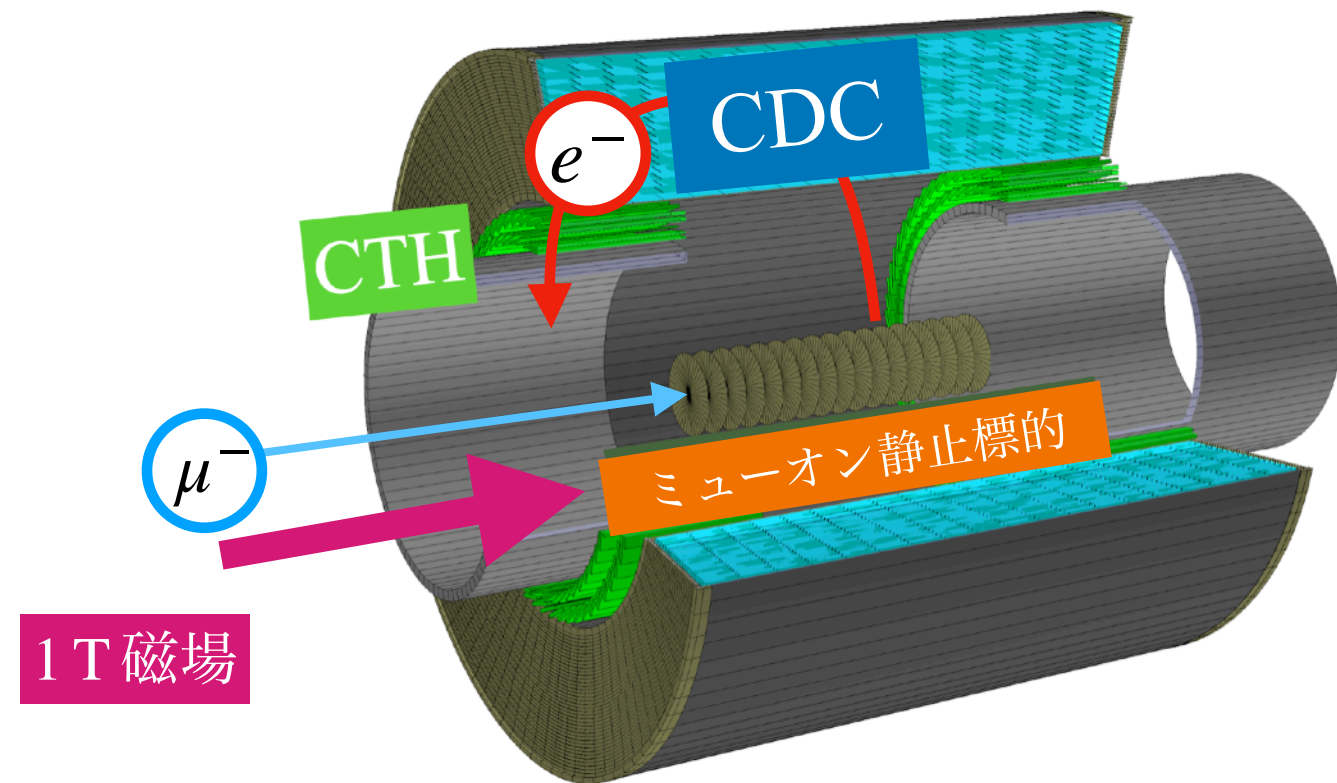
新物理の証拠



COMET実験で用いる検出器

CyDet (Cylindrical Detector System)

- CDC (Cylindrical Drift Chamber) : ガス検出器
 - 磁場中の荷電粒子飛跡測定 → $200 \text{ keV}/c$ の分解能で運動量決定
- CTH (Cylindrical Trigger Hodoscope) : シンチレーション検出器
 - トリガー発行
 - 1 ns の分解能で電子の入射タイミングの決定
→ CDCの飛跡再構成に使用



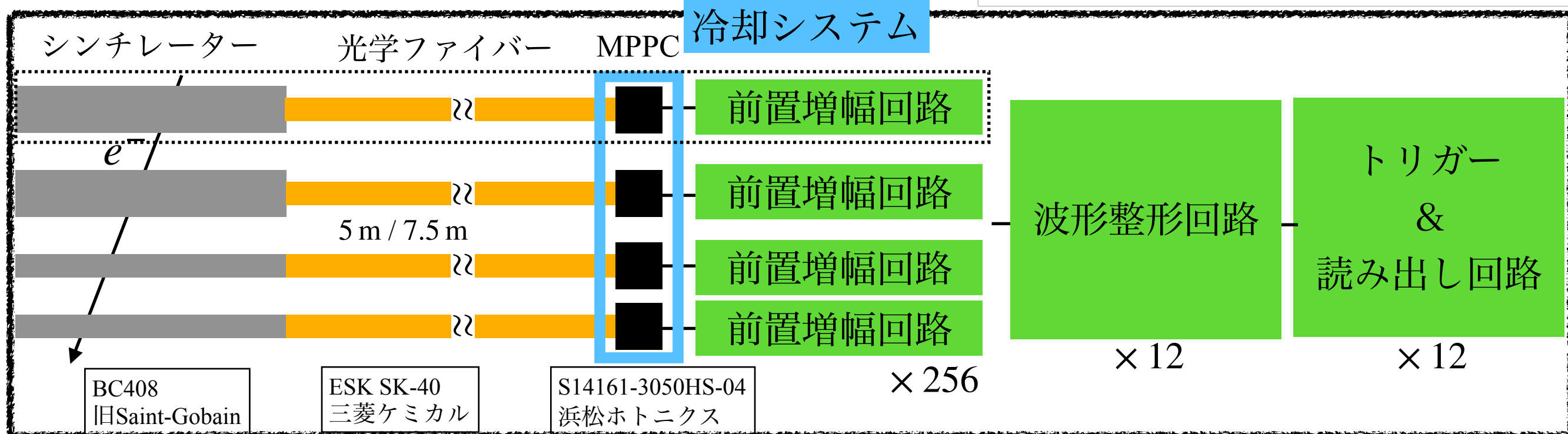
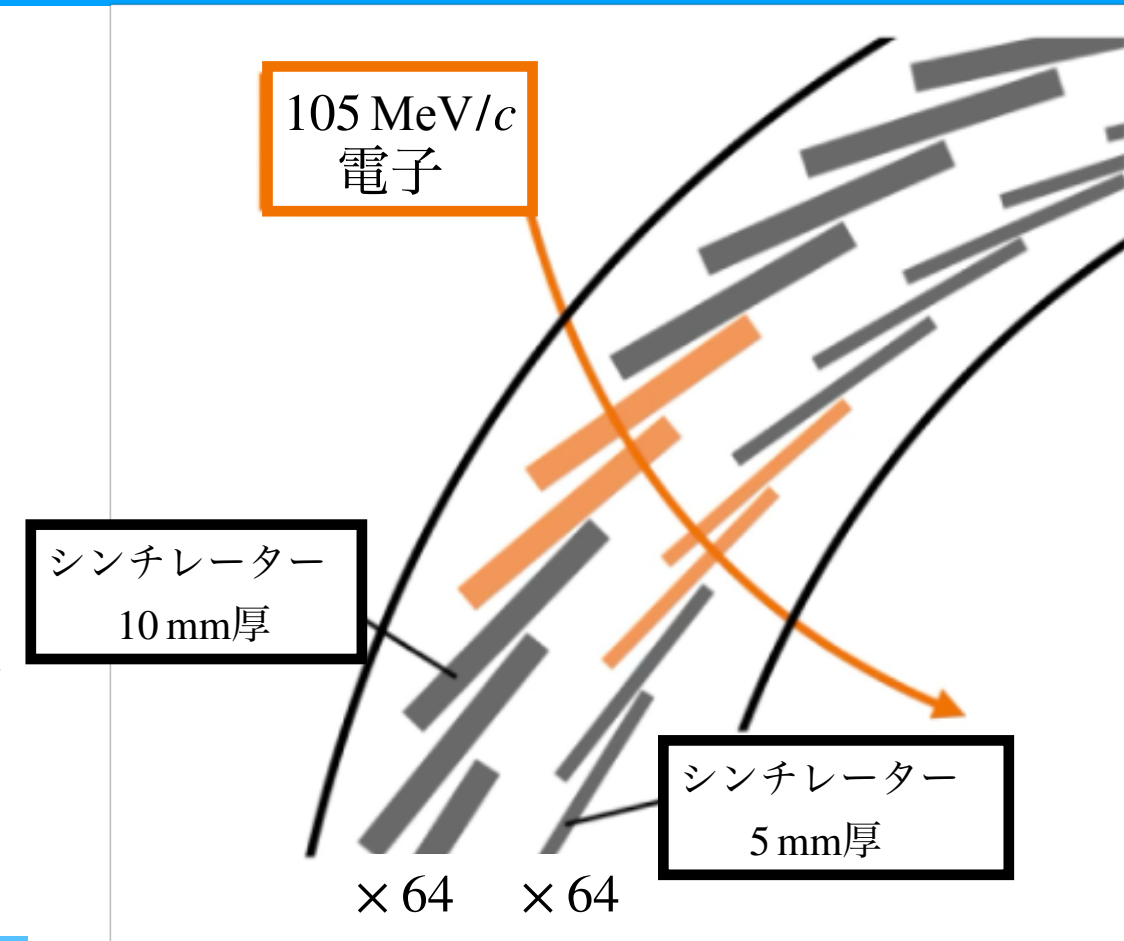
CTHの概要

CTHの要求

- 1 nsの時間分解能
- トリガー計数率削減

CTHのデザイン

- 上流下流に合計256枚のシンチレーター
- 内・外側層で隣接する各2枚 計4枚で同時計数
- 光学ファイバーでシンチレーション光を輸送
- MPPC(半導体光検出器)で信号読み出し

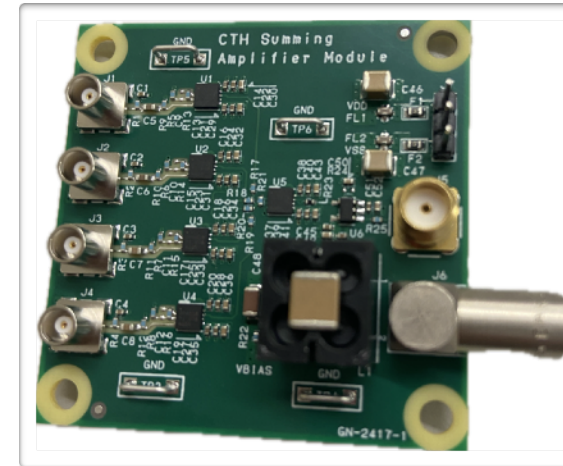


CTHの信号読み出し回路基板

要求性能

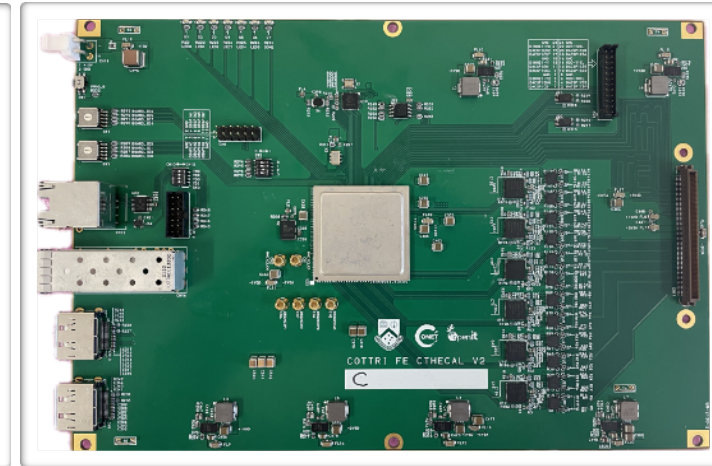
- 放射線耐性 ← 試験済みのパーツを使用
- 1 p.e. - 100 p.e. 相当の信号応答の線形性
- 最大5 MHzのレート耐性
- 1 nsの時間分解能

SAM



(50 × 50 mm²)

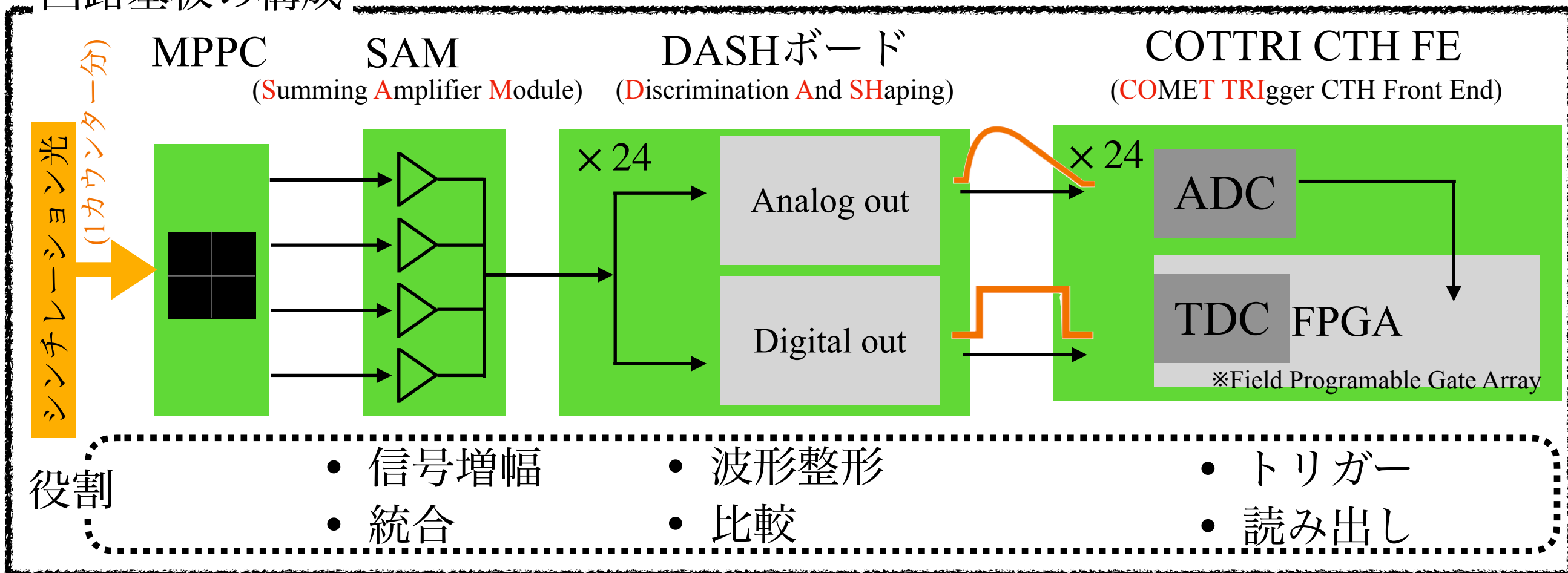
COTTRI CTH FE



(233 × 160 mm²)

(※以下 COTTRI)

回路基板の構成



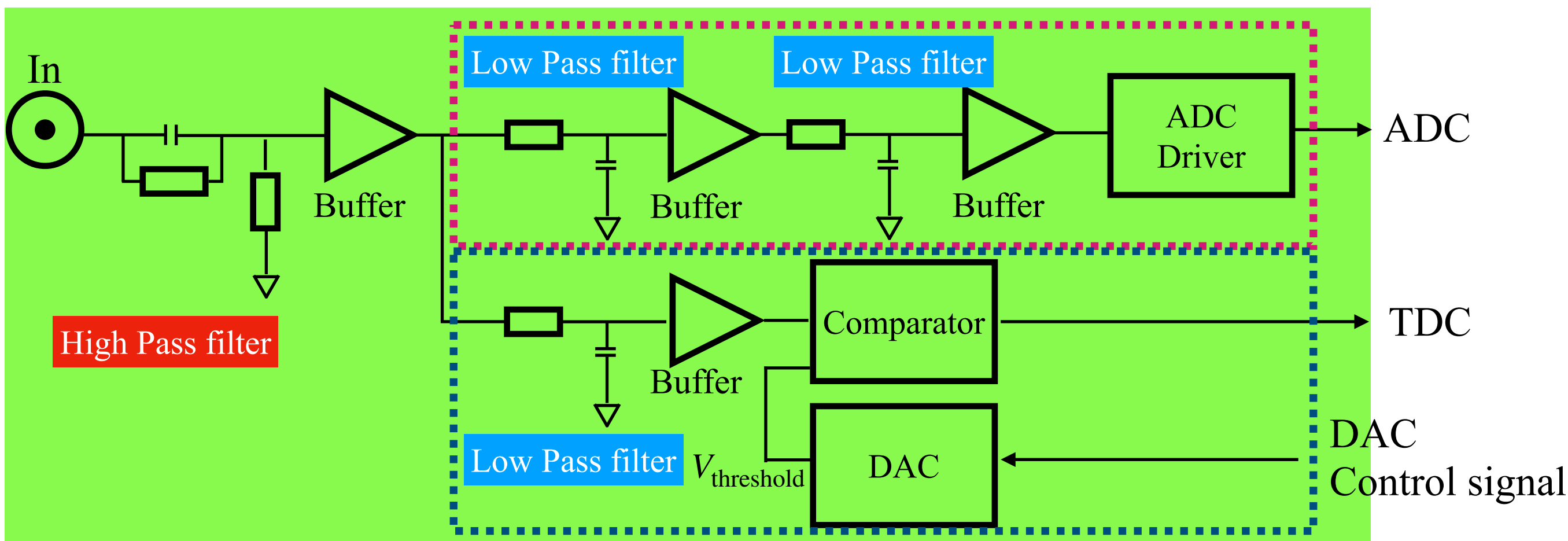
DASHボード

役割

アナログ信号をデジタル変換する準備

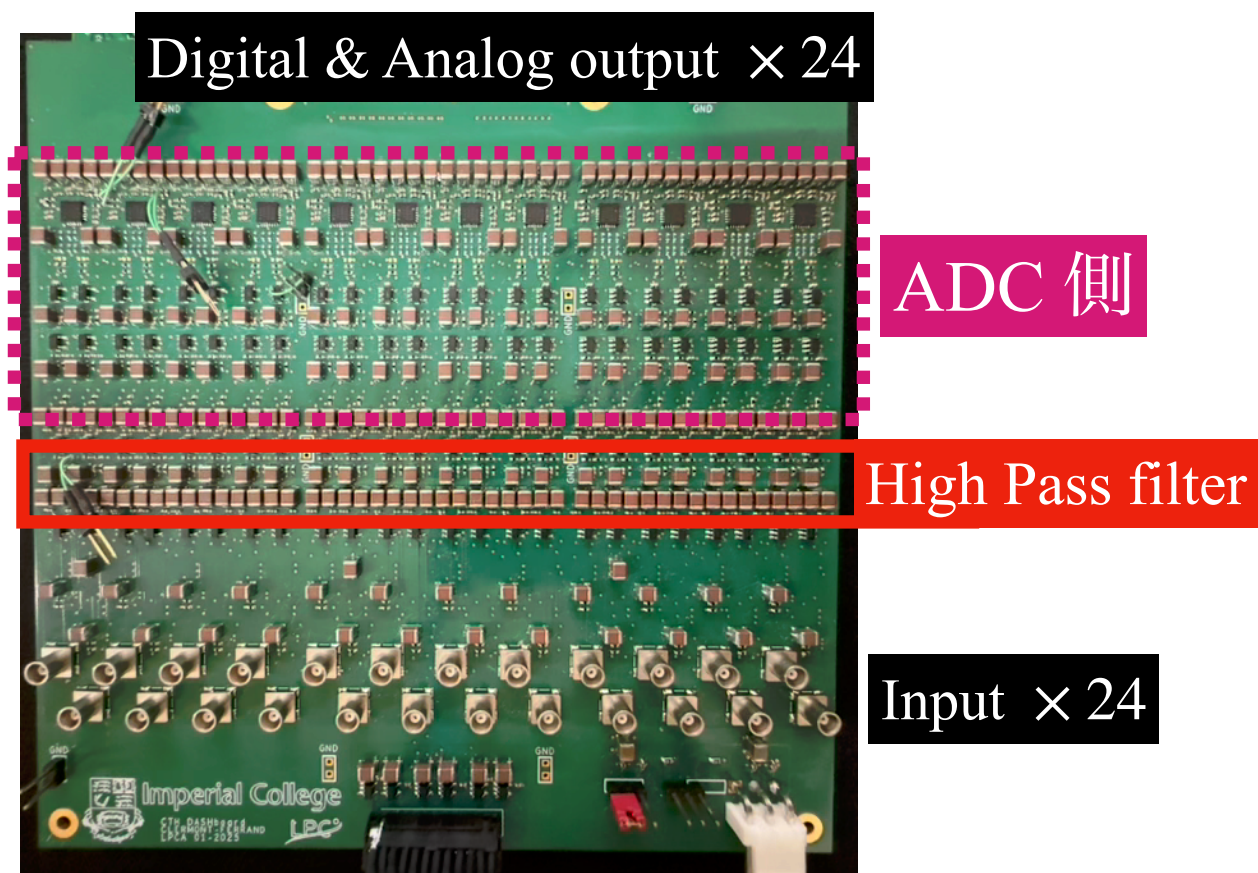
- ADC側：波形整形
- TDC側：信号比較

回路の簡略図



DASHボードの試作機

実機

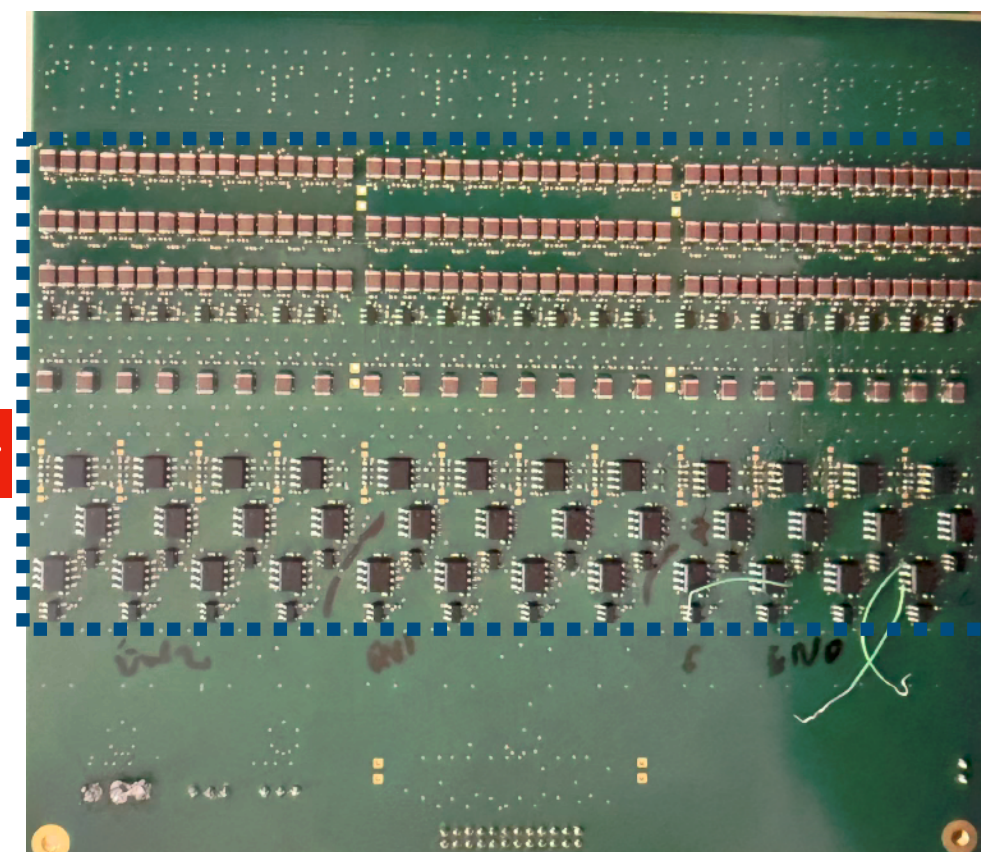


ADC 側

High Pass filter

Input × 24

表面



TDC 側

160 × 160 mm²

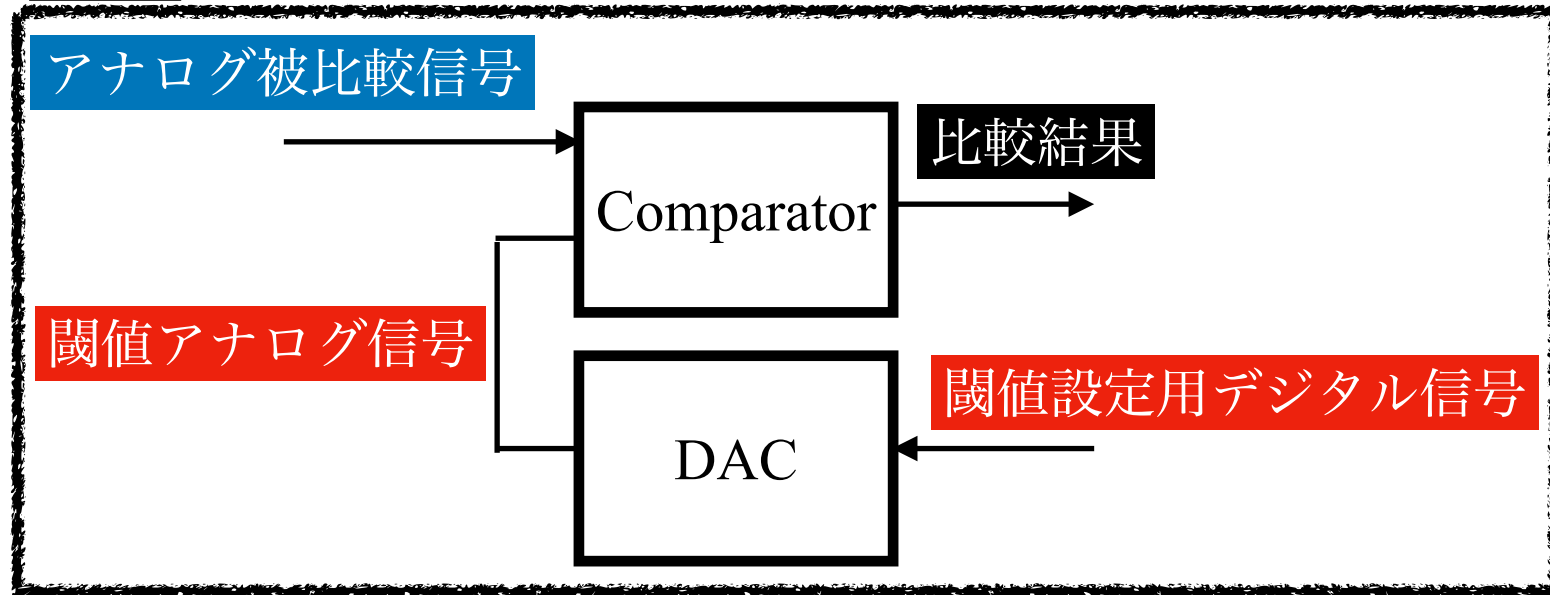
裏面

本講演では、

- DACの調整幅の調査 → 改善の要請
- 回路基板の改善
- DASHボードを用いたCTHの回路基板の性能評価

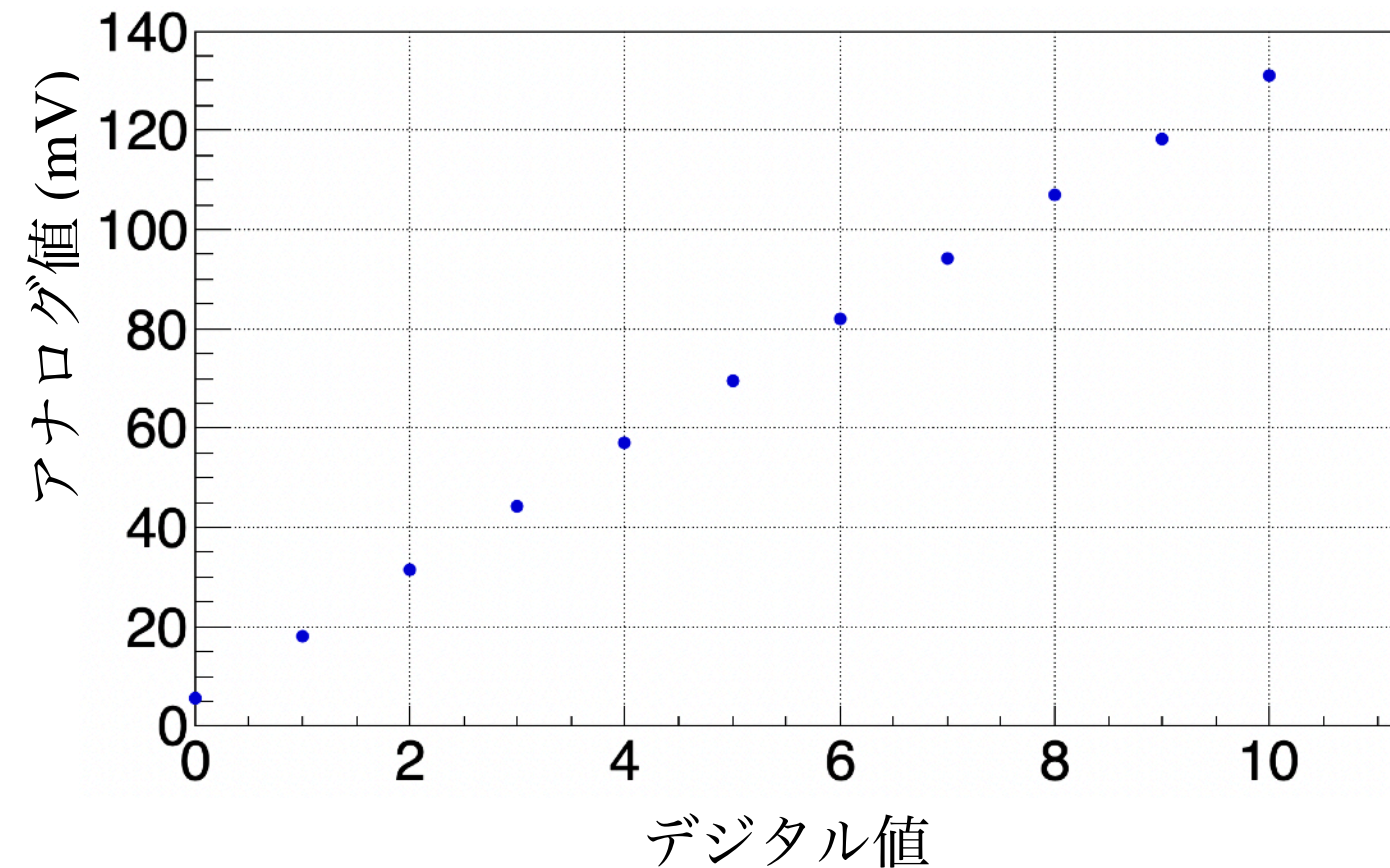
DACの調整幅の調査

DAC



閾値の設定値をデジタルで変換し、その時のアナログ信号を測定

結果



- 最小閾値アナログ値：約6 mV
- 閾値ステップ：約13 mV
- Comparator直前の1 p.e.の信号 ~ 2.5 mV
→ 今後ステップ間隔を調整予定

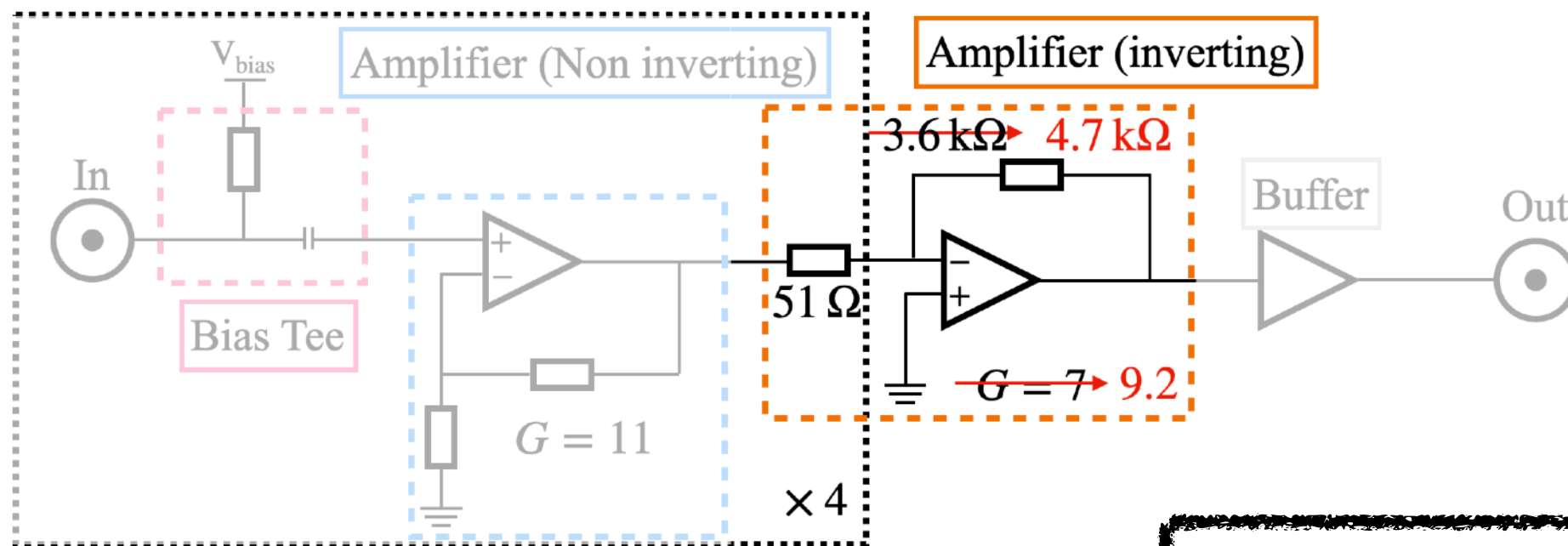
回路全体としての改善案

- SAMのゲイン調整
- DASHボードのカットオフ周波数の調整

SAMの改良とその評価方法

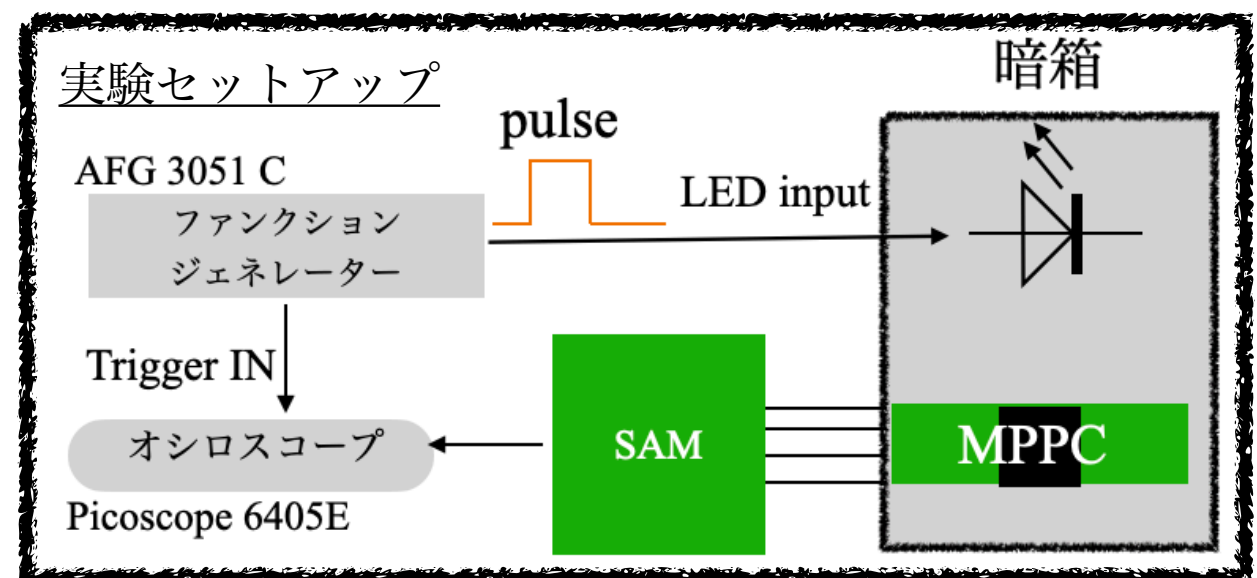
- CTHで使用するMPPCのゲインが想定よりも小さい
 - 現行のDASHのDACの調整幅が大きい
- SAMのゲインを上げる

回路の簡略図



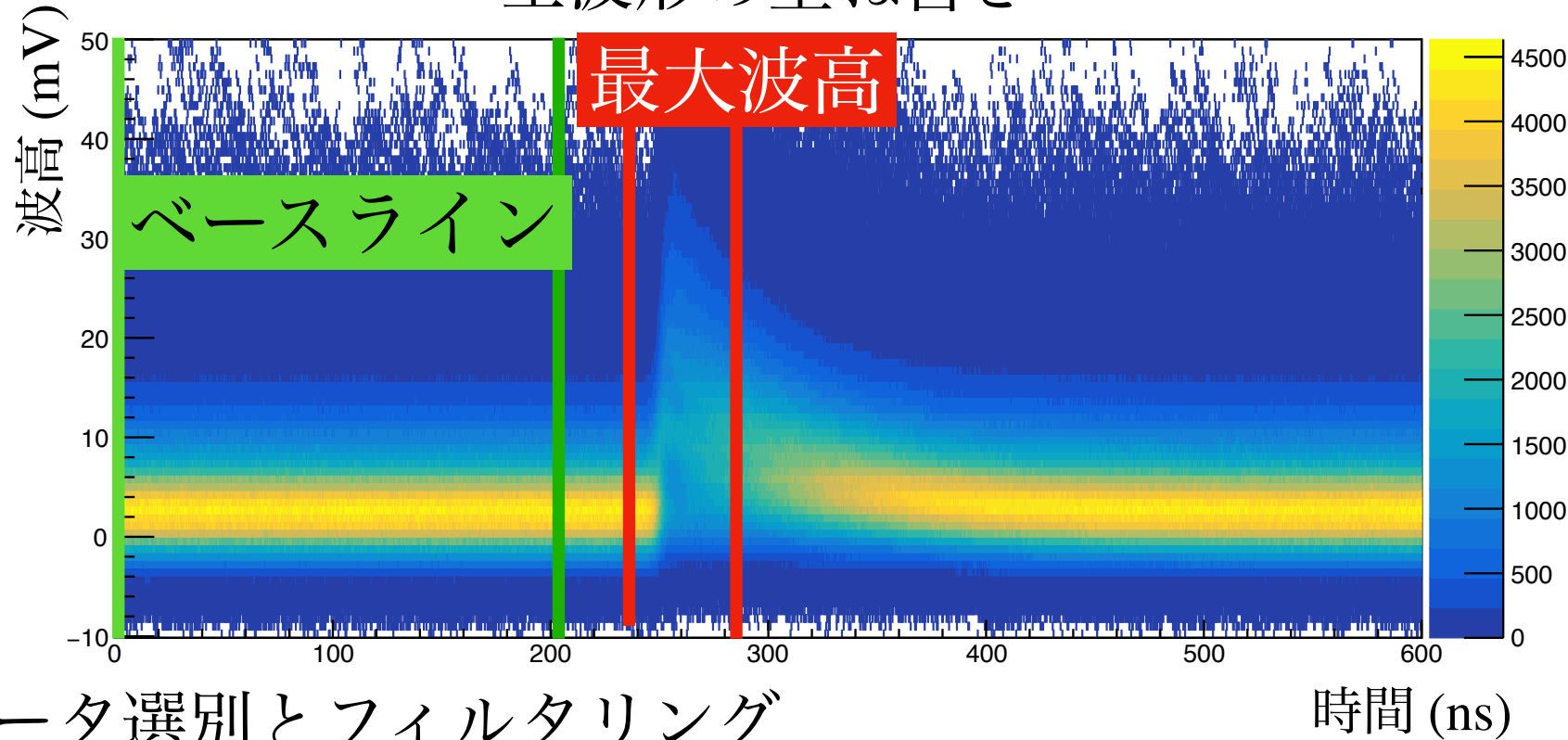
評価方法

1 p.e.相当の信号波高の大きさを比較

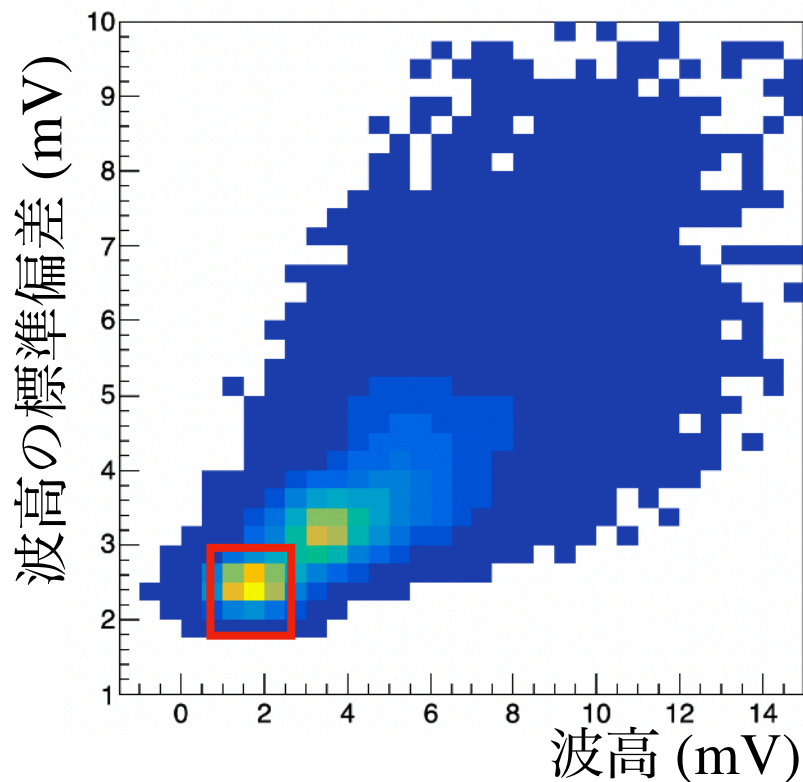


取得される波形とフィルタリング

生波形の重ね書き



データ選別とフィルタリング

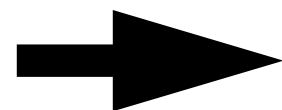


ベースラインによるデータ選別

- ベースラインの波高 vs 波高の標準偏差
- トリガー以前のノイズ発生イベントの除去

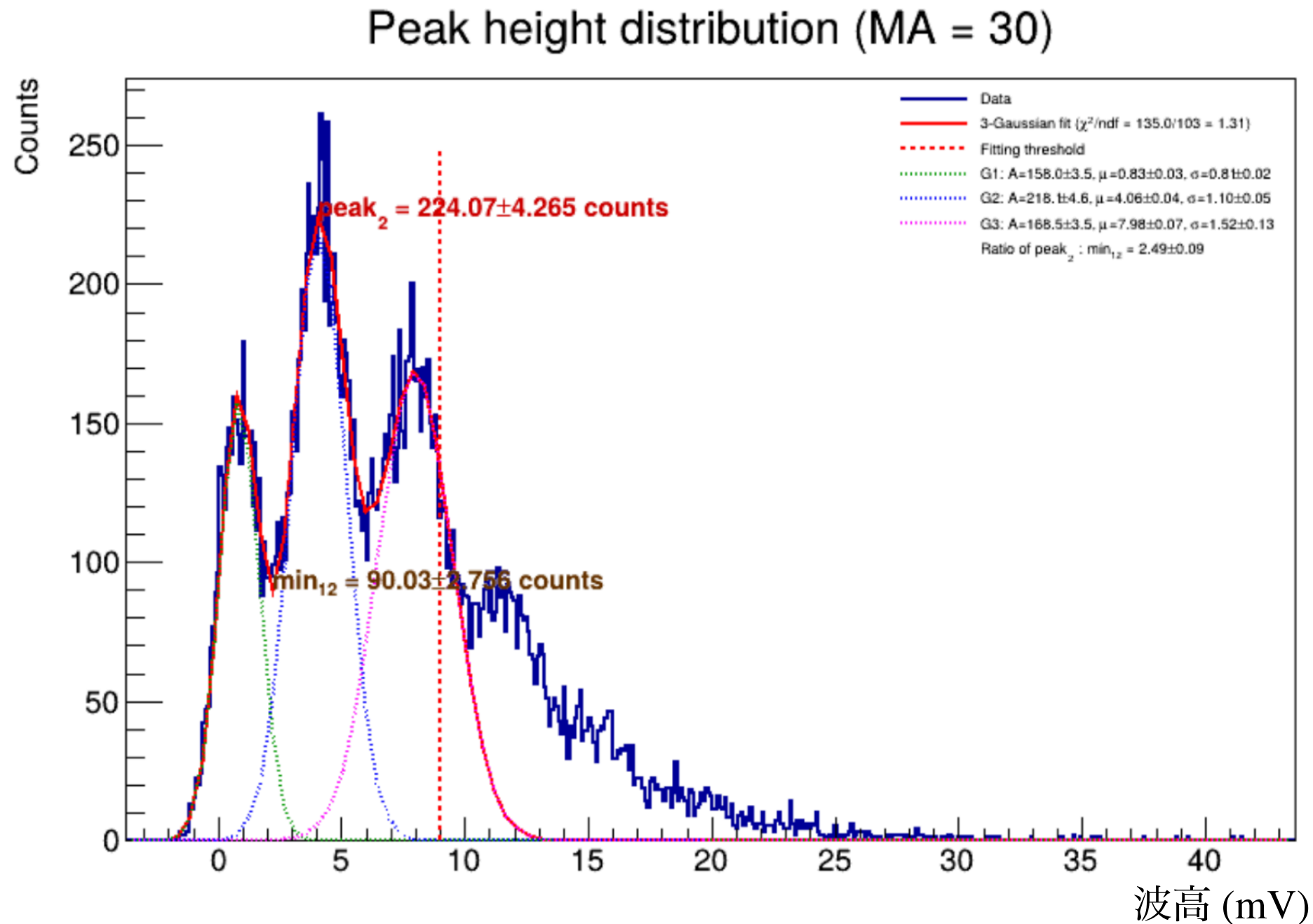
移動平均

- 高周波ノイズ除去のため、20 MHz相当の移動平均



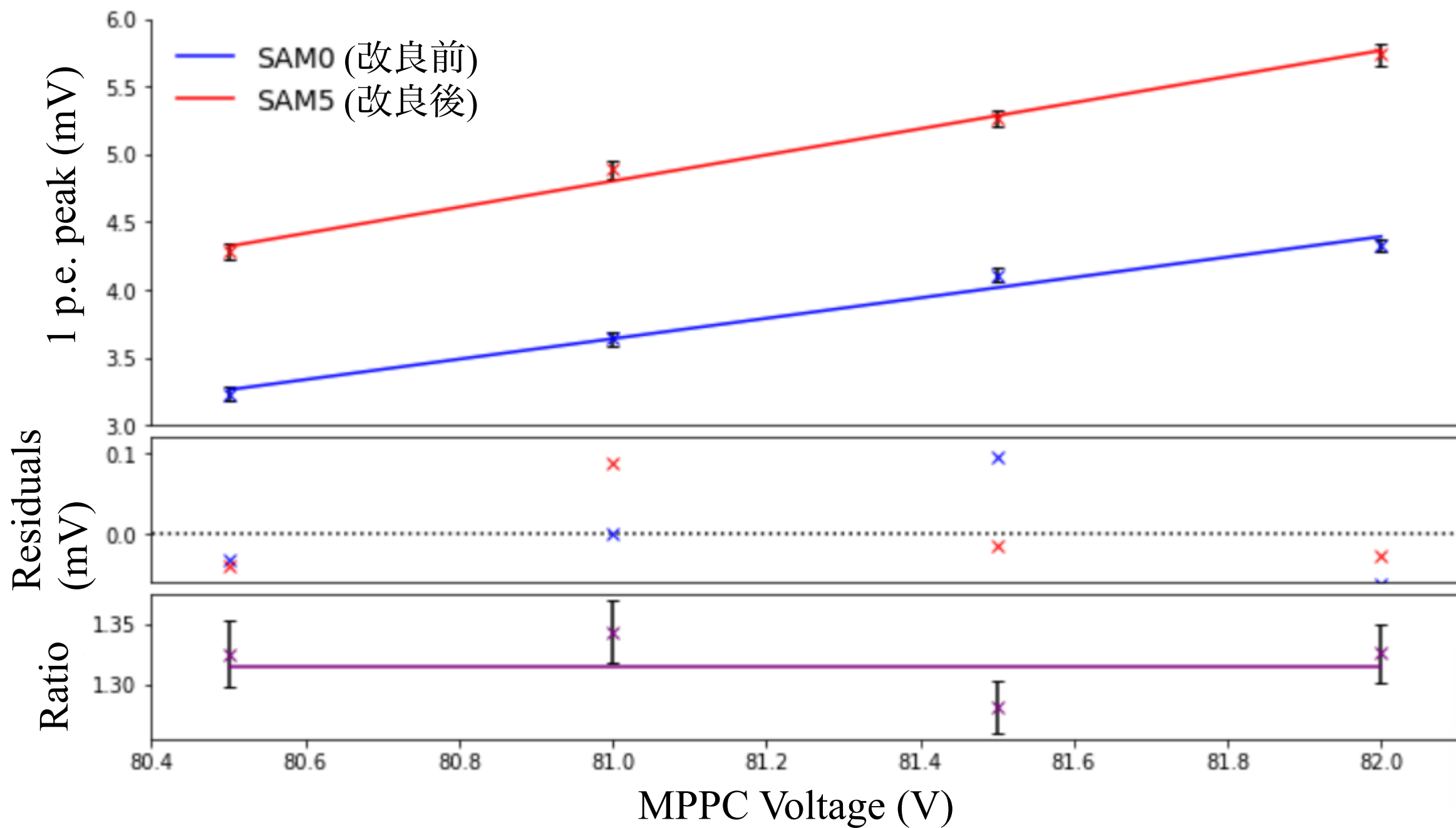
最大波高分布の分解能を上げる

評価方法



- セパレーションのピークをガウス関数でフィッティング
- ピーク間の波高 = 1 p.e.の波高に対応
- 本評価ではペデスタル - 1 p.e.のピーク間隔を評価に使用

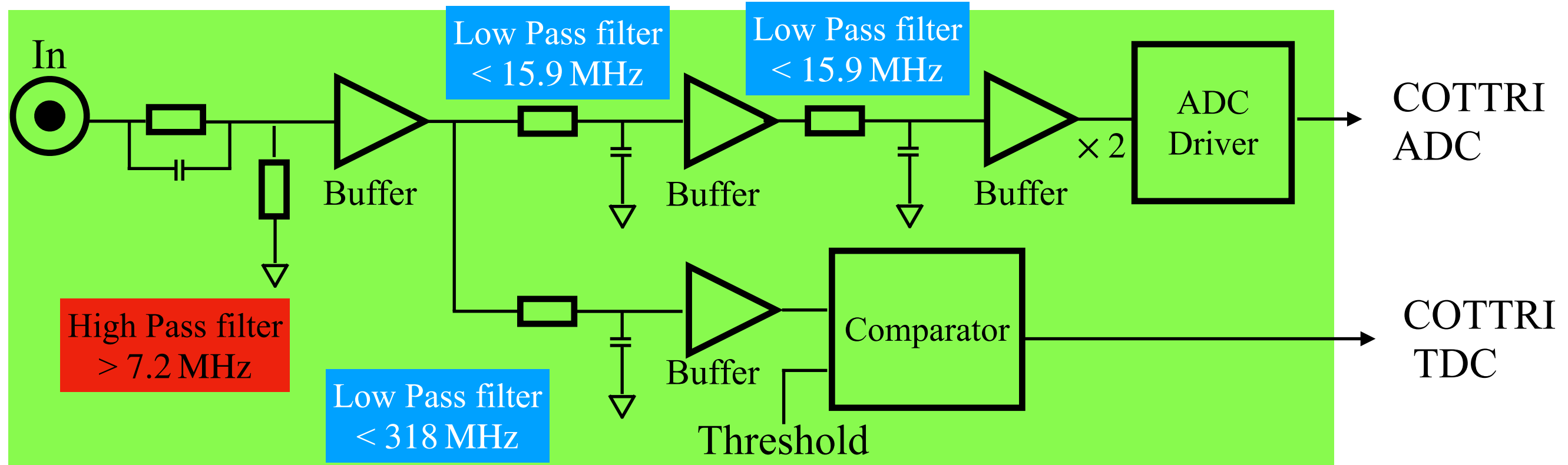
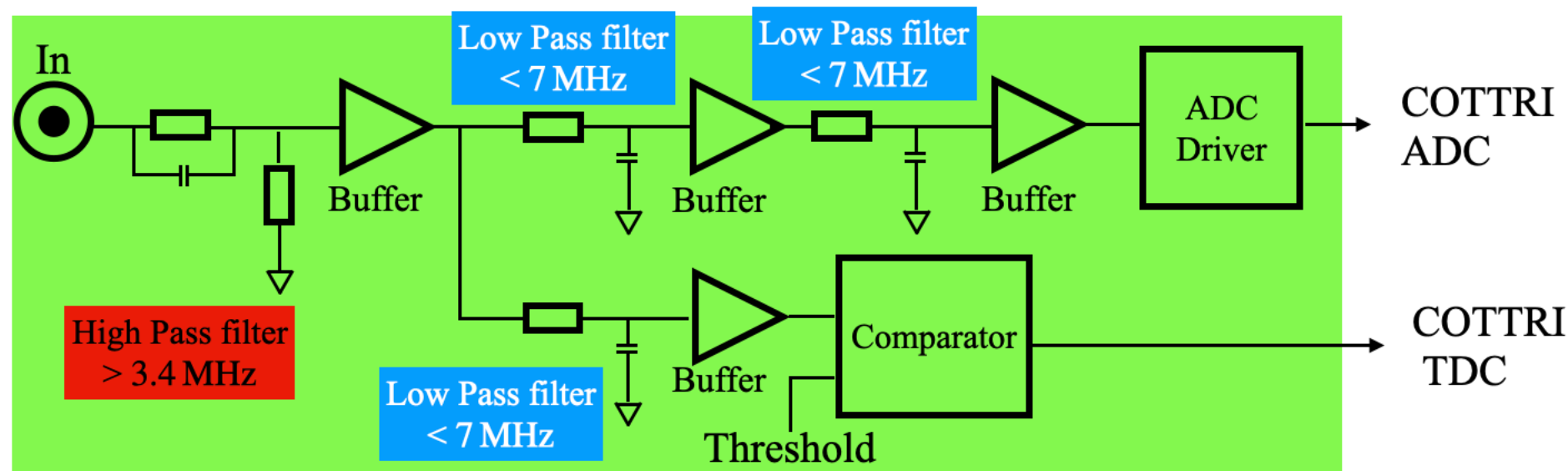
結果



- 予想通り、ゲインが1.3倍になった

DASHボードのカットオフ周波数の調整

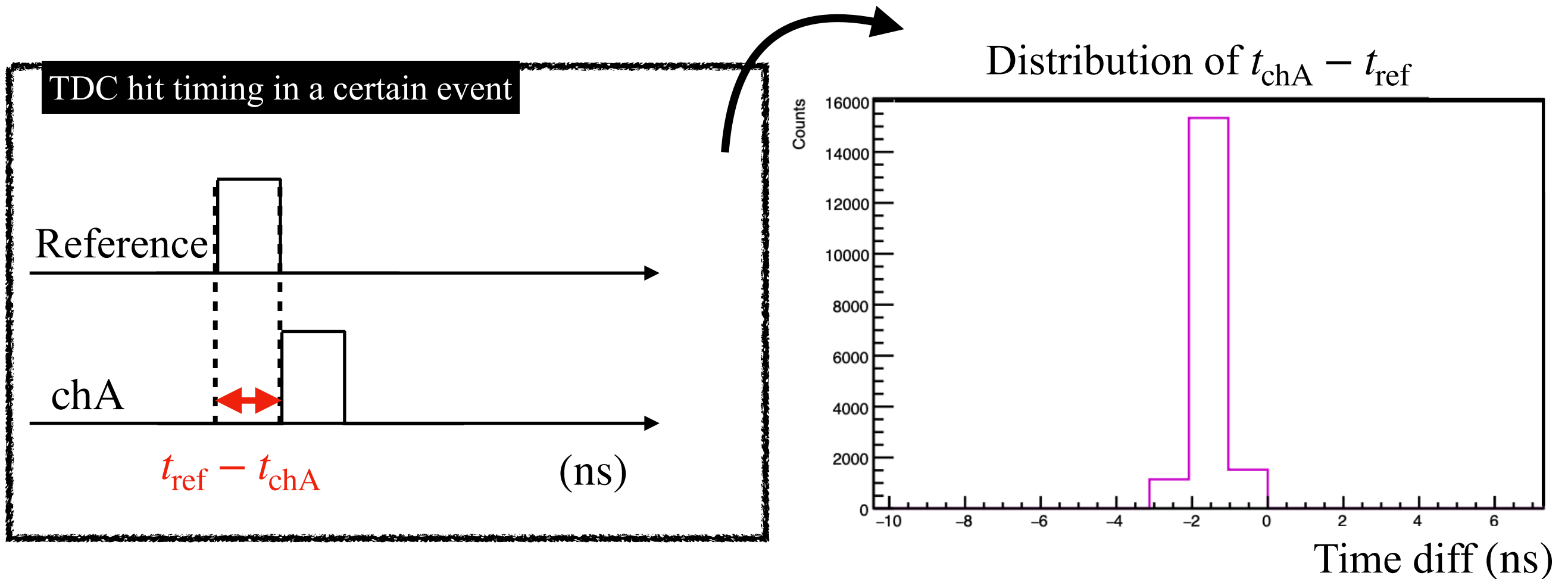
調整前



High pass filter: MPPCのテールを短縮 → 高レート耐性

Low pass filter: MPPCの信号の立ち上がり成分を保持

時間分解能測定の評価方法



- Suppose $\text{Cov}(t_{\text{ref}}, t_{\text{chA}}) = 0$
- $\text{Var}(t_{\text{ref}} - t_{\text{chA}}) = \text{Var}(t_{\text{ref}}) + \text{Var}(t_{\text{chA}}) = \sigma^2 \leftarrow$ Variance we get
- Suppose $\text{Var}(t_{\text{ref}}) = \frac{(1000/960)^2}{12}$

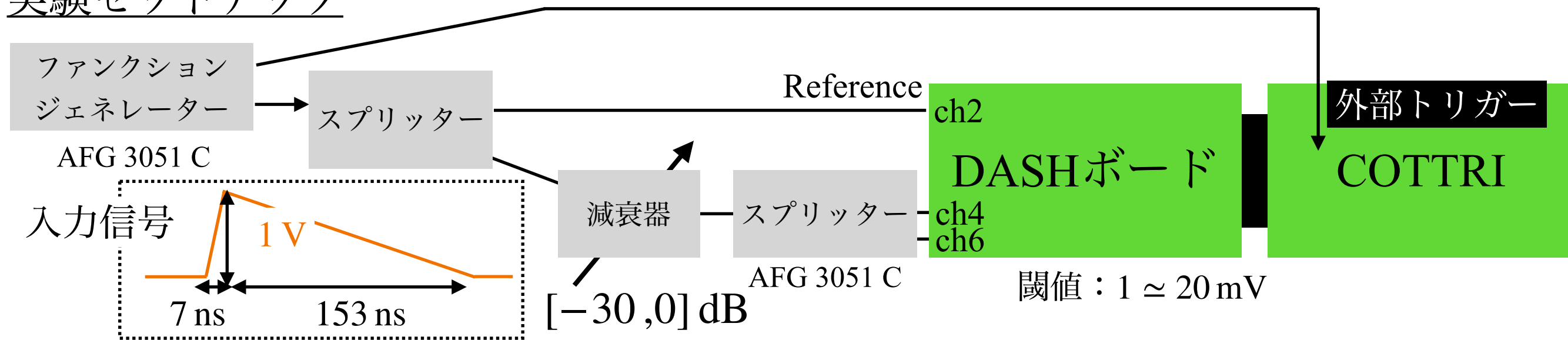
→ Timing resolution $\sigma_{\text{chA}} = \sqrt{\sigma^2 - \sigma_{\text{ref}}^2} = \sqrt{\sigma^2 - \frac{(1000/960)^2}{12}} < 1 \text{ ns}$ is required.

DASHボード+COTTRIの接続試験

評価項目

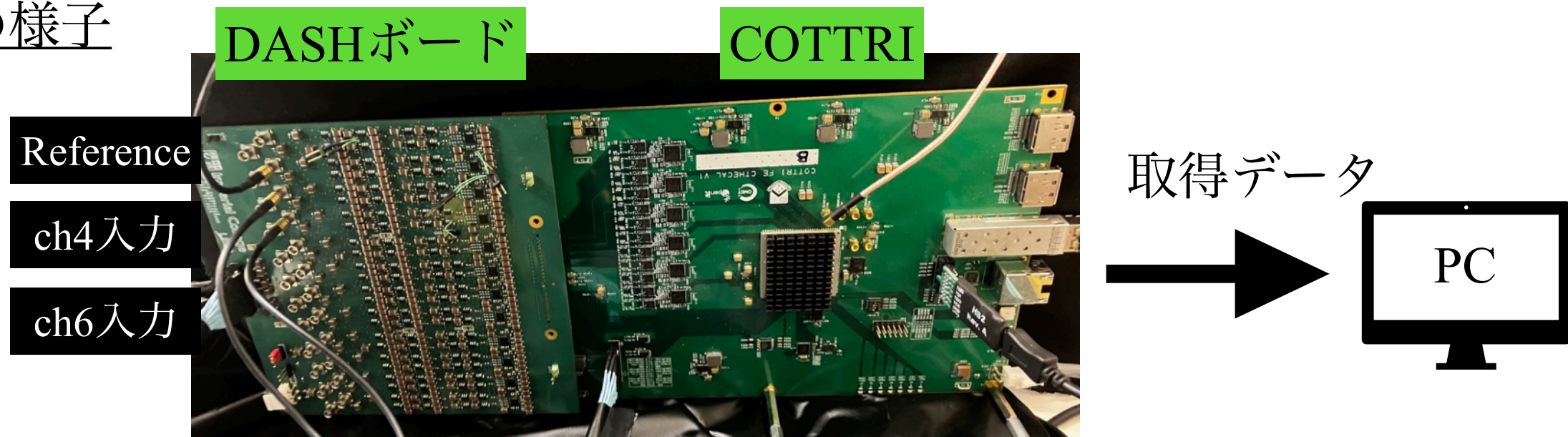
- ADC値の入力波高に対する線形性
- TDCの時間分解能

実験セットアップ



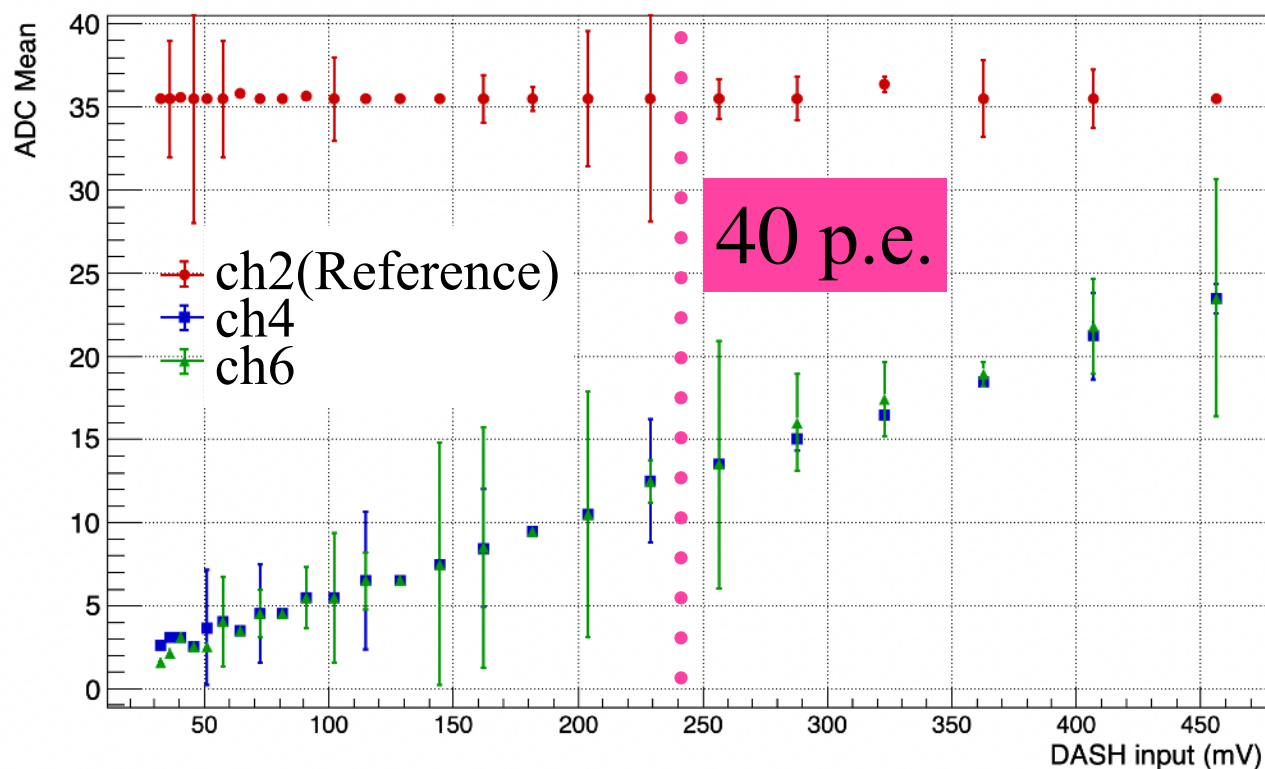
→ COTTRIでTDCヒット情報を960MHzで取得 → 時間差分布を作成

試験の様子

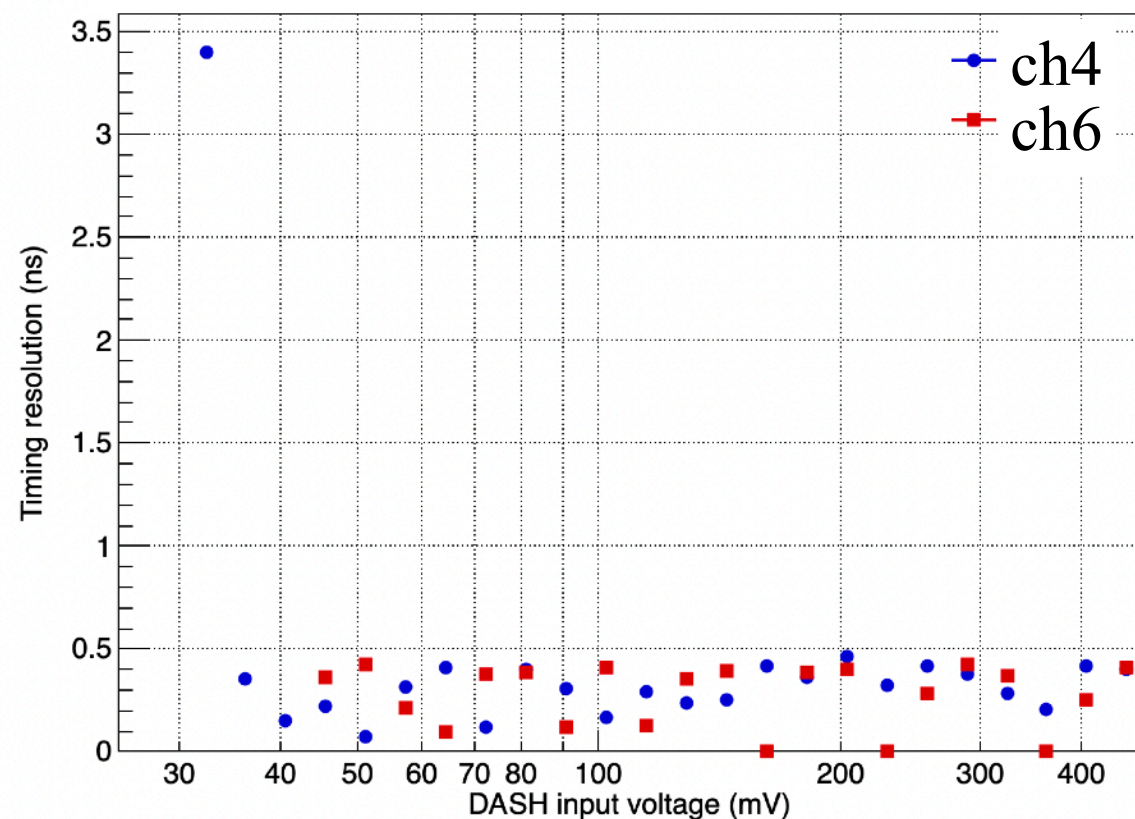


結果

DASH boardのADC波高の線形性



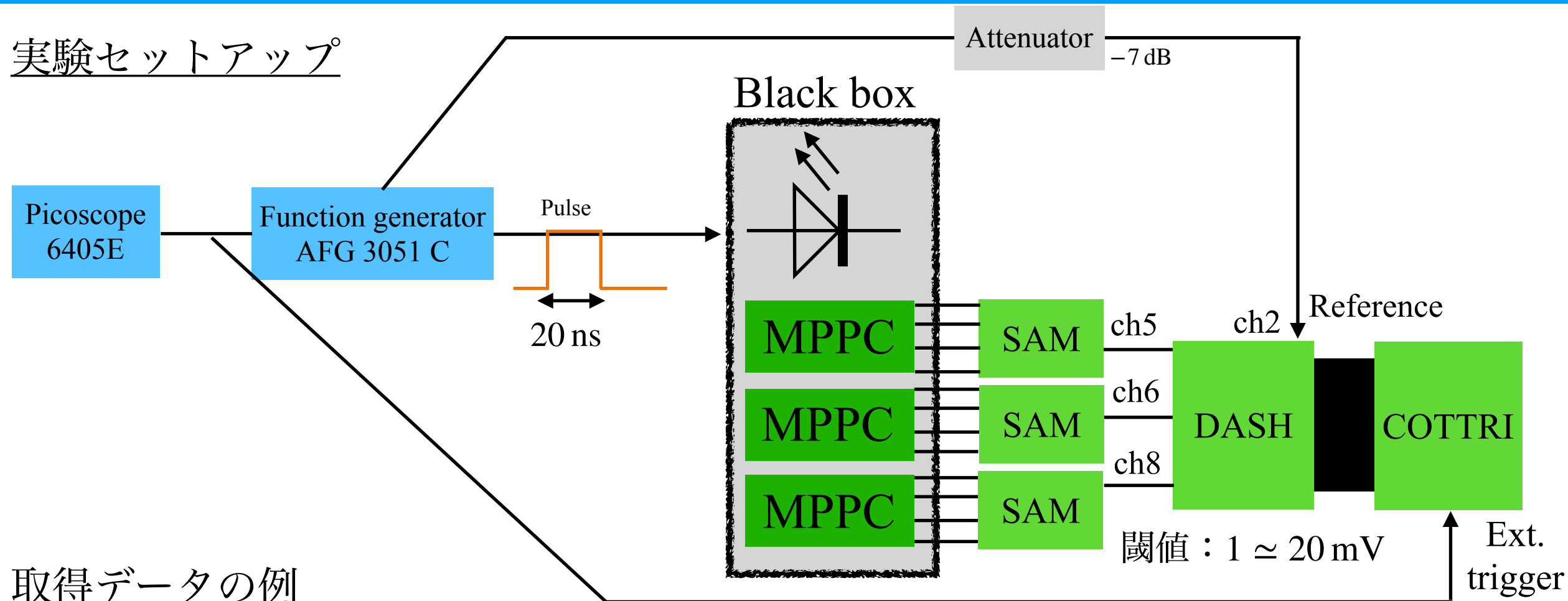
DASH board + COTTRIでの時間分解能



- ☑ ADC値の線型性を確認
- ☑ 閾値 $\simeq 20$ mV、入力波高 ch4 ~ 32 mV、ch6 ~ 45 mVに対して
時間分解能 < 1 nsを満たすことを確認
- チャンネル依存性があることを確認

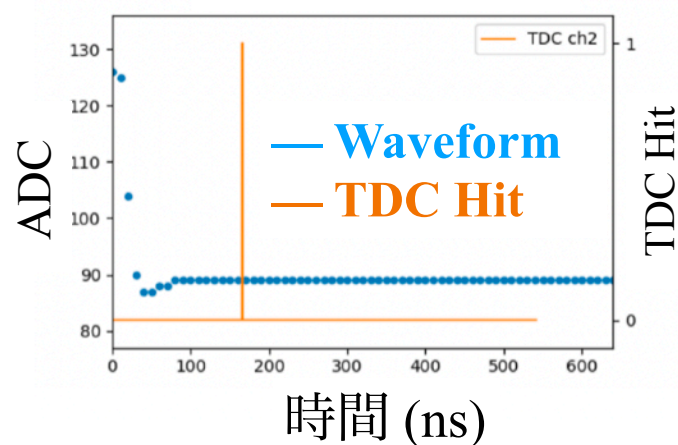
Full chain試験

実験セットアップ

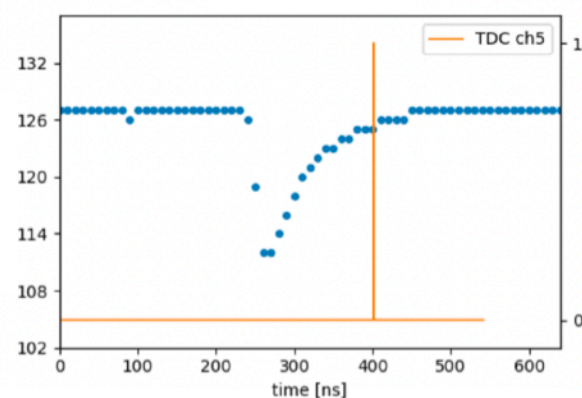


取得データの例

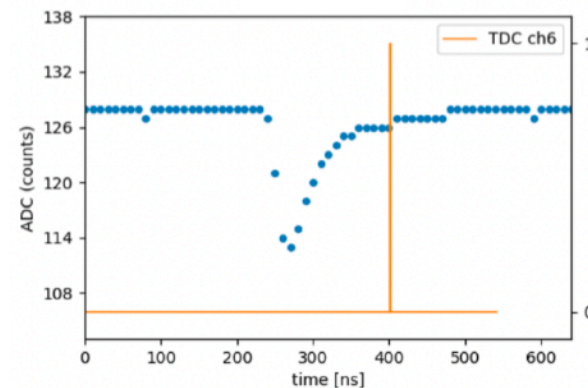
Reference



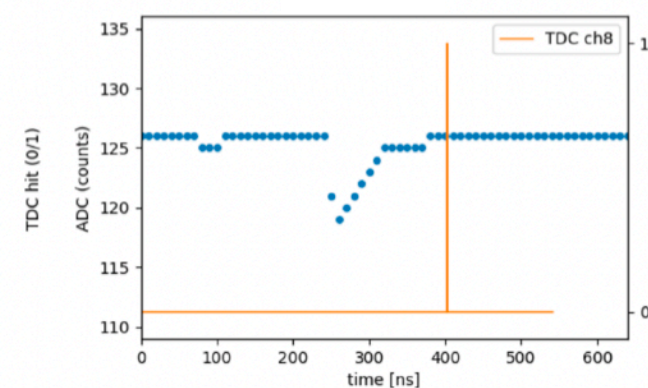
ch5



ch6



ch8

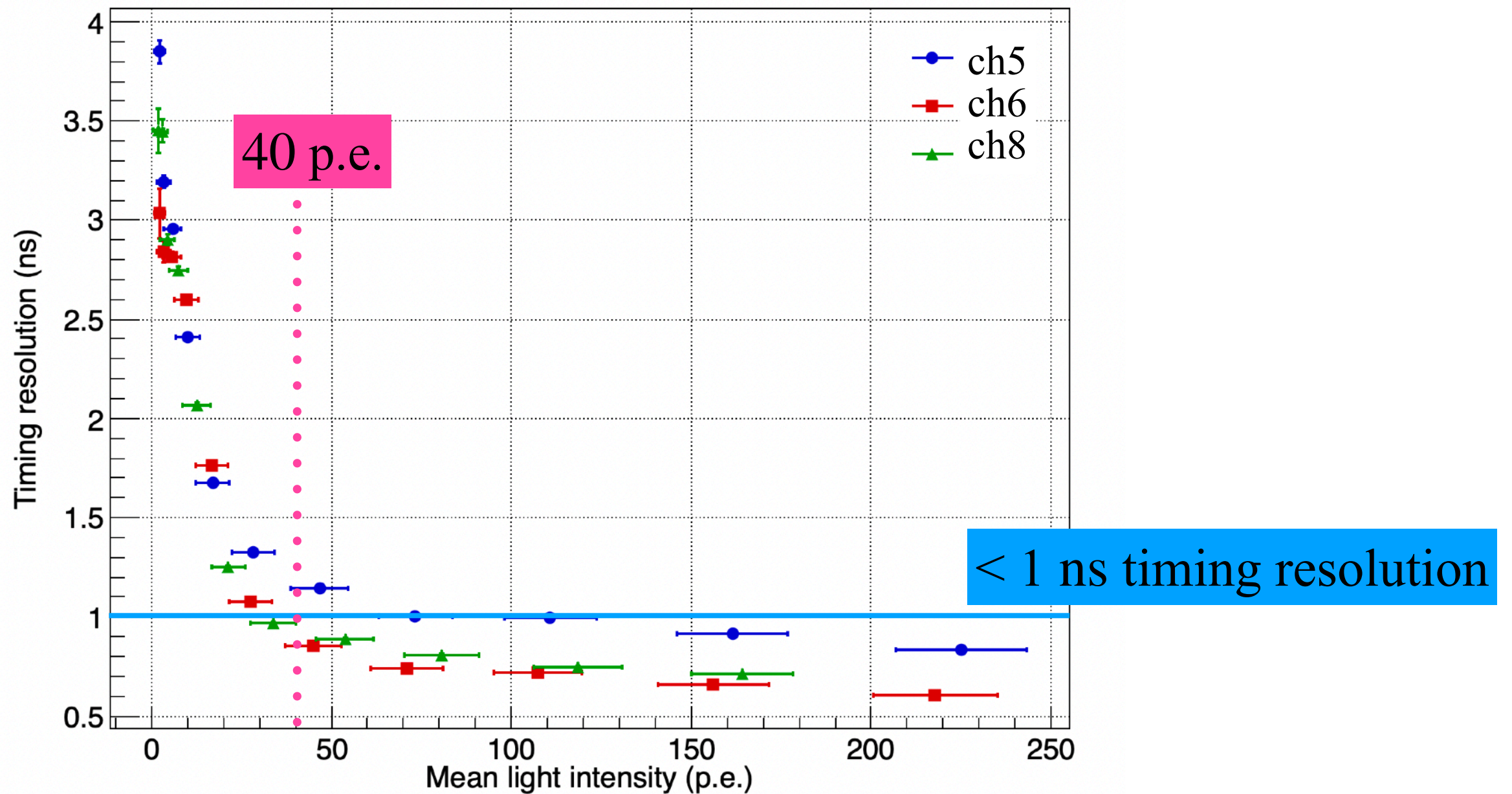


→ MPPCからのfull chainで信号の確認に成功

→ 先述の方法で解析

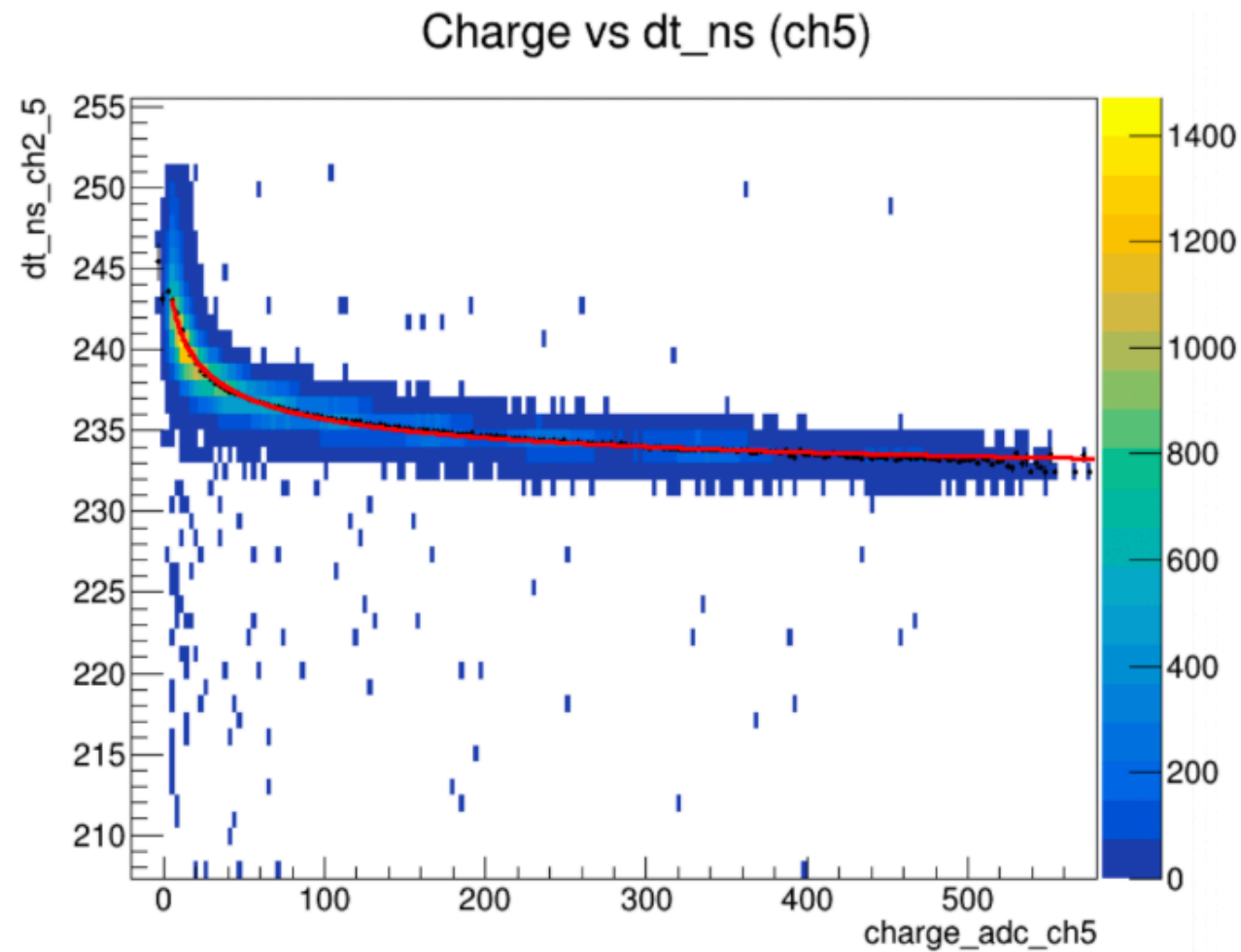
結果

full chainでの時間分解能



- 約30p.e.相当以上の信号に対して、カウンター単体の時間分解能1 ns未満を達成 (閾値：DAC 1 \simeq 20 mV \simeq 7 p.e.)
- Ch5の時間分解能が他のチャンネルよりも低い \rightarrow 原因の分析中

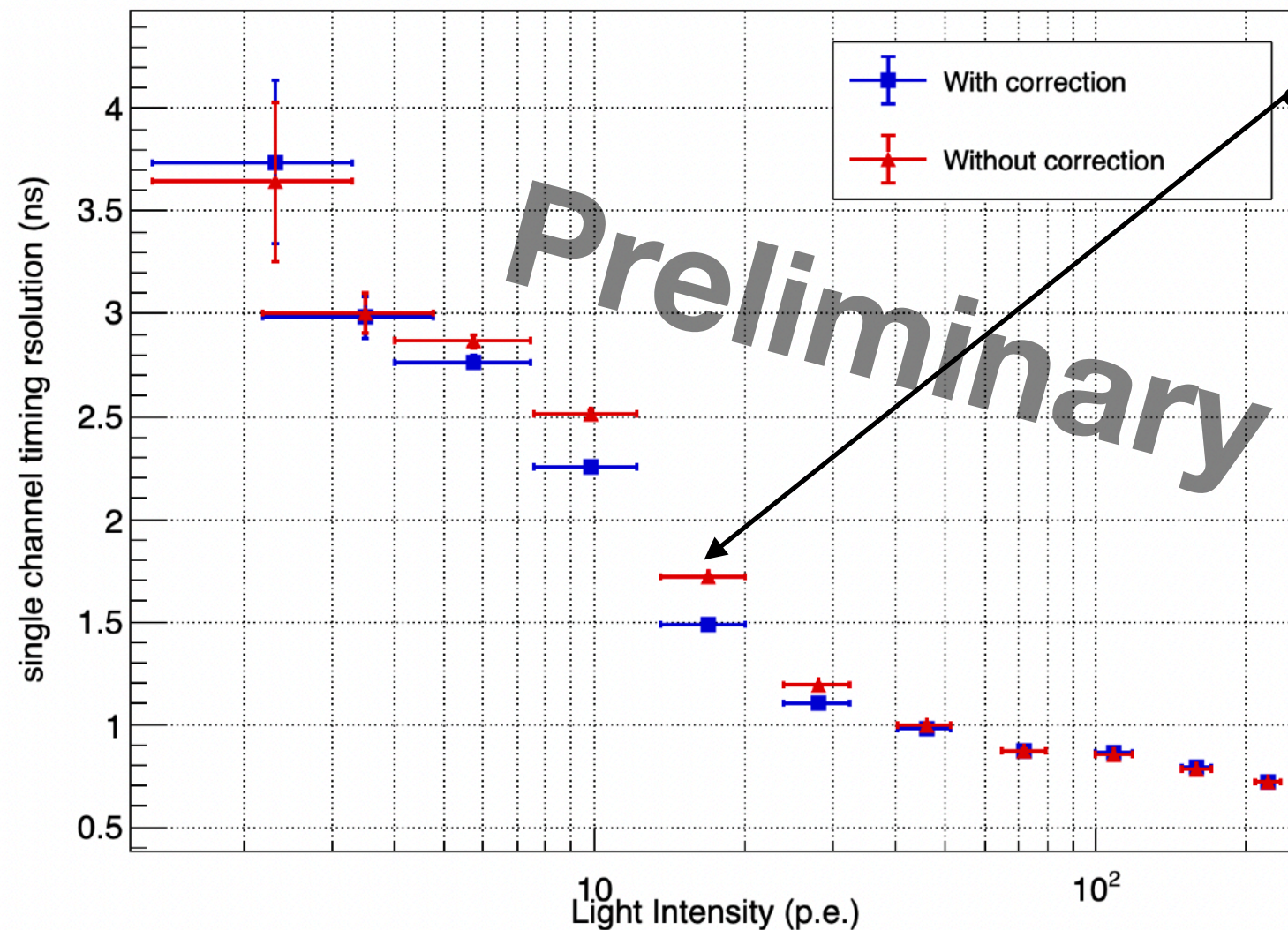
Time walk correction



- 補正用のデータサンプルから $(\text{ADC integral}_{\text{ch}})$ vs $(t_{\text{ch hit}} - t_{\text{ref hit}})$ の分布を作成
- $\frac{p_1}{\sqrt{x} + p_2} + p_0$ でフィット
- 得られたパラメータで $(t_{\text{ch hit}} - t_{\text{ref hit}})$ を補正

Timewalk補正による影響

ch5-ch6チャンネル間時間差の分布の $\text{RMS}/\sqrt{2}$

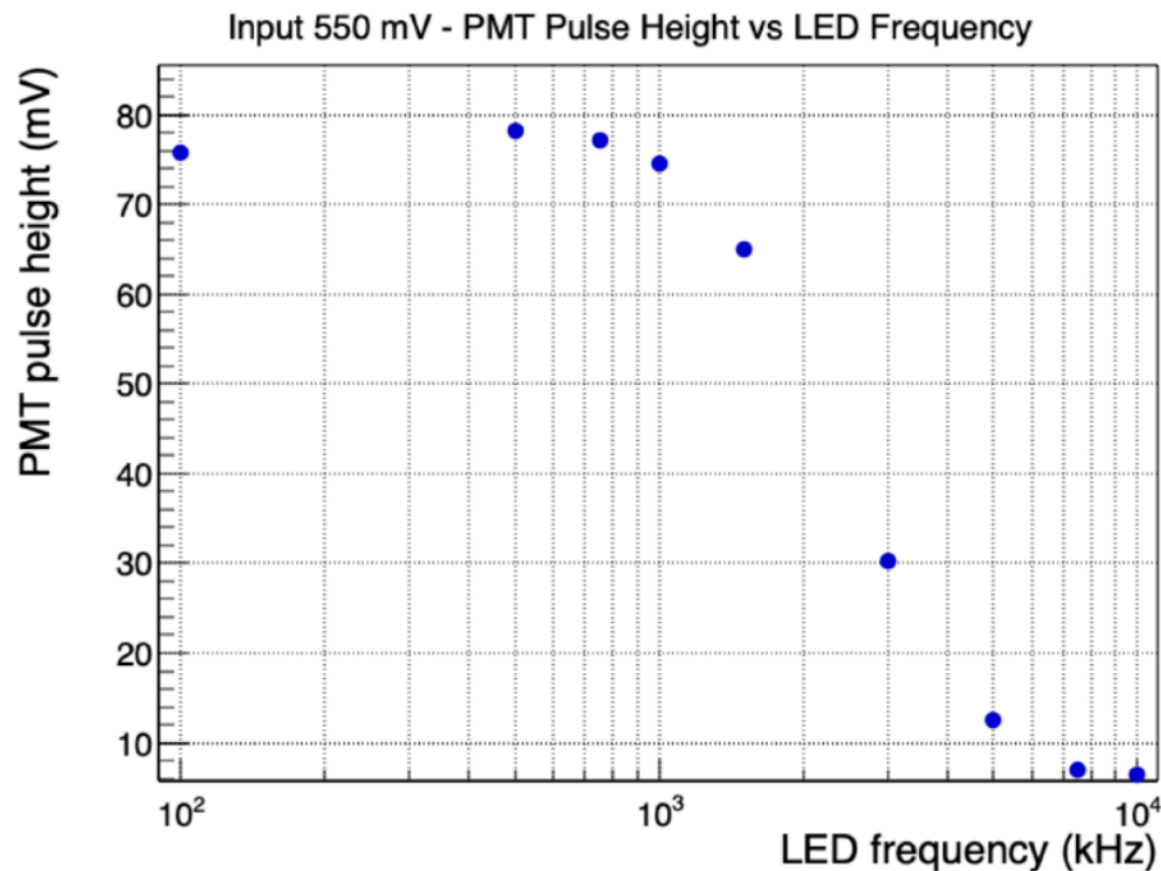


Above this light intensity, for almost all events and all channels are triggered.

- Threshold付近の信号が支配的な領域で時間分解能が向上
 - 波高依存のタイミングのズレを補正が可能
 - 4重コインシデンスからの粒子の入射タイミングの決定の分解能が向上

たくさんの課題

- DASHボードコンパレータ直前にチャンネルごとのオフセットを確認
- DACの調整幅 → Ver.2で改善
- 高レート耐性試験 未



LEDを高レートで光らせることができない。。。。

まとめと今後の展望

まとめ

- COMET Phase-I実験は μ -e転換過程の探索に向け、J-PARCで準備中
- DASHボードを新たに開発・性能評価
- 時間分解能
 - DASH board + COTTRI：十分な大きさの入力に対して1 ns未満の時間分解能を達成
 - Full chain：約30p.e.相当以上の信号に対して、カウンター単体の時間分解能1 ns未満を達成（閾値約7 p.e.相当）
 - Timewalk補正によるさらなる時間分解能の向上が期待される

今後の展望

- 電子回路基盤の高レート耐性試験
- CTHの検出器からのfull chainでの性能評価

Back Up