

ALTAS実験シリコン・ストリップ検出器の アップグレードに向けた シリコン・ストリップ検出器プロトタイプの 性能評価

2014年9月21日
日本物理学会 秋季大会
@佐賀大学 本庄キャンパス

留目和輝、陣内修、田窪洋介^A、池上陽一^A、
寺田進^A、安芳次^A、海野義信^A、遠藤理樹^B、
石島直樹^B、花垣和則^B、西村龍太郎^C、
高嶋隆一^C、原和彦^D、
他アトラス日本シリコングループ

東工大、高工研^A、阪大理^B、
京都教育大^C、筑波大^D

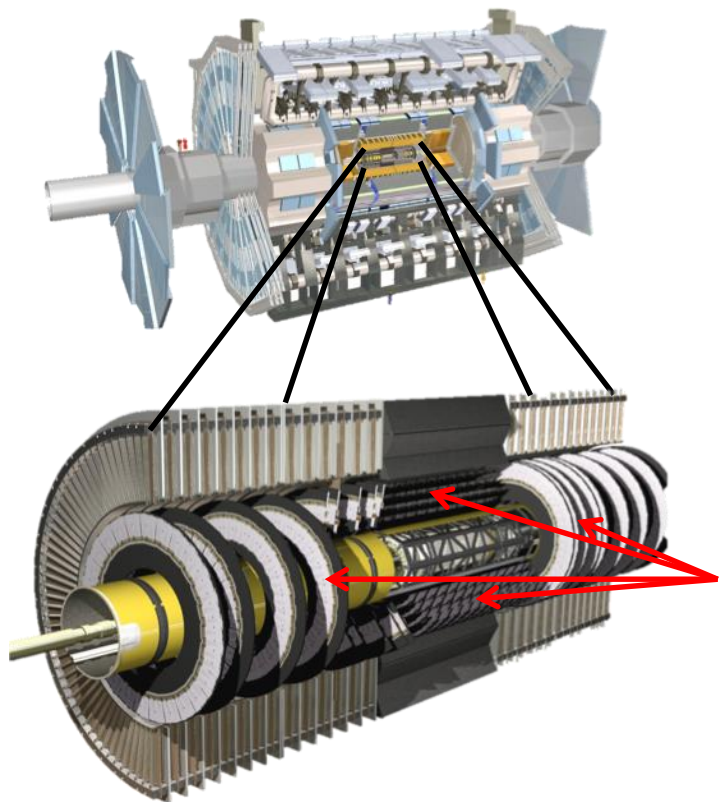
本発表の流れ

1. 背景
2. セットアップ
3. 問題点と解決策
4. システムの評価
5. アップデート
6. まとめ

ATLAS-SCT検出器

1. 背景

ATLAS検出器



内部飛跡検出器

- LHC実験
 - CERNで行われている陽子・陽子衝突実験
 - 最大ルミノシティ: $\sim 8 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
~2025年にアップグレード
→ $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
↓ データ量の増加
- ATLAS検出器
 - LHC用多目的検出器
 - 内部飛跡検出器は、すべて入れ替え予定
- シリコンストリップ検出器
(Semiconductor tracker; SCT)
 - 全データを記録することは現実的でない
↓
 - トラックの情報を元に、必要な情報かを判定
 - 必要な情報のみ読み出す

発表趣旨

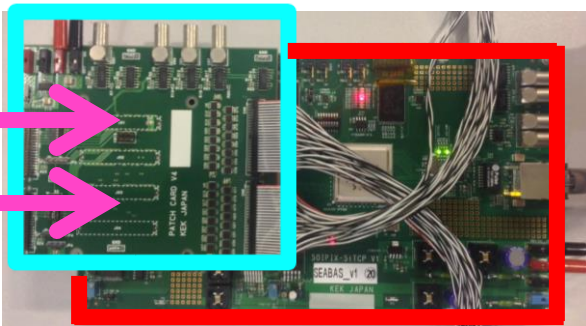
1. 背景

- 前回学会時点での状況（日本物理学会 第69回年次大会 30pTH3）
 - SCTのプロトタイプ検出器の試験を行いたい
 - コンパクトかつ柔軟性のあるDAQシステムでの読み出しを目指す
 - DAQシステムの不具合を解消した
 - **全てのモジュールが読み出せる**ようになった
 - しかしながら、一部不具合が残り、**同時読み出しは不可能であった**

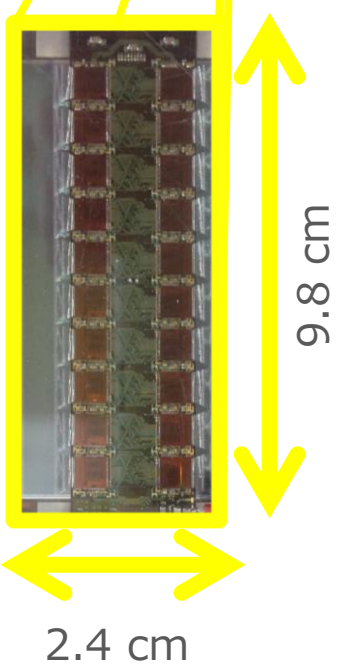
- 本発表で報告する内容
 - DAQシステムに残された不具合の解消
 - 前回学会時点で不可能であった同時読み出しによる試験
 - 新たに製作された新チップに対応したDAQシステムのアップデート

検出器セットアップ

2. セットアップ



PCと通信



- ハイブリッド
 - フロントエンド基板
 - データ取り扱いの単位
 - 2.4 cm × 9.8 cmのシリコンストリップセンサーに接続

- 検出器ラダー
 - 32バイブリッド搭載
 - 両面×16
 - SCTアップグレード用のプロトタイプ構造体

- Daughter Board
 - 32ハイブリッドからの信号を個々にSEABASに接続

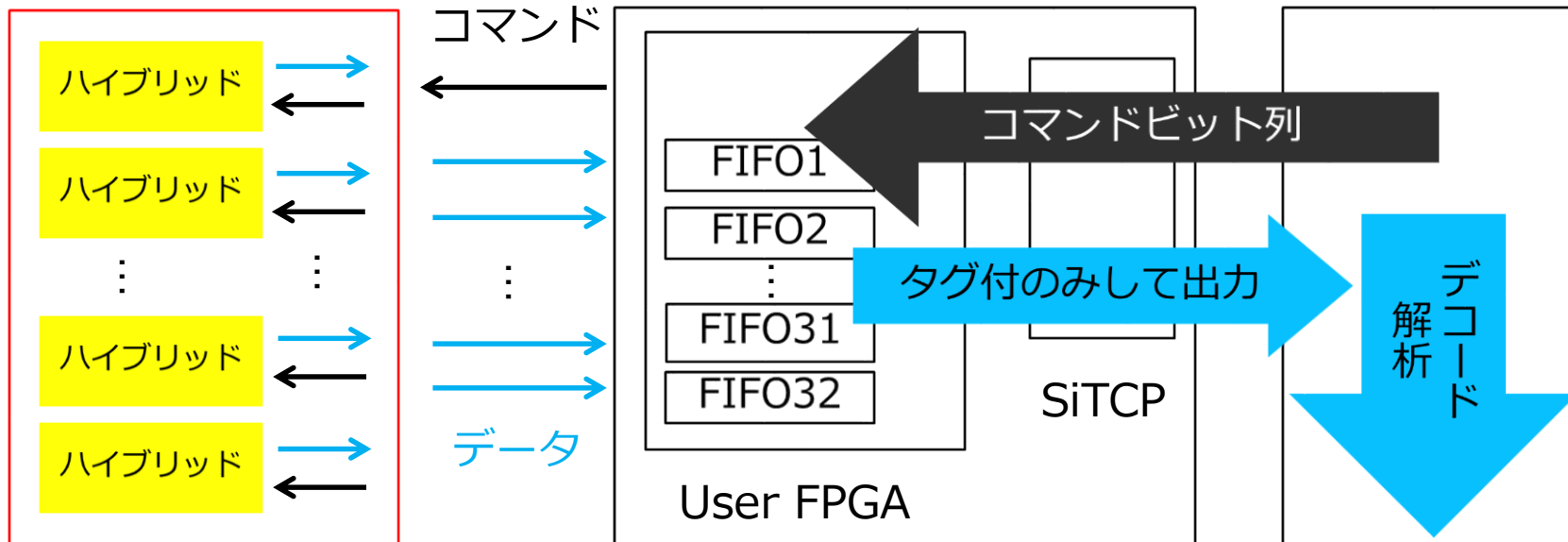
- SEABAS
 - SOIグループ(KEK)開発の汎用読み出しボード
 - SiTCPを用いてTCP/IPによりPCと通信
 - 用途に応じ書き換え可能なFPGA搭載

DAQシステムの特徴

2. セットアップ

- PCからのコマンドビット列をそのままプロトタイプ検出器へ送る
- プロトタイプ検出器からの出力ビット列をIDのタグ付けのみしてPCへ送る
 - 未加工の出力ビット列を直接PCで確認可能なため、**デバッグが容易**
- システム内でビット列の変換をしないため**読み出し対象の仕様変更に対応可能**

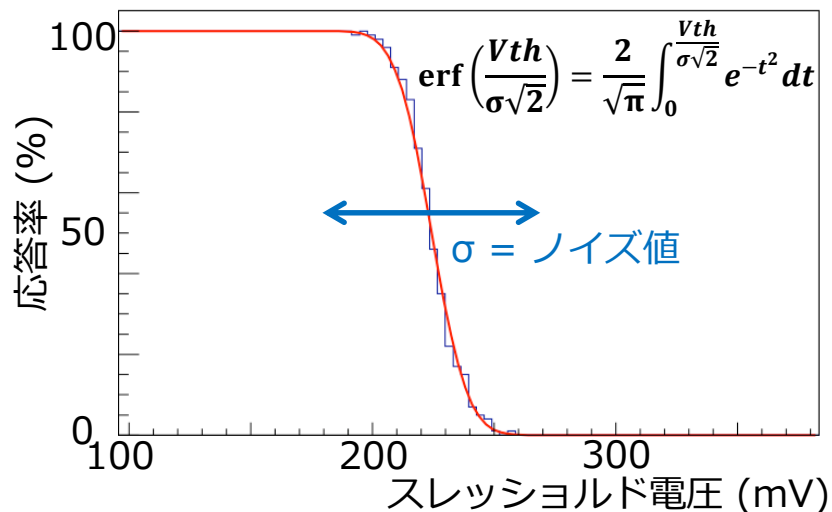
プロトタイプ検出器



スレッショルド測定

3. 問題点と解決策

- システムの評価をするため、スレッショルド測定を行う

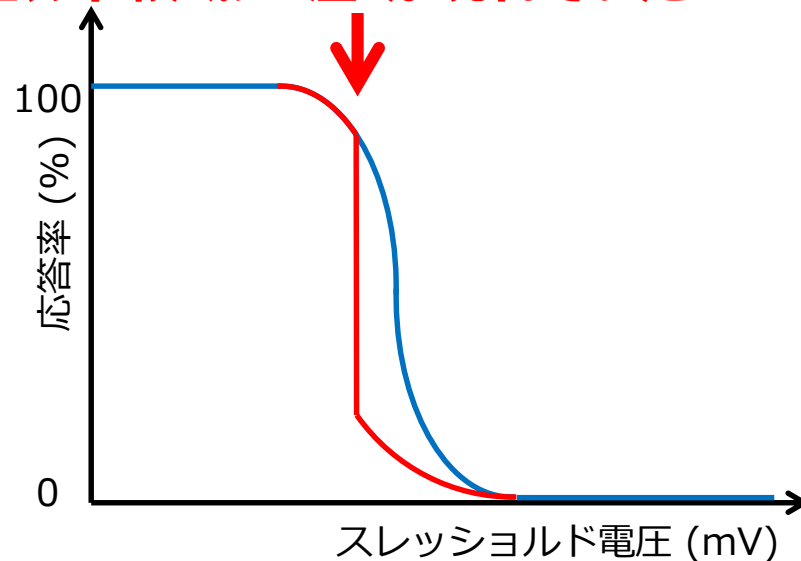
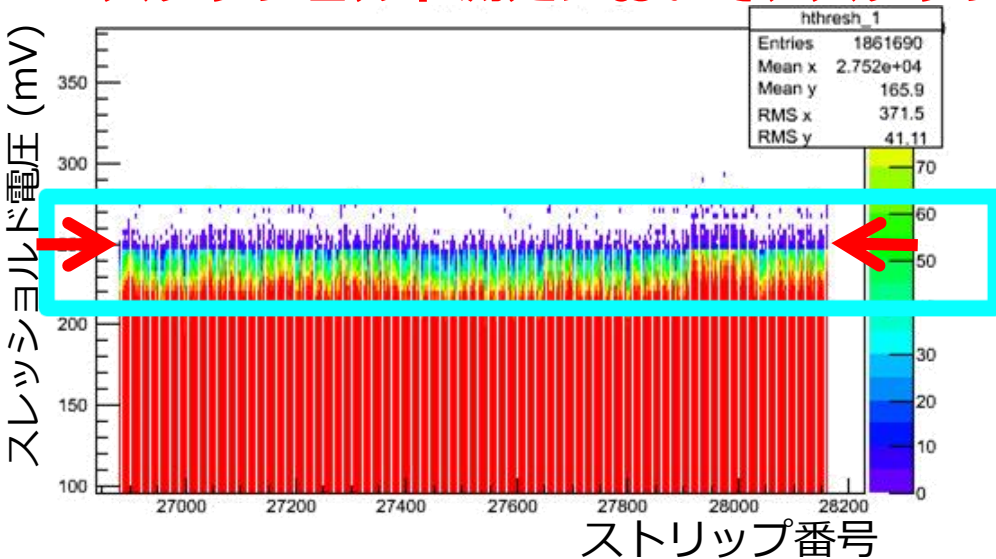


1. 一定の大きさのパルスを一回国数入力し、応答数を見る
2. スレッショルド電圧を変更し、1.を繰り返す
3. ストリップ毎に得られた分布を、誤差関数でフィッティングする
4. フィッティングで得られた σ をノイズ値として評価する

前回までの問題点

3. 問題点と解決策

- スレッシュホールド測定において、スレッシュホールド領域に“崖”が現れていた



- いくつかのハイブリッドで“崖”が発生していた
- システムを再起動することにより“崖”が発生するハイブリッドは移動した
- この問題のため、**全ハイブリッドを同時に読み出すことが不可能**であった

原因と対策

3. 問題点と解決策

- 未加工のビット列を観察することで、以下の振る舞いが判明した
 - “崖”を作る原因となるヒット情報は、想定外のストリップ位置に移動している
 - SEABASの直前では正しい番号を持っている
 - 例) 01010 (SEABAS前) -> 01000 (SEABAS内)

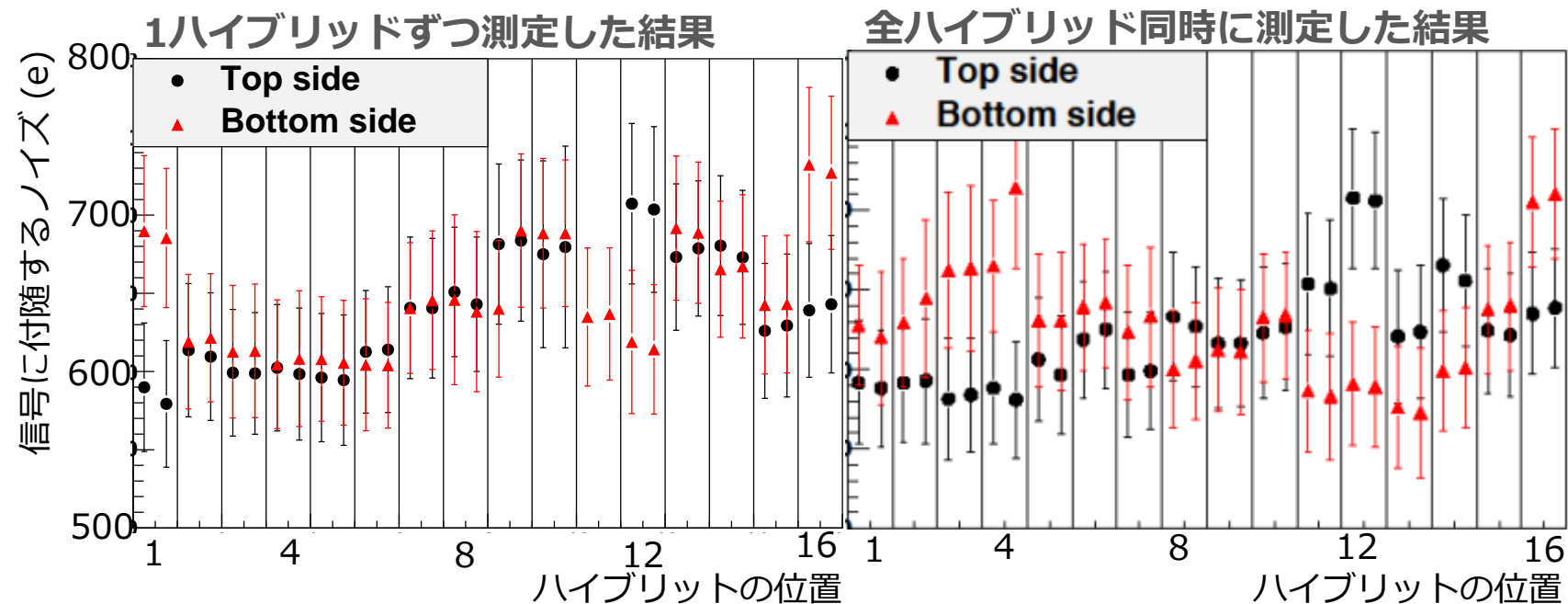


- 読み込むタイミングがずれるなどして、ビットが反転している？
 - 読み込みを制御するクロックを、各ハイブリッド毎に調整できるように開発
 - クロックを手書きのコードでなくライブラリを使って生成するよう変更
 - SEABAS内部でのクロックの遅延を防ぐため
- 全モジュールから崖がなくなり、**全モジュール同時読み出しが可能**に

ノイズ評価

4. システムの評価

- HV = 250 Vをかけた条件下で、**全ハイブリッド同時に**インプットノイズ測定を行った
 - 前回報告した結果（1ハイブリッドずつ測定）とHV等の条件は同じ

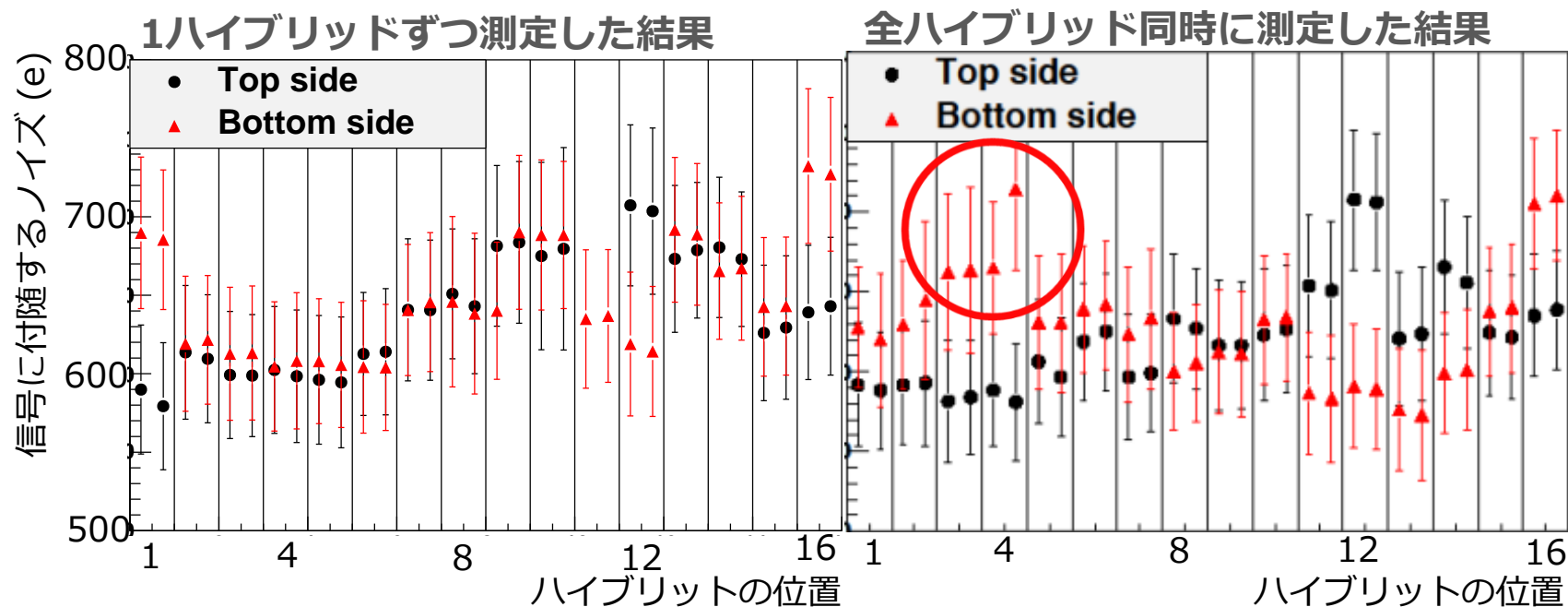


- 各ハイブリッドで、読み出しチップの列ごとに分けて評価している
 - エラーバーは、128×10ストリップのノイズ分布の広がり

結果の比較

4. システムの評価

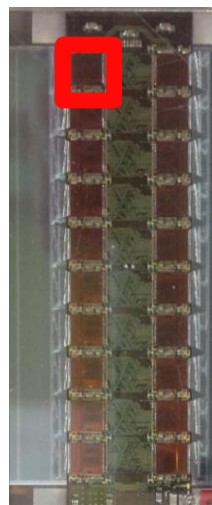
- ほぼ同様のノイズが得られている
- 一部のハイブリッドではノイズが大きくなっている
- 同時読み出しによる影響の更なる検証もSEABASシステムで可能



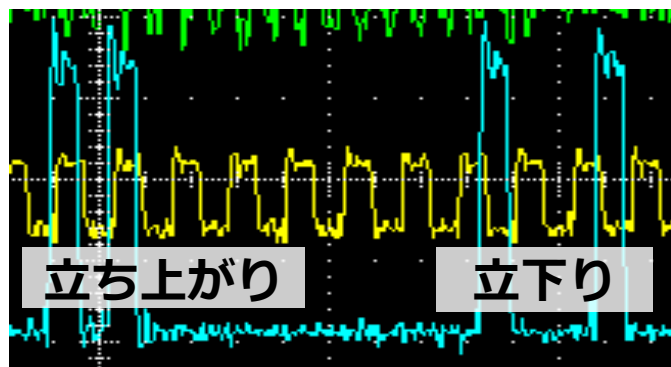
- 各ハイブリッドで、読み出しチップの列ごとに分けて評価している
- エラーバーは、 128×10 ストリップのノイズ分布の広がり

読み出しチップ変更点

5. アップデート



- 読み出しチップがアップデート(abcn250 -> abc130)された
 - 日本グループは8月に使い始めた
- 主な変更点
 - 250 nm CMOS technology -> 130 nm CMOS technology を使ったデザイン
 - 2.5 V -> 1.3 V電圧で駆動
 - 128 ストリップ -> 256 ストリップを読み出し可能

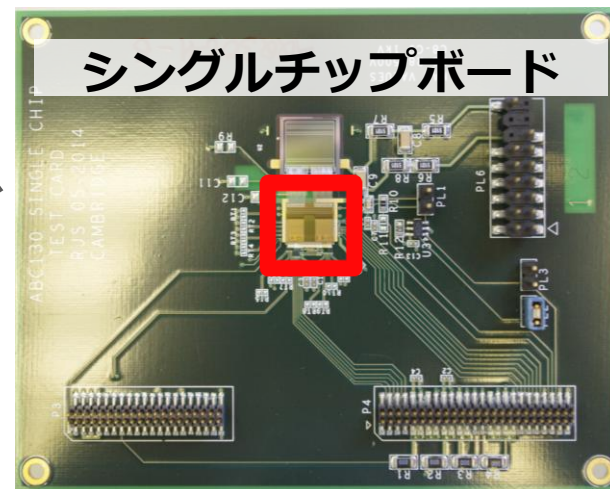


- 信号線の追加
 - データ取得用のL0トリガーと、トラッキング用のR3トリガー、データ出力用のL1トリガーを実装
 - コマンドと3種のトリガーを2本の信号線で入力
 - クロックの立ち上がり/立下りで信号を区別
 - コマンドとトリガーを独立なタイミングで入力

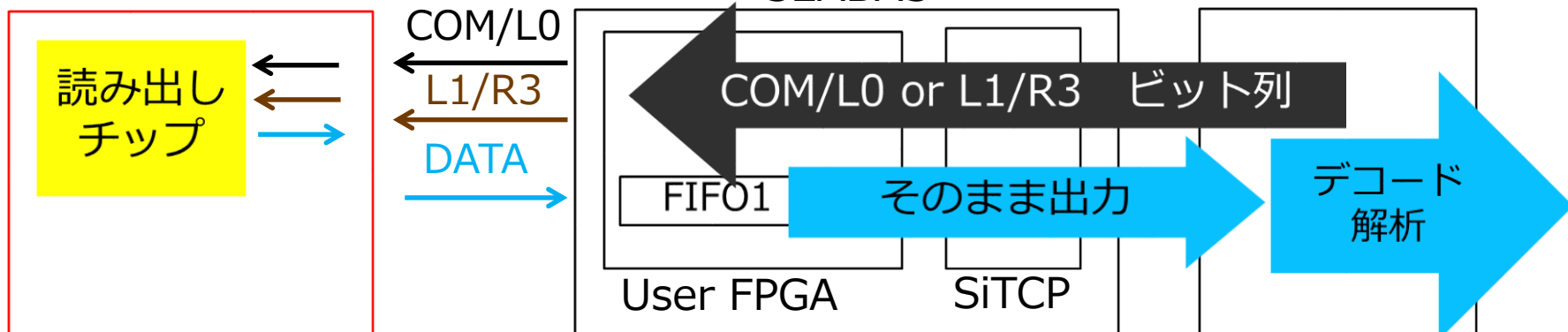
DAQシステム変更点

5. アップデート

- シングルチップボードを読み出し対象としてDAQシステムを変更した
- ファームウェアのデザインがシンプルなため、**基本的に1点のみの変更で、新たなチップの読み出しに対応できた**
 - コマンド信号線の追加
 - どちらの信号線を使用するかはPCからの専用コマンドで指定
- 立ち上がり/立下りの選択は、PCでビット列を調整することで対応した

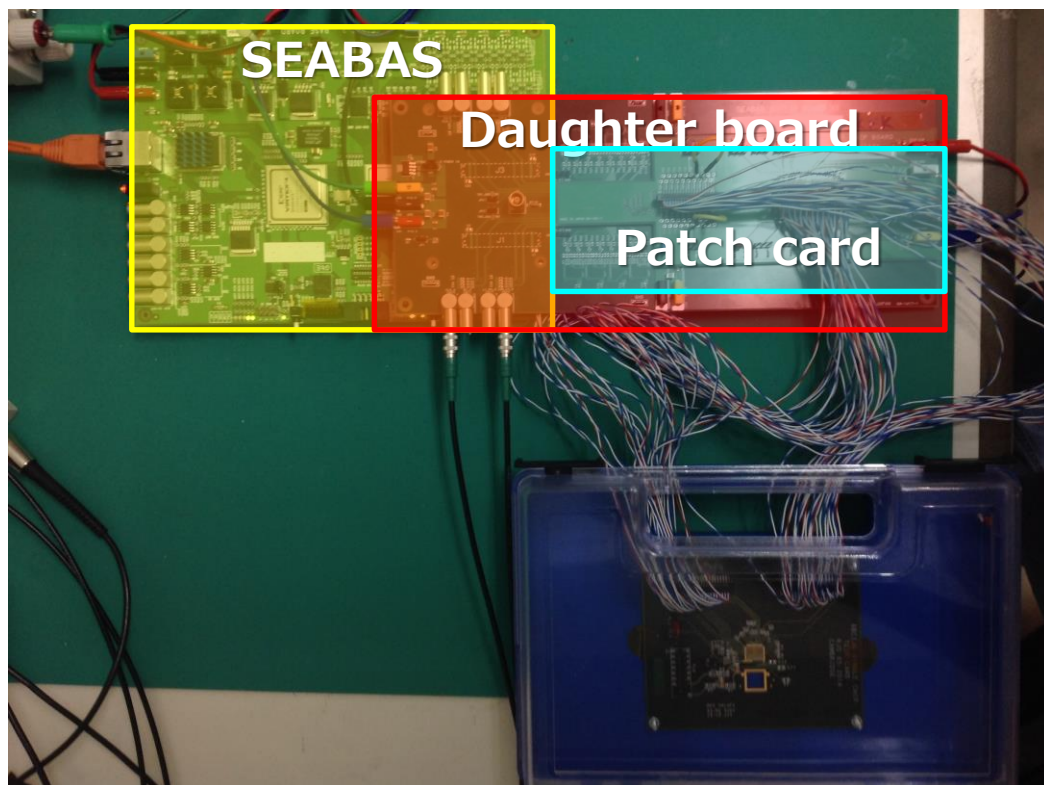


シングルチップボード



新チップ用セットアップ

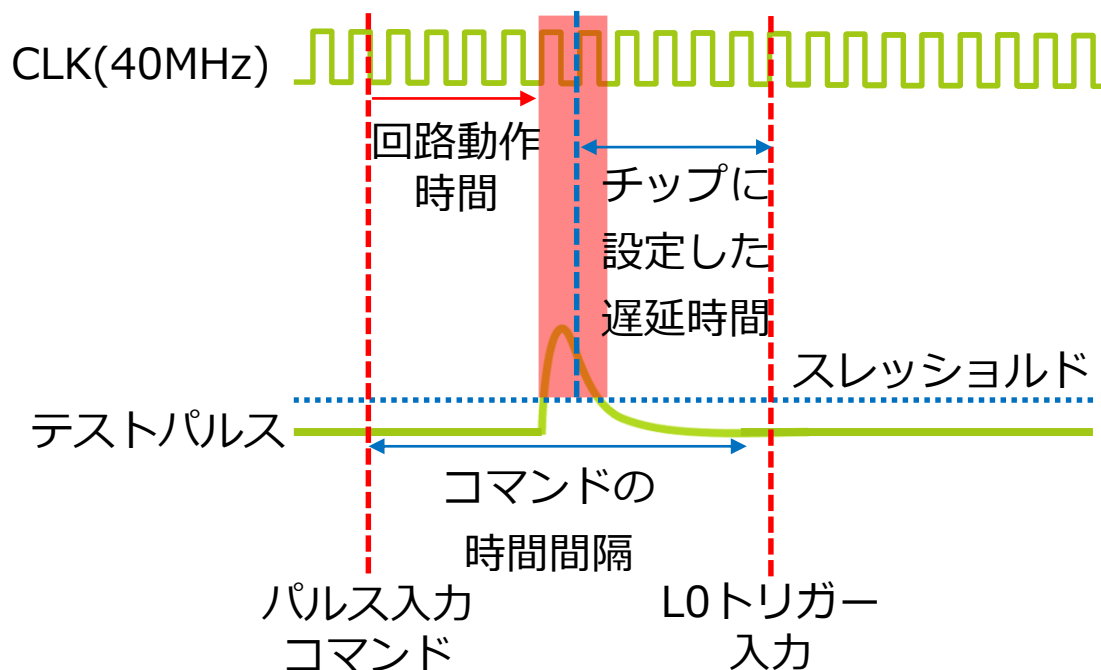
5. アップデート



- Daughter board:
 - シングルエンドのSEABAS入出力を、新チップ入出力用の差動信号に変換
 - 新チップ搭載のハイブリッド用に製作された基板
 - DAQのテストと同時に、この基盤のテストも狙う
- Patch card:
 - ハイブリッド用コネクタをシングルチップボード用に変換する

タイミング調整

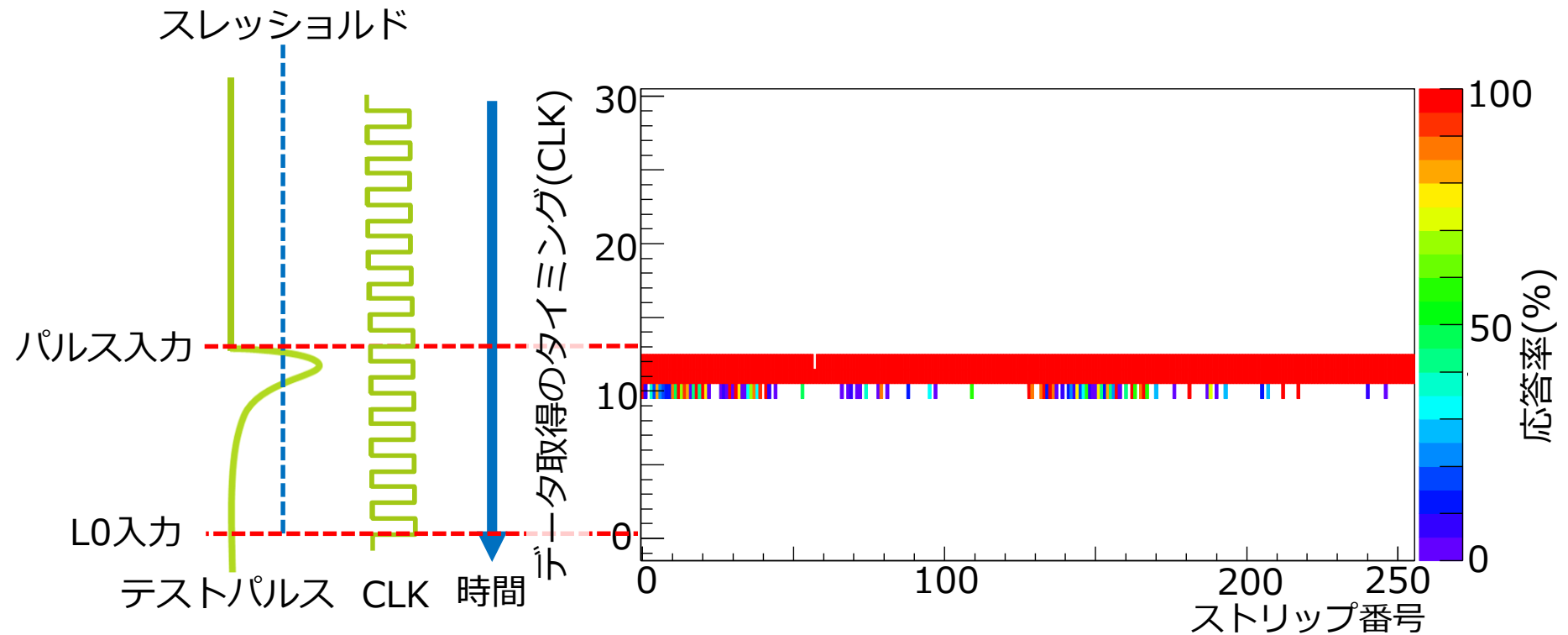
5. アップデート



- スレッシュホールドなどを評価する前に行う、遅延時間の調整
- 開発開始当初、**遅延時間を設定範囲可能な範囲で動かしても、ヒット情報が得られなかった**
 - コマンドの時間間隔 > 設定可能な最小の遅延時間が原因だった
- **コマンドの時間間隔を広げることでヒット情報が得られるように**

測定例

5. アップデート



- L0に対する、データ取得のタイミングのスキャン
 - 11のタイミングで入力したテストパルスの信号が見えている
- **SEABASシステムのハードウェアは機能している**
- その他のスキャン機能の実装が次のステップ

まとめ

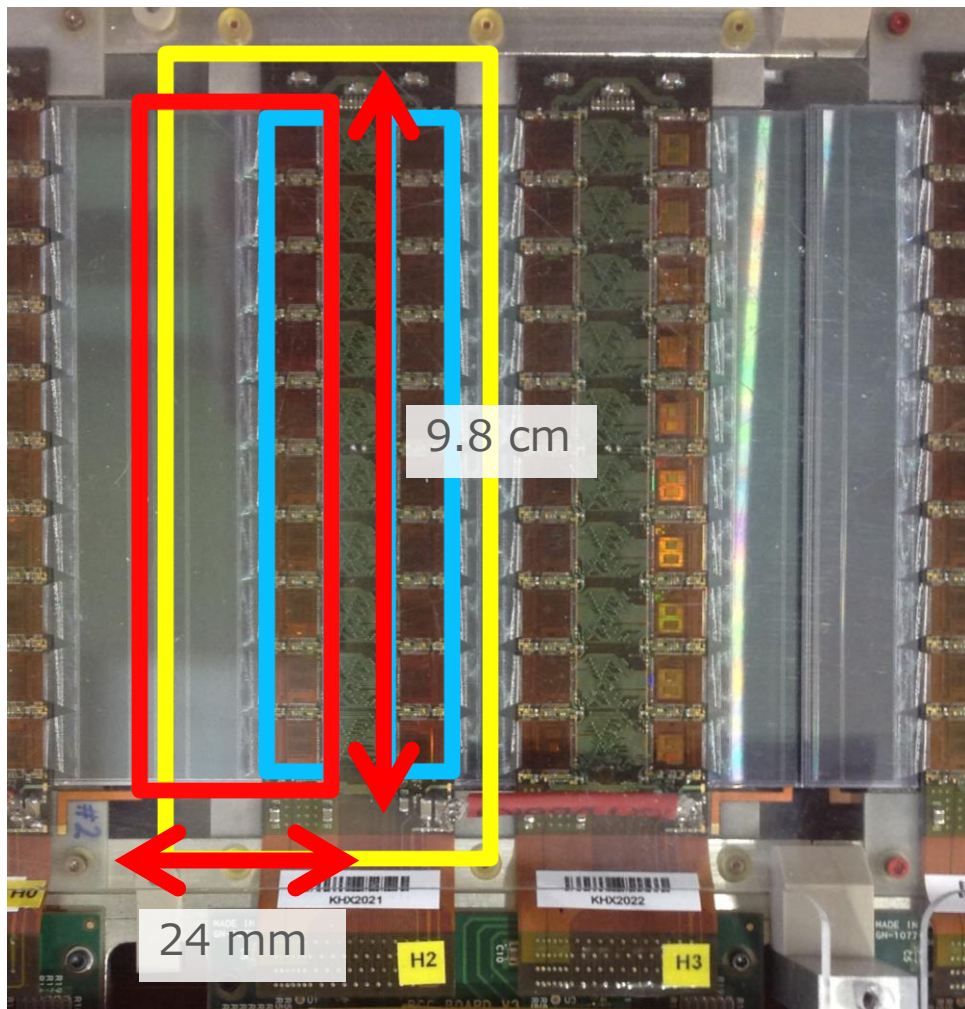
- ATLAS実験での来るアップグレードに向け、
新型シリコンストリップ検出器の開発が進められている
- プロトタイプ検出器の試験を行う為、DAQシステムを開発している
 - 検出器からの未加工のbit列を確認できるという特性を生かし
不具合の解消を行った
 - これまでできなかった**全ハイブリッドの同時読み出しを可能にした**
 - 全ハイブリッド同時にノイズの測定試験を行った
 - いくつかのハイブリッドで個々に測定した際と異なる傾向が見られた
- 新チップを読み出し対象として、DAQシステムのアップデートを行った
 - **僅か1ヶ月の開発でハード面での変更は完了し、機能している**

展望

- ソフト面での新チップ用のアップデートを行う
- 新チップ搭載のHybrid, 検出器ラダーの開発・評価を行う

BACK UP

プロトタイプセンサー



シリコンストリップセンサー:

- 長さ: 24 mm
- 厚さ: 320 μm
- 間隔: 74.5 μm

ABCNチップ:

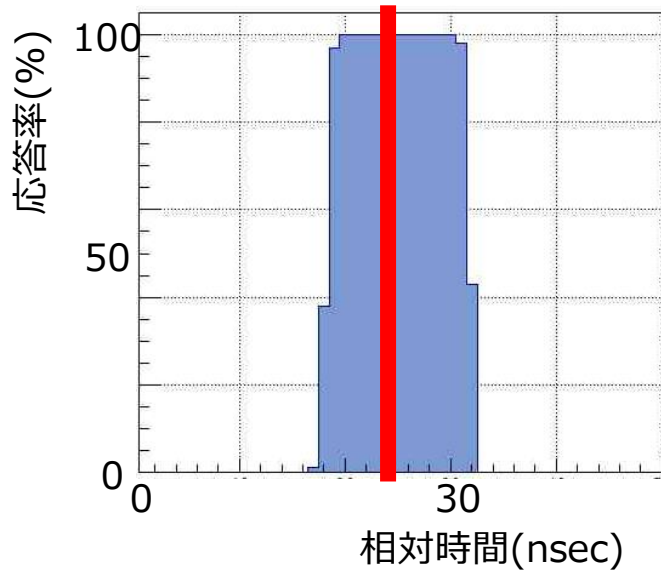
- 読み出し制御チップ
- 128 ストリップを制御

Hybrid:

- データ取り扱いの単位
- 20 (10×2列)ABCNチップ搭載

変数調整

□ タイミング調整

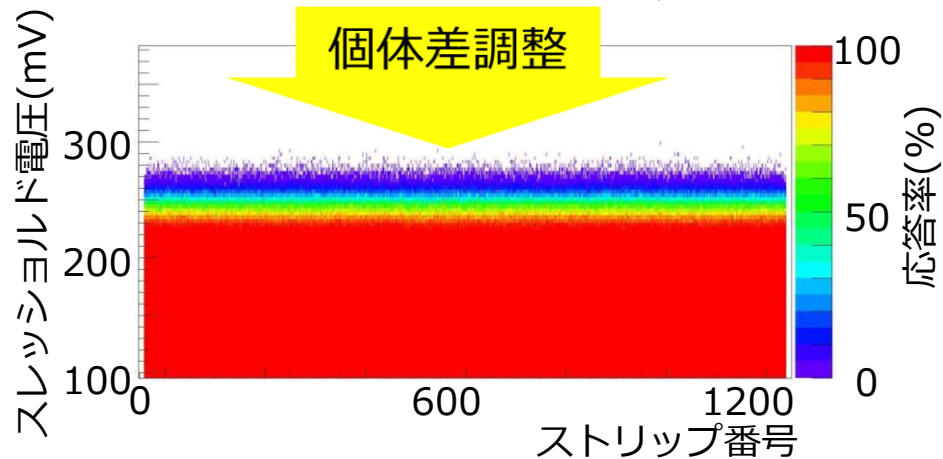
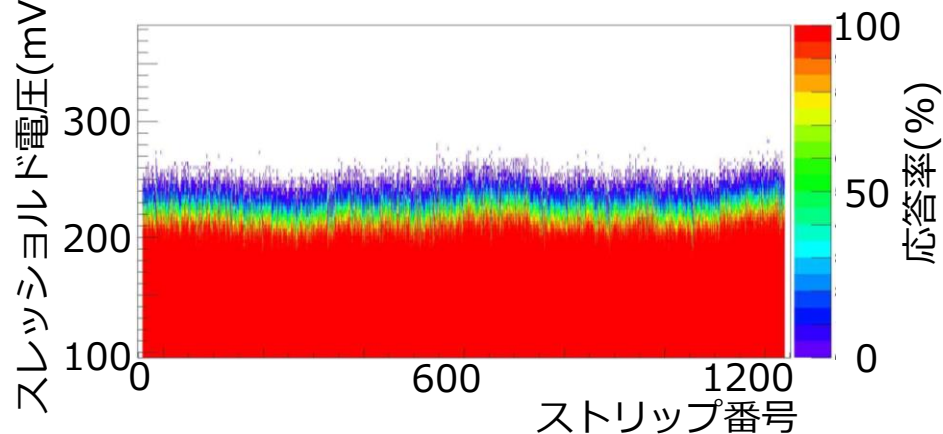


- 全ストリップが応答するタイミングに調整する

□ 調整は問題なく行えている

□ ストリップ個体差調整

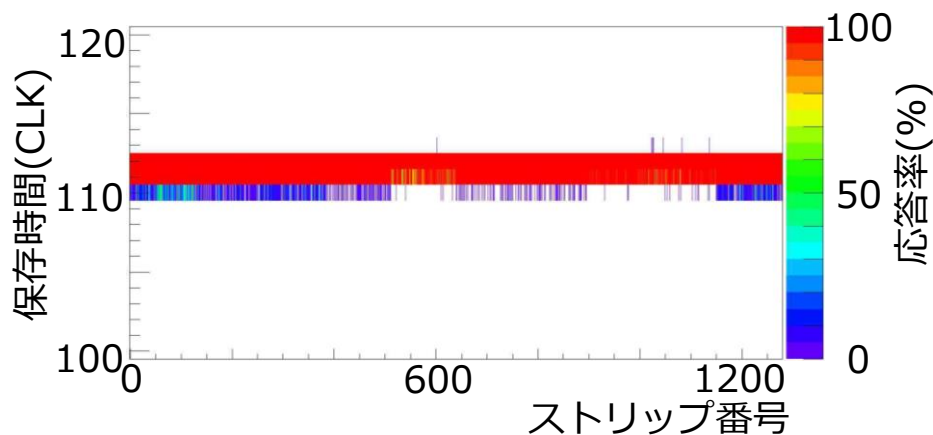
- ストリップの基準電圧を合わせる



タイミング調整

各種タイミングを調整する

データ出力タイミング調整



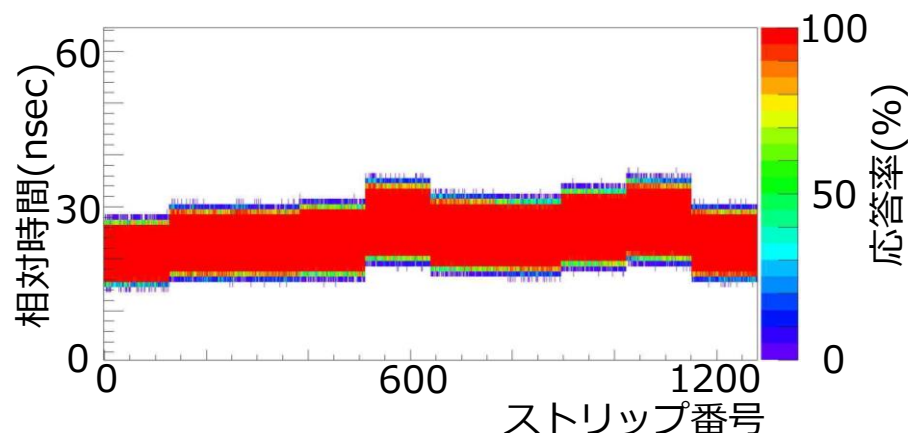
- ヒット情報は一旦読み出しチップ内に保存される

- トリガー信号が来た際に、いつ保存された情報を出力するか選ぶ

- 選択すべきタイミングがプロットからも明らかである

- **タイミング調整は問題なく行える**

電荷入力タイミング調整

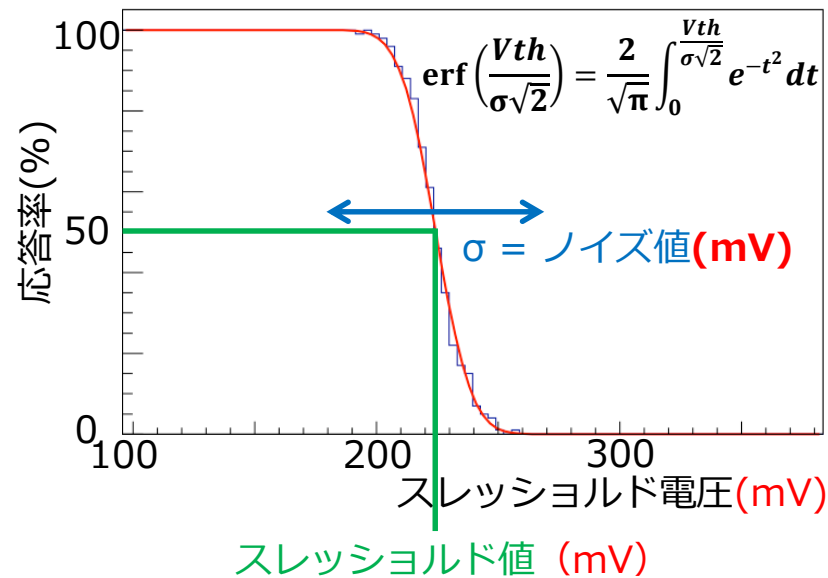


- 制御クロックと試験用電荷の入力の相対時間を調整する

- テスト用パルスの立ち上がり、立下りから十分離れたタイミングを選ぶ

スレッショルド測定

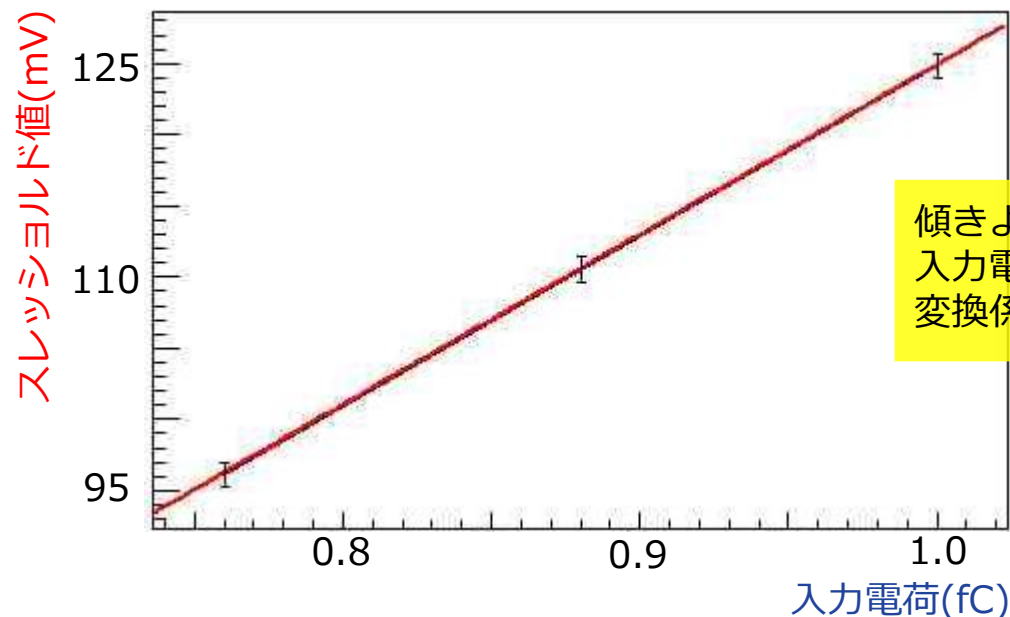
- ストリップ毎に誤差関数でフィットしインプットノイズ値を算出する



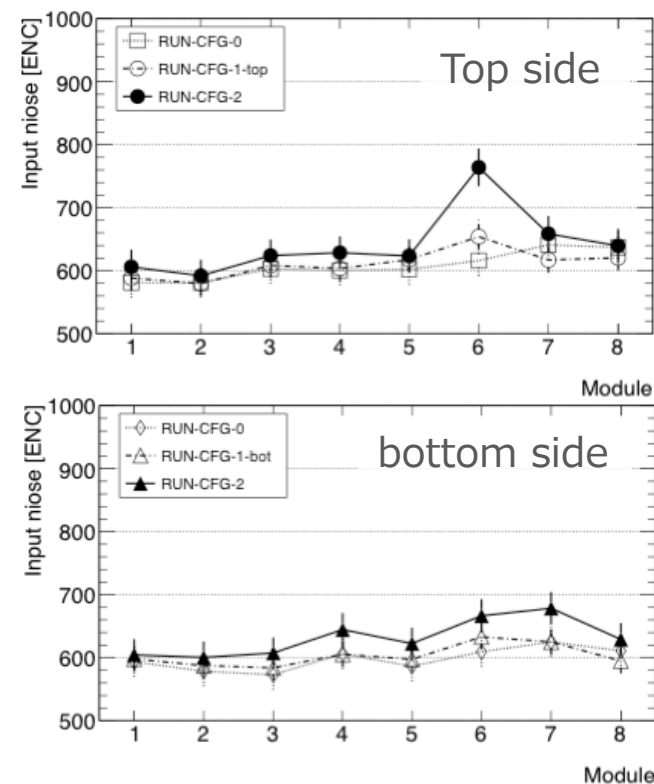
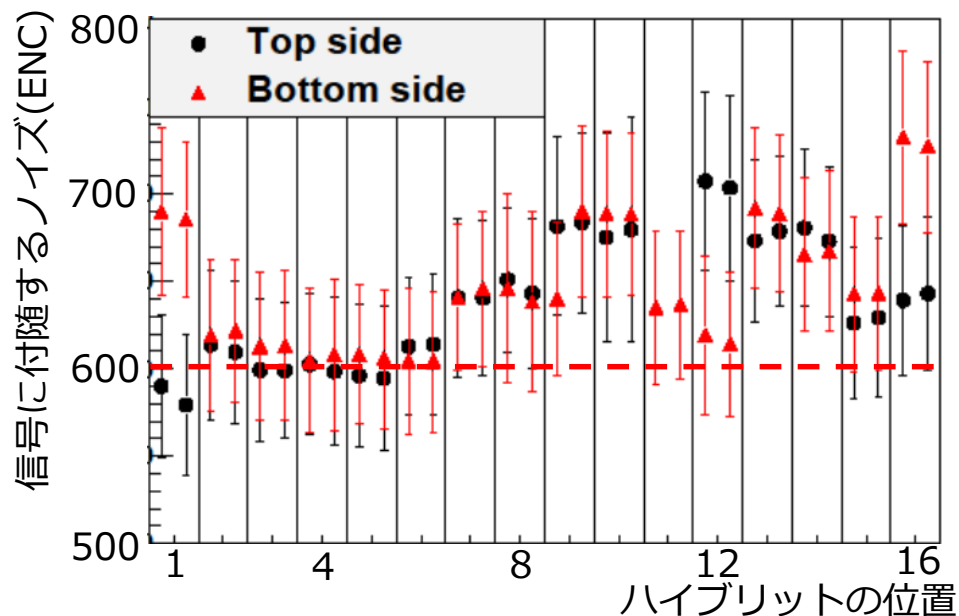
- ノイズ値は**電圧**の単位を持つ
 - 電圧の大きさはストリップ毎にアンプの個体差の影響を受けている
- **電荷**で評価をしたい
- **スレッショルド値 (電圧)** から**入力電荷**への変換係数を求める

3点測定

- 3つの異なる入力電荷を用いてスレッショルド測定を行う
- 入力電荷からスレッショルド電圧への変換係数を導出する
- 逆算して電圧単位のノイズ値を電荷単位に変換する
- 電荷は等価雑音電荷(equivalent noise charge; ENC)に変換する



先行研究との比較



JINST 9(2014) P02003

- かけているHVは同じ
- 先行研究でも似た傾向が見られている
 - ノイズの原因は**新DAQシステム依存のものではない**と思われる

信号の変更点

- R3(Regional Readout Request)トリガーの実装
 - 以前は全チャンネルのヒット情報読み出ししかできなかったが、クラスト中心のみを出力するトリガーが実装された
 - トラックを引くためまずは少ないデータ量のみを読み出し、ATLAS全体のトリガー条件と照合して、条件に合致すれば全データを読み出すという処理が可能になった
- L0L1トリガーの実装
 - 以前はトリガーの入力後すぐヒット情報が出力されていたが、ヒット情報の取得と出力が別のトリガーとなった
 - 出力するデータ量の制限が可能になった

