



HL-LHCに向けたATLAS実験シリコンストリップ検出器 の読み出しエレクトロニクス開発及び性能評価

お茶の水女子大学 河野研究室
杉林花那子

- ❖ LHC & ATLAS検出器
 - 内部飛跡検出器アップグレード
 - トリガーシステム
 - ITkシリコンストリップ型検出器
- ❖ ハイブリッド基板(イギリス製)のテスト
 - HCC, ABC130レジスタ読み出し
 - トリガー実装、データ取得
 - テストパルス
- ❖ ハイブリッド基板(日本製)のテスト
- ❖ まとめ

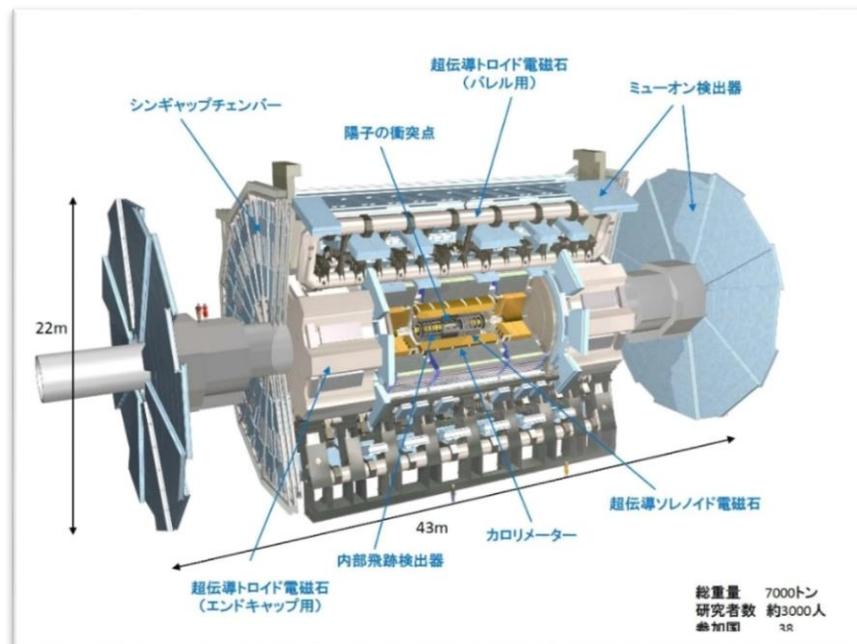
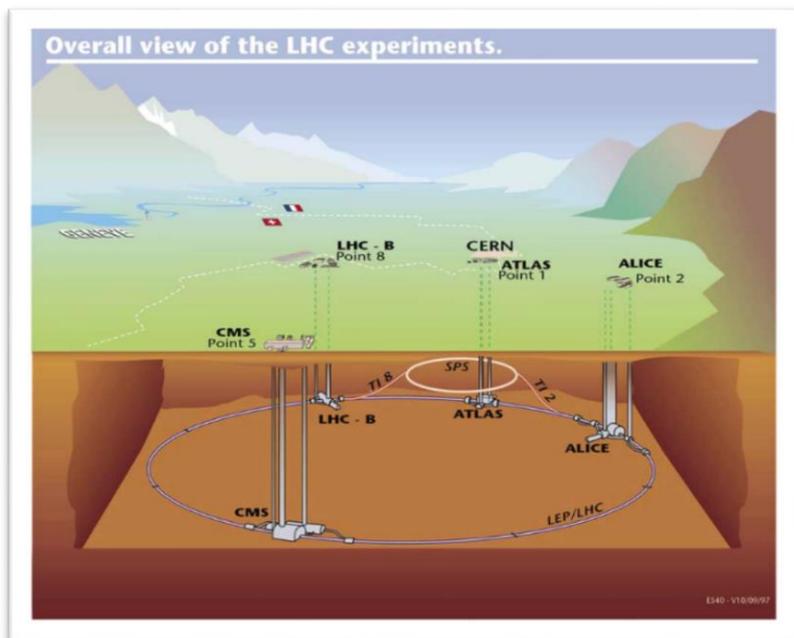
LHC & ATLAS

➤ Large Hadron Collider (LHC)

- ・ 周長約27kmの陽子-陽子衝突型加速器
- ・ 重心系エネルギー13 TeVで稼働中
- ・ 2026年からルミノシティを現行の約5倍にするHigh-Luminosity LHC計画を実施

➤ ATLAS検出器

- ・ LHCの陽子の衝突点の1つに設置されている大型粒子検出器
- ・ 内部飛跡検出器、カロリメータ、ミュオン検出器で構成される

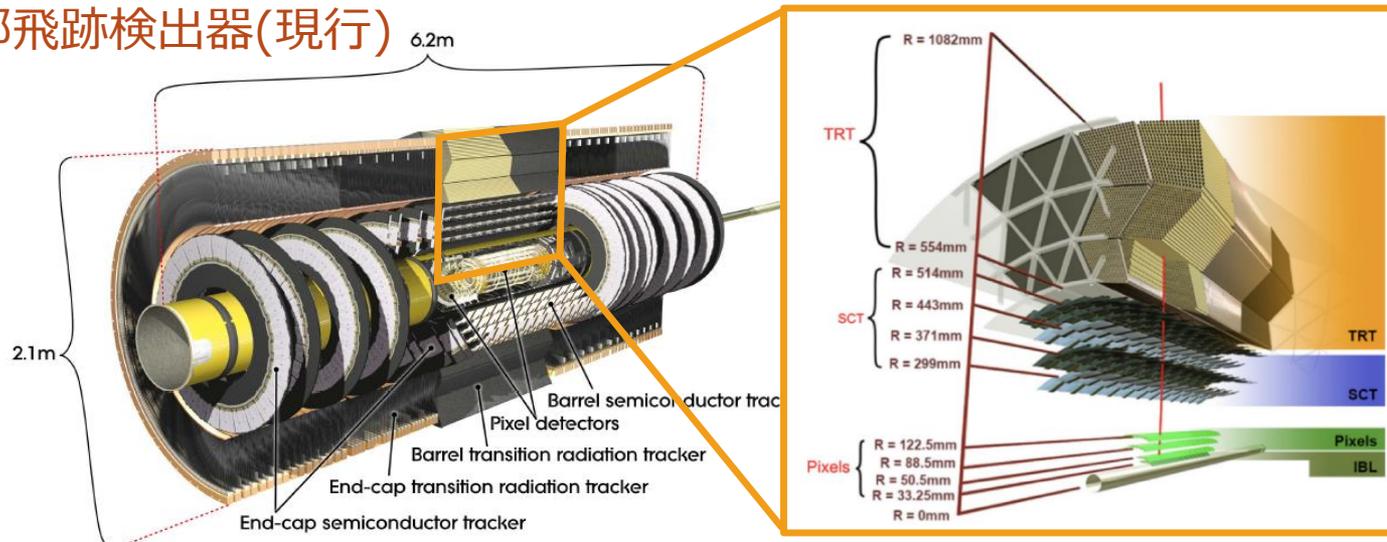


内部飛跡検出器

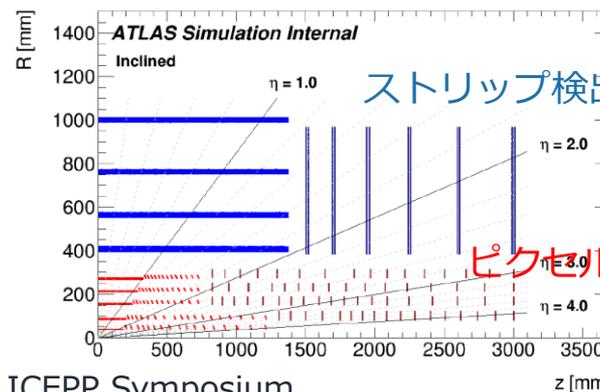
ATLAS検出器の最内層に位置する、荷電粒子の飛跡を再構成する検出器

- 現行：シリコンピクセル検出器、シリコンストリップ型検出器、ストローチューブ検出器で構成
- 新型：シリコンピクセル検出器、シリコンストリップ型検出器 = Inner Tracker(ITk)に再編

内部飛跡検出器(現行)



イベント選別を厳しくするため、
データ読み出しの高速化のために
新トリガーシステムを導入

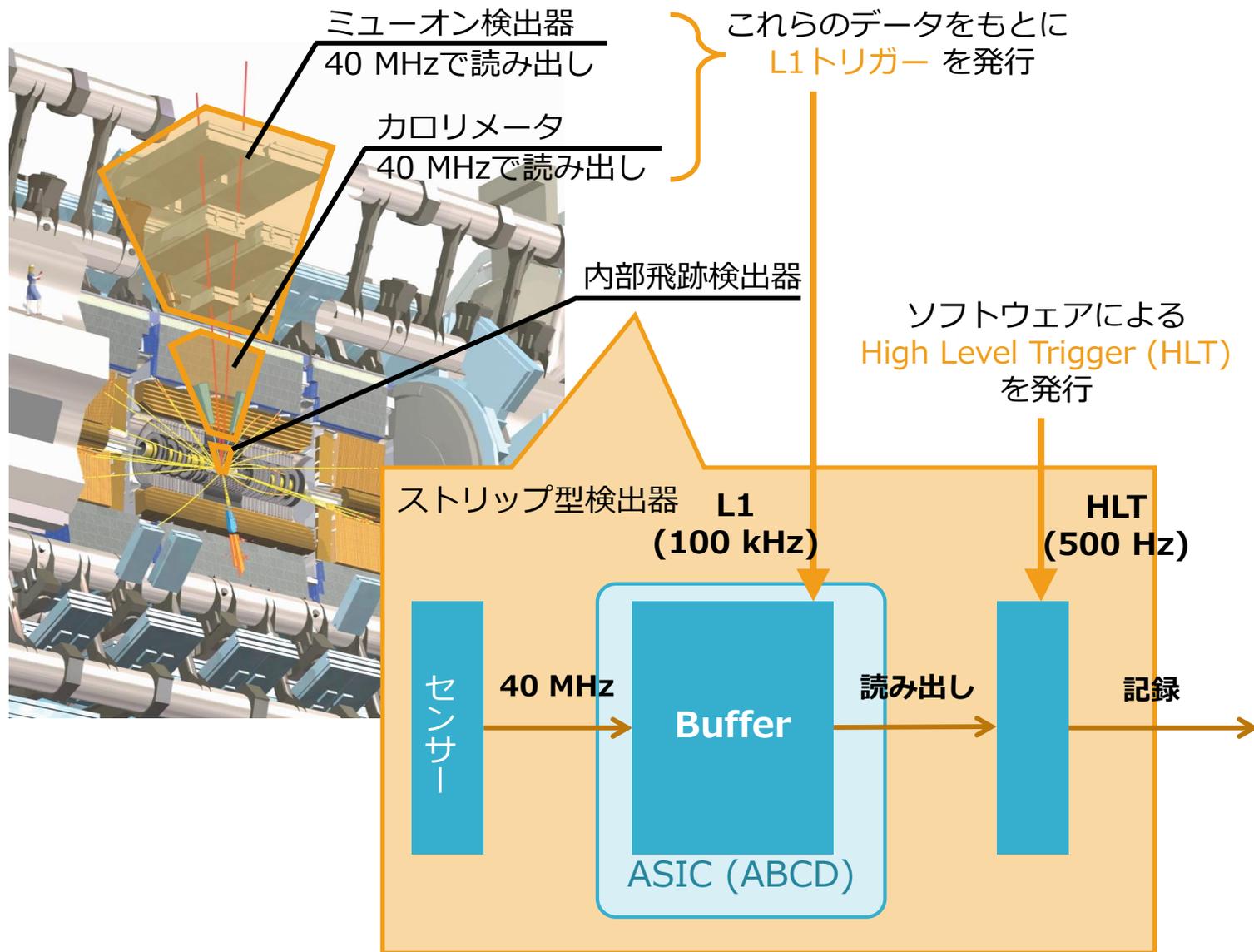


ITkレイアウト

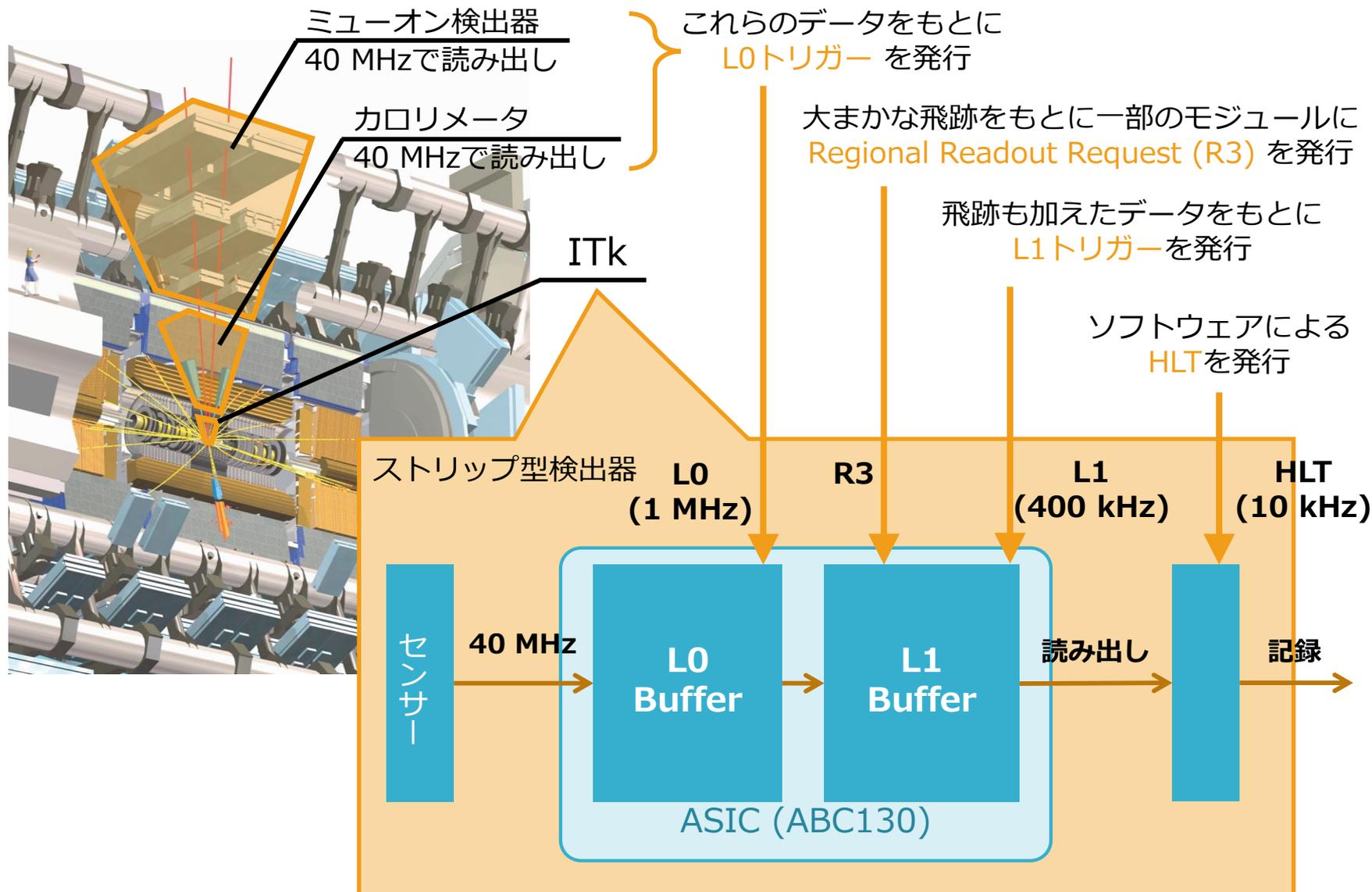
ストリップ検出器

ピクセル検出器

現行トリガーシステム

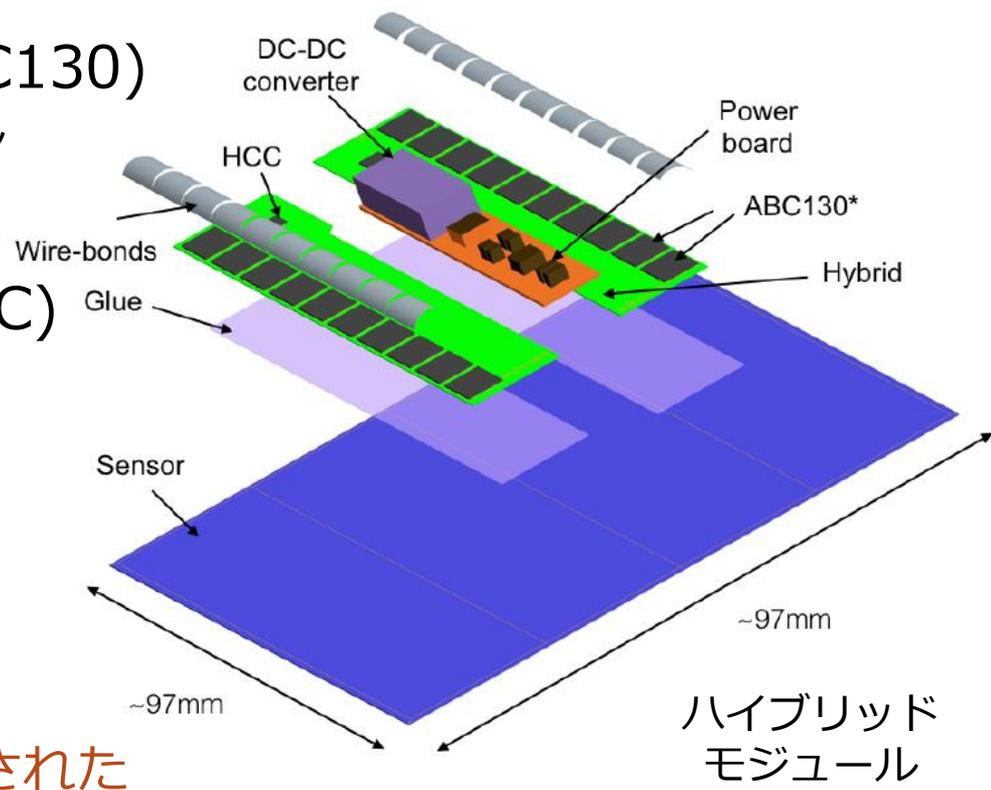


新トリガーシステム



ITk シリコンストリップ型検出器

- シリコンストリップセンサー
 - ・ n-in-p型
 - ・ ストリップ長 24mm、間隔 74.5 μ m
 - ・ 1モジュールあたり 5120チャンネル
- Atlas Binary Chip 130 (ABC130)
 - ・ 1チップ256チャンネルの読み出し
 - ・ 1モジュールあたり 20個
- Hybrid Controller Chip (HCC)
 - ・ ABC130 10個の制御、読み出し

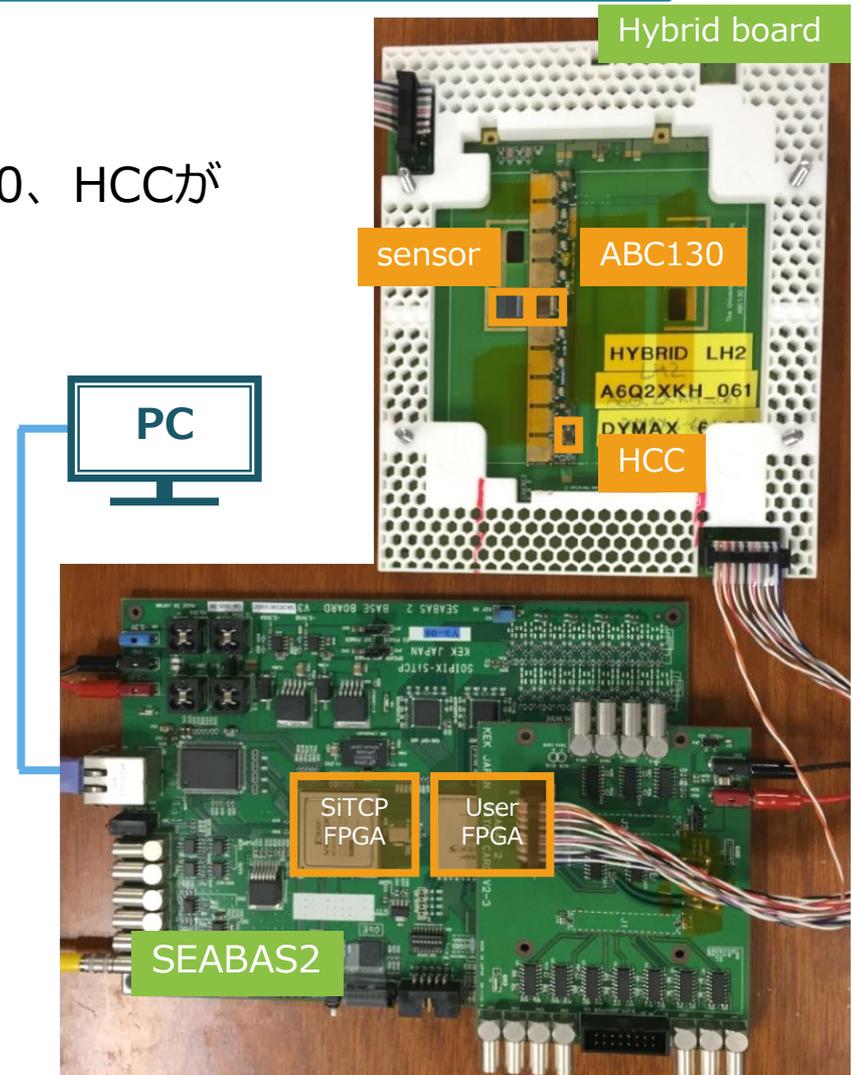


新トリガーシステムに対応した
センサー、2種類のチップ、
それらを搭載した
ハイブリッドモジュールが開発された

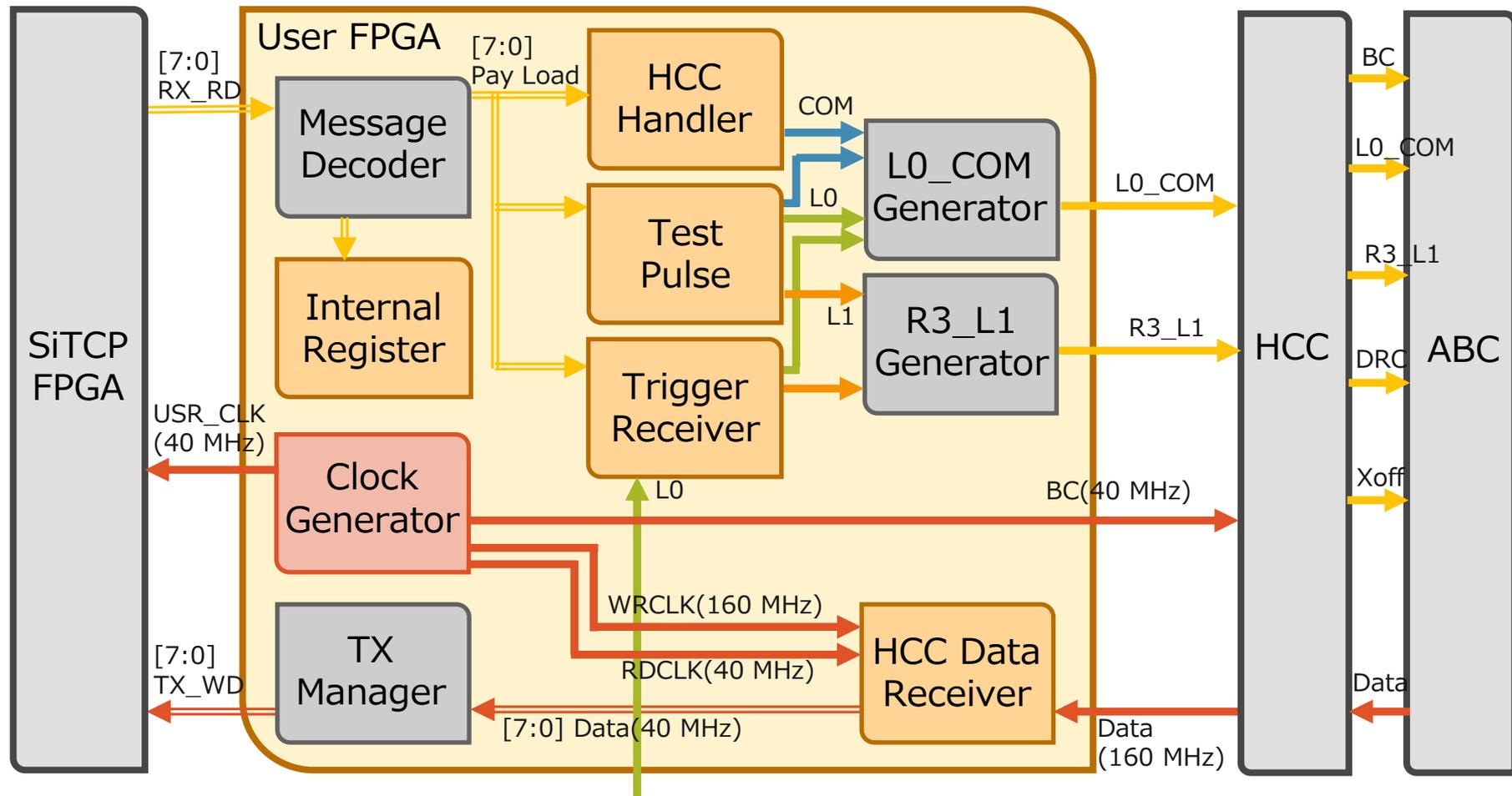
UK Hybrid

- ハイブリッドボード
 - イギリスのグループが開発
 - 100チャンネルのセンサー、ABC130、HCCが1つずつ搭載されている
- SEABAS2 (Soi EvAluation BoARd with Sitcp)
 - チップの試験および高速読み出しのための汎用ボード
 - PCとイーサネット経由で接続
 - SiTCP FPGAとUser FPGAを搭載

User FPGAのファームウェアを開発し
PC ⇔ SEABAS2 ⇔ HCC & ABC130
の通信を確立



ファームウェア設計

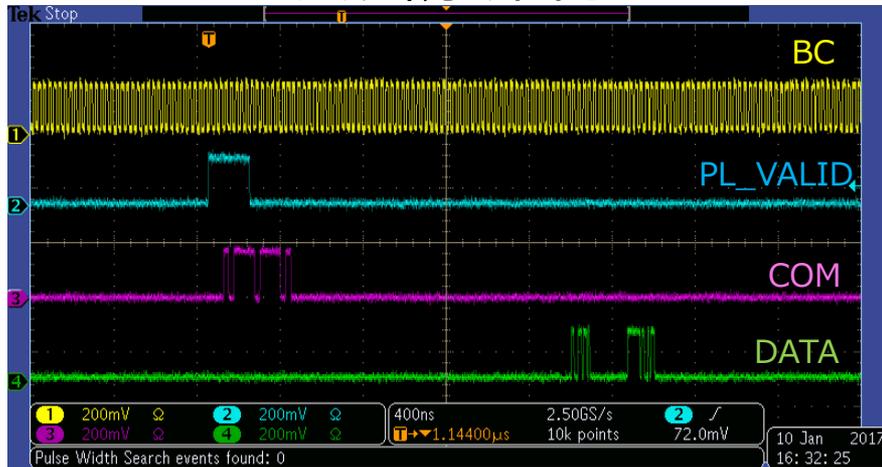


- ◆ PCからHCC, ABCへコマンド送信
- ◆ HCC, ABCからのデータをPCへ送信
- ◆ L0, L1トリガーの実装

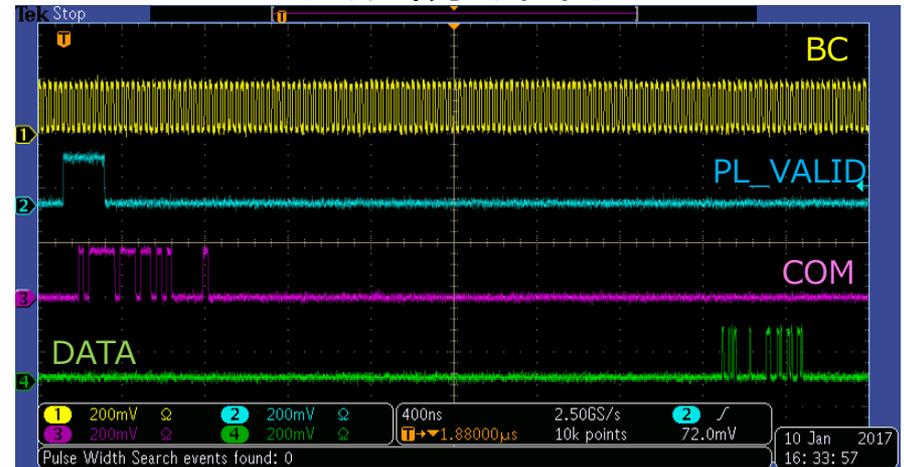
- BC (Bunch crossing clock) : 40 MHzのクロック
- COM : チップへのコマンド(8 or 58 bit)
- L0, L1, R3 : 外部トリガー信号
- Data : レジスタの値、ヒット情報(64 bit)

HCC & ABC データ読み出し

➤ HCCレジスタ読み出し



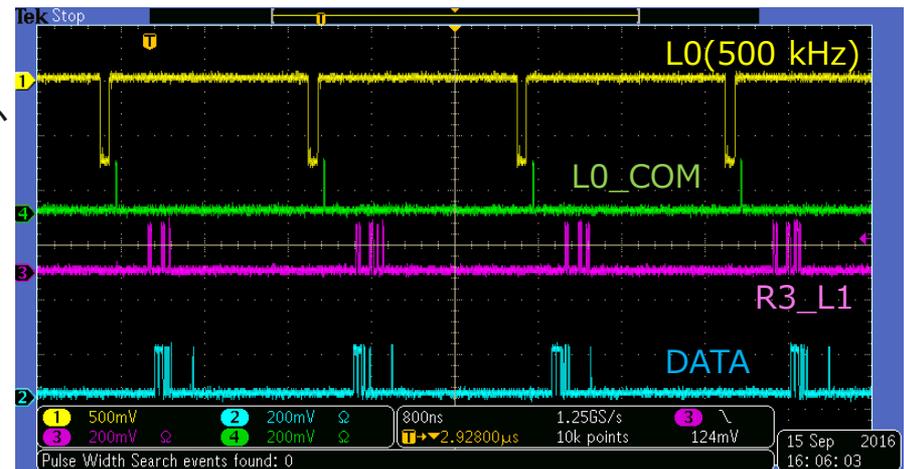
➤ ABCレジスタ読み出し



HCC, ABC130ともにCOMを受け取ってDATAを返すことを確認

➤ 外部トリガーによるデータ取得
外部で生成したL0の信号をSEABAS2へ入力し、
固定遅延後L1を生成

500 kHzのL0で1パケットのデータは
読み出せた

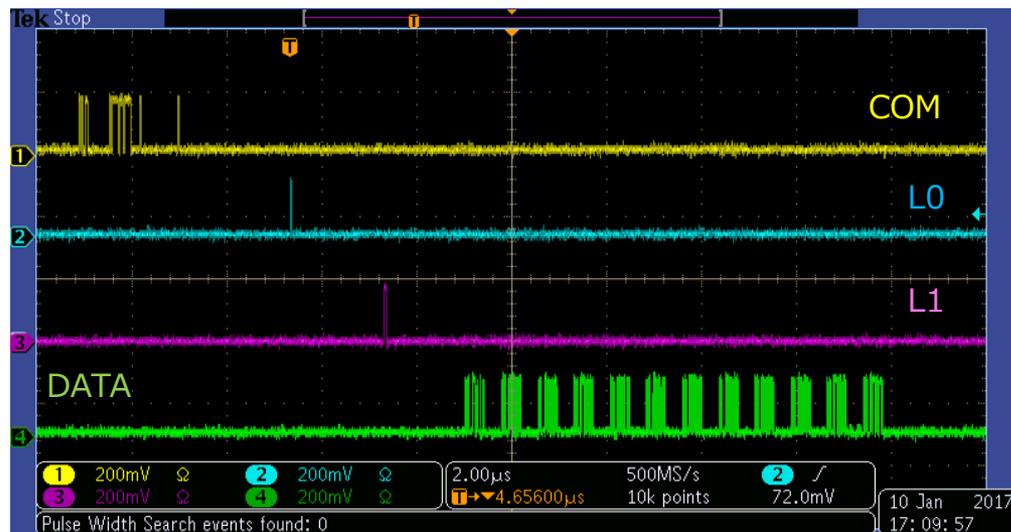


テストパルス

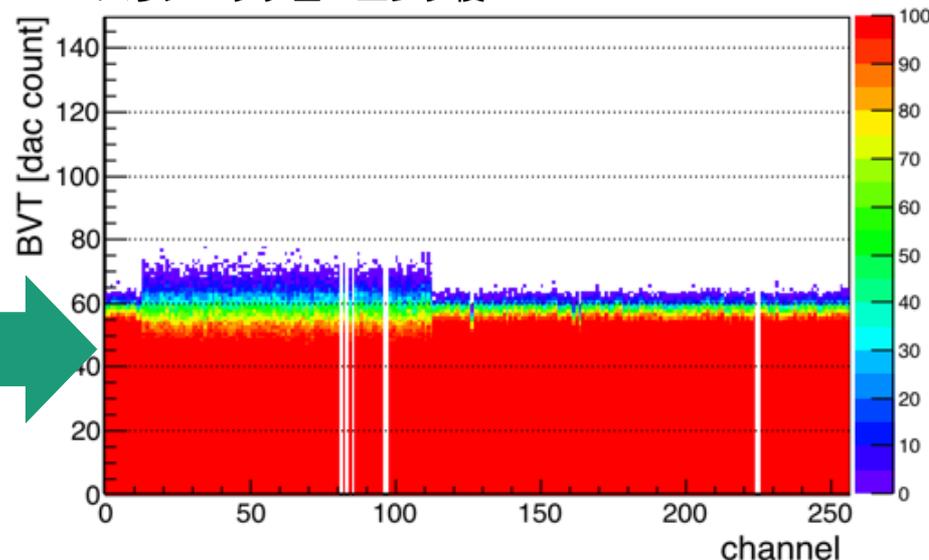
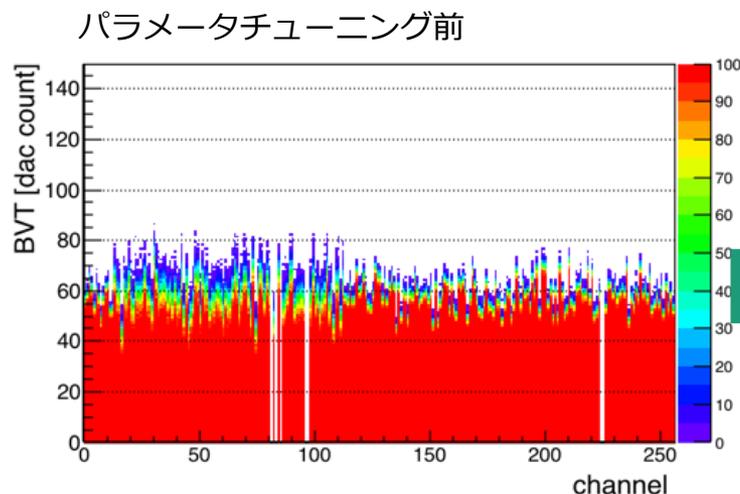
ABC130の試験電荷を発生させる機能を使いデータを取得

- パラメータチューニング
- ・ Latencyスキャン
 - ・ Strobe Delayスキャン
 - ・ Gainスキャン

➤ Thresholdチューニング



パラメータチューニング後

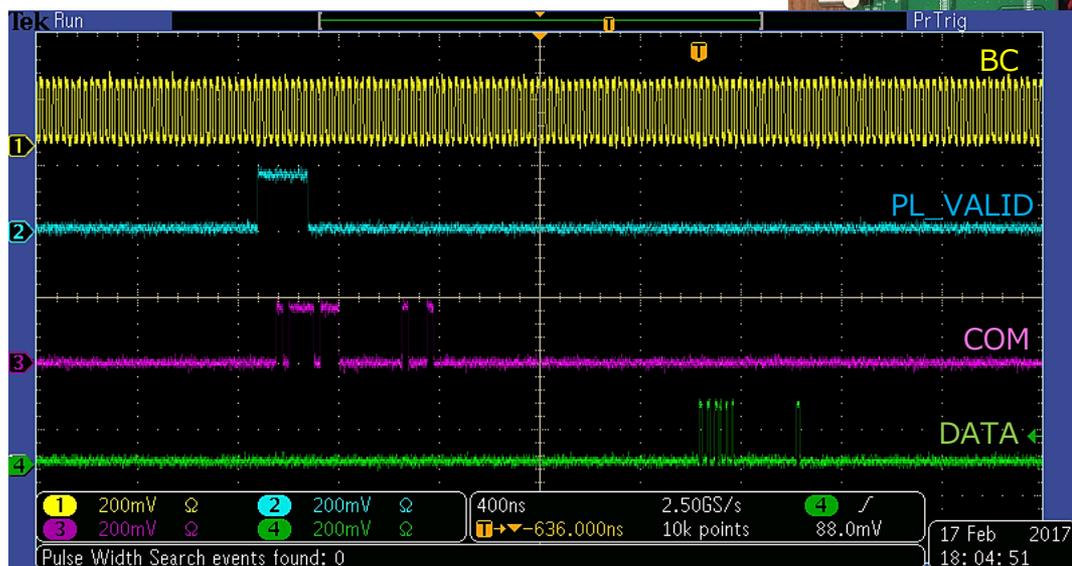
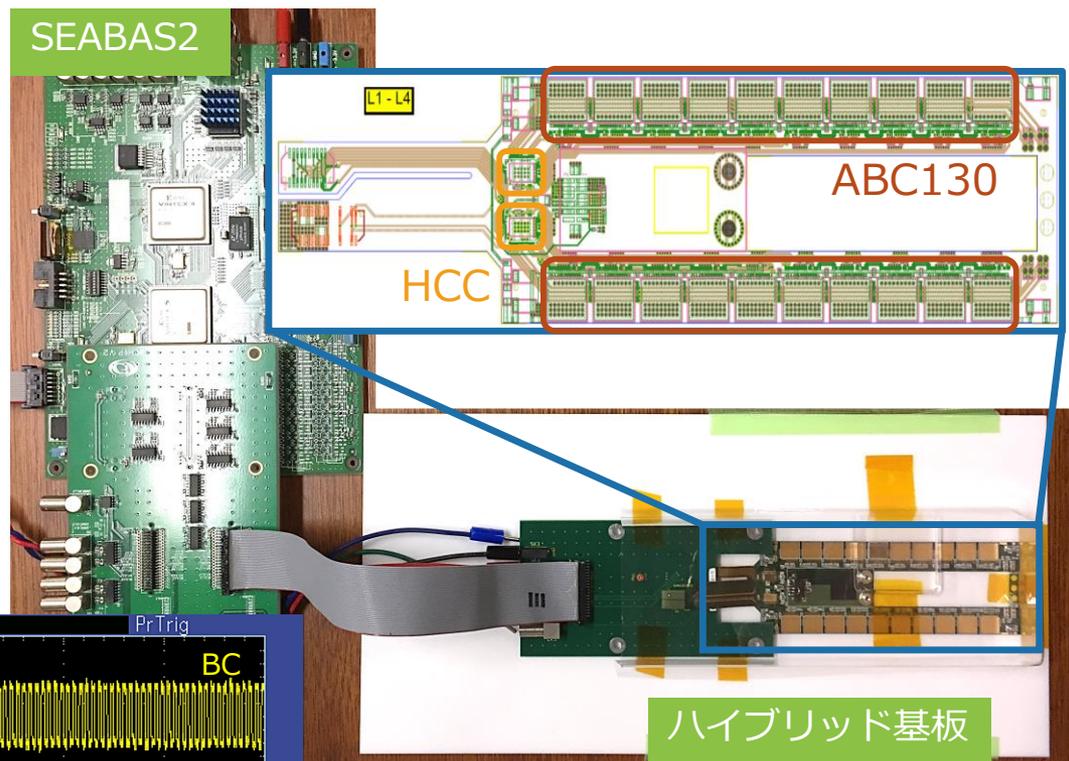


日本製のHybrid基板

▶ ハイブリッド基板

- KEKが林栄精器(株)に委託して製造
- ABC130, HCCを1つずつ搭載

UK Hybridと同様にSEABAS2を用いて通信テストを行い、HCCの読み出しは成功



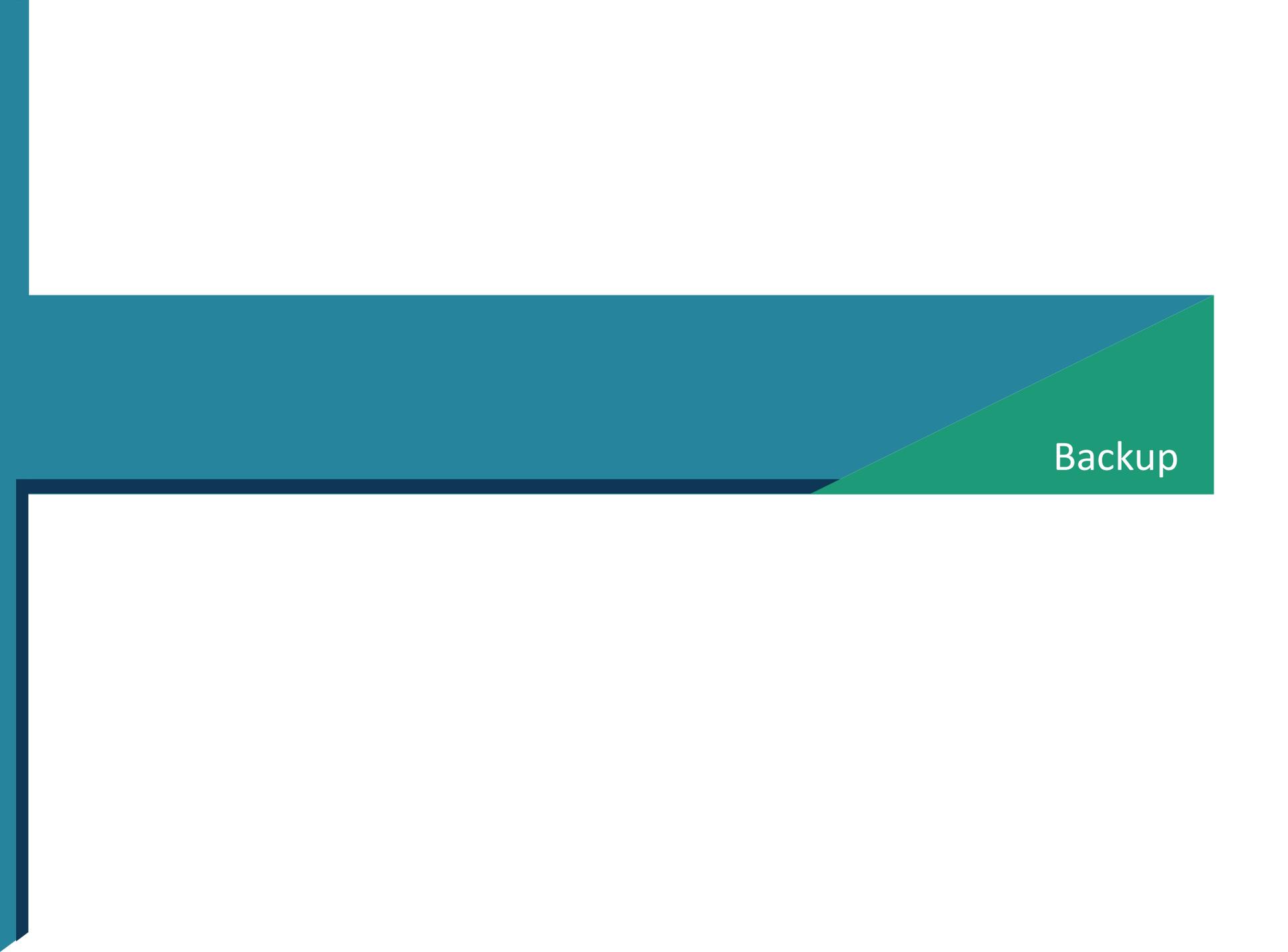
HCCレジスタ読み出しの結果

まとめ

- ❖ HL-LHC計画に向けて、新トリガーシステムの導入、新型チップ (ABC130, HCC)を搭載したモジュールが開発された
- ❖ UKハイブリッド基板のテストでは
 - HCCを介してABC130を制御することに成功
 - 外部トリガー、テストパルスに対応したL0, L1トリガーの実装が完了
- ❖ 日本製ハイブリッド基板ではHCCの制御ができた

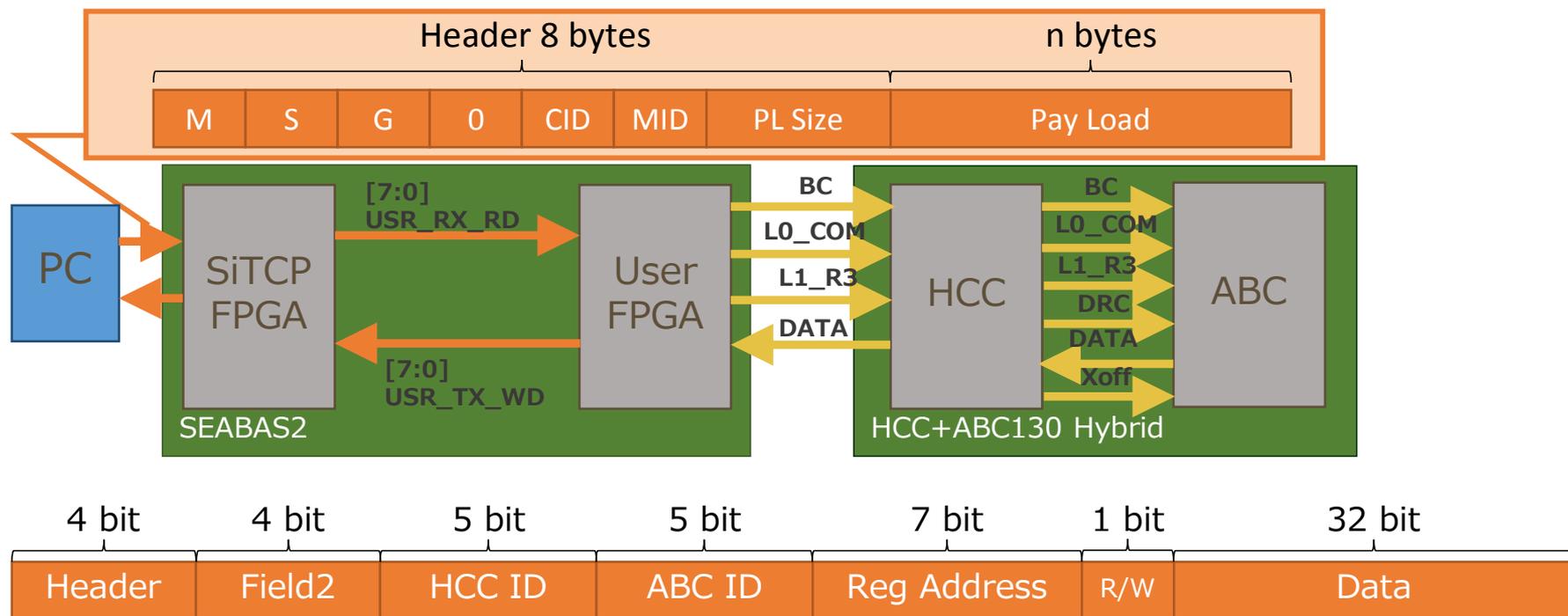
課題

- ✓ データ読み出しレートの測定
- ✓ 複数のABC130のデータ読み出し

A decorative horizontal bar at the top of the page, split into a teal left half and a green right half. The word "Backup" is written in white on the green section. The teal section also features a dark teal vertical bar on the left side.

Backup

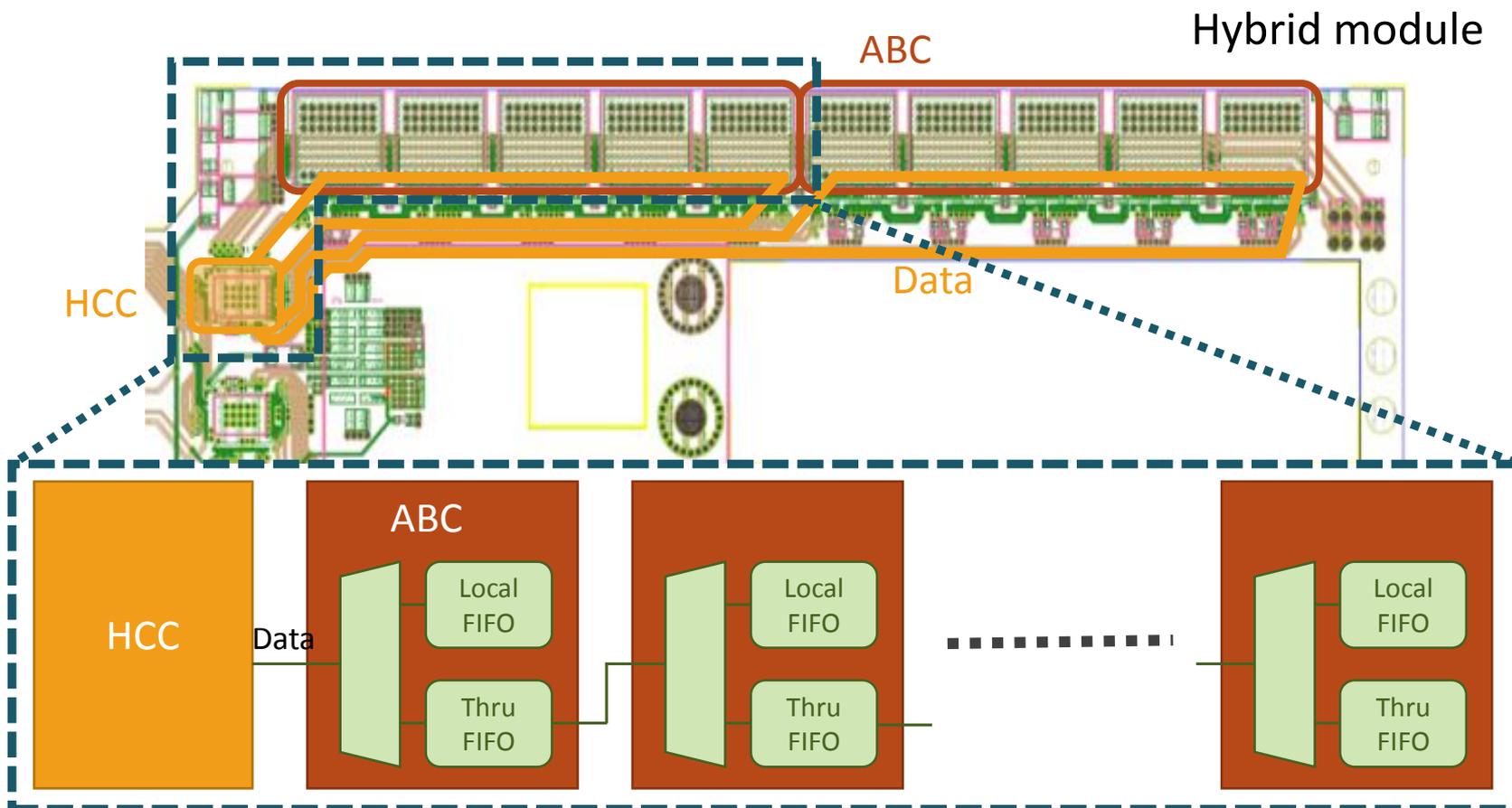
データ形式



ASIC読み出しの仕組み

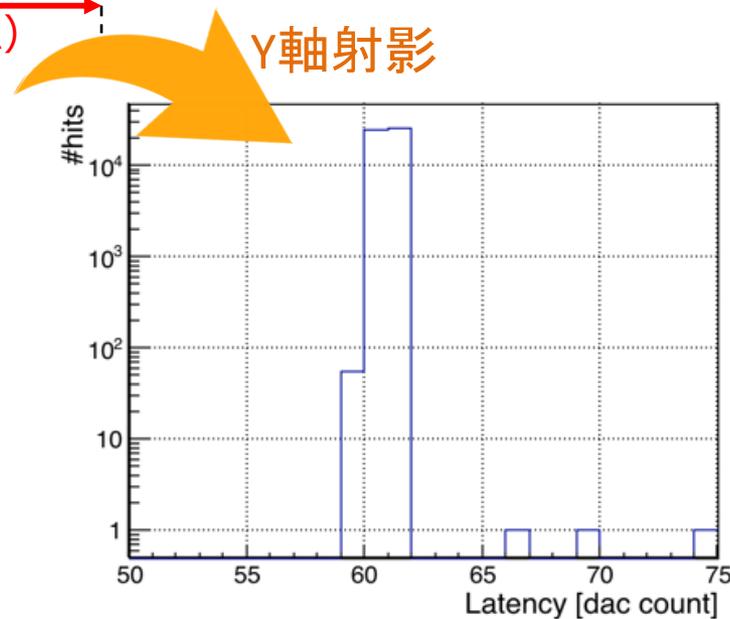
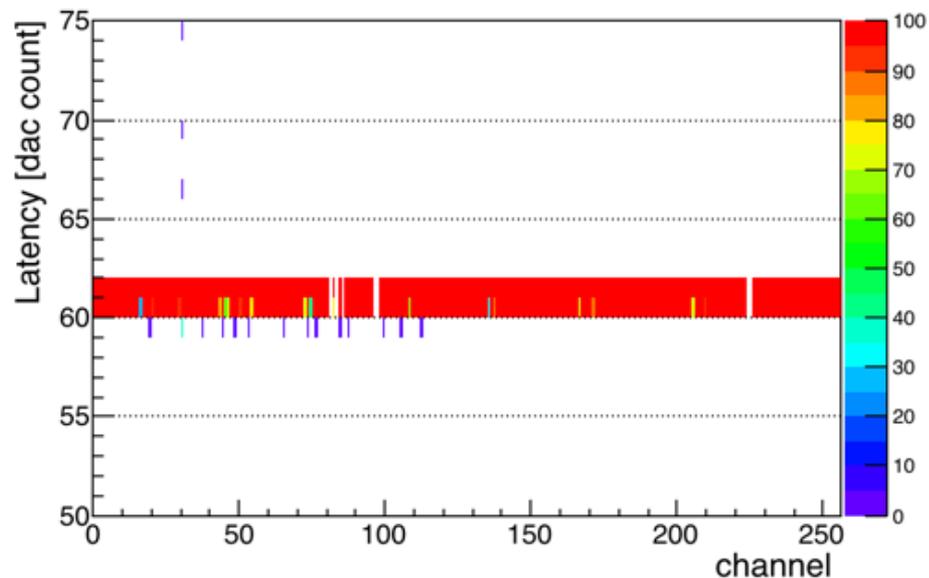
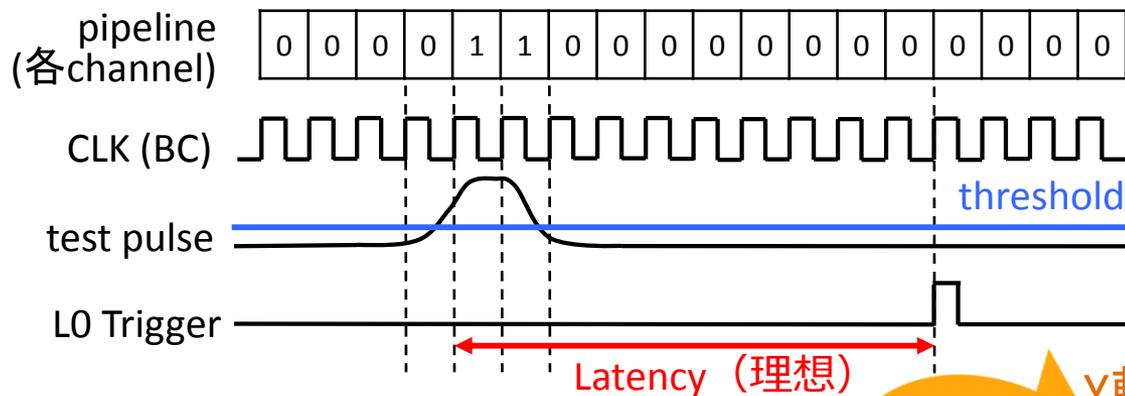
HCCには4つのDataInがあり、2つのDataInと5つのABCグループと
なっつながっている。

ABCは自身のDataを隣のABCへ送り最終的にABC 5つ分のDataをHCC
まで届ける。



Latency スキャンテスト

Latency : L0 Trigger からどれだけ pipeline を遡って読み出すかを指定する値



→ 最適 Latency = 60