

MIKUMARIの時刻ドメインと MTMトリガーイベント同期システム の開発

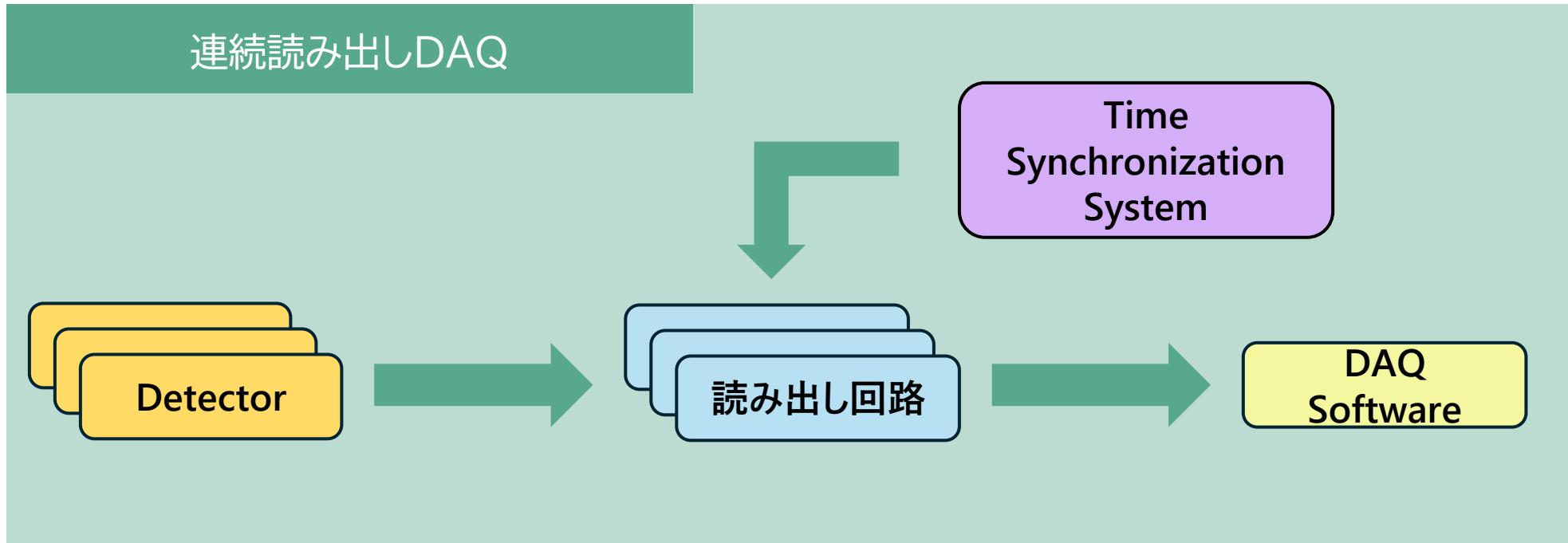
KEK IPNS ITDC E-sys
益田英知

計測システム研究会2025

Agenda

1. 連続読み出しDAQについて
2. J-PARC T105実験
3. T105のセットアップでの問題
4. 解決策
5. Streaming RMについて
6. まとめと今後の展望

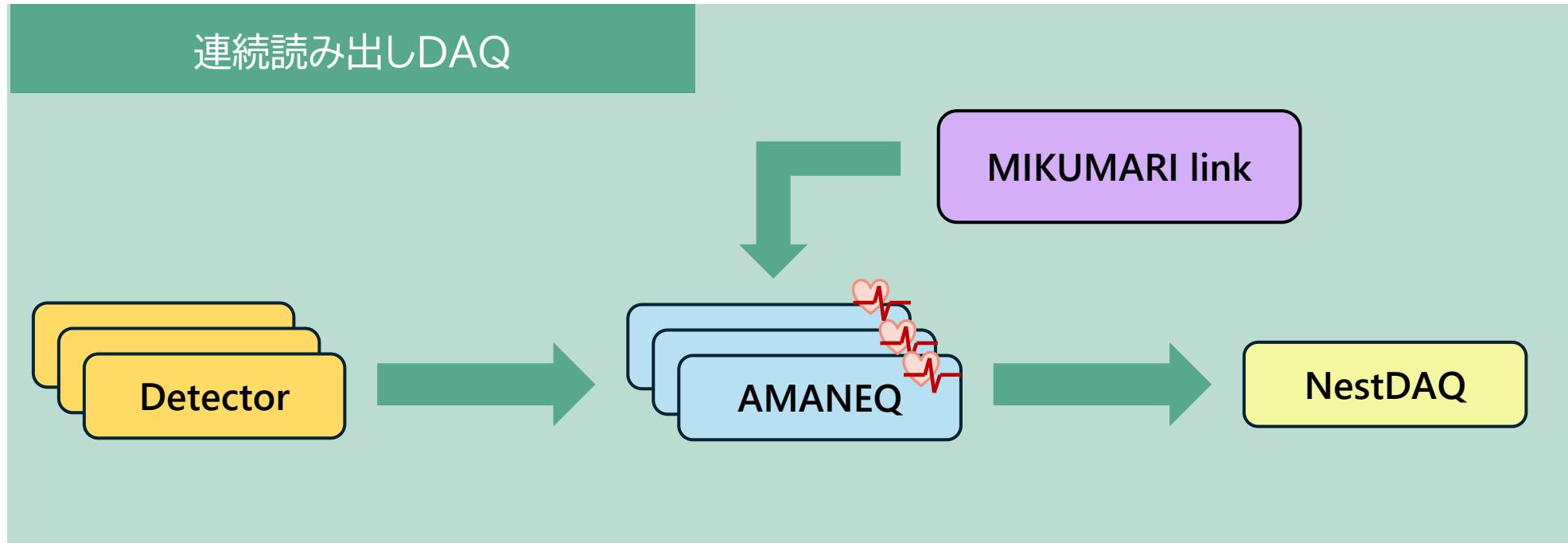
連続読み出しDAQ



特徴

- Hardware Triggerを用いないDAQ system
- 検出器にヒット情報をすべて読み出し、softwareでfilteringする
 - e.g. Software trigger
- 時刻情報はすべての読み出し回路で同期される
 - Time Synchronization System

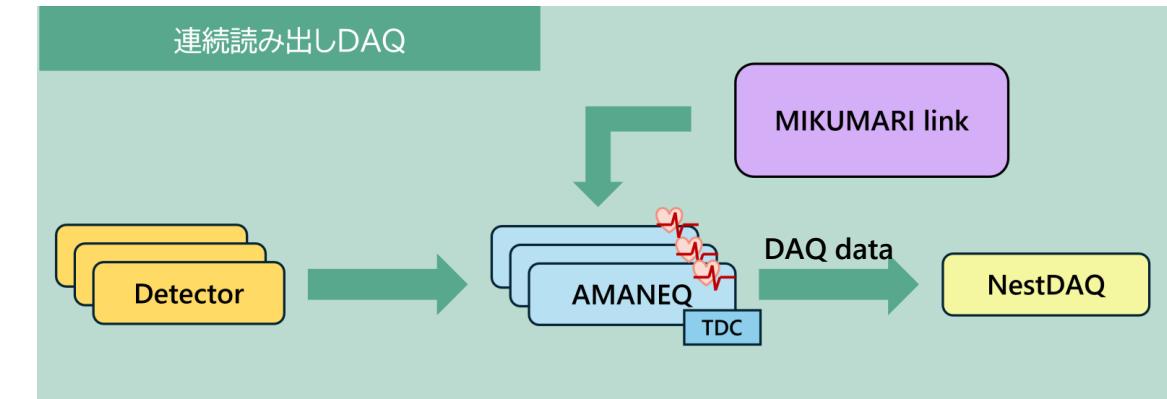
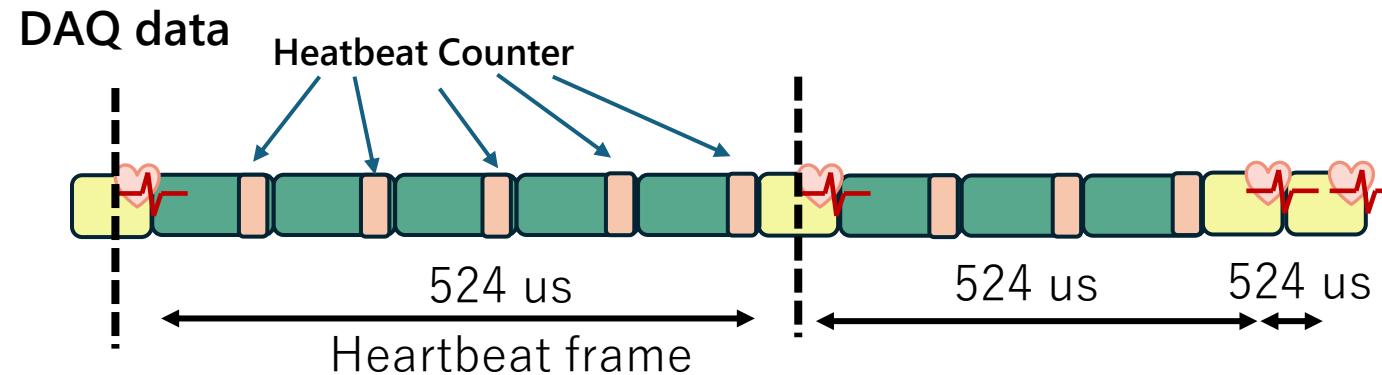
連続読み出しDAQ@SPADI



システム構成

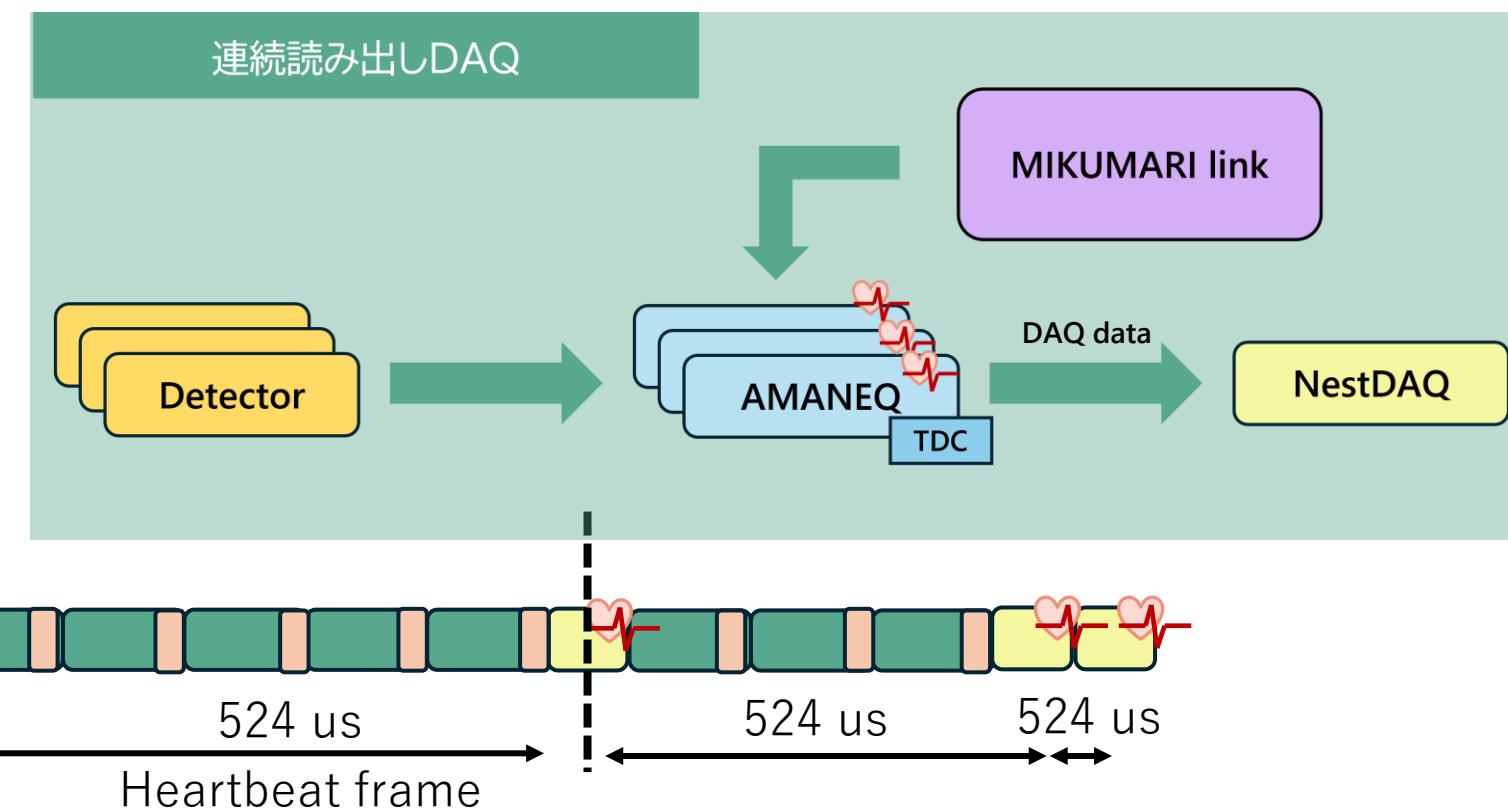
- TimeSynchronization System : MIKUMARI link + LACCP(Local Area Common Clock Protocol)
R. Honda, IEEE TNS, 70 (6), 1102 (2023)
- 読み出し回路 : AMANEQ (連続読み出しDAQ用汎用FEE)
- DAQ Software : NestDAQ(連続読み出し FEE用DAQ Software)

Local Area Common Clock Protocol (LACCP)



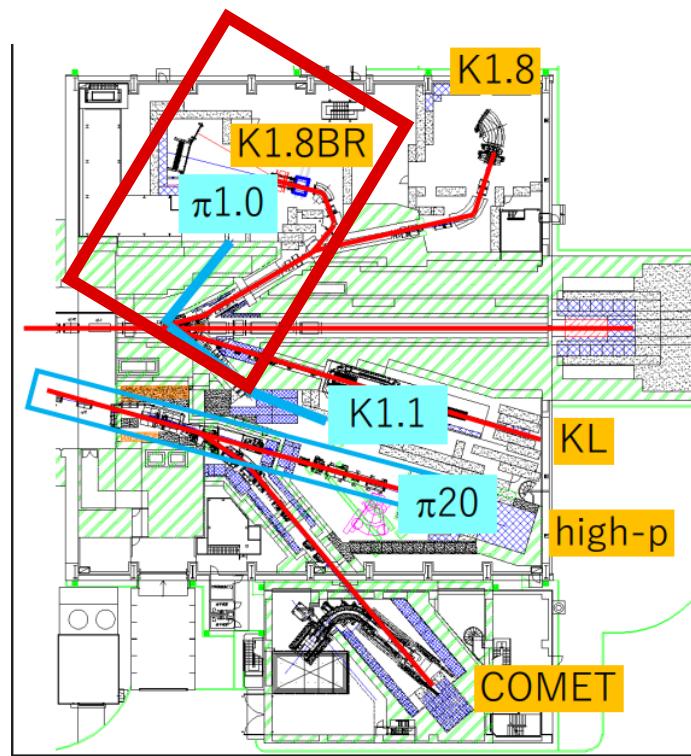
- MIKUMARI linkの上位として実装される時刻同期プロトコル
- Heartbeat counterとheartbeat delimiterでタイムスタンプを構成する
- Heartbeat counter : 16bit長のカウンター
 - カウンター値をDAQデータへタイムスタンプとして埋め込む
- Heartbeat delimiter : heartbeat counterがキャリーオーバーする際に発生する信号
 - 24bit長のフレーム番号が付与される
- トータルで24+16bitでタイムスタンプが定義される

データ構造



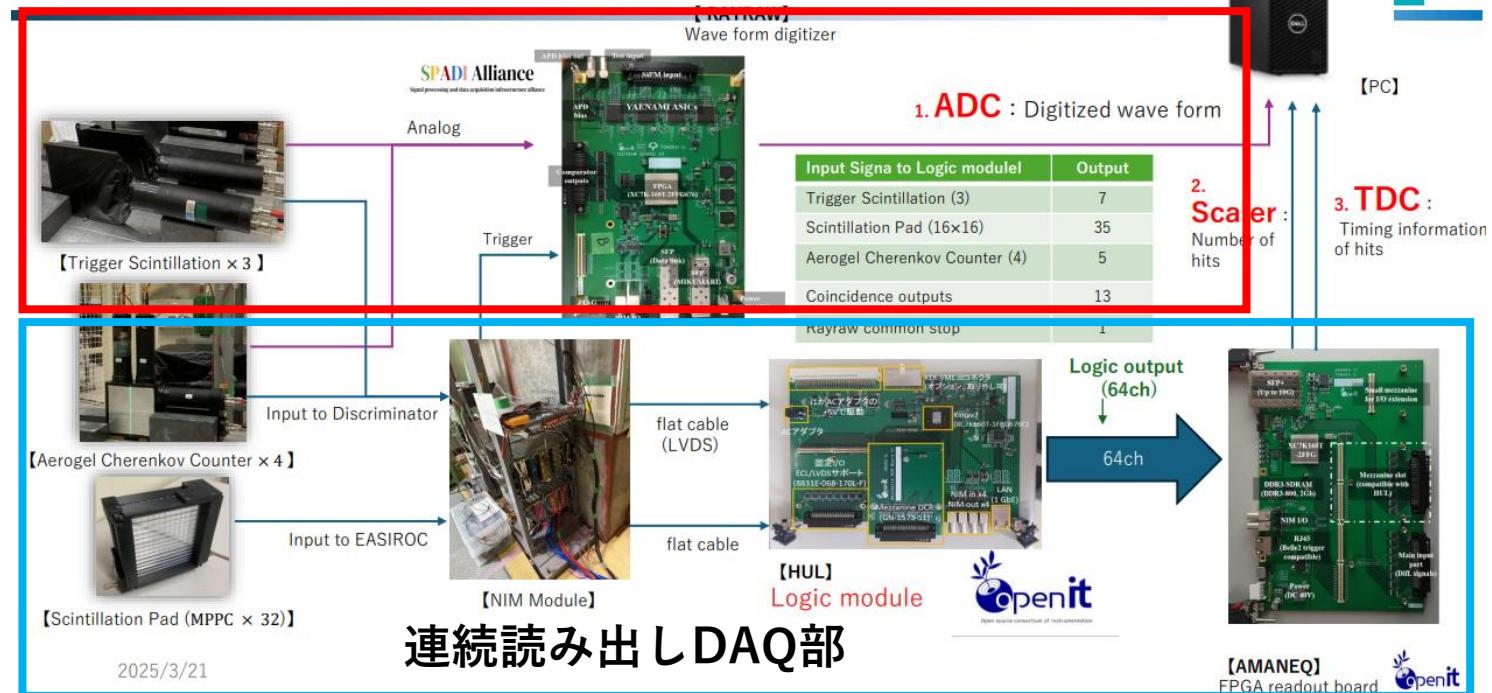
- frameの区切りとしてheartbeat delimiterを使用
 - 一定時間ごとに挿入される(524 us)
→ Hit信号がdelimiter間に存在しなくても挿入
- フロントエンドから上がってくるデータは基本すべてバックエンドへ転送
 - Throttling機能
 - Buffer overflow時、データをdropする
 - e.g. high hit rate時

J-PARC T105



データ取得システム

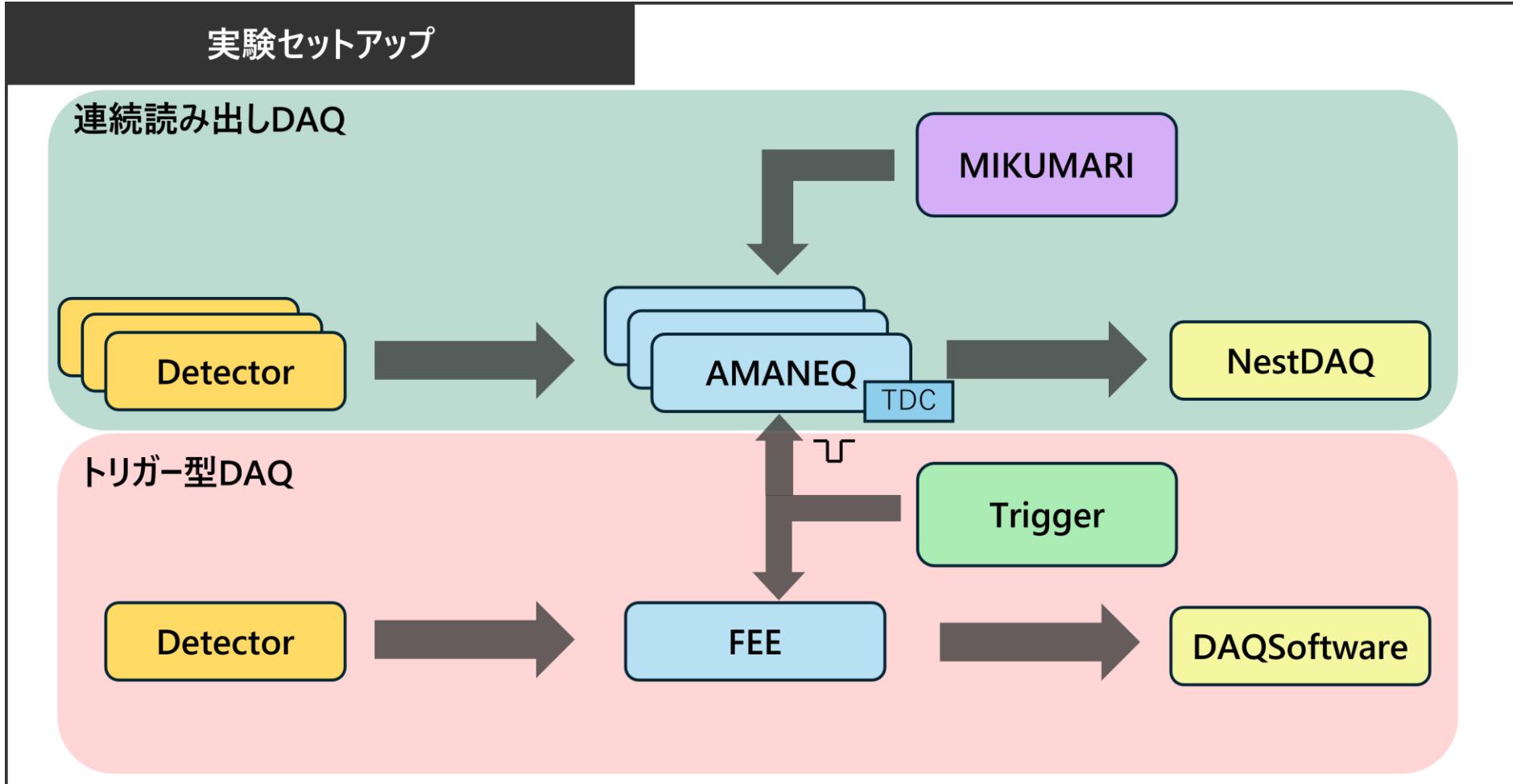
トリガー型DAQ部



江成祐二 et al., presented at 80th JPS annual meeting, 19aEK104-6

- J-PARCハドロンホールでのテストビームライン建設の可能性を探るために行われた実験
 - 場所 : π 1.0ビームライン予定地
 - 目的 : p, π^\pm のレートと割合を知るために行われた
- セットアップの都合上、トリガー型DAQと連続読み出しDAQを平行して動作させて行われた

運用上の問題点

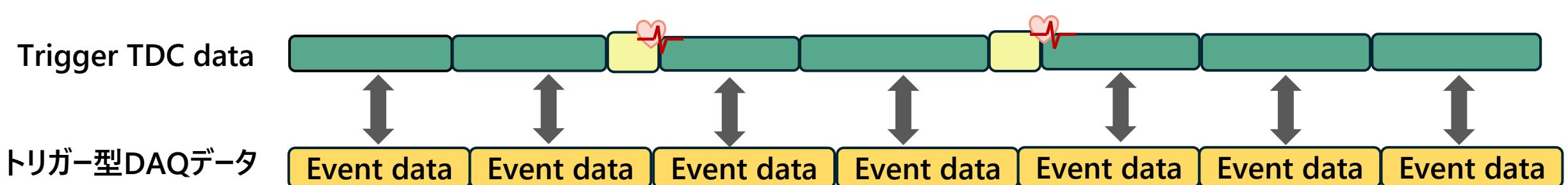
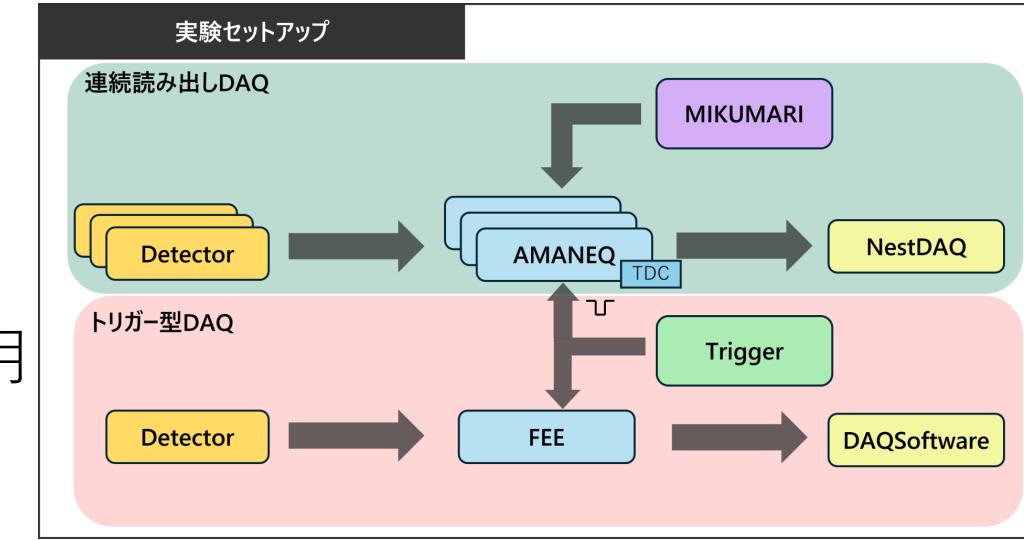


- トリガー型DAQと連続読み出しDAQを平行して動作
- Triggerを連続読み出しDAQのTDC入力とすることで時刻情報を記録
 - Triggerパルスのみを入力

問題点：連続読み出しDAQのデータとトリガー型DAQのデータのイベントの突合せができなくなった

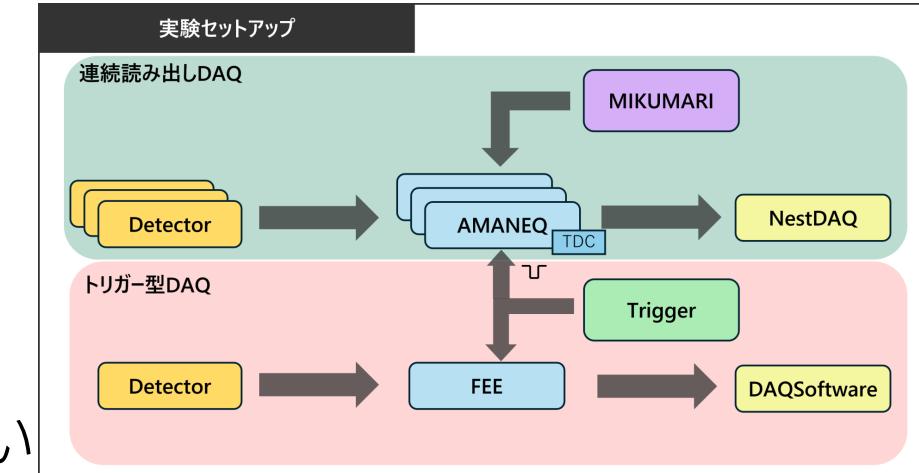
Nominal case

- トリガー型DAQシステムと連続読み出しDAQを併用
 - TDCデータはすべて記録される
 - Triggerの時間情報をTDCから取り出せる
 - Event番号とMIKUMARIの時刻情報が対応させられる
→ TDCの先頭データから順番にevent番号を対応付ければよい

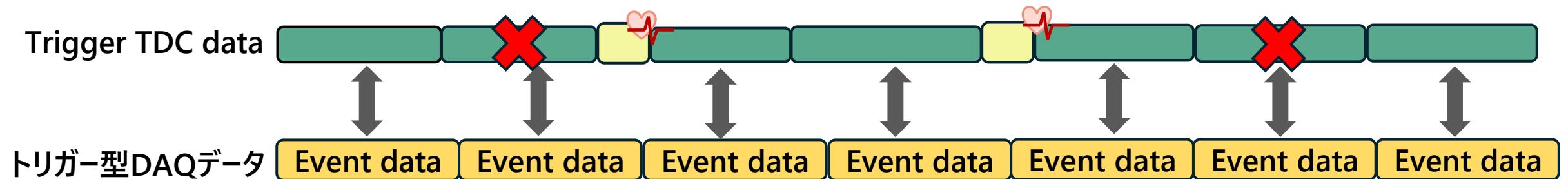


High rates case

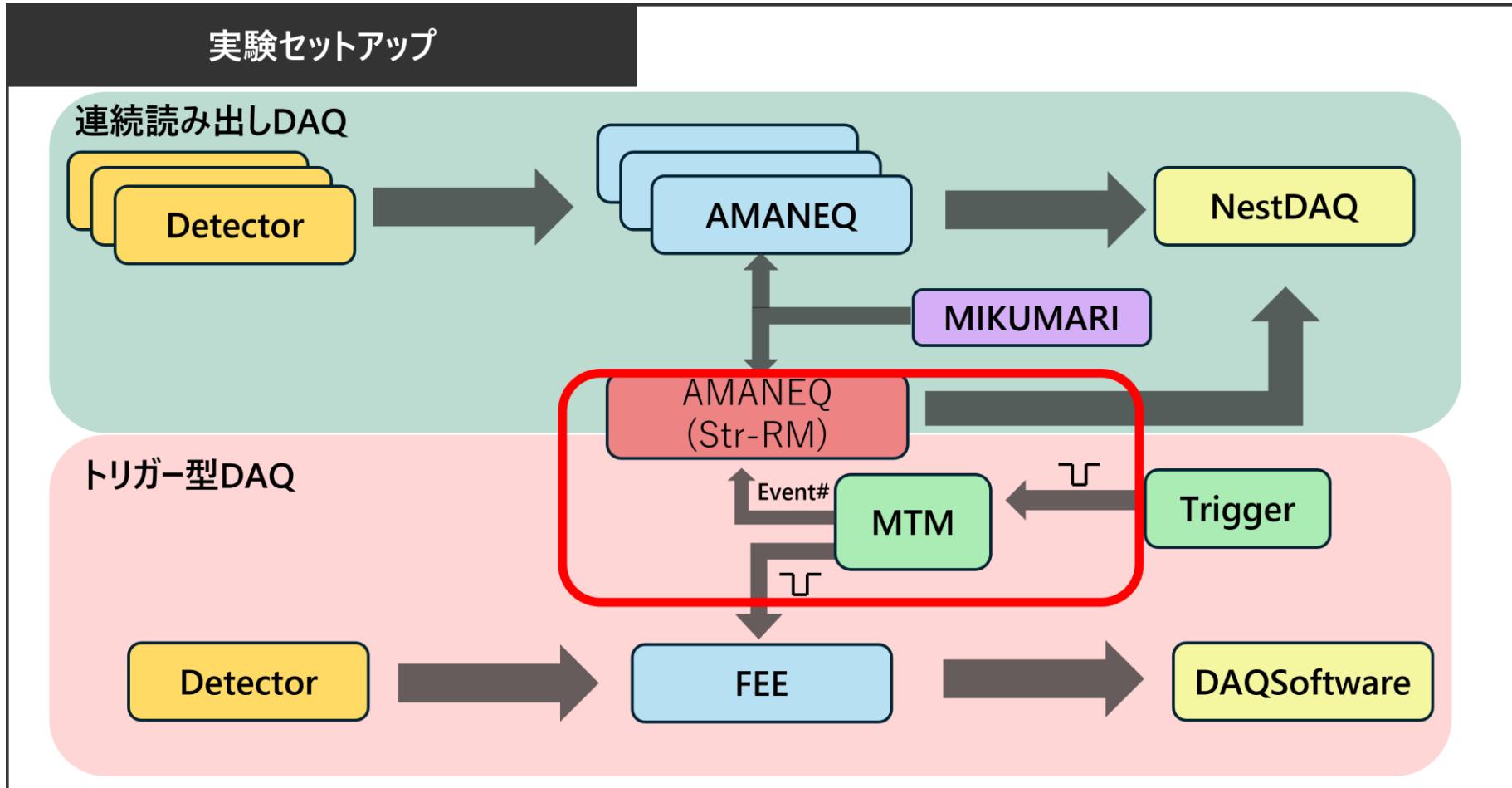
- トリガー型DAQシステムと連続読み出しDAQを併用
 - Event番号とMIKUMARIの時刻情報が対応できない
 - ThrottlingでTDCデータがランダムにdropする
→ TriggerのTDCデータがランダムに存在しない
 - どのTDC情報がdropしたかわからない



原因 : Event番号と連続読み出しのTimestampとの絶対的紐づけがない



解決策



1. Event番号を発行可能なMTMを追加
 2. MTMからとMIKUMARI両方の入力を持つStr-RMを追加
- event番号とMIKUMARIからのtimestampの紐づけをする

Master Trigger Module(MTM)

概要

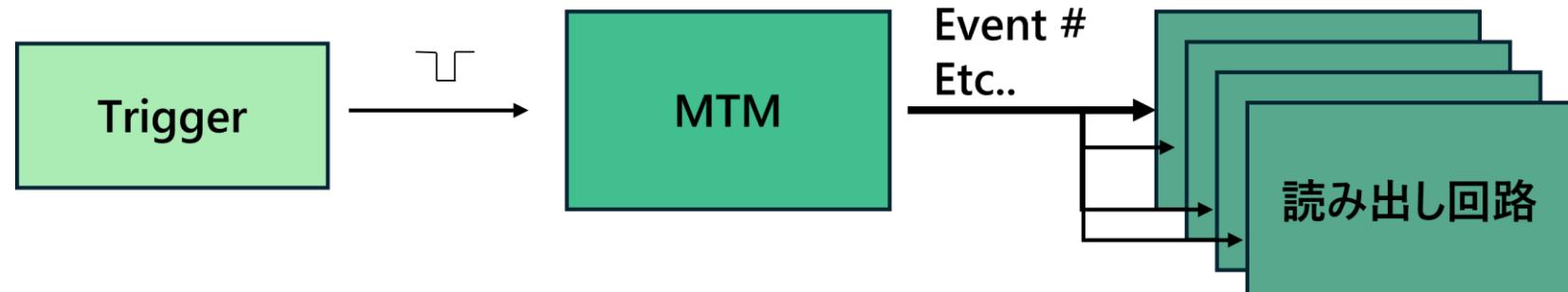
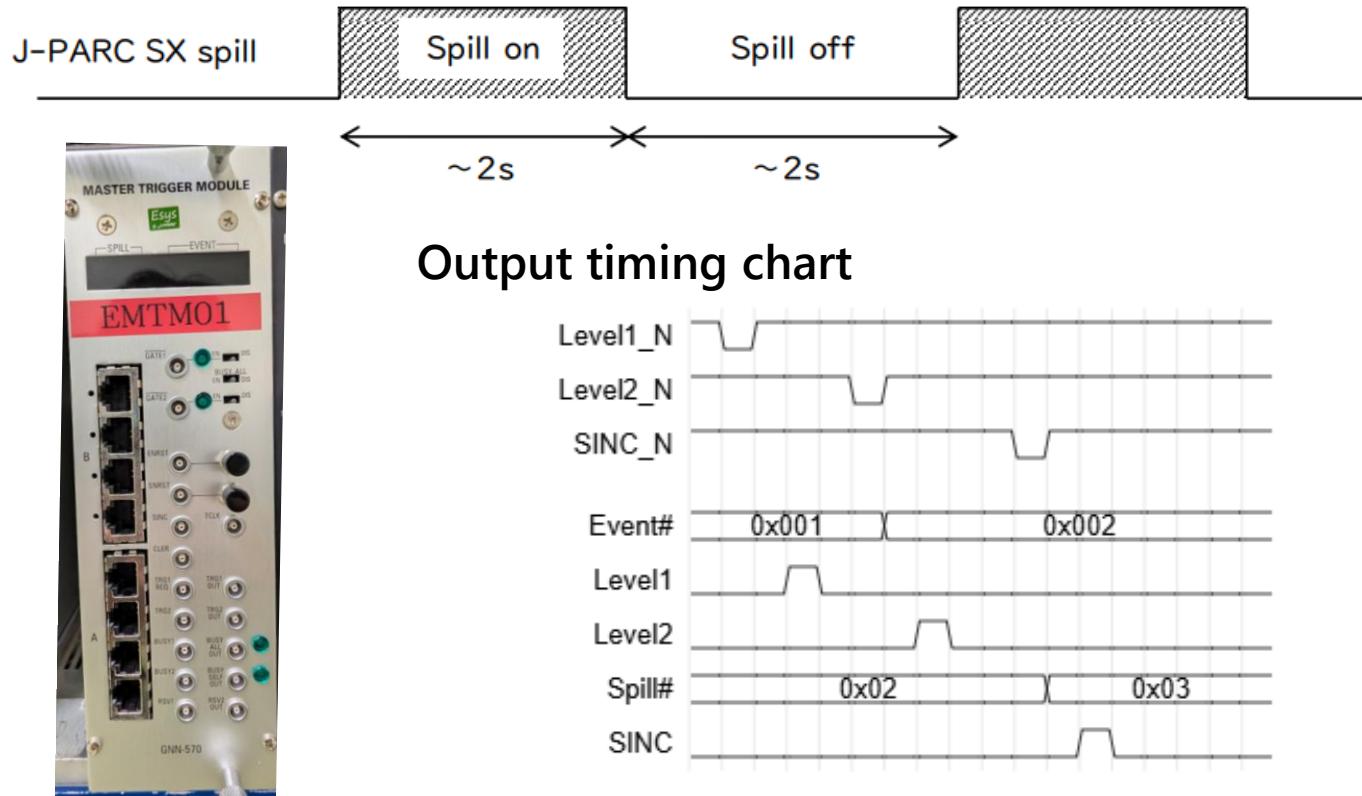
- J-PARC実験で使用されているtrigger NIM module
- イベント番号付きのトリガー信号を配信

入力

- NIM level
 - Level 1: ADCスタート等
 - Level 2: データ転送開始等(Event#+1)
 - SINC: スピルの終わり(spill#+1)
 - etc..

出力

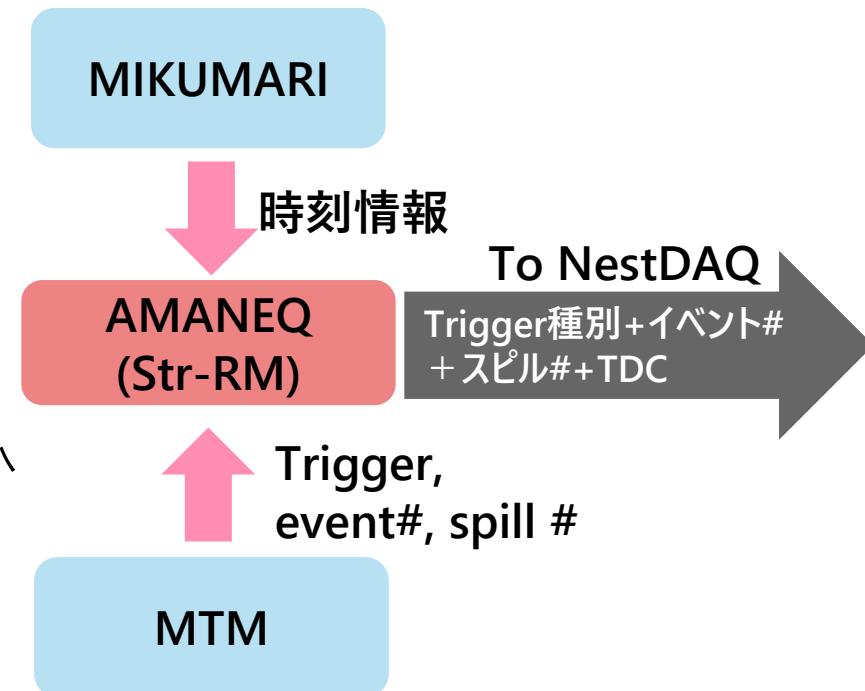
- RJ45 x 2
 - Event# : 12bit
 - spill # : 8bit
 - Triggers : 各1bit
 - Lv1
 - Lv2 Trigger
 - SINC
 - Clear
 - Busy
 - RSV1



Streaming-RM

要求

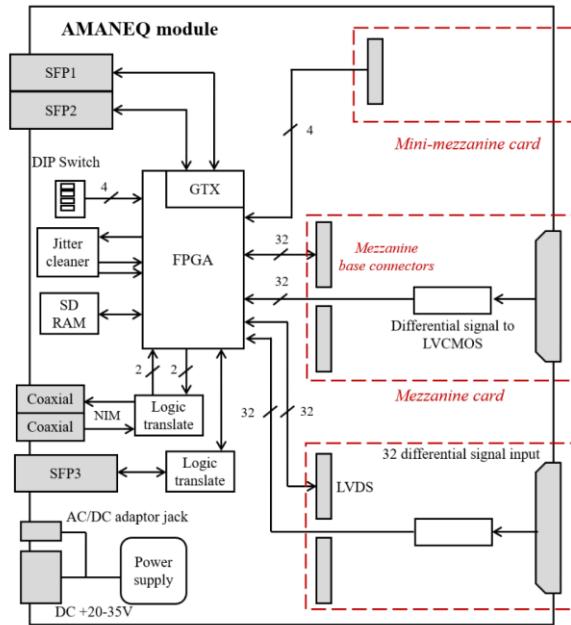
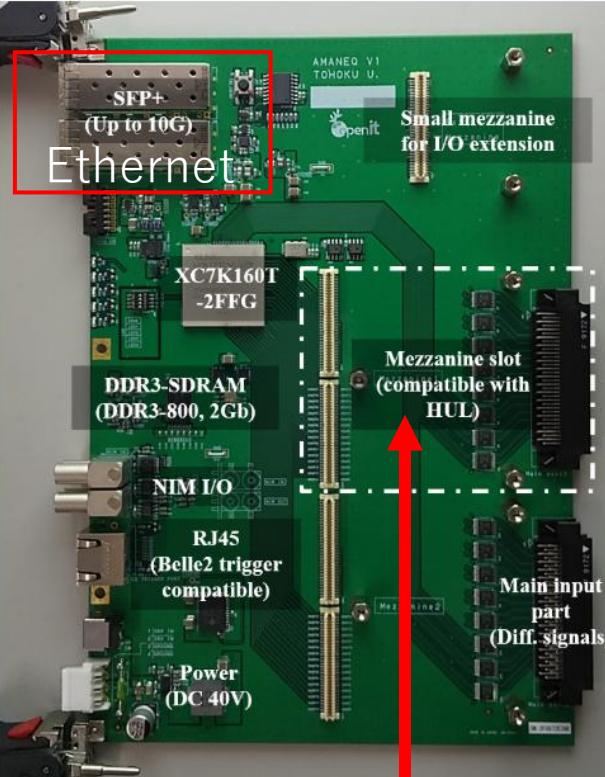
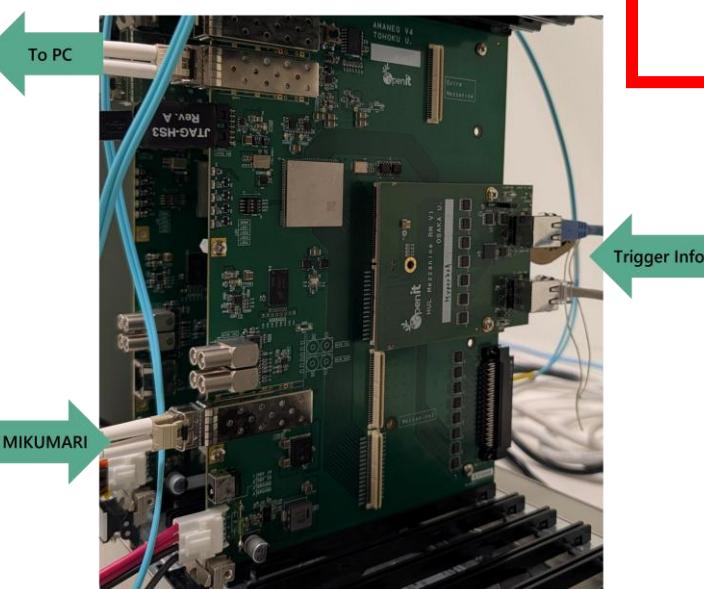
- MTMからのtrigger信号の時間情報を記録したい
 - Event番号とスピンル番号も併せて記録
 - 時刻情報はMIKUMARIから取得
 - Output : トリガー種別 +Event番号
+スピンル番号
+TDC
- 出力データの受け先はNestDAQを想定
 - データ構造は連續読み出しTDCを踏襲
 - 連續読み出しDAQシステムに対してのインパクト小



Streaming-RM

Hardware

- キヤリアボード
 - AMANEQ
 - 連続読み出しDAQ用汎用FEE
 - Size : VME 6U
 - TDCやADCなどの機能
 - FPGAとメザニンカードを載せ替え対応
 - 10GまでのEthernetに対応
- メザニンカード
 - RM Module
 - MTMからの読み込み用



Streaming-RM

Firmware

- Streaming-LR TDCの設計を再利用
 - TDC LSB精度 : ~1ns@125MHz
 - Triggerのraise edgeでの時間情報を保存
 - MTMからの各trigger情報は対応するchannelに保存
 - データ構造は連續読み出しTDCを踏襲

Data format :

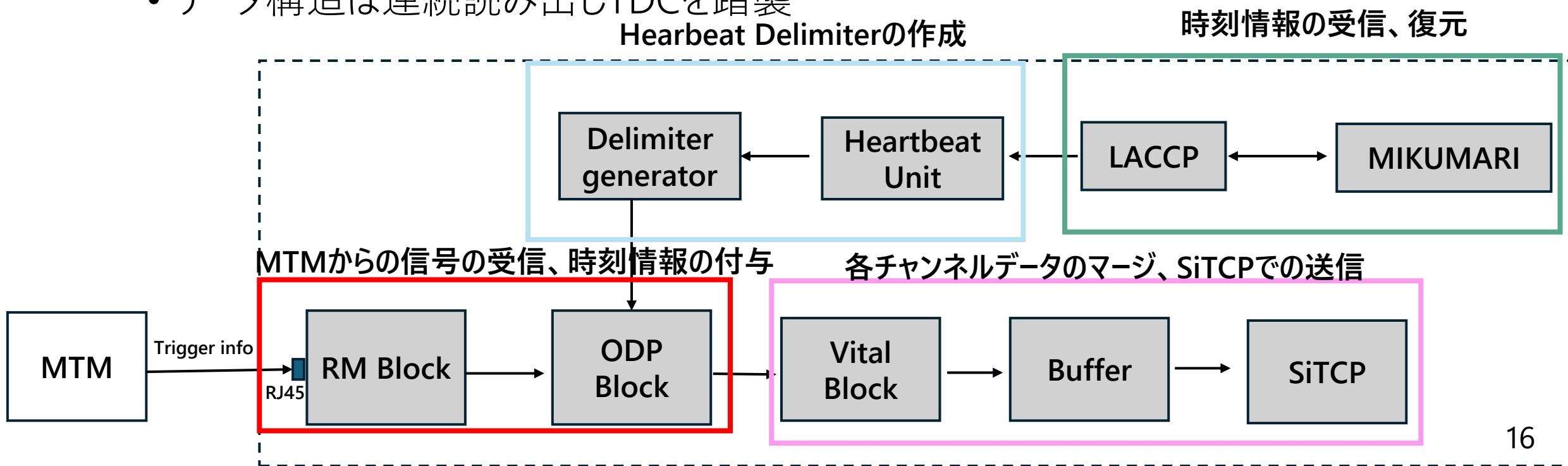
Datatype[63:58] | Channel[57:50] | Spill#[49:42] | Event#[41:30] | Timing[29:14] | padding[13:0]

Ch #	Data
1	Lv1 trigger+ event #(zeros) + spill#
2	Lv2 trigger + event # + spill#
3	Sninc + event #(zeros) + spill #
4	Clear + event #(zeros) + spill#
5	RSV1 + event #(zeros) + spill#

Streaming-RM

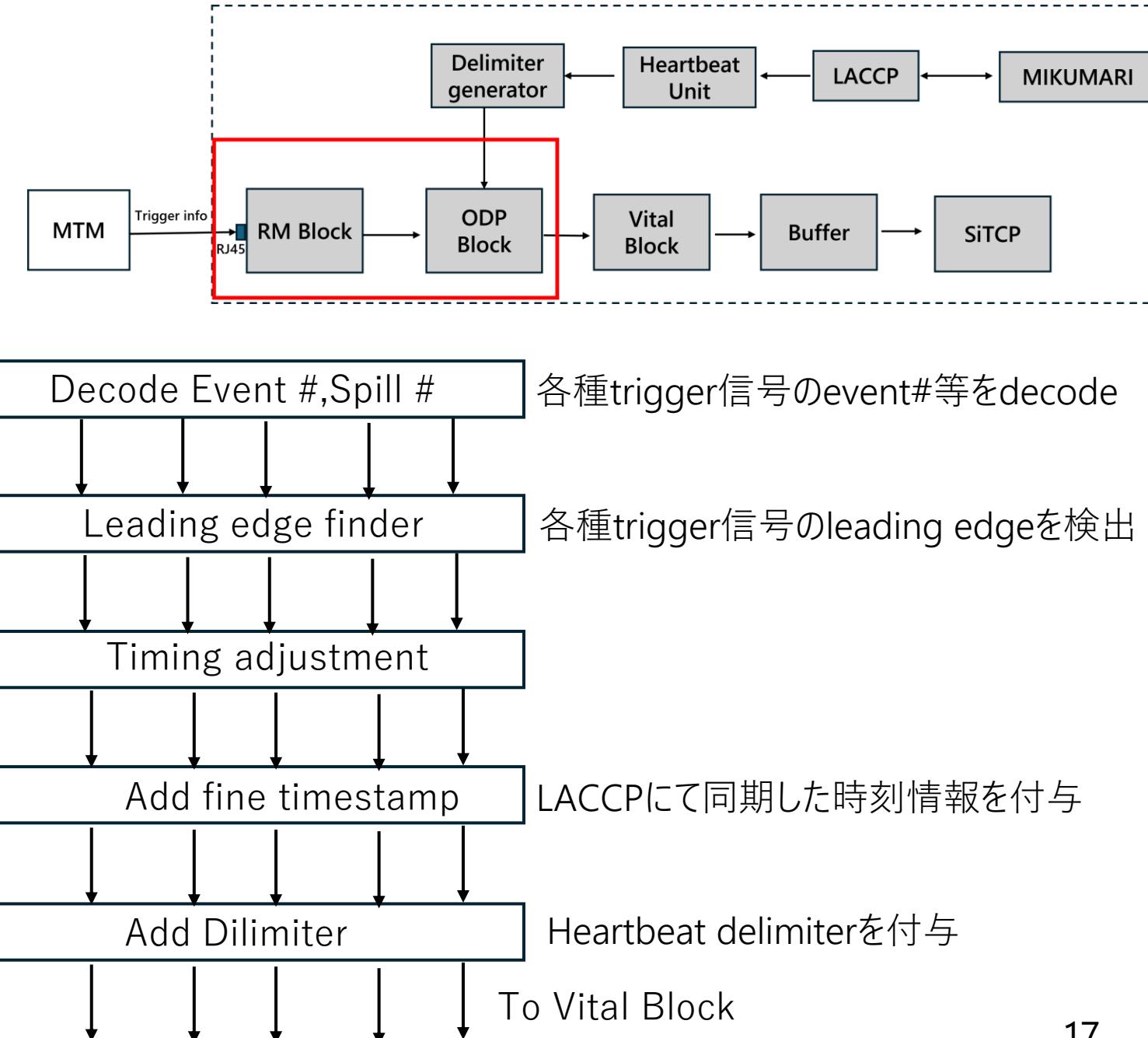
Firmware

- Streaming-LR TDCの設計を再利用
 - TDC LSB精度 : ~1ns@125MHz
 - Triggerのraise edgeでの時間情報を保存
 - MTMからの各trigger情報は対応するchannelに保存
 - データ構造は連續読み出しTDCを踏襲

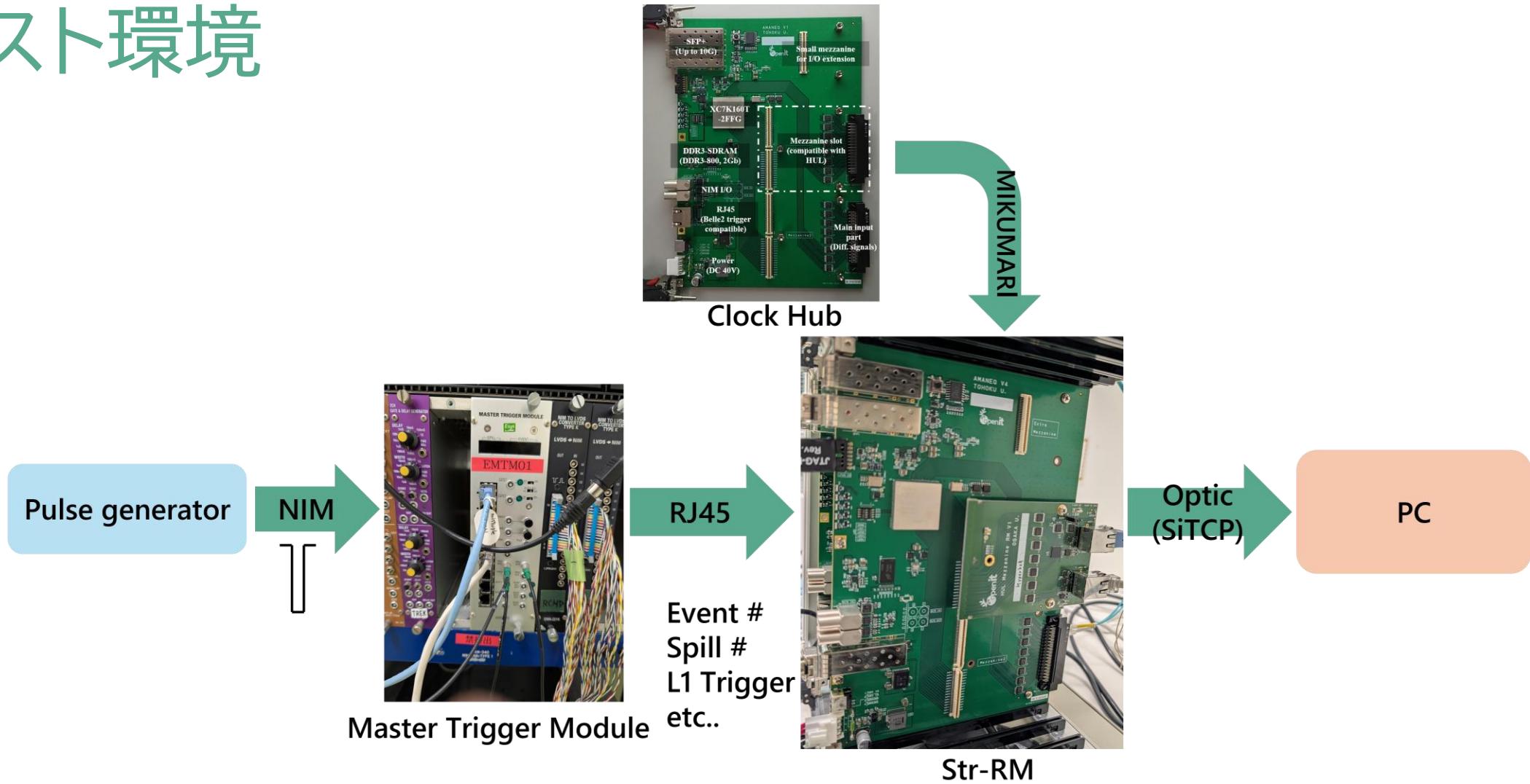


Streaming-RM

Trigger info From MTM
(Level1,Level2,Event #, spill # etc.)



テスト環境



- MTMにpulse generatorで生成した疑似的なtrigger信号を入力
- Str-RMのoutputはSiTCPを利用

結果

✓ PC上にてきちんとデータのdumpに成功

Data format :



HEX : 0x24 0x08 0x00 0xe5 0x4d 0x29 0x40 0x00

Binary : 0010 0100 0000 1000 0000 0000 1110 0101 0100 1101 0010 1001 0100 0000 0000 0000



Ch #	Data
1	Lv1 trigger+ event #(zeors) + spill#
2	Lv2 trigger + event # + spill#

まとめと今後の展望

まとめ

- ✓ MTMの情報をMIKUMARIのclockドメインで取得する機能を開発した
 - Event drivenとtime drivenのDAQのデータをつなぐことができる
- ✓ NestDAQに対しても最小限の変更で利用可能

展望

- ✓ J-PARC ハドロン実験施設テストチームライン計画テスト実験にて導入予定
- ✓ 他のNestDAQを使用した実験への拡大も

