

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

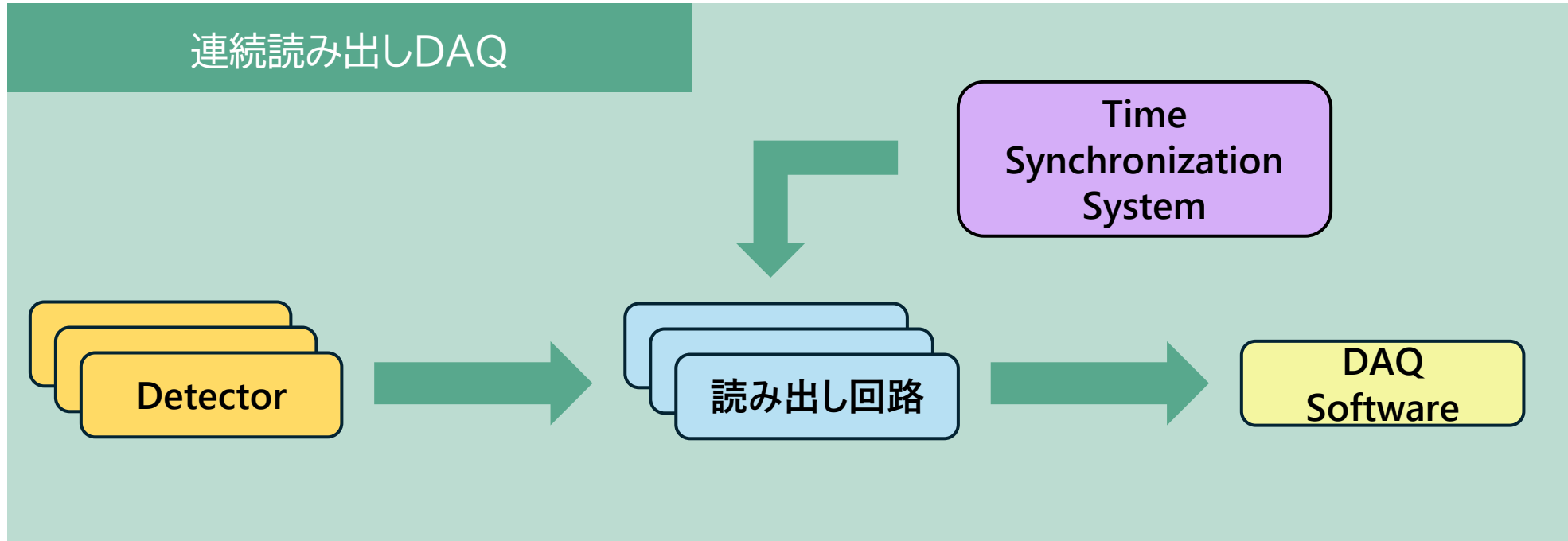
益田英知

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

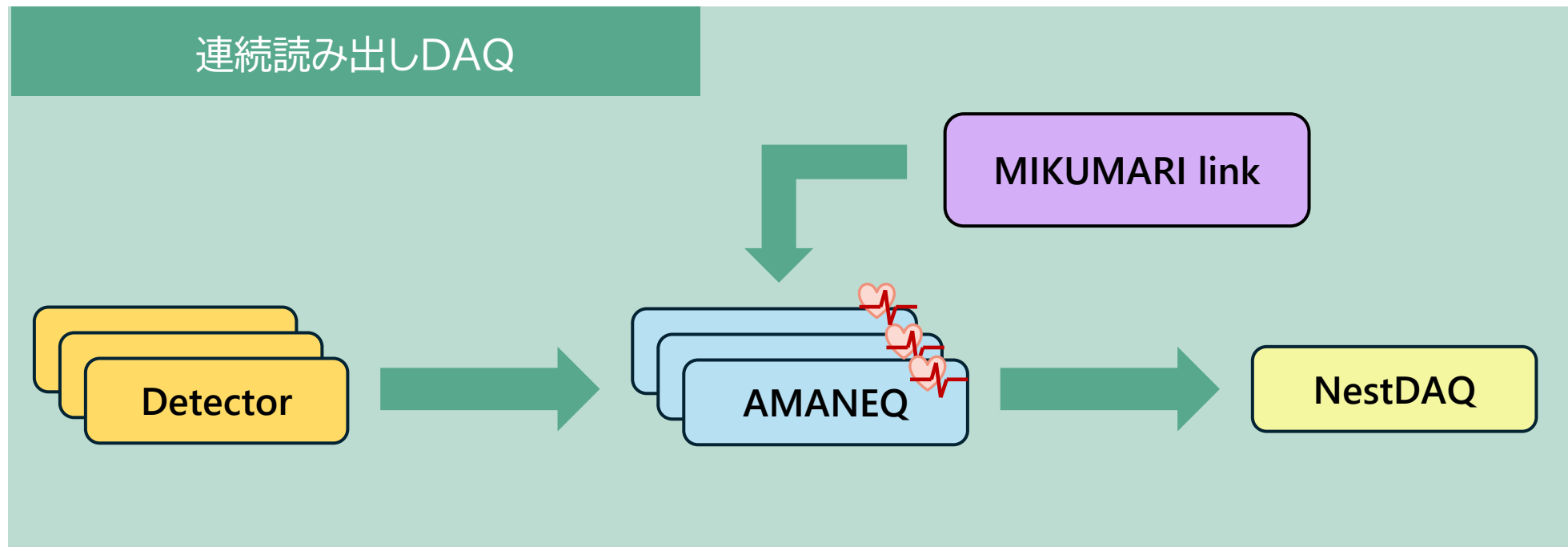
連続読み出しDAQ



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

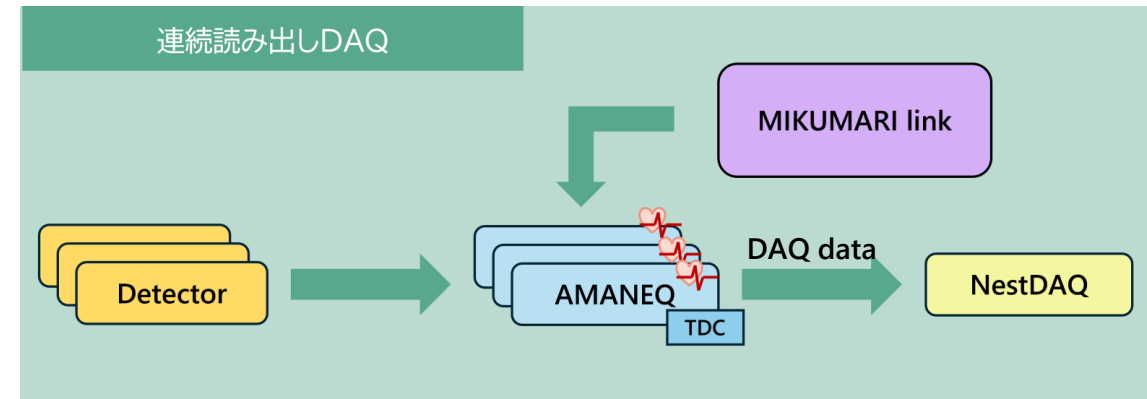
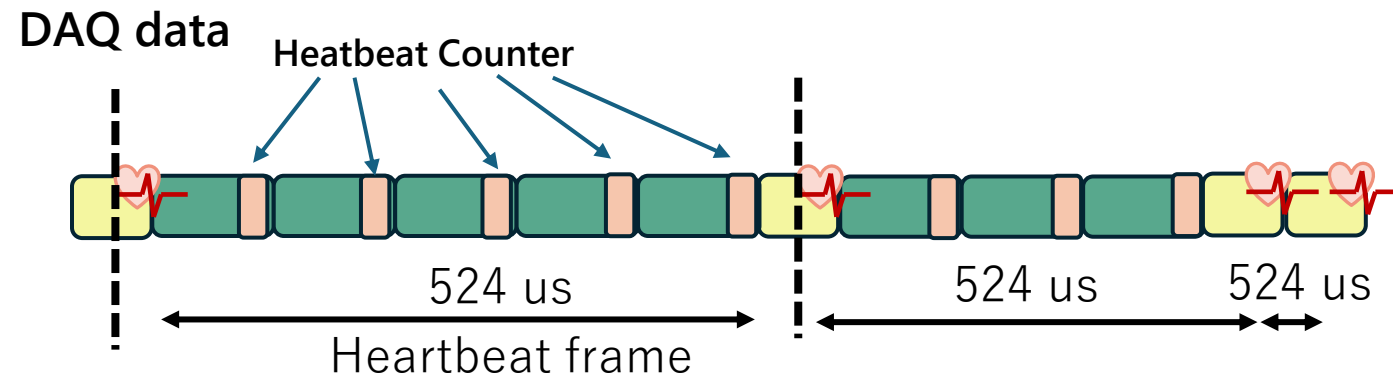
連続読み出しDAQ@SPADI



システム構成

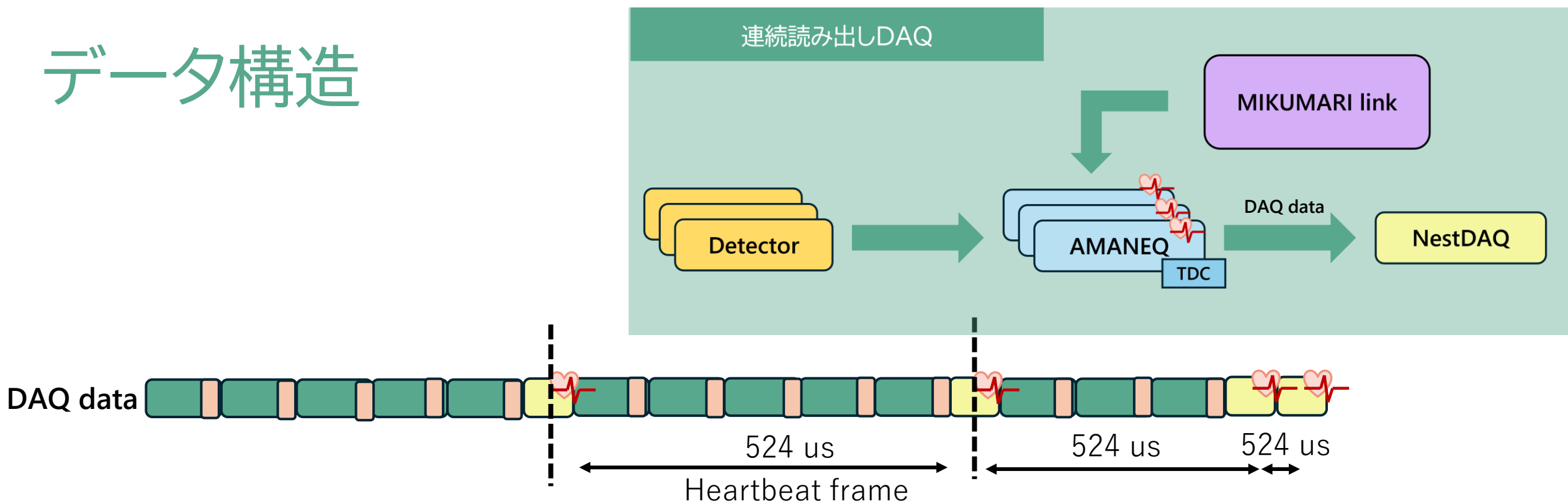
- TimeSynchronization System : MIKUMARI link + LACCP(Local Area Common Clock Protocol)
R. Honda, IEEE TNS, 70 (6), 1102 (2023)
- 読み出し回路 : AMANEQ (連続読み出しDAQ用汎用FEE)
- DAQ Software : NestDAQ(連続読み出し FEE用DAQ Software)

Local Area Common Clock Protocol (LACCP)



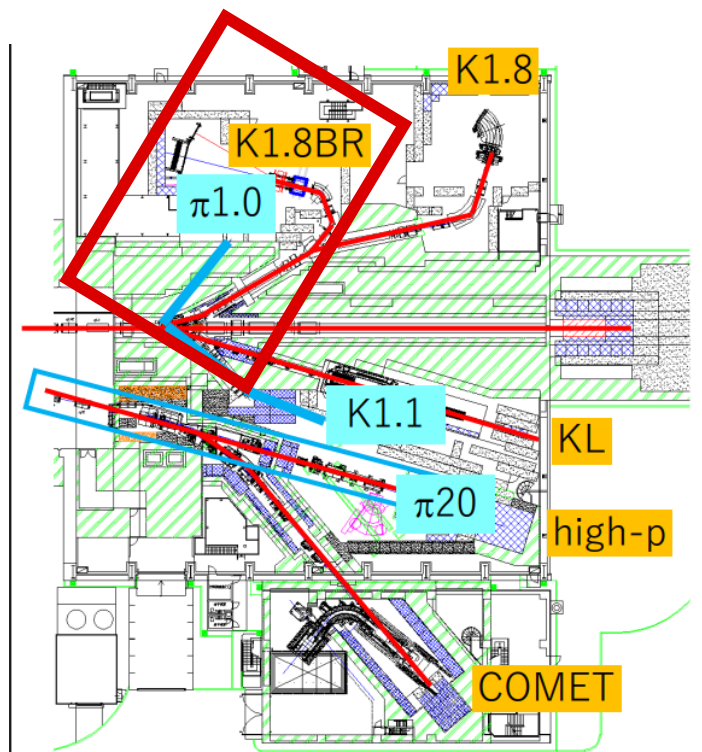
- MIKUMARI linkの上位として実装される時刻同期プロトコル
- Heartbeat counterとheartbeat delimiterでタイムスタンプを構成する
- Heartbeat counter : 16bit長のカウンター
 - カウンター値をDAQデータへタイムスタンプとして埋め込む
- Heartbeat delimiter : heartbeat counterがキャリーオーバーする際に発生する信号
 - 24bit長のフレーム番号が付与される
- トータルで24+16bitでタイムスタンプが定義される

データ構造



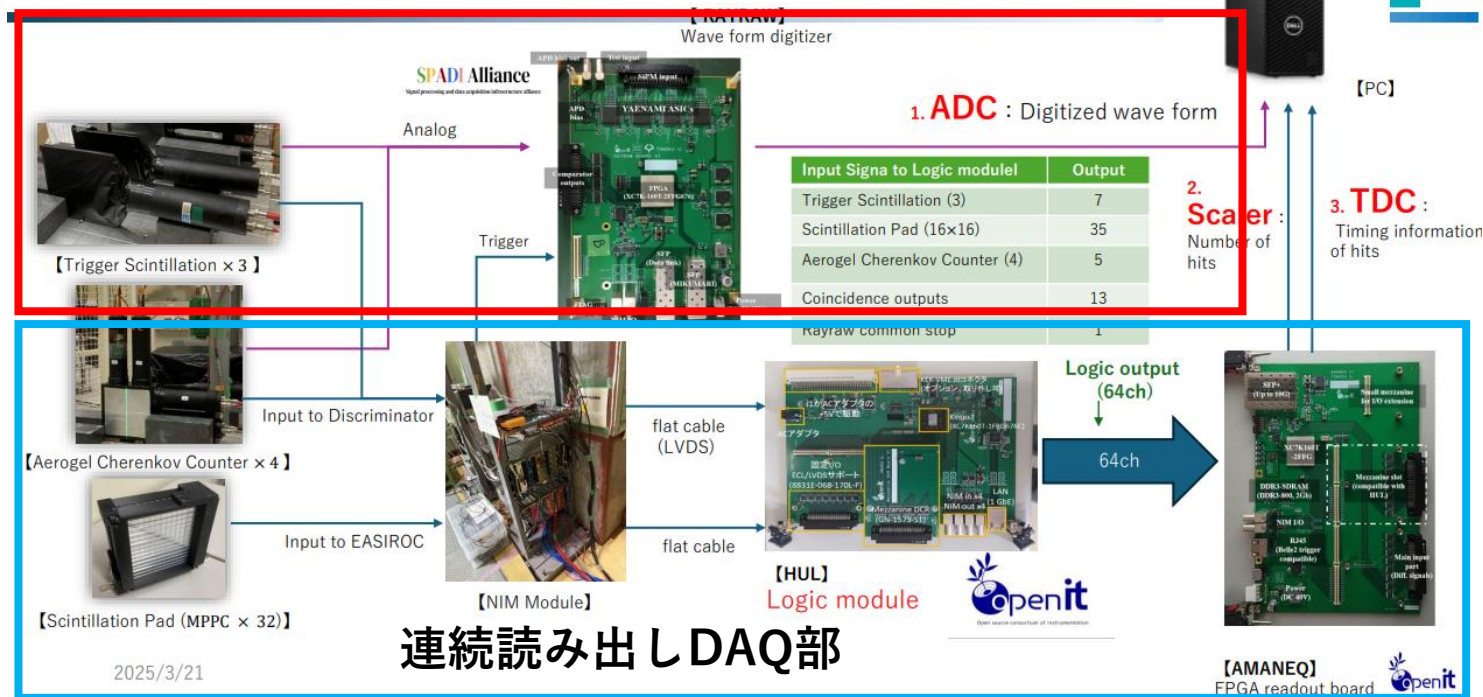
- frameの区切りとしてheartbeat delimiterを使用
 - 一定時間ごとに挿入される(524 us)
 - Hit信号がdelimiter間に存在しなくても挿入
- フロントエンドから上がってくるデータは基本すべてバックエンドへ転送
 - Throttling機能
 - Buffer overflow時、データをdropする
 - e.g. high hit rate時

J-PARC T105



データ取得システム

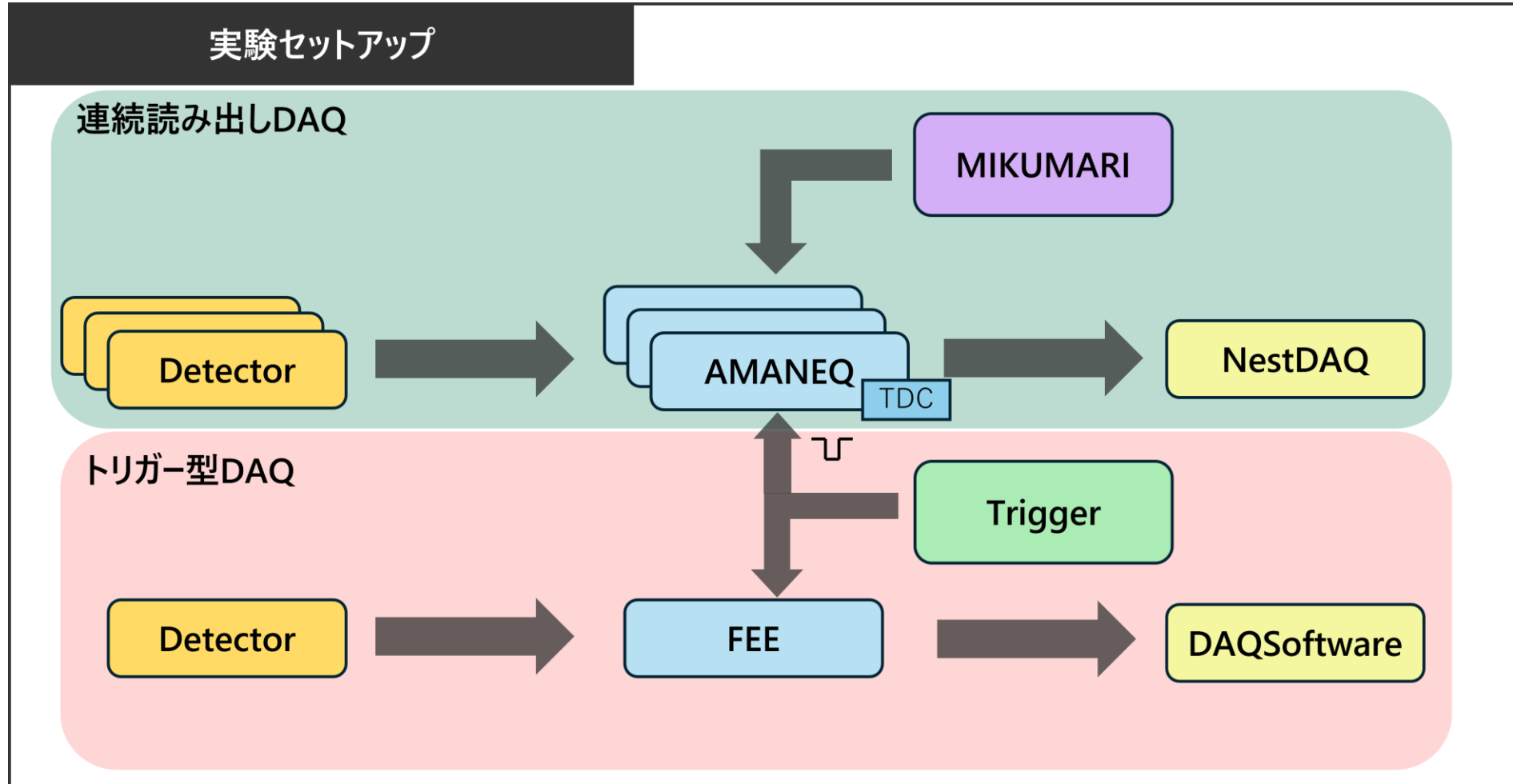
トリガー型DAQ部



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行われた実験
 - 場所：π1.0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

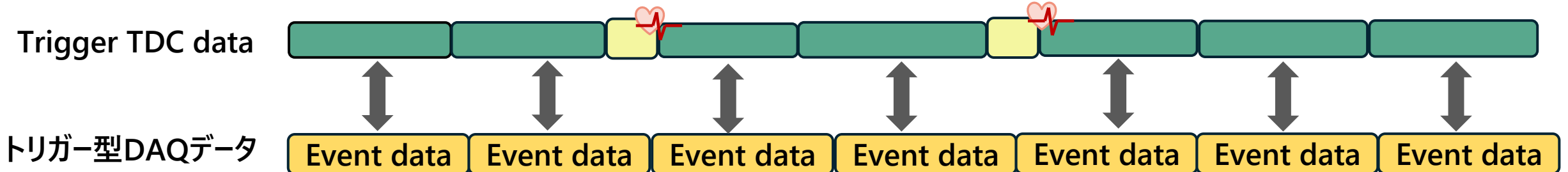
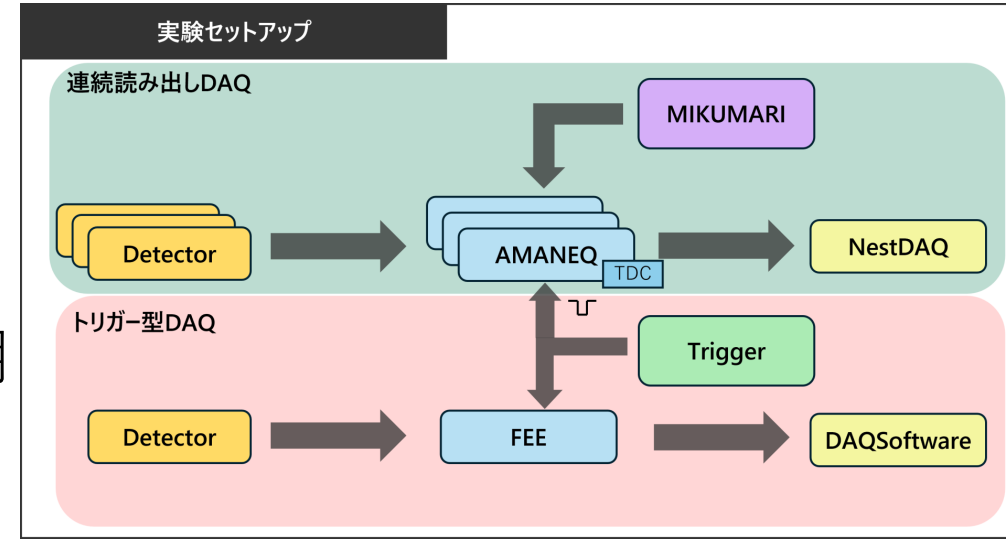


- トリガー型DAQと連続読み出しDAQを平行して動作
- Triggerを連続読み出しDAQのTDC入力とすることで時刻情報を記録
 - Triggerパルスのみを入力

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

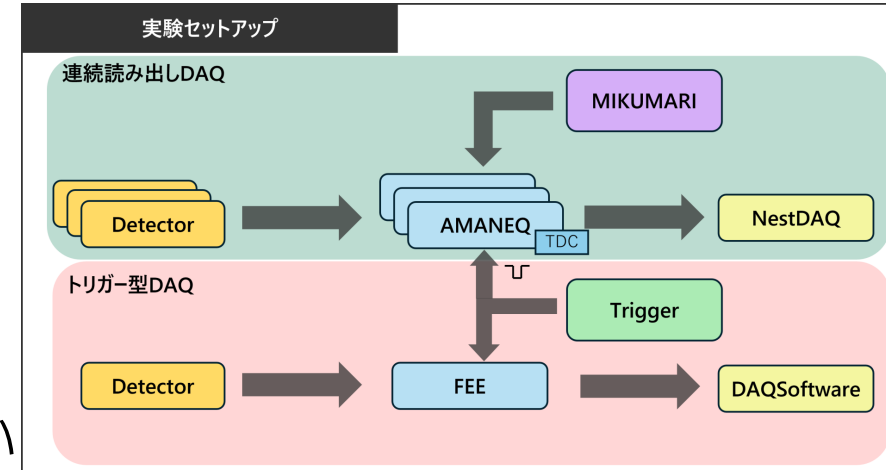
Nominal case

- 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

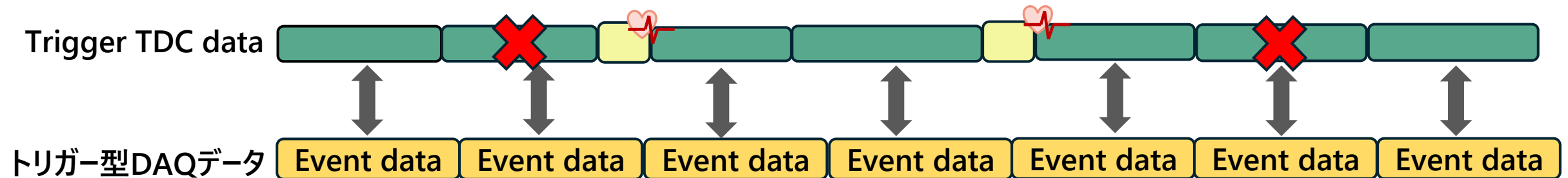


High rates case

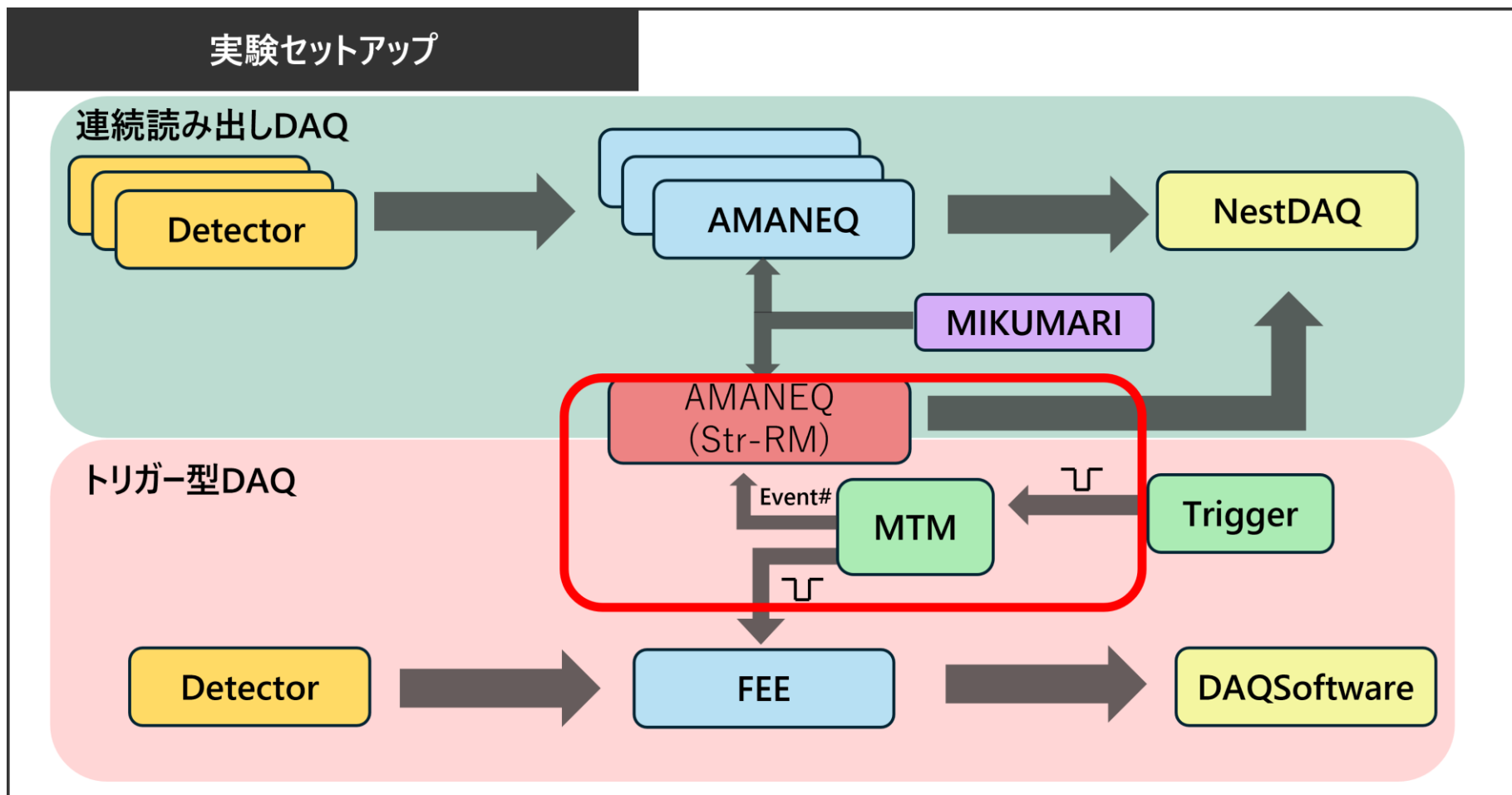
- トリガー型DAQシステムと連続読み出しDAQを併用
 - Event番号とMIKUMARIの時刻情報が対応できない
 - ThrottlingでTDCデータがランダムにdropする
→ TriggerのTDCデータがランダムに存在しない
 - どのTDC情報がdropしたかわからない



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

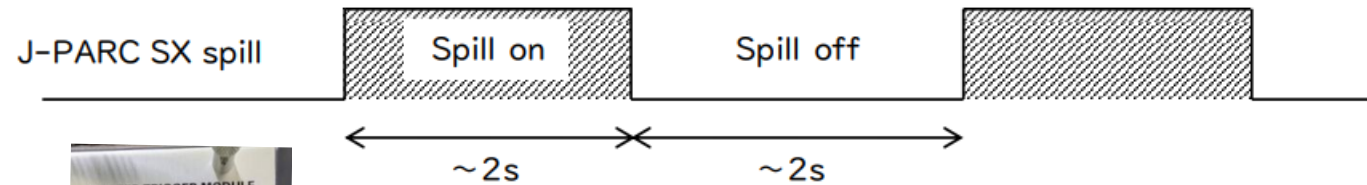
- J-PARC実験で使用されているtrigger NIM module
- イベント番号付きのトリガー信号を配信

入力

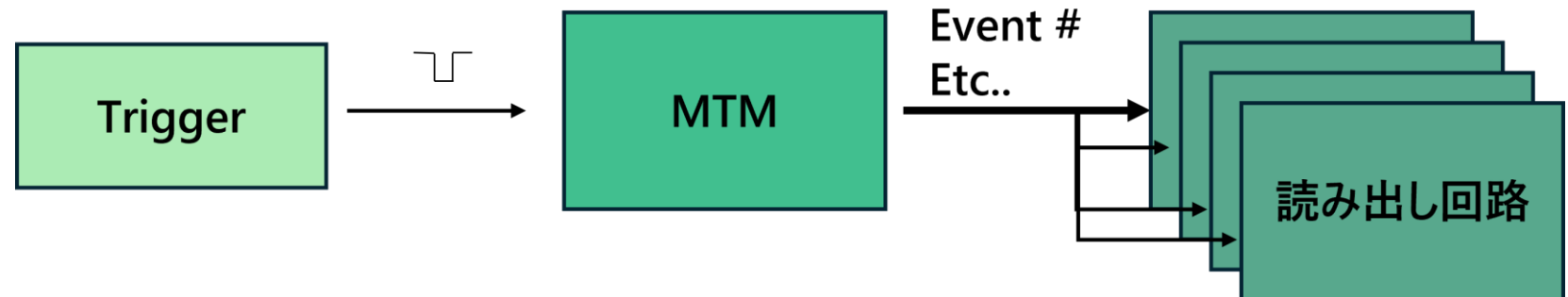
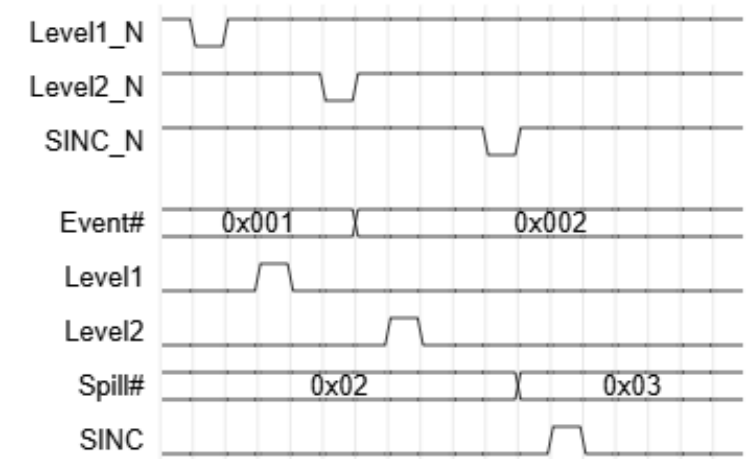
- NIM level
 - Level 1 : ADCスタート等
 - Level 2 : データ転送開始等(Event#+1)
 - SINC : スピルの終わり(spill#+1)
- etc..

出力

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



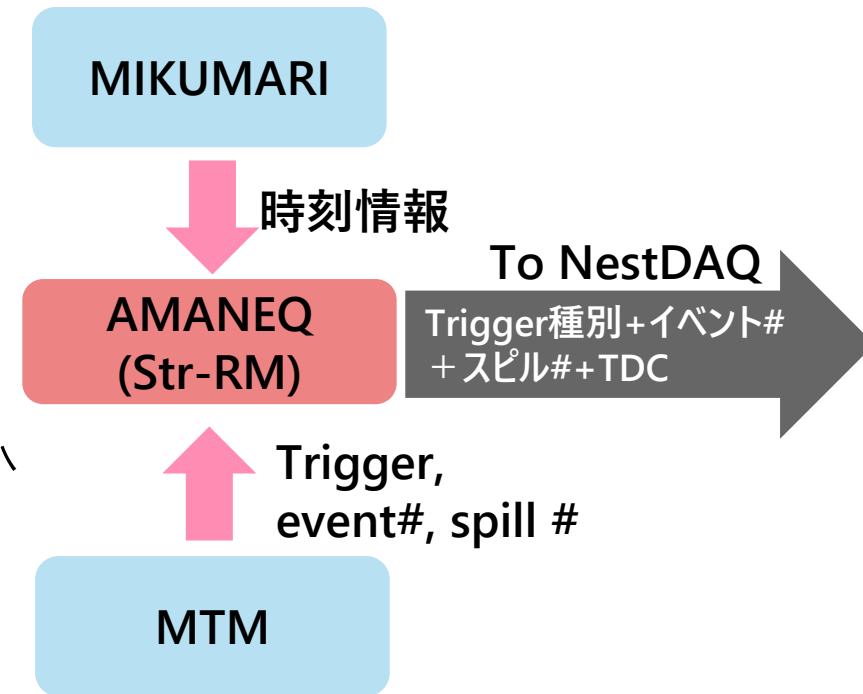
Output timing chart



Streaming-RM

要求

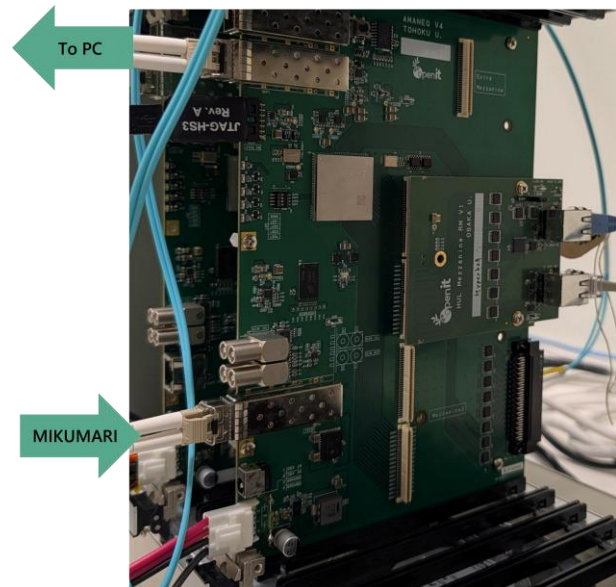
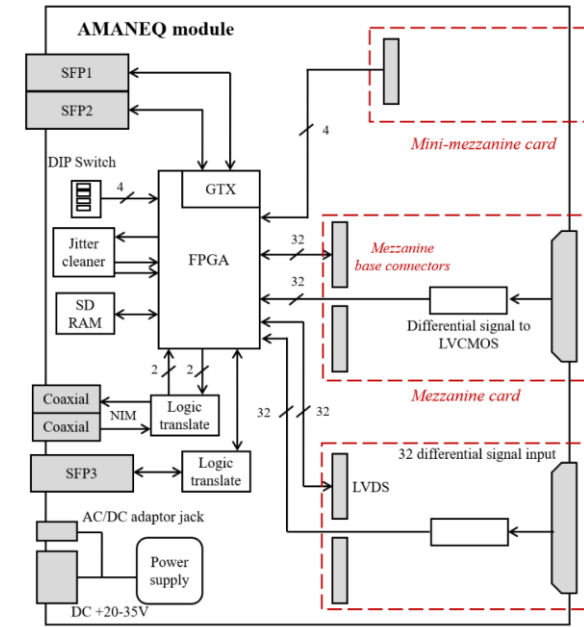
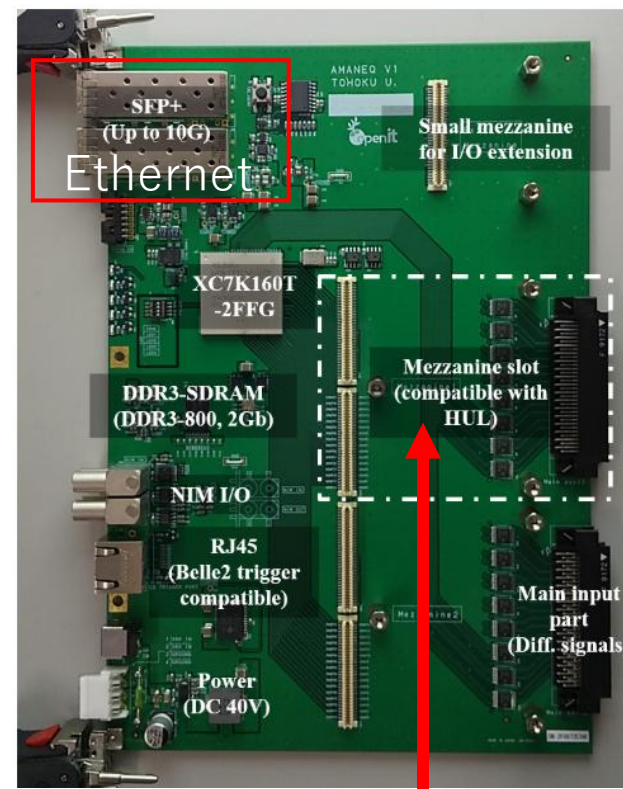
- MTMからのtrigger信号の時間情報を記録したい
 - Event番号とスピル番号も併せて記録
 - 時刻情報はMIKUMARIから取得
 - Output : トリガー種別 + Event番号
+ スピル番号
+ TDC
- 出力データの受け先はNestDAQを想定
 - データ構造は連続読み出しTDCを踏襲
 - 連続読み出しDAQシステムに対してのインパクト小



Streaming-RM

Hardware

- キャリアボード
 - 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 : $\sim 1\text{ns}@125\text{MHz}$
 - 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
 - データ構造は連続読み出しTDCを踏襲

Data format :

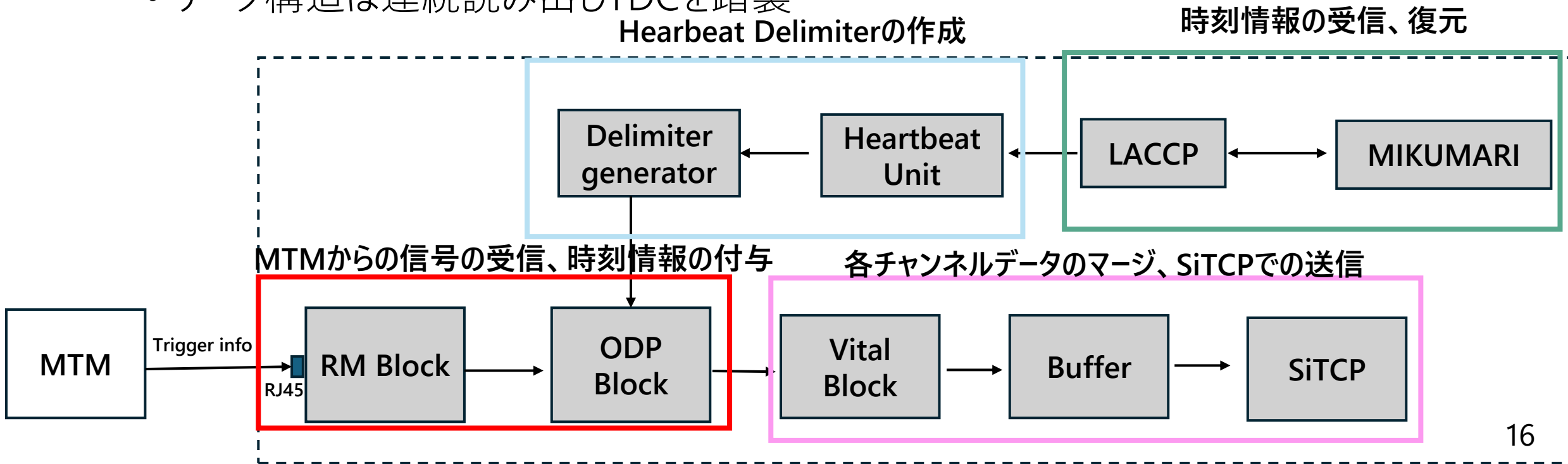
Datatype[63:58]	Channel[57:50]	Spill#[49:42]	Event#[41:30]	Timing[29:14]	padding[13:0]
-----------------	----------------	---------------	---------------	---------------	---------------

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

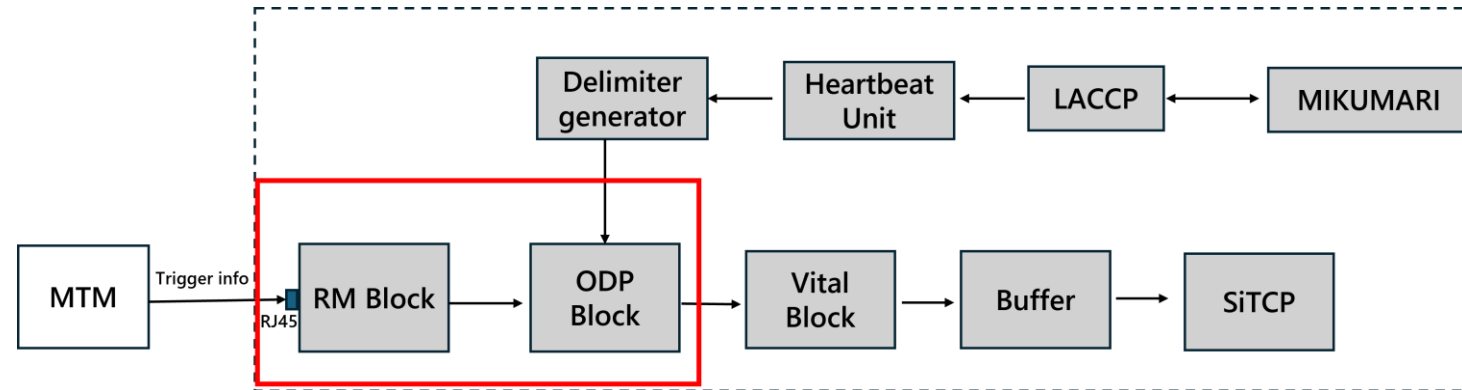
Streaming-RM

Firmware

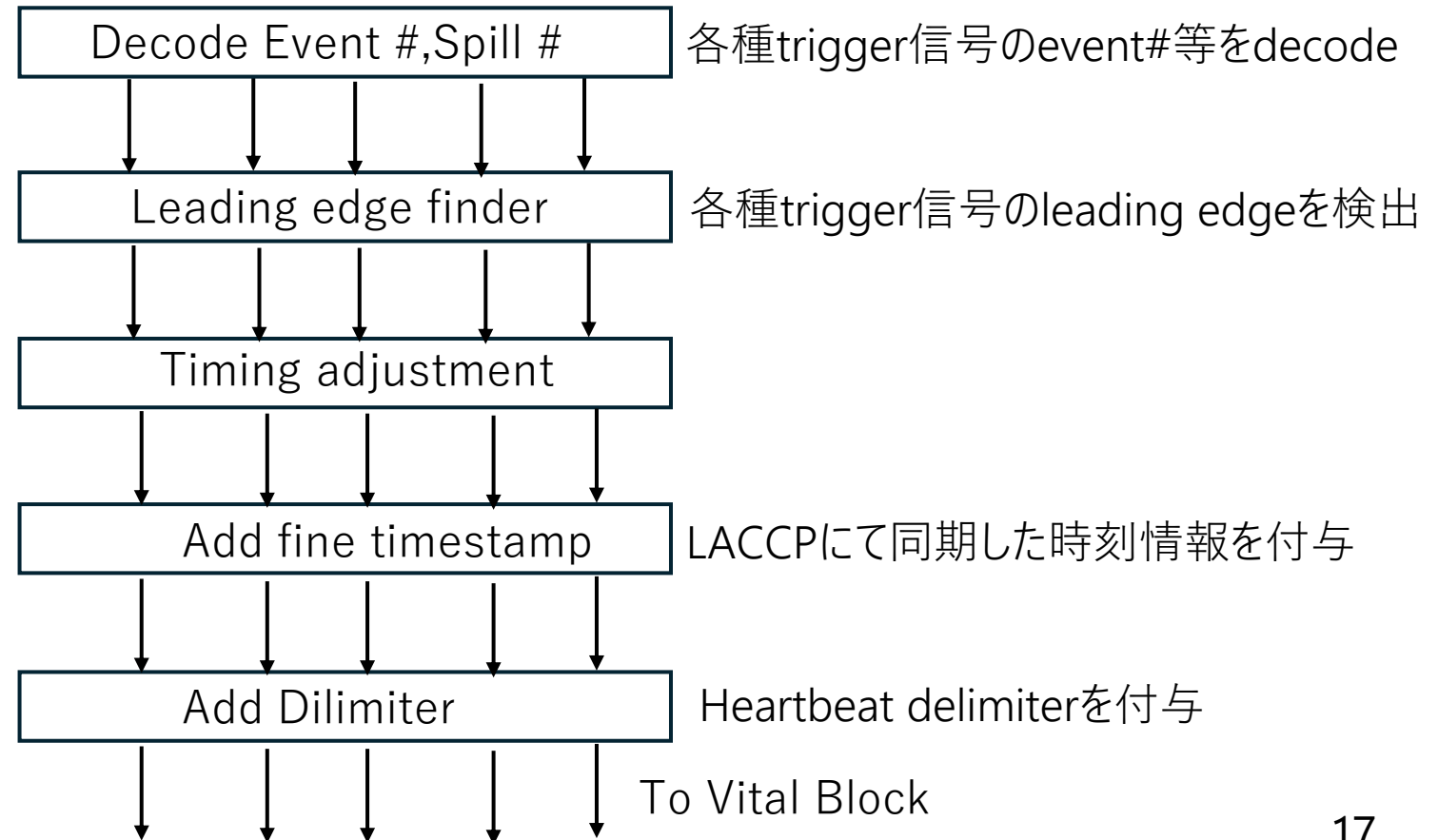
- Streaming-LR TDCの設計を再利用
 - TDC LSB精度：~1ns@125MHz
 - Triggerのraise edgeでの時間情報を保存
 - MTMからの各trigger情報は対応するchannelに保存
 - データ構造は連続読み出しTDCを踏襲



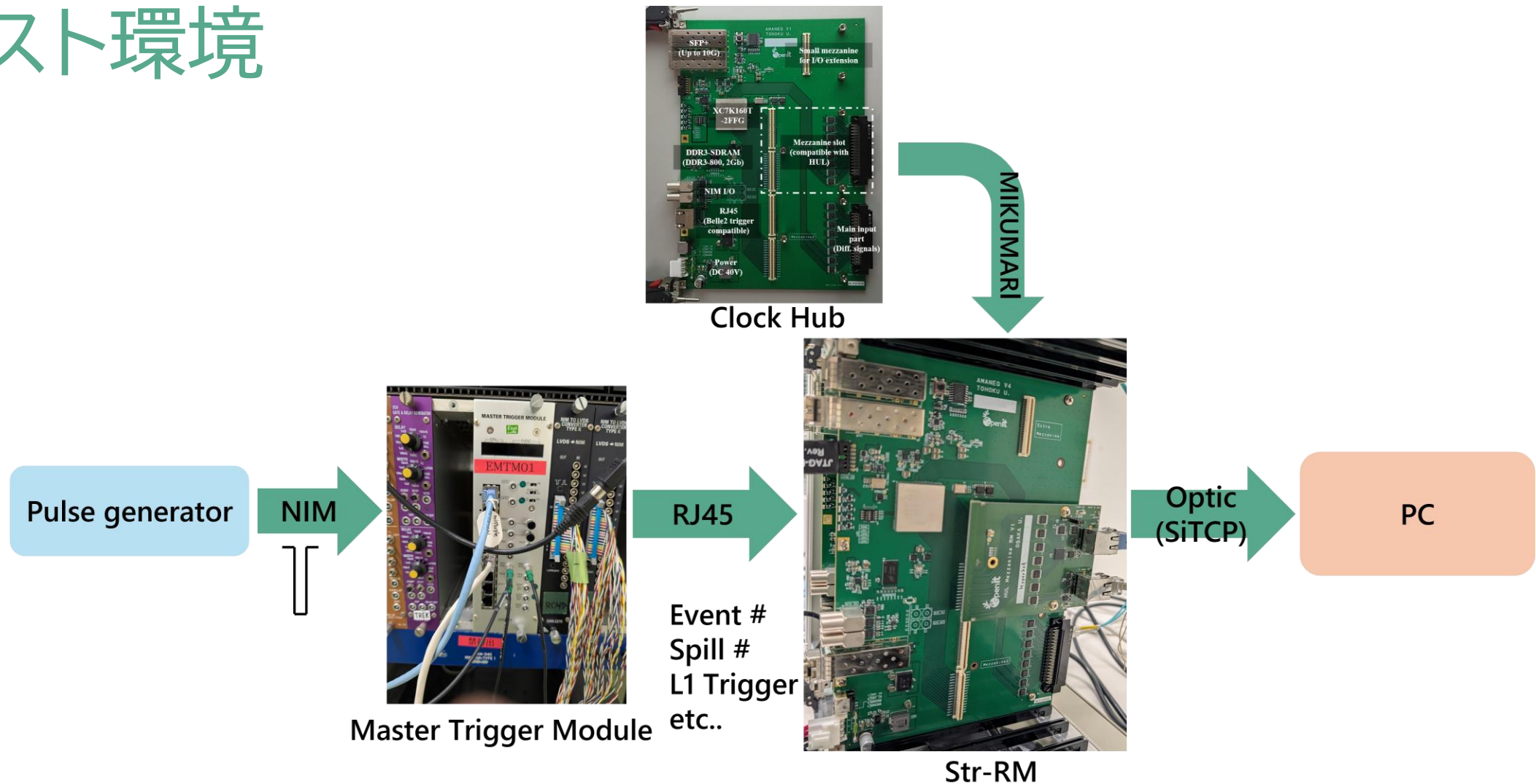
Streaming-RM



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



テスト環境

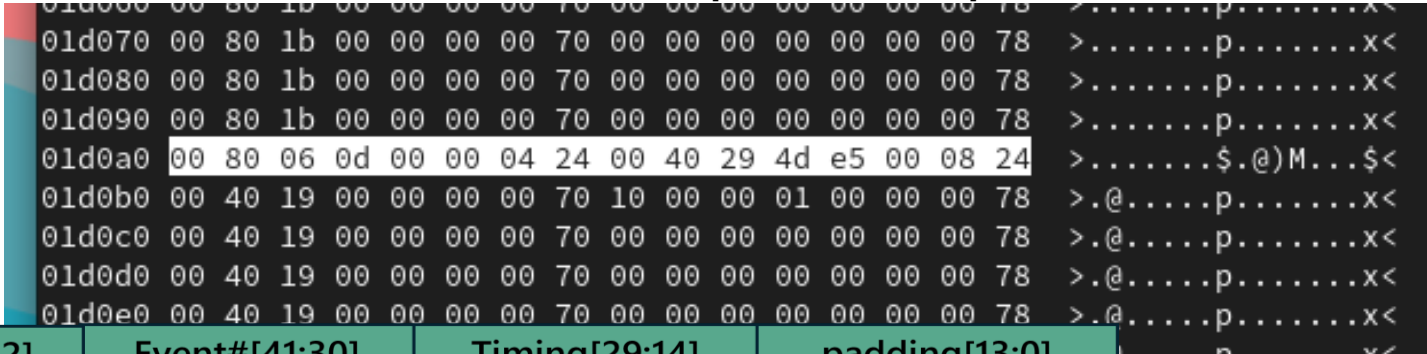


- MTMにpulse generatorで生成した疑似的なtrigger信号を入力
- Str-RMのoutputはSiTCPを利用

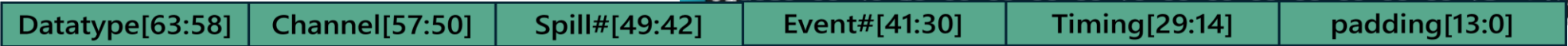
結果

✓PC上にてきちんとデータのdumpに成功

Ethernet packet dump



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



Zero pads	
Ch #	Data
1	Lv1 trigger+ event # (zeros) + 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ビ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

