

J-PARC E16実験 GEM飛跡検出器のための 読み出し回路開発

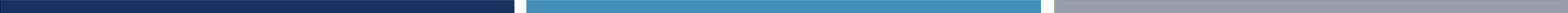
計測システム研究会2023@RCNP

京都大学 長房俊之介

For the J-PARC E16 collaboration, SPADI-Alliance

OUTLINE

- 研究の背景
 - E16実験について
 - DAQの課題
- 研究内容
 - 物理データ取得のためのDAQ改良
 - 新規基板作成
- まとめ



研究の背景

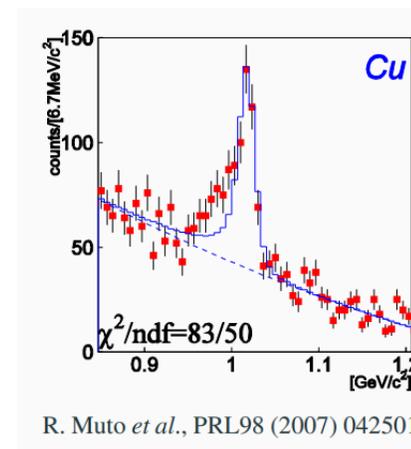
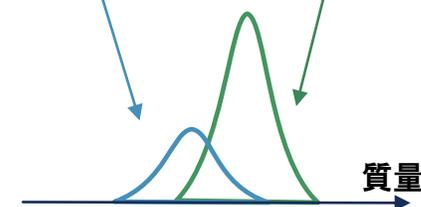
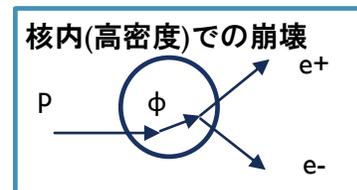
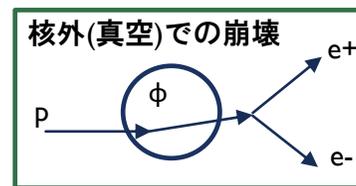
J-PARC E16実験

ハドロン質量起源の解明

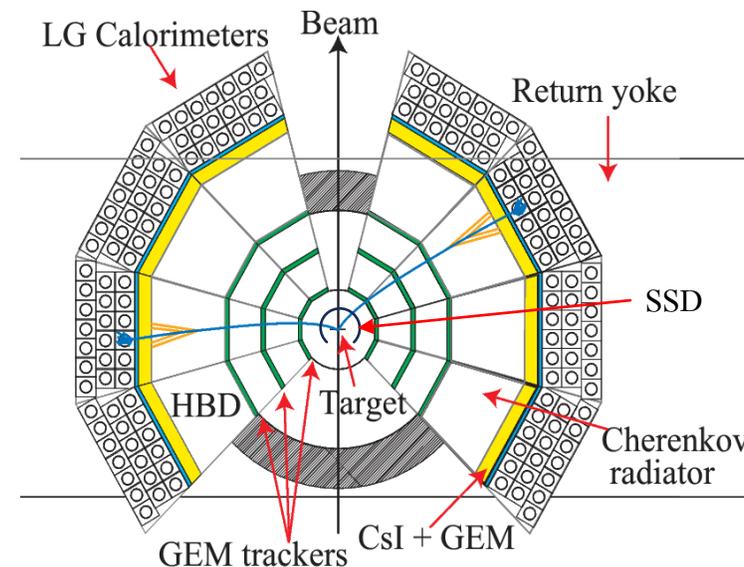
- カイラル対称性の自発的破れ：高密度で回復
- $\phi \rightarrow e^+e^-$ チャンルの原子核内外の崩壊で質量変化を測定
 - 先行研究 KEK E325実験では原子核内部での質量変化の兆候
 - 核種：Cu, 運動量： $\beta\gamma < 1.25$ の限定的な条件のみ
- 質量変化の系統的なデータの取得 → J-PARC E16実験

J-PARC E16実験

- KEK E325の**2倍の質量分解能, 100倍の統計量**のデータ取得を目指す
 - RUN1: 6倍の統計量、E16実験最初の物理データ取得
 - RUN2: 100倍の統計量、系統的なstudy
- 現在RUN1に向けてのコミッショニングの段階



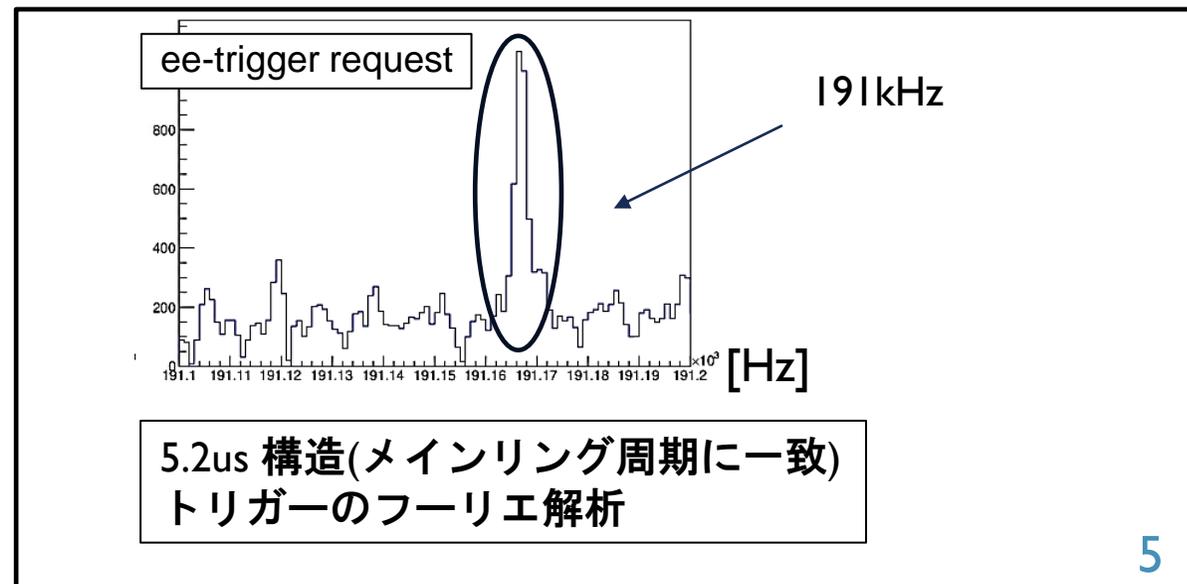
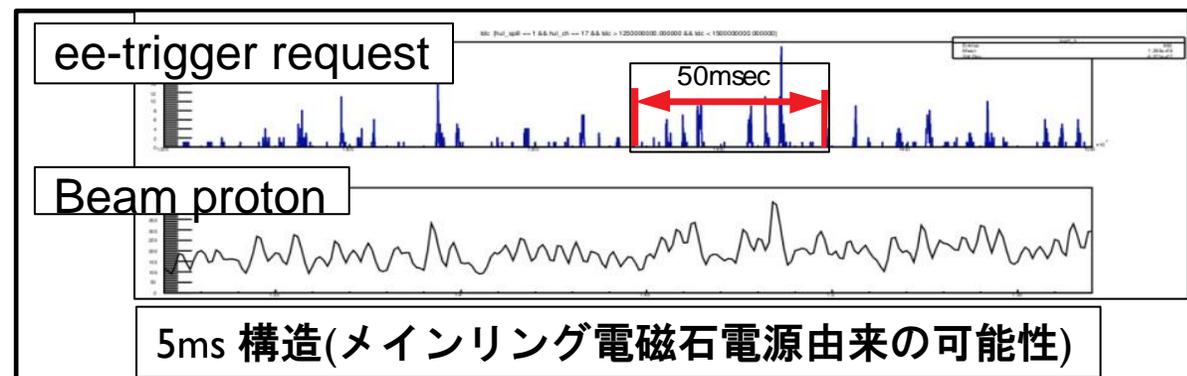
E325実験で観測された質量スペクトル



E16実験スペクトロメータの断面図

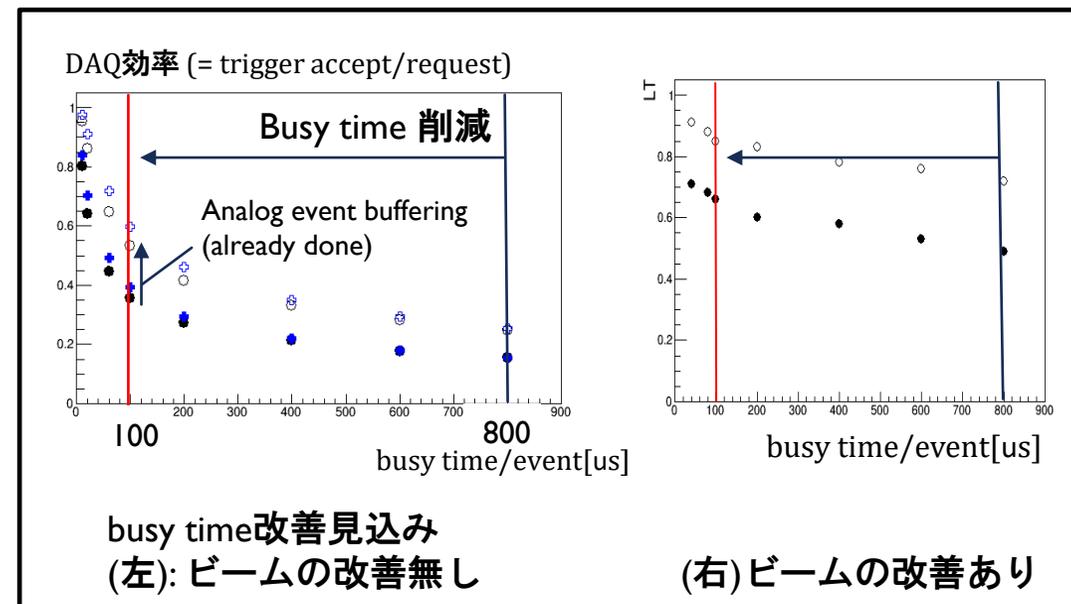
DAQ効率の低下

- 過去のコミッショニングでのDAQ効率が低い
 - 物理データトリガーのDAQ効率が~15%@1kHz trigger request
 - 当初の目論見である~75%@1kHz trigger の約1/5倍
- 原因：使用するJ-PARC High-p ビームラインのビームに時間構造
 - Busy time~800us に対して5ms, 5.2usの構造
 - 瞬間的なトリガーレート増→DAQ効率の低下



DAQ効率改善見込み

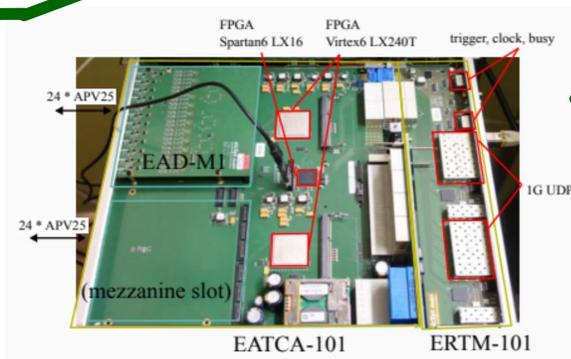
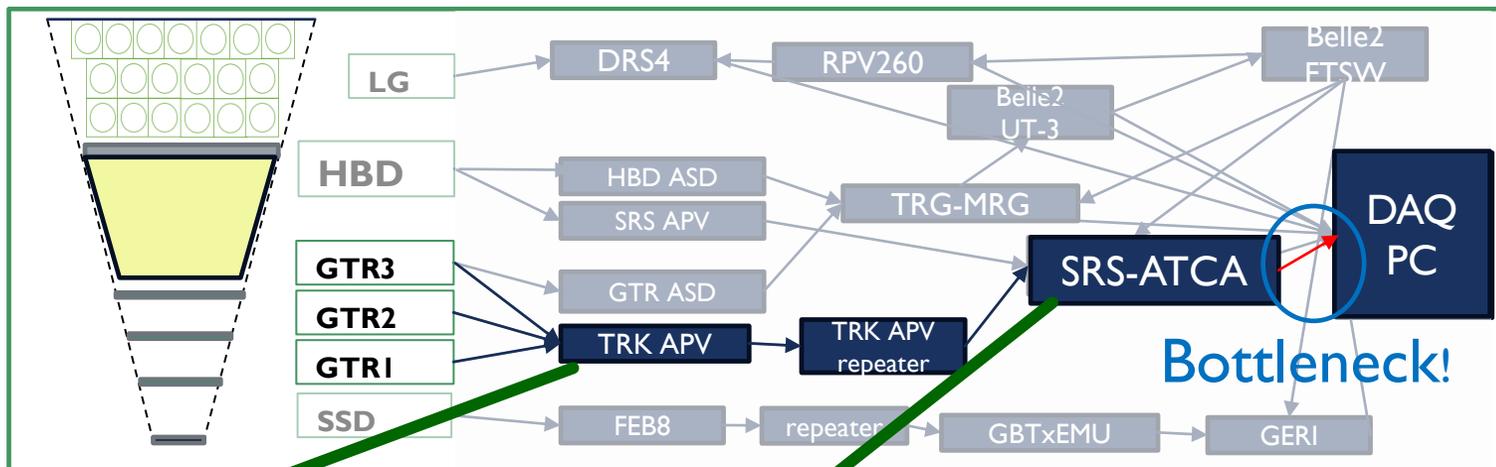
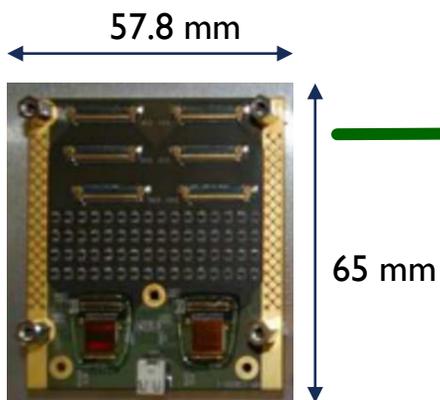
- DAQ効率改善の計画
 - DAQの改良
 - APV25(後述、readout chip)でのアナログイベントバッファリング
 - busy time削減
 - Beamの改善
 - 右図：beamが改善した場合のDAQ効率見積もり
- 改善見込み
 - ビームの改善なし: ~15% → **~55%**
 - ビームの改善あり: ~15% → **~85%**



E16 GEM TRACKER DAQについて

読み出し回路：APV25

- developed for the CMS tracker @ LHC
- Preamplifier
- Shaper
- Analog Pipeline
 - ~40Msps, 最大32sampleのバッファリング
 - 1 eventの取得sample数を減らして複数eventバッファリング可能
- 128:1 AMUX



SRS ATCA

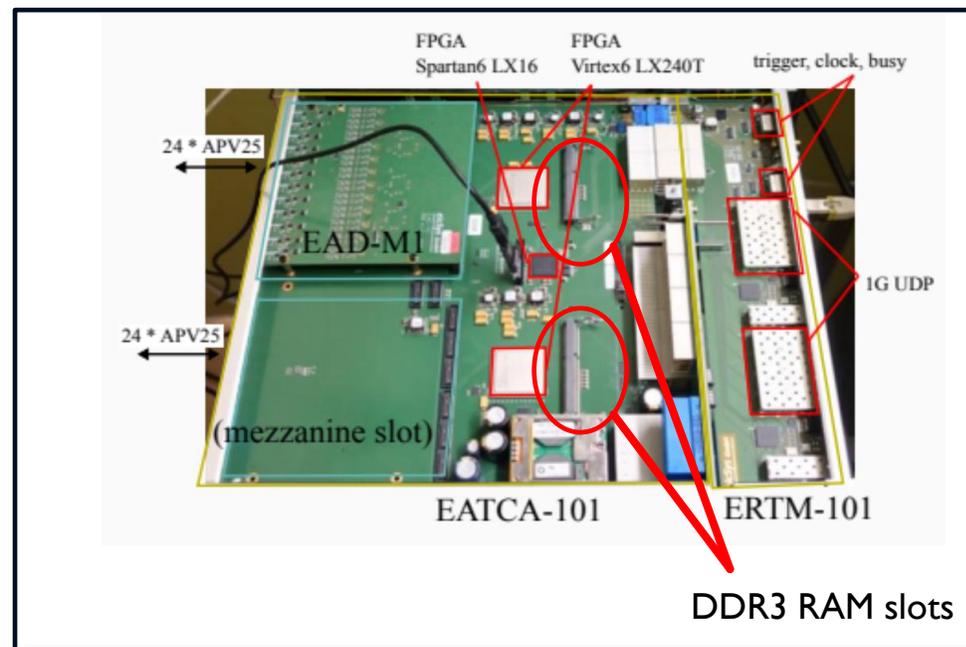
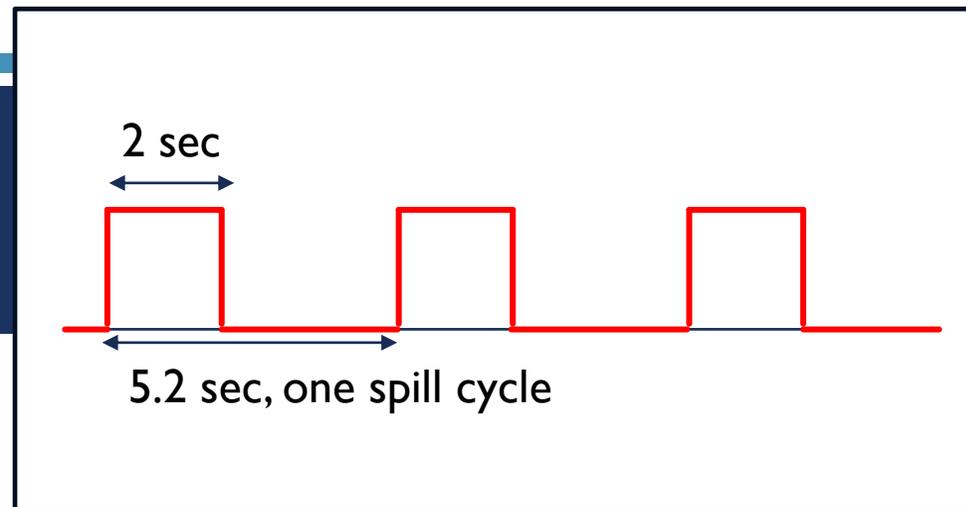
- Digitizer**
 - FPGA: Virtex-6 x2
- 24 APV chips/FPGA (=24 APV/SRS)
- ADC, zero suppress, event build
- DAQ PCへのネットワークがボトルネック**



開発内容

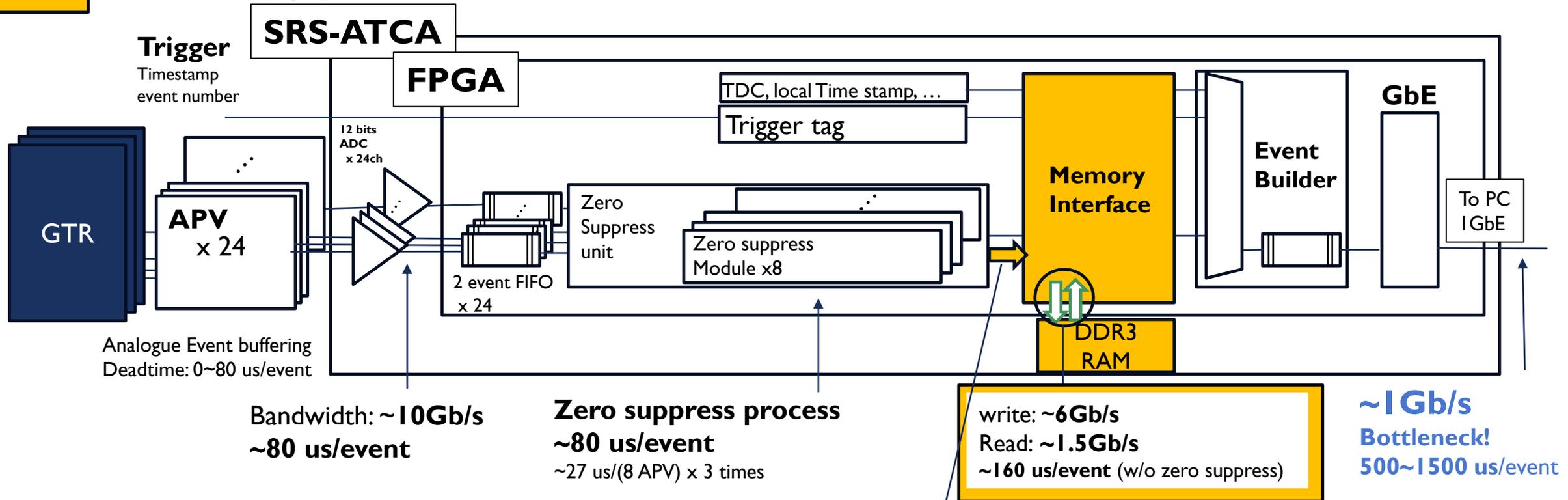
DAQ改善方法：データバッファリング

- 1GbE転送のため長いbusyが発生
 - 転送にかかる時間：1 eventあたり~800 us
 - FPGA上で保持できるeventを超えると1event毎にこの長さのbusy
- →データバッファリングによるbusy削減
 - モジュール上で保持できるevent増
 - Busy length: ~800us(network) -> ~100 us(data processing)
 - J-PARCのビームは5.2sec cycle, 2.0sec onのスパル
 - Spill offも転送に使えるのでデータ転送可能量も増加
- SRS-ATCA(Digitizer) にはDDR3 RAM slotあり
 - 過去のコミッショニングでは未使用
 - →RAMを使用しDAQ効率を改善するためのFW開発



SRS-ATCA (Digitizer) ブロック図

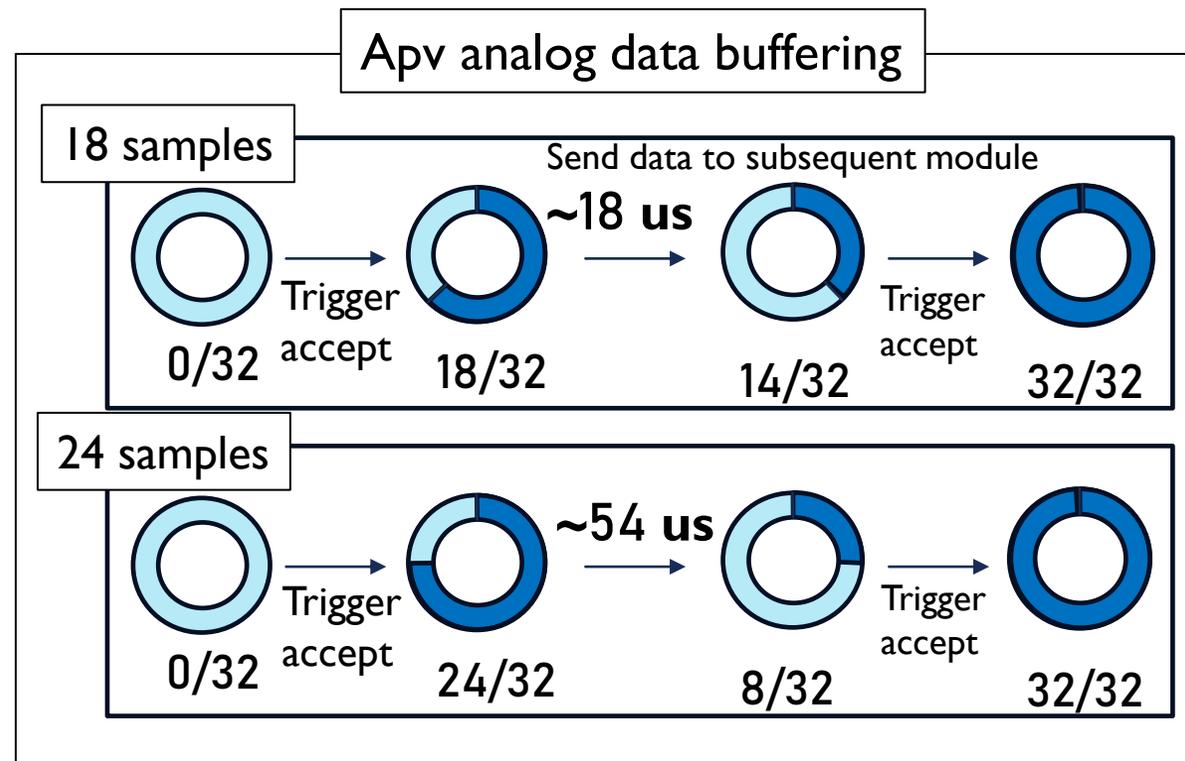
■ : 今回の開発部分



~1.5Gb/s -> ~6Gb/s
後段のボトルネックのため読み出しを頑張っていなかった部分を
Zero suppress moduleから並列に読み出して高速化

2023/6 ビームタイムでの性能評価：方法

- 2023/6のビームタイムで性能評価
- ミニマムバイアストリガーでのデータ取得
 - ビームタイムが短縮されたため物理トリガーでのデータ取得なし
- GEM Tracker DAQ 設定
 - w/ or w/o RAM buffering
 - 今回の開発のあり/なし
 - APV sample: 18(sampling clk: 31.25MHz) or 24(41.66MHz)
 - Analog buffer deadtime: ~18 us or ~54 us
 - Triggerモジュールがトリガー毎に30 usのbusy
 - Data lengthの違いによる変化も期待
 - Trigger request rate : ~8k/spill(~4kHz) or ~4k/spill(~2kHz)
 - ~8k/spillでトリガー生成、間引いて~4k/spillを生成



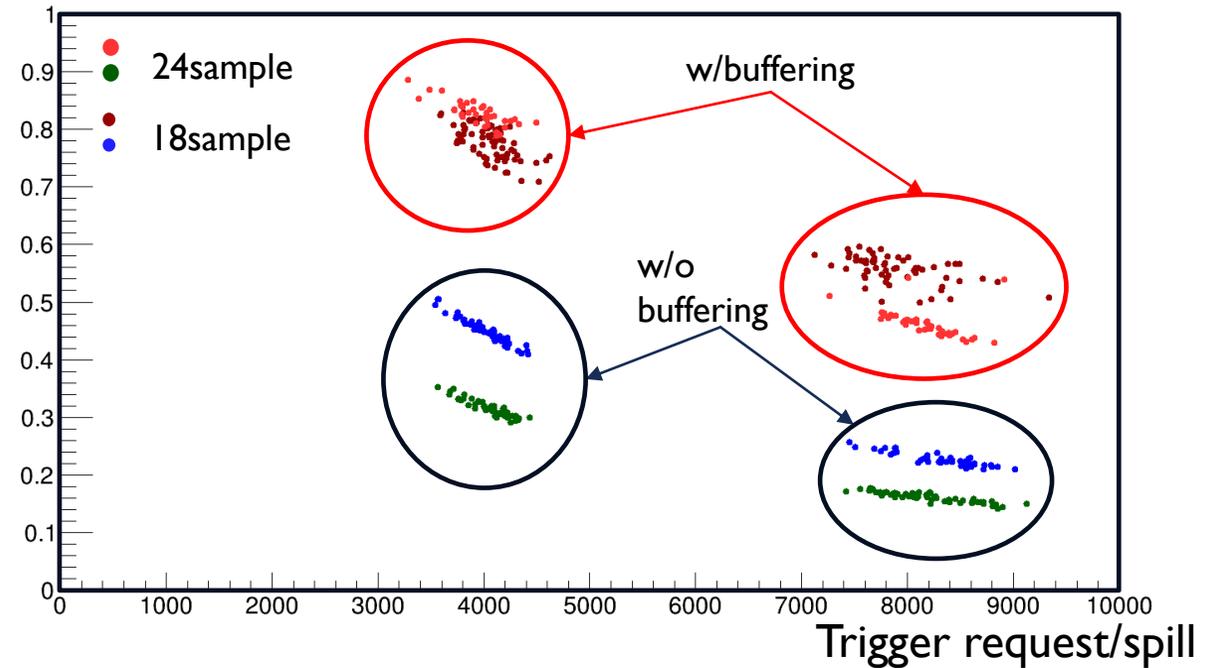
2023/6 ビームタイムでの性能評価

- Busy time, DAQ 効率改善
 - DAQ効率：2~3倍
 - RAM bufferingの効果を確認
 - 31%→82%@2kHz request

トリガーリクエスト レート	DAQ効率 w/o buffering	DAQ効率 w/ buffering
~2kHz (~4000 req/spill)	31%	82%
~4kHz (~8000 req/spill)	16%	46%

24 sample dataでの計算

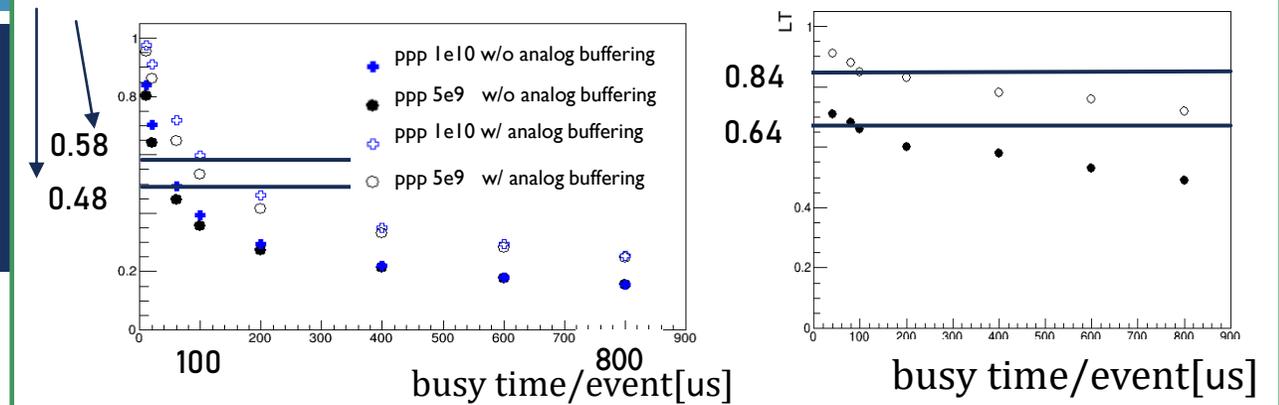
DAQ効率(=acc./req.) /spill



物理データ取得に向けての DAQ LIVE TIME 改善見込み

- 物理トリガーでのDAQ効率見積もり
 - 2023/6のビームタイムでは物理データ取得がなし
 - 2021のビームタイムで得られた物理トリガーの時系列データを用いてDAQ効率を見積もり
- 2023/6のランで実際に測定したbusyの構造を用いて計算
 - APV to SRS-ATCA(~30 us)
 - Data writing to RAM(~160 us)
 - network(160~2400 us)
- ビーム改善なし 25% → 58%
- ビーム改善あり 64% → 84%

Different run



DAQ効率改善みこみ

(left) w/o beam improvement

(right) w/ beam improvement

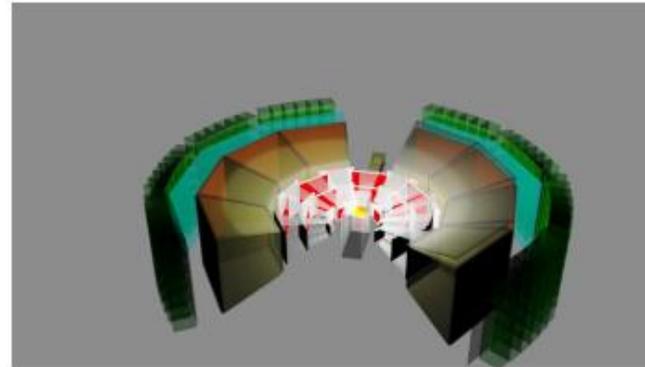
	w/o data buffering	w/ data buffering
1e10 ppp 2.5k req/spill(1.2kHz req)	25%	58%
5e9 ppp 2.5k req/spill(1.2kHz req)	15%	48%
expected beam & tuned physics trigger 1.5k req/spill(0.7kHz req)	64%	84%



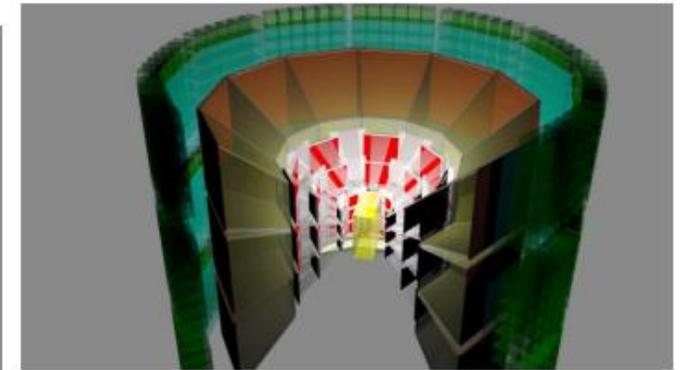
SAMIDARE BOARD for RUN2

E16 RUN2に向けて

- モジュール拡充、物理データ取得のRUN2
 - 現在準備中のRUN1は先行研究の6倍の統計量
 - RUN2で先行研究の100倍を目指す
- APV25読み出し対応のSRS-ATCAが生産停止
 - APVを使うためには新しいモジュールが必要
- SAMIDAREボード@SPADI-Aliance 開発中
 - モジュール不要の読み出し基板
 - Streaming DAQに対応可
 - 現在のハードウェア的イベント選別でなくソフトウェア的なイベント選別を行うDAQ



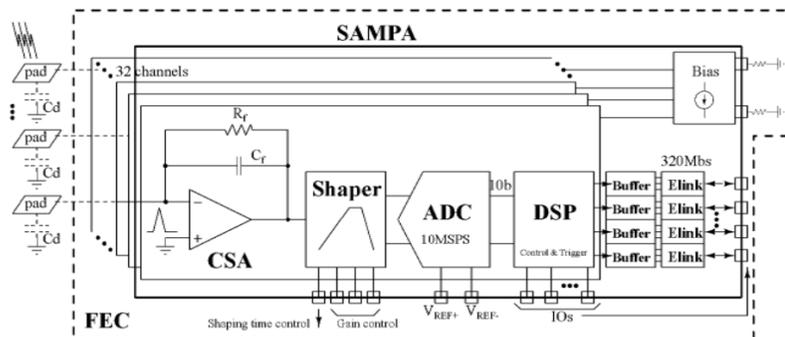
Run1 検出器構成



Run2 検出器構成

SAMIDARE BOARD

SAMpa-based high Integrated DAta REadout board

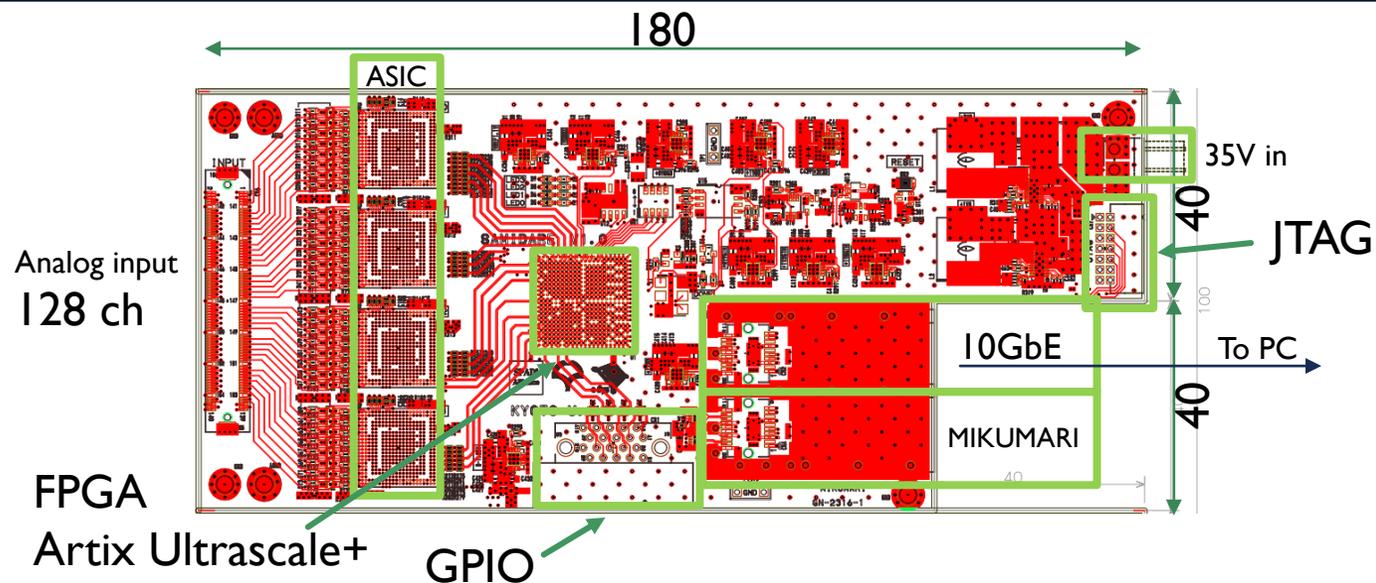


SAMPA ASIC

- CERN ALICE TPCのために開発
- 連続読み出し可能
- 最大20Mps
- Time window: 1024 samples
- 20Mps動作時51.2 us

SPADI SAMPA FE Task Force 参加グループ

- LEPS2
- RIBF RIビーム散乱
- SPiRIT
- J-PARC HypTPC
- CAT
- ELPH KN散乱
- J-PARC E16&E88
- MAIKo



- 特徴(既存SAMPA based boardとの違い)
 - Ethernetで読み出しが簡単
 - 専用のPCIeボードなど不要
 - Chあたりの読み出し帯域が広い
 - 小型、E16で使える
- 来月(2023年12月)試作品納品予定

まとめ

- J-PARC E16実験では ϕ 中間子の質量スペクトルを測定
- 物理データ取得のためDAQボトルネックを解消
 - GEM 飛跡検出器のDigitizerをDDR3 RAMによるデータバッファリングで改良
 - DAQ 効率の改善
 - Beam time(2023/6) minimum bias trigger ~30% → ~80%
 - 物理トリガーでの見積もり ~15% → ~85% (beam改善もあり)
 - 次回RUNから本格導入予定
- E16実験は将来的にモジュールの拡充を計画
 - ストリーミングDAQ可能な新規基板SAMIDAREボードを作成中