

# J-PARCチャームバリオン分光実験用の 連続読み出しシステムの実装

白鳥 昂太郎

for the J-PARC E50 collaboration

大阪大学核物理研究センター (RCNP)

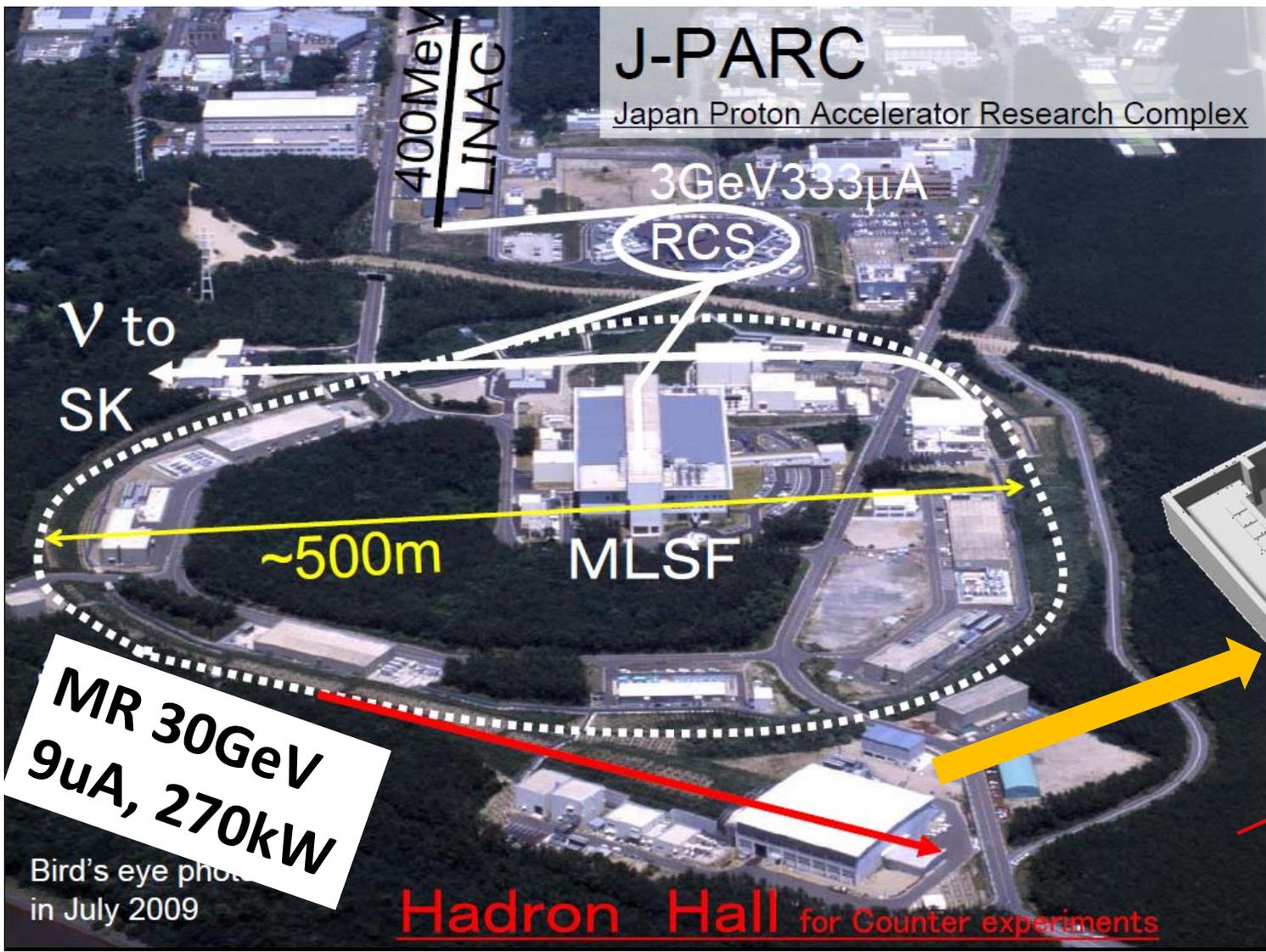
計測システム研究会2023 @ RCNP  
～計測システム開発の現状と今後の展開～

2023年11月21日

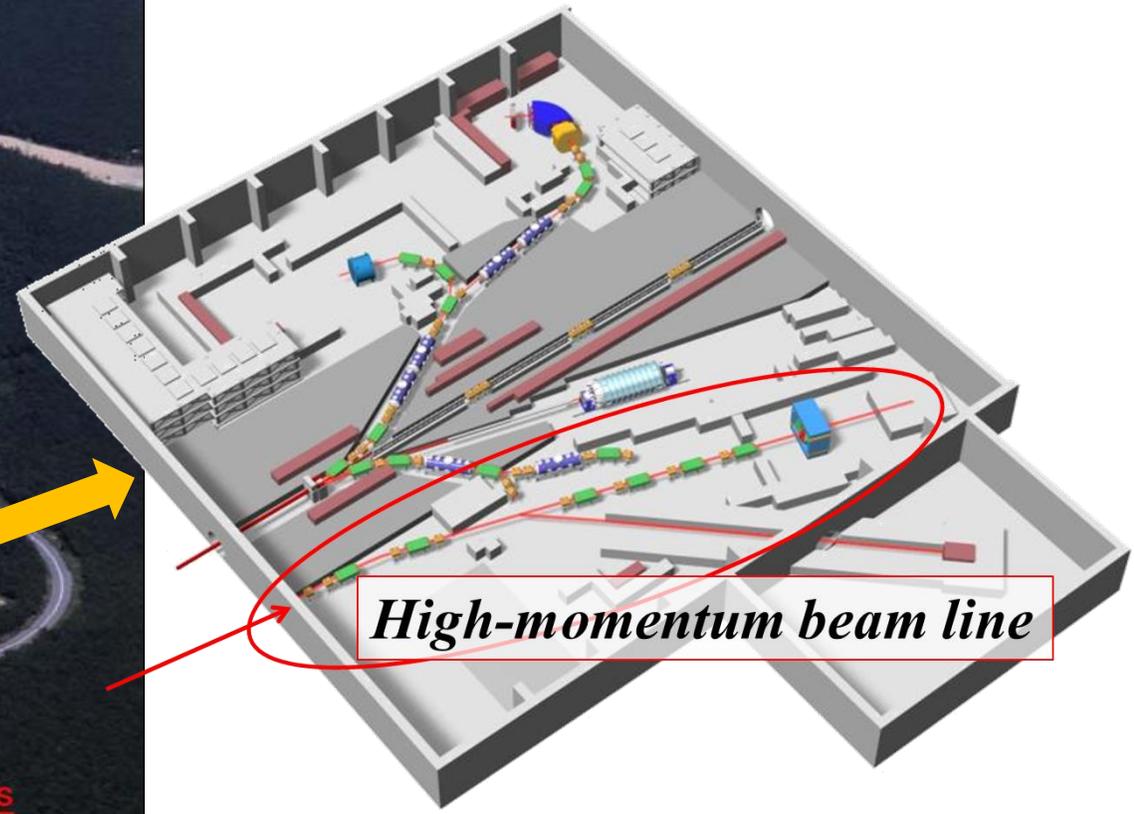
# Introduction

J-PARCチャームバリオン分光実験  
検出器セットアップとDAQ

# J-PARC & ハドロン実験施設



## ハドロン実験施設

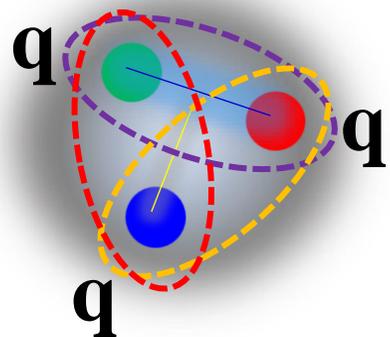


世界最高水準の陽子ビーム強度

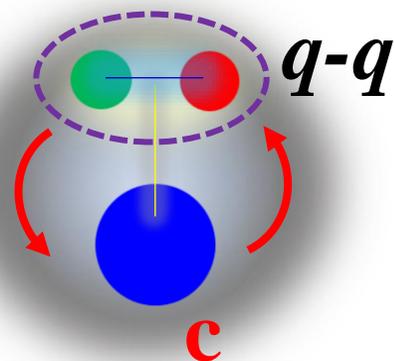
# チャームバリオン分光実験: J-PARC E50

- ハドロンの有効自由度の解明: **ダイクォーク相関**  
⇒ チャームバリオンの励起状態の研究

軽いクォークのみの  
バリオン



チャームバリオン

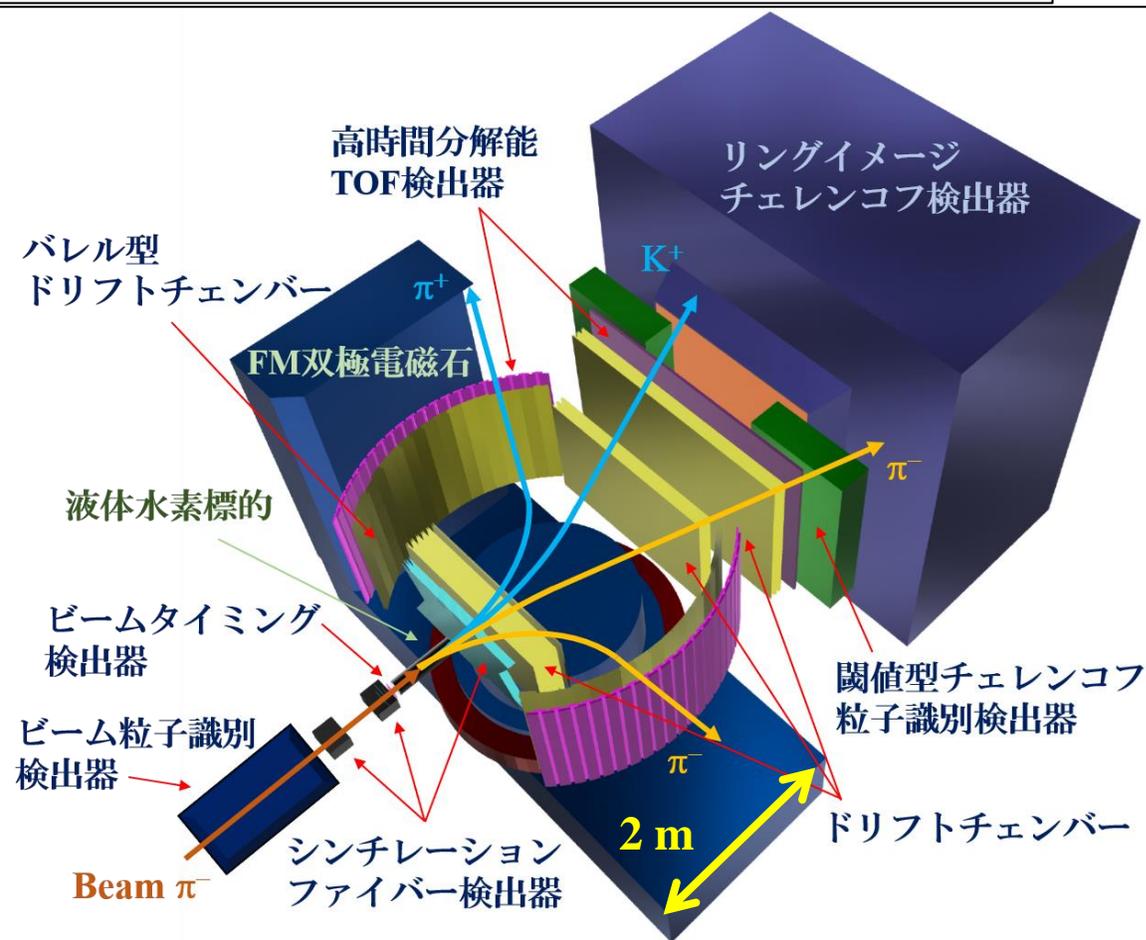


\* 実験: 生成率と崩壊幅の測定

- ミッシングマス法:  $\pi^- + p \rightarrow Y_c^{*+} + D^{*-}$   
 $\rightarrow K^+ \pi^- \pi^-$ 
  - 20 GeV/c  $\pi^-$  beam: 30 MHz

\* 汎用実験セットアップの建設を推進

チャームバリオン分光実験用スペクトロメータ



# 高運動量ビームライン二次粒子ビーム実験の概要

\* E50 ⇒ **トリガーレス連続読み出しDAQシステム**によるデータ取得

- ・ 複雑なハードウェアトリガーの構築 ⇒ ソフトウェアによるデータ選別 (フィルタリング)
- ・ E50実験セットアップ: J-PARC高運動量ビームラインにおける**汎用実験セットアップ**
  - ・ トリガーレスDAQによる2–20 GeV/cの高運動量ハドロンビームの効率的な利用

実験	ビーム粒子	運動量 [GeV/c]	強度 [MHz]
<b>チャームバリオン分光実験 (E50)</b>	$\pi^-$	20	30
Non-strangeダイバリオン探索実験 (E79)	proton	2.85–4.00	> 1
$\Xi$ バリオン分光実験 (E97)	$K^-$	5–8	> 0.5
$\Omega$ バリオン分光実験 (P85)	$K^-$	7–10	> 0.5
$\phi$ 中間子生成実験 (P95)	$\pi^-$	1.8–2.4	> 0.5
Exclusive Drell-Yan実験 (LOI)	$\pi^-$	15	30
$\Lambda$ -p散乱実験 (LOI)	$\pi^-$	8.5	30
Double-K中間子原子核生成実験 (関連LOI)	proton	8	30
クォークカウンティングルールによる $\Lambda(1405)$ の研究	$\pi^-$	5–10	> 0.5

# E50実験セットアップ

\* 全20,000–25,000 ch (25 GB/spill  $\Rightarrow$  12.5 GB/sec.=100 Gbps)

- Streaming DAQ FEE: TDC(+TOT)情報のみ
- + タイミング同期システム (MIKUMARI)

• MPPC検出器: 15,000–20,000 ch

- ファイバー飛跡検出器
- RICH, Beam-RICH, 閾値型AC

$\Rightarrow$  CIRASAME (ASIC: CITIROC)

- 128 ch/board
- Low-resolution TDC ( $\Delta T_{\text{LSB}} \sim 1 \text{ ns}$ )

• タイミング検出器:  $\sim 1,000$  ch

- T0, RPC, TOF: アンプ/PMT + Discriminator

$\Rightarrow$  AMANEQ board (HR-TDC mezzanine)

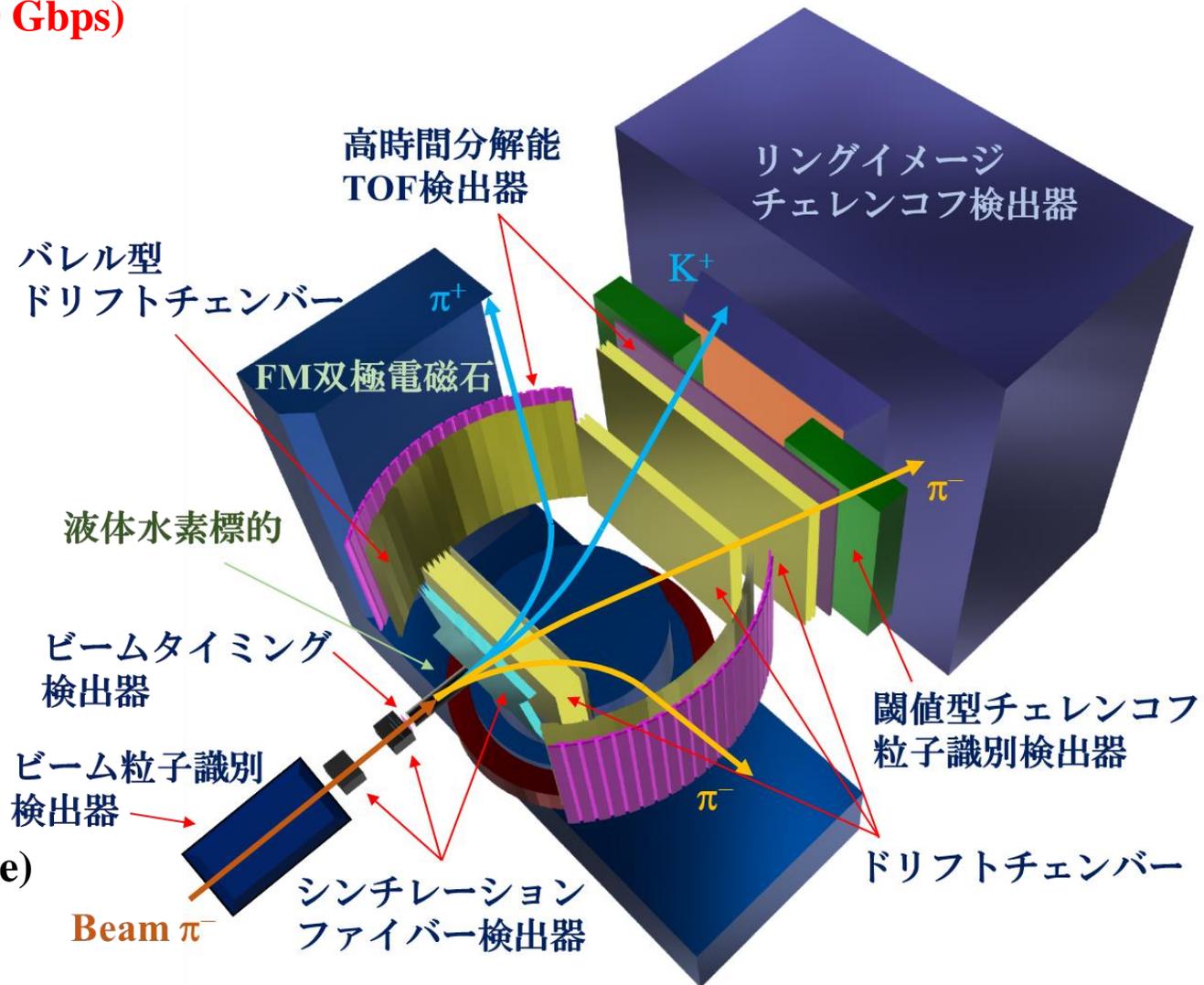
- 64 ch/board
- High-resolution TDC ( $\Delta T_{\text{LSB}} \sim 20 \text{ ps}$ )

• ドリフトチェンバー:  $\sim 4,000$  ch

$\Rightarrow$  ASAGI ASD card + AMANEQ board (DC mezzanine)

- 128 ch/board
- Low-resolution TDC ( $\Delta T_{\text{LSB}} \sim 1 \text{ ns}$ )

\* TDCベースFEE, MPPCの利用など要素技術を共通化



# E50実験セットアップ

\* 全20,000–25,000 ch (25 GB/spill  $\Rightarrow$  12.5 GB/sec.=100 Gbps)

- Streaming DAQ FEE: TDC(+TOT)情報のみ  
+ タイミング同期システム (MIKUMARI)

• MPPC検出器: 15,000–20,000 ch

- ファイバー飛跡検出器
- RICH, Beam-RICH, 閾値型AC

$\Rightarrow$  CIRASAME (ASIC: CITIROC)

- 128 ch/board
- Low-resolution TDC ( $\Delta T_{LSB} \sim 1$  ns)

• タイミング検出器:  $\sim 1,000$  ch

- T0, RPC, TOF: アンプ/PMT + Discriminator

$\Rightarrow$  AMANEQ board (HR-TDC mezzanine)

- 64 ch/board
- High-resolution TDC ( $\Delta T_{LSB} \sim 20$  ps)

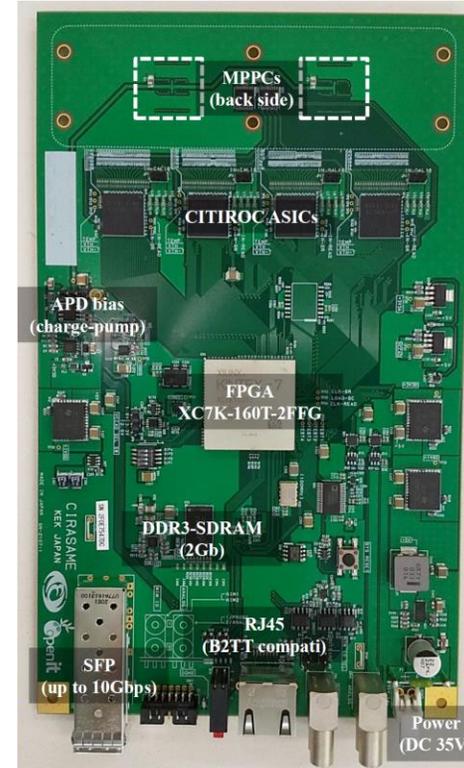
• ドリフトチェンバー:  $\sim 4,000$  ch

$\Rightarrow$  ASAGI ASD card + AMANEQ board (DC mezzanine)

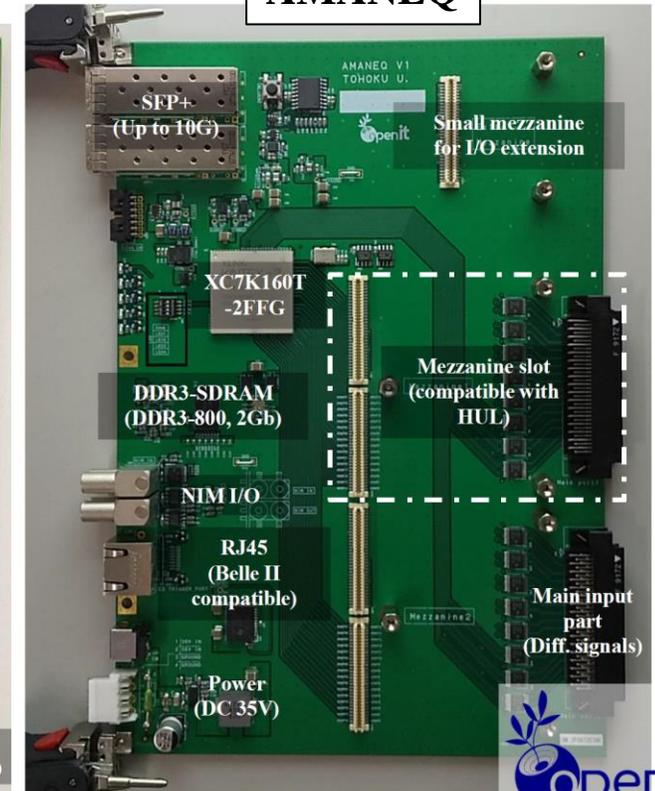
- 128 ch/board
- Low-resolution TDC ( $\Delta T_{LSB} \sim 1$  ns)

\* TDCベースFEE, MPPCの利用など要素技術を共通化

CIRASAME



AMANEQ



ASAGI ASD card



HR-TDC mezzanine



# DAQ scheme



FairMQ +

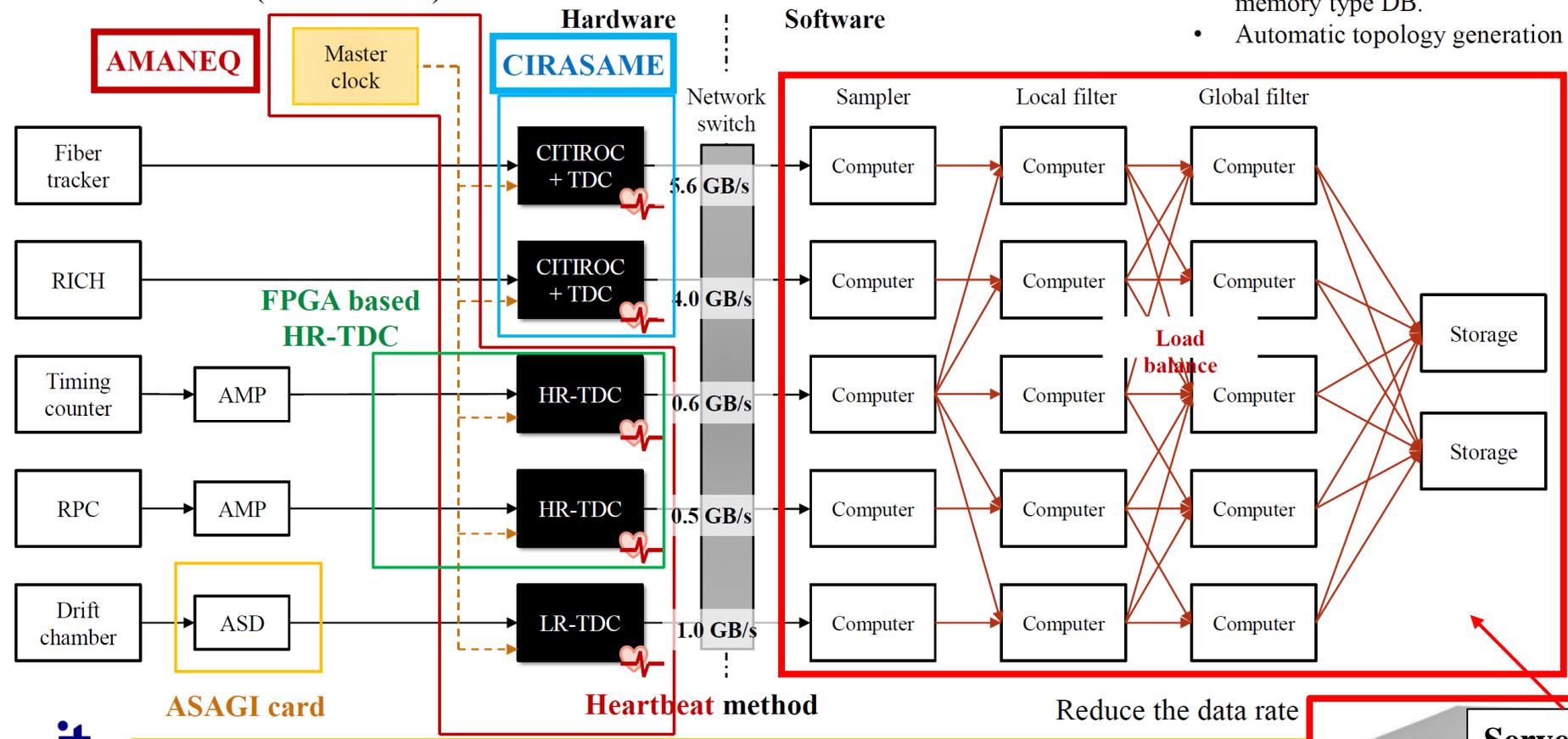
- Process monitor and control via in-memory type DB.
- Automatic topology generation

**CIRASAME (MPPC readout)**



Clock/command/timing distribution (MIKUMARI)

Schema of the DAQ system



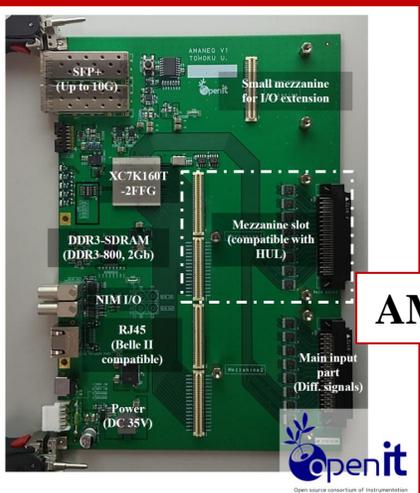
Total data rate: ~12 GB/s (25 GB/spill) (E50 case)

**\* 実証試験(テスト実験@ELPH: 2018)に成功**  
 • R. Honda *et al.*, PTEP2021, 123H01 (2021).

**⇒ 検出器システムへの実装と”NestDAQ”の構築(フィルタリング)**



**AMANEQ**



# E50テストベンチ

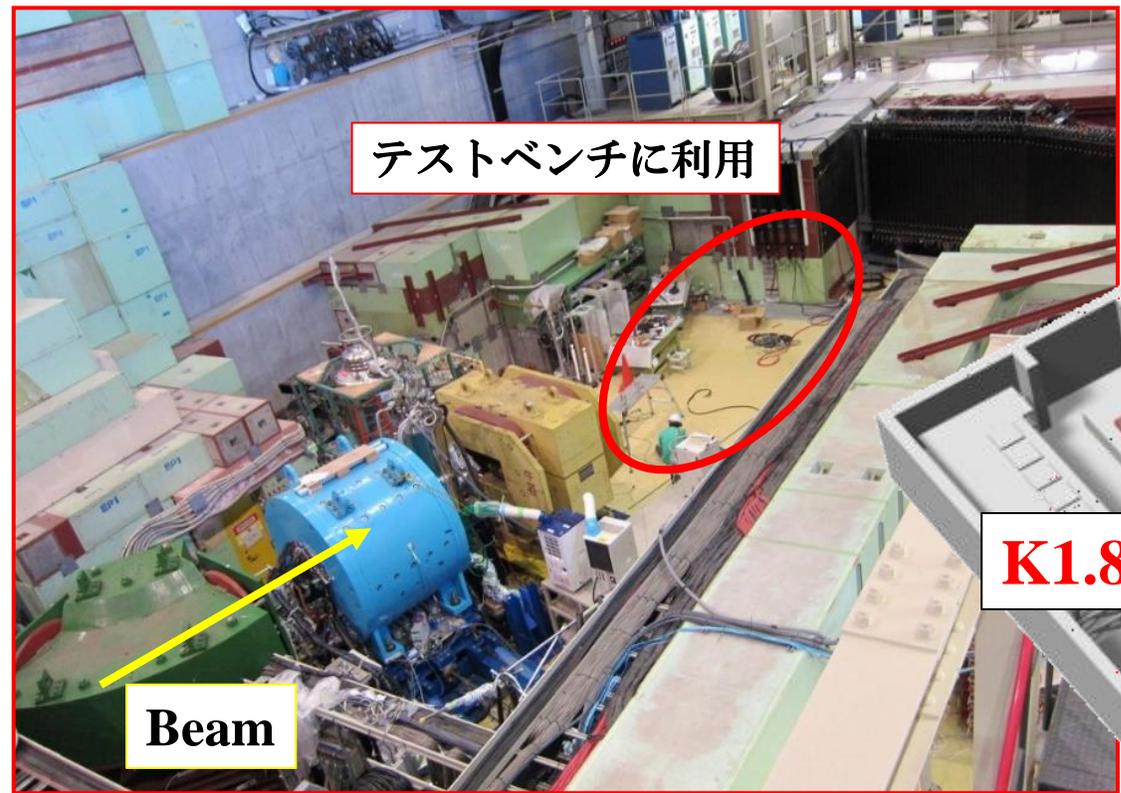
検出器とDAQモジュールの構築

DAQシステムの実装

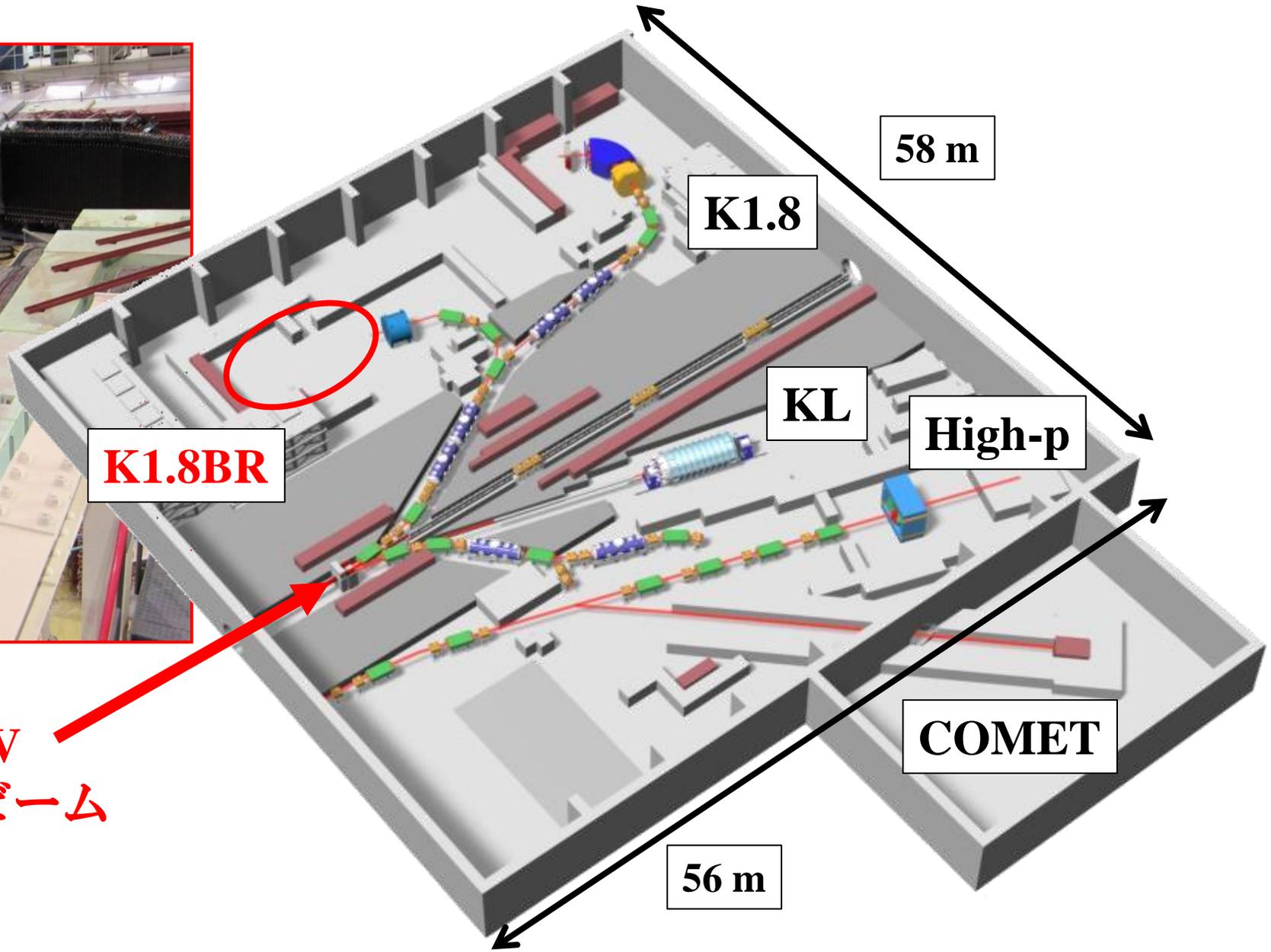
SPADI

Alliance

# E50テストベンチ(E50TB) @ J-PARC K1.8BR



30 GeV  
陽子ビーム



# E50テストベンチ(E50TB) @ J-PARC K1.8BR

## • ハドロンビームを利用したStreaming DAQとE50検出器の評価試験の実施

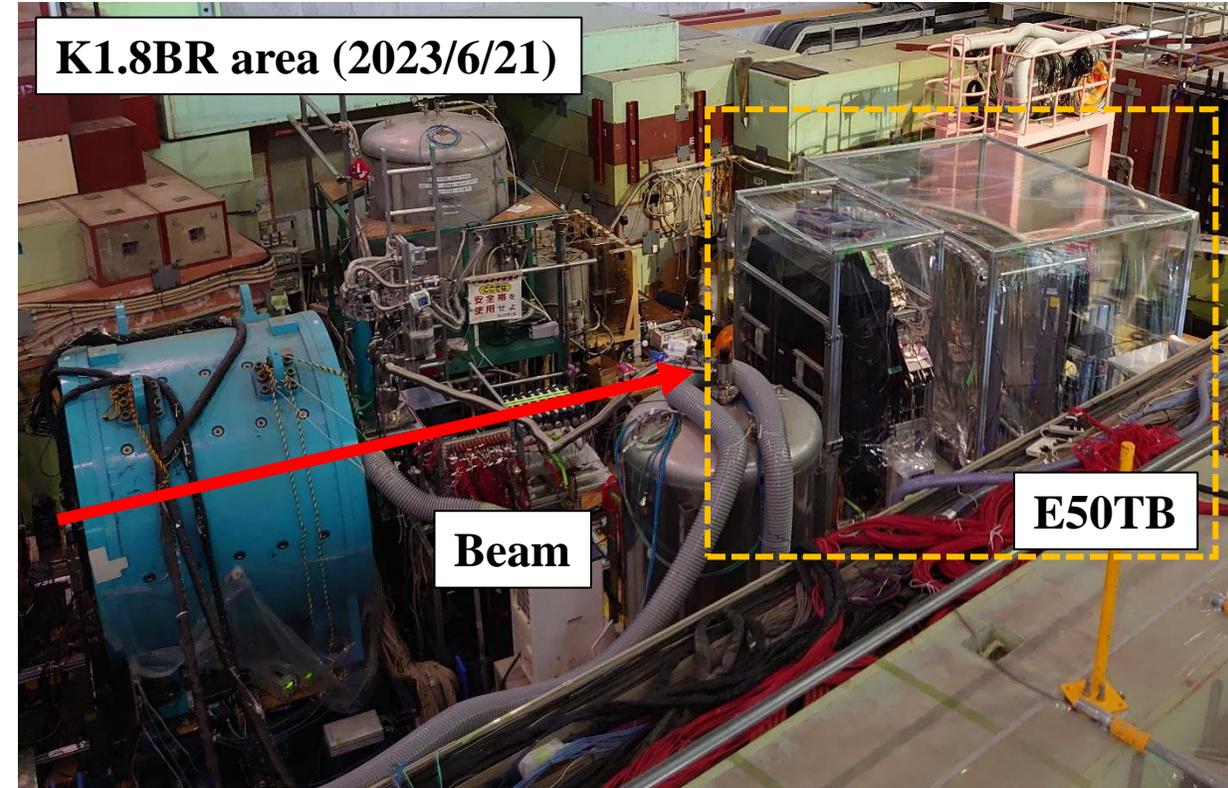
- ビーム強度 (全荷電粒子):  $\sim 1$  M/spill (2.0秒取り出し, 5.2秒加速サイクル)
- $K^- \sim 200$  k/spill,  $\pi^- \sim 800$  k/spill

## • Streaming DAQ & 検出器テスト

- 連続読み出しDAQシステム
  - FEEのアップデート
  - フィルタリング機能の実装
  - フィルタリング評価データ取得
- E50検出器の性能評価
  - ドリフトチェンバー, タイミング検出器

## • ビームタイム期間: 6/19–21 (~3日)

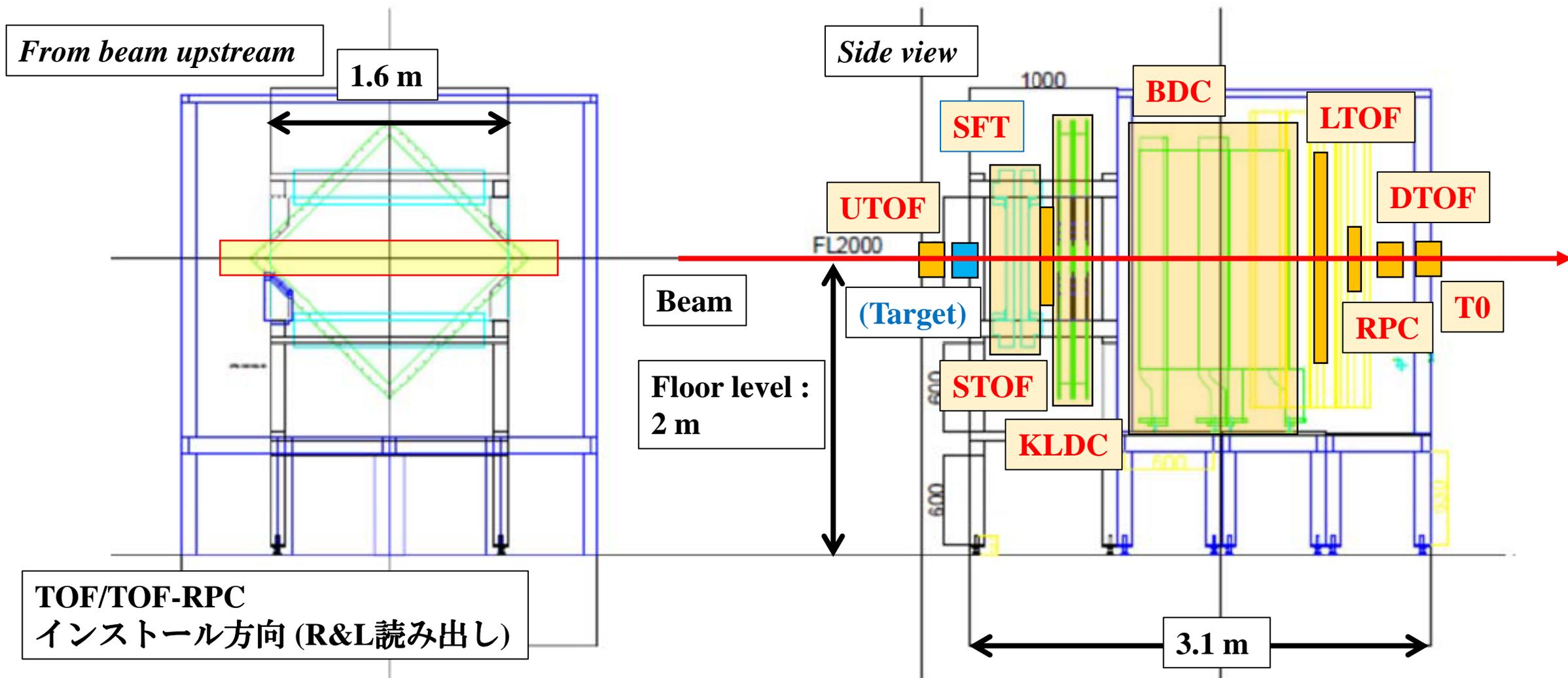
- ビーム利用は実際には数時間
  - トラブルで実験がかなり限られた...



\* 皆さまのご協力ありがとうございました

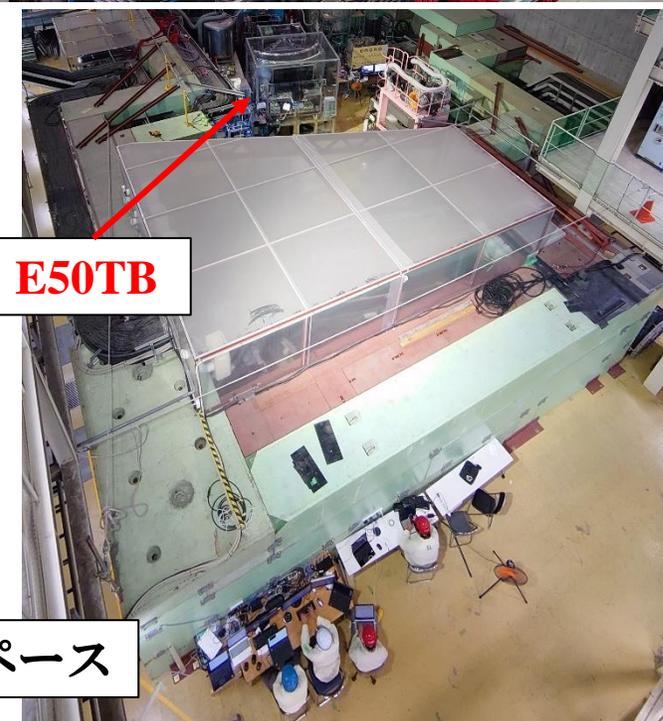
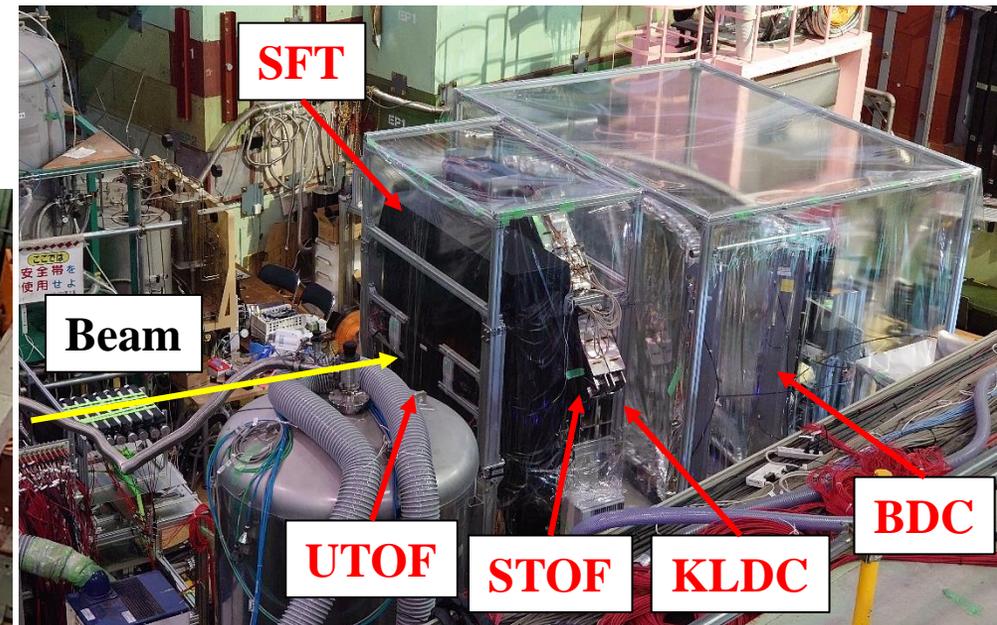
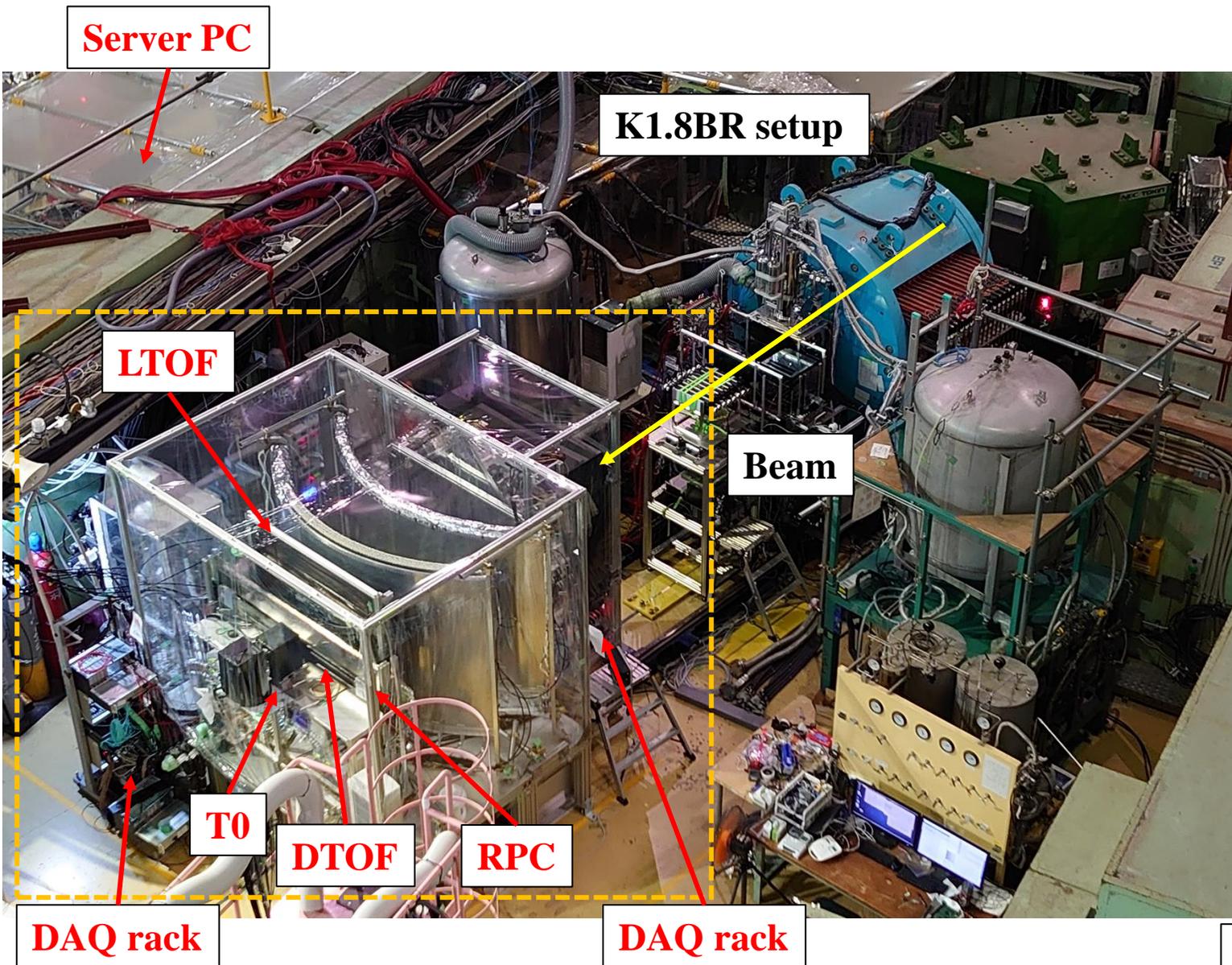
SPADI  
Alliance

# E50TB: セットアップ概略図

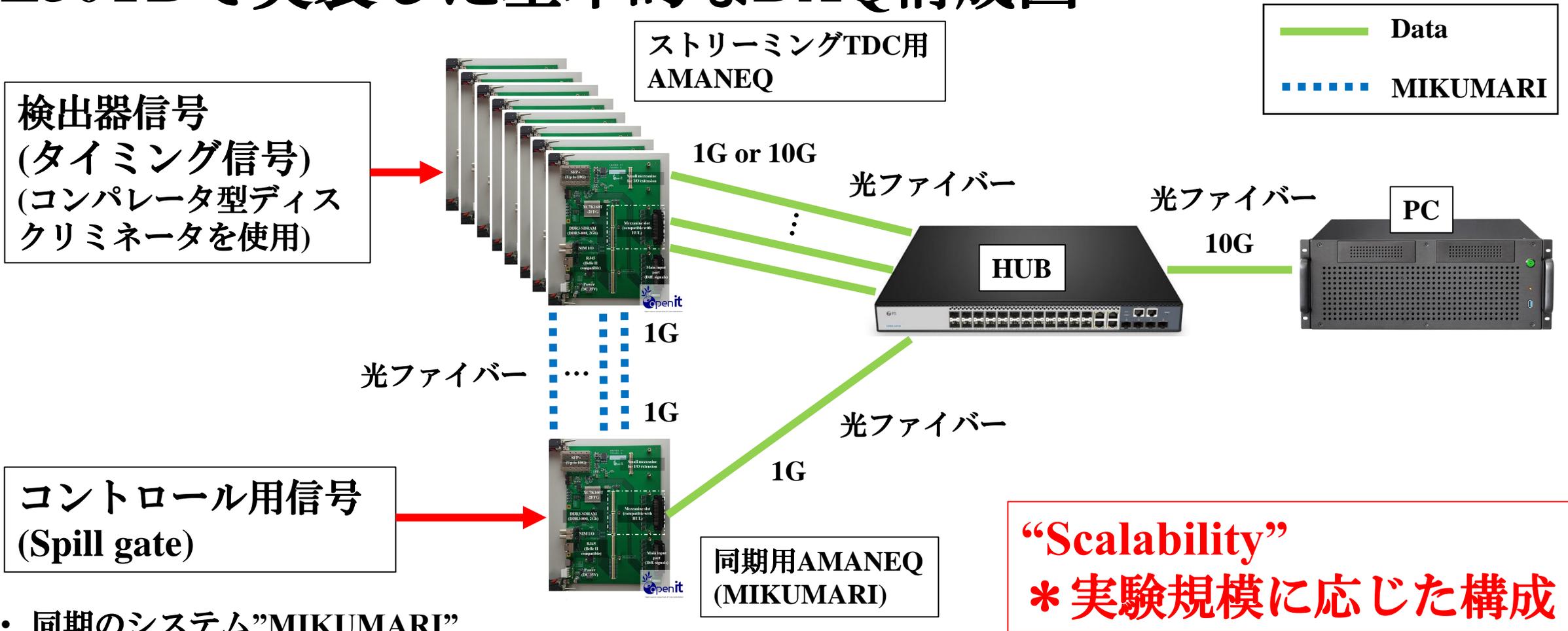


- 飛跡検出器: **SFT**(ファイバー検出器), **KLDC&BDC**(ドリフトチェンバー)
- タイミング検出器: **UTOF**, **STOF**, **LTOF**, **DTOF**, **RPC**, **T0**

# E50TB: 写真



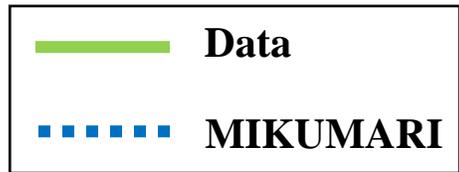
# E50TBで実装した基本的なDAQ構成図



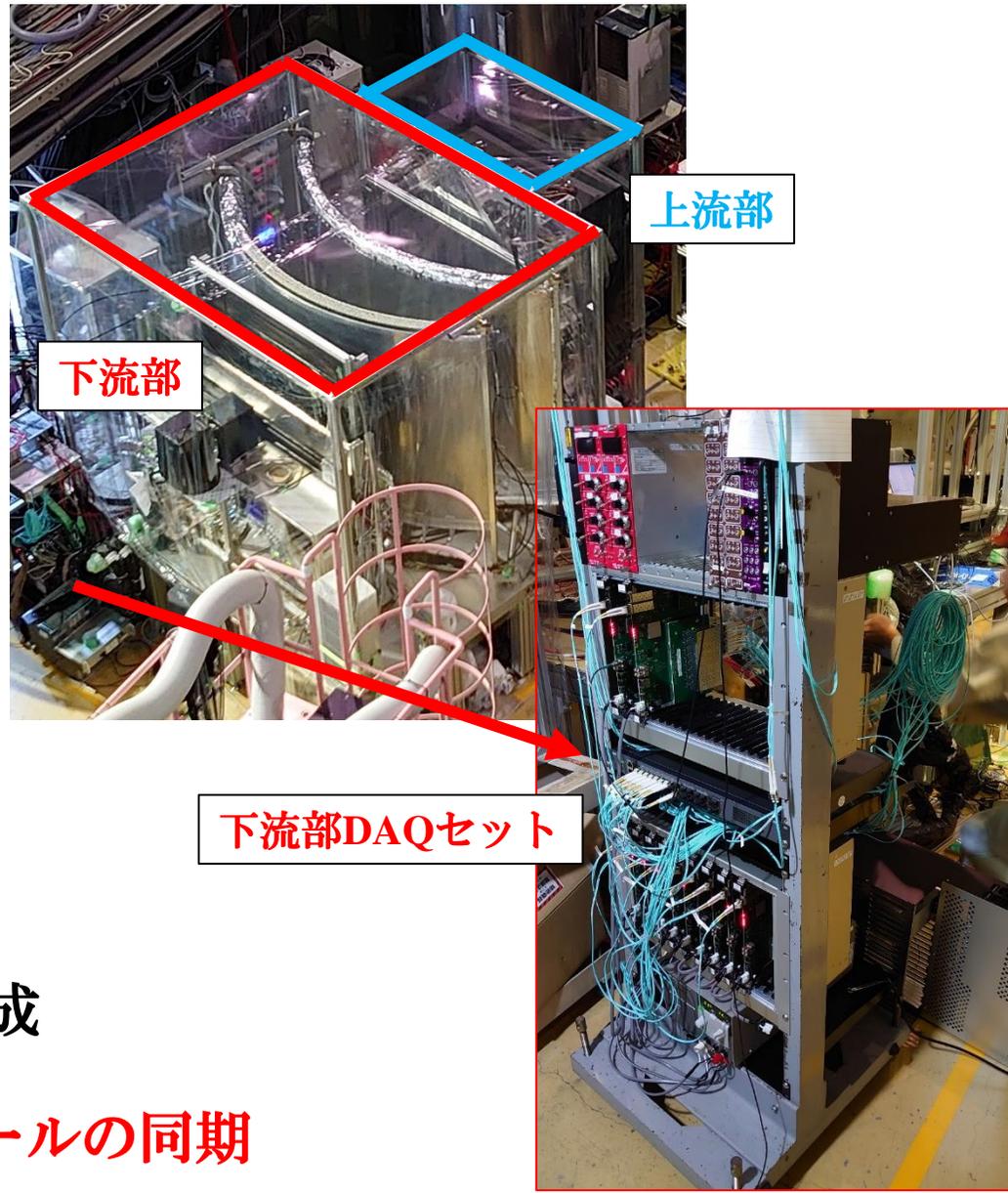
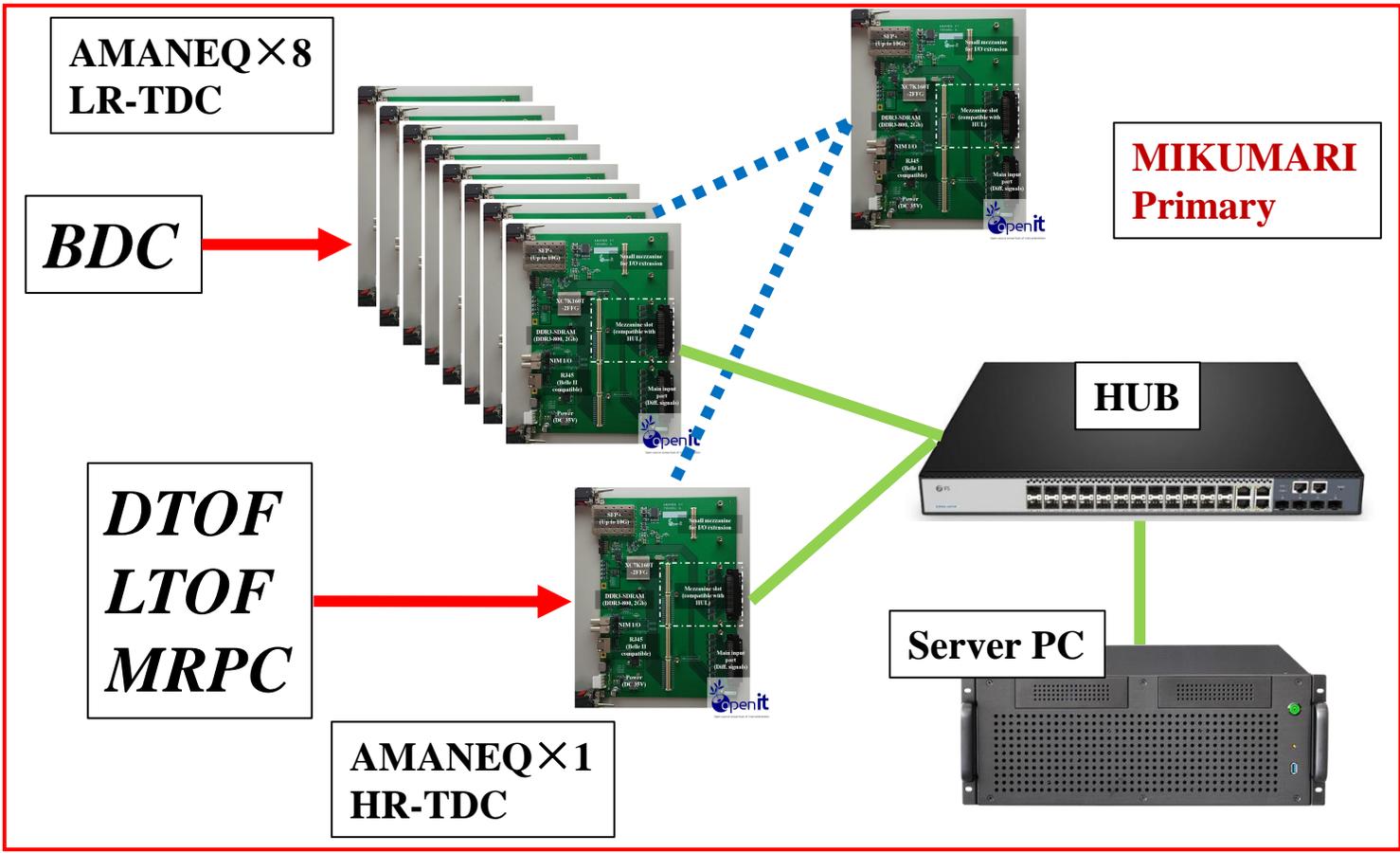
- 同期のシステム”MIKUMARI”
- ストリーミングTDC (AMANEQモジュールのみ)
  - HR-TDC: HUL mezzanine HR-TDC×2台 (64 ch), 10Gbps SiTCP
  - LR-TDC: HUL mezzanine DCRv2×2台 (128 ch), 1Gbps SiTCP
- PC (システムワークスPOWER MASTER Vision S5725: AMD EPYC 74F3 24 core, 3.2 GHz, Mem. 64GB)
- HUB (FS S5860-20SQ, 10Gbps port×24, 25Gbps×4, 40Gbps×2)

**“Scalability”**  
**\* 実験規模に応じた構成**

# DAQ構成

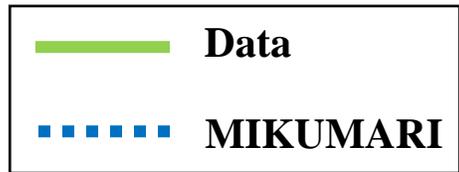


- \* DC: ASD(GNA-200) ⇒ LR-TDC
- \* SFT: NIM-EASIROC ⇒ LR-TDC
- \* タイミング検出器: ディスクリ ⇒ HR-TDC

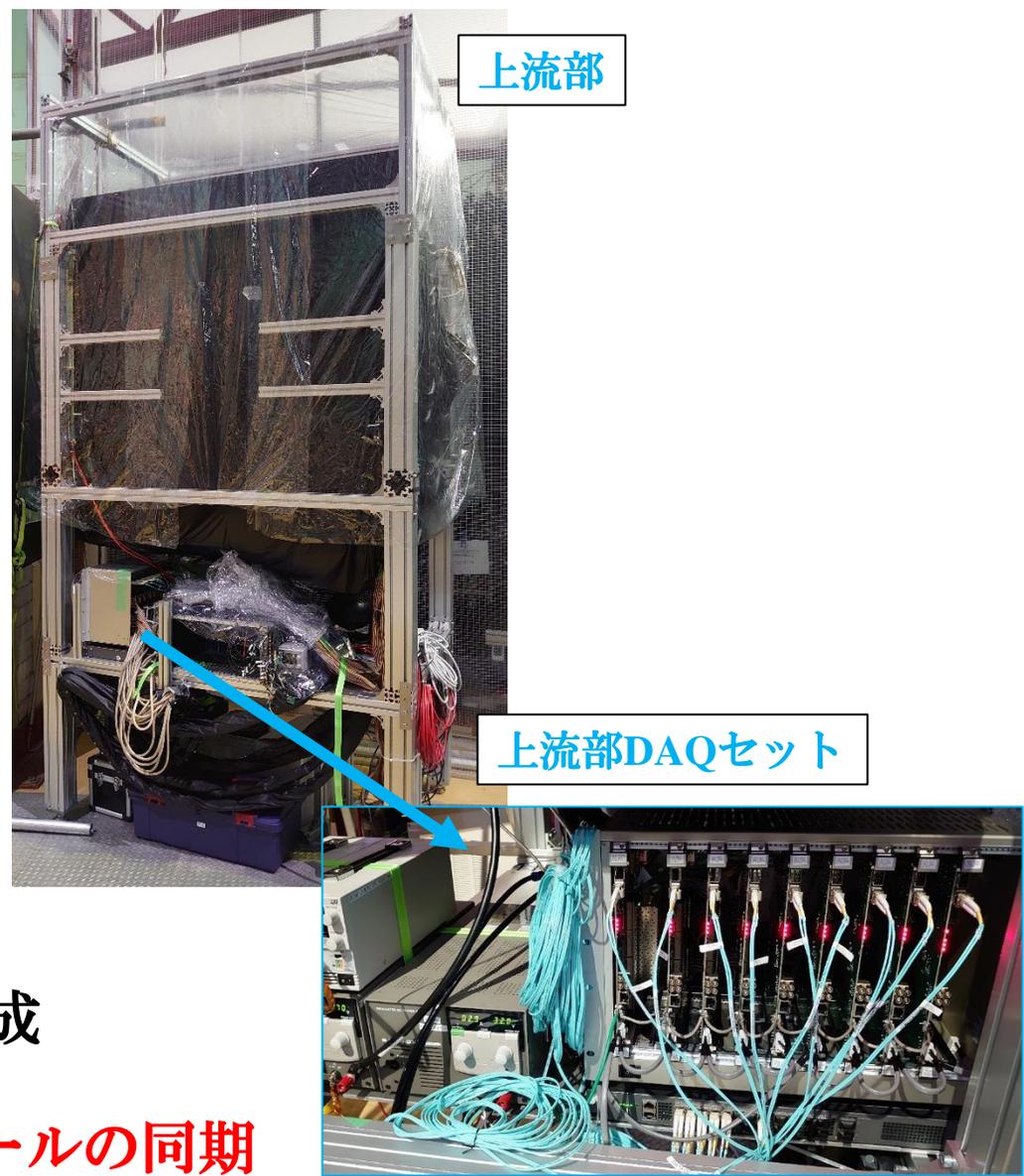
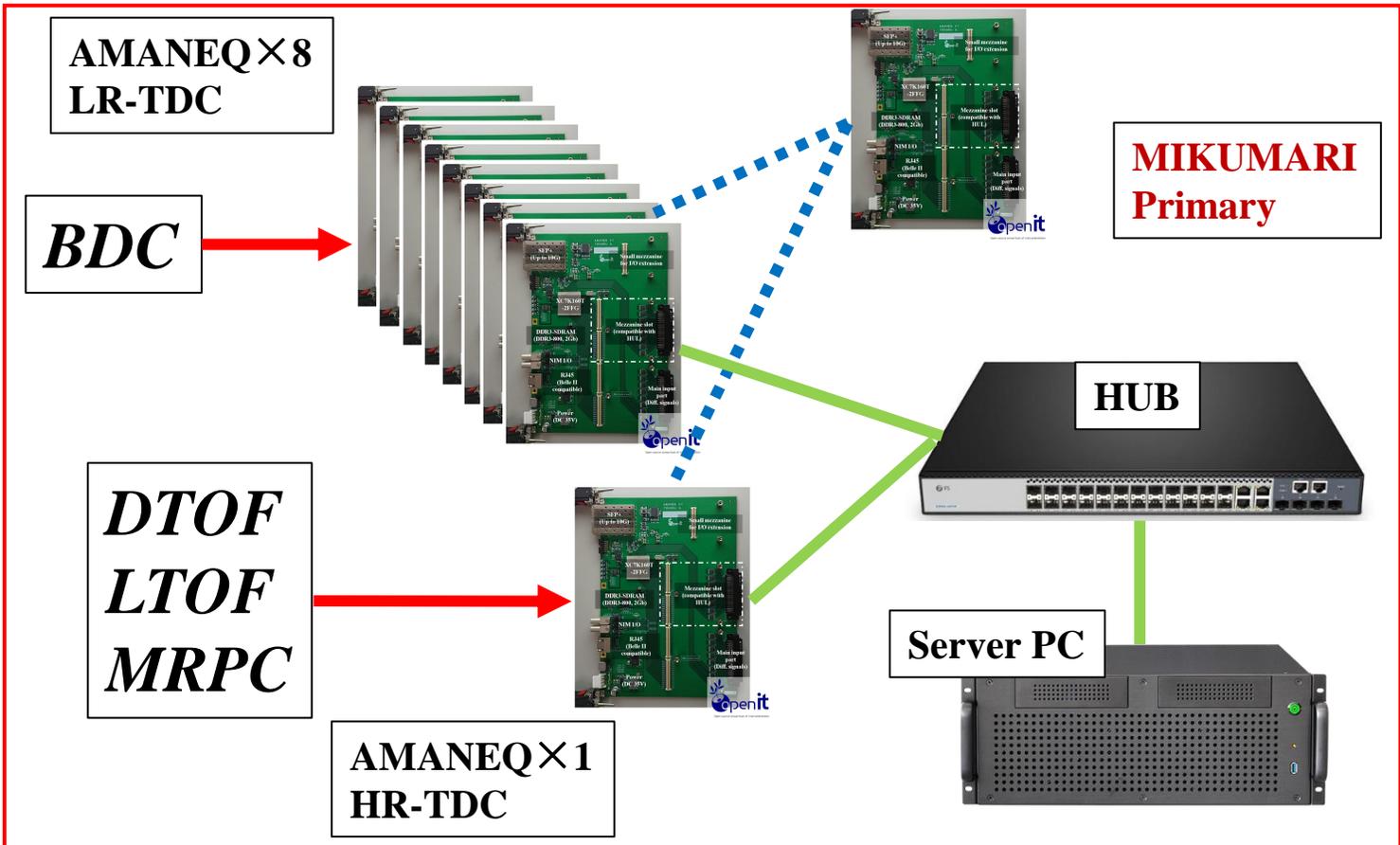


- 下流部DAQセット + 上流部DAQセットの2系統の構成
  - 3 VME crates + 1 NIM-BINで構成
- MIKUMARI FanOutによる20台のAMANEQモジュールの同期

# DAQ構成



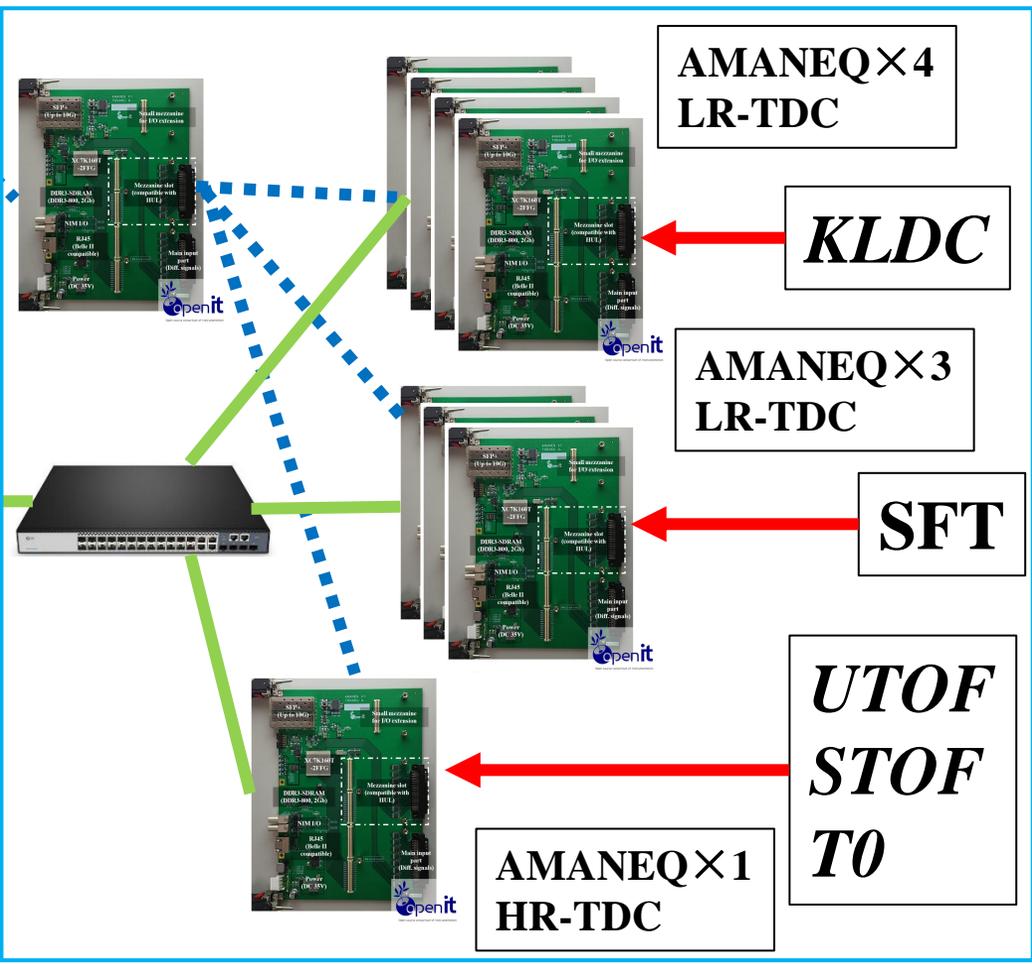
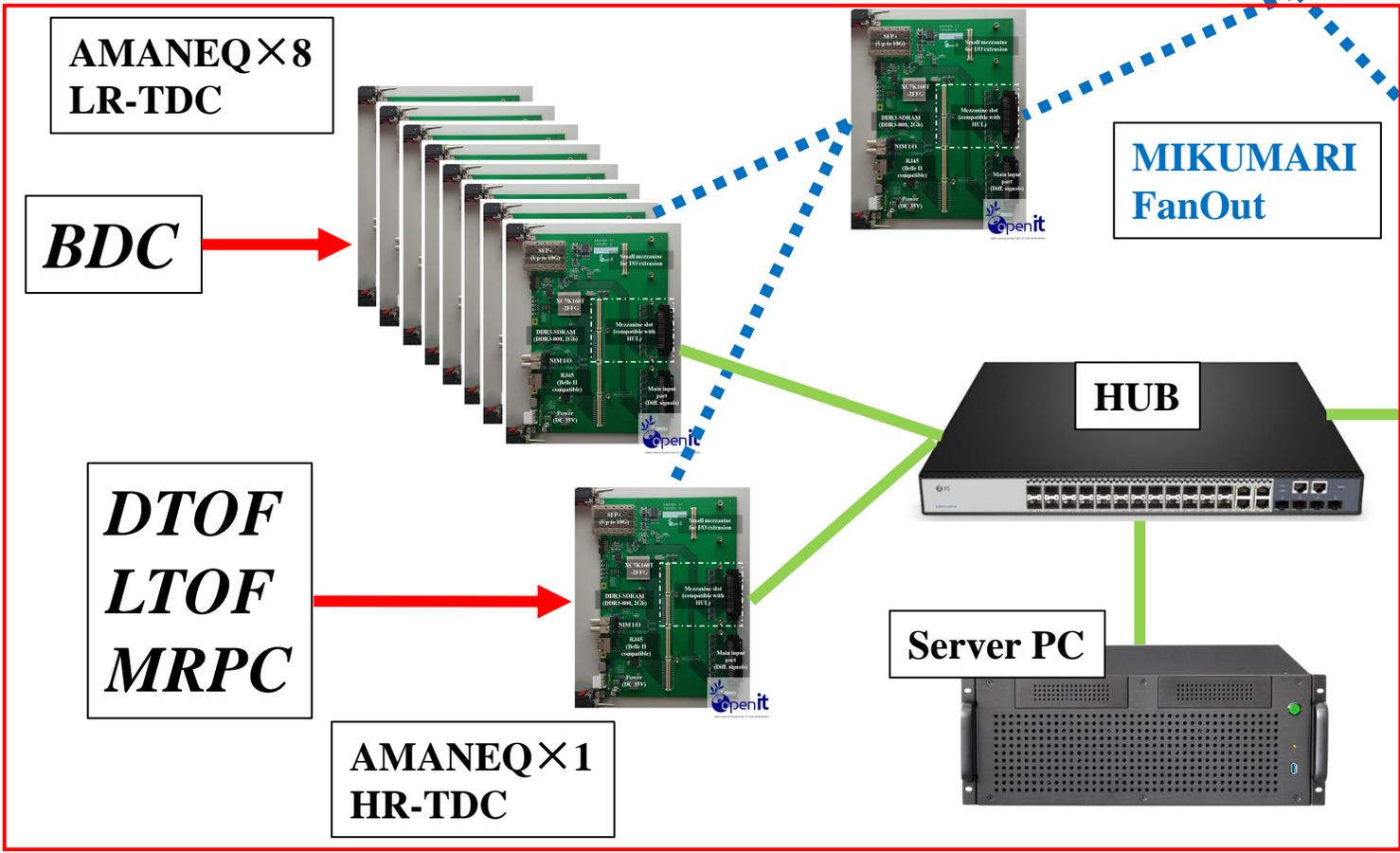
- \* DC: ASD(GNA-200) ⇒ LR-TDC
- \* SFT: NIM-EASIROC ⇒ LR-TDC
- \* タイミング検出器: ディスクリ ⇒ HR-TDC



- 下流部DAQセット + 上流部DAQセットの2系統の構成
  - 3 VME crates + 1 NIM-BINで構成
- MIKUMARI FanOutによる20台のAMANEQモジュールの同期

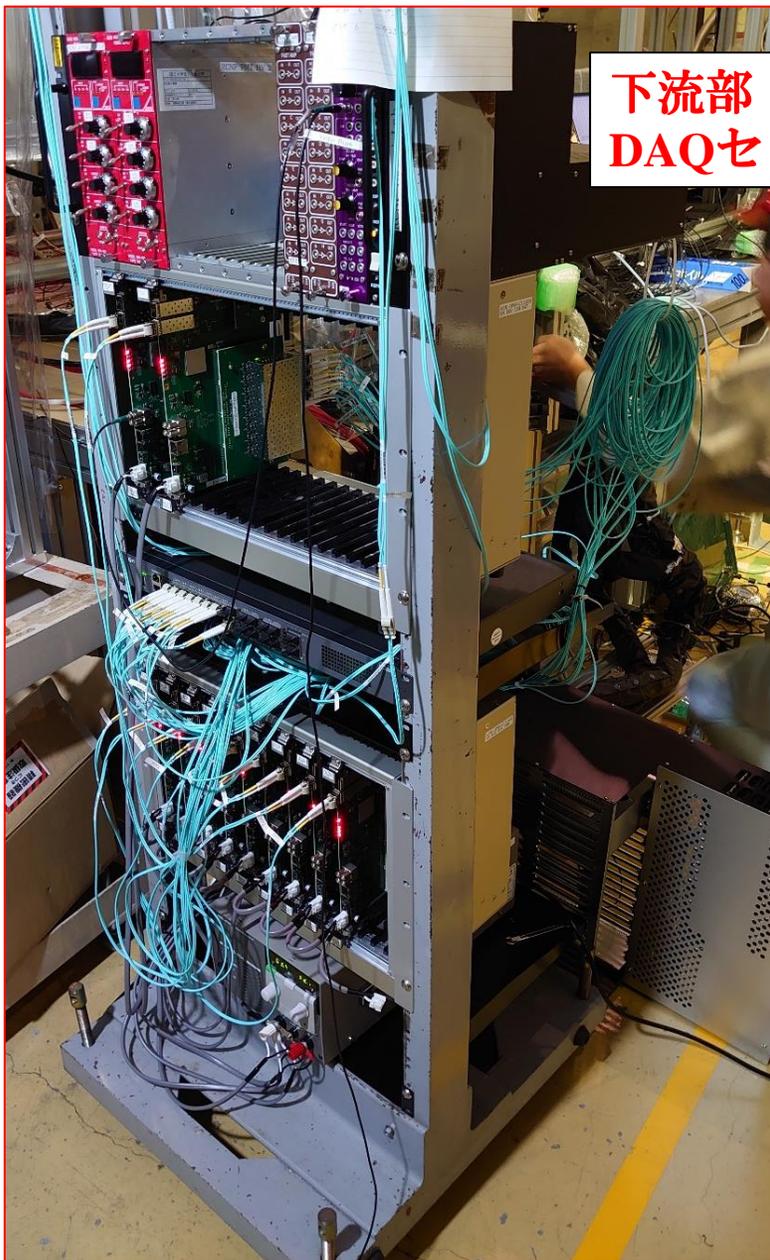
# DAQ構成

\* DC: ASD(GNA-200) ⇒ LR-TDC  
 \* SFT: NIM-EASIROC ⇒ LR-TDC  
 \* タイミング検出器: ディスクリ ⇒ HR-TDC



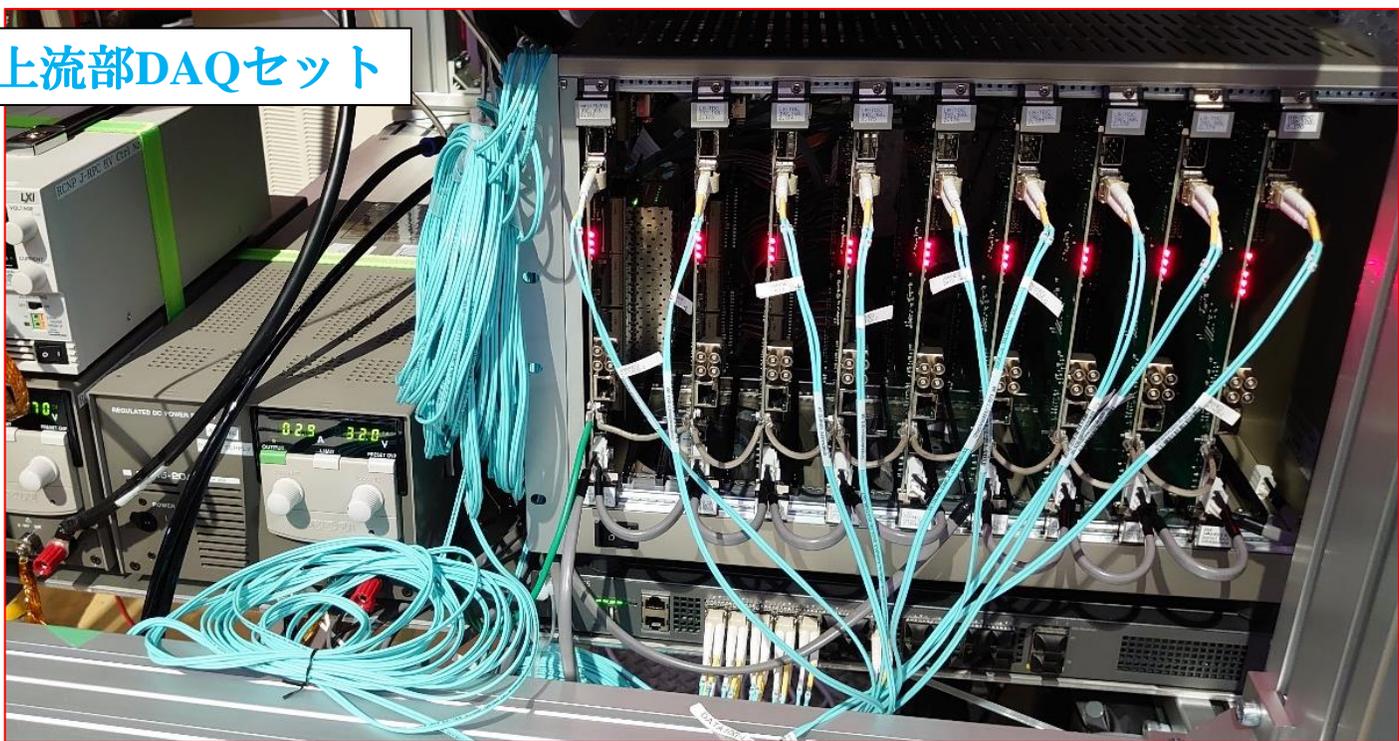
- 下流部DAQセット + 上流部DAQセットの2系統の構成
  - 3 VME crates + 1 NIM-BINで構成
- MIKUMARI FanOutによる20台のAMANEQモジュールの同期

# 構築したDAQ



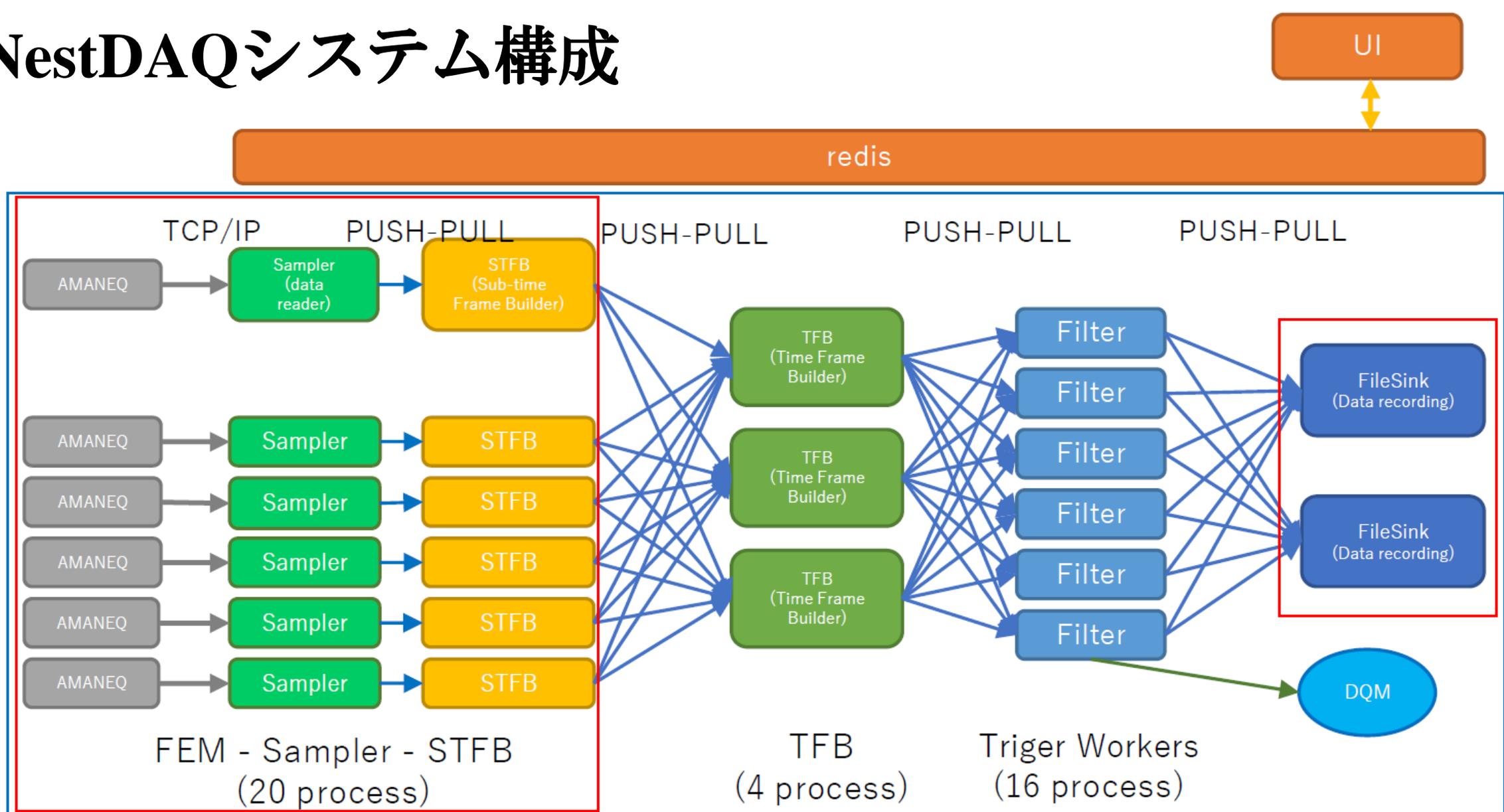
下流部  
DAQセット

上流部DAQセット



- 検出器
    - BDC: 900 ch + KLDC: 512 ch
    - SFT: 384 ch
    - TOF, MRPC, タイミング検出器: 62 ch
  - DAQ: AMANEQ × 20 (Streaming TDC × 17 + MIKUMARI × 3)
    - LR-TDC AMANEQ × 15
    - HR-TDC AMANEQ × 2
    - MIKUMARI Primary × 1 + Fanout × 2
  - データ取得用PCサーバー × 1
- ⇒ 標準的な原子核実験規模 (コンパクトなサイズで達成)

# NestDAQシステム構成



- **フィルタリング無し:** Sampler → STFB → FileSink × 20 プロセス
- **フィルタリング有り:** UTOF × DTOF coincidence (20 ns time window)

# データ取得コンディション

- **Time-Over-Threshold (TOT)フィルター for DC**

- AMANEQによるハードウェアフィルタ  
⇒ **TOT > 50 nsのみ取得**
- DCノイズやクロストーク事象の除去

- **Free streaming data: フィルタリング無し**

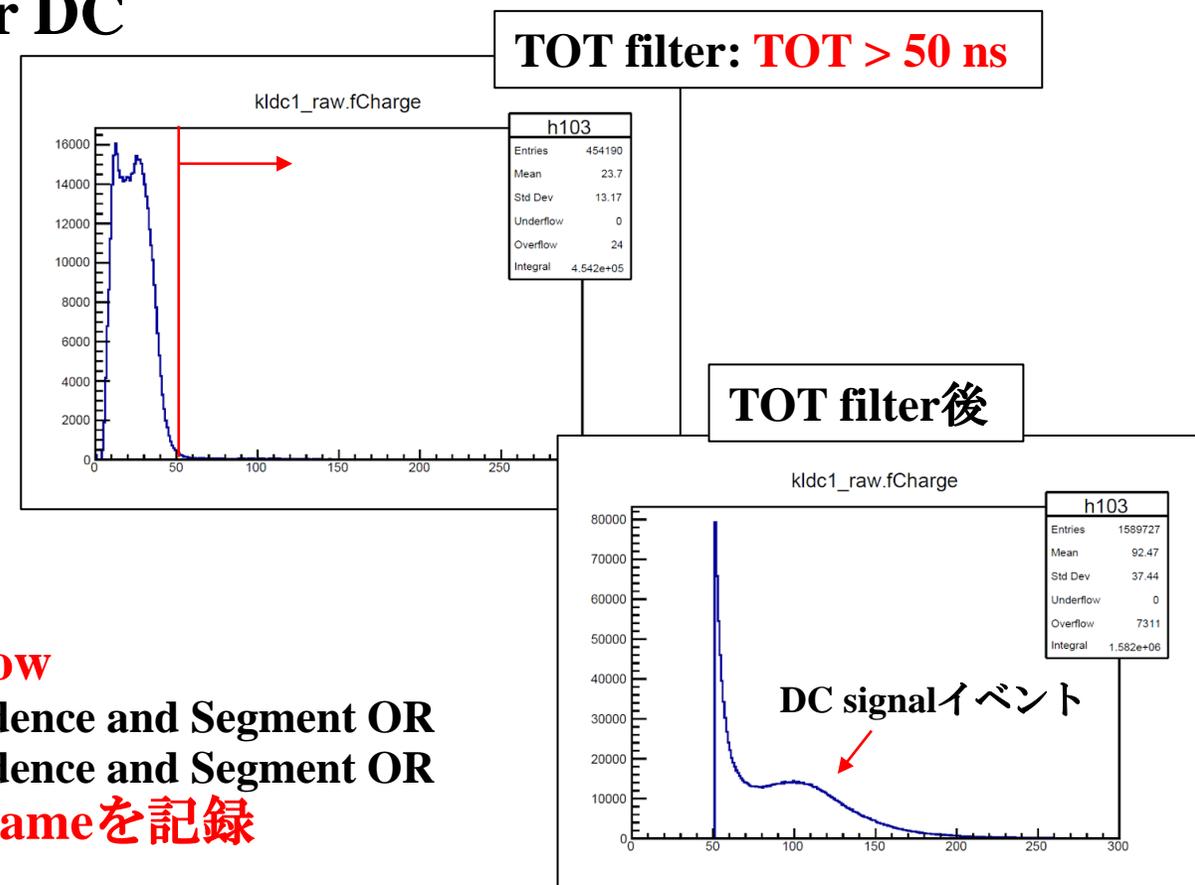
- HDDのIOキャッシュが効く間のみ取得可能
  - Several Gbpsのデータフロー
- ~10 spill程度のデータは取得

- **Beam TOFコインシデンフィルター**

- **UTOF × DTOFコインシデン: 20 ns time window**
  - UTOF: 2 segments w/ L&R readout ⇒ L&R coincidence and Segment OR
  - DTOF: 3 segments w/ L&R readout ⇒ L&R coincidence and Segment OR
- ⇒ **UTOF × DTOF コインシデンスがあるtime frameを記録**

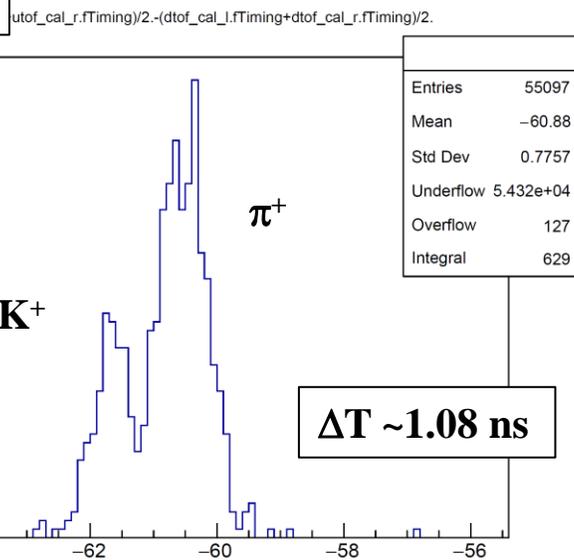
- **\* Beam TOFコインシデンフィルターで~600 spill(~1時間)のデータを安定状態で取得**

- DAQパフォーマンス評価
- フィルターの開発(TOFカット, 飛跡検出等): リプレーヤーを使用しての評価

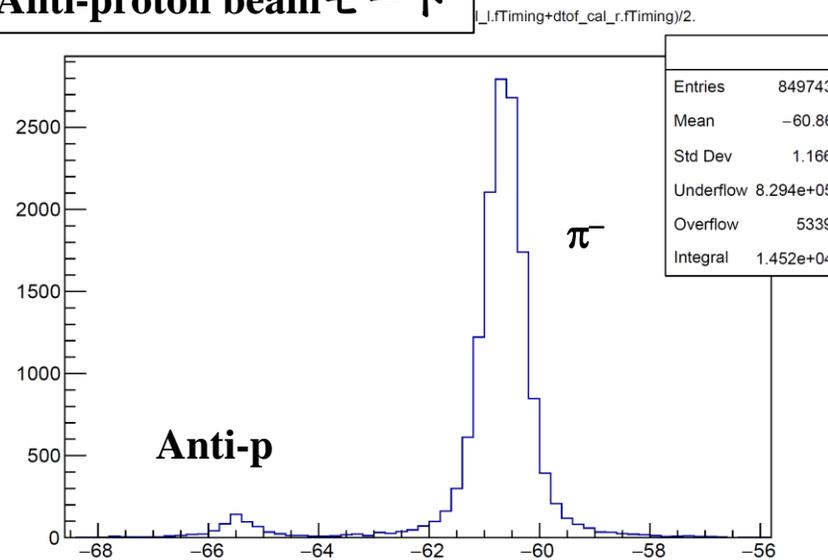


# Beam TOF測定データのヒストグラム

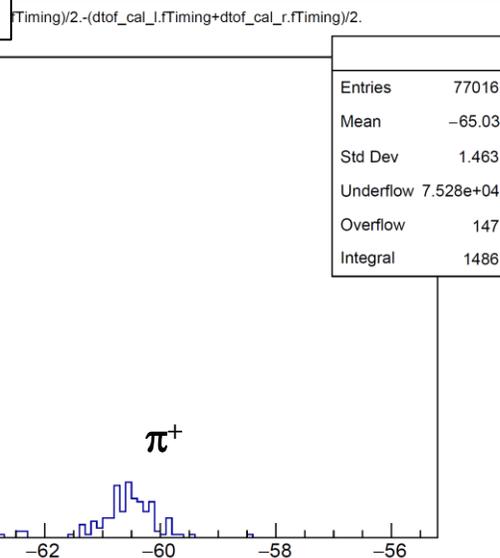
## K<sup>+</sup> beamモード



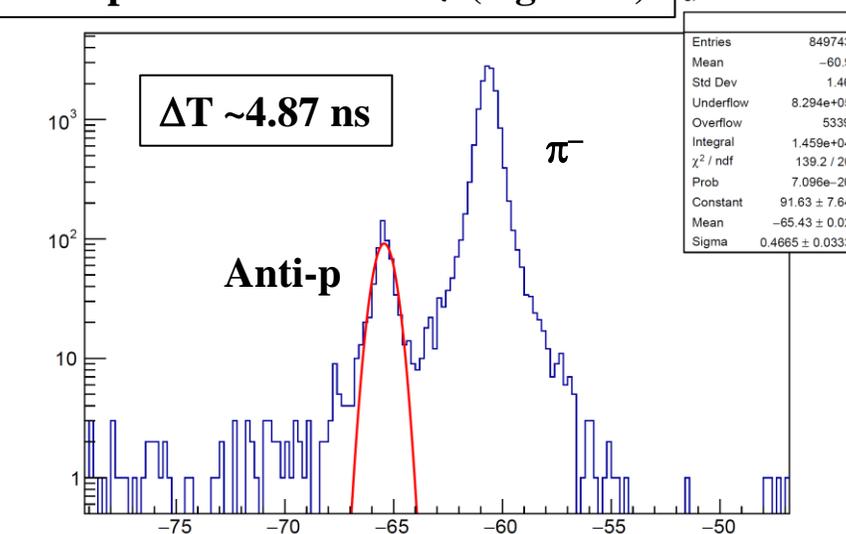
## Anti-proton beamモード



## Proton beamモード



## Anti-proton beamモード (log scale)



\* 即時オフライン解析

- 0.1~0.5 spill程度

\* Beam条件

- 運動量: 1 GeV/c
- 飛程: ~2.6 m
  - 8.67 ns for  $\beta=1$

• K<sup>+</sup> beamモード

- K/ $\pi$  ~ 1/3

• p beamモード

- pがドミナント
- バックグラウンドの $\pi^+$ が見える

• Anti-p beamモード

- Anti-pが上流検出器でdegradeされている

\* フィルタリングでの選別  
とイベント同期の確認

# FEEとNestDAQへの実装とTo do(＊)

- FEE: AMANEQ & MIKUMARI system

- Time-Over-Threshold(TOT)測定レンジ: 4000 ns
- 全発振対策のためのThrottling機能の実装

- **MIKUMARI FanOutの実装**

- ＊ Trigger emulation modeの実装 ⇒ テスト未実施

- Trigger信号を入力 + 2  $\mu$ secのbufferを利用

- ＊ SiTCP 10Gのバグ(?)の発見 ⇒ 調査中

- NestDAQ

- **20台のstreaming TDCの読み出しを安定的に遂行**

- Data flow: ~180 MB/s (~1.4 Gbps) (5.2秒サイクルの平均)

- ⇒ **ビーム取り出し時: ~240 MB/s (~1.9 Gbps)** (ほぼ HDD の書き込みの最大速度)

- **Filterの実装**: Look up table (LUT)による自由度の高い組み合わせ

- Data quality monitor (DQM)ポートからのオンラインディスプレイの実装

- ＊ 達成できなかった事

- ⇒ **TOF/ヒットパターンカットなど高度なfilterの実装, SlowDashの導入, スケーラー情報の取得(TDCと独立した情報として), UIの改良**

- 今後ソフトウェアパッケージのアップデートとインストールを進める

# トリガーDAQとの差異 (ユーザー的目線)

## • ノイズの影響

### • 大きくenhanceされて見えた

\* トリガーでは勝手にフィルターされている

• DCノイズ: 1~10 kHz/ch (ToTフィルターが必須)

### • Streaming DAQだと全データを取ることになる

• データ転送を圧迫する

• ノイズではない正しい信号(dark currentなど)も全部取得

## • 発振対策

### • Throttling機能は必須

• GNA-200(32 ch ver.)のクロストーク事象

### • どうデータが処理されたかの把握 (efficiencyの評価)

• HBF(時刻)が必ずあれば原理的に分かるが評価は必要

## • Event buildの必要性 (解析方法の選定)

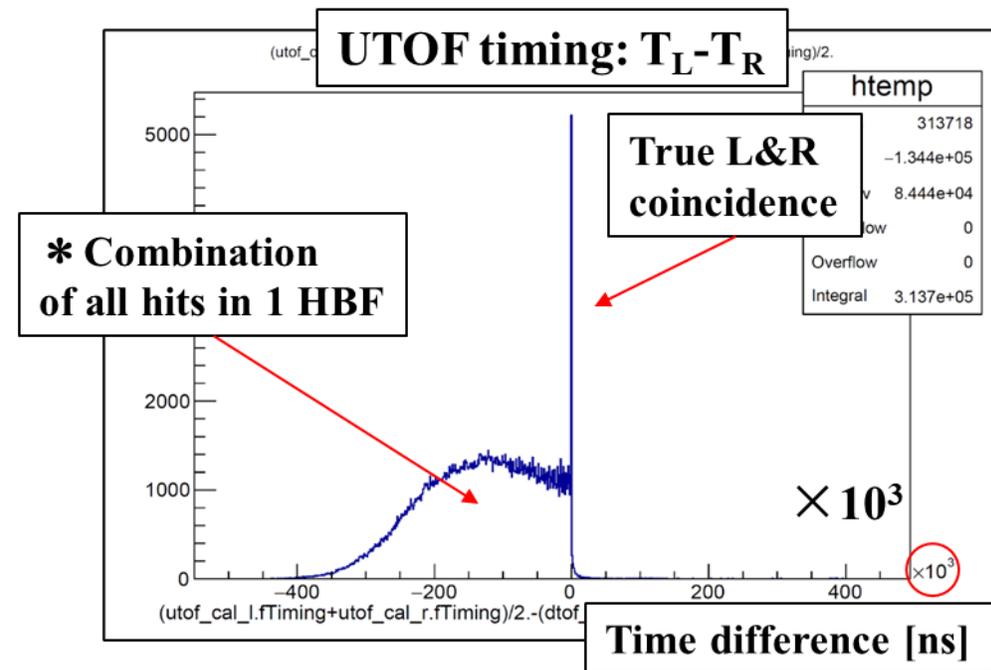
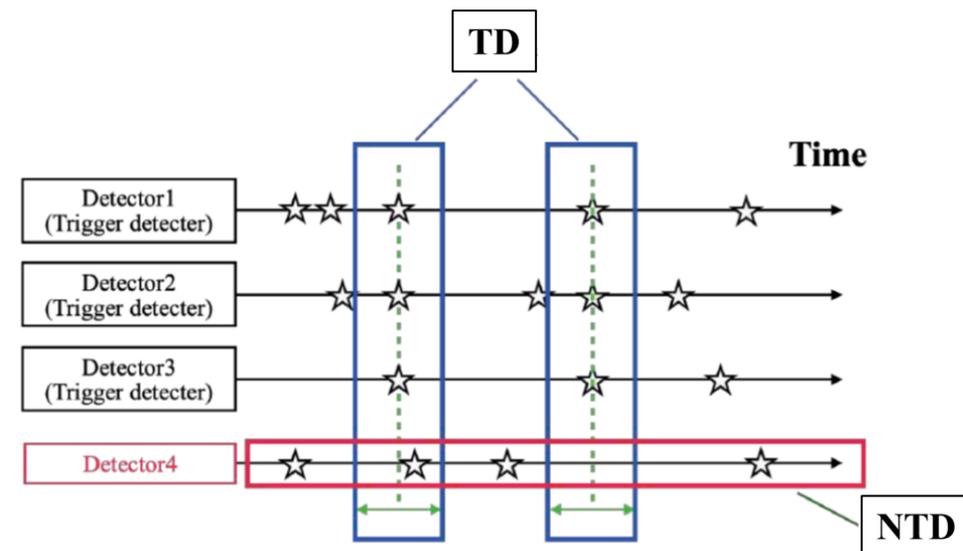
### \* 1 HBF(525 $\mu$ sec.) $\Rightarrow$ 1 eventとして解析

• データ内容(同期)がパッと見で分からない

• ヒットパターンが見えない(ノイズがenhanceされる)

• リアルタイムのデータヒストグラム確認

• 高度なフィルタリング



# Summary and to do

- 2023年6月ビームタイム: E50テストベンチのスタート
  - 実際のハドロンビーム + E50検出器を使用してのStreaming DAQテスト  
⇒ 実際のビーム環境と検出器セットアップで実践的なテストが行えた
  - E50検出器の評価用データの取得
- To do
  - Streaming DAQの性能評価
    - ハードウェアとソフトウェアアップデートへのフィードバック
  - E50検出器の評価
    - 各種検出器の検出効率, 時間/位置分解能等の評価
  - Streaming DAQや読み出し回路のアップデート
    - NestDAQのソフトウェアアップデート
    - ドリフトチェンバーへのASAGI ASDカードの導入
    - シンチレーションファイバー検出器へのCIRASAMEの導入
- 次回ビームタイム ⇒ スケジュールは未定 (年度末/来年度初め以降?)
  - 本格的な評価試験
  - 物理データの取得 (K<sup>-</sup>ビーム反応:  $\Lambda \rightarrow p \pi^-$ ,  $K_s \rightarrow \pi^+ \pi^-$ ,  $K^- \rightarrow \pi^- \pi^- \pi^+$ など)
  - (SPADI-Aでの共用: テストベンチを利用しての検出器/FEE/DAQ/Softwareの評価)