

KamLAND における新型 デッドタイムフリーデータ 収集回路 MoGURA の 開発状況報告

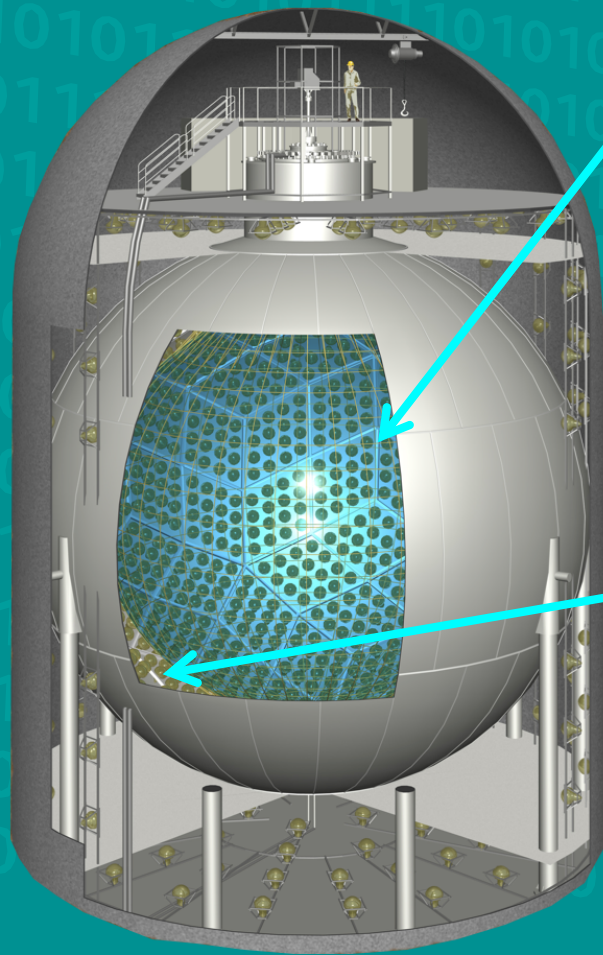
16th ICEPP Symposium

東北大学RCNS

吉田学立

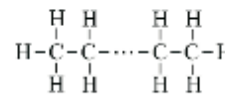


KamLAND

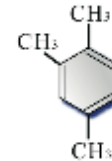


液体シンチレータ 1000トン

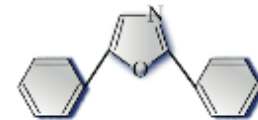
- ・ 世界最高水準の低バックグラウンド環境
- ・ 高い透明度、発光量



ドデカン
C₁₂H₂₆
80%



プソイドクメン
1,2,4トリメチルベンゼン
20%



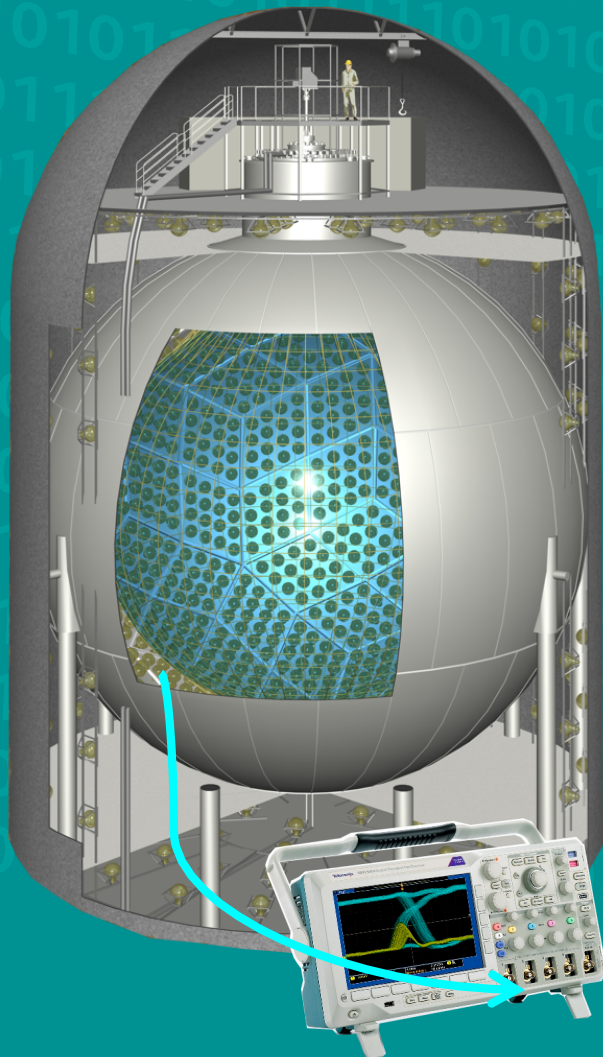
PPO
2,5ジフェニルオキサゾール
1.36g/l

17inch光電子増倍管(PMT) 1325本

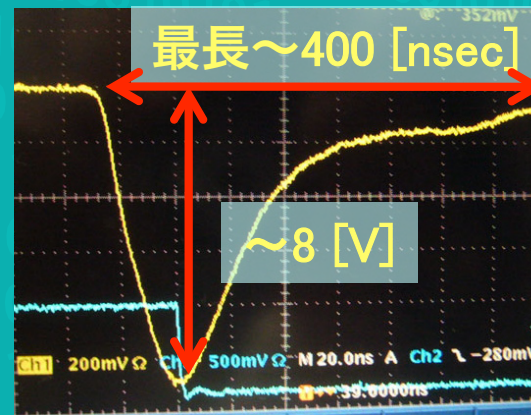
- ・ 時間分解能 ~ 1.5 nsec
 - ・ 量子効率 ~20%
(340~400nm)
- 1MeV あたり約500p.e.



KamLAND PMT信号波形

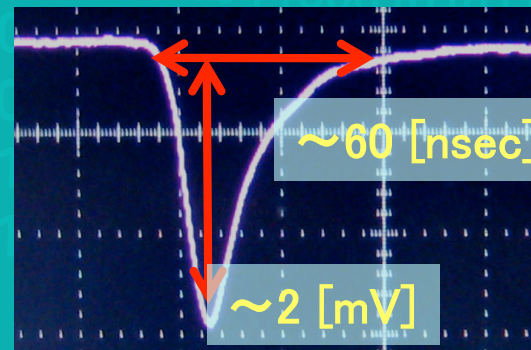


ミューオン信号



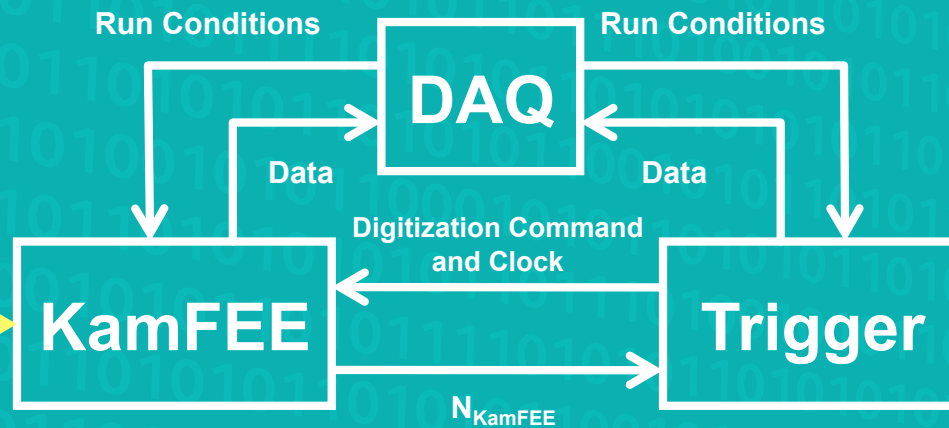
Muon type	rate [Hz]
showering	~0.02
non-showering	~0.3

1 p.e. 信号



	rate [Hz]
Dark	~80k
Trigger	~70

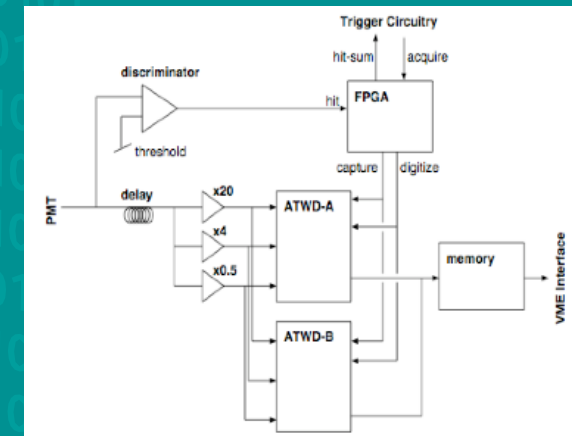
既存回路 KamFEE



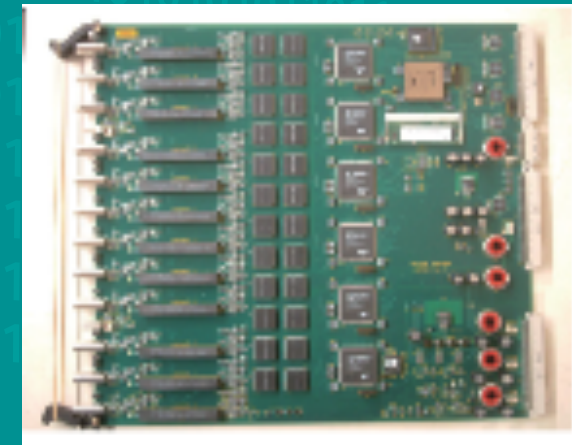
- ディスクリミネータによるHit判定
- トリガ回路からの信号取得(デジタル化)命令
- ATWDによるデジタル変換
- VME Interfaceへのデータ転送

KamLAND Front-End Electronics の特徴

- 1p.e. を精度良く記録できる分解能
- 最大25000倍のダイナミックレンジ
→ $\times 0.5$, $\times 4$, $\times 20$ の3ゲイン
- デイレイ、キャパシタアレイによる波形保持
- GPSとの時間同期(絶対時間計測)



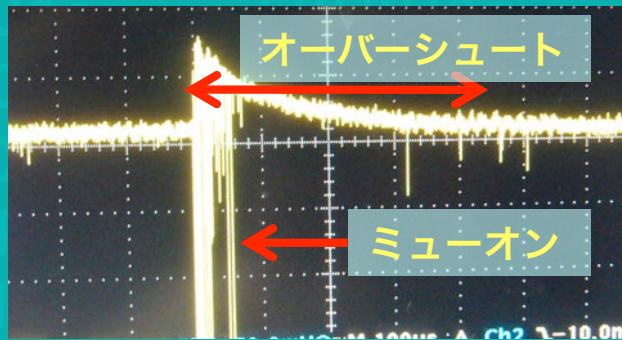
信号処理ダイアグラム



FEE回路基板

既存回路の問題点

1. ミューオン通過後のオーバーシュートによって直後の信号が取得できない



約 1 msec の間ベースラインが上昇
約 0.5 msec の時定数で指数関数的に下降



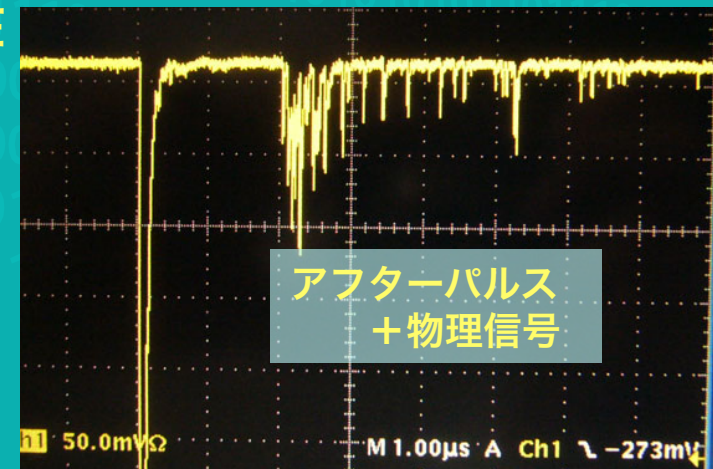
有効な物理イベントが閾値を超えられない

2. データを取得できないデッドタイムの存在

既存回路での信号デジタル化 (ATWD×2)
連続2信号までは取得可能 変換時間 ~各30μsec



アフターパルス(約40μsec 続く)などのハイ
レートの信号には対応できない



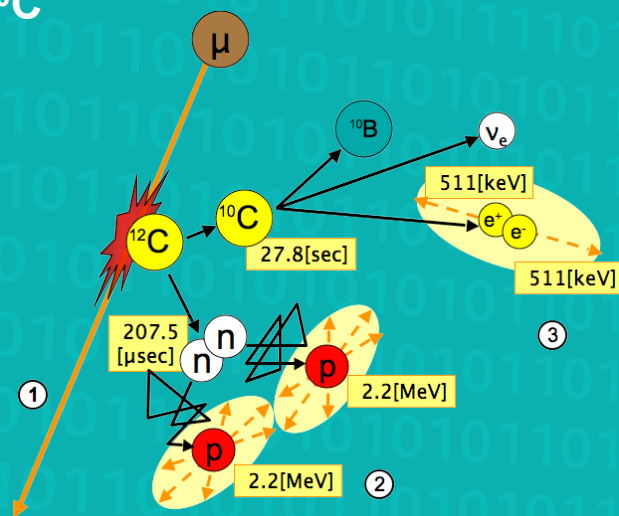
デッドタイムフリーの実現

デッドタイムフリーの実現 = 全物理イベントの取得

→ バックグラウンドのタギング

タギング (タグ付けによるバックグラウンドの除去)

例) ^{10}C

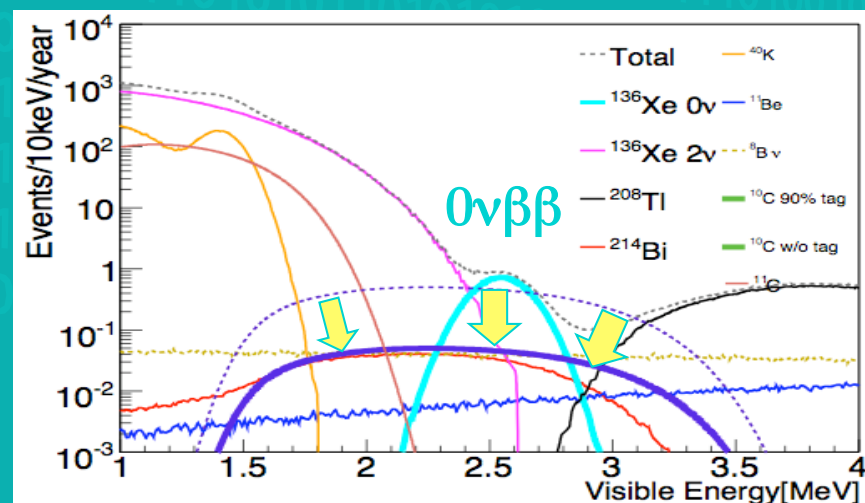


- ① 宇宙線ミュオン
- ② 炭素破碎由来の中性子捕獲
- ③ ^{10}C の崩壊

3事象の遅延同時計測

^{136}Xe $0\nu\beta\beta$

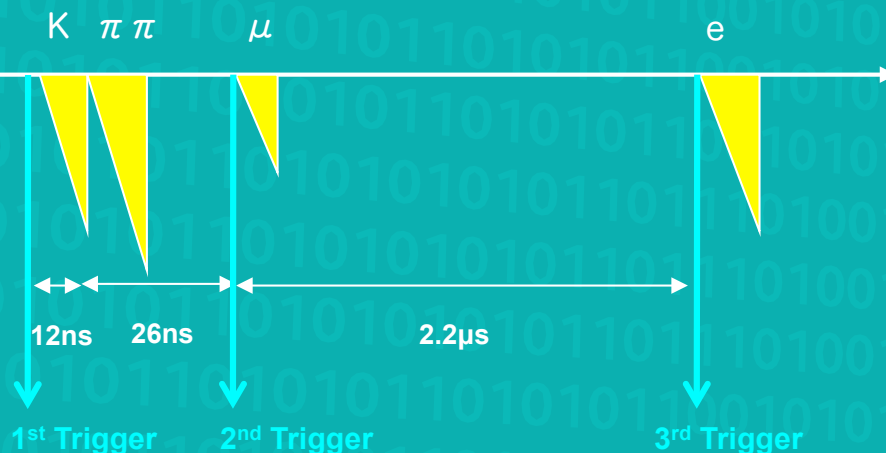
^{136}Xe ニュートリノレス二重ベータ崩壊の2.47MeVのピークが ^{10}C タギングによって観測可能となる



デッドタイムフリーの実現

陽子崩壊

短い時間で連続的に起こる崩壊

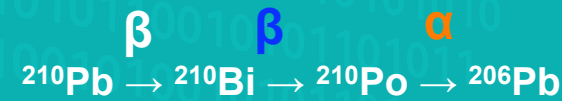


既存回路では、
デッドタイムにより取得できない

PSDによる粒子分別

Pulse Shape Discrimination = 信号の形による識別

アルファ線
ベータ線・ガンマ線 } 識別可能! ?

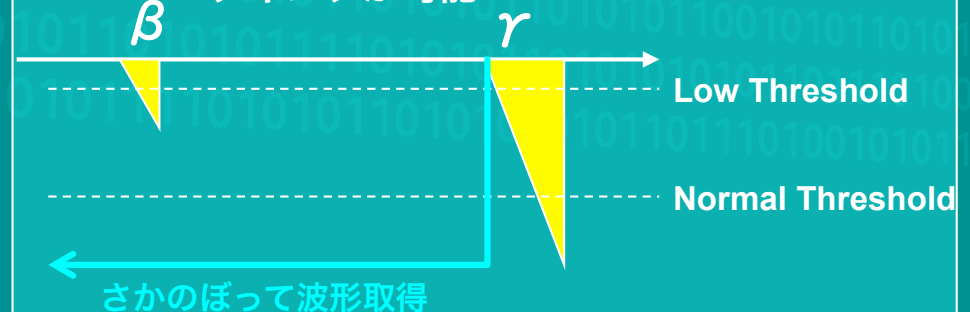


→ アルファ線を伴う崩壊のタギング

ロールバックトリガー

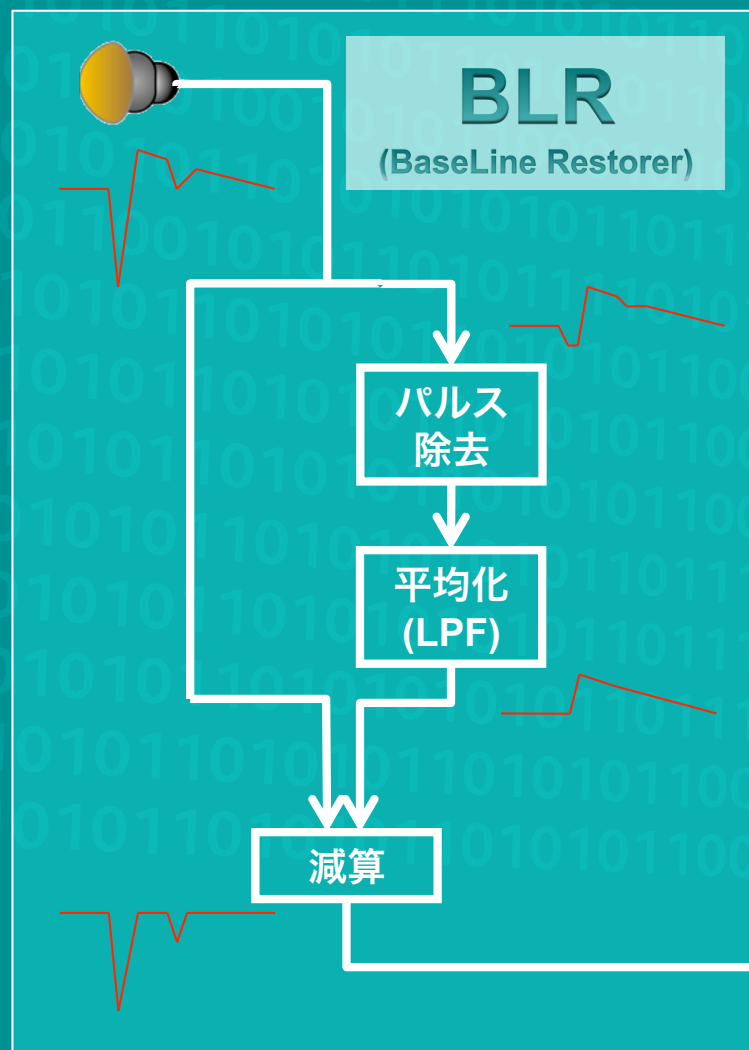


崩壊過程で閾値を超えないイベントの取得
→ タギングが可能

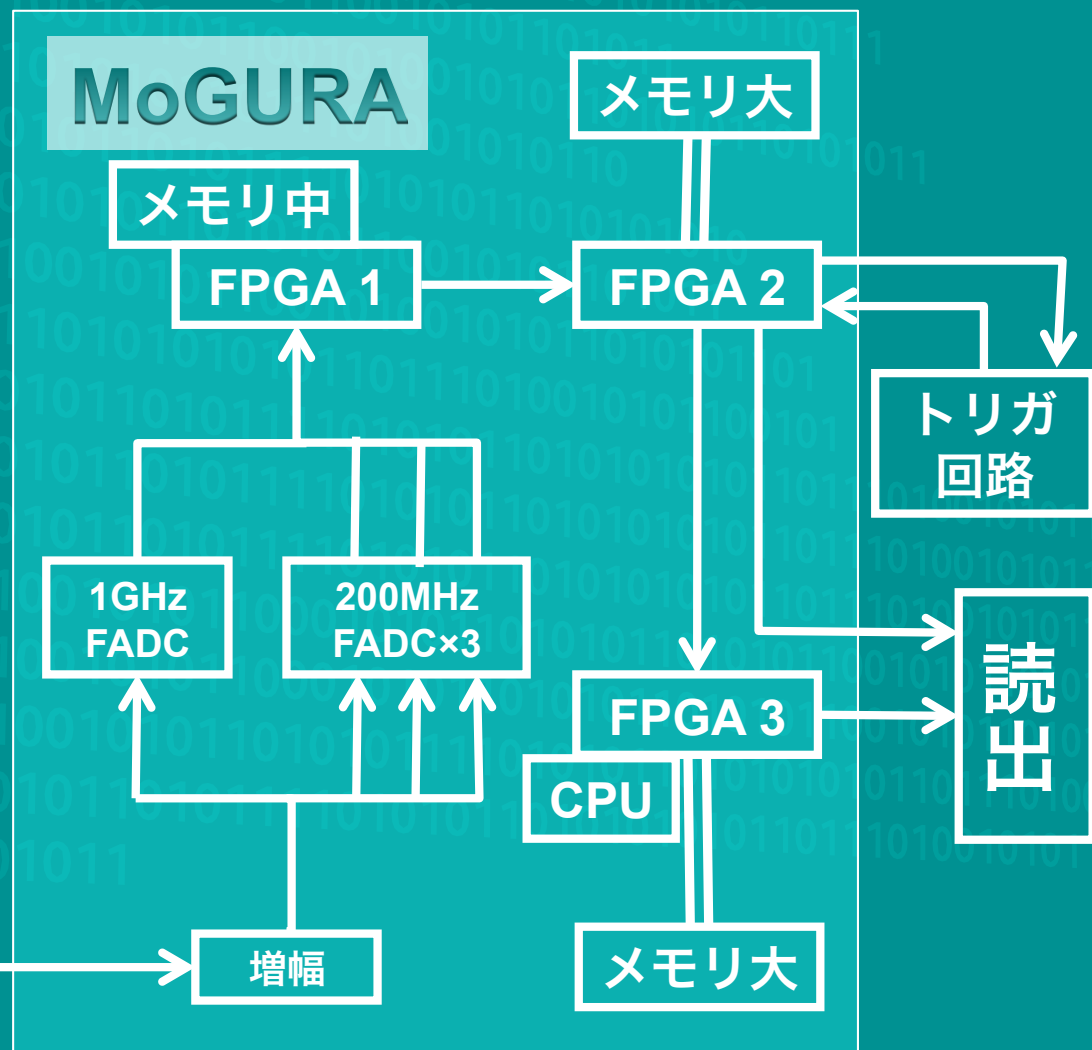


新型回路デザイン

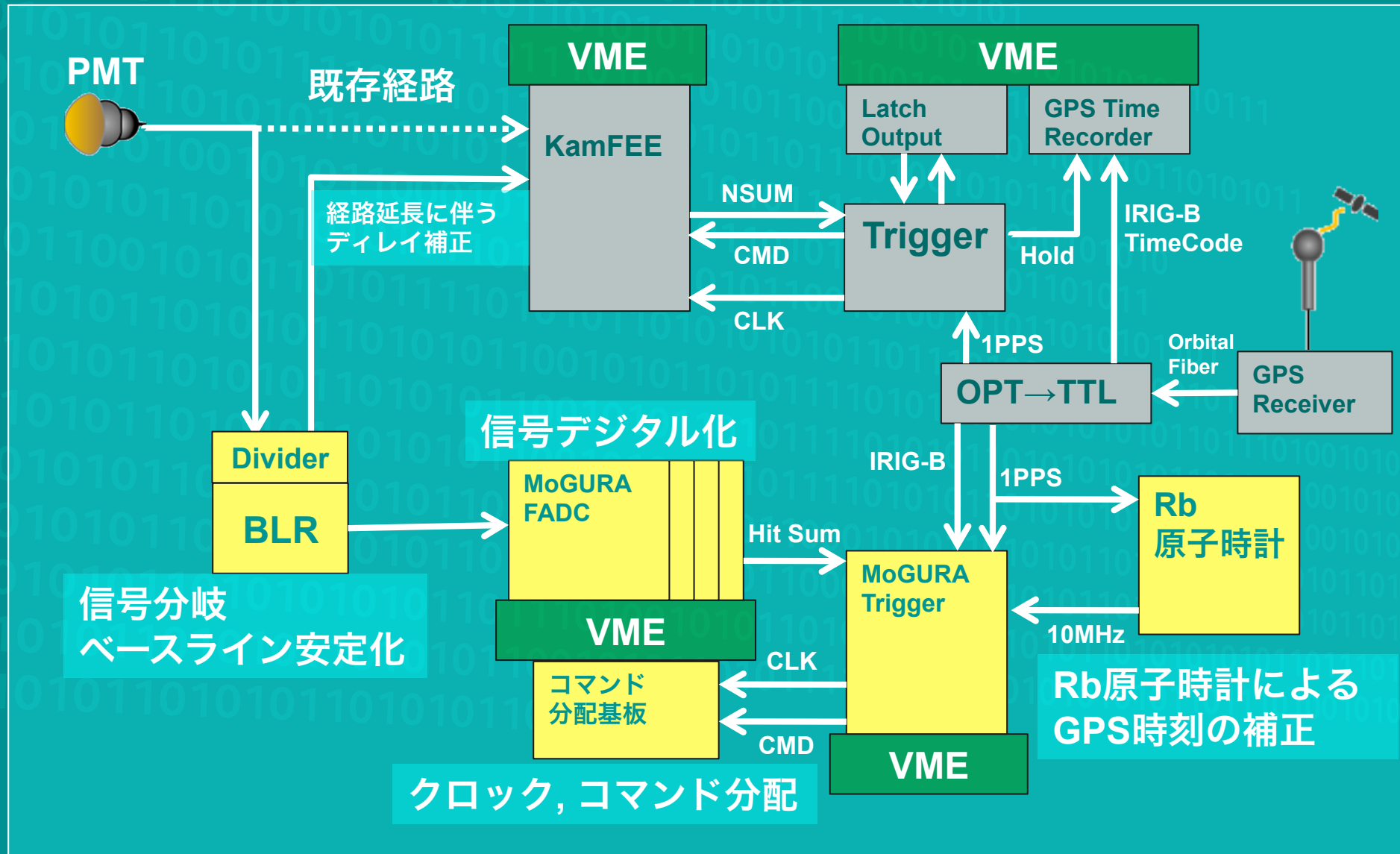
1. ベースライン安定化回路



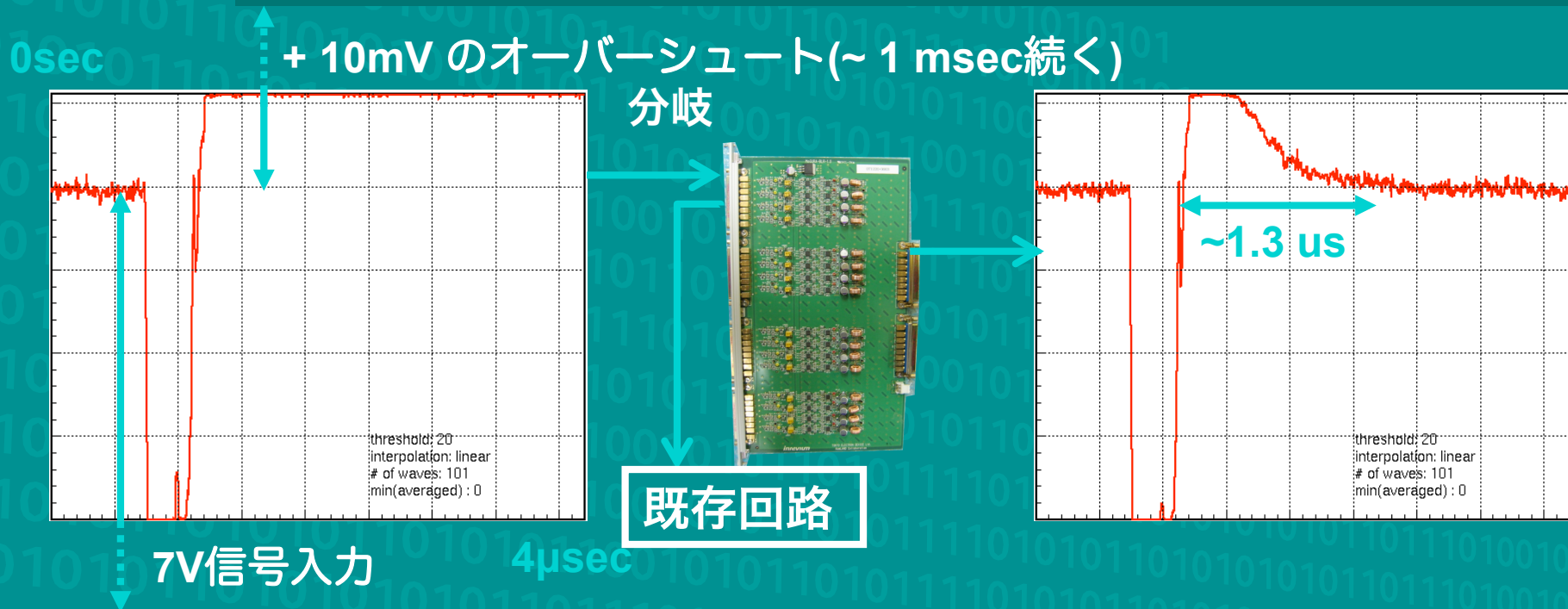
2. デッドタイムフリーデータ収集回路



KamLAND 新システム構成

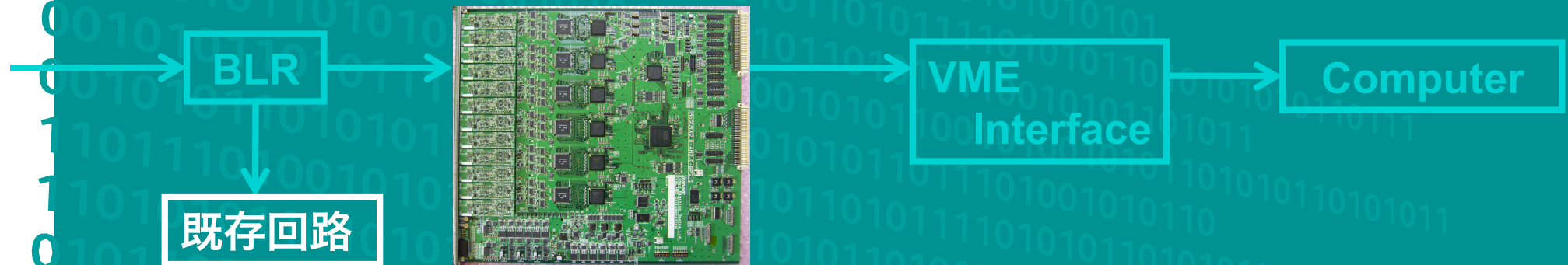


BLR (BaseLine Restorer)



- 16ch入力→32ch出力(既存回路用前面16chと新型回路用背面16ch)
- 既存回路用出力は、BLR導入前と同一信号出力
 - ※ただし、延長ケーブル分のディレイ(解析時にディレイテーブル適用)
- 16ch × 90枚 = 1440ch (17inch PMT用)
- 十分なオーバーシュート回復特性
 - ※オーバーシュート回復中は、強制的に波形記録
- 信号の増幅 (~ 1.4倍)

MoGURA (Module for General-Use Rapid Application)



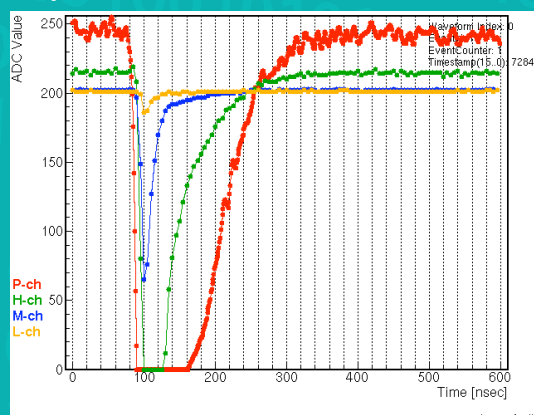
- ・ 前面12ch入力 (6 VME crate × 19 boards × 12 ch = 1368ch)
- ・ 1GHz、200MHzの高速8bitADC
- ・ 4ゲインによる最適幅での波形取得
- ・ FPGAによる信号処理、高い拡張性
- ・ 10μsecまで記録可能な一時バッファ
- ・ **ゼロサプレッション**によるデータ圧縮
- ・ 緊急時の超データ圧縮(積分値モードと時間情報モード)
- ・ 64MBの大容量SDRAM

Gain Ch	P	H	M	L
ADC	1GHz 8bit	200MHz 8bit		
range	+5~-20mV	+25~-100mV	+250m~-1V	+2.5~-10V
resolution	0.1mV	0.5mV	5mV	50mV

ゼロサプレッション と 緊急データ圧縮

ゼロサプレッション { 必要ゲインのみの取得 (飽和ゲインの破棄)
波形開始・終了閾値による信号部分のみの取得

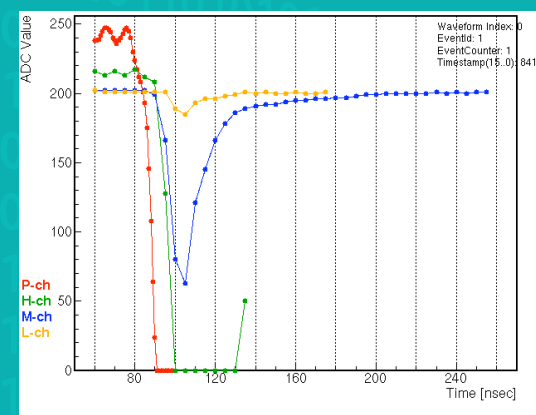
ex) 700mV高の信号の取得波形



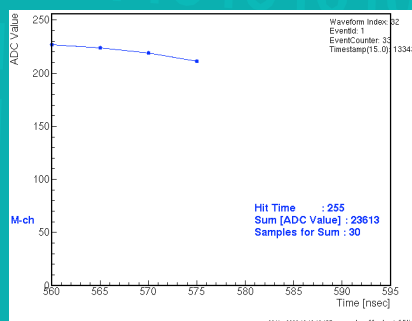
640byte

140byte

有効な情報のみ保持



緊急時



積分値モード

- ・ 時間情報
- ・ 電荷情報(積分値)
- ・ 信号立ち上がり4点

16byte

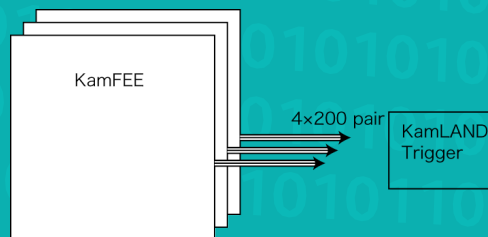
更なる緊急時 (Buffer飽和)

エラーモード

- ・ 時間情報
のみをコントロールパス
経由で記録

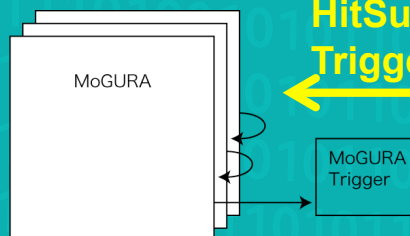
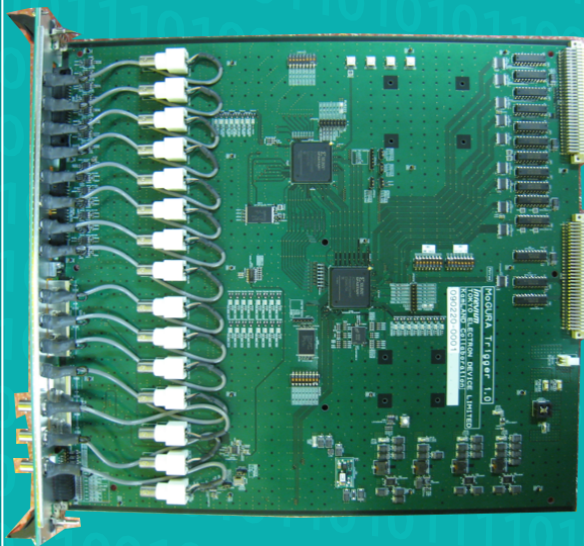
トリガーシステムの改良

既存トリガー回路



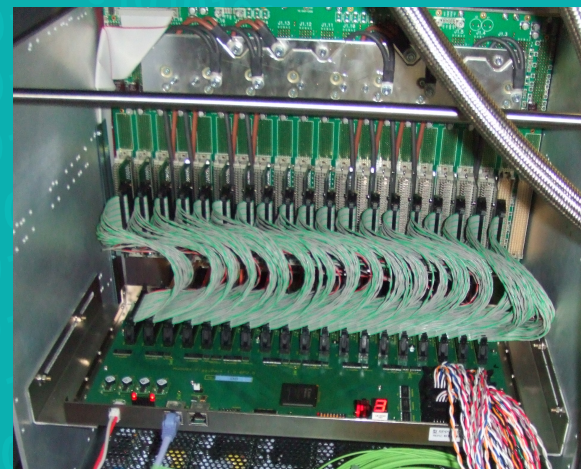
- 大量の配線が必要
(4bit × 200入力)
- VME 約20U を占有

新型トリガーボード



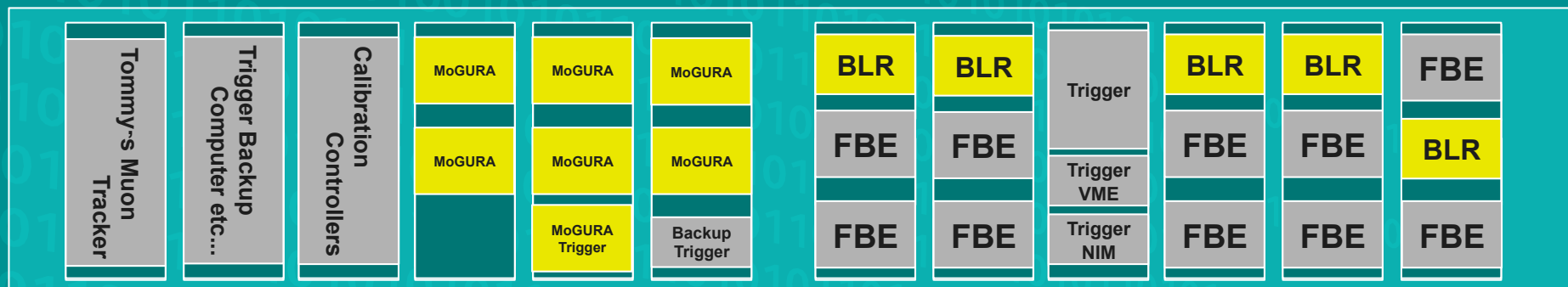
- デイジーチェーンでHitSumをカウント
(12bit × 1 入力)
- VME 9U を 2 slotのみ占有

コマンド分配基板

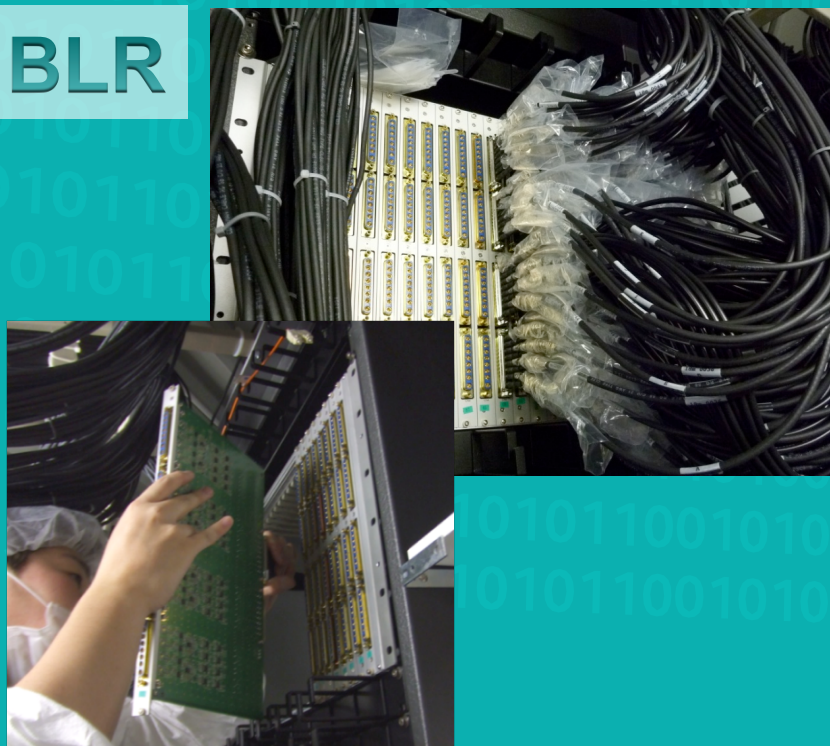


HitSumをデジーチェーン接続
Trigger/Hit情報の入出力分配

インストール (2009年9月)



BLR

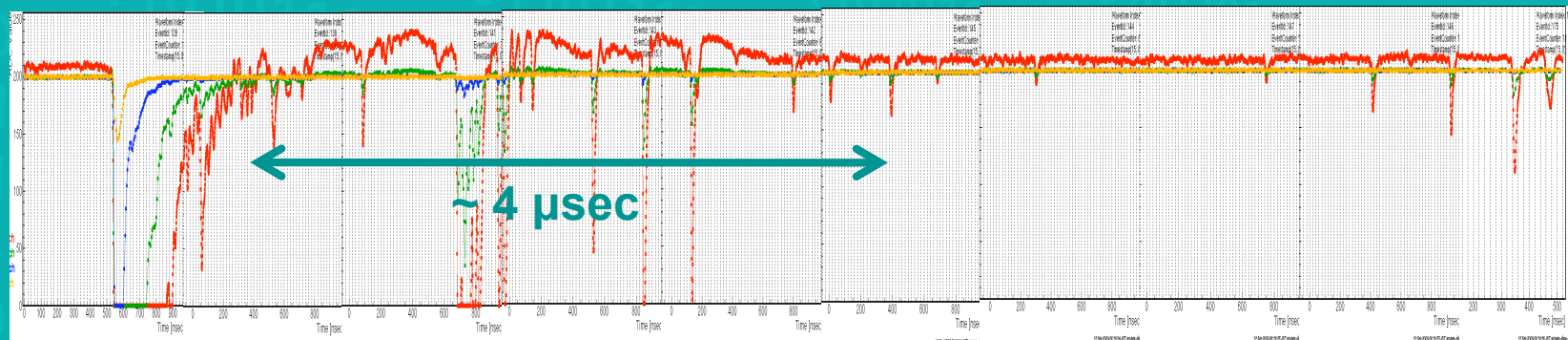


MoGURA



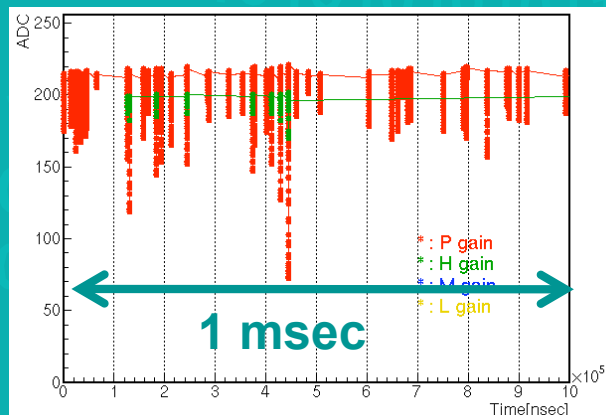
BLR & MoGURA 性能評価

ミュオン信号(〜3V)によるオーバーシュート回復 (10 μ sec)

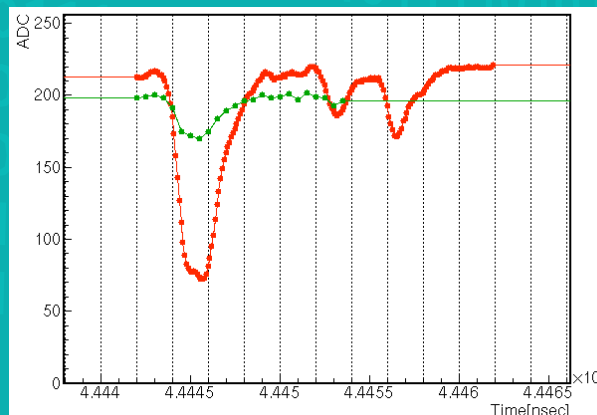


アフターパルスによって、ベースラインまで完全に戻るには約 4 μ sec必要
→ ミュオン後の強制波形記録区間(〜最大10 μ sec)で対応可能

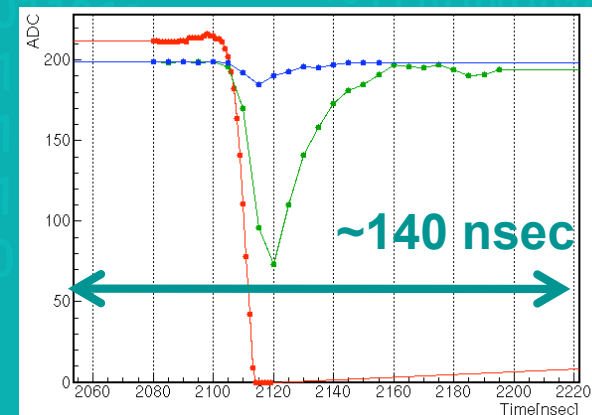
MoGURAによる連続波形記録



Single Rate ~ 40 kHz

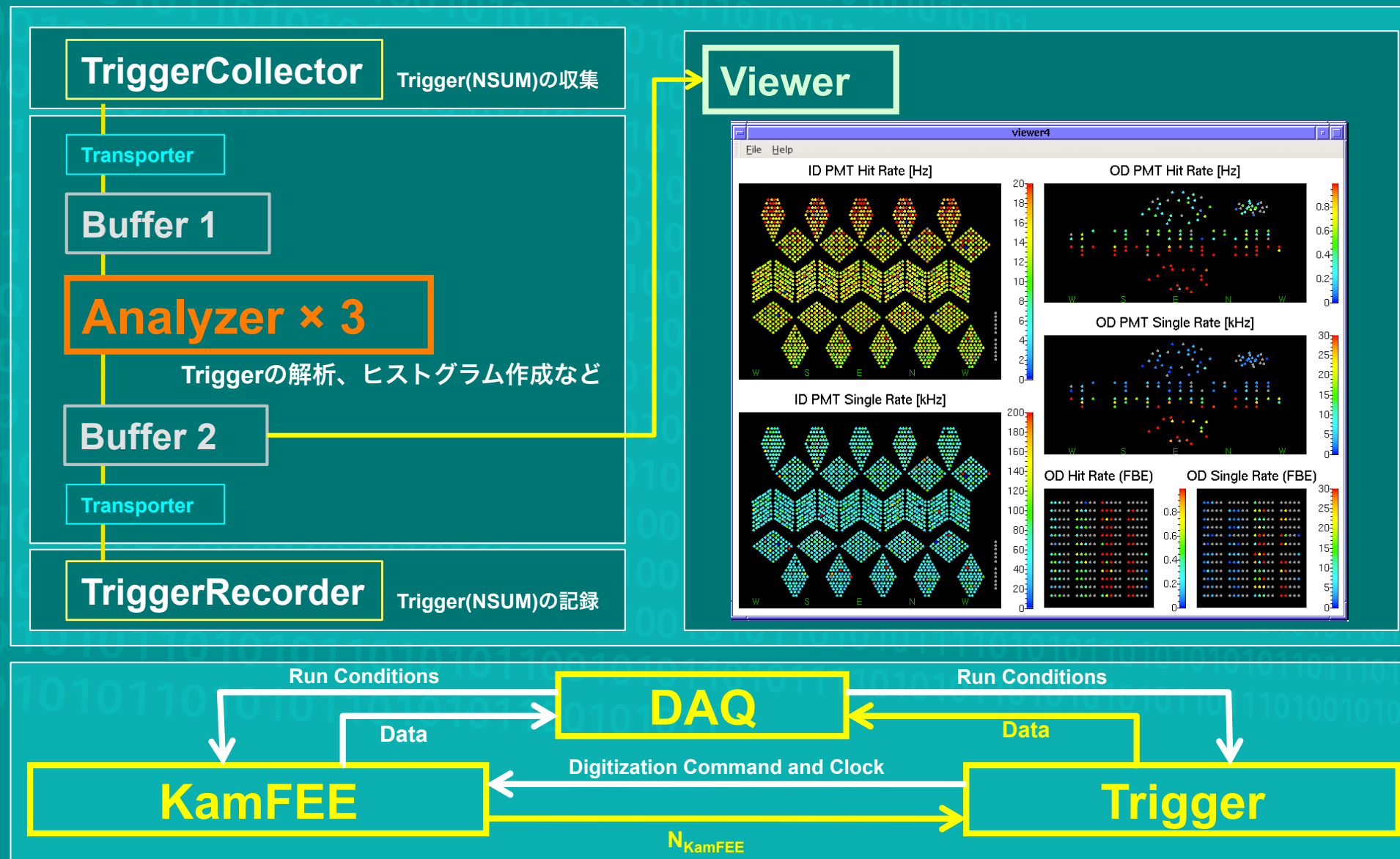


近接信号の取得

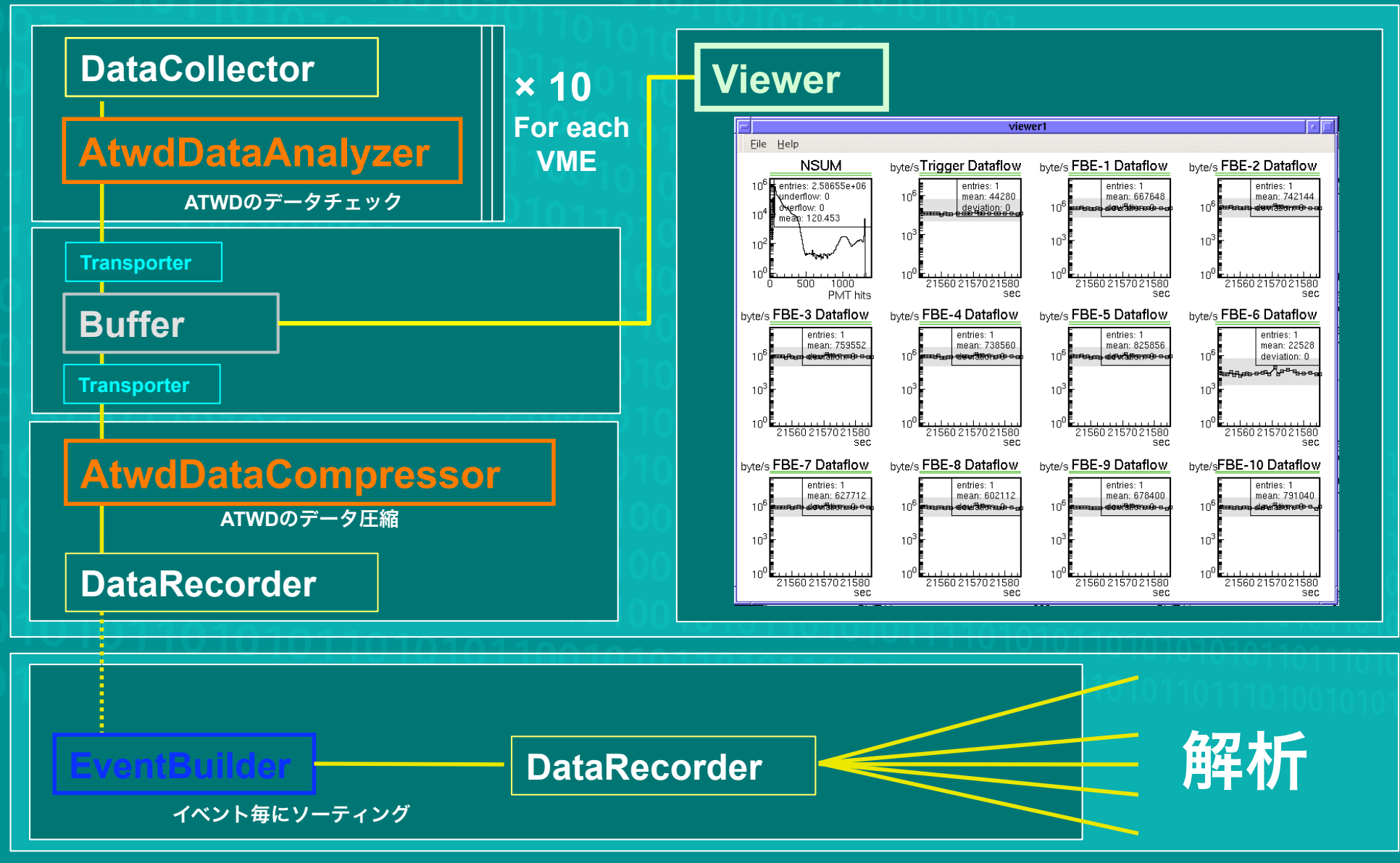


ゼロサプレッション

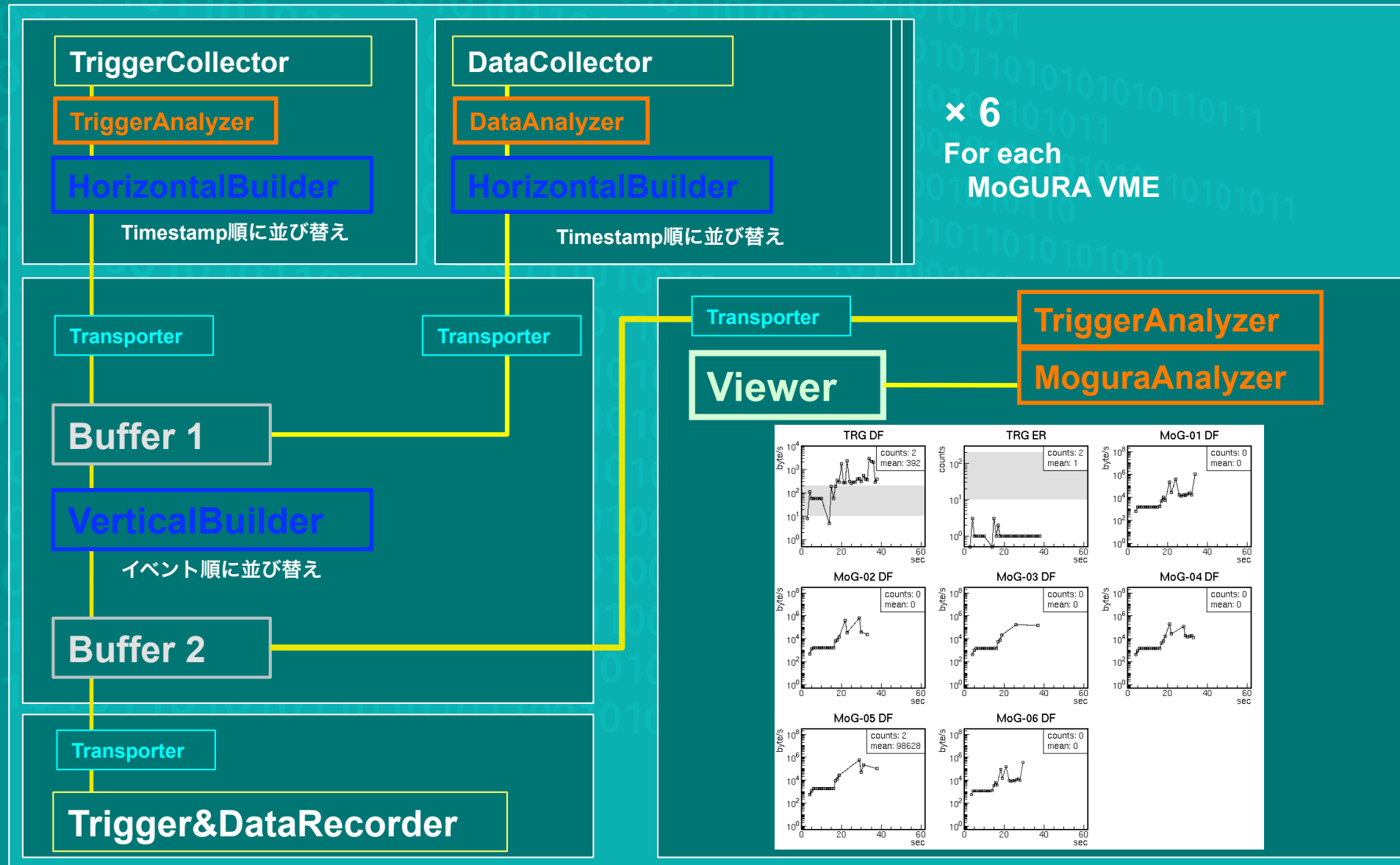
既存 DAQ システム (Trigger line)



既存 DAQ システム (FEE line)



MoGURA DAQ システム



まとめ

これまで

- BLR、MoGURA、Trigger、コマンド分配基板の開発、量産は完了
- 各BLR、MoGURAの全数評価完了 (ノイズレベル、ゲイン etc...)
- KamLANDへのインストール完了

現在

- MoGURAのデッドタイムフリー性能の評価は、継続して実施
3k Hz トリガーレート目標 (現状 250~300Hzでも充分)
- FEFのデバッグ
高レートトリガーに対する波形記録性能
想定外のエラー
- DAQは、現在システム構築中

今後の課題

- 全ボードでの稼働
- ロールバックトリガーなどの高機能トリガーの開発
- BLR、MoGURA基板それぞれに対するキャリブレーション
(既存回路との比較、線源を使ったキャリブレーション)

etc...