

J-PARC K1.8 ビームラインにおけるデータ収集システム

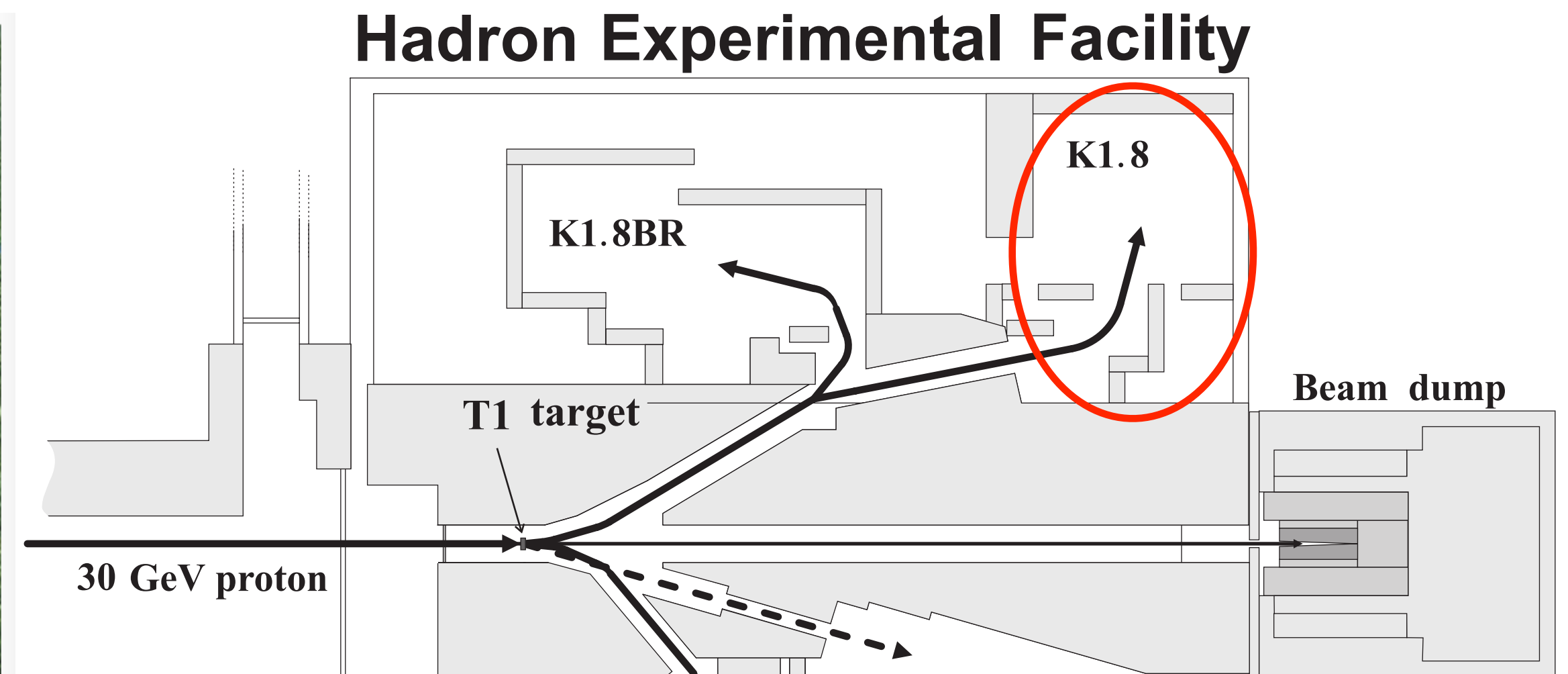
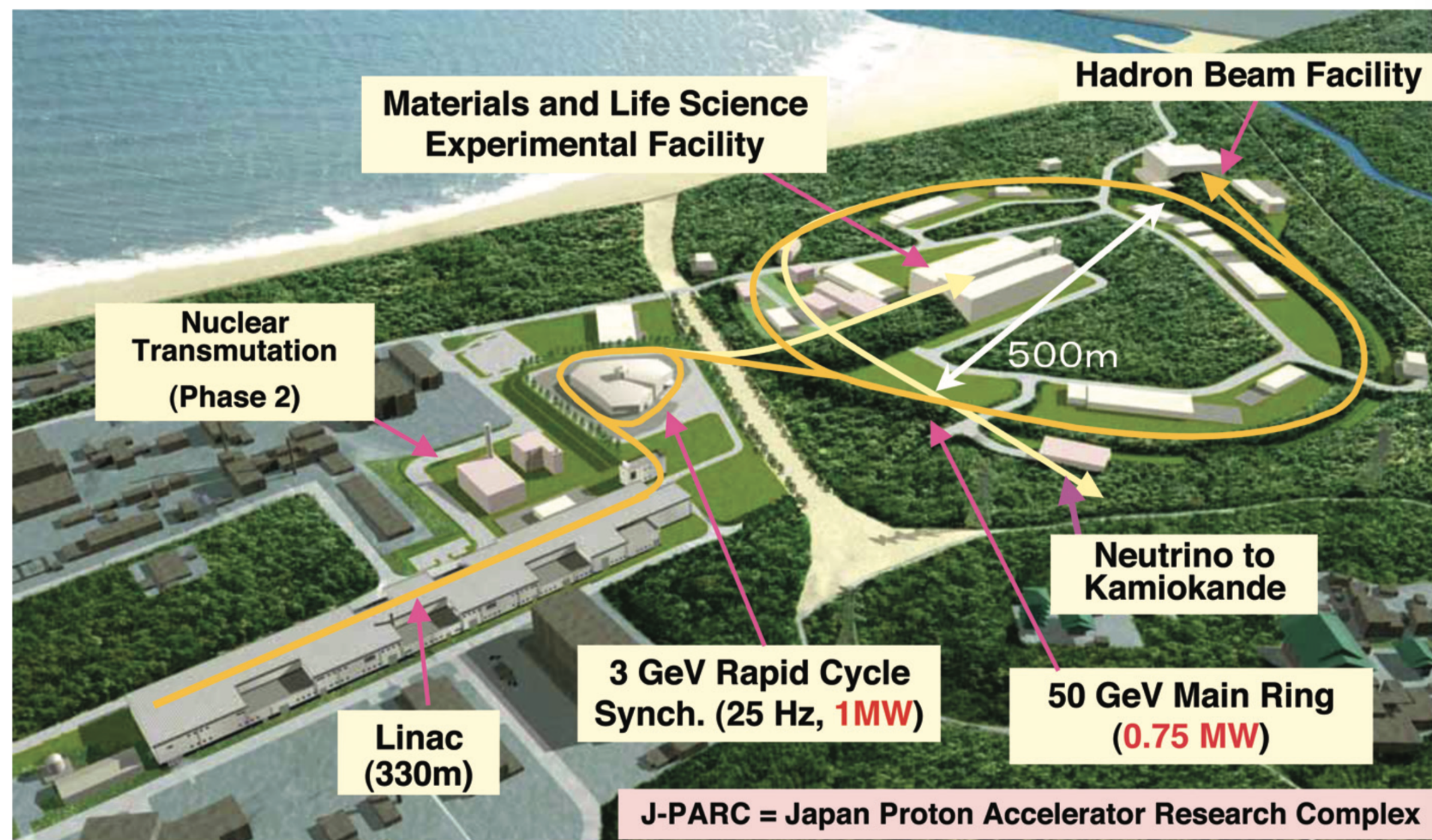
計測システム研究会2020@J-PARC

2020.11.26

早川 修平 (JAEA, ASRC)

J-PARC K1.8 ビームライン

1.8 GeV/c Kビーム
を輸送する光学デザイン



大強度 1 次陽子ビームを1次標的(Au)に入射して生成した2次中間子ビームをK1.8実験エリアまで輸送し、2次標的(実験標的)で起こる(π, K), (K, π), (K, K)反応などを用いて実験を行う

1 cycle = 5.2 s

ビームの遅い取り出し 1 spill ~ 2.0 s

K1.8 ビームラインでの実験

実施年	実験番号	概要
2010-12	E19	ペンタクォーク探索
2012	E27	K-pp探索
2012-13	E10	中性子過剰 Λ ハイパー核
2013-15	E13	Λ ハイパー核ガンマ線
2015	E05	Ξ ハイパー核
2016-17	E07	ハイブリッド・エマルジョン
2018-20	E40	Σ 陽子散乱
2020-21	E03	Ξ 原子X線
2021	E42	Hダイバリオン探索
202X	E70	Ξ ハイパー核

10年で7の実験を実施
 実験毎にセットアップの
 変更を伴う

核となる検出器も毎回変更

DAQを世話する人は
 まあまあ大変

K1.8 ビームラインでの実験

- 実験毎に使用するビームが異なる
 - 検出器の準備状況+加速器のアップデートで実験も決まる
 - π ビーム : $> 2 \times 10^7 / \text{spill}$ (初期に比べ1桁向上)
 - Kビーム : $> 5 \times 10^6 / \text{spill}$
 - 実験毎に変わる検出器と読み出し回路
 - E10, E07 : SSD + APV
 - E13, E03 : Hyperball (Ge array) + ORTEC AD413A
 - E40, E70 : FiberTracker + VME-EASIROC
 - E42 : HypTPC + GET
- 必ずしもそれぞれに読み出しには
スペシャリストがいるわけではない

検出器とチャンネル数

Detector	Channel	Readout
Trigger counters	100~200	CAEN V792 + HUL LRTDC/HRTDC
Fiber trackers	~400	TCP EASIROC
Drift chambers	~2000	HUL MHTDC
SSD	12000	APV25 + APVDAQ
CATCH (CFT)	4960	VME EASIROC
Hyperball X	<100	ORTEC AD413A + HUL LRTDC
HypTPC	5768	GET (AsAd + CoBo)
AFT	1800	VME EASIROC
LEPS-TPC	1404	to be determined

K1.8 ビームラインでのデータ収集

- 大強度化に向けた高計数率化 (昔からずっと言っていること)
- レガシー回路からの脱却によって Busy 時間を年々改善

E19 — E05 : **350 μ s** (TKO A/D)

E07 — : **110 μ s** (VME access)

E40 — : **20 μ s** (Multi-event buffer化)

ADC : CAEN V792 (CBLT)

TDC : HUL-TDC/EASIROC

共通検出器に関して

今後しばらくはこの構成で運用しそう

J-PARC E40 でのデータ収集

- 20M/spill の π ビームを使用した物理データ取得完了
- Trigger
 - Level 1 : 25.5 k/spill
 - Level 2 : 9-10 k/spill (60% rejected)
- Dead time
 - Run中 : **20 μ s** (fast clear : 4 μ s)
 - DAQ eff. : 85–90%
- Data size
 - 400 Mbps in local network (CAT7:10GbE)
 - 73 GB/hr (圧縮)
 - **160 Mbps** (K1.8 \rightarrow KEKCC)

トリガーが 10k のラインを少しでも越えると、ネットワーク帯域に起因するOSの息継ぎが発生し、DAQ効率を大幅に落とした

圧縮とスピルオフ時間のおかげで東海一つくば間の帯域はそれなりに余裕

J-PARC E40 でのトリガー生成

- **散乱陽子のエネルギー較正のため FiberTracker の ADC 取得が必要**

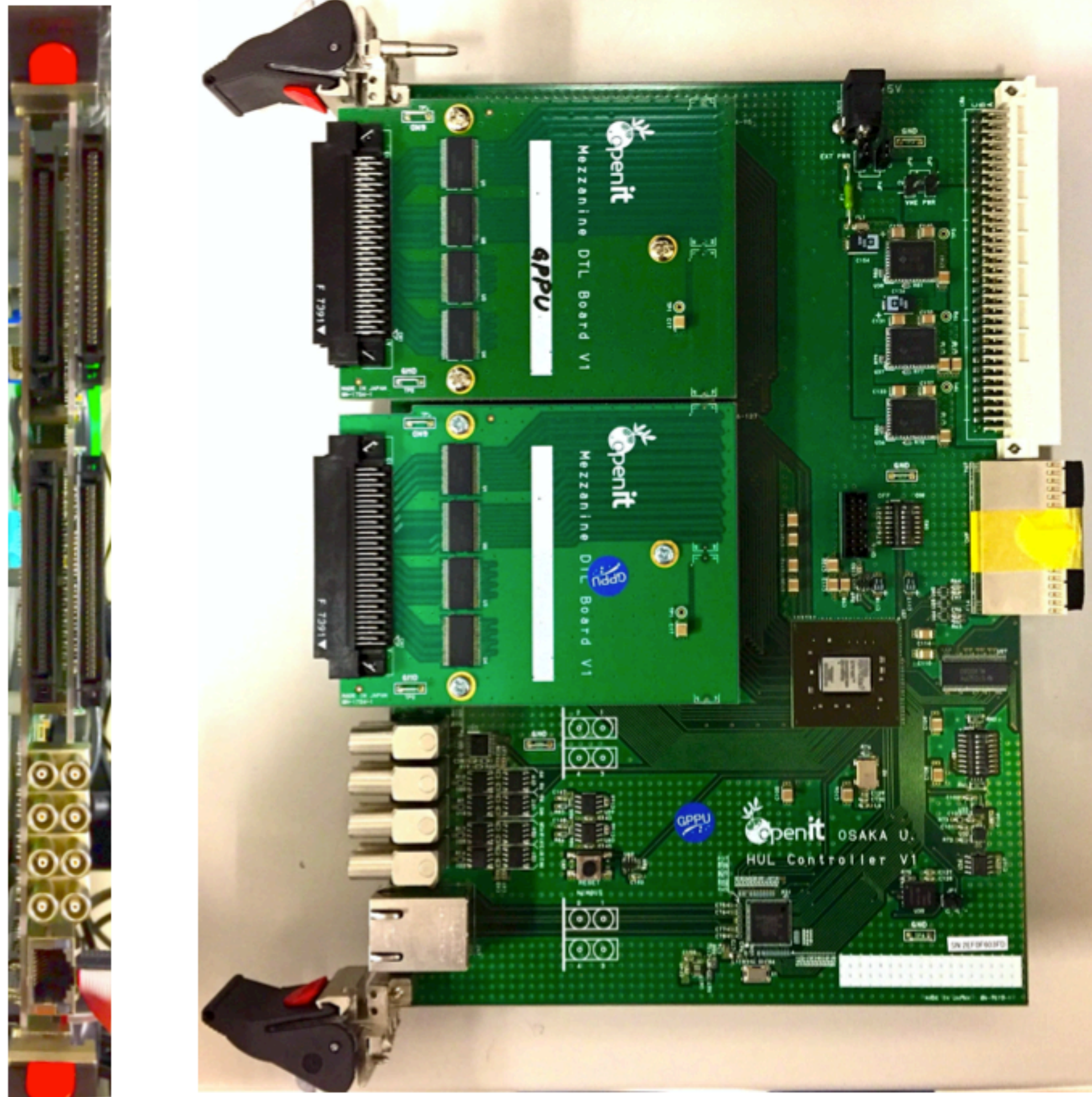
- これまでは計測室でNIMモジュールによってトリガーを作成していた
- 5000ch分のアナログケーブルを計測室まで伸ばすのは困難
- 実験エリアにある読み出し回路まで作ったトリガーを戻すのは遅すぎる

FPGAでトリガーロジックを作成し実験エリア内でトリガー生成する

→遅延を抑えられる

→ネットワーク経由で簡単にトリガーの変更を行える

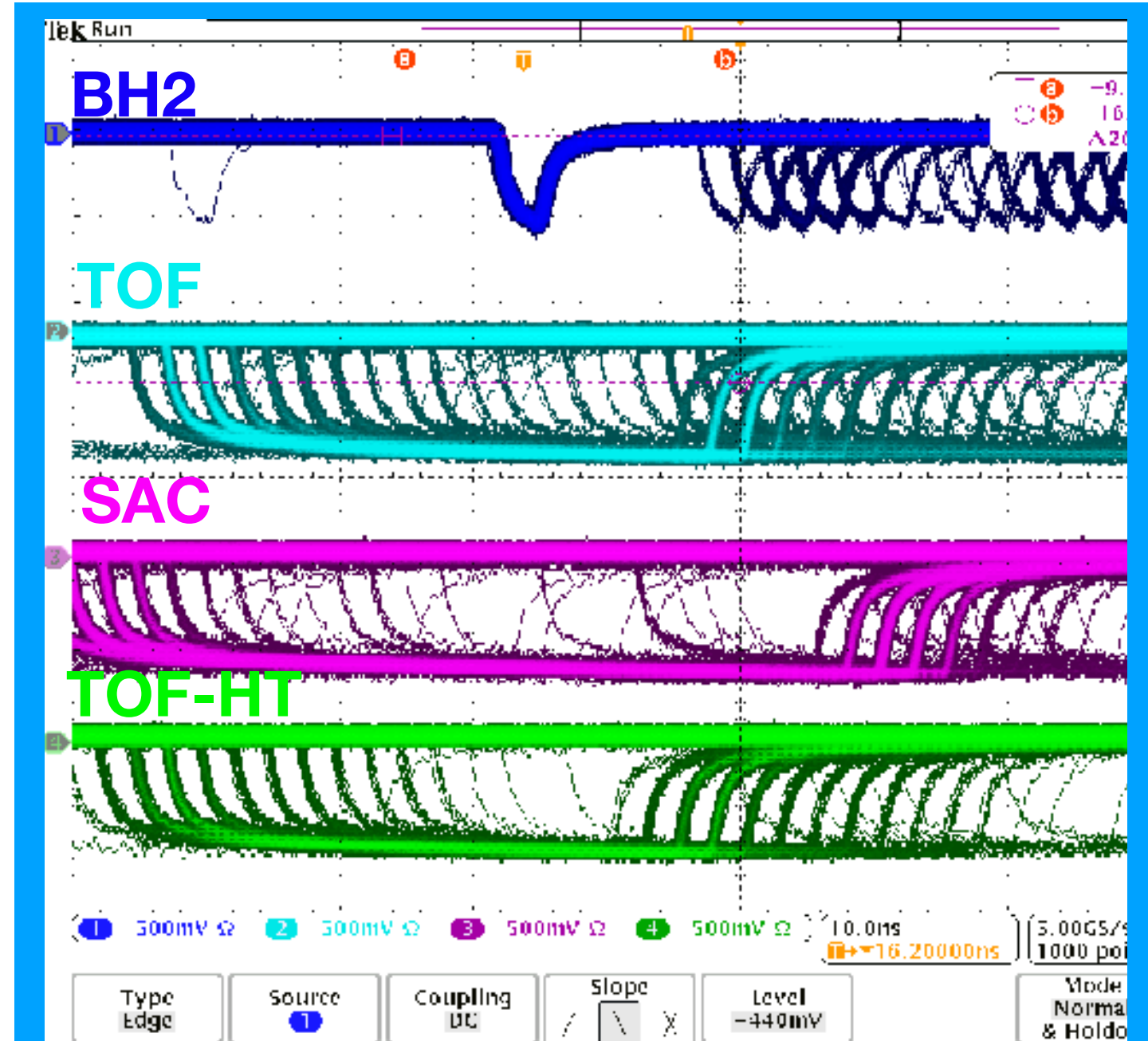
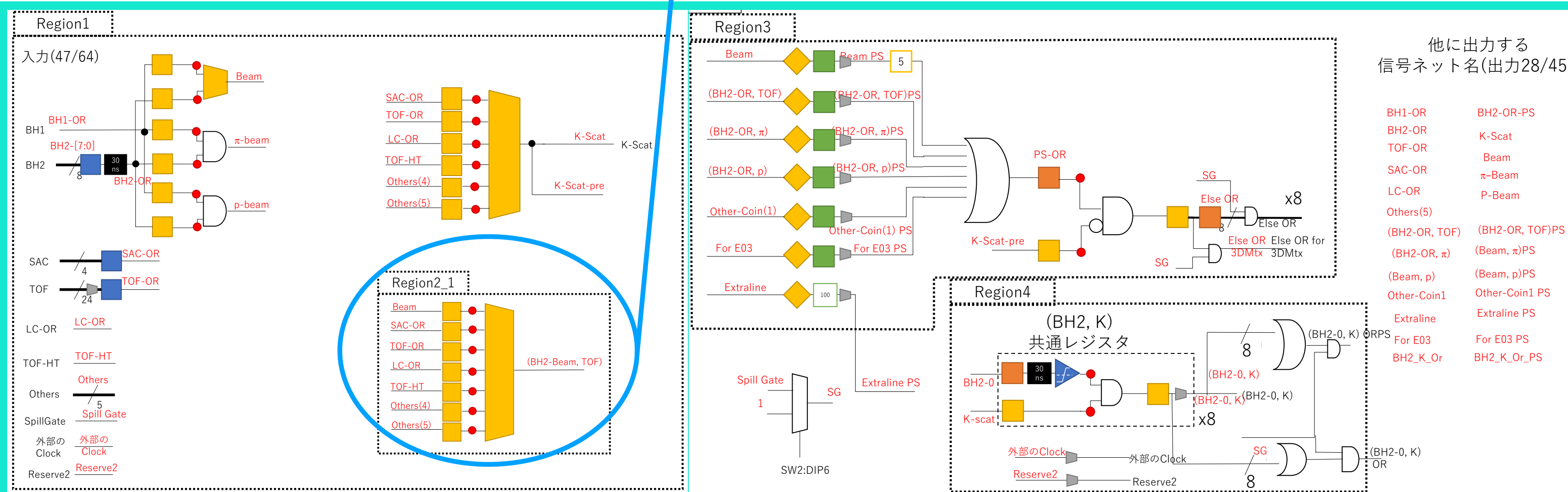
HULを用いたトリガー生成



- HUL (Hadron Universal Logic)
 - FPGA Kintex7 160T-1
 - SiTCP
 - Mezzanine DTL ×2
- 仕様
 - 内部クロック：400 MHz
 - 入力：NIM 4 ch + LVDS 64 ch
 - LVDSの他 ECL, PECL, LVPECL など
 - 出力：NIM 4 ch + LVDS 64 ch
- レジスター制御
 - 各検出器信号の遅延・幅
 - コインシデンスの選択
 - プリスケール係数

実際に作成したロジックと調整の様子

by Hoshino



回路記号

- OR
- Edge detector (one shot)
- Delay
- Delay & Pulse width moderator (PWM)
- Preset scaler
- Bit pattern selector (Coincidence)
- Probe point
- Switch
- Fixed Delay
- Pulse width change to 15ns
- Pulse width change to 100ns

Contents

- Signal trace to LVDS or ECL and into HUL and coincidence with 400MHz clock. A above block diagram is description contents of HUL Trigger Module FPGA.
- >Delay 2.5~40ns.
- >Pulse width 2.5~80ns.
- >Prescale factor 1/1~1/2²⁴.
- >Switch is Signal On/Off
- >BitPattern Selector can select signal on/off/veto.
- >Probe point that we can select and see signals from NIMOUT1~4ch

@Experiments

We used probe points due to adjust timing of each signals. And we made trigger signal. A diagram above is one of it.

HULでTrigger作成してみても

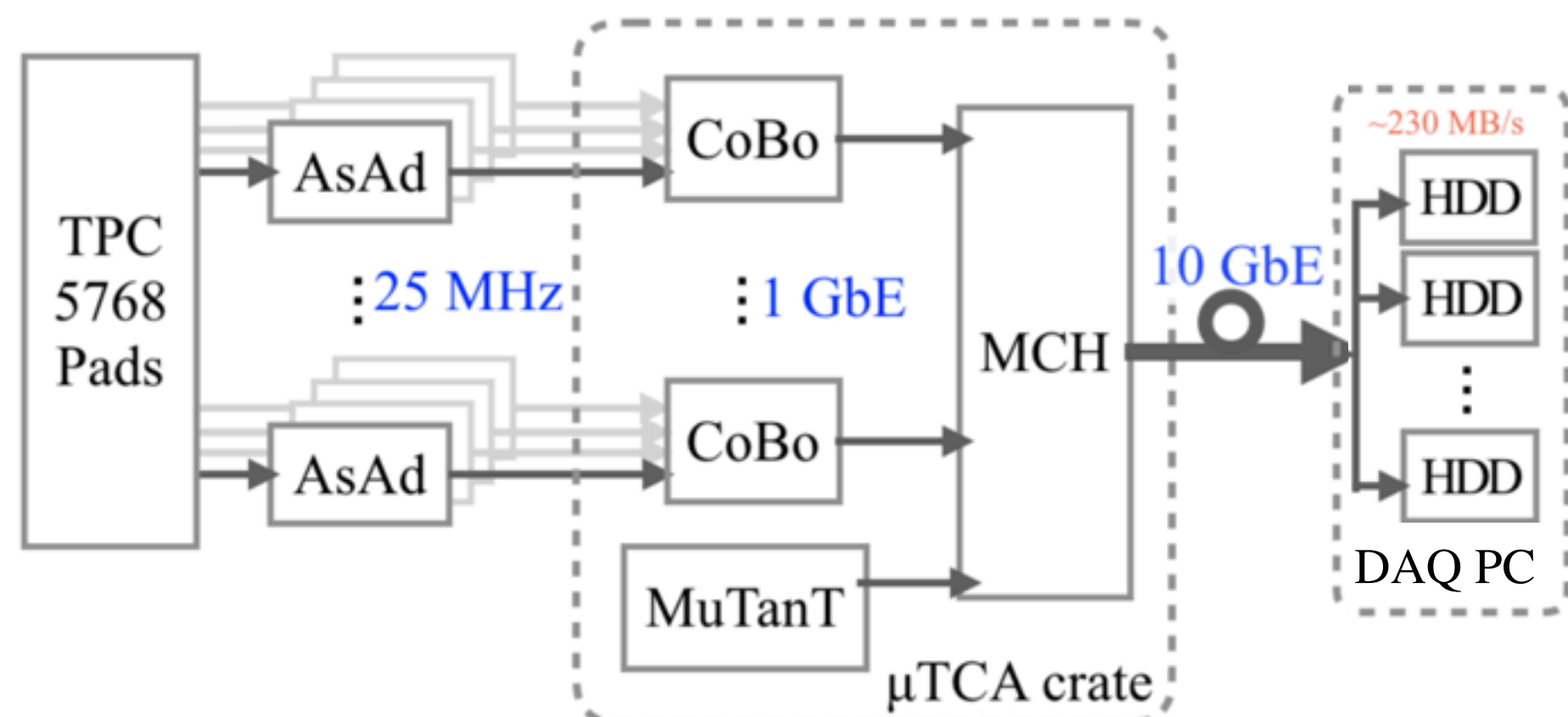
- 良かった点
 - 遅延、幅の変更が簡単に行えるので調整が容易
 - トリガー変更が容易
 - トリガー情報(レジスターのパラメータファイル)がデータとして残せる
- 大変だった点
 - タイミング制約は結構ぎりぎり
 - レジスターで設定可能な値以上の遅延が必要になった場合再合成が必要

一度動くものができたら非常に楽、NIMにはもう戻れない

K1.8の今後

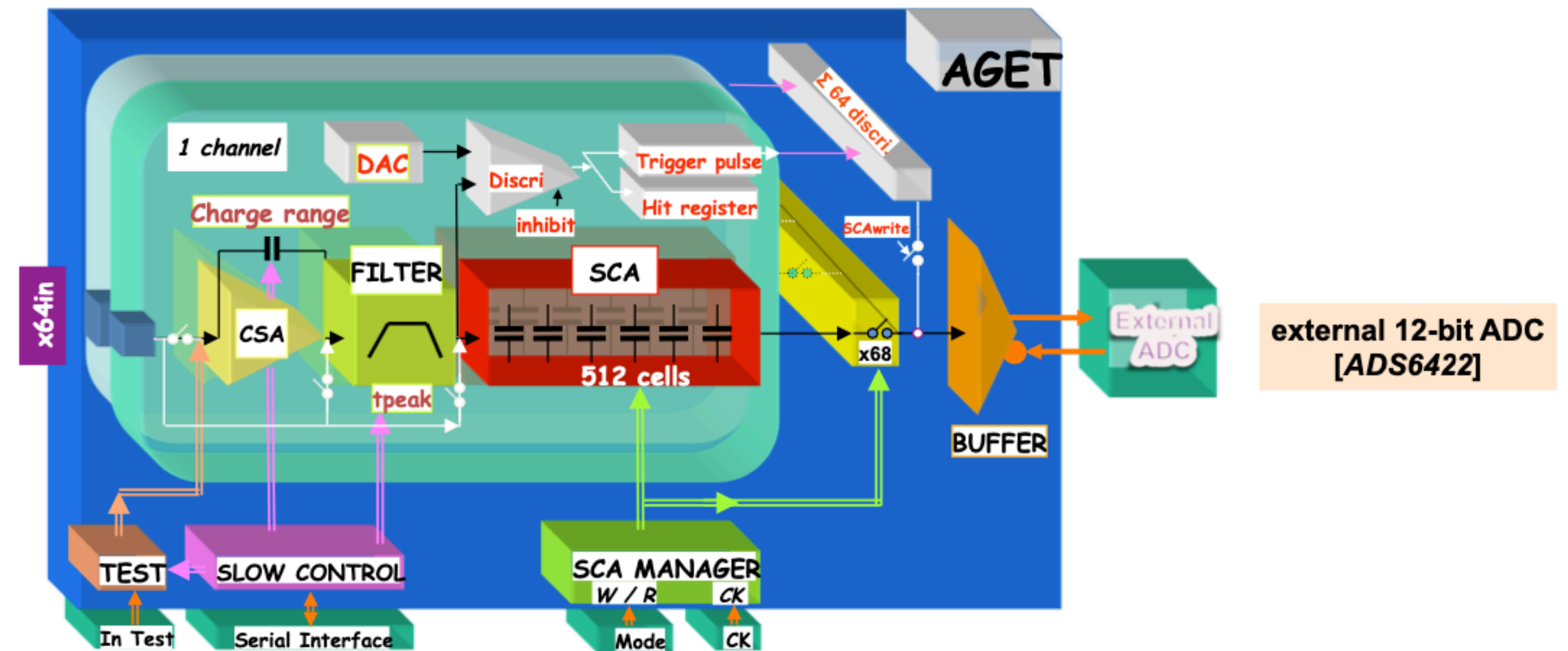
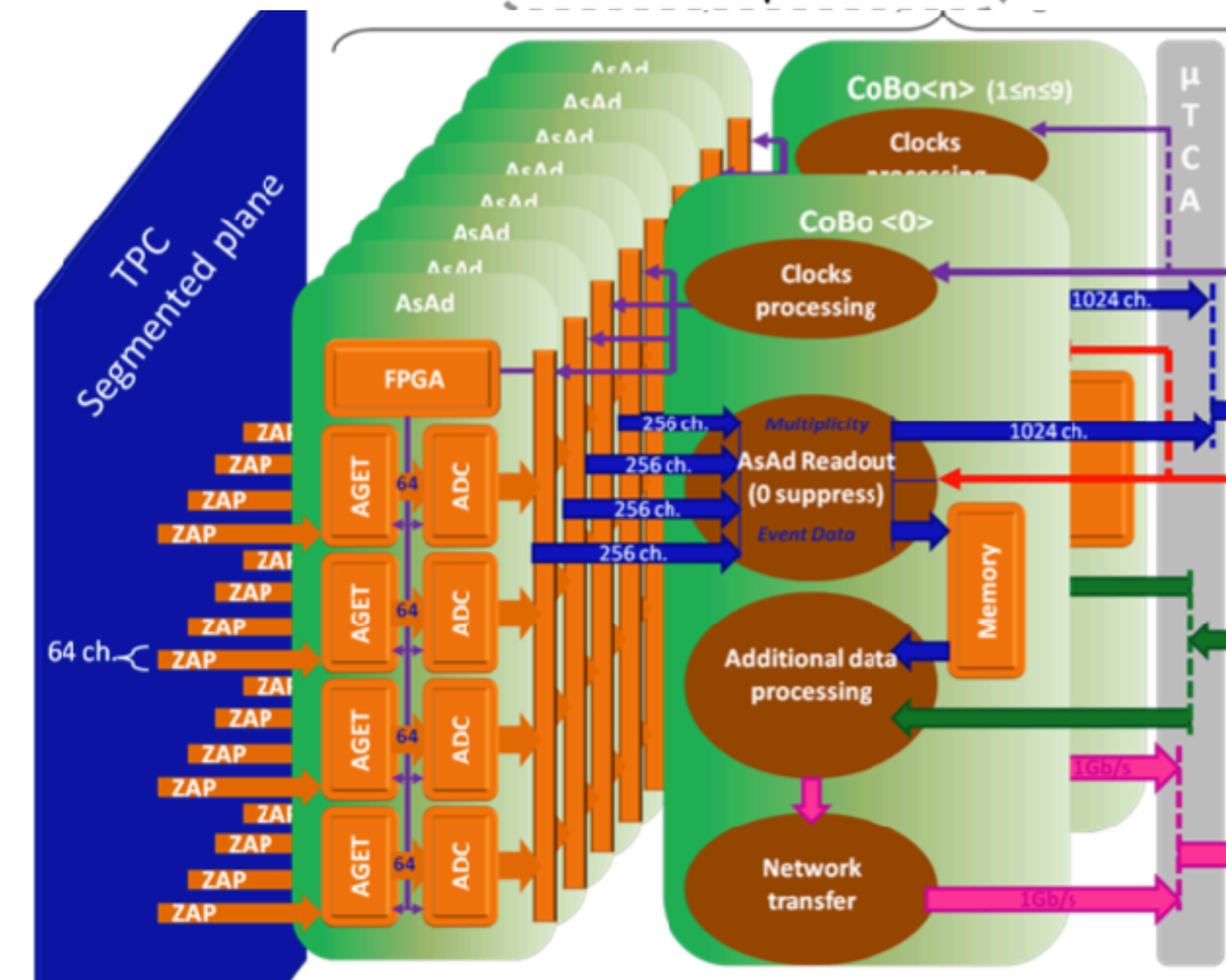
- E03 : Hyperball-X
 - ORTEC AD413A のデータを読み出していた VME UMEM (by 味村) を HUL に置き換えた(ている)
 - これにより CAEN V792 以外に VME BUS を使う読み出しモジュールはない
 - トリガーレートも E40 に比べると楽、取れるだけ(~10k/spill)取ればOK
 - トリガー生成部分のファームウェアは変更必要
 - 万一、クロックを落としてレイテンシが落ちても困るのはカウンターのADCだけ
 - ゲルマニウム検出器そのもののケアに比べると読み出しは比較的楽
- E42 : HypTPC
 - GET readout (AGET + CoBo) を使うのがとっても大変

HypTPC w/GET のデータ収集システム



- ❖ **Main features**
- Input current polarity: positive **or** negative
 - 64 (72)** analog channels
 - 4** charge ranges/channel: 120 fC, 240 fC, 1 pC & 10 pC
 - 16** peaking time values: 50 ns(100 ns) to 1(2) μ s
 - 512 (511)** analog memory cells / channel
 - Fsampling: 1 MHz to 100 MHz; Fread: 25(20) MHz
 - Auto triggering** : discriminator + threshold (DAC)
 - Multiplicity signal**: analog OR of the 72 discri. outputs

- ❖ **Main features for the readout**
- Address of the hit channel(s)
 - 3 readout modes:
All, hit or specific channels
 - Predefined number of analog cells / trigger (1 to 512)
- Possibility to bypass the internal CSA and to enter directly into the filter or SCA inputs



HypTPC w/GET のデータ収集システム

Assuming 10-beam backgrounds per 1 signal in 10^6 beam/spill with 10 μ s drift time, average multiplicity is simulated to be less than 10 hits/AGET.

Multiplicity : $10 + 2(\text{noise}) / \text{AGET}$

Readout cells : 512

ADC readout rate : 25 MHz (40 ns)

$512 \text{ cells} \times 40 \text{ ns} \times 12 \text{ ch} = 246 \mu\text{s} / \text{event}$

DAQ効率の見積もり

- L1 : 3k/spill (=2s), w/o L2

$$eff = \frac{1}{1 + 3k/2 \times 250} = 72\%$$

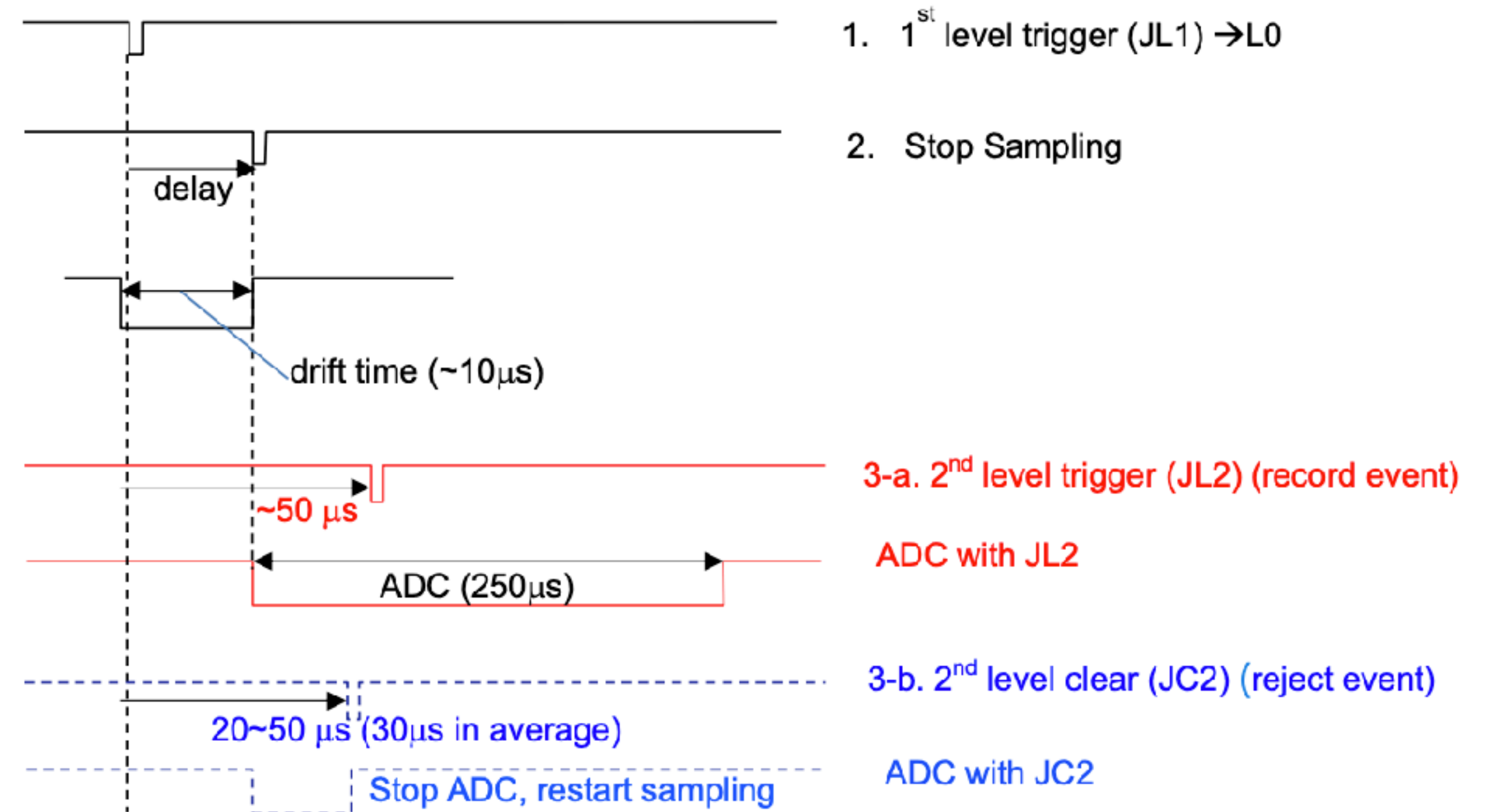
- L1 : 3k/spill, L2 : 2k/spill

$$eff = \frac{1}{1 + 2k/2 \times 250 + 1k/2 \times 30} = 79\%$$

- L1 : 3k/spill, L2 : 1k/spill

$$eff = \frac{1}{1 + 1k/2 \times 250 + 2k/2 \times 30} = 86\%$$

Fast clear function



実際には 80% あたりがゴールか？

サンプリングサイズを多少落とす可能性は有

現状の問題点

- 我々の使い方が悪いのかもしれないが、そもそも不安定
 - 簡単に動かなくなる、信じられないことにAsAdが15度以下の雰囲気中では温度が低い警告を出して止まる、など
- データサイズが大きい、ネットワーク帯域
 - 8 Cobos が合計 8 Gbps を使用 (ローカルディスクへの書き込み(RAID)はOK)
 - 実際には圧縮とスピルオフ時間を考慮すると **3 Gbps** くらい?
 - 東海-つくば間のネットワーク帯域を別途他のビームラインなどと要相談
- ゼロサプレッション
 - Partial readout mode : 域値以下のサンプルしかないチャンネルはデータを捨てる
 - Zero suppression mode : 域値以下のサンプルを捨てる
 - **どの程度うまくデータを低減できるか未知数**
- HDDAQ との共存
 - 本当は MTM/RM システムに組み込んでイベントタグをつけたいが、現状 **Busy sharing のみ**

おまけ

- K1.8 では機器のモニターに EPICS BASE 7.0 を使用
 - IOCは自作
- 目的は機器の制御ではなく監視 ~2000ch
 - 温度
 - 検出器のHV
 - ガスの流量、バルブ電流
 - 電磁石の電流、ビームスリット位置
 - テスラメータの磁場の値
- 異常時に Slack API を叩いてアラームを出す



incoming-webhook APP 17:42
Received TPC pressure alarm : 0.0 Pa.

その他個人的な意見

- 実験提案時点でデザインした読み出し回路が、実施時にはオワコンになってしまう問題
 - CoBo はディスコンなのでもう壊れたら買えない
 - HypTPCを使いたい実験はE42以降もある
 - 他人が開発したものは導入は楽かもしれないが運用は大変
- 上記と似た問題だが、EASIROCの後継どうする問題
 - 古い回路をいつまで保守する？ VME-RM

まとめ

- J-PARC K1.8 ビームラインでは過去10年で7の実験を実施
 - 速いサイクルでセットアップの切り替えが行われている
- 大強度ビーム使用の要求から読み出しの改良は盛んに行われている
 - EASIROC, HUL への置き換えがほぼ完了
 - J-PARC E40 において
 - Busy time : 20 μ s, DAQ eff. : ~90% でのデータ取得を達成
- 近い将来の実験 E03/E42 に対する準備状況
 - すでにある資産がかなり使える (人足はあんまりない)
 - HypTPC/GET はなんとか動いているが、長く使う上で問題かも