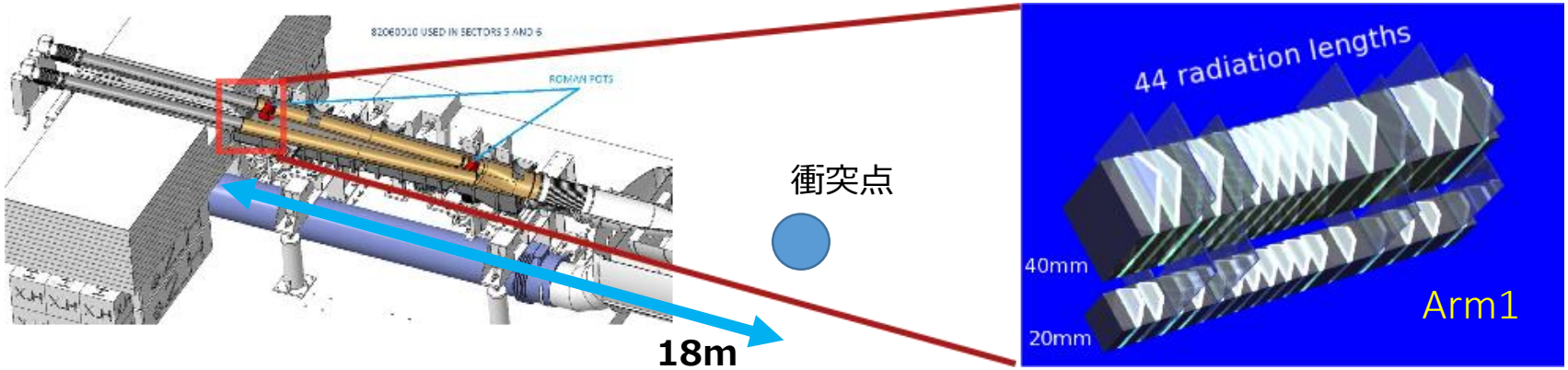
RHICf実験の
データ取得システムの開発

名古屋大学　M1
佐藤 健太

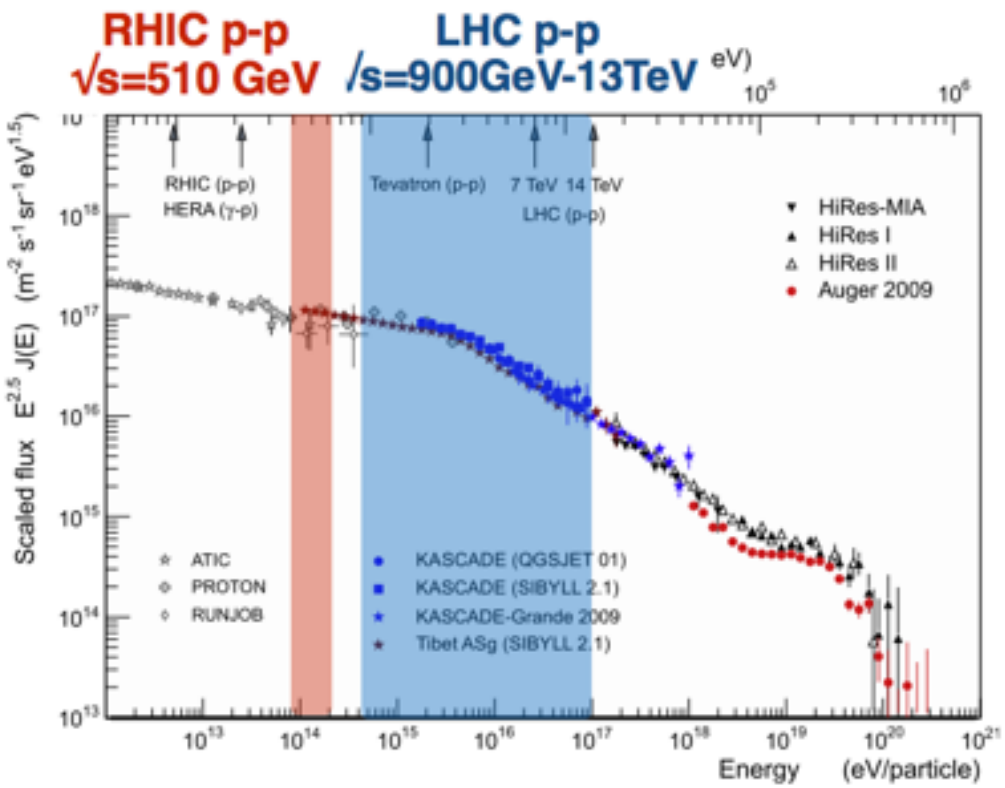
2017年3月30日~ 2017年3月31日
空気シャワー観測による宇宙線の起源探索勉強会 @宇宙線研

RHICf実験



- LHCf実験で使われていたArm1検出器を米国BNLのRHICに設置し、$\sqrt{s}$ = 510GeVのp-p衝突実験において測定を行う。
- LHCf実験と同様に超前方（η>6)に生成される光子、中性子、π^0中間子の生成断面積を測定する。
- STAR実験と共同データ取得を行う。
- 2017年6月の測定に向けて、昨年度からBNLで準備中。

衝突エネルギーと宇宙線のエネルギースペクトル

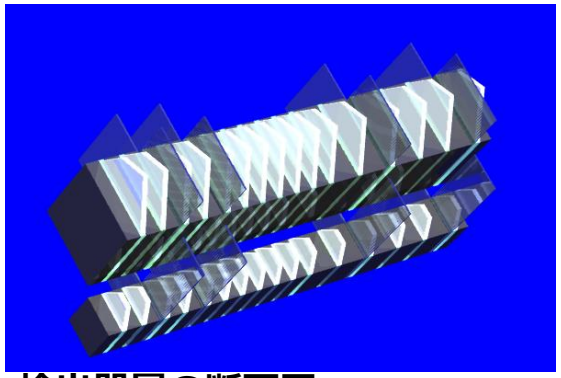


- LHCより低いエネルギーをRHICで測定することで測定されていない領域の内挿、外挿の精度を上げる。
- $\sqrt{s}$ = 510GeV エネルギーは、$E_{CR} \sim 10^{14}$ eVに相当

D'Enterria et al., Astroparticle Physics 35 98-113 （2011）

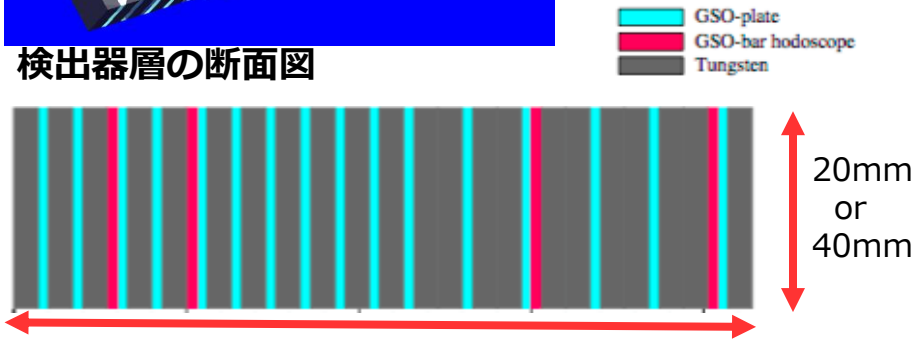
RHICf検出器

RHICf検出器



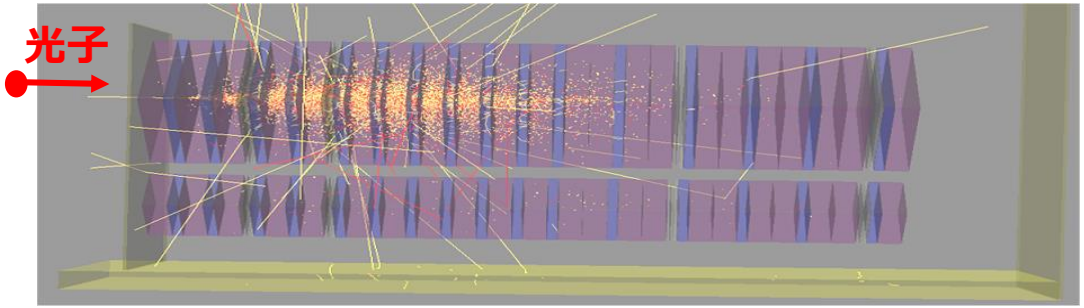
- 吸収層（タングステン）と検出層(GSO)を組み合わせた20mm×20mm (TS) と40mm×40mm (TL) の2つのカロリーメーターのタワー。
- 16層のエネルギー検出層と４層のX-Yの位置検出層で、吸収層で発達するシャワー粒子を検出し、入射エネルギーと粒子種を同定する。

検出器層の断面図



光子イベント
　前段側でシャワーが発達
中性子イベント
　後段側でシャワーが発達

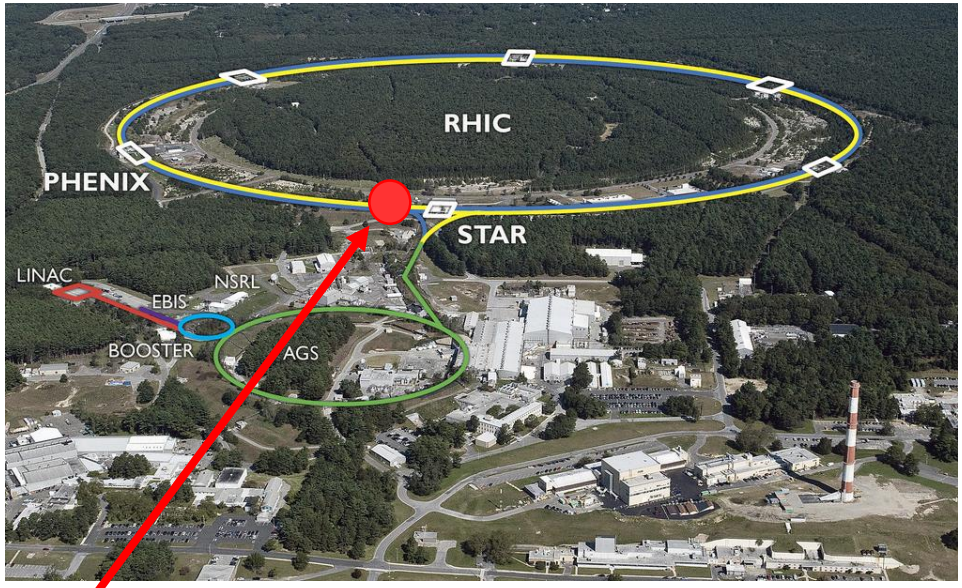
光子が検出器に入射する時に発達するシャワーのシュミレーション



トリガー条件

エネルギー検出層において
<u>ある閾値を超えたエネルギー損失が三層連続起こった場合。</u>

Relativistic Heavy Ion Collider



(RHIC web site から引用)

STARの西側に設置

RHICの性能

- 円周：3.8 km
- バンチ数：120
- 最高エネルギー：510 GeV
- 偏極ビーム
- 最高ルミノシティ

  $2\times10^{32}\mathrm{cm}^{2}\mathrm{s}^{-1}$ (@510GeV)

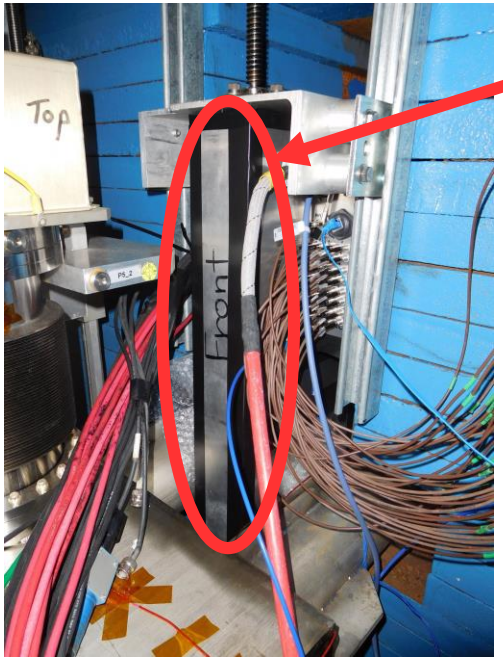
Run17 RHICf BUR

RHICf実験のビーム状態

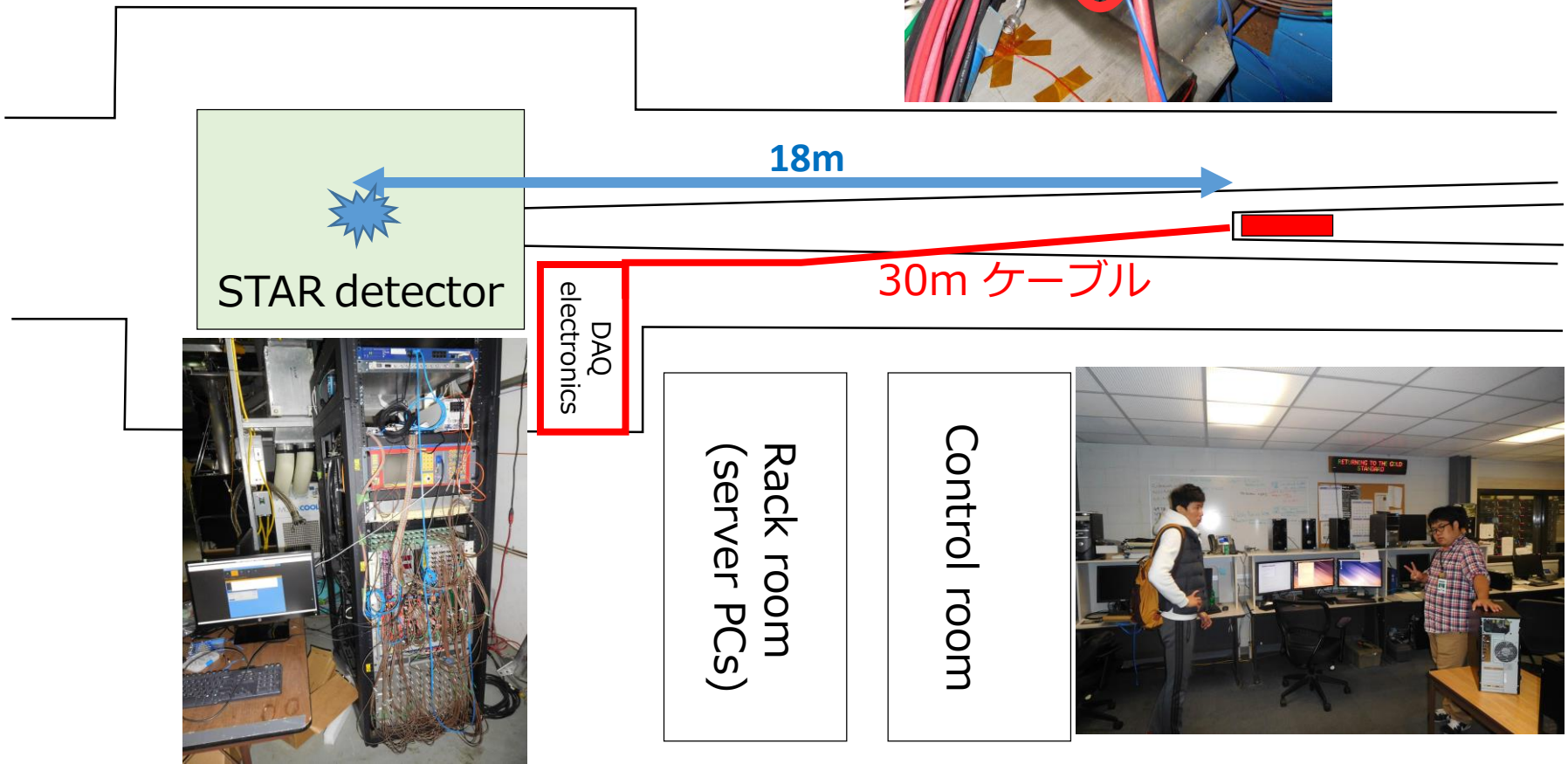
ルミノシティ	$2\times10^{31}\mathrm{cm}^{2}\mathrm{s}^{-1}$
バンチスペース	~100ns
検出器のアクセプタンス	1.8%（※)
Single eventの検出頻度	18kHz
π^0 event の検出頻度	57Hz

※ TSの中心がビーム中心と一致する時

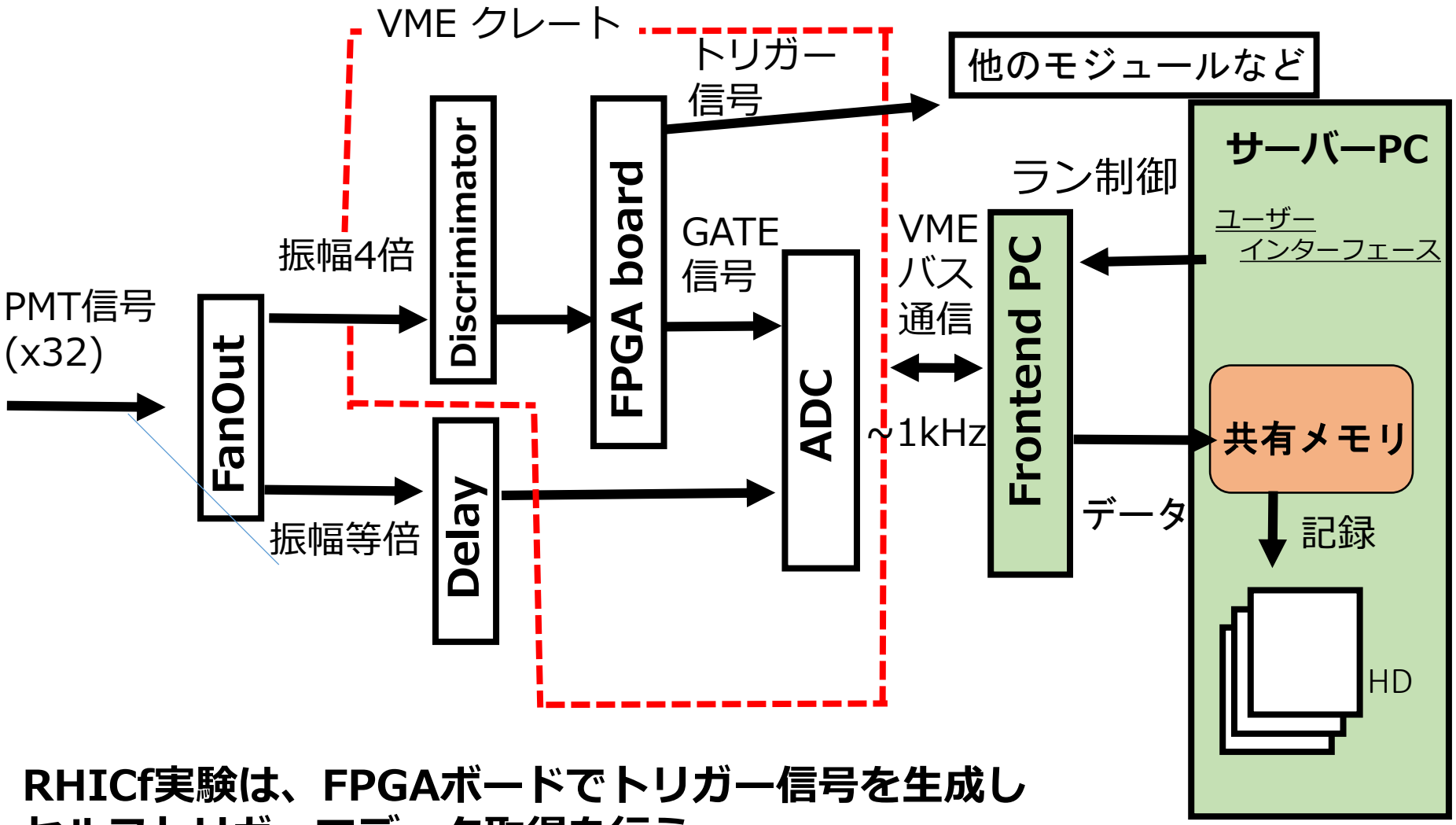
RHICにおける機器の設置状況



RHICf検出器

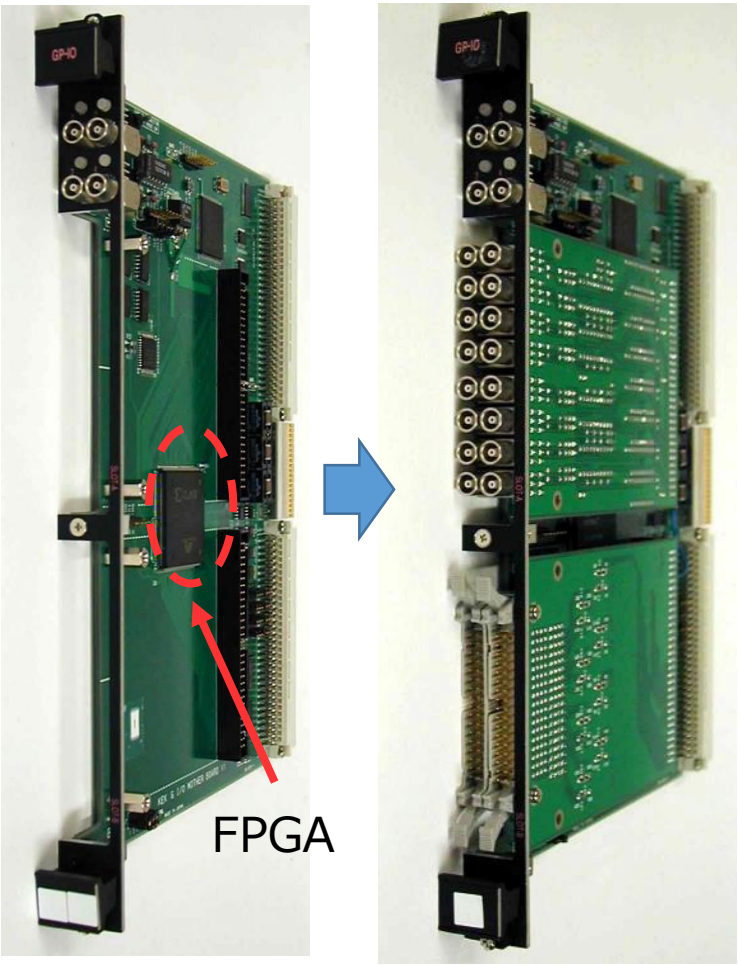


RHICfのDAQシステム



RHICf実験は、FPGAボードでトリガー信号を生成し
セルフトリガーでデータ取得を行う

FPGAボード



GPIO（GNV-250 GND社）

・使用しているFPGA：XCV-150（Virtex社）
性能
GATE数　164,674
許容周波数　200MHz

・ISE ver9.2 (Xilinx社)のソフトウェアを使ってトリガーロジックファイルを作り、FPGAにアップロードする。

FPGAボードとしてGPIOを使用する

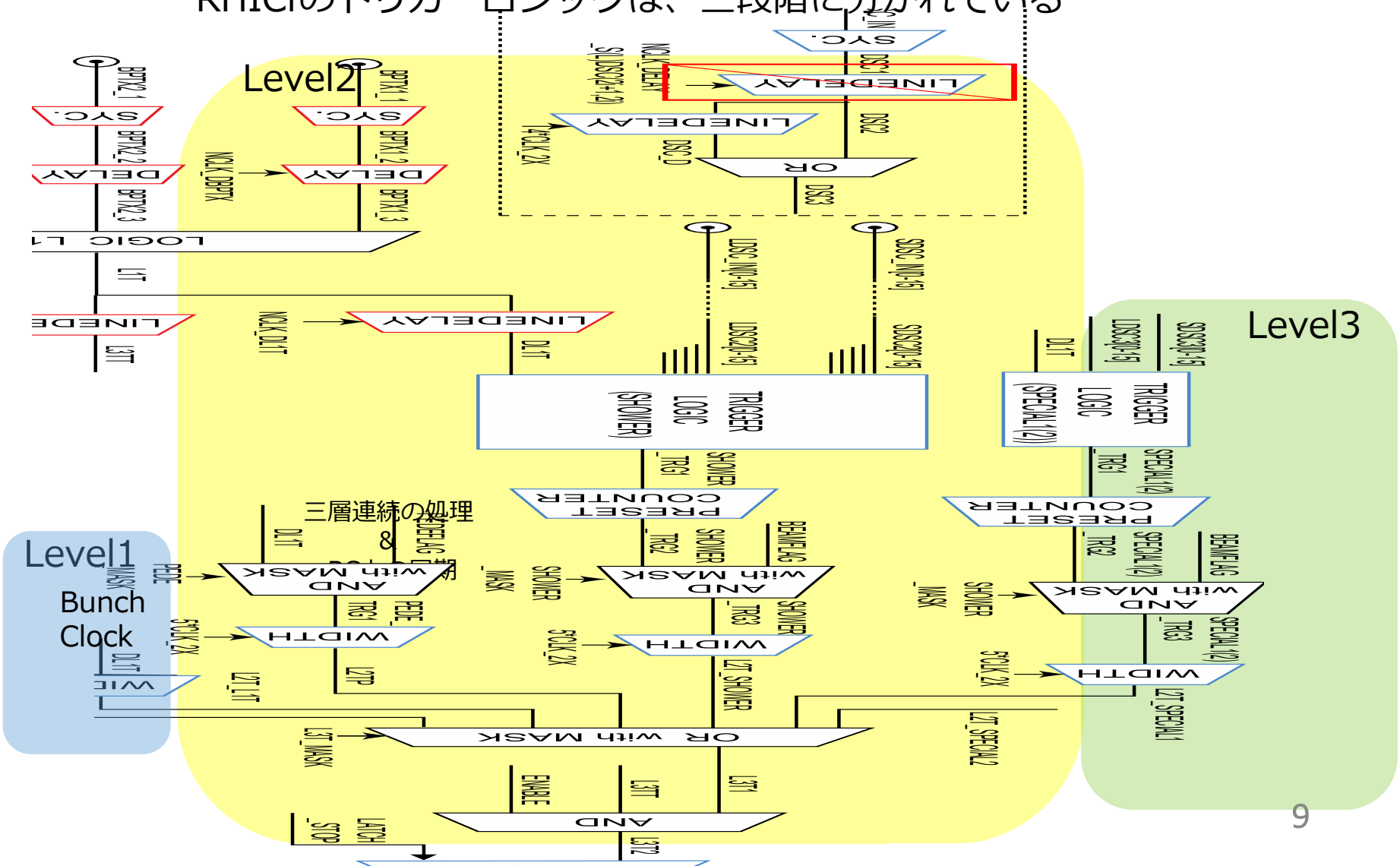
・General Purpose Input/Output (GPIO)
LEMOコネクターやフラットピンのコネクタのサブボードを取り付けることのできる汎用性の高いVMEのモジュール。

このボードでトリガー信号の発行とADCのGATE信号処理も行える

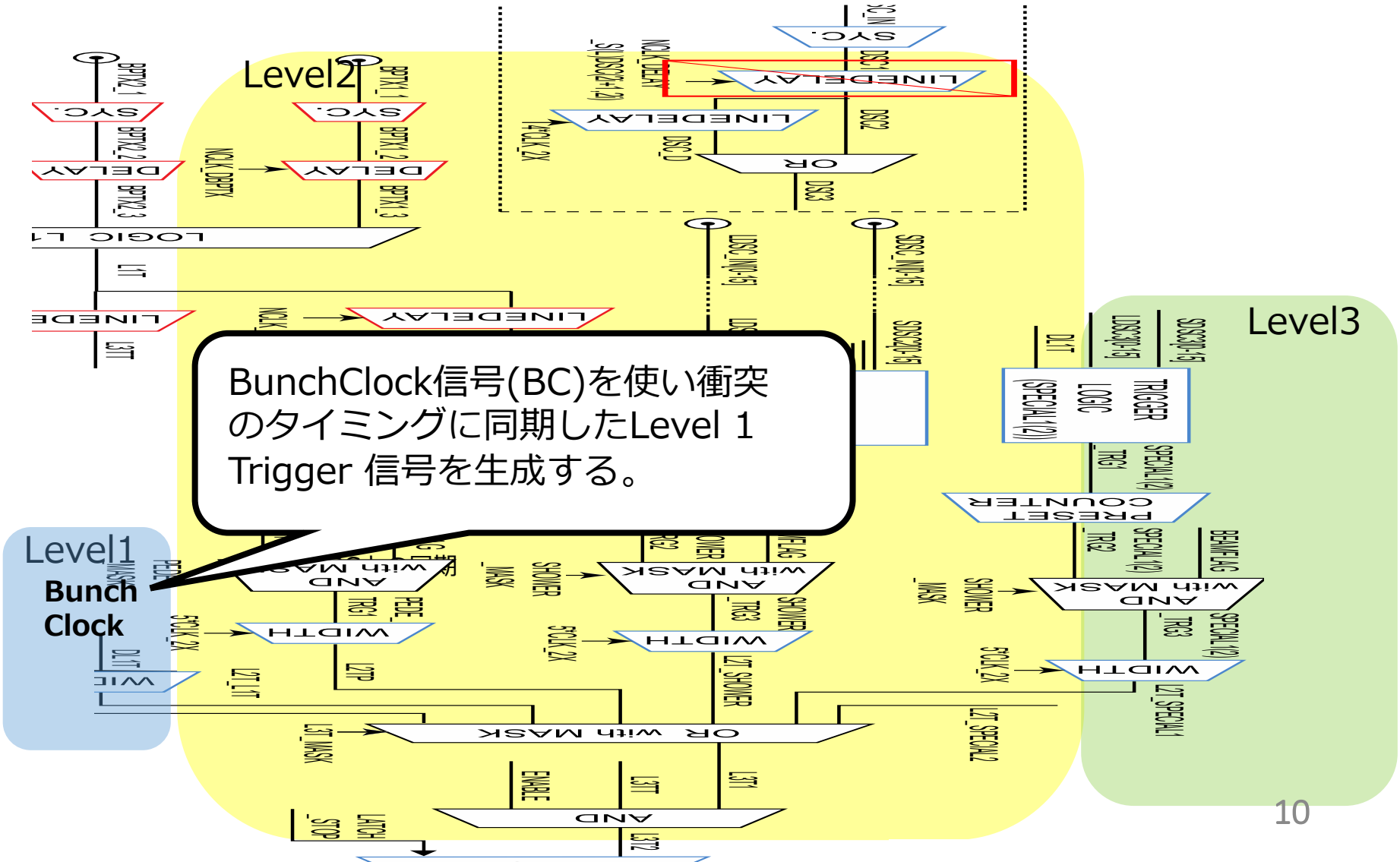
トリガーロジック

トリガーロジックのダイアグラム

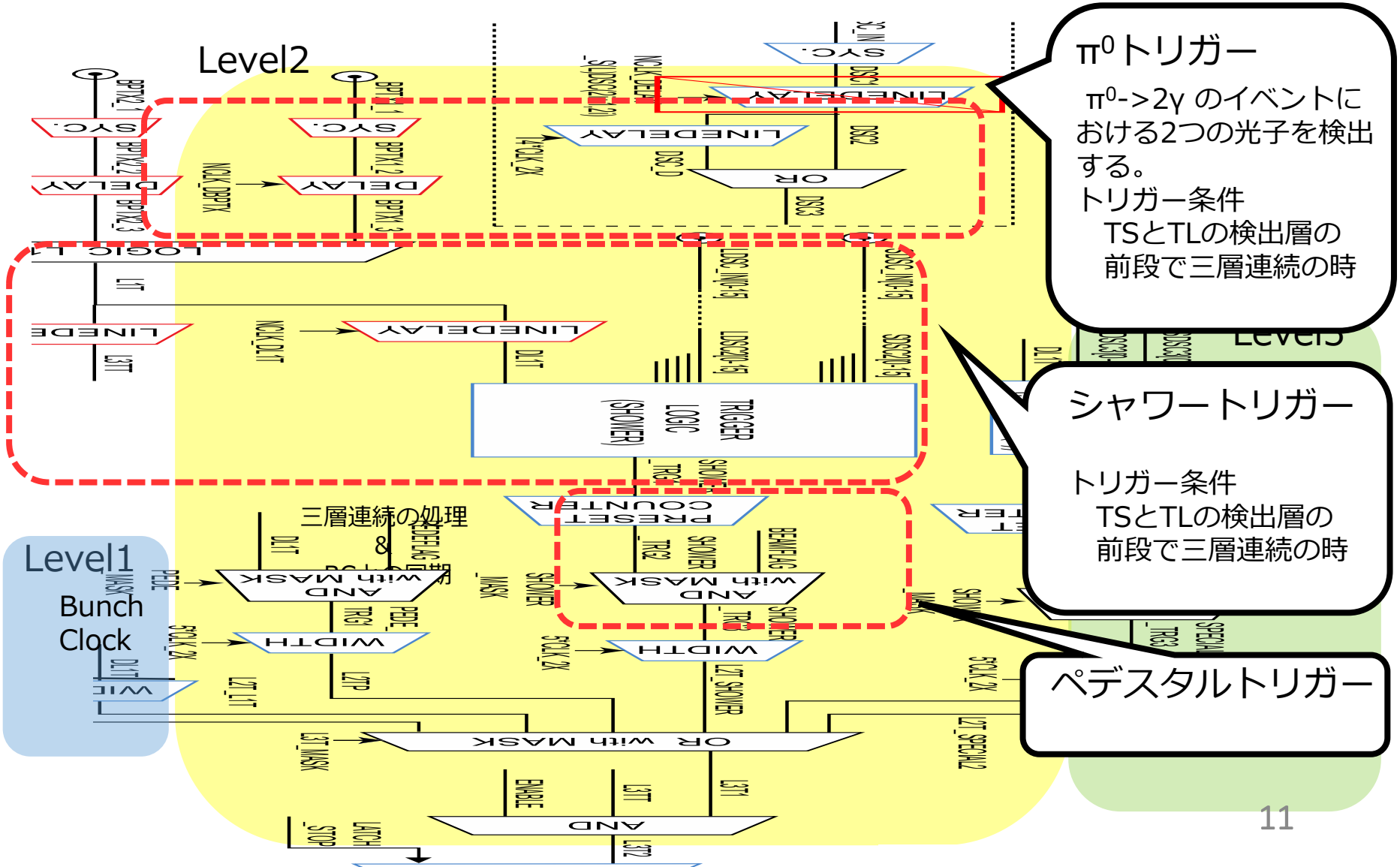
RHICfのトリガーロジックは、三段階に分かれている



Level1 Trigger

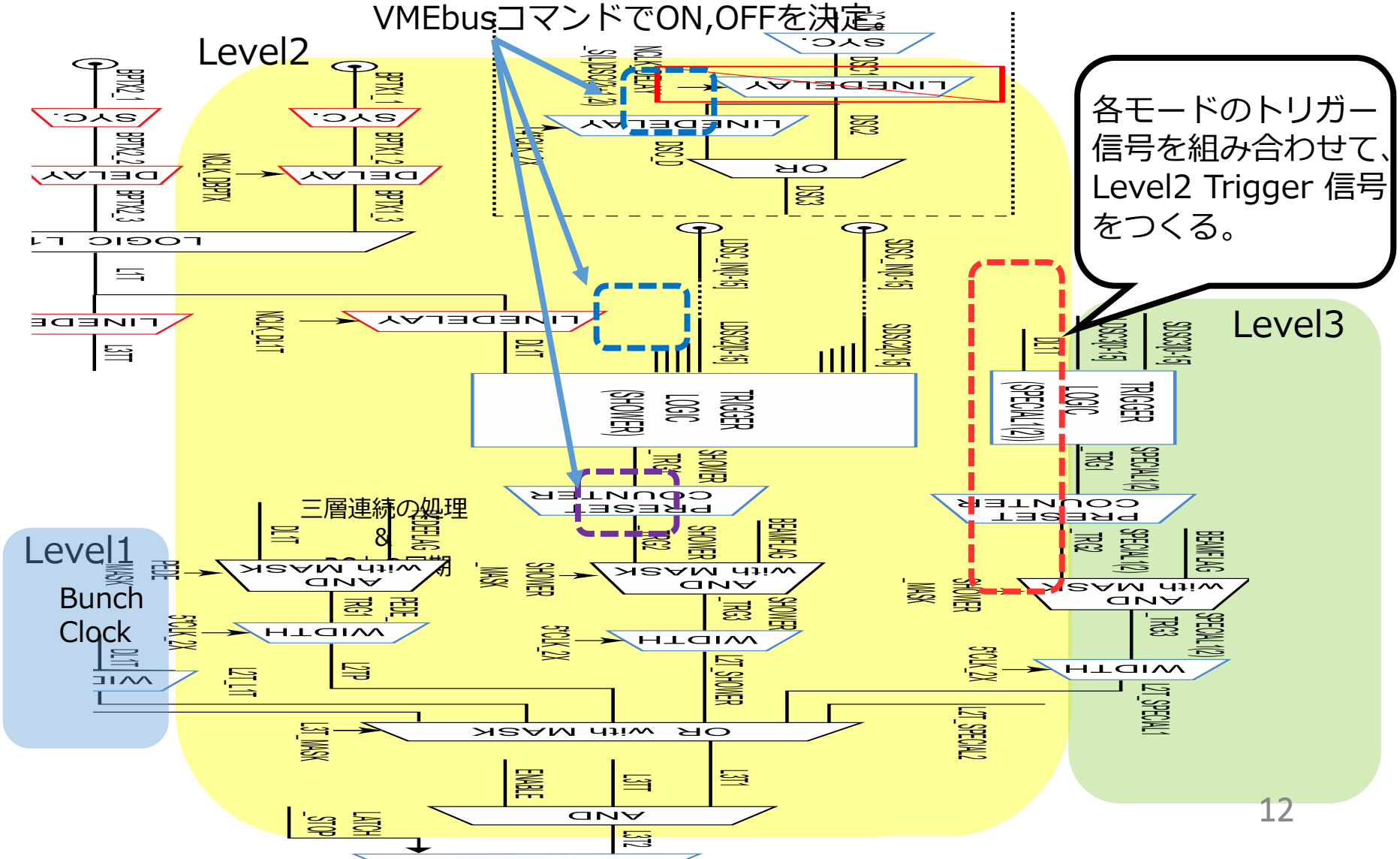


Level2 Trigger

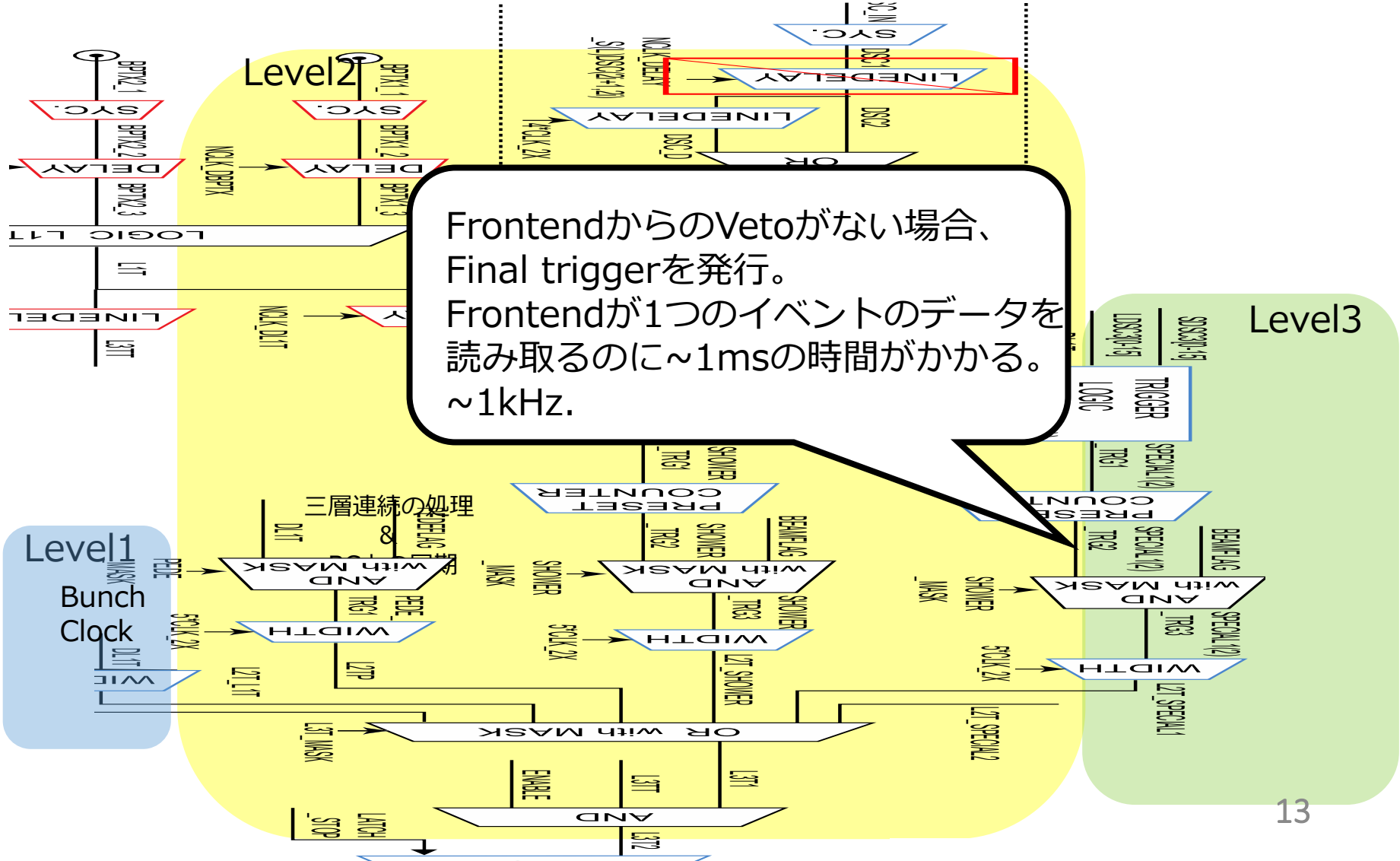


Level2 Trigger

データ取得モードに応じて、
VMEbusコマンドでON,OFFを決定。

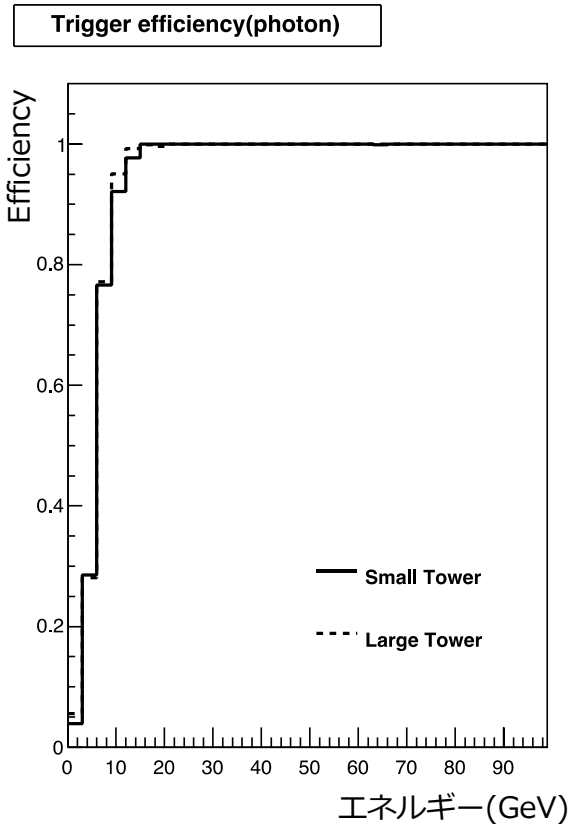


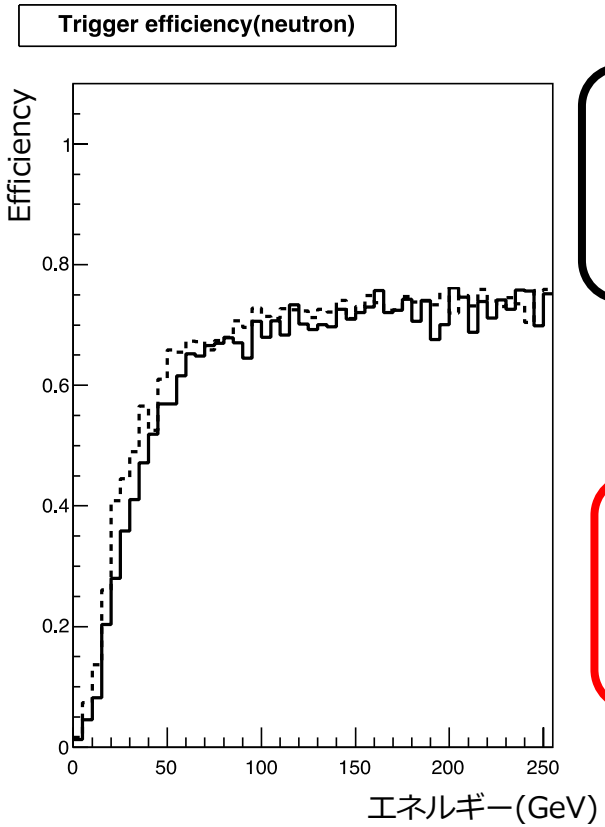
Level3 Trigger



トリガー効率

GEANT4.10.01を用いたMCシュミレーション
使用したモデルQGSP Model (Bertini cascade)





トリガー条件

- 3層連続25MeV以上。
- カロリメータTSの端から2mmを除いた領域に入射。

トリガー効率

- 光子 20GeV以上で100%
- 中性子 100GeV以上で70%

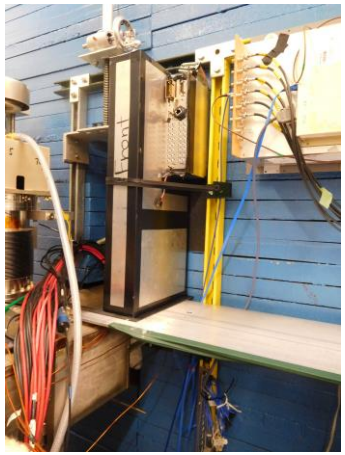
現地でのTiming 調整

2017年2月20日　RUN17の衝突実験開始

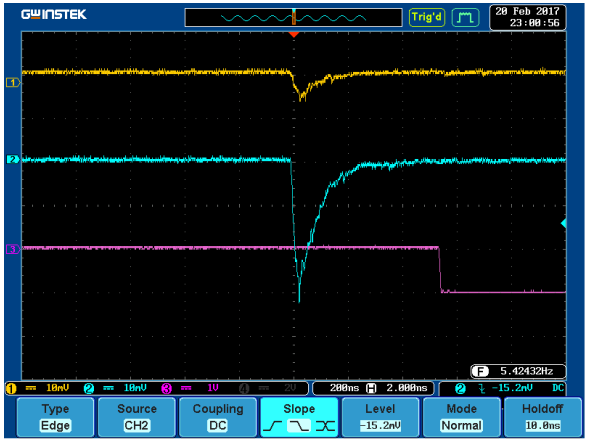
=> RHICf検出器で信号を確認

=> GATE信号のタイミング調整 完了

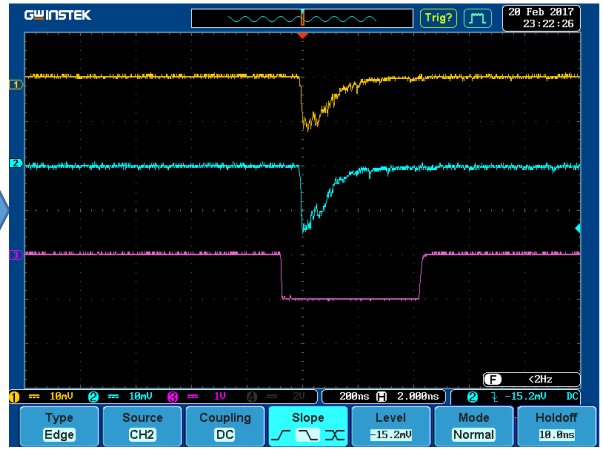
シャワーモードでデータ取得



TSの2層目と3層目のPMT信号とADC GATE信号

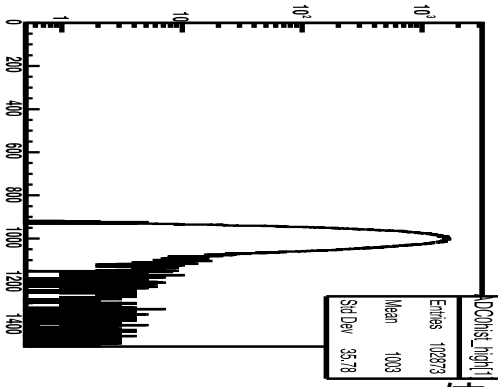


調整前



調整後

TSの2層目のADC値分布



ADC値

トリガーロジックがちゃんと働いているかどうかのチェックをこれから行う。

まとめ

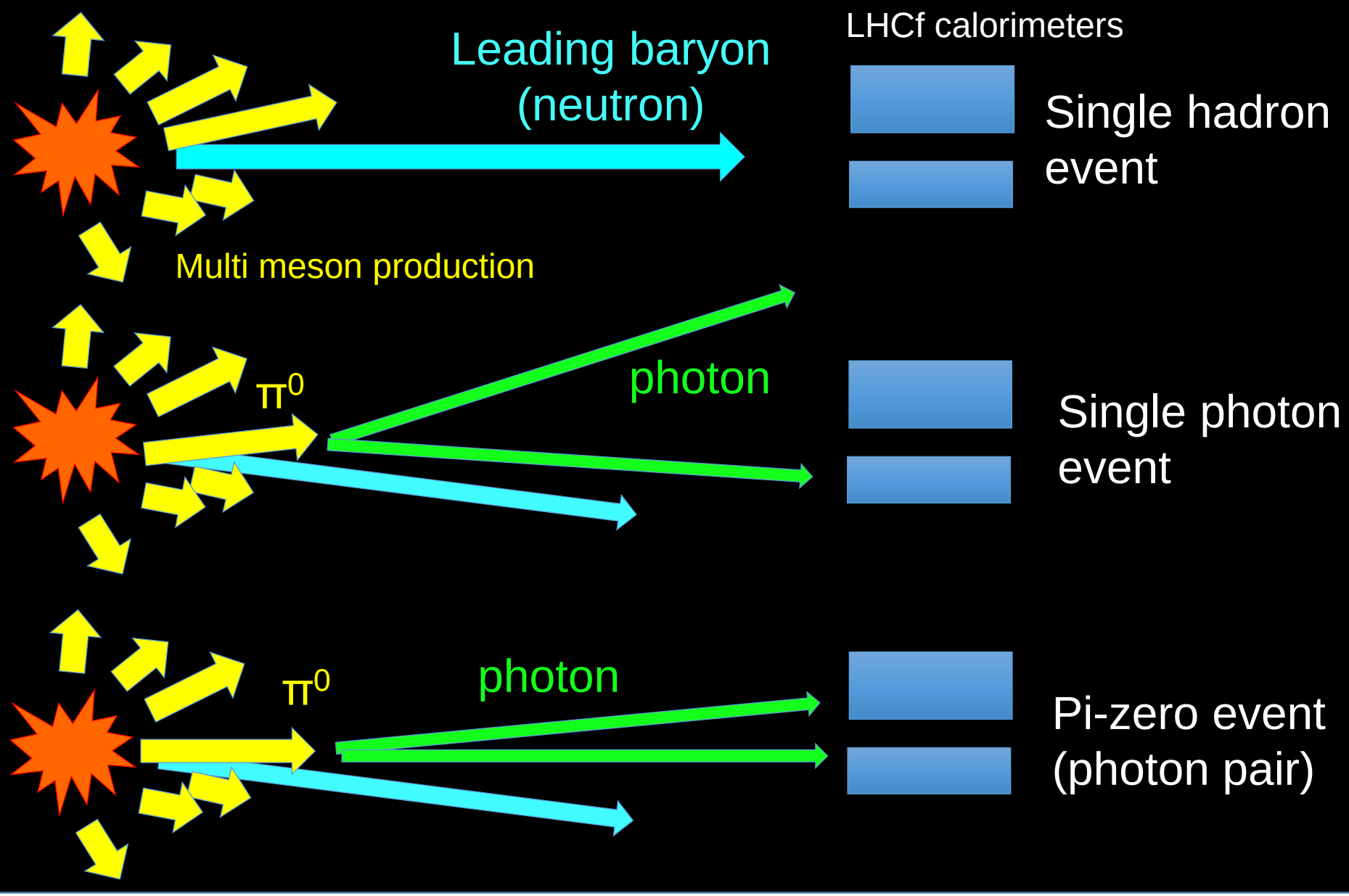
- RHICf実験は、LHCf実験で使われていたArm1検出器を使い、$\sqrt{s}$ = 510GeVのp-p衝突実験を行う。

- RHICfのDAQは、三層連続でエネルギー損失が閾値を超えたイベントに関して、トリガー信号を発行しデータを取得する。

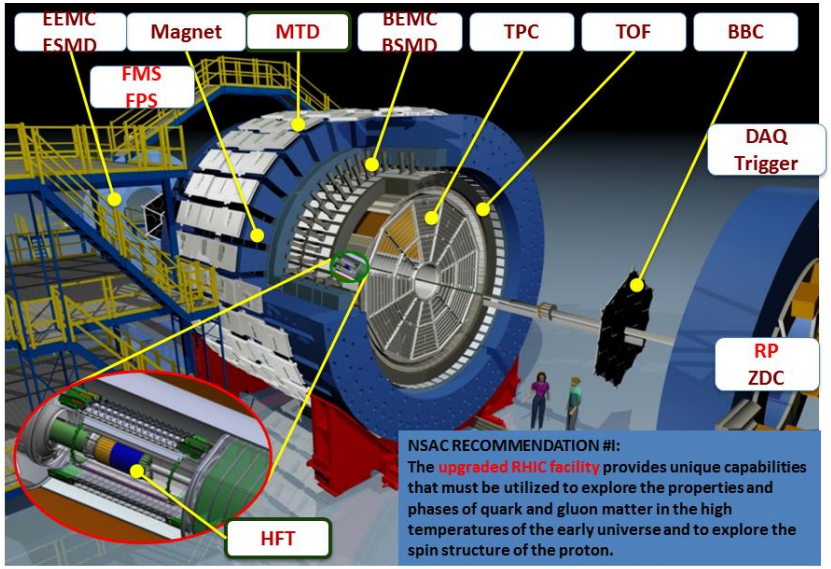
- 三層連続25MeV以上のトリガー条件に関してトリガー効率は、
  光子イベント 100% (E >20GeV),
  中性子イベント 70% (E >100GeV),

- 6月に向けて、BNLで作業を続行

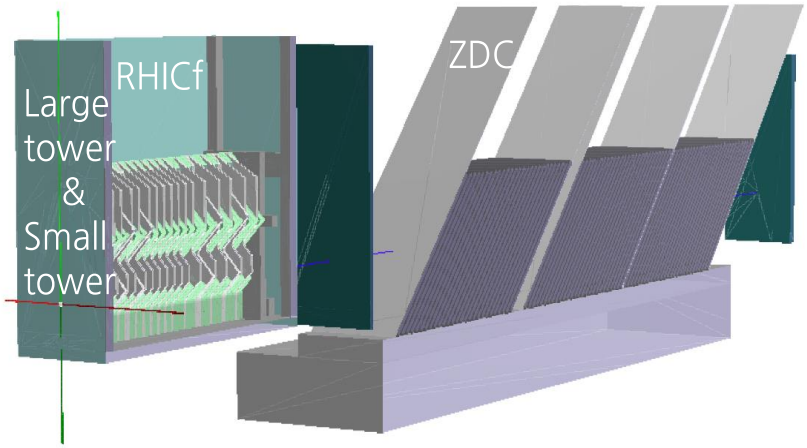
Event category of LHCf/RHICf



STAR実験



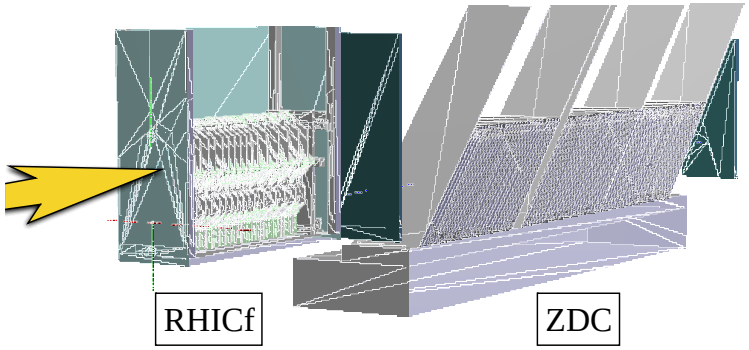
STARのWebSiteから引用



- 衝突点の|η|<1.5をカバーするCentral DetectorとZDCなどの前方領域に生成する粒子を測定する検出器で構成されている。

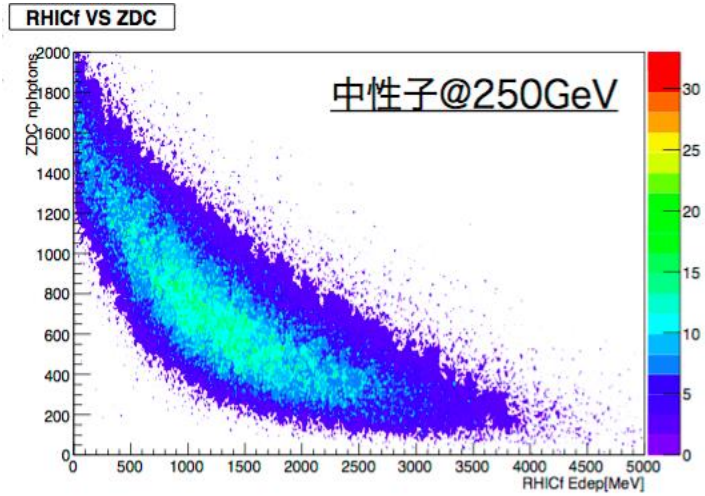
- **RHICf実験はSTAR実験と共同データ取得を行う**
  Central Detectorとの共同解析
  =>diffractive、non-diffractive事象の弁別を行いハドロン相互作用の理解を深める。
  ZDCとの共同解析
  =>中性子イベントにおいてRHICf検出器からのエネルギー漏れの補正を行うことで
  エネルギー分解能を40%から20%まで向上させる

共同データ取得の利得
RHICf と ZDC



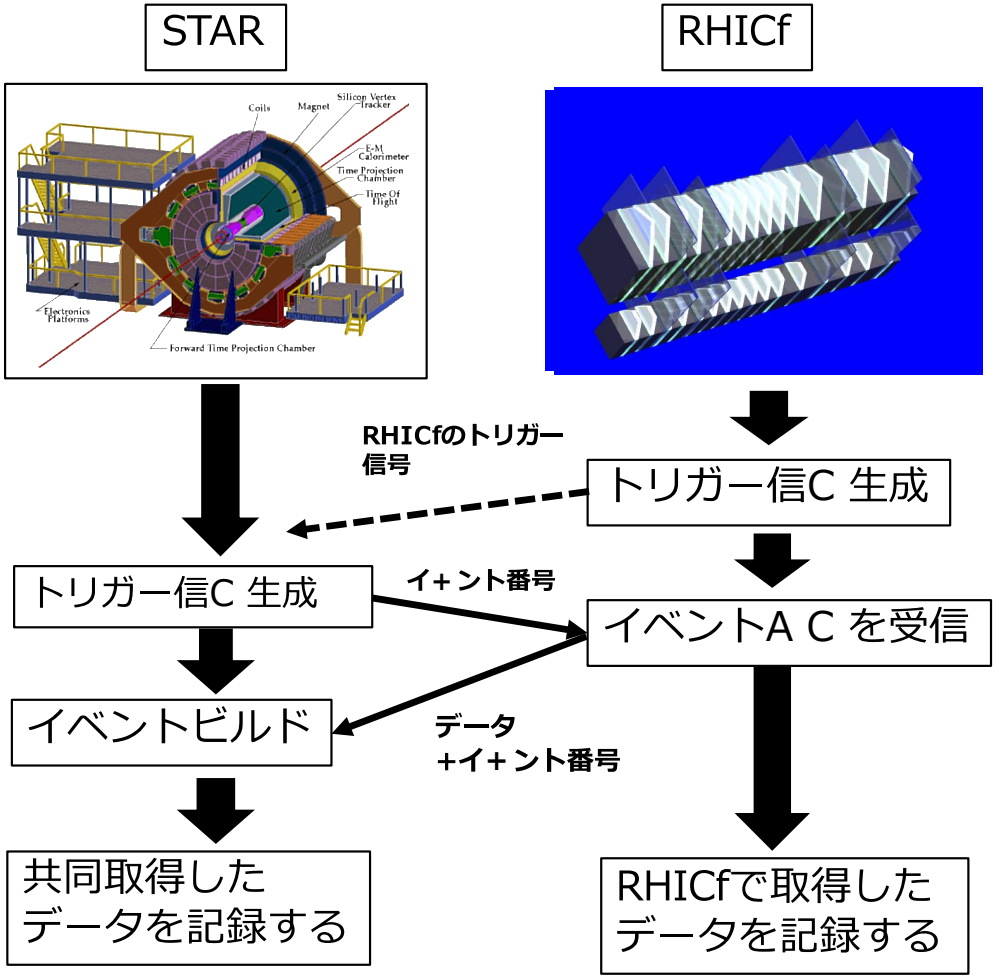
・RHICf検出器のカロリーメーターの後段の層で発生した中性子由来のハドロンシャワーのエネルギー漏れを、RHICf検出器の後ろに設置してある、STAR実験のZDC検出器で測定し、エネルギーの決定精度を上げる。

ZDC検出器



期待される中性子のエネルギー分解能
（鈴木@JPS2016 秋）

2　STAR実験との共同データ取得の流れ



- RHICfは、単独のDAQシステムを持っており、データ取得を行う。
- RHICfは、Sub-detectorの１つのようにSTAR実験のDAQをトリガーし、STARのデータと共にデータを記録する。

共同データ取得システムの構築

共同データ取得のためのセットアップ

- FPGAのLogicの開発、テスト
- RHICfとSTARのDAQの間のタイミング調整
- 共同データ取得試験で取得したデータの検証

今年度の作業・状況

2016年9月～11月　ダミー信号を使ったRHICf単独でのデータ取得テスト

2016年12月～2017年1月　FPGAに実装するLogicの開発、テスト

2017年2月　ダミー信号を使った共同データ取得のテスト

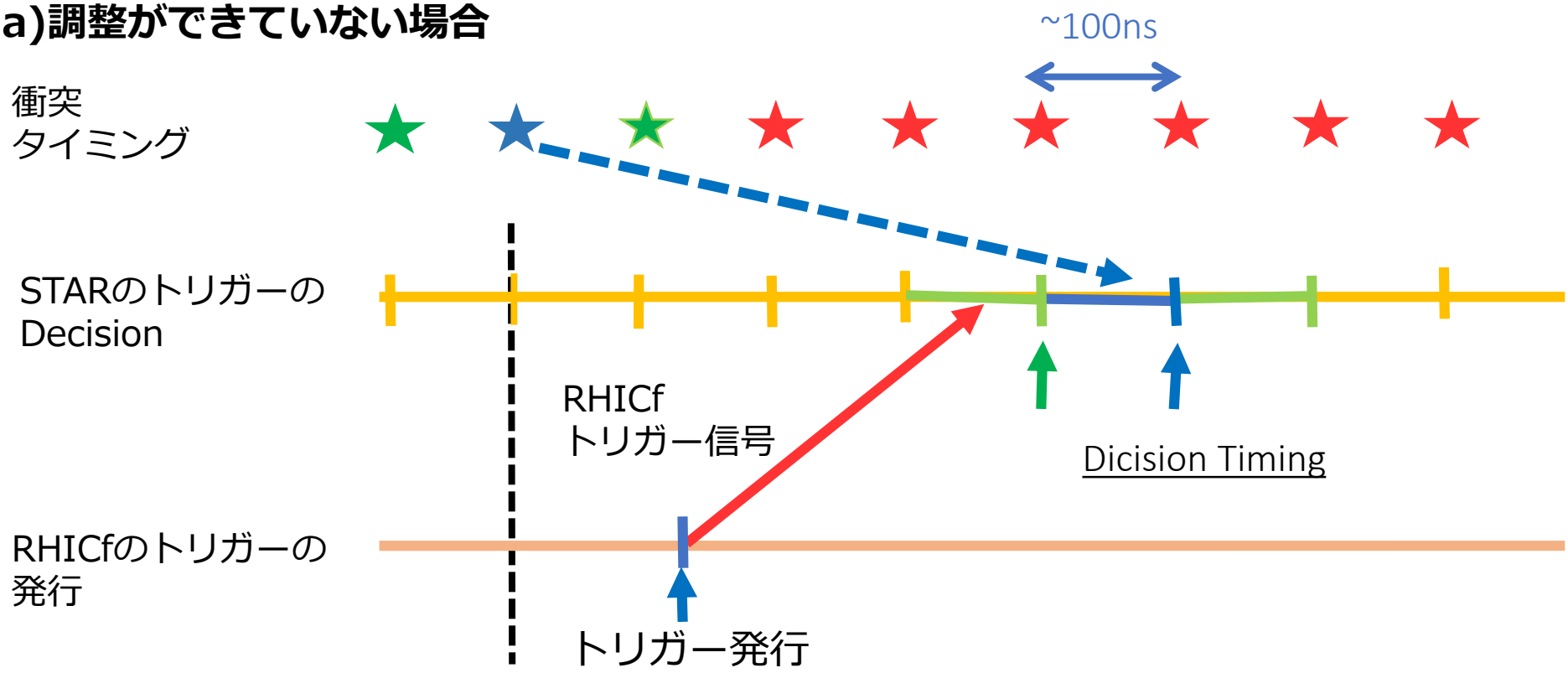
2017年2月20日　RUN17の衝突実験開始

2017年2月～3月　RHICfの検出信号を用いてDAQのタイミング調整、共同データ取得のテスト

DAQのタイミング調整

RHICのバンチは約100nsごとにInteraction Pointで衝突する
=>トリガー信号を100nsより高い精度で調整し、正しくイベントマッチングをしなければならない。

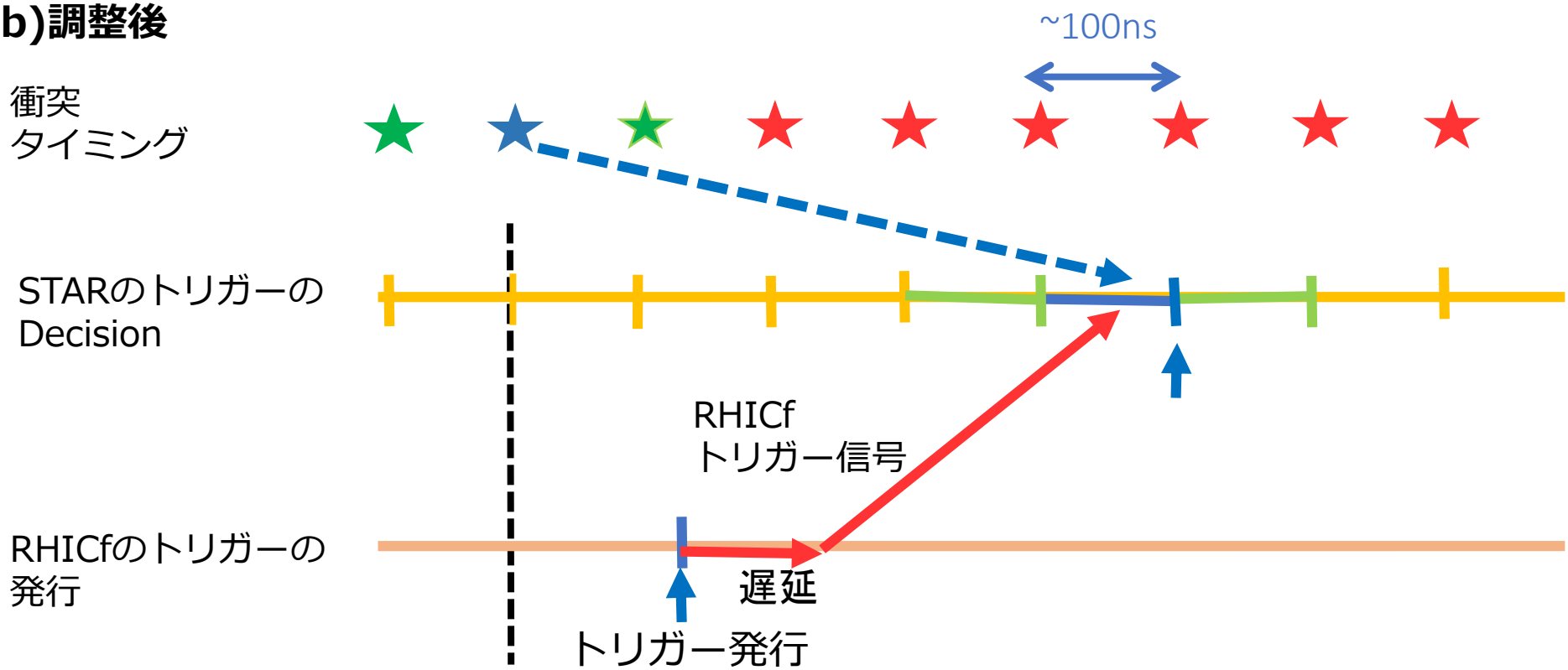
a)調整ができていない場合



DAQのタイミング調整

RHICfのDAQ内でTrigger信号を遅延させて、送信のタイミングを調整した。

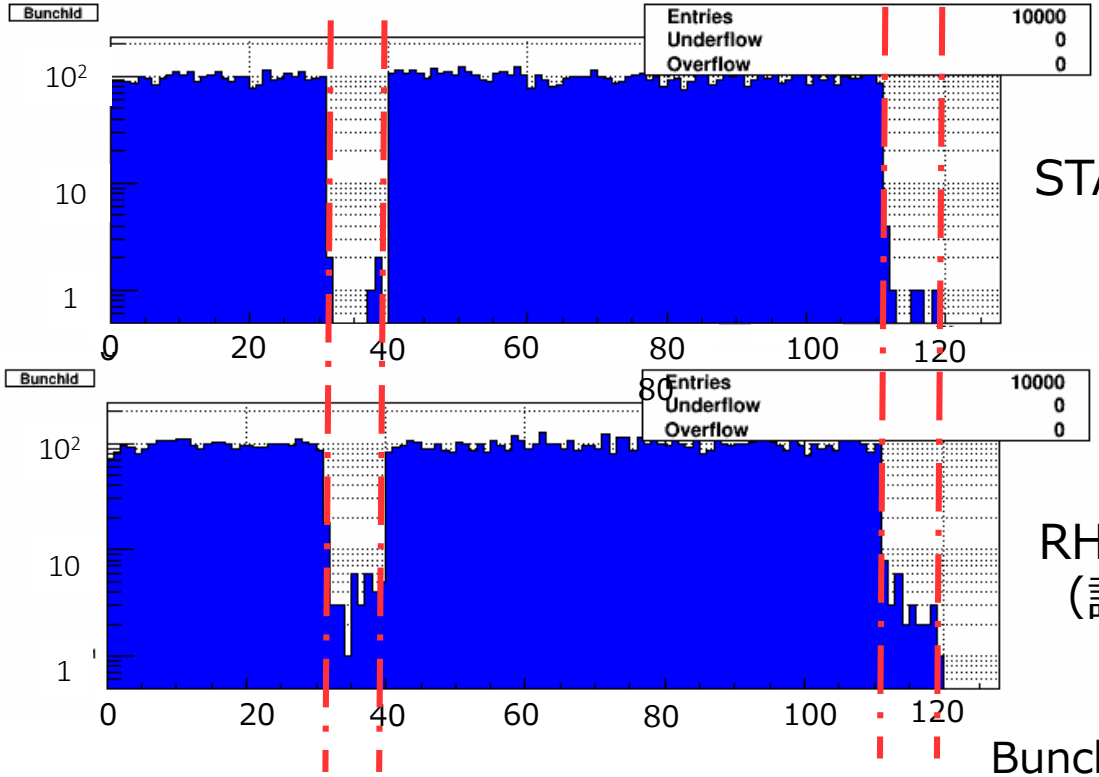
b)調整後



=>正しく調整できているか確かめるためにSTARのBunchIDを用いて検証を行った。

Bunch IDを用いた検証

イベントマッチングが正しく行われているかの検証をSTARが持つBunch IDを用いて行った。



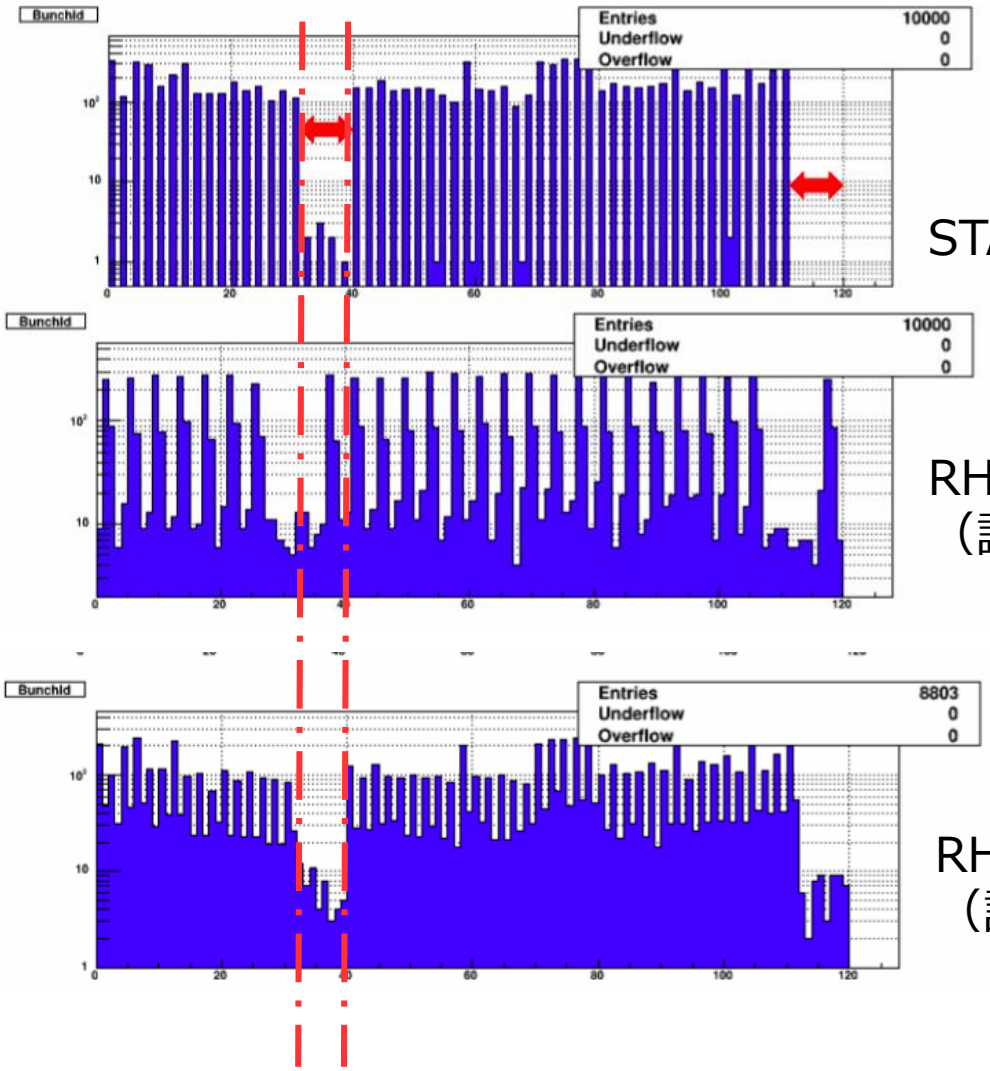
STARでトリガーされたイベントの分布

RHICfでトリガーされたイベントの分布（調整済）

Abort gapの位置が一致している

=>RHICfがSTARをトリガーするタイミングを正しく調整できたことを確認した。

トリガー信号のTiming調整



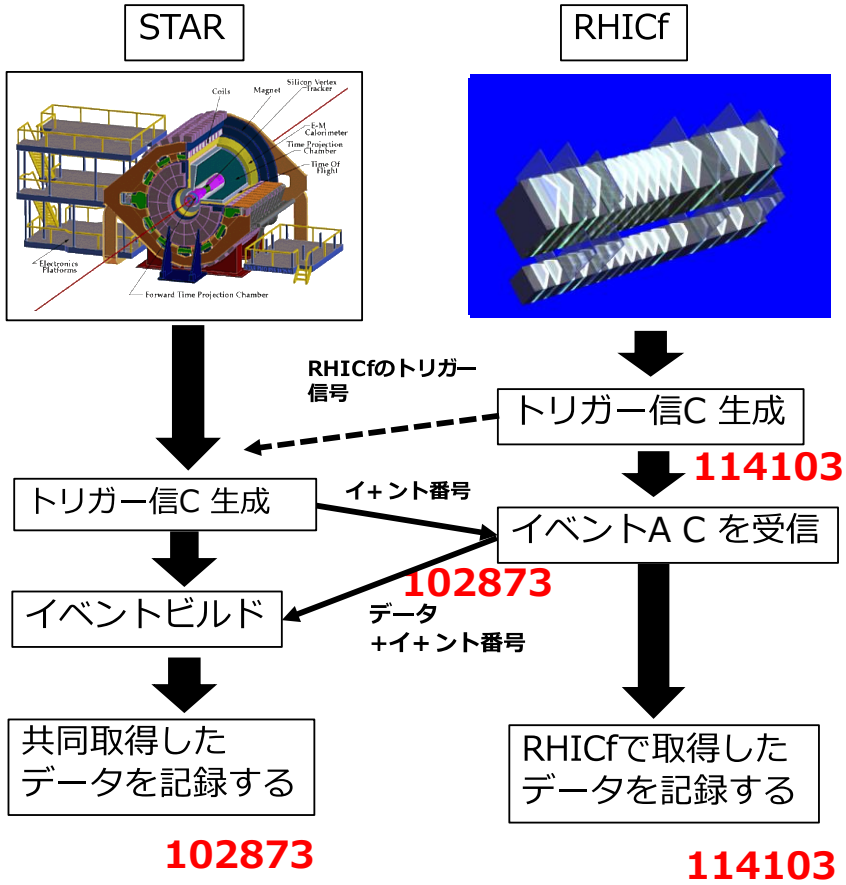
STARでトリガーされたイベントの分布

RHICfでトリガーされたイベントの分布（調整前）

RHICfでトリガーされたイベントの分布（調整後）

イベント数を用いた検証

RHICfとSTARで記録されているイベント数を比較することで、RHICfのトリガー信号とデータに対して、それぞれSTARの受信効率を求めた。



1) STARのRHICfトリガー信号の受信効率
=>102873 / 114103 ~ 90%
100%ではない原因を今後究明する。

2) STARのRHICfデータの受信効率
=> 102873 / 102873 ~ 100%

送ったデータが不足なくSTARのデータベースで記録されていることを確認した。

位置検出層の信号読み出し

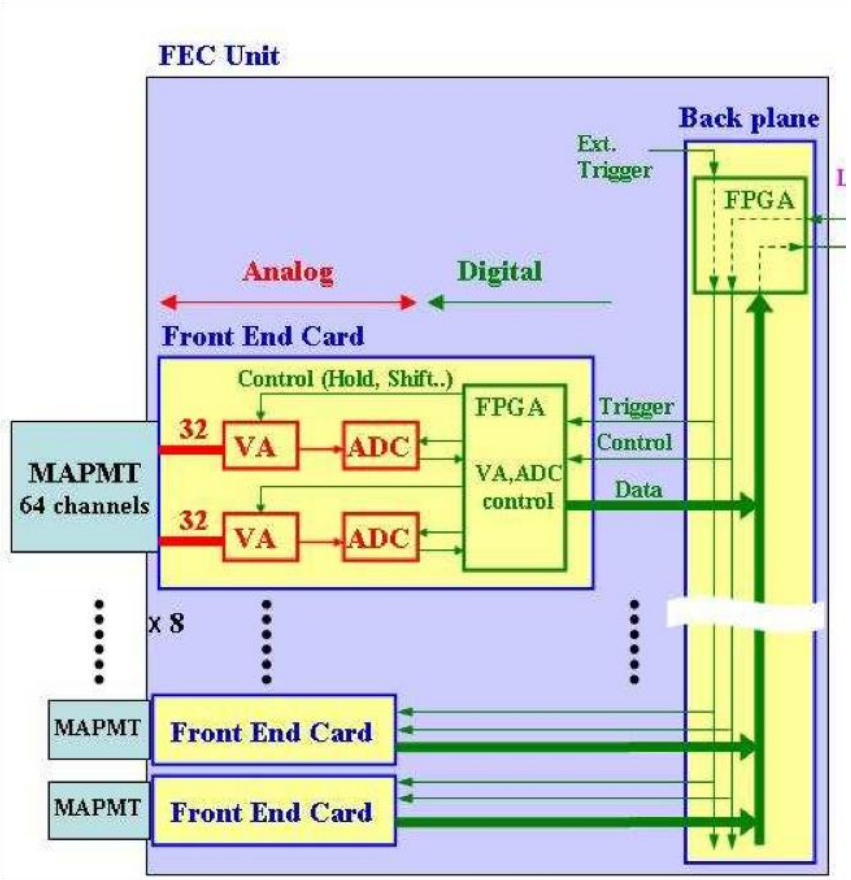


Figure 28: The FPGA (the Field Programmable Gate Array) read-out system for the SciFi.

The LHCf collaboration ; LHCf TDR (2016)

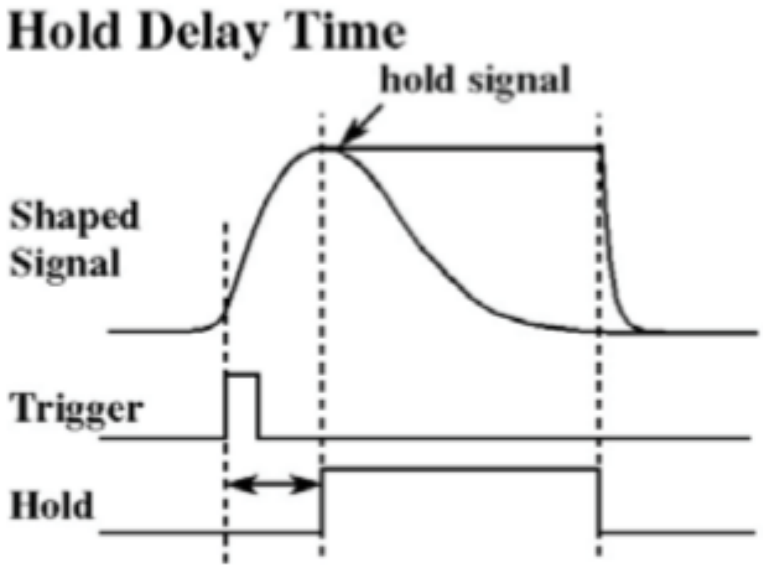
Viking CHIP

VA32HDR14を使用

Viking Chip （VA32）

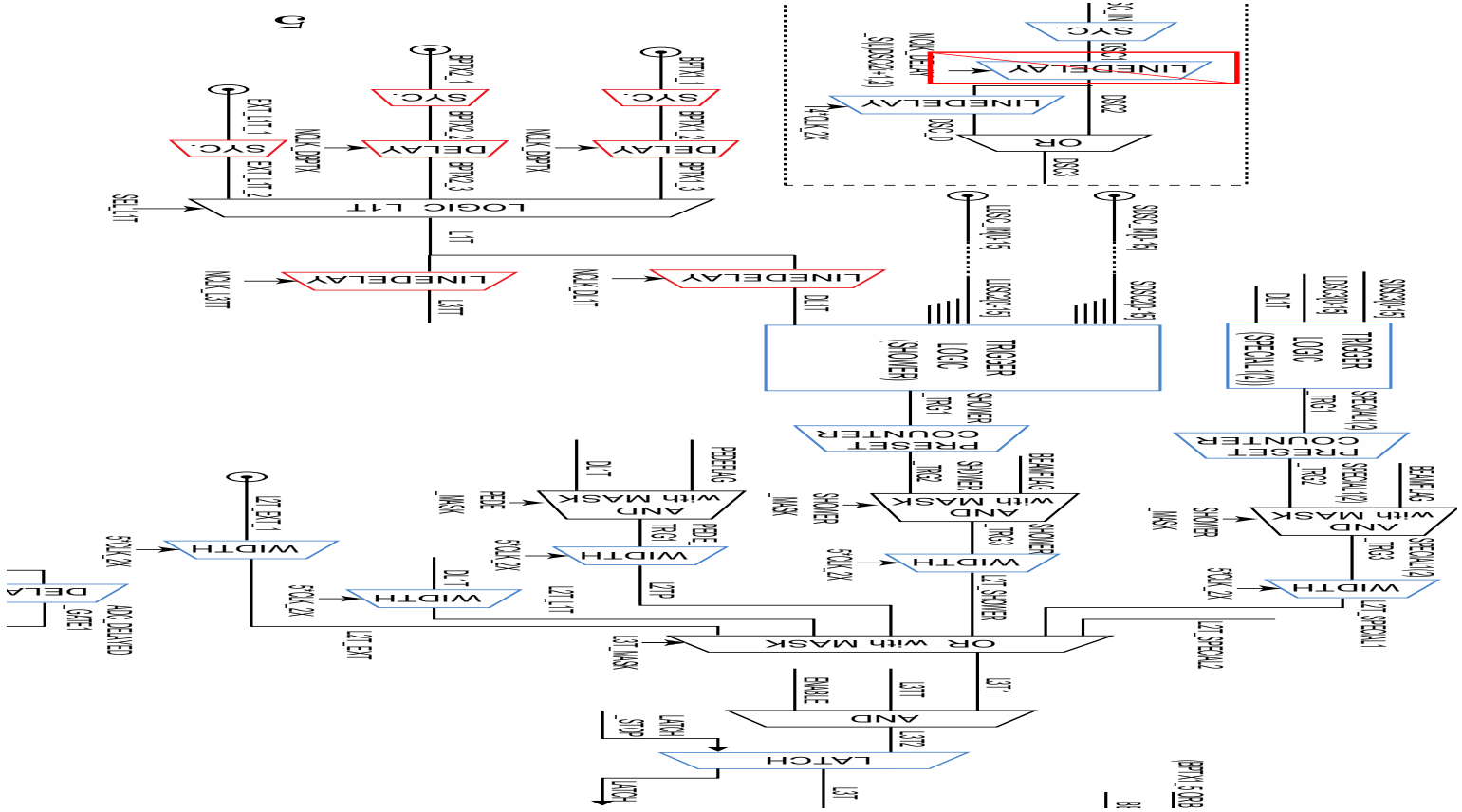
(Pre.Amp.+Shaping Amp.+Sample Hold) x 32ch

Multiplexer 読み出し



参照 : 田村 忠久 他 CALET チーム@2005年 宇宙線将来計画シンポジウム

トリガーロジック


OR
LINEDELAY
DELAY
LOGIC LIT
TRIGGER LOGIC (SHOWER)
AND MASK with
WIDTH
OR with MASK
AND
LATCH