



KOTO実験における トリガー・データ収集システム

杉山 泰之
(大阪大学理学研究科)

計測システム研究会2014@J-PARC

2014/Nov/20





J-PARC KOTO 実験

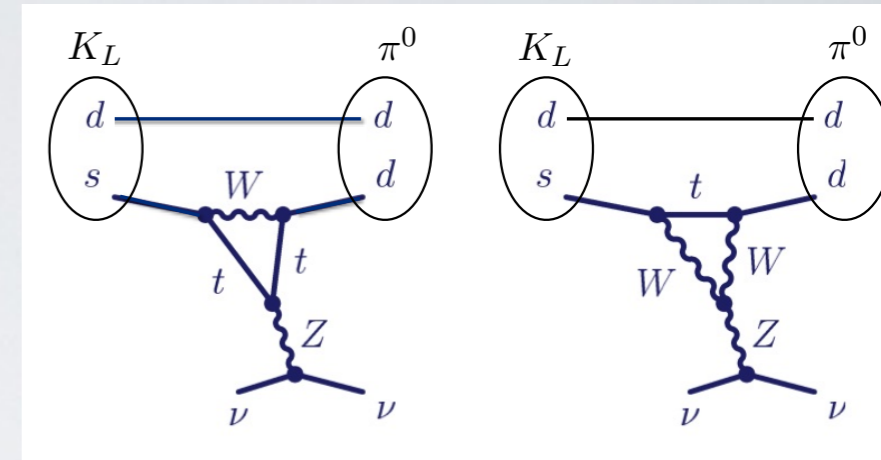


- K中間子の崩壊モード $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ のイベントをさがす実験。

- 崩壊分岐比がCP対称性の破れの大きさに比例。

- 非常に稀な崩壊モードで、

標準理論で予測される崩壊分岐比は 2.4×10^{-11}

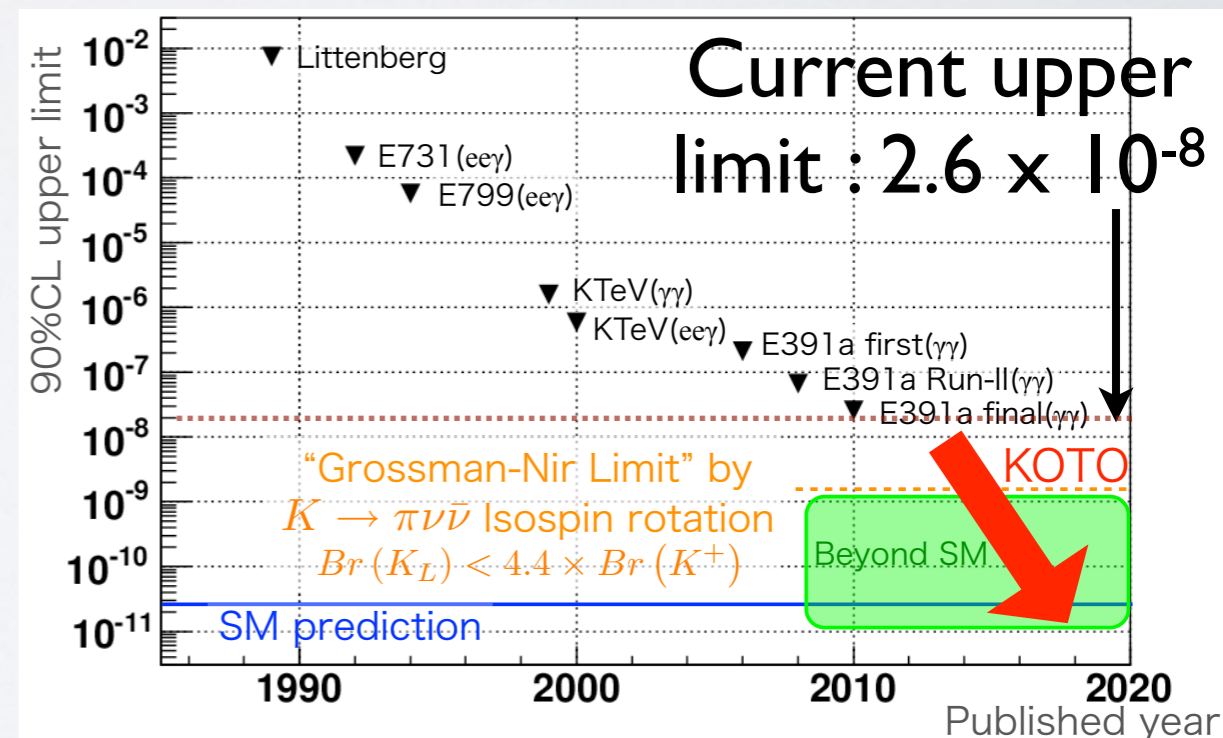


- 分岐比の予想の理論的不定性は2%

- CP対称性の破れの大きさを精密に測定、

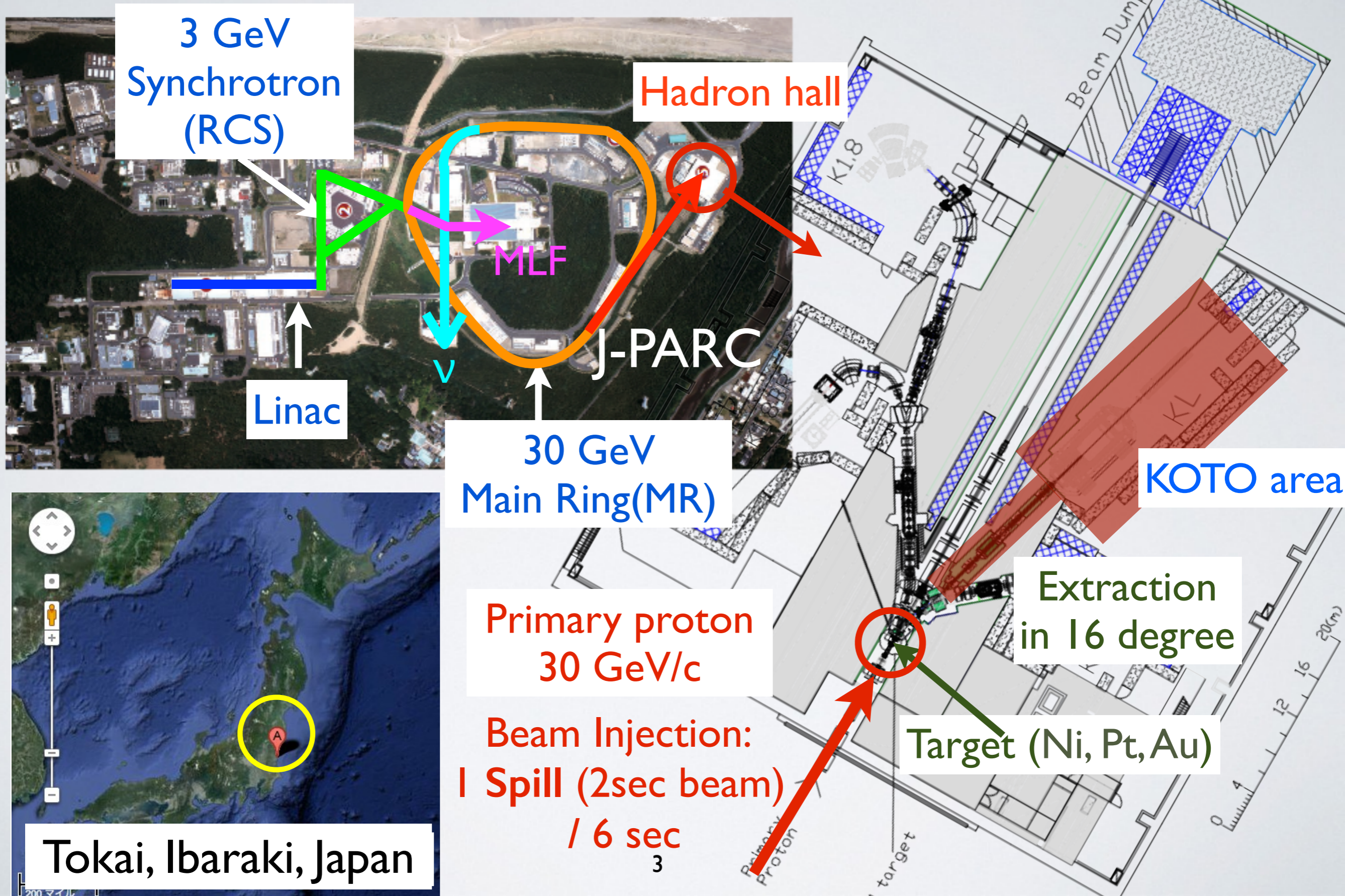
標準理論の検証と

新たな物理の探索を行う。





KOTO = K_L^0 at TOKai



3 GeV
Synchrotron
(RCS)

Hadron hall

MLF

J-PARC

Linac

30 GeV
Main Ring(MR)

KOTO area

Extraction
in 16 degree

Primary proton
30 GeV/c

Beam Injection:
1 Spill (2sec beam)

16 sec

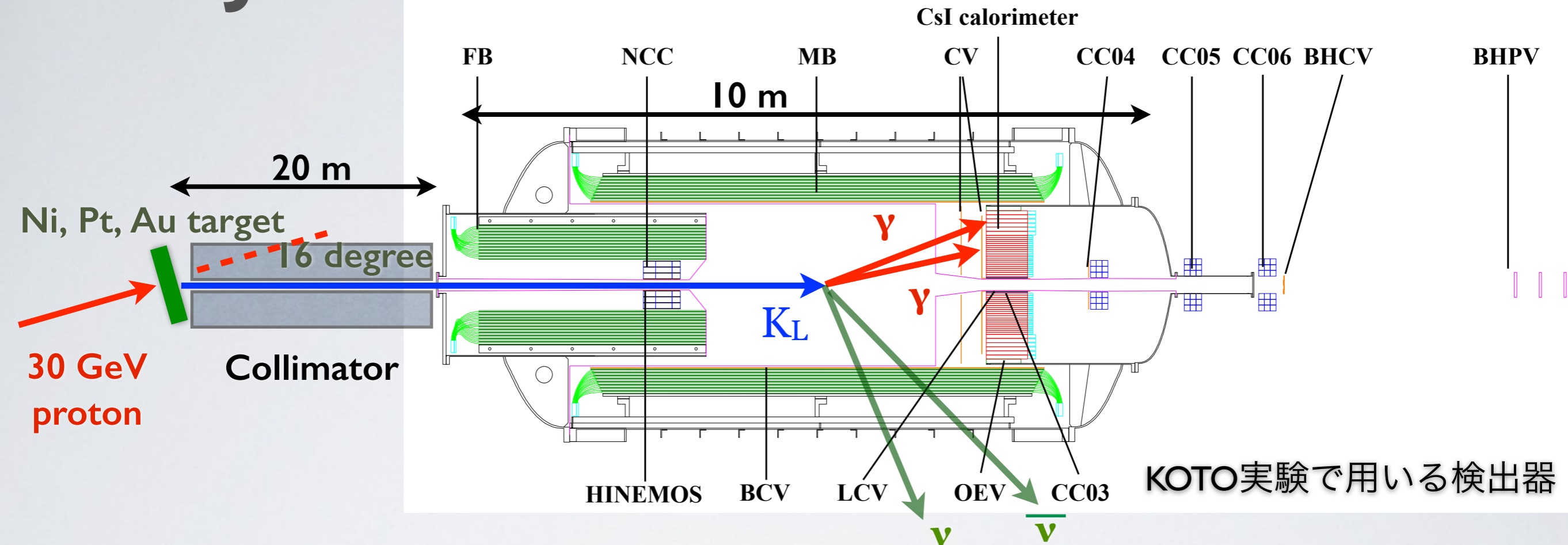
3

Target (Ni, Pt, Au)

Tokai, Ibaraki, Japan



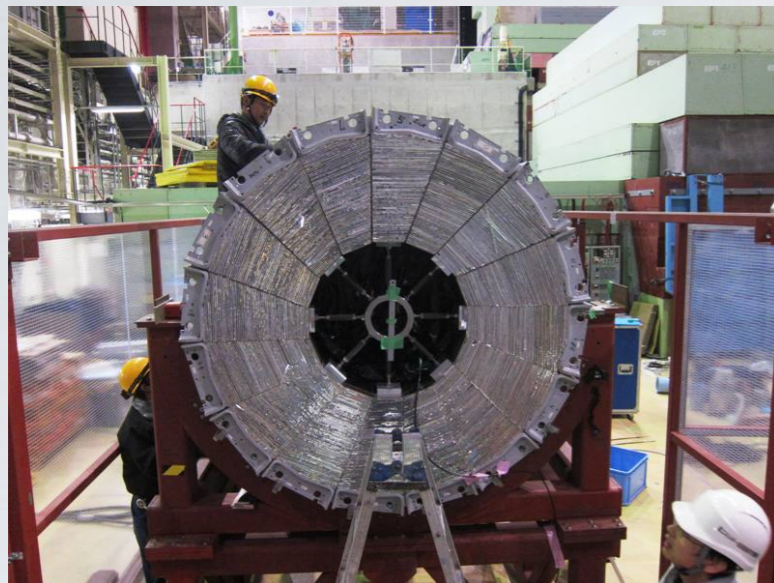
J-PARC KOTO 実験



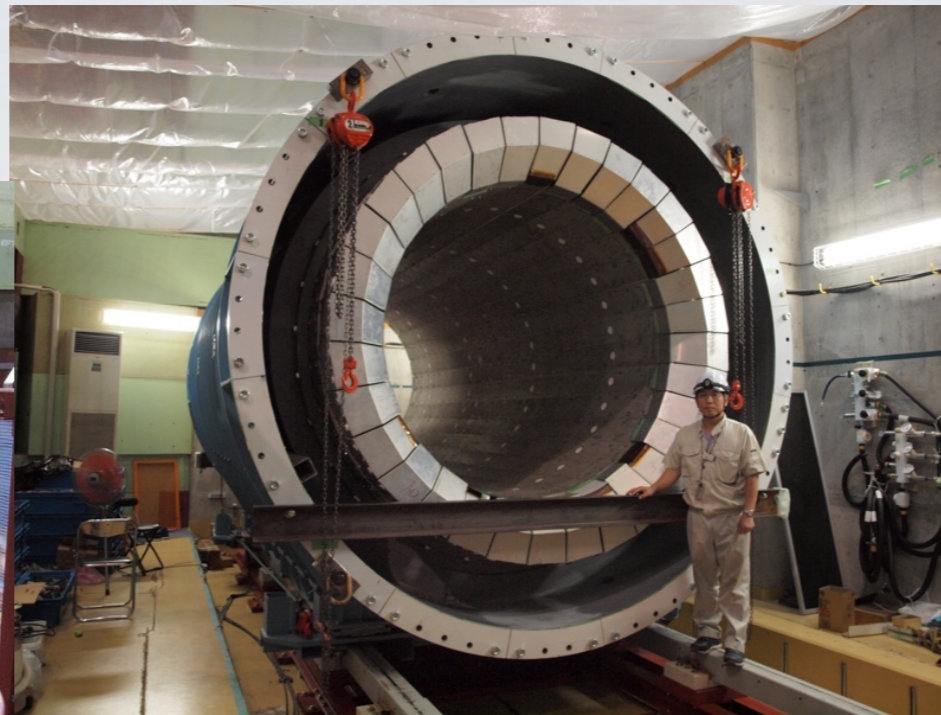
- 2013年5月に物理ランのデータ収集を実施。(陽子ビーム強度：20~24kW)
- イベントの特徴
 - CsIカロリメータに $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ による2つのクラスター
 - カロリメータ上のエネルギー重心 $\neq 0$ (ν による横方向運動量の存在)
 - CsIカロリメータ以外に他の粒子のHitがない。



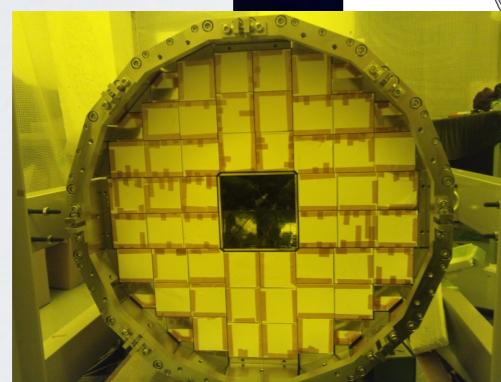
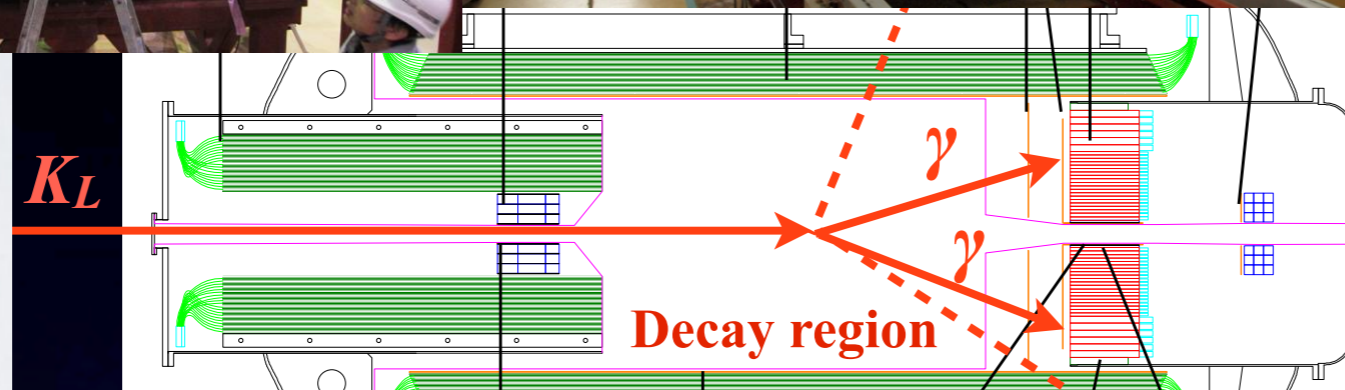
Front Barrel



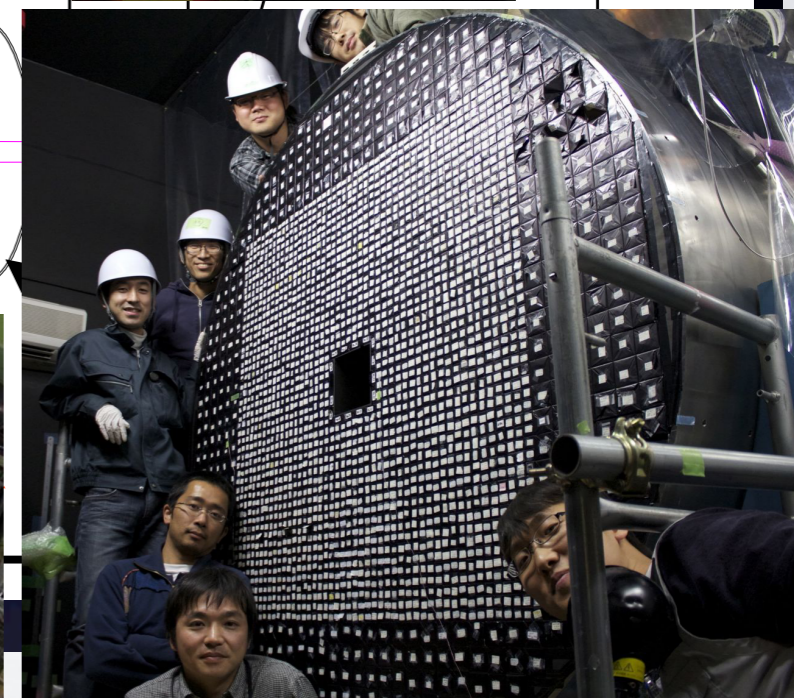
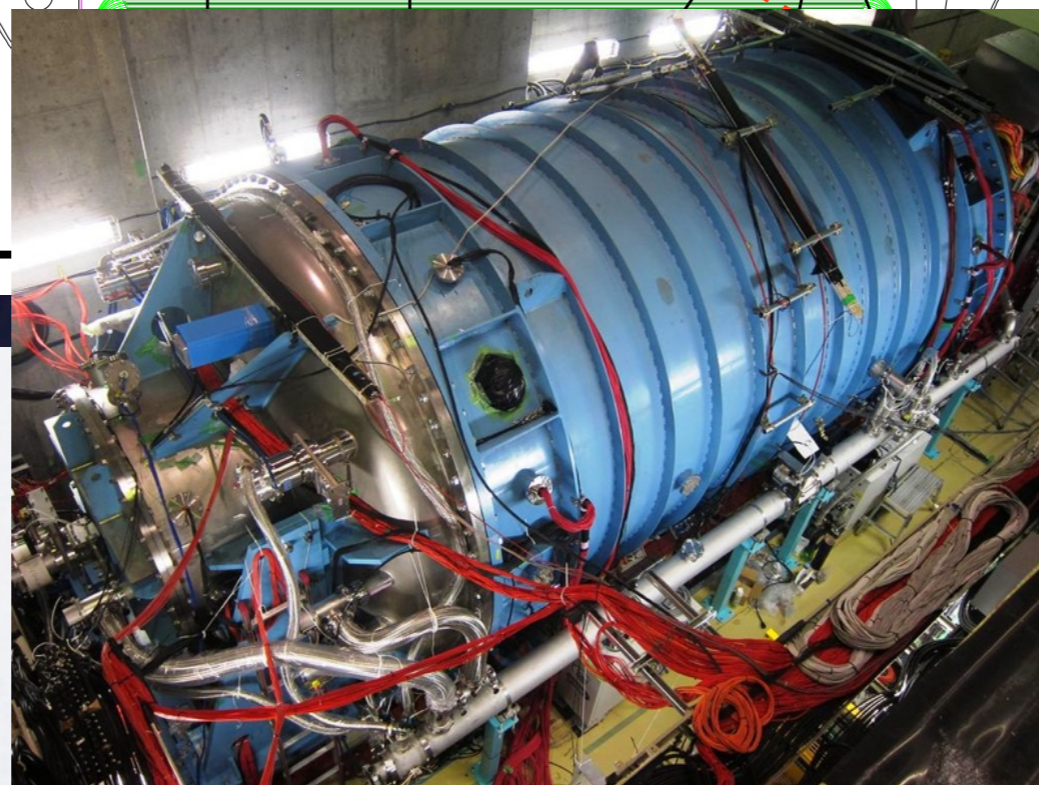
Main Barrel



Charged Veto



Neutron Collar Counter



CsI calorimeter

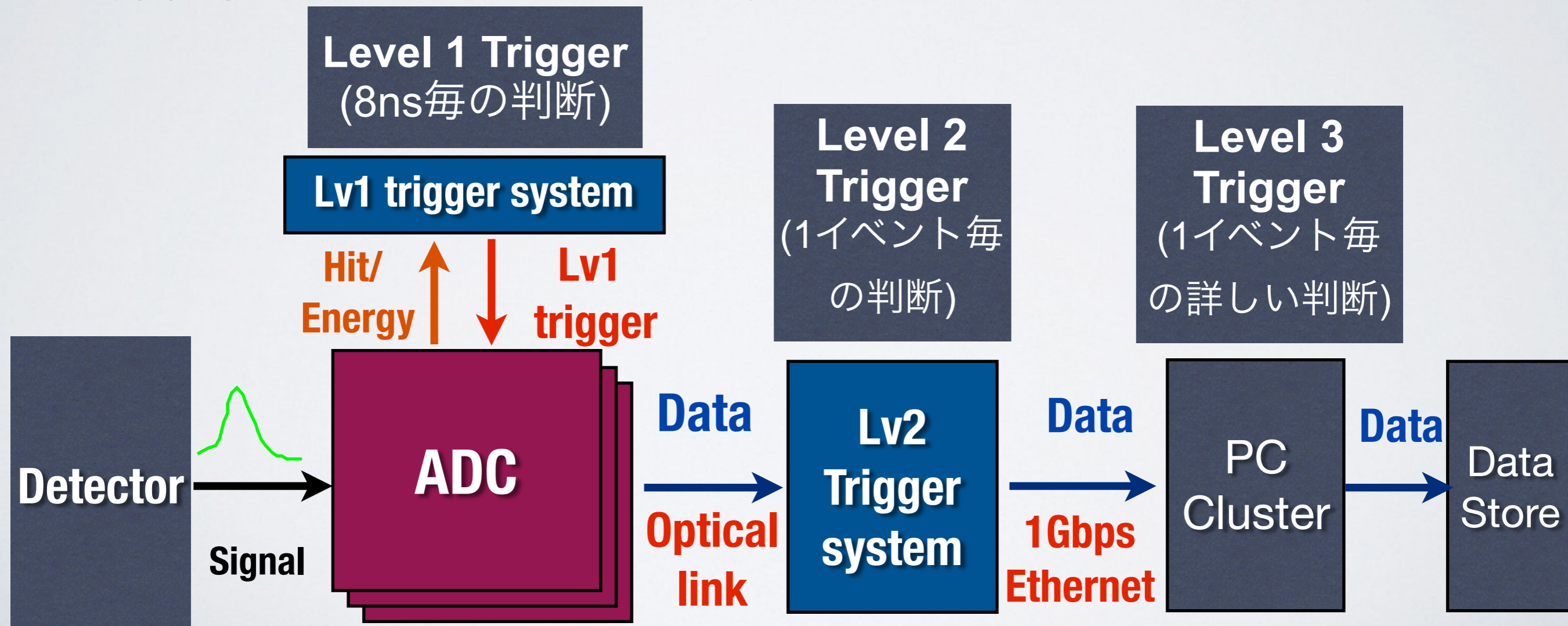
Vacuum Tank



KOTO DAQ system:概要と要求



- ADCを用いて全検出器の信号を波形情報として読み出し・記録。
 - 波形情報を解析することでpile-upに対処。
 - CsIカロリメータ:2716 channel、全検出器:3700 channel。
- 波形情報を用いた3段階のトリガー判断
- 今回の物理ランでは、Lv3トリガー判断は行わず、データ圧縮のみを行った。





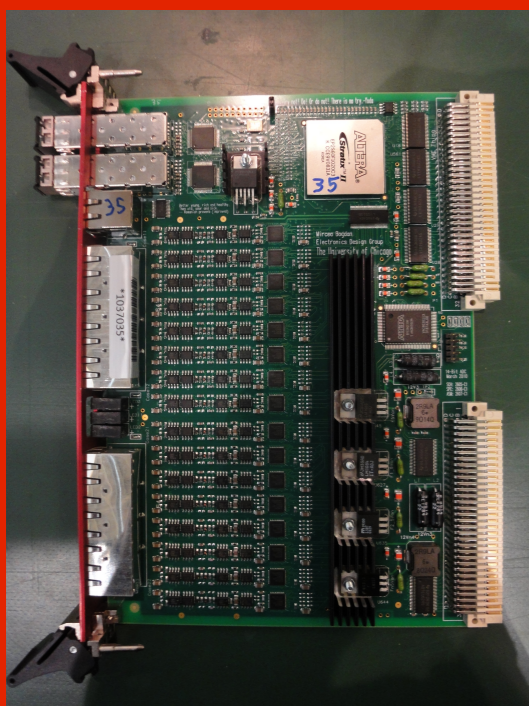
データ収集システム



- ハードウェア(VME)はKOTO実験のアメリカのグループが独自に開発
- データ収集システム全体の統合・構築と、Lvlトリガーのデザインが主な研究。

KOTO DAQ/Trigger System

FrontEnd: ADC

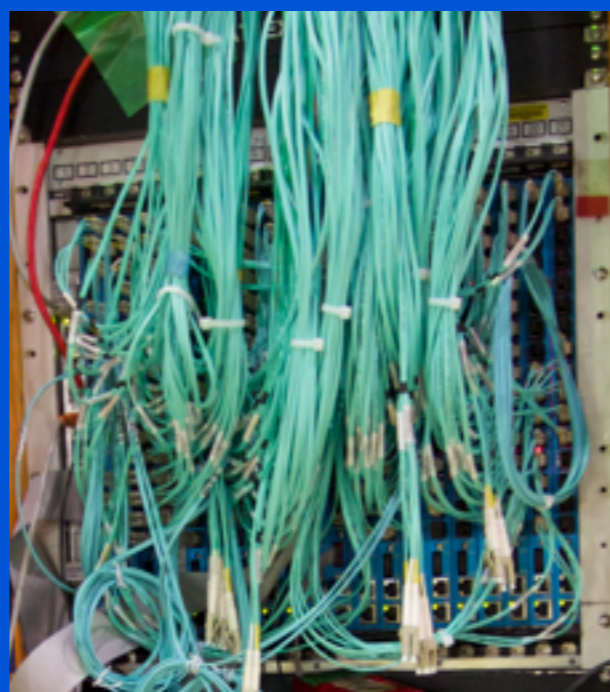


14bit 125MHz
w/Bessel Filter

12bit 500MHz

Hardware: U.Chicago
Firmware: Arizona State U.

Trigger System



Lvl/Lv2 Trigger system



PC farm for Lv3

Hardware/Firmware: U.Michigan

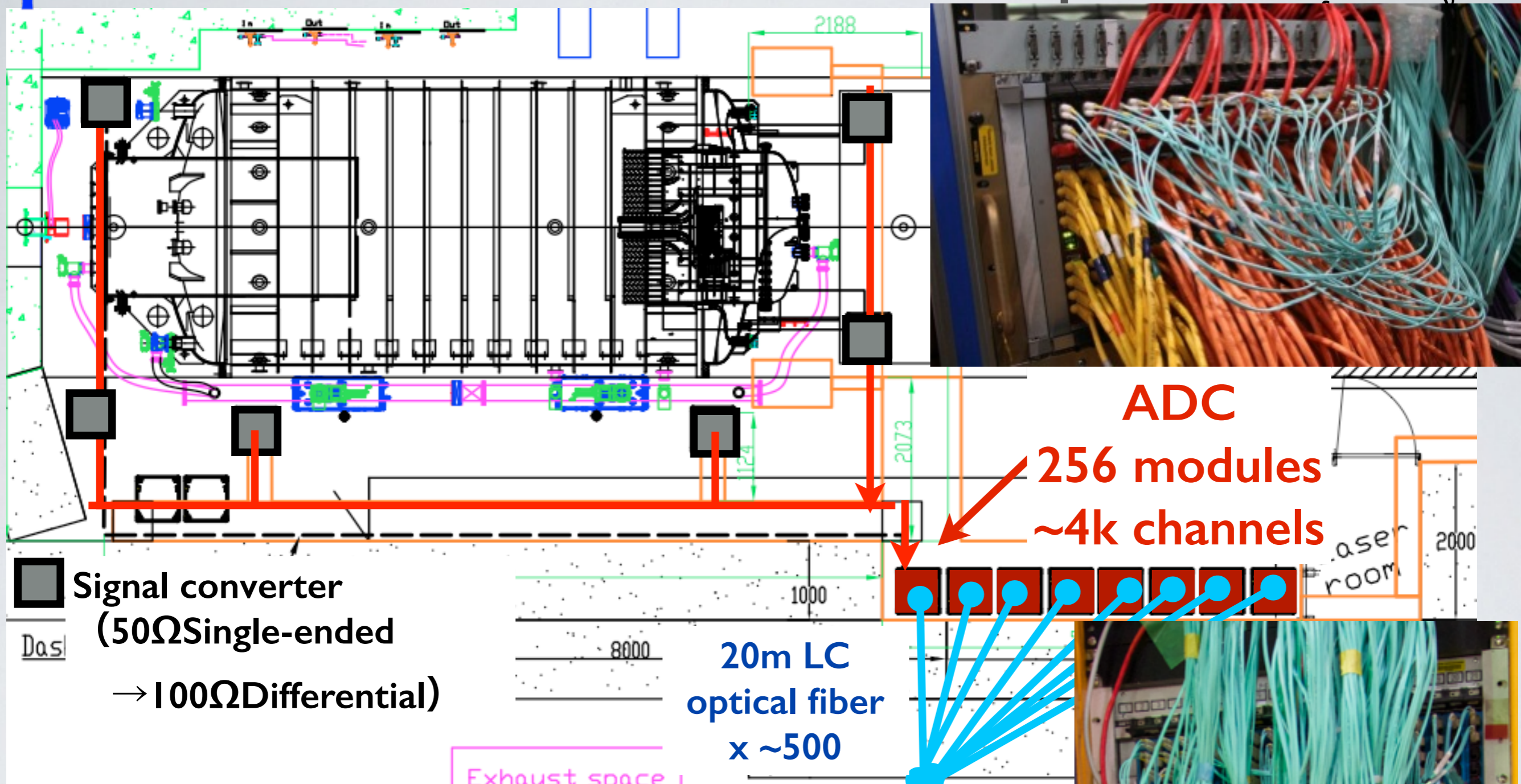
データ転送
To KEK :
山形大

Data
Production
@KEK :
大阪大

Simulation
Library :
京都大



KOTO electronics in the Exp. Area

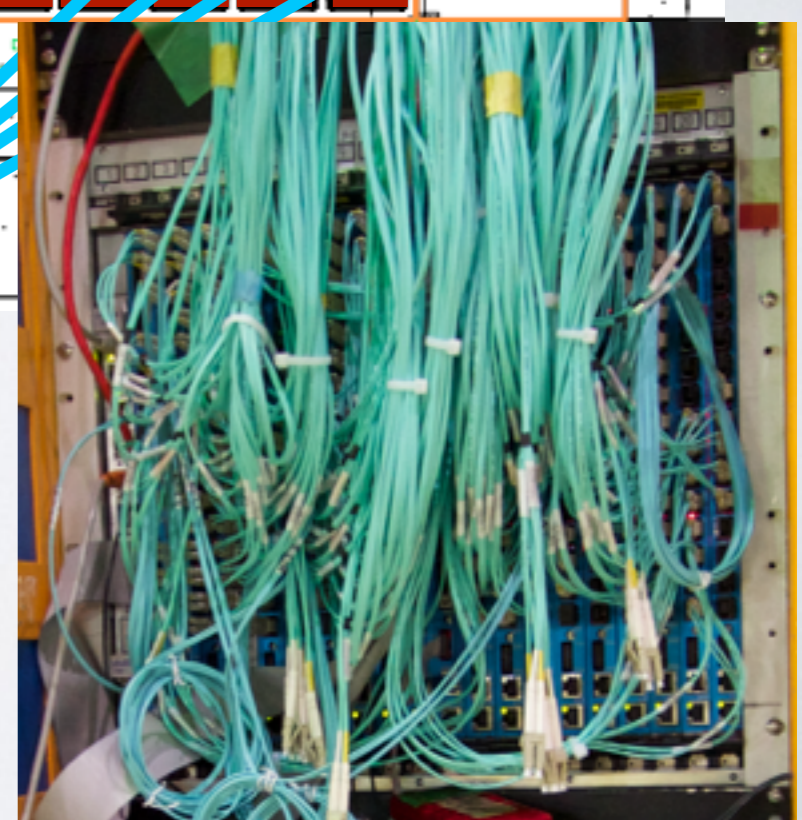


ADC
256 modules
~4k channels

■ Signal converter
 (50Ω Single-ended
 → 100Ω Differential)

20m LC
 optical fiber
 x ~500

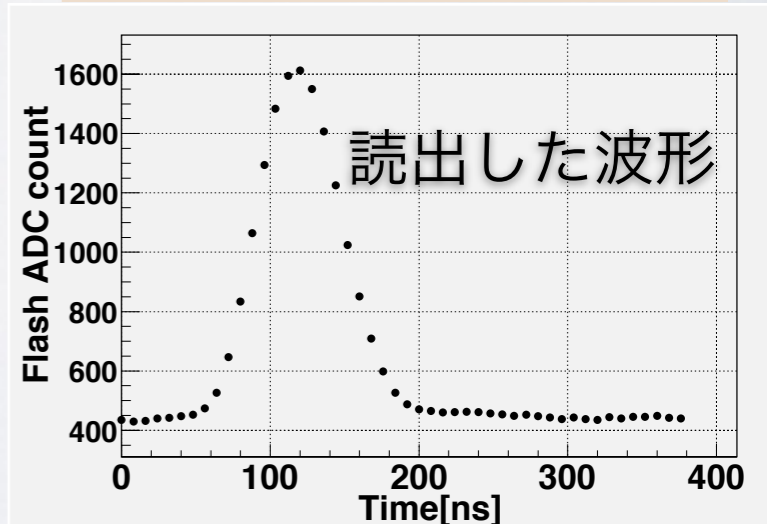
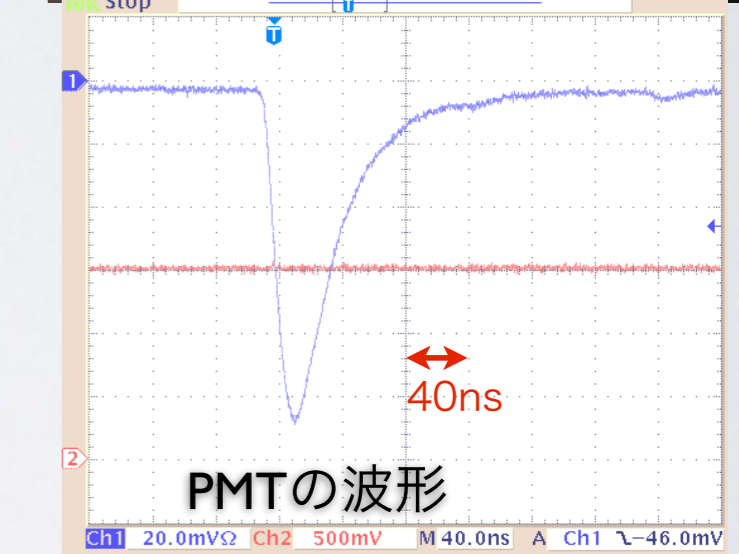
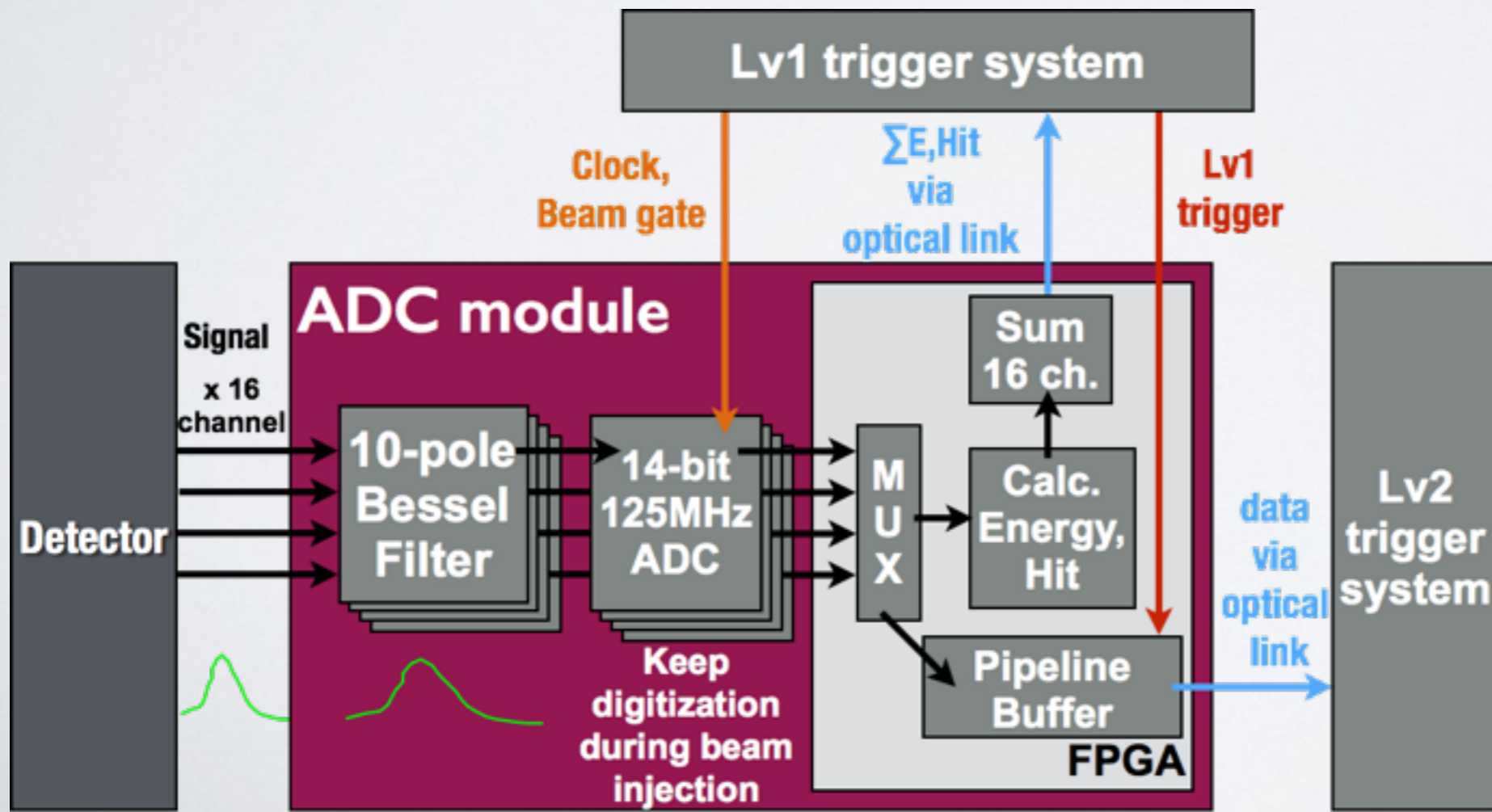
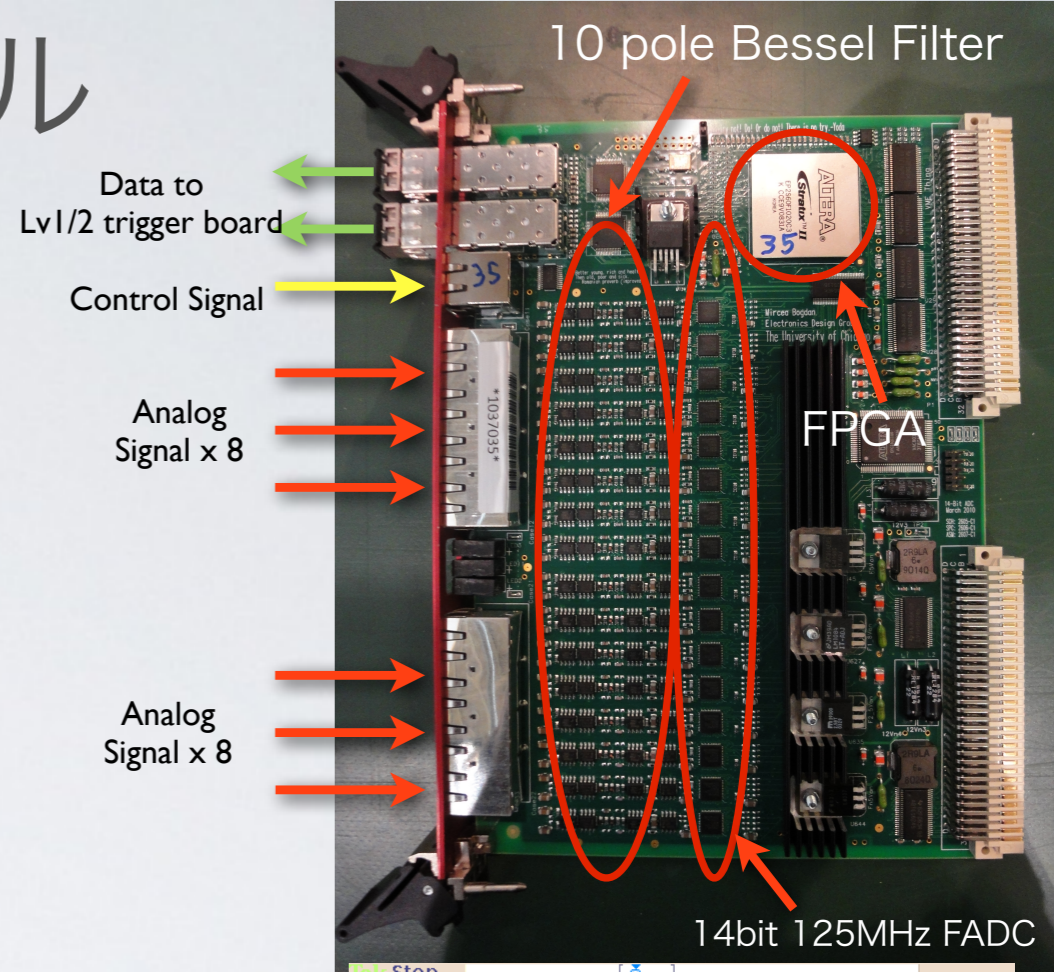
Trigger
 System



- 検出器の信号は直後で差動信号に変換してCat6ケーブルで伝送。
- 実験エリア内のADCから実験エリア外のTrigger Systemへ光ファイバーでデータ読出

ADCモジュール

- 14bit 125MHz ADCを使用し波形を記録
- 10-pole Bessel Filterを用いて波形を広げた後、ADCで8ns毎にデジタル化する。
- トリガー情報を8nsごとに計算し読み出し
- 一部の検出器ではFilter無しの12bit 500MHz ADC Module使用



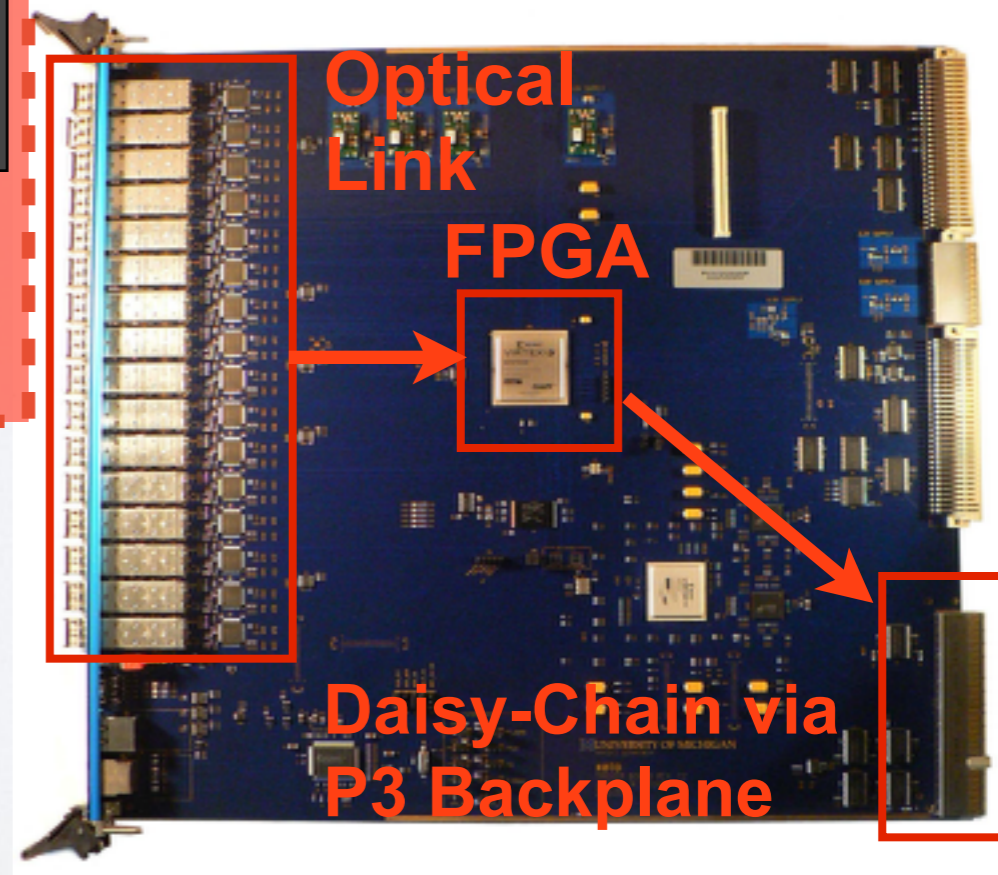
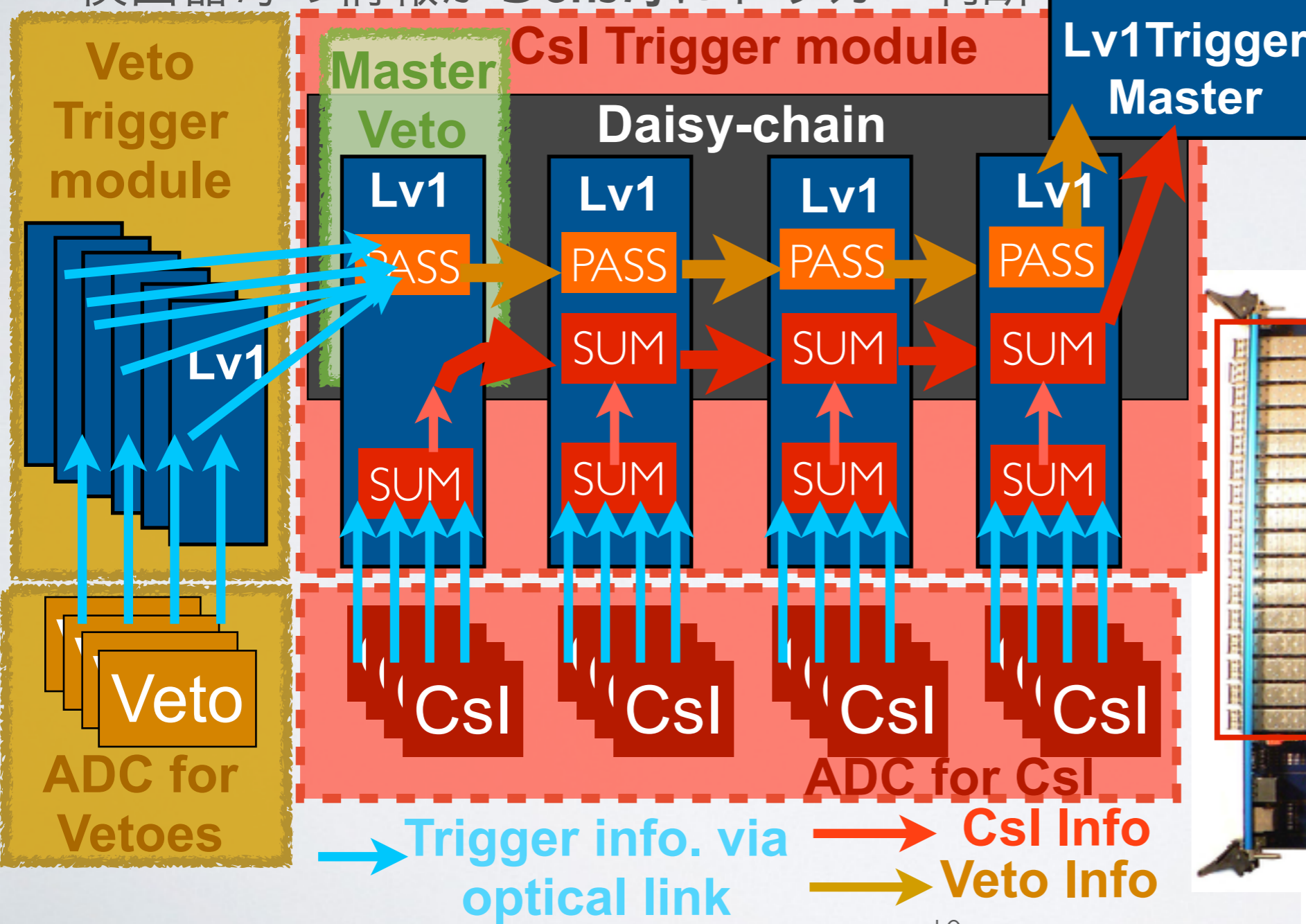
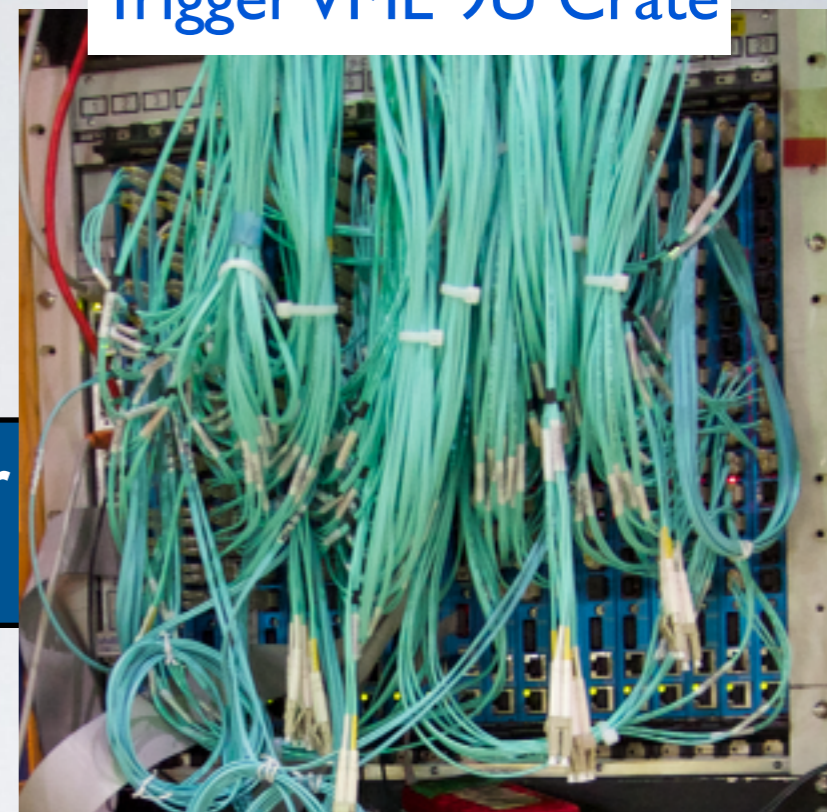


LI Trigger/Veto Design With Daisy-Chain



- ADCからHit,Energy情報を光ファイバーで受信
- P3 Backplaneを使ってDaisy-chain方式で Csl Total Energy計算、Veto情報伝達
- 検出器毎の情報から8ns毎にトリガー判断

Trigger VME 9U Crate



Trigger Module (VME 9U)

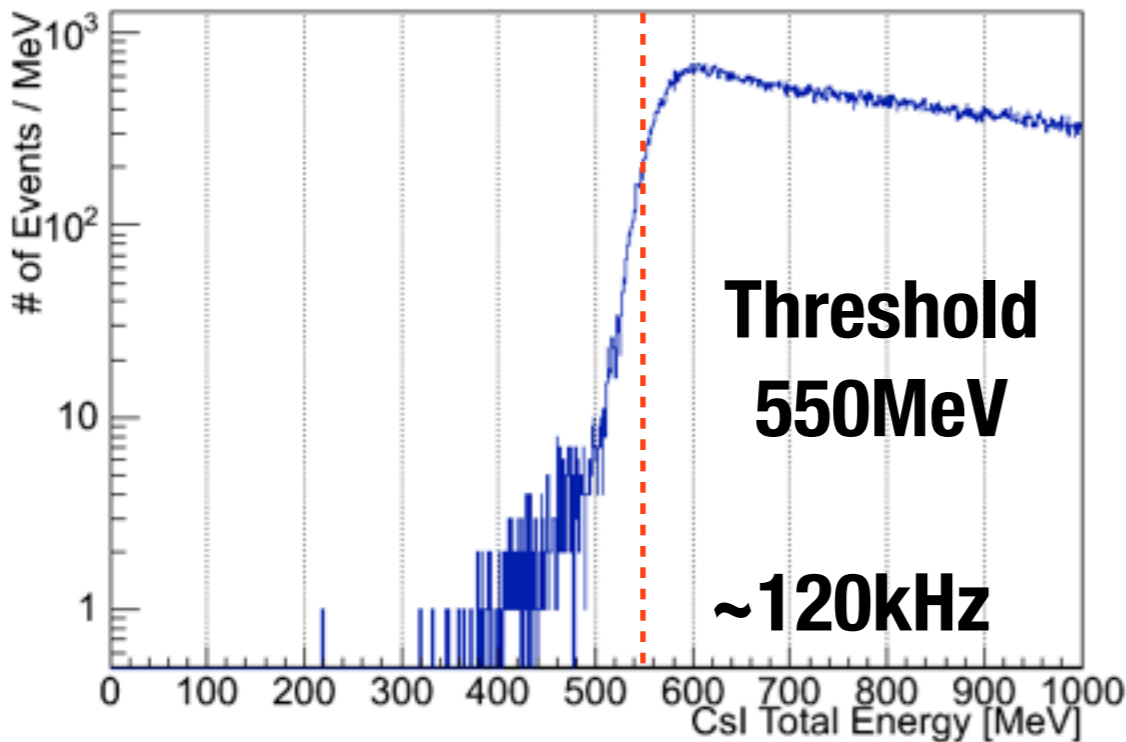


Lv1 Trigger Performance

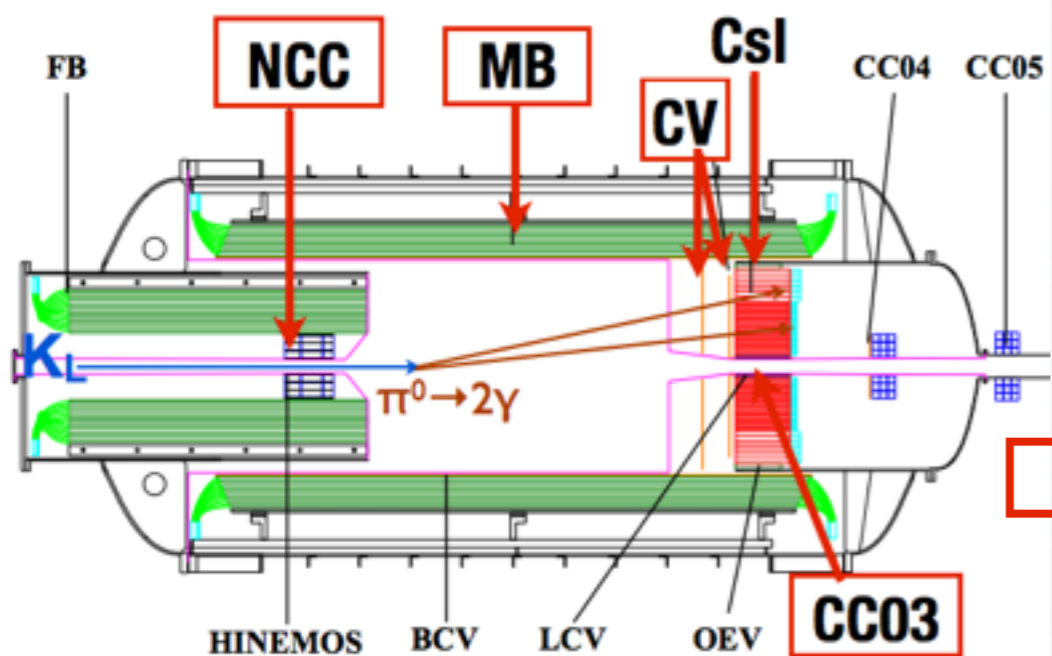
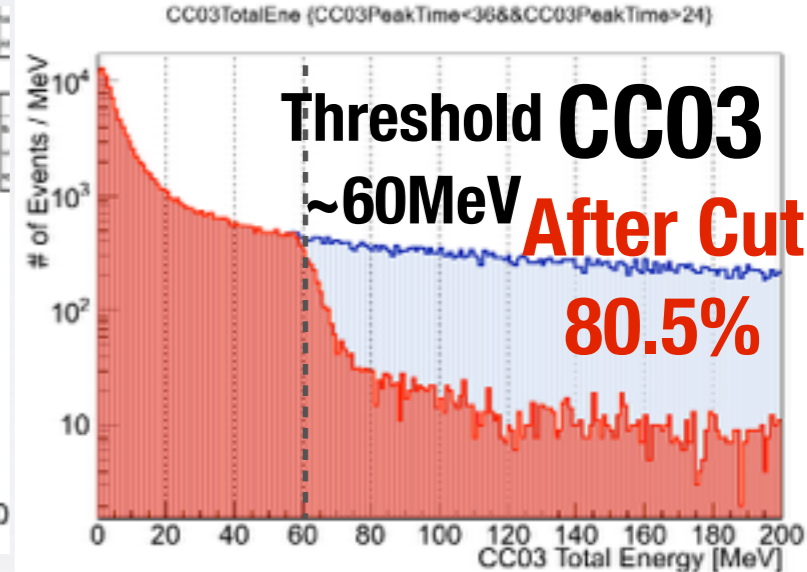
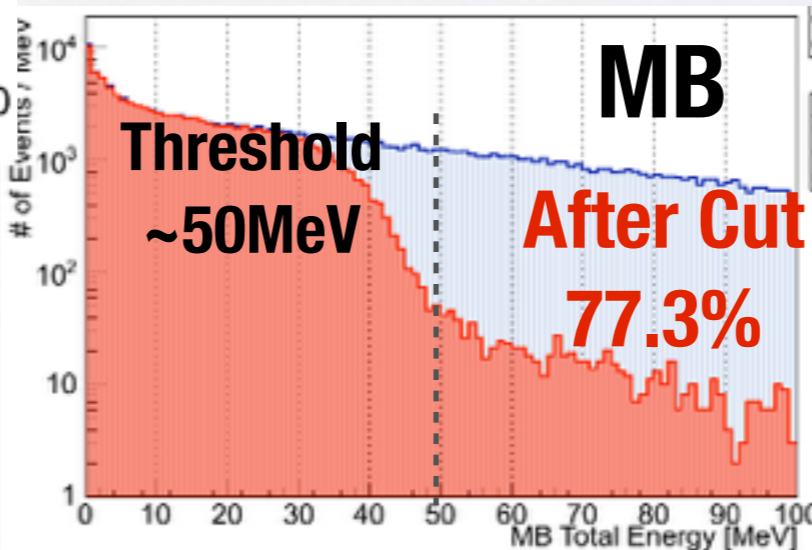
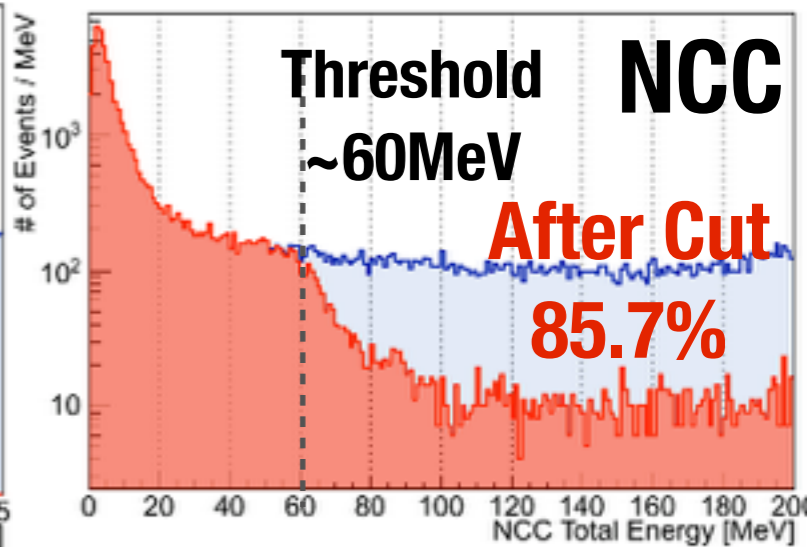
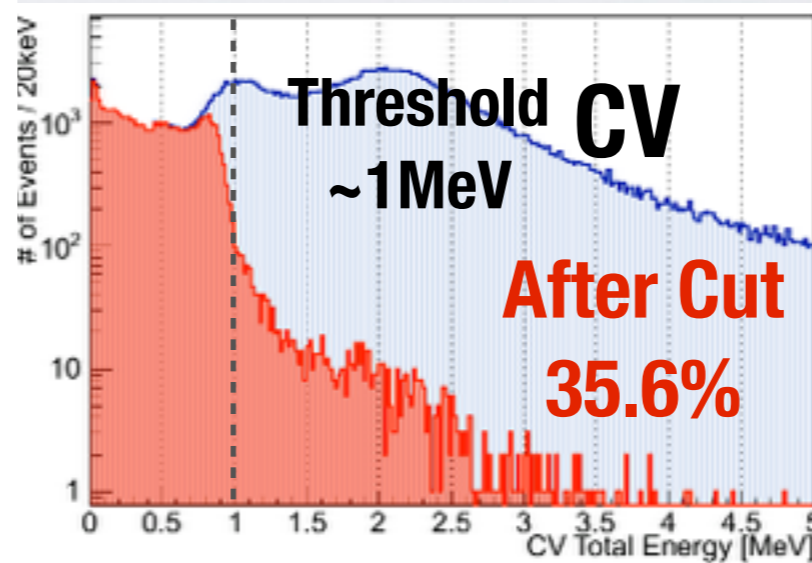


- メイントリガー : CsI Total Energy > 550 MeV 120k events/spill
- Veto: after online Veto (CV, NCC, MB, CC03) 30k events/spill

CsI: Offline Energy Distribution



Veto detector: Offline Energy Distribution



□ : Lv1 Online Vetoに
用いられる検出器

Before Cut After Cut



Lv2 Trigger decision: COEcut

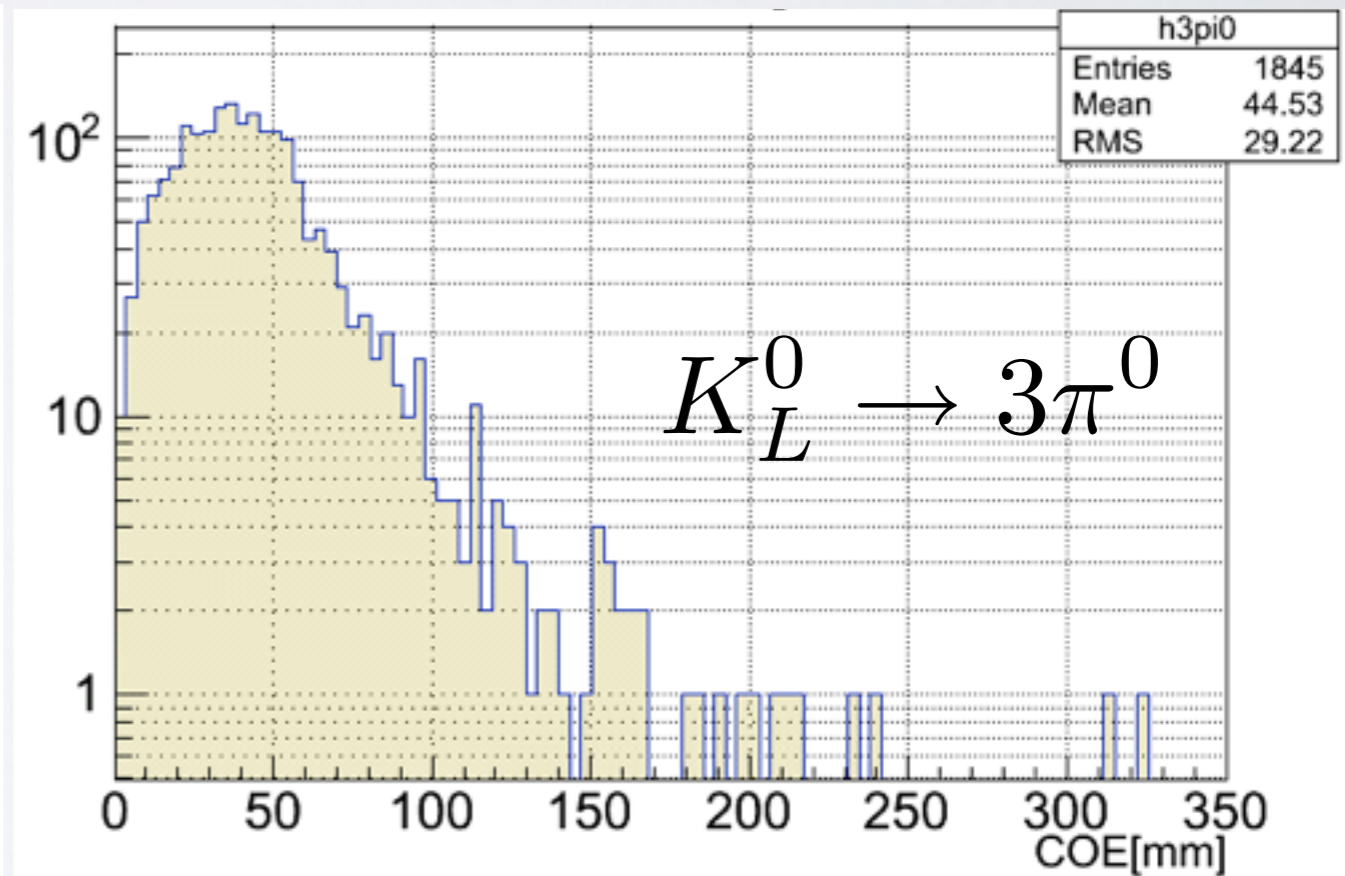
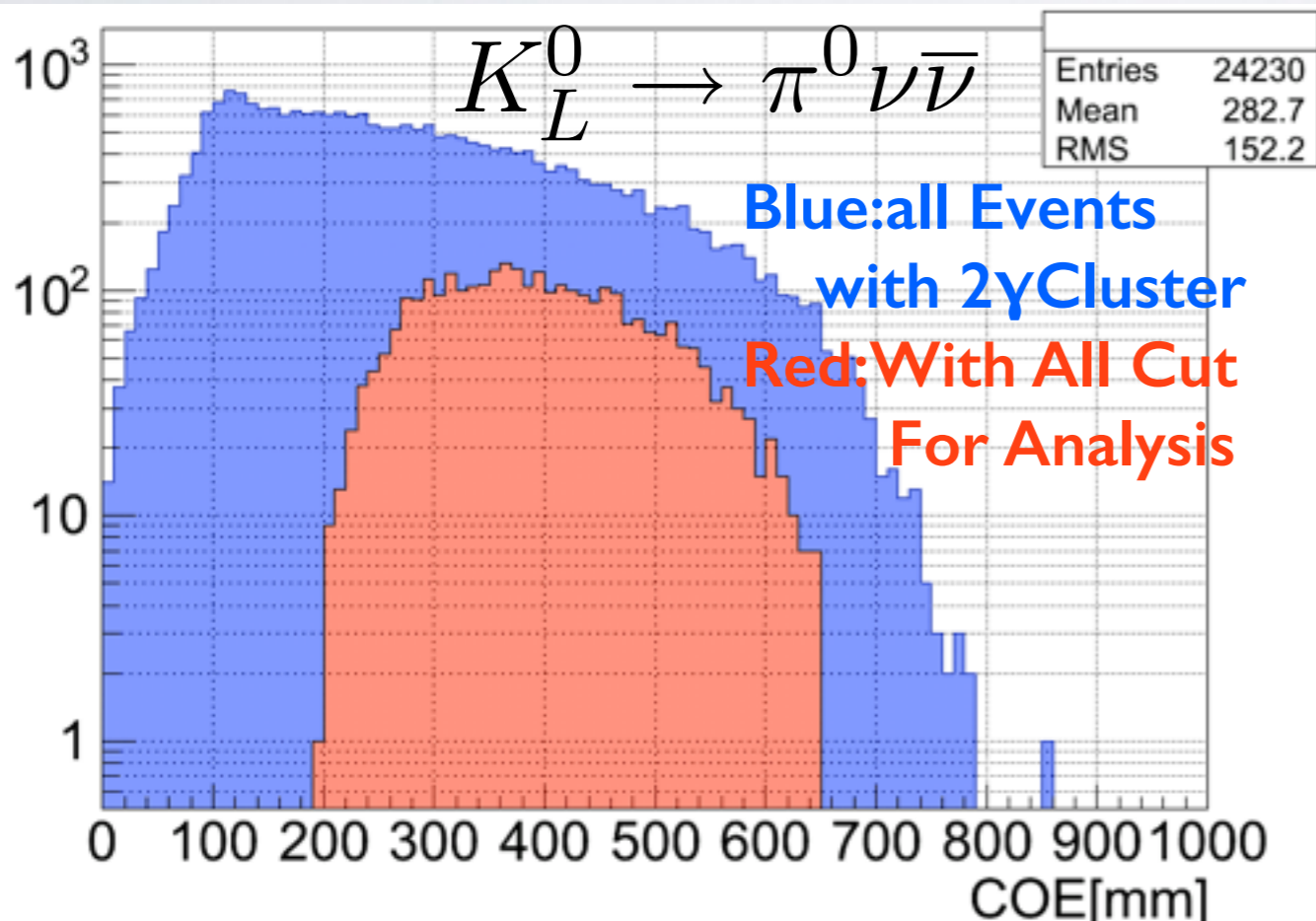


- 現在のトリガーシステムではクラスター数は判断できない。
- CsIカロリメータにおけるエネルギー重心CenterOfEnergy(COE)を用いて背景事象を排除

$$COE = \frac{\sqrt{(\sum_i E_i x_i)^2 + (\sum_i E_i y_i)^2}}{\sum_i E_i} \quad i: \text{CsI Crystal}$$

- $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊はCOEが大きい。
- Lv1 Triggerイベントのほとんどを占める $K_L^0 \rightarrow 2\pi^0, 3\pi^0$ 崩壊はCOEが小さい。

COE distribution(Simulation:all γ in CsI)

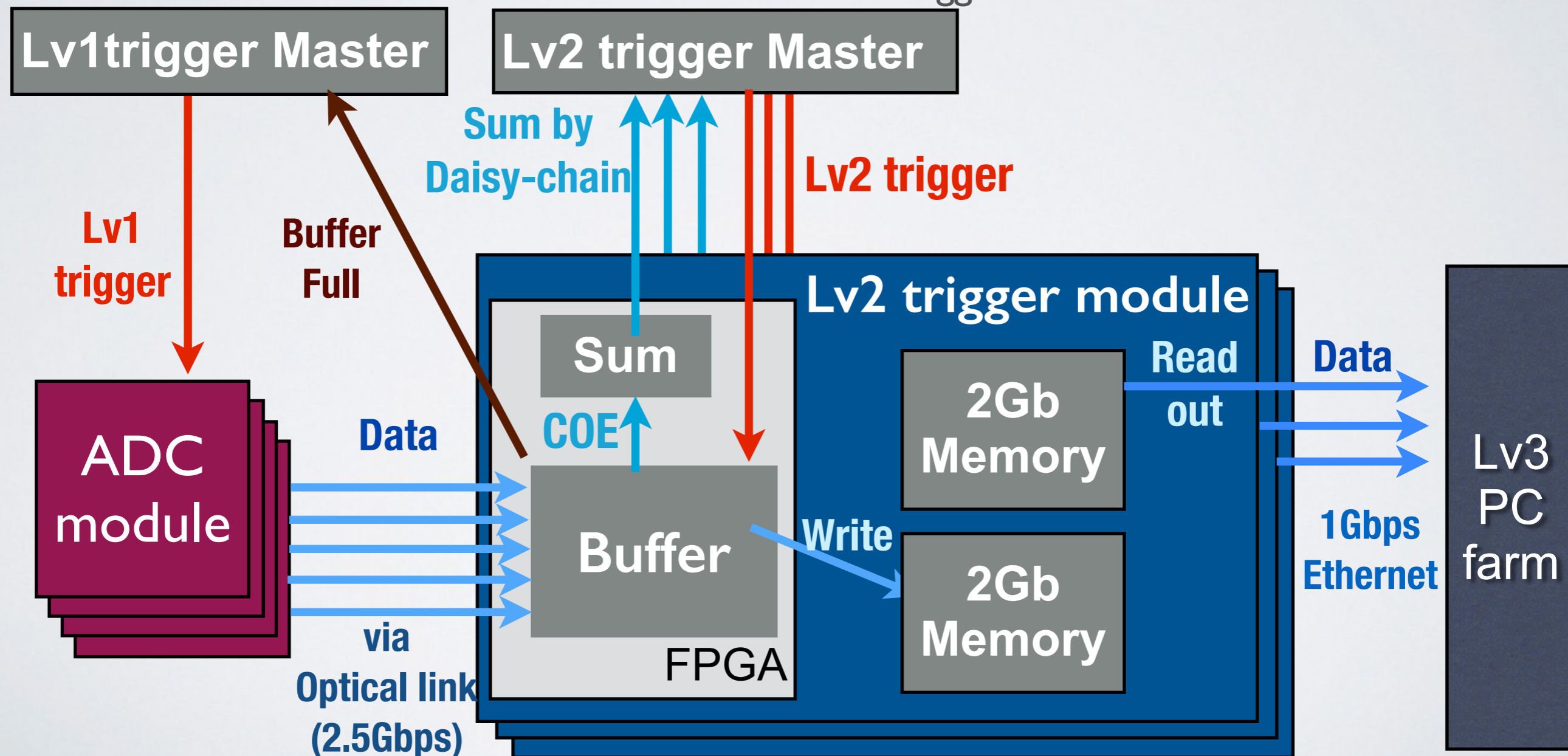




Lv2 Trigger System



- ADCで記録した波形情報からエネルギー重心COEを判断。
- トリガー後、PCファームに送信
- トリガー待ちのデータを置くBufferが満杯になるとLv1トリガー発行中止
 - →Bufferの読み出し速度よりもInstantaneous Trigger rate が大きいとDead time



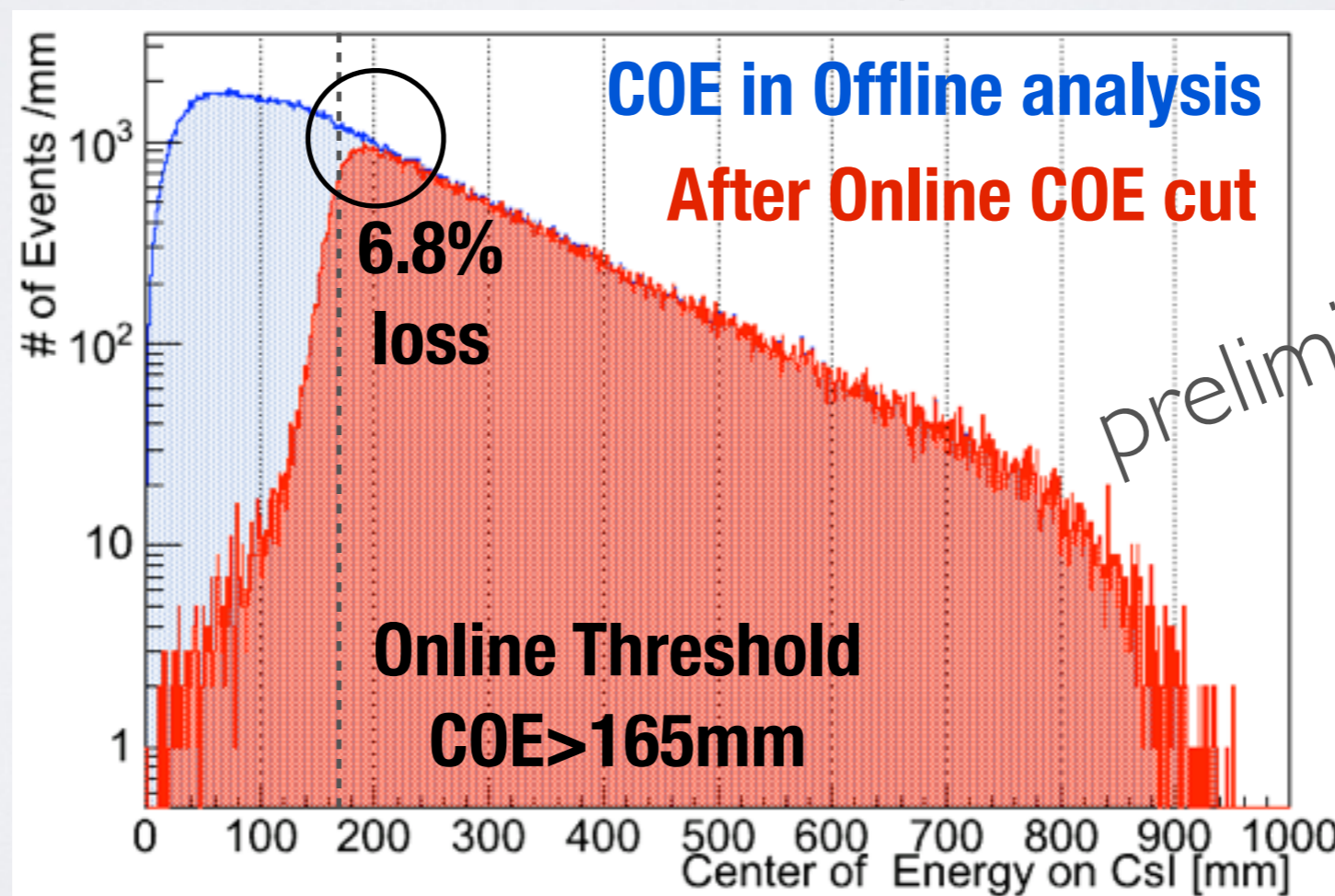


Lv2 Trigger In Physics Run



- CsIカロリメータ上のCOE > 165mmを要求
 - Physic Trigger: Lv1 20k events/spill -> Lv2: 5k events/spill
- Offline解析のCOEが閾値を超えるイベントの6.8%がOnlineのCutでLoss.
- Pedestalの扱いや積分の仕方の違いが原因か？

COE in Offline analysis





Data Compression At Lv3



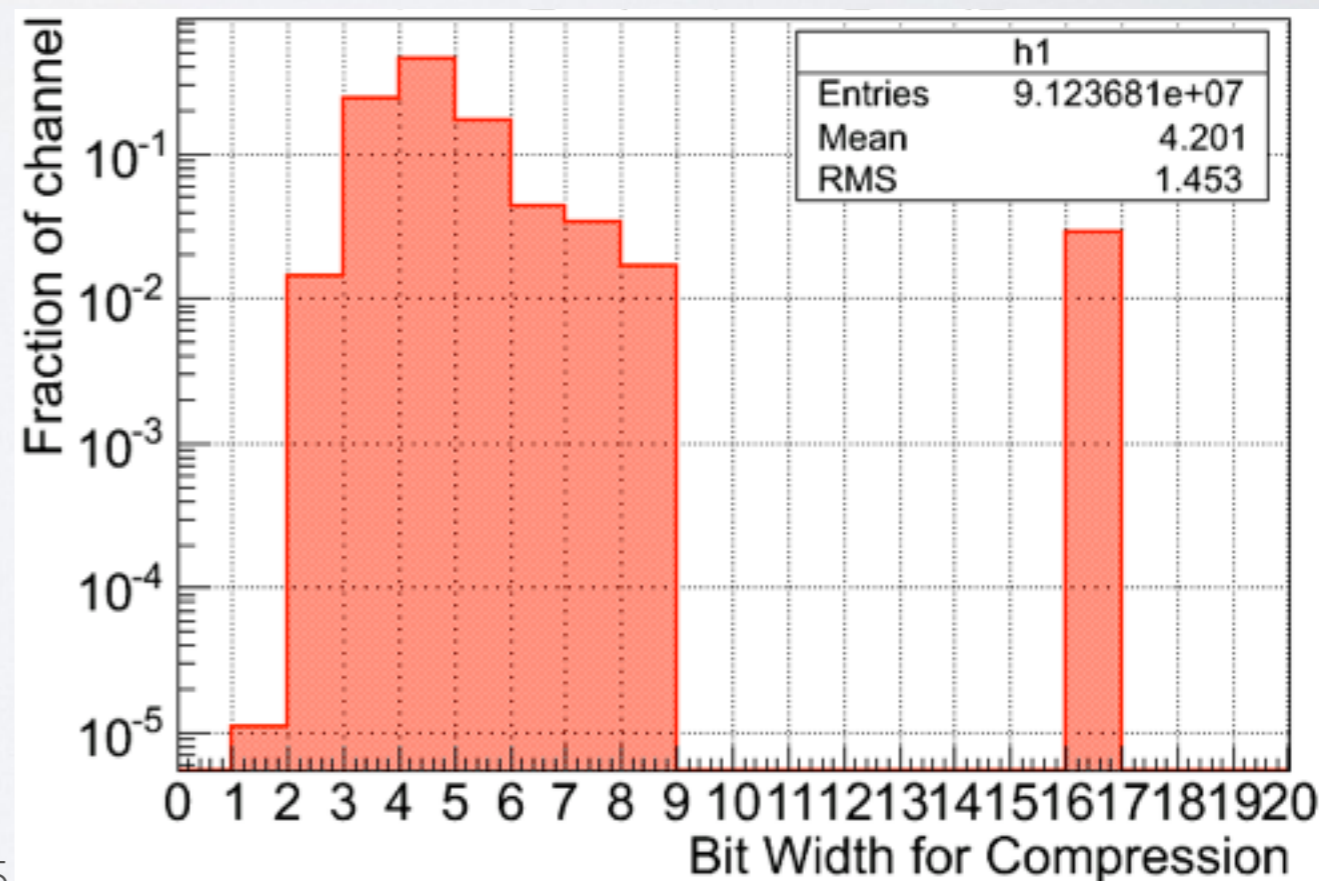
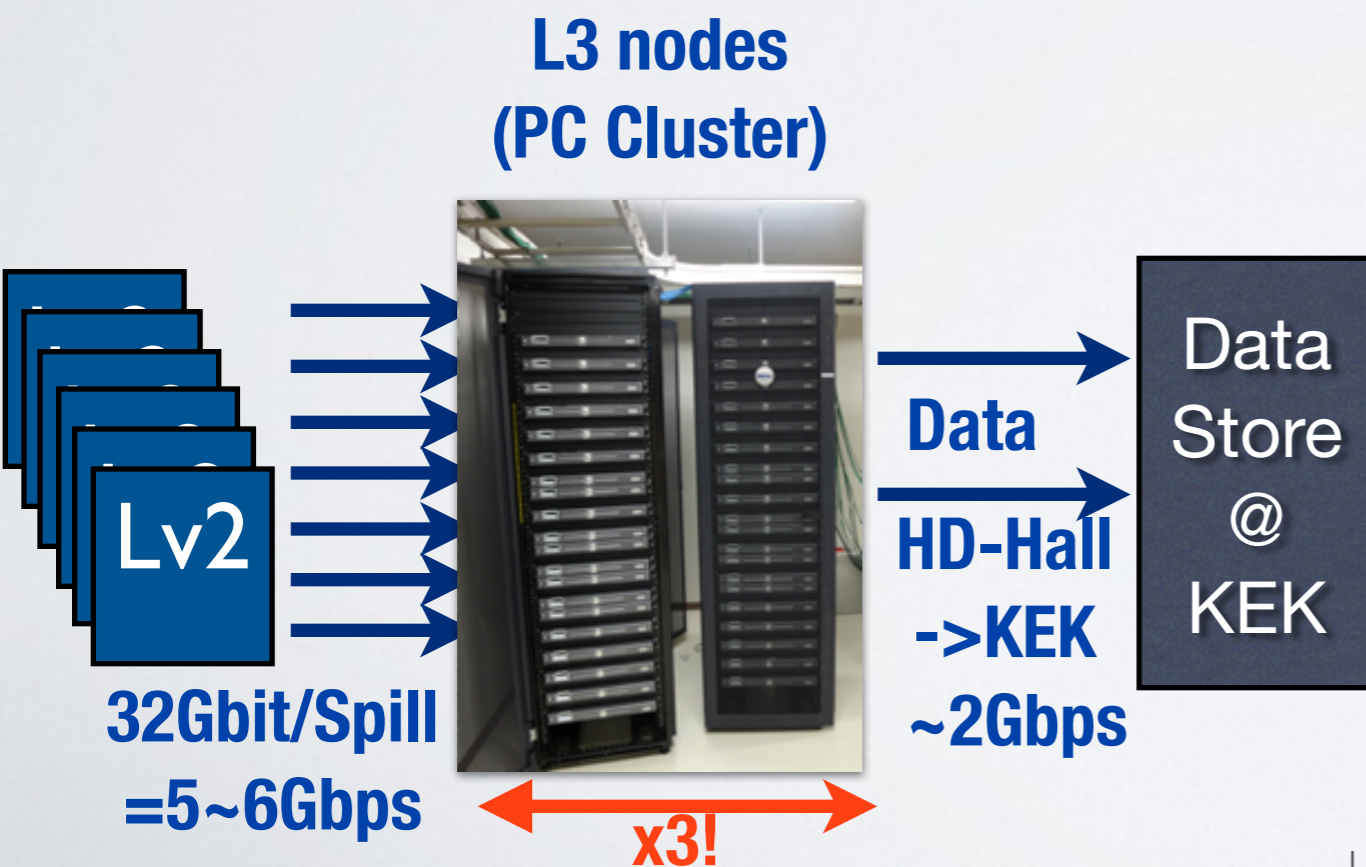
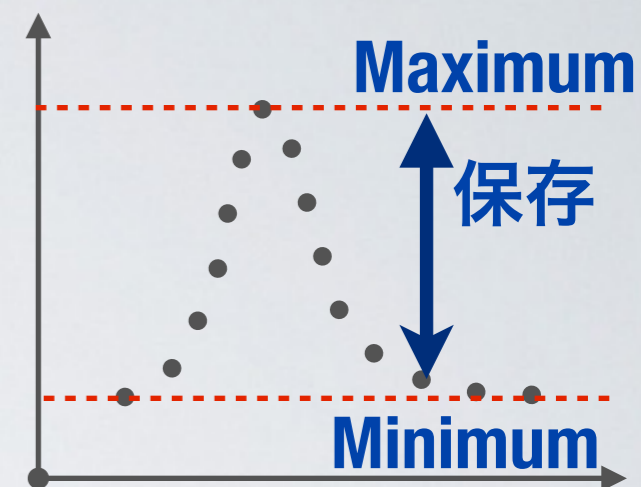
- 各Lv2からのパケットをPCクラスターでまとめてイベントを再構築 (Lv3)
- Lv3への入力速度と出力側転送速度に 3 倍の差

Compression Algorithm Developed By
Y.Nakaya(Osaka), N.Whallon(Michigan)

まずはデータ圧縮で対応

ロスなし可逆圧縮: Event Window中の最低値を記録し、各点でのそこから差を小さなビット幅(1~8Bit)で記録。

ビーム中のデータで25~30%のサイズに圧縮成功。
→L2からKEKのストレージまでほぼロス無く転送できる。



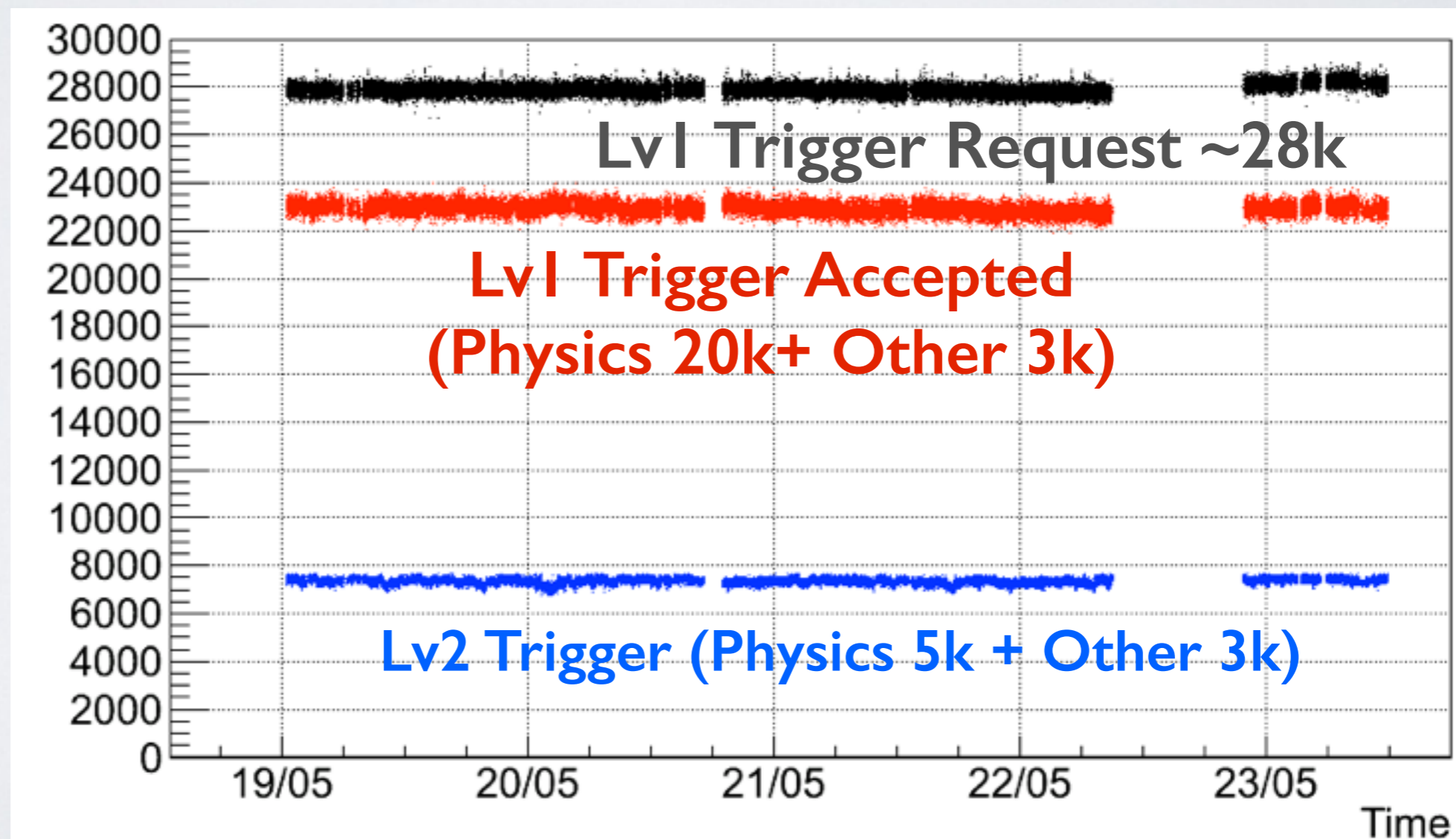


Trigger Rate Stability



- いずれも $RMS/Mean=1\sim 2\%$ で安定。
- Lv1 Trigger の Request と Accept の違いは L2 の Live Time $\sim 82\%$
 - Lv1 Trigger 自体は ほぼ dead time less
 - Lv2 Trigger には デッドタイムがある。

#of Trig.
/Spill
(1 spill
 $\sim 2\text{sec}$)

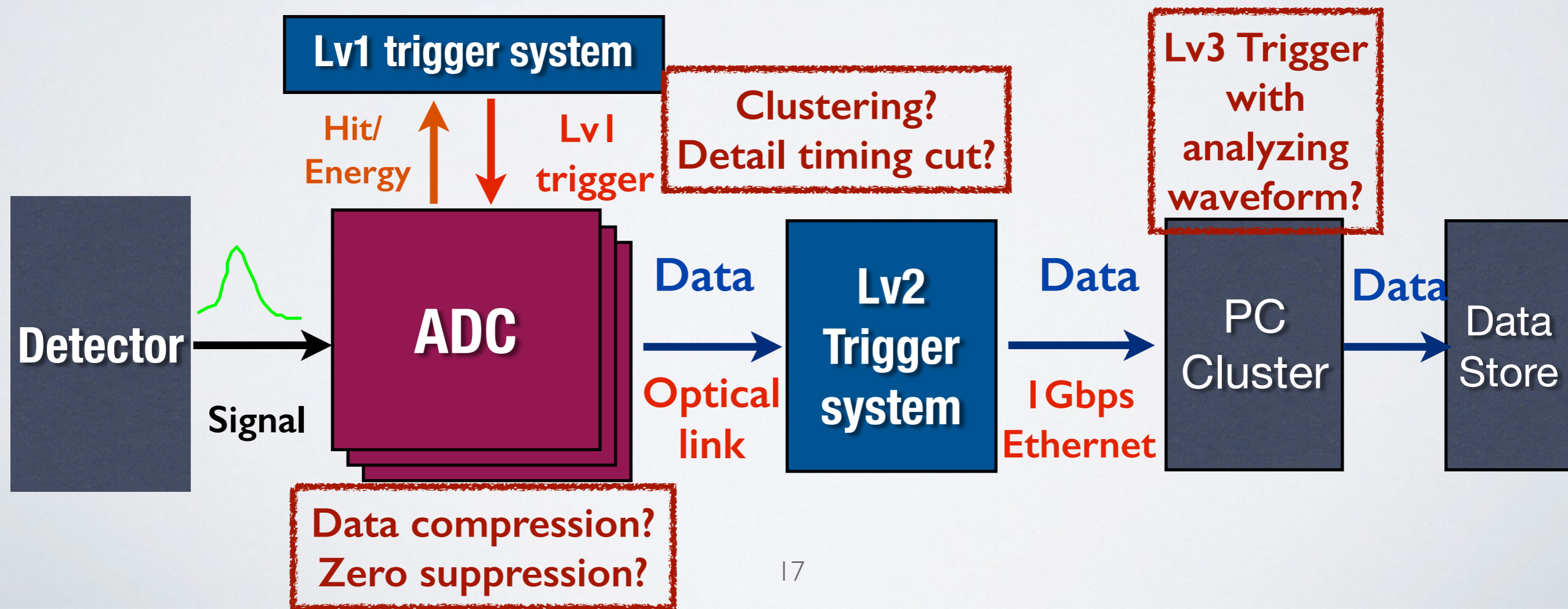




Future Upgrade



- 2013年物理ランでのボトルネックを解消、さらなる強度増加(100 kW~)に対処
 - Lv2のデッドタイムを減らす = ADCでデータ圧縮導入
 - PCファームでのLv3トリガー判断を導入
 - Lv1~2のハードウェアを新規開発し、 γ クラスター数計算や波形解析を行う

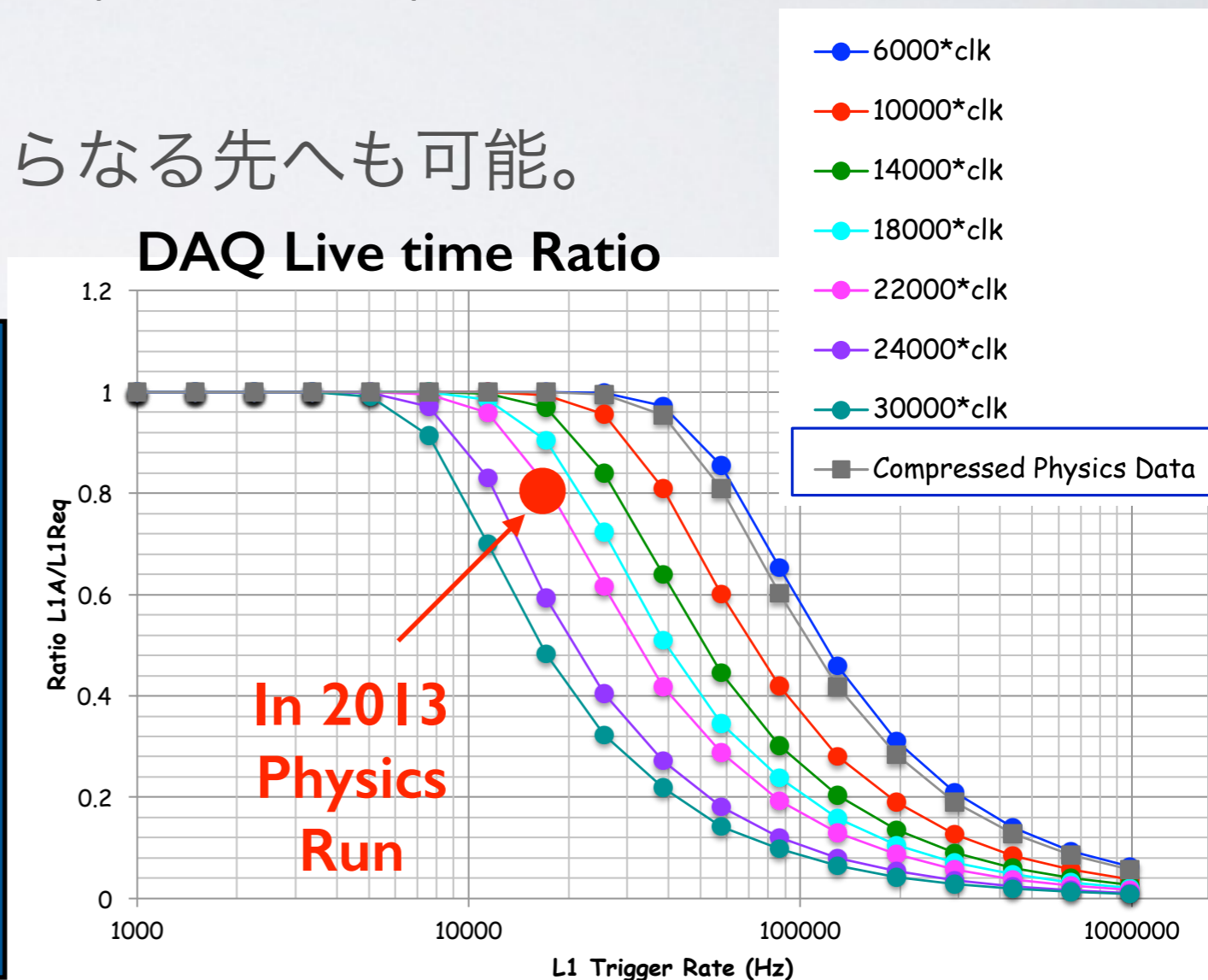
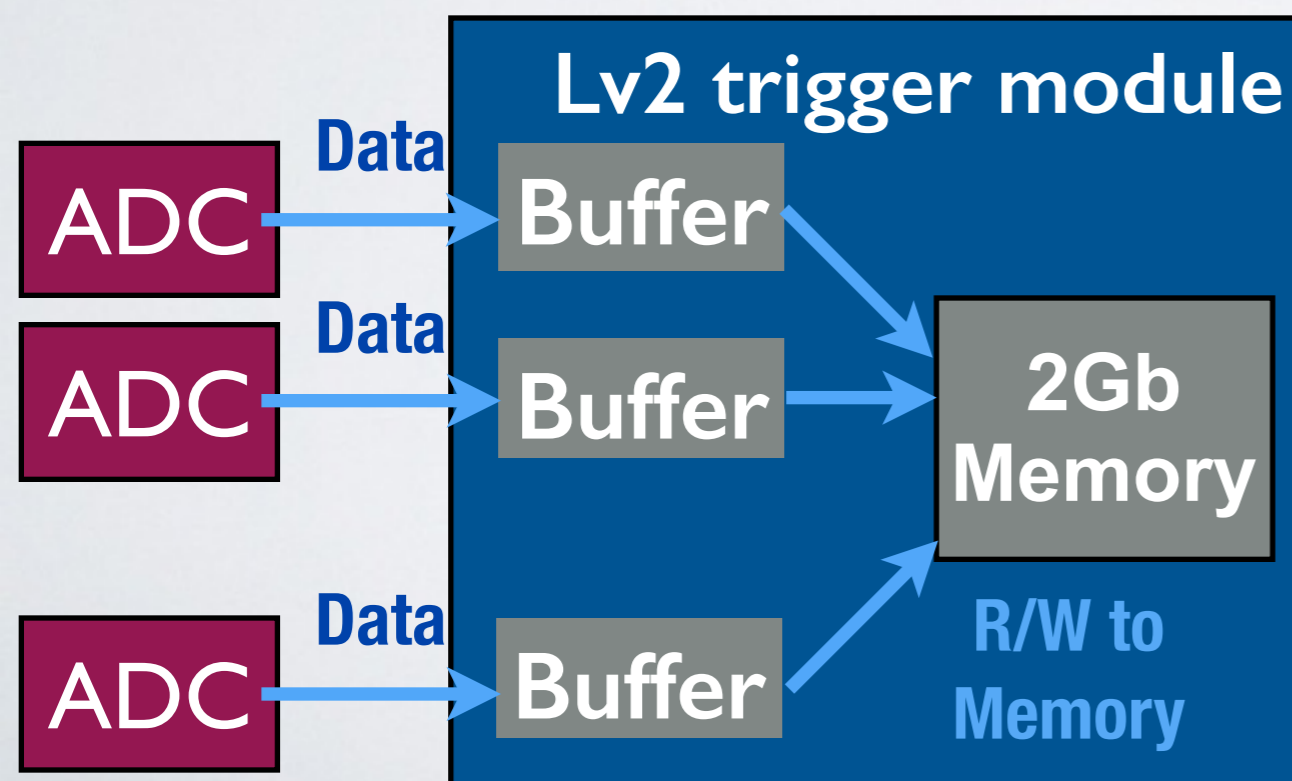




Data Compression



- Lv2でADCからのデータがBufferで受けきれないとデッドタイム
- ADCの段階でデータを圧縮すればデッドタイム低減可能
 - 可逆圧縮(Size: 1/3)で今の2倍のRate(50kW相当)までデッドタイム無し
 - Zero Suppression(Size: ~1/10)でさらなる先へも可能。



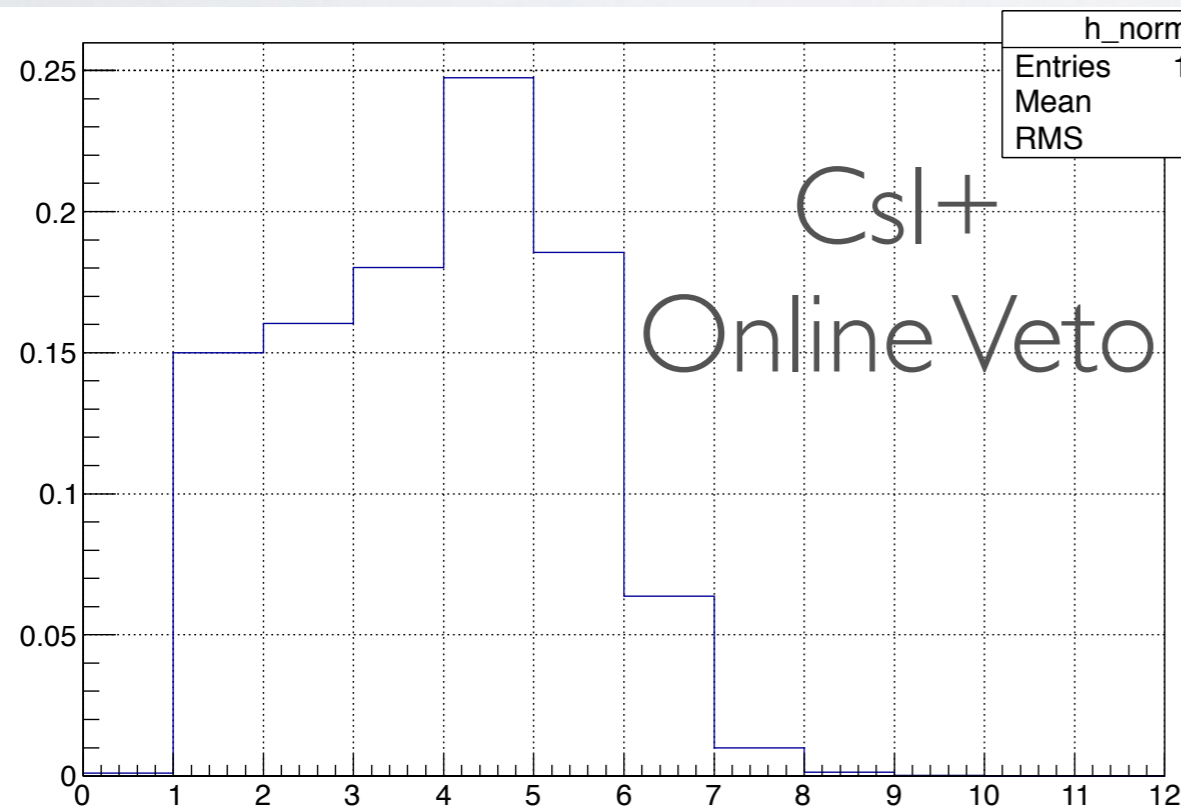


Number Of Gamma Cluster

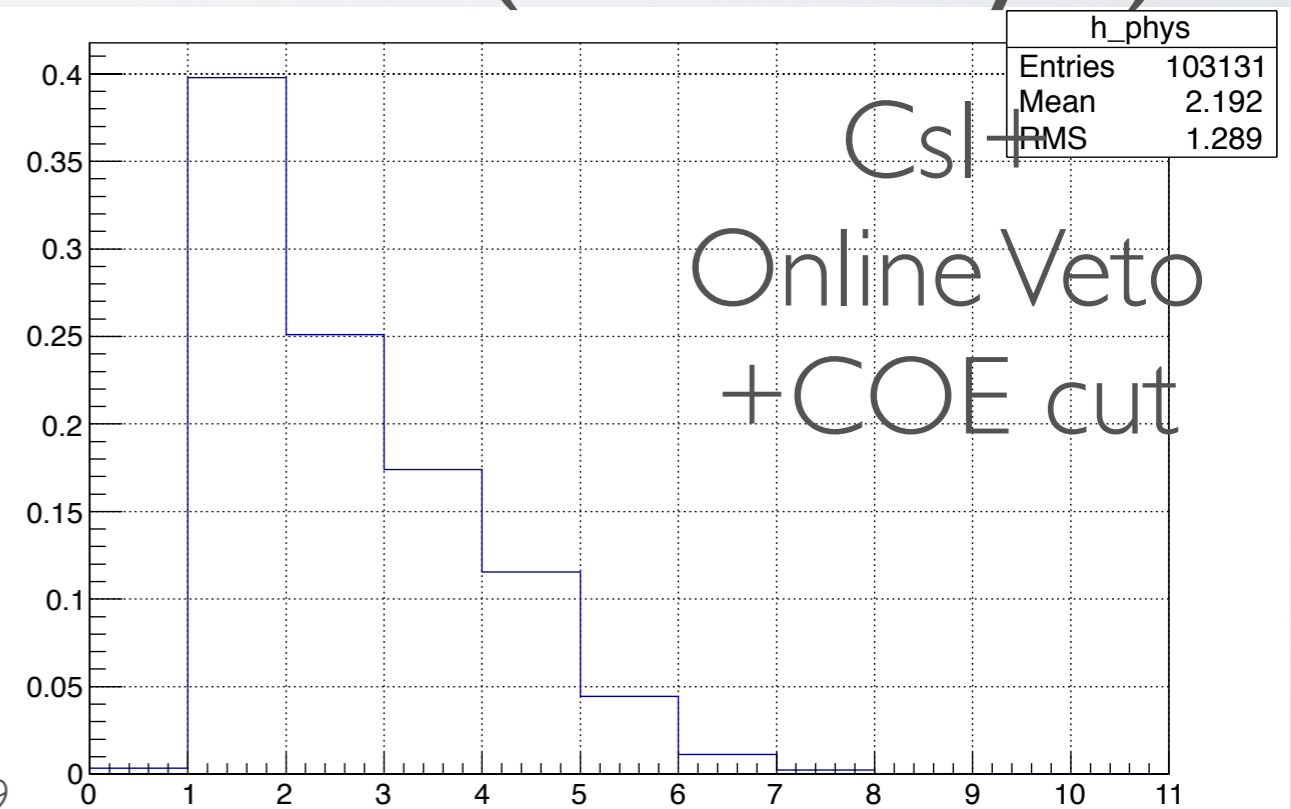


- Csl Calorimeterの総エネルギーでトリガーをかけたイベントのほとんどはCsl Calorimeter上の γ 線クラスター数が、3クラスター以上。
- CoECutをかけた後は1クラスターイベントがほとんど。
- まずはLv3に、Offline解析で使っている物と同様のアルゴリズムを実装

of Gamma cluster on Csl Calorimeter (Offline Analysis)



19

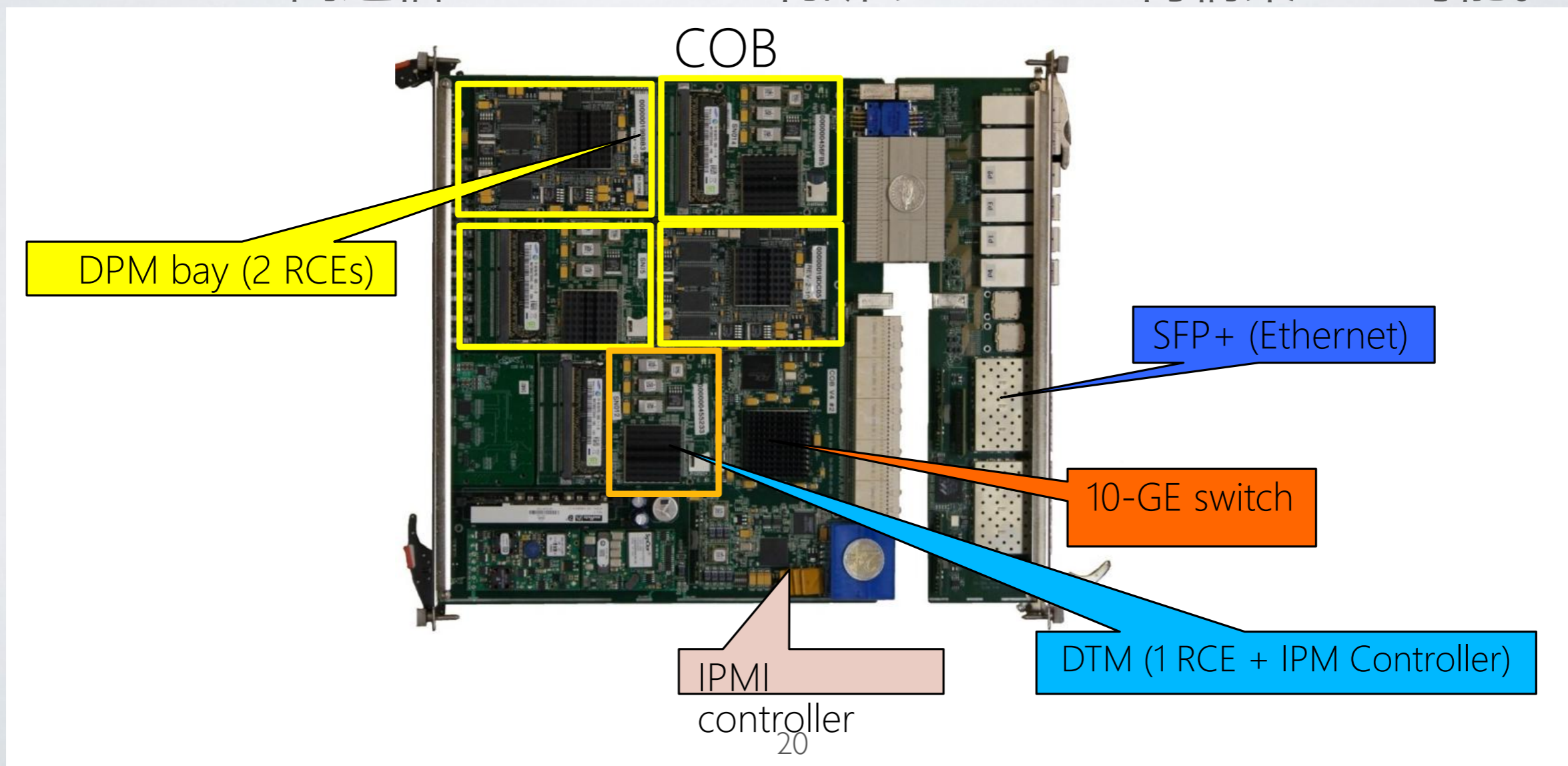




New hardware: ATCA



- 将来的にLv2 トリガーシステムのVMEからATCAへの変更を検討
ATCA=Advanced TCA
- モジュールとしては、SLACが開発中のCOB(Cluster-On-Board), RCE(Reconfigurable Cluster Element)モジュールの採用を検討中
- モジュール間通信によるCluster判断やイベント再構築など可能。





まとめ



- J-PARC KOTO実験はK中間子の崩壊モード $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ のイベントをさがす実験。
 - 2013年5月に物理ランのデータ収集を実施。
- KOTO実験では、全ての検出器のデジタル化した波形信号を用いてトリガー作成し、波形情報のままイベントデータとしても記録
 - 物理ランでのLive timeはLv2 TriggerがLimitし82%程度。
- さらなるビーム強度増加に対応すべく改善予定
 - ~50kW：Lv3トリガー判断の実装やデータ圧縮
 - 将来的にはトリガーシステムのATCAへの転換を検討