

PHENIX 実験における Electron Trigger System

東京大学CNS

松元貴志

2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Outline

- RHIC & PHENIX実験 Overview
- トリガーの必要性 & PHENIXのトリガ構成
- RICH検出器と電磁カロリメータ(EMCal)を用いたElectron Trigger System
 - デザイン & パフォーマンス
- まとめ

RHIC & PHENIX実験 Overview

2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC)

- 米国ブルックヘブン国立研究所で稼動している重イオン衝突型加速器
- マシンパラメータ
 - 2 Storage Ring (3.83km)
 - 106ns (9.4MHz) bunch crossing (=読み出し回路系の基本クロック)
 - Top Energy:
 - $S^{1/2} = 500$ GeV for p-p
 - $S_{NN}^{1/2} = 200$ for Au-Au and d-Au
 - Luminosity @ 200GeV runs:
 - Au-Au $3.0 \times 10^{26} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Run2)
 - p-p $1.6 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Run2)
 - d-Au $1.6 \times 10^{28} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Run3)

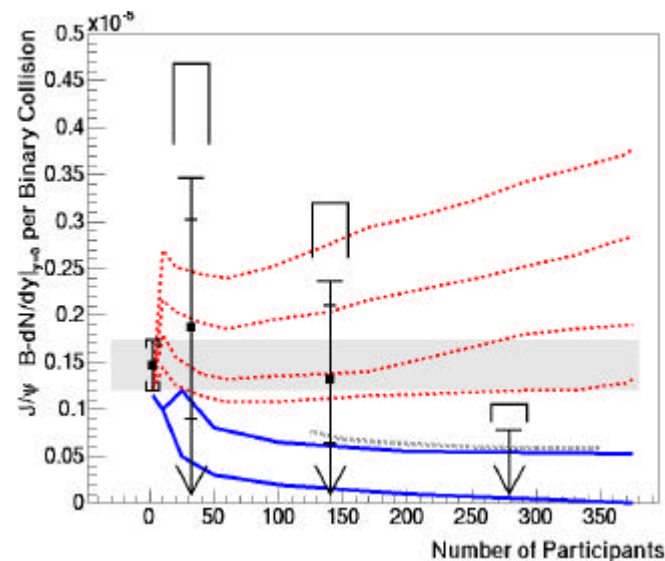


2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

PHENIX 実験

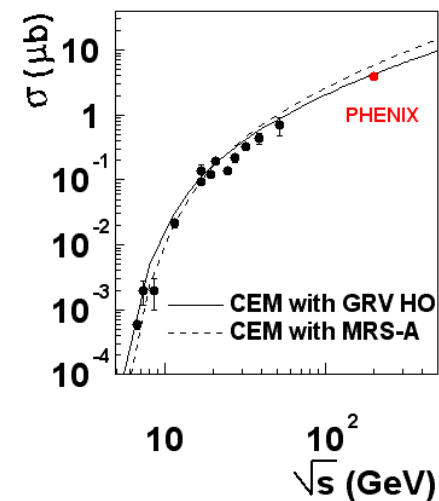
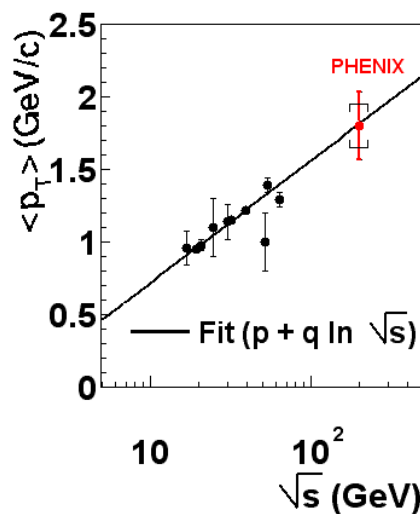
- RHICで行なわれている大型実験の1つ。
- クォーク・グルオン・プラズマ (QGP) 相の探索
及びその性質の解明
 - 様々なプローブ
 - 電子、光子、ハドロンを同時測定
- 電子の識別 : RICH & EMCal
 - $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ 、 $\phi \rightarrow e^+e^-$



Run2 $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ 測定の結果 (Au+Au)



2003/7/28



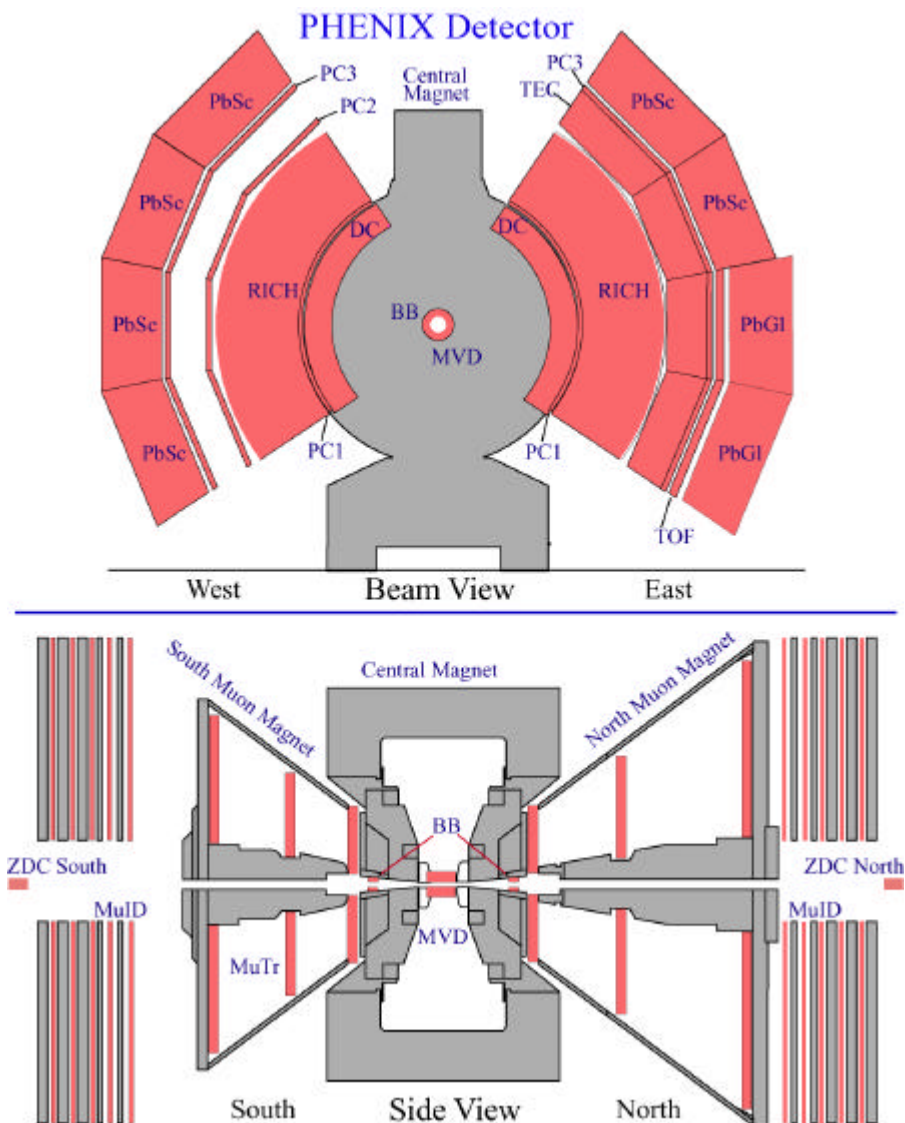
Run2 $J/\psi \rightarrow e^+e^-$ 測定の結果 (p+p)

理研シンポジウム

原子核実験における信号処理の高度化

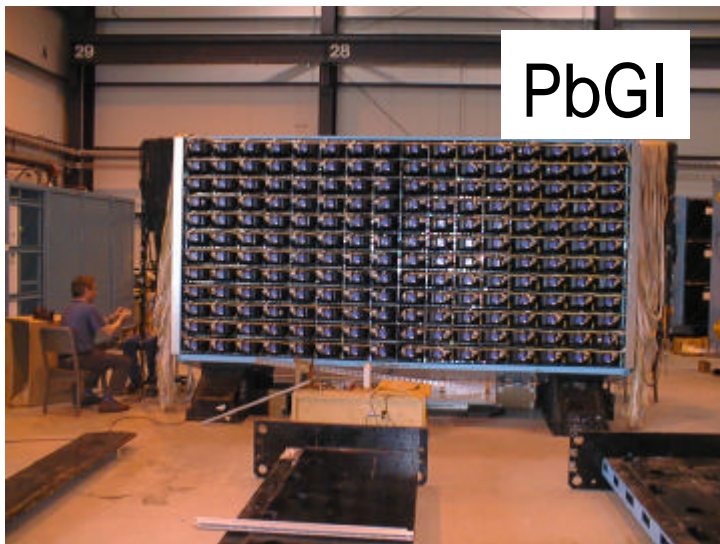
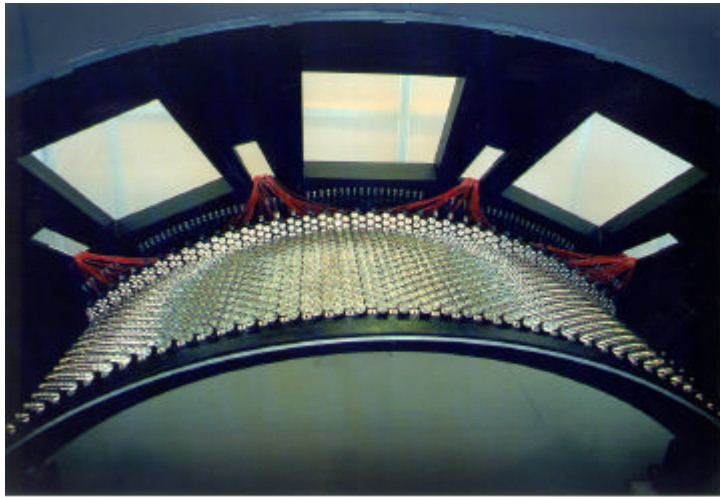
RICH & EMCal

- RICH (Ring Imaging Cherenkov counter)
 - 電子識別のための主要な検出器
 - CO₂ radiator (1atm, index 1.00041)
 - ~ 10 photoelectron/electron track
 - 5120チャンネル
- EMCal (Electromagnetic Calorimeter)
 - 2種類の検出器
 - Lead- Scintillator (PbSc)
 - Lead-Glass (PbGl)
 - 24768チャンネル
- Acceptance
 - $|y| = 0.35$ ($70^\circ < \theta < 110^\circ$)
 - $\Delta\phi = 90^\circ$



2003/7/28

RICH & EMCaI



2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

PHENIX実験のデータ収集系

Granule & Partition

- **Granule** とは、データ収集のために必要なDAQハードウェアの最小単位

PHENIXのデータ収集系では検出器ごとの以下の3つの組み合わせ。

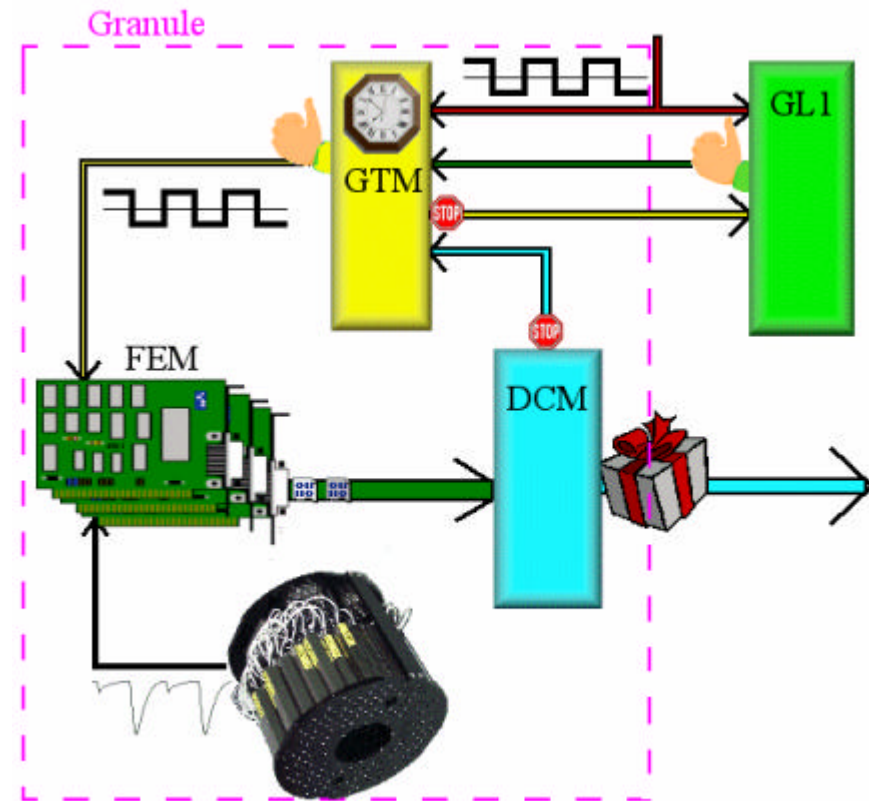
1. **F**ront **E**nd **M**odule(s)
2. **D**ata **C**ollection **M**odule
3. **G**ranule **T**iming **M**odule

- **Partition** は Granule の組み合わせ。データ収集において、必要とされる任意の検出器の組み合わせを一つのユニットとして扱える。

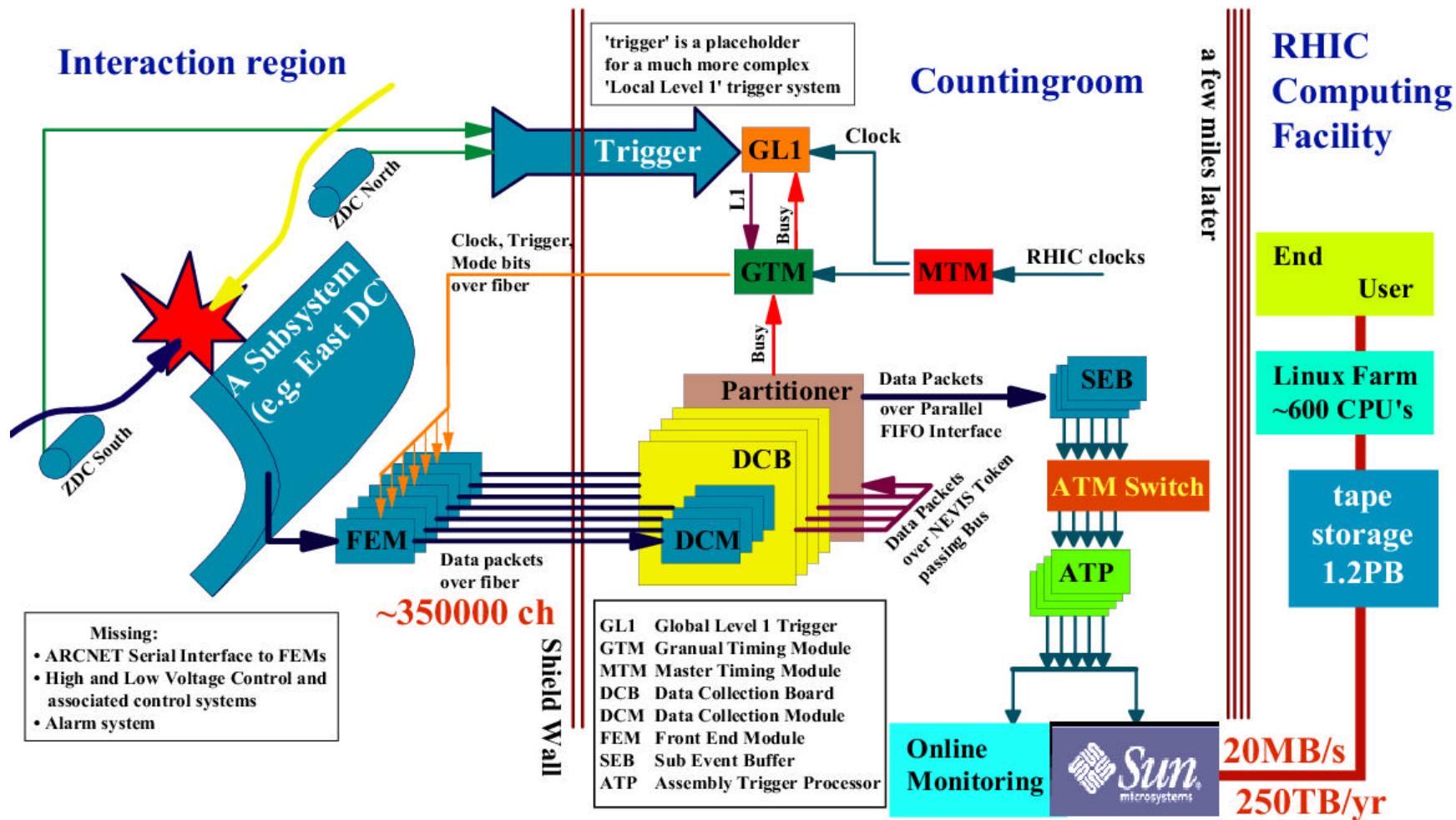
- Partition 中のすべてのGranuleは、共通のトリガーシグナル、ビジーシグナルで動作。データは、1ファイルに書きこまれる。

2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化



PHENIX実験のデータ収集系



2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

トリガーの必要性 & PHENIX のトリガー構成

2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

トリガーの必要性

- PHENIX データ収集系のボトルネック = Bandwidth
- Raw data rate
 - Au-Au 224 Mbyte/s (run2)
 - p-p 1.5Gbyte/s (run2)
 - d-Au 1.1Gbyte/s (run3)
- DAQ Bandwidth : 30-60 Mbytes/s
- **Throughput mismatch!!** → data reduction のための2つの考え方
 - Pre-scale により、Event reduction
 - トリガーにより、Event selection (enrich the interesting event)
- 特に今興味をもっているのはJ/ψ Physics
 - Cross section 小さい → データの取捨選択を効率良く行う必要あり。
 - J/ψ → e⁺e⁻を捕らえたい → e⁺e⁻ が含まれているEventにトリガー、その他のEventは捨てる → Bandwidth の効果的な利用。

LVL1 & LVL2トリガー

- PHENIX 実験におけるトリガー構成は、大きく分けて LVL1、LVL2の2種類
- LVL1 : **ハードウェア トリガー**
 - 高速
 - Interaction Trigger
 - BBCとZDCのコインシデンス
 - Physics Trigger
 - LVL1 Electron Trigger (今日の講演) etc
- LVL2 : **ソフトウェアトリガー**
 - 28 different trigger algorithm running on PC
 - Physics trigger for further data reduction
 - 30ms of process time
 - LVL2 Electron Trigger / LVL2 J/ ψ Trigger

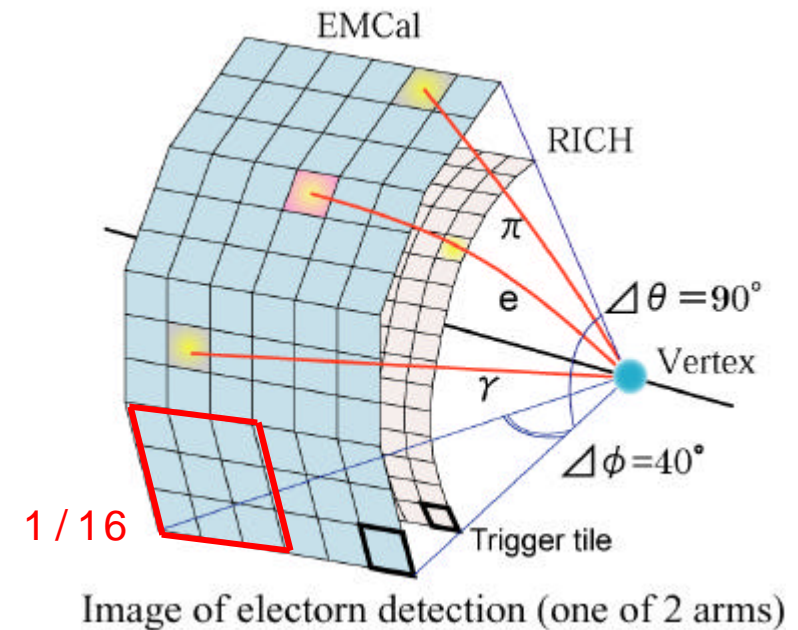
Electron Trigger

2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Electron Trigger Concept

- LVL1 ハードウェアトリガーのひとつ: **電子**を識別するためのトリガー
- EMCal (energy threshold) と RICH (# of photoelectron) のコインシデンス
- 最大セグメント数
 - 176 (EMCal) x 256 (RICH)
- 現状は16x16 セグメントマッチング (AND)
 - CAMAC Module を用いて実現。。
- 将来的には FPGA搭載ボードにEMCal/RICHからのシグナルを集め、LUT(Look Up Table)を用いて、Trigger Decision を行なう
 - >lowa group が開発中



Modules!!
Cables!!

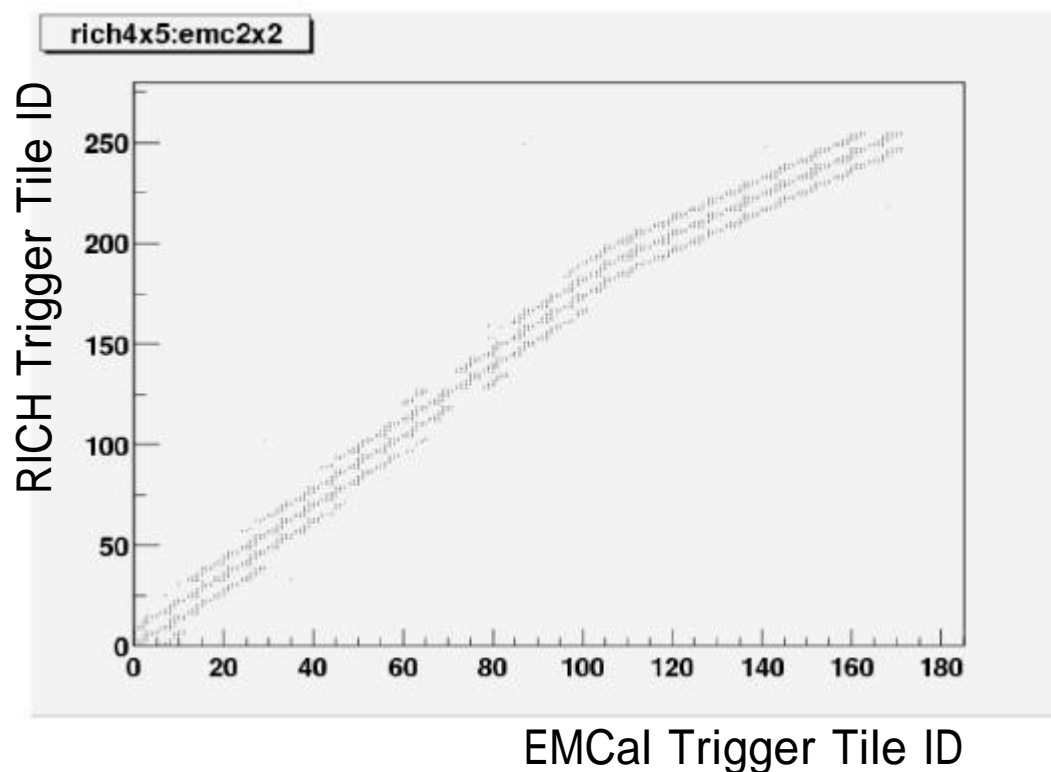
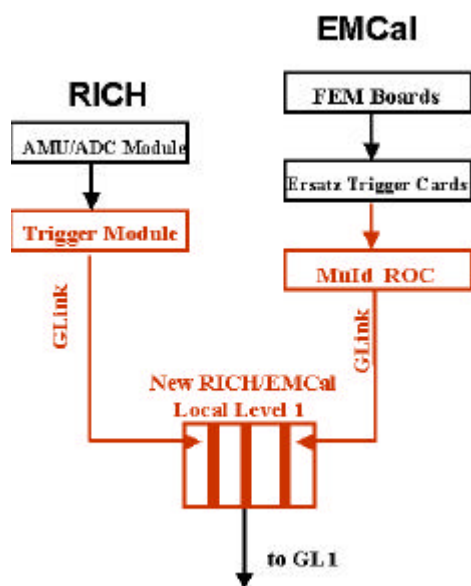


2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Look Up Table (LUT)

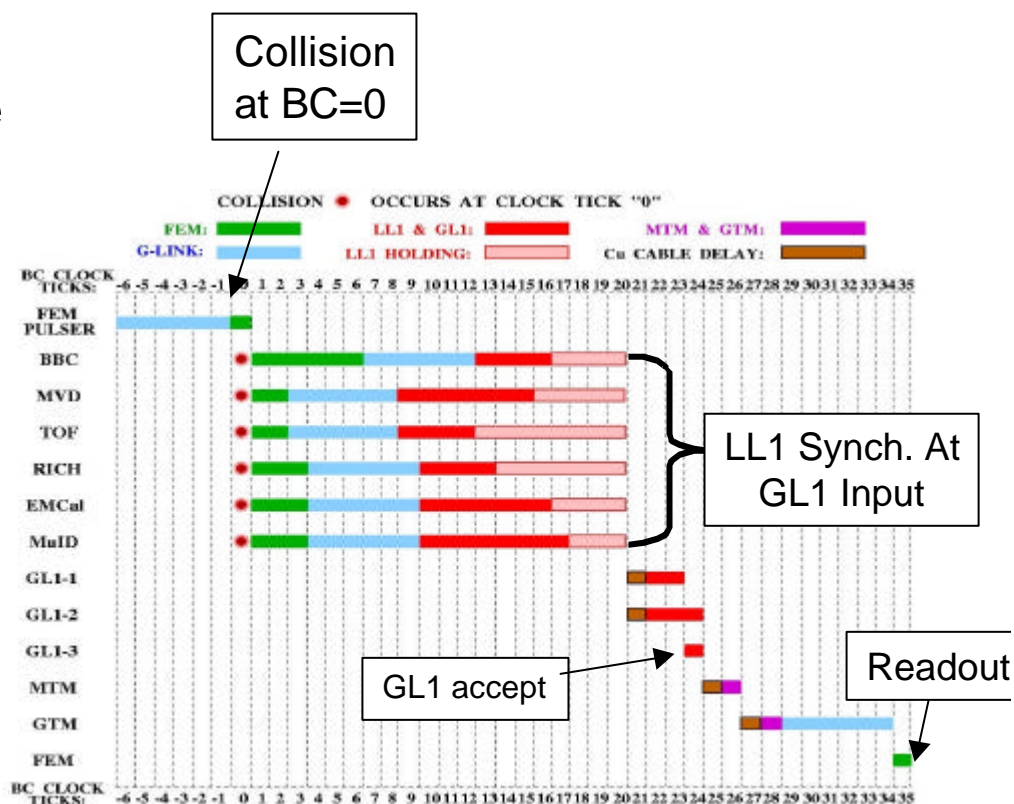
- Simulated LUT
 - Geometrical correlation of hit in RICH and EMCal
 - For electron $p_T > 0.9 \text{ GeV}/c$
- 16x16 sector matching



2003/7/28

ハードウェアに対する要求

- レイテンシ
 - Trigger Decision & Readout までのレイテンシ = 35 B.C.
- 1 photoelectron sensitive!
 - RICH Threshold = 3 p.e / tile
- オンラインでパラメータ設定
 - FPGA's!
- 光モジュールでデータ送信
 - isolation



2003/7/28

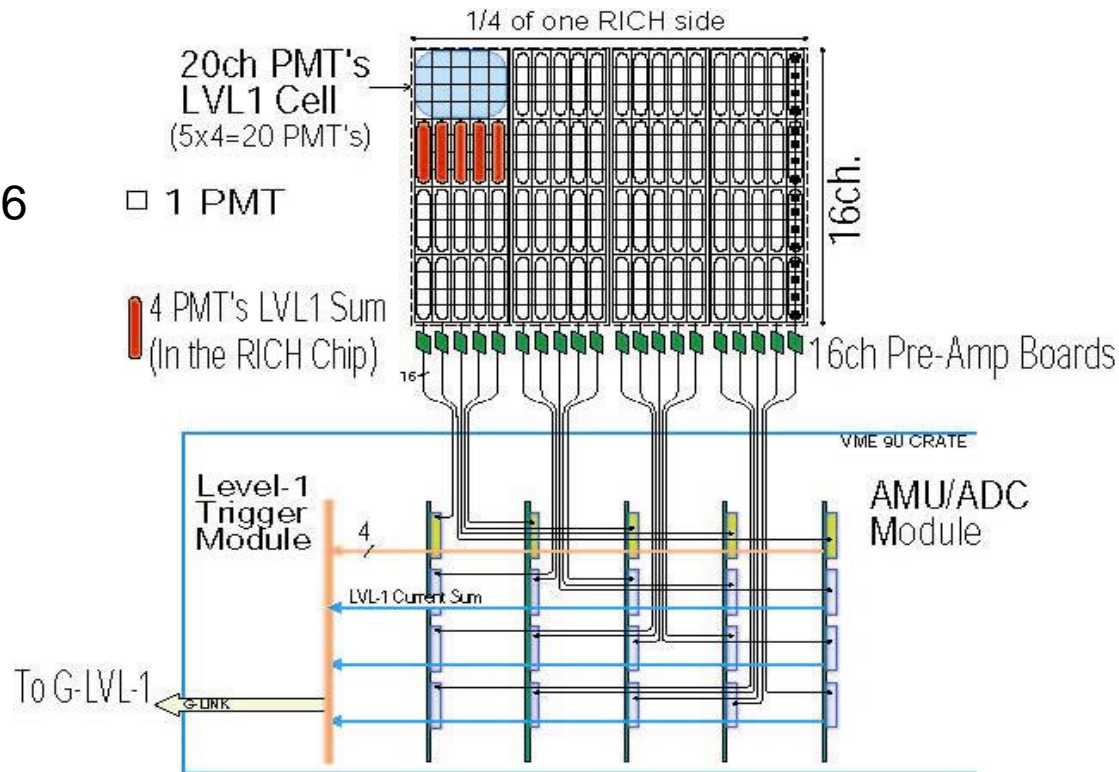
理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

RICH Front End Modules (FEM)

- 9U VME クレートサイズ・ Full custom backplane & modules
- 1クレートで640 channelを処理 (トータル 8クレート・ 5120チャンネル)
- RICH FEM の構成要素(1クレートあたり)
 - 1 Controller Module
 - 10 AMU/ADC Module
 - 2 LVL1 Trigger Module
 - 2 Readout Module
- Details -> NIM A 455 (2000)576



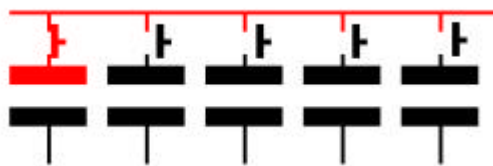
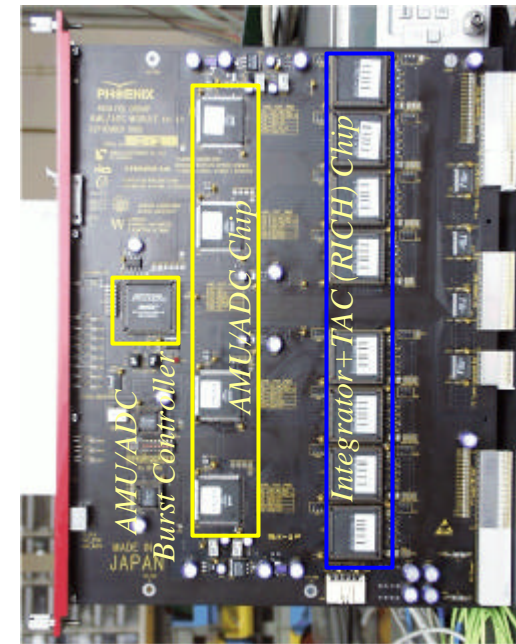
2003/7/28



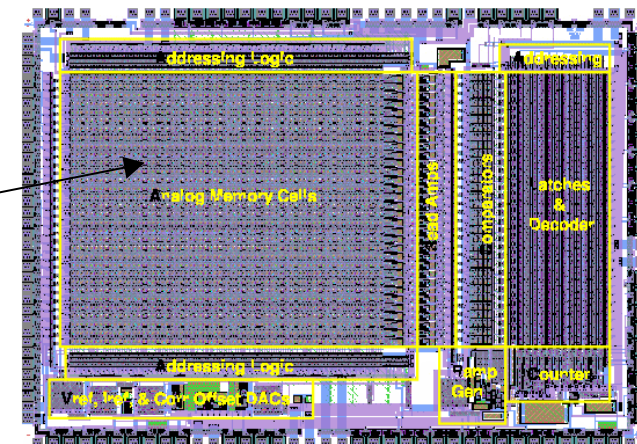
理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

ASIC's on AMU / ADC Module

- Integrator (Int_R) Chip
 - オークリッジ国立研究所にて開発。
 - Charge / timing / trigger sum information
- 64 cell Analog Memory Unit & AD converter (AMU/ADC) chip
 - オークリッジ国立研究所にて開発。
 - イベント情報 (charge / timing) をCell に保持。
 - トリガー情報をもとにAD変換。
 - トリガーがかからなかったCellにはデータを上書き。



Analog Memory Unit

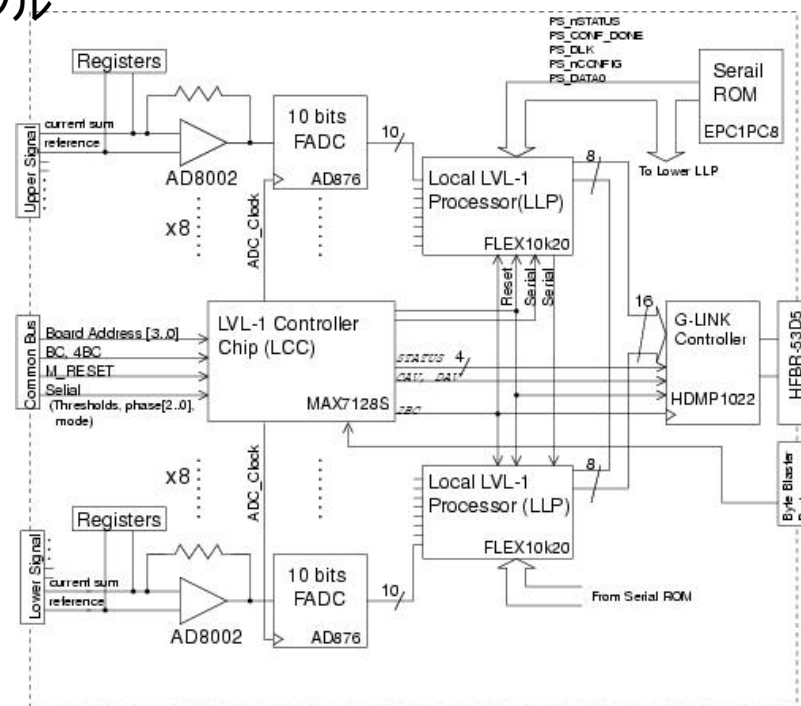


2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

LVL1 Trigger Module

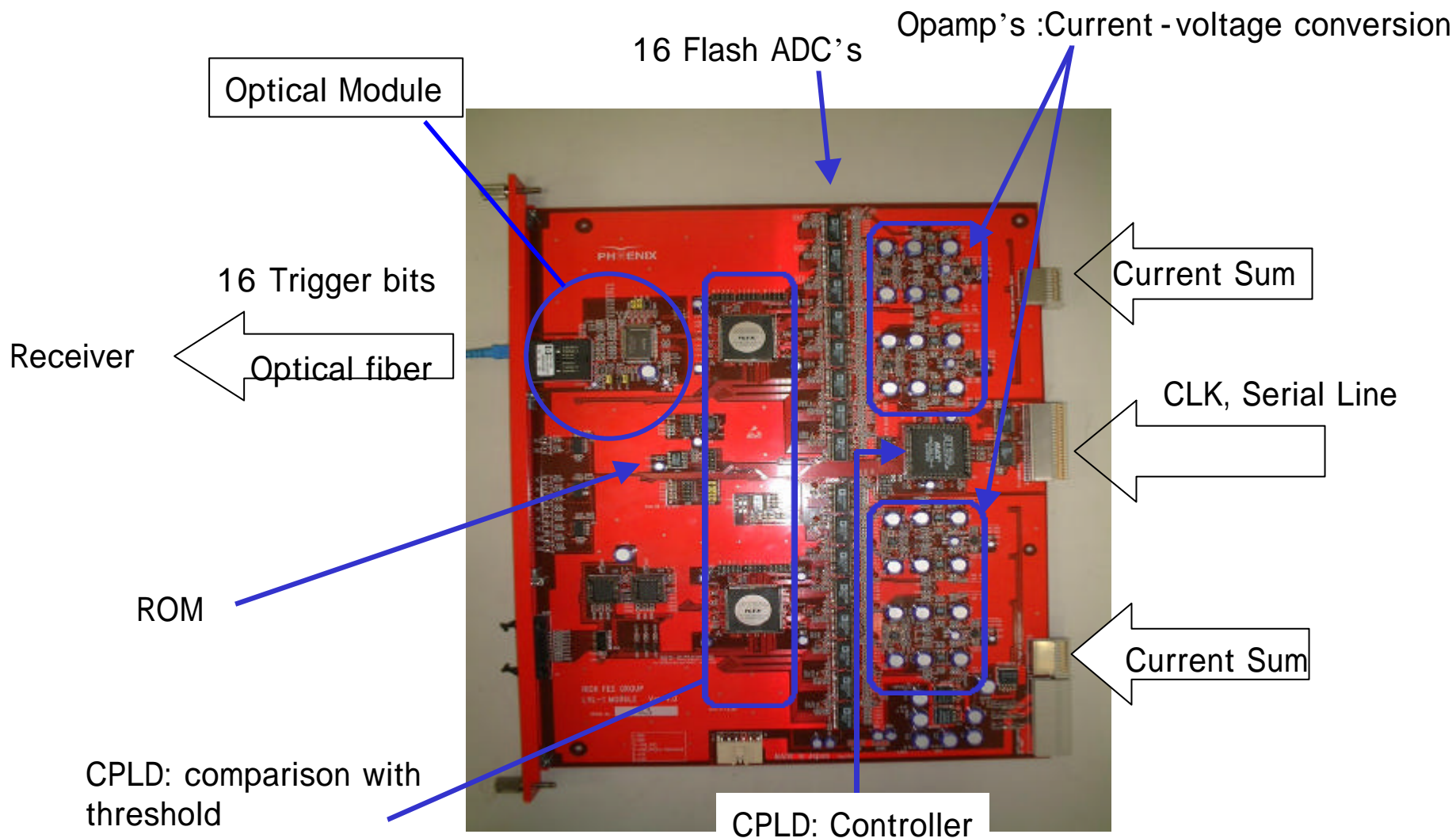
- 6層基板 (信号層×2、電源層×4)で製作 (設計 CNS/パターン配線・製作 近代電子)
- Charge sum info of 4x5 PMT ->Generate trigger bit
- Current to voltage conversion
- AD conversion
 - Analog Devices社 AD876 10 bit Flash ADC
 - 毎ビームクロックごとにシグナルのプラトーをサンプル
- Altera 社のデバイスを使用
 - Controller (EPM7128)
 - 4フェーズ ADCクロックを生成
 - Data processor (FLEX10K)
 - Preset threshold とcharge 量と比較
 - Trigger bit を生成
 - Serial Line にてパラメータの設定
- 光モジュールにてTrigger bit を送出
 - HDMP 1022
 - HFBR53D5



2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

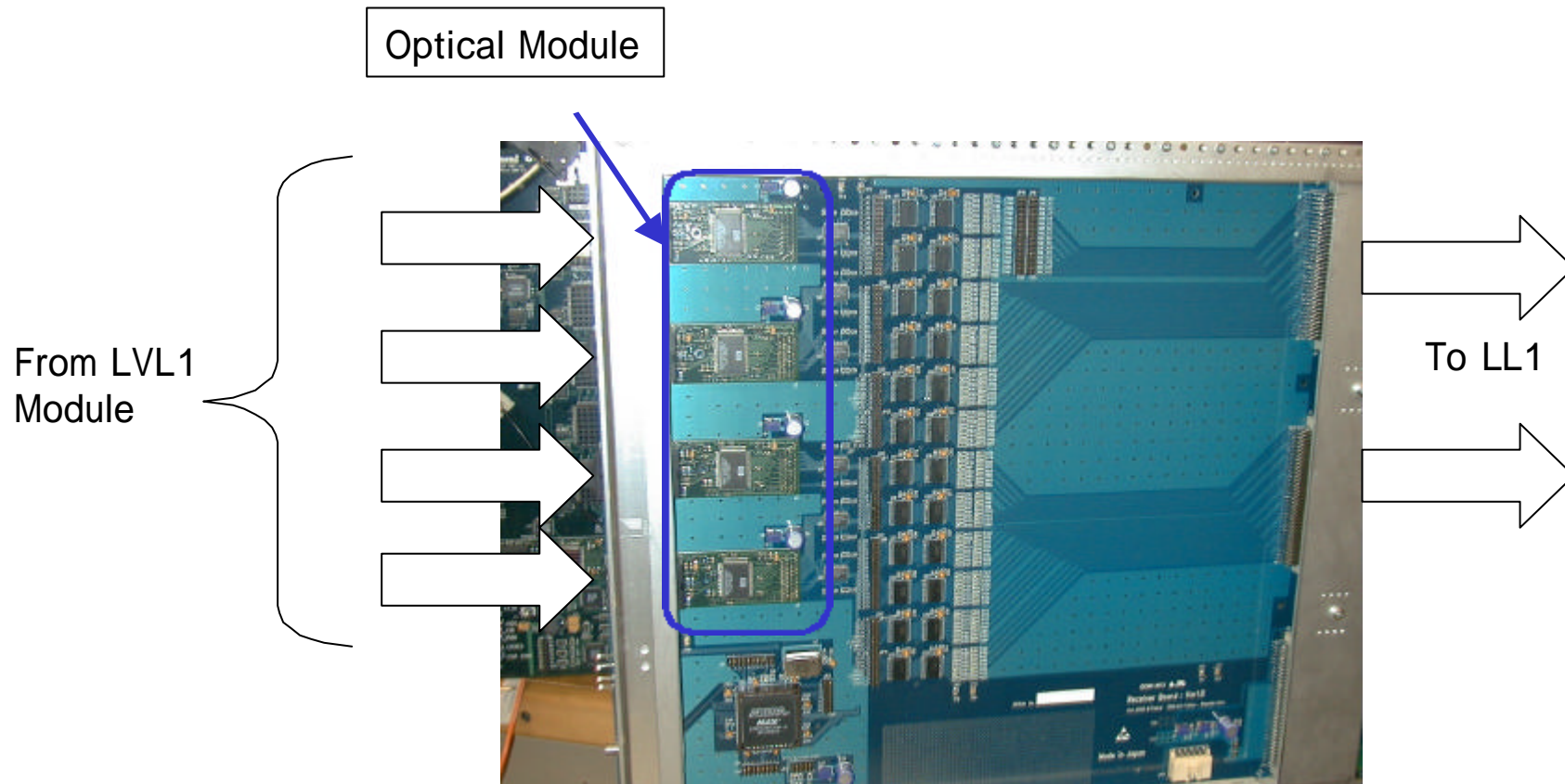
LVL1 Trigger Module



2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Receiver Board

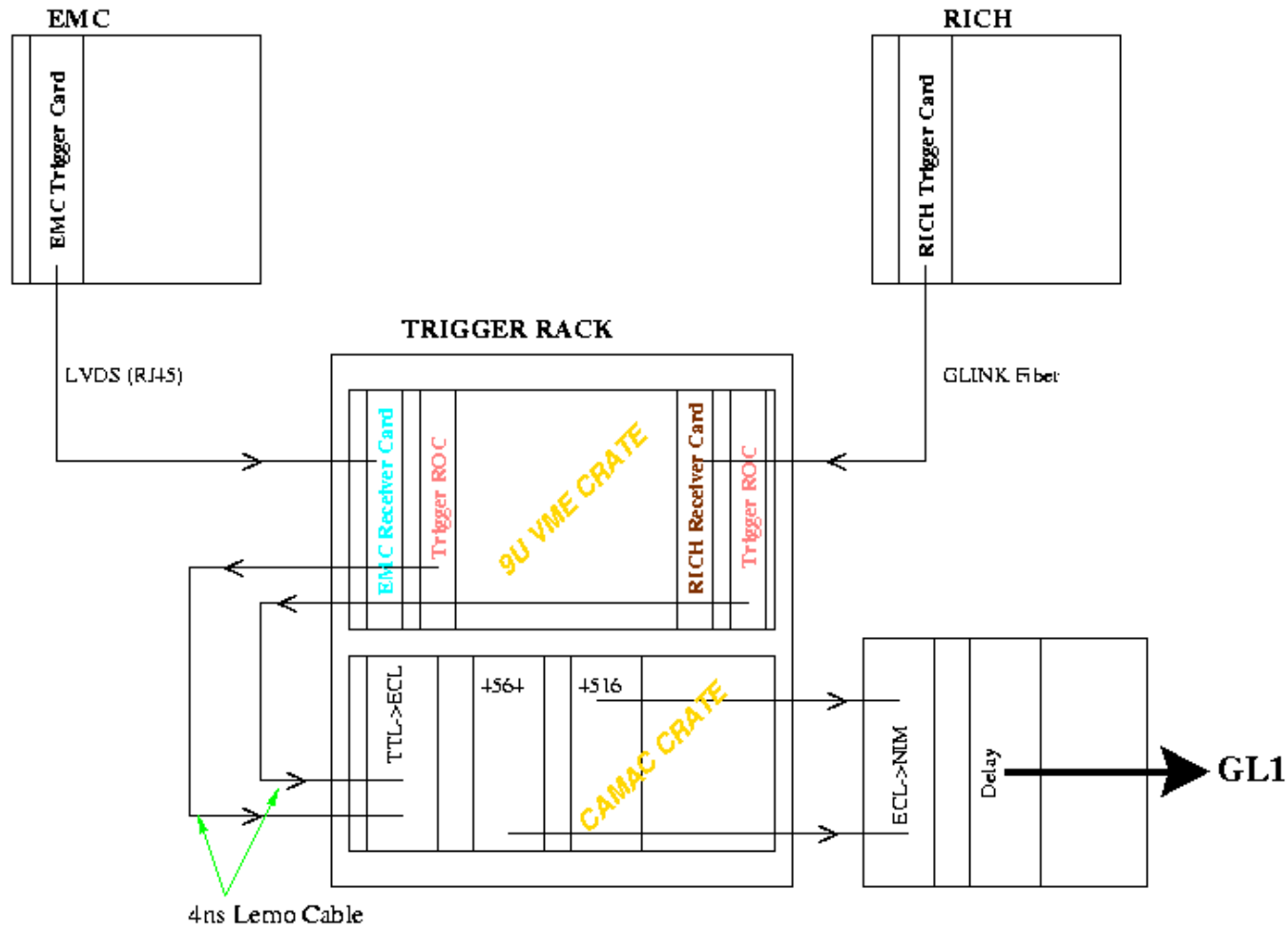


2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Blue Logic Layout

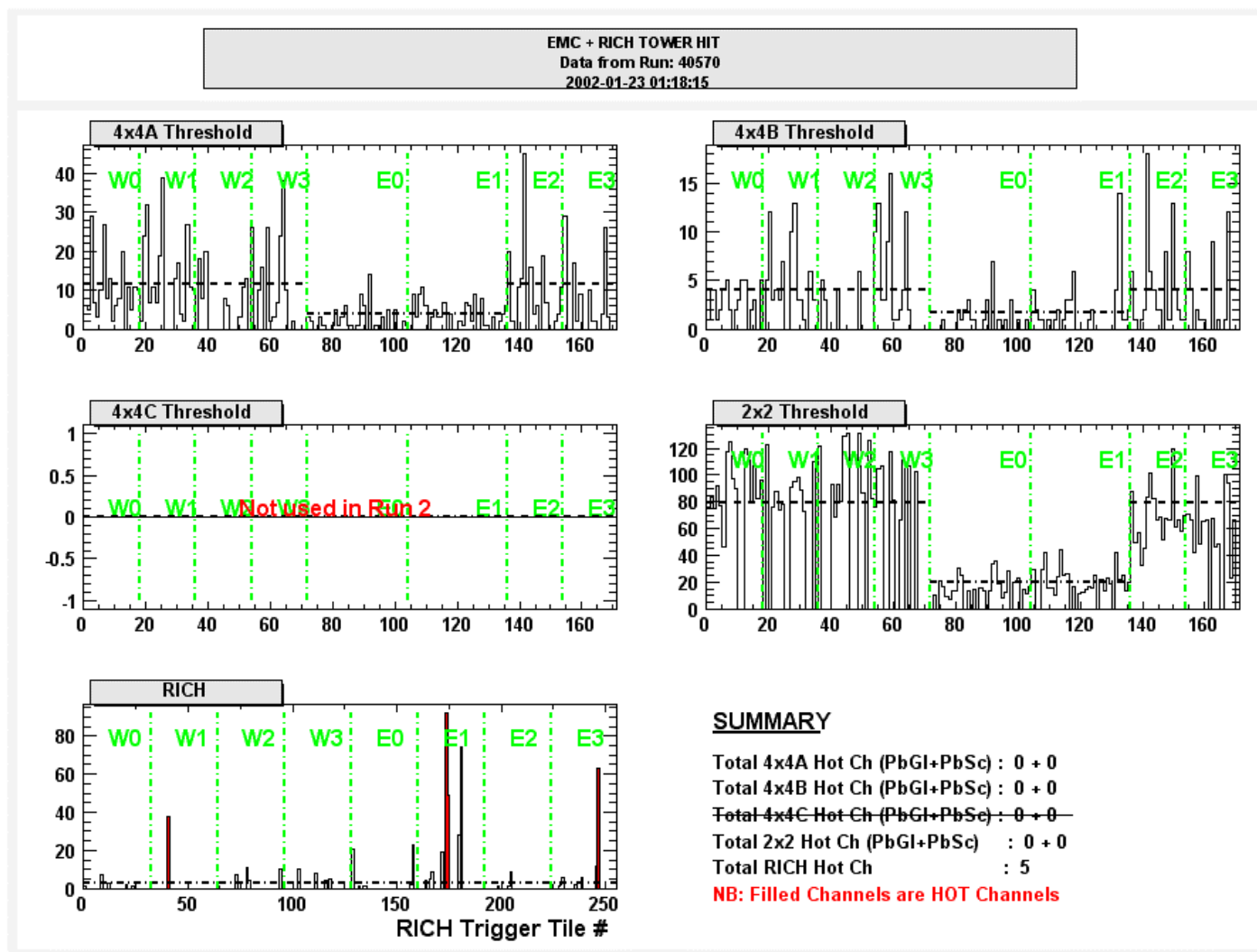
EMC-RICH Blue Logic Trigger Layout



2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

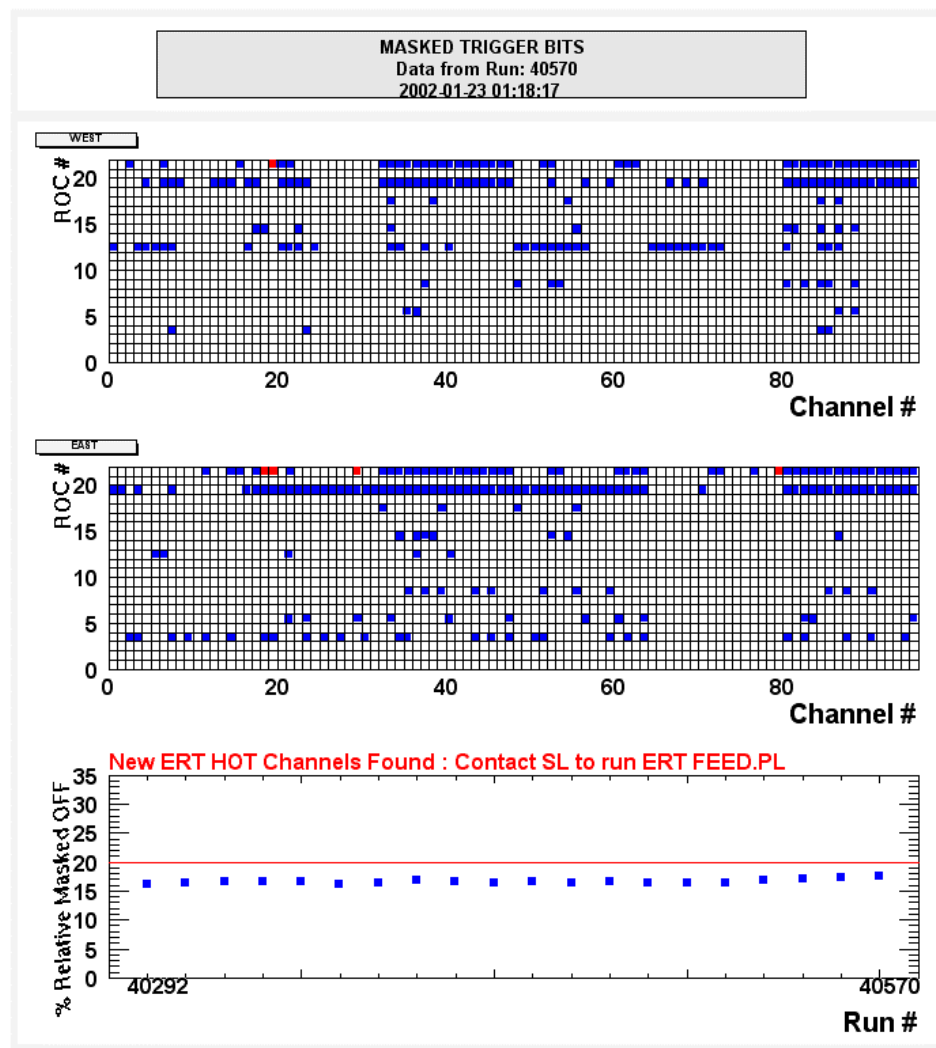
Online Monitoring



2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Online Monitoring

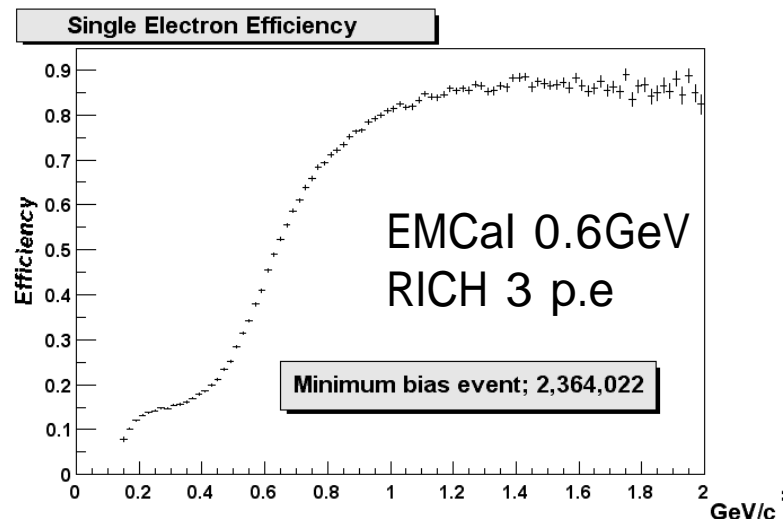
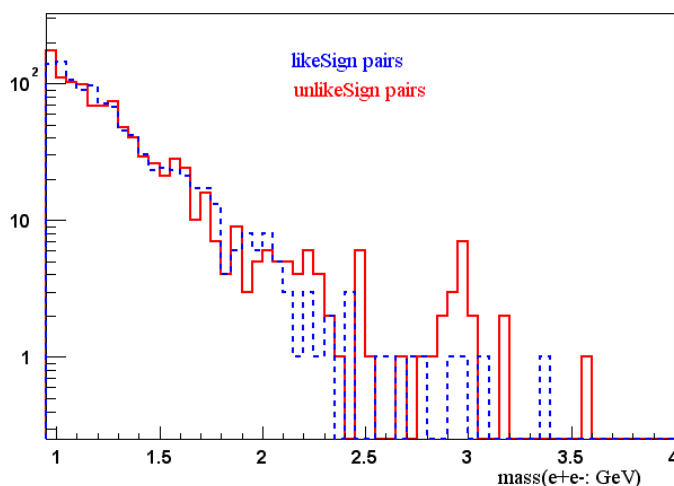
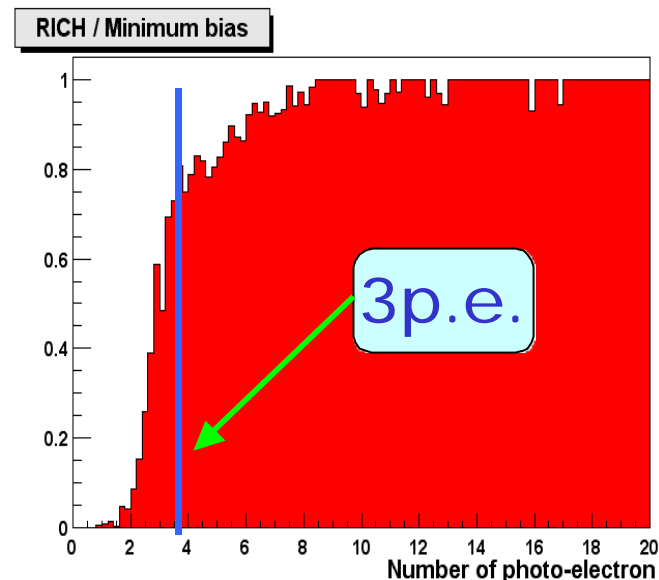


2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Performance of Electron Trigger

- RICH Trigger Threshold
- Single electron に対する Electron Trigger efficiency $\sim 87\%$
- Electron Triggerを用いて得られたJ/ ψ サンプル
- Rejection Power ~ 600 (run3 d-Au)



2003/7/28

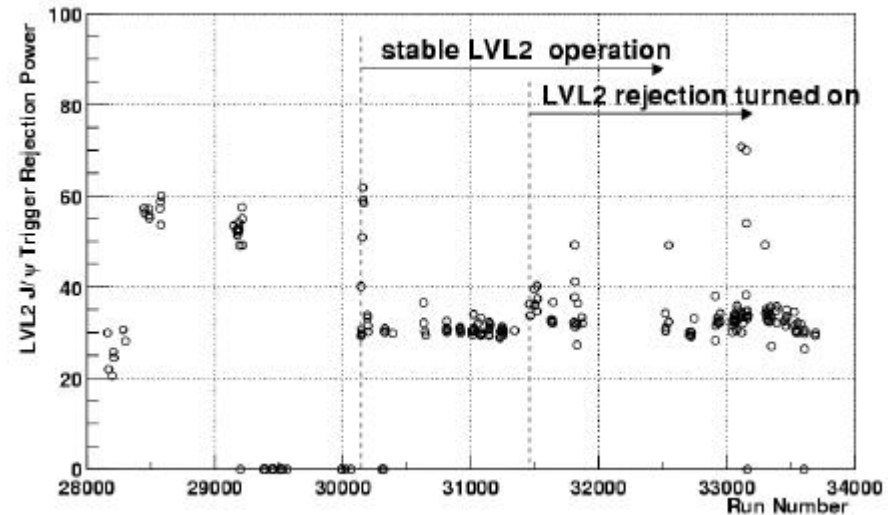
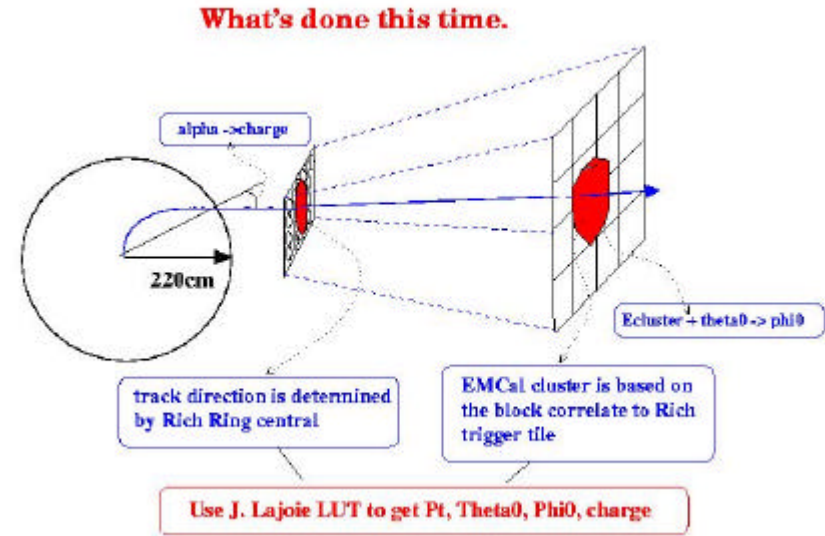
理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Summary

- PHENIX RICHの読み出し回路の1モジュールとして LVL1 Trigger Module を開発。
- RICH と EMCal のシグナルを利用して、LVL1 Electron Trigger System を構成。
 - Run3 d-Au run より本格的に稼動
 - 電子に対するefficiency $\sim 87\%$ ($p_T > 1\text{GeV}/c$, d-Au)
 - Rejection Power ~ 600

LVL2 J/ ψ trigger

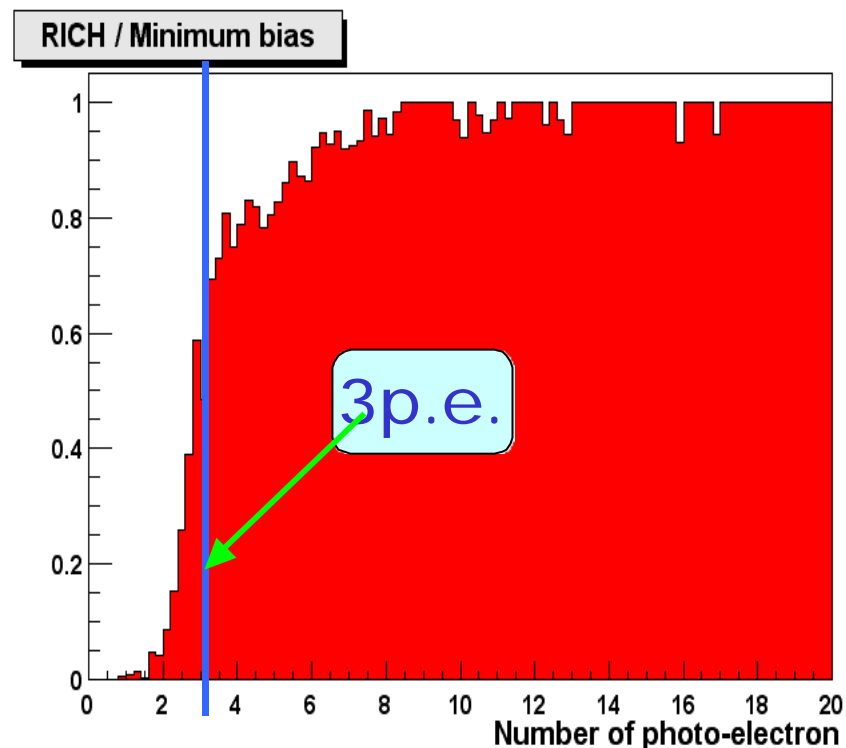
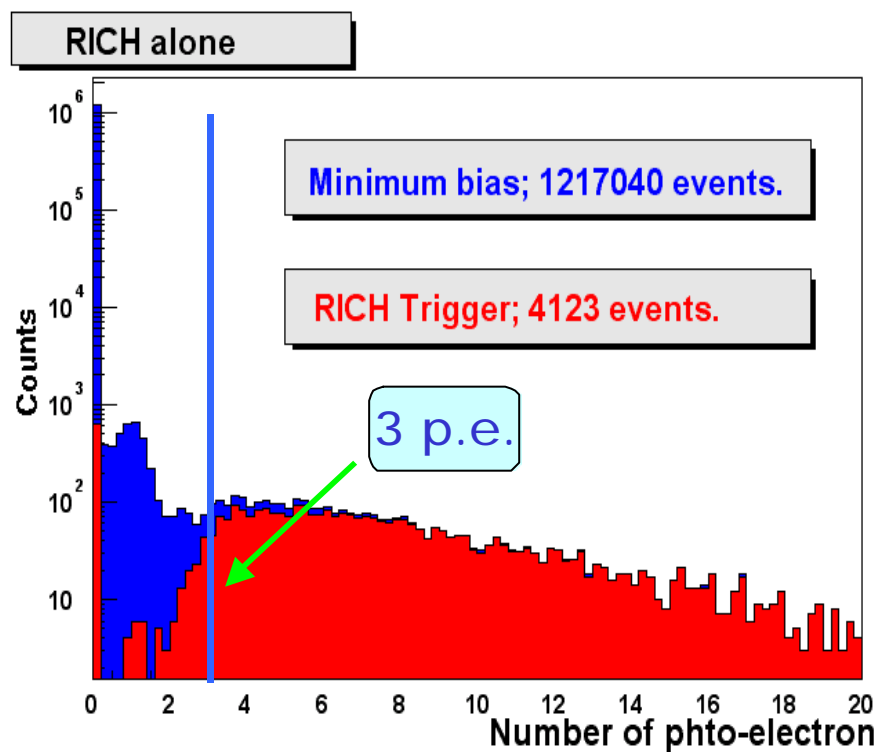
- RICH·EMCal 情報で、電子を識別
 - LVL1 Electron Trigger と似ているが。。
 - Not using tile!
 - RICH Ring finding
 - EMCal clustering
 - Invariant Mass Calculation
 - 2.2 GeV/c² threshold
 - PC3 Matching
 - Reduce the ambiguity
 - Rejection Power of **33** achieved (Run2Au+Au)



2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化

Performance of RICH Trigger



2003/7/28

理研シンポジウム
原子核実験における信号処理の高度化