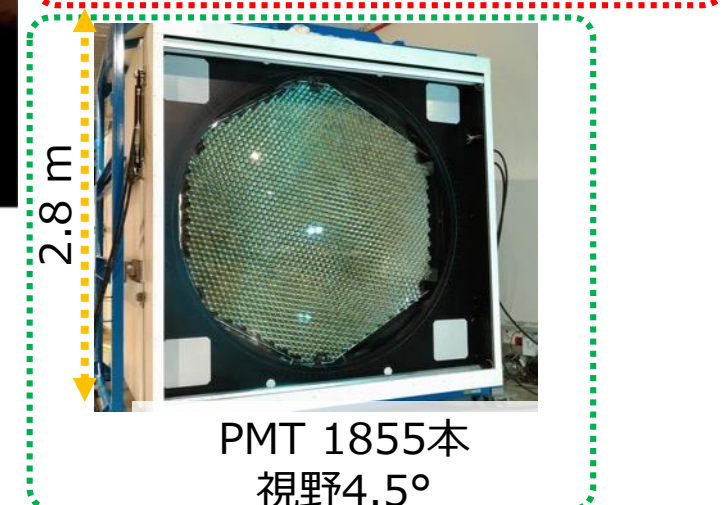
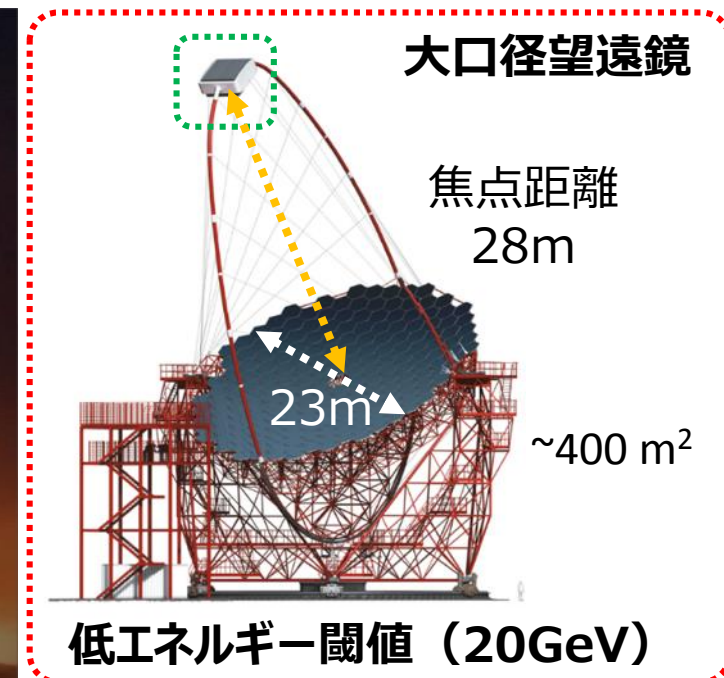
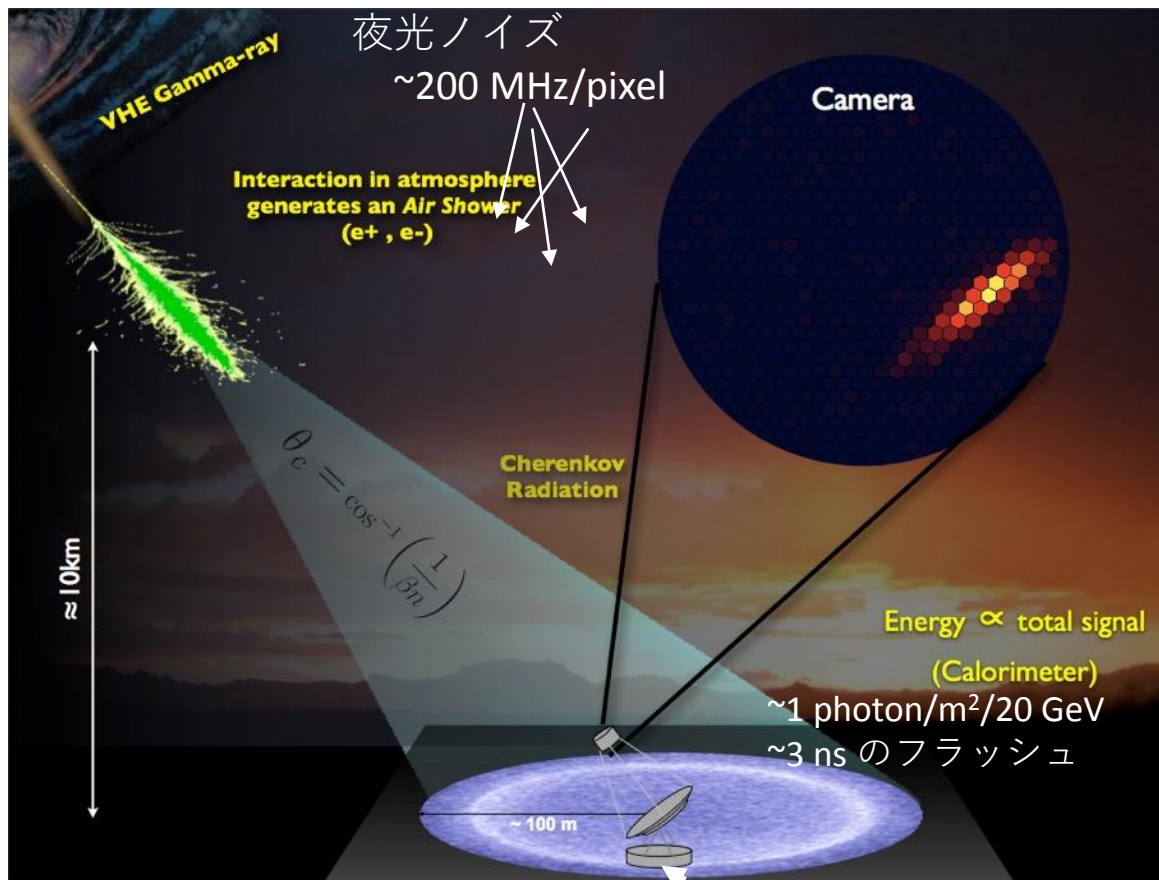


# CTA 大口径望遠鏡初号機の カメラの較正と試験観測

齋藤隆之

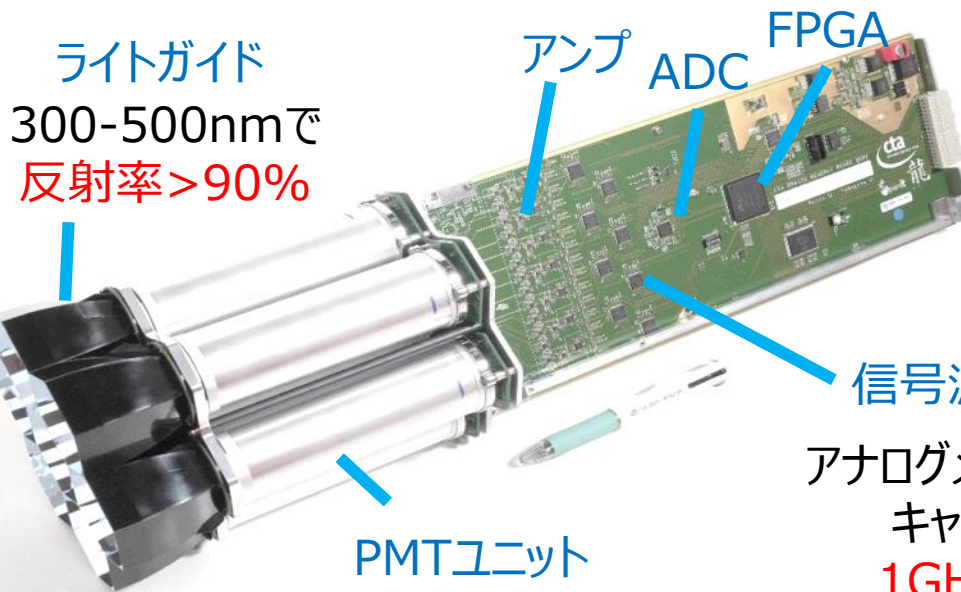
猪目祐介, 岩村由樹, 大岡秀行, 岡崎奈緒, 小林志鳳, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東大宇宙線研), 岡知彦, 梶原侑貴, 窪秀利, 野崎誠也, 平子丈, 増田周, (京 都大学), 奥村暁(名古屋大学), 折戸玲子(徳島大学), 片桐秀明, 鈴木萌, 野上優人, 吉田龍生(茨 城大学), 櫛田淳子, 西嶋恭司, 古田智也(東海大学), 郡司修一, 門叶冬樹, 中森健之(山形大学), 砂田裕志, 寺田幸功, 永吉勤(埼玉大学), 田中真伸(KEK 素核研), 田村謙治, 町支勇貴, 山本常夏(甲南大学), 林田将明(立教大学), 馬場彩(東大理)他 CTA-Japan consortium, 池野正弘, 内田 智 久, (KEK 素核研, Open-It)



- 光子検出効率をできるだけ上げる
- ナノ秒の信号を正確に検出する

ことが重要

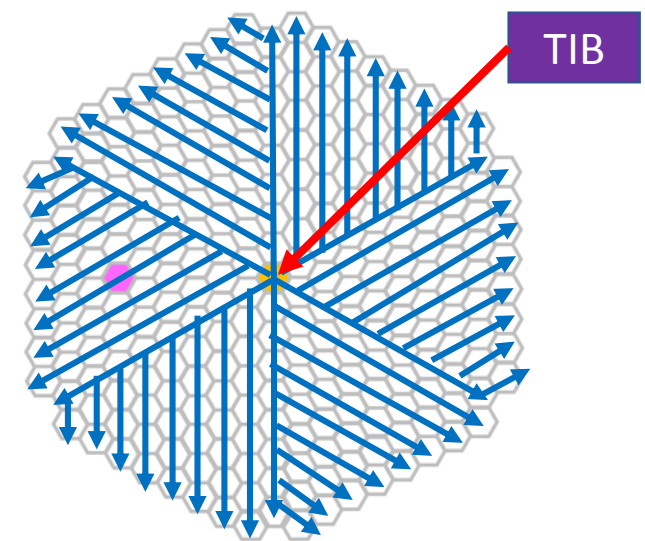
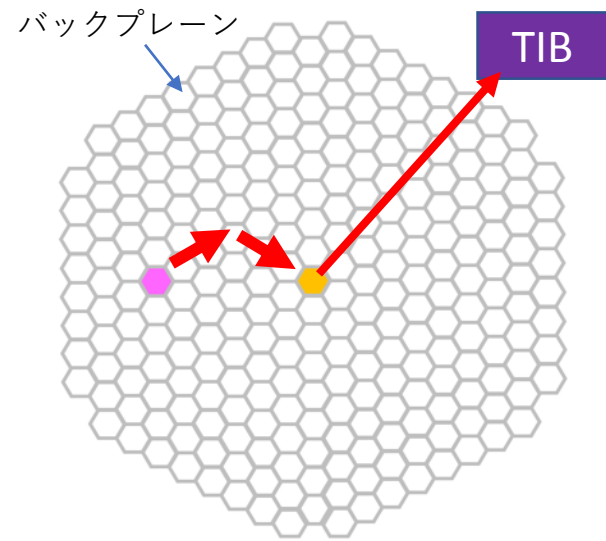
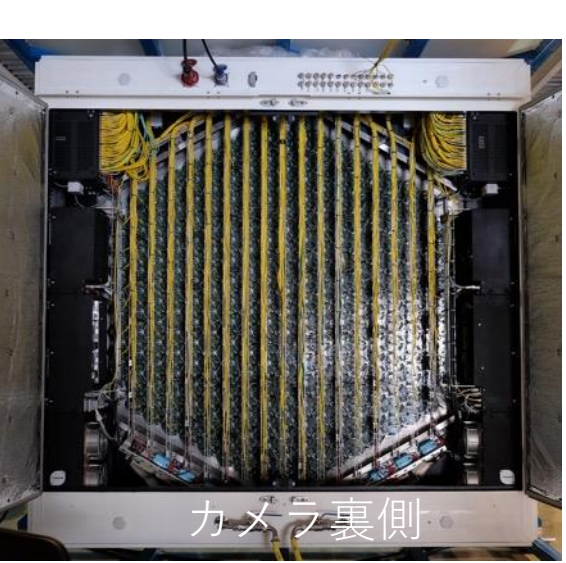
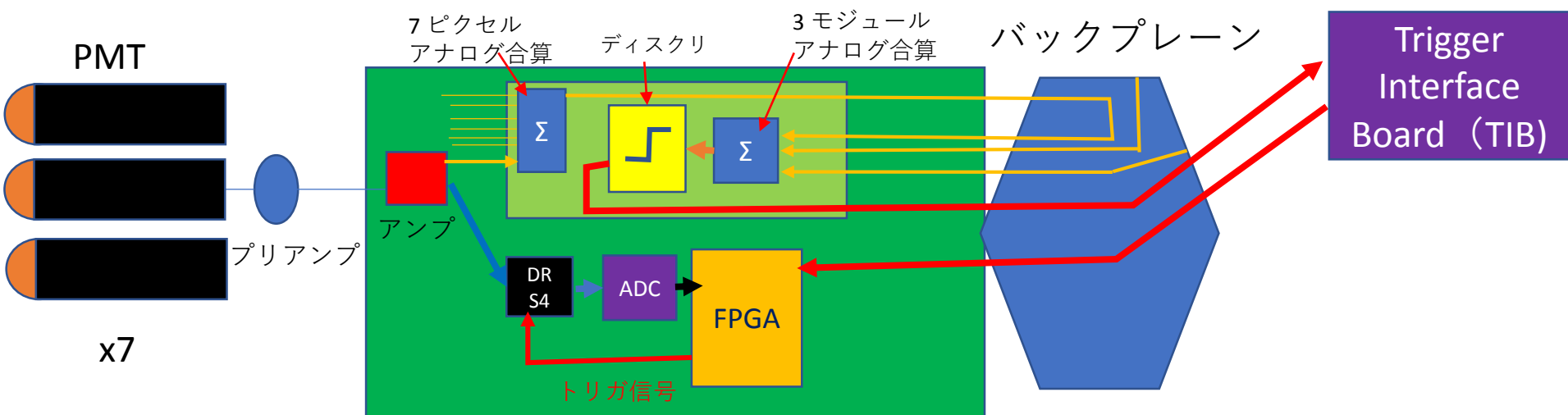
X265 / 望遠鏡



アナログメモリチップDRS4内の  
キャパシタ4096個に  
1GHz波形サンプリング  
(メモリ深さ4us)

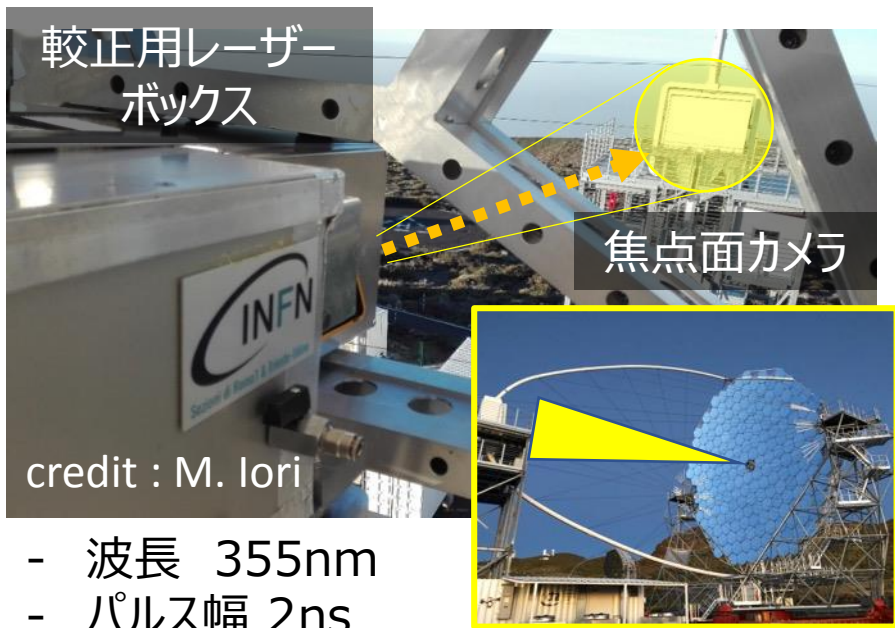


# 信号波形とトリガの経路

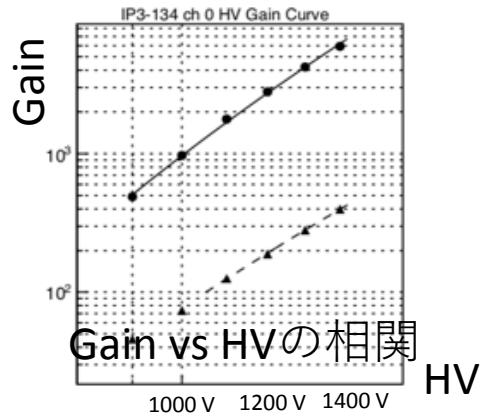
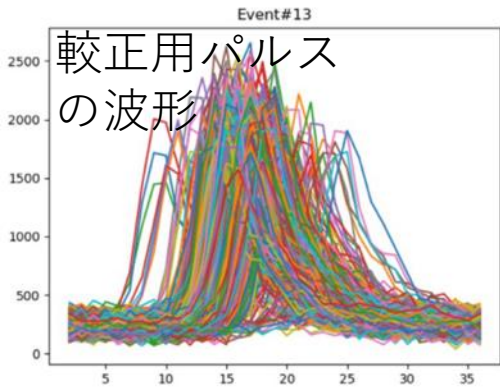
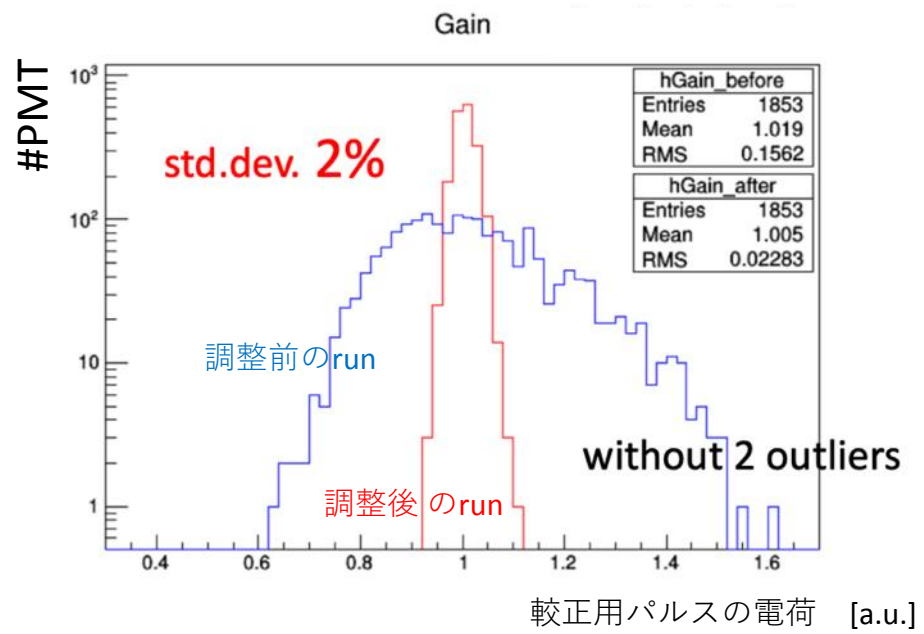


PMTゲインの均一化、トリガ閾値の較正、トリガのDelay(アナログ、デジタル)の調整が必要

# PMTゲインの均一化



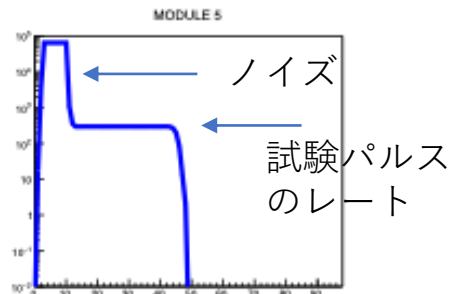
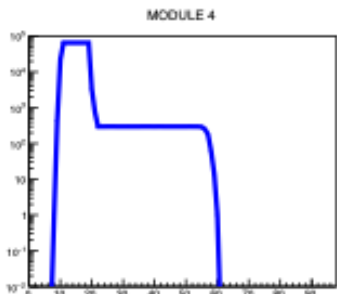
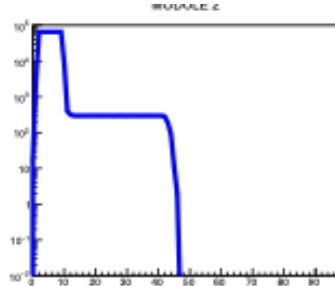
- 波長 355nm
- パルス幅 2ns
- レーザー安定性 1% (6時間)
- 一様性 <2%



- Gain vs HVの相関はPMTごとにlabo測定済み
- それを元にGainを調整
- 2%の精度で全PMTのGainを揃えた

トリガレート  
[Hz]

閾値[cnt]

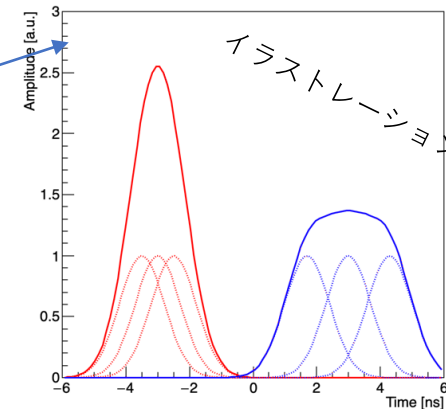


試験パルスの波高値

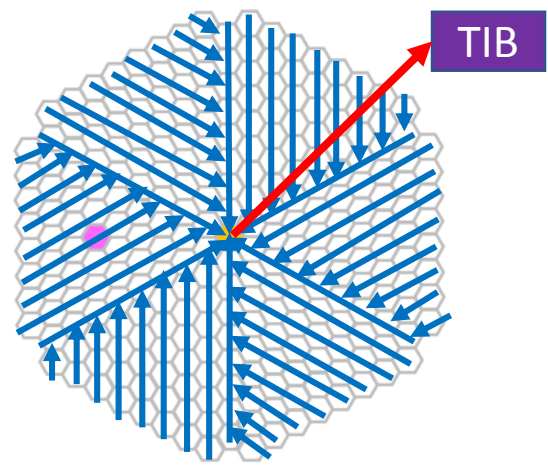


- 波高値のわかっている試験電気パルスをモジュール自ら生成
- 一定のレートでトリガ回路に打ち込む
- その状態でレートスキャンを行い閾値を較正。

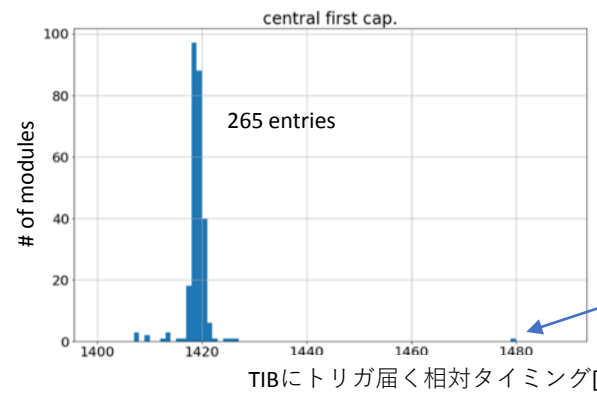
- トリガはアナログ信号を足し上げて生成される。アナログの信号の伝達時間がpixel間で揃っていないと、非効率的かつ非一様をうむ
- 閾値電圧の較正するのに加え、アナログ信号の伝達時間をdelay回路で調整する必要がある。
- アナログdelayの調整は現在進行中



各バックプレーンでdelay (往復二方向) を設定できる。  
校正用レーザーパルスを使い、二方向のdelayを設定

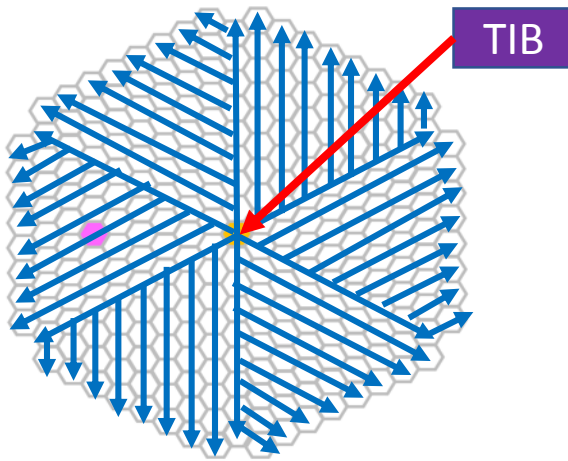


1) どのモジュールがトリガしても同じタイミングでトリガがTIBに届く (往路)

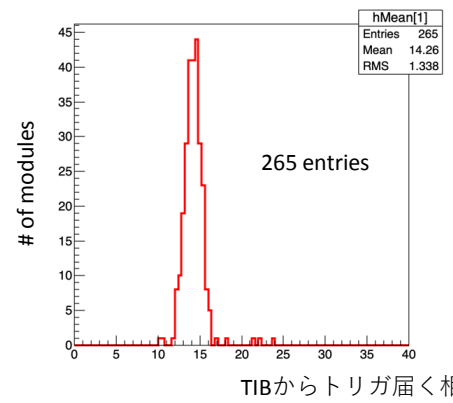


■ ~1 ns (標準偏差)の精度で校正

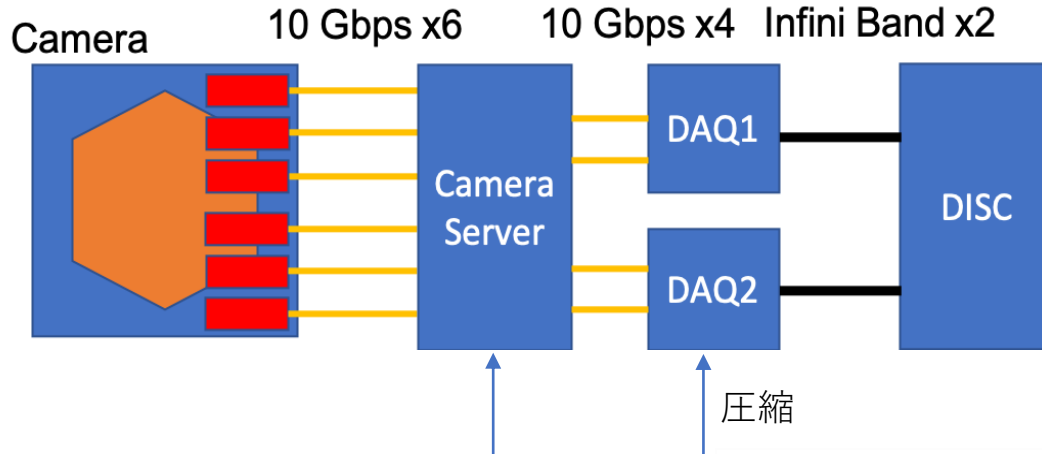
自動校正プログラムのバグ  
手動で補正済み



2) どのモジュールにも同じタイミングでトリガがTIBから届く (復路)

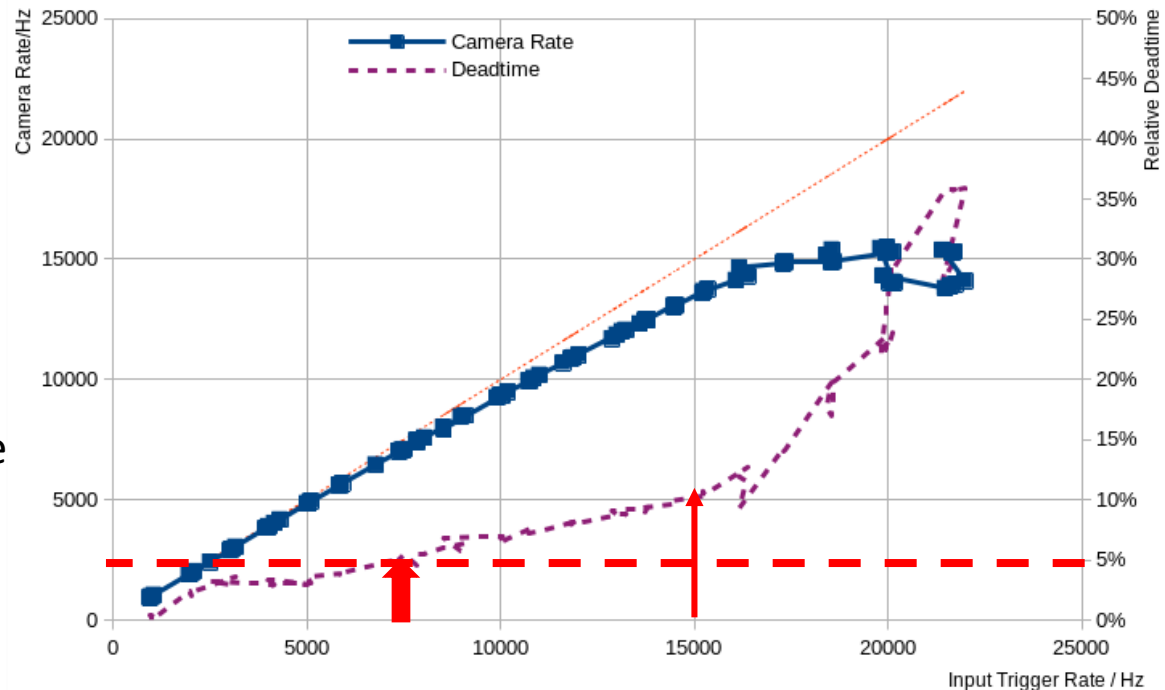


■ ~1 ns (標準偏差)の精度で校正



- ❑ Rawデータは1 事象 = 356 kByte = 2.85 Mbit
- ❑ データ転送のハードウェアリミットは 60 Gbit/sec
- ❑ トリガーレートに換算すると~20 kHz
- ❑ 読み出しボードには7.5 usec のdeadtime
- ❑ デザイン要求は
  - 7.5 kHzトリガで5%以下のdead time
  - 15 kHzまでDAQ可能

ローゲイン/ハイゲイン  
いずれかを選択  
サイズ約半分に

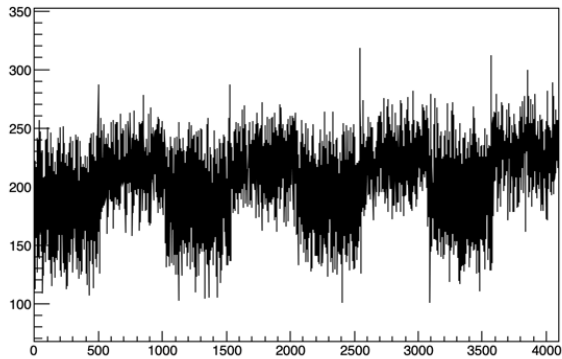


- 7.5 kHzトリガで5%のdeadtime
- 15 kHzトリガで10%のdeadtime
- デザイン要求を満たす。

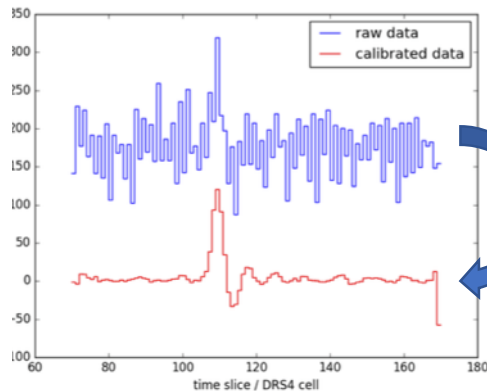


# Readoutのペデスタル

Offset



4096のキャパシタアレイ。  
個々のoffset値が違う。

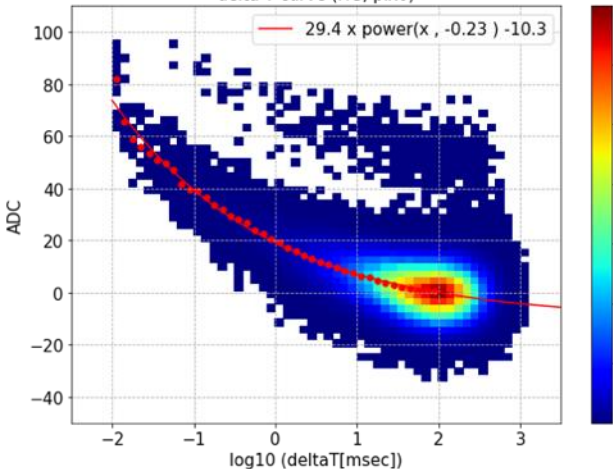


個別のoffset  
を引くと

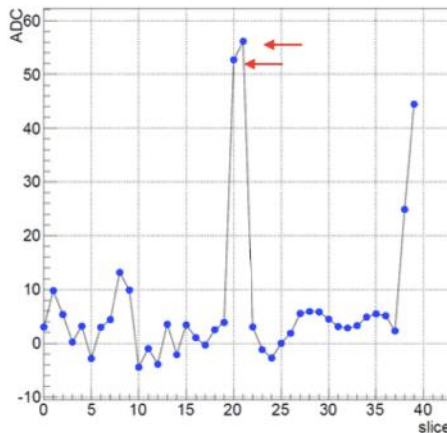


アナログメモリチップDRS4  
8192 キャパシタ内蔵  
4096 キャパシタで1PMTの出力サンプリング。

delta T curve (HG, pix0)

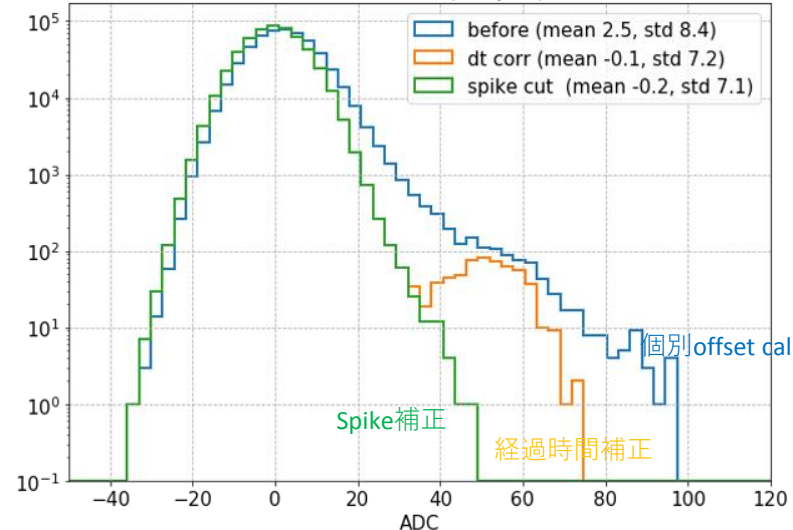


Offsetは読み出し後に増加し、  
時間と共に減少する。



Spikeが時々起こる。  
予測可能。

after correction (HG, pix0)

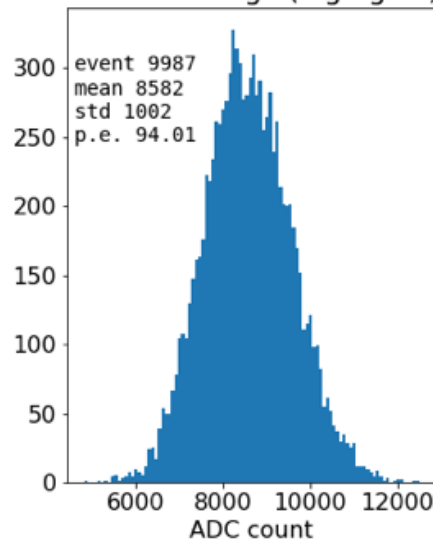


補正後ノイズは0.2 p.e. level



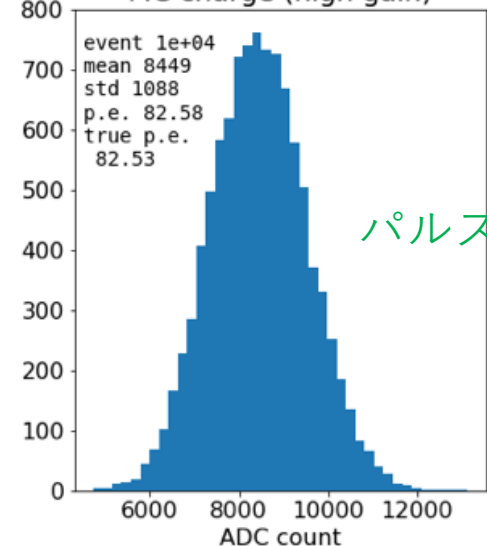
## 実データ

Run472 charge (high gain)



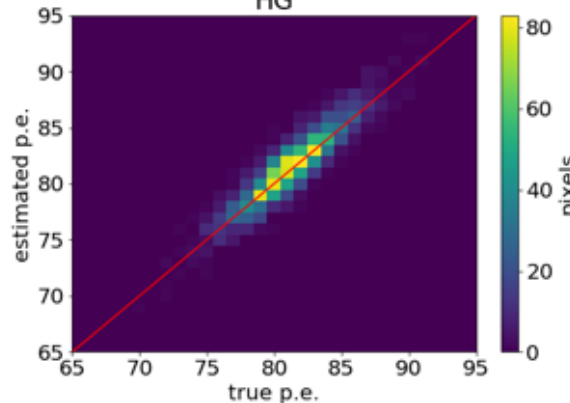
## モンテカルロ

MC charge (high gain)



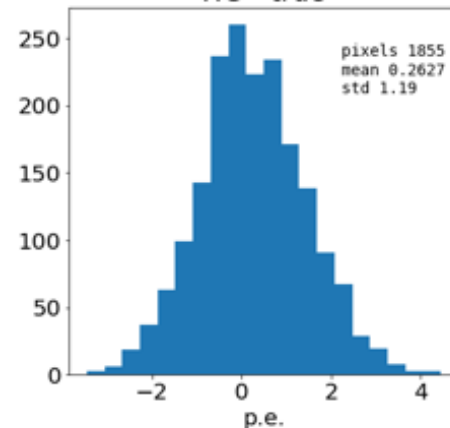
## モンテカルロ

HG



## モンテカルロ

HG - true



いわゆる「F-factor 法」で行う

- 較正レーザーパルスを10000発照射
- 平均ADCカウント  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  は光電子数  $N$  と

$$\mu = \eta N,$$

$$\sigma = \eta F \sqrt{N}$$

の関係にあるから

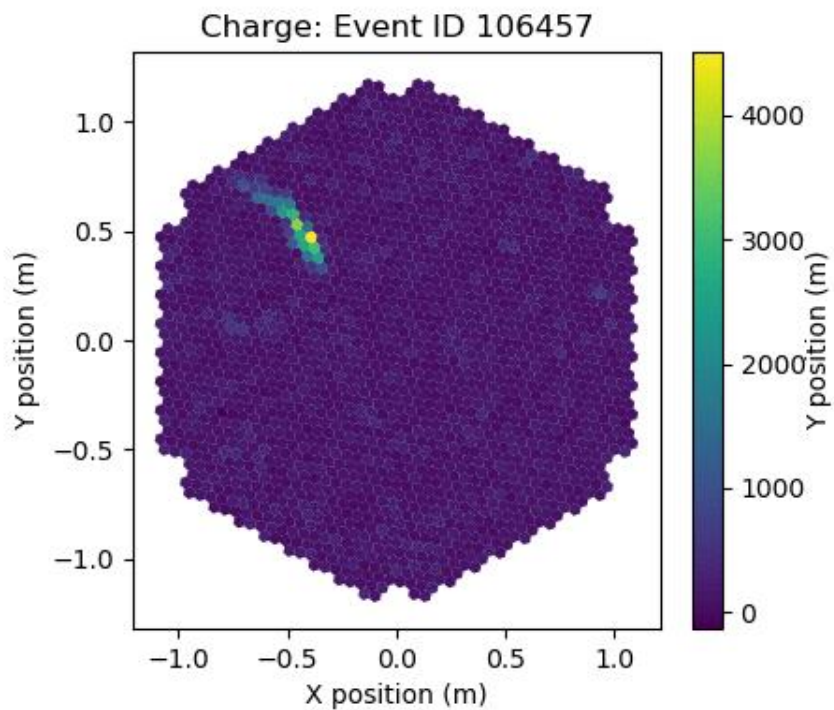
- 光電子数  $N = F^2 \mu^2 / \sigma^2$
- $F$  はPMT固有で、Labo測定では1.1

ADC カウントと光電子数の変換係数は  $N/\mu$

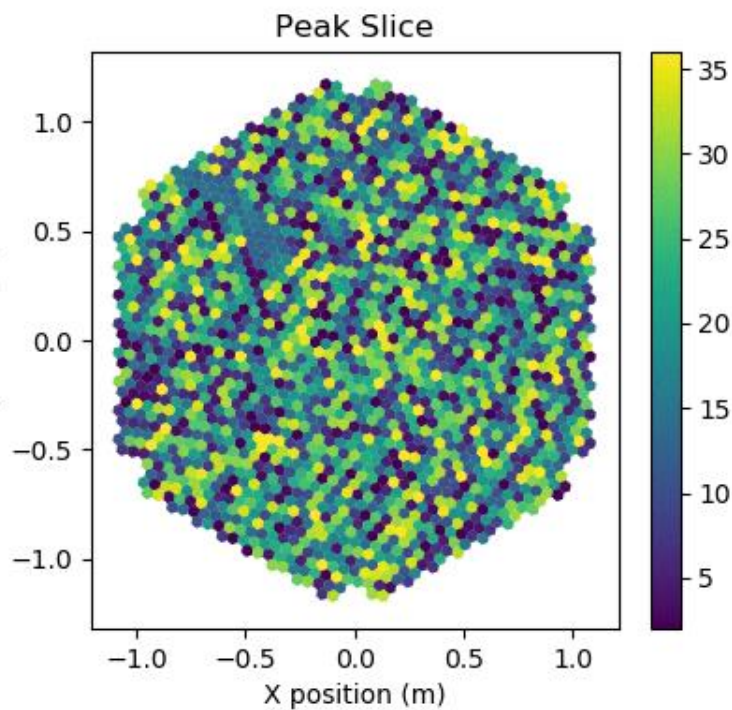
シミュレーションでも同様のことを行い、手法および装置の理解について確認。

1 p.e.  $\sim$  100 counts

MCによると、1-2%程度の精度で推定



電荷



タイミング

- PMT Gainの均一化: 2%の精度で完了
- トリガ閾値の較正: mV – DACの較正は完了
- 積算前のアナログ信号タイミング: 較正が進行中
- トリガ分配タイミング: 往路、復路共に~1nsの精度で完了
  
- DAQ: ポアソン7.5 kHz で5%, 15 kHzで10%のdead time
- Readout Noise: DRS4の較正により、0.2 p.e. レベル
- ADC-光電子数換算: Excess Noise法で1-2%の精度で可能 (MC)
  
- 空気シャワーやミュオン像の取得は順調
- 科学観測を始める準備は (ほぼ) 整った