

# Cherenkov Telescope Array 計画

## 大口径望遠鏡カメラの開発

○上野遥(M1), 寺田幸功, 小山志勇(埼玉大理工), 山本常夏, 佐々木浩人(甲南大理工), 片桐秀明, 梅原克典, 田中駿也(茨城大理), 中森建之(早大理工), 大岡秀行, 林田将明(東大宇宙線研), 手嶋政廣(東大宇宙線研, Max-Planck-Inst. fuer Phys.), 折戸玲子(徳島大総科), 窪秀利(京大理), 郡司修一, 萩原亮太(山形大理), 馬場彩(青学大理工), 他 CTA-Japan Consortium

# 大口径望遠鏡と焦点面検出器

大口径望遠鏡: LST (前講演・手嶋)

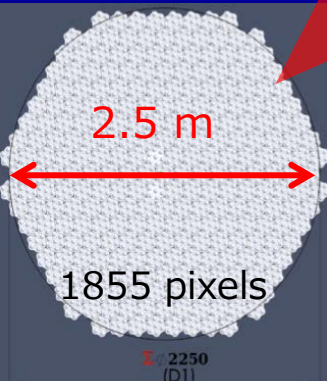
20 GeV - 1 TeV

焦点面カメラ

分割鏡

→V74a:  
加賀谷 講演

23 m



光検出器モジュール

~48 cm

7 PMT  
units  
→ 本講演

Trigger+  
DRS4 readout

読み出し回路  
→ V75a: 中森 講演

光検出器ユニット

1855 pixels×4 LSTs×2 sites → ~16000 PMTs !!

~158 mm

~39 mm

PMT (HPK)

高電圧回路

プリアンプ基板

スケジュール

- 2011-2012 デザイン決定
- 2013-2014 製作期間
- 2015 LST一号機建設開始

PMTは量産体制へ

2013年に>1000 PMTs 納品

# 光検出器calibrationに向けて

LSTの低エネルギー閾値20 GeVを達成 → PMTのCalibrationが重要

- 1) 納品されたPMT が要求仕様を満たしているかの確認
- 2) 特に性能の良いPMTについてはカメラの中央に配置する

試験項目※	要求値	測定系
動作gain	$4 \times 10^4$	
動作gainのHV範囲	850-1250 V	
gainのHV依存性	$HV^{6-8}$	<u>1 p.e.によるgain測定</u>
charge resolution	$\delta Q/Q < 1 @ 2 \text{ p.e.}$ $< 0.1 @ 1000 \text{ p.e.}$	
パルス幅	$< 3 \text{ nsec (FWHM)}$	(パルス波形)
after pulse 率	$< 0.02 \% @ 4 \text{ p.e.}$	<u>after pulse 測定</u>
dark noise	$< 2 \text{ kHz @ gain } 4 \times 10^4$	
量子効率	$> 35\% @ \text{peak}$	量子効率測定

※一部抜粋

2013年内に $> 1000$  PMTs について上記Calibrationを済ませる (実働期間  $< 8$ ヶ月)

本研究の目的

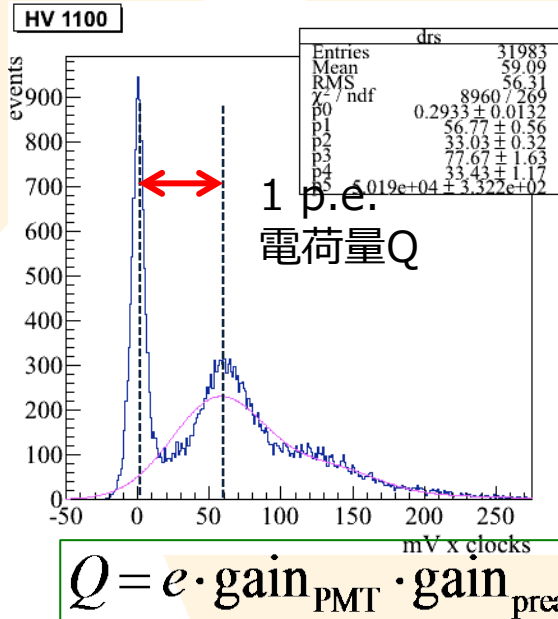
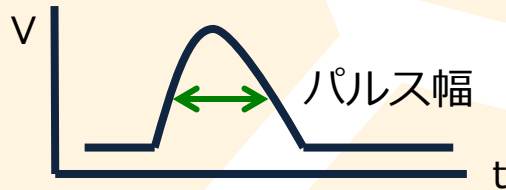
限られた期間内で何%の統計精度を出せるか？  
二つの測定系について実測し、提示する

# 試験系への要求

## 1 p.e. によるgain測定

p.e. : 光電効果によって放出された電子

PMT preamp出力波形



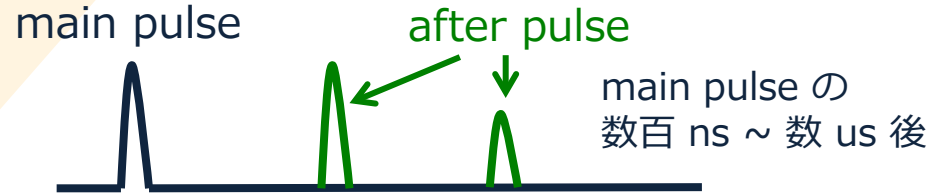
$$Q = e \cdot \text{gain}_{\text{PMT}} \cdot \text{gain}_{\text{preamp}}$$

After Pulse以外の項目を同時測定

→多系統での測定により効率化

## After pulse 測定

After Pulse: 電子と衝突したPMT残留ガス→正イオン  
→光電面 or ダイノードに戻る →疑似イベント



p.e.の大きいAfter Pulseイベントが多い  
→ main pulseとの判別が難しくなる

After Pulse 要求:

$$\text{After Pulse rate} \left[ \frac{\%}{\text{p.e.}} \right] = \frac{\text{After Pulse events}}{\text{total events} \cdot \text{Main Pulse}} < 0.02 @ \text{After Pulse 4p.e. threshold}$$

発生確率の低いイベント

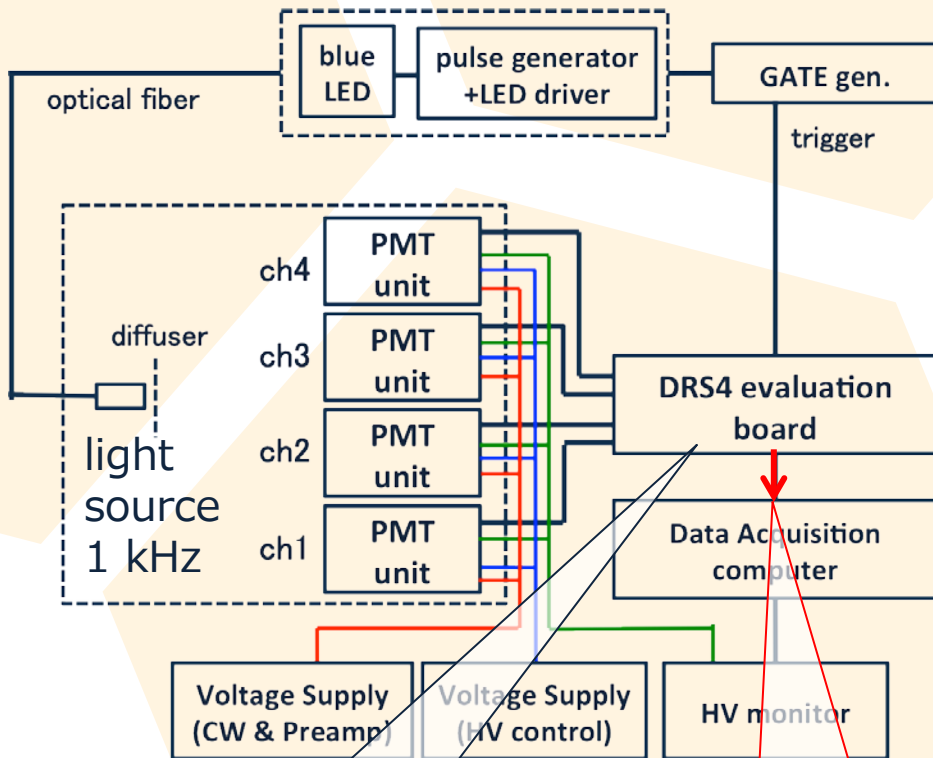
→測定時間を長くし統計精度を良くする

Main Pulseを10 p.e.に設定し統計精度<10%  
を達成するには $3 \times 10^5$  events 必要

→データ取得による測定時間の定量化

# 要求を満たすための試験系

## set up



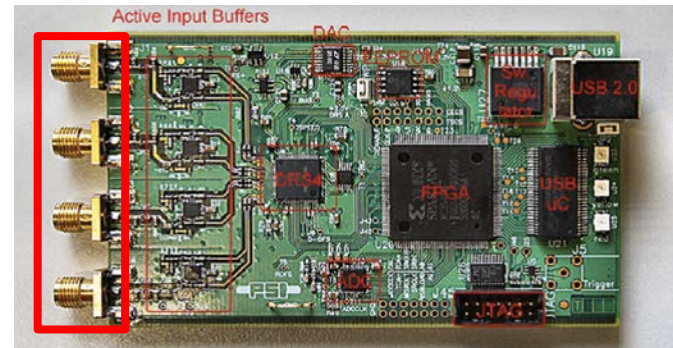
Sampling rate  
1 Gsample/s

10 ns

読み出し  
< 500 events/sec

## データ取得の方法

- PMTからの波形をDRS4でsamplingし flash ADCでデジタル化→PCへ転送  
→DRS4評価ボード



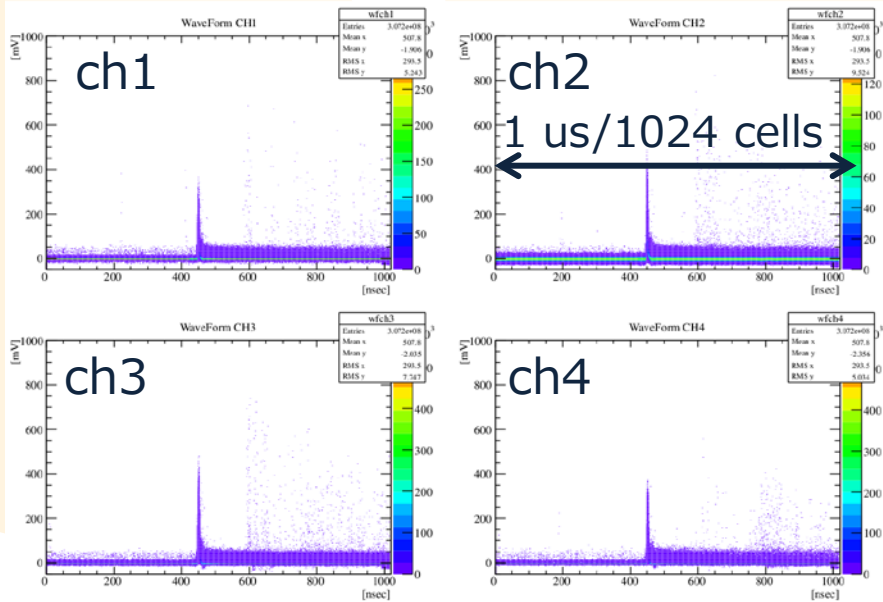
- PMTユニット後続の読み出しボードで用いられるASICの評価版
- 性能
  - USB データ転送 < 500 events/sec
  - 入力が4ch分ある

4 PMTs同時測定で $3 \times 10^5$  events  
取得時間を実測する



# 測定結果・考察

## 測定一回にかかる時間



(x: time, y: voltage, color: event数)

$3 \times 10^5$  events のデータ取得にかかった時間  
= 13 min (4PMTs同時測定)

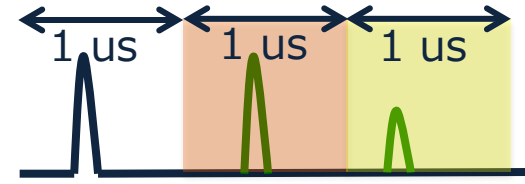
## 複数回の測定が必要な試験

### ➤ After Pulse 測定

DRS4評価ボード

→ 1024 cells

→ 1 us分の波形取得



Main Pulseから~3 usまでの領域を測定  
→ 1 us分を3回測定する

→ 13[min]×3[回] ~ 40 min

### ➤ gainのHV依存性(5点測定)

13[min]×5[回] = 65 min

## 二つの測定にかかる時間の概算

PMTの入れ替え作業時間 → 5 min

4PMTs同時測定 →  $1000/4 = 250$ 回入れ替え

$(40 + 5 + 65 + 5) \times 250 = 2875$  min ~ 500 hr

作業時間: 8 hr/day → 40 days

多く見積もっても3ヶ月で測定完了

# まとめ

- CTA-Japanは2015年大口径望遠鏡プロトタイプ建設に向けて開発を進めている。
- 量産型PMT>1000本の納品(2013年分)に合わせ、Calibration Systemを開発している。
- DRS4評価ボードを用いて測定し、データ取得時間を見積もった。
  - $3 \times 10^5$  events取得すればAP測定の統計精度<10%
  - かかった時間は 13 min/4 PMTs
  - PMT1000本のgain測定、After Pulse測定に必要な期間は<3ヶ月

今後は…

- 約3ヶ月かければ統計精度が<10%達成できると提示できた。あとはサイエンスからの精度要求に合わせて統計精度を最適化する。
- 量子効率の測定系を準備する。
- 測定システムが整いつつあるので、順次宇宙線研で試験系を増設する。

ご清聴ありがとうございました

