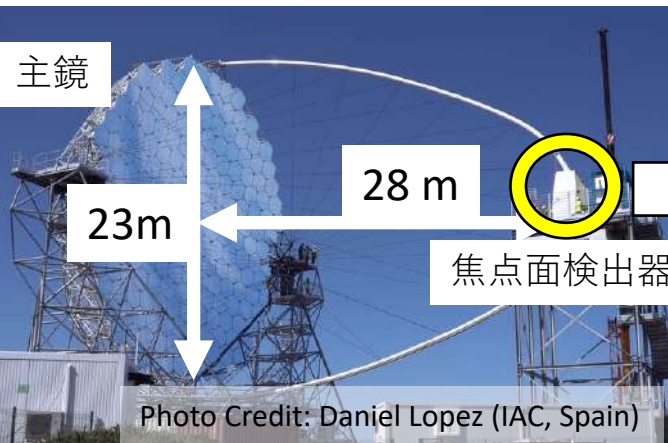


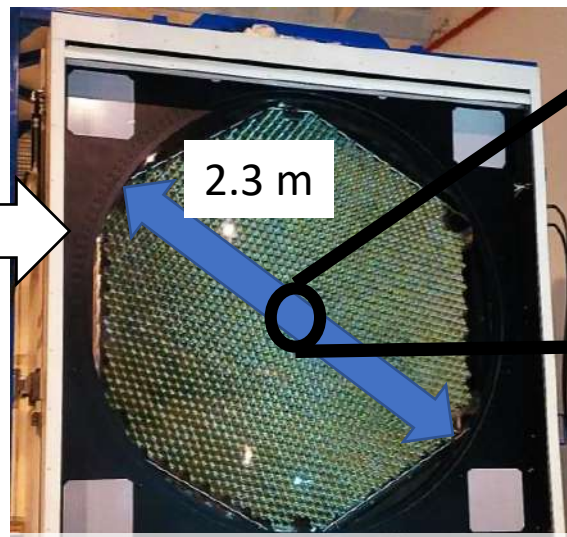
CTA 大口径望遠鏡に用いる 光電子増倍管の性能評価および 2-4号機カメラ製作の現状

佐々木寅旭, 砂田裕志, 立石大, 寺田幸功 (埼玉大), 猪目祐介, 岩村由樹,
大岡秀行, 岡崎奈緒, 小林志鳳, 齋藤隆之, 櫻井駿介, 高橋光成, 手嶋政廣,
野田浩司, Daniela Hadasch, Daniel Mazin (東大宇宙線研), 今川要, 岡知彦,
梶原侑貴, 窪秀利, 野崎誠也 (京大理), 奥村暁 (名古屋大), 折戸玲子 (徳島大理工),
片桐秀明, 鈴木萌, 野上優人, 吉田龍生 (茨城大), 川村孔明, 塚本友祐,
山本常夏 (甲南大), 櫛田淳子, 生天目康之, 西嶋恭司, 古田智也 (東海大理),
郡司修一, 中森健之 (山形大), 田中真伸 (KEK 素核研), 他 CTA-Japan Consortium,
池野正弘 (KEK 素核研, Open-It), Antonios Dettlaff (マックスプランク物理)

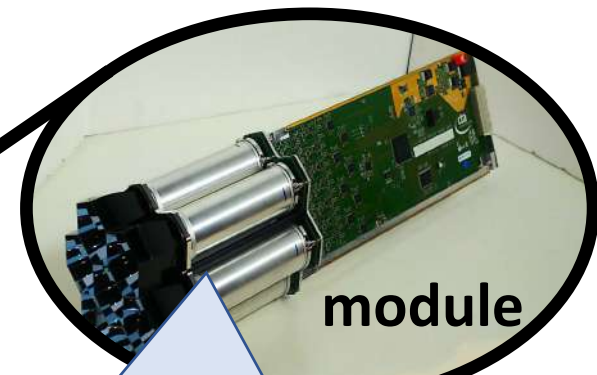
LST焦点面検出器



Large Sized Telescope (LST)
20 GeV ~ 3 TeV に感度



265本のmoduleで構成



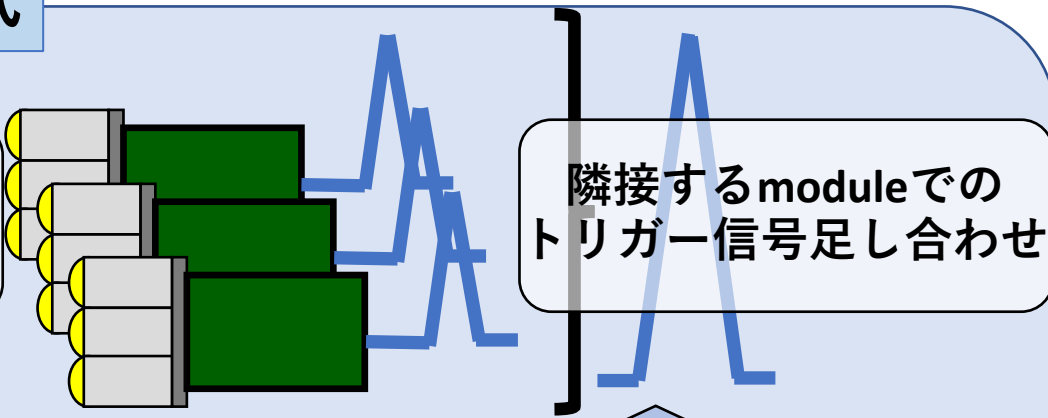
集光器 (Light Guide)
+
PMT 7本
+
Slow Control Board (SCB)
+
波形サンプリングボード (Dragon)

アナログサムトリガー方式



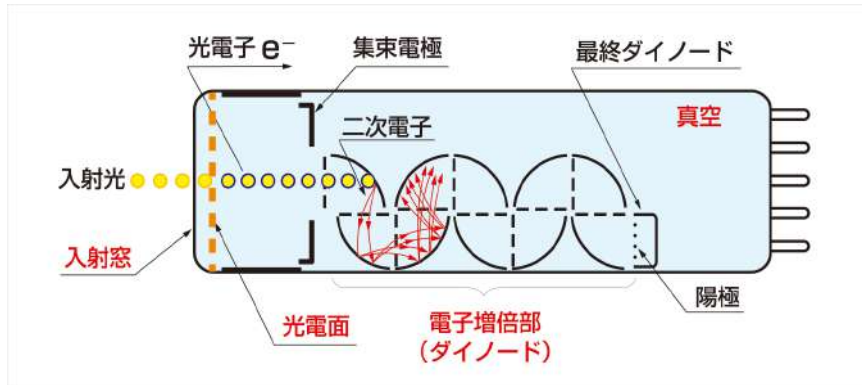
各PMTに合わせた電圧を印加
光電子の出力時間が変わるため
delay回路で各PMTの信号時間を揃える

20 GeVのガンマ線からの
微弱なチェレンコフ光も
トリガー可能にすべく



複数moduleの信号を1つに

Photo multipliertube (PMT)



浜松ホトニクス株式会社 編集委員会 (1998)

Transit Time (T.T.)

…光電子が叩き出されてから陽極で出力までにかかる時間
光子入射位置と印加電圧に依存

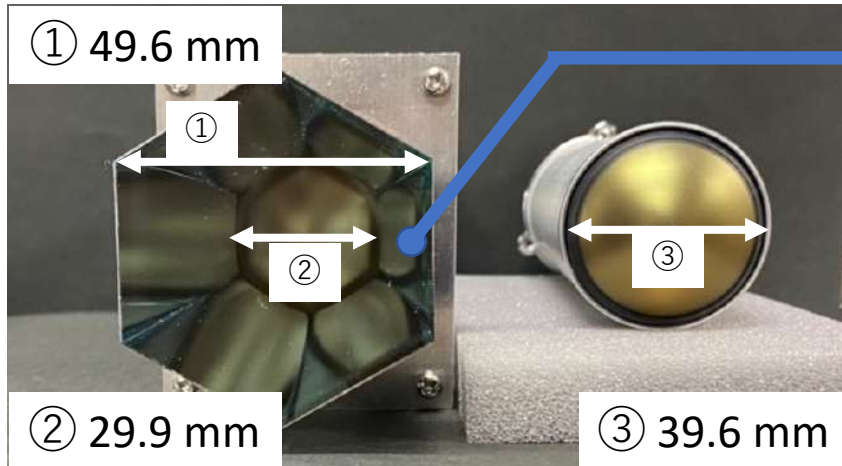
Transit Time Spread (T.T.S.)

…T.T.の時間のばらつき

パルス幅

…出力信号の時間幅(FWHM)

PMT型番 R12992-100



集光器 Light Guide

…集光及びPMT間の隙間を埋めるため
入り口は①のサイズ
主鏡からの反射光以外の光を
PMTの外に反射する構造をとると
出口は②のサイズ

Light Guide 装着により光電面の中心付近に集光されるため
T.T.分布が変化しT.T.S.やパルス幅が小さくなると期待される

研究目的

- ・ チェレンコフ光は約3.0 nsほどの時間スケールのためアナログサムトリガー方式において**ナノ秒オーダー**の信号足し合わせが必要

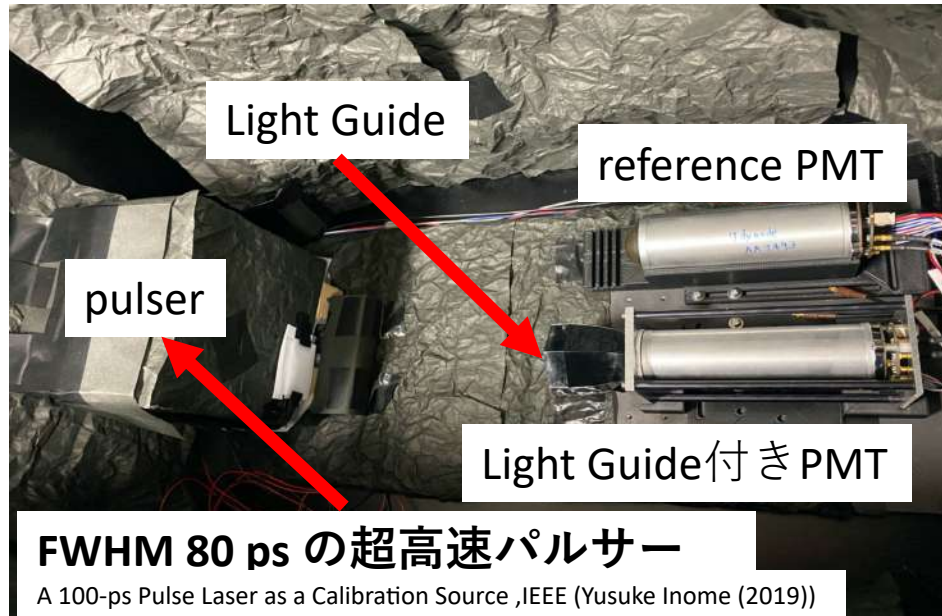
→ **T.T.S.の値及び印加電圧依存性や、PMTごとの個体差を知らなければならない**

- ・ PMT単体でのパルス幅の測定は行われているがLight Guide装着による測定は未測定

→ **実際の運用環境に近いLight Guide付きでのパルス幅を算出**

これらの項目について、Light Guide装着の有無によるパルス幅及びT.T.S.への影響を本研究にて測定する

測定系及びパルス幅算出

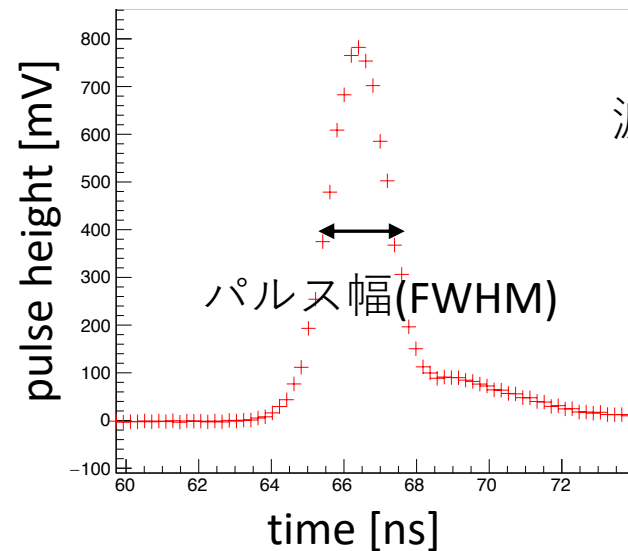


データ取得

- パルサーとDRS4 evaluation board⁽¹⁾のタイミングを同期し、出力波形を**0.2 ns**刻みでサンプリングを行う
- 大光量イベント (multi p.e.)
- 低光量イベント (1 p.e.)
- 5つの印加電圧
1400 , 1300 , 1200 , 1150 , 1100 V

(1) <https://www.psi.ch/en/drs/evaluation-board>

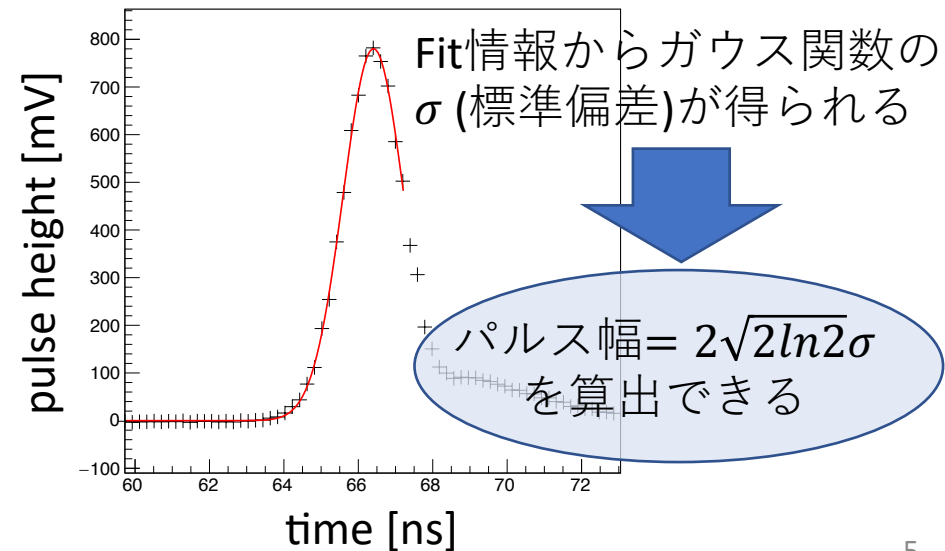
PMT出力波形(multi p.e.)



波形を1発ずつfit



ガウス関数でfit



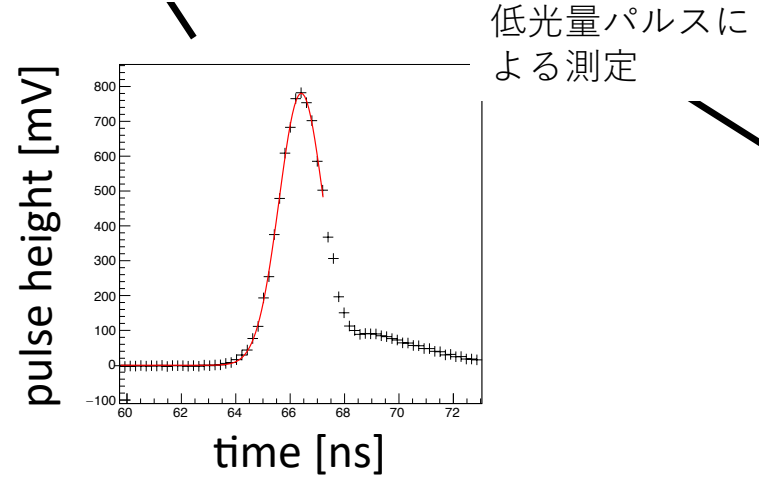
T.T.S.算出

T.T.のばらつきであるT.T.S.を直接測定するのは測定系のジッターなどがあり困難

→ multi p.e.のパルス幅に1 p.e.のT.T.S.が反映されることを利用し算出する

$$\sigma_{multi}^2 = \sigma_{1p.e.}^2 + \sigma_{T.T.S.}^2 + \sigma_{pulser}^2$$

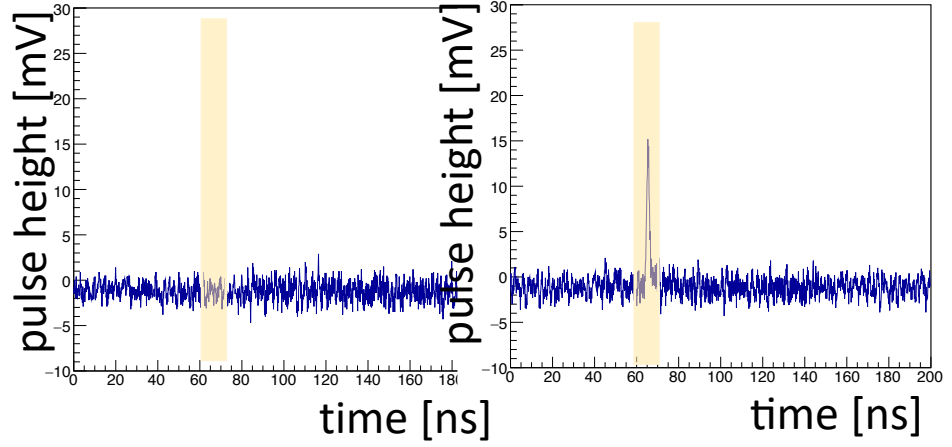
σ_{multi}^2 ← 大光量パルスによる測定(前頁)
 $\sigma_{T.T.S.}^2$ ← 求めたい
 σ_{pulser}^2 ← 既知



1 p.e. パルス幅の測定

平均~1 p.e.程度の低光量ではPMT出力電荷は離散的になり、ポアソン分布に従い、0, 1, 2 ... p.e. イベントが観測される

0 p.e. イベント 1 p.e. ~ イベント



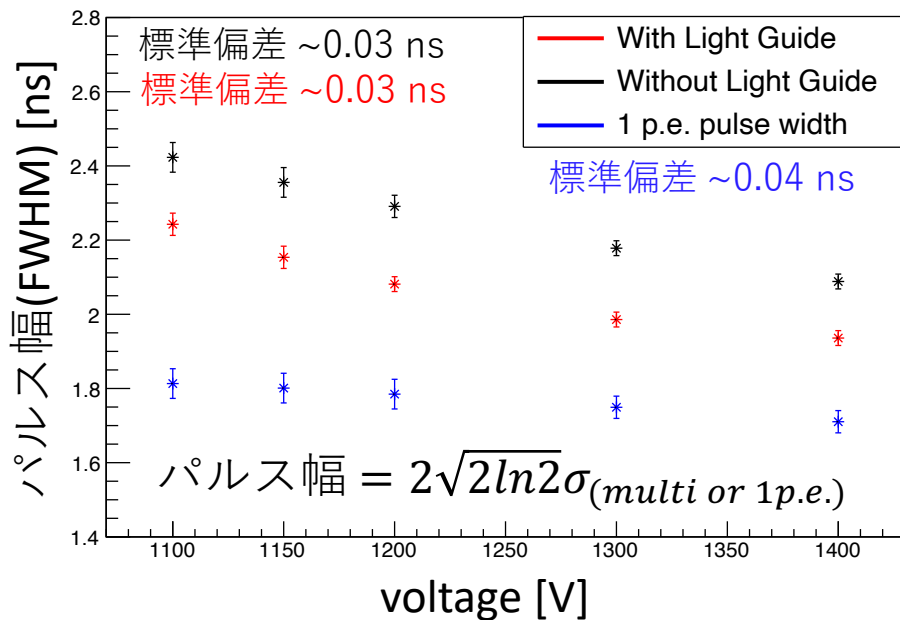
- ・ パルス電荷量
 - ・ ピークタイム
- の2つの情報から **1 p.e. イベントをノイズのみのイベントから弁別**
 → ガウス関数によるfitから $\sigma_{1 p.e.}$ の決定が可能

結果

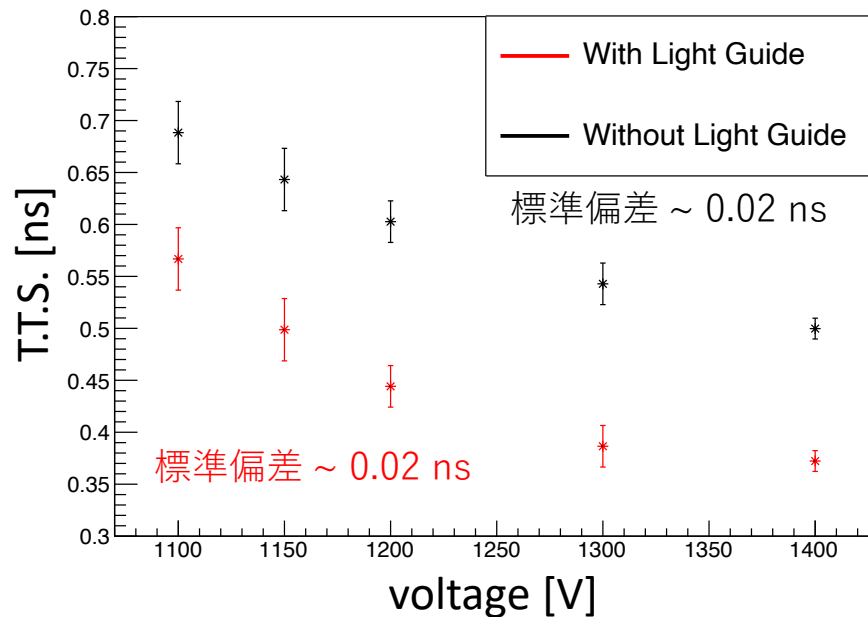
…10本のPMTについて5回測定を行った

パルス幅及びT.T.S.について各印加電圧において10本分の平均値を算出 ※エラーバーはPMT10本のばらつき

パルス幅(FWHM) vs HV

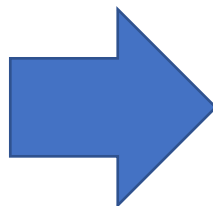


T.T.S. vs HV



パルス幅(FWHM) vs HV

- Light Guide 装着により平均10%程度減少



T.T.S. vs HV

- 平均20%程度減少
- 印加電圧に対して負の相関

Light Guide装着によりパルス幅及びT.T.S.が小さくなった
T.T.S.の印加電圧依存性を見積もることができた

LST 2-4 カメラ製作現状

LST 2-4 号機用のカメラモジュールを約1000個組立て・性能評価を行う

組立て

- ・ ほぼ完了
- ・ 残り5モジュールの組立て

保管

- ・ ホコリなどを防ぐためラッピングして保管

性能評価

評価項目

- ・ 1 p.e. 測定
- ・ multi p.e. 測定
- ・ HV-Gain curve
- ・ パルス幅測定
- ・ Lineality
- ・ アフターパルス

測定したモジュール数は
657モジュール

基準を満たしているのは
589モジュール

残りについては
今年度実施予定

組立て



性能評価



保管



まとめ

PMT測定

- ・ LST焦点面検出器に用いられるPMTをLight Guideをつけて測定を行った
- ・ Light Guide 装着により、各印加電圧でパルス幅は1.93 ~ 2.24 ns、T.T.S.は0.37 ~ 0.57 ns になることがわかった

LST2-4号機用カメラ製作

- ・ 約1000個のモジュールについて組立て及び性能評価を行った
- ・ 組立てについては残り5モジュール
- ・ 性能評価は657モジュールについて行った
基準を満たしているものは589モジュール
- ・ 残ったモジュールについての組立て性能評価、デバックは今年度実施予定