

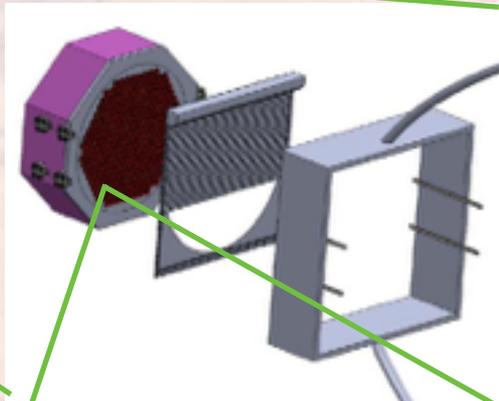
CTA報告98:

CTA大口徑望遠鏡用PMT性能評価結果

高橋光成^A, 猪目祐介^B, 梅津陽平^C, 大岡秀行^A, 折戸玲子^D, 片桐秀明^E, 櫛田
淳子^C, 窪秀利^F, 郡司修一^G, 小山志勇^H, 澤田真理^I, 辻本晋平^C, 手嶋政廣^{A,K}, 寺
田幸功^J, 友野弥生^C, 中嶋大輔^A, 永吉勤^J, 西嶋恭司^C, 林田将明^A, 馬場彩^I, 松岡
俊介^J, 山本常夏^B, 他

東大宇宙線研^A, 甲南大理工^B, 東海大理^C, 徳島大総科^D, 茨城大理^E, 京大理^F,
山形大理^G, ISAS/JAXA^H, 青山大理工^I, 埼玉大理^J, Max-Planck-
Inst.fuerPhys.^K

CTA大口徑望遠鏡 焦点面検出器



焦点面カメラ

有効域直径: 2.2 m

重量: 2 t

視野: 4.5°

光電子増倍管1855本

高感度・低ノイズ・高電
荷分解能が求められる



光電子増倍管(PMT)

R11920-100

浜松ホトニクス(株)

量子効率ピーク値: 平均41%

直径: 38 mm

間隔: 50 mm (0.1°)

重量: 付属品含め約120 g/本

PMTの性能評価・品質管理



Finished!

PMT
特性評価

エレクトロ
ニクスと結合

カメラ
組立・試験

望遠鏡
性能評価

PMT
データベース

望遠鏡
建造

望遠鏡
校正

結果を登録

動作不良品は排除
配置決定で考慮

シミュレーション
で使用

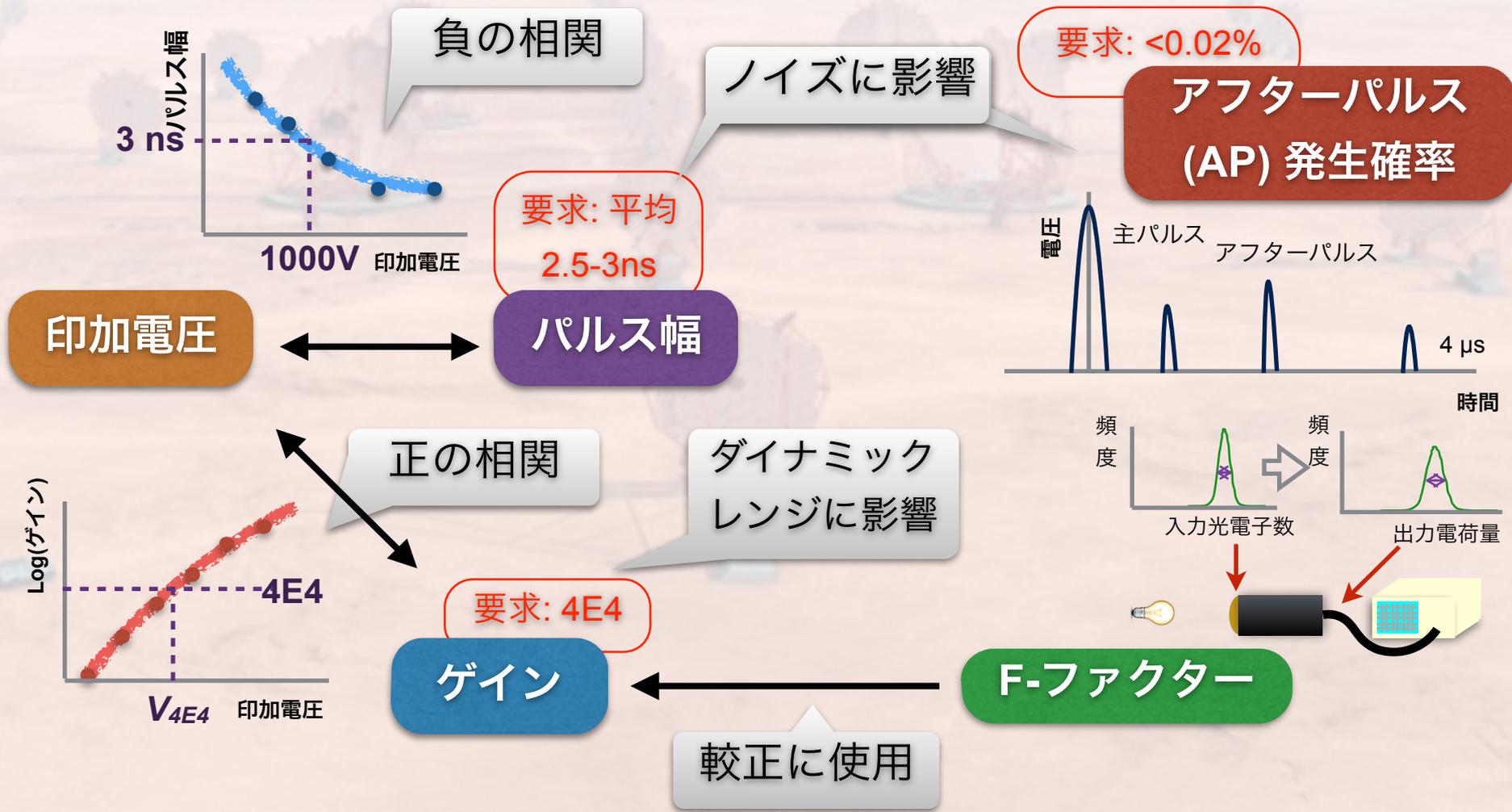
電荷量→光量換算に
Fファクターを使用

メンテナンス時に活用
経年変化の確認

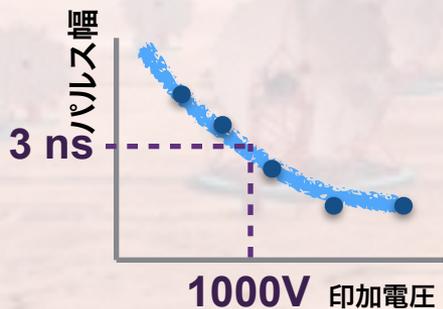
望遠鏡
運用

望遠鏡全体の校正はミュオンリングの観測から可能
相互の検証と冗長性の確保

測定したPMTの諸特性



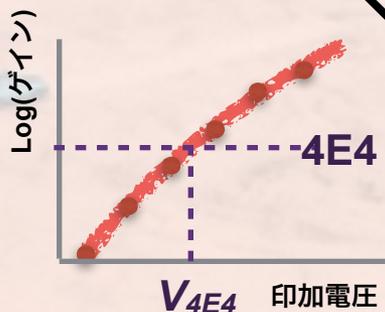
パルス幅問題



要求: 平均
2.5-3ns

印加電圧

パルス幅

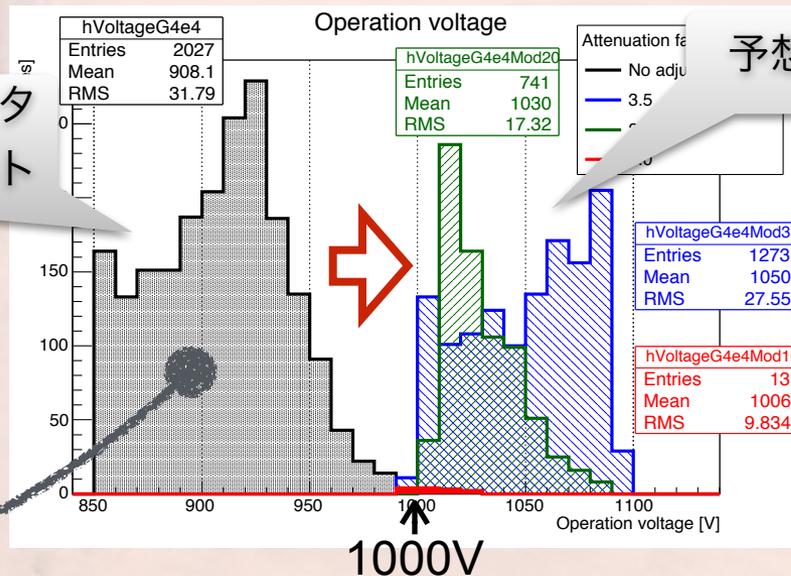


要求: 4E4

ゲイン

- ❖ パルス幅の要求を満たすには $V_{4E4} \geq 1000V$ が必要
- ❖ 納品前の測定によるデータでは大半のPMTが満たしていなかった
- ❖ V_{4E4} が 1000-1100V に分布するようにプリアンプ前で信号電流を分割する事にした
 - PMTに応じ3種類のプリアンプ基板を用意

データ
シート



予想

1000V

印加電圧制御

DAQ

Function generator (delay)

Trigger

High power Pulser

波長: 405nm

Laser diode

High speed Pulser

High voltage controller

Main PC

DRS4

Diffuser

Filter wheels

Optical fiber

PMT module

Sub-PC

光量制御

MySQL database

結果のデータベース登録

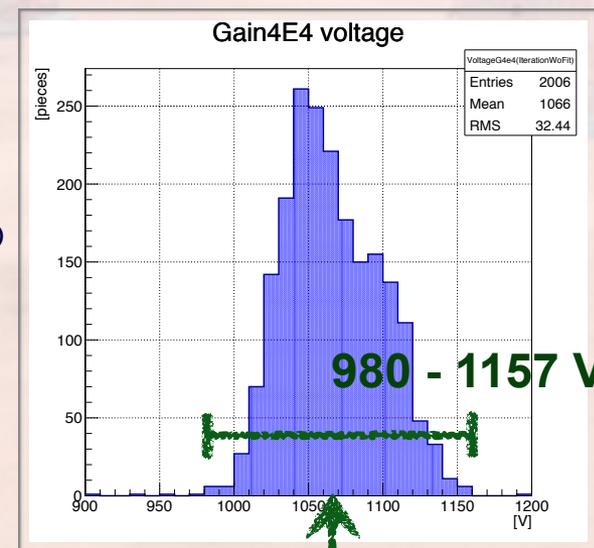
300 Acq/s
1 - 5 GSampling/s

動作試験結果

- ❖ 試験対象: 2015本
- ❖ 破損を確認: 7本
 - 修復の後再試験する
- ❖ 動作不良: 3本
 - 原因確認中
- ❖ 「自己発光」: 7本
 - 光を照射しない状態でも稀に 1 p.e. レベルの信号が見られる
 - 頻度は低いが大電流時に影響がある可能性もあり使用しない

ゲイン4万を与える印加電圧

- ❖ パルス幅・APの測定はここで決めた電圧で行った
- ❖ 平均 1066V
- ❖ 3本を除き 980-1157Vに分布
 - ▶ 予想よりも高電圧に分布
 - 浜松ホトニクスとの測定法の違いによると考えられる
 - ▶ スパークの可能性、電子走行時間、ゲインの経年変化等の点から見て許容範囲
 - ▶ この3本を含め6本はプリアンプ基板を交換して再試験の予定
- ❖ リファレンスPMTの繰り返し測定による誤差は約4V(測定初期は9V)
- ❖ 解析法により10Vほどの違いが生じる可能性がある
 - ▶ パルス幅やAP発生確率が要求を満たしているかの確認には支障無い

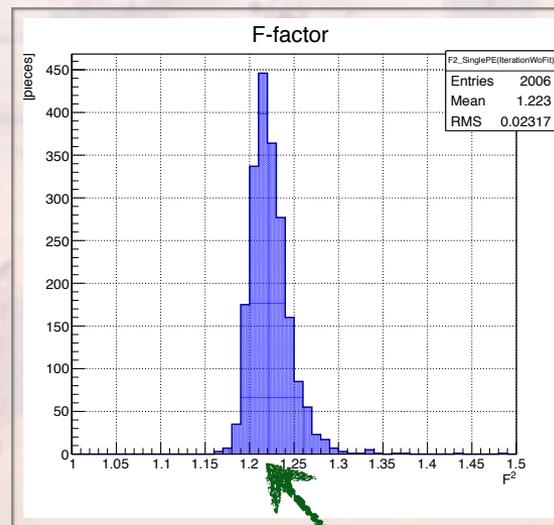


平均値: 1066V

F-ファクター

- ❖ F^2 平均値: 1.22
- ❖ F^2 標準偏差: 0.02
- ❖ 繰り返し測定による誤差は 1%(初期4%)
- ❖ 解析法による違いが最大4%ほどある
- ❖ 仮に誤差を $\Delta F^2 = 0.04$ とおくと、電荷量決定精度は

$$\Delta Q/Q = ((\Delta F^2/F^2)^2 + F^2/Q)^{1/2} = \begin{cases} 78\% @2p.e. \\ 4.8\% @1000p.e. \end{cases}$$



F^2 平均値: 1.22

望遠鏡としての要求値は

< 100% @2p.e.

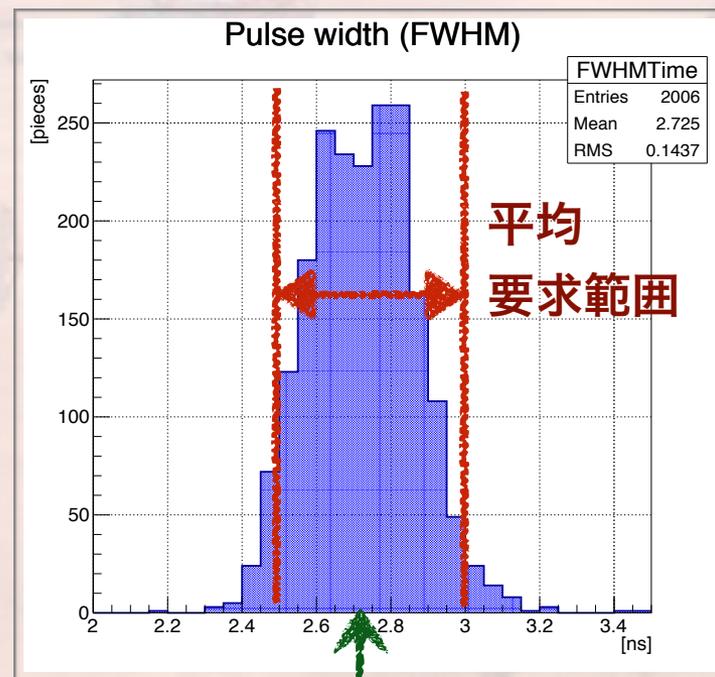
< 10% @1000p.e.

PMT単体では満たしている

今後望遠鏡全体での評価を行いたい

パルス幅

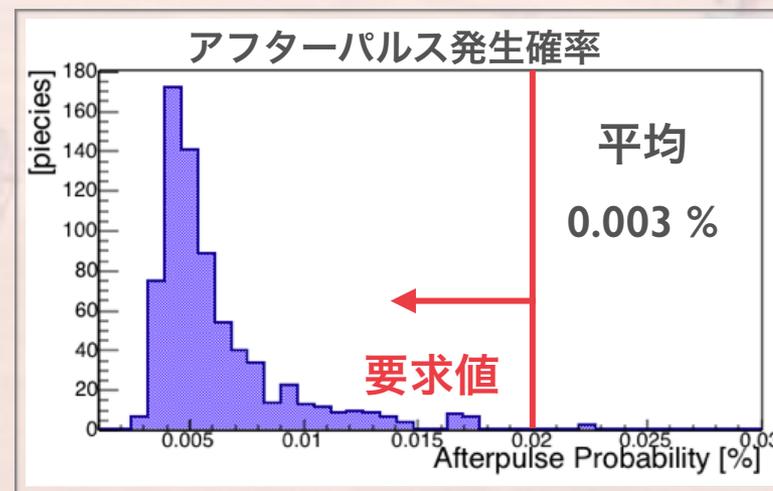
- ❖ FWHM平均値: 2.72 ns
 - 改善され、要求(2.5 - 3 ns)を満たしている
- ❖ この範囲に93%が分布
- ❖ 繰り返し測定による誤差は約0.03ns (測定初期は0.08ns)



平均値: 2.72ns

アフターパルス発生確率

- ❖ 全数は測定せず、測定しないPMTについては浜松ホトニクスによる値を補正
- ❖ 平均0.003%/p.e.
- ❖ 99.8%のPMTが要求 (<0.02%)を満たした
- ❖ 4本がオーバー
- ❖ 統計誤差は0.0008%/p.e. 以下



天文学会2015年秋季年会 永吉 他

結果をうけて

- ❖ 破損・動作不良または結果が要求を満たさなかったPMTは使用しない
 - 可能なものは修復・調整して再度試験
- ❖ 使用するPMTはスペアも含め個数が不足しない範囲で特性が揃うようにする
- ❖ カメラ内におけるPMT配置で特性が優れたPMTを中心部に集める案を現在議論中
 - 点状天体の感度向上やON/OFF観測の不定性改善の可能性
 - 反面、解析やメンテナンスが複雑化する他、広がりを持つ天体には不利になる可能性もある
 - 得られた特性のばらつきは小さかった
- ❖ モンテカルロによる望遠鏡性能評価に反映させ、より実際のエネルギー閾値、エネルギー分解能などを得る

まとめ

- ❖ CTA大口径望遠鏡初号機用PMTの動作試験と性能評価を行い、品質管理のため結果をデータベース化した。
 - 望遠鏡の開発・校正・運用の各段階で活用される
- ❖ 試験対象PMT2015本中1988本が正常に動作し、また要求を満たしている事を確認した。
 - 破損: 7本、動作不良: 3本、APの要求を満たせず: 4本、自己発光7本、ゲイン調整やり直し: 6本
 - » これらは改善を試みた上で使用に耐えないものは排除する

	要求	平均値	全分布
V_{4E4}		1066 V	980 - 1157V
F^2		1.22	1.16 - 1.38
パルス幅	平均 2.5 - 3 ns	2.72 ns	2.2 - 3.5 ns
AP発生確率	< 0.02%	0.003%	