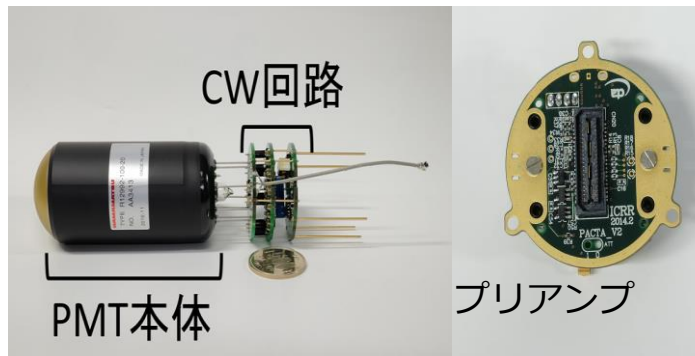
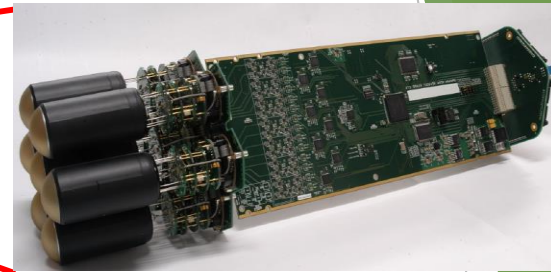
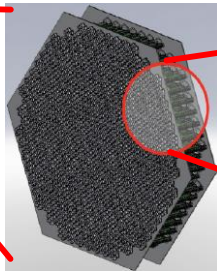
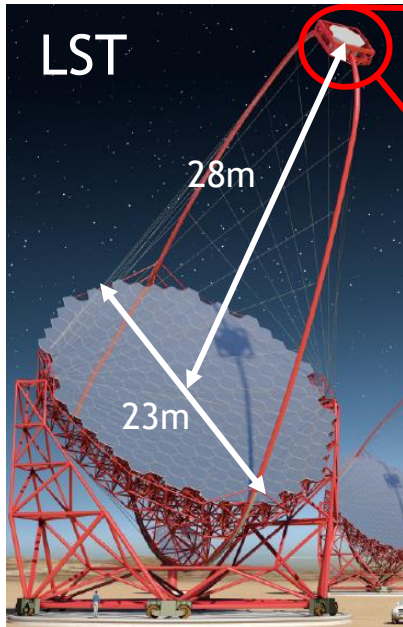


# CTA 報告126:CTA大口徑望遠鏡 焦点面検出器の改良と較正

砂田 裕志 池野 正弘<sup>L,P</sup> 稲田 知大<sup>A</sup>, 猪目 祐介<sup>B</sup>, 岩村 由樹<sup>A</sup>, 内田 智久<sup>L,P</sup>,  
大岡 秀行<sup>A</sup>, 奥村 暁<sup>C</sup>, 岡崎 奈緒<sup>A</sup>, 折戸 玲子<sup>D</sup>, 片岡 淳<sup>E</sup>, 片桐 秀明<sup>F</sup>,  
木村 颯一郎<sup>G</sup> 櫛田 淳子<sup>G</sup>, 窪 秀利<sup>H</sup>, 郡司 修一<sup>I</sup>, 小山 志勇<sup>J</sup>, 今野 裕介<sup>H</sup>,  
齋藤 隆之<sup>A</sup>, 澤田 真理<sup>K</sup>, 櫻井 駿介<sup>A</sup>, 高橋 光成<sup>A</sup>, 田中 真伸<sup>L,P</sup> 辻本 晋平<sup>G</sup>,  
手嶋 政廣<sup>A,M</sup>, 寺田 幸功, 門叶 冬樹<sup>I</sup>, 中嶋 大輔<sup>A</sup>, 中森 健之<sup>I</sup>, 永吉 勤,  
西嶋 恭司<sup>G</sup>, 西山 楽, 野崎 誠也<sup>H</sup>, 林田 将明<sup>O</sup>, 馬場 彩<sup>N</sup>, 平子 丈<sup>H</sup>,  
深見 哲志<sup>A</sup>, 増田 周<sup>H</sup>, 山本 常夏<sup>B</sup>, 吉田 龍生<sup>F</sup>, Daniela Hadasch<sup>A</sup>,  
Daniel Mazin<sup>A</sup>, 他 CTA-Japan consortium

埼玉大理工, 東大宇宙研<sup>A</sup>, 甲南大理工<sup>B</sup>, 名大ISEE<sup>C</sup>, 徳島大理工<sup>D</sup>,  
早稲田理工<sup>E</sup>, 茨城大理工<sup>F</sup>, 東海大理<sup>G</sup>, 京大理<sup>H</sup>, 山形大理<sup>I</sup>, 宇宙研<sup>J</sup>, 青山大理工<sup>K</sup>,  
高工研<sup>L</sup>, Max Planck Institut fur Physik<sup>M</sup>, 東大理<sup>N</sup>, 千葉大理<sup>O</sup>, Open-It<sup>P</sup>

# CTA大口徑望遠鏡 LST に用いられるPMT

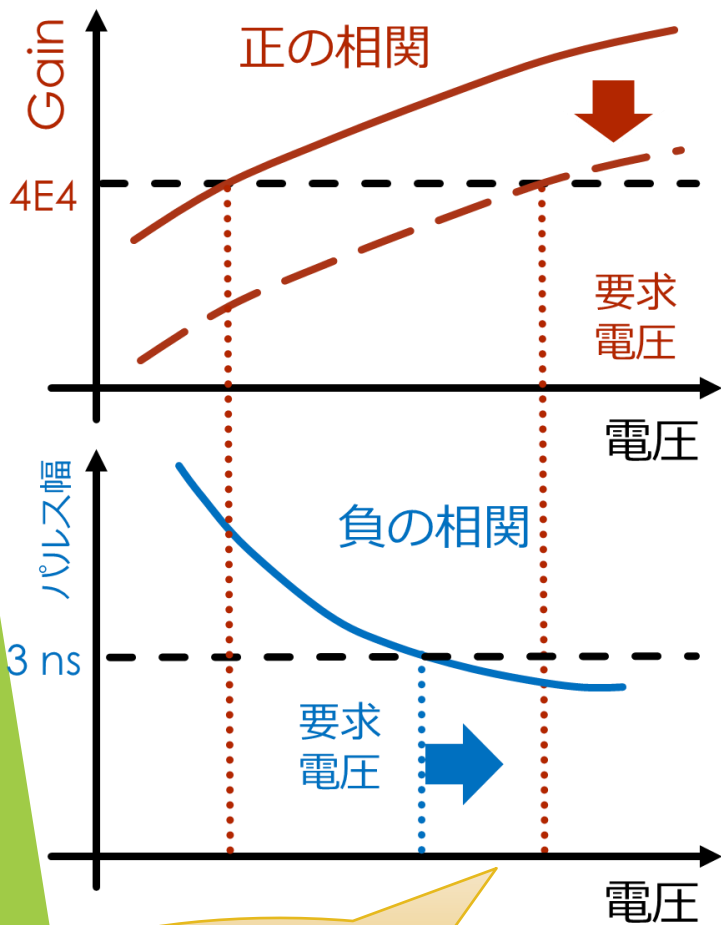


2号機以降用PMT R12992-100-20

評価項目		要求性能	検出器への影響
①	パルス幅	3 ns 未満	ノイズの低減
②	ゲイン	40,000	長寿命
③	アフターパルス発生確率	0.02 % 未満	夜光によるトリガーの抑制

# 2号機以降用PMTでの設計変更

ゲイン 40,000 パルス幅 3 ns を満たす動作電圧をどのように実現するか？



ゲインの低下によって実現

## 1号機用PMT

出力信号

PMT

プリアンプ

電流分割によって  
ゲインを低下  
PMTごとに抵抗値を設定

## 2号機以降用PMT

$$\text{Gain} \propto (\text{HV})^{\alpha n}$$

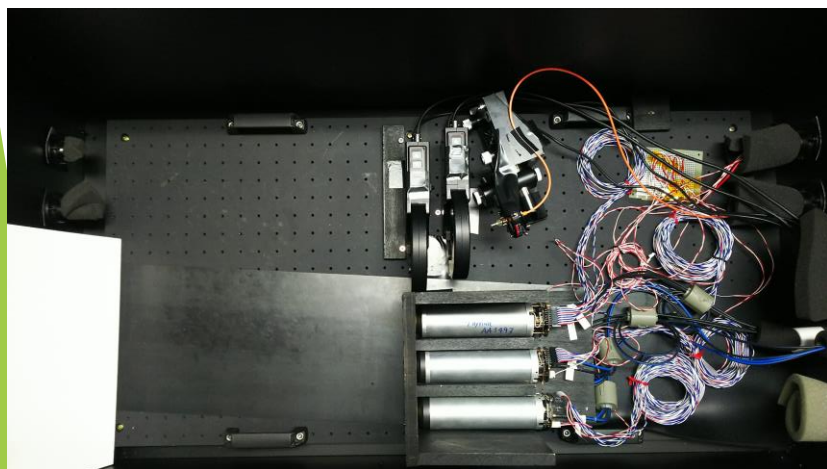
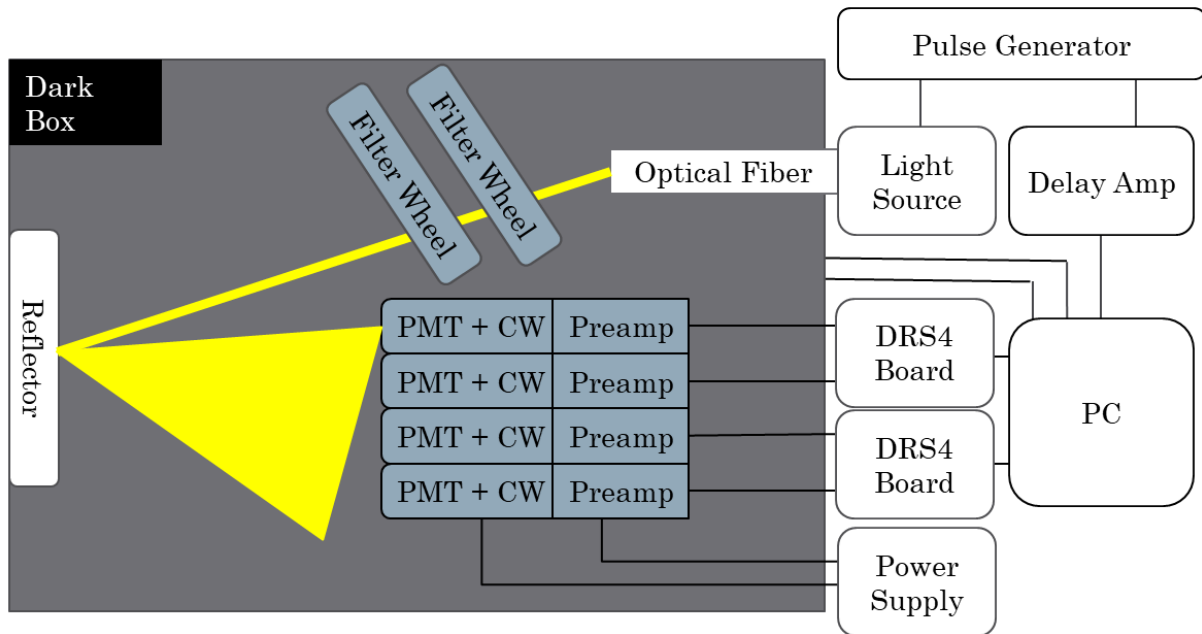
$\alpha$  : 定数  
 $n$  : ダイノード数  
HV : 印加電圧

ダイノード数  $n$  を 8  $\rightarrow$  7 へ設計変更し  
PMT自体のゲインを低下

本公演の目的:

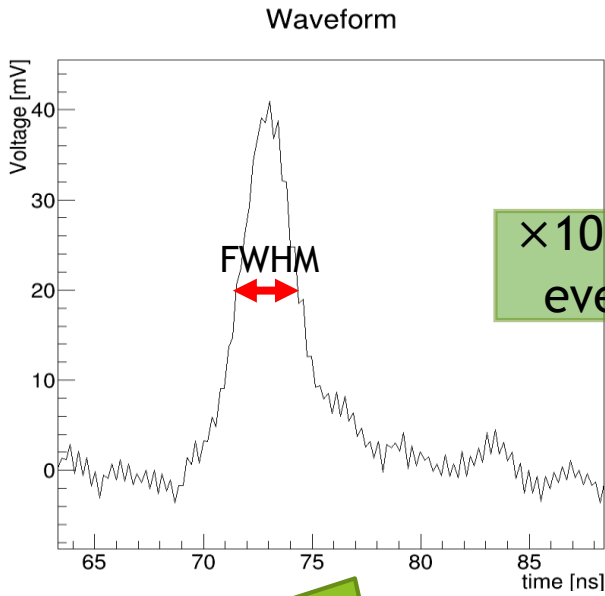
2号機以降用PMTが性能要求を  
満たしていることの確認

# PMT 諸特性の測定 測定セットアップ

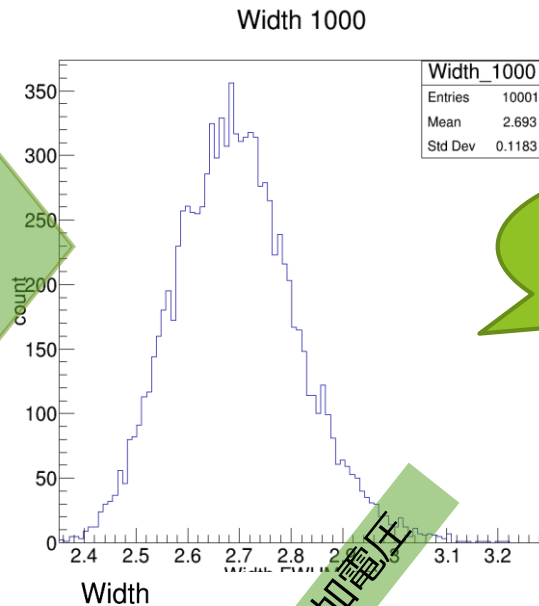


- 一度にPMT 3本 + リファレンス用 1本を測定可能
- PMTからの出力をDRS4評価ボードで読み出す
- ゲイン・パルス幅の測定は 5 GHz  
アフターパルスは1 GHz サンプリング
- フィルターホイールを用いて暗箱を開けずに 光量調整が可能(36段階)
- 光源には 800 ps の高速パルサーを使用

# PMT 諸特性の測定 ① パルス幅

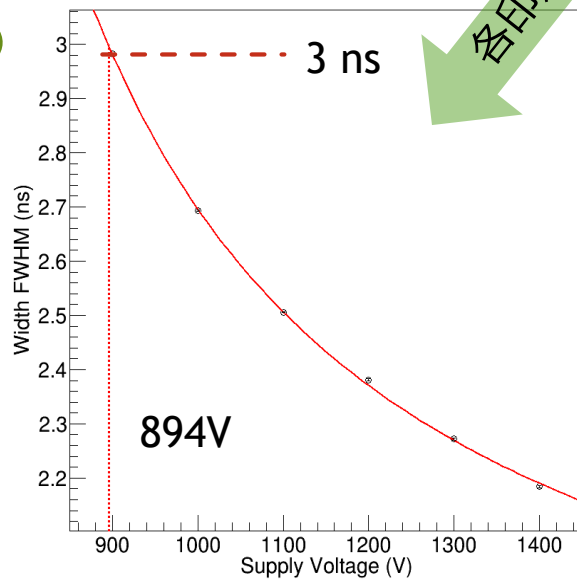


×10,000 event



平均値を  
パルス幅とする

各イベントの  
半値全幅を求める

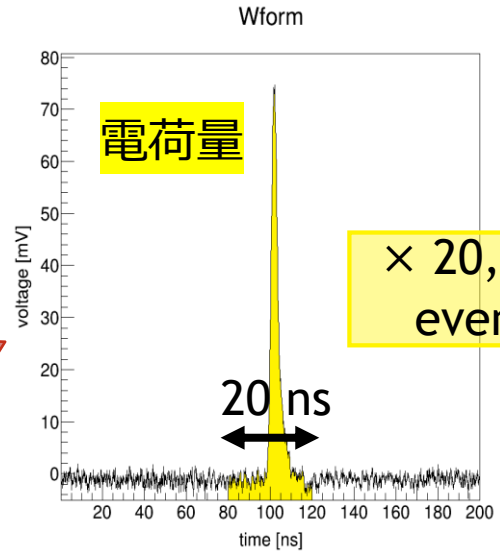


各印加電圧

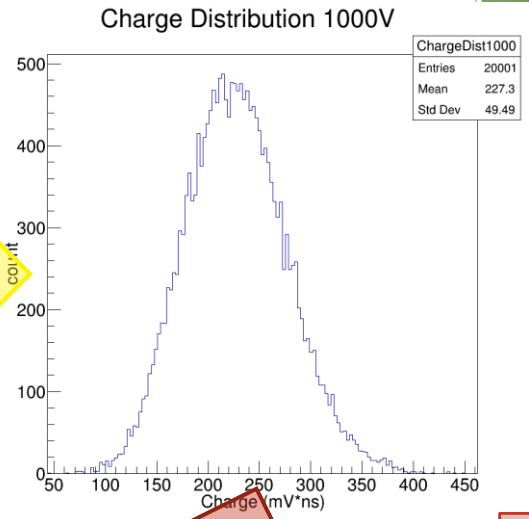
900 ~ 1400 V  
印加電圧の -1 乗で  
フィッティング

# PMT 諸特性の測定 ② ゲイン

光量 20 phe  
程度の測定から  
印加電圧との  
相関をみる

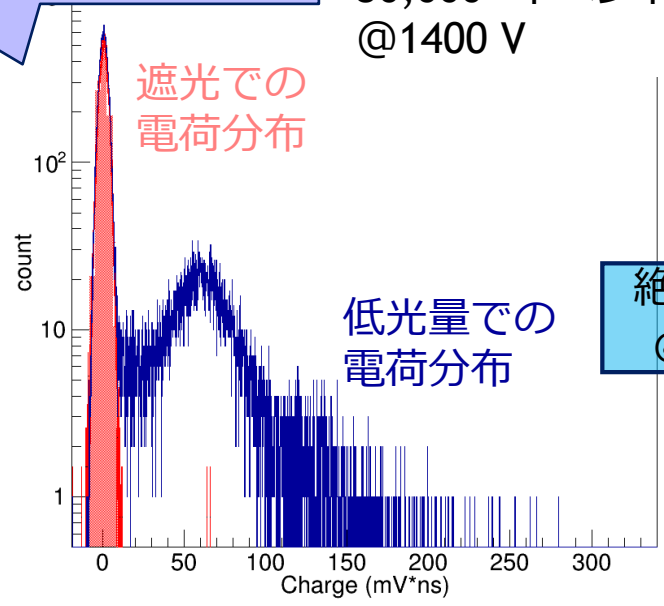


× 20,000  
events



低光量での測定から  
絶対ゲインを求める

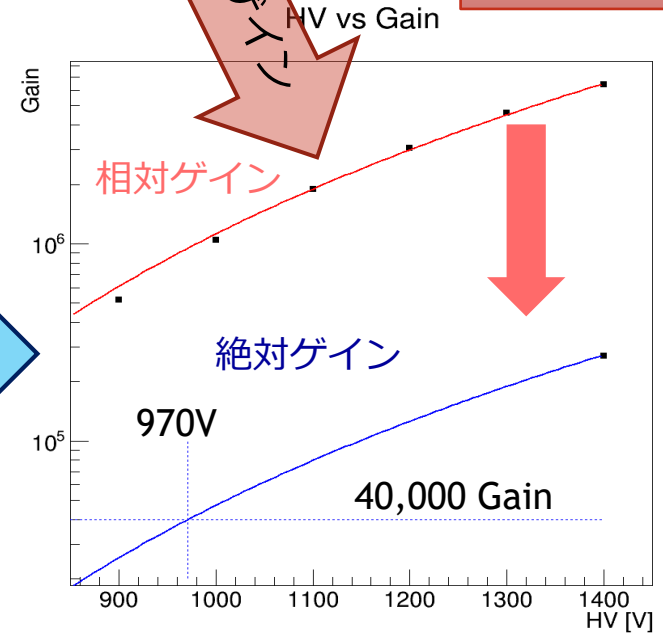
Distribution  
50,000 イベント  
@1400 V



絶対ゲイン  
@ 1400 V

相対ゲイン

べき関数で  
フィッティング



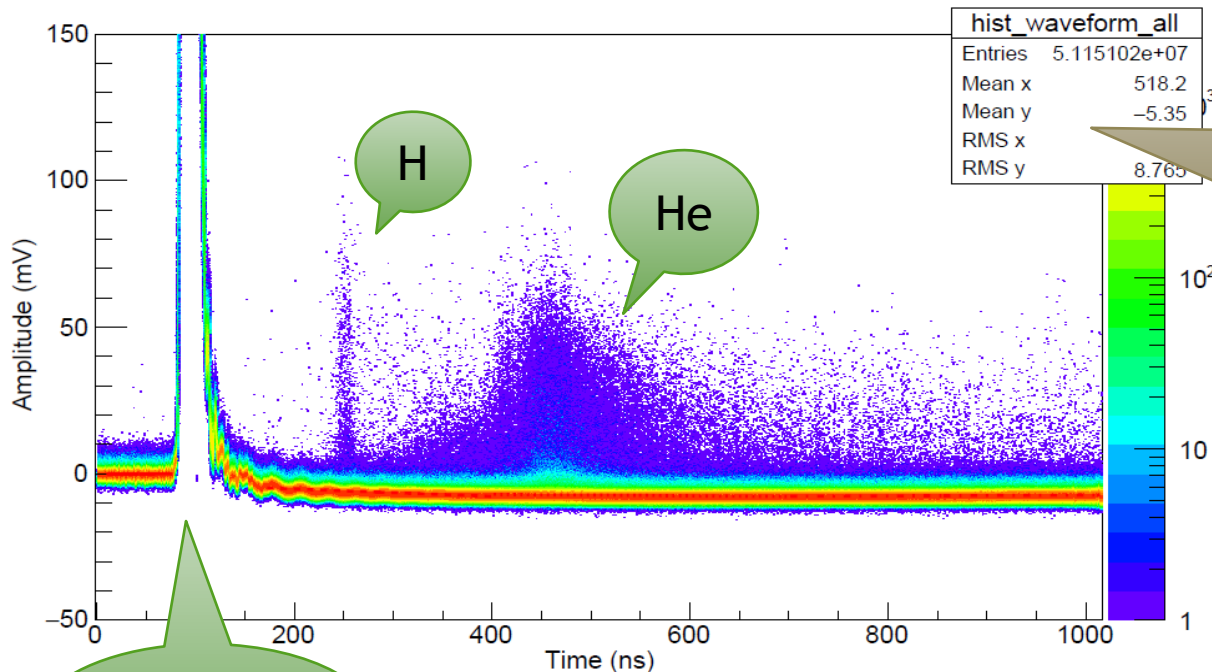
# PMT 諸特性の測定 ③アフターパルス

## 測定・解析方法

- 十分な統計量を得るため 100 phe 程度で測定を行う
- 1100V で100,000イベントを取得
- PMTのメインパルスから 4  $\mu$ s の範囲で測定
- 4 phe 以上の波高値となるイベント数をアフターパルスとした

$$P_{AP} = \frac{N_{AP}}{N_{in}}$$

$P_{AP}$  : アフターパルス発生確率  
 $N_{AP}$  : アフターパルス発生数  
 $N_{in}$  : 入射光子数



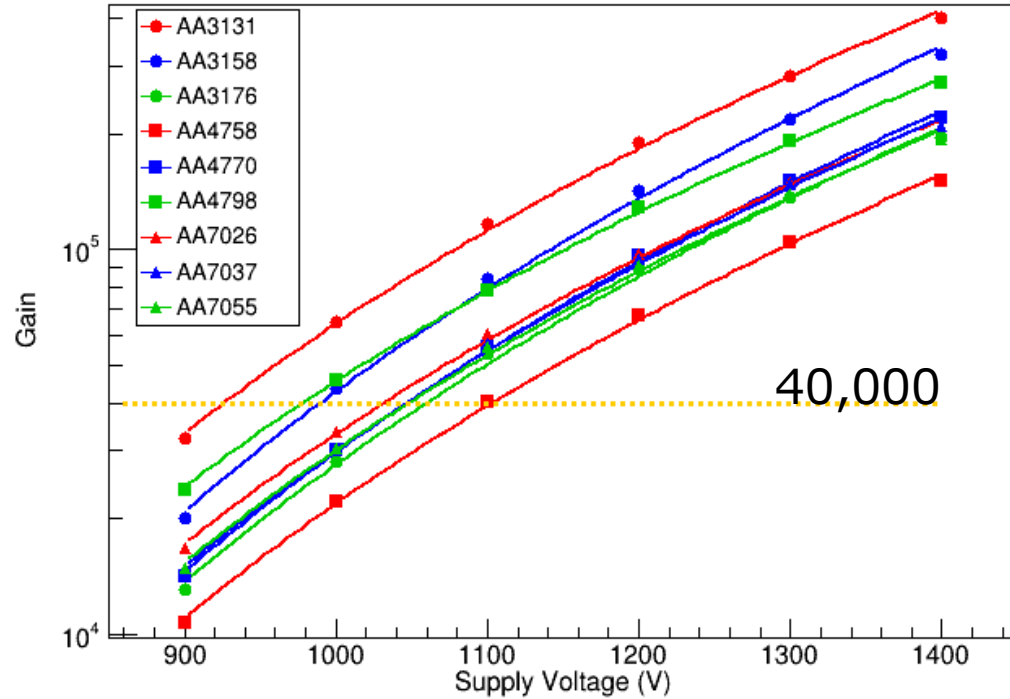
アフターパルスは原因となっているイオンによって発生する時間が異なる

$$t_{AP} \propto \sqrt{m}$$

$t_{AP}$  : アフターパルス発生までの時間  
 $m$  : イオンの質量

# PMT 諸特性の測定 結果

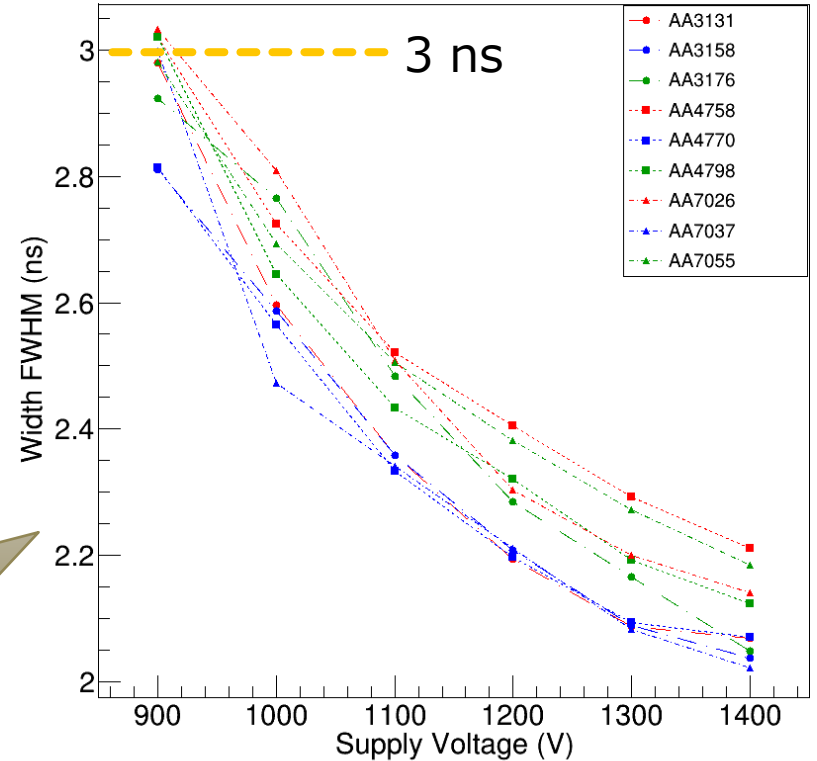
## Gain vs Voltage



ゲイン 40,000 となる  
印加電圧は 920 ~ 1100 V  
程度に分布している

ほとんどの PMT が 900 V  
程度でパルス幅 3 ns 未満

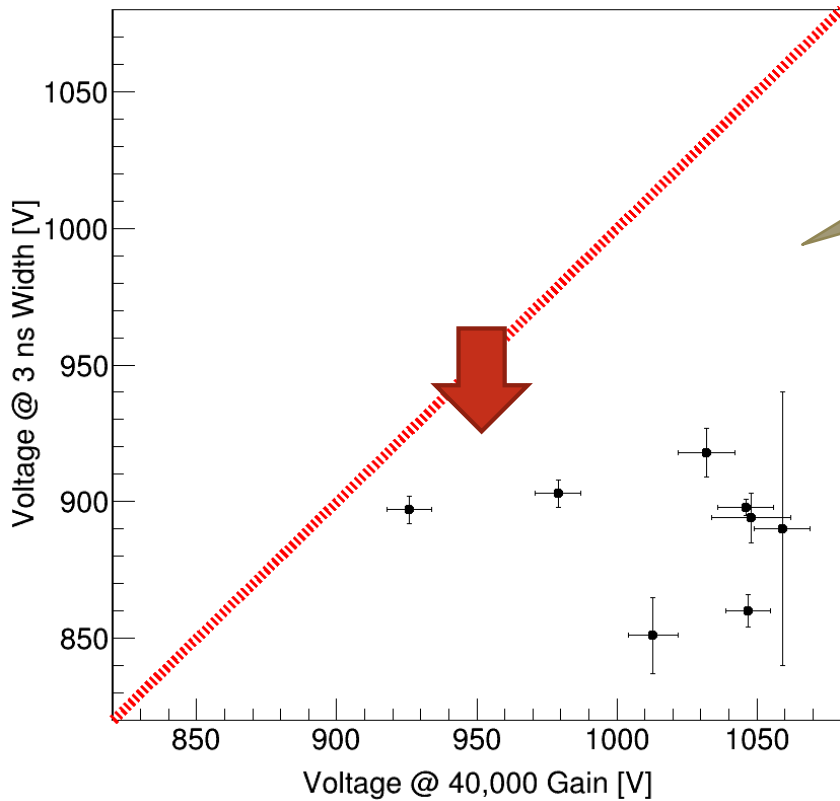
## Width vs Voltage





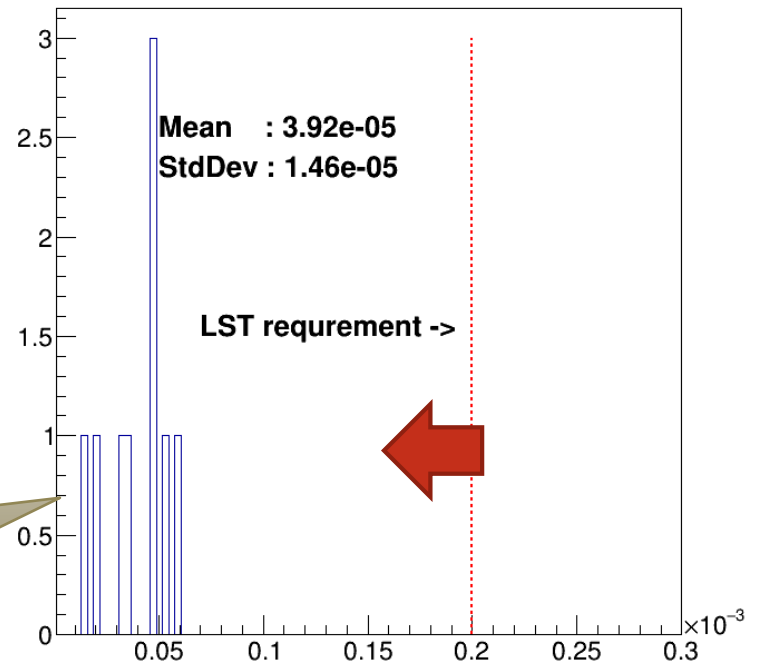
# PMT 諸特性の測定 結果

40,000 Gain Voltage : 3 ns Voltage



すべてのPMTがゲイン 40,000 でパルス幅の要求を満たしている

Afterpulse Probability > 4phe



すべてのPMTでアフターパルスの要求を満たしている

# まとめ・今後

## まとめ

- ▶ LST 2号機以降用のPMTがアフターパルス、パルス幅についての要求性能を満たしていることを9本のPMTに対して確認した。

## 今後

- ▶ より多くのPMTについて性能評価を行う