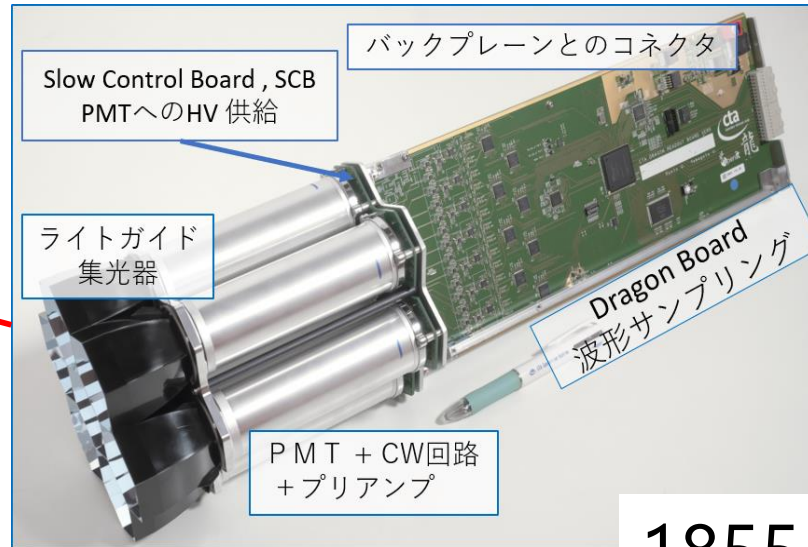
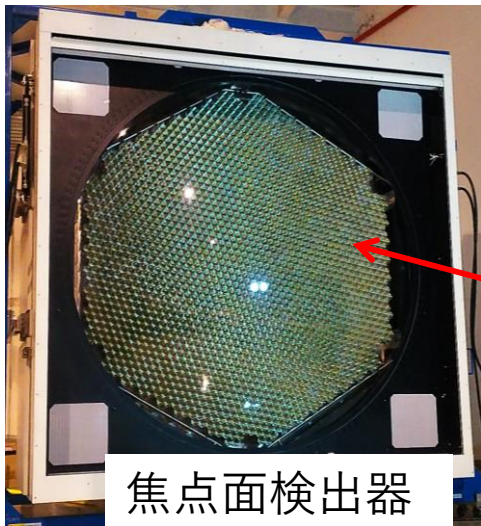


CTA 報告157: CTA大口徑望遠鏡に用いる 光電子増倍管の時間応答性能の評価

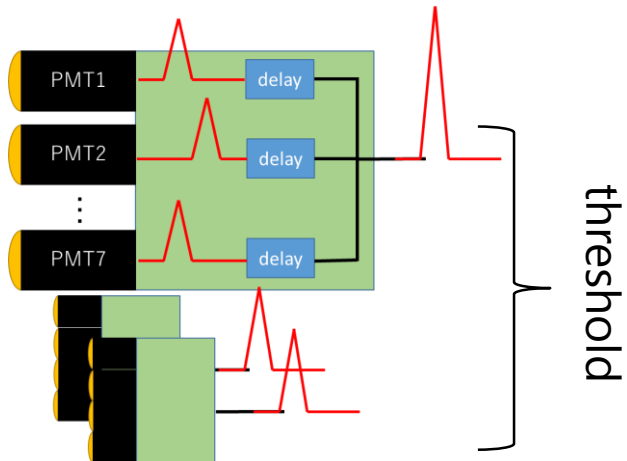
砂田 裕志^A, 猪目 祐介^B, 岩村 由樹^B, 大岡 秀行^B, 岡 知彦^C, 岡崎 奈緒^B,
奥村 暁^{D,E}, 折戸 玲子^F, 梶原 侑貴^C, 片桐 秀明^G, 櫛田 淳子^H, 窪 秀利^H,
郡司 修一^I, 小林 志鳳^B, 斎藤 隆之^B, 櫻井 駿介^B, 鈴木 萌^G, 高橋 光成^B,
田中 真伸^J, 田村 健次^K, 町支 勇貴^K, 手嶋政廣^{B,L}, 寺田 幸功^A,
門叶 冬樹^I, 中森 健之^I, 永吉 勤^A, 西嶋恭司^H, 野上 優人^G, 野崎 誠也^C,
野田 浩司^B, Daniela Hadash^B, 林田 将明^M, 馬場 彩^N, 平子 丈^C,
古田 智也^H, Daniel Mazin^{B,L}, 増田 周^C, 山本 常夏^K, 吉田 龍生^G,
他 CTA Japan Consortium, 池野 正弘^{J,O}, 内田 智久^{J,O}

埼玉大理^A, 東大宇宙線研^B, 京大理^C, 名大 ISEE^D, 名大 KMI^E,
徳島大理工^F, 茨城大理^G, 東海大理^H, 山形大理^I, KEK 素核研^J,
甲南大理工^K, マックスプランク物理^L, 立教大理^M, 東大理^N, Open – It^O

LST 焦点面検出器とトリガーシステム



アナログサムトリガー方式



1855 PMTs/LST

モジュール内でPMT 7本分の信号を遅延回路で調整し、足し合わせる。

さらに、隣接するモジュール同士の信号を足し合わせる
⇒微弱な信号にもトリガーをかけることが可能

遅延回路は 0.25 ns 刻み、最大 5.75 ns で調整可能

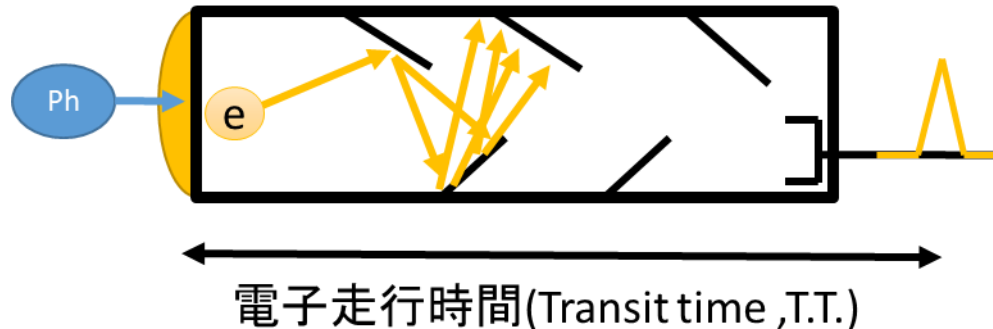
PMTの時間応答の個性は 5.75 ns に収まっているか？

PMTの時間応答特性

電子走行時間(Transit time , T.T.)

PMTに光子が入射してから、電気信号が出力されるまでにかかる時間
印加電圧に依存、ダイノード間を一定電場とすると

$$T.T. = \frac{\alpha}{\sqrt{HV - 350}} + \beta \quad \text{LST用のPMT は初段 350 V 固定}$$



電子走行時間広がり(Transit time spread T.T.S.)

1光電子イベントごとのT.T.のばらつき

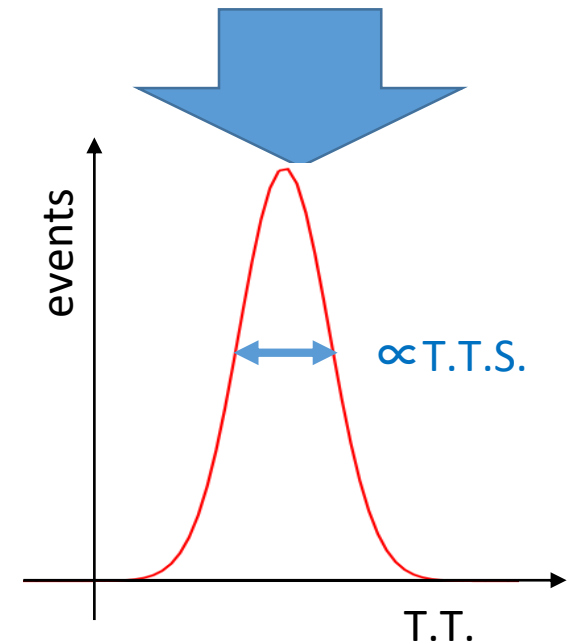
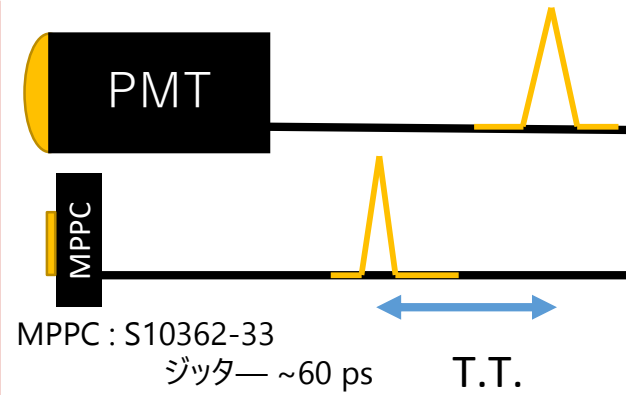
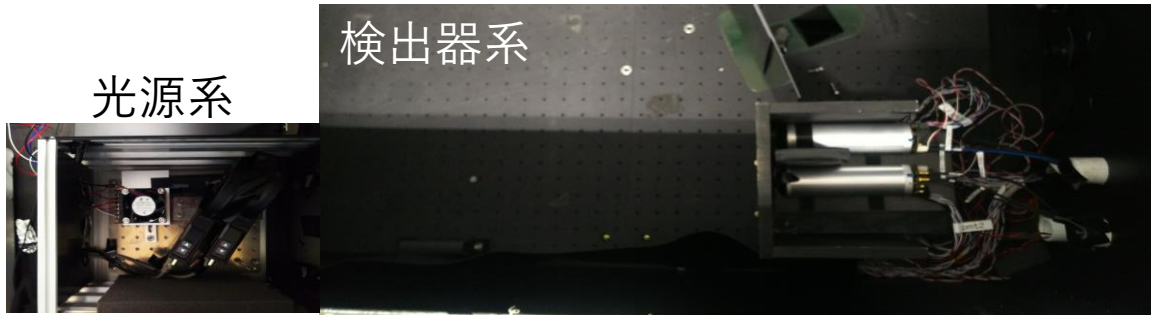
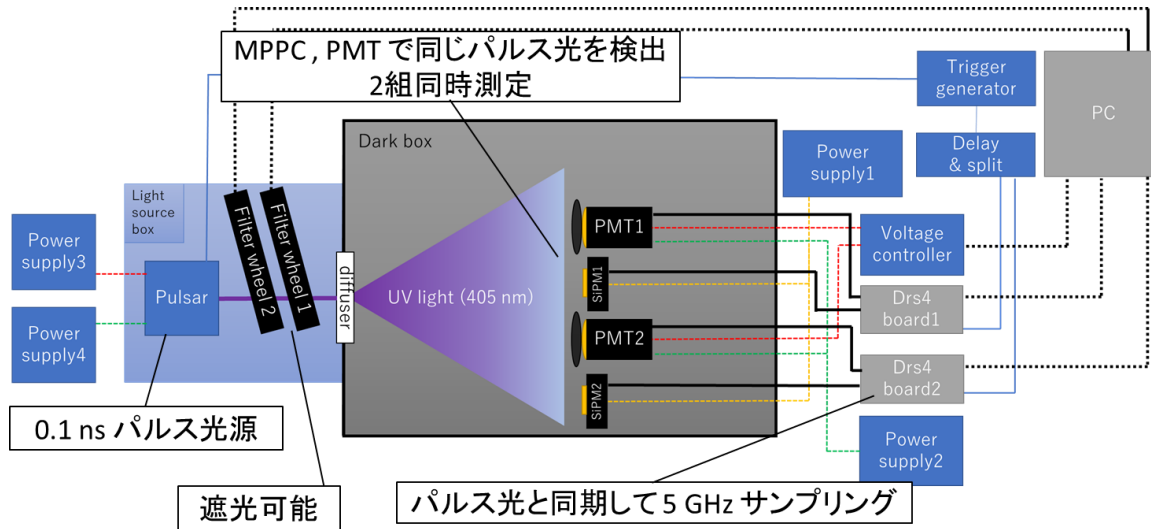
光電子イベントごとに電子異なる経路を通ることから生じる

PMTごとの T.T. の個体差やT.T.S. を詳細に知らなければトリガー性能を評価できない

本実験の目的

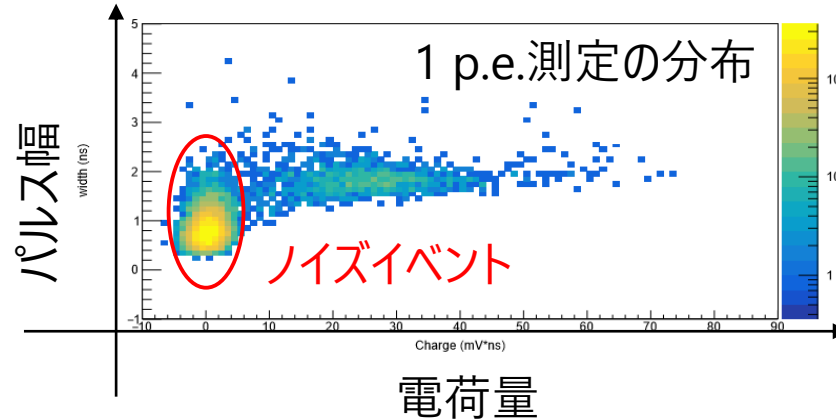
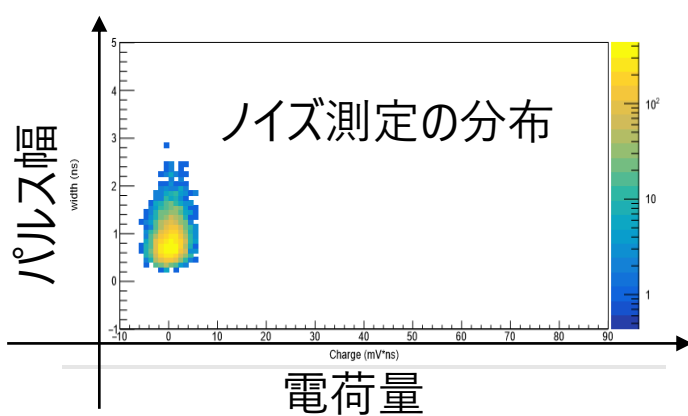
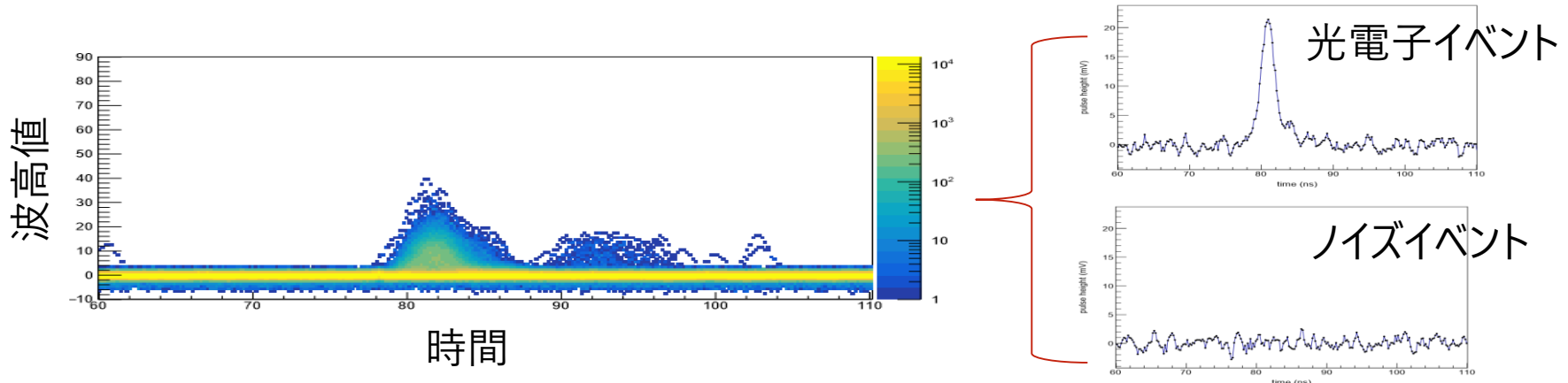
1. PMTごとの T.T. のばらつきが 5.75 ns に収まっているか？
運用電圧(ゲイン $4E4$ になる電圧)のばらつきの影響
PMTごとのT.T.の個体差
2. T.T. 分布の形状と広がりはどのようになっているか？
T.T.S. の値はどれくらいか
(検出器シミュレーションのために)
3. LST 1号機用 PMT (8 dynode : R11920-100)
2号機以降用 PMT (7 dynode : R12992-100)
の時間応答性能の差異はどの程度か？

測定セットアップ



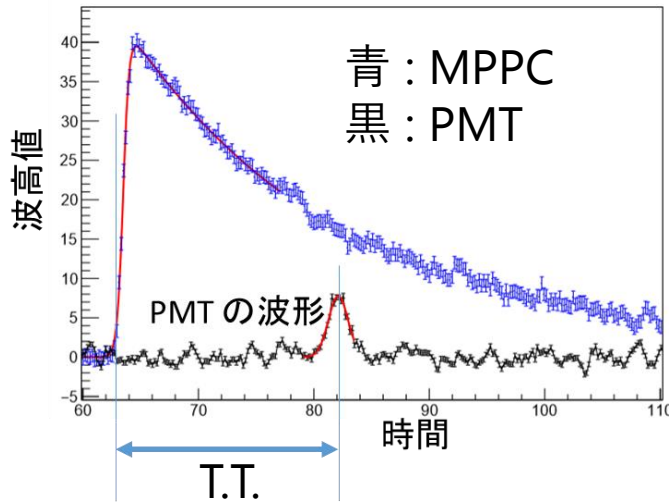
解析方法・光電子イベントの抽出

得られた 1 p.e. 測定データのデータはノイズイベントと光電子イベントが混在
→ 遮光状態での測定と比較し光電子イベントを抽出



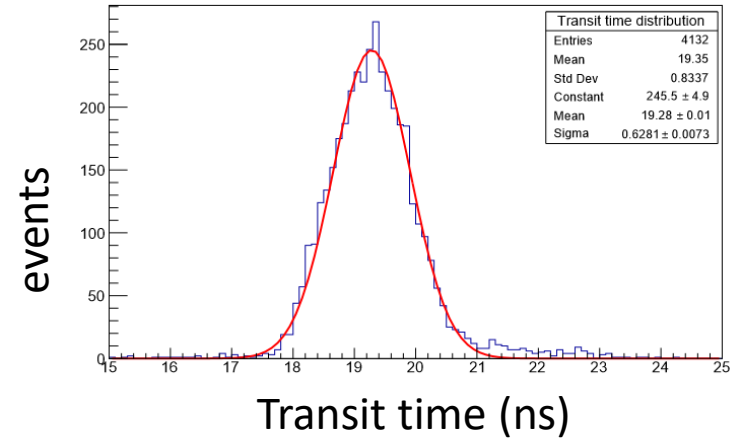
解析方法・Transit time

波形

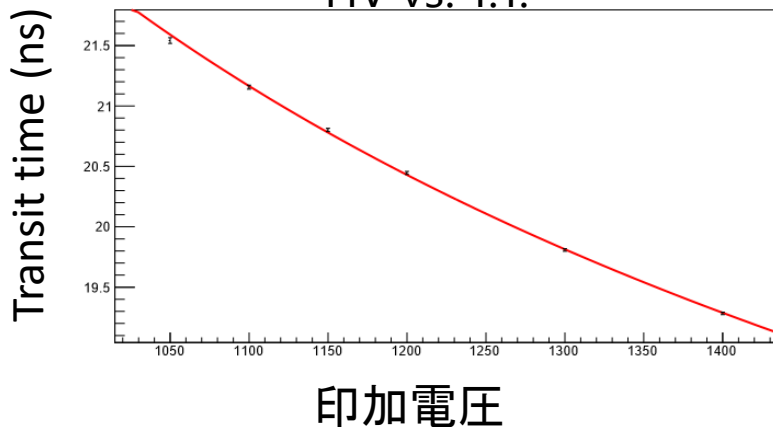


× 数千 events

T.T.分布 1400V



HV vs. T.T.

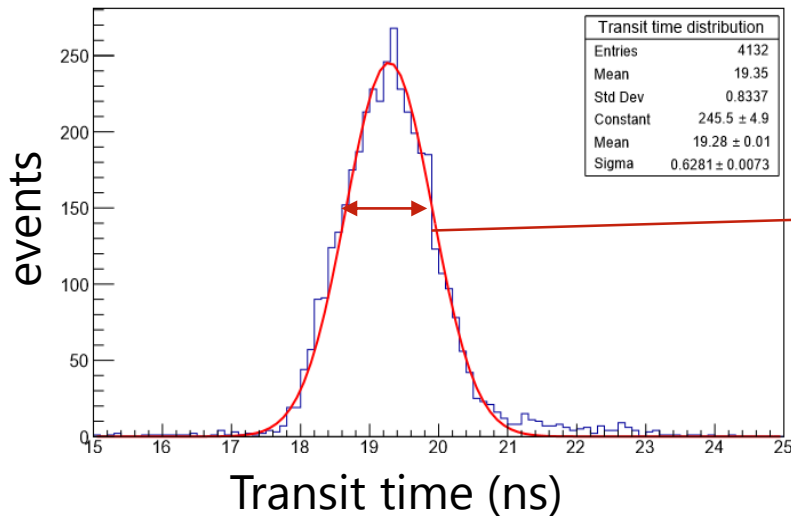


印加電圧 vs T.T. のグラフをフィッティング

$$T.T. = \alpha \left(\frac{1}{\sqrt{HV - 350}} - \frac{1}{\sqrt{1150 - 350}} \right) + T.T._{1150V}$$

解析方法・Transit time spread

T.T.分布の標準偏差からT.T.S.を推定



T.T.分布の標準偏差には、T.T.S. だけでなく解析や測定系に依存した様々な要因が含まれる

T.T.S., 光パルスの広がり、MPPCのジッター、到来時刻決定誤差を含む

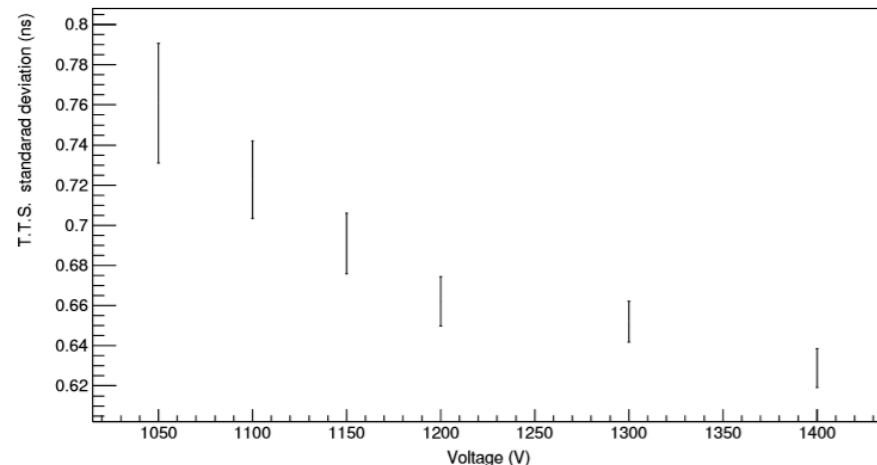
T.T. 分布の広がりから以下の成分を除去

- パルス光の広がり ⇒ 微小 ~ 40 ps
- MPPC のジッター ⇒ 微小 ~ 60 ps
- 到来時刻決定誤差 ⇒ ≤ 100 ps

HV vs. T.T.S. を求める

おおよその運用電圧(8dy 1050 V, 7dy 1150 V)でのT.T.S. を求める

T.T.S. (ns)



印加電圧 (V)

測定したPMT

実際に行った測定セットは3種類

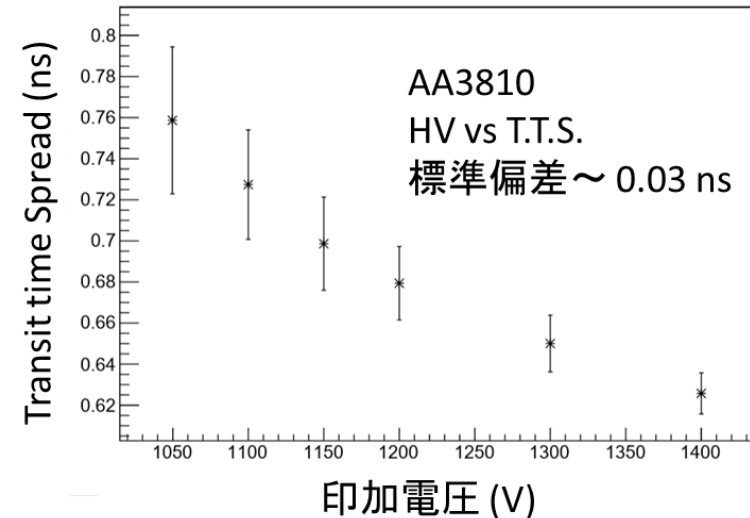
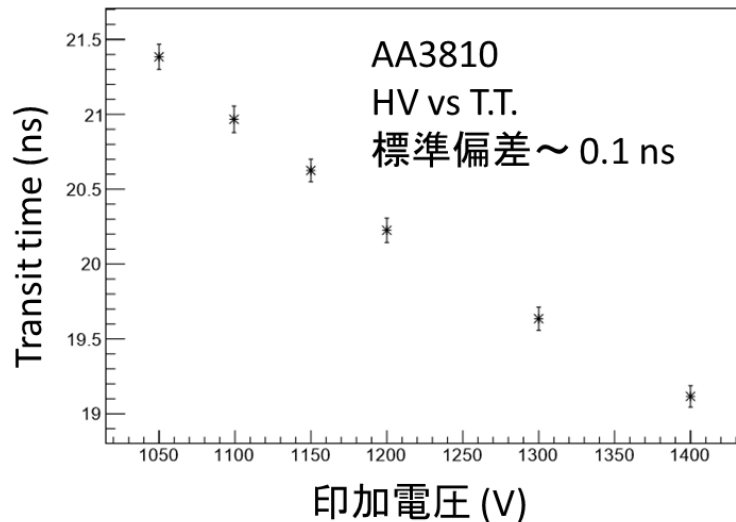
- ✓ 1号機用 8-dy PMT R11990-100 の個性測定
- ✓ 2号機以降用 7-dy PMT R12992-100 の個性測定
- ✓ 再現性確認の測定

ID	測定セット	ターゲットPMT	リファレンスPMT	測定数
8dy	R11990-1000 の個性測定	R11990-100 16本	AA3810	16本
7dy	R12992-1000 の個性測定	R12992-100 29本	AA3810	29本
再現性	再現性確認の測定	AA3810	AA6811	34回

同時に2本のPMTを測定できるので、目的の測定とは別にリファレンスPMTとして毎回同じPMTを測定した

測定結果 再現性

1. 34回の再現性測定の各印加電圧での T.T. と T.T.S. の平均値と標準偏差を計算してグラフにプロット
2. 各測定に対して、HV T.T. カーブをフィッティングしてパラメーターを求める



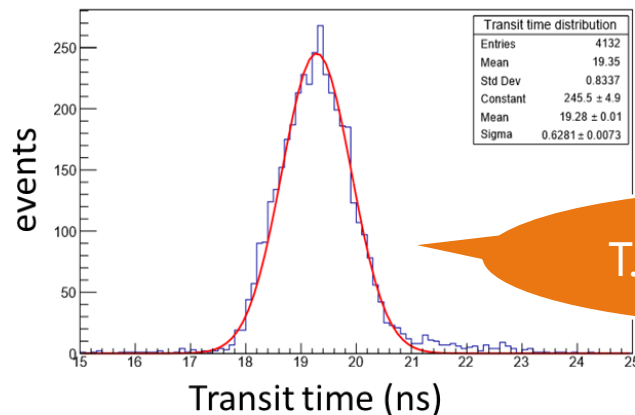
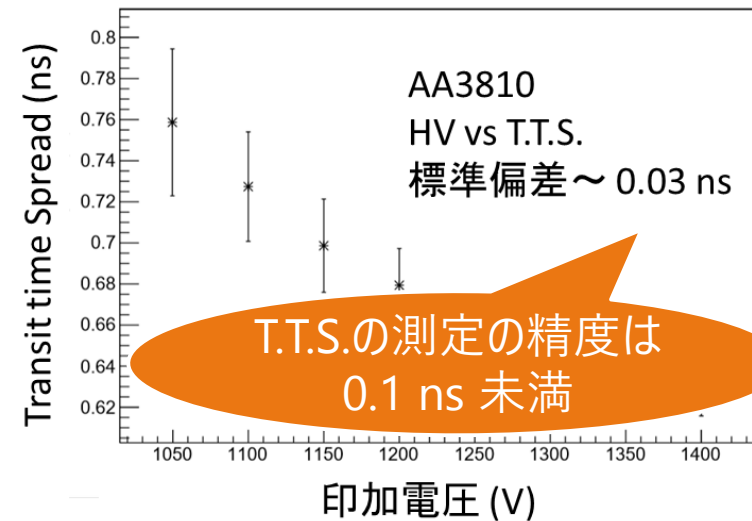
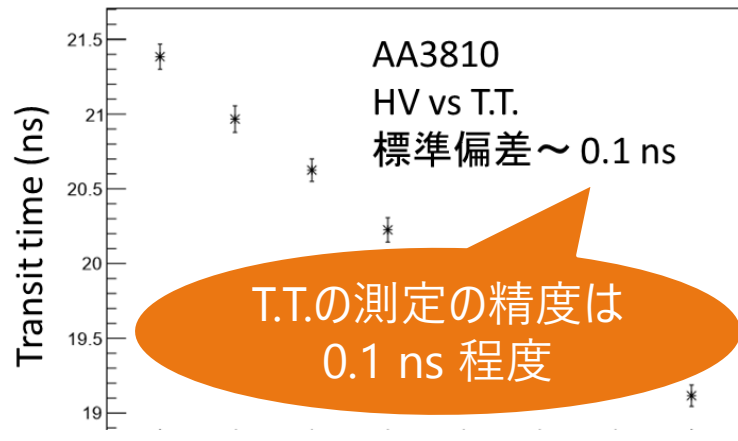
HV vs. T.T. フィッティング

$$T.T. = \alpha \left(\frac{1}{\sqrt{HV - 350}} - \frac{1}{\sqrt{1150 - 350}} \right) + T.T._{1150V}$$

$$\bar{\alpha} = 331, \quad \sigma_{\alpha} = 5.6 \quad \overline{T.T._{1150V}} = 20.61 \text{ ns}, \quad \sigma_{T.T._{1150V}} = 0.080 \text{ ns}$$

測定結果 再現性

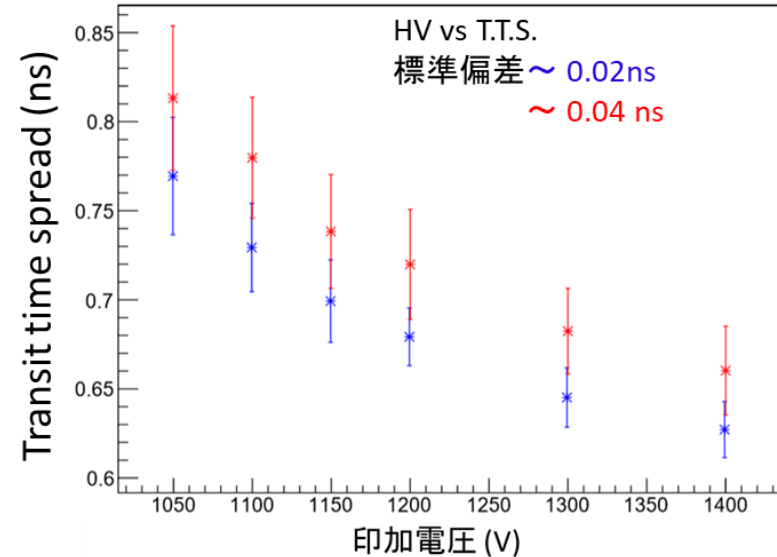
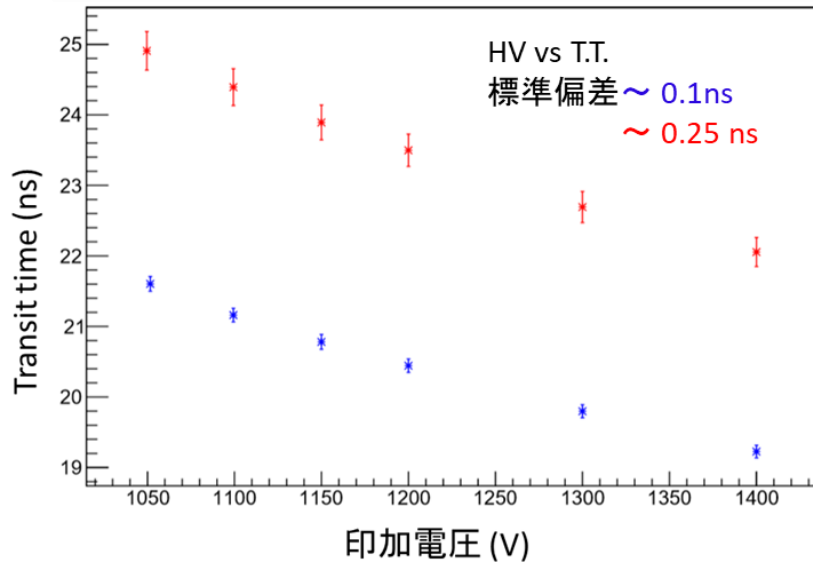
1. 34回の再現性測定の実験条件での T.T. と T.T.S. の平均値と標準偏差を計算してグラフにプロット
2. 各測定に対して、HV T.T. カーブをフィッティングしてパラメーターを求める



測定結果 8dy , 7dy PMT

赤が 8-dy (1号機用)、青が 7-dy (2号機以降用)

グラフの各点は複数のPMT での平均値、誤差棒は個体差の標準偏差



8dy PMT R11990-100

$$\bar{\alpha} = 413, \quad \sigma_{\alpha} = 11 \quad \overline{T.T.}_{1150V} = 23.91\text{ ns}, \quad \sigma_{T.T.1150} = 0.25\text{ ns}$$

7dy PMT R12992-100

$$\bar{\alpha} = 336, \quad \sigma_{\alpha} = 4.5 \quad \overline{T.T.}_{1150V} = 20.78\text{ ns}, \quad \sigma_{T.T.1150} = 0.097\text{ ns}$$

再現性

$$\bar{\alpha} = 331, \quad \sigma_{\alpha} = 5.6 \quad \overline{T.T.}_{1150V} = 20.61\text{ ns}, \quad \sigma_{T.T.1150} = 0.080\text{ ns}$$

測定結果まとめ 8dy , 7dy PMT

8dy PMT R11990-100

$$\bar{\alpha} = 413, \quad \sigma_{\alpha} = 11 \quad \overline{T.T.}_{1150V} = 23.91 \text{ ns}, \quad \sigma_{T.T.1150} = 0.25 \text{ ns}$$

7dy PMT R12992-100

$$\bar{\alpha} = 336, \quad \sigma_{\alpha} = 4.5 \quad \overline{T.T.}_{1150V} = 20.78 \text{ ns}, \quad \sigma_{T.T.1150} = 0.097 \text{ ns}$$

再現性

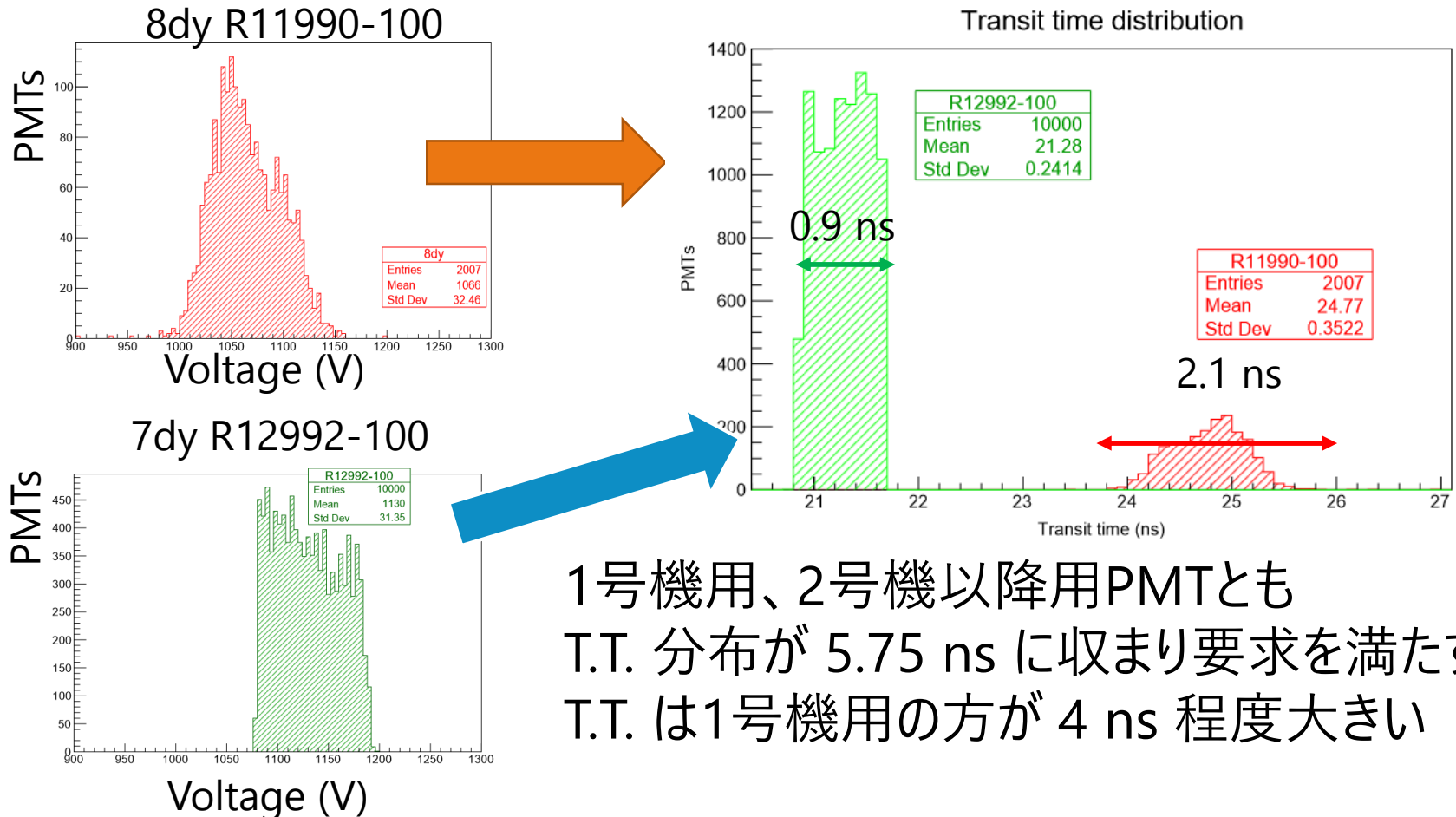
$$\bar{\alpha} = 331, \quad \sigma_{\alpha} = 5.6 \quad \overline{T.T.}_{1150V} = 20.61 \text{ ns}, \quad \sigma_{T.T.1150} = 0.080 \text{ ns}$$

ID	T.T. @ 1150 V	T.T. ばらつき	T.T.S.	測定数
8dy	23.91 ns	0.25 ns	0.78 ns	16本
7dy	20.78 ns	0.1 ns 未満	0.70 ns	29本
再現性	20.61 ns	0.080 ns	0.70 ns	34回

T.T. , T.T.S. とともに1号機用 8段ダイノード PMT の方が大きな値となった

運用時のT.T. 分布

1号機用 PMT と 2号機以降用 PMT の運用電圧分布をHV-T.T. の結果を用いて T.T. 分布に変換
電圧分布は 8dy は全数測定結果 7dy は浜松ホトニクス提供値



まとめ

ガンマ線天文台CTA-LST に用いる1号機用 PMT (8dy)と
2号機以降用 PMT (7dy) の時間応答性能を測定した

- ✓ PMT の Transit Time を 0.1 ns の精度で測定
Transit Time の個性は
0.25 ns (8dy) , 0.1 ns 未満 (7dy)
印加電圧によるばらつきは
2.1 ns (8dy) , 0.9 ns (7dy)
と遅延回路からの要求である 5.75 ns 未満を満たす
- ✓ Transit Time Spread を 0.1 ns 未満の精度で測定した
0.78 ns (8dy) , 0.70 ns (7dy)
- ✓ 7dy に比べ 8dy の方が運用電圧でのT.T. は 4 ns 程度大きい