

# 次世代ニュートリノ検出器のための 大口径光検出器の開発と運用

中桐 洸太 (東京大学)

R4 ICRR 共同利用研究 成果発表会

# 課題と予算使途

- 研究課題

次世代ニュートリノ検出器のための大口径光検出器の開発と運用 ( 代表: 西村康宏 (慶應大学) )

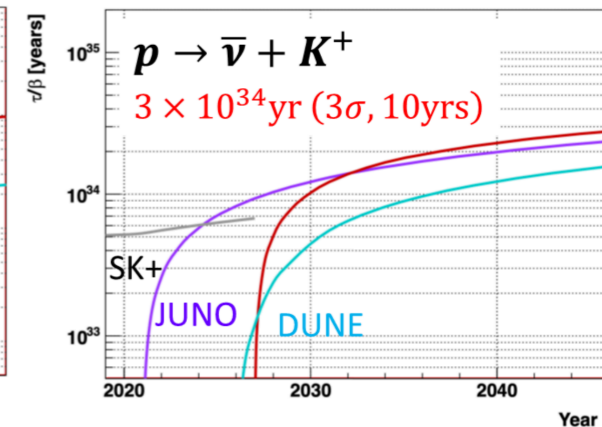
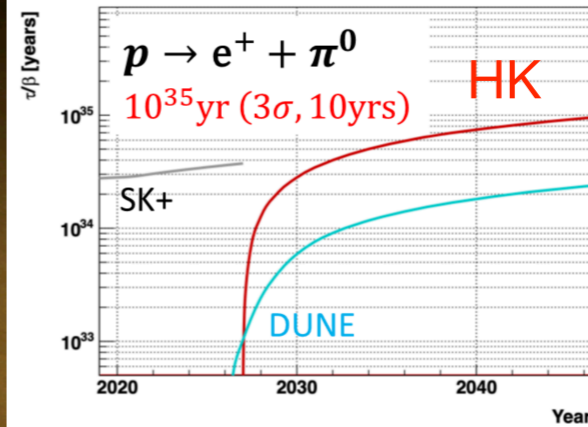
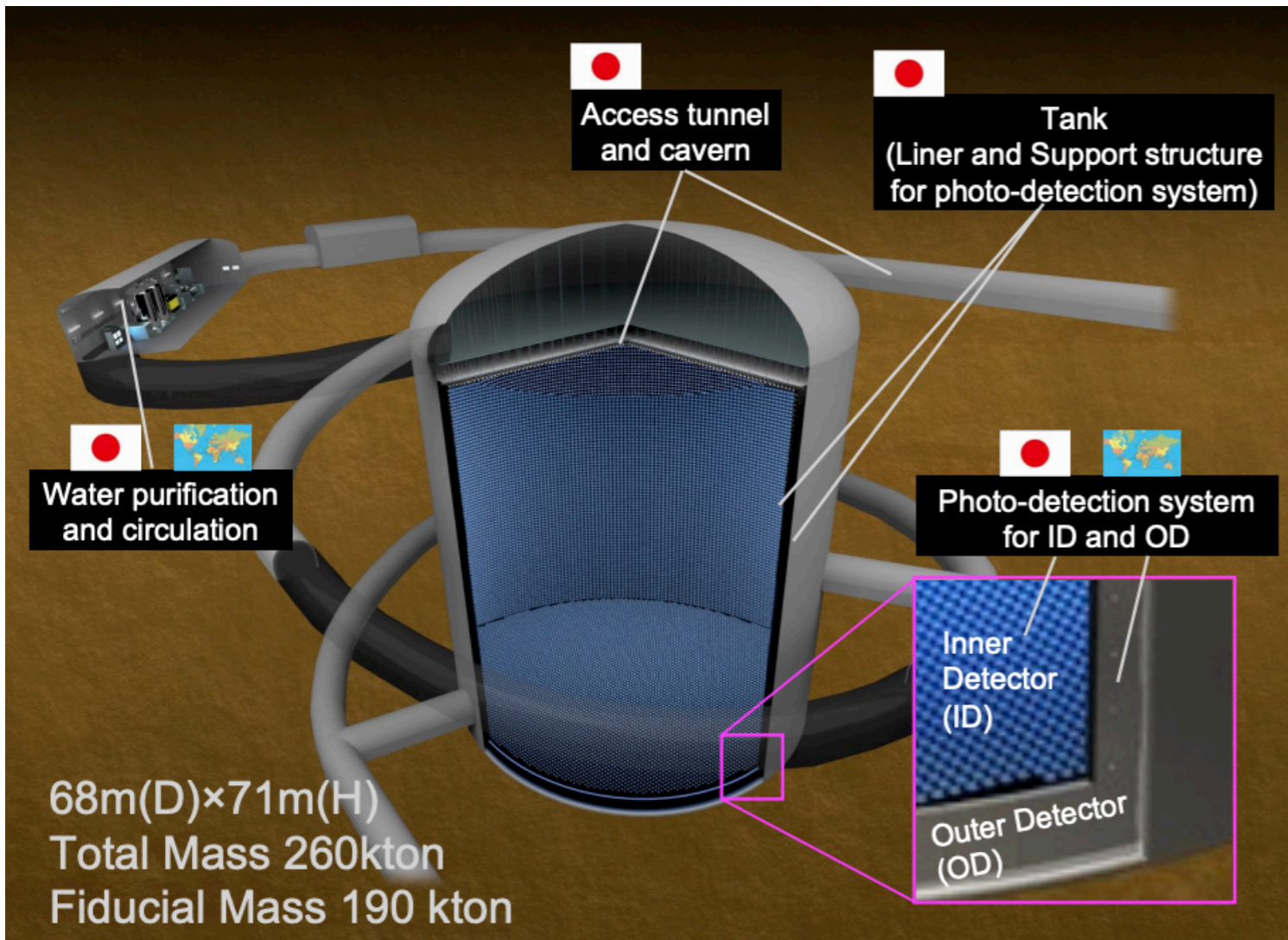
- 配分額

35万円

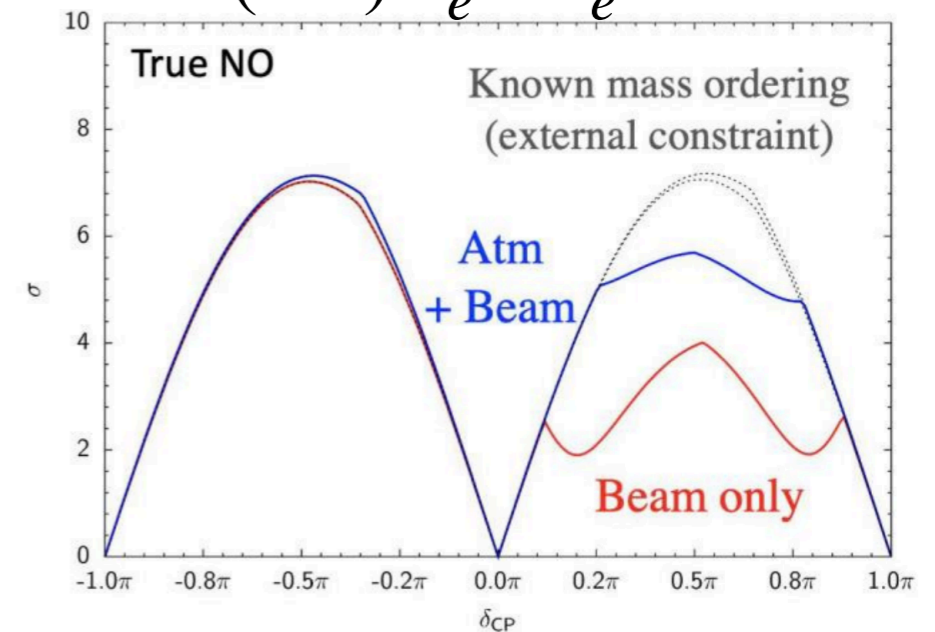
- 使途

検出器評価用ケーブル、出張旅費、他

# ハイパーカミオカンデ検出器



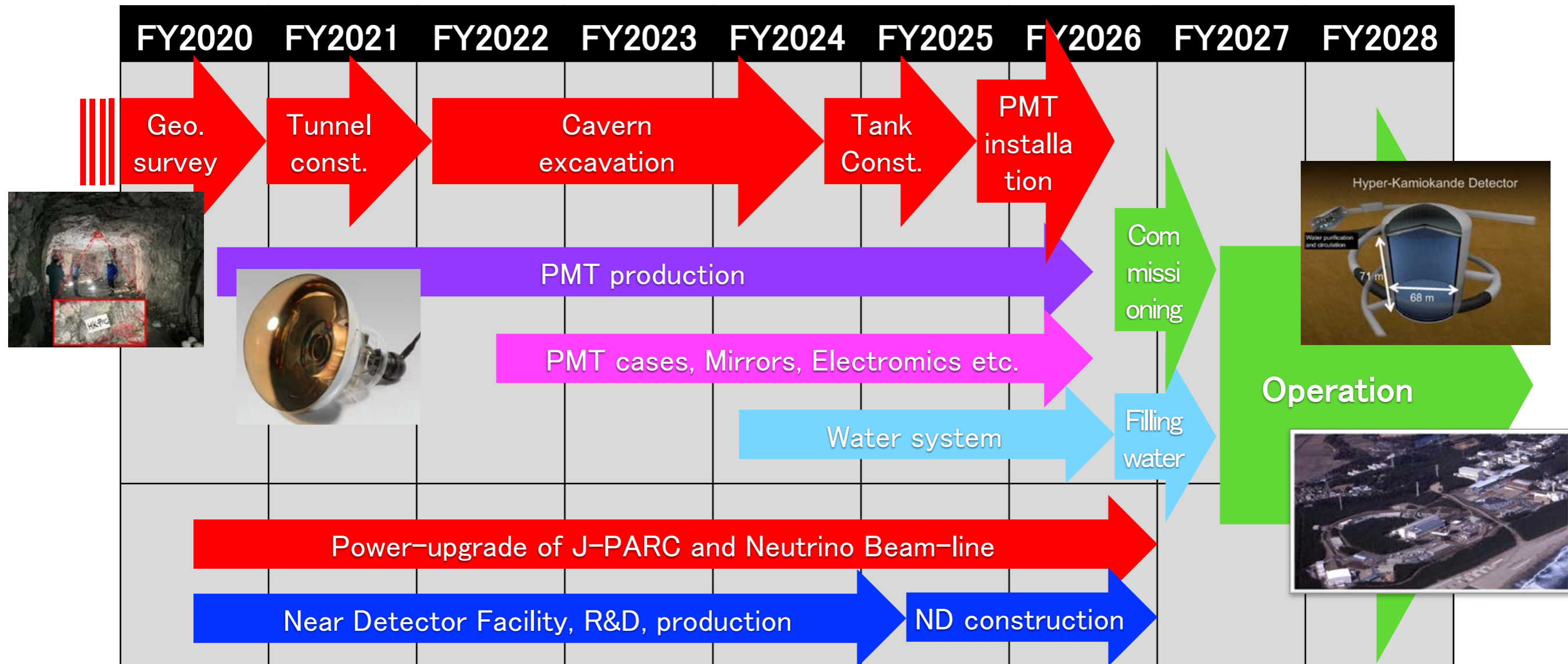
$O(10^3) \nu_e / \bar{\nu}_e$  events!



- スーパーカミオカンデ(SK)の後継として
  - SKの8.4倍の有効質量 (190 kt)
  - SK PMTの2倍の光感度 / 時間測定性能
- J-PARCでのビーム大強度化ともあわせて、豊富な物理ターゲット
  - ニュートリノCP破れ、質量階層性、陽子崩壊、ニュートリノ天文学, etc..

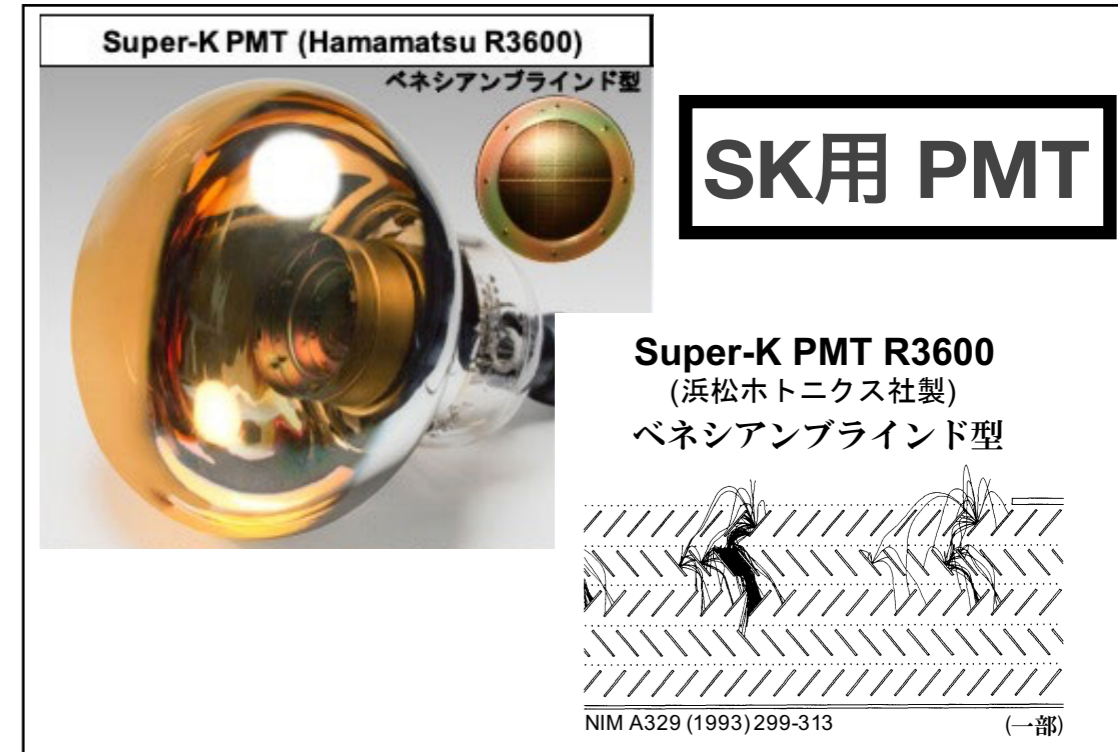
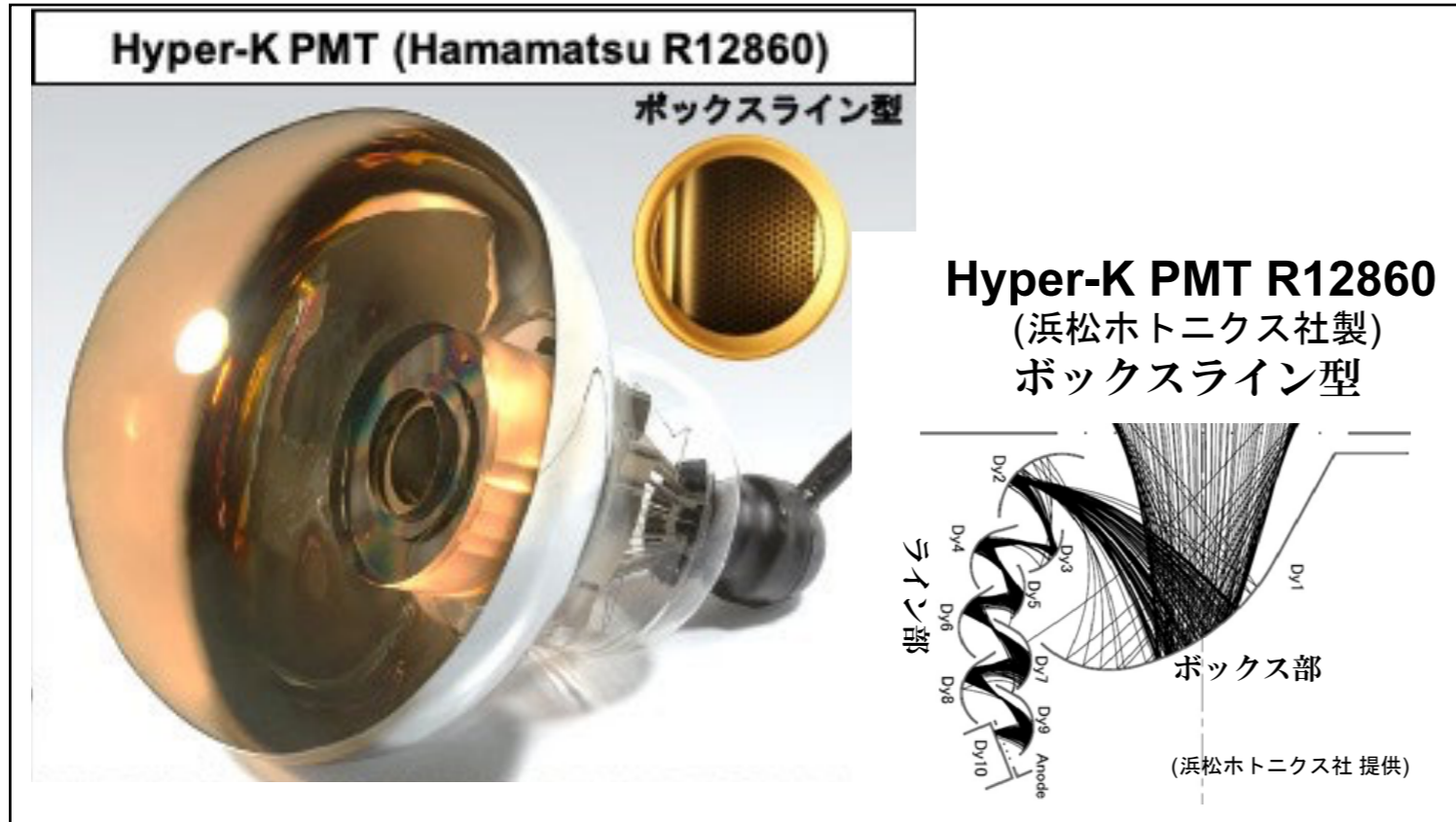
# ハイパーカミオカンデ スケジュール

- 2027年の観測開始を目指し、鋭意建設中
- 20インチPMTの製造・納入は2020年12月より進行中

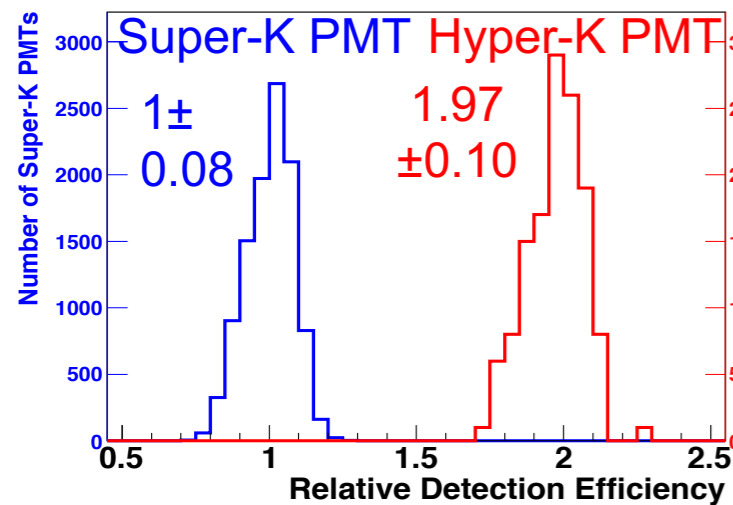




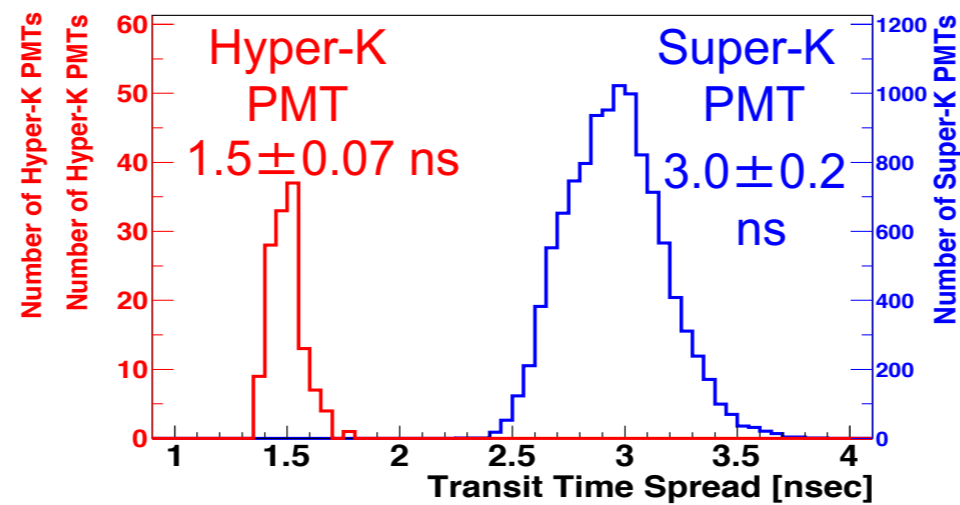
# HK用 50cm径PMT



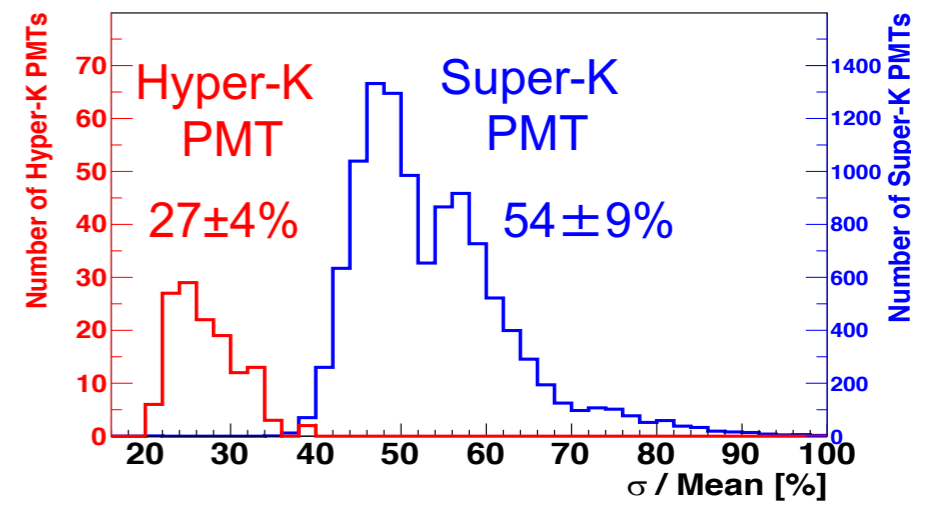
相対検出効率



時間分解能  $\sigma$



光電子数 (電荷) 分解能

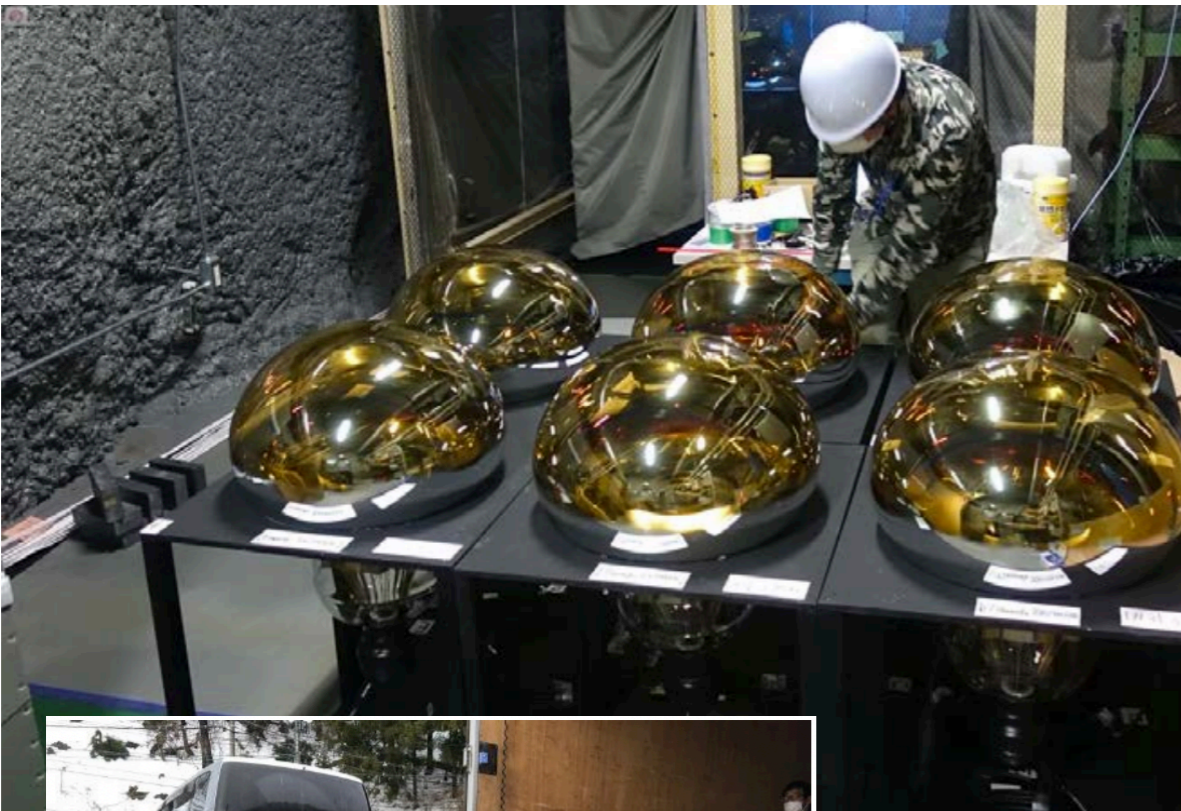


主に電極構造の変更により、時間特性や収集効率の大幅な向上



# HK用 50cm径PMT

- 2020年12月に最初の6本 PMTが納入
- 2021年3月より本格的に納入開始
- 2026年9月までに20,500本のPMTが納入予定



2020/12/25

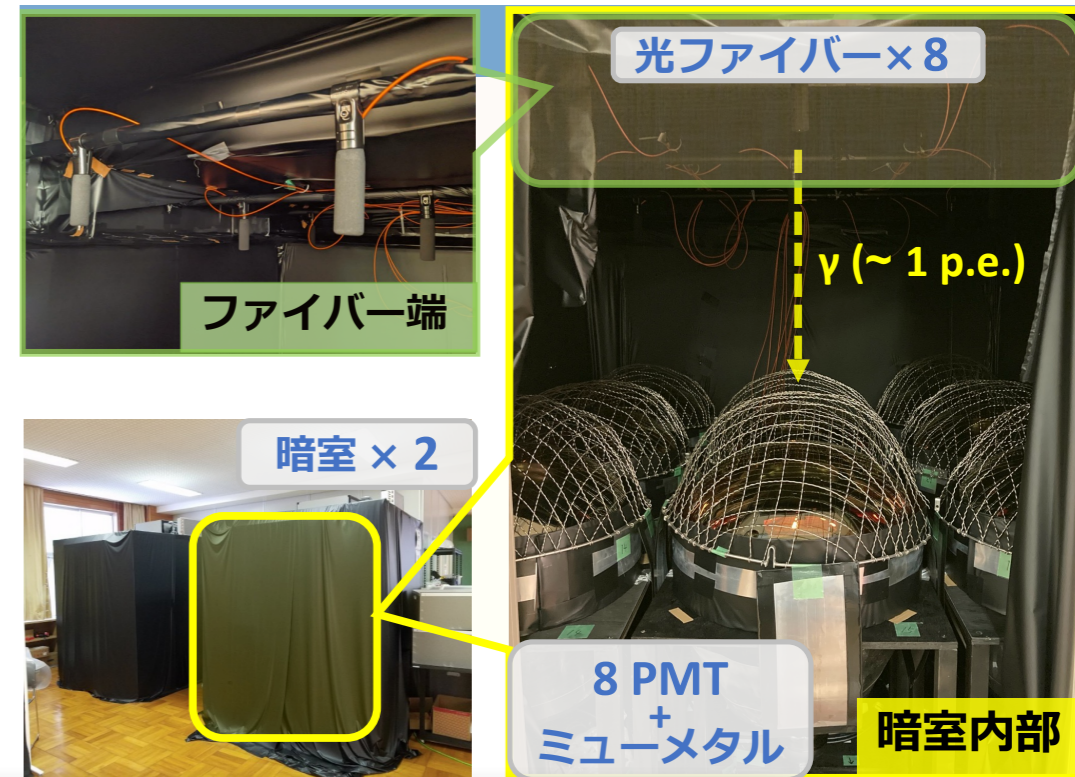


- ~10%のPMTに対して簡易的な目視検査・信号確認



# 納入PMTの検査測定

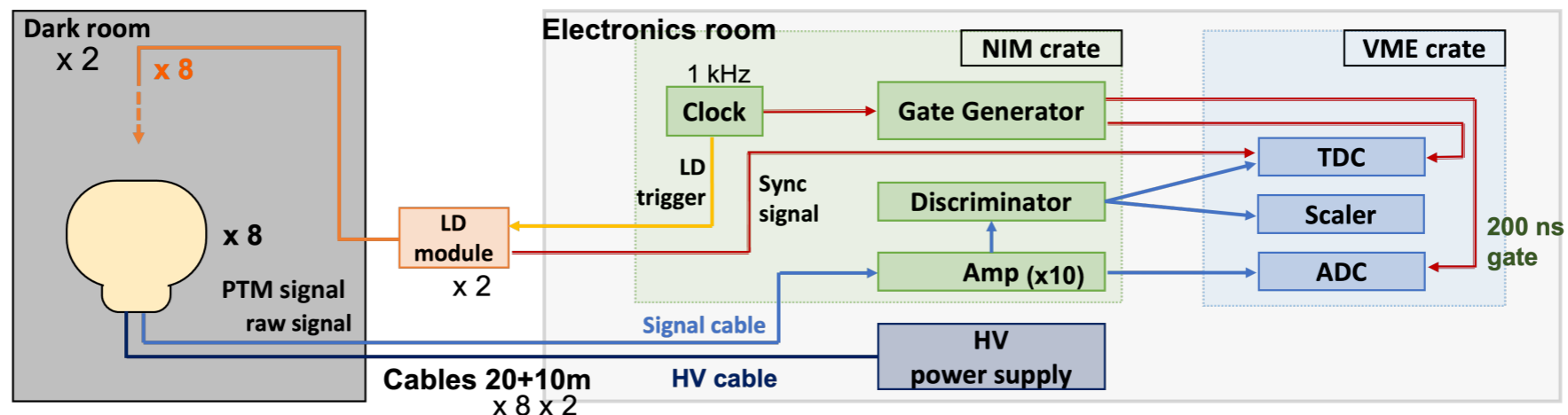
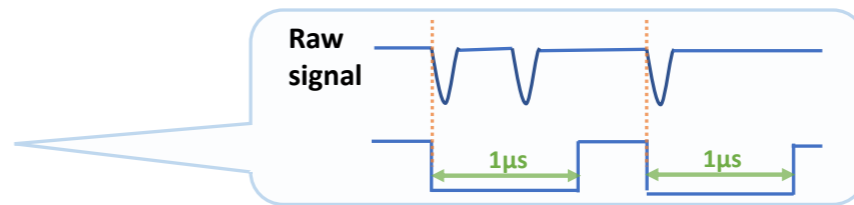
- 納入されたPMTの性能をモニターするため  
神岡実験棟の暗室で詳細測定
- 8 PMT/暗室 x2, ~2週間
- 各種性能、安定性を評価



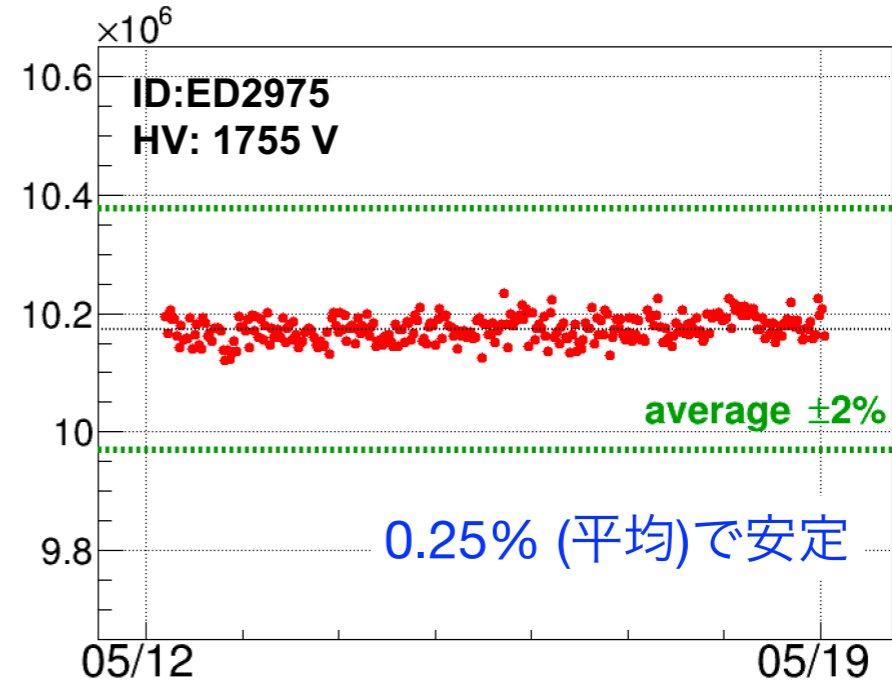
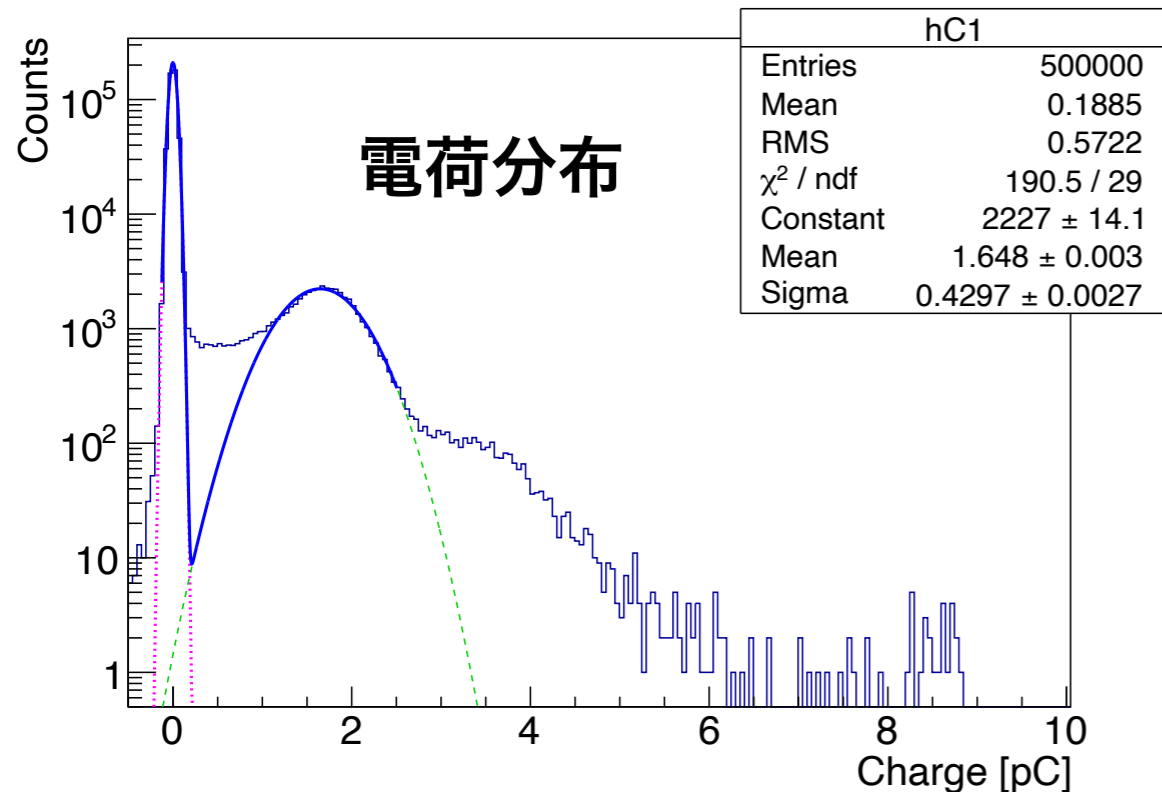
## 単一光電子計数測定のDAQ

JPS 2022年秋季大会 吉田隼輔 発表より

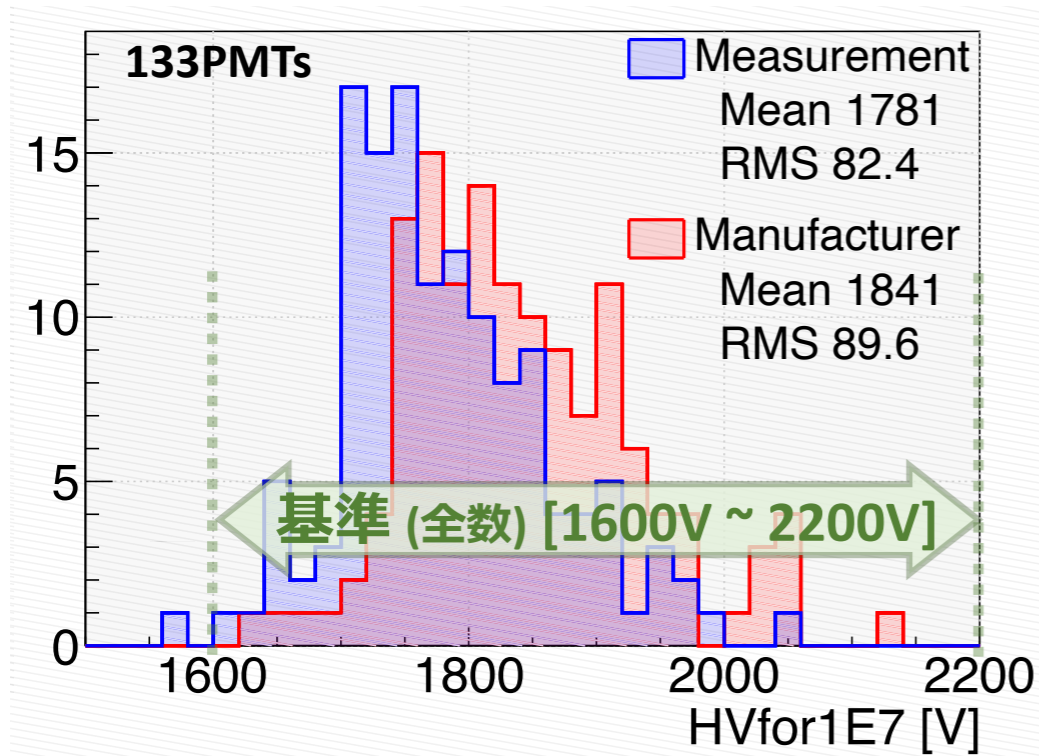
- 同条件でPMT 信号の **scaler**、**ADC**、**TDC** (~4  $\mu$ s window)、**TDC** (~50  $\mu$ s window) のデータを取得
  - ダークレート
  - ゲイン
  - 電荷分解能
  - PV比
  - 時間分解能
  - アフターパルス量
- 印加電圧はゲインが $10^7$ になるように調整
- Laser Diode (LD) からの光量は全事象に対して1光電子以上の事象が10%程度となるように調整
- Discr (scaler、TDCに接続)
  - 閾値 : 1/6 p.e. (\* 1p.e. : 約-6mV)
  - パルス幅 : 1 $\mu$ s (1 $\mu$ s以内の複数の信号 $\rightarrow$ 1信号)



# 納入PMTの検査測定: 電荷分布

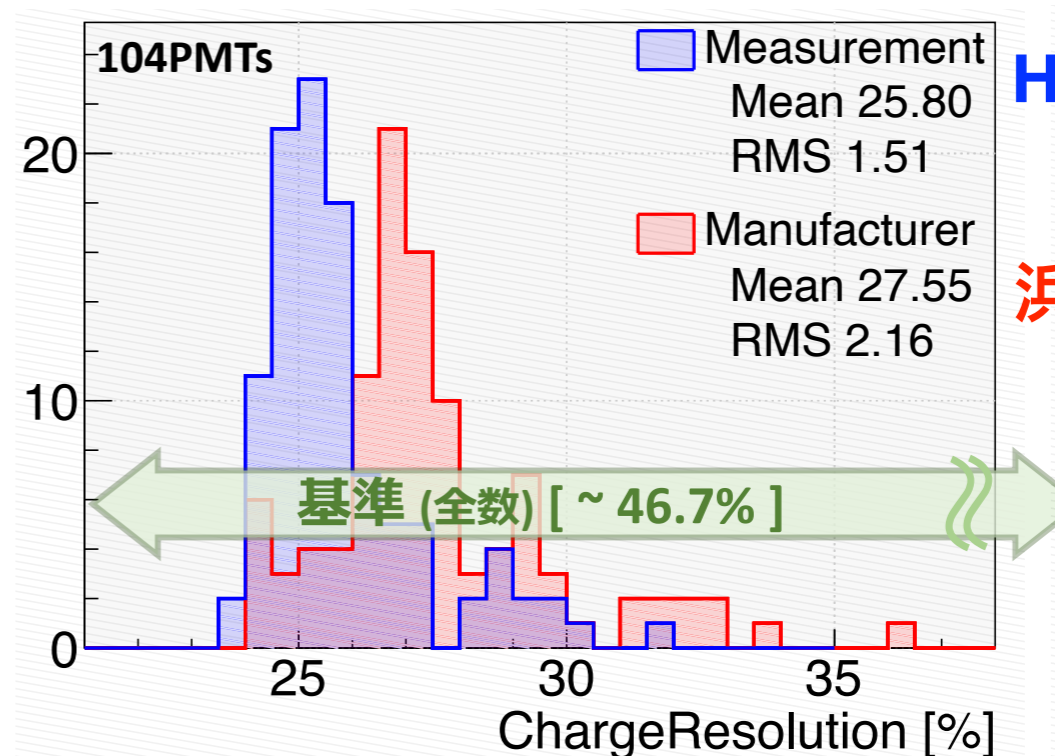


あるPMTでのGainの時間変動



1×10<sup>7</sup>ゲインを与える電圧

浜ホト測定値と平均60V程度の差



HK測定値

浜ホト測定値

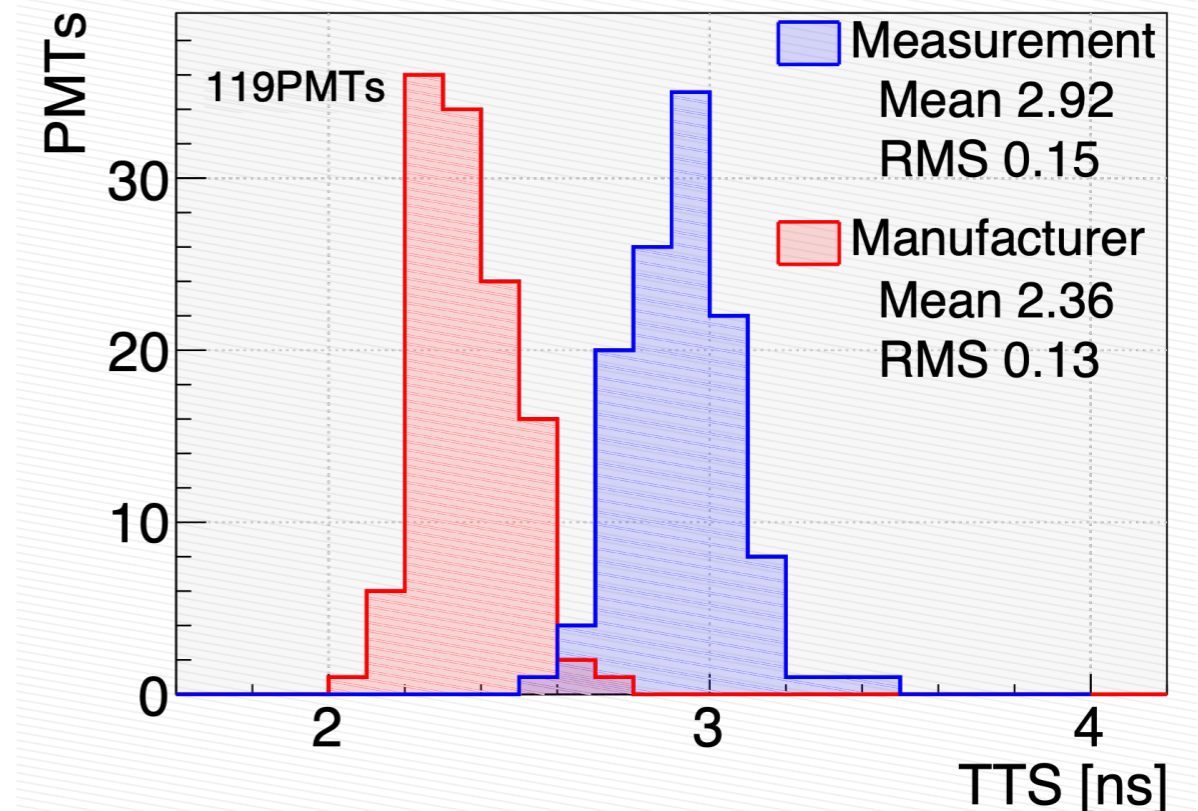
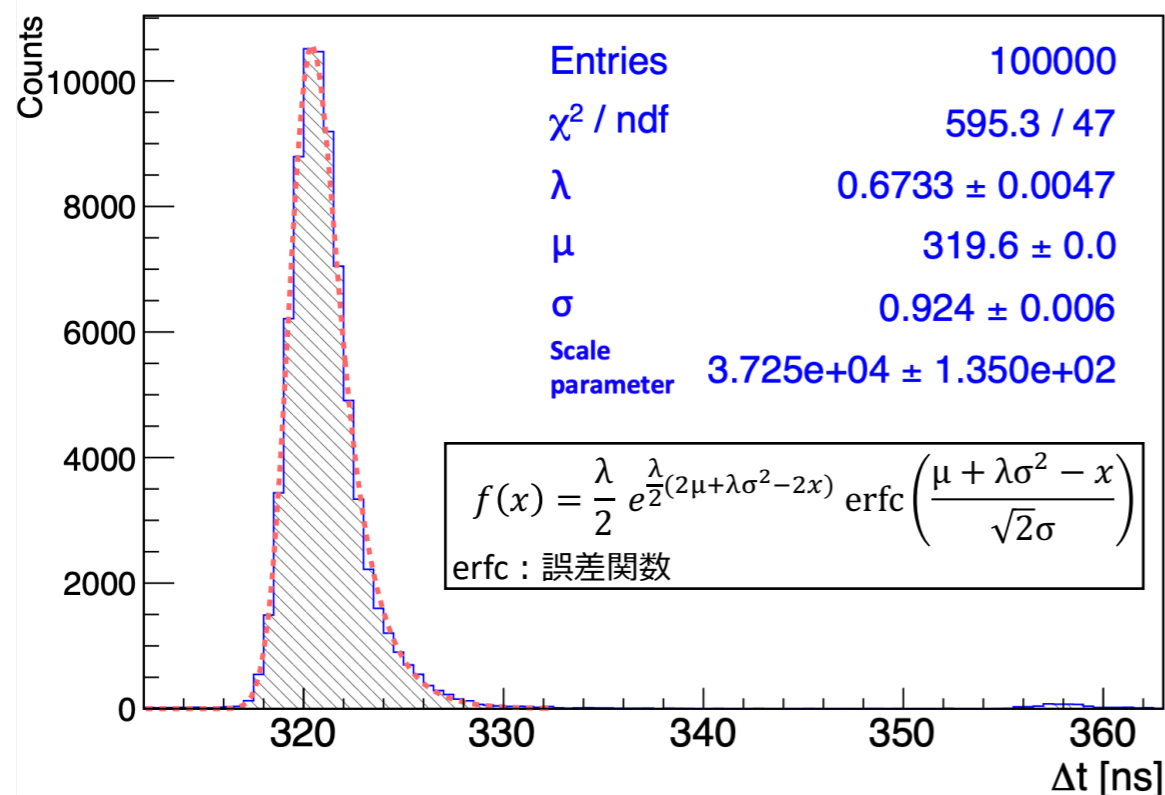
1p.e. 分布をGauss. fit して得た電荷分解能

浜ホト測定値よりもよい値



# 納入PMTの検査測定: 時間分布

- LD同期信号とPMT信号の時間差を測定し、その広がり(FWHM)から Transit Time Spread (TTS) を評価
- 浜ホト測定より ~0.5ns 大きい値
- 測定システム由来?



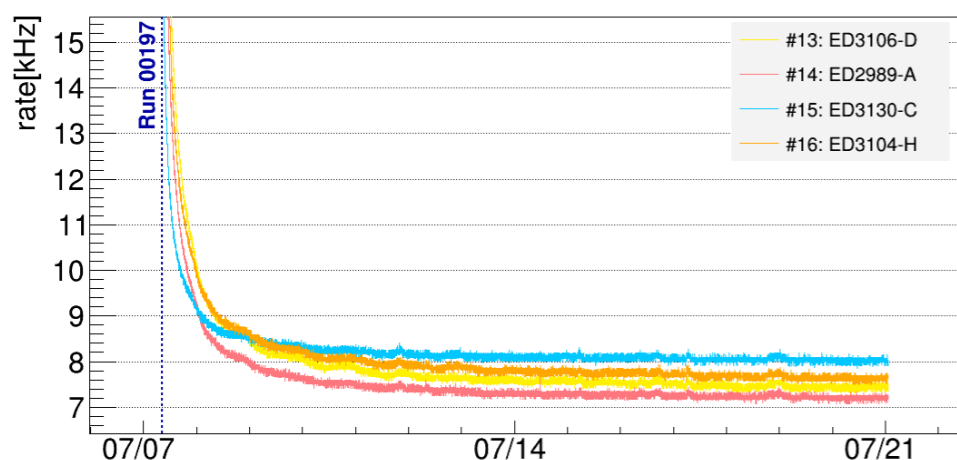
# 納入PMTの検査測定: ダークレート

測定項目: ダークレート

JPS 2022年秋季大会 吉田隼輔 発表より

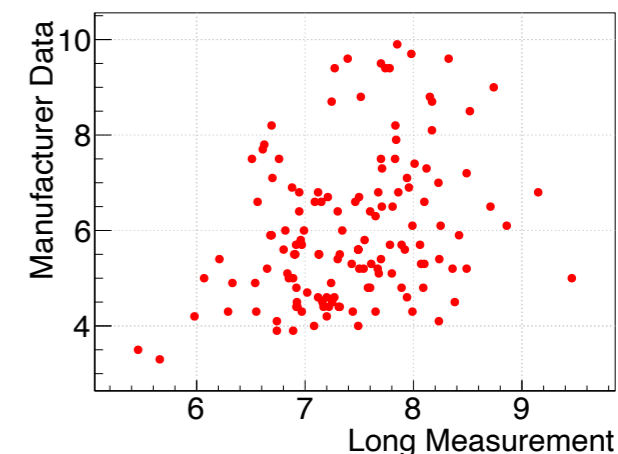
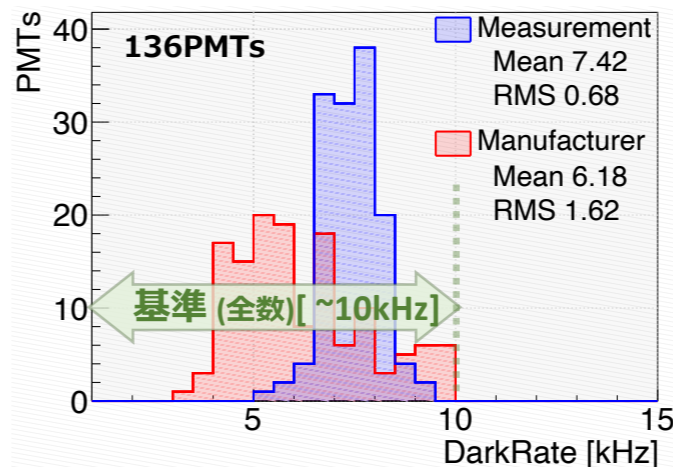
## パラメータ定義: ダークレート

- 光が入射がないにも関わらず出力される信号レート
- 計測開始から1週間以降データの平均値として算出



同暗室の4PMTsにおけるダークレートの時間変動

- 背景光: 光漏れがないことは確認済み
- \* PMTをBlack sheetで覆った場合、4~5%程度低下する  
→ ガラスの発光の影響の可能性  
(暗室内のPMTは区切られていない。cf. 製造元: 個別測定)
- 閾値の違い: 1/6 p.e.(長期測定) v.s. 1/4 p.e. (製造元)



- ダークレート : **基準 (全数) [ ~ 10kHz ]**  
ダークレート変動 : **基準 (全数) [ -0.5kHz ~ +0.5kHz ]**
    - 製造元データに比べ、平均1.2kHz高い原因は調査中
    - 製造元データとの相関を確認
  - 磁場 : 確認のための別測定が進行中
  - 温度 : 温度変動の影響の存在は確認済み(個体差大)
- 値の基準を満たす  
変動は多くで満たされるが、一部満たさないものも確認**
- より安定性を高める改良品の開発も進めている**



# PMT防爆カバー開発

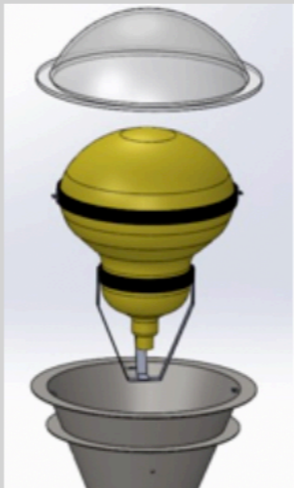
- PMT爆縮が生じたときに、衝撃波を抑え連鎖爆縮を防ぐためのカバー
- スペイングループが中心になって開発
- 2022年3月の爆縮試験で防爆性能が確認されたモデルをprimary option に据えつつ、他2モデルも開発中



**iSUS**

This is a conservative option, following the already tested JP-SUS design.

Design effort is focused onto reducing cost and increase performance,



**Main advantages:**

- Uses same manufacturing technologies as baseline design (also cost effective alternatives).
- Very easy to compare performance against baseline design.
- Several suppliers available.

**Main disadvantages:**

- MES also requests License Fee (although reduced)

**DD**

This is a more explorative option. Designed from scratch, although inspired in other successful models (JUNO experiment).

**Main advantages:**

- Manufacturing technology very cost effective and fast.
- Simple assembly procedure.

**Main disadvantages:**

- Only one supplier identified so far
- Behaviour less well characterised than Baseline



# まとめ

- ハイパーカミオカンデ用 PMTの製造が進行中
  - 2026年9月までに2万本のPMTを納入予定
- 神岡でのPMT詳細測定用のセットアップが確立
  - 100本以上のPMTに対し、各種性能値・安定性を測定
  - 浜ホト測定値との違いの理解が課題
- 防爆カバー開発も進行中



