

ハイパーカミオカンデ 光検出器の準備状況

佐藤和史 (東大ICRR)

26 Jan. 2022 @ 東大宇宙線研共同利用研究成果発表会

課題と使途

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**

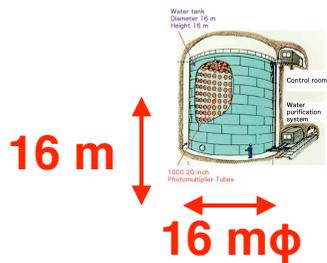
- 西村康宏 (慶応義塾大)

配分: 35万 + 他年度繰越11.5万

使途: 光検出器輸送費、出張旅費、
実験消耗品 (ケーブル・工具・素材)

ハイパーカミオカンデ計画

- "素粒子" **ニュートリノ** (ν)
 - 性質は未だに多くの謎が残る
 - **質量?** • **CPの破れ?** • **マヨラナ性?**
 - 物質とほとんど反応しない
 - **巨大な検出器**で探る



カミオカンデ

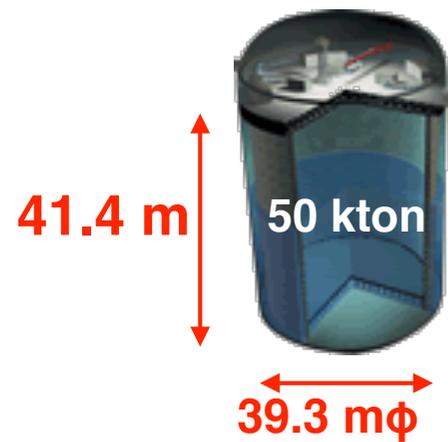
1987~1996

- 超新星 ν の初観測
 - ν 天文学の幕開け
- ν 振動・ ν 質量の示唆

スーパーカミオカンデ(SK)

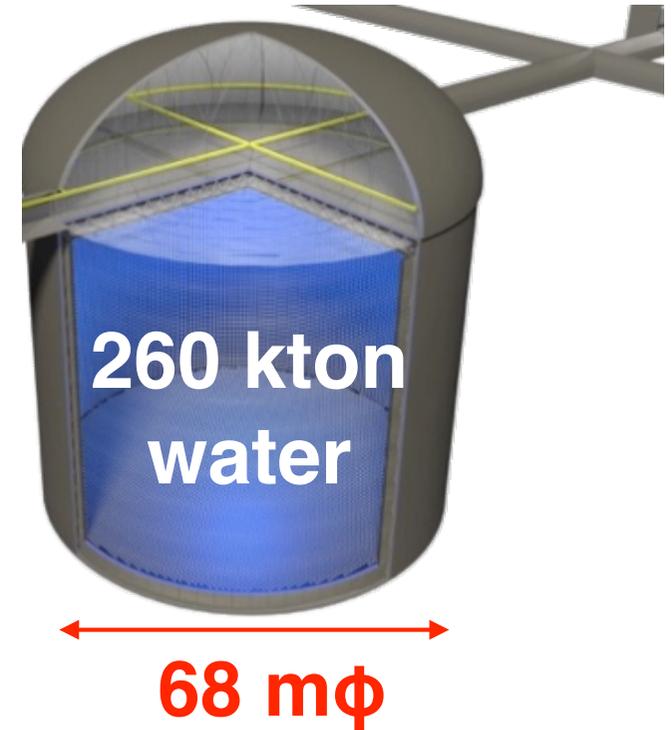
1996~稼働中

- ν の質量の発見
- ν の性質の測定
- 振動パラメータ



有効体積8倍!

71 m

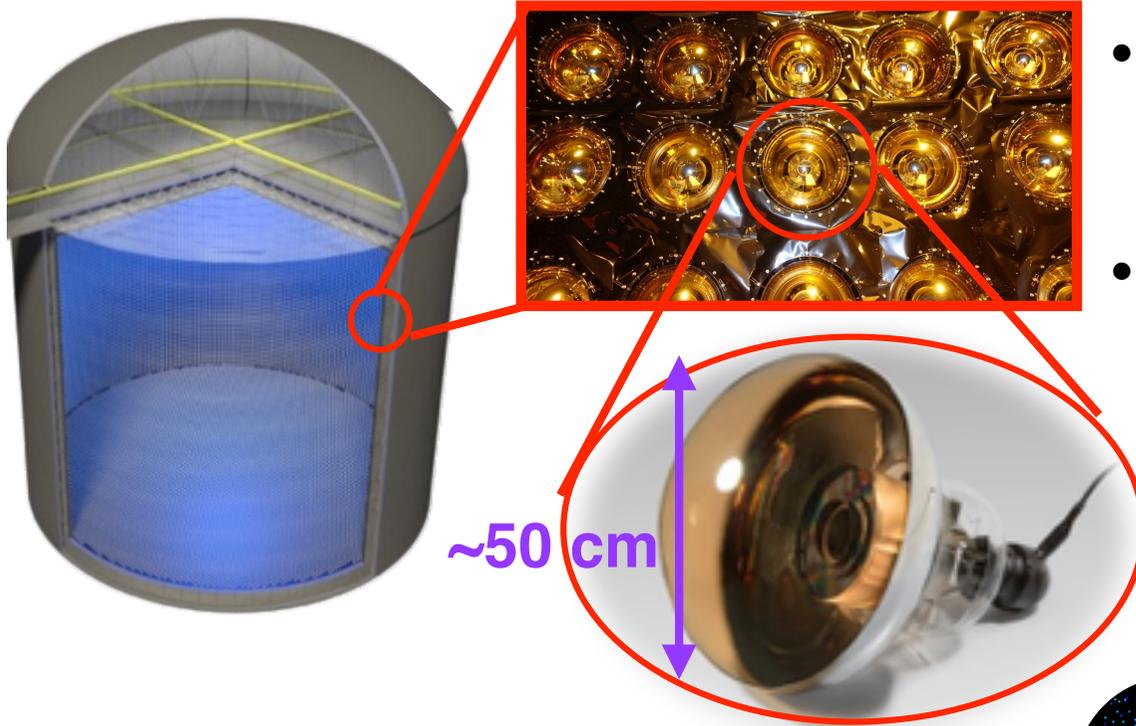


ハイパーカミオカンデ(HK)

2027~

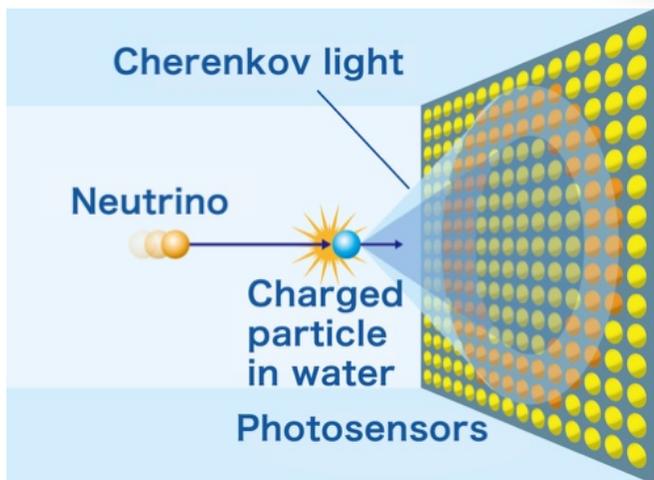
- さらなる精密測定
 - **CPの破れ** • **質量階層性**
 - **陽子崩壊**
- ν で宇宙を探る
 - **超新星 ν** , **超新星背景 ν**

大口径光検出器

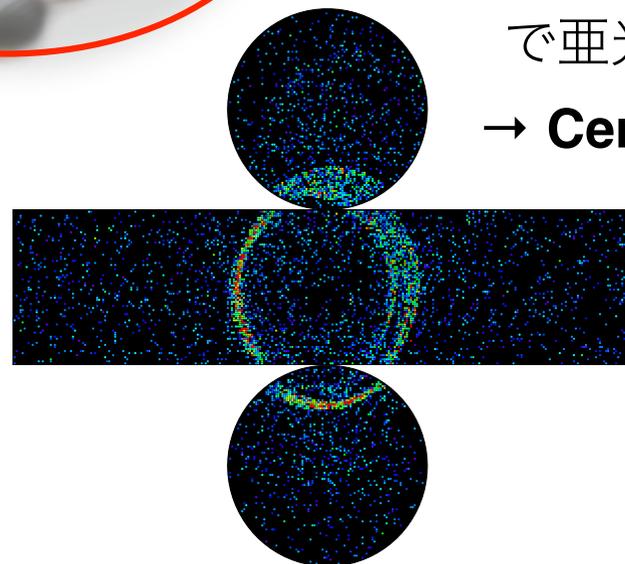


- HK検出器壁面には**4万本**の光電子増倍管(**PMT**)
- ν の反応で生じる微弱な光を検出

- 水の原子核・電子と ν との反応で亜光速の荷電粒子が生成
→ **Cerenkov光**が発生



ν 検出の概念図



HK検出器の展開図

- PMTのヒットパターンから、エネルギー、反応位置、飛来方向を再構成

これまでの成果

★ PMT候補の基本性能を評価

PMT candidates

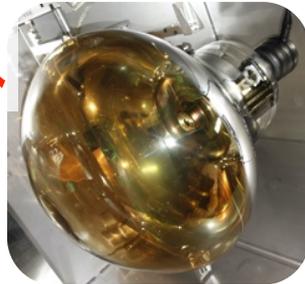
Box & Line PMT



国内予算で
製造/配備へ

浜松ホトニクス製

Hybrid PMT



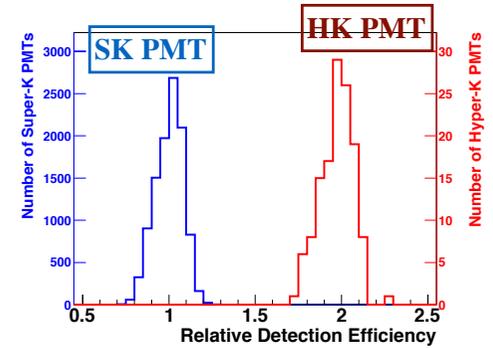
浜松ホトニクス製

MCP PMT

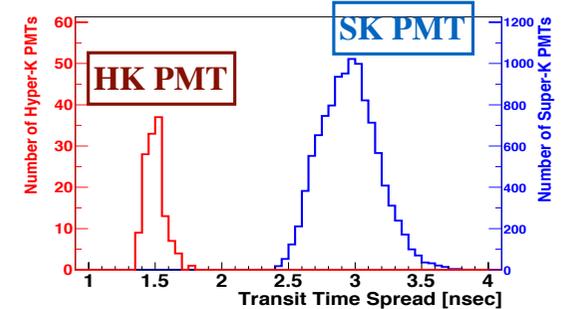


NNVT社製

検出効率



時間分解能



★ ノイズの原因を特定し、目標性能を実現

- ガラス中の不純物からの放射線
 - 原料・プロセスを改善

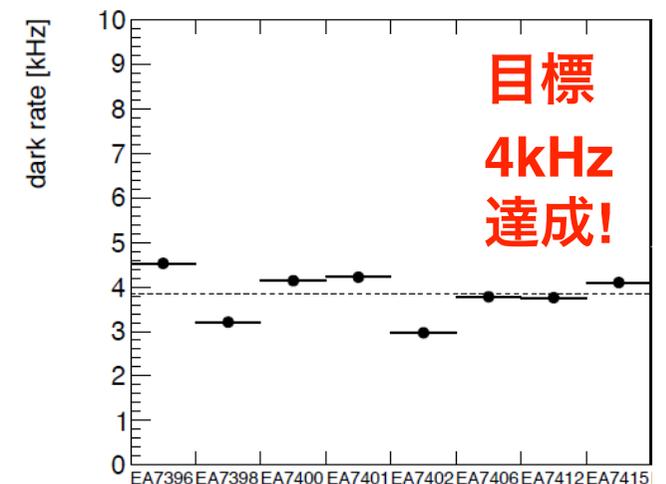
U, Th, K : (5.5, 1.8, 18.2) → (2.9, 0.95, 2.0) mBq/kg

- 残存ガスによるアフターパルス
 - 洗浄工程・ダイノード構造の改善

1光電子あたりのアフターパルス(割合) : 30% → 5% etc...

PMT試作機のノイズ計数率

Threshold: 1.5mV

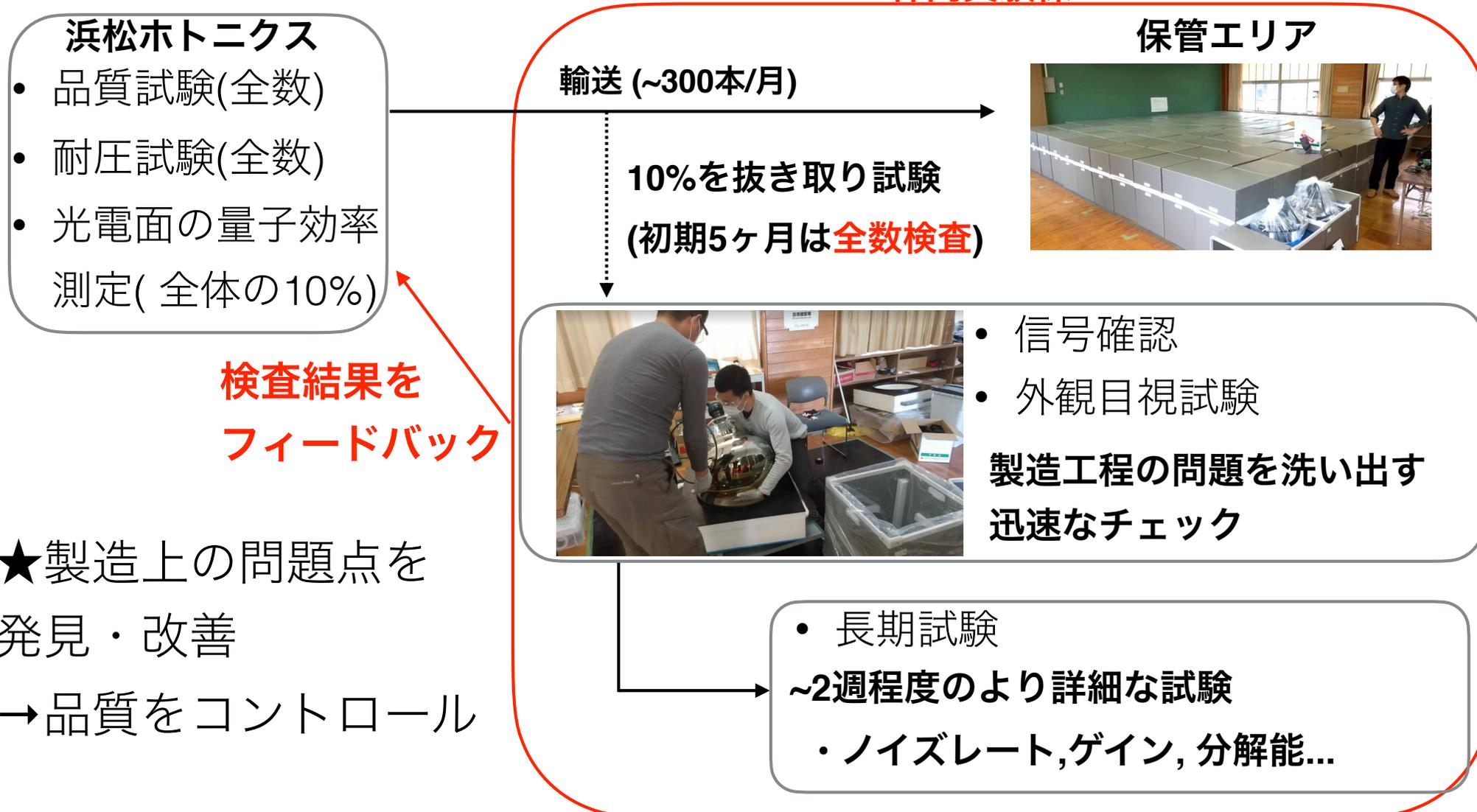


大量生産PMTの受け入れ体制

いよいよPMTの**大量生産**がスタート

- 2021年～2026年までに**2万本**のPMTが納品される

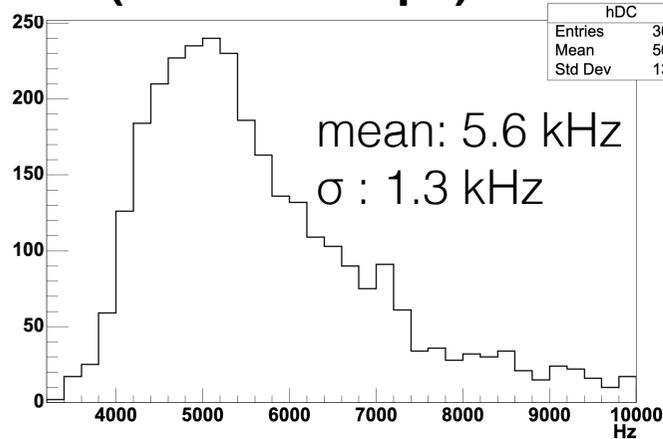
神岡実験棟



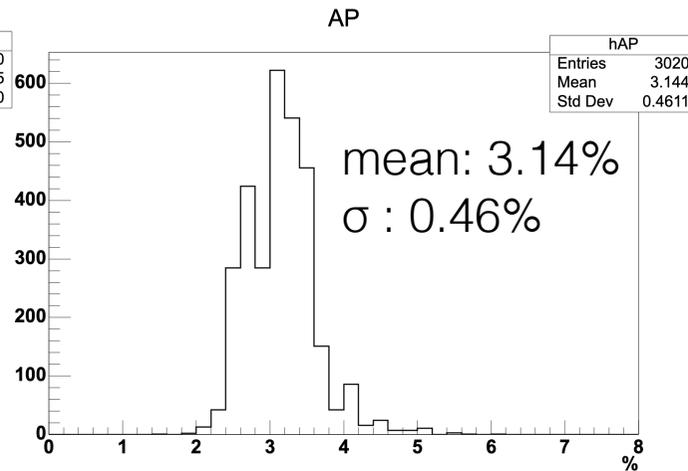
各PMTの品質検査(浜松)

- 浜松提供の各PMTデータシート記載の26のパラメータをモニタ

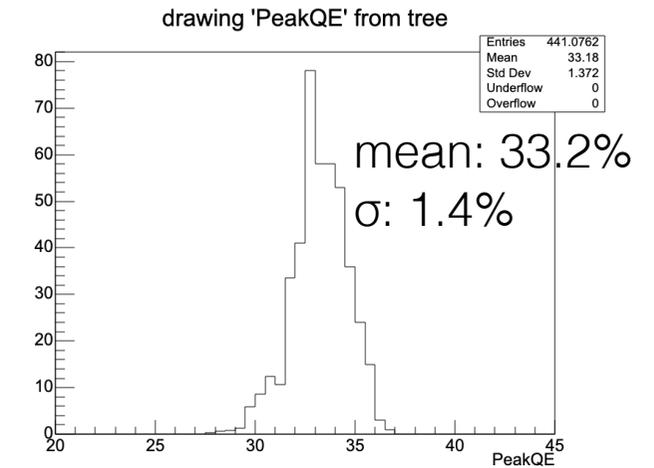
ダークカウントレート
(@room temp.)



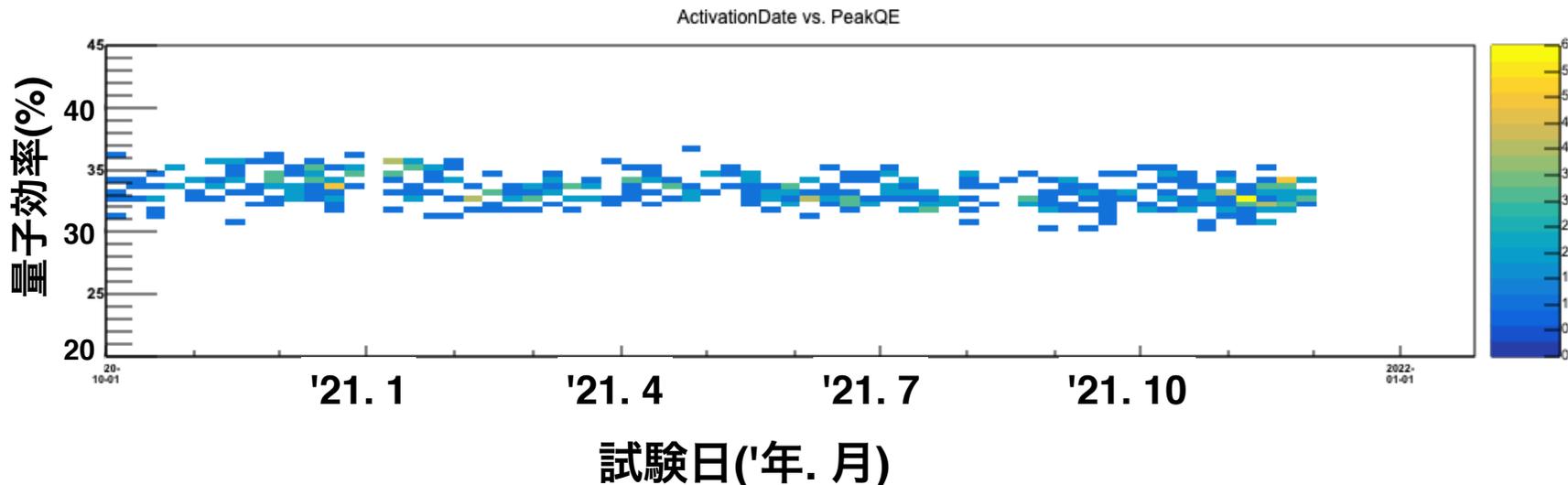
アフターパルス比率



量子効率



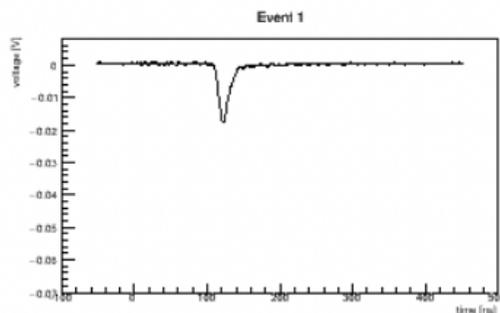
👉 いずれのパラメータも**製造時期によらず安定している**



神岡での受け入れ試験

信号確認試験

- 10分 / 1PMT



- 暗箱内で実際にHVを印加
 - インピーダンス, LED信号波形, ゲイン, ノイズレート

- HV線の接触事例発見
 - デザイン改善
- 高ノイズの不良PMTを2本発見し, 交換

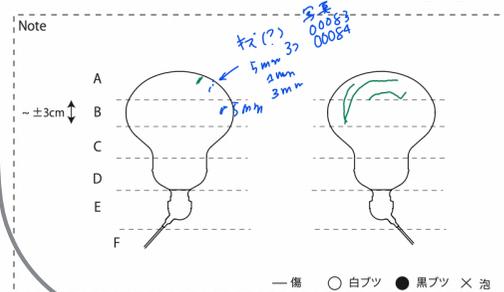


外観目視検査

詳細目視

10min.~1h / 1PMT
(半日に1回)

→ ~1 mmレベルの傷・異物を検査



簡易目視

<10 min. / 1PMT

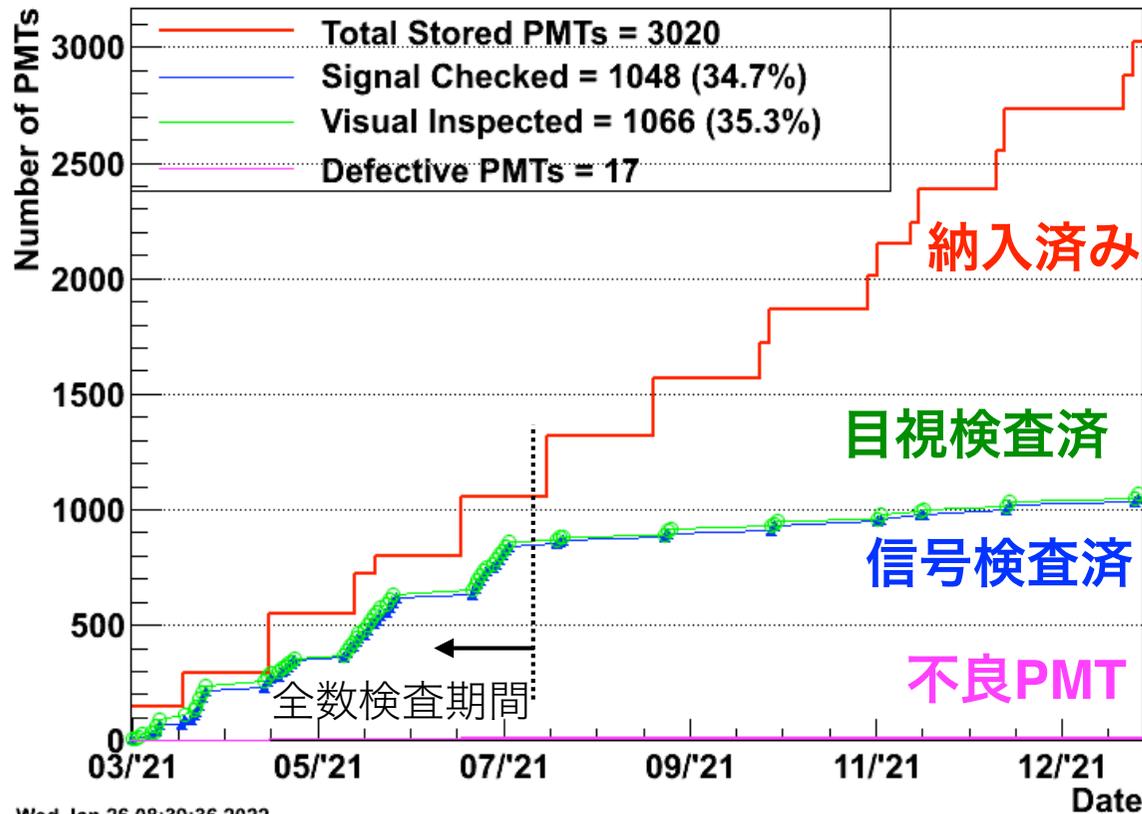
- 浜松検査工程への改善
- 防水部の不備発見→デザインの改善
- 検査時, 輸送時の傷を防ぐ緩衝材追加
- 検査場にケーブル保護用の養生追加

- 浜松へ試験結果をフィードバック
 - → 製造~検査~輸送工程の改善

納入状況

PMT count

1/25現在の納入状況



- 現在(1月25日)：3020本納入
- 計画通り
- 不良PMT：17本 (不良率~2%)

11事例については再発対策

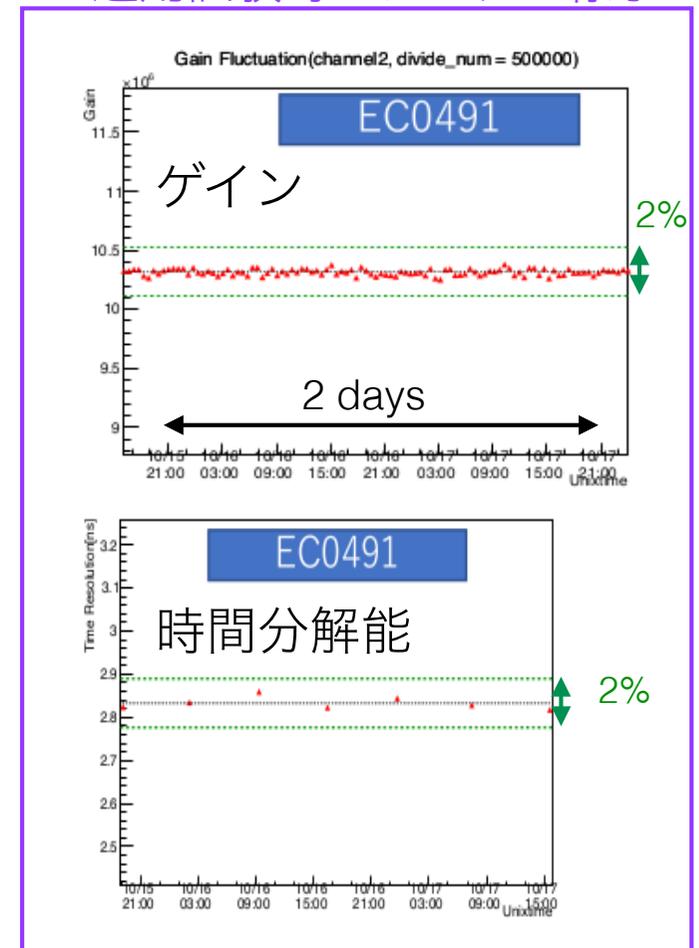
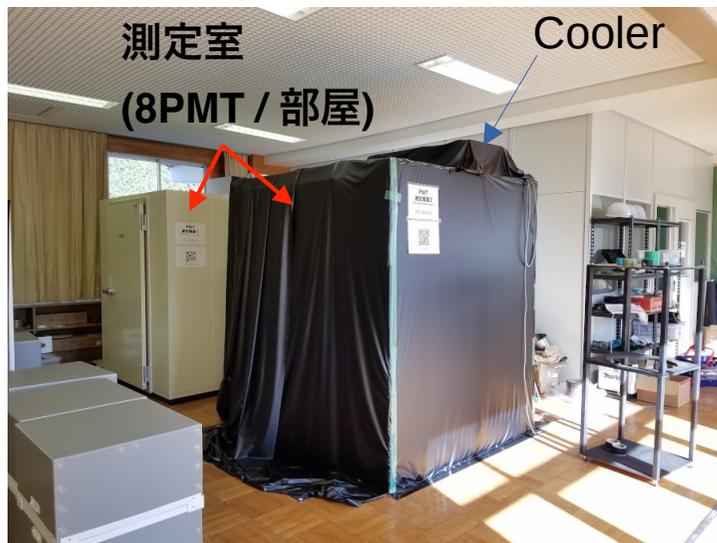
試験	異常箇所	事例数	処置	原因の特定・再発
目視確認	ガラス	4	PMT交換	改善
	ケーブル	2	PMT交換	改善
	防水部	3	修理	改善
	異物混入	2	PMT交換	--
信号確認	抵抗	4	PMT交換	改善
	高レート	2	PMT交換	--

性能試験

簡易試験に加え、神岡実験棟にてPMT性能の詳細試験

- ノイズレート, ゲイン, 時間分解能, 電荷分解能, アフターパルス発生率...
 - 温度一定(14°C)で長期安定性(~2週間)を測定
- 1月あたり16本を同時に測定

運用試験時のデータの様子



👉 近日の定常運用開始に向け準備が進む

まとめ

- 今年度からPMTの**大量生産**開始
 - ~2026年までに**2万本のPMT**を納入
 - 1月25日現在 3020本納入 ← **計画通り**
 - 各PMTの性能は浜松から報告→時期によらず**安定**
 - 神岡での迅速な試験で**製造が安定**していることを確認
 - 外観目視試験 & 信号確認
 - 改善点を**浜松へフィードバック**
 - 納入初期における不良PMT数：17本
 - 大半の事例に**再発対策**
 - 並行してPMT部材のモニタリングを行い品質を保証
 - ガラス：透過率・放射性物質含有量

納入時試験は2026の納入完了まで継続

👉 安定した検出器性能を実現