

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

2019/12/14

東大宇宙線研共同利用研究成果発表会

ICRR

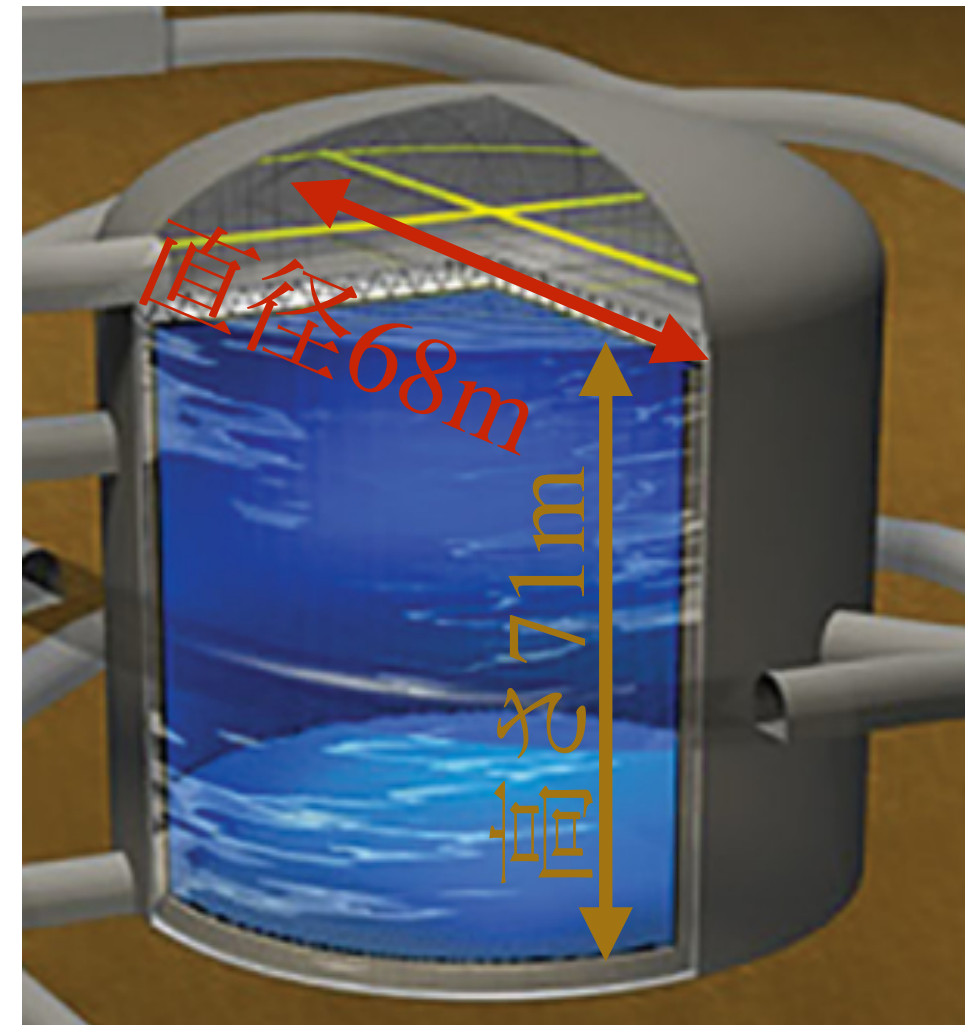
田代 拓也

ハイパーカミオカンデ計画

2

▶ 次世代ニュートリノ実験のために
ハイパーカミオカンデ(HK)検出器
の建設準備が進行中

- ▶ 有効体積19万トン
(スーパーカミオカンデ(SK)
の約10倍)
- ▶ ニュートリノのCP, 質量階層性
の決定、陽子崩壊の初観測など
を目指す



▶ HKではタンク内壁に取り付けた大口径(20")のPMTを
用いてチェレンコフ光を検出し、事象再構成を行う

- ▶ 測定性能
 - ▶ 光子検出効率
 - ▶ 光子数(電荷)分解能
 - ▶ 時間分解能

検出効率, 分解能共に
SK PMT以上の性能を出す

- ▶ ダークノイズレート

低エネルギー事象まで観測するため、ダークノイズのレートは低く抑える(**目標: 4kHz**)

- ▶ 連鎖爆縮対策

連鎖爆縮を防ぐため、各PMTをカバー内に収める



- ▶ 耐水圧

PMT, カバー共に80m水深で使えるように強度を設定

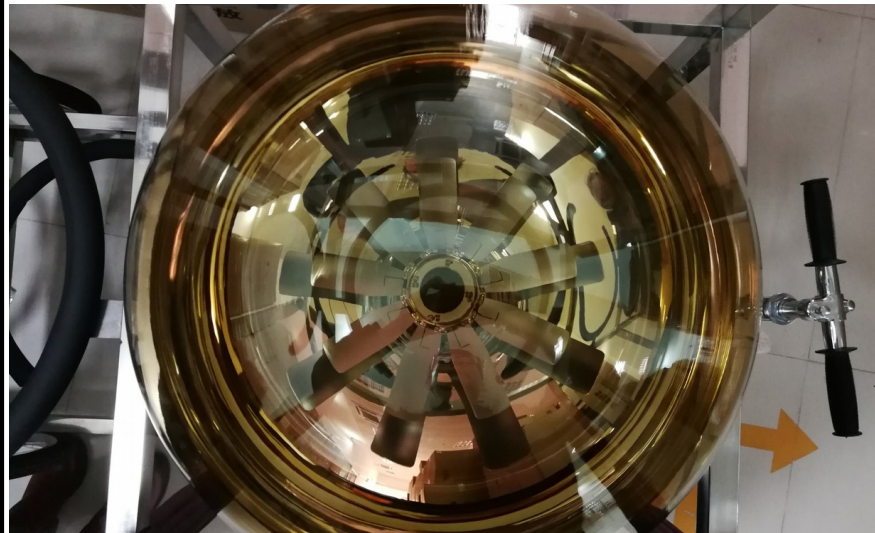
- ▶ 複数のタイプのPMTが検討されている.

Box&Line PMT



- ▶ 浜松ホトニクス製
(型番: R12860)
- ▶ 高い光子検出効率と時間分解能, 光電子数分解能を達成(どれもSK PMTの倍程度)

MCP PMT



- ▶ NNVT社製
- ▶ JUNO実験用に開発され、HKでの使用に向けて時間性能向上
- ▶ 高い水圧耐性と検出効率

multi-PMT

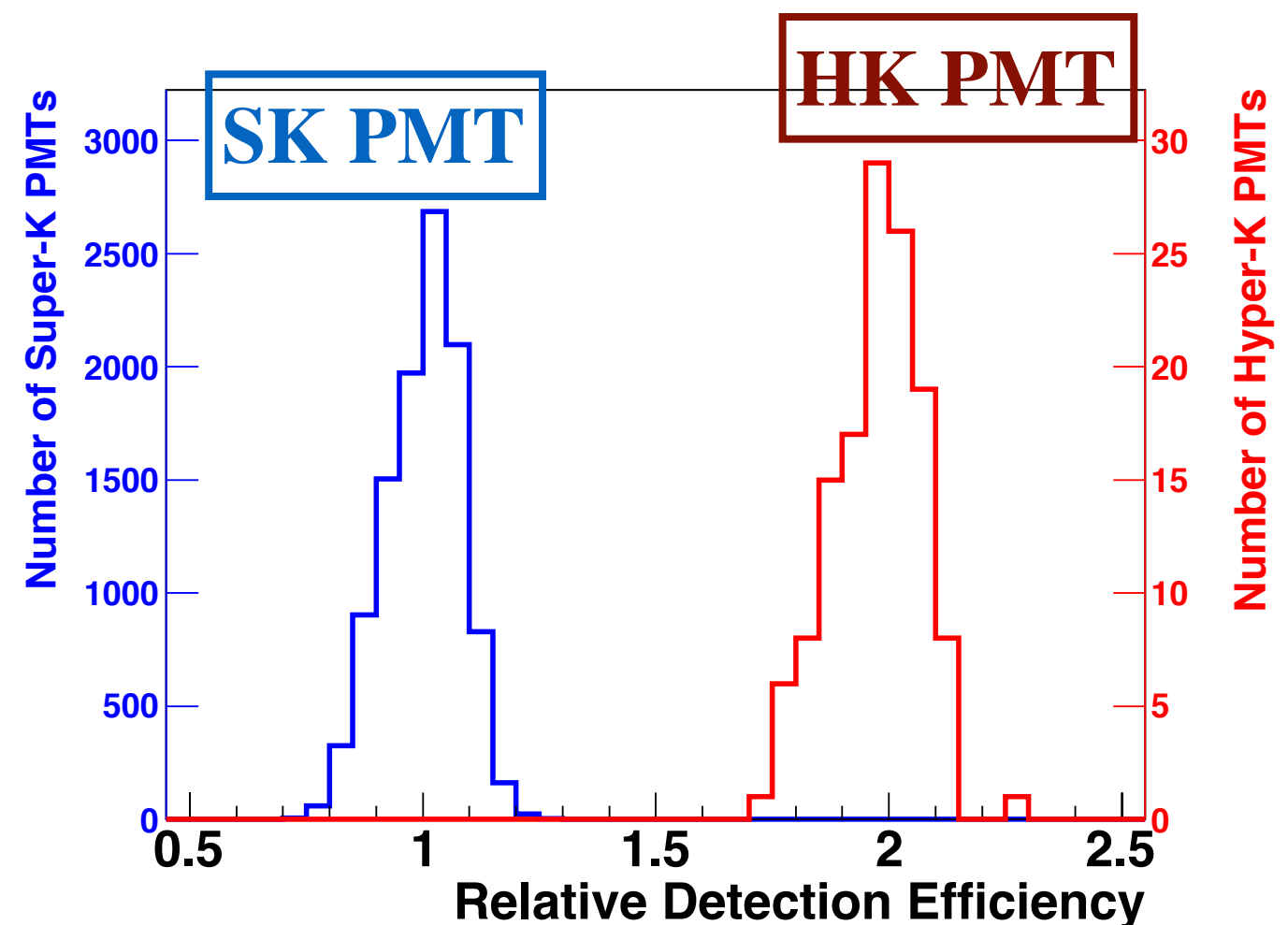


- ▶ 複数の小さな(3") PMTが20"の筒に収められる構造
- ▶ コンセプトはKM3NeT実験から
- ▶ より詳細な位置情報が得られる

- ▶ 2018年に136本のHK用Box&Line PMTをSKに取り付け、水中での性能評価を行なった。

1光子検出効率 (SK PMTとの比較)

- ▶ Ni-Cfを用いたcalibration dataから算出
- ▶ 1PMTで検出された光子数がSK PMTと比べて平均で**1.97倍**
- ▶ 光電面の効率の向上とダイノード構造による光電子収集効率向上による効果

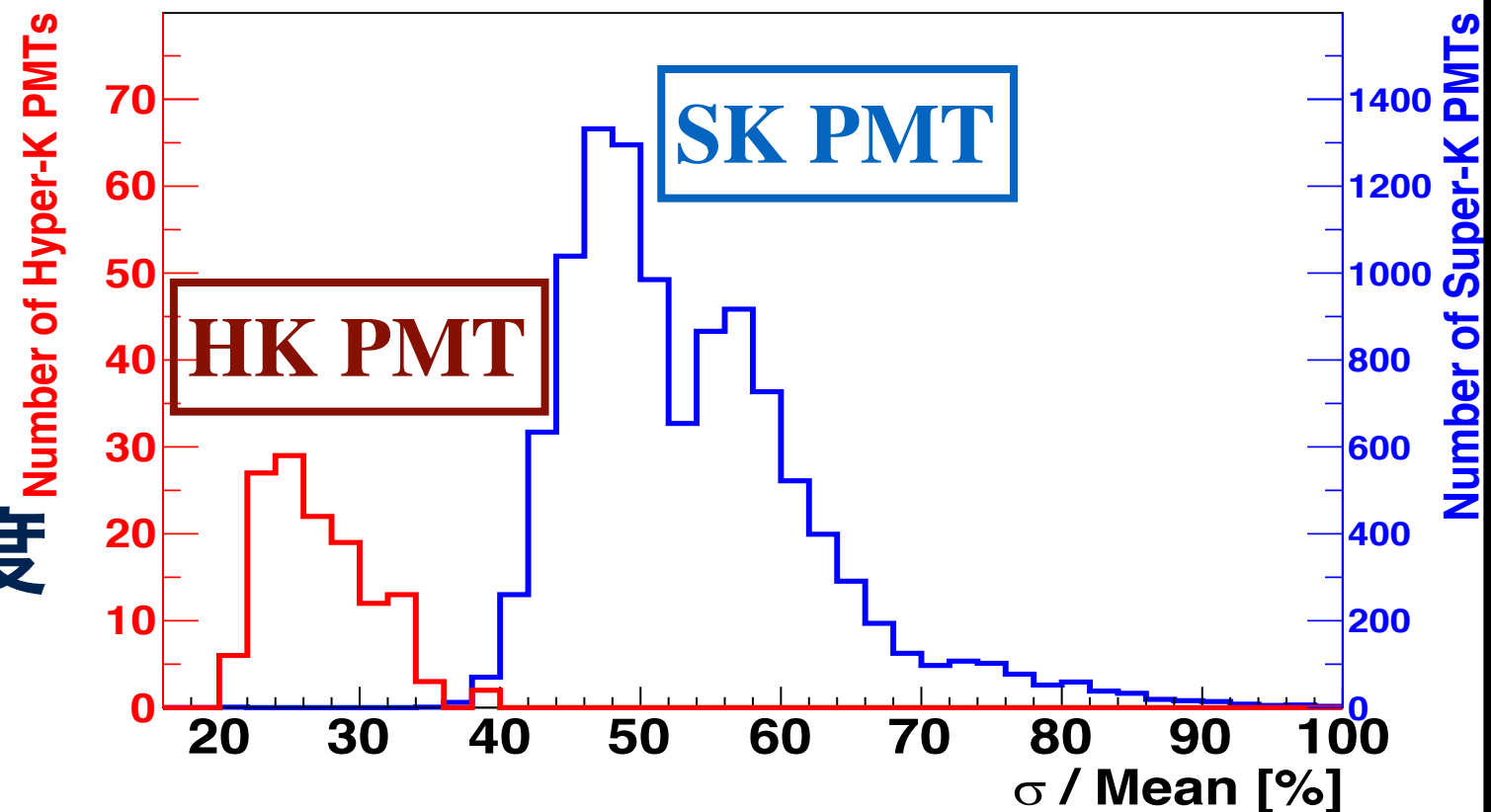


- ▶ 2018年に136本のHK用Box&Line PMTをSKに取り付け、水中での性能評価を行なった。

単一光子計数分解能

- ▶ パルスレーザー光源を用いて計測
- ▶ gainが 1.7×10^7 となるように調整
- ▶ SKとHKのPMTで平均分解能を計測
 - ▶ SK PMT: 54%
 - ▶ HK PMT: 27%

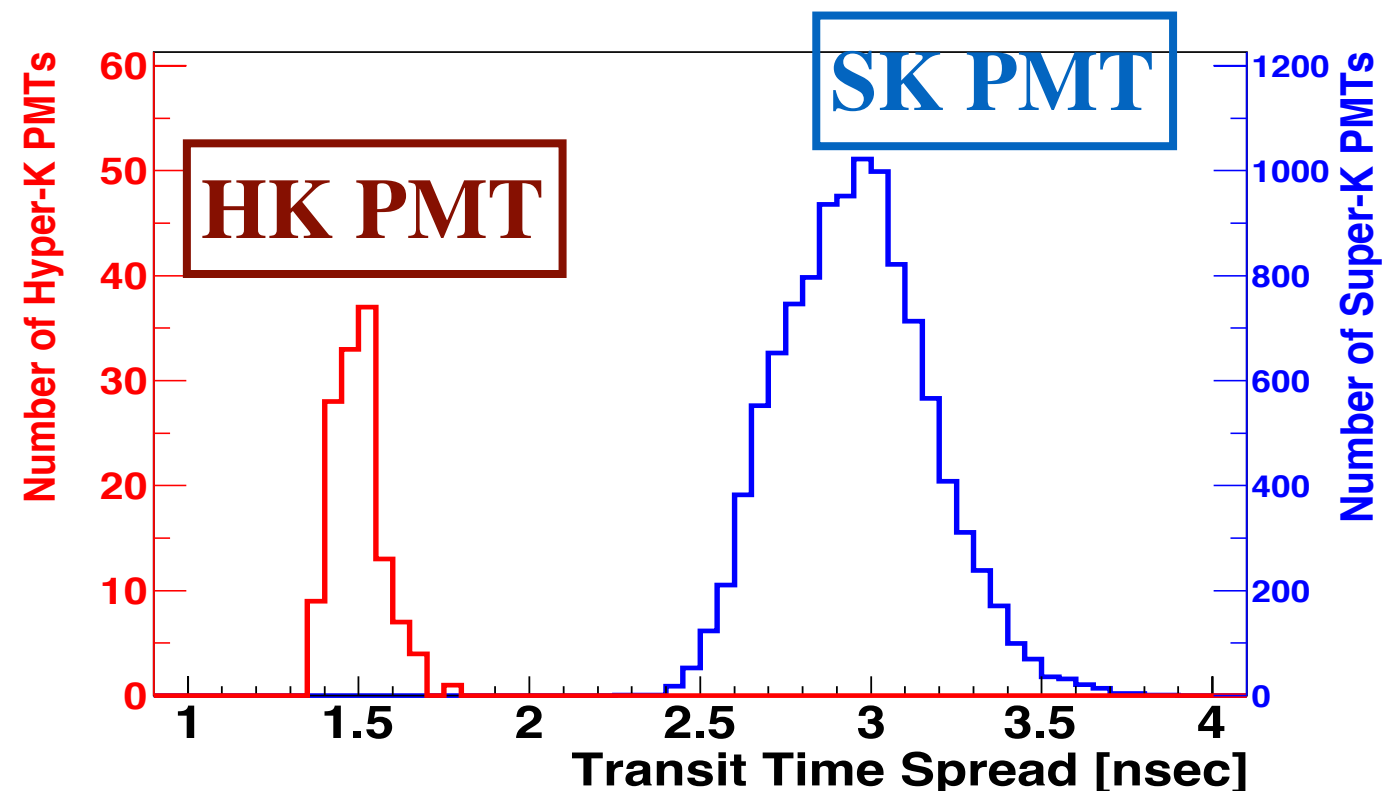
- ▶ SK PMTの倍程度の精度が確認された



- ▶ 2018年に136本のHK用Box&Line PMTをSKに取り付け、水中での性能評価を行なった。

時間分解能

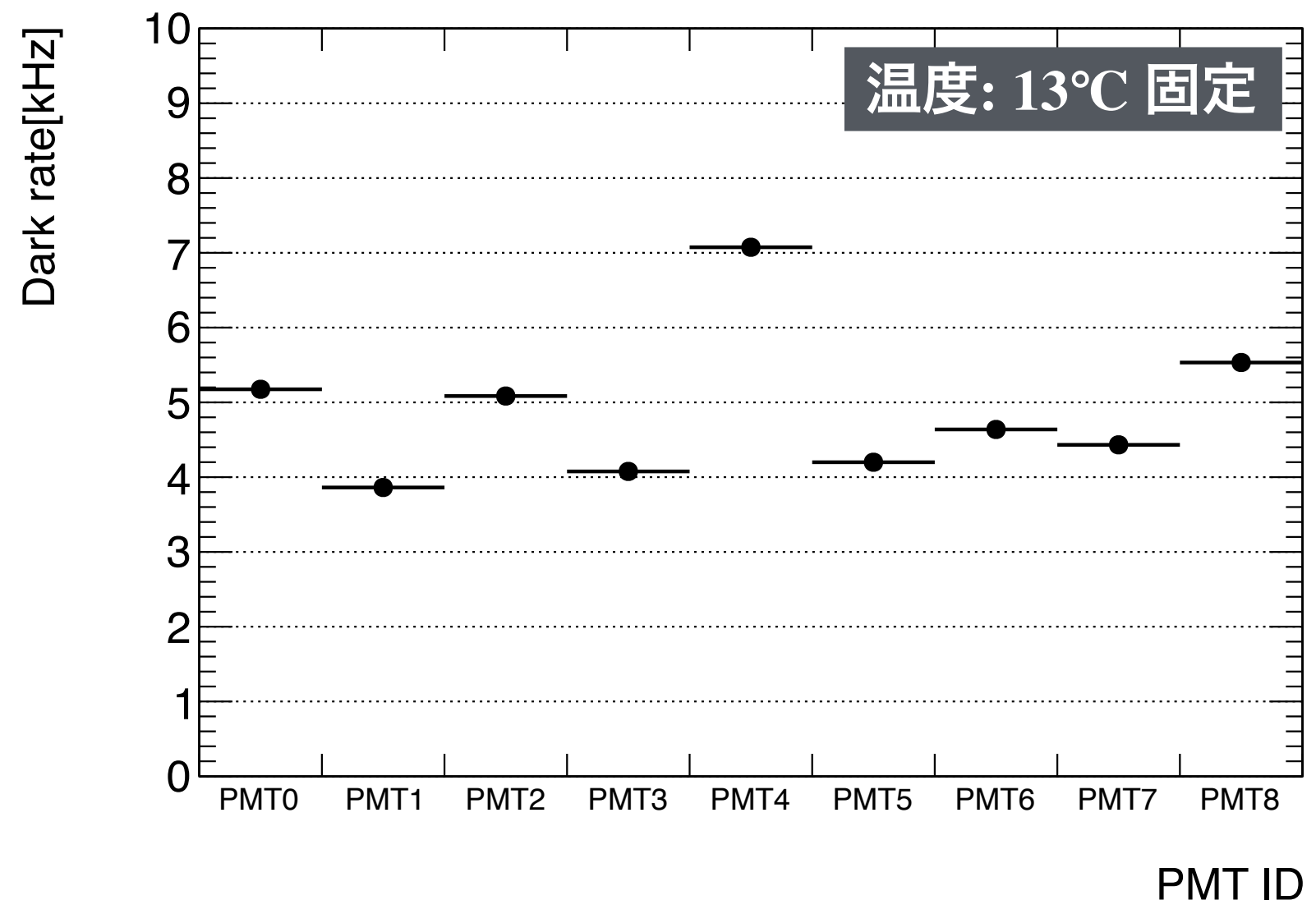
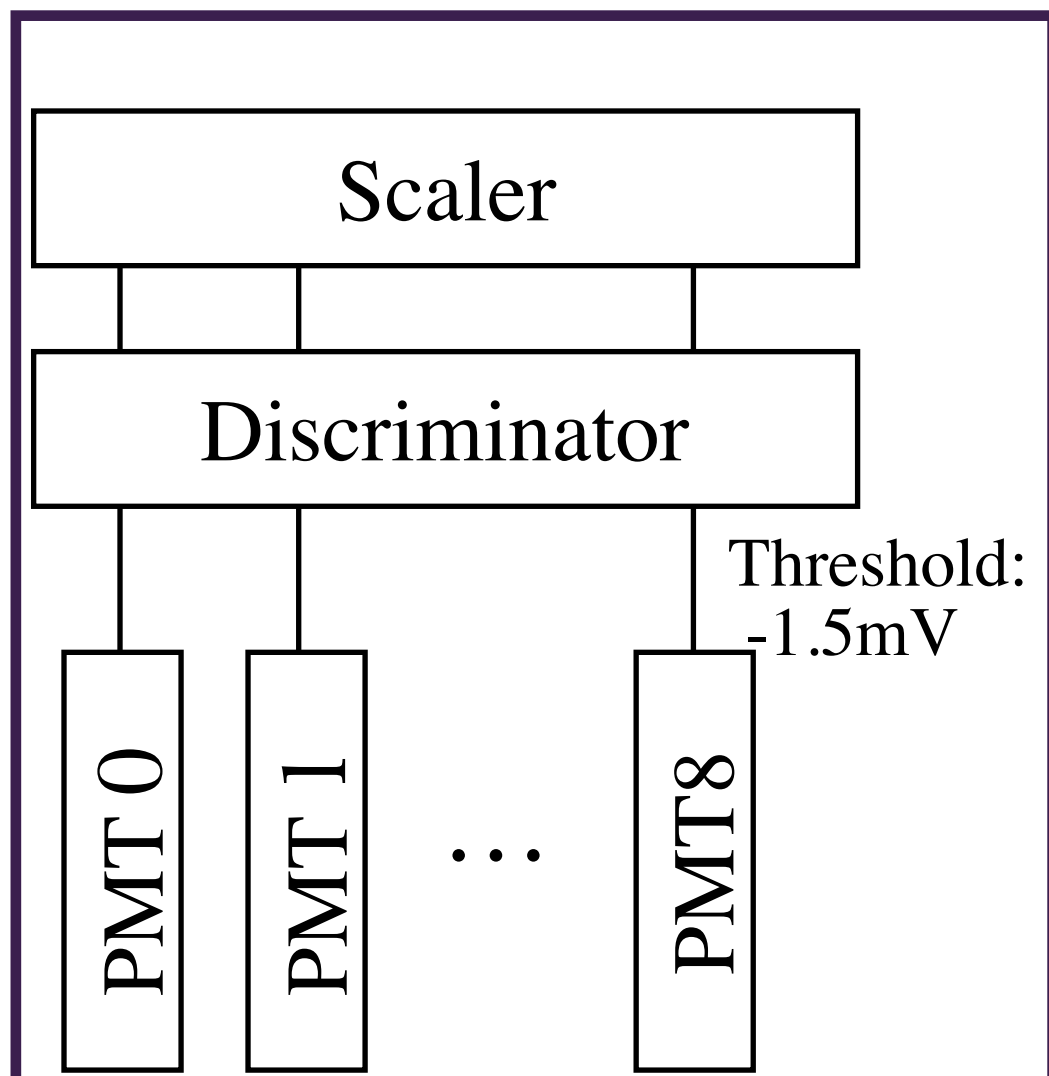
- ▶ パルスレーザー光源を用いて計測
- ▶ gainが 1.7×10^7 となるように調整
- ▶ SKとHKのPMTで時間分解能 σ を計測
 - ▶ SK PMT: 平均3.0 ns
 - ▶ HK PMT: 平均1.5 ns
- ▶ SK PMTの倍近い時間精度が確認された



ダークノイズレート測定 in 柏

8

- ▶ 2019年2月より柏地下で9本のBox&Line PMTのダークノイズレートを測定
- ▶ Gain: 1.4×10^7 , PMT温度: 13°C , 閾値: -1.5mV (1光電子ピークの1/4相当)
- ▶ レートは**4~7 kHz**程度。目標の平均4kHzまでもっと下げたい



PMTガラス内の放射性物質低減

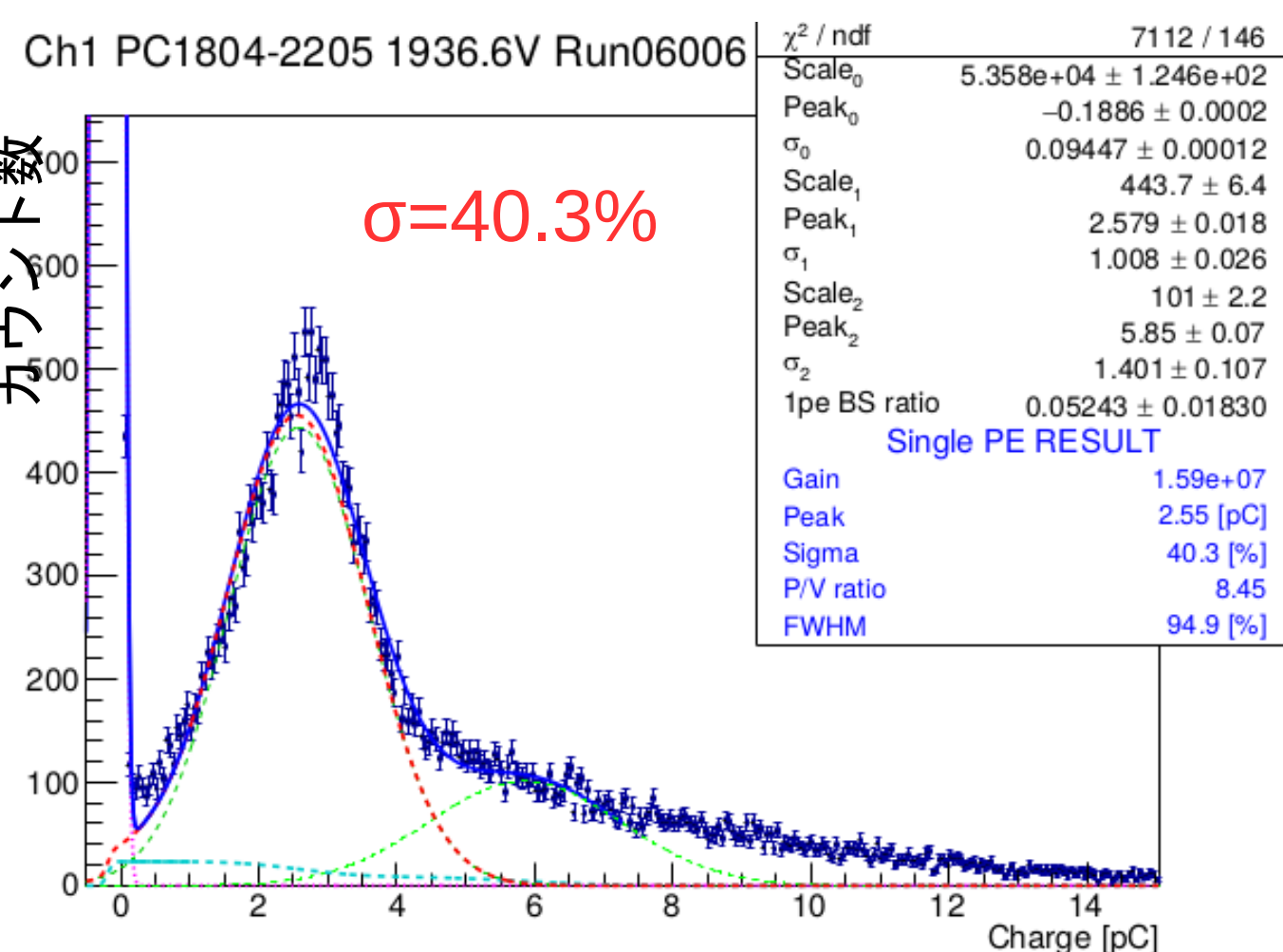
9

- ▶ ダークノイズの大きな原因の1つがガラス内の放射性物質の崩壊によるガラスのシンチレーション光であることが分かっている。
放射性物質混入低減はダークレート軽減に繋がる。
- ▶ HK PMTガラスでの放射性物質混入の低減に成功。

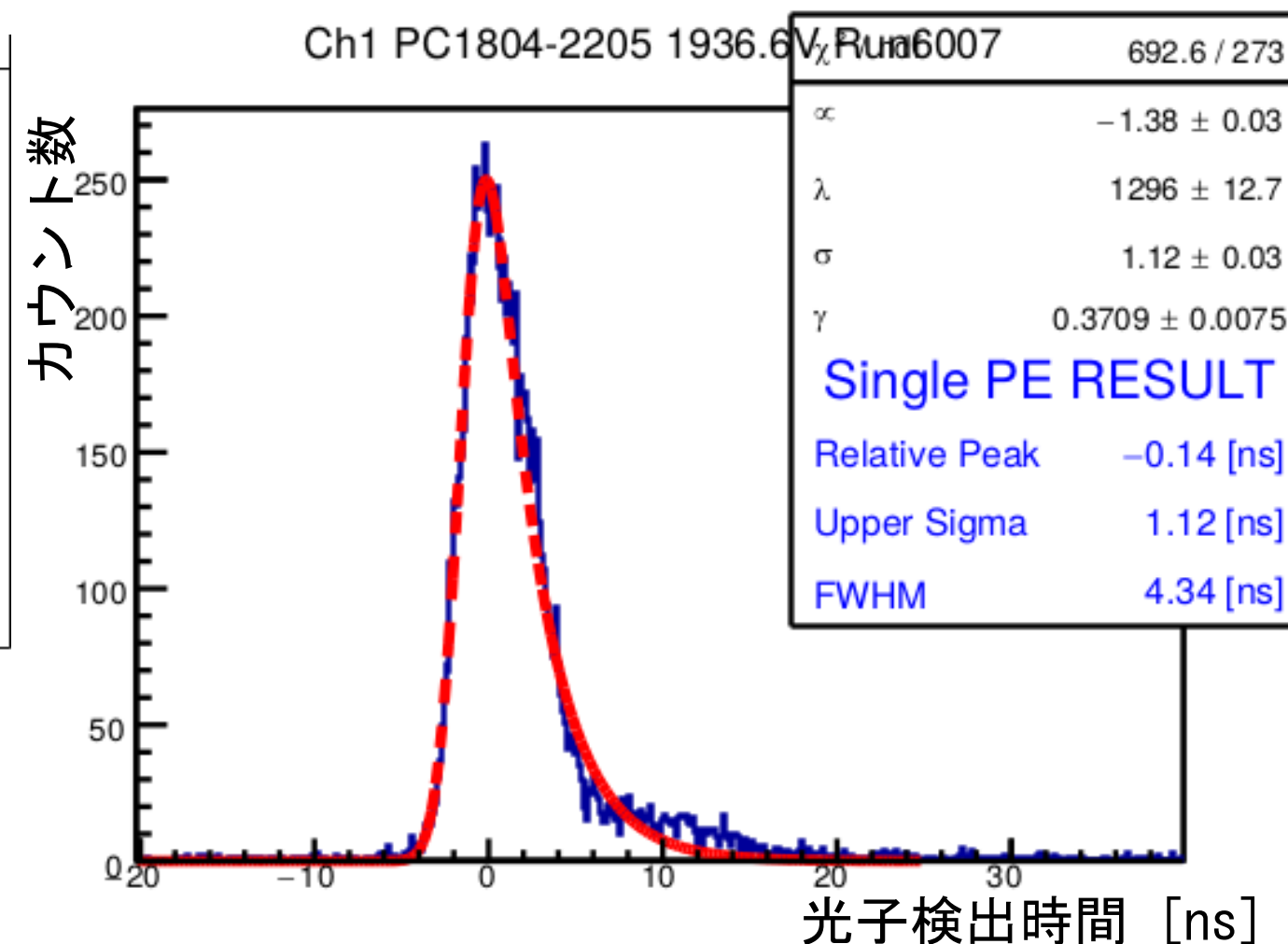
単位はBq/kg

	U-chain	Th-chain	⁴⁰ K
SK PMT	5.5	1.8	18.2
新ガラス	2.91	0.95	2.04

- ▶ MCP PMTについては神岡地下の測定室で性能を測定
 - ▶ gain: 1.4×10^7



光子数分解能: **40.3%**



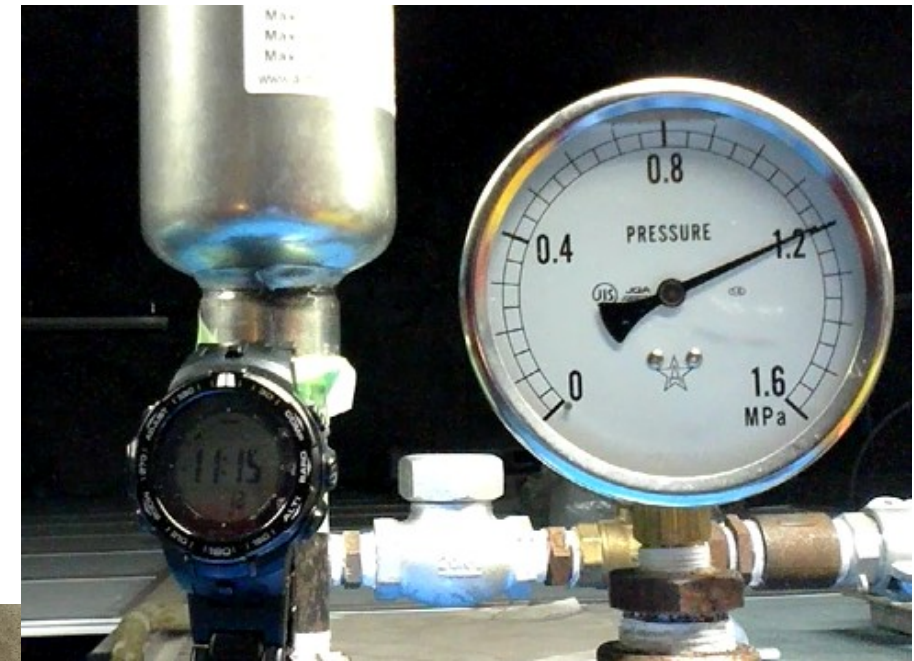
時間分解能:

4.3~4.4 ns (FWHM)

1.8~1.9 ns (σ)

- ▶ 光子数、時間ともSK PMTより良い分解能を達成
 - ▶ SK PMT: 光子数分解能54%, 時間分解能3.0 ns (σ)

- ▶ MCP PMTを水中に沈め、高水圧を印加しての耐水圧試験を実施
 - ▶ 3つのPMTに対し1.2 MPa (水深120mの水圧相当) をかけ、破損や損傷がないことを確認



PMT開発における国際協力

12

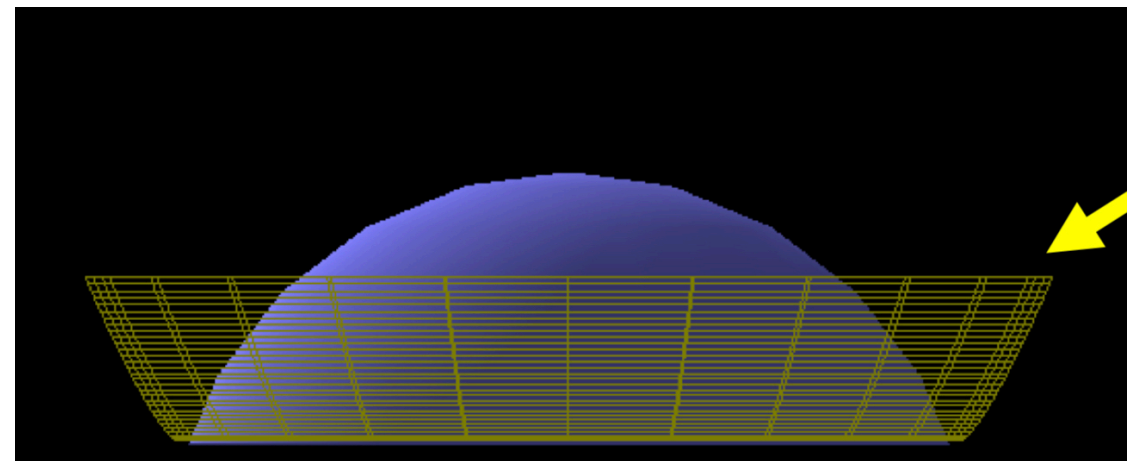
▶ PMTの開発は複数の国と協力して行なっている

▶ multi-PMT開発

(カナダ, イタリア, ポーランド,
フランス, ロシアなど)



▶ 集光ミラー開発
(ロシア)

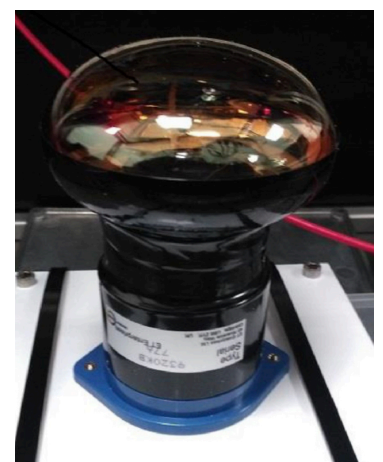


▶ 爆縮防止カバー開発
(スペイン)



2020年夏に
実証完了予定

▶ 外水槽用の3"PMT開発
(イギリス)



まとめと今後

- ▶ HK実現に向けて開発されたPMTの最終評価が行われた。
 - ▶ Box&Line PMTに関しては主にSKに取り付けられたPMTを用いて評価
 - ▶ 分解能, 光子検出効率¹はSKの倍程度の性能
 - ▶ ダークノイズレートは4~7kHz程度(柏での測定)
ガラスに混入する放射性物質量の低減に成功したので、
更なるノイズ削減が期待できる。
(実際の測定は来年)
 - ▶ MCP PMTに関しては神岡のsetupで性能評価
 - ▶ 分解能, 耐水圧が測定され、HK環境での性能が確認された
- ▶ いくつかの機能については複数の国と協力して開発
 - ▶ multi-PMT, 集光ミラー, カバー, 外水槽など
- ▶ 来年度の建設開始に向けて大量製造準備が進行中