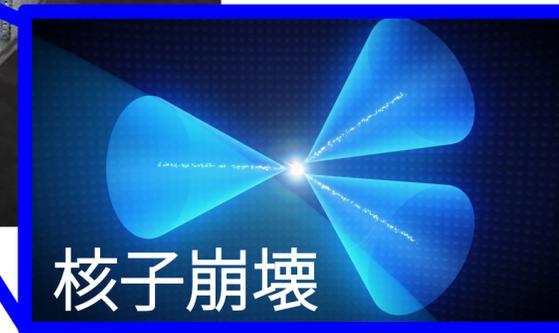
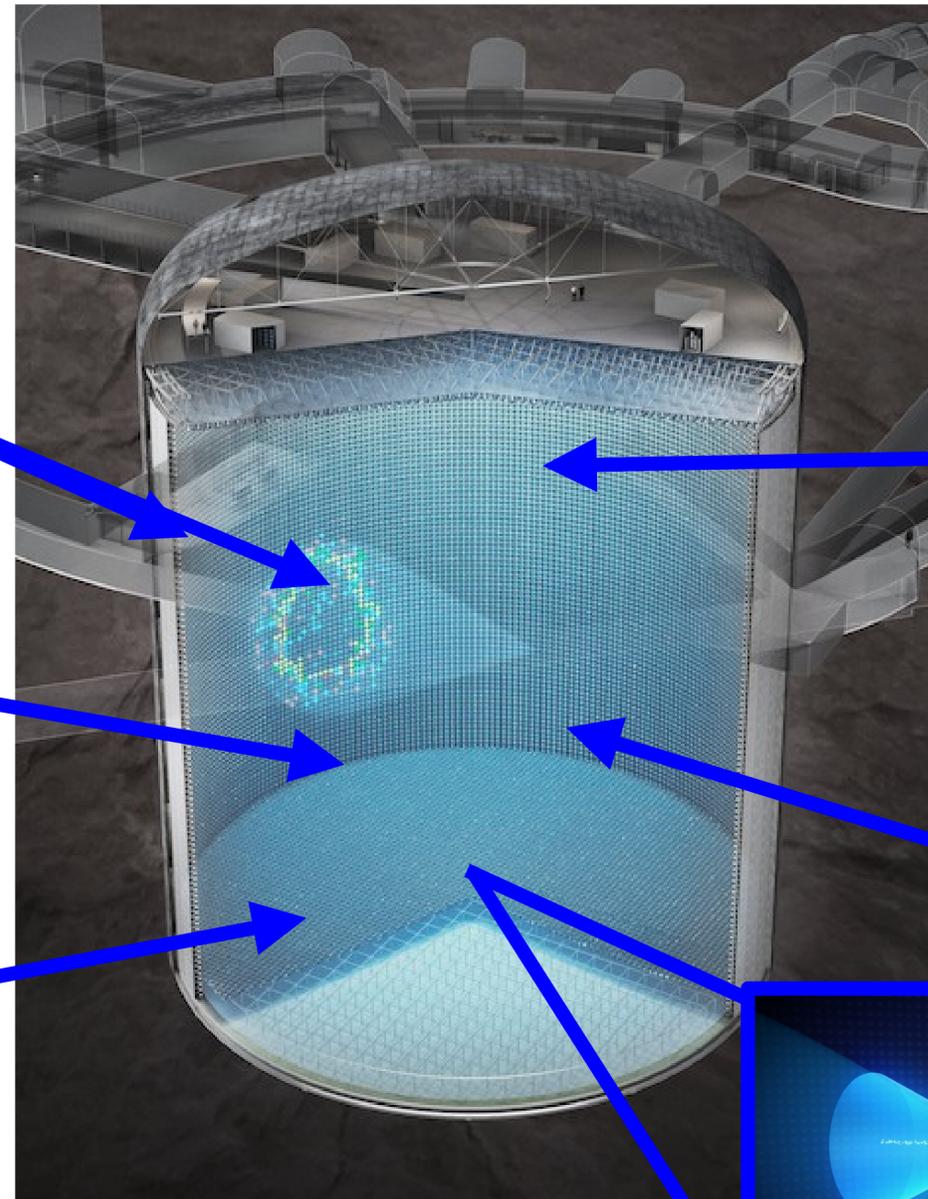
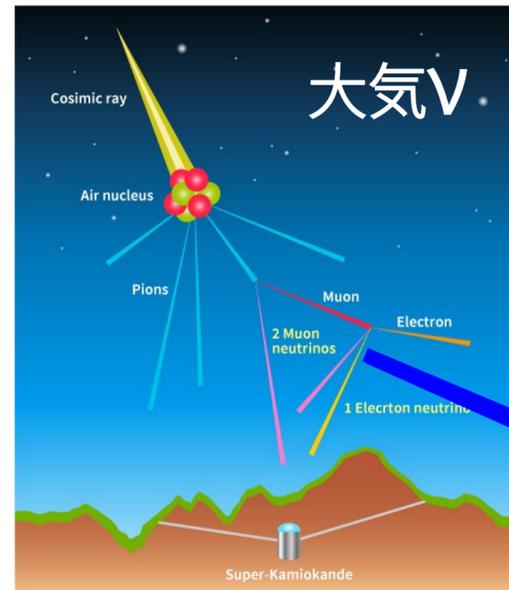
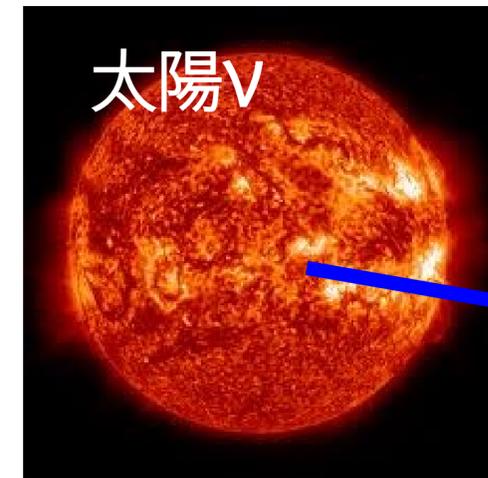


長基線ニュートリノ振動実験に向けた Hyper-Kamiokande計画の現状

阿久津 良介 (IPNS, KEK)
for Hyper-Kamiokande collaboration

2025年1月30日/令和6年度東京大学宇宙線研共同利用研究成果発表会

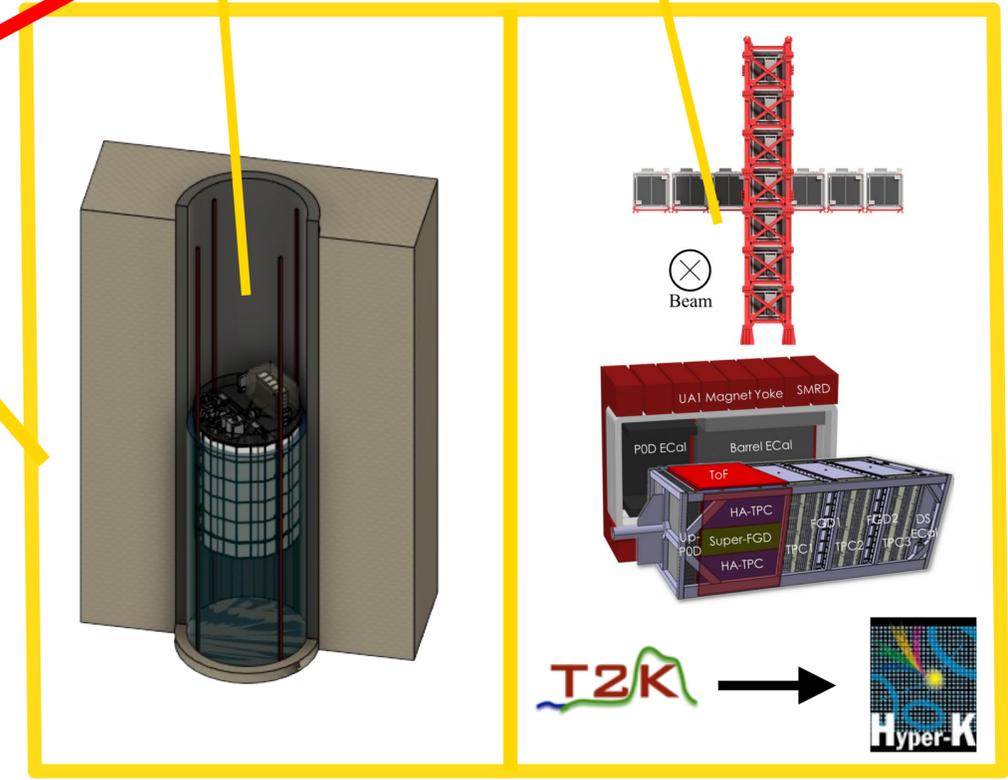
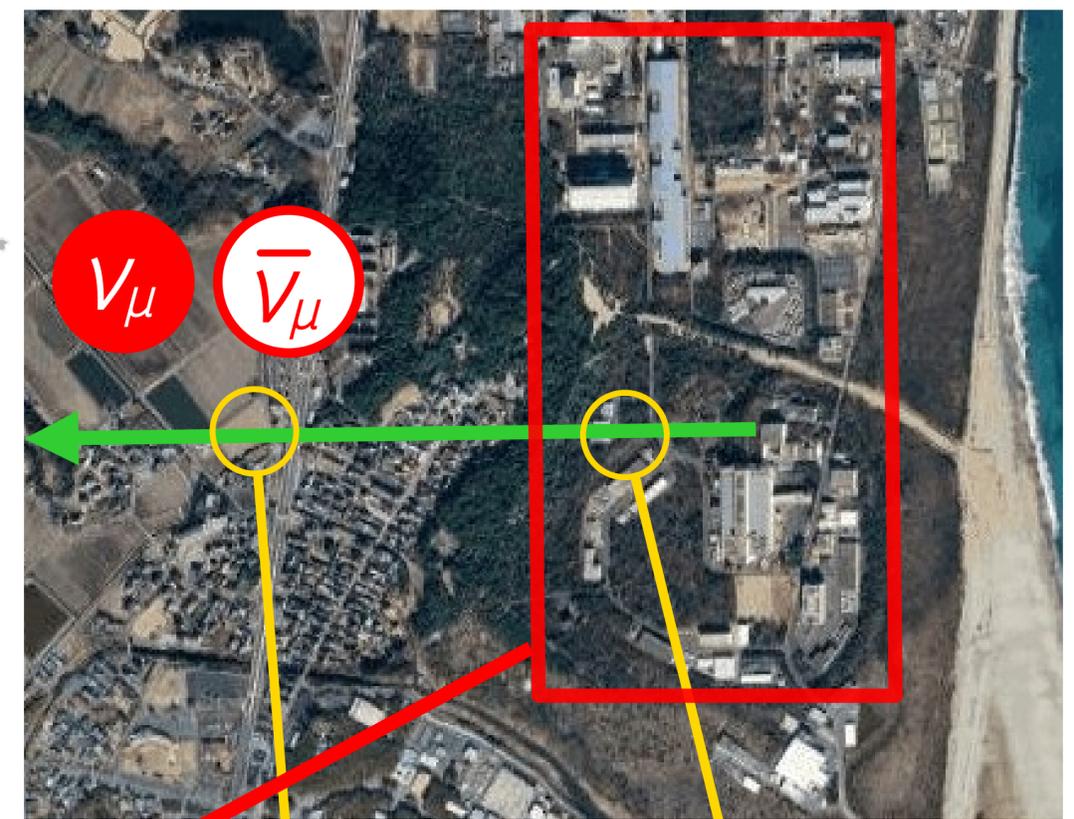
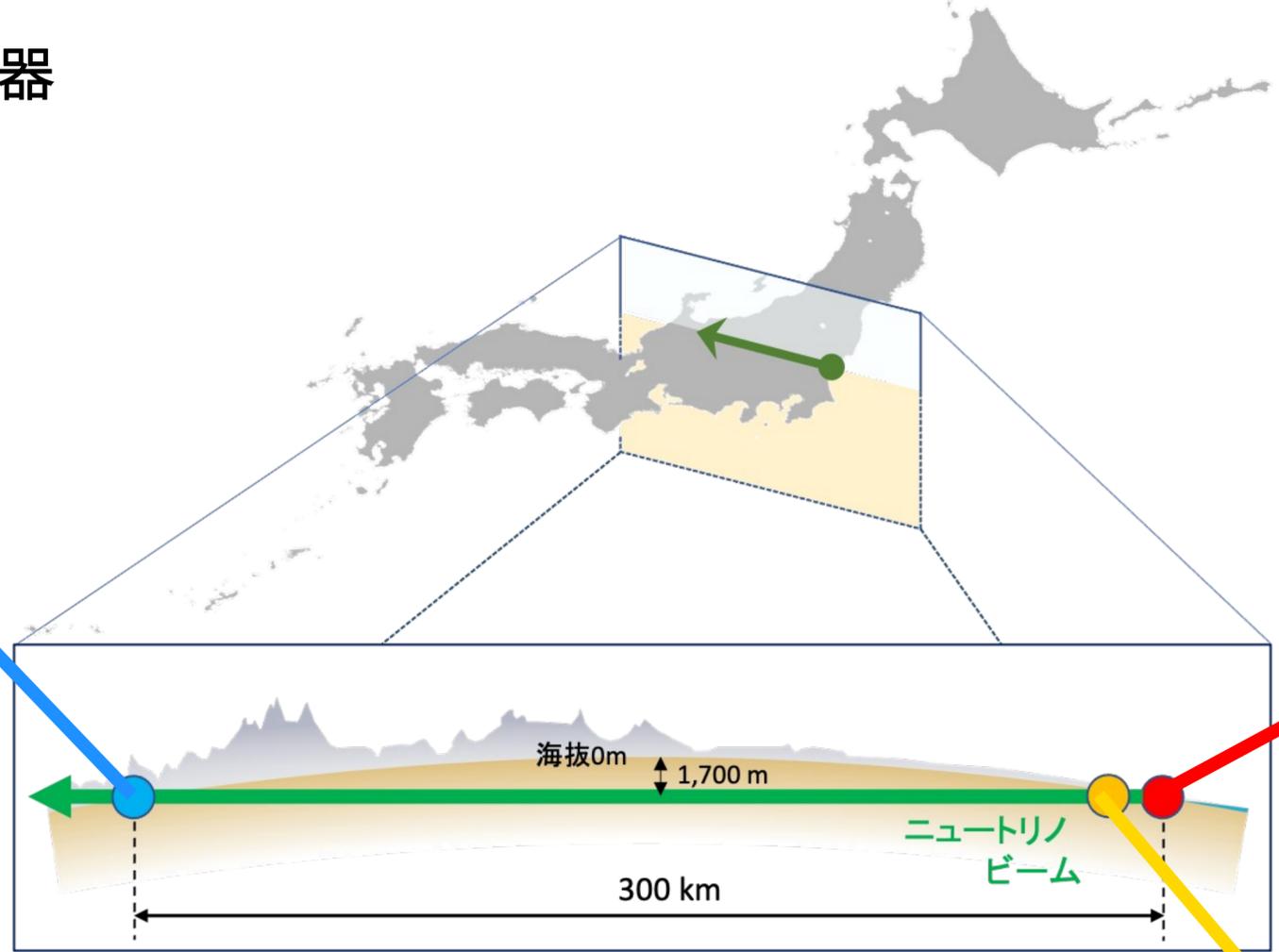
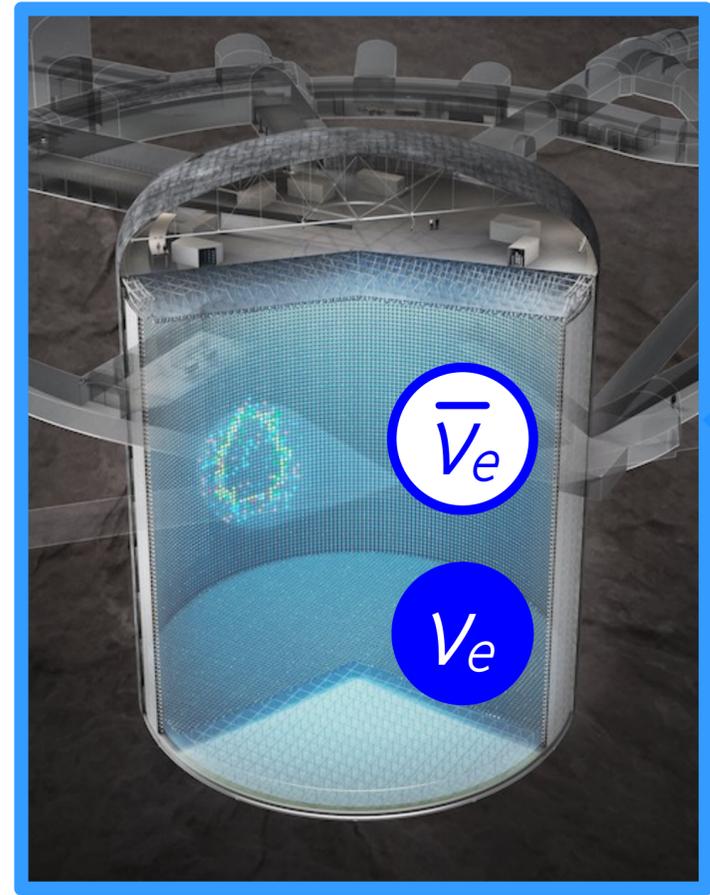
ハイパーカミオカンデ計画



◆ ニュートリノ観測と核子崩壊探索を行い、CP対称性の破れの探索、大統一理論の検証、宇宙の進化の歴史などを研究テーマとする国際共同実験計画

長基線ニュートリノ振動プログラム

ハイパーカミオカンデ後置検出器



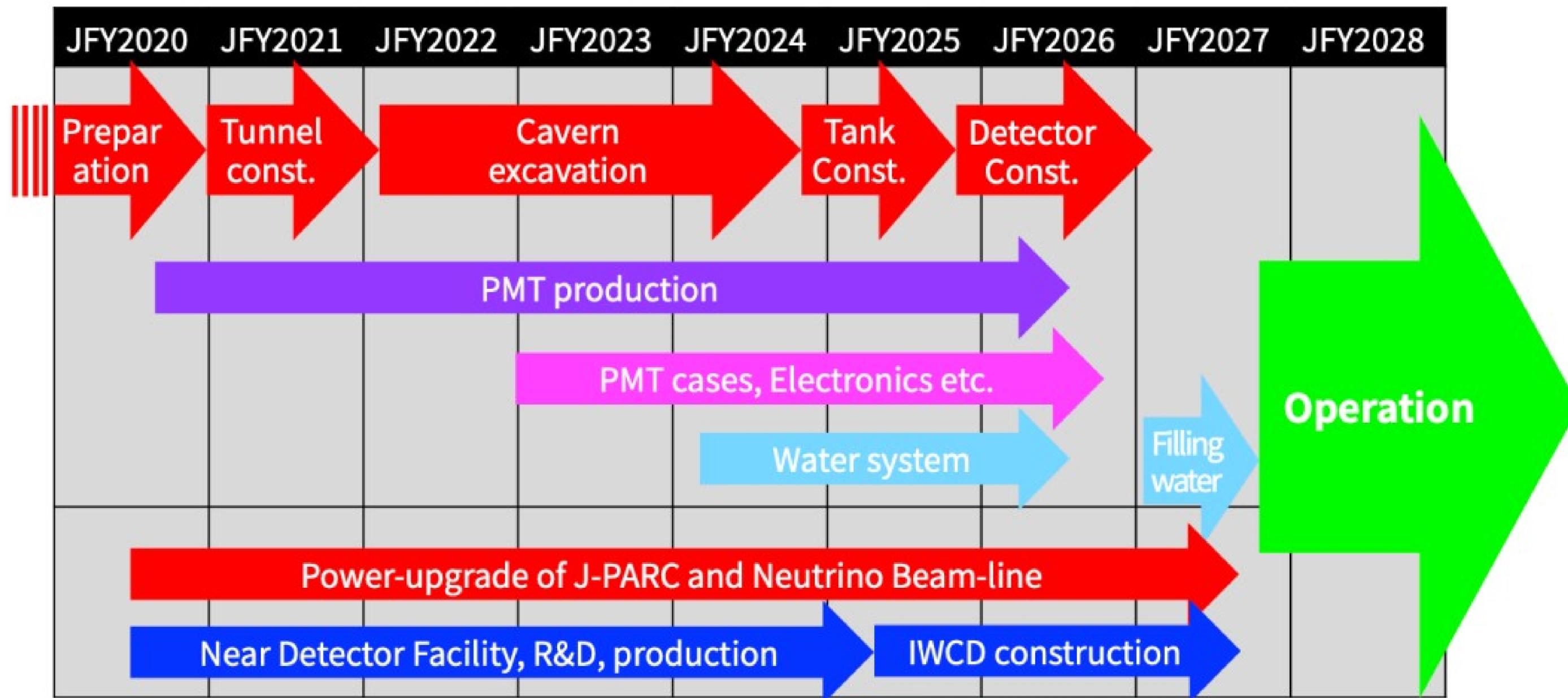
◆ T2K実験の*)約20倍の事象レートで、J-PARC ν_μ (ν_μ) ビームからの ν_e (ν_e) 出現事象の観測を行い、CP対称性の破れの発見ならびにleptonic CP位相パラメータ, δ_{CP} , を測定する

*) : 2020年比

前置検出器

全体計画

*JFY=Japanese Fiscal Year (starts in April)



◆ 2027年のJ-PARCニュートリノビームの観測開始を予定している

ハイパーカミオカンデ検出器: 空洞掘削



◆ 2023年度末から始まった側部の掘削が進行中、2025年中に全掘削を完了する予定

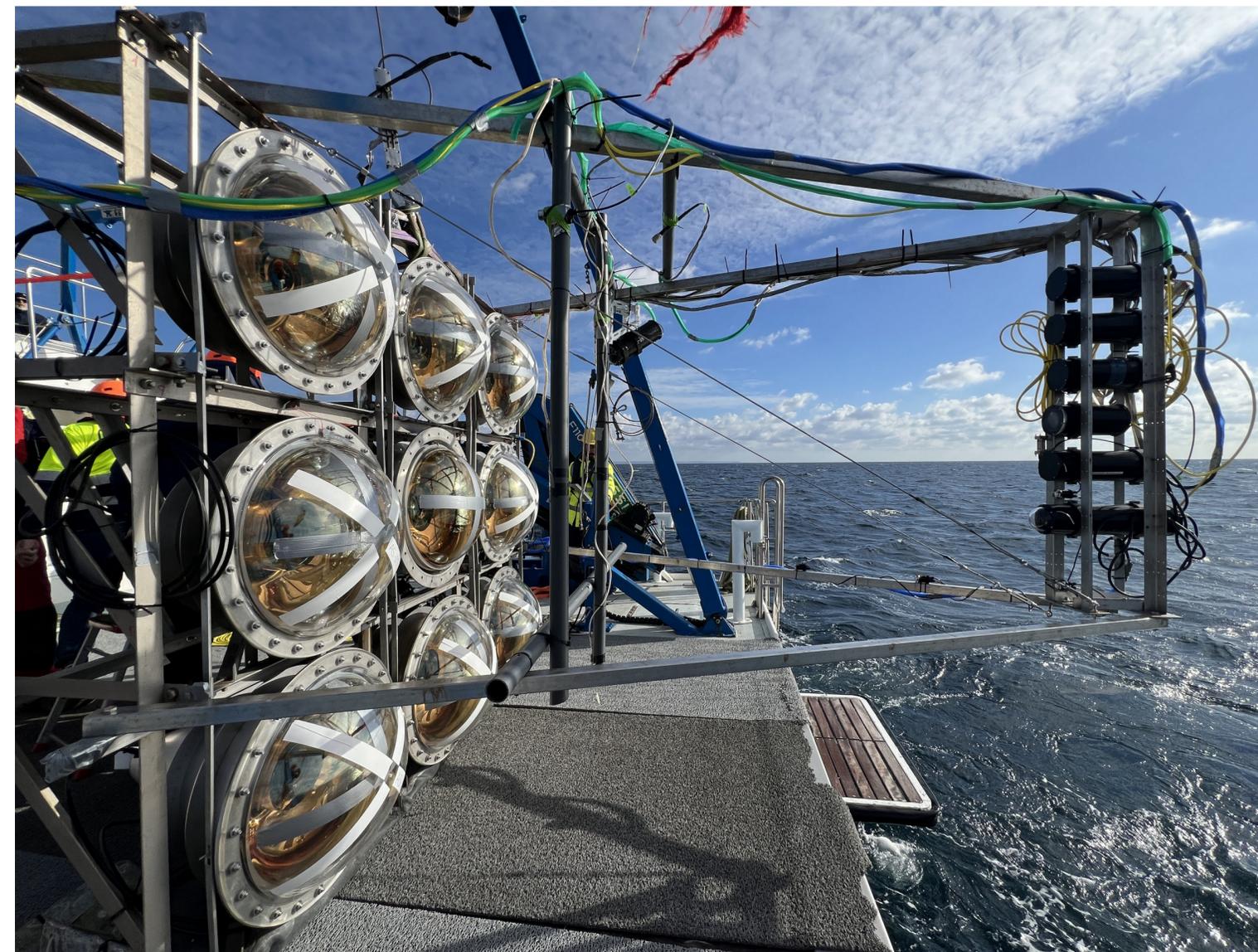
ハイパーカミオカンデ検出器: 水槽建設



◆ 実機的设计に基づいた光センサー支持架構造体のモックアップ試験を実施

◆ 2025年の水槽工事の着工に向けて、準備が進んでいる

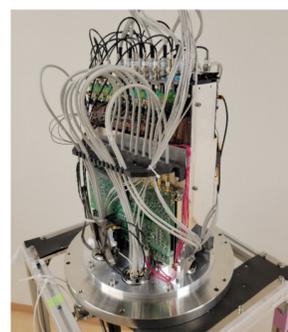
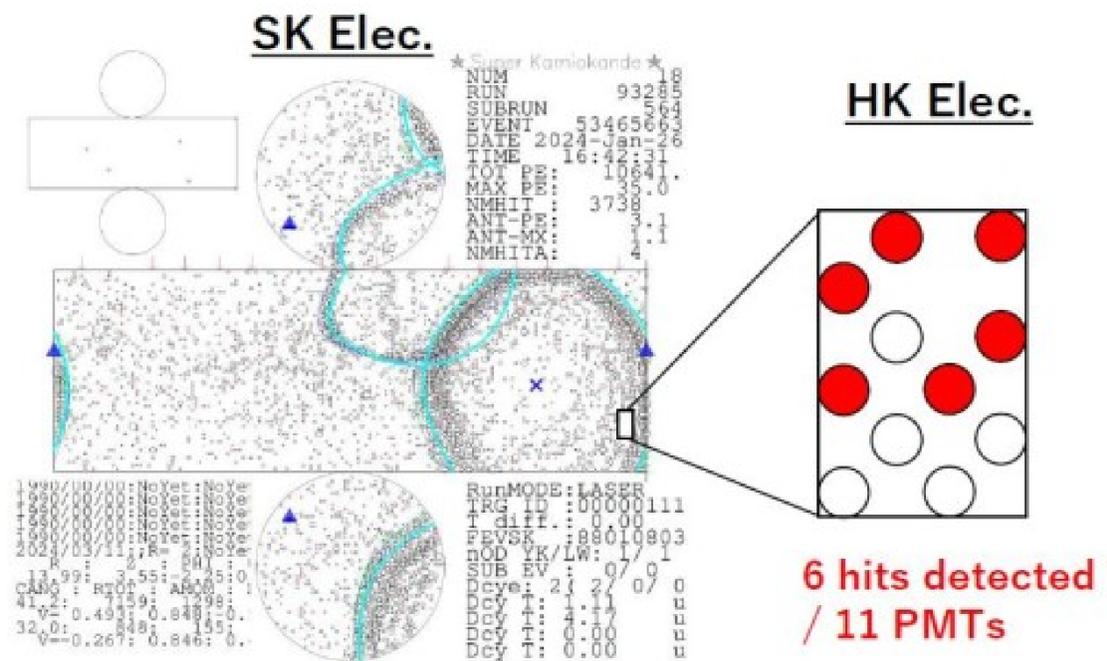
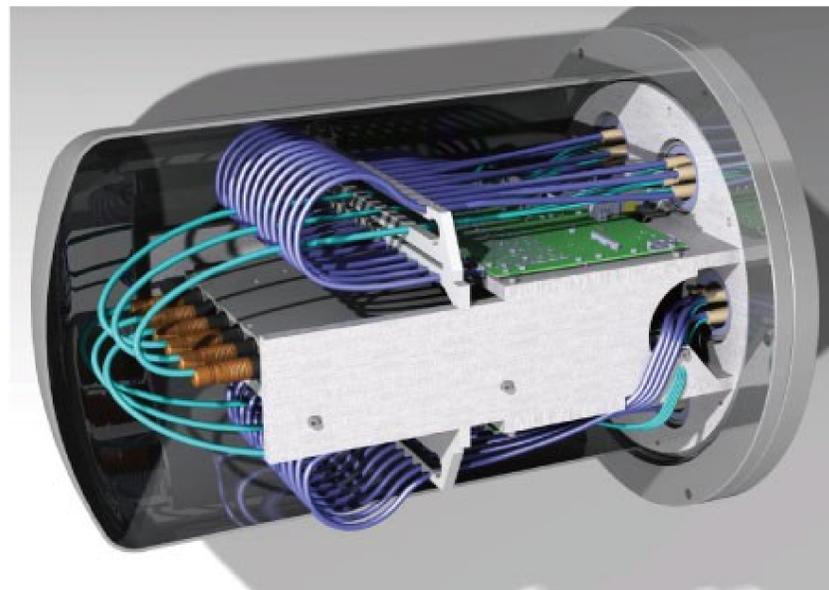
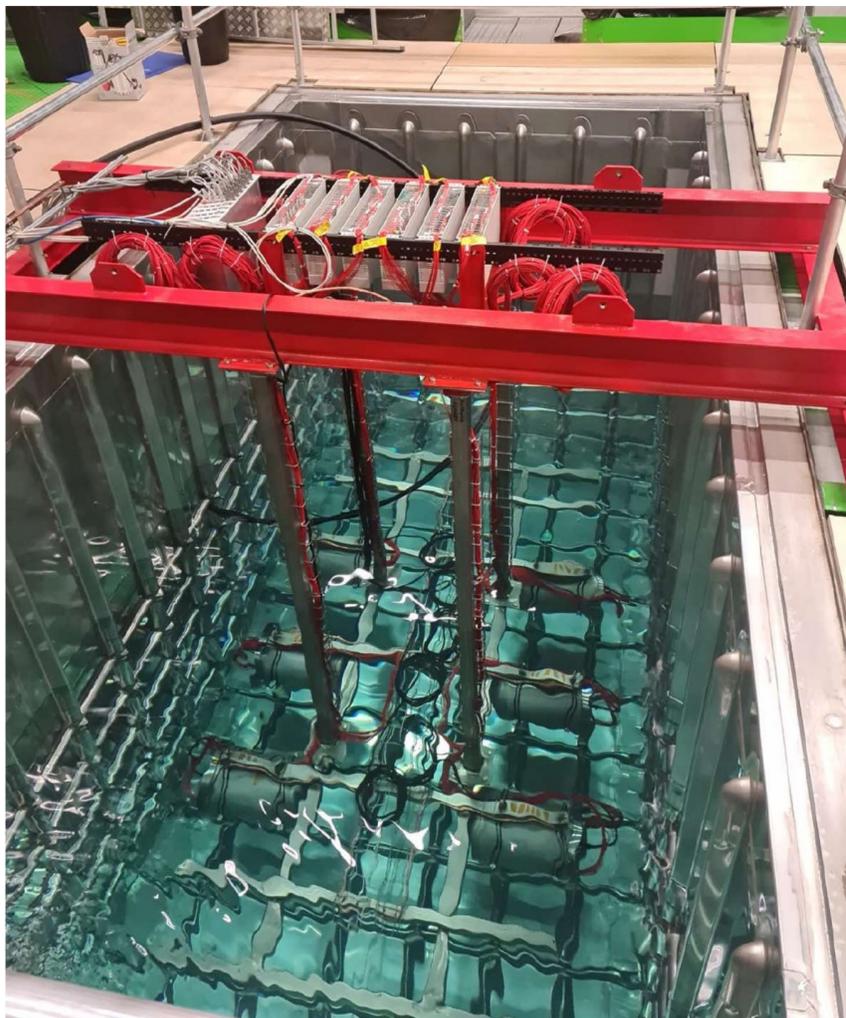
ハイパーカミオカンデ検出器: 20インチ光増倍管(PMT)



◆ 2023年度の製造再開後、製造、品質検査、納品が進んでおり、約13000本が納品済
(⇔ スーパーカミオカンデ: 約11000本)

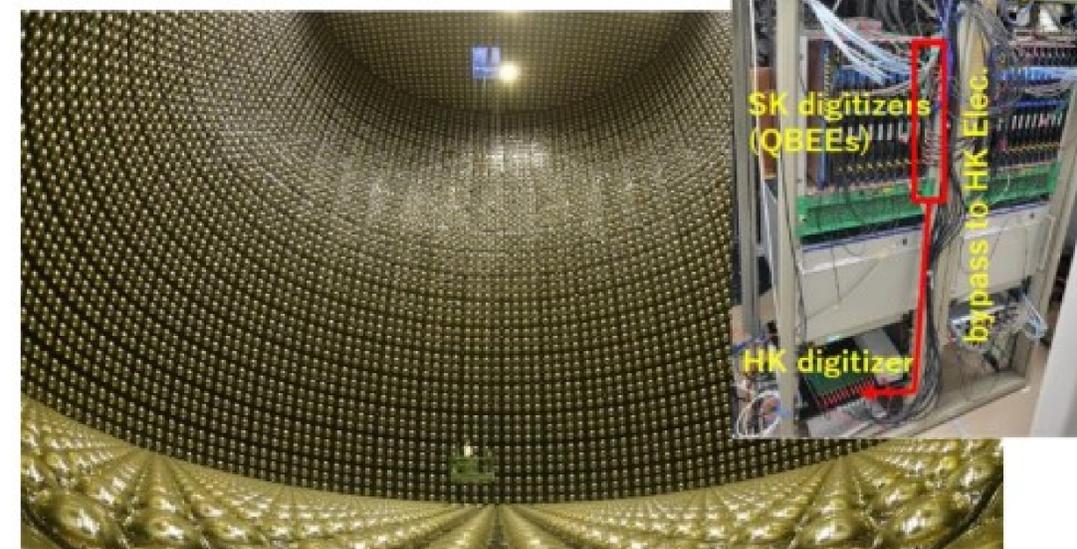
◆ 防爆カバーの開発が進み、製造に向けた準備が行われている

ハイパーカミオカンデ検出器: 水中エレキ



Test with PMTs in SK tank

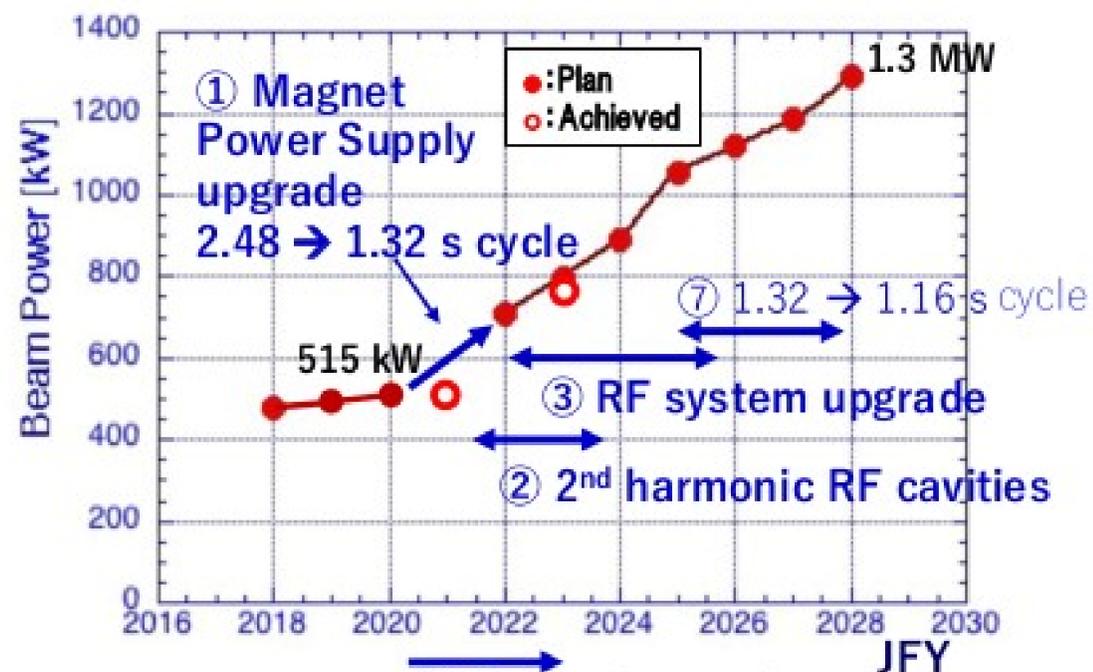
HK elec. In SK hut



- ◆ 2023年度からの水中試験が継続している
- ◆ スーパーカミオカンデで試験中のハイパーカミオカンデ用20インチPMTを用いた動作試験を実施
- ◆ 大量生産開始に必要な技術開発が完了間近

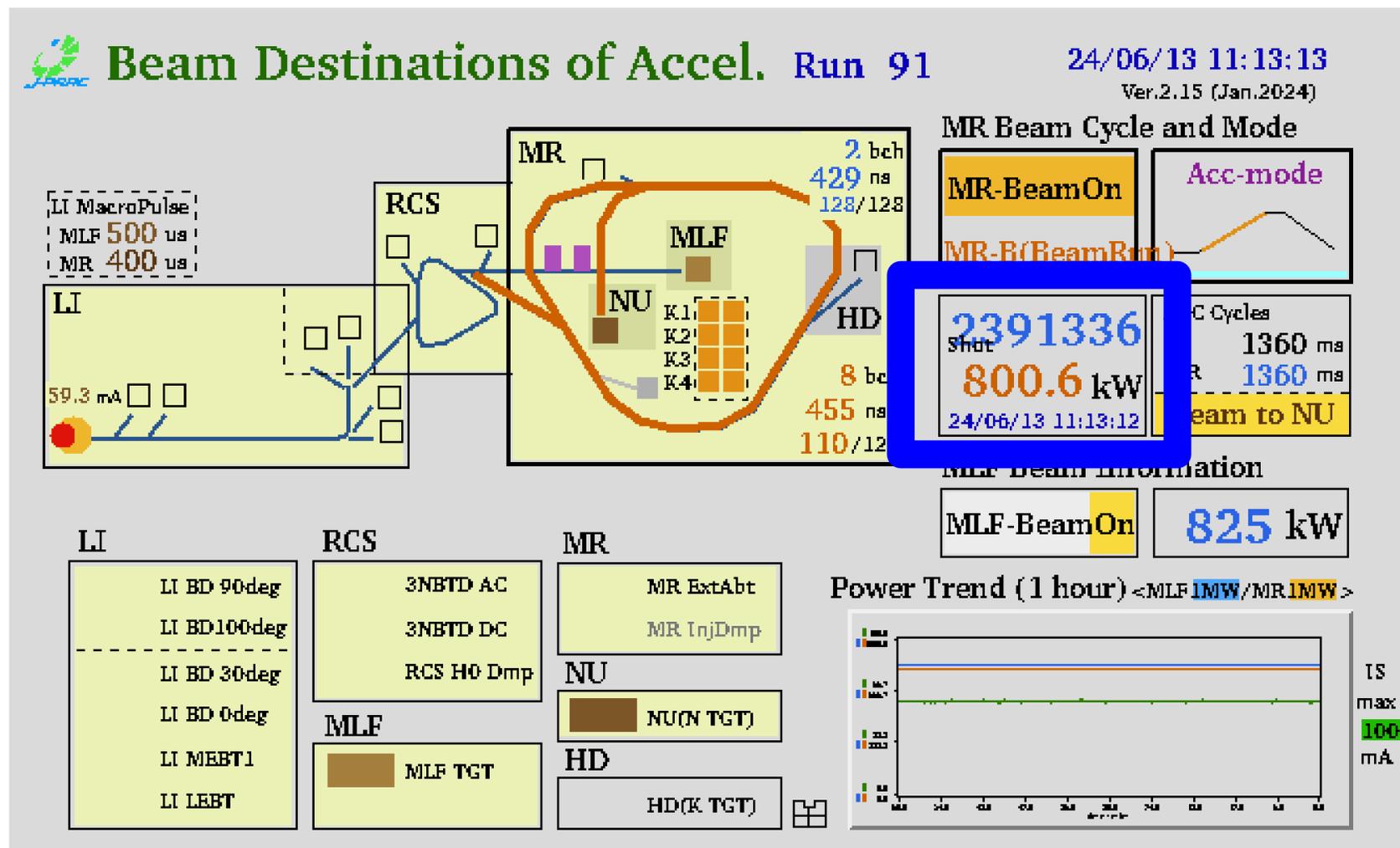
J-PARC: ニュートリノビーム

Original power projection in MR Upgrade Plan



S. Igarashi, et al.,
PTEP vol 2021,
Issue.3,p33

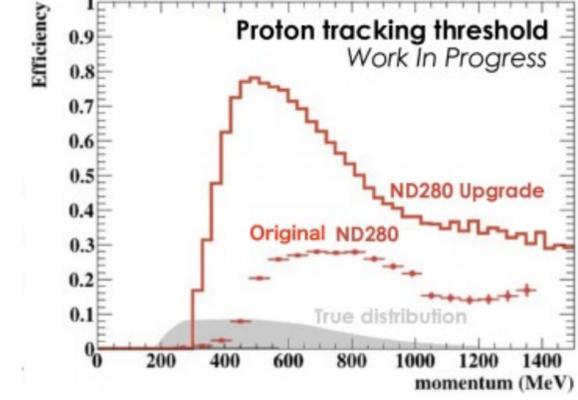
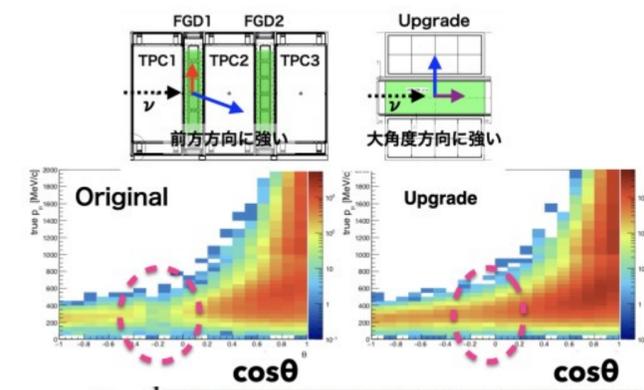
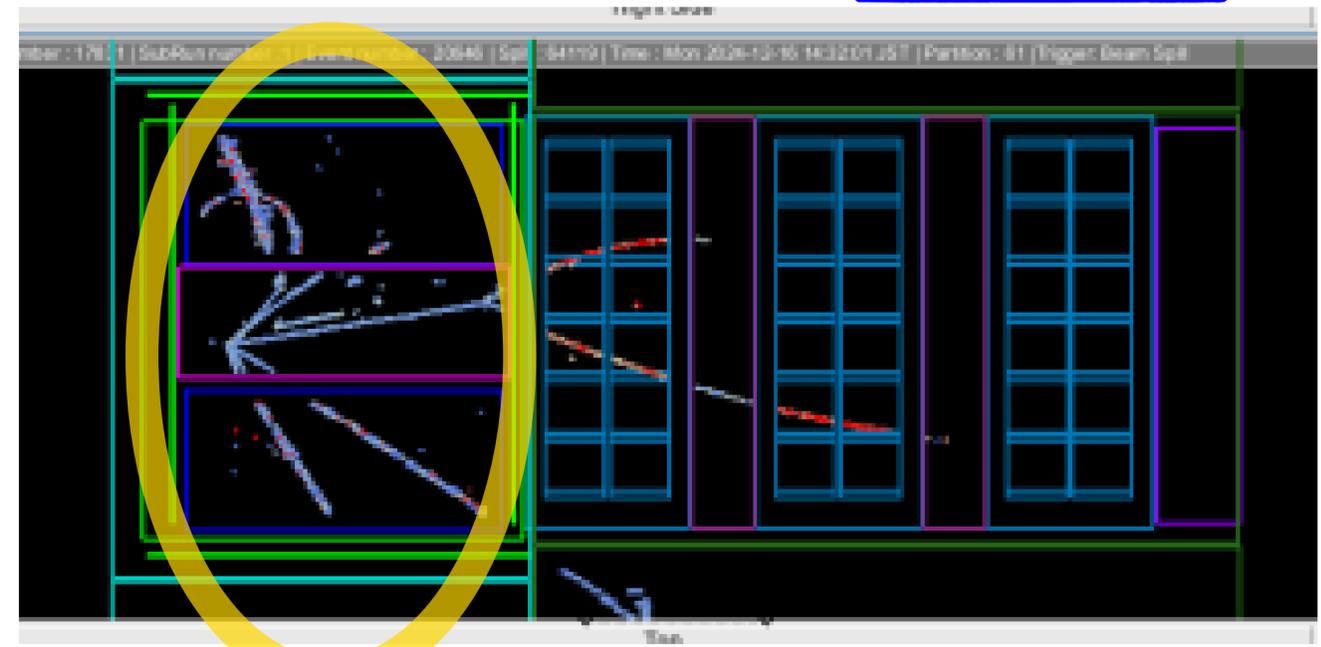
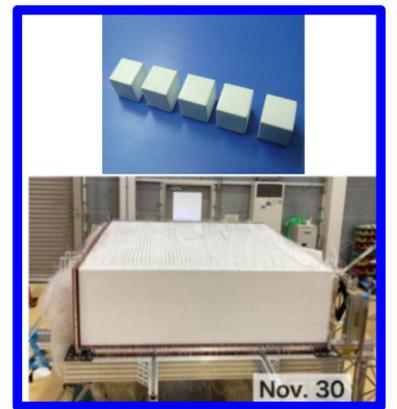
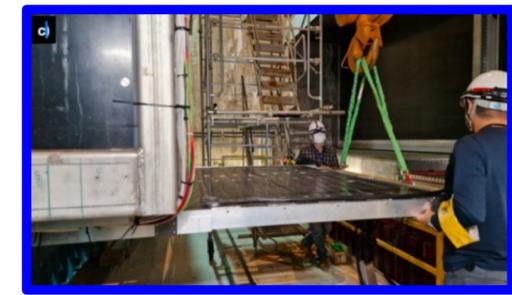
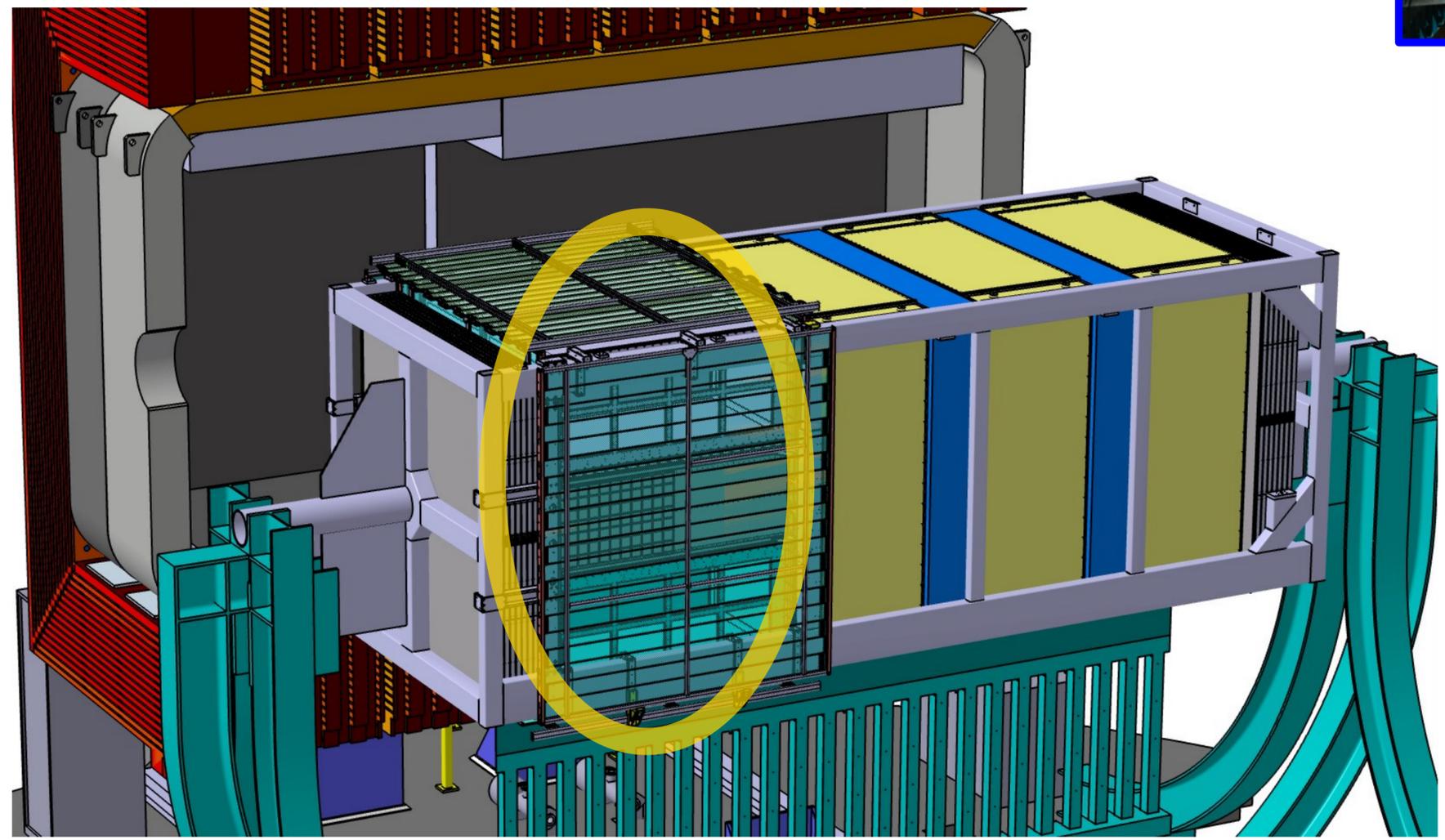
- ④ Collimator system
- ⑤ Injection/FX system
- ⑥ Beam Monitors (BPM circuits)



◆ 1.3MW化計画が進んでいる

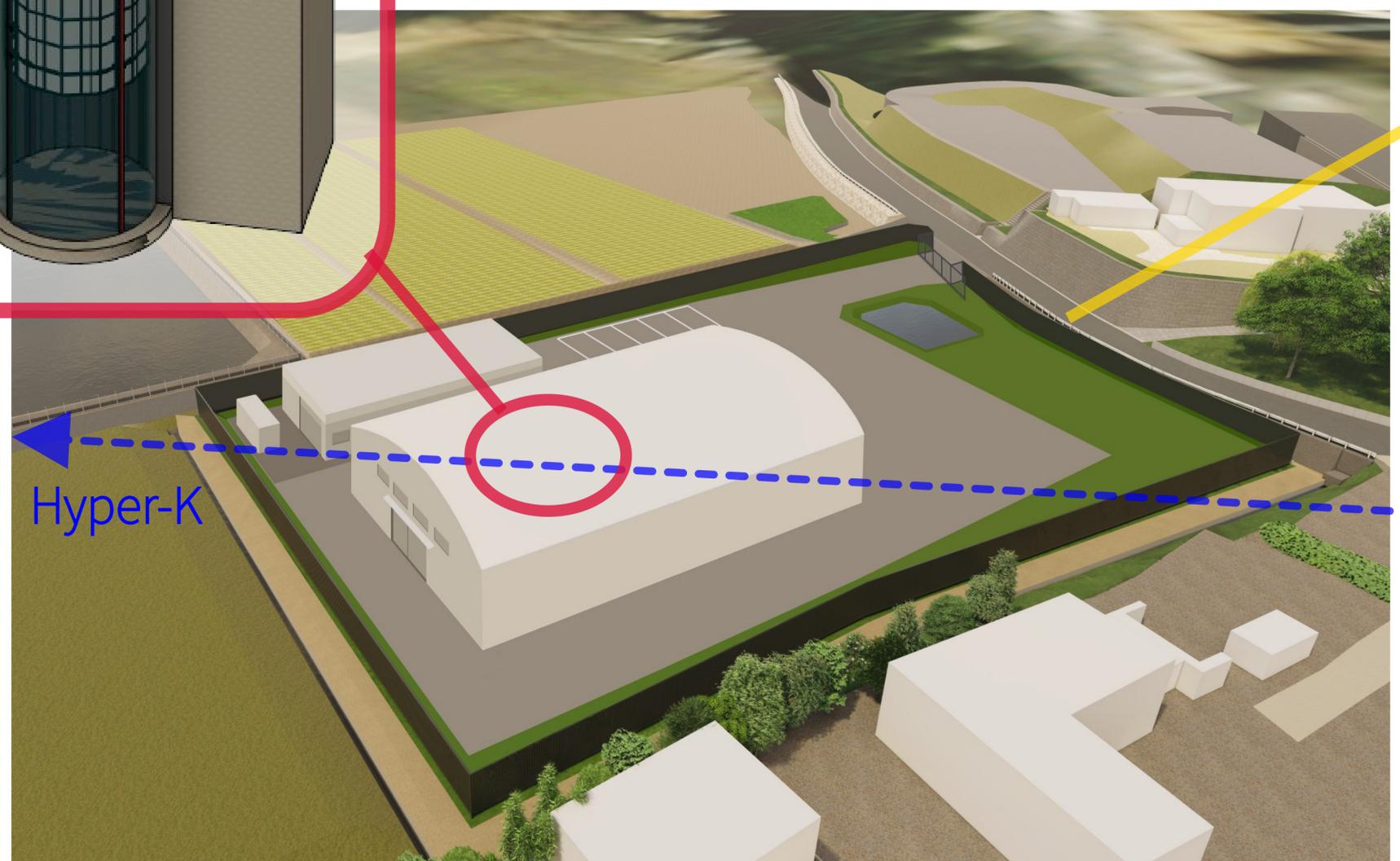
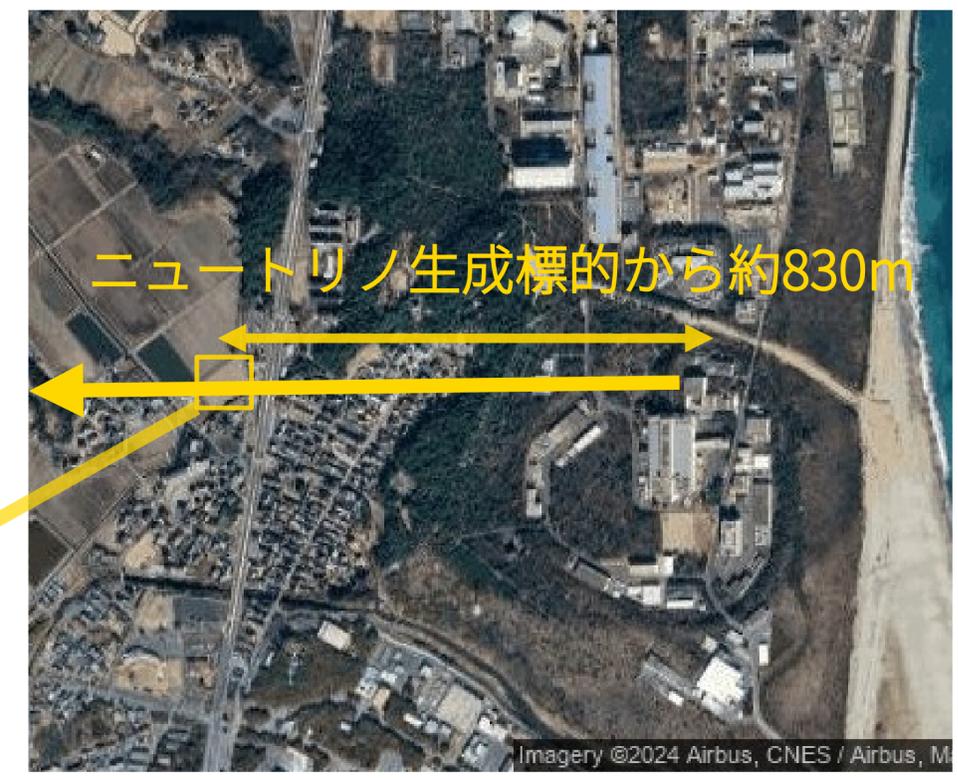
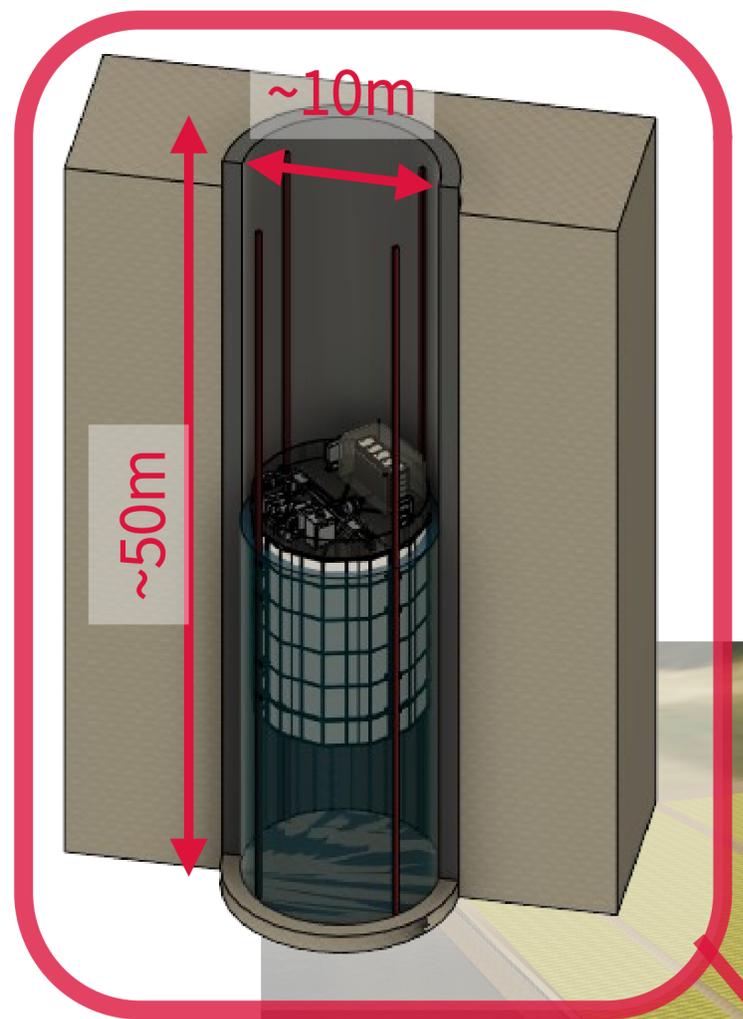
◆ 800kWでの利用運転を達成した (⇔ J-PARC当初の設計: 750kW)

前置検出器 @ 280m



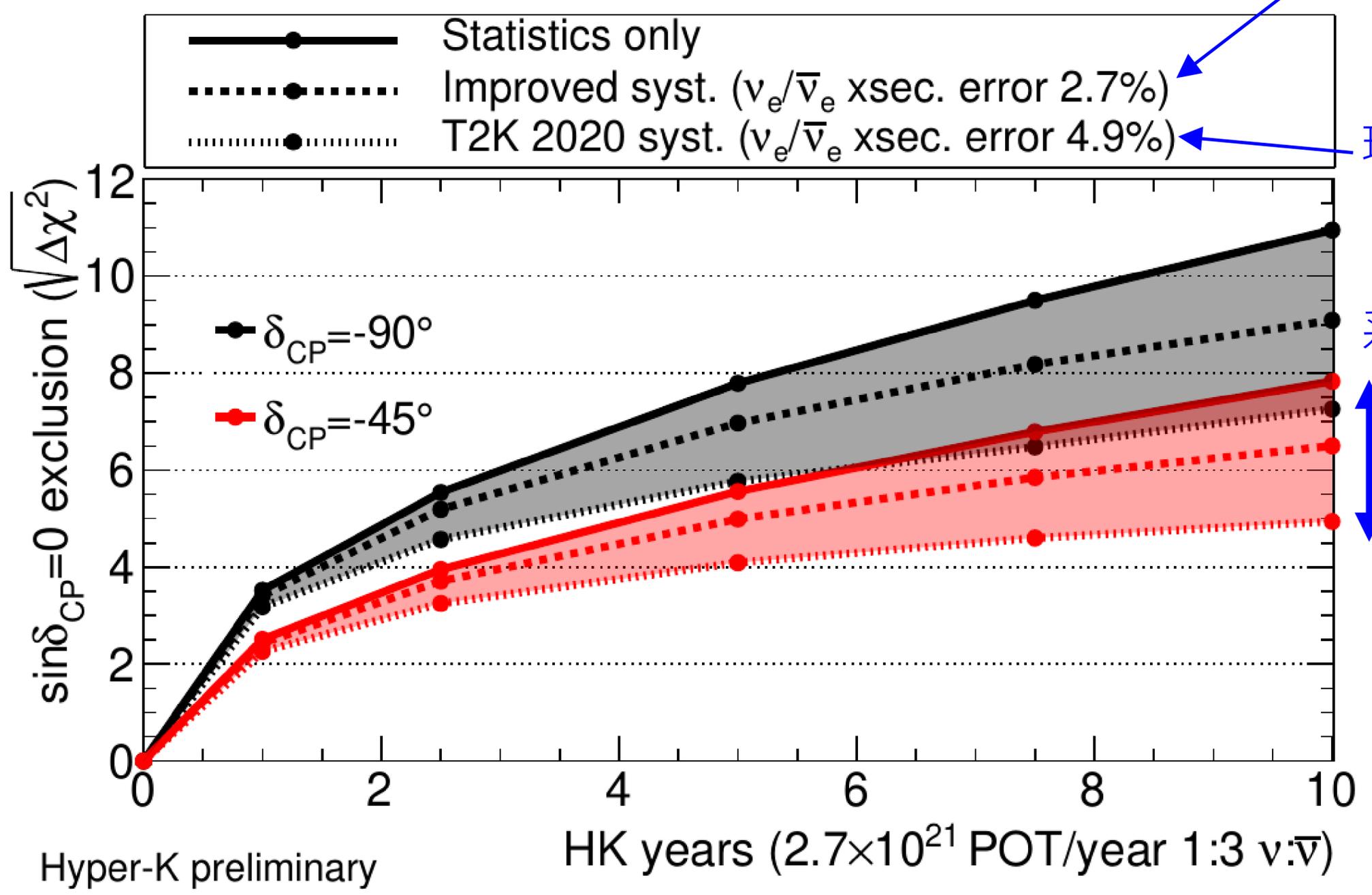
- ◆ ビーム上流側の検出器群を新型に置き換えるアップグレードが完了
- ◆ アップグレード後のビームデータを取得、性能評価を行っている

中間水チェレンコフ検出器 (Intermediate Water Cherenkov Detector; IWCD)



- ◆ J-PARC敷地外に実験施設の段階から新設する前置検出器
- ◆ 実験施設の設計が間もなく完了
- ◆ 2025年4月の施設工事の着工に向け、準備を進めている

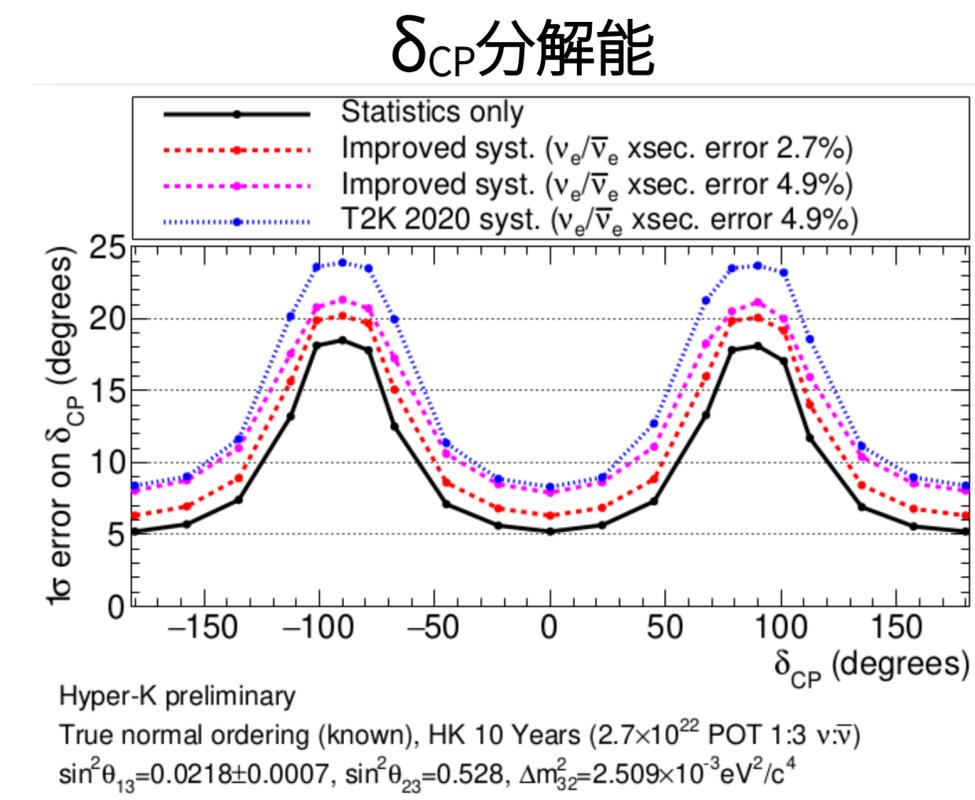
CP対称性の破れの発見感度



前置検出器の測定で達成する不定性

理論モデルから見積もった現在の不定性

系統誤差の影響



◆ 大雑把には、 ν_e 出現事象数と $\bar{\nu}_e$ 出現事象の比から δ_{CP} を測定する

◆ $\nu_e/\bar{\nu}_e$ 反応断面積の不定性が δ_{CP} の効果を非常に良く模擬するため、最大の系統誤差となっている

前置検出器の役割り

電子ニュートリノ事象候補の数

(10年, $\nu:\bar{\nu} = 1:3$, 2.7×10^{22} POT)

	合計	 $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ 	 $\bar{\nu}_{\mu} \rightarrow \bar{\nu}_e$ 	Beamに混在する $\nu_e/\bar{\nu}_e$	中性 カレント
ν モード	2785	81%	< 1%	12%	6%
$\bar{\nu}$ モード	1543	15%	51%	24%	10%

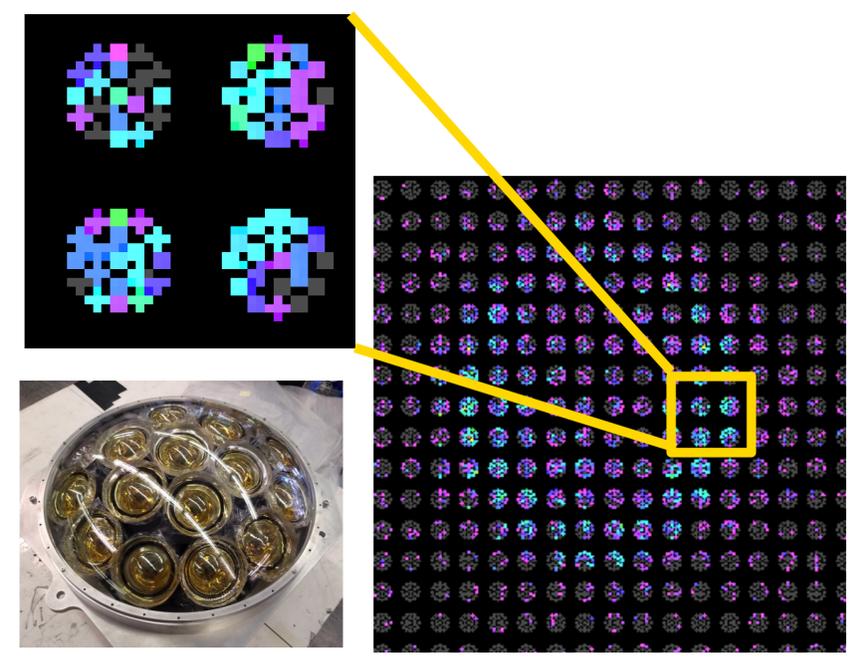
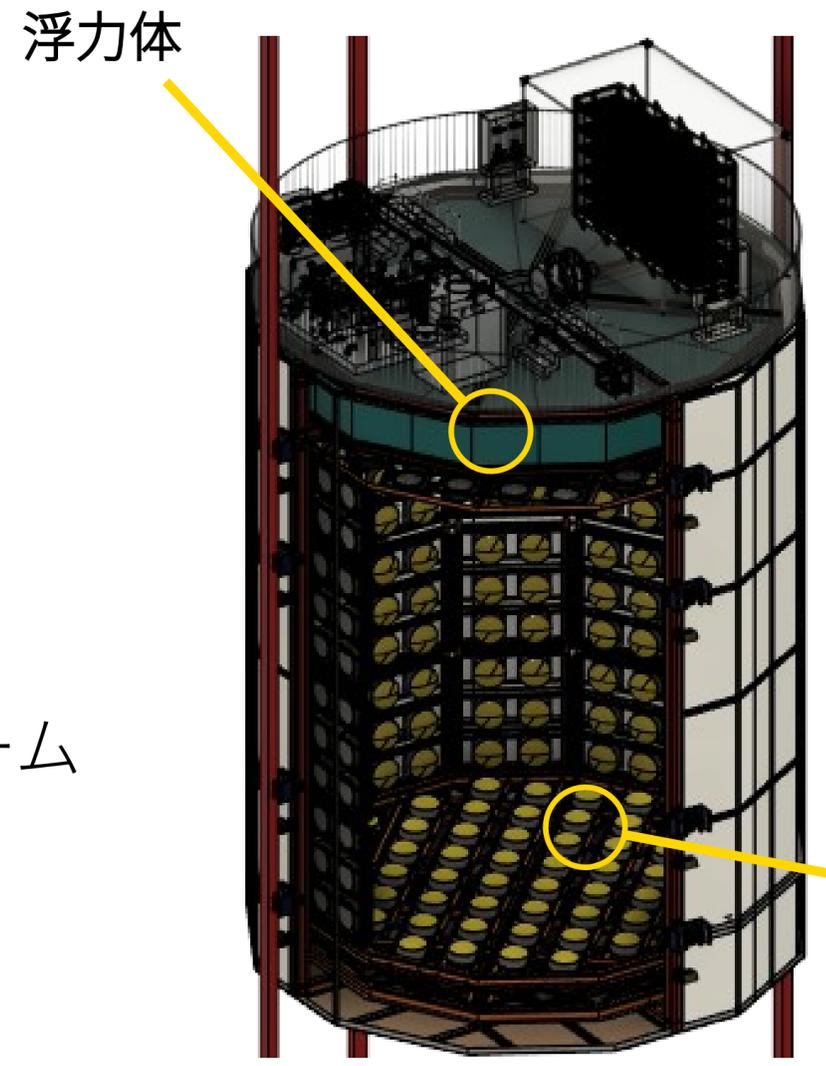
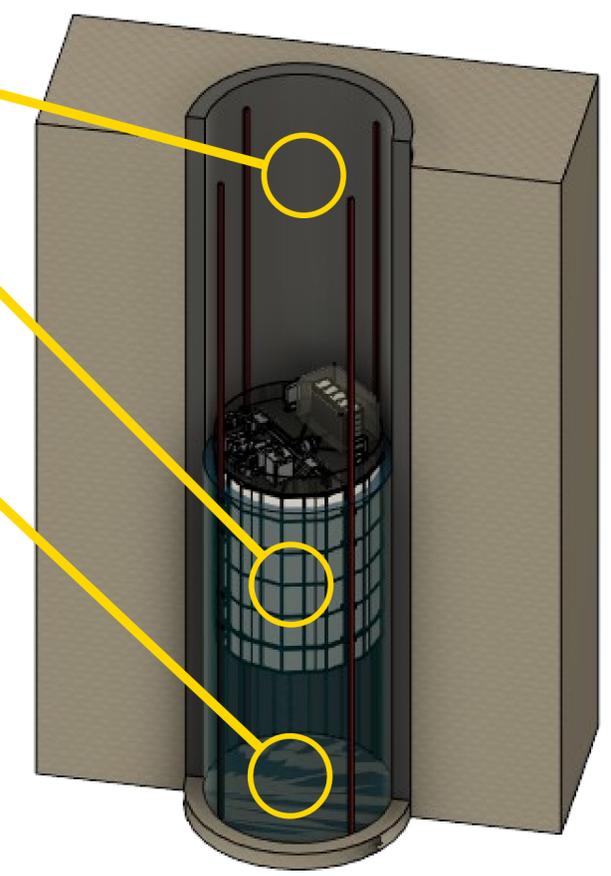
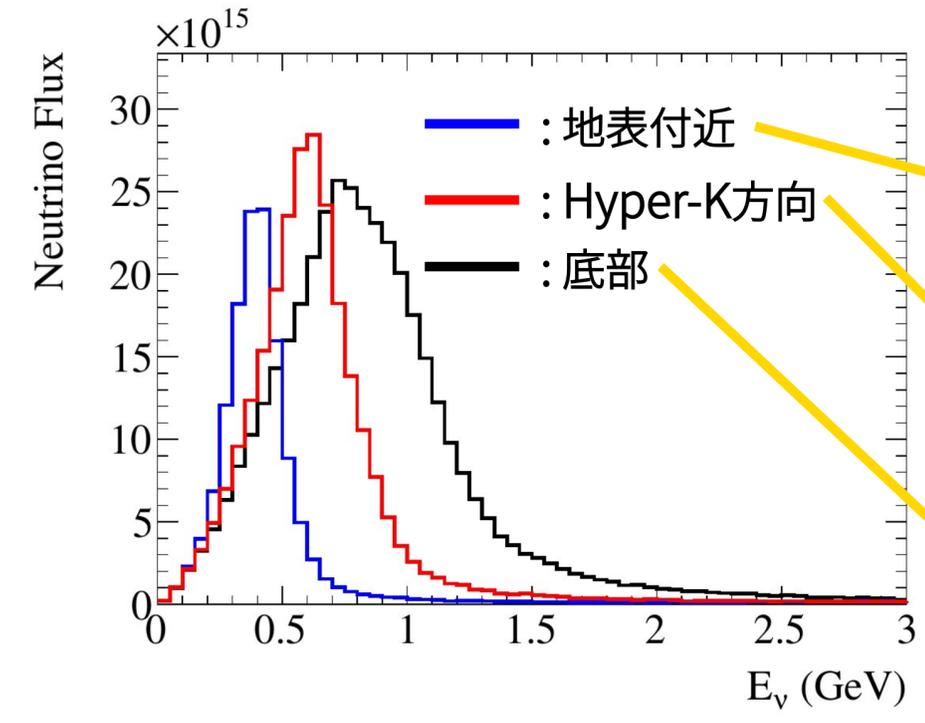
 : 主にND280で測定

 : 主にIWCDで測定

- ◆ J-PARCニュートリノビームの主成分である $\nu_{\mu}/\bar{\nu}_{\mu}$ をND280により測定
- ◆ ハイパーカミオカンデと同じ原理で動作するIWCDにより $\nu_e/\bar{\nu}_e$ と中性カレントを測定
- ◆ ND280とIWCDは相補的關係であり、 δ_{CP} の測定には両者を組み合わせることが重要

IWCD: 検出器概要

- ◆ 600トン級水チェレンコフ検出器
- ◆ 水を貯めた立坑に、検出器を浮かべ上下移動することにより異なったエネルギーのニュートリノ観測を行う
 - エネルギー依存性まで考慮することで、精度良く $\nu_e/\bar{\nu}_e$ 反応断面積を測定する
- ◆ 新型光センサーモジュール(mPMT)により20インチPMTよりも高解像度でチェレンコフリングを捉える
 - 高い粒子弁別能力により、ニュートリノビームに存在するの約1% $\nu_e/\bar{\nu}_e$ 成分を用いた反応断面積の測定を実現する



mPMT (3インチPMT x 19本)

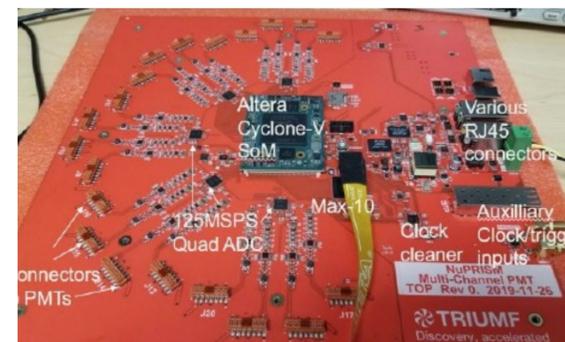
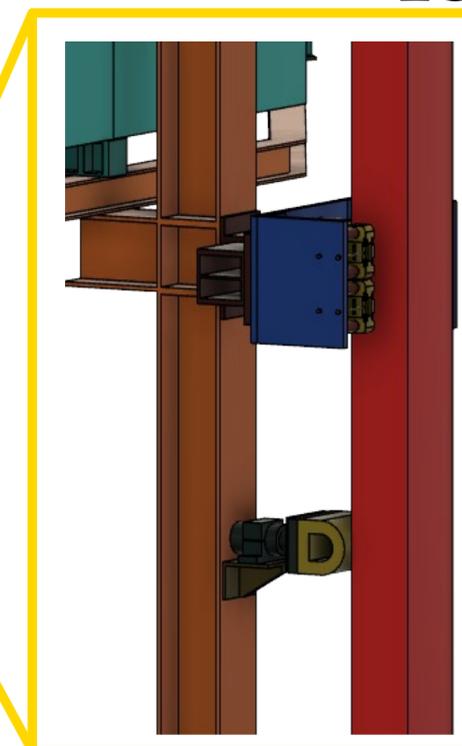
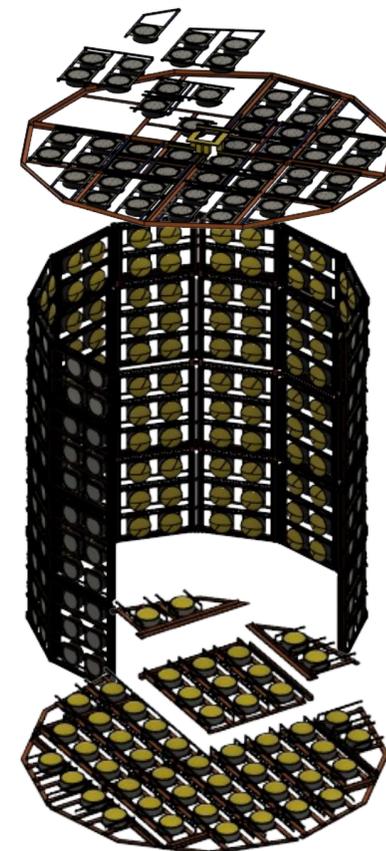
IWCD: 検出器開発状況

◆ 検出器の基本設計を進めている

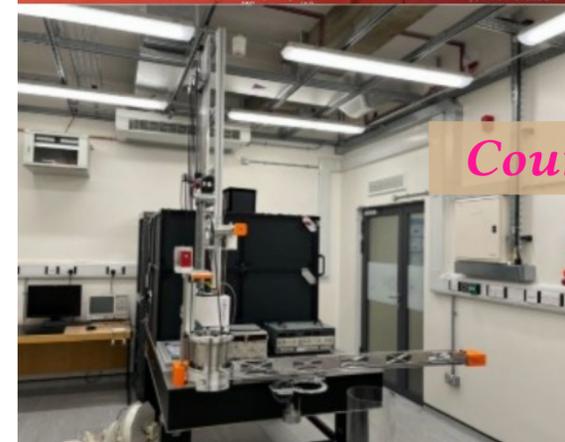
◆ mPMTの技術開発が完了し、約100モジュールを試験生産した

◆ 校正装置およびDAQについても開発が進んでいる

◆ mPMT、校正装置、DAQ試作機の性能評価試験をWCTE実験@CERNにて行っている



Courtesy of the WCTE collaboration



まとめ

- ◆ ハイパーカミオカンデは、発見を含んだレプトンCP位相の測定を主目的とした長基線ニュートリノ振動プログラムの2027年中の開始を予定している

- ◆ ハイパーカミオカンデ検出器:
 - 空洞掘削が進み、2025年の水槽工事の着工を予定している

- ◆ J-PARCニュートリノビーム:
 - 1.3MW化が進み、800kWでの利用運転を達成した

- ◆ ND280前置検出器:
 - 新型へのアップグレードが完了し、取得したビームデータによる性能評価が進んでいる

- ◆ IWCD:
 - 多方面で計画が進み、2025年4月の施設工事の着工を予定している