

100万トン水チェレンコフ検出器 「ハイパーカミオカンデ」 の開発研究

西村 康宏
慶應義塾大学

2019年度 東京大学宇宙線研究所 共同利用研究成果発表会
2019/12/14(土)

課題と使途

- 100万トン水チェレンコフ検出器
（ハイパーカミオカンデ）の開発研究
 - 塩澤 真人（東大宇宙線研） 10万円
- 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（慶應義塾大） 21万円（旅費・滞在費、運搬費等）
+ 新任 50万円（高電圧/信号ケーブル・コネクタ購入費）
- 次世代ニュートリノ検出器のためのソフトウェア開発
 - 三浦 真（東大宇宙線研） 0円

紹介と共同利用概要

慶應義塾大学 理工学部物理学科 (2019.4～)

素粒子・宇宙線物理研究室

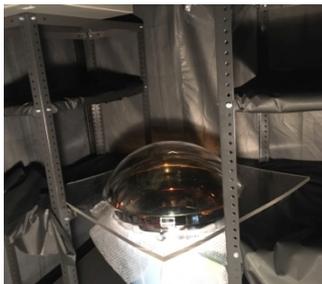
<http://www.phys.keio.ac.jp/guidance/labs/nishimura/>

要素試験・開発

ハイパーカミオカンデ
 ・スーパーカミオカンデGd
 ・T2K実験 等



UV透過アクリル
角板カバー試作



柏キャンパスICRR B1F
 冷暗下性能評価、水中測定

柏キャンパスICRR 1F
 回路開発、検出面モックアップ建設試験

研究棟・計算機棟
 シミュレーション開発
 (サーバー使用)・
 回路開発/試験

実験室A
 素材浸水試験・透過率測定

スーパーカミオカンデ
 光検出器水中運用

実験室E
 水中動作実証試験

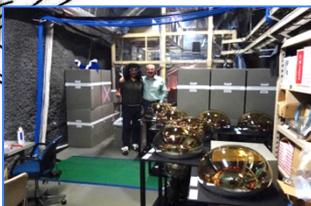


実験室G
 ラドン放出量測定・
 カバー取付

実験室1
 素材放射線量測定



実験室F
 耐水圧・カバー試験



実験室B
 光検出器性能評価

ハイパーカミオカンデ

スーパーカミオカンデ

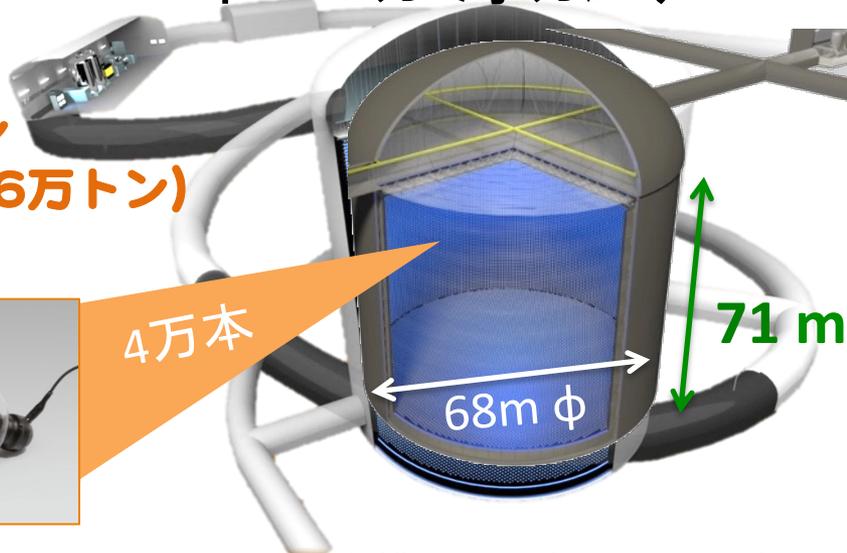


有効質量
2.25万トン
(総重量5万トン)

約10倍

有効質量
19万トン
(総重量26万トン)

ハイパーカミオカンデ



新型光センサで大型化・高感度

新型50 cm(20インチ)光電子増倍管

検出効率 $\times 2$ 倍
時間・電荷分解能 2倍向上
耐水圧 $\times 2$ 倍
放射性バックグラウンド $\times 1/2$ 倍

New

外水槽は国外機関により実現

+ 国外機関も光センサを分担

(今後採用を目指す海外製新型光検出器)

中国NNVT社の開発する
50cm 光電子増倍管

高解像度
複合光検出器



- 検出槽(空洞・超純水)は日本が建設
- 検出システム(光検出器・検出回路・校正等)は国際協力により実現

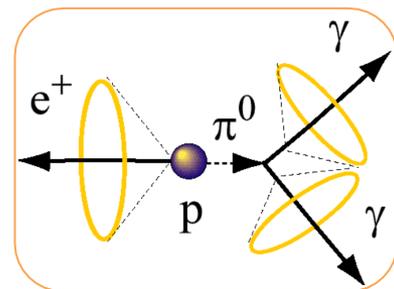
- ▶ 規模・技術共に大幅な向上
- ▶ 国際協力体制の実現へ
- ▶ 建設開始の準備が整った

ハイパーカミオカンデで目指す新たな物理

- 素粒子の包括した理解を目指す「大統一理論」の検証

- 陽子崩壊の発見

→ 未知の物理事象から、素粒子の根源を探る



- ニュートリノで探る対称性と世代混合

- レプトンCP対称性の破れ発見

→ 宇宙の反物質消滅の手がかり

- ニュートリノ振動パラメータの詳細測定

→ 世代構造と未知の対称性の可能性を精査



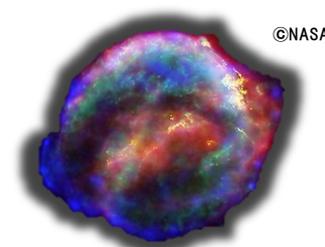
- ニュートリノで観る天体事象

- 超新星残骸ニュートリノの調査

→ 宇宙と星の歴史を探る

- 超新星爆発ニュートリノの観測

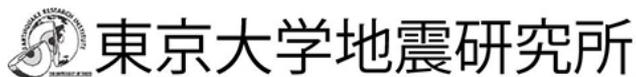
→ 爆発・ブラックホール形成のモデル検証



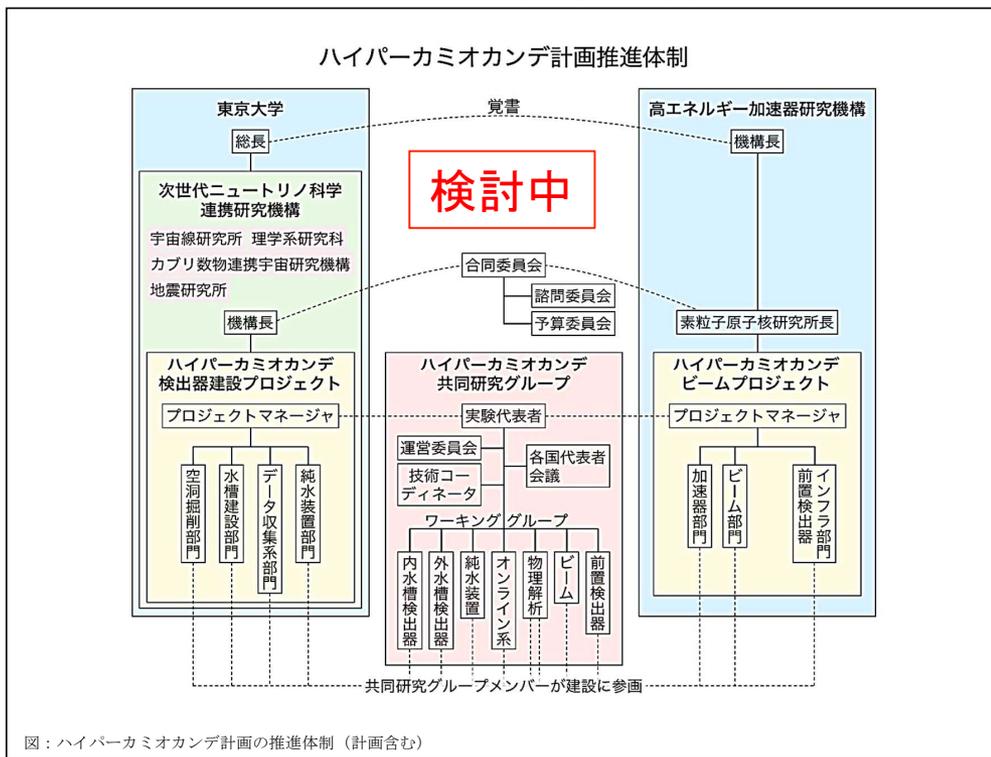
建設準備

- 2019年度 ハイパーカミオカンデ 建設調査費予算化
- 2019/1・7月 ハイパーカミオカンデ 予算検討会議(HKFF)を開催
 - 12~14カ国の政府機関関係者+研究者による各国貢献・分担の検討
- 次世代ニュートリノ科学連携研究機構

https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/eijiyutu/eijiyutu4/toushin/1421565.htm



- 建設体制の基盤を整備



→ 今後はコラボレーションへ移行

世界の学術フロンティアを先導する大規模プロジェクトの推進

令和2年度要求・要望額 40,826百万円
(前年度予算額 34,382百万円)



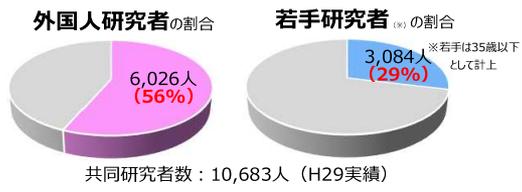
目的

- 最先端の大型研究装置等により人類未踏の研究課題に挑み、**世界の学術研究を先導**。
- 国内外の優れた研究者を結集し、**国際的な研究拠点を形成**するとともに、国内外の研究機関に対し**研究活動の共通基盤を提供**。
- **日本学術会議**において科学的観点から策定した**マスタープラン**を踏まえつつ、専門家等で構成される**文部科学省の審議会**において戦略性・緊急性等を加味し、**ロードマップを策定**。
- ロードマップの中から大規模学術フロンティア促進事業として実施するプロジェクトを選定の上、国立大学法人運営費交付金等の基盤的経費により戦略的・計画的に推進。原則、**10年間の年次計画を策定**し、審議会における**厳格な評価・進捗管理**を実施。
- 現行の13プロジェクトに加え、**令和2年度より、ニュートリノ研究の次世代計画である「ハイパーカミオカンデ計画」に新たに着手**。

主な成果

○ **ノーベル賞受賞につながる画期的研究成果**
(受賞歴：H14小柴昌俊氏、H20小林誠氏、益川敏英氏、H27梶田隆章氏)

○ **年間約1万人の共同研究者が集結し、国際共同研究を推進**。このうちの**半数以上が外国人研究者、3割程度が若手研究者と割合が高い**。



○ 天文分野では、すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡の**TOP10%論文割合や国際共著論文割合は、分野全体と比較しても高い**。

天文学・宇宙物理学分野	論文数	Top10%割合	国際共著割合
すばる望遠鏡	644	18.5%	86.3%
アルマ望遠鏡	878	27.3%	89.0%
日本全体	8,938	12.9%	68.0%
世界全体	103,445	9.6%	50.6%

※ 大学共同利用機関法人自然科学研究機構「InCites」(Web of Science)に基づき、2013-2017の5か年に出版された天文学・宇宙物理学分野の論文 (article, review) を分析 (2019年7月)。「日本全体」は、著作住所に日本を含む論文を抽出。

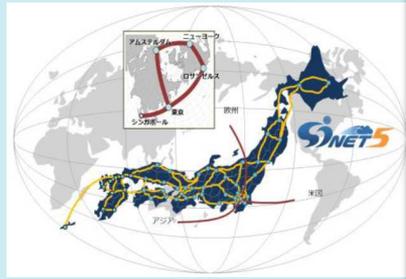
大規模学術フロンティア促進事業等の主な事業

大型電波望遠鏡「アルマ」による国際共同利用研究の推進
(自然科学研究機構国立天文台)



宇宙・銀河系・惑星系の誕生過程を解明するため、日米欧の国際協力により、南米チリのアタカマ高地 (標高5,000m) に建設した「アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計」による**国際共同利用研究を推進**。2019年4月にM87銀河の中心にある**超巨大ブラックホールの「影」の撮影に世界で初めて成功した国際プロジェクトに参加し**、高い感度の観測機能により、その成果に大きく貢献。

新しいステージに向けた学術情報ネットワーク(SINET)整備
(情報・システム研究機構国立情報学研究所)



国内の大学等を高速通信回線ネットワークで結び、**共同研究の基盤を提供**。全国900以上の大学や研究機関、約300万人の研究者・学生が活用する我が国の教育研究活動に**必須の学術情報基盤**。

<産業等への波及>

- 産業界と連携した最先端の研究装置開発により、イノベーションの創出にも貢献
(事例) ・【すばる望遠鏡】超高感度カメラ技術→医療用X線カメラへの応用
・【放射光施設】加齢による毛髪のパリ・コンの低下が毛髪内の亜鉛と関係性を解明→亜鉛を毛髪に浸透させる**新しいヘアケア技術の開発・製品化に成功**

NEW

ハイパーカミオカンデ(HK)計画の推進
(東京大学宇宙線研究所)
(高エネルギー加速器研究機構)

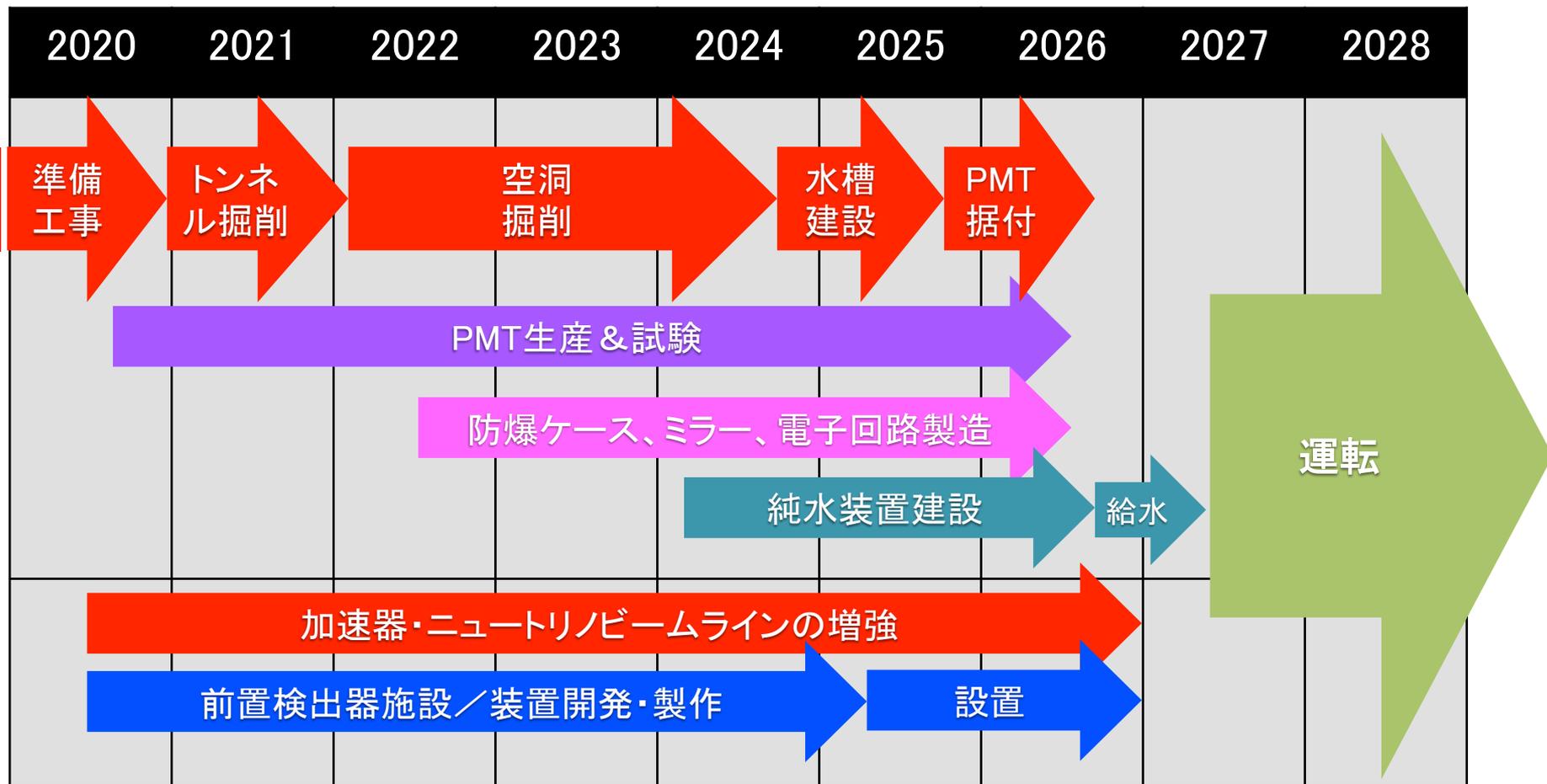


日本が切り拓いてきた**ニュートリノ研究の次世代計画**として、**超高感度光検出器**を備えた総重量26万トンの**大型検出器の建設**及び**J-PARCの高度化**により、**ニュートリノの検出性能を著しく向上**。素粒子物理学の大統一理論の鍵となる未発見の**陽子崩壊探索**や**CP対称性の破れ**などの**ニュートリノ研究**を通じ、**新たな物理法則の発見、素粒子と宇宙の謎の解明を目指す**。[ロードマップ2017掲載事業]

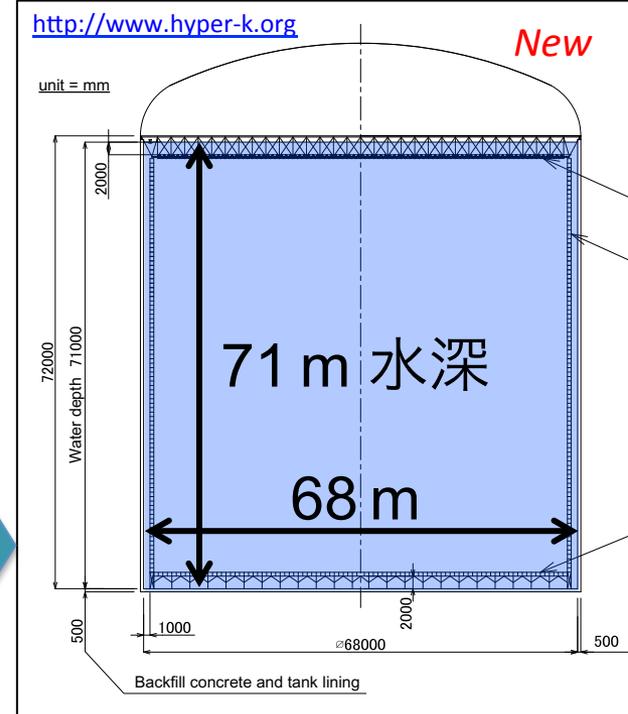
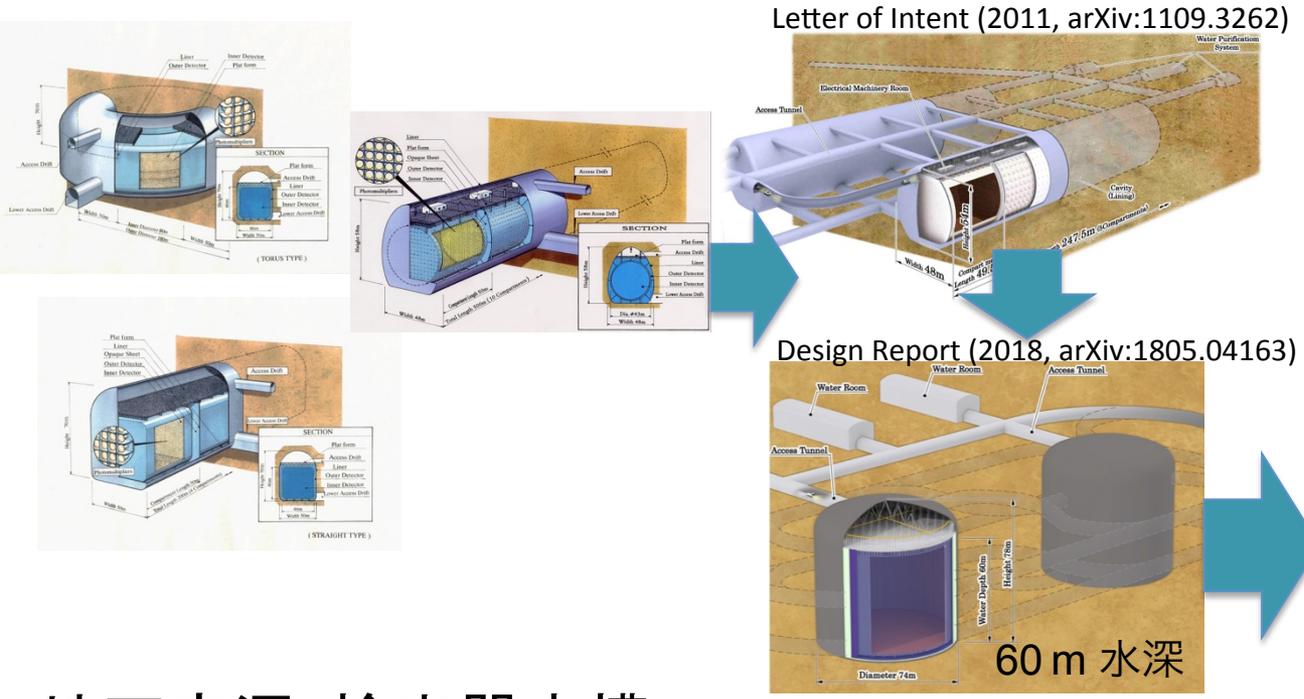
建設予定

- 2020年建設開始 → 2027年観測開始

- 建設概算要求(済)の閣議決定と国会審議を経て、建設へ



建設設計



地下空洞・検出器水槽

- 設計および施工方法の改良、外部コンサルタントによる見積の精査 → コスト縮減を実現
- 外部専門家(諮問委員会)による評価
- 建設予定地の追加地質調査

(新型光検出器+カバーは80m水深まで対応)

コスト・工期を含め
幾案も調整を重ね
最良の設計を実現

建設予定地周辺での準備



ハイパーカミオカンデ (岐阜県飛騨市)

掘削ずり堆積場 環境保全案の合意



許認可手続き中

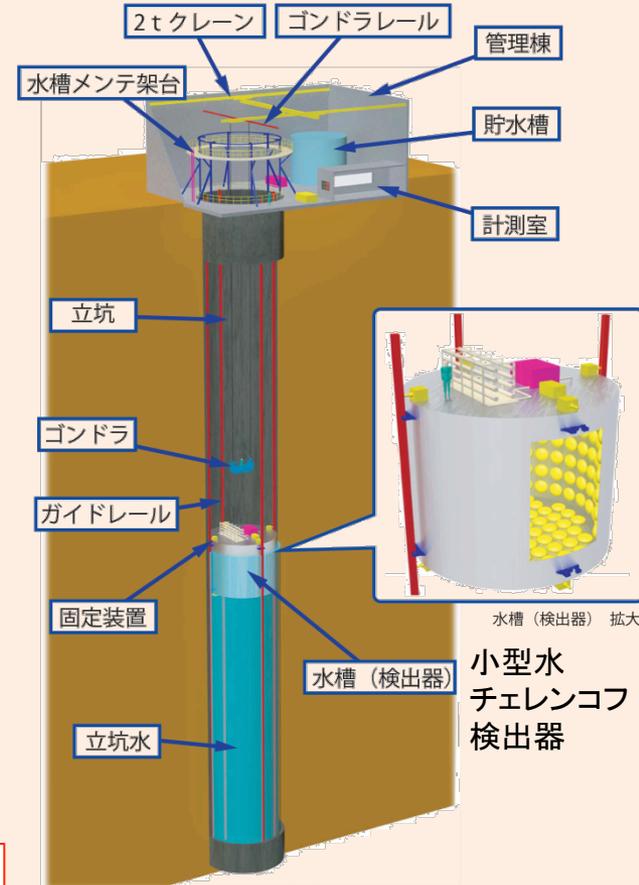
ヤード設計改善、
安全強化

配電工事中、
給排水配管や
県道の調整

建設予定に合わせ、各地で
整備・調整を進めている

J-PARCニュートリノビーム側 (茨城県東海村)

J-PARC~ハイパーカミオカンデ間
中間距離水チェレンコフ検出器 (IWCD) 概念図



建設候補地の選定と
水槽・施設設計を進行中

信号集積回路の国際共同開発

- 各国で分担してデータ収集システムを実現



Software trigger
+ Event builder

Readout system



Synchronization
(Clock & counter)



Front-end
data processing



Signal digitizer



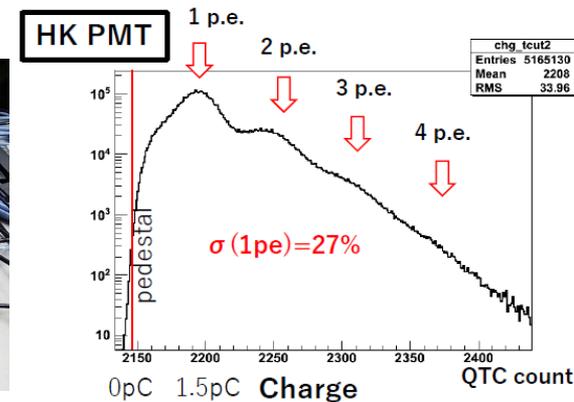
PMT



Clock distributor
proto-type



Digitizer
Proto-type



まとめ

- 来年度から建設開始
 - 今夏に建設費の概算要求
 - 建設体制の構築と、建設地の整備を進めている
- ハイパーカミオカンデで次世代のニュートリノ研究・大統一理論の検証
 - 2027年度観測開始を見込む
 - 日本を主体とし、17カ国の国際協力体制で臨む
 - ▶ 検出技術の革新・検出システム実現へ
- コラボレーショングループへの移行
 - 新たなメンバー也大歓迎