

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



横山将志

(東京大学 理学系研究科)



東京大学 大学院
理学系研究科・理学部
SCHOOL OF SCIENCE, THE UNIVERSITY OF TOKYO

for Hyper-Kamiokande Working Group

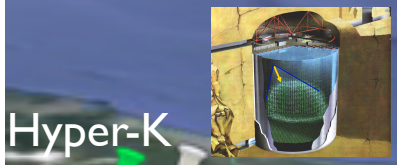
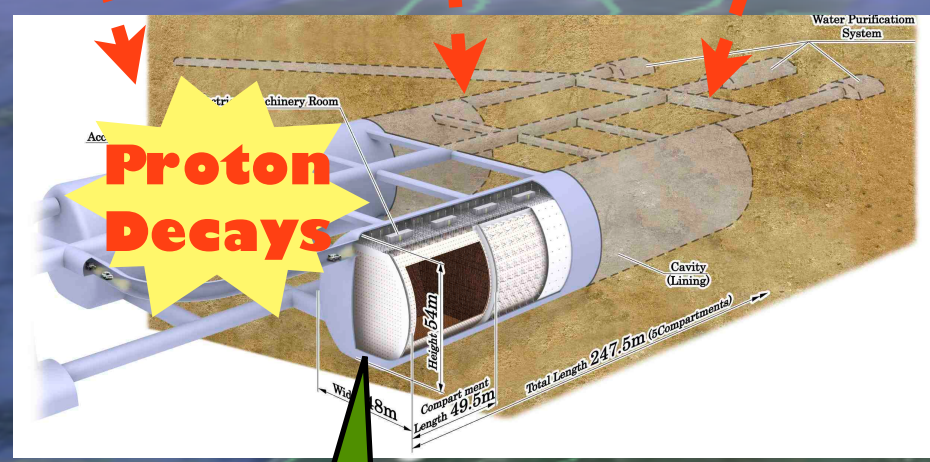
平成25年度 宇宙線研究所共同利用研究成果発表会

2013/12/20



Multi-purpose detector ハイパーカミオカンデ

arXiv:1109.3262 [hep-ex]



x50 of T2K
for ν CP

x25 ν 標的
& 核子崩壊ソース

より大強度の ν ビーム
(J-PARCアップグレード)

100万トン
(有効質量56万トン)

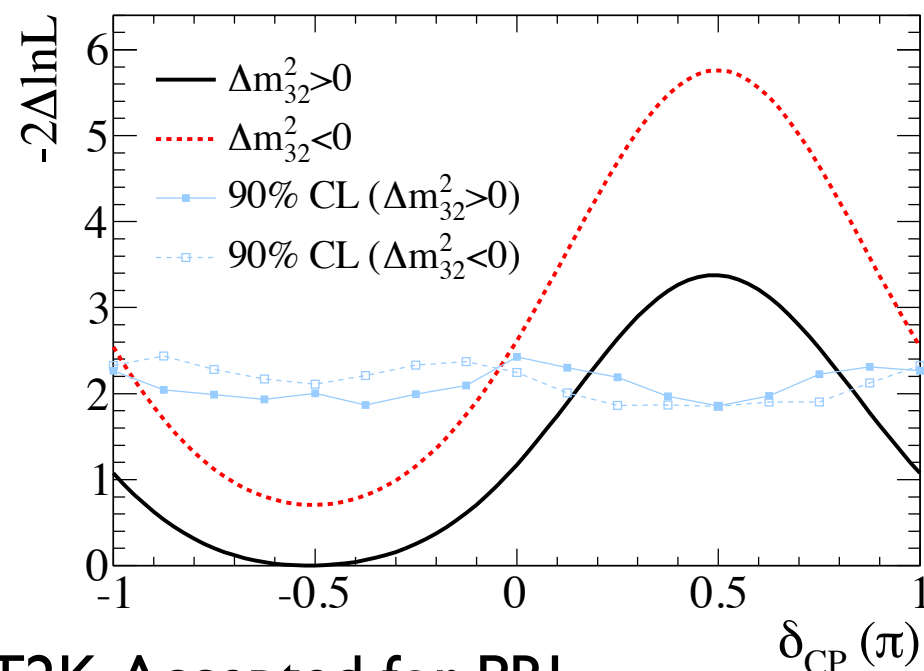
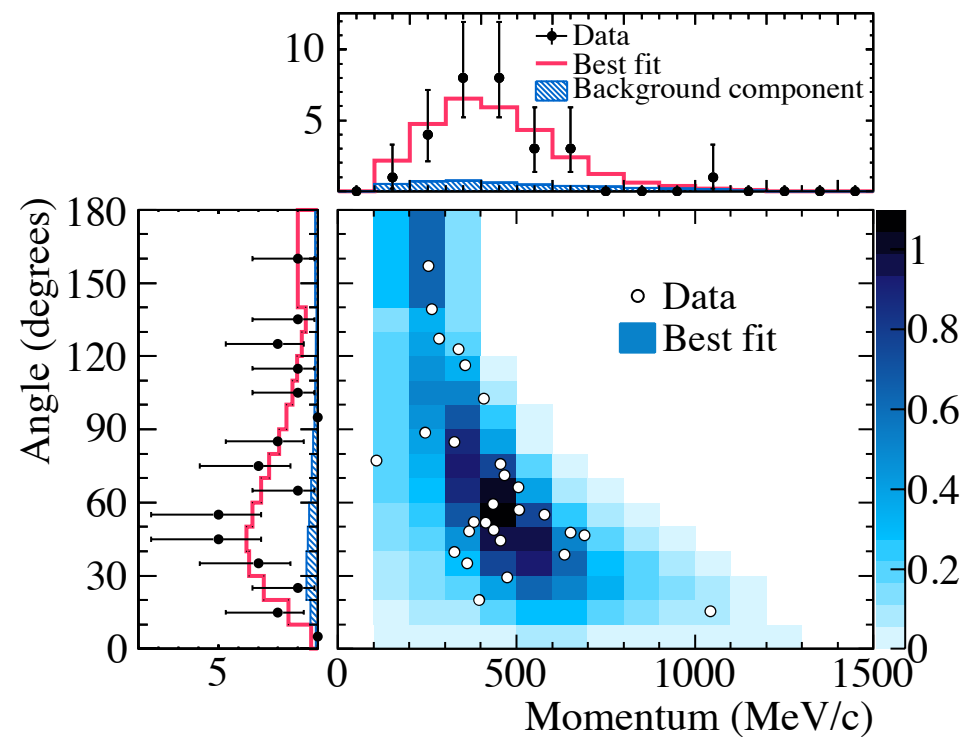
×2 (強度×年)



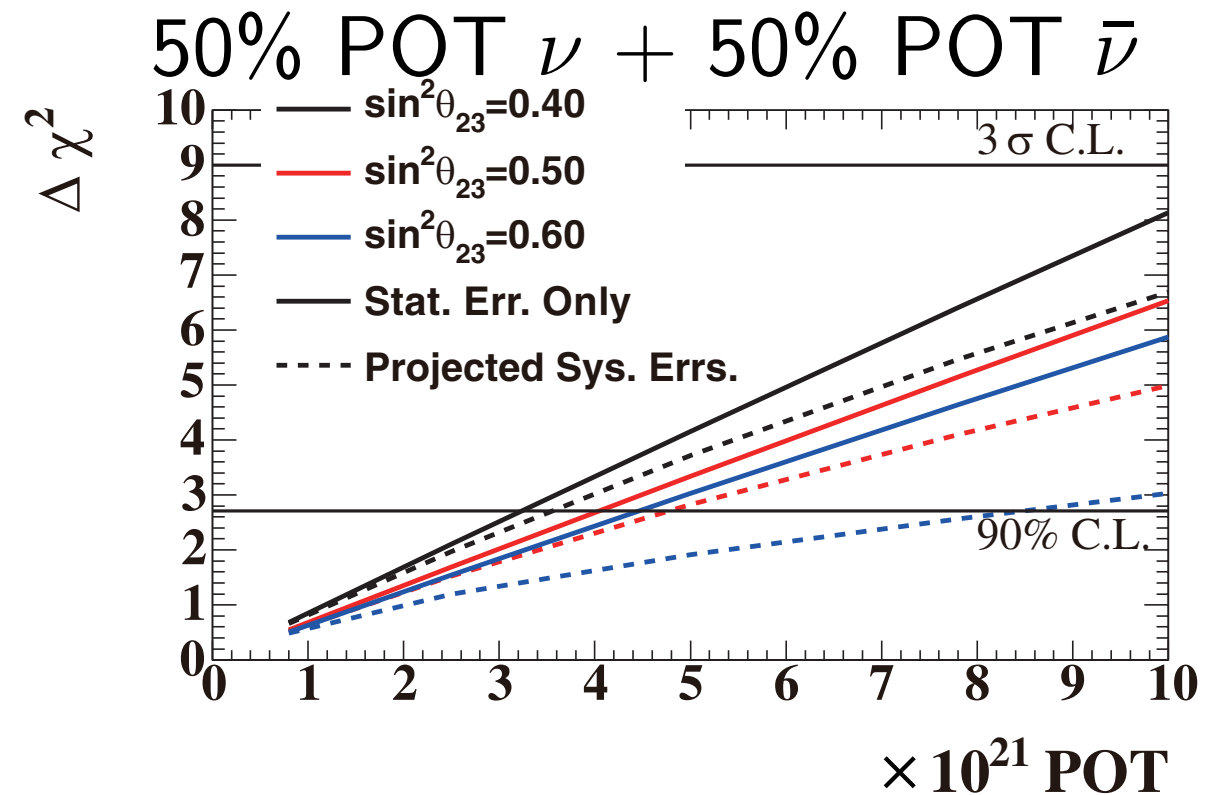
電子ニュートリノ出現の発見→新たな時代へ

- 明確な次のゴール
- 質量階層性
- CP非対称性

T2K+reactor



T2K, Accepted for PRL

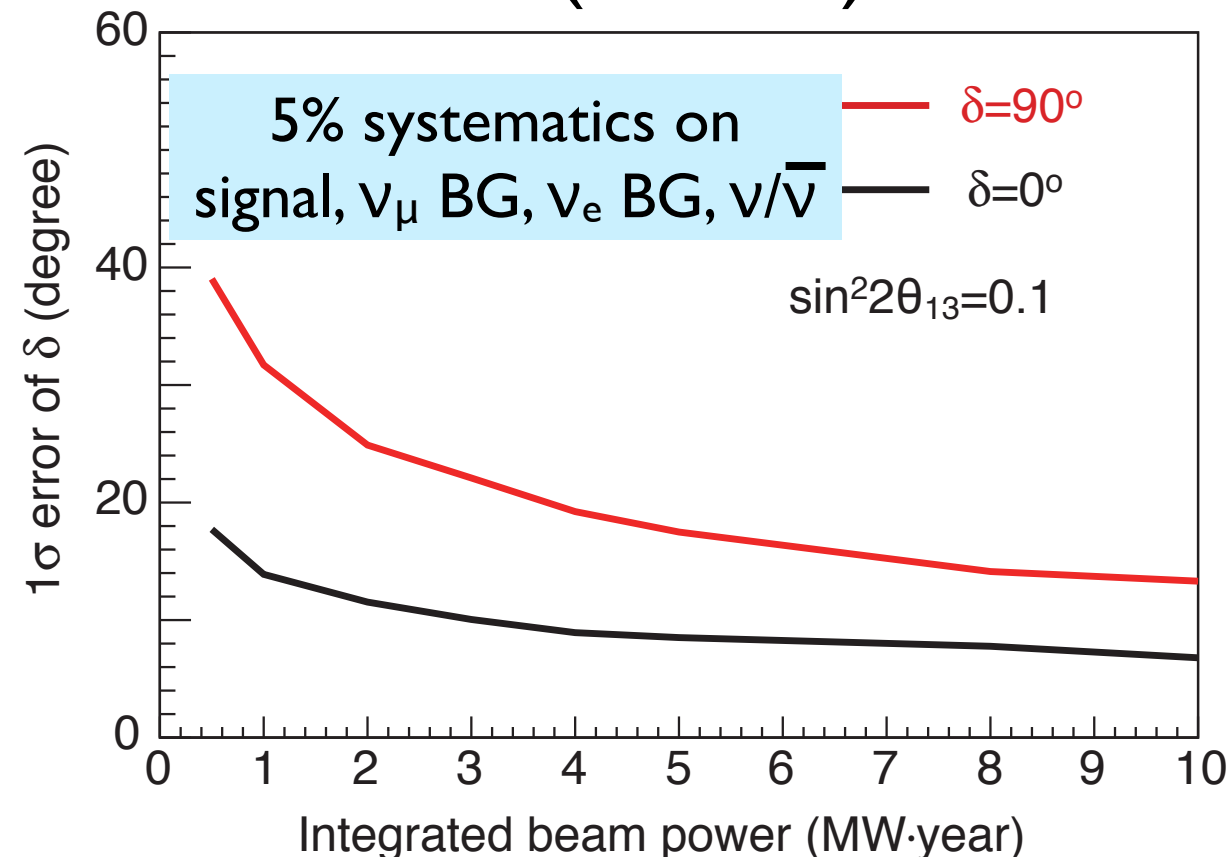
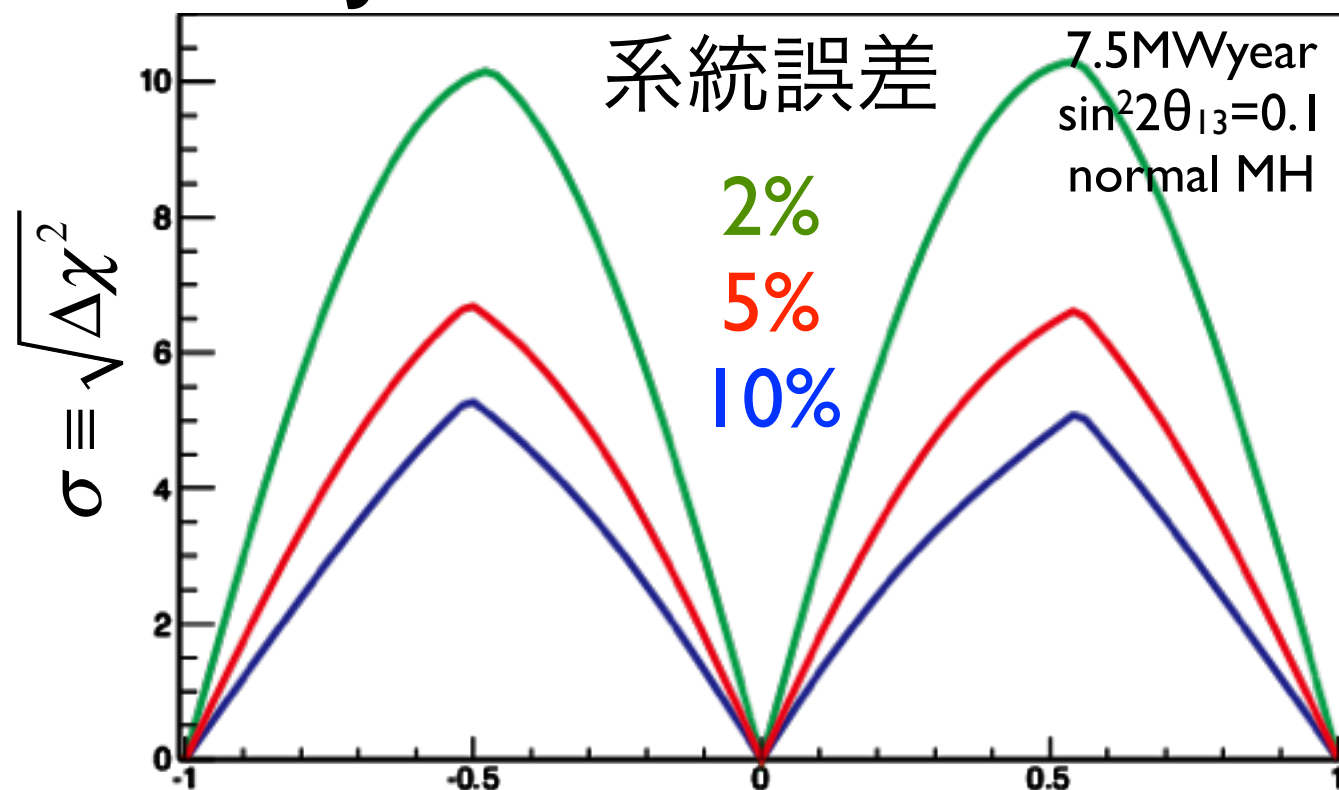


T2K+NOvA+原子炉の感度 $\sim 2\sigma$
 → 新たな実験が必要
 ハイパーカミオカンデ

今でしょ!

CP非対称性への感度

J-PARCからのニュートリノビーム (>MW)

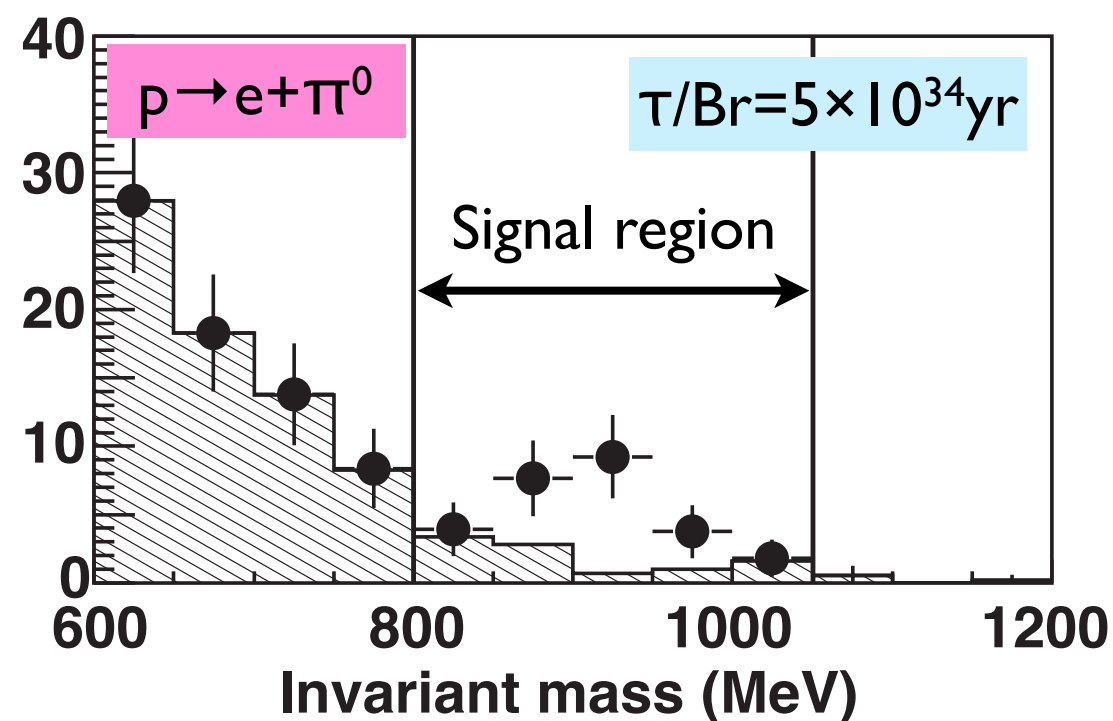
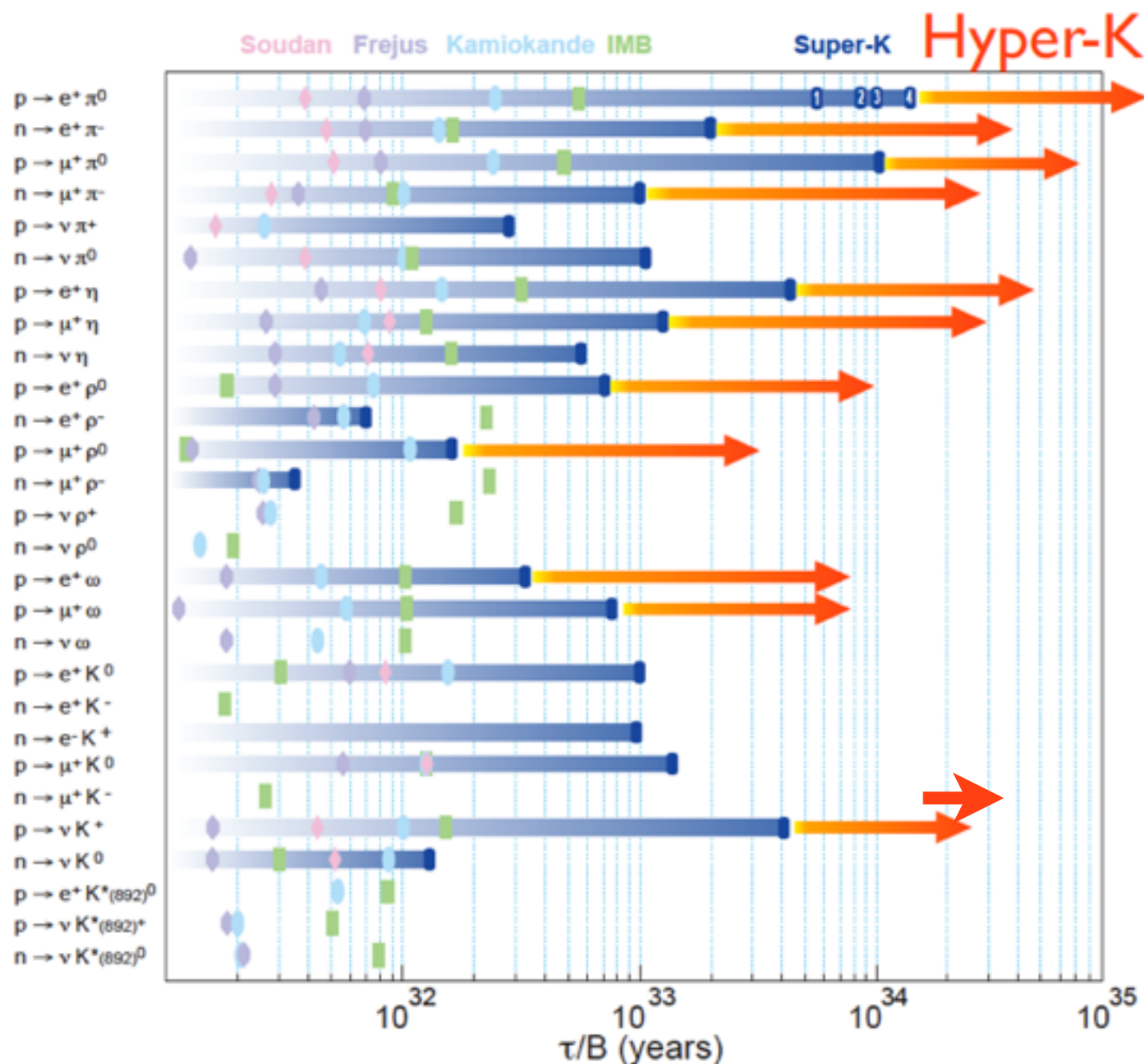


- 系統誤差5%の場合, 74%の δ で $>3\sigma$ のCPV発見
- 系統誤差削減を検討中 (ビーム, 前置検出器)
- δ を $\lesssim 10^\circ$ の精度で測定可能
- 大気ニュートリノでも相補的な測定 (質量階層など)

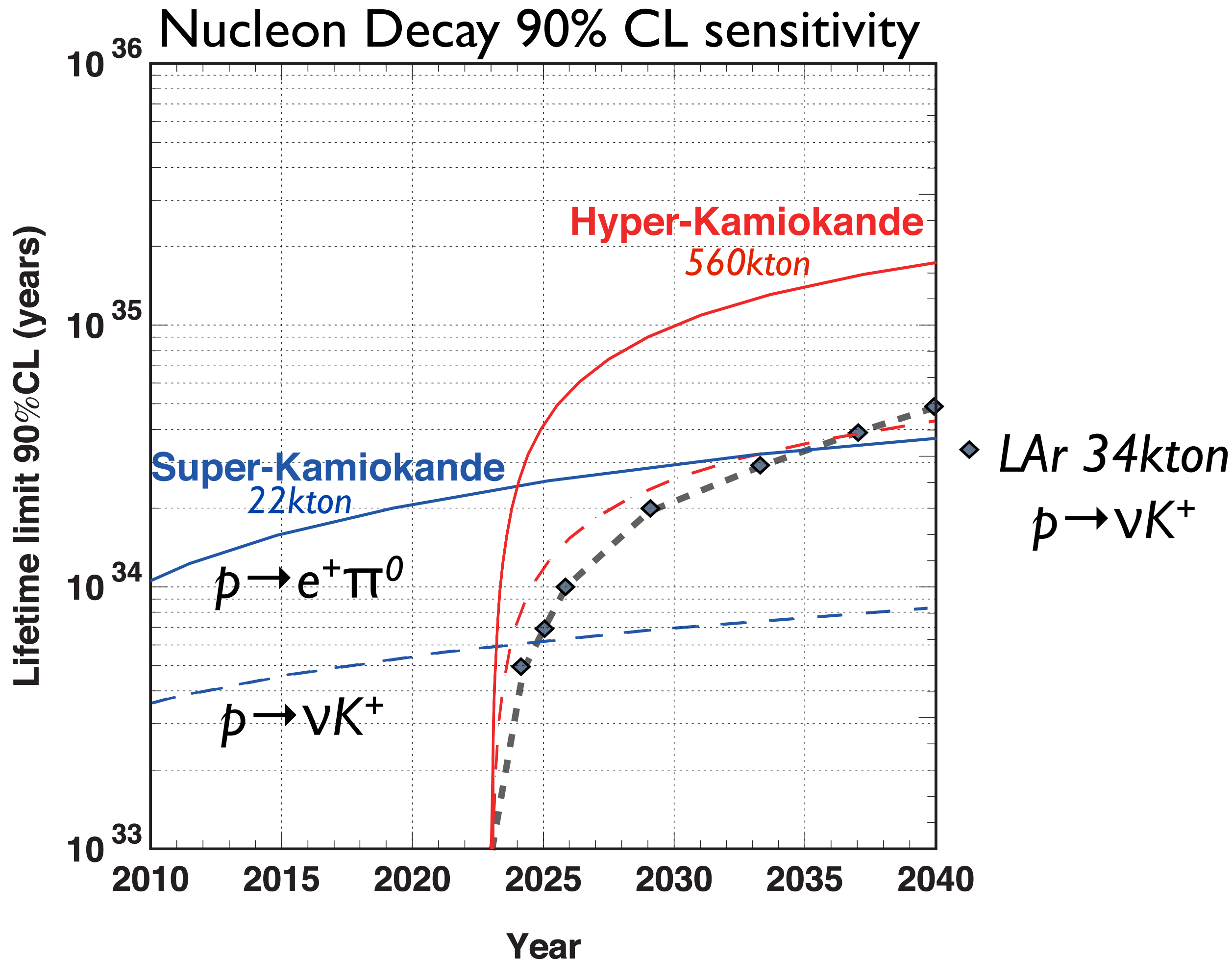
陽子崩壊

現在のSKの制限の
約10倍の感度で発見を目指す

- $p \rightarrow e^+ \pi^0$:
 - $1.3 \times 10^{35} \text{ yrs}$ (90%CL)
 - $5.7 \times 10^{34} \text{ yrs}$ (3σ)
- $p \rightarrow \bar{\nu} K^+$:
 - $3.2 \times 10^{34} \text{ yrs}$ (90%CL)
 - $1.2 \times 10^{34} \text{ yrs}$ (3σ)



現在のSKの制限以上の
寿命でも $>3\sigma$ の発見が可能



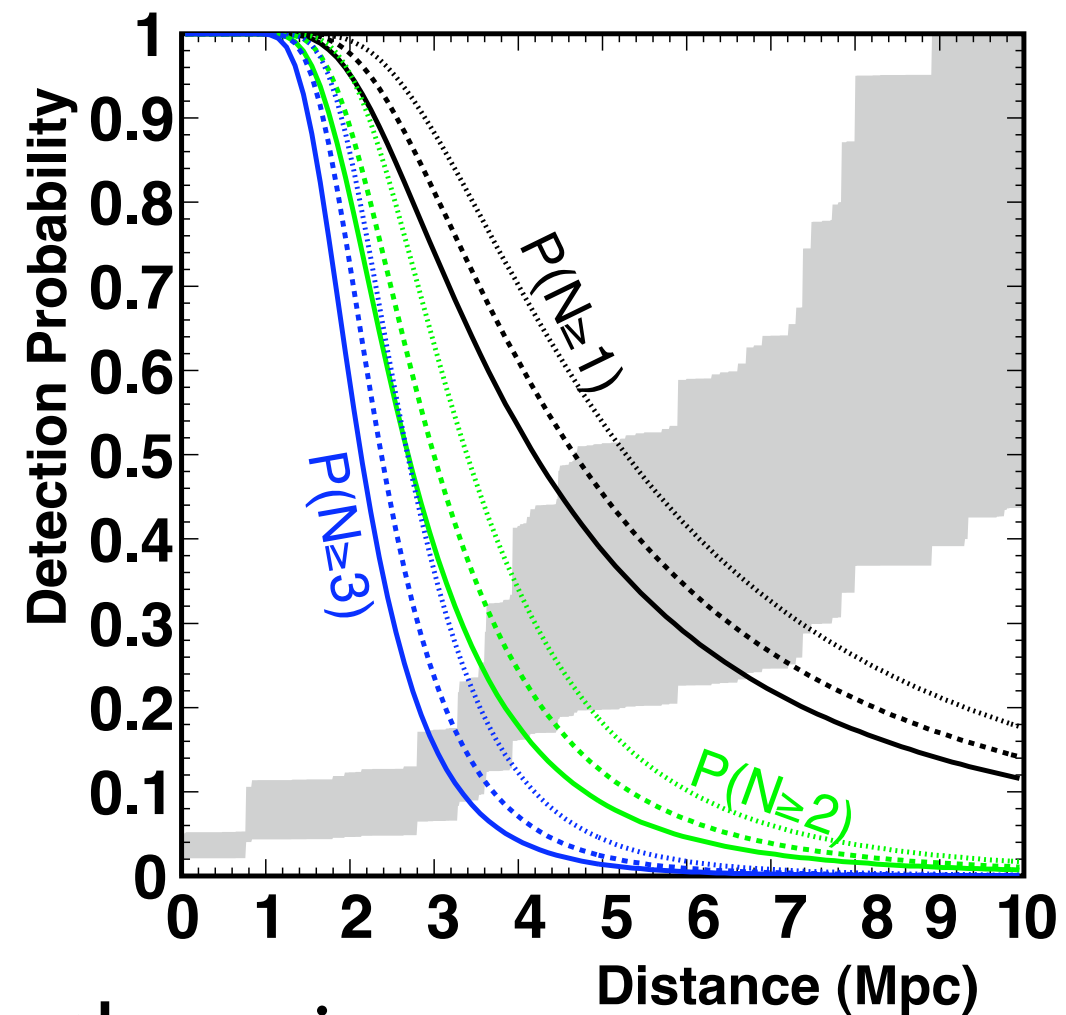
Neutrino astrophysics

- **Supernova burst neutrino**

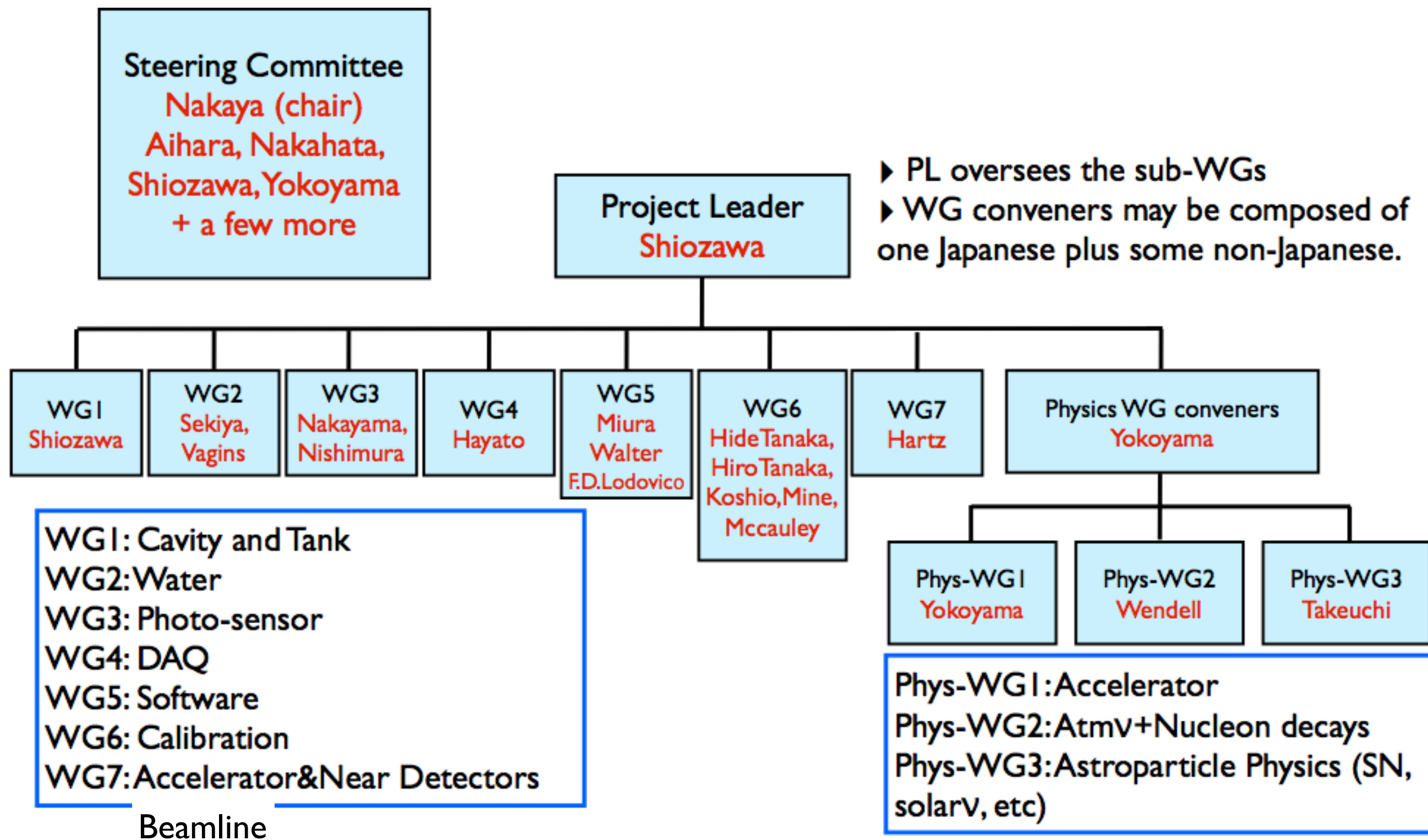
- >50% efficiency with >3 multiplicity for <2Mpc SN ($\sim 1/10$ yrs expected)
- Huge statistics if SN in our Galaxy
 - ~ 250 k events @ 10kpc

- **Supernova relic neutrino**

- History of heavy element synthesis in the universe
- Precision measurements of solar neutrino
 - Spectrum upturn, day/night asymmetry
- Indirect WIMP Search



International Hyper-Kamiokande WG



Open meetings

国際的に開かれたWGミーティングを年2回開催

- 第1回：2012年8月
 - 第2回：2013年1月
 - 第3回：2013年6月
 - 第4回：2014年1月
- 参加歓迎！



<http://indico.ipmu.jp/indico/conferenceDisplay.py?confId=29>

毎回参加者~100名，約半数が海外から

カナダ，韓国，ロシア，スペイン，スイス，イギリス，アメリカ，...

建設に向けたR&Dの状況と計画を熱く議論

物理，空洞，タンク，純水，センサー，DAQ，ソフト，...

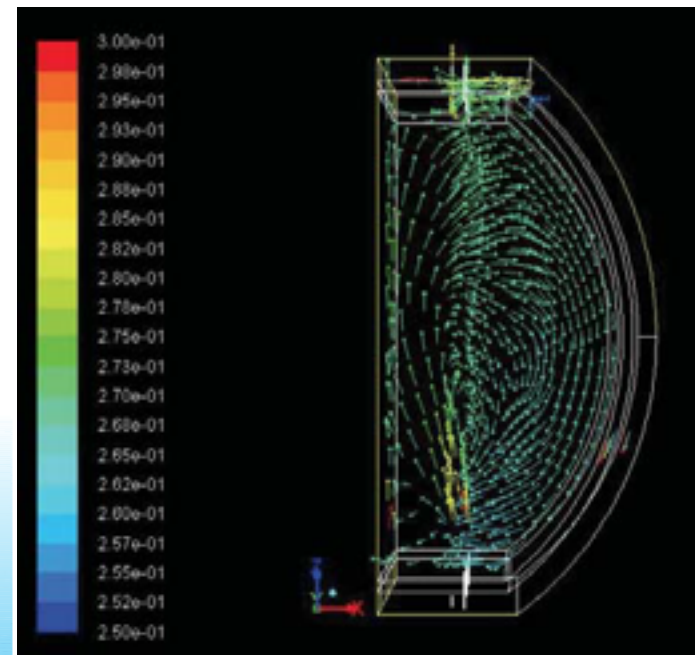
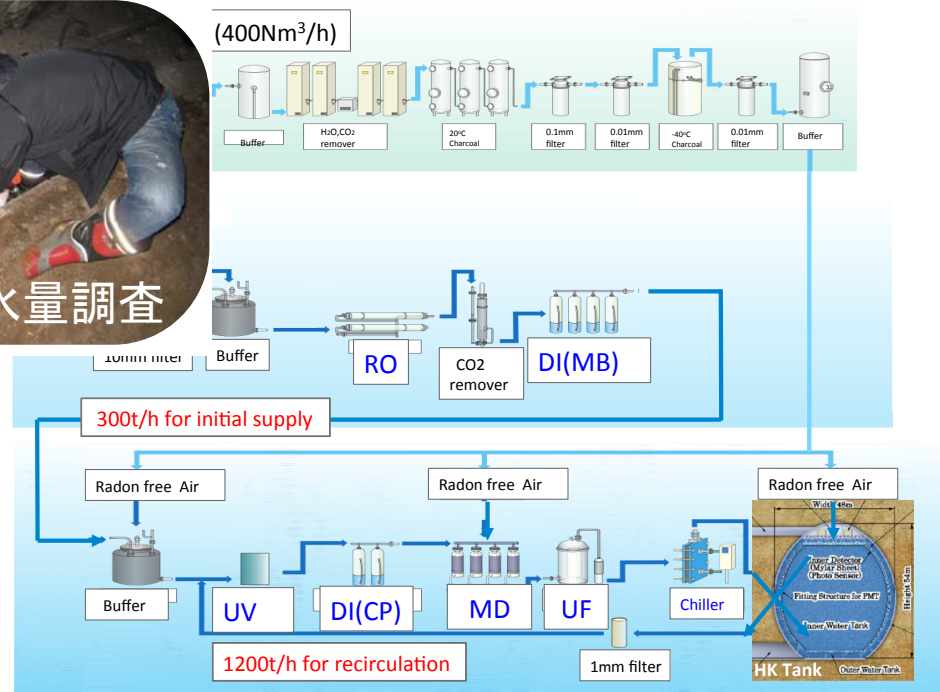
最近の進展

- 新学術領域「ニュートリノフロンティアの融合と進化
- 計画研究A03:「大気ニュートリノを用いた質量階層構造の研究と次世代研究フロンティアの発展」
(代表：塩澤真人)
- HKのためのプロトタイプ検出器（～1kt）計画
 - 要素技術の検証
 - タンク, センサー, DAQ, ...
- 学術会議・大型計画マスタープラン

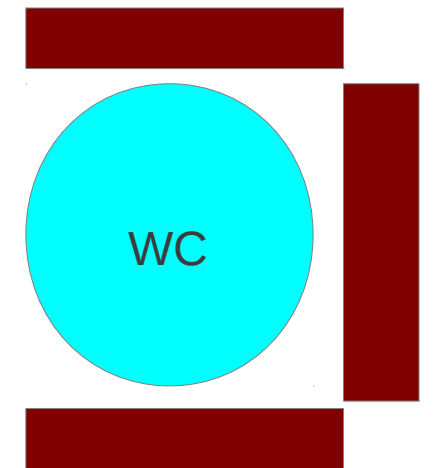
海外との関係

- アメリカ
 - Snowmass processにwhitepaperを提出+講演
 - “Hyper-Kamiokande Physics Opportunities”
arXiv:1309.0184 (9カ国, 49機関から167人)
 - P5でも講演, 現在議論中の将来計画に考慮
- ヨーロッパ
 - 第1回 “Hyper-Kamiokande EU Open Meeting”
今週(12/18)開催 <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=278933>
- カナダ／イギリスではR&Dの予算要求中

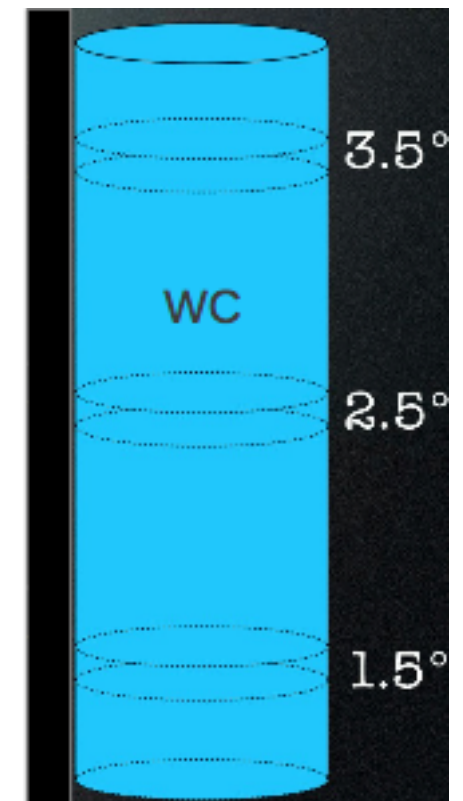
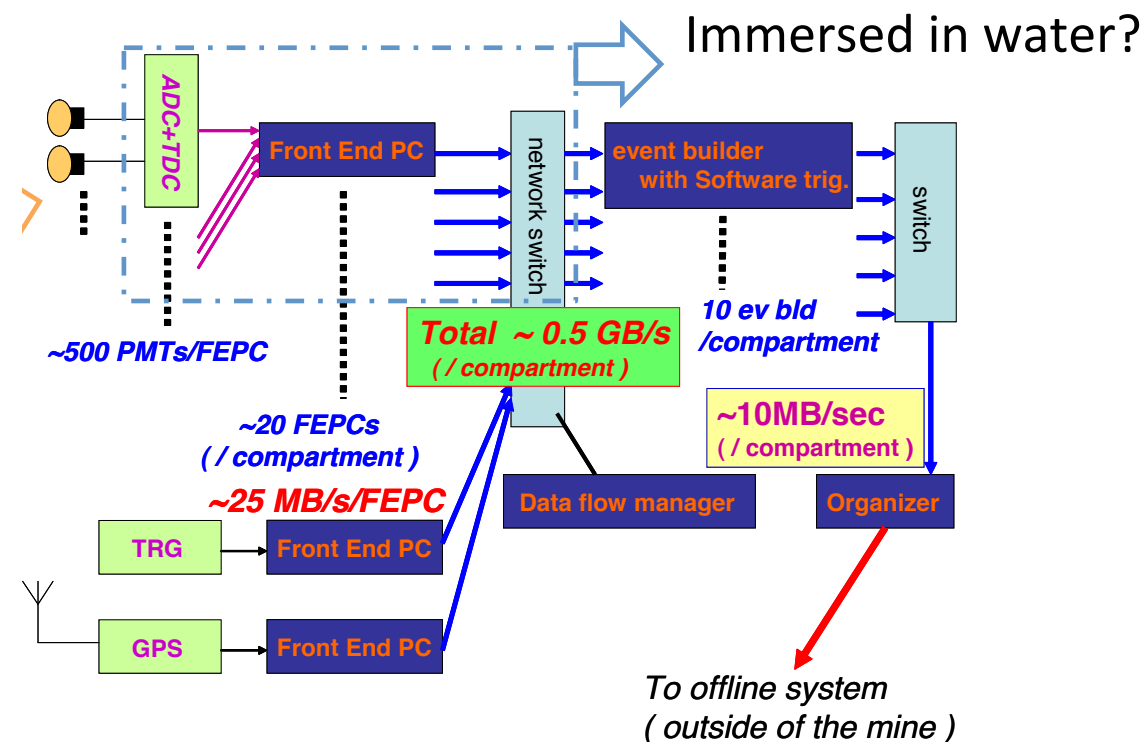
R&D 状況



~1kton WC @ 2km
Xsection view



Muon Range Detector



空洞・タンク

- これまでの研究で建設可能な基本設計を確立

Cavern stability

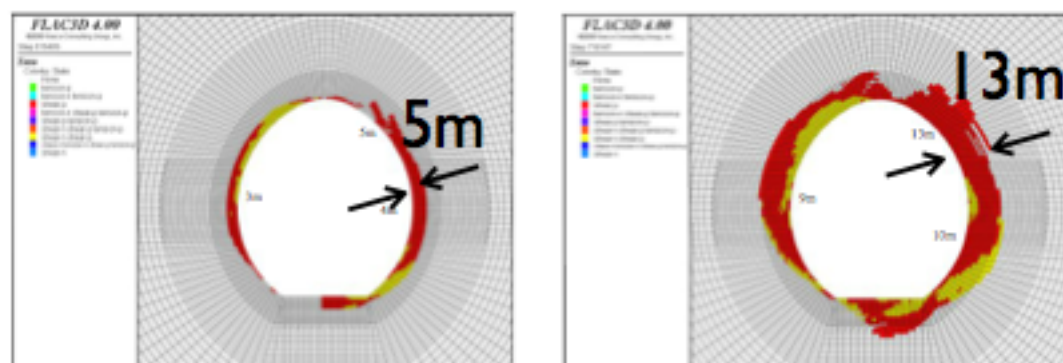
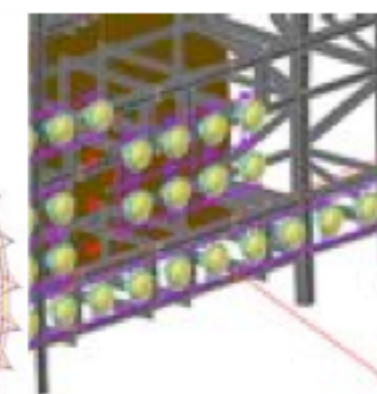
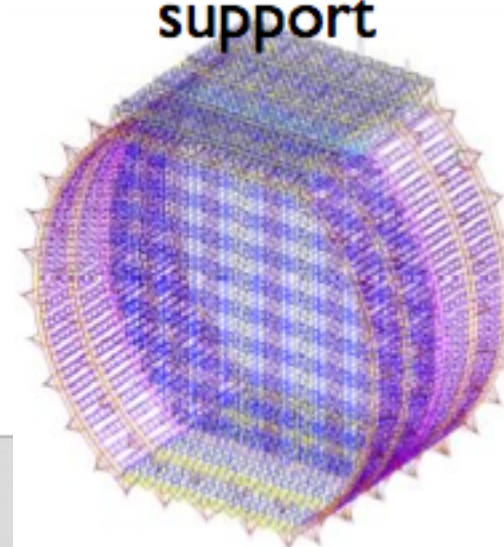
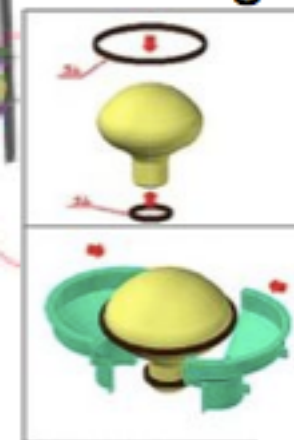


Photo-sensor support

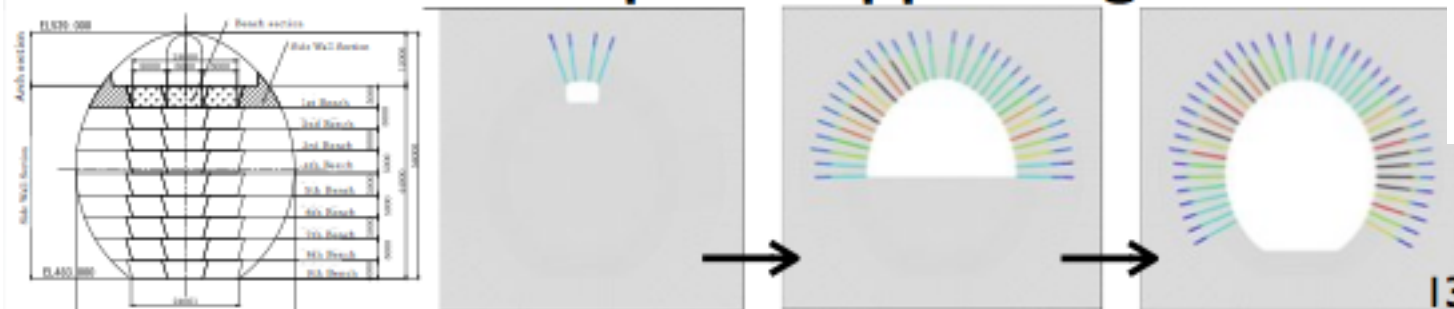
Mounting Photo-sensor



Housing



Excavation steps & supporting method



- 新たに茂住での地質調査を実施
 - >700m overburden
 - 初期の結果：枋洞と同等の岩質
 - 今後さらに調査を行い比較検討



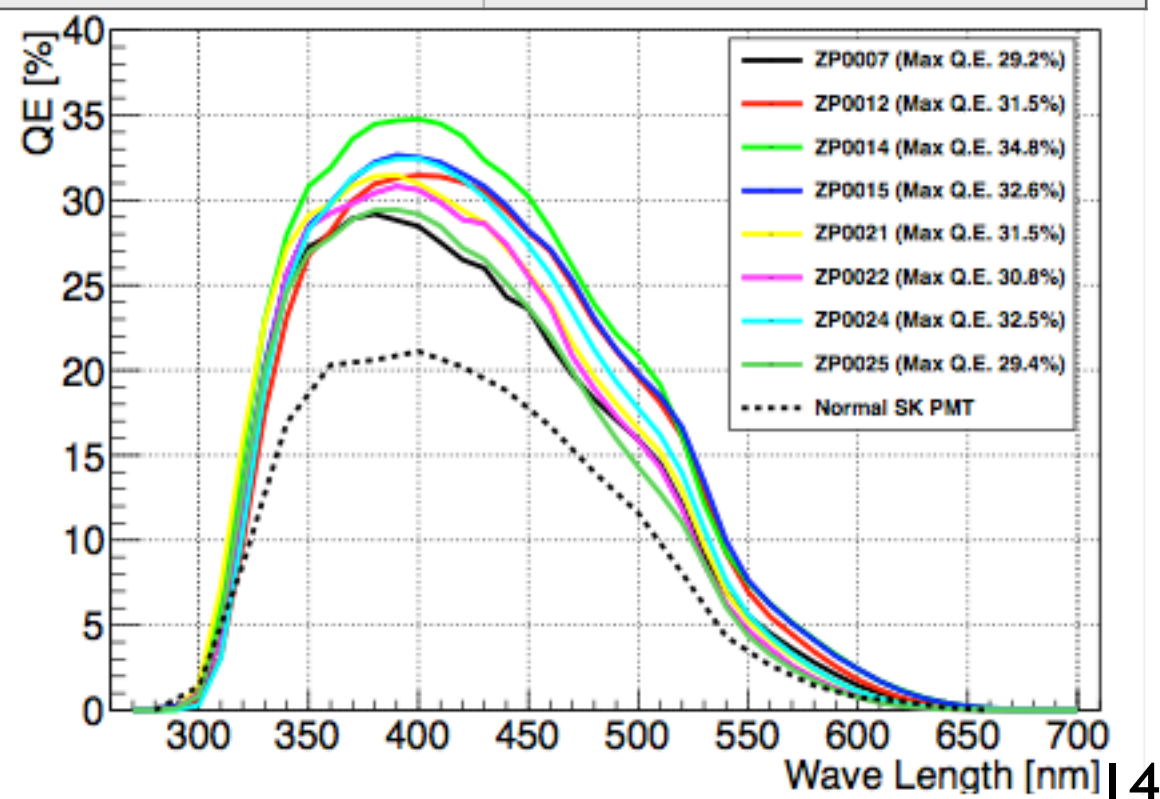
光センサー

ゴール：
より安く，
さらに高性能



Collection eff. (CE)	80%	93%	95%
Timing resolution (FWHM)	5.5ns	2.7ns	1ns

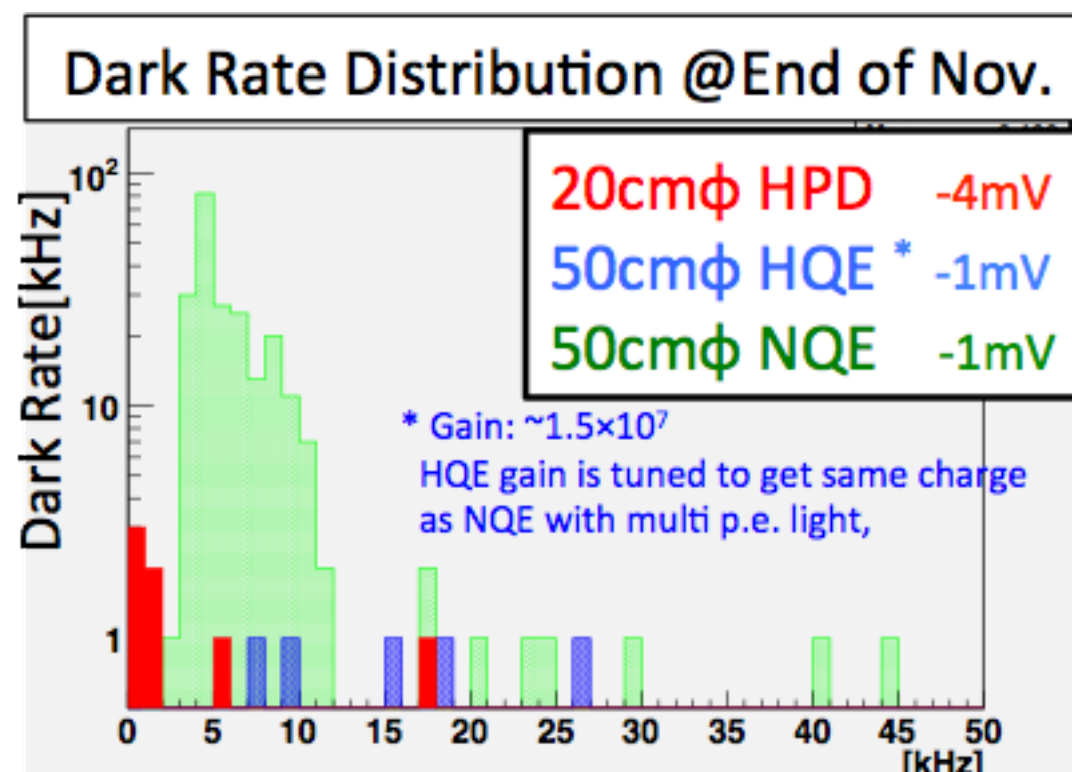
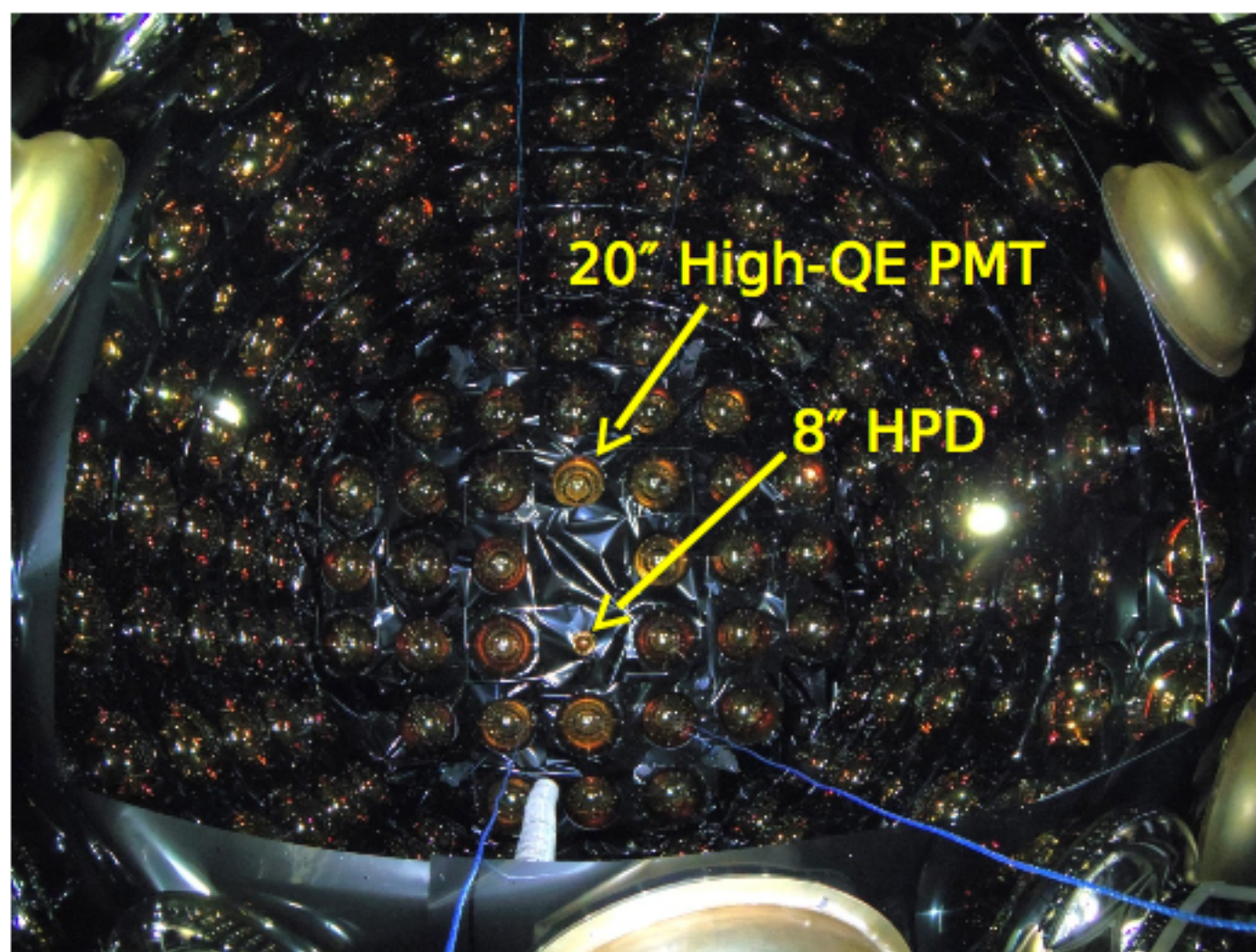
共通のR&Dとして，
高QE 50cm 光電面の開発
→SKタイプPMTで試作成功



EGADS 200トンタンクでの試験

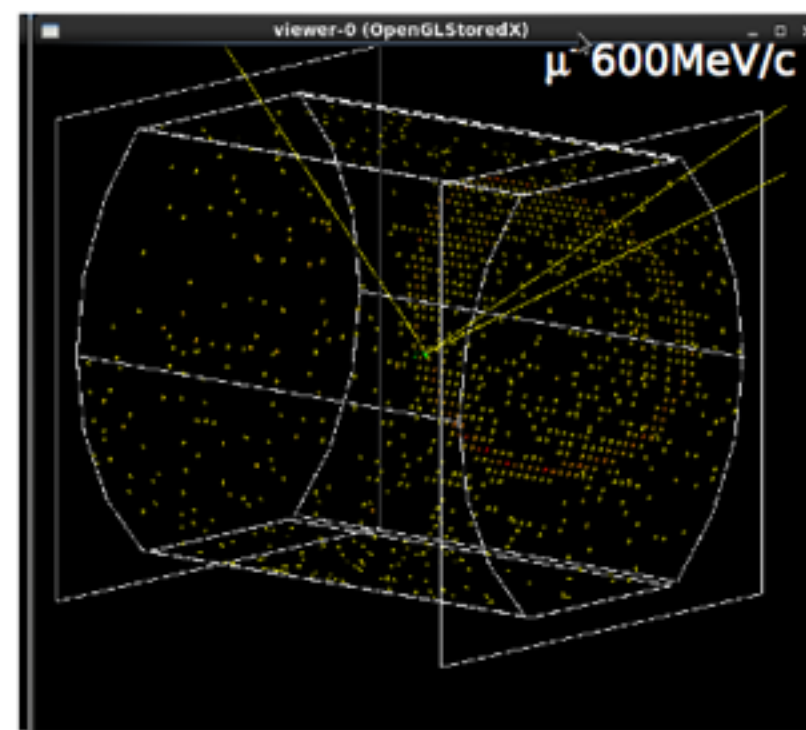
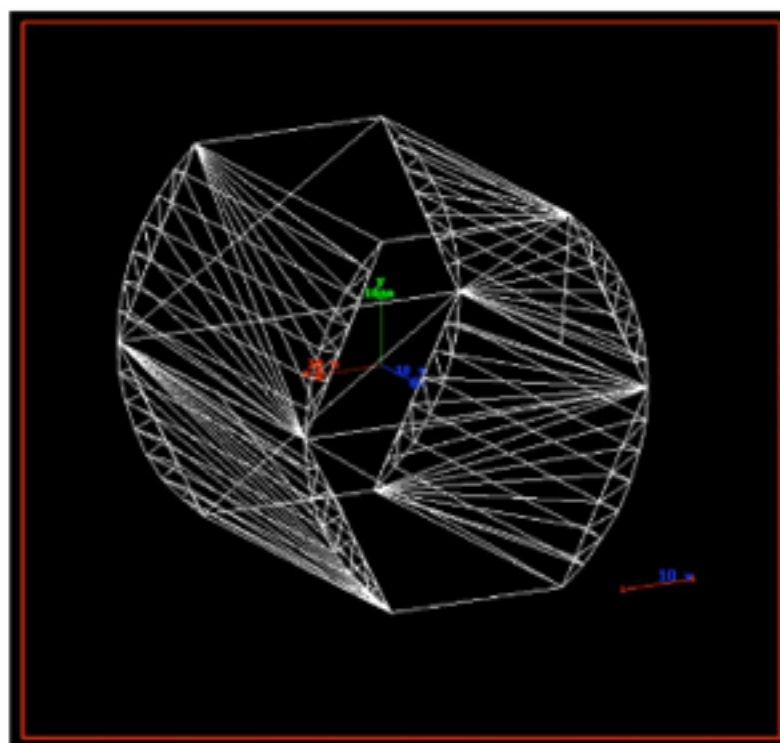


- 20cm HPD 8本,
50cm 高QE PMT 5本
- 8月に設置,
校正→長期試験へ



ソフトウェア

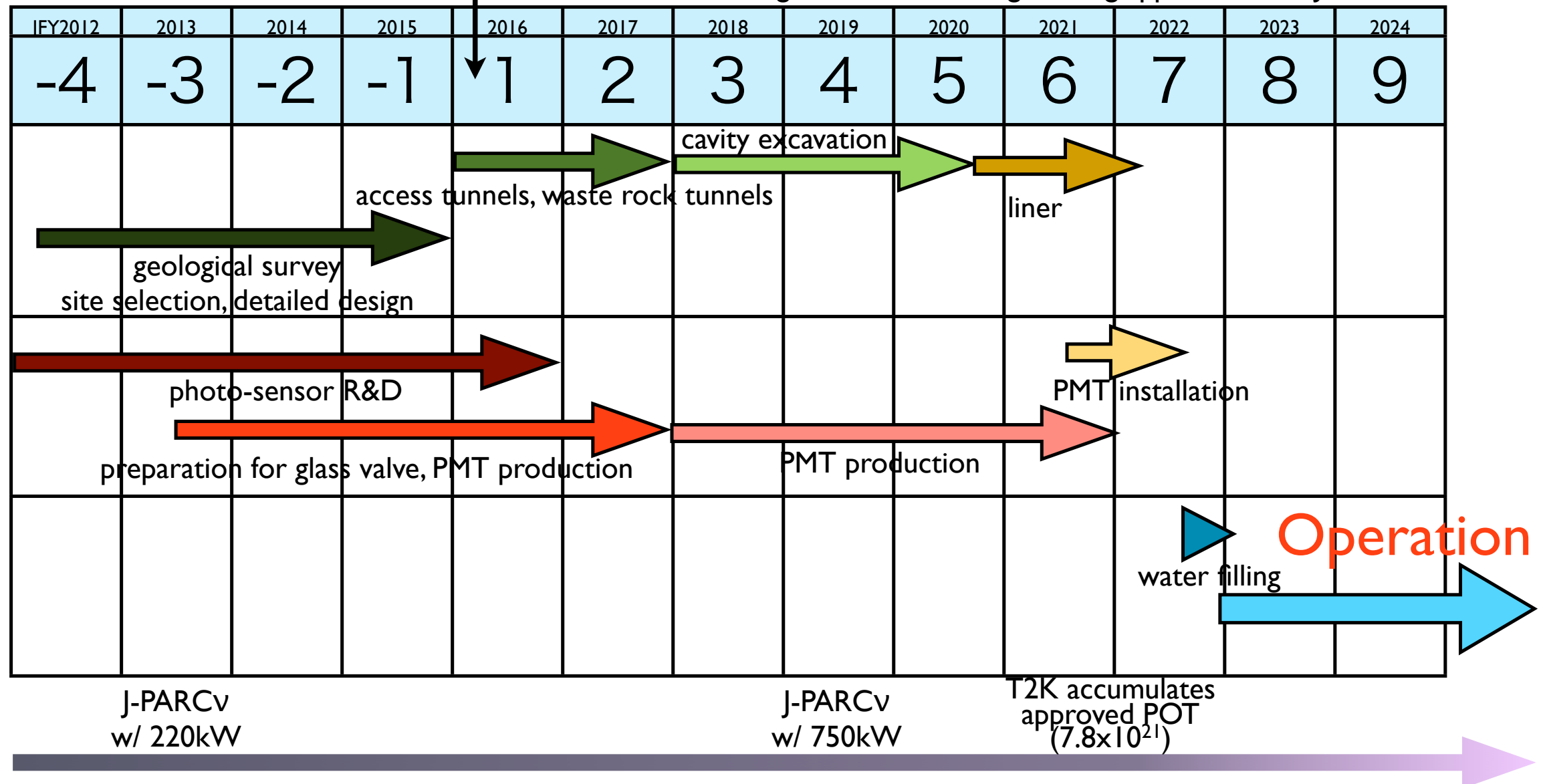
- これまでの感度スタディはSK/T2K用ソフトウェアによる
 - 使用に関する覚え書き締結
- 新たにハイパーカミオカンデ用ソフトウェアを開発
 - GEANT4ベースのシミュレーション
 - fiTQun (SK/T2Kで開発中の新再構成アルゴリズム)
- 開発・検証ほぼ終了→物理感度の研究に使用へ



Notional Timeline

Construction start

assuming construction budget being approved from JPY2016



(Optimistic) Timeline for anticipated results

- 2022 $\sim 2\sigma$ **CPV indication** ($\sin\delta=1$) by T2K+reactors (also in Nova)
- 2023 *Start Hyper-K data taking*
- 2026 **Discovery of leptonic CPV** w/ $>5\sigma$ (MH at the same time or earlier)
- 2028 **Discovery of proton decays**
- 20XX Always ready for **Supernova neutrino burst**

まとめ

- 2012年8月に国際ワーキンググループを結成し、精力的に開発研究を推進中
- Whitepaperに9カ国から167人
- 定期的にオープンミーティングを開催、毎回約100名（約半数は海外）が参加
 - 次回は2014/1/27-28 @ Kavli IPMU
- 電子ニュートリノ出現が発見され、国際的にも次のステップに進む時という機運

好機を逃さず早期実現を！