

ハイパーカミオカンデ 計画報告



関口 哲郎
KEK素粒子原子核研究所



平成27年度宇宙線研共同利用研究成果発表会
平成27年12月19日

- 多岐にわたる物理探索

- ニュートリノ振動 (加速器 ν 、大気 ν 、太陽 ν)

- CP対称性の破れ

- 質量階層性の決定

- $\theta_{23} = 45^\circ?$, $> 45^\circ?$ or $< 45^\circ?$

- 太陽 ν 観測における昼夜非対称

- 陽子崩壊 = 大統一理論の探索!

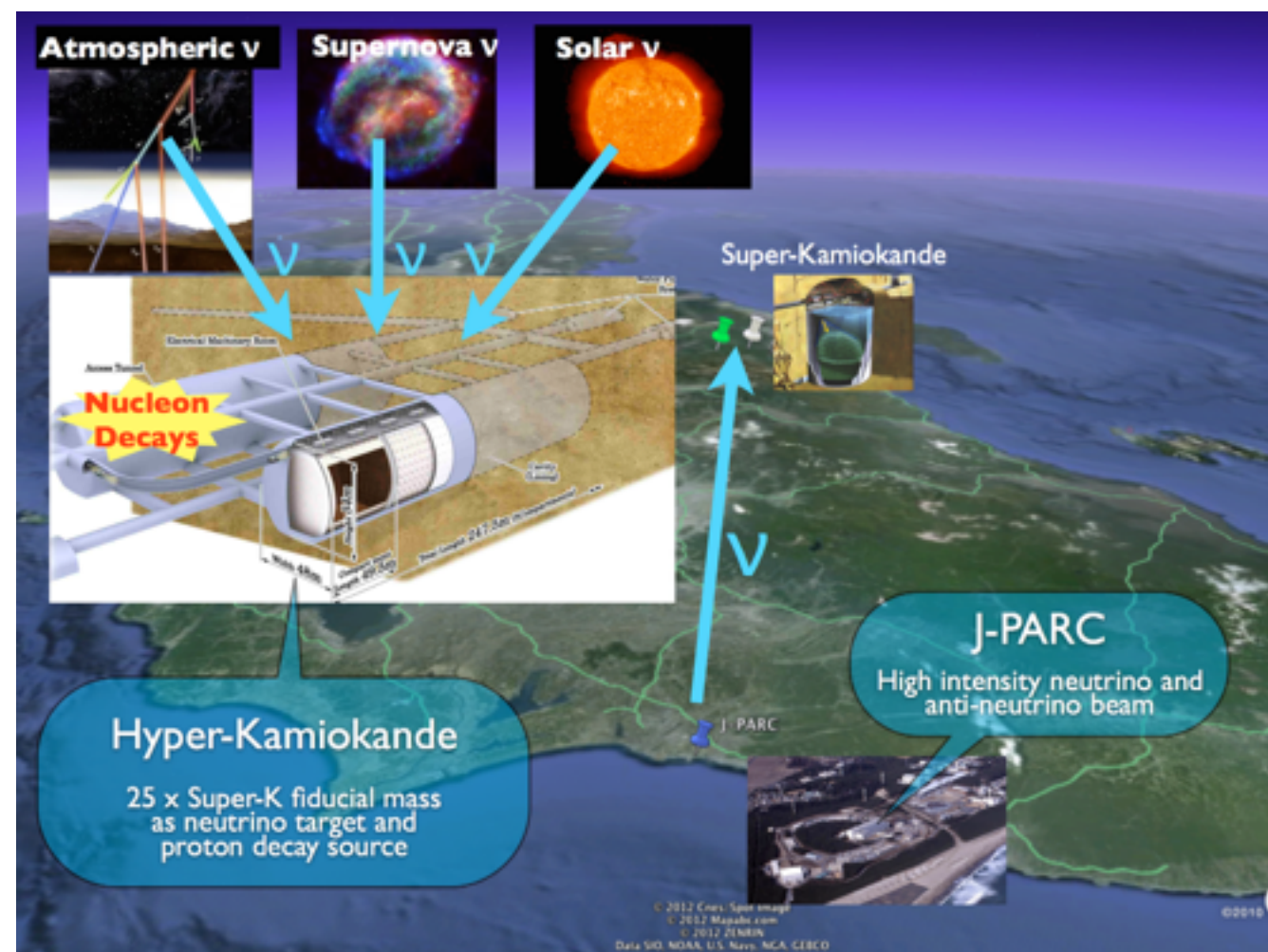
- $p \rightarrow e^+ \pi^0$ (SK 90% limit = 1.4×10^{34} 年)

- $p \rightarrow \nu K^+$ (SK 90% limit = 6.6×10^{33} 年)

- 超新星ニュートリノ

- 超新星爆発ニュートリノ：爆発過程の解明

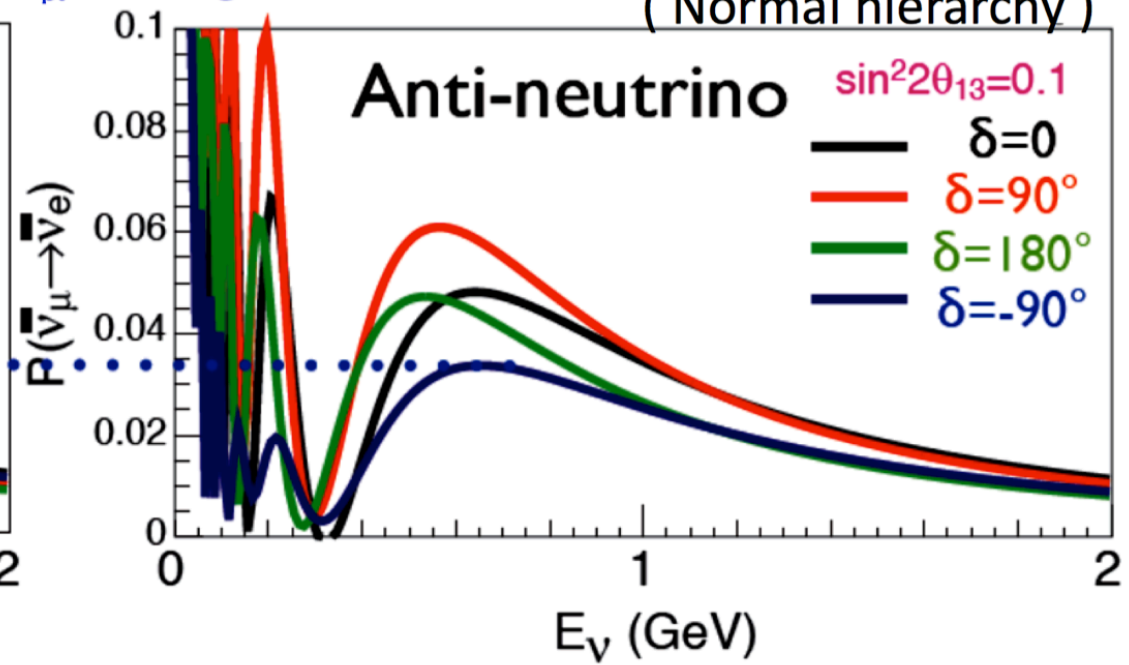
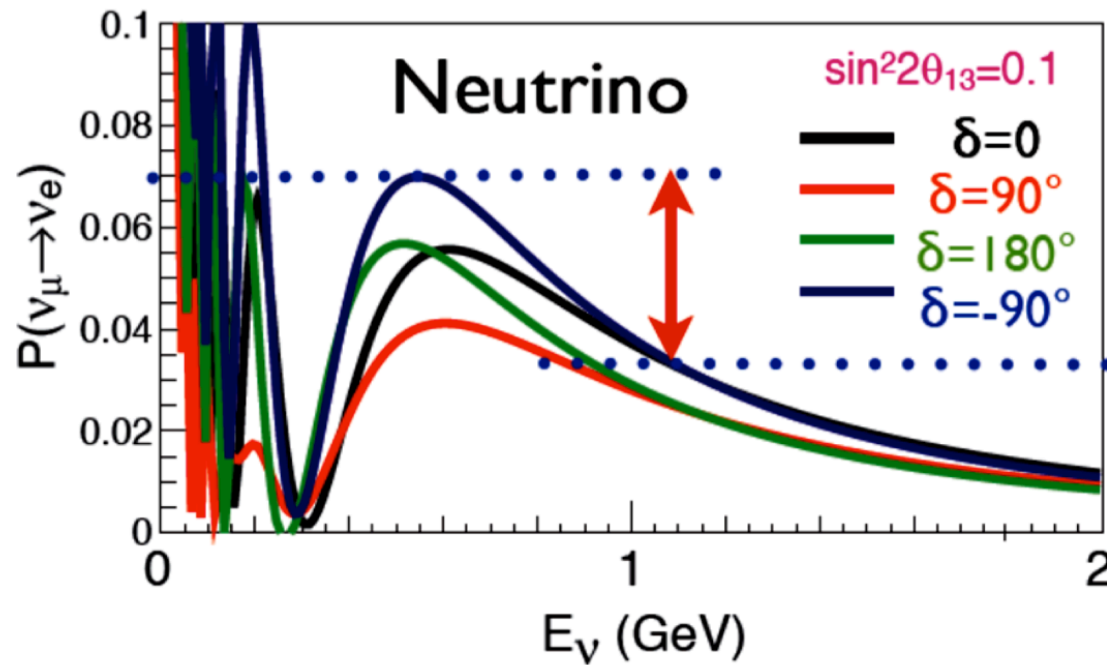
- 超新星残骸ニュートリノ：宇宙初期の観測



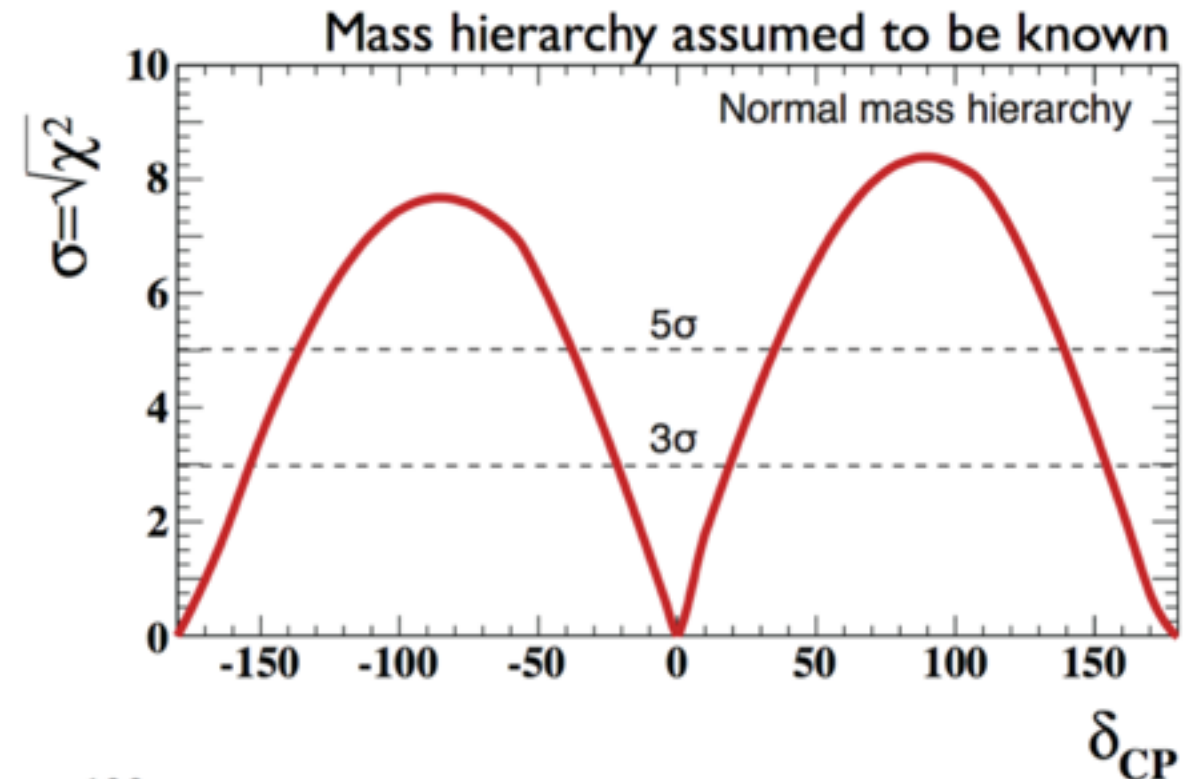
CP対称性の破れの探索

7.5 MW · year

Oscillation prob. for $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ @ 295km *Y. Hayato, Neutrino2014*
(Normal hierarchy)



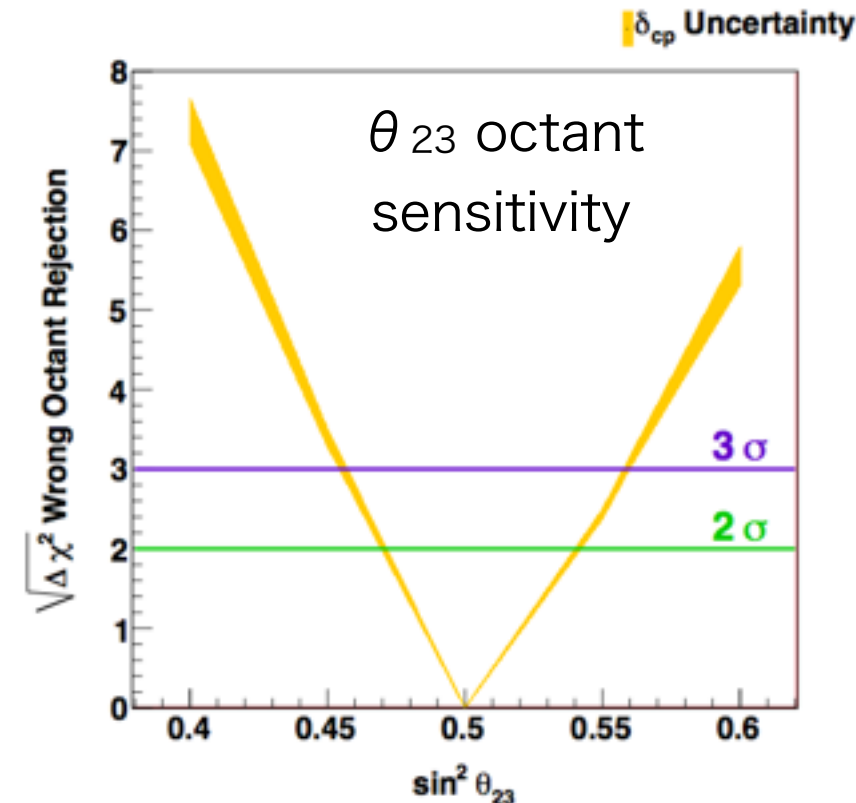
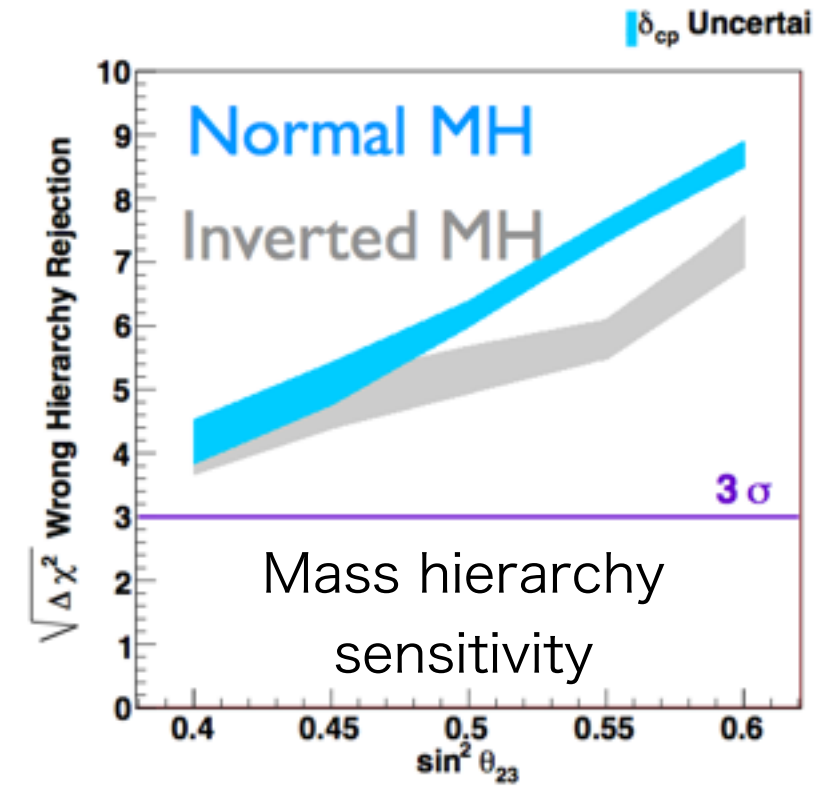
- $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ と $\bar{\nu}_\mu \rightarrow \bar{\nu}_e$ の振動確率を比較
- $\delta = 0$ と比べて最大±25%の差
- $\delta = 0$ を排除できる δ の範囲
 - 3σ 以上では、76%
 - 5σ 以上では、58%



大気ニュートリノ

- 大気ニュートリノ観測 (5.6 Mton · year)
 - 4 σ 以上の質量階層性決定への感度
 - $|\theta_{23}-45^\circ|>8^\circ$ の範囲で3 σ 以上の感度
- 大気 ν + 加速器 ν 観測
 - 加速器ニュートリノによる θ_{23} と Δm^2_{23} の測定結果を合わせることで感度が向上

5.6 Mton · year



	Mass Hierarchy (σ)		θ		
	Atm	Atm + Beam			
sin	3.8	6.9	sin	3.6	7.2
sin	8.4	9.9	sin	2.7	4.0

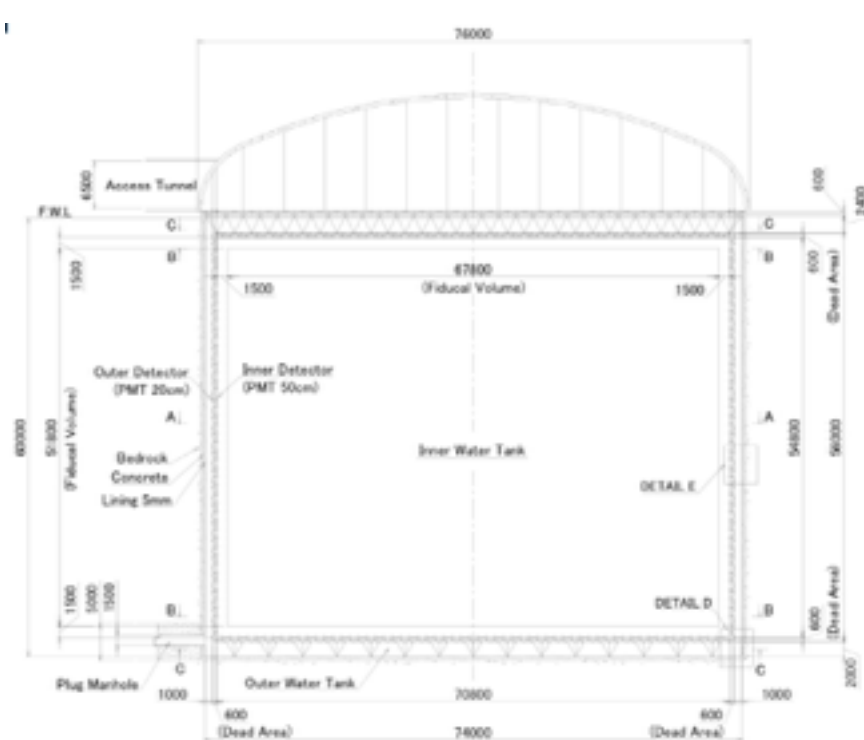
最近の進展 (空洞)

- ・ 空洞形状の最適化

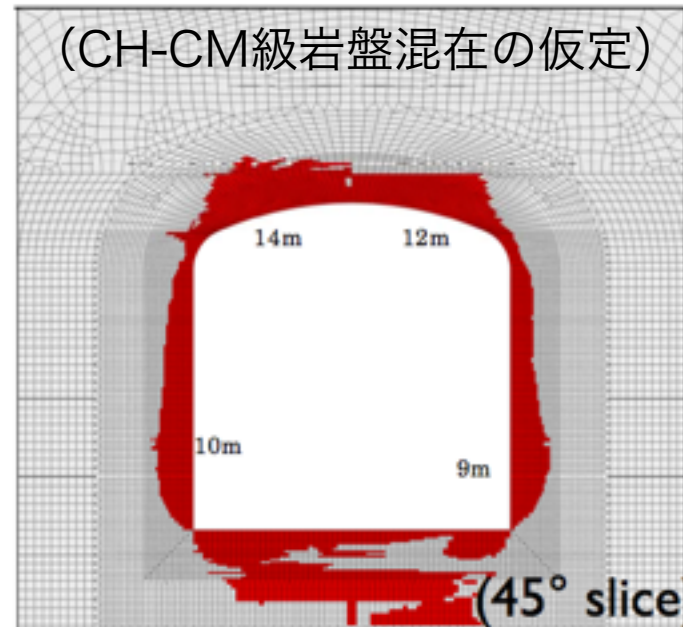
- ・ コスト削減、施工性、力学的安定性

- ・ 大断面の円筒形状 (SK-like)

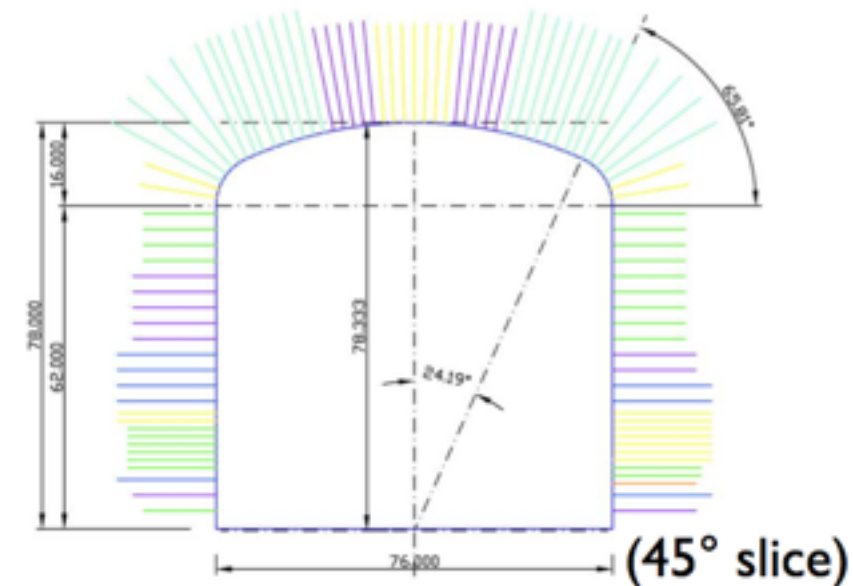
- ・ 有効体積が同じ場合、20%総掘削体積を削減可能
- ・ 表面積 / 有効体積の比率は、約40%減 → PMTの総数を減らせる。
- ・ 力学的安定性、施工方法、コストなど検討済



空洞安定性解析
塑性変形領域



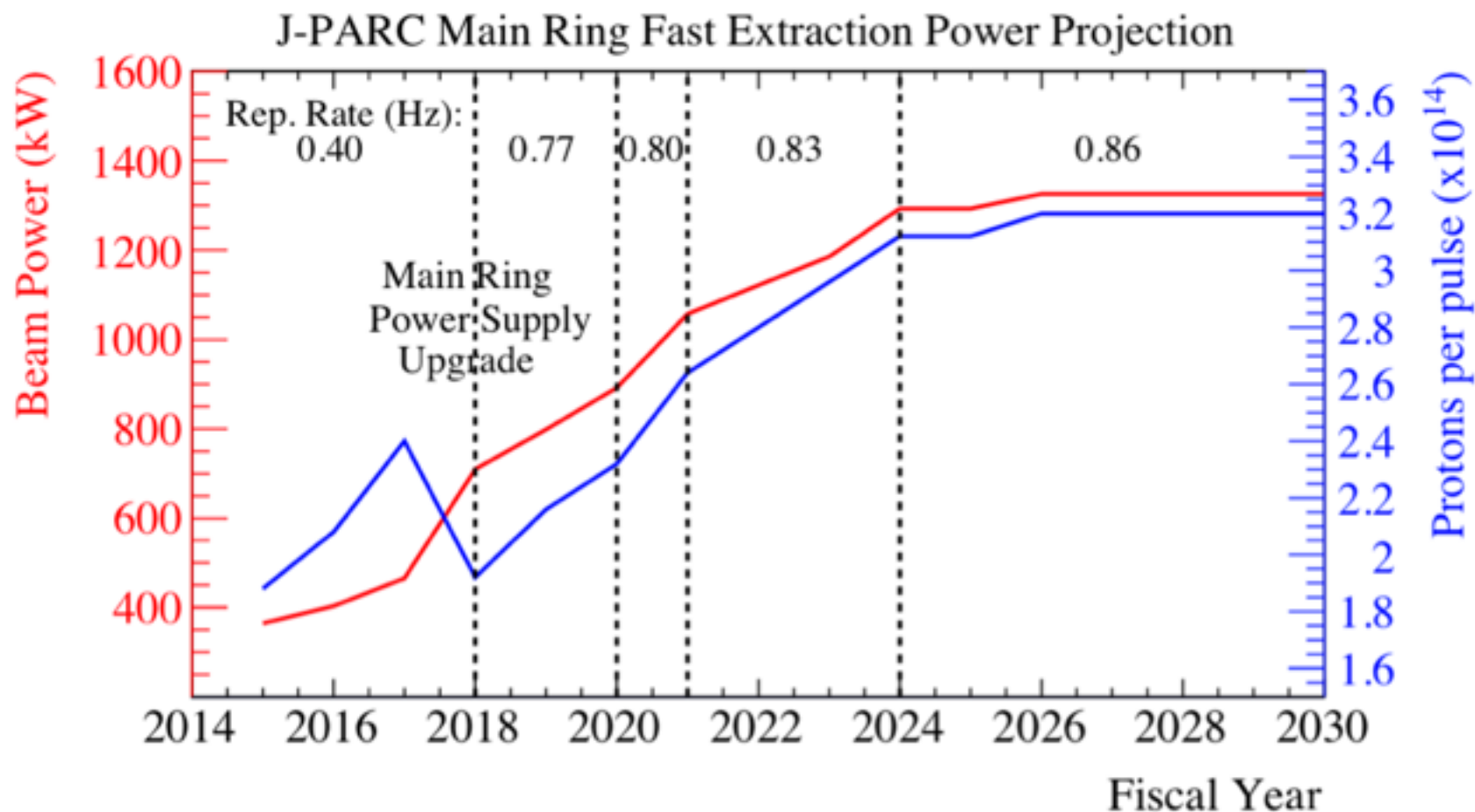
PS-アンカー配置



最近の進展 (加速器)

・ J-PARCのビームパワー増強

- ・ 2026年までに、**1.3 MW**を目指す方針が示された。
 - ・ 3.2×10^{14} protons/pulse + 0.86 Hz (1.16 sec.)
- ・ 1.73倍の統計 or 同じ統計なら10年→6年の時間短縮
 - ・ 加速器 ν を用いた測定 (CP, $\sin^2 \theta_{23}$, octant) に大きな利益



- これまで、2つの候補を検討

Y. Hayato, Neutrino2014

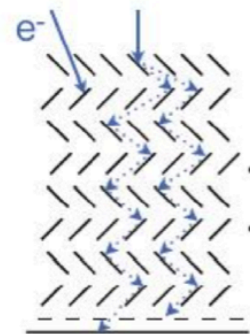
Better timing resolution ~ better vertex resolution
Higher quantum efficiency

Baseline (reference)

20" Super-K PMT



Venetian blind dynode



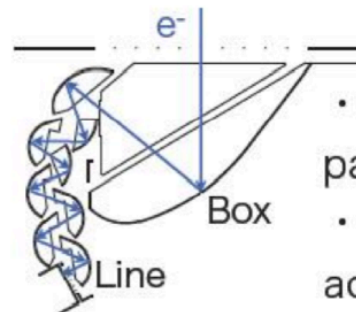
- Various drift path
- Might miss dynode

Candidates (R&D phase)

20" Box&line PMT



Box&line dynode

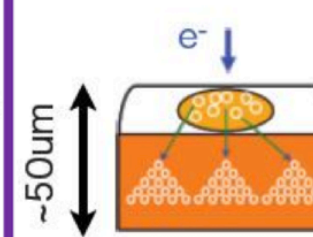


- Unique drift path
- Large acceptance

20" HPD



Avalanche diode (AD)

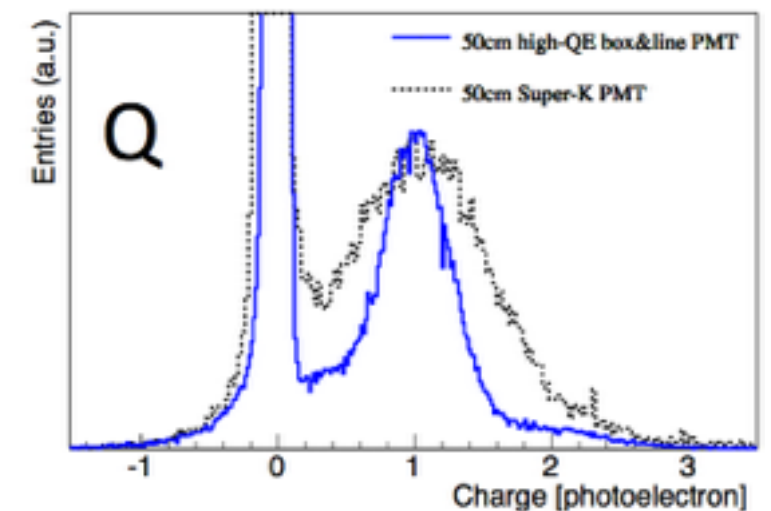
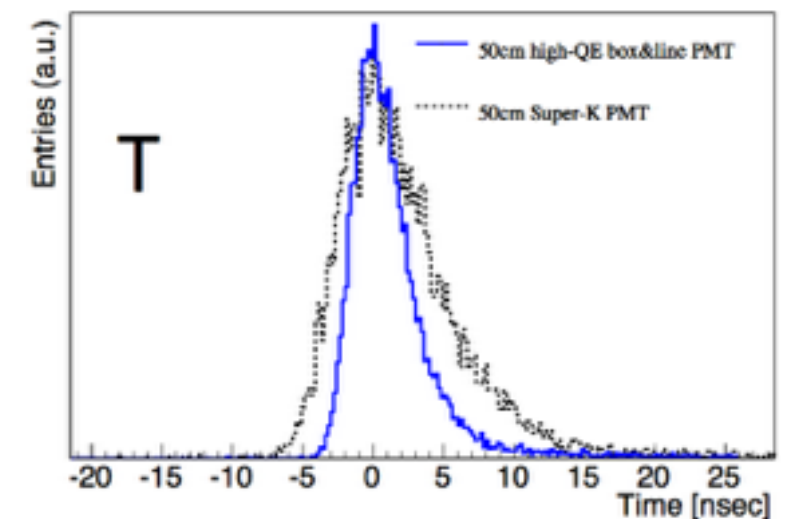
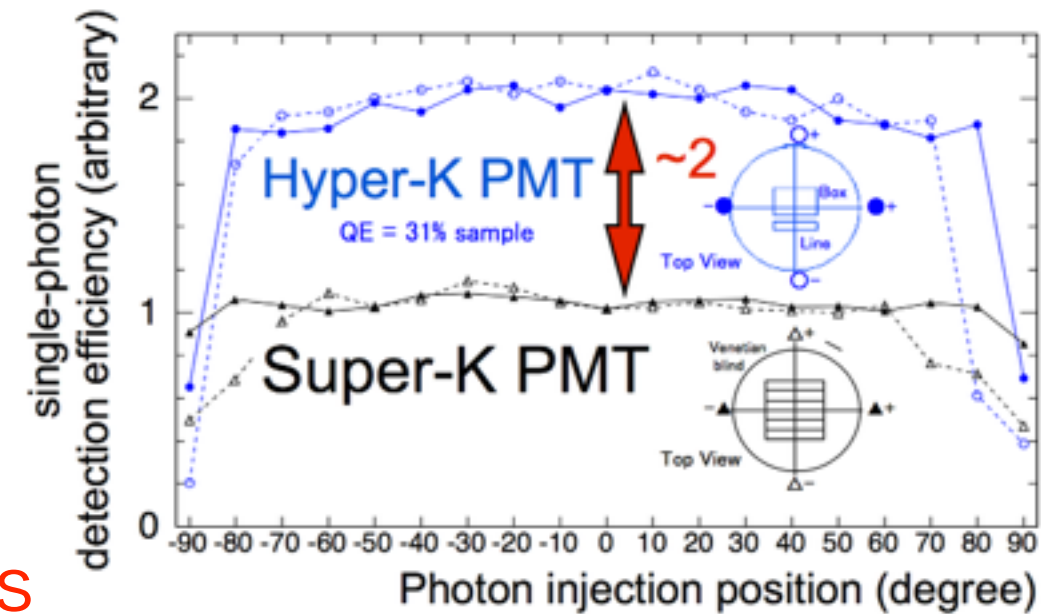


- Short drift path
- High first step gain (x1600)

Quantum eff.	22%	30%	30%
Collection eff.	80%	93%	95%
Timing res. (FWHM)	5.5 nsec	2.7 nsec	1 nsec

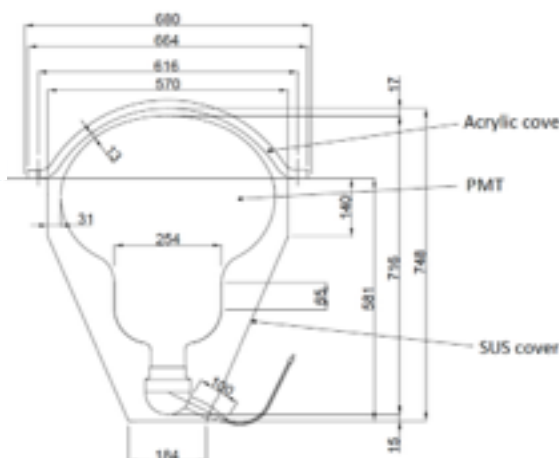
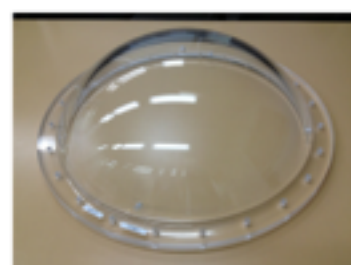
16

- Box&line PMTを第一候補とした。
- SK PMTと比較して、高い性能
 - single-photon efficiency : **2倍**
 - 1 p.e. timing resolution : 5.5 ns → **2.7 ns**
 - 1 p.e. charge resolution: 53% → **35%**
- 耐水圧試験(水深125m相当)
 - 初回の21個は割れなかった。
 - 来月、100個の試験を行う予定。



誤爆防護カバー

- 耐水圧試験
- 破壊試験



検出器キャリブレーション

- ・ SKでの実績を基に設計
- ・ 海外と共同でR&Dが進行中
 - ・ 自動校正装置
 - ・ 光センサー試験設備 (@TRIUMF)
 - ・ キャリブレーションソースの開発

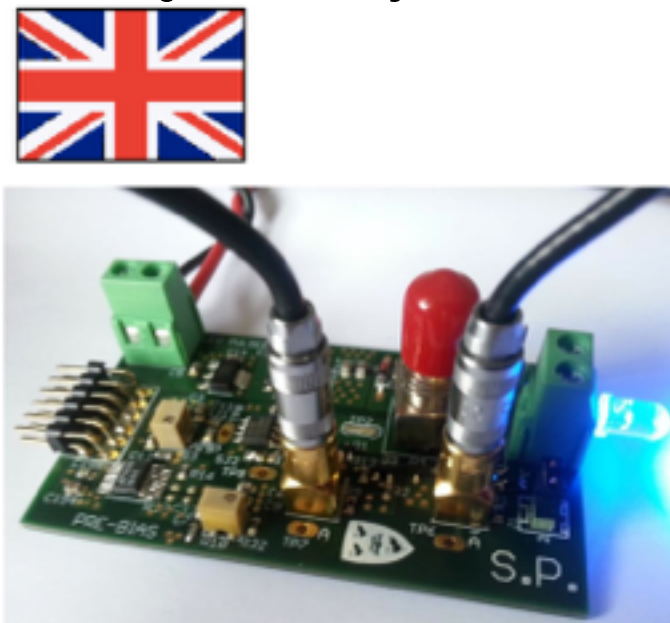
光センサー試験設備



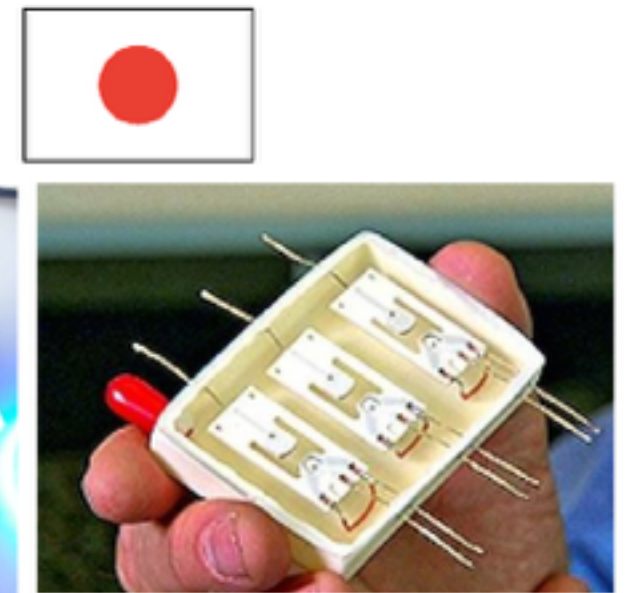
自動校正装置



Integrated light injection system



小型の中性子源



IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE,
VOL. 40, NO. 9, SEPTEMBER 2012

- ・ HKでの長基線ニュートリノ振動実験に関する論文を投稿
 - ・ K. Abe *et al.* (Hyper-Kamiokande Proto-Collaboration), “Physics potential of a long-baseline neutrino oscillation using J-PARC neutrino beam and Hyper-Kamiokande”, Prog. Theor. Exp. Phys. 053C02 (2015).
- ・ **HK Design Report**
 - ・ HKのデザインに関する詳細をまとめている
 - ・ 物理、加速器、測定器、コスト、スケジュールなど合計295ページ
 - ・ 今月、ドラフトが完成
 - ・ 外部レビューを経て、3月に完成予定

Proto-Collaboration 結成

- ・ 2015年1月31日、HK国際共同研究グループを結成
 - ・ 国際的な組織体制を構築
- ・ HK実現に向けた協力体制
 - ・ KEK素核研と宇宙線研で覚え書きを締結



HK実現に向けた動向

- ・ 2015年1月
 - ・ 国際共同研究グループを結成
 - ・ KEK素核研と宇宙線研がHK実現を目指した協力に関する覚書を締結
- ・ 2015年10月
 - ・ KEK IPNSとICRR両所長が、Hyper-Kamiokande Advisory Committee (HKAC)をコール
- ・ 2015年12月
 - ・ Design ReportのDraft完成
 - ・ HKAC電話会議にて、HKとDesign Reportの概要説明
- ・ 2016年2月
 - ・ HKAC本会議：Design Reportについて審議。3月までに答申を出す。
- ・ 2016年3月(?)
 - ・ 学術会議大型計画マスタープランへの申請

・ HKでの物理

- ・ CP対称性の破れ、質量階層性、陽子崩壊、超新星ニュートリノ、など多岐にわたる物理を検証

・ 最近の進展

- ・ 空洞形状の最適化
- ・ 光センサー：Box&line PMTを第一候補とし、性能評価を継続中。
- ・ Design Reportのドラフト完成

・ 実現に向けた動き

- ・ Proto-collaboration結成、KEK IPNS - ICRR間のMoU締結
- ・ Hyper-Kamiokande Advisory Committeeによる外部評価
- ・ 2016年の学術会議大型計画マスタープランへの申請