

# 100万トン水チェレンコフ検出器 (ハイパーカミオカンデ) 開発研究

西村 康宏  
東京大学宇宙線研究所  
宇宙ニュートリノ観測情報融合センター



平成24度共同利用研究成果発表会  
2012/12/7 (金)

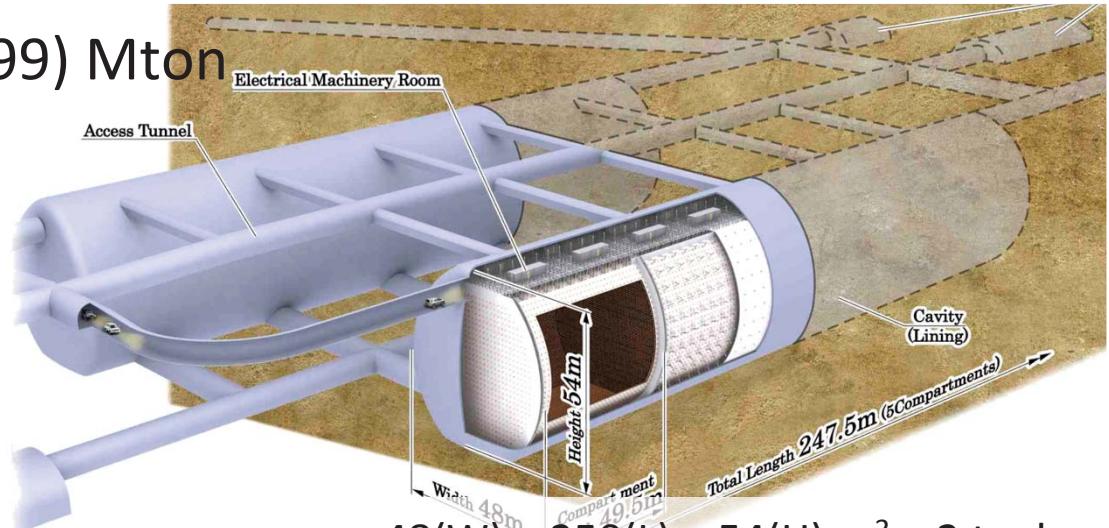
# Hyper-Kamiokande計画

## Super-Kamiokande



0.0225 (0.05) Mton → 0.56 (0.99) Mton  
 (since 1995) Fiducial (Total) 25 (20) 倍  
 確立された技術  
 (大型水タンク・  
 20インチPMT等)  
 +新技術?  
 39.3m φ × 41.4m  
 5-10年で建設開始?

## Hyper-Kamiokande



48(W) × 250(L) × 54(H) m<sup>3</sup> × 2 tanks

候補地  
二十五山  
地下648m

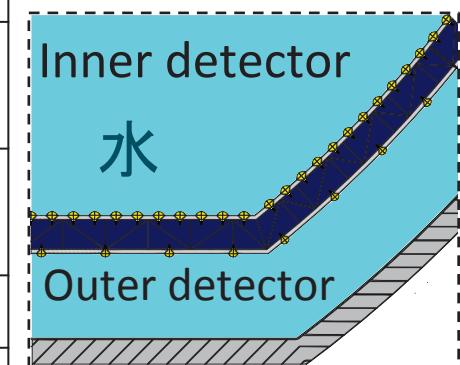


確立された技術  
 (大型水タンク・  
 20インチPMT等)  
 +新技術?  
 39.3m φ × 41.4m  
 5-10年で建設開始?

## 20インチ光電子増倍管の数と検出効率

	Super-K	Hyper-K
Inner detector (for ν detection)	11,129 (20-inch)	99,000 (20-inch)
Outer detector (for cosmic-ray veto)	1,885 (8-inch)	25,000 (8-inch)
Photo-coverage	40%	20% <sup>†</sup>
QE (quantum efficiency)	22%	~30%

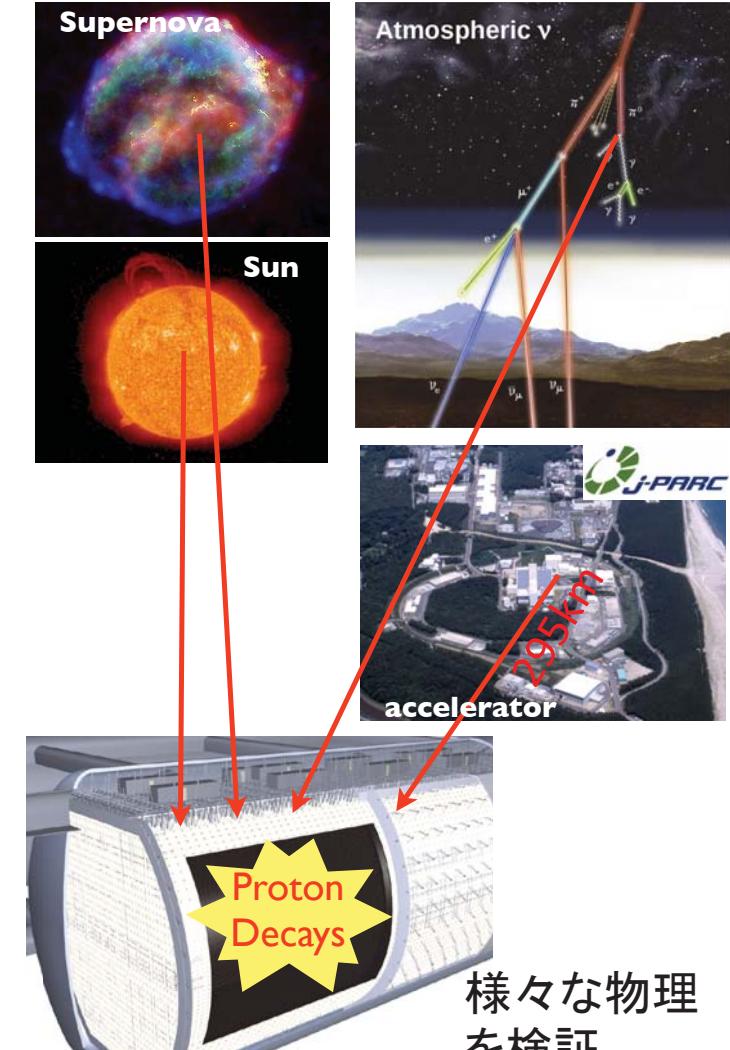
断面



# Hyper-Kで見える物理

- ニュートリノ振動(長基線・大気)
  - レプトンセクターCP位相
  - 質量階層性
  - 振動パラメータ精密測定
- 宇宙ニュートリノ
  - 太陽、超新星爆発/背景ν観測、  
ガンマ線バースト、太陽フレア、…
- 核子崩壊
  - 大統一理論検証
- 暗黒物質(WIMP、…)

2012/6 T2K実験で振動角 $\theta_{13}$ が有限値観測  
→ハイパーカミオカンデでレプトンCP対称性の破れ検証へ



様々な物理  
を検証

# 最近の動向

- 提案書  
(2011/9)

- 構造・物理感度...

- 第1回オープンミーティング @ IPMU 柏 (2012/8/21-23)

- 参加者～100人  
(海外から～50人)
- 40人の講演者から報告  
(物理感度、空洞・タンク構造、純水、光センサ、DAQ、ソフトウェア、キャリブレーション、J-PARC、他実験現状等)
- 本格的に始動開始、開発研究・建設へ

arXiv.org > hep-ex > arXiv:1109.3262

High Energy Physics – Experiment

<http://arxiv.org/abs/1109.3262v1>

**Letter of Intent: The Hyper-Kamiokande Experiment --- Detector Design and Physics Potential ---**

K. Abe, T. Abe, H. Aihara, Y. Fukuda, Y. Hayato, K. Huang, A. K. Ichikawa, M. Ikeda, K. Inoue, H. Ishino, Y. Itow, T. Kajita, J. Kameda, Y. Kishimoto, M. Koga, Y. Koshibo, K. P. Lee, A. Minamino, M. Miura, S. Moriyama, M. Nakahata, K. Nakamura, T. Nakaya, S. Nakayama, K. Nishijima, Y. Nishimura, Y. Obayashi, K. Okumura, M. Sakuda, H. Sekiya, M. Shiozawa, A. T. Suzuki, Y. Suzuki, A. Takeda, Y. Takeuchi, H. K. M. Tanaka, S. Tasaka, T. Tomura, M. R. Vagins, J. Wang, M. Yokoyama

(Submitted on 15 Sep 2011)

**Open Meeting for the Hyper-Kamiokande Project**

<http://indico.ipmu.jp/indico/conferenceTimeTable.py?confId=7>



# Hyper-K Working Group

- Open meetingでWorking groupを結成(建築までの暫定)

Project reader  
(塩澤)

構成員  
92名

Working group  
建設へ向け始動

1.空洞・タンク (塩澤+11人)

2.純水 (関谷・Vagins+9人)

3.光検出器 (中山・西村+20人)

4.DAQ (早戸+5人)

5.ソフトウェア (三浦+10人)

6.キャリブレーション +21人  
(田中・Tanaka・小汐・峰・Mccauley)

7.加速器

物理 (横山)

## Steering Committee

中家、  
相原、中畠、塩澤、横山

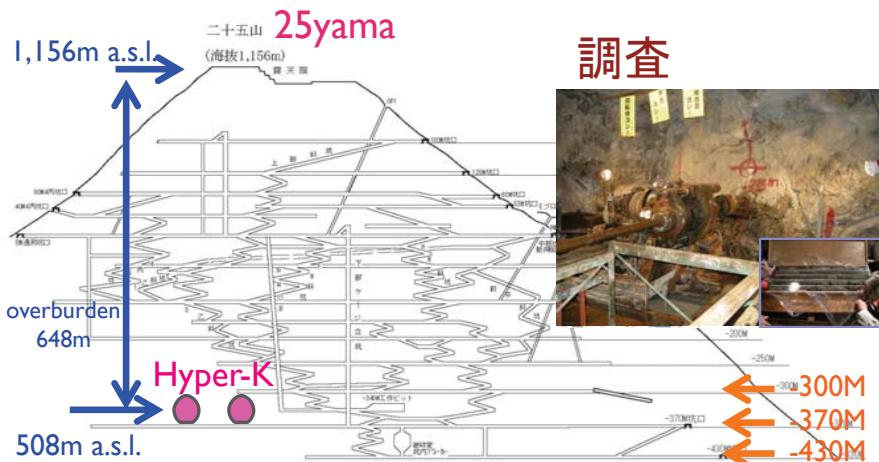
- 宇宙線研を中心に、  
国内・国外各所から参加
- 各グループで  
定期的に会合、  
開発研究を推進

長基線ニュートリノ (横山, 29人)

大気ニュートリノ・核子崩壊(Wendell, 28人)

宇宙物理 (竹内, 20人)  
(超新星爆発・太陽ニュートリノ等)

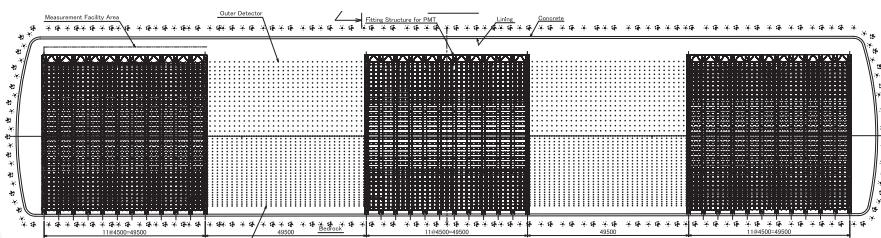
# タンク・空洞掘削



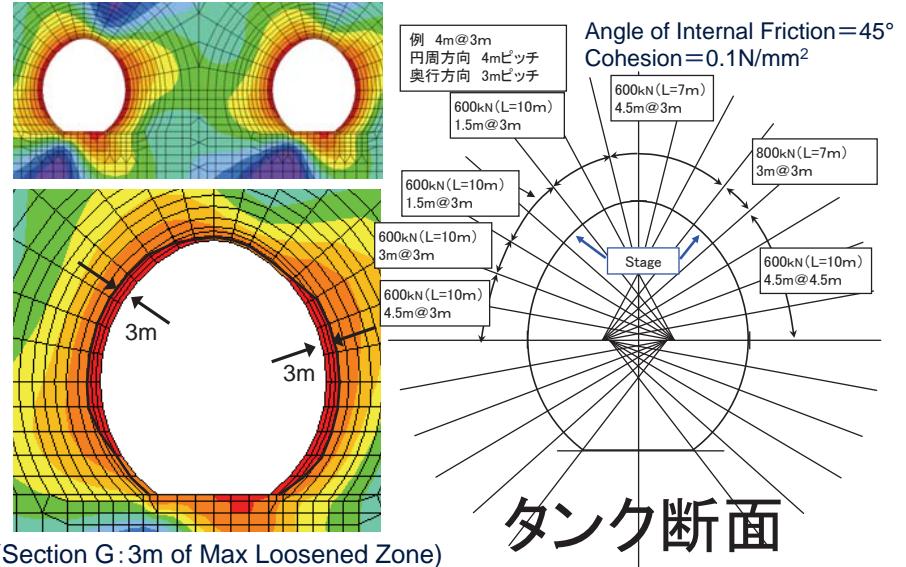
## 構造の検討

### 断面構造

- ・強度、光センサ取り付け、..
  - タンクを5つに分けるかどうか
  - ・水透過長、トリガーレート、性能、予算、...
- 
- 現行案: 2,076m<sup>2</sup>  
(w 48.0m × H 54.0m)
- 変更案4: 2,024m<sup>2</sup>  
(w 44.01m × H 59.35m)

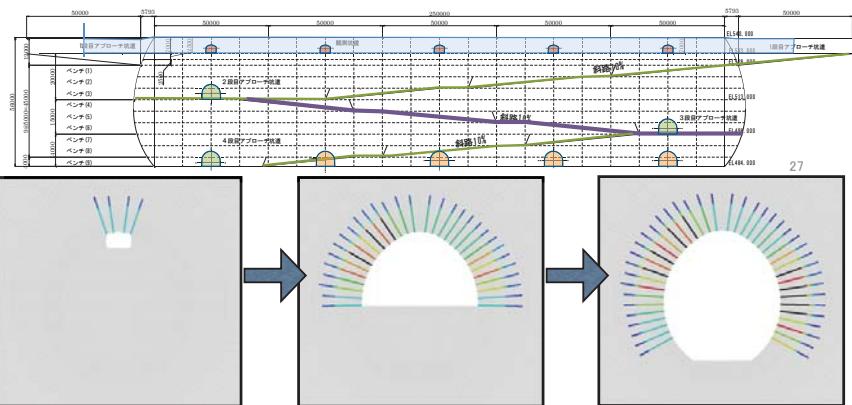


## 空洞の安全度を見積り



## タンク断面

## 掘削ごとの強度計算

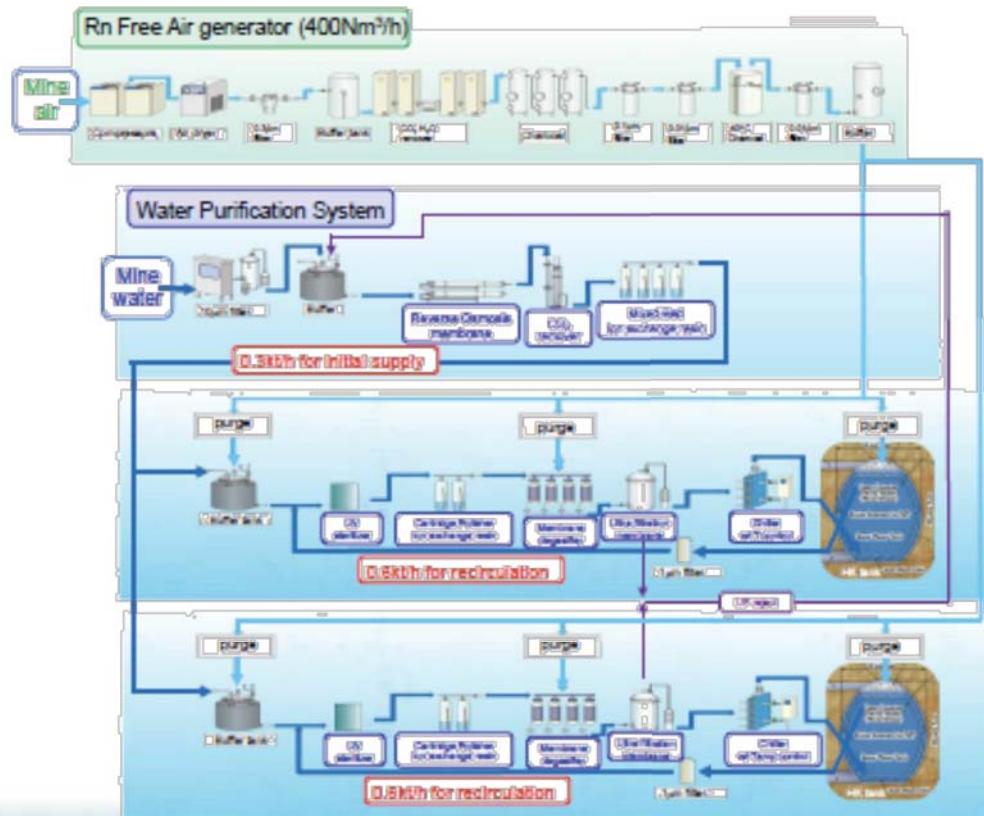
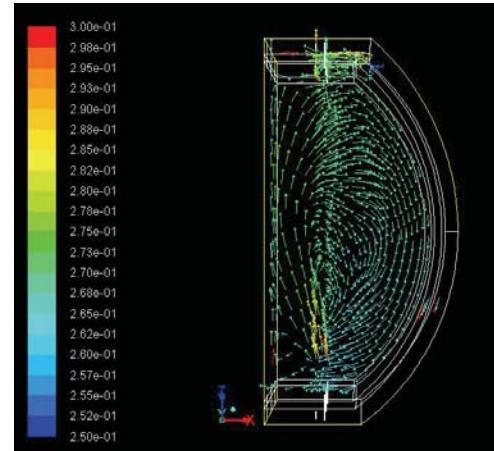


# 純水

100万トンの  
超純水製造  
に向けて



流量計算  
・純度保持に、  
循環は重要  
・進行中



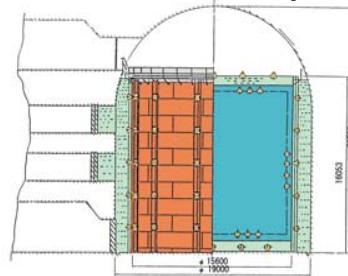
- 水循環システムの設計・見積り進行中
  - 70x2日で注水
  - 35日で一循環

# 光センサ

- 20インチ光電子増倍管

- カミオカンデ時代  
(1983-1996) から
- 30年にわたる実績
- ハイパーカミオカンデ基本設計で使用を仮定

948+123本/3000トン



- 新型光センサ開発

- 光電子増倍管改良

- ▶ 量子効率  $22\% \rightarrow 30\%$  (3月に試作機完成)
- ▶ 別タイプのダイノード設計 (時間性能向上)

- 新型センサ

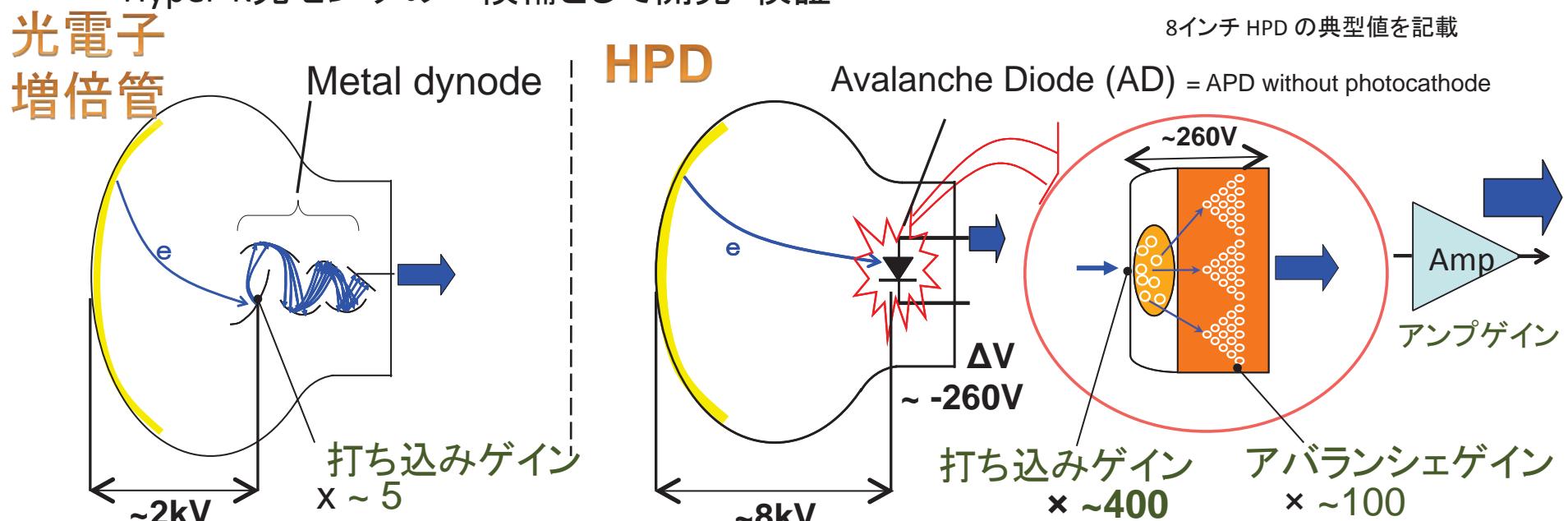
- ▶ ハイブリッド型光検出器 HPD (開発進行中、試作機試験)
  - 半導体センサ使用、高性能・低価格化



開発  
+  
実証試験

# ハイブリッド光検出器 (HPD)

- HPD = Hybrid of 光電管 (光→e) and 電子検出器 (e→電流)
  - 電子検出にavalanche diode を用いたHAPD (Hybrid Avalanche Photo-Detector)を Hyper-K光センサの一候補として開発・検証



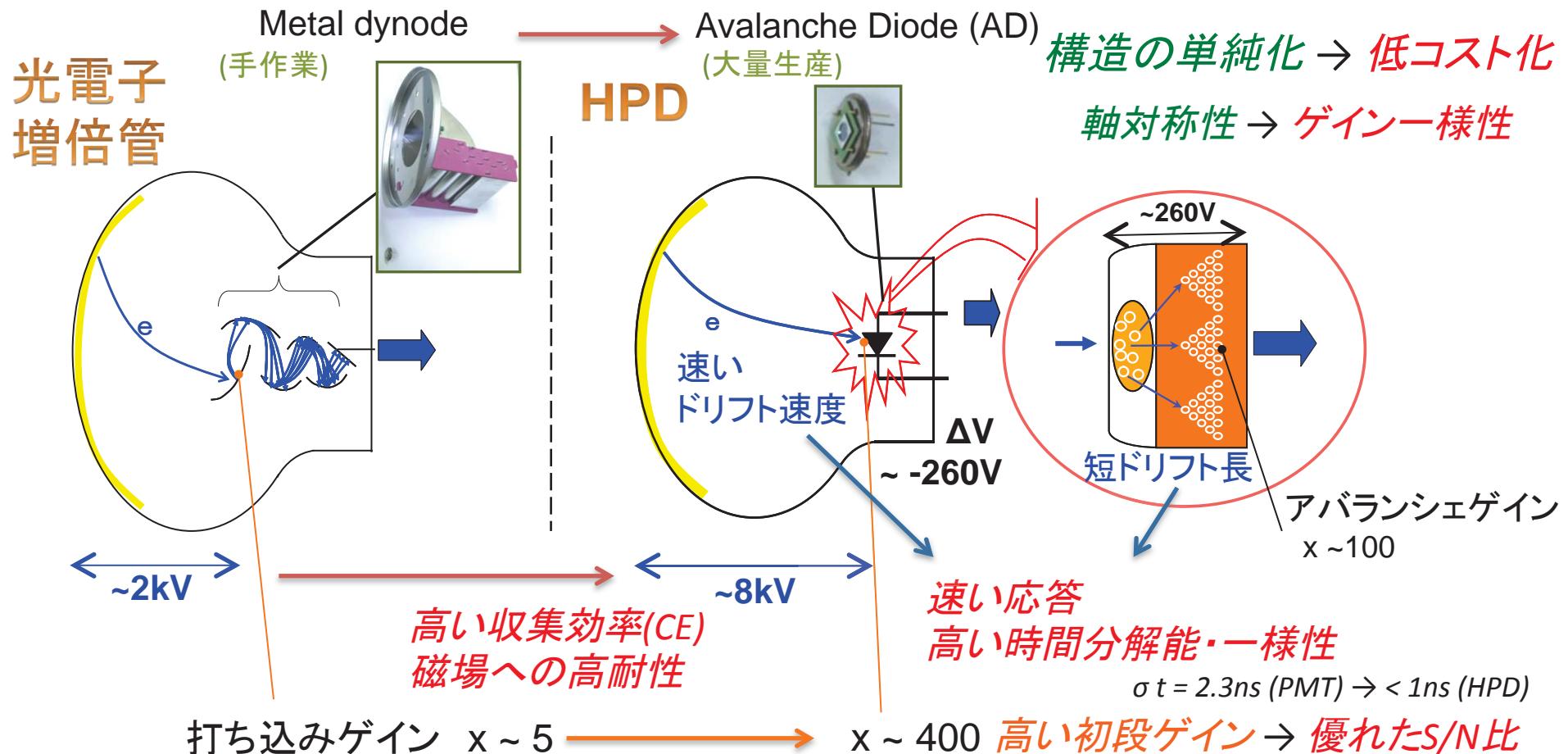
	PMT (20")	HPD (8")
HV	~2kV	~8kV
Gain	$\sim 10^7$	$\sim 10^4 \sim 10^5$
C.E.	~70%	~97%

光電面・ガラスは両者同じ素材 (QEも同じ)

10kV程度の高電圧が必要  
 { 電子をADの小さな領域に集める (~5-10mm)  
 { 打ち込みゲインで全体のゲインを上げる

Total gain  $\sim 4 \times 10^4 \times$  アンプゲイン

# HPDの利点



- 優れた性能(時間・光量分解能・一様性)を低コストで実現
- Hyper-K使用における課題 → 実証試験で実用性を評価
  - 10kV高電圧・長期水中使用への信頼性/実績・低ゲイン/ADノイズの影響

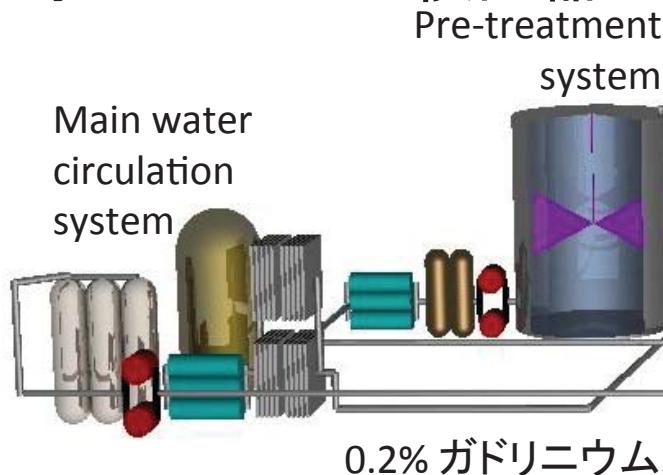
# HPD 実証試験

Evaluating Gadolinium's Action on Detector Systems

GADZOOKS! 実証用の200トン試験タンク.

(Gadolinium Antineutrino Detector Zealously Outperforming Old Kamiokande Super!)

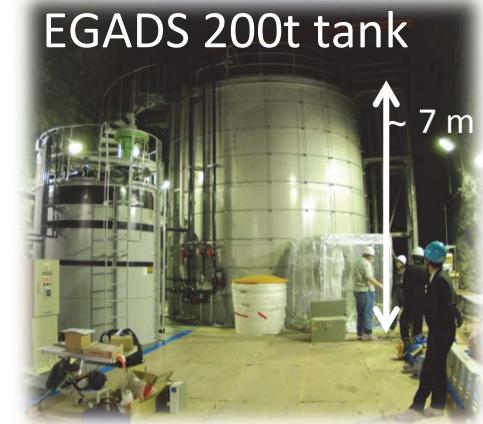
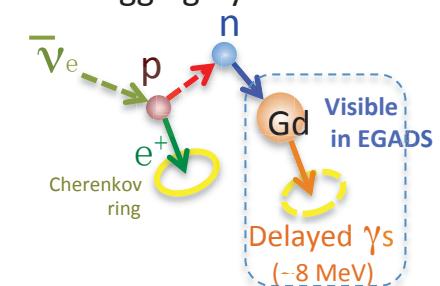
## 神岡坑内 水チェレンコフ検出器



- EGADS実験中に間借り
- 240本の20インチPMT(Super-Kと同じ)  
一部を、新型光センサに置き換え、  
実証・比較を行う
- ハイパーカミオカンデの光センサを決定

2012/12/7 100万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)

Anti-neutrino tagging by neutron



↑  
20-inch PMT

2013.4～

最初に、8インチ  
HPDを8本取付

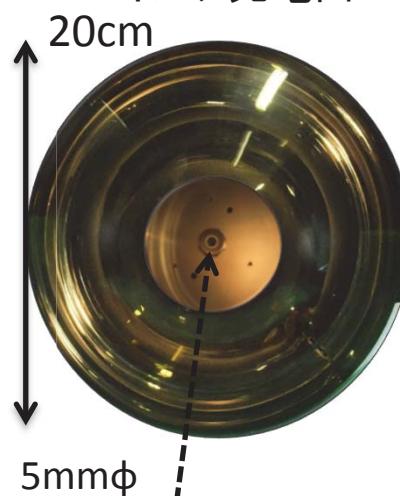
# 開発中のHPD

- 20インチ型の前に、8インチ型(Outer detector用)を開発
- アンプ・HV電源内蔵型

- 10V駆動(水中に高電圧線不要)
- +8000V, ~300Vを内部で発生
- コントロール線(<5V)で遠隔制御

8インチ光電面

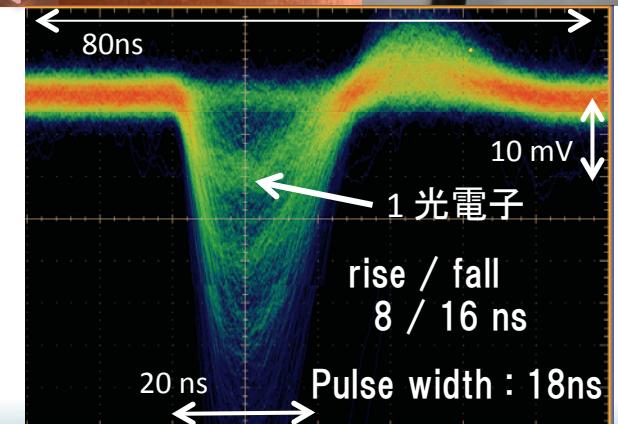
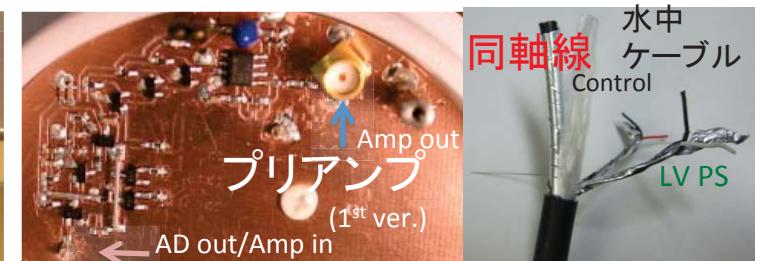
30cm



avalanche diode  
(AD)



項目	値
感度波長範囲	300 ~ 650 nm
光電面	バイアルカリ
面板材質	硼珪酸
2次電子増倍方式	半導体電子打ち込み式
ターゲット半導体	5mmφアバランシェダイオード

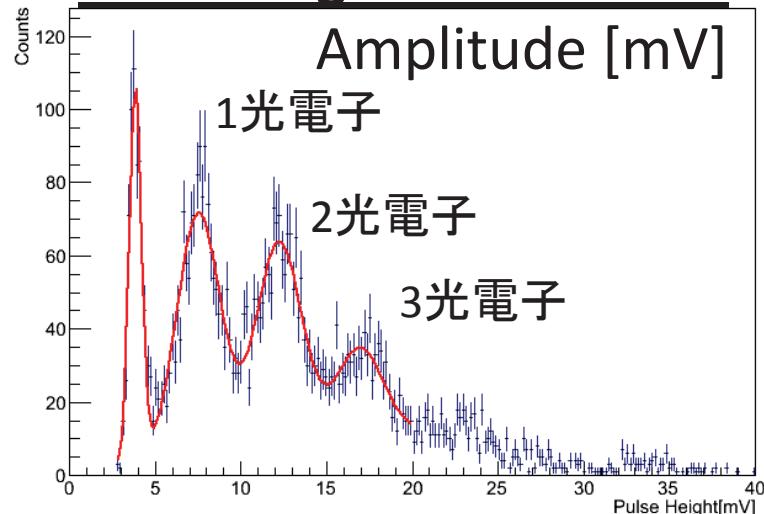


# HPD性能

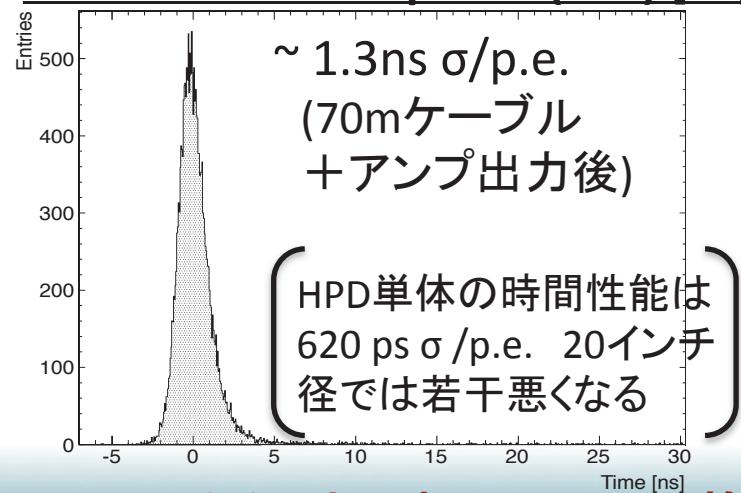
2012.5～

8インチHPD性能(神岡で実測)

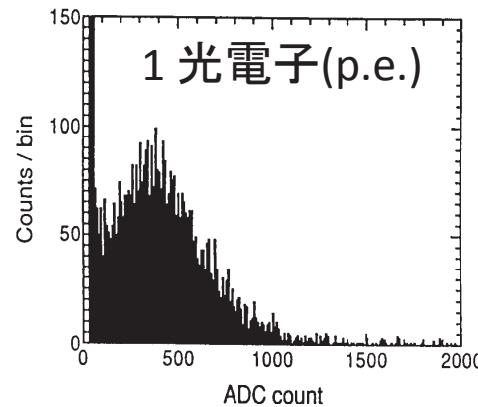
## Pulse height distribution



## Time Transition Spread (TTS) [ns]

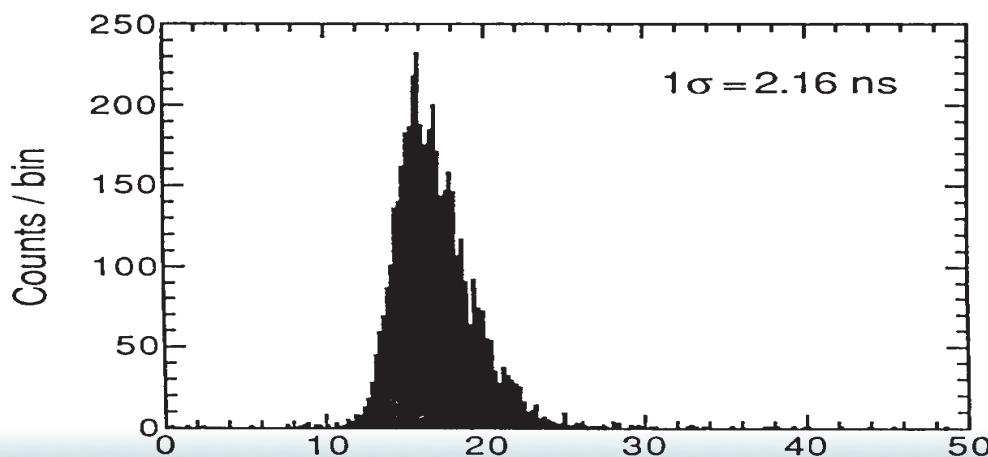


20インチPMT(スーパーカミオカンデ)



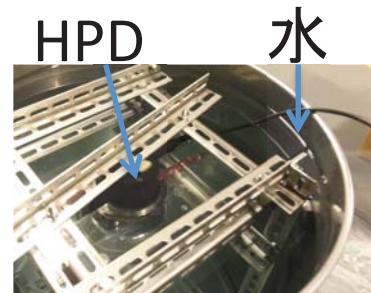
HPDは1光電子の  
識別が良い  
→エネルギー分解能  
が向上

HPDは時間性能が良い  
→位置精度も良くなる

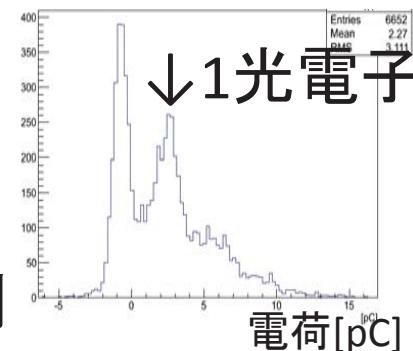


# 最近・今後のHPD開発

暗箱で評価中



水中で初観測



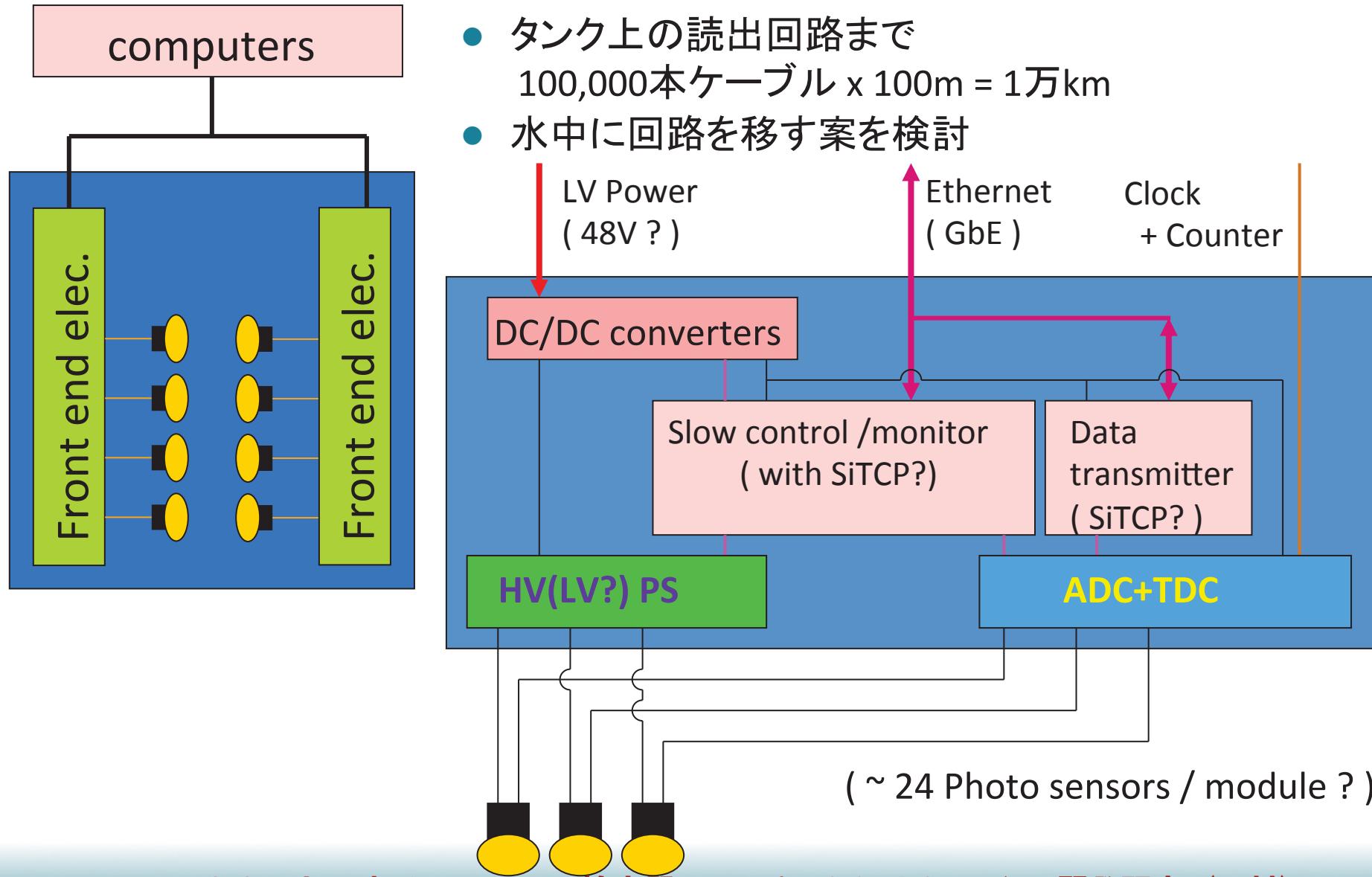
須田(東大)、芳賀(東大)、廣田(京大)、亀谷(東大)、…

## ● HPD 開発・試験

- 2012 : 8インチHPDの試験
- 2013 : 8本のHPDを200トン水タンクに取付、検証
- 2013-2014 : 20インチHPDを開発、実証試験
- 他の改良可能性も検討
  - ▶ 高量子効率HPD/PMT、集光コーン、反射材、波長変換材、防爆ケース、…
  - ▶ 水中の電源・読み出し回路試験も検討

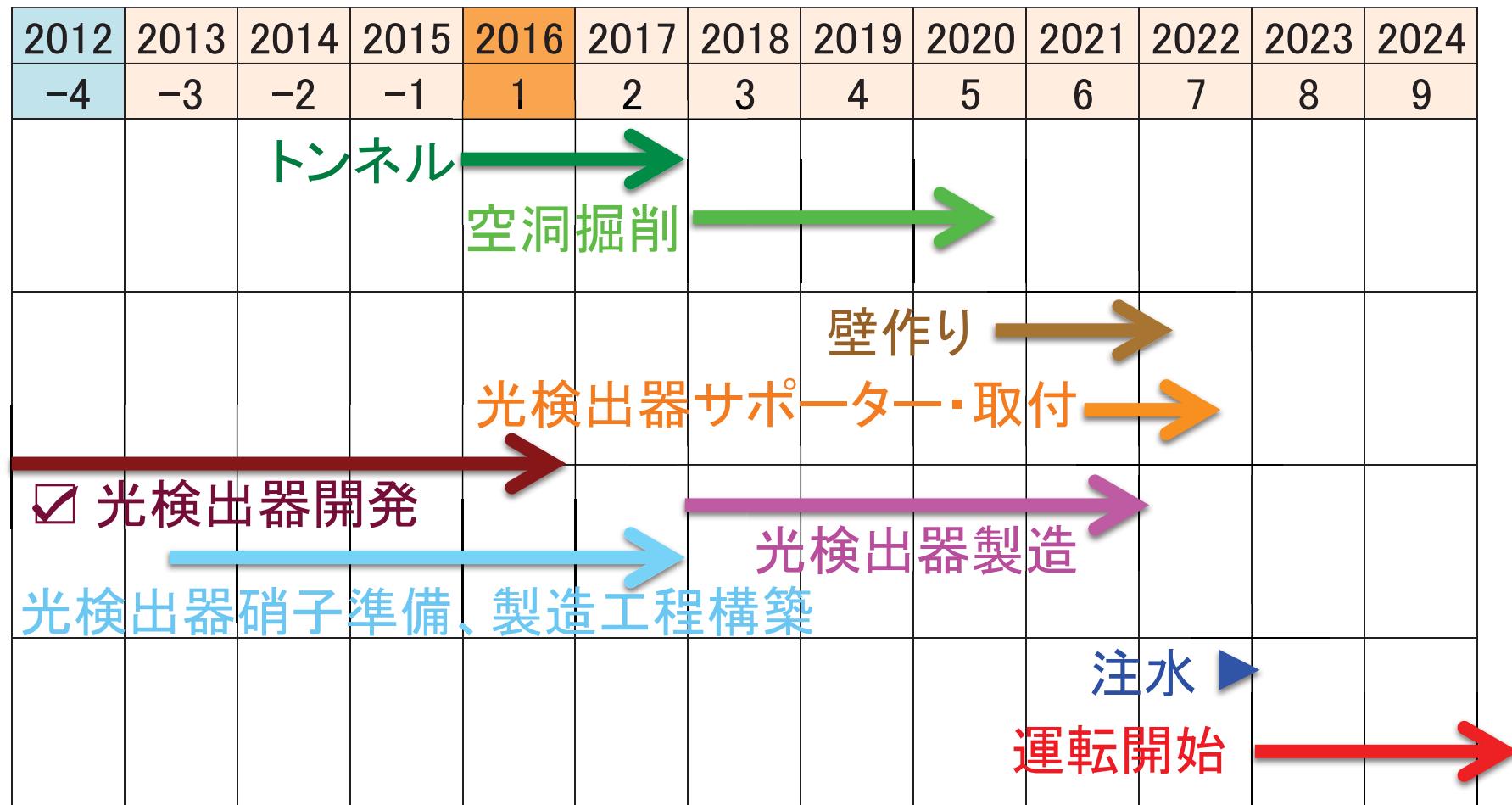
- 得られた性能を元にHyper-Kの感度を見積もり
- 3、4年で光センサ候補を決定

# DAQ (Data Acquisition)



# Hyper-K 建設タイムスケール

↓建設開始(仮定)



# 2<sup>nd</sup> Open Meeting for Hyper-K

## 2nd Open Meeting for the Hyper-Kamiokande Project

14-15 January 2013

Asia/Tokyo timezone

### Overview

Important Dates

Registration

Registration Form

Call for Abstracts

View my abstracts

Submit a new abstract

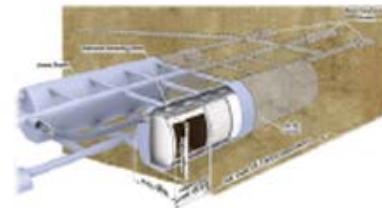
Contact Information

Timetable

Contribution List

Access

Accommodation



### Overview

The Hyper-Kamiokande project is being designed to be the next decade's flagship experiment for the study of neutrino oscillations, nucleon decays, and astrophysical neutrinos.

Following the successful format of the previous meeting, we will hold the 2nd International Open Working Group Meeting for Hyper-Kamiokande. The meeting will be open to all interested scientists and community members.

The slides for the first open meeting can be found here;

<http://indico.ipmu.jp/indico/conferenceTimeTable.py?confId=7#all.detailed>

The goal of this meeting is to further discuss the physics potentials of Hyper-K, the design of the detector, and necessary R&D items including:

- cavern excavation,
- tank liner material and its design,
- photo-sensors and their support structure,
- DAQ electronics and computers,
- calibration systems,
- water purification systems,
- software development,
- neutrino beam-line,
- near detector,
- physics potentials of Hyper-K, and so on.

● 2013/1/14-15@柏

[>Indico page link](#)

# まとめ

- 2012年8月にOpen meetingを開催、  
世界各地から100名余りが参加・議論
- Hyper-K working groupを結成(現在92名)
  - 7つの検出器グループと3つの物理グループ
    - 空洞・タンク、純水、光検出器、DAQ、ソフトウェア、キャリブレーション、加速器
    - 物理:長基線ニュートリノ、大気ニュートリノ・核子崩壊、宇宙物理
- 25倍の大きさだけでなく、  
光センサのアップグレードで物理感度向上を目指す
  - PMTに代わる半導体を用いたHPD開発、量子効率向上等
  - 神岡にて実証試験を進行中
- 各グループが精力的に開発研究を推進
  - 2013/1 第2回Open meetingで成果報告・議論

