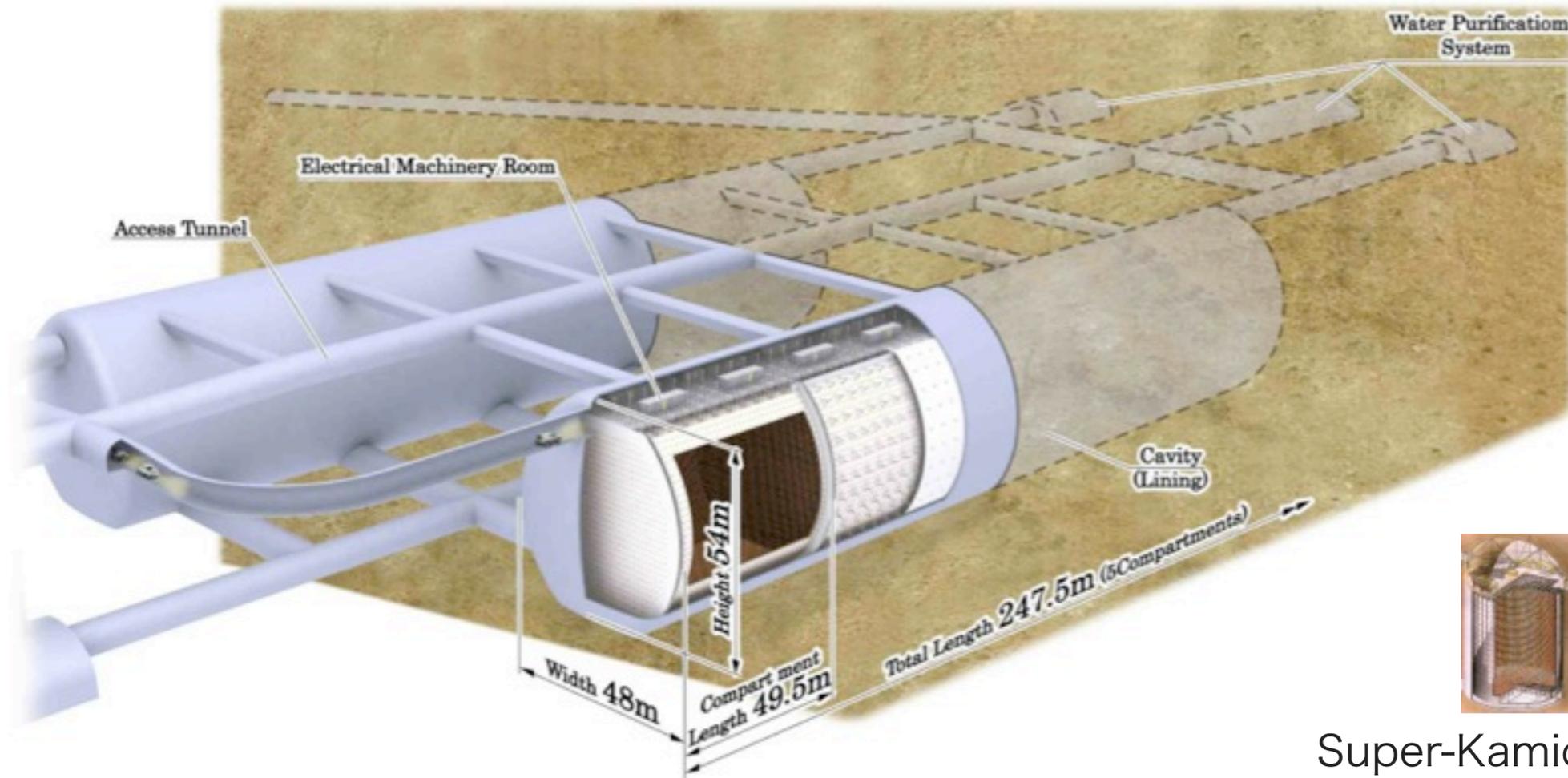


ハイパーカミオカンデ用 光センサー開発の現状

須田祐介（東京大）

新学術領域研究「ニュートリノフロンティアの融合と進化」研究会
クロス・ウェーブ府中 2013/12/08

Hyper-Kamiokande



- さらなるニュートリノ研究にむけた次世代大型水チェレンコフ検出器
- Leptonic CPV, ν 質量階層性問題, 核子崩壊などがターゲット

Hyper-Kamiokande

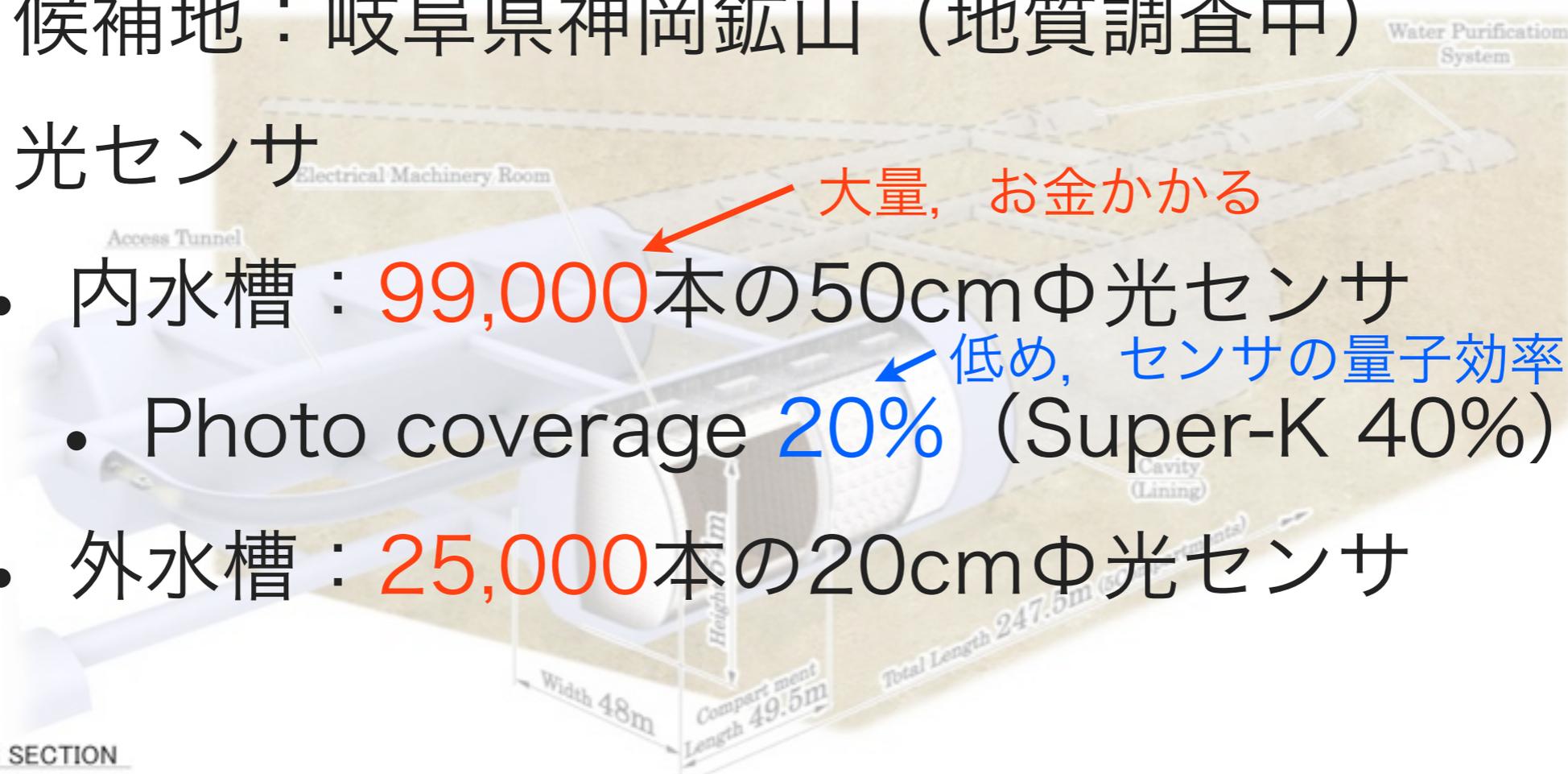
- 候補地：岐阜県神岡鉱山（地質調査中）

- 光センサ

- 内水槽：99,000本の50cmΦ光センサ

- Photo coverage 20% (Super-K 40%)

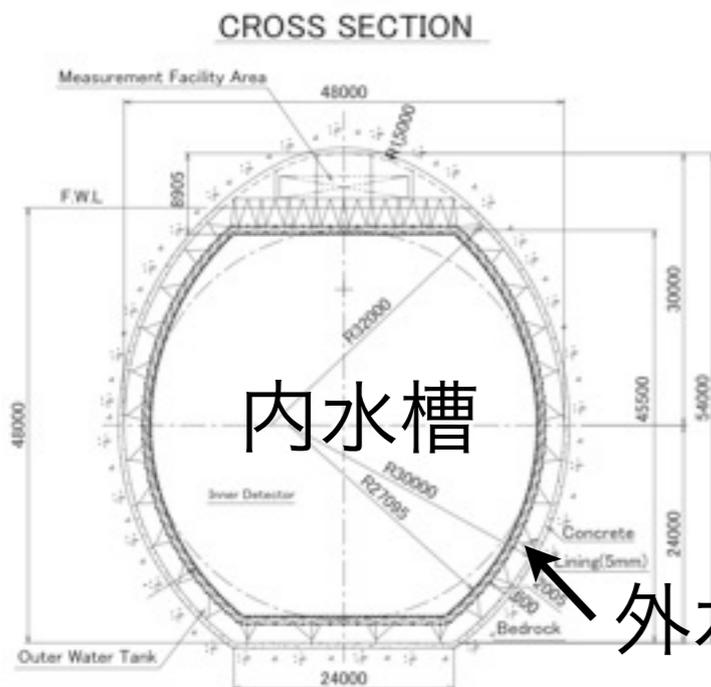
- 外水槽：25,000本の20cmΦ光センサ



感度のよいHyper-K検出器の実現に向け

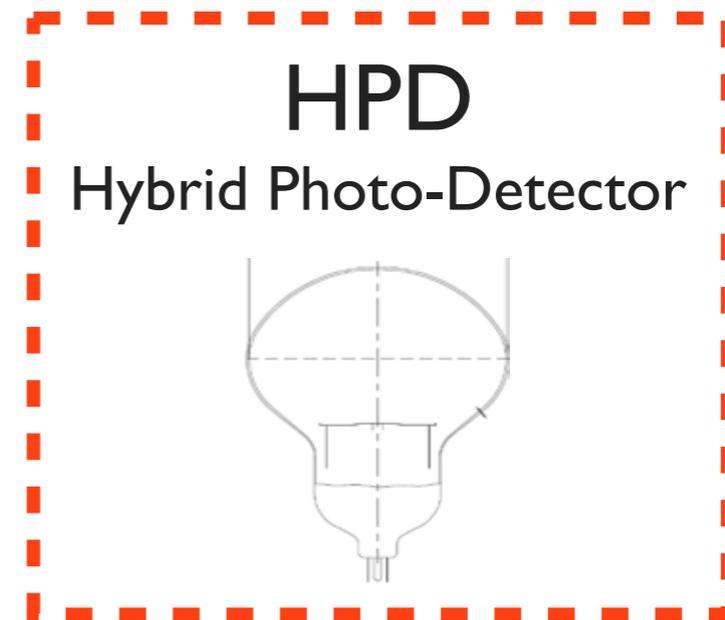
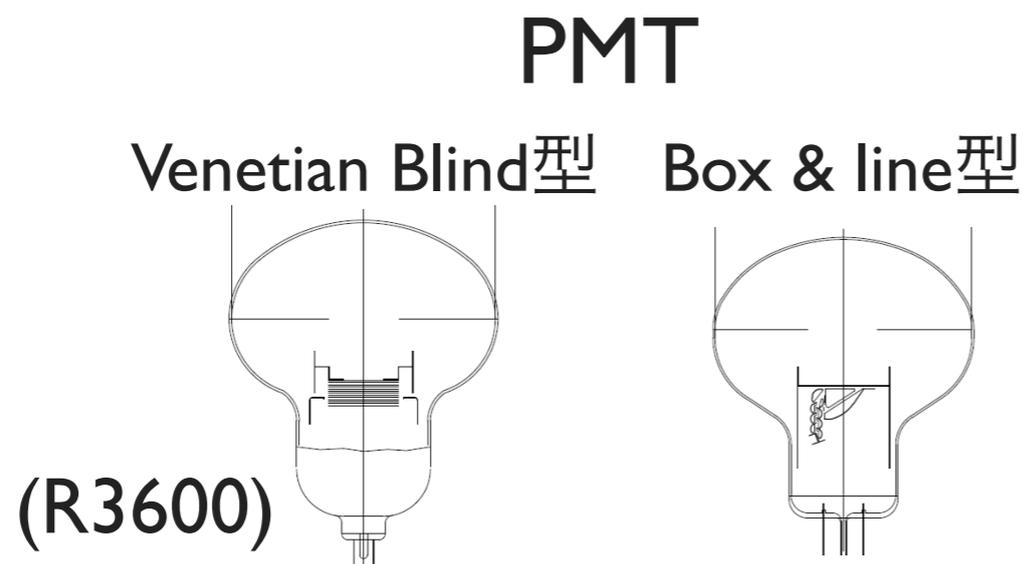
低コスト・高QEをもつ光センサが必要

光電子増倍管よりも性能が良いと嬉しい

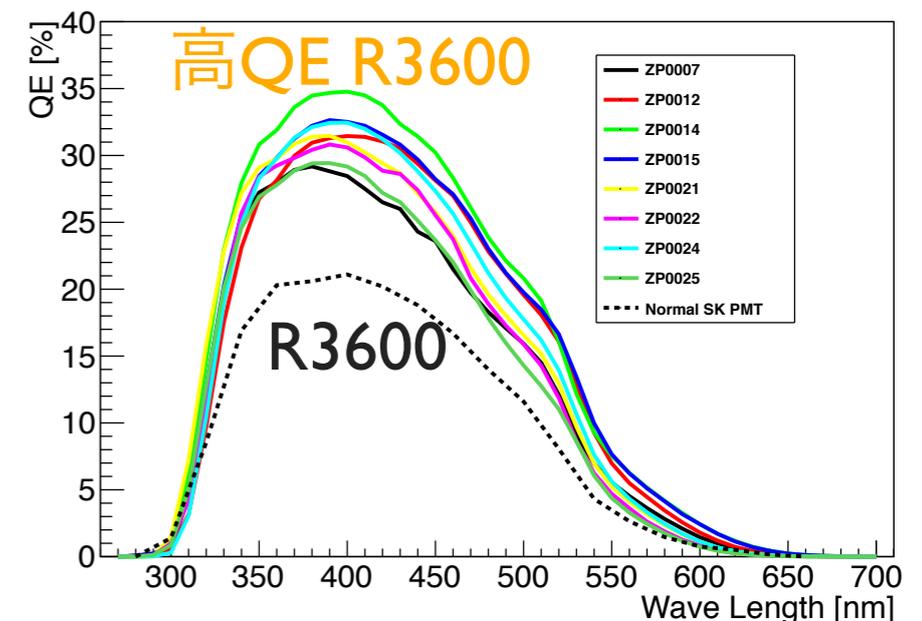


Hyper-K用光センサ候補

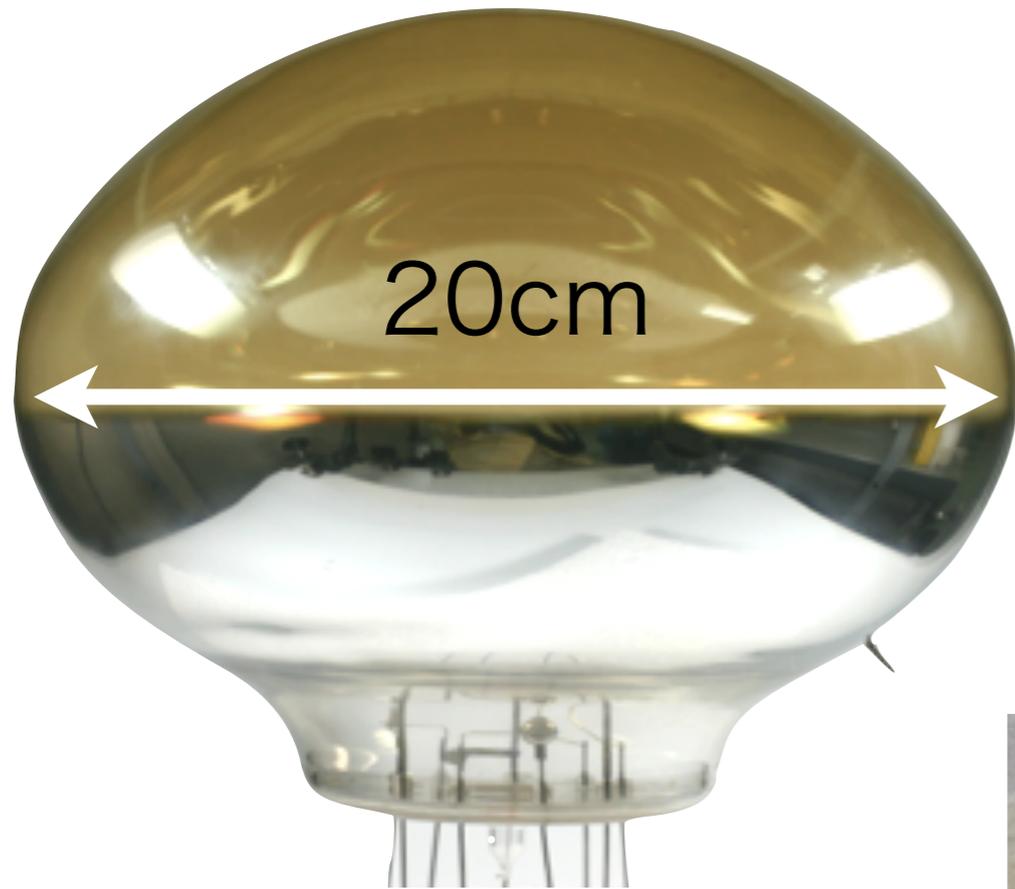
- 3つの候補が存在
- Super-Kで使われているPMT(R3600)と2つの新型センサ



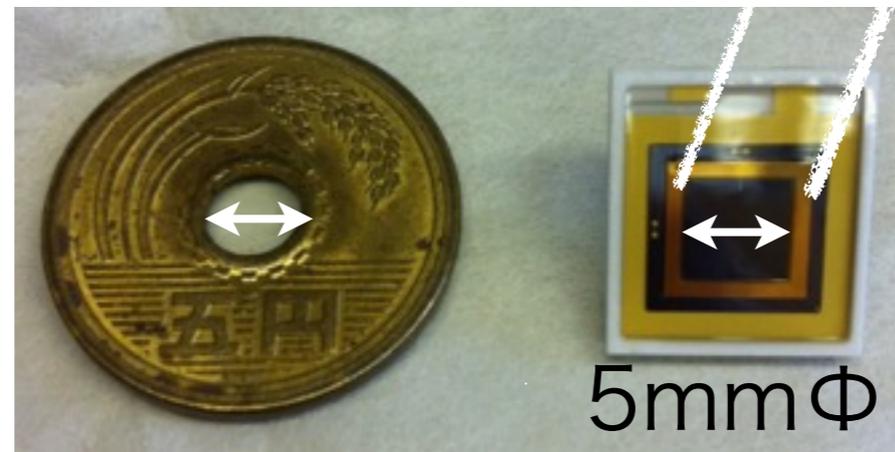
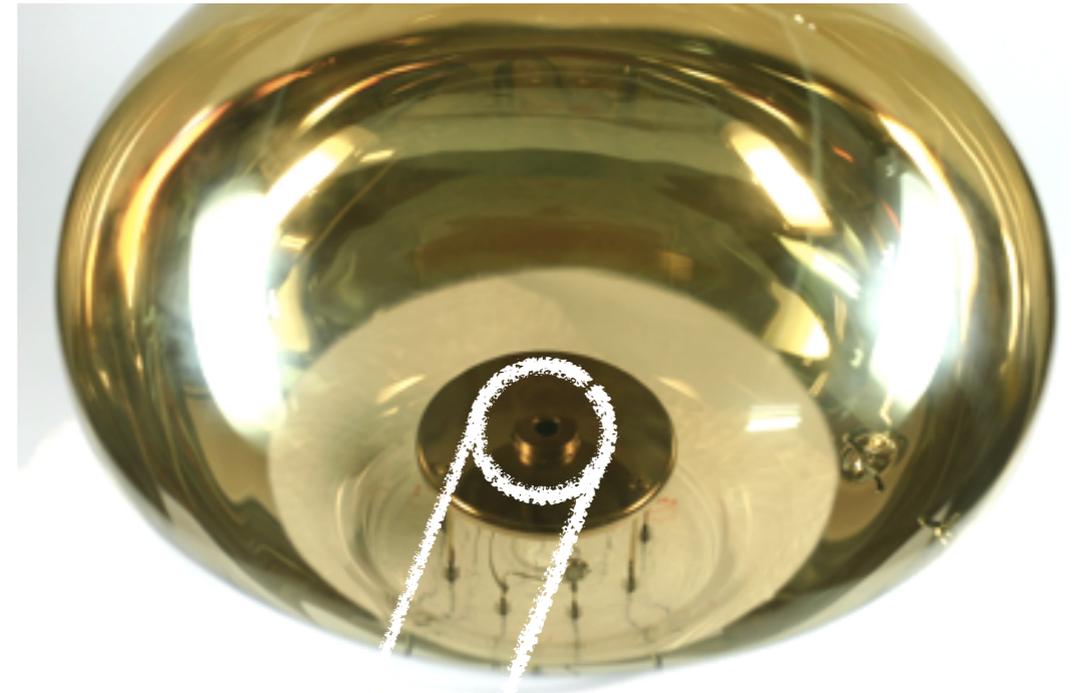
- オプション：光電面の高QE化
 - 高QE R3600を開発，試験中
- すべて浜松ホトニクス社製



Hybrid Photo-Detector (HPD)



20cm Φ HPD

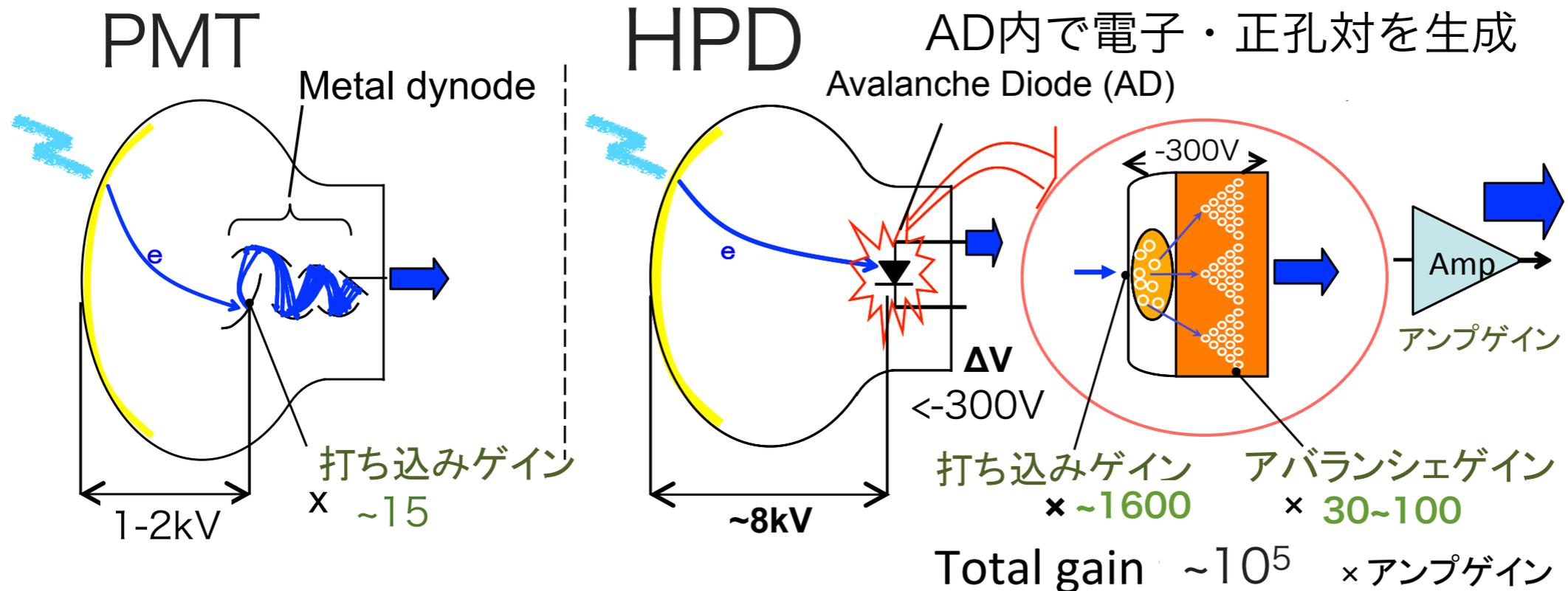


Avalanche Diode

PMTのダイノード部をAvalanche Diode (AD)
におきかえた新型の大口径光センサ

HPD動作原理

光電子を高電圧で加速しADに打ち込み，AD内で雪崩増幅



- ダイノードに比べ，ADはシンプルな構造→安価に大量生産可
- 短い経路長→高時間分解能
- 高い打ち込みゲイン→優れた1光電子検出能力

HPDは安く大量生産可能で性能の向上が期待できる

→HPDの開発を中心に行う

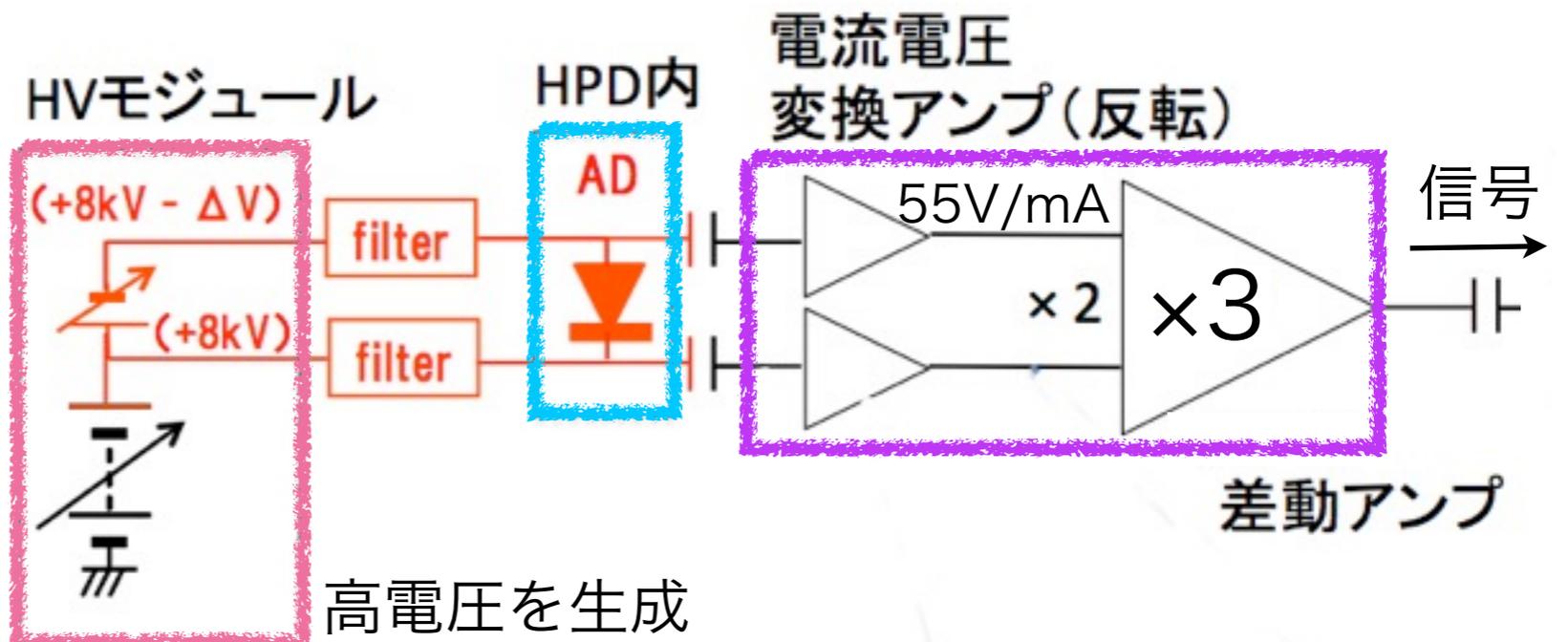
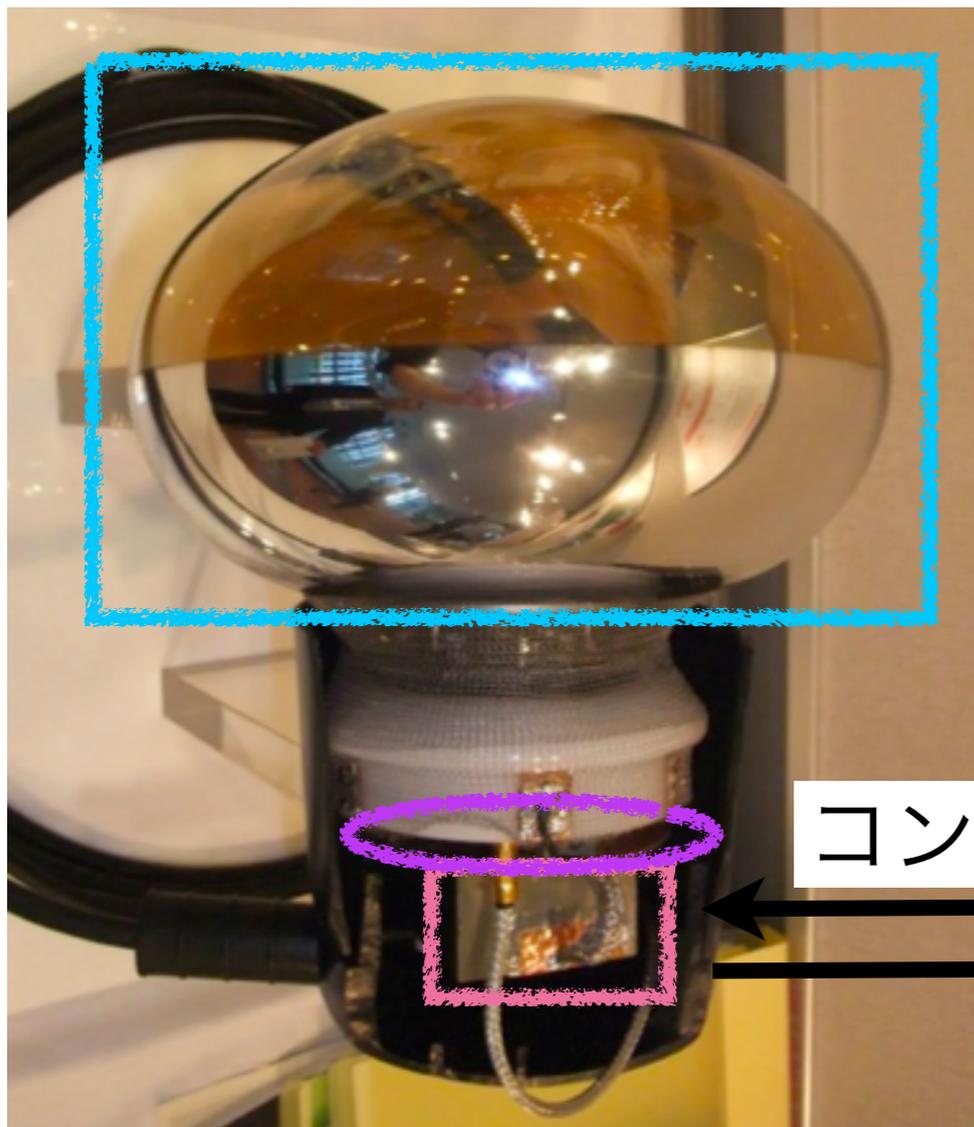
Hyper-K用光センサ開発のゴール

Hyper-Kで実用可能な
50cm Φ 高QE HPDの開発

- 20cm Φ HPD試作機を開発，性能を評価し，仕様・技術を固める
- HPDのHyper-Kでの実用性を評価するため，実際の水チェレンコフ検出器に実装し，長期間における性能を実証する
- 同時にBox&Line型PMTの開発も行う

20cm Φ HPD試作機の 基本性能

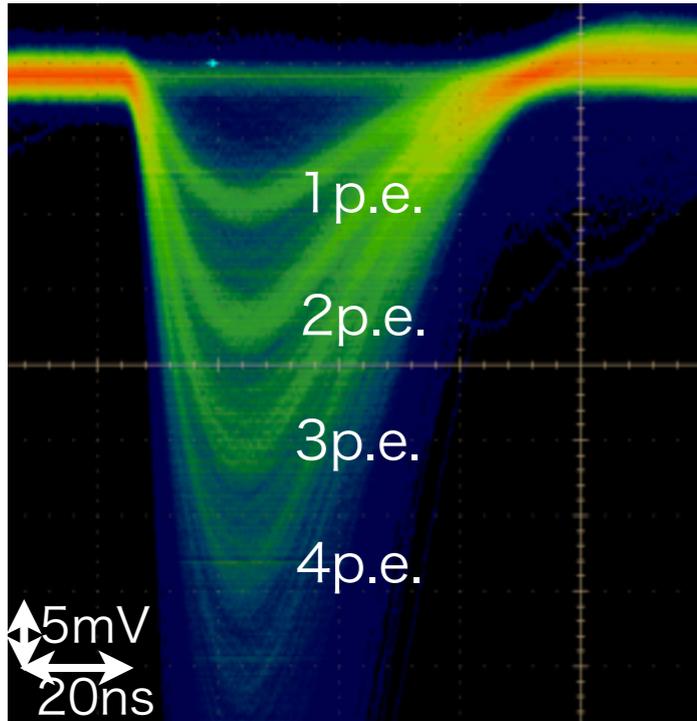
HPD回路と制御装置



コントロール電源
~3Vの低電圧でHVとAD Biasをコントロール+HVモジュールとアンプの駆動電圧10V

HPD内で高電圧を生成, 水中でも安全に使用可

20cm Φ HPDの基本性能



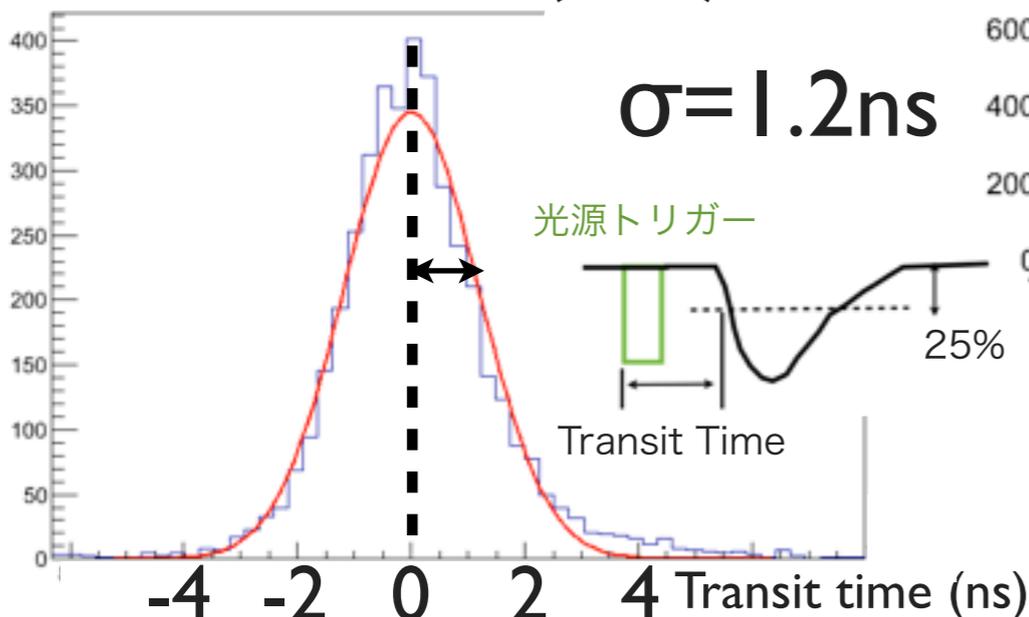
| | 20cm Φ HPD | 50cm Φ PMT |
|-----------|-------------------------|--------------------------|
| 時間分解能 | 1.2 ns | 2.2 ns |
| 1 p.e.分解能 | 12% | 62% |
| ダークレート | ~2kHz @0.5p.e., 24°C | ~4kHz @0.25p.e., 13°C |

(p.e. = photo electron; 光電子)

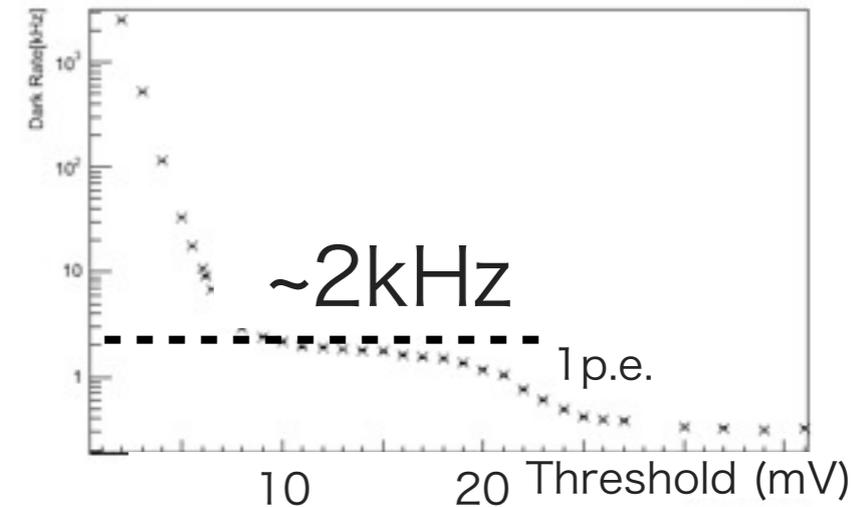
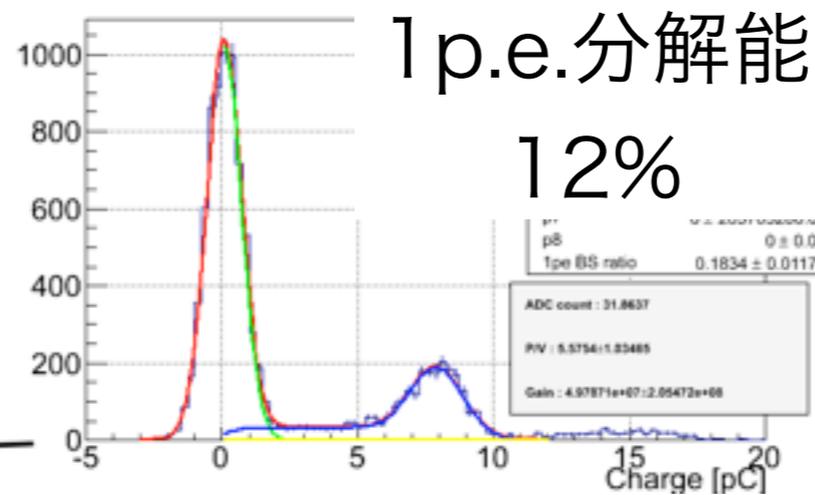
電荷分布

ダークレート

時間分解能(TTS)



電荷分布



優れた時間・1光電子分解能と
PMTと同程度のダークレートを持つ

光センサとしての基本性能が良いことはわかった。
水チェレンコフ検出器用の光センサとしてはどうか？

実証試験

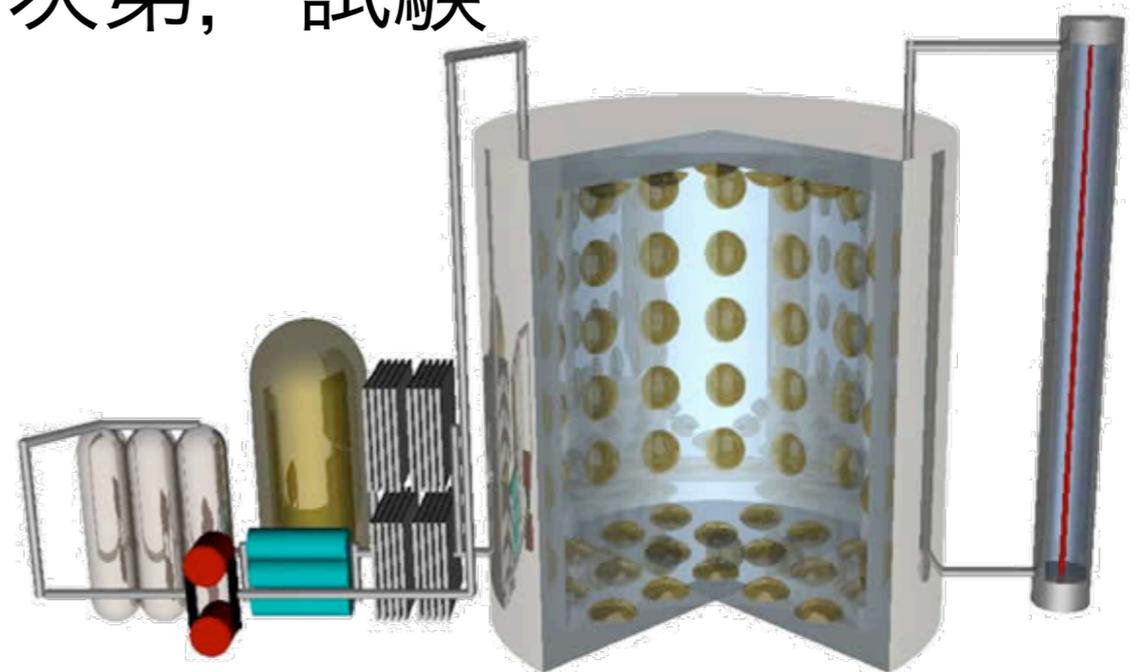
目的：水チェレンコフ検出器を用いてHPDのHyper-K用
光センサとしての適性を判断する

期間：2013年9月から1~2年

装置：200トンGd水タンク@神岡鉱山

対象：20cm Φ HPD \times 8 + 50cm Φ 高QE PMT \times 5
50cm Φ PMT (R3600) \times 227 と比較
50cm Φ HPDも準備ができ次第，試験

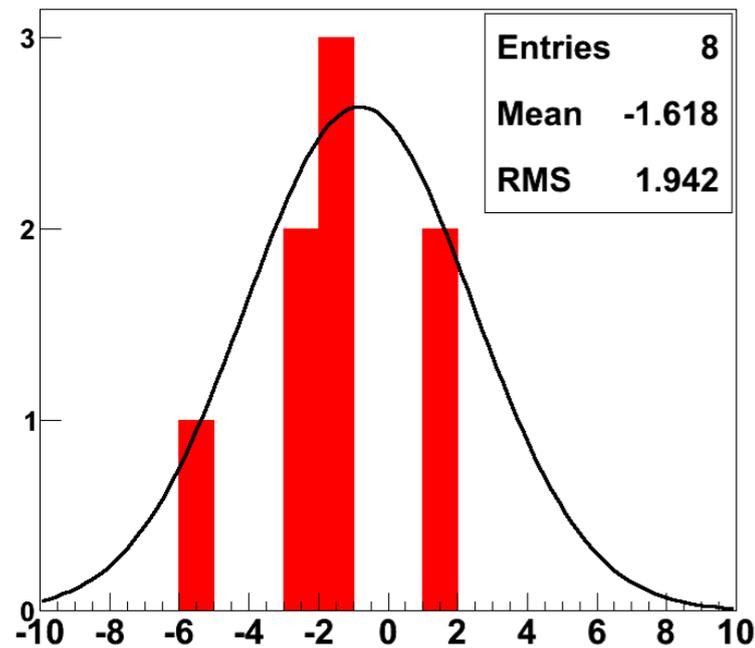
水中での性能，ゲインや
ダークレートの安定性や運
用の安全性などを調べる



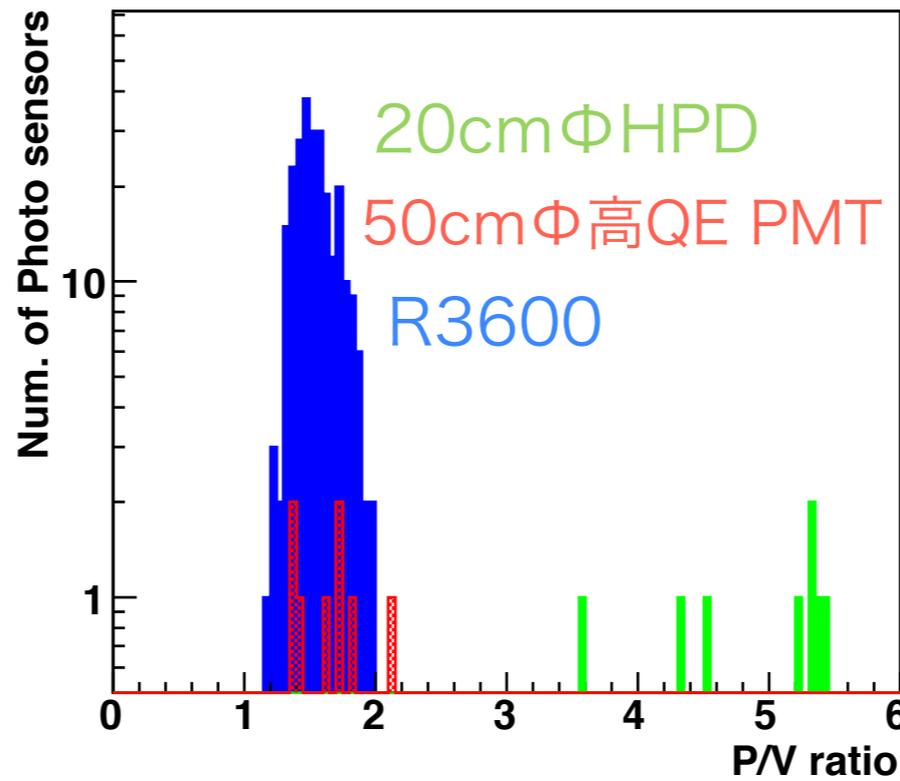
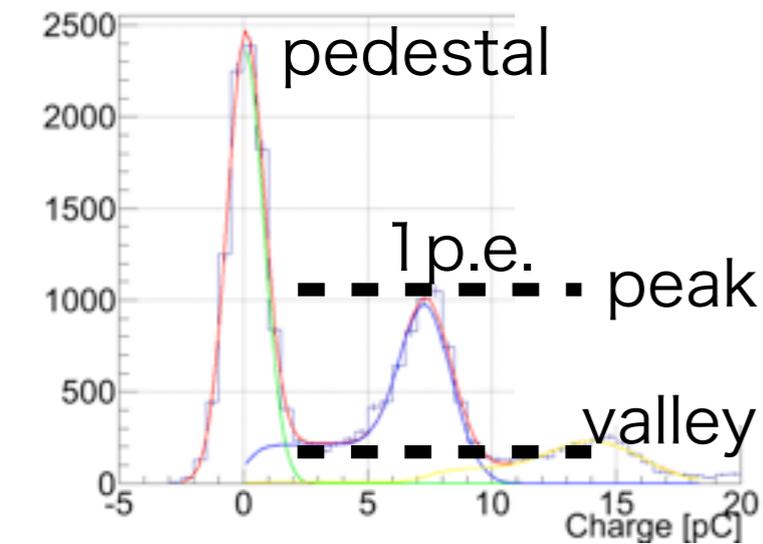
事前較正

- 2%の精度で較正し, P/V比やダークレートを測定
- P/V比はPMTよりも優れ, ダークレートはPMTと同程度

←20cmΦHPDのゲインのばらつき

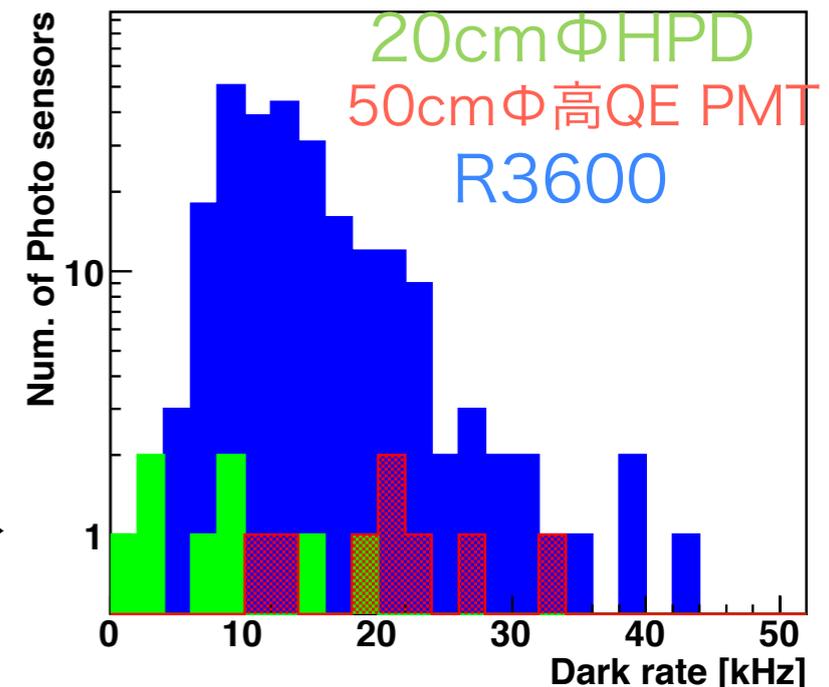


基準ゲインからのずれ (%)



←P/V比の分布

ダークレートの分布→



光センサーの取り付け

20cmΦHPD × 8 + 50cmΦ高QE PMT × 5 + 50cmΦPMT × 227の計240本の光センサーをタンクに取り付けた

タンク展開図

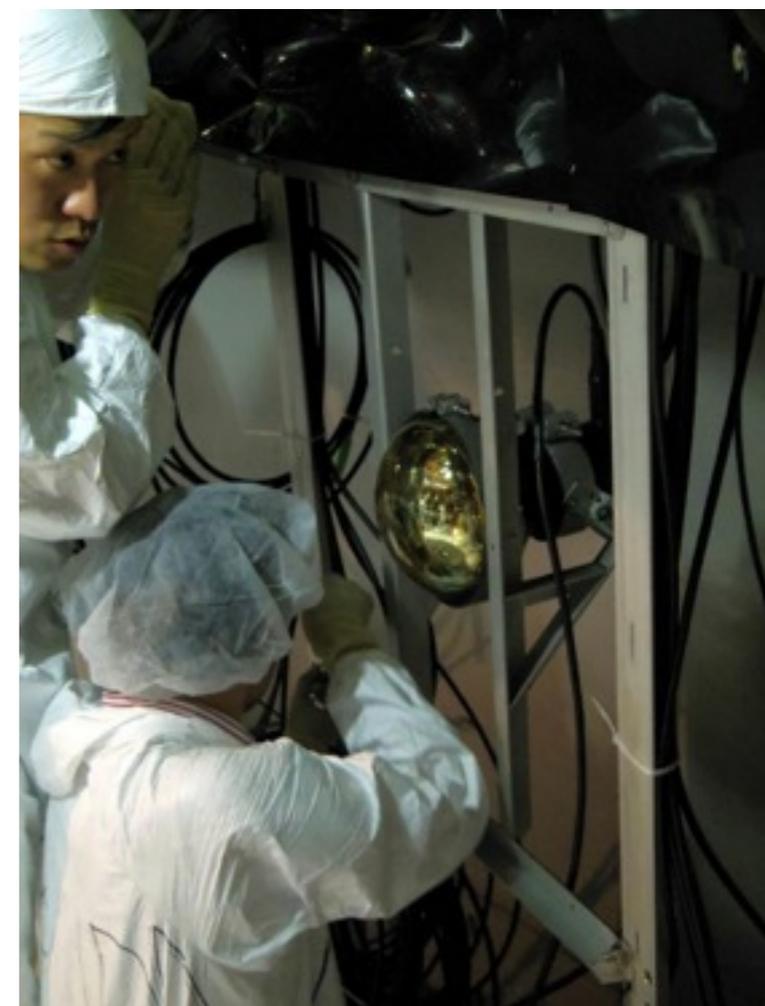
| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 183 | 189 | 196 | | | | |
| 176 | 182 | 188 | 195 | 201 | | |
| 171 | 175 | 181 | 187 | 194 | 200 | 204 |
| 170 | 174 | 180 | | 193 | 199 | 203 |
| 169 | 173 | 179 | 186 | 192 | 198 | 202 |
| 172 | 178 | 185 | 191 | 197 | | |
| 177 | 184 | 190 | | | | |

20cmΦHPD
50cmΦ高QE PMT

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 168 | 161 | 154 | 147 | 140 | 133 | 126 | 119 | 112 | 105 | 98 | 91 | 84 | 77 | 70 | 63 | 56 | 49 | 42 | 35 | 28 | 21 | 14 | 7 |
| 167 | 160 | 153 | 146 | 139 | 132 | 125 | 118 | 111 | 104 | 97 | 90 | 83 | 76 | 69 | 62 | 55 | 48 | 41 | 34 | 27 | 20 | 13 | 6 |
| 166 | 159 | 152 | 145 | 138 | 131 | 124 | 117 | 110 | 103 | 96 | 89 | 82 | 75 | 68 | 61 | 54 | 47 | 40 | 33 | 26 | 19 | 12 | 5 |
| 165 | 158 | 151 | 144 | 137 | 130 | 123 | 116 | 109 | 102 | 95 | 88 | 81 | 74 | 67 | 60 | 53 | 46 | 39 | 32 | 25 | 18 | 11 | 4 |
| 164 | 157 | 150 | 143 | 136 | 129 | 122 | 115 | 108 | 101 | 94 | 87 | 80 | 73 | 66 | 59 | 52 | 45 | 38 | 31 | 24 | 17 | 10 | 3 |
| 163 | 156 | 149 | 142 | 135 | 128 | 121 | 114 | 107 | 100 | 93 | 86 | 79 | 72 | 65 | 58 | 51 | 44 | 37 | 30 | 23 | 16 | 9 | 2 |
| 162 | 155 | 148 | 141 | 134 | 127 | 120 | 113 | 106 | 99 | 92 | 85 | 78 | 71 | 64 | 57 | 50 | 43 | 36 | 29 | 22 | 15 | 8 | 1 |

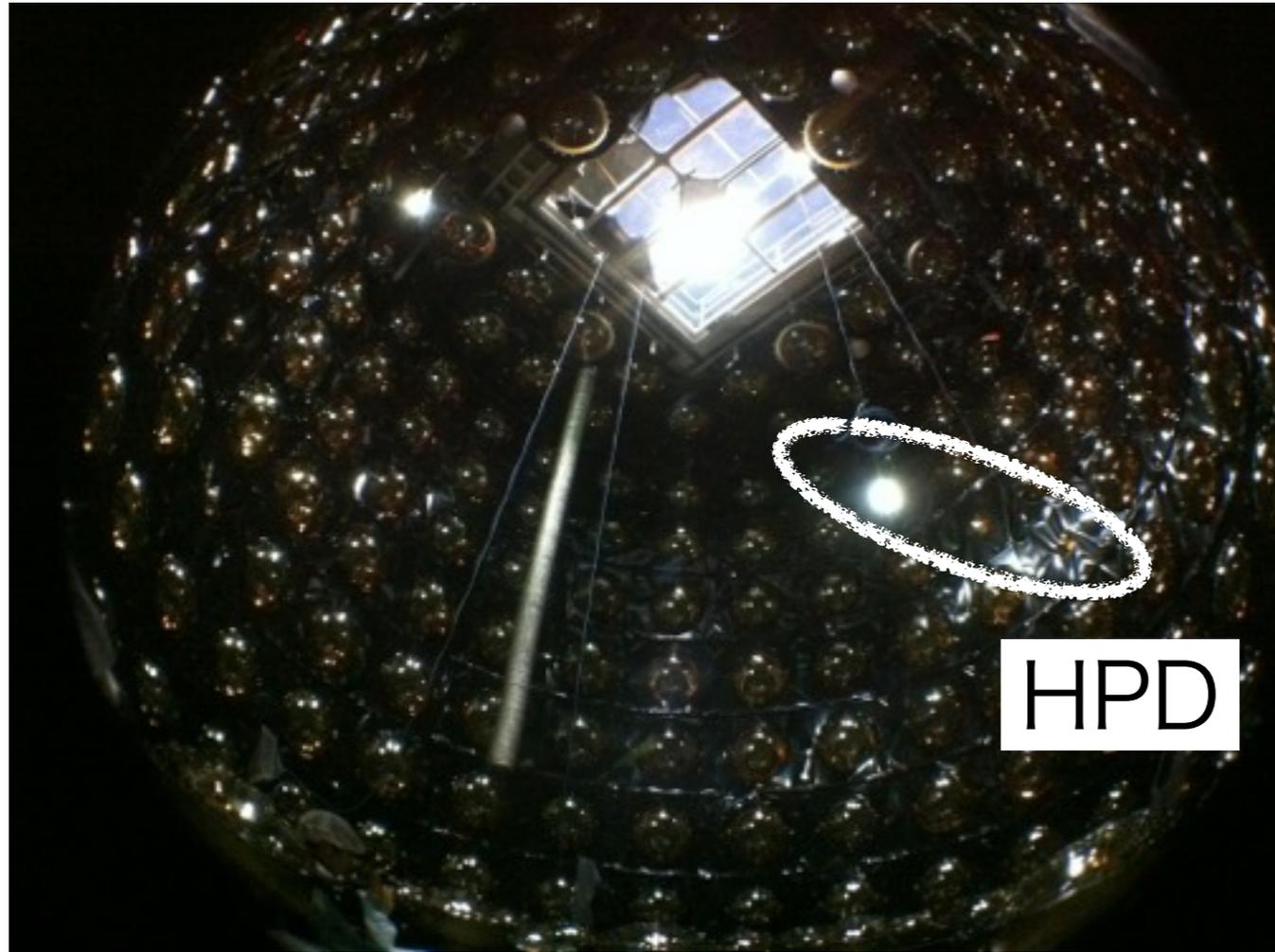
取り付け順

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 213 | 220 | 226 | | | | |
| 208 | 214 | 221 | 227 | 233 | | |
| 205 | 209 | 215 | 222 | 228 | 234 | 238 |
| 206 | 210 | 216 | | 229 | 235 | 239 |
| 207 | 211 | 217 | 223 | 230 | 236 | 240 |
| 212 | 218 | 224 | 231 | 237 | | |
| 219 | 225 | 232 | | | | |

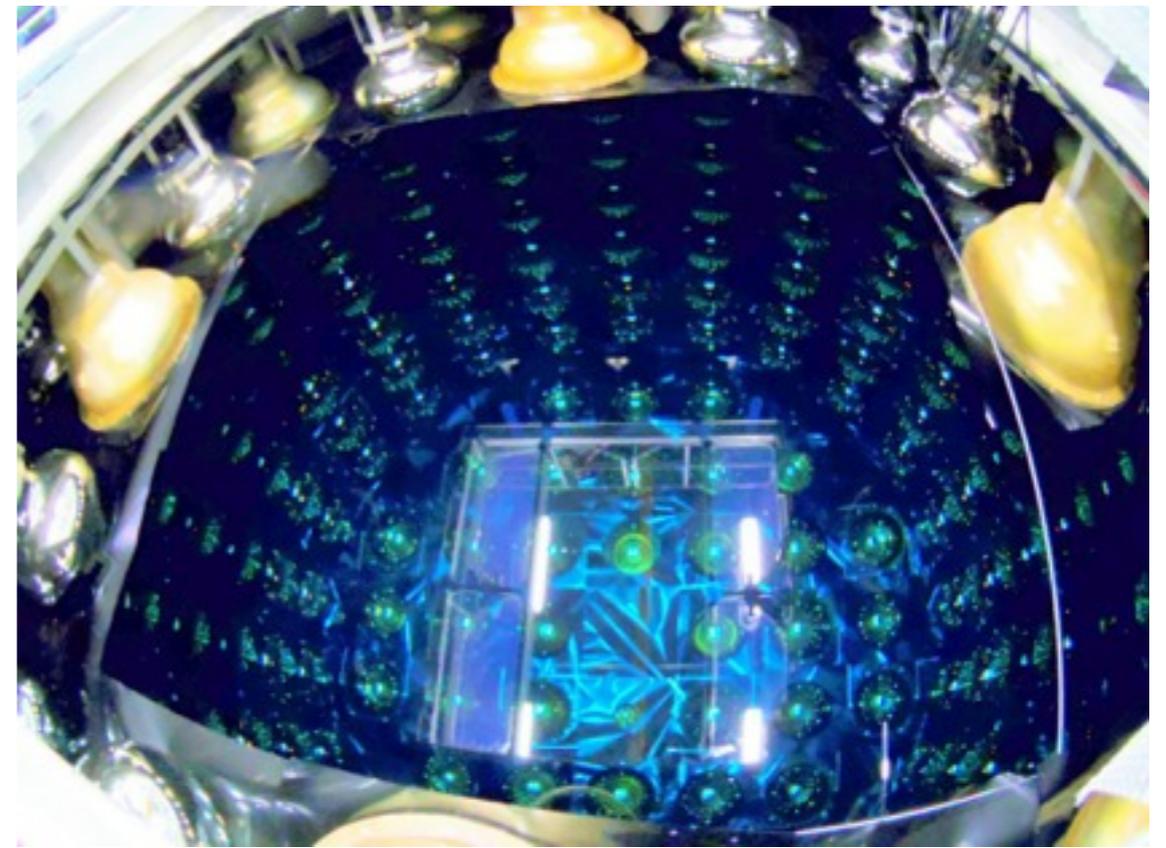


期間：2013/7/16-8/13 (約1ヶ月)

光センサ取り付け完了

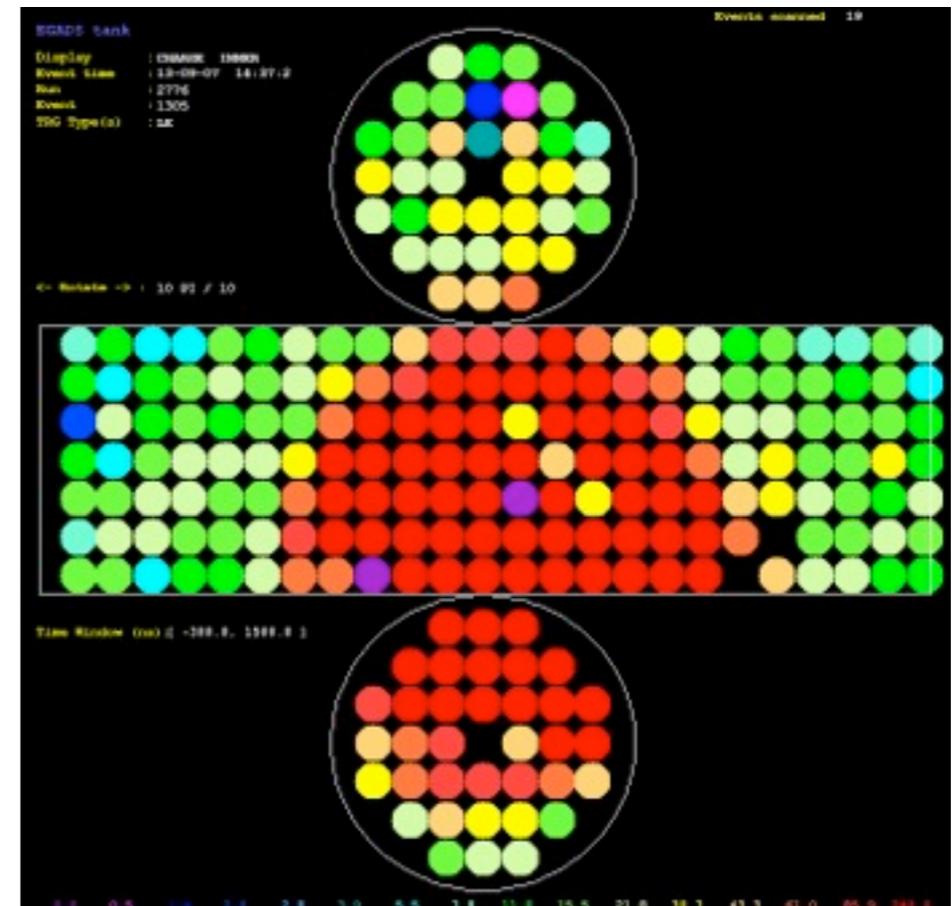


超純水で満たされたタンク



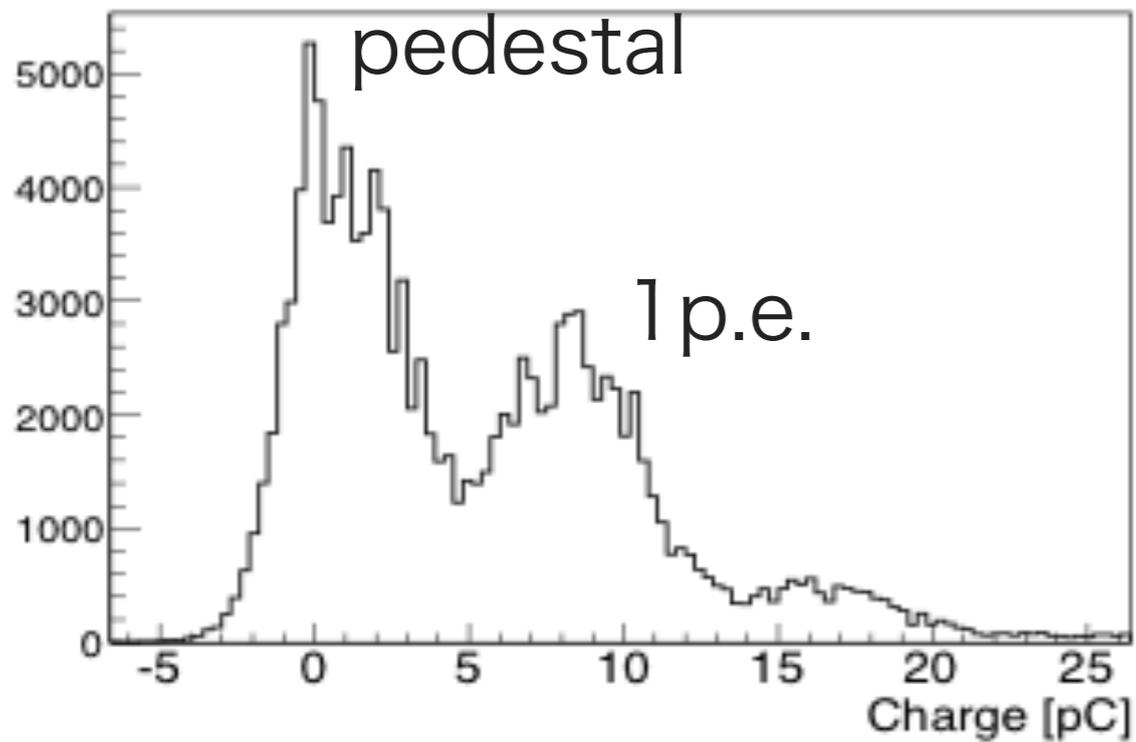
宇宙線 μ イベント→

200トン水チェレンコフ
検出器完成



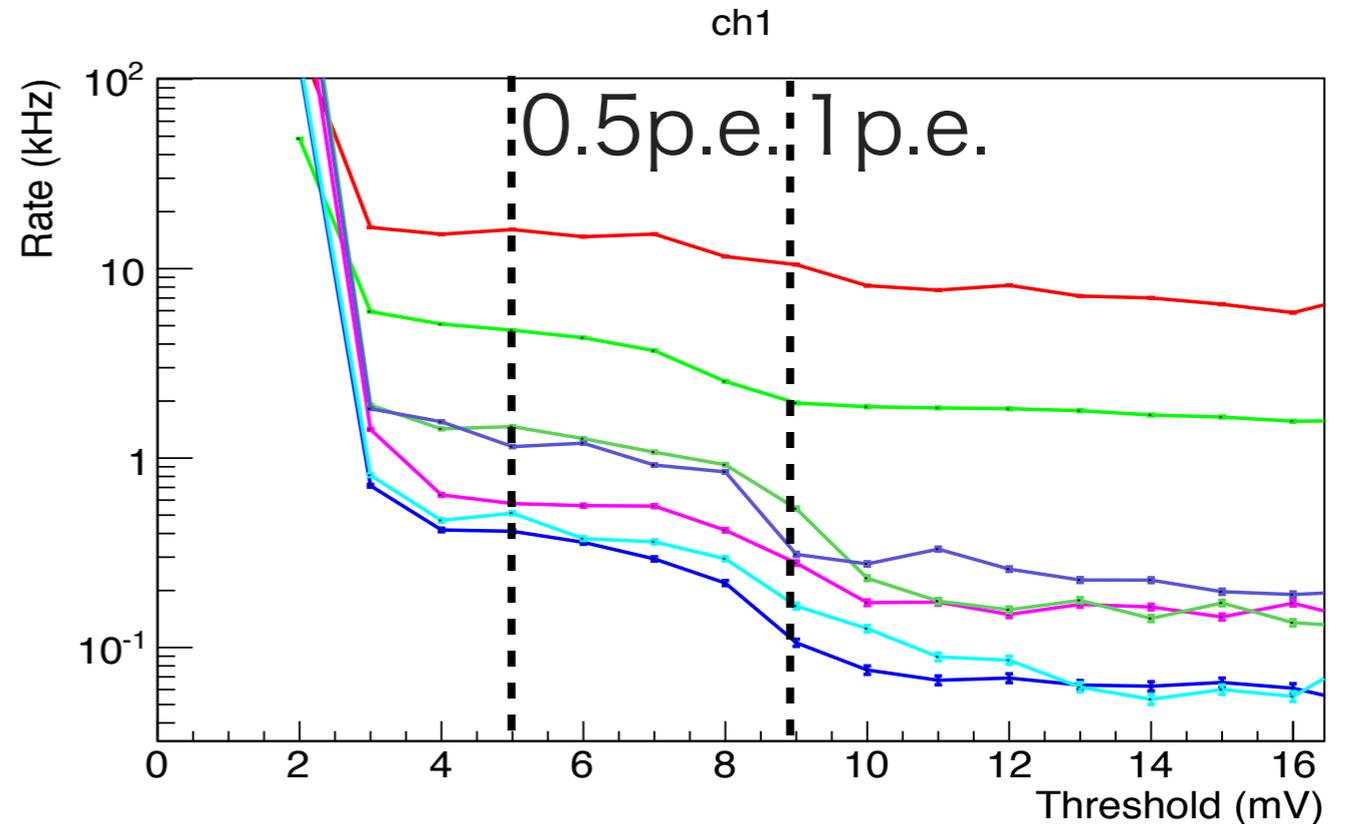
20cm Φ HPDのタンク内での性能

電荷分布



1 p.e.分解能 ~30%
50cm Φ PMTは~50%

ダークレート (注水から2ヶ月半後)



2つを除いて
2kHz以下@0.5 p.e.

これから

- 実証試験
 - 較正を行い，長期連続測定へ移行
- 50cm Φ HPDの性能評価，実証試験
 - 試作進行中，数ヶ月以内に測定開始
- 2016年までにHyper-K用光センサ決定

| | 50cm Φ HPD | 20cm Φ HPD | 50cm Φ PMT (R3600) |
|-------|--------------------|--------------------|----------------------------|
| HV | ~8kV | ~8kV | 1-2kV |
| 収集効率* | ~95% | ~97% | ~80% |
| ADサイズ | 20mm Φ | 5mm Φ | - |

*計算値



まとめ

- さらなるニュートリノ研究のためにHyper-Kが必要
- Hyper-K用に新型光センサHPDを開発中
 - 最終目標は50cmΦ高QE HPDの開発
 - 20cmΦHPDの基本性能はPMTを上回っている
- 実証試験による1–2年の長期測定を元に, Hyper-Kでの実用性を評価する
 - HPDの水チェレンコフ検出器への実装完了, 性能評価中
- 2016年までにHyper-K用光検出器を決定する
(Hyper-Kが2023年から測定開始可能なスケジュール)

宣伝

4th Open Meeting for the Hyper-Kamiokande Project @Kavli IPMU

27-28 January 2014

Asia/Tokyo timezone

Overview

Important Dates

Registration

Registration Form

Call for Abstracts

View my abstracts

Submit a new abstract

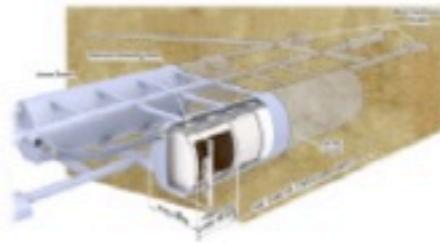
Contact Information

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 meetings, we will hold the 4th International Open Working Group Meeting for Hyper-Kamiokande. The meeting will be open to all interested scientists and community members.

The slides for the past open meetings can be found here;

(1st) <http://indico.ipmu.jp/indico/conferenceTimeTable.py?confId=7#all.detailed>

(2nd) <http://indico.ipmu.jp/indico/conferenceTimeTable.py?confId=10#all.detailed>

(3rd) <http://indico.ipmu.jp/indico/conferenceTimeTable.py?confId=2>

The goal of this meeting is to further discuss the physics potentials 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.

オープンなのでどなたでも参加OK



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

↑ 前回ミーティング時