

ハイパーカミオカンデ用ハイブリッド 光検出器の実用性評価

須田 祐介 (東京大)

19th ICEPP Symposium

2013年2月18日 岳美山荘

すべての力は統一
できるのか？



核子崩壊探索



兆候なし



スーパー**カミオカンデ**より**ハイパー**デカくて
高性能な水チェレンコフ検出器が必要

なぜ我々の宇宙は物質が
優勢なのか？



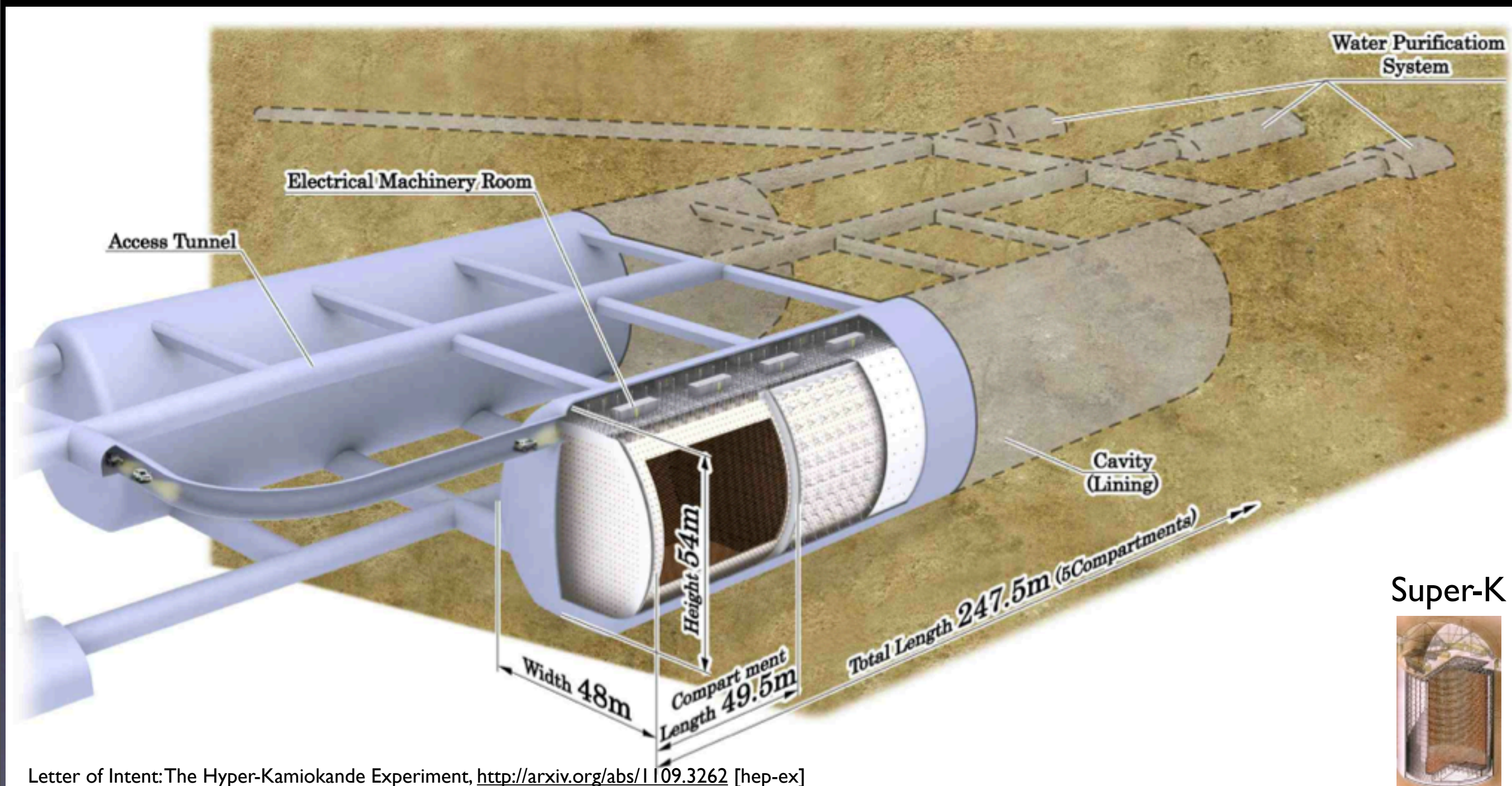
レプトンセクターCP
非保存位相 δ の測定



加速器 ν を精密に測定



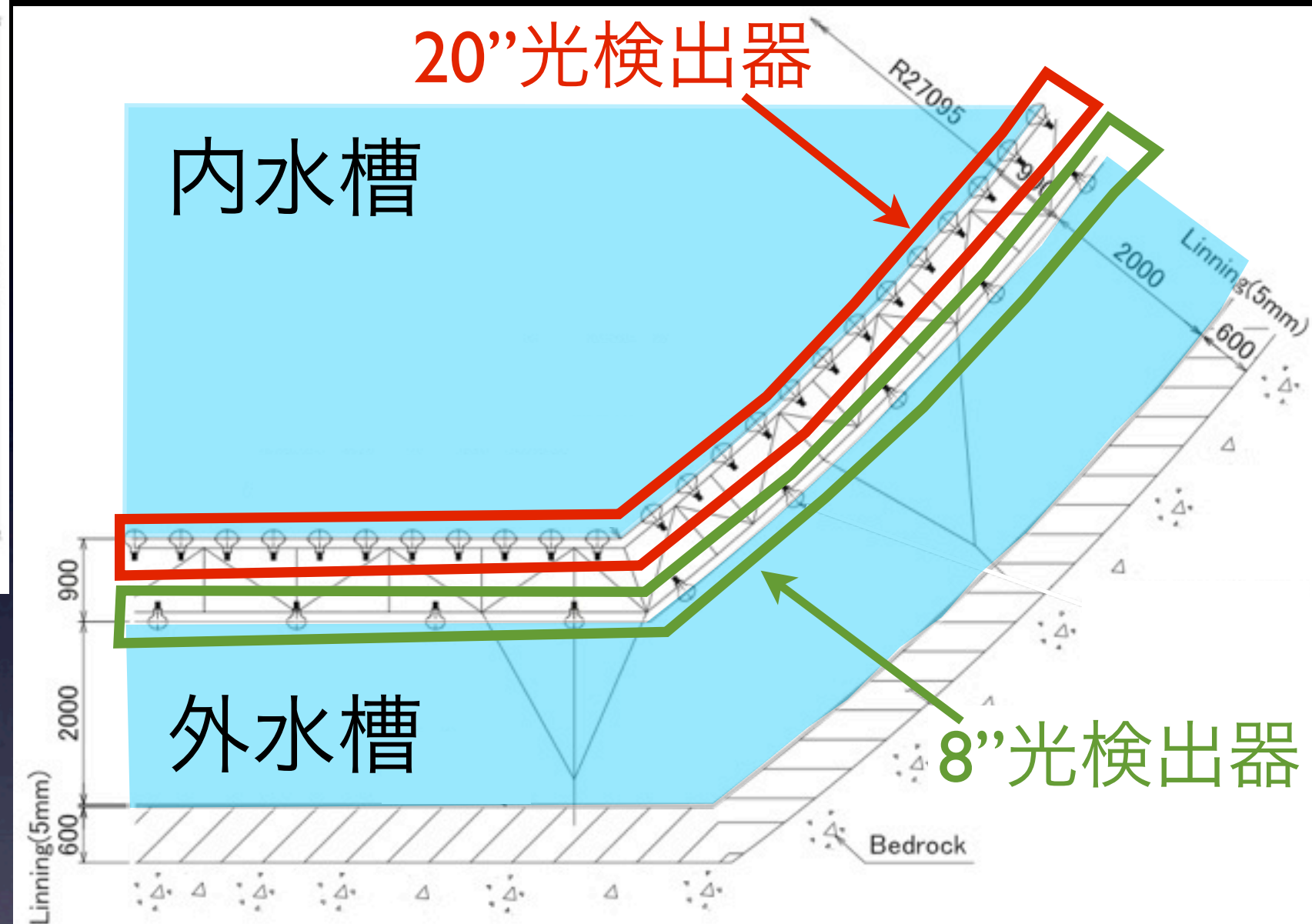
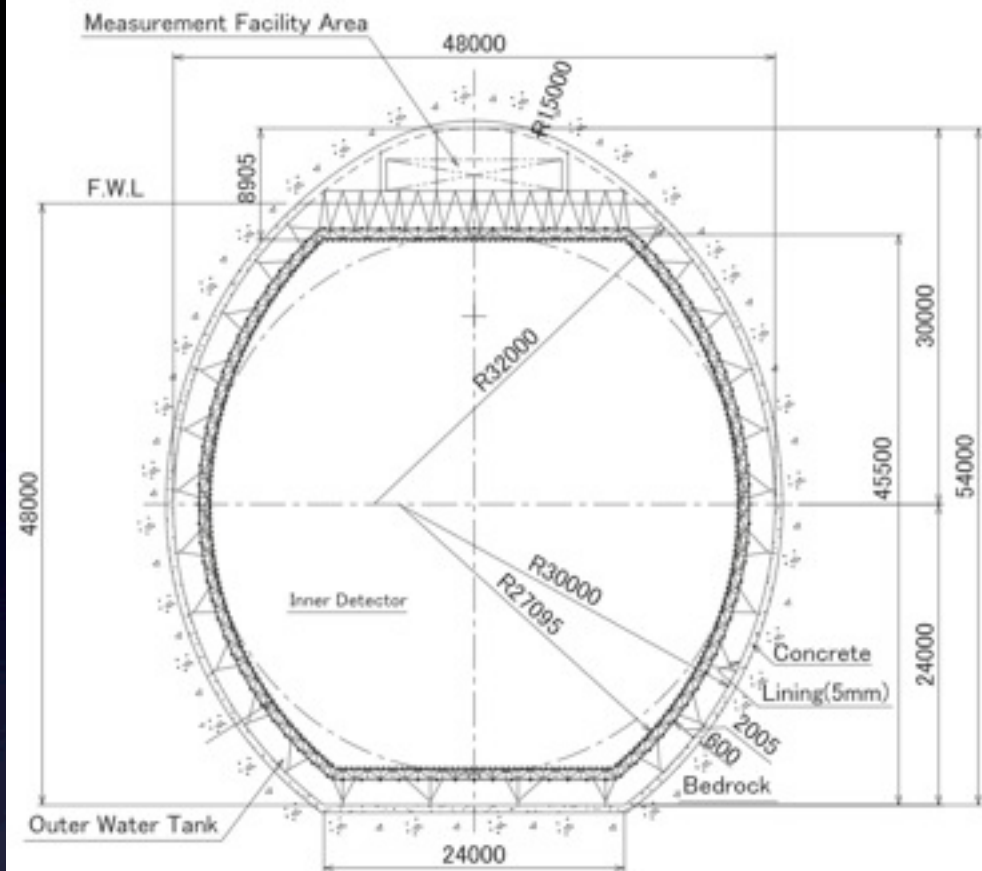
Hyper-Kamiokande計画 進行中



これくらいのがほしい！

体積0.99Mt (Super-K×20)

Hyper-Kタンク断面



Letter of Intent: The Hyper-Kamiokande Experiment, <http://arxiv.org/abs/1109.3262> [hep-ex]

内水槽に20" 光検出器が99000本 (Super-Kの9倍)
外水槽に8" 光検出器が25000本 (Super-Kの1.3倍)

Hyper-K用光検出器への要求

安価にPhoto coverageを稼ぐ⇒大口径

精度の良いvertex再構成 ⇒時間分解能3ns程度

低エネルギー現象をみたい⇒優れた1光電子検出能力

幅広い物理ターゲット ⇒広いダイナミックレンジ



候補

new!

大口径Hybrid Photo-Detector ← これの話

new!

大口径PMT Box & line型ダイノード版

大口径PMT Venetian Blind型ダイノード版
← Super-Kのもの

High QE化

Super-K PMT 22% ⇒ Hyper-K ~30%

new! 20" HQE PMT試作機が完成

HPD (Hybrid Photo Detector)

Hybrid...光電面とADのハイブリッド

現在20" HPDは開発中、8" HPD試作機は完成

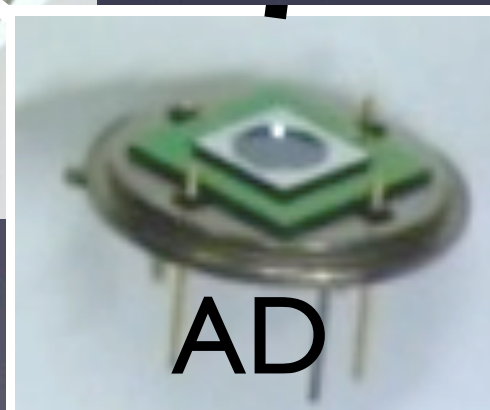
ダイノード⇒Avalanche Diode (AD)

↓
シンプルな構造

↓
スピーディーに大量生産可

↓
コスト削減

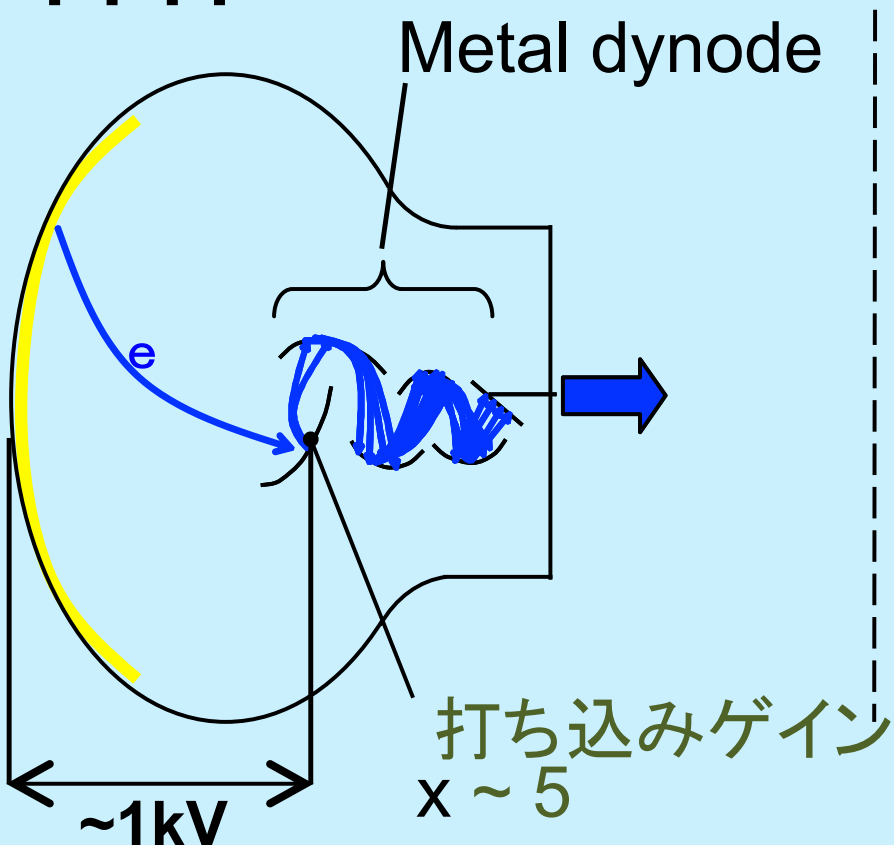
8" HPD



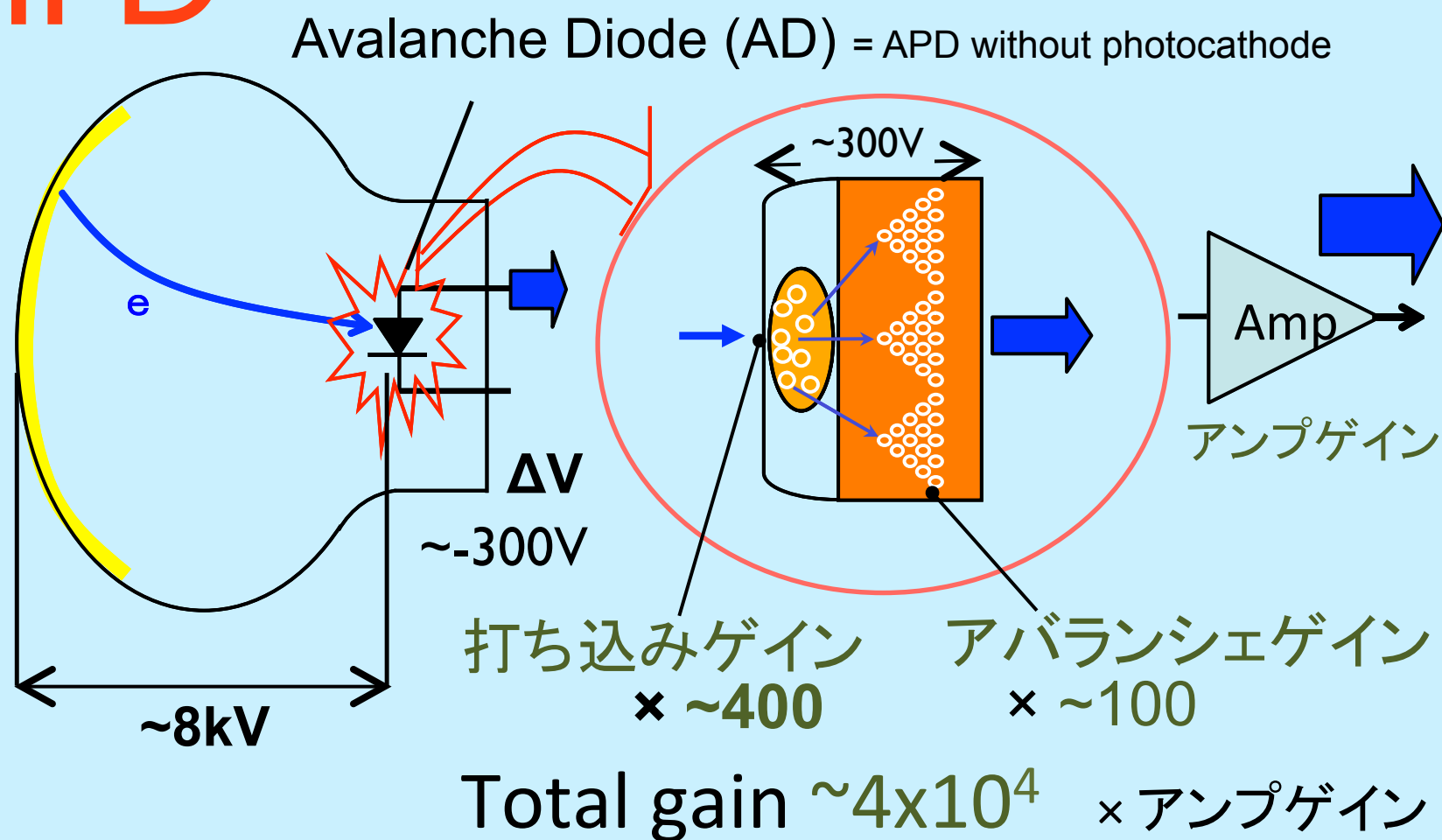
	20" HPD	8" HPD	20" PMT
HV	~8kV	~8kV	~2kV
Gain	~10 ⁴ ~10 ⁵	~10 ⁴ ~10 ⁵	~10 ⁷
C.E.	~95%	~97%	~70%
AD	20mmφ	5mmφ	-

20" HPDのgainとC.E.は計算値

PMT



HPD



高電圧で電子を加速し

ADに打ち込む

AD内で電子・正孔対を生成

AD Biasで雪崩増幅

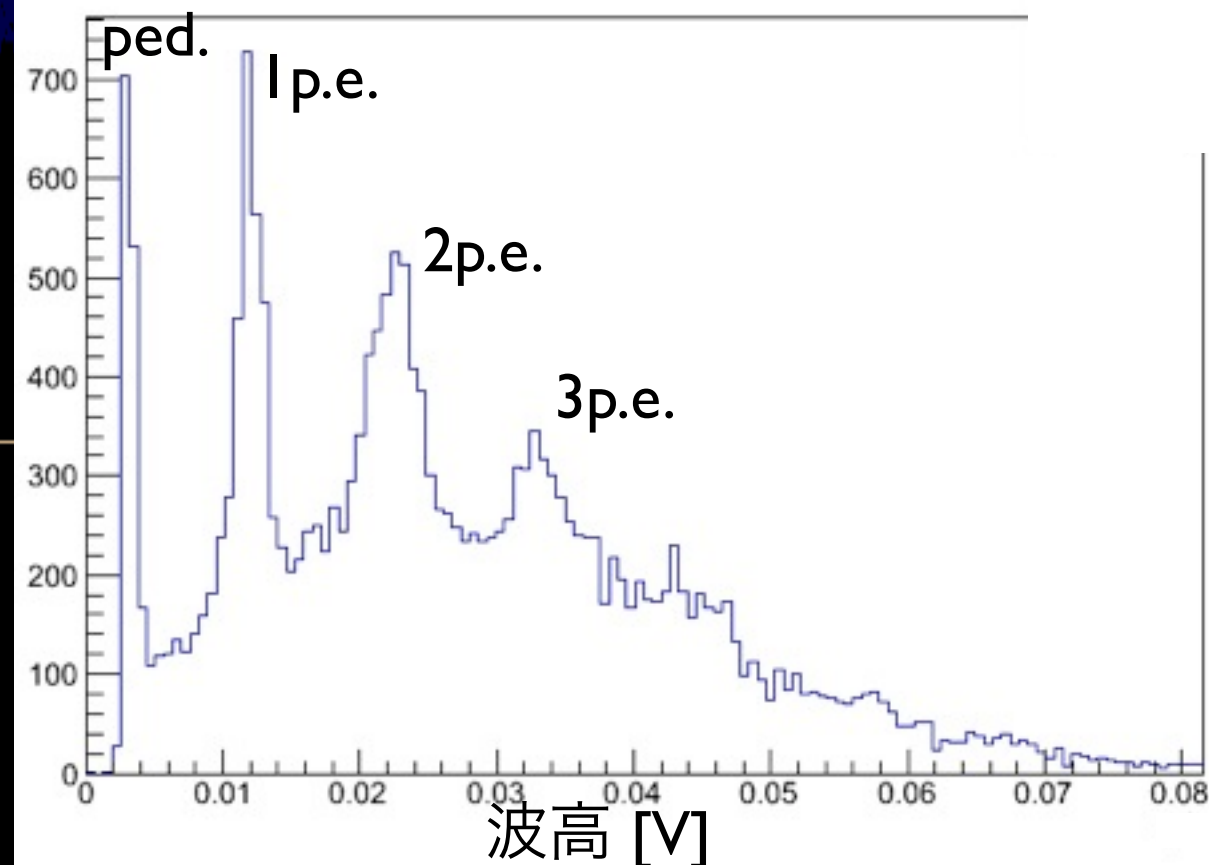
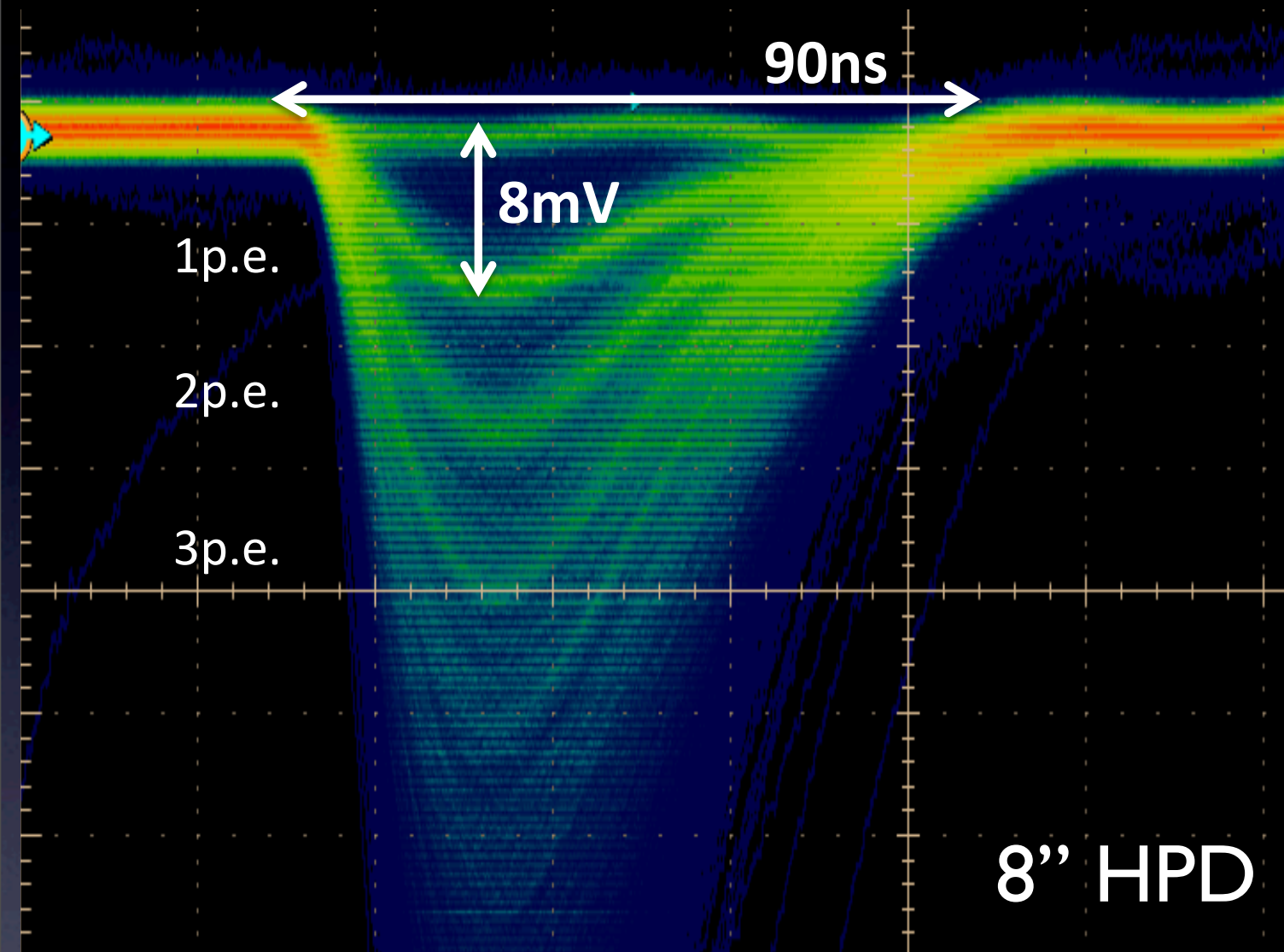
高い打ち込みゲイン

短い経路長

高時間分解能

優れた1光電子検出能力

HPDの波形



1 光電子分解能： **~35%**

HPDの詳しい性能評価⇒立石くん

Hyper-Kで使用するための チェック項目

- 長期稼働経験
- 水中での稼働経験
- 高電圧の使用に関する安全性など



実証試験でこれらを明らかにする

実証試験

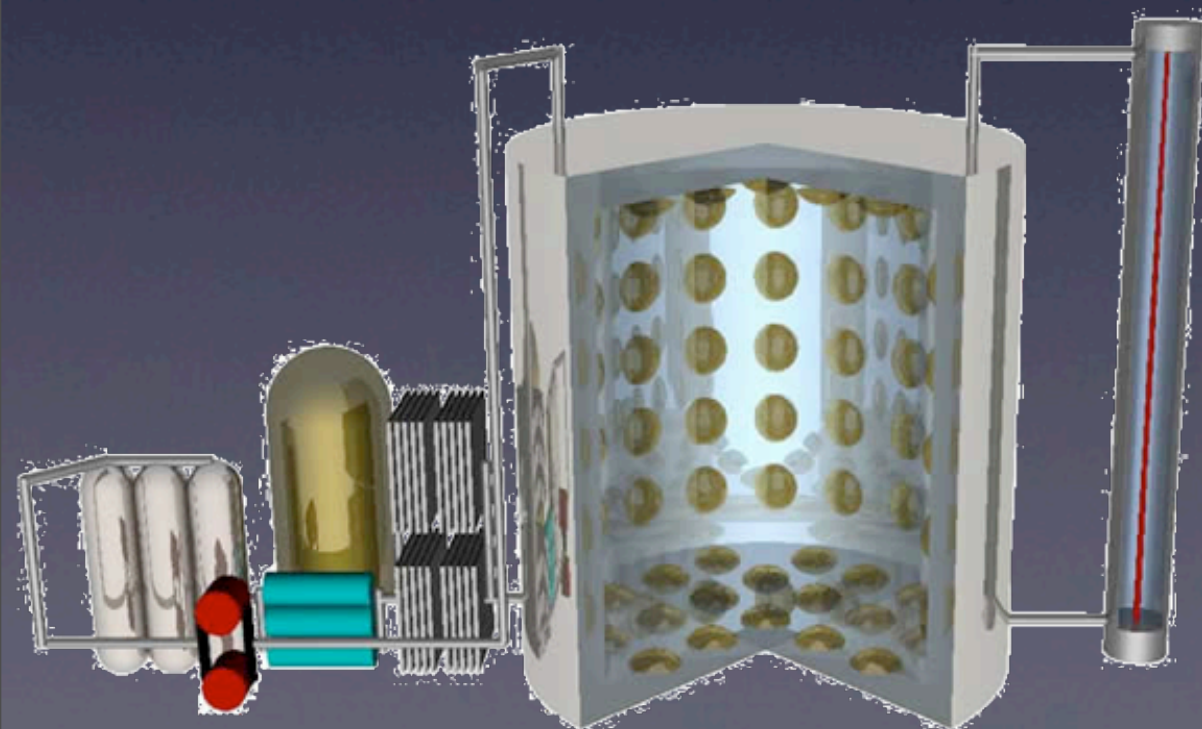
目的

8''及び20'' HPDと20'' PMTとの比較

水チェレンコフ実験用光検出器としての性能評価

期間は1～2年を予定

8'' HPDを8本試験、20'' HPDも準備ができ次第試験
ゲイン、ダークレート時間変動などを測定



岐阜県飛騨市神岡鉱山内にある
高さ7mの200tタンクを使用

超純水+0.2%の $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_2$
240本の光検出器(主に20'' PMT)

測定器デザイン

コントロール電源
($\sim 3\text{V}$ の低電圧でHVとAD Biasを調整+HVモジュールとアンプの駆動電圧5V)



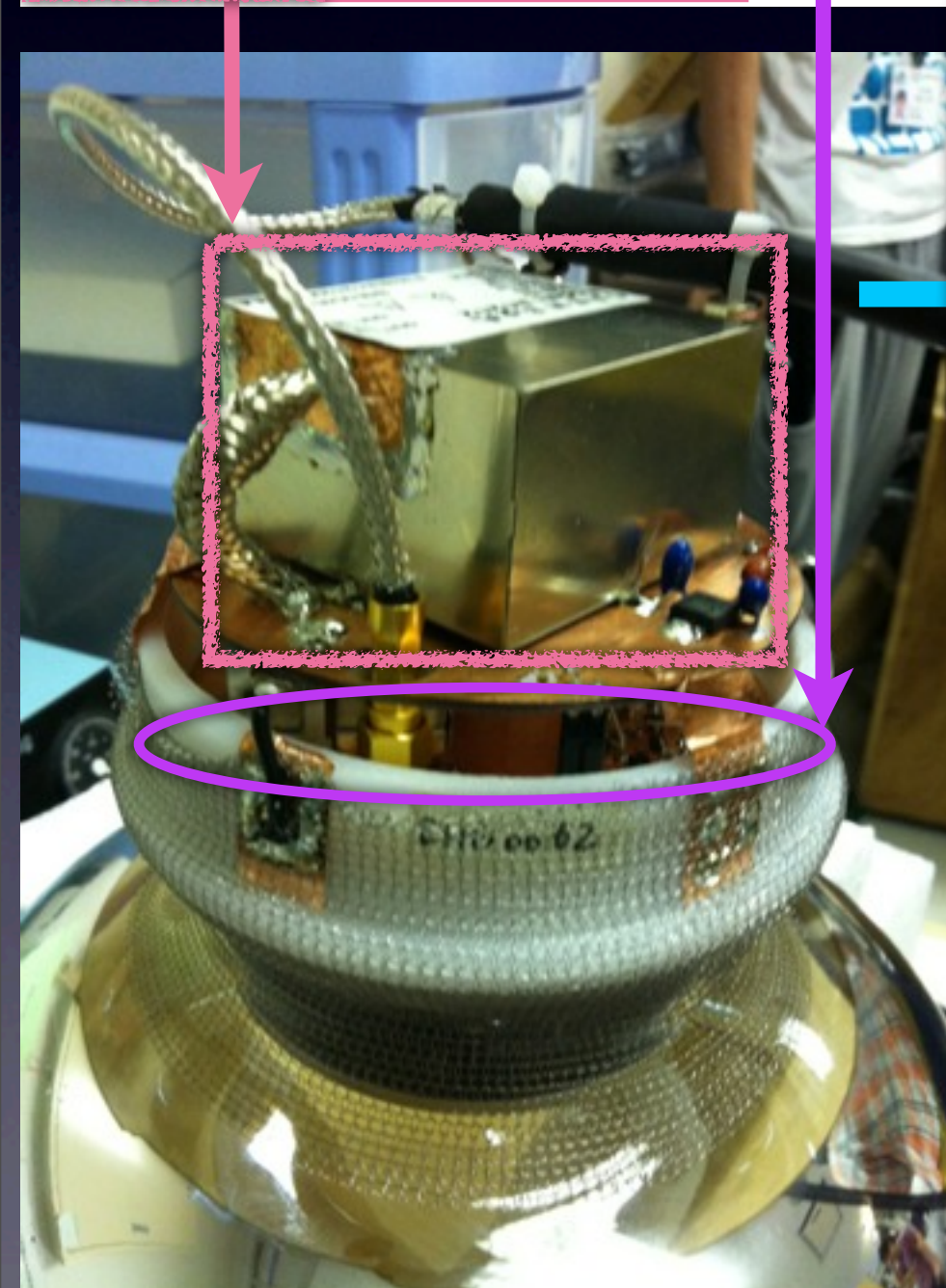
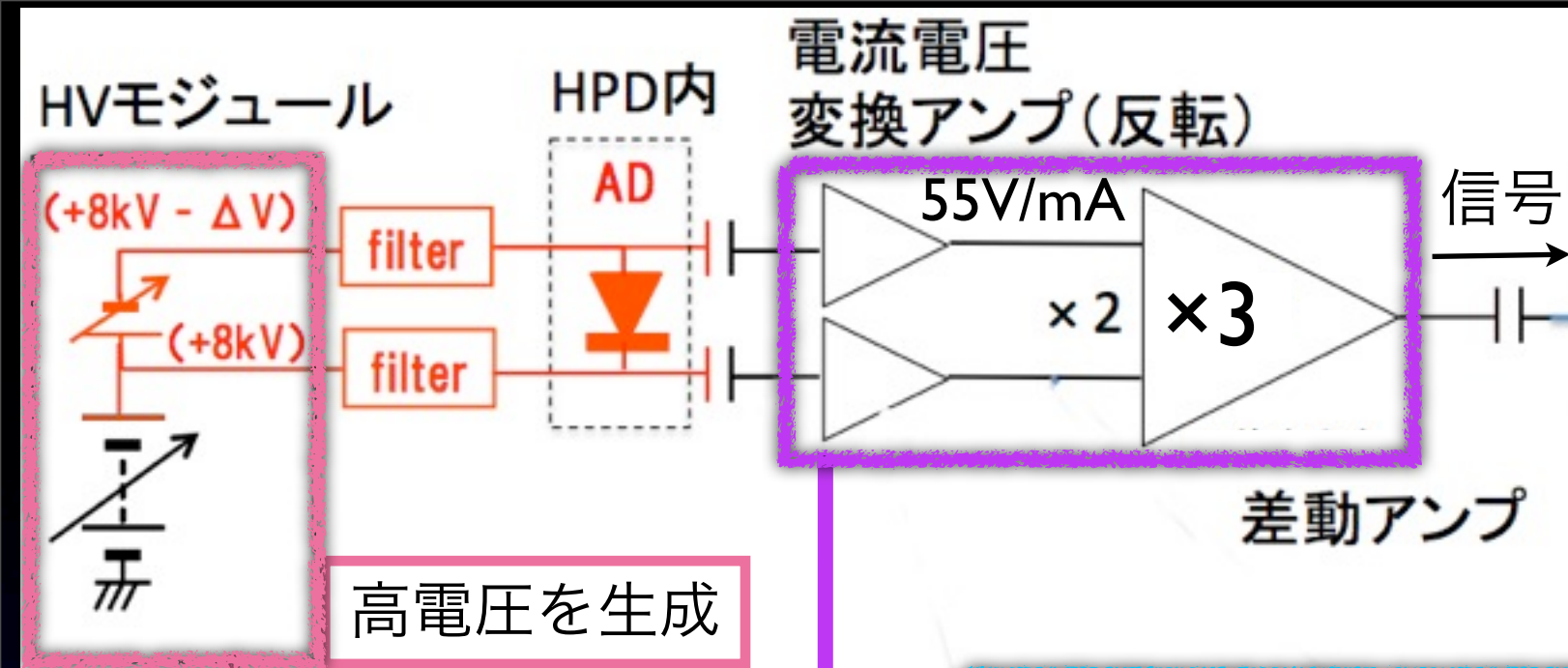
HPDケーブル

HPD内で高電圧を生成



水中に高電圧ケーブルが不要
となり安全に取り扱える

11



高電圧がアンプの近くに存在



もし、HPD内で放電が発生するとHVモジュールや

アンプを破損する恐れがある

+

HVモジュールやアンプは
HPD本体と一緒に防水加工さ
れるため、修理ができない



放電が発生しにくい8" HPDを実証試験に向けて開発



実証試験用8" HPDのチェックが必要

実証試験前のチェックリスト

- 耐久性試験

HVをon/offしても壊れないか

- 長期稼働試験

長期間稼働しても壊れないか

- 水中での安全性確認

放電によるHPDから水中への
リーク電流、内部発光はないか

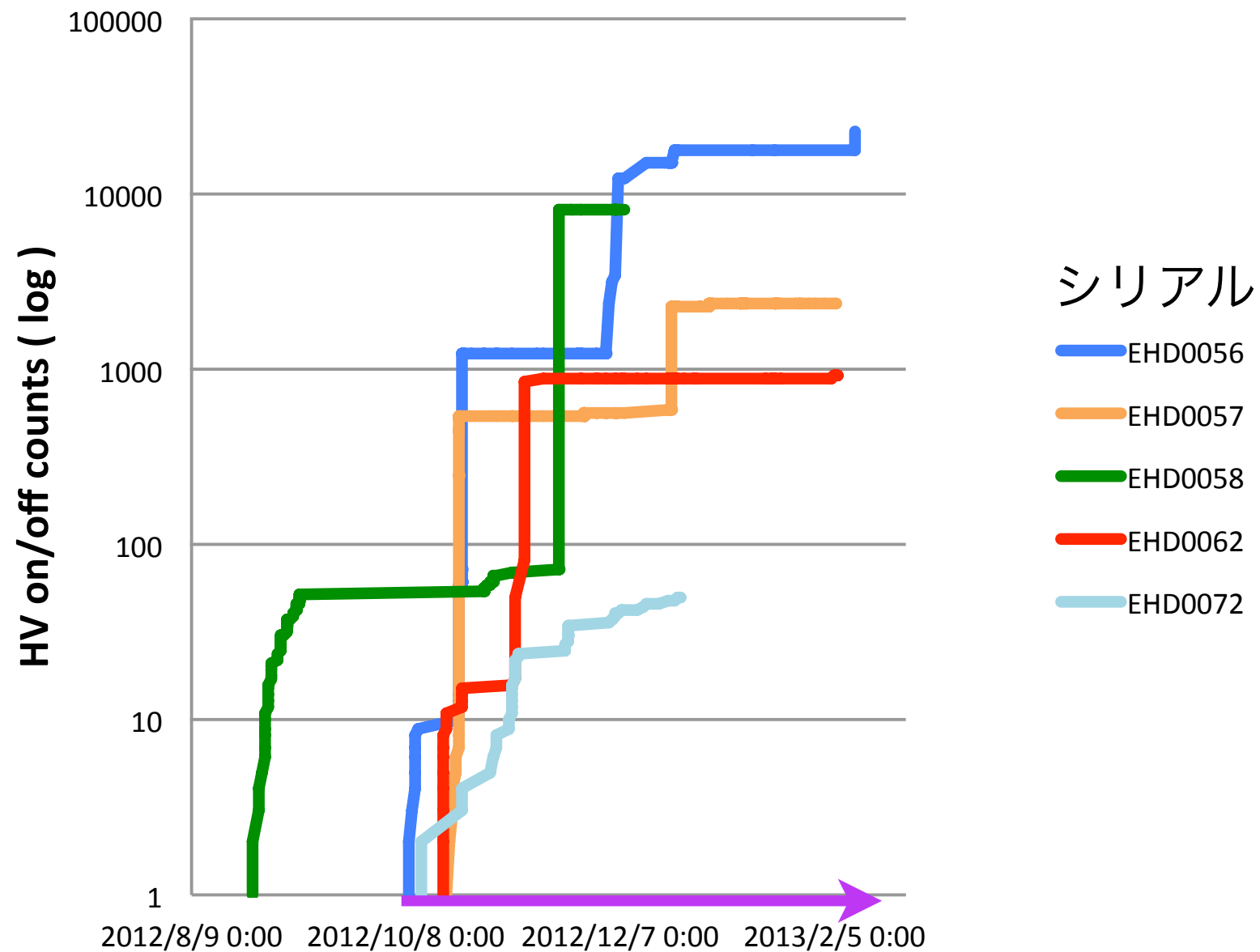
耐久性試験

目的：HVのon/offによってHVモジュールや
アンプが壊れないかを確かめる

目標：HVを3万回on/offして無故障

コントロール電源にリレー
ボードを接続し自動でス
イッチングして試験
定期的に信号をみて動作確認

耐久性試験結果



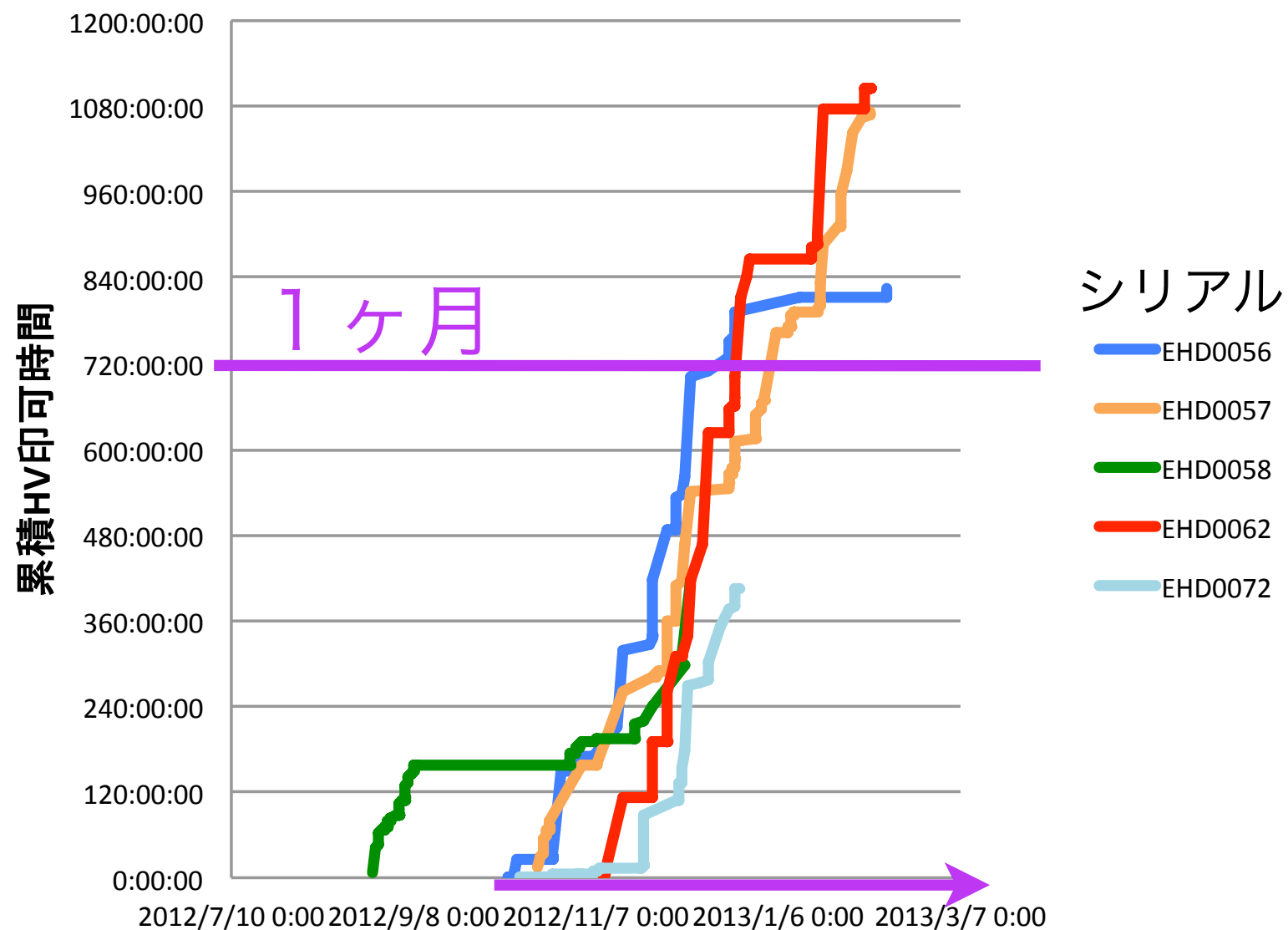
シリアル	HV印加回数
EHD0056	22778
EHD0057	2361
EHD0058	8087
EHD0062	918
EHD0072	50

単体で22778回

合計34131回(2012/10/18~) → 目標達成

長期稼働試験

目標：1ヶ月分の無故障稼働



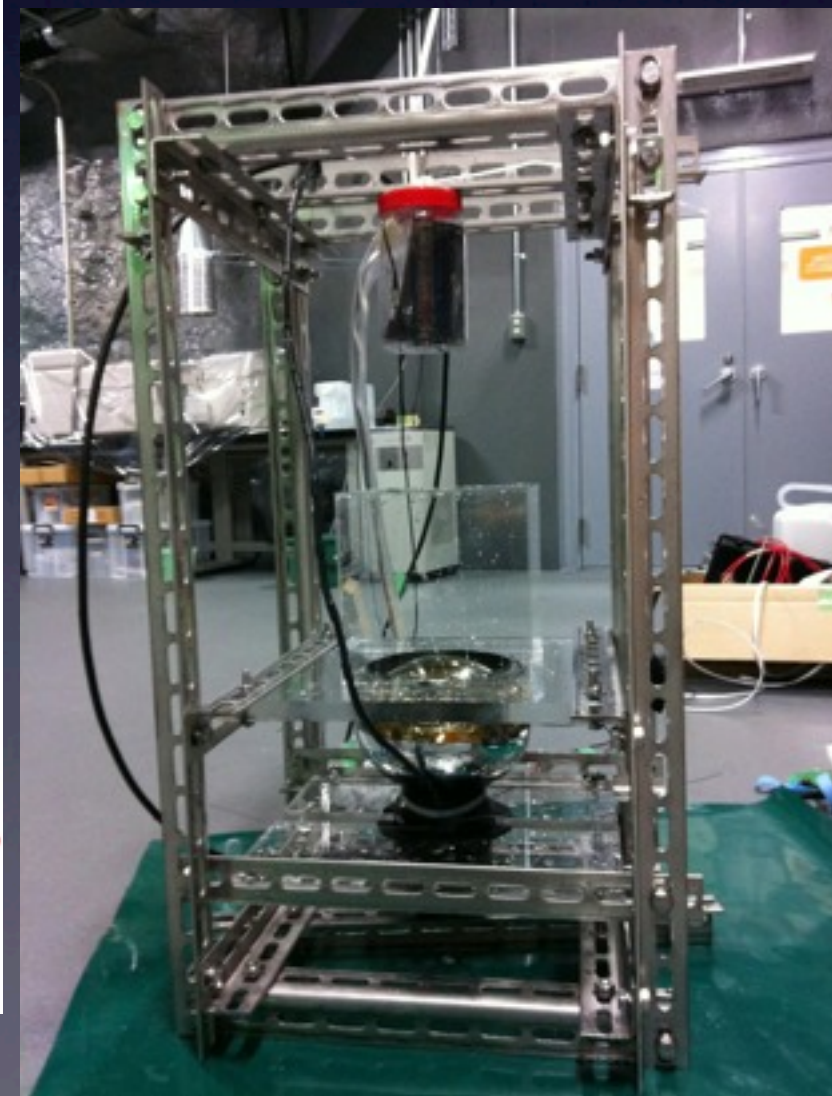
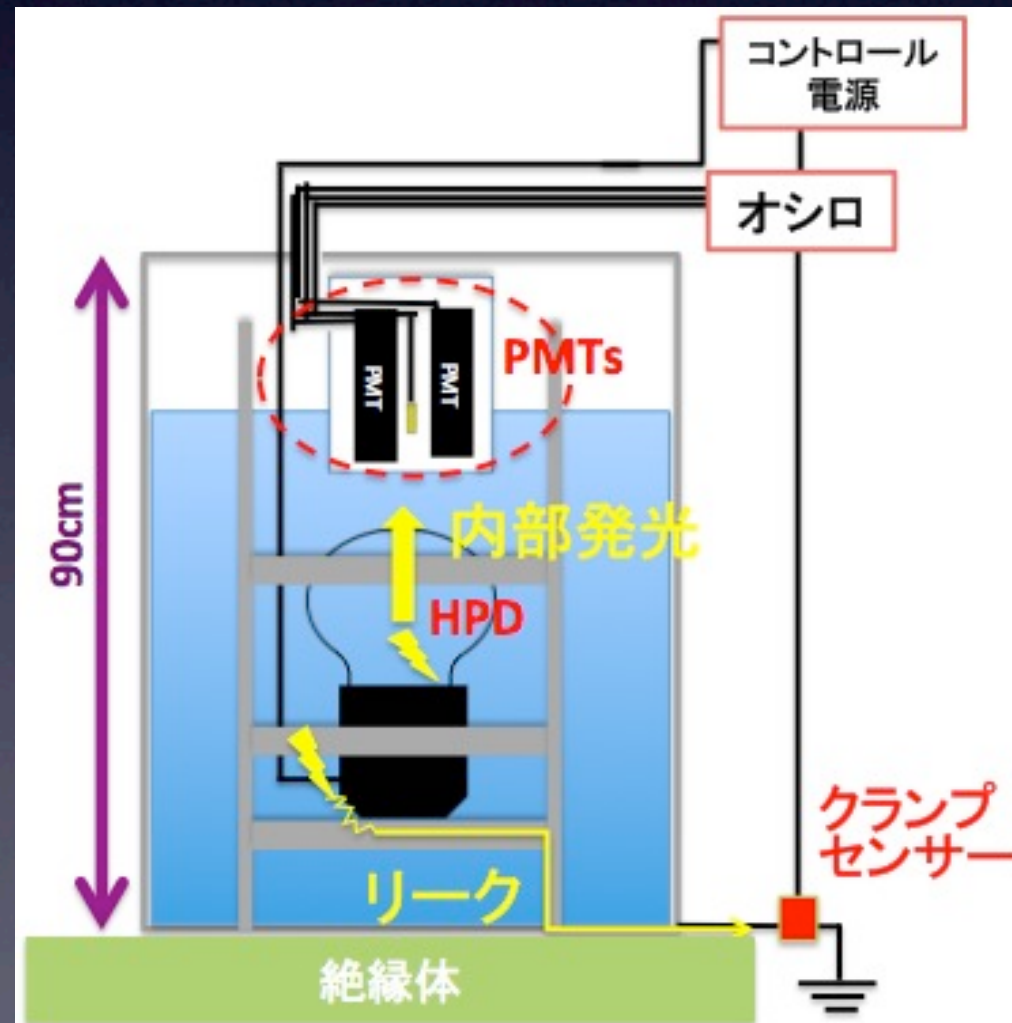
シリアル	HV印可時間
EHD0056	34.4日
EHD0057	44.6日
EHD0058	17.4日
EHD0062	46.1日
EHD0072	16.9日

合計151日(2012/10/18~) → 目標達成

水中での安全性確認

目的：水中でのHPDの安全性を検証する

測定項目：HPDからタンクに流れるリーク電流
内部発光



クランプセンサー

電磁誘導を使って電流を検知するもの

220pFのコンデンサーを5kVで充電
($220\text{pF} \times 5\text{kV} = 1.1\mu\text{C}$) し水中から
タンクへ放電させてクランプセン
サーの挙動を確認



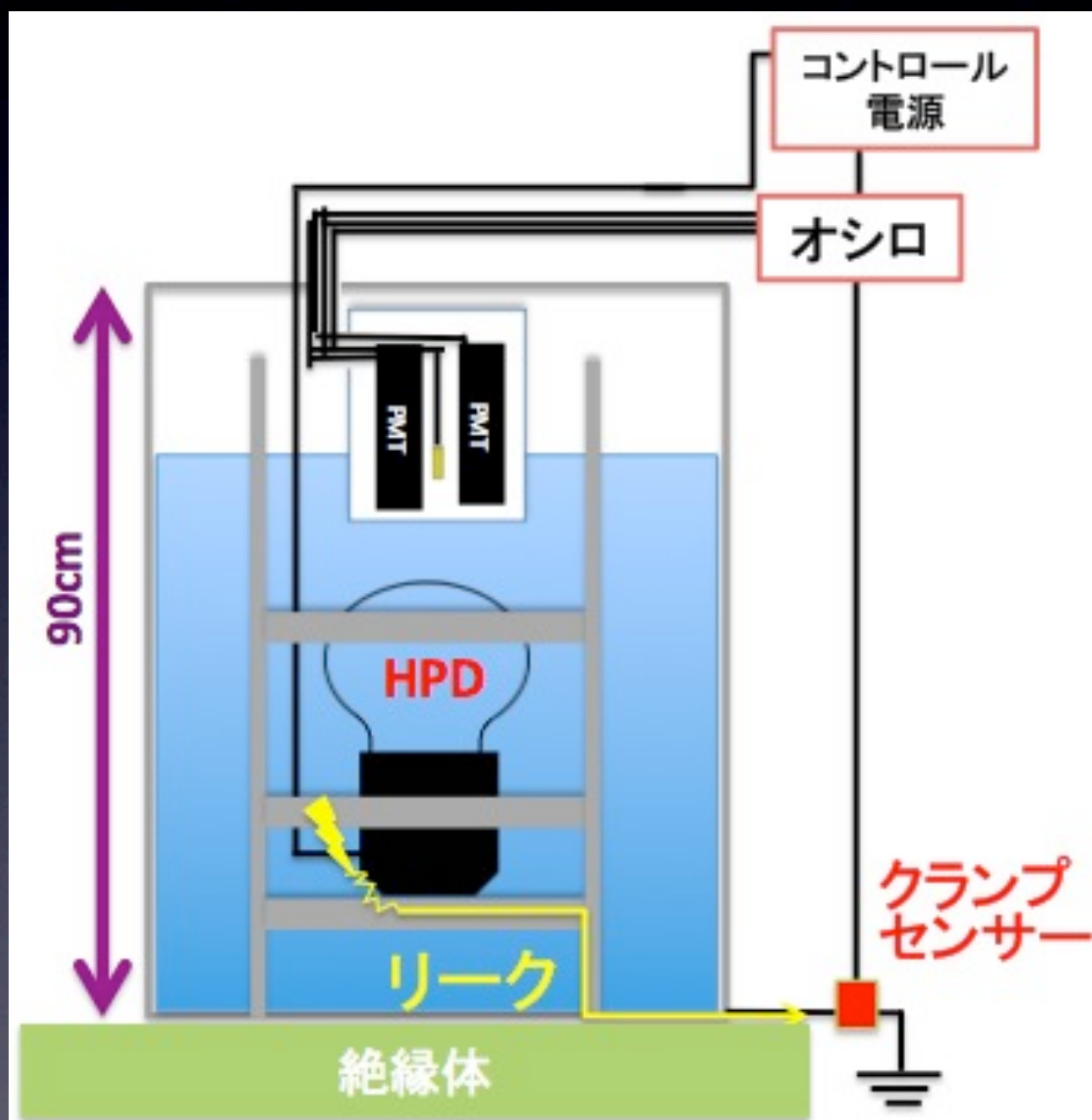
予想される最大のHPDの放電

8kV, $< 125\mu\text{C}$, $\sim 5\text{sec}$

1.1 μC でも検出できる
ので125 μC なら十分
検出できるはず



リーク電流



クランプセンサー
(threshold -46mV) で
タンクのGNDに流れる
電流を検出する

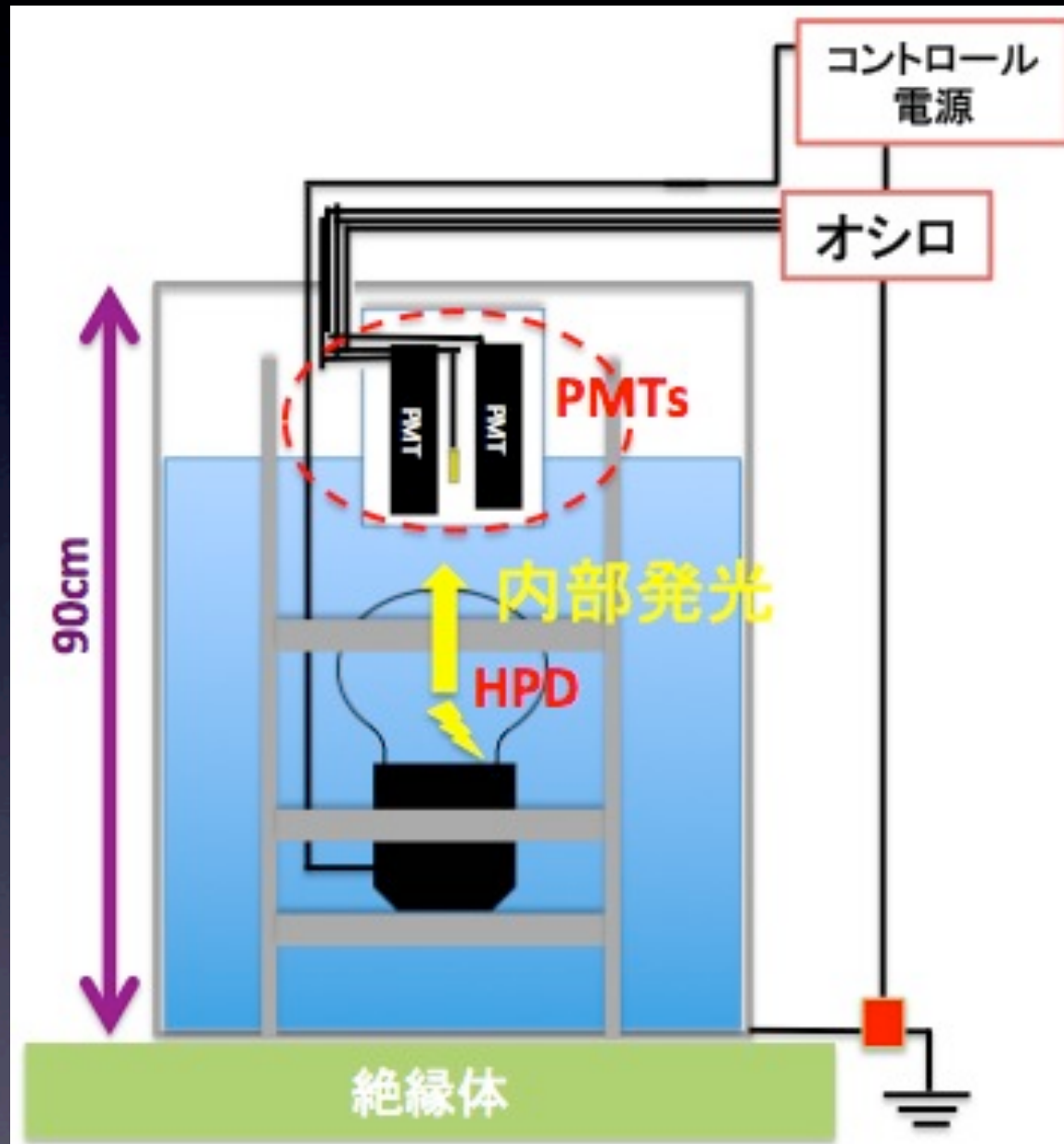
結果

14時間の測定で0イベント



リーク電流なしと判断

内部発光



PMT 2 本でコインシデンス
をとりスケーラでカウント
(thresholdは 1 光子以下)

コインシデンスレートをHPD
稼働時と停止時とで測定し、
その差から発光頻度を見る

水が有り と 水無しの場合で
各 1 1 時間測定

水有りだと宇宙線 μ によるチェレ
ンコフ光が見えるかも

HPD	HPD on/off	PMT2本のコインシデンスレート (mHz)
水中	ON	$15.8 \pm 0.5(\text{stat}) \pm ?(\text{syst})$
水中	OFF	$12.4 \pm 0.3(\text{stat}) \pm ?(\text{syst})$
大気中	ON	$3.0 \pm 0.2(\text{stat}) \pm ?(\text{syst})$
大気中	OFF	$6.2 \pm 0.3(\text{stat}) \pm ?(\text{syst})$

水中：(HPD ON)-(HPD OFF) $\sim 3.0 \pm ?(\text{syst})$ mHz

大気中：(HPD ON)-(HPD OFF) $\sim -3.0 \pm ?(\text{syst})$ mHz

$\Rightarrow$ 系統誤差が差分と同程度あると思われる

$\Rightarrow$ 内部発光の頻度はあっても3.0mHz程度

HV on/off 合計34131回 無故障⇒耐久性有り

3つのHPDで1ヶ月以上無故障稼働⇒長期稼働可

リーク電流なし（14時間で0イベント）・内部発光なし
（HPD運転時とバックグラウンドとで有意な差はない）

⇒実証試験で使用する際の安全面に問題はなさそう

Now



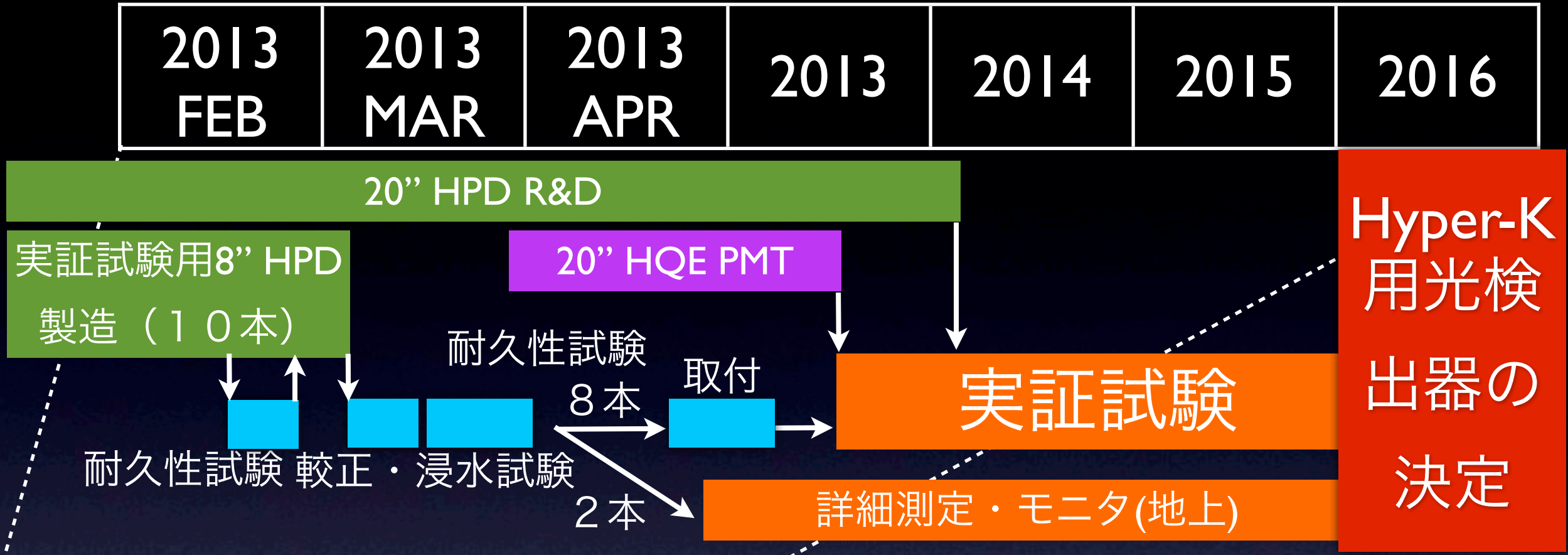
8"HPDは実証試験で利用できる
ところまでほぼ到達した！



Next

水チェレンコフ実験用光検出器としての
性能を実証試験で検証

HPDの今後



Hyper-Kの今後



まとめ

- 核子崩壊、レプトンセクターでのCPVなどの物理のためにHyper-Kが必要
- Hyper-K用光検出器の中でもHPDは有力な候補
- HPDの水チェレンコフ実験用光検出器としての実用性を評価するために実証試験を行う
- 実証試験前のチェックすべき項目（耐久性試験、長期稼働試験、水中での安全性確認）を大旨クリアした（追加測定を行う予定）
- 実証試験を行い2016年までにHyper-Kでの光検出器を決定

back up



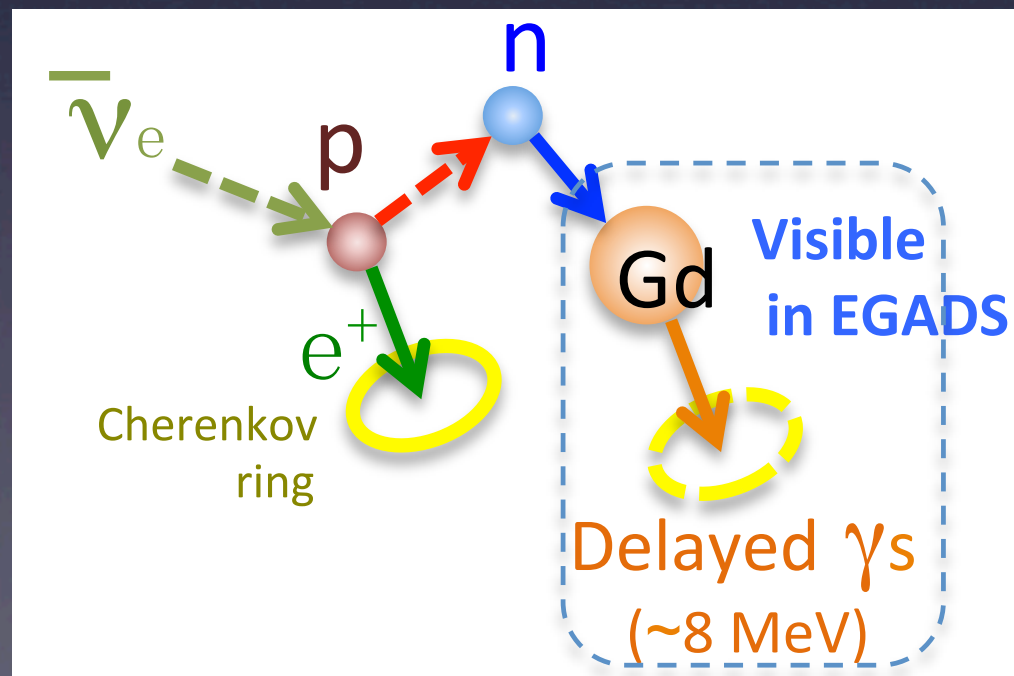
GADZOOKS! (=うわーっ!)

Gadolinium Antineutrino Detector Zealously
Outperforming Old Kamiokande, Super!

超新星爆発残存反 ν (低エネルギー)

⇒Super-Kではバックグラウンドに埋もれる
ガドリニウム中性子捕獲断面積最大

(安定な原子核で?)



陽電子と γ の遅延同時計測

↓
超新星爆発残存反 ν を検知可

200tタンクで実証実験 (EGADS)

EGADS

Evaluating Gadolinium's Action on Detector Systems

GAZOOKS!の実証実験用タンク

岐阜県飛騨市神岡鉱山内にある
高さ7mの200tタンクを使用

超純水+0.2%の $Gd_2(SO_4)_3$

20" PMT 240本 + 8" HPD 8本

