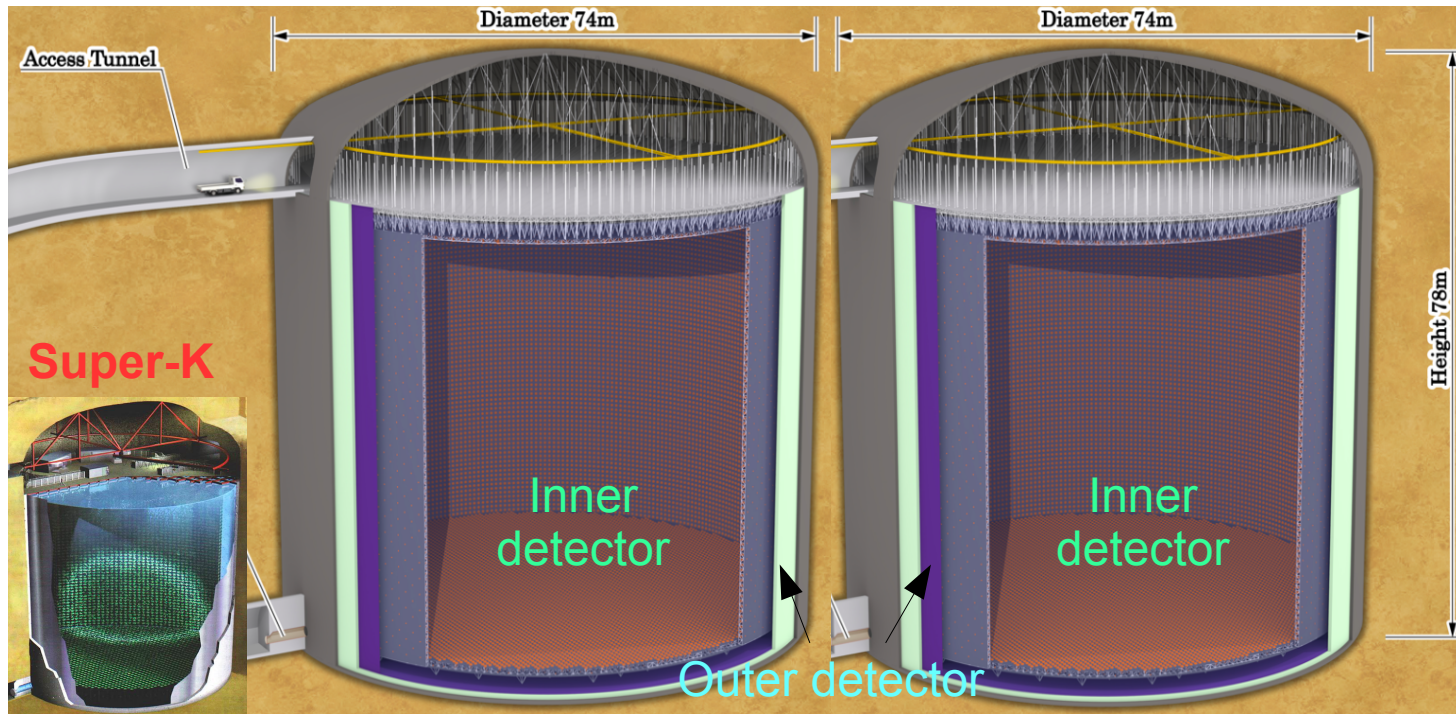


ハイパーカミオカンデにおける 新型光検出器の水中実用性と 応答一様性評価

武藤 史真
(名古屋大ISEE)

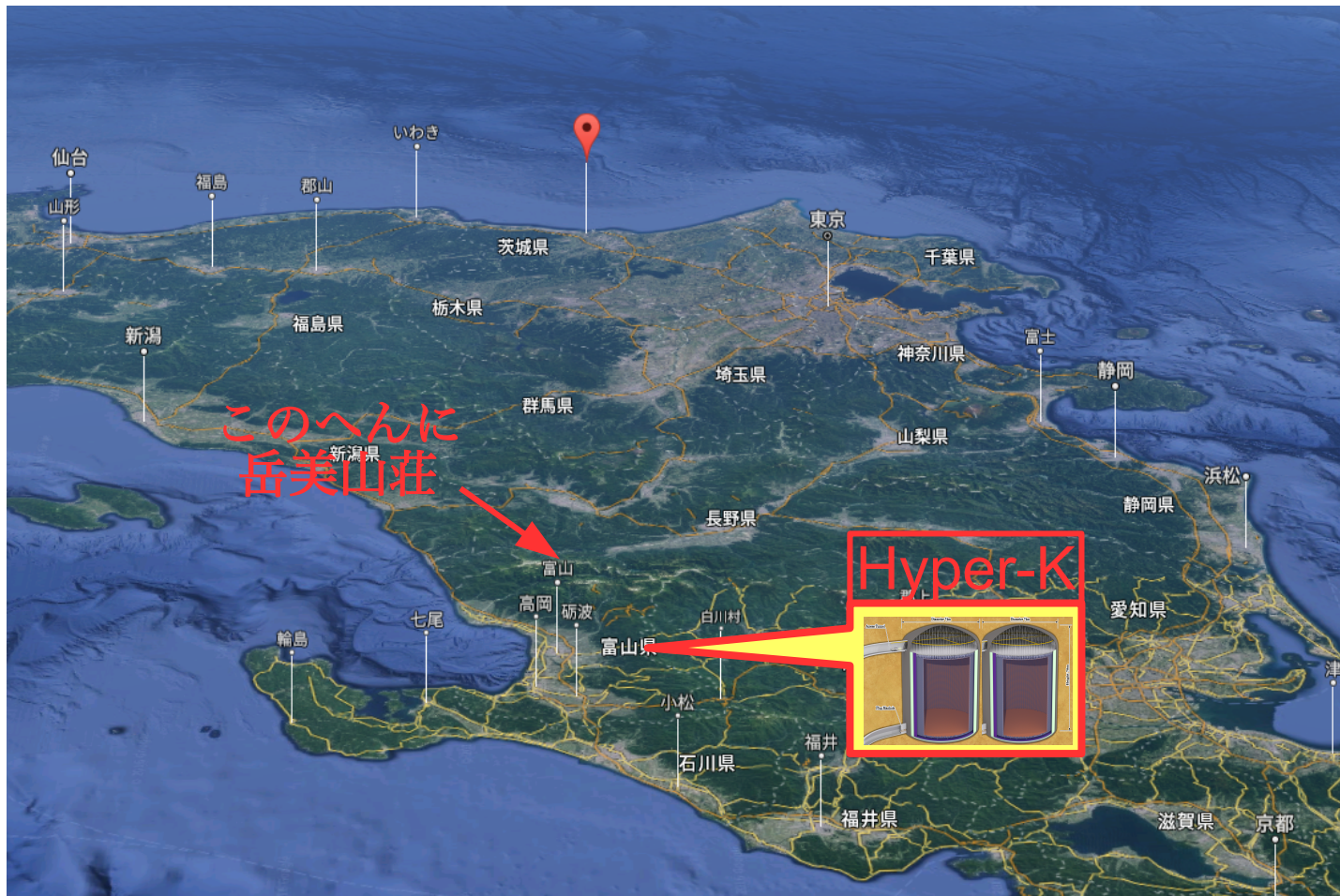
ハイパーカミオカンデ計画



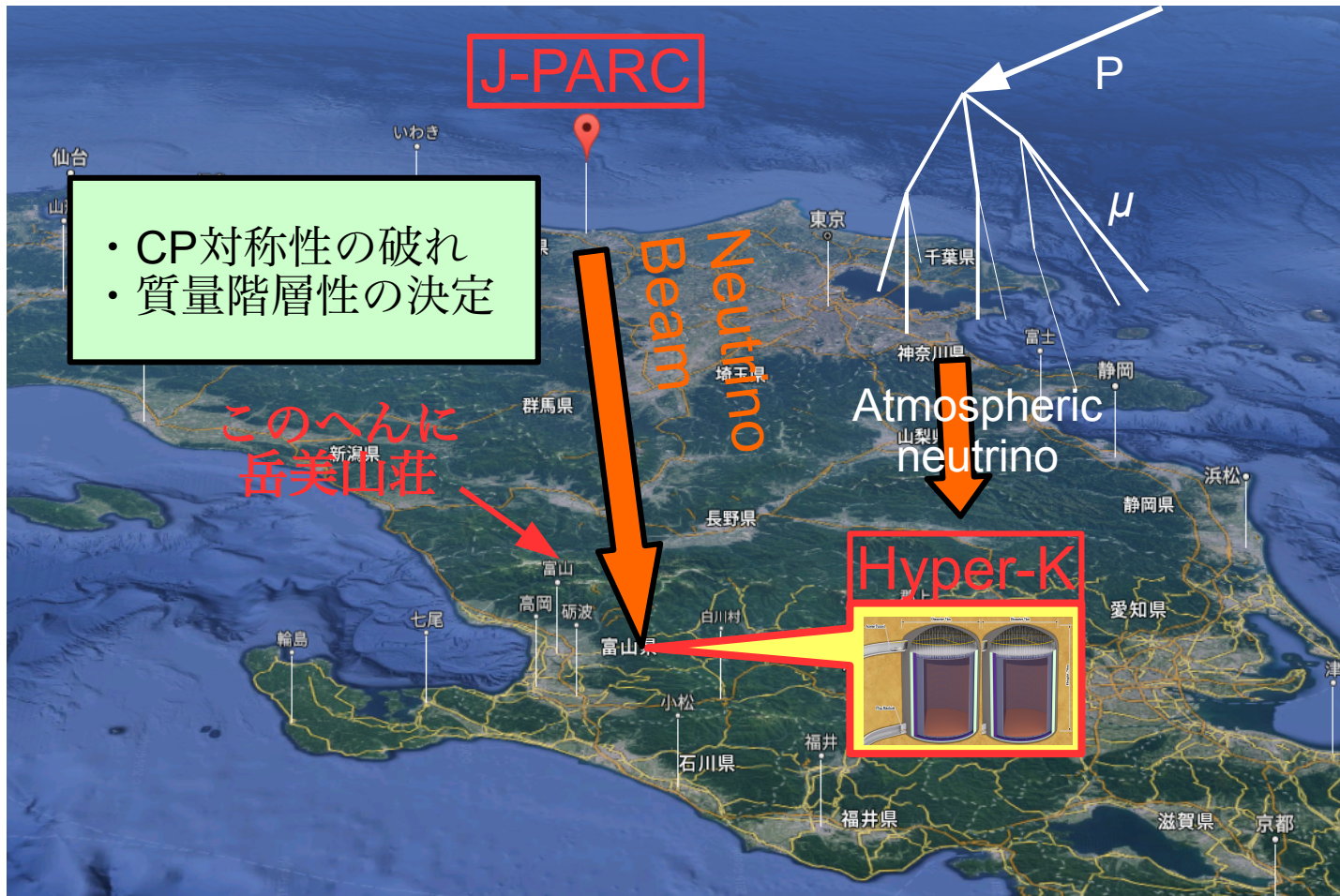
- ・ 水チェレンコフ検出器
- ・ Super-K × 約17倍
(Fiducial volume)
- ・ 候補地：岐阜県神岡町
- ・ 2025年から始動？

	Total Volume (Fiducial volume)	Dimension	Number of Photo-sensors in Inner detector	Coverage	Single-photon detection efficiency	Single-photon timing resolution
Super-K	0.05Mt (0.022Mt)	39m Φ × 42m(H)	11k	40%	12%	~2nsec
Hyper-K	0.52Mt (0.38Mt)	74m Φ × 60m(H) × 2	80k	40%	24%	1nsec (Box&Line)

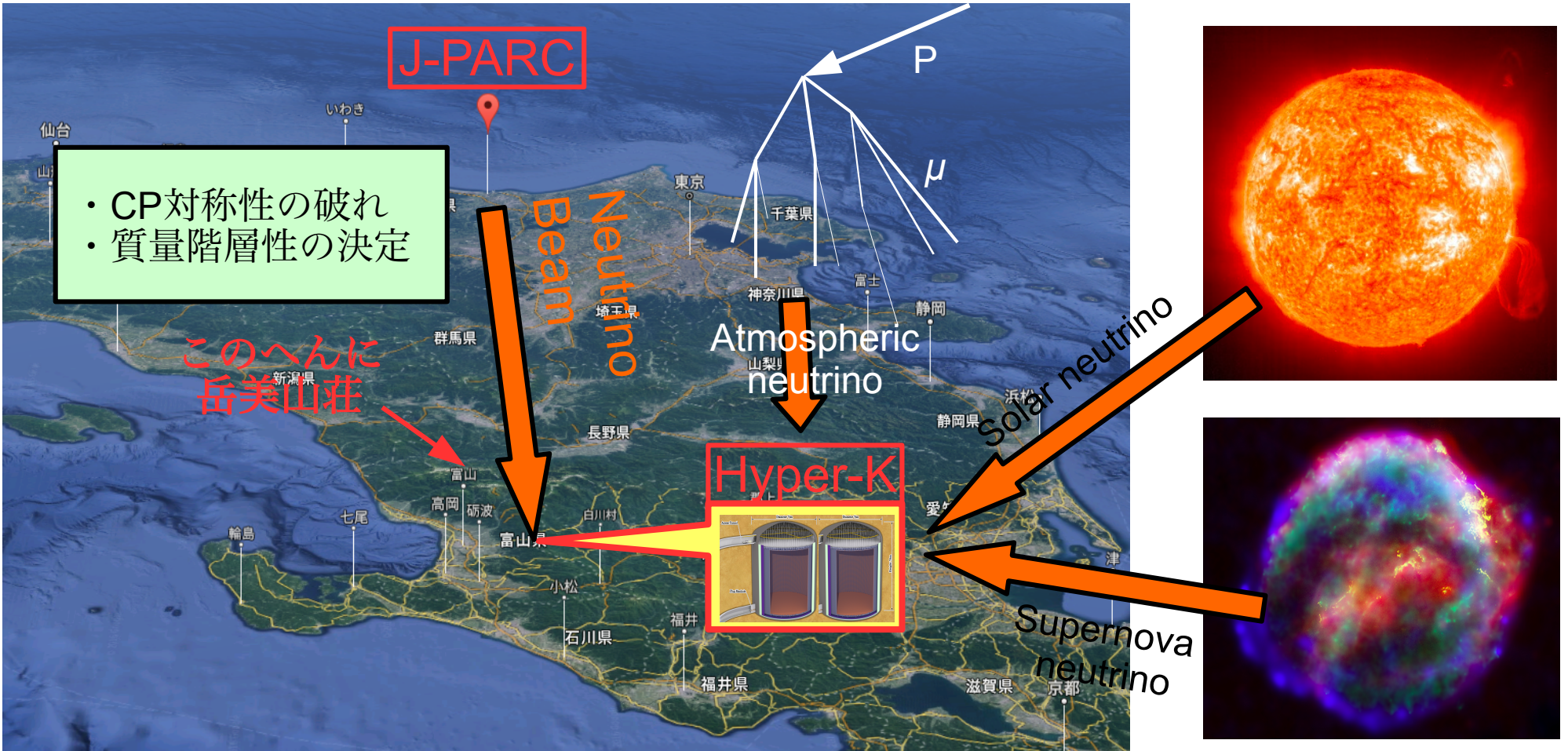
Science



Science

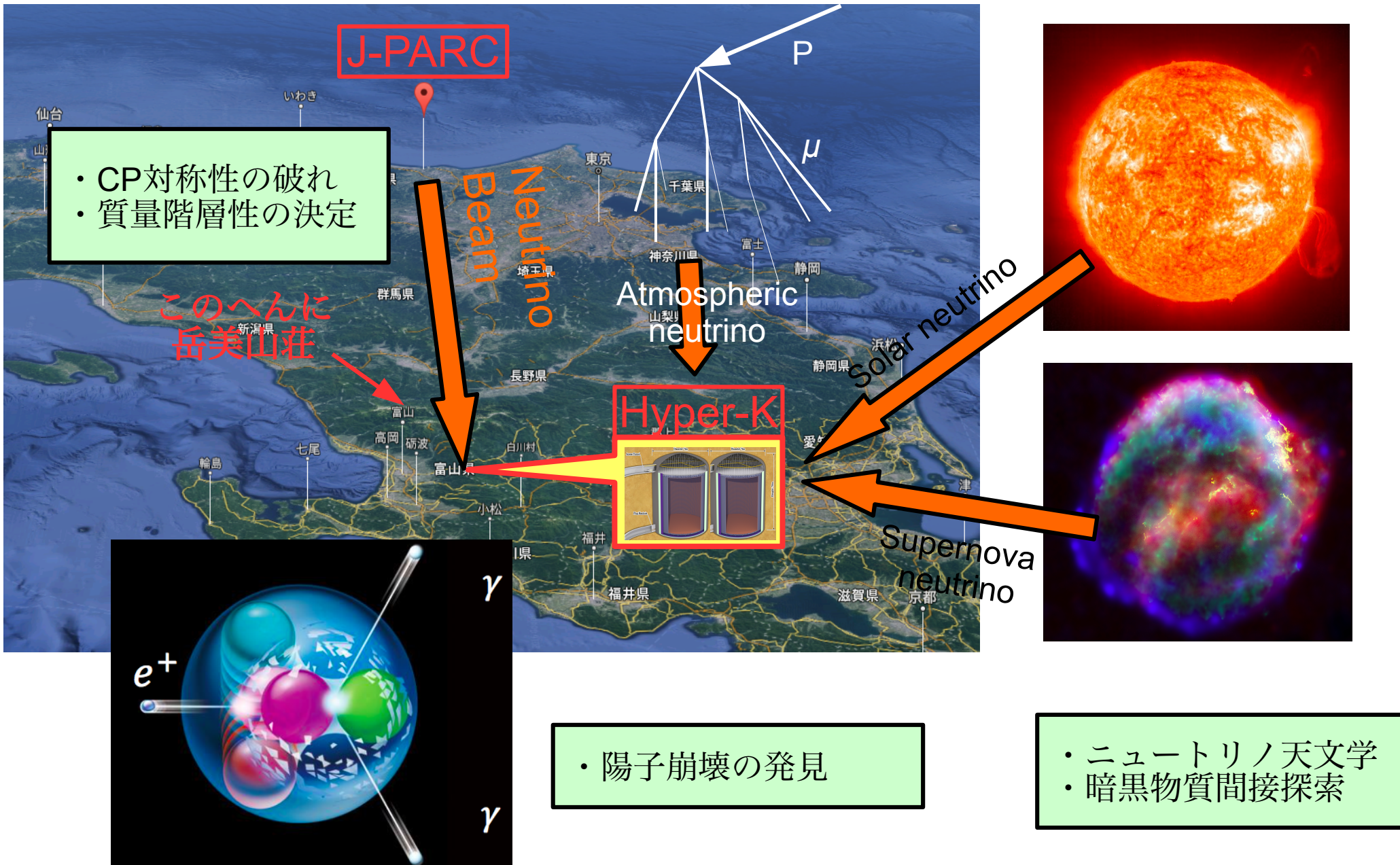


Science



- ・ニュートリノ天文学
- ・暗黒物質間接探索

Science



ハイパーカミオカンデ計画 光検出器候補

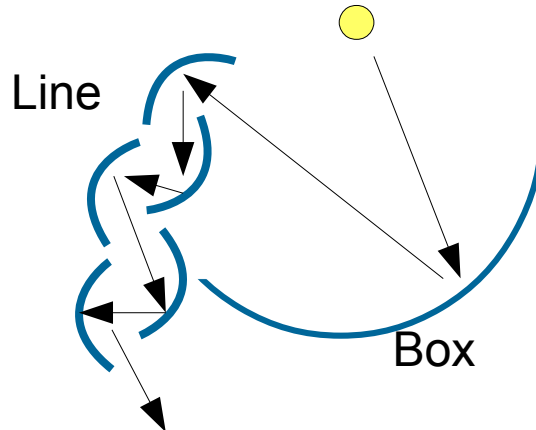
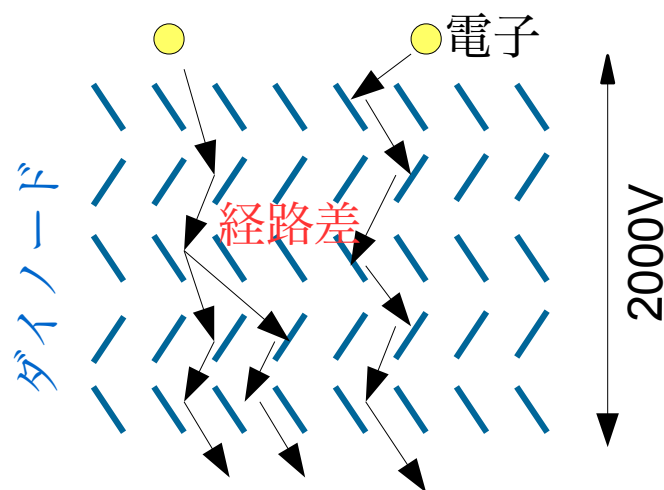
Venetian Blind型PMT



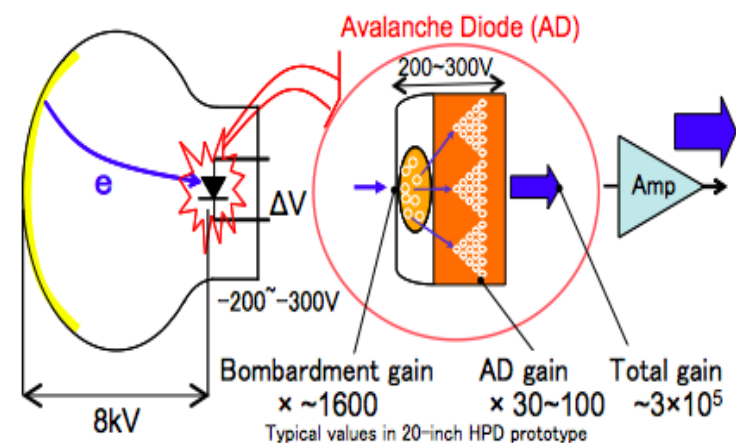
Box&Line PMT



Hybrid Photo-Detector (HPD)



比較的安価で
時間分解能も良い



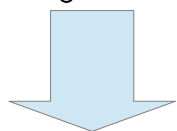
時間・1光電子分解能が良く、
地磁気の影響も少ない
稼働には8kVの印加電圧が必要

Super-Kで長期間使用できた信頼性

光検出器の実用性・性能評価

今回の実用性・性能評価の背景

- ・ハイパーカミオカンデは大容量の検出器であるため、チェレンコフ光の減衰によりスーパーカミオカンデ(SK)と比較して検出性能の悪化が懸念されている。



- ・ハイパーカミオカンデではより高性能な光検出器が求められており、現在開発が進んでいる。

目的

- ・ハイパーカミオカンデと同等の環境で実用に耐えうるかを確認したい。(水中実用性試験)
- ・特にHPDはSK PMTのHV=2kVよりも大きい8kVの電圧が必要なことから、実用性試験が必要不可欠。
- ・Box&Line PMT、HPDの応答一様性をSK PMTと比較したい。
(性能評価)

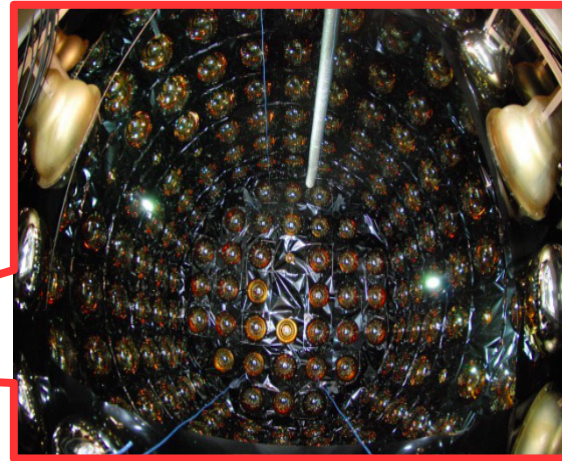
EGADSでの実証試験

Evaluating Gadolinium's Action on Detector System

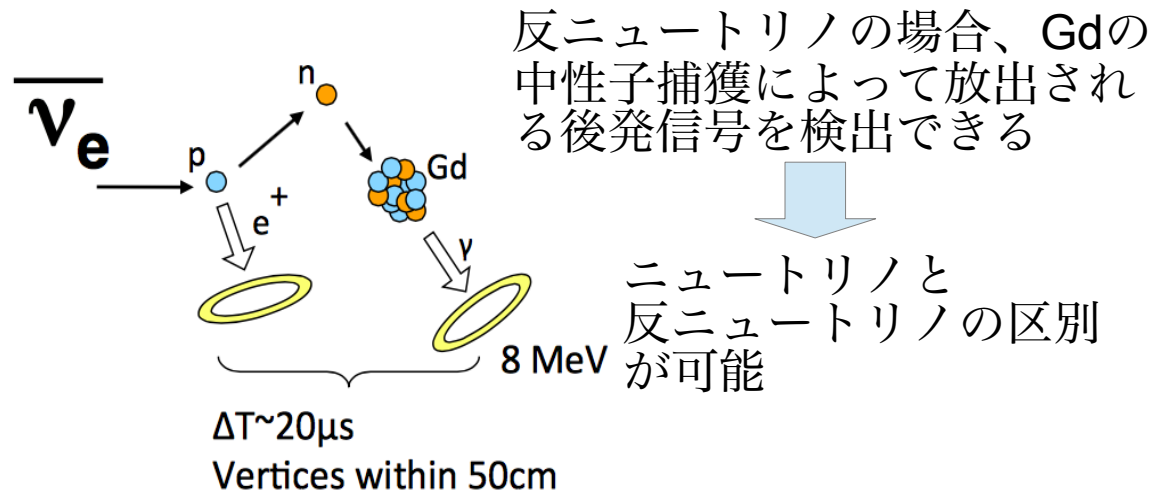
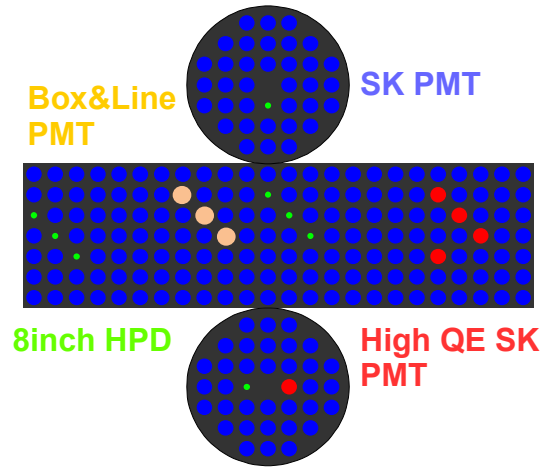
EGADSタンク
200t

7m

岐阜県神岡鉱山内



EGADS展開図



EGADS実証試験はGdによるタンクの腐食や、水の透過率への影響の確認を目的としている。

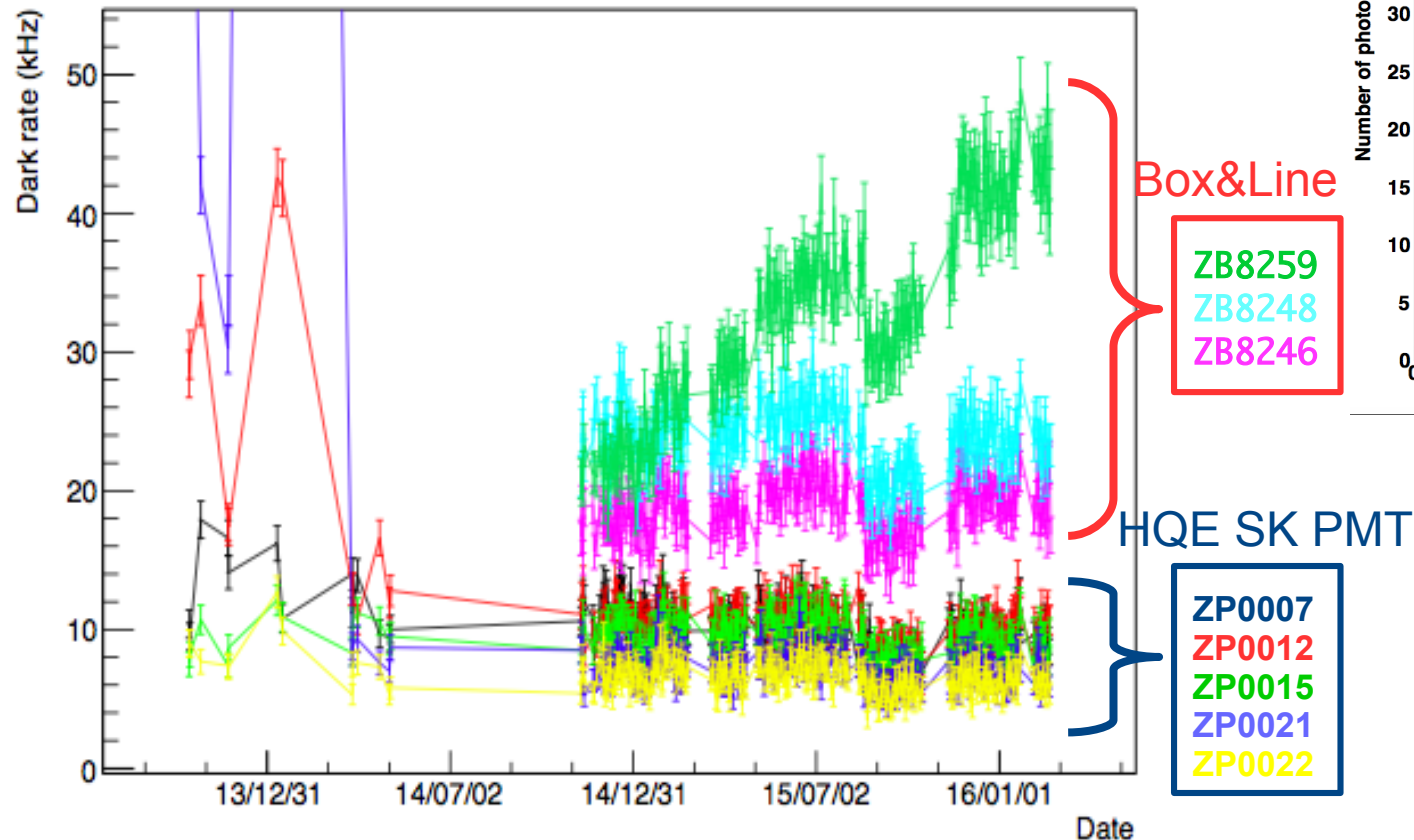
EGADSタンク内はHyper-Kと同等の環境であるため光検出器の実証試験にも最適

EGADS内光検出器の ダークレート安定性

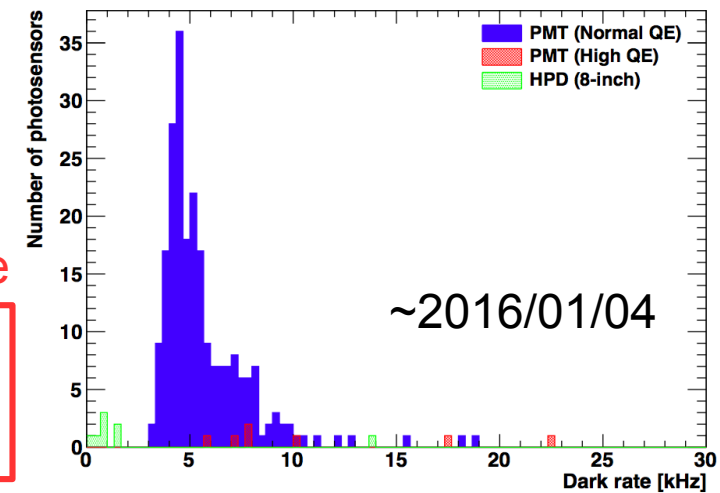
目的

新型光検出器のダークレート長期安定性の確認

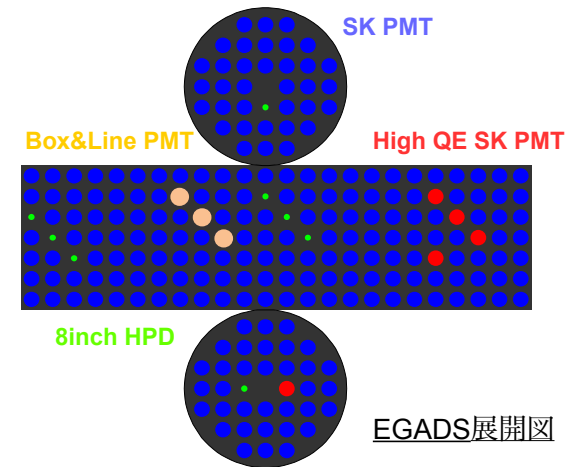
history of Dark rate (HQE SK PMT)



光検出器ごとのダークレート分布



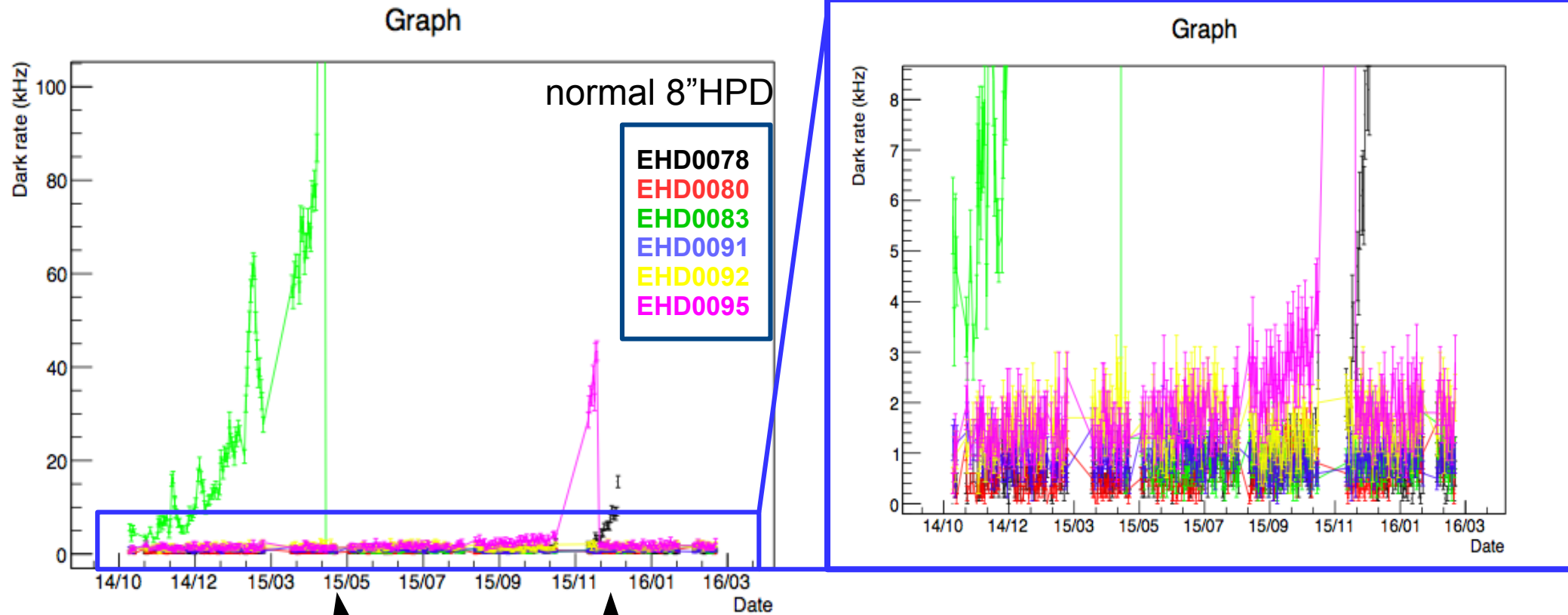
- 2014/08~からBox&Line PMT を3本追加
- Threshold=1mVで1日ごとに測定
- Box&Lineの内1つが高レート化
- HQE SK PMTは~9.3kHz、Box&Line PMTは~20kHzで安定



EGADS内光検出器の ダークレート安定性

目的

新型光検出器のダークレート長期安定性の確認



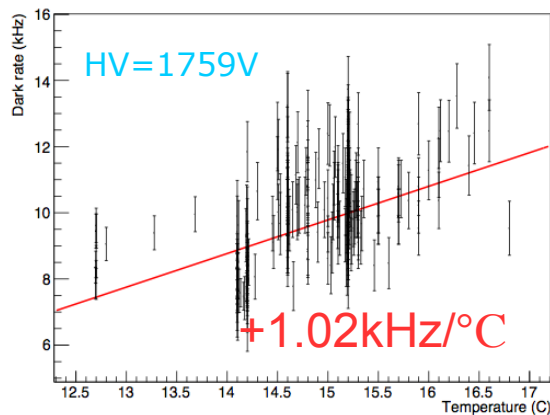
アバランシェ電位を下げることで安定化

- ・アバランシェ電位を下げた後は、0.2kHz~2.1kHzで安定

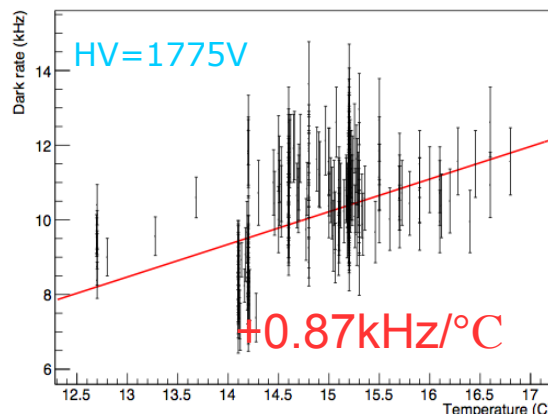
高QE SK PMTの ダークレート温度依存性

- 光電面からの熱電子放出のため、PMTのダークレートは温度に依存することが知られている。
- 特に高QEのものは依存性が高いため、EGADS内の温度計データを用いて依存性を測定した。

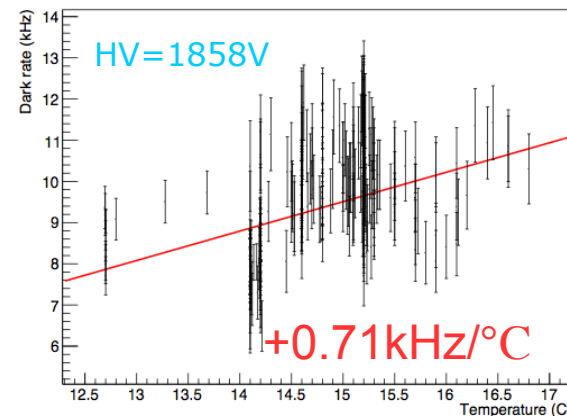
ZP0007
Dark rate vs Temperature



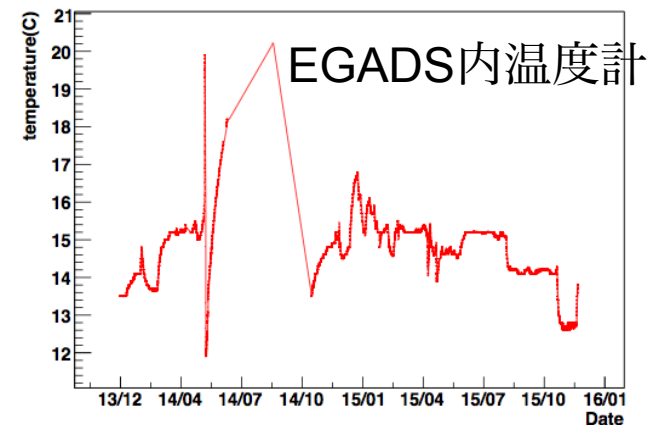
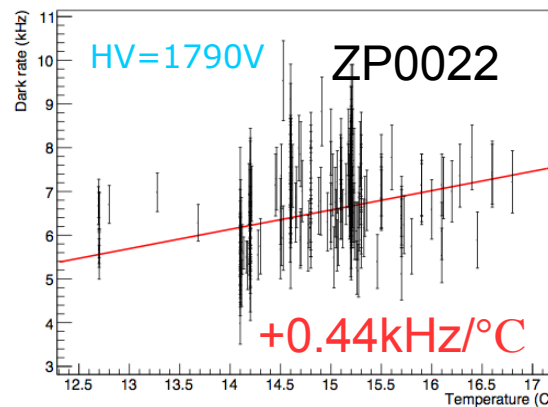
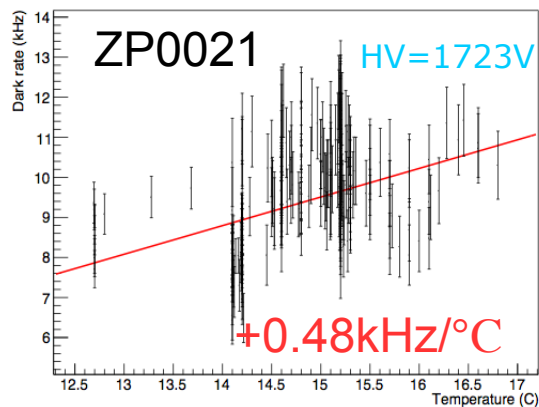
ZP0012
Dark rate vs Temperature



ZP0015
Dark rate vs Temperature

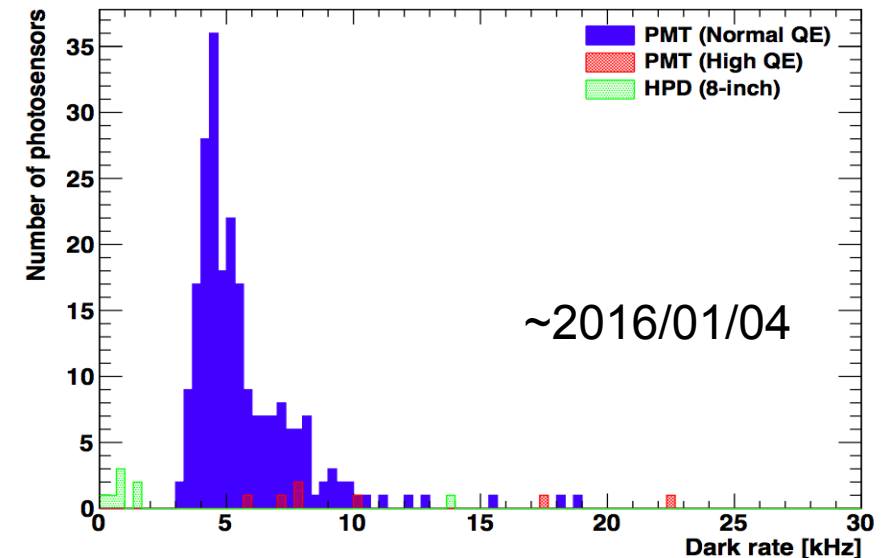


Dark rate vs Temperature



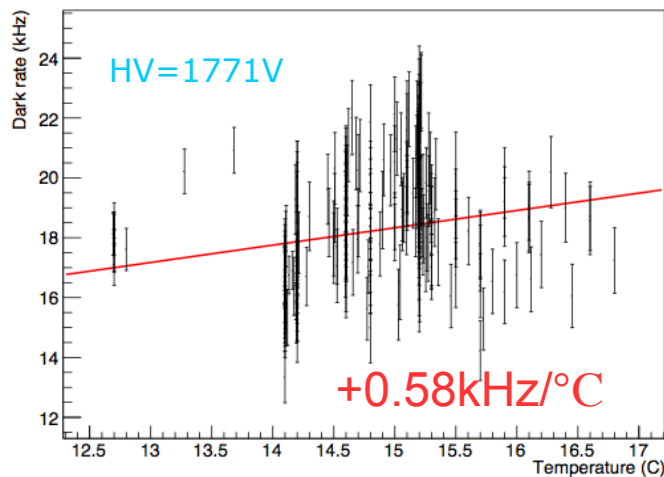
高QE Box&Line PMTの ダークレート温度依存性

光検出器ごとのダークレート分布

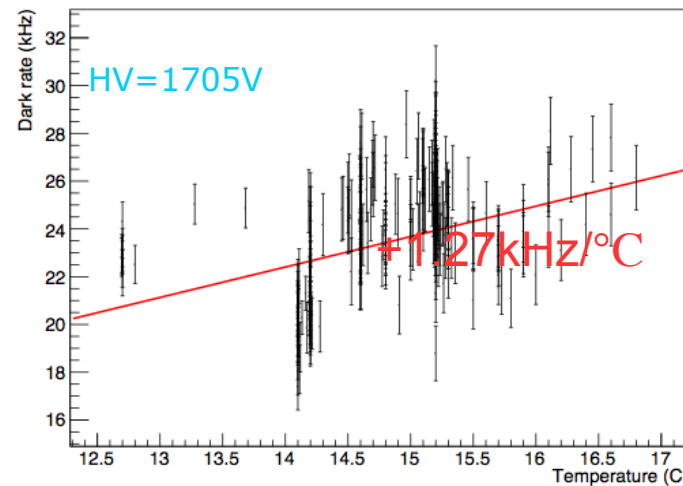


- 高ダークレート化していたZB8259は、正確に温度依存性が測定できなかった
- 温度依存性の精密測定が行われている

ZB8246
Dark rate vs Temperature

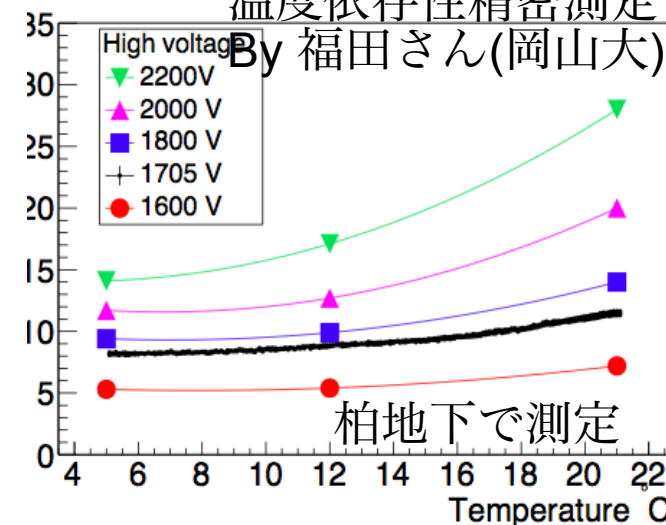


ZB8248
Dark rate vs Temperature



温度依存性精密測定

By 福田さん(岡山大)



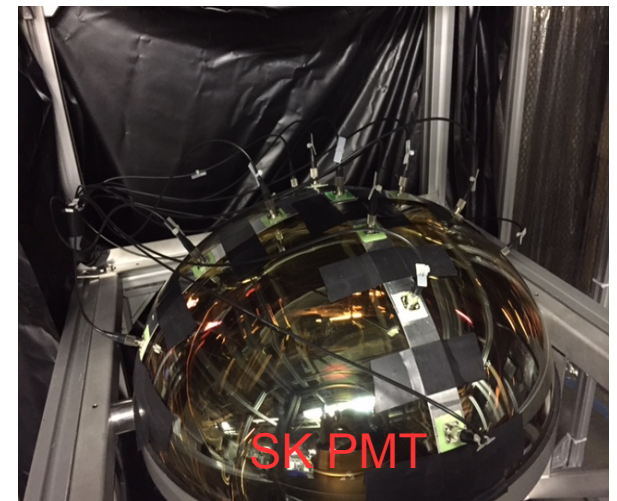
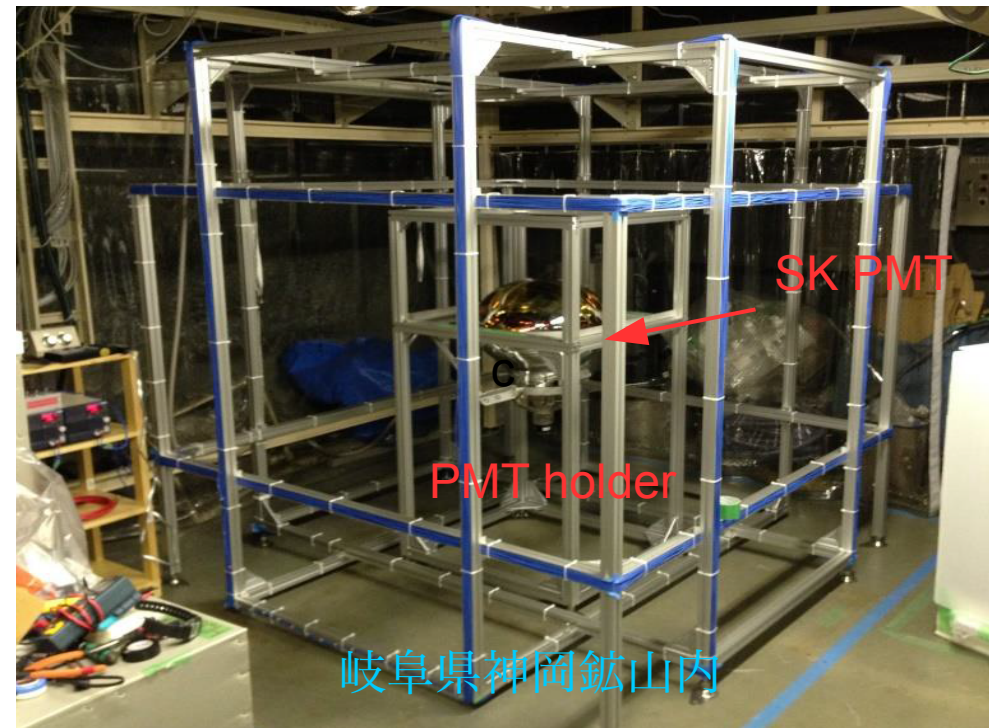
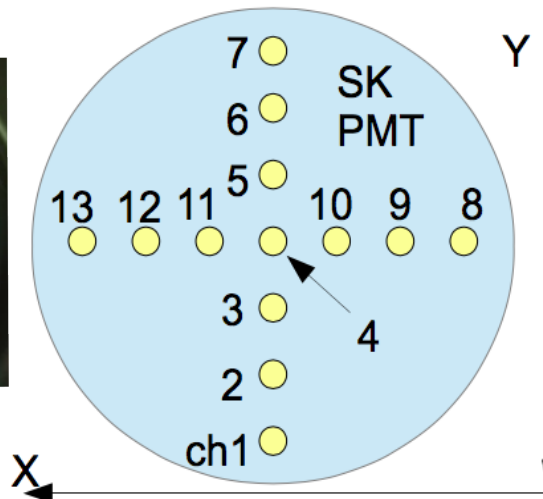
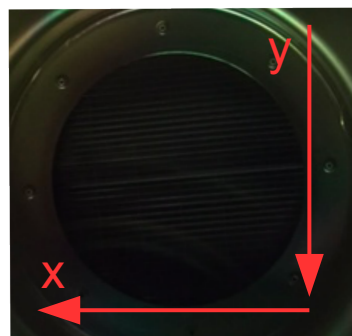
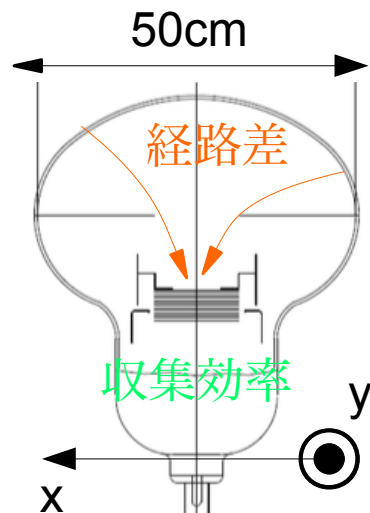
光検出器の応答一様性評価

応答一様性測定の実機

- PMT表面の光子入射位置による経路長、収集効率の差によって応答性能に差が見られることが懸念される。
- HKでは事象再構成の精度向上のため、光検出器の感度一様性の確認がしたい。

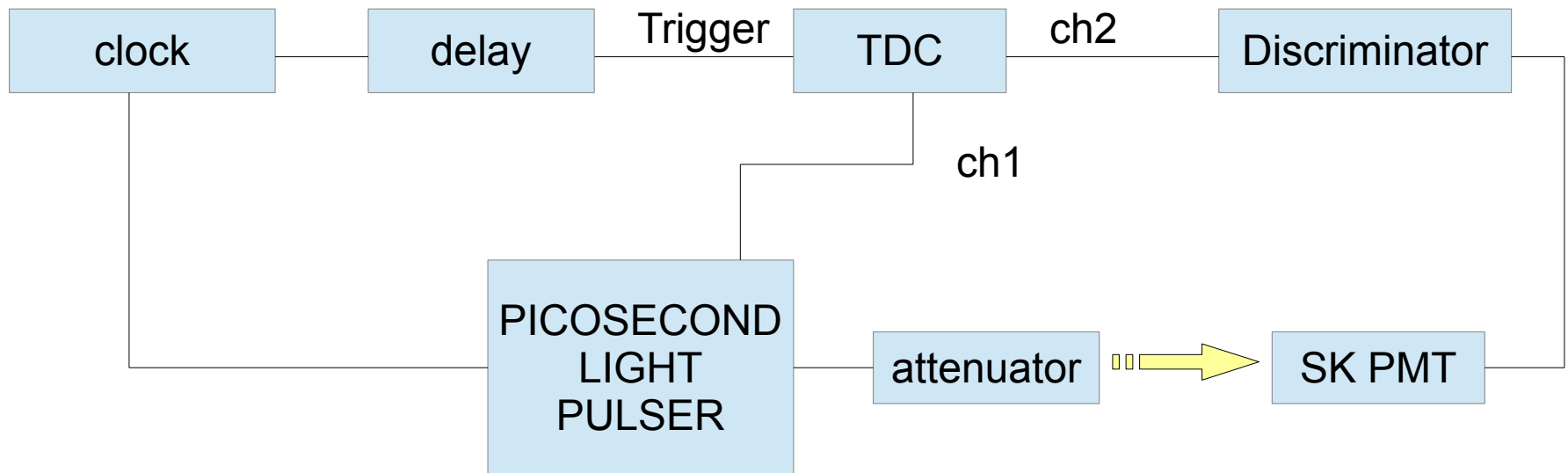
測定方法

- 地磁気(~400mG)によって電子の軌道が曲げられることで収集効率に影響が出る。
(Helmholtzコイルで50mG以下に抑える)
- 光検出器表面に垂直にパルス信号を送り、下図のように配置した13点で測定した。

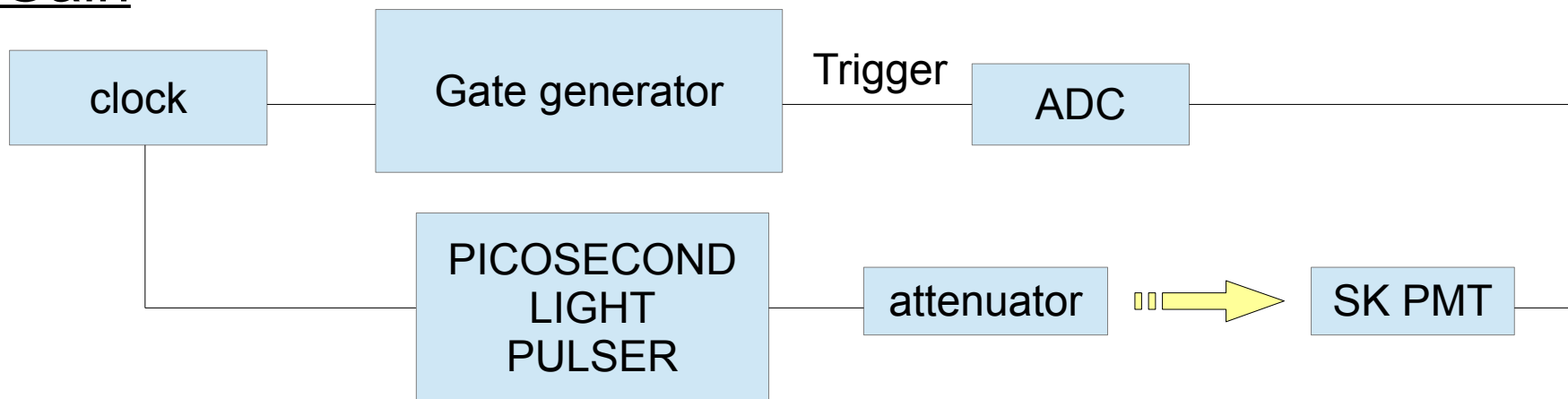


光検出器の応答一様性評価

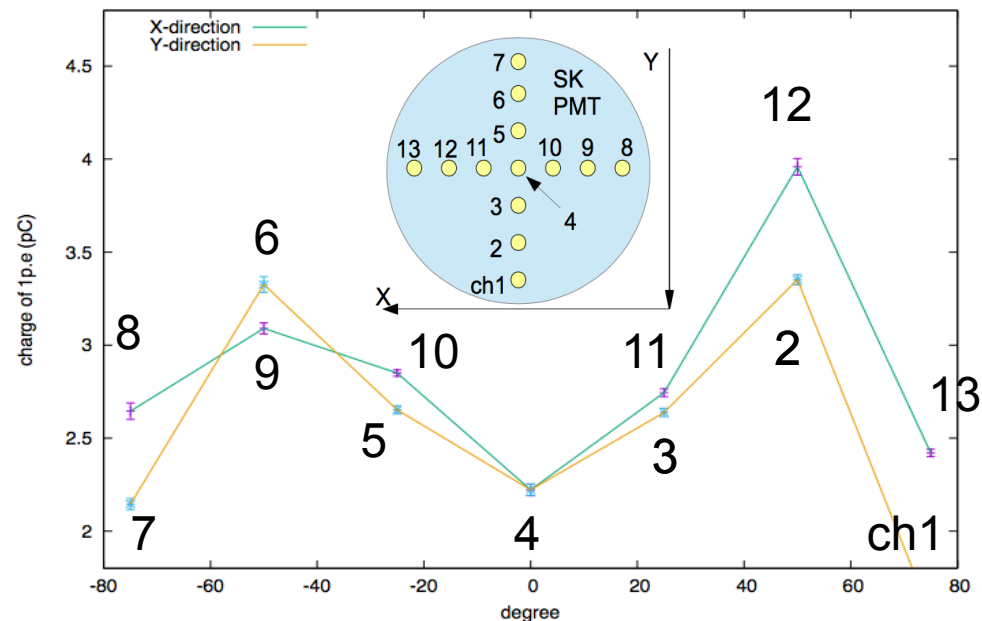
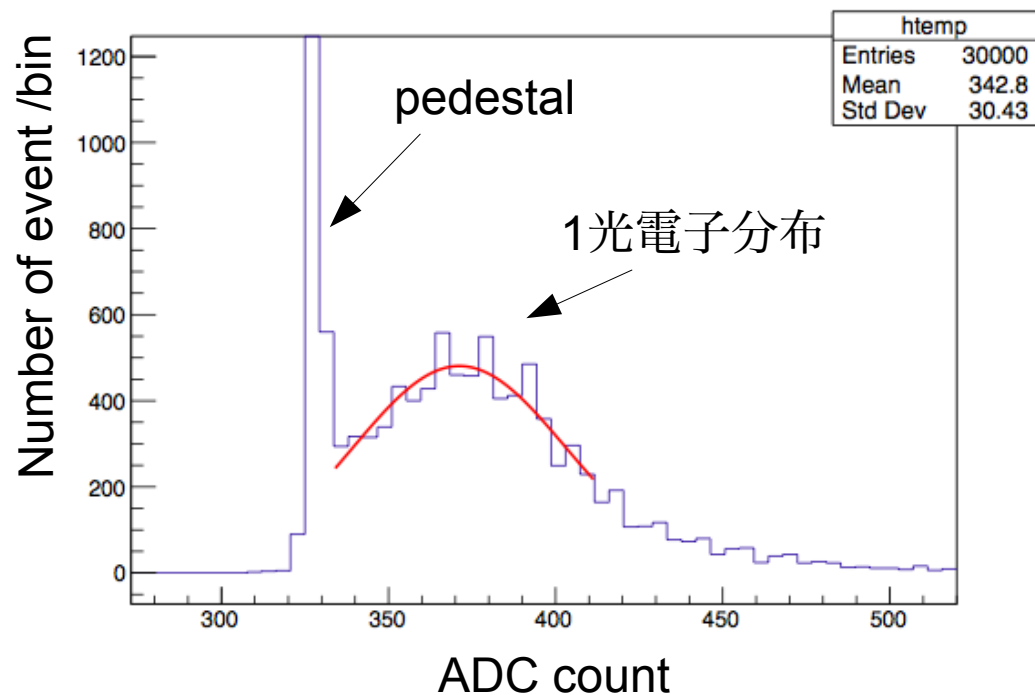
- Transit time, Transit time spread



- Gain



高QE SK PMT応答一様性結果

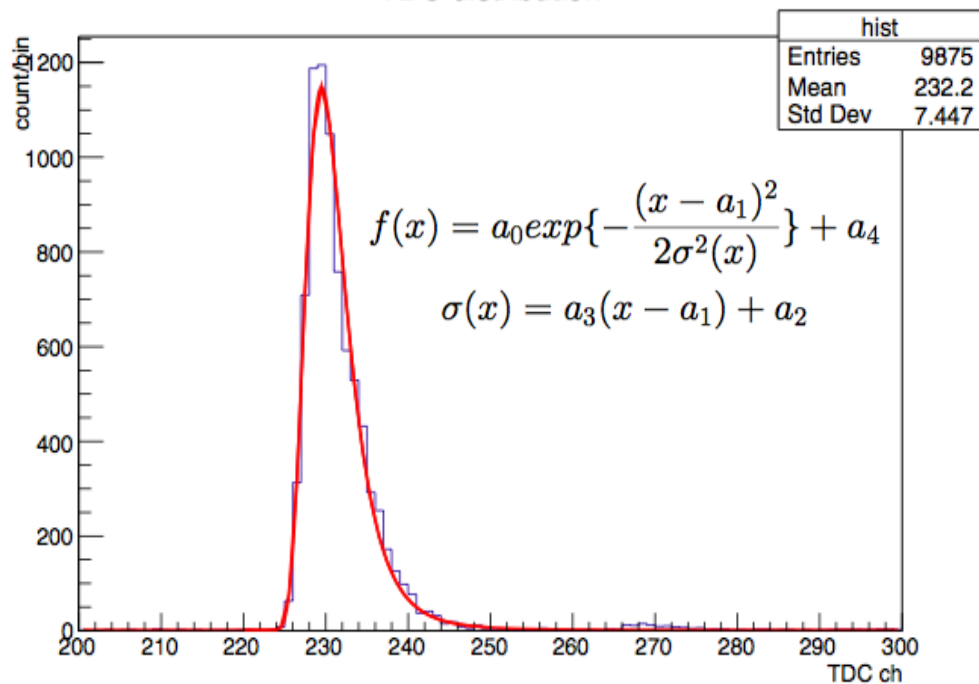


- 1光電子が僅かに届くよう調節し測定
- ADCで1光電子分布を測定し、ガウシアンでフィット
- pedestalと1光電子分布との差から各chでのゲインを計算した。

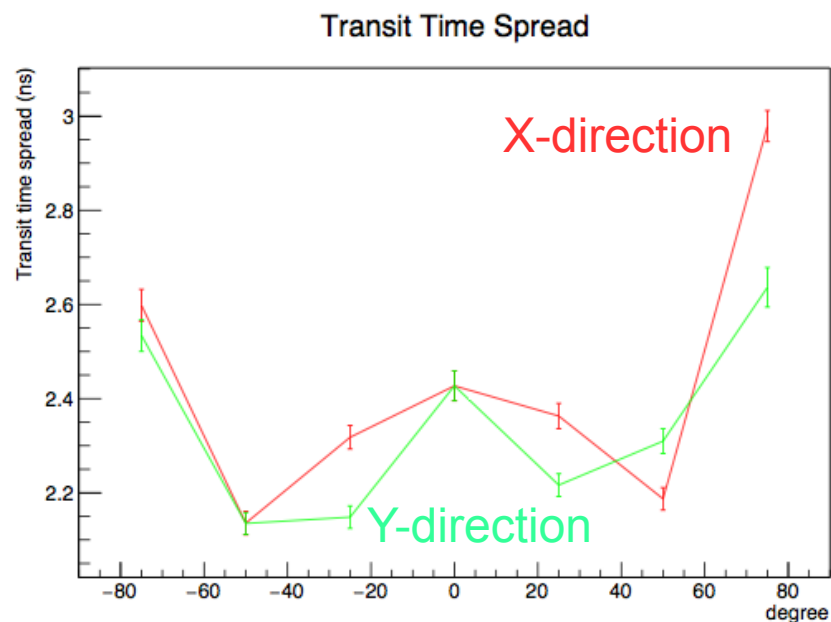
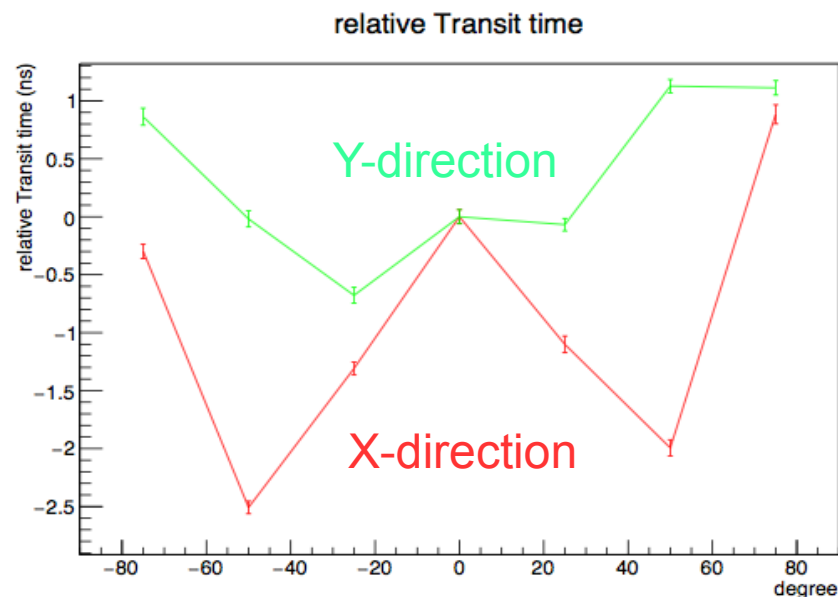
- ch4で2.2pCになるようにHVを設定 (Super-K相当)
- X,Y両軸とも左右対称のゲイン

高QE SK PMT応答一様性結果

TDC distribution



- 到達時間分布を非対称ガウシアンでフィット
- PMTからの信号をアンプで100倍にし、0.25光電子相当の100mVでthreshold
- 遅延時間をmeanから、到達時間のゆらぎ (Transit Time Spread)をsigmaから求めた



まとめ

EGADS実証試験

- ・高QE SK PMTのダークレートは現在まで~9.3kHzで安定している
- ・Box&Line PMT は1つを除いて~20kHzで安定している
⇒ダークレートが8~9kHzの新型も開発されている

高QE SK PMT の応答一様性評価

- ・高QE SK PMTのゲイン、遅延時間、TTSの一様性を測定した
- ・ゲイン、遅延時間は中心に対して対称的

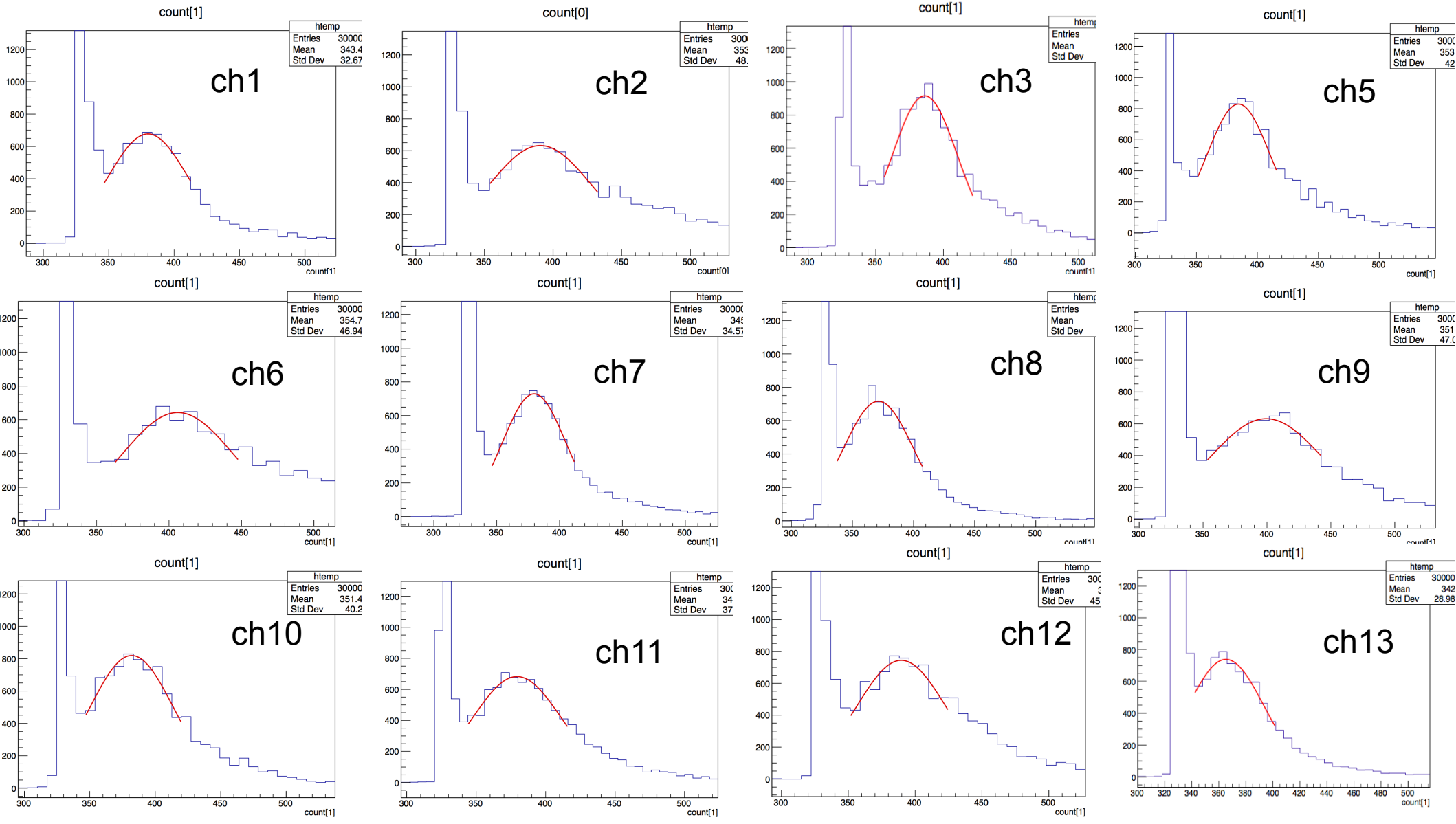
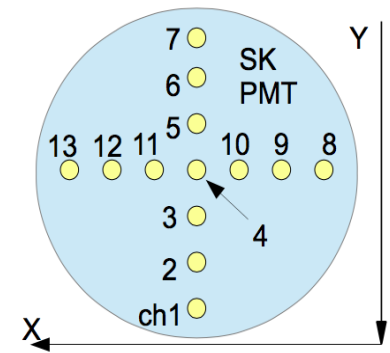
今後

- ・長期安定性の測定は継続
- ・チャンネル分割されたHPDの応答一様性測定
+位置応答感度があるかの確認

Back up

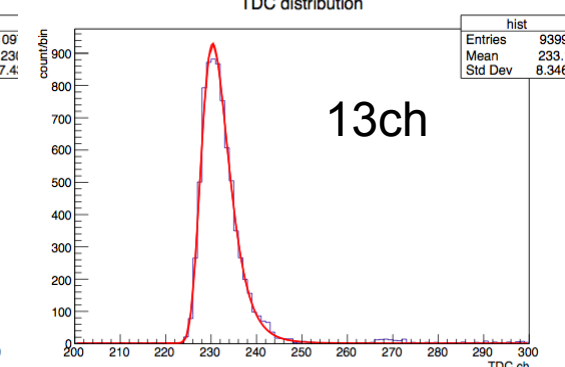
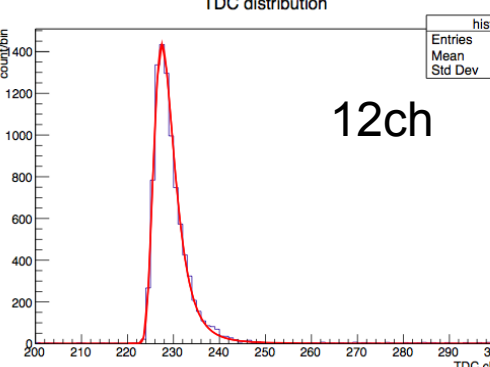
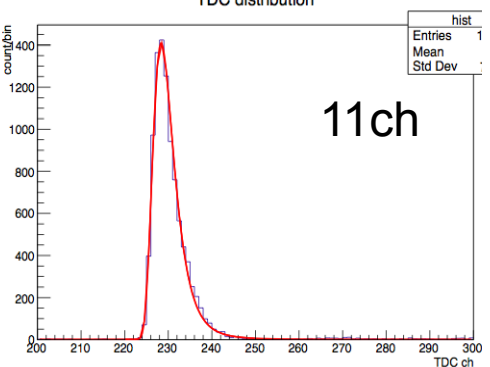
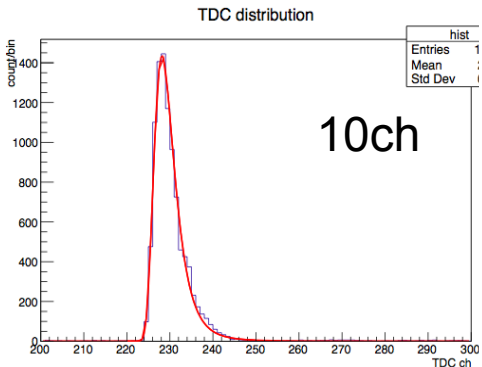
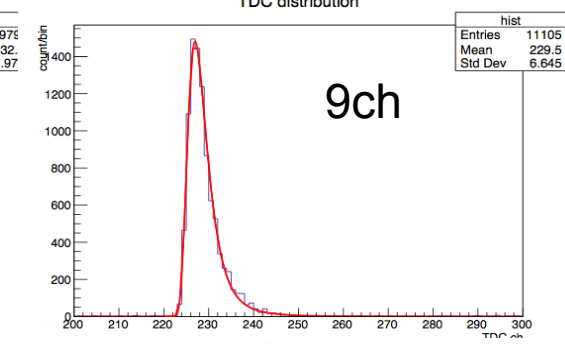
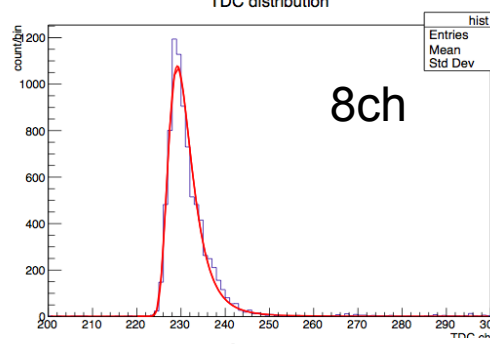
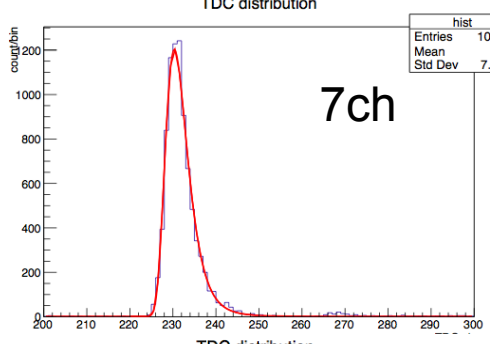
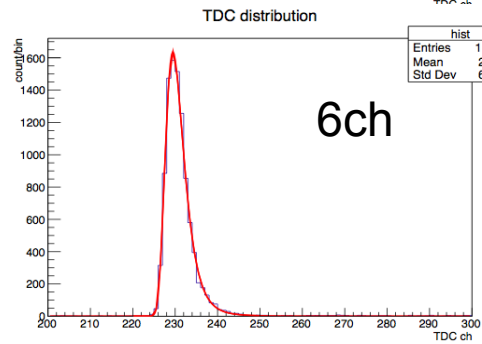
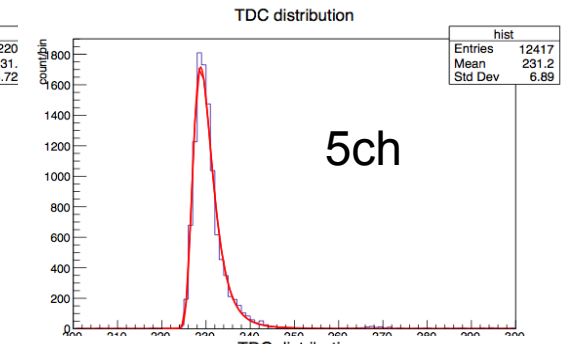
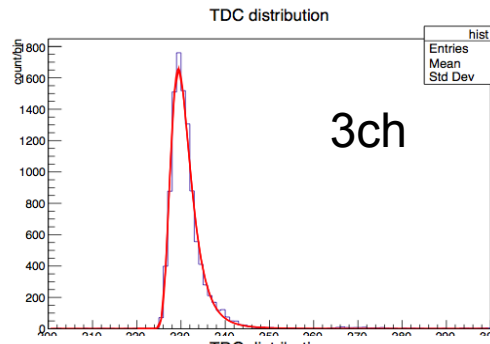
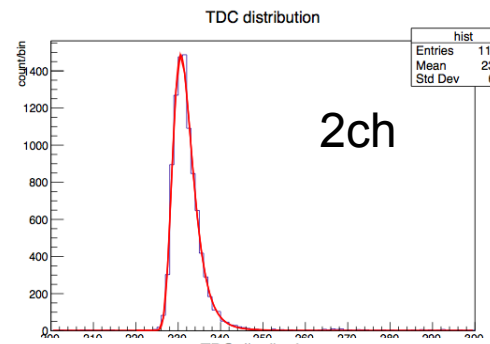
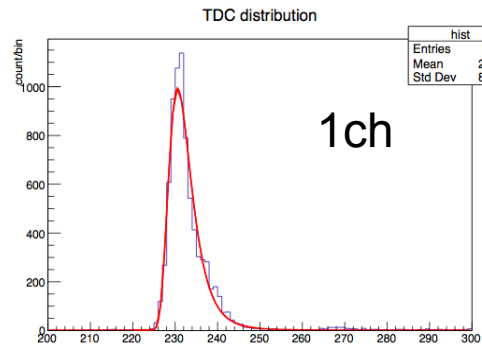
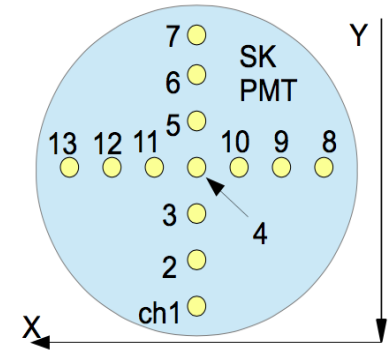
HQE SK PMT

ゲインユニフォーミティ

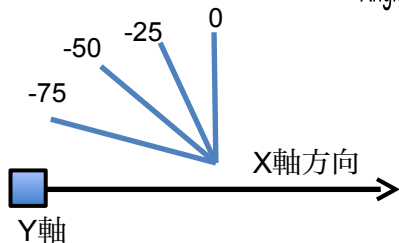
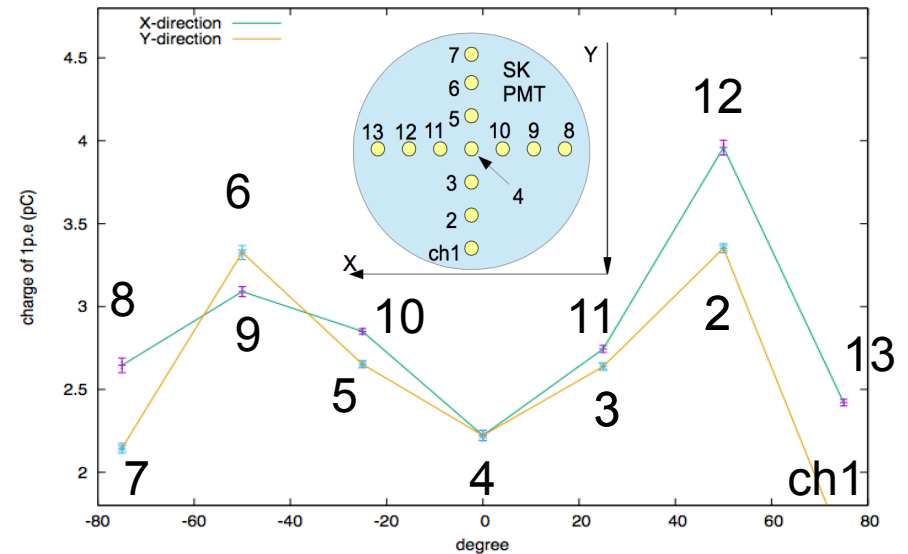
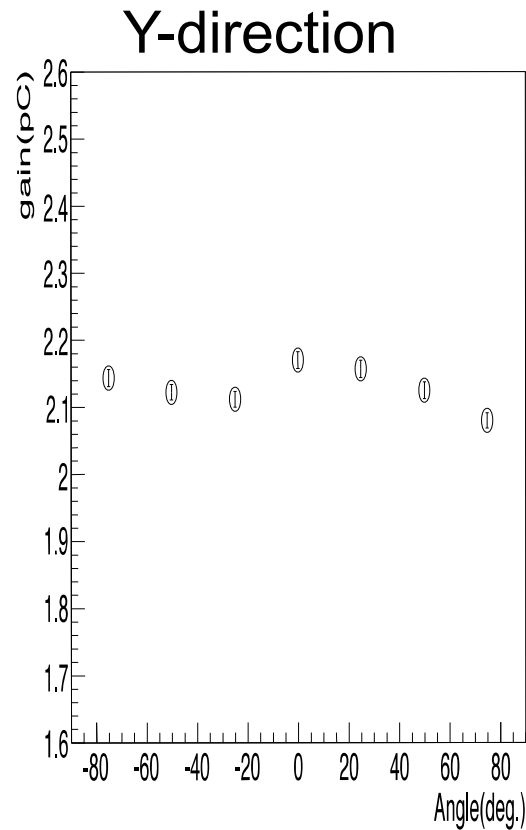
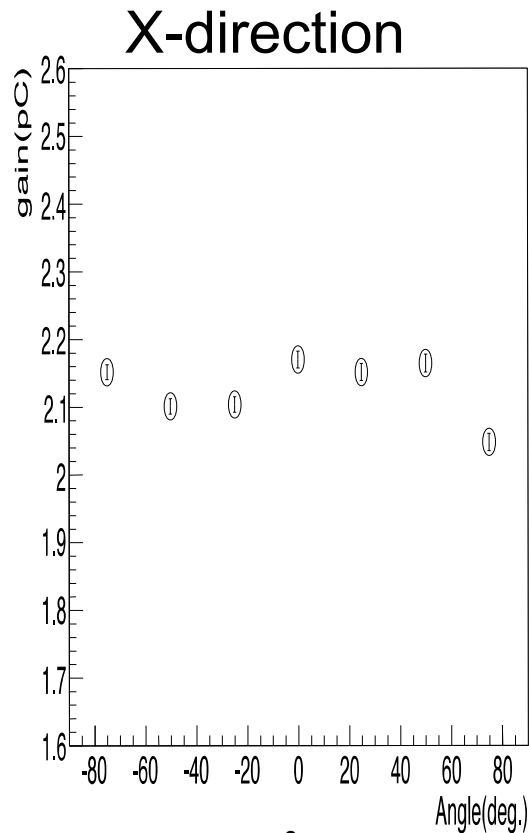


HQE SK PMT

TTSユニフォーマイティ



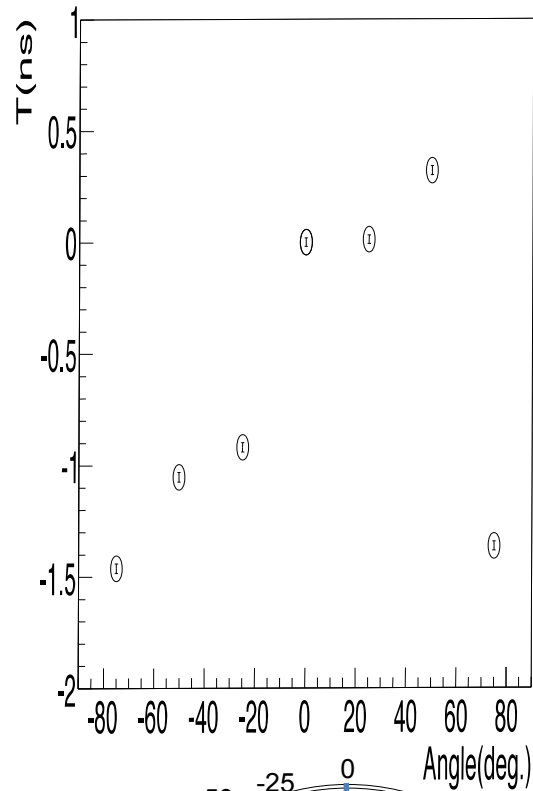
Box&Line PMT との比較 (gain)



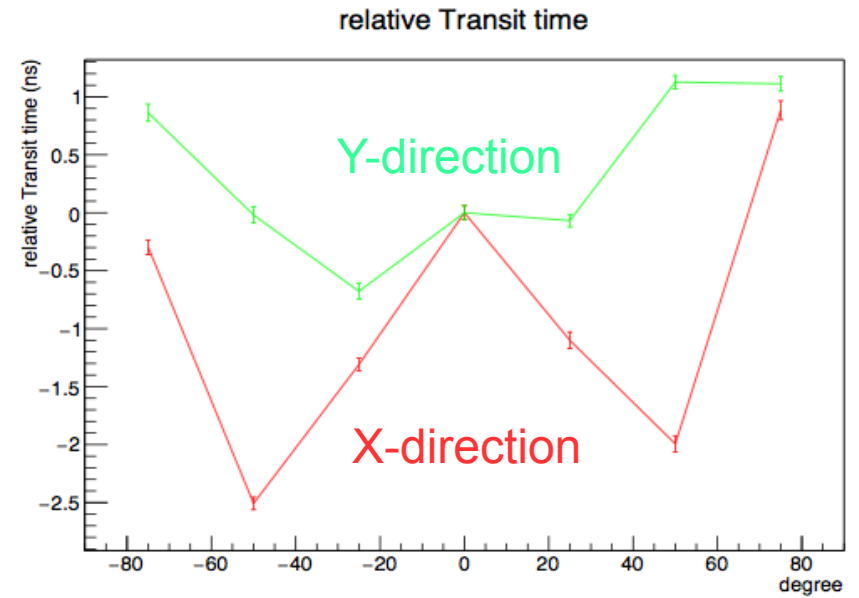
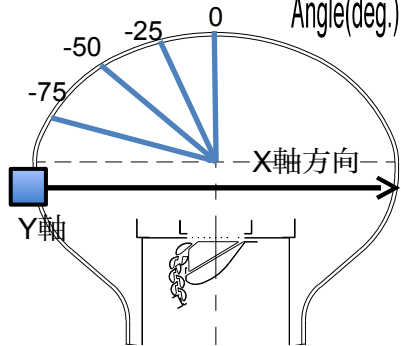
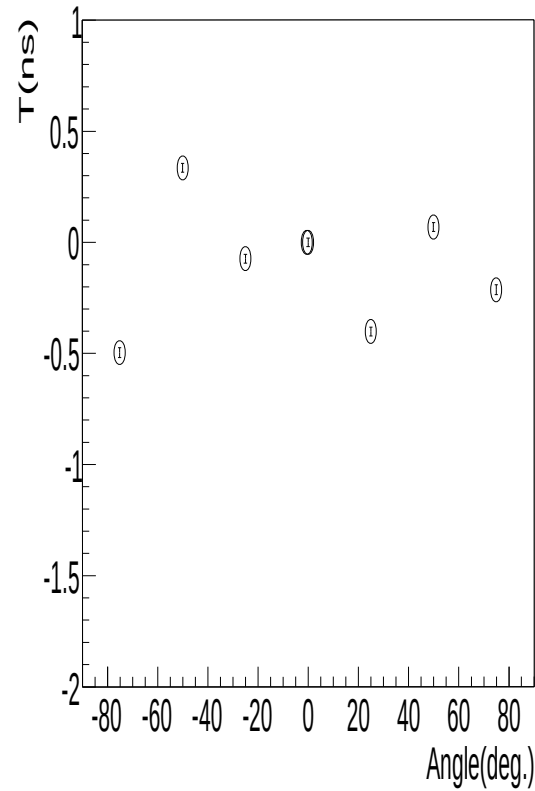
By 福田さん (岡山大)

Box&Line PMT との比較 (TT)

X-direction



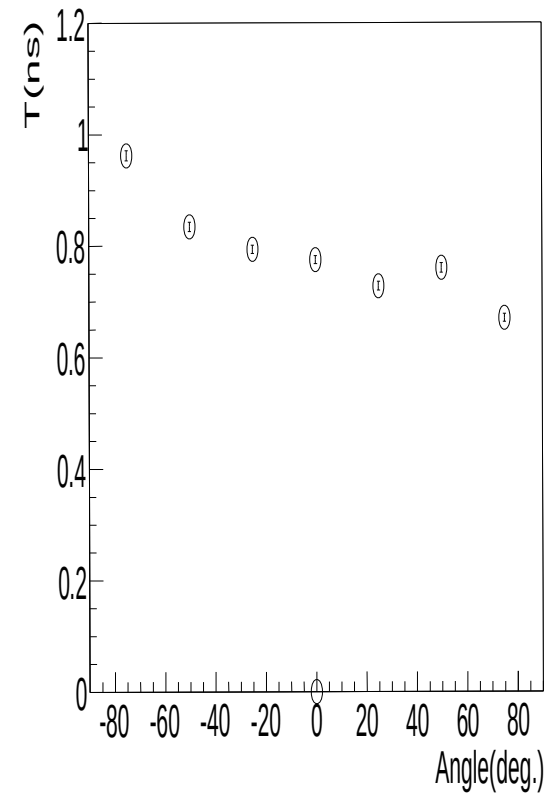
Y-direction



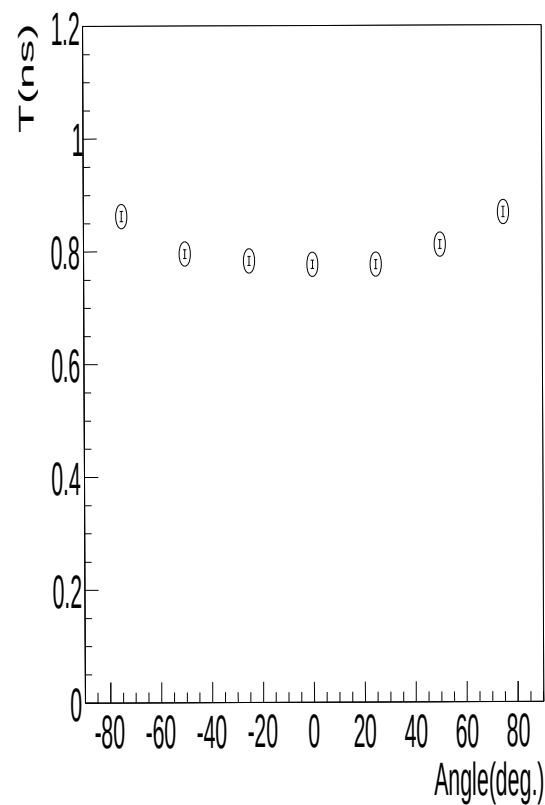
By 福田さん (岡山大)

Box&Line PMT との比較 (TTS)

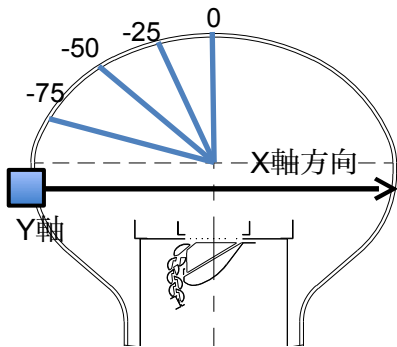
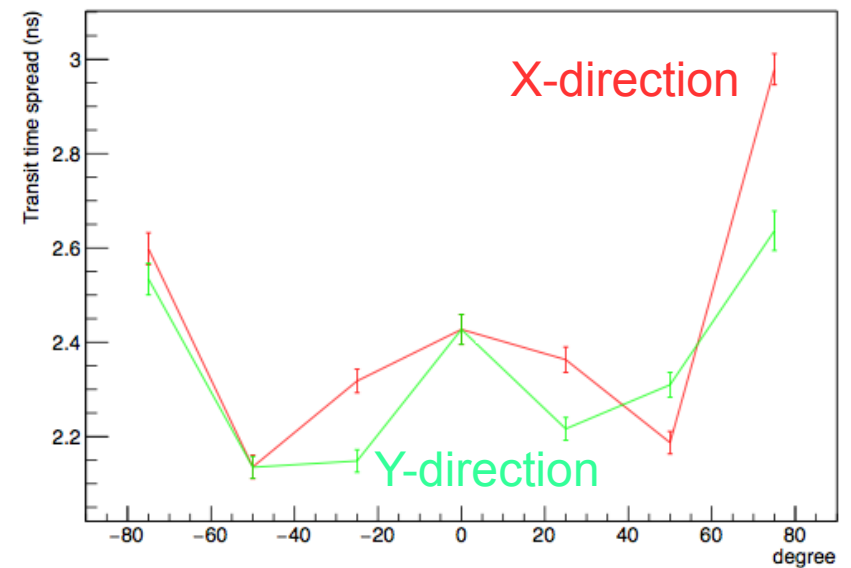
X-direction



Y-direction



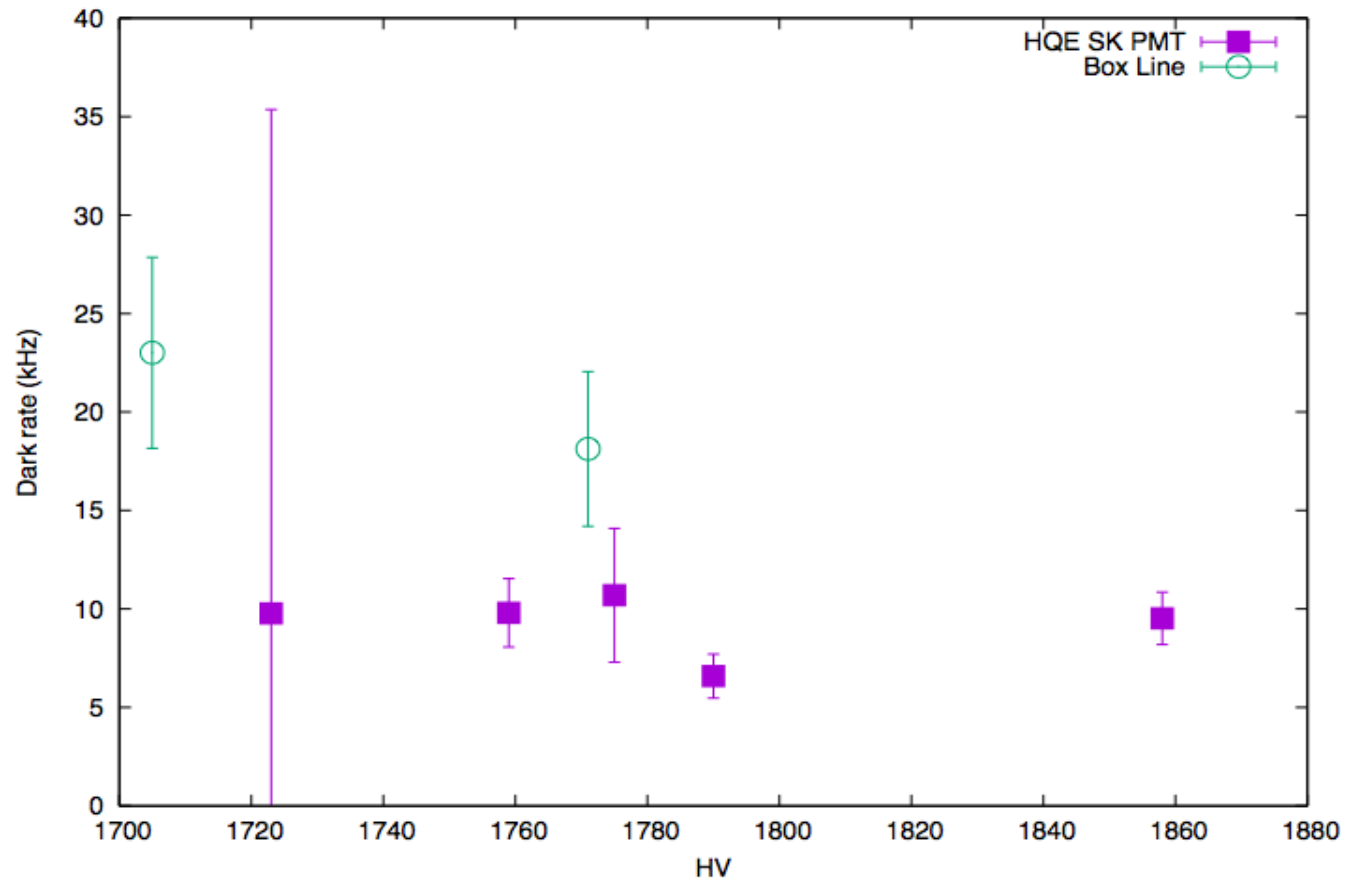
Transit Time Spread



By 福田さん (岡山大)

HQE SK PMT, Box&Line PMT

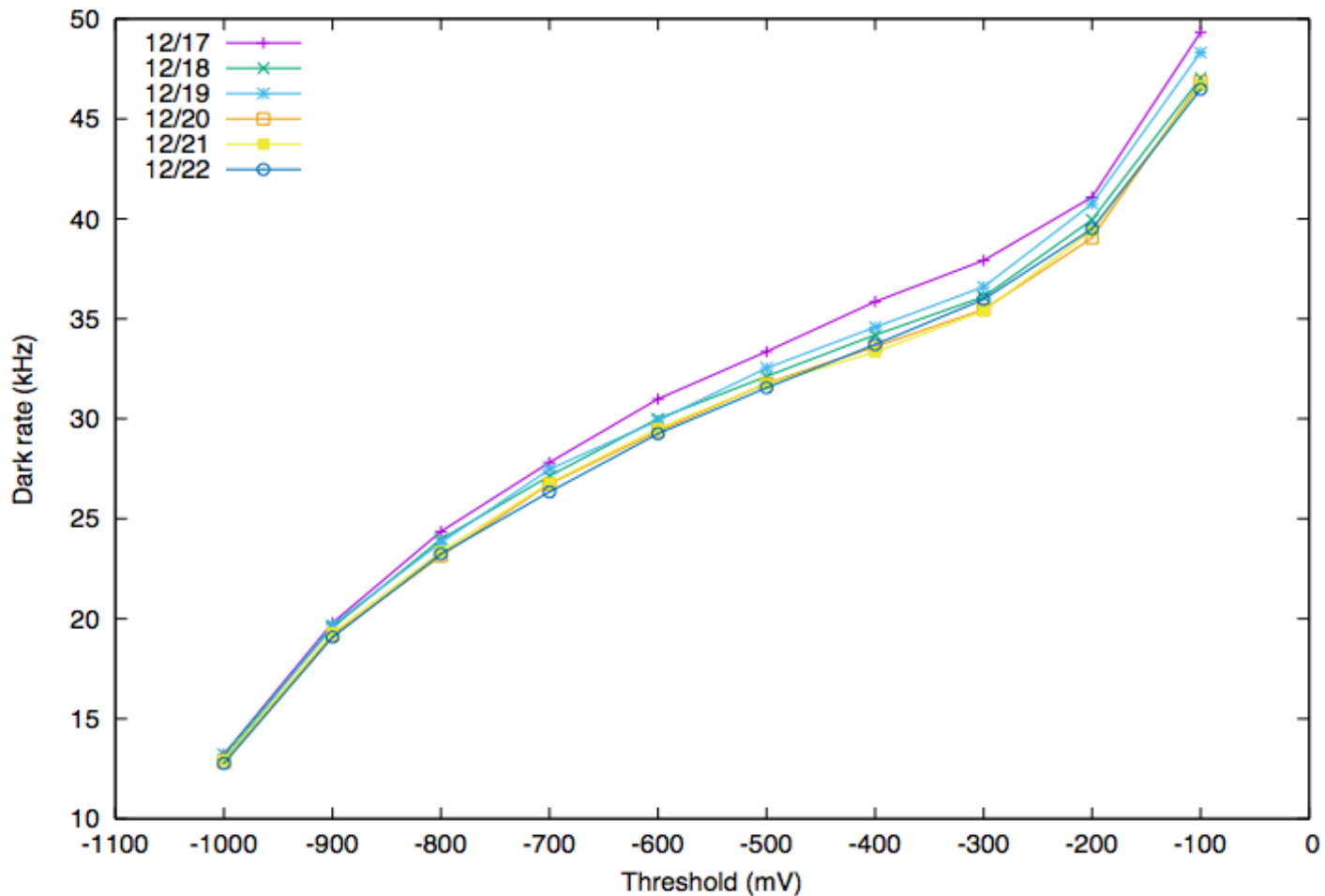
ダークレートのHV依存性



高QE と normal の比較

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Item		SK	SP	IDB	SKB	Ebb	PV	TTS	D.C.
Serial Number		Cathode Luminous Sens.	Anode Luminous Sens.	Anode Dark Current	Cathode Blue Sens.	Supply Voltage	P/V	T.T.S	Dark Counts
		$\mu\text{A/lm}$	A/lm	nA		V		ns	s^{-1}
HQE	ZP0007	52	978	1000	9.5	1830	1.85	6.56	29200
	ZP0012	77	1144	748	12.9	1890	2.19	5.45	19800
	ZP0014	83	624	950	13.6	2090	1.88	5.58	38600
	ZP0015	87	1706	2967	12.9	1840	2.34	6.06	31400
	ZP0021	60	2460	2200	11.3	1690	1.61	6.89	23100
	ZP0022	58	1487	900	11.4	1790	1.84	5.84	21100
	ZP0024	67	4930	2500	12.5	1580	2.29	6.64	16700
	ZP0025	56	2480	1300	11.1	1680	1.64	6.40	19300
STD	ZP0006	50	3100	1500	8.6	1630	2.21	6.90	18600

SK PMTの暗箱導入後の Dark rate



高QE SK PMTのゲインカーブ

