

暗黒物質探査へ向けた

1 相式液体キセノンTPCテストベンチの シミュレーション

石井瞭、伊藤好孝、菅澤佳世、関谷洋之^A

名大ISEE、東大宇宙線研^A、他XMASS collaboration

2018/03/23

日本物理学会 2018年春季大会

東京理科大学 野田キャンパス

研究目的

暗黒物質直接探査用TPCのイメージ

暗黒物質直接探査のため

液相 1 相式液体キセノンTPCを開発している

～液相 1 相式TPCの特徴～

長所

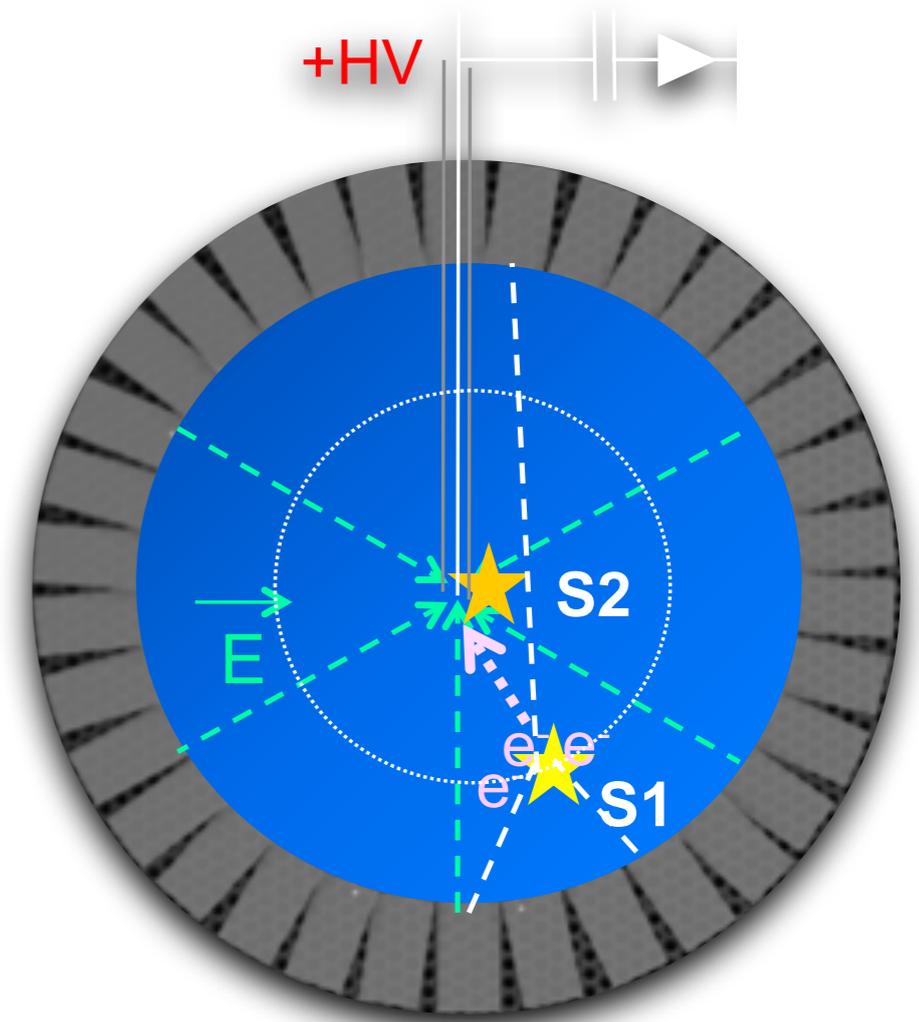
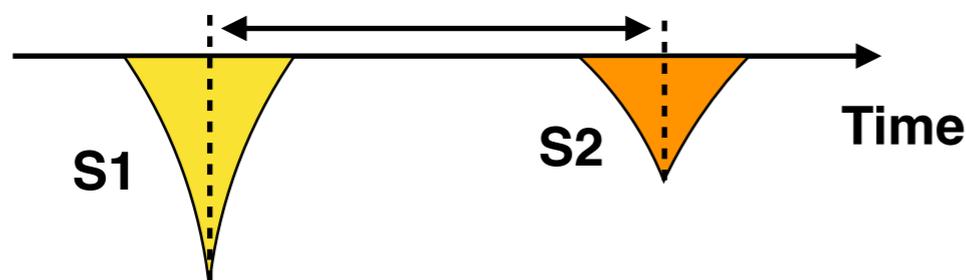
- ・ 液面管理がいらない
- ・ 検出器の形状が自由

短所

- ・ 比例蛍光を得るため、高電場勾配が必要

S1 : 直接蛍光

S2 : S1発生時に生じた電子をドリフトし、高電場領域で発生させる比例蛍光

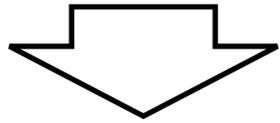


- ・ S1とS2の時間差
→ドリフト方向の反応位置を特定
- ・ S1/S2比
→原子核反跳と電子反跳を区別

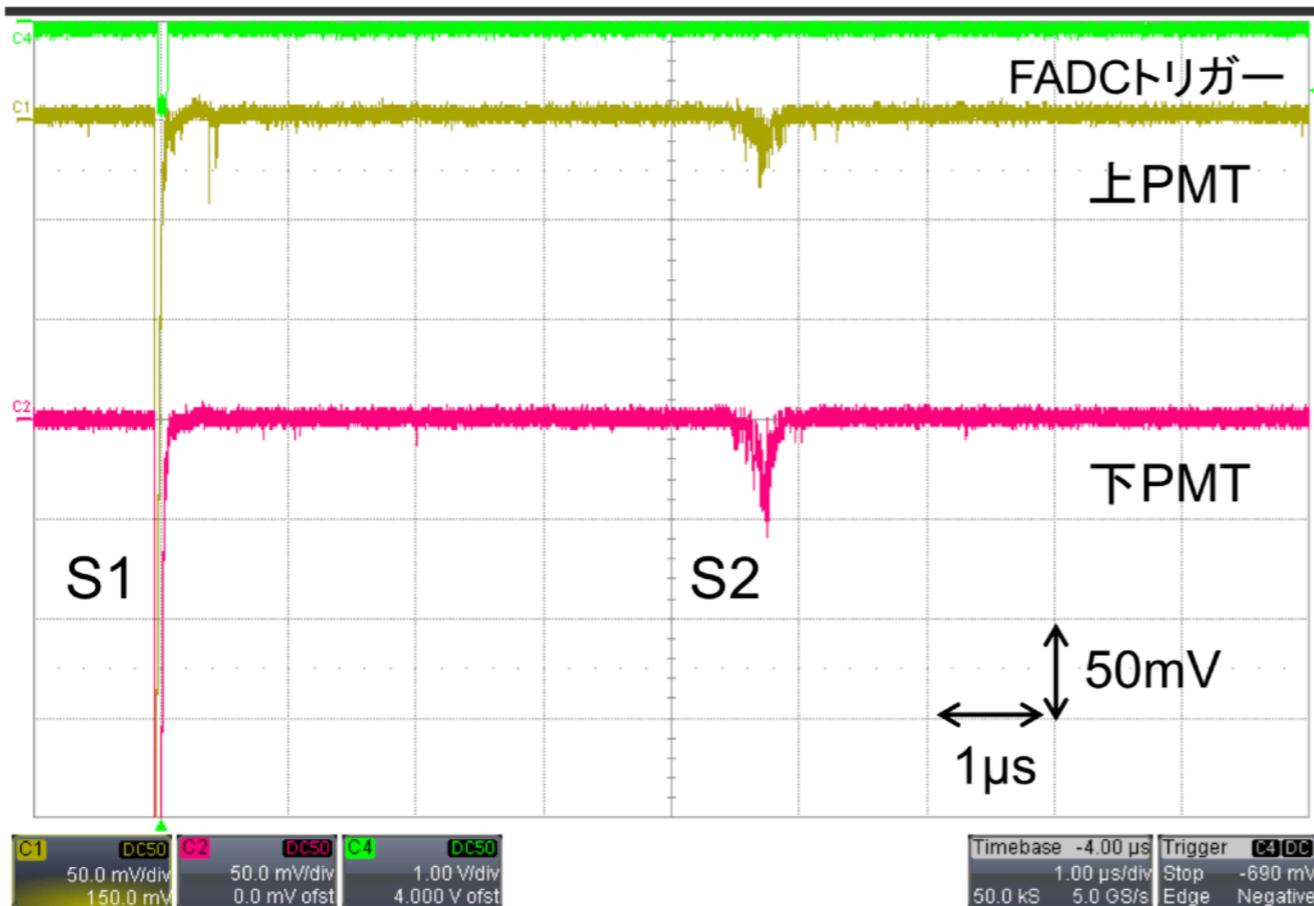
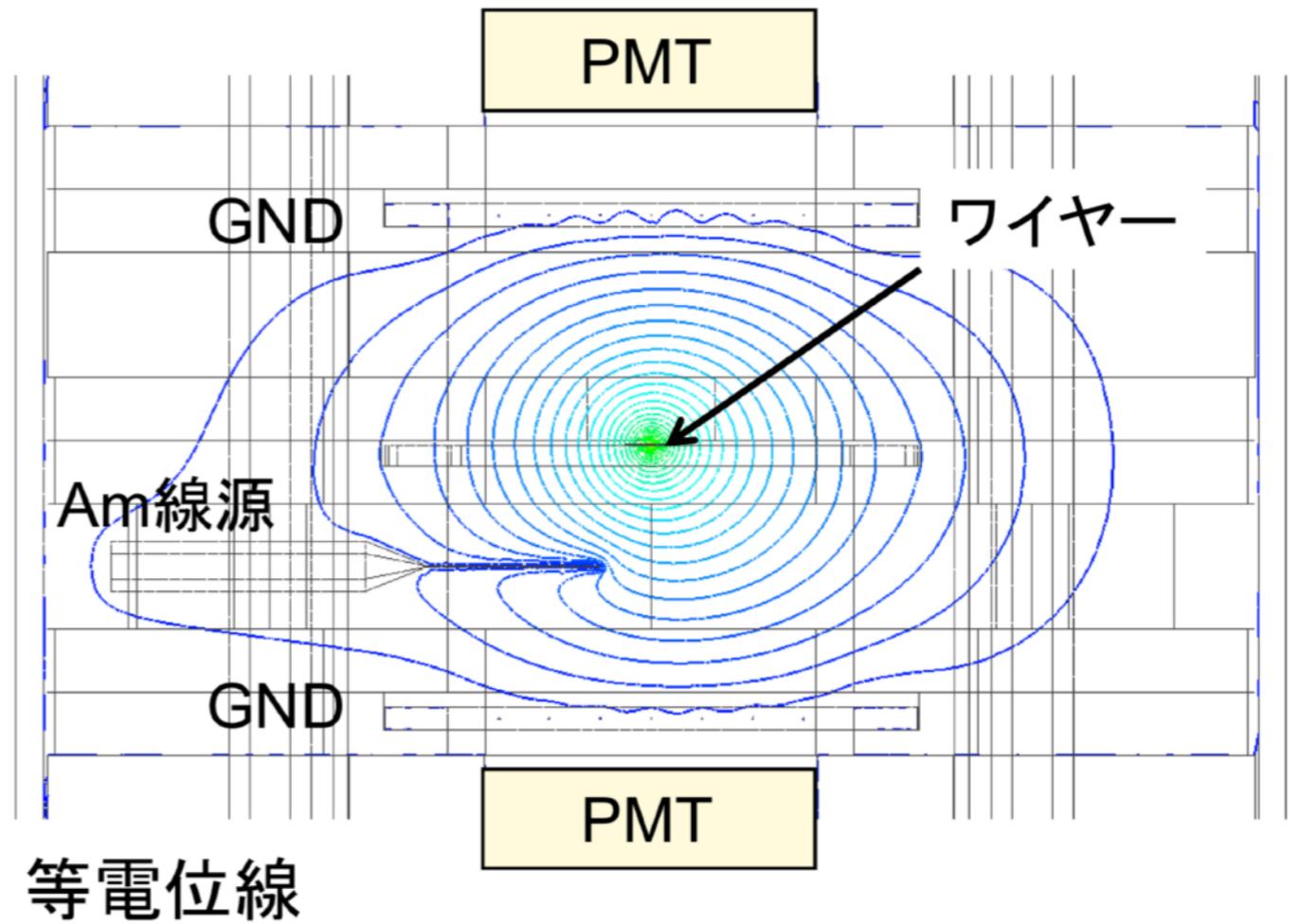
研究目的

～これまでのTPC開発～

- ・ワイヤー電極を用いた実験
- ・有限要素法解析ソフト (Femtet) による電場シミュレーション



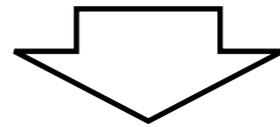
S2を観測することができている



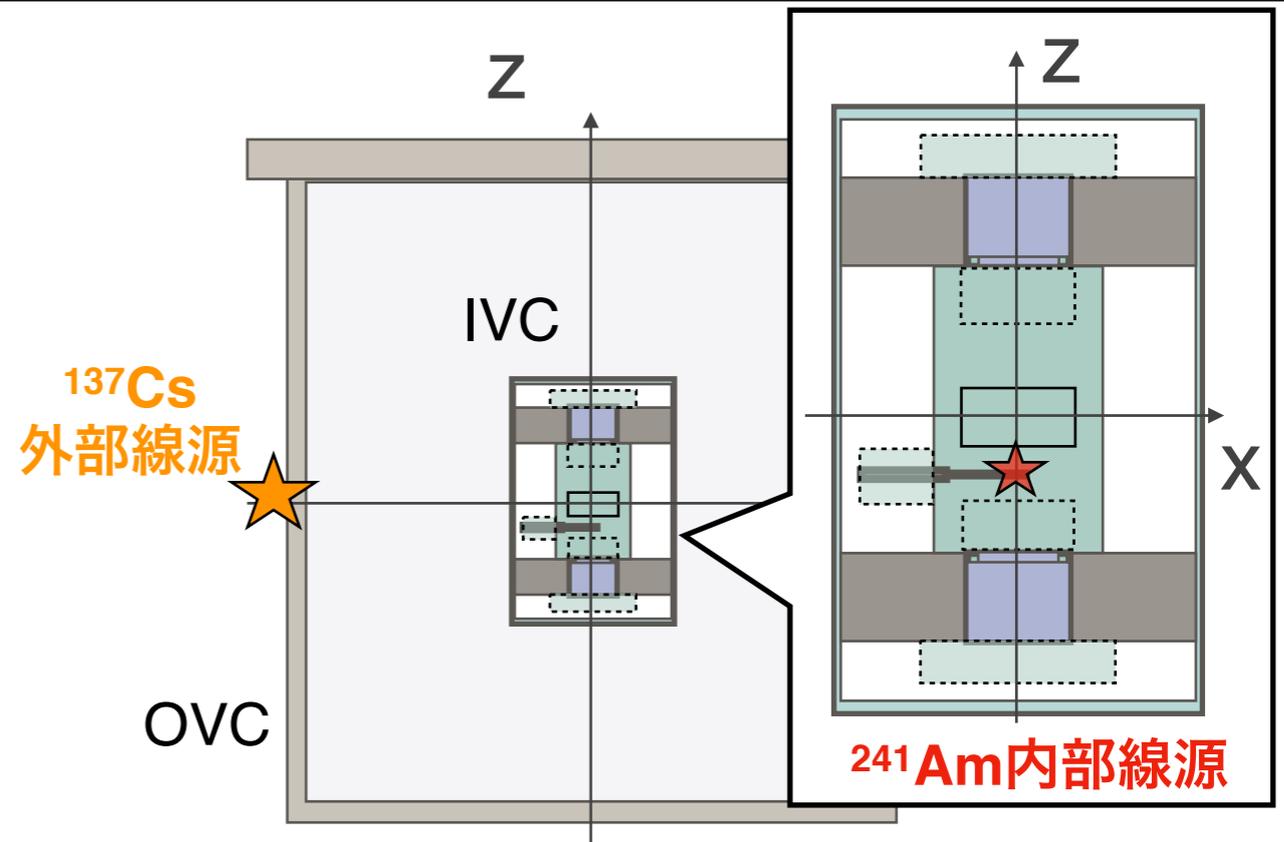
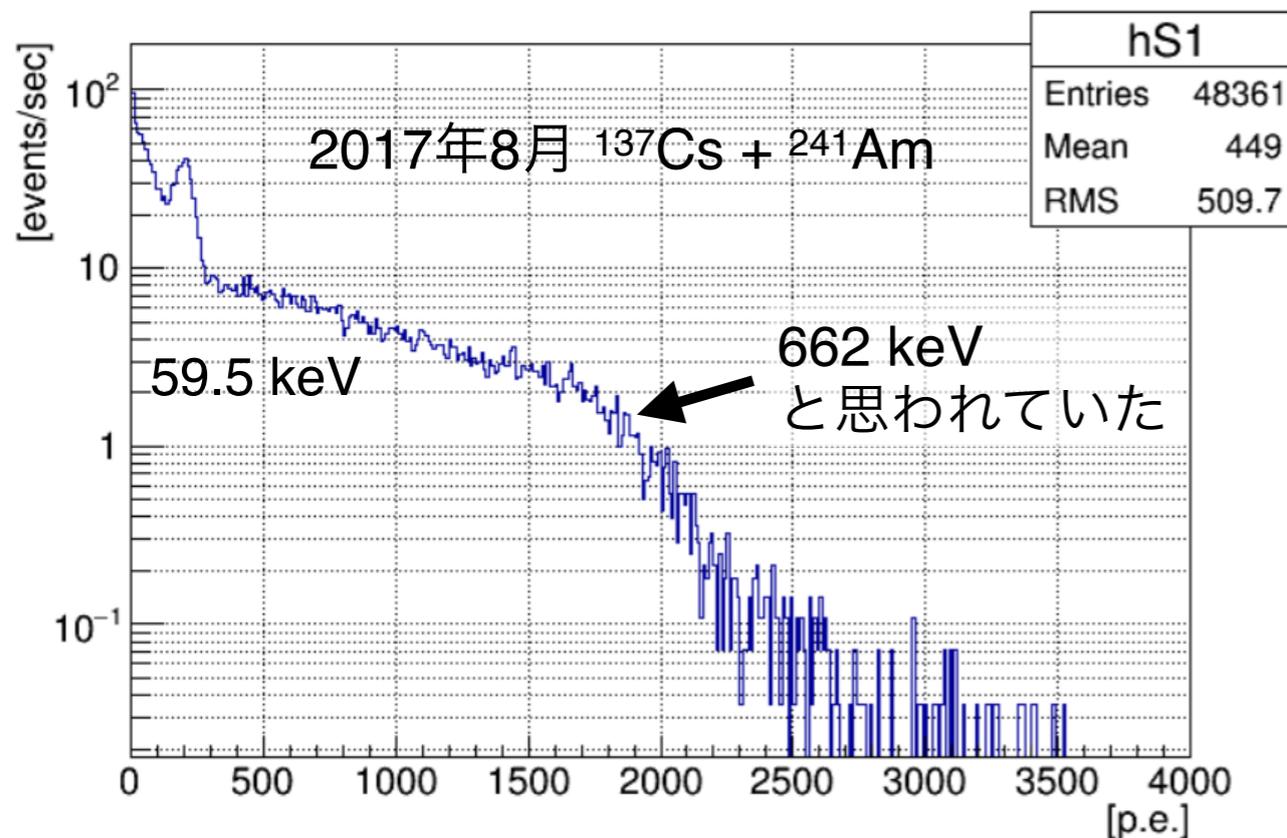
研究目的

～本発表内容の動機と目的～

- ^{137}Cs 外部線源の662keV(γ 線)の直接蛍光のピークが見えないなど、直接蛍光(S1)に関する理解が不十分
- 電場シミュレーションは行われていたが、TPC検出器内のシンチレーション光シミュレーションは行われていない



GEANT4によってテストベンチ内の ^{137}Cs のシンチレーション光(S1)を理解する



実験装置

- IVCの材料は SUS304 (厚み6mm)
IVC内は液体キセノンで満たされている
- その中にテフロンスペーサー
SUS304 のPMTホルダーがある
- スペーサーには配線用の穴
液体キセノンが満たされている

- OVCの材料は SUS304 (厚み6mm)
OVCとIVCの間を真空にして断熱している

Sensitive
Detector

IVC

168 mm

101.6 mm

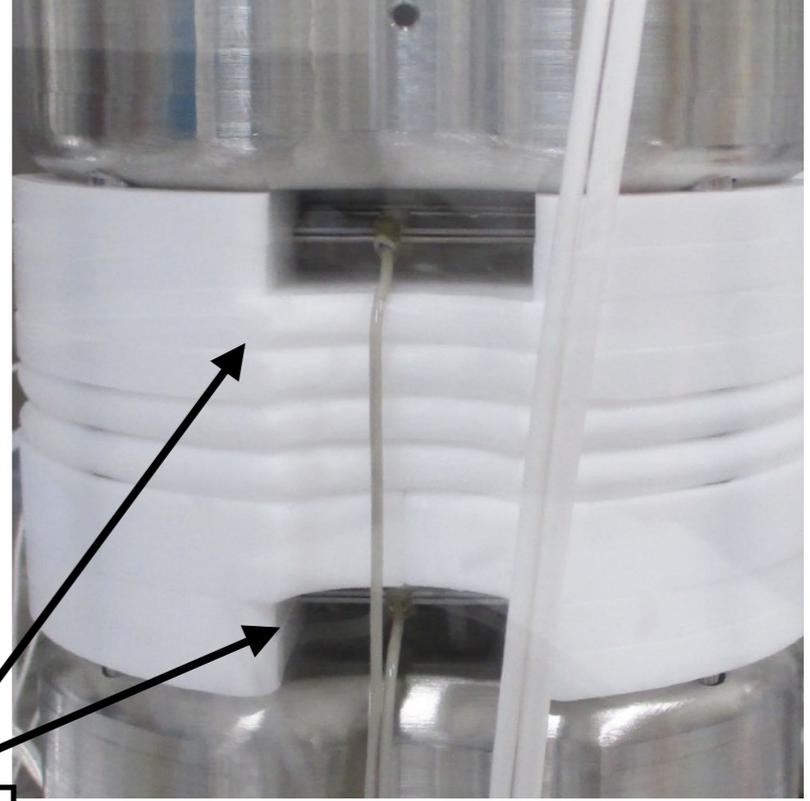
504 mm

609 mm

OVC

IVC内のセットアップ

- 2017年8月に行われた実験のセットアップをGEANT4で構築した
- テフロンに配線ケーブル用の穴が3箇所空いている
- Source Holderが固定されている箇所は欠けている

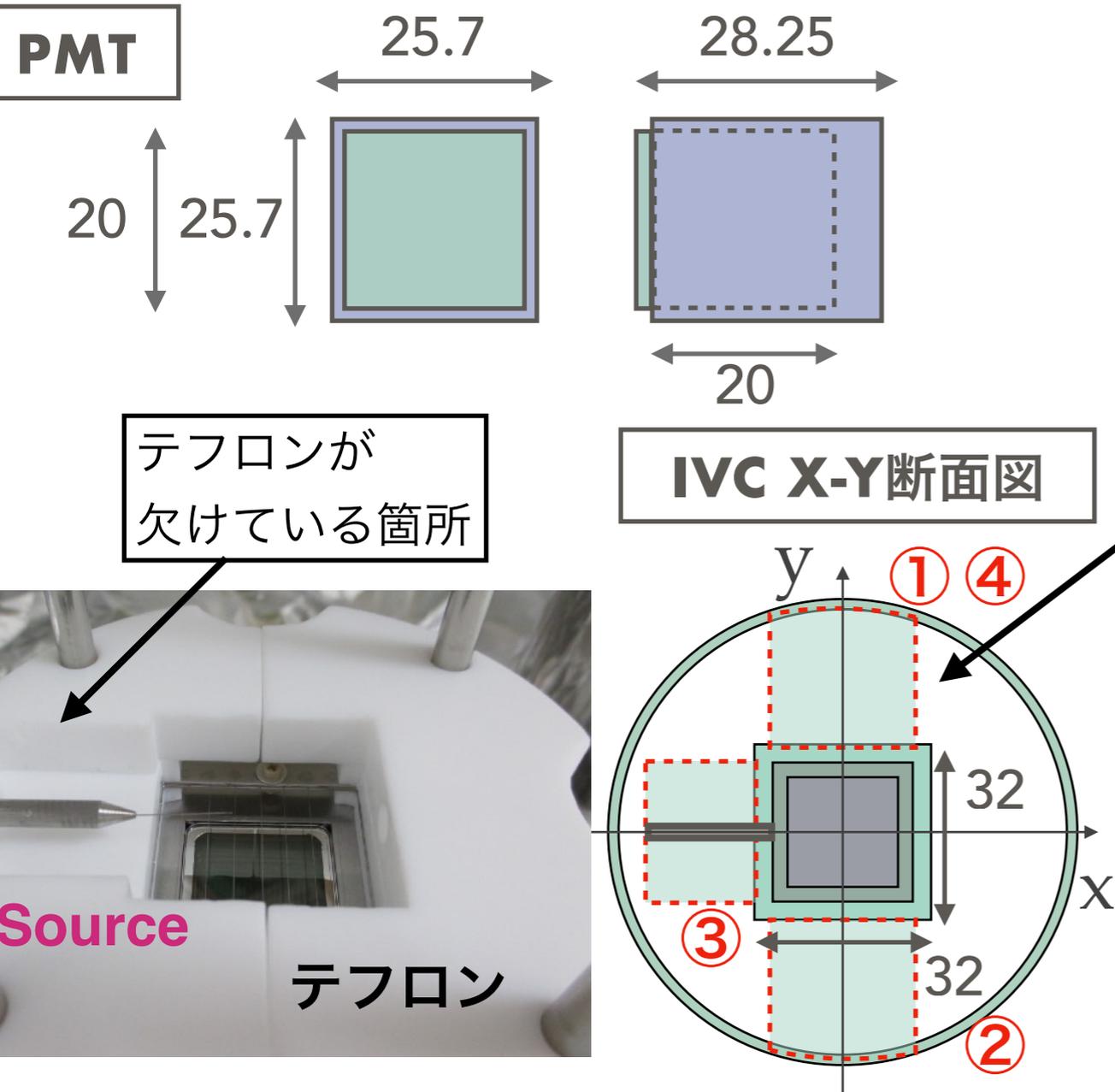


配線ケーブル用の穴

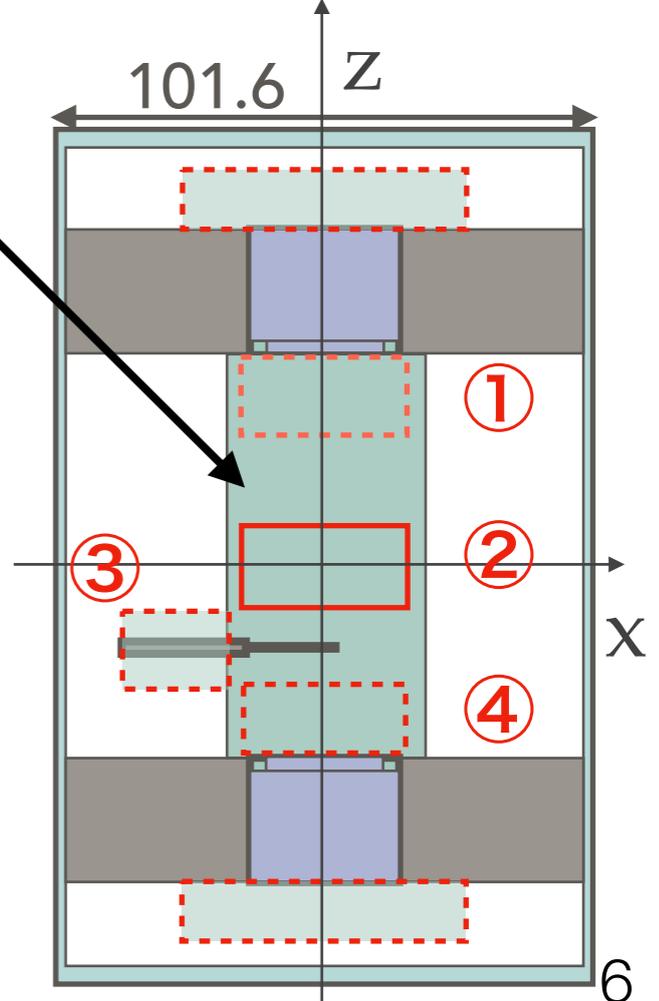
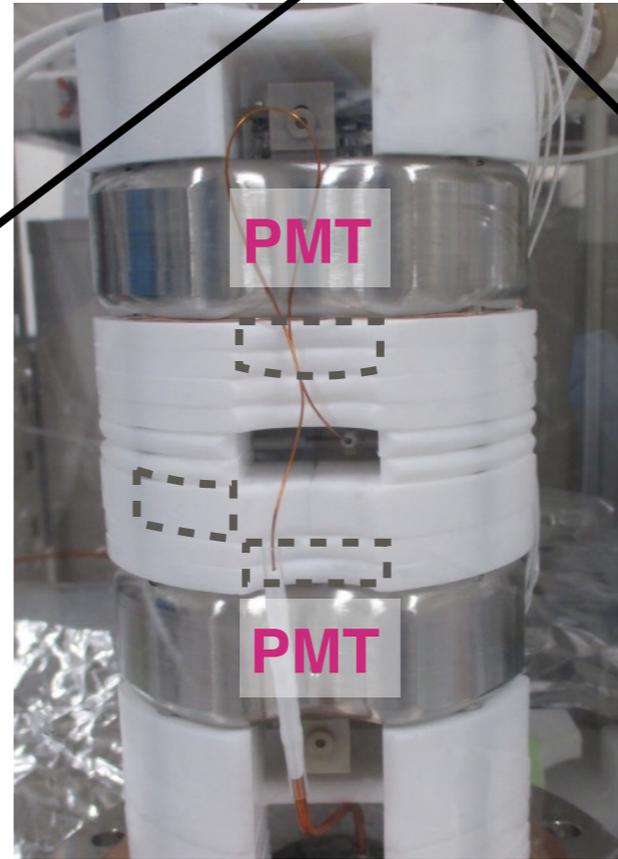
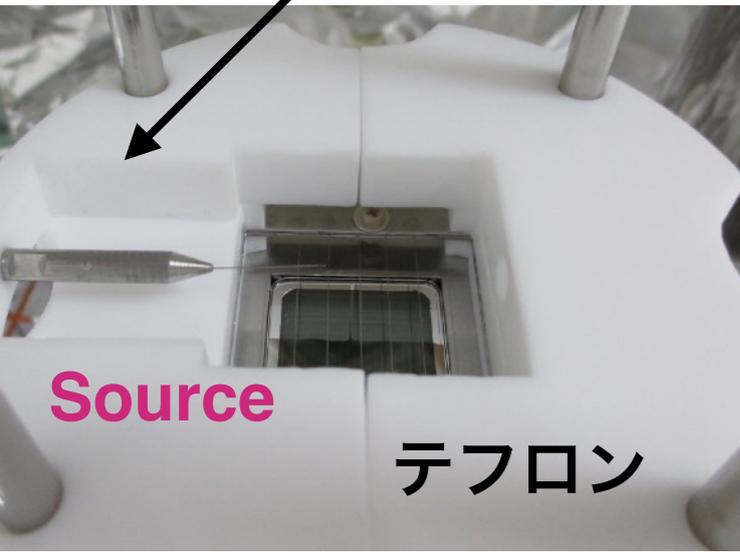
液体キセノン

IVC X-Z断面図

IVC X-Y断面図



テフロンが欠けている箇所



シミュレーション内容

2017年8月に行われた実験

- ① ^{241}Am として、 γ : 59 keVをSource Holderから照射
 - ② ^{137}Cs として、 γ : 662 keVをOVCの外部から照射
- を行い、液体キセノン中で発生したシンチレーション光のTrackingを行った

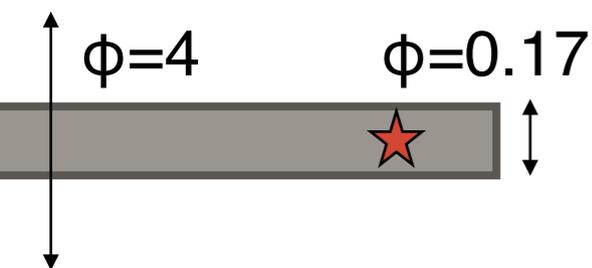
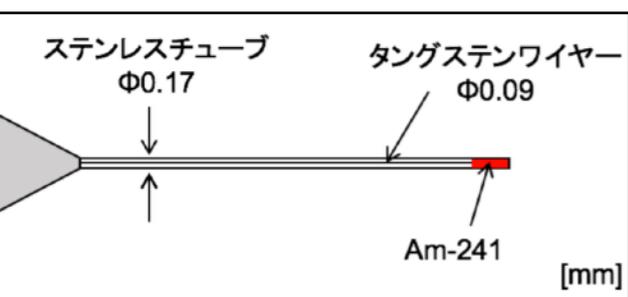
★ ^{241}Am (内部)線源の位置

★ ^{137}Cs (外部)線源の位置

線源の強度

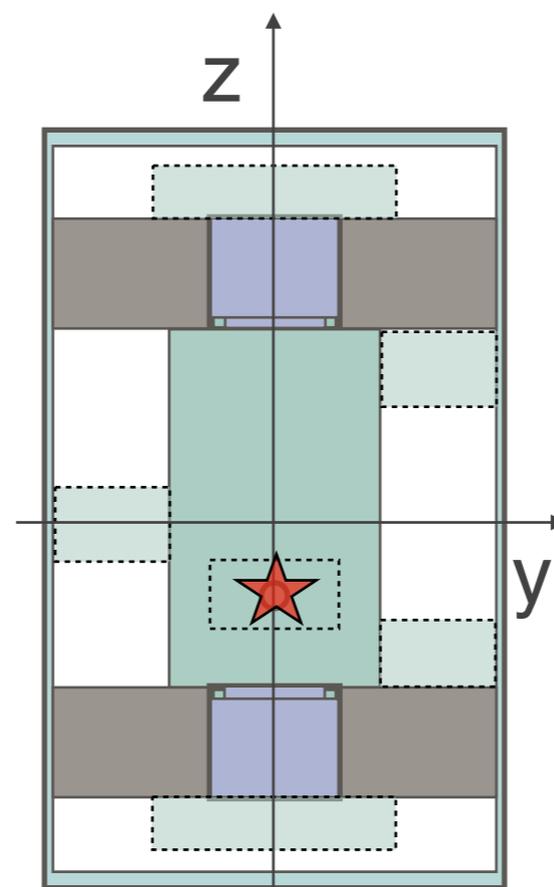
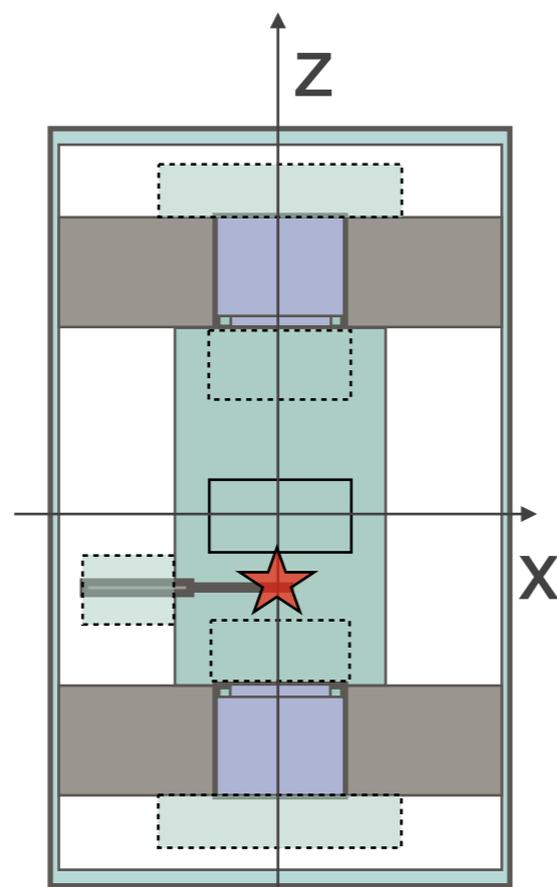
^{137}Cs	^{241}Am
0.77 MBq	345 Bq

Source Holder

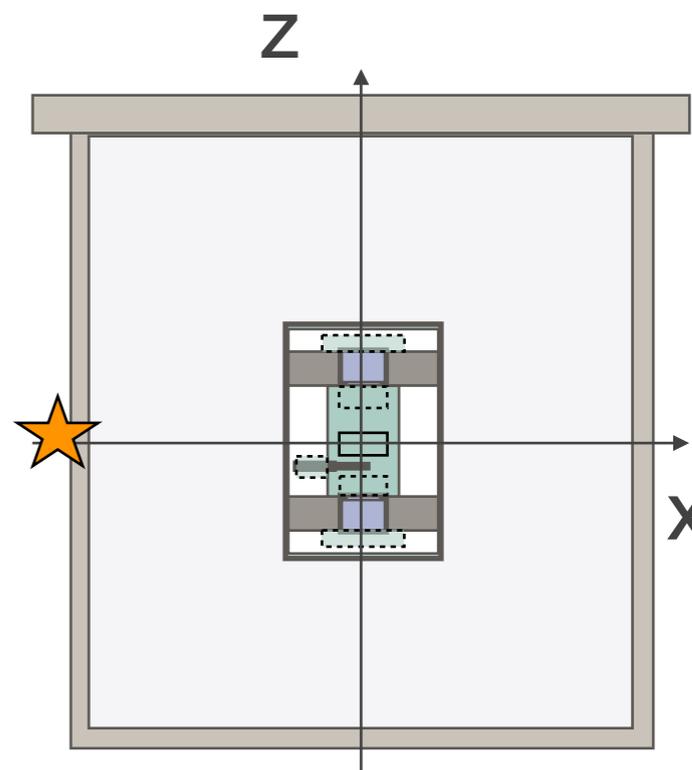


IVC X-Z断面図

IVC Y-Z断面図



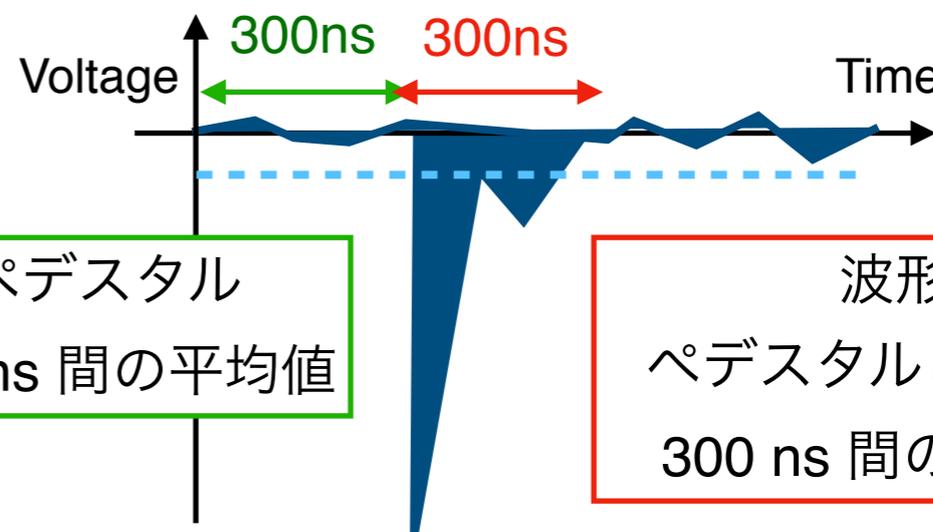
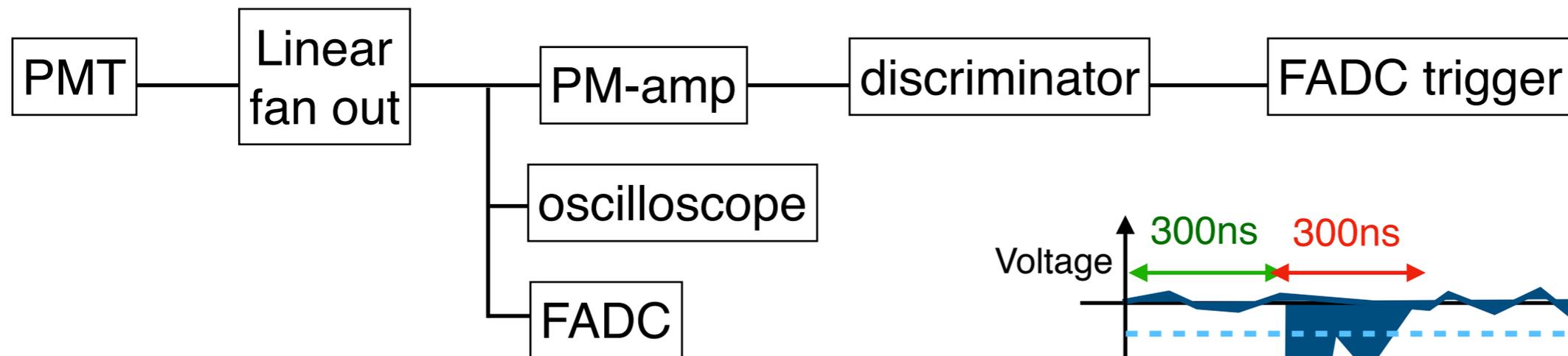
OVC X-Z断面図



解析方法

～Experiment～

FADC trigger: 上PMT
threshold -180 mV



ペDESTAL
300 ns 間の平均値

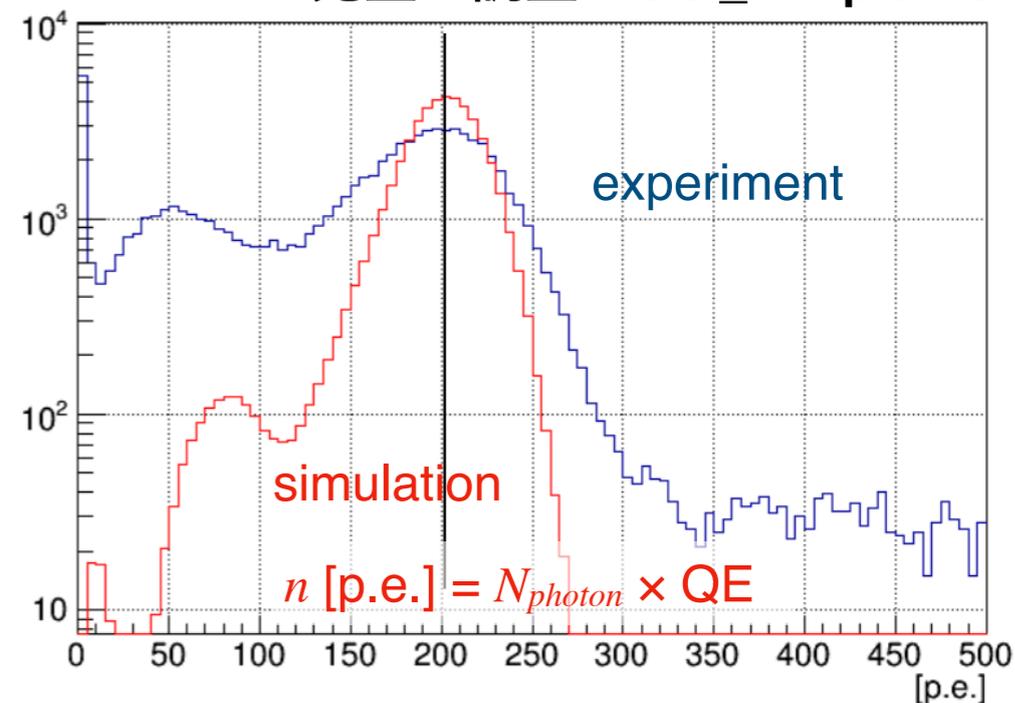
波形面積
ペDESTALとピークから
300 ns 間の積分値の差

波形面積を計算し、
1p.e.の面積の比からp.e.を計算している

～Simulation～

- XMASS MCを用いてジオメトリーを構築した
- キセノンの発光応答はNESTモデルを用いている
(rf.) Szydagis et al., "NEST: A Comprehensive Model for Scintillation Yield in Liquid Xenon", JINST, 6, P10002 (2011)
- 光量は²⁴¹Am線源の γ :59.5 keVを実験データとシミュレーションで合わせている
- 上下PMTの光量(およびその比)と、シンチレーション光発生位置の関係を調べた

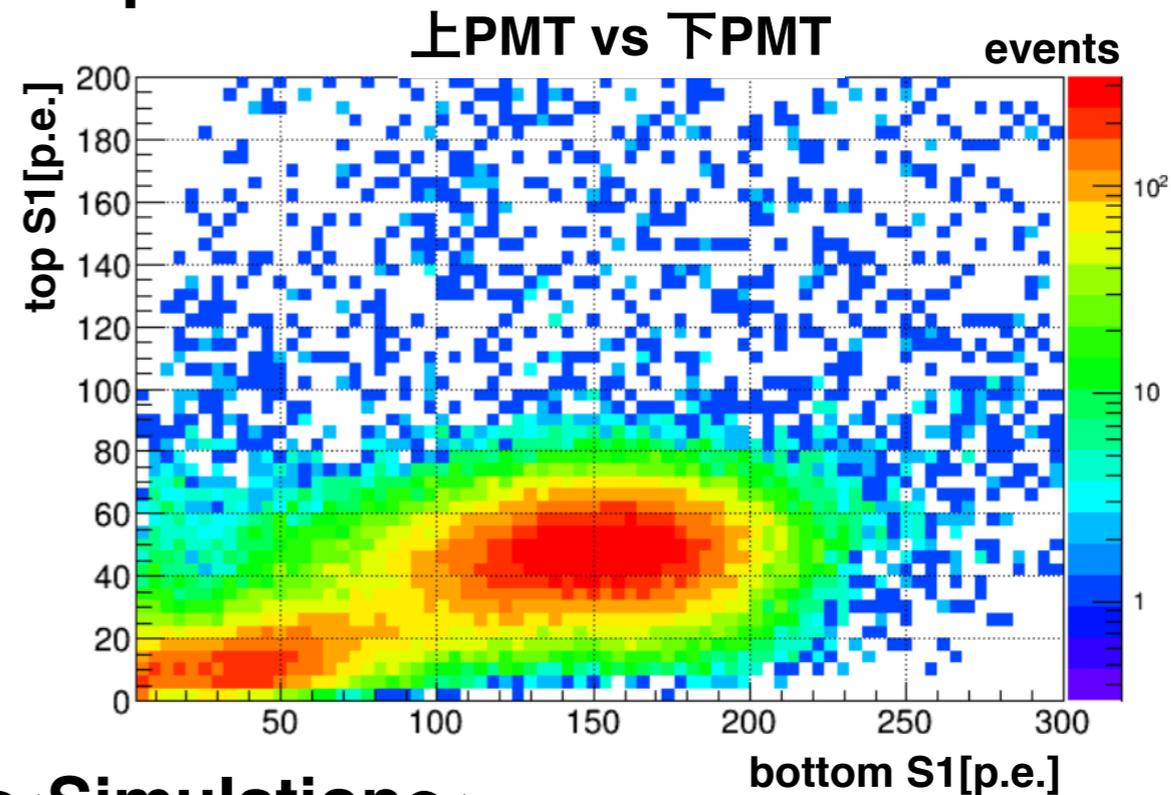
光量の調整 3.3 ± 0.1 p.e./keV



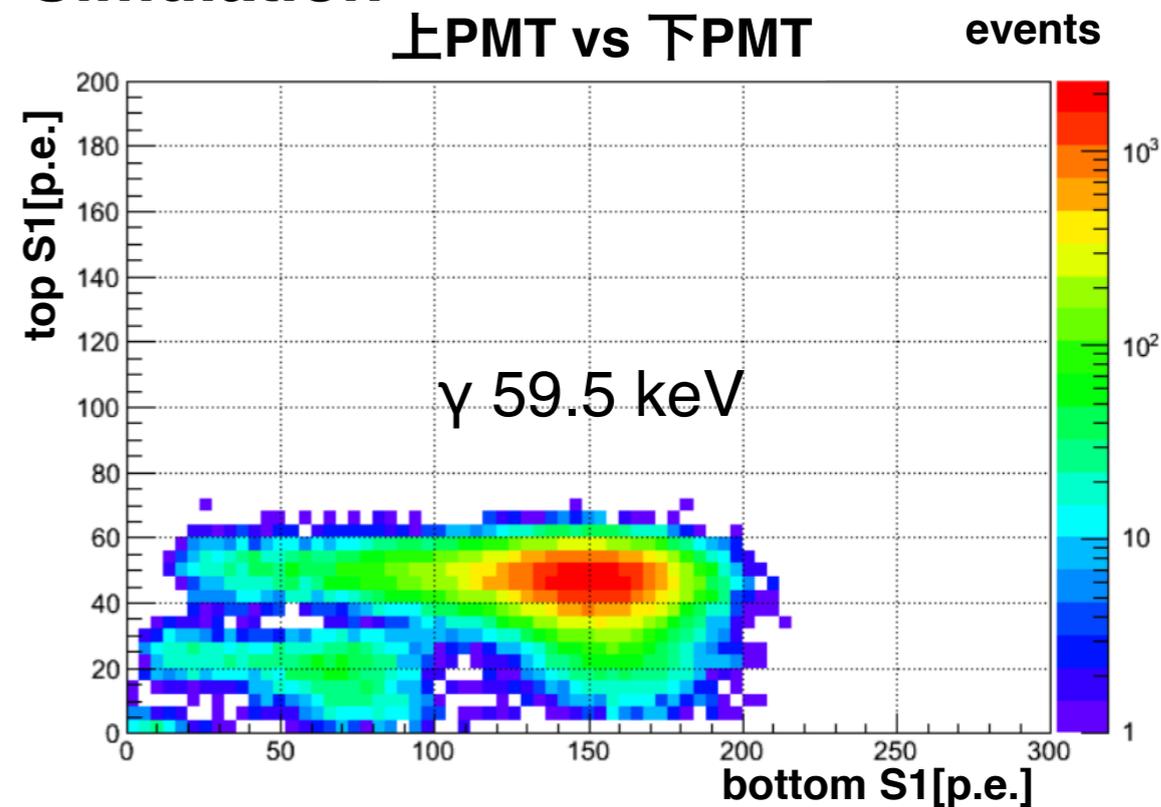
^{241}Am の上PMTと下PMTの比

- ^{241}Am の59.5keVにおける
上PMTと下PMTの光量をそれぞれ
実験結果とシミュレーションで合わせた
- 内部線源周辺でシンチレーションを
起こしている

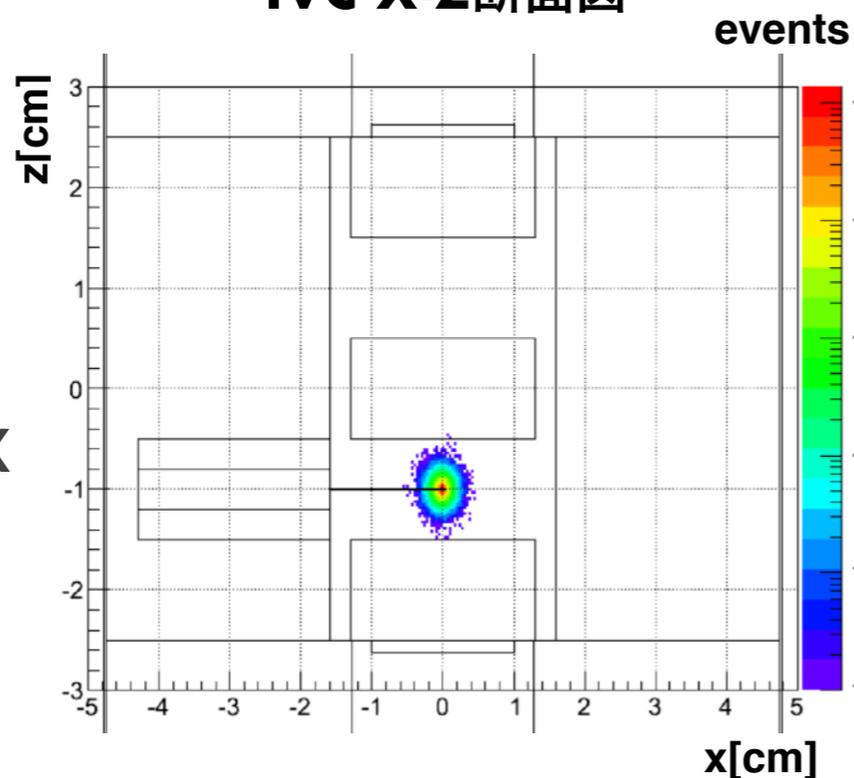
～Experiment～



～Simulation～

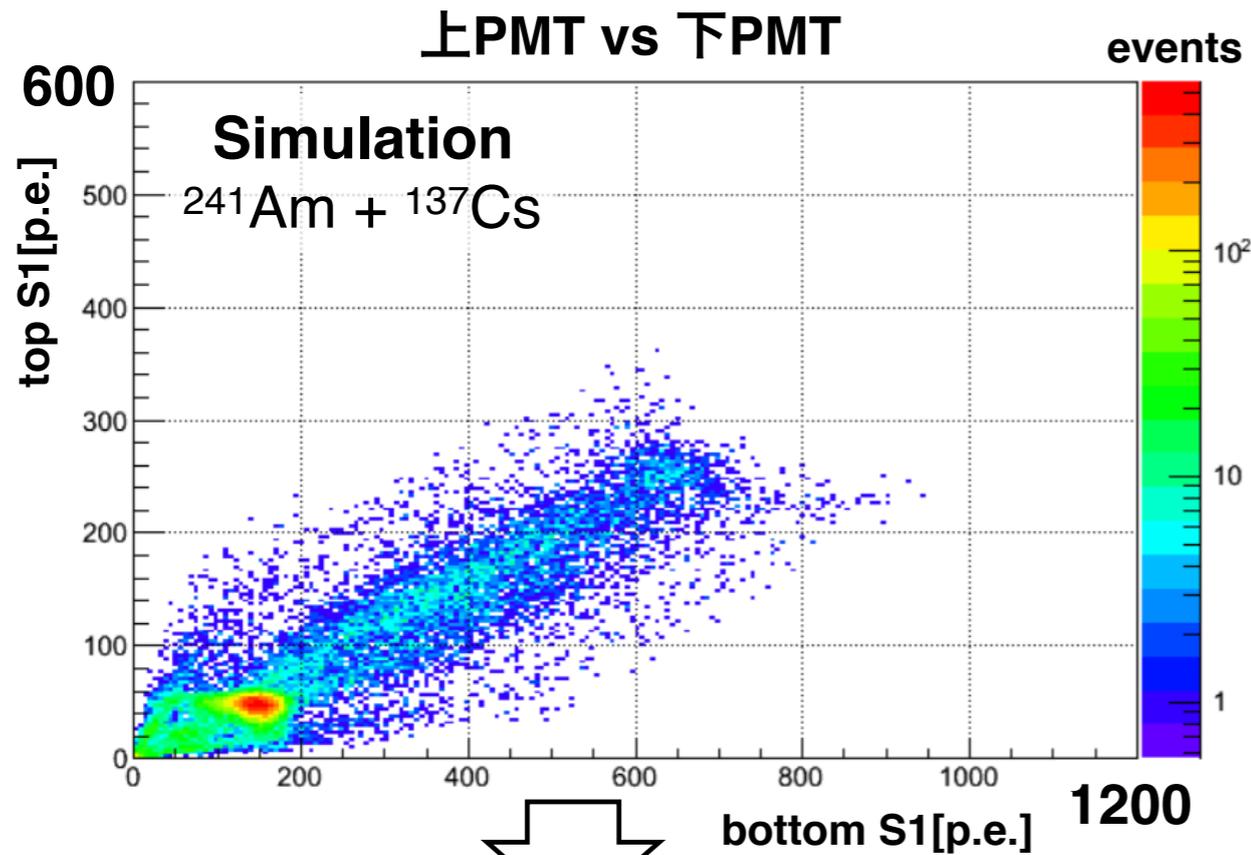


IVC X-Z断面図

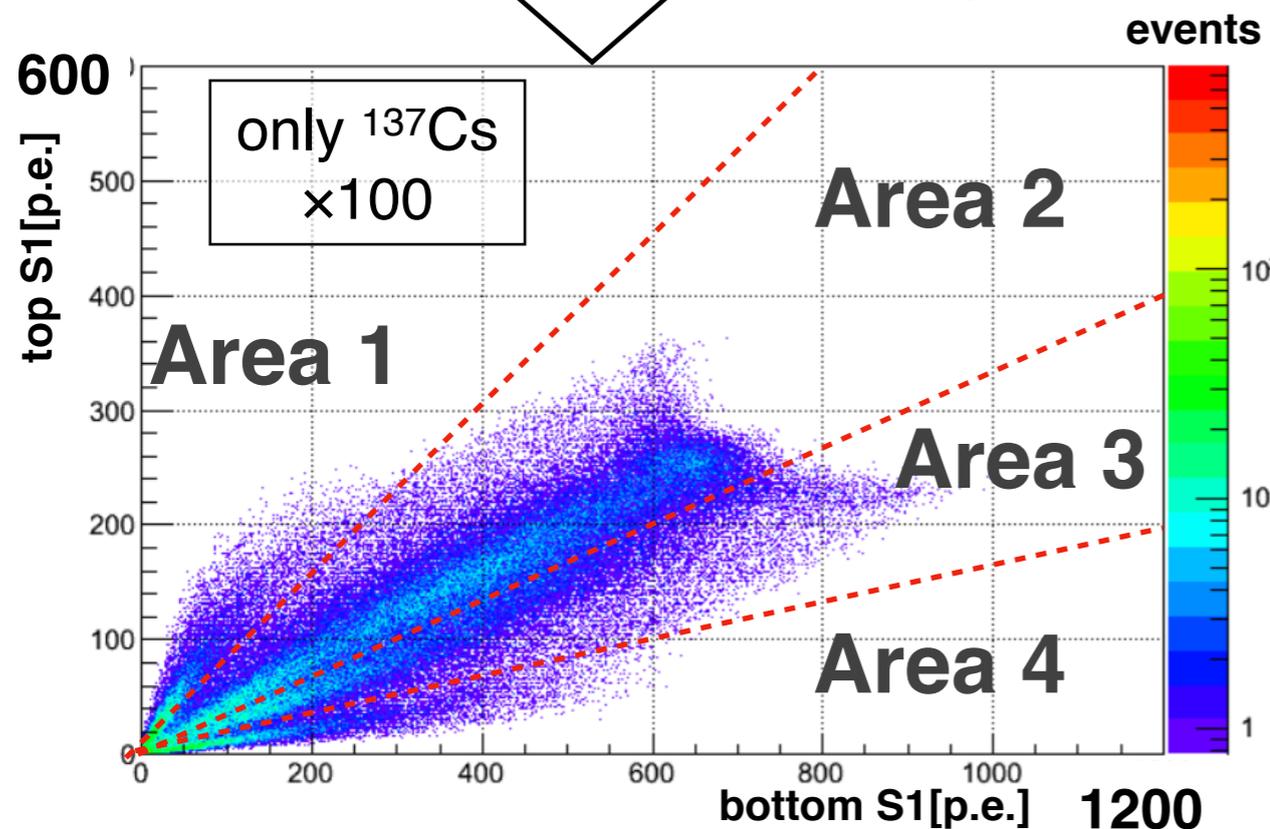
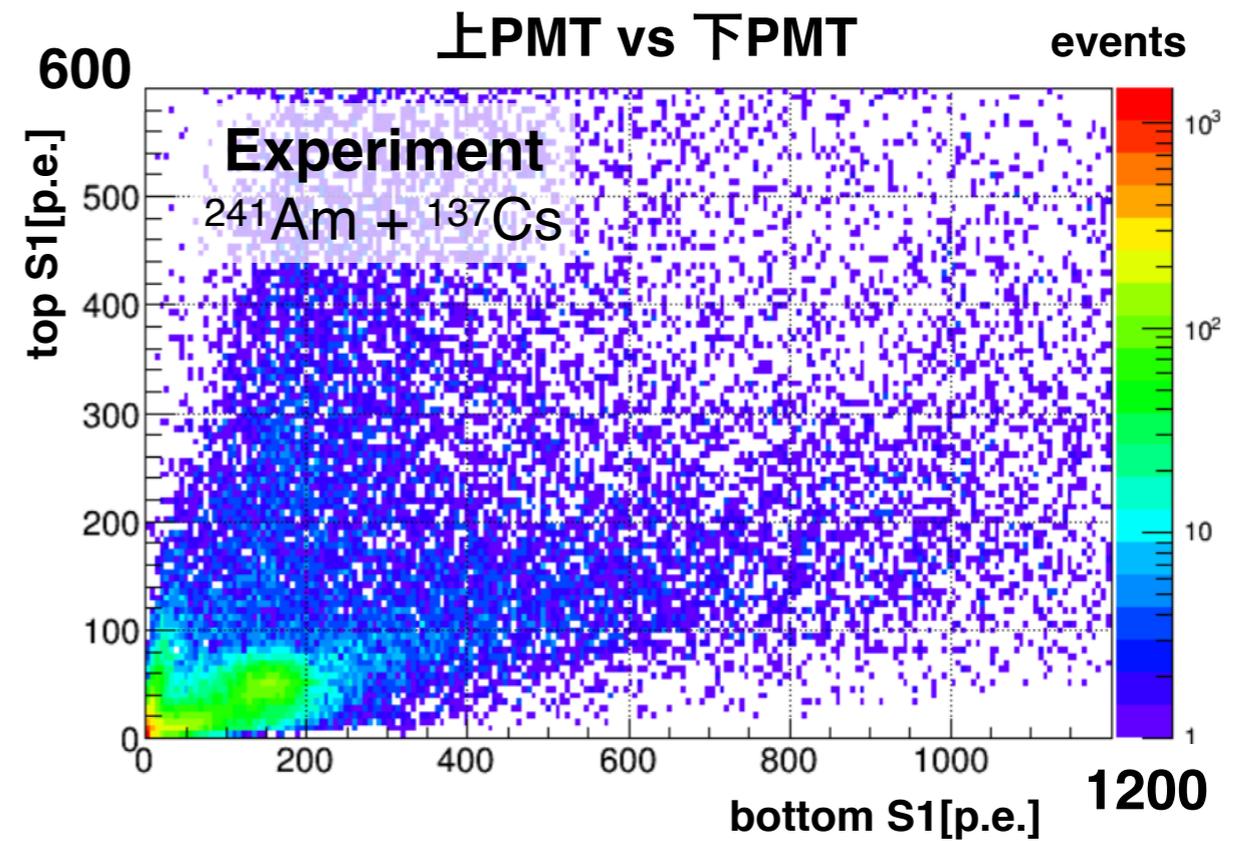


^{137}Cs の上PMTと下PMTの比

～Simulation～



～Experiment～

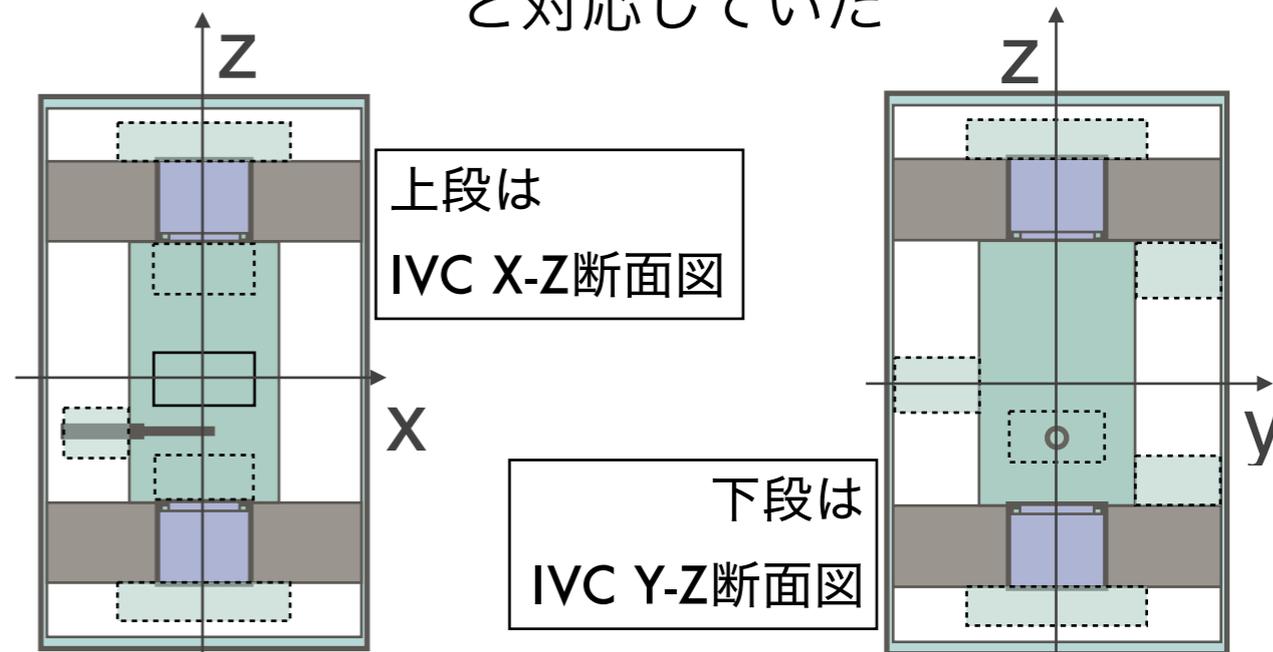
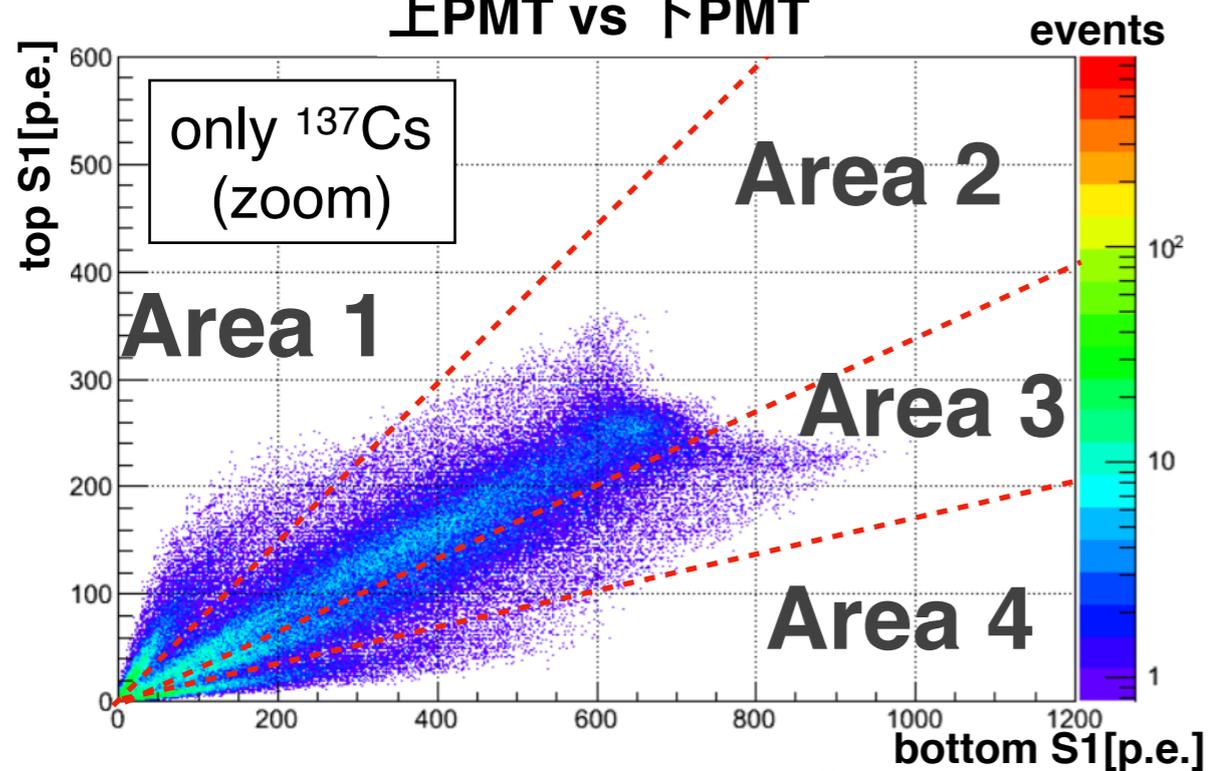


- ^{241}Am の強度が強くと ^{137}Cs の特徴が見えにくい
- シミュレーション結果において ^{241}Am を外し ^{137}Cs 線源の統計量を100倍にすると、**4つ**の特徴が現れた
- 各Areaで起きた発光位置を次で見る

137Csのシンチレーション位置

各範囲のシンチレーションの発生位置は検出器の構造と対応していた

上PMT vs 下PMT

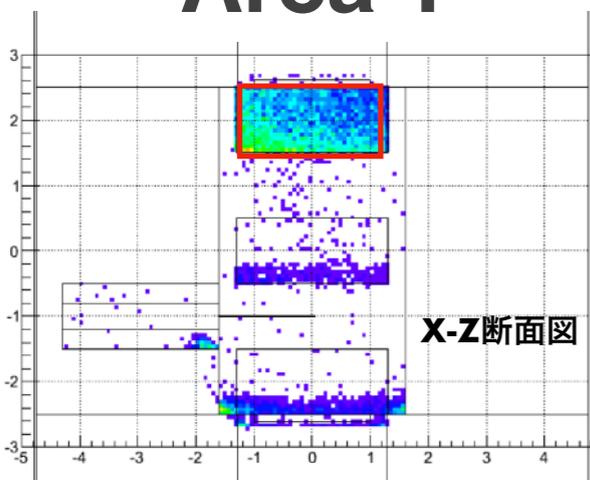


Area 1

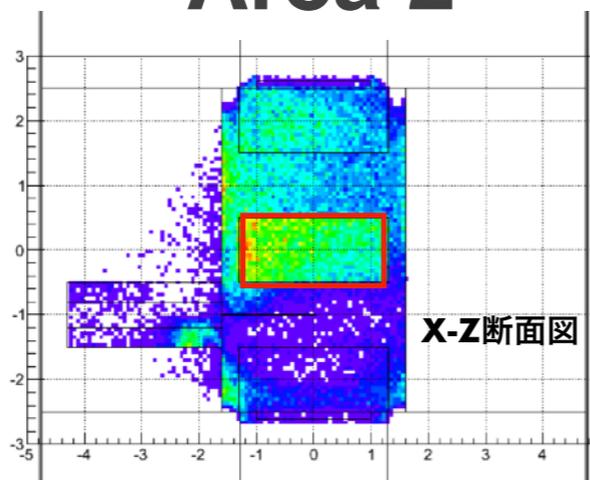
Area 2

Area 3

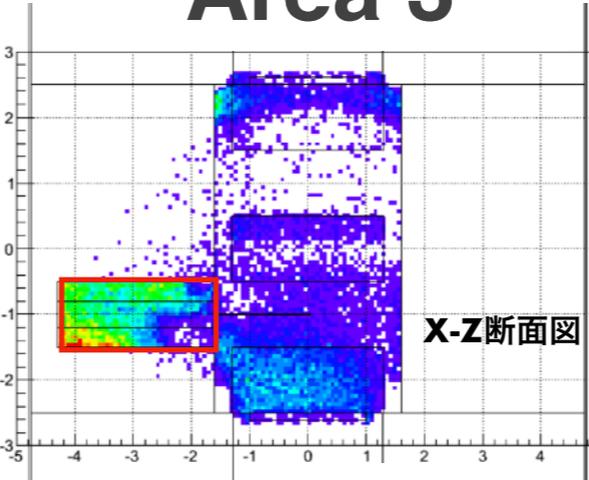
Area 4



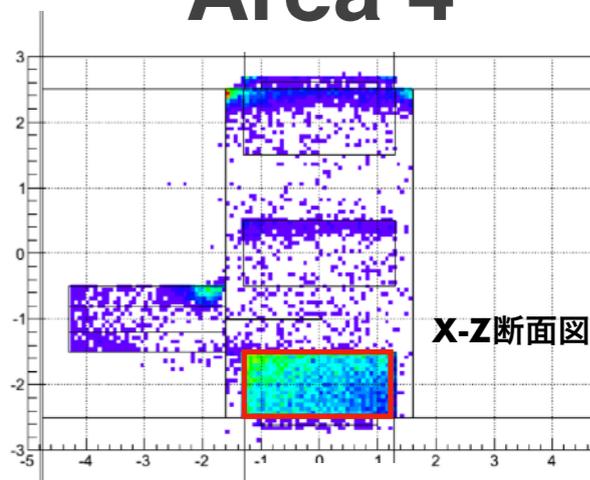
“①”



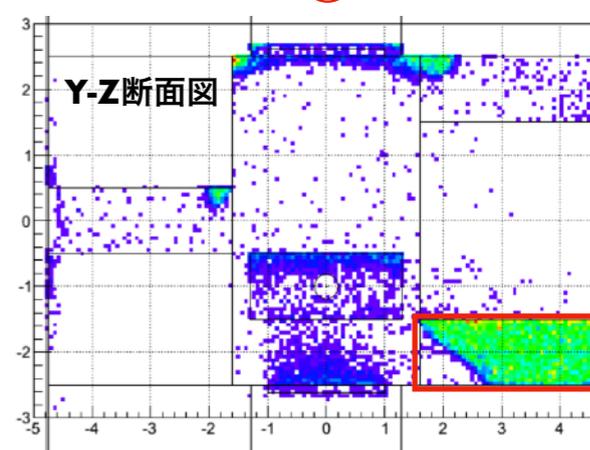
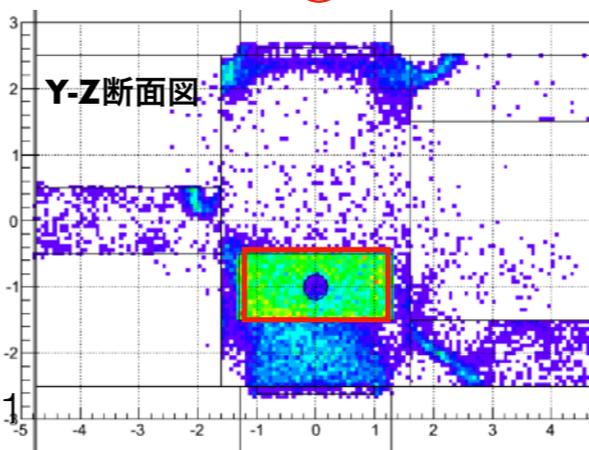
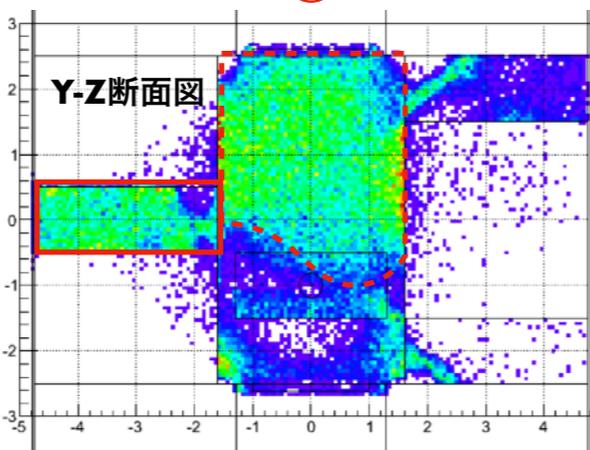
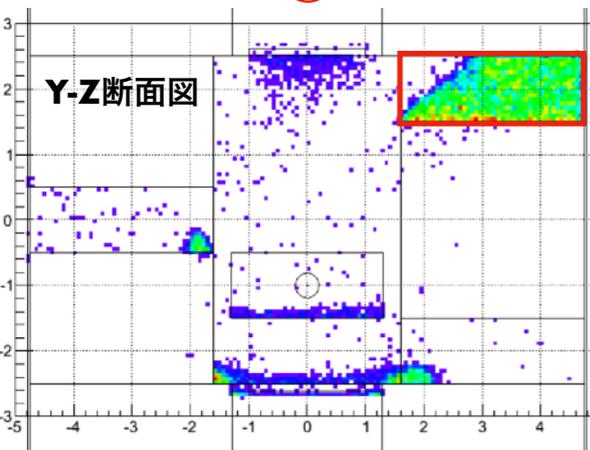
“②”



“③”

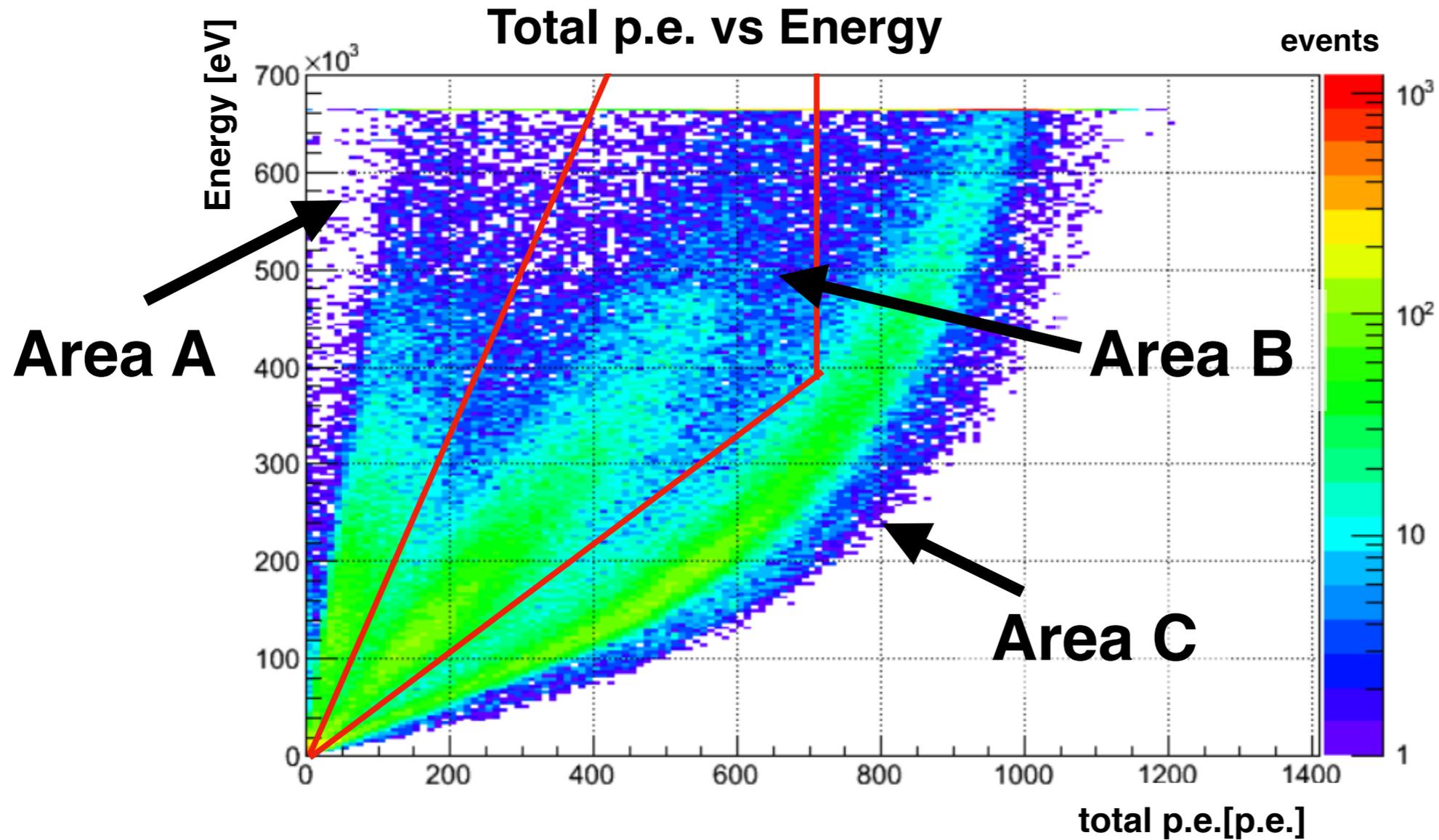
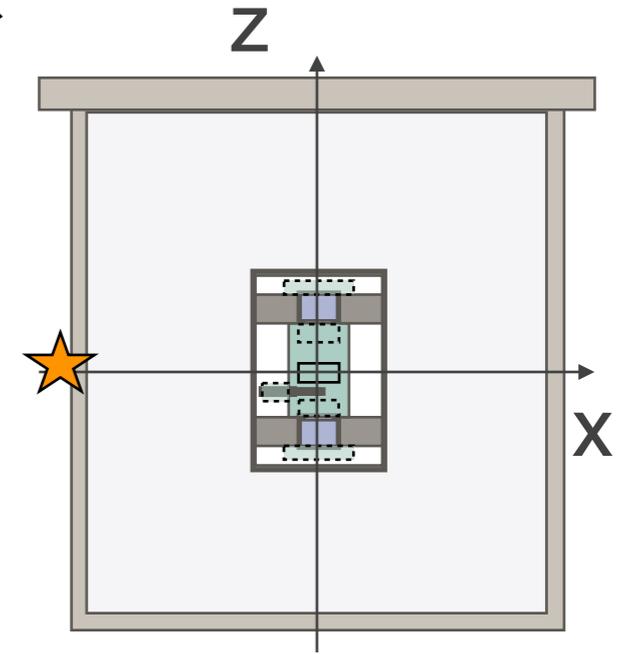


“④”



^{137}Cs の総光量とエネルギーの関係

- ^{137}Cs のシミュレーションからp.e.EnergyDepositの関係を出すと**3つ**の特徴が現れた
- 各Areaのシンチレーションの位置を次でみる

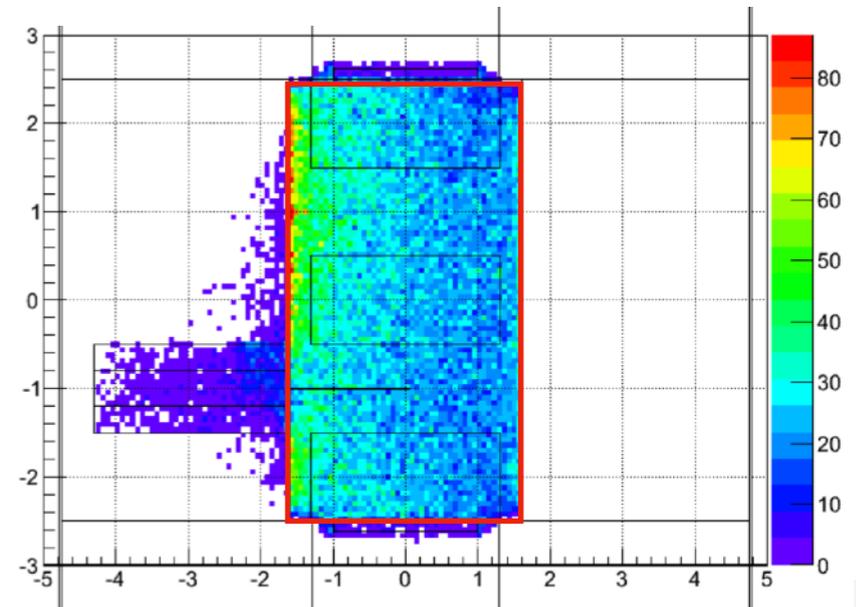
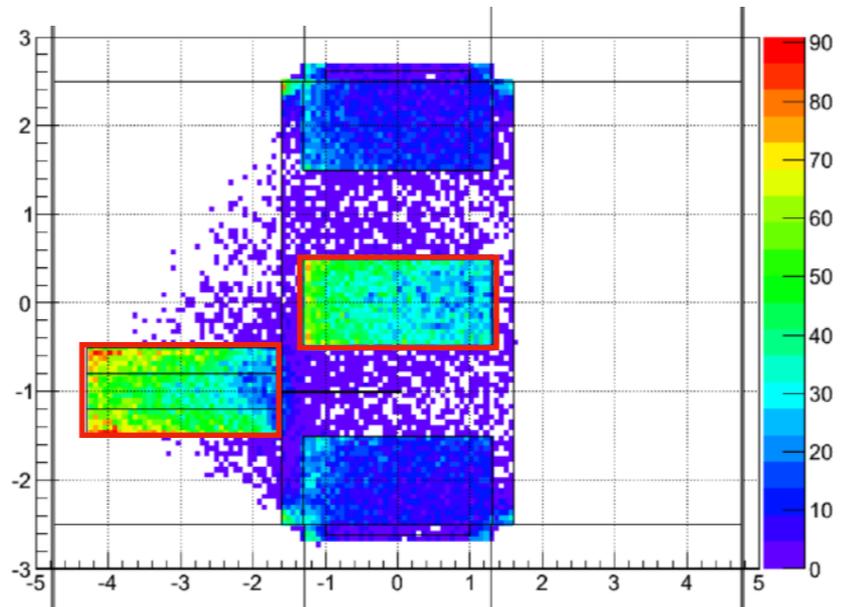
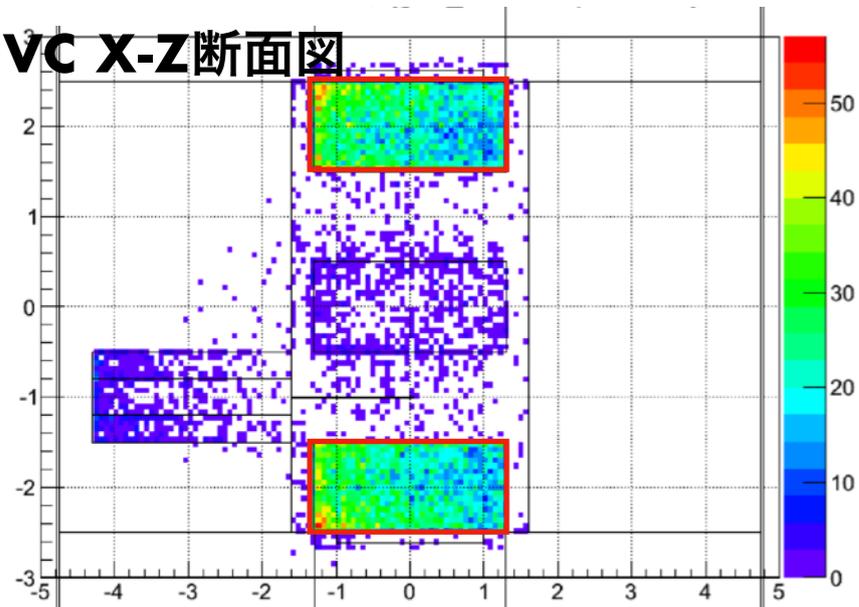


Area A “①と④”

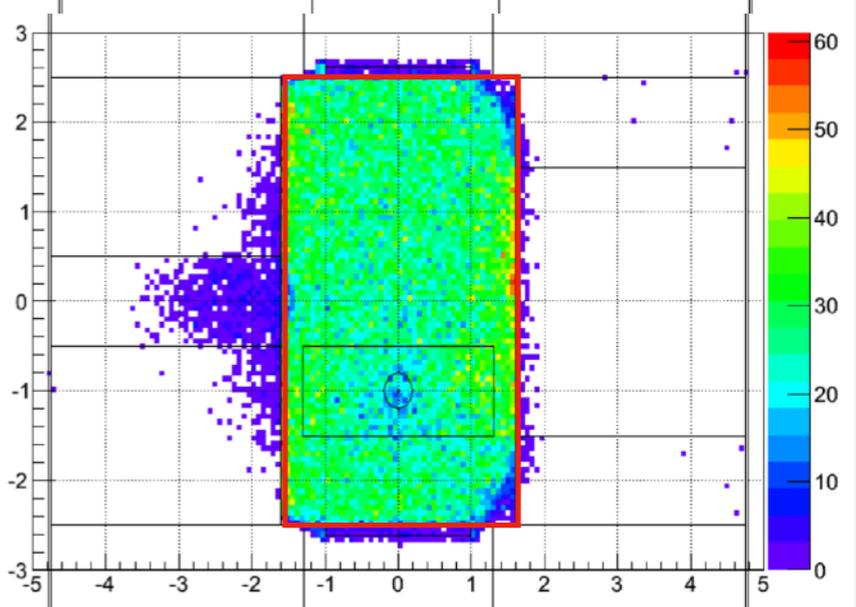
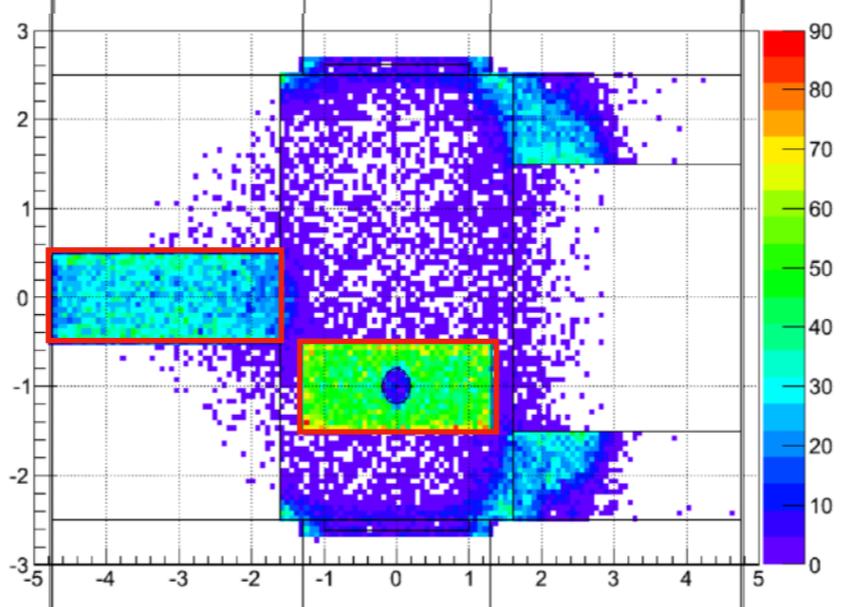
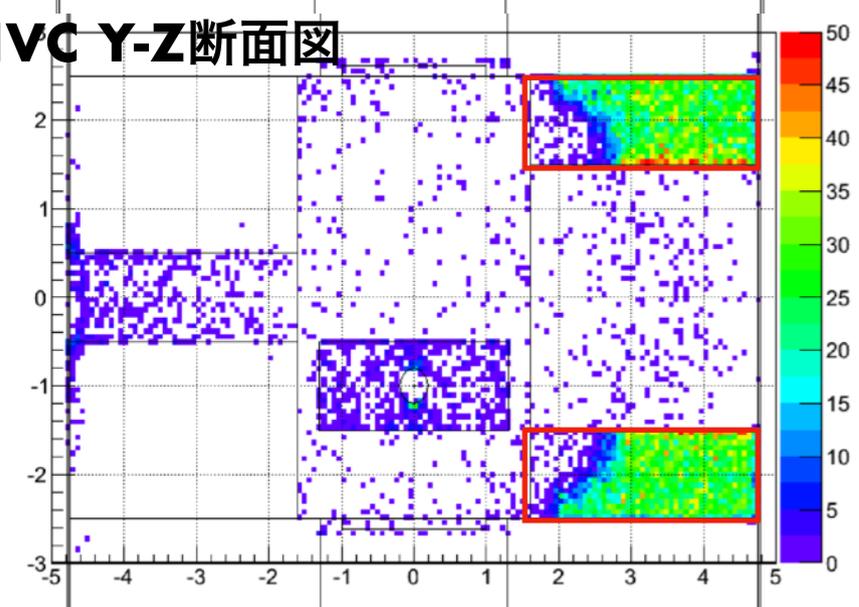
Area B “②と③”

Area C “中心部分”

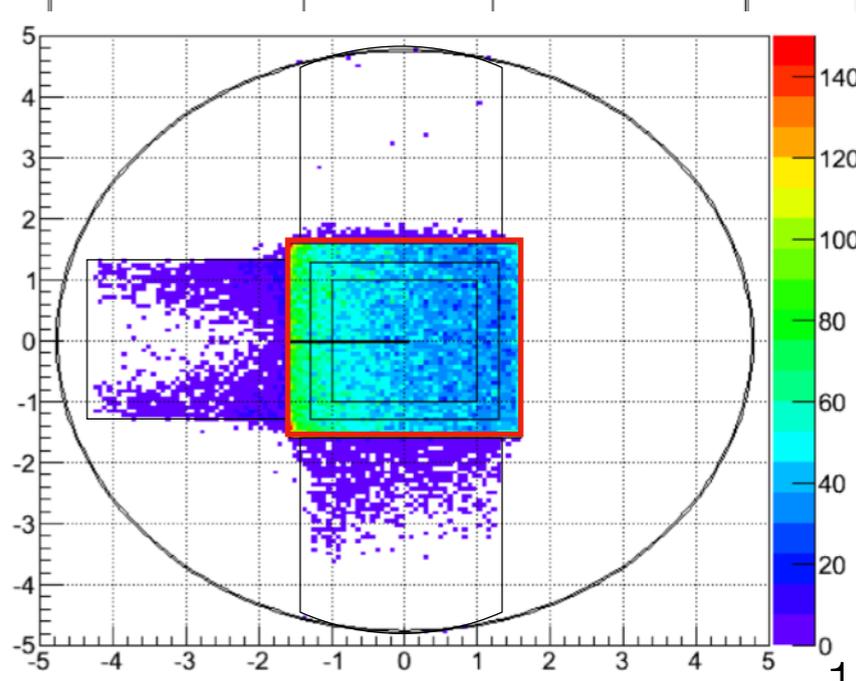
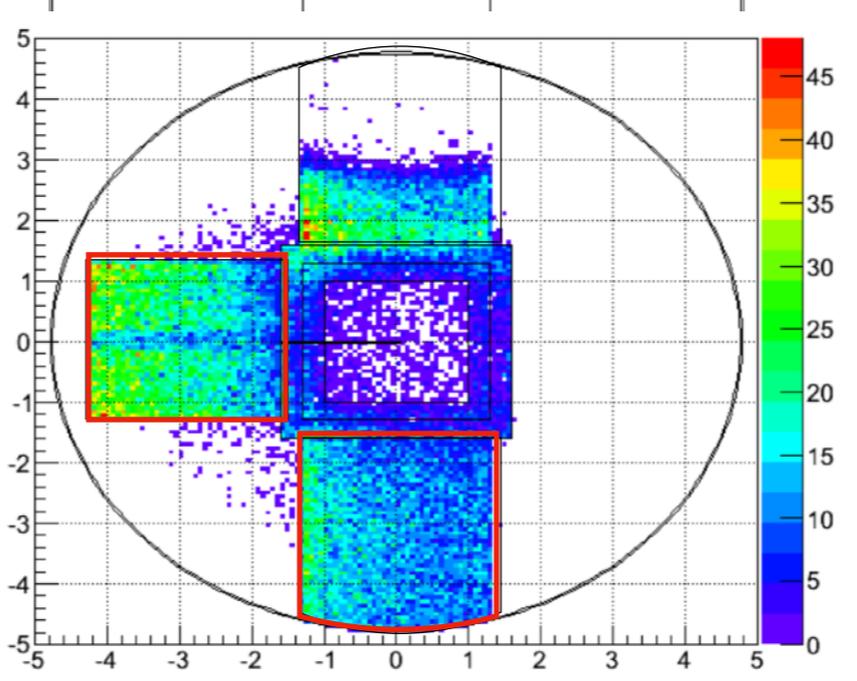
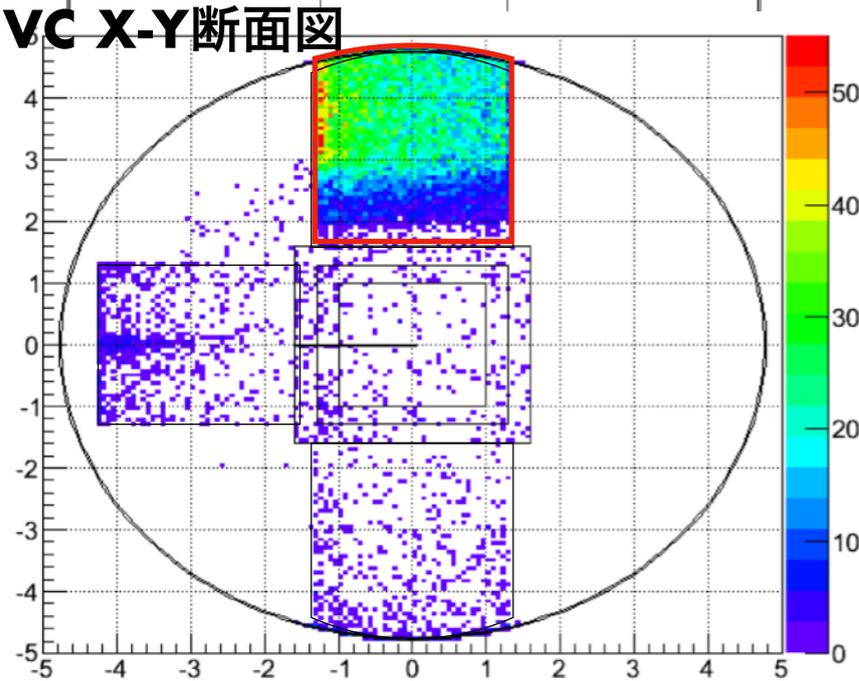
IVC X-Z断面図



IVC Y-Z断面図



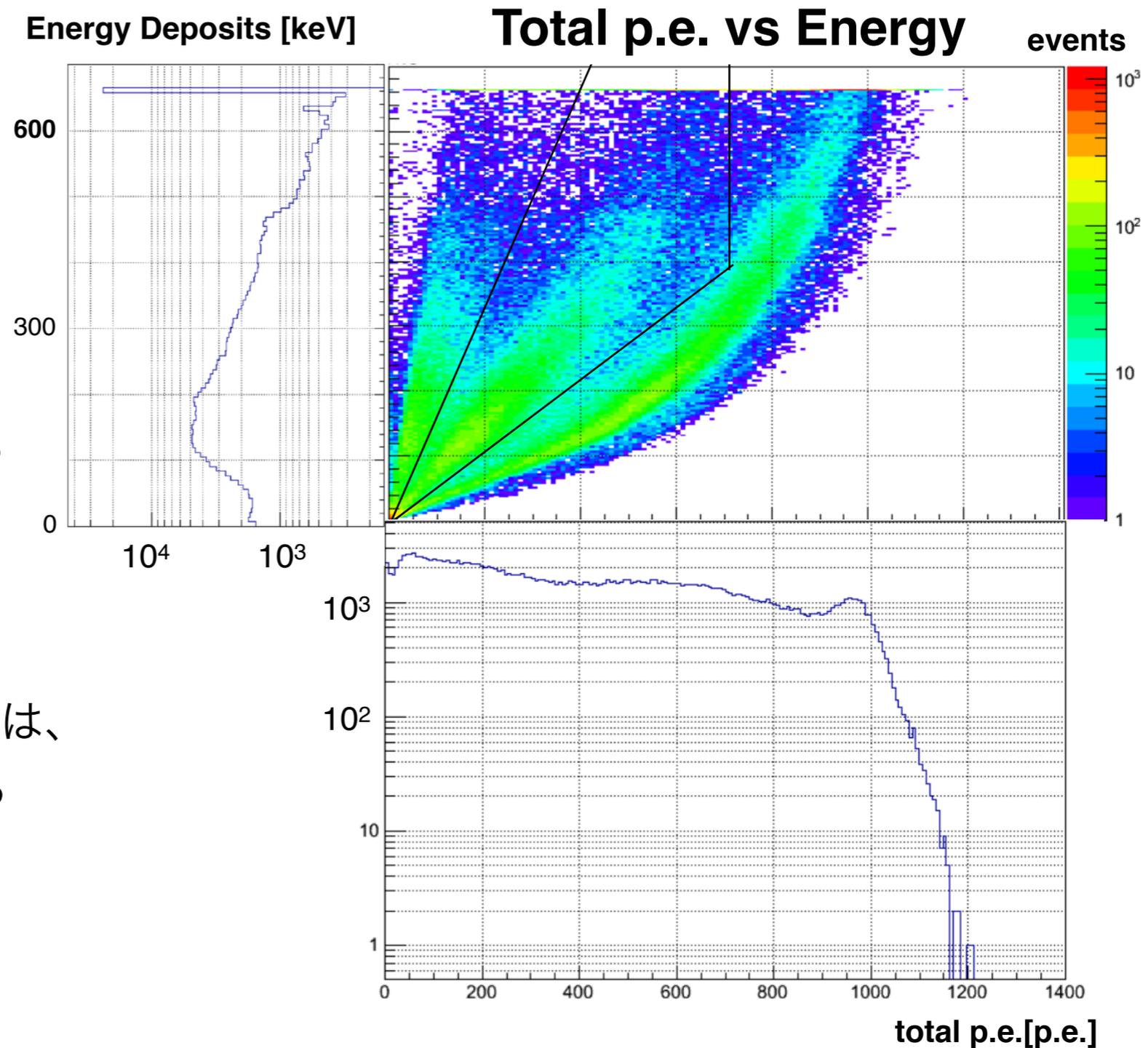
IVC X-Y断面図



結論

外部線源について、

- ・ 直接蛍光(S1)は穴の位置での発光によって中心部での発光によるピークが見えにくくなる
→ 分解能を合わせるとピークがなくなる可能性がある
- ・ 比例蛍光(S2)の確認後、
S1,S2光量の定量的議論をするためには、
穴を埋めたジオメトリーで実験を行う
必要があることがわかった



まとめと今後

- 1相式TPCテストベンチのセットアップで、
 ^{241}Am の実験結果に合わせてtuningした検出器シミュレーションを行った
- ^{137}Cs のシミュレーションから外部線源によるエネルギースペクトルは
検出器のジオメトリーに大きく依存することが分かった
→校正用に外部線源を用いるためにはスペーサの配線穴を埋める必要がある
→今後、穴を埋めたテフロンを用いて実験する
- 今後の定量的な解析のためには、
現在のsimulationからさらに、上下PMTのQEやキセノン透過率などのパラメータを
tuningしてシミュレーションを行う必要がある
- ^{241}Am 線源を外し ^{137}Cs のみで測定を行う必要もある

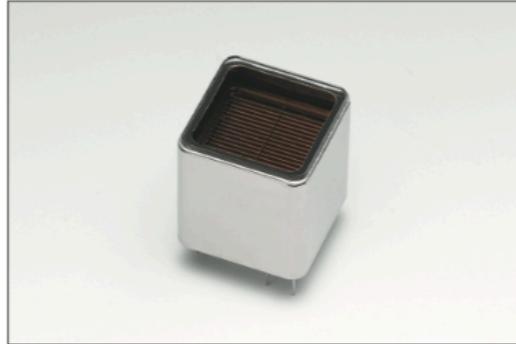
Back Up

FEATURES

- For Low Temperature Operation Down to -110 °C
- Low Radioactivity 26 mm (1 Inch) square
- High UV Sensitivity by Synthetic Silica Window

APPLICATIONS

- High Energy Physics
- Academic Research



SPECIFICATIONS

GENERAL

Parameter	Description / Value	Unit
Spectral Response	160 to 650	nm
Wavelength of Maximum Response	420	nm
Window Material	Synthetic silica	—
Photocathode	Material	Bialkali
	Minimum Effective Area	20.5 × 20.5
Dynode	Structure	Metal channel
	Number of Stages	10
Operating Ambient Temperature	-110 to +50	°C
Storage Temperature	-110 to +50	°C
Weight	22.9	g

MAXIMUM RATINGS (Absolute Maximum Values)

Parameter	Value	Unit
Supply Voltage	Between Anode and Cathode	900
	Between Anode and Last Dynode	150
Average Anode Current	0.1	mA

CHARACTERISTICS (at 25 °C)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
Cathode Sensitivity	Luminous (2856 K)	80	100	—
	Blue Sensitivity Index (CS 5-58)	9.0	11.0	—
	Radiant at 420 nm	—	100	—
	Quantum Efficiency at 175 nm	—	30	—
Anode Sensitivity	Luminous (2856 K)	40	100	—
	Gain (× 10 ⁶)	—	1	—
Anode Dark Current (After 30 minute storage in darkness)	—	2	20	nA
Time Response	Anode Pulse Rise Time	—	1.8	ns
	Electron Transit Time	—	12.4	ns
	Transit Time Spread (FWHM)	—	0.8	ns
Pulse Linearity (±2 % Deviation)	—	30	—	mA

NOTE: Anode characteristics are measured with a voltage distribution ratio and supply voltage shown below.

VOLTAGE DISTRIBUTION RATIO AND SUPPLY VOLTAGE

Electrodes	K	G	Dy1	Dy2	Dy3	Dy4	Dy5	Dy6	Dy7	Dy8	Dy9	Dy10	P
Ratio	0.5	1.5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5

Supply Voltage: 800 V, K: Cathode, G: Grid, Dy: Dynode, P: Anode

Subject to local technical requirements and regulations, availability of products included in this promotional material may vary. Please consult with our sales office. Information furnished by HAMAMATSU is believed to be reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omissions. Specifications are subject to change without notice. No patent rights are granted to any of the circuits described herein. ©2013 Hamamatsu Photonics K.K.

PHOTOMULTIPLIER TUBE R8520-406

Figure 1: Typical Spectral Response

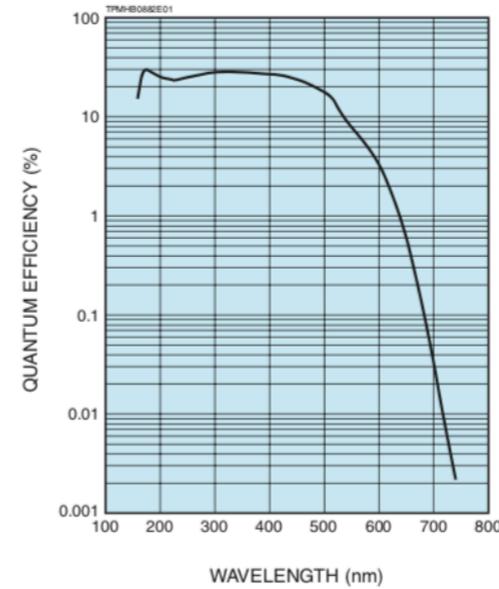


Figure 2: Typical Gain

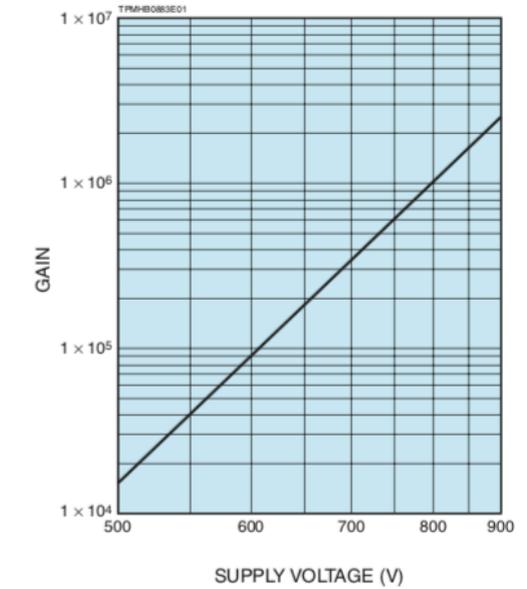
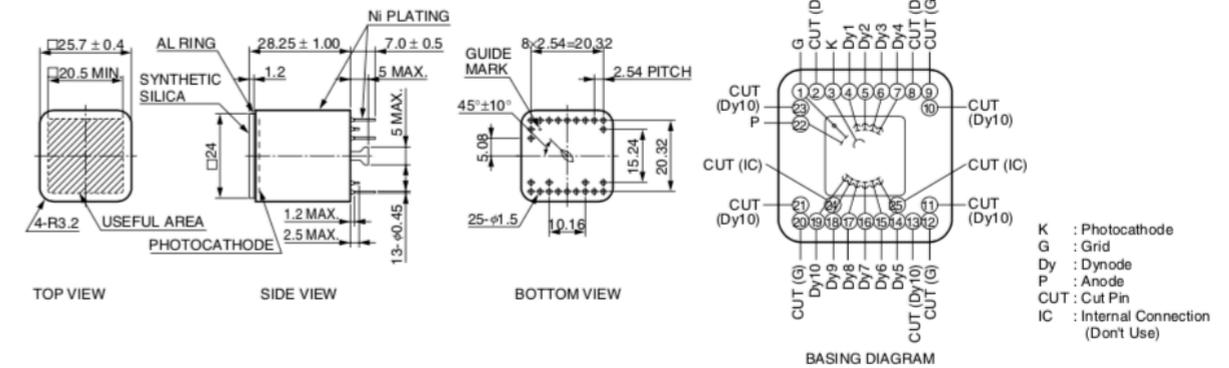


Figure 3: Dimensional Outline (Unit: mm)



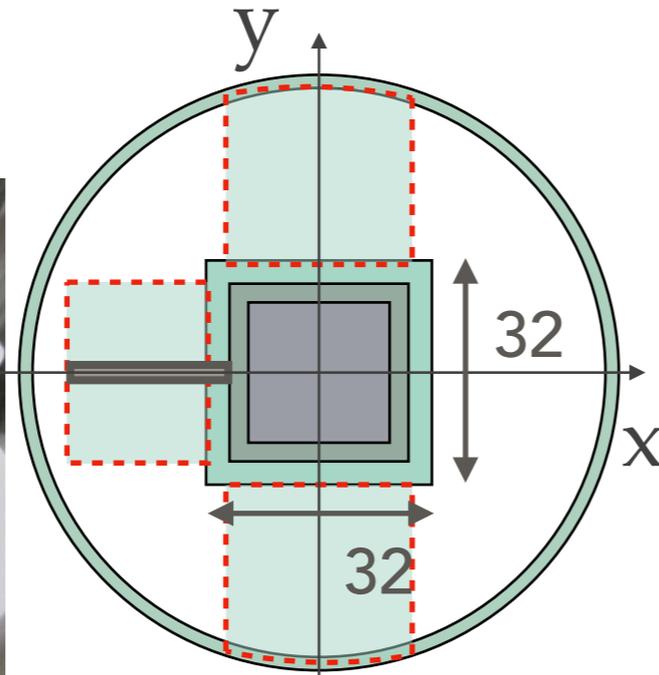
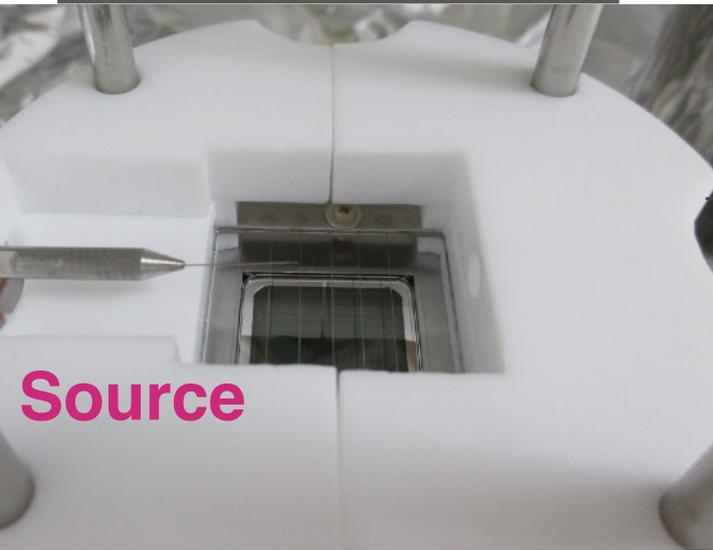
HAMAMATSU PHOTONICS K.K. www.hamamatsu.com

HAMAMATSU PHOTONICS K.K., Electron Tube Division
 314-5, Shimokanzo, Iwata City, Shizuoka Pref., 438-0193, Japan, Telephone: (81)539/62-5248, Fax: (81)539/62-2205
 U.S.A.: Hamamatsu Corporation, 360 Foothill Road, P. O. Box 6910, Bridgewater, N.J. 08807-0910, U.S.A., Telephone: (1)908-231-0960, Fax: (1)908-231-1218 E-mail: usa@hamamatsu.com
 Germany: Hamamatsu Photonics Deutschland GmbH, Arzbergerstr. 10, D-82211 Herrsching am Ammersee, Germany, Telephone: (49)8152-375-0, Fax: (49)8152-2658 E-mail: info@hamamatsu.de
 France: Hamamatsu Photonics France S.A.R.L., 19, Rue du Saule Trapu, Parc du Moulin de Massy, 91882 Massy Cedex, France, Telephone: (33)1 69 53 71 00, Fax: (33)1 69 53 71 10 E-mail: info@hamamatsu.fr
 United Kingdom: Hamamatsu Photonics UK Limited, 2 Howard Court, 10 Tewin Road Welwyn Garden City, Hertfordshire AL7 1BW, United Kingdom, Telephone: 44-(0)1707-294888, Fax: 44-(0)1707-325777 E-mail: info@hamamatsu.co.uk
 North Europe: Hamamatsu Photonics Norden AB, Thorshamnsgatan 35 SE-164 40 Kista, Sweden, Telephone: (46)8-509-031-00, Fax: (46)8-509-031-01 E-mail: info@hamamatsu.se
 Italy: Hamamatsu Photonics Italia S.R.L., Strada della Moia, 1/E, 20020 Arese, (Milano), Italy, Telephone: (39)02-935 81 733, Fax: (39)02-935 81 741 E-mail: info@hamamatsu.it
 China: Hamamatsu Photonics (China) Co., Ltd., 1201 Tower B, Jiaming Center, 27 Dongshihuan Road North, Chaoyang District, Beijing 100020, China, Telephone: (86)10-6586-6006, Fax: (86)10-6586-2866 E-mail: hpc@hamamatsu.com.cn

TPMH1342E01
NOV. 2013 IP

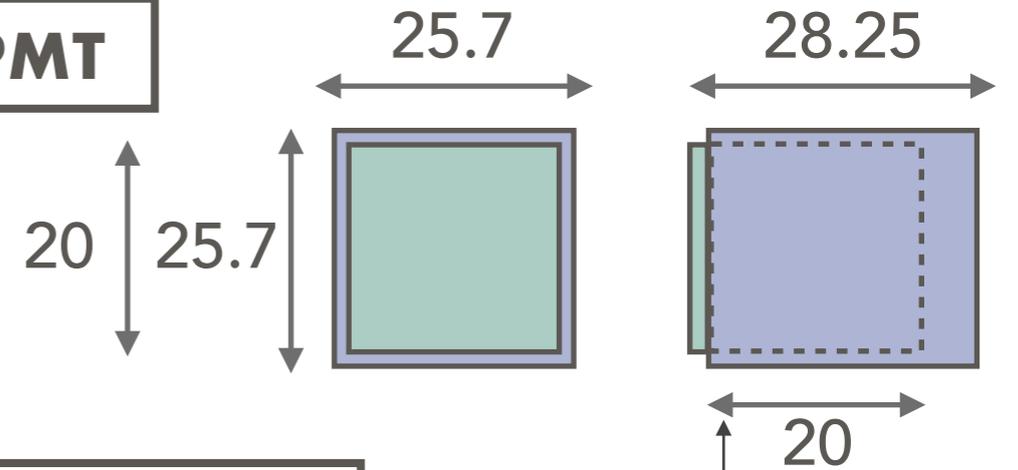
IVC内のセットアップ

IVC X-Y断面図

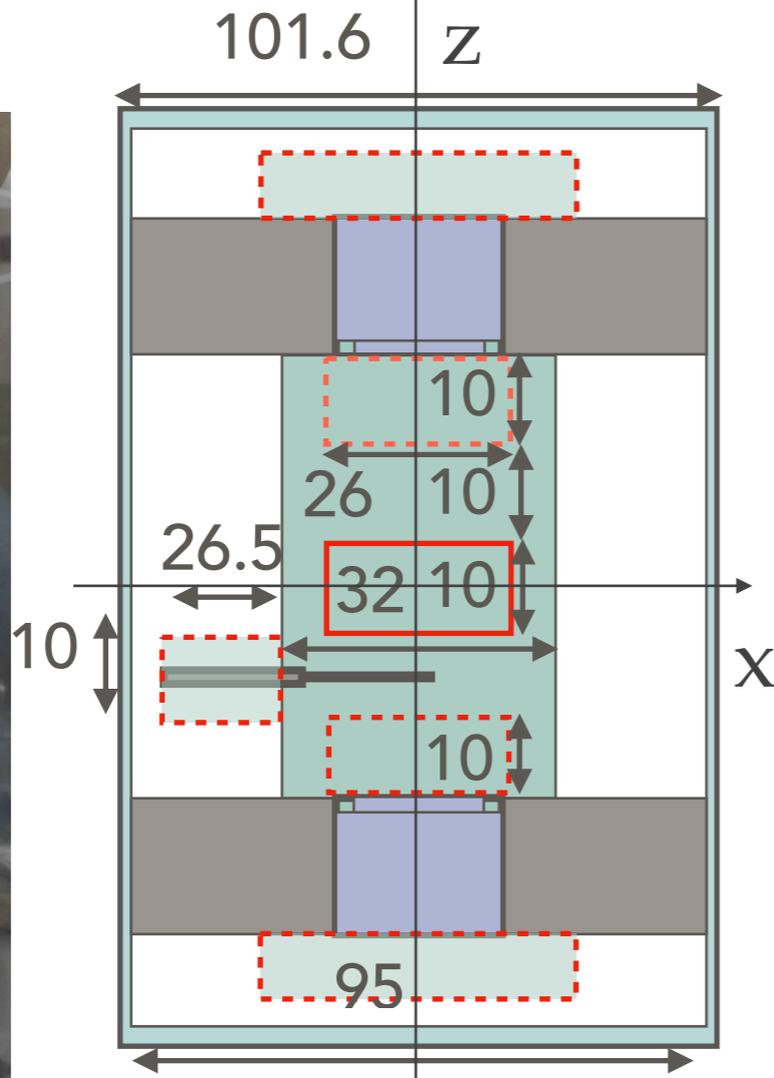
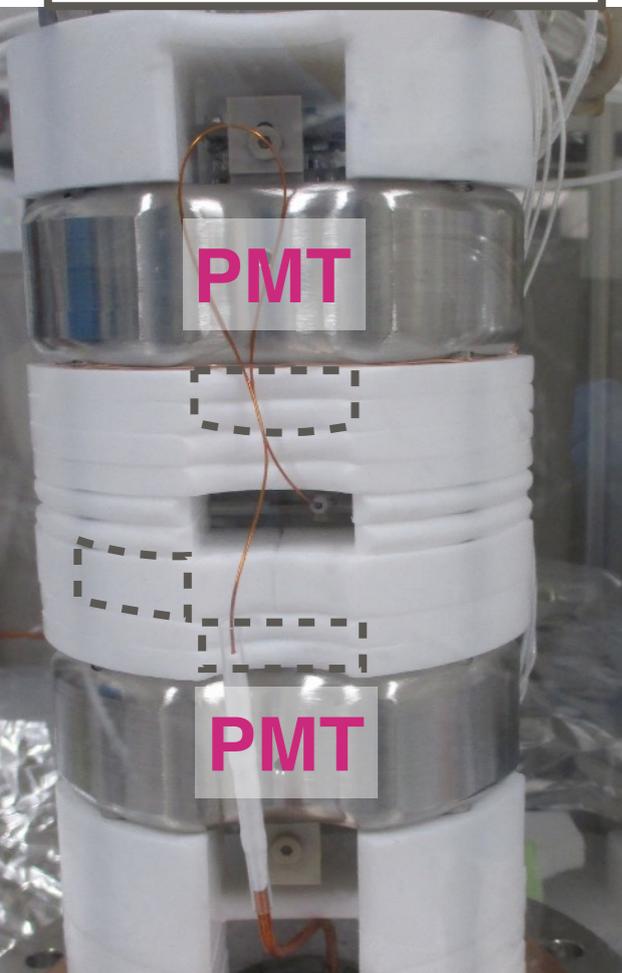


2017年8月に行われた実験のセットアップをGEANT4内で構築した。

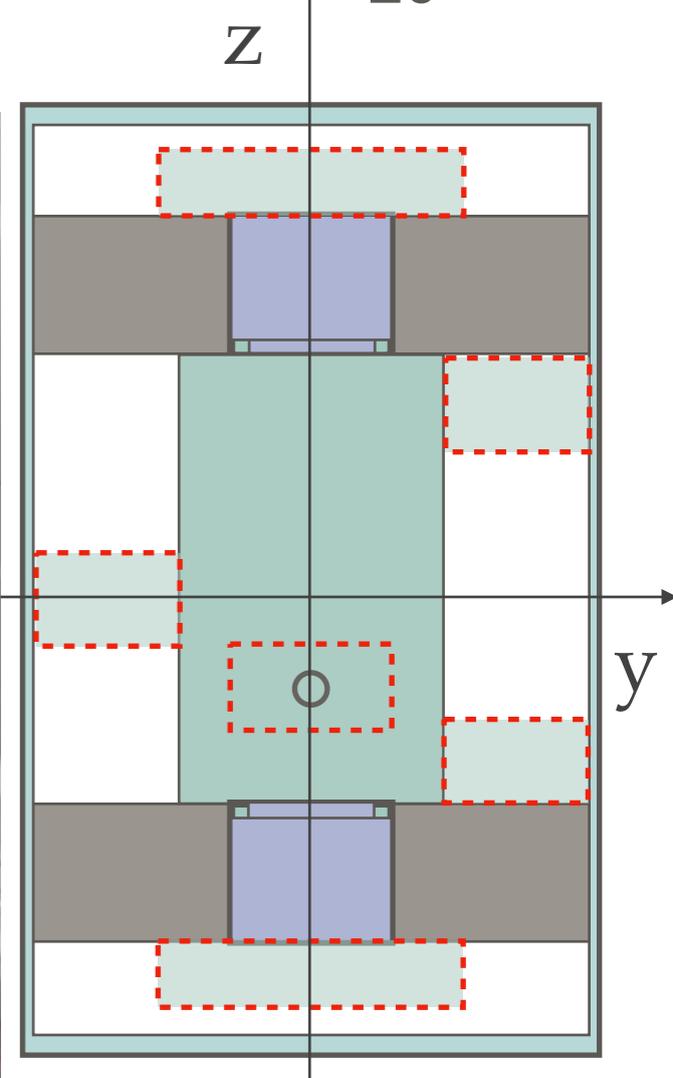
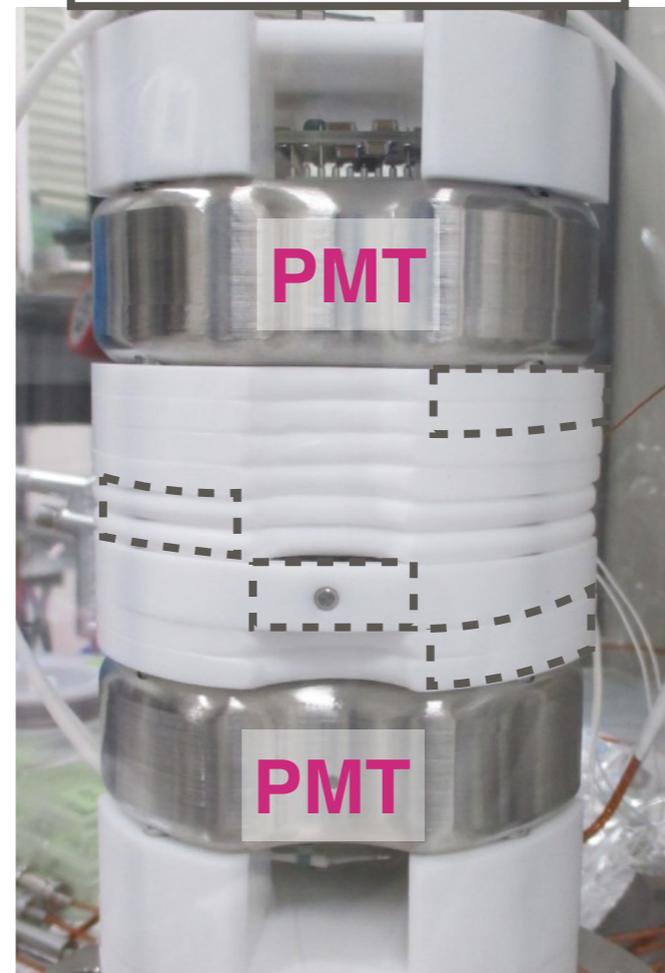
PMT



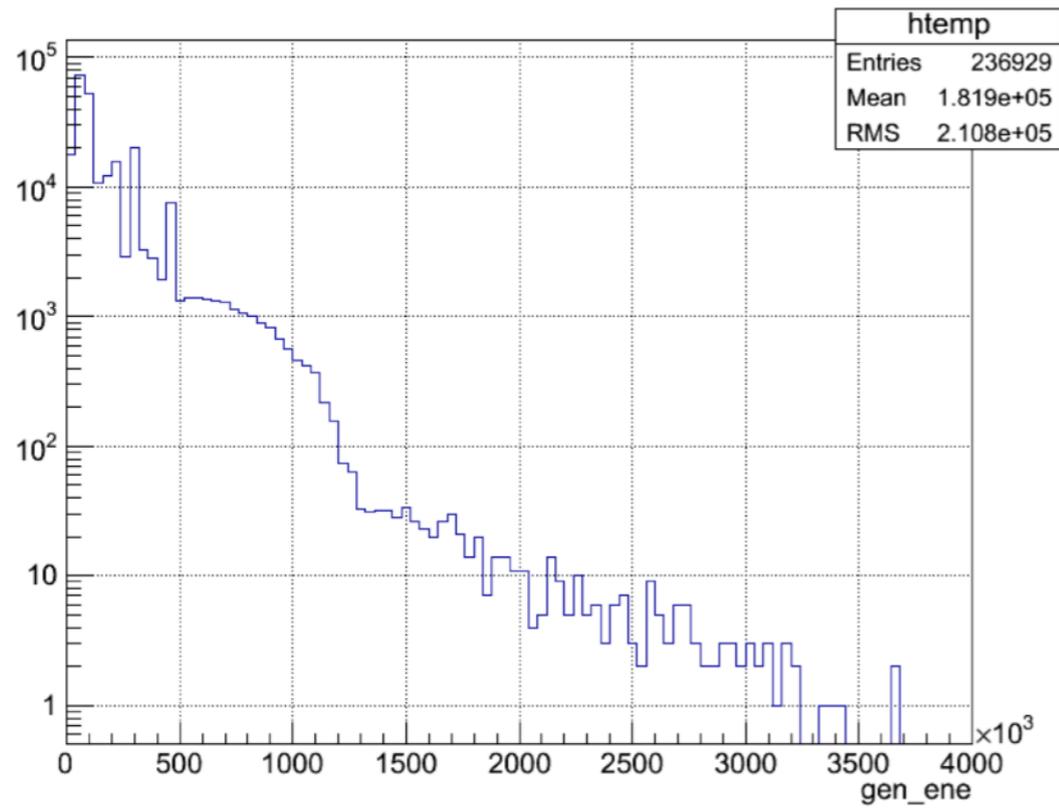
IVC X-Z断面図



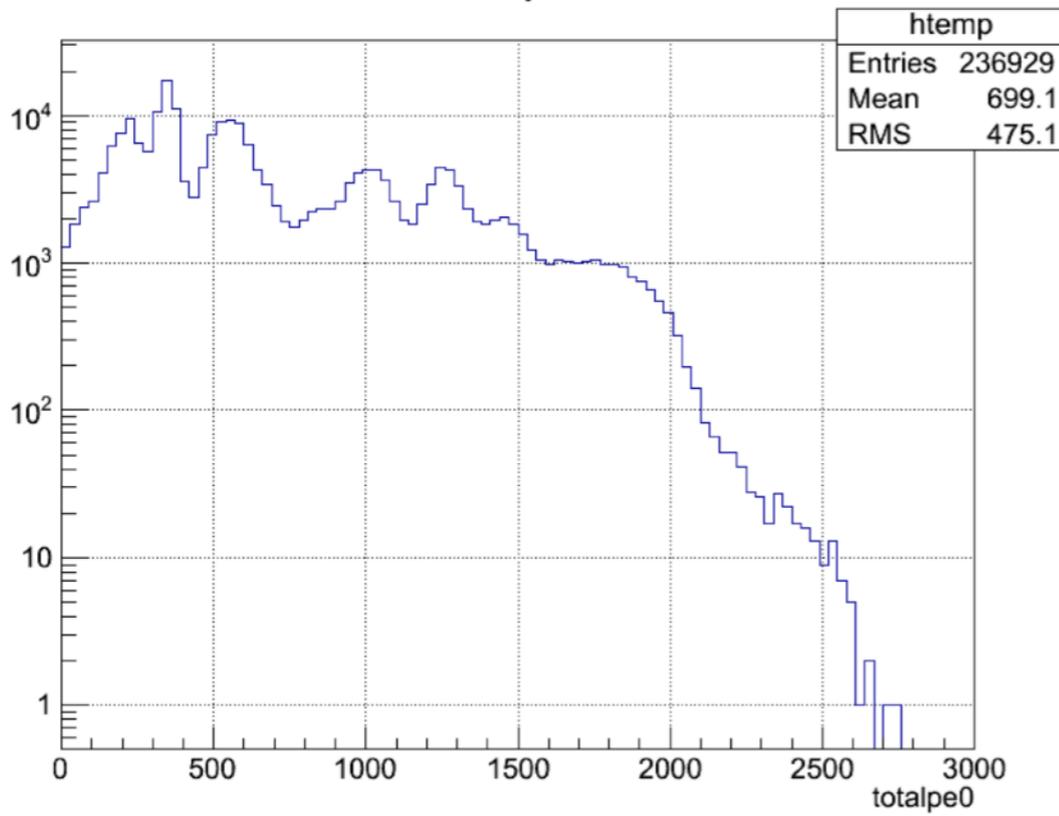
IVC Y-Z断面図



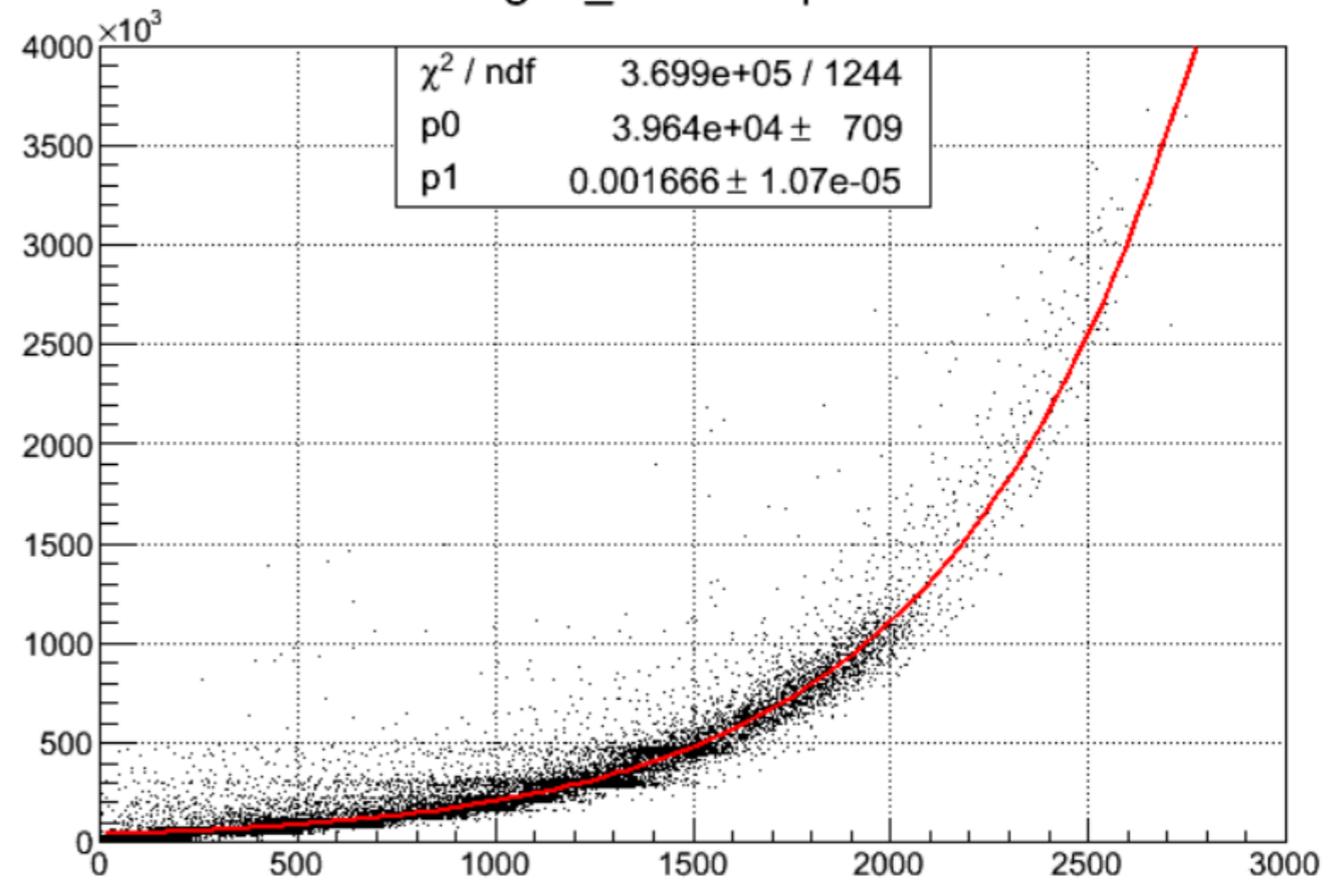
gen_ene



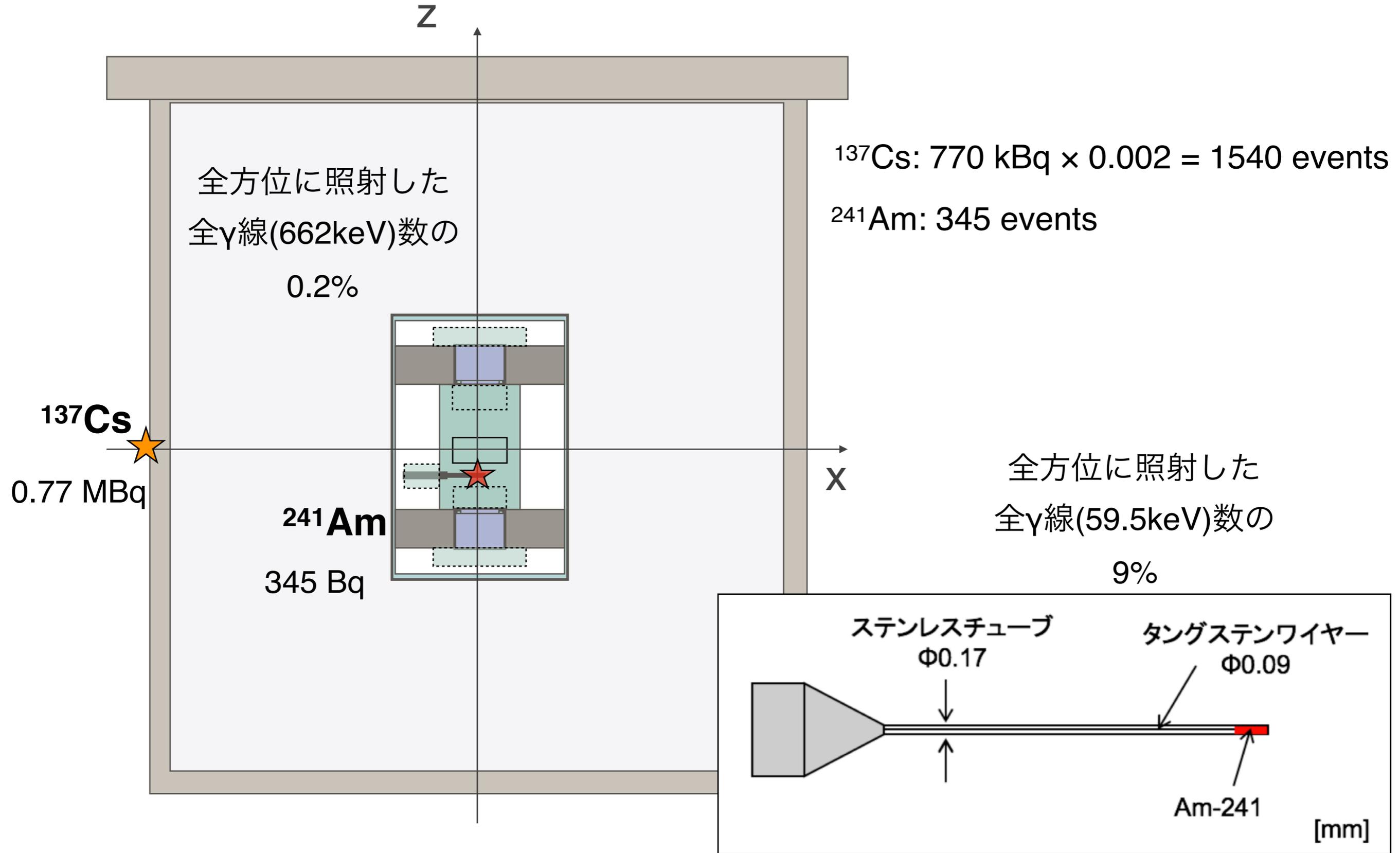
totalpe0



gen_ene:totalpe0



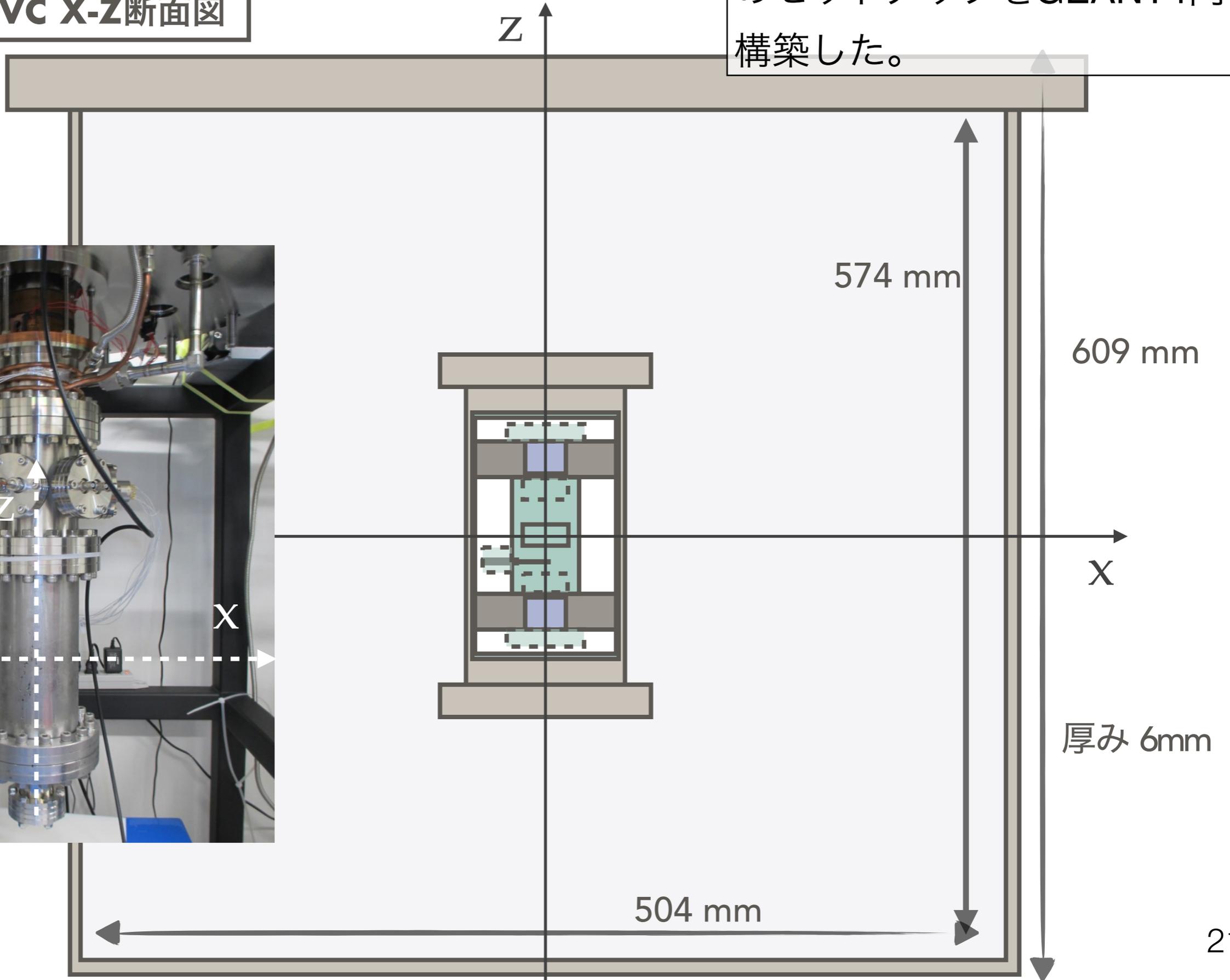
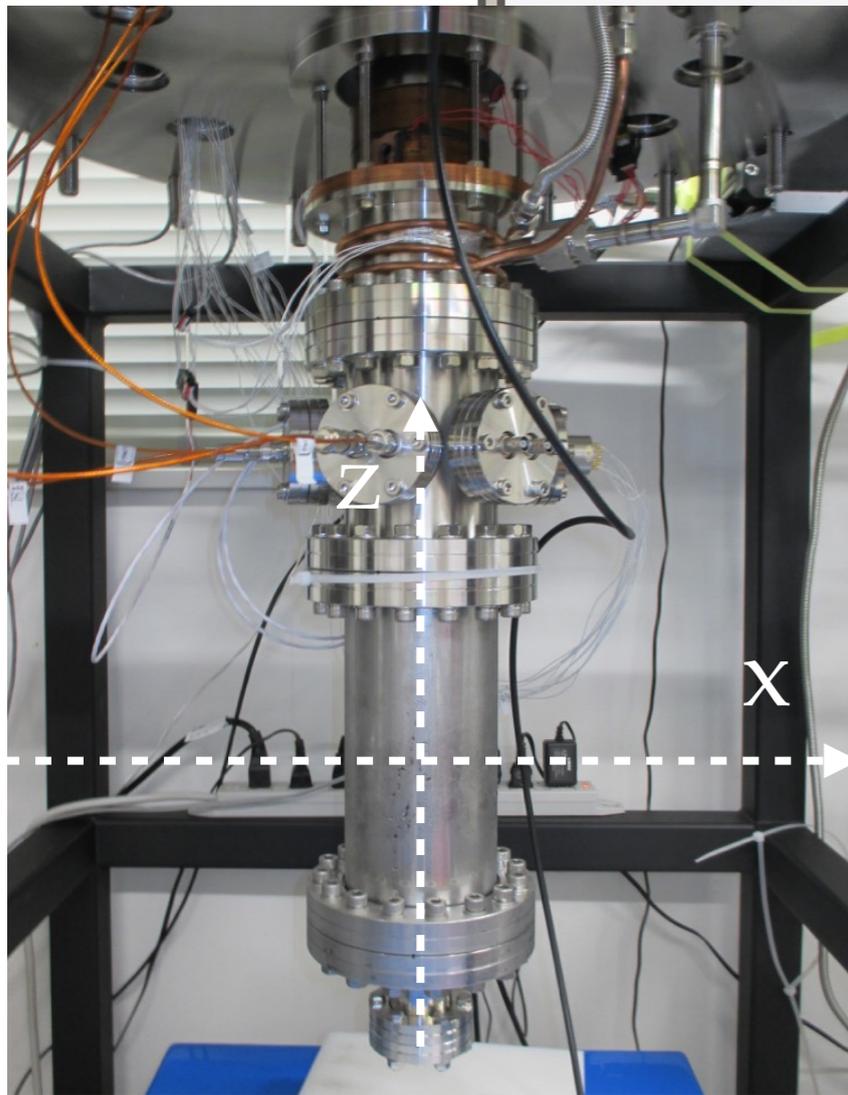
線源の情報

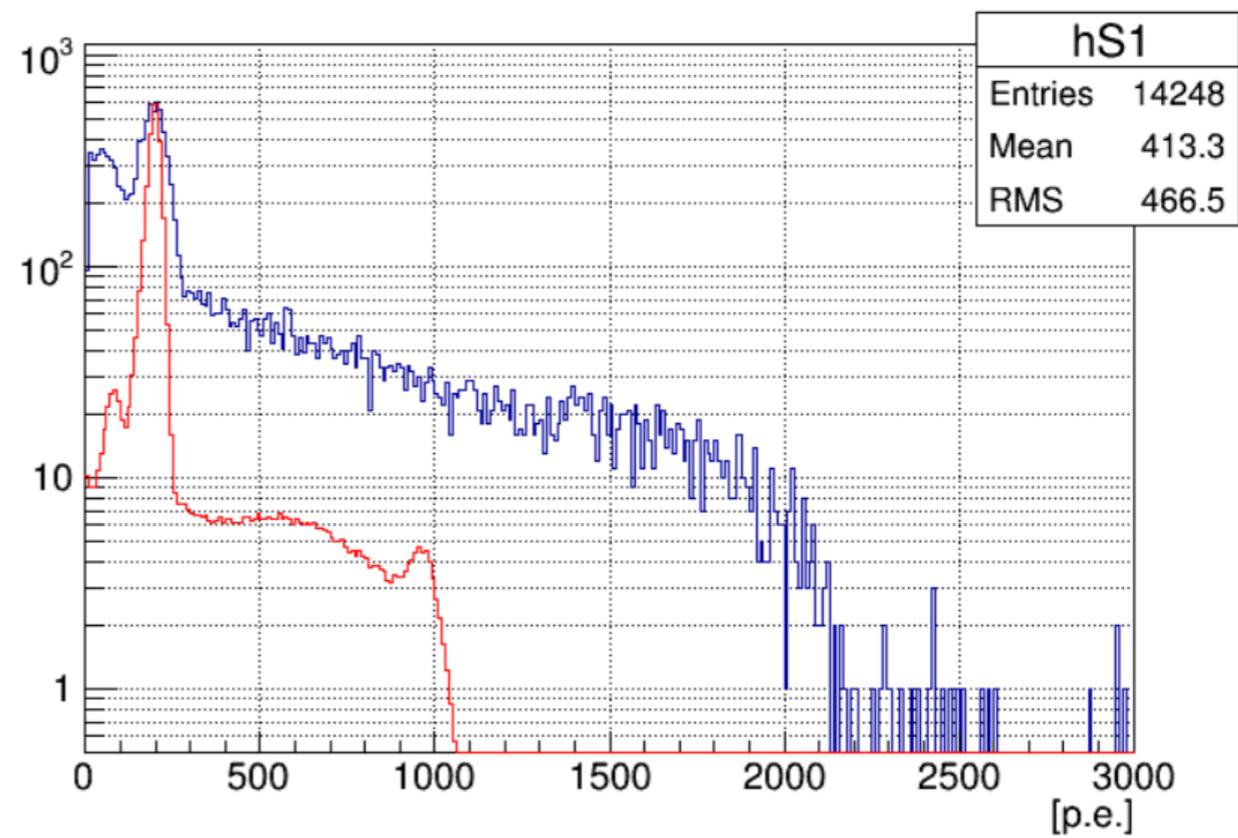
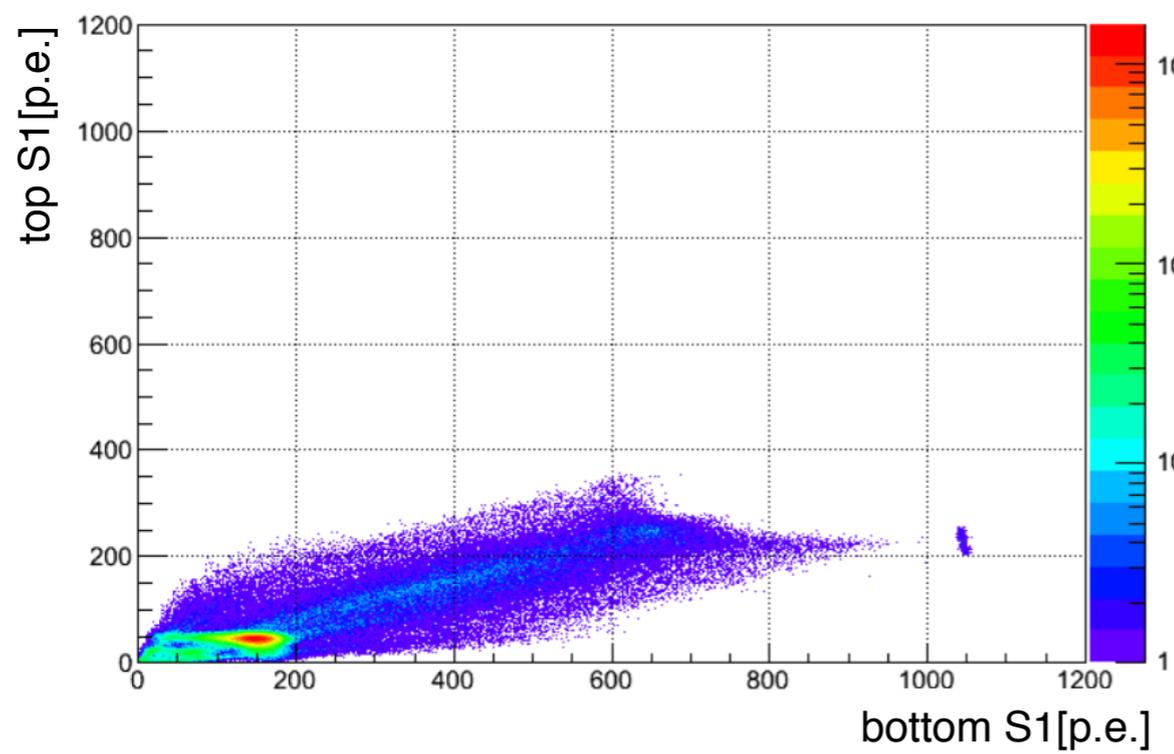
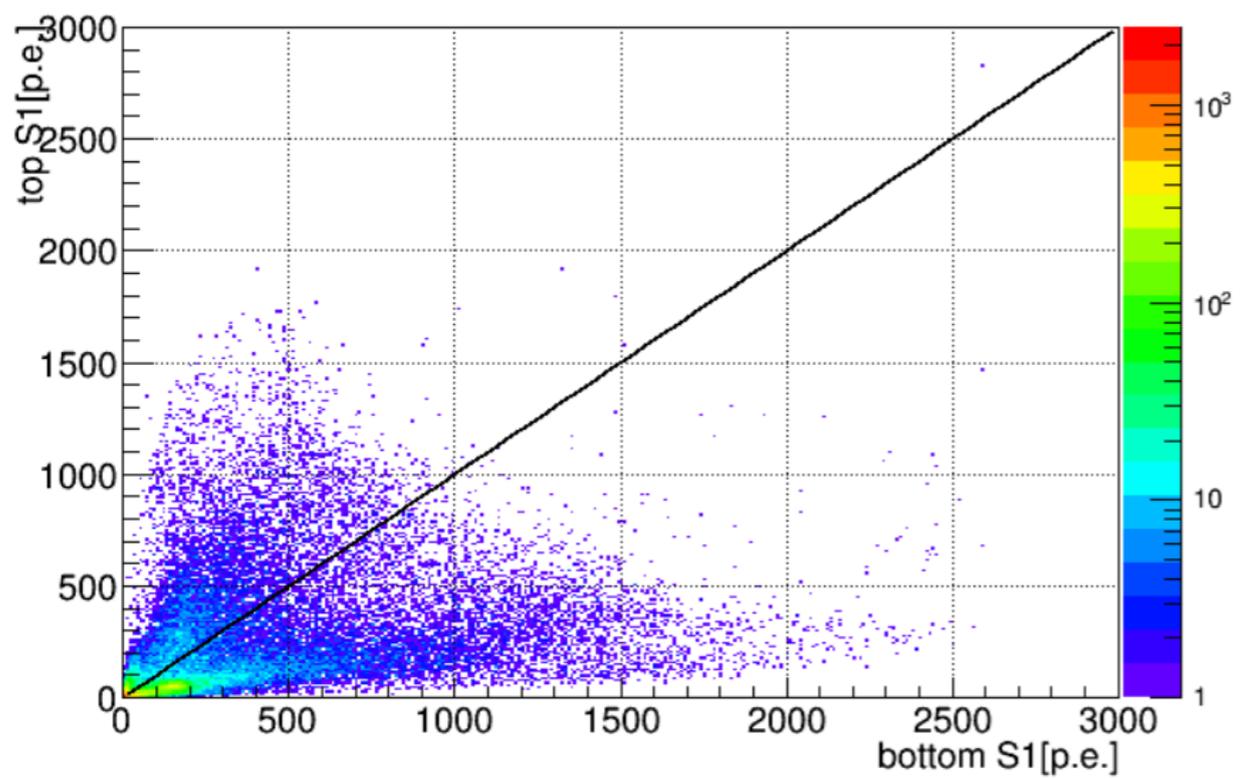


テストベンチのセットアップ

2017年8月に行われた実験のセットアップをGEANT4内で構築した。

OVC X-Z断面図





^{241}Am Scatter Plot

