

進捗報告

2014/08/16-22

今週の仕事成果

- MPPC: S125752-100P x10 Calibration pp2-6
- PMT: H11934-200 Calibration pp7-12
- GSO シンチレータを用いたガンマ線エネルギー分布測定 pp13-16

今週の仕事(途中経過)

- 千葉大大学院博士後期課程入試用スライド製作
- 宇宙線を用いたWLSF+MPPC読出型ACの性能評価測定 pp17-19

来週の仕事 pp20

MPPC (multi-pixel photon counter)

S12572-025, -050, -100C/P

Structure

Parameter	Symbol	S12572						Unit
		-025C	-050C	-100C	-025P	-050P	-100P	
Effective photosensitive area	-	3 × 3			3 × 3			mm
Pixel pitch	-	25	50	100	25	50	100	μm
Number of pixels	-	14400	3600	900	14400	3600	900	-
Geometrical fill factor	-	65	62	78	65	62	78	%
Package	-	Ceramic			Surface mount type			-
Window	-	Epoxy resin			Epoxy resin			-
Window refractive index	-	1.59			1.55			-

Absolute maximum ratings

Parameter	Symbol	S12572						Unit
		-025C	-050C	-100C	-025P	-050P	-100P	
Operating temperature ^{*1}	T _{opr}	-20 to +40			0 to +40			°C
Storage temperature ^{*2}	T _{stg}	-20 to +60			-20 to +60			°C
Reflow soldering conditions ^{*2}	T _{sol}	-			Peak temperature: 240 °C, twice (see P.6)			-
Soldering conditions	-	350 °C max., once, 3 s max. ^{*3}						-

*1: No condensation

*2: JEDEC level 5a

*3: At least 1 mm away from lead root

Note: Exceeding the absolute maximum ratings even momentarily may cause a drop in product quality. Always be sure to use the product within the absolute maximum ratings.

Electrical and optical characteristics (Typ. T_a=25 °C, unless otherwise noted)

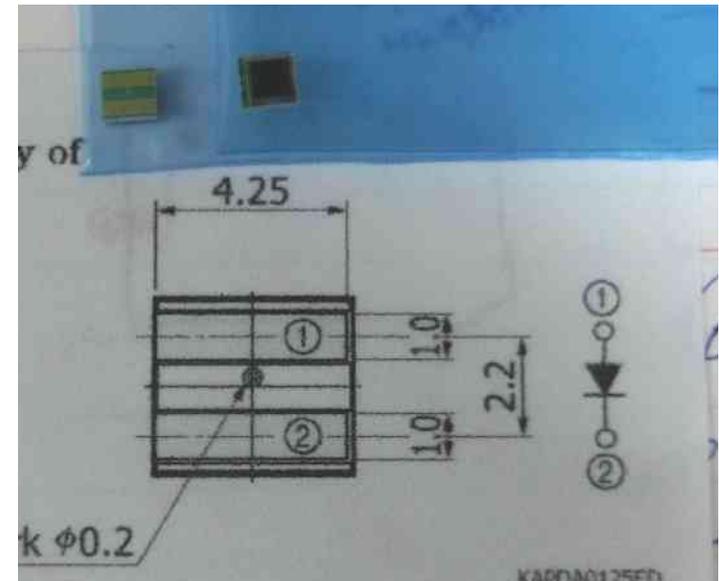
Parameter	Symbol	S12572						Unit
		-025C	-050C	-100C	-025P	-050P	-100P	
Spectral response range	λ	320 to 900			320 to 900			nm
Peak sensitivity wavelength	λ _p	450			450			nm
Photon detection efficiency (λ=λ _p) ^{*4}	PDE	35			35			%
Dark count ^{*5}	Typ.	1000			1000			kcps
	Max.	2000			2000			
Time resolution (FWHM) ^{*6}	-	250	250	300	250	250	300	ps
Terminal capacitance	C _t	320						pF
Gain	M	5.15 × 10 ⁵	1.25 × 10 ⁶	2.8 × 10 ⁶	5.15 × 10 ⁵	1.25 × 10 ⁶	2.8 × 10 ⁶	-
Gain temperature coefficient	ΔT _M	8.2 × 10 ³	2.7 × 10 ⁴	1.2 × 10 ⁵	8.2 × 10 ³	2.7 × 10 ⁴	1.2 × 10 ⁵	/°C
Breakdown voltage	V _{BR}	65 ± 10			65 ± 10			V
Recommended operating voltage	V _{op}	V _{BR} + 3.5	V _{BR} + 2.6	V _{BR} + 1.4	V _{BR} + 3.5	V _{BR} + 2.6	V _{BR} + 1.4	V
Temperature coefficient of recommended operating voltage	ΔT _{Vop}	60			60			mV/°C

*4: Photon detection efficiency does not include crosstalk or afterpulses.

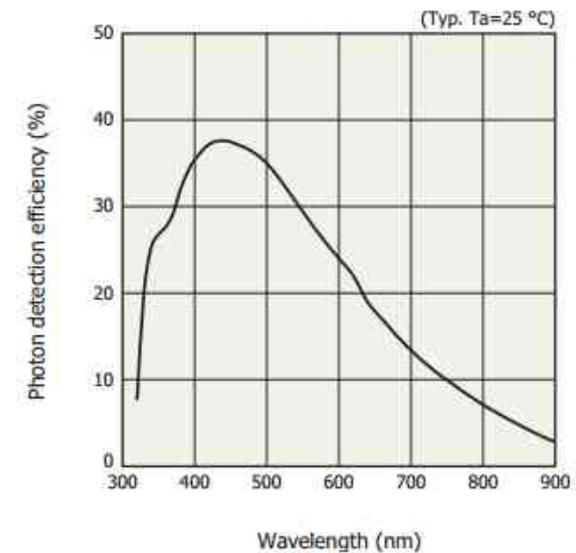
*5: Threshold=0.5 p.e.

*6: Single photon level

Note: The above characteristics were measured at the operating voltage that yields the gain listed in this catalog. (Refer to the data attached to each product.)
The last letter of each type number indicates the package type (C: ceramic, P: surface mount type).



S12572-100C/P (V_{op}=V_{BR} + 1.4 V)

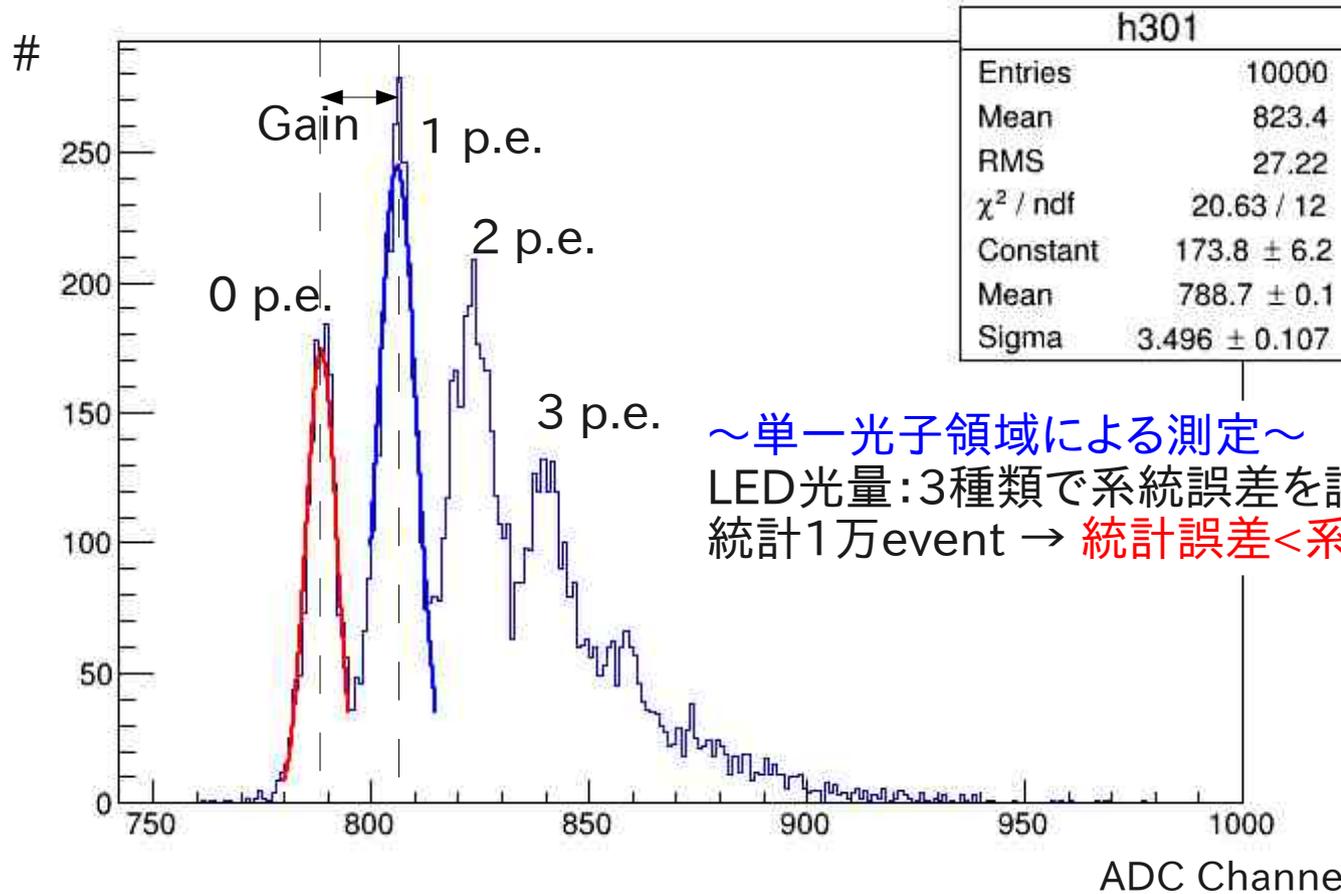


Photon detection efficiency does not include crosstalk or afterpulses.

MPPC ADC Distribution

LED光量 1.88 p.e.相当
MPPC印加電圧65.32V

h301



～単一光子領域による測定～
LED光量:3種類で系統誤差を評価
統計1万event → 統計誤差<系統誤差

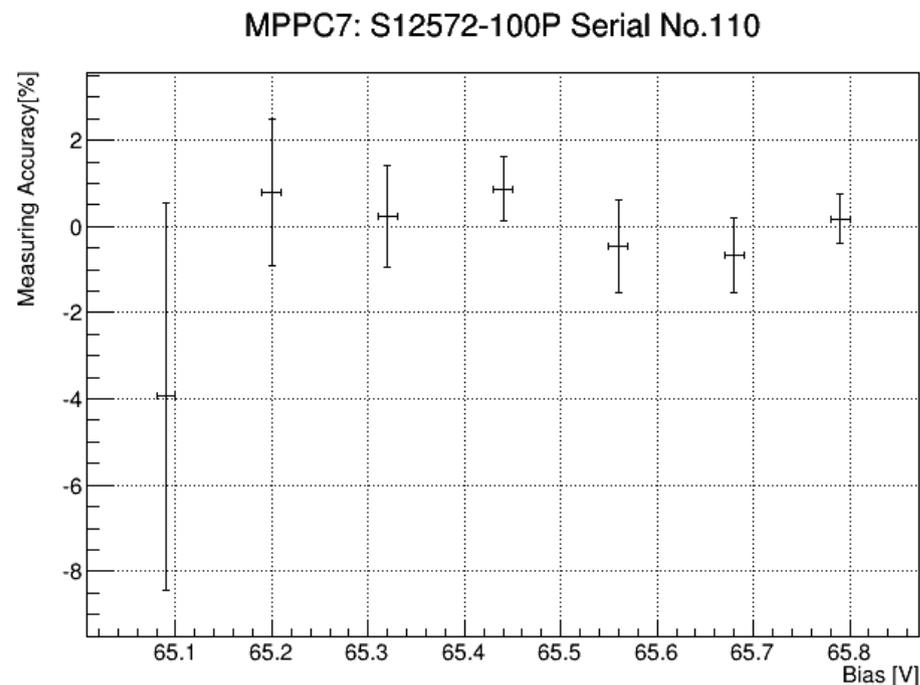
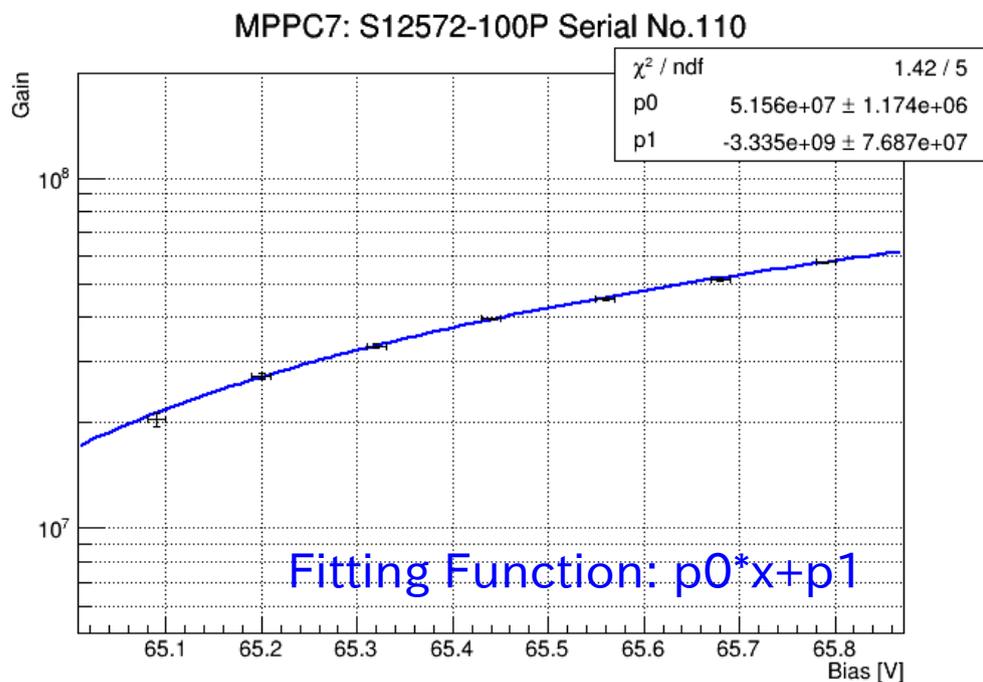
～増幅率(gain): μ (V)の求め方～

$$\mu \text{ (V)} = \frac{(M - M_p) \times 0.25 \text{ [pC]}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ [C]}}$$

M: Mean of 1 p.e. peak
 M_p : Mean of 0 p.e. peak

注意:これはCAMAC ADCにおける増幅率計算方法で、EASIROCの場合ではただの無次元量ではない。

HV-Gain曲線



HV	Gain	error_stat	error_sys
65.09	2.04E+07	1.31E+05	9.54E+05
65.20	2.71E+07	1.28E+05	4.58E+05
65.32	3.32E+07	1.21E+05	3.87E+05
65.44	3.96E+07	1.27E+05	2.92E+05
65.56	4.53E+07	1.37E+05	4.90E+05
65.68	5.13E+07	1.48E+05	4.46E+05
65.79	5.74E+07	1.69E+05	3.24E+05

測定精度: 10%未満
 誤差は3回の系統誤差が支配的
 系統誤差 0 p.e. と 1 p.e. の揺らぎ和

$$\text{error_sys} = \sigma_{0\text{p.e.}} + \sigma_{1\text{p.e.}}$$

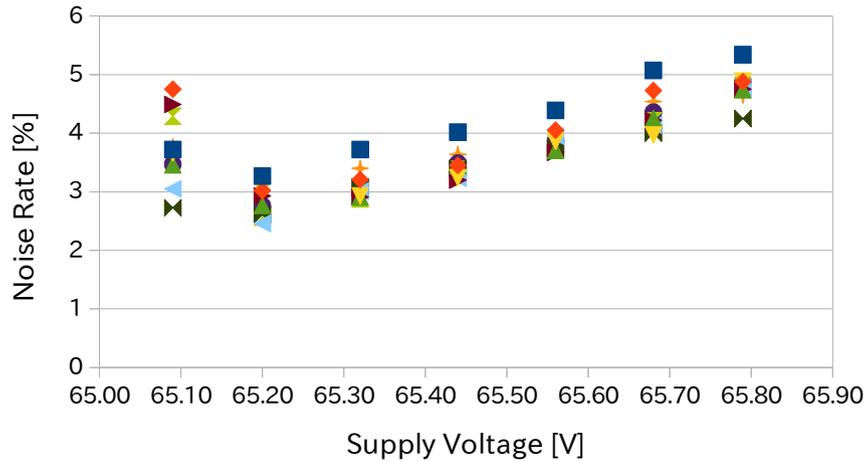
統計誤差:

$$\text{error_stat} = \sigma / \sqrt{\text{sart}(\text{event})}$$

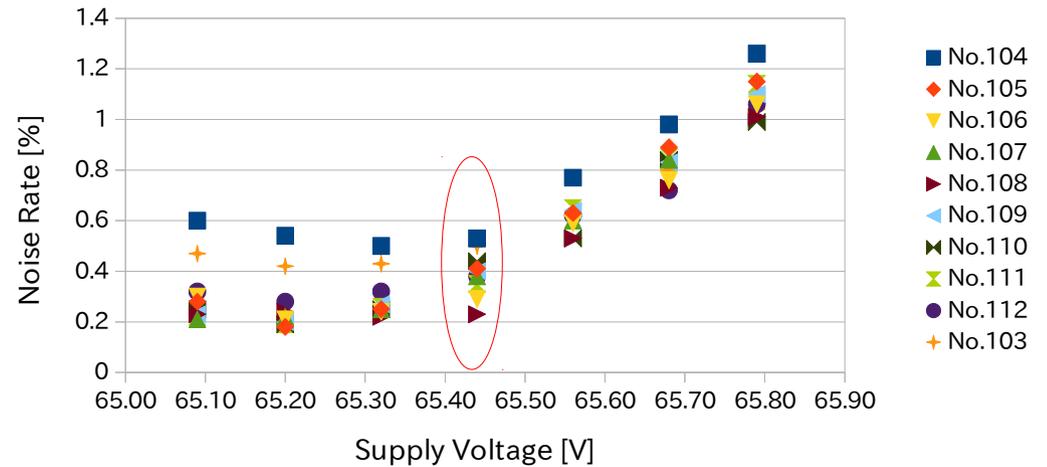
EASIROCモジュール内のamprifierを考慮するとカタログデータと矛盾しない。

Noise Ratio

MPPC Noise Rate 0.5 p.e threshold



MPPC Noise Rate 1.5 p.e. threshold



- 1 kHz パルスによるトリガーとのアクシデンタルコインシデンスでNoise Ratioを評価。
- 低電圧では0 p.e.の染み出しが効いてくる。
- 高電圧では印加電圧とノイズが直線性
- 1.5 p.e.でみて65.44Vの 때가適正と判断



ピークホールド型ADCはトリガーのwidthに依存しない。

まとめ

MPPCx10 Calibration

- HV-Gain曲線、Noise Ratioを評価
- Noise Rate 0.6%未満のためには印加電圧65.44V、1.5 p.e. thresholdが適正
- その時の増幅率： $\sim 4 \times 10^7$ (*)
- HV-Gain曲線測定精度：10-20%，高Gain時10%未満
- Gain評価の計算方法の改善

(*) コメント

EASIROCにアンプが入っているから、測定値がカタログと比べて1桁高いのが説明できる。

Noise Rate[Hz]とNoise Ratio [%]の違い。ADCの型の違い。ピークホールド型、積分型

～MPPCの他のパラメータ測定について～

- PDEのHV依存 … 量子効率の測定が波長依存で困難
- 時間分解能 … EASIROCモジュールのTDCが確立していない
- GainとNoiseの温度依存性 … 温度制御計が研究室にない

PMT Calibration H11934 -200

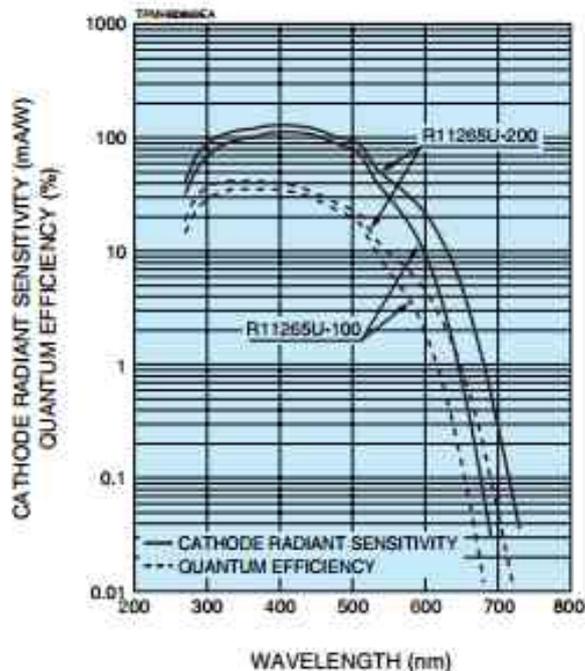


Left: R11265U series, Right: H11934 series

Type No.	Spectral Response		Photo-cathode Material	Window Material	Dynode Structure / Stages	Maximum Ratings		Cathode Characteristics					Anode to Cathode Supply Voltage (V)
	Range (nm)	Peak Wavelength (nm)				Supply Voltage Between Anode and Cathode (V)	Average Anode Output Current in Total (mA)	Luminous		Blue Sensitivity Index (CS 5-58) Typ.	Quantum Efficiency (%)	Radiant	
								Min. (μA/lm)	Typ. (μA/lm)				
R11265U-100	300 to 650	400	SBA	K	MC/12	-1000	0.1	75	95	13.5	35	110	-900
R11265U-200	300 to 650	400	UBA	K	MC/12	-1000	0.1	75	120	15.5	43	130	-900
H11934-100	300 to 650	400	SBA	K	MC/12	-1000	0.018	75	95	13.5	35	110	-900
H11934-200	300 to 650	400	UBA	K	MC/12	-1000	0.018	75	120	15.5	43	130	-900
H11934-100-10	300 to 650	400	SBA	K	MC/12	-1000	0.018	75	95	13.5	35	110	-900
H11934-200-10	300 to 650	400	UBA	K	MC/12	-1000	0.018	75	120	15.5	43	130	-900

NOTE: (A) SBA: Super bialkali, UBA: Ultra bialkali (B) K: Borosilicate glass (C) MC: Metal channel
 (D) Quantum efficiency is measured at the peak sensitivity wavelength (350 nm).
 (E) Cathode radiant sensitivity is measured at the peak sensitivity wavelength (400 nm).

Figure 1: Typical Spectral Response



Luminous		Gain Typ.	Dark Current (After 30 min)		Time Response			Pulse Linearity		Operating Ambient Temperature (°C)	Storage Temperature (°C)	Type No.
Min. (A/lm)	Typ. (A/lm)		Typ. (nA)	Max. (nA)	Rise Time Typ. (ns)	Transit Time Typ. (ns)	T.T.S. Typ. (ns)	±2 % Deviation (mA)	±5 % Deviation (mA)			
15 (10)	80 (35)	8.4×10^5 (3.7×10^5)	2	20	1.3	5.8	0.27 (0.30)	20 (300)	60 (400)	-30 to +50	-30 to +50	R11265U-100
15 (10)	160 (60)	1.3×10^6 (5.0×10^5)	2	20				20 (300)	60 (400)			R11265U-200
15 (10)	80 (35)	8.4×10^5 (3.7×10^5)	2	20			0.27 (0.30)	20 (300)	60 (400)	0 to +50	-15 to +50	H11934-100
15 (10)	160 (60)	1.3×10^6 (5.0×10^5)	2	20								H11934-200
15 (10)	80 (35)	8.4×10^5 (3.7×10^5)	2	20							H11934-100-10	
15 (10)	160 (60)	1.3×10^6 (5.0×10^5)	2	20								H11934-200-10

(): Measured with the special voltage distribution ratio (Tapered Divider) shown below.

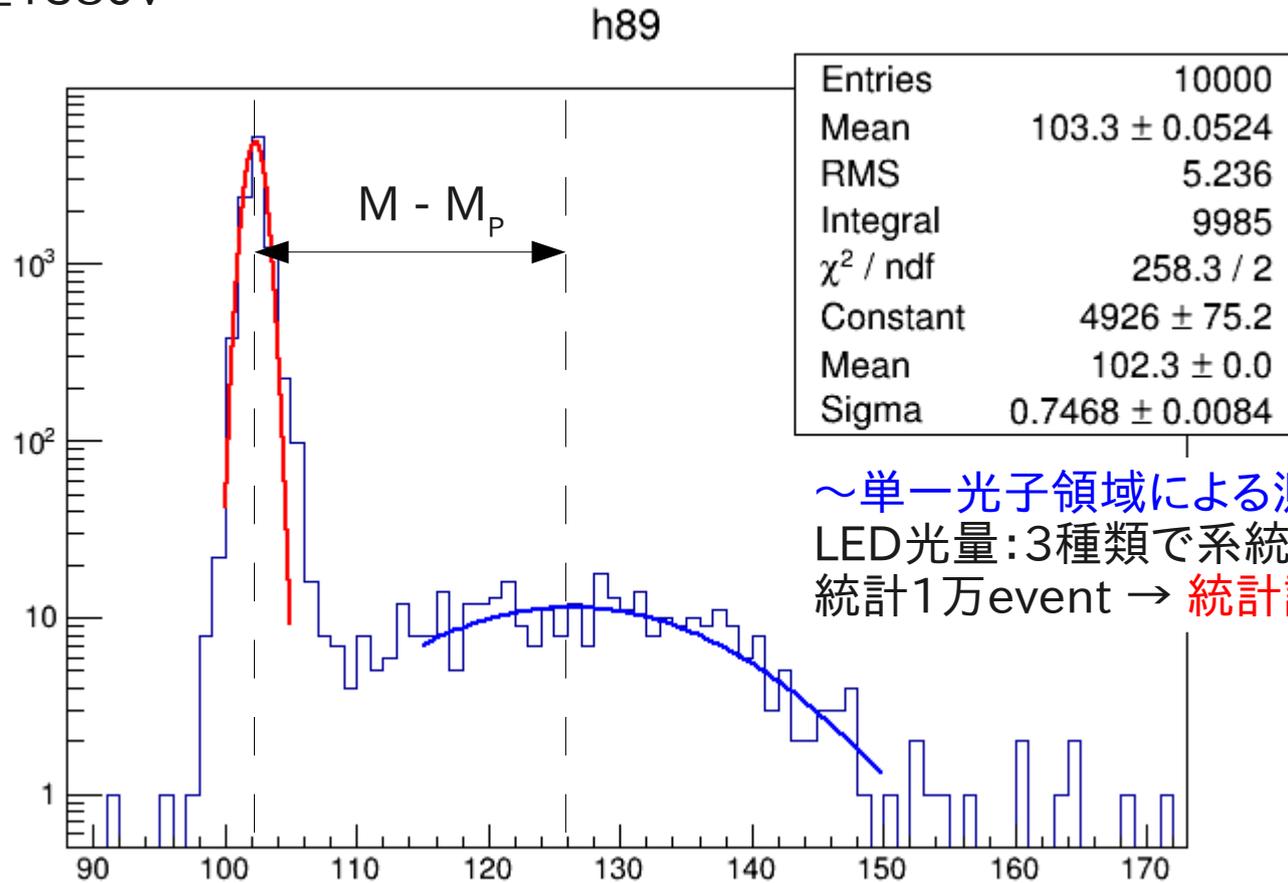
VOLTAGE DISTRIBUTION RATIO AND SUPPLY VOLTAGE

Electrodes	K	Dy1	Dy2	Dy3	Dy4	Dy5	Dy6	Dy7	Dy8	Dy9	Dy10	Dy11	Dy12	P
Standard Divider Type	2.5	1.3	0.8	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5
Tapered Divider Type	3.3	1.6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.7	1.3

Supply Voltage: -900 V, K: Cathode, Dy: Dynode, P: Anode

PMT ADC Distribution

LED光量 0.39 p.e.相当
PMT印加電圧1380V



～単一光子領域による測定～
LED光量:3種類で系統誤差を評価
統計1万event → 統計誤差<系統誤差

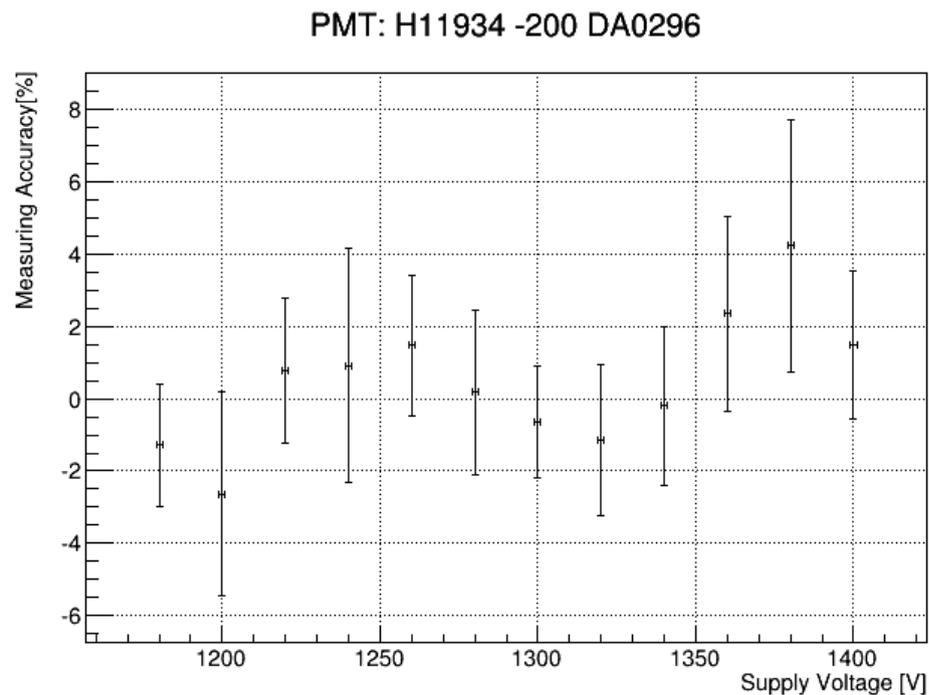
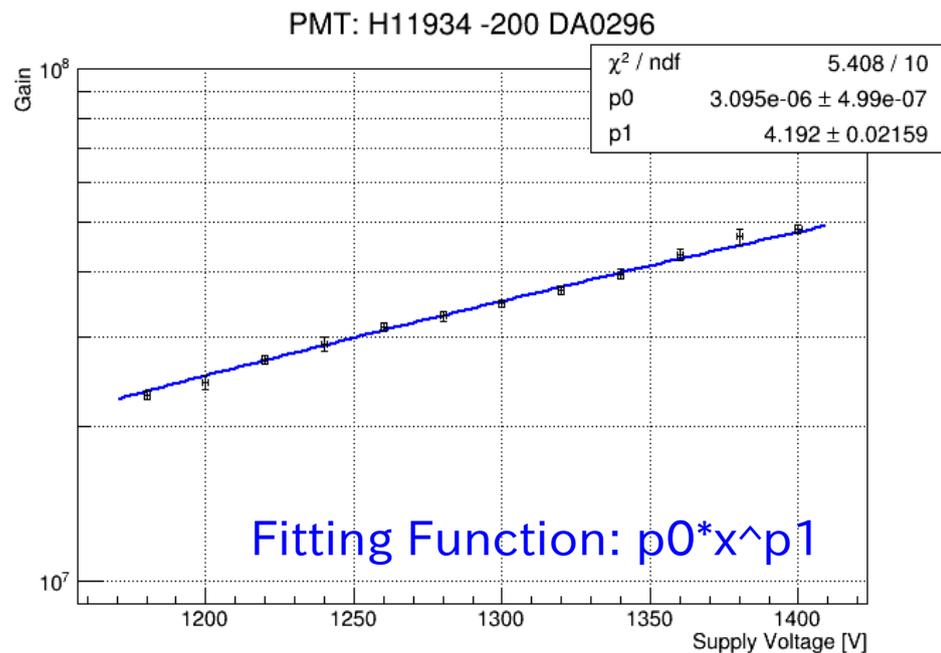
～増幅率(gain): μ (V)の求め方～

$$\mu \text{ (V)} = \frac{(M - M_p) \times 0.25 [\text{pC}]}{1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]}$$

M: Mean of 1 p.e. peak
M_p: Mean of 0 p.e. peak

ADC Channel

HV-Gain曲線



HV	Gain	error_stat	error_sys
1180	2.30E+07	1.06E+05	3.96E+05
1200	2.44E+07	1.09E+05	7.03E+05
1220	2.71E+07	1.30E+05	5.39E+05
1240	2.90E+07	1.25E+05	9.34E+05
1260	3.12E+07	1.29E+05	5.99E+05
1280	3.29E+07	1.31E+05	7.51E+05
1300	3.48E+07	1.33E+05	5.42E+05
1320	3.69E+07	1.38E+05	7.75E+05
1340	3.97E+07	1.45E+05	8.71E+05
1360	4.33E+07	1.61E+05	1.14E+06
1380	4.69E+07	1.72E+05	1.57E+06
1400	4.85E+07	1.81E+05	9.74E+05

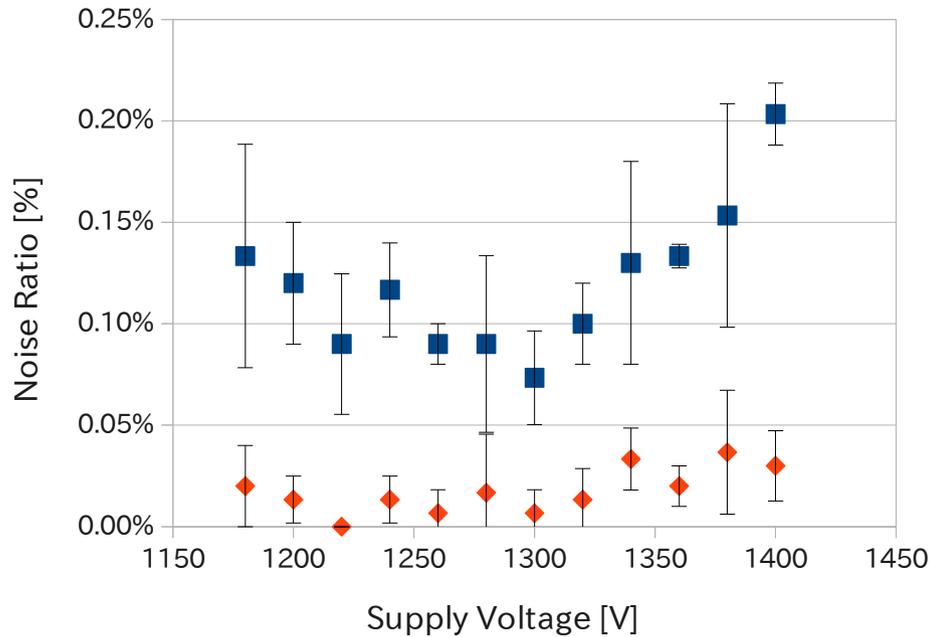
測定精度: 10%未満
 誤差は3回の系統誤差が支配的
 0 p.e. と1 p.e. の揺らぎ和を s として、

$$\text{error_sys} = \sigma_{0\text{p.e.}} + \sigma_{1\text{p.e.}}$$

統計誤差:

$$\text{error_stat} = \sigma / \sqrt{\text{sart}(\text{event})}$$

Noise Ratio

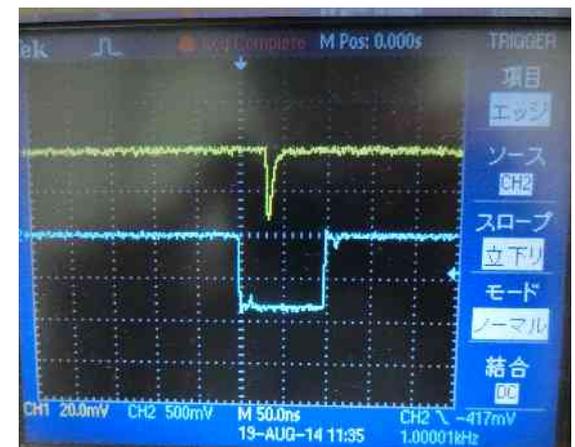


HV	Noise:0.5th	error	Noise:1.5th	error
1180	0.13%	0.06%	0.02%	0.02%
1200	0.12%	0.03%	0.01%	0.01%
1220	0.09%	0.03%	0.00%	0.00%
1240	0.12%	0.02%	0.01%	0.01%
1260	0.09%	0.01%	0.01%	0.01%
1280	0.09%	0.04%	0.02%	0.03%
1300	0.07%	0.02%	0.01%	0.01%
1320	0.10%	0.02%	0.01%	0.02%
1340	0.13%	0.05%	0.03%	0.02%
1360	0.13%	0.01%	0.02%	0.01%
1380	0.15%	0.06%	0.04%	0.03%
1400	0.20%	0.02%	0.03%	0.02%

- 1kHzパルスのアクシデンタルコインシデンスによってノイズレートを評価
- 印加電圧 1250V, threshold 0.5 p.e. において Noise Rate 0.5%未満を観測

$$\text{Rate} = \text{Ratio} \div \text{ADC Gate}[\text{ns}]$$

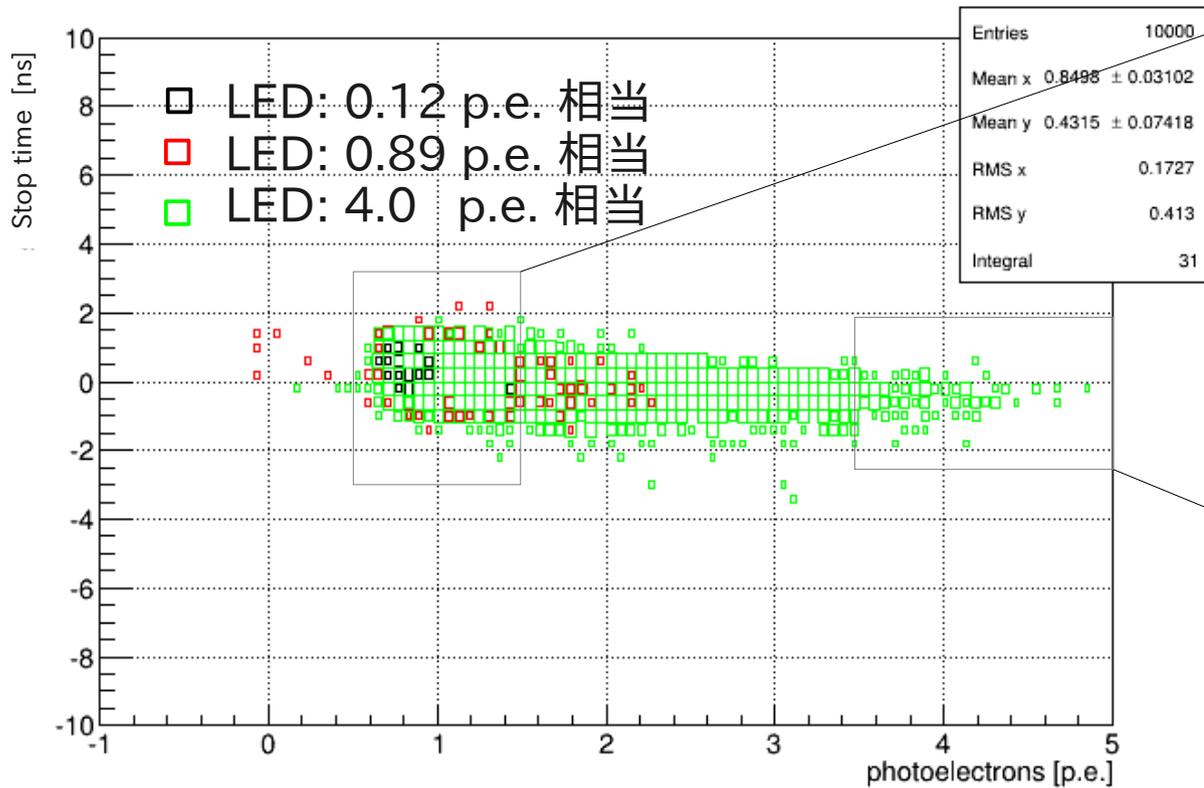
$$\sim 0.15 / 100 \text{ ns} = 15 \text{ kHz}$$



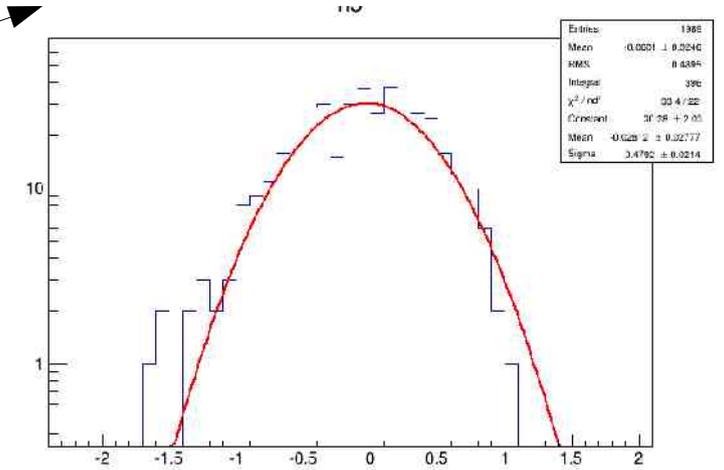
T.T.S.(Transit time Spread) 電子走行時間分布

印加電圧:1200V

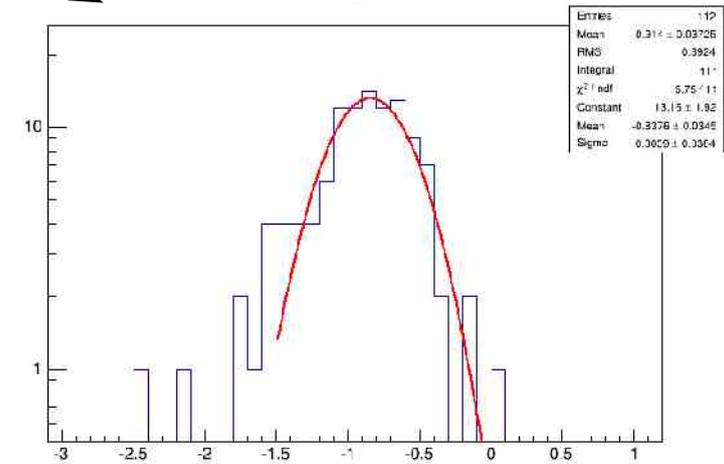
H11934 -200 D0296



Single Photon 時間分解能



時間分解能



ADC pedestalにおけるTDCはアンダー・オーバーフローしている。

Single photon 時間分解能: 479.2 ps
4 p.e. 以上: 303.9 ps
→ カタログデータに一致

まとめ

PMT: H11934 -200 Calibration

- HV-Gain曲線、Noise Ratio、時間分解能を評価
- 印加電圧1200 - 1340VではNoise Ratioは 0.1%未満
(Noise Rate 15 kHzに相当)
- その時の増幅率: $\sim 2.5 - 3.5 \times 10^7$
- HV-Gain曲線測定精度: 10%未満
- 時間分解能TTSはカタログデータに一致: 304 ps。Single photon countingにおけるTTSは479 ps

GSOシンチレータを用いたガンマ線エネルギー分布測定 セットアップ

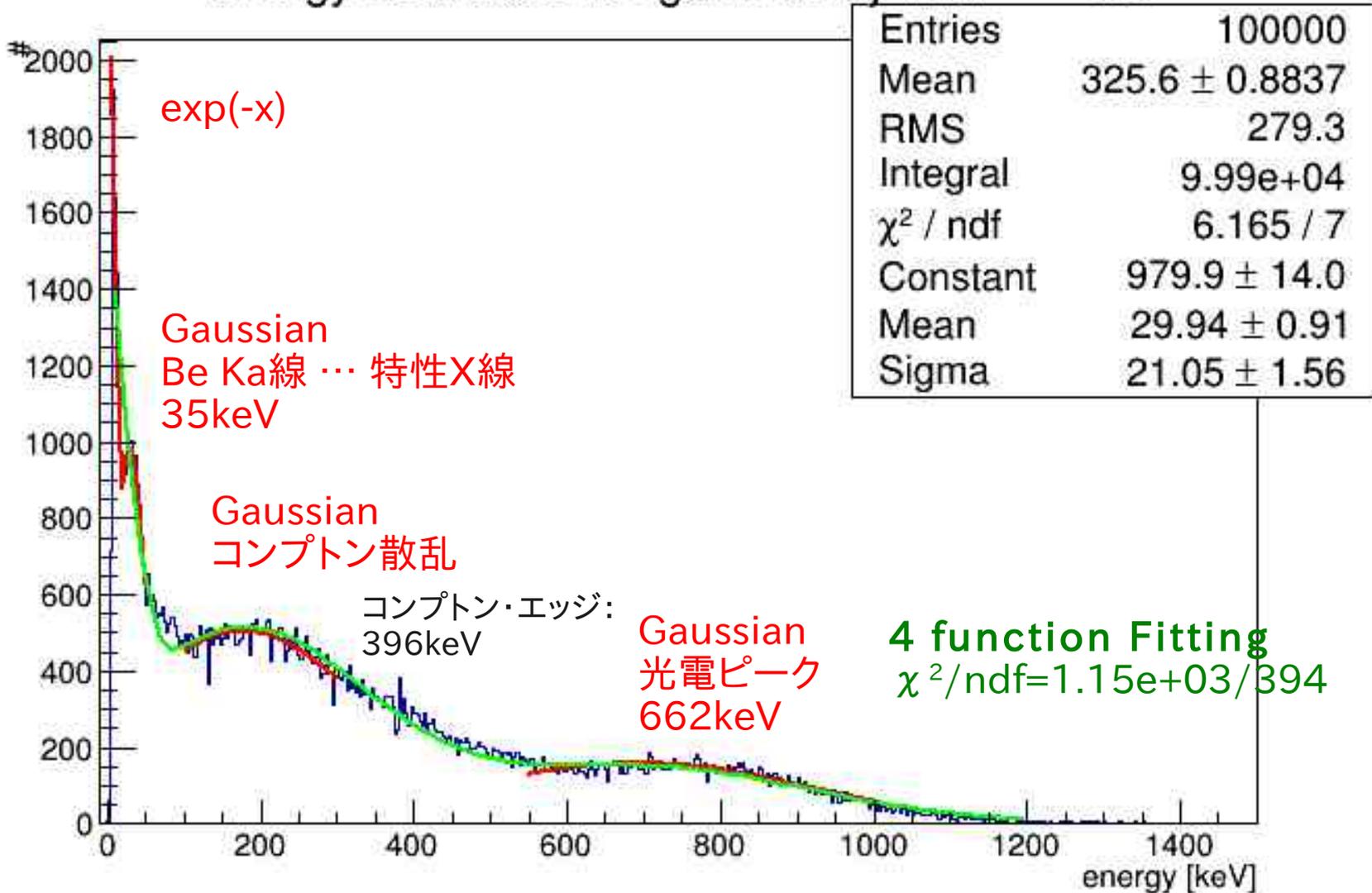


PMT:H11934-200
@1200V: gain 2.11E+07
Gamma-ray Source
 ^{137}Cs (662 keV)

GSO: CE0.4
Polished 3 faces
size: 48.0 x 24.0 x 2.6 mm³

GSOシンチレータを用いたガンマ線エネルギー分布測定 解析

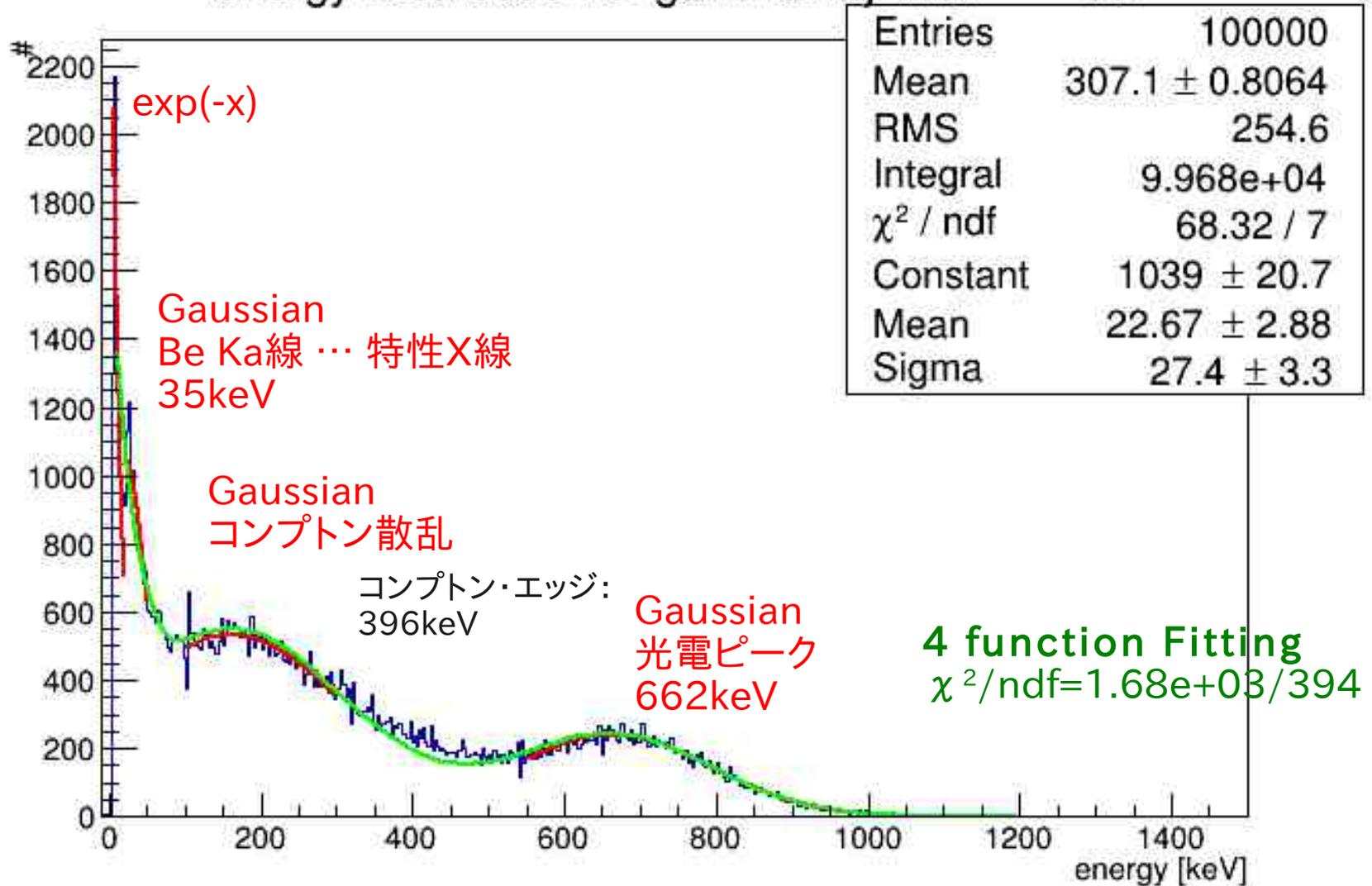
energy Distribution of gamma-ray with ^{137}Cs



GSOシンチレータを用いたガンマ線エネルギー分布測定 解析

GSOシンチ2枚

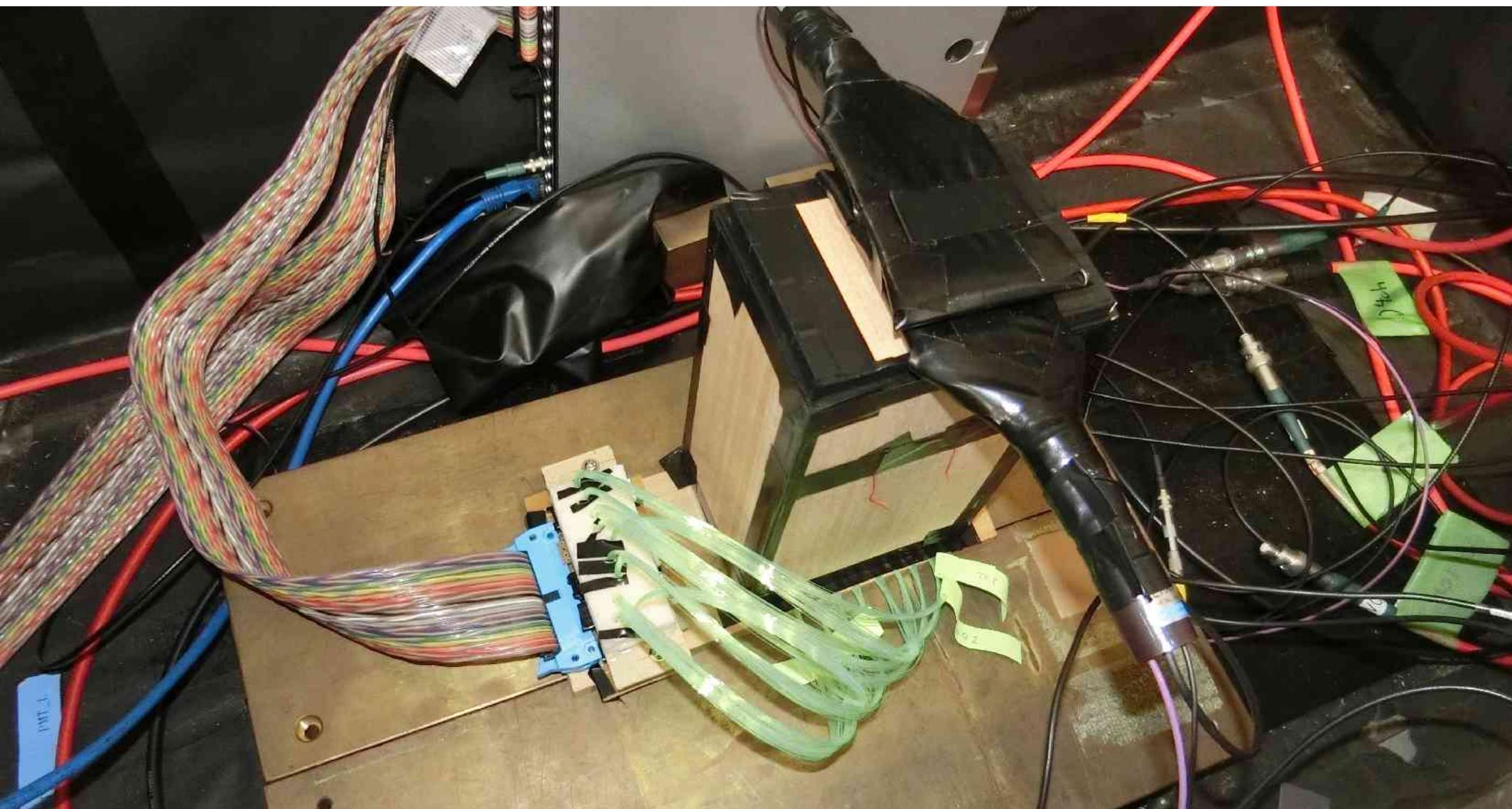
energy Distribution of gamma-ray with ^{137}Cs



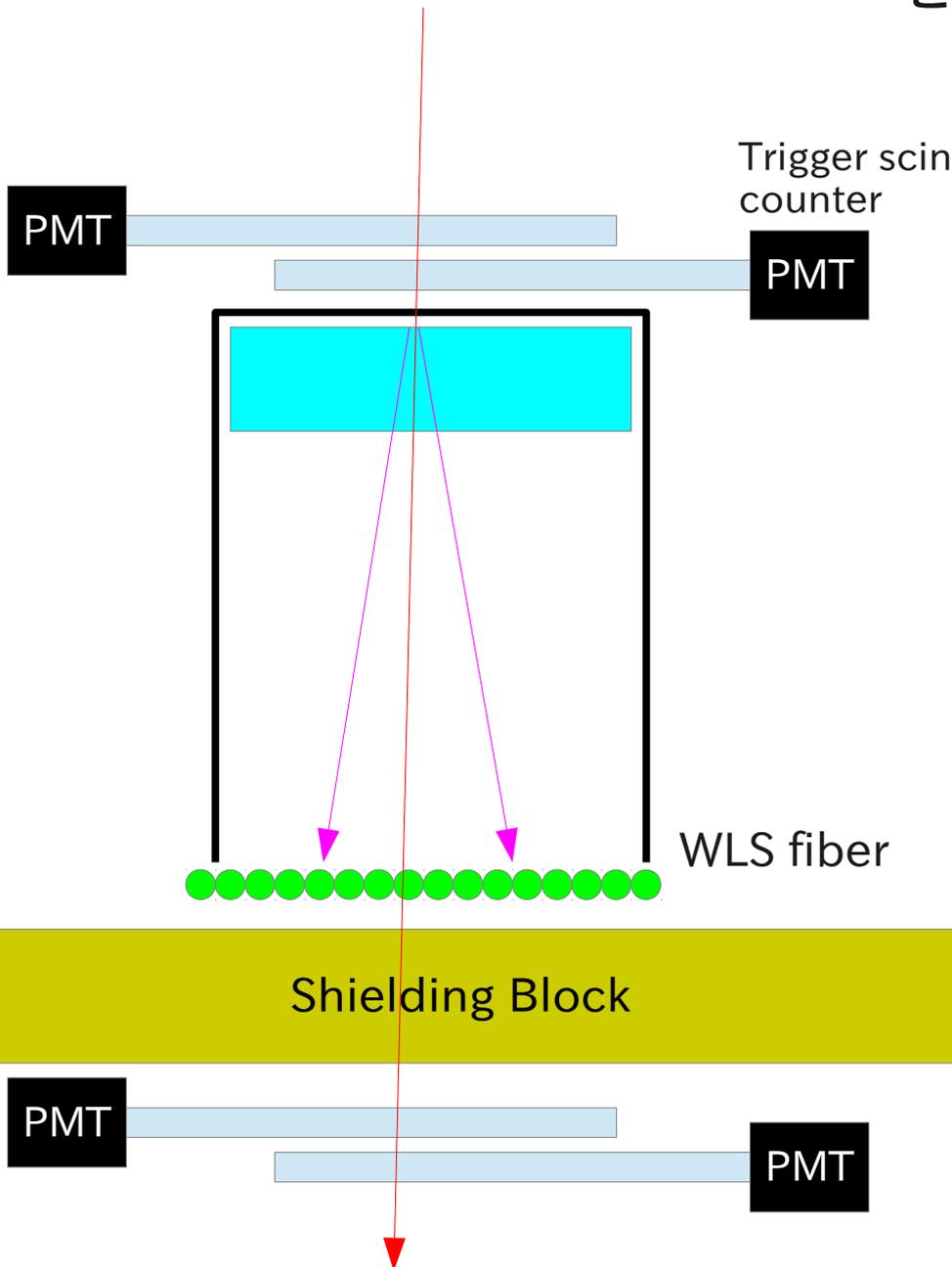
GSOシンチレータを用いたガンマ線エネルギー分布測定 考察・まとめ

- 一見訛ったエネルギー分布が得られたが、これは ^{137}Cs 線源の最大1174keVの β 線を含んだエネルギー分布を測定しているからである。662keVの光電ピークは $\gamma + \beta$ と最大1174keVの β で底上げされている。
- ペDESTALに見えるものは、 γ のコンプトン散乱で電子とかすったイベント、 β がシンチにかすったイベントが主。
- GSOを2枚重ねたら、光電ピークのイベントが向上した。 γ 線の吸収確率は物質質量に依存していることを確認できた。1枚だと結構 γ は抜けるのだろう。
- 遮蔽もしくは、距離を取ることによって、 β 線のいないデータが得られる。

宇宙線を用いたWLSF+MPPC読出型ACの性能評価測定 セットアップ



宇宙線を用いたWLSF+MPPC読出型ACの性能評価測定 セットアップ



Trigger scintillation
counter

トリガー立体角: $(5 \times 5) \times 30 \text{ cm}^3$
 $\rightarrow 5^2 / (4\pi * 15^2) = 8.84 \times 10^{-3}$

MPPC x10

HV $65.44 \pm 0.01 \text{ V}$

PMT x4

HV $1200 \pm 1 \text{ V}$

Aerogel x1: $n=1.045$, TL = 38.0 mm

WLS fiber: Y-11シート 1層



宇宙線を用いたWLSF+MPPC読出型ACの性能評価測定 まとめ

- 新着情報

2014.8/21 セットアップ

2014.8/22 データ収集開始

- モチベーション

E36 AC2 … 低コスト、大面積

FOREST AC … 大面積、薄型、低密度、狭い配線

世界初WLSFによるチェレンコフリング観測

来週のスケジュール
2014.08/25 - 29

8/26 … 千葉大学大学院入試試験本番
8/27 … NIRS PET実験室見学 with 新田さん

実験:

宇宙線を用いたWLSF+MPPC読出型ACの性能評価測定

エアロゲルあり・なしの結果をまとめて、E36 AC2開発としてTREKグループにプレゼンを用意。8/28(木)に間に合わせる。物理学会で発表してもいいか聞く。

モノ作り:

FLa44製作 … Y-11 縦1横1=2層、32port、 $32*16*2=1024$ 本切り出し

データシート化

MPPC100個入荷 → 32CH読み出し回路製作

Backup

MPPC HV-Gain曲線とNoise Ratioのリスト

HV-Gain曲線

Gain(x10⁷)

HV(V)	No.104	No.105	No.106	No.107	No.108	No.109	No.110	No.111	No.112	No.103
65.09	2.23±0.02	1.77±0.04	1.85±0.04	2.15±0.04	1.79±0.01	2.06±0.07	2.04±0.10	2.04±0.02	1.91±0.04	2.17±0.01
65.20	2.85±0.03	2.53±0.01	2.57±0.04	2.79±0.03	2.40±0.01	2.70±0.03	2.71±0.05	2.75±0.12	2.68±0.07	2.88±0.08
65.32	3.51±0.01	3.18±0.05	3.22±0.03	3.35±0.05	3.05±0.01	3.29±0.02	3.32±0.04	3.41±0.15	3.27±0.02	3.48±0.02
65.44	4.15±0.17	3.83±0.13	3.85±0.01	3.94±0.03	3.69±0.04	3.94±0.03	3.96±0.03	3.94±0.15	3.92±0.05	4.19±0.17
65.56	4.60±0.09	4.33±0.08	4.45±0.12	4.56±0.02	4.28±0.07	4.51±0.13	4.53±0.05	4.56±0.03	4.45±0.07	4.77±0.07
65.68	5.06±0.11	5.06±0.18	5.02±0.08	5.14±0.08	4.99±0.08	5.12±0.04	5.13±0.04	5.18±0.09	5.10±0.04	5.21±0.12
65.79	5.77±0.19	5.50±0.10	5.56±0.07	5.72±0.15	5.45±0.06	5.76±0.08	5.74±0.03	5.84±0.37	5.66±0.03	5.85±0.13

Noise Ratio

Noise Rate(%)

HV(V)	No.104		No.105		No.106		No.107		No.108	
	0.5 p.e. th.	1.5 p.e. th.								
65.09	3.72±0.05	0.60±0.04	4.75±0.18	0.28±0.06	3.66±0.16	0.30±0.03	3.46±0.06	0.21±0.07	4.49±0.20	0.23±0.03
65.20	3.27±0.37	0.54±0.13	3.02±0.03	0.18±0.02	3.05±0.19	0.21±0.03	2.77±0.11	0.22±0.03	2.93±0.10	0.24±0.07
65.32	3.72±0.20	0.50±0.04	3.21±0.15	0.25±0.07	2.93±0.13	0.24±0.05	2.91±0.27	0.25±0.03	2.91±0.12	0.22±0.02
65.44	4.02±0.41	0.53±0.05	3.45±0.12	0.41±0.04	3.24±0.20	0.29±0.02	3.45±0.22	0.38±0.03	3.20±0.20	0.23±0.06
65.56	4.39±0.20	0.77±0.02	4.05±0.33	0.63±0.12	3.86±0.19	0.59±0.03	3.71±0.08	0.60±0.04	3.67±0.21	0.53±0.10
65.68	5.07±0.15	0.98±0.11	4.73±0.16	0.89±0.09	3.97±0.25	0.76±0.10	4.25±0.06	0.84±0.11	4.22±0.24	0.73±0.05
65.79	5.34±0.04	1.26±0.09	4.88±0.19	1.15±0.15	4.89±0.14	1.06±0.01	4.74±0.06	1.26±0.04	4.75±0.33	1.01±0.18

HV(V)	No.109		No.110		No.111		No.112		No.103	
	0.5 p.e. th.	1.5 p.e. th.								
65.09	3.05±0.43	0.23±0.07	2.73±0.14	0.25±0.02	4.29±0.40	0.22±0.04	3.47±0.20	0.32±0.04	3.77±0.09	0.47±0.03
65.20	2.46±0.13	0.20±0.07	2.61±0.11	0.19±0.03	2.57±0.24	0.19±0.02	2.76±0.20	0.28±0.01	3.16±0.18	0.42±0.14
65.32	3.01±0.15	0.27±0.10	3.08±0.15	0.25±0.06	2.88±0.29	0.26±0.10	2.98±0.09	0.32±0.03	3.40±0.07	0.43±0.06
65.44	3.23±0.14	0.40±0.04	3.40±0.25	0.44±0.05	3.38±0.17	0.35±0.05	3.49±0.02	0.38±0.08	3.64±0.12	0.50±0.05
65.56	3.95±0.16	0.64±0.08	3.74±0.08	0.53±0.06	3.85±0.15	0.65±0.09	3.88±0.17	0.62±0.11	4.05±0.20	0.63±0.09
65.68	4.14±0.11	0.83±0.09	4.00±0.19	0.84±0.10	4.21±0.16	0.85±0.03	4.36±0.17	0.72±0.18	4.54±0.29	0.80±0.13
65.79	4.77±0.32	1.10±0.09	4.25±0.26	0.99±0.15	4.80±0.43	1.14±0.06	4.88±0.18	1.06±0.07	4.65±0.30	1.04±0.12

GSOシンチレータ



特徴

GSO: Ce-doped Gd_2SiO_5

早い減衰時間

高密度

TOF-PETに応用

GSO Scintillator
@Hitachi Chemical Co. Ltd.

Crystal Scintillators	GSO	BGO	LSO	YSO	YAP	CWO	NaI(Tl)
Density (g/cm ³)	6.71	7.13	7.4	4.45	5.55	7.9	3.67
Radiation length (cm)	1.38	1.11	1.14	2.75	2.67	1.06	2.6
Decay constant (ns)	30 - 60	300	40	280	28	5000	230
Light yield (relative)	20	7 - 12	40 - 75	30 - 45	40	30 - 40	100
Peak emission λ_{em} (nm)	430	480	420	347	347	480	415
Index of refraction (at)	1.85	2.15	1.82	1.94	1.94	2.25	1.85
Radiation hardness (gray)	106	102-3	105	104	104	103	10
Hygroscopicity	no	no	no	no	no	no	Strong
Melting point (°C)	1950	1050	2050	1980	1850	1300	651