

光電子増倍管の性能試験測定

1. はじめに

RTSC-A の宇宙線除去装置に搭載する光電子増倍管(PMT)は1辺 23 mm のウルトラバイアルカリ光電面を持つ H11934-200 (H11265-200 のアセンブリ)が採用された。シリアル番号 DA1407 が 2016 年 8 月 26 日に千葉大に納品され、同月末に測定した。本稿は LED を用いた性能試験測定の結果を示す。浜松ホトニクスが公称する仕様と比較し、性能の妥当性及び使用するにあたり光電子数の校正係数を決定する。また測定精度、熱雑音における性能を評価した。

Type No.	Spectral response		Photo-cathode material	Window material	Dynode structure / stages	Maximum ratings	Cathode characteristics						
	Range (nm)	Peak wavelength (nm)					Average anode output current (mA)	Luminous		Blue sensitivity index (CS 5-58) Typ.	Red/white ratio (R-68) Typ.	Quantum efficiency [Ⓓ] Typ. (%)	Radiant [Ⓔ] Typ. (mA/W)
								Min. (μA/lm)	Typ. (μA/lm)				
H11934-200	300 to 650	400	UBA	K	MC/12	-1000	0.018	90	135	15.5	—	43	130

Anode to cathode supply voltage (V)	Anode characteristics						Pulse linearity		Operating ambient temperature (°C)	Storage temperature (°C)	Type No.		
	Luminous		Gain Typ.	Dark current (After 30 min)		Time response						±2 % Deviation (mA)	±5 % Deviation (mA)
	Min. (A/lm)	Typ. (A/lm)		Typ. (nA)	Max. (nA)	Rise time (ns)	Transit time (ns)	T.T.S. (ns)					
-900	25	162	1.2 × 10 ⁶	2	20	1.3	5.8	0.27	20	60	H11934-200		

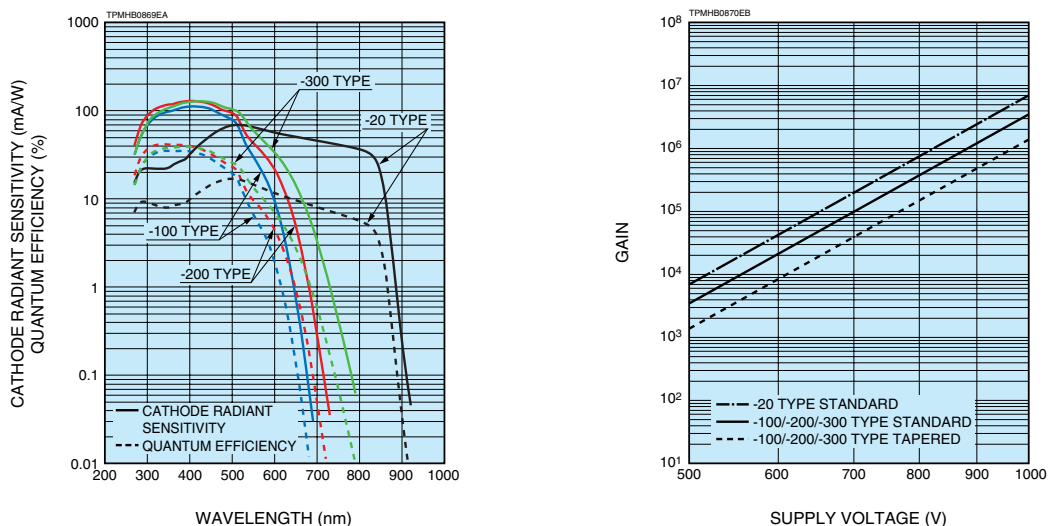


図 1. 浜松ホトニクス社が公称しているカタログデータ。

2. セットアップ

LED は 365 nm の波長を用いる。波形生成器(F.G.: Function Generator, Agilent 33250A)から 1 kHz のパルス電流(幅 30 ns, 電圧 2~3 V, 抵抗 50Ω)を LED に送り発光させる。同時に F.G.の sync から出力される TTL 規格の信号は TTL-NIM 変換器(カイズワークス社 KN206)を経由し NIM-Discriminator(テクノランド社 N-TM405)で波形整形され CAMAC ADC(豊伸電子社 C009)の Gate 端子に入力される。このとき Discr.の出力信号幅は 100 ns であった。PMT アノードからの信号は同軸ケーブルの遅延を用いて F.G.からのトリガー信号幅の範囲内に収まるように同期された。CAMAC ADC のアナログ入力端子に同期した PMT 信号を入力し、トリガー信号幅時刻だけの PMT 信号の電圧値を積分し電荷にして A/D 変換する。ADC の A/D 変換係数は事前に 0.264 pC/ADC と校正されている。

3. 結果

CAMAC ADC で取得した ADC 分布を図 2 に示す。青線が LED 発光時におけるヒストグラム、赤線は消灯時のヒストグラムをそれぞれ示す。単一光子領域では PMT からの信号は離散的なピーク構造を持ち、ちょうど 0 p.e. と 1 p.e. のそれぞれのピーク間隔が PMT の増幅率に相当する。増幅率 $\mu(V)$ は以下で表される。

$$\mu(V) = \frac{(M_1 - M_0)C_{ADC}}{|e|}$$

ここで e は素電荷 (1.603×10^{-19} C)、 C_{ADC} は ADC の変換係数、 M_i は光電子数 $i = 0, 1$ 相当のピーク値をそれぞれ示す。PMT の印加電圧はダイノードで分割されて光電面からの電子を加速し増倍させるため、増幅率は印加電圧に依存する傾向を持つ。その結果を図 3 と表 1 に示す。ダイノードで倍々と増加されることを考慮すると印加電圧に対して指数関数的に増幅されると考えられる。そこでフィット関数 $F(V) = \alpha V^\beta$ でフィットした結果、 $\alpha = (6.24 \pm 6.88) \times 10^{-7}$ 、 $\beta = 4.40 \pm 0.16$ 、 $\chi^2/NDF = 0.138/4$ が得られた。このフィット関数を起点に各観測値の精度は

$$d\mu/\mu = \frac{\mu(V) - F(V)}{F(V)},$$

で定義された。図 4 に示す通り $\pm 6\%$ 未満の測定精度が保証されていることが確認できた。 $\Delta V = 20 \pm 1$ V で印加電圧は 5% のデジタル表示の系統誤差があるため妥当性のある測定であった。光電子数を校正した分布において一般に 0.5 p.e. をしきい値にして検出効率を評価する。LED 消灯時の熱雑音頻度は図 2 の赤ヒストグラムの事象における内塗りされた領域 (> 0.5 p.e.) の事象の比として定義された。印加電圧に対して熱雑音が減少傾向を持つ結果が得られた (図 5)。しかしこれは経験から一般的ではなく、普通雑音と印加電圧は増加関係の傾向がある。おそらくベDESTAL の揺らぎが大きく、低増幅率領域ではこの染み出しを韓山しているためと考えられる。従って、1300 V 以降の雑音頻度を観測すると下に凸な関係が得られると予想できる。

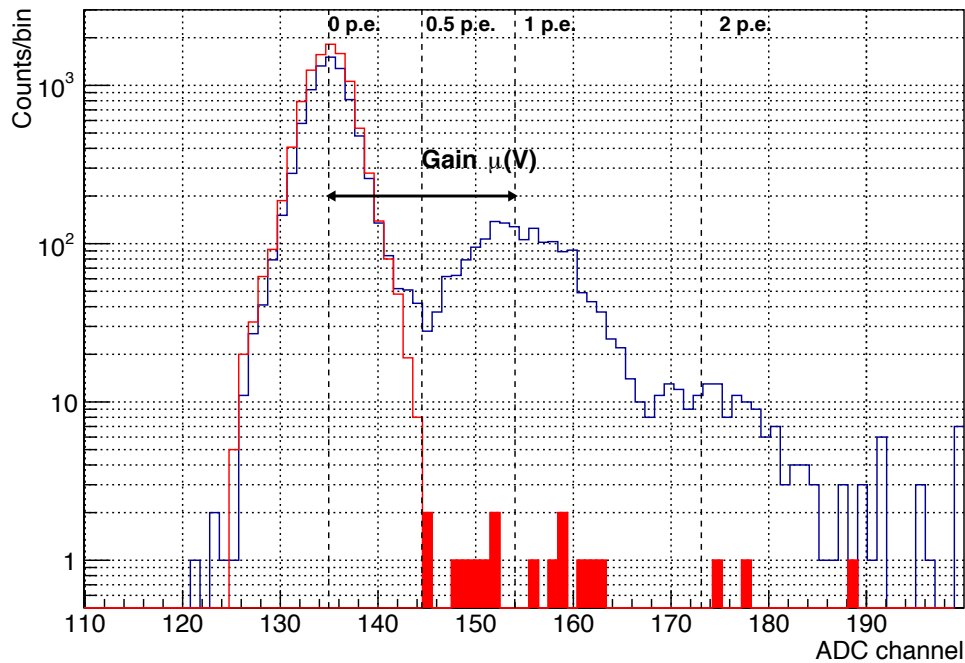


図 2. PMT の ADC 分布.

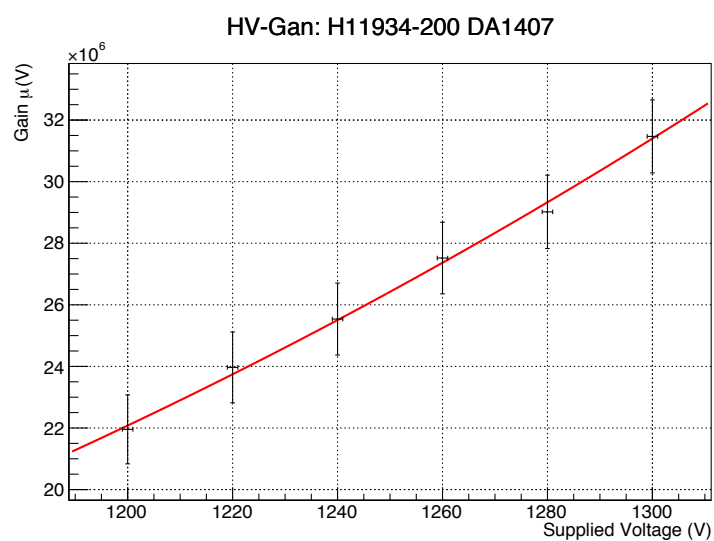


図3. 電圧と増幅率の関係

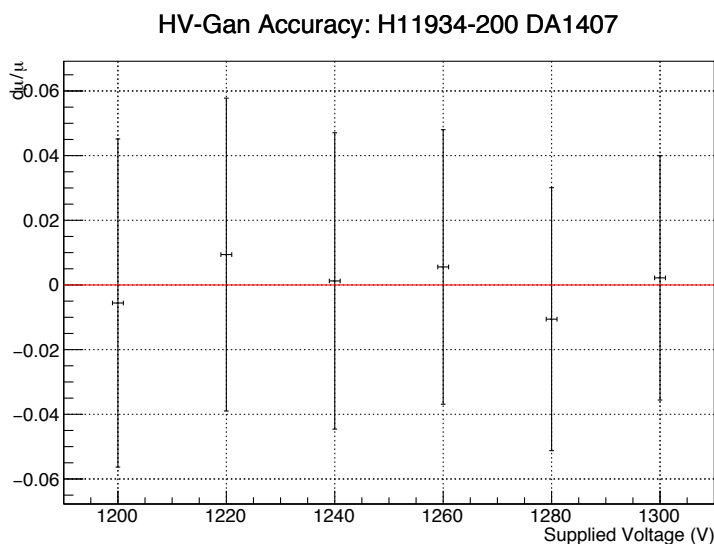


図4. 増幅率測定精度

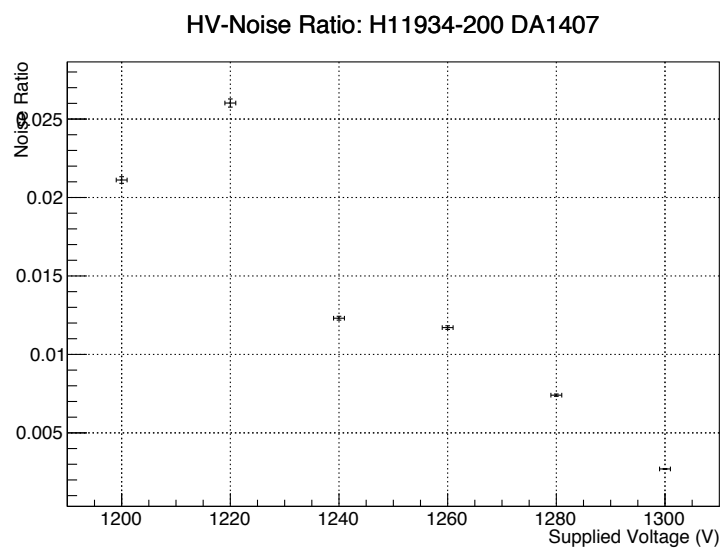


図5. 供給電圧と熱雑音頻度の関係

印加電圧(V)	増幅率
1200	$(2.196 \pm 0.121) \times 10^7$
1220	$(2.397 \pm 0.115) \times 10^7$
1240	$(2.554 \pm 0.117) \times 10^7$
1260	$(2.752 \pm 0.116) \times 10^7$
1280	$(2.902 \pm 0.119) \times 10^7$
1300	$(3.157 \pm 0.119) \times 10^7$

図5. 供給電圧と熱雑音頻度の関係

4. まとめ

光電子増倍管 H11934-200 DA1407 の性能試験測定を行った。印加電圧と増幅率の関係は期待通りの性能を確認され、光電子数変換への校正係数も増幅率から得られる。測定精度は6%未満で試験は十分な精度を保證された。熱雑音の測定は低増幅率領域においてペDESTALの揺らぎによる染み出しを勘定したことで印加電圧の増加に対して減少傾向を示した。