

光電子増倍管性能測定のまとめ

川村 知行

平成 15 年 6 月 27 日

目次

1	測定回路	3
1.1	qvt 較正用	3
1.2	gain 測定用	4
1.3	Dark Current 測定用	6
2	データ測定	7
2.1	qvt 較正	7
2.1.1	手順	7
2.1.2	width を固定した方法。	7
2.1.3	Att を固定した方法。	7
2.1.4	電荷量導出	8
2.2	gain 測定	9
2.3	Dark Current 測定	9
3	データ解析	10
3.1	ヒストグラムのフィッティング	10
3.1.1	fit の評価	11
3.2	Gain	12
3.2.1	本測定データと浜松測定結果との比較。	13
3.3	Dark Current	14
4	解析データ	15

1 測定回路

この章では、qvt 較正、gain 測定、Dark Current 測定で用いたセットアップを示す。

1.1 qvt 較正用

較正で用いた回路は、図 1 に示す。Gain 測定用回路との違いは、LED,PMT,Signal Divider を経由していない点である。

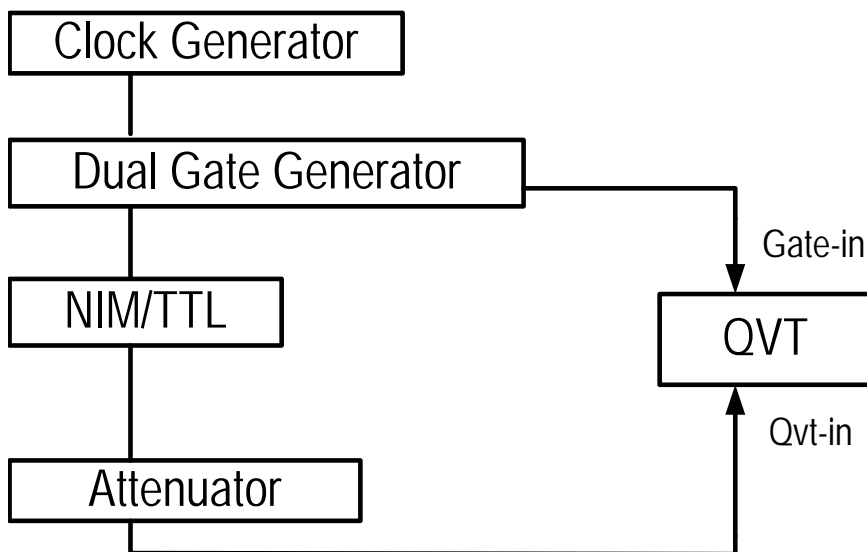


図 1: qvt 較正用セットアップ。

- Clock Generator:REP.RATE 1[KHz],width 10[nsec]
- GDG Gate 側 width 200[nsec]
- Attenuator 較正の方法により異なる。¹

¹2.1.2 と 2.1.3 を参照されたい。

1.2 gain 測定用

gain 測定で用いた回路は、図 2 に示す。

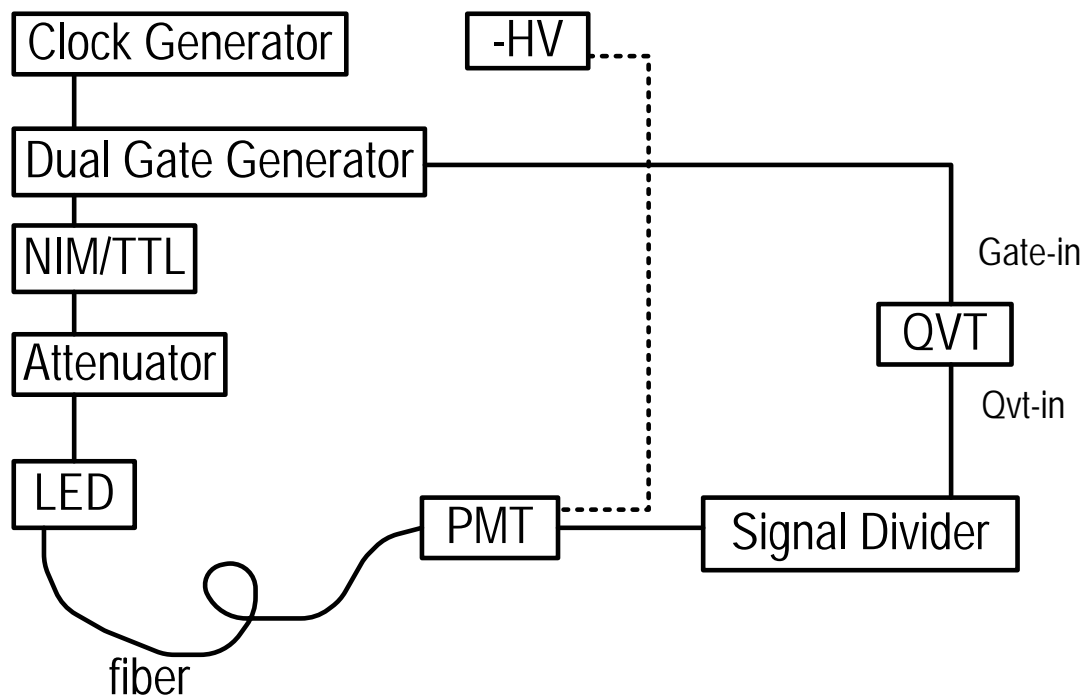


図 2: gain 測定用セットアップ。

- Clock Generator REP.RATE 100[Hz],width 10[nsec]
- Dual Gate Generator signal 側 width 20-50[nsec],Gate 側 200[nsec] 固定。
- -HV 2200-2700[V]

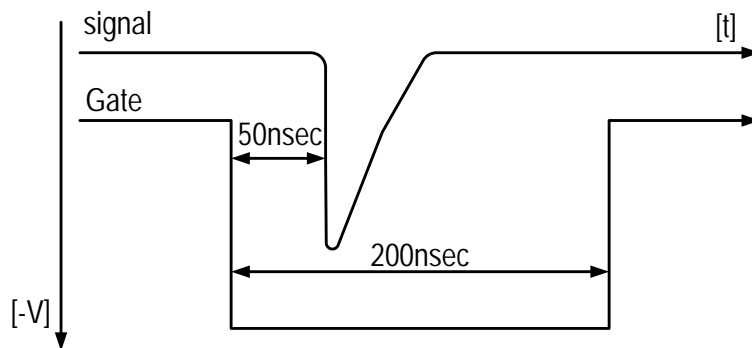


図 3: Gate と signal のタイミング。



図 4: LED からの光は光学フィルターを通過させることで、single photon へと変換した。この手順により single photon counting が可能となる。この装置をケースで覆い、LED 上面から fiber を用いて光電子増倍管の光電面まで光を輸送した。



図 5: fiber 先端。図 6 中心の穴へ差し込む。図 6: 検出器前面より。光電面に fiber 挿入用の穴 (図の中心) のあいたプラスチックを取り付けた様子。

1.3 Dark Current 測定用

Dark Current の測定には、図 7 を用いた。

Current Integrator[1] モジュールを用いて、暗電流を測定した。

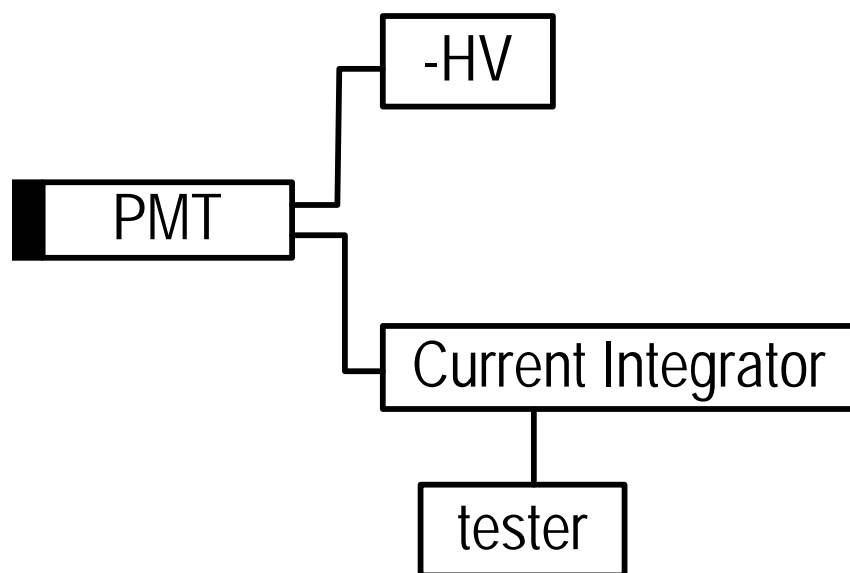


図 7: Dark Current 測定用セットアップ。

- -HV 2200-2700[V]

2 データ測定

この章では、qvt 較正、Gain 測定、Dark Current 測定について示す。

2.1 qvt 較正

1チャンネル当たり何クーロンであるか、較正を行なうことで導出した。

2.1.1 手順

較正において、qvt-in での width を固定し、Att を変化させてデータを収集する方法と、Att を固定で width を変化させてデータを収集する二つの方法を用いた。

2.1.2 width を固定した方法。

出力電圧 [mV]	ADC[channel]	電荷量 [C]
112	361	8.96e-11
124	400	9.92e-11
136	441	1.09e-10
160	491	1.28e-10
178	548	1.42e-10
198	612	1.58e-10
206	680	1.65e-10
234	762	1.87e-10
280	857	2.24e-10
314	959	2.51e-10

- qvt-in における width:40[nsec]
- Att:8-17[db] を 1[db] 刻みで測定。
- Gate-in 時間幅:200[nsec]

2.1.3 Att を固定した方法。

時間 [nsec]	ADC[channel]	電荷量 [C]
152	910	2.34e-10
140	852	2.15e-10
130	801	2.00e-10
120	741	1.84e-10
110	681	1.69e-10
100	619	1.54e-10
90	553	1.38e-10
80	509	1.23e-10
70	452	1.08e-10
60	396	9.24e-11

- qvt-in における width:60-152[nsec] を 10[nsec] 刻みで測定。
- Att:-20[db]
- Gate-in 時間幅:200[nsec]

2.1.4 電荷量導出

$$I = dQ/dT \text{ より}$$

$$Q = IT$$

$$V = IR \text{ より}$$

$$I = V/R$$

以上より、

$$Q = V/R \cdot t$$

- V:オシロで読み取った電圧。[V]
- R:NIM 規格なので抵抗は 50[Ω]
- t:qvt-in における width [sec]

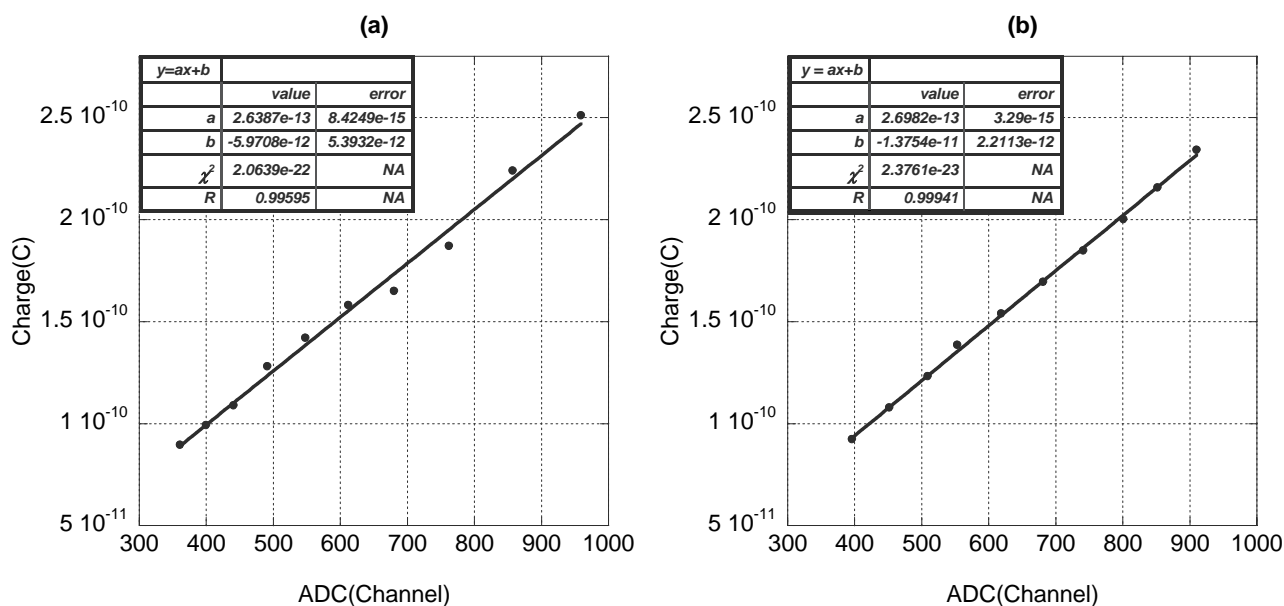


図 8: qvt 較正曲線。(a) は width 固定で Att を変化させた場合。(b) はその逆である。

(a) のデータはばらつきが見られるのに対し、(b) では相関係数の値も 1 に大変近い値となっており、信頼できそうである。

2 回の測定から求められた傾きは、相対的に 2.2% の誤差が見られたので、この値を gain fit、Dark Current fit の際に誤差として用いた。

2.2 gain 測定

-2400 か-2300V 付近で一度測定してみて、pedestal と one photon peak が見えているかを確認する。見えない場合は signal 側 GDG の Gate の Width と Attenuator を調整し、ヒストグラムの one photon peak が見えるようにした。その後-2200 から-2700V までの6点について、データを測定を行った。電圧を変えた時は、光電子増倍管の計数を安定させるため5分間休ませ、10分間測定を行なうというサイクルで実験を行った。

2.3 Dark Current 測定

Dark Current の測定に関しても同様に、5分休ませたのちテスターの表示している値が安定しているのを確認して、-2200V から-2700V の6点について測定を行った。

- PMT 出力を Current Integrator に入力。
- Current Integrator 出力を、テスターに入力し電圧を読み取った。



図 9: テスター入力。

Current Integrator については文献 [1] をご覧頂きたい。

3 データ解析

gain、Dark Current の測定データを元に、知りたい物理量を導出する為ヒストグラムの fitting パラメータを導出する作業を行った。

3.1 ヒストグラムのフィッティング

フィッティングを行い、当てはめた関数のパラメータを導出した。

平均光電子数 N が小さい時はポアソン分布の $N = 1, 2, 3, \dots$ の各ピークがガウス分布になる。それぞれのピークの標準偏差を $\sqrt{N}\sigma$ (σ は $N = 1$ のピークの標準偏差) として、次の関数へ fitting した。

$$R(x) = A \sum_{N=1}^{N_{max}} \frac{\exp^{-\bar{N}} \bar{N}^N}{N!} \frac{1}{\sqrt{2\pi N}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x - pN - q)^2}{2N\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

- x : ADC channel
- $A(p1)$: Normalization Factor
- $\bar{N}(p2)$: 平均光電子数
- $\sigma(p3)$: 標準偏差
- $p(p4)$: 各ピーク間隔
- $q(p5)$: ペDESTALピークの channel

特に初期値として $p3, p4, p5$ がふさわしい数値でないと曲線は上手くヒストグラムに乗らない。

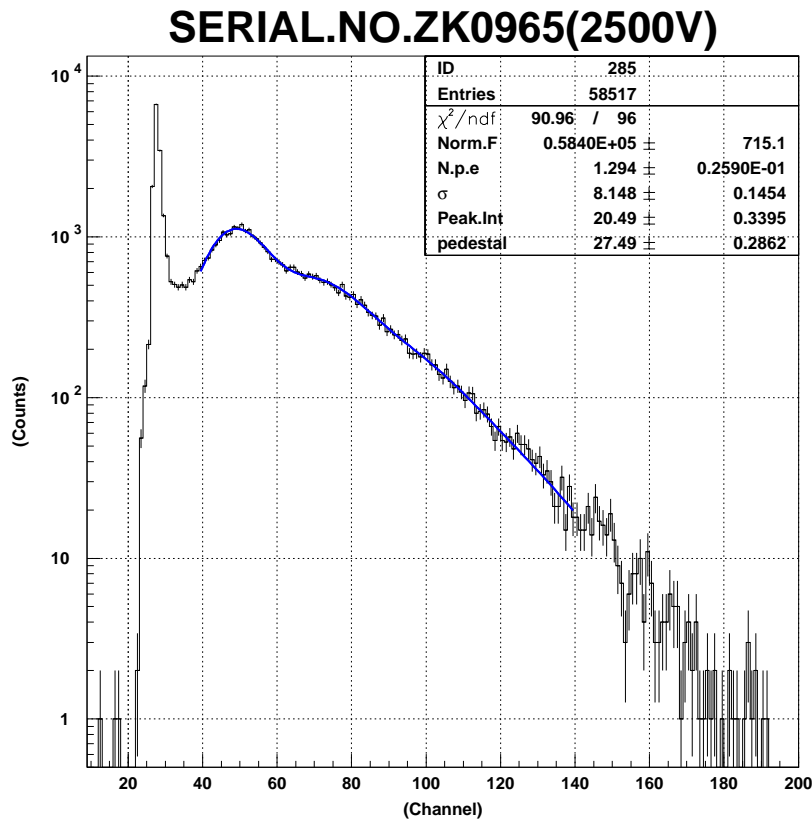


図 10: フィッティングの結果。

3.1.1 fit の評価

fit した結果導出されたパラメータから、fit の確からしさが分かるので、毎回 paw でディスプレイに出力される結果が以下の条件を満たすかチェック、満たさない場合は何回か fit を繰り返してみた。それでも、評価が良くないときは²、そのデータは悪いデータとしてそれ以降の解析では省くことにした。

```
*****
*
* Function minimization by SUBROUTINE HFITH *
* Variable-metric method *
* ID =          279  CHOPT = ROS *
*
*****
Convergence when estimated distance to minimum (EDM) .LT. 0.10E+01

FCN= 38.20857 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 456 CALLS 457 TOTAL
      EDM= 0.68E-03 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX ACCURATE

EXT PARAMETER
NO.  NAME      VALUE      ERROR      STEP      FIRST
     NAME      VALUE      ERROR      SIZE      DERIVATIVE
  1   P1      59421.      1000.6      150.32     -0.18742E-04
  2   P2       1.3338     0.41528E-01  0.33742E-02  -1.3595
  3   P3       3.3668     0.78535E-01  0.10083E-01  0.99461E-01
  4   P4       7.3073     0.18072     0.18486E-01 -0.32881
  5   P5      27.754     0.13144     0.70212E-01 -0.41007

CHISQUARE = 0.8886E+00 NPFIT = 48
```

- CHISQUARE が 1 より小さくなるように。
- STATUS=CONVERGED

を満たすように、fit する bin の幅、各初期値を決めた。

²CHISQUARE \gg 1、STATUS=FAILED

3.2 Gain

gain 導出の手順はヒストグラム fit で導出したパラメータを式 (2) に代入する方法である。

$$gain = y \cdot calibration / (1.602e - 19) \quad (2)$$

y : peak 間隔。

calibration : 較正值。 $0.26982 \pm 2.2\%$ [pC/ch]

印加電圧 (-V)	peak 間隔
2300	1.995
2400	2.992
2500	4.174
2600	5.905
2700	7.949

これらを fit する際に用いたエラーは、qvt 較正の際に生じた 2.2% と、ヒストグラムの fit で求めた peak 間隔の標準偏差である。

積の誤差公式より、

$$\sigma_{xy} = (xy) \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2} \quad (3)$$

を用いると (2) により gain は概、2 から 3% 程度の誤差を持つ。

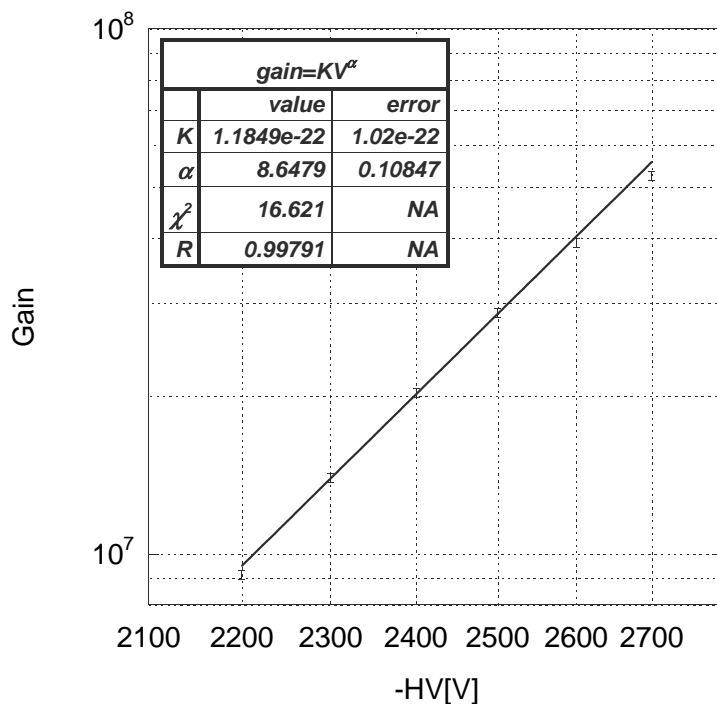


図 11: fit の結果。

3.2.1 本測定データと浜松測定結果との比較。

浜松の添付データと山形で測定した Gain についての比較を行った。添付データの座標をデジタイザで読み取り、カレイダグラフの累乗 fit[2] によりパラメータ K と α を導出した。

同じ条件で比較するために、本実験測定結果も累乗 fit を用いて³、パラメータを導出した。

図 12 を見る限りでは、傾きはほぼ等しいようであるが二つのデータ間で同じ供給電圧の時に Gain に差があることに気づく。

浜松測定時の Bleeder 比と山形測定時のブリーダ比を比べてみた。

使用 Bleeder 比	
山形 (E5859)	4.3 : 1 : 1.6 : 1 : 1 : 1 : 1.2 : 1.5 : 2 : 2.4 : 3 : 3.9 : 3
浜松 (E5859MOD)	4.3 : 1 : 1.6 : 1 : 1 : 1 : 1.2 : 1.5 : 2 : 2.4 : 3 : 3.9 : 3

と同じであることがわかった。ここで、各ダイノード間の抵抗値も調べてみると E5859 の方が E5859MOD よりも大きい抵抗を使っているようであり、これが原因で山形で測定した Gain は低くなっているものと思われる。

	K	α	Gain at -2500[V]
山形	3.2e-22	8.52	2.8e+7
浜松	3.5e-21	8.32	6.9e+7

表 1: fitting パラメータと-2500V での Gain。

これらの違いは、座標読み取り時の不正確さ、データ測定時の供給電圧領域の違い、測定セットアップの違いなどによるものと思われるが、本質的には今回のテストは間違っていないものと思われる。

³本来はエラー (式 3) を用いた fit を使用。

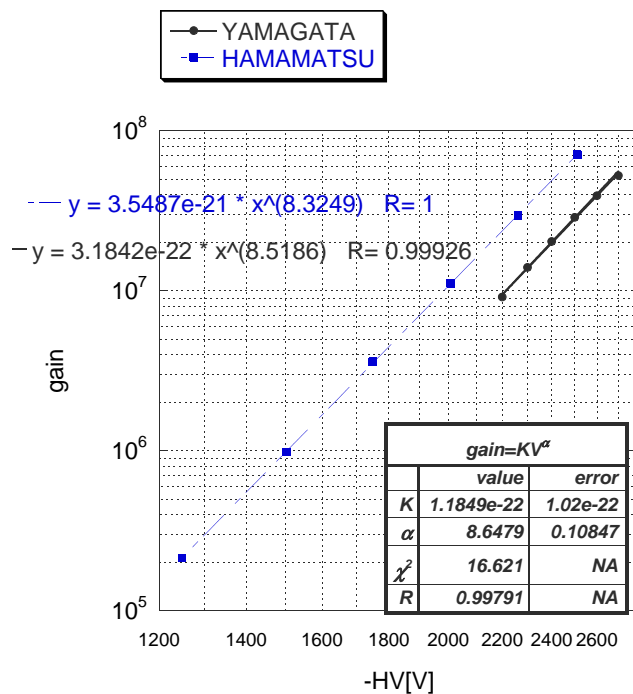


図 12: 本実験測定結果 (実線) と浜松測定結果。(点線)

3.3 Dark Current

Gain と同じように、Dark Current についても解析を行った。

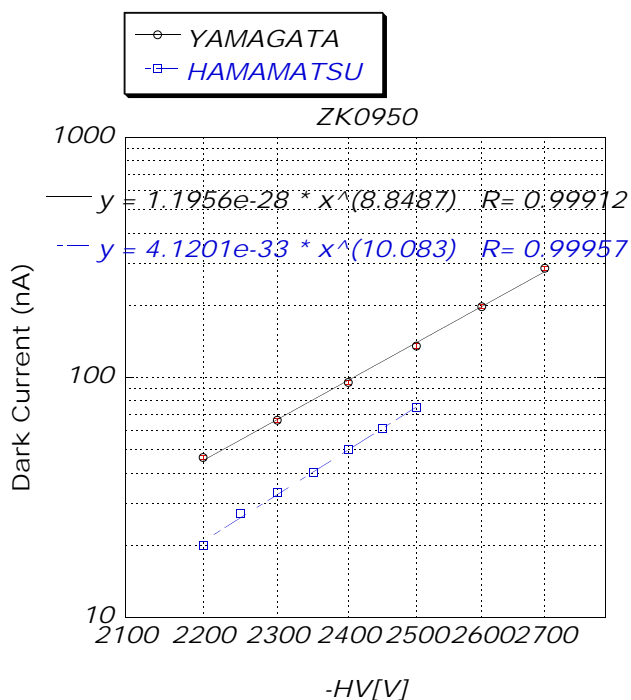


図 13: Dark Current。カレイダグラフの累乗を用いて fit した。

4 解析データ

解析したデータはヒストグラムに関しては hbook 形式で, gain や Dark Current はテキスト形式でデータベース化し、ダウンロードして解析して頂くことが可能となる予定です。(平成 15 年 6 月 27 日現在)

参考文献

- [1] 板谷 道隆著 : 修士論文、(2003)
- [2] カレイダグラフ ユーザーズガイド 182