

TMU #61-B X線パルス取得実験 (2001年6月上旬)

広池 哲平

2001年6月21日

概要

素子 #61-B を都立大希釈冷凍機に組み込み、X線パルスを取得した。今回の実験では、シャント抵抗の値を $9.8560\text{ m}\Omega$ から $3.0880\text{ m}\Omega$ に変更してある (共に He 温度での抵抗値)。熱浴の温度 T_s を、 230 mK 、 220 mK 、 180 mK にして測定した結果を以下にまとめる。

1 #61-B Parameter

各種パラメータを表にしてまとめる。

素子の名称	#61-B
吸収体 (Sn)	有り
残留抵抗 R_0 [$\text{m}\Omega$]	95.70
オフセット抵抗 [$\text{m}\Omega$]	~ 3
転移温度 T_C [mK]	243
転移幅 ΔT_C [mK]	3.2

表 1: 各種パラメータ

温度 T [mK]	242
測定時のバイアス電流 I [μA]	1.0
抵抗値 R [$\text{m}\Omega$]	5.8
温度計感度 α	278
エネルギー分解能 ΔE [eV]	0.41
熱容量 C [J/K]	9.6×10^{-13}
熱伝導度 G [W/K]	2.0×10^{-10}
時定数 τ_0 [ms]	4.8

表 2: 熱浴温度 242 mK に於けるパラメータ

2 測定方法

2.1 ETF・Pulse Hight・Noise Property

それぞれの温度に於いて、input の電池 BOX の目盛りを変えながら、Tektronix オシロスコープにて DC レベルの変化をみた。また同時に、パルスハイト、ノイズレベルの変化をみた。ノイズは FFT アナライザにて、 100 kHz までのレンジにして測定した。その模式図を図 1 に示す。

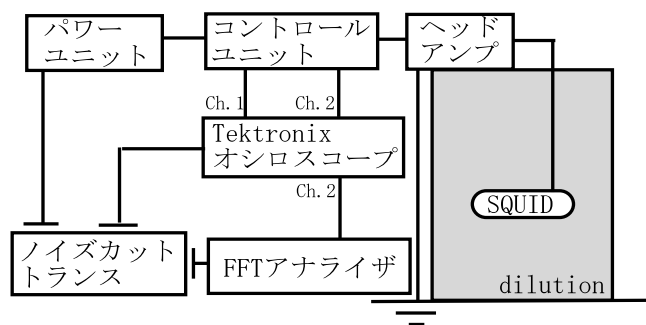


図 1: FFT アナライザを用いたノイズ測定時

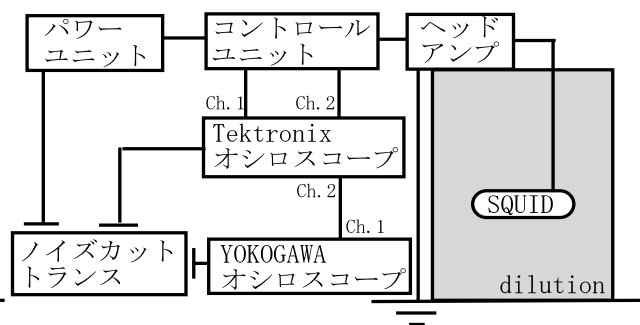


図 2: X線パルス取得時

2.2 Noise Spectrum

上の結果から、適当な動作点を選び出し、適当なバイアスをかけた状態で、FFTアナライザにてノイズを測定した。測定レンジは、100 kHz、12.8 kHz、1.6 kHz、100 Hz と変えてそれぞれの動作点で測定した。その模式図を、図2に示す。動作点は、ETF特性からTESの抵抗値を求め、比較ができるように抵抗値の似通った動作点になるように、バイアス電流の値を決定して測定した。

2.3 X-ray Pulse

YOKOGAWA オシロスコープを用いて、X線パルスデータを取得した。5 kHz でカットオフを入れて測定した。ノイズスペクトルについては、トリガーをゼロの状態にし、それぞれの動作点にて340個のデータを3セット取った。パルスについては、それぞれ適当な大きさのトリガーをかけて、340個のデータを3セットほど取った。中には測定中原因不明ではあるが、ノイズ環境が急激に悪化し、1セットしか取れなかったものもある。動作点について表3にまとめる。また、5月10日に行った、シャント抵抗 $R_s = 9.856 \text{ m}\Omega$ 、熱浴温度 $T_s = 240 \text{ mK}$ のものについては、ETF特性などは細かく測定したものの、パルスの取得にはYOKOGAWA オシロスコープを用いていないため、表中ではブランクにしてある。

測定日	6/8			6/6			6/7		5/10	
熱浴温度 [mK]	230			220			180		240	
電池BOX目盛	540	360	280	620	540	380	320	700	580	
取得パルスのセット数	1	3	3	1	3	3	1	2	3	

表 3: X線パルスを横河オシロで取得した動作点

3.1 ETF・Pulse Hight・Noise Property

インプットの回路図は、シャント抵抗を $R_s = 3.088 \text{ m}\Omega$ 、バイアス抵抗 $R_b = 10 \text{ k}\Omega$ として、可変抵抗 $R_k = 5 \text{ k}\Omega$ を介して、図3のようになっている。従って、電池BOXの目盛 D (最大 1000)、電池電圧 V_0 、SQUID に流れ

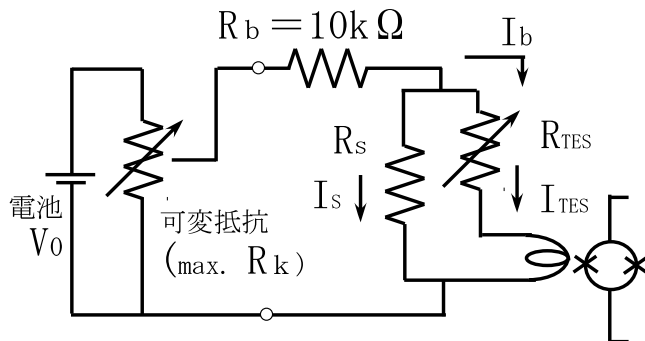


図 3: 電池 BOX からインプットコイルまでの回路図

る電流 (TES を流れる電流) I_{TES} 、バイアス電流 I_b 、TES の抵抗値 R の間には、 $R_D = D/1000 \times R_k$ として、

$$I_{TES} = \frac{R_D V_0}{(R_k - R_D)(R_D + R_b) + R_D R_b} \quad (1)$$

$$R = \frac{I_b - I_{TES}}{I_{TES}} R_s \quad (2)$$

の関係がある。これらの関係を以下に熱浴の温度 T_s ごとに色分けしてグラフに表わす (図 4)。紫は 230 mK、緑は

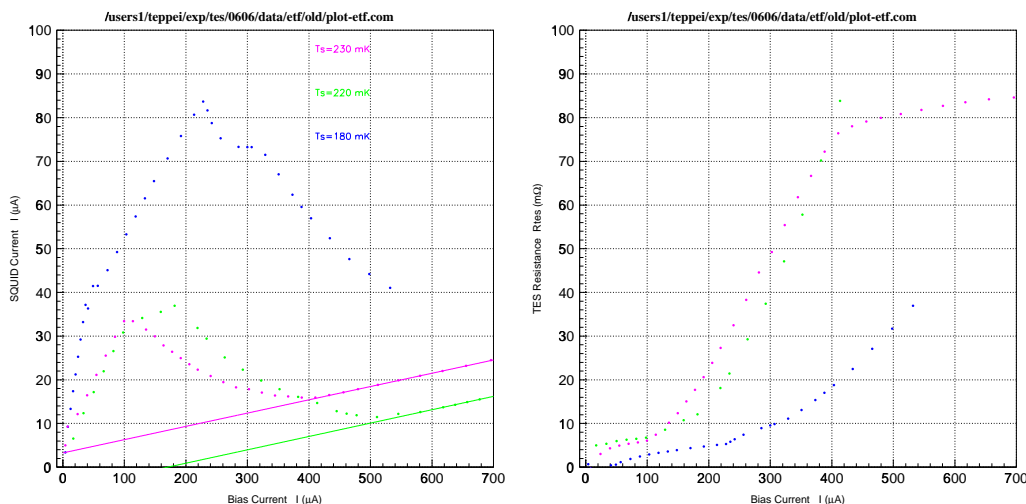


図 4: ETF・Resistance of TES Property

220 mK、青が 180 mK を示している。図 4 では、横軸はバイアス電流 I_b であり、縦軸はそれぞれインプットコイルに流れる電流 I_{TES} ・TES の抵抗値 R を示している。この図 4 の左上の I_b と I_{TES} の関係を見ると、バイアス電流の十分大きなところでは、TES は常伝導状態になっているため、原点を通る直線上にプロットされるべきところが、ずれていることがわかる。SQUID での測定では、電流値の絶対量は測定できないため、この常伝導状態での I_b vs. I_{TES} が、原点を通り正比例するように補正したものが図 5 である。下段では縦軸に、 S_n イベントのパルスハイト・10.24 kHz に於けるノイズレベル (電圧換算) を示している。また、横軸に SQUID に流れて行く電流値 I_{TES} をとり、縦軸に S_n イベントのパルスハイト・10.24 kHz に於けるノイズレベル (電圧換算) を示したものを図 6 に示す。

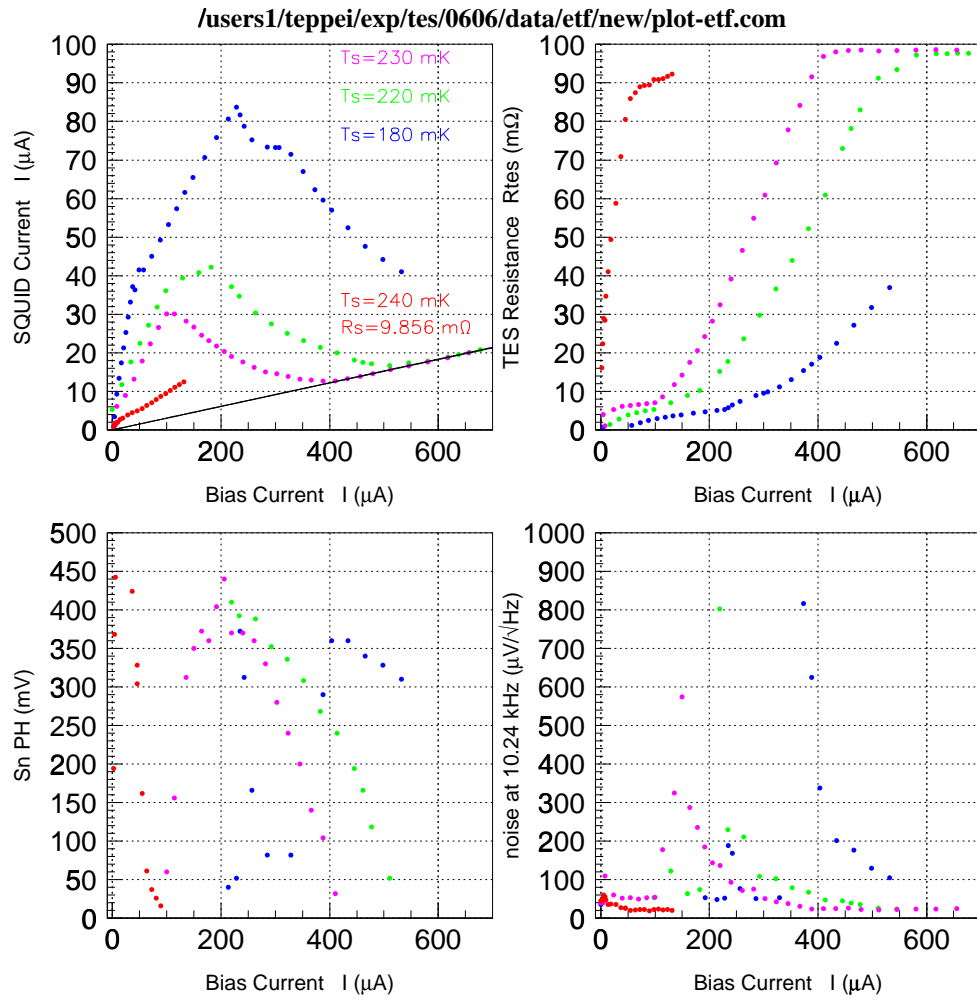


図 5: ETF · Resistance of TES · Pulse Hight · Noise Property

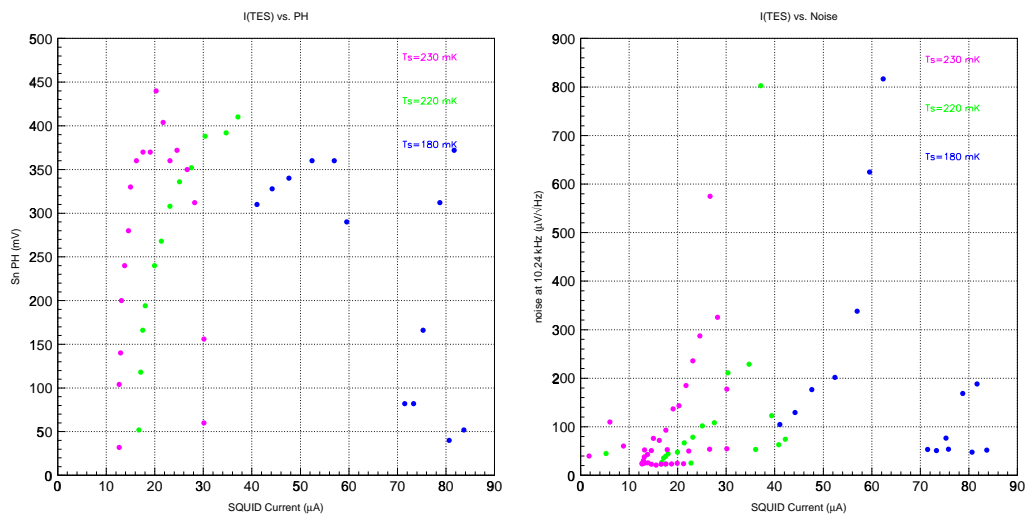


図 6: I_{TES} を横軸に取ったもの

3.2 補正後

図7、図8は、先程の補正後の値を用いて、横軸にTESへの抵抗値をとり、Sn イベントのパルス高さ・10.24 kHz に於けるノイズレベル (電圧換算) を示している。これを見ると、ある抵抗値 (~ 18 mΩ) に於いて、ノイズが非常に大きくなる傾向が見られる。超伝導-常伝導遷移時に何かノイズが大きくなるメカニズムがあるのだろうか。このノイズに関しては、森田さんがまとめている。

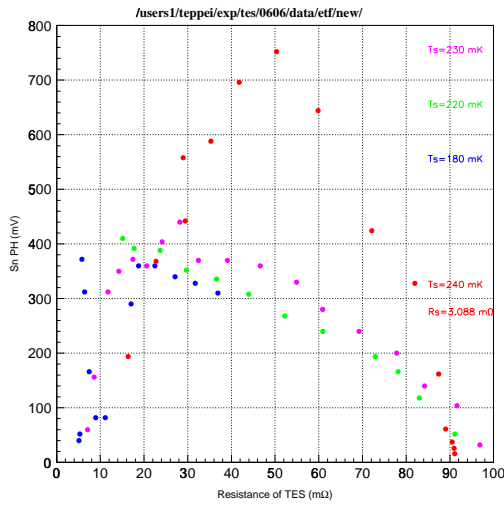


図 7: TES Resistance vs. Pulse Hight

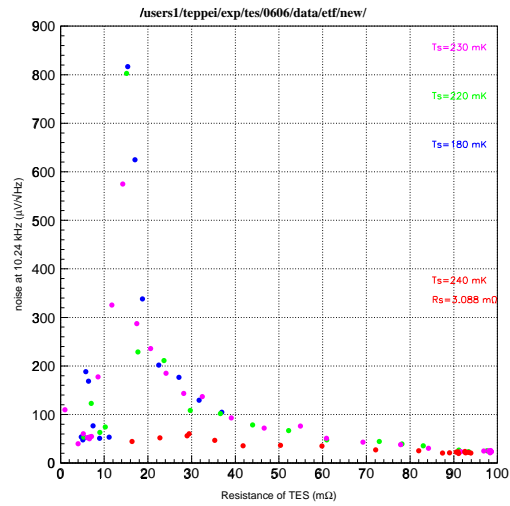


図 8: TES Resistance vs. Noise

3.3 X-ray Pulse

パルスを取得した動作点に於ける各種パラメータを表4にまとめる。動作温度 T については、 $R-T$ カーブを Fermi 分布関数と、一次関数との積で近似して、

$$R = \frac{7.4111 T + 58.815}{e^{1.5847(243.20-T)} + 1} \quad (3)$$

として求めている。 $R-T$ カーブを図9に、この近似式の残差を図10に示す。温度 220 mK、バイアス目盛 320 に

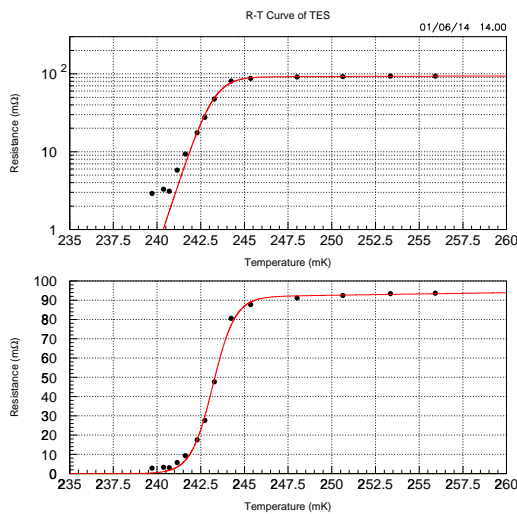


図 9: $R-T$ Curve

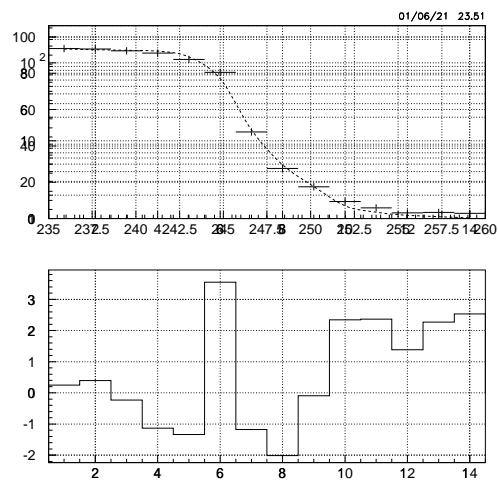


図 10: 残差

ついて、 R 、 T が抜けているのはその点で ETF 特性を取っていないためである。

熱浴温度 [mK]	バイアス目盛	エネルギー分解能 [eV]	ノイズ@10.24 kHz [$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$]	t_1 [ms]	t_2 [ms]	I_b [μA]	R [m Ω]	T [mK]
230	280	117.9	131.0	4.244	0.152	206	28.19	239.50
	360	122.6	79.32	3.888	0.116	261	46.61	240.01
	540	168.2	25.68	5.666	0.296	388	91.64	240.71
220	320	134.4	221.2	4.107	0.130	248		
	380	231.6	110.4	3.639	0.116	293	29.70	239.55
	540	117.3	47.65	3.443	0.107	413	60.93	240.28
	620	244.1	29.13	4.594	0.167	477	83.04	240.60
180	580	126.6	230.9	3.073	0.050	434	22.48	239.26
	700	154.8	111.1	2.773	0.041	532	36.92	239.77

表 4: X 線パルスを横河オシロで取得した動作点

4 5 月上旬の実験との比較

5月上旬の実験で、シャント抵抗に $R_s = 9.8560 \text{ m}\Omega$ (He 温度)を用いた測定において、240 mK にて ETF 特性を取得していたので、それと比較をしてみる。他の温度では、ETF 特性とノイズレベルを同時に調べていないので、比較のしようがないので、比較の対象はこれ一つとなっている。図 5 に熱浴温度 $T_s = 240 \text{ mK}$ に於ける、インプットコイルに流れる電流・TES の抵抗値・Sn イベントのパルスハイト・10.24 kHz に於けるノイズパワー(電圧換算)を赤色のプロットで示す。また、同じデータから、横軸に TES の抵抗値をとり、縦軸にそれぞれパルスハイト・ノイズを示したものを図 7、図 8 に於いて赤のプロットで表している。これを見る限り、今回の実験で見られたような、ある特定の抵抗値($\sim 18 \text{ m}\Omega$)に於いて、非常に大きなノイズ特性を持つということはないようである。今回の実験とのセットアップの違いは、シャント抵抗の値が $R_s = 9.856 \text{ m}\Omega$ であるという点だけである(今回の実験では、 $R_s = 3.088 \text{ m}\Omega$ を用いている)。シャント抵抗の影響があるのか、または、熱浴の温度が効いているのか、現在のところ因果関係は定かになっていない。

5 Average Pulse Analysis

YOKOGAWA オシロスコープにて取得された平均パルスを熱浴温度、電池 BOX 目盛ごとに、以下にまとめて示す。

5.1 230 mK

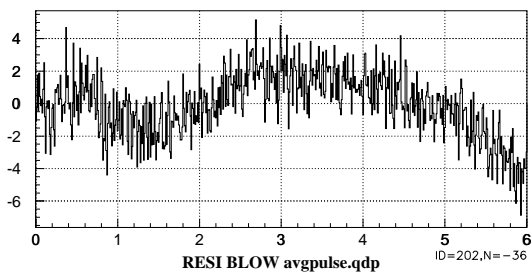
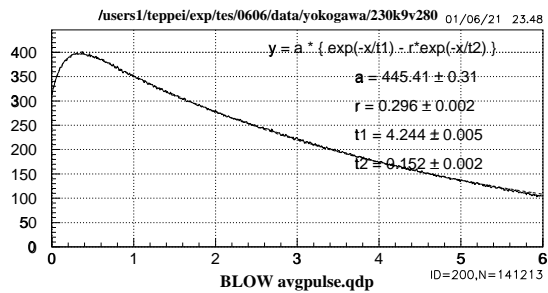


図 11: 電池 BOX 目盛 280

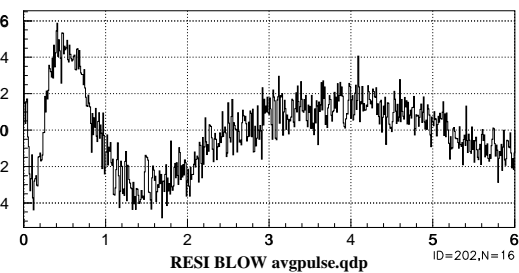
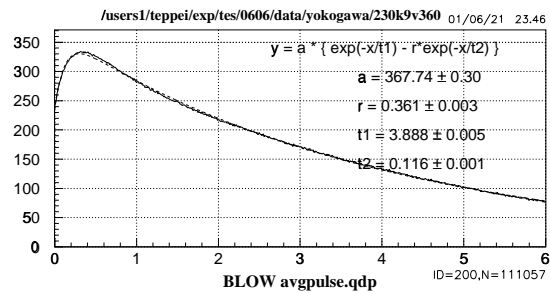


図 12: 電池 BOX 目盛 360

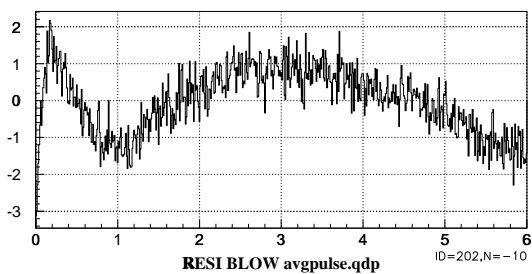
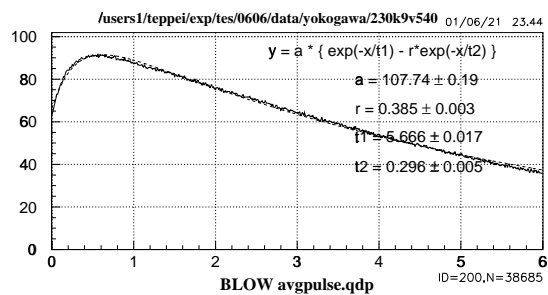


図 13: 電池 BOX 目盛 540

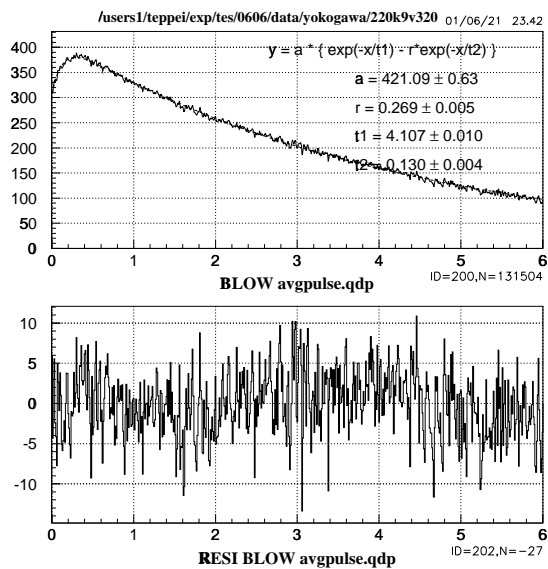


図 14: 電池 BOX 目盛 320

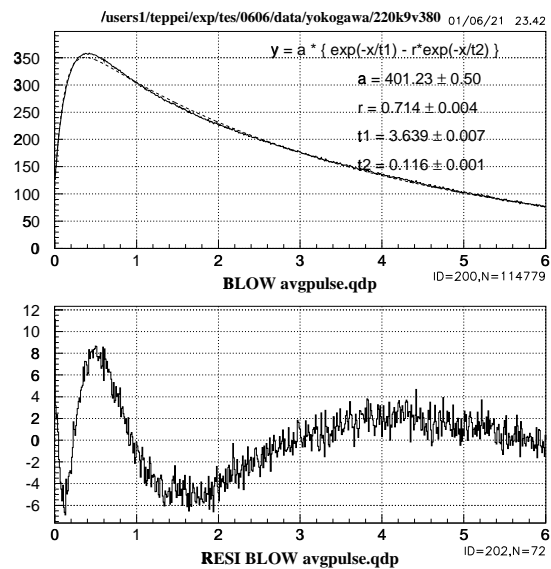


図 15: 電池 BOX 目盛 380

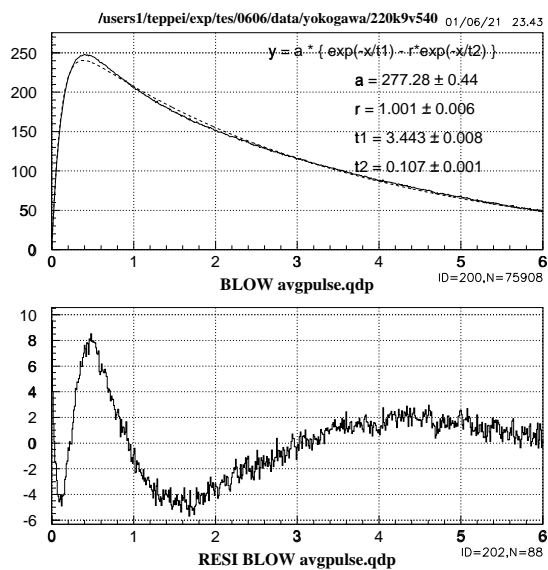


図 16: 電池 BOX 目盛 540

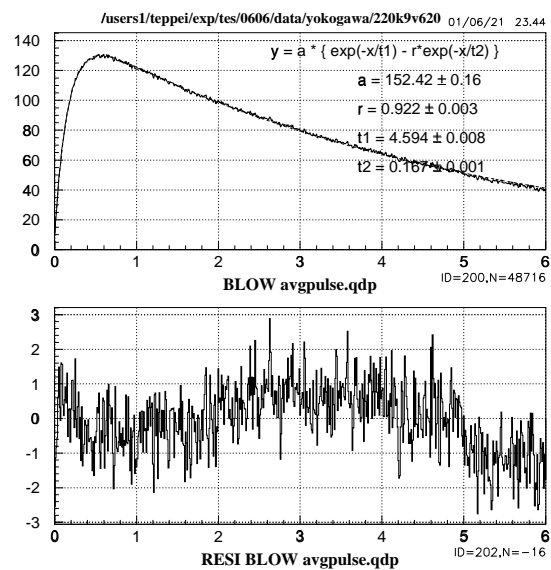


図 17: 電池 BOX 目盛 620

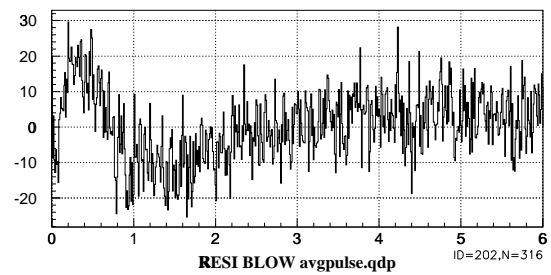
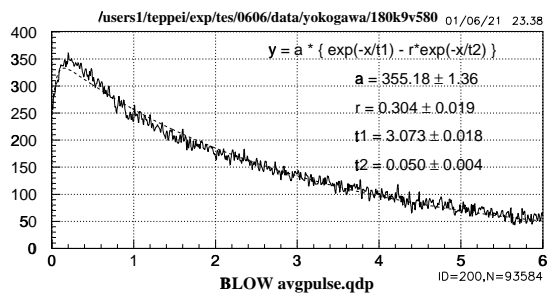


図 18: 電池 BOX 目盛 580

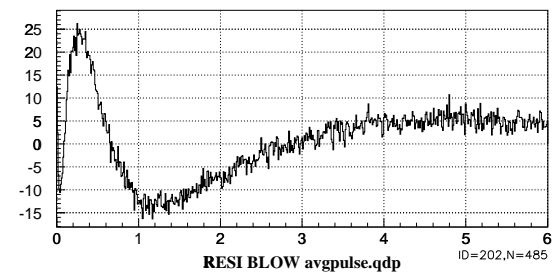
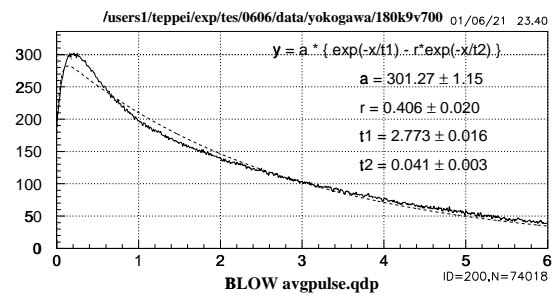


図 19: 電池 BOX 目盛 700