

TES IV Curve Analysis Results

2025 年 8 月 20 日

本解析では、TES の $I - V$ 測定で得られたデータから、TES カロリメータの諸パラメータを決定する。

測定では、バイアス電流 I_{bias} に対する出力電圧 V_{out} を調べる。これについて、まずは電流電圧変換係数 Ξ を用いて TES の $I - V$ 特性を得る。さらに、異なる熱浴温度 T_{bath} における $I - V$ 特性を求めることで、フィッティングにより熱伝導率 G や温度依存性のべき定数 n 、TES の温度 T_{TES} が決定できる。また、TES の $R - T$ 特性を調べることで転移温度 T_c がわかり、温度感度 α が計算できる。

Fitting Parameters

フィッティング結果のパラメータをまとめる。

- **Tc (TES Temperature):** 0.146 K
- **G0 (Thermal Conductivity at 1K):** 171.490 nW/K
- **n (Power Constant):** 4.00
- **Chi-squared (Minimum):** 0.66

Plot Results

IVtes_IVproperty

TES に流れる電流 I_{TES} と TES の両端にかかる電圧 V_{TES} の関係

$$V_{\text{TES}} = \frac{V_{\text{TES}}}{R_{\text{TES}}}$$

をプロットする。 R_{TES} は TES の抵抗である。このとき、 I_{TES} は出力電圧 V_{out} と電流電圧変換係数 Ξ を用いて

$$I_{\text{TES}} \simeq \frac{1}{\Xi} V_{\text{out}}$$

で求められる。 Ξ は、SQUID の入力コイル相互インダクタンス M_{in} 、フィードバックコイル相互インダクタンス M_{FB} 、フィードバック抵抗値 R_{FB} により

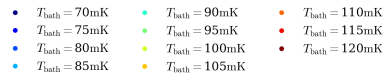
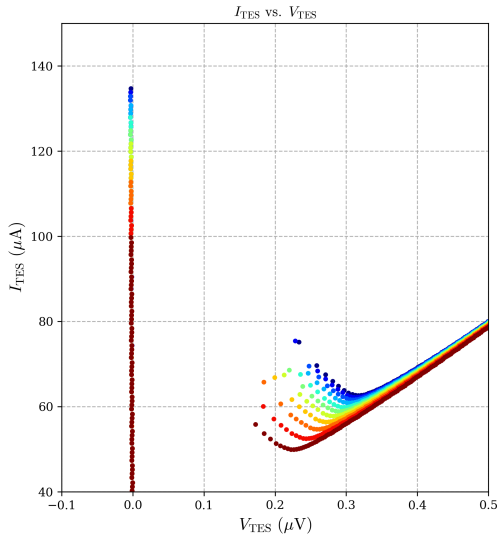
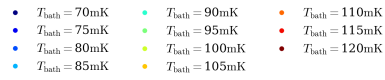
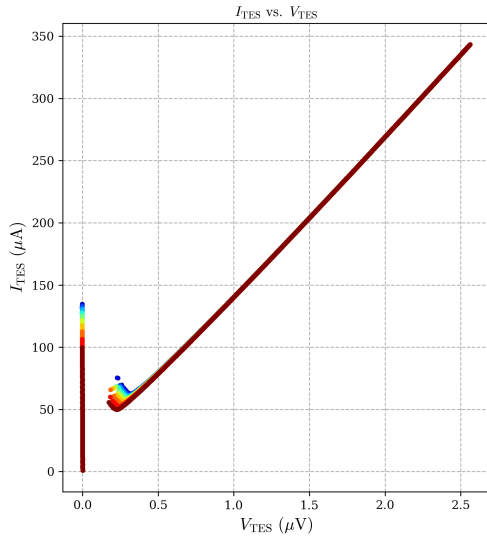
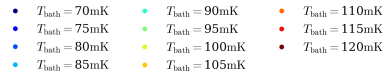
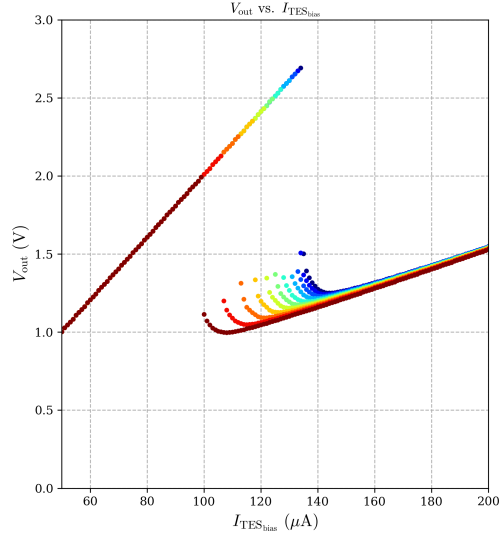
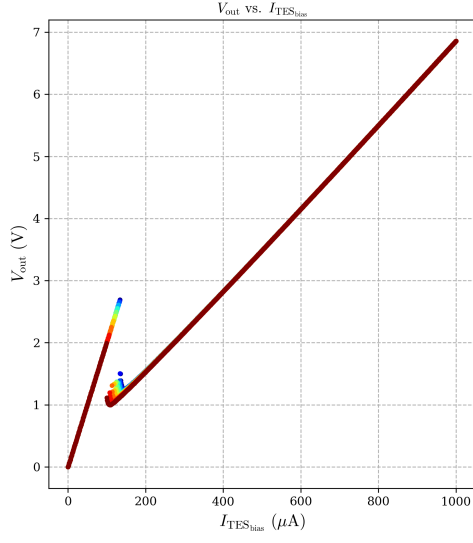
$$\Xi = \frac{M_{\text{in}}}{M_{\text{FB}}} R_{\text{FB}}$$

で表される係数。また、 R_{TES} は測定バイアス電流 I_{bias} シャント抵抗 R_{sh} を用いて

$$R_{\text{TES}} = \left(\frac{I_{\text{bias}}}{I_{\text{TES}}} - 1 \right) R_{\text{sh}}$$

で書ける。

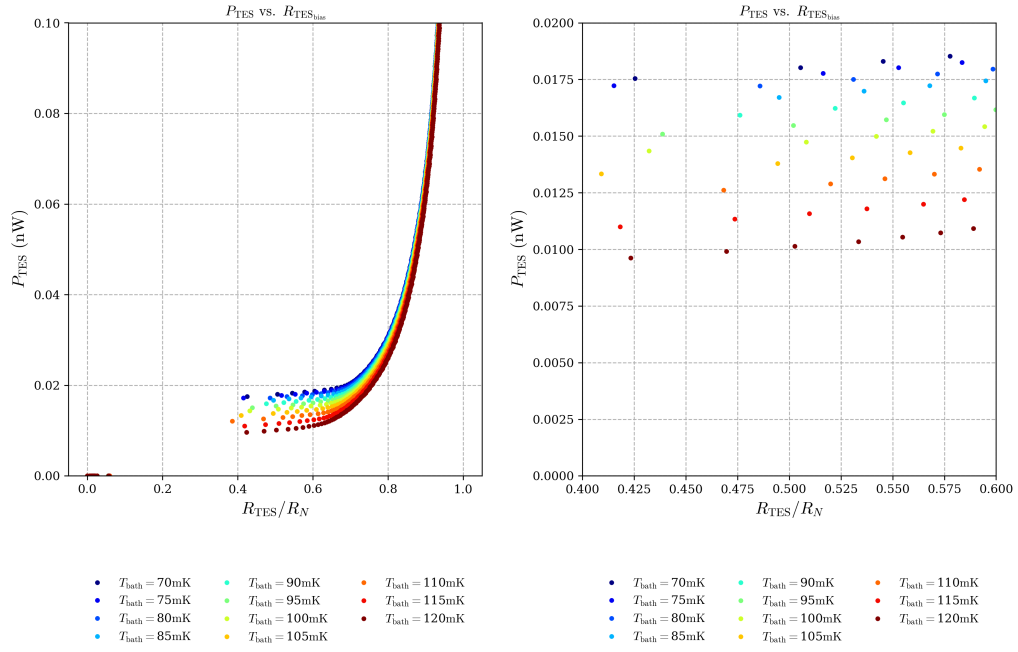
左上図は各熱浴温度 T_{bath} に対する測定結果の V_{out} と I_{bias} の関係をプロットしたもので、右上図はそのグラフを超伝導転移端付近で拡大したものである。また、左下図は各熱浴温度 T_{bath} に対する計算結果の V_{TES} と I_{TES} の関係をプロットしたもので、右下図はそのグラフを超伝導転移端付近で拡大したものである。



IVtes_PRproperty

TES の抵抗 R_{TES} と TES の Joule 発熱 P_{TES} の関係をプロットする。ここでの R_{TES} は、正規化した TES の抵抗とする。

左図は R_{TES} と P_{TES} の関係をプロットしたもので、右図はそのグラフを超伝導転移端付近で拡大したものである。



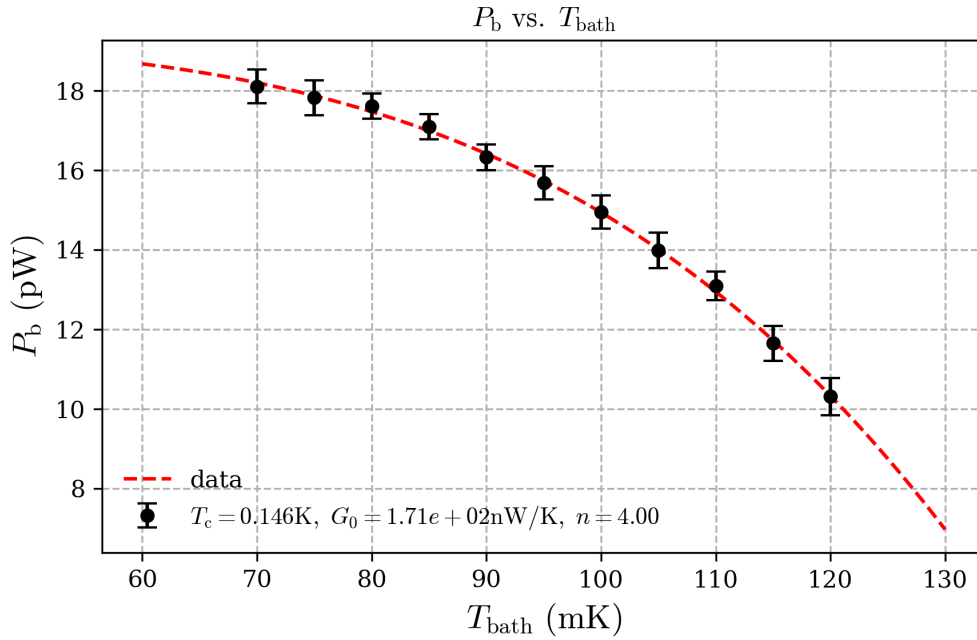
IVtes_fitting

TES の Joule 発熱 P_{TES} と熱浴温度 T_{bath} の関係

$$P_{\text{TES}} = \frac{G_0}{n} (T_{\text{TES}}^n - T_{\text{bath}}^n)$$

をフィッティングする。 P_{TES} は、PR 特性グラフから TES の超伝導転移端の P_{TES} (Joule 発熱が一定の領域) を平均した代表値を使う。フィッティングにより、TES の超伝導転移端 T_c 、熱浴温度が 1 K のときの熱伝導度 G_0 、べき定数 n のそれぞれの最適値が得られる。

図は P_{TES} (誤差付き) と T_{bath} の関係をプロットしたものと、そのフィッティング結果。 P_{TES} の誤差は不偏標準偏差で計算した。



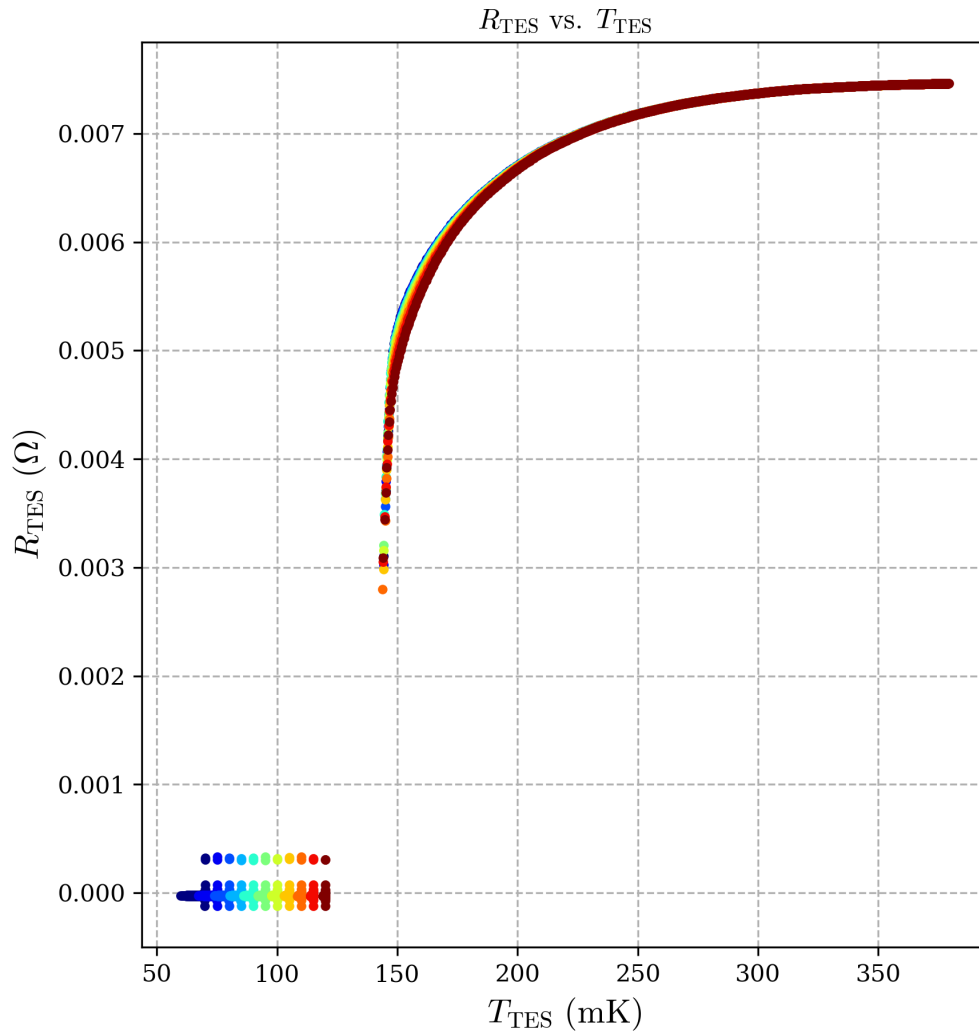
IVtes_RTproperty

TES の抵抗 R_{TES} と TES の温度 T_{TES} の関係をプロットする。 T_{TES} は、フィッティング関数を逆算して

$$T_{\text{TES}} = \left(T_{\text{bath}}^n + \frac{n \cdot P_{\text{TES}}}{G_0} \right)^{1/n}$$

で計算できる。

図は R_{TES} と T_{TES} の関係をプロットしたものである。



- | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| • $T_{\text{bath}} = 70\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 90\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 110\text{mK}$ |
| • $T_{\text{bath}} = 75\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 95\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 115\text{mK}$ |
| • $T_{\text{bath}} = 80\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 100\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 120\text{mK}$ |
| • $T_{\text{bath}} = 85\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 105\text{mK}$ | |

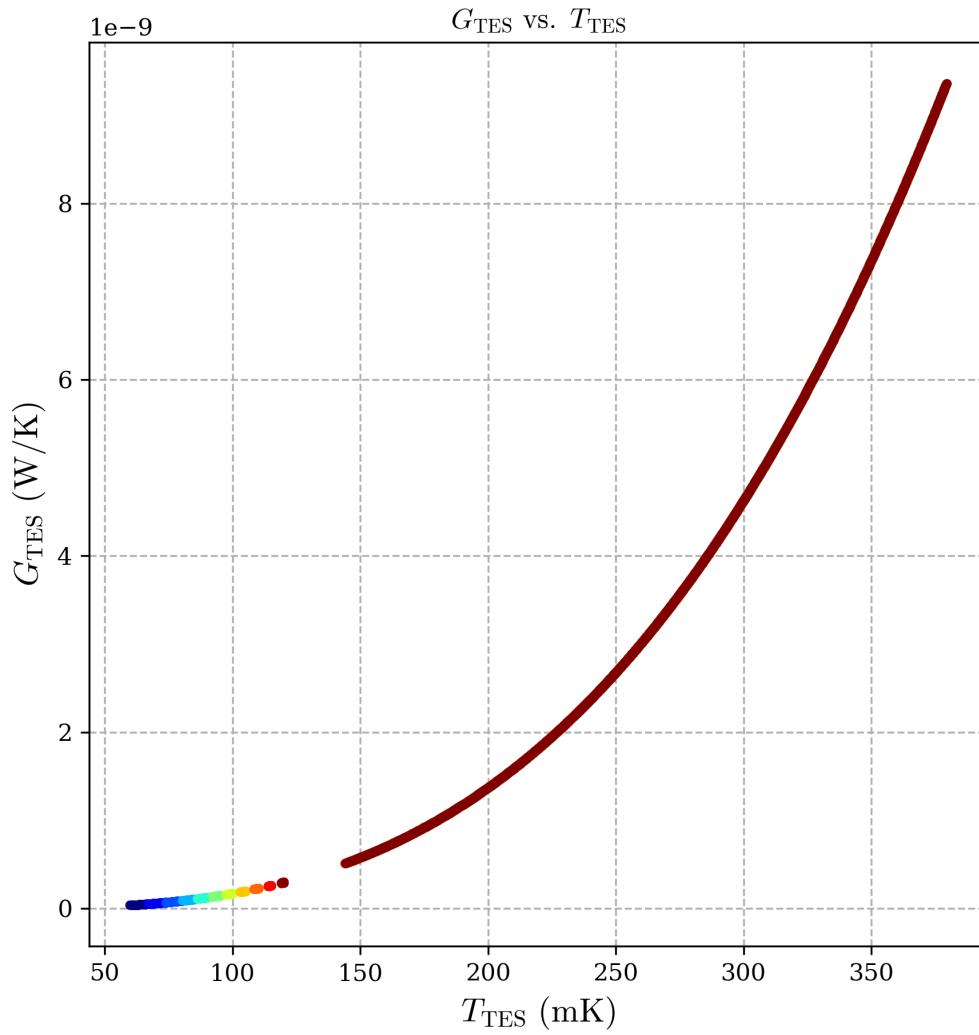
IVtes_GTproperty

TES の熱伝導度 G_{TES} と TES の温度 T_{TES} の関係

$$G_{\text{TES}} = G_0 T_{\text{TES}}^{n-1}$$

をプロットする。 G_0 と n は、フィッティング結果の値を用いる。

図は G_{TES} と T_{TES} の関係をプロットしたものである。



- | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| • $T_{\text{bath}} = 70\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 90\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 110\text{mK}$ |
| • $T_{\text{bath}} = 75\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 95\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 115\text{mK}$ |
| • $T_{\text{bath}} = 80\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 100\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 120\text{mK}$ |
| • $T_{\text{bath}} = 85\text{mK}$ | • $T_{\text{bath}} = 105\text{mK}$ | |

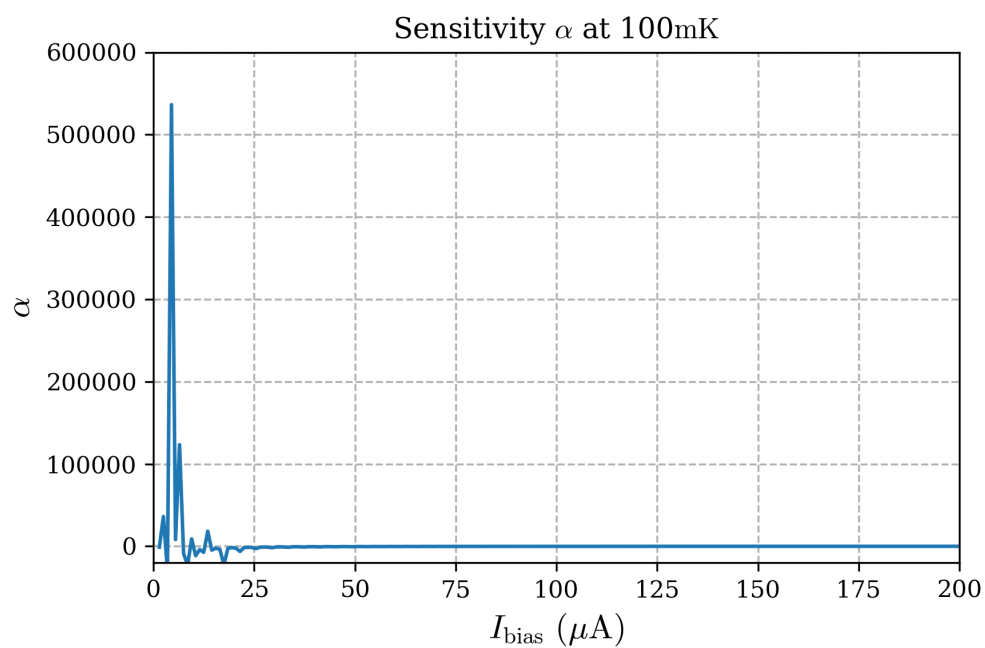
IVtes__alpha

TES の感度 α

$$\alpha = \frac{T}{R} \frac{dR}{dT}$$

をプロットする。TES の温度と TES の抵抗はともに $T_{\text{bath}} = 100 \text{ mK}$ のときの値を用いた。

図は $T_{\text{bath}} = 100 \text{ mK}$ のときの α と I_{bias} の関係をプロットしたものである。



IVtes__contour

フィッティングパラメータのコントアをプロットする。信頼範囲の定義として、自由度 2 のカイ二乗分布における累積確率の値からパーセント点を求める。累積確率は 68.27 %, 90 %, 99 % の 3 点の P 値を考えることとする。

図は n , G_0 , T_c のそれぞれを 2 つのパラメータでコントアをプロットしたものである。

