

熱リークを考慮した TDIS 法による無次元性能指数評価

zT estimation by TDIS method affected by heat leakage from wires attached

埼玉大院¹・児玉 零胡¹, 長谷川 靖洋¹Saitama Univ¹・Kotoko Kodama¹, Yasuhiro Hasegawa¹E-mail: kodama@env.saitama-u.ac.jp

【背景】従来より、無次元性能指数 zT は計算式 $zT = (S^2/\rho\kappa)T$ から評価されており、同じサンプルを用いた各物性値(ゼーベック係数 S ,電気抵抗率 ρ ,熱伝導率 κ)の測定結果を用いる事が理想である。しかし、物性値によって測定に適した形状が異なるため、一般的に2つのサンプルを用いて zT 評価が行われている(図1)。

以上の背景から、1つのサンプルで zT 評価が可能な TDIS(Time Domain Impedance Spectroscopy)法を提案している^[1-3]。交流電流 $I_0 \cos \omega t$ 印加時のペルチェ熱輸送により発生する温度差 $\Delta T(\omega)$ は、熱電インピーダンス $Z_{TE}(\omega) = \frac{S\Delta T(\omega)}{I_0}$ を誘起する。熱電材料の非定常熱伝導方程式の解 $T(\omega)$ より、 $Z_{TE}(\omega)$ が算出できる。適切電流下での熱電材料のインピーダンス $Z(\omega)$ は、オーミック抵抗 R_{ohm} と熱電インピーダンス $Z_{TE}(\omega)$ との和で $Z(\omega) = R_{ohm} + Z_{TE}(\omega)$ となる。 zT は $Z(\omega)$ の両極限比の関数となり(式(1))、両極限で $Z(\omega \rightarrow \infty) = R_{ohm}$, $Z(\omega \rightarrow 0) = R_{ohm} + R_{TE}$ に近似される。ここで、 $R_{TE} = \frac{S\Delta T}{I}$ は直流電流 I 印加時のペルチェ熱輸送で発生する温度差 $\Delta T(\omega \rightarrow 0)$ で誘起される熱電抵抗となる。さらに回路近似を行うと、 $Z(\omega \rightarrow 0)$ は直流電流印加時のインパルス応答 $R(t \rightarrow \infty)$ と等価であるため、 zT は式(1)となる^{[1][2]}。

$$zT = \frac{S^2 T}{\rho \kappa} = \frac{Z(\omega \rightarrow 0)}{Z(\omega \rightarrow \infty)} - 1 = \frac{R_{ohm} + R_{TE}}{R_{ohm}} - 1 = \frac{R_{TE}}{R_{ohm}} = \frac{R(t \rightarrow \infty)}{Z(\omega \rightarrow \infty)} - 1 \dots (1)$$

II型モジュールを用いた実証実験において、0.1%の誤差で zT 評価が出来る事を示した^[3]。これまでのTDIS法では、測定用電極・リード線からの熱リークや接触抵抗を考慮していなかったため、熱リークの影響を考慮した zT 評価へとモデルを拡張する。

【熱リークを考慮したモデル計算】 zT 評価で広く用いられる直方体熱電材料の上面底面に電極とリード線を設置したモデルを考える。図2(b)のように底面を熱浴固定した状態で、電流 I を印加しペルチェ効果が発生させて温度差 ΔT を与えると、上面に設置されたリード線を伝って熱リークが起こる。熱リークの効果を入れた非定常熱伝導方程式を適切に解くと、この時の熱電抵抗は $R_{TE,eff} = R_{TE} \frac{1}{\frac{K_{lead}}{K_{TE}} + 1}$ とな

り、リード線の熱コンダクタンス K_{lead} と熱電材料の熱コンダクタンス K_{TE} の比の影響を受ける。熱リークが発生する系での無次元性能指数を zT_{eff} として式(2)に示す。

$$zT_{eff} = \frac{R_{TE,eff}}{R_{ohm}} = zT \frac{1}{\frac{K_{lead}}{K_{TE}} + 1} \dots (2)$$

式(2)より、横軸を熱コンダクタンス比 $\frac{K_{lead}}{K_{TE}}$ 、縦軸を規格化した無次元性能指数 $\frac{zT_{eff}}{zT}$ としてグラフ化すると図2(a)が得られ、 zT の過小評価に熱リークが大きく影響する事が定量的に示された。熱コンダクタンス比が 10^{-2} の時は熱リークの影響が1%未満、 10^{-3} の時は0.1%未満であり、熱コンダクタンス比が十分に小さいと、リード線からの熱リークは zT 評価に影響しない。熱コンダクタンス比と無次元性能指数との関係を実験より実証する。

【参考文献】

- [1] Y.Hasegawa and M.Takeuchi, Review of Scientific Instruments, Vol. 92, 083902(2021)
 [2] Y.Hasegawa and M.Takeuchi, Scientific Reports,12:11967(2022)
 [3] Y.Hasegawa and M.Takeuchi, Review of Scientific Instruments, 94, 014902 (2023)

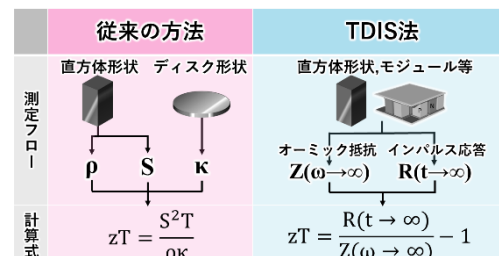
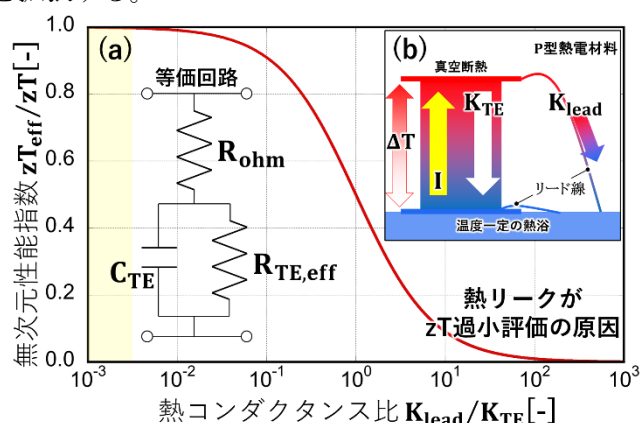


図1: 従来法と TDIS 法との比較

図2: 熱リークを考慮したモデル化 (a)熱コンダクタンス比と zT の関係 (b)モデル化したサンプルの概略図