

インピーダンススペクトロスコピー法に基づいた 熱電変換モジュールの無次元性能指数 zT の評価

Evaluation of dimensionless figure of merit for a thermoelectric module based on impedance spectroscopy

埼玉大学大学院¹, 日本学術振興会特別研究員 DC1, ○大塚 美緒子^{1,2}, 長谷川 靖洋¹

Saitama Univ.¹, JSPS fellows², ○Mioko Otsuka^{1,2}, Yasuhiro Hasegawa¹

E-mail: piyopiyo.mioko@env.saitama-u.ac.jp

【背景】

熱電モジュールの発電性能を調べる際には、温度差を一定に保ちながら I-V 特性を測定する定常法が多く用いられるが、測定のために熱電対やリード線等の付属品を必要とするデメリットがあげられる。また、DC 電流および AC 電流を印加した際の抵抗値 R_{DC} , R_{AC} を測定するハーマン法も知られているが、入力電流周波数の適切な設定値が定められておらず、 zT 値を決定する際には不明瞭な測定誤差が生じるという問題点がある。一方、非定常熱伝導方程式を適切な境界条件で解いたインピーダンススペクトロスコピー法 (IS 法) では、熱流測定を必要とせず、モジュールに設置されているリード線を用いることで入力電流の周波数測定により zT を決定できる¹⁾。さらに、RC 近似を用いて、モジュールを図 1 に示したような等価回路と見なすことで、式(1)のような関係からインピーダンスの周波数依存性が明らかとなる¹⁾。

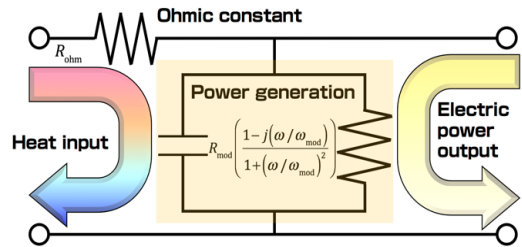


図 1 熱電変換モジュールの等価回路

$$Z_m(\omega) = R_{ohm} + R_{TE} \left(\frac{1 - j(\omega/\omega_{mod})}{1 + (\omega/\omega_{mod})^2} \right), \quad \omega_{mod} = \frac{\alpha_{mod}}{(L/2)^2} \quad (1)$$

α_{mod} : モジュールの熱拡散率[m²/s]、L: 素子の長さ[m]

【実験】

入力電流周波数が高周波数領域である ($\omega \rightarrow \infty$) ときのインピーダンス $\text{Re}[Z_m(\infty)]$ および低周波数領域であるとき ($\omega \rightarrow 0$) のインピーダンス $\text{Re}[Z_m(0)]$ の比をとることで、式(2)のように zT を決定できる。

$$zT = \frac{R_{TE}}{R_{ohm}} = \frac{R_{TE} + R_{ohm}}{R_{ohm}} - 1 = \frac{\text{Re}[Z_m(0)]}{\text{Re}[Z_m(\infty)]} - 1 \quad (2)$$

これは、交流電流印加時の抵抗 R_{AC} が $\text{Re}[Z_m(\infty)]$ に、直流電流印加時の抵抗 R_{DC} が $\text{Re}[Z_m(0)]$ に対応するような、ハーマン法の式と偶然にも一致する。さらに、 zT の算出に用いる $\text{Re}[Z_m(\infty)]$ および $\text{Re}[Z_m(0)]$ は、図 2 から読み取れるように、それぞれの周波数領域でインピーダンスの虚数成分が 0 に収束したときの周波数値を用いて決定している。ここでは、インピーダンスの実数成分と虚数成分の位相を調べることで、測定誤差を知ることができる²⁾。図 3 に示したように、IS 法を適切に用いることで、モジュールの zT 温度依存性測定が可能となる。

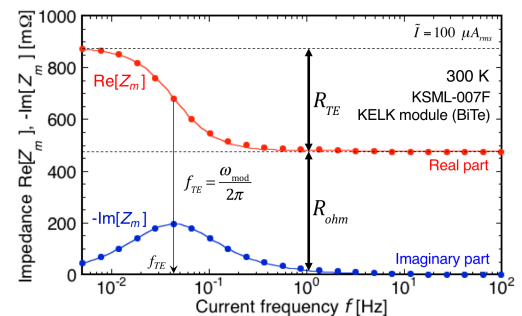


図 2 インピーダンスの電流周波数依存性

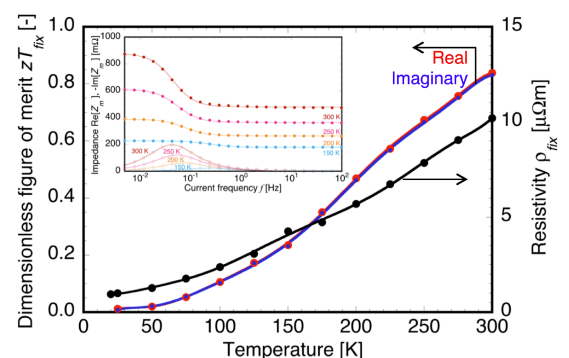


図 3 IS 法による熱電変換モジュールの zT および抵抗率の温度依存性

【参考文献】

- 1) Mioko Otsuka, Yasuhiro Hasegawa, Taichi Arisaka, Ryo Shinozaki, and Hiroyuki Morita, *Appl. Phys. Express*, **10**, 115801, (2017).
- 2) Yasuhiro Hasegawa, Mioko Otsuka, Submitting to *AIP Advance.*, (2018).

【謝辞】本研究は、JSPS 科学研究費補助金基盤研究 (B) , 日本学術振興会特別研究員奨励費 18J20748, 不二科学技術振興財団の支援により行われた。