

インピーダンススペクトロスコピー法を用いた 熱電モジュールの動特性評価

Dynamic characteristics of Thermoelectric module using impedance spectroscopy

○長谷川 靖洋¹、本間 亮英¹、大塚美緒子¹ (¹埼玉大学大学院)

○Yasuhiro Hasegawa¹, Ryoei Homma¹, Mioko Otsuka¹ (1. Saitama Univ.,)

E-mail: hasegawa@mail.saitama-u.ac.jp

【背景】熱電変換現象を利用して発電や冷却を行う場合、熱電変換素子を集積化したモジュール化が必須であり、 Π 型と呼ばれる P 型、N 型を交互に直接接合したものが一般的には用いられている。モジュールの性能指数の評価においては定常的な手法が用いられているが、現実の熱回収においては熱変動が想定されており、非定常状態での性能評価が必要である。以上の背景より、インピーダンススペクトロスコピー法に基づき、非定常 1 次元熱伝導方程式の動特性解析より熱電変換材料の特性を求める手法が提案されている。^{1,2} そこで本研究では、本手法を熱電モジュールの動特性評価に応用し現実的な仮定を導入することにより、無次元性能指数だけでなく熱電モジュールの熱損失や熱応答性に着目した実験と解析を行った。³

【実験と解析】熱電モジュールに交流電流（周波数 f [Hz]）を流すことによってペルチェ効果による起電力が発生し、熱電モジュール自体のインピーダンス変化が起こる。市販されている熱電モジュールを用い、モジュール内でのジュール熱が無視できる程度の交流電流 (1mA_{rms}) を印加し、室温で 1mHz から 10kHz までのインピーダンス周波数応答 Z_m を図 1 に示す。発電や冷却に起因する実数部 ($\text{Re}[Z_m]$) のみ着目すると、 10Hz 以上の高周波数側ではペルチェ効果は無視できるほど小さくなり、低周波数側ではペルチェ効果の影響でインピーダンスが大きくなる。ここで低周波数 ($\sim R_{DC} = R_{ohm} + R_{TE}$) ならびに高周波数側 ($\sim R_{AC} = R_{ohm}$) の実数部のインピーダンスを用い zT 値 ($\sim R_{TE} / R_{ohm} = R_{DC} / R_{AC} - 1$) は評価できる。つまり、適切な周波数を選択することで、 zT 値の評価手法はハーマン法⁴と一致する。

また図 1 の虚数部 ($-\text{Im}[Z_m]$) が極値をとる周波数が、利用する熱電モジュールの特徴的な熱応答周波数 f_c を示す。熱負荷変動のある場合において、このモジュールでは $10^{-1}[\text{Hz}]$ 以下でないと熱電機器として十分に機能しないことを示唆している。熱電モジュールの実効的な熱拡散率 $\alpha_{mod}[\text{m}^2/\text{s}]$ 、利用している熱電変換素子の長さ $L_{TE}[\text{m}]$ を使って、熱応答周波数は $f_c = 2\alpha_{mod} / \pi L_{TE}^2$ と表すことができ、変動のある熱回収を行う場合では、より大きな熱拡散率を持った材料の選択が必要となる。

さらに、虚数部 ($-\text{Im}[Z_m]$) の高周波数側の変化が熱損失の情報を含んでおり、評価された熱損失は 1% 以下であった。しかし、熱損失と熱応答性は相反関係となっており、熱電モジュールの設計においては無次元性能指数だけでなく、その熱周波数応答についての考慮も必要であることが明らかになった。

【参考文献】

1. D. Downey, T. P. Hogan, and B. Cook, Rev. Sci. Instrum. **78**, 93904 (2007).
2. J. García-Cañadas and G. Min, J. Appl. Phys. **118**, 174510 (2014).
3. Y. Hasegawa, R. Homma, M. Ohtsuka, J. Electro. Mater., Accepted.
4. T. C. Harman, J. Appl. Phys. **29**, 1373 (1958).

【謝辞】本研究は、NEDO エネルギー・環境新技術先導プログラム、JSPS 科学研究費補助金基盤研究(B)、笹川科学研究助成、加藤科学振興会研究助成の支援により行われた。

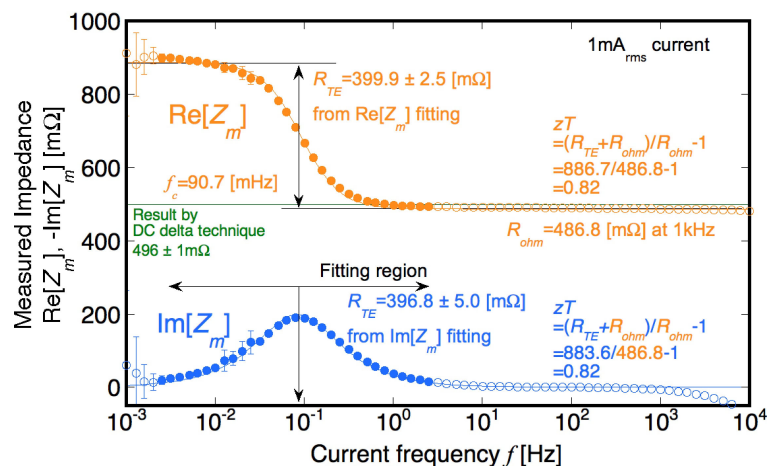


図 1：熱電モジュールの周波数特性測定例