

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過渡応答に対する zT と熱電変換効率の評価

Dimensionless figure of merit and its efficiency estimation for transient response of thermoelectric module based on impedance spectroscopy

埼玉大学大学院¹, 埼玉産技総セ², 大塚 美緒子¹, 有坂 太一¹, 篠崎 諒¹,
森田 寛之², 長谷川 靖洋¹

Saitama Univ.¹, SAITEC², Mioko Otsuka¹, Taichi Arisaka¹, Ryo Shinozaki¹,
Hiroyuki Morita², Yasuhiro Hasegawa¹

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

【背景】 熱電変換モジュールの性能評価は、定常状態の熱源に対してなされてきたが、自動車への搭載やウェアラブルデバイスへの電力供給といった実用先では熱源が非定常状態である。そこで、非定常状態の熱源に対して熱電変換モジュールの性能評価を行い、さらに、熱電変換効率 η を見積もることで、期待される現実的な発電効率を知ることができる。インピーダンススペクトロスコピー法に基づく、熱電変換モジュールは図1挿入図のような直列RC回路と仮定することができる¹。本研究では、この等価回路に基づき、非定常状態の熱源に対する熱電変換モジュールの無次元性能指数を見積もった。さらに熱電変換効率 η を算出した。

【仮定】 熱源がある一定の温度差に達するまでにかかる特徴的な時間 τ に着目し、規格化された温度差 $\Theta(t, \tau)$ の過渡応答を図1の通り仮定した。図1のように、 $t < 0$ のとき $\Theta(t, \tau) = 0$ で、 $0 \leq t \leq \tau$ では $\Theta(t, \tau) = t/\tau - 1$ の一次関数的に変化し、 $t > \tau$ のとき $\Theta(t, \tau) = 1$ となる。ここで、 $t = 0$ のときから定常状態になるまでにかかる特徴的な時間を $\tau = 1.0$ sとした。次に、入力熱の角周波数 ω に着目して、 $\Theta(t, \tau)$ に含まれる熱角周波数成分 $F(\omega, \tau)$ をフーリエ変換を用いて算出し、フーリエ成分の重み $g_n(\omega, \tau)d\omega$ を求めた。ここで、定常状態で得られる無次元性能指数を z_0T とすると、モジュールを構成する熱電変換素子の長さ L_{TE} と熱拡散率 α_{TE} から算出される熱電変換モジュールの特徴的な熱角周波数 ω_{mod} を用いて、非定常状態で得られる無次元性能指数 $z_{\omega}T$ の規格化量を $zT_N(\omega, \omega_{mod}) = z_{\omega}T/z_0T$ とする。これに、 $g_n(\omega, \tau)d\omega$ を乗じることで実効的な無次元性能指数 $zT_{eff}(\omega_{mod}, \tau)$ を見積もった²。その際、 $z_0 \propto T^{-1}$ を仮定した。

【結果】 $zT_{eff}(\omega_{mod}, \tau)$ の算出結果を無次元量 $\omega_{mod}\tau$ を用いて図2に示した。例えば、 $\omega_{mod} = 1$ の場合、 $zT_{eff}(\omega_{mod}, \tau)$ は τ が大きいほどより大きくなり、 z_0T に近づくことが読み取れる。さらに、実測されたモジュールの特徴的な熱角周波数 $\omega_{mod} = 0.629$ rad/sを用いて³、 τ を様々に設定したときの熱電変換効率 η を図3に示した。ここでは、モジュールの低温側の温度を $T_c = 300$ Kで固定し、横軸で高温側の温度 T_h を設定した。図3より、 $T_h = 500$ Kのとき、 τ が大きいほど定常状態で発揮される熱電変換効率($\eta = 8.2\%$)に近づくことが分かる。また、 τ が小さいほど熱電変換効率は小さくなり、 $\tau = 1$ sのとき、 $\eta = 2.8\%$ となる。

【参考文献】

- 1) Yasuhiro Hasegawa, Ryoei Homma, Mioko Otsuka, *J. Electr. Mater.*, **45**, 1886, (2016).
- 2) Mioko Otsuka, Yasuhiro Hasegawa, Taichi Arisaka, Ryo Shinozaki, and Hiroyuki Morita, *Appl. Phys. Express*, **10**, 115801, (2017).
- 3) Mioko Otsuka, Hiroki Terakado, Ryoei Homma, Yasuhiro Hasegawa, Md. Zahidul Islam, Georg Bastian, Alexander Stuck, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55**, 126601, (2016).

【謝辞】 本研究は、平成29年度笹川科学研究助成、平成29年度加藤科学振興会研究奨励、2017年度大学女性協会、JSPS 科学研究費補助金基盤研究(B)の支援により行われた。

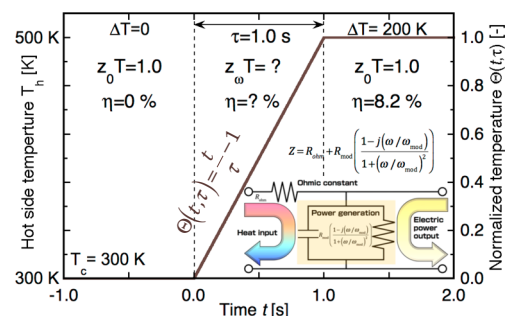


図1 仮定した熱源の温度差過渡応答

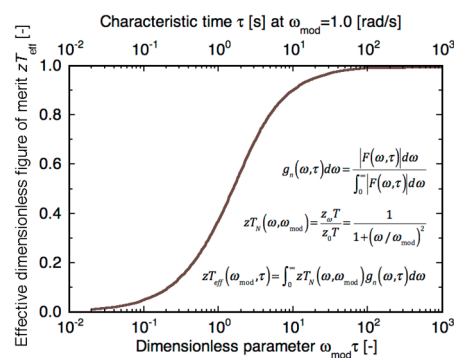


図2 $zT_{eff}(\omega_{mod}, \tau)$ の $\omega_{mod}\tau$ 依存性

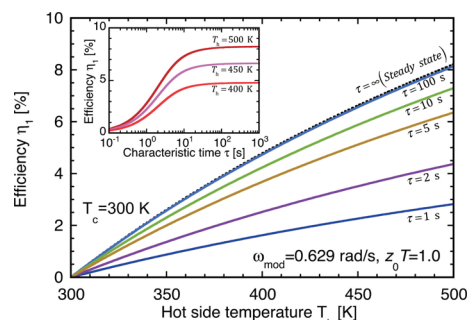


図3 τ の違いによる熱電変換効率と温度差の関係