

薄膜トランスバース型マイクロ TEG モジュールの簡略化集中定数回路モデル

Simplified lumped-constant-circuit model of transverse-type thin-film micro-TEG modules

東工大未来研[○]遠藤 弘之, 塩津 勇作, 菅原 聡

[○]H. Endou, Y. Shiotsu, and S. Sugahara, *FIRST, Tokyo Inst. of Tech.*

E-mail: endou.h.ac@m.titech.ac.jp

【はじめに】近年, 医療・介護・ヘルスケアを対象とした Internet of Humans (IoH) が注目を集めている[1]. ウェアラブルデバイス(WD)は IoH における重要な Man-machine interface として期待されている. 我々は, このような WD に応用できるヒトの体温を用いた薄膜熱電発電(μ TEG)モジュールの検討を進めている. これまでに, μ TEG モジュールの最適設計アルゴリズムや高精度集中定数回路(LCC)モデルなどを開発してきた[2-5]. この高精度 LCC モデルはデバイスの幾何学的形状から決定される LCC モデルに補正因子を導入することで, 分布定数回路(DCC)モデルとの誤差を 2-15%程度にまで低減できる. また, 高速計算が可能であることから, 計算量が膨大な構造最適化アルゴリズムを適用できる. しかし, この高精度 LCC モデルは補正因子が多く, この調整が煩雑である. 今回は, より少ない補正因子で DCC モデルの出力を再現できるモデルを新たに提案し, 高精度 LCC モデルとの比較を行い, その有用性を検証した.

【モジュール構造とモデリング】図 1(a)に薄膜トランスバース型 μ TEG の構造を示す. 短冊形状のゼーベック素子が面内方向で接続され, 各接合部は交互に高温側プレートと低温側プレートに熱コンタクトされている. この μ TEG 部は図 1(b)のようなモジュールに真空実装される[3]. ゼーベック素子には $ZT=1$ 程度の BiTe 系材料を用い, ゼーベック素子領域の絶縁材料にはポーラスシリカ(PS)を用いた[2-5]. 図 2 に μ TEG 部の集中定数熱抵抗ネットワークモデルを示す. ゼーベック素子とコンタクト電極の熱抵抗をそれぞれ K_S , K_{Lead} とし, これらの間に生じる寄生抵抗 K_{PC} も考慮した[3]. また, 絶縁材料の熱抵抗 K_{Spr} には広がり抵抗モデルを用い, これに残留直列抵抗 K_{Res} を加えてある. 前回の報告では, K_S , K_{Lead} , K_{PC} , K_{Res} に補正因子を導入し(それぞれ α_S , α_{Lead} , α_{PC} , α_{Res}), P_{out} を決定する重要なパラメータである μ TEG モジュールの熱抵抗 K_M , ゼーベック素子にかかる温度の割合 β の誤差が最小になるように各 α を決定した. このとき, 各 α は素子対数 m_0 の関数として近似した(以下, 4α -LCC モデルと呼ぶ)[5]. DCC モデルと LCC モデルの最も大きな差はゼーベック素子とコンタクト電極との接合近傍における熱流の回り込みであるが, これは α_{Lead} , α_{Res} のみで補正できる可能性がある. 実際, 出力 P_{out} のピーク近傍では, α_S , α_{PC} が 1 に近い. そこで今回は, DCC モデルの P_{out} がピーク近傍で誤差が最小になるように α_{Lead} , α_{Res} を決定することで, LCC モデルを構築する (以下, 2α -LCC モデルと呼ぶ). α_{Lead} , α_{Res} は定数とし, また, P_{out} を指標としてこれらの値を決定した.

【設計結果と性能評価】2 つの LCC モデルを用いて, 薄膜トランスバース型 μ TEG モジュールの構造最適化を行った. この最適化アルゴリズムではトレードオフパラメータ γ を用い, P_{out} が最大化されるように構造が決定される[2-4]. 系にはヒトの産熱能力を考慮した恒温動物モデルを用いた[3,4]. 設計に用いた固定パラメータは, $D=1\text{cm}$, $t_s=1\mu\text{m}$, 真空封じ壁の厚さ $x=0.5\text{mm}$ と高さ $H=5\text{mm}$ である. また, ヒトの体と外気との温度差 $\Delta T_0=10\text{K}$ とした. 図 3 に各モデルで最適設計された各種パラメータの γ 依存性を示す. 横軸の各点で P_{out} が最大になるように構造が最適化されている. γ の全範囲において 4α -LCC モデルでは K_M , β ともに誤差が小さくなるように各補正因子が決定され(K_M : 0.94%, β : 0.11%), その結果, P_{out} の誤差は γ の全範囲において 1.9%と小さい(最大値に限れば 0.69%). 一方, 2α -LCC モデルでは P_{out} を指標として各因子を決定しているにもかかわらず, K_M の誤差が 2.6%, β が 2.6%と小さく抑えられている. また, P_{out} の誤差も 2.0%と小さい(最大値に限れば 0.66%). したがって, 2α -LCC モデルでも高精度に P_{out} が再現できる.

【参考文献】[1] S.R. Islam *et al.*, IEEE Access **3**, 678–708, 2015. [2] T. Kondo *et al.*, 2017 IEEE EDTM, 201–203. [3] Y. Shiotsu *et al.*, IEEE T-ED **67**, 3834–3842, 2020. [4] N. Chiwaki *et al.*, J. Micromech. Microeng. **28**, 094003, 2018. [5] 遠藤他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 2021, 17p-Z17-2.

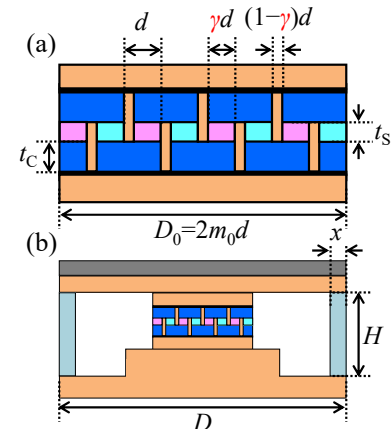


図 1. (a)薄膜トランスバース型 μ TEG, (b)モジュール構造

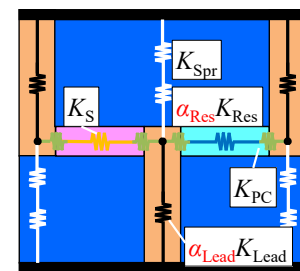


図 2. μ TEG の LCC モデル

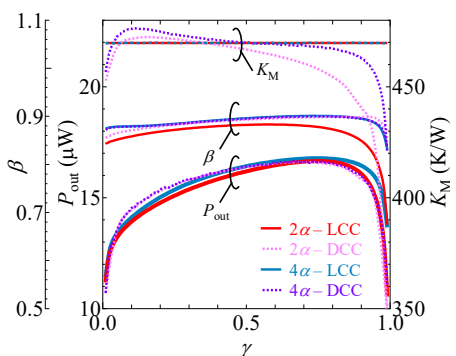


図 3. 各種パラメータの γ 依存性