

岩瀬英治研究室

(1) 切り紙型熱電発電デバイスの立ち上がり高さに対する発電特性の評価

本研究の目的は、熱源との接触面を持ち引張による立ち上がり可能な切り紙型の熱電発電デバイス (Thermoelectric generator, TEG) において、立ち上がりに対する発電特性の評価をすることである。近年、ヒトの皮膚表面のような曲げや伸縮のある熱源にも貼付し発電できるフレキシブル TEG が求められている。折り紙構造や切り紙構造はフレキシブル性を持ちながら、材料選択の自由度が高く、高発電効率が見込めることから、熱電発電デバイスに用いられた研究が行われている。これらの研究では、切り紙構造の立ち上げによって熱電材料に温度差を与えている。我々はこれまでに熱源との接触面と放熱面を持ち引張による立ち上がり可能な切り紙型 TEG を設計し、高効率な切り紙型 TEG を実現した。図 1 に示した設計構造のカットパターンは引張量によって立ち上がり高さが変化する構造である。そこで本研究では、設計された構造において、デバイスの立ち上げに対する発電特性の評価を行った。

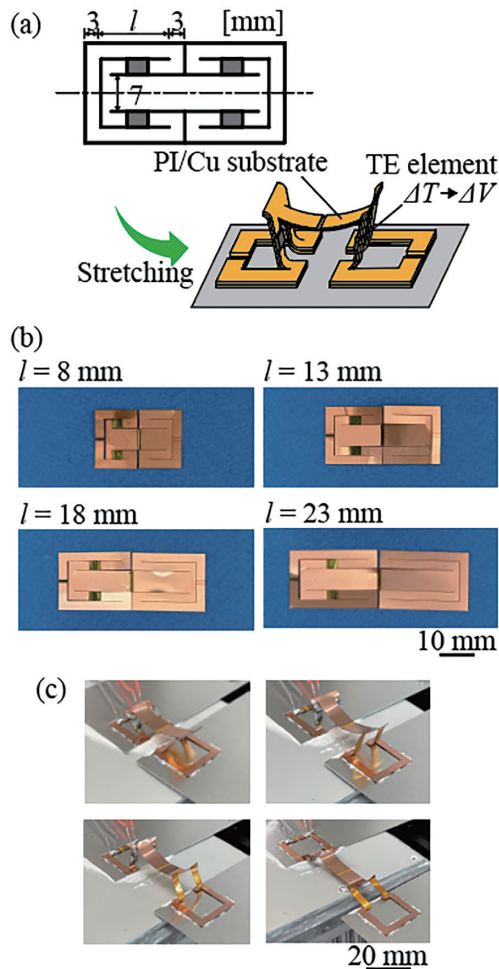


図 1 切り紙型熱電発電デバイスの外観。(a) 切り紙型熱電発電デバイスの概略図。(b) 立ち上げ前の基板。(c) 引張り前後の様子。

図 1 の設計構造において、立ち上がり高さに関わるのは引張の際に立ち上がる部分である梁長さ l である。梁長さが大きくなると、立ち上がり高さの増加や、熱電素子に熱が伝わりにくくなったり、素子密度が小さくなる。そこで、図 1 (b) に示すように梁長さを 8 mm, 13 mm, 18 mm, 23 mm にした 4 種類のデバイスを製作し、それぞれのデバイスにおいて、引張量を変化させて立ち上がり高さと発電性能を計測した。引張量を変化させながら立ち上がり高さと発電性能を測定するために、図 1 (c) のようにデバイスを接着させ、引張量を変化させた。4 種類のデバイスにおける抵抗値、立ち上がり高さ、出力電力の測定結果をそれぞれ図 2 に示した。なお、室温と熱源温度はそれぞれ 295 K, 373 K を維持させた。まず、図 2 (a) に示した 4 種類のデバイスにおける引張量と抵抗値の関係から、デバイスによる抵抗値の差と引張による抵抗値の変化は小さかった。したがって引張による出力電力の変化はデバイスの変形によるものとわかる。次に図 2 (b) に示した引張量と立ち上がり高さの関係から、梁長さ l を 8 mm, 13 mm, 18 mm, 23 mm と変化させると立ち上がり高さの最大値は 7.51 mm, 12.03 mm, 16.29 mm, 21.20 mm となっており、引張量と併せて立ち上がり高さの制御が可能であることを示した。図 2 (c) の出力電力の測定結果から、立ち上がり高さが大きくなるほど出力電力も大きくなることが明らかとなった。一方で、出力電力の最大値は梁長さ l が 8 mm, 13 mm, 18 mm, 23 mm においてそれぞれ 0.806 mW, 1.01 mW, 0.934 mW, 0.696 mW であり、最も大きかったデバイスは梁長さ 13 mm のデバイスであったことから、適切な梁長さが存在することがわかる。梁長さが 13 mm より大きくなると出力電力が小さくなった理由とし

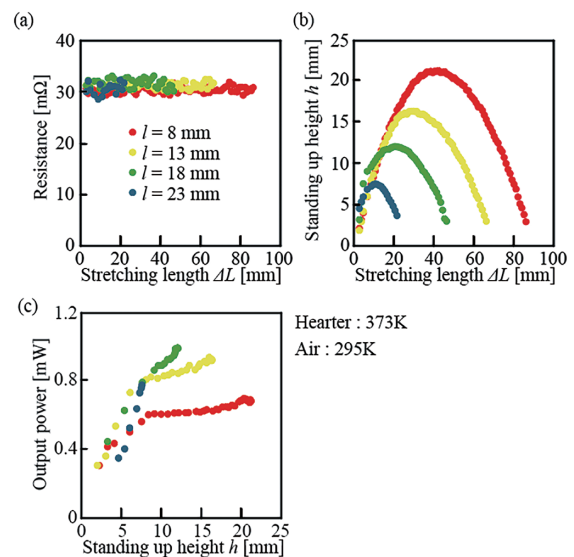


図 2 (a) 伸長長さと各梁長の抵抗の関係。(b) 伸長長さと各梁長の立ち上がり高さの関係。(c) 立ち上がり高さと各梁長の出力の関係。

て、熱抵抗の増加によって素子に与えられる温度が小さくなったことが考えられる。

(2) 折り紙型熱電発電デバイスにおける折り上げ量が温度差に与える影響の評価

本研究の目的は、折り紙型の熱電発電デバイスにおいて折り上げ量が熱電素子につく温度差に与える影響をシミュレーションにより評価することである。熱源との接触面のみ入熱しヒートシンク部のみで放熱する単純なモデルでは、折り上げ量が変化しても熱電素子につく温度差は変化しない。そのため、折り上げ量が熱電素子につく温度差に与える影響を評価するためには、熱電素子と周囲の空気との熱のやり取りを考慮する必要があると考えられる。そこで本研究では、有限要素法解析ソフトCOMSOL Multiphysicsを用いて、周囲の空気を含めた折り紙型TEGのシミュレーションモデルにおいて、折り上げ量と熱電素子につく温度差の関係を調べた。

図3に折り紙型TEGのシミュレーションモデルの概略図と寸法を示す。本研究では2D対称のモデルを用いてシミュレーションを行った。空気を幅120 mm、高さ60 mmとして外側の境界条件を圧力 1 atm、温度293.15 Kの開放境界とした。ホットプレートの温度373.15 Kとし、底部のホットプレート以外の部分は断熱とした。図4に折り上げ角 θ を60°に固定して、折り上げ角 θ を変化させたときの熱電素子につく温度差の変化を調べた結果を示す。折り上げ角が大きいほど熱電素子につく温度差も大きくなることが確認できた。

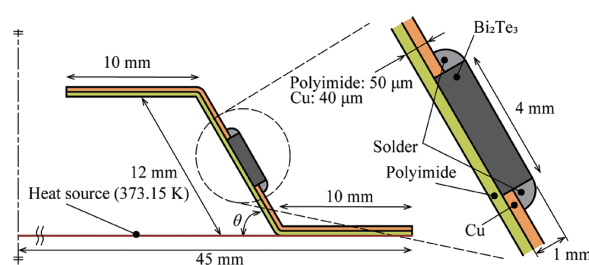


図3 折り紙型TEGのシミュレーションモデル

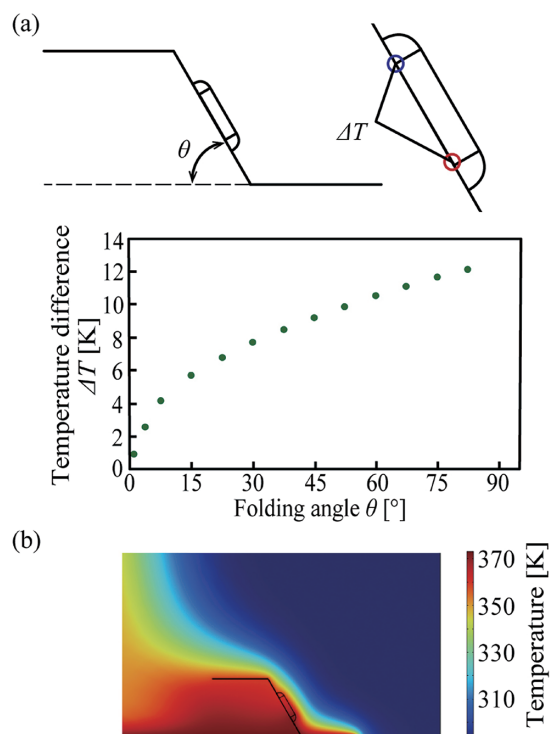


図4 (a) 立ち上げ角度と測温位置。(b) 温度分布のシミュレーション結果。

著書・論文

S. Terashima, Y. Iwasa, N. Tanaka, T. Fujigaya and E. Iwase Output Characteristics of Carbon Nanotube Thermoelectric Generator with Slitted Kirigami Structure Materials, 18 (2025), 656 (12 pages)
S. Terashima, R. Sorimachi and E. Iwase Series/Parallel Switching for Increasing Power Extraction from Thermoelectric Power Generators Micromachines, 15 (2024), 1015 (9 pages)

講演・発表

Study on Thermoelectric Generator with Thermal Contact and Cooling Surfaces using Kirigami Structure Stood up by Stretching Deformation Proceedings of the 38th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2025), 2025. 1. 19-23, 一般
自己修復型金属配線における時間変化する印加電圧による修復状態の評価 日本機械学会 第15回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 2024. 11. 25-28, 2024, 一般
パーフルオロポリエーテルを分散媒とした自己修復型金属配線における気泡発生要因の分析 日本機械学会 第15回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 2024. 11. 25-28, 一般
折り紙型熱電発電デバイスにおける折り上げ量が温度差に与える影響の評価 日本機械学会 第15回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 2024. 11. 25-28, 2024, 一般
切り紙型熱電発電デバイスの立ち上がり高さに対する発電特性の評価 日本機械学会 第15回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 2024. 11. 25-28, 一般
折り紙構造や切り紙構造を用いた熱電発電デバイス 応用物理学会 第85回秋季学術講演会, 2024. 9. 16-20, 招待