

2023 年度年次報告書

リアル空間を強靱にするハードウェアの未来

2023 年度採択研究代表者

柳澤 亮人

東京大学 生産技術研究所

特任助教

熱スイッチ駆動ナノ熱電ハーベスタ

研究成果の概要

トリリオンセンサ社会が到来する中、環境中の微小な熱エネルギーから電力を収穫する、熱電変換を用いたエナジーハーベスト技術が重要となっている。シリコンを用いた熱電発電素子は半導体ウエハプロセスによって作製され、小型で分散性に富むため、エナジーハーベスト応用に有効である。これまで材料をナノ・マイクロメートル領域にスケールアップすることで性能が高められており、大きな熱流に対して高い性能が報告されている。環境発電応用においては、小さな熱流も重要なターゲットであり、本研究は内部に熱スイッチ機構を有する微小熱流から発電可能な熱電ハーベスタの開発を目標とする。

今年度は熱スイッチ機構による平面型熱電発電デバイスの発電性能向上について有限要素法シミュレーションによって解析を行い、熱電発電デバイスの作製に向けて設計指針を得ることを目標とした。成果として、熱電発電素子の内部に熱スイッチ機構を組み込むことで、素子の低温側における放熱の熱伝達が $100 \text{ Wcm}^{-2}\text{K}^{-1}$ 以下などに限定されている場合において、熱スイッチ機構がない素子と比較して 10 倍以上の発電性能向上が見込まれる結果を得た。

シミュレーションモデルとして従来の平面型シリコン熱電発電素子を用い、素子上面と下面の間の微小な熱流に対して発電性能を評価した。モデルの境界条件として低温側の外部環境温度を $T_0 = 300 \text{ K}$ 、熱伝達係数を $100 \text{ Wcm}^{-2}\text{K}^{-1}$ とし、高温側の温度を $T_0 + 10 \text{ K}$ に固定した場合に、熱スイッチの周期とオンオフの比率を様々な範囲で変えてシミュレーションを行った。熱電発電素子の寸法として例えば厚さ $1 \mu\text{m}$ 、長さ $20 \mu\text{m}$ の Si 薄膜を発電層とする場合、熱スイッチ周期が 50 ms 、オン時間の割合が 2 % のときに発電密度が最大化する結果を得た。

2024 年度は、薄膜の熱アクチュエータを用いた熱スイッチ機構の設計・試作と、パッシブ型の熱スイッチ機構を用いた熱電ハーベスタの発電シミュレーションを行うことを目標とする。