

微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出
2019年度採択研究代表者

2020年度 年次報告書

野村 政宏

東京大学 生産技術研究所
准教授

フォノンエンジニアリングに立脚した熱電給電センシングシステム

§ 1. 研究成果の概要

2020 年度は、大きく分けて①フォノンエンジニアリングによる高度熱流制御技術開発と、②エネルギーハーベスター搭載型センサーノード開発、の2つを推進した。

① フォノンエンジニアリングによる高度熱流制御技術開発

熱フォノンは、その平均自由行程内では弾道的に輸送されるため、マクロスケールでフーリエ則により記述される拡散的熱輸送に従わない。そのため、運動量ベクトルを素直に保存する弾道性を利用することで、従来法では不可能な熱流制御が可能になる。さきがけを通じて、これまでに指向性熱流の発生と集熱の概念を提唱・実証してきたが、今年度はこれをさらに深掘した。指向性熱流発生、集熱に次ぎ、構造界面の鏡面/拡散的フォノン散乱特性を利用することで、熱フォノン周波数フィルタリングやシールドリングなど、直感に反する熱流制御と熱電変換応用への可能性を見出した。また、表面フォノンポラリトンを用いた第 4 の放熱チャンネルが窒化シリコン薄膜で有効になることを実証した。

② エネルギーハーベスター搭載型センサーノード開発

熱電変換デバイス開発では、固気界面の熱抵抗を意識した熱設計に注力し、上部キャビティ構造を形成した放熱経路を形成することにより、当該構造なしの場合と比較して飛躍的な発電量の増強に成功した。パワーマネジメント回路の開発にあたり、課題の洗い出しとセンシングシステムとの連携を早期に進めるため、市販の熱電変換素子と 3D プリンターを用いて作製した筐体を用いて無線センサーモジュールを組み上げた。2018 年に実地試験で取得した気温、風速データを人工気象室で再現し、温湿度センサーを駆動、データ送信実験を行い、熱電環境発電によって生成されたエネルギーで離れた場所にある PC にセンシングデータ送信が問題なく行えることを確認した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 野村グループ

① 研究代表者:野村 政宏 (東京大学 生産技術研究所 准教授)

② 研究項目

- ・ ナノ構造化による熱伝導制御
- ・ 平面型 Si 熱電変換デバイスの設計と作製、性能評価

(2) 大西グループ

① 主たる共同研究者:大西 正人 (東京大学 大学院工学研究科 特任助教)

② 研究項目

- ・ ナノスケールにおける界面熱コンダクタンスの再考と理解
- ・ モード分解原子グリーン関数法を用いたフォノン散乱解析コードの開発

(3) 絹村グループ

- ① 主たる共同研究者: 絹村 剛士 (前田建設工業(株) ICI総合センター プロデューサー)
- ② 研究項目
 - ・ 供用中のインフラ構造物(橋梁及びトンネル)における温度差分布計測
 - ・ 社会実装計画の検討と案出

(4) 原島グループ

- ① 主たる共同研究者: 原島 純一
(凸版印刷(株) エレクトロニクス事業本部 新事業開発本部 事業企画2T 主任)
- ② 研究項目
 - ・ カメラ+LPWA 通信の消費電力検討と計測
 - ・ 既存ペルチェ素子+エネルギーハーベスト電源+カメラ+LPWA 通信モジュール開発
 - ・ 通信プロトコル変換器(LoRa-ZETA)開発

(5) 吉田グループ

- ① 主たる共同研究者: 吉田 宜史 (セイコーホールディングス(株) 研究開発部 部長)
- ② 研究項目
 - ・ センサーノード筐体の設計と作製
 - ・ パワーマネジメント回路の検討と作製

【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Wu, J. Ordonez-Miranda, S. Gluchko, R. Anufriev, D. De Sousa Meneses, L. Del Campo, S. Volz, and M. Nomura, “Enhanced thermal conduction by surface phonon-polaritons,” *Science Advances* 6, eabb4461 (2020).
- 2) R. Anufriev and M. Nomura, “Ray phononics: Thermal guiding, emission, and shielding using ballistic phonon transport,” *Mater. Today Phys.* 15, 100272 (2020).
- 3) R. Yanagisawa, N. Tsujii, T. Mori, P. Ruther, O. Paul, and M. Nomura, “Nanostructured planar-type uni-leg Si thermoelectric generators,” *Appl. Phys. Express* 13, 095001 (2020).
- 4) X. Huang, D. Ohori, R. Yanagisawa, R. Anufriev, S. Samukawa, and M. Nomura, “Coherent and incoherent impacts of nanopillars on the thermal conductivity in silicon nanomembranes,” *ACS Appl. Mater. Interfaces* 12, 25478 (2020).