

ナノスケール・サーマルマネジメント基盤技術の創出
2017年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書

内田 健一

物質・材料研究機構
磁性・スピントロニクス材料研究拠点
グループリーダー

スピントロニック・サーマルマネジメント

§ 1. 研究成果の概要

本研究は、磁性材料やスピントロニクス素子が有する制御性・対称性・整流作用を利用した熱エネルギー制御原理とその応用に向けた基盤技術を構築することを目的としている。スピン自由度によって発現する熱電変換現象や熱制御機能の発見・実証に相次いで成功しており、スピントロニクスと熱工学の融合領域「スピнкаロトロニクス」の新たな方向性を見出している。

これまで重点的に進めてきたのは、磁性材料やスピントロニクス素子に特有の熱電効果(磁気熱電効果)及び熱流とスピン流の変換現象(熱スピン効果)に関する系統的な研究である。2020年度には熱電/磁性複合材料において発現する新機構の横型熱電変換「ゼーベック駆動横型熱電効果」を考案・実証し、スピнкаロトロニクス現象としては前人未踏の $100 \mu\text{V/K}$ に迫る熱電能を達成するなど、応用に向けた重要な進展が得られた。2021年度は前年度までに得られた成果を基盤に、磁気熱電効果の系統的な温度依存性評価や現象論モデルの整備などを進めた。本研究は2022年度が最終年度となるため、研究課題終了に先立ちこれまでの4年間の成果をまとめたレビュー論文を複数編発表した^{1,2)}。

2021年度中に得られた特筆すべき成果は以下の3点である。

A) スピン波熱移送効果による熱生成過程の解明と空間ギャップを介した熱生成機能の実証

(Applied Physics Letters 誌の Editor's Pick に選定、図1)³⁾

B) 強磁性/反強磁性転移に伴う巨大トムソン効果の直接観測と電子冷却の実証 (Applied Physics Reviews 誌の Featured Article に選定)⁴⁾

C) 熱電/磁性複合材料における「ペルチェ駆動電子冷却効果」の現象論と評価基盤の構築⁵⁾

2022年現在、本チームでしか観測・定量評価できない磁気熱電効果・熱スピン効果が複数存在している状況であり、各グループの有機的な連携を維持しつつ、世界的に見ても高い競争力をもって研究を遂行している。

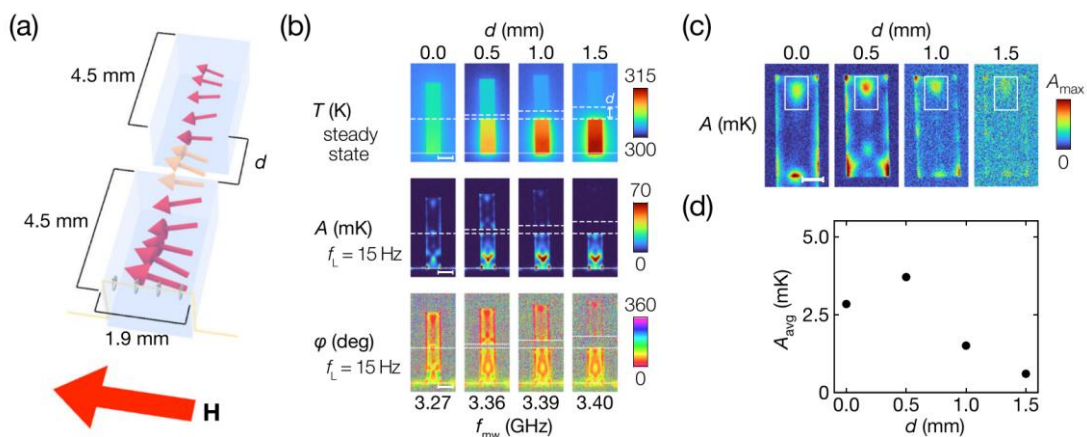


図1 スピン波熱移送効果による空間ギャップを介した熱生成³⁾

§ 2. 研究実施体制

(1)「非遍在性・非接触性熱制御機能の原理実証と材料開発」グループ

① 研究代表者:内田 健一 (物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点
グループリーダー)

② 研究項目

- ・磁気熱電効果(異方性磁気ペルチェ効果・異常エッチングスハウゼン効果)、熱スピン効果(スピンペルチェ効果)の発現機構・熱制御特性の解明と物質依存性の検証
- ・熱電/磁性複合材料において発現する新原理横型熱電変換の開拓
- ・磁気熱電効果や熱スピン効果を利用した能動的熱エネルギー制御機能の実証
- ・スピントロニクスデバイスにおける熱電変換・熱スイッチ効果の観測と解明

(2)「熱スピン・熱電効果の理論設計とマテリアルズ・インフォマティクスへの展開」グループ

① 主たる共同研究者:三浦 良雄 (物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点
グループリーダー)

② 研究項目

- ・第一原理計算による異方性磁気ペルチェ効果・異常エッチングスハウゼン効果の起源解明
- ・巨大磁気抵抗・トンネル磁気抵抗素子におけるスピнкаロリトロニクス現象の理論解析
- ・マテリアルズ・インフォマティクスを駆使した磁気熱電効果・熱スピン効果の最適設計

(3)「非相反性熱制御機能の原理実証と材料開発」グループ

① 主たる共同研究者:安 東秀 (北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科
准教授)

② 研究項目

- ・スピン波励起に伴う熱発生過程の解明と評価
- ・スピン波熱移送効果を用いた熱輸送機能の実証とその能動的制御

(4)「熱スピン効果・磁気熱量効果の熱制御工学的応用開拓」グループ

① 主たる共同研究者:長野 方星 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授)

② 研究項目

- ・ロックインサーモフレクタンス法を用いたスピнкаロリトロニクス現象の観測と解明
- ・磁気熱電効果・熱磁気効果(熱ホール効果及び磁気熱抵抗効果)の新規計測法の開発

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Uchida, W. Zhou, and Y. Sakuraba, “Transverse thermoelectric generation using magnetic materials”, Applied Physics Letters, Vol. 118, No. 14, p. 140504, 2021. [[Perspective & Featured Article](#)]
- 2) K. Uchida and R. Iguchi, “Spintronic thermal management”, Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 90, No. 12, p. 122001, 2021. [[JPS Hot Topics](#)]
- 3) Y. Kainuma, R. Iguchi, D. Prananto, V. I. Vasyuchka, B. Hillebrands, T. An, and K. Uchida, “Local heat emission due to unidirectional spin-wave heat conveyer effect observed by lock-in thermography”, Applied Physics Letters, Vol. 118, No. 22, p. 222404, 2021. [[Editor’s Pick](#)]
- 4) R. Modak, M. Murata, D. Hou, A. Miura, R. Iguchi, B. Xu, R. Guo, J. Shiomi, Y. Sakuraba, and K. Uchida, “Phase-transition-induced giant Thomson effect for thermoelectric cooling”, Applied Physics Reviews, Vol. 9, No. 1, p. 011414, 2022. [[Featured Article & AIP Scilight](#)]
- 5) K. Yamamoto, R. Iguchi, A. Miura, W. Zhou, Y. Sakuraba, Y. Miura, and K. Uchida, “Phenomenological analysis of transverse thermoelectric generation and cooling performance in magnetic/thermoelectric hybrid systems”, Journal of Applied Physics, Vol. 129, No. 22, p. 223908, 2021.