

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

2020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「スピントロニクス」の新たな方向性を見出している。

これまでは主に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を進めてきたが、新原理・新機構の導入によりスピン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、2020年度中に応用に向けた重要な進展が複数得られた。特筆すべき成果は、

- (1) ゼーベック効果を駆動力とした新機構の“横型”熱電変換の提案と実証(Nature Materials 誌に論文掲載)
- (2) 磁気トムソン効果の世界初の直接観測(Physical Review Letters 誌に論文掲載)
- (3) 磁性多層膜における巨大磁気熱抵抗効果の観測(Applied Physics Letters 誌に論文掲載)

の3点である。加えて、磁気熱電効果を利用した能動的熱エネルギー制御機能の実証、各種スピントロニクス現象の熱電変換・熱制御特性の向上を目指したコンビナトリアル材料開発、機械学習を利用したスピントロニクス素子の解析、熱電・熱輸送現象の新規計測法の開発などの成果を得た。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おり、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。

§ 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) H. Nakayama*, B. Xu, S. Iwamoto, K. Yamamoto, R. Iguchi, A. Miura, T. Hirai, Y. Miura, Y. Sakuraba, J. Shiomi*, and K. Uchida*, “Above-room-temperature giant thermal conductivity switching in spintronic multilayers”, Applied Physics Letters, Vol. 118, No. 4, p. 042409, 2021

- 2) W. Zhou, K. Yamamoto, A. Miura, R. Iguchi, Y. Miura, K. Uchida*, and Y. Sakuraba*,
“Seebeck-driven transverse thermoelectric generation”, Nature Materials, Vol. 20, No. 4, pp. 463-467, 2021 (NIMS・JST 共同プレスリリース:新機構の“横型”熱電効果を実証 ～熱電材料と磁性材料の組み合わせで巨大な熱起電力を生成、熱電技術の応用展開に新たな道～, 2021年1月19日)
- 3) T. Hirai*, H. Sepehri-Amin, K. Hasegawa, T. Koyama, R. Iguchi, T. Ohkubo, D. Chiba, and K. Uchida*, “Strain-induced cooling-heating switching of anisotropic magneto-Peltier effect”, Applied Physics Letters, Vol. 118, No. 2, p. 022403, 2021 [Featured article] (Applied Physics Letters 誌の表紙に選定)
- 4) K. Tomioka*, K. Uchida, R. Iguchi, and H. Nagano, “Non-contact imaging detection of thermal Hall effect signature by periodic heating method using lock-in thermography”, Journal of Applied Physics, Vol. 128, No. 21, p. 215103, 2020
- 5) K. Uchida*, M. Murata, A. Miura, and R. Iguchi, “Observation of the magneto-Thomson effect”, Physical Review Letters, Vol. 125, No. 10, p. 106601, 2020 [Editors’ Suggestion & Featured in Physics] (NIMS・産総研共同プレスリリース:「磁気トムソン効果」の直接観測に世界で初めて成功 ～熱・電気・磁気変換現象に関する新たな物性・機能開拓へ道～, 2020年9月2日)
- 6) A. Miura, K. Masuda, T. Hirai, R. Iguchi, T. Seki, Y. Miura, H. Tsuchiura, K. Takanashi, and K. Uchida*, “High-temperature dependence of anomalous Ettingshausen effect in SmCo₅-type permanent magnets”, Applied Physics Letters, Vol. 117, No. 8, p. 082408, 2020
- 7) S. Ju, Y. Miura*, K. Yamamoto, K. Masuda, K. Uchida, and J. Shiomi, “Machine learning analysis of tunnel magnetoresistance of magnetic tunnel junctions with disordered MgAl₂O₄”, Physical Review Research, Vol. 2, No. 2, p. 023187, 2020

(*: corresponding author)