

「ナノスケール・サーマルマネージメント基盤技術の創出」
平成 29 年度採択研究代表者

H29 年度
実績報告書

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・サーマルマネージメント

§ 1. 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
 - ・双極子型熱源に伴う温度変化の熱源サイズ依存性・時間応答特性の解明
 - ・異方性磁気ペルチェ効果の相反性・物質依存性の検証

(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（京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 准教授）
- ② 研究項目
 - ・異方性磁気ペルチェ効果の第一原理計算手法の確立

(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
 - ・ロックインサーモグラフィ法を用いたスピン波熱移送効果の計測技術の確立

(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

・熱スピン効果のサーマルマネジメントアプリケーションに関する検討

§ 2. 研究実施の概要

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・整流作用を媒介と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。平成 29 年度の各グループの研究実施内容の概要は以下の通りであり、主に本研究の基盤となる計測・材料・計算技術の拡充を進めた。発行済の論文成果は平成 29 年度末時点においては得られていないが、研究は順調に進展しており、以下の内容に関する複数の論文が掲載受理済となっている。

非遍在性・非接触性熱制御機能の原理実証と材料開発(内田グループ)

研究代表者らがこれまでに報告した研究により、磁性体/金属界面にスピン流を流すと、等量の発熱源・吸熱源のペアから成る双極子型熱源が生成され、それに伴い空間的に局在した温度変化が誘起されることが確かめられている。本グループでは、双極子型熱源による局所温度変調の動作実証と設計指針の確立を目指し、すでに試料作製・計測ノウハウが成熟しているスピンペルチェ効果(スピン流による熱流生成現象)の系統的な測定を行った。具体的には、スピンペルチェ効果の発現が確認されている強磁性体/常磁性体接合薄膜におけるスピン流誘起温度変化をロックインサーモグラフィ(LIT)法により測定し、双極子型熱源に伴う温度変化の膜厚依存性と時間応答特性を明らかにした。

また、当グループが世界初の観測に成功した異方性磁気ペルチェ効果(図 1)は、磁化と電流の相対角に依存して磁性材料のペルチェ係数が変化する現象であり、これを用いることで

- 異なる物質の接合の無い、単一の磁性体による電子冷却
- 磁性体の形状や磁化分布を変えることによる熱電変換特性の再構成
- 局所的に磁化させることによる任意箇所の温度変調

など、従来のペルチェ効果では実現できなかったナノスケール・サーマルマネジメントに適した機能が得られる。典型的な強磁性金属である Ni における異方性磁気ペルチェ効果は従来のペルチェ効果の数%程度であるが、大きなペルチェ係数の異方性を示す磁性材料が見つければ、上記機能を活かすことで、汎用性が高くコンパクトな熱制御デバイスの創出に繋がる可能性がある。この実現を目指し、本年度は主に異方性磁気ペルチェ効果における熱流－電流変換の相反性および物質依存性の検証を進めた。その結果、Ni にスピン軌道相互作用の大きな元素(Pt, Pd)を少量ドーピングすることにより、異方性磁気ペルチェ効果による温度変化が数倍増大することを見出した。このように、大きなペルチェ係数の異方性を得るための指針がすでに得られ始めている。

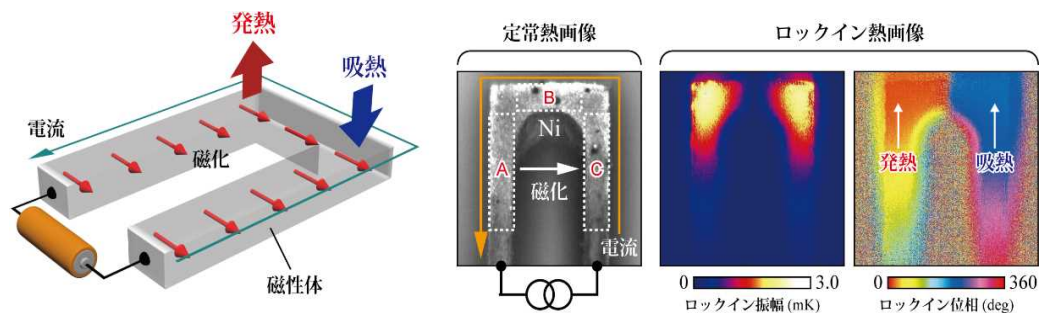


図 1 LIT 法を用いた異方性磁気ペルチェ効果の観測。

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(三浦グループ)

異方性磁気ペルチェ効果の第一原理計算手法を確立した。スピン軌道相互作用を組み込んだ電子構造計算と半古典的ボルツマン輸送理論に基づいてペルチェ係数の異方性を求め、Ni に対する計算結果が実験と定量的に一致することを確認し、本計算手法の有効性を示した。さらに、より大きな異方性磁気ペルチェ効果を示す材料の提案を行った。

非相反性熱制御機能の原理実証と材料開発(安グループ)

スピン波熱移送効果を系統的に探索するための土台を整えるべく、LIT 法を用いてこの現象を計測・解析するためのノウハウを確立した。LIT 法を用いて、典型的な磁性絶縁体であるYIGにおけるスピン波熱移送効果のダイナクスモード・マイクロ波パワー・ロックイン周波数依存性を系統的に調べ、非相反スピン波に伴う熱源強度やその発生位置、熱輸送の伝搬距離を明らかにした。

熱スピン効果・磁気熱量効果の熱制御工学的応用開拓(長野グループ)

熱スピン効果・磁気熱量効果の熱制御工学的応用に関する検討を行うため、エネルギーハーベスティング技術動向やマイクロ・ナノスケールの熱マネジメント研究開発動向について調査を行った。また、スピン材料の熱物性評価方法に関する検討を開始し、既に関連した装置の改良による実現可能性の検討と、新規測定方法に関する調査を行った。