

ERATO 内田磁性熱動体プロジェクト中間評価報告書

【研究総括】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センター 上席グループリーダー／東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授）

【評価委員】（敬称略、五十音順）

大谷 義近 （東京大学 物性研究所 教授）

喜々津 哲 （株式会社東芝 総合研究所 シニアエキスパート）

松尾 由賀利 （委員長；法政大学 理事・副学長、理工学部 教授）

湯浅 裕美 （九州大学 大学院システム情報科学研究院 教授）

Hariharan Srikanth （University of South Florida, Department of Physics, Distinguished University Professor）

【プロジェクトの概要】

本プロジェクトでは、従来ナノスケールでしか活用できなかった熱スピン変換や熱制御機能を、マクロスケールでも自在に利用可能にする新たなエネルギー材料群「磁性熱動体」として実現することを目指す。具体的には、横型熱電変換が可能な熱電永久磁石、磁場による大幅な熱伝導率制御が可能な磁性複合熱スイッチ材料、高効率冷却を実現する相界面制御磁気冷凍材料を中心に研究を行う。これらの革新的な研究成果を社会実装につなげることができれば、未利用熱の有効利用、次世代熱マネジメント、省エネルギーの促進を通じて持続可能社会への大きな貢献が期待できる。

【研究プロジェクト（領域）の設定および運営に対して】

本プロジェクトは、既存のスピントロニクス研究の単なる延長ではなく、「バルク磁性体でスピン・熱相互作用を高度に制御する」という従来不可能と考えられていた新しい領域へ進む挑戦的な目標設定である。バルク材料での未踏領域への挑戦は、ナノスケールからマクロスケールまでを対象とし、密な分野連携と新概念創出を伴う極めて独創的な構想として高く評価できる。

研究計画は挑戦的ながら、材料や構造の最適化の探索から素子化、デバイス化への適用に続くマイルストーンが明確に設定され運用されている。プロジェクトは研究分野の異なる6つの研究グループ（①熱動体原理・機能開拓グループ（NIMS・東京大学）、②多階層組織解析グループ（NIMS）、③熱動体デバイス開発グループ（NIMS）、④階層制御物質合成グループ（東京都立大学）、⑤時空間熱計測グループ（産業技術総合研究所）、⑥熱制御工学融合グループ（名古屋大学）で構成され、グループ間の役割分担と連携体制が明瞭であり体系的に研究が推進されている。四半期ごとのグループリーダー会議等により、進捗評価とリスク管理を通じて常に計画の見直しと軌道修正が行われている。また、研究費による大型装置の購入は主要な成果に直結している。以上の結果、ハイインパクトな国際学術誌への多数の論文の発表や特許出願が行われ、当初の計画を大きく上回る進捗が中間評価時点で既に見られている。これらのことから、プロジェクトの目標および研究計画の設定は極めて適切であり、内田研究総括の強力なリーダーシップと効率的なプロジェクト運営の能力が十分に発揮されていると高く評価できる。また、多様なバックグラウンドの若手研究者や学生同士の交流や協働が極めて盛んである。ポスドクから海外大学の研究教授へ抜擢される例など、人材育成の成果も出ている。

プロジェクトヘッドクォーターの活動として、多数の特許出願を通じた技術開発成果の体系的な権利化が行われている。また、アウトリーチ活動や国内外に向けた学術界及び産業界との交流も積極的に実施されており、研究成果の展開支援が十分に行われていると評価できる。

【研究の達成状況および得られた研究成果】

横型熱電変換が可能な熱電永久磁石の研究については、新たに開発した、材料の非対称積層構造が、当初想定よりも横型熱電変換の向上に有望であることが研究途上で明らかになり、研究を重点化し

た結果、世界最高性能達成という重要成果をもたらした。本成果により、熱電永久磁石の室温における性能指数($ZT > 0.5$)という最終マイルストーンは、数年前倒しで達成可能な水準に既に到達しており、当初の想定を上回る進展として高く評価される。

磁場による大幅な熱伝導率制御が可能な磁性複合熱スイッチ材料の研究については、相分離した超伝導複合材料を用いた新しい不揮発磁気熱スイッチや、磁性多層膜による巨大磁気熱抵抗の実証に成功したことにより、素材開発や応用デバイス研究の新しい道が広がり、将来的な産業展開も期待される。

高効率冷却を実現する相界面制御磁気冷凍材料の研究については、熱制御工学による材料・流体間の熱伝達挙動の測定と数値流体力学(CFD)に基づく最適化技術の統合の結果、最適な材料形状の特定や、新しいヒートポンプの概念提案を実現した。各グループの研究レベル(材料開発、観察技術、数値計算)の成果が、システムレベルの成果へと展開している点も、グループ間の有機的な連携に基づく研究成果として評価できる。

国際誌への論文掲載は既に 84 報に上る。Nature Physics や Advanced Energy Materials といったトップジャーナルへの掲載も続いている。これにより、研究成果の国際的な認知度が大きく向上し、当該分野の学術コミュニティにおいて指導的な役割を果たしている。知的財産権の取得においても、8 件の国際特許出願を含む多数の出願を通じて、研究成果が着実に知財化されている。出願内容も、横型熱電発電素子や不揮発磁気熱スイッチ材料など多岐にわたり、実用化への道筋が描かれつつある。

このように、当初の目標を超えた成果と、想定外の展開を含めた新たな研究方向の模索がプロジェクトの進展を促し、次なる研究ステージに向けた有望な基盤を形成している。今後は、マクロスケールへの挑戦の具現化と、研究成果の社会への還元が重要な観点になってくると考えられる。プロジェクトの後半に向け、学術的な研究成果に加えてこれらに関する成果の創出も期待される。

【その他特記すべき事項】

本プロジェクトは、多くの若手研究者が参加し、交流イベントを通じた人材育成を積極的に進めている。アウトリーチ活動では、オープンキャンパスやプレスリリースを通じた情報発信が行われ、技術力向上に寄与している。また、異分野との融合や国際的な研究交流の中身は豊かであり、相補的協力は横型熱電変換の国際的分類体系構築など大きな成果につながったことは評価できる。

以上より本プロジェクトは、研究基盤としての成熟度は高く、成果の社会実装への展開可能性も示されており、目的に照らして極めて高く評価できる。今後は、研究成果のさらに広い異分野への横展開、産業界及び社会への連携を深めるための見える化が期待されるが、これらへの取り組みは既に示されている。

以上を総合すると、本プロジェクトは全体的に順調に進捗し、戦略目標「元素戦略を基軸とした未踏の多元素・複合・準安定物質探索空間の開拓」の達成に資する十分な成果が得られていると評価する。

以上