

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－スペイン 研究交流）

1. 研究課題名：「熱電ユビキタス化へ向けたナノ磁気構造を用いる薄膜熱電変換素子の開発」
2. 研究期間：平成23年12月～平成27年3月
3. 支援額： 総額 19,439,750 円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	前川禎通	原子力機構・先端基礎研究センター	センター長
研究者	齊藤英治	東北大学・原子分子材料高等研究機構	教授
研究者	内田健一	東北大学・金属材料研究所	准教授
研究者	安立裕人	原子力機構・先端基礎研究センター	研究副主幹
研究者	針井一哉	原子力機構・先端基礎研究センター	特定課題推進員
研究者	吉川貴史	東北大学・金属材料研究所	博士後期課程
研究期間中の全参加研究者数		19名	

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	Manuel Ricardo Ibarra Garcia	Institute of Nanoscience of Aragon, University of Zaragoza	Director of Institute of Nanoscience of Aragon
研究者	Luis Alberto Morellon Alquezar	University of Zaragoza	Full Professor
研究者	Pedro Antonio Algarabel Lafuente	University of Zaragoza	Full Professor
研究者	Myriam Hayde e Aguirre	University of Zaragoza	Senior Scientist
研究者	Rafael Enrique Ramos Amigo	Institute of Nanoscience of Aragon, University of Zaragoza	Postdoctoral researcher
研究者	Irene Lucas del Pozo	Hired researcher	Senior researcher
研究期間中の全参加研究者数		11名	

5. 研究・交流の目的

本プロジェクトは、スピンゼーベック効果を用いた薄膜型の熱電変換素子の研究開発を目的としている。スピンゼーベック効果とは2008年に日本で初めて発見された物理現象であり、この効果を用いると熱エネルギーから電力を取り出すことが可能である。熱から電気を取り出す現象は熱電現象として200年ほど前から知られているが、スピンゼーベック効果を用いる熱電変換素子の最大の特徴は、薄膜型の素子が簡単に作成可能であり、かつ熱源に接する断面積を単純に増やすだけで出力が増幅できる点にある。

6. 研究・交流の成果

6-1 研究の成果

本プロジェクトの成果は、主に以下の2点である。これは、良質のサンプルを作成するスペイン側サラゴサ大学チーム、速やかなスピンゼーベック効果の測定を行える日本側東北大学チーム、そして得られたデータを理論的に解析する日本側原子力機構チームがそれぞれ相互補完的に研究に取り組むことで初めて得られた成果である。

- 1) マグネタイト(Fe_3O_4)という高いクラーク数で構成される安価な磁性体を使い、スピンゼーベック効果という現象を利用して、薄膜型の熱電発電素子を作成してその動作を実証したこと。スピンゼーベック効果とは2008年に日本で初めて発見された現象であり、プロジェクト開始当初はマグネタイトがスピンゼーベック効果を示すのかさえ全く未知であった。そのため、本研究成果は、安価な磁性体を用いたスピンゼーベック熱電発電という新分野を切り開いた。
- 2) スピンゼーベック熱電発電素子の実用化には出力の増幅が必要であるが、マグネタイト/白金電極の多層膜を作成することで、理論の予想をはるかに凌駕する多層膜数の二乗に比例する出力増幅を得たこと。この成果は、応用に必要な出力増幅を容易にする新しい方針を与えている。

6-2 人的交流の成果

日本側からは若手メンバーを中心にスペインのサラゴサ大学を複数回訪問し、磁性薄膜作成技術とその品質評価方法について情報を得た。またスペイン側からは、このプロジェクトで雇用された研究員がサラゴサ大学で作成したサンプルを携えて複数回にわたり東北大学と原子力機構を訪問し、スピンゼーベック効果の測定を共同で行い且つその技術を習得した。これにより、現在ではサラゴサ大学にもスピンゼーベック効果の測定装置が完成し、独自にスピンゼーベック効果の研究ができるようになっている。更に、この共同研究プロジェクトが契機となり、研究代表者の前川先端基礎研究センター長は2013年12月にサラゴサ大学から名誉博士号を授与されている。

また、共同研究成果のとりまとめと共同論文の執筆のため、2012年と2014年にいずれもスペインにて共同ワークショップを開催した。2012年のワークショップでまとめられた成果は、Applied Physics Lettersの2013年2月号に出版することができた。一方、2014年のワークショップでまとめられた成果は既に投稿済みであり、現在審査中である。これらのワークショップを通して、修士課程学生を含む多数の若手日本メンバーがスペインを訪れスペイン文化に触れたことは、両国の相互理解にとって大きなプラスになると考えられる。

最後に、このプロジェクトで得られた成果は、平成26年度後半からスタートしたJST-ERATO 齊藤スピ量子整流プロジェクトの一部として引き継がれている。これに関連して、このプロジェクトメンバーであったR. Ramos 研究員は、現在、JST-ERATO 齊藤スピ量子整流プロジェクト研究員として東北大学に所属している。更に、プロジェクト終了後もスピンゼーベック効果というキーワードを通して両国チームの交流は続いており、これらの研究交流は両国の科学技術の発展を更に加速させると考えられる。

7. 本研究交流による主な論文発表・主要学会での発表・特許出願

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年、DOI ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、出願番号、出願人、発明者等	特記 事項
論文	R. Ramos et al., "Observation of the spin Seebeck effect in epitaxial Fe ₃ O ₄ thin films", Applied Physics Letters 102, 072413 (2013). DOI: 10.1063/1.4793486	共同 論文
論文	R. Ramos et al., "Anomalous Nernst effect of Fe ₃ O ₄ single crystal", Physical Review B 90, 054422 (2014). DOI: 10.1103/PhysRevB.90.054422	共同 論文
学会 発表	R. Ramos et al., "Thermomagnetic transports effects in transition metal oxides with a metal-insulator transition", MRS meeting, San Francisco, USA (April 21, 2014).	共同 研究 成果 口頭 発表