

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「次世代エレクトロニクスデバイスの
創出に資する革新材料・プロセス研究」
研究課題「数値シミュレーションによる新材料・
新機能の開発」

研究終了報告書

研究期間 平成20年10月～平成26年 3月

研究代表者：前川 禎通
((独)日本原子力研究開発機構
先端基礎研究センター、センター長)

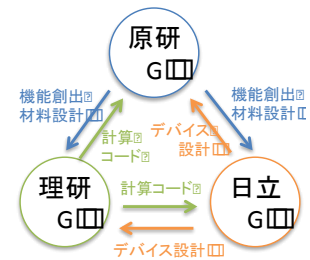
§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

研究の狙い—電子は電荷とスピンの2つの内部自由度を持つ。電荷は電気のもとであり、その流れが電流である。一方、スピンは磁気のもとでありその流れをスピン流と呼ぶ。スピン流は電流と違って、普通 $1\mu\text{m}$ 程度以下で減衰するため、ナノ領域でのみ利用可能な量である。また、スピンの効果は電子間相互作用及びデバイスのナノ構造に強く依存する。そのため、その研究には数値シミュレーションが有力な手段である。

本研究では、様々な電子状態計算手法を駆使して数値シミュレーションを行い、スピンと電荷のそれぞれの流れおよび相互変換を制御し、従来のエレクトロニクスをはるかに越えるナノデバイスの**新原理、新機能を提案**するとともに、そのための**新材料の設計**を目標とした。

研究実施体制—本研究チームは、原研、理研、日立の3つのグループから構成される。原研グループ(G)が主に機能創出と材料設計における基本概念の確立と理論構築、理研Gが主に物質界面を含めた材料開発のための電子状態第一原理計算コード開発、そして日立Gが主にデバイス設計を担当した。また、共同で理論の実証実験に取り組む国内外の実験グループとの情報交換を緊密にとり、理論面からのサポートを継続的に行うことで共同研究におけるイニシアティブを確保し、積極的な外部発表によって国際的なプライオリティの保全をはかった。



研究実施内容—「スピン起電力」、「スピン熱電効果」、「強磁性ジョセフソン共鳴」の3つの基礎理論の構築とそのデバイス化に向けた数値シミュレーション法の開発を推進し、それらの実証実験を通して、新規ナノデバイスの提案とそのための新材料の設計を行った。本研究の中間点までに、スピン起電力とスピン熱電効果の発現機構に関する基礎理論の構築(原研G)、並びに第一原理計算に電子相関効果を組み込んだ数値計算コード開発を完成した(原研G/理研G)。これらは、数多くの招待講演、新聞等メディアでの発表、注目論文に取り上げられるなど国内外ですでに多くの反響を博している。さらに研究期間後半では、これらの基礎的な成果をベースとして集積化システムに組み込む際の「**出力の増大**」(原研G/理研G)と「**実施形態の開発**」(原研G/日立G)に向けた研究を推進した。

得られた成果—本研究にて開発した材料及びデバイス開発のための数値計算プログラムを利用し、全体研究計画に掲げたデバイス開発において主として以下の事項を達成した：

【スピン起電力デバイス】

- ・大きな垂直磁気異方性を有する強磁性体によりスピン起電力の出力を安定化できること、及びナノ構造の制御による出力信号の変調が可能であることを理論的に予測した(原研G)。
- ・スピン起電力による電圧読み出し型磁気ヘッドを発明し特許出願した(日立G/原研G)。

【スピン熱電デバイス】

- ・フォノン駆動スピントラッキング効果を理論的に予測し、縦型スピン熱電素子配置及びそれに基づく薄膜熱電素子の設計を可能とした。(原研G)。
- ・スピン流・電流変換において電子相関効果を取り込むことにより、スピン熱電素子の大幅な出力増大が可能であることを理論的に予測した(原研G/理研G)。

以上、基礎理論の構築から具体的集積化システムの提案をもって、本研究を完成させた。

(2) 顕著な成果

＜優れた基礎研究としての成果＞

1. スピン起電力の基礎学理形成とその実証

磁気エネルギーから電気エネルギーを直接取り出すスピン起電力（一般化ファラデーの法則）という新現象において、スピンドYNAMICSに基づく理論定式化と数値計算手法の確立、内部磁気エネルギーからの電圧生成、高出力安定化のための材料探索、出力におけるノイズ等の非線形挙動の原因特定といった課題に対する理論的解明、ならびに直流スピン起電力の連続発信、スピン起電力の実時間観測といった実験グループとの共同研究における理論解析等を実施し、スピン起電力に関する包括的な学理の形成を行った。

2. フォノン駆動スピンゼーベック効果の理論の構築

熱エネルギーからスピン流を生成するスピンゼーベック効果という新現象において、非平衡の格子振動（フォノン）の重要性を実験に先駆けて指摘した。このフォノン駆動スピンゼーベック効果のシナリオに基づき、我々はスピンゼーベック効果の微視的メカニズムが確立していない段階で、室温から絶対零度にいたる範囲でのスピンゼーベック信号の温度依存性を理論的に予測した。この理論予測はその後のオハイオ州立大学および東北大学のグループの実験によって実証され、スピンゼーベック効果の背後にある物理現象の理解を大きく前進させた。

3. 密度汎関数法+量子モンテカルロ法のコード開発

物質中のバンド構造を計算する密度汎関数法は、物質の磁氣的性質を記述出来ないという欠点がある。一方、物質の磁氣的性質を記述出来る量子モンテカルロ法は、これまで単純化されたモデルに基づく解析方法のみが存在していた。我々は、密度汎関数法と量子モンテカルロ法を組み合わせ、現実的な物質中の磁氣的性質を正確に解析する計算アルゴリズムを開発した。典型的な磁性半導体の(Ga,Mn)Asの物性解析を通してこの手法の有用性を実証し、J. Phys. Soc. Jpn.の注目論文にも選出された。また、この手法を援用してスピン流・電流変換に用いられるスピンホール電極の物質探索においても顕著な成果を得た。

＜科学技術イノベーションに大きく寄与する成果＞

1. スピン起電力による新規磁気ヘッドの発明

磁気記憶装置では年々高記録密度化が進んでおり、再生ヘッドにも高記録密度に対応したものが求められている。この要求に応えるために、スピン起電力を用いた新しい原理の磁気ヘッドを提案した。本発明は読み出しの際のセンス電流が不要になるという著しい特徴を持ち、従来技術のTMRヘッドやGMRヘッドと比較して安定した磁化情報の読み出しを可能とする。本原理に基づく磁気ヘッドの提案はまだ世界的に例がなく、要素技術として特許出願を果たした。

2. 縦型スピンゼーベック効果による薄膜熱電素子の可能性の開拓

応用に適した縦型スピンゼーベック効果にも非平衡フォノンが重要である事を指摘した。このことにより、縦型スピンゼーベック効果を用いる薄膜熱電素子の可能性を拓いた。従来の熱電素子の薄膜化は非常に困難であるが、スピンゼーベック熱電素子では基板のフォノンを利用できるので比較的容易に素子の薄膜化が可能である。我々のフォノン駆動スピンゼーベック効果の理論は、NECと東北大学の共同研究であるスピン熱電コーティング (Kirihara et al., Nature Materials 2012:スピンゼーベック効果を用いた薄膜熱電素子による発熱体のコーティング) の実現を促した。

3. スピン流・電流変換効率の最適化の理論開発

スピン流素子が電流で動作する素子と通信する場合、その機能性はスピン流・電流の変換効率によって定まる。このスピン流・電流の変換を司るのがスピホール効果という現象である。これまでスピン流・電流の変換率はおよそ 1%以下に留まっていたが、我々はこのスピン流・電流の変換効率を大きく増強する微視的メカニズムを理論的に解明した。具体的には、鉄イオンを微量含む金がスピホール電極材料として優れていること、また伝導面の厚さを薄くして表面散乱の寄与を増やすとスピホール効果が増強される事などを明らかとし、結果としてスピン流・電流の変換効率を 10%程度まで引き上げられる事を示した。

* 上記の他、関連する多くの成果を得ているが、それらの詳細は § 4 に記載する。

§ 2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

強磁性の特性やスピン流の効果は電子間の相互作用（電子相関）により導かれ、その本質は量子多体問題である。大規模シミュレーション手法をナノデバイス設計と組み合わせることにより、**材料からデバイスまで一貫した研究**が可能になる。

本研究では、電子状態数値計算手法を駆使して「強相関エレクトロニクス」、「スピエレクトロニクス」におけるナノデバイスの新原理、新機能を提案するとともに、そのための新材料の設計を行う。具体的な目標として、多角的なシミュレーションを駆使し、設計、検証、最適化を行い、次のような新しいデバイスモデルを提示し、国内外の実験グループの協力を得て、その可能性を実証する。

- (1) 「一般化ファラデーの法則（スピン起電力）に基づく論理デバイス」
- (2) 「スピン・熱交差効果（スピンゼーベック効果）とそれによる新しい機能デバイス」
- (3) 「強磁性ジョセフソン共鳴デバイス」

本研究領域における我々理論チームに課された最大のミッションは、基本法則に裏打ちされた**新規物理現象の発見とコンセプト化**、及びそれらの有用性を検証するための**数値シミュレーションによる可視化**と心得ている。これにより、国内外の研究グループや一般の企業を巻き込んだ、次世代エレクトロニクスデバイス創出の大きなうねりを引き起こす新しい起点の形成に貢献したい。

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

- ① 中間評価で受けた指摘や助言、それを踏まえて対応した結果について
中間評価結果（2011年11月、公開資料）からの抜粋：
 - ・ 研究成果の物理としてのレベルは高く、おおむね順調に進捗している。
 - ・ スピントロニクス分野での新規性の高い提案がなされ、応用の可能性も期待される。
 - ・ 実験グループとの協力による実証の活動はインパクトが大きく高く評価できる。
 - ・ 実験グループとの共同研究では、理論研究者として担当箇所を明確にしてほしい。
 - ・ 応用上、出力を上昇させる方策が得られると高いインパクトをもたらす。
 - ・ 具体的な集積化システムの可能性を示してほしい。

以上のご指摘をふまえ、新たに「**出力の上昇**」、「**集積化システムの検討**」に研究の重点をおき、特に「電子相関を取り入れた電気・スピン変換効果の研究」、及び「高密度磁気メモリ用の新しい読み出しヘッドの開発」を研究内容に追加した。

② 上記①以外で生まれた新たな展開について

- ・ スピン起電力に基づくパワースピントロニクスの新創出（原研 G）
- ・ スピン三重項超伝導体における長距離スピン流の発見（理研 G）
- ・ 強磁性／非磁性界面における垂直磁気異方性の起源の解明（日立 G／原研 G）

§ 3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 原研グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
前川 禎通	(独)日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	センター長	H20.10～
森 道康	同上	研究員	H20.10～
高橋 三郎	東北大学 金属材料研究所	助教	H20.10～
大西 弘明	(独)日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	研究員	H22.4～
久保 勝規	同上	研究員	H22.4～
家田 淳一	同上	研究員	H20.10～
大江 純一郎	東邦大学理学部物理学科	講師	H21.4～
安立 裕人	(独)日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	任期付研究員	H21.3～
Bo Gu	同上	研究員	H20.10～
松尾 衛	同上	任期付研究員	H24.4～
杉本 貴則	同上	特定課題推進員	H24.4～
Xu Zhuo	同上	特定課題推進員	H24.6～
山根 結太	東北大学 金属材料研究所	D3	H20.10～ H24.3
松尾 まり	(独)日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	特定課題推進員	H22.4～ H24.3
寺田 美夏	東北大学 金属材料研究所	技術補佐員	H20.10～ H22.3
杉下 裕樹	東北大学 金属材料研究所	M2	H20.10～ H21.3
Navid Afzal Shooshtary	東北大学 金属材料研究所	M2	H20.10～ H21.3

研究項目

- ・ ナノデバイスにおける一般化されたファラデーの法則、電流・スピン流・熱流の相互変換機構の解明
- ・ 「スピントロニクス」及び「強相関エレクトロニクス」のためのナノデバイス開発
- ・ 数値シミュレーションによる材料探索

② 理研グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
柚木 清司	(独)理化学研究所 基幹研究所	准主任研究員	H20.10～
小椎八重 航	同上	上級研究員	H20.10～

西口 和孝	同上	特別研究員	H25.4～
QinFang Zhang	Yancheng Institute of Technology (China)	Associate Prof.	H21.7～
渡部 洋	(独)理化学研究所 基幹研究所	特別研究員	H21.4～
挽野 真一	同上	基礎科学特別研究員	H22.4～
白川 知功	同上	基礎科学特別研究員	H22.4～
Lihua Wang	同上	特別研究員	H22.4～ H23.3
Satadeep Bhattacharjee	同上	特別研究員	H24.9～ H24.10

研究項目

- ・スピン熱電対の開発のために必要な電子相関の強い系におけるスピン流と熱流の伝導理論の構築
- ・数値計算シミュレーションによる材料探索

③日立グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
市村 雅彦	(株)日立製作所 中央研究所	主任研究員	H20.10～
濱田 智之	同上	主管研究員	H20.10～
菅野 量子	同上	主任研究員	H20.10～

研究項目

- ・スピントルク及びスピン起電力による論理素子の設計を加速するための磁化ダイナミクス解析
- ・有限要素法によるデバイスの形状、構造の最適化

(2)国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

【理論構築】

S.E. Barnes 教授(Univ. of Miami): スピン起電力の理論に関する共同研究

【実証実験】

田中雅明教授(東京大): スピン起電力の実験に関する共同研究、及び共同特許出願

小野輝男教授(京都大): スピン起電力の実験に関する共同研究

齊藤英治教授(東北大): スピン起電力およびスピン熱電効果の実験に関する共同研究

林将光博士(物材機構): スピン起電力の実験に関する共同研究

J. Heremans 教授(Ohio State Univ.): スピン熱電効果の実験に関する共同研究、研究員派遣

B. Hillebrands 教授(Kaiserslautern Univ.): スピン熱電効果の実験に関する共同研究

H.-S. Yang 博士(National Singapore Univ.): スピン熱電効果の実験に関する共同研究

S.S.P. Parkin 博士(IBM Almaden): 強磁性/超伝導接合系の実験に関する共同研究

M. Aprili 教授(Univ. of Paris): 強磁性/超伝導接合系の実験に関する共同研究

高梨弘毅教授(東北大): スピンホール効果の実験に関する共同研究

大谷義近教授(東京大): スピンホール効果の実験に関する共同研究

植村泰明教授(Columbia Univ.): 新規磁性半導体の開発に関する共同研究

V. Venkatesan 教授(National Singapore Univ.): 酸化物界面物性の実験に関する共同研究

【デバイス開発】

NEC スマートエネルギー研究所: スピン熱電素子開発に関する共同研究

【主催ワークショップ参加者】

○第2回 ASRC 国際ワークショップ(2012年1月、茨城県東海村)

S. D. Bader	Argonne National Laboratory
S. E. Barnes	University of Miami
G. E. W. Bauer	IMR, Tohoku University
J. Bonca	University of Ljubljana
S. R. Dunsiger	Technical University Munich
C. Felser	Johannes Gutenberg University
T. Fennell	Paul Scherrer Institut
P. Fulde	Max Plank Institute
T. Goko	TRIUMF
T. Hanaguri	RIKEN
J. P. Heremans	The Ohio State University
R. Jansen	AIST
X. F. Jin	Fudan University
C. Q. Jin	Chinese Academy of Science
T. Jungwirth	Academy of Sciences of the Czech Republic
S. Kasai	National Institute for Materials Science
M. Klaeui	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne
T. Kimura	Kyushu University
H. Kohno	Osaka University
J. Kono	Rice University
H.W. Lee	Pohang University of Science and Technology
J. Martinek	Polish Academy of Science
E. Morenzoni	Paul Scherrer Institut
H. Munekata	Tokyo Institute of Technology
S. Murakami	Tokyo Institute of Technology
N. Nagaosa	The University of Tokyo
T. Ono	Kyoto University
S. Onoda	RIKEN
Y. Onose	The University of Tokyo
Y. Otani	The University of Tokyo
C. Pappas	Delft University of Technology
S. S. P. Parkin	SpinAps, IBM Almaden Research Center
C. Pfleiderer	Technical University Munich
P. Roushan	Princeton University
E. Saitoh	IMR, Tohoku University
J. Sinova	Texas A&M University
K. Takanashi	IMR, Tohoku University
M. Takkigawa	The University of Tokyo
M. Tanaka	The University of Tokyo
G. Tatara	Tokyo Metropolitan University
E. Y. Tsybal	University of Nebraska
S. Uchida	The University of Tokyo
Y. J. Uemura	Columbia University
Y. Y. Wang	Tsinghua University
A. Wildes	Institut Laue Langevin
K. Yamada	IMR, Tohoku University
H. Yang	National University of Singapore
W. Q. Yu	Renmin University of China
X. Z. Yu	NIMS & JST-ERATO (Tokura Project)
S. Yuasa	AIST

Timothy Ziman	Institut Laue-Langevin
I. Zutic	The State University of New York

○第8回 ASRC 国際ワークショップ(2013年2月、茨城県東海村)

S. E. Barnes	University of Miami
Y. Blanter	Delft University of Technology
A. Brataas	NTNU Trondheim
G. de Loubens	SPEC, CEA
M. Freeman	University of Alberta
P. Fulde	Max-Planck-Institut
C. Hammel	The Ohio State University
T. Jungwirth	Academy of Science of the Czech Republic
A. Kovalev	University of California
R. Mohanty	Boston University
S. Murakami	Tokyo Institute of Technology
N. Nagaosa	The University of Tokyo
K. Nomura	IMR, Tohoku University
Y. Otani	ISSP, The University of Tokyo
O. Sushkov	The University of New South Wales
S. Takahashi	IMR, Tohoku University
O. Tretiakov	IMR, Tohoku University
K. Uchida	IMR, Tohoku University
K. Xia	Beijing Normal University
H. Yamaguchi	NTT Basic Research Laboratories
Y. Yoshida	ISSP, The University of Tokyo
M. Zareyan	Institute for Advanced Studies in Basic Science
T. Ziman	Institut Laue-Langevin

§ 4 研究実施内容及び成果

4.1 一般化ファラデーの法則に基づく論理素子の開発 (原研 前川グループ、日立 市村グループ)

(1)研究実施内容及び成果

①研究のねらい

電気-磁気エネルギー変換の新原理である「スピン起電力」の生成機構を理論的に明らかにし、高効率化に向けたデバイス構造の提案、及び最適化を数値シミュレーションにより行う。

古典的な電磁気学では、磁場の中に電気回路を置いたとき、磁場の時間的な変化が回路に起電力をもたらす。これは1831年にファラデーが発見した電磁誘導の法則であり、さまざまな電気機器の動作原理となっている。この起電力は磁場が電子の「電荷」に作用する力を反映している。一方、ミクロな世界を扱う量子力学では、電子の「スピン」にも力が作用する。我々は、磁性材料を含むナノ構造においては時間的に変化しない静磁場の中でも起電力を発現できることを理論的に示し、このスピンの起電力を「スピン起電力」と名付けた[Barnes & Maekawa, Phys. Rev. Lett. 98, 246601 (2007)]。この原理を用いれば、磁気エネルギーから電気エネルギーへの効率的な変換が可能になり、新しいタイプの電池(スピン電池)としての応用が考えられる。

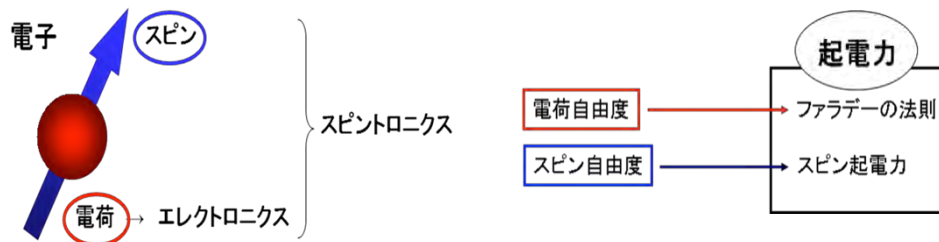


図1: 電子の内部自由度としての電荷とスピン。電荷自由度に作用する力から、ファラデーの電磁誘導の法則が導かれ、スピン自由度に作用する力がスピン起電力として定式化される。

②研究実施方法

スピン起電力は、一般に強磁性体において磁化が空間的にも時間的にも非一様な状況で発現する。そこで、磁性ナノ粒子、磁壁、磁気渦といった非一様磁化を有する強磁性ナノ構造に着目し、磁化の運動方程式であるランダウ-リフシッツ-ギルバート(LLG)方程式に基づいた実空間実時間磁化ダイナミクスシミュレーションを行う。求めた磁化ダイナミクスから、各時間・空間におけるスピン電場を計算し、ポアソン方程式を解くことで試料全体の電位分布を求める。

研究実施に当たって、原研グループと日立グループでLLG計算、スピン起電力計算プログラムの整備を行い、それらを統合した任意の強磁性物質・材料形状におけるスピン起電力を求める数値計算のアルゴリズムの開発を行う。また、本研究で得られた理論予測を、実証実験協力グループと共同で検証する。ここで得られた知見を元に、集積化システムへの具体的な応用を示す。

③実施内容と成果

研究計画は順調に進められ、任意の強磁性物質・材料形状におけるスピン起電力を求める数値計算のアルゴリズムが完成した。これにより、様々な実験状況でのスピン起電力特性(実時間信号、外部磁場依存性、物質依存性、新規機能発現)が明らかになった。また、以上の成果に基づき、スピン起電力を用いた新しい磁気ヘッド、スピン流制御装置等の提案を行い、特許出願を果たした。

【スピン起電力の基礎学理の建設(原研 G)】

スピン起電力の数値計算アルゴリズムの開発

まず取り組んだのが、数値解析手法の確立である。元来スピン起電力は、電子のスピンが獲得するベリー位相の時間微分として定式化された。ベリー位相が解析的に計算できる系においては、これに基づくスピン起電力の見積もりが可能である。我々は、より一般的な系において定量的にスピン起電力を議論するために、s-d 型の交換相互作用モデルに基づくスピン起電力理論を構築し、スピン起電力 V が

$$V = -\left(\frac{\hbar}{2e}\right) \int \mathbf{m} \times (\dot{\mathbf{m}} \times \nabla \mathbf{m}) d\mathbf{r} \quad (1)$$

で与えられることを明らかにした。ここで、 P は強磁性体のスピン分極率、 e は素電荷、 \mathbf{m} は局在磁化の方向を示す単位ベクトルである。(1)式からわかることは、一つはスピン起電力を計算するためには局在磁化のダイナミクスを計算すればよいということ。もう一つは、スピン起電力生成のためには、時間、空間双方に依存した局在磁化ダイナミクスの誘起が必要だということである。本研究の成果により、任意の系におけるスピン起電力の定量的な計算が可能になり、従って数値的な解析が可能になった。局在磁化のダイナミクスは LLG 方程式に従うことがよく知られている。従って、スピン起電力の計算は、任意形状の強磁性ナノ構造において LLG 方程式を解き、そこで得られた局在磁化ダイナミクスを用いて(1)式を数値的に求めることに帰着する。

磁壁運動によるスピン起電力の実時間解析

強磁性ナノ細線中の磁壁の運動は、非一様なナノ構造磁性体の磁気ダイナミクスを研究する上で最もよく調べられている系であり、スピン起電力が発現する典型的な例として知られる。磁壁運動の一次元モデルに基づく理論計算によると、磁壁移動によるスピン起電力は i)外部磁場の大きさに比例して増大する、ii)磁壁速度そのものには依存しない、iii)磁壁の内部構造(磁壁のタイプ)によらず磁壁の進行方向に電圧降下が生じる、といった予測がなされる。現実の強磁性細線には広がりがあり、磁壁を構成する磁化の配置も3次元的な構造を持つと同時に、その磁壁の内部構造は磁場をかけることで時々刻々と変化してゆく。そこで、数値シミュレーションを実施しパーマロイ細線中の磁壁移動によって生じるスピン起電力の実時間解析を行った。その結果、前述の一次元モデルの予測が一定の磁場領域では成立することを明らかにし、より高磁場領域では非線形な磁化ダイナミクスが生じる結果、発生するスピン起電力も大きく乱されてしまうことを見いだした。これらのスピン起電力に関する基本的な理論予測は、物材機構で行われた精密な実験によって実証された。

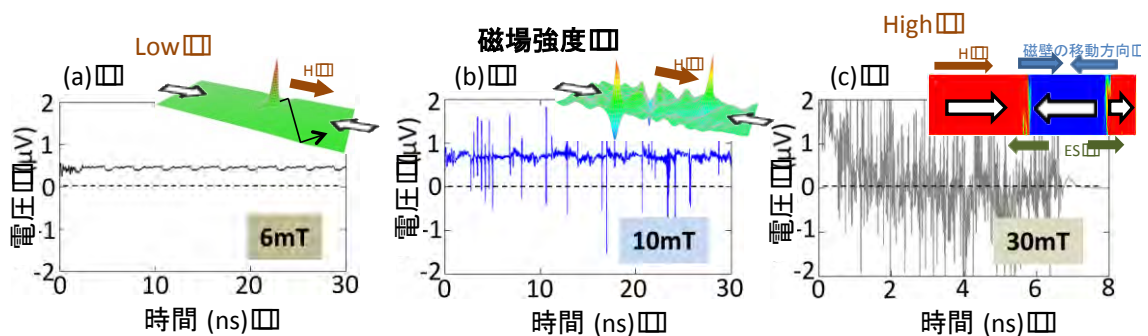


図 2：磁壁運動によるスピン起電力の実時間信号解析。出力電圧は外部磁場強度の上昇により、(a)ほぼ直流電圧、(b)有限の直流成分+スパイク状のノイズ成分、(c)ノイズのみで平均値がゼロと変化する。内挿図は対応する磁化構造を示す。

さらに、数値計算により明らかにされたスパイク状の電圧信号の起源を探るため、より詳しい解析を行った。スパイク状の電圧信号がでていた時刻付近[図3(a)]で磁化配置の時間発展を詳細に見ると、磁壁の内部構造が大きくゆがみ、磁化の作る渦巻き状の構造が衝突するような非線形ダイナミクスが生じていることを見いだした[図3(b)-(d)]。このような非線形領域におけるスピン起電力の詳細な解析は、物理学的に興味深い研究対象であると同時に、実際のデバイス設計においても重要な知見を与える。

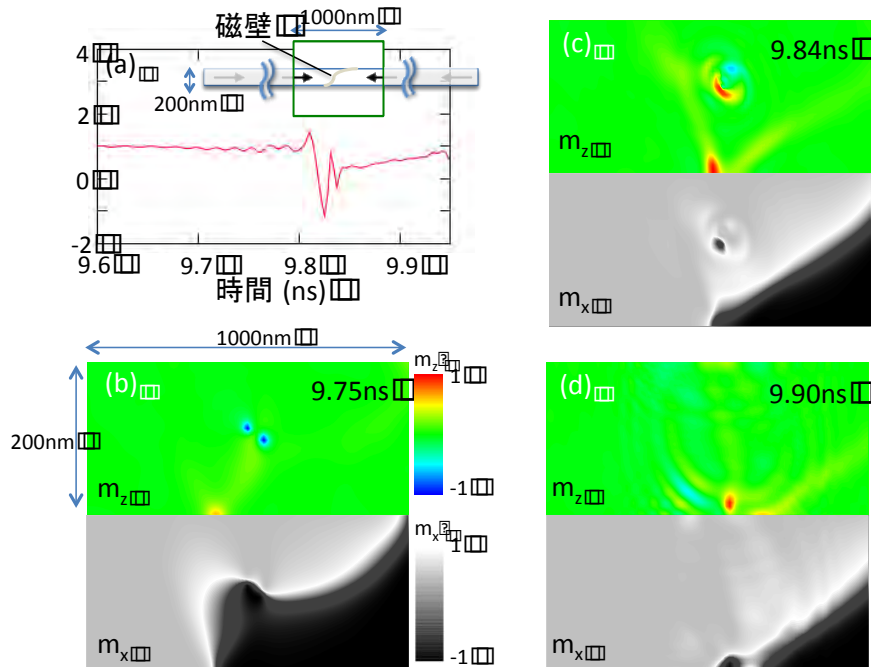


図3：非線形磁化ダイナミクス領域のスピン起電力出力。(a)幅200nm、厚さ10nmのパーマロイ細線(挿入図)に14mTの磁場を加えた場合の実時間起電力信号の計算結果。9.8-9.85nsの間に鋭い電圧信号の振動が記録されている。(b)-(d)それぞれ時刻9.75、9.84、9.90nsにおける磁化配置の面直成分(m_z)と面内成分(m_x)。

材料選択によるスピン起電力出力の安定化

スピン起電力の出力電圧は外部磁場の大きさに比例するが、上述のようにパーマロイ細線では磁場の増加とともに磁壁の構造そのものが大きく変形し、高周波のノイズ信号が重なってくる。この問題の解決に向け、大きなスピン起電力を「安定的に」得るための物質選択の指針として磁気異方性の大きな物質を使うことを提案した。こうした物質では、磁壁の構造は磁気異方性によって強く支配されており、外から加えた磁場による磁壁構造の乱れはパーマロイの場合に比べて極めて小さい。その結果、大きな磁場の下でも安定した磁壁移動が可能となりスピン起電力の安定的な生成が可能になると期待される。

図4に、大きな磁気異方性で知られるコバルト・ニッケル多層膜と鉄・白金規則合金薄膜を対象とし、数値的手法によってこれらの物質における磁壁移動によるスピン起電力を求めた結果を示す。コバルト・ニッケル細線では数百ミリテスラ、さらに磁気異方性がコバルト・ニッケル細線より10倍ほど大きい鉄・白金細線では数テスラまでの範囲で、安定した磁壁移動が確認された。こうした磁場の範囲内で、コバルト・ニッケルでは最大数十マイクロボルト、鉄・白金細線においてはこれまでパーマロイで得られた起電力の約100倍の数百マイクロボルトものスピン起電力が予想される。また、磁壁移動の解析により、磁気異方性の大きな物質ではスピン起電力を発生させるために必要な磁壁の可動範囲が、これまでより小さくて良いことも判明した。これは、スピン起電力を用いたデバイスの微少化の点でも有利である。

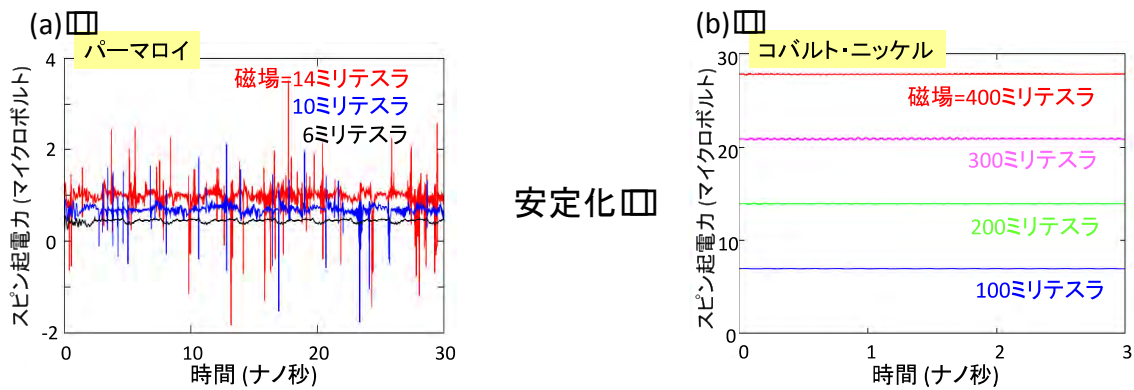


図4：スピン起電力出力の物質依存性。(a)パーマロイ(NiFe)と(b)コバルト・ニッケル(Co/Ni)多層膜における実時間電圧信号の計算結果。磁気異方性の強い物質を用いれば、大きな磁場の下でもスピン起電力信号を安定化できる。

形状効果を用いた磁壁移動スピン起電力の解明

磁場印加によって磁壁が動くとき、局在磁化の向きは時間・空間双方に依存するため、スピン起電力が生じる。これまでに行われた実験では、磁壁を駆動するために外部磁場を用いている。我々は、断面積が一樣でない磁性細線を用いることで、外部磁場を必要とせず磁性体固有の磁気エネルギーによるスピン起電力を提唱した。磁壁は固有の界面エネルギーを持ち、このエネルギーは磁性細線の断面積に比例する。そのため、断面積が非一樣な磁性細線中に磁壁を導入すると、磁壁はこのエネルギーが下がる方向(断面積が小さくなる方向)へと自発的に動く。このとき磁壁の運動に伴いスピン起電力が発生する。我々は、図5(a)に示すような形状のパーマロイ細線に対し数値シミュレーションを行い、先細りになっている細線右端部分では外場無しで自発的な磁壁移動が起こることを確かめた。そしてそれに伴い、数マイクロボルトの起電力[図5(b)]が得られた。こうして、磁性体が持つ内部エネルギーを利用した起電力が、非一樣な断面積を持つ磁性細線を用いて得られることを検証した。現在、物質・材料研究機構の実験グループと共同で、本提案の検証実験を計画している。

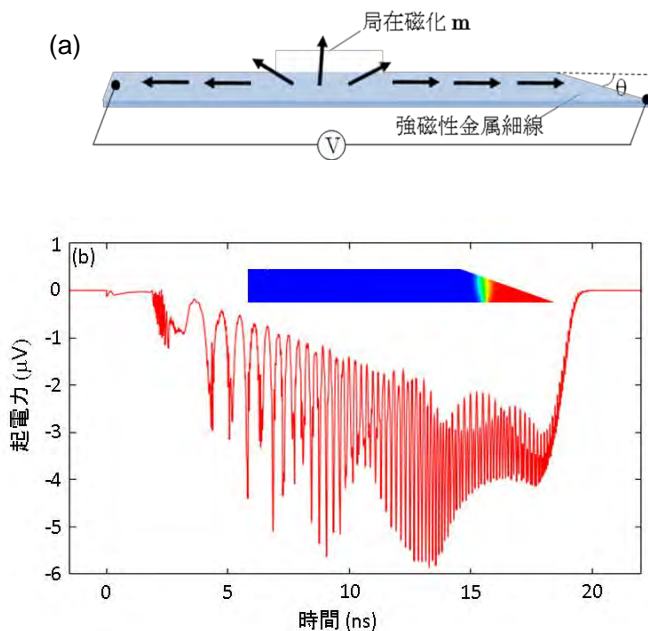


図5:(a)右端を先細りに加工した強磁性細線中の磁壁。(b)ゼロ磁場下での形状効果によるスピン起電力信号。挿入図は磁壁運動のスナップショット。

磁気渦運動によるスピン起電力の実時間解析

スピン起電力の大きさは、磁化構造の空間・時間微分に比例することから、急峻な構造をもった磁化が早い運動をしている場合、より大きなスピン起電力が得られると考えられる。そのような磁化の運動が得られる例として、磁気渦の運動に注目した。磁気渦構造は磁気ナノディスクで得られ、これに振動磁場を印加することで磁気コアが回転運動することが実験的にも示されている(図6)。計算により、電場はコアの運動と垂直方向に現れ、誘起される電場は kV/m と非常に大きいことが明らかになった。また、コア分極方向の違いをスピン起電力によって読み取ることが可能であることを示し、新しいスピントロニクス素子の提案を行った。本理論提案は、京都大学の実験グループとの共同研究で、実験的な検証に成功した。

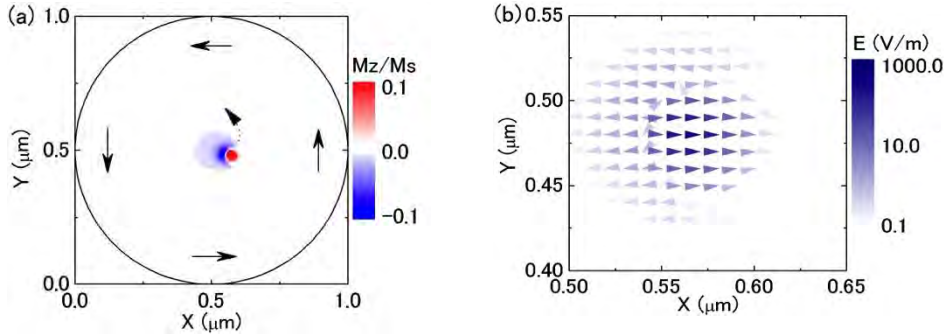


図6:(a)磁気渦構造。実線矢印は磁化の向きを表している。磁化の面直成分をカラープロットしており、点線矢印はコアの運動の軌跡を表している。(b)コア付近に発生するスピン起電力。

強磁性共鳴を用いたスピン起電力の連続発信

これまでに実験で観測されたスピン起電力は、いずれも断続的なものである。例えばスピン起電力の典型例である磁壁移動の系では、有限時間で磁壁は細線の端まで到達し消滅してしまう。スピン起電力のデバイス応用には、継続的なスピン起電力の生成が不可欠であり、それを可能にする系の提案が急務である。我々は、東北大学の実験グループとの共同研究において、物質の形状異方性を利用した継続的なスピン起電力の生成を実現した。図7(a)のように、広い平板と多くの細線から成る「くし型」の単一強磁性金属薄膜を用い、平板部分と細線部分の形状異方性の違いから、平板・細線のいずれか一方のみを選択的に強磁性共鳴させる。このとき、共鳴部分の局在磁化が際差運動をする一方で、非共鳴部分の局在磁化は静止している。この結果、局在磁化の向きは時間・空間双方に依存し、スピン起電力が得られる。数値解析により、サブミリスケールのパーマロイを用いて数十～数百ナノボルトの起電力が生じることを明らかにし、実験的にもその振る舞いが観測された[図7(b)]。

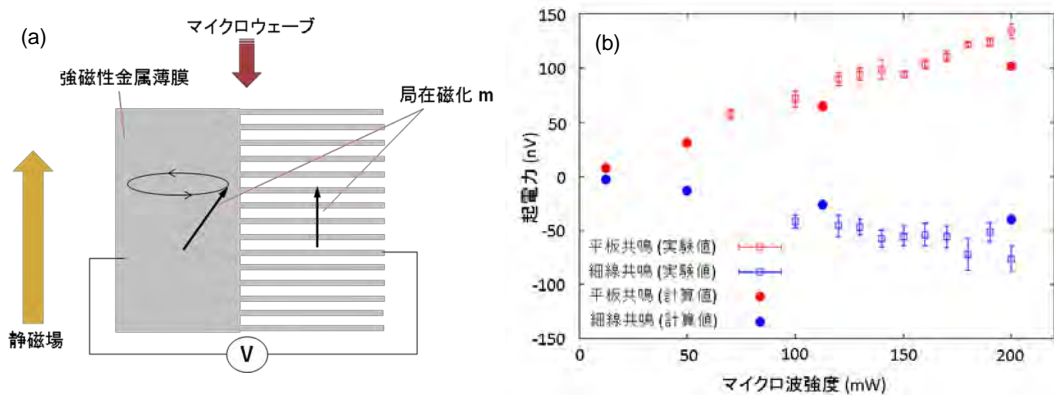


図7:(a)平板部分と細線部分からなる非対称パーマロイ薄膜。実線矢印は磁化の向きを表している。(b)平板共鳴、細線共鳴それぞれの場合のスピン起電力の実験値と理論計算結果。

直流磁場から交流電圧を生み出す機構を発見

通常、スピン起電力の大きさは加える磁場の大きさに正比例する。すなわち、直流の磁場に対しては直流の電圧が生じ、交流磁場からは入力した磁場と同じ周波数を持った交流電圧が生じる。本研究では、この一般原則を拡張することに取り組み、磁性細線の形状変化を用いることで、「直流」の入力磁気エネルギーを磁壁エネルギーの変調を介して時間的に変化させ、機械的な動力を一切用いずに「交流」の電圧出力を得る仕組み、すなわち「磁気・電気インバータ」の原理を考案した。このアイデアを定量的に評価するために、磁壁運動の数値解析を実施しスピン起電力の理論と組み合わせることで、図8に示す通り周期変調細線におけるスピン起電力の出力電圧信号(赤)では直線状の非変調細線の場合に生じる直流電圧(黒)に加えて交流成分が発生することを見出した。本成果は、磁気と電気という異種のエネルギー形態を直接結びつけた、高効率なこれまでにないエレクトロニクス分野を切り開く一歩である。

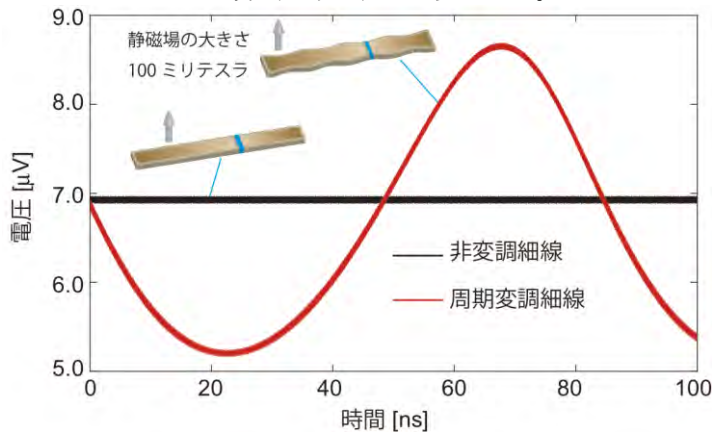


図8：磁気・電気インバータの出力電圧(赤)。形状を加工のない磁性細線における出力電圧(黒)とともに示す。

【スピン起電力を用いたデバイス開発(日立 G/原研 G)】

スピン起電力によるスピン流変調

スピン起電力が、伝導電子のスピン自由度に起源を持つことに注意すると、スピン成分ごとに起電力があることが分かる。この「スピン成分ごとの」駆動力に着目し、スピン流を変調、あるいは増幅可能なデバイスを提案した。非局所測定系と呼ばれる強磁性体/非磁性体の磁性ナノ構造において、スピン起電力を生成させるために磁壁を有した強磁性体が接合を介して設定されている[図9(a)]。解析は、非局所系の解析ツールとして開発した有限要素法シミュレーションと、Co/Niの磁壁を記述する集団座標の方法を融合し、出力安定化のため、強磁性体には垂直磁化膜であるFePtとCo/Ni多層膜を用いて計算を行った。Co/Ni多層膜に導入された磁壁が移動する事でスピンに依存したスピン起電力が生じ、スピン蓄積が誘起される[図9(b)]。このスピン蓄積が非局所系におけるスピン流を変調させる。ここで用いた手法は、より複雑な磁気構造(磁壁の構造変化やSkyrmionなど)の解析に対しても、LLGシミュレーションと組み合わせることで有効な解析ツールとなる。

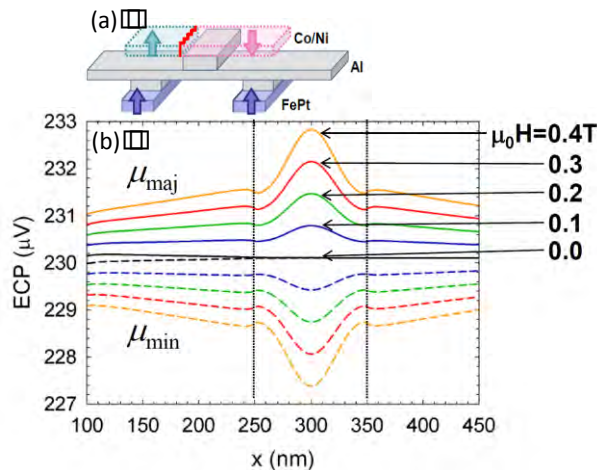


図9：スピン起電力によるスピン流変調素子。(a)磁壁を有する強磁性体と非局所系の接合デバイス。(b)非局所系の入力電流を1μAとした場合のスピン蓄積の空間分布。

スピン起電力を用いた磁気ヘッドの発明

磁気記憶装置では年々高記録密度化が進んでおり、再生ヘッドにも高記録密度に対応したものが求められている。この要求に応えるために、スピン起電力を用いた新しい原理の磁気ヘッドを提案した。本発明は読み出しの際のセンス電流が不要になるという著しい特徴を持ち、従来技術のTMRヘッドやGMRヘッドと比較して安定した磁化情報の読み出しを可能とする。本原理に基づく磁気ヘッドの提案はまだ世界的に例がなく、要素技術として特許出願を果たした。

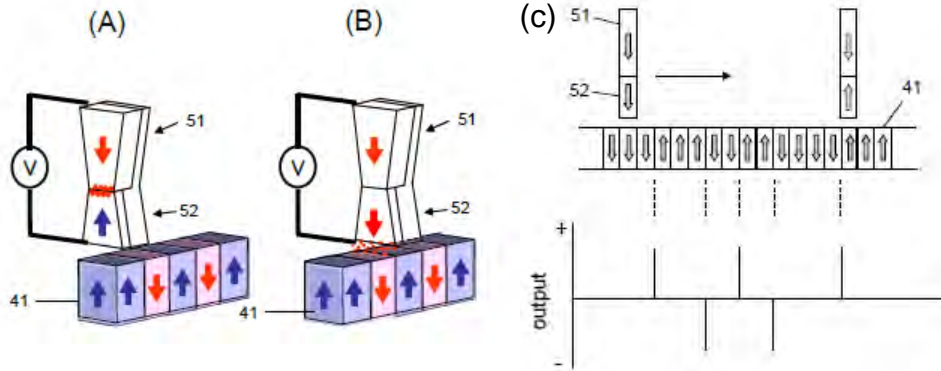


図10:スピン起電力再生ヘッド。(A)磁化が固定された磁化固定部 51 と、磁化固定部に接合され外部磁界によって磁化が変化する磁化自由部 52 と、磁化固定部と磁化自由部にそれぞれ接続された一対の出力端子から構成される。磁化固定部と磁化自由部の接合部のくびれで磁壁(波線)をトラップする。(B)磁化自由部中の磁壁の移動に伴うスピン起電力を用いて外部磁界の変化を検出する。(C)スピン起電力再生ヘッドの作動例と出力信号シーケンス。

スピン起電力を用いた磁気メモリの発明

磁性ランダムアクセスメモリ(MRAM)が実用化を迎え、不揮発ワーキングメモリによる省電力化が実現しつつある。さらなる省電力化のためには、SRAM も不揮発化が望まれる。この要求に応えるため、スピン起電力を用いた新原理の磁気メモリを提案した。本発明は、磁性トンネル接合を用いないため書き換え耐性が原理的に無限大であり、読み出しと書き込みを同じ電流経路とし1つのトランジスタで制御するため、 $8F^2$ のスケールでDRAMと同等の高集積化可能というSRAM用途として望ましい特徴を持つ。(* 現在特許出願準備中。開示後は公開可。)

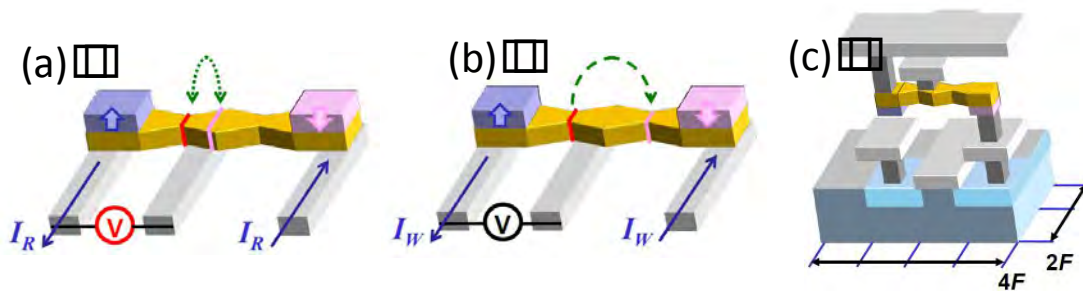


図 1 1 : スピン起電力メモリ。(a)読み出し動作:一方のくびれ部近傍のみで他方のくびれ部に磁壁が移動しない電流パルス I_R を供給する事でスピン起電力を検出する。(b)書き込み動作:一方のくびれ部近傍から他方のくびれ部へ磁壁が移動する電流パルス I_W を供給する。(c)1つのトランジスタで駆動するメモリセル構造。

スピン起電力を用いたスピン流制御装置(論理回路)の発明

MRAM の動作原理はスピン流が磁化反転を引き起こすことである。そこで、スピン流を直接制御する回路ができれば、より効率的に MRAM やその他デバイスの駆動が可能になると予想される。この予想の基づき、スピン起電力を用いたスピン流制御装置を提案した。本発明は、ラテラルスピバルブ構造を流れる純スピン流において、外部端子によりスピン起電力を生成させることで純スピン流を遮断する NOT 回路の機能を有する。また、この NOT 回路の組合せにより NAND 機能も可能となる。本原理に基づくスピン流のスイッチング機能の提案はまだ世界的に例がなく、要素技術として提案した。(* 現在特許出願準備中。開示後は公開可。)

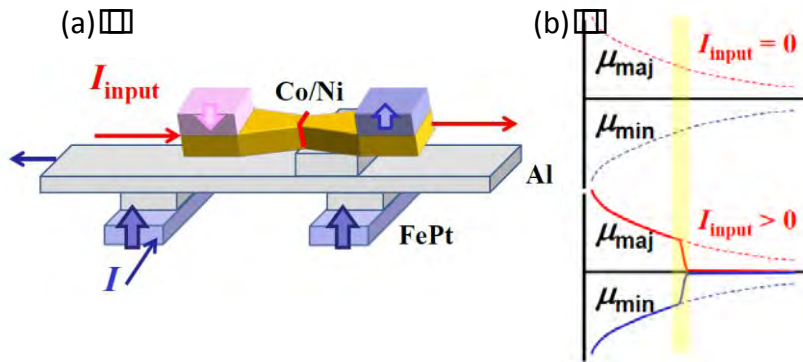


図 1 2 : スピン流制御デバイス (NOT 回路)。 (a) ラテラルスピバルブ構造 (灰色以下の下部) に磁壁を有した強磁性体を接合し、強磁性体に設けた外部電極により磁壁移動を誘起する。 (b) スピン起電力がゼロの場合、ラテラルスピバルブ構造を純スピン流が流れ (上図)、スピン起電力を印加することで純スピン流を遮断する。

【磁壁移動スピン起電力の解析のための要素技術(日立 G/原研 G)】

スピントランスファートルクによる LLG シミュレーションコード開発

スピン起電力デバイスのシミュレーション技術を構築するためには、スピントランスファートルクの下での非平衡状態における磁化ダイナミクスの詳細な解析が必須である。これら要素技術の検証のため、磁化自由層に接合強度を変えた積層フェリ磁性 (SyF) 層を用いた面内に磁化容易軸をもつ磁性トンネル接合素子の歳差運動モードを対象とした計算を行った。注入電流に応じたスピントルク解析をもとに、トルクを反映した平衡状態の磁化ダイナミクスを自己無撞着に追跡した。固定層/絶縁層/第 1 自由層/常磁性層/第 2 自由層の構成に対し、固定層側から電子を注入すると、接合強度の弱い場合、2 つの自由層磁化 (m_1, m_2) がダブルピークをもつ非同期状態であるが [図 13 (a)]、接合強度が強くなると同期する [図 13 (b)]。さらに、非同期状態では blue シフトを伴う面直方向のモードとなるのに対し、接合強度の強い同期状態では、red シフトを伴う磁化容易軸を中心とした面内モードに変化することが示された。また、ここで構築した要素技術の一部は、実験を定量的に再現することが確かめられた。

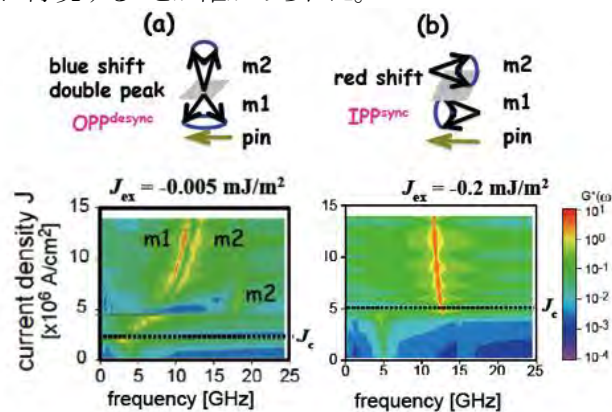


図 1 3 : 接合強度が異なる SyF 自由層の周波数及び電流密度を関数としたパワースペクトル。 (a) 交換相互作用の大きさ $J_{ex} = -0.005$, (b) $J_{ex} = -0.2$ mJ/m² の場合。また図中の IPP と OPP は、それぞれ面内での磁化容易軸を中心とした歳差運動モード、及び面直方向を中心とした歳差運動モードを意味する。

③ 研究の位置づけ, 及び類似研究との比較

我々の行った理論研究に基づき、国内のスピン트로ニクス研究コミュニティにおいて、スピン起電力の先駆的な実験が行われるようになった。実際、東京大学、京都大学、東北大学、物質・材料研究機構の実験グループと共同研究を行い、様々なナノ構造におけるスピン起電力の特性を検証している。この中でも、東京大学(工学系研究科田中雅明研究室)との共同研究では、スピン起電力と磁気ナノ粒子を介した量子伝導が競合することで、スピン起電力の大幅な増幅が可能であることが実証された。この現象の物理的背景には、ナノ粒子における近藤問題の寄与が示唆されており、その理論的解明は重要な研究課題となっている。

一方、国外のスピン트로ニクス研究分野全体に目を移すと、すでに多くの研究蓄積がなされている磁気抵抗効果、スピントランスファートルク効果といった従来研究テーマに比べ、スピン起電力に対しては研究テーマに対する強い関心が寄せられている[例えば、D. C. Ralph: Nature 474 (2011) E6]ものの、まだ各国研究機関の本格的な参入が果たされておらず、海外から発表される内容も基礎レベルにとどまっている。そのため、本研究で実施したような、基礎学理の追求から集積化システムへの展開といった広範囲の研究は、極めて独創的であり確実に現時点で世界トップレベルの研究成果を上げているといえる。

4. 2 スピン・熱交差効果とそれによる新しい機能の開発

(原研 前川グループ、理研 柚木グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

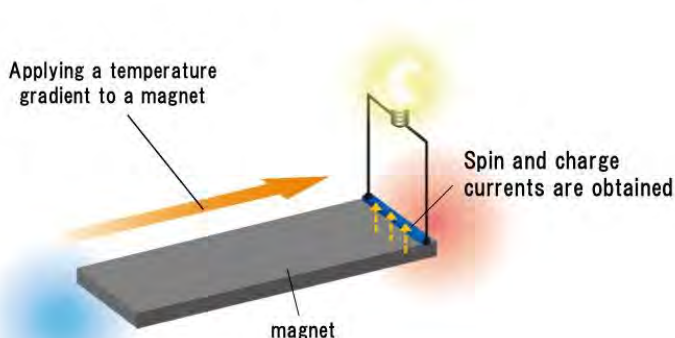
①研究のねらい

熱-磁気エネルギー変換原理である「スピンゼーベック効果」の発現機構を理論的に明らかにし、高効率化に向けたデバイス構造の提案、及び最適化を数値シミュレーションにより行う。

金属の両端に温度差を与えると電圧が生じるという現象はゼーベック効果として古くから知られていた。我々は、同様に熱によって磁気湧き出る現象、すなわちスピン版のゼーベック効果を実験グループとの共同研究において発見した[Uchida et al., Nature 455, 778 (2008)]。熱で駆動したスピン流を用いることで、電流や磁場を用いずに小型で汎用性の高いスピン流源を構築することが可能になり、スピン트로ニクス素子の開発に大きなブレークスルーをもたらす。また、スピンゼーベック効果によって得られたスピン流は、スピンホール効果と呼ばれる現象を引き起こすスピンホール電極において電流に変換する事も可能であり、新しいタイプの熱電発電素子としても大きな発展の可能性を持っている。

スピンゼーベック効果の発見以来、その発現機構の理論的解明が待ち望まれていた。特に、強磁性体における熱の運び手の特定と、スピン流への変換機構を明らかにする必要がある。本研究項目では、スピンゼーベック効果に対する伝導電子、スピン波、格子振動といった自由度の寄与を、線形応答理論、並びに数値シミュレーションにより明らかにする。

Spin-Seebeck Effect



図：15：スピンゼーベック効果の概念図。磁性体に温度差をつけると、磁性体に貼付けた金属（スピンホール電極）にスピン流が注入され、またスピンホール電極の両端に電圧が生じる。

②研究実施方法

研究実施に当たって、**原研グループ**が理論構築、温度勾配の効果を含めた LLG 計算プログラムの整備を行い、**理研グループ**が強磁性体と電極との接合における電子状態の第一原理計算を行う。また、本研究で得られた理論予測を、**実証実験協力グループ**と共同で検証する。以上の成果を統合し、スピントリック効果を用いる事によって初めて可能になる薄膜の熱電素子および薄膜型の温度センサーの開発を行う。

③実施内容と成果

研究計画は順調に進められ、スピントリック効果の発現機構に関する理論的解明に成功し、フォンドラッグによる増幅機構を発見した。また、熱によるスピントリック生成の実空間分布を求める数値計算のアルゴリズムが完成した。以上の知見を元に、東北大学と NEC の研究グループと共同で、スピントリック効果を用いた薄膜熱電素子の開発を行った。

我々が明らかとしたスピントリック効果の微視的メカニズム(以下参照)によれば、スピントリックデバイスの実用化に必要な出力の増幅には、

- i) スピントリックを注入する駆動力の最適化、
- ii) スピントリック電極におけるスピントリック/電流変換効率の最適化、

の2つの最適化が必要である。ここでは、i)、ii)の指導原理を導く「スピントリック効果の微視的メカニズムの解明」、i)に関連する「スピントリック効果の数値計算アルゴリズムの開発」、ii)に関連する「スピントリック電極の最適化の理論開発」の項目に的を絞って成果の報告を行う。

【スピントリック効果の微視的メカニズムの解明(原研 G)】

マグノン媒介スピントリック効果の解明

スピントリック効果を応用に結びつけるには、まずはその発現メカニズムの理解が不可欠である。スピントリック効果の発現機構は 2008 年の現象の発見以来謎であったが、2010 年になり伝導電子の存在しない磁性絶縁体のイットリウム鉄ガーネットでも観測され、スピントリック効果には本質的に伝導電子の流れは必要がないという事が明らかになった。これをうけて、我々は「スピントリック効果には局在磁化の集団運動であるスピントリック波(マグノン)が非常に重要である」との立場からのアプローチを試みた。ここで我々が着目したのは、磁性体の局在磁化がマイクロ波の照射によって非平衡ダイナミクスをする際に隣接する金属内にスピントリックを注入する、「スピントリックポンプ」という現象とのアナロジーである。我々は、スピントリック効果とは本質的に熱によるスピントリックポンプ現象である、との立場から、マグノンが駆動するスピントリック効果というシナリオを確立し、線形応答に基づくスピントリック効果の理論構築に成功した。我々の構築した理論と磁性絶縁体イットリウム鉄ガーネットにおけるスピントリック効果の実験と照らし合わせる事により、スピントリック効果とは磁性体内のマグノンの分布関数が平衡分布からずれることによって引き起こされる熱スピントリックポンプ現象である、との認識が確立した。

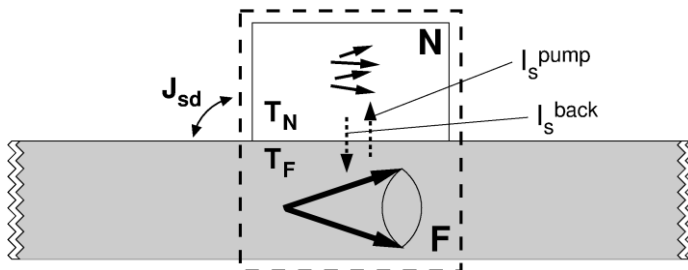


図 16：スピントリック効果の微視的メカニズム。磁性体(F)内の局在磁化が熱揺らぎによりスピントリック電極(N)内にスピントリックを注入する。

フォノン駆動スピントリック効果の解明

引き続き、我々はスピントリック効果の温度依存性に着目した研究を行った。もしもマグノンの分布関数が非平衡になる理由がマグノン自身の運ぶ熱流に起因しているのであれば、スピントリック

ーベック効果の信号は低温に行くほど減少するはずである。なぜならば、低温に行くほどマグノンの状態密度は減少するからである。ところが、2010年の段階で共同研究者の東北大齊藤グループが試験的に測定していた磁性絶縁体イットリウム鉄ガーネットにおけるスピントーベック効果の信号は、(信号のエラーバーが大きい故に当時はどの程度の信頼性があるか微妙ではあったものの)この単純な推測に反しておよそ 50K で大きく増幅されているように見受けられた。この実験結果に刺激され、我々は格子振動(フォノン)が熱を流す過程でマグノンの非平衡分布を引き起こし、それがスピンドラッグを生成するという「フォノン駆動スピントーベック効果」というプロセスが非常に重要である事を指摘した。そして、このフォノン駆動スピントーベック効果のシナリオに基づき、我々は(スピントーベック効果の微視的メカニズムに関するコンセンサスが確立していない段階で)室温から絶対零度にいたる範囲でのスピントーベック信号の温度依存性を理論的に計算し、低温でスピントーベック効果がピークを持つ事を予測した。背後にあるのは、フォノンの緩和時間が低温で非常に長くなること、フォノンの状態密度が低温で減少する事の競合である。スピントーベック効果の温度依存性に関するこの理論予測はその後のオハイオ州立大学および東北大学のグループの実験によって見事に実証され、スピントーベック効果の背後にある物理現象の理解を大きく前進させた。このフォノン駆動スピントーベック効果のシナリオをもって、スピントーベック効果の微視的メカニズムに関する理論が完成したと言える。これらの業績がもとになり、この分野でのレビュー雑誌として有名な IOP の Reports on Progress in Physics からスピントーベック効果に関するレビュー論文執筆の依頼を受け、Adachi et al., “Theory of the spin Seebeck effect”, Rep. Prog. Phys. 76, 036501 (2013) を執筆した。

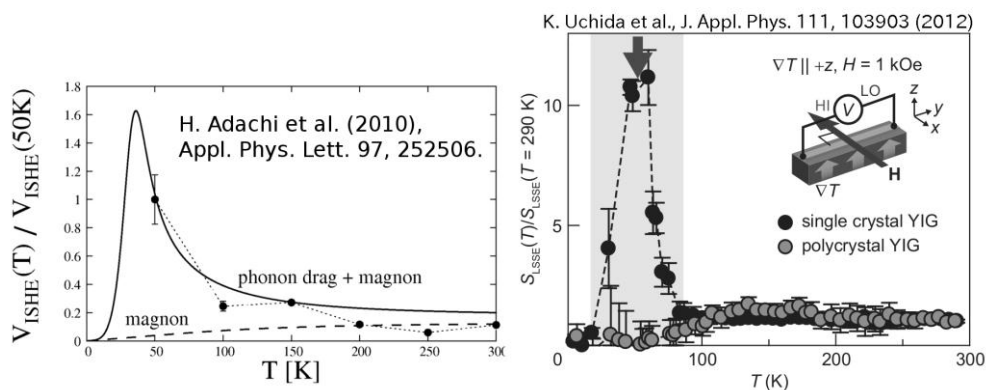


図 17: スピントーベック効果の温度依存性に関する我々の理論予測(左:2010年出版)と、理論予測後にそれを実証した実験データ(右:2012年出版)

縦型スピントーベック効果における非平衡フォノンの寄与

次に我々は、応用上の観点から重要な縦型スピントーベック効果の研究に取りかかった。縦型スピントーベック効果とは、従来用いられて来た横型スピントーベック効果(図 18:(b))とは異なり、磁性体/スピントーベック電極の界面と垂直方向に温度勾配が印可される配置(図 18 (c))である。構造が非常にシンプルなため、応用に適している。我々は、この縦型スピントーベック効果においても非平衡フォノンが非常に重要である事を明らかとした。具体的には、縦型スピントーベック効果の信号が横型の信号と比較して符号反転するという実験的事実に対して、縦型スピントーベック効果ではスピントーベック電極が熱浴に接しておりかつフォノン駆動スピントーベック効果のプロセスが重要であるという事実を用い、この符号反転現象を矛盾なく説明した。応用に適したこの縦型スピントーベック効果に対してもフォノン駆動スピントーベック効果のプロセスが重要であると指摘した我々の業績が、スピントーベック効果を用いる薄膜熱電素子の可能性を拓いたといえる。実際、我々の理論指針が、NEC と東北大学の共同研究であるスピントーベックコーティング (Kirihara et al., Nature Materials 2012: スピントーベック効果を用いた薄膜熱電素子による発熱体のコーティング) の実現に結びついた。

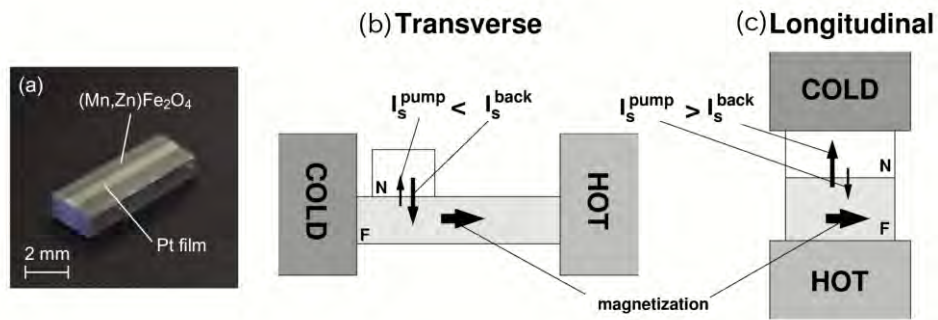


図 18 : (a)縦型スピントーク効果の試料写真。(b)横型スピントーク効果の概略図。(c)縦型スピントーク効果の概略図。

スピントーク効果の温度依存性のデータがフォノン駆動スピントーク効果の予測と見事に整合する事から、スピントーク効果にはフォノンが非常に重要である事はほぼ確立したといっても良い。しかし我々はこの結論をさらに強固にするために、熱によって駆動された非平衡フォノンを用いるのではなく、機械的振動によって駆動された非平衡フォノンによってスピントークの生成が可能であるのかを直接確かめる研究も行った。我々が提案したのは、図19に示すような、磁性絶縁体イットリウム鉄ガーネットとスピントーク検出器である白金の接合体が圧電素子の上に載せられた系における音波によるスピントーク生成実験である。注意して頂きたいのは、この配置は縦型スピントーク効果と同じである点である。この系において圧電素子が振動してイットリウム鉄ガーネット内に非平衡フォノンを注入すると、それがマグノンと相互作用することで非平衡マグノンが生成され、白金内にスピントークを生成する。実際、実験では図19に示すように圧電素子が共振して多数のフォノンを放出する振動数において、明確なスピントーク生成信号を得る事に成功した。この縦型スピントーク効果の配置におけるフォノン駆動スピントーク生成実験により、縦型スピントーク効果に対しても非平衡フォノンが重要であるという事実が正当化されたと言える。

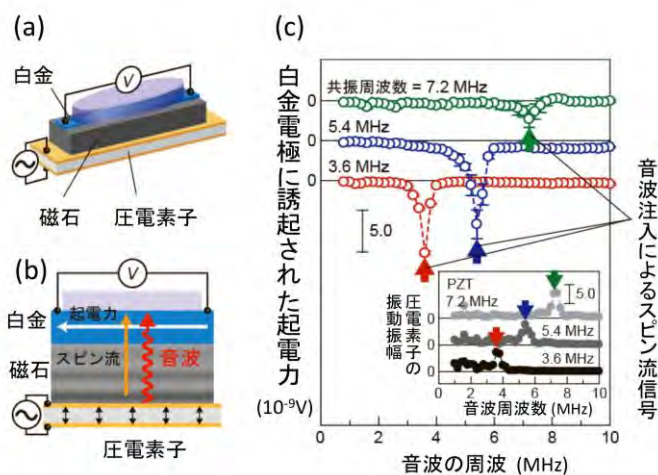


図 19 : 縦型スピントーク効果にフォノンが重要であるという我々の予測を正当化する実験。(a)実験に用いた試料の。(b)実験の模式図。(c)音波によるスピントーク注入振動の周波数依存性。

更に我々のフォノン駆動スピンゼーベック効果というシナリオは、2010年に米国オハイオ州立大学から報告された、磁性半導体ガリウムマンガンヒ素における奇妙なスピンゼーベック効果の実験を説明する事も可能である。彼らの実験では、図20に示すように基板上に載せたガリウムマンガンヒ素を切断し、スピン流が横方向に流れないようにしてスピンゼーベック効果の観測に成功した。これは、スピンゼーベック効果には横方向のスピン流は必要でないことを示しており、スピントロニクス研究のコミュニティに大きな衝撃を与えた。もちろん単純なマグノン駆動スピンゼーベック効果のシナリオではこの現象を説明出来ないが、フォノン駆動スピンゼーベック効果のシナリオであれば、非磁性の基板内を流れるフォノンとの相互作用によってマグノンの非平衡分布が形成され、結果としてスピン流が生成されるというプロセスが可能である。この理論に従えばスピンゼーベック効果は低温で著しく増大することになるが、この予言はその後の同グループの実験により実証され、我々の理論の正しさを裏付けた。これが契機となって、CREST 研究員のメンバー一名がオハイオ州立大学に招聘され、現在でも研究を通じた交流が続いている。

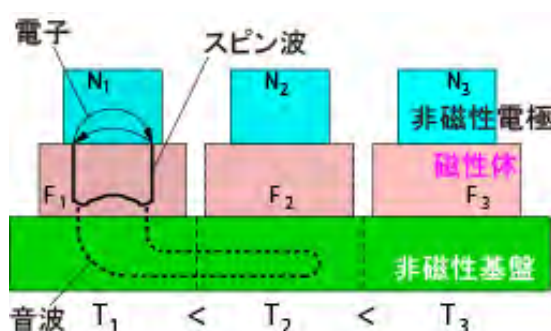


図20：オハイオ州立大学による切り刻んだ磁性体でのスピンゼーベック効果の概略と、それに対する我々の解釈。基板を経由するフォノンがスピンゼーベック効果を駆動する。

【スピンゼーベック効果の数値計算アルゴリズムの開発(原研 G/理研 G)】

有限温度 LLG 解析と揺動散逸定理の融合

ここまでの我々の研究によってスピンゼーベック効果の微視的メカニズムは確立したため、次のステップとして、実際のデバイスを設計する際に必要となるスピンゼーベック効果の数値計算アルゴリズムの開発に着手した。具体的には、マイクロマグネティックシミュレーション法に基づき、非磁性電極によって観測されるスピン波スピン流の電氣的シグナルを計算できる数値シミュレーション法を開発した。ここで問題となるのは、スピンゼーベック効果が熱によるスピンプンプ現象だとする我々の立場に則ると、(温度による熱揺らぎは常に存在して熱による磁化ダイナミクスを引き起こしている)温度勾配がない状況でも一見すると有限のスピン流生成が生じてしまうように見える点である。しかし、熱力学の第二法則からこのようなスピン流生成はバックフローの存在によって打ち消されるべきものである(もしもこのようなスピン流生成が起こってしまえば、生成したスピン流はスピンホール効果によって電流に化けるため、一様な温度から仕事を取り出せることとなって熱力学の第二法則に反することとなる)。我々は、揺動散逸定理を用いてこの矛盾を取り除く方法を編み出し、マイクロマグネティック法に基づいたスピンゼーベック効果の数値計算アルゴリズムを開発した。この計算によって得られたシグナルは実験と良い一致を示し、今後材料パラメータの取り込み方により精密化することによって、実際のデバイスにおいてスピン注入の駆動力の最適化を行う際の重要な手法になると期待される。

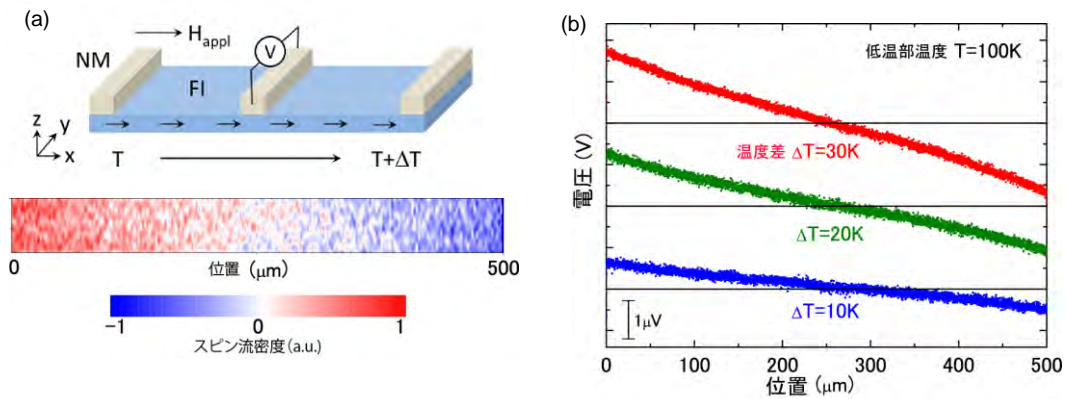


図21: スピンゼーベック効果の数値解析。(a) 温度勾配をつけた強磁性体 (FI) から非磁性電極 (NM) に流入するスピン流密度の分布。(b) 異なる温度差における出力電圧の位置依存性の計算結果。

【スピンホール電極の理論的最適化(原研 G/理研 G)】

スピンホール電極におけるスピン流/電流の変換効率、スピンゼーベック効果の出力を定める大きな要因の一つである。それゆえ、スピンホール電極を最適化して大きなスピン流・電流変換効率をえることは、スピンゼーベック素子の実用化に向けて極めて重要である。このような観点から、我々はスピンホール電極の理論的最適化を試みた。

第一原理 DFT+U 法の開発

スピントロニクスデバイスを構成する磁性体は、局在化した d あるいは f 電子により磁性を発現し、その電子状態解析には、密度汎関数(DFT)法を越える DFT+U 法が必要である。DFT+U 法では、局在電子間の相互作用を記述する U_{eff} パラメータを用いる。本研究では、 U_{eff} 値を経験によることなく、第一原理的に計算することにより、局在電子を含む材料の電子状態を DFT+U 法により計算できるようにした。 U_{eff} 値の計算は、擬ポテンシャル法に対する近似的な制限 DFT 法を独自に開発し、行った。本方法は、Dudarev 形式 DFT+U 計算において、DFT+U 表式のハバード項を微小変化させた場合の局在電子数と DFT エネルギーの変化を調べ、DFT エネルギーの局在電子数の 2 次微分係数として U_{eff} 値を計算する方法である。TiO₂, ZrO₂, ならびに HfO₂ の金属原子の d 電子に対する U_{eff} 値を求め、計算された U_{eff} 値を用いて DFT+U 法により、これら酸化物のバンドギャップを計算した。図22に、実測値との比較を示す。DFT 法が実測バンドギャップを大幅に過小評価するのに対し、DFT+U 法は、実測値を正しく再現できることを確認した。

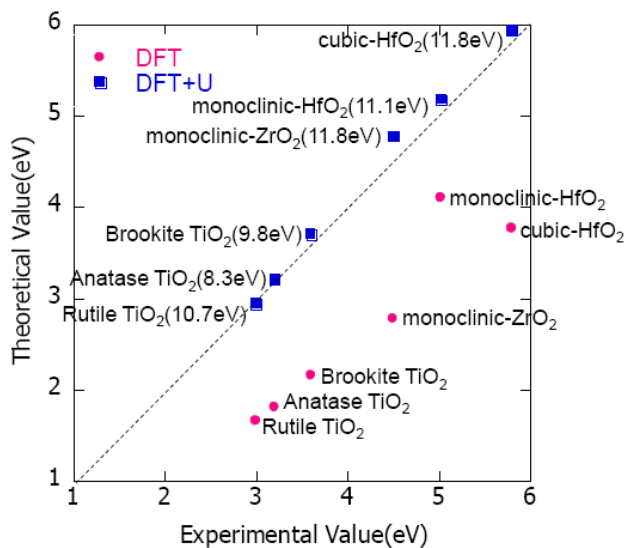


図22:(第一原理 DFT+U 法及び DFT 法による各種金属酸化物のバンドギャップ。括弧内は、第一原理法で計算した金属原子 d 軌道に対する U_{eff} 値である。第一原理 DFT+U 法によりバンドギャップを精度よく予測できる。

巨大スピンホール効果の解明

並行して取り組んだのが、2008年東北大学より報告された、金における巨大なスピンホール効果の理論的解釈である。我々は、第一原理計算に基づき、金中の鉄不純物が巨大スピンホール効果に寄与することを突き止めていた。今回、この第一原理計算に量子モンテカルロ計算を組み合わせることで、電子相関効果を取り入れることに成功した。図23は鉄不純物の局在スピン l_z と、金中の伝導電子スピン σ_z との磁気相関を示す。図からわかるようにクーロン相互作用 U を大きくすることでスピン相関が負の方向に増大している。これはクーロン相互作用によるスピン軌道相互作用の繰り込みの効果であると考えられる。また、量子的なスピンのゆらぎがこの繰り込みの効果にどのような形で現れるのかを調べた。スピンのゆらぎを制御するために外部磁場を印加し、鉄原子の磁化を制御した。鉄原子の磁化は図11の $\langle (M_{2z} + M_{3z})/2 \rangle$ で表される。この値が1に近づくほど、スピンのゆらぎが小さいといえる。図からわかるように、鉄原子のスピンのゆらぎが大きくなるほど、スピン間の相関が大きくなっている。このことにより、量子的な揺らぎによって繰り込みが大きくなっていることが明らかになった。この計算結果は、なぜ鉄不純物によってスピンホール効果のみが増長され、異常ホール効果には影響がないのかという疑問に対し明確な回答を与えている。ゆらぎによって繰り込みが大きくなっていることが明らかになった。この計算結果は、なぜ鉄不純物によってスピンホール効果のみが増長され、異常ホール効果には影響がないのかという疑問に対し明確な回答を与えている。

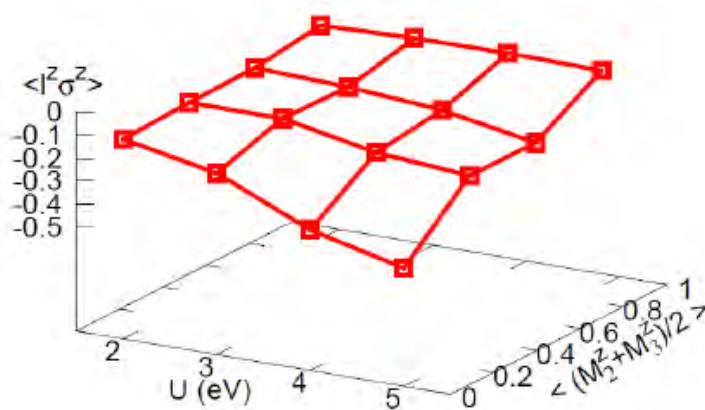


図23: 金中の鉄不純物に対するスピン相関。鉄中のクーロン相互作用 U とスピン分極 $\langle (M_{2z} + M_{3z})/2 \rangle$ に対してプロットした。 U が大きくなるほど、またスピン分極が小さくなるほど、スピン相関が大きくなっている。

次に巨大なスピンホール効果を引き起こす例として、界面を考慮したスピンホール効果の計算を行った。図24は金の(111)表面に白金がある場合の計算結果である。ここでは、局在電子と金の伝導電子との混成エネルギー V_ξ 、局在軌道の電子数 $\langle n_\xi \rangle$ 、スピンホール角 γ_s をバルク状態と(111)界面についてプロットしている。スピンホール角は(111)界面で大きくなり、界面上ではスピン軌道相互作用に関係する軌道が2種類あることが明らかになった。局在軌道での電子数 $\langle n_\xi \rangle$ の結果を見ると、バルク状態では $p \pm 1$ の状態のみが占有されているが、界面では $p \pm 1$ と $Y \pm 1$ の状態が占有されていることがわかる。これはバルクにおける対称性が界面によって壊されたためと考えられる。また、 $U=1$ での電子数を見ると、バルクでは1.8程度あったものが界面では0.8程度に下がっている。このことは、局在軌道のエネルギーがフェルミエネルギー付近へと上昇したためと考えられる。その結果、界面付近でのスピン軌道相互作用が大きくなり、スピンホール効果が増長されたと考えられる。これらの計算結果は、実験グループの結果をよく再現しており、本プログラムの有用性が示された。

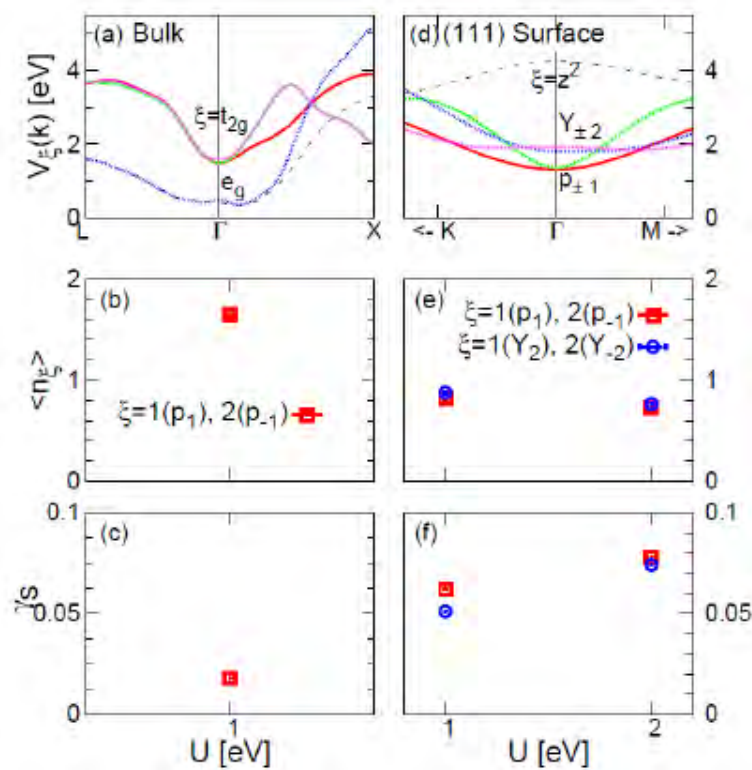


図24: (a)-(c)バルク状態での計算結果。(d)-(f)界面での計算結果。それぞれ混成エネルギー V 、局在軌道の電子数 n 、スピンホール角 γ をプロットしている。

④研究の位置づけ, 及び類似研究との比較

2008年の発見以来、スピントラッキング効果の研究は国内外を含め多くの研究機関で研究開発が行われるようになってきた。その中で、本研究チームは、多くの招待講演や招待レビュー論文によって裏付けられているとおり、常に世界的な研究の牽引役を果たしてきた。中でも本研究で推進した「基礎から応用という観点からのアプローチ」は、現在東北大学、NECと共同で日本発の薄膜熱電素子の開発として芽を結びつつあり、世界的に見てもユニークな特徴を持っている。

現在、これらの成果は、環境発電(エネルギーハーベスティング)応用などを含めた、グリーン・省エネデバイスの新しい方向と捉えられ、世界各国で大きな研究プロジェクトに発展しつつある。例えば、スピン自由度を用いた熱電変換材料や、熱と磁気に関するスピントロニクスに関する国際会議がライデン(オランダ)、ドレスデン(ドイツ)、コロンバス(米国)等で開催された。そのため、当該分野における我が国の優位性を保つために、引き続き本研究で推進した課題をより広範に展開していくことが求められる。

4.3 強磁性／超伝導ナノデバイスの開発 (東北大金研→原研 前川グループ、理研 柚木グループ)

(1)研究実施内容及び成果

①研究のねらい

本研究項目では、超伝導や強磁性など複数の秩序状態の融合が生み出す、超高感度伝導制御に関する理論構築を目指した。現在のスピントロニクスは、室温動作の観点から超伝導体の特性を積極的に利用するという視点が十分に検討されていない。将来的なスピントロニクスのさらなる進展を見据え、スピン情報の長時間保持、長距離スピン流の伝搬、磁壁運動の高精度かつ高感度といった根源的な課題の解決に向け、通常とは異なるアプローチで研究を行う。

②研究実施方法

研究実施に当たって、**原研グループ**が理論構築、強磁性体の効果を含めた超伝導電流計算プログラムの整備を行い、**理研グループ**と協力し強磁性／超伝導接合における量子伝導計算を行う。また、本研究で得られた理論予測を、実証実験協力グループと共同で検証する。

③実施内容と成果

超伝導体へのスピン注入と長時間スピン寿命の実現

超伝導体は電気抵抗がゼロの材料だが、磁気に弱いという性質を持つと考えられてきたため、超伝導体に磁気(スピン)を注入するスピントロニクスデバイスはこれまで開発されてこなかった。1999年、本研究グループにおいて、超伝導を直接弱めないように強磁性体と超伝導体の間に薄い絶縁体膜を挿入した二重障壁のトンネル接合デバイス(図25)では、強磁性電極の磁化の向きが反平行のとき、電圧をかけて強磁性体から超伝導体へスピンを注入できること、またスピンは超伝導体中に長時間滞在して大きな抵抗変化(トンネル磁気抵抗効果)を引き起こすことが理論的に予言されており、その実験的な検証が待ち望まれていた。

今回の成果では、超伝導体としてアルミニウム(Al)、強磁性電極としてコバルト鉄(CoFe)、トンネル障壁として酸化マグネシウム(MgO)を用いて、高品質の2重トンネル接合デバイス(CoFe/MgO/Al/MgO/CoFe)を開発した(図25)。このデバイスの電気的特性を示すトンネルコンダクタンス(電気抵抗の逆数)とそれから得られるトンネル磁気抵抗の変化率(TMR)を精密に測定したところ、低温では理論的に予測されていたトンネル磁気抵抗の大きな振動的な振る舞いが明瞭に観測された。これは、磁化が反平行のとき、注入されたスピンが長時間にわたって安定に保たれていることを示している。従来、超伝導と磁気(スピン)は相容れないと考えられてきたが、超伝導状態に注入されたスピンは安定に存在し続けられることを明らかにしたもので、従来の考えを修正し、スピンの新しい応用の可能性を示すものである。

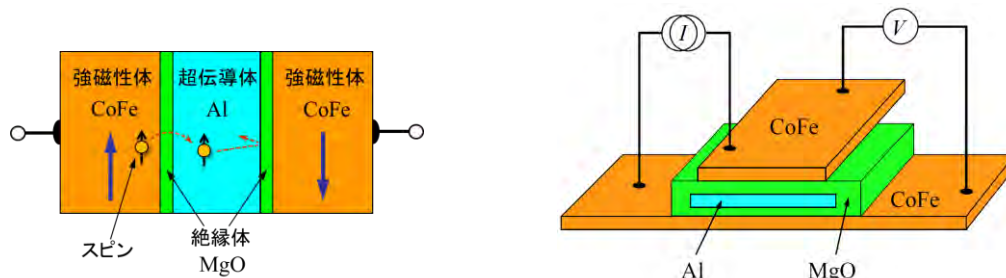


図25：二重トンネル接合デバイスの概念図(左図)。左右の強磁性電極(CoFe)の磁化の向き(青色矢印)を互いに反平行の配置にすることで、スピンを超伝導体に注入し、長い時間保持することができる。今回、作成した二重トンネル接合デバイスの構造(右図)。

超伝導/常伝導接合における巨大スピンホール効果の理論

常伝導/超伝導(NS)接合において、N層中の不純物散乱に起因する外因性スピンホール伝導度への寄与として、side jump(SJ)およびskew散乱(SS)機構を非平衡Green関数法により計算した。図26は、NS層間に電圧(V)を印加して、Vを変えた場合のスピンホール伝導度(SHC)を計算した結果である。図26(a)、(b)は、それぞれSJ、SS機構におけるSHCである。SJ及びSSにおけるSHCは、Vをギャップ電圧($eV/\Delta_0=1$, eは素電荷そして Δ_0 は絶対ゼロ度における超伝導ギャップの大きさである)付近に調整すると異常な増加を示し、N単体の場合のSHCよりも巨大なSHCが得られることを明らかにした。更に、N中の不純物散乱による緩和時間(τ)を変えることによって、SHCの大きさを制御することができることも明らかにした。この成果によって、超伝導体を利用したスピンホール効果の増幅と、そのスピントロニクスデバイスへの応用の可能性が切り開かれた。

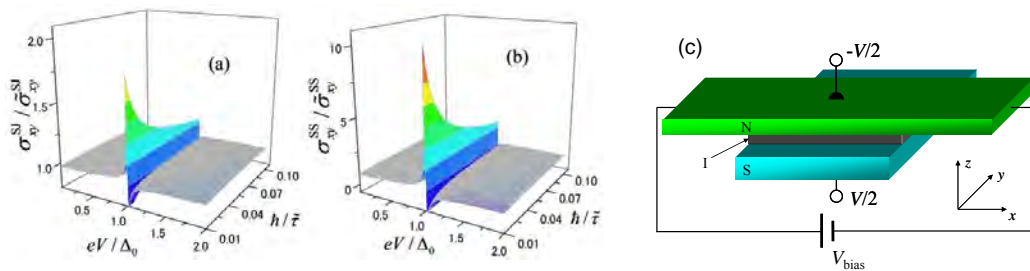


図26: (a)side jump および(b) skew 散乱機構におけるスピンホール伝導度の電圧(V)および緩和時間(τ)依存性。縦軸は常磁性(N)層単体の場合のスピンホール伝導度(SHC)で規格化したNS接合におけるSHCである。(c)NS接合における巨大スピンホールデバイスの概念図。Iは絶縁体を表す。 V_{bias} はN層に印加するバイアス電圧、VはS層とN層間に印加する電圧である。

強磁性体中の磁壁振動の高感度かつ高精度測定の原理を発見

強磁性体中の磁壁をメモリに応用しようとする試みは、数あるスピントロニクスデバイスの中で最も有望視されている。そのため、磁壁を磁場や電場で制御する方法や、その運動を高精度で観測する手段はデバイス設計上極めて重要となる。本研究では、磁壁運動を高精度で観測する原理を探索し、図2左に示すような強磁性体を2つの超伝導体で挟んだ「強磁性ジョセフソン接合」を考案するとともにその動作特性の理論解析を行った。磁壁が振動運動をしているときの接合方向(y方向)の電流電圧特性は、超伝導電流成分と磁気との結合を反映し、図27右に示す階段状の電流電圧特性を示すことを見出した。さらに、その階段の現れる電圧の値は振動数の整数倍に比例し、比例係数がプランク定数と素電荷の比という基礎物理定数のみで決まることが分かった。電圧はジョセフソン接合を用いて9桁という驚異的な精度で規定されている。また、基礎物理定数も同様な精度で規定されている。よって、磁壁の振動数を同様に高精度で観測が可能になる。今後、この原理を応用して磁壁運動を高感度かつ高精度に測定することが出来るようになれば、磁壁を用いたデバイス開発を促進すると期待される。

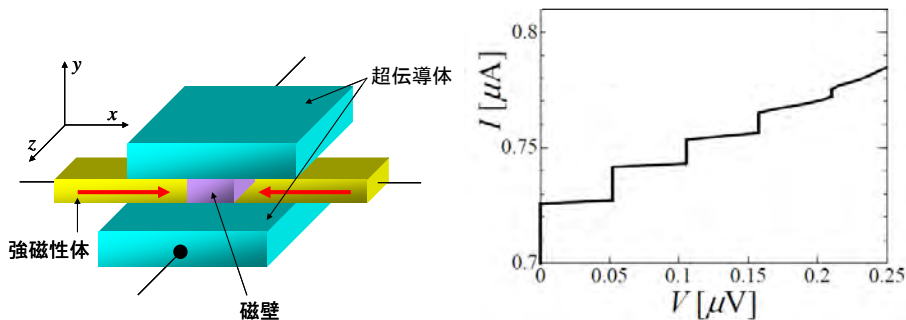


図27: 磁壁を含む強磁性ジョセフソン接合の概念図(左)と磁壁が振動している場合の電流電圧特性(右)。

超伝導体で挟んだ強磁性体中を長距離流れるスピン流の原理を発見

スピン流は電流とは異なり、保存則が成り立たず、一般的には強磁性体中では数ナノメートル程度伝搬すると消失してしまう。従って、如何に効率よく遠くまでスピン流を運ぶかは、スピントロニクス分野において重要な課題の一つとなっている。このスピントロニクスの重要課題に対して、磁化の方向が違う2層の強磁性体を、電子スピンの向きが反対になって対を形成して超伝導状態になるs-波超伝導体で挟んだ強磁性ジョセフソン接合を考案し、強磁性体中を流れるスピン流を理論的に調べた。その結果、スピン流は電圧降下することなく数十ナノメートルから数百ナノメートルにわたって強磁性体中を伝搬することを見いだした。これまでのスピン流の典型的な伝搬距離は10ナノメートル以下であるため、数百倍の増大にあたる。また、この長距離伝搬は、近接効果により強磁性体中に誘起されたスピン三重項クーパー対によって起きたことを明らかにした。この場合、スピン流の減衰は1桁程度であり、十分に観測可能な値である(図28参照)。

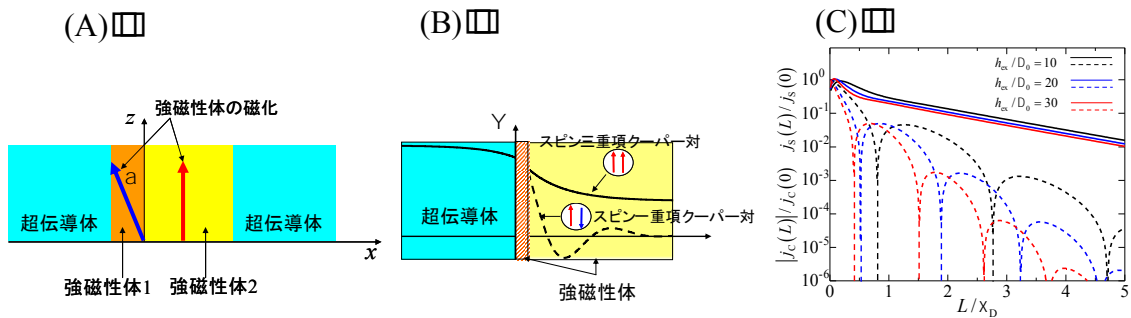


図28：(A) 強磁性ジョセフソン接合の概念図。強磁性体1の磁化の方向は、強磁性体2の磁化方向に対してある角度 α で傾いている。(B) 超伝導/強磁性接合におけるクーパー対の波動関数の空間変化の概念図。強磁性体へ侵入した強磁性体へ侵入したスピン三重項クーパー対は、強磁性体の膜厚を増加させると単調に減少する膜厚依存性を示し、スピン一重項クーパー対は、強磁性体の磁気の影響で対崩壊によってスピン一重項クーパー対は消失しやすくなり空間的に振動する。(C) スピン流 ($j_s(L)$: 実線) とジョセフソン電流 ($j_c(L)$: 破線) の計算した結果を、強磁性体2の L をクーパー対の大きさ (ξ_D) で規格化した値の関係。ただし、ジョセフソン電流は、絶対値を表示。

④研究の位置づけ、及び類似研究との比較

超伝導と強磁性は、物質中で発現する量子相関効果の双璧として、それぞれ深い研究蓄積がなされてきた。元来、超伝導と強磁性は互いに相容れない性格を持つものという認識が持たれていたが、近年の微細加工技術の進展により超伝導/強磁性ヘテロ構造の作成が可能となり、スピン蓄積やスピン流といった電子のスピン自由度を媒介として、両者の間に興味深いつながりが見いだされてきている。特に、スピントロニクスや次世代エレクトロニクスの観点からは、超伝導体の持つ量子伝導特性は思いがけない特性を発現させる可能性を秘めている。本研究によって明らかにされた、スピン蓄積の長寿命化やスピン流の長距離伝搬などは、「スピンの情報は効率よくすぐに利用しないと消えてしまう」という従来のスピントロニクスの常識を大きく覆す発見である。

本研究の特徴は、これらの基礎的な研究内容を、あくまでも将来のエレクトロニクス技術の進展に資する技術開発の一環として推進してきたことにある。今後は、集積化システムへの貢献を念頭に、協力する実験グループとともに現象の実証を行っていきたい。

§ 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 1件、国際(欧文)誌 141件)

1. K. Uchida, S. Takahashi, K. Harii, J. Ieda, W. Koshibae, K. Ando, S. Maekawa and E. Saitoh, "Observation of the spin Seebeck effect", *Nature* 455, 778-781 (2008).
2. T. Fujita, H. Okada, K. Koyama, K. Watanabe, S. Maekawa, and M. W. Chen, "Unusually Small Electrical Resistance of Three-Dimensional Nanoporous Gold in External Magnetic Fields", *Phys. Rev. Lett.* 101, 166601 (2008).
3. S. Dong, S. Yunoki, R. Yu, A. G. Alvarez, J.-M. Liu, E. Dagotto, "Magnetism, conductivity, and orbital order in $(\text{LaMnO}_3)_{2n}/(\text{SrMnO}_3)_n$ superlattices", *Phys. Rev. B* 78, 201102 (2008).
4. M. Mori, G. Khaliullin, T. Tohyama, and S. Maekawa, "Origin of spatial variation of pairing gap in Bi-based high- T_c cuprates", *Phys. Rev. Lett.* 101, 247003 (2008) (Virtual Journal of Application of Superconductivity, December 15, 2008).
5. B. Gu, N. Bulut, and S. Maekawa, "Crystal structure effect on the ferromagnetic correlations in ZnO with magnetic impurities", *J. Appl. Phys.* 104, 103906 (2008).
6. H. Matsueda, A. Ando, T. Tohyama, and S. Maekawa, "Effect of electron-phonon interaction on optical response in one-dimensional cuprates", *J. Phys. Chem. Solid* 69, 3070 (2008).
7. K. Ishii, M. Hoesch, T. Inami, K. Kuzushita, K. Ohwada, M. Tsubota, Y. Murakami, J. Mizuki, Y. Endoh, K. Tsutsui, T. Tohyama, S. Maekawa, K. Yamada, T. Masui, S. Tajima, H. Kawashima and J. Akimitsu, "Momentum-resolved charge excitations in high- T_c cuprates studied by resonant inelastic X-ray scattering", *J. Phys. Chem. Solid* 69, 3118 (2008).
8. W. Koshibae, A. Oguri, and S. Maekawa, "Theoretical study of thermoelectric and Hall effects in the layered cobalt oxides, Na_xCoO_2 ", *J. Phys. Chem. Solid* 69, 3214 (2008).
9. S. Hikino, S. Takahashi, M. Mori, and S. Maekawa, "Proximity effects in a superconductor/ferromagnet junction", *J. Phys. Chem. Solid* 69, 3257 (2008).
10. K. Tsutsui, A. Toyama, T. Tohyama, and S. Maekawa, "Exact diagonalization study on nonmagnetic impurity effects in high- T_c superconductors", *J. Phys. Chem. Solid* 69, 3365 (2008).
11. S. Hikino, M. Mori, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Sign reversal of ac Josephson current in a ferromagnetic Josephson junction", *J. Phys. Soc. Jpn.* 78, 014708 (2009).
12. B. Gu, N. Bulut, T. Ziman, and S. Maekawa, "Possible $d(0)$ ferromagnetism in MgO doped with nitrogen", *Phys. Rev. B* 79, 024407 (2009).
13. G.-Y. Guo, S. Maekawa, and N. Nagaosa, "Enhanced Spin Hall Effect by Resonant Skew Scattering in the Orbital-Dependent Kondo Effect", *Phys. Rev. Lett.* 102, 036401 (2009) (Editor's suggestion).
14. L. Zhang, T. Fujita, F. Chen, D.L. Feng, and S. Maekawa, "Doping and temperature dependence of Raman scattering from $\text{NdFeAsO}_{1-x}\text{Fx}$ ($x=0-0.2$) superconductor", *Phys. Rev. B* 79, 052507 (2009).
15. K. Uchida, S. Takahashi, J. Ieda, K. Harii, K. Ikeda, W. Koshibae, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Phenomenological analysis for spin-Seebeck effect in metallic magnets", *J. Appl. Phys.* 105, 07C908 (2009).
16. M. Mori, G. Khaliullin, T. Tohyama, and S. Maekawa, "Mechanism on spatial variation of pairing gap by apical atoms in cuprates", *J. Phys: Conf. Ser.* 150, 052169 (2009).
17. S. Hikino, M. Mori, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Phase and spin dynamics in a superconductor/ferromagnet/superconductor junction", *J. Phys: Conf. Ser.* 150, 052069 (2009).
18. M. Ichimura, T. Hamada, H. Imamura, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Spin

- transfer torque in magnetic tunnel junctions with synthetic ferromagnetic layers”, *J. Appl. Phys.* 105, 07D120 (2009).
19. R. Sugano, M. Ichimura, S. Takahashi, and S. Maekawa, “Landau-Lifshitz-Gilbert study of the effect of pulse width on spin-transfer torque magnetization switching”, *J. Appl. Phys.* 105, 07D130 (2009).
 20. P. N. Hai, S. Ohya, M. Tanaka, S.E. Barnes, and S. Maekawa, “Electromotive force and huge magnetoresistance in magnetic tunnel junctions”, *Nature* 458, 489 (2009).
 21. J. Ohe and S. Maekawa, “Spin motive force in magnetic nanostructures”, *J. Appl. Phys.* 105, 07C706 (2009).
 22. L. Vidmar, J. Bonca, S. Maekawa, “Optical conductivity in the t-J Holstein model”, *Phys. Rev. B* 79, 125120 (2009).
 23. Y. Tomoda, N. Bulut, S. Maekawa, “Inter-impurity and impurity-host magnetic correlations in semiconductors with low-density transition-metal impurities”, *Physica B condensed matter* 404, 1159 (2009).
 24. J. Xiao, G. E. W. Bauer, S. Maekawa, and Arne Brataas, “Charge pumping and the colored thermal voltage noise in spin valves”, *Phys. Rev. B* 79, 174415 (2009).
 25. J. Ieda, S. Maekawa, S. E. Barnes, “Current-Induced Domain Wall Creep in Magnetic Wires”, *Proceedings of the ISQM-Tokyo '08*, ed. by S. Ishioka and K. Fujikawa, (World Scientific, Singapore, 2009), 134-137.
 26. K. Ando, J. Ieda, K. Sasage, S. Takahashi, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Electric detection of spin wave resonance using inverse spin-Hall effect”, *Appl. Phys. Lett.* 94, 262505 (2009).
 27. J. Ohe, Y. Tomoda, N. Bulut, R. Arita, K. Nakamura, and S. Maekawa, “Combined Approach of Density Functional Theory and Quantum Monte Carlo Method to Electron Correlation in Dilute Magnetic Semiconductors”, *J. Phys. Soc. Jpn.* 78, 083703 (2009).
 28. M. Ye. Zhuravlev, Y. Wang, S. Maekawa, and E. Y. Tsympal, “Tunneling electroresistance in ferroelectric tunnel junctions with a composite barrier” *Appl. Phys. Lett.* 95, 052902 (2009).
 29. R. Yu, S. Yunoki, S. Dong, and E. Dagotto, “Electronic and Magnetic Properties of RMnO₃/AMnO₃ heterostructures”, *Phys. Rev. B* 80, 125115 (2009).
 30. S. Dong, K. Yamauchi, S. Yunoki, R. Yu, S.H. Liang, A. Moreo, J.M. Liu, S. Picozzi, and E. Dagotto, “Exchange Bias Driven by the Dzyaloshinskii-Moriya Interaction and Ferroelectric Polarization at G-Type Antiferromagnetic Perovskite Interfaces”, *Phys. Rev. Lett.* 103, 127201 (2009).
 31. J. Ohe, S. E. Barnes, H. W. Lee, and S. Maekawa, “Electrical measurements of the polarization in a moving magnetic vortex”, *Appl. Phys. Lett.* 95, 123110 (2009).
 32. S. Maekawa, “Magnetism: A flood of spin current”, *Nature Mat.* 8, 777 (2009).
 33. S. Dong, R. Yu, S. Yunoki, J.M. Liu, and E. Dagotto, “Double-Exchange Model Study of Multiferroic RMnO₃ Perovskites”, *Eur. Phys. J. B* 71, 339 (2009).
 34. L. Vidmar, J. Bonca, S. Maekawa, and T. Tohyama, “Bipolaron in the t-J model coupled to longitudinal and transverse quantum lattice vibrations”, *Phys. Rev. Lett.* 103, 186401 (2009).
 35. M. Mori, N. A. Shoostary, T. Tohyama, and S. Maekawa, “Nuclear quadrupole frequency in multilayered cuprates”, *J. Phys. Soc. Jpn.* 78, 123704 (2009).
 36. W. Koshibae, N. Furukawa and N. Nagaosa, “Real-Time Quantum Dynamics of Interacting Electrons: Self-Organized Nanoscale Structure in a Spin-Electron Coupled System”, *Phys. Rev. Lett.* 103, 266402 (2009).
 37. B. Gu, N. Bulut, T. Ziman, and S. Maekawa, “Possible d⁰ ferromagnetism in MgO doped with nitrogen”, *Phys. Rev. B* 79, 024407 (2009).
 38. S. H. Chen, S. Maekawa, M. H.Liu, and C. R. Chang, Mirror symmetry and exchange of magnetic impurities mediated by electrons of Rashba spin-orbit interaction in a four-terminal Landauer setup, *J. Phys. D Appl. Phys.* 43, 015003

- (2010).
39. J. Ohe, Y. Tomoda, N. Bulut, R. Arita, K. Nakamura, and S. Maekawa, "Magnetic properties of diluted magnetic semiconductors: Quantum Monte Carlo approach", *J. Magn. Magn. Mater.* 322, 1192 (2010).
 40. J. Ieda, H. Sugishita, S. Maekawa, "Current-induced domain wall motion in magnetic nanowires with spatial variation", *J. Magn. Magn. Mater.* 322, 1363 (2010).
 41. S. R. Dunsiger, J. P. Carlo, T. Goko, G. Nieuwenhuys, T. Prokscha, A. Suter, E. Morenzoni, D. Chiba, Y. Nishitani, T. Tanikawa, F. Matsukura, H. Ohno, J. Ohe, S. Maekawa, and Y. J. Uemura, "Spatially homogeneous ferromagnetism of (Ga,Mn)As", *Nature Materials* 9, 299 (2010).
 42. B. Gu, J.-Y. Gan, N. Bulut, G.-Y. Guo, N. Nagaosa, and S. Maekawa, "Orbital-dependent Kondo effect for Fe in Au: Combined approach of density functional theory and quantum Monte Carlo method", *J. Phys.: Conf. Ser.* 200, 062007 (2010).
 43. M. Ichimura, H. Hamada, H. Imamura, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Angular dependence of spin transfer torque on magnetic tunnel junctions with synthetic ferromagnetic free layer", *J. Phys.: Conf. Ser.* 200, 062008 (2010).
 44. S. Takahashi, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Spin current through a normal-metal/insulating-ferromagnet Junction", *J. Phys.: Conf. Ser.*, 200, 062030 (2010).
 45. M. Hatami, G.E.W. Bauer, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Thermoelectric spin diffusion in a ferromagnetic metal", *Solid State Commun.* 150, 480 (2010).
 46. K. Uchida, T. Ota, K. Harii, S. Takahashi, S. Maekawa, Y. Fujikawa, and E. Saitoh, "Spin-Seebeck effects in Ni₈₁Fe₁₉Pt films", *Solid State Commun.* 150, 524 (2010).
 47. Y. Kajiwara, K. Harii, S. Takahashi, J. Ohe, K. Uchida, M. Mizuguchi, H. Umezawa, H. Kawai, K. Ando, K. Takanashi, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Transmission of electrical signals by spin-wave interconversion in a magnetic insulator", *Nature*, 464, 262 (2010).
 48. R. Sugano, M. Ichimura, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Effect of the interlayer coupling of the synthetic ferrimagnetic free layer on current induced magnetization switching in MTJs", accepted in *Proceedings of 11th Joint MMM/Intermag Conference (IEEE Transactions on Magnetics)*.
 49. H. Yang, S.H. Yang, S. Takahashi, S. Maekawa, S.S.P. Parkin, "Extremely long quasiparticle spin lifetimes in superconducting aluminium using MgO tunnel spin injectors," *Nature Materials* 9, 586, 2010 (DOI: 10.1038/nmat2781)
 50. B. Gu, J.-Y. Gan, N. Bulut, T. Ziman, G.-Y. Guo, N. Nagaosa, and S. Maekawa, "Quantum Renormalization of the Spin Hall Effect," *Phys. Rev. Lett.* 105, 086401, 2010 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.086401)
 51. J. Xiao, G. E. W. Bauer, K. Uchida, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Theory of magnon-driven spin Seebeck effect," *Phys. Rev. B* 81, 214418, 2010 (DOI: 10.1103/PhysRevB.81.214418)
 52. M. Ye. Zhuravlev, S. Maekawa, and E. Y. Tsymbal, "Effect of spin-dependent screening on tunneling electroresistance and tunneling magnetoresistance in multiferroic tunnel junctions," *Phys. Rev. B* 81, 104419, 2010 (DOI: 10.1103/PhysRevB.81.104419)
 53. S.H. Chen, S. Maekawa, M.H.Liu, and C.R. Chang, "Mirror symmetry and exchange of magnetic impurities mediated by electrons of Rashba spin-orbit interaction in a four-terminal Landauer setup," *J. Phys. D Appl. Phys.* 43, 015003, 2010 (10.1088/0022-3727/43/1/015003)
 54. K. Uchida, J. Xiao, H. Adachi, J. Ohe, S. Takahashi, J. Ieda, T. Ota, Y. Kajiwara, H. Umezawa, S. Maekawa, E. Saito, "Spin Seebeck Insulator," *Nature Materials* 9, 894–897 (2010) (DOI:10.1038/nmat2856)

55. K. Uchida, H. Adachi, T. Ota, H. Nakayama, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Observation of longitudinal spin-Seebeck effect in magnetic insulators," *Appl. Phys. Lett.* 97, 172505(1-3) (2010). (DOI: 10.1063/1.3507386)
56. B. Gu, J.-Y. Gan, N. Bulut, T. Ziman, G.-Y. Guo, N. Nagaosa, and S. Maekawa, "Quantum Renormalization of the Spin Hall Effect," *Phys. Rev. Lett.* 105, 086401(1-4) (2010). (DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.086401)
57. G. Khaliullin, M. Mori, T. Tohyama, and S. Maekawa, "Enhanced pairing correlations near oxygen dopants in cuprate superconductors," *Phys. Rev. Lett.* 105, 257005 (2010) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.257005)
58. H. Adachi, K. Uchida, E. Saitoh, J. Ohe, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Gigantic enhancement of spin Seebeck effect by phonon drag," *Appl. Phys. Lett.* 97, 252506 (2010) (DOI: 10.1063/1.3529944)
59. B. Gu, I. Sugai, T. Zaiman, G. Guo, N. Nagaosa, T. Seki, H. Takanashi, S. Maekawa, "Surface-assisted Spin Hall Effect in Au Films with Pt Impurities," *Phys. Rev. Lett.* 105, 216401 (2010) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.216401)
60. S. Hikino, M. Mori, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Geometrical dependence of Josephson current induced by ferromagnetic resonance in ferromagnetic Josephson junctions," *Physica C* 470, S819 (2010) (DOI: 10.1016/j.physc.2009.10.092).
61. S. Hikino, M. Mori, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Microwave-induced supercurrent in a ferromagnetic Josephson junction," *Supercond. Sci. Technol.* 24, (2011) (DOI: 10.1088/0953-2048/24/2/024008)
62. S. E. Barnes, M. Aprili, I. Petkovic, and S. Maekawa, "Ferromagnetic resonance with a magnetic Josephson junction," *Supercond. Sci. Technol.* 24, 024020 (2011) (DOI: 10.1088/0953-2048/24/2/)
63. Bo Gu, T. Ziman, G-Y. Guo, N. Nagaosa, and S. Maekawa, "Giant spin Hall effect of Au films with Pt impurities: Surface-assisted skew scattering," *J. Appl. Phys.* 109, 07C502 (2011) (DOI: 10.1063/1.3540676)
64. H. Adachi, J. Ohe, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Linear-response theory of spin Seebeck effect in ferromagnetic insulators," *Phys. Rev. B* 83, 094410 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.83.094410)
65. J. Ohe, H. Adachi, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Numerical study on the spin Seebeck effect," *Phys. Rev. B* 83, 115118 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.83.115118)
66. S. Dong, S. Yunoki, X. Zhang, C. Sen, J.-M. Liu, and E. Dagotto, "Highly anisotropic resistivities in the double-exchange model for strained manganites", *Phys. Rev. B* 82, 035118 (2010) (DOI: 10.1103/PhysRevB.82.035118)
67. Y. Sun, X.-Q. Chen, S. Yunoki, D. Li, and Y. Li, "New family of three-dimensional topological insulators with antiperovskite structure", *Phys. Rev. Lett.* 105, 216406 (2010) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.216406)
68. H. Watanabe, T. Shirakawa, and S. Yunoki, "Microscopic Study of a spin-orbit-induced Mott insulators in Ir oxides", *Phys. Rev. Lett.* 105, 216410 (2010) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.105.216410)
69. T. Kajitani, Y. Miyazaki, K. Hayashi, K. Yubuta, X.Y. Huang, and W. Koshiyae, "Thermoelectric Energy Conversion and Ceramic Thermoelectrics", *Materials Science Forum* 671, 1 (2011). (DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.671.1)
70. T. Shirakawa, H. Watanabe, and S. Yunoki, "Variational cluster approximation study on Mott transition with strong spin-orbit coupling", *J. Phys.: Conf. Ser.* 273, 012148 (2011) (DOI: 10.1088/1742-6596/273/1/012148)
71. H. Watanabe, T. Shirakawa, and S. Yunoki, "Variational Monte Carlo study of two-dimensional strong spin-orbit coupling system: Novel Mott insulating state in Ir oxide", *J. Phys.: Conf. Ser.* 273, 012143 (2011) (DOI: 10.1088/1742-6596/273/1/012143)
72. L. Wang, T. Shirakawa, H. Watanabe, and S. Yunoki, "A numerical study for two-dimensional spin 1/2 antiferromagnets: a generalization of Entanglement

- Perturbation Theory to two-dimensional systems”, *J. Phys.: Conf. Ser.* 273, 012131 (2011) (DOI: 10.1088/1742-6596/273/1/012131)
73. R. Sugano, M. Ichimura, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Effect of Interlayer Coupling of Synthetic Ferrimagnetic Free Layer on Current Induced Magnetization Switching in MTJs", *IEEE Trans. Mag.* 46, 2136 (2010) (DOI: 10.1109/TMAG.2010.2042149)
 74. M. Ichimura, T. Hamada, H. Imamura, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Spin-Transfer Torque in MTJs with Synthetic Ferrimagnetic Layers – Keldysh approach”, *J. Appl. Phys.* 109, 07C906 (2011) (DOI:10.1063/1.3549437)
 75. M. Uchida, K. Oishi, M. Matsuo, W. Koshibae, Y. Onose, M. Mori, J. Fujioka, S. Miyasaka, S. Maekawa, and Y. Tokura, "Thermoelectric response in the incoherent transport region near Mott transition: the case study of $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{VO}_3$ ", *Phys. Rev. B* 83, 165127 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.83.165127)
 76. Y. Yamane, J. Ieda, J. Ohe, S. E. Barnes, and S. Maekawa, "Equation-of-motion approach of spin-motive force”, *J. Appl. Phys.* 109, 07C735 (2011) (DOI: 10.1063/1.3565398)
 77. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Spin current generation due to mechanical rotation in the presence of impurity scattering”, *Appl. Phys. Lett.* 98, 242501 (2011) (DOI: 10.1063/1.3597220)
 78. S. Hikino, M. Mori, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Composite excitation of Josephson phase and spin waves in Josephson junctions with ferromagnetic insulator”, *Phys. Soc. Jpn.* 80, 074707 (2011) (DOI: 10.1143/JPSJ.80.074707)
 79. Y. Fukuma, L. Wang, H. Idzuchi, S. Takahashi, S. Maekawa, and Y. Otani, "Giant enhancement of spin accumulation and long-distance spin manipulation in metallic lateral spin valves”, *Nature Materials* 10, 527 (2011) (DOI: 10.1038/nmat3046)
 80. K. Ando, S. Takahashi, J. Ieda, H. Kurebayashi, T. Trypiniotis, C. Barnes, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Electrically tunable spin injector free from the impedance mismatch problem”, *Nature Materials* (advanced online publication, DOI:10.1038/nmat3052)
 81. Y. Yamane, J. Ieda, J. Ohe, S. E. Barnes, and S. Maekawa, "Spinmotive Force Due to Intrinsic Energy of Ferromagnetic Nanowires”, *Appl. Phys. Express* 4 (2011) 093003 (2011) (DOI: 10.1143/APEX.4.093003)
 82. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Spin-dependent inertial force and spin current in accelerating systems”, *Phys. Rev. B* 84, 104410 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.104410)
 83. K. Uchida, H. Adachi, T. An, T. Ota, M. Toda, B. Hillebrands, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Long-range spin Seebeck effect and acoustic spin pumping”, *Nature Materials* 10, 737 (2011) (DOI: 10.1038/nmat3099)
 84. Z. Deng, C.Q. Jin, Q.Q. Liu, X.C. Wang, J.L. Zhu, S.M. Feng, L.C. Chen, R.C. Yu, C. Arguello, T. Goko, Fanlong Ning, Jinsong Zhang, Yayu Wang, A.A. Aczel, T. Munsie, T.J. Williams, G.M. Luke, T. Kakeshita, S. Uchida, W. Higemoto, T.U. Ito, Bo Gu, S. Maekawa, G.D. Morris, and Y.J. Uemura, "Li(Zn,Mn)As as a new generation ferromagnet based on a I-II-V semiconductor”, *Nature Communications.* 2, 422 (2011) (DOI: 10.1038/ncomms1425)
 85. Y. Yamane, K. Sasage, T. An, K. Harii, J. Ohe, J. Ieda, S. E. Barnes, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Continuous Generation of Spinmotive Force in a Patterned Ferromagnetic Film”, *Phys. Rev. Lett.* 107, 236602 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.236602)
 86. M. Matsuo, S. Okamoto, W. Koshibae, M. Mori, and S. Maekawa, "Nonmonotonic temperature dependence of thermopower in strongly correlated electron systems”, *Phys. Rev. B* 84, 153107 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.153107)
 87. K. Ando, S. Takahashi, J. Ieda, Y. Kajiwara, H. Nakayama, T. Yoshino, K. Harii, Y. Fujikawa, M. Matsuo, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Inverse spin-Hall effect induced

- by spin pumping in metallic system”, *J. Appl. Phys.* 109, 103913 (2011) (DOI: 10.1063/1.3587173)
88. K. Uchida, H. Adachi, T. An, H. Nakayama, M. Toda, B. Hillebrands, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Acoustic spin pumping: Direct generation of spin currents from sound waves in Pt/Y₃Fe₅O₁₂ hybrid structures”, *J. Appl. Phys.* 111, 053903 (2012) (DOI: 10.1063/1.3688332)
 89. M. J. Calderon, S. Liang, R. Yu, J. Salafranca, S. Dong, S. Yunoki, L. Brey, A. Moreo, and E. Dagotto “Magnetoelectric coupling at the interface of BiFeO₃/La_{0.7}Sr_{0.3}MnO₃ multilayers”, *Phys. Rev. B* 84, 024422 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.024422)
 90. S. Hikino and S. Yunoki, “Anomalous enhancement of spin Hall conductivity in a superconductor/normal-metal junction”, *Phys. Rev. B* 84, 020512(R) (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.020512)
 91. Y. Zhu, S. Dong, Q. Zhang, S. Yunoki, Y. Wang, and J.-M. Liu, "Tailoring magnetic order in (LaFeO₃)_n-(LaCrO₃)_n superlattices model", *J. Appl. Phys.* 110, 053916 (2011) (DOI: 10.1063/1.3631787)
 92. R. Shindou, S. Yunoki, and T. Momoi, "Projective studies of spin nematics in a quantum frustrated ferromagnet", *Phys. Rev. B* 84, 134414 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.134414)
 93. Y. Sun, X.-Q. Chen, C. Franchini, D. Li, S. Yunoki, Y. Li, and Z. Fang, "Strain-driven onset of nontrivial topological insulating states in Zintl Sr₂X compounds (X=Pb, Sn)", *Phys. Rev. B* 84, 165127 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.165127)
 94. Q. Zhang, S. Hikino, and S. Yunoki, "First-principles study of the spin-mixing conductance in Pt/Ni₈₁Fe₁₉ junctions", *Appl. Phys. Lett.* 99, 172105 (2011) (DOI: 10.1063/1.3657144)
 95. G. Zhang, S. Dong, Z. Yan, Y. Guo, Q. Zhang, S. Yunoki, E. Dagotto, and J.-M. Liu, "Multiferroic properties of CaMn₂O₁₂", *Phys. Rev. B* 84, 174413 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.174413)
 96. H. Watanabe, T. Shirakawa, and S. Yunoki, "Spin-orbit-induced Mott insulator in 5d electron systems", *J. Phys. Soc. Jpn.* 80, SB006 (2011) (DOI: 10.1143/JPSJS.80SB.SB006)
 97. T. Shirakawa, H. Watanabe, and S. Yunoki, "Microscopic study of electronic and magnetic properties for Ir oxide", *J. Phys. Soc. Jpn.* 80, SB010 (2011) (DOI: 10.1143/JPSJS.80SB.SB010)
 98. S. Dong, Q. Zhang, S. Yunoki, J.-M. Liu, and E. Dagotto, "Ab initio study of the intrinsic exchange bias at the SrRuO₃/SrMnO₃ interface", *Phys. Rev. B* 84, 224437 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.224437)
 99. Y. Wang, B. Wang, Q. Zhang, D. Shi, S. Yunoki, F. Kong, and N. Xu, a, "A simple capacitor model and first-principles study of carbon-doped zigzag ZnO nanoribbons", *Solid State Comm.* 152, 534 (2012) (DOI: 10.1016/j.ssc.2011.12.035)
 100. W. Koshibae, N. Furukawa, and N. Nagaosa, "Photo-induced insulator-metal transition of a spin-electron coupled system", *Euro. Phys. Lett.* 94, 27003 (2011) (DOI:10.1209/0295-5075/94/27003)
 101. K. Miura, R. Sugano, M. Ichimura, J. Hayakawa, S. Ikeda, H. Ohno, and S. Maekawa, “Reduction of intrinsic critical current density under a magnetic field along the hard axis of a free layer in a magnetic tunnel junction”, *Phys. Rev. B* 84, 174434 (2011) (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.174434).
 102. Dahai Wei, Yasuhiro Niimi, Bo Gu, Timothy Ziman, Sadamichi Maekawa, and Yoshichika Otani, “The spin Hall effect as a probe of non-linear spin fluctuations”, *Nature Communications* 3, 1058 (1-5) (2012) (DOI: 10.1038/ncomms2063).
 103. K. Tanabe, D. Chiba, J. Ohe, S. Kasai, H. Kohno, S. E. Barnes, S. Maekawa, K. Kobayashi, and T. Ono, “Spin-motive force due to a gyrating magnetic vortex”, *Nature Communications* 3, 845 (2012) (DOI: 10.1038/ncomms1824).

104. M. Hayashi, J. Ieda, Y. Yamane, J. Ohe, Y. K. Takahashi, S. Mitani, and S. Maekawa, "Time-domain observation of spinmotive force in permalloy nanowires", *Phys. Rev. Lett.* 108, 147202 (2012) (DOI: 10.1103/PhysRevLett.108.147202).
105. Y. Yamane, J. Ieda, and S. Maekawa, "Stability of Spinmotive Force in Perpendicularly Magnetized Nanowires under High Magnetic Fields", *Appl. Phys. Lett.* 100, 162401 (2012) (DOI:10.1063/1.4703933).
106. S. Hikino, M. Mori, W. Koshibae, and S. Maekawa, "Towards precise measurement of oscillatory domain wall by ferromagnetic Josephson junction", *Appl. Phys. Lett.* 100, 152402 (2012) (DOI: 10.1063/1.3701782).
107. Jun'ichi Ieda and Sadamichi Maekawa, "Magnetic power inverter: AC voltage generation from DC magnetic fields", *Appl. Phys. Lett.* 101, 252413 (2012) (DOI: 10.1063/1.4773214).
108. B. Gu, T. Ziman, and S. Maekawa, "Theory of the spin Hall effect, and its inverse, in a ferromagnetic metal near the Curie temperature", *Phys. Rev. B* 86, 241303 (2012) (DOI: 10.1103/PhysRevB.86.241303).
109. K. Uchida, T. Ota, H. Adachi, J. Xiao, T. Nonaka, Y. Kajiwara, G. E. W. Bauer, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Thermal spin pumping and magnon-phonon-mediated spin-Seebeck effect", *J. Appl. Phys.* 111, 103903 (2012) (DOI: 10.1063/1.4716012).
110. K. Tsutsui, T. Tohyama, W. Koshibae, and S. Maekawa, "Theoretical Study of Resonant Inelastic X-ray Scattering Spectrum in Nickelates", *J. Phys.: Conf. Ser.* 400, 032105 (2012) (DOI:10.1088/1742-6596/400/3/032105).
111. S. Hikino and S. Yunoki, "Spin Hall effect in a superconductor/normal metal junction", *Physics Procedia* 27, 84 (2012) (DOI: 10.1016/j.phpro.2012.03.416).
112. Q. Zhang, S. Dong, B. Wang, and S. Yunoki, "Strain-engineered magnetic order in $(\text{LaMnO}_3)_n/(\text{SrMnO}_3)_{2n}$ superlattices", *Phys. Rev. B* 86, 094403 (2012) (DOI: 10.1103/PhysRevB.86.094403).
113. S. Dong, Q. Zhang, S. Yunoki, J.-M. Liu, and E. Dagotto, "Magnetic and orbital order in $(\text{RMnO}_3)_n/(\text{AMnO}_3)_{2n}$ superlattices studied via a double-exchange model with strain", *Phys. Rev. B* 86, 205121 (2012) (DOI: 10.1103/PhysRevB.86.205121).
114. H. Watanabe, T. Shirakawa, and S. Yunoki, "Variational Monte Carlo study for superconductivity in multi-orbital systems", *J. Phys.: Conf. Ser.* 400, 022134 (2012) (DOI: 10.1088/1742-6596/400/2/022134).
115. G. Chen, Q. Zhang, X. Gong, and S. Yunoki, " d^0 ferromagnetic surface in HfO_2 ", *J. Phys.: Conf. Ser.* 400, 032008 (2012) (DOI: 10.1088/1742-6596/400/3/032008).
116. Q. Zhang and S. Yunoki, "A first-principles study for electronic and magnetic properties of $\text{LaFeO}_3/\text{LaCrO}_3$ superlattices", *J. Phys.: Conf. Ser.* 400, 032126 (2012) (DOI: 10.1088/1742-6596/400/3/032126).
117. S. Sorella, Y. Ostuka, and S. Yunoki, "Absence of a Spin Liquid Phase in the Hubbard Model on the Honeycomb Lattice", *Scientific Reports* 2, 992 (2012) (DOI: 10.1038/srep00992).
118. Y. Ohnuma, H. Adachi, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Spin Seebeck effect in antiferromagnets and compensated ferrimagnets", *Phys. Rev. B* 87, 014423 (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.014423).
119. M. Matsuo, J. Ieda, and S. Maekawa, "Renormalization of spin-rotation coupling", *Phys. Rev. B* 87, 115301 (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.115301).
120. H. Adachi, K. Uchida, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Theory of the spin Seebeck effect", *Rep. Prog. Phys.* 76 036501 (2013) (DOI: 10.1088/0034-4885/76/3/036501).
121. X. Wang, J. Xiao, A. Manchon, and S. Maekawa, "Spin-Hall Conductivity and Electric Polarization in Metallic Thin Films", *Phys. Rev. B* 87, 014423 (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.014423).
122. S. Zhang, S. Yamagiwa, M. Okumura, and S. Yunoki, "Kernel polynomial method on GPU", *Int. J. Parallel Prog.* 41, 59 (2013) (DOI: 10.1007/s10766-012-0204-y).

123. 小椎八重 航, 遷移金属酸化物にみられる巨大な熱起電力に関する理論的研究, 粉体および粉末冶金 59, 190 (2012).
124. T. An, V. I. Vasyuchka, K. Uchida, A. V. Chumak, K. Yamaguchi, K. Harii, J. Ohe, M. B. Jungfleisch, Y. Kajiwara, H. Adachi, B. Hillebrands, S. Maekawa and E. Saitoh, “Unidirectional spin-wave heat conveyer”, Nature Materials 12, 549-553 (2013) (DOI: 10.1038/nmat3628).
125. K. Kubo, “Ferromagnetism and Fermi-surface transition in the periodic Anderson model: Second-order phase transition without symmetry breaking”, Phys. Rev. B 87, 195127(1-9) (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.195127).
126. M. Matsuo, J. Ieda, K. Harii, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Mechanical generation of spin current by spin-rotation coupling”, Phys. Rev. B 87, 180402(1-4) (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.180402).
127. T. Sugimoto, M. Mori, T. Tohyama, and S. Maekawa, “Effects of frustration on magnetic excitations in a two-leg spin-ladder system”, Phys. Rev. B 87, 155143(1-7) (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.155143).
128. Y. Yamane, J. Ieda, and S. Maekawa, “Spinmotive force due to electric field with static and uniform magnetization”, Phys. Rev. B 88, 014430(1-4) (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevB.88.014430).
129. J. Ieda, Y. Yamane, and S. Maekawa, “Real-time analysis of the spinmotive force due to domain wall motion”, J. Korean Phys. Soc 62, 1802-1806 (2013) (DOI: 10.3938/jkps.62.1802).
130. H. Adachi and S. Maekawa, “Linear-response theory of the longitudinal spin Seebeck effect”, J. Korean Phys. Soc 62, 1753-1758 (2013) (DOI:10.3938/jkps.62.1753).
131. S. Maekawa and H. Adachi, “Heat and spin”, J. Korean Phys. Soc 62, 1985-1989 (2013) (DOI: 10.3938/jkps.62.1985).
132. S. Maekawa, H. Adachi, K. Uchida, J. Ieda, and E. Saitoh, “Spin Current: Experimental and Theoretical Aspects”, J. Phys. Soc. Jpn. 82, 102002(1-23) (2013) (DOI: 10.7566/JPSJ.82.102002).
133. O. P. Sushkov, A. I. Milstein, M. Mori and S. Maekawa, “Relativistic effects in scattering of polarized electrons”, EPL 103, 47003(1-6) (2013) (DOI: 10.1209/0295-5075/103/47003]
134. Z. Deng, K. Zhao, B. Gu, W. Han, J. L. Zhu, X. C. Wang, X. Li, Q. Q. Liu, R. C. Yu, T. Goko, B. Frandsen, L. Liu, Jinsong Zhang, Yayu Wang, F. L. Ning, S. Maekawa, Y. J. Uemura, and C. Q. Jin, “Diluted ferromagnetic semiconductor Li(Zn,Mn)P with decoupled charge and spin doping”, Phys. Rev. B 88, 081203(1-5) (2013) (DOI: 10.1103/PhysRevB.88.081203).
135. A. Annadi, Q. Zhang, X. Renshaw Wang, N. Tuzla, K. Gopinadhan, W.M. Lu, A. Roy Barman, Z.Q. Liu, A. Srivastava, S. Saha, Y.L. Zhao, S.W. Zeng, S. Dhar, E. Olsson, B. Gu, S. Yunoki, S. Maekawa, H. Hilgenkamp, T. Venkatesan, and Ariando, “Anisotropic two-dimensional electron gas at the LaAlO₃/SrTiO₃ (110) interface”, Nature Communications 4, 1-7 (2013) (DOI: 10.1038/ncomms2804).
136. S. Hikino and S. Yunoki, Long-Range Spin Current Driven by Superconducting Phase Difference in a Josephson Junction with Double Layer Ferromagnets, Phys. Rev. Lett. 110, 237003 (2013).
137. H. Watanabe, T. Shirakawa, and S. Yunoki, A Novel Superconductivity in Ir Oxides with a Large Spin-orbit Coupling, J. Korean Phys. Soc. 62, 1848 (2013).
138. Y. Otsuka, S. Yunoki, and S. Sorella, Quantum Monte Carlo study of the half-filled Hubbard model on the honeycomb lattice, J. Phys.: Conf. Ser. 454, 012045 (2013).
139. H. Watanabe, T. Shirakawa, and S. Yunoki, Variational Monte Carlo study for the insulating mechanism of Sr₂IrO₄: from the viewpoint of energy gain, J. Phys.:

- Conf. Ser. 454, 012047 (2013).
140. S. Zhang, S. Yamagiwa, and S. Yunoki, A study of parallelizing O(N) Green-function-based Monte Carlo method for many fermions coupled with classical degrees of freedom, *J. Phys.: Conf. Ser.* 454, 012049 (2013).
 141. T. Shirakawa, H. Watanabe, and S. Yunoki, Theoretical studies of three-band Hubbard model with a strong spin-orbit coupling for 5d transition metal oxide Sr₂IrO₄, *J. Phys.: Conf. Ser.* 454, 012068 (2013).
 142. T. Kikkawa, K. Uchida, S. Daimon, Y. Shiomi, H. Adachi, Z. Qiu, D. Hou, X.-F. Jin, S. Maekawa, and E. Saitoh, "Separation of longitudinal spin Seebeck effect from anomalous Nernst effect: Determination of the origin of transverse thermoelectric voltage in metal/insulator junctions", *Phys. Rev. B* 88, 214403 (2013)(DOI: 10.1103/PhysRevB.88.214403).
 143. K. Uchida, H. Adachi, Y. Kajiwara, S. Maekawa, and E. Saitoh Spin-Wave Spin Current in Magnetic Insulators, "Spin-Wave Spin Current in Magnetic Insulators", *Solid State Physics* 64, 1-27 (2013) (DOI:10.1016/B978-0-12-408130-7.00001-0).
 144. J. Ieda, Y. Yamane, and S. Maekawa, "Spinmotive force in magnetic nanostructures", *SPIN* 3, 1330004 (2013) (DOI: 10.1142/S2010324713300041).
 145. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Effects of mechanical rotation and vibration on spin currents", *J. Korean Phys. Soc.* 62, 1404-1409 (2013) (DOI: 10.3938/jkps.62.1404).
 146. T. Hamada, T. Ohno, and S. Maekawa, "Implementation of the DFT+U Method and Constrained DFT Calculations, for U and J within a Pseudopotential Formalism: Application to FeO and LaVO₃", *J. Korean Phys. Soc.* 62, 2155-2159 (2013) (DOI: 10.3938/jkps.62.2155).
 147. S. E. Barnes, J. Ieda, and S. Maekawa, "Rashba Spin-Orbit Anisotropy and the Electric Field Control of Magnetism", *Scientific Reports* 4, 4105(1-5) (2014) (DOI: 10.1038/srep04105).
 148. H. Idzuchi, Y. Fukuma, S. Takahashi, S. Maekawa, and Y. Otani, "Effect of anisotropic spin absorption on the Hanle effect in lateral spin valves", *Phys. Rev. B* 89, 081308 (2014) (DOI: 10.1103/PhysRevB.89.081308)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. S. Maekawa, S. Takahashi, S. Hikino, and M. Mori, "Spin current in superconductors", *Prog. Theor. Phys. Suppl.* 176, 341 (2008).
2. 大江 純一郎, 前川 禎通, "マイクロマグネティックシミュレーションを用いたスピントロニクスの研究", *まぐね* 3, 580 (2008).
3. 家田 淳一, 前川 禎通, 「ナノ構造磁性体における磁壁ダイナミクスの理論」, *まぐね* 4, 384-389, (2009).
4. G. E. W. Bauer, A. H. MacDonald, and S. Maekawa, "Spin Caloritronics", *Solid State Communications* 150, 459 (2010).
5. W. Koshibae, S. Maekawa, "Thermoelectric effect in transition metal oxides", pp. 69-79, in *Properties and Applications of Thermoelectric Materials: The Search for New Materials for Thermoelectric Devices* (NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics, 2009).
6. 高橋三郎, 前川禎通, 第3章「スピン注入・蓄積効果」, *スピントロニクスの基礎と材料・応用技術の最前線* (シーエムシー出版, 2009) pp. 31-41
7. 前川 禎通, 家田 淳一, 「巨大磁気抵抗効果からトンネル磁気抵抗効果へ」, *日本物理学会誌*, 65, 324-330, (2010) *執筆依頼
8. 安立 裕人, 前川 禎通, 「スピンと熱の新しいかかわり」, *日本磁気学会誌「まぐね」*第5巻 6月号 256-263 (2010) *執筆依頼

9. 大江純一郎、Bo Gu、前川禎通、「磁性半導体に対する新しい数値計算法」、固体物理 45, 269 (2010) *執筆依頼
10. 前川禎通、「研究者としての40年、そしてこれから」、固体物理 45, 386-387 (2010) *執筆依頼
11. 前川禎通、「次世代ナノ電子材料」、計算工学 15, 2352-2354 (2010) *執筆依頼
12. 家田淳一、前川禎通、「スピン起電力 -その基礎と展開-」、固体物理 47, pp.339-353 (2012).
13. Hiroto Adachi and Sadamichi Maekawa, "Spin Waves, Spin Currents and Spin Seebeck Effect", Magnonics: From Fundamentals to Applications; Chapter 9, pp. 119-128 (2012).
14. Sadamichi Maekawa, Sergio O. Valenzuela, Eiji Saitoh, and Takashi Kimura eds, "Spin Current", (Oxford University Press, 464 pages, 2012).

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演(国内会議 22件、国際会議 101件)

1. M. Mori (IMR, Tohoku Univ.), "Apical oxygen and pairing gap in cuprates", International workshop "Inelastic Neutron and X-Ray Scattering in Strongly Correlated Electron Systems", Sendai, Japan, October 3, 2008.
2. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), "Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures", 421st. Wilhelm and Else Heraeus Seminar on Spin Hall Effect, Physikzentrum, Bed Honeff, Germany, October 20, 2008.
3. J. Ieda (IMR, Tohoku Univ.), "Current-induced domain wall motion in inhomogeneous nanowires", The 23rd Nishinomiya-Yukawa Memorial International Workshop, Spin Transport in Condensed Matter, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, November 4, 2008.
4. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), "Non-Local Spin Transport and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures", 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, American Center for Physics, Austin, Texas, USA, November 13, 2008.
5. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), "Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics", WPI Meeting, Tohoku University, Sendai, Japan, November 18, 2008.
6. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), "Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics", QPEC Workshop Koshiba Hall, Tokyo Univ., Tokyo, Japan, November 20, 2008.
7. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), "Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics", Center for Quantum Science and Engineering (CQSE) Opening Ceremony and Forum in Condensed Matter Science, International Auditorium, Dept. of Physics, National Taiwan Univ., Taipei, Taiwan, November 26, 2008.
8. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), "New trend of condensed matter science in 21st Century", Center for Quantum Science and Engineering(CQSE) Opening Ceremony and Forum in Condensed Matter Science, International Auditorium, Dept. of Physics, National Taiwan Univ., Taipei, Taiwan, November 26, 2008.
9. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), "Spin Transport in Condensed Matter -Past Present and Future-", Spin Transport in Condensed Matter, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan, November 28, 2008.
10. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), "Local Structure and Electronic States in Cuprates and Fe-Pnictides", A3 Foresight Program, Fudan Univ., Shanghai, China, December 8, 2009.

11. 柚木 清司(理化学研究所), “Metal-insulator transition in $(\text{LaMnO}_3)_{2n}/(\text{SrMnO}_3)_n$ superlattices”, 次世代ナノ情報機能・材料グループ成果報告会, 仙台, 2008年12月11日.
12. 小椎八重 航(理化学研究所), “強相関電子系の熱電効果におけるスピンと軌道の役割”, 次世代スーパーコンピュータプロジェクトナノ統合拠点の 物性科学ワーキンググループ連続研究会 –新しい概念に基づく熱電材料とその物理–, 仙台, 2008年12月12日.
13. 家田 淳一(東北大学金属材料研究所), “スピンゼーベック効果”, 次世代スーパーコンピュータプロジェクトナノ統合拠点の 物性科学ワーキンググループ連続研究会 –新しい概念に基づく熱電材料とその物理–, 仙台, 2008年12月12日.
14. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics”, Université de Paris, Paris, France, January 22, 2009.
15. J. Ieda (IMR, Tohoku Univ.), “Thermal Spin Currents”, Spin Caloritronics, Lorentz Center, Leiden, Netherlands, February 10, 2009.
16. S. Takahashi (IMR, Tohoku Univ.), “Extrinsic Spin Hall Effects”, Spin Caloritronics, Lorentz Center, Leiden, Netherlands, February 11, 2009.
17. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Nano-Science and Spin Electronics”(plenary talk), The 1st NanoSquare Workshop, Osaka Prefecture University, Japan, February 28, 2009.
18. J. Ieda (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Hall, Spin Faraday, and Spin Seebeck Effects”, 2009 WPI-AIMR Annual Workshop, Zao, Sendai, Japan, March 5, 2009.
19. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics”, AIST-RIKEN Joint Workshop, Okinawa, Japan, March 7, 2009.
20. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics”, 浦項大学 (POSTECH), Pohang, Korea, March 23, 2009.
21. S. Takahashi (IMR, Tohoku Univ.), “Ferromagnetic Josephson Resonance by the Interplay of FMR and Josephson Effect”, Joint JSPS-ESF International Conference on Nanoscience and Engineering in Superconductivity, Tsukuba, Japan, March 26, 2009.
22. 前川 禎通, “GMR(巨大磁気抵抗効果)から TMR(トンネル磁気抵抗効果)へ”, 日本物理学会第64回年次大会, 立教大学, 2009年3月29日.
23. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures”, Spin Currents 2009, Fallen Leaf Lake, South Lake Tahoe, USA, April 18, 2009.
24. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics”, IBM Colloquium, IBM Almaden Research Center, San Jose, USA, May 8, 2009.
25. M. Mori (IMR, Tohoku Univ.), “Local structure and superconductivity in cuprates”, The 7-th International Conference on New Theories, Discoveries and Applications of Superconductors and Related Materials, Beijing, China, May. 13-16, 2009.
26. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Kondo Effect and Spin Hall Effect in Au Metals”, The Peter Levy Symposium, Silver Center, New York, USA, May 15, 2009.
27. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics”, ICMAT 2009, Singapore, July 3, 2009.
28. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Hall Effect and Spin Seebeck Effect”, APW-A3, Seoul, Korea, July 5, 2009.
29. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Injection and Accumulation”, ICM 2009, Karlsruhe, Germany, July 28, 2009.
30. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Materials Dependence of Electronic Properties in Transition Metal Superconducting Compounds”, A3 Hokkaido Summer School,

- Rusutsu Resort, Hokkaido, Japan, August 5, 2009.
31. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Ferromagnetic Josephson Junction and Spin Wave Resonance”, NDSN2009, Nagoya University, September 5, 2009.
 32. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Current, Charge Current, Heat Current and Spin-Electronics”, Institute of Materials Science, Athens, Greece, September 16, 2009.
 33. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Ferromagnetic Josephson Resonance”, Vortex Matter in Nanostructured Superconductors VI, Aldmar Paradise Royal Mare, Rhodes, Greece, September 19, 2009.
 34. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures”, KINKEN Workshop, Group-IV Spintronics, Sendai, Japan, October 6, 2009.
 35. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Seebeck Effect, Spin Seebeck Effect and Spin-Electronics”, the Colloquium for MSD, Argonne National Laboratory, Materials Science Division, Argonne, IL, USA, October 22, 2009.
 36. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Current in Superconductors”, POSTECH, Pohang, Korea, November 9, 2009.
 37. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Current, Charge Current and their Interaction in Magnetic Nanostructures”, POSTECH, Pohang, Korea, November 9, 2009
 38. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures”, NewSpin, Utrecht, Netherlands, January 7, 2010.
 39. J. Ohe (IMR, Tohoku Univ.), "Spin Seebeck effect in an ferromagnetic insulator", 4th International Workshop on Spin Currents and 2nd International Workshop on Spin Caloritronics, IMR, Tohoku univ., Sendai, February 8, 2010.
 40. S. Maekawa (IMR, Tohoku Univ.), “Quantum renormalization of the spin Hall effect”, 4th International Workshop on Spin Currents and 2nd International Workshop on Spin Caloritronics, IMR, Tohoku univ., Sendai, February 9, 2010.
 41. S. Takahashi (IMR, Tohoku Univ.), “Spin injection into a superconductor in a magnetic double tunnel junction”, 4th International Workshop on Spin Currents and 2nd International Workshop on Spin Caloritronics, IMR, Tohoku univ., Sendai, February 10, 2010.
 42. 前川禎通(日本原子力研究開発機構)、“Spin Current, Charge Current and their Interaction in Magnetic Nanostructures,” 日本磁気学会、つくば、2010年9月5日
 43. 前川禎通(日本原子力研究開発機構)、“Seebeck Effect, Spin Seebeck Effect and Spin-Electronics,” RIKEN Opening Symposium of QS2C Theory Forum、和光市、2011年9月29日
 44. 柚木清司(理化学研究所)、“Microscopic study of spin-orbit-induced Mott insulator in Ir oxides”, RIKEN Opening Symposium of QS2C Theory Forum、和光市、2011年9月27日
 45. 柚木清司(理化学研究所)、“Variational Monte Carlo Study for Strongly Correlated Electrons”, 1st AICS International Symposium -Computer and Computational Sciences for Exascale Computing-、神戸市、2011年3月12日
 46. 小椎八重航(理化学研究所)、「強相関電子系の熱起電力に関する理論的研究:スピンの軌道自由度の役割」、第5回 KEK 連携研究会「熱電変換材料と新規機能物質」、筑波大学、2011年12月17日
 47. 前川禎通(日本原子力研究開発機構)、「磁気ナノ構造における新しいスピン流生成」、特定領域「スピン流の創出と制御」2010年成果報告会、東京大学武田ホール、東京、2011年1月6-7日
 48. S. Maekawa (ASRC, JAEA.) , “Spin injection into a superconductor in a magnetic double tunnel junction,” ESF-NES Workshop 2010, Salzburg, 2010.5. 4-8

49. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Ferromagnetic Josephson Resonance," The 9th International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors, Shanghai, China, 2010.5.23-28
50. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Seebeck Effect, Spin Seebeck Effect and Spin-Electronics," Workshop on High Performance Ceramic, Hangzhou, 2010.5.29
51. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin Current, Charge Current and their Interaction in Magnetic Nanostructures," KITPC2010, Beijing, 2010.5.31
52. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Seebeck Effect, Spin Seebeck Effect and Spin-Electronics," ICAM2010, Beijing, 2010.6.2
53. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin injection into a superconductor," Shanghai Workshop on Spintronics and Low Dimensional Magnetism, Shanghai, 2010.6.17
54. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Wave Spin Current as a Transmission Tool of Electric Signal and Thermal Energy," SpinAge2010, California, 2010.8.29
55. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Seebeck Effect, Spin Seebeck Effect and Spin-Electronics," ARW Workshop HVAR 2010, Hvar, Croatia, 2010.10.2-7
56. M. Mori (ASRC, JAEA.), "Quantum transport in nano-structure of superconductor and ferromagnet," ARW Workshop HVAR 2010, Hvar, Croatia, 2010.10.2-7
57. J. Ohe (ASRC, JAEA.), "Spin motive force induced by the magnetic vortex core motion," ICUAMS2010 Jeju, Korea, 2010.12.5-10
58. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Wave Spin Current as a Transmission Tool of Electric Signal and Thermal Energy," ICUAMS2010 Jeju, Korea, 2010.12.5-10
59. J. Ohe (ASRC, JAEA.), "Spin-wave spin current in non-equilibrium systems," KIST Spintronics workshop, Seoul, Korea, 2010.12.9
60. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin Current, Charge Current and their Interaction in Magnetic Nanostructures," The 9th Asia Pacific Workshop on Materials Physics (APW2010), Hanoi, Vietnam, 2010.12.12
61. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Materials Design of Magnetic Semiconductors -Quantum Monte Carlo Study-," NASCES 2011, Tokai, Japan, 2011.2.23
62. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Theory on pure spin current", Intermag 2011, Taipei, Taiwan, 2011.4.4
63. H. Adachi (ASRC, JAEA.), "Are only phonons relevant to the long-range nature of the spin Seebeck effect?" Spin Caloritronics III, Lorentz Center, Leiden, Netherlands, 2011.5.10
64. J. Ieda (ASRC, JAEA.), "Spin Current from Mechanical Motion", Spin Caloritronics III, Lorentz Center, Leiden, Netherlands, 2011.5.12
65. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Wave, Spin Current and Spin Seebeck Effect", PM'11, Poznan, Poland, 2011.6.28
66. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures", Spin Currents 2011, Sendai, Japan, 2011.7.28
67. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Non-Equilibrium Magnons, Spin Current and Spin Seebeck Effect", 2nd International Workshop on Magnonics: From Fundamentals to Applications, Recife, Brazil, 2011.8.7
68. M. Mori (ASRC, JAEA.), "Dynamics of Josephson-phase coupled with spin waves", The 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), Beijing, China, 2011.8.13
69. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures", Moscow International Symposium on Magnetism, Moscow, Russia, 2011.8.22
70. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果と絶縁体からの熱電発電」、セミナー「熱電変換材料・モジュールの開発と熱電発電技術の最新動向」、総評会館、2011年5月26日
71. H. Adachi (ASRC, JAEA.), "Theory of phonon-drag spin Seebeck effect", The 4th

- annual showcase of materials-allied research at The Ohio State University, Ohio, USA, 2011.9.12
72. M. Mori (ASRC, JAEA.), "Influences of magnetic-fluctuation, resonance, and oscillation on Josephson current in superconductor/ferromagnet/superconductor junction", Vortex matter in nanostructured superconductors (VORTEX VII), Rhodes, Greece, 2011.9.10-17
 73. M. Mori (ASRC, JAEA.), "Thermopower in correlated electron systems revisited: non-monotonic temperature dependence", ARW Workshop Hvar 2011, Hvar, Croatia, 2011.9.18-25
 74. 小椎八重 航(理化学研究所)、「遷移金属酸化物にみられる巨大な熱起電力に関する理論的研究」、粉体粉末冶金協会、平成 23 年度秋季講演大会、大阪大学コンベンションセンター、大阪府吹田市山田丘 1-1、2011 年 10 月 26 日
 75. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Seebeck Effect, Spin Seebeck Effect and Spin-Electronics", The 2nd International Symposium on Hybrid Materials and Processing 2011, Busan, Korea, 2011.10.28
 76. M. Mori (ASRC, JAEA.), "Magnetic resonance appeared in ferromagnetic Josephson junction", 2011 Gordon Godfrey Workshop on Spins and Strong Correlations, Sydney, Australia, 2011.10.24-28
 77. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Motive Force in Magnetic Nanostructures", Joint Polish-Japanese Workshop on "Spintronics-from new materials to applications", Warsaw, Poland, 2011.11.7
 78. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Heat and Spin", FIRST-QS2C Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Okinawa, Japan, 2011.12.13
 79. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Theory on spin current generation", SpinCaT conference, Bonn, Germany, 2012.1.5
 80. H. Adachi (ASRC, JAEA.), "Phonon-driven spin Seebeck effect", 2nd ASRC International Workshop on Magnetic materials and Nanostructures, Tokai, Japan, 2012.1.10-13
 81. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Motive Force", RIKEN-APW-APCTP Joint Workshop "Recent trend in condensed matter physics", Wako, Japan, 2012.1.15
 82. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Heat and Spin", ILL Colloquium, Grenoble, France, 2012.1.31
 83. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Magnons, Spin Current and Spin Seebeck Effect", APS March Meeting, Boston, U.S.A., 2012.2.29
 84. W. Koshibae (Riken), "Theory of thermopower in strongly correlated electron systems: non-monotonic temperature dependence", International Discussion Meeting on Thermoelectrics and Related Functional Materials, Helsinki, Republic of Finland, June 15, 2011
 85. 家田 淳一(日本原子力研究開発機構)、「スピン起電力と電界効果」、「電界効果ミニワークショップ」、仙台メディアテーク、宮城県仙台市、2012 年 3 月 30 日
 86. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures", International Conference on Superconductivity and Magnetism, Istanbul, Turkey, 2012.4.30.
 87. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Critical Anomaly in Spin Hall Effect near Ferromagnetic Transition Temperatures", Spin Caloritronics IV, Sendai, Japan, 2012.6.3
 88. H. Adachi (ASRC, JAEA.), "Theory of the longitudinal spin Seebeck effect", Spin Caloritronics IV, IMR Tohoku University, Sendai, Japan, 2012.6.2.
 89. J. Ieda (ASRC, JAEA.), "Mechanical Generation of Spin Current in Nonmagnetic Thin Films", Spin Caloritronics IV, IMR Tohoku University, Sendai, Japan, 2012.6.2
 90. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「ナノ構造磁性体におけるスピン起電力の理論と展開」、第44回化合物新磁性研究会、東京大学 本郷キャンパス、2012 年 6 月 21 日

91. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Heat and Spin", The 2nd International Conference on Magnetism with SCES 2012, Busan, Korea, 2012.7.12.
92. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Motive Force", Spin Dynamics in Nanomagnets (Satellite W/S on ICM), Seoul, Korea, 2012.7.12
93. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin Hall Effect", Second Joint Super-PIRE REIMEI Workshop, Washington DC, U.S.A., 2012.8.5.
94. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Seebeck Effect and Spin Seebeck Effect", IUMRS-International Conference on Electric Materials (IUMRS-ICEM 2012), Yokohama, Japan, 2012.9.24.
95. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Magnetization Dynamics and Spin-Motive Force", The 21th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS), Shanghai, China, 2012.9.27.
96. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin Hall Effect", II Workshop on Physics of Complex Oxides, Mallorca, Spain, 2012.10.5.
97. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「スピンを含めた電磁気学:スピントロニクス基礎-角運動量でつなぐマイクロとマクロ-」、仙台高等専門学校 第13回専攻特別講義I,II」仙台高等専門学校、2012年12月5日
98. M. Matsuo (ASRC, JAEA.), "Theory of spin-current generation from rigid and elastic motion", IAS-Asia Pacific Workshop on Condensed Matter Physics, Hong Kong, China, 2012.12.14
99. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin Seebeck Effect in a Variety of Magnetic Systems", IAS-Asia Pacific Workshop, Hong Kong, China, 2012.12.15.
100. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Heat and Spin", The 16th SANKEN International Symposium, The 11th SANKEN Nanotechnology Symposium, Osaka, Japan, 2013.1.23.
101. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Effect of Spin Fluctuation on Spin Hall Effect", QS2C Theory Forum, Tokyo, Japan, 2013.1.26.
102. Bo Gu (日本原子力研究開発機構)、「Theory of the Inverse Spin Hall Effect in a ferromagnetic metal near the Curie temperature」、新世代研究所スピントロニクス研究会、東京、2013年2月6日
103. 前川禎通(日本原子力研究開発機構)、「スピンで駆動するスピントロニクス」、JST-CREST「次世代エレクトロニクスデバイスの創出に資する革新材料・プロセス研究」第2回公開シンポジウム、東京、2013年2月8日
104. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Motive Force as a New Energy Conversion Mechanism", Seminar at Jozef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia, 2013.2.20.
105. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「曲がった時空におけるスピントロニクス-巨視的回転を用いた電子スピン制御-」、理研研究会「エキゾチック時空幾何とその応用」、理化学研究所 仁科センター、2013年2月23日
106. M. Matsuo (ASRC, JAEA.), "Generation of spin current due to rigid and elastic motion", 8th ASRC International Workshop on Spin Mechanics, Tokai, Japan, 2013.2.25.
107. H. Adachi (ASRC, JAEA.), "Theory of the acoustic spin pumping", 8th ASRC International Workshop on Spin Mechanics, Tokai, Japan, 2013.2.25.
108. M. Mori (ASRC, JAEA.), "Phonon skew scattering and phonon hall effect", 8th ASRC International Workshop on Spin Mechanics, Tokai, Japan, 2013.2.26.
109. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin Current and Spin Seebeck Effect", Spanish-Japanese Bilateral Workshop SJ-NANO2013), Tsukuba, Japan, 2013.3.5.
110. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Motive Force as a New Energy Conversion Mechanism", Seminar at Taiwan National University, Taipei, Taiwan, 2013.3
111. S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin-Charge Separation and Prof. S. Uchida", A3 Foresight Program of "Joint Research on Novel Properties of Complex Oxides", Tokyo, Japan, 2013.3

- 112.S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Spin Current and Spin Motive Force", Columbia-UT event, Tokyo, Japan, 2013.3
- 113.S. Maekawa (ASRC, JAEA.), "Quantum Transport of Spin and Charge in Nanostructures", Zlatko Tesanovic Memorial Symposium, Baltimore, U. S. A., 2013.3
- 114.M. Matsuo (ASRC, JAEA.), "Spin-current generation arising from mechanical motions", APS March Meeting 2013, Baltimore, U. S. A., 2013.3.22.
115. 柚木清司(理化学研究所)、「Defect induced ferromagnetism for a wide band gap insulator without magnetic ions」、第22回コンピューテーショナル・マテリアルズ・デザイン (CMD®)ワークショップ、神戸、2013年3月5日
116. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「Spinmotive Force –Basic Concepts and Developments–」、第11回稲盛フロンティアセミナー、九州大学、2013年3月25日
117. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「フォノンとスピンゼーベック効果」、日本物理学会第68回年次大会、広島大学、2013年3月27日
118. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「力学運動によるスピン流生成の理論」、第60回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム、神奈川工科大学、2013年3月29日
- 119.S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin-Motive Force: Conversion of Magnetic Energy to Electric Energy", Newspin3, Mainz, Germany, 2013.4.3
- 120.S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Phonon-Drag Spin Seebeck Effect", Spin Caloritronics V, Columbus, U.S.A., 2013.5.13
- 121.S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin-Motive Force as a New Energy Conversion Mechanism", JSPS York-Tohoku Research Symposium on "Magnetic Materials and Spintronics", York, U.K., 2013.6.12
122. 森道康(日本原子力研究開発機構)、「超伝導/強磁性接合における輸送特性」、CROSSroad of Users and J-PARC「機能する界面、反応する表面」、東海、2013年8月20日~21日
- 123.S. Yunoki (Riken), Anisotropic two-dimensional electron gas at LaAlO₃/SrTiO₃ (110) interface, 20th Workshop on Oxide Electronics, 20th Workshop on Oxide Electronics, National University of Singapore, Singapore, 2013.9.22-25
124. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「非磁性体の力学回転運動を用いたスピン流生成の理論」、第1回関西若手物性研究会「輸送現象をめぐって」、大阪大学、2013年6月22日
- 125.S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Theory of Spin Seebeck Effect in a Variety of Magnetic Systems", The 32nd International Conference on Thermoelectrics, Kobe, 2013.7.12
- 126.S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Theory of Spin Seebeck Effect in a Variety of Magnetic Systems", SPIE Optics+Photonics 2013, San Diego, U. S. A, 2013.8.25
- 127.S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin Current Generation in Spintronics", V EURO-Asian Symposium "Trend in MAGnetism": Nanomagnetism, Vladivostok, 2013.9.15
- 128.S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin Current and Spin Seebeck Effect", International Conference "Disorder and Correlations in Quantum Systems", Rome, 2013.9.18
- 129.S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Theory of Spin Current Generation in Spintronics", Concepts in Spintronics, Santa Barbara, 2013.10.2
130. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「スピントロニクス特別研究会 東北大通研共同プロジェクト・組織連携型「スピントロニクス国際連携」、蔵王、2013年10月18日
131. 松尾衛、家田淳一、前川禎通(日本原子力研究開発機構)、「力学運動を用いたスピン流生成ーレアメタルフリースピントロニクスを目指してー」、応用物理学会スピントロニクス研究会・日本磁気学会スピントロニクス専門研究会共同主催研究会「元素戦略、環境調和を視野に入れたスピントロニクスの新展開」、東北大学、2013年11月11日

132. S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin Current Generation and Manipulation in Spintronics", The FIRST-QS2C Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Tokyo, 2013.11.13
133. S. Yunoki (RIKEN), Novel unconventional superconductivity in Jeff=1/2 Mott insulator for Ir oxides, FIRST-QS2C Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Tokyo, Japan, 2013.11.13-16
134. S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin Current and Spin Seebeck Effect", V REUNION NACIONAL SOLIDOS 2013/Lecture, Rosario, 2013.11.18
135. S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin-Motive Force as a New Energy Conversion Mechanism", V REUNION NACIONAL SOLIDOS 2013, Rosario, 2013.11.19
136. S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin Current and Spin Seebeck Effect", Frontier of Condensed Matter Physics (Day-1), N.Y, 2013.11.21
137. S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin-Motive Force as a New Energy Conversion Mechanism", Frontier of Condensed Matter Physics (Day-2), N.Y, 2013.11.22
138. M. Mori (ASRC, JAEA), "Spin-phonon coupling and phonon Hall effect", 2013 Gordon Godfrey Workshop on Spins and Strong Correlations, Sydney, 2013.11
139. 前川禎通 (日本原子力研究開発機構)、「スピントロニクス of 新しい可能性」、スピントロニクス入門セミナー、東京、2013年12月6日
140. 安立裕人 (日本原子力研究開発機構)、「熱とスピン流」、日本磁気学会 第193回研究会/第47回スピンエレクトロニクス専門研究会、東京、2013年12月17日
141. S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Energy and Spintorionics", 2013 Doctor Honoris Cause-University of Zaragoza, Zaragoza, 2013.12.18
142. H. Adachi (ASRC, JAEA), "Spin Seebeck Effect and Spin Heat Conveyer", RIKEN-APW joint workshop "Highlights in condensed matter physics", Wako, 2014.1.25
143. S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Theory of spin current generation", RIKEN-APW joint workshop "Highlights in condensed matter physics", Wako, 2014.1.25
144. H. Adachi (ASRC, JAEA), "Theory of Spin Heat Conveyer and Spin Seebeck Effect", 14th REIMEI Workshop on Spin Currents and Related Phenomena, Grenoble, 2014.2.10-12
145. S. Maekawa (ASRC, JAEA), "Spin-orbit interaction and electron correlation", 14th REIMEI Workshop on Spin Currents and Related Phenomena, Grenoble, 2014.2.10-12
146. Bo Gu (ASRC, JAEA), "Theoretical study of novel doped ferromagnetic semiconductor systems", Joint Super-PIRE REIMEI Workshop on Frontiers of Condensed Matter Ohysics, Beijing, 2014.3.17-21

② 口頭発表(国内会議 76件、国際会議 49件)

1. M. Mori (IMR, Tohoku Univ.), "Apical oxygen and charge imbalance in multi-layered cuprates", The 21th International Symposium on Superconductivity (ISS2008), Tsukuba, Japan, October 28, 2008.
2. M. Mori (IMR, Tohoku Univ.), "Electronic states and material dependences of Fe-based superconductors", American Physical Society March Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, March 17, 2009.
3. S. Hikino (IMR, Tohoku Univ.), "Sign reversal of ac Josephson current in a ferromagnetic Josephson junction", American Physical Society March Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, March 17, 2009.
4. W. Koshibae (RIKEN), "Time evolution of excited state in the system with first-order metal-insulator transition", American Physical Society March Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, March 19, 2009.
5. J. Ieda (IMR, Tohoku Univ.), "The role of spin-motive forces in spin valve dynamics",

American Physical Society March Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, March 19, 2009.

6. 家田 淳一(東北大学金属材料研究所)、「スピンバルブにおける磁化ダイナミクスとスピン起電力」、日本物理学会第 64 回年次大会, 立教大学, 2009 年 3 月 27 日.
7. 杉下 裕樹(東北大学金属材料研究所)、「非一様磁性細線における電流誘起磁壁運動(II)」, 日本物理学会第 64 回年次大会, 立教大学, 2009 年 3 月 27 日.
8. N. Afzal Shoostary(東北大学金属材料研究所)、「Numerical study of nuclear quadrupole resonance in multi-layered cuprates」, 日本物理学会第 64 回年次大会, 立教大学, 2009 年 3 月 27 日.
9. 森 道康(東北大学金属材料研究所)、「 $\text{d}_{x^2-y^2}$ 系超伝導体の四面体結合角と電子状態」, 日本物理学会第 64 回年次大会, 立教大学, 2009 年 3 月 28 日.
10. 挽野 真一(東北大学金属材料研究所)、「超伝導/強磁性接合の近接効果に対するスピン揺らぎの効果」, 日本物理学会第 64 回年次大会, 立教大学, 2009 年 3 月 28 日.
11. 菅野 量子(日立製作所)、「有限温度スピントルク磁化反転におけるアシスト磁場依存性」, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波大学, 2009 年 4 月 2 日.
12. 市村 雅彦(日立製作所)、「積層フェリフリー層をもつ磁性トンネル接合におけるスピントルクとスピンドイナミクス」, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 筑波大学, 2009 年 4 月 2 日.
13. 市村雅彦(日立製作所)、「積層フェリ自由層をもつ磁性トンネル接合におけるスピントルクの角度依存性」, 第 33 回日本磁気学会学術講演会、長崎大学, 2009 年 9 月 14 日.
14. 挽野 真一(東北大学金属材料研究所)、「自己誘起強磁性ジョセフソン共鳴の理論」, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 25 日.
15. 小椎八重 航(理化学研究所)、「二重交換模型を用いた電子系の励起と緩和に関する数値的研究」, 日本物理学会2009年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日.
16. 森 道康(東北大学金属材料研究所)、「鉄系超伝導体における磁気秩序と物質依存性」, 日本物理学会2009年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日.
17. 大江 純一郎(東北大学金属材料研究所)、「スピンゼーベック効果に対する数値解析」, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日.
18. 安立 裕人(東北大学金属材料研究所)、「集団励起を介する熱スピン流の理論解析」, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日.
19. 山根 結太(東北大学金属材料研究所)、「非対称形状を持つパーマロイにおけるスピン起電力」, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日.
20. 松尾 まり(東北大学金属材料研究所)、「強相関電子系における熱起電力の磁場効果」, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 熊本大学, 2009 年 9 月 26 日.
21. 菅野量子(日立基礎研)、「積層フェリ自由層における電流誘起プリセッションモード」, 第 57 回応用物理学関係連合講演会、東海大学、2010 年 3 月 19 日.
22. 家田 淳一(東北大学金属材料研究所)、「スピン起電力と $U(1) \times SU(2)$ ゲージ理論」, 日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学, 2010 年 3 月 21 日.
23. 挽野 真一(東北大学金属材料研究所)、「超伝導/強磁性接合における交流ジョセフソン電流とスピン波の共鳴現象」, 日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学, 2010 年 3 月 21 日.
24. 高橋 三郎(東北大学金属材料研究所)、「強磁性絶縁体へのスピン注入」, 日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学, 2010 年 3 月 22 日.
25. 大江 純一郎(東北大学金属材料研究所)、「局所スピン注入による磁性薄膜中のスピン波励起」, 日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学, 2010 年 3 月 22 日.
26. 安立 裕人(東北大学金属材料研究所)、「集団励起を介する熱スピン流の理論解析 II」, 日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学, 2010 年 3 月 22 日.
27. 松尾 衛(東北大学金属材料研究所)、「スピン流に対する力学的回転の効果」, 日本物理学会第 65 回年次大会, 岡山大学, 2010 年 3 月 22 日.
28. 松尾 まり(東北大学金属材料研究所)、「強相関電子系における熱力学量の磁場応答」, 日

- 本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月22日.
29. 山根 結太(東北大学金属材料研究所), 「スピン波共鳴状態に対するスピン注入の効果」, 日本物理学会第65回年次大会, 岡山大学, 2010年3月22日.
 30. M. Mori (IMR, Tohoku Univ.), "Apical site and electronic states in multi-layered cuprates", The international workshop "Physics on transition metal based superconductors", Sendai, Japan, June 24, 2009.
 31. W. Koshibae (CMRG, RIKEN), "Numerical simulation of relaxation dynamics in double-exchange model", RIKEN Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Wako, Saitama, Japan, December 3, 2009.
 32. R. Sugano (ARL, Hitachi), "Effect of the interlayer coupling of the synthetic ferrimagnetic free layer on spin transfer switching in MTJs", 11th Joint MMM/Intermag Conference, Washington DC, USA, January 20, 2010.
 33. Q. Zhang (RIKEN), "Defect-Induced Magnetism in BaZnF₄", American Physical Society March Meeting 2010, Portland, Oregon, USA, March 15, 2010.
 34. W. Koshibae (CMRG, RIKEN), "Relaxation dynamics of excited states in spin-electron coupled systems", American Physical Society March Meeting 2010, Portland, Oregon, USA, March 17, 2010.
 35. M. Matsuo (IMR, Tohoku Univ.), "Effects of mechanical rotation on spin current", American Physical Society March Meeting 2010, Portland, Oregon, March 17 2010.
 36. M. Matsuo (IMR, Tohoku Univ.), "Effect of magnetic field on thermopower in strongly correlated electron systems", APS March meeting, Portland, Oregon, March 17, 2010.
 37. B. Gu (IMR, Tohoku Univ.), "Quantum renormalization of the spin Hall effect", American Physical Society March Meeting 2010, Portland, Oregon, USA, March 18, 2010.
 38. 安立裕人(日本原子力研究開発機構), 「スピン波媒介スピンゼーベック効果」, 特定領域「スピン流の創出と制御」2010年報告会, 京都大学, 2010年6月22-25日
 39. 大江純一郎(日本原子力研究開発機構), 「熱駆動スピン波スピン流に対する数値解析」, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市, 2010年9月23-26日
 40. 田辺賢士, 千葉大地, 葛西伸哉, 大江純一郎, 河野浩, 前川禎通, 小野輝男, 「磁気渦コアの運動に誘起されたスピン起電力の局所的実時間測定 II」, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市, 2010年9月23-26日
 41. 安立裕人(日本原子力研究開発機構), 「集団励起を介する熱スピン流の理論解析 III」, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市, 2010年9月23-26日
 42. 松尾まり(日本原子力研究開発機構), 「熱起電力の磁場依存性に対する電子相関効果」, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市, 2010年9月23-26日
 43. 松尾衛(日本原子力研究開発機構), 「スピン流に対する力学作用」, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市, 2010年9月23-26日
 44. 山根結太(東北大学金属材料研究所), 「細線形状効果による磁壁運動とスピン起電力」, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市, 2010年9月23-26日
 45. 渡部洋(理化学研究所), 「Ir 酸化物におけるスピン軌道相互作用誘起モット絶縁体」, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市, 2010年9月23-26日
 46. 進藤龍一(理化学研究所), 「変分モンテカルロ法による S=1/2 量子フラストレート強磁性体の磁場中相図の決定」, 日本物理学会 2010年秋季大会, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス, 堺市, 2010年9月23-26日

47. 奥村雅彦(理化学研究所)、「フェルミ原子光学格子系非平衡ダイナミクスにおける相関効果」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、2010 年 9 月 23-26 日
48. 小椎八重航(理化学研究所)、「二重交換模型を用いた絶縁体-金属転移に関する理論的研究」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、2010 年 9 月 23-26 日
49. 市村雅彦(日立製作所)、「積層フリー層をもつ磁性トンネル接合におけるスピントルクの計算---Keldysh アプローチ」、第 34 回日本磁気学会学術講演会、つくば国際会議場、2010 年 9 月 4-7 日
50. 市村雅彦(日立製作所)、「Keldysh アプローチによる磁性トンネル接合におけるスピントルクの計算」、第 71 回応用物理学会学術講演会、長崎大学文教キャンパス、2010 年 9 月 14-17 日
51. 菅野量子(日立製作所)、「積層フェリ自由層を持つ MTJ における STO 状態と磁化反転」、第 58 回応用物理学関係連合講演会、神奈川工科大、2011 年 3 月 24-27 日
52. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「縦型スピンゼーベック効果の理論」、日本物理学会 2011 年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25 日-28 日
53. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「力学的回転によるスピン流生成」、日本物理学会 2011 年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25 日-28 日
54. 山根結太(日本原子力研究開発機構)、「細線形状効果による磁壁運動とスピン起電力(2)」、日本物理学会 2011 年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25 日-28 日
55. 白川知功(理化学研究所)、「スピン軌道相互作用のある 3 軌道模系における種々の絶縁相の性質」、日本物理学会 2011 年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25 日-28 日
56. 渡部洋(理化学研究所)、「スピン軌道相互作用がもたらす新奇なモット絶縁体と超伝導の可能性」、日本物理学会 2011 年次大会、新潟大学五十嵐キャンパス、2011 年 3 月 25 日-28 日
57. M. Mori (ASRC, JAEA), "Enhancement of pairing gap by apical and dopant oxygens in cuprates," The 9th International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors, Shanghai, China, 2010.5.23-28
58. D. Chiba, K. Tanabe, S. Kasai, J. Ohe, H. Kohno, S. E. Barnes, S. Maekawa, T. Ono, "Experimental investigation of spin motive forces induced by a gyration motion of a magnetic vortex core," The 2nd International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications, Sendai, Japan, 2010.7
59. Jun'ichi Ieda (ASRC, JAEA), "Electric detection of spin wave resonance using inverse spin-Hall effect," Joint European Magnetic Symposia (JEMS2010), Krakow, Poland, August 23-28, 2010
60. S. Takahashi (IMR, Tohoku Univ.), "Spin injection into a superconductor," SM-2010 International Conference, Salerno, Italy, 2010.9.5-11
61. M. Matsuo (ASRC, JAEA), "Magnetic field dependence of thermopower in strongly correlated electron systems," ARW Workshop HVAR 2010, Hvar, Croatia, 2010.10.2-7
62. B. Gu (ASRC, JAEA), "Giant spin Hall effect of Au films with Pt impurities: Surface-assisted skew scattering," the 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials Atlanta, USA, 2010.11.15-19
63. Y. Yamane (IMR, Tohoku Univ.), "Equations-of-motion approach of spin-motive force," the 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials Atlanta, USA, 2010.11.15-19
64. B. Gu (ASRC, JAEA), "Giant spin Hall effect of Au films with Pt impurities: Surface-assisted skew scattering," The American Physical Society March Meeting, Dallas, USA, 2011.3.21-25
65. M. Mori (ASRC, JAEA), "Possible mechanism of enhanced pairing correlation near

- dopant oxygen in cuprate,” The American Physical Society March Meeting, Dallas, USA, 2011.3.21-25
66. M. Matsuo (ASRC, JAEA), “Electron correlation effect on temperature and magnetic-field dependences of thermopower,” The American Physical Society March Meeting, Dallas, USA, 2011.3.21-25
 67. M. Matsuo (ASRC, JAEA), “Generation of spin currents due to mechanical rotation,” The American Physical Society March Meeting, Dallas, USA, 2011.3.21-25
 68. H. Adachi (ASRC, JAEA), “Phonon-drag contribution to the spin seebeck effect”, SPINTECH6, Matsue, Japan, 2011.8.1-5
 69. 家田 淳一(日本原子力研究開発機構)、「磁化ダイナミクスを用いた半導体へのスピン注入(理論)」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス、富山市、2011 年 9 月 21-24 日
 70. 山根 結太(日本原子力研究開発機構)、「磁性体の内部エネルギーによるスピン起電力」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス、富山市、2011 年 9 月 21-24 日
 71. 松尾 まり(日本原子力研究開発機構)、「動的平均場理論を用いた多軌道ハバード模型の熱起電力の研究」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス、富山市、2011 年 9 月 21-24 日
 72. 安立 裕人(日本原子力研究開発機構)、「縦型スピンゼーベック効果の理論 II」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、西宮市、2012 年 3 月 24-27 日
 73. 家田 淳一(日本原子力研究開発機構)、「磁壁運動によるスピン起電力の実時間解析」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、西宮市、2012 年 3 月 24-27 日
 74. 森 道康(日本原子力研究開発機構)、「非磁性絶縁体におけるフォノンホール効果の理論」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、西宮市、2012 年 3 月 24-27 日
 75. 山根 結太(日本原子力研究開発機構)、「垂直磁化膜磁壁運動におけるスピン起電力」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、西宮市、2012 年 3 月 24-27 日
 76. 渡部 洋(理化学研究所)、「Ir 酸化物におけるスピン軌道相互作用誘起超伝導の可能性」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス、富山市、2011 年 9 月 21-24 日
 77. 白川 知功(理化学研究所)、「スピン軌道相互作用誘起モット絶縁体 Sr_2IrO_4 の理論的研究」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス、富山市、2011 年 9 月 21-24 日
 78. 渡辺 洋(理化学研究所)、「スピン軌道相互作用がもたらす新奇なモット絶縁体と超伝導の可能性」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、西宮市、2012 年 3 月 24-27 日
 79. 小椎八重 航(理化学研究所)、「二重交換模型を用いた接合系の光励起と緩和に関する理論的研究」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学五福キャンパス、9 月 22 日
 80. 市村雅彦(日立製作所)、「有限要素法によるスピン蓄積の解析」、第2回次世代ナノ統合シミュレーションソフトウェア説明会、学士会館、東京、2012 年 1 月 26 日
 81. H. Adachi(ASRC, JAEA), “Theory of phonon-driven spin Seebeck effect”, APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012.2.27-3.2
 82. Y. Yamane(ASRC, JAEA), “Continuous dc spinmotive force in a patterned ferromagnetic film”, APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012.2.27-3.2
 83. J. Ieda(ASRC, JAEA), “Spinmotive force due to domain wall motion in high field regime”, APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012.2.27-3.2
 84. M. Mori (ASRC, JAEA), “Transport Properties Characterized by Magnetic Domain-Wall Motion in Josephson Junction”, APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012.2.27-3.2

85. B. Gu(ASRC, JAEA), "Theory of anomalous Hall and spin Hall effects in ferromagnetic metals", APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012.2.27-3.2
86. S. Hikino (Riken), "Amplification of spin Hall effect in superconductor/normal metal junction", 24th International Symposium on Superconductivity (ISS 2011), Tokyo, Japan, 2011.10.24-26
87. W. Koshibae (Riken), "Photo-excitation and relaxation dynamics in junction of double-exchange systems", APS March Meeting 2012, Boston Convention Center, Boston, Massachusetts, February 29, 2012
88. R. Sugano (Hitachi), M. Ichimura, S. Takahashi and S. Maekawa, "Numerical Study of Spin-torque oscillations and Current-induced Magnetization Switching in MTJs with Synthetic Ferrimagnetic Free Layer", Conference of Recent Trends in Nanomagnetism, Spintronics and their Applications (RTNSA), #788, Ordizia, Gipuzkoa, Spain, 2011.6.1-4
89. K. Miura, R. Sugano, M. Ichimura, J. Hayakawa, S. Ikeda, H. Ohno and S. Maekawa, "Decrease in intrinsic critical current density under magnetic field along hard in-plane axis of free layer in magnetic tunnel junctions with in-plane anisotropy", The 56th Annual MMM Conference, BB-13, Scottsdale, AZ, USA, 2011.10.30-11.3
90. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「非磁性金属における表面音波を用いたスピン流生成の理論」、日本物理学会 2012 年秋季大会(物性)、横浜国立大学、9 月 19 日
91. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック熱電素子の効率の理論」、日本物理学会 2012 年秋季大会(物性)、横浜国立大学、2012 年 9 月 19 日
92. 大沼悠一(日本原子力研究開発機構)、「フェリ磁性スピンゼーベック効果の理論研究」、日本物理学会 2012 年秋季大会(物性)、横浜国立大学、2012 年 9 月 19 日
93. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「変調磁性細線を用いた DC 磁場による AC スピン起電力生成」、日本物理学会 2012 年秋季大会(物性)、横浜国立大学、2012 年 9 月 20 日
94. 森道康(日本原子力研究開発機構)、「強磁性体を介した超伝導接合の電流電圧特性における磁壁振動の効果」、日本物理学会 2012 年秋季大会(物性)、横浜国立大学、2012 年 9 月 20 日
95. 杉本貴則(日本原子力研究開発機構)、「フラストレートした 2 本足スピン梯子系の磁気励起」、日本物理学会 2012 年秋季大会(物性)、横浜国立大学、2012 年 9 月 20 日
96. 山根結太(日本原子力研究開発機構)、「電界効果によるスピン流注入」、日本物理学会 2012 年秋季大会(物性)、横浜国立大学、2012 年 9 月 20 日
97. 市村雅彦(日立製作所)、菅野量子、高橋三郎、前川禎通、「スピン起電力を用いた非局所スピンバルブ構造におけるスピン流増幅」、第 73 回応用物理学会学術講演会、愛媛大松山大、2012 年 9 月 13 日
98. 濱田智之(日立製作所)、大野隆央、前川禎通、「第一原理 DFT+U 法による強相関物質の電子状態解析」、第 73 回応用物理学会学術講演会、愛媛大松山大、2012 年 9 月 21 日
99. 杉本貴則(日本原子力研究開発機構)、「フラストレートした 2 本足スピン梯子系の磁気励起」、基研研究会「量子スピン系の物理」、京都大学、2012 年 11 月 13 日
100. 白川知功(理化学研究所)、「蜂の巣構造を持つ物質の多彩な性格」、千葉大学先進科学オムニバスセミナー、千葉大学、2012 年 12 月 21 日
101. 濱田智之(日立製作所)、大野隆央、前川禎通、「第一原理 DFT+U 法による強相関物質の電子状態解析」、ゲートスタック研究会 第 19 回研究会、湯河原、2013 年 1 月 25 日
102. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「バンド間遷移効果によるスピン・回転結合の繰り込み」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学、2013 年 3 月 27 日
103. 市村雅彦(日立製作所)、家田淳一、高橋三郎、前川禎通、「スピン起電力による非局所スピンバルブ構造におけるスピン流変調」、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川工科大、2013 年 3 月 28 日
104. B. Gu (ASRC, JAEA), "Theory of the Spin Hall effect in ferromagnetic metals:

- Nonlinear behaviors around the Curie temperature”, 19th International Conference on Magnetism (ICM 2012), Busan, Korea, 2012.7.8
- 105.H. Adachi (ASRC, JAEA), “Phonon-drag spin Seebeck effect”, 19th International Conference on Magnetism (ICM 2012), Busan, Korea, 2012.7.11.
 - 106.J. Ieda (ASRC, JAEA), “Real time analysis of spinmotive forces due to domain wall motion”, 19th International Conference on Magnetism (ICM 2012), Busan, Korea, 2012.7.13.
 - 107.M. Matsuo (ASRC, JAEA), “Effects of mechanical rotation and vibration on spin currents”, 19th International Conference on Magnetism (ICM 2012), Busan, Korea, 2012.7.13.
 - 108.J. Ieda (ASRC, JAEA), “Spinmotive force in patterned nanowires with perpendicular magnetic anisotropy”, the Joint European Magnetic Symposia (JEMS2012), Parma, Italy, 2012.9.13.
 - 109.M. Matsuo (ASRC, JAEA), “Spin-current generation from rotational motions of rigid and elastic bodies”, the Joint European Magnetic Symposia (JEMS2012), Parma, Italy, 2012.9.10
 - 110.B. Gu (ASRC, JAEA), “Theory of the Inverse Spin Hall Effect in ferromagnetic metals near the Curie temperature”, The 21th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS2012), Shanghai, China, 2012.9.24.
 - 111.M. Matsuo (ASRC, JAEA), “Theory of spin-current generation from rigid and elastic motions, IUMRS-ICEM2012”, Yokohama, Japan, 2012.9.23
 - 112.Y. Yamane (ASRC, JAEA), “Spinmotive forces induced by domain wall motion in ferromagnetic metals and dilute magnetic semiconductors, IUMRS-ICEM2012”, Yokohama, Japan, 2012.9.23
 - 113.T. Sugimoto (ASRC, JAEA), “Dynamical spin correlation function in a frustrated two-leg spin-ladder system”, APS March Meeting 2013, Baltimore, USA, 2013.3.20.
 - 114.W. Koshibae (Riken), N. Nagaosa, N. Furukawa, “Real-time dynamics in electron-lattice coupled system: Numerical study on an extended double-exchange model”, APS March Meeting 2013, Baltimore, Maryland, USA, 2013.3.18.
 - 115.佐藤年裕、白川知功、柚木清司、動的平均場理論によるスピン軌道相互作用が強い多軌道電子系の電子状態の解析、日本物理学会 第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、3 月 26 日～29 日
 - 116.西口和孝（理化学研究所）、白川知功、渡部洋、柚木清司、イリジウム酸化物における磁性と超伝導、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 27 日
 - 117.安立裕人（日本原子力研究開発機構）、「音響スピンプンピングの理論」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
 - 118.松尾衛（日本原子力研究開発機構）、「物体の運動による力学的スピンドラ生成理論」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
 - 119.杉本貴則（日本原子力研究開発機構）、「フラストレートスピン梯子系 BiCu₂PO₆ における不純物誘起長距離秩序」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
 - 120.大沼悠一（日本原子力研究開発機構）、「帯磁率とスピンプンピングの関係の理論的研究」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
 - 121.M. Matsuo (ASRC, JAEA), “Theory of spin-current generation from mechanical motion”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers, Kyoto, Japan, 2013.5.19-24
 - 122.J. Ieda (ASRC, JAEA), “Magnetic power inverter using domain wall motion in patterned nanowires”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers, Kyoto, Japan, 2013.5.19-24
 - 123.B. Gu (ASRC, JAEA), “Theory of the spin Hall effect, and its inverse, in a ferromagnetic metal near the Curie temperature”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers, Kyoto, Japan, 2013.5.19-24
 - 124.S. Hikin (Riken), “Long-Range Spin Current and Spin-Charge Separation of

- Spin-Triplet Cooper Pair in a Ferromagnetic Josephson Junction”, 12th Asia Pacific Physics Conference, Makuhari Messe, Chiba, 2013.7.14-19
125. 市村雅彦、家田淳一、高橋三郎、前川禎通、「スピン起電力による非局所スピン、バルブにおけるスピン注入」、第 37 回日本磁気学会学術講演会、北大、2013.9.5
 126. 久保勝規(日本原子力研究開発機構)、「周期アンダーソンモデルの強磁性転移」、第 13 回琉球物性研究会、琉球大学、2013 年 12 月 14 日
 127. 大西弘明(日本原子力研究開発機構)、「強磁性フラストレート鎖の強磁場でのスピンドYNAMIX」、量子スピン系研究会、福井大学、2013 年 12 月 13 日
 128. 杉本貴則(日本原子力研究開発機構)、「フラストレートした二本足スピン梯子系における磁場効果」、量子スピン系研究会、福井大学、2013 年 12 月 13 日
 129. 渡部洋(理化学研究所)、半導体・半金属におけるエキシトン凝縮の可能性、第 3 回強相関電子系理論の最前線、勝浦観光ホテル、2013.12.17
 130. K. Nishiguchi (Riken), T. Shirakawa, H. Watanabe, R. Arita, S. Yunoki “Possible Superconductivity Induced by Strong Spin-Orbit Coupling in Carrier Doped Iridium Oxides Insulators”, APS March Meeting 2014, Denver, Colorado, USA, 2014.3.4.
 131. 佐藤年裕(理化学研究所)、白川知功、柚木清司、「スピン軌道相互作用を持つ多軌道強相関電子系における絶縁相の性質」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014.3.29
 132. 渡部洋(理化学研究所)、関和弘、柚木清司、エキシトン凝縮に対する長距離クーロン相互作用とフェルミ面ネスティングの効果、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014.3.28
 133. 西口和孝(理化学研究所)、白川知功、渡部洋、柚木清司、イリジウム酸化物における超伝導の可能性、日本物理学会 69 回年次大会、東海大学湘南キャンパス、2014 年 3 月 29 日
 134. 大西弘明(日本原子力研究開発機構)、「ジグザグ鎖構造を持つバナジウム酸化物のスピン軌道状態」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2013 年 3 月 28 日
 135. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「スピン波による一方向性熱輸送の理論」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2013 年 3 月 28 日
 136. 大沼悠一(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果による強磁性共鳴の緩和変調 II」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2013 年 3 月 28 日
 137. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「表面 Rashba スピン・軌道相互作用による垂直磁気異方性とその電界制御の理論」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2013 年 3 月 30 日
 138. M. Mori(ASRC, JAEA), "Phonon Hall effect in rare-earth garnet", The Asian Pacific Workshop (APW), Wako, 2014.1.14-16
 139. M. Matsuo(ASRC, JAEA), "Renormalization of spin-rotation coupling", APS March Meeting 2014, Denver, U. S. A, 2014.3.3
 140. J. Ieda(ASRC, JAEA), "Rashba Spin-Orbit Anisotropy and the Electric Field Control of Magnetism", APS March Meeting 2014, Denver, U. S. A, 2014.3.7
 141. T. Sugimoto(ASRC, JAEA), " Successive magnetic-phase transitions in a frustrated two-leg spin ladder", APS March Meeting 2014, Denver, U. S. A, 2014.3.7

③ ポスター発表(国内会議 44 件、国際会議 69 件)

1. W. Koshibae (RIKEN), “Time evolution of excited state in the system with first-order metalinsulator transition”, The 2nd International Symposium on Anomalous Quantum Materials (ISAQM2008) and the 7th Asia-Pacific Workshop, Tokyo, Japan, November 7-10, 2008.
2. M. Mori (IMR, Tohoku Univ.), G. Khaliullin, T. Tohyama, and S. Maekawa, “Origin of spatial variation of pairing gap in Bi-based high-Tc cuprates”, The 7th Asia-Pacific Workshop, Tokyo, Japan, November 9, 2008.
3. R. Sugano (Hitachi) , “LLG study of the effect of pulse width on spin-transfer torque magnetization switching, 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials”, Austin, Texas, USA, November 11, 2008.

4. M. Ichimura (Hitachi), "Spin transfer torque in magnetic tunnel junctions with synthetic ferromagnetic layers, 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials", Austin, Texas, USA, November 11, 2008.
5. W. Koshibae, (RIKEN), "Relaxation dynamics of excited states in the double-exchange model", AIST-RIKEN Joint WS on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Okinawa, Japan, March 4-7, 2009.
6. 高橋 三郎(東北大学金属材料研究所)、「強磁性／非磁性系の磁気励起による強磁性体中のスピン蓄積と磁気緩和」、日本物理学会第64回年次大会、立教大学、2009年3月28日。
7. J. Ieda (IMR, Tohoku Univ.), "Dynamics of vortex domain wall in Permalloy nanowires", 20th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, Berlin, Germany, July 20, 2009.
8. J. Ohe (IMR, Tohoku Univ), "Spin-motive force driven by dynamics of magnetic vortex", 20th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces, Berlin, Germany, July 20, 2009.
9. M. Ichimura (Hitachi), "Angular dependence of spin transfer torque on magnetic tunnel junctions with synthetic ferromagnetic free layer", International Conference of Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 27, 2009.
10. R. Sugano (Hitachi), "LLG Study of Current Induced Magnetization Switching in Synthetic Ferrimagnetic Free Layer", International Conference of Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 28, 2009.
11. M. Mori (IMR, Tohoku Univ), "Numerical Study on Nuclear Quadrupole Resonance Frequency in Multi-layered Cuprates", International Conference on Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 26-31 2009.
12. M. Mori (IMR, Tohoku Univ), "Bond-angle dependence of electronic states in iron-based superconductors", The 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX), Tokyo, Japan, September 7-12 2009.
13. S. Takahashi (IMR, Tohoku Univ), "Spin Current through a Normal-Metal/Ferromagnetic-Insulator Junction", International Conference on Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 26-31 2009.
14. B. Gu (IMR, Tohoku Univ.), "Orbital-dependent Kondo effect for Fe in Au: Combined approach of density functional theory and quantum Monte Carlo method", The International Conference on Magnetism 2009, Karlsruhe, Germany, July 26-31, 2009.
15. S. Hikino (IMR, Tohoku Univ), "Theory of ferromagnetic Josephson resonance", New directions of superconducting nanostructures 2009 (NDSN2009), Nagoya, Japan, September 4-5, 2009.
16. S. Hikino (IMR, Tohoku Univ), " Geometrical dependence of Josephson current induced by ferromagnetic resonance in ferromagnetic Josephson junctions", The 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX), Tokyo, Japan, September 7-12, 2009.
17. M. Matsuo (IMR, Tohoku Univ.), "Magnetic field dependence of Seebeck coefficient in strongly correlated electron system", KINKEN WAKATE2009, Miyagi, Japan, December 3, 2009.
18. H. Adachi (IMR, Tohoku Univ.), "Magnon Contribution to the Spin Seebeck Effect", 4th International Workshop on Spin Currents and 2nd International Workshop on Spin Caloritronics, IMR, Tohoku Univ., Sendai, February 8, 2010.
19. B. Gu (IMR, Tohoku Univ.), "Surface enhanced spin Hall effect: Pt in Au host", 4th International Workshop on Spin Currents and 2nd International Workshop on Spin Caloritronics, IMR, Tohoku Univ., Sendai, February 8, 2010.
20. M. Matsuo (IMR, Tohoku Univ.), "Theory of thermopower in strongly correlated electron systems: effect of magnetic field", 4th International Workshop on Spin Currents and 2nd International Workshop on Spin Caloritronics, IMR, Tohoku

- Univ., Sendai, February 8, 2010.
21. J. Ieda (IMR, Tohoku Univ.), "Vortex Domain Wall Motion in Disordered Nanowires", 4th International Workshop on Spin Currents and 2nd International Workshop on Spin Caloritronics, IMR, Tohoku Univ., Sendai, February 8, 2010.
 22. Y. Yamane (IMR, Tohoku Univ.), "Spin motive force in an asymmetrically-shaped thin permalloy film", 4th International Workshop on Spin Currents and 2nd International Workshop on Spin Caloritronics, IMR, Tohoku Univ., Sendai, February 8, 2010.
 23. 菅野 量子(日立製作所)、「積層フェリ自由層におけるスピントルク磁化反転の層間結合依存性」、第 70 回応用物理学学会学術講演会、富山大学、2009 年 9 月 8 日。
 24. 高橋 三郎(東北大学金属材料研究所)、「磁性ナノ構造における Hanle 効果」、日本物理学会 2009 年秋季大会、熊本大学、2009 年 9 月 25 日。
 25. 小椎八重 航(理化学研究所)、「二重交換模型における励起と緩和に関する数値的研究」、第3回物性科学領域横断研究会、東京大学、2009 年 11 月 29 日。
 26. 松尾 まり(東北大学金属材料研究所)、「強相関電子系におけるゼーベック係数の磁場依存性」、第3回物性科学領域横断研究会、東京大学、2009 年 11 月 29 日。
 27. 山根 結太(東北大学金属材料研究所)、「非対称形状を持つパーマロイ薄膜におけるスピン起電力」、文部科学省「最先端・高性能汎用スーパーコンピュータの開発利用」プロジェクト次世代ナノ統合シミュレーションソフトウェアの研究開発 第 4 回公開シンポジウム、分子科学研究所、岡崎市、2010 年 3 月 5 日。
 28. 大江純一郎(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果に対する数値解析」、特定領域「スピン流の創出と制御」2010年研究会、京都大学、2010 年 6 月 22-25 日
 29. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「力学的回転系におけるスピン軌道相互作用」、特定領域「スピン流の創出と制御」2010年研究会、京都大学、2010 年 6 月 22-25 日
 30. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「回転系における伝導電子の位相干渉効果」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、堺市、2010 年 9 月 23-26 日
 31. 高橋三郎(東北大学金属材料研究所)、「磁性絶縁体におけるスピンゼーベック効果の現象論」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、堺市、2010 年 9 月 23-26 日
 32. 白川知功(理化学研究所)、「Ir 酸化物モット絶縁体の一粒子励起スペクトル」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、堺市、2010 年 9 月 23-26 日
 33. 白川知功(理化学研究所)、「水素吸着グラフェンの磁性」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、堺市、2010 年 9 月 23-26 日
 34. Q. Zhan(理化学研究所)、「Surface ferromagnetism in HfO₂ induced by excess oxygen atoms」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、堺市、2010 年 9 月 23-26 日
 35. Q. Zhang(理化学研究所)、「Electronic structures and magnetic properties of LaFeO₃/LaCrO₃」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、堺市、2010 年 9 月 23-26 日
 36. 挽野真一(理化学研究所)、「超伝導/常伝導接合におけるホール伝導度」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、堺市、2010 年 9 月 23-26 日
 37. L. Wang(理化学研究所)、「A numerical study of the spin 1/2 anisotropic Heisenberg model on the triangular lattice」、日本物理学会 2010 年秋季大会、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス、堺市、2010 年 9 月 23-26 日
 38. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「スピン流に対する力学的回転の効果」、2010 第 4 回物性科学領域横断研究会、東京大学武田ホール、東京、2010 年 11 月 13-15 日
 39. 山根結太(東北大学金属材料研究所)、「細線形状効果による磁壁運動とスピン起電力」、特定領域「スピン流の創出と制御」2010年成果報告会、東京大学武田ホール、東京、2011年1

月 6-7 日

40. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「フォノンドラッグによる巨大スピンゼーベック効果」、特定領域「スピン流の創出と制御」2010年成果報告会、東京大学武田ホール、東京、2011年1月6-7日
41. H. Watanabe (RIKEN), “Variational Monte Carlo study of two-dimensional strong spin-orbit coupling system: novel Mott insulating state in Ir Oxide”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Santa Fe, USA, June 27 – July 2, 2010.
42. L. Wang (RIKEN), “A numerical study for two dimensional spin 1/2 antiferromagnets: a generalization of Entanglement Perturbation Theory to two dimensional lattices”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Santa Fe, USA, June 27 – July 2, 2010.
43. T. Shirakawa (RIKEN), “Variational cluster approximation study of Mott transition with strong spin-orbit coupling”, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Santa Fe, USA, June 27 – July 2, 2010.
44. Jun-ichiro Ohe (ASRC, JAEA), “Numerical study on the spin Seebeck effect in ferromagnetic insulator,” Joint European Magnetic Symposia (JEMS2010), Krakow, Poland, 2010.8. 23-28
45. K. Tanabe, D. Chiba, S. Kasai, J. Ohe, H. Kohno, S. E. Barnes, S. Maekawa, T. Ono , “Investigation of the spin motive force induced by magnetic vortex core motion,” the 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials Atlanta, USA, 2010.11.15-19
46. R. Sugano (Hitachi), “Spin current-induced steady precessional mode in magnetic nanostructures”, the 7th International Conference on Fine Particle Magnetism, Uppsala, Sweden, 2010.6.21-24
47. M. Ichimura (Hitachi), “Spin transfer torque in MTJs with synthetic ferrimagnetic layers by Keldysh approach”, the 55th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials Atlanta, USA, 2010.11.15-19
48. R. Sugano (Hitachi), “Spin current-induced steady precessional modes and current-induced magnetization switching in synthetic ferrimagnetic free layer”, ICUAMS2010 Jeju, Korea, 2010.12.5-10
49. M. Ichimura (Hitachi), “Bias dependence of spin-transfer torque in MTJs with synthetic ferrimagnetic layers by Keldysh approach”, ICUAMS2010 Jeju, Korea, 2010.12.5-10
50. T. Hamada (Hitachi), “A new method of first principles DFT+U calculations for strongly correlated electron systems”, CMMP10, Warwick University, UK, 2010.12.14-16
51. J. Ieda (ASRC, JAEA), “Spin-Motive force due to intrinsic magnetic energy difference of a domain wall in a shaped nanostripe”, 5th international workshop on Spin Current, Sendai, Japan, 2011.7.25-28
52. Y. Yamane (IMR, Tohoku Univ.), “Generation of DC spin-motive force in a patterned ferromagnetic film”, Sendai, Japan, 2011.7.25-28
53. J. Ieda (ASRC, JAEA), “Spin-dependent transport in accelerated systems”, SPINTECH6, Matsue, Japan, 2011.8.1-5
54. Y. Yamane (IMR, Tohoku Univ.), “Wire shape effect on spinmotive force”, SPINTECH6, Matsue, Japan, 2011.8.1-5
55. Bo Gu, “Ferromagnetism in Diluted Magnetic Semiconductors: Quantum Monte Carlo method with Density Functional Theory”, 第2回次世代ナノ統合シミュレーションソフトウェア説明会、学士会館、東京、2012年1月26日
56. Bo Gu, “Diluted Magnetic Semiconductors: A Quantum Monte Carlo approach combined with Density Functional Theory”, 成果報告会「計算科学の課題と展望」、東京大学物性研究所、柏市、2012年2月20-21日

57. Bo Gu, "Ferromagnetic Semiconductors: A combined Quantum Monte Carlo method and ab initio calculation", ナノ・ライフ公開シンポジウム、ニチイ学館、神戸市、2012年3月5-6日
58. 挽野 真一(理化学研究所)、「超伝導/常伝導接合におけるスピンホール伝導度の接合抵抗依存性」、日本物理学会 2011年秋季大会、富山大学五福キャンパス、富山市、2011年9月21-24日
59. 白川 知功(理化学研究所)、「IrTe₂の電子構造とスピン軌道相互作用の効果」、日本物理学会第67回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、西宮市、2012年3月24-27日
60. 挽野 真一(理化学研究所)、「強磁性/トポロジカル絶縁体接合における磁化ダイナミクスによって誘起される輸送現象の理論」、日本物理学会第67回年次大会、関西学院大学西宮上ヶ原キャンパス、西宮市、2012年3月24-27日
61. 菅野量子(日立製作所)、市村雅彦、高橋三郎、前川禎通、「積層フェリ構造をもつMTJにおける面内/面直STOの同期モード」、第72回応用物理学会学術講演会、31a-ZS-27、山形大学、2011年8月29日-9月2日
62. 市村雅彦(日立製作所)、「有限要素法によるスピン蓄積の解析」、第2回次世代ナノ統合シミュレーションソフトウェア説明会、学士会館、東京、2012年1月26日
63. 市村雅彦(日立製作所)、「Spin transfer torque in MTJs with synthetic ferromagnetic layers by the Keldysh approach」、成果報告会「計算科学の課題と展望」、東京大学物性研究所、柏市、2012年2月20-21日
64. 市村雅彦(日立製作所)、「Spin transfer torque in MTJs with synthetic ferromagnetic layers by the Keldysh approach」、ナノ・ライフ公開シンポジウム、ニチイ学館、神戸市、2012年3月5-6日
65. J. Ieda(ASRC, JAEA), "Spin-motive force due to magnetic domain wall motion in shaped nanostripes", 2nd Nano Today Conference, Hawaii, USA, 2011.12.11-15
66. J. Ieda(ASRC, JAEA), "Spinmotive forces due to domain wall motion in shape-modulated nanowires", 2nd ASRC International Workshop on Magnetic materials and Nanostructures, Tokai, Japan, 2012.1.10-13
67. H. Onishi(ASRC, JAEA), "Spin-orbital state in 5d transition metal oxides with strong spin-orbit coupling", 2nd ASRC International Workshop on Magnetic materials and Nanostructures, Tokai, Japan, 2012.1.10-13
68. T. Shirakawa (Riken), "Theoretical study of $J_{\text{eff}}=1/2$ Mott insulator in Ir oxides: cooperation of a strong spin-orbit coupling and local electron correlations", 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), Beijing, China, 2011.9.10-17
69. H. Watanabe (Riken), "Variational Monte Carlo study for superconductivity in multi-orbital systems", 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), Beijing, China, 2011.9.10-17
70. Q. Zhang (Riken), "d⁰ Ferromagnetic Surface in HfO₂", 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), Beijing, China, 2011.9.10-17
71. Q. Zhang (Riken), "Magnetic Properties and Improper Ferroelectricity in LaFeO₃/LaCrO₃ Superlattices", 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), Beijing, China, 2011.9.10-17
72. R. Sugano (Hitachi), "Current-induced Precession of Composite Free Layer with Interlayer Exchange Coupling in MTJ", The 56th Annual MMM Conference, GW-06, Scottsdale, AZ, USA, 2011.10.30-11.3
73. M. Ichimura (Hitachi), "Spin-transfer torque on the finite bias voltages in magnetic tunnel junctions with synthetic ferrimagnetic layers", MORIS2011, P-11, Nijmegen, The Netherlands, 2011.6.21-24
74. 白川知功(理化学研究所)、「スピン軌道相互作用を含む梯子格子3軌道ハバード模型におけるクーパー対の束縛エネルギー」、日本物理学会 2012年秋季大会、横浜国大、2012年9月

20 日

75. 渡部洋(理化学研究所)、「 Sr_2IrO_4 における強いスピン軌道相互作用下での新奇的な絶縁体と超伝導の可能性」、第6回物性科学領域横断研究会、東京大学武田ホール、2012年11月28日
76. 菅野量子(日立製作所)、「磁壁移動によるスピン起電力を用いた非磁性体中のスピン流生成」、日本物理学会2012秋季大会、横浜国大、2012年9月18日
77. 白川知功(理化学研究所)、Vivien Badaut、柚木清司、「 IrTe_2 の電子構造とスピン軌道相互作用の効果」、日本物理学会第67回年次大会、関西学院大学、2013年3月25日
78. 森道康(日本原子力研究開発機構)、「外因性スピンホール効果におけるサイドジャンプ機構の核電荷依存性」、日本物理学会第68回年次大会、広島大学、2013年3月26日
79. 杉本貴則(日本原子力研究開発機構)、「フラストレートした2本足スピン梯子系の磁気異方性と磁場効果」、日本物理学会第68回年次大会、広島大学、2013年3月26日
80. 大沼悠一(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果による強磁性共鳴の緩和変調の理論的研究」、日本物理学会第68回年次大会、広島大学、2013年3月26日
81. M. Matsuo (ASRC, JAEA), "Spin-dependent transport in accelerated systems", Spin caloritronics 4, Sendai, Japan, 2012.6.3.
82. H. Watanabe (Riken), T. Shirakawa, and S. Yunoki, "A novel superconductivity in Ir oxides with a large spin-orbit coupling", 19th International Conference on Magnetism (ICM 2012), BEXCO, Busan, Korea, 2012.7.9.
83. T. Shirakawa (Riken), "Effective exchange interactions in 5d transition metal oxides", 19th International Conference on Magnetism (ICM 2012), BEXCO, Busan, Korea, 2012.7.9.
84. R. Sugano (Hitachi), "spin-current manipulation by domain wall motion in the non-local spin valve", The 19th International Conference on Magnetism with Strongly Correlated Electron Systems 2012(ICM2012), Busan, 2012.7.9.
85. M. Ichimura (Hitachi), "Synchronized modes of in-plane/out-of-plane spin-torque oscillators in MTJ with synthetic ferromagnetic free layers", The 19th International Conference on Magnetism with Strongly Correlated Electron Systems 2012(ICM2012), Busan, 2012.7.9.
86. T. Hamada (Hitachi), "First Principles DFT+U Method for Strongly Correlating Electronic Structure Systems", 19th International Conference on Magnetism (ICM2012), Busan, 12.7.12.
87. J. Ieda (ASRC, JAEA), "Electric-Field-Induced Spin Injection via Spinmotive Force", The 21th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS2012), Shanghai, China, 2012.9.24
88. R. Sugano (Hitachi), "Spin-current generation in non-magnetic strip by spin motive force", International Conference of Asian Union of Magnetism Societies 2012(ICAUMS2012), Nara, 2012.10.2.
89. H. Watanabe (Riken), T. Shirakawa, and S. Yunoki, "Theoretical study of novel insulating and superconducting states in Ir oxides with large spin-orbit coupling", Conference on Computational Physics (CCP2012), Nichii Gakkan, Kobe, Japan, 2012.10.16.
90. T. Shirakawa (Riken), H. Watanabe, and S. Yunoki, "Theoretical studies of a three-band Hubbard model with a strong spin-orbit coupling for 5d transition metal oxides Sr_2IrO_4 ", Conference on Computational Physics (CCP2012), Nichii Gakkan, Kobe, Japan, 2012.10.16.
91. R. Sugano (Hitachi), "Emergence of non-equilibrium magnetization through transfer of spin motive force", 12th Joint MMM/Intermag Conference, Chicago, 2013.1.14.
92. T. Sugimoto (ASRC, JAEA), "Magnetic excitations and frustration effect in a two-leg spin-ladder system", JAEA Synchrotron Radiation Research Symposium

- “Magnetism in Quantum Beam Science”, Harima, Japan, 2013.3.12.
93. 大西弘明(日本原子力研究開発機構)、「 $S=1$ ズグザグスピン軌道鎖の基底状態」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 25 日
 94. 森道康(日本原子力研究開発機構)、「 $Tb_3Gd_5O_{12}$ におけるスピン・格子結合とフォノンの磁場依存性」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
 95. Y. Ohnuma (ASRC, JAEA), “Theoretical study of spin Seebeck effect in antiferromagnets and ferrimagnets”, Spin Caloritronics V, Columbus, U. S. A, 2015.5.12-15
 96. T. Sugimoto (ASRC, JAEA), “Phase transition induced by magnetic field in a two-leg spin ladder”, Emergent Quantum Phases in Condensed Matter, Kashiwa, Japan, 2013.6.3-21
 97. H. Onishi (ASRC, JAEA), “Ground state of $S=1$ zigzag spin-orbital chain”, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Tokyo, Japan, 2013.8.5-9
 98. M. Mori (ASRC, JAEA), “Temperature Dependence of Thermopower in Strongly Correlated Multiorbital Systems”, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Tokyo, Japan, 2013.8.5-9
 99. T. Sugimoto (ASRC, JAEA), “Effects of Magnetic Anisotropy and Magnetic Field on a Frustrated Two-Leg Spin-Ladder System”, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Tokyo, Japan, 2013.8.5-9
 100. H. Onishi (ASRC, JAEA), “Magnetic excitations of spin-1/2 frustrated anisotropic ferromagnetic chain in magnetic field”, Light and Particle Beams in Materials Science 2013, Tsukuba, Japan, 2013.8.29-31
 101. T. Sugimoto (ASRC, JAEA), “Effects of impurity in a two-leg spin ladder”, Light and Particle Beams in Materials Science 2013, Tsukuba, Japan, 2013.8.29-31
 102. 挽野 真一 (理化学研究所)、「超伝導/強磁性多重接合を流れるスピン流の理論」、日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学東広島キャンパス、2013 年 3 月 26 日～29 日
 103. 挽野 真一 (理化学研究所)、「超伝導体を用いたスピンバルブ構造を自発的に流れるスピン流の理論」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013 年 9 月 25 日～28 日
 104. 渡部 洋 (理化学研究所)、「 $1T-TaS_2$ における Star-of-David 型 CDW と超伝導についての理論的研究」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013 年 9 月 25 日～28 日
 105. 関和弘 (理化学研究所)、「スレーター絶縁体とモット絶縁体の一粒子励起スペクトル」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013 年 9 月 25 日～28 日
 106. 白川知功 (理化学研究所)、「2 次元トポロジカル絶縁体-モット絶縁体界面における朝永ラッティンジャー流体の振る舞い」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学常三島キャンパス、2013 年 9 月 25 日～28 日
 107. H. Watanabe (Riken), “Theoretical study of novel $J_{eff}=1/2$ insulator and possible superconductivity in Sr_2IrO_4 ”, Exotic States of Quantum Matter in Electronic Systems, (poster session), Max Planck Insutitute, Dresden, Germany, 2013.7. 22-26, 2013.
 108. H. Watanabe (Riken), “Novel insulating state and possible superconductivity in Sr_2IrO_4 ”, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES'13), Ito international Research Center, Tokyo, Japan, 2013.8.5-9
 109. Tomonori Shirakawa (Riken), “Density matrix renormalization group study on a magnetic impurity in the honeycomb lattice”, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES'13), Ito international Research Center, Tokyo, Japan, 2013.8.5-9
 110. K. Seki (Riken), “Ground state phase diagram of three orbital Hubbard models with a spin-orbit coupling for Iridates: variational cluster approach”, The International

- Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES'13), Ito International Research Center, The University of Tokyo, 2013.8.5-9
- 111.K. Nishiguchi (Riken), "Theoretical study for the superconductivity in Sr₂IrO₄", The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems (SCES'13), Ito International Research Center, The University of Tokyo, 2013.8.5-9
 - 112.T. Shirakawa (Riken), "Electronic correlations and topologically protected metallic boundary states in a two-dimensional topological insulator: numerical evidence for Tomonaga-Luttinger liquid behavior", 20th Workshop on Oxide Electronics, National University of Singapore, Singapore, 2013.9.22-25
 - 113.菅野量子、市村雅彦、高橋三郎、前川禎通、「磁壁移動による反強磁性体中のスピン流解析」、第74回応用物理学学会学術講演会、同志社大、2013年9月13日
 - 114.H. Watanabe (RIKEN), "Novel $J_{\text{eff}}=1/2$ insulator and possible superconductivity in Sr₂IrO₄ with large spin-orbit coupling", FIRST-QS²C Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Shinagawa Intercity Hall, Tokyo, Japan, 2013.11.14.
 - 115.T. Hamada (Hitachi), "Effect of Boron Diffusion on Electronic and Magnetic Structures of CoFeB/Ta Multilayers", 54th Sanibel Symposium, St Simons Island, Georgia, USA, 2014.2.18.
 - 116.R. Sugano (Hitachi), "spin-motive force induced by domain wall dynamics in the antiferromagnetic spin valve", APS March Meeting, Colorado, U.S.A, 2014.3.4
 - 142.森道康（日本原子力研究開発機構）、「ジョセフソン接合を用いた磁壁の振動モードの測定方法」、日本物理学会第69回年次大会、東海大学、2013年3月27日

(4)知財出願

①国内出願（4件）

1. 「磁気電気エネルギー変換装置、電源装置および磁気センサ」、田中雅明、ファムナム ハイ、大矢 忍、スチュワート バーンズ、前川 禎通、2010年3月5日、PCT/JP2010/053668
2. 「磁気ヘッドおよび磁気記憶装置」、市村雅彦、菅野量子、濱田智之、孝橋照生、前川禎通、2011年3月30日、特願2011-075721号
3. 「スピン流増幅装置」、市村雅彦、菅野量子、2012年2月14日、特願2012-029825号
4. 「磁気検出装置」、菅野量子、市村雅彦、神鳥明彦、2012年11月14日、特願2012-250582
5. 「磁気メモリ」、菅野量子、市村雅彦、家田淳一、前川禎通、2013年11月14日、特願2013-236076
6. 「スピン流制御装置」、市村雅彦、家田淳一、前川禎通、2013年11月14日、特願2013-236151

②海外出願（1件）

1. "ELECTROMOTIVE FORCE AND HUGE MAGNETORESISTANCE IN MAGNETIC TUNNEL JUNCTIONS"、田中 雅明、ファム ナム ハイ、大矢 忍、Stewart E. Barnes、前川 禎通、2009年3月6日、Serial No. : 61/158, 129, U. S.

③その他の知的財産権

なし

(5)受賞・報道等

①受賞

- ・ H20年10月 前川 禎通
国際純正及び応用物理学会(IUPAP) 副会長
国際純正及び応用物理学会(IUPAP) 磁気コミッション(C9)委員長
- ・ H21年3月 挽野 真一
東北大学 青葉理学振興会賞「超伝導/強磁性接合における量子輸送現象の理論」
- ・ H21年3月 杉下 裕樹
東北大学 物理学専攻賞「非一様磁性細線における電流誘起磁壁移動の理論」
- ・ H22年2月23日 山根 結太
東北大学 物理学専攻賞「強磁性金属薄膜におけるスピン起電力の理論」
- ・ H23年10月5日 安立裕人・家田淳一・Bo Gu
日本原子力研究開発機構平成23年度理事長表彰「研究開発功績賞」
- ・ 2013.7.9, S. Maekawa
2012 IUPAP Magnetism Award and Neel Medal
- ・ H24年3月 渡部 洋
理化学研究所研究奨励賞「強いスピン軌道相互作用下での新奇な絶縁体と超伝導に関する理論的研究」
- ・ H24年10月3日 前川 禎通
日本磁気学会 名誉会員
- ・ H25年2月23日 山根 結太
東北大学理学研究科 物理学専攻賞
- ・ H25年12月18日 前川禎通
名誉博士号(スペイン・サラゴサ大学)

②マスコミ(新聞・TV等)報道

- ・ H20年11月19日 NHK 仙台テレビニュース「金属と熱」新たな現象発見
- ・ H21年3月9日 日刊工業新聞「スピン起電力」実証 東北大東大トンネル実験で
- ・ H21年7月27日 化学工業日報「スピントロニクスデバイスのシミュレーション技術を開発」東北大金研, 日立
- ・ H21年7月30日 日刊工業新聞 同上
- ・ H21年9月4日 科学新聞「スピントロニクス材料開発 新たなシミュレーション法」東北大金研
- ・ H21年9月14日 日刊工業新聞 同上
- ・ H22年3月11日 毎日新聞・河北新報・読売新聞(夕刊)・東京新聞・日経産業新聞・京都新聞・琉球新聞・山形新聞・宮崎日日新聞・共同通信(ネットニュース)・時事通信(ネットニュース)・アサヒコム(ネットニュース)・日刊工業新聞(ネットニュース)・ScientificAmerican(ネットニュース)「絶縁体に電気を流すことに成功 一省エネデバイスに新展開」東北大金研, 慶應義塾大学
- ・ H22年3月12日 physicsworld.com(ネットニュース) 同上
- ・ H22年3月13日 産経新聞 同上
- ・ H22年3月19日 科学新聞 同上
- ・ H22年4月12日 Physics Today Physics Update(ネットニュース) 同上
- ・ H22年6月7日 電気新聞「超伝導体への磁気注入に世界で初めて成功」
- ・ H22年6月7日 プレス発表「超伝導体への磁気注入に世界で初めて成功—超伝導を用いた量子コンピュータへ道を拓く—」
概要:超伝導体へスピンと呼ばれる磁気を注入して超伝導を制御することに世界で

初めて成功し、超伝導状態でのスピン（磁気）が通常の状態に比べて100万倍も安定であることを見出した。この研究成果は、超高感度センサーや量子コンピュータの量子計算デバイスへの応用が期待される。

- H22年6月8日 日経新聞・日刊工業新聞 同上
- H22年6月18日 科学新聞 同上
- H22年9月27日 日刊工業新聞・電気新聞 「絶縁体を用いた熱電発電に世界で初めて成功」
- H22年9月27日 プレス発表 「絶縁体から熱電発電に成功ーグリーン・省エネデバイス開発に道一」

概要:絶縁体においても、温度差をつけることで磁気（スピン）の流れが生じることを発見し、これまで不可能と考えられていた「絶縁体からの熱電エネルギーの取り出し」に成功した。熱電材料の選択の幅が大きく広がり、大規模発電から携帯用小型熱電変換素子までの幅広い応用に期待される。

- H22年10月8日 日経産業新聞 同上
- H22年10月28日 読売新聞夕刊 同上
- 前川禎通、「絶縁体からの熱電発電に成功」、JAEA NEW(所外報)2月号掲載(2011)
- H22年12月21日 電気新聞 前川禎通「熱電発電に成功・センター長インタビュー」
- 柚木清司、「Anything goes in oxides – the interaction of electrons in an unusual oxide reveals new ways to tune electrical conductivity」、RIKEN RESEARCH(所外報)2月号(2011)

- H23年2月15日 プレス発表 「回転運動から磁気の流れを生み出す手法を発見ーナノスケールのモーター・発電機の開発に道一」

概要:物体の回転運動から磁気の流れが生じることを発見した。さらに一般相対性理論を取り入れた電子の量子力学的基礎方程式を構築した。従来とは異なる、量子力学の原理に基づくナノスケールのモーターや発電機の開発に期待される。

- H23年2月16日 電気新聞・日刊工業新聞 「回転運動から磁気の流れを生み出す手法を発見」

- H26年6月13日 プレス発表 「非磁性体(銀)に巨大な磁気を持たせることに成功」

概要:酸化マグネシウムを用いて、銀の中に従来の100倍以上の磁気を蓄積することに成功した。実測値と理論値の一致により、磁気蓄積素子の設計手法を確立することができた。

- H23年6月24日 科学新聞 「非磁性体(銀)に巨大な磁気をもたせることに成功」
- H23年6月27日 プレス発表 「あらゆる物質で利用可能な新たなスピン流注入手法を発見」

概要:あらゆる物質への応用が可能な新しいスピン流注入の原理を発見した。さらにこの方法は電界により制御可能であることを明らかにし、これにより従来用いられてきた方法の1000倍以上のスピン流を作り出すことに成功した。高い効率と汎用性により、次世代スピントロニクス材料開拓・省エネルギーデバイス開発が期待できる。

- H23年7月1日 科学新聞 「電子が織りなす隠された世界を解き明かす放射光技術を実証」

- H23年7月8日 科学新聞 「あらゆる物質で利用可能な新たなスピン流注入手法を発見」

- H23年8月10日 日刊工業新聞 「新しい磁性半導体の開発に道」

- H23年8月26日 科学新聞 同上

- H23年8月10日 プレス発表 「新しい磁性半導体の開発に成功ースピントロニクス応用へ道を拓くー」

概要:新しい強磁性半導体 Li(Zn, Mn)As の開発に成功した。この物質は従来の磁性半導体とは異なり磁氣的性質と電氣的性質を独立に制御でき、また将来の物質開発

により p 型と n 型の両方の性質を取り得ると予想されることから、磁性半導体による p-n 接合¹⁾への道を拓く可能性があり、スピントロニクス応用領域を大きく広げることが期待される。

- H23 年 8 月 21 日 プレス発表 「音波から磁気の流れを創り出すことに成功ー省エネルギー・新機能電子デバイス技術開発に道ー」
概要:音波を注入することによりスピン（磁気）の流れを生成できる新しい手法を発見した。この手法を用いれば、金属・絶縁体、磁性体・非磁性体を問わずあらゆる物質から電気・磁気エネルギーを取り出すことが可能になり、省エネルギー電子情報デバイスへの応用が期待できる。
- H23 年 8 月 22 日 日本経済新聞 「音波から磁気の流れを創り出すことに成功」
- H23 年 8 月 23 日 日経産業新聞 同上
- H23 年 8 月 26 日 科学新聞 「新しい磁性半導体の開発に道」
- H24 年 4 月 13 日 プレス発表 「超伝導体を用いて磁石のミクロな運動を高精度に測定する原理を発見」
概要:強磁性体中（磁石）における磁壁の振動運動が、超伝導接合の電流電圧特性を用いて高感度かつ高精度で観測可能であることを見出した。磁壁を利用した磁気ランダムアクセスメモリーなどの開発促進が期待される。
- 平成 24 年 4 月 17 日 プレス発表 「磁石のミクロな運動が生む電気の高出力化機構を解明」
概要:磁気異方性の大きな磁性体を用いることでこれまでの 100 倍の起電力が安定的に高出力化することが可能であることを見出した。本研究によって、検出電流が不要な磁気センサーや磁気ヘッドなど、スピン起電力を用いたナノスケールデバイス実現への道が開かれた。
- H24 年 4 月 19 日 日刊工業新聞 「磁石磁壁振動運動 超伝導体で高精度測定」
- H24 年 5 月 11 日 科学新聞 「磁石のミクロな運動 超伝導体で高精度測定」
- H24 年 5 月 23 日 日刊工業新聞 「スピン起電力観測に成功」
- H24 年 5 月 23 日 プレス発表 「スピン起電力をリアルタイムで検出」]
概要:ミクロな強磁性円盤から発生するスピン起電力の実時間観測に成功した。これにより、磁気コア付近のナノスケールの領域にアップスピン電子とダウンスピン電子に逆向きに力を与える電界が磁気コア運動によって生み出されたと理解することができる。
- H24 年 9 月 11 日 プレス発表 「スピン流を用いた高感度磁気センサーの原理を解明」
概要:純スピン流を利用して、常磁性体から強磁性体に転移する温度付近で電圧信号に異常が現れることを発見した。この異常はごく微量の強磁性体でも非常に敏感に現れ、高感度磁気センサーとして利用されている超伝導量子干渉計（SQUID）では観測できない磁気測定が可能になるため、超高感度磁気センサーとしての応用が期待される。
- H25 年 1 月 9 日 プレス発表 「直流磁場から交流電圧を生み出す機構を発見」
概要:磁気と電気という異種エネルギー形態間を直接結び、直流磁場を交流電圧に変換する機構を発見し、磁気・電気インバータの原理を確立した。磁場強度や磁石の形状を変えることで、電圧の交流特性を制御可能となる。高効率なこれまでにないエレクトロニクス分野を切り開く大きな一歩である。
- H25 年 1 月 17 日 電気新聞 「動力に頼らず半永久的に発電 超微細磁石開発にめど」
- H25 年 2 月 18 日 日本経済新聞 「永久磁石動かさず発電」
- H25 年 3 月 15 日 プレス発表 「磁気の波を用いた熱エネルギー移動に成功」
概要:磁気の波（スピン波）を用いて熱エネルギーを望みの方向に移動させる基本原理の実証に成功した。新しい熱エネルギー輸送法として、次世代電子情報・マイクロ波デバイスの省エネルギー技術への応用が期待される。
- H25 年 4 月 23 日 日経産業新聞 「磁石内の熱、室温で移動」

- H25年5月2日 電気新聞「熱エネ移動 制御自在」
- H25年5月17日 プレス発表「銅やアルミニウムで磁気の流れを生み出す原理を発見」
概要:金属に音波を注入して磁気の流れを生み出す新原理を発見した。貴金属や磁石を必要としない省電力磁気デバイス開発への貢献が期待できる。
- H25年5月29日 プレス発表「超伝導体で挟んだ強磁性体中を長距離流れるスピン流の原理の発見（発熱がなく超低消費電力で動作する次世代スピントロニクスデバイスへ道筋）」
概要:強磁性ジョセフソン接合において、理論的に従来の数百倍となる数十ナノメートル以上のスピン流伝搬距離が可能であることを示した。この長距離伝搬スピン流の起源は、スピンの向きが平行なスピン三重項クーパー対であることを明らかにした。さらに、スピン三重項クーパー対のスピンと電荷の分離が起こる事を理論的に示した。
- H25年6月7日 科学新聞「金属に音波注入 磁気の流れ生む原理発見」
- H26年2月17日 プレス発表「ナノスケールの極薄磁石の向きを垂直にそろえる新機構を発見」
概要:金属の表面に働く特殊な磁場の効果を利用し、ナノスケールの極薄磁石の磁気の流れを、薄膜面に対して垂直に保持する新しいメカニズムを解明した。薄膜磁石に異種材料を貼り付けることでネオジム磁石を超える強度が実現可能となり、低消費電力で動作する不揮発性磁気メモリの超高密度化への応用展開が期待される。

③その他

- N. P. Ong, “Recipe for spin currents”, Nature 455, 741 (2008) において文献1)の成果が注目論文として紹介された。
- P. Coleman, “Lending an iron hand to spintronics”, Physics 2, 6 (2009) において文献13)の成果が注目論文として紹介された。
- 書籍「日本人とナノエレクトロニクス」 技術評論社
- RIKEN RESEARCH, “Measuring microscopic magnets”, September 2012 Vol.7, No.9, p.5
- RIKEN RESEARCH、Research Highlights: In or out of phase? (Large-scale computations show that an intriguing states of matter previously predicted in grapheme-like materials might not exist after all)、2 May, 2013.
- RIKEN RESEARCH、Research Highlights: Iridium’s new lustre (The prediction of superconductivity in compounds based on iridium oxide opens a new chapter for superconductors)、31 May, 2013.
- RIKEN RESEARCH、Research Highlights: Physics、Taking spin further (A theoretical device could bring practical spintronics closer to reality)、6 September, 2013.
- RIKEN NEWS (ISSN 1349-1229) 2013年8月号、FACE、物性の新現象+αを探求する理論物理学者

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

該当なし

②社会還元的な展開活動

- 本研究成果をインターネット(URL; <http://www.jaea.go.jp/02/press1.shtml>)で公開し、一般に情報提供している。
- 熱スピン効果に関する特集号“Spin Caloritronics”, Solid State Communications 150, 459 (2010)を研究代表者が責任編集。

§ 6 研究期間中の活動

6. 1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H21年6月24日 ～6月26日	Physics on Transition Metal Based Superconductors	東北大学 金属材料研究所	70人	遷移金属を含む超伝導体 に関する国際研究会
H22年2月8日 ～2月10日	Spin Currents & Spin Caloritronics	東北大学 金属材料研究所	200人	スピン流と熱スピン効果に 関する国際研究会
H24年1月10 日～1月13日	2nd ASRC International workshop on Magnetic materials and Nanostructures	テクノ交流館 リコッティ	100人	磁性材料とナノ構造に 関する国際ワークショップ
H25年2月25 日～2月26日	8th ASRC International Workshop on Spin Mechanics	テクノ交流館 リコッティ	40人	スピンメカニクスに関する国 際ワークショップ

§ 7 最後に

本研究課題の対象であるスピン起電力やスピン熱電効果は、スピントロニクス研究分野においてここ数年に発見されたきわめて新しい概念である。これらは、研究代表者らが中心となって世界に先駆けて発見・開拓してきた概念であり、研究成果の蓄積に関して世界トップレベルの水準を保持している。本研究により明らかにされた新原理とそれに基づく理論的な予測や提案に対し、共同研究を行う国内外の実験グループが実証実験に取り組み、その中から新しい現象理解が進むという好ましい連鎖が生じている。

本研究成果に対する関心の高さは、国内外の学会・研究会から123件もの招待講演依頼、並びに50件を超える新聞等での報道があったことから窺うことができる。

一方、スピン起電力、スピン熱電効果、強磁性ジョセフソン共鳴は、いずれも新現象として発見されてからまだ日が浅く、今後も継続的にこれらの有用性を明瞭な形でアピールしていくことが重要である。特に、スピン起電力とスピン熱電効果はそれぞれ磁気と電気、熱と磁気のエネルギー変換原理であり、これらはナノスケールで動作するエネルギーデバイス応用の可能性を秘めている。現在スピントロニクスには究極の「省エネルギー」を実現する技術として大きな期待が寄せられている。これに加え、本研究では、スピン起電力デバイスやスピン熱電対などの開発を通じて、新たに「創エネルギー」スピントロニクスという基本コンセプトの確立と普及を果たしてきた。

本研究に関わった多くの若手研究者が優れた成果を上げ、各々のキャリア形成を果たしていった。また、主催した国際ワークショップでは国内外のトップレベルの研究者と積極的な情報交換を行い、本研究実施内容の普及を行うとともに国際的な研究ネットワークの構築を果たすことができた。これらは、我が国の基礎研究と技術開発における今後の発展に少なからず貢献するものと自負する。以上の成果において、本CREST研究が大きな役割を果たしたことを明記するとともに、ご支援に対しここに感謝します。

研究終了後も、電気・磁気・熱のエネルギー相互変換のための物性物理学の構築と、スピントロニクスへの応用を一体として前進させ、引き続き次世代エレクトロニクスデバイス創出に資する新材料・新機能の開発に貢献していきたい。



【写真の説明】2011年3月11日の東日本大震災で延期された国際ワークショップは、2012年1月10日～13日に茨城県東海村で開催された。震災前に予定されていた招待講演者は全員この国際ワークショップに出席した。またこの国際ワークショップでは、若手研究者に3件のベストポスター賞が贈呈された。日本が大震災からの完全復興をアピールする国際ワークショップであった。