

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「プロセスインテグレーションによる機能発  
現ナノシステムの創製」  
研究課題「スピン流による熱・電気・動力ナノインテ  
グレーションの創出」

## 研究終了報告書

研究期間 平成22年10月～平成27年3月

研究代表者：齊藤英治  
(東北大学原子分子材料科学高等研  
究機構、教授)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

スピントロニクスと機械工学技術を融合させた「スピンメカニクス」の開拓を主眼に、基礎物理の開拓から応用研究までを体系的に行い、動力および熱と電気間の量子力学的変換を実現する新しい学術体系の構築を行った。ナノスケールにおけるスピンとその他の自由度を結び、新たな基本相互作用の原理を実証することで、スピンを用いた変換による熱や動力の新規利用法を創出し、その応用のための構造を多数実現することができた。

電子の有する量子力学的な自由度の一つであるスピン角運動量(以下スピン)は、物質中の様々な角運動量と相互作用し、スピン拡散長(通常ナノスケール)の範囲で原子の運動や熱と密接に結びつく。本研究課題の狙いは、スピンを利用・媒介した、角運動量の変換に基づく動力・熱・電気の新しい変換原理の実現である。スピンを有効に利用可能な、ナノスケールで制御された界面・構造を提案し、これまでに実現不可能であったスピン角運動量と動力・熱の相互変換を実現する要素技術の開発を行った。本研究課題によって、振動によるスピン流の生成、スピン流による熱のマニピュレーション(いずれもNature Materials誌に掲載)や、流体運動によるスピン流の生成、回転運動によるスピンの操作が実現できた。また、スピン流を媒介した変換では、スピンの非相反性により、必要な構造が大幅に簡素化されることを、スピンゼーベック効果を用いたスピン熱電コーティングによって実証した(Nature Materials誌に掲載)。

本研究課題における要素技術の開発は、理論と実験、材料研究の綿密な連携が不可欠であった。具体的には各グループを、理論班(前川グループ・大江グループ)と実験班(齊藤グループ)、材料班(高梨グループ)に位置づけ、新物理現象開拓の実験設計を理論班と実験班間の密接な議論により行い、原理の実証を材料班と実験班の綿密な連携によって行うサイクルを繰り返した。研究初期においてはグループ間の連携により、機械工学とスピントロニクスを融合させた理論体系構築の上で必要不可欠な、力学的励起によるスピン流の生成現象の開拓に成功した。実験による力学的振動からのスピン流誘起起電力測定と、詳細な理論解析を組み合わせ、本現象がスピンを媒介した熱電効果であるスピンゼーベック効果においても主要な役割を果たしていることを見出し、動力・熱とスピンの相互作用の相関を早期に明らかにできた。理論班は、更なる機械工学とスピントロニクスの融合に向けて、回転系における電子物理の体系を、一般相対論を出発点とする基礎原理から構築し、新分野を確立するに至った。この理論体系を基礎に実験を設計し、絶えず理論と実験結果を比較分析することで、流体運動によるスピン流生成現象、回転運動によるスピン操作現象を実験班によって実証することができた。これら理論・実験両面での功績により機械工学とスピントロニクスの融合は注目を集め、本分野は「スピンメカニクス」として世界から認知され、昨年より毎年国際会議が開催されるまでに至った。また、本研究代表者および共同研究者らによって既に確立された熱とスピントロニクスの融合領域である「スピンカロリトロニクス」においては、スピンゼーベック効果の更なる効率改善と、その逆効果の探索を重要課題として研究を行った。実験班による物理現象の探索により、逆効果となるスピン流による熱操作現象をはじめで見出すことができた。また、スピンゼーベック効果の原理解明を試み、フォノン機構の発見をはじめとす複数のメカニズムを解明し、これらに基づく出力増大を実現した。本知見を基に、企業と共同研究を行ってスピンゼーベック効果に基づく熱電素子のプロトタイプを作製し、小面積で 0.01V の出力電圧を達成するなど、実用化に向けて研究段階を一段進めることができた。同時に、材料班によって熱電効果による出力向上のための材料構造指針も得られており、本研究課題によって明らかにした手法を統合することで、今後さらなる出力向上ができる。以上、動力-スピン流相互変換を実現させる新分野「スピンメカニクス」を確立するとともに、熱-スピン流変換による熱電変換技術を実用に近づけるといふ、めざましい成果をあげることが出来た。

## (2) 顕著な成果

### < 優れた基礎研究としての成果 >

#### 1. 力学的励起によるスピン流生成現象の発見

力学的励起からのスピン流生成現象として世界初となる、振動によるスピン流の生成現象を、強磁性体/常磁性金属構造への音波注入による発電現象から明らかにした(Nature Materials 誌に掲載)。また、本現象の鍵となる力学的運動-スピン流相互作用が、スピンを媒介した熱電効果であるスピントロニクス効果においても主要な役割を果たしていることも実験的に明らかにし、本研究課題の主たる目標である力学的運動-スピン流相互作用の重要性を世界に向けて証明することができた。これをきっかけに、「スピンメカニクス」分野が開かれ、日本やドイツでシンポジウムが開催されるまでに至っている。

#### 2. 流体運動からのスピン流生成現象の開拓

力学的運動と電子スピン角運動量との間に生じる相互作用の理論の構築を行い、回転運動を表す渦度が固体中の電子スピンと強く相互作用してスピン流を生成することを明らかにし、スピントロニクスと機械工学の融合領域となる「スピンメカニクス」の基礎学理の構築を行った(Physical Review Letter 誌および姉妹誌に多数掲載)。また、本学理を流体力学へ拡張し、流体運動により効率的なスピン流生成が可能であることを、理論および実験の両面により実証した。これは、スピントロニクス効果と流体運動との融合を世界に先駆けて示すものである。

#### 3. 力学的回転によるバーネット磁場の実証

本研究課題によって開始したスピントロニクスと力学の融合領域「スピンメカニクス」における基本原理の一つは、回転運動がバーネット磁場と呼ばれる有効磁場として作用することである。この有効磁場を物体上で精密評価する手法の開発に成功し、スピンメカニクスにおける重要な物理量の評価技術を確立した。試料および測定系の高速回転技術を完成させ、種々の物質の核スピンの適用可能であることを実験的に示し、あらゆる固体で利用可能な力学的運動によるスピンの制御方法をはじめて実証した。

## < 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

### 1. コーティングによるスピン熱電変換素子の実現

スピンを媒介した熱電効果であるスピnzeーベック効果の開拓を進め、研究期間中に実現した強磁性絶縁体の利用技術および縦型スピnzeーベック効果技術を組み合わせた、新しい熱電変換コンセプト「スピン熱電コーティング」を提案し、その動作実証を行った(Nature Materials誌に掲載)。スピnzeーベック効果は従来のゼーベック効果とは発現機構が全く異なり、スピンの非相反性を利用したエネルギー変換現象である。スピン熱電コーティングは、スピnzeーベック磁性体/伝導体構造の二層膜を熱源上に直接コートするもので、二層膜の大面积積化に伴って出力が増加する特徴を有し、従来の熱電素子と比較して単純な構造での熱電機能の実装が可能のため、実用化が期待される。企業と共同開発し、特許を出願した。

### 2. スピン流による熱マニピュレーション技術

強磁性絶縁体中のスピン波が伝送するスピン流によって熱が輸送される効果、「スピン流熱コンベヤー効果」を見出した(Nature Materials誌に掲載、特許出願)。マイクロ波によるスピン波スピン流の励起手法に、磁場印可によるスピン流の方向制御を取り入れることで、任意の方向に温度勾配を生成できるようになった。本現象はスピン流による熱電効果であるスピnzeーベック効果の逆効果であり、スピン流と熱の相互作用を用いた物体の熱制御という、新たな技術分野の創出をもたらした。

### 3. スピン流注入効率の飛躍的上昇

スピン流の大面积への効率的な注入に、磁化ダイナミクスによる動的スピン注入法が極めて有効であることを示し、半導体や有機導体への室温でのスピン注入を実現した。(Nature Materials誌に掲載)。スピンの注入効率上昇には、従来の電流を用いる手法では輸送係数のインピーダンス整合が必要不可欠であったが、動的手法では界面のスピン結合にのみ由来するため不要になる。これにより、半導体および有機導体をスピン流利用材料として用いることが可能になり、スピン流から電力を取り出すためのスピン流-電流変換材料の選択肢が飛躍的に増えた。

## § 2 研究実施体制

### (1) 研究チームの体制について

#### ① 齊藤グループ

##### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
齊藤 英治	東北大学 WPI-AIMR	教授	H22. 10～
Gerrit E. W. Bauer	東北大学金属材料研究所	教授	H23. 4～
藤川 安仁	同上	准教授	H22. 10～H25. 7
内田 健一	同上	准教授	H22. 10～
安藤 和也	同上	助教	H22. 10～H25. 3
安 東秀	同上	助教	H22. 10～H25. 4
高橋 三郎	同上	助教	H22. 10～
邱 志勇	同上	助教	H23. 6～
塩見 雄毅	同上	助教	H24. 4～
井口 亮	同上	助教	H22. 10～
新関 智彦	東北大学 WPI-AIMR	助教	H25. 9～
侯 達之	同上	助手	H25. 4～
針井 一哉	東北大学金属材料研究所	研究補助員	H22. 10～H24. 3
横井 直人	同上	研究補助員	H26. 4～
梶原 瑛祐	同上	博士学生	H22. 10～H24. 3
中山 裕康	同上	博士学生	H22. 10～H25. 3
吉野 達郎	同上	博士学生	H22. 10～H26. 3
高橋 遼	同上	博士学生	H22. 10～
大沼 悠一	同上	博士学生	H22. 12～
菊池 大介	同上	博士学生	H24. 4～
Sayed M. Haidar	同上	博士学生	H24. 4～
太田 岳	同上	修士学生	H22. 10～H23. 3
野中 拳海	同上	修士学生	H22. 10～H23. 3
田代 隆治	同上	修士学生	H23. 4～H25. 3
山口 和也	同上	修士学生	H23. 4～H25. 3
大谷 隆史	同上	修士学生	H24. 4～H26. 3
高村 恭平	同上	修士学生	H24. 4～H26. 3
廣部 大地	同上	修士学生	H24. 4～
吉川 貴史	同上	修士学生	H24. 4～
半田 優	同上	修士学生	H25. 4～
村山 渉	同上	修士学生	H25. 4～
大門 俊介	同上	修士学生	H25. 4～
Jana Lustikova	同上	修士学生	H25. 4～
Ahmet Yagmur	同上	修士学生	H25. 10～
大柳 洸一	同上	学部学生	H26. 4～

##### 研究項目

- ・ スピントロニクスとマイクロ機械流体工学の融合により、電子から量子力学原理により動力を取り出す技術、及び発電の技術を開拓する。また、熱励起によるスピントロニクス効果の新規開

拓および効率化技術の開発を行う。

#### ②前川グループ

##### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
前川 禎通	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	H22.10～
家田 淳一	同上	副主任研究員	H22.10～
安立 裕人	同上	副主任研究員	H22.10～
大江 純一郎	同上	博士研究員	H22.10～H23.3
松尾 衛	同上	副主任研究員	H24.4～
岡安 悟	同上	主任研究員	H22.10～
小野 正雄	同上	副主任研究員	H22.10～
春木 理恵	同上	任期付研究員	H22.10～H25.3
中堂 博之	同上	任期付研究員	H22.10～
針井 一哉	同上	博士研究員	H24.4～

##### 研究項目

- ・ 時空間上の特異点を含むような剛体、弾性体、および流体中の伝導電子と原子系運動との相互作用を計算するための微視的理論を、局所ポアンカレ不変性に基づく一般化ゲージ理論として体系化する。このもとで、結晶転移などの欠陥が生み出すスピン流や、スピン流による欠陥制御の可能性を理論的に提案する。これらを齊藤グループの研究結果に適用し、理論的に支援する。

#### ③高梨グループ

##### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
高梨 弘毅	東北大学金属材料研究所	教授	H22.10～
水口 将輝	同上	准教授	H22.10～
関 剛斎	同上	助教	H22.10～
桜庭 裕弥	同上	助教	H23.1～H25.3

##### 研究項目

- ・ 垂直型スピントルク用及び高効率スピン注入用材料の開発

#### ④大江グループ

##### 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
大江 純一郎	東邦大学理学部	准教授	H23.4～

##### 研究項目

- ・ スピン波と発熱の相互作用を調べ、新しい熱伝磁性材料の設計を行う。これらの実現へ向けた理論構成及び数値解析を行い、研究の指針を与える。

(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  
(研究チーム外での連携や協働についてご記入ください。ライフ分野では臨床医等を含みます。)

本研究課題の遂行にあたり、スピンドイナミクス分光に強みを有するドイツ Technische Universität Kaiserslautern のグループ、精巧な成膜技術を有するスペイン Universidad de Zaragoza のグループおよびスピン輸送測定に強みを有するドイツ Bayerische Akademie der Wissenschaften のグループなど、世界的な強みを有するグループとの相互補完的な共同研究を行って、多数の要素技術の開発を達成してきた。この過程で形成できた国内外の研究者のネットワークに加え、日本電気株式会社との共同研究や他企業への情報提供を行うことで、産業界とのネットワークを展開することができた。

### § 3 研究実施内容及び成果

本研究課題において確立された新学理および要素技術の全体を概説する。本研究課題は、ナノスケールで利用可能になるスピンを介した動力・熱・電気相互変換の学理完成に向けて、これまでに研究代表者らが確立した電子スピン-電気相互変換技術による電子スピン角運動量の流れ、スピン流の操作技術を活用して取り組んだ。特に、前人未到であった、[項目 1] 電子スピンによるナノスケール動力・電力生成技術の開拓、[項目 2] 電子スピンによる熱電エネルギー変換技術の開拓を行い、ナノスケールにおけるスピンを利用した新たな学術体系を構築した。

両項目にまたがる成果として、齊藤グループおよび前川グループによって行われた

#### 3. 1 力学的励起によるスピン流生成現象の開拓

が挙げられる。力学的運動によってスピン流が生じることのみならず、固体における原子の運動が熱-スピン変換を実現するスピントラック効果においても重要な役割を果たすことを実証した。

[項目 1]電子スピンによるナノスケール動力・電力生成技術の開拓としては、前川グループおよび齊藤グループによって行われた以下の項目が挙げられる。

#### 3. 2 力学的運動-スピン流相互変換の理論体系構築

#### 3. 3 流体運動-スピン流相互作用現象の開拓

#### 3. 4 力学的回転によるバーネット磁場の定量測定技術の開拓

[項目 2]電子スピンによる熱電エネルギー変換技術の開拓としては、齊藤グループ、前川グループ、高梨グループおよび大江グループによって行われた以下の項目が挙げられる。

#### 3. 5 スピントラック効果を用いた“スピン熱電コーティング”の実現

#### 3. 6 スピン流による熱マニピュレーション技術の開拓

#### 3. 7 スピン流熱マニピュレーションのシミュレーション法の確立

#### 3. 8 スピントラック効果増強技術の開拓

#### 3. 9 スピン流ナノインテグレーション材料の創製

#### 3. 10 スピン流注入効率の飛躍的上昇

以下、各テーマについて個別に報告する。

#### 3. 1 力学的振動によるスピン流生成現象の開拓(東北大学 齊藤グループ)

##### (1)研究実施内容及び成果

熱からスピン流を生成するスピントラック効果において、格子振動を媒介した新しい発現原理が存在することを明らかにした。さらに、本原理を応用し、力学的励起によりスピン流が生成できることを世界で初めて見出した (K. Uchida, et al., Nature Materials, 2011)。本原理に基づく理論を構築し、力学的励起によるスピン流生成の学理の端緒を開いた。

スピントラック効果は図 1-1(a)の試料系において研究代表者らによって明らかにされた効果である。基板上に一樣に強磁性金属層を形成し、温度勾配を基板に沿って印加することで強磁性層に隣接する伝導体にスピン圧が生じ、スピン流が注入される。注入されたスピン流は、スピン流-電流変換現象であるスピンホール効果を用いて電力として検出できる。本研究では伝導体として、スピンホール角が大きい白金(Pt)を用いた。図 1-1(a)に示す従来の試料系に対し、本実験では図 1-1(b)に示す模式図のように、強磁性鉄ニッケル合金/白金二層膜(Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>/Pt)ワイヤーを絶縁体基板上に成膜した試料を用いた実験を行った。従来の試料系[図 1-1(a)]とは異なり、本試料では温度勾配に沿った方向のキャリアはフォノンに限定されている。ゆえに、この系においてスピントラック効果が発現すれば、フォノンを介したスピン圧生成プロセスが存在することの決定的な証拠になる。本実験では、図 1-1(b)の試料構造におけるスピントラック効果を検出するために、Pt 層の両端に発生したスピン流誘起電力を測定した。



図 1-2 に示すように、試料の  $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}/\text{Pt}$  ワイヤは電氣的・磁氣的に完全に孤立しているにもかかわらず、Pt 層に発生した起電力はワイヤの接合位置に依存して変化し、ワイヤを基板の高温側に接合した場合、低温側に接合した場合でそれぞれ起電力信号の符号が反転した。この結果は、金属ワイヤ中の電子が“絶縁体基板上の位置を認識している”ということを示している。

起電力の温度勾配依存性に加えて、磁場依存性、ワイヤ接合位置依存性、ワイヤの物質依存性、基板依存性を系統的に検証し、上記のような起電力の特異な振る舞いが、これまでに観測されていたスピントリック効果の振る舞いと完全に整合するものであることを明らかにした。前川グループは、本実験系において重要な役割を果たしていると予想されるフォノンを取り入れた理論計算を行って、起電力の起源が絶縁体基板中を伝播するフォノン(によって誘起されたスピン圧)によることを証明した。線形応答理論を用いた理論計算によって、測定された起電力のオーダーやワイヤの位置による起電力符号の変化を説明できる。低周波フォンは非常に長い伝播距離を有するため、これと強磁性体( $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ )中のスピンの集団運動であるマグノンが、マグノン-フォノン相互作用によって結合することによって、スピン圧の長距離にわたる生成、すなわちスピントリック効果が発現している。これにより、従来の試料系において観測されたスピントリック効果は、 $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$  膜中のフォノン媒介プロセスによって説明できることが明らかにできた。

さらに、上述の実験で実証されたマグノン-フォノン相互作用によるスピン流生成プロセスの存在は、力学的振動によるスピン流生成を実現する「音響スピントリック」効果の存在を予言している。本効果の実証に向けて、ピエゾ素子を利用して、力学的振動として音波を強磁性体/伝導体構造に注入する実験系を作製した(図 1-3)。ピエゾ素子は、その寸法で決まる共鳴周波数において、音波を効率的に出力する。つまり、音波によってスピン流が生成されるのであれば、ピエゾ素子が共鳴的に音波を生成する周波数において、伝導体層において電圧が生成されることになる。図 1-3 に示すように、周波数を変えながら常磁性体層で生成される起電力を調べると、ある周波数において起電力が大きく誘起されることがわかった。ピエゾ素子の特性を調べることで、起電力が極大を示す周波数がピエゾの共鳴周波数に一致することがわかった。この起電力は、磁場の反転とともに電圧符号を反転するため、逆スピントリック効果によって変換されたスピン流による起電力であることを示している。さらに、複数の異なる寸法のピエゾ素子を用いる実験や、伝導体層の異なる素子における実験、ピエゾ素子および試料の温度勾配の測定によって、測定された起電力が音波によって生成されたスピン流に由来することを明らかにした。更なる定量評価技術の開発に向け、温度勾配分布を制御しながら音波誘起ス

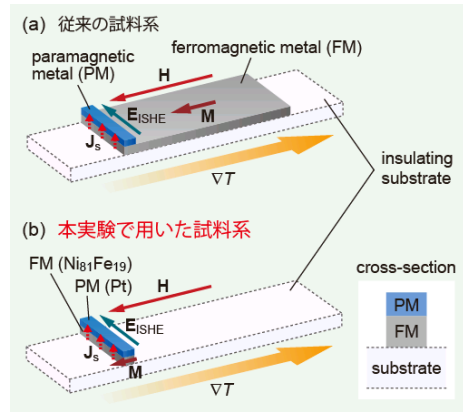


図 1-1: スピントリック効果の新原理探索 (a)従来の試料構造。(b)フォノン媒介効果の実証に向けて提案した新たな試料構造。

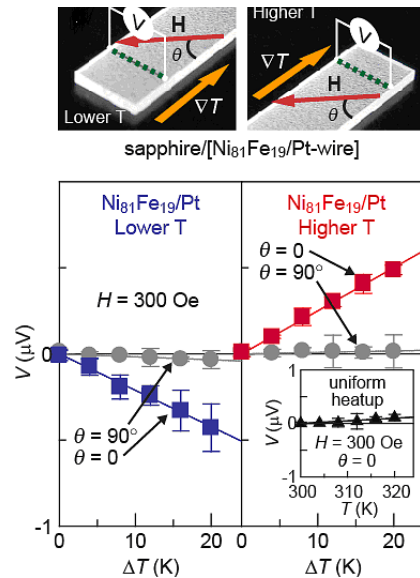


図 1-2: フォノン機構によるスピントリック効果の発現

検出のための実験系および低温側と高温側で観測された電圧の温度勾配依存性。

ピン流を観測する新しい測定手法を提案および実証した。これまでに重畳していた熱効果による寄与を完全に排除した音響スピンポンピング効果の純粋測定が可能になった。さらに、前川グループによってマグノン-フォノン相互作用を取り入れた線形応答理論による理論計算が行われ、本効果の理論モデルの構築が行われた。以上のように、マグノン-フォノン相互作用を通じた力学的運動-スピン流生成の学術体系の構築を完遂した。

本研究によって明らかにしたフォノンに媒介されたスピンゼーベック効果の発見・実証により、

これまで軽視されていた絶縁体材料からも熱や振動を介してスピン圧・電圧を生成することが可能になった。この原理に基づく熱エネルギー利用技術を発展させれば、熱電変換素子の候補材料や設置可能場所の大幅な拡大が期待できる。また、力学的運動によるフォノンの誘起を考慮することで、新たな発電機構による効率化も実現可能になる。

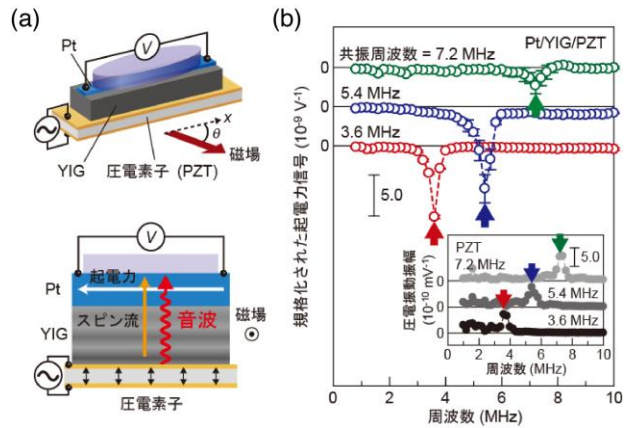


図 1-3: 力学的励起によるスピン流生成

(a)音響スピンポンピングの実験系の模式図。(b)音波注入によるスピン起電力。 piezo素子の共振周波数において力学的振動が発生し、大きなスピン起電力が得られている。

### 3. 2 力学的運動によるスピン操作技術の開発(原子力開発機構 前川グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

本研究課題によって構築された非慣性系の量子論の予測に基づき実験系の構築を行い、力学的回転による核スピンの制御を実証した。スピン角運動量を持つ物体を力学的に回転させるとスピン-回転結合とよばれる相互作用によって、物体中に回転由来の有効磁場が発生する。このスピン-回転結合を固体電子論にまで適用できるよう拡張した結果、スピン-回転結合によって生成される有効磁場は、原子核スピン上で大きいことが明らかとなり、試料を回転させながら核スピン共鳴を測る新規手法の開発により、核スピンを用いた有効磁場の定量評価手法を確立した。

スピンと回転運動の相互作用を示す基本的現象としてアインシュタイン-ド・ハース効果とバーネット効果が古くから知られている。アインシュタイン-ド・ハース効果は磁性体に磁場を印加し、磁気モーメントを偏極させることで、電子系にマクロな角運動量を誘起し、物体そのものを回転させる現象である。反対に、バーネット効果は磁性体を高速で回転させ、磁性体を磁化する現象である。この現象の起源はスピン-回転相互作用

$$H_{\Omega} = -\hbar S \cdot \Omega$$

であり、スピン角運動量が回転軸方向に平行にそろうことで磁性体は磁化する。現象論的

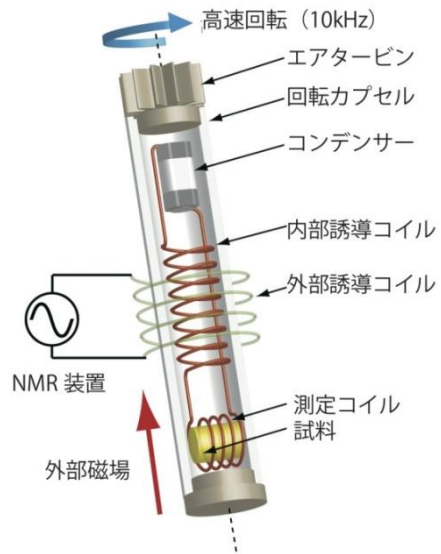


図 2-1: 新規開発した力学的回転によるスピン操作の高感度検出装置

毎秒 1 万回転する回転子内に測定コイルおよび誘導コイルとコンデンサーを組み込み、誘導コイル間の相互誘導によって、回転子外部の検出装置に測定信号を受け渡す。

には回転によって有効磁場(バーネット磁場)が生じるために磁性体が磁化すると解釈も可能である。バーネット磁場は $\gamma$ を磁気回転比として $\Omega/\gamma$ で与えられ、 $\gamma$ に反比例するため、電子の $\gamma$  (28GHz/T)よりの四桁小さな原子核の $\gamma$  (数 MHz/T)に対しては大きなバーネット磁場(1 Oe/kHz)が生じる。そこで、核磁気共鳴(NMR)測定法を用いて回転によって原子核に生じるバーネット磁場を測定する手法を開発した。

NMR 測定法によるバーネット磁場観測のポイントは、回転する試料と同じ回転座標系から共鳴を観測することである。これは、試料とコイル(信号検出部)に相対運動があると、ドップラー効果が生じるために、回転する物体中の本来の NMR 周波数を測定できないためである。これを克服するために、NMR の励起コイルを試料と同じ速さで回転する方法(コイルスピニング法)を新規開発した(図 2-1)。毎秒 1 万回転まで高速回転する回転子内に、核磁気共鳴測定用の電気回路が組み込まれており、サンプルと電気回路を同時に回転させながら、通常の NMR 測定に用いる共振回路の励起コイル内にコイルを挿入し、相互誘導によって内側のコイルにラジオ波を誘導する仕組みになっている。内側のコイルは外側のコイルとは機械的に切り離されており、自由に回転できる。高速回転には JEOL 製の MAS (Magic Angle Spinning)-NMR 測定用の回転子を用いた。回転子内部では、相互誘導用コイル、試料励起用コイルとキャパシタが共振回路を構成しており、測定周波数にチューニングをあわせる。外部磁場  $B_0$  は回転軸方向と平行に印加する。試料励起用コイルは回転軸、外部磁場に対して垂直方向に配置し、外部磁場に対して垂直方向にラジオ波を照射し、核スピンを励起できる配置になっている。核が感じる内部磁場  $B_n$  は  $B_n=B_0+B_Q$  となり、回転数  $\Omega$  を変化させると  $B_Q$  が変化し、NMR 共鳴線のシフトとして観測される。

図 2-2(a)に InP における  $^{115}\text{In}$ 、(b)に Si における  $^{29}\text{Si}$  の NMR スペクトルの回転数および回転方向依存性を示す。 $\gamma$  の符号が正である  $^{115}\text{In}$  では、回転数に比例して NMR 共鳴線のシフトは増大する。シフトの大きさは  $\gamma B_Q = \Omega$  となり回転数と同じである。また、磁場の方向に対して逆方向に回転させた場合は逆方向にシフトする。このことはバーネット磁場の符号が回転の符号(磁場に対する向き)に依存することを示している。さらに図 2-2(b)に  $\gamma$  の符号が負である  $^{29}\text{Si}$  を用いた実験結果を示す。回転に対する NMR 共鳴線シフトの応答は、磁気モーメントの符号が正の  $^{115}\text{In}$  とは逆向きとなり、バーネット磁場は  $\gamma$  の符号にも依存することが見て取れる。

図 2-3 に様々な核種におけるコイル回転法を用いて測定した回転に対する NMR 共鳴線のシフトを示す。すべての核種において回転に対して共鳴線のシフトは比例し、シフトの

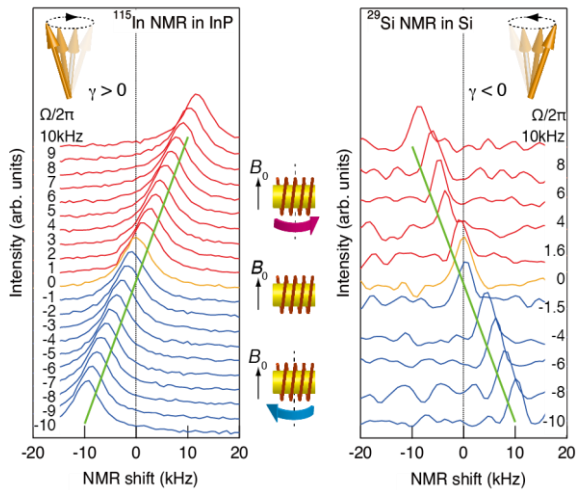


図 2-2: 力学的回転による核スピン制御

(a) InP における  $^{115}\text{In}$  (b) Si における  $^{29}\text{Si}$  の NMR スペクトルの回転数依存性。横軸は回転無し(NMR スペクトルの中心を原点とし、そこからシフトを表す)。

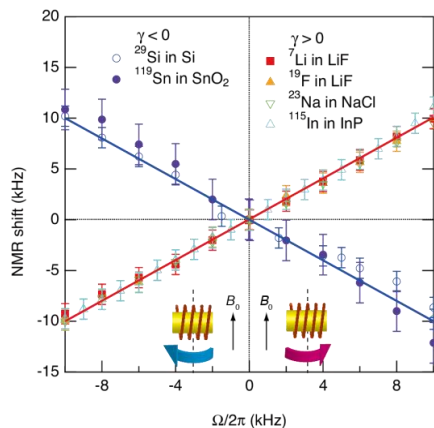


図 2-3: 様々な核種における NMR シフトの回転数依存性



大きさはほぼ回転数と同じである。また、磁気回転比  $\gamma$  の符号に依存し、それぞれ異なる直線に従う。正の  $\gamma$  を持つ核種 ( ${}^7\text{Li}$  (LiF)、 ${}^{19}\text{F}$  (LiF)、 ${}^{23}\text{Na}$  (NaCl)、 ${}^{115}\text{In}$  (InP)) では傾きは 1 であるのに対して、負の  $\gamma$  を持つ核種 ( ${}^{29}\text{Si}$  (Si)、 ${}^{119}\text{Sn}$  (SnO<sub>2</sub>)) では傾きは -1 である。また、核スピン量子数はそれぞれの核種で異なるが、シフトの大きさはあらゆる核種において回転数と一致する。これらの振る舞いはバーネット磁場から予想される振る舞いと完全に一致する。

これらにより、本手法が種々の物質の核スピンに適用できることを実験的に示し、本研究課題によって開拓した力学的回転-スピン結合による操作手法を実験的に実証できた。本研究課題によって、あらゆる固体の核スピンに適用可能である普遍的なスピン操作手法の開拓に世界で初めて成功したことで、スピンメカニクス研究における実験的実証の先鞭をつけることができた。

### 3.3 スピンゼーベック効果を用いた“スピン熱電コーティング”の実現(東北大学 齊藤グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

スピンゼーベック効果に基づく新しい熱電変換コンセプト「スピン熱電コーティング」を提案し、動作実証を行った(A. Kirihara et al., Nature Materials, 2012)。世界のエネルギー消費量の増大から、既存熱機関の効率化や廃熱による電力生成の多様化に注目が集まっている。廃熱のほとんどは、約 150°C 以下の気体や温水の形で排出されており、この温度域での効率的な廃熱回収技術の実用が望まれる。そこで、本研究課題ではスピンゼーベック効果による低コスト化を実現可能にするコーティングによる熱電素子の実装を可能にするスピン熱電コーティングを提案した。

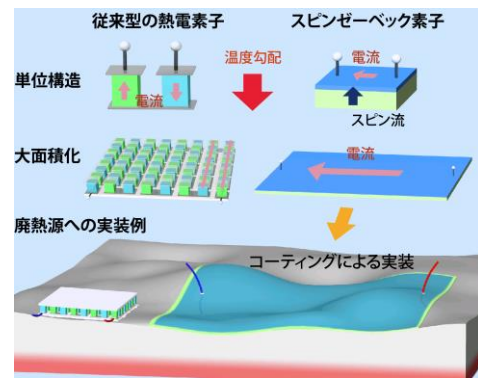


図 3-1: スピン熱電コーティング  
従来型とスピンゼーベック型の熱電素子の比較  
および熱電コーティングによる実装の概念図。

### 3.4 電子スピンによる熱コントロール技術の開拓(東北大学 齊藤グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

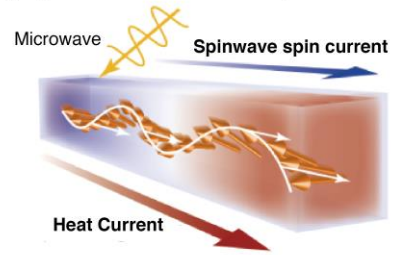
熱-スピン流相互変換の物理を探索する本研究課題において、スピン流による熱操作技術の開発は重要課題の一つであった。研究代表者らがこれまでに発見した「スピンゼーベック効果」(Nature, 2008)は、熱から電圧やスピン圧が生成される効果であり、この逆効果を開発することで、熱-スピン流相互変換技術が完成する。本研究においては、実験によるスピン波スピン流による熱輸送の観測と、前川グループおよび大江グループによる理論解析を合わせ、強磁性絶縁体中を伝播するスピン波スピン流を用いた熱輸送技術による、スピン流-熱変換技術を確立した(T. An et al., Nature Materials, 2013)。

強磁性体中のスピンの集団運動であるスピン波によって運ばれるスピンの流れをスピン波スピン流と呼ぶ。このスピン波スピン流を効率的に励起する手法を確立し、スピン波による熱の輸送現象(スピン波熱コンベヤー効果)を赤外線カメラによって試料内部の温度の空間分布の計測により見出した。試料には、イットリウム鉄ガーネット(YIG)を用い、YIG 上に設置したマイクロ波アンテナを利用して、表面に局在しており、かつ進行方向に相反性のあるスピン波を励起することで、スピン波スピン流を生成した(図 4-1(b))。励起されたスピン波スピン流は試料表面に局在し、印加した静磁場に垂直、且つ、一方向にしか伝播しない表面スピン波によって構成されている。生成されたスピン波スピン流は、試料である YIG 内を伝播したのち、試料端に到達する。試料端まで伝搬したスピン波スピン流は反射すること

ができないため、フォノンにそのエネルギーを受け渡し、試料端で減衰し熱を放出する。この際、温度勾配は試料端からマイクロ波源へ向けて通常の発熱とは逆向きの温度勾配が生成される(図 4-1)。また、スピン波スピン流のキャリアとなる表面スピン波の電波方向は、磁場の印加方向によってコントロール可能であることから、任意の方向に熱を輸送することが可能である。

実験系の概略図を図 4-2(a)に示した。マイクロ波アンテナ上に円盤状の YIG を設置し、磁場を印可する。マイクロ波磁場を印可し、試料中のスピン波が共鳴的に励起され、特定の条件でスピン波スピン流を形成可能になる。図 4-2(b)に、630 Oe の外部磁場を印可した際のマイクロ波吸収スペクトルを示す。図中 A-G のラベルはそれぞれ特定のスピン波のモードを表しており、理論的な計算によって、D-F のラベルで示される位置で、Damon-Eshbach モード(DE モード)と呼ばれる特殊なスピン波が励起されていることが分かった。DE モードは、試料の表面にしか存在せず、進行方向が磁場および局在した表面の両方に垂直な方向に限定される特徴を有する。つまり、この DE モードで進行方向が相異なるスピン波の成分の均衡を破ることで、スピン波スピン流が効率的に生成できるのである。本実験では、マイクロ波アンテナと試料の形状を制御することで、上面の DE モードよりもマイクロ波アンテナに接する底面の DE モードの成分を大きくし、スピン波スピン流を生成した。図 4-2(c)に吸収スペクトルにおけるそれぞれのピークでの温度分布イメージングの結果を示す。ピーク C ではほぼ一様に熱が生成されているが、ピーク D および E、F では熱の分布が試料右端に偏っていることがわかる。これが、スピン波スピン流による熱コンベヤー効果であることは、磁場方向の反転により確かめられる。図 4-2(d)に磁場印加方向を反転させた結果を示す。磁場印加方向の反転に伴い、温度勾配が逆転している様子がわかる。この結果より、局所に励起されたスピン波スピン流のエネルギーを数ミリメートル離れた試料端まで、スピ

### (a) Spin-wave Heat Conveyer



### (b) Microwave Heating

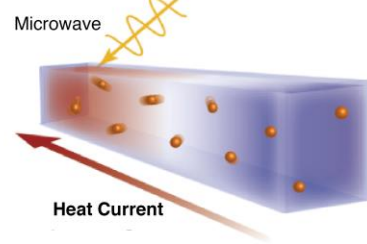


図 4-1: スピン流による熱輸送

(a)スピン波熱コンベヤー効果による熱輸送。(b) 通常のマイクロ波加熱による温度勾配。スピン流を用いることで熱源に向かって逆向きに温度勾配が形成される。

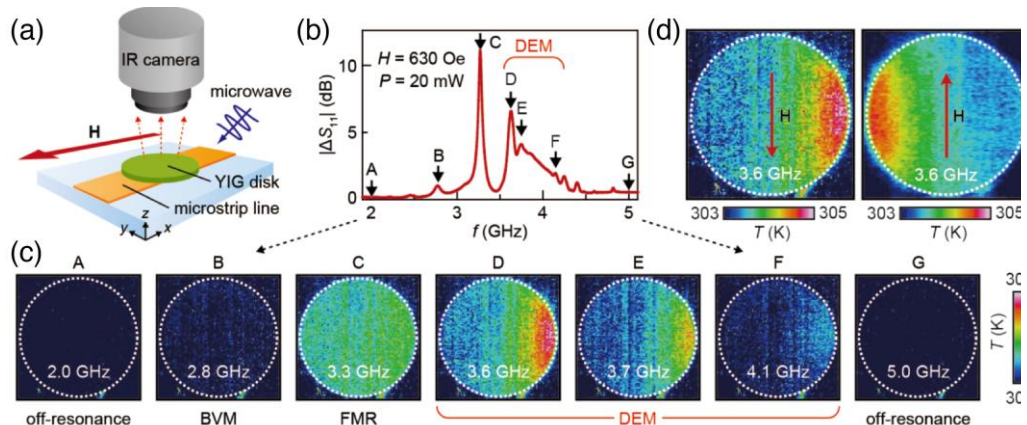


図 4-2: スピン流による熱輸送現象の実験的検証

(a)赤外線カメラを用いた温度分布測定の模式図。(b)マイクロ波による励起スペクトル。(c)スペクトル上のピークにおける温度分布。(d)における試料内部の温度分布。磁場反転によって温度勾配が反転している様子がわかる。

ン流を用いて輸送し最終的に散逸熱に変換することが実証できた。

さらに、スピンドYNAMICSの熱イメージング技術も確立した。強磁性体中におけるスピンドYNAMICSであるスピン波のモード分散を理解することは、スピンドYNAMICSに基礎を置くスピンゼーベック効果探索の上でも必要であった。本目的に対して、上記で用いた赤外線カメラによるイメージングをスピン波の空間モードの可視化にも応用できることを示した。マイクロ波アンテナ上に設置された YIG を磁氣的に励起し、励起されたスピン波が減衰することによる熱生成を赤外線カメラにより観測した。この際、YIG 試料中のスピン波は試料中で定在波を形成しており、赤外線カメラでは定在波を構成するスピン波の振幅の大きさに対応した散逸熱の分布が観測された(図 4-3)。このことは、励起するスピン波の定在波モードを変えてそれぞれの定在波モードの腹に相当する位置で散逸熱が極大になることから確認できた。以上より、赤外線カメラによる温度計測はスピン波の散逸熱観測に有用であることを示した。

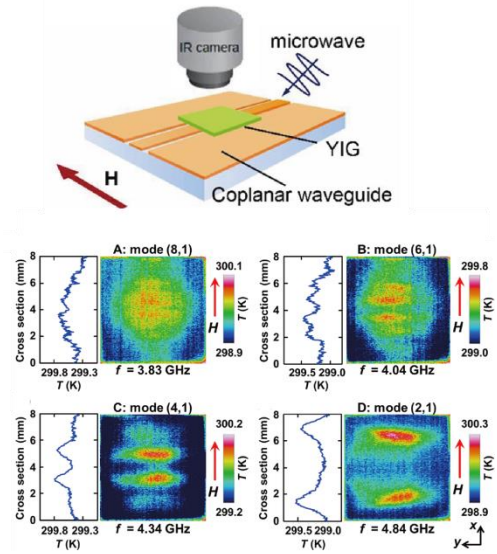


図 4-3: スピン熱散逸イメージング  
マイクロ波アンテナによって励起された各種のスピンドYNAMICSの赤外線カメラによるイメージング。

### 3. 5 スピン流熱マニピュレーションのシミュレーション法の確立(東邦大学 大江グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

齊藤グループが見出した表面スピン波からなるスピン波スピン流による熱輸送のシミュレーション手法を完成させ、スピン流-熱変換技術のデバイス設計を可能にした。

強磁性薄膜中のスピン波モードは、交換相互作用による exchange mode と、双極子相互作用による dipole mode に分けられる。このうち dipole mode は磁化の向きと磁化同士の相対位置によって変化するため、系の形状に強く依存する。本研究ではこの熱輸送が実現可能な dipole mode における発熱量を計算するシミュレーション法を確立するとともに、高速フーリエ変換を用いたアルゴリズムによる現実の物体のスケールに適用可能なミリメートルスケールの計算を行った。磁化間の双極子相互作用は長距離力であり、現実に近い系を計算するためには多大な計算リソースが必要であるが、本研究では効率的な手法を開発した。シミュレーションにより実空間マップを計算した結果、実験で得られた表面スピン波のスペクトルを再現し、表面スピン波が支配的な領域では発熱量の空間的に非対称になることが明らかになった(図 5-1)。このことは、発熱量の差によってエネルギー流が発生し、系の内部を伝わることを意味する。これにより、熱輸送効果が得られることが明らかになった。本手法によって輸送後の熱分布を予測可能にし、表面スピン波からなるスピン流を用いてデバイス内の熱を自由に移動させることが可能になる磁気放熱素子の基本設計に必要な手法を確立することができた。

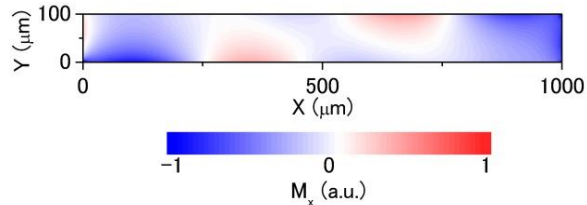


図 5-1: 表面スピン波の実空間分布  
磁性薄膜の断面に対してスピン波の振幅を表示している。サンプルの左右でスピン波の振幅が空間反転している。このスピン波を用いて熱流が発生する。



### 3. 6 電子スピンによる熱コントロール技術の開拓(東北大学 齊藤グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

スピンゼーベック効果の実用化に向けて、スピンゼーベック素子の出力の向上が急務であった。本研究課題では、出力向上に有用な以下の要素技術の開発に成功した。

- (i) 面内サーモパイル構造による昇圧
- (ii) 界面制御による出力の増大
- (iii) 新規界面評価技術の開発

#### (i) 面内サーモパイル構造による昇圧

研究代表者らは酸化物絶縁体でもスピンゼーベック効果が発現することを見出して以降(Nature Materials, 2010)、材料と構造の探索を行って、大きなスピンゼーベック効果を生む基本構造に関する指針を得た。実用化に向けて既存の電子デバイスとの親和性を高めるためには、スピンゼーベック効果による出力を上手く昇圧する必要があった。この要求に応えるべく、スピンゼーベック効果の特性を用いた、簡素な面内パターン化による出力熱起電力を昇圧する手法を提案および実証した。

従来のゼーベック効果に基づく熱電変換素子においては多数の半導体 PN 接合を直接に接続して集積化することで出力電圧を昇圧していたが、素子の製造工程数が多いことから低コスト化は困難であった。一方で、スピンゼーベック効果による熱起電力を昇圧するためには、伝導体層にスピンホール角が正の材料と負の材料を用いてジグザグ構造によるスピンゼーベックサーモパイルを作製するだけでよい(図 6-1)。この手法は標準の薄膜作製や成形技術で容易に実現できることから、スピンゼーベック効果を用いた熱センシング等に有用な技術である。伝導体膜のパターニングによって素子を直列に接続した素子の写真と出力測定の結果を図 6-2 に示す。ここでは、わずか 2 cm 角の試料において基板を含めた温度差 10 度で 0.01 ボルトの起電圧が得られており、単純な積層化による内部抵抗の低減や現実的なアプリケーションである一平方メートル級の大面積化を考慮すれば、実用レベルの電圧が得られることが示された。今後、膜厚による出力の向上や後述する積層化による増大現象を利用し、従来の半導体型素子を超える性能を実証することを目指す。

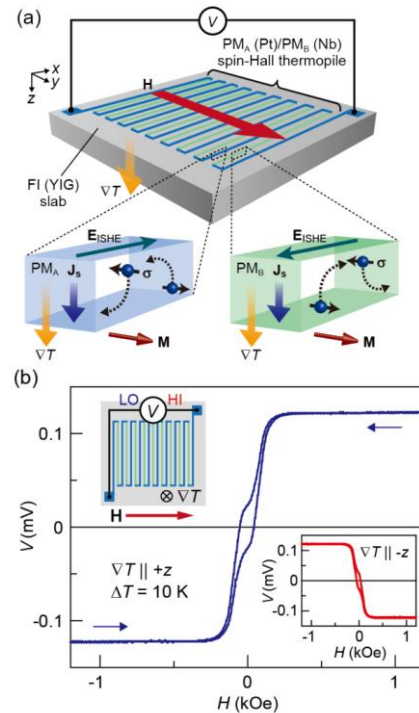


図 6-1: スピンサーモパイル構造による昇圧  
スピン流-電流変換層の面内パターン化によるスピンゼーベック素子出力電圧の昇圧方法 (a)と実験結果(b)。

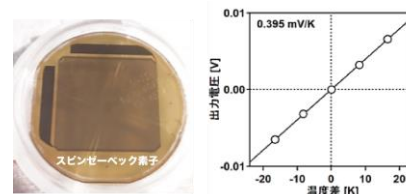


図 6-2: 面内パターン化により作製したプロトタイプとその出力特性

#### (II) 界面制御による出力の増大

磁性酸化物絶縁体を用いたスピンゼーベック効果における重要課題として、強磁性絶

縁体/伝導体界面の質とその界面におけるスピン交換輸送特性の関系の解明があげられる。本研究課題では、各種成膜手法に基づく界面制御技術と断面の透過型電子顕微鏡観察を用いて界面が原子レベルで制御された強磁性絶縁体/金属構造を作製し、界面でのスピン伝導度を高めることに成功した。スピンゼーベック効果による高効率スピン流生成を実現するためには、外部入力によってマグノン-電子間の有効温度差を誘起させた上で、絶縁体/金属界面におけるスピン輸送特性を表すスピンミキシングコンダクタンスを最適化する必要がある。従来の熱スピントロニクスの研究においては、このパラメータの向上を意図した研究は行われておらず、例えばイットリウム鉄ガーネット/白金接合において実験的に得られていたスピンミキシングコンダクタンスは、第一原理計算による結果から期待される量のわずかに割程度の値であった。本研究課題では、接合の作製プロセスや熱処理、表面・界面処理条件の最適化により、熱流-スピン流変換効率の劇的な向上を実現した。具体的には、酸素雰囲気下でアニール処理を施すことにより高品質な Pt/YIG 界面を作製し、アニール後の Pt/YIG 界面においてスピンミキシングコンダクタンスが大きく向上することを見出した。試料には液相エピタキシー法により成膜した厚さ  $4.5 \mu\text{m}$  の YIG (111) 単結晶薄膜を用い、圧力  $5 \times 10^{-5}$  Torr の酸素雰囲気下でアニールすることにより、YIG 薄膜表面の結晶性を向上させた(図 6-3)。その後、高真空を保ったまま厚さ 10 nm の Pt 薄膜をパルスレーザーデポジション法により成膜した。透過型電子顕微鏡による断面観察を行った結果、図 8-3 に示したように界面まで YIG 薄膜の結晶性が保たれた Pt/YIG 接合を作製できていることがわかった。一方で、YIG 薄膜の表面に Ar イオンエッチング処理を施した試料においては、YIG の表面に非常に薄いアモルファス層が存在しており、これがスピン注入効率を阻害していることが明らかになった(図 6-4)。結晶性を向上させた Pt/YIG 界面におけるスピンミキシングコンダクタンスをマイクロ波分光法とスピンポンピング法を用いて見積もった結果、第一原理計算の予測に匹敵する  $1.3 \times 10^{18} \text{ m}^{-2}$  という値が得られ、出力スピン流強度も大きく増大した。

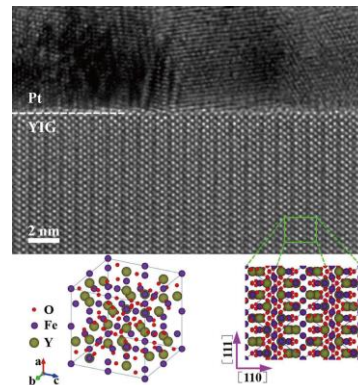


図 6-3: 界面制御された強磁性絶縁体/伝導帯界面

界面制御された YIG/Pt 接合の透過型電子顕微鏡像と YIG の結晶構造。

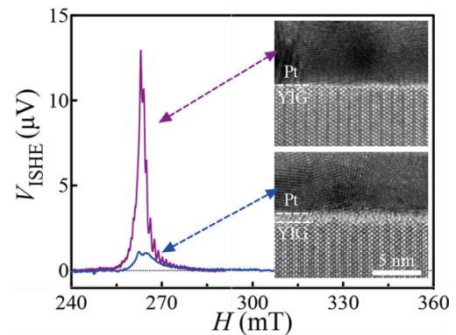


図 6-4: スピン流生成効率の増大

スピンポンピング法により生成されたスピン流の強度。界面制御された試料(赤)と未制御の試料における実験値(青)。

### (III) 新規界面評価技術の開発

これまで界面でのスピン物性の評価は、マイクロ波分光や熱を用いて強磁性体を励起した上で、その出力を評価する手法しか存在しなかった。これらの評価手法では、煩雑な上に不確定なパラメータも存在し、異なる構造の評価において問題が生じており、より簡素な評価手法が求められていた。本研究課題では、強磁性絶縁体/金属界面を有する構造におけるスピン輸送現象の物理を精査することで、電流-スピン流-電流変換現象による強磁性体/伝導体界面でのスピン交換に基づく新奇磁気抵抗効果を発見するに至り、界面スピン特性の簡素な評価手法の開発に成功した(H. Nakayama et al., Physical Review Letters, Editor's suggestion, 2013)。

強磁性体/伝導体接合におけるスピン流の物理には、スピン軌道相互作用を介したスピン流-電流相互作用(スピンホール効果、逆スピンホール効果)と、スピン流-磁化相互作用(スピンポンピング、スピントルク)という二つの重要な相互作用がある。このスピン流-磁



化相互作用は、スピンゼーバック効果において主要な役割を果たすスピンミキシングコンダクタンスの起源であり、簡素な評価手法が求められていた。これまでの研究においては、スピンホール効果およびスピントルクを用いた電流誘起磁化ダイナミクス変調や、スピンポンピングおよび逆スピンホール効果を用いた磁化ダイナミクス誘起スピン流の生成・検出が研究されてきた一方で、強磁性体/伝導体構造において、スピンホール効果により生じたスピン蓄積とそれによるスピントルクを統一的に理解されてこなかった。本研究課題では、強磁性/伝導体界面を有する構造におけるスピン輸送現象の物理を精査することで、界面でのスピン交換に基づく新奇磁気抵抗効果を発見するに至り、界面スピン特性の簡素な評価手法の開発に成功した。

物質に外部磁場を加えた際に電気抵抗が変化する現象は磁気抵抗効果といわれる。これまでに発見された、異方性磁気抵抗効果や巨大磁気抵抗効果、トンネル磁気抵抗効果といった磁気抵抗効果は、強磁性体内部に流れる電流と強磁性体の磁化の相互作用に由来している。本研究ではさらに、電流ではなくスピン流が強磁性体へ流れる際に発現する磁気抵抗に着目した。強磁性絶縁体/伝導体二層構造において電流を印可すると、伝導体におけるスピンホール効果によってスピン流が生成される。スピン流-磁化相互作用を考慮すると、生成されたスピン流は強磁性絶縁体に注入されるが、そのスピン流の注入量はスピン流-磁化相互作用の対称性から、スピン流のスピン偏極方向と磁化の相対角によって決定される。注入されなかったスピン流は界面で反射され、逆スピンホール効果によって電流に変換される。この逆スピンホール電流の存在の有無によって、繰り返される抵抗率に違いが現れ、強磁性絶縁体/伝導体における新奇磁気抵抗効果が実現される。この磁気抵抗は、スピンホール効果と逆スピンホール効果によって引き起こされる機構からスピンホール磁気抵抗効果と名付けられた。図 6-6 に本研究で用いた強磁性絶縁体イットリウム鉄ガーネット/白金構造における実験結果を示す。磁化の変化する領域において顕著な抵抗変化を示しており、スピン流に依存した磁気抵抗効果が現れている。スピン流回路理論に基づいて本磁気抵抗効果の定式化を行った。既存の異方性磁気抵抗効果との分離は、発現機構における磁化と電流の角度の対称性の違いにより、薄膜試料の電気抵抗値における面外磁場角度依存性の測定を行えば可能であることが示せる。通常の強磁性体中における異方性磁気抵抗効果が電流と強磁性体磁化の相対角に依存するのに対し、本研究において見出されたスピンホール磁気抵抗効果はスピン流の偏極ベクトルと強磁性体磁化の相対角に依存する。異なる白金膜厚の複

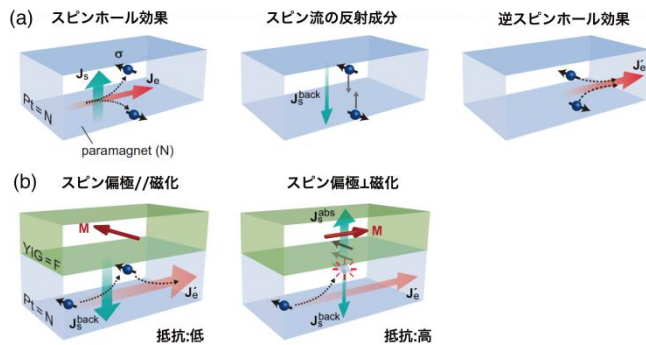


図 6-5: スピンホール磁気抵抗効果の発現原理。

(a)スピンホール効果と逆スピンホール効果によるスピン流-電流相互作用プロセス。(b)スピン偏極と磁化の相対角度と抵抗値の関係。

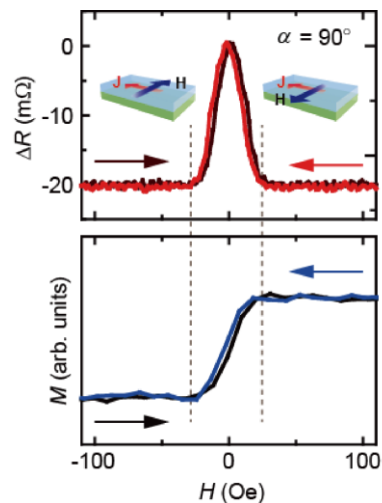


図 6-6: スピンホール磁気抵抗効果

強磁性絶縁体イットリウム鉄ガーネット/白金構造における抵抗変化とその磁化の磁場依存性。

に基づいて本磁気抵抗効果の定式化を行った。既存の異方性磁気抵抗効果との分離は、発現機構における磁化と電流の角度の対称性の違いにより、薄膜試料の電気抵抗値における面外磁場角度依存性の測定を行えば可能であることが示せる。通常の強磁性体中における異方性磁気抵抗効果が電流と強磁性体磁化の相対角に依存するのに対し、本研究において見出されたスピンホール磁気抵抗効果はスピン流の偏極ベクトルと強磁性体磁化の相対角に依存する。異なる白金膜厚の複

合膜試料を用いることにより磁気抵抗測定を行って、構築した理論模型を実証することができた。また、物質・構造依存性測定として、白金と磁性体の界面に銅を挿入した磁性絶縁体構造における磁気抵抗効果の測定を行った。銅はスピン拡散長が 1 マイクロメートル程度と長いため、白金と磁性体間の直接的な接触が無くとも、白金中でのスピン交換を実現することができる。実際に、このような銅を挿入した試料においても有限の磁気抵抗効果が観測されたことから、この磁気抵抗効果がスピンホール効果に由来するものであることが示された。

本評価手法の開発によって、異なる構造におけるスピン輸送特性の精密比較を実現し、スピンゼーベック効果の研究を加速することができた。また、強磁性絶縁体のプローブを可能にする本磁気抵抗効果の発見は、ジュール熱のない絶縁体を用いたスピントロニクスの研究開発の基礎的な手法を与えるものであり、今後の活発な利用が見込まれる。

### 3.7 スピン流ナノインテグレーション材料の創製(東北大学 高梨グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

スピントロニクスとマイクロ機械流体工学の融合により、電子スピンから量子力学的原理により動力を取り出す技術、及び発電の技術を開拓することを目的とし、特に垂直型スピントルク用及び高効率スピン注入用試料の設計・製作を行った。

研究期間前期では、垂直磁化膜や単結晶磁性体等の薄膜作製およびその構造と磁気特性の評価を遂行した。スパッタリング法を用いて単結晶基板の上に作製し、微細加工技術によりナノ構造体へと薄膜試料を加工した。効率の良いスピン注入を行うためには、注入源となる磁性体の磁区構造制御が不可欠となる。そこで、直径 30 nm の垂直磁化  $L1_0$  型 FePt 規則合金のナノドット作製し、ナノ構造化による磁区構造および磁化過程の遷移を調べた。その結果、直径 30 nm では単磁区構造が形成され、磁化過程が回転モードに近づくことを明らかにした。これは、スピン注入源のサイズを決定する際に有用な知見であり、デバイス設計の指針が得られた。

上記の研究成果をもとに、研究期間中期では、垂直型スピントルク用及び高効率スピン注入用試料として  $L1_0$  型 FePt 規則合金およびフルホイラー系単結晶薄膜を採用し、スピン分極率の向上を目指して作製条件の最適化を行った。また、 $L1_0$  型規則合金薄膜における磁気特性制御を行う観点から、磁気異方性と磁区構造の相関を理解することを目的とし、薄膜面内に磁化を有する FePt 薄膜の磁区構造観察を行った。その結果、磁気異方性の増大に伴い特異な磁区構造が出現し、FePt の成膜温度および膜厚によって出現する磁区の制御が可能であることを明らかにした。

研究期間の後期には、熱流とスピン流さらには電流との変換効率を向上できる可能性のある多層積層構造の薄膜試料作製をおこなった。前期および中期の研究遂行により得られた FePt 薄膜作製に関する知見を活用し、Fe 層と Pt 層をナノメートルオーダーで交互積層した多層膜を磁性絶縁体材料であるガーネット基板上に形成することに成功した。膜厚や積層回数を連続的に変化させた複数の薄膜試料を準備することにより、熱流、スピン流および電流の相互変換効率を系統的に評価することを可能とした。その結果、Pt/Fe 多層膜でレイヤー数を増やすほど異常ネルンスト電圧が大幅に増大することを見出した。

高効率スピン注入材料と共に異常ネルンスト効果を有効活用することで、スピンゼーベック効果による熱電素子のさらなる効率上昇が期待できる。これまで、スピンゼーベック効果による熱電素子では逆スピンホール効果によるスピン流電流変換のみが注目されていたが、本研究によって異常ネルンスト効果をも含んだスピン流電流変換の重要性が示された。

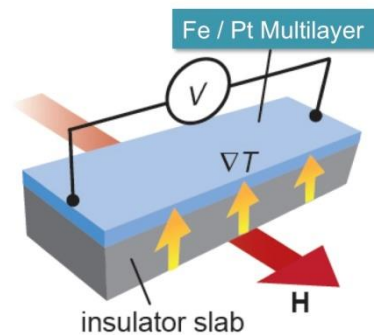


図 7-1: 異常ネルンスト効果を用いた熱電変換技術

### 3. 8 スピン流注入技術の飛躍的向上(東北大学 齊藤グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

電流を用いたスピン流の注入手法では、「インピーダンス整合条件」と呼ばれる輸送係数に関する制約条件があり、特に高抵抗物質への大面積にわたるスピン流注入は実現困難であった。このために、シリコンやグラフェンなどの高抵抗物質への効率的なスピン流注入がなかなか実現されていなかった。本研究課題では、広範囲な物質へスピン注入を実現する、動的なスピン注入技術を開拓した(K. Ando et al., Nature Materials, 2011)。

理論的予想により、磁化歳差運動を励起した磁性体に接触させた伝導体には、従来の輸送現象とは異なり、界面でのスピン交換を通して逆スピンホール起電力が生じるはずであった。これを強磁性金属 NiFe/半導体 GaAs 接合における実験により証明した。NiFe/GaAs 接合は、ショットキー接合を形成する。ショットキー障壁高さを変化させた NiFe/ GaAs 接合を作製し、マイクロ波共鳴によるスピンポンピング誘起逆スピンホール効果の測定を行ったところ、この逆スピンホール効果の強度は、ショットキー高さの変化に敏感でなく、むしろショットキー障壁の低い系で増大することを見出した。逆スピンホール効果の信号強度は、接合から GaAs 層に動的に注入されたスピン流の大きさに比例するため、実験結果はショットキー障壁が低いほど効率的にスピン流が注入できることを示している。従来の静的なスピン流注入手法では、インピーダンス整合条件によってショットキー障壁が高いほうが良い筈である。したがって本実験は、動的な手法を用いるスピンポンピングでの効率はインピーダンス整合条件と全く関係ないことを示しており、非平衡スピン蓄積を経由することなく界面スピン交換によってスピン流を生成できることを示している。この結果を電子論的に解釈することもできており、ショットキー障壁が低くなることによって、界面での波動関数の重なりが増大し界面スピン交換の効率を表すスピンミキシングコンダクタンスが大きくなることで、注入効率が変化したものと考えられる。この動的スピン注入法はインピーダンス整合条件による制約を受けず、

本研究で初めて室温で半導体 GaAs でのスピン流検出に成功した。このように、動的スピン流注入手法により、スピン流-電流変換材料の選択肢が、半導体にまで拡張されたことは注目に値する(Nature materials 誌、および Nature Communication 誌に掲載)。

本手法を用いた材料の開拓によって、半導体のみならず有機物においても十分なスピン流-電流変換現象を得ることに成功した(Nature materials 誌および Nature Physics 誌に掲載)。本研究で開発した有機材料は塗布工程で形成可能であり(図 8-2)、従来のスピンゼーバック効果を用いたスピン熱電コーティングで必要であった金属によるスピン流-電流変換層を塗布工程で作製可能になった。これにより全層の塗布工程による作製が実現され、スピンゼーバック素子を全工程で真空を必要としない低コストのプロセスによって形成可能にし、スピン熱電コーティングの競争力が高められた。

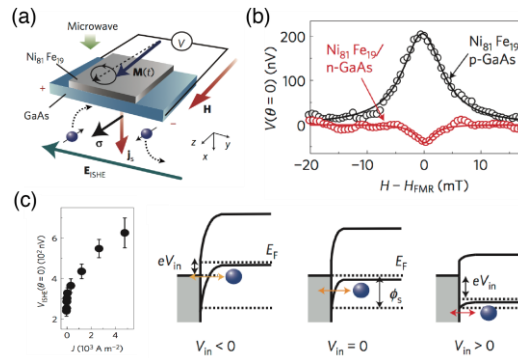


図 8-1: 半導体 GaAs への動的スピン注入  
(a)実験原理の模式図。(b)測定された逆スピンホール起電力。(c)起電力の増大とその原理の模式図。

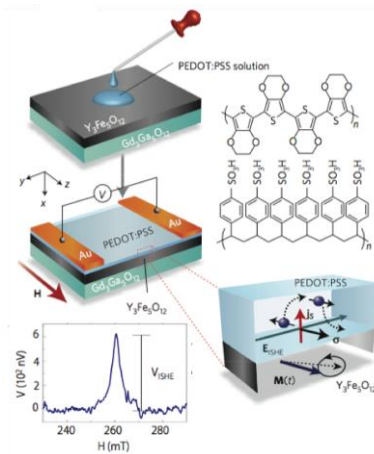


図 8-2: 有機導体 PEDOT への動的スピン注入  
実験原理の模式図および出力された逆スピンホール起電力。

## § 4 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0 件、国際 (欧文) 誌 96 件)

国際誌

1. K. Uchida, H. Adachi, T. Ota, H. Nakayama, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Observation of longitudinal spin-Seebeck effect in magnetic insulators”, *Applied Physics Letters*, Vol. 96, 172505, 2010 (DOI: 10.1063/1.3507386)
2. K. Ando and E. Saitoh, “Inverse spin-Hall effect in palladium at room temperature”, *Journal of Applied Physics*, Vol. 108, 113925, 2010 (DOI: 10.1063/1.3517131)
3. C. W. Sandweg, Y. Kajiwara, K. Ando, E. Saitoh, and B. Hillebrands, “Enhancement of the spin pumping efficiency by spin wave mode selection”, *Applied Physics Letters*, Vol. 97, 252504, 2010 (DOI: 10.1063/1.3528207)
4. H. Adachi, K. Uchida, E. Saitoh, J. Ohe, S. Takahashi, and S. Maekawa, “Gigantic enhancement of spin Seebeck effect by phonon drag”, *Applied Physics Letters*, Vol. 97, 252506, 2010 (DOI: 10.1063/1.3529944)
5. K. Uchida, T. Nonaka, T. Ota, and E. Saitoh, “Longitudinal spin-Seebeck effect in sintered polycrystalline (Mn,Zn)Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>”, *Applied Physics Letters*, Vol. 97, 262504, 2010 (DOI: 10.1063/1.3533397)
6. K. Ando, S. Takahashi, J. Ieda, H. Kurebayashi, T. Trypiniotis, C.H.W. Barnes, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Electrically tunable spin injector free from the impedance mismatch problem”, *Nature materials*, Vol. 10, 655, 2011 (DOI: 10.1038/nmat3052)
7. 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*, Vol. 10, 737, 2011 (DOI: 10.1038/nmat3099)
8. H. Chudo, K. Ando, K. Saito, S. Okayasu, R. Haruki, Y. Sakuraba, H. Yasuoka, K. Takanashi, and E. Saitoh, “Spin pumping efficiency from half metallic Co<sub>2</sub>MnSi”, *Journal of Applied Physics*, Vol. 464, 073915, 2011 (DOI: 10.1063/1.3556433)
9. T. Yoshino, K. Ando, K. Harii, H. Nakayama, Y. Kajiwara, and E. Saitoh, “Universality of the spin pumping in metallic bilayer films”, *Applied Physics Letters*, Vol. 98, 132503, 2011 (DOI: 10.1063/1.3571556)
10. 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”, *Journal of Applied Physics* Vol. 109, 1039131, 2011 (DOI: 10.1063/1.3587173)
11. K. Harii, T. An, Y. Kajiwara, K. Ando, H. Nakayama, T. Yoshino, and E. Saitoh, “Frequency Dependence of Spin Pumping in Pt/Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> Film”, *Journal of Applied Physics*, 109, 116105, 2011 (DOI: 10.1063/1.3594661).
12. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Spin current generation due to mechanical rotation in the presence of impurity scattering”, *Applied Physics Letters*, Vol. 98, 242501, 2011 (DOI: 10.1063/1.3597220)
13. N. Okamoto, H. Kurebayashi, K. Harii, Y. Kajiwara, H. Beere, I. Farrer, T. Trypiniotis, K. Ando, D. A. Ritchie, C. H. W. Barnes, and E. Saitoh, “Spin current depolarization under high electric fields in undoped InGaAs”, *Applied Physics Letters*, Vol. 98, 242104, 2011 (DOI: 10.1063/1.3599599)
14. K. Ando, T. An, and E. Saitoh, “Nonlinear spin pumping induced by parametric excitation”, *Applied Physics Letters*, Vol. 99, 092510, 2011 (DOI: 10.1063/1.3633348)
15. M. B. Jungfleisch, A. V. Chumak, V. Vasyuchka, A. Serga, B. Obry, H. Schultheiss, P. A. Beck, A. D. Karenowska, E. Saitoh, and B. Hillebrands, “Temporal evolution of

- inverse spin Hall effect voltage in a magnetic insulator–nonmagnetic metal structure”, *Applied Physics Letters*, Vol. 99, 182512, 2011 (DOI: 10.1063/1.3658398)
16. K. Uchida, T. An, Y. Kajiwara, M. Toda, and E. Saitoh, “Surface–acoustic–wave–driven spin pumping in Y3Fe5O12/Pt hybrid structures”, *Applied Physics Letters*, Vol. 99, 212501, 2011 (DOI: 10.1063/1.3662032)
  17. T. Seki, H. Iwama, T. Shima, and K. Takanashi, “Size dependence of the magnetization reversal process in microfabricated L10–FePt nano dots”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 44 335001, 2011 (DOI: 10.1088/0022-3727/44/33/335001)
  18. R. Iguchi, K. Ando, E. Saitoh, and T. Sato, “Spin current study of spin glass AgMn using spin pumping effect”, *Journal of Physics (conference series)*, Vol. 266, 012089, 2011 (DOI: 10.1088/1742-6596/266/1/012089)
  19. H. Nakayama, K. Ando, K. Harii, Y. Fujikawa, Y. Kajiwara, T. Yoshino, and E. Saitoh, “Inverse spin–Hall effect induced by spin pumping in different size Ni81Fe19/Pt films”, *Journal of Physics (conference series)*, Vol. 266, 012100, 2011 (DOI: 10.1088/1742-6596/266/1/012100)
  20. T. Nonaka, K. Ando, T. Yoshino, and E. Saitoh, “Spin pumping and magnetization–precession trajectory in thin film systems”, *Journal of Physics (conference Series)*, Vol. 266, 012101, 2011 (DOI: 10.1088/1742-6596/266/1/012101)
  21. T. Yoshino, K. Ando, K. Harii, H. Nakayama, Y. Kajiwara and E. Saitoh, “Quantifying spin mixing conductance in F/Pt (F =Ni, Fe, and Ni81Fe19) bilayer film”, *Journal of Physics (conference Series)*, Vol. 266, 012115, 2011 (DOI: 10.1088/1742-6596/266/1/012115)
  22. K. Uchida, T. Ota, Y. Kajiwara, Hiromitsu Umezawa, Hiroki Kawai, and E. Saitoh, “Electric detection of the spin–Seebeck effect in magnetic insulator in the presence of interface barrier”, *Journal of Physics (conference series)* Vol. 303, 012096, 2011 (DOI: 10.1088/1742-6596/303/1/012096)
  23. S. Bosu, Y. Sakuraba, K. Uchida, K. Saito, T. Ota, E. Saitoh, and K. Takanashi, ”Spin Seebeck effect in thin films of the Heusler compound Co2MnSi”, *Physical Review B* Vol. 83, 224401, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevB.83.224401)
  24. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Spin–dependent inertial force and spin current in accelerating systems”, *Physical Review B*, Vol. 84, 104410, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevB.84.104410)
  25. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Effects of mechanical rotation on spin currents (selected as Editor’s Suggestion)”, *Physical Review Letters*, Vol. 106, 076601, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.106.076601)
  26. C. W. Sandweg, Y. Kajiwara, A. V. Chumak, A. A. Serga, V. I. Vasyuchka, M. B. Jungfleisch, E. Saitoh, and B. Hillebrands, “Spin Pumping by Parametrically Excited Exchange Magnons”, *Physical Review Letters*, Vol. 106, 216601, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.106.216601)
  27. 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”, *Physical Review Letters*, Vol. 107, 236602, 2011 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.107.236602)
  28. Y. Kajiwara, S. Takahashi, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Detection of spin–wave spin current in a magnetic insulator”, *IEEE Transaction on Magnetism*, Vol. 47, 1591, 2011 (DOI: 10.1109/TMAG.2011.2118747)
  29. Y. Kajiwara, K. Ando, H. Nakayama, R. Takahashi, and E. Saitoh, “Spin pumping in polycrystalline magnetic insulator/metal Pt films”, *IEEE Transaction on Magnetism*,



Vol. 47, 2739, 2011 (DOI: 10.1109/TMAG.2011.2150737)

30. K. Uchida, A. Kirihara, M. Ishida, R. Takahashi, and E. Saitoh, “Two-dimensional temperature mapping using spin-Seebeck insulator”, *Japanese Journal of Applied Physics (Rapid Communication)*, Vol. 50, 120211, 2011 (DOI: 10.1143/JJAP.50.120211)
31. K. Ando, and E. Saitoh, “Observation of inverse spin-Hall effect in silicon”, *Nature communications*, Vol. 3, 629, 2012 (DOI: 10.1038/ncomms1640)
32. G. E.W. Bauer, E. Saitoh, and B. J. van Wees, “Spin Caloritronics”, *Nature materials*, Vol. 11, 391, 2012 (DOI: 10.1038/nmat3301)
33. A. Kirihara, K. Uchida, Y. Kajiwara, M. Ishida, Y. Nakamura, T. Manako, E. Saitoh, and S. Yorozu, “Spin-current-driven thermoelectric coating”, *Nature materials*, Vol. 11, 686, 2012 (DOI: 10.1038/nmat3360)
34. T. Satoh, Y. Terui, R. Moriya, B. s A. Ivanov, K. Ando, E. Saitoh, T. Shimura, and K. Kuroda, “Directional control of spin wave emission by spatially shaped light”, *Nature photonics*, Vol. 6, 662, 2012 (DOI: 10.1038/nphoton.2012.218)
35. Z. Qiu, Y. Kajiwara, K. Ando, Y. Fujikawa, K. Uchida, Takaharu Tashiro, K. Harii, T. Yoshino, and E. Saitoh, “All-oxide system for spin pumping”, *Applied Physics Letters*, 100, 022402, 2012 (DOI: 10.1063/1.3675463 )
36. 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”, *Journal of Applied Physics*, Vol. 111, 1039032, 2012 (DOI: 10.1063/1.4716012)
37. D. Hou, Z. Qiu, K. Harii, Y. Kajiwara, K. Uchida, Y. Fujikawa, H. Nakayama, T. Yoshino, T. An, K. Ando, X. Jin1, and E. Saitoh, “Interface induced inverse Spin Hall effect in bismuth/permalloy bilayer”, *Applied Physics Letters*, Vol. 101, 042403, 2012 (DOI: 10.1063/1.4738786)
38. H. Nakayama, K. Ando, K. Harii, T. Yoshino, R. Takahashi, Y. Kajiwara, K. Uchida, Y. Fujikawa, and E. Saitoh, “Geometry dependence on inverse spin Hall effect induced by spin pumping in Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>/Pt films”, *Physical Review B*, Vol. 85, 144408, 2012 (DOI: 10.1103/PhysRevB.85.144408)
39. K. Ando and E. Saitoh, “Spin Pumping Driven by Bistable Exchange Spin Waves”, *Physics Review Letters*, Vol. 109, 026602, 2012 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.109.026602)
40. R. Iguchi, K. Ando, T. An, E. Saitoh, and T. Sato, “Evaluation of Nonlinear Effect in High Power Spin Pumping in Polycrystalline Bi-Substituted Yttrium Iron Garnet (Bi:YIG)/Pt Bilayer Structure”, *IEEE Transaction on Magnetics*, Vol. 48, 3051, 2012 (DOI: 10.1109/TMAG.2012.2202382)
41. H. Nakayama, Jianting Ye, Takashi Ohtani, Y. Fujikawa, K. Ando, Y. Iwasa, and E. Saitoh, “Electroresistance effect in gold thin film induced by ionic liquid gated electric double layer”, *Applied Physics Express*, Vol. 5, 023002, 2012 (DOI: 10.1143/APEX.5.023002)
42. K. Uchida, T. Nonaka, T. Yoshino, T. Kikkawa, D. Kikuchi, and E. Saitoh, “Enhancement of spin-Seebeck voltage by spin-Hall thermopile”, *Applied Physics Express*, Vol. 5, 093001, 2012 (DOI: 10.1143/APEX.5.093001)
43. M. Mizuguchi, S. Ohata, K. Uchida, E. Saitoh, K. Takanashi, “Anomalous Nernst effect in an L10-ordered epitaxial FePt thin film”, *Applied Physics Express*, Vol. 5, 093002, 2012 (DOI: 10.1143/APEX.5.093002)
44. R. Iguchi, K. Ando, R. Takahashi, T. An, E. Saitoh, and T. Sato, “Spin Pumping without Three-Magnon Splitting in Polycrystalline Bi<sub>1</sub>Y<sub>2</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (Bi:YIG)/Pt Bilayer

- Structure”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 51, 103004, 2012 (DOI: 10.1143/JJAP.51.103004)
45. A. Kawasuso, Y. Fukaya, M. Maekawa, H. Zhang, T. Seki, T. Yoshino, E. Saitoh and K. Takanashi, “Current-induced spin polarization on a Pt surface: A new approach using spin-polarized positron annihilation spectroscopy”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 342, 139, 2013 (DOI: 10.1016/j.jmmm.2013.04.006)
  46. M. Matsuo, J. Ieda, and S. Maekawa, “Theory of mechanical spin current generation via spin-orbit coupling”, Solid State Communications (in press), 2013 (DOI: 10.1016/j.ssc.2013.08.005)
  47. K. Uchida, Z. Qiu, T. Kikkawa, and E. Saitoh, “Pure detection of the acoustic spin pumping in Pt/YIG/PZT structures”, Solid State Communications (in press), 2013 (DOI: 10.1016/j.ssc.2013.10.012)
  48. 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, Vol. 12, 549, 2013 (DOI: 10.1038/NMAT3628)
  49. K. Ando, S. Watanabe, S. Mooser, E. Saitoh, and H. Sirringhaus, “Solution-processed organic spin-charge converter”, Nature Materials, Vol. 12, 622, 2013 (DOI: 10.1038/NMAT3634)
  50. R. Iguchi, K. Ando, Z. Qiu, T. An, E. Saitoh, and T. Sato, “Spin pumping by nonreciprocal spin waves under local excitation”, Applied Physics Letters, Vol. 102, 022406, 2013 (DOI: 10.1063/1.4775685)
  51. R. Ramos, T. Kikkawa, K. Uchida, H. Adachi, I. Lucas, M. H. Aguirre, P. Algarabel, L. Morellón, S. Maekawa, E. Saitoh, and M. R. Ibarra, “Observation of the spin Seebeck effect in epitaxial Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> thin films”, Applied Physics Letters, Vol. 102, 072413, 2013 (DOI: 10.1063/1.4793486)
  52. T. An, K. Yamaguchi, K. Uchida, and E. Saitoh, “Thermal imaging of standing spin waves”, Applied Physics Letters, Vol. 103, 052410, 2013 (DOI: 10.1063/1.4816737)
  53. Y. Kajiwara, K. Uchida, D. Kikuchi, T. An, Y. Fujikawa and E. Saitoh, “Spin-relaxation modulation and spin-pumping control by transverse spin-wave spin current in Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>”, Applied Physics Letters, Vol. 103, 052404, 2013 (DOI: 10.1063/1.4817076)
  54. Z. Qiu, K. Ando, K. Uchida, Y. Kajiwara, R. Takahashi, H. Nakayama, T. An, Y. Fujikawa, and E. Saitoh, “Spin mixing conductance at a well-controlled platinum/yttrium iron garnet interface”, Applied Physics Letters, Vol. 103, 092404, 2013 (DOI: 10.1063/1.4819460)
  55. Z. Qiu, K. Ando, K. Uchida, Y. Kajiwara, R. Takahashi, H. Nakayama, T. An, Y. Fujikawa, and E. Saitoh, “Experimental investigation of spin Hall effect in indium tin oxide thin film”, Applied Physics Letters, Vol. 103, 182404, 2013 (DOI: 10.1063/1.4827808)
  56. J. Ohe and Y. Shimada, “Cascaded spin motive force driven by the dynamics of the Skyrmion lattice”, Applied Physics Letters, Vol. 103, 242403, 2013 (DOI: 10.1063/1.4838735)
  57. H. Adachi, K. Uchida, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Theory of the spin Seebeck effect”, Reports on Progress in Physics, Vol. 76, 0365010, 2013 (DOI: 10.1088/0034-4885/76/3/036501)
  58. Y. Ohnuma, H. Adachi, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Spin Seebeck effect in antiferromagnets and compensated ferrimagnets”, Physics Review B, Vol. 87, 014423, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.014423)

59. M. Matsuo, J. Ieda, and S. Maekawa, “Renormalization of spin-rotation coupling”, *Physical Review B*, Vol. 87, 115301, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.115301)
60. Y-T. Chen, S. Takahashi, H. Nakayama, M. Althammer, S. T. B. Goennenwein, E. Saitoh, and G. E. W. Bauer, “Theory of spin Hall magnetoresistance”, *Physical Review B*, Vol. 87, 144411, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.144411)
61. R. Shindou, J. Ohe, R. Matsumoto, S. Murakami, and E. Saitoh, “Chiral spin-wave edge modes in dipolar magnetic thin films”, *Physical Review B*, Vol. 87, 174402, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.174402)
62. M. Matsuo, Jun’ichi Ieda, K. Harii, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Mechanical generation of spin current by spin-rotation coupling”, *Physical Review B*, Vol. 87, 180402, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.180402)
63. M. Althammer, S. Meyer, H. Nakayama, M. Schreier, S. Altmannshofer, M. Weiler, H. Huebl, S. Geprägs, M. Opel, R. Gross, D. Meier, C. Klewe, T. Kuschel, J. Schmalhorst, G. Reiss, L. Shen, A. Gupta, Y-T. Chen, G. E. W. Bauer, E. Saitoh, and S. T. B. Goennenwein, “Quantitative study of the spin Hall magnetoresistance in ferromagnetic insulator/normal metal hybrids”, *Physical Review B*, Vol. 87, 224401, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.224401)
64. 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 origin of transverse thermoelectric voltage in metal/insulator junctions”, *Physical Review B*, Vol. 88, 214403, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevB.88.214403)
65. T. Kikkawa, K. Uchida, Y. Shiomi, Z. Qiu, D. Hou, D. Tian, H. Nakayama, X.-F. Jin, and E. Saitoh, “Longitudinal Spin-Seebeck Effect free from Proximity Nernst Effect”, *Physical Review Letters*, Vol. 110, 067207, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.067207)
66. H. Nakayama, M. Althammer, Y.-T. Chen, K. Uchida, Y. Kajiwara, D. Kikuchi, T. Ohtani, S. Geprägs, M. Opel, S. Takahashi, R. Gross, G. E. W. Bauer, S. T. B. Goennenwein, and E. Saitoh, “Spin Hall Magnetoresistance Induced by a Nonequilibrium Proximity Effect (selected as Editor’s suggestion)”, *Physical Review Letters*, Vol. 110, 206601, 2013 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.206601).
67. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Effects of mechanical rotation and vibration on spin currents”, *Journal of the Korean Physical Socociety*, Vol. 62, 1404, 2013 (DOI: 10.3938/jkps.62.1404)
68. H. Adachi and S. Maekawa, “Linear-response theory of the longitudinal spin Seebeck effect”, *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 62, 1753, 2013 (DOI: 10.3938/jkps.62.1753)
69. S. Maekawa and H. Adachi, “Heat and Spin”, *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 62, 1985, 2013 (DOI: 10.3938/jkps.62.1985)
70. S. Maekawa, H. Adachi, K. Uchida, J. Ieda, and E. Saitoh, “Spin Current: Experimental and Theoretical Aspects”, *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol. 82, 102002, 2013 (DOI: 10.7566/JPSJ.82.102002)
71. M. Matsuo, J. Ieda, and S. Maekawa, “Theory of mechanical spin current generation via spin-orbit coupling”, *Solid State Communications* Vol. 198, 57-60, 2014 (DOI: 10.1016/j.ssc.2013.08.005)
72. K. Uchida, Z. Qiu, T. Kikkawa, and E. Saitoh, “Pure detection of the acoustic spin pumping in Pt/YIG/PZT structures”, *Solid State Communications*, Vol. 198, 26-29, 2014 (DOI: 10.1016/j.ssc.2013.10.012)
73. J. Ieda, M. Matsuo, and S. Maekawa, “Theory of mechanical spin current generation



- via spin-rotation coupling”, *Solid State Communications* Vol. 198, 52–56, 2014 (DOI: 10.1016/j.ssc.2014.02.003)
74. H. Adachi and S. Maekawa, “Theory of the acoustic spin pumping”, *Solid State Communications*, Vol. 198, 22–25, 2014 (DOI: 10.1016/j.ssc.2014.02.030)
  75. N. Okamoto, H. Kurebayashi, T. Trypiniotis, I. Farrer, D. A. Ritchie, E. Saitoh, J. Sinova, J. Mašek, T. Jungwirth, and C. H. W. Barnes, “Electric control of the spin Hall effect by intervalley transitions”, *Nature materials*, Vol. 13, 932–937, 2014 (DOI: 10.1038/nmat4059)
  76. S. Watanabe, K. Ando, K. Kang, S. Mooser, Y. Vaynzof, H. Kurebayashi, E. Saitoh, and H. Siringhaus, “Polaron spin current transport in organic semiconductors”, *Nature Physics*, Vol. 10, 308–313, 2014 (DOI: 10.1038/nphys2901)
  77. H. J. Zhang, S. Yamamoto, Y. Fukaya, M. Maekawa, H. Li, A. Kawasuso, T. Seki, E. Saitoh, and K. Takanashi, “Current-induced spin polarization on metal surfaces probed by spin-polarized positron beam”, *Scientific Reports*, Vol. 4, 4844, 2014 (DOI: 10.1038/srep04844)
  78. S. Kasai, S. Hirayama, Y. K. Takahashi, S. Mitani, K. Hono, H. Adachi, J. Ieda, and S. Maekawa, “Thermal engineering of non-local resistance in lateral spin valves”, *Applied Physics Letters*, Vol. 104, 162410, 2014 (DOI: 10.1063/1.4873687)
  79. Y. Shiomi, T. Ohtani, S. Iguchi, T. Sasaki, Z. Qiu, H. Nakayama, K. Uchida, and E. Saitoh, “Interface-dependent magnetotransport properties for thin Pt films on ferrimagnetic Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>”, *Applied Physics Letters*, vol 104, 242406, 2014 (DOI: 10.1063/1.4883898)
  80. S. Mallick, S. Bedanta, T. Seki, and K. Takanashi, “Magnetic domain imaging in L10 ordered FePt thin films with in-plane uniaxial magnetic anisotropy”, *Journal of Applied Physics*, 116, 133904, 2014 (DOI: 10.1063/1.4897243)
  81. J. Lustikova, Y. Shiomi, Z. Qiu, T. Kikkawa, R. Iguchi, K. Uchida, and E. Saitoh, “Spin current generation from sputtered Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub> films”, *Journal of Applied Physics*, 116, 153902, 2014 (DOI: 10.1063/1.4898161)
  82. K. Uchida, M. Ishida, T. Kikkawa, A. Kirihara, T. Murakami, E. Saitoh, “Longitudinal spin Seebeck effect: from fundamentals to applications”, *Journal of Physics: Condensed Matter*, Vol. 26, 343202, 2014 (DOI: 10.1088/0953-8984/26/34/343202)
  83. Ryuichi Shindou and Jun-ichiro Ohe, “Magnetostatic wave analog of integer quantum Hall state in patterned magnetic films”, *Physical Review B*, Vol. 89, 054412, 2014 (DOI: 10.1103/PhysRevB.89.054412)
  84. Y. Ohnuma, H. Adachi, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Enhanced dc spin pumping into a fluctuating ferromagnet near TC”, *Physical Review B*, Vol. 89, 174417, 2014 (DOI: 10.1103/PhysRevB.89.174417)
  85. R. Ramos, M. H. Aguirre, A. Anadón, J. Blasco, I. Lucas, K. Uchida, P. A. Algarabel, L. Morellón, E. Saitoh, and M. R. Ibarra, “Anomalous Nernst effect of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> single crystal”, *Physical Review B*, vol 90, 054422, 2014 (DOI: 10.1103/PhysRevB.90.054422)
  86. Y. Shiomi, K. Nomura, Y. Kajiwara, K. Eto, M. Novak, K. Segawa, Y. Ando, and E. Saitoh, “Spin-Electricity Conversion Induced by Spin Injection into Topological Insulators”, *Physical Review Letters*, 113, 196601\_1–4, 2014 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.113.196601)
  87. Y. Shiomi, and E. Saitoh, “Paramagnetic spin pumping”, *Physical Review Letters*, 113, 266602\_1–5, 2014 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.113.266602)
  88. K. Uchida, T. Kikkawa, and E. Saitoh, “Quantitative Temperature Dependence of Longitudinal Spin Seebeck Effect at High Temperatures”, *Physical Review X*, Vol. 4,

- 41023, 2014 (DOI: 10.1103/PhysRevX.4.041023)
89. R. Iguchi, K Sato, D Hirobe, S. Daimon and E. Saitoh, “Effect of spin Hall magnetoresistance on spin pumping measurements in insulating magnet/metal systems”, Applied Physics Express, Vol. 7, 013003, 2014 (DOI: 10.7567/APEX.7.013003)
  90. H. Chudo, M. Ono, K. Harii, M. Matsuo, J. Ieda, R. Haruki, S. Okayasu, S. Maekawa, H. Yasuoka, and E. Saitoh, “Observation of Barnett fields in solids by nuclear magnetic resonance”, Applied Physics Express, Vol. 7, 063004, 2014 (DOI: 10.7567/APEX.7.063004)
  91. K. Uchida, H. Adachi, D. Kikuchi, S. Ito, Z. Qiu, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Generation of spin currents by surface plasmon resonance”, Nature communications, Vol. 6, 5910, 2015 (DOI: 10.1038/ncomms6910)
  92. K. Uchida, Z. Qiu, T. Kikkawa, R. Iguchi, and E. Saitoh, “Spin Hall magnetoresistance at high temperatures”, Applied Physics Letters, Vol. 106, 52405, 2015 (DOI: 10.1063/1.4907546)
  93. J. Lustikova, Y. Shiomi, S.M. Haidar, and E. Saitoh, “Spectral shape deformation in inverse spin Hall voltage in Y3Fe5O12|Pt bilayers at high microwave power levels”, Journal of Applied Physics, Vol. 117, 073901\_1-6, 2015 (DOI: 10.1063/1.4908211)
  94. D. Kikuchi, M. Ishida, K. Uchida, Z. Qiu, T. Murakami, and E. Saitoh, “Enhancement of spin-Seebeck effect by inserting ultra-thin Fe70Cu30 interlayer”, Applied Physics Letters, Vol. 106, 082401\_1-3, 2015 (DOI: 10.1063/1.4913531)
  95. M. Schreier, G. E. W. Bauer, V. Vasyuchka, J. Flipse, K. Uchida, J. Lotze, V. Lauer, A. Chumak, A. Serga, S. Daimon, T. Kikkawa, E. Saitoh, B. J. van Wees, B. Hillebrands, R. Gross, S. T. B. Goennenwein, “Sign of inverse spin Hall voltages generated by ferromagnetic resonance and temperature gradients in yttrium iron garnet platinum bilayers”, Journal of Physics D: Applied Physics, Vol. 48, 25001, 2015 (DOI: 10.1088/0022-3727/48/2/025001)
  96. H. Chudo, K. Harii, M. Matsuo, J. Ieda, M. Ono, S. Maekawa, and E. Saitoh, “Rotational Doppler Effect and Barnett Field in Spinning NMR”, Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 84, 043601\_1-4, 2015 (DOI: 10.7566/JPSJ.84.043601)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 梶原瑛祐、安藤和也、齊藤英治「磁性絶縁体を用いたスピン流の伝送」あたりあ、49、575-579、2010年
2. 齊藤英治「物理科学、この1年: スピン流科学の進展」パリティ、26、32-33、2011年
3. 梶原瑛祐、安藤和也、齊藤英治「モット絶縁体へのスピン流注入」固体物理、46、155-164、2011年
4. 齊藤英治「電子スピンの新しい利用方法: 絶縁体中スピントロニクス」パリティ、26、48-51、2011年
5. 齊藤英治、内田健一「スピンゼーベック効果と絶縁体を用いた熱電発電」in 熱電変換技術の基礎と応用—クリーンなエネルギー社会をめざして—、シーエムシー出版 13-23、2011年
6. 齊藤英治「スピントロニクス基礎講座第1回:スピントロニクス—エレクトロニクスにおけるスピンの役割とは?」応用物理、81、71-74、2012年
7. 内田健一、齊藤英治「磁性マテリアルを用いた超音波発電」MATERIAL STAGE 7、65-68、2012年
8. 内田健一、齊藤英治「熱・音波を用いたスピン流生成技術」まぐね、81、18-23、

2012 年

9. S. Maekawa, S.O. Valenzuela, E. Saitoh, T. Kimura, eds. “Spin Current”, Oxford university press, 編集、Chapter I 主執筆 pp.3-35、Chapter II 分担執筆 pp.244-250 & 296-305, 2012
10. 内田健一、齊藤英治「スピントロニクス効果による新規熱電変換素子の開発」 エヌ・ティー・エス出版「サーマルマネジメント」第2編、第4章、第1節、2、2013年
11. 内田健一、齊藤英治「絶縁体におけるスピントロニクス効果と熱電変換」 日刊工業出版「工業材料」61、42-46、2013年
12. 内田健一、齊藤英治「スピントロニクス効果と熱電変換への応用」 応用物理、82、928-931、2013年
13. 齊藤英治「特殊相対論」 数理科学、2、8-14、2014年
14. 中山裕康、齊藤英治「スピントロニクス磁気抵抗効果」 パリティ、29、23-25、2014年
15. 吉川貴史、内田健一、齊藤英治「スピントロニクス効果熱電変換」 電子情報通信学会誌、97、209-213、2014年
16. 松尾衛「音波で生み出す磁気の流れ」 パリティ、29、33-36、2014年
17. 齊藤英治、村上修一「スピントロニクス物理とトポロジカル絶縁体」 共立出版、2014年
18. 進藤龍一、大江純一郎「静磁波でつくるトポロジカルなメタマテリアル」 固体物理、50、75-90、2015年

(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 44 件、国際会議 132 件)

国内学会発表(招待講演)

1. 齊藤英治(東北大学)、「スピントロニクスの生成と計測」、日本表面科学会中部支部会、浜松、2010年11月27日
2. 齊藤英治(東北大学)、「スピントロニクス物理」、応用物理学会スピントロニクス入門セミナー、東京、2010年12月7日
3. 齊藤英治(東北大学)、「金属系のスピントロニクス効果」、SORST シンポジウム「IT/BT ならびに省エネの支え役「磁性材料」の将来像」、東京、2011年1月19日
4. 齊藤英治(東北大学)、「(特別講演)スピントロニクスとスピントロニクス」、第20回先端材料科学若手フォーラム、船橋、2011年2月5日
5. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、松尾衛、齊藤英治、前川禎通、「加速度系の量子力学と電磁気効果:固体中の一般相対論」、固体材料における電界効果の物理と応用の進展、-若手ミニワークショップ-、仙台、2011年3月4日
6. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、齊藤英治、前川禎通、「力学的回転によるスピントロニクス生成の理論」、第34回スピントロニクス専門研究会「スピントロニクス系」、東京大学、2011年3月7日
7. 齊藤英治(東北大学)、「(特別講演)モット絶縁体のスピントロニクス」、磁性薄膜・多層膜を究める:キャラクタリゼーションから新奇材料の創製へ、筑波、2011年3月11日
8. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「スピントロニクス効果と絶縁体からの熱電発電」、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、東京、2011年5月26日
9. 齊藤英治(東北大学)、「スピントロニクスと熱」、スピントロニクスを用いた新機能デバイスの開発、JST、東京、2011年8月11日
10. 齊藤英治(東北大学)、「スピントロニクス物理と応用」、サイエンスサマー道場(社)未踏科学技術協会、長野、2011年8月18日
11. 齊藤英治(東北大学)、「スピントロニクスの基礎物理」、日本物理学会 2011年秋季大会、富山大学、2011年9月21日
12. 齊藤英治(東北大学)、「スピントロニクスを利用した電子デバイス実現の可能性~非連続的

技術を用いた次世代の省エネルギーデバイスの開発に向けて」、次世代ものづくり  
基盤技術産業展、TECHBizEXPO2011、名古屋、2011年10月21日

13. 齊藤英治(東北大学)、「スピンゼーベック効果」、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協賛「スピン流と熱効果の新現象」、仙台、2011年11月14日
14. 大江純一郎(東邦大学)、「スピンゼーベック効果に対する数値解析」、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、仙台、2011年11月14日
15. 齊藤英治(東北大学)、「スピン流とスピントロニクス」、第15回NAIST科学技術セミナー「グリーンデバイステクノロジー」、奈良、2011年12月19日
16. 齊藤英治(東北大学)、「スピン流の物理と応用」、第5回G-COE研究会 金属錯体の固体物性科学最前線-錯体化学と固体物性物理と生物物性の連携新領域創成をめざして、仙台、2012年1月22日
17. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「スピン流熱電変換」、第192回有機エレクトロニクス材料研究会、新宿NSビル、2012年1月26日
18. 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」、電界効果ワークショップ、仙台、2012年3月30日
19. 齊藤英治(東北大学)、「(特別講演)スピントロニクスとスピン流」、原子衝突学会第37回年会、東京、2012年7月28日
20. 齊藤英治(東北大学)、「スピンゼーベック効果」、基研研究会2012非平衡系の物理-その普遍的理解を目指して、京都大学、2012年8月3日
21. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果」、第57回物性若手夏の学校分科会招待講演、ぎふ長良川温泉ホテルパーク、2012年8月8日
22. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「熱を利用した環境にやさしいスピンドバイス」、2012年秋季第73回応用物理学会学術講演会、愛媛大学・松山大学、2012年9月12日
23. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果を利用した熱電変換技術・デバイスの概要・開発動向と応用及び今後の展開」、日本技術情報センターセミナー、メディアボックス、2012年9月20日
24. 齊藤英治(東北大学)、「電子の自転を用いた新しい熱発電」、シンポジウム「新時代を拓く科学と技術-環境・エネルギー・材料-」京都大学、2012年10月11日
25. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「スピン揺動絶縁体におけるスピンゼーベック効果と熱電変換」、低炭素社会基盤材料融合研究センター第3回ワークショップ、東北大学、2012年12月14日
26. 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
27. 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回年次大会シンポジウム「フォノンの理解・制御によるエレクトロニクスの新展開」広島大学、2013年3月27日
28. 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「スピンドイナミクス、スピン輸送現象の最前線」、神奈川工科大学、2013年3月29日
29. 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「輸送現象をめぐる」、大阪大学、2013年6月22日
30. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「スピン流とスピンゼーベック効果」、第7回CROSSroads機能する界面、反応する表面、いばらき量子ビーム研究センター、2013年8月21日

31. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果」、第5回マイクロ・ナノ工学シンポジウム、仙台国際センター、2013年11月7日
32. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、針井一哉、齊藤英治、前川禎通、「力学運動を用いたスピン流生成—レアメタルフリースピントロニクスを目指して—」、応用物理学会スピントロニクス研究会・日本磁気学会スピニエレク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
33. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果の発見とスピン熱流物理の展開」、第7回物性科学領域横断研究会、東京大学、2013年12月1日
34. 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回スピニエレクトロニクス専門研究会、中央大学、2013年12月17日
35. 齊藤英治(東北大学)、「スピンゼーベック効果」、平成25年度第2回九州工業大学テニユアトラックシンポジウム、小倉ステーションホテル、2014年3月12日
36. 齊藤英治(東北大学)、「Spin current generation from heat and mechanical motion」、第38回日本磁気学会学術講演会、慶應義塾大学、2014年9月5日
37. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「ラシュバ効果による界面磁気異方性の理論」日本物理学会2014年秋季大会、中部大学、2014年9月9日
38. 齊藤英治(東北大学)、「スピンが可能にした熱・動力の新たな利用方法」、戦略目標「プロセスインテグレーションによる次世代ナノシステムの創製」3研究領域第2回合同公開シンポジウム、コクヨホール、東京、2014年10月1日
39. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「強磁性超薄膜のラシュバ効果—磁気異方性の電界制御とスピン起電力—」、応用物理学会応用電子物性分科会/スピントロニクス研究会共催研究会、秋葉原、2014年11月25日
40. 内田健一(日本原子力研究開発機構)、「スピンゼーベック効果のデバイス応用への展望」、第128回金属材料研究所講演会、東北大学、2014年11月28日
41. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「力学的回転を用いたスピン制御」、第8回三機関連携「量子複雑現象」研究会、SPring-8、2015年1月5日
42. 塩見雄毅(東北大学)、「トポロジカル物質におけるスピンポンピング効果」、第52回日本磁気学会スピニエレクトロニクス専門委員会、東北大学、2015年1月29日
43. 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の理論」、日本物理学会第70回年次大会、早稲田大学、2015年3月22日
44. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、針井一哉、中堂博之、高橋遼、小野正雄、齊藤英治、前川禎通、「力学運動を用いたスピン制御とスピン流生成」、スピン流を利用したスピン輸送現象の理解とその応用、日本磁気学会第201回研究会/第53回スピニエレクトロニクス専門研究会、中央大学駿河台記念館、2015年3月27日

#### 国際学会発表(招待講演)

1. Y. Kajiwara (Tohoku Univ.) and E. Saitoh, "Transmission of electrical signals by spin-wave interconversion in a magnetic insulator", Spin Wave Aspects in Spintronics, Kaiserslautern, German, 2010年10月5日
2. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current generation from insulators and metals", Magnetism and Magnetic Materials Conference 2010, Atlanta, U.S.A., 2010年11月17日
3. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current generation from metals and insulators", International Symposium "Nanoscience and Quantum Physics 2011", Tokyo, Japan, 2011年1月25日
4. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current generation from insulators and metals", The 3rd Scienceweb GCOE International Symposium, Sendai, Japan, 2011年2月17日

5. Ken-ichi Uchida and E. Saitoh, "Spin Seebeck effect in metals and insulators", DPG (German Physics Society) Dresden 2011 SKM-Symposium Spin-caloric Transport, Dresden, German, 2011 年 3 月 14 日
6. S. Maekawa (JAEA), "Theory on pure spin current", Intermag, Taipei, Taiwan, 2011 年 4 月 26 日
7. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin pumping and spin Seebeck effects in insulators and metals", 2011 Materials Research Society Spring Meeting (MRS), San Francisco, U.S.A, 2011 年 4 月 28 日
8. J. Ieda (JAEA), "Spin Current from Mechanical Motion", Spin Caloritronics III, Leiden, The Netherlands, 2011 年 5 月 9 日
9. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Lecture: Spin Seebeck effect", Spin Caloritronics III, Leiden, The Netherlands, 2011 年 5 月 10 日
10. Y. Kajiwara (Tohoku Univ.) and E. Saitoh, "Enhancement of spin-pumping voltage through the spin-Seebeck effect", Spin Caloritronics III, Lorentz center, the Netherlands, 2011 年 5 月 12 日
11. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin Hall effect and its application", International Center for Quantum Materials (ICQM), Beijing, China, 2011 年 6 月 21 日
12. K. Takahashi (Tohoku Univ.), "L10-ordered alloy as a spintronic material", JSPS York-Tohoku Research Symposium on Magnetic Materials and Spintronics, York, U.K., 2011 年 6 月 27 日
13. S. Maekawa (JAEA), "Spin-Wave, Spin Current and Spin Seebeck Effect", The European Conference Physics of Magnetism 2011 (PM'11), Poznan, Poland, 2011 年 6 月 27 日
14. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current generation from magnetic dynamics and heat", JSPS York-Tohoku Research Symposium on "Magnetic Materials and Spintronics, York, U.K., 2011 年 6 月 28 日
15. M. Matsuo (JAEA), "Spin current generation arising from mechanical rotation", 7th International Workshop on Nanomagnetism and Superconductivity (Coma-ruga 2011), Tarragona, Spain, 2011 年 7 月 3 日
16. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current generation from magnetic dynamics and heat", 5th International Workshop on Spin Current, Sendai, Japan, 2011 年 7 月 28 日
17. S. Maekawa (JAEA), "Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures", Spin Currents 2011, Sendai, Japan, 2011 年 7 月 28 日
18. K. Ando (Tohoku Univ.), Y. Kajiwara and E. Saitoh, "Generation of spin current from metal and insulator", Spintech 6, Matsue, Japan., 2011 年 8 月 1 日
19. S. Maekawa (JAEA), "Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures", Moscow International Symposium on Magnetism, Moscow, Russia, 2011 年 8 月 22 日
20. S. Maekawa (JAEA), "Non-Equilibrium Magnons, Spin Current and Spin Seebeck Effect", 2nd International Workshop on Magnonics: From Fundamentals to Applications, Recife, Brazil, 2011 年 8 月 22 日
21. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin Seebeck effect", ASPIMATT school on "Advanced spintronic materials and transport phenomena", Diemerstein, Germany, 2011 年 8 月 25 日
22. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Spin Seebeck effect", ICC-IMR Miniworkshop on Spintronics, Sendai, Japan, 2011 年 9 月 6 日
23. H. Adachi (JAEA), "Theory of phonon-drag spin Seebeck effect", The 4th annual showcase of materials-allied research at The Ohio State University Columbus, Ohio,

USA, 2011 年 9 月 12 日

24. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin current generation using heat and magnetic dynamics”, 2011 OSU Materials Week, Ohio, USA, 2011 年 9 月 13 日
25. K. Takanashi (Tohoku Univ.) and T. Seki, “L10-ordered alloy as a spintronic material”, IUMRS-ICA 2011-12th International Conference in Asia, Taipei, China, 2011 年 9 月 21 日
26. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin current generation using heat and magnetic dynamics”, 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Nagoya, Japan, 2011 年 9 月 30 日
27. S. Maekawa (JAEA), “Seebeck Effect, Spin Seebeck Effect and Spin-Electronics”, The 2nd International Symposium on Hybrid Materials and Processing 2011, Busan, Korea, 2011 年 10 月 28 日
28. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin current generation using heat and magnetic dynamics”, Magnetism and Magnetic Materials Conference 2011, Scottsdale, Arizona, 2011 年 10 月 31 日
29. S. Maekawa (JAEA), “Magnons, Phonons, and Spin Seebeck Effect”, 56th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials, Arizona, U.S.A., 2011 年 10 月 31 日
30. T. An (Tohoku Univ.), K. Uchida, K. Harii, Y. Kajiwara, K. Yamaguchi, and E. Saitoh, “Observation of spin wave cooling effect”, 56th Annual Conference on Magnetism & Magnetic Materials, Arizona, U.S.A., 2011 年 11 月 1 日
31. S. Maekawa (JAEA), “Spin-Motive Force in Magnetic Nanostructures”, Joint Polish-Japanese Workshop: Spintronics—from new materials to applications, Warsaw, Poland, 2011 年 11 月 17 日
32. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin current physics and application”, Joint Polish-Japanese Workshop: Spintronics—from new materials to applications, Warsaw, Poland, 2011 年 11 月 18 日
33. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “(Plenary Talk) Spin current physics and application”, The 7th International Conference on Advanced Materials and Devices (ICAMD2011), Jeju, Korea, 2011 年 12 月 7 日
34. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin Current in Metals and Insulators”, The FIRST-QS2C Workshop on “Emergent Phenomena of Correlated Materials”, Okinawa, Japan, 2011 年 12 月 13 日
35. S. Maekawa (JAEA), “Heat and Spin”, The FIRST-QS2C Workshop on “Emergent Phenomena of Correlated Materials”, Okinawa, Japan, 2011 年 12 月 13 日
36. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin current generation and utilization”, Spin Caloric Transport, Bad Honnef, Germany, 2012 年 1 月 5 日
37. S. Maekawa (JAEA), “Theory on spin current generation”, Spin Caloric Transport, Bad Honnef, Germany, 2012 年 1 月 5 日
38. S. Maekawa (JAEA), “Materials Design of Magnetic Semiconductors: Quantum Monte Carlo Study”, The 2nd ASRC International Workshop on Magnetic Materials and Nanostructures, Tokai, Japan, 2012 年 1 月 10 日
39. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin current generation from heat and magnetic dynamics”, The 2nd ASRC International Workshop on Magnetic Materials and Nanostructures, Tokai, Japan, 2012 年 1 月 11 日
40. K. Takanashi (Tohoku Univ.), “Impurity and Thickness dependence of Giant Spin Hall Effect in Perpendicularly Magnetized FePt/Au Multi-Terminal Devices”, The 2nd ASRC International Workshop on Magnetic Materials and Nanostructures, Tokai, Japan, 2012 年 1 月 11 日

41. S. Maekawa (JAEA), "Spin-Motive Force", RIKEN-APW-APCTP Joint Workshop "Recent trend in condensed matter physics", Wako, Japan, 2012 年 1 月 15 日
42. S. Maekawa (JAEA), "Heat and Spin", ILL Colloquium, Grenoble, France, 2012 年 1 月 31 日
43. S. Maekawa (JAEA), "Magnons, Spin Current and Spin Seebeck Effect", APS March Meeting, Boston, U.S.A., 2012 年 2 月 29 日
44. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Insulator spintronics", 2012 Materials Research Society Spring Meeting (MRS), San Francisco, U.S.A., 2012 年 4 月 11 日
45. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Dynamical generation of spin currents", 2012 The Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems (WINDS), Hawaii, U.S.A., 2012 年 4 月 11 日
46. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin currents in metals and insulators", III International conference on superconductivity and magnetism, Istanbul, Turkey, 2012 年 5 月 1 日
47. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Dynamical spin current generation", IAS Asia Pacific Workshop 2012, Hong Kong, China, 2012 年 5 月 1 日
48. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spintronic effects in insulators", Intermag 2011, Vancouver, Canada, 2012 年 5 月 9 日
49. M. Matsuo (JAEA), "Theory of spin-current generation from rigid and elastic motion", IAS Asia Pacific Workshop 2012, Hong Kong, China, 2012 年 5 月 9 日
50. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Spin Seebeck effect and acoustic spin pumping", Spin Caloritronics 4, Sendai, Japan, 2012 年 6 月 3 日
51. S. Maekawa (JAEA), "Spin Seebeck Effect in a Variety of Magnetic Systems", IAS Asia Pacific Workshop 2012, Hong Kong, China, 2012 年 6 月 3 日
52. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Spin Seebeck effect", The International Conference of Young Researchers on Advanced Materials (ICYRAM), Singapore, Singapore, 2012 年 7 月 4 日
53. S. Maekawa (JAEA), "(Plenary) Spin and Heat", International Conference on Magnetism (ICM 2012), Busan, Korea, 2012 年 7 月 9 日
54. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Dynamical spin current generation", International Conference on Magnetism (ICM 2012), Busan, Korea, 2012 年 7 月 11 日
55. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Dynamical spin current generation", Spin Dynamics in Nano Magnets, Seoul, Korea, 2012 年 7 月 16 日
56. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "(Semi Plenary) Dynamical generation of spin currents", Joint European Magnetic Symposia 2012 (JEMS2012), Palma, Italia, 2012 年 9 月 12 日
57. S. Maekawa (JAEA), "Seebeck Effect and Spin Seebeck Effect", IUMRS-International Conference on Electric Materials (IUMRS-ICEM 2012), Yokohama, Japan, 2012 年 9 月 24 日
58. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin Seebeck effect", 21th International Colloquium on Magnetic Films and Surfaces (ICMFS), Shanghai, China, 2012 年 9 月 27 日
59. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Spin Seebeck effect", 520. Wilhelm und Else Heraeus Seminar "Spin-orbit-driven transverse transport phenomena (SO-TT)", Bad Honnef, Germany, 2012 年 12 月 6 日
60. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Thermoelectric generation based on spin Seebeck effect", 12th Joint MMM/Intermag Conference, Chicago, USA, 2013 年 1 月 22 日
61. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Dynamical spin current generation and spin Seebeck effect", Physics fundamenteel natuurkundig onderzoek in Neder (FOM) 2013, Eindhoven, Netherland, 2013 年 1 月 23 日



62. S. Maekawa (JAEA), “Heat and Spin”, The 16th SANKEN International Symposium, The 11th SANKEN Nanotechnology Symposium , Osaka, Japan, 2013 年 2 月 20 日
63. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin Current Physics and Material Science”, The AIMR International Symposium 2013 (AMIS2013) , Sendai, Japan, 2013 年 2 月 20 日
64. K. Uchida (Tohoku Univ.), “Acoustic spin pumping: Direct generation of spin currents from sound waves in Pt/Y3Fe5O12 hybrid structures”, 8th ASRC International Workshop on Spin Mechanics, Tokai, Japan, 2013 年 2 月 25 日
65. M. Matsuo (JAEA), “Generation of spin current due to rigid and elastic motion”, The 8th ASRC International Workshop on Spin Mechanics , Tokai, Japan, 2013 年 2 月 25 日
66. H. Adachi (JAEA), “Theory of the acoustic spin pumping”, The 8th ASRC International Workshop on Spin Mechanics, Tokai, Japan, 2013 年 2 月 25 日
67. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Dynamical generation of spin currents”, Trends in Nanoscience 2013 , Kloster Irsee, Germany, 2013 年 2 月 28 日
68. K. Uchida (Tohoku Univ.), “Longitudinal spin Seebeck effect”, APS (the American Physical Society) March Meeting 2013, Baltimore, USA, 2013 年 3 月 18 日
69. M. Matsuo (JAEA), “ Spin-current generation arising from mechanical motions ”, APS (the American Physical Society) March Meeting 2013, Baltimore, USA, 2013 年 3 月 22 日
70. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Dynamical generation of spin current”, New Spin 3, Mainz, Germany, 2013 年 4 月 3 日
71. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Insulator spintronics”, The 11th International Conference on Ferrites, Okinawa, Japan, 2013 年 4 月 15 日
72. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Longitudinal Spin Seebeck effect”, 6th International Workshop on Spin Current, Ohio, USA, 2013 年 5 月 13 日
73. S. Maekawa (JAEA), “Phonon-Drag Spin Seebeck Effect”, Spin Caloritronics V, Columbus, U.S.A., 2013 年 5 月 13 日
74. K. Uchida (Tohoku Univ.), “Longitudinal spin Seebeck effect”, The 8th International Symposium on Metallic Multilayers, Kyoto, Japan, 2013 年 5 月 19 日
75. K. Uchida (Tohoku Univ.), “Spin Seebeck effect”, The 32nd International Conference of Thermoelectrics, Kobe, Japan, 2013 年 7 月 2 日
76. S. Maekawa (JAEA), “Theory of Spin Seebeck Effect in a Variety of Magnetic Systems”, The 32nd International Conference on Thermoelectrics, Kobe, Japan, 2013 年 7 月 12 日
77. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Spin pumping and spin Seebeck effect”, Spintech VII, Chicago, USA, 2013 年 7 月 12 日
78. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Dynamical generation of spin current”, Magnonics 2013, Varberg, Sweden, 2013 年 8 月 6 日
79. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Dynamical generation of spin currents”, Gordon Research Conference - spin dynamics in nanostructures, Hong Kong, China, 2013 年 8 月 18 日
80. K. Uchida (Tohoku Univ.), “Spin Seebeck effect: fundamentals and applications”, SPIE Optics + Photonics 2013, San Diego, USA, 2013 年 8 月 25 日
81. S. Maekawa (JAEA), “Theory of Spin Seebeck Effect in a Variety of Magnetic Systems”, SPIE Optics + Photonics 2013, San Diego, USA, 2013 年 8 月 25 日
82. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “From spin pumping to spin Seebeck effect”, SpinCat workshop 2013, Mainz, Germany, 2013 年 9 月 10 日
83. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Dynamical generation of spin current”, Donostia International Conference on Nanoscaled Magnetism and Applications (DICNMA

- 2013), San Sebastian, Spain, 2013 年 9 月 12 日
84. S. Maekawa (JAEA), "Spin Current Generation in Spintronics", V EURO-Asian Symposium "Trend in MAGnetism": Nanomagnetism, Vladivostok, Russia, 2013 年 9 月 15 日
  85. S. Maekawa (JAEA), "Spin Current and Spin Seebeck Effect", International Conference "Disorder and Correlations in Quantum Systems, Roma, Italy, 2013 年 9 月 18 日
  86. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Generation of spin currents from heat, sound, and light", KITP conference "Concepts in Spintronics", Santa Barbara, USA, 2013 年 10 月 2 日
  87. S. Maekawa (JAEA), "Theory of Spin Current Generation in Spintronics", KITP conference "Concepts in Spintronics", Santa Barbara, USA, 2013 年 10 月 2 日
  88. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Field dependence of spin Seebeck effects", Spintronics: Progress in Theory, Materials, and Devices, Santa Barbara, USA, 2013 年 11 月 13 日
  89. S. Maekawa (JAEA), "Spin Current Generation and Manipulation in Spintronics", The FIRST-QS2C Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Tokyo, Japan, 2013 年 11 月 13 日
  90. S. Maekawa (JAEA), "Spin Current and Spin Seebeck Effect", V REUNION NACIONAL SOLIDOS 2013/Lecture, Rosario, Argentina, 2013 年 11 月 18 日
  91. S. Maekawa (JAEA), "Spin Current and Spin Seebeck Effect", Frontier of Condensed Matter Physics (Day-1), New York, USA, 2013 年 11 月 21 日
  92. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Spin Seebeck effect and spin-current-driven thermoelectric generation", 2013 MRS Fall Meeting, Boston, USA, 2013 年 12 月 6 日
  93. S. Maekawa (JAEA), "Energy and Spintoronics", 2013 Doctor Honoris Cause-University of Zaragoza, Zaragoza, Spain, 2013 年 12 月 18 日
  94. H. Adachi (JAEA), "Theory of spin current generation", RIKEN-APW joint workshop (Highlights in condensed matter physics), Wako, Japan, 2014 年 1 月 23 日
  95. H. Adachi (JAEA), "Spin Seebeck Effect and Spin Heat Conveyer", RIKEN-APW joint workshop (Highlights in condensed matter physics), Wako, Japan, 2014 年 1 月 25 日
  96. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current phenomena in films", FIRST International Symposium, Tokyo, Japan, 2014 年 1 月 29 日
  97. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current phenomena in films", 14th REIMEI Workshop on Spin Currents and Related Phenomena, Grenoble, France, 2014 年 2 月 11 日
  98. H. Adachi (JAEA), "Theory of spin heat conveyer and spin Seebeck effect", 14th REIMEI Workshop on Spin Currents and Related Phenomena, Grenoble, France, 2014 年 2 月 11 日
  99. K. Uchida (Tohoku Univ.), "Spin-current generation from heat, sound and light", 14th REIMEI Workshop on Spin Currents and Related Phenomena, Grenoble, France, 2014 年 2 月 11 日
  100. K. Harii (JAEA), "Direct observation of gyroscopic field by rotating nuclear magnetic resonance", 14th REIMEI workshop on spin currents and related phenomena, Grenoble, France, 2014 年 2 月 12 日
  101. S. Maekawa (JAEA), "Spin-orbit interaction and electron correlation", 14th REIMEI Workshop on Spin Currents and Related Phenomena, Grenoble, France, 2014 年 2 月 12 日

102. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Physics and application of spin currents", MANA Symposium 2014, Tsukuba, Japan, 2014年3月7日
103. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current physics and materials", E-MRS 2014 Spring Meeting, Lille, France, 2014年5月27日
104. S. Maekawa (JAEA), "Spin Current Generation and Manipulation", The Conference of International Center for Quantum Design, Materials, and Structures (ICQ's), Beijing, China, 2014年6月2日
105. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin Pumping from Insulators", CIMTEC 2014(13th Ceramics Congress), Montecatini Terme, Italy, 2014年6月12日
106. M. Matsuo (JAEA) J. Ieda K. Harii Y. Ohnuma N. Yokoi and S. Maekawa, "Spin transport theory in deformed crystals", ICC-IMR/20th REIMEI International Workshop on Spin Mechanics 2, Sendai, Japan, 2014年6月21日
107. J. Ieda (JAEA) M. Matsuo and S. Maekawa, "Renormalization of spin-rotation coupling and Barnett fields", ICC-IMR/20th REIMEI International Workshop on Spin Mechanics 2, Sendai, Japan, 2014年6月21日
108. S. Maekawa (JAEA), "Power Spintronics", The European Conference Physics of Magnetism 2014 (PM'14), Poznan, Poland, 2014年6月23日
109. S. Maekawa (JAEA), "Spin Current in Spintronics", The 2nd International Symposium on Science at J-PARC, Tukuba, Japan, 2014年7月6日
110. S. Maekawa (JAEA), "Spin Current and Spin Seebeck Effect", The 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, Niigata, Japan, 2014年7月6日
111. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "From Spin Pumping to Spin Seebeck Effect", The 10th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications, Madrid, Spain, 2014年7月9日
112. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Various spin-current phenomena at metal/insulator junctions", Spin Caloritronics VI, Irsee, Germany, 2014年7月15日
113. S. Maekawa (JAEA), "Various Methods of Spin Current Generation and Manipulation", Spin Caloritronics VI, Irsee, Germany, 2014年7月17日
114. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Spin current physics and application", IEEE INEC2014, Sapporo, Japan, 2014年7月29日
115. E. Saitoh (Tohoku Univ.), "Various spin current phenomena", JSPS Symposium on Nanoscale Physics of Quantum Materials, Leeds, UK, 2014年8月11日
116. S. Maekawa (JAEA), "Various Methods of Spin Current Generation and Manipulation", SPIE Optics+Photonics, Nano Science+Engineering, San Diego, USA, 2014年8月20日
117. S. Maekawa (JAEA), "Spin Mechatronics -Mechanical Generation of Spin and Spin Current-", Seminar at the IBM Watson Research Center, Yorktown NY, USA, 2014年9月29日
118. S. Maekawa (JAEA), "Spin Mechatronics -Mechanical Generation of Spin and Spin Current-", Seminar at BNL/Columbia Univ./Rice Univ., NY, USA, 2014年9月30日
119. S. Maekawa (JAEA), "Spin Mechatronics -Mechanical Generation of Spin and Spin Current-", Seminar at The Johns Hopkins University, Baltimore, USA, 2014年10月1日
120. S. Maekawa (JAEA), "Physics and Application of Spin Current in Spintronics", The 19th Science in Japan Forum on "Frontiers of Science and technology in low dimensional materials", Washington DC, USA, 2014年10月3日
121. S. Maekawa (JAEA), "Spin Mechatronics -Mechanical Generation of Spin and Spin

Current-”, The Asia-Pacific Workshop on Strongly Correlated Systems, Beijing, China, 2014 年 10 月 10 日

122. H. Adachi (JAEA), “Introduction to Spin Caloritronics”, 13th Spintronics Seminar & Workshop for Young Scientist, Sendai, Japan, 2014 年 10 月 28 日
123. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “Various spin current exchange phenomena”, Magnetism and Magnetic Materials Conference 2014, Honolulu, USA, 2014 年 11 月 5 日
124. Y. Shiomi (Tohoku Univ.), “Spin-electricity conversion effect induced by spin pumping in ferromagnet/topological-insulator devices”, 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference, Honolulu, USA, 2014 年 11 月 6 日
125. S. Maekawa (JAEA), “Spin Mechatronics –Mechanical Generation of Spin and Spin Current-”, Seminar at Max Planck Institute for Solid State Research, Stuttgart, Germany, 2014 年 11 月 17 日
126. S. Maekawa (JAEA), “Spin Mechatronics –Mechanical Generation of Spin and Spin Current-”, Seminar at Max Planck Institute for Physics of Complex Systems, Dresden, Germany, 2014 年 11 月 19 日
127. E. Saitoh (Tohoku Univ.), “From spin pumping to spin Seebeck effect”, 2014 Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems, Kona, USA, 2014 年 12 月 5 日
128. S. Maekawa (JAEA), “Physics and Application of Spin Current in Spintronics”, Seminar at Zhejiang University, Hangzhou, China, 2014 年 12 月 22 日
129. S. Maekawa (JAEA), “Power Spintronics”, Seminar at Max Planck Institute for Microstructure Physics, Halle, Germany, 2015 年 1 月 14 日
130. S. Maekawa (JAEA), “Spin Mechatronics –Mechanical Generation of Spin and Spin Current-”, Seminar at University Paris Sud, Orsay, France, 2015 年 1 月 16 日
131. H. Adachi (JAEA), “Driving microwave emission with heat”, The 25th ASRC International Workshop on New Insights in the Physics of Magnetic Nanostructures, Tokai, Japan, 2015 年 1 月 27 日
132. K. Uchida (Tohoku Univ.), “Spin-current phenomena at high magnetic fields and high temperatures”, APS March Meeting 2015, San Antonio, USA, 2015 年 3 月 5 日

② 口頭発表 (国内会議 67 件、国際会議 23 件)

国内会議

1. 梶原瑛祐(東北大学)、C. Sandweg、A. Chumak、A. Serga、安藤和也、B. Hillebrands、齊藤英治、「YIG/Pt 系におけるスピンドット励起の観測」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学、2011 年 3 月 25 日
2. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、前川禎通、「力学的回転によるスピンドット生成」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学、2011 年 3 月 25 日
3. 太田岳(東北大学)、内田健一、安東秀、齊藤英治、「絶縁体スピンドット効果の温度依存性」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学、2011 年 3 月 25 日
4. 内田健一(東北大学)、安立裕人、安東秀、太田岳、前川禎通、齊藤英治、「スピンドット効果に対する音響効果」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学、2011 年 3 月 25 日
5. 野中拳海(東北大学)、内田健一、齊藤英治、「縦型スピンドット効果の物質依存性」、第 72 回応用物理学会学術講演会、山形大学、2011 年 8 月 31 日
6. 安東秀(東北大学)、内田健一、針井一哉、梶原瑛祐、山口和也、齊藤英治、「スピンドット波パルス効果の観測」、第 72 回応用物理学会学術講演会、山形大学、2011 年 9 月 2 日
7. 安東秀(東北大学)、内田健一、針井一哉、梶原瑛祐、齊藤英治、「スピンドット波パルス効果」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011 年 9 月 21 日

8. 安藤和也(東北大学)、紅林秀和、Theodossis Trypiniotis、齊藤英治、「磁化ダイナミクスを用いた半導体へのスピン注入(実験)」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011 年 9 月 21 日
9. 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、2011 年 9 月 21 日
10. 山根結太(東北大学)、「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、2011 年 9 月 21 日
11. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「スピン依存する慣性力と加速系におけるスピン流生成」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011 年 9 月 21 日
12. 大江純一郎(東邦大学)、好田誠、新田淳作、「時間依存スピン軌道相互作用から誘起される電流とスピン流」、日本物理学会 2011 年秋季大会、富山大学、2011 年 9 月 21 日
13. 中山裕康(東北大学)、針井一哉、安藤和也、藤川安仁、齊藤英治、「Y3Fe5O12/Pt 接合における界面磁気抵抗効果の観測」、第 35 回日本磁気学会学術講演会、新潟コンベンションセンター(朱鷺メッセ)、2011 年 9 月 28 日
14. 吉野達郎(東北大学)、安藤和也、中山裕康、齊藤英治、「Ni<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>/Pt 薄膜におけるスピンポンプ誘起スピン流の物質依存性」、第 35 回日本磁気学会学術講演会、新潟コンベンションセンター(朱鷺メッセ)、2011 年 9 月 29 日
15. 柴田俊(東北大学)、関剛斎、高梨弘毅、「垂直スピン注入源を有する面内多端子素子におけるスピンホールおよび異常ホール電圧」、第 59 回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学、2012 年 3 月 17 日
16. 内田健一(東北大学)、安東秀、齊藤英治、「Y3Fe5O12/Pt 複合構造における音響スピンポンピング」、第 59 回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学、2012 年 3 月 17 日
17. 邱志勇(東北大学)、梶原瑛祐、安藤和也、藤川安仁、内田健一、齊藤英治、「全酸化物系におけるスピンポンピング」、第 59 回応用物理学関係連合講演会、早稲田大学、2012 年 3 月 17 日
18. 水口将輝(東北大学)、長谷川浩太、内田健一、齊藤英治、高梨弘毅、「強磁性金属薄膜における異常ネルンスト効果の微視的解析」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012 年 3 月 24 日
19. 大沼悠一(東北大学)、安立裕人、前川禎通、「フェリ磁性の補償効果を考慮したスピンゼーベック効果の理論研究」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012 年 3 月 24 日
20. 内田健一(東北大学)、安立裕人、安東秀、前川禎通、齊藤英治、「フォノンに媒介されたスピンゼーベック効果と音響スピンポンピング」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012 年 3 月 24 日
21. 大江純一郎(東邦大学)、好田誠、新田淳作、「量子ポイントコンタクトと空間依存ラシュバ効果を用いたスピン流生成」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012 年 3 月 25 日
22. 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、2012 年 3 月 26 日
23. 家田淳一(日本原子力研究開発機構)、「磁壁移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、2012 年 3 月 26 日
24. 梶原瑛祐(東北大学)、内田健一、齊藤英治、「熱誘起スピントルクによるスピンポンピング誘起スピン流の制御」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012 年 3 月 26 日
25. 山根結太(東北大学)、「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、2012 年 3 月 26 日
26. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、「非磁性金属の表面音波によるスピン流生

- 成」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012 年 3 月 26 日
27. 大沼悠一(東北大学)、「補償効果を考慮したスピントラップ効果の理論研究」、日本物理学会第 67 回年次大会、関西学院大学、2012 年 3 月 26 日
  28. 山口和也(東北大学)、安東秀、内田健一、齊藤英治、「時間分解熱測定法によるスピン波空間イメージング」、第 73 回応用物理学会学術講演会、愛媛大学・松山大学、2012 年 9 月 13 日
  29. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、「スピントラップ熱電素子の効率の理論」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012 年 9 月 19 日
  30. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、針井一哉、齊藤英治、前川禎通、「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、横浜国立大学、2012 年 9 月 19 日
  31. 大沼悠一(東北大学)、安立裕人、齊藤英治、前川禎通、「フェリ磁性スピントラップ効果の理論研究」、日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012 年 9 月 19 日
  32. 吉川貴史(東北大学)、内田健一、齊藤英治、「縦型スピントラップ効果の物質依存性」、日本物理学会 2013 年春季大会、広島大学、2013 年 3 月 27 日
  33. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、前川禎通、「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 2013 年春季大会、広島大学、2013 年 3 月 27 日
  34. 中山裕康(東北大学)、M. Althammer、Y-T..Chen、内田健一、梶原瑛祐、菊池大介、大谷隆史、S. Geprägs、M. Opel、高橋三郎、R. Gross、G. Bauer、S. Goennenwein、齊藤英治、「スピンホール効果を介した磁気抵抗効果」、第 60 回応用物理学会春季学術講演会、神奈川工科大学、2013 年 3 月 28 日
  35. 吉川貴史(東北大学)、内田健一、齊藤英治、「金属/絶縁体複合構造におけるスピントラップ効果と磁氣的近接効果の分離」、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学、2013 年 9 月 20 日
  36. 内田健一(東北大学)、菊池大介、邱志勇、齊藤英治、「表面プラズモンによるスピン流生成効果の観測」、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学、2013 年 9 月 20 日
  37. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、前川禎通、「音響スピントラッピングの理論」、日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
  38. 吉川貴史(東北大学)、内田健一、齊藤英治、「金属/絶縁体複合構造における縦型スピントラップ効果と異常ネルンスト効果の分離」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
  39. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、高橋遼、針井一哉、齊藤英治、前川禎通、「物体の運動による力学的スピン流生成理論」、日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
  40. 大沼悠一(東北大学)、安立裕人、齊藤英治、前川禎通、「帯磁率とスピントラップの関係の理論的解明」、日本物理学会秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
  41. 嶋田裕樹(東邦大学)、大江純一郎、「磁気スキルミオン格子の集団励起に伴うスピン起電力の数値的研究」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
  42. 内田健一(東北大学)、菊池大介、邱志勇、齊藤英治、「表面プラズモンを用いたスピン流生成」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
  43. 邱志勇(東北大学)、内田健一、藤川安仁、齊藤英治、「Spin mixing conductance at a well-controlled platinum/yttrium iron garnet interface」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 26 日
  44. 高橋遼(東北大学)、小野正雄、針井一哉、松尾衛、家田淳一、前川禎通、齊藤英治、「物体の運動による力学的スピン流生成実験」、日本物理学会 2013 年秋季大

- 会、徳島大学、2013年9月26日
45. 塩見雄毅(東北大学)、野村健太郎、梶原瑛祐、江藤数馬、瀬川耕司、安藤陽一、齊藤英治、「スピンプンブによるトポロジカル絶縁体へのスピン注入と起電力発生」、日本物理学会 2013 年秋季大会、徳島大学、2013 年 9 月 27 日
  46. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、前川禎通、「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、2014 年 3 月 28 日
  47. 塩見雄毅(東北大学)、梶原瑛祐、齊藤英治、「常磁性共鳴によるスピン流生成」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014 年 3 月 28 日
  48. 吉川貴史(東北大学)、大門俊介、内田健一、齊藤英治、「高磁場領域におけるスピnzeーベック効果」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014 年 3 月 28 日
  49. 大沼悠一(東北大学)、安立裕人、前川禎通、「スピnze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、2014 年 3 月 28 日
  50. 中堂博之(日本原子力研究開発機構)、小野正雄、針井一哉、松尾衛、家田淳一、春木理恵、岡安悟、前川禎通、安岡弘志、齊藤英治、「核磁気共鳴法によるバーネット効果の観測」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014 年 3 月 28 日
  51. 嶋田裕樹(東邦大学)、大江純一郎、「熱勾配から誘起されるカイラル磁性体中の磁化構造変化」、日本物理学会第 69 回年次大会、東海大学、2014 年 3 月 28 日
  52. 安立裕人(日本原子力研究開発機構)、前川禎通、「表面プラズモン駆動スピンプンブの理論」、日本物理学会 2014 年秋季大会、中部大学、2014 年 9 月 7 日
  53. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、針井一哉、大沼悠一、横井直人、前川禎通、「歪んだ結晶中のスピン依存伝導理論」、日本物理学会 2014 年秋季大会、中部大学、2014 年 9 月 7 日
  54. 針井一哉(日本原子力研究開発機構)、中堂博之、小野正雄、松尾衛、家田淳一、岡安悟、前川禎通、齊藤英治、「回転 NMR における幾何学的位相」、日本物理学会 2014 年秋季大会、中部大学、2014 年 9 月 10 日
  55. 中堂博之(日本原子力研究開発機構)、小野正雄、針井一哉、松尾衛、家田淳一、安岡弘志、前川禎通、齊藤英治、「NMR/NQR 測定法を用いたバーネット効果と回転ドップラー効果の観測」、日本物理学会 2014 年秋季大会、中部大学、2014 年 9 月 10 日
  56. 松尾衛(日本原子力研究開発機構)、家田淳一、針井一哉、齊藤英治、前川禎通、「表面音波を用いたスピン流生成理論」、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、2014 年 9 月 20 日
  57. 中堂博之(日本原子力研究開発機構)、小野正雄、針井一哉、松尾衛、家田淳一、岡安悟、安岡弘志、前川禎通、齊藤英治、「核磁気共鳴法による核バーネット効果の観測」、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、2014 年 9 月 20 日
  58. 大門 俊介(東北大学)、井口 亮、内田 健一、齊藤 英治、「レーザー微細加工を用いた絶縁体マグノニック結晶の実現と磁気特性評価」、応用物理学会東北支部第 69 回学術講演会、東北大学、2014 年 12 月 4 日
  59. 小野正雄(日本原子力研究開発機構)、針井一哉、岡安悟、中堂博之、松尾衛、家田淳一、前川禎通、齊藤英治、「常磁性状態の Gd のバーネット効果」、第 62 回応用物理学会春季学術講演会、東海大学、2015 年 3 月 13 日
  60. 吉川貴史(東北大学)、内田健一、大門俊介、邱志勇、塩見雄毅、齊藤英治、「高磁場領域における縦型スピnzeーベック効果の膜厚依存性」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 21 日
  61. 小野正雄(日本原子力研究開発機構)、針井一哉、岡安悟、中堂博之、松尾衛、家

- 田淳一、前川禎通、齊藤英治、「キュリー点近傍の Gd のバーネット効果」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 21 日
62. 大沼悠一(東北大学)、安立裕人、齊藤英治、前川禎通、「スピンプンピングの熱流による操作の理論」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 21 日
  63. 大門 俊介(東北大学)、井口 亮、内田 健一、齊藤 英治、「レーザー微細加工を用いた絶縁体マグネティック結晶の作製と磁気特性評価」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 21 日
  64. 塩見雄毅(東北大学)、半田優、吉川貴史、齊藤英治、「 $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3/\text{SrRuO}_3$  酸化物超格子におけるネルンスト効果」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 22 日
  65. 大江純一郎(東邦大学)、進藤龍一、松本遼、村上修一、「磁気超格子中のカイラルエッジスピン波から誘起される逆スピンホール効果」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 22 日
  66. 嶋田裕樹(東邦大学)、大江純一郎、「カイラル磁性ナノディスクにおけるスピン起電力の縦続接続効果」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 22 日
  67. 廣部大地(東北大学)、塩見雄毅、嶋田祐樹、大江純一郎、齊藤英治、「ヘリ磁性絶縁体  $\text{Cu}_2\text{OSeO}_3$  中のスカーミオン集団励起によるスピン流生成」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 22 日

#### 国際会議

1. M. Matsuo (JAEA), J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, "Generation of spin currents due to mechanical rotation", APS March Meeting 2011, Dallas, USA, 2011 年 3 月 25 日
2. K. Ando (Tohoku Univ.), T. Trypiniotis, C. H. W. Barnes, and E. Saitoh, "Direct conversion of light-polarization information into electric voltage using inverse spin-Hall effect," Intermag, 2011, Taipei, Taiwan, 2011 年 4 月 25 日
3. H. Adachi (JAEA), "Phonon-drag Contribution to the spin Seebeck effect", SPINTECH6, Matsue, Japan, 2011 年 8 月 1 日
4. K. Ando (Tohoku Univ.), H. Kurebayashi, T. Trypiniotis, and E. Saitoh, "Electrically tunable spin injector free from the impedance mismatch problem, " 56th Magnetism and Magnetic Materials Conference, Scottsdale, Arizona, USA, 2011 年 10 月 30 日
5. H. Nakayama (Tohoku Univ.), K. Ando, K. Harii, T. Yoshino, and E. Saitoh, "Spin current generation and detection in metallic bilayer films" International symposium of Materials Integration, Sendai, Japan, 2011 年 12 月 2 日
6. T. An (Tohoku Univ.), K. Uchida, K. Harii, Y. Kajiwara, K. Yamaguchi, M. B. Jungfleisch, A.V. Chumak, V. I. Vasyuchka, B. Hillebrands, E. Saitoh, "Observation of spin-wave cooling effect in magnets", APS March Meeting, Boston, USA, 2012 年 2 月 27 日
7. H. Adachi (JAEA), "Theory of phonon-driven spin Seebeck effect", APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012 年 2 月 27 日
8. J. Ieda (JAEA), "Spinmotive force due to domain wall motion in high field regime", APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012 年 2 月 27 日
9. M. Matsuo (JAEA), "Spin-dependent inertial force and spin current in accelerating systems", APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012 年 2 月 27 日
10. Y. Yamane (Tohoku Univ.), "Continuous dc spinmotive force in a patterned ferromagnetic film", APS March Meeting 2012, Boston, USA, 2012 年 2 月 27 日
11. H. Adachi (JAEA), "Linear-response theory of the longitudinal spin Seebeck



- effect ”, International Conference on Magnetism 2012, Busan, Korea, 2012 年 7 月 11 日
12. M. Matsuo (JAEA), J. Ieda, E. Saitoh, S. Maekawa, “Effects of mechanical rotation and vibration on spin currents”, International Conference on Magnetism 2012, Busan, Korea, 2012 年 7 月 13 日
  13. M. Matsuo (JAEA), J. Ieda, K. Harii, E. Saitoh, S. Maekawa, “Spin current generation from rotational motions of rigid and elastic bodies” Joint European Magnetic Symposia 2012, Palma, Italia, 2012 年 9 月 9 日
  14. M. Matsuo (JAEA), J. Ieda, K. Harii, E. Saitoh, S. Maekawa, “Theory of spin-current generation from rigid and elastic motions”, IUMRS-International Conference on Electric Materials, Yokohama, Japan, 2012 年 9 月 24 日
  15. Y. Ohnuma (Tohoku Univ.), H. Adachi, E. Saitoh, and S. Maekawa “Spin Seebeck effect close to the magnetization compensation point”, INA-ASRC-IMR Workshop, Zaragoza, Spain, 2012 年 11 月 5 日
  16. M. Matsuo (JAEA), J. Ieda, K. Harii, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Theory of spin-current generation from mechanical motion”, MML2013, Kyoto, Japan, 2013 年 5 月 23 日
  17. Y. Shimada (Toho Univ.) and J. Ohe, “Numerical analysis on the spin-motive force induced by the resonant motion of a magnetic domain wall”, The 12th Asia Pacific Physics Conference, Chiba, Japan, 2013 年 7 月 6 日
  18. M. Matsuo (JAEA), J. Ieda, and S. Maekawa, “Renormalization of spin-rotation coupling”, APS March Meeting 2014, Denver, USA, 2014 年 3 月 3 日
  19. T. Kikkawa (Tohoku Univ.) and T. Niizeki, “Recent Progress in Research on Longitudinal Spin Seebeck Effects: Pt/YIG and Hard Magnets (FePt, Co-ferrite)”, Annual Meeting of ASPIMATT, Sendai, Japan, 2014 年 10 月 31 日
  20. T. Niizeki (Tohoku Univ.), T. Kikkawa, K. Uchida, E. Saitoh, M. Oka, K.Z. Suzuki, H. Y. gihara, E. Kita, “Observation of longitudinal spin-Seebeck effect in cobalt-ferrite epitaxial thin film”, 59th MMM Conference, Honolulu, USA, 2014 年 11 月 3 日
  21. J. Ohe (Toho Univ.) and Y. Shimada, “Spin motive force driven by the resonant motion of the Skyrmion lattice”, The 59th Annual Magnetism and Magnetic Materials Conference, Honolulu, USA, 2014 年 11 月 3 日
  22. Y. Ohnuma (Tohoku Univ.), H. Adachi, E. Saitoh, and S. Maekawa, “Mechanism of the two sign changes in spin Seebeck effect of a compensated ferrimagnet”, APS March meeting 2015, San Antonio, USA, 2015 年 3 月 2 日
  23. D. Hou (Tohoku Univ.), Z. Qiu, R. Iguchi, K. Sato, E. K. Vehstedt, K. Uchida, G. E. W. Bauer, E. Saitoh, “Hall detection of the spin accumulation in metals”, APS March meeting 2015, San Antonio, USA, 2015 年 3 月 2 日
  - 24.

③ ポスター発表 (国内会議 16 件、国際会議 30 件)

国内会議

1. 照井勇輝(東京大学)、佐藤琢哉、飯田隆吾、志村努、黒田和男、守谷頼、齊藤英治、「希土類鉄ガーネットにおける光誘起スピンドイナミクス」、日本物理学会第 66 回年次大会、新潟大学、2011 年 3 月 25 日
2. 柴田俊(東北大学)、菅井勇、関剛斎、三谷誠司、高梨弘毅、「FePt 垂直スピノ注入源を用いた Au のスピノホール効果における不純度濃度および素子構造

- 依存性」、第 72 回応用物理学会学術講演会、山形大学、2011 年 8 月 31 日
3. 柴田俊(東北大学)、菅井勇、関剛斎、三谷誠司、高梨弘毅、「垂直磁化 FePt スピン注入源を用いた Au におけるスピホール効果の素子構造依存性」、日本金属学会 2011 年秋期(第 149 回)講演大会、沖縄コンベンションセンター、2011 年 11 月 7 日
  4. 吉川貴史(東北大学)、内田健一、齊藤英治「金属二層膜/磁性絶縁体複合構造における縦型スピントラップ効果」日本物理学会 2012 年秋季大会、横浜国立大学、2012 年 9 月 18 日
  5. 吉川貴史(東北大学)、内田健一、塩見雄毅、邱志勇、中山裕康、齊藤英治、「縦型スピントラップ効果の磁場依存性・金属層依存性」応用物理学会東北支部第 67 回学術講演会、東北大学、2012 年 12 月 7 日
  6. 大沼悠一(東北大学)、安立裕人、齊藤英治、前川禎通「スピントラップ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
  7. Jana Lustikova(東北大学)、塩見雄毅、Zhiyong Qiu、吉川貴史、井口亮、内田健一、齊藤英治、「スパッタ法により作製した Y3Fe5O12 単結晶薄膜におけるスピントラップ生成」、日本物理学会第 69 回年次大会、中部大学、2013 年 9 月 7 日
  8. S. M. Haidar(東北大学)、Y. Kajiwara、Y. Shiomi、E. Saitoh、「Spin Pumping in High Tc Superconductor La1.85Sr0.15CuO4ThinFilm」、2013 年秋の応用物理学会学術講演会、同志社大学、2013 年 9 月 16 日
  9. 廣部大地、井口亮(東北大学)、安藤和也、塩見雄毅、齊藤英治、「Spin Pumping Affected by Dynamical Magnetostatic Interaction」、第 74 回応用物理学会秋季学術講演会、同志社大学、2013 年 9 月 16 日
  10. 大門 俊介、井口 亮(東北大学)、内田 健一、齊藤 英治、「強磁性絶縁体を用いた二次元マグノンニック結晶」、日本物理学会第 69 回年次大会春季大会、東海大学、2014 年 3 月 27 日
  11. 大沼悠一(東北大学)、安立裕人、齊藤英治、前川禎通「三層構造のスピントラップの理論」日本物理学会 2014 年秋季大会、中部大学、2014 年 9 月 7 日
  12. Yuki Shiomi(東北大学), Takashi Ohtani, Satoshi Iguchi, Takahiko Sasaki, Zhiyong Qiu , H. Nakayama , K. Uchida , E. Saitoh , “Interface-dependent magnetotransport properties for thin Pt films on ferrimagnetic Y3Fe5O12”、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、2014 年 9 月 17 日
  13. 新関智彦(東北大学)、吉川貴史、内田健一、齊藤英治、岡美嶺人、鈴木和也、柳原英人、喜多英治、「Observation of spin-Seebeck effect in cobalt-ferrite epitaxial thin film」、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、2014 年 9 月 17 日
  14. 針井一哉(日本原子力研究開発機構)、中堂博之、小野正雄、松尾衛、家田淳一、岡安悟、安岡弘志、前川禎通、齊藤英治、「回転核磁気共鳴におけるベリー位相」、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、2014 年 9 月 18 日
  15. 小野正雄(日本原子力研究開発機構)、針井一哉、岡安悟、中堂博之、松尾衛、家田淳一、前川禎通、齊藤英治、「常磁性状態におけるバーネット効果の観測」、第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、2014 年 9 月 18 日
  16. 渡辺広紀(東邦大学)、嶋田裕樹、大江純一郎、「カイラル磁性体を用いたスピントラップ効果に対する数値解析」、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学、2015 年 3 月 21 日

#### 国際会議

1. T. Yoshino (Tohoku Univ.), K. Ando, K. Harii, Y. Kajiwara, and E. Saitoh, “Guideline for spin current generation in Ni1-xFex/Pt bilayer films using inverse

- spin-Hall effect and spin pumping”, IEEE International Magnetism Conference 2011, Taipei, Taiwan, 2011 年 4 月 26 日
2. K. Uchida (Tohoku Univ.), “Spin Seebeck effect,” Spin Caloritronics III, Lorentz Center (Leiden 18 University), Leiden, The Netherlands, , 2011 年 5 月 9 日
  3. J. Ieda (JAEA), “Spin-Motive Force Due to Intrinsic Magnetic Energy Difference of a Domain Wall in a Shaped Nanostripe”, Spin Currents 2011, Sendai, Japan, 2011 年 7 月 25 日
  4. M. Matsuo (JAEA), “Spin current generation by mechanical rotation, Spin Currents 2011, Sendai, Japan, 2011 年 7 月 25 日
  5. Y. Yamane (Tohoku Univ.), “Generation of DC Spin-Motive Force in a Patterned Ferromagnetic Film”, Spin Currents 2011, Sendai, Japan, 2011 年 7 月 25 日
  6. T. Seki (Tohoku Univ.), I. Sugai, S. Shibata, S. Mitani and K.Takanashi, “Giant spin-Hall effect in doped Au”, 5th international Workshop on Spin Currents, Sendai, , 2011 年 7 月 27 日
  7. J. Ieda (JAEA), “Spin-dependent transport in accelerated systems”, SPINTECH6, Matsue, Japan, , 2011 年 8 月 3 日
  8. T. Yoshino (Tohoku Univ.), K. Ando, K. Harii, H. Nakayama, Y. Kajiwara, and E. Saitoh, “Material dependence of the spin pumping in metallic bilayer films”, The 56th Magnetism and Magnetic Materials Conference, Scottsdale, USA, , 2011 年 11 月 2 日
  9. Y. Ohnuma (Tohoku Univ.), H. Adachi, and S. Maekawa “Spin Seebeck effect in a ferrimagnet with magnetization compensation”, Spin Caloritronics 4, Sendai, Japan, 2012 年 6 月 2 日
  10. M. Matsuo (JAEA), J. Ieda, E. Saitoh, S. Maekawa, “Spin-dependent transport in accelerated systems” 4th International Workshop on SpinCaloritronics (IMR, Tohoku Univ. Sendai, Japan), 2012 年 6 月 3 日
  11. H. Nakayama (Tohoku Univ.), K. Ando, K. Harii, T. Yoshino, R. Takahashi, Y. Kajiwara, K. Uchida, Y. Fujikawa, and E. Saitoh, “Geometric effect on spin-pumping-induced inverse spin Hall effect in permalloy/platinum films” International Conference on Superlattice, Nanostructures, Nanodevices 2012, Dresden, Germany, 2012 年 7 月 26 日
  12. T. Kikkawa (Tohoku Univ.), K. Uchida, Y. Shiomi, Z. Qiu, H. Nakayama, and E. Saitoh, “Observation of longitudinal spin-Seebeck effect in Pt/Cu/YIG and Au/YIG hybrid structures” Materials Science Week 2012 Summit of Materials Science, Institute for Materials Research, Tohoku University, 2012 年 11 月 29 日
  13. T. Kikkawa (Tohoku Univ.), K. Uchida, and E. Saitoh, “Longitudinal Spin-Seebeck Effect Free from Proximity Nernst Effect” Tohoku-Harvard Joint Workshop, New Directions in Materials for Nanoelectronics, Spintronics and Photonics, Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, 2013 年 1 月 15 日
  14. D. Kikuchi (Tohoku Univ.), Y. Kajiwara, E. Saitoh, “Spin pumping in Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>/La<sub>0.67</sub>Sr<sub>0.33</sub>MnO<sub>3</sub> bilayers”, Japan-Russia Workshop on Advanced Materials Synthesis Process and Nanostructure, Sendai, Japan, 2013 年 3 月 7 日
  15. S. M. Haidar, Y. Kajiwara, Y. Shiomi, E. Saitoh, “Spin Pumping in High T<sub>c</sub> Superconductor Thin Film”, Annual Meeting on ASPIMATT, Dresden, Germany, 2013 年 7 月 4 日
  16. D. Kikuchi (Tohoku Univ.), Y. Kajiwara, Y. Fujikawa, and E. Saitoh, “Spin injection and inverse spin-Hall effect in La<sub>0.67</sub>Sr<sub>0.33</sub>MnO<sub>3</sub>”, Annual Meeting on ASPIMATT, Dresden, Germany, 2013 年 7 月 4 日
  17. D. Kikuchi (Tohoku Univ.), Y. Kajiwara, Y. Shiomi, Y. Fujikawa, and E. Saitoh,

- "Observation of spin injection and inverse spin-Hall effect in La<sub>0.67</sub>Sr<sub>0.33</sub>MnO<sub>3</sub>", The 58th Annual MMM Conference, Denver, Colorado, 2013年11月5日
18. T. Kikkawa (Tohoku Univ.), K. Uchida, and E. Saitoh, "Separation of longitudinal spin Seebeck effect from anomalous Nernst effect: Determination of origin of transverse thermoelectric voltage in metal/insulator junctions", 14th REIMEI Workshop on Spin Currents and Related Phenomena, Grenoble, France, 2014年2月10日
  19. Y. Shiomi (Tohoku Univ.), K. Nomura, Y. Kajiwara, K. Eto, K. Segawa, Y. Ando, and E. Saitoh, "Spin-electricity conversion effect induced by spin pumping in ferromagnetic-topological-insulator devices", 14th REIMEI Workshop on Spin Currents and Related Phenomena, Grenoble, France, 2014年2月11日
  20. Z. Qiu (Tohoku Univ.), M. Uruichi, D. Hou, H. Yamamoto, and E. Saitoh, "Spin injection and detection in organic conductor", The AIMR International Symposium 2014, Sendai, Japan, 2014年2月17日
  21. Z. Qiu (Tohoku Univ.), M. Uruichi, D. Hou, H. Yamamoto, and E. Saitoh, "Spin injection and detection in organic conductor", The AIMR International Symposium 2014, Sendai, Japan, 2014年2月17日
  22. Y. Shiomi (Tohoku Univ.), K. Nomura, Y. Kajiwara, K. Eto, K. Segawa, Y. Ando, and E. Saitoh, "Spin-electricity conversion effect induced by spin pumping in ferromagnetic-topological-insulator devices", The AIMR International Symposium 2014, Sendai, Japan, 2014年2月17日
  23. D. Hou (Tohoku Univ.), Z. Qiu, R. Iguchi, G. W. Bauer and E. Saitoh, "The non-equilibrium anomalous Hall effect", The AIMR International Symposium 2014, Sendai, Japan, 2014年2月17日
  24. T. Niizeki (Tohoku Univ.), "Observation of spin-Seebeck effect in cobalt-ferrite epitaxial film", AIMR International Symposium, Sendai, Japan, , 2014年10月27日
  25. T. Kikkawa (Tohoku Univ.), K. Uchida, and E. Saitoh, "Spin Seebeck effect and thermoelectric conversion based on spin currents", 13th Spintronics Seminar & Workshop for Young Scientist, Iwanuma, Japan", 2014年10月27日
  26. Z. Qiu (Tohoku Univ.), D. Hou, K. Uchida, and E. Saitoh, "Investigation of inverse spin-Hall effect of bismuth oxide", The 3rd International Conference of AUMS, Kaikou, China, 2014年10月29日
  27. J. Ieda (JAEA), M. Ichimura, S. Takahashi, and S. Maekawa, "Effect of spinmotive force on spin current in nonlocal spin valves", 59th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM 2014), Honolulu, USA, 2014年11月7日
  28. D. Kikuchi (Tohoku Univ.), M. Ishida, K. Uchida, Z. Qiu, T. Murakami, and E. Saitoh, "Enhancement of spin Seebeck effect in Pt/FeCe/BiYIG", The AIMR International Symposium 2015, Sendai, Japan", 2015年2月17日
  29. Z. Qiu (Tohoku Univ.), D. Hou, K. Uchida, and E. Saitoh, "Electric Neel temperature determination of an antiferromagnetic insulator film", The AIMR international symposium, Sendai, Japan, 2015年2月17日
  30. D. Kikuchi (Tohoku Univ.), M. Ishida, K. Uchida, Z. Qiu, T. Murakami, and E. Saitoh, "Enhancement of spin Seebeck effect in Pt/FeCe/BiYIG", 2014 Annual Meeting of Excellent Graduate Schools for "materials Integration Center" and "Materials Science Center", Sendai, Japan, 2015年3月9日

#### (4)知財出願

##### ①国内出願 (8件)

1. 「熱電変換素子、熱電変換素子の製造方法および熱電変換方法」、桐原明宏、中村泰信、萬伸一、内田健一、齊藤英治 (出願人:日本電気株式会社)、平成 23 年 2 月 9 日出願、特願 2011-025797
2. 「音波-スピン流変換素子」、齊藤英治、内田健一 (出願人:国立大学法人東北大学)、平成 23 年 3 月 10 日出願、特願 2011-052393
3. 「熱電変換素子および熱電変換方法」桐原明宏、中村泰信、萬伸一、内田健一、齊藤英治 (出願人:日本電気株式会社)、平成 23 年 5 月 23 日出願、特願 2011-114301
4. 「熱電変換装置」、桐原明宏、遠藤浩幸、眞子隆志、内田健一、齊藤英治 (出願人:日本電気株式会社)、平成 23 年 6 月 9 日出願、特願 2011-129308
5. 「磁性体素子用の積層体及びこの積層体を備えた熱電変換素子並びにその製造方法」、桐原明宏、石田真彦、眞子隆志、内田健一、齊藤英治 (出願人:日本電気株式会社)、平成 23 年 7 月 15 日出願、特願 2011-156618
6. 「位置検出装置」、桐原明宏、石田真彦、中村泰信、内田健一、齊藤英治 (出願人:日本電気株式会社)、平成 23 年 8 月 9 日出願、特願 2011-173785
7. 「位置検出装置」、桐原明宏、石田真彦、内田健一、齊藤英治 (出願人:日本電気株式会社)、平成 23 年 8 月 9 日出願、特願 2011-173916
8. 「光-スピン流変換素子」、内田健一、齊藤英治 (出願人:国立大学法人東北大学)、平成 24 年 6 月 29 日出願、特願 2012-147846

##### ②海外出願 (1件)

##### ③その他の知的財産権

他に記載すべき知的財産権があればご記入下さい。(実用新案 意匠 プログラム著作権 等)

該当なし

#### (5)受賞・報道等

##### ① 受賞

1. 2011年3月 齊藤英治 第7回(平成22年度)日本学術振興会賞
2. 2011年3月 齊藤英治 第7回(平成22年度)日本学士院学術奨励賞
3. 2011年3月 齊藤英治 船井学術賞
4. 2011年3月 齊藤英治 第5回(2011年)日本物理学会 若手奨励賞
5. 2011年4月 齊藤英治 文部科学大臣表彰若手科学者賞
6. 2011年12月 齊藤英治 第25回(2011年)日本IBM科学賞(物理学分野)
7. 2012年9月 齊藤英治 第11回ドコモモバイルサイエンス賞
8. 2014年4月 齊藤英治 読売テクノフォーラム第20回ゴールド・メダル賞

##### ② マスコミ(新聞・TV等)報道

1. The Japan Journal, SCIENCE WATCH: A New Spin on Electric Signal Transmission, October 1, 2010
2. 日経産業新聞、「絶縁体から発電技術 スピン振動現象を利用」 2010年10月8日
3. 読売新聞、「熱電変換のコスト大幅減」 2010年10月28日
4. 朝日新聞、「学士院奨励賞に6人」 2011年2月15日
5. 電気新聞、「ナノ原動機原理発見」 2011年2月16日
6. 日刊工業新聞、「加速運動から微小磁気ナノモーター開発に道」 2011年2月16日

7. 科学新聞、「第7回日本学術振興会賞に25氏」 2011年2月18日
8. 日経ビジネスONLINE、「壁面、道路、天井……どこでも発電—その『捨てる熱』が電気になる『熱電変換材料』」 2011年2月22日
9. PHYSORG.com、「Could the combination of general relativity and quantum mechanics lead to spintronics?」、2011年3月3日
10. 科学新聞、「回転運動から磁気の流れを生み出す手法」 2011年3月14日
11. 日経産業新聞、「電子の磁石「スピン」材料に簡単注入」 2011年6月28日
12. 日刊工業新聞、「スピン流1000倍超注入に成功」 2011年6月27日
13. 日経産業新聞、「音で発電 東北大、超音波で成功」 2011年8月22日
14. 日経産業新聞、「磁性材料 音で発電」 2011年8月23日
15. 日刊工業新聞、「音波でスピン流」 2011年9月2日
16. 科学新聞、「音波から磁気の流れ生成」、2011年9月9日
17. 日経産業新聞、「東北大超省エネ演算処理前進—電流に代え「スピン流」—」 2012年1月19日
18. 日刊工業新聞、「東北大シリコン中のスピン流電気信号変換に成功 —次世代素子実現へ一歩—」 2012年1月18日
19. 産経新聞、「先端技術大賞 文科大臣賞に内田さん」 2012年6月12日
20. 朝日新聞、「熱いものに塗って発電 エンジンなどに」 2012年6月18日
21. 電気新聞、「捨てていた熱 有効活用 NEC 東北大 熱電変換素子を開発」 2012年6月19日
22. 電波新聞、「NECと東北大学 温度差で磁性体にスピン流発生 新原理の熱電変換素子」 2012年6月21日
23. 日経産業新聞、「磁石内の熱、室温で移動」 2013年4月23日
24. 日経産業新聞、「熱エネルギーの方向、磁気の流れで制御」 2013年4月26日
25. 日本経済新聞、「身の回りの熱で発電、工場・車向け素子開発、NEC、安価で曲がる、パナソニック、配管の一部に」 2014年1月07日
26. 読売新聞、「ゴールド・メダルに齊藤、東山、水島氏」 2014年3月18日
27. 日刊工業新聞、「原子核スピン直接測定」 2014年5月22日

### ③ その他

1. “Viewpoint: Spin-magnon transmutation” Physics, 4, 40, 2011.
2. “Spintronics: Pumped injection” NPG asia materials, 05 September 2011.
3. “Exploring spin-current physics” JSPS Quarterly Vol.37 P. 3, September 2011.
4. 「身近な熱を電気に変えろ ～実用化迫る！熱電発電～」NHK サイエンスゼロ, 2011年10月15日 出演.
5. 「音や熱から気軽に発電」隔月刊 地球温暖化 16, 24, 11月号, 2011年.

### (6)成果展開事例

#### ①実用化に向けての展開 ＜公開可能なもの＞

- ・本研究の成果（特願2011-052393等）をもとに、日本電気株式会社と共同研究契約を締結し共同研究を行った。
- ・スピンゼーベック効果による熱電素子については、企業からの問い合わせが多く、その都度最新の情報の提供を行っている。

#### ②社会還元的な展開活動

- ・ オックスフォード大学出版から、専門書「Spin Current」を出版した。

- 共立出版から専門書「スピン流とトポロジカル絶縁体」を出版した。
- 本成果をもとに新分野「スピンメカニクス」を提言し、日本にて国際会議を開催した。
- スピンゼーベック効果については、我々の発見以降、磁性の最も主要な国際会議の全て（MMM会議、InterMag会議、ICM会議）、アメリカ物理学会等で専用のセッションが設置されている。また、100件を超える招待講演、基調講演を行っている。
- 世界各国の大学、企業からスピンゼーベック効果測定のトレーニングを希望する研究者を年間10組程度受け入れた。

## §5 最後に

第一に、本研究をタイムリーに支援して頂きました JST に深く感謝申し上げます。現在この分野で我が国の研究が世界を牽引できておりますのも、このようなタイムリーなご支援のお蔭であります。本研究は、スピントロニクスと機械・熱工学を融合した学術体系を基礎から作り、応用への道筋を付けるものであります。スピントロニクスは、磁性物理から発展し、半導体工学と磁気工学がナノスケールで融合した画期的な学理を生み出しました。スピントロニクスは、超高密度ハードディスクの読み取りヘッドや磁気ランダムアクセスメモリなどへ実用化される目覚ましい成果を実現しましたが、一方で、ナノスケールでのみ顕在化するスピンを媒介した角運動量変換によって、角運動量を有する複数の自由度を結びつけることができるという新しい科学技術の方向性も示しておりました。これが可能になれば、スピンをエレクトロニクスだけでなく機械工学へも拡張したより広範囲で有用なテクノロジーを作ることができることを意味しております。本研究はこれに先鞭を付けることに成功しました。本研究によって、機械振動や機械運動からスピン流や電力を作るはじめての現象、スピンをういて熱を制御するはじめての現象を見出し、複数の Nature 系列誌および専門誌論文等として公表し、特許申請を行いました。また、我々が既に発見していた熱からスピン流を作る現象である「スピンゼーベック効果」については、企業と改良を重ね、薄膜シートの試作を行いました。これらは、物理原理の発見から応用展開までを我が国内で行われたという意味でも重要であります。本研究の成果は世界的に注目を集めており、毎年国際ワークショップが開かれています(去年は、仙台にて開催)。今後は、この学術を更に大きく発展させ、人類の役に立つ技術へ近づけてゆきたいと考えております。