

平成26年度～平成30年度 文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）



# Newsletter #1

ナノスピンの変換科学

Nano Spin Conversion Science

March 2015

# Contents

<b>目次</b>	1
<b>巻頭言</b> 領域代表 大谷義近	2
<b>計画研究紹介</b>	
A01 : 磁氣的スピン変換班	3
A02 : 電氣的スピン変換班	5
A03 : 光學的スピン変換班	7
A04 : 機械・熱的スピン変換班	9
A05 : スピン変換機能設計班	11
<b>計画研究分担研究紹介</b>	
小野研究室 (京大、A01)	13
斎藤グループ (産総研、A02)	15
塚本研究室 (日大、A03)	17
小野グループ (原研、A04)	19
多々良グループ (理研、A05)	23
<b>領域若手研究者紹介</b>	25
<b>国際会議・会合情報</b>	25
<b>領域ニュース</b>	
キックオフミーティング開催	26
ロゴマーク決定	26
光スピン変換ミーティング開催	26
The 25th ASRC International Workshop on New Insights in the Physics of Magnetic Nanostructures開催	27
受賞	27
領域からの連絡	28
<b>編集後記</b>	28

# 巻頭言

## ご挨拶 ―領域発足にあたって―

スピントロニクス研究は、1990年代に産声を上げ、その後20年間着々と進化し、現在に至ってもその勢いは衰えていません。この分野は歴史的に我が国が強く、当新学術領域研究に参画するメンバーも、スピン移行トルク、スピンホール効果、逆ファラデー効果、スピンゼーベック効果など興味深い物理現象の発見に大きく貢献しています。“スピン流”という言葉や概念を固体物理の研究者のコミュニティーに定着させたのも、スピントロニクス研究活動の一つの成果であるでしょう。その後、スピン流の範疇も広がり、現在ではスピン波、円偏光、振動などを含む角運動量流として認知されています。

本新学術領域研究では、これらの角運動量流に深く関わる遍歴電子スピン、局在電子スピン、フォノン、フォトンに着目してそれらの新奇な相互変換機構の開拓や学理の構築を目指します。また、しっかりと基礎固めされた物理に基づく従来にはない新奇な概念や手法を提言し、産業界の要求にも耐えうるスピン変換物理を創成することも最終的な目標とします。理想的には実用的なデバイスの開発や環境発電等の新パラダイム構築に資する研究成果を提示したいと考えています。

今後この分野の勢いを維持していくためには若手の優秀な人材の育成と確保は最重要課題の一つです。日本国内の人材の絶対的な人員の確保、その研究遂行能力の向上に加えて、革新的進歩を担う「トップレベルの人材」の育成を推進することは当然のことです。しかしながら、高齢化社会・理科離れに苦しむ日本国内のみに目を向けるのではなく、国外から発掘した優秀な人材、本研究領域研究を通じて育成し、世界的にプロモートすることも、長期的に見て我が国が本領域に関わる最先端の基礎科学・技術において世界をリードする研究拠点になる一つの道と考えています。

最後になりますが、本領域研究が、研究者、そして日頃生活し働いている地域社会の全ての皆様に大きく貢献できる成果を生み出し、成長していくことが私の心からの願いです。

領域代表

大谷 義近



# 計画研究紹介

ナノスピン変換科学の研究活動の柱である5つの計画研究、A01「磁氣的スピン変換班」、A02「電氣的スピン変換班」、A03「光學的スピン変換班」、A04「機械・熱的スピン変換班」、A05「スピン変換機能設計班」を紹介します。

## A01班「磁氣的スピン変換」の研究概要

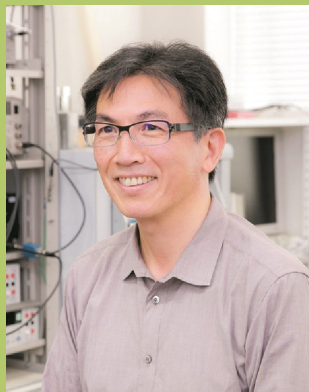
研究代表者 東京大学物性研究所・教授 大谷 義近

### 研究代表者

大谷 義近

東京大学物性研究所・

教授



スピン流を電流、熱、光等に変換する「スピン変換」は現在急進しているスピントロニクス研究の根幹を担う基本原理です。A01班では、このうち磁気現象が関係する、磁氣的スピン変換に焦点を当てて研究を行っています。

具体的には、非従来型物質や非対称界面構造における非線形スピン変換、およびスピン流誘起相転移現象の発見を目指して研究を行っています。これまで、スピン変換の代表例であるスピンホール効果については、磁性元素を含まない常磁性体における研究が中心でしたが、我々の研究室では従来からPdにNiを少量ドーブした様な弱強磁性金属[1]やNb等の超伝導体にも着目して研究を行ってきました[2]。現在までに図に示すような素子構造を用いて、これらの非従来型物質へのスピン注入に成功し、磁場やスピン流に対して非線形に変化するスピンホール効果を観測しています。例えば超伝導体NbN薄膜へのスピン注入に着目すると、超伝導状態におけるスピンホール抵抗率が注入スピン流に大きく依存して1000倍以上も変化する事を見いだしています。この事はPt等の通常金属におけるスピンホール抵抗率が注入スピン流に依存しない事と非常に対照的であり、超伝導準粒子によるスピンホール効果の著しい特徴であると考えています。ここで観測されたような非線形なスピン変換は将来的にスピン流の増幅にもつながる可能性があり、大きなインパクトを有すると考えています。

また、物質の多様性に加え、近年大きなスピン変換効率を実現すると期待される舞台に、非対称構造を持つ界面が挙げられます。既に半導体等の分野では一般的ですが、空間的に非対称な構造を持つ界面にはラッシュバ型スピン軌道相互作用に起因するスピン分裂したバンドが形成されます。最近では、このような界面におけるスピン流-電流変換が、高効率なスピン変換を生み出す機構として期待を集めています。我々は、絶縁体であるBi酸化物と単純金属であるCuやAgとの界面において大きなスピン流-電流変換が起こる事を見いだしました。発現機構の詳細はまだ未解明ですが、スピン変換物性の重要性を表面・界面等のより広い分野へ広げる礎となるのではないかと考えております。

このように我々は様々な物質系におけるスピン変換を研究してきました。本研究計画では物質や界面構造の多様性をさらに広げ、新規スピン変換現象を探索していきたいと考えています。そのために本年度は収束イオンビーム加工装置を導入し、従来は薄膜や素子作成が困難であった物質や素子構造についても研究を進める予定です。そして最終的にはそれらの研究によって得られた巨大なスピン流やスピン蓄積による相転移現象など新しい物理現象の学理を構築したいと考えています。

#### 参考文献

- [1] D. H. Wei, Y. Niimi, B. Gu, T. Ziman, S. Maekawa, and Y. Otani, *Nature Commun.* **3**, 1058-1~5 (2012).
- [2] T. Wakamura, N. Hasegawa, K. Ohnishi, Y. Niimi, and Y. Otani, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 036602-1~5 (2014).

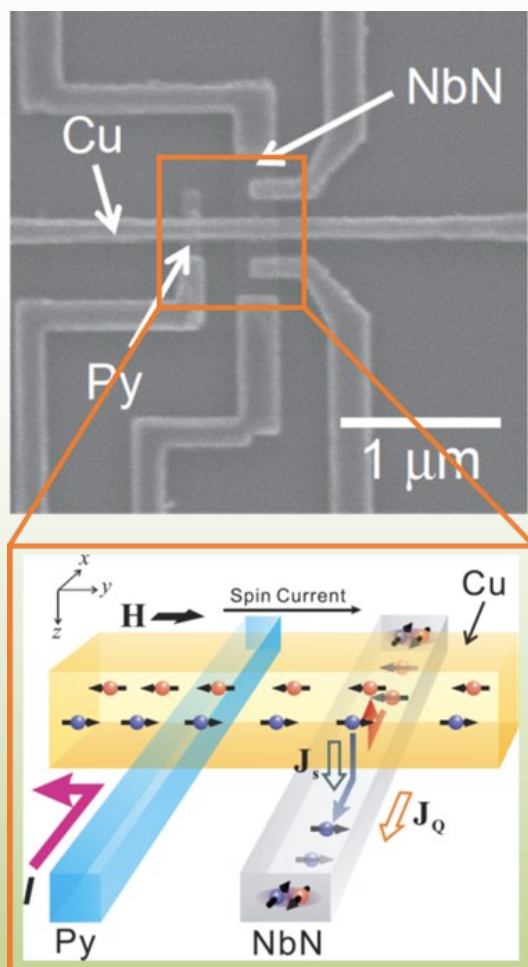
### 研究分担者

小野 輝男  
京都大学化学研究所・教授

木村 崇  
九州大学大学院理学研究  
院・教授

松倉 文礼  
東北大学 WPI-AIMR・教  
授

Ronald Jansen  
産業技術総合研究所ナノ  
スピントロニクス研究セ  
ンター・首席研究員



図： 超伝導体NbNのスピンホール効果測定用スピン注入素子の走査電子顕微鏡像(上)とスピン流電流変換過程の模式図(下)。

## A02班「電氣的スピン変換」の研究概要

研究代表者 京都大学大学院工学系研究科・教授 白石 誠司

### 研究代表者

白石 誠司

京都大学大学院工学系研

究科・教授



A02電氣的スピン変換班の目的は、電氣・光・熱・力学運動・磁氣などからスピン角運動量を媒介とした電氣的なスピン変換現象、及びその逆変換現象を対象に、①新規な電氣的スピン変換機能の開拓、②新規、または効率的電氣的スピン変換を実現する新材料・新規異種界面物性の開拓、③電氣的スピン変換の背景学理の深化と精密な理解、を目的としています。近年、スピン偏極電流だけでなく純スピン流やスピン波スピン流などスピン角運動量伝播には様々な形態があることが知られてきました。これら様々な形態で伝播するスピン角運動量を媒介として、特に無機・有機半導体、酸化物半導体など広範な半導体材料と強磁性材料の界面、ないし異種半導体間界面で発現する電氣的スピン変換機能を広く研究していくことがA02班の目的です。例えば、シリコン[1-3]やゲルマニウム[4]を用いた電氣的スピン蓄積による純スピン流生成とそれに伴うスピン蓄積電圧の検出、磁化ダイナミクスを用いた半導体中の純スピン流輸送と逆スピンホール効果を用いた検出[5]、化合物半導体を用いた円偏光デバイスの開拓[6]、などが電氣的スピン変換現象を基調とした最近の研究例になりましょう。A02班は勝本信吾・東京大学物性研究所教授、浜屋宏平・大阪大学大学院基礎工学研究科教授、齋藤秀和・産業技術総合研究所ナノスピントロニクス研究センター研究チーム長と白石の4名で構成されていますが、4名全てが半導体におけるスピン検出・スピン操作のスペシャリストであり、本目的を達成するために最適の布陣となっていると自負しております。

個別のグループの研究方針を以下に列挙します。勝本グループはスピン干渉効果やスピン軌道相互作用を積極的に活用した電氣的スピン変換現象の開拓を行い、軌道自由度とのエンタングルメントや新規な量子干渉デバイスの開拓を行います。4グループの中では最も基礎寄りのグループといえましょう。浜屋グループは強磁性材料/半導体材料界面における高効率スピン変換を目指します。強磁性材料としてはホイスラー合金、半導体材料としてはシリコンやゲルマニウムなどIV族半導体が主な研究対象となります。齋藤グループはGaAsなどの化合物半導体におけるスピン選択性発光に着目し、新規な障壁層開拓を通じた電氣的なスピン=フォトン変換とそれに伴う円偏光デバイスの実現を目指します。浜屋グループと齋藤グループはある程度応用にも重心を置きながら研究を推進する、という立場です。白石グループでは新規な電氣的スピン変換現象の探索を主に材料探索の観点から進め、トポロジカル絶縁体や酸化物半導体にも視野を広めつつ



研究を進めます。4グループは半導体/強磁性接合系という電気的スピン変換の基盤となる部分は共有し有機的に連携しつつ、それぞれの得意とする技術を活かして研究を推進していきます。このような班内連携を積極的に進めることはもちろんですが、新学術領域創成型研究の大目的がスピン変換現象の背景学理の統一的理解でもありますので、特にA05理論班との連携や、A01磁気的変換班との班間連携も強力に推進していく予定です。

研究が開始してまだ半年ほどですが、A02班では既にトポロジカル絶縁体の表面ヘリカルカレントにおけるスピン偏極を電気的スピン変換により検出し[7]、GaAs中の純スピン流伝播を逆スピンホール効果による電気的変換によって観測する[8]など、新たな電気的スピン変換研究発展の萌芽が見られていますので、今後のA02班の発展にご期待いただければと思います。

**参考文献**

[1] M. Shiraishi et al., Phys. Rev. B **83**, 241204 (2011).  
 [2] T. Suzuki, M. Shiraishi et al., Appl. Phys. Express **4**, 023003 (2011).  
 [3] T. Suzuki, Y. Ando, M. Shiraishi et al., Phys. Rev. Applied **2**, 034005 (2014).  
 [4] K. Kasahara, K. Hamaya et al., Appl. Phys. Express **7**, 033002 (2014).  
 [5] E. Shikoh, M. Shiraishi et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 127201 (2013).  
 [6] H. Saitoh et al., Appl. Phys. Lett. **96**, 012501 (2010).  
 [7] Yu. Ando, Yo. Ando, M. Shiraishi et al., Nano Lett. **14**, 6226 (2014).  
 [8] A. Yamamoto, Y. Ando, M. Shiraishi et al., Phys. Rev. B, in press.

**研究分担者**

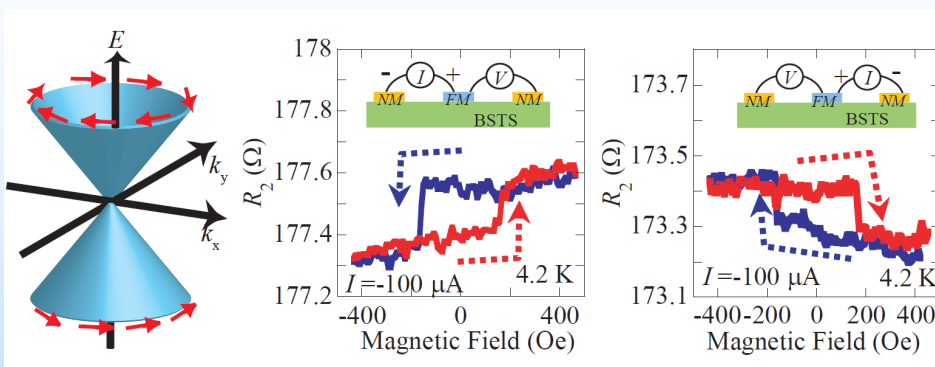
浜屋 宏平  
 大阪大学大学院基礎工学  
 研究科・教授

勝本 信吾  
 東京大学物性研究所・教授

齋藤 秀和  
 産業技術総合研究所ナノ  
 スピントロニクス研究セ  
 ンター・半導体スピント  
 ロニクスチーム長

**連携研究者**

辛 埴  
 東京大学物性研究所・教授



図：トポロジカル絶縁体BiSbTeSeの表面ヘリカルカレントにおけるスピン偏極測定[7]

## A03班「光学的スピン変換」の研究概要

研究代表者 大阪大学産業科学研究所・教授 大岩 顕

A03班「光学的スピン変換」では、光の角運動量をスピンに変換して、そこからさらに電子や熱、または再び光へと変換する一連のスピン変換過程の解明に取り組み、本研究領域全体が目指すスピン変換の統一的な理解とスピン変換の学理の構築に貢献することを目標にしています。光と磁気の関わりは磁気光学効果として古くから知られてきました。これに対して逆ファラデー効果は物質を透過する円偏光が磁化に与える有効磁場として、2005年に実験的に偏光に依存した磁化歳差運動として観測されています[1]。また近年では円偏光励起で磁化反転が起こることも報告され、超高速磁化反転の可能性も期待されています。こうした現象を足掛かりに、A03班は金属、半導体、絶縁体とそれらのナノ構造を対象に超高速分光測定や時空間分解測定、さらに精密量子伝導測定や高周波測定など班員の持つ測定技術を駆使して、電子・光子・スピン系の非平衡ダイナミクスを系統的に研究し、非熱的過程による角運動量変換やマグノン変換の研究、マイクロ波励起による界面スピン変換、スピンレーザーや光-スピンコヒーレント変換の研究を多角的に推進してゆきます。

光学的スピン変換班は、磁性体の研究グループと半導体量子構造の研究グループで構成されています。東北大学原子分子材料科学高等研究機構の水上成美教授のグループは、これまで大きな磁気異方性を有する金属磁性体において、超短パルスレーザーによって創出されるテラヘルツに迫る超高速スピン歳差ダイナミクス（コヒーレントマグノン）の研究で成果を挙げてきました[2]。本計画研究では、金属磁性体やそのナノヘテロ構造における光-コヒーレントマグノン変換とマグノン伝播の観察、その際の変換効率の解明と増大に取り組んでいます。

日本大学理工学部の塚本新准教授のグループはこれまで、偏光依存磁化反転現象[3]などを、本研究領域の国際研究協力者でもあるオランダ Theo Rasing教授のグループと共同して見出ししてきました。本計画研究では、遍歴電子磁性および高磁気モーメント局在電子磁性からなる金属合金材料を対象とし、100fs以下の電子、格子、磁気系での非断熱、非平衡過程に加え、異種磁性元素間の角運動量流など新しい現象にも重点的を置き、光誘起磁化反転現象の解明を目指します。

慶應大学理工学部 安藤和也講師のグループは、マイクロ波領域の電磁波と磁化ダイナミクスの非相反性による動的スピン流生成の系統的研究からマイクロ波領域の電磁波による界面スピン変換に着目し、マグノン-伝導電子スピン流変換やスピン-電荷変換に挑戦し、非線形光スピン変換効果の新物性を開拓します。最近、マグノン分裂に伴うスピン系の角運動量の増大によるスピン流の増幅を発表しました[4]。

筑波大学 筑波大学大学院数理物質科学研究科 大野裕三教授のグループは、半導体量子構造中の核スピンの量子コヒーレンスの制御の研究を行っています[5]。さらにA02班の産業技術総合研究所の齋藤グループと共同して、半導体スピンレーザー

### 研究代表者

大岩 顕

大阪大学産業科学研究

所・教授





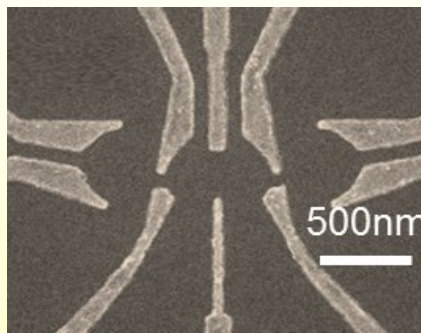
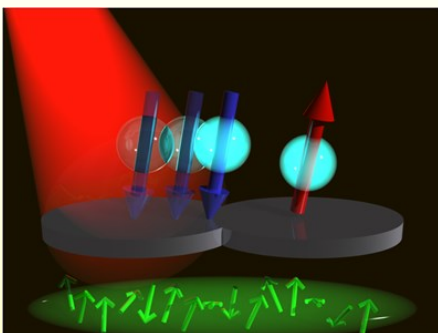
の研究を行っており、半導体量子井戸の電子スピン緩和機構を中心に研究を推進します。

最後に班長である大岩は単一量子間の光スピン変換の研究を行います(図1)。光子ではベル不等式の破れなど量子力学の基本原理が実証され、量子ドット中の単一電子スピンではスピン回転操作など量子計算に向けた研究が進んでいます。これまで量子ドットを独自に開発した単一光子検出法を使い[6]、単一光子が生成する単一電子スピンの間でのコヒーレントな光スピン変換の実証し、量子ドット中の電子スピンとマグノンなど異種物理系とのコヒーレント変換へと展開を図ります。

このようにA03班には、金属、半導体、絶縁体など広範な材料を使い、対象とする光も可視光からテラヘルツやマイクロ波まで幅広い領域にわたり、さらに測定方法も光学的・電気的と多彩な測定技術を有した、優れた研究実績を持つメンバーが集結しています。これから本領域での研究活動が新たなシナジーをもたらし、単独の研究グループでは成し得ない研究成果を生み出してゆくことを期待します。その一環として、昨年12月にグループ内の研究の相互理解を測るため、第一回光学的スピン変換ミーティングを慶應義塾大学で開催し活発な議論を交わしました。今後はさらに他班との連携や共同研究を推進します。そして光誘起磁化反転やコヒーレントマグノン励起のダイナミクス研究から、偏光に依存し非熱的な非線形光スピン変換の確立と共に、界面スピン変換や半導体量子構造におけるコヒーレントな光学スピン変換などの目標の達成を目指すと同時に、新しい光学的スピン変換現象の探索を行ってまいります。

#### 参考文献

- [1] V. Kimel et al., Nature **435**, 655 (2005).
- [2] S. Mizukami et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 117201 (2011).
- [3] C. D. Stanciu et al., Phys. Rev. Lett. **99**, 047601 (2007).
- [4] H. Sakimura, T. Tashiro and K. Ando, Nature Communications **5**, 5730 (2014).
- [5] M. Ono et al., Appl. Phys. Express **6**, 033002 (2013).
- [6] T. Fujita et al., Phys. Rev. Lett. **110**, 226803 (2013).



図：(左) 光子-電子スピン変換の模式図。(右) 光-スピン変換に用いたGaAs/AiGaAs量子井戸上の横型量子ドットの電子顕微鏡写真。

## 研究分担者

水上 成美  
東北大学 WPI-AIMR・  
教授

塚本 新  
日本大学理工学部・准教授

安藤 和也  
慶應義塾大学理工学部・  
専任講師

大野 裕三  
筑波大学大学院数理物質  
科学研究科・教授

## A04班「機械・熱的スピン変換」の研究

研究代表者 東北大学WPI-AIMR・教授 齋藤 英治

電子スピン・格子・磁化の間の相互作用を制御・利用することで、熱エネルギーや格子運動から効果的に電気エネルギーを取り出す現象に期待が集まっている。本班メンバーにより熱からスピン流・電力が生成される現象が見出された[1]が、この発見の本質は熱のみならず一般的な力学運動・熱運動と磁化間の角運動量変換効果の端緒を開いた点にある。しかし従来、観測される現象はごく限られていた。これを突破するために、従来の枠を超えた機械工学、物性測定、材料工学、理論物理の先端研究者を結集させ、本新学術領域研究で共有する界面スピン変換の研究を軸に、熱-スピン変換を種にスピンに基づく機械運動・熱・スピン変換効果の学理体系を新たに構築する。また、理学・工学に跨る研究により、スピンを利用したエネルギーテクノロジーの基礎を創出する。

本研究課題を実現するためのチーム構成は以下のとおりである。東北大学からは、原子分子材料科学高等研究機構の齋藤 英治（本研究統括）をリーダーとする物性測定チーム、金属材料研究所の高梨 弘毅をリーダーとする材料工学チームが参加する。一方、原子力研究開発機構（以下、原研）からは、小野正雄をリーダーとする機械工学チームで本課題に挑む。

以下では本研究課題につながる各チームのこれまでの成果について俯瞰する。齋藤チームでは、「逆スピンホール効果」の発見[2]を皮切りに前述の「スピンゼーベック効果」をはじめとした各種励起子によるスピンポンピング[1,3,4]を報告してきた。特に図に示す音響スピンポンピングの発見[3]により、本研究課題にとって必要不可欠な、力学的励起によるスピン流の生成が可能となった。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した。

一方、スピンゼーベック効果の逆効果となるスピン流による熱操作現象も初めて見出した。具体的には、非相反なスピン流を試料表面に局在するように励起させることで、スピン流による熱の移動方向の制御、すなわち「スピン流熱コンバーター効果」が起こることを発見した[5]。

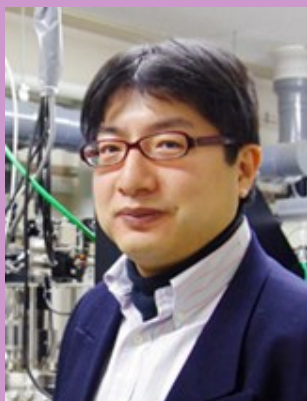
高梨チームでは、得意とするFePt規則合金ならびにホイスラー合金薄膜技術を用いることで、前述のスピンゼーベック効果に付随して起こる「異常ネルンスト効果」をむしろ積極的に熱電変換へと利用する研究を行ってきた。ホイスラー合金などの高効率スピン注入材料と共に異常ネルンスト効果を有効活用することで、スピンゼーベック効果による熱電素子のさらなる効率上昇が期待できる。これまで、スピンゼーベック効果による熱電素子では逆スピンホール効果によるスピン流電流変換のみが注目されていたが、異常ネルンスト効果をも含んだスピン流電流変換の重要性が示された。

### 研究代表者

齋藤 英治

東北大学WPI-AIMR・

教授



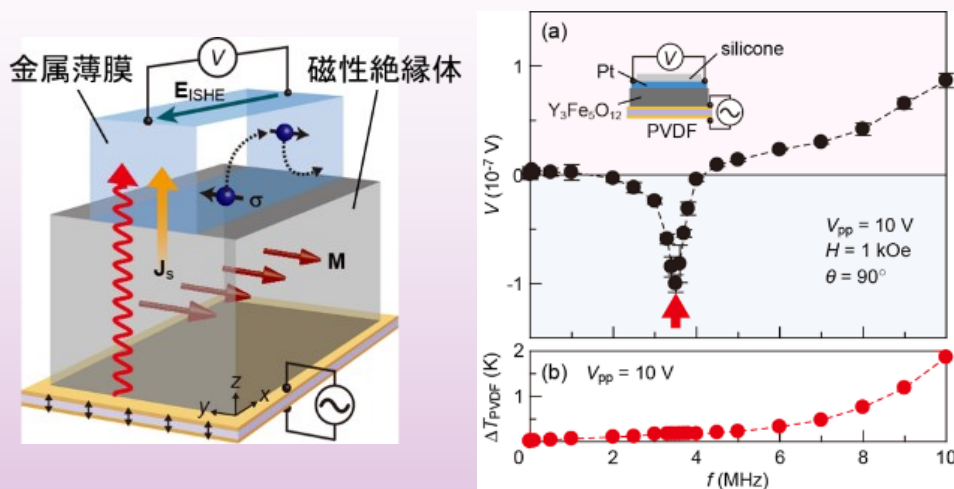
原研のチームは、更なる機械工学とスピントロニクスとの融合に向けて、回転系における電子物理の体系を基礎原理から構築し、新分野を確立するに至った。理論チームはスピン流による力学運動-電気変換を実現する上で不可欠な、力学的運動とスピン流の相互作用という物理像を開拓するために、一般座標共変なディラック方程式からスピンと原子核系の運動を記述する有効モデルを導出した[6]。機械工学チームは、物体の回転運動に磁性体中の電子スピン角運動量が応答し、物体が磁化する現象（バーネット効果）を、非慣性系における核磁気共鳴（NMR）法をにより、初めて観測することに成功した[7]。

本班では、今後、機械運動・波動・音とのスピン変換：界面スピン変換を利用し、格子の回転を伴う連続体の運動とスピン輸送との相互作用現象を開拓し、学理を構築する。また、熱的スピンポンプの概念を一般化し、マグノン・伝導電子スピン流両者を駆使した、相反性を持つ熱-スピン相互変換物理を創出する。スピントロニクスとマイクロ機械工学の融合により、電流・スピン流と機械運動・熱を相互作用させる新しいエネルギー変換現象の開拓と学理の構築を行う。

本研究の遂行により、我が国がリードしてきたスピン利用技術から新たなエネルギー変換科学技術の体系を創出し、従来その概念すら存在しなかった機械運動・熱・スピン変換の学理及び基礎技術が構築される。

#### 参考文献

- [1] K. Uchida, et al., Nature **455**, 778 (2008).
- [2] E. Saitoh, et al., Appl. Phys. Lett. **88**, 182509 (2006).
- [3] K. Uchida, et al., Nat. Mater. **10**, 737-741 (2011); J. Appl. Phys. **111**, 053903 (2012).
- [4] K. Uchida, et al., Nat. Comm. **6**, 5910 (2014).
- [5] T. An, et al., Nat. Mater. **12**, 549-553 (2013).
- [6] M. Matsuo, et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 076601 (2011); Appl. Phys. Lett. **98**, 242501 (2011); Phys. Rev. B **84**, 104410 (2011).
- [7] H. Chudo, et al., Appl. Phys. Express **7** 063004 (2014).



図：音響スピンポンピングの概念図。角運動量変換を介して、各自由度間のエネルギー変換の外的なコントロールが実現される。

### 研究分担者

小野 正雄  
日本原子力研究開発機構  
先端基礎研究センター・  
研究副主幹

高梨 弘毅  
東北大学金属材料研究  
所・教授

## A05班「スピン変換機能設計班」の研究

研究代表者 東京工業大学大学院理工学研究科・教授 村上 修一

### 研究代表者

村上 修一

東京工業大学大学院理工  
学研究科・教授



A05班は本新学術領域研究を構成する5班のうち唯一の理論班です。A05班の研究内容を2つに大別すると、第一は(a) スピン変換学理を理論的に構築し、それを実現する系を理論的に探索することです。理論研究で最も重要なのは新しいアイデアです。新しいアイデアに至るための切り口として、(a1) 新しい理論的枠組み、(a2)新材料・新物質、(a3)界面、薄膜などの構造の利用、の3つの方針に立脚して研究を行い、新奇スピン変換現象の予言や解釈をおこなっています。

第二に(b) A01~A04 実験班との連携によるスピン変換機能探索、すなわち実験に即した理論の構築や新しい実験結果に対する理論的解釈のなどを行っています。この分野は歴史的にも、理論研究と実験研究の連携が強く、その連携がブレイクスルーをもたらしてきた経緯があり、新学術領域研究を通じてその連携をさらに進めています。

A05班長は村上修一（東京工業大学大学院理工学研究科）で、班員は前川禎通（日本原子力研究開発機構）、Gerrit E. W. Bauer（東北大学金属材料研究所）、永長直人（東京大学大学院工学系研究科・理化学研究所）、多々良源（理化学研究所）の5チームで構成されていて、それぞれに特色のある研究を行っています。

A05班の研究の例として、まず村上チームでの研究について少し説明します。村上らは新奇現象探索の一つの切り口として、ベリー曲率とよばれる、バンド構造に起因した波動関数の微分幾何的な性質が現れる物理現象に焦点をおいて研究しています。その代表例が永長らとの共同研究に基づく、スピン軌道相互作用による内因性スピンホール効果[1]の予言です。これは金属や半導体に電場を印加すると、スピン軌道相互作用に起因してスピン流が横向きに流れる効果です。この効果は電流とスピン流の相互変換を可能にし、その逆効果は、スピン流の電氣的検出に広く利用されています。

そうしたベリー曲率はさまざまな粒子系に共通に現れるため、同様の枠組みを応用することで別の粒子系での新奇現象の予言に応用することができます。実際スピン波（マグノン）に応用し、マグノンの熱ホール効果（図(a)）が起こることを永長チーム[2]、村上チーム[3]で予言しています。また電子系の量子ホール系のアナロジーを用いて、人工的に周期性を導入した磁性体において、マグノンのバンド構造にギャップが開きギャップ中にカイラエッジモードが出現するような「トポロジカルマグノニック結晶」の理論的予言(図(b))もおこなっています[4]。

前川チームはスピンゼーベック効果[5]、スピン起電力などの新奇スピン変換現象に関する研究の実績があり、それらの経験を元に、スピンポンピング、スピンゼーベック効果の研究に取り組み、スピン変換機能の創成、制御の方向性を探索しています。



Bauerチームはスピンホール磁気抵抗[6]など、実験と連携した理論の構築に取り組んでいます。そうした立場よりさまざまなスピン変換機能を網羅的・統一的に扱う枠組みを構築し、薄膜、スピンバルブ、超格子などの構造に起因したスピン変換機能を探索しています。

永長チームは、トポロジカル絶縁体やスキルミオン系[7]などの新奇な相での研究での実績を生かして、トポロジカル絶縁体表面状態や、スキルミオン系でのスキルミオンの運動等を利用したスピン変換機能について研究を引き続き行っています。

多々良チームは磁性体での電流誘起磁壁の移動などを皮切りに、有効電磁場（スピン電磁場）を用いた理論に取り組んできており、最近ではspin damping monopole[8]などの研究成果があります。こうした方向から新しいスピン制御メカニズムの可能性を探っています。

スピン変換現象は電子スピンをはじめ、フォトン、フォノン、マグノン等多様な役者が登場し、理論的な興味が尽きない研究対象です。自由な着想に基づく研究を引き続き展開していくとともに、公募研究で入る研究者の方々とも研究交流を深めて、領域内連携から理論の方面からブレイクスルーをもたらしたいと考えています。

#### 参考文献

- [1] S. Murakami, N. Nagaosa, S.-C. Zhang, *Science* **301**, 1348 (2003).
- [2] H. Katsura, N. Nagaosa, P. A. Lee, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 066403 (2010).
- [3] R. Matsumoto, S. Murakami, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 197202 (2011).
- [4] R. Shindou, J. Ohe, R. Matsumoto, S. Murakami, E. Saitoh, *Phys. Rev. B* **87**, 174402 (2013).
- [5] H. Adachi, K. Uchida, E. Saitoh, S. Maekawa, *Rep. Prog. Phys.* **76**, 036501 (2013).
- [6] Y.-T. Chen, S. Takahashi, H. Nakayama, M. Althammer, S. T. B. Goennenwein, E. Saitoh, and G. E. W. Bauer, *Phys. Rev. B* **87**, 144411 (2013).
- [7] J. Iwasaki, M. Mochizuki and N. Nagaosa, *Nature Nanotech.* **8**, 742 (2013).
- [8] A. Takeuchi, and G. Tatara, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 033705 (2012).

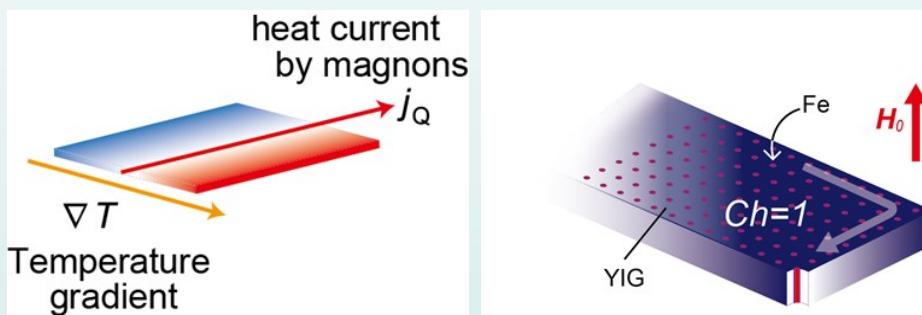
## 研究分担者

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

多々良 源  
理化学研究所 創発物性  
科学研究センター・チームリーダー

永長 直人  
東京大学大学院工学系研究科・教授  
(理化学研究所 創発物性  
科学研究センター・副センター長)

Gerrit E. W. Bauer  
東北大学金属材料研究所・教授



図：(a)熱ホール効果の模式図。(b)トポロジカルマグノンニック結晶の模式図。

# 研究最前線

領域の研究を支えるの皆様の研究活動や最新の成果を紹介します。

## 反強磁性体へのスピン注入およびスピントルク効果

京都大学化学研究所 ナノスピントロニクス研究分野

森山貴広、小野輝男

A01班

<http://www.scl.kyoto-u.ac.jp/~onoweb/>

近年、伝導電子スピンと局在磁化の相互作用であるスピントルク効果は固体磁気メモリなどへの応用を目指して活発に研究が行われている。これらの研究はこれまで主に強磁性体を対象に行われてきた。反強磁性体は全体として自発磁化を持たないが、原子スケールで磁化を有する為、同様のスピントルク効果の発現が期待されている[1]。本研究では、反強磁性体におけるスピントルク効果の解明を目指す。



教授 小野輝男



助教 森山貴広

### はじめに

伝導電子のスピン角運動量は、スピン軌道相互作用を介して角運動量保存則により磁化に加わる回転力に変換される(スピントルク効果)。これにより磁化は歳差運動を始め、臨界値に達すると向きを反転する。この現象を利用したスピントルク発振子あるいはスピントルク磁気固体メモリなど様々なスピントロニクス素子が考案されている。これらの研究は主にマクロな磁化が観測される強磁性体を用いて行われてきた。

一方、反強磁性体は従来のスピントロニクス素子においても重要な役割を担っており、主に磁性層の磁化を一方に固定する交換バイアスを得るために利用されてきた。反強磁性体は全体で見ると自発磁化はゼロで磁性を持たないと思われがちであるが、原子レベルでは反平行に結合し

た磁化を有しており、強磁性体と同様にスピン流との相互作用やスピントルクによる磁化の制御が可能であると考えられる[1]。最近、反強磁性体と電子スピンの相互作用を解明し、それを積極的に利用した新規スピントロニクス素子を創成する、所謂、反強磁性体スピントロニクスの研究が活発になってきている。たとえば、反強磁性体の共鳴周波数は、強磁性のそれに比べて2ケタほど高い、テラヘルツ近傍にある。スピントルク効果にて磁化ダイナミクスが制御できればテラヘルツでの利用が可能なスピントロニクス素子などが期待できる。

本研究では、よく知られている強磁性体におけるスピントルク効果に対して、反強磁性体においてどのようにスピン流がスピントルクを及ぼすのかということ調査し、最終的にはスピン流と反強磁的に結合した磁化ダイナミクスとの相互作用を理解するというを目的とする。



## 反強磁性体へのスピン注入

CoFe/Cu/CoFe/FeMn等のスピバルブ構造に面内垂直に電流を流すことにより、交換バイアスが電流方向によって可逆的に変化するという実験結果が既に報告されている[2]。これは、スピン流によって強磁性層・反強磁性層界面に存在する非補償磁気モーメントがスピントルクを受け、それに追従し反強磁性体の磁化構造が変化すると説明されている。我々はより直接的にスピン流とバルクの反強磁性磁化の相互作用を調査するため、スピンホール効果によるスピン流注入を利用した。図1(a)に試料構造の模式図を示す。Pt層に直流電流を流すとスピンホール効果により、純スピン流が反強磁性体IrMn層に注入される。反強磁性体単体では、スピントルク効果により磁化方向が変化したとしても、磁気抵抗測定や磁化測定が容易では無いため観測できない。そこで、反強磁性・強磁性体2層膜を用いることで、反強磁性体の磁化構造の変化を、交換結合を介して強磁性層に写すことでスピン流による影響の調査を行った。

## 強磁性共鳴を用いたスピントルクの評価

我々は、反強磁性・強磁性体2層膜の有効ダンピング（磁性体系内での角運動量の収支）に注目することで、スピン流の作用（スピントルク効果による角運動量の流入）を量的に評価する手法を用いた。以上に示した試料構造において、強磁性共鳴(FMR)を用いたスピントルクの量的評価を行った。図1(b)に示した様に試料をストリップ状に加工し、高周波電流および直流電流を同時に印加する。高周波電流により試料周りに誘起される高周波磁場は強磁

性共鳴条件において強磁性層の磁化の歳差運動を励起する。歳差運動による磁気抵抗の時間変化と高周波電流の結合による整流効果によりFMRスペクトルが得られる。同時にPt層に流れる直流電流により、スピン注入によるスペクトルの影響が調査できる[3]。我々は、特にこのFMRスペクトルの線幅に注目して実験を行った。一般的に、スペクトル線幅は磁性体系内での有効ダンピングに比例する。すなわち、線幅に注目することで反強磁性・強磁性体2層膜におけるスピントルク効果が量的に評価できる。図2にPt 4nm/FeCoB 4nmおよびPt 4nm/IrMn 23nm/FeCoB 4nmにおける線幅の変化の直流電流依存性を示す。Pt 4nm/FeCoB 4nmについてはPtからのスピン流が直接FeCoB層に作用するため、線幅が大幅に変化していることが分かる。興味深いことにPt 4nm/IrMn 23nm/FeCoB 4nmにおいても線幅が変化していることが分かった。これは、Ptからのスピン流（角運動量）がIrMnを伝搬しFeCoBに影響を与えていることを示唆している[4]。

## 参考文献

- [1] A. H. MacDonald and M. Tsoi, Phil. Trans. R. Soc. A **369**, 3098 (2011).
- [2] Z. Wei, A. Sharma, A. S. Nunez, P. M. Haney, R. A. Duine, J. Bass, and A. H. MacDonald, and M. Tsoi, Phys. Rev. Lett. **98**, 116603 (2007).
- [3] L. Liu, T. Moriyama, D. C. Ralph, and R. A. Buhrman, Phys. Rev. Lett. **106**, 036601 (2011).
- [4] T. Moriyama, M. Nagata, K. Tanaka, K-J. Kim, H. Almasi, W. Wang, T. Ono, arXiv:1411.4100

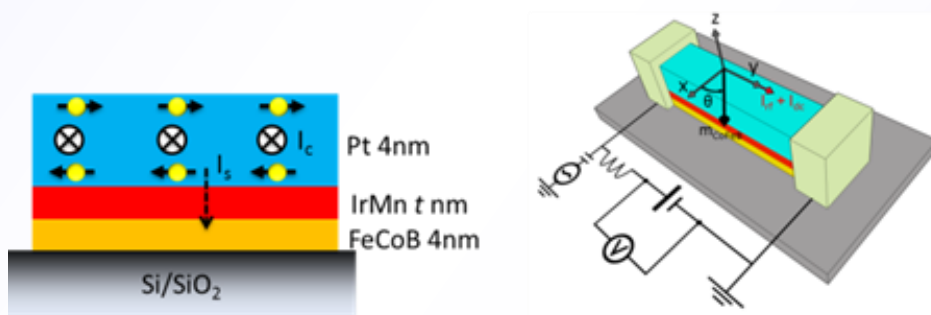


図1(a)：試料構造の断面模式図 (b) 強磁性共鳴測定の模式図

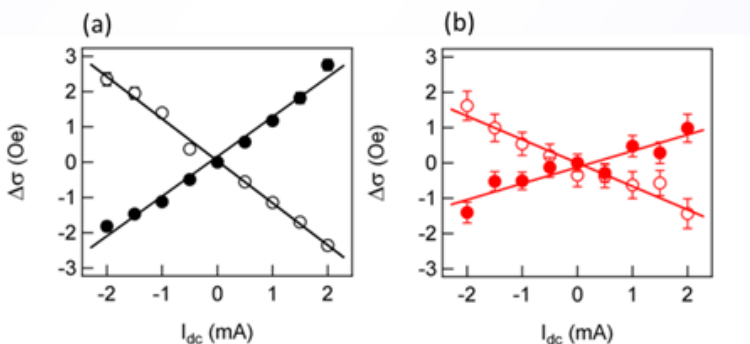


図2(a)：Pt 4nm/FeCoB 4nmおよび(b) Pt 4nm/IrMn 23nm/FeCoB 4nmのスペクトル線幅変化の直流電流依存性 ●のデータは○に対して磁化方向を180度変えた場合

# スピン・光相互作用による円偏光発光素子の開発

産業技術総合研究所 ナノスピントロニクス研究センター

齋藤秀和、揖場聡

A02班

[https://unit.aist.go.jp/src/ci/intro\\_organization.html](https://unit.aist.go.jp/src/ci/intro_organization.html)

本プロジェクトでは、電子スピン・光相互作用を用いた代表的な半導体デバイスである電流注入型スピンレーザの基盤要素を開発し、その実現に挑戦する。



齋藤秀和 チーム長



揖場聡 研究員

## ■はじめに -スピン偏極レーザについて-

近年、電子のスピン自由度を用いるスピントロニクスと呼ばれる分野が注目されている。我々は半導体中の電子スピンを使用した新規スピンデバイスとして、スピンと光の相互作用を活用する新たな半導体レーザ“スピンレーザ[1]”に着目している。

電子のスピン方向(upとdown)と光の円偏光(左円偏光 $\sigma^-$ と右円偏光 $\sigma^+$ )は、スピンと光の相互作用である光学遷移選択則を通して対応関係にある(upスピン $\leftrightarrow\sigma^-$ 偏光、downスピン $\leftrightarrow\sigma^+$ 偏光)。図1に示すように、伝導帯において片側のスピン状態の電子数が他方のスピン状態の電子数よりも多い状態(これをスピン偏極状態と呼ぶ)では、再結合過程において円偏光が放射される。そのため、電子がスピン偏極していない通常の半導体レーザは直線偏光でレーザ発振するが、スピン偏極している場合、円偏光でレーザ発振する。即ち、スピンレーザでは半導体中のスピン偏極状態を光の偏光としてコヒーレントな光信号に変換できる。片側のスピン状態の電子のみがレーザ発振に寄与するため、発振閾値の低減なども期待できる。また、スピンレーザは、低消費電力化に資するだけでなく、次世代の偏光多重通信や量子暗号技術、更には、キラル分子認識技術やディスプレイなど広範囲に応用できる可能性を秘めており、その技術発展が期待されている。これらの応用では高

い円偏光度 $P_c (> 0.9)$ でレーザ発振することが要求される。

## ■従来研究と課題

高い $P_c$ で発振するスピンレーザの実現のためには、1)レーザ発光層中に膜面直方向へスピン偏極した状態を生成する手法、および、2)スピン偏極状態を長時間保持する方法の確立が必須である。これまで米国のミシガン大のHolubらによりスピンレーザに関する先駆的な研究成果が報告されている[2]。1)に関して、彼らは電極として磁性材料を使用し、磁化方向に揃った電子スピンをレーザ発光層まで輸送することでスピン偏極状態を生成した。しかし、磁性電極として面内磁化材料であるFeを利用しているため、磁化を面直方向にするために外部から強磁場( $\sim 2$  T)を印加する必要があった。このような強磁場を発生させるためには大型のマグネットが必要であるため、実用性を鑑みると印加磁場を必要としない垂直磁化電極の利用が必須である。2)に関して円偏光レーザ発振のためにはスピン偏極状態の保持時間(電子スピン寿命)が1 ns程度必要である。しかし、彼らはスピン寿命が0.1 ns程度と極めて短い(100)面方位量子井戸を発光層として利用しているため、低温においても円偏光発振していない( $P_c \sim 0.3$  at 50 K)。

## 課題克服へ向けた取り組み

上記の課題を克服すべく、揖場らは（奈良先端大学在学中）まず長い $\tau_s$ の実現を検討し、室温においてnsオーダーのスピ寿命が期待される(110)面方位のGaAs量子井戸(QW)[3]に着目してきた。従来困難とされてきたGaAs(110) 基板上において高品質な結晶成長技術を確立し、室温で約2 nsに達する長いスピ寿命を得ることに成功した[4]。そしてGaAs(110)基板上にレーザ構造を作製し、円偏光励起により誘起したスピ偏極電子を利用することにより、ほぼ完全な円偏光 ( $P_c \sim 0.96$ )での室温レーザ発振に世界で初めて成功している[5]。

スピレーザの応用を見据えると、半導体中にスピ偏極状態を生成する方法として電氣的な手法の導入が必須である。これは磁性電極/トンネル障壁層/半導体ハイブリッド構造を利用し、磁性電極中のスピ偏極電子を半導体側に注入することにより実現できる。ここで、零磁場での円偏光発振のためには、垂直磁化を有する強磁性電極の導入が必須である。

## 本研究の目標、開発課題および研究体制

本研究では、外部磁場を用いずに室温で円偏光発振する電流注入型スピレーザの実現に挑戦する。そこで、目標達成に必要な以下の課題に取り組む。

- 1) 垂直磁気異方性を有するスピ注入源の開発
- 2) 室温でnsオーダーのスピ寿命を有する (110)量子井戸の作製
- 3) 上記1)および2)を用いた(110)スピLEDによる室温零磁場での高い円偏光での発光

1) のスピ注入源としては、垂直磁化膜材料として実績のある[Co/Pd]および[Fe/Te]多層膜を用いる。ただし、これらの材料はスピ分極率が必ずしも高くないため、トンネル障壁層との間にFeやCo等の高スピ偏極材料を挿入する。トンネル障壁層としては産総研が開発した新障壁層材料Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [6]を主に用いる。2)の課題について、量子井戸中のスピ寿命の評価のために筑波大学大野研究室と共同で時間分解測定を実施し、nsオーダーのスピ寿命を有する(110)量子井戸作製条件を確立する。3)では円偏光レーザ発振に必要な10 %以上の円偏光発光を、室温かつレーザ発振に必要な電流注入レベルにおいて目指す。

現在、成膜装置等の実験に必要な装置群の整備が終了し、垂直磁化膜および量子井戸の作製を開始している。その他、IV族半導体であるGeを用いた円偏光発光素子に関する開発研究にも取り組む予定である。

## 参考文献

- [1] J. Sinova et al., Nature Mater. **11**, 368 (2012).
- [2] M. Holub et al., Phys. Rev. Lett. **98**, 146603 (2007).
- [3] Y. Ohno et al., Phys. Rev. Lett. **83**, 4196 (1999).
- [4] S. Iba et al., Physica E **41**, 870 (2009).
- [5] S. Iba et al., Appl. Phys. Lett. **98**, 081113 (2011).
- [6] H. Saito et al., Appl. Phys. Lett. **96**, 012501 (2010).

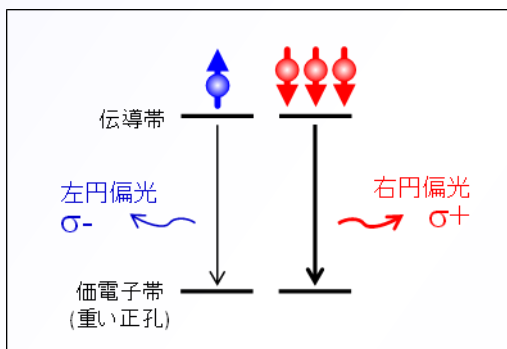


図1：バンド間遷移における電子スピと円偏光の関係

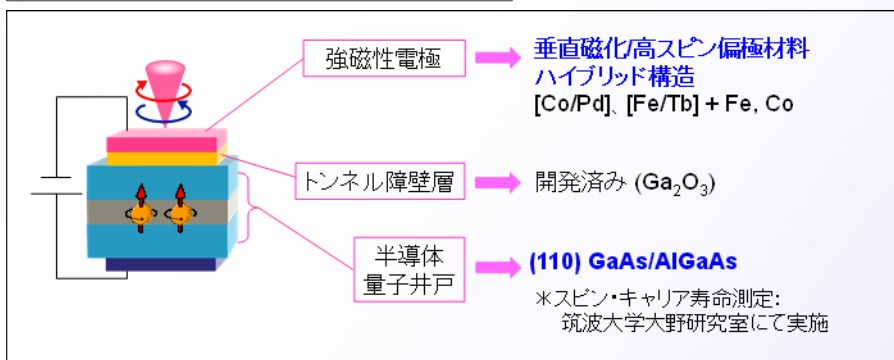


図2：スピレーザ実現に必要な構成要素と研究課題



# 磁性超薄膜における超短時間領域分光計測と超高速光スピン制御

日本大学理工学部 電子工学科 塚本新

A03班

<http://atlab.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/>

光誘起磁化反転現象の機構解明を主要課題とし、金属系磁性体を対象に角運動量およびエネルギー散逸過程の体系的理解を通じスピンに注目した超短時間光物質作用の検討を行う。



准教授 塚本新

## はじめに

固体磁性体、特に磁性多層薄膜における磁化（集団スピン）ダイナミクスの理解及び制御法の確立は、スピンの係る諸現象の理解、スピンを積極的に利用した応用展開に向け重要な課題である。特に本新学術領域研究の主題の一つとして挙げられるように粒子・準粒子間での微視的領域における角運動量変換、散逸機構解明という視点での理解・知見が重要な役割を担うものと考えられる。本研究においては、電子系、スピン系、格子系における素過程の時間スケールの違いが顕在化するフェムト秒から数十ピコ秒の時間領域に注目し、超短パルス光利用極短時間領域分光計測を特徴とし、スピンに注目した超短時間光物質作用の検討を行う。

## 偏光依存全光型磁化反転現象

筆者らは、金属磁性薄膜の磁化を超短パルス光の照射のみで反転可能である事を、本研究領域の国際研究協力者でもあるTheo Rasing教授らとともに、世界に先駆け発見した[1]。GdFeCoフェリ磁性希土類遷移金属合金磁性体を対象材料とし、偏光依存光誘起磁化現象の検討を行い、室温環境下で完全磁化反転が可能であり、かつ左右円偏光により最終磁化状態を制御できる事、すなわち偏光依存全光型磁化反転現象（AO-HDS: all-optical light helicity-dependent magnetic switching）の存在を見出した。図1に室温環境下における実験例（偏光顕微鏡観察像：実験状況の説明に光線等を挿入）を示す。まず、20 nm厚の

垂直磁化GdFeCo 試料表面でパルス長90 fsの右回り円偏光( $\sigma^+$ )を走査し全体を単磁区状態（図中淡部）にする。その後、左回り円偏光( $\sigma^-$ )を走査し、反転磁区（図中濃部）により日本大学のロゴであるN.（エヌドット）を形成したものである。

本現象は、単一超短パルス光照射のみで完全反転磁化が誘起可能であるだけでなく、初期磁化状態によらず偏光方向により光照射後の磁化方向を制御可能、つまり情報の上書き記録が可能であり、情報記録のみならず、超高速スピン制御に向けた原理として、スピントロニクスデバイス等への波及効果が期待される。

## 超短時間領域：新奇なスピンドイナミクス

近年、主として可視光、X線を用いた超高「時間分解」計測技術の進展により、徐々にフェムトからピコ秒領域での磁性物理の理解が進み、フェムト・マグネティズムと呼ばれる分野が形成されつつあり、従来の知見では理解できない新奇な現象が報告されている。前述の外部印加磁場を必要としないAO-HDSについても、発見当初最も明らかと思われた逆ファラデー効果（IFE: inverse Faraday effect）による説明では、これまで観察した種々の特徴を定性的にしか説明できず、その機構については依然として議論が続く。IFEは、超短パルス光（ $\sim 100$  fs）による磁気系への偏光依存非熱的作用として捉えられ、反強磁性体（ $\text{DyFeO}_3$ 、 $\text{TmFeO}_3$ ）、磁性ガーネット（ $\text{LuYBiFeGaO}$ ）

等、幾つかの透明磁性体においてその効果が確認されている。筆者らも金属磁性体における稀な例としてGdFeCoに関しその存在を報告しているがAO-HDSへの寄与は小さいものと考えられる。

このような状況において、さらにGdFeCoにおけるスピンドYNAMIKSの検討を進めた結果、AO-HDSとは異なる特徴を有する、新たな全光型磁化反転(all-optical magnetization switching: AOS)現象を見出した。超短パルス光照射による「超高速加熱」のみにより、決定論的な磁化反転を引き起こす新奇な熱パルス誘起全光型磁化反転現象である[2]。こちらも、外部磁場印加を必要とせず、パルス長90 fsの単一パルス光を照射するのみで磁化反転が誘起されるが、AO-HDSとは異なり、複雑な構造の初期磁区状態においてもパルス光照射領域内の磁化状態が逆転した磁区構造が形成され、また、偏光状態によらず、磁性体に吸収される光エネルギー量がある閾値を超える事で本現象が発現する事を確認している。

### 超短時間光物質作用の解明に向けて

前述の新たなAOS発現機構には、図2に示すような副

格子磁化構造において、副格子スピン間での角運動量伝達が重要な役割を担っており、さらにAO-HDSの主要機構として寄与しているものと考えている。また、ナノメートル・スケールでの空間的スピン流の寄与を示唆する結果も得られている[3]。これら、超短時間光物質作用の機構解明には、図3に示すように、光照射から最終安定磁化構造の形成に至るまで、スピンに注目しつつ、角運動量およびエネルギー散逸過程の体系的理解が不可欠となる。金属薄膜内では、光照射に続くフェムト〜数十ピコ秒の時間領域において、電子・格子・スピン系内・系間、そして空間的に、非平衡、非断熱的エネルギー散逸過程が顕在化する。

これら緩和過程を実験的に明らかにする事を通じ、光誘起磁化反転現象に代表される新奇な超短時間光物質作用の解明を目指す。

### 参考文献

- [1] C.D. Stanciu et al., Phys. Rev. Lett. **99**, 047601 (2007).
- [2] T.A. Ostler et al., Nat. Commun. **3**, 666 (2012).
- [3] C. E. Graves et al., Nat. Mater. **12**, 293 (2013).

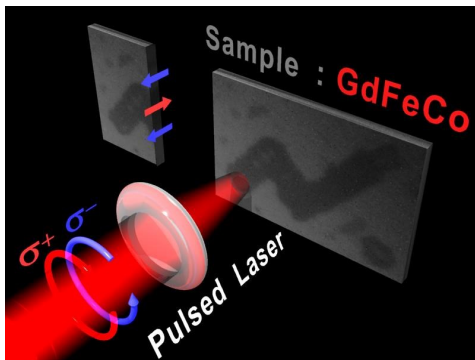


図1：偏光依存全光型磁化反転現象

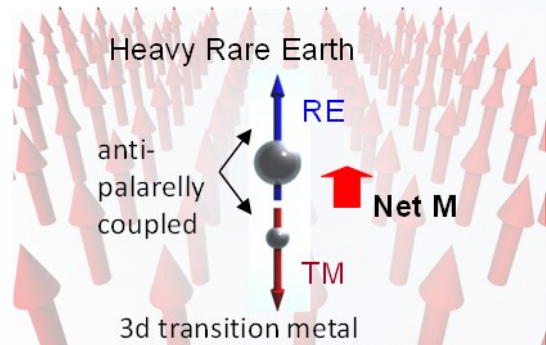


図2：副格子磁化構造を有するGdFeCo金属合金

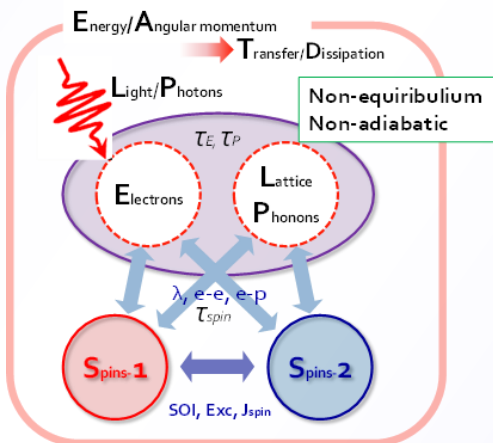


図3：角運動量・エネルギー散逸機構

# 機械的スピン変換と高速回転技術

原子力機構 原子力科学研究部門 先端基礎研究センター

小野正雄

A04班

<http://asrc.jaea.go.jp/index.html>

A04班の研究テーマは機械・熱的スピン変換です。今回は、機械的スピン変換のうち、「回転運動」の制御に関する取り組みについて紹介します。まず、機械的スピン変換立ち上げのきっかけとなった成果の一つであるNMRを用いた力学的回転運動と核スピンの相互作用の検出について紹介し、この研究に必要な高速回転技術について説明します。



研究副主幹 小野正雄

## はじめに

機械的スピン変換では、力学的角運動量と原子核の角運動量を利用する新しいスピントロニクスの実現を目指しています。我々は「回転運動」を軸とした展開として、常磁性状態の磁性体や核スピンの磁気回転効果、流体運動を利用したスピントロニクス研究を展開しています。まったく新しい分野を開拓するという挑戦的な課題ですが、数年間の試行錯誤で出てきた研究の芽は、当該新学術領域の支援をうけて徐々に成果へとつながりはじめました。今回は、機械的スピン変換立ち上げのきっかけとなった成果の一つとして、当研究班の中堂らによる核磁気共鳴(NMR)法を用いた力学的回転運動と核スピンの相互作用の検出[1]について紹介し、この研究に必要な高速回転技術について説明したいと思います。

## NMRを用いた力学的回転運動と核スピンの相互作用の検出

力学的角運動量と核スピン間の機械的スピン変換を実現するため、我々は核スピンのバーネット効果の検出を試みました。バーネット効果とは、磁性体を回転させると磁化する現象です[2]。これは、回転によってバーネット磁場と呼ばれる有効磁場が誘起され、スピンのバーネット磁場方向に偏極すると説明されます。この現象を用いたスピ

ン流生成理論も提案されています[3]が、バーネット磁場の直接測定はされていませんでした。

バーネット磁場 $B_{\Omega}$ は回転の角速度 $\Omega$ に線形依存しており、以下の通り表されます。

$$B_{\Omega} = (2m/qg)\Omega$$

ここで、 $m$ と $q$ と $g$ はそれぞれ、粒子の質量、電荷、 $g$ 因子です。

NMRでバーネット磁場を測定するための最大の困難は、1秒間に数万回転する試料と同じ回転座標での計測を実現することです。もし試料と検出器に相対速度があると、相対速度によるNMRシフト(回転ドップラー効果)が生じてバーネット磁場によるNMRシフトを打ち消してしまうためです。我々は新たなNMR手法を開発してこれを克服し、バーネット磁場の直接測定に成功しました[1]。回転座標系でのバーネット磁場の測定は、新たに開発した検出コイルからなる同調回路と試料を同じ回転子の中に組み合わせることで実現しました。図1は実験アセンブリの模式図です。このアセンブリは大別して2つの構成要素からなっています。一つはNMRスペクトロメーターにつながれて外部磁場 $B_0$ に沿って配置されている静置コイル、もう片方は特異な配置を持つ同調回路が組み込まれた円筒状の回転子です。この回路には小さなコンデンサに直列接続され、かつ、互いが直交する2つの小コイルが組み込まれています。一方の結合コイルは静置コイル内に平行に配置される



ようになっており、非接触ながら同調回路と静置コイル間の相互インダクタンスによる電気的な結合が成立しています。もう一方の試料コイルは内部に試料を内包しています。結合コイルに誘導されたRF磁場は試料コイルに転送されます。この仕様により、試料コイルは試料と全く同じ回転速度で回すことができます。高速回転の発生には、JEOL RESONANCE製の固体NMR専用高速回転装置(ベンチスピナ)を利用しています。図2は納品状態のベンチスピナ、回転子、回転子に搭載する検出器の写真です。指の上にある白い筒が回転子、横の棒状のものが検出器です。回転子の上部の茶色い部分が羽根車になっており、回転子をベンチスピナ本体の穴の中にセットして羽根車に空気を吹き付けると、最高で22kHzまでの高速回転が可能です。我々の実験では、実験アセンブリの遠心強度を考慮して10kHzまでの回転速度で利用しています。

図3-Aは、InPを対象とした測定で得られた<sup>115</sup>InのNMRスペクトルを角速度 $\Omega$ でプロットしたものです。NMR周波数は $\Omega$ に対して比例して増加しています。また、回転方向を逆転するとNMRシフトが逆方向、すなわち、 $B_0$ の向きが反転しています。この<sup>115</sup>Inのg因子は正、すなわち、核磁気モーメントは角運動量に平行であることが知られています。

加えて、我々は、負のg因子を持つ核種で測定を行いました。図3-Bは、<sup>29</sup>Siを対象とした測定実験で得られた<sup>29</sup>SiのNMRスペクトルを角速度 $\Omega$ でプロットしたものです。負のg因子を持つ<sup>29</sup>Siでは回転方向に対するNMRシフトが<sup>115</sup>Inの場合と逆転しています。これは、パーネット磁場が<sup>115</sup>Inとは逆向きに生じていることを意味しています。

この結果は、原子核が外部磁場 $B_0$ 以外に、試料の回転に依存する付加的な磁場を感じていることを示しており、これがパーネット磁場の直接的な証拠です。以上の通り、我々はNMRを用いて原子核のパーネット磁場の直接測定に成功しました。この結果は、力学的回転運動で核スピンを制御できる可能性を示唆しています。

## ■ 当該研究に必要な高速回転技術

本研究成功の最大のポイントは、試料と検出器を同じ回転座標系に載せる観測手法を構築できたことです。特に高速回転技術は、この手法構築に欠かせない要素でした。当該研究では、先述の通り、高速回転装置の開発そのものは不要でした。今回必要であった高速回転技術は「回転子の重量バランス調整スキル」でした。

ベンチスピナは、回転子に粉末試料を詰めて回すだけの本来の使い方であれば、高確率で正常に回転します。もし重量バランスが崩れていると回らないわけですが、

中の粉末を何度か詰め直しているうちに偶然に重量バランスが整い、正常に回転するようになります。ところが、我々が回りたい検出器は、重量バランスが悪い「塊」であり、粉末の再配置のような偶然は期待できないため、その塊を削るなどして積極的に重量バランスを調整しなければなりません。したがって、「回転子の重量バランス調整スキル」が必要でした。

## ■ 回転子の重量バランス調整の重要性

ところで、重量バランスが悪いとベンチスピナで回転子が正常に回らない理由の理解には、軸受に関する知識が必要です。高速回転装置に代表的な3種類の軸受、「高速ボールベアリング」、「オイルフロート軸受」、「空気軸受」について私なりの研究経験を交えながら簡単に説明します。

ボールベアリングは「球体は転がる」ことを利用した代表的な軸受で、回転機構を持つ道具のあらゆる場所に用いられています。普通のボールベアリングのボールが金属製であるのに対して、高速ボールベアリングには摩耗しにくいセラミックス製のボールが用いられており、高速回転による発熱に対応するために油を混ぜた空気を常に吹き付けて潤滑と冷却を行うという特徴があります。筆者は、強い遠心力で固体中の原子を動かす研究も行っていますが、この研究で用いている遠心機[4]の回転発生部であるエアタービンに、この高速型ボールベアリングが用いられています。比較的許容加重が大きく、多少重量バランスが悪くても、ベアリングが破壊されないかぎり、強引に回転軸を高速回転に持ちたすことができます。我々の遠心機では1kg程度までの重量の遠心機ロータを最高3kHzまでの回転速度で回すことができます。ただし、高耐久のセラミックボールが使われているとはいえ、必ず摩耗する接触型軸受であるため、長時間運転には向いていません。

続いて、オイルフロート軸受は「流体で物を浮かす」ことを利用した軸受です。これを用いた高速回転装置の代表例は、車のターボチャージャー用のガスタービンです。この用途に最適な理由は、潤滑のためのオイルを同時にガスタービンの冷却に利用できること、非接触型軸受なので、車の耐用年数以上の寿命を担保できること、および、流体によるダンピング効果があるので、急激な負荷変動に耐え得ることです。ちなみに、このオイルフロート軸受は先ほど紹介した遠心機において、エアタービンとは別の場所に制振目的で用いられています。遠心機ロータを細いスピンドルを介してエアタービンに吊るして回す仕様なのですが、回転数上昇時にスピンドルに生じる共振による振動、および、遠心処理が進んで重量バランスが崩れた遠心機ロータから細いスピンドルに伝

わってくる振動をこのオイルフロート軸受で吸収しています。流体の特性を滑りと制振に巧みに利用した軸受であり、個人的には最も好きな軸受なのですが、油まみれになるというデメリットがあります。

最後に紹介する空気軸受は、流体で物を浮かすという考え方はオイルフロート軸受と同じですが、粘性の低い気体を使うので、より高回転向きの軸受です。その反面、許容加重がオイルフロート軸受より3桁小さく、オイルフロート軸受のような強力な制振効果は期待できないので、重量バランスが悪いと軸と軸受が簡単に接触してしまうというデメリットがあります。今回の研究で我々が利用したベンチスピナは、元々、Magic Angle Spinning 法という固体高分解NMR手法に特化して開発された装置で、軽量で重量バランスの良いものを高速回転させる目的の装置ですので、この空気軸受が採用されています。したがって、我々のような研究に流用しようとする、空気軸受であるがゆえに、他の軸受では無視できるような重量アンバランスでも回転子と軸受が接触し、摩擦で回転数が上昇しない事態が生じるわけです。以上の説明で、ベンチスピナを使うにあたっての回転子の重量バランスの重要性がお分かり頂けたかと思えます。

## ■ 通常の回転子の重量バランス調整方法

通常の回転子のバランス調整方法について説明します。回転子の重量バランスは、単純な薄い円盤等であれば、円盤の端を削るか重りを付加して回転軸対称に重量を合わせるだけで調整が可能です。回転子が長尺物の場合は、モーメントを考えて、重心位置を原点とした点対称の調整が必要です。ベンチスピナの回転子は、小さいながらも長尺物になるので、このモーメントを考慮したバランス調整が必要となります。通常ですと、長尺物にはモーメントを考慮しながら重量バランスを1mg以下に調整できるバランスと呼ばれる少々高価な装置を用います。バランスにかけることで、回転子の両端付近のアンバランスが生じている位相と量が求まるので、その位相のアンバランスが無くなるように物体を削るか重りを付加して調整します。ただし、今回のように小さな回転子にはこのバランスが利用できません。

## ■ 本研究での回転子の重量バランス調整

手動で調整する以外に方法が無い、回転子の上下についているキャップ内部の空洞に非軸対称な形状の重りを詰め、キャップの位相と重りの重量を少しずつ変えることで、重量バランスを調整する作業を、正常回転が得られるまで続けました。ベンチスピナをこの研究に選定すれば

成功すると直感した理由の一つが、ユーザーが重量バランスの悪い回転子を無理に回そうとしても、回転数が上昇しただけで簡単には壊れないようになるべく頑丈に設計したことをJEOLの技術者から直接聞く機会があったことにあります。確かに、頑丈な装置であり、成功するまで試行錯誤を繰り返すことができました。

最初の成功までは日数を要しましたが、徐々にベンチスピナの特性を肌で感じることができるようになり、現在では1時間程度で調整できるようになっています。「勘」という職人わざ的な感覚も楽しみながら、この研究を進めております。

## 謝辞

本ニュースレター執筆にあたり、共同研究者の中堂博之氏、松尾衛氏、家田淳一氏、針井一哉氏、岡安悟氏、前川禎通氏、齊藤英治A04班代表には記載内容の選定ほか校正等協力頂いたこと、感謝いたします。

## 参考文献

- [1] H. Chudo et al., Appl. Phys. Express **7**, 063004 (2014).
- [2] S. J. Barnett, Phys. Rev. **6**, 239 (1915).
- [3] M. Matsuo, et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 076601 (2011).
- [4] T. Mashimo, et al., Rev. Sci. Instr. **74**, 160-163 (2003).

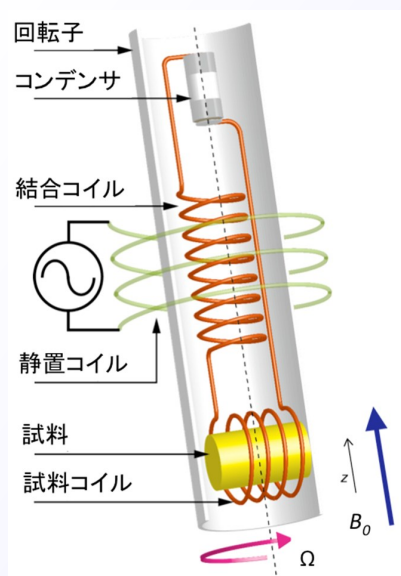


図1：実験アセンブリの模式図



図2：JEOL RESONANCE 製高速回転装置(ベンチスピナ)、回転子、および、回転子に搭載する検出器の写真

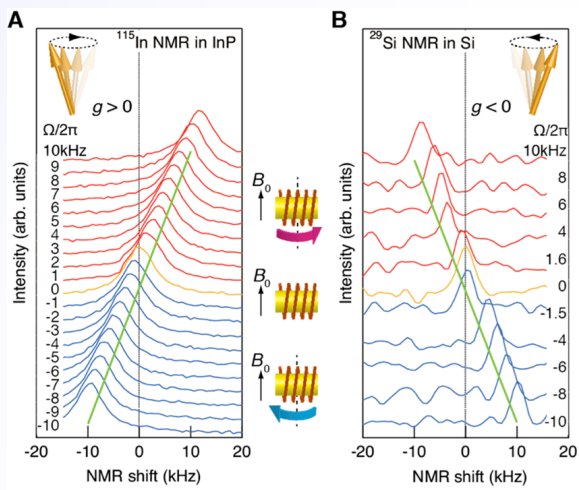


図3：正と負のg因子におけるNMRスペクトルの回転速度依存性。A)  $^{115}\text{In}$ の場合、B)  $^{29}\text{Si}$ の場合



# スピン自由度と他自由度との変換の微視的理論

理化学研究所 創発物性科学研究センター(CEMS)

多々良源

A05班

<https://www.cems.riken.jp/jp/laboratory/sptrt>

従来のエレクトロニクスが物質中の電子の電荷と電流を用いているのに対して、スピントロニクスは電子のスピンのもつ情報も利用しようという技術である。これが確立すればスピンの自由度により多くの情報の伝達が可能となり、また高速読み書きが可能な超高集積度不揮発メモリの実現につながる。スピントロニクス現象は、非可換ゲージ場であるスピングージ場、ベリー位相、スピンの緩和(散逸)、量子異常などの概念がスピンおよび電荷の輸送現象に現れるなど、非常に豊富な現象を含んだ基礎科学としても重要なテーマである。我々の研究グループではスピンと他自由度の間の変換を柱に、理論解析による現象の解明と新現象の探索を行っている。



多々良源 チームリーダー

本研究に関わっているメンバーはチームリーダー多々良の他に研究員H.Saarikoski、本研究費で雇用のポスドク研究員Y.-T. Chenと首都大学東京の大学院生川口秀雄である。以下では目下取り組んでいる課題と、ここ数年間におこなってきた研究の概要を紹介する。

## ■ 熱輸送現象のベクトルポテンシャル理論

高密度記録素子や演算素子において温度上昇に伴う排熱の処理は避けられない問題である。特に集積化により微細化した素子にとってはこの問題は性能向上において致命的な障害となりうる。この観点では熱によって引き起こされる輸送現象は、熱輸送により排熱の処理を効率的に行うだけでなく、排熱をデバイス動作のために再利用する可能性を実現する非常に重要な課題である。ところが現状では微小領域での熱輸送や熱誘起輸送現象の理論的研究はほとんど手付かずである。この主たる理由は、熱は統計平均により現れる巨視的な概念であり、微小な物質中の量子輸送現象に対する熱の効果は原理的な難しさを含んでいるためである。

微視的視点からの熱効果の記述に関しては、線形応答理論に温度勾配による力をどのように取り込むかの理論提

案が既に1964年にLuttingerによりされており、原理的にはこの定式化に沿った解析により微小領域での熱輸送は記述できるはずである。しかしながらこの枠組みによる解析は計算が煩雑であり、それだけでなく、平衡流に伴って生じる非物理的寄与を物理的考察により正しく取り除く処理をしない限り絶対零度に向けて発散する誤った答えを出してしまうという致命的な欠陥をもつことが、多種の熱輸送現象への適用例により明らかになっている。

現在我々はLuttingerの枠組みのもつ本質的欠点を改善した熱輸送を記述する理論体系の構築を目指した研究を進めている[1]。本研究においては、この体系を用いた微小領域の熱輸送現象の解析を開拓、ひいては効率的な熱利用デバイスの発案を行うことを目指している。

## ■ スピン輸送の微視的理論

スピントロニクスにおける基本的で重要な課題はスピン流の生成と制御、検出である。スピン流生成現象に対する微視的解析の結果、我々はこれまで現象論的に提案されていたスピンポンピング効果によるスピン流生成と逆スピンホール効果による電気的検出のメカニズムはある条件下での近似的描像であり、普遍法則とはみなせないことを示

[2]。これはスピン流が非保存流であることに起因しており、スピン流による従来の解釈には限界があることになる。

一連の我々の研究成果により、スピンポンピングと逆スピンホール効果を組み合わせたこの現象は、磁化の運動に伴う角運動量散逸がモノポールを生成し、そのモノポールがアンペール則により電流を発生しているとみると、非常にすっきりした理解ができることが明らかになった[3]。このモノポールはスピンの緩和がスピン軌道相互作用により軌道角運動量に変換される際に生じるもので、電子のスピン自由度に結合するものである(したがってモノポールが存在するのは、電荷に結合する普通の電磁場とは異なる有効電磁場である)。このモノポールを用いた理論は、電磁気学の体系とスピン輸送現象が既存の理論の枠内でうまく融合した体系となっている。

## ■ スピン有効電磁場と電磁場の結合の理論

スピンに対する有効電磁場はスピン起電力やスピンBerry位相を電磁場として統一的に見た概念である。この有効電磁場は強磁性金属内を伝搬する複合モードの一種であり、それを制御してスピン輸送に積極的に利用することは興味深い可能性である。我々は電磁場とスピン電磁場の結合を有効作用の導出により解析し、光によるスピン電磁場の制御の可能性を議論した[4]。この解析は本研究においてさらに発展させる予定である。

また、Rashbaスピン軌道相互作用をもつ系の特異な電磁特性についての解析もおこなっている。

## ■ Rashbaスピン軌道相互作用由来のスピン起電力

スピン軌道相互作用のうち特に界面で発生する強いRashba型スピン軌道相互作用が、磁性と電気伝導特性に与える効果も解析した[5,6]。その結果、磁化のダイナミクスとRashba型スピン軌道相互作用が組みあわさることで、新しい起電力と有効磁場(スピン電磁場)が発生するという事実を見出した。この起電力は、磁化の運動から生じるという点では、電磁気におけるFaraday則と似ているが、物質中の量子効果によって生みだされている新しい効果で、電磁気的効果と比べ物質中では圧倒的に強い効果である。この起電力のメカニズムはスピンのもつ量子的なBerry位相を拡張した概念で理解することができる。Rashba型相互作用に起因する有効電場磁場は、Rashba相互作用の最低次でMaxwell方程式を満たすことも確認できた。興味深いことにRashba相互作用に加えてスピン緩和

が存在するときにはモノポール項が現れる。この意味はもう少し掘り下げる価値があると思われる。これらの有効電磁場は最近逆Edelstein効果とよばれ注目されている効果の微視的理解に役立つものである。

## ■ 光による幾何学的逆Faraday効果とスピン制御

スピンの制御に適したもうひとつの可能性は光である。円偏光した光や電磁場は角運動量を運んでいるので、これをうまく物質内のスピンに受け渡せれば光による磁化制御が可能である。円偏光度に比例した磁場や磁化が生成される効果は既に知られており、逆Faraday効果とよばれている。この効果ではスピン軌道相互作用が本質的な役割を担っている。このために、巨大な応答を実現するにはスピン軌道相互作用を強化する必要があるが、これには重い元素や希土類を用いる必要があり資源面コスト面での問題がある。そこで我々はスピン軌道相互作用を他の効果で置き換える可能性を考えた[7]。

我々が注目したのは磁気構造のもつスピンBerry位相で、これは異常ホール効果においてスピン軌道相互作用と同じように座標空間とスピン空間を結びつけるはたらきをすることが知られている。我々は理論解析により、スピンBerry位相と円偏光度から発生する有効磁場が、スピン軌道相互作用なしに幾何学的逆Faraday効果という新しい効果を生み出すことを見出した。これを用いると磁気渦やskyrmionなどの磁気構造を光で制御することができる。注目すべき点は、この幾何学的逆Faraday効果はスピンBerry位相にのみ選択的に作用するため、磁気構造以外の背景磁化にはなんら影響を与えないことである。

## 参考文献

- [1] G. Tatara, cond-mat arXiv: 1502. 000347.
- [2] A. Takeuchi, K. Hosono, G. Tatara, Phys. Rev. B **81**, 144405 (2010).
- [3] A. Takeuchi, G. Tatara, J. Phys. Soc. Jpn. **81** 033705 (2012).
- [4] H. Kawaguchi, G. Tatara, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 074710 (2014).
- [5] N. Nakabayashi and G. Tatara, New J. Phys. **16** 015016 (2014).
- [6] G. Tatara, N. Nakabayashi and Kyun-Jin Lee, Phys. Rev. B **87**, 054403 (2013).
- [7] K. Taguchi, J.-I. Ohe and G. Tatara, Phys. Rev. Lett. **109**, 127204 (2012).

# 領域若手研究者紹介

このコーナーでは、本領域に新しく加わった若手研究者の方々を紹介します。

## Yan-Ting Chen, Dr.

Postdoctoral researcher

Center for emergent matter science (CEMS), Riken

Dr. Chen received his Ph.D. in theoretical physics from Delft University of Technology. His Ph.D. research was focused on spintronics, a field evokes spin degree of freedom to develop advanced electronic devices such as new types of random access memory. He studied spintronic phenomenon induced by spin-orbit coupling by semiclassical Boltzmann and spin diffusion theories, including the first theoretical analysis of a new type of magnetoresistance results from the spin Hall effect, namely, the spin Hall magnetoresistance. After joining Dr. Tataru's group in Riken, Dr. Chen is applying quantum mechanical methods to study effects related to the second cumulants (noises) such as thermal fluctuations of spin currents/torques in ferro/antiferromagnetic systems for a better understanding of magnetization dynamics of interests.



## 国際会議・会合情報

### New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (NPSMP2015) [物性研究所国際ワークショップ]

日時：平成27年6月1日（月）～6月19日（金）

場所：東京大学物性研究所

[http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/n1004\\_detail.cgi?c=international\\_workshop\\_table::57](http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/cgi-bin/n1004_detail.cgi?c=international_workshop_table::57)

上記期間中、6月10日～12日に本領域との共催で国際シンポジウムが開催されます。

### 20th International Conference on Magnetism (ICM2015)

日時：July 5-10

場所：Balcerona, Spain

詳細は、<http://www.icm2015.org/index.html> をご覧ください。

### Gordon Conference Spin Dynamics in Nanostructures

日時：July 26-31, 2015

場所：The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China

Chair Gerrit E. W. Bauer, Vice –Chair Stuart Parkin

詳細は、<http://www.grc.org/programs.aspx?id=15876> をご覧ください。

### Tohoku Forum for Century Spintronics: From Mathematics to Devices

日時：Sept. 14– Dec. 11

詳細は、<http://www.tfc.tohoku.ac.jp/program/2127.html> をご覧ください。



# 領域ニュース

## 新学術領域キックオフミーティングが開催されました

平成26年9月26日（金）千葉県柏市の柏の葉カンファレンスセンターにてキックオフミーティングが開催され、本領域がスタートしました。当日は領域代表の大谷先生からのご挨拶で始まり、続いて東京大学物性研究所長 瀧川仁先生から領域発足のご祝辞をいただきました。その後、班長から各計画研究の概要と今年度の研究方針の発表の後、昼食をはさんで午後からは、各班から2名の分担者の先生方にそれぞれのご研究を発表していただきました。約100名の方々にご参加頂き、プロジェクトの今後に対する期待の大きさを感じさせる会となりました。ご参加いただいた皆様に改めて御礼申し上げます。（文責：大岩顕）



## 領域ロゴマーク決定！

本領域のロゴマークが決定しました。9月に募集を呼びかけて6名15件の応募がありました。その後、各班長で選考を行い、最終的に大阪大学産業科学研究所の大岩先生のデザインが採用されました。このデザインは右上の赤い図形から時計回りに、熱、振動・波、音波、電気・光を表しており、スピンを中心にこれら相互変換を目指す本領域の研究目標を表現しているそうです。

ロゴマークは本領域のウェブサイトからダウンロードすることができます。講演に使用するスライド等にご活用ください。またWeb用バナーも用意いたしました。同様にウェブサイトからダウンロードすることができますのでご活用ください。（文責：大谷義近）



## 第一回光学的スピン変換ミーティング開催

平成26年12月24日に慶應大学矢上キャンパス想創館においてA03班のメンバーを中心に、光学的スピン変換に関する研究会を開催しました。今回は磁性半導体や金属多層膜における光誘起歳差運動の研究で成果を挙げている東京工業大学の宗片比呂夫先生に特別講演としてご講演いただきました。A03班の先生と各グループからの研究者や学生が参加し、総勢9名と少人数でしたが、議論が白熱し大幅に進行が遅れる一幕もありました。今後の光学的スピン変換研究をすすめる上で大変有意義な機会になりました。今後もA03班ではこうしたミーティングを開催する予定ですので、他班の皆様のご参加をお待ちしております。（文責 木山治樹）



# The 25th ASRC International Workshop on New Insights in the Physics of Magnetic Nanostructures 開催

平成27年1月27日に日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター（茨城県東海村）において、Bauer教授(Delft大/東北大)、Ziman教授(ILL)、森博士（先端研）の企画によるワークショップを開催しました。Bader教授 (ANL)、Fulde教授 (Max-Planck Inst.)、Sinova教授 (Mainz大)、永長教授(東京大)、家教授(東京大)等国内外から多数の出席者を得てスピントロニクスの様々な問題が広い視点から議論されました。

先端研では、公募による斬新な研究テーマ（黎明研究）をサポートしています。詳細は先端研のHPをご覧ください。 <http://asrc.jaea.go.jp/index.html> (文責：前川禎通)



## 受賞

領域の関係者の方々が以下の賞を受賞されました。皆様おめでとうございます。

平成26年7月17日

**吉川大貴・塚本 新・伊藤彰義 (A03班)**

電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究専門委員会 委員長賞

「全光型超短熱パルス磁化反転のGdFeCo副格子磁化依存性に関する研究」

[http://www.ieice.org/~mr/jpn/main/award/award\\_data.html](http://www.ieice.org/~mr/jpn/main/award/award_data.html)

平成24年10月

**安立裕人 (日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター、A05班 前川グループ)**

日本物理学会 第9回若手奨励賞 [領域3]

「スピンゼーベック効果の理論研究」

<http://www.jps.or.jp/activities/awards/jusyosya/wakate2015.html>

平成26年10月17日

**小野輝男 (A01班)**

NPO法人モバイル・コミュニケーション・ファンド、ドコモ・モバイル・サイエンス賞基礎科学部門優秀賞

「ナノ磁性体を用いた新規スピndeバイスの基礎と応用展開」

[http://www.mcfund.or.jp/docomo\\_science/winners.html](http://www.mcfund.or.jp/docomo_science/winners.html)

## 領域からの連絡

### ◇ 領域ホームページをご活用ください <http://www.spinconversion.jp/>

- \* 今後、成果発表やイベント情報など、様々な領域の情報を発信してまいります。是非ホームページを研究にご活用ください。
- \* 領域メンバー専用ページから皆様の成果が入力できるようになっています。入力方法は簡単ですので、領域の広報活動の一環として論文など発表された際には、入力にご協力お願いいたします。

### ◇ 今後の領域の予定

#### ● 平成27年度領域研究会

日時：6月9日（火）午後

場所：柏の葉カンファレンスセンター

来年度採択される公募研究の先生方の紹介を中心に行う予定です。

翌日6月10日（水）から12日（金）まで本領域との共催で物性研究所国際シンポジウムが開催されます。こちらにも是非ご参加ください。詳細は領域ホームページや領域のメーリングリストでご案内いたします。

#### ● 平成27年度年次報告会

平成28年1月7・8日に仙台での開催を予定しております。今後、領域ホームページやメーリングリストで詳細ご案内いたします。ご予定ください。

### ◇ 謝辞について

本研究領域での成果による論文発表では以下のように謝辞を入れていただくようお願い申し上げます。

**This work was supported by Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Area, "Nano Spin Conversion Science" (Grant No.####).**

### には、A01班は 26103002、A02班は26103003、A03班は26103004、A04班は26103005、A05班は26103006 が入ります。

## 編集後記

いよいよ新学術領域「ナノスピ変換科学」が発足しました。3年間、領域代表の大谷先生をはじめ総括班の先生方や計画研究の分担者の先生方が準備を行い、まさに3度目の正直で今年度採択されました。その間、スピントロニクスを牽引される多くの先生方にご助言やご指導いただいたことに、班長の一員として改めて感謝申し上げます。

本号でも取り上げましたが、昨年9月に開催されたキックオフミーティングでは100名近い方が参加されました。このことはスピントロニクス全体への興味はもちろんですが、「ナノスピ変換科学」と題してスピンを媒介とした角運動量の相互変換の確立を目指すこの領域から、これからどのような新しい物理が生み出されるのかという期待の高さの表れでもあると思います。

「スピ変換」はこれから形作られてゆく概念ですので、今後、新しい分野を取り入れながら、本研究領域からスピントロニクスの新しい潮流が生まれ、一層広がってゆくことが楽しみです。

本号は記念すべき第1号として領域の研究概要を伝えるために、計画研究代表者の先生方に各計画研究の概要を、また各計画研究班の先生方に研究紹介を、それぞれご執筆いただきました。特に研究紹介では最新の研究成果も交えて解説いただき、ニュースレターの記事とは思えない大変内容の濃いものになっております。今号は準備期間が短く構成が十分練れたものでない点を反省しておりますが、今後も科学的にも面白く、また若手紹介の場となる冊子づくりを心がけてまいります。

最後にお忙しい中、執筆依頼を快くお引き受けいただいた皆様に大変感謝いたします。また皆様からの記事や会合の案内などの投稿も歓迎いたします。今後ともニュースレターへのご協力をお願い申し上げます。 (文責 大岩顕)

## 新学術研究領域「ナノスピンの変換科学」研究体制

### 総括班

研究代表者 大谷義近 東京大学物性研究所・教授  
研究分担者 齋藤英治 東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授  
研究分担者 白石誠司 京都大学大学院工学系研究科・教授  
研究分担者 村上修一 東京工業大学大学院理工学研究科・教授  
研究分担者 大岩 顕 大阪大学産業科学研究所・教授  
連携研究者 高梨弘毅 東北大学金属材料研究所・教授  
連携研究者 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

学術調査官 北野晴久 青山学院大学理工学部・准教授

### 計画研究

#### A01：磁気的スピンの変換班

研究代表者 大谷義近 東京大学物性研究所・教授  
研究分担者 小野輝男 京都大学化学研究所・教授  
研究分担者 木村 崇 九州大学大学院理学研究院・教授  
研究分担者 松倉文礼 東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授  
研究分担者 Ronald Jansen 産業技術総合研究所ナノスピントロニクス研究センター・首席研究員

#### A02：電気的スピンの変換班

研究代表者 白石誠司 京都大学大学院工学系研究科・教授  
研究分担者 浜屋宏平 大阪大学大学院基礎工学研究科・教授  
研究分担者 勝本信吾 東京大学物性研究所・教授  
研究分担者 齋藤秀和 産業技術総合研究所ナノスピントロニクス研究センター・半導体スピントロニクスチーム長  
連携研究者 辛 埴 東京大学物性研究所・教授

#### A03：光学的スピンの変換班

研究代表者 大岩 顕 大阪大学産業科学研究所・教授  
研究分担者 大野裕三 筑波大学大学院数理物質科学研究科・教授  
研究分担者 塚本 新 日本大学理工学部・准教授  
研究分担者 水上成美 東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授  
研究分担者 安藤和也 慶應義塾大学理工学部・専任講師

#### A04：機械・熱的スピンの変換班

研究代表者 齋藤英治 東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授  
研究分担者 小野正雄 日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター・研究副主幹  
研究分担者 高梨弘毅 東北大学金属材料研究所・教授

#### A05：スピンの変換機能設計班

研究代表者 村上修一 東京工業大学大学院理工学研究科・教授  
研究分担者 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  
研究分担者 多々良源 理化学研究所 創発物性科学研究センター・チームリーダー  
研究分担者 永長直人 東京大学大学院工学系研究科・教授／理化学研究所 創発物性科学研究センター・副センター長  
研究分担者 Gerrit E. W. Bauer 東北大学金属材料研究所・教授

ナノスピンの変換科学 領域ホームページ : <http://www.spinconversion.jp/index.html>

#### [領域全般に関するお問い合わせ]

大谷 義近 (領域代表/A01班代表)  
inquiry@spinconversion.jp

#### [領域事務に関するお問い合わせ]

白石 誠司 (領域事務担当/A02班代表)  
jimu@spinconversion.jp

#### [ホームページに関するお問い合わせ]

村上 修一 (広報担当/A05班代表)  
webmaster@spinconversion.jp

#### [ニュースレターに関するお問い合わせ]

大岩顕 (ニュースレター担当/A03班代表)  
newsletter@spinconversion.jp