

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 #4

ナノスピンの変換科学

Nano Spin Conversion Science

March 2018



# Contents

<b>目次</b>	1
<b>研究最前線</b>	
木村研究室（九州大学、A01）	2
新見研究室（大阪大学、A01）	4
水上研究室（東北大学、A03）	6
永長研究室（東京大学、A05）	8
村上研究室（東京工業大学、A05）	12
<b>公募研究紹介</b>	
平成29年度採択公募研究 12件	15
<b>領域ニュース</b>	
平成28年度ナノスピントロニクス変換科学年次報告会開催	28
平成29年度ATI第1回スピントロニクス研究会	28
平成29年度ナノスピントロニクス変換研究会	29
第11回物性科学領域横断研究会	29
第22回「半導体スピントロニクスの基礎と応用」研究会	30
28 <sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics (LT-28)	30
22nd International Conference on Electronic Properties of Two Dimensional Systems (EP2DS-22)/ 18th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-18)	31
3rd Korea-Japan Spintronics Workshop	31
物性科学未踏開拓支援制度 滞在記	32
受賞	34
<b>領域からの連絡</b>	35
<b>編集後記</b>	35

# 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。

## 横型スピバルブを基軸にした新奇スピ流物性現象の探索

九州大学 大学院理学研究院 物理学部門

木村 崇、大西 紘平

A01班

<http://ssp.phys.kyushu-u.ac.jp/>

本グループでは、電氣的、及び熱的手法により巨大スピ流を効率的に生成し、それらを利用した新奇な磁気変換現象の観測、及び制御法の開発を目指している。



教授 木村崇



助教 大西紘平

### ■はじめに

スピントロニクス技術の急速な発展と共に、様々なスピ流制御・検出法が開発されている。とりわけ、スピ軌道相互作用に起因したスピ流制御は、多層膜からなる比較的単純な構造で実現できるため、精力的な研究が行われている。しかしながら、同構造においては複数の現象が入り混じって存在するため、微視的機構を定量的に解明することは困難となる。我々のグループは、高い信頼性を持つ横型スピバルブを基軸にして、純スピ流を効率的に生成・制御することで、各種のスピ流物性現象の解明を目指している。

### ■横型スピバルブを基軸にした新奇なスピ流制御法の開発

横型スピバルブを用いた非局所スピ注入であっ

ても、電磁的結合や熱拡散等により、非局所端子にスピ流以外の信号が重畳する。我々は、このようなバックグラウンド電圧の定量的な理解に成功しており、更に、それらを抑制する手法も実証している[1]。これらの知見を踏まえて、より最適化された横型スピバルブを用いれば、新しいスピ流の特性を引き出すことができる。具体的には、図1(a)のように、チャンネル層が強磁性体キャップ層を有する横型スピバルブ素子を試作した。この場合、キャップ層は強いスピ吸収体として働くが、その吸収率が蓄積スピと吸収体の磁化の方向に強く依存する(図1(b))。

図1(c)に、非局所スピ信号の磁場依存性を示す。通常のスピバルブ信号に加えて、滑らかではあるが、大きな磁場依存性が観測されている。これは蓄積スピとスピ吸収体の磁化が垂直に配向されているときに、それらが平行な時に比べて更に大きなスピ吸収が生じ



ることを示している。

このような特性は、スピン偏極率の増大と共に大きくなり、より最適な材料を用いることで、更なるスピン吸収率の変調が期待できる。

### ■ 高効率スピン流生成による界面超伝導特性の解明

強磁性体と超伝導体の複合素子では、交差アンドレーフ反射やn接合、また、スピン・トリプレットクーパー対やマヨラナフェルミオンの発現などが理論的に研究されており、枚挙にいとまがない。しかしながら、実験では、強磁性近接効果による超伝導特性の抑制やスピン注入時の発熱効果などにより、期待通りの結果が得られない。

これらの問題に打ち勝つべく、我々のグループでは、双方を相性の良い非磁性常伝導金属であるCu層を中間層として挿入した構造を用い、更にスピン注入源としてナ

ノピラー構造を採用することで発熱を最小限にしたスピン注入素子を試作した(図2(a)) [2]。

本素子において、非局所スピンバルブ測定を行ったところ、超伝導転移前後でスピン信号に大きな差が見られた(図2(b))。このことは、Nbが常伝導状態のときは、強いスピン吸収体として働き、超伝導状態のときは、スピン流にとっての絶縁体として働くことを意味している。しかしながら、温度依存性を細かく調べると、超伝導状態においても、純スピン流としてスピン流が吸収される傾向があり、界面の超伝導ギャップは内部に比べて小さくなっていることが分かった。

#### 参考文献

- [1] T. Ariki et al., Appl. Phys. Exp. **10**, 063004 (2017).
- [2] K. Ohnishi et al., Sci. Rep. **4**, 6260 (2014).

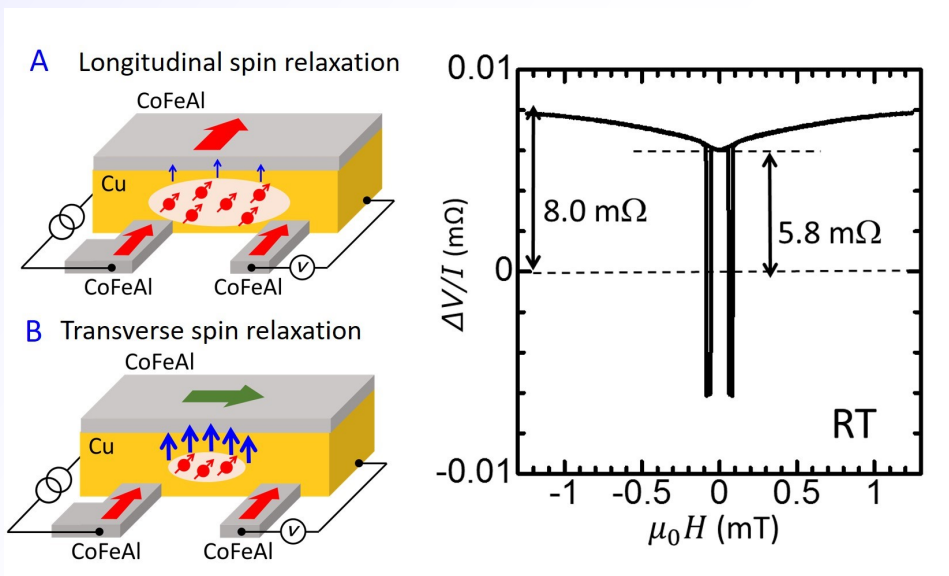


図1：(左) 強磁性cap 層を持つチャンネルで構成された横型スピンバルブの構造とメカニズム(A,B)。(右) 観測されたスピン信号。

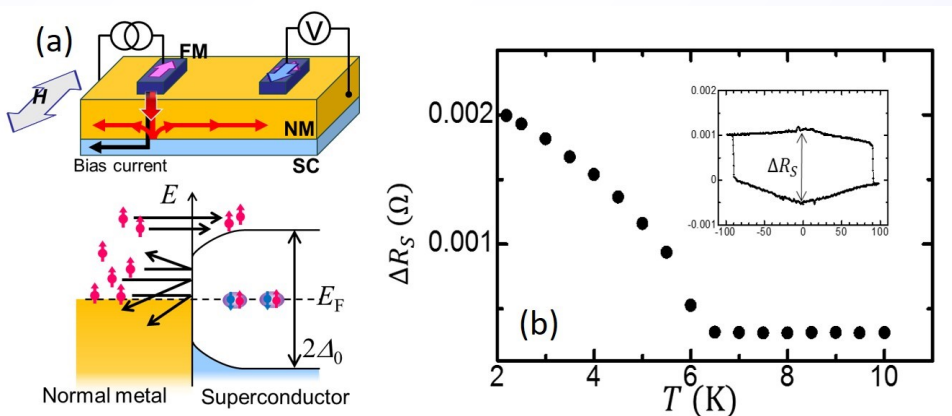


図2：(a) ナノピラー・スピン注入・検出端子を用いた超伝導スピンデバイスの模式図。(b) 観測されたスピン信号の温度依存性、

# フラストレート磁性体におけるスピン揺らぎとスピン変換

大阪大学大学院理学研究科物理学専攻

新見康洋

A01班

<http://yasuniimi.net/>

本グループでは、スピン変換の新しい展開として、非線形的にスピン流電流変換する現象の発見とその発見機構の解明を目指している。特に複雑な磁気構造をもつ物質や非従来型超伝導体を舞台としたスピン変換に注力している。



准教授 新見康洋

## ■ スピン揺らぎとスピン変換

「ナノスピン変換科学」の中で、A01班は磁気的な起源で発現する新しいスピン変換現象の開拓とその学理の構築を目的として研究を行っている。本グループは其中でも、非線形性をもつスピン変換現象に焦点を当てる。通常、スピン軌道相互作用の強い非磁性体で観測されるスピンホール効果は、電流からスピン流、もしくはその逆変換のような、1対1で対応する線形的な変換である。一方、磁気揺らぎの強い系[1]や超伝導体中[2]では、通常の線形的なスピン変換とは異なることが指摘されている。以下では、本グループで最近取り組んでいる

「フラストレート磁性体中のスピン揺らぎを伴ったスピン変換現象」を紹介する。

## ■ スピングラスにおけるスピン変換

フラストレート磁性の典型例が、スピングラスである。スピングラスは、磁性不純物が貴金属にランダムに分布した系で実現する。不純物の距離に応じて、強磁性体的もしくは反強磁性体的な基底状態をとるため、それらが複雑に入り混じった結果、磁化の温度依存性に特徴的なカスプ構造が現れる。この温度をスピングラス温度  $T_g$  と呼び、この温度以下では、磁化がランダムに凍結すると考えられている。このような状況で、スピン流を注入したときに、どのようなスピン流電流変換が起きるのか？そこで我々は、典型的なスピングラスであるCuMnに、Biを微量添加したCuMnBi合金において、スピン流電流変換測定を行った。

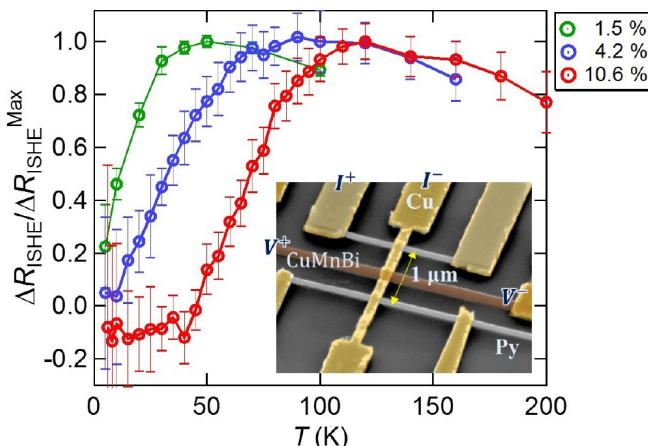


図1： CuMnBi細線で測定された逆スピンホール効果の温度依存性。挿入図は測定で使用したスピンホール素子の電子顕微鏡像。

図1に、CuMnBi合金で測定された逆スピホール効果の温度依存性を示す。磁化測定で決定される $T_g$ よりも数倍高い温度 $T^*$ からスピホール信号が減少し始めること[3]、またMn濃度10.6%の試料では、十分低温でスピホール効果が完全に消失することが分かった[4]。

$T_g$ と $T^*$ のMn濃度依存性を示したグラフを図2に示す[4]。スピングラスに対して一般的に行われてきた磁化測定（図2ピンクの領域）よりも高い温度から、Mn磁化の揺らぎの増大に伴って、伝導電子スピンの減極が生じる。そのため、スピホール信号が $T_g$ よりも高い $T^*$ から減少し始める。この結果は、スピン流が磁気の揺らぎを非常に敏感に検出するプローブとして利用できることを示唆している。

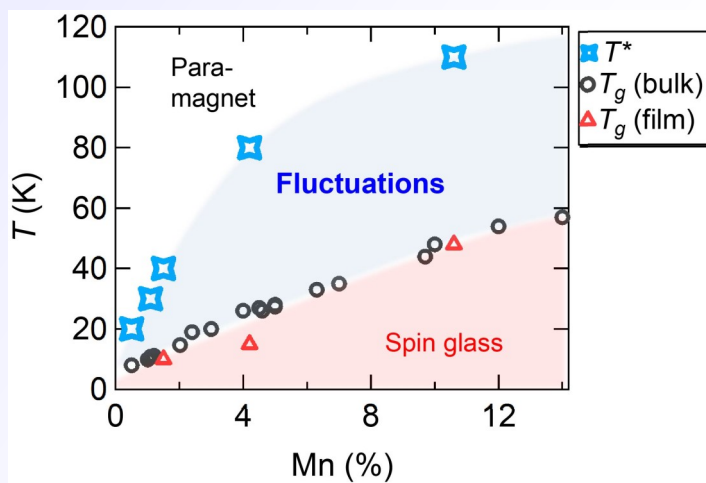


図2：  $T_g$ と $T^*$ のMn濃度依存性。ピンク及び水色で示した領域は、それぞれ磁化測定及びスピホール測定で、温度の低下とともに信号の減少が検出される温度域である。

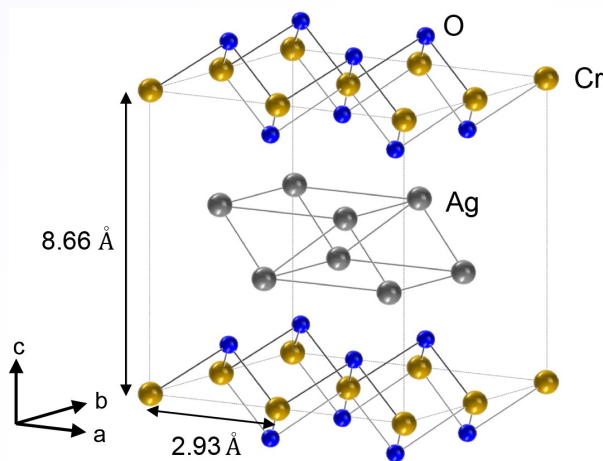


図3：  $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ の結晶構造。

## ■二次元三角格子反強磁性体でのスピ変換

フラストレート磁性体におけるスピ変換の新しい舞台として、本グループでは最近、二次元三角格子反強磁性体である $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ に着目し、研究を進めている。図3に示すように、 $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ は二次元三角格子反強磁性 $\text{CrO}_2$ 層の間に、伝導性をもつAg層が挟まれた構造を有するため、その他の二次元三角格子反強磁性体と比べて、非常に伝導性が高く、電気的な測定が行いやすい。さらに層状物質なので、グラフェンのように劈開することで、薄膜が得られることが期待される。

そこで本研究では、 $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ をスピ変換の舞台とするための第一段階として、多結晶 $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ を劈開することで薄膜化し、その特性評価を行った[5]。図4に、得られた $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ 薄膜素子の電子顕微鏡像と抵抗率の温度依存性を示す。反強磁性体転移に伴う急激な抵抗率の減少を25 K付近で観測することができた。驚くべきことに、薄膜で観測された抵抗率は、多結晶試料の抵抗率よりも一桁近く小さい。この実験事実は、得られた薄膜試料は、より単結晶に近いものであることを示唆している。今後、 $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ 薄膜を舞台とした二次元三角格子反強磁性体というフラストレーションの強い系での新奇なスピ変換現象の観測が大いに期待できる。

### 参考文献

- [1] D. H. Wei et al., Nat. Commun. **3**, 1058 (2012).
- [2] T. Wakamura et al., Nat. Mater. **14**, 675 (2015).
- [3] Y. Niimi et al., Phys. Rev. Lett. **115**, 196602 (2015).
- [4] H. Taniguchi et al., in preparation.
- [5] H. Taniguchi et al., AIP Adv. **8**, 025010 (2018).

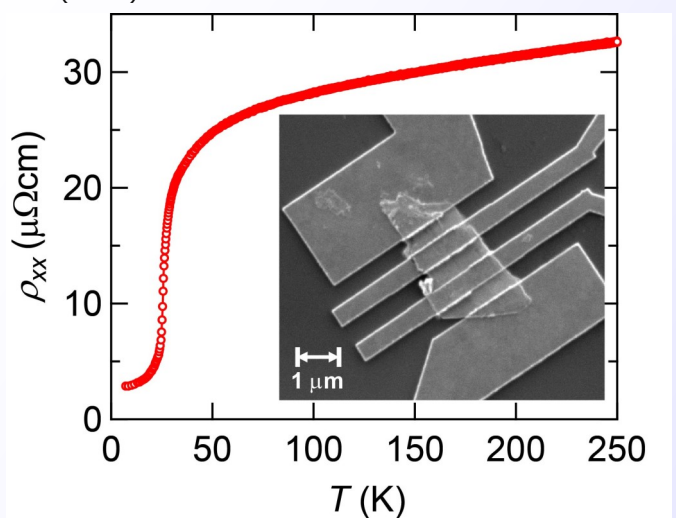


図4：  $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ 薄膜の電気抵抗率の温度依存性。挿入図は作製した薄膜素子の電子顕微鏡像。



# 磁性金属における光-マグノン変換

東北大学材料科学高等研究所 デバイスシステムグループ

水上成美

A03班

[http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/mizukami\\_lab/](http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/mizukami_lab/)

当グループでは、磁性金属における円偏光-マグノン変換を目指し、光-マグノン変換の基礎的研究、ならびに特異な対称性をもつ磁性金属ヘテロ接合の光-マグノン変換の研究を進めている。



教授 水上成美

## はじめに

磁性金属にフェムト秒スケールの超短パルスレーザーを照射すると、サブピコ秒の時間スケールで磁化が急激に減少することが1996年に報告された[1]。この発見を皮切りに、フェムト秒時間スケールにおける光・電子・スピンの相互作用の結果生じる様々なスピンのダイナミクスが報告され、磁性金属を舞台とする多彩な光-スピン変換現象の研究が進展している。我々のグループでは、磁性金属において超短パルス光が誘起する高速のスピン差運動の研究をこれまで行ってきた[2]。本領域では、さらにそれを発展させ、光パルスの誘起するスピン波（マグノン）の研究を、主に学生とともに進めている。

## 全光学の時空間分解磁気光学カー効果顕微鏡

超短パルス光が誘起するマグノンは磁性絶縁体で初めて観測された[3]。絶縁体におけるマグノンの伝搬長は数百マイクロメートルに及ぶものの、金属におけるマグノンの伝搬距離は長くても数十マイクロメートル程度であり、光パルスによって発生するマグノンを観察するには比較的高い分解能を有する顕微鏡が必要である。また、透過性を有する

絶縁体と異なり金属では反射型光学系が必要であり、印加磁場の方向と強度も可変できる必要がある。そこで、当グループでは、レーザー走査型顕微鏡の原理を応用した全光学の時空間分解磁気光学カー効果顕微鏡を構築した[図1(a)][4]。この顕微鏡では、フェムト秒パルスレーザーを光源とし、対物レンズによりポンプ及びプローブ光を試料表面に集光する。試料表面で反射したプローブ光偏光のカー回転角を測定し磁化の面直成分を評価できる。その際、ポンプ光の集光位置は固定し、プローブ光の集光位置ならびにポンプ-プローブ遅延時間を変化させることで、時空間分解を達成する。ポンプならびにプローブ光のスポット径は1マイクロメートル未満であり、印加磁場の強度と方向は可変できるよう工夫している[4,5]。

## 光照射によって発生するマグノン伝搬の時空間ならびに周波数・波数空間における可視化

ポンプ光が試料表面に到達すると、照射されたスポット内にトルクが発生し、これを駆動力とすることでマグノンが放射される。構築した顕微鏡で20ナノメートルの厚みの鉄ニッケル薄膜を測定し、非常に明瞭なマグノンの放射と伝搬が観測された[図1(b)][5]。

マグノンは磁化方向に垂直に放射・伝搬し、磁化方向へのそれは弱い。また、その強度と位相は左右対称である。この放射・伝搬の時空間パターンは、点源からの電磁波のそれと同様、放射源となるトルクの時空間対称性およびマグノンの伝搬関数で決まる[5]。実験データは、空間的に対称な有効トルクと磁気双極子相互作用で伝搬する長波長マグノン、いわゆる静磁波の伝搬関数を用いたモデル計算と一致した[4,5]。そのような有効トルクは、ポンプ光が集光された領域でスピン系の温度が短時間のうちに上昇し、磁気双極子相互作用やスピン軌道相互作用を起源とする磁気異相性がステップ関数状に時間的に変化することによって発生すると考えられる。時空間におけるマグノンの伝搬関数は、周波数・波数を変数とする高周波帯磁率のフーリエ変換に対応している。したがって、時空間で得られた実験データをフーリエ変換することで、高周波帯磁率と有効トルクを周波数・波数空間において可視化できる [図1(c)] [5]。マグノンの強度分布は波数に対して左右対称であり、波数が2-3 rad/ $\mu\text{m}$ の範囲内で大きな値を示している。また、そのパターンは静磁表面波の分散関係と定量的に一致している。データの実部と虚部は、有効トルクの時間的位相と関連しており、前述のモデル計算でよく説明できる。またモデル計算によれば、光パルスで誘起されるマグノンは、ポンプ光のスポットサイズの逆程度の波数を持つものに限定され、実験データに見られる強度分布の波数の上限値はポンプ光のスポットサイズから見積もられる値によく一致している[5]。

## 今後の展開

本研究では、光誘起マグノンを観察する顕微鏡を構築し、磁性金属における光誘起マグノンを時空間ならびに周波数・波数空間で明瞭に可視化することができた。また、それを説明する有効モデルを構築した。これらの手法を用いて、磁性金属ヘテロ接合におけるマグノンやその円偏光励起について現在研究を進めている。他方、磁性金属ヘテロ接合にパルス光を照射すると、比較的高強度のテラヘルツ波がスピン流を介して発生することが最近報告されている[6]。我々のグループでもテラヘルツ波測定系の構築と実験を進め[7]、光誘起マグノンとテラヘルツ波の交差相間現象の研究も並行して進めている。

## 参考文献

- [1] E. Beaurepaire et al., Phys. Rev. Lett. **76**, 4250 (1996).
- [2] S. Mizukami et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 117201 (2011).
- [3] T. Satoh et al., Nat. Phot. **6**, 662 (2012).
- [4] S. Iihama et al., Phys. Rev. B **94**, 020401(R) (2016).
- [5] A. Kamimaki et al., Phys. Rev. B **96**, 014438 (2017).
- [6] T. Seifert et al., Nat. Phot. **10**, 483 (2016).
- [7] Y. Sasaki et al., Appl. Phys. Lett. **111**, 102401 (2017).

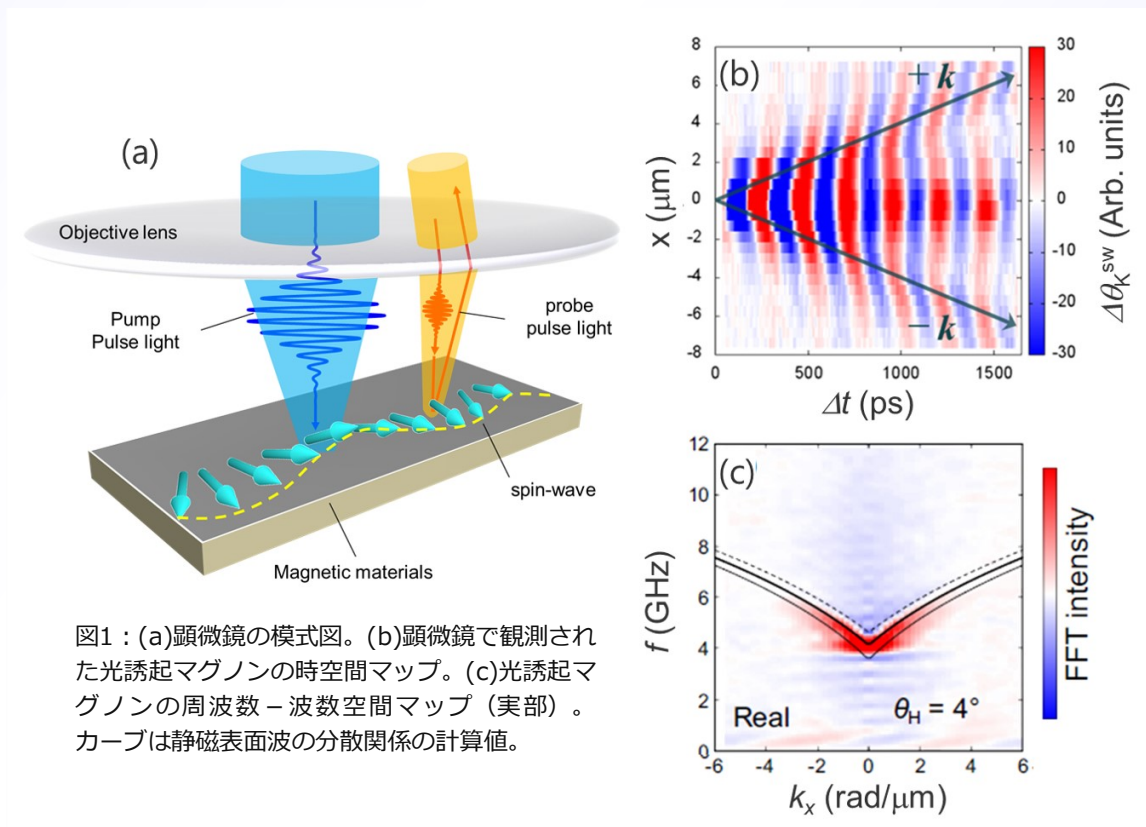


図1 : (a)顕微鏡の模式図。(b)顕微鏡で観測された光誘起マグノンの時空間マップ。(c)光誘起マグノンの周波数 - 波数空間マップ (実部)。カーブは静磁表面波の分散関係の計算値。

# ワイル半金属における磁気モノポールの円運動と円偏光による光電流

東京大学工学系研究科物理工学専攻

石塚 大晃、永長 直人

A05班

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/nagaosa-lab/>

ワイル半金属における電子バンド上のワイル・ノードの運動とその実験的検出方法を提案する。バンドのトポロジカルな構造は、電荷やスピン、光などの相互変換に役立つ可能性がある。



助教 石塚大晃



教授 永長直人

## はじめに

ベリー位相効果は電子の量子力学的性質の代表例であり、ホール伝導度の量子化や異常ホール効果、誘電分極、軌道磁化などの様々な基本的物性がこの概念によって理解できることが明らかとなってきた。こうした研究の多くは、これまで複数のバンドの縮退や交差が無い場合を主な研究対象としていた。一方で近年、ディラック半金属やワイル半金属などのトポロジカル半金属が実験的に発見され、これらの系における新奇な物理現象の研究が世界的に注目を集めている。これらのトポロジカル半金属はバンド交差の無い系では見られないベリー曲率の特異点を生じるなどバンド交差のない場合とは異なる性質を持つことから、バンド交差の無い系とは振る舞いが異なると期待される。我々は、こうしたベリー位相効果の研究を通じて様々な機能性の開拓を目指している。

## ワイル半金属

ワイル半金属は図1のように価電子帯と伝導帯がブリュアン・ゾーンの一点で交差する構造（ワイル・ノード）を持つ[1,2]。ワイル半金属という名前は、このノード近傍の低エネルギー有効模型がワイル・ハミルト

ニアン

$$H_0 = \pm \vec{\sigma} \cdot \vec{k} \quad (1)$$

で与えられることに由来する。ここで、 $\pm$ はノードのカイラリティを表す。以下、特に述べない限り+ノードを

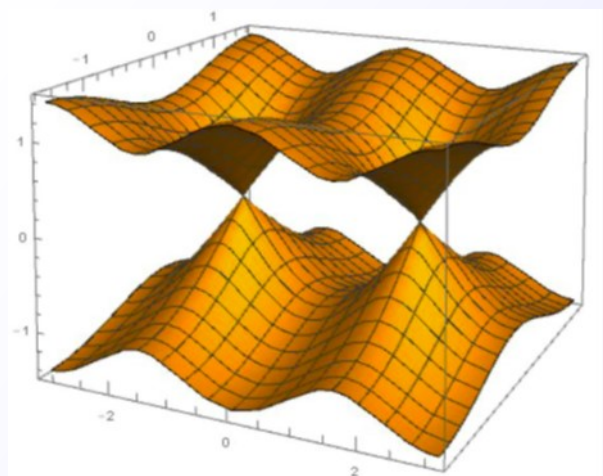


図1：ワイル半金属のバンド構造の一例。



考える。ディラック電子系とは異なり、ワイル・ハミルトニアンはバンドの縮退を持たない。その為、ワイル・ノードは一般にブリュアン・ゾーンの対称点上には存在せず、さらに時間反転対称性もしくは空間反転対称性のいずれかが破れている系でのみ生じる。理論的には、こうしたバンド構造の存在可能性は古くから知られていたが[3]、近年、第一原理計算および実験において候補物質が見つかったこともあり、実験・理論の両面において精力的な研究が進められている。

このワイル・ノードにはいくつか大きな特徴があることが知られている。まず、一般的なバンド交差やグラフィエンなどのディラック電子系と異なり、摂動的な効果に対して安定である。式(1)のワイル・ハミルトニアンに一般的な摂動ハミルトニアンとして  $H' = -\vec{\sigma} \cdot \vec{V}$  を考える。すると、全体のハミルトニアンは  $H = H_0 + H' = \vec{\sigma} \cdot (\vec{k} - \vec{V})$  となるが、これは式(1)において  $\vec{k} \rightarrow \vec{k} - \vec{V}$  と変数変換したものと同一である。つまり、摂動項はワイル・ノードの位置を  $\vec{0}$  から  $\vec{V}$  に移動させるが、ワイル点の縮退は解消しない。

第二にワイル・ノードはバンドの交差を伴うことを反映してベリー曲率の特異点となっている。式(1)に対して、ベリー曲率  $\vec{b}_{\pm}(\vec{k}) = i\vec{\nabla} \times \langle u_{\pm}(\vec{k}) | \vec{\nabla} | u_{\pm}(\vec{k}) \rangle$  を計算すると

$$\vec{b}_{\pm}(\vec{k}) = \pm \vec{k} / (2k^2)$$

となり、古典電磁気学における磁気単極子の周りの磁場

と分布と一致する。以上の様な特徴から、ワイル・ノードはしばしば波数空間の磁気単極子（モノポール）と呼ばれる。我々は、最近の論文[4, 5]において、こうしたワイル・ノードの性質が輸送現象に与える影響を調べた。

## 波数空間の電磁誘導現象

光の照射を考える場合には、ハミルトニアンは時間依存となる。特にワイル半金属の光応答では、入射光による摂動がワイル・ノードの位置（図2aの赤点）を変化させ、縦偏光の場合にはノードを電場方向に揺らし、円偏光ではワイル・ノードは回転運動をする（図2aの赤軌道）。こうしたワイル・ノードの運動はベリー接続の時間的変化を意味するので、ベリー接続の時間微分を含むベリー曲率の成分が生じると予想される。ここで電磁気学との類推を用いると、前節で述べたようにワイル・ノードは波数空間の磁気単極子としての性質を持つことから、ワイル・ノードの運動は「磁荷流」を生じる。特に、ワイル・ノードが円運動する場合には、アンペールの法則との類推から、ワイル・ノードによる磁荷流によって“電場”（ベリー接続の時間微分を含むベリー曲率）が生じると考えられる（図2aの青線）。

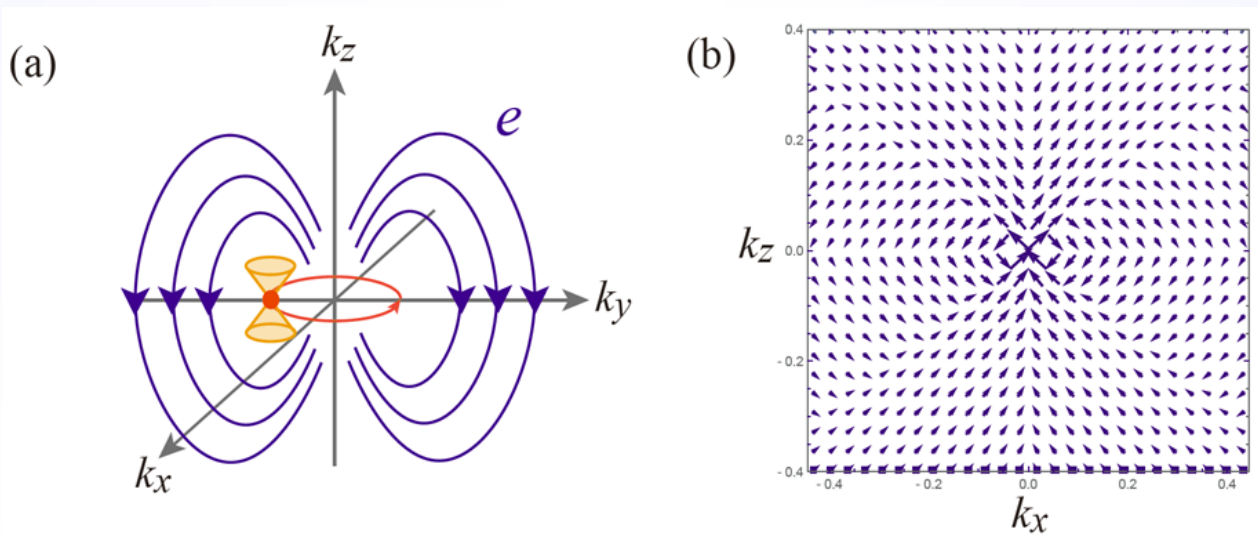


図2：(a) 波数空間におけるワイル・ノードの円偏光による運動とそれによって生じるベリー電場  $\vec{e}(\vec{k})$  の模式図と、(b)  $k_y = 0$  平面における  $\vec{e}(\vec{k})$  の時間平均の計算結果。各ベクトルの長さは  $|\vec{e}(\vec{k})|^{-1/6}$  で与えられている。

実際に、ベリ-電場を

$$\vec{e}_{\pm} = \int dt \left[ i\partial_t \langle u_{\pm}(\vec{k}) | \vec{\nabla} | u_{\pm}(\vec{k}) \rangle - i\vec{\nabla} \langle u_{\pm}(\vec{k}) | \partial_t | u_{\pm}(\vec{k}) \rangle \right]$$

と定義すると、その時間平均は図2bのようになることが確かめられる[5]。ここで、 $u_{\pm}(\vec{k})$  はワイル・ノードを構成する価電子帯(-)と伝導帯(+ )のプロット関数である。光の振幅の2次まで考慮すると、このベリ-電場の空間分布は無限遠方における円電流によって生じる磁場の分布と一致する。この効果は、マクスウェル方程式のうち電磁誘導の法則を表す式に磁荷流を加えたもの、

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\partial_t \vec{B} - 4\pi \vec{J}_m,$$

(ここで、 $\vec{J}_m$  は磁荷流)に対応する。その為、我々はこれを波数空間における電磁誘導効果と呼ぶことにした[4, 5]。

定義から明らかのように、 $\vec{e}$  は微視的にはプロット関数の時間変化を表す。通常この効果は極めて小さいと考えられていることから無視される。しかし、ワイル半金属においてはワイル点の近傍では電場の強度に対して価電子帯と伝導帯のギャップが電場と同程度かそれ以下となる領域があることから、電場による波動関数の変形が大きくなり、その影響が物性に現れる可能性がある。

## ボルツマン理論による光電流の評価

そこで、ワイル・ノードの回転運動によって生じる $\vec{e}$ の実験的検出の可能性を検討した。前節で導入した $\vec{e}$ は、断熱的時間発展において電流に比例することが知られている(断熱ポンプ)[6]。この効果は準古典論では通常のベリ-曲率と同様の方法で取り込むことができる[7]。我々は、この準古典論に基づく方法を用いて、ボルツマン理論に基づいた $\vec{e}$ に由来する電流の評価を行った。そして、電場の2次に比例する電流(=光電流)が生じることを見出した。

この光電流は電流強度が緩和時間に依存しない。これは、この光電流が断熱ポンプのようにプロット関数の変形によって運ばれる電流であることを表していると考えられる。また、光電流は円偏光の場合にのみ生じ、縦偏光では生じない。さらに、電流の向きは偏光の向き(右回り・左回り)によって符号が変わる。これらも、断熱ポンプによる電流を生じるためには複数の時間依存項が必要なこと、およびサイクルの向きによって電流の向きが変わることに対応している。

最後に、フェルミ面近傍に複数のワイル・ノードがある場合について述べる。ワイル半金属では、ブリュアン・ゾーンの周期性から同数の+ノードと-ノードがあることが知られている。特に空間反転対称性がある場合には、対称性から、+ノードと同じエネルギーに-ノードがあり、時間反転対称性がある場合には二つの+ノード(もしくは-ノード)が同じエネルギーに存在す

る(時間反転対称な系では2n個の+ノードと同数の-ノードが存在する)。その為、ワイル半金属で見られる応答はこれらの各ノードからの寄与の和となる。今回の光電流に関しては、電流の向きはノードのカイラリティに依存するので、空間反転対称な系ではノード間で光電流が相殺してしまう。しかし、空間反転対称性の無い系では、一般に以上のような相殺は起こらないため光電流が生じる。これは、光電流の発生には空間反転対称性の破れが必要であることの帰結である。

最近、空間反転対称性の無いワイル半金属としてTaAs及びその類似物質が実験的に有力視されている。その為、これらの物質群を対象とした実験及び物質に基づいた理論模型を用いた研究が期待される。

## 参考文献

- [1] S. Murakami, *New J. Phys.* **9**, 356 (2007).
- [2] X. Wan, A. M. Turner, A. Vishwanath, and S. Y. Savrasov, *Phys. Rev. B* **83**, 205101 (2011).
- [3] C. Herring, *Phys. Rev.* **52**, 365 (1937).
- [4] H. Ishizuka, T. Hayata, M. Ueda, and N. Nagaosa, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 216601 (2016).
- [5] H. Ishizuka, T. Hayata, M. Ueda, and N. Nagaosa, *Phys. Rev. B* **95**, 245211 (2017).
- [6] D. J. Thouless, *Phys. Rev. B* **27**, 6083 (1983).
- [7] D. Xiao, M.-C. Chang, and Q. Niu, *Rev. Mod. Phys.* **82**, 1959 (2010).





# 新規スピン変換現象の理論予言に向けて

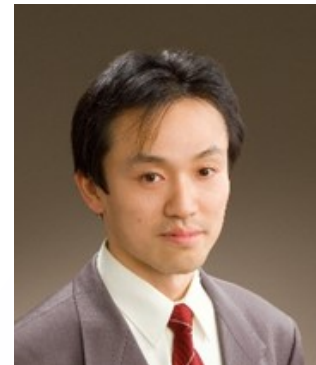
東京工業大学理学院 物理学系

村上修一、横山毅人

A05班

<http://www.stat.phys.titech.ac.jp/murakami/>

本グループでは、新原理に基づく電子スピン生成やスピン制御に関係する新現象の理論的予言を目指している。新しい着想や、物理・数学の諸分野での理論的枠組みを導入してスピン変換の物理に新境地を開くことが目標である。



教授 村上修一

## はじめに

理論研究においてはしばしば、思いもよらない事柄からブレイクスルーにつながる。例えば我々の予言した内因性スピンホール効果についても、それを契機に多くの物質やさまざまな派生現象へと広がりを見せるとは予想もしなかった。我々はこうした経験から、単純であるが新しいアイデアや、他の物理学分野での新しい枠組みなどをスピン変換現象に取り入れ、新しい現象の理論的予言を目指している。

## スピン軌道相互作用を用いない磁化制御

通常のスピントロニクスに関連したスピン生成・スピン検出等にはスピン軌道相互作用を用いることが多い。例えばスピンホール効果は大きなスピン軌道相互作用が必要である。このようにスピン軌道相互作用はスピンを生成する一方で、スピン緩和も大きいという諸刃の刃となる。我々は、スピン軌道相互作用を用いない磁化制御の手段について、理論的に提案する試みを行っており、そのいくつかを紹介する。

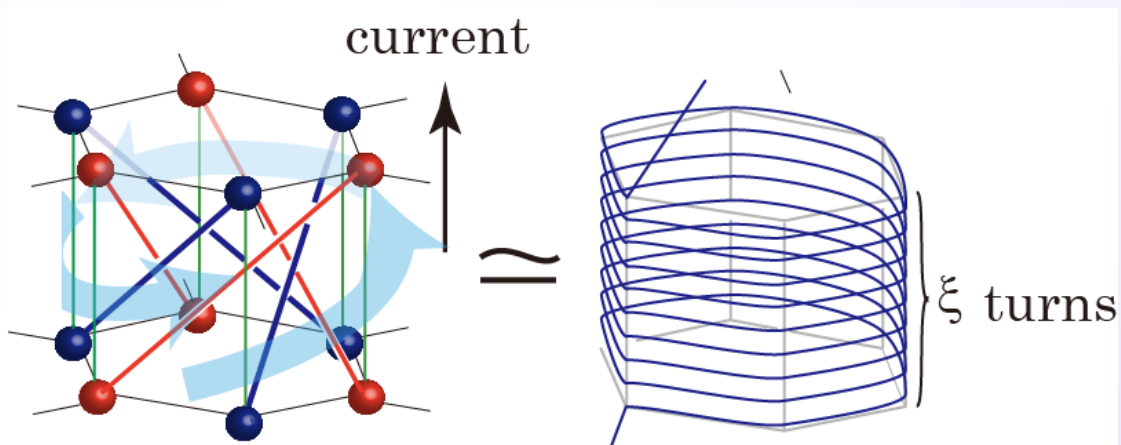


図1：らせん型結晶の金属とソレノイドの類似性。

第一には、電流誘起軌道磁化である。例えばソレノイドにおいては電流を流すと磁場が生じることはよく知られているが、固体結晶での類似物として、例えばらせん状の結晶構造を持つものを考える。例えばテルル (Te) は、らせん状の1次元鎖が束ねられた3次元構造をなして、右巻き結晶と左巻き結晶とが存在する。このようならせん状の構造を持つ結晶について、電流を流したときに軌道磁化が生じる現象について理論予言を行った。ここで考えるのは空間反転対称性が破れた非磁性の結晶であり、波数 $\mathbf{k}$ と $-\mathbf{k}$ の状態のプロック波が逆符号の軌道磁化を持つため、平衡状態では打ち消しあってゼロとなる。一方で電流を流すと電子の分布がフェルミ分布からずれるために打ち消し合いが起こらなくなり、軌道磁化が誘起される。なおこの機構は、ラシュバ型スピン軌道相互作用のある系などで見られるエーデルシュタイン効果の軌道磁化版である[1-3]。

実際に模型を作成して、この電流誘起軌道磁化の計算を行っている。なおらせん状の結は古典的なソレノイドと比較することができる。単位格子をソレノイドとみなしたときの単位格子内での巻数を $x$ として(図1)、この値を見積もると、模型のパラメタによっては1を大きく超える値となることが分かった[2]。なお別の研究グルー

プの第一原理計算結果から見積もると、テルルでは $x$ が100を大きく超える場合があるとのことで、今後の研究が期待される。

第二にはフォノンの熱エーデルシュタイン効果である。固体結晶のフォノンの回転成分がスピン回転結合を介してスピン磁化を生じることは、新学術領域の前川グループなどいくつかのグループから成果が出されている。我々は熱流を固体に流すことで、フォノン角運動量が誘起される現象を理論的に予言した。機構としては前項と同様で、平衡状態では波数 $\mathbf{k}$ と $-\mathbf{k}$ の状態のフォノンの角運動量が逆符号でキャンセルするが、熱流が流れているとそれが打ち消さずに有限のフォノン角運動量を持つ。

実際に、らせん型結晶構造を持つテルル(Te)と、極性のある結晶構造の窒化ガリウム(GaN) について、フォノンの角運動量の $\mathbf{k}$ 空間での分布と、熱流下でのフォノン角運動量の総和を計算した。例えば結晶を自由に回転できるようにして熱流を流すと、フォノン角運動量が誘起され、角運動量保存によりそれと逆向きに結晶全体の剛体回転が角運動量を獲得し、結晶全体が回転することが予言される(図2)。

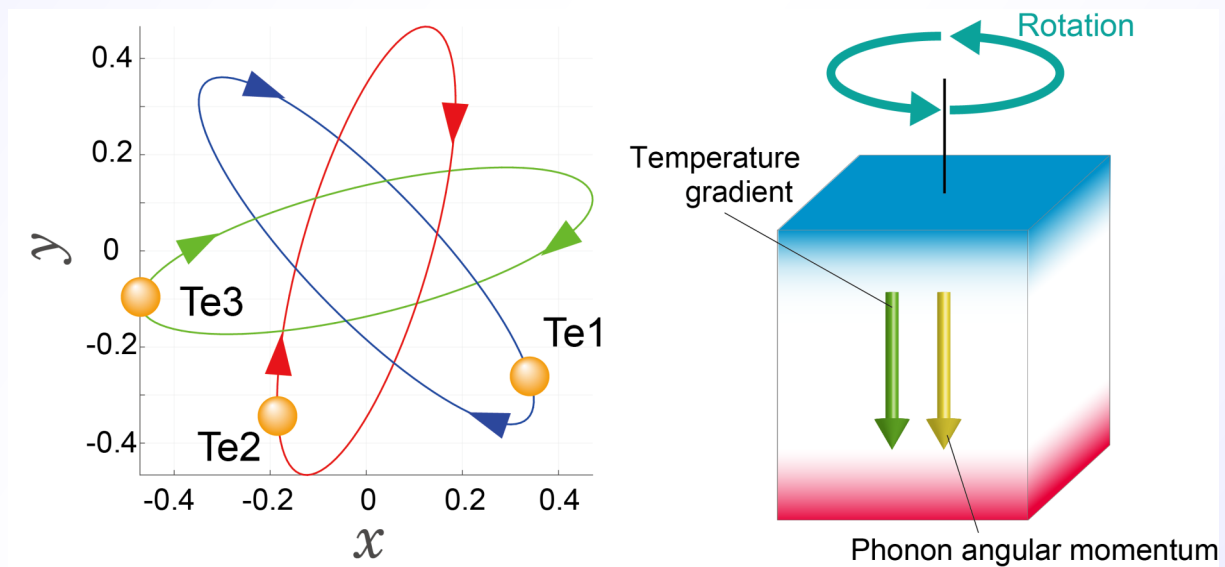


図2 : (左) Teのフォノンでの回転運動。(右) Teの場合の熱流と軌道角運動量。

## ■ マグノンのベリー曲率のデザイン

強磁性体中のマグノンについては、ベリー曲率によりもたらされる新奇現象が注目されている。例えば熱ホール効果はさまざまな磁性体について測定が行われ、磁性体での励起を特徴づける新しいプローブとして注目されている。我々は強磁性体薄膜中のマグノンのベリー曲率について、交換相互作用と双極子相互作用を定量的な計算を行い、交換相互作用が効くような短波長領域になるにつれ、ベリー曲率が符号変化することを見いだした[4]。また、マグノンと他の準粒子（弾性波、電磁波など）との混成波について、ベリー曲率の定式化を行い、ベリー曲率の計算を行っている。混成が起こって分散に反交差が起こる点でベリー曲率に大きなピークが現れる。こうしたベリー曲率は、例えば磁性体の端で波束が反射するときの横ずれ(図3)として現れる。

こうしたベリー曲率は、磁性体に空間的な周期性を導入すると自由にデザインできる。以前、こうした周期性を導入したマグノンニック結晶において、量子ホールと同様のトポロジカルな状態が実現され、カイラルなエッジ状態が現れることを理論的に見いだしている[5]。

## 参考文献

- [1] T. Yoda, T. Yokoyama, S. Murakami, Nano Lett. **18**, 916 (2018).
- [2] T. Yoda, T. Yokoyama, S. Murakami, Sci. Rep. **5**, 12024 (2015).
- [3] 養田大騎, 横山毅人, 村上修一, 日本物理学会誌 **72**, 872 (2017).
- [4] A. Okamoto and S. Murakami. Phys. Rev. B **96**, 174437 (2017).
- [5] R. Shindou, R. Matsumoto, S. Murakami, J. Ohe, Phys. Rev. B **87**, 174427 (2013).

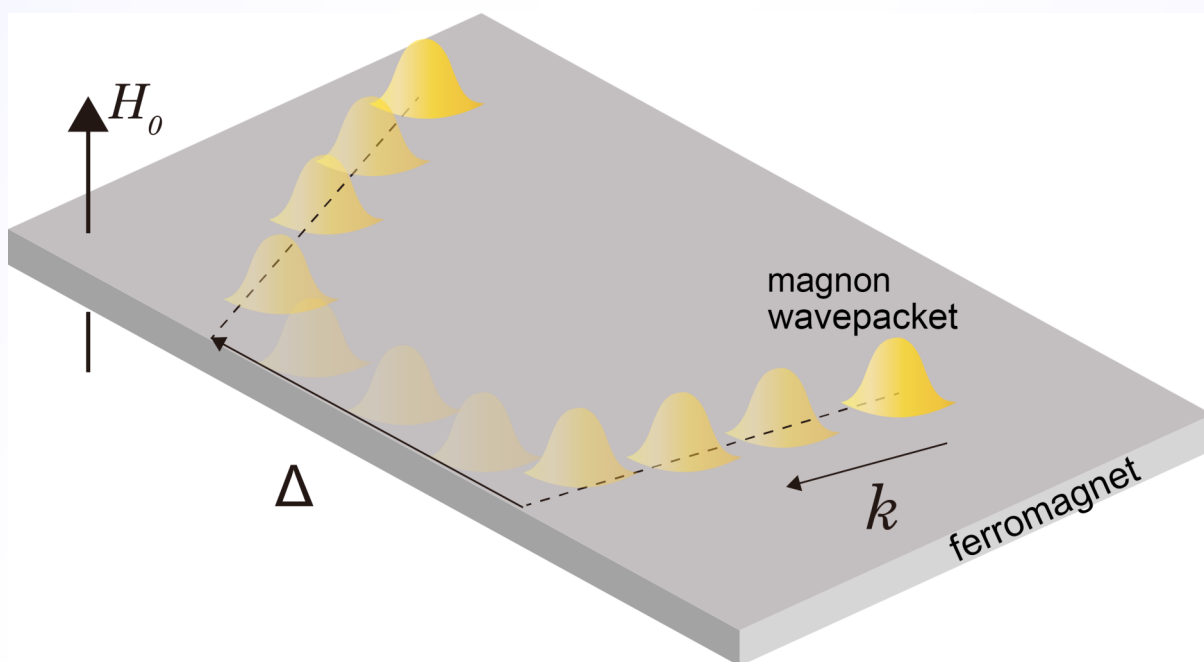


図3：強磁性薄膜の端でのマグノン波束の反射に伴う横ずれ。

# 公募研究紹介

今年度は12件の公募研究が採択され、領域に加わりました。今回は公募研究の先生方のご研究を余すところなく紹介します。

## A01班公募研究

### 界面磁性を利用したスピン変換現象の研究

大阪大学大学院基礎工学研究科・准教授 三輪 真嗣



磁性体の磁化(スピン)には電流や電界による様々なトルクがはたらきます。これはスピン変換の一種です。これまでに強磁性体からのスピン注入を利用したスピントランスファートルクによるナノ磁性体のスピン制御を利用した様々な磁性素子が実現し、その物理が明らかになってきました。

私たちは主に強磁性金属Feと絶縁体MgOの界面に由来する新規スピントルクの研究に注力してきました。特に金属原子と絶縁体のヘテロエピタキシャル成長を利用し、高品質な界面を有するデバイスの作製に注力してきました(図1)。そしてトンネル異方性磁気抵抗効果を利用したスピントルク評価手法を新たに開発し、結果としてFeとMgOの界面準位に起因する新規電界スピントルクを発見しました[1]。またFeとMgOの間にPtを1原子層挿入した構造では外部電界により磁気双極子 $T_z$ 項が誘起され、大きな電界スピントルクが生じることを見出しました[2]。薄膜等の対称性が低い系では電子の再配列が生じて金属原子に電気四極子が生成されます。この状態で原子がスピン偏極すると磁気双極子 $T_z$ 項が生じます。これは原子内部のスピン密度の異方性を示す物理量です。

今回の公募研究では私たちが培ってきた基盤技術である単結晶エピタキシャル成長を引き続き利用します。一方で金属磁性体として5d金属の利用、特徴的な界面の創出方法として金属のみならずフタロシアニン等の分子を利用することにより新たなナノスピン変換科学を創出することを目指します。そしてスピントルクやその他の新規応用物性を見出し、解明することによりナノスピン変換科学の発展に資することが目的です。

#### 参考文献

- [1] S. Miwa et al., Phys. Rev. X **7**, 031018 (2017).
- [2] S. Miwa et al., Nat. Commun. **8**, 15848 (2017).

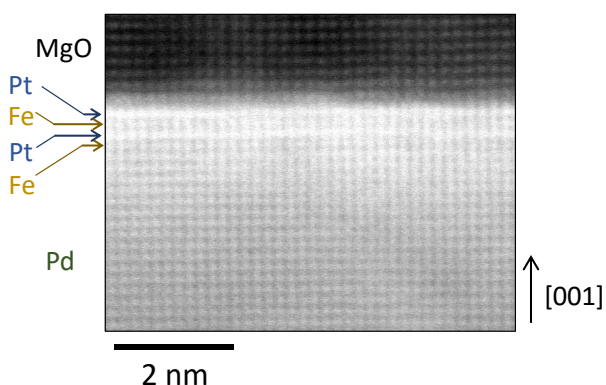


図1：エピタキシャル界面の例[2]。

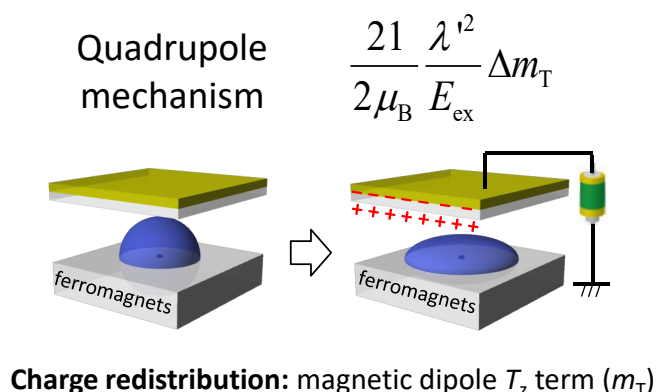


図2：電気四極子( $T_z$ 項)機構のイメージ図。



# 反強磁性体におけるスピン変換ダイナミクスの解明



京都大学化学研究所 ナノスピントロニクス領域・准教授 森山 貴広

反強磁性体は、様々な固定概念から、これまでスピントロニクスにおいて応用・基礎研究があまり行われてこなかった材料・物理系です。全体として自発磁化を持たないという性質から、強磁性体と比べて、磁化方向を制御・検出することが一般的に困難であると考えられてきました。これらの性質は反強磁性体のデバイス応用を困難にしており、スピン自由度に起因した基礎物理現象をとらえるうえでも重大な障害でした。しかしながら、最近の研究結果から、強磁性体と同様に、伝導スピンと反強磁性体の局在磁化との相互作用（スピントルク効果）が存在することが実験的に示唆されており[1-3]、スピン流による反強磁性体の磁化方向の制御や反強磁性磁化ダイナミクスの励起など、さらなる研究の進展が望まれています。また、反強磁性体における磁気抵抗効果なども観測されており、磁化状態の電気的検出も可能になってきています[4]。これら最新の研究結果を踏まえ、反強磁性体におけるスピン物性の実験的研究や、超高密度磁気メモリやテラヘルツデバイスなどの新規スピントロニクスデバイスの創生を目指した「反強磁性体スピントロニクス」が活発化しています。

ごく最近我々は、図1に示したようなPt/NiO/Pt多層膜構造を用い、Ptのスピンホール効果を利用した反強磁性磁化の方向制御および電気的検出を実証しました[5]。本手法を用いると、スピントルクを経ずに低エネルギーでの反強磁性磁化の回転を実現できます。

本研究課題では、様々な多層膜構造や測定手法を駆使し、反強磁性秩序を有する物質系におけるスピン自由度に起因する現象をさらに掘り下げるべく、反強磁性体における伝導スピン⇄局在スピン変換ダイナミクスの解明を目的とします。具体的には、（1）反強磁性体におけるスピントルク磁化ダイナミクスの解明（2）反強磁性磁化ダイナミクスが伝導電子スピンに与える影響を調査します。本研究によって未開拓の領域であった反強磁性体におけるスピン変換物性の一端を明らかにすることで、「ナノスピン変換科学」が目指す「新たなスピン変換の動作原理の開拓・素子機能の提案」に寄与・貢献します。

## 参考文献

- [1] T. Jungwirth, X. Marti, P. Wadley, J. Wunderlich, Nat. Nanotechnol. **11**, 231 (2016).
- [2] V. Baltz, A. Manchon, M. Tsoi, T. Moriyama, T. Ono, and Y. Tserkovnyak, Rev. of Mod. Phys. **90**, 015005 (2018).
- [3] T. Moriyama, M. Kamiya, K. Oda, K. Tanaka, K.-J. Kim, and T. Ono, Phys. Rev. Lett. **119**, 267204 (2017).
- [4] T. Moriyama, N. Matsuzaki, K.-J. Kim, I. Suzuki, T. Taniyama, and T. Ono, Appl. Phys. Lett. **107**, 122403 (2015)
- [5] T. Moriyama et al., *arXiv:1708.07682*, and 特願 2017-132264

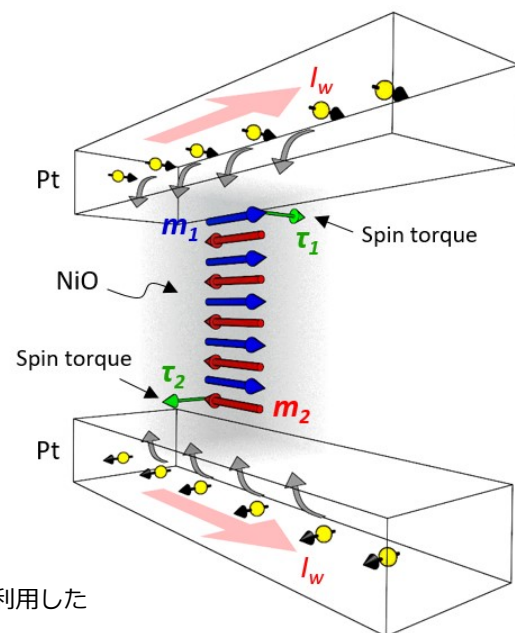


図1：Ptのスピンホール効果によるスピン流を利用した反強磁性磁化のスピントルク回転。

# キラル物質を用いた新しい選択則の スピン流・電流変換現象の開拓

理化学研究所 創発物性科学研究センター  
スピン創発機能研究ユニット・ユニットリーダー 関 真一郎



近年、スピン角運動量の流れであるスピン流が、電流に代わるエネルギー散逸の無い情報媒体として、盛んに研究されています。スピン流は、白金などの重金属中で生じる「(逆)スピンホール効果」を用いて電流に変換できることが知られていますが、その変換効率が低いこと、選択則が限定的であることが課題となっていました。一方で最近になり、反転対称性の破れた環境下の特殊なバンド構造を利用した「(逆)Edelstein効果」と呼ばれる新しい変換機構が提案され、大きな注目を集めています。こうした系では、スピンの方向に依存したバンド構造の分裂が生じ(スピン分裂)、電子の運動方向とスピン偏極方向が強く結びつけられる「スピン運動量ロッキング」と呼ばれる現象が起こるために、極めて高い効率でスピン・電流変換を行うことが可能となることが期待されます。実際に、Bi/Agなどの界面系では、Rashba型と呼ばれる対称性のスピン分裂に由来した巨大なEdelstein効果が生じることが実験的にも確認されています[1]。一方で、電子の運動方向とスピン偏極方向の対応関係は、基本的に系の対称性によって支配されるため、極性を伴った界面系を用いた場合には、そのスピン・電流変換の選択則が一意に固定されてしまうという課題がありました。

そこで本研究では、Edelstein効果を利用した高効率かつ新しい選択則のスピン・電流変換を実現するための舞台として、キラルな結晶構造を伴う金属・半導体材料の開拓を行います。キラルな物質中では、Weyl型と呼ばれる新しい対称性のスピン分裂の発現が予言されており[2]、従来とは異なる選択則のスピン・電流変換を実現できることが強く期待されます。このような新しい選択則のEdelstein効果を開拓することで、従来は利用できなかったスピン成分を電流に変換することを可能とし、効率的で自由度の高いスピン・電流変換の実現を目指します。

## 参考文献

- [1] J. C. Rojas Sanchez et al., Nature Comm. **4**, 2944 (2013).  
[2] M. Hirayama et al., Phys. Rev. Lett. **114**, 206401 (2015).

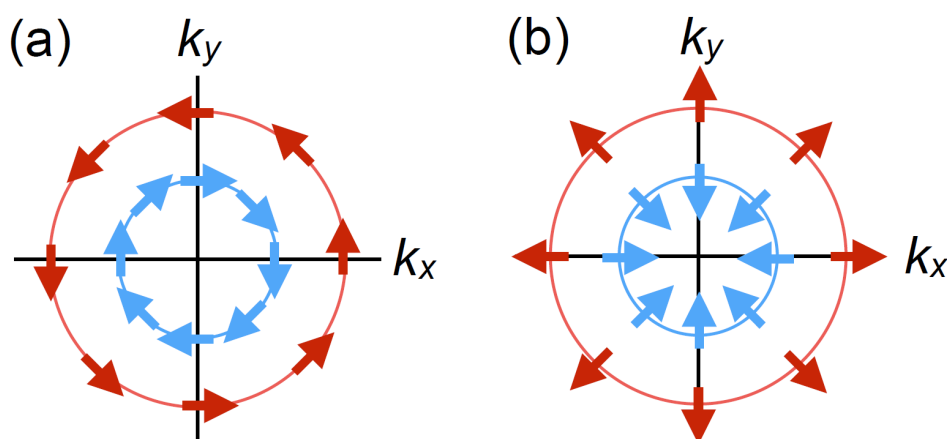


図1：(a)界面をはじめとする極性系で発現するRashba型スピン分裂。(b)キラルな系で発現することが期待されるWeyl型スピン分裂。

# スピン変換研究に向けた電氣的超高速局所スピンプローブの開発と応用

理化学研究所 創発物性科学研究センター・研究員 大塚 朋廣



固体中の電子の電荷の自由度とともにスピンの自由度を扱うスピントロニクスが基礎物理および応用の両面から注目を集めています。中でも伝導電子スピン、局在スピン、フォトン、フォノンなど多様な粒子・準粒子の間にまたがるスピン変換の研究が重要性を増しており、活発に研究がなされています。この研究においては、従来からのプローブとともに、スピン変換により生じた局所的なスピン状態にそのダイナミクスまで含めてアクセスできるプローブが非常に有用となります。

そこで本研究では、スピン変換デバイス中に形成されたスピン状態を局所的にかつ高速に測定できる、電氣的超高速局所スピンプローブを開発しています。局所電子状態・スピン状態プローブについて、これまで私たちは半導体量子ドットを使って、マイクロなプローブを実現してきました。量子ドットの中には電圧で制御可能な微小な人工量子準位が形成され、またその中にはスピン選択性をもつものがあります。この人工量子準位への電子のトンネルを調べることで、良局所性、高精度、低擾乱で局所電子状態・スピン状態を調べられることを実証してきました。さらにこのプローブを近年開発された高周波反射測定による電氣的超高速測定技術と組み合わせ、局所電子状態・スピン状態のダイナミクスまで調べることができる新しい局所プローブとして発展させています[1,2]。

そしてこの新しいプローブを用いて、半導体微細構造中のスピン軌道相互作用等を利用したスピン偏極デバイスや、金属、半導体接合デバイス等のスピン変換デバイスを測定しています。デバイス中のマイクロなスピン偏極、スピン依存電気化学ポテンシャル分布等を直接的に調べ、またこれらの時間変化について新プローブの高速性を使って、そのダイナミクスまで測定します。これらの測定より、スピン変換デバイス中でのスピン偏極の生成、スピン操作、スピン緩和等について、そのマイクロな機構とダイナミクスを解明し、スピン変換デバイスの効率向上等を目指します。

## 参考文献

- [1] T. Otsuka et al., Scientific Reports **7**, 12201 (2017).  
 [2] T. Otsuka et al., Scientific Reports **5**, 14616 (2015).

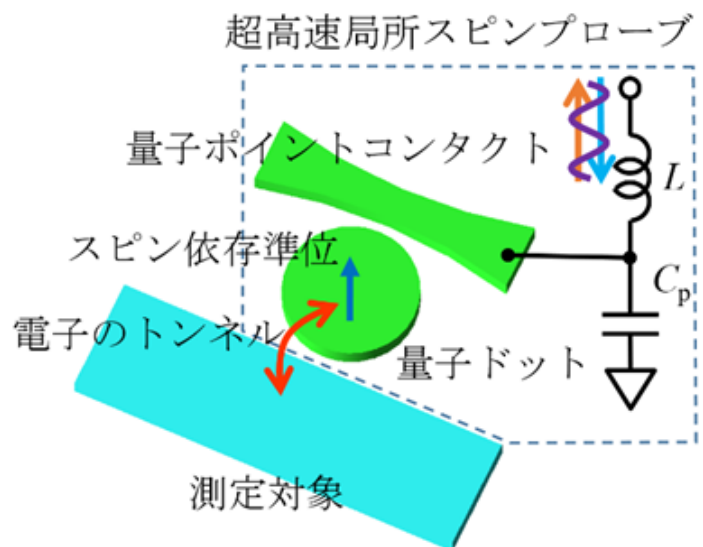


図1：超高速局所スピンプローブの概念図。量子ドット中のスピン依存状態への電子のトンネルを高速に測定することにより、測定対象のスピン状態を調べる。



# 電子スピン制御技術を用いたもつれ光子対の計測実験



東京大学大学院工学系研究科・助教 松尾 貞茂

量子情報処理分野では長距離量子情報通信の要となる量子中継器への応用をめざし、光子とスピンのインターフェースに関する研究が進められています。これは光の長距離コヒーレンスと固体デバイスにおける集積可能性、制御性との両方の強みが反映されるため、将来的な量子情報処理デバイスへの応用上非常に重要であるからです。これまでに遠隔地にある二つのダイヤモンドNV中心のスピン間にもつれ相関を生成する実験が報告されていますが[1]、もつれ相関の“転写”は実証されていません。

この潮流の中で我々はGaAs/AlGaAs量子井戸に形成した量子ドットを用いて、単一光子と電子スピンのインターフェースに関する研究を行ってきました[2]。この系はスピン操作性や将来的に必要な集積性もよいことが知られています。これまでに我々は図1に示すように、もつれ光子対の片方の光子から量子ドットに生成される電子ともう片方の光子の同時検出を行いました。その結果、光子対から光子電子の対が生成されることを実証しました[3]。

そこで、本公募研究では上記の光子対から生成される光子の偏光と電子のスピンの間にもつれ相関が形成されることの実証を目指しています。これは量子中継器への応用だけでなく、異種量子ビット間に同種の量子ビット間が保持するもつれ相関を転写できるかという基礎的な問題への解答を与えるものであり、重要な研究です。最近このために必要な、単一光子偏光から単一電子への量子状態転写の実証に成功しました。現在はもつれ光子対の狭帯域化を行っています。

さらに本研究では図2の概略図のようにもつれ光子対からスピン対への量子もつれ相関の転写も目指しています。このためには同一光軸上にあるもつれ光子対の光源を準備する必要があります。現在はこの光子対源を実現するのが最善であるかを検討している段階です。この光子対を二つの量子ドットに照射し、生成された二つの電子のスピン対相関を単一スピン読み出しの応用で実証することを計画しています。

## 参考文献

- [1] B.Hensen, et al., Nature **526**, 682 (2015).
- [2] A.Oiwa, et al., Journal of the Physical Society of Japan **86**, 011008 (2016).
- [3] K.Kuroyama, et al., Scientific Reports **7**, 16968 (2017).

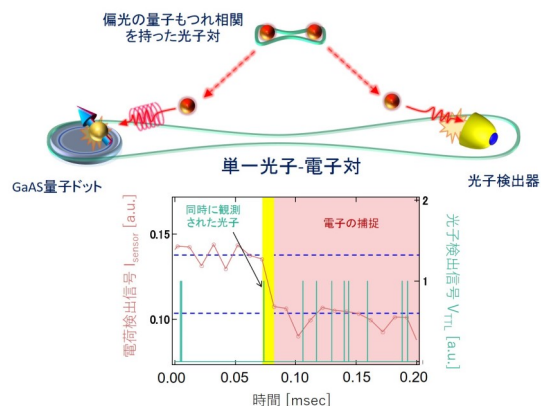
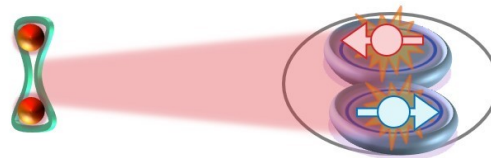


図 1：光子対から生成された光子と電子の同時検出実験の概略図と典型的な結果。

## 偏光もつれ相関をもつ光子対

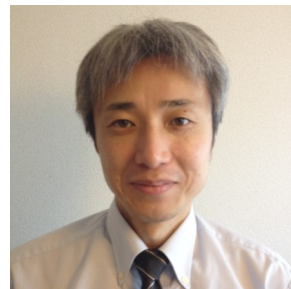


二つの隣接する量子ドット

図2：もつれ光子対から二つの量子ドット中の電子スピン対へのもつれ相関転写実験の概略図。

# 空間反転対称性の破れを利用した反強磁性 マグノニクス

東京大学総合文化研究科・准教授 小野瀬 佳文



近年、スピントロニクス分野が隆盛によって、強磁性体中のスピンに関する物質機能の開拓が進んでいるが、その過程で強磁性体マグノン励起（強磁性共鳴励起）が果たした役割は非常に大きい。例えば、スピンポンピングとよばれる強磁性共鳴によって純スピン流が生成される現象は逆スピンホール効果などその後の発展の基礎となった。マグノン励起自体の研究もすすんでいる。磁気双極子相互作用による静磁場モードの理解が深まりそれを利用した研究も多く行われた。研究代表者（小野瀬）らは、マグノンのホール効果[1]やキラルな強磁性体におけるマグノンの非相反伝搬[2]など、ジャロシンスキー守谷相互作用によって起こる強磁性マグノンの新規物理現象（強磁性マグノンの相対論効果）の開拓を進めてきた。本研究ではそれを発展させて、反強磁性マグノンの相対論効果の研究を展開している。

この一環として最近研究しているのが、空間反転対称性が破れた二次元反強磁性体 $\text{Ba}_2\text{MnGe}_2\text{O}_7$ におけるマグノンである（図1）。この物質は、転移温度が低く異方性も弱いためマイクロ波領域に反強磁性共鳴が観測される。最近、我々は空間反転対称性の破れによるマイクロ波非相反応答を観測した。また、同じ研究科の堀田グループと共同で二次元反強磁性体におけるマグノンの空間反転対称性の破れの効果を理論的に明らかにしている。今後は、理論で予言された効果（例えばマグノン版のエデルシュタイン効果）の実現を目指したい。

## 参考文献

- [1] Y. Onose, T. Ideue, H. Katsura, Y. Shiomi, N. Nagaosa, Y. Tokura, *Science* **329**, 297 (2010).  
 [2] Y. Iguchi, S. Uemura, K. Ueno, Y. Onose, *Phys. Rev. B* **92**, 184419 (2015).

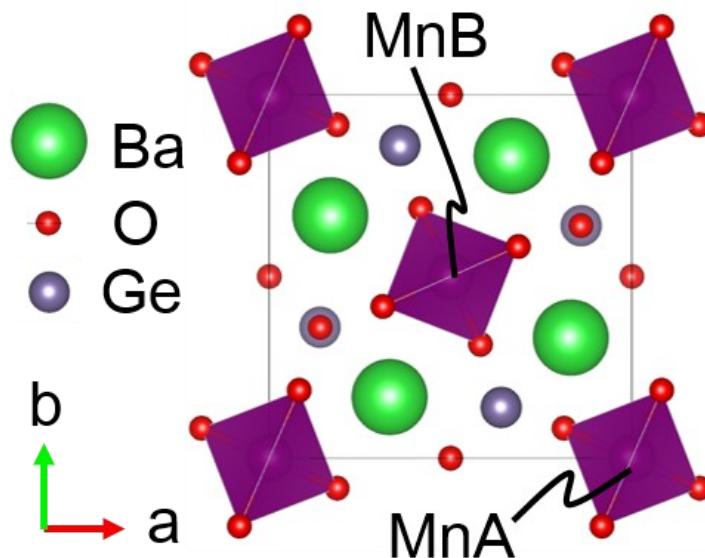
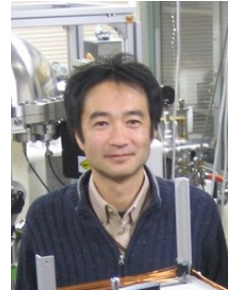


図 1:  $\text{Ba}_2\text{MnGe}_2\text{O}_7$ の結晶構造

# 気体と固体，スピンドでつなく ～スピンド流生成から機械的回転まで～

東京農工大学大学院先端物理工学部門・准教授 畠山 温



粒子のスピンドを偏極し，制御し，そして測定することは，素粒子物理学から固体物性にいたるまで普遍的な重要性を持ちます。この中で特に気体のスピンド系と固体のスピンド系はそれぞれ次のような特徴があり，盛んに研究が進められてきました。

【気体スピンド系】

○スピンドの高精度な検出や高度な制御が可能 ○系がシンプルで理論的にも取り扱いやすい

【固体スピンド系】

○豊かなで興味深い物性を示す  
○多くの産業的な応用に直結

しかしこれら2つのスピンド系の研究はほぼ独立に発展してきたといつてよいでしょう。本研究は固体表面を通じた気体と固体のスピンド角運動量のやりとりを調べ，「スピンド変換」の概念を固体-気体間にも拡張し，2つのスピンド系をつなく研究分野を拓くことを目的としています。

具体的なターゲットとするのは，気体原子スピンドが固体に移行し最終的に固体の巨視的な角運動量になった結果としての回転運動の検出と，その移行過程の途中で生成される可能性のある固体中のスピンド流生成の探索です。固体に入射する気体原子のスピンドは正確に見積もられるため，最終的な角運動量の出口である固体の力学的な回転運動を測定することで，角運動量移行過程の最初と最後を押さえることができます。その上で，中間状態としてのスピンド流の検出を目指します。また，固体中のスピンド流をもとに気体原子をスピンド偏極する逆の過程も研究の対象にします。

信号は小さいと予想されるため，現在，装置開発と調整を行っています。気体を封じた容器をつり下げたねじり秤（図1）を作り，スピンド偏極した気体原子から固体容器にスピンド移行したときの微小な回転を検知すべく，装置のチューンナップを行っています。固体中のスピンド流と気体原子のスピンドをつなげる実験では，まず手始めとして，固体表面に蓄積したスピンドを気体原子側でピックアップする方法を試してみることにしました。この場合は気体側のスピンドを高感度で検出する必要があり，こちらも現在，装置のチューンナップをしている段階です。

この公募研究は，角運動量の移行，特にマイクロな原子スピンドからマクロな固体回転への移行という基礎物理学的な面白さとともに，スピントロニクス研究を気体スピンド系にまで大きく拡張する重要性を持つと考えています。本公募研究により，気体スピンド系と固体スピンド系をつなく新しい研究分野を立ち上げ，界面でのスピンド移行過程の理解や，2つの系の特徴を生かした新しい応用につなげることを目指しています。

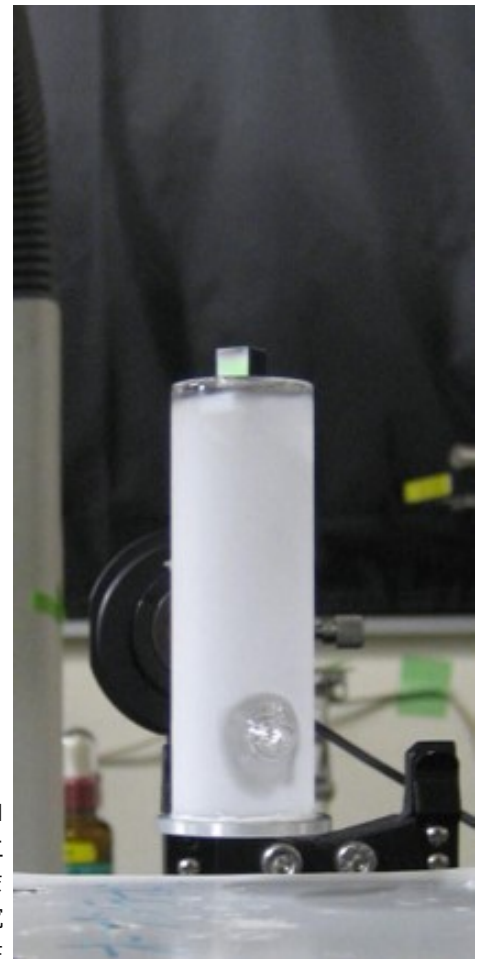


図1：直径7  $\mu\text{m}$ のカーボンワイヤでつり上げられたセシウム金属蒸気セル（長さ6 cm）。

# 巨視的回転運動と微視的スピン角運動量の 双方向変換に関する研究



慶應義塾大学理工学部物理学科・教授 能崎 幸雄

磁性体やスピン軌道相互作用の大きな貴金属を用いず、銅やアルミニウム等でスピン流を生成することは、スピントロニクスデバイス研究における大きな挑戦です。われわれは、松尾らの理論的予言[1]に基づき、1秒間に10億回以上の速さで原子が回転するレイリー波と呼ばれる音波を銅に注入することによって、スピンの方向が周期的に変化する「交流スピン流」を生み出し、磁性体にスピントランスファートルクを与えることに成功しました[2]。図1(a)に示すようなSAWフィルター素子を作製し、レイリー波を生成するアンテナ1と、伝搬したレイリー波を検出するアンテナ2の間に銅と磁気を持つニッケル・鉄合金を重ねて貼り付けます。レイリー波が銅に注入されると、銅原子が高速に回転し、ニッケル・鉄合金の方向に流れるスピン流が生成されます(図1(b))。このスピン流は、ニッケル・鉄合金の磁化にスピントランスファートルクを与えます。この時、レイリー波のエネルギーの一部は、磁化歳差運動に利用されるため、注入されたレイリー波の振幅が小さくなります(図1(c))。実験では、図1(d)に示すように、磁場を用いてレイリー波と磁化歳差運動の周波数を一致させたとき、レイリー波の振幅が大きく変化する現象を発見しました(図1(d))。この現象は、銅を取り除いたり、銅とニッケル・鉄合金の間にスピン流を通さない酸化シリコンを挟むと、ほとんど消失します。これらは、理論予言の通り、レイリー波が銅に交流スピン流を作ることと、生成された交流スピン流が銅に貼り付けられたニッケル・鉄合金の中の磁気量を激しく変化させることを証明する決定的な実験結果です。さらに、銅を厚くすることにより、磁気量の変化を簡単に増加できることも発見し、本技術がデバイス応用の観点から極めて有望であることがわかりました。今後は、スピン流から巨視的回転への逆変換の実現も目指します。

## 参考文献

- [1] M. Matsuo et al., Phys. Rev. B **87**, 1870402(R) (2013).  
 [2] D. Kobayashi et al., Phys. Rev. Lett. **119**, 077202 (2017).

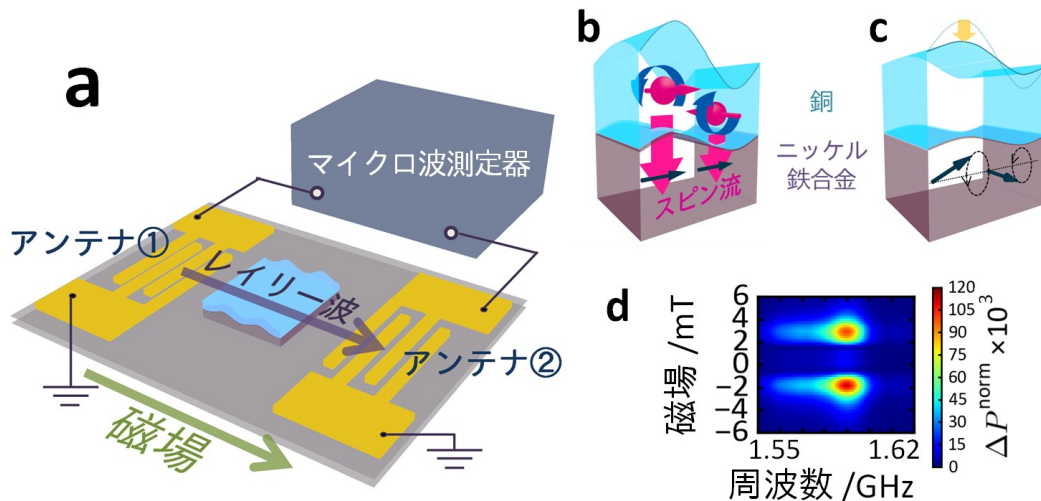


図1： (a) SAWフィルター素子の構造、(b) レイリー波による交流スピン流生成、(c) 交流スピン流による歳差運動誘引とレイリー波振幅の減衰、(d) 歳差運動誘引によるレイリー波の振幅減衰量。



# Engineering Curvature-Induced Anisotropy in Thin Ferromagnetic Films

Institute for Materials Research, Tohoku University

Assistant Professor, Oleg A. Tretiakov



In this work, we aimed to understand the effect of large periodic curvature on the shape anisotropy and demonstrate the formation mechanism of perpendicular or any other given direction of magnetic anisotropy by means of the surface engineering of modulated ultrathin magnetic films (see Fig. 1 for examples). The proposed mechanism does not require any spin-orbit coupling and is related solely to the interplay of surface curvature and dipolar interactions in the film. This possibility may open up a direction to tailor the interfacial magnetic anisotropy in thin ferromagnetic films without any additional layers of heavy metal, which, in turn, may lead to simpler and cheaper ways to engineer systems with any given anisotropy. Nowadays, the curvature effects in thin magnetic films are becoming more accessible due to experimental advances in flexible electronics, making the proposed method to control the anisotropy experimentally viable in the near future.

We have demonstrated that the perpendicular anisotropy can be achieved in thin ferromagnetic films solely due to an interplay of surface curvature and dipolar interactions in the special case of nearly parallel surfaces. This points to the fact that the surface roughness may also significantly modify anisotropy. We have shown how the nonlocal in their nature dipolar interactions, in the presence of an arbitrary large surface curvature of the periodically modulated film, can be reduced to local effective anisotropy term in the micromagnetic energy. We modeled the film surfaces by periodic smooth functions, which can, in principle, be engineered in the films, and demonstrated that, by an appropriate choice of these functions, one can orient the magnetic anisotropy axis along any direction [1]. This provides a justification of the concept for future magnetic film nanoengineering with any chosen uniaxial anisotropy without the additional need of heavy-metal layers to provide spin-orbit coupling effects.

## References

[1] O.A. Tretiakov, M. Morini, S. Vasylykevych, and V. Slastikov, *Phys. Rev. Lett.* **119**, 077203 (2017).

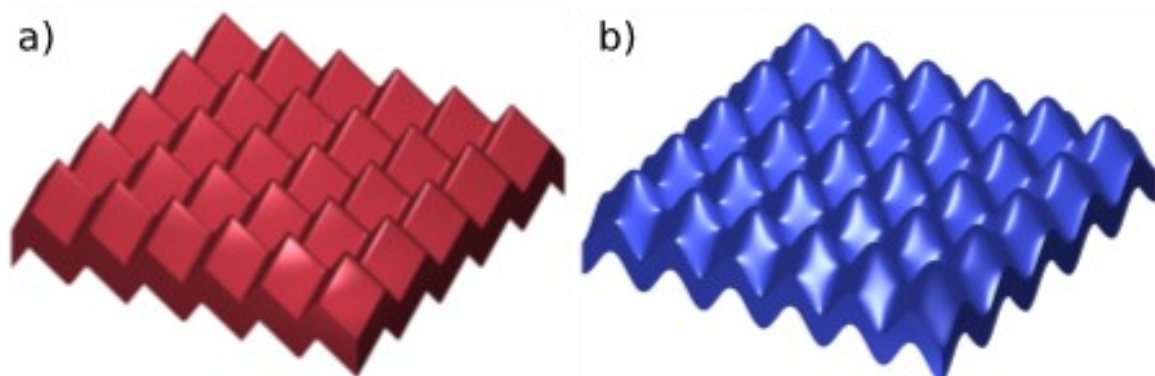


Figure 1 : Examples of periodic magnetic films.

# 第一原理手法によるナノスピントランジスタ物質 デザイン

金沢大学理工研究域数物科学系・准教授

石井 史之



本新学術の研究で、我々が目指すところは異種物質間の接合が生み出す、特異な有効場を第一原理手法によって明らかにし、「ナノスピントランジスタ」現象を記述する有効ハミルトニアンを物質固有のパラメータを評価し、高効率なナノスピントランジスタ物質創出に貢献しようというものです。 前回の公募研究(平成27-28年度)に引き続き、具体的な研究内容としては以下で述べる、二つのサブテーマに関する研究を進めて参ります。

## (1) ベリー曲率が誘起する熱電変換効果

我々は、これまでの研究で殆ど考慮されてこなかった、ベリー曲率の積分値である内因性の異常ホール伝導率の熱電係数への影響を調べています。 前回の公募研究では、簡単なモデル系の第一原理計算をおこなうことで、実空間のトポロジカルなスピントランジスタ構造(スキルミオン結晶、図1)によって、巨大な異常ネルンスト効果(図2)が出現する可能性を明らかにしました[1]。現在、この起源のより明解な説明を試みる一方で、第一原理手法によって、酸化物スキルミオン結晶やホイスラー化合物について、熱電係数が大きな系を探索しています。

## (2) スピントランジスタ場が誘起する異常物性

物質の表面・界面や内部電場で誘起される電場起因したスピントランジスタ分裂の代表的なものとしてRashba状態やスピントランジスタ寿命時間が長時間になるpersistent spin helix状態があります。これらは共に運動量空間でフェルミ面(線)にスピントランジスタ分裂のある状態であり、スピントランジスタ流-電流変換現象の起源となると考えられています。我々はBi/貴金属、Bi/遷移金属の超薄膜合金のラッシュバ状態を系統的に明らかにしました[2]。また、現実的な界面系で、A01班の大谷先生のグループと共同研究を進めています。さらに、基板歪みを想定したLaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub>界面ではpersistent spin helix状態が生じ、歪みの大きさをスピントランジスタ寿命時間及びスピントランジスタ流-電流変換効率を制御できる可能性を明らかにしました[3]。

計画班・公募班の研究者の方々との交流による新たな研究課題に積極的に取り組んで参りたいと思いますので宜しくお願い致します。

## 参考文献

- [1] Y. P. Mizuta and F. Ishii, Sci. Rep. **6**, 28076(2016).
- [2] N. Yamaguchi, H. Kotaka, and F. Ishii, J. Cryst. Growth, **468**, 688 (2017).
- [3] N. Yamaguchi and F. Ishii, Appli. Phys. Exp. **10**, 123003 (2017).

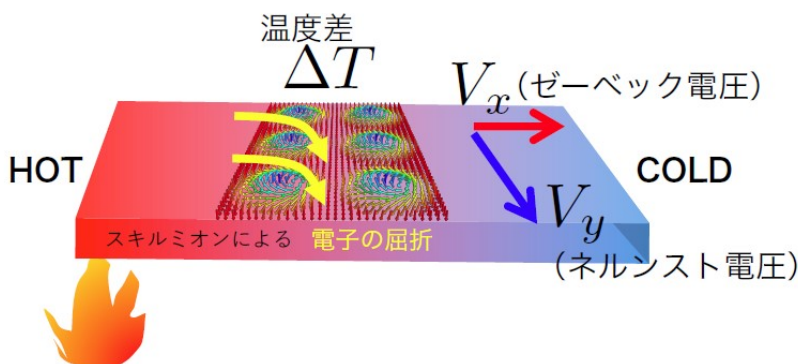


図1：スキルミオン結晶における熱電効果。

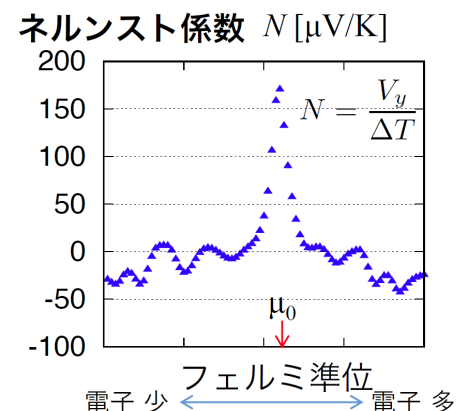


図2：異常ネルンスト係数の電子数依存性。

# 熱と光を利用した新しい“量子”スピントロニクス機能の予言

茨城大学理学部・准教授 佐藤 正寛



スピントロニクス研究では、スピン角運動量を含む多様な形態の角運動量の流れや異なる形態の角運動量間の変換に関する物理現象が重要な研究テーマを提供する。それ故、強磁性金属や半導体、強磁性絶縁体などの大きなスピン分極を持つ系が中心的な研究対象となる。しかし、この事実は代表的系のスピントロニクス機能の多くが既に発見されていることを意味する。

一方、スピントロニクス分野の周辺にはそれと関連のある研究分野が存在する：量子スピン系やマルチフェロイクスなどの磁性に関する分野がそれである。これらの分野では、多彩な磁気相と磁気励起の基礎物性が研究されている。また光物性科学に代表されるように、スピントロニクスにとって角運動量を制御する為の外場(光、熱、電流、音波、力学的振動など)に関する科学も急速に発展している。これらの分野とスピントロニクスの両者の考え方や方法を融合させることは、スピントロニクス研究を進展させる効果的な戦略の一つといえる。

この考えに基づき、佐藤は、特に熱と光[1]を利用した新しいスピントロニクス機能についての理論的予言を与えることを本公募課題で目指している。実際、既にA04班との共同研究により、1次元量子磁性体 $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ におけるスピノン励起によるスピンゼーベック効果の研究[2]やキタエフスピン液体候補物質 $\alpha\text{-RuCl}_3$ の熱伝導測定の研究[3]において、新しい磁気準粒子によるスピン流生成機構についての成果を挙げている。今年度は、(i)光渦という軌道角運動量を持つレーザーによる高速磁性制御法の提案(図1)[4,5]や(ii)マグノンだけでなくマグノン分子も低エネルギー励起として存在するフラストレート強磁性体における新しい熱ホール効果の符号変化のメカニズム(図2) [6]などの成果を挙げている。これまでの光物性や光スピントロニクスの微視的理論研究では、主に空間的に一様な平面波による物質の応答が考察されているが、光科学領域では光渦をはじめとする空間構造を持つレーザーの応用が大きな研究領域を形成しつつある。(i)の成果は光渦の空間構造を利用した質的に新しいスピントロニクス機能の提案と言える。

残り1年程度の公募研究期間では、上記の研究を発展させると共に、さらに新しいスピンドYNAMIKSの理論研究を目指したい。特に新しい準粒子によるスピントロニクスは、量子論的立場に立脚した微視的理論の構築が欠かせない。研究を通じて、スピンの量子性に視点を置いた「量子」スピントロニクスとでも呼ばれる分野が開拓されてゆくことを目指したい。

## 参考文献

- [1] 佐藤正寛, 高吉慎太郎, 岡隆史, 日本物理学会誌 第72巻(2017年)11月号 p.783.
- [2] D. Hirobe, M. Sato, T. Kawamata, Y. Shiomi, K. Uchida, R. Iguchi, Y. Koike, S. Maekawa, and E. Saitoh, *Nature Phys.* **13**, 30 (2017).
- [3] D. Hirobe, M. Sato, Y. Shiomi, H. Tanaka, and E. Saitoh, *Phys. Rev. B* **95**, 241112(R) (2017).
- [4] H. Fujita and M. Sato, *Phys. Rev. B* **95**, 054412 (2017).
- [5] H. Fujita and M. Sato, *Phys. Rev. B* **96**, 060407(R) (2017).
- [6] E. Takata and M. Sato, in preparation.

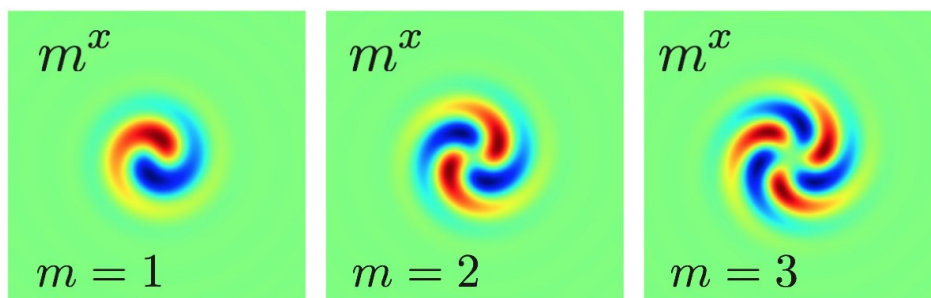


図1：軌道角運動量 $hm$ をもつ光渦を強磁性体薄膜に照射し強磁性共鳴を起こした際のスピン波伝搬のスナップショット。スピン波によりスカラースピカイラリティが発生し、光渦誘起ホール効果が起こることが期待される。

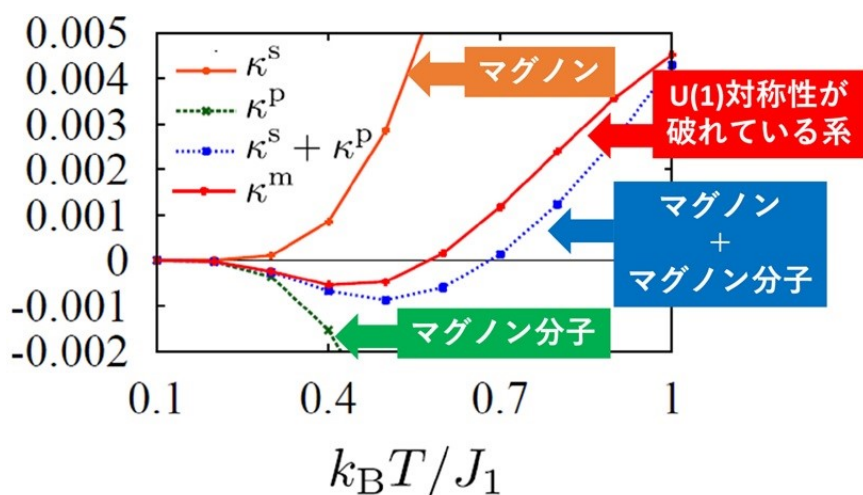
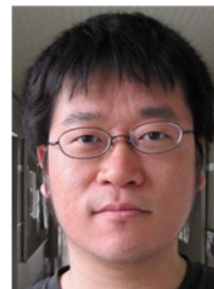


図2：マグノンとマグノン分子の励起が共存する高磁場中パイロクロア磁性体の熱ホール伝導度の温度依存性。マグノンとマグノン分子の寄与が競合して符号反転が起きる。



## 歪みによるスピン流及び磁化生成



東京工業大学理学院・助教 横山 毅人

近年、歪みによる物性が注目を集めています。例えば炭素一層からなるグラフェンに歪みを与えることで有効的に300テスラ以上の強磁場をグラフェンに与えることが実験的に確認されています。また、歪みをベリー曲率の効果として取り入れる理論的枠組みが近年整備されつつあります。ベリー位相は固体物理の様々な現象（例えば、誘電体における分極や強磁性体における異常ホール効果、スピンホール効果など）を明確に記述するのに成功しており、スピン変換現象においても有用な概念であると考えられます。

以上の背景を踏まえて本研究では、格子歪みという自由度に着目し、歪みに起因したベリー位相を用いて、歪みによるスピン変換現象を明らかにします。具体的にはスピン軌道相互作用のある金属において

1. 歪みによるスピン流及び磁化生成
  2. スピン流注入及び磁場による格子振動の生成
- の2つの問題に取り組みます。

歪みに起因したベリー位相によるスピン流及び磁化生成は前例のないものであり、新しいスピン変換のメカニズムを与えるものです。金属への歪みの誘起、スピン流注入、及び磁場印加はすでに実験的に実現されており、本研究では比較的単純なセットアップでスピン変換を行うため大きな波及効果が期待されます。本研究では歪みによるスピン流及び磁化生成に必要な対称性から議論を始めて最少のモデルで計算を行います。対称性の要請を満たすものであれば普遍的に期待されるため多くの物質において実現の可能性があります。実際にどのような物質で現れるか定量的に明らかにし実験研究にも波及を狙います。以上の取り組みにより、機械的スピン変換の新しいメカニズムの確立を目指します。

# 領域ニュース

## 平成28年度ナノスピントロニクス変換科学年次報告会

平成29年3月6日と7日の二日間にわたり、平成28年度年次報告会を東京工業大学大岡山キャンパス西9号館デジタル多目的ホールで開催しました。今回は、平成27年度に採択された公募研究の報告と今後の連携を一層強化・促進するため2日間に渡り、公募研究の代表者の方々にご講演いただきました。今回は特別講演として、東北大金研のJoseph Barker先生に「Semi Quantum Spin Dynamics」という題目でご講演いただきました。ポスターセッションでは、昨年度の年次報告会を上回る64件の発表が行われました。学生ポスター賞は、濱田真人氏、濱本敬大氏、廣部大地氏、渡邊 真悟氏の5名が受賞されました。2日間で総勢118名の方が参加し、中間報告を終えた第一歩として、領域の方向性などを議論する大変よい機会となりました。（文責：大岩顕）



集合写真



研究会の様子

## 平成29年度 ATI 第1回スピントロニクス研究会

平成29年4月14日TKP御茶ノ水カンファレンスセンターにおいて、ATI新世代研究所の平成29年度第1回スピントロニクス研究会が開催されました。今回は本新学術領域と共催で開催し、今年度、採択されました12件の公募研究のお披露目を行いました。前回から引き続き公募研究で参加される方の他に、新しく6名の方が加わりました。36名の方が参加し、スピントロニクス変換の新たな研究の方向と新しい連携の可能性が期待される活発な研究会になりました。

公募研究の詳細は、本号の公募研究紹介をご覧ください。（文責：大岩顕）



横山先生

関先生

佐藤先生



# 平成29年度ナノスピ変換研究会



平成29年9月11-12日に大阪大学豊中キャンパス基礎工学国際棟シグマホールにおいて、平成29年度ナノスピ変換研究会が開催されました。11日は非公開の領域内研究会であり、未公開データや最新の成果を中心に発表がありました。また、71件のポスター発表があったポスターセッションにも十分な時間が割られました。12日は一般公開で、各班からの成果報告がありました。また、新学術領域「原子層科学」との合同セッションや大阪府立大学の戸川先生による特別講演もありました。全体的に短い時間ながらも密度の高い様々な情報交換がなされたものと思います。(文責：横山毅人)



戸川先生（大阪府大）による特別講演



講演会の質疑の様子



合同セッションの様子

## 第11回物性科学領域横断研究会(領域合同研究会)

平成29年11月17・18日東京大学物性研究所で、第11回物性科学領域横断研究会-凝縮系科学の最前線-(領域合同研究会)が開催されました。物性科学の9つの新学術領域研究がシナジー効果を高めるために合同で企画・運営する研究会で、11回目となる今回はスピ変換科学代表が運営委員長を務めました。参加者207名、ポスター発表者110名と、例年にも増して大盛況となりました。各領域からテーマを絞った話題が提供され、領域を跨いで活発な議論と意見交換が行われました。本領域からは大谷義近代表(東大物性研/理研)の趣旨説明の後に、三輪真嗣先生(阪大基礎工)が『電界誘起多極子によるナノスピ変換』、中村哲也先生(高輝度光科学研究センター)が『XMCDによる表面・界面の磁性解析』の発表をされました。本領域の若手研究者、大柳洸一さん(東北大金研)が『Phonon anomaly in the nonlocal spin Seebeck effect』、小林大真さん(慶大理工)が『表面弾性波を用いた力学的回転のスピ変換』の発表でポスター賞を受賞されました。研究者にとって実りの多い研究会になったと思います。研究会の詳細については<http://www.org.kobe-u.ac.jp/ryoikioudan/>をご覧ください。(文責：一色弘成)



(左)  
第11回領域横断研究会の様子  
(右) 大柳洸一さん(東北大金研)のポスター賞受賞の様子

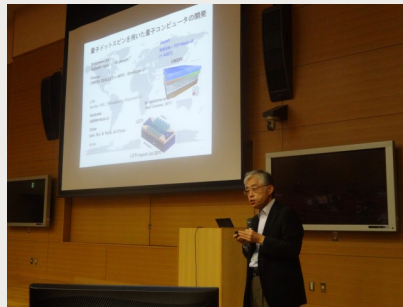
## 第22回半導体スピ工学の基礎と応用の研究会（PASPS-22）

平成29年12月4・5日大阪大学豊中キャンパス基礎工学国際棟（Σホール）において22回半導体スピ工学の基礎と応用の研究会（PASPS-22）が本新学術領域と「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」拠点、4大学のスピントロニクス学術連携教育研究センターの共催で開催されました。1995年に東北大通研で開催されてから、国内の半導体スピントロニクスを議論する研究会として、20年を超えて毎年開催されてきました。

今回は、招待講演者として、宗片比呂夫先生（東工大）、海住英生先生（北大）、田淵豊先生（東大）、樽茶清悟先生（東大）、山内邦彦先生（阪大）をお招きするとともに、初日には、IEEE Distinguished LectureとしてXiaofeng Jin先生（復旦大）の特別講演を行いました。室温完全円偏光発光素子やもつれ光子対変換など新しい光スピントロニクスや、単一マグノン超伝導量子ビット結合系やスピン量子ビットの最新の展開、強磁性半導体の新しい量子効果素子や新スピン材料など、現在の半導体スピントロニクスの現状を概観に、活発な議論が交わされました。新学術領域のメンバーからも多数ご参加いただきました。御礼申し上げます。次回は東工大で開催の予定です。（文責：大岩顕）



XiaoFeng Jin教授による特別講演



樽茶教授による招待講演



宗片教授による招待講演

## 28<sup>th</sup> International Conference on Low Temperature Physics (LT-28)

平成28年8月9日から16日にかけてスウェーデン（ヨーテボリ）で低温物理に関する大きな国際会議であるLT28が開催されました。昨年ノーベル物理学賞を受賞したコステルリッツ教授らによる12の基調講演をはじめとして多数の講演が行われました。また、市長によるヨーテボリの歴史と市街の紹介が行われたのはとても印象的でした。基調講演を除き、講演は5つの会場（それぞれ収容人数300人弱）で並行して行われ、議論された物理も「超伝導、トポロジカル相、量子相転移、磁性、量子技術」など多岐にわたるものとなりました。講演の中でスピントロニクスに関するものでは、量子スピン系についての講演が多くありました。（文責：松尾貞茂）





## 22nd International Conference on Electronic Properties of Two Dimensional Systems (EP2DS-22)/ 18th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS-18)

EP2DSは低次元電子系、MSSは半導体量子構造を対象とした会議で、2年に一度合同で開催されています。会場は日本、アメリカ、ヨーロッパの順に持ち回りとなっており、今回は7月31日から8月4日までアメリカのペンシルバニア州立大学で行われました。2つのパラレルセッションでの口頭発表（109件、内基調講演7件、招待講演38件）やポスター発表（196件）が行われました。今回は量子ホール効果に関する発表が多く、分数量子ホール効果35周年のシンポジウムも開かれ、白熱した議論が交わされました。また、Klaus von Klitzing教授によるPublic Lectureが行われ、2018年に予定されているキログラム定義改定について大変興味深い講演を聴くことができました。（文責：木山治樹）



## 3rd Korea-Japan Spintronics Workshop

今年度で第三回目を迎える Korea-Japan Spintronics Workshop が、本領域の共催のもと、韓国・ソウルの韓国科学技術研究所(KIST)で開催された。日本からは、大谷総括を筆頭に、本領域のメンバーが招待講演者として多く参加し、韓国側との技術交流を行った。今回も 200 名近い参加者があり、回を重ねるごとに規模が大きくなり、会議の質も非常に向上してきている。一方で、より良い協力関係を発展させるために、テーマを絞り、比較的少人数で、当該研究分野の将来構想等も踏まえて、議論する機会があっても良いように感じた。（文責：木村崇）



## スピン物性科学未踏開拓支援制度 滞在記

京都大学 化学研究所 小野研究室 博士課程2年 水野隼翔

新学術領域研究ナノスピン変換科学の若手研究者支援制度の援助を受け、カリフォルニア大学アーバイン校のKrivorotov教授の研究室に2017年11月13日から12月8日まで滞在させて頂きました。

研究は、滞在先のグループが精力的に取り組んでいるスピントルク発振素子について行いました。研究室のスタッフや学生に実験を教えて頂き、低温での高周波測定や解析手順、議論の仕方など、普段とは異なる実験テーマに対する取り組み方を学ぶことが出来ました。海外の研究室はプライベートとの住み分けを大事にしており、定時にはきちんと帰宅するというイメージがありましたが、こちらの研究室では実験の忙しさや装置の稼働率に合わせて夜遅くや休日も出勤していることを知り驚きました。実験が終わるまでの作業効率を重視していることは日々の会話や行動から伝わってきましたが、結果は時間にも比例していることを同時に感じました。またプライベートでは、週末に飲み会やスタッフのホームパーティに誘って頂き、文化交流を楽しませて頂きました。

このような貴重な機会を下さった先生方と支援して頂いた事務の方々、及びスピン物性科学未踏開拓支援制度に深く感謝申し上げます。



京都大学 大学院工学研究科 白石研究室 特定准教授 安藤裕一郎

スペイン北東部、サンセバスティアンにあるCIC nanoGUNE研究所のFelix Casanova研究室に滞在いたしました。サンセバスティアンは風光明媚であり、更に美食の街としても知られるヨーロッパ有数の観光地です。研究所は10個の研究グループからなる小さな組織ですが、アクティビティは高く、多くの成果を挙げています。（個人的な偏見では）働かないイメージのあるスペイン人が、高いアクティビティを維持している理由を探るのが目的の一つでした。滞在先で分かったことは（1）研究対象が類似している研究者は研究室を超えたグループを構成し、情報共有や新しい研究プランを考える会議を短時間に密度濃く実施している点、（2）問題に遭遇すると、研究室内外の関係者が含まれるメールリストに状況を説明し、情報共有、相談を実施している点です。研究室の垣根を超えた情報共有・相談が徹底されており、効率的に研究を進めていました。滞在先での私の研究はトポロジカル絶縁体を用いた横型スピントルクバルブにおけるスピントルク-電流変換現象の解明です。多くの方々のサポートを受け、短期間でも十分な結果を得ることができました。このような貴重な機会を頂いたことに、深く感謝いたします。

イゲルド山からのサンセバスチアンの眺め。ビーチの東側に有名なバル街があり西側に研究所や大学がある。

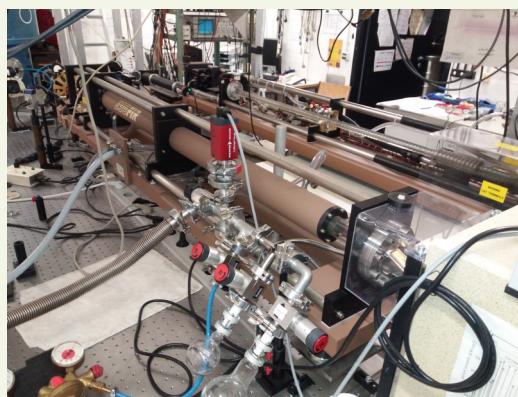


## Florent Auvray D3 Otani group, ISSP, University of Tokyo

I am Florent Auvray, 3<sup>rd</sup> year PhD student at the University of Tokyo at Otani laboratory. Thanks to the Nano-Spin conversion science program, I was able to go for one month in Germany to do a collaboration with the University of Regensburg in the professor Ganichev laboratory. My research involves photovoltaic conversion mediated by spins at the interface between non-magnetic metal such as Copper or Silver and Bismuth Oxide. Previously, I studied photovoltaic conversion at this interface at visible wavelength but from ellipsometry measurements it seemed possible to get some interesting properties at near and far infrared which is the specialty of Ganichev laboratory.

For mid-November to mid-December, thanks to the help of the students and researchers there, I learnt how to use the different lasers available and measurement techniques and theoretical background which will help me in my PhD thesis and I really want to thank everyone in this laboratory for helping me a lot.

Other than that, even if I am French, it was the first time for me to visit Germany. Regensburg is a charming city world heritage site by UNESCO famous for its 310 metres stone bridge built almost 900 years ago. As it is only 1.5h from Munich, I recommend everyone who is going to Germany to make a detour by Regensburg, you won't regret it but you need to have your stomach ready because the Bavarian food, although it's very good, is also very heavy .



### ★ スピン物性未踏開拓支援制度 若手交流支援をご活用ください

本領域では若手交流支援制度を推進しています。他の研究室で武者修行を積んでみたいと考えている学生の方、他の研究グループの技術や知識を活用することで成果が出そうな方、あるいは研究の幅を広げたいと考えている若手研究者の方、本制度を是非ご利用ください。詳細は領域ホームページ (<http://www.spinconversion.jp/act.html>)をご覧ください。



平成29年3月

**石瀧 真之 九州大学 木村研 M1 (A01班、計画研究)**

SSDM Young Researcher Award 2017

「Experimental demonstration of a Josephson junction under spin current injection」

<http://www.ssdm.jp/2017/award.html>

平成29年4月

**横山 毅人 東京工業大学 助教 (A05班、公募研究)**

平成29年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞、文部科学省

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/29/04/\\_\\_icsFiles/](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/29/04/__icsFiles/)

[afiedfile/2017/04/11/1384228\\_02.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/29/04/__icsFiles/afiedfile/2017/04/11/1384228_02.pdf)

平成29年6月

**木山 治樹 大阪大学産業科学研究所 助教 (A03班、計画研究)**

船井情報科学振興財団 平成28年度研究奨励賞

「量子ホールエッジ状態－量子ドット結合系におけるスピン依存電子輸送の研究」

<http://www.funaifoundation.jp/grantees/>

[young\\_awardees\\_up\\_to\\_now\\_16.html](http://www.funaifoundation.jp/grantees/young_awardees_up_to_now_16.html)

平成29年9月

**三輪 真嗣 大阪大学基礎工学研究科 准教授 (A01班、公募研究)**

SPRUC 2017 Young Scientist Award (SPring-8ユーザー協団体)

[http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/YSA\\_spruc2017dec.html](http://www.spring8.or.jp/ext/ja/spruc/YSA_spruc2017dec.html)

平成29年9月

**上牧 瑛 東北大学材料科学高等研究所、水上研 D1 (A03班、計画研究)**

2017年応用物理学会秋季学術講演会PosterAward

「Observation of Pulse Laser-Induced Propagating Spin Wave in Magnetic Metal/Heavy Metal Layered Structures」

<https://www.jsap.or.jp/docs/awards/poster-award-recipients10.pdf>

平成29年9月

**大谷 義近 東京大学物性研究所 教授 (A01班、計画研究・領域代表)**

平成29年度 日本磁気学会 業績賞

「ナノスピン変換科学の創出」

<https://www.magnetics.jp/wp-content/uploads/H29hyoushousha.pdf>

平成29年9月

**齋藤 秀和 産業総合研究所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 (OA班)、計画研究)**

平成29年度 日本磁気学会 学会活動貢献賞

総務委員会活動および公開講演会運営を中心とした学会活動の活性化への貢献

<https://www.magnetics.jp/wp-content/uploads/H29hyoushousha.pdf>

平成30年3月

**山田 道洋、塚原 誠人、藤田 裕一、内藤 貴大、山田 晋也、澤野 憲太郎、浜屋 宏平**

**大阪大学基礎工学研究科 (A02班、計画研究)**

第9回応用物理学会シリコンテクノロジー分科会論文賞

「Room-temperature spin transport in n-Ge probed by four-terminal non local measurements」, Appl. Phys. Express 10, 093001 (2017).

平成30年3月

**酒井 宗一郎 大阪大学基礎工学研究科 浜屋研 M2 (A02班、計画研究)**

第41回日本磁気学会学術講演会 桜井講演賞

受賞題目：エピタキシャルCoFe/Ge/Fe3Si縦型構造の低温成長とその磁気特性

<http://www.magnetics.jp/list/list-13-gakusei/>



## 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/>

- \* 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おります。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。

### ◇ 英語版成果紹介誌「Research highlights vol. 3」を発行します。

主に海外の研究者へ向けて、本領域から発表された論文をダイジェストで紹介しています。領域ホームページからダウンロード可能ですので、海外の研究者の方へナノスピコン変換をご紹介される際にお役立てください。

[http://www.spinconversion.jp/rh/NSCS\\_Research\\_Highlights3.pdf](http://www.spinconversion.jp/rh/NSCS_Research_Highlights3.pdf)

### ◇ スピン物性未踏開拓支援制度 若手交流支援をご活用ください

本領域では若手研究者の研究支援と領域内研究交流を目指して、若手交流支援制度を推進しています。領域内で共同研究を行ってみたい若手研究者の方、是非本制度をご利用ください。詳細は領域ホームページ (<http://www.spinconversion.jp/act.html>)をご覧ください。

### ◇ 国際活動支援班をご活用ください

本領域では国際活動支援班に採択され国際共同研究の推進や海外ネットワークの形成を支援しています。国際共同研究を推進するために海外へ学生やスタッフの派遣あるいは共同研究先から受け入れを検討されている方は、班長または領域代表にご相談ください。

### ◇ 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。公募研究は各課題番号をご記載ください。

## 編集後記

今号も、多くの方のご協力のおかげで発行することができました。無理なお願いにも快くご対応いただいた皆様にこの場をお借りして感謝申し上げます。今号は平成29年度に採択された公募研究を中心に紹介いたしました。このニュースレターが、公募研究との連携研究の促進に少しでもお役に立てば幸いです。また計画研究の紹介も今回が最後で、これで領域に参加する研究室をほぼすべて紹介いたしました。今回、編集作業を行っている間に、ニュースレター# 1から# 4まで読み返してみました。改めてこの新学術領域には磁気・電気・光・熱・力学変換で特色のある研究グループが集まっていて、この本領域の研究期間がとてつもない貴重な時間であると感じました。いよいよ残り1年、これからどのような新しい成果と新しいスピントロニクス展開が生まれるか楽しみです。(文責：大岩顕)

# 新学術研究領域「ナノスピ変換科学」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 颯	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	廣理英基	京都大学化学研究所・准教授
学術調査官	安藤妙子	立命館大学理工学部・准教授

## 計画研究

### A01: 磁気的スピン変換班

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	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	Ron Jansen	産業技術総合研究所スピントロニクス研究センター・首席研究員
研究分担者	新見康洋	大阪大学大学院理学系研究科・准教授
連携研究者	小野輝男	京都大学化学研究所・教授
公募研究	森山貴広	京都大学化学研究所・准教授
公募研究	三輪真嗣	大阪大学大学院基礎工学研究科 物質創成専攻・助教
公募研究	関真一郎	国立研究開発法人理化学研究所・ユニットリーダー

### A02: 電気的スピン変換班

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
公募研究	大塚朋廣	国立研究開発法人理化学研究所・研究員

### A03: 光学的スピン変換班

研究代表者	大岩 颯	大阪大学産業科学研究所・教授
研究分担者	塚本 新	日本大学理工学部・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・准教授
研究分担者	佐藤琢哉	九州大学大学院理学研究院・准教授
公募研究	松尾貞茂	東京大学大学院工学系研究科・助教
公募研究	小野瀬佳文	東京大学総合文化研究科・准教授

### A04: 機械・熱的スピン変換班

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
公募研究	畠山 温	東京農工大学大学院工学系研究科先端物理工学部門・准教授
公募研究	能崎幸雄	慶應義塾大学理工学部物理学科・教授

### A05: スピン変換機能設計班

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
公募研究	Oleg A. Tretiakov	東北大学金属材料研究所・助教
公募研究	石井史之	金沢大学 理工研究域数物科学系・准教授
公募研究	佐藤正寛	茨城大学理学部・准教授
公募研究	横山毅人	東京工業大学理学院・助教

ナノスピ変換科学 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)  
jimuj@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 颯 (ニュースレター担当/A03班代表)  
newsletter@spinconversion.jp

#### ニュースレターWG

大岩颯 (阪大)、木村崇 (九大)、齋藤秀和 (産総研)、松尾貞茂 (東大)、畠山温 (農工大)、横山毅人 (東工大)