

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400333

研究課題名(和文) 4f電子系カイラル磁性における反対称スピン軌道相互作用と特異な電流磁気効果の研究

研究課題名(英文) Asymmetric spin-orbit interaction and anomalous Galvanomagnetic effect in chiral magnets of 4f-electron system

研究代表者

大原 繁男 (Ohara, Shigeo)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60262953

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、キララル化合物 $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$ 、 $\text{YbNi}_3\text{Ga}_9$ 、 $\text{LuNi}_3\text{Al}_9$  および  $\text{LuNi}_3\text{Ga}_9$  についてスピン軌道相互作用に起因するフェルミ面分裂を定量的に測定し比較した。また、キララルらせん磁性体 $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$ 、コリニア反強磁性体 $\text{DyNi}_3\text{Ga}_9$  およびイジング磁性体 $\text{ErNi}_3\text{Ga}_9$  について、磁化、磁気抵抗、磁気構造の観測を行い、磁気相図を構築するとともに磁気構造と磁気抵抗の関係を考察した。また、新物質として八ニカム磁性体 $\text{R}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$  および擬カゴメ物質 $\text{RRhPb}$  (R：希土類イオン)を合成し、その基礎的な物性を明らかとした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we measured and compared the magnitude of Fermi surface splitting caused by the spin-orbit interaction for chiral compounds  $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$ ,  $\text{YbNi}_3\text{Ga}_9$ ,  $\text{LuNi}_3\text{Al}_9$ , and  $\text{LuNi}_3\text{Ga}_9$ . We also measured the magnetization, magnetoresistance, magnetic structure, and constructed the magnetic phase diagram for the chiral-helical magnet  $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$ , the collinear antiferromagnet  $\text{DyNi}_3\text{Ga}_9$  and Ising antiferromagnet  $\text{ErNi}_3\text{Ga}_9$ , and investigated the relation between magnetic structure and magnetoresistance. In addition, we have grown new compounds of honeycomb-magnet  $\text{R}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$  and pseudo-kagome system  $\text{RRhPb}$  (R : rare-earth ion) and measured fundamental magnetic properties using single crystals.

研究分野：低温固体物理

キーワード：キララル磁性 八ニカム磁性 擬カゴメ構造 スピン軌道相互作用 フェルミ面分裂 電流磁気効果

## 1. 研究開始当初の背景

結晶は原子が規則正しく配列したものであり、回転や鏡映などの対称性をもつ。原子の配列に反転中心と鏡映面がない場合には、左手結晶と右手結晶が存在し、その代表例は水晶である。そのような結晶が磁性を持ち、磁気秩序が生じると、反対称スピン軌道相互作用により、やはりその磁気構造も左と右を持つ。そのような磁性体をカイラル磁性体と呼ぶ。代表例は左巻きか右巻きのらせん磁性である。また、これらのような左右の違いをカイラリティと呼ぶ。

カイラル磁性体の研究は、半世紀もの永きにわたるが、無機金属化合物に関しては、 $MnSi$  や  $Cr_{1/3}NbS_2$  など、数えるほどの物質しか見いだされていない。カイラル磁性の発現には、反転と鏡映をもたないカイラル結晶が不可欠であり、この制約が無機化合物におけるカイラル磁性研究の発展を阻んできた。

一方、この四半世紀の間には、反転対称性の破れた表面や界面磁性の研究が特にスピントロニクス分野において発展しており、結晶カイラリティと磁気カイラリティの相関の理解は応用の観点からも重要である。さらに、この数年の間にカイラル結晶においてスキルミオンやカイラルソリトン格子といった新しいスピン状態が実証され、その物性の理解は、スピントロニクスへの応用も含め、国際的に非常に関心を集めている。

以上のような状況の中で、新しい無機カイラル結晶の探査やその基礎的な物理の解明が求められている。結晶を用いたカイラル物質の理解は、薄膜やデバイスにおけるカイラリティの利用においても重要な研究である。

## 2. 研究の目的

我々の研究グループが合成に成功した希土類化合物  $RNi_3X_9$  ( $R=Gd-Lu$ ,  $X=Al, Ga$ ) は、 $4f$  電子系におけるカイラル磁性金属である。その磁気秩序では、結晶カイラリティを反映した反対称スピン相互作用、いわゆる Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用と、対称スピン相互作用、Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida 相互作用が混合する。対称スピン相互作用が隣り合う磁気モーメントを平行か反平行に揃えようとするのに対し、反対称スピン相互作用は、垂直にねじろうとする。この相互作用の比率によって、磁気モーメントがらせんに配列したカイラル磁性が生じると考えられる。重要なことは、そのねじれの向きが、結晶の左右を反映していることである。

本研究はカイラリティから生じる新しい物理の解釈を目的とし、スピン軌道相互作用の大きさを磁化の量子振動現象である de Haas-van Alphen (dHvA) 効果測定を用いてフェルミ面分裂から求め、希土類イオンの違いによる  $RNi_3X_9$  の磁気カイラリティの変化を系統的に理解することを目的とする。

次に、カイラル磁性に特有な磁気抵抗効果および、カイラル結晶による逆スピンホール

効果の測定を試み、 $4f$  電子系カイラル磁性におけるスピントロニクス分野の開拓をめざす。

## 3. 研究の方法

dHvA 効果は、極低温において観測される磁化の量子振動であり、その振動周波数からは加えている磁場に垂直なフェルミ面の極値断面積を定量的に求めることができる。これによりフェルミ面の形状や電子の有効質量など、金属中の伝導電子について定量的な観測を行うことができる。ただし、量子振動を得るためには極めて良質な単結晶試料を必要とする。本研究では、dHvA 効果による  $RNi_3X_9$  のフェルミ面の測定を進め、スピン軌道相互作用によるフェルミ面の分裂からその大きさを定量的に求める。

次に、 $RNi_3X_9$  の結晶カイラリティおよび磁気カイラリティを反映した電流磁気効果の研究を行う。電流磁気効果は、結晶に電流を流しながら磁場を加え、その電気抵抗の磁場による変化を観測するものであり、磁気構造の変化や伝導電子の状態を反映した変化を観測することができる。

本研究では、第一にカイラル磁気構造を磁場により駆動し、磁気散乱を反映した大きな磁気抵抗効果の観測を行う。そのために、 $RNi_3X_9$  の比熱、磁化、磁場がない状態での電気抵抗率、あるいは中性子散乱などの実験を行い、その基本的な物性、特に磁気秩序状態についても明らかとする。また、得られた現象がカイラル磁性体に固有のものかどうかを判別するために、参照物質として、希土類イオンのまわりの環境が類似したアキラルな物質を合成し、比較検討を行う。

研究がうまく進展する場合には、第二に、磁場により磁気ブリルアンゾーンを駆動し、バンドギャップによるステップ状の磁気抵抗効果の理論予想を実証研究する。第三に、カイラル結晶を素子化して、逆スピンホール効果の観測を試みる。これにより、カイラリティの視点から  $4f$  電子系スピントロニクス分野の開拓を行う。

## 4. 研究成果

(1) ド・ハースファン・アルフェン効果によるフェルミ面分裂の測定

本研究では、以下の4物質について、dHvA 振動の観測に成功し、フェルミ面の分裂について定量的な測定に至った。第一に重い電子状態かつ 3.4K 以下でカイラルらせん磁気秩序を示す  $YbNi_3Al_9$ 、第二に価数揺動状態にあり 9GPa で量子臨界に達する  $YbNi_3Ga_9$ 、第三、四に非磁性参照物質である  $LuNi_3Al_9$ 、および  $LuNi_3Ga_9$  である。さらに、希土類元素が Er、Dy、Gd の場合について、 $RNi_3Ga_9$  の dHvA 効果観測を試みたが、解析に十分な信号強度を得るには至らなかった。

図1は  $YbNi_3Al_9$  の dHvA 周波数の磁場方向依存性であり、いろいろな向きから見たフ

フェルミ面の極値断面積を図示したものと同等な図である。周波数が高いほど大きな断面積であり、また、その磁場方向依存性からフェルミ面の形を推定することができる。

非常に多くの dHvA 振動が観測されている。これは、複数のフェルミ面がある上に、それらがスピン軌道相互作用により分裂し、さらに磁場を加えることによって多くのサイクロトロン軌道が生まれるためと考えられる。これらをきちんと解釈するためには理論計算との比較が必要であるが、反転中心と鏡映面を持たないことから、計算によりフェルミ面を求めることは簡単ではなく、今後の課題となる。

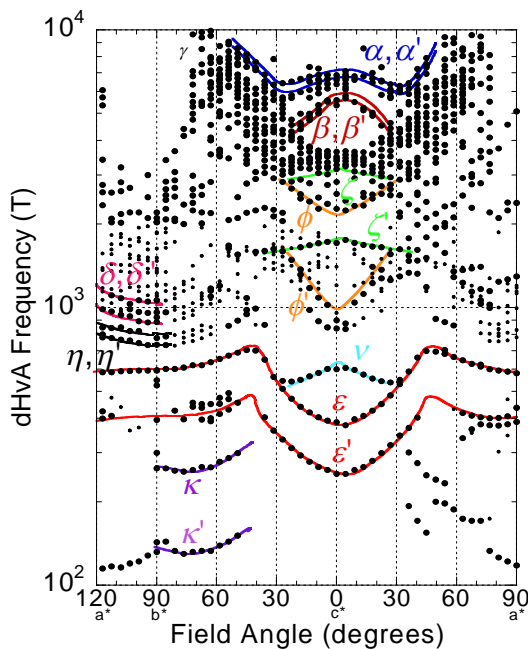


図1 . YbNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> の dHvA 周波数の磁場方向依存性

一方、多くの周波数が観測されるものの、図に実線で示すようなブランチと呼ばれる dHvA 周波数の連なりを見て取れる。また、双子のように類似した変化を持つブランチを見いだすことができる。これらは、スピン軌道相互作用により分裂したフェルミ面からの信号ではないかと予想される。

そこで、双子のブランチの周波数の違いから、フェルミ面の大きさの違いを分析し、フェルミ面分裂の大きさの見積もりを試みた。その際、比較的明確に観測された小さな閉じたフェルミ面に相当するブランチを利用して、それらを球状と仮定した。

その結果、フェルミ面分裂のエネルギーの大きさは温度で表現して、通常金属の LuNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> で 460K 程度、LuNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> で 300K 程度となった。一方で重い電子状態の YbNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> で 35K と小さく、価数揺動状態の YbNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> では 700K 程度と大きい。

非常に類似したフェルミ面を持つ LuNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub>、LuNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub>、YbNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> ではフェル

ミ面の分裂の大きさは同程度であり、エネルギーに換算した時の違いは、むしろ有効質量に強く依存した結果となった。このことは、単純な近似による解析の危うさを示しているようにも思われ、むしろ、これらの物質については、フェルミ面の分裂は同程度の大きさではないかとも思われる。この問題の解決にも理論的な計算との比較が求められる。

一方、価数揺動によりフェルミ面が全く異なる YbNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> では分裂が非常に大きくなっており、これは有効質量の問題ではなく、混成により、バンド分裂が大きくなっていることを示唆している。

## (2) カイラル磁性の変化による巨大磁気抵抗効果の測定

磁気抵抗効果は磁気記録においてデータ読み取りに用いられるなど、応用においても重要な効果である。カイラル磁性体の磁気抵抗については、研究が始まったばかりであり、今後の発展が期待される。またその変化は磁気構造と密接に関係していると考えられる。

本研究では、カイラルらせん磁性体 YbNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> およびその Ni を Co あるいは Cu に置き換えて磁気相互作用を変化させた Yb(Ni<sub>1-x</sub>T<sub>x</sub>)<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> (T=Co, Cu) について磁気抵抗効果を測定した。また、磁化が階段状の変化を示す ErNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> および DyNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> についても測定を進めた。

YbNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> のカイラルらせん磁気構造は、らせん軸に垂直に磁場を印加することにより 1kOe の臨界磁場で強制的に強磁性状態に変化させることができる。これは通常の磁気構造に比べて非常に小さな磁場でそれを駆動することができることを示している。また非常に面白いことに、Ni を Cu で置換すると、磁気相互作用が増大し、磁気秩序温度、臨界磁場ともに高く調整することができる。一方、Co で置換すると逆に抑制も可能である。

これにより Cu は約 6%、Co は 4% まで置換が可能であり、これにより秩序温度は 1.5K から 6.5K まで自在に調整が可能とわかった。また、磁気秩序温度の変化以上に臨界磁場は大きく変化し、Cu6% 試料では臨界磁場は置換前の 10 倍の 10kOe まで上昇する。これは、置換による磁気相互作用変化が対称成分と反対称成分でその割合が異なることを示している。

YbNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub>、Cu6%、Co1% 置換試料について、温度 2K で磁気抵抗の磁場依存性を測定した。図 2 に磁場を a 軸方向に加えた場合の縦磁気抵抗を示す。比較のために横軸は対数目盛にとっている。いずれの試料も臨界磁場以上の磁場で負の磁気抵抗効果を示している。また YbNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub> で急激だった変化が、Cu6% 試料では連続的になっていることが注目され、これはカイラル磁性体に特有のカイラルソリトン格子の形成に伴う可能性がある。なお、中性子散乱測定の結果から、Cu6% 試料においてもその周期は変化しているもの

のカイラルらせん構造が維持されていることは確認している。

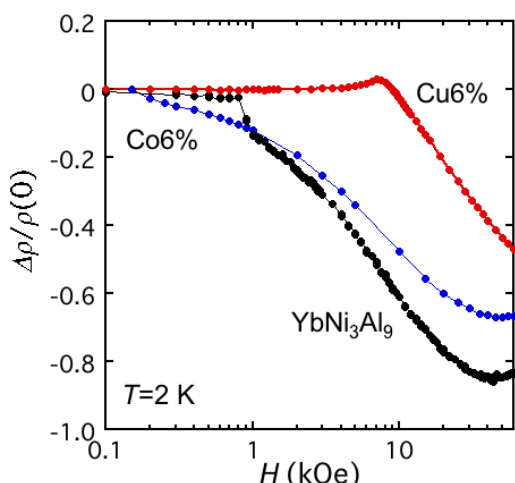


図2 . YbNi<sub>3</sub>Al<sub>9</sub>, Cu6%, Co1%置換試料の温度2Kにおける縦磁気抵抗（磁場は a 軸に印加）

さらに、Cu6%試料については、カイラルソリトン格子が形成されていることが磁化や共鳴 X 線散乱から確認されており、そのソリトン数に依存した階段状の特異な磁気抵抗効果が期待されるが、現段階では観測には至っていない。現在、試料を微細加工して500nm 程度まで極めて薄くした試料を準備し測定を進めている。カイラル磁性に固有な磁気抵抗の観測と素子化の研究は今後の課題として残った。

### (3) ハニカム磁性の変化による巨大磁気抵抗効果の測定

本研究の目的は、主として、カイラル磁性に関連した新たな磁気抵抗効果の観測であるが、同じ結晶構造をもつ ErNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> および DyNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> についても比熱、磁化、中性子散乱、磁気抵抗効果の測定を行い、特に磁気構造と磁気抵抗効果の関係に着目して研究を行った。これらの物質は階段状の磁化（磁化プラトー）が現れる特徴を持ち、ハニカム磁性体として興味ある性質といえる。

ErNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> は磁気秩序温度 6.4K の反強磁性体である。中性子散乱により決定した磁気構造は、磁気モーメントが結晶の c 軸方向を向いた Ising 型である。その際に、ハニカム構造は 2 つの副三角格子に別れており、それぞれに磁気モーメントが強磁性に配列し、副格子間で反強磁性状態となっていることがわかった。図3は温度 2K において磁場を c 軸に印加したときの磁化と縦磁気抵抗を示したもので、磁場 10kOe で磁場と逆を向いていた磁気モーメントが反転して、磁化が飽和することがわかる。また、その際に、磁気抵抗は極大を示す。このことは、磁場により、磁気モーメントが次第に反転していくことを示しており、反強磁性秩序から強制強磁性

状態への移り変わりにおいて、磁気的な散乱が増大して減少することをきれいに示している。

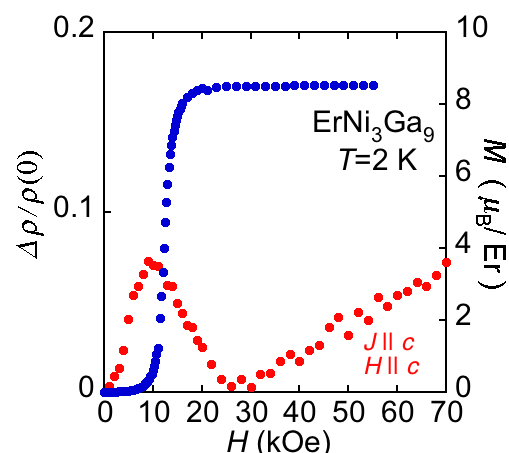


図3 ErNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> の磁化と縦磁気抵抗効果、磁場は c 軸に印加。

一方、DyNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> の場合には、磁場を a 軸に加えた場合に、温度 2K で 4 段の磁化プラトーが観測される。磁気モーメントは c 軸と垂直な面内にあり、磁気構造はコリニアな反強磁性体である。ErNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> の結果からの類推から、磁気転移磁場ごとに磁気抵抗に極大がでると予想したが、図4に示すように、磁化プラトーあるいは磁気転移と磁気抵抗の振る舞いには相関が弱いことがわかった。また、中性子散乱実験から、DyNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> の各磁化プラトーが生じる磁場において、磁気構造が単位胞内で閉じており、その周期構造が同じであることが分かった。これらのことから、DyNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> の磁化プラトーでは、その磁気モーメントの向きは変化するものの、磁気構造は類似しており、磁気散乱が強く生じていないことが予想される。詳しい解釈を現在進めているところである。

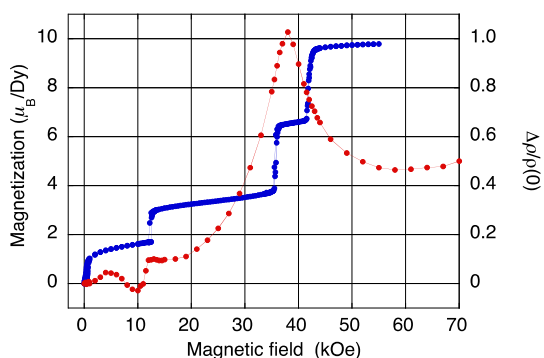


図4 DyNi<sub>3</sub>Ga<sub>9</sub> の磁化（青）と磁気抵抗効果（赤）、温度 2K で磁場は a 軸方向に加えており、縦磁気効果を測定している。

### (3) 新物質探査

カイラル物質 RNi<sub>3</sub>X<sub>9</sub> (R=希土類イオン, X=Al, Ga) と比較する目的でアキラル物質 R<sub>2</sub>Pt<sub>6</sub>Ga<sub>15</sub> (R=希土類イオン) を育成した。また、カイラル物質ではないが、反転中心を持



たない擬カゴメ構造を持つ  $R\text{PtPb}$  ( $R$ =希土類イオン)についても発見した。これらの物質群について、比熱、電気抵抗、磁化を測定し、その基礎的な電子物性を明らかとした。これらの成果については論文にとりまとめて報告を行った。〔雑誌論文〕1), 2)

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

1) Single crystal growth and magnetic properties of pseudo-kagome lattice  $\text{RRhPb}$  ( $R = \text{Nd, Sm and Gd}$ ), Y. Matsumoto, R. Goto, Y. Haga, Z. Fisk and S. Ohara, Journal of Physics: Conference Series, 807, 042006 (2016).

2) Single crystal growth and heat capacity measurements of triangular lattice  $\text{R}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$  ( $R$ =rare earth), Y. Matsumoto, T. Ueda, S. Ohara, Journal of Physics: Conference Series, 683, 012035 (2016).

3) Pressure-induced valence crossover and novel metamagnetic behavior near the antiferromagnetic quantum phase transition of  $\text{YbNi}_3\text{Ga}_9$ , K. Matsubayashi, T. Hirayama, T. Yamashita, S. Ohara, N. Kawamura, M. Mizumaki, N. Ishimatsu, S. Watanabe, K. Kitagawa, Y. Uwatoko, Phys. Rev. Lett., 114, 086401 (2015).

4) Study of Chiral Structure and Magnetism in Heavy-fermion  $\text{Yb}(\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x)_3\text{Al}_9$ , Shigeo OHARA, Shige-hisa FUKUTA, Kazuki OHTA, Hiroshi KONO, Tetsuro YAMASHITA, Yuji MATSUMOTO, Junichi YAMAURA, JPS Conf. Proc., 3, 017016 (2014).

〔学会発表〕(計23件)

(1) 佐藤嵩晃、Co置換による三方晶  $\text{RNi}_3\text{Al}_9$  ( $R=\text{Gd, Dy, Er, Yb}$ ) における磁気秩序の抑制、日本物理学会、2017.03.17、大阪大学(豊中市)

(2) 兵藤一志、歪んだ八二カム構造を持つ立方晶  $\text{R}_2\text{Ir}_3\text{Ga}_9$  ( $R=\text{Ce-Nd, Sm-Lu}$ ) の単結晶育成、日本物理学会、2017.03.20、大阪大学(豊中市)

(3) 二宮博樹、三方晶  $\text{DyNi}_3\text{Ga}_9$  の中性子散乱、日本物理学会、2017.03.20、大阪大学(豊中市)

(4) 高阪勇輔、キラル磁性体  $\text{Yb}(\text{Ni,Cu})_3\text{Al}_9$  の中性子回折測定、日本物理学会、2016.09.14、金沢大学(金沢市)

(5) 佐藤嵩晃、一軸性キラル磁性体  $\text{Yb}(\text{Ni}_{1-x}\text{Mx})_3\text{Al}_9$  ( $M=\text{Co, Cu}$ ) の電流磁気効果、日本物理学会、2016.09.15、金沢大学(金沢市)

(6) 二宮博樹、一軸性キラル螺旋磁性体  $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$  及び  $\text{Yb}(\text{Ni}_{0.94}\text{Cu}_{0.06})_3\text{Al}_9$  の磁場

中比熱、日本物理学会、2016.09.15、金沢大学(金沢市)

(7) 岸本一真、複数の磁気相を持つ  $\text{DyNi}_3\text{Ga}_9$  および  $\text{Dy}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$  の電流磁気効果、日本物理学会、2016.09.15、金沢大学(金沢市)

松本裕司、六方晶  $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$  の重い電子状態、日本物理学会、2016.09.15、金沢大学(金沢市)

(8) Shigeo Ohara, Single-crystal growth and magnetic properties of  $\text{RNi}_2\text{Al}_9$ ,  $\text{RNi}_3\text{Ga}_9$ , and  $\text{R}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$  ( $R$ =rare-earth), Rare Earths 2016, 2016.06.10, Sapporo

(9) Shigeo Ohara, Chiral magnetic properties and magnetic phase diagram of trigonal  $\text{DyNi}_3\text{Ga}_9$ , JEMS2016,20190821, Glasgow

(10) 佐藤嵩晃、重い電子系キラル磁性体  $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$  のCo置換による磁気相互作用の抑制、日本物理学会、2016.03.21、東北学院大(仙台市)

(11) 二宮博樹、キラル構造をもつ  $\text{RNi}_3\text{Al}_9$  及び  $\text{RNi}_3\text{Ga}_9$  ( $R$ :希土類元素)の磁化過程、日本物理学会、2016.03.21、東北学院大(仙台市)

(12) 植田拓也、六方晶  $\text{Dy}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$  の磁気相図、日本物理学会、2016.03.22、東北学院大(仙台市)

(13) 後藤凌佑、擬カゴメ格子磁性体  $\text{RRhPb}$  ( $R=\text{Nd, Sm, Gd}$ ) の磁性、日本物理学会、2016.03.22、東北学院大(仙台市)

(14) Shigeo Ohara, A comparison of magnetic properties in ternary rare-earth intermetallic compounds  $\text{R}_{0.67}\text{TnM}_{2n+m}$  ( $R$ =rare-earth,  $T$ =transition metal, and  $M=\text{Al, Ga}$ ), ChiMag2016 Symposium, 2016.02.23, Hiroshima

(15) 二宮博樹、キラル化合物  $\text{RNi}_3\text{Ga}_9$  ( $R$ :希土類元素)の弱磁場領域における磁化の異常、日本物理学会、2015.09.17、関西大(吹田市)

(16) 植田拓也、六方晶  $\text{R}_2\text{Pt}_6\text{Ga}_{15}$  ( $R$ :希土類元素)の磁性、日本物理学会、2015.09.17(吹田市)

(17) Shigeo Ohara, Chiral magnetism in rare-earth intermetallic compounds  $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$  and  $\text{Yb}(\text{Ni}_{0.94}\text{Cu}_{0.06})_3\text{Al}_9$ , The 20th International Conference on Magnetism, 20150707, Barcelona.

(18) Shigeo Ohara. Effect of Partial Substitution of Cu for Ni on the Chiral Magnetic Properties of Rare-earth Intermetallic Compound  $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$ , III Dzyaloshinskii-Moriya Interaction and Exotic Spin Structures, 20150527, Pskov

(19) 浅野雄平、キラル構造を持つ層状磁性体  $\text{RNi}_3\text{X}_9$  ( $R$ :希土類元素  $X:\text{Al, Ga}$ ) のメタ磁性と磁気抵抗効果、日本物理学会、2015.03.22、早稲田大(東京都新宿区)

(20) Shigeo Ohara, Chiral structure and chiral magnetism in rare-earth intermetallic compound of trigonal  $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$ , IRSchM2014, 20141208, Hiroshima.

(21) 高阪勇輔、偏極中性子回折法による  $\text{YbNi}_3\text{Al}_9$  のカイラルらせん磁性の検証、日本物理学会、2014.09.7、中部大(春日井市)

大原繁男、三方晶  $\text{DyNi}_3\text{Ga}_9$  における多段の磁化プラトー、日本物理学会、2014.09.7、中部大（春日井市）

(22) 栗本迅、キラル結晶

$\text{RNi}_3\text{X}_9$  ( $\text{R}=\text{Dy,Er,Tm,Yb}$   $\text{X}=\text{Al,Ga}$ ) の X 線回折測定、日本物理学会、2014.09.8、中部大（春日井市）

(23) 小林拓也、三方晶  $\text{RNi}_3\text{Ga}_9$  ( $\text{R}=\text{Nd,Sm,Gd-Lu}$ ) の磁性、日本物理学会、2014.09.8、中部大（春日井市）

(24) Shigeo Ohara, Unique magnetic properties of  $\text{RNi}_3\text{X}_9$  ( $\text{R}=\text{rare-earth}$ ,  $\text{X}=\text{Al, Ga}$ ): New chiral materials, SCES2014, 2014.07.11, Grenoble

〔その他〕

高校出張講義「右と左がある物質の磁石としての性質」、大原繁男、2016.10.26、愛知県立豊丘高校（愛知県豊橋市）

オープンキャンパス「妙ちきりんな磁石を探して」、大原繁男、2016.11.12、名古屋工業大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大原繁男 (OHARA, Shigeo)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：60262953