

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2013～2017

課題番号：25220803

研究課題名(和文)化学制御Chiralityが拓く新しい磁性

研究課題名(英文) Toward a New Class Magnetism by Chemically-controlled Chirality

研究代表者

井上 克也 (INOUE, Katsuya)

広島大学・理学研究科・教授

研究者番号：40265731

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 189,700,000円

研究成果の概要(和文)：キラル磁性体の結晶育成では、分子性キラル磁性体では左右作り分けを含め、育成方法を確立した。無機キラル磁性体では、溶液からの結晶化、フラックス法、レーザーFZ、単一キラルドメイン結晶の育成に成功した。現在では最大数cmのキラル単ドメイン結晶について、共同研究者に測定サンプルとして提供している。キラル磁性体のスピン位相整列による新規物性では、磁化の離散性、磁気抵抗の離散効果など発見し、論文発表、文科省での記者会見を行った。キラルスピン構造の左右確定についても、偏極中性子線回折によって明らかにした。その結果、構造の左右とスピン構造の左右について実験的に確定した。

研究成果の概要(英文)：We have established a molecular-based crystal growth method for chiral magnets. For inorganic chiral magnets, it was possible to grow chiral single domain crystals of large size (several centimeters) using aqueous solution method, Flux method, laser FZ method. Discrete magnetization and magnetoresistance were found in crystals of inorganic metal chiral magnets. These phenomena, along with publication of papers such as PRL, PRB and so on. The chirality of the spin system of chiral magnets is determined by using polarized neutron diffraction method. Future relationship between crystal chirality and spin chirality.

研究分野：キラル磁性

キーワード：磁性 キラル磁性

1. 研究開始当初の背景

天然に産出する磁鉄鉱の強磁性は、人類が最も早く知った物性の一つです。右手と左手の関係に代表される掌性 (Chirality、キラルリティ) も哲学や科学の問題として非常に古くから考えてこられた形に関する問題です。本研究の目的は、掌性を持つ磁性体に関する科学原理を明らかにすることです。

科学的には 1884 年にケルビン卿が chirality の概念を提唱し、その後 19 世紀前半のアラゴからパスツールへと受け継がれ、結晶・分子の chirality と自然光学活性の研究が合流して進展してきました。しかし、ともに光の偏光面が回転する現象であり、M. ファラデーが見出した磁気光学効果との関係が明らかにされたのは、20 世紀後半になって、chirality と磁場の協奏効果として磁気不斉二色性 (MChD) が量子論的に予言されたのが初めてです。このように、100 年以上に渡って連綿と続く chirality 研究の歴史の中で、底流にある「化学と物理」、「構造 chirality と磁気 chirality」といった対概念を包摂統合する研究の流れを創るため、2006 年度より本研究計画代表者を中心とする化学・物理研究者の連携によって 2 つの基盤 A を実施しました。Chiral 磁気構造では、スピンの巻き方が定まるため、らせんピッチが巨視的な秩序パラメータとなりえます。このため、スピンの位相を巨視化することができます。

2. 研究の目的

本研究計画ではこれを新たな視点とし、「結晶と磁性の chirality」研究の第二段階として《スピンの位相をマクロスケールで制御する》研究の流れを確立します。また、物質科学との関係ではスピン自由度の情報を伝える技術《スピントロニクス》が、現在活発な研究分野となっていますが、Chiral 磁性結晶は、新しいスピントロニクス研究の舞台を創造することを目的としました。

3. 研究の方法

本研究は、スピン位相のマクロ制御による機能性材料の創製を目指す新しい試みです。研究計画では、化学 (井上 (広島大学)・菊地 (首都大学東京)・美藤 (九州工大)) と物理 (秋光 (青山学院大学)・岸根 (放送大学)・戸川 (大阪府立大学)・鳥養 (山梨大学)・松浦 (東京大学)) の連携をさらに深め、この分野を大きく発展させることを計画しました。研究計画時の具体的な研究内容を以下に示します。

- (1) 分子性・無機 chiral 磁性体の物質設計・制御戦略の確立
- (2) 結晶・磁気 chirality の定量化
- (3) 電場・磁場・応力を外部パラメータとする chirality のコントロール
- (4) 新たなスピントロニクス分野の開拓

【期待される成果と意義】

電磁気の基本要素に磁場、電場と光があります。それぞれの要素はスピン、電荷と光子

であり、電荷の位相がマクロサイズで揃った現象が超伝導、光子の位相が揃ったものがレーザーに相当します。今までスピンの位相がマクロレベルに揃った例は見つかっていませんでしたが、我々の Chiral 磁性体で、最近発見しました。右手と左手が本質的に混ざりあわないのが原因と考えられます。このスピン位相がマクロスケールで揃った状態は、未知の様々な協同現象が見つかる可能性が高いと考えられ、本研究は基礎的見地から研究して行く計画を立てました。

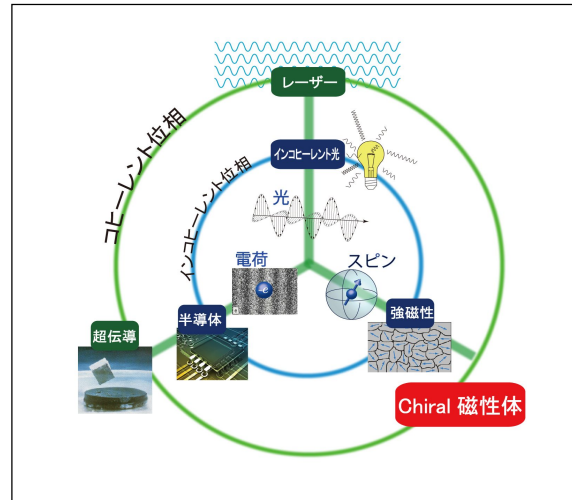


図1 光・電荷・スピンの位相とコヒーレンス

4. 研究成果

キラル磁性体の結晶育成では、分子性キラル磁性体では左右作り分けを含め、育成方法を確立しました。無機キラル磁性体では、溶液からの結晶化、フラックス法、レーザーFZ、単一キラルドメイン結晶の育成に成功しました。現在では最大数 cm のキラル単ドメイン結晶について、共同研究者に測定サンプルとして提供しています。キラル磁性体のスピン位相整列による新規物性では、磁化の離散性、磁気抵抗の離散効果など発見し、論文発表、文科省での記者会見を行いました。キラルスピン構造の左右確定についても、偏極中性子線回折によって明らかにしました。その結果、構造の左右とスピン構造の左右について実験的に確定しました。今後、この原因について考察していきます。そのほかの特徴的な物性として、可視光、赤外領域の非相反光学効果、マイクロ波領域での非相反光学効果と共鳴吸収を発見しました。非相反光学効果については定性的説明は可能であるが、定量性についてはいまだ不明であり、今後の研究課題として進めます。磁気相図についても、様々な実験結果及び理論考察によって概要が明らかになっている。(論文査読中) 相図については角度変化についてまだ不明な点があり、今後さらなる実験が必要です。また磁気相図の境界線では巨大な非線形磁気応答が、様々なキラル磁性体で、同様な傾向としてあらわれることが明らかになりました。

原因については、検討を続けていきます。また理論研究ではマクロスケールでのスピニ位相整列に由来する特異ダイナミクス、弾性とのカップリングを明らかにし、論文として発表しました。

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 143 件)

“Nonlinear magnetic responses at the phase boundaries around helimagnetic and skyrmion lattice phases in MnSi: Evaluation of robustness of noncollinear spin texture”, K. Tsuruta, M. Mito, Y. Kousaka, J. Akimitsu, J. Kishine, Y. Togawa, H. Ohsumi, and K. Inoue, PHYSICAL REVIEW B 97, 094411 (2018) DOI:10.1103/PhysRevB.97.094411

“Logistic regression analysis for the material design of chiral crystals”, E. Shimono, K. Inoue, T. Kurita, and Y. Ichiraku, Chem. Lett. 2018, 47, 611–612; DOI:10.1246/cl.171233

“Geometrical protection of topological magnetic solitons in microprocessed chiral magnets”, M. Mito, H. Ohsumi, K. Tsuruta, Y. Kotani, T. Nakamura, Y. Togawa, M. Shinozaki, Y. Kato, J. Kishine, J. Ohe, Y. Kousaka, J. Akimitsu, and K. Inoue, Phys. Rev. B 97, 024408 DOI: 10.1103/PhysRevB.97.024408

“Magnetic solitons and magnetic phase diagram of the hexagonal chiral crystal CrNb₃S₆ in oblique magnetic fields by high field ESR”, J. Yonemura, Y. Shimamoto, T. Kida, D. Yoshizawa, Y. Kousaka, S. Nishihara, F. J. T. Goncalves, J. Akimitsu, K. Inoue, M. Hagiwara, and Y. Togawa, Phys. Rev. B 96, 184423/9 DOI:10.1103/PhysRevB.96.184423

“Energy Landscape of Charge Excitations in Boundary Region between Dimer-Mott and Charge Order State in Molecular Solids”, H. Fukuyama, J. Kishine, M. Ogata, J. Phys. Soc. Jpn, 86, 123706 (2017)/5 DOI:10.7566/JPSJ.86.123706

“Magnetic Properties and Magnetic Phase Diagrams of Trigonal DyNi₃Ga⁹”, H. Ninomiya, Y. Matsumoto, S. Nakamura, Y. Kono, S. Kittaka, T. Sakakibara, K. Inoue, and S. Ohara, J. Phys. Soc. Jpn., 86, 124704 (2017) DOI:10.7566/JPSJ.86.124704

“Chiral Soliton Lattice Formation in

Monoaxial Helimagnet Yb(Ni_{1-x}Cu_x)₃Al₉”, T. Matsumura, Y. Kita, K. Kubo, Y. Yoshikawa, S. Michimura, T. Inami, Y. Kousaka, K. Inoue, and S. Ohara, J. Phys. Soc. Jpn., 86, 124702 DOI:10.7566/JPSJ.86.124702

“Spin-Wave Chirality and Its Manifestations in Antiferromagnets”, I. Proskurin, R. L. Stamps, A. S. Ovchinnikov, and J. Kishine, Phys. Rev. Lett., 119, 177202 (Oct 25, 2017); DOI:10.1103/PhysRevLett.119.177202

“Magneto-chiral dichroism of CsCuCl₃”, N. Nakagawa, N. Abe, S. Toyoda, S. Kimura, J. Zaccaro, I. Gautier-Luneau, D. Luneau, Y. Kousaka, A. Sera, M. Sera, K. Inoue, J. Akimitsu, Y. Tokunaga, and T. Arima, Phys. Rev. B 96, 121102(R) DOI:10.1103/PhysRevB.96.121102

“Pressure induced quantum phase transitions in S = 1/2 Triangular Lattice Antiferromagnet CsCuCl₃”, A. Sera, Y. Kousaka, J. Akimitsu, M. Sera, and K. Inoue, Physical Review B, 96, 014419/11 DOI:10.1103/PhysRevB.96.014419

“Coupling of Magnetic and Elastic Domains in the Organic-Inorganic Layered Perovskite-Like (C₆H₅C₂H₄NH₃)₂FeIICl₄ Crystal” Y. Nakayama, S. Nishihara, K. Inoue, T. Suzuki, and M. Kurmoo, Angew. Chem. Int. Ed. 2017, 56, 9367–9370 DOI:10.1002/anie.201703898

“Collective resonant dynamics of the chiral spin soliton lattice in a monoaxial chiral magnetic crystal” AF. J. T. Goncalves, T. Sogo, Y. Shimamoto, Y. Kousaka, J. Akimitsu, S. Nishihara, K. Inoue, D. Yoshizawa, M. Hagiwara, M. Mito, R. L. Stamps, I. G. Bostrem, V. E. Sinitsyn, A. S. Ovchinnikov, J. Kishine, Y. Togawa, Physical Review B, 95, 104415/5 DOI:10.1103/PhysRevB.95.104415

“ S=1/2 triangular-lattice antiferromagnets Ba₃CoSb₂O₉ and CsCuCl₃ : Role of spin-orbit coupling, crystalline electric field, and Dzyaloshinskii-Moriya interaction” A. Sera, Y. Kousaka, J. Akimitsu, M. Sera, T. Kawamata, Y. Koike, and K. Inoue, Phys. Rev., B 94, 214408 DOI:10.1103/PhysRevB.94.214408

“ Biomimetic Transformation by a Crystal of a Chiral Mn-II-Cr-III Ferrimagnetic Prussian Blue Analogue” Y. Yoshida, K. Inoue, K. Kikuchi, M. Kurmoo,

CHEMISTRY OF MATERIALS, 28, 19,
7029-7038 (Oct 11 2016)
DOI:10.1021/acs.chemmater.6b02852

“ Size Dependence of Discrete Change in Magnetization in Single Crystal of Chiral Magnet Cr₁/3NbS₂“

K. Tsuruta, M. Mito, Y. Kousaka, J. Akimitsu, J. Kishine, Y. Togawa and K. Inoue, *Journal of Applied Physics*, 120, 143901/1-5
DOI:10.1063/1.4964427

“ Chiral surface twists and skyrmion stability in nanolayers of cubic helimagnets”

A. O. Leonov, Y. Togawa, T. L. Monchesky, A. N. Bogdanov, J. Kishine, Y. Kousaka, M. Miyagawa, T. Koyama, J. Akimitsu, Ts. Koyama, K. Harada, S. Mori, D. McGrouther, R. Lamb, M. Krajnak, S. McVitie, R. L. Stamps, K. Inoue, *Physical Review Letters*, 117, 087202/5
DOI:10.1103/PhysRevLett.117.087202

”Symmetry, structure, and dynamics of monoaxial chiral magnets”

Yoshihiko Togawa, Yusuke Kousaka, Katsuya Inoue, and Jun-ichiro Kishine, *Journal of the Physical Society of Japan*, 85, 112001
DOI:10.7566/JPSJ.85.112001

”Finite-Temperature Properties of Three-Dimensional Chiral Helimagnets”

Misako Shinozaki, Shintaro Hoshino, Yusuke Masaki, Jun-ichiro Kishine, and Yusuke Kato, *Journal of the Physical Society of Japan*, 85, 074710
DOI:10.7566/JPSJ.85.074710

“ Progressive Transformation between Two Magnetic Ground States for One Crystal Structure of a Chiral Molecular Magnet”

Li Li, Sadafumi Nishihara, Katsuya Inoue, Mohamedally Kurmoo, *Inorganic Chemistry*, 55 (6), 3047–3057
selected for the front page cover
DOI:10.1021/acs.inorgchem.5b02956

“ Phase diagram of the chiral magnet Cr₁/3NbS₂ in a magnetic field”

K. Tsuruta, M. Mito, H. Deguchi, J. Kishine, Y. Kousaka, J. Akimitsu, and K. Inoue, *PHYSICAL REVIEW B*, 93, 104402/1-8 (Mar 1 2016)
DOI:10.1103/PhysRevB.93.104402/1-8

“ Synthesis, Crystal Structure, and Magnetic Properties of a Chiral Cyanide-Bridged Bimetallic Framework K₃[MnII(L□asp)]₆[CrIII(CN)₆]·2H₂O”

Li Li, Sadafumi Nishihara, Katsuya Inoue,

Mohamedally Kurmoo, *Inorganic Chemistry*, 55, 300-306 (Jan 4 2016)
DOI:10.1021/acs.inorgchem.5b02399

”Discrete Change in Magnetization by Chiral Soliton Lattice Formation in the Chiral Magnet Cr₁/3NbS₂“

Kazuki Tsuruta, Mito Masaki, Yusuke Kousaka, Jun Akimitsu, Jun-ichiro Kishine, Yoshihiko Togawa, Hiroyuki Ohsumi, and Katsuya Inoue, *Journal of the Physical Society of Japan*, 85, 13707/1-5 (Jan 15, 2016) (S)
DOI:10.7566/JPSJ.85.013707

“ Ferromagnetic transition in a caged “ Theory of Monoaxial Chiral Helimagnet”
J. Kishine and A. S. Ovchinnikov, *Solid State Physics*, 66, Chapter 1 [130 pages] (2015) (S)
DOI:10.1016/bs.ssp.2015.05.001

“ Magnetic Soliton Confinement and Discretization Effects Arising from Macroscopic Coherence in a Chiral Spin Soliton Lattice”

Y. Togawa, T. Koyama, Y. Nishimori, S. McVitie, D. McGrouther, R. L. Stamps, Y. Kousaka, J. Akimitsu, S. Nishihara, K. Inoue, I. G. Bostrem, V. E. Sinitsyn, A. S. Ovchinnikov, J. Kishine, *Physical Review B*, 92, 220412(R)
DOI:10.1103/PhysRevB.92.220412

“ Magnetic resonance in the chiral helimagnet CrNb₃S₆“

Daich Yoshizawa, Jun-ichiro Kishine, Yusuke Kousaka, Yoshihiko Togawa, Masaki Mito, Jun Akimitsu, Katsuya Inoue, and Masayuki Hagiwara, *Physics Procedia*, 75, 926–931 (2015)
DOI:10.1016/j.phpro.2015.12.127

“ Heterospin complex showing spin transition at room temperature”

S.E. Tolstikov, N.A. Artiukhova, G.V. Romanenko, A.S. Bogomyakov, E.M. Zueva, I.Yu. Barskaya, M.V. Fedin, K.Yu. Maryunina, E.V. Tretyakov, R.Z. Sagdeev, V.I. Ovcharenko, *Polyhedron*, 100, 132–138 (Nov 4 2015)
DOI:10.1016/j.poly.2015.07.029

“ Study of magnetic domain dynamics using nonlinear magnetic responses: Magnetic diagnostics of the itinerant magnet MnP”

Masaki Mito, Hideaki Matsui, Kazuki Tsuruta, Hiroyuki Deguchi, Jun-ichiro Kishine, Katsuya Inoue, Yusuke Kousaka, Shin-ichiro Yano, Yuya Nakao, Jun Akimitsu, *Journal of the Physical Society of Japan*, 84, 104707/1-9
DOI:10.7566/JPSJ.84.104707

“ Investigation of structural changes in chiral

magnet Cr₁/3NbS₂ under application of pressure”

M. Mito, T. Tajiri, K. Tsuruta, H. Deguchi, J. Kishine, K. Inoue, Y. Kousaka, Y. Nakao and J. Akimitsu, *J. Appl. Phys.*, 117, 183904/1-6 (May 14 2015)
DOI: 10.1063/1.4919833

“ High Magnetic Hardness for the Canted Antiferromagnetic, Ferroelectric and Ferroelastic Layered Perovskite-like (C₂H₅NH₃)₂[FeIICl₄]”

Jing Han, Sadafumi Nishihara, Katsuya Inoue, and Mohamedally Kurmoo, *Inorg. Chem.*, 54, 2866-2874.

“ Chiral Soliton Lattice in Chiral Magnetic Crystal CrNb₃S₆”

Y. Togawa, T. Koyama, S. Mori, Y. Kousaka, J. Akimitsu, S. Nishihara, K. Inoue, S. A. Ovchinnikov, J. Kishine, *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*, 61, S34-S36 (2014) (nc/ns)
DOI:10.2497/jjspm.61.S34

“ On the Nature of the Structural and Magnetic Phase Transitions in the Layered Perovskite-Like (CH₃NH₃)₂[FeIICl₄]”

Jing Han, Sadafumi Nishihara, Katsuya Inoue, and Mohamedally Kurmoo, *Inorg. Chem.*, 53, 4, 2068-2075 (Feb 17 2014) (nc/ns)
DOI: 10.1021/ic402535u

“ Topological magnetization jumps in confined chiral soliton lattice”

Jun-ichiro Kishine, I. G. Bosterm, A. S. Ovchinnikov, and V. E. Sinitsyn, *Physical Review B*, 89, 014419 (2014) (nc/S)
DOI:http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.89.014419

“ Interlayer Magnetoresistance due to Chiral Soliton Lattice Formation in Hexagonal Chiral Magnet CrNb₃S₆”

Y. Togawa, Y. Kousaka, S. Nishihara, K. Inoue, J. Akimitsu, A. S. Ovchinnikov, and J. Kishine, *PHYS. REV. LETT.*, 111, 19, 197204/1-5
DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.197204

“ Multiple spectra of electron spin resonance in chiral molecule-based magnets networked by a single chiral ligand”

M. Mito, T. Nagano, K. Tsuruta, H. Deguchi, S. Takagi, J. Kishine, Y. Yoshida, and K. Inoue, *J. Appl. Phys.* 114, 133901/1-4 (Oct 7 2013)
DOI: 10.1063/1.4821245

{学会発表}(計 15 件、他 449 件、合計 464 件)

S. Li, L. Li, K. Maryunina, S. Nishihara,

K Inoue

“ Cyanide-Bridged Heterospin Complex with Organic Cation

NH(CH₃)₃[Mn^{II}(H₂O)₂Mn^{III}(CN)₆]·3H₂O”

“ New Frontier of Molecular Materials (NFMM) ”, 29-30th Sep 2017, IMR, Tohoku University, Sendai

S. Li, L. Li, K. Maryunina, S. Nishihara, K. Inoue

“ Cyanide-Bridged Bimetallic Molecule-Based Magnet K[{Mn(L-serine)}₂{Cr(CN)₆}]·4H₂O ” 12th International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM2017)

24-29th Sep 2017 | Miyagi Zao Royal Hotel, Miyagi, Japan

K. Inoue

“ Chiral effects on physical properties II ” Special seminars TRR80

University of Augsburg, Germany, 11th Sep, 2017

H. Matsuura

“ Theory of Orbital Susceptibility in the Tight-Binding Model: Correction to the Peierls Phase and Application to Excitonic Insulator ” Trends in Theory of Correlated Materials (TTCM2017)

Tsukuba, Japan, 11th Sep 2017

K. Inoue

“ STATIC AND DYNAMIC CHIRALITY ” C-SEA 2017 (International Symposium on Chemistry for Solar Energy Applications 2017)30-31th Aug 2017 | 11 月ホール 小ホール, Kindai University, Osaka, Japan

K. Maryunina, S. Nishihara, K. Inoue, G. Romanenko, V. Morozov and V. Ovcharenko

“ EXTERNAL PRESSURE EFFECT ON MAGNETIC PROPERTIES OF Cu(II)-NITROXIDE COMPLEXES ”, 2nd Scientific School & Conference “ DESIGN OF MAGNETOACTIVE COMPOUNDS ”, 22-26th Aug 2017 | Camping-hotel ‘Yolochka’ near Lake Baikal (not far from Irkutsk), Russia

T. Sherstobitova

“ SYNTHESIS, STRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF COPPER(II) COMPLEXES WITH BROMINE DERIVATIVES OF 3-PYRIDYLSUBSTITUTE NITROXIDES ” 22-26th Aug 2017 | Camping-hotel ‘Yolochka’ near Lake Baikal (not far from Irkutsk), Russia

K. Ichihashi, S. Nishihara, D. Konno, K. Maryunina, K. Inoue, K. Toyoda, T.

Akutagawa and T. Nakamura
“ Electronic State Control of Carrier-Doped [Ni(dmit)₂] Spin Ladder Compound”, 6th Asian Conference on Coordination Chemistry ; ACCC6
23-28th Jul 2017 | the Melbourne Convention Centre, Victoria, Australia

K. Inoue

“ On the Nature of the Structural and Physical Properties in the Chiral Magnets”, Chirality 2017 ; ISCD-29, 9-12th Jul 2017 | Waseda University International Conference Center, Tokyo, Japan (Invited)

H. Matsuura

“ Theory of Orbital Susceptibility in the Tight-Binding Model: Correction to the Peierls Phase and Application to Excitonic Insulator ”
DMI201723-26th May 2017 | Peterhof, Russia

J. Kishine

“ Mono-acial chirality in magnetism and optics ”, DMI2017, 23-26th May 2017 | Peterhof, Russia

Y. Togawa

“ Structure and Functionality of Chiral Monoaxial Magnetic Crystals ” DMI2017, 23-26th May 2017 | Peterhof, Russia

M. Hagiwara, D. Yoshizawa, Y. Kousaka, J. Kishine, Y. Togawa, M. Mito, K. Inoue, J. Akimitsu, T. Nakano, and Y. Nozue

“ Spiked structures on ESR signals of the chiral helimagnet CrNb₃S₆ ” DMI2017, 23-26th May 2017 | Peterhof, Russia

M. Shinozaki, S. Hoshino, Y. Masaki, A.N. Bogdanov, A. O. Leonov, J. Kishine, and Y. Kato

“ Chiral magnetic states in MnSi thin films ” DMI2017, 23-26th May 2017 | Peterhof, Russia

T. Omi, N. Abe, Y. Tokunaga, S. Kimura, M. Akaki, A. Okutani, M. Hagiwara and T. Arima
“ Observation of a nonreciprocal signal in ferromagnetic resonance in multiferroic GaFeO₃ ” DMI2017, 23-26th May 2017 | Peterhof, Russia

他

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホ - ム ペ - ジ :
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/~kotai/chiral/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

井上克也(広島大学・教授)

研究者番号: 40265731

(2)研究分担者

戸川 欣彦(大阪府立大学・教授)

研究者番号: 00415241

研究分担者

萩原政幸(大阪大学・教授)

研究者番号: 10221491

研究分担者

鳥養 映子(山梨大学・教授)

研究者番号: 20188832

研究分担者

菊地 耕一(首都大学・教授)

研究者番号: 40177796

研究分担者

松浦 弘泰(東京大学・助教)

研究者番号: 40596607

研究分担者

美藤 正樹(九州工業大学・教授)

研究者番号: 60315108

研究分担者

秋光 純(岡山大学・教授)

研究者番号: 80013522

研究分担者

岸根順一郎(放送大学・教授)

研究者番号: 80290906

(3)研究協力者

Nikolai BARANOV(ウラル連邦大学・教授)

Alexander OVCHINNIKOV(ウラル連邦大学・教授)