

科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年5月30日現在

機関番号：82110

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048009

研究課題名（和文） 磁壁運動によるスピン流と起電力

研究課題名（英文） Spin current and electromotive force due to domain wall motion

研究代表者

前川 禎通 (MAEKAWA SADAMICHI)

独立行政法人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

研究者番号：60005973

研究成果の概要（和文）：

本研究は、磁化運動に伴う電圧生成の新原理「スピン起電力」に関する量子論的基礎を確立し、現象の解明と新機能を有する磁気デバイスの開発を目的とする。主な成果として、スピン起電力の数値計算アルゴリズム開発を行い、強磁性体中の局在磁化ダイナミクスとスピン起電力の関係を明らかにした。特に、磁気渦運動によるスピン起電力の解明、非一様磁性細線中の磁壁移動を用いた外部磁場印加不要なスピン起電力の解明、強磁性共鳴を用いたスピン起電力の連続発信、スピン起電力を用いた磁気ヘッドの発明などを行った。

研究成果の概要（英文）：

The aims of this study are to establish the quantum mechanical basis for “spinmotive force,” a new mechanism of generating an electric voltage by domain wall dynamics, and to propose new concepts in magnetic devices based on this effect. We developed numerical algorithms for calculating the spinmotive force in arbitrary magnetic nanostructures and clarified the relationship between magnetization dynamics and induced spinmotive force. We analyzed spinmotive forces induced by a gyrating magnetic vortex, domain wall motion in a nonuniform nanowire, and ferromagnetic resonance in an asymmetric magnetic thin film. We also proposed a new concept of a magnetic read-head based on the spinmotive force.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,100,000	0	3,100,000
2008年度	3,100,000	0	3,100,000
2009年度	3,600,000	0	3,600,000
2010年度	3,600,000	0	3,600,000
総計	13,400,000	0	13,400,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：スピントロニクス、磁壁、スピン流、スピン起電力、スピンゼーバック効果、スピンホール効果、スピン波、スピンポンピング

1. 研究開始当初の背景

近年の試料作成技術の急速な発展と測定技術の向上によって、米国、欧州諸国、日本

をはじめとする世界各地でナノ構造磁性体の研究が盛んに行われるようになった。応用上の観点からは、電子のスピン自由度を用い

て新機能の発現や機能特性の向上を目指す、スピントロニクス（スピントロニクス）の舞台として注目を集めており、ナノ領域における電気磁気効果を巧みに利用した新規磁気デバイスが実用の段階を迎えている。また最近では、磁性多層膜におけるスピン注入磁化反転や磁性細線における電流駆動磁壁移動など、試料に直接電流を流すことでナノサイズの磁化構造そのものを操作する技術が実証され、デバイス応用に向けた機能向上が試みられている。代表者は、1982年にトンネル磁気抵抗効果(TMR)を確立して以来、現在まで、「ナノ構造物質におけるスピンによる量子伝導の制御」という観点からスピントロニクスの研究を推進してきた。

このような新技術開発の奔流は、物性論としての基礎的な側面において、検討すべき重要な課題をもたらした。なかでも、スピントロニクスの中心概念を担っている、「スピン流」に関しては、ナノ構造磁性体中での振る舞いから定義そのものにいたるまで、様々な角度から多様な見解が提出されており、その全容把握を目指し現在も活発な議論の対象となっている。

スピン流のもたらす効果は、磁壁に代表される空間的に非一様な磁化構造において顕著となる。多くの実験事例にあるように、磁化と電子スピンの相互作用によるスピン移行過程を通じ、磁化運動の励起が可能である。

2. 研究の目的

本研究では磁壁構造における磁気エネルギーから電気エネルギーへのエネルギー移行過程に焦点を当てる。ここでは、磁化構造の運動によるスピン流やそれに伴う電流の発生が期待される。通常、スピン移行現象はスピン流と磁化構造の間における角運動量の受け渡しとして理解されるが、同過程におけるエネルギーの授受に関しては、理論的に首尾一貫した説明が行われていない。そのため、磁壁運動による起電力の発生など興味深い現象の詳細な解析が手付かずに残されていた。よって、これらの現象を記述する理論的枠組みを構築し、スピン流と磁化構造における相互作用の包括的な解明を目指す。

磁化の運動による起電力の発現という本研究課題は、それ自体が全く新しい概念形成となっており、スピン流の創出と制御を掲げる当該特定研究領域の他の研究課題に対して相補的な役割を果たす上、応用上も新規磁気デバイス設計の指針を与えるなど、様々な波及効果が期待される。

3. 研究の方法

角運動量保存則とエネルギー保存則を同時に考慮することにより、スピン移行過程の首尾一貫した理論を構築する。主に磁性体中

の伝導電子に対して、スピンの依存したベリ一位相に基づく解析を推進する。これは研究代表者の前川が研究協力者である Barnes との共同研究として行う。

磁壁運動による起電力は、磁気エネルギーと電気エネルギーの変換を可能とするため、スピントロニクスへの応用が考えられる。研究分担者の高橋、家田は、従来型の磁気抵抗効果といった静的な磁気特性には表れない、磁化の運動に起因する動的な磁気特性を用いる素子の開発の設計と、それらの組み合わせにより発現する機能の解明に取り組む。

磁性体の運動を様々な実験状況にあわせて詳細に検討するためには、数値的なアプローチが有力な解析手段を与える。研究分担者の大江は、すでにスピン移行トルクを含めた2次元及び3次元ランダウ・リフシッツ方程式の数値解析プログラムの作成に着手しており、本研究においてその完成および運用を担当する。

領域内には、ナノ構造磁性体における磁化運動を詳細に制御する技術を携えた多くの実験グループが協働しているため、本研究の成果を基にした実証実験の提案を積極的に行っていく。

4. 研究成果

本研究課題では、磁壁運動によるスピン起電力の研究および、熱、音波、力学的回転を用いたスピン流生成の研究を行った。

従来の起電力は、1831年ファラデーによって発見された電磁誘導の法則に基づき、電子の「電荷」に電磁場が作用することに起因する。一方、2007年に本研究グループは電子のもつ「スピン」に起因する起電力「スピン起電力」を理論予測し、後に実験で確認された。この電気-磁気エネルギー変換の新原理である「スピン起電力」の生成機構解明、および高効率化に向けたデバイス構造の提案、最適化に関する理論研究を行い、主に以下の成果を得た。s-d型交換相互作用モデルに基づくスピン起電力理論を構築し、スピン起電力の数値計算アルゴリズム開発を行い、強磁性体中の局在磁化ダイナミクスとスピン起電力の関係性を明らかにした。特に、磁気渦運動によるスピン起電力の解明、断面積非一様な磁性細線中の磁壁移動を用いた外部磁場印加不要なスピン起電力の解明、強磁性共鳴を用いたスピン起電力の連続発信、スピン起電力を用いた磁気ヘッドの発明などを行った。

研究開始当初、磁化運動によって生じる起電力に注目していたのは我々の他、ごく僅かの研究者に限られていた。本研究の進展に伴い、国内外の多くの研究グループが実験・理論の両面で本テーマに関心を寄せるようになり、現在スピントロニクス研究の新しい流れを生み出している。特に、本特定領域研究

に参加する実験グループとの緊密な連携の下、2009年にはトンネル接合における磁性ナノ粒子の系において磁化運動に伴う起電力を実証した[英国科学誌 Nature 第 458 号に掲載]。この成果は、従来の 1000 倍以上となる巨大な磁気抵抗効果素子の原理を与え、超高感度磁気センサへの応用が期待されるなど、研究の進展に拍車をかけた。

磁壁移動を用いたスピン起電力の生成には、出力信号が断続的であるという難点があった。スピン起電力のデバイス応用には、継続的なスピン起電力の生成が不可欠であり、それを可能にする系の提案が急務である。この課題に対し、本特定領域研究の実験グループとの共同研究において、物質の形状異方性を利用した継続的なスピン起電力の生成を実現した。具体的には、広い平板と多くの細線から成る「くし型」の単一強磁性金属薄膜を用い、平板部分と細線部分の形状異方性の違いから、平板・細線のいずれか一方のみを選択的に強磁性共鳴させる。このとき、共鳴部分の局在磁化が歳差運動をする一方で、非共鳴部分の局在磁化は静止している。この結果、局在磁化の向きは時間・空間双方に依存し、スピン起電力が得られる。数値解析により、サブミリスケールのパーマロイを用いて数十～数百ナノボルトの起電力が生じることを明らかにし、実験的にもその振る舞いが観測された[米国物理学会誌 Physical Review Letters 第 107 号に掲載]。

スピン起電力の大きさは、磁化構造の空間・時間微分に比例することから、急峻な構造をもった磁化が早い運動をしている場合、より大きなスピン起電力が得られると考えられる。そのような磁化の運動が得られる例として、磁気渦の運動に注目した。磁気渦構造は磁気ナノディスクで得られ、これに振動磁場を印加することで磁気コアが回転運動することが実験的にも示されている。計算により、電場はコアの運動と垂直方向に現れ、誘起される電場は kV/m と非常に大きいことが明らかになった。また、コア分極方向の違いをスピン起電力によって読み取ることが可能であることを理論的に示し、新しいスピントロニクス素子の提案を行い、2012 年本特定領域研究に参加する実験グループとの共同研究を通じてその実証に成功した[英国科学誌 Nature Communications 第 3 号に掲載]。

上記の電子スピンに着目した理論研究に関連し、我々は新たに熱・音波・力学的回転を用いたスピン流生成の研究を行った。中でも、熱-磁気エネルギー変換の新原理である「スピンゼーベック効果 (SSE)」の発見(2008 年)以来その発現機構の理論的解明が望まれていた。我々は、SSE における伝導電子、スピン波、格子振動の寄与を線型応答理論、並びに数値シミュレーションで解明した。特に、

磁性絶縁体で観測された SSE では、「スピン波スピン流を媒介する SSE」というシナリオを確立し、スピン信号の長距離性の理論説明に成功した。また、格子振動が熱を流す過程でスピン流生成する「フォノンドラッグ SSE」を提唱し、低温の SSE の増強を理論的に予言、後に複数グループの実験で実証された。

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 91 件)

1. M. Hayashi, J. Ieda, Y. Yamane, J. Ohe, Y. K. Takahashi, S. Mitani, and S. Maekawa, Time-domain observation of the spin-motive force in Permalloy nanowires, Phys. Rev. Lett., 査読有、Vol.108、2012、147202(1-5)
[DOI:10.1103/PhysRevLett.108.147202](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.147202)
2. Y. Yamane, J. Ieda, and S. Maekawa, Stability of Spinmotive Force in Perpendicularly Magnetized Nanowires under High Magnetic Fields, Appl. Phys. Lett., 査読有、Vol.100、2012、162401(1-3)
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4703933>
3. K. Tanabe, D. Chiba, J. Ohe, S. Kasai, H. Kohno, S.E. Barnes, S. Maekawa, K. Kobayashi, and T. Ono, Spin-motive force due to a gyrating magnetic vortex, Nature Communications, 査読有、Vol.3、2012、845、
[DOI: 10.1038/ncomms1824](https://doi.org/10.1038/ncomms1824)
4. K. Ando, S. Takahashi, J. Ieda, H. Kurebayashi, T. Trypiniotis, C. Barnes, S. Maekawa, and E. Saitoh, Electrically tunable spin injector free from the impedance mismatch problem, Nature Materials, 査読有、Vol.10、2011、655-659、
[DOI: 10.1038/nmat3052](https://doi.org/10.1038/nmat3052)
5. Y. Yamane, J. Ieda, J. Ohe, S. E. Barnes, and S. Maekawa, Spinmotive Force Due to Intrinsic Energy of Ferromagnetic Nanowires, Appl. Phys. Express, 査読有、Vol.4、2011、093003(1-3)、
[DOI: 10.1143/APEX.4.093003](https://doi.org/10.1143/APEX.4.093003)
6. K. Uchida, H. Adachi, T. An, T. Ota, M. Toda, B. Hillebrands, S. Maekawa, and E. Saitoh, Long-range spin Seebeck effect and acoustic spin pumping, Nature Materials, 査読有、Vol.10、2011、737-741、
[DOI:10.1038/nmat3099](https://doi.org/10.1038/nmat3099)
7. Z. Deng, C.Q. Jin, Q.Q. Liu, X.C. Wang,

- J.L. Zhu, S.M. Feng, L.C. Chen, R.C. Yu, C. Arguello, T. Goko, Fanlong Ning, Jinsong Zhang, Yayu Wang, A.A. Aczel, T. Munsie, T.J. Williams, G.M. Luke, T. Kakeshita, S. Uchida, W. Higemoto, T.U. Ito, Bo Gu, S. Maekawa, G.D. Morris, and Y.J. Uemura, Li(Zn,Mn)As as a new generation ferromagnet based on a I-II-V semiconductor, Nature Communications, 査読有、Vol.2、2011、422、
[DOI:10.1038/ncomms1425](https://doi.org/10.1038/ncomms1425)
8. Y. Yamane, K. Sasage, T. An, K. Harii, J. Ohe, J. Ieda, S. E. Barnes, E. Saitoh, and S. Maekawa, Continuous Generation of Spinmotive Force in a Patterned Ferromagnetic Film, Phys. Rev. Lett. 査読有、Vol.107、2011、236602(pp.1-4)、
[DOI:10.1103/PhysRevLett.107.236602](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.107.236602)
 9. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, Effects of mechanical rotation on spin currents, Phys. Rev. Lett. 査読有、Vol.106、2011、076601-076604、
[DOI:10.1103/PhysRevLett.106.076601](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.106.076601)
 10. M. Matsuo, J. Ieda, E. Saitoh, and S. Maekawa, Spin current generation due to mechanical rotation in the presence of impurity scattering, Appl. Phys. Lett. 査読有、Vol.98、2011、242501(pp.1-3)、
<http://dx.doi.org/10.1063/1.3597220>
 11. Y. Fukuma, L. Wang, H. Idzuchi, S. Takahashi, S. Maekawa, and Y. Otani, Giant enhancement of spin accumulation and long-distance spin manipulation in metallic lateral spin valves, Nature Materials, 査読有、Vol.10、2011、527-531、
[DOI: 10.1038/nmat3046](https://doi.org/10.1038/nmat3046)
 12. Y. Kajiwara, K. Harii, S. Takahashi, J. Ohe, K. Uchida, M. Mizuguchi, H. Umezawa, H. Kawai, K. Ando, K. Takanashi, S. Maekawa, E. Saitoh, Transmission of electrical signals by spin-wave interconversion in a magnetic insulator, Nature, 査読有、Vol.464、2010、262-266、
[DOI:10.1038/nature08876](https://doi.org/10.1038/nature08876)
 13. H. Yang, S.H. Yang, S. Takahashi, S. Maekawa, S.S.P. Parkin, Extremely long quasiparticle spin lifetimes in superconducting aluminium using MgO tunnel spin injectors, Nature Materials, 査読有、Vol.9、2010、586-593、
[DOI:10.1038/nmat2781](https://doi.org/10.1038/nmat2781)
 14. K. Uchida, J. Xiao, H. Adachi, J. Ohe, S. Takahashi, J. Ieda, T. Ota, Y. Kajiwara, H. Umezawa, H. Kawai, G. E.W. Bauer, S. Maekawa and E. Saitoh, Spin Seebeck insulator, Nature Materials, 査読有、Vol.9、2010、894-897、
[DOI:10.1038/nmat2856](https://doi.org/10.1038/nmat2856)
 15. K. Uchida, H. Adachi, T. Ota, H. Nakayama, S. Maekawa and E. Saitoh, Observation of longitudinal spin-Seebeck effect in magnetic insulators, Appl. Phys. Lett. 査読有、Vol.97、2010、172505-172507、
<http://dx.doi.org/10.1063/1.3507386>
 16. H. Adachi, K. Uchida, E. Saitoh, J. Ohe, S. Takahashi, and S. Maekawa, Gigantic enhancement of spin Seebeck effect by phonon drag, Appl. Phys. Lett. 査読有、Vol.97、2010、252506-252508、
<http://dx.doi.org/10.1063/1.3529944>
 17. G.-Y. Guo, S. Maekawa, and N. Nagaosa, Enhanced Spin Hall Effect by Resonant Skew Scattering in the Orbital-Dependent Kondo Effect, Phys. Rev. Lett. 査読有、Vol. 102、2009、036401-036404、
[DOI:10.1103/PhysRevLett.102.036401](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.036401)
 18. P. N. Hai, S. Ohya, M. Tanaka, S.E. Barnes, and S. Maekawa, Electromotive force and huge magnetoresistance in magnetic tunnel junctions, Nature, 査読有、Vol.458、2009、489-492、
[DOI:10.1038/nature07879](https://doi.org/10.1038/nature07879)
 19. K. Ando, J. Ieda, K. Sasage, S. Takahashi, S. Maekawa, E. Saitoh, Electric detection of spin wave resonance using inverse spin-Hall effect, Appl. Phys. Lett. 査読有、Vol.94、2009、262505(pp.1-3)、
<http://dx.doi.org/10.1063/1.3167826>
 20. J. Ohe, S. E. Barnes, H. W. Lee, S. Maekawa, Electrical measurements of the polarization in a moving magnetic vortex, Appl. Phys. Lett. 査読有、Vol.95、2009、123110(pp.1-3)、
<http://dx.doi.org/10.1063/1.3237166>
 21. S. Maekawa, Magnetism: A flood of spin current, Nature Materials, 査読有、Vol.8、2009、777-778、
[DOI:10.1038/nmat2539](https://doi.org/10.1038/nmat2539)
 22. T. Seki, Y. Hasegawa, S. Mitani, S. Takahashi, H. Imamura, S. Maekawa, J. Nitta, and K. Takanashi, Giant spin Hall effect in perpendicularly spin-polarized FePt/Au devices, Nature Materials, 査読付、Vol. 7、2008、

- 125-129,
DOI:10.1038/nmat2098
23. K. Ando, S. Takahashi, K. Harii, K. Sasage, J. Ieda, S. Maekawa, and E. Saitoh, Electric Manipulation of Spin Relaxation Using the Spin Hall Effect, Phys. Rev. Lett., 査読有, Vol. 101, 2008, 036601-036604,
DOI:10.1103/PhysRevLett.101.036601
 24. K. Uchida, S. Takahashi, K. Harii, J. Ieda, W. Koshibae, K. Ando, S. Maekawa and E. Saitoh, Observation of the spin Seebeck effect, Nature, 査読有, Vol.455, 2008, 778-781,
DOI: 10.1038/nature07321
 25. T. Kimura, Y. Otani, T. Sato, S. Takahashi, and S. Maekawa, Room-Temperature Reversible Spin Hall Effect, Phys. Rev. Lett., 査読有, Vol. 98, 2007, 156601(pp.1-4),
DOI: 10.1103/PhysRevLett.98.156601
 26. S. E. Barnes and S. Maekawa, Generalization of Faraday's Law to Include Nonconservative Spin Forces, Phys. Rev. Lett., 査読有, Vol. 98, 2007, 246601(pp.1-1),
DOI: 10.1103/PhysRevLett.98.246601
 27. S. Takahashi, S. Hikino, M. Mori, J. Martinek, and S. Maekawa, Supercurrent Pumping in Josephson Junctions with a Half-Metallic Ferromagnet, Phys. Rev. Lett., 査読有, Vol. 99, 2007, 057003(pp.1-4),
DOI: 10.1103/PhysRevLett.99.057003
 28. M. Yamanouchi, J. Ieda, F. Matsukura, S. E. Barnes, S. Maekawa, H. Ohno, Universality classes for domain wall motion in the ferromagnetic semiconductor (Ga,Mn)As, Science, 査読有, Vol. 317, 2007, 1726-1729,
DOI: 10.1126/science.1145516
- [学会発表] (計 168 件)
1. S. Maekawa (invited), Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures, Moscow International Symposium on Magnetism, 2011 年 8 月 22 日, Moscow Russia
 2. M. Mori (invited), Dynamics of Josephson-phase coupled with spin waves, The 26th International Conference on Low Temperature Physics (LT26), 2011 年 8 月 13 日, Beijing, China
 3. S. Maekawa (invited), Non-Equilibrium Magnons, Spin Current and Spin Seebeck Effect, 2nd International Workshop on Magnonics: From Fundamentals to Applications, 2011 年 8 月 7 日, Recife, Brazil
 4. J. Ieda (invited), Spin Current from Mechanical Motion, Spin Caloritronics III, 2011 年 5 月 12 日, Leiden, Netherlands
 5. H. Adachi (invited), Are only phonons relevant to the long-range nature of the spin Seebeck effect?, Spin Caloritronics III, 2011 年 5 月 10 日, Leiden, Netherlands
 6. S. Maekawa (invited), Theory on pure spin current, Intermag 2011, 2011 年 4 月 4 日, Taipei, Taiwan
 7. 前川禎通 (招待講演), Spin Current, Charge Current and their Interaction in Magnetic Nanostructures, 日本磁気学会, 2010 年 9 月 4 日, つくば
 8. S. Maekawa (invited), Spin Current, Charge Current and their Interaction in Magnetic Nanostructures, KITPC 2010, 2010 年 5 月 31 日, Beijing, China
 9. 家田淳一 (招待講演), スピンゼーベック効果とスピン起電力の理論, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009 年 9 月 26 日, 熊本
 10. 前川禎通, スピン起電力, 第 70 回応用物理学会学術講演会, 2009 年 9 月 9 日, 富山
 11. S. Maekawa (invited), Spin Hall Effect and Spin Seebeck Effect, APW-A3, 2009 年 7 月 5 日, Seoul, Korea
 12. S. Maekawa (invited), Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures, Spin Currents 2009, 2009 年 4 月 18 日, South Lake Tahoe, USA
 13. 前川禎通 (招待講演), GMR(巨大磁気抵抗効果)から TMR(トンネル磁気抵抗効果)へ, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 29 日, 東京
 14. S. Maekawa (invited), Non-Local Spin Transport and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures, 53rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, American Center for Physics, 2008 年 11 月 13 日, Austin, USA
 15. S. Maekawa (invited), Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures, 421st. Wilhelm and Else Heraeus Seminar on Spin Hall Effect, Physikzentrum, 2008 年 10 月 20 日,

- Bed Honeff, Germany
16. J. Ieda (invited)、Domain wall motion in variable-shaped magnetic wires、The Joint European Magnetism Symposia、2008年10月14日、Dublin, Ireland
 17. S. Maekawa (invited)、Conservation Laws and Spin Motive Force in Magnetic Nanostructures、CNSI-Rice Workshop on Nanoelectronics, Spintronics and Photonics、2008年10月9日、Santa Barbara、USA
 18. S. Takahashi (invited)、Spin Hall effect in metals and superconductors、Moscow International Symposium on Magnetism (MISM-2008)、2008年7月20日、Moscow, Russia
 19. 前川禎通 (招待講演)、スピントロニクス-その基礎と応用の間で-、茅コングレッション、2008年6月11日、東京
 20. 前川禎通 (招待講演)、超伝導体中のスピントロニクス、日本物理学会 第63回年次大会、2008年3月23日、大阪
 21. S. Maekawa (invited)、Tunnel Magnetoresistance, Spin Accumulation, and Spin Hall Effect、American Physical Society March Meeting 2008、2008年3月14日、New Orleans, USA
 22. J. Ieda (invited)、Theory of Current-Induced Domain Wall Creep in (Ga,Mn)As、American Physical Society March Meeting 2008、2008年3月10日、New Orleans, USA
 23. S. Takahashi (invited)、Spin current versus charge current in magnetic nanostructures、International Conference on Magnetic Materials (ICMM2007)、2007年12月14日、Kolkata, India
 24. S. Maekawa (invited)、Spin Current vs. Charge Current in Magnetic Nanostructures、Yukawa International Seminar 2007、2007年11月20日、Kyoto

[図書] (計1件)

- ①高橋三郎、他、シーエムシー出版、スピントロニクスの基礎と材料・応用技術の最前線、2009、第3章「スピントロニクス・蓄積効果」31-41

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称：磁気電気エネルギー変換装置、電源装置および磁気センサ
 発明者：田中雅明、ファミナムハイ、大矢忍、

スチュワートバーンズ、前川禎通

権利者：同上

種類：特許

番号：PCT/JP2010/053668

出願年月日：2010年3月5日

国内外の別：国外

名称：磁気ヘッド及び磁気記憶装置

発明者：市村雅彦、菅野量子、濱田智之、孝橋照生、前川禎通

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2011-75721

出願年月日：2011年3月30日

国内外の別：国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://asrc.jaea.go.jp/soshiki/gr/mori-gr/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前川 禎通 (MAEKAWA SADAMICHI)

独立行政法人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

研究者番号：60005973

(2) 研究分担者

森 道康 (MORI MICHYASU)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・副主任研究員

研究者番号：30396519

家田 淳一 (IEDA JUNICHI)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・任期付研究員

研究者番号：20463797

安立 裕人 (ADACHI HIROTO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・任期付研究員

研究者番号：10397903

高橋 三郎 (TAKAHASHI SABURO)

東北大学・金属材料研究所・助教

研究者番号：60171485

大江 純一郎 (OHE JUNICHIRO)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・博士研究員

研究者番号：40510251