

課題番号	GR058
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	固体素子における非平衡多体系のダイナミクス
研究機関・ 部局・職名	京都大学・化学研究所・准教授
氏名	小林研介

1. 当該年度の研究目的

本研究計画は、精密な電流揺らぎ測定を固体量子素子に適用することにより、量子系における揺らぎの定理を多方面から検証するものである。電流揺らぎ測定には、申請者が開発してきた世界有数の高感度を持つ測定系を用いるほか、新たに、電子伝導を実時間計測し完全計数統計を取得できるような測定系を開発する。本研究により、揺らぎの定理が非平衡状態における輸送現象を統一かつ定量的に記述するための指導原理であることが実験的に確立する。23年度の目的は、以下の通りである。

1. 揺らぎの定理の精密検証
2. 電子伝導の実時間観測

2. 研究の実施状況

本研究計画は、精密な電流揺らぎ測定を固体量子素子に適用することにより、量子系における揺らぎの定理や量子輸送過程のダイナミクスを多方面から検証するものである。電流揺らぎ測定には、申請者が開発してきた世界有数の高感度を持つ測定系を用いている。当該年度の研究成果は以下の通りである。

1. 量子細線を非平衡状態にすることによって、電子スピン-核スピン散乱を引き起こすことが可能である。電流揺らぎ測定を用いることによって、電子スピンが核スピンによって散乱され、スピン自由度を失う様子を観測した。これは、固体素子において、初めて電子-核スピン散乱を直接観測したことに相当する。本成果は、Phys. Rev. B の速報版(Rapid Communications)に掲載され、さらに、編集者によるハイライト論文(Editor's Suggestion、全出版論文からの採択率は10%以下)にも選出された。
2. スピン軌道相互作用の強いInGaAs系における量子ポイントコンタクトを用いて、ゼロ磁場近傍における測定を行った。量子チャネル形成によって電流揺らぎが減少するという効果を、InGaAs系において初めて検証することに成功した。これは電子がフェルミオンであるためにパウリの排他律が働くためである。電流揺らぎ測定によって、粒子の統計性を検証できることは非常に重要な意味を持つ。
3. トネル磁気抵抗素子における非平衡電流揺らぎを高精度に測定し、電子の透過プロセスがサブポアソンのことを見出した。MgOバリアおよびスピネルバリアを有する素子で同様の実験を行い、コヒーレント伝導を強く示唆する結果を得た。
4. 実時間観測に向けた高周波ラインのデザインを行い、試料ホルダを作製した。

様式19 別紙1
3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 13 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 12 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Yoshiaki Yamauchi, Koji Sekiguchi, Kensaku Chida, Tomonori Arakawa, Shuji Nakamura, Kensuke Kobayashi, Teruo Ono, Tatsuya Fujii, Rui Sakano, "Evolution of the Kondo effect in a quantum dot probed by shot noise", <i>Physical Review Letters</i> 106, 176601-1-176601-4 (2011). 2. Kensaku Chida, Masayuki Hashisaka, Yoshiaki Yamauchi, Shuji Nakamura, Tomonori Arakawa, Tomoki Machida, Kensuke Kobayashi, and Teruo Ono, "Shot noise induced by electron-nuclear spin-flip scattering in a nonequilibrium quantum wire", <i>Physical Review B</i> 85, 041309-1-041309-4 (Rapid Communications) (2012) [selected as an Editors' Suggestion]. 3. Sadashige Matsuo, Tomohiro Koyama, Kazutoshi Shimamura, Tomonori Arakawa, Yoshitaka Nishihara, Daichi Chiba, Kensuke Kobayashi, Teruo Ono, Cui-Zu Chang, Ke He, Xu-Cun Ma, and Qi-Kun Xue, "Weak antilocalization and conductance fluctuation in a submicrometer-sized wire of epitaxial Bi₂Se₃", <i>Physical Review B</i> 85, 075440-1-075440-7 (2012). 4. Tomonori Arakawa, Koji Sekiguchi, Shuji Nakamura, Kensaku Chida, Yoshitaka Nishihara, Daichi Chiba, Kensuke Kobayashi, Akio Fukushima, Shinji Yuasa and Teruo Ono, "Sub-Poissonian Shot Noise in CoFeB/MgO/CoFeB-based Magnetic Tunneling Junctions", <i>Applied Physics Letters</i> 98, 202103-1-202103-3 (2011). 5. K. Chida, M. Hashisaka, Y. Yamauchi, S. Nakamura, T. Arakawa, T. Machida, K. Kobayashi, T. Ono, "Non-equilibrium transport in a quantum wire in the quantum Hall regime", <i>Journal of Physics: Conference Series</i>. 334, 012031 (2011). 6. K. Chida, M. Hashisaka, Y. Yamauchi, S. Nakamura, T. Arakawa, T. Machida, K. Kobayashi and T. Ono, "Dispersive lineshape of the resistively detected NMR in a quantum wire in the quantum Hall regime", <i>AIP Conference Proceedings</i> 1399, 675-676 (2011). 7. Shuji Nakamura, Yoshiaki Yamauchi, Masayuki Hashisaka, Kensaku Chida, Kensuke Kobayashi, Teruo Ono, Renaud Leturcq, Klaus Ensslin, Keiji Saito, Yasuhiro Utsumi, and Arthur C. Gossard, "Nonequilibrium fluctuation relations in a quantum coherent conductor", <i>AIP Conference Proceedings</i> 1399, 329-330 (2011). 8. Shuji Nakamura, Yoshiaki Yamauchi, Masayuki Hashisaka, Kensaku Chida, Kensuke Kobayashi, Teruo Ono, Renaud Leturcq, Klaus Ensslin, Keiji Saito, Yasuhiro Utsumi, and Arthur C. Gossard, "Experimental test of Fluctuation Theorem in a quantum coherent conductor", <i>IEEE Proceedings of the 21-th International Conference on Noise and Fluctuations</i>, pp. 270-274. 9. Daichi Chiba, Shunsuke Fukami, Kazutoshi Shimamura, Nobuyuki Ishiwata, Kensuke Kobayashi, and Teruo Ono, "Electrical control of ferromagnetic phase transition in cobalt at room temperature", <i>Nature Materials</i> 10, 853-856 (2011). 【査
------------------------	--

	<p>読有】</p> <p>10. Kunihiro Nakano, Daichi Chiba, Norikazu Ohshima, Shinya Kasai, Tomonori Sato, Yoshinobu Nakatani, Koji Sekiguchi, Kensuke Kobayashi, and Teruo Ono, "All-electrical operation of magnetic vortex core memory cell", <i>Applied Physics Letters</i> 99, 262505-1- 262505-3 (2011). 【査読有】</p> <p>11. Koji Sekiguchi, Keisuke Yamada, Soo-Man Seo, Kyung-Jin Lee, Daichi Chiba, Kensuke Kobayashi, and Teruo Ono, "Time-Domain Measurement of Current-Induced Spin Wave Dynamics", <i>Physical Review Letters</i> 108, 017203-1-017203-4 (2012). 【査読有】</p> <p>12. 小林研介「メゾスコピック系における電流雑音とゆらぎの定理」、<i>固体物理</i> Vol. 46, 519-533 (2011). 【査読有】</p> <p>(掲載済み－査読無し) 計 1 件</p> <p>13. 小林研介「半導体メゾスコピック系における非平衡量子雑音」<i>物性研究</i> 96-1, 38-41 (2011). 【査読無】</p> <p>(未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 39 件</p>	<p>専門家向け 計 38 件</p> <p>1. 小林研介：「半導体ナノ構造における量子ショット雑音」（FIRST プログラム「強相関量子科学」理論フォーラムワークショップ、東京大学、2011年4月28日）。</p> <p>2. Kensuke Kobayashi: "Nonequilibrium Current Fluctuation in Mesoscopic Systems"（京都大学大学院理学研究科物理学宇宙物理学専攻、2011年6月22日）。</p> <p>3. Kensuke Kobayashi: "Experimental Test of Fluctuation Theorem in a Quantum Coherent Conductor", 21st International Conference on Noise and Fluctuations (ICNF2011) (Toronto, Canada, June 12-16, 2011)。</p> <p>4. 小林研介：「半導体人工量子系の物理」（第6回物性物理学セミナー、大阪大学大学院理学研究科物理学専攻、2011年7月6日）。</p> <p>5. Makoto Kohda, Shuji Nakamura, Yasuhiro Tokura, Yoshitaka Nishihara, Kensuke Kobayashi, Teruo Ono, and Junsaku Nitta: "Zero field spin polarization by Rashba spin orbit interaction in quantum point contacts", 5th International Workshop on Spin Currents (Sendai, Japan, July 25-28, 2011)。</p> <p>6. Daichi Chiba, Shunsuke Fukami, Kazutoshi Shimamura, Nobuyuki Ishiwata, Kensuke Kobayashi, and Teruo Ono: "Modulation of coercivity by electric fields in Co/Pt ultra-thin film", 5th International Workshop on Spin Currents (Sendai, Japan, July 25-28, 2011)。</p> <p>7. K. Chida, S. Nakamura, T. Arakawa, Y. Nishihara, T. Machida, K. Kobayashi and T. Ono: "Precursor phenomenon of the quantum Hall effect breakdown detected by the noise measurement", The 19th international conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-19) (Tallahassee, Florida, USA, July 25-29, 2011) (poster)。</p> <p>8. 小林研介：「人工量子系の物理の展開」（第56回物性若手夏の学校、山梨県富士吉田市 ホテルエバーグリーン富士、2011年8月4日）。</p>

9. T. Arakawa, K. Sekiguchi, S. Nakamura, K. Chida, Y. Nishihara, D. Chiba, K. Kobayashi, A. Hukushima, S. Yuasa, and T. Ono: "Observation of Sub-Poissonian Shot Noise in CoFeB/MgO/CoFeB-Based Magnetic Tunneling Junctions", 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6) (Matsue, Japan, August 1-5, 2011) (poster).
10. Y. Nishihara, S. Nakamura, K. Chida, T. Arakawa, K. Kobayashi, T. Ono, M. Kohda, and J. Nitta: "Shot noise measurement in the InGaAs quantum point contacts", 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6) (Matsue, Japan, August 1-5, 2011) (poster).
11. J. Shiogai, M. Ciorga, D. Schuh, M. Kohda, K. Kobayashi, T. Ono, W. Wegscheider, J. Nitta, and D. Weiss: "Dynamic nuclear polarization in lateral all-semiconductor spin injection devices", 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6) (Matsue, Japan, August 1-5, 2011) (poster).
12. M. Kohda, S. Nakamura, Y. Tokura, Y. Nishihara, K. Kobayashi, T. Ono, and J. Nitta: "Electrical spin generation by Rashba spin orbit interaction in InGaAs quantum point contacts", 6th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH6) (Matsue, Japan, August 1-5, 2011) (oral).
13. Kensuke Kobayashi: "Nonequilibrium Current Fluctuation in Mesoscopic Systems", ULT2011, the new frontiers of low temperature physics (Daejeon, Korea, August 19-21, 2011).
14. Daichi Chiba, Kensuke Kobayashi, Teruo Ono, Fumihiro Matsukura, and Hideo Ohno: "Electric field control of ferromagnetism in III-V ferromagnetic semiconductor structures", Moscow International Symposium on Magnetism (Moscow State University, Moscow, Russia, August 21 - 25, 2011).
15. Kensuke Kobayashi: "Nonequilibrium Current Fluctuation in Mesoscopic Systems [**plenary talk**]", International Workshop on Nonequilibrium Fluctuation Relations in Quantum Systems (University of Balearic Islands in Palma de Mallorca, Spain, September 22-24, 2011).
16. 好田誠、中村秀司、西原禎孝、小林研介、小野輝男、都倉康弘、新田淳作:「InGaAs 量子ポイントコンタクトを用いた Rashba スピン軌道相互作用による電氣的スピン生成」、日本物理学会 2011 年秋季大会(富山大学、2011 年 9 月)
17. 中村秀司、西原禎孝、知田健作、荒川智紀、関口康爾、千葉大地、小林研介、小野輝男、好田誠、新田淳作「InGaAs 二次元電子系上に作製した量子ポイントコンタクトにおける電流雑音測定」、日本物理学会 2011 年秋季大会(富山大学、2011 年 9 月)
18. 西原禎孝、中村秀司、知田健作、荒川智紀、小林研介、小野輝男、好田誠、新田淳作「InGaAs 二次元電子系に作製した量子ポイントコンタクトにおける電流揺らぎ測定 II」、日本物理学会 2011 年秋季大会(富山大学、2011 年 9 月)
19. 松尾貞茂、小山知弘、荒川智紀、西原禎孝、千葉大地、小林研介、小野輝男「トポロジカル絶縁体 Bi₂Se₃ 薄膜における輸送測定」、日本物理学会 2011 年秋季大会(富山大学、2011 年 9 月)
20. 荒川智紀、関口康爾、中村秀司、知田健作、西原禎孝、千葉大地、小林研介、福島章雄、湯

	<p>浅新治・小野輝男:「トンネル磁気抵抗素子における電子のアンチバンチングの観測」、日本物理学会 2011 年秋季大会(富山大学、2011 年 9 月)</p> <p>21. 中野邦裕、千葉大地、大嶋則和、葛西伸哉、佐藤知徳、仲谷栄伸、関口康爾、小林研介、小野輝男:「磁気コア極性反転の制御とメモリ動作」、日本物理学会 2011 年秋季大会(富山大学、2011 年 9 月)</p> <p>22. 知田健作、橋坂昌幸、山内祥晃、中村秀司、荒川友紀、西原禎孝、町田友樹、小林研介、小野輝男:「電流ゆらぎ測定による量子ホール効果ブレークダウン前駆現象の観測」、日本物理学会 2011 年秋季大会(富山大学、2011 年 9 月)</p> <p>23. 内海裕洋、Dmitri S. Golubev、Michael Marthaler、Gerd Schoen、小林研介:「量子ドットアハロノフボームリングと仕事の揺らぎ定理」、日本物理学会 2011 年秋季大会(富山大学、2011 年 9 月)</p> <p>24. 小林研介:「人工量子系における非平衡電流ゆらぎ」(財団法人井上科学振興財団・第 16 回久保記念シンポジウム、学士会館、東京、2011 年 10 月 8 日)</p> <p>25. 小林研介:「電子デバイスとナノ物理」(GCOE「物質科学の新基盤構築と次世代育成国際拠点」大学院連携講義「統合材料科学 IV」、京都大学桂キャンパス、2011 年 10 月 13 日)。</p> <p>26. Kensuke Kobayashi: "Current Noise and Fluctuation Theorem in Mesoscopic Systems", 2012 RCIQE International Workshop for Green Electronics (Conference Hall, Hokkaido University, March 5-6, 2012).</p> <p>27. Kensuke Kobayashi: "Current noise and fluctuation theorem in mesoscopic systems", East Asia Joint Symposia on Statistical Physics (Soochow University, Suzhou, China 中国蘇州, 18-20 March, 2012).</p> <p>28. 小山知弘、上田浩平、千葉大地、深見俊輔、石綿延行、河野浩、仲谷栄伸、小林研介、小野輝男「電流誘起磁壁速度と磁場誘起磁壁速度の加算性について」、日本物理学会第 67 回年次大会(関西学院大学、2012 年 3 月)</p> <p>29. 松尾貞茂、小山知弘、島村一利、荒川智紀、西原禎孝、千葉大地、小林研介、小野輝男、Cui-Zu Chang、Ke He、Xu-Cun Ma「トポロジカル絶縁体 Bi_2Se_3 薄膜の量子輸送効果」、日本物理学会第 67 回年次大会(関西学院大学、2012 年 3 月)</p> <p>30. 西原禎孝、中村秀司、知田健作、荒川智紀、田中崇大、小野輝男、内海裕洋、齊藤圭司、Renaud Leturcq、Klaus Ensslin、小林研介「アハラノフ・ボームリングにおける非平衡揺らぎ関係」、日本物理学会第 67 回年次大会(関西学院大学、2012 年 3 月)</p> <p>31. 知田健作、橋坂昌幸、山内祥晃、中村秀司、荒川友紀、西原禎孝、町田友樹、小林研介、小野輝男「電流ゆらぎ測定による量子ホール効果ブレークダウン前駆現象の観測 II」、日本物理学会第 67 回年次大会(関西学院大学、2012 年 3 月)</p> <p>32. 荒川智紀、田中崇大、知田健作、松尾貞茂、西原禎孝、千葉大地、小林研介、小野輝男「単電子トランジスターを用いた量子輸送現象の実時間測定」、日本物理学会第 67 回年次大会(関西学院大学、2012 年 3 月)</p> <p>33. 中野邦裕、大嶋則和、葛西伸哉、仲谷栄伸、佐藤知徳、関口康爾、千葉大地、小林研介、小野輝男「磁気コア減衰運動の制御」、日本物理学会第 67 回年次大会(関西学院大学、2012 年 3 月)</p>
--	---

様式19 別紙1

	<p>34. 田中崇大、荒川智紀、知田健作、西原禎孝、千葉大地、小林研介、小野輝男、介川裕章、葛西伸哉、三谷誠司「スピネル型バリアを有するトンネル磁気抵抗素子におけるショット雑音」、日本物理学会第 67 回年次大会(関西学院大学、2012 年 3 月)</p> <p>35. 内海裕洋、Dmitri Golubev、Michael Marthaler、Gerd Schoen、小林研介「量子揺らぎの定理検証実験の方法について」、日本物理学会第 67 回年次大会(関西学院大学、2012 年 3 月)</p> <p>36. 千葉大地、河口真志、深見俊輔、石綿延行、島村一利、小林研介、小野輝男「Co 垂直磁化膜における磁壁移動速度の電界制御」、第 59 回応用物理学関連連合講演会(早稲田大学、2012 年 3 月)</p> <p>37. 塩貝純一、Mariusz Ciorga、Martin Utz、Dieter Schuh、荒川智紀、好田 誠、小林研介、小野輝男、Werner Wegscheider、Dieter Weiss、新田淳作:「(Ga, Mn)As / n-GaAs スピンエサキダイオードを用いたスピン注入デバイスにおける動的核スピン偏極」、第 59 回応用物理学関連連合講演会(早稲田大学、2012 年 3 月)</p> <p>38. 島村一利、千葉大地、小野新平、深見俊輔、石綿延行、河口真志、小林研介、小野輝男:「電気二重層を利用した Co 超薄膜の磁性制御」、第 59 回応用物理学関連連合講演会(早稲田大学、2012 年 3 月)</p> <p>一般向け 計 1 件</p> <p>39. 小林研介「電子一個を操作する」(第 18 回化学研究所公開講演会、2011 年 10 月 23 日、京都大学宇治キャンパス)</p>
<p>図書</p> <p>計 0 件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得状況</p> <p>計 0 件</p>	<p>(取得済み) 計 0 件</p> <p>(出願中) 計 0 件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<p>「固体素子を用いた『衝突実験』:近藤効果による電子散乱過程の解明」 http://www.kuicr.kyoto-u.ac.jp/a_topics/topics_110426.html</p> <p>「小林 研介准教授が丸文研究奨励賞を受賞」 http://www.kuicr.kyoto-u.ac.jp/announce/2011/news_120307.html</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>1. 小林研介「電子一個を操作する」(第 18 回化学研究所公開講演会、2011 年 10 月 23 日、京都大学宇治キャンパス)。エレクトロニクスの発展から量子デバイスの開発までをわかりやすく講演した。対象者は中学生以上の一般市民。参加者数:約 300 名。</p>
<p>新聞・一般雑誌等掲載 計 6 件</p>	<p>1. 「薄い磁石に電圧 磁力消えた」、朝日新聞(2011年10月3日朝刊34面)</p> <p>2. 「永久磁石の磁力 完全オフ」、京都新聞(2011年10月3日朝刊22面)</p> <p>3. 「室温で磁力ゼロに」、日本経済新聞(2011年10月3日朝刊11面)</p> <p>4. 「室温で磁性をオン・オフ」、毎日新聞(2011年10月3日朝刊21面)</p> <p>5. 「コバルトに電圧 金属の磁性消す」、中日新聞(2011年10月3日朝刊32面)</p> <p>6. 「室温付近で成功 電圧印加で金属磁石をスイッチ」、電波新聞(2012年3月26日日刊3面)</p>

様式19 別紙1

その他	

4. その他特記事項

特にありません。

実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されず

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	124,000,000	48,100,000	22,000,000	53,900,000	0
間接経費	37,200,000	14,430,000	6,600,000	16,170,000	0
合計	161,200,000	62,530,000	28,600,000	70,070,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	48,073,750	22,000,000	0	70,073,750	69,982,198	91,552	0
間接経費	14,430,000	6,600,000	0	21,030,000	21,002,534	27,466	0
合計	62,503,750	28,600,000	0	91,103,750	90,984,732	119,018	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	65,536,731	ベクトル型マグネット、EB蒸着装置、高速波形記録装置、電子部品等
旅費	2,754,996	研究成果発表等
謝金・人件費等	991,300	研究補助員人件費、講演謝金
その他	699,171	研究成果発表費用(学会参加費、英文校正等)等
直接経費計	69,982,198	
間接経費計	21,002,534	
合計	90,984,732	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
ベーキング出力電源 5系統	EIKO	1	504,000	504,000	2011/10/27	京都大学
超高真空対応基板輸送用バイオネットフオーク	EIKO	1	514,500	514,500	2011/10/27	京都大学
チラーユニット	SMC社製 4.8kw HRG015	1	630,000	630,000	2011/10/27	京都大学
EB蒸着装置	(株)エイコー・エンジニアリング製 EB-580-KK	1	14,962,500	14,962,500	2011/10/27	京都大学
高速波形記録装置	米国ナショナルインスツルメンツ社製 PXIシステム	1	7,312,305	7,312,305	2012/1/10	京都大学

超音波熱圧着ウエッジワイヤーボンダー	ウエスト・ボンド社製 MODEL-7476D(7400D仕様)	1	3,664,500	3,664,500	2012/2/28	京都大学
ネットワークアナライザ	アジレントテクノロジー(株)製 E5071C ENA Series Network analyzer 外一式	1	3,202,500	3,202,500	2012/3/8	京都大学
ベクトル型マグネット	英国オックスフォード・インストゥルメンツ社製 8-3-1Teslaベクターローテートマグネットシステム VR8-3-1	1	14,978,250	14,978,250	2012/3/30	京都大学
マグネット励磁用電源	英国オックスフォード・インストゥルメンツ社製 MercuryIPS	1	4,970,700	4,970,700	2012/3/30	京都大学