

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25800174

研究課題名(和文)量子ドットの非平衡近藤効果による電流揺らぎの研究

研究課題名(英文)Current fluctuation by non-equilibrium Kondo effect in quantum dot

研究代表者

阪野 隼(Sakano, Rui)

東京大学・物性研究所・助教

研究者番号：00625022

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：量子ドット中で形成される典型的な量子多体効果である近藤効果の非平衡状態と、それに起因した電流揺らぎの特性を詳しく明らかにした。実験グループと協力しカーボンナノチューブ量子ドット中の近藤効果によるショットノイズと有効電荷状態の高精度の観測に成功した。また、高バイアス電圧、高温極限での厳密解を導出し、高エネルギー状態での相関効果について明らかにした。さらに、低バイアス電圧の非平衡電流中に形成された準粒子対の量子纏れ特性が古典では表せない量子力学的性質を備えていることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have studied that dynamic properties of non-equilibrium steady states of the Kondo effect which is a typical quantum many-body effect formed in quantum dot, and non-equilibrium current fluctuations induced by them. It is succeeded to experimentally observe shot noise and effective charge state of the Kondo state in a carbon-nanotube quantum dot with high accuracy in collaboration with an experimental group. The exact solution of the impurity Anderson model which describe quantum dot systems, is derived at the high bias-voltage or high temperature limits, and many-body effects at the high energy limit is elucidated. Furthermore, it is elucidated that, entanglement properties of the quasiparticle pairs forming in non-equilibrium current at low bias-voltages, holds quantum-mechanical properties which are never achieved by classical mechanics.

研究分野：物性物理学理論

キーワード：量子ドット 多体効果 電流揺らぎ

1. 研究開始当初の背景

量子ドットなどのナノサイズの半導体上の人工系での電子多体効果の研究において特徴的なことは、系の作りこみやパラメータの制御により、これまで直接観測することが難しかった物理量や現象が、系統的に調べられることにある。

典型的な電子多体効果である近藤効果を量子ドットで調べる場合に興味深いことは、非平衡状態を制御し、その輸送特性などを通して電子相関特性を調べられることにある。

こうした研究は1990年代より行われ始めたが、2000年代に入り実験研究が始まったことに後押しされ、非平衡定常状態の平均電流や電流ノイズの低エネルギーでの局所フェルミ流体論に基づいた正確な理解がすすみ、非平衡電流に現れる普遍特性や有効電荷状態など多くの興味深い物理が指摘された。特に非平衡電流のショットノイズを調べることで、局所フェルミ流体の残留相互作用によって非平衡電流中に形成された倍電荷状態が検出されるという理論予測は注目され、関連した実験も行われ始めた。

我々はこれまで、電流の完全係数統計に基づいて軌道自由度を持つ量子ドットの近藤効果による電流とその揺らぎの特性を調べ、弱相関領域から強相関領域への非平衡電流特性の遷移を調べてきた。またさらに、実験グループと協力して研究を行ってきた。こうした中で、重要な未解決問題や展開が新たに見出されたり再発見され、研究を進めてきた。

2. 研究の目的

非平衡状態にある量子ドット系での、近藤多体効果による電流揺らぎ特性を明らかにすることが本研究の目的である。具体的には次の3つを研究目的とした。

- (1) 近藤効果の起こっている量子ドットの低エネルギーの非平衡電流と電流揺らぎのパラメータ依存性を明らかにし、実験と比較可能な理論を構築する。
- (2) 量子ドット中の電子多体状態と電流揺らぎの、低バイアス電圧状態から高バイアス電圧状態へ遷移現象の解明。
- (3) 非平衡電流中に局所フェルミ流体相互作用によって形成された倍電荷状態にある準粒子対の量子力学的な纏れ特性の解明。

3. 研究の方法

おもに量子ドット系を表す不純物アンダーソン模型に対し、場の理論に基づいた解析的手法を用いて研究を行った。特にナノスケルデバイスでの実験では、理論模型の再現性が高いことから、それらの実験結果と比較し得る信頼度の高い解析を行う。特にそれぞれの研究目的ごとに、特に次の方法を用いた。

- (1) 局所フェルミ流体論の微視的理論と現象論的理論を結びつける、繰り込まれた摂動論を利用して計算を行った。これは低エネルギーの現象が正確に解析できる手法である。特に、この手法は近藤効果の問題への適用は我々の共同研究者のみが行っている、強力な研究方法である。
- (2) 非平衡グリーン関数法のケルディシュ経路を系の自由度として拡張した非エルミートなハミルトニアンを用いて、厳密解を導出した。さらに、現象論的理解に基づき摂動論を用いて、物理解釈を行った。
- (3) 電流揺らぎについてのベル相関を用いて、非平衡電流中の準粒子間の相関が量子力学的相関であることを示した。電子相関の取り扱いには(1)の繰り込まれた摂動論を援用し、正確な議論を行った。

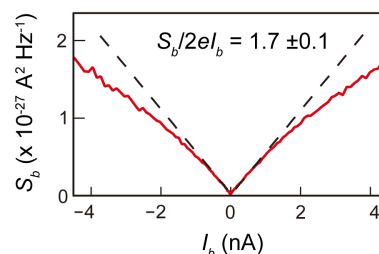
4. 研究成果

(1) 量子ドットの近藤効果による電流ノイズの実験観測と理論

大阪大学小林グループで行われた、カーボンナノチューブの量子ドットでのスピン近藤効果のショットノイズの観測に協力し、実験データの解析を行った。下図は温度16ミリケルビンの実験で得られたショットノイズ(縦軸)の後方散乱電流(横軸)の依存性であり、その比はバイアス電圧の低い領域で、近藤極限での理論予測値に一致する非常に精密な実験結果となった。この実験を理論予測と比較するためには、系を粒子-正孔に調整する必要があり、パラメータに強い制限がかかる。そのため、実験精度を相補的に検証する方法の工夫が求められた。

そこで、微視的フェルミ流体論を展開し、バイアス電圧に対する電流ノイズの線形応答を厳密に導出した。これにより低温での電流ノイズの外場依存性が詳しく検証できるようになった。特に、線形ノイズもコンダクタンスと同様に透過係数のみで構成されているため、この二つを組み合わせることで、透過係数が持つ、結合定数や位相シフトなどの自由度について2つまで実験データから決めることができるようになった。また、平均電流の外場応答から残留相互作用の強さを導出する手法を編み出した。これらの手法を用いることで実験データを解析し、ショットノイズが高い精度で観測できていることを検証することに成功した。

本研究は、近藤効果のショットノイズを理



論と比較しうる精度で観測した、初めての実

験である。特にこの非平衡電流のショットノイズの観測から、量子多体状態によって形成された準粒子対が直接的に観測したことになる。これにより、量子多体状態を単純な平均電流を超えた、非平衡の電流揺らぎで調べる新たな方法に道筋をつけたことになる。

(2)高バイアスと高温極限での不純物アンダーソン模型の厳密解

高バイアスや高温極限では、不純物部分のフェルミ分布関数が定数になることを利用し、非エルミートな二サイトのハミルトニアンにマップすることで、この系の厳密なグリーン関数を導出した。特に原子極限との解との違いは単純に線幅を持つだけでなく、自己エネルギーの虚部が線幅に三倍の因子を持つことである。一つは入射粒子の線幅によるものであり、残り二つは相互作用により粒子-正孔対を形成することによる自己エネルギーの減衰に起因することがわかった。

非平衡の量子ドットの多体効果の研究では厳密に取り扱うことができる低エネルギーを中心に行ってきた。電子相関の研究としては低エネルギーから高エネルギーへのクロスオーバー現象を調べることが多体問題における重要な課題である。本研究により高バイアスや、高温など高エネルギーの特性が明らかになり、すでに明らかになっている低エネルギーと合わせ、両極限の特性が厳密に明らかになった。また、今後の中間エネルギー領域の解析では数値計算や近似手法が重要な解析法となることから、これらの手法の精度を検証できる極限の性質を明らかにしたことは重要である。

(3)近藤効果による準粒子間のエンタングルメントの評価

近藤効果の起こっている量子ドットでは非平衡電流中に準粒子対が生成される。この準粒子対は局所フェルミ流体相互作用により生成されているため、準粒子間には相関が現れるはずである。この相関の特性について電流相関により詳しく調べた。近藤効果によるエンタングルメントの評価では、局在電子と伝導電子で形成する1重項状態の研究は多く行われてきたが、本研究のように準粒子間の相関についての研究は殆どない。

まず、軌道不純物アンダーソン模型に異方的交換相互作用を導入し、各軌道、スピン、電極毎の電流に対する完全計数統計を行い、電流の交差相関の解析を行った。この結果、垂直方向の交換相互作用が4つの異なるスピン軌道間に働くことを反映して、3つの異なるスピン軌道チャンネル間の電流相関が現れることを明らかにした。

更に、2つの異なる軌道間の準粒子のスピンエンタングルメントを評価するために、電流相関による統計的なベルの不等式を適用し、ベル相関の相互作用による振る舞いを調べた。交換相互作用がない場合、ベル相関

はゼロであるが、強磁性、反強磁性いずれの場合でも交換相互作用が増大とともに、まず相関は2体のベル相関の場合に知られた上限値(Tsirelson 極限)を超えて急激に増幅し、近藤温度の超えた大きさで、Tsirelson 極限に収束する。この結果、交換相互作用による準粒子間のスピンのエンタングルメントでは”量子らしさ”を持つことが明らかになった。更に完全計数統計による散乱過程の分析により、交換相互作用が大きい極限では、反平行のスピンの相関のみがこのベル相関に寄与していることがわかった。

本研究は、局所フェルミ流体の特性を新たな観点から解析であり、また多体効果を利用した新しいエンタングルメント生成器の原理を提案になっている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3件)

“Universality of non-equilibrium fluctuations in strongly correlated quantum liquids”, Meydhi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrangé, Raphaël Weil, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke Kobayashi, *Nature Physics* **12**, 230-235 (2016), doi:10.1038/nphys3556, 査読あり

“Exact Green's function for a multiorbital Anderson impurity at high bias voltages”, Akira Oguri, and Rui Sakano, *Physical Review B* **91**, 115429 (2015), doi:

10.1103/PhysRevB.91.115429, 査読あり
“Exact interacting Green's function for the Anderson impurity at high bias voltages”, Akira Oguri, and Rui Sakano, *Physical Review B* **88**, 155424 (2013), doi: 10.1103/PhysRevB.88.155424, 査読あり

[学会発表](計 42件)

Rui Sakano, Akira Oguri, and Yunori Nishikawa, “Full counting statistics for current through each channel of orbital degenerate Anderson impurity with exchange interactions”, APS March Meeting 2016 (Baltimore (USA), 2016年3月14日-18日)
Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, Kensuke Kobayashi, “Universality of Non-equilibrium Fluctuations in Strongly Correlated Quantum Liquids”, APS March Meeting

2016 (Baltimore (USA), 2016年3月14日-18日)

Yoshimichi Teratani, Akira Oguri, Rui Sakano, Ryosuke Yoshii, Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Kensuke Kobayashi, "Kondo effect in a carbon nanotube quantum dot with a finite orbital splitting and a magnetic field", ISSP International Symposium on New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (東京大学物性研究所(千葉県・柏市), 2015年6月10日-12日)

Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrangé, Raphael Weil, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke Kobayashi, "Shot noise monitoring of magnetic-field-induced cross-over between SU(4) and SU(2) symmetry of the Kondo effect", The 21st International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (仙台国際センター(宮城県・仙台市), 2015年7月26日-31日)

R. Yoshii, R. Fujiwara, T. Hata, T. Arakawa, K. Kobayashi, M. Ferrier, R. Delagrangé, R. Deblock, H. Bouchiat, R. Sakano, and A. Oguri, "Shot Noise Measurement and Theoretical Analysis on Carbon Nanotube Quantum Dot", The 21st International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (仙台国際センター(宮城県・仙台市), 2015年7月26日-31日)

Akira Oguri, Rui Sakano, Ryosuke Yoshii, Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, and Kensuke Kobayashi, "Effects of orbital splitting on the Kondo effect in a two-orbital quantum dot", The 21st International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (仙台国際センター(宮城県・仙台市), 2015年7月26日-31日)

K. Kobayashi, M. Ferrier, T. Arakawa, T. Hata, R. Fujiwara, R. Delagrangé, R. Weil, R. Deblock, R. Sakano, and A. Oguri, "Nonequilibrium Quantum Liquid in a Kondo-correlated Quantum Dot", International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015 (京都大学(京都府・京都市), 2015年8月20日-23日)

R. Yoshii, R. Fujiwara, T. Hata, T. Arakawa, K. Kobayashi, M. Ferrier, R. Delagrangé, R. Deblock, H. Bouchiat,

R. Sakano, and A. Oguri, "Theoretical Study on Shot Noise in Coulomb Blockade Region for Carbon Nanotube Quantum Dot", International Symposium on Fluctuation and Structure out of Equilibrium 2015 (京都大学(京都府・京都市), 2015年8月20日-23日)

Ryo Fujiwara, Tokuro Hata, Ryosuke Yoshii, Tomonori Arakawa, K. Kobayashi, Meydi Ferrier, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Helene Bouchiat, R. Sakano, A. Oguri, "Spectroscopy of Excited States in Carbon Nanotube Quantum Dot", The International Symposium on Material Sciences (大阪大学(大阪府・豊中市), 2015年11月17日-18日)

R. Yoshii, R. Fujiwara, T. Hata, T. Arakawa, K. Kobayashi, M. Ferrier, R. Delagrangé, R. Deblock, H. Bouchiat, R. Sakano, and A. Oguri, "Theoretical analysis on shot noise measurement in a carbon nanotube quantum dot", GDR Physique Quantique Mesoscopique - GDR-I Graphene & Nanotubes (Centre Paul Langevin, Aussois (France), 2015年12月4日)

K. Kobayashi, M. Ferrier, T. Arakawa, T. Hata, R. Fujiwara, R. Delagrangé, R. Weil, R. Deblock, R. Sakano, and A. Oguri, "Non-equilibrium Fermi Liquid in a Kondo-correlated Quantum Dot Probed by Shot Noise", the 21st International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (仙台国際センター(宮城県・仙台市), 2015年7月26日-31日)

K. Kobayashi, M. Ferrier, T. Arakawa, T. Hata, R. Fujiwara, R. Delagrangé, R. Weil, R. Deblock, R. Sakano, and A. Oguri, "Universality of Nonequilibrium Behavior in Strongly Correlated Quantum Liquids", The International Symposium on Nanoscale Transport and Technology (NTT 物性科学基礎研究所(神奈川県・厚木市), 2015年11月17日-20日)

M. Ferrier, T. Arakawa, T. Hata, R. Fujiwara, R. Delagrangé, R. Weil, R. Deblock, R. Sakano, A. Oguri and K. Kobayashi, "Shot noise monitoring of the cross-over between SU(4) and SU(2) symmetry of the Kondo effect in a carbon nanotube quantum dot", ISSP International Symposium on New Perspectives in Spintronic and Mesoscopic Physics (東京大学物性研究所(千葉県・柏市), 2015年6月10日-12日).

Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrangé, Raphaël Weil, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke Kobayashi, "Universality of non-equilibrium fluctuations in strongly correlated quantum liquids" Frontiers of Quantum and Mesoscopic Thermodynamics 2015 (Prague (Czech Republic), 2015年7月27日-8月1日) Akira Oguri and Rui Sakano, "1/(N-1) expansion, NRG, NCA, and exact high temperature limit for the Green's function of an SU(N) Anderson impurity" APS March meeting 2015 (San Antonio (USA), 2015年3月2日-3月6日)

Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke Kobayashi, "SU(2) and SU(4) Kondo effect probed by nonequilibrium current fluctuations", Workshop on recent development in the Kondo problem (東京大学物性研究所(千葉県・柏市), 2015年1月9日-10日)

Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Kensuke Kobayashi, Richard Deblock, Raphaëlle Delagrangé, Helen Bouchiat, Rui Sakano, and Akira Oguri, "Crossover between SU(2) and SU(4) Kondo effect in a carbon nanotube probed by shot-noise", The 32nd international conference on physics of semiconductors (Austin, Texas (USA), 2014年8月10日-15日) 阪野壘, 「局所フェルミ流体相互作用によるスピン相関対の生成と、多体のベルの不等式」、量子論の諸問題と今後の発展(高エネルギー加速器研究機構(茨城県・つくば市), 2016年2月17日-18日) Rui Sakano, "Bell's spin entangled electron pair generated by local Fermi-liquid exchange interaction", YITP Workshop on Quantum Information Physics (京都大学基礎物理学研究所(京都府・京都市), 2016年1月5日-8日) 阪野壘, 「局所フェルミ流体状態にある量子ドットの電流の交差相関についての研究」、第5回強相関電子系理論の最前線-若手によるオープンイノベーション(勝浦観光ホテル(和歌山県・勝浦町)2015年12月20日-22日)

- ②① Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrangé, Raphaël Weil, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri, and Kensuke Kobayashi, "Universality of Non-equilibrium Fluctuations in

Strongly Correlated Quantum Liquids", 日本物理学会第71回年次大会(東北学院大学泉キャンパス(宮城県・仙台市), 2016年3月19日-23日)

- ②② 寺谷義道、小栗章、阪野壘、Meydi Ferrier、荒川智紀、秦徳郎、藤原亮、小林研介:「多軌道量子ドットの近藤効果における磁場と軌道分裂の効果 II」、日本物理学会第71回年次大会(東北学院大学泉キャンパス(宮城県・仙台市), 2016年3月19日-23日)
- ②③ 秦徳郎、藤原亮、荒川智紀、小林研介、Meydi Ferrier, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野壘、小栗章、「近藤効果が発現する量子ドットにおけるゆらぎの定理の検証」、日本物理学会第71回年次大会(東北学院大学泉キャンパス(宮城県・仙台市), 2016年3月19日-23日)
- ②④ 藤原亮、秦徳郎、吉井涼輔、荒川智紀、小林研介、Meydi Ferrier, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Hélène Bouchiat, 阪野壘、小栗章、「カーボンナノチューブ量子ドットにおけるショットノイズ測定 II」、日本物理学会2015年秋季大会(関西大学(大阪府・吹田市), 2015年9月16日-19日)
- ②⑤ 吉井涼輔、藤原亮、荒川智紀、秦徳郎、小林研介、Meydi Ferrier, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Hélène Bouchiat, 阪野壘、小栗章、「カーボンナノチューブ量子ドットのクーロン閉塞状態における非線形ノイズの理論解析」、日本物理学会2015年秋季大会(関西大学(大阪府・吹田市), 2015年9月16日-19日)
- ②⑥ 寺谷義道、小栗章、阪野壘、吉井涼輔、Meydi Ferrier、荒川智紀、秦徳郎、藤原亮、小林研介、「多軌道量子ドットの近藤効果における磁場と軌道分裂の効果」、日本物理学会2015年秋季大会(関西大学(大阪府・吹田市), 2015年9月16日-19日)
- ②⑦ 秦徳郎、藤原亮、荒川智紀、小林研介、Meydi Ferrier, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野壘、小栗章、「近藤効果・超伝導競合系におけるショット雑音: SU(2)および SU(4)状態」、日本物理学会第70回年次大会(早稲田大学(東京都・新宿区), 3月21日-24日)
- ②⑧ Meydi Ferrier, 秦徳郎、藤原亮、荒川智紀、小林研介, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野壘、小栗章、「近藤効果・超伝導競合系におけるショット雑音: スペクトロスコーピーおよび0- トランジション領域」、日本物理学会第70回年次大会(早稲田大学(東京都・新宿区), 3月21日-24日)
- ②⑨ 藤原亮、秦徳郎、吉井涼輔、荒川智紀、小林研介、Meydi Ferrier, Raphaëlle Delagrangé, Richard Deblock, Helene

- Bouchiat, 阪野 壘, 小栗章, 「カーボンナノチューブ量子ドットにおけるショットノイズ測定」, 日本物理学会第 70 回年次大会(早稲田大学(東京都・新宿区)、3月21日-24日)
- ③① 荒川智紀, 秦徳郎, 藤原亮, 小林研介, Meydi Ferrier, Raphaelle Delagrance, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野 壘, 小栗章, 「ショット雑音を用いたカーボンナノチューブ量子ドットにおける近藤効果の研究」, 日本物理学会第 70 回年次大会(早稲田大学(東京都・新宿区)、3月21日-24日)
- ③② 小栗章, 阪野 壘, 吉井涼輔, Meydi Ferrier, 荒川智紀, 秦徳郎, 藤原亮, 小林研介, 「多軌道量子ドットの近藤効果における軌道分裂の効果」, 日本物理学会第 70 回年次大会(早稲田大学(東京都・新宿区)、3月21日-24日)
- ③③ 吉井涼輔, 藤原亮, 荒川智紀, 秦徳郎, 小林研介, Meydi Ferrier, Raphaelle Delagrance, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野 壘, 小栗章, 「カーボンナノチューブ量子ドットにおけるショットノイズの理論解析」, 日本物理学会第 70 回年次大会(早稲田大学(東京都・新宿区)、3月21日-24日)
- ③④ 阪野 壘, 「量子ドット系における非平衡近藤効果と電流揺らぎの理論研究」, 日本物理学会第 70 回年次大会(早稲田大学(東京都・新宿区)、3月21日-24日)
- ③⑤ 阪野 壘, 小栗章, Meydi Ferrier, 荒川智紀, 秦徳郎, 藤原亮, 小林研介, 「近藤ドットの線形電流ノイズと電流の普遍性」, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大学(愛知県・春日井市)、2014年9月7日-10日)
- ③⑥ 秦徳郎, 荒川智紀, 藤原亮, 小林研介, Meydi Ferrier, Raphaelle Delagrance, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野 壘, 小栗章, 「カーボンナノチューブ量子ドット系における SU(2)および SU(4)近藤効果の観測」, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大学(愛知県・春日井市)、2014年9月7日-10日)
- ③⑦ Meydi Ferrier, 荒川智紀, 秦徳郎, 藤原亮, 小林研介, Raphaelle Delagrance, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野 壘, 小栗章, 「SU(2)および SU(4)近藤効果のスケーリングに関する実験的研究」, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大学(愛知県・春日井市)、2014年9月7日-10日)
- ③⑧ 荒川智紀, 秦徳郎, 藤原亮, 小林研介, Meydi Ferrier, Raphaelle Delagrance, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野 壘, 小栗章, 「SU(2)および SU(4)近藤状態における非平衡電流ゆらぎ」, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大学(愛知県・春日井市)、2014年9月7日-10日)
- ③⑨ 小栗章, 阪野 壘, 「軌道縮退 Anderson 模型

- の Green 関数: $1/(N-1)$ 展開, NRG, NCA, 高温極限厳密解による解析」, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大学(愛知県・春日井市)、2014年9月7日-10日)
- ③⑩ 藤原亮, 荒川智紀, 秦徳郎, 小林研介, Meydi Ferrier, Raphaelle Delagrance, Richard Deblock, Helene Bouchiat, 阪野 壘, 小栗章, 「カーボンナノチューブ量子ドット系における近藤効果のショットノイズ測定」, 日本物理学会 2014 年秋季大会(中部大学(愛知県・春日井市)、2014年9月7日-10日)
- ④① 阪野 壘, 小栗章, 「バイアスを印加された近藤量子ドットのスピントラント揺らぎ」, 日本物理学会第 69 回年次大会(東海大(神奈川県・相模原市)、2014年3月27日-30日)
- ④② 阪野 壘, 小栗章, 西川裕規, Alex C. Hewson, 「S=1 近藤ドットにおける電流のスピン・軌道チャンネル間相関」, 日本物理学会 2013 年秋季大会(徳島大学(徳島県・徳島市)、2013年9月25日-28日)
- ④③ 阪野 壘, 小栗章, 西川裕規, Alex C. Hewson, 加藤岳生, 「近藤ドットによる電流中のエンタングルメント生成とベル型不等式」, 日本物理学会 2013 年秋季大会(徳島大学(徳島県・徳島市)、2013年9月25日-28日)

〔その他〕

第 9 回(2015 年)日本物理学会若手奨励賞(領域 4)受賞

「「ゆらぎ」測定で量子液体の振る舞いを精密に解明」
物性研究所プレスリリース、2015年11月24日
http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/issp_wms/DATA/OPTION/release20151124.pdf

「不思議な量子液体の挙動 世界最高水準技術で解明」
科学新聞、2015年12月11日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阪野 壘 (Sakano, Rui)
東京大学・物性研究所・助教
研究者番号: 00625022

(2) 研究協力者

小栗 章 (Oguri, Akira)
大阪市立大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 10204166

小林 研介 (Kobayashi, Kensuke)
大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 10302803