

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03479

研究課題名(和文) 散逸を伴う量子状態制御・測定の研究

研究課題名(英文) Control and measurement of quantum states with dissipation

研究代表者

都倉 康弘 (Tokura, Yasuhiro)

筑波大学・数理解析系・教授

研究者番号：20393788

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：量子系の制御に関する研究を行なった。熱浴とトンネル結合した二重量子ドット中の2電子スピン状態に注目しマイクロ波の振動電場によるコヒーレントな制御を考察した。Floquet 量子マスター方程式で解析し、制御パラメタの入れ方に非常に敏感であること、マイクロ波強度が大きくなると暗状態が実現することを見出した。また量子ドット中のフォノンとの結合の効果を考慮すると、通常の緩和過程に加え、マイクロ波振幅に依存した位相緩和現象、また非平衡フォノンに特有の新しいスピンドYNAMICSも見出した。また微小な量子系の量子連続測定の反作用の効果や電荷測定により位相の情報を取得できることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた知見により、量子ドット中の電子のコヒーレント制御の効果を高める指針が得られた。また今回考察した方法により量子ドット中のスピン・軌道相互作用の大きさを見積もるための条件を明らかにでき、スピンを用いた量子情報処理に向けて有益な知見が得られた。またマイクロ波の振幅の増大が、単に量子系の制御速度を向上させるだけでなく、暗状態の生成や位相緩和レートの増大、ラビ振動の飽和をもたらすなど様々な非線形効果をもたらすことを見出したことは、量子系の制御速度には原理的な上限があることを示し、今後の量子情報処理系の設計に関わる重要な知見をもたらした。

研究成果の概要(英文)：I had conducted a research on the control of quantum system. Coherent spin dynamics in coupled quantum dots which are tunnel coupled to reservoirs is theoretically studied using Floquet quantum master equation method. It is found that the effect of modulation of the tunnel coupling is more effective than the modulation of the potential energy of the quantum dots. Moreover, the modulation of the spin-orbit interaction is found to enhance the coupling. When one increase the microwave amplitude, a dark state emerges. In the analysis with finite electron-phonon coupling, in addition to the conventional energy relaxation process, we found that decoherence process depending on the driving frequency. We also found a unique spin dynamics induced by a non-equilibrium phonon system. Quantum weak measurement on a small quantum system may reveal significant back-action effect and quantum phase information can be acquired with the charge measurement.

研究分野：物性理論、非平衡統計、量子情報理論

キーワード：量子状態制御 電子スピン 量子ドット 非平衡状態 フォノン 位相干渉現象 スピン・軌道相互作用

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

固体中の電子/核スピンや気体原子などのアンサンブル量子系の古典的電磁波による制御は長年研究が積み重ねられ深い物理的理解が得られている。近年人工的な少数量子系が実験的に実現し、その量子状態の制御手法についての研究が活発に行われている。例えば制御性(結合強度)が高い振動電場とスピン・軌道相互作用を組み合わせた電場誘起電子スピン共鳴の提案と検証、高い忠実度での単一の量子状態の観測とその測定結果に基づいたフィードバック制御の研究も実際に行われ始めてきている。これらの少数量子系の制御に関する研究は、それらを有機的に組み合わせ量子情報処理の機能を実現するだけでなく従来のアンサンブル量子系にはない新しい学術的問いを提供する。

2. 研究の目的

本研究の目的は量子系の制御・測定に関する問いを理論的に解明していく事である。具体的には、1. 制御系が量子性を保つ場合に、量子系の制御性にはどのような限界があるか 2. 測定系が量子性をもち有限の量子緩和時間を保つ場合に、量子測定の特徴はどのようなものか 3. 外界と結合し量子非平衡定常状態にある量子系の制御と測定の特徴と限界はどのようなものか 4. 上の3項目について制御や測定の断熱性/非断熱性の効果について系統的に明らかにする

3. 研究の方法

「本研究の目的」に挙げた4つの課題に焦点を絞って述べる。

課題 1 量子的な制御系の制御性の限界

半導体中の電子スピンから構成される二準位系の量子的光子系による制御を Jaynes-Cummings モデルに基づき考える。磁場勾配などに起因するスピンの自由度と軌道の自由度の相互作用を用いることにより、振動電場によりコヒーレントな量子操作が可能となる。この操作の周波数(ラビ振動数)にはどのような限界があるかを量子マスター方程式の手法で解析を行う。また、回転波近似の正当性やフォノンとの結合の効果を調べる。

課題 2 非マルコフ的な量子測定理論

量子光学における光子検出器とは異なり固体中の電子状態を検出する代表的な測定器は「電荷計」である。これは電子と静電的に相互作用する近傍の電子素子、例えば量子ポイントコンタクト(QPC)や量子ドットで構成される。この素子の伝導度を DC 測定(あるいは最近では高周波の反射/透過測定)により調べることにより、間接的に注目する電子の状態を測定する事ができる。このような測定器は典型的な von Neumann モデルの弱測定かつ量子連続測定の枠組みで取り扱う必要がある。まずどのような条件で近似的に射影測定として取り扱うことができるのか、測定精度の限界は何で決まるか、を明らかにする。また測定系は量子的であり有限の緩和時間を持つため、測定した被測定系の量子的な情報は一定時間測定系に保持される効果を考慮する。

課題 3 量子非平衡定常状態の制御と測定

量子ドット系に二つ以上の電極をトンネル結合させる場合を考える。これらの電極の化学ポテンシャルや温度が異なる条件に設定すると、量子ドットを通じて粒子流やエネルギー流が流れる。量子ドット系に比べ電極は巨視的であるため、この粒子流/エネルギー流により電極はほとんど変化せず非平衡定常状態が実現する。もし複数の量子準位からなる量子ドット系を考えると、このような場合でも量子的なコヒーレンスを量子系に保持することが可能であると考えられる。この量子状態の特徴を明らかにするとともに、外部から制御、測定するための基礎的な理論を構築する。特にこの量子系の時間発展は非ユニタリ的となると考えられ、従来のユニタリ時間発展では到達できない状態へのアクセスが可能かどうかを Floquet 理論等を用い、検証する。

課題 4 制御・測定の非断熱効果

課題 1~3 において制御や測定の時間スケールを変化させた場合にどのような違いが得られるかを検討する。まず断熱条件近傍では幾何学的 (Berry) 位相を用いた制御とその限界、非断熱領域では非平衡 Green 関数法を用いて新しい量子的な制御と量子測定の可能性を明らかにする。

4. 研究成果

課題 1 量子的な制御系の制御性の限界

マイクロ波による振動電場で駆動される束縛ポテンシャル中の電子スピンを考える。電子の軌道はさらにフォノン系と結合している。Schrieffer-Wolf 変換によりスピンと軌道の相互作用の一次の寄与を一部消去すると、有効ラビ結合で駆動されるスピン・フォノン系の実効ハミルトニアンが得られる。ラビ結合はコヒーレントなスピンのブロッホ球内の回転をもたらす。スピン・フォノン結合はスピンのエネルギー緩和(T_1)をもたらす。一方の二次の項はスピンの共鳴エネルギーのシフト(AC シュタルク効果)とスピンの位相緩和(T_2)をもたらす。位相緩和のレートはマイクロ波振幅に依存する非線形な挙動を示すことを初めて見出した。さらに閉じ込めポテンシャルが放物型ではない場合や Dresselhaus スピン・軌道相互作用の高次項により、ラビ結合の大きさは通常のマイクロ波振幅に比例する成分に加え非線形な飽和傾向を示すことを明らかにする。

かにした。この結果は実験結果[1]とも矛盾無い。これらの成果は Spin-Qubit 4 や 2019 年アメリカ物理学会で報告した。一方多数の二準位系が Jaynes-Cummings モデルでキャビティ中の光子と結合した系は、二準位系のコヒーレントな重ね合わせ状態に基づく Dicke 超放射現象が古くから知られている。キャビティのローレンツ型スペクトル関数でうまく条件を選ぶことにより超吸収現象も実現する。このような条件で量子系の状態遷移レートが二準位系の数と共に急速に増大することを確認した。

課題2 非マルコフ的な量子測定理論

二重量子ドット中の二電子スピンからなる一重項-三重項量子状態を QPC で測定する過程をマルコフ近似を用いた確率マスター方程式の方法で解析した。量子連続(弱)測定の定式化により、QPC の電流に現れるスピンに関する情報と測定の反作用の大きさを数値シミュレーションにより求めた。特に測定強度を強くしていくときに、本モデルのような間接測定に特有の量子ゼノ効果を確認することができた。(QD2018)一方非マルコフ的な環境のモデルとして注目する量子ドットの電荷を測定するために、静電結合した別の量子ドットの電流を測定するセットアップを考えた。Keldysh 非平衡グリーン関数を用い静電相互作用に関する摂動展開により得られる量子ドット中の電荷の情報を計算した。強い電荷測定の場合では電子の位相情報は失われるが、量子連続測定では位相の情報は保持され、Aharonov-Bohm 効果に伴う干渉情報が電荷測定に現れるという現象を初めて見出した。(JPSJ 2019)

課題3 量子非平衡定常状態の制御と測定

有限バイアスの熱浴と結合した量子ドット系のマイクロ波による制御は、量子多体系のスペクトロスコーピーの手段として有効だけでなく、量子非平衡定常状態の性質を明らかにするため興味深い。二重量子ドット中の2電子状態について、Floquet-量子マスター方程式の方法で解析を行なった。振動電場は量子状態間のコヒーレント遷移(ラビ振動)をもたらすが、その影響は電極間の漏れ電流として検出可能である。(バルク量子系ではマイクロ波吸収量によりスペクトルを取るのと対照的)電流には急峻な共鳴ピークが現れ、それらは一光子、二光子、三光子などを表している。これらの吸収ピークの磁場依存性を調べることで2電子スピン系のエネルギースペクトルを得る。特にそのピーク値はスピン・軌道相互作用の強さや磁場勾配などの微視的な情報を提供してくれる。今回の解析では、マイクロ波の振動電場が量子ドット系のポテンシャル勾配とトンネル障壁に結合する二つの場合を考察した。その結果、トンネル障壁との結合の方がはるかに大きな効果をもたらすことを見出した。またマイクロ波振幅を増大させていくと、スペクトロスコーピーの情報とは関係のない、量子暗状態(非平衡であるが、熱浴による緩和が起こらない状態)が実現することが分かった。これは量子光学での電磁誘導透明度(EIT)と似た現象であり興味深い。またマイクロ波がスピン・軌道相互作用の大きさを変調する効果も取り入れるとこれらの現象はさらに増強されることが分かった。(PRB 2019, 2019, JAP 2020) 一方有限バイアスの熱浴は電子的な非平衡状態だけでなく、環境(フォノン熱浴)をも非平衡状態と変化させる。電子スピン系はこの非平衡フォノンの影響を受け新奇な現象をもたらすことを見出した。この現象を理解するために、2フォノン過程を含む量子マスター方程式の解析を行なった。(arXiv:2106.01576)また、朝永ラッティンジャーモデルで記述される次元電子系は可積分系と呼ばれ、通常の意味での熱化が起こらず、拡張 Gibbs 状態に緩和する。この現象を解析するために、磁場下の並進する二つのエッジ状態を朝永ラッティンジャーモデルで解析し、任意の局所平衡状態から出発してどのような非平衡定常状態に緩和するのかを調べた。二つのエッジ状態間のエネルギーのやりとりやエンタングルメントエントロピー、相互情報量などの物理量を調べ、さらにはこの現象を利用した熱サイクルの性能についても解析を行い、各エッジ状態を伝播する群速度の違いに大きく依存することを示した。

課題4 制御・測定の非断熱効果

量子系の制御は、その制御パラメータの変化が非常にゆっくりする場合には、瞬間定常状態からくるエントロピー生成に加えパラメータの変化の経路のみに依存する幾何学的効果が現れる。この幾何学的項やパラメータ変化の速度が大きくなるにつれ現れる非断熱効果を系統的に完全計数統計の手法により解析した。またスピン・軌道相互作用をゆっくり変化させ幾何学的効果による量子断熱スピンポンプも解析した。反転対称性を持たない半導体次元電子系では二種類のスピン・軌道相互作用(Rashba 項と Dresselhaus 項)があり、それらを独立に時間的に制御することによりスピンポンプが可能となることを示した。(Entropy 2019)

<引用文献>

[1] J. Yoneda, et al., Phys. Rev. Lett. 113, 267601 (2014).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 G. Giavaras and Yasuhiro Tokura,	4. 巻 128
2. 論文標題 Microwave spectroscopy of spin-orbit coupled states: energy detuning versus interdot coupling modulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 154304-1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0023122	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 G. Giavaras and Yasuhiro Tokura	4. 巻 100
2. 論文標題 Probing the singlet-triplet splitting in double quantum dots: Implications of the ac field amplitude	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 195421-1, 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.195421	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuhiro Tokura	4. 巻 21
2. 論文標題 Quantum adiabatic pumping in Rashba-Dresselhaus-Aharonov-Bohm interferometer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 828-1, 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e21090828	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Toshihiro Kubo and Yasuhiro Tokura	4. 巻 88
2. 論文標題 Indirect Acquisition of Aharonov-Bohm Phase via the Coulomb Interaction and Breakdown of Onsager-Buttiker Symmetry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 054717-1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.054717	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yosuke Sato, Sadashige Matsuo, Chen-Hsuan Hsu, Peter Stano, Kento Ueda, Yuusuke Takeshige, Hiroshi Kamata, Joon Sue Lee, Borzoyeh Shojaei, Kaushini Wickramasinghe, Javad Shabani, Chris Palmstrom, Yasuhiro Tokura, Daniel Loss, and Seigo Tarucha	4. 巻 99
2. 論文標題 Strong electron-electron interactions of a Tomonaga-Luttinger liquid observed in InAs quantum wires	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 155304-1, 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.155304	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 G. Giavaras and Y. Tokura	4. 巻 99
2. 論文標題 Spectroscopy of double quantum dot two-spin states by tuning the interdot barrier	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 075412-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.075412	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T.Hayashi, Y.Tokura, A.Fujiwara	4. 巻 541
2. 論文標題 Field-dependent hopping conduction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica B	6. 最初と最後の頁 19-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physb.2018.04.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 17件)

1. 発表者名 上村俊介, 箱嶋秀昭, 松崎雄一郎, 吉田恭, 都倉康弘
2. 発表標題 超吸収現象を用いた量子熱機関
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Tokura
2. 発表標題 Fidelity of photon-spin conversion and Bell state measurement
3. 学会等名 10th Workshop on Semiconductor/Superconductor Quantum Coherence Effect and Quantum Information (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinya Ozawa, Kyo Yoshida, Yasuhiro Tokura
2. 発表標題 Relaxation in the interacting edge channels
3. 学会等名 10th Workshop on Semiconductor/Superconductor Quantum Coherence Effect and Quantum Information (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小澤禎也, 吉田恭, 都倉康弘
2. 発表標題 カイラルエッジチャンネル間の相互作用による緩和と相関
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林稔晶、都倉康弘、藤原聡
2. 発表標題 ホッピング伝導における電位分布の温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小澤禎也, 吉田恭, 都倉康弘
2. 発表標題 カイラルエッジチャンネル間の相互作用による緩和過程
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上村俊介, 都倉康弘, 吉田恭
2. 発表標題 任意のCPTP写像に対するエントロピー生成とゆらぎの定理
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 都倉康弘
2. 発表標題 干渉計のスピンの軌道相互作用の変調による量子断熱スピンポンプ
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinya Ozawa, Kyo Yoshida, Yasuhiro, Tokura
2. 発表標題 Relaxation in the Interacting Edge Channels
3. 学会等名 International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 G. Giavaras and Y. Tokura
2. 発表標題 Probing the Singlet-triplet Splitting in Double Quantum Dots with ac Fields
3. 学会等名 International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shunsuke Kaminura, Yasuhiro Tokura, Kyo Yoshida
2. 発表標題 Fluctuation Theorems for an Arbitrary CPTP Map
3. 学会等名 International School and Symposium on Nanoscale Transport and phoTonics (ISNTT) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tokura
2. 発表標題 Quantum adiabatic pumping with modulating electron phase
3. 学会等名 2019 Workshop on Innovative Nanoscale Devices and Systems (WINDS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 G. Giavaras and Y. Tokura
2. 発表標題 AC spectroscopy of the singlet-triplet spin-orbit gap in double quantum dots
3. 学会等名 International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2019 (HQS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名	K. Kuroyama, S. Matsuo, S. R. Valentin, A. Ludwig, A. D. Wieck, Y. Tokura, and S. Tarucha
2. 発表標題	Real-time observation of spin-flip tunneling processes driven by a nearby phonon source
3. 学会等名	International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2019 (HQS2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Yasuhiro Tokura, Kazuyuki Kuroyama, Sadashige Matsuo and Seigo Tarucha
2. 発表標題	Enhanced spin flip rate by two-phonon processes from a hot spot
3. 学会等名	Conference Frontiers of Quantum and Mesoscopic Thermodynamics (FQMT) 2019 (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	G. Giavaras and Y. Tokura
2. 発表標題	Spin resonance in double quantum dot by tuning the interdot barrier
3. 学会等名	Tenth International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SpintechX) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	黒山和幸, 松尾貞茂, 村本丈, Sascha R. Valentin, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, 都倉康弘, 樽茶清悟
2. 発表標題	GaAs横型二重量子ドットにおけるフォノン励起のスピン三重項を介した単一電子のトンネル現象の実時間観測
3. 学会等名	日本物理学会2018年度年会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名 都倉康弘
2. 発表標題 電気双極子スピン共鳴の強励起条件での忠実度
3. 学会等名 日本物理学会2018年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林稔晶, 都倉康弘, 藤原聡
2. 発表標題 パリアブル・レンジ・ホッピング伝導による低周波キャパシタンス
3. 学会等名 日本物理学会2018年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tokura
2. 発表標題 Strongly driven electric dipole spin resonance
3. 学会等名 4th School and Conference on Spin-Based Quantum Information Processing (Spin-Qubit 4) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Tokura
2. 発表標題 Adiabatic and diabatic dynamics in quantum systems
3. 学会等名 Int. Symp. Frontiers of Quantum Transport in Nano Science (QTNS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Giorgos Giavaras and Yasuhiro Tokura
2. 発表標題 Current antiresonance in spin-orbit coupled double quantum dots
3. 学会等名 The 19th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Suzuki, S. Kato, K. Yoshida and Y. Tokura
2. 発表標題 Quantum diffusive analysis of two electron spins in double quantum dots
3. 学会等名 10th Biannual Conference on Quantum Dots (QD2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒山和幸, 松尾貞茂, 村本丈, Sascha R. Valentin, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, 都倉康弘, 樽茶清悟
2. 発表標題 GaAs横型量子ドットにおけるスピン-格子相互作用を介したフォノンによる電子スピン反転の実時間測定
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤澄也, 吉田 恭, 都倉康弘
2. 発表標題 超強結合領域のCircuit QEDにおけるLandau Zener Stuckelberg干渉
3. 学会等名 第38回量子情報技術研究会 (QIT38)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Hayashi, L. Cong Duy, Y. Tokura
2. 発表標題 Low-frequency capacitance of hopping transport materials
3. 学会等名 34th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sato, S. Matsuo, C.H. Hsu, P. Stano, D. Loss, K. Ueda, Y. Takesige, H. Kamata, J.S. Lee, B. Shojaei, J. Shabani, C. Parmstrom, Y. Tokura, S. Tarucha
2. 発表標題 Tomonaga-Luttinger liquid behaviour in 1D electron system fabricated from InAs Quantum well holding strong spin-orbit interaction
3. 学会等名 34th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuhiro Tokura
2. 発表標題 Fidelity of strongly driven electric dipole spin resonance
3. 学会等名 March meeting of American Physical Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室web page http://www.u.tsukuba.ac.jp/~tokura.yasuhiro.ft/index.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------