

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03470

研究課題名（和文）量子測定と量子制御：量子情報技術から統計力学の基礎まで

研究課題名（英文）Quantum Measurement and Quantum Control: From Quantum Information Technologies to Foundations of Statistical Mechanics

研究代表者

湯浅 一哉 (Yuasa, Kazuya)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：90339721

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：不確定性原理や波動関数の収縮に象徴されるように量子力学の非日常的な自然像を際立たせる役者である「量子測定」と、量子力学の奇妙さを決定づけているエンタングルメントなどの量子状態を意のままに操る「量子制御」をキーワードに、それらが意外ながら本質的な役割を果たすテーマを取り上げて、「量子情報技術」や「統計力学の基礎」に関わる理論的研究を展開した。量子測定の「見る」側面を追究する「量子計測」の話題、量子測定が系を「擾乱」する効果を逆に利用する「量子制御」の研究、さらには、量子測定と量子制御が「統計力学の基礎」や「量子熱力学」において果たす役割を浮かび上がらせる研究を展開した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、量子力学的効果を積極的に活用して古典的限界を超える「量子情報技術」に関する研究が精力的に進められている。一方、量子情報分野で培われてきた知見を活用しながら、「統計力学の基礎」に関する研究も大きな進展を見せている。本研究課題では、「量子測定」と「量子制御」に注目し、それらが意外ながらも非自明で興味深い役割を果たす話題を追究する独自の視点で研究を展開し、当該分野に貢献することを目指した。得られた成果は、基礎科学としての新たな知見を提供するとともに、将来技術への活用の可能性も秘めている。

研究成果の概要（英文）：We studied various theoretical research topics related to "quantum information technologies" and "foundations of statistical mechanics," in which "quantum measurement," which discloses the peculiarity of the quantum world through the uncertainty principle and the wavefunction collapse, and "quantum control," which manipulates peculiar quantum states including entanglements, play intriguing and essential roles. The topics included "quantum metrology," which pursues the observation aspect of quantum measurements, "quantum control," which makes use of disturbances by quantum measurements, and "foundations of statistical mechanics and quantum thermodynamics," in which quantum measurements and quantum control play nontrivial roles.

研究分野：量子物理学，量子情報

キーワード：量子測定 量子計測 量子制御 量子情報 統計力学 量子熱力学

1. 研究開始当初の背景

量子力学的効果を積極的に活用して古典的限界を超える「量子情報技術」に関する研究が精力的に進められている。特に、近年、量子系を測定・計測し、制御する技術が格段に向上し、実験的研究のみならず、理論的研究も大いに刺激を受けている。一方、「統計力学の基礎」に関わる話題でも近年顕著な進展があり、基本原理である等重率の原理を現代的視点から再検討する研究や、非平衡系の統計力学を支配する原理の探究、孤立量子系の緩和現象の理解や、統計力学と情報の関わりなどの追究などについて、量子情報分野で培われてきた知見が活用されながら、精力的に研究が進められている。

2. 研究の目的

不確定性原理に象徴されるように、「量子測定」は量子力学の非日常的な自然像を際立たせる役者である。その「量子測定」と、量子力学の奇妙さを決定づけるエンタングルメントなどの量子状態を意のままに操る「量子制御」をキーワードに、それらが意外ながら本質的な役割を果たすテーマを取り上げて、「量子情報技術」や「統計力学の基礎」に関わる理論的研究を展開した。一見すると何の関連もないように思われるかもしれないが、元々、「測定」と「制御」の間には深い関わりがある。系の状況を測定で把握し、測定結果に応じて系に操作を加えて制御する「フィードバック制御」は、制御の基本の一つである。逆に、系に制御を加え、それに対する系の応答を観察することでその系(ブラックボックス)の構成やパラメータを推定・計測する「システム同定」は、制御理論の文脈の中で議論されてきた。対象が量子系となると「測定」と「制御」の関係はさらに深遠なものになる。「不確定性原理」や「波動関数の収縮」に象徴されるように、量子系に対する測定は必然的に測定対象の状態を変化させてしまう。見方を変えれば、測定そのものが、単に「見る」という機能にとどまらず、系を制御する手段になり得るということである。それは量子力学ならではの可能性をもたらすとともに、「量子系の制御理論」を追究する上で議論に取り込まなければならない要素である。視野を広げれば、「量子測定」や「量子制御」が非自明な役割を果たす物理現象、話題を追究することで、そこに量子力学ならではの面白い物理が浮かび上がる。さらに本申請課題では、「統計力学の基礎」に関わる話題においても「量子測定」や「量子制御」が本質的で重要な役割を果たすことを指摘し、その興味深い物理を追究した。

3. 研究の方法

本研究課題では、「量子測定」と「量子制御」をキーワードに、それらが意外ながら本質的な役割を果たすテーマに取り組んだ。特に、「量子計測」、「量子制御」、「統計力学の基礎」を柱に研究を推進した。

(1)量子計測

量子計測とは、エンタングルメントなどの量子力学ならではの効果を最大限に活用することによって古典的な精度限界を超える計測を実現しようとするものである。この話題の一つの方向性は、量子力学的に許される究極の計測精度限界を追究することにある。その際、量子効果を活用する方策は様々に考えることができ、量子制御を活用する計測スキームや、複数の量子過程の順序の量子重ね合わせなど、様々な量子過程による量子計測を追究した。また、未知のパラメータが複数存在する状況における量子計測の解析も重要な研究の方向性である。さらに、近年、物理学における機械学習の活用、あるいは、機械学習への物理学の活用についての研究が盛んになっている。機械学習とは、端的に言えば、あるパラメータを推定する方法と考えることができ、計測問題との関わりは深い。こうした観点に着目して研究を展開した。

(2)量子制御

一般に量子系に対して測定を行うと、不確定性原理のために測定対象の量子系は擾乱を受け、状態が変化する。そのような測定が系に及ぼす影響も、うまく利用すれば量子制御の手段になるという着想のもと、「測定による量子制御」のアイデアを追究してきた。その典型例は、量子測定の頻繁な繰り返しによって系の時間発展を変化させる「量子 Zeno 効果」である。その「量子 Zeno 効果」に関する研究を通じて、様々な量子制御の手法が本質的に「量子断熱定理」に支配されていることを浮かび上がらせ、量子 Zeno 効果を含む様々な量子制御手法を統一的に扱うことができる枠組みの構築を目指した。

(3)統計力学の基礎

統計力学の基礎に関わる話題としては、平衡状態への緩和の問題や、量子多体系の量子状態の典型性に関する研究に取り組んだ。また、測定をして系の状態に関する情報を得て、それに応じて制御を加える「フィードバック制御」を追究することで、量子測定と量子制御の量子熱力学・統

計力学における役割を研究した。特に、量子測定が系に及ぼす擾乱の影響が量子熱力学にもたらす効果に注目して研究を展開し、量子測定の情報獲得の側面とともに、量子測定が量子状態にもたらす擾乱の効果を解明すべく研究に取り組んだ。

4. 研究成果

(1)量子計測

光をプローブに利用する量子計測の中でも比較的実験的に生成しやすい Gauss 型の量子状態のプローブを利用する量子計測を追究し、一般の多モード線形光学回路に含まれるパラメータを計測する場合の計測精度限界と、それを達成する最適なプローブ状態や最適な測定を明らかにし、論文発表した。その論文はすでに 29 回引用されている (Google Scholar による)。

計測対象のパラメータの他に未知のバックグラウンドパラメータが存在する状況における量子計測を議論した。バックグラウンドのみをプローブする対照実験を参照してバックグラウンドの寄与を除去するのが基本的方策だが、その際、メインのプローブと対照実験のプローブをエンタングルさせることによって、バックグラウンドの影響を除去しつつ高精度の計測が可能になることを明らかにし、学会発表した。

量子計測では様々な量子効果や量子過程を活用して計測精度を向上させることを目指すが、「量子過程の順序の量子重ね合わせ」を量子計測に活用する可能性を追究した。プローブがノイズの影響を受けてしまう状況にあっても、複数のノイズ領域がプローブに作用する順序が量子力学的に重ね合わされるようにプローブすると、「量子過程の順序の量子重ね合わせ」によってノイズの影響を抑制しつつ計測することが可能になること、さらに、プローブ系と順序を制御する補助系とのエンタングルメントを活用すると計測精度をさらに向上できることを示し、学会発表した。

機械学習を量子計測に活用する方向性として、量子多粒子干渉効果もたらすある種の非線形性によって量子光学回路をレザバーとして機能させる「量子レザバー計算」を検討した。量子光学回路に入力する光の量子状態のエンタングルメントやエントロピーといった特徴量をレザバー計算で推定・計測できることを示すと同時に、それが出力光を検出する検出器の効率や量子光学回路の光子損失、位相緩和に対して頑強であることを示し、学会発表した。

(2)量子制御

量子測定の高頻な繰り返しや強い外場の連続的印加によって系の時間発展を変化させて制御する「量子 Zeno 効果」に関する研究で多岐にわたる成果を得た。量子 Zeno 効果は系を強い緩和過程にさらすことでも発現するが、強い外場や強い緩和を連続的に加えることによる量子 Zeno 効果を非ユニタリー過程を含む一般の Markov 過程に対して数学的に厳密に証明するとともに、それらを含む「一般的な強結合過程による量子 Zeno 効果への一般化」に成功し、論文発表した。この成果は、一般の Markov 過程に対して成立する「一般化された断熱定理」の証明によって達成することができた。この論文は発表から 5 年ですでに 47 回引用されている (Google Scholar による)。また、この成果は他者による解説記事 (Quantum Views) で取り上げられ、紹介された。

量子 Zeno 効果は、(i)量子測定を繰り返す代わりに(ii)ユニタリー操作の繰り返しによっても引き起こすことができ(パルス制御)、また、(iii)強い外場の連続的印加や(iv)強い緩和過程にさらすことでも発現できる(連続制御)。で連続制御(iii)と(iv)の一般化と統合に成功したが、さらにパルス制御(i)と(ii)に取り組み、論文発表した。一般的な Markov 過程を示す量子開放系に対し量子測定やユニタリー操作に限らない一般的な量子操作の頻繁な繰り返しで量子 Zeno 効果が生じることを示した。その証明は連続制御(iii)と(iv)を一般化し統合した証明手法によっており、(i)-(iv)の全てを統一的に扱える枠組みを構築した成果となっている。この論文は発表から 4 年ですでに 38 回引用されている (Google Scholar による)。また、この成果は Nature Reviews Physics 誌で取り上げられ、紹介された。

本研究課題での研究で、量子 Zeno 効果を含む様々な量子制御手法が「量子断熱定理」に基づいていることを認識し、量子断熱定理の一般化と深化に取り組んだ。まず、上記の量子 Zeno 効果(iii)と(iv)を支える量子断熱定理の発展を図った。標準的な量子断熱定理はユニタリー過程を対象としており、また、有限時間内では成立しないものであったが、本研究課題では定常 Markov 過程としては一般の量子開放系の時間発展を扱えるように一般化するとともに、量子断熱定理が任意の長時間にわたって成立することを示し、しかも、断熱性の度合いを明示的に評価することに成功して、論文発表した。

さらに、の知見に基づいて系の保存量の摂動に対する安定性を議論し、有限次元量子系の保存量には摂動に対して安定な保存量と脆弱な保存量があることを明らかにした。これは古典力学系における KAM 理論の量子力学版と考えることができる。この研究成果は Physical Review Letters 誌に掲載されるとともに、一般向けの紹介記事を 2 つのサイトでメディアリリースした。

様々な量子力学系のモデリングに広く使われていながらその妥当性が示されていなかった「回転波近似」を数学的に厳密に証明し、しかも誤差評価を与える枠組みを構築した。さらに、その一つの枠組みで、「量子断熱定理」、「積公式」、「量子 Zeno 効果」など、量子制御に活用されている様々な極限定理を統一的に証明できることを示すと同時に、それらを拡張した新しい極限定理も得られることを明らかにした。この成果は論文として発表した。その論文は発表から 2 年ですでに 20 回引用されている (Google Scholar による)。

量子系に頻繁にランダムにユニタリー操作を加えることでその系と環境系との間の相互作用を抑制する “Random Dynamical Decoupling” を解析し、「量子 Zeno 効果」との等価性を明らかにした。このような量子制御手法に関する先行研究では、ランダムに加える操作について平均化した平均的過程を解析していたが、本研究では、平均化せず、ランダムに出現する操作列一列で環境系との相互作用を抑制できることを示すと同時に、その効率を定量的に議論する枠組みを提供した。この成果は論文として発表した。

上記の で構築した、様々な量子制御手法の基盤を与える極限定理を統一的に扱うことができる枠組を進展させ、量子制御に広く利用されている「Trotter の積公式」を議論した。特に、高次の積公式を系統的に構成する方法を提供するとともに、無限次元系に対する積公式の誤差評価を与えた。その結果、量子化学計算の評価に広く使われている誤差評価が正しくないことが明らかになった。この研究成果は、当該分野で最も権威ある国際会議の一つとして知られている Quantum Information Processing (QIP) での口頭発表に採択され、そこで公表した。

(3) 統計力学の基礎

量子ドットを介して 2 つの電子熱浴間に流れる電流を、量子ドットに対する測定とフィードバックの繰り返しによって逆流させる「Maxwell の悪魔」を議論した。量子ドットと電子熱浴間の電子のやり取りを量子マスター方程式で記述し、フィードバックサイクルで流れる電流を解析した。測定による状態変化に伴うエントロピー変化で定義する、悪魔が測定で獲得する情報量と、悪魔が測定結果の記憶を消去する際に放出されるエントロピーに注目し、それぞれで逆流電流の大きさを評価する不等式を導出し、学会発表した。

一般に、保存量を有する系は熱平衡状態に緩和せず、「一般化された Gibbs 状態 (GGE)」に緩和すると考えられている。先行研究で、任意の初期状態から Gauss 型の GGE への緩和 (Gauss 化) が示唆されたが、我々は、Bose 粒子系の可解モデルを解析し、厳密解に基づいて、初期状態がいくつかの局所性条件を満足する場合に Gauss 化が起こることを示し、論文発表した。

量子多体系で、ある強さのエンタングルメントを有する典型的な量子状態を調べると、そのエンタングルメントの強さを変化させていった場合に 2 種類の相転移が起こる。我々は、この相転移を、エンタングルメントの強さの指標として一般的な Renyi エントロピーを用い、Renyi エントロピーの一般的な q の値について詳細に解析し、論文発表した。

量子測定とフィードバック制御によって実現される Maxwell の悪魔を再検討し、熱力学第二法則を表す新たな不等式を導出した。その不等式は、量子測定による反跳の効果と量子測定で獲得する情報量のそれぞれが Maxwell の悪魔にどのように寄与するかが明確であるとともに、従来知られていた熱力学第二法則の不等式よりも精密な評価を与えることを示した。また、通常の熱力学第二法則の不等式を破るためにはフィードバック制御が必要であることを明らかにした。これらの成果は論文として発表した。

量子系の熱力学に関わる話題として、量子測定とフィードバック制御によって量子系に充填・抽出可能なエネルギーの限界を追究した。一般の量子測定過程がフィードバック制御を含む量子操作過程と区別できないことを指摘するとともに、純粋に測定と言える量子過程ではユニタリー制御によるエネルギー抽出限界 (エルゴトロピー限界) やエネルギー充填限界を超えることができないことを一般的に証明した。このことより、ユニタリー制御を超えるエネルギー充填・抽出を実現するためにはフィードバック制御を加える必要があることを明らかにした。この研究成果を論文として発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Koshihara Kenta, Yuasa Kazuya	4. 巻 107
2. 論文標題 Quantum Ergotropy and Quantum Feedback Control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 64109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.107.064109	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 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Giovanni Gramegna, and Kazuya Yuasa	4. 巻 6
2. 論文標題 One bound to rule them all: from Adiabatic to Zeno	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Quantum	6. 最初と最後の頁 737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22331/q-2022-06-14-737	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 該当する
1. 著者名 Alexander Hahn, Daniel Burgarth, and Kazuya Yuasa	4. 巻 24
2. 論文標題 Unification of Random Dynamical Decoupling and the Quantum Zeno Effect	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 63027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ac6b4f	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 該当する
1. 著者名 Kenta Koshihara and Kazuya Yuasa	4. 巻 106
2. 論文標題 Necessity of Feedback Control for the Quantum Maxwell Demon in a Finite-Time Steady Feedback Cycle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 24134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.106.024134	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 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Hiromichi Nakazato, Saverio Pascazio, and Kazuya Yuasa	4. 巻 126
2. 論文標題 Kolmogorov-Arnold-Moser Stability for Conserved Quantities in Finite-Dimensional Quantum Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 150401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.150401	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 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Hiromichi Nakazato, Saverio Pascazio, and Kazuya Yuasa	4. 巻 4
2. 論文標題 Quantum Zeno Dynamics from General Quantum Operations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quantum	6. 最初と最後の頁 289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22331/q-2020-07-06-289	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 該当する

1. 著者名 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Hiromichi Nakazato, Saverio Pascazio, and Kazuya Yuasa	4. 巻 103
2. 論文標題 Eternal Adiabaticity in Quantum Evolution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 32214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.103.032214	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 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Hiromichi Nakazato, Saverio Pascazio, and Kazuya Yuasa	4. 巻 3
2. 論文標題 Generalized Adiabatic Theorem and Strong-Coupling Limits	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Quantum	6. 最初と最後の頁 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22331/q-2019-06-12-152	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 該当する

1. 著者名 Takaaki Monnai, Shohei Morodome, and Kazuya Yuasa	4. 巻 100
2. 論文標題 Relaxation to Gaussian Generalized Gibbs Ensembles in Quadratic Bosonic Systems in the Thermodynamic Limit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 22105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.100.022105	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 Paolo Facchi, Giorgio Parisi, Saverio Pascazio, Antonello Scardicchio, and Kazuya Yuasa	4. 巻 52
2. 論文標題 Phase Diagram of Bipartite Entanglement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	6. 最初と最後の頁 414002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1751-8121/ab3f4e	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 Teruo Matsubara, Paolo Facchi, Vittorio Giovannetti, and Kazuya Yuasa	4. 巻 21
2. 論文標題 Optimal Gaussian Metrology for Generic Multimode Interferometric Circuit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 New Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 33014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1367-2630/ab0604	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 該当する

〔学会発表〕 計46件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Eternal Adiabaticity and Long-Term Stability of Perturbed Quantum Symmetries
3. 学会等名 Mathematical Physics in Quantum Technology: From Finite to Infinite Dimensions (MPQT23) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Eternal Adiabaticity and Long-Term Stability of Perturbed Quantum Symmetries
3. 学会等名 VI International Workshop on Information Geometry, Quantum Mechanics and Applications 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Eternal Adiabaticity and Long-Term Stability of Perturbed Quantum Symmetries
3. 学会等名 Puglia Summer Trimester 2023 (PST2023): Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 越原健太・藤本大来・湯浅一哉
2. 発表標題 量子測定による反跳の効果で駆動する定常熱サイクル
3. 学会等名 日本物理学会第78回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Alexander Hahn, Mattias Johansson, and Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Trotter Product Formula: Unexpected Scaling in Quantum Chemistry
3. 学会等名 EQUS Annual Workshop 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Alexander Hahn, Mattias Johansson, and Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Breaking badly: unexpected Trotter error scaling for realistic quantum systems
3. 学会等名 Quantum Information Processing 2024 (QIP 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Alexander Hahn, Mattias Johansson, and Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Trotter Product Formula: Unexpected Scaling in Quantum Chemistry
3. 学会等名 Quantum Australia 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Jemy Geordy, Alexander Hahn, Anirban Dey, Kazuya Yuasa, Daniel Burgarth, Sarath Raman Nair, and Thomas Volz
2. 発表標題 Quantum Control of nano-diamond Nitrogen Vacancy spin ensembles
3. 学会等名 Quantum Australia 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kenta Koshihara and Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Thermodynamics of Steady Heat Engines Driven by Quantum Measurement Backaction
3. 学会等名 Statistical & Quantum Physics Winter School 2024 (SQP2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 量子熱力学における量子測定とフィードバック制御の効果
3. 学会等名 Quantum Foundations
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Alexander Hahn, Mattias Johansson, and Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Strong error bounds for Trotter & Strang Splittings and their implications to Quantum Chemistry
3. 学会等名 87th Annual Conference of the DPG and DPG Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 量子バッテリーの充填・放出におけるフィードバック制御の役割
3. 学会等名 第46回量子情報技術研究会 (QIT46)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 量子フィードバック制御による量子系のエネルギー充填・放出
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Universal bound for various limit evolutions: from Adiabatic to Zeno
3. 学会等名 V International Workshop on Information Geometry, Quantum Mechanics and Applications 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山夏希・新徳誠也・湯浅一哉
2. 発表標題 線形光学回路による量子レザバ-計算: 光の量子状態の特徴量推定
3. 学会等名 第66回物性若手夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤本大来・湯浅一哉
2. 発表標題 順序の量子重ね合わせによってノイズの影響を抑制する量子計測
3. 学会等名 第66回物性若手夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daniel Burgarth, Kazuya Yuasa, Paolo Facchi, Hiromichi Nakazato, and Saverio Pascazio
2. 発表標題 Eternal Adiabaticity and KAM-Stability in Quantum Mechanics
3. 学会等名 21th Asian Quantum Information Science Conference (AQIS 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 量子系の熱力学サイクルにおける量子測定とフィードバック制御の役割
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤本大来・湯浅一哉
2. 発表標題 順序の量子重ね合わせによってノイズの影響を抑制する量子計測
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山夏希・新徳誠也・湯浅一哉
2. 発表標題 線形光学回路を用いる量子レザバー計算：光の量子状態の特徴量推定
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山夏希・新徳誠也・湯浅一哉
2. 発表標題 線形光学回路による量子レザバー計算：光の量子状態の特徴量推定
3. 学会等名 第45回量子情報技術研究会 (QIT45)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤本大来・湯浅一哉
2. 発表標題 順序の量子重ね合わせによってノイズの影響を抑制する量子計測
3. 学会等名 第45回量子情報技術研究会 (QIT45)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 量子系のマクスウェルの悪魔における量子測定とフィードバック制御の役割
3. 学会等名 第45回量子情報技術研究会 (QIT45)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今井智博・湯浅一哉・内野瞬・門内隆明
2. 発表標題 量子ドットを介して超伝導体間に流れるカレントに対する量子ゆらぎ定理
3. 学会等名 非平衡オンライン若手の会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 持田稜介・湯浅一哉
2. 発表標題 未知のノイズパラメータの存在下における量子計測
3. 学会等名 非平衡オンライン若手の会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今井智博・内野瞬・門内隆明・湯浅一哉
2. 発表標題 量子ドットを介して超伝導体間に流れるカレントに対する量子ゆらぎ定理
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 持田稜介・湯浅一哉
2. 発表標題 未知のノイズパラメータの存在下における量子計測
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 持田稜介・湯浅一哉
2. 発表標題 未知のノイズパラメータの存在下における量子計測
3. 学会等名 第43回量子情報技術研究会(QIT43)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daniel Burgarth, Paolo Facchi, Saverio Pascazio, Hironichi Nakazato, and Kazuya Yuasa
2. 発表標題 KAM-Stability for Conserved Quantities in FiniteDimensional Quantum Systems
3. 学会等名 24th Annual Conference on Quantum Information Processing (QIP 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田豊・新徳誠也・湯浅一哉
2. 発表標題 複数の量子チャンネルの順序の量子重ね合わせ: 量子状態の保持への応用
3. 学会等名 第40回量子情報技術研究会 (QIT40)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田豊・新徳誠也・湯浅一哉
2. 発表標題 複数の量子チャンネルの順序の量子重ね合わせ: 量子状態保持への応用
3. 学会等名 第64回物性若手夏の学校
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 棚橋将・越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 量子測定 of 繰り返しによる熱流の誘起
3. 学会等名 第64回物性若手夏の学校
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田豊・新徳誠也・湯浅一哉
2. 発表標題 複数の量子チャンネルの順序の量子重ね合わせによる量子状態保持
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuya Yuasa, Teruo Matsubara, Paolo Facchi, and Vittorio Giovannetti
2. 発表標題 Optimal Gaussian Metrology for Generic Multimode Interferometric Circuit
3. 学会等名 12th Italian Quantum Information Science Conference (IQIS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuya Yuasa
2. 発表標題 Quantum Zeno Dynamics and Adiabatic Theorem
3. 学会等名 Quantum Information Processing in Non-Markovian Quantum Complex Systems (QIPQC 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 マクスウェルの悪魔による電流逆流モデル: 厳密解に基づく非マルコフ性の効果
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 棚橋将・越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 量子測定の繰り返しによる熱流の誘起
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 新徳誠也・松原輝王・湯浅一哉
2. 発表標題 バックグラウンドの存在下における量子計測
3. 学会等名 第39回量子情報技術研究会 (QIT39)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越原健太・松原輝王・湯浅一哉
2. 発表標題 マクスウェルの悪魔による電流の制御: 量子マスター方程式による定式化
3. 学会等名 第39回量子情報技術研究会 (QIT39)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuya Yuasa, Jukka Kiukas, and Daniel Burgarth
2. 発表標題 Remote Parameter Estimation Enhanced by Local Control
3. 学会等名 11th Italian Quantum Information Science Conference (IQIS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新徳誠也・松原輝王・湯浅一哉
2. 発表標題 バックグラウンドの存在下における量子計測
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 越原健太・松原輝王・湯浅一哉
2. 発表標題 マクスウェルの悪魔によるカレントの制御: 量子マスター方程式に基づく定式化
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 新徳誠也・松原輝王・湯浅一哉
2. 発表標題 バックグラウンドの存在下における量子計測
3. 学会等名 物性研究所短期研究会「量子情報・物性の新潮流」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越原健太・松原輝王・湯浅一哉
2. 発表標題 マクスウェルの悪魔によるカレントの制御: 量子マスター方程式に基づく定式化
3. 学会等名 物性研究所短期研究会「量子情報・物性の新潮流」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新徳誠也・湯浅一哉
2. 発表標題 バックグラウンドの存在下における量子計測
3. 学会等名 第63回物性若手夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 越原健太・湯浅一哉
2. 発表標題 マクスウェルの悪魔によるカレントの制御: 量子マスター方程式に基づく定式化
3. 学会等名 第63回物性若手夏の学校
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

早稲田大学物理学科湯浅研究室HP https://yuasa.w.waseda.jp/

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			
オーストラリア	Macquarie University			
ドイツ	University of Erlangen-Nuremberg	University of Tuebingen		
イタリア	Scuola Normale Superiore, Pisa	University of Bari		