

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05585

研究課題名（和文）リウビル演算子の非エルミート縮退点と非平衡輸送緩和現象

研究課題名（英文）Non-Hermitian degeneracy in Liouvillian dynamics and nonequilibrium irreversible phenomena

研究代表者

神吉 一樹（Kanki, Kazuki）

大阪府立大学・理学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：10264821

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）：散逸量子系の振る舞いを現象論的方程式ではなく、力学法則に基づいて時間発展を記述する方程式である、密度行列についてのリウビル・フォンノイマン方程式・演算子についてのハイゼンベルクの運動方程式・波動関数についてのシュレーディンガー方程式の中の時間発展生成演算子を複素スペクトル解析の理論を適用して分析した。特に例外点と呼ばれる複素固有値の分岐点が現れる条件や、例外点が系の動的な振る舞いに与える影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、現象論的方程式に依らず、微視的力学原理に基づいて、非平衡現象を理解しようとしたところにある。特に、非エルミート縮退の現象が普遍的に起こることは、微視的模型に基づいて有効時間発展演算子を導き、その複素固有値問題を解くことにより初めて明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：We have studied the behavior of dissipative quantum systems on the basis of equations that describes the time evolution determined by the fundamental laws of physics and not relying on phenomenological equations. We have analyzed the time evolution generators in the Liouville-von Neumann equation for the density matrix, the Heisenberg equation for the operators, and the Schroedinger equation for the wave function, by applying the theory of complex spectrum analysis. In particular, we clarified the conditions under which a branch point of complex eigenvalues called an exception point appears and the effect of the exception point on the dynamic behavior of the system.

研究分野：非平衡統計力学

キーワード：非エルミート縮退 例外点

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

非エルミートな時間発展演算子で記述される系の物理が関心を集めている。非エルミート演算子特有の性質として、固有ベクトルによるスペクトル分解が破綻する場合がある。このとき、固有値ばかりでなく固有ベクトルが一致するので固有ベクトルで空間を張ることはできず、演算子は Jordan ブロックの構造をもつ。パラメータ空間のこの点は、数学的な文脈では例外点と名付けられていたが、最近、物理においてはこの現象は非エルミート縮退とも呼ばれている。これまで非エルミート縮退はほとんどの場合、PT 対称性をもつ有効ハミルトニアンなど現象論的な時間発展演算子を用いて調べられてきた。例えば、PT 対称な状態から PT 対称性が破れた状態へ転移する点は非エルミート縮退の起こる例外点になっている。しかし、PT 対称性やその破れの微視的起源は力学原理に基づいて論じられていなかった。

### 2. 研究の目的

従来現象論的に論じられてきた非平衡現象における時間発展演算子の非エルミート性や PT 対称性とそれらに起因する物理的性質を、物理学の基本法則である密度演算子の Liouville-von Neumann 方程式の複素固有値問題の立場から力学原理に基づいて微視的に論じる。特に、非エルミート演算子特有の性質として、固有値ばかりでなく固有ベクトルが縮退して対角化不可能になる非エルミート縮退を起こすことに注目し、その起源と物理的役割を明らかにする。

### 3. 研究の方法

微視的な模型に基づいて有効リウビリアンまたは有効ハミルトニアンを導き、その固有値問題を解く。このとき有効リウビリアンはその自己エネルギーが固有値に依存するという意味で非線形固有値問題になっている。例外点の出現する条件を調べる。さらに、有効リウビリアンの固有状態から全系のリウビリアンの固有状態を構成し、全系の時間発展や外場に対する応答に非エルミート縮退が及ぼす影響を調べる。

### 4. 研究成果

(1) 先行研究で、1次元量子完全ローレンツ気体の Liouville-von Neumann 演算子(リウビリアン)の複素固有値問題について、弱結合の場合の解が橋本ら [Phys. Rev. E 93, 022132 (2016)] により与えられた。これには、力学法則から粗視化などの現象論的仮定によらずに微視的に不可逆性導いたという意義があり、次の 2 点について現象論的なボルツマン方程式の近似を超える結果である。1) Brillouin-Wigner-Feshbach 射影演算子法によりリウビリアンの複素固有値問題を有効リウビリアン(衝突演算子)の固有値問題に帰着させたとき、有効リウビリアンが固有値に依存するという意味で非線形固有値問題になる。しかし、現象論的ボルツマン方程式では衝突演算子のこの固有値依存性がマルコフ近似によって無視されている。2) 現象論的ボルツマン方程式では粗視化により衝突項の空間分布の不均一性を表す波数に対する依存性が無視されている。先行研究においては、この非線形効果を取り入れるために、現象論的ボルツマン方程式の衝突演算子の固有値に対する補正を摂動論的に評価する方法がとられていた。ところがボルツマンの衝突演算子は波数が平均自由行程の逆数程度のところで例外点をもち、そこで固有関数の規格化定数が発散するために、先行研究で用いられた方程式自体も破綻してしまう。今回我々は摂動論を使わずに、発散を含まない修正した非線形固有値方程式を導出した。そして、この固有値方程式の非線形性を完全に取り入れた解を得た。その結果、やはり例外点が存在してそこで固有値が準虚数から実部をもつ複素数に変化するという定性的な性質は変わらないが、波数が小さい場合でもボルツマンの衝突演算子の固有値からの有意なずれがあるという点で先行研究の結果に修正が加わるということが分かった。さらに、先行研究で用いられている近似の適用範囲や、適用範囲をこえて理論を拡張する可能性についても論じた。

(2) 動のカシミール効果 (DCE) は、真空電磁場の境界を時間的空間的に変動させることにより、真空揺らぎ中の仮想光子がパラメトリック増幅し、外部輻射場へ実光子として自発放射する過程である。実験的な困難さのため長い間、実験的観測例が報告されてこなかったが、Wilson らが SQUID を持つ光導波管内での DCE 発生に初めて成功して以来、近年研究が進んでいる。一方理論的には、放射過程まで含めた微視的理解は未だ確立していない。定常的 DCE 放射の微視的機構を表すハミルトニアン的一般形は、1) 仮想遷移相互作用、2) 時間に依存する外場との相互作用、3) 散逸機構、の 3 要素をもつが、この 3 条件がヒルベルト関数空間内でのハミルトニアン対角化による定常的固有状態を得ることを困難にしているためである。本研究では定常的 DCE 自発放射のための新しい理論定式化を提案した。具体的に 1次元フォトニック結晶と結合し、境界が時間周期的に振動するオプトメカニカル共振器系からの定常的 DCE 放射過程を考えた。モデル・ハミルトニアンは時間周期的外場によって変調された仮想遷移相互作用および散逸機構を含む。ハイゼンベルグ方程式の時間発展生成子であるリウビリアンは、正準変数 (生成・消滅演算子) に関する基底系で行列表示すると、正準運動方程式のシンプレクティック性に

由来する擬エルミート性をもつ。フォトニックバンドも含めた全系の固有モードを求めるため、フロケの定理を用いて、フロケ空間における全系のリウビリアンに対する複素固有値問題へ問題を変換した。ここで、フォトニックバンドとの結合による散逸効果は、エネルギーに依存した自己エネルギーとして有効リウビリアンの中に厳密に繰り込まれる。われわれはリウビリアンの複素固有値問題を解き、それぞれがパラメトリック増幅と散逸に由来する2つの非エルミート性が共存する結果として、2段階の例外点での複素固有値の分岐が起こることを見出した。そして、複素固有値の虚部をゼロとする固有モードとして定常的 DCE 固有モードを得た。この定式化によってフォトニックバンドのバンド構造を反映した散逸機構を厳密に取り扱うことができるようになった結果、フォトニックバンドと共振器モードとの間に間接的に仮想遷移相互作用が働き非局所的定常モードが出現することを明らかにした。これによって、DCE 発生のための外場振動数を大きく減少させることができることを見出した。

(3) 非エルミートハミルトニアン<sup>1</sup>の複素エネルギースペクトルに現れる特異点（例外点（EP）と呼ばれる）に起因した特徴的な物理現象が明らかにされている。近年では着目する量子系の自由度の多様性を反映した EP リングや EP 曲面など多様な例外点の構造が実験的にも観測されている。EP 多様体の構造、及びそれに伴う特異な物理現象の解明のためには、量子状態ごとに異なる環境系との相互作用の効果を微視的原理に基づいて明らかにすることが必要である。しかしながら、これまでの多くの理論解析では、散逸過程に対しては近似的に減衰定数を導入するなどの現象論的な取り扱いに留まっている。本研究では、ポリアセチレン分子鎖の一端に結合した重アルカリ不純物原子からの電荷移動散逸過程に対し、自己エネルギーのエネルギー依存性を考慮した非エルミート有効ハミルトニアンを用いて、不純物サイトでの局所磁場によるゼーマン準位の複素エネルギー構造を調べた。また重アルカリ原子からポリアセチレン伝導帯への電荷移動に伴うスピン軌道相互作用を考慮する。この系では、外部磁場に加えて、電荷移動に伴う軌道角運動量が不純物サイトにおける有効内部磁場としてはたらく。我々は、外部磁場が有効内部磁場と直交する場合には、全系のハミルトニアンがカイラル対称性をもち、不純物サイト位置でのゼーマン分裂に EP リング構造が現れることを見出した。ポリアセチレンにおけるゼーマン分裂した複素エネルギーの特異構造は、ドナー電子のスピン緩和過程に反映する。スピン緩和過程観測のために、本研究では不純物位置での単一スピンコヒーレント磁気共鳴分光を考える。ここでは、スピン偏極した電子をパルス電場によって不純物位置に分布励起し、時間遅れをかけたプローブ磁場パルスによって誘起されたスピン分極を検出する。プローブ磁場の時間と検出の時間に関する2次元フーリエ変換(2DFT) スペクトルには、複素エネルギーの特異構造の様相が顕著に現れることを見出した。特に、EP リングが出現する状況では、強い非線形性によって2DFT ESR の信号が巨大応答を示すことを明らかにした。この方法は、単一電子単一スピンの ESR 検出のための有力な手段となることを明らかにした。特に、ハミルトニアン<sup>2</sup>の2つの共鳴状態が一致する例外点は、Liouville-von Neumann 演算子(リウビリアン)の4次の例外点になっており、ESR の応答はこの4次の例外点の構造を反映することを指摘した。

(4) 一般に連続スペクトルをもつ量子系のグリーン関数は、複素エネルギー平面の実軸上の切断を越えて解析接続して得られる第2リーマン面に極をもつ。そして、極のエネルギーを固有値とするハミルトニアン<sup>3</sup>の複素固有状態を考えることができる。開放量子系においては無限自由度をもつ環境系は連続スペクトルをもつことから、摂動展開におけるエネルギー分母がゼロになる共鳴特異性を起源として、ハミルトニアン<sup>4</sup>の複素固有値が現れる。このとき、Brillouin-Wigner-Feshbach の射影演算法を用いると、環境まで含めた全系のハミルトニアン<sup>5</sup>の固有値問題は、注目系に射影した非エルミートな有効ハミルトニアン<sup>6</sup>の固有値問題に帰着される。一方、ハミルトニアン<sup>7</sup>が正準変数の2次形式で与えられる系は、力学変数の時間発展がシンプレクティック性をもつことに由来する非エルミート性を内包していると見なすことができる。一般に、ボース粒子系のハミルトニアン<sup>8</sup>が粒子数を保存しない項を含む場合には、それが系に内在する非エルミート性の起源になる。このとき、生成・消滅演算子のハイゼンベルク方程式の時間発展生成演算子であるリウビリアン(ハミルトニアンとの交換関係)が非エルミートになる。すなわち、生成・消滅演算子を基底とするベクトル空間におけるリウビリアンの表現行列は、ハミルトン力学のシンプレクティック性に対応して、擬エルミートである。そして、この空間におけるシンプレクティック内積が保存されることは、ハイゼンベルク演算子の同時刻交換関係が不変量であることに対応する。

典型例として、パラメトリック不安定系のハミルトニアン<sup>9</sup>の複素固有値問題の解を求めた。パラメトリック不安定系は逆調和振動子ポテンシャル<sup>10</sup>の下の粒子と等価であり、実連続スペクトルをもつ。非エルミートなリウビリアン<sup>11</sup>行列の複素固有状態に対応して、虚数の振動数をもつ複素固有モードの「生成・消滅演算子」が求まる。この複素固有モードの消滅演算子により消される状態としてモードの「真空」を定義し、生成演算子を順次作用させることにより、ハミルトニアン<sup>12</sup>の複素固有状態の完全系を構成することができる。これらの複素固有状態は、調和振動子の個数状態を非ユニタリ変換した状態で、ノルムは無限大でヒルベルト空間の外にある。完全系をなす離散固有状態は全て複素固有値をもつにもかかわらず、物理的な状態の時間発展はユニタリ

である。この系が複素固有値をもつことの物理的な意味は、状態がスクイーズされることであり、虚数の固有振動数は波動関数のスケール変換の拡大・縮小率を与える。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tanaka Satoshi, Kanki Kazuki	4. 巻 2
2. 論文標題 The Dynamical Casimir Effect in a Dissipative Optomechanical Cavity Interacting with Photonic Crystal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics	6. 最初と最後の頁 34 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/physics2010005	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 Yamane Hidemasa, Tanaka Satoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Ultrafast Dynamics of High-Harmonic Generation in Terms of Complex Floquet Spectral Analysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 313 ~ 313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym10080313	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 Tanaka Satoshi, Fukuta Taku, Petrosky Tomio	4. 巻 219
2. 論文標題 Study of Fano Resonance in the Core-Level Absorption Spectrum in Terms of Complex Spectral Analysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Springer Series in Optical Sciences book series	6. 最初と最後の頁 261 ~ 281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-99731-5_11	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 Kanki Kazuki, Garmon Savannah, Tanaka Satoshi, Petrosky Tomio	4. 巻 58
2. 論文標題 Exact description of coalescing eigenstates in open quantum systems in terms of microscopic Hamiltonian dynamics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Physics	6. 最初と最後の頁 092101 ~ 092101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5002689	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 T. Fukuta, S. Garmon, K. Kanki, K. Noba, and S. Tanaka	4. 巻 96
2. 論文標題 Fano absorption spectrum with the complex spectral analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 052511 ~ 052511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.96.052511	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 Petrosky T., Hashimoto K., Kanki K., Tanaka S.	4. 巻 27
2. 論文標題 Microscopic description of irreversibility in quantum Lorentz gas by complex spectral analysis of the Liouvillian outside the Hilbert space	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chaos	6. 最初と最後の頁 104616 ~ 104616
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5002106	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

〔学会発表〕 計32件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 神吉一樹, Tomio Petrosky
2. 発表標題 1次元量子ローレンツ気体のリウビリヤンの複素固有値問題再考
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 中出捷, 神吉一樹, 田中智, トミオ・ペトロスキー
2. 発表標題 Davydov量子分子鎖モデルに現れる異常拡散
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 田中智, 神吉一樹
2. 発表標題 フロケーリウビリアン複素スペクトル解析による量子真空パラメトリック増幅の微視的理論
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 Kazuki Kanki
2. 発表標題 Microscopic description of irreversibility in 1D quantum Lorentz gas by complex spectral analysis of the Liouville-von Neumann operator
3. 学会等名 Workshop on Non-Hermitian Quantum Mechanics in IIS-Chiba (NH2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Kanki
2. 発表標題 Non-Hermitian Liouvillian dynamics in an unstable bosonic system with quadratic Hermitian Hamiltonian
3. 学会等名 Workshop on Non-Hermitian Quantum Mechanics in IIS-Chiba (NH2019TD) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tanaka
2. 発表標題 Quantum vacuum amplification of a dissipative optomechanical cavity in terms of the complex spectral analysis of Floquet-Liouvillian
3. 学会等名 Workshop on Non-Hermitian Quantum Mechanics in IIS-Chiba (NH2019TD)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中智, 神吉一樹
2. 発表標題 フォトリック結晶と結合するオプトメカニカル共振器の動的カシミール効果
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中出捷, 神吉一樹, 田中智, トミオ・ペトロスキー
2. 発表標題 リウビル演算子の固有値・固有状態に基づく一次元ポーラロン伝播の輸送係数の解析
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神吉一樹, 田中智
2. 発表標題 パラメトリック不安定系の複素固有モードと複素固有状態
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会 (2020年)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuki Kanki, Savannah Garmon, Satoshi Tanaka, Tomio Petrosky
2. 発表標題 Photoabsorption spectral linewidth narrowing near an exceptional point with coalescing resonance states
3. 学会等名 The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Yamane Hidemasa, Noba Ken-ich, Tomio Petrosky, Tanaka Satoshi
2. 発表標題 Time-frequency resolved high-harmonic generation in terms of complex spectral analysis of Floquet Hamiltonian
3. 学会等名 The 12th International Conference on Excitonic and Photonic Processes in Condensed Matter and Nano Materials (EXCON 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamane Hidemasa, Tanaka Satoshi
2. 発表標題 Dissipative Quantum dynamics of High-Harmonic Generation
3. 学会等名 The 1st UJN-IMS-SKKU Symposium on Chemistry and Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tanaka Satoshi, Yamane Hidemasa, Tomio Petrosky
2. 発表標題 Ultrafast Dynamics of High-Harmonic Generation with Floquet Complex Spectral Analysis
3. 学会等名 The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tanaka Satoshi, Yamane Hidemasa, Tomio Petrosky
2. 発表標題 Ultrafast Dynamics of High-Harmonic Generation with Floquet Complex Spectral Analysis
3. 学会等名 International Conference 2018 Non-equilibrium Dynamics of Condensed Matter in the Time Domain (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山根秀勝, 野場賢一, Tomio Petrosky, 田中智
2. 発表標題 駆動2準位系の高次サイドバンド発生におけるファノプロファイル形成ダイナミクス
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 中出捷, 神吉一樹, Tomio Petrosky, 田中智
2. 発表標題 タンパク質分子鎖中のポーラロン伝播の熱浴による安定化と拡散
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 田中智, 神吉一樹, 山根秀勝
2. 発表標題 外場駆動された双極子振動子からの動的カシミール光子放出
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 神吉一樹, 田中智
2. 発表標題 双極子振動子の量子外場での仮想励起による動的カシミール効果
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 ダンナム優仁, Savannah Garmon, トミオペトロスキー, 田中智
2. 発表標題 2つの散逸離散状態の準位交差における断熱的共鳴状態の幾何学的位相
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中智, 神吉一樹, 山根秀勝
2. 発表標題 外場駆動された双極子振動子からの動的カシミール光子放出
3. 学会等名 第29回光物性研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山根秀勝、田中智
2. 発表標題 高次高調波発生における入射光と放射光の相関
3. 学会等名 第29回光物性研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中智, 神吉一樹, トミオ・ペトロスキー
2. 発表標題 量子化ならぬ古典化による古典輻射減衰の理論
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 萱沼洋輔, 山根秀勝, 田中智
2. 発表標題 動的局在と量子ゼノン効果: 二つの「局在」
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山根秀勝, 野場賢一, Tomio Petrosky 田中智
2. 発表標題 高次高調波発生による超短パルス光の形成ダイナミクスとパルス形状制御: 拡張フロケヒルベルト空間での複素スペクトル解析
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相川和磨, 野場賢一, 田中智
2. 発表標題 外場駆動2不純物開放量子系における干渉効果と電子の局在性
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森田大地, 田中智, Savannah Garmon, Tomio Petrosky
2. 発表標題 1次元半導体中に置かれた2つの不純物のファノ吸収スペクトルにおける共鳴状態間の干渉効果
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小高大輔, Tomio Petrosky, 田中智
2. 発表標題 光の自然放出を記述するハミルトニアン の非線形複素固有値問題に現れたマンデルブロ集合
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神吉一樹, 田中智, Tomio Petrosky
2. 発表標題 拡張Jordan基底による例外点近傍での特異な光吸収スペクトルの理論
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山根秀勝, 野場賢一, Tomio Petrosky, 田中智
2. 発表標題 高次高調波発生過程におけるフロケ共鳴状態間の干渉効果
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大島悟郎, 大西洋平, 田中智, 溝口幸司
2. 発表標題 多重量子井戸における励起子量子ビートとコヒーレントフォノンの結合ダイナミクス: 非エルミート・ハミルトニアンを用いた解析
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西田拓哉, 大島悟郎, 田中智, 溝口幸司
2. 発表標題 CuCl <sub>2</sub> -微小共振器における角度分解透過スペクトルのQ値依存性: 非エルミート・ハミルトニアンを用いた解析
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中智
2. 発表標題 高次高調波発生における時空コヒーレンス転換ダイナミクス
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担者	田中 智  (Tanaka Satoshi)  (80236588)	大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・教授   (24403)	

	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
研究 協力者	ペトロスキー トミオ  (Petrosky Tomio)	テキサス大学オースティン校・複雑量子系研究センター・上級研究員	

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		
米国	テキサス大学オースティン校	複雑量子系研究センター	