

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：24405

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03496

研究課題名（和文）複素固有値問題による高次高調波発生と時空コヒーレンス転換ダイナミクス

研究課題名（英文）Transformation dynamics of spatio-temporal coherence of high-harmonic generation in terms of complex spectral analysis

研究代表者

田中 智（Tanaka, Satoshi）

大阪公立大学・大学院理学研究科 ・教授

研究者番号：80236588

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：高強度入射レーザー場と電子との非線形相互作用による高次高調波発生に対して、電子励起から高調波発生までを一連の量子散逸過程として捉え、電子の散逸過程と放射光の複合的な運動をコンシステントに扱う高次高調波発生の理論構築を行った。饜装ヒルベルト空間における複素固有値問題にフロケータの方法を適用し、フロケータリウビリアンの複素スペクトルと放射光子スペクトルの対応を明瞭にした。フロケータリウビル複素固有スペクトルには、パラメトリック共鳴による指数増大と外部光子放射の散逸過程によるバランスによる分岐点が見られることを見出し、それぞれのパラメータ領域に対応して放射過程が質的に変わることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、散逸過程を量子力学の枠組みの中で定式化しようとする非エルミート量子力学の研究が盛んに進められている。本研究は、この散逸量子力学の理論構築を、現象論的なハミルトニアンを用いることなく、散逸過程の起源を、系の波動関数が無限次元空間であることと離散スペクトルと連続スペクトルとの共鳴特異性にあることを明瞭に示した点で独創的である。このように力学原理に立脚しながら、強い電磁場の元での量子真空の不安定性を解明している点は学術的に見て重要な意義があると考えられる。また、本研究で明らかにした光子放出におけるエンタングルメントは、将来的に量子情報技術に応用される可能性がある。

研究成果の概要（英文）：We developed a theory for high-order harmonic generation (HHG) by treating the process from electron excitation to harmonic generation as a sequential coherent quantum dissipative processes in terms of complex spectral analysis in the rigged Hilbert space. By applying Floquet methods, we have obtained the eigenspectrum of the Liouvillian which shows the clear branch point corresponding to the dynamical phase transition. Those critical point is known as the exceptional point in the non-hermitian operators. We have clarified the correspondence between the complex spectrum of the Floquet Liouvillian and the photon emission spectrum. Especially the photon emission spectrum and its quantum correlation are drastically changed at the critical point. We found that the nonequilibrium steady state appears as a result of energy balance between the energy input from the external field and the dissipation to the environment.

研究分野：量子光学、非平衡統計力学、量子電磁力学

キーワード：量子光学 動的カシミール効果 複素スペクトル 非エルミート リウビリアン

1. 研究開始当初の背景

超高強度レーザー光源の開発が進み、電子と光との強い非線形相互作用を用いて、電子系のコヒーレントな運動を励起し高次高調波の発生が実現しつつあった。これらの高調波を用いた電子運動や核反応の量子コヒーレント制御や、放出光子のエンタングルメントを用いた量子情報操作など新たな応用が大いに期待されていた。これらの精緻な量子コヒーレント操作を可能にするためには、高調波発生機構の詳細な理解が必要不可欠であった。

ところがそれまで、高次高調波発生については、入射光による電子励起、電子の加速、高調波発生と各過程を段階ごとに切り分けた解析がなされ、光励起から発光に至るまで一つながりの量子過程としての解析がなされていなかった。しかしながら、このように高調波放射過程を各過程に分離した解析を行うと、電子運動と高調波放射の間の量子相関が断ち切れ量子的な発光過程の側面が失われる可能性がある。

光放射の過程まで含めて統一的に量子力学の枠組みの中で解析を行う場合の最大の問題は、光放射過程が不可逆散逸過程となっている点である。すべての力学原理は、量子古典系を問わず、時間反転対称性を持ち、不可逆性が現れる余地がないように見える。実際、多くの散逸過程の記述の多くは、環境系との相互作用に対して記憶効果を無視するなどのマルコフ近似を採用し、その結果として散逸過程を説明してきた。しかし、このような取り扱いが、男児場と物質系が強く相互作用する系でどの程度有効かは不明である。

この問題に関連し、近年、従来の量子力学の枠組みを拡張し、不可逆過程を力学過程として統一する新しい理論体系の構築が進んでいた。本研究の海外協力者のトミオ・ペトロスキー博士(テキサス大学)は、イリヤ・プリゴジン博士と共同し、自己ノルムを持たない拡張ヒルベルト空間に関数空間(超関数)を拡張することにより、ハミルトニアン固有値が複素数を持つようになり、その虚部が指数減衰率に対応し不可逆過程が力学原理に矛盾しないことを示してきた(拡張ヒルベルト空間における複素固有値問題)。研究代表者(田中)は、この理論を用いて低次元量子開放系の散逸現象の解析を光応答スペクトルの計算を行ってきた。これらの研究資産を基盤として入射レーザーによる電子励起から高調波発生までを統一的に解析できることに着眼した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、力学原理に基づき入射レーザー場による電子の励起から高調波発生まで一連の量子散逸過程として捉え、電子の散逸過程と放射光の複合的な運動をコンシステントに扱う高次高調波発生の理論を確立し、高次高調波発生におけるコヒーレンス転換ダイナミクスを明らかにする、こととした。

3. 研究の方法

[1年目の計画と方法]

レーザー駆動電子系と輻射場とが結合する系を考え、フロケー空間において全系のハミルトニアンに対する複素固有値問題を解き、高調波発生の機構を明らかにする。本研究では、全系のハミルトニアンとして、

$$\hat{H}(t) = (\omega_0 + A \sin(\Omega_a t)) \hat{a}^\dagger \hat{a} + B \sin(\Omega_b t) (\hat{a} + \hat{a}^\dagger) + \int dk \omega_k \hat{b}_k^\dagger \hat{b}_k + g_k (\hat{a}^\dagger + \hat{a}) (\hat{b}_k + \hat{b}_k^\dagger)$$

を考える。(ここで、 \hat{a}, \hat{a}^\dagger は電子、 $\hat{b}_k, \hat{b}_k^\dagger$ は輻射場の演算子である。)レーザー電場によって、電子振動数が変調する場合 (A は振動数変調振幅) と平衡点が振動する場合 (B は平衡点の振動振幅) の2つの典型的な物理状況に対応した高調波発生過程を解析する。それぞれが、分子内振動の振動数変調、イオン化された電子に対する振動電場の印可、という実際の物理的状況に対応する変調である。フロケーの方法を適用した拡張ヒルベルト空間において、このハミルトニアンに対する複素固有値問題を解析的に解く。

[2年目の計画と方法]

これらの解を用いて、高調波発生に対する輻射反作用の効果が特徴的に現れる物理量は何か、どのような実験手段で観測することができるかを明らかにする。具体的に解析する物理量、現象は以下の通りである。

i) 入射レーザー場から高調波放射光の時空コヒーレンス転換のダイナミクスを詳細に調べるために、入射レーザーのパラメーター(振動数、振幅)の違い、電子と外部輻射場との相互作用の形式の違い、に応じて高調波放射の空間的な強度分布がどのように変化するかを調べる。

ii) 電子の散逸運動と高調波放射光との量子相関を解析し、高調波発生における輻射反作用の効果を明らかにする。輻射反作用の効果を反映した相関効果を観測するための分光手段として、電子準位間吸収と高調波放射の時間空間分解スペクトルの同時スペクトル法を理論計算し、新たな分光法として提示する。

iii) 電子と外部輻射場の virtual transition 相互作用を通して、多数の高調波光子が放射されるが、これらの光子の間には強い相関(量子エンタングルメント)が存在していると期待される。これらの、エンタングルメントの程度を解析し、量子コヒーレント操作への応用可能性を探る。

iv) 強い入射レーザーによって、高調波に空間的なコヒーレンスが生じるメカニズムは、近年、注目を集めている高調波における光渦(角度方向の空間構造、または軌道角運動量)の前駆とみられる。本研究での入射レーザーの時間的コヒーレンスから高調波への空間的コヒーレンスの転換の視点から、光渦発生の機構について考察する。

4. 研究成果

[1年目の研究成果]

1年目の研究の主たる目的は、レーザーによって駆動される電子輻射場強結合系の基礎理論を構築することであった。そのためには、状態の発展を記述するフロケーハミルトニアンダイナミクスの解析からさらに発展させ、回転波近似を超え、仮想遷移の効果を考慮した、フロケーリウビリアンの複素固有値問題を解き、時間に依存する系での固有モードを求めなければならない。研究計画では、調和振動子の平衡点が移動する時間駆動系と振動数がパラメトリック

変調する系の2つの場合に対して複素固有モードを求めることを目的とした。第1の系に対しては、固有モードを求めることに成功し、目的を達成したが、第2の系に対しては、注目振動子系に対する固有モードを求める手法を開発したが、散逸輻射場系との相互作用の効果を取り入れることができなかった。成果発表に関しては論文2報の発表を行い、11件の学会発表を行った。

[2年目の研究成果]

2019年度においては、回転波近似を超え仮想遷移相互作用を考慮した場合、コヒーレント外場駆動による量子ダイナミクスがどのような影響を受けるかについて理論研究を行った。対象系として、有限バンド幅を持つフォトリックバンドが時間的に境界が周期変動する空洞キャビティと結合し、空洞内での量子真空揺らぎがパラメトリック増幅し、外部輻射場へ自発放射する過程に関して理論解析を行った。この系は、真空揺らぎの中から実光子対が創出される動的カシミール効果として注目されてきた系でもある。2018年度の研究成果として求められた波動関数を用いたフロケの方法による複素スペクトルを、力学変数としての場の演算子に対する複素フロケスペクトル解析へと発展させた。微視的散逸過程について、空洞共振器モードとフォトリックバンドとの相互作用の効果を、有効リウビアン中のエネルギーに依存する自己エネルギーの効果として取り込んだ。これによって、外場駆動によって定常的に放射される光子エネルギーが、非平衡定常固有モードとして与えられることを見出した。これらの研究成果は、EMN 1029、JSST2019、HQS 2019の国際会議の招待公演として発表し、また日本物理学会2019年秋季大会で発表を行った。また、学術雑誌Physicsに1本の論文発表を行い、11件の学会発表を行った。

[3年目の研究成果]

2020年度には、フロケリウビアン複素固有スペクトルを得ることに成功し、パラメトリック分岐と時間対称性の破れが生じる分岐構造を見出した。特に、系が有するシンプレクティック対称性が存在することが、この2つの質的に異なる分岐が現れるための要因であることを見出した点は大きな進展であった。また、研究対象としている系に対する参照系としてポリアセチレン中ドナー不純物のスピンの依存した電荷移動散逸過程の研究を行った。不純物サイトにおける非線形ESRスペクトルの計算を行い、巨大応答現象を見出したことは大きな成果であった。この成果は、Physical Review A誌に掲載された。コロナ禍状況下で、思うように研究が進展しなかったが、3本の論文発表、9件の学会発表を行った。

[4年目の研究成果]

2021年度は、場の量子論に基づく問題の基礎づけ、複素固有値問題における艱装ヒルベルト空間の概念の確立、など、理論の基盤を確立した。さらに、時間変動外場による量子状態のパラメトリック過程による増幅と外界への散逸過程による減衰がバランスし、非平衡定常モードが出現する場合、全ハミルトニアンを対角化する変換を、艱装シンプレクティックリウビル空間での複素固有値問題を解くことで可能にする理論定式化に成功した。この理論基盤の確立ができたことは有意義であった。依然としてコロナ状況下で、当初の計画年度が1年延長された中での研究であった。その中で、発表論文2件、学会発表6件の研究成果を公表した。

[5 年目の研究成果]

2022 年度は、リウビリアンの複素スペクトル構造における分岐点で分かれた各領域ごとに質的に異なる光子放射が生じることを明らかにした。このことは、理論的に見出された転移の様相がどのように観測量に現れるかを具体的に示した点で重要な進展となった。コロナ状況が少しずつ改善されてきたが、予算もほぼ消費し、本研究のまとめを開始した。発表論文 1 件、学会発表 3 件の研究成果発表を行った。

[6 年目の研究成果]

2023 年度は研究最終年度として、これまでの研究成果のまとめを行なった。また、本研究を土台とした次のテーマへの開拓として、2022 年度に引き続き、高強度外場による電子系と電磁場の強い相互作用の結果重要となる仮想遷移相互作用の効果を取り入れた外場駆動下での光自発放射過程について研究を行った。モデルとして、動的カシミール効果や超放射相転移系の有効モデルとしても用いられている、散逸のあるパラメトリック振動子を考えた。複素スペクトルの特徴的な領域に対するエンタングルした光子対放射スペクトルの解析を共同研究者の神吉一樹氏とともにを行い、レーザー学会のレーザー研究 2023 年 5 月号で研究成果の発表を行った。さらに、強いコヒーレント外場によって励起された物質の光放射過程における、蛍光成分と散乱光成分の分離を行うために、着目振動子系がコヒーレント外場によって平衡位置を周期的に振動される励起過程における発光過程の解析も行い、共鳴状態と連続的固有状態の成分分離を行うことで、自発蛍光と散乱光成分とに分解できることを示した。これらの結果は、2 件の論文発表と、8 件の学会発表で成果を公表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Ikeda Tatsuhiko N., Tanaka Satoshi, Kayanuma Yosuke	4. 巻 4
2. 論文標題 Floquet-Landau-Zener interferometry: Usefulness of the Floquet theory in pulse-laser-driven systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 33075
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevResearch.4.033075	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 Sakata Itsushi, Sakata Takuya, Mizoguchi Kohji, Tanaka Satoshi, Oohata Goro, Akai Ichiro, Igarashi Yasuhiko, Nagano Yoshihiro, Okada Masato	4. 巻 11
2. 論文標題 Complex energies of the coherent longitudinal optical phonon plasmon coupled mode according to dynamic mode decomposition analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 23169
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-02413-w	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 Dunham Yujin, Kanki Kazuki, Garmon Savannah, Tanaka Satoshi, Ordonez Gonzalo	4. 巻 103
2. 論文標題 Coherent single-spin electron resonance spectroscopy manifested at an exceptional-point singularity in doped polyacetylene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 43513
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevA.103.043513	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, Kanki Kazuki	4. 巻 2020
2. 論文標題 Dissipative dynamical Casimir effect in terms of complex spectral analysis in the symplectic Floquet space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 12A107-1-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptaa129	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 Nakade Sho, Kanki Kazuki, Tanaka Satoshi, Petrosky Tomio	4. 巻 13
2. 論文標題 Anomalous Diffusion with an Apparently Negative Diffusion Coefficient in a One-Dimensional Quantum Molecular Chain Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 506 ~ 506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym13030506	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 Nakade Sho, Kanki Kazuki, Tanaka Satoshi, Petrosky Tomio	4. 巻 102
2. 論文標題 Anomalous diffusion of a quantum Brownian particle in a one-dimensional molecular chain	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 032137-1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.102.032137	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 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 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

〔学会発表〕 計40件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 宮永麟太郎, 大畠悟郎, 溝口幸司, 田中智
2. 発表標題 半導体微小共振器における例外点の創出と光学特性
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 神吉一樹, 武友輝, 田中智
2. 発表標題 動的カシミール効果における複素スペクトル構造と2光子放射過程
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023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 複素固有モード解析による共振器・フォトリックバンド結合系の動的カシミール効果における非平衡定常状態
3. 学会等名 日本物理学会 2022年秋季大会 2022年9月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山大樹, 西田拓哉, 大島悟郎, 田中智, 溝口幸司
2. 発表標題 CuCl半導体微小共振器における角度分解透過スペクトルの複素スペクトル解析
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 田中智, 神吉一樹, 後藤勇樹, 久保伸, トミオ・ペトロスキー
2. 発表標題 円筒導波路中の分子双極子の光渦自発発光の理論
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 萱沼洋輔, 池田達彦, 田中智
2. 発表標題 固体における高次高調波発生と動的局在
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 池田達彦, 田中智, 萱沼洋輔
2. 発表標題 強いパルス外場に駆動された2準位系のFloquet-Landau-Zener干渉
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 神吉一樹, 田中智
2. 発表標題 周期駆動された量子調和振動子系における動的不変量の固有状態としての複素フロケ状態
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 Satoshi Tanaka
2. 発表標題 Dynamical Casimir effect in terms of the complex normal mode of the symplectic Floquet Liouvillian
3. 学会等名 REIMEI Workshop on Open Quantum Mechanics in Nuclear, Hadron and Condensed-Matter Systems: (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 嶋川誠史, 田中智
2. 発表標題 複素スペクトル解析による1次元フォトリック結晶と結合する微小共振器励起子パラリトンの自発放射
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 田中智, 神吉一樹
2. 発表標題 シンプレクティック・フロケー・リウビリアンの複素スペクトル解析による散逸的動的カシミール効果の理論
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 ダンハム優仁, Gonzalo Ordonez, Savannah Garmon, 田中智
2. 発表標題 スピン軌道相互作用を有する1次元分子鎖の局所磁場による例外点多様体の変化
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 中出捷, 神吉一樹, 田中智, トミオ・ペトロスキー
2. 発表標題 一次元ボラーロン伝播における異常拡散と見かけ上の負の拡散係数
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 神吉一樹, 田中智
2. 発表標題 ハミルトン力学のシンプレクティック性に由来する量子系の非エルミート性
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 田中智, ダンハム優仁, 神吉一樹, Savannah Garmon, Gonzalo Ordonez
2. 発表標題 ポリアセチレンの電荷移動散逸過程における単一電子スピン磁気共鳴異常
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 萱沼洋輔, 池田達彦, 田中智
2. 発表標題 Volterra型積分方程式法による固体中の高次高調波発生の定式化と解析
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 ダンハム優仁, Gonzalo Ordonez, Savannah Garmon, 神吉一樹, 田中智
2. 発表標題 スピン軌道相互作用を有する1次元分子鎖の局所磁場による例外点多様体の変化
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会(2021年)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中智
2. 発表標題 Time-frequency resolved ultrafast emission spectrum of Van Hove OAM polariton in a cylindrical cavity resonator
3. 学会等名 研究会「光の軌道角運動量の発生機構と物質相互作用の理解」自然科学研究機構分野融合型共同研究事業、日本シミュレーション学会 JST Workshop (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Tanaka, Kazuki Kanki
2. 発表標題 Parametric amplification of quantum vacuum fluctuation with dissipation in terms of complex spectral analysis of Floquet-Liouvilian
3. 学会等名 The 5th EMN Meeting on Quantum (EMN Quantum 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tanaka, Kazuki Kanki
2. 発表標題 Parametric amplification of quantum vacuum fluctuation with dissipation in terms of complex spectral analysis of Floquet-Liouvillian
3. 学会等名 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology(JSST2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tanaka, Kazuki Kanki
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 International Symposium on Hybrid Quantum Systems 2019 (HQS2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Tanaka, Kazuki Kanki
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 Series on Non-Hermitian Quantum Mechanics in IIS-Chiba (招待講演) (国際学会)
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 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 ダンハム優仁, Gonzalo Ordonez, Savannah Garmon, 田中智
2. 発表標題 微視的エルミートハミルトニアン of 自己エネルギーのエネルギー依存性によるEP 曲面の出現機構
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 フォトニ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
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
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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ダンハム優仁, Gonzalo Ordonez, Savannah Garmon, 田中智
2. 発表標題 局所磁場によって散乱される1次元電子系におけるExceptional surfaceの出現機構: バンド端効果とベリー位相
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 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

〔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

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