

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03861

研究課題名(和文) 低エネルギー微視的核反応理論で探る核融合反応及び核分裂のダイナミクス

研究課題名(英文) Microscopic nuclear reaction theory for low-energy fusion and fission

研究代表者

萩野 浩一 (Hagino, Kouichi)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：20335293

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：複数のスレーター行列式を重ね合わせて系の時間発展を考えることで、これまで困難であった多粒子系の量子トンネル現象を多体ハミルトニアンに基づき微視的に記述することに成功した。すなわち、重ね合わせを行わないとトンネル確率がゼロである状況でも、重ね合わせを行うことにより有限のトンネル確率を得ることを見出した。また、同じ手法を原子核の基底状態に適用し、これまで考えられていたような局所基底状態の重ね合わせのみでは系の基底状態の記述が十分ではないことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで量子トンネル現象が本質的な役割を果たす低エネルギー領域における核融合反応を微視的に記述する核反応理論はほとんど皆無であったが、本研究により多粒子系の量子トンネル現象を微視的に記述する筋道を見いだせた意義は大きい。また、原子核の基底状態に対する知見は、局所基底状態の重ね合わせで系の基底状態を記述できるというこれまで信じられてきた仮定を大きく覆すものであり、原子核の集団運動の理論の発展に大きな影響を及ぼすものである。

研究成果の概要(英文)：By considering a time evolution of a system based on the time-dependent generator coordinate method (TDGCM) with multi Slater determinants, we could for the first time describe microscopically quantum tunneling of a many-particle system. Namely, even in a situation where the tunneling probability is zero with a single Slater determinant, we obtained a finite tunneling probability by linearly superposing many Slater determinants. We also applied the same method to the ground state of atomic nuclei. By optimizing both the basis Slater determinants and the coefficients for a linear superposition, we showed that a better description for the ground state can be achieved by including not only the local ground states but also excited state configurations. This is in contrast to the usual assumption of GCM, in which only local ground states are superposed, and has a large impact on theory of large amplitude collective motions of atomic nuclei.

研究分野：原子核理論

キーワード：生成座標法 トンネル効果 核融合 核分裂 時間依存アプローチ 基底状態相関 機械学習

1. 研究開始当初の背景

原子核反応理論における大きな目標の1つは、複雑で多様な原子核反応のダイナミクスを核子の自由度から出発して微視的に理解することである。既存の微視的反応理論はいくつかあるが、いずれも比較的能量が高い領域の原子核反応への適用に限られていた。とりわけ、量子トンネル現象が本質的な役割を果たすクーロン障壁近傍のエネルギー領域における核融合反応に対する微視的核反応理論は、ほとんど皆無であった。このエネルギー領域における核融合反応は、天体核反応や超重元素生成反応で重要な役割を果たすものであり、そこで有効になる微視的反応理論の構築が待ち望まれていた。特に、後者の超重元素生成反応は反応ダイナミクスが複雑であり、反応模型自身の不定性も大きい。様々な効果を自動的に含んだ微視的反応理論を発展させる意義は大きい。

2. 研究の目的

低エネルギー領域に適用可能な微視的核反応理論を構築し、量子トンネル現象が本質的な役割を果たす核融合反応や核分裂にそれを適用する。このようにして「複雑で多様な原子核反応のダイナミクスはどのように微視的に理解できるのだろうか?」という根本的な問いに答え、多粒子の複合体である原子核反応系の量子多体ダイナミクスに迫る。これにより、ダイナミクスまで含めた多体系の根源的な理解を目指し、超重元素生成反応、天体核反応、核分裂、化学反応などの微視的理解に対する大きな展望を開く。

3. 研究の方法

微視的核反応理論を構築するために、従来よく用いられてきた時間依存平均場法の拡張を行った。時間依存平均場法では、多体系の波動関数をスレーター行列式で近似することによって計算のコストを格段に減らすことができるという大きな利点がある。その一方で、系の波動関数を単一のスレーター行列式に限定したために、系の運動が決定論的になり、初期状態を与えると終状態が一意に決まってしまうという欠点も同時に存在する。例えば、時間依存平均場法の枠内ではトンネル効果の確率は古典力学のように0か1のどちらかになってしまい、障壁以下のエネルギーでは核融合反応が決して起こらない。これを改善するために、複数のスレーター行列式を重ね合わせることにより系の量子ゆらぎを波束の形で取り込み、量子トンネル効果の記述を行った。複数のスレーター行列式を重ね合わせる手法は生成座標法と呼ばれる方法であり、近年、計算機の発展に伴い、原子核構造分野においてこの手法の適用が急速に発展している。しかしながら、この手法の時間依存版(時間に依存する生成座標法)を原子核反応のようなダイナミクスに適用した例はほとんどなく、本研究が初めての試みであった。

4. 研究成果

- (1) 2つのアルファ粒子の1次元散乱に対し、最も単純なケースとしてスレーター行列式を2つだけ重ね合わせ、しかもその重ね合わせの重みを時間の関数として固定する計算を行った。このような簡単な計算でも、単一のスレーター行列式のみを用いた場合(時間に依存する平均場理論: TDHF)では困難だった多体系の量子トンネル現象が記述できることを見出した。すなわち、TDHFでは決してトンネルが起きないエネルギー領域におけるスレーター行列式を2つ重ね合わせることにより、2つのうち1つが多体系としての量子トンネル現象を起こすことを明らかにした。さらに、スレーター行列式を重ね合わせを10個程度にまで増やした計算を行い、定性的に結果が変わらないことを示した。

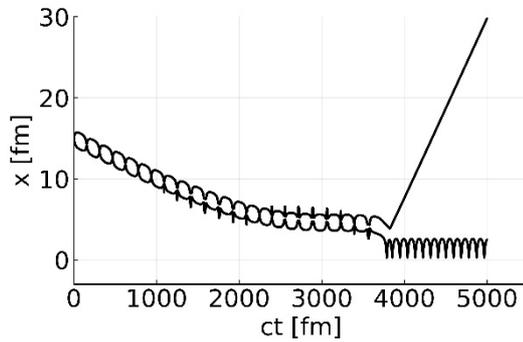


図1：2つのアルファ粒子の1次元散乱の軌道(2つのアルファ粒子のうち片方のアルファ粒子の軌道)。軌道1は大きな時刻で2つのアルファ粒子が離れていくが、軌道2ではトンネル効果で障壁を越えて2つのアルファ粒子が障壁内にトラップされていることを示している。重ね合わせを行わないと、どちらの軌道も図の軌道1のように振る舞う。

- (2) 重ね合わせの重み因子の時間依存性もきちんと考慮する計算方法の開発を行うために、1つのアルファ粒子を外部障壁に入射する問題を議論した。9個のスレーター行列式の重ね合わせを考えることにより、スムーズなエネルギー依存性を持つトンネル確率を得ることに成功した。得られたトンネル確率は、量子力学的に解いたものをおおむね再現するものであったものの、5 MeV 程度のエネルギーのシフトを全体的に施す必要があった。考察の結果、このエネルギーのシフトは、波束の空間的広がりによる障壁の実効的な高さの変化を考慮すると消失することを明らかにした。また、重ね合わせの初期条件依存性を調べ、透過確率が初期条件にあまり依らないことを確認した。すなわち、重ね合わせた各スレーター行列式の初期値に対し異なるサンプルを3つ用意して計算を行ったところ、透過確率のエネルギー依存性はどのサンプルでも同じようなものとなった。
- (3) 2つのアルファ粒子の1次元散乱の問題を3次元に拡張した。その際、クラスター物理でよく用いられるヴォルコフ力を用いた。中心衝突の範囲内ではあるが、1次元問題で得られた結論は3次元にしても変わらないことを確認した。
- (4) 本研究で示された多体トンネル効果は、この手法で考えている波動関数に内在する高運動量成分のためであるのではないかという批判に答えるために、1次元障壁の問題に対して時間に依存する生成座標法とエネルギー射影法を組み合わせた解析を行った。それにより、エネルギー射影を施した後も、障壁以下のエネルギーに対してトンネル確率が有限になることを見出した。これは、高運動量成分が障壁を超えているという単純な解釈以上の量子効果をこの手法で取り入れられていることを示している。
- (5) 本研究で開発した研究手法を静的な核構造の問題へ適用する課題を行った。これは、時間に依存する生成座標法と同様に、重ね合わせるスレーター行列式及び重み関数の両方を最適化し、よりよい基底状態を求めるアプローチである。これは、時間に依存する生成座標法において虚時間発展により基底状態を求めることに相当する。この方法を ^{16}O 核に適用し、最適な基底は局所的な基底状態から大きくずれていることを明らかにした。これは、励起状態を重ね合わせた方がハミルトニアン²の非対角要素の絶対値が大きくなり、その結果、系の基底状態エネルギーが通常の生成座標法に比べて下がるというように解釈をすることができる。さらに、得られた基底は様々な変形度を持つものになっていることも明らかにした。これは、集団座標の取り方が従来考え

られていたものに比べてかなり複雑になっていることを示唆している。これらの知見は、従来の方法で見過ごされていた全く新しいものであり、原子核の集団運動の理論を大きく進めるものであった。

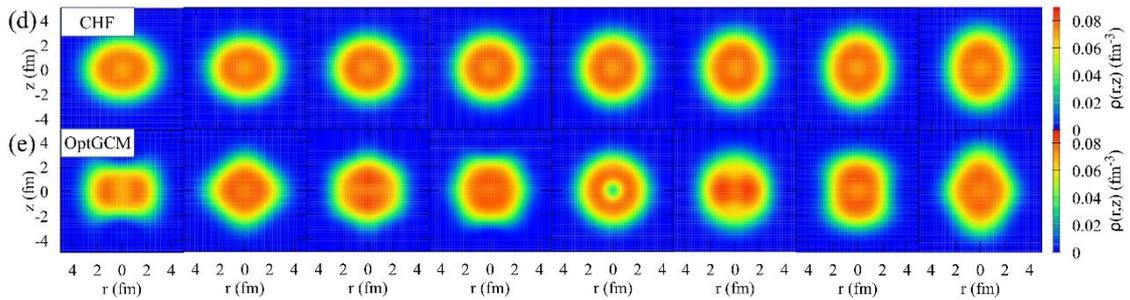


図 2 : ^{16}O 核に対して、それぞれの最適化された基底に対する密度分布（下図）。原子核の基底状態はこれらの基底を重ね合わせて得られる。基底を最適化しない場合（上図）に比べて、最適化を行うと様々な種類の変形状態が現れる。

- (6) これに関連し、機械学習を用いた原子核の集団座標の抽出を行なった。この方法では、ランダムに生成された外場ポテンシャルにおける原子核の基底状態を求め、そのサンプルを機械学習の手法を用いて学習させ、画像認識のテクニックを用いて集団座標を抽出する。この手法で軌道を用いない密度汎関数法の構築に成功するとともに、抽出された集団座標が従来仮定されていたものから大きく異なることを明らかにした。この結果は、拡張された生成座標で得られた知見と類似のものであり、拡張された生成座標法の結果をよくサポートするものになっている。
- (7) さらに、生成座標法の基本的な問題である生成座標の取り方に関する議論を行った。原子核構造の計算では、しばしば四重極演算子の期待値が生成座標として考えられているが、それに共役な運動量演算子も生成座標として考慮することの重要性を指摘した。これは、時間に依存する生成座標法において位相空間上に初期状態を配置することの正当化を与えるものとなる。
- (8) 関連課題として、生成座標法と殻模型を組み合わせた核分裂の新しい計算法の開発を行った。これは時間に依存する生成座標法と相補的な手法であり、両者を比較することにより生成座標法の改善点を見出すことができる。まず、ランダム行列を用いた分析を行い、障壁を伴う崩壊の問題でよく用いられる遷移状態理論の仮定が多体ハミルトニアンを用いて再現できることを初めて示した。また、障壁からの崩壊の確率のゆらぎに関する議論を行い、熱浴からの崩壊定数が増加するにつれ、ゆらぎの分布が1次のカイ2乗分布から2次のカイ2乗分布へ滑らかに遷移することを明らかにした。さらに、Skyrme 相互作用を用いた半現実的な計算を行い、そのような計算でも遷移状態理論の仮定を再現することを確認するとともに、低エネルギー核分裂では対相関が重要となることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 28件／うち国際共著 14件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 N. Hizawa and K. Hagino	4. 巻 109
2. 論文標題 Nonempirical shape dynamics of heavy nuclei with multitask deep learning	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 014312/1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevC.109.014312	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. Colo and K. Hagino	4. 巻 2023
2. 論文標題 Orbital-free density functional theory: Differences and similarities between electronic and nuclear systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 103D01/1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptad118	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 N. Hizawa, K. Hagino, and K. Yoshida	4. 巻 108
2. 論文標題 Analysis of a Skyrme energy density functional with deep learning	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 103D01/1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevC.108.034311	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 M. Matsumoto, Y. Tanimura and K. Hagino	4. 巻 108
2. 論文標題 Extension of the generator coordinate method with basis optimization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review C	6. 最初と最後の頁 L051302/1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevC.108.L051302	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.F. Bertsch and K. Hagino	4. 巻 105
2. 論文標題 Generator coordinate method for transition-state dynamics in nuclear fission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 034618/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.105.034618	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 N. Hizawa, K. Hagino, and K. Yoshida	4. 巻 105
2. 論文標題 Applications of the dynamical generator coordinate method to quadrupole excitations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 064302/1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.105.064302	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 K. Hagino and H. Sagawa	4. 巻 106
2. 論文標題 Spatial correlation of a particle-hole pair with a repulsive isovector interaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 034313/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.106.034313	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 K. Hagino, K. Ogata, and A.M. Moro	4. 巻 125
2. 論文標題 Coupled-channels calculations for nuclear reactions: from exotic nuclei to superheavy elements'	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Prog. in Part. and Nucl. Phys.	6. 最初と最後の頁 103951/1-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pnpnp.2022.103951	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. Montagnoli, A.M. Stefanini, C.L. Jiang, K. Hagino, F. Niola, D. Brugnara, P. Colovic, G. Colucci, L. Corradi, R. Depalo, E. Fioretto, A. Goasduff, G. Pasqualato, F. Scarlassara, S. Szilner and I. Zanon	4. 巻 49
2. 論文標題 Fusion of $^{12}\text{C} + ^{24}\text{Mg}$ at extreme sub-barrier energies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. G	6. 最初と最後の頁 095101/1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6471/ac7edd	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 K. Uzawa, K. Hagino, and K. Yoshida	4. 巻 104
2. 論文標題 Role of triaxiality in deformed halo nuclei	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 L011303/1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.104.L011303	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. Naito, S. Endo, K. Hagino, and Y. Tanimura	4. 巻 54
2. 論文標題 On deformability of atoms - Comparative study between atoms and atomic nuclei	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. of Phys. B	6. 最初と最後の頁 165201/1-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6455/ac170c	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.F. Bertsch and K. Hagino	4. 巻 90
2. 論文標題 Transition-state dynamics in complex quantum systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 11405/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.114005	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 K. Hagino and G.F. Bertsch	4. 巻 104
2. 論文標題 Porter-Thomas fluctuations in complex quantum systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. E	6. 最初と最後の頁 L052104/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.104.L052104	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 K. Hagino and G.F. Bertsch	4. 巻 105
2. 論文標題 Diabatic Hamiltonian matrix elements made simple	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 034323/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.105.034323	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 K. Uzawa, K. Hagino, and K. Yoshida	4. 巻 105
2. 論文標題 Microscopic description of cluster decays based on the generator coordinate method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 034326/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.105.034326	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.F. Bertsch and K. Hagino	4. 巻 105
2. 論文標題 Generator coordinate method for transition-state dynamics in nuclear fission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 034618/1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.105.034618	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 N. Hasegawa, K. Hagino, and Y. Tanimura	4. 巻 808
2. 論文標題 Time-Dependent Generator Coordinate Method for Many-Particle Tunneling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Lett. B	6. 最初と最後の頁 135693/1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2020.135693	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 K. Hagino and G.F. Bertsch	4. 巻 101
2. 論文標題 A microscopic model for spontaneous fission: validity of the adiabatic approximation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 064317/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.101.064317	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 K. Hagino, and G.F. Bertsch	4. 巻 102
2. 論文標題 Least action and the maximum-coupling approximations in the theory of spontaneous fission	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 024316/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.102.024316	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 N. Hizawa, K. Hagino, and K. Yoshida	4. 巻 103
2. 論文標題 Generator coordinate method with a conjugate momentum: application to the particle number projection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 034313/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.103.034313	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 K. Hagino and Y. Maeno	4. 巻 22
2. 論文標題 A nuclear periodic table	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Foundations of Chemistry	6. 最初と最後の頁 267-273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10698-020-09365-5	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 Y. Maeno, K. Hagino, and T. Ishiguro	4. 巻 早期出版
2. 論文標題 Three related topics on the periodic tables of elements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Foundations of Chemistry	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10698-020-09387-z	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 M. Bender, K. Hagino 他31名	4. 巻 47
2. 論文標題 Future of Nuclear Fission Theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. of Phys. G	6. 最初と最後の頁 113002/1-58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6471/abab4f	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 Ki-Seok Choi, K. S. Kim, Myung-Ki Cheoun, W. Y. So, and K. Hagino	4. 巻 103
2. 論文標題 Fusion reaction of a weakly-bound nucleus with a deformed target	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 034611/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.103.034611	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 L.F. Canto, K. Hagino, and M. Ueda	4. 巻 57
2. 論文標題 Semi-classical approaches to heavy-ion reactions: fusion, rainbow and glory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Euro. Phys. J. A	6. 最初と最後の頁 11/1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epja/s10050-020-00312-8	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 K. Hagino and S. Sakaguchi	4. 巻 100
2. 論文標題 Subbarrier fusion reactions of an aligned deformed nucleus	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Rev. C	6. 最初と最後の頁 064614/1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevC.100.064614	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 M. Tokieda and K. Hagino	4. 巻 412
2. 論文標題 A new approach for open quantum systems based on a phonon number representation of a harmonic oscillator bath	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ann. of Phys.	6. 最初と最後の頁 168005/1-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aop.2019.168005	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 M. Tokieda and K. Hagino	4. 巻 8
2. 論文標題 Time-dependent approaches to open quantum systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Front. in Phys.	6. 最初と最後の頁 8/1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fphy.2020.00008	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 -

[学会発表] 計22件(うち招待講演 9件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Moemi Matsumoto, Yusuke Tanimura, and Kouichi Hagino
2. 発表標題 Non-empirical description of nuclear collective motion with optimized basis for multi-reference density functional theory
3. 学会等名 International Conference on Heavy-Ion Collisions at near-barrier energies (FUSION23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Matsumoto
2. 発表標題 The genetator coordinate method with optimum basis
3. 学会等名 The 2023 Fall Meeting of the Division of Nuclear Physics of the American Physical Society and the Physical Society of Japan (HAWAII23) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Hagino
2. 発表標題 Orbital-free DFT in nuclear physics
3. 学会等名 Second Workshop on Funamentals in Density Functional Theory (DFT2024) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 K. Hagino
2. 発表標題 A short comment on GCM + Orbital-free DFT
3. 学会等名 The 6thworkshop on many-body correlations in microscopic nuclear models (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Hagino
2. 発表標題 Dineutron correlations in neutron-rich nuclei
3. 学会等名 Physics of RI: Recent progress and perspectives (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萩野浩一
2. 発表標題 対相関と対移行反応
3. 学会等名 RCNP 研究会「微視的系と巨視的系における核子対凝縮相」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萩野浩一
2. 発表標題 原子核形状の理論研究と核分裂
3. 学会等名 理研ワークショップ「反応断面積研究の新しい展望」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萩野浩一
2. 発表標題 核子自由度に基づく誘起核分裂の微視的記述に向けて
3. 学会等名 理研RIBFミニワークショップ「理論と実験で拓く中性子過剰核の核分裂」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 核分裂の微視的記述に向けて
3. 学会等名 研究会「核分裂を始めとする重たい核の物理」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 殻模型的手法によるクラスター崩壊現象の新展開
3. 学会等名 新学術領域「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 Transition-state dynamics in complex quantum systems
3. 学会等名 Workshop on Modern Developments in Quantum Chaos (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 ダイフェルミオン相関：2電子系からダイニュートロンまで
3. 学会等名 第10回「物質階層を横断する会」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 原子核で周期表を作ってみたら：エレメンタッチからニュークリタッチへ
3. 学会等名 核データ研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 複合核反応の微視的理解に向けて
3. 学会等名 オンライン研究会「時間階層進化として捉える原子核反応」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 Recent progress and future perspectives of fusion and fission dynamics: from nuclear astrophysics to superheavy nuclei
3. 学会等名 A3 Foresight Program Joint Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 Role of quantum mechanics in a diffusion process for superheavy elements
3. 学会等名 The Virtual Superheavy Elements seminars (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋野浩一
2. 発表標題 原子核反応の量子多体ダイナミクス
3. 学会等名 KEK素核宇・物性連携研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川直人
2. 発表標題 時間依存生成座標法を用いた 多体系の障壁透過問題
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長谷川直人
2. 発表標題 時間依存生成座標法を用いた核融合反応におけるトンネル効果
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 長谷川直人
2. 発表標題 Microscopic description of quantum tunneling in nuclear reactions with a time-dependent generator coordinate method
3. 学会等名 YITP Molecule-type workshop on Nuclear Fission Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷村雄介
2. 発表標題 Towards a microscopic dynamical description of s fission process with TDGCM
3. 学会等名 YITP Molecule-type workshop on Nuclear Fission Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷村雄介
2. 発表標題 Towards a microscopic dynamical description of s fission process with TDGCM
3. 学会等名 YITP Molecule-type workshop on Nuclear Fission Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>新しい周期表を考案 - 原子核の周期表「ニュークリタッチ」 - を開発した： https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2020-05-01-0</p>
--

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	谷村 雄介 (Tanimura Yusuke) (90804310)	東北大学・理学研究科・助教 (11301)	削除：2023年5月17日

6. 研究組織（つづき）

	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	長谷川 直人 (Hasegawa Naoto)		
研究協力者	松本 萌未 (Matsumoto Moemi)		

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1件

国際研究集会 International Conference on Heavy-Ion Collisions at near barrier energies (FUSION23)	開催年 2023年～2023年
---	--------------------

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	ワシントン大学			
イタリア	パドバ大学			
スペイン	セヴィリア大学			
韓国	ソンシル大学			