

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03800

研究課題名(和文)非接触プラズマ中性粒子輸送解明のための対向壁水素リサイクルモデリング構築

研究課題名(英文)Development of a recycling model for plasma-facing materials to elucidate neutral particle transport in detached plasmas

研究代表者

中村 浩章(Nakamura, Hiroaki)

核融合科学研究所・研究部・教授

研究者番号：30311210

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)：本研究では水素リサイクルに関する分子動力学シミュレーションにより解き明かし、非接触プラズマ中の中性粒子輸送解明と、非接触プラズマ安定化の提案を目指し、下記の成果を得た。(1)以下の3つのコードを組み合わせることで、任意な地点での水素分子の振動回転準位ごとの占有密度を求められた。(i)衝突輻射モデルを含む中性粒子輸送コード(ii)プラズマEMC3-EIRENEコード(iii)分子動力学法。(2)炭素に水素同位体を照射した場合の原子・分子の発生量を分子動力学法で求めた。(3)タングステンに水素を照射し、水素原子・分子の発生量を求めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来は、中性粒子コードとプラズマコードをつなぐ試みはあった。本研究では、従来の2つコードに加え、壁の影響を計算できる分子動力学法を連携することで、壁から中性粒子そして周辺プラズマを、「抜け」なしで扱えるように始めて行うことができた。この3つの連携コードを使うことで、実際に、炭素、そして、タングステンを取り上げ、水素原子分子の発生量・分子の振動回転状態の密度を計算のみで初めて求められることを実証できた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to elucidate neutral particle transport in detached plasmas and propose a method for detached plasmas stabilization through molecular dynamics simulations of hydrogen recycling. (1) By combining the following three codes, we obtained the population of molecular hydrogen for each rovibrational level at an arbitrary point. (i) a neutral transport code including a collisional radiation model, (ii) a plasma EMC3-EIRENE code, and (iii) a molecular dynamics method. (2) The numbers of atoms and molecules generated when carbon is irradiated with hydrogen isotopes was determined by molecular dynamics. (3) Tungsten was irradiated with hydrogen and the amount of hydrogen atoms and molecular hydrogen generated was obtained.

研究分野：プラズマ壁相互作用

キーワード：プラズマ壁相互作用 分子動力学法 水素リサイクル 衝突輻射モデル 中性原子分子 炭素 タングステン 振動回転状態

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と学術的「問い」

ダイバータ板への熱負荷軽減のための粒子・熱流制御法の切り札として、非接触ダイバータが考えられている。この非接触ダイバータは、「プラズマがダイバータ板へ流れ込む前に、プラズマと中性粒子を相互作用させて、プラズマ熱・粒子負荷を低減させる」という仕組みである。この過程で生成されるプラズマを非接触プラズマと呼ぶ。この非接触プラズマを理解することが、非接触ダイバータを利用した原型炉のダイバータの設計に必要となる。

さて、非接触プラズマでは、以下の主な2つの過程によって、熱・粒子負荷を減少させる。

[過程1] 磁力線に沿ってプラズマ対向壁（ダイバータ板）へと運ばれるプラズマの運動量・エネルギーが中性粒子との弾性衝突、荷電交換、放射、そして、電離過程などにより緩和される。

[過程2] やがて、プラズマの温度が1 eV程度までに減少すると、プラズマ中での再結合過程（プラズマ体積再結合）により、ダイバータ板への熱・粒子の負荷が、軽減する可能になる。この際にも、中性粒子との相互作用が関与する。

これらの過程を扱うために、電離・励起・再結合反応を含めた中性粒子輸送コード（例えば EIRENE など）が開発されてきた。近年、[過程2]として水素分子が関与する再結合（分子活性化再結合：MAR）による再結合反応速度の著しい増加が指摘されたため、MAR を組み込んだ水素原子・分子の中性粒子輸送コード改良も行われるようになった。しかし、高振動・高回転励起状態にある水素分子に関するMAR反応速度係数が何桁も大きくなるものの、広く使われているEIRENEコード等では振動・回転励起状態を扱っていないため、反応速度係数が過少評価されている。近年、本研究分担者（澤田）により、水素分子の振動・回転励起状態を区別した衝突輻射モデルが開発され、従来より正確な反応速度を得ることができるまでになってきた。（以下、これを澤田コードと呼ぶ。）

さて、澤田コードの開発により非接触プラズマ中の中性粒子輸送が高精度で計算できる基盤が整ったかに見えたが、まだ大きな課題残っていた。それは、プラズマ対向壁（ダイバータ板）から生じる水素原子・分子（水素リサイクリング）の情報が不十分ということである。つまり、いくら高精度の中性輸送コードが開発されても、水素原子・分子の主な発生源である対向壁からの運動エネルギー分布や振動・回転励起分布などの“流入値”がわからないと、正しい中性粒子輸送が得られない。

そこで、非接触プラズマ中の中性粒子輸送を正確に計算するために以下に掲げる【問1】【問2】の解決を本研究では目指した。

さらに、本研究では、中性粒子輸送の理解に留まらず、積極的に非接触プラズマの安定化に向けて以下のような提案【問3】を目指す。澤田コードにより高い準位の水素分子が対向壁で生成できればMAR反応速度が大きくなることが知られている。本研究代表者（中村）は、かつて水素照射時の炭素材の結晶方位を変えることで壁からの生成物が変わることを分子動力学法で定量的に求めていた。この手法を使い、本研究では壁の状態を様々に変え、高い準位の水素分子を生成できるような壁構造の提案を目指した。

【問1】対向壁から放出される水素原子・分子の量（比率）はどれくらいか？

【問2】放出される水素原子・分子の運動エネルギー分布と振動・回転励起分布を求められるか？

【問3】高い振動励起状態の水素分子を発生できる対向壁を提案できるか？

2. 研究の目的

目的 【問1】【問2】について対向壁で発生する水素原子・分子について分子動力学シミュレーション法を用いた水素リサイクリングモデルを開発し、定量的な解答を与える。

目的 【問3】について開発した分子動力学法を用い、対向壁の材料・結晶構造・形状などを変え、高い振動励起状態の水素分子を発生する対向壁の最適化構造を提案する。

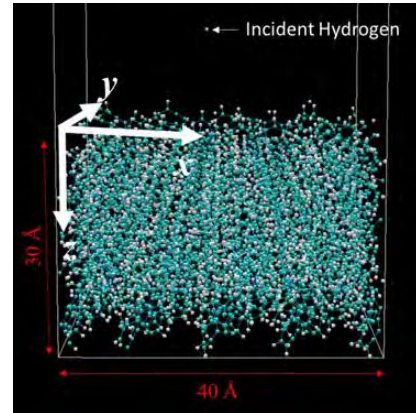


図 1 炭素壁水素リサイクリングモデルとして計算した 分子動力学計算の系

3. 研究の方法

我々で独自開発した MD コードを用いて、アモルファス炭素に水素原子を照射し水素原子・分子の発生を求める。統計誤差を減らすため、シミュレーションの水素入射の試行数を増やし、精度の高い水素原子・分子分布(振動・回転励起分布等)の収集を目指した。さらに、MD コードにより得られた分布を中性粒子コードに渡し中性輸送計算まで行う。

次に、上記の独自 MD コードでは炭素しか扱えない。そこで、多くの物質を扱える LAMMPS コードを用いて炭素以外の材料の水素リサイクリングを調べた。まずは(1)炭素について発生する水素原子・分子分布を求めた。(3)タングステンに変えて、発生する水素原子・分子分布を求める。さらに、得られた分布を澤田コードに渡し中性輸送計算した。

4. 研究成果

エルゴディック領域・ダイバータ領域等の周辺領域での水素原子分子の輸送や反応は、コアプラズマへの燃料 補給やプラズマの閉じ込めに大きな影響を与えると考えられ、それらは炉壁の熱負荷軽減の役割を担うことも期待される。しかし、プラズマ対向壁において反射・放出されるのは原子か分子か(もしくはその比率はいくらか)、それらの運動量・運動エネルギー分布はどうか、さらに 分子であれば振動・回転状態はどうなっているのかが、その後の粒子の輸送や反応に重要であるにもかかわらず、情報は乏しい。そこで本研究では、これらの情報を分子動力学に基づいて計算する水素プラズマ対向壁リサイクリングモデル構築を進めた。

さらにこれらの情報を取り入れた衝突輻射モデルを開発し、中性粒子輸送コードと統合することで、実験で観測される水素発光線の解析を可能とし、周辺領域での水素 原子分子の挙動理解に資することを目的とした。本研究に参加する研究者が各々の機関で独自に取り組んできた研究を進展させ、かつ有機的な連携を図ることで、原型炉での貢献を目指した。具体的な実施内容としては、(1) 炭素壁水素リサイクリングモデルを開発し、壁からの放出水素分子・原子の情報を計算し、水素分子の振動・回転状態を考慮した中性粒子輸送コードへの提供を行う。(2)EMC3-EIRENE を用いて LHD における電子・イオンの温度・密度分布を計算し、中性粒子輸送

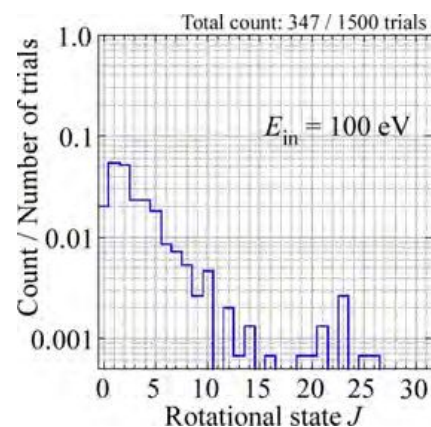


図 2 放出された水素分子の回転準位 J の分布

コードと連携する。(3)LHD で観測される水素発光線 を計算し分光計測結果と比較することで周辺領域での水素原子分子の挙動を求める。

(1) 炭素壁水素リサイクリングモデルの開発: 分子動力学(MD)法を用いて炭素壁への水素入射を計算するコードを開発した。原子間相互作用は、炭素水素系の共有結合モデルとして広く使われる Brenner ポテンシャルを用いた。図 1 に示すように、炭素原子 3872 個、水素原子 2080 個からなるアモルファス炭素を用意し、Langevin 熱浴 (NVT アンサンブル) を用いて 300 K まで昇温する。その後、熱浴を外し (NVE アンサンブル)、アモルファス炭素に水素を 1 原子入射させる。水素原子入射後 50 ps の間に放出される水素原子・分子・炭化水素等の放出粒子の放出角、並進エネルギー、振動準位、回転準位 等を調べる。古典 MD 法を用いたりサイクリングモデル から得た放水素分子の角運動量とエネルギー固有値から、対応する振動・回転状態を算出する方法を確立した。図 2 に、本計算モデルから得られた回転準位 J の分布を示す。

(2) 中性粒子輸送コードとプラズマ流体コード EMC3 との連携: 中性粒子輸送コードでは、電子温度・密度・イオン流などのプラズマ(荷電粒子)の情報を要する。EMC3-EIRENE の出力を上記の中性粒子輸送コードで 利用するため、コードの入出力を整備した。さらに、中性粒子輸送コードに、精密な LHD 閉・開ダイバータ形状を組み込んだ。

(3) 中性粒子輸送コードとリサイクリングモデルの連携: リサイクリングモデルの出力を中性粒子輸送コードの水素原子・分子粒子源として利用するために、コード 入出力を整備した。図 3 に、本課題で開発した炭素壁水素リサイクリングモデルから得た放出粒子の振動状態・回転状態等の情報、および、プラズマ流体コード EMC3 に より得られた LHD の電子温度・密度・イオン流などのプラズマ(荷電粒子)の情報を取り入れた中性粒子輸送計算の結果を示す。

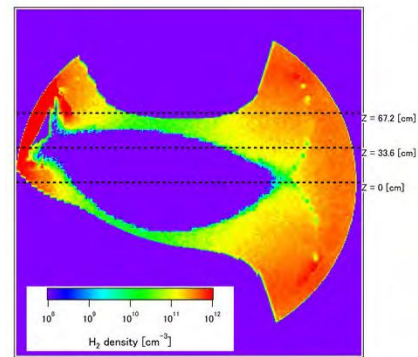


図 3 水素分子の振動・回転状態を区別した中性粒子輸送コードにより計算した LHD 内の水素分子分布。壁でのソースとして、本課題で開発した炭素壁水素リサイクリングモデルから得た放出粒子の振動状態・回転状態等の情報を取り入れた。また、プラズマ流体コード EMC3 により得られた LHD の電子温度・密度・イオン流などのプラズマ(荷電粒子)の情報も組み込んでいる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Nakamura Hiroaki, Takasan Kazuki, Yajima Miyuki, Saito Seiki	4. 巻 10
2. 論文標題 Molecular Dynamics Simulation on Hydrogen Trapping on Tungsten Vacancy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 132 ~ 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.10.132	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 Nakamura Hiroaki, Habu Shu	4. 巻 62
2. 論文標題 Molecular dynamics simulation on fabrication of chiral nanoneedle by optical vortex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SA1013 ~ SA1013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac91d9	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 Nakamura Hiroaki, Saito Seiki, Sawada Takumi, Sawada Keiji, Kawamura Gakushi, Kobayashi Masahiro, Hasuo Masahiro	4. 巻 61
2. 論文標題 Isotope effect of rovibrational distribution of hydrogen molecules desorbed from amorphous carbon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SA1005 ~ SA1005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac2435	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 Fujiwara Susumu, Kawanami Ryuta, Li Haolun, Nakamura Hiroaki, Omata Kazumi	4. 巻 8
2. 論文標題 A theoretical approach to structural change of a polymer induced by beta decays of substituted tritium based on the linear response theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 211 ~ 222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.8.211	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 TAKADA Daisuke, ITOH Taku, KOBAYASHI Masahiro, NAKAMURA Hiroaki	4. 巻 16
2. 論文標題 A Mesh-Generation Scheme for the Large Helical Device Based on the Structure of Magnetic-Field Lines	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2401086 ~ 2401086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2401086	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 Saito Seiki, Nakamura Hiroaki, Kenmotsu Takahiro, Oya Yasuhisa, Hatano Yuji, Tamura Yuichi, Fujiwara Susumu, Ohtani Hiroaki	4. 巻 8
2. 論文標題 Image processing method for automatic measurement of number of DNA breaks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 173 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15748/jasse.8.173	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 Ishihara Hiroki, Kuzmin Arseniy, Kobayashi Masahiro, Shikama Taiichi, Sawada Keiji, Saito Seiki, Nakamura Hiroaki, Fujii Keisuke, Hasuo Masahiro	4. 巻 267
2. 論文標題 Ro-vibrational population distribution in the ground state of hydrogen isotopologues in LHD peripheral plasmas deduced from emission spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer	6. 最初と最後の頁 107592 ~ 107592
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jqsrt.2021.107592	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 TAKAYAMA Teruou, YAMAGUCHI Takazumi, SAITOH Ayumu, KAMITANI Atsushi, NAKAMURA Hiroaki	4. 巻 16
2. 論文標題 Multi-Objective Optimization of Superconducting Linear Acceleration System for Pellet Injection by Using Finite Element Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2401025 ~ 2401025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2401025	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 Saito Seiki, Nakamura Hiroaki, Sawada Keiji, Kobayashi Masahiro, Kawamura Gakushi, Sawada Takumi, Masahiro Hasuo	4. 巻 60
2. 論文標題 Molecular dynamics simulation for hydrogen recycling on tungsten divertor for neutral transport analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAB08 ~ SAAB08
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abc105	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 Li Haolun, Fujiwara Susumu, Nakamura Hiroaki, Mizuguchi Tomoko, Nakata Ayako, Miyazaki Tsuyoshi, Saito Shinji	4. 巻 60
2. 論文標題 Structural change of damaged polyethylene by beta-decay of substituted tritium using reactive force field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAB06 ~ SAAB06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abbd8	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 SAITO Seiki, NAKAMURA Hiroaki, SAWADA Keiji, KOBAYASHI Masahiro, GAKUSHI Kawamura, MASAHIRO Hasuo	4. 巻 15
2. 論文標題 Development of a Molecular Dynamics Method with Heat Transfer into Bulk for Ion Injection into Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2403073 ~ 2403073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.2403073	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 鈴木康浩, 河村学思, 中村浩章, 伊藤篤史, 高山有道, 藤原進	4. 巻 96
2. 論文標題 周辺プラズマの輸送とプラズマ・壁相互作用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of plasma and fusion research	6. 最初と最後の頁 603-609
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 SAITOH Ayumu, YAMAGUCHI Takazumi, KAMITANI Atsushi, NAKAMURA Hiroaki	4. 巻 15
2. 論文標題 Hybrid Method Incorporated with Meshless Approach for Electromagnetic Wave Simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2401026 ~ 2401026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.15.2401026	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 Sawada Keiji, Nakamura Hiroaki, Saito Seiki, Kawamura Gakushi, Kobayashi Masahiro, Haga Kenta, Migita Ryusei, Sawada Takumi, Hasuo Masahiro	4. 巻 未定
2. 論文標題 Neutral transport code for rovibrational population calculation of molecular hydrogen in large helical device plasmas	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Contributions to Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 e201900153-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ctpp.201900153	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 Nakamura Hiroaki, Miyanishi Hisanori, Yasunaga Takuo, Fujiwara Susumu, Mizuguchi Tomoko, Nakata Ayako, Miyazaki Tsuyoshi, Otsuka Takao, Kenmotsu Takahiro, Hatano Yuji, Saito Shinji	4. 巻 59
2. 論文標題 Molecular dynamics study on DNA damage by tritium disintegration	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SAAE01 ~ SAAE01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab460d	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 Saito Seiki, Nakamura Hiroaki, Sawada Keiji, Kawamura Gakushi, Kobayashi Masahiro, Hasuo Masahiro	4. 巻 未定
2. 論文標題 Molecular dynamics simulation model of hydrogen recycling on carbon divertor for neutral transport analysis in large helical device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Contributions to Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 e201900152-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ctpp.201900152	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17件(うち招待講演 3件/うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Kazuki Takasan, Miyuki Yajima and Seiki Saito
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulation on Hydrogen Trapping on Tungsten Vacancy
3. 学会等名 The 41st JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kento Ishiguro, Hiroaki Nakamura, Shunsuke Usami, Susumu Fujiwara and Seiki Saito
2. 発表標題 Evaluation tolerance of DNA damaged by tritium beta decay using MD simulation
3. 学会等名 The 41st JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 MD simulation with deep learning on ro-vibrational population of hydrogen isotopologues for neutral transport analysis
3. 学会等名 6th Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulations in Plasma-wave-material Interaction for Nuclear Fusion Study
3. 学会等名 Functional surfaces in plasma elementary and process-applicable reactions 2022 Gaseous Electronics Conference Workshop (GEC2022ST2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 MD analysis on hydrogen behavior in tungsten vacancy
3. 学会等名 The 31st International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (ITC31) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulation on Material and Related Research in Nuclear Fusion Study
3. 学会等名 The 34th China Simulation Conference and 21st Asia Simulation Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村浩章
2. 発表標題 トリチウム崩壊がDNA構造の耐性に与える影響のMDシミュレーションによる評価
3. 学会等名 第39回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Development of Simulation Codes to Treat Hydrogen Molecules Process in Divertor Plasma Region including Divertor Plate
3. 学会等名 28th IAEA Fusion Energy Conference (FEC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulation on Hydrogen Isotope Molecules Emitted from Amorphous Carbon
3. 学会等名 The 40th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (JSST2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura
2. 発表標題 Rovibrational Distribution of Molecular Hydrogen Isotopes Desorbed from Amorphous Carbon
3. 学会等名 The 29th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Takumi Sawada, Keiji Sawada, Gakushi Kawamura, Masahiro Kobayashi and Masahiro Hasuo
2. 発表標題 Isotope Effect of Rovibrational Distribution of Hydrogen Molecules Desorbed from Amorphous Carbon
3. 学会等名 14th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村浩章, 石黒健人, 藤原進, 米谷佳晃, 安永卓生, 中田彩子, 宮崎剛, 大塚教雄, 剣持貴弘, 波多野雄治, 齊藤真司
2. 発表標題 DNAテロメア中デオキシDリボースのトリチウム 崩壊による構造変化のMD解析
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Sawada, H. Nakamura, S. Saito, M. Kobayashi, G. Kawamura, K. Haga, and M. Hasuo,
2 . 発表標題 Neutral-Transport Code for Rovibrational Population Calculation of Molecular Hydrogen in LHD Plasmas
3 . 学会等名 17th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Seiki Saito, Hiroaki Nakamura, Keiji Sawada, Masahiro Kobayashi, Gakushi Kawamura, Masahiro Hasuo
2 . 発表標題 Molecular Dynamics Simulation for Hydrogen Recycling on Carbon Divertor
3 . 学会等名 17th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hiroaki Nakamura, Shu Habu, Seiki Saito and Shin Kubo
2 . 発表標題 Molecular dynamics simulation on structural formation of chiral nanoneedle by optical vortex
3 . 学会等名 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Takumi Sawada, Keiji Sawada, Gakushi Kawamura, Masahiro Kobayashi and Masahiro Hasuo
2 . 発表標題 Hydrogen Isotopes Atoms and Molecules Desorbed from Amorphous Carbon
3 . 学会等名 12th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials 13th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiki SAITO, Hiroaki NAKAMURA, Takumi SAWADA, Keiji SAWADA, Masahiro KOBAYASHI, Gakushi KAWAMURA, Masahiro HASUO
2. 発表標題 Model of hydrogen recycling on divertor by molecular dynamics simulation for neutral transport analysis in LHD
3. 学会等名 The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2019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	澤田 圭司 (Sawada Keiji) (40262688)	信州大学・学術研究院工学系・教授 (13601)	
研究分担者	齋藤 誠紀 (Saito Seiki) (40725024)	山形大学・大学院理工学研究科・准教授 (11501)	
研究分担者	田村 祐一 (Tamura Yuichi) (50311212)	甲南大学・知能情報学部・教授 (34506)	

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
---------	---------