

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03581

研究課題名(和文) 水素分子の電子・振動・回転状態を区別した中性粒子輸送コードの構築とその検証

研究課題名(英文) Rovibrationally resolved neutral transport codes for molecular hydrogen

研究代表者

澤田 圭司 (Sawada, Keiji)

信州大学・学術研究院工学系・教授

研究者番号：40262688

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)：核融合ダイバータプラズマ中の荷電粒子と水素分子の衝突では、分子活性再結合過程など、反応速度係数が水素分子の振動・回転状態により数桁もかわるものがあり、水素分子の電子・振動・回転状態を考慮した詳細なモデルが必要となっていた。本研究では申請者が開発する電子・振動・回転状態を考慮した水素分子の衝突輻射モデルを組み込んだ中性粒子輸送コードを開発した。プラズマ中の水素分子の振動・回転ポピュレーション分布、および分子の振動・回転励起を引き起こすことによるプラズマ中の荷電粒子のエネルギー損失が計算できるようになった。また、申請者が有する高周波放電装置にコードを適用してコードの検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

核融合発電炉実現に向けた大きな問題として、粒子排気部で荷電粒子と接触するダイバータ板の損耗がある。これに対し、ダイバータ板近傍に存在する水素分子を荷電粒子からダイバータ板を守る緩衝材とする方策が有力視されている。荷電粒子と水素分子の衝突では、分子活性再結合過程など、反応速度係数が水素分子の振動・回転状態により数桁もかわるものがあり、ダイバータ近傍のプラズマシミュレーションでは水素分子の振動・回転状態を区別したモデルが必要となっていた。本研究では振動・回転状態を区別してプラズマ中の分子密度を計算する中性粒子輸送コードを開発した。分子との衝突による荷電粒子のエネルギー損失が計算できるようになった。

研究成果の概要(英文)：In collisions between charged particles and molecular hydrogen in fusion divertor plasmas, the reaction rate coefficient varies by several orders of magnitude depending on the vibrational and rotational state of the molecular hydrogen, such as molecular assisted recombination. A detailed model that considers the vibrational and rotational states is required. In this study, we have developed a neutral transport code incorporating our collisional radiative model for molecular hydrogen that considers the electronic, vibrational, and rotational states. The code gives the electronic, vibrational, and rotational population distribution and the energy loss of charged particles that cause vibrational and rotational excitation of the molecules in plasmas. We tested the code by applying it to an RF device at Shinshu University.

研究分野：プラズマ分光学

キーワード：水素分子 振動状態 回転状態 衝突輻射モデル 中性粒子輸送コード 非接触プラズマ 分子活性化 再結合 ダイバータプラズマ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

核融合発電炉の実現にむけて、粒子排気部のダイバータ板の熱負荷が大きな問題となっている。これについて、荷電粒子がダイバータ板近傍の水素分子と衝突することにより再結合プラズマ状態が出現してダイバータ板の熱負荷が減少することが実験的に見出されている。ITER など将来の装置ではこの状態の利用が想定されており、この状態の理解や装置設計のためのシミュレーションコードの開発が不可欠である。

荷電粒子と水素分子の衝突では、分子活性再結合過程など、反応速度係数が水素分子の振動・回転状態により数桁も変化するものがあり、水素分子の電子・振動・回転状態を考慮した詳細なモデルが必要である。我々は電子・振動・回転状態を考慮した水素分子の衝突輻射モデルを開発しており、これを組み込んだ中性粒子輸送コードの開発が望まれていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、電子・振動・回転状態を区別してプラズマ中の水素分子密度の空間分布を計算する中性粒子輸送コードを開発し、ダイバータプラズマの粒子・運動量・エネルギーバランスを明らかにするシミュレーションを可能にすることである。また、申請者が有する高周波放電装置にコードを適用してその検証を行うことである。

### 3. 研究の方法

水素分子衝突輻射モデルは、プラズマ中の電子・陽子・水素原子・水素分子との衝突や自然放出による様々な電子・振動・回転状態の分子の生成・消滅のバランスを記述する連立微分方程式であり、各状態の分子密度や発光強度や励起状態を経由する過程を含む各種反応の速度係数が計算される。微分方程式を解く際、分子に衝突する各種粒子の温度・密度の時間変化に対して各状態の分子密度が瞬時に応答するとして準定常近似を用いている。ただし電子基底状態の  $301$  の振動・回転状態の分子密度については、応答時間がダイバータプラズマの条件では長く、準定常近似なしで時間変化を計算している。中性粒子輸送コードは、乱数を用いて反応を考慮しながらプラズマ中の中性粒子を追跡し、各種粒子の密度や流れ等を計算するものであるが、開発するコードでも同様の事情により、電子基底状態の  $301$  の振動・回転状態の分子を独立な粒子として追跡する。電子励起状態を経由する過程は電子励起状態の準定常近似により考慮する。

中性粒子輸送コードの計算では、原子密度および分子の振動・回転密度分布の計算ののちに水素原子衝突輻射モデルと水素分子衝突輻射モデルを利用して、実験と直接比較可能な原子・分子スペクトルが計算できるようにする。コードの検証として申請者が有する RF 放電装置で計測される原子・分子スペクトルと計算結果を比較しながらコード開発を進める。

### 4. 研究成果

#### (1) 電子・振動・回転状態を区別した水素分子衝突輻射モデルの整備：

水素分子の電子・振動・回転状態の計 4133 準位を区別した水素分子衝突輻射モデルを整備した。電子基底状態については、分子活性化再結合を含む電子・陽子・水素原子・水素分子との衝突による各種反応を考慮している。コードの出力を整備して、中性粒子輸送コードで用いる各種反応速度係数の入力テーブルを作成した。

#### (2) 電子・振動・回転状態を区別した中性粒子輸送コードの構築：

核融合科学研究所 LHD、JA DEMO、信州大学高周波放電装置の中性粒子輸送コードを構築した。

LHD では、ダイバータ部やダイバータレッグ部のプラズマの電子温度・密度の分布が必要になるため、核融合科学研究所に EMC3 - EIRENE を用いた計算を依頼し、このデータをモデルに組み込んだ。計算では、従来 1 辺 4cm の立方体に近い形状のメッシュを 1 辺 1cm に修正しダイバータ部やダイバータレッグ部の電子温度・密度データを精密に与えることができるようにした。ダイバータ板に流れ込む陽子の中性化による中性水素原子・分子のダイバータ板からの放出については、原子と分子の放出粒子数の比、分子の振動・回転状態を与える分子動力学法の計算結果を中性粒子輸送コードに組み込んだ。図 1 および図 2 に示すように、プラズマ中のすべての位置の水素分子の振動・回転状態を区別した密度分布が計算できるようになった。

LHD のコードの作成後、JA DEMO のコードを作成した。LHD のコードは電離プラズマのものであったが、このコードでは陽子と電子の再結合や分子活性化再結合を組み込み、再結合プラズマを扱うことができるようにした。さらにコード検証のため、信州大学高周波放電装置の中性粒子輸送コードを作成した。

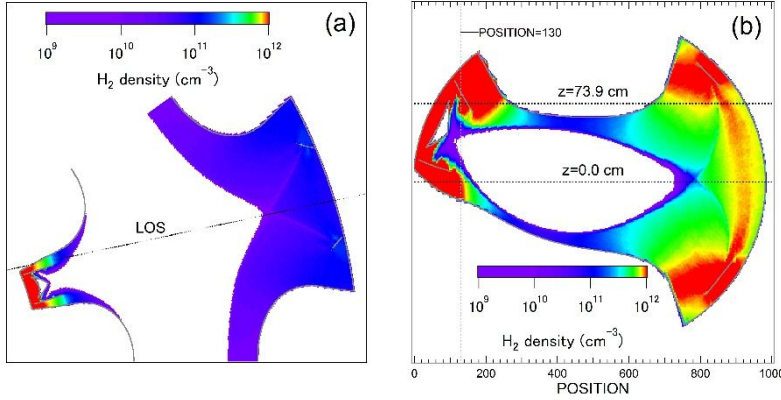


図1 LHDの中性粒子輸送コードの計算例。  
(a) 図1(b)のz=0 cmの水平面内の水素分子密度。  
(b) 図1(a)の"LOS"の鉛直面内の水素分子密度。

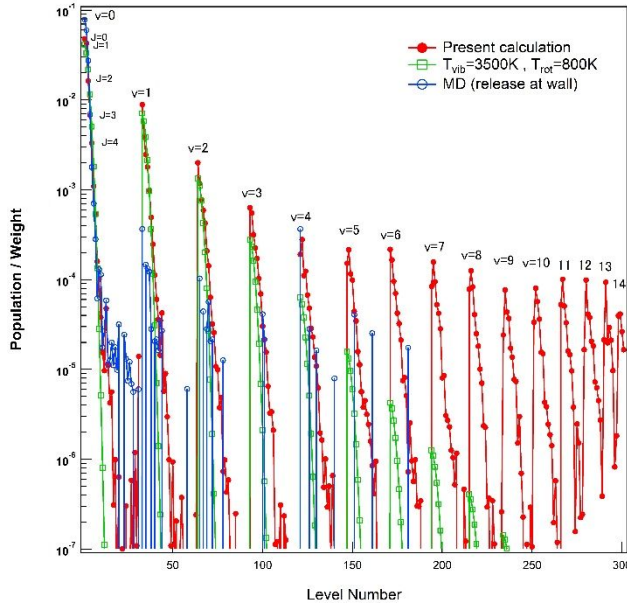


図2 LHDの中性粒子輸送コードの計算例。図1(a)(b)中のz=73.9cm, POSITION = 130の位置での分子の振動・回転密度分布。統計重率で割っている。(RED)中性粒子輸送コードの計算 (GREEN)振動・回転それぞれにボルツマン分布を仮定したフィッティングの結果 (BLUE)分子動力学で計算した壁から放出される分子の振動・回転分布。

(3) 核融合プラズマ中の水素分子との衝突に伴う電子と陽子のエネルギー損失率係数の計算：  
核融合プラズマ中の水素分子との衝突に伴う電子と陽子のエネルギー損失率係数を、電子・振動・回転状態を区別した水素分子衝突放射モデルを整備して計算した。非接触プラズマのプラズマパラメータの元で、電子基底状態の振動・回転密度分布を、初期 300 K のボルツマン分布を与えて時間発展的に解いた。電子衝突による分子の振動・回転励起に由来する電子のエネルギー損失は、分子の解離を伴うトリプレット状態への励起に由来するエネルギー損失よりも1桁から2桁大きいことがわかった。

表1 振動・回転状態を区別した衝突放射モデルで考慮した分子過程。

Label	Process
(P1)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v) + e \rightarrow H_2(b^3\Sigma_g^+) + e \rightarrow H + H + e$
(P2)	$H_2(X^1\Sigma_g^+) + e \rightarrow H + H(\rho \geq 2) + e$
(P3)	$H(\rho \geq 2) \rightarrow H^+ + H$
(P4)	$\rightarrow H^+ + e$
(P5)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v, J) + e \rightarrow H_2^-(X^2\Sigma_g^-, v') \rightarrow H(\rho = 1 \text{ or } 2) + H^-$
(P6)	$H^- + H^+ \rightarrow H + H(\rho = 2 \text{ or } 3)$
(P7)	$H(\rho = 2 \text{ or } 3) \rightarrow H^+ + H$
(P8)	$\rightarrow H^+ + e$
(P9)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v) + H^+ \rightarrow H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v') \rightarrow H$
(P10)	$H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v') + e \rightarrow H_2(X^2\Sigma_g^+, v'') + e$
(P11)	$H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v'') + e \rightarrow H + H(\rho \geq 2)$
(P12)	$H(\rho \geq 2) \rightarrow H^+ + H$
(P13)	$\rightarrow H^+ + e$
(P14)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v, J) + e \leftrightarrow H_2^*(\text{excited}, v', J') + e$
(P15)	$H_2^*(\text{singlet}, v, J) \rightarrow H_2(X^1\Sigma_g^+) + hv \rightarrow H + H$
(P16)	$H_2^*(\text{triplet}, v, J) \rightarrow H_2(b^3\Sigma_g^+) + hv \rightarrow H + H$
(P17)	$H_2^*(\text{excited}, v, J) + e \rightarrow H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v') + 2e$
(P18)	$H_2^*(\text{excited}, v, J) \rightarrow H_2(X^1\Sigma_g^+, v', J') + hv$
(P19)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v, J) + e \leftrightarrow H_2(X^1\Sigma_g^+, v', J') + e$
(P20)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v, J) + H^+ \leftrightarrow H_2(X^1\Sigma_g^+, v', J') + H^+$
(P21)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v, J) + H \leftrightarrow H_2(X^1\Sigma_g^+, v', J') + H$
(P22)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v) + H \rightarrow H + H + H$
(P23)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v, J) + e \rightarrow H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v') + 2e$
(P24)	$H_2(X^1\Sigma_g^+, v, J) + e \rightarrow H^+ + H + 2e$
(P25)	$H_2^+(X^2\Sigma_g^+, v) + e \rightarrow H + H^+ + e$

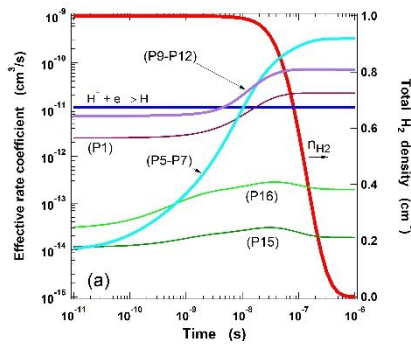


図3 分子密度(右軸)と表1の過程の速度係数(左軸)の時間変化

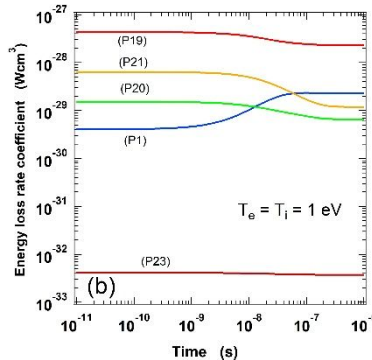


図4 表1の過程の電子・イオンの分子との衝突によるエネルギー損失係数の時間変化

(4) ダイバータ物理の理解のための1次元のプラズマのコードの作成：

上記のコードに加え、ダイバータ物理の理解のため、1次元のプラズマのコードを作成した。荷電粒子についてダイバータ再結合プラズマのパラメータを与えて計算を行い、水素分子の振動・回転密度分布を算出した。また、分子活性化再結合の反応速度や分子との振動・回転励起衝突にともなう電子・陽子のエネルギー損失を評価した。これに加え、プラズマの電子温度・密度等の荷電粒子の情報を中性粒子輸送コードに与えるための1次元のPICコードの開発を進めた。

(5) 重水素衝突輻射モデルおよび中性粒子輸送コードの整備：

水素のコードを元に、重水素の中性粒子輸送コードの開発に着手した。まず、重水素分子の電子・振動・回転状態を区別した重水素衝突輻射モデルを整備した。中性粒子輸送コードには電子衝突による分子の解離および解離に伴い生成される励起原子生成、電子衝突による分子の振動・回転励起、分子活性化再結合、重水素原子・分子のイオンとの弾性散乱、中性粒子同士の弾性散乱を組み込んだ。

(6) 原子・分子発光線計測との比較によるコードの検証：

信州大学高周波放電装置(図5、図6)の水素プラズマおよび重水素プラズマにこれらの中性粒子輸送コードを適用した。装置容器は主にガラス管から構成される。

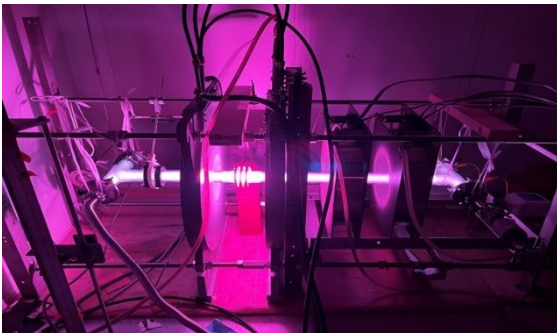


図5 信州大学高周波放電装置(写真)

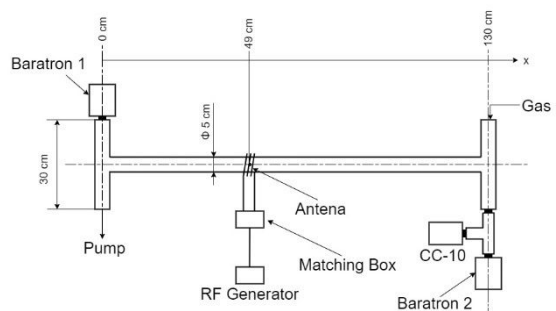


図6 信州大学高周波放電装置(装置図)

水素放電実験では、可視域エッセル分光器を用いて分光計測を行った。水素ガスにヘリウムガスを導入し、ヘリウム原子発光線強度をヘリウム衝突輻射モデルで解析して電子温度・密度を算出した。この電子温度・密度を用いて、水素原子発光線強度(H)を水素原子衝突輻射モデルで解析して水素原子密度を算出し、分子 Fulcher Band 発光線強度を水素分子衝突輻射モデルで解析して分子密度を算出した。さらに Fulcher Band 発光線を再現する分子振動・回転温度を決定した。中性粒子輸送コードにも分光計測で得られた電子温度・密度を与えて計算を行った。重水素放電でも同様の分光計測・解析と中性粒子輸送コード計算を行った。重水素放電について、図7に実験と計算で得られた原子密度・分子密度を示す。また、図8に実験と計算で得られたアンテナ近傍での分子振動・回転密度分布を示す。中性粒子輸送コードでは、ガラス壁に衝突した原子と分子を、それぞれ原子と分子のまま反射させている。反射された分子の振動状態は入射時と同じ振動状態とし、回転密度分布は300 Kのボルツマン分布としている。壁面での原子・分子の扱いについて今後さらに精密なモデルを必要とするが、概ね計算は実験を再現している。

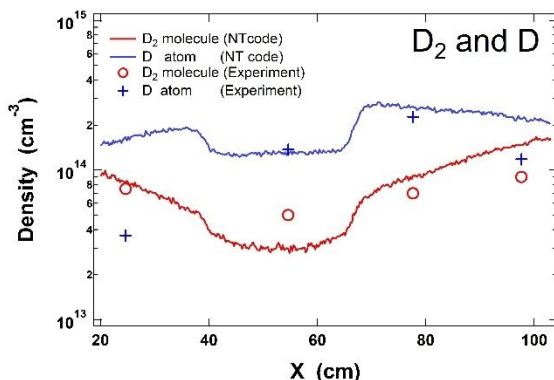


図7 重水素放電での重水素原子・分子密度：実験と計算の比較

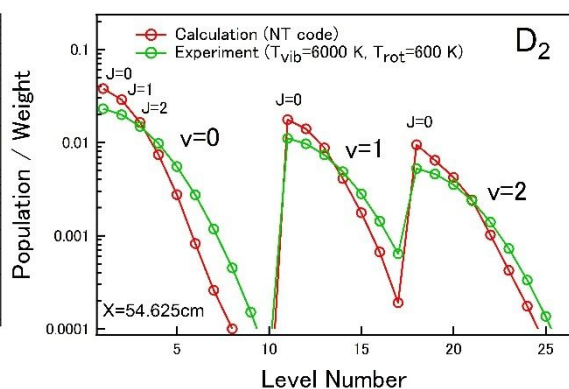


図8 重水素放電での分子振動・回転密度分布：実験と計算の比較(分子密度で規格化)



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Takumi Sawada, Keiji Sawada, Gakushi Kawamura, Masahiro Kobayashi, Masahiro Hasuo	4. 巻 61
2. 論文標題 Isotope effect of rovibrational distribution of hydrogen molecules desorbed from amorphous carbon	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 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 Hiroki Gamo, Naomichi Ezumi, Tsukasa Sugiyama, Kunpei Nojiri, Ayane Kondo, Mafumi Hirata, Junko Kohagura, Masayuki Yoshikawa, Yousuke Nakashima, Dogyun Hwangbo, Mizuki Sakamoto, Renato Perillo, Tatsuya Kuwabara, Hirohiko Tanaka, Noriyasu Ohno, Keiji Sawada, Akira Tonegawa, Suguru Masuzaki	4. 巻 16
2. 論文標題 Influence of Nitrogen Ratio on Plasma Detachment during Combined Seeding with Hydrogen on Divertor Simulation Experiment of GAMMA 10/PDX	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2402041
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1585/pfr.16.2402041	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 柴田崇統, 澤田圭司	4. 巻 97
2. 論文標題 イオン源プラズマの原子・分子過程	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Plasma Fusion Res	6. 最初と最後の頁 572-576
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 齋藤誠紀, 中村浩章, 澤田圭司, 河村学思, 小林政弘	4. 巻 98
2. 論文標題 要素モデルの統合が実現する壁からプラズマまでを含めた中性粒子輸送研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Plasma Fusion Res	6. 最初と最後の頁 5-19
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 Hiroki Ishihara , Arseniy Kuzmin, Masahiro Kobayashi, Taiichi Shikama, Keiji Sawada , Seiki Saito , Hiroaki Nakamura, Keisuke Fujii , Masahiro Hasuo, the LHD Experiment Group	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 & Radiative Transfer	6. 最初と最後の頁 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 Keiji Sawada, Hiroaki Nakamura, Seiki Saito, Gakushi Kawamura, Masahiro Kobayashi, Kenta Haga, Ryusei Migita, Takumi Sawada, Masahiro Hasuo	4. 巻 -
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 Contrib. Plasm. Phys.	6. 最初と最後の頁 e201900153
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 A. Terakado, M. Sakamoto, N. Ezumi, K. Nojiri, T. Mikami, Y. Kinoshita, S. Togo, T. Iijima, K. Sawada, S. Kado, Y. Nakashima	4. 巻 20
2. 論文標題 Reaction processes of molecular activated recombination leading to detachment of divertor simulation plasma in GAMMA 10/PDX	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NUCLEAR MATERIALS AND ENERGY	6. 最初と最後の頁 100679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2019.100679	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 S. Saito, H. Nakamura, K. Sawada, G. Kawamura, M. Kobayashi, M. Hasuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Molecular Dynamics Simulation Model of Hydrogen Recycling on Carbon Divertor for Neutral Transport Analysis in LHD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Contrib. Plasm. Phys.	6. 最初と最後の頁 e201900152
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Keiji Sawada
2. 発表標題 Rovibrationally resolved collisional-radiative model and neutral transport code of molecular hydrogen
3. 学会等名 International Mini-Workshop on Open Magnetic Systems for Plasma Confinement (OS2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keiji Sawada
2. 発表標題 Development of Rovibrationally Resolved Collisional-Radiative Model and Neutral Transport Code of Molecular Hydrogen
3. 学会等名 The 30th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土居健志, 西分久弘, 澤田圭司, 斉藤好汰, 野端伸匡
2. 発表標題 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を用いた信州大学RFプラズマの水素原子・分子発光スペクトルの計算
3. 学会等名 第38回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増田翔太, 澤田圭司, 本郷棟太, 土居健志, 関谷光之, 夏目祥揮, 井戸太一, 田中宏彦, 野哲靖, 林 祐貴
2. 発表標題 流体コードLINDAとの統合をめざしたNAGDIS-IIヘリウムプラズマおよび水素プラズマの中性粒子輸送コードの整備
3. 学会等名 第38回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井戸太一, 夏目祥揮, 田中宏彦, 大野哲靖, 澤田圭司, 増田翔太, 梶田信, 畑山明聖, 星野一生
2. 発表標題 流体コードLINDAの多流体化と直線型水素プラズマのモデリング
3. 学会等名 第38回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉山史作, 江角直道, 蒲生宙樹, 近藤綾音, 重松直希, 瀬戸拓実, 平田真史, 小波蔵純子, 吉川正志, 中嶋洋輔, 皇甫度均, 東郷訓, 坂本瑞樹, 桑原竜弥, 田中宏彦, 大野哲靖, 澤田圭司, 利根川昭, 増崎貴, 河村学思
2. 発表標題 GAMMA 10/PDXにおけるV字ターゲット角度によるダイバータ模擬プラズマへの影響
3. 学会等名 第38回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 蒲生宙樹, 江角直道, 杉山史作, 近藤綾音, 重松直希, 瀬戸拓実, 東郷訓, 平田真史, 小波蔵純子, 吉川正志, 皇甫度均, 中嶋洋輔, 坂本瑞樹, R. Perillo, 桑原竜弥, 田中宏彦, 大野哲靖, 澤田圭司, 利根川昭, 増崎貴
2. 発表標題 GAMMA 10/PDXダイバータ模擬実験における水素ガスと窒素及びネオンガスとの重畳入射が非接触プラズマ形成へ及ぼす影響
3. 学会等名 第38回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉山史作, 江角直道, 蒲生宙樹, 野尻訓平, 近藤綾音, 平田真史, 小波蔵純子, 吉川正志, 中嶋洋輔, 皇甫度均, 坂本瑞樹, H.Y. Guo, 桑原竜弥, 田中宏彦, 大野哲靖, 澤田圭司, 利根川昭, 増崎貴, 河村学思
2. 発表標題 GAMMA10/PDX ダイバータ模擬プラズマの V 字ターゲット角度及び追加ガス入射位置による変化
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名	浦生宙樹, 江角直道, 杉山史作, 野尻訓平, 近藤綾音, 平田真史, 小波蔵純子, 吉川正志, 中嶋洋輔, 皇甫度均, 坂本瑞樹, R.Perillo, 桑原竜弥, 田中宏彦, 大野哲靖, 澤田圭司, 利根川昭, 増崎貴
2. 発表標題	ダイバータ模擬実験における非接触プラズマ形成への水素 - 窒素の混合比の影響
3. 学会等名	プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	増田翔太, 右田龍星, 澤田圭司, 羽下健太, 夏目祥揮, 井戸太一, 田中宏彦, 大野哲靖
2. 発表標題	NAGDIS-II ヘリウムプラズマ統合コード構築をめざした中性粒子輸送コードの整備
3. 学会等名	プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	羽下健太, 土居健志, 澤田圭司, 河村学思, 小林政弘, Arseniy A. KUZMIN, 蓮尾昌裕, 齋藤誠紀, 中村浩章
2. 発表標題	水素分子の振動・回転状態をLHD 中性粒子輸送コードを用いた水素原子・分子の発光スペクトルの計算
3. 学会等名	プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	右田龍星, 関谷光之, 澤田圭司, 河村学思, 齋藤誠紀, 中村浩章
2. 発表標題	ダイバータプラズマの一次元シミュレーションのための PICコードと中性粒子輸送コードの統合コードの開発
3. 学会等名	プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 井戸太一, 田中宏彦, 大野哲靖, 夏目祥揮, 梶田信, 澤田圭司, 右田龍星, 羽下健太, 畑山明聖, 星野一生
2. 発表標題 LINDA コードを用いた水素原子・分子イオンが共存する非接触プラズマモデリング
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齋藤誠紀, 中村浩章, 澤田圭司, 小林政弘, 河村学思, 蓮尾昌裕, 井戸毅
2. 発表標題 タングステン壁における水素リサイクリングの分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 江角直道, 林祐貴, 高木誠, 大野哲靖, 近藤綾音, 利根川昭, 澤田圭司, 門信一郎, 難波慎一, 西島大輔, 桑原竜弥, 杉山史作, 蒲生宙樹, 野尻訓平, 坂本瑞樹, 吉川正志, 小波蔵純子, 中嶋洋輔, 田村直樹, 浜地志憲, 矢嶋美幸, 増崎貴
2. 発表標題 原型炉級ダイバータ模擬実験に向けた TPD 型定常高密度プラズマ源の開発状況
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第37回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Sawada, H. Nakamura, S. Saito, M. Kobayashi, G. Kawamura, K. Haga, 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 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

1. 発表者名 澤田拓弥, 中村浩章, 齋藤誠紀, 澤田圭司, 土生 柊
2. 発表標題 アモルファス炭素壁への水素入射の分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 日本応用数理学会 2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齋藤誠紀, 中村浩章, 澤田圭司, 小林政弘, 河村学思, 蓮尾昌裕
2. 発表標題 分子動力学法による炭素壁水素リサイクリングモデルの開発
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 右田龍星, 澤田圭司, 羽下健太, 渡辺宙夢
2. 発表標題 一次元ダイバータプラズマのシミュレーション
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羽下健太, 澤田圭司, 右田龍星, 中村浩章, 齋藤誠紀, 河村学思, 小林政弘, 蓮尾昌裕
2. 発表標題 水素分子の振動・回転状態を区別したLHD中性粒子輸送コードの構築
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石原啓基, Arseniy Kuzmin, 小林政弘, 澤田圭司, 四竈泰一, 蓮尾昌裕, 齋藤誠紀, 中村浩章, 門信一郎
2. 発表標題 Fulcher- 帯スペクトル計測によるLHD周辺プラズマ中基底水素分子の振動・回転状態密度分布評価
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 澤田拓弥, 中村浩章, 齋藤誠紀, 澤田圭司, 河村学思, 小林政弘, 蓮尾昌裕
2. 発表標題 炭素材・タングステン材への水素同位体入射の分子動力学シミュレーション
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 澤田圭司, 右田龍星, 羽下健太, 中村浩章, 斎藤誠紀
2. 発表標題 水素分子の振動・回転状態を考慮した衝突輻射モデルおよび中性粒子輸送コードの構築
3. 学会等名 プラズマ核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 百島弘基, 岩田篤司, 白須裕大, 新村俊喜, 宮崎俊輔, 澤田圭司
2. 発表標題 水素・重水素混合RFプラズマにおけるHD分子発光線計測
3. 学会等名 プラズマ核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渥美翔太, 中山海峰, 長瀬英樹, 勝股峻也, 澤田圭司, 江角直道
2. 発表標題 水素RFプラズマの分子発光線計測と衝突輻射モデル・中性粒子輸送コードによる解析
3. 学会等名 プラズマ核融合学会年会
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
---------	---------