

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：63902

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K18340

研究課題名（和文）ヘリカル原型炉のダイバータプラズマ予測を目指した周辺プラズマ輸送モデル開発

研究課題名（英文）Development of a peripheral plasma transport model to estimate a divertor plasma of helical DEMO reactor

研究代表者

河村 学思 (Kawamura, Gakushi)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：70509520

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：核融合原型炉設計のために必要とされる周辺プラズマモデル構築のため、主に大型ヘリカル装置(LHD)を対象に、周辺プラズマ分布や不純物の分布および放射パワーの予測精度向上を実現させた。そして、LHDをスケールアップした原型炉相当のサイズの装置において、中性粒子とプラズマの相互作用に起因して、LHDとは大きく異なった径方向密度分布となりうることを明らかにし、ガス排気等による粒子制御の重要性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

持続可能なエネルギー源として期待される核融合発電炉を設計するにあたって必要となる、磁場閉じ込めプラズマの予測精度向上に資する研究である。工学的な制約が厳しいと言われているダイバータを対象に、現在の実験装置の計測を複数使って、定量性のあるプラズマの推定手法を開発した。本研究が、複数の形式の異なる装置に対するプラズマ予測研究へとつながった点、発電炉規模の装置と現在の実験装置との間にどのような違いがあるかを考察可能にした点も重要である。

研究成果の概要（英文）：Significant improvements on quantitative estimations of peripheral plasma distribution and impurity radiation power have been obtained. They are essential progresses toward a peripheral plasma modeling needed for design studies of a fusion DEMO reactor. A scaled up model of Large Helical Device (LHD) relevant to a DEMO reactor was investigated, and a significant difference in electron density distribution in the radial direction because of neutral-plasma interactions. It is suggested that particle control method with external device such as a vacuum pump should be developed to sustain the core plasma distribution.

研究分野：核融合周辺プラズマモデリング

キーワード：磁場閉じ込め核融合 周辺プラズマ 輸送モデリング 中性粒子 不純物

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

持続可能なエネルギー源として期待されている磁場閉じ込め核融合エネルギーの開発が進展し、実験炉である ITER やその先の原型炉を見通す研究が急務となっている。装置設計にあたって、定量的な予測は不可欠であり、現存の装置で裏付けられた予測手法が必要であり、プラズマ物理に代表される理学と炉設計に代表される工学が密接に連携する研究開発の必要性が高まっている。そのなかで、数値計算コードの役割は非常に大きい。核融合プラズマの数値的な記述のために、特徴的な物理要素によって炉心・周辺 (スクレイプオフ層(SOL)/ダイバータ)・壁に大別され、それぞれに対して計算コードが開発されている。図 1 に領域分類の概念図を示す。

炉心と壁をつなぐ周辺プラズマは装置形状やプラズマ配位への依存が大きいことに加え、多種のイオン、多種の輸送機構、多種の時間空間スケールなど、複数の物理要素が相互に影響しあうシステムであり、かつ装置形式への依存が大きいこと、装置に合わせたモデルおよびコード開発が必要とされる。例えばトカマク装置に対しては SOLDOR/NEUT2D や B2-EIRENE などがある。核融合科学研究所にある大型ヘリカル装置 (LHD) においては、周辺領域の輸送を解いて定常分布を得るコードとして、長年にわたる EMC3-EIRENE の使用実績がある。このコードは、トカマクおよびヘリカル系周辺プラズマの輸送を解くコードで、プラズマと不純物を流体で、中性粒子を粒子追跡により解く。電子密度・温度や不純物放射などの定常 3 次元分布を得ることができる。

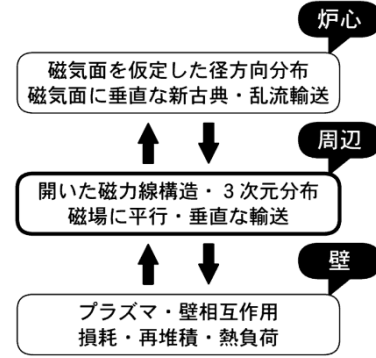


図 1: 核融合プラズマの領域分類とそれぞれの特徴。

2. 研究の目的

本研究の目的は、核融合原型炉の設計研究に応用可能な周辺プラズマモデルの開発である。背景で述べた定量的な予測はいわば外挿であり、不可欠なのは外挿の元になるモデルの信頼性である。従って、実験によるモデルの検証が重要課題であり、本研究の場合は LHD 実験と密接に連携して、計算モデルの検証と開発を行う。その上で、LHD を元に検討されているヘリカル原型炉のコンセプトデザインである Force Free Helical Reactor – Demo 1 (FFHR-d1) を対象に、周辺プラズマ予測に関する研究を行う。

装置の大型化に伴って相対的に厳しくなる壁熱負荷への対応のため、不純物イオンからの電磁波の放射によって、プラズマが壁に達する前に冷却する方法が重要視されている。しかし、不純物の分布や振る舞い、またどの程度の放射冷却効果があるかの予測は、まだ定量性の保証が難しい段階にある。LHD においてもダイバータ板の損耗に由来する炭素や、人為的に各種ガスをプラズマに導入する不純物実験を数多く行っている。それらの実験における分光計測 (特定の不純物元素・価数・励起状態の放射光計測) やボロメータ計測 (全放射光合計のパワー計測) や静電プローブ計測 (壁に到達するプラズマの粒子・熱流束計測) などと計算モデルの比較を行い、再現に必要な条件や実験条件をモデルに反映させる方法を得ることが一つの目的である。

原型炉は装置のタイプによらず、既存の実験装置よりも遙かに大きな装置となるため、現在の知見をそのままスケールアップできるかどうかが明確でない。そのため、LHD を元にした FFHR-d1 を模擬しつつ、より条件を簡略化するため、LHD を単純に 4 倍にした装置を想定し、装置サイズがプラズマにどのように影響するかを数値モデルで明らかにするのがもう一つの目的である。

3. 研究の方法

背景で触れた数値計算コード EMC3-EIRENE を中心に用いる。このコードは装置やプラズマの三次元形状を取り扱うことができる。プラズマの加熱条件や不純物の発生源、プラズマ中のイオンが壁に到達して中性ガスとして放出されるリサイクリング現象などをモデルとして取り入れている。しかし、それらのモデルには、個々の放電で異なる加熱パワーや、不純物の種類や量などの要素が入力パラメータとしてあり、計算コードの利用者が目的に応じてそれらの値を決定する必要がある。物理的な条件から決定可能であればよいが、放電条件に依存するものが多く、放電における計測結果を基に放電を再現するようにパラメータを決定されるのが通常である。そのような決定事例をデータベースとして蓄積し、また状況を総合的に判断するための知見を広く得ることで、放電を計画した段階で計測を待たずにパラメータを決定可能にすることが最終的に必要である。

そのような研究を行うには、EMC3-EIRENE コードの計算結果と計測結果の比較を直接的に

行うことが必要であり、そのための手法開発を行う。つまり、計算結果で得られる電子密度・温度・放射パワーなどの三次元分布を元に、静電プローブの設置位置の値を取り出したり、分光計測やボロメータであれば、計測視線上で積分し、実際に計測器に入射するパワーを計算したり、といったデータ処理プログラムの開発を行う。そして、計測方法を正確に模擬した合成データを元に、計測値と直接比較することで、各種入力パラメータのサーベイから適切な入力値を決定することができる。ただし、それが物理的に妥当なものであるか、放電条件と照らし合わせて矛盾するものでないかを確認する必要がある。

そういった計算モデルの検証を進めることで、現状の実験装置における信頼性を担保し、その保証の範囲内で、計算条件を変化させることで、実際には行ってない実験に対する予測が可能になる。その一つとして、ヘリカル原型炉を想定した装置サイズにおいてプラズマ分布がどのように変化するかを解析する。EMC3-EIRENEは計算グリッドや壁の定義を拡大することで、比較的容易に装置サイズをスケールすることが可能であり、原型炉規模の装置で生じるであろう状況をあらかじめ知ることができる。状況が現状とは異なるため、定量性の保証は難しいものの、定性的な傾向を得ることができ、結果の物理的な理解を同時に行うことで、予測研究に大きな役割を担えると考えられる。

4. 研究成果

(1) 計測器を模擬する合成データ（合成イメージ画像）の生成

分光計測やボロメータ計測は、光学系の違いは別にして、計測器に入射する電磁波のパワーを計測しており、基本的な原理はいわゆるピンホールカメラと類似している。そのため、全空間の三次元発光分布が W/cc の単位で得られる EMC3-EIRENE の計算結果から、合成データを計測視線に沿った数値積分で得ることができる。本研究の重要な技術開発として、その計算を行うプログラムを開発した。図2に例を示す。左の計測データはノイズを含んでいる点を考慮すると、緑から赤にかけてのストライプ状発光分布が右の計算結果においてよく再現されている。これは次の(2)で述べるネオンガスパフ放電を再現した際の比較であり、十分な精度で比較が行えることが確認できる。

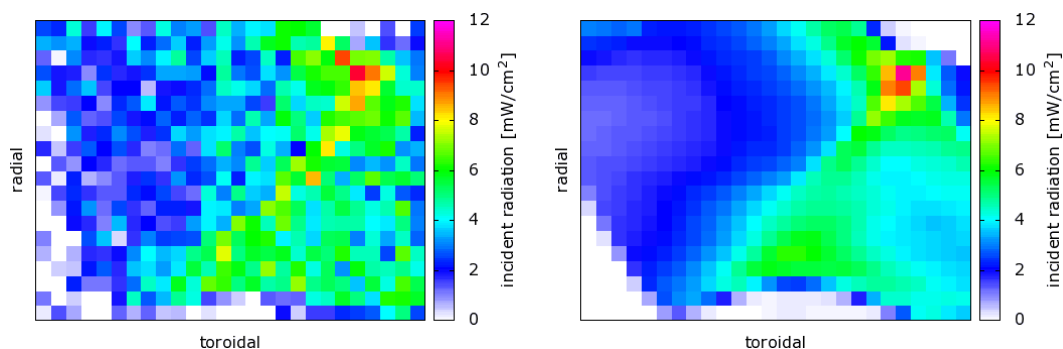


図2: LHDの6.5-Uポートからプラズマを見る視野で放射パワー分布を計測するボロメータ計測例(左)と、それをEMC3-EIRENEコードで再現した場合の合成イメージ(右)。

(2) ネオンガスパフ放電における不純物放射パワーの推定

熱負荷低減の手法として、人為的に不純物ガスを導入する(ガスパフ)ことが有力と考えられており、LHDでも不純物ガス種・ガス量・放射パワーの関係が実験によって精力的に調べられている。数値モデルにおいても、その実験中の不純物の分布や放射パワーの再現・予測が重要である。本研究では、ネオンパフ実験に焦点を当て、その際の不純物の輸送(装置内でどのように移動するか)をEMC3-EIRENEで解き、実験における計測の再現を目指した。そのために必要な物理プロセスとして、ネオンガスのダイバータ板でのリサイクリング(イオンが再結合してガスとして中性ガスとして放出される過程)を新たにコードに組み込んだ。また、上の(1)で述べた合成イメージを、6.5-Uイメージングボロメータおよび8-O抵抗性ボロメータの二つについて作成できるように整備し、絶対校正を行った計測と直接比較できるようにした。

EMC3-EIRENEの計算結果からは、水素・炭素・ネオンの放射パワーがそれぞれ得られる。一方でボロメータで得られる計測結果は全ての放射パワーの合計である。そのため、イオン種間の放射パワーの比率については直接的な情報は得られない。しかし、水素はメインのイオン種であるため、トムソン散乱計測によって、電子密度(おおよそ水素イオン密度に等しい)、電子温度の径方向分布が得られ、水素イオン密度分布については不純物の影響が小さいと仮定した分布を用いる。1回の放電中では、ネオンガスパフの前においては炭素が主な発光元素であり、ガス

パフ後はネオンが主な発光元素であると考えられる。分光計測によって、ガスパフ前後で炭素の放射パワーがおおよそ同じであること、ガスパフ前にはネオンの放射が実質見られないことがわかっており、妥当な仮定であると確認された。

そして、ガスパフ前の計測データと計算で得られた合成データを比較し、炭素のスパッタリング係数（水素イオン一個が壁をたたき際に飛び出す炭素原子数）を5~7%であると推定した。そして、炭素のスパッタリング係数は固定し、ガスパフ後の比較を行うことで、ネオンの全放射パワーを2.4~3.0MWであると推定した。また、全放射パワーについても、ガスパフ後で4.0~5.0MWであると推定した。図2は、この解析で得られたガスパフ後の放射パワー分布の比較である。両者の分布形状・絶対値がよく一致していることがわかる。前述のように二つの異なる視線と特性を持つボロメータを使い、同程度の値を得ることができたことは、この手法の有効性を示している。このような、不純物の輸送まで含めて放射パワーを推定した研究は、LHDにおいて本研究が初である。今後、複数の放電については、さらに別のボロメータも含めた解析を行って、手法の高精度化を目指す。

(3) ネオンパフと窒素パフに見られるトロイダル不均一性の違いの解析

不純物ガスの導入として、ネオン・アルゴン・キセノンのような希ガス原子に加えて、窒素ガスが用いられている。窒素は炭素と原子番号が近く、炉心プラズマに大きな影響を与えずに周辺で多く放射することが期待されている。また、ネオンと比べて短時間で放射が減衰することや、プラズマへの影響がトロイダルに不均一に現れることが実験で得られている。その理由として、希ガスでない窒素の化学活性のため、容易に壁等に固定化され、プラズマから除去されやすいと考えられ、それがトロイダル不均一性と関係していると仮説を立てた。

EMC3-EIRENEで、窒素ガスパフが行われている5.5-Lポートからガスを導入し、プラズマ中でイオン化後、壁に到達したイオンは中性化せずに取り除かれるとした。これは窒素イオンが壁に固定化される過程を模擬したものである。実際には全てのイオンが壁で取り除かれるわけではないが、影響を明確に見るため、極端な条件を課した。一方で、ネオンは全て中性化されてガスで放出されると仮定している。また、トロイダルに装置全周に渡る分布が必要であり、以前のトロイダルセクションの半分(18°)の計算グリッドを拡張して、全周(360°)の計算グリッドを構築した。

計算結果から壁、すなわちダイバータ板に到達する水素の粒子束をガスパフ前後で比較すると、ネオンでは実験も計算も、全トロイダルセクションで粒子束が減少するのに対して、窒素では特徴的なトロイダル分布となった。図3にトロイダルセクション番号を横軸にとった粒子束のパフ前後の相対値を示す。この値が1よりも小さければ、パフ後に粒子束が減ったことを意味する。LHDは二対のダイバータ板列があり、それぞれをLとR(左と右)で区別され、それぞれに静電プローブが設置され、粒子束が計測されている。緑の縦線で示した窒素ガスパフ位置を境に、粒子束減少のトロイダル位置がLとRで入れ替わっているのが見て取れる。そして、○と×記号で示した計測結果と、実線で示した数値計算結果が定性的によく一致していることが確認できる。また、静電プローブ位置から磁力線をさかのぼったときに、窒素ガスがパフされる領域を通る場合に粒子束の現象が顕著であることがわかり、不純物の電離とその後の輸送によって、このトロイダルの不均一性が生じていることがわかった。

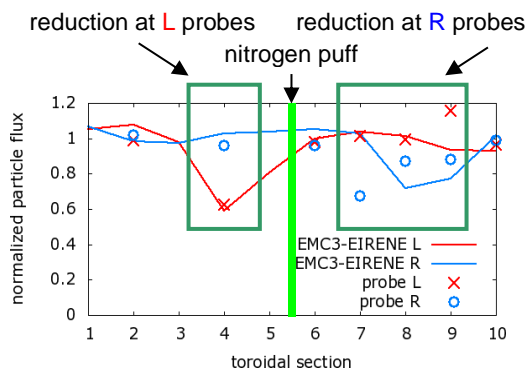


図3: 窒素パフ放電における粒子束のトロイダル分布の比較。

(4) ヘリカル原型炉における装置サイズがプラズマ粒子輸送に及ぼす影響

LHDを元に検討されているヘリカル原型炉FFHR-d1の装置サイズはLHDの4倍を想定している。核融合出力は設計上の想定値があるが、粒子輸送についてははっきりとした指標がなく、とりわけ周辺の電子密度がどのようになるかは数値モデルによる予測が必要である。そこで、LHDで妥当性の検証が進んでいるEMC3-EIRENEを用いて、装置サイズをLHDの1倍、2倍、4倍(FFHR-d1相当)に変化させ、粒子輸送の違いを解析した。加熱パワーはLHDにおける典型的な加熱量と単純なスケールでつなぐため、それぞれ9.375MW、75MW、600MW(熱出力3GWの1/5がプラズマ加熱に寄与)と8倍ずつ変化させた。炉心の電子密度と輸送係数は

全て同一とした。

粒子輸送が明確に反映される電子密度と水素の電離量の分布を図 4 に示す。装置サイズが大きくなるほど、周辺密度 (図 4 の左端および右端) がはっきりと上昇していることがわかる。とりわけ、4 倍に拡大した場合には炉心密度の 4 倍以上となる高密度領域が広範囲に生じている。また、ここでは示していないが径方向密度分布から、装置サイズが大きくなるほど炉心が平坦化することも示された。水素の電離分布については、装置サイズが大きくなるほど、電離領域が外側に移動し、炉心周辺まで水素中性粒子が到達できず、表層部分でほぼ全て電離している。この図では、サイズをそろえて示しているために、電離領域が薄くなっているように見えるが、実際にはプラズマが大きくなっているため、中性粒子の進入長が同程度であっても、分厚いプラズマに阻まれて炉心領域に到達できないと解釈される。

この違いはプラズマの制御を考える上で非常に大きく、このような周辺が高密度となる分布では、炉心への燃料供給が困難になることが予想される。また、壁での粒子束が非常に高くなり、スパッタリング等による損耗の増加が懸念される。ただし、この数値計算は実際の炉とは異なり、ガス排気は含まれていない。排気量と燃料共有のバランスを適切にすることで、炉心と周辺の電子密度比が変わることは、EMC3-EIRENE から得られており、粒子制御手法と電子密度分布を関連づけて議論することの重要性が示された。

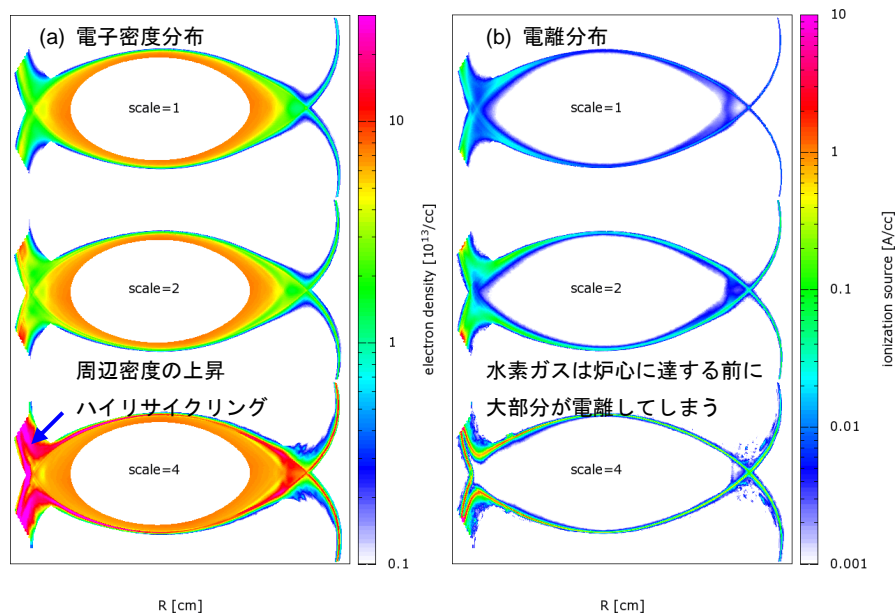


図 4: (a) 電子密度と (b) 水素電離量の分布。図中の scale と書かれた数値は、LHD を基準とした装置の拡大率であるが、図では比較のために大きさをそろえて示している。

(5) 新しい研究テーマへの波及

当初の研究計画では予定していなかったが、本研究が共同研究を中心として新しい研究へとつながり、幅広く核融合研究の進展に寄与した。また、大学における学生教育にも寄与した。それらの概要について、箇条書きで簡潔に述べる。

- LHD に関して、EMC3-EIRENE の計算結果を用いて、ダスト粒子の輸送研究や、鉄やタンゲステン等の金属不純物の放射冷却の影響評価など、新しい研究が行われた。
- 京都大学のヘリカル装置 Heliotron J において、周辺プラズマモデリングを EMC3-EIRENE で開始し、ダイバータ静電プローブとの比較を目的にプラズマ分布を得、また壁熱負荷に関する磁場配位および電子密度の配位依存性解析を行った。
- 量子科学技術研究開発機構の建設中のトカマク装置 JT-60SA に対して、共鳴摂動磁場印加時のダイバータフットプリントの分岐現象について、名古屋大学と EMC3-EIRENE を用いた予測研究を行った。
- 名古屋大学の直線装置 NAGDIS-II に関して、EMC3-EIRENE を用いて、プラズマ分布計算モデル開発を行い、粒子排気条件に関する解析を行った。
- 筑波大学の直線装置 GAMMA 10/PDX のプラズマモデリングを開始した。

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 5件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tanaka H., Kawamura G., Hoshino K., Kobayashi M., Matsunaga G., Suzuki Y., Lunt T., Feng Y., Ohno N.	4. 巻 -
2. 論文標題 First EMC3-EIRENE modelling of JT-60SA edge plasmas with/without resonant magnetic perturbation field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Contributions to Plasma Physics	6. 最初と最後の頁 e201900114
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/ctpp.201900114	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 MATOIKE Ryota, KAWAMURA Gakushi, OHSHIMA Shinsuke, KOBAYASHI Masahiro, SUZUKI Yasuhiro, NAGASAKI Kazunobu, MASUZAKI Suguru, KOBAYASHI Shinji, YAMAMOTO Satoshi, KADO Shinichiro, MINAMI Takashi, OKADA Hiroyuki, KONOSHIMA Shigeru, MIZUUCHI Toru, TANAKA Hirohiko, MATSUURA Hiroto, FENG Yuhe, FRERICHS Heinke	4. 巻 14
2. 論文標題 First Application of 3D Peripheral Plasma Transport Code EMC3-EIRENE to Heliotron J	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3403127
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1585/pfr.14.3403127	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 G. Kawamura, H. Tanaka, K. Mukai, B. Peterson, S.Y. Dai, S. Masuzaki, M. Kobayashi, Y. Suzuki, Y. Feng	4. 巻 60
2. 論文標題 Three-dimensional impurity transport modeling of neon-seeded and nitrogen-seeded LHD plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Physics and Controlled Fusion	6. 最初と最後の頁 84005
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6587/aac9ea	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 Kawamura G., Miyazawa J., Goto T., Shoji M., Masuzaki S., Suzuki Y., Feng Y.	4. 巻 13
2. 論文標題 Application of EMC3-EIRENE to Estimation of Influence of a Liquid Metal Limiter on an LHD-Type Fusion Plasma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3403034
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1585/pfr.13.3403034	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 Tanaka H., Kawamura G., Masuzaki S., Kobayashi M., Akiyama T., Peterson B.J., Mukai K., Sano R., Dai S.Y., Sakamoto R., Morisaki T., Ohno N.	4. 巻 12
2. 論文標題 Toroidally symmetric/asymmetric effect on the divertor flux due to neon/nitrogen seeding in LHD	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 241-246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2016.12.020	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 Kawamura G., Ohno N., Takamura S., Tomita Y.	4. 巻 12
2. 論文標題 A Particle-In-Cell approach to particle flux shaping with a surface mask	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 297-301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2016.12.017	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11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 G. Kawamura, K. Mukai, B. Peterson, T. Oishi, Y. Feng
2. 発表標題 Reconstruction of Radiation Profile of Neon-Seeded LHD Plasma from Bolometer Measurements with the Aid of EMC3-EIRENE
3. 学会等名 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 G. Kawamura, K. Mukai, B. Peterson, T. Oishi, Y. Feng
2. 発表標題 Reconstruction of Radiation Profile of Neon-Seeded LHD Plasma from Bolometer Measurements with the Aid of EMC3-EIRENE
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第36回年会
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryota MATOIKE, Gakushi KAWAMURA, Shinsuke OHSHIMA, Yasuhiro SUZUKI, Masahiro KOBAYASHI, Suguru MASUZAKI, Shinji KOBAYASHI, Shinichiro KADO, Takashi MINAMI, Hiroyuki OKADA, Toru MIZUUCHI, Shigeru KONOSHIMA, Hirohiko TANAKA, Hiroto MATSUURA, Kiyofumi MUKAI, Yuhe, FENG, Heinke FRERICHS, Kazunobu NAGASAKI
2 . 発表標題 EMC3-EIRENE Modeling of the peripheral plasmas with various magnetic configurations in Heliotron J
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 Ryota MATOIKE, Gakushi KAWAMURA, Shinsuke OHSHIMA, Yasuhiro SUZUKI, Masahiro KOBAYASHI, Suguru MASUZAKI, Shinji KOBAYASHI, Shinichiro KADO, Takashi MINAMI, Hiroyuki OKADA, Toru MIZUUCHI, Shigeru KONOSHIMA, Hirohiko TANAKA, Hiroto MATSUURA, Kiyofumi MUKAI, Yuhe, FENG, Heinke FRERICHS, Kazunobu NAGASAKI
2 . 発表標題 EMC3-EIRENE Modeling of the Peripheral Plasmas with Various Magnetic Configurations in Heliotron J
3 . 学会等名 22nd International Stellarator and Heliotron Workshop 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H. Tanaka, G. Kawamura, K. Hoshino, M. Kobayashi, G. Matsunaga, L. Lunt, Y. Feng, and N. Ohno
2 . 発表標題 EMC3-EIRENE modeling of JT-60SA edge plasmas with/without RMP field
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 G. Kawamura, H. Tanaka, K. Mukai, B. Peterson, S.Y. Dai, S. Masuzaki, M. Kobayashi, Y. Suzuki, Y. Feng
2 . 発表標題 Impurity transport analysis in LHD divertor plasma with neon gas puff
3 . 学会等名 27th International Toki Conference, (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 G. Kawamura, H. Tanaka, K. Mukai, B. Peterson, S.Y. Dai, S. Masuzaki, M. Kobayashi, Y. Suzuki, Y. Feng
2. 発表標題 Impurity transport analysis in LHD divertor plasma with neon gas puff
3. 学会等名 プラズマ・核融合学会 第35回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 KAWAMURA Gakushi
2. 発表標題 Modeling study on three-dimensional impurity transport in impurity-seeded LHD plasmas
3. 学会等名 21st International Stellarator-Heliotron Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 KAWAMURA Gakushi
2. 発表標題 Application of EMC3-EIRENE to Estimation of Influence of a Liquid Metal Limiter on an LHD-Type Fusion Plasma
3. 学会等名 26th International Toki Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河村学思
2. 発表標題 LHD不純物パフ放電における三次元不純物輸送のモデリング研究
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 G. Kawamura, N. Ohno, S. Takamura, Y. Tomita
2. 発表標題 A Particle-In-Cell approach to particle flux shaping with a surface mask
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究課題に関連し、「EMC3-EIRENEコードを基盤とした核融合周辺プラズマの3次元輸送モデル研究開発」というテーマで、2019年度吉川允二記念核融合エネルギー奨励賞を受賞した。

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