

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K07001

研究課題名（和文）プラズマの流体・運動論的手法を統合した定常燃焼維持の研究

研究課題名（英文）Study of maintaining a steady burning plasma using a unified method of fluid and kinetic pictures

研究代表者

本多 充 (Honda, Mitsuru)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：90455296

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：流体型輸送コードTASK/TXを用いて磁束消費の研究を行ったほか、不純物粒子を扱えるように拡張した。流体・運動論的手法を統合したTRESS+GKVコードをMPMD形式で再構築することにより、可読性と保全性を大きく向上させた。数値安定性が極めて高い、大域的最適化手法を用いた全く新しい輸送コードGOTRESSを開発した。深層学習手法との親和性が高い特性を活かし、輸送モデルの代理モデルを構築することに成功した。GOTRESSを核とした新たな統合モデルGOTRESS+を開発し、JT-60SAの運転シナリオ開発に貢献した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大型核融合装置で持続的な核融合反応をもたらす高温プラズマを維持するための複数の課題に、様々な手法で取り組み組んだ。不純物によるプラズマ冷却問題に取り組むためのプログラム開発や大型装置における運転シナリオを開発するためのプログラム開発などを行った。現在実験開始の直前段階にある大型核融合実験装置JT-60SAの定量的な予測を行ったほか、将来装置の安定した核燃焼プラズマの維持・制御に向けた能力の拡充を行った。

研究成果の概要（英文）：The fluid-type transport code TASK/TX was used to study magnetic flux consumption and was extended to handle impurity particles. The TRESS+GKV code, which integrates fluid and kinetic methods, was restructured in MPMD to greatly improve readability and maintainability. A novel transport code GOTRESS was developed using global optimization methods with extremely high numerical stability. Taking advantage of its high affinity with deep learning methods, we succeeded in building a surrogate model for a transport model. A novel integrated model GOTRESS+ with GOTRESS as its core was developed, which contributed to the development of operating scenarios in JT-60SA.

研究分野：核融合プラズマシミュレーション

キーワード：流体型輸送コード トカマク 新古典輸送 大域的最適化 ニューラルネットワークモデル 不純物輸送 統合シミュレーション 準線形乱流輸送モデル

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。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

核燃焼プラズマを定常に維持するためには、核燃焼を生じさせる閉じ込め状態を維持するために特別な困難が伴う。核融合反応によるアルファ加熱を持続させるには高密度・高温の維持が必要であるため、プラズマ中心部における輸送障壁の形成が求められる。しかし、輸送障壁が生じたことで、核燃焼で生じるヘリウム灰のプラズマ外への排出や燃料イオンのプラズマ深部への供給が困難になり、高閉じ込め状態を維持しつつ粒子バランスも成立させる状態を維持できる条件を見つけ出すのは極めて難しい。ITER においては外部加熱入力パワーを周期的に偏重させることで準定常を維持する運転シナリオが提案されているが、より規模が大きくなる核融合炉において外部加熱装置による加熱パワーの変調に頼った制御は現実的とは言えない。自律性の高い核燃焼プラズマで所定の状態を維持する制御を行うためには、プラズマに内在する物理機構を活用し、外部制御によってその変化を促す形式となるだろう。

磁場閉じ込め核融合プラズマにおける回転現象は、科学的な興味のみならずプラズマの高閉じ込め状態へと遷移させ、維持するための手法として大きく注目を集めていた。プラズマ実験では外部からの中性粒子ビーム (NB) 入射により粒子や熱のみならず運動量も供給されるため、プラズマ回転を駆動することができる。JT-60U 装置のプラズマではプラズマ電流と逆方向のプラズマ回転時においてより低パワーで H モード遷移が生じており、回転による径電場変化が閉じ込め改善効果をもたらすという基本的な物理機構が統合モデルを用いた数値計算によって明らかにされた。回転と径電場、あるいはそれらのシアによって閉じ込め状態の形成を理解しようとする試みは広く行われていた。すなわち、プラズマ回転は閉じ込め状態を左右する重要な鍵であり、プラズマ回転を制御できれば間接的に閉じ込め状態を制御することができると考えられる。NB 入射装置のような外部装置だけでなく、核融合装置に必ず存在する磁場揺らぎの非軸対称成分が引き起こす新古典トロイダル粘性 (NTV)、あるいは乱流から生じる残留応力による自発トルクによってもプラズマ回転は変化する。特に、プラズマの内在的なトルク源は、外部トルク入力が不十分となる核融合炉において主要なトルク源になると目されており、これらの物理的理解と、それらを考慮に入れた自己無撞着なシミュレーションによるプラズマ分布予測は重要な課題となっていた。

研究代表者は、輸送コードの支配方程式として標準的に採用されている拡散型輸送方程式とは根本的に異なる、二流体方程式系に基づく TASK/TX コードを開発してきた。TASK/TX は JT-60U プラズマを主な対象として、プラズマ回転物理の現象解明に貢献してきた。かつて TASK/TX の基礎方程式は円柱座標系で記述された擬トロイダル系であったが、磁気座標系における二流体方程式系の導出とその数値実装を独自に進め、軸対称磁気座標系に完全対応した TASK/TX の開発に成功した。この方程式系はプラズマの流体変数と電磁気量の相互連関性を無矛盾に扱うことができるため、自律性に富むプラズマにおいても全変数が矛盾無く方程式系を満たす解を導くことができる。このように、核燃焼プラズマ維持条件を探るための物理課題が明確化され、かつそれを扱うためのツールの整備が整いつつあった。

### 2. 研究の目的

- (1) 乱流粒子束と新古典粒子束を矛盾なく一体として取り扱うことができる TASK/TX の特徴を活かし、相互に与える影響の大きさを定量化する。
- (2) TASK/TX に実装されている準線形乱流粒子束を誘導する駆動項のモデルは複数の係数を持つが、既存の輸送モデルではそれらの係数を決定できない。GKV の計算結果の知見に基づいて第一原理計算と矛盾しない粒子輸送モデルを構築し、実験の再現性を調べる。
- (3) GKV で調べられた定常核燃焼条件を満たすプラズマ分布が、輸送シミュレーションによって自己無撞着に実現可能かどうか、どのように構成できるかを明らかにする。
- (4) 物理モデルが予測する核燃焼プラズマの自律性と、外部加熱装置の適切な制御アルゴリズムの両面から、核融合炉プラズマを定常維持するパラメータ領域と制御手法を探る。

### 3. 研究の方法

- (1) TASK/TX で開発・改良する必要がある要素として重要なものは以下の通りである。多粒子種への拡張を行う。現実のプラズマは不純物が含まれているため、不純物種を取り扱う必要がある。また、核燃焼にはアルファ粒子の考慮が必要である。また、新古典輸送に与える乱流の影響を考慮するモデル化を行う。乱流が直接駆動する粒子束と乱流に影響された新古典粒子束を扱い、輸送シミュレーションを実施した研究はないため、この物理課題に取り組む予定である。
- (2) 準線形乱流粒子束は、1) 乱流の揺動振幅ないし拡散係数、2) 温度勾配に比例する非対角項、3) その他ピンチ項で構成されている。しかし、輸送シミュレーションに適用可能な非対角項やピンチ項の係数を決定する妥当なモデルは存在していない。局所ジャイロ運動論コードが予測する粒子束を再現するような各係数を決定するモデルを導く。構築されたモデルを用いたシミュレーションにより、JT-60U など観測されている密度分布の再現性を調べ、モデルの改善を行う。
- (3) 通常のトカマクでも内部変数の連関は高い自律性を持っているが、核融合炉では核燃焼がア

ルファ加熱主体となることによってさらに自律性の高い系となる。さらに、外部からのプラズマ制御が格段に困難になるため、プラズマ回転を中心に外部から制御可能な手法を検討する。また、様々な要素のコードの統合化により、プラズマを定常維持するパラメータ領域と制御手法を探る。

#### 4. 研究成果

当初研究計画案に記載された研究の方法通りでは無く、柔軟に研究手段、計画を組み直すことによって、多くの研究成果を創出することに成功した。研究の方法(2)に記載された研究は主に共同研究者が主体となった共同研究で実施したため、本稿での記載は省略する。本稿では研究代表者が主体的に実施した研究について、(1)(3)に加えて研究の新たな展開によって創出された成果について記載する。

【TASK/TX コード】トカマクにおいて、コイルから供給された磁束の消費はオーミック放電の持続時間に関わるため、磁束消費の正確な評価は重要である。トカマクではオーミックソレノイドコイルによって供給されるポロイダル磁束が主であり、これまでの磁束消費の研究は全てポロイダル磁束に着目して行われてきた。一方でトロイダル磁場コイルによって供給されるトロイダル磁束も存在しているが、時間的に大きく変化しないこともあってその磁束消費はこれまでその存在に言及されることはあっても詳細を研究されることは無かった。代表者はポインティング定理に則りポロイダル磁束とトロイダル磁束の磁束消費を定める表式を初めて導出することに成功し、また、軸対称系ではそれぞれの磁束に対するポインティング則が独立に成立していることを明らかにした。このことは、従来ポロイダル磁束のみ考慮されてきたこれまでの研究とは矛盾しないことを意味している。TASK/TX コードは、ドリフトオーダリングに基づくモーメント方程式に加えマクスウェル方程式系を解いているため、従来の輸送コードとは大きく異なる。この方程式系はトロイダル磁束消費を記述することができるため、導出した理論の数値的な検証を行った。妥当性の検証を終えた後、様々なトカマク運転シナリオでトロイダル磁束の寄与を調べた結果、プラズマ電流変化時や加熱直後などの遷移的状況下においてはトロイダル磁束の磁束消費も有意な大きさとなることをシミュレーションで明らかにした。

TASK/TX を用いて、NB 入射直後に観測されているプラズマ電流と逆方向のトロイダル回転の物理機構について考察を行った。高速中性粒子がプラズマ中のイオンと反応して熱プラズマ中で非両極性輸送となり、逆方向回転を生む  $j \times B$  トルクを生じさせることをシミュレーションで明らかにした。

多流体輸送コード TASK/TX を拡張し、不純物の挙動を扱えるようにした。不純物はバルクイオンと同様の方程式群によって記述されており、電子・バルクイオン・不純物を完全に自己無撞着に扱うことができるようになった。拡張された TASK/TX を用いて新古典両極性輸送の研究を行った。従来の粒子輸送モデリングでは電子の粒子束は質量差から無視できると扱ってきたが、図 1 に示すとおり有限の誘導電場下において生じるウェア粒子束に着目すると、電子の粒子束は無視できない大きさであることを発見した。また、衝突演算子の自己随伴性に依らず運動量保存のみで両極性輸送が達成されることを数値計算でも明らかにした。プラズマ中で複数の価数状態を取る不純物のソースモデリングの検討を実施し、実装に向けた準備を整えた。

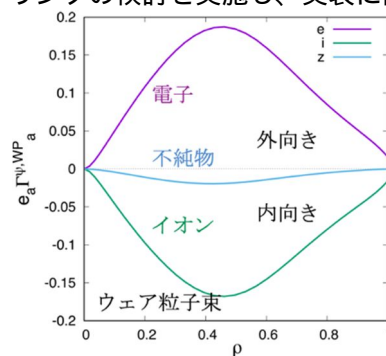


図 1 ウェア粒子束の粒子種ごとの内訳。

【TRESS+GKV コード】流体・運動論的手法を統合したコードとして TRESS+GKV コードを開発している。局所ジャイロ運動論コード GKV やジャイロ流体モデル TGLF のような、温度勾配に対して流束が非線形かつ急激な応答を示す“硬い”輸送モデルを従来型の輸送コードに用いた場合、局所的な数値的振動が生じ、それが伝播して計算が破綻してしまう問題が知られていた。流体量の時間発展を記述する非定常偏微分方程式を解く TRESS コードに、硬い輸送モデルに起因する不安定性を抑制する効果をもたらすニュートン・イタレーション法を導入した。それにより、数値振動が生じにくくなったとともに、比較的大きな時間刻み幅で安定した解が得られるようになった。

TRESS+GKV は GKV コード内に TRESS をコードベースで埋め込まれる形で作られており、

GKV の MPI 並列数分だけ、各プロセスにおいて TRESS は全く同じ計算を実行していた。マスター以外の TRESS は無駄に計算をすることとなっている上に、TRESS や GKV にソースアップデートがなされた場合にその都度両者を結合しなくてはならない手間も発生するため、望ましい形態とは言えなかった。そこで、2つのコードが独立に存在し、それらが MPI を介してデータをやりとりしながら実行する MPMD(Multiple Programs, Multiple Data)形式へと TRESS+GKV を書き換えることに成功した。これによって計算速度はそのままに、コードの開発を大幅に加速させる可読性と保守性を兼ね備えたコードとなった。

【GOTRESS コード】硬い輸送モデルを安定に取り扱うニュートン・イタレーション法は拡散係数を温度勾配で微分するなどして数値振動を抑制する手法であるため、温度勾配や微分の評価そのものに数値誤差が生じるほか上手く安定化できないこともしばしばであった。そこで、本質的に数値振動が生じないアルゴリズムに基づいて輸送方程式を解く輸送コードを開発することにした。拡散係数分布の振動は温度の径方向微分の評価によって生じている事に着目し、温度とその径方向微分を従属変数に取り、それらを遺伝的アルゴリズムやネルダー・ミード法などの大域最適化手法を用いて決定する手法を着想した。そして、解法上振動解が生じない定常輸送コード GOTRESS を開発することに成功した。GOTRESS は硬い輸送モデル TGLF を用いても振動解とならず、高速に解く事ができることを確認している。

MPI 並列で動作する GOTRESS が用いる TGLF はそれ自身が並列化されているため、遺伝的アルゴリズムの各個体がそれぞれ並列化された TGLF を呼ぶために、前述の MPMD 形式で複数コードを協調動作させる枠組みを構築した。これによって、大型並列計算機上で大規模並列計算を行い、初めて TGLF を用いた JT-60U の温度分布再現シミュレーションを複数例行うことができ、実験分布の良好な再現性が得られた(図 2(a))。

GOTRESS は TGLF を安定に解くことが出来るようになった一方で、解の収束までに TGLF を百万オーダーの回数呼ぶために、大型並列計算機を用いても計算時間が掛かってしまうことが課題となっていた。そのため、機械学習法の一つである人工ニューラルネットワークモデルを用いて TGLF の振る舞いを模擬する代理モデルを構築した。遺伝的アルゴリズムは広いパラメータ空間上を満遍なく探索することにより学習に必要なデータを大量生成するため、GOTRESS は深層学習との親和性が極めて高いコードである。TGLF の代理モデルは TGLF の振る舞いを良好に再現し、計算速度は 1 万倍程度加速された。さらに、ニューラルネットワークモデルの最適化手法を用いることで、更なる高精度の代理モデルを構築することにも成功した。JT-60U 放電も良好に再現する事を確認している。図 2(b)はその例であり、最適化された代理モデルは元の TGLF が予測した熱拡散係数分布を極めて忠実に再現していることが分かる。次に、代理モデルが学習したパラメータ域外においてどこまで元のモデルの挙動を模擬できるか調査を行った。訓練に用いたデータを TGLF が生成した際の支配的なプラズマ不安定性が変化しない範囲においては、学習パラメータ域外においても良好な外挿性を確認した一方、主たる不安定性が変化するなど質的な変化が生じるパラメータ領域においては大幅な予測性能の低減を確認した。この問題は、学習に用いるケース数を増大させることである程度克服できることも確認した。

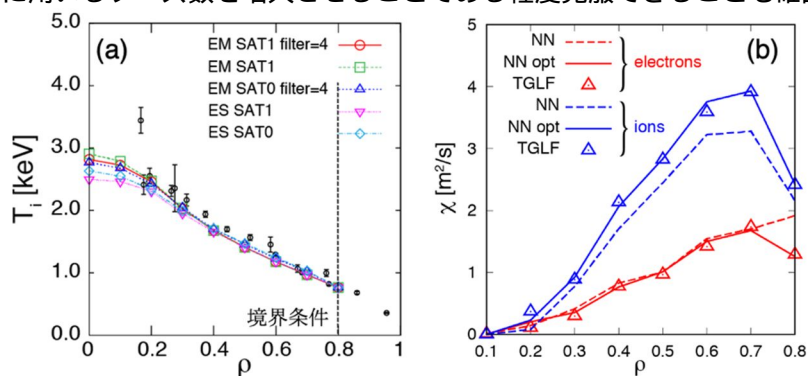


図 2 (a)GOTRESS と TGLF による JT-60U のイオン温度分布再現シミュレーション。凡例にあるように輸送モデルのオプションを変えても予測結果はほぼ不変である。(b)TGLF と、その代理モデル(NN)、最適化代理モデル(NN opt)が予測した熱拡散係数分布。

【統合モデル GOTRESS+】ITER や原型炉などの運転シナリオで規定される性能は、通常最高性能が得られる定常状態において定められる。従来の非定常輸送コードを核とした統合コードでは、初期状態から定常状態へと移行するまで長時間のシミュレーションを実行しなければならず、計算資源も計算時間も浪費していた。定常状態のプラズマを直接求めるため、定常輸送コード GOTRESS を核とした、全く新しい統合モデル GOTRESS+を開発した。平衡コード ACCOME と OFMC など複数の加熱コードを結合することにより、平衡、電流、加熱、温度分布間で矛盾のない自己無撞着な予測を行うことが可能になった。非定常型統合輸送モデルの代表例である TOPICS とのベンチマーク結果は極めて良好であり、TOPICS より高速に定常解が



得られることが分かった。

H モードプラズマの予測を確固たるものとするため、プラズマ周辺領域にできるペDESTALの幅と高さを予測するモデル EPED1 を結合した。我々の EPED1 モデルは、大まかにペDESTAL幅を予測する半経験的スケーリング則と理想 MHD 安定性コード MARG2D から成り立っている。EPED1 を加えることでプラズマ周辺部の分布を決定することが可能となった。MHD 安定性を確保しつつ、H モード放電におけるプラズマ全域の予測が可能となり、初めて信頼性の高い JT-60SA 放電予測を行えるようになった。JT-60SA の ITER 相類似誘導放電シナリオと高圧力非誘導定常運転シナリオの運転シナリオ妥当性検証シミュレーションを行い、CDBM 乱流輸送モデルを用いた結果、両シナリオともに目標とする無次元量を概ね満たすシナリオが成立しうることを確認した。図 3 は高圧力非誘導定常運転シナリオでの分布予測の例であり、高いペDESTALと内部輸送障壁が高閉じ込めプラズマを実現していることが分かる。ITER や原型炉の核燃焼プラズマのシミュレーションに対応するため、アルファ加熱モデルと放射損失モデルを GOTRESS に実装した。GOTRESS+で核燃焼プラズマシミュレーションを実施するための準備が進展中である。

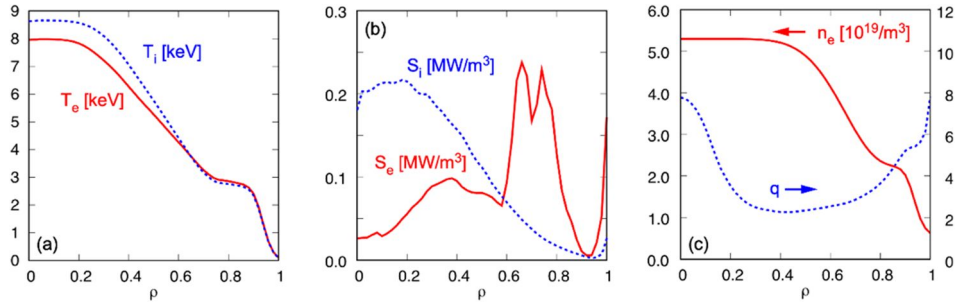


図 3 GOTRESS+による JT-60SA 高圧力非誘導定常運転シナリオの予測。(a)温度分布、(b)加熱分布、(c)密度分布と安全係数分布。

【新古典トロイダル粘性】磁場の軸対称性の破れが作る新古典トロイダル粘性 (NTV) はプラズマのトロイダル回転に影響を与える内在的トルク源となるため、回転の制御性確立のためには NTV の適切な評価が重要である。JT-60SA に設置される誤差磁場補正コイルは、通電パターンや電流値を変化させることで能動的に様々なパターンの摂動磁場を印加できる。プラズマ応答を考慮して複数のパターンにおいて生じる NTV を評価した結果、トロイダルモード数  $n=1$  の共鳴磁場摂動印加が最小のコイル電流で最大の NTV が得られるセッティングであることを明らかにした。共鳴磁場増強効果によって、非共鳴磁場摂動印加の場合と比べて 5 分の 1 のコイル電流値で同程度の NTV を生じさせていた。少ないコイル電流で最大限の制御性を得るための、重要な成果である。

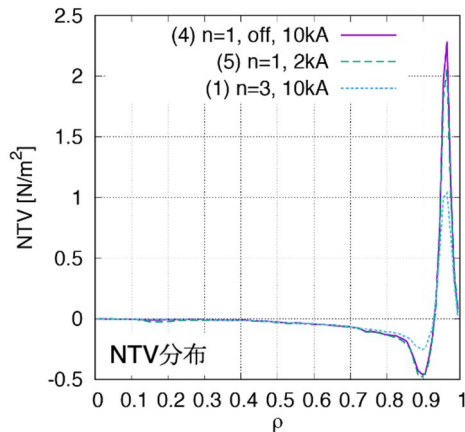


図 4 NTV の径方向分布。(4) $n=1$  非共鳴磁場摂動印加に比べ、(5) $n=1$  共鳴磁場摂動印加は 5 分の 1 のコイル電流値で同程度の NTV が得られている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 HONDA Mitsuru, NARITA Emi	4. 巻 16
2. 論文標題 Development of a Surrogate Turbulent Transport Model and Its Usefulness in Transport Simulations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 2403002 ~ 2403002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.16.2403002	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 Honda M., Narita E.	4. 巻 26
2. 論文標題 Machine-learning assisted steady-state profile predictions using global optimization techniques	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 102307 ~ 102307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5117846	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 Honda Mitsuru	4. 巻 231
2. 論文標題 Application of genetic algorithms to modelings of fusion plasma physics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computer Physics Communications	6. 最初と最後の頁 94 ~ 106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpc.2018.04.025	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 Honda M.	4. 巻 58
2. 論文標題 Volt-second balance with the toroidal magnetic flux based on Poynting's theorem in tokamaks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 026006 ~ 026006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/aa9869	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 Honda M., Satake S., Suzuki Y., Matsunaga G., Shinohara K., Aiba N., Yoshida M., Ide S.	4. 巻 58
2. 論文標題 Effects of the applied magnetic fields with various toroidal phase differences on the neoclassical toroidal viscosity in JT-60SA	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 112012 ~ 112012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/aabaaa	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 Honda M., Aiba N., Seto H., Narita E., Hayashi N.	4. 巻 61
2. 論文標題 Development of a novel integrated model GOTRESS+ for predictions and assessment of JT-60SA operation scenarios including the pedestal	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 116029 ~ 116029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac2639	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 Motoki Nakata, Mitsuru Honda	4. 巻 17
2. 論文標題 Gyrokinetic turbulent transport simulations on steady burning condition in D-T-He plasmas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 -
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 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 Emi Narita, Mitsuru Honda, Shinya Maeyama, Tomohiko Watanabe	4. 巻 62
2. 論文標題 Toward efficient runs of nonlinear gyrokinetic simulations assisted by a convolutional neural network model recognizing wavenumber-space images	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/ac70e8	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17件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 本多充、相羽信行、瀬戸春樹、成田絵美、林伸彦
2. 発表標題 統合モデルGOTRESS+へのEPED1モデルの結合とJT-60SA運転シナリオ開発
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 M. Honda, E. Narita
2. 発表標題 Development of a surrogate turbulent transport model and its usefulness in transport simulations
3. 学会等名 The 29th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本多充、矢本昌平、福山淳
2. 発表標題 TASK/TXの不純物輸送モデリングと両極性輸送
3. 学会等名 第37回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Honda, E. Narita
2. 発表標題 Fast computation of the steady-state transport solver GOTRESS assisted by a deep neural network modeling
3. 学会等名 2nd International Conference on Data Driven Plasma Science (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 M. Honda, E. Narita, N. Hayashi
2. 発表標題 Integrated code framework for operation scenario development with the global-optimizer-based iterative solver GOTRESS
3. 学会等名 46th EPS Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本多充、成田絵美
2. 発表標題 機械学習法を用いたGOTRESSシミュレーションの高速化
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 M. Honda, S. Ide, E. Narita, N. Hayashi
2. 発表標題 Prediction of kinetic profiles using a new transport solver based on global optimization techniques
3. 学会等名 45th EPS Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本多充、成田絵美、林伸彦
2. 発表標題 統合モデルの核としてのフラックスマッチングコードGOTRESSの進展
3. 学会等名 第35回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本多充、神谷健作、篠原孝司、福山淳
2. 発表標題 中性粒子ビーム入射直後の非両極性輸送とトルクの生成について
3. 学会等名 第74回日本物理学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Honda, S. Satake, Y. Suzuki, G. Matsunaga, K. Shinohara, M. Yoshida, S. Ide
2. 発表標題 Effects of the applied magnetic field phasing on the neoclassical toroidal viscosity and toroidal rotation in JT-60SA
3. 学会等名 16th International Workshop on H-mode Physics and Transport Barriers (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Honda
2. 発表標題 APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS TO MODELINGS OF PLASMA PHYSICS
3. 学会等名 The 25th International Conference on Numerical Simulation of Plasmas (ICNSP 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Honda, N. Hayashi, S. Satake, Y. Suzuki, K. Shinohara, E. Narita, N. Aiba, M. Nakata, A. Fukuyama
2. 発表標題 Progress of the integrated transport modeling including the radial electric field and plasma rotation in tokamak
3. 学会等名 Plasma Conference 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本多 充
2. 発表標題 ポインティングの定理に基づくトカマクのトロイダル磁束を考慮した磁束消費バランス
3. 学会等名 第73回日本物理学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本多 充、本間裕貴、松山 顕之
2. 発表標題 TASK/TXの不純物輸送モデリング
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 M. Honda, N. Aiba, H. Seto, E. Narita, N. Hayashi
2. 発表標題 Development of a novel integrated model GOTRESS+ for predictions and assessment of JT-60SA operation scenarios including the pedestal
3. 学会等名 28th IAEA Fusion Energy Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Honda, E. Narita
2. 発表標題 Development of the framework to cope with advanced transport models using parallel computing and deep learning techniques
3. 学会等名 9th Asia-Pacific Transport Working Group (APTWG) Meeting & US-EU Transport Task Force Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Honda, E. Narita, S. Maeyama, T.-H. Watanabe
2. 発表標題 A deep-learning approach to analyze wavenumber-space images of gyrokinetic simulations for faster calculations
3. 学会等名 5th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (AAPPs-DPP2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021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
連携研究者	仲田 資季  (Nakata Motoki)  (40709440)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授    (63902)	

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