

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360416

研究課題名(和文)統合モデルによるトカマク炉心プラズマ動特性の解明とシミュレータの開発

研究課題名(英文)Study of plasma dynamics and development of simulator by integrated models

研究代表者

小関 隆久(Ozeki, Takahisa)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門・六ヶ所核融合研究所・嘱託

研究者番号：50354577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円、(間接経費) 3,930,000円

研究成果の概要(和文)：複雑さや非線形性を持つトカマク核融合炉のプラズマを制御するため、プラズマの主要な物理要素の理論的モデルを開発し、それらのモデルの統合により、各物理モデルを矛盾なく扱える統合シミュレーションコードを開発した。ここでは、コアプラズマ熱・粒子輸送コードを統合コードのプラットフォームとして、加熱・電流駆動、MHD安定性、ダイバータ、高エネルギー粒子等の各モデルを結合し、統合コードを構築した。開発した統合コードを用いて、炉心プラズマの複雑現象の解明や実験との検証を行い、炉心プラズマの制御に向けた指針を示した。この統合コードは、トカマク核融合炉のプラズマ・シミュレータの原型版の開発に資するものである。

研究成果の概要(英文)：In order to control the plasma in the tokamak fusion reactor with a non-linearity and complexity, theoretical models of the major physical elements of the tokamak plasma are developed. By the integration of these models, the integrated simulation code that can handle consistently each physical model is produced. In this code, the heat and particle transport code of the core plasma is used as a platform for the integrated code, and the physics models of heating and current drive, MHD stability, divertor, high-energy particles effects are coupled to the platform code. Using the integrated code developed here, the integrated model is validated by the comparison with the experimental result. Complex phenomena of core plasma are elucidated, and guides toward the control of the core plasma are indicated. The integration code is contribute to the construction of a prototype version of the plasma simulator that complements the actual discharge of tokamak fusion reactor.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学、核融合学

キーワード：統合モデル トカマク 炉心プラズマ シミュレータ 熱粒子輸送 MHD ダイバータ

1. 研究開始当初の背景

核融合燃焼プラズマにおいては、プラズマの自律的な構造形成やプラズマ現象の相互作用による、複雑性、非線形性、自己組織化が生じ、核融合炉においてはこれらのプラズマ複雑挙動を制御する必要がある。特に、先進トカマクと呼ばれる、高プラズマ閉じ込め性能、高ベータプラズマ、高ブートストラップ電流割合プラズマにおいては、プラズマ間の相互作用が強くなり、炉心プラズマのグローバルな挙動を求めるには、個々の物理挙動を統合したモデルの開発が必要である。また、核融合出力効率の高い高性能プラズマ（高Q状態プラズマ：Qは核融合エネルギー増倍率）においては、外部から操作入力が少ない状態となり、プラズマの自律性が高く、制御法の構築が大きな課題となっている。この困難を解決する有力な方法は、複雑現象をもたらしている個々の物理現象をモデル化し、モデルの統合化によって相互作用による複雑現象を数値的に模擬するプラズマ統合シミュレーションコードの開発である。実際の燃焼プラズマ全体をシミュレーションするには、空間スケール及び時間スケールが大きく掛け離れており、現実的な計算時間に終了するのは現時点で困難であるが、適切なモデル化により、実形状スケールで実時間スケールのシミュレーションが可能となる。

この統合シミュレーション研究では、欧州、米国などでも同様の研究開発が開始されたところである。構築した統合モデルの妥当性が課題であり、炉心級プラズマの実験から、実形状スケールで実時間スケールの適切なプラズマ計測によるモデルの検証が重要とされている。これらから、理論・シミュレーションと実験の相補的關係を構築し、実施可能な統合シミュレーションコードの開発は世界的な研究課題となっている。特に、ITERや原型炉に向けて、燃焼プラズマのための包括的なシミュレーション／モデリングの開発で、日、欧、米で先陣を争っており、緊急を要する研究課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、核融合炉心プラズマが持つ複雑さ、非線形さ、自律さ等による物理課題を解決するため、計算機シミュレーションにより炉心プラズマを予測・評価し、トカマク核融合炉の実放電（実験／運転）を補完するプラズマ・シミュレータの原型版を開発することにある。そこで、シミュレータの基盤となるトカマク・プラズマの各物理要素の主要な物理課題に対して理論的モデルを開発し、実験による検証を基にした物理モデルの統合化を図ることにより、トカマク炉心プラズマシミュレータの構築に資する。さらに、トカマク・プラズマ制御の観点からクリティカルパス上にある主要な課題に対して、動応答特性を解明すると共に制御方法を開拓する。

3. 研究の方法

はじめに、核融合炉心プラズマ開発に不可欠な課題に対して物理モデルの開発を行い、コードの統合・整備によって複数の物理モデルの整合性がある状態でのシミュレーションを可能とする。また、開発した統合物理モデルを基にしたシミュレーションを実施することにより、炉心プラズマの物理機構の解明を行ない、物理特性を最適化する制御法を開拓する。主な研究の方法は以下である。

- 1) コアプラズマ熱・粒子輸送コードのプラットフォーム化改造、外部コイル／導体モデル及び加熱・電流駆動モデルのプラットフォームへの結合を行う。これらの統合モデルにより、プラズマ形状・分布制御の研究を行う。
- 2) プラズマ流輸送モデル及びMHD安定性モデルを開発し、プラットフォームへ結合する。これらの開発したモデルにより、プラズマ流制御の研究の研究を行う。
- 3) プラズマ周辺モデル及びダイバータの統合モデルを開発し、粒子供給モデル等のプラットフォームへの結合を行う。他の物理モデルとの整合性を保ちつつ、炉心プラズマの定常化に不可欠な粒子・熱制御法の開発を行う。
- 4) 核融合反応で発生する高エネルギー粒子（ α 粒子）の生成・輸送・損失モデル、アルフェン固有モードモデル、等のプラットフォームへの結合を進め、コアプラズマの熱・粒子輸送等の他の物理モデルとの整合性を保ちつつ、炉心級プラズマパラメータにおいて核融合反応熱による燃焼プラズマの安定性を調べ、ELMによるプラズマの熱・粒子輸送、熱放射による動特性を調べる。

4. 研究成果

核融合炉心プラズマの物理モデルの開発、及び複数物理モデルの統合化により、次の様な成果を得た。

- 1) プラズマ形状・分布制御の研究：炉心プラズマのコア領域における熱・粒子輸送コード TOPICS を統合化コードのプラットフォームとして整備した。このプラットフォームへ、加熱・電流駆動のための高速中性粒子入射を模擬するモンテカルロコード OFMC および氷状燃料ペレット入射による粒子補給モデル APLEX を結合して、プラズマ内部の温度・密度分布制御のシミュレーションを可能とした。輸送計算から求められるプラズマの周回電圧とコイル電流の時間変化を整合させる外部コイルモデル、及び真空容器等に誘起される渦電流と平衡計算を整合させる導体モデルを開発し、プラットフォームである TOPICS へ結合した。真空容器等に誘起される渦電流を計算する導体モデルを使用する場合のプラズマ位置形状制御性を改善するため、コイル電流制御ロジックの改良を行った。規格化圧力、安全係数最小値、周回電圧等、複数物理量の複合帰還制御コントローラを

検討し、中性粒子ビームおよび電磁波からなる加熱・電流駆動制御機器モデルを統合コードのプラットフォームである TOPICS コードに組み込み、上記コントローラと組み合わせることで閉ループでの複合制御シミュレーション環境を構築した。

TOPICS をプラットフォームとした統合コードに、中性粒子ビームと電磁波による加熱・電流駆動を用いたプラズマ内部分布制御と、外部コイル系による周回電圧の複合帰還制御を、JT-60SA における定常高ベータ運転に適用した。開発した統合制御ロジックを用いて、プラズマ内部分布の最適化により、炉心プラズマで必要となる高密度（グリーンワールド比 0.88）および低密度（グリーンワールド比 0.52）で規格化ベータ値が 4 以上のプラズマを定常維持できることを示した。

2) プラズマ流制御の研究：トロイダル運動量の時間発展を解く方程式を新たに導出し、プラットフォーム TOPICS に実装し、併せて径電場を自己無撞着に解くルーチンを開発し結合した。それによって、TOPICS と高速中性粒子軌道追跡コード OFMC を共同させ、OFMC からのトルク情報を基に TOPICS でトロイダル運動量の時間発展を可能とした。これらのモデルは、JT-60U 実験との比較によってモデルの有効性を検証した。さらに JT-60SA の H モード放電・ITER のハイブリッド放電の予測や、実験で観測されていたトロイダル回転の違いによる H モード閉じ込め性能の違いを定性的に説明することに成功した。回転を含む MHD コード MINERVA と抵抗性壁モジュール RWMaC を結合した。更に、TOPICS が予測する回転分布を導入することにより、輸送及び MHD コードによる自己無撞着な抵抗性壁モード (RWM) 解析が可能となった。統合コードプラットフォーム TOPICS に、核融合科学研究所との協力との協力を基に、3 次元平衡コード VMEC および新古典輸送コード FORTEC-3D を組み合わせた統合モデルを構築し、JT-60U における非軸対称摂動磁場で生じる新古典トロイダル粘性のトロイダル回転への影響を定量的に明らかにした。また、TOPICS の平衡ソルバーに遠心力効果を含むように拡張し、プラズマ流の効果を含む MHD 安定性コード MINERVA と TOPICS を結合することにより、MHD 安定特性の自己無撞着な解析手法を開発した。RWM の評価を行い、回転シアが RWM の成長率を下げることを示した。

3) 熱・粒子制御の研究：コア領域と周辺プラズマとの相互作用を取り込んだモデル開発のため、ダイバータ統合コード SONIC を TOPICS に結合した。これにより、H モード遷移のシミュレーションにより、リサイクリングの動的な特性を明らかにした。周辺プラズマ領域における熱、粒子輸送を解く SONIC コードにおいて、炭素だけでなくネオン、アルゴン不純物への取扱を拡張した。また、トカ

マク装置のドーム下での不純物輸送を効率良く計算する「逆流モデル」を構築し、これを統合コードに結合することで、プラズマと不純物との相互作用を高速に求めることを可能とした。次期装置 JT-60SA 及びデモ炉 SlimCS に於ける、不純物による放射冷却効果等のダイバータ特性検討を実施した。その結果、アルゴン入射による放射冷却により、JT-60SA の周辺プラズマが低密度でも、ダイバータ熱負荷を低減できる事を明らかにした。また、炉心プラズマからの ELM による熱吐き出しについては、燃料ペレットのペDESTAL への進入を制御することにより、吐き出しが大きく低減出来る事を明らかにした。周辺プラズマとダイバータプラズマコードの統合化を進める上で拡張性に優れ、並列化計算効率の高い Multi Program Multi Data (MPMD) モデルの開発を行い、その有効性を実証した。周辺プラズマ領域の粒子・熱輸送を解く SONIC コードを用いて、JT-60SA 及び原型炉の熱制御シナリオについて解析を行い、不純物ガスパフ等により熱負荷の観点でダイバータが成立する運転領域を見いだした。

4) 核燃焼制御の研究：核燃焼モデルの開発とプラットフォームへの結合に向けて、核燃焼プラズマにおいて TAE モードに起因するアルファ粒子の異常輸送を模擬するフォッカープランクコード (FP) を TOPICS コードに組み込み、アルファ粒子の生成・異常輸送・損失とバルクプラズマの加熱・熱輸送の自己矛盾の無いシミュレーションを行ない、核融合増倍率 Q 値の減少量の評価を実施した。その結果、異常輸送が拡散型でも対流型であっても Q 値の減少には下限が存在することをシミュレーションで示し、理論モデルでも証明した。さらに、解析精度の高いバウンス平均 FP コードの数値解法を時間変化する平衡磁場配位へ拡張した。燃料ペレットによる ELM 制御特性を調べ、ELM 制御に対するペレットの入射条件の有効性を JT-60U と ITER のプラズマで確認した。さらに、必要なペレットの大きさを評価して ITER の経験的設計に物理的背景を与え、ITER における ELM 制御に指針を示した。

以上から、TOPICS コードをプラットフォームとし、コアプラズマからダイバータプラズマまでの主なトカマクプラズマモデルを統合化し、主要なコントローラと組み合わせることができ、複合的なシミュレーションを行える、トカマク炉心プラズマシミュレータの原型版の開発に資することができた。さらに、開発した統合モデル化により、複合的な物理要素を含むプラズマ制御法の研究を行い、デモ炉、ITER や JT-60SA の実験・運転への指針を得る事ができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 17 件)

- (1) N. Hayashi, M. Honda, K. Hoshino, K. Hamamatsu, K. Shimizu, T. Takizuka, T. Ozeki, A. Fukuyama, Integrated modeling of whole tokamak plasma, Plasma and Fusion Research, 査読有、6 巻、2011、pp. 2403065, DOI: 10.1585/pfr.6.2403065
- (2) N. Hayashi, V. Parail, F. Koechl, N. Aiba, T. Takizuka, S. Wiesen, P.T. Lang, N. Oyama and T. Ozeki, Integrated simulation of ELM triggered by a pellet through energy absorption and transport enhancement, Nuclear Fusion, 査読有、51 巻、2011、pp. 103030
DOI: 10.1088/0029-5515/51/10/103030
- (3) M. Honda, T. Takizuka, K. Tobita, G. Matsunaga and A. Fukuyama, Alpha particle driven toroidal rotation in burning plasmas, Nuclear Fusion, 査読有、51 巻、2011、pp. 073018
DOI: 10.1088/0029-5515/51/7/073018
- (4) K. Hoshino, et al., Improvement of the detachment modelling in the SONIC simulation, Journal of Nuclear Materials, 査読有、415 巻、2011、pp. S549-S552
DOI: 10.1016/j.jnucmat.2011.01.003
- (5) N. Aiba, J. Shiraishi and M. Hirota, Impact of plasma rotation on the linear physics of resistive wall modes in tokamaks, Plasma Phys. Control. Fusion, 査読有、6 巻、2011、pp. 2403065-1, 2403065-8
DOI: 10.1585/pfr.6.2403065
- (6) M. Honda, M. Kikuchi and M. Azumi, Collisionality dependence of a shielding factor of a beam driven current, Nuclear Fusion, 査読有、52 巻、2012、pp. 023021-1, 023021-12, DOI:10.1088/0029-5515/52/2/023021
- (7) M. Yagi, K. Shimizu, T. Takizuka, M. Honda, N. Hayashi, K. Hoshino, A. Fukuyama, Simulation Study of L/H Transition with Self-Consistent Integrated Modelling of Core and SOL/Divertor Transport, Contrib. Plasma Phys. 査読有、52 巻 2012、pp. 372-378, DOI 10.1002/ctpp.201210019
- (8) K. Hoshino, K. Shimizu, N. Asakura, T. Takizuka, M. Nakamura, K. Tobita, Simulation Study of an Extended Divertor Leg for Heat Control in the SlimCS DEMO Reactor, Contrib. Plasma Phys. 査読有、52 巻、2012、pp. 550-554,
DOI 10.1002/ctpp.201210048
- (9) N. Aiba and N. Oyama, Numerical analysis of key factors for the appearance of grassy ELMs in tokamak plasmas, Nucl. Fusion, 査読有、52 巻、2012、114002 (8pp) DOI : 10.1088/0029-5515/52/11/114002
- (10) N. Hayashi, N. Aiba, T. Takizuka and N. Oyama, Reduction of ELM energy loss by pellet injection for ELM pacing, Nuclear Fusion 査読有、53 巻、2013、pp. 123009 (10pp) DOI: 10.1088/0029-5515/53/12/123009
- (11) M. Honda, S. Ide, T. Takizuka, N. Hayashi, M. Yoshida, M. Yagi and T. Fujita, Development of the transport-code framework for self-consistent predictions of rotation and the radial electric field, Nuclear Fusion, 査読有、53 巻、2013、pp. 073050 (11pp) DOI : 10.1088/0029-5515/53/7/073050
- (12) A. Bierwage, K. Shinohara, N. Aiba and Y. Todo, Role of convective amplification of $n = 1$ energetic particle modes for N-NB ion dynamics in JT-60U, Nuclear Fusion, 査読有、53 巻、2013、pp. 073007-1, 073007-12
DOI : 10.1088/0029-5515/53/7/073007
- (13) N. Aiba, J. Shiraishi and M. Hirota, Impact of plasma rotation on the linear physics of resistive wall modes in tokamaks, Plasma Phys. Control. Fusion, 査読有、55 巻、2013、pp. 074002 (7pp) DOI : 10.1088/0741-3335/55/7/074002
- (14) J. Shiraishi, N. Miyato, and G. Matsunaga, On kinetic resistive wall mode theory with sheared rotation, Plasma and Fusion Research, 査読有、9 巻、2014、pp. 3403027-1, 3403027-4, DOI : 10.1585/pfr.9.3403027
- (15) A. Bierwage, Y. Todo, N. Aiba and K. Shinohara, Dynamics of low- n shear Alfvén modes driven by energetic N-NB ions in JT-60U, Nuclear Fusion, 査読有、54 巻、2014 (掲載確定)、印刷中
- (16) N. Hayashi, N. Aiba, T. Takizuka and N. Oyama, Integrated simulation study of ELM pacing by pellet injection in ITER, Contrib. Plasma Physics (6pp) 査読有、54 巻 2014、pp. 599-604, DOI 10.1002/ctpp.201410040
- (17) M. Honda, S. Satake, Y. Suzuki, G. Matsunaga, K. Shinohara, M. Yoshida, A. Matsuyama, S. Ide and H. Urano, Experimental analyses and predictive simulations of toroidal rotation driven by the neoclassical toroidal

viscosity in rippled tokamaks,
Nuclear Fusion、査読有、54巻、2014 (掲
載確定)、印刷中

[学会発表] (計28件)

- (1) 林 伸彦、他、原子力機構における統合シミュレーションの進展 (招待講演)、プラズマシミュレータシンポジウム2011、2011年9月13-14日、岐阜県土岐市
- (2) N. Hayashi, et al. Integrated simulation study of ELM pacing by pellet injection with TOPICS-IB, 13th International Workshop on H-mode Physics and Transport Barriers, 2011年10月10-12日 Oxford, UK
- (3) T. Takizuka, et al. On the analysis method for momentum transport experiments, 1st Asia Pacific Transport Working Group International Conference 2011年6月14-17日岐阜県土岐市
- (4) M. Yagi, et al., Simulation study of L/H transition with self-consistent integrated modelling of core and SOL/divertor transport (招待講演), 13th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices, 2011年9月21日, South Lake Tahoe, USA
- (5) 滝塚知典、他 トカマク DEMO 炉の ELM 抑制共鳴磁場擾乱用ヘリカル状フェライト鋼設置, Plasma Conference 2011 2011年11月22-25日石川県金沢市
- (6) 清水勝宏、他、コアと周辺プラズマ輸送の統合モデルによる LH 遷移のシミュレーション、Plasma Conference 2011、2011年11月22-25日、石川県金沢市
- (7) 林 伸彦 Integrated simulation study of ELM pacing by pellet injection with TOPICS-IB Plasma Conference 2011, 2011年11月22-25日 石川県金沢市
- (8) 藤田隆明、New Plasma Regime and Physics Research in JT-60SA towards ITER and DEMO (招待講演) Plasma Conference 2011, 2011年11月25日 石川県金沢市
- (9) 本多 充、トカマク輸送コードにおけるトロイダル運動量・径電場モデリング日本物理学会第67回年次大会 2012年3月27日 兵庫県西宮市
- (10) 濱松清隆、アルファ粒子異常輸送が核燃焼トカマク・プラズマに及ぼす影響の数値シミュレーション日本物理学会第67回年次大会 2012年3月25日 兵庫県西宮市
- (11) N. Aiba, J. Shiraiishi, M. Hirota, M. Yagi, W. A. Cooper, R. Gruber, Impact of plasma rotation on MHD physics in tokamaks - Theory and numerical applications, 2012 Varenna-Lausanne International Workshop 招待講演 Varenna, Italy, 27-31 August 2012
- (12) N. Hayashi, et al., Reduction of ELM energy loss by pellet injection for ELM pacing, 24th IAEA Fusion Energy Conference, San Diego, USA, 8-13 Oct. 2012
- (13) 本多 充、Predictive Transport Simulations Consistent with Rotation and Radial Electric Field Using TOPICS with OFMC、第24回IAEA核融合エネルギー会、2012年10月9日、米国サンディエゴ
- (14) 白石淳也、Stabilization of Resistive Wall Modes by Magnetohydrodynamic Equilibrium Change Induced by Plasma Toroidal Rotation、第24回IAEA核融合エネルギー会議、2012年10月10日 米国サンディエゴ
- (15) N. Aiba, W. A. Cooper and R. Gruber, Approach for efficient linear MHD analysis without spectrum pollution in tokamaks, 39th EPS Conference on Plasma Phys., Stockholm, Sweden 2-6 July 2012
- (16) K. Hoshino, M. Toma, K. Shimizu, N. Asakura, K. Tobita, A. Hatayama, T. Takizuka, Numerical analysis of tungsten erosion at the plasma facing surface in DEMO Reactor, 20th international conference of Plasma Surface Interactions, Aachen, Germany 21-25 May 2012
- (17) 林 伸彦、他、ELMペーシングのためのペレット入射によるELMエネルギー損失の低減」、第29回プラズマ・核融合学会年会、11月27-30日、福岡
- (18) 清水勝宏、星野一生、川島寿人、滝塚知典、不純物輸送モンテカルロコードにおけるドーム下からの逆流モデル、プラズマ・核融合学会第29回年会 2012 春日市 クローバープラザ
- (19) 星野一生、清水勝宏、滝塚知典、中村誠、SONICとSOLPSによるJT-60U非接触ダイバータプラズマモデリング、プラズマ・核融合学会第29回年会 2012 春日市 クローバープラザ
- (20) 本多 充、TOPICSとOFMCを用いたトロイダル運動量と径電場の輸送シミュレーション、第27回プラズマ・核融合学会年会、2012年11月27日、福岡県春日市
- (21) 濱松清隆、他、TAEによるアルファ粒子異常輸送が核燃焼トカマク・プラズマに及ぼす影響の数値シミュレーション、日本物理学会第68回年次大会、2013年3月26日、広島県東広島市
- (22) 白石淳也、トロイダル回転による磁気流体力学平衡の変化がもたらす抵抗性壁モード安定化、日本物理学会第68回年次大会、2013年3月26日、広島大学

- (23) T. Suzuki, et al., Investigation of the JT-60SA operation scenarios combined with integrated real-time controls, 40th EPS Conference on Plasma Physics (Espoo Finland, 1-5 Jul. 2013), P2.136
- (24) K.Hoshino, et al., Development of the backflow model for impurity exhaust in Monte-Carlo calculation, 14th International Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices, Cracow, Poland, 23-25 September 2013
- (25) K.Hoshino, et al., Divertor study on Demo reactor (招待講演), 23rd International Toki Conference, Toki, Japan, 18-21 Nov. 2013
- (26) N. Hayashi, et al., Integrated simulation study of ELM pacing by pellet injection in ITER, 14th Int. Workshop on Plasma Edge Theory in Fusion Devices, Cracow Poland, 23-25 Sep. 2013
- (27) 林 伸彦、他、「ITERにおけるペレット入射によるELM制御の統合シミュレーション」、第30回プラズマ・核融合学会年会、12月3-6日、東京
- (28) 林 伸彦、他、「ペレットによるELM制御の統合シミュレーション」、第11回核燃焼プラズマ統合コード研究会、12月19-20日、福岡

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他] ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小関 隆久 (OZEKI Takahisa)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・六ヶ所核融合研究所・嘱託
研究者番号：50354577

(2) 研究分担者

林 伸彦 (HAYASHI Nobuhiko)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・那珂核融合研究所・研究主幹
研究者番号：10354573

本多 充 (HONDA Mitsuru)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・那珂核融合研究所・研究員
研究者番号：90455296

濱松 清隆 (HAMAMATSU Kiyotaka)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・那珂核融合研究所・研究主幹
研究者番号：20354574
(平成25年度から連携協力者)

清水 勝宏 (SHIMIZU Katsuhiko)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・那珂核融合研究所・嘱託
研究者番号：30391262

(平成24年度から連携協力者)

藤田 隆明 (FUJITA Takaaki)

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：70354602

(平成24年度は連携協力者)

(3) 連携研究者

相羽 信行 (AIBA Nobuyuki)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・六ヶ所核融合研究所・主任副主幹
研究者番号：20414584

星野 一生 (HOSHINO Kazuo)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・六ヶ所核融合研究所・研究員
研究者番号：50513222

白石 淳也 (SHIRAISHI Junya)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・那珂核融合研究所・研究員
研究者番号：60513223

鈴木 隆博 (SUZUKI Takahiro)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・那珂核融合研究所・研究主幹
研究者番号：60354594

矢木 雅敏 (YAGI Masatoshi)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・六ヶ所核融合研究所・研究主幹
研究者番号：70274537

ビアワーゲ アンドレアス (BIERWAGE Andreas)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・六ヶ所核融合研究所・研究員
研究者番号：10584691

井手 俊介 (IDE Shunsuke)

独立行政法人日本原子力研究開発機・核融合研究開発部門・那珂核融合研究所・研究主席
研究者番号：20354590

滝塚 知典 (TAKIZUKA Tomonori)

大阪大学・招聘教授

研究者番号：40354576

福山 淳 (FUKUYAMA Atsushi)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：60116499