

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23561003

研究課題名(和文)乱流輸送のプラズマベータスケーリングのシミュレーション研究

研究課題名(英文) Numerical simulation study of plasma-beta scaling of turbulent transport

研究代表者

石澤 明宏 (Ishizawa, Akihiro)

京都大学・エネルギー科学研究科・准教授

研究者番号：30390636

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：磁場閉じ込め核融合実験装置内のプラズマで発生する乱流の研究において、従来の運動論シミュレーションではプラズマ圧力(ベータ)が低い極限が仮定された。我々は電磁的ジャイロ運動論シミュレーションコードを開発し、有限圧力プラズマに発生する乱流の解析を可能にし、この乱流によって生じる粒子および熱輸送の評価を可能にした。そして、この新たに開発したシミュレーションコードを用いて乱流による粒子および熱輸送の圧力依存性を示した。さらに、圧力が有限な場合、自己組織化によって生成される帯状流は弱いことが明らかになるとともに、帯状流生成以外の乱流飽和機構として磁力線方向の構造形成が重要であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Numerical simulation of turbulence in finite beta plasma is important for predicting fusion reactor. We have developed a new gyrokinetic simulation code that enables us to evaluate turbulent transport in finite beta plasmas. We revealed plasma beta dependence of turbulent transport of heat and particles by means of the new simulation code. Turbulent fluctuation becomes electromagnetic in finite beta plasma, and magnetic perturbation suppresses drift-wave turbulence that is normally responsible for turbulent transport in zero beta. In finite beta, magnetohydrodynamic turbulence influenced by kinetic effects is responsible for turbulent transport. The saturation mechanism of the electromagnetic turbulence is significantly different from the turbulence at zero beta because of very weak zonal flow which is a structure formation regulating the drift-wave turbulence. A new saturation mechanism of electromagnetic turbulence is a structure formation along the magnetic field line.

研究分野：核融合学

キーワード：プラズマ 乱流 核融合 運動論 シミュレーション 電磁的 プラズマベータ 輸送

1. 研究開始当初の背景

全体の背景 トーラス核融合実験装置において、有限圧力効果およびそれに伴って生じる電磁効果はプラズマ閉じ込め性能に大きな影響を及ぼす重要な効果である。しかし、核融合反応率やオペレーション範囲、ブートストラップ電流割合を規定する有限圧力効果はほとんど理解されていない。課題名にあるベータとはプラズマの圧力と磁場圧力との比であり、ベータが大きいほど圧力が高く、核融合反応率が高くなることが期待できる。

実験的背景 実験計測では、輸送のベータ依存性は実験装置によって結果が大きく異なっており、全てのマシンによる結果を包含するようなベータ依存性は得られていない。閉じ込め時間は JT-60U でベータの-0.6 乗、ASDEX-Upgrade でベータの-0.9 乗、JET と DIII-D ではベータ依存性はとても弱い。この実験装置が異なる場合、ベータ依存性が異なることの原因は理解されていない。

理論的背景 理論的には、プラズマ圧力効果はイオン温度勾配不安定性 (ITG) に対して安定化に作用するのでベータの増加とともに成長率が下がる。従って ITG 乱流による輸送はベータとともに減少すると考えられている。しかし、一方で、理想 MHD 不安定性限界以下であっても、運動論効果により MHD 不安定性が生じる。たとえば、運動論的バルーニングモードによって大きな輸送が生じると考えられている。これは、有限圧力効果によって不安定性がドリフト波ブランチからアルフベン波ブランチへ移行したことに対応する。

シミュレーション背景 数値シミュレーションを用いた乱流輸送の評価及びその理解は重要である。なぜなら、準線形理論による乱流輸送の評価は不十分であるからである。有限圧力 (プラズマベータ) 効果が優位なトーラスプラズマでの乱流のシミュレーションは主にジャイロ流体に基づいてなされてきた。この場合、乱流は運動論的バルーニングモードによって駆動される。運動論的バルーニングモードの励起限界は MHD バルーニングモードの励起限界よりベータが低いところにあり運動論的效果に強く依存する。しかし、磁化プラズマの運動論効果を正確に取り入れたジャイロ運動論シミュレーションを用いて、運動論的バルーニングモード励起限界付近での乱流の解析を行った例はほとんどない。国内では、ベータがゼロであること (静電近似) および電子の断熱応答を仮定してイオンの運動のみを解くジャイロ運動論シミュレーションコードを用いて乱流輸送の解析がなされている。そして、乱流輸送への有限圧力効果を評価できる電磁的ジャイロ運動論シミュレーションコードは、国内では未だ開発されていない。ジャイロ運動論に基づく有限ベータシミュレーションは困難であるが、近年、国外では計算可能になるとともに、さらに計算可能なベータ限界を

高くする試みが進んでいる。そして準線形理論では説明できないような輸送の低減も観測されている。しかし、これらのシミュレーション研究はベータ依存性 (ベータスケールリング) を得るには至っていない。

2. 研究の目的

トーラス型核融合実験装置において、有限ベータ効果およびそれに伴って生じる電磁乱流は、磁気面を破壊し静電揺動と相まって複雑な乱流輸送を起こし、プラズマ閉じ込め性能に大きな影響を及ぼす。その結果、核融合反応率やオペレーション範囲、ブートストラップ電流割合を規定する。ここでベータとはプラズマの圧力と磁場圧力との比であり、ベータが大きいほど圧力が高く、核融合反応率が高くなることが期待できる。しかし、有限ベータ効果およびそれに伴って生じる電磁乱流が閉じ込め性能へ影響する機構はほとんど理解されていない。例えば、実験装置が異なると輸送は異なるベータスケールリングを持つことは理解されていない。従って、数値シミュレーションによる有限ベータ効果の理解は極めて重要である。この研究の目的はジャイロ運動論シミュレーションを用いて、乱流輸送のベータ依存性を得ることである。具体的には、乱流輸送のプラズマベータ依存性を得るために数値シミュレーションコードの開発および実行を行い、その結果を実験結果と比較する。

3. 研究の方法

本研究において、乱流輸送に対する研究方法は電磁的ジャイロ運動論シミュレーションである。乱流輸送のベータ依存性を得るために、トーラスプラズマの電磁的ジャイロ運動論シミュレーションコードおよび角柱プラズマの電磁ジャイロ運動論シミュレーションコードを開発する。そして、すでにこれらのシミュレーションコードの開発を行っている海外のグループと活発に議論を行い、数値解法の議論およびベンチマークテストを行う計画である。シミュレーションコード開発後は、乱流による熱輸送および粒子輸送のプラズマベータ依存性を調べる。これらの結果を実験観測と比較するとともにベータ依存性の物理機構を明らかにするために、静電ポテンシャル揺動、磁場揺動、ゾーナル流およびゾーナル磁場の乱流輸送への寄与を調べる。運動論シミュレーションを位相空間内で行うためには、膨大な計算機資源が必要である。さらに、電磁的ジャイロ運動論シミュレーションは、通常、平衡のプラズマベータが大きくなり理想 MHD 限界に近づくほど計算が困難になり計算コストが大きくなる。この膨大な計算を行うために、主に核融合科学研究所のスーパーコンピュータを用いる。

4. 研究成果

乱流のベータ依存性 磁場閉じ込め核融合実験装置内に生成されるプラズマで発生する乱流は、従来の運動論シミュレーションでは、プラズマ圧力 (ベータ) が低い極限を

仮定して研究されてきた。我々は電磁的ジャイロ運動論シミュレーションコードを開発し、有限圧力プラズマに発生する乱流によって生じる粒子および熱輸送の評価を可能にした。そして、この新たに開発したシミュレーションコードを用いて乱流による輸送の圧力(ベータ)依存性を調べ、以下の依存性を示した。低ベータ(低圧力)ではイオン温度勾配不安定性が乱流輸送を引き起こし、中ベータではイオン温度勾配不安定性が磁場揺動により安定化され、捕捉電子モードが乱流を引き起こす。さらに圧力が高い高ベータ領域では、MHD 不安定性の一種である運動論的バルーニングモードが乱流輸送を引き起こす。これらの低、中、高圧力領域での乱流の飽和機構は明らかになっていなかった。低圧力極限で乱流の飽和状態(準定常状態)においては、自己組織化によって生成される帯状流が支配的な役割を果たすことが理解されていた。圧力が有限な場合、自己組織化によって生成される帯状流は弱いことが明らかになるとともに、帯状流生成以外の乱流飽和機構として磁力線方向の構造形成が重要であることを明らかにした。この新しい飽和機構は、乱流の磁力線方向の構造が非軸対称性磁場に捕捉された粒子によって変化することに起因する。この成果はアメリカ物理学会招待講演論文になるとともに論文誌 Phys. Plasmas の Editor's Choice に選ばれた。また所属研究所からプレス発表された。そして、乱流輸送のベータ依存性の研究成果をレビューとしてまとめ ITER International School において招待講演するとともに Journal of Plasma Physics 誌に発表した。

乱流輸送のベータ依存性 電磁的ジャイロ運動論シミュレーションコードを開発し、トーラス型核融合プラズマにおける乱流によるイオンおよび電子の熱および粒子輸送を評価可能にした。そして、乱流輸送のプラズマベータ(プラズマ圧力)依存性を定性的に明らかにした。これらに加えて、実験で観測された磁場、密度、温度分布を入力とする電磁的乱流輸送評価を可能にした。ヘリカル型核融合実験装置およびトカマク型核融合実験装置の有限ベータ(圧力)プラズマにおいて、乱流を駆動する不安定性は共通であり、これらの不安定性はプラズマベータが2から3%程度でドリフト波不安定性から運動論的電磁流体不安定性に遷移することを明らかにした。そして、運動論的電磁流体不安定性に駆動された乱流は、ドリフト波不安定性に駆動された乱流と比較して、乱流輸送効率が低いことを明らかにした。また、電磁的ジャイロ運動論シミュレーションコードを開発した結果、トーラス型核融合プラズマにおける乱流のマルチスケールシミュレーションを可能にするるとともに乱流の基礎物理の理解に大きな進展をもたらした。たとえば、イオンスケール乱流と電子スケール乱流を同時に扱う数値シミュレーションを可能にし

た。また、有限ベータプラズマにおける乱流の理解に伴い、トーラスプラズマにおけるパリティ対称性の重要性を明らかにした。さらに、有限プラズマベータにおいて重要となる磁場揺動効果の中で特に磁気リコネクションについて新しい知見を得た。乱流輸送のプラズマベータ依存性に対する研究成果をIAEA-技術会合の招待講演として発表した。

新しいコードの開発に成功 国内で初めて電磁的な乱流の運動論的シミュレーションが可能なシミュレーションコード(強い磁場の下でのポルツマン方程式を直接シミュレーションするコード)の開発に成功した。そして、このシミュレーションコードを用いて電磁的な乱流の揺動は圧力が低い場合と大きく異なることを発見した。この研究成果は平成25年4月9日に核融合科学研究所からプレス発表された(<http://www.nifs.ac.jp/press/130409.html>)。

実験結果との比較 磁場閉じ込め核融合プラズマにおける乱流輸送のベータ依存性に対するシミュレーション研究の最終段階として、特定の磁場閉じ込め核融合実験装置内のプラズマ(特定のベータ値を持つ)における乱流輸送の評価を行った。具体的には、大型ヘリカル装置(LHD、核融合科学研究所)を対象として、今回開発した電磁的ジャイロ運動論シミュレーションコード(電磁場と相互作用する粒子の5次元位相空間における分布を追跡するシミュレーションコード)を用いて解析を行った。そして、LHDではイオン温度勾配不安定性が乱流を駆動することを明らかにするとともに、乱流輸送の定量的評価に成功した。そして、従来なされていたイオン熱輸送の評価のみならず、粒子および電子熱輸送の評価が実現された。得られた電子熱輸送は実験観測と良い一致を示し、かつ、装置中心方向に向けた粒子輸送が発生することを新たに見出した。一方、イオン熱輸送から逆算される温度勾配は20%程度の誤差で実験結果を再現した。また、LHDプラズマにおいて乱流輸送を駆動する臨界温度勾配は、線形理論が与える評価に近いことが示された。これはLHDプラズマではトカマク型プラズマと比較して、乱流による流れの自己組織化効果が弱いことを示唆しており、高性能ヘリカル型プラズマの乱流輸送モデル構築に向けた貴重な数値シミュレーションデータが得られた。この成果を、国際会議24th International Conference on Numerical Simulation of Plasmasにおいて招待講演として発表した。

以上の成果を、国際会議および学会において招待講演を10件発表すると共に、論文を第一著者として9件発表し、共著論文を含めると23件の論文を発表した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計23件)

A. Ishizawa, T.-H. Watanabe, H. Sugama, M. Nunami, K. Tanaka, S. Maeyama, and

N. Nakajima, Turbulent transport of heat and particles in a high ion temperature discharge of the Large Helical Device, Nuclear Fusion, 査読有, Vol. 55, 2015, 043024

<http://dx.doi.org/10.1088/0029-5515/55/4/043024>

DOI: 10.1088/0029-5515/55/4/043024

A. Ishizawa, S. Maeyama, T.-H. Watanabe, H. Sugama and N. Nakajima, Electromagnetic gyrokinetic simulation of turbulence in torus plasmas, Journal of Plasma Physics, 査読有, Vol. 81, 2015, 435810203

<http://dx.doi.org/10.1017/S0022377815000100>

DOI: 10.1017/S0022377815000100

P.W. Terry, D. Carmody, H. Doerk, W. Guttenfelder, D.R. Hatch, C.C. Hegna, A. Ishizawa, et.al., Overview of gyrokinetic studies of finite-microturbulence, Nuclear Fusion, 査読有, Vol. 55, 2015, 104011

<http://dx.doi.org/10.1088/0029-5515/55/10/104011>

DOI: 10.1088/0029-5515/55/10/104011

S. Maeyama, Y. Idomura, T.-H. Watanabe, M. Nakata, M. Yagi, N. Miyato, A. Ishizawa, and M. Nunami, Cross-Scale Interactions between Electron and Ion Scale Turbulence in a Tokamak Plasma, Physical Review Letters, 査読有, Vol. 114, 2015, 255002

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.114.255002>

DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.255002

Y. Asahi, A. Ishizawa, T.-H. Watanabe, et.al., Nonlinear entropy transfer in ETG-TEM turbulence via TEM driven zonal flows, Plasma and Fusion Research, 査読有, Vol.10, 2015, 1403047

<http://dx.doi.org/10.1585/pfr.10.1403047>

DOI: 10.1585/pfr.10.1403047

S. Maeyama, Y. Idomura, T.-H. Watanabe, M. Nakata, M. Yagi, N. Miyato, A. Ishizawa, and M. Nunami, Improved strong scaling of a spectral/finite difference gyrokinetic code for multi-scale plasma turbulence, Parallel Computing, 査読有, Vol. 49, 2015, 1-12

<http://dx.doi.org/10.1016/j.parco.2015.06.001>

DOI: 10.1016/j.parco.2015.06.001

T.-H. Watanabe, H. Sugama, A. Ishizawa and M. Nunami, Flux tube train model for local turbulence simulation of toroidal plasmas, Physics of Plasmas, 査読有, Vol. 22, 2015, 022507

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4907793>

DOI: 10.1063/1.4907793

A. Ishizawa, T.-H. Watanabe, H. Sugama, S. Maeyama and N. Nakajima, Electromagnetic gyrokinetic turbulence in finite-beta helical plasmas, Physics of Plasmas, 査読有, Vol. 21, 2014, 055905

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4876960>

DOI: 10.1063/1.4876960

S. Maeyama, A. Ishizawa, T.-H. Watanabe, et.al., Comparison between kinetic-ballooning-mode-driven turbulence and ion-temperature-gradient-driven turbulence, Physics of Plasmas, 査読有, Vol. 21, 2014, 052301

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4873379>

DOI: 10.1063/1.4873379

Y. Asahi, A. Ishizawa, T.-H. Watanabe, et.al., Regulation of electron temperature gradient turbulence by zonal flows driven by trapped electron modes, Physics of Plasmas, 査読有, Vol. 21, 2014, 052306

<http://dx.doi.org/10.1063/1.4875740>

DOI: 10.1063/1.4875740

S. MAEYAMA, A. ISHIZAWA, T.-H. WATANABE, et.al., Kinetic Ballooning Mode Turbulence Simulation based on Electromagnetic Gyrokinetics, Plasma and Fusion Research, 査読有, Volume 9, 2014, 1203020

http://www.jspf.or.jp/PFR/PFR_articles/pfr2014/pfr2014_09-1203020.html

DOI: 10.1585/pfr.9.1203020

S. Toda, M. Nunami, A. Ishizawa, T.-H. Watanabe and H. Sugama, How to apply a turbulent transport model based on a gyrokinetic simulation for the ion temperature gradient mode in helical plasmas, Journal of Physics Conference Series, 査読有, 561, 2014, 012020

<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/561/1/012020>

DOI: 10.1088/1742-6596/561/1/012020

T.-H. Watanabe, Y. Idomura, S. Maeyama, M. Nakata, H. Sugama, M. Nunami and A. Ishizawa, Exploring phase space turbulence in magnetic fusion plasmas, Journal of Physics: Conference Series, 査読有, Volume 510, 2014, 012045

<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/510/1/012045>

DOI: 10.1088/1742-6596/510/1/012045

石澤明宏, 二流体およびジャイロ流体方程式系とそのMHD不安定性解析への応用, プラズマ・核融合学会誌, 依頼論文, 2014, Vol.90, 213-227

http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JS_PF/jspf2014_04/jspf2014_04-213.pdf

- A. Ishizawa and F. L. Waelbroeck, Magnetic island evolution in the presence of ion-temperature gradient-driven turbulence, *Physics of Plasmas*, 査読有, Vol. 20, 2013, 122301
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4838176>
 DOI: 10.1063/1.4838176
- A. Ishizawa and T.-H. Watanabe, Reversible collisionless magnetic reconnection, *Physics of Plasmas*, 査読有, Vol. 20, 2013, 102116
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4826201>
 DOI: 10.1063/1.4826201
- A. Ishizawa, S. Maeyama, T.-H. Watanabe, et.al., Gyrokinetic turbulence simulations of high-beta tokamak and helical plasmas with full kinetic and hybrid models, *Nuclear Fusion*, 査読有, Vol. 53, 2013, 053007
<http://dx.doi.org/10.1088/0029-5515/53/5/053007>
 DOI: 10.1088/0029-5515/53/5/053007
- S. Maeyama, A. Ishizawa, T.-H. Watanabe, N. Nakajima, S. Tsuji-Iio, H. Tsutsui, Numerical techniques for parallel dynamics in electromagnetic gyrokinetic Vlasov simulations, *Computer Physics Communications*, 査読有, Vol. 184, 2013, 2462
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cpc.2013.06.014>
 DOI: 10.1016/j.cpc.2013.06.014
- S. Maeyama, T.-H. Watanabe, Y. Idomura, M. Nakata, M. Nunami, A. Ishizawa, Computation-Communication Overlap Techniques for Parallel Spectral Calculations in Gyrokinetic Vlasov Simulations, *Plasma and Fusion Res.*, 査読有, Vol. 8, 2013, 1403150
<http://doi.org/10.1585/pfr.8.1403150>
 DOI: 10.1585/pfr.8.1403150
- A. Ishizawa, F. L. Waelbroeck, et.al., Magnetic island evolution in hot ion plasmas, *Physics of Plasmas*, 査読有, Vol. 19, 2012, 072312
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4739291>
 DOI: 10.1063/1.4739291
- 21 S. Maeyama, A. Ishizawa, T.-H. Watanabe, N. Nakajima, et.al., A hybrid method of semi-Lagrangian and additive semi-implicit Runge-Kutta schemes for gyrokinetic Vlasov simulations, *Computer Physics Communications*, 査読有, Vol. 183, 2012, 1986
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cpc.2012.04.028>
 DOI: 10.1016/j.cpc.2012.04.028
- 22 A. Ishizawa, T.-H. Watanabe and N. Nakajima, Gyrokinetic Simulations of Slab Ion Temperature Gradient Turbulence with Kinetic Electrons, *Plasma Fusion Research*, 査読有, Vol. 6, 2011, 2403087
http://www.jspf.or.jp/PFR/PFR_articles/pfr2011S1/pfr2011_06-2403087.html
 DOI: 10.1585/pfr.6.2403087
- 23 S. Maeyama, A. Ishizawa, T.-H. Watanabe, N. Nakajima, et.al., A Numerical Method for Parallel Particle Motions in Gyrokinetic Vlasov Simulations, *Plasma Fusion Research*, 査読有, Vol. 6, 2011, 2401028
http://www.jspf.or.jp/PFR/PFR_articles/pfr2011S1/pfr2011_06-2401028.html
 DOI: 10.1585/pfr.6.2401028
- [学会発表](計 33件)(招待講演 10件)
- A. Ishizawa, Gyrokinetic analysis of turbulent transport in helical systems with different magnetic shear, 2016 US TTF, Denver, CO, USA, March 29 - April 1
 石澤明宏, 他 7 名, ヘリオトロン J における乱流輸送のジャイロ運動論シミュレーション, 日本物理学会, 19pAD-2 東北学院大学 泉キャンパス 2016 年 3 月 19 日-22 日
- A. Ishizawa, 「招待講演」, Gyrokinetic Analysis of Turbulent Particle and Heat Transport in Helical Plasmas, 24th ICNSP, Golden Colorado USA, August 12-14, 2015
- A. Ishizawa, et.al., Gyrokinetic analysis of turbulent particle and heat transport in low- and high-Ti phases in a discharge of LHD, 20th ISHW, Greifswald, Germany, 5-9 October 2015
 石澤明宏, 他 5 名, LHD における乱流粒子輸送, プラズマ・核融合学会, 名古屋大学, 2015 年 11 月 24 日-27 日
- A. Ishizawa, 「招待講演」, Electromagnetic gyrokinetic simulations of plasma turbulence, 7th ITER International School, Aix-en-Provence, France, 25th-29th August 2014
 石澤明宏, 他 5 名, LHD 高イオン温度放電における乱流熱・粒子輸送, Plasma Conference 2014, 朱鷺メッセ, 新潟, 2014.11.18-11.21
- A. Ishizawa, et.al., Electromagnetic gyrokinetic simulation of turbulent transport in high ion temperature discharge of Large Helical Device, 24th ITC, Ceratopia Toki, Toki, Nov. 4-7, 2014
- A. Ishizawa, et.al., Electromagnetic Gyrokinetic Analysis of Turbulent Transport in Finite-Beta LHD Plasmas, 25th IAEA-FEC, TH/P6-40, St Petersburg, Russia, October 13-18, (2014)
- A. Ishizawa, et.al., Electromagnetic gyrokinetic simulation of turbulent transport in high ion temperature

discharge of Large Helical Device, 第 56 回アメリカ物理学会, UP8.00037 New Orleans, USA, October 27-31, 2014

A. Ishizawa, et.al., Electromagnetic gyrokinetic simulations of turbulent transport in finite-beta torus plasmas, 12th Asia Pacific Plasma Theory Conference, Jeju Island, Korea, 1-4 July 2014

A. Ishizawa, et.al., Electromagnetic gyrokinetic simulations of turbulent transport in finite-beta torus plasmas, 4th APTWG, Kyushu Univ., June 10-13, 2014

石澤明宏, ヘリカルプラズマにおける電磁乱流のジャイロ運動論シミュレーション, プラズマシミュレータシンポジウム 2014, 核融合科学研究所, 2014年9月10日-12日

A. Ishizawa, 「招待講演」, Electromagnetic gyrokinetic turbulence in high-beta helical plasmas, 第 55 回アメリカ物理学会, K13.00002, Denver, USA, November 11-15, 2013.

A. Ishizawa, 「招待講演」, Electromagnetic gyrokinetic turbulence in finite beta helical plasmas, 6th IAEA-TM on Theory of Plasmas Instabilities, I-4, Vienna, Austria, May 27-29, 2013

A. Ishizawa, 「招待講演」, Electromagnetic gyrokinetic turbulence in finite beta helical plasmas, Turbulence, Transport and Structures in Magnetized Plasmas, IMERA, Marseille, June 3-6, 2013

A. Ishizawa, 「招待講演」, Theory of resonant MHD instabilities / Fluid theory of reconnecting instabilities, 3rd East-Asian School, Tokyo, 8-12 July 2013

石澤明宏, 「招待講演」, ヘリカルプラズマにおける電磁乱流のジャイロ運動論シミュレーション, PS シンポジウム 2013, 核融合科学研究所, 土岐市, 2013年9月11日-12日

A. Ishizawa, et.al., An assessment of fluid closures based on gyrokinetic and hybrid simulations, 第 55 回アメリカ物理学会, Denver, USA, November 11-15, 2013.

石澤明宏, 他 4 名, 有限ベータ LHD プラズマにおける乱流のジャイロ運動論シミュレーション, 日本物理学会, 広島大学, 2013年3月26日-29日

石澤明宏, 渡邊智彦, 可逆性を持つ無衝突磁気リコネクション, 日本物理学会, 徳島大学, 2013年9月25日~28日

A. Ishizawa, et.al., Finite-beta gyrokinetic turbulence simulations compared with Large Helical Device experiments, 23rd IIC, Ceratopia Toki, 2013 Nov. 18-21

A. Ishizawa, et.al., Turbulent Transport due to Kinetic Ballooning Modes in High-Beta Toroidal Plasmas, 24th IAEA-FEC, TH/P2-23, SanDiego, USA, Oct. 8-13, (2012)

A. Ishizawa, et.al., Magnetic island

evolution in hot ion plasmas with/without turbulence, 39th EPS, Stockholm, Sweden, 2-6 July 2012

A. Ishizawa, et.al., Magnetic island evolution in hot ion plasmas with ITG turbulence, 22nd ITC, P1-5, Toki, Nov. 19-22, 2012.

石澤明宏「招待講演」, 乱流による磁気リコネクション, NINS/UT Reconnection Workshop 2012, 2012年2/19-20, 東京

石澤明宏, 他, 有限イオン温度における磁気島の成長, 日本物理学会, 横浜国立大学, 2012年9月18日-21日

石澤明宏, 乱流による磁気リコネクション, 日本天文学会, 龍谷大学, 2012年3月19日-22日

A. Ishizawa, 「口頭発表(招待講演に対応)」, Interaction of Drift Wave Turbulence and Magnetic Islands, International Sherwood Fusion Theory Conference, 104, Austin, Texas, USA, May 2-4, 2011

A. Ishizawa, 「招待講演」, Interaction of turbulence and macro-MHD, Festival de Théorie 2011, Aix-en-Provence, France, July 4-22, 2011

A. Ishizawa, 「招待講演」, Effects of Micro-Turbulence on Excitation of NTM, Plasma Conference 2011, 金沢, 2011年11月22日-25日

A. Ishizawa, et.al., Effects of ion-temperature-gradient driven turbulence on magnetic islands, 第 53 回アメリカ物理学会, Salt Lake City, USA, Nov. 14-18, 2011

A. Ishizawa, et.al., Effects of ion-temperature-gradient driven turbulence on magnetic islands, 21st ITC, P2-68, 2011年11月28日-12月1日

〔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

<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kondok/ishizawa/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石澤 明宏 (ISHIZAWA, Akihiro)

京都大学・大学院工ネルギー科学研究科・准教授

研究者番号: 30390636

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

渡邊 智彦 (WATANABE, Tomohiko)

名古屋大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号: 30260053

中島 徳嘉 (NAKAJIMA, Noriyoshi)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授

研究者番号: 30172315