

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02335

研究課題名(和文)磁化プラズマにおける微細構造及びその動的挙動の観測

研究課題名(英文)Observation of fine structure in magnetized plasma

研究代表者

稲垣 滋 (Inagaki, Shigeru)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：60300729

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、磁化プラズマ中に温度や密度の細かな凸凹空間構造が形成され時間的に変動する事を実験的に実証することで、乱流輸送モデルを検証する事を目指す。実験は九州大学の直線プラズマ実験装置にて行った。本研究の主な成果は、1) 周波数掃引型マイクロ波コム反射計を開発し、周波数掃引型と固定型のマイクロ波コム反射計を組み合わせ、空間分解能 1mm, 時間分解能 1マイクロ秒の微細密度分布構造の観測法を確立し、2) PANTA装置にて微細密度分布構造とその伝搬現象を観測し、3) 構造形成に付随するダイナミクスを自己組織化臨界と同定した。これらから乱流の多スケール結合モデリングが支持される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、self-organized criticality等のプラズマ輸送の非局所性を説明できるモデルが大きく進展する。更に、惑星流体や海洋科学でも、海水の温度や濃度が階段状に分布する事が知られており、プラズマ乱流による凸凹空間構造の形成の研究は一般的な流体における構造形成に理解をもたらすという学術的意義がある。また、本研究はマイクロ波コム技術を開発している点にも特色がある。マイクロ波リモートセンシング技術は大気海洋観測から車載レーダ、医療診断にまで応用されており、その技術の新たな応用例の提示は高度な文明社会を構築に寄与する意義がある。

研究成果の概要(英文)：A goal of this research is to establish a new picture of turbulence in magnetized plasma where spatial structure of plasma is not smooth but is corrugated by meso-scale bump and hole structures. In order to observe such corrugated structures, an offset frequency sweeping microwave comb reflectometry has been developed. A fixed frequency microwave comb has also used together and spatial resolution of 1 mm and temporal resolution of 1 micro second have been achieved by this new system. The system was applied to PANTA plasma diagnostics. Experimental observations show 1) bump and hole structures are formed intermittently and the radial propagation of them is ballistic and travel distance is several times longer than ion sound gyro-radius, 2) propagation of turbulence front accompanied with the propagation of the bump and hole structure and the self-organized criticality is identified. These results support a picture of plasma turbulence where multi-scale structures interact each others.

研究分野：プラズマ科学

キーワード：プラズマ 乱流 自己組織化 核融合

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

核融合プラズマの制御のためには輸送を正確に予言できる輸送モデル及びその実験的検証が強く求められている。核融合プラズマの熱輸送は乱流によって駆動されていると考えられている。しかし、高温トロイダルプラズマの輸送現象を、局所的乱流輸送モデルのみで予測する事は困難である事が明らかになった [1, 2]。近年、プラズマ圧力勾配を固定した乱流シミュレーションに比べ、径方向に凸凹した(ポロイダル方向、トロイダル方向には均一な)分布変動を含むグローバルな乱流シミュレーション (Gysela 等) では乱流輸送が大きく異なる事が知られてきた。一例が[3]に示されており、その簡略図を図 1 に示す。プラズマの圧力分布は滑らかではなく、径方向に小さなこぶが形成される。圧力のこぶは中心から周辺へ、または周辺から中心へと伝搬する。この際、乱流の塊(front)も付随して伝搬する。この圧力分布のこぶのような微細構造の形成とそのダイナミックな挙動は乱流駆動フラックスの増大や非局所性の発現を通じてプラズマの熱輸送に質的違いをもたらす。理論研究では Turbulence spreading, Self-Organized Criticality(自己組織化臨界現象) に関連した乱流の塊の弾道的伝搬、乱流駆動熱流束の渋滞等の基礎過程が提案されている。一方、実験的にはそのような微細構造の形成・伝搬や随伴する乱流ダイナミクスは観測されていない。微細構造の空間スケールはイオンラマ半径の 10 倍程度、構造と乱流振幅の伝搬速度は反磁性ドリフト速度程度と予測されており、このような時空間構造をプラズマの全域(中心部から周辺まで)で観測する事は従来の計測法の限界を超えるチャレンジであったからである。

マイクロ波反射計は高温プラズマ中の乱流を非接触で計測可能な標準的計測器である。近年、マイクロ波を用いたリモートセンシング技術が大きく進展し、特にマイクロ波周波数コムが登場により計測精度や利便性が大きく向上した。核融合プラズマの計測にも適用され、マイクロ波周波数コムドップラー反射計による多点同時計測が実現している[4]。しかし、現状の周波数コム発振器の能力に比して、マイクロ波受信系は旧来のフィルターバンクとミキサーとを組み合わせた検出を行っているため更なる多チャンネル化が制限されている。

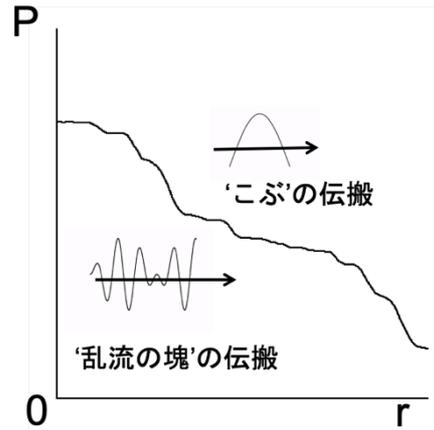


図 1 プラズマ中の凸凹分布

2. 研究の目的

このような微細構造の実験的同定によりプラズマ核融合における輸送の予測性は大きく進展するため、この未踏の領域を開拓する必要がある。本研究では 1)空間分解能 1mm, 時間分解能 1 μ s の微細分布構造の観測法を開発し、2) 構造形成に付随する乱流のダイナミクスを同時に観測する。実際に磁化プラズマ中に細かな凸凹構造が形成され変動する事を実証し、乱流輸送モデルを検証する。観測の高度化により、乱流輸送現象の因果関係を明らかにするのが目的である。

3. 研究の方法

先進反射計による微細構造計測システムを開発し、九州大学の直線プラズマ乱流実験装置(PANTA)を用いてプラズマ乱流実験を行う。

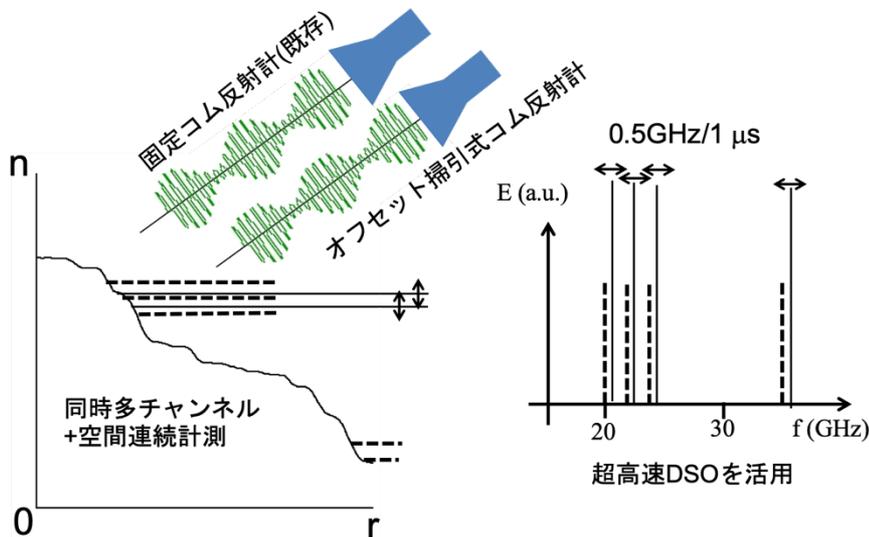


図 2 先進マイクロ波周波数コム反射計システム

3.1 先進マイクロ波周波数コム反射計システムの開発

近年、申請者らによって超高速ストレージオシロスコープ (160Gs/s) を用いたマイクロ波スペクトルの連続計測が行われてきた[5]。超高速ストレージオシロスコープを用いてマイクロ波を直接デジタル化し、デジタルフィルタリングやフーリエ変換を用いれば、物理的機器(フィルタバンクやミキサ)を増やす事なくマイクロ波周波数コム反射計の更なる多チャンネル化が実現し、イオンラマ半径程度の空間分解能での分布変動と密度揺動の時空間変動が観測可能となる。更に、コムを FM 反射計のように時間的に周波数掃引する事で連続的に分布が求まる、コムの場合はスキャンする周波数幅が狭くて良いので、反磁性ドリフト速度よりも速い径方向スキャンが可能である。

九州大学の PANTA 装置に既設のマイクロ波周波数コム反射計は 0.5GHz 間隔で 12-26 GHz 領域にコムを形成する。このため中心密度が $1 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ のプラズマにおいて空間的に 29 点の同時計測が可能である。更に図 2 に示すように、周波数コムのおffset周波数を 0.5 GHz/1 μs で高速スキャンするマイクロ波周波数コム反射計を開発し、空間分布を 1 μs の間隔で連続に計測する。従来の FM 反射計に比べ、コムを利用しているため周波数掃引の幅が狭く、高速にプラズマ全域の計測が可能となる点が優れている。固定型と掃引型二つのマイクロ波周波数コム反射計を用いる事で、乱流と分布の同時計測を行う。

3.2 微細構造と乱流のダイナミクスの観測

微細構造と乱流のダイナミクスの観測にはデータ解析が大きな役割を担う。乱流フロントの伝搬は、乱流信号にヒルベルト変換を適用して求めた envelope に 2 時刻 2 点相関法を適用する事で観測する。この乱流フロント(envelope)の伝搬は非周期的に発生すると考えられる。乱流フロントの伝搬を検出し、それを基準トリガーとして微細構造の時間変動を conditional 平均することで微細構造のダイナミクスを観測し、乱流と構造との時間応答の差を評価する。また、Self-Organized Criticality の同定には時系列信号に内在する以下の特徴を検出する、1) 自己相関関数における長時間相関、2) フーリエパワースペクトルにおける $1/f$ 依存性、3) ハースト指数 $1 > H > 0.5$ の観測。ここでハースト指数はブラウン運動からの逸脱の指標であり、 $H = 0.5$ がランダム過程(短期記憶)であり、 $H = 1$ は決定論的過程(長期記憶あり)を示す。

4. 研究成果

4.1 Ku-K バンドoffset周波数掃引式マイクロ波コム反射計の開発

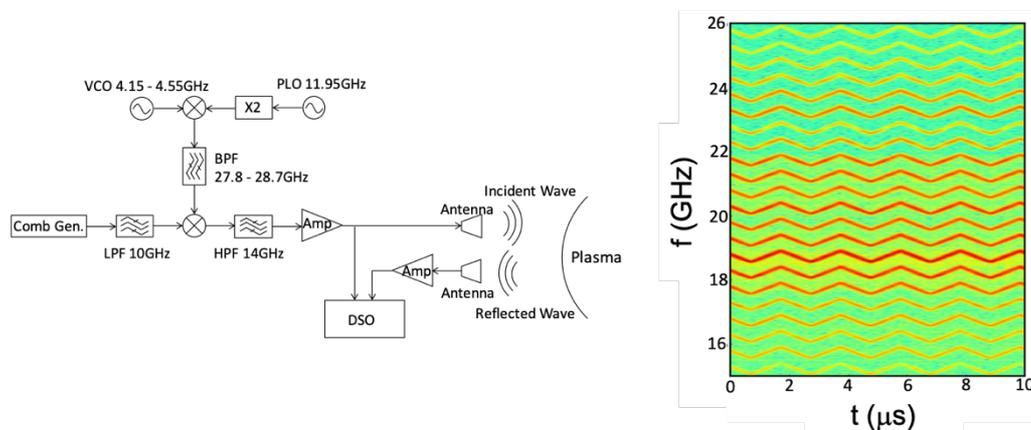


図 3 オffset周波数掃引式マイクロ波コム反射計のブロック図及び高速掃引中の送信波のスペクトル。

図 3 に開発したoffset周波数掃引式マイクロ波コム反射計を示す[6]。従来のコム発生器に電圧制御発振器(VCO)と位相ロック発振器(PLO)による中間周波数によって周波数アップコンバートを行なっている。VCO は $< 0.5 \text{ GHz}/1\mu\text{s}$ の周波数掃引が可能である。本中間周波数帯のシステムは核融合プラズマ実験で用いられる Ka バンドでも使用可能である。超高速ストレージオシロスコープで取得した典型的な送信波のスペクトルの時間発展は周波数コムのおffset周波数が $0.5 \text{ GHz}/1\mu\text{s}$ で掃引されている事を示している。金属ターゲット板を用いたベンチテストでは高精度の距離計として動作する事を確認しプラズマに適用した。

図 4 に掃引式マイクロ波コム反射計で計測した典型的な PANTA プラズマの密度分布を示す。実験条件は磁場強度 0.09 T, プラズマ生成ヘリコン波電力 6 kW, 入射アルゴンガス圧 1 mTorr, 中心電子温度は 2 eV, イオン温度は電子温度のおよそ 1/10 である。図 4 に示すように $r=3-4 \text{ cm}$ に急峻な密度勾配が形成されている事が明らかになった。これはやや装置上流でトムソン散乱計測した結果と一致する。トムソン散乱計測ではレーザー入射 1000 回分の信号を積算しており、マイクロ波コム反射計では 1 μs での 1 回の周波数掃引で分布を再構築している。マイクロ波コム反射計の計測点の scatter は VCO 由来の 5 MHz のノイズによるものと考えている。この掃引

式マイクロ波コム反射計の結果を元に周波数固定型マイクロ波コム反射計の位相計測における 2π の曖昧さを評価し密度分布を再現した。固定型マイクロ波コム反射計では $1\mu\text{s}$ の時間窓でヒルベルト変換から求めた位相を平均して密度分布を再構成している。平均した位相信号は S/N が良いため周波数掃引型と固定型のマイクロ波コム反射計を組み合わせる事で $1\mu\text{s}$ での高精度の密度分布計測が可能となった。

4.2 PANTA における密度のコブの形成とその伝搬

図 4 で示した急峻な密度勾配領域(3-4.5 cm)に 10 kHz のコヒーレントな揺動が励起される。このコヒーレント揺動に同期して密度の凸凹構造が突発的に形成され径方向に伝搬(4.5-9 cm)する事が観測された[7]。図 5 は固定型マイクロ波コム反射計で計測した入射波と反射波との間の位相差のコンターであり、位相差が大きくなる事は分布が局所的に凹み、反対に小さくなる事は局所的に凸になる事に対応する。凸凹の構造はイオン音速で評価したラーマ半径の 5 倍程度の長距離を弾道的に伝搬している。この密度分布の微細構造に付随してマイクロ乱流のフロントも伝搬する。20-50 kHz 帯のマイクロ揺動のエンベロープはモジュレーションされており、この凸凹構造との相関が確認された。非局所パイコヒーレンス解析から、マイクロ揺動との結合が凸凹構造の長距離伝搬を駆動している事が示唆された。

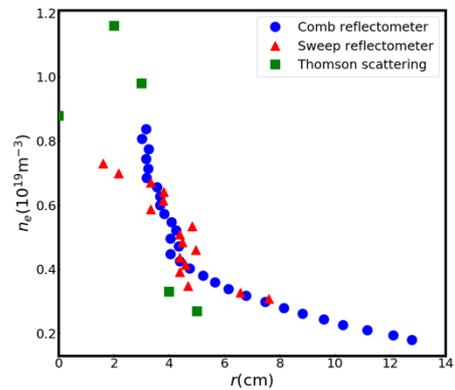


図 4 典型的な密度分布

4.3 Self-Organized Criticality の同定

図 5 で示す弾道的伝搬のような複雑でダイナミックな現象は Self-Organized Criticality によって説明できる可能性がある。Self-Organized Criticality ではちょっとした変動が連鎖し、系全体の要素に影響するという特徴があり、この突発的で弾道的な伝搬の特徴と類似する。図 6 に揺動のパワースペクトル及びハースト指数の径方向分布を示す。パワースペクトルには f^1 と f^2 の依存性を有する領域が存在する。 f^2 の依存性はランダムウォークのようなプロセスから生じると考えられる。 f^1 の依存性は Self-Organized Criticality の特徴である。この f^1 のスペクトルに対応し、自己相関関数は指数関数よりも緩やかに減衰し、long-tail を持つ。ハースト指数は観測した領域全域で $H=0.6-0.8$ を示した。これらから、本研究で観測した現象は Self-Organized Criticality による動的現象と理解できる。そして、この系はランダムウォークから逸脱しており、弱い長期記憶を有しそれが揺動の長距離相関に繋がっていると考えられる。いくつかの核融合プラズマの乱流でも $H\sim 0.7$ が報告されている。

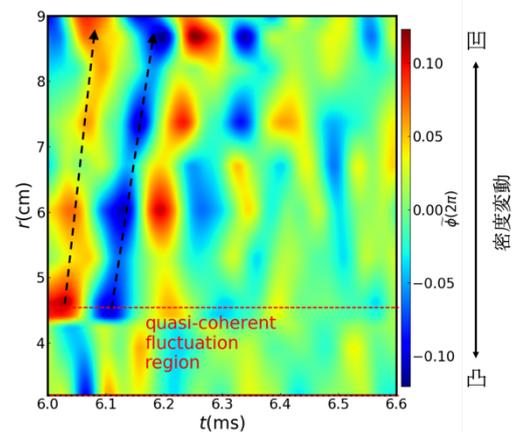


図 5 微細構造の形成と伝搬

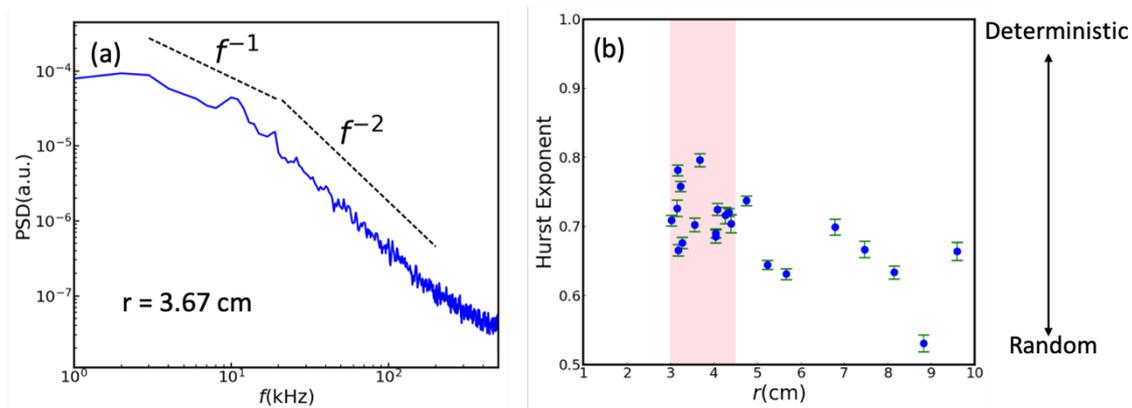


図 6 密度揺動のパワースペクトル(a)、ハースト指数の径方向分布。(b)にてハッチした領域は図 4 にて強い密度勾配が形成されている領域

まとめ

本研究では 1) 周波数掃引型マイクロ波コム反射計を開発し、周波数掃引型と固定型のマイクロ波コム反射計を組み合わせ、空間分解能 1mm, 時間分解能 $1\mu\text{s}$ の微細密度分布構造の観測法を確立し、2) PANTA 装置にて微細密度分布構造とその伝搬現象を観測し、3) 構造形成に付随す

るダイナミクスを Self-Organized Criticality と同定した。

- [1] S. Inagaki et. al., Phys. Rev. Lett. **107** 1115001 (2011).
- [2] S. Inagaki et. al., Nucl. Fusion **53** 113006 (2013).
- [3] S. Sugita et. al., Plasma Phys. Control. Fusion **54** 125001 (2012).
- [4] T. Tokuzawa et. al., Phys. Plasmas **21** 055904 (2014).
- [5] S. Inagaki et. al, Plasma Fusion Res. **8** 1201171 (2013).
- [6] Z. Boyu, S. Inagaki, et. al., Plasma Fusion Res. **14** 1201131 (2019).
- [7] Z. Boyu, S. Inagaki, et. al., Plasma Phys. Control. Fusion **61** 115010 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 24件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Y. Kawachi, S. Inagaki, K. Tomita, K. Yamasaki, F. Kin, Y. Kosuga, M. Sasaki, Y. Nagashima, N. Kasuya, K. Hasamada, B. Zhang and A. Fujisawa	4. 巻 13
2. 論文標題 Determination of Spatiotemporal Structure of Fluctuations by Statistical Averaging Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plasma Fusion Research	6. 最初と最後の頁 3401105-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.13.3401105	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 Y. Kawachi, S. Inagaki, K. Yamasaki, F. Kin, Y. Kosuga, M. Sasaki, Y. Nagashima, N. Kasuya, K. Hasamada, T. Yamada, B. Zhang and A. Fujisawa	4. 巻 14
2. 論文標題 Estimation of Particle Flux driven by Coherent Mode Using of Statistical Conditional Averaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1402090 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.1402090	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 T. Tokuzawa, H. Tsuchiya, T. Tsujimura, M. Emoto, H. Nakanishi, S. Inagaki, K. Ida, H. Yamada, A. Ejiri, K. Y. Watanabe, K. Oguri, T. Akiyama, K. Tanaka, I. Yamada and LHD Experiment Group	4. 巻 89
2. 論文標題 Microwave frequency comb Doppler reflectometer applying fast digital data acquisition system in LHD	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 10H118-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1063/1.5035118	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 N. Dupertuis, S. Inagaki, Y. Nagashima, Y. Kosuga, F. Kin, T. Kobayashi, N. Kasuya, M. Sasaki, A. Fujisawa, M. Q. Tran, S.-I. Itoh, K. Itoh	4. 巻 12
2. 論文標題 Coexistence of Drift Waves and D' Angelo Modes at Different Position and Frequency in Linear Plasma Device	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1201008 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.12.1201008	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 T. Yamada, S. Inagaki, M. Sasaki, Y. Nagashima, F. Kin, H. Arakawa, T. Kobayashi, K. Yamasaki, N. Kasuya, Y. Kosuga, A. Fujisawa, K. Itoh, and S.-I. Itoh	4. 巻 87
2. 論文標題 Three-dimensional Structure of the Streamer in Linear Plasmas	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 034501 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.034501	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 T. Kobayashi, S. Inagaki, M. Sasaki, Y. Kosuga, H. Arakawa, F. Kin, T. Yamada, Y. Nagashima, N. Kasuya, A. Fujisawa, S.-I. Itoh, and K. Itoh Phenomenological classification of turbulence states in linear magnetized plasma PANTA	4. 巻 12
2. 論文標題 Phenomenological classification of turbulence states in linear magnetized plasma PANTA	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Research	6. 最初と最後の頁 1401019 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.12.1401019	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 T. Tokuzawa, Y. Takemura, K.W. Watanabe, S. Sakakibara, Y. Narushima, H. Tsuchiya, Y. Nagayama, S. Inagaki, K. Ida, M. Yoshinuma, K. Tanaka, Y. Suzuki, I. Yamada and The LHD Experiment Group	4. 巻 57
2. 論文標題 Distorted magnetic island formation during slowing down to mode locking in helical plasmas	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 076003 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/aa6d26	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 F. Kin, T. Yamada, S. Inagaki, Y. Nagashima, H. Arakawa, T. Kobayashi, Y. Miwa, N. Kasuya, M. Sasaki, Y. Kosuga, A. Fujisawa, K. Itoh, and S.-I. Itoh	4. 巻 85
2. 論文標題 Changes of Particle Flux during End-Plate Biasing Experiment in PANTA	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn	6. 最初と最後の頁 093501 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.85.093501	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 H. Arakawa, S. Inagaki, M. Sasaki, Y. Kosuga, T. Kobayashi, N. Kasuya, Y. Nagashima, T. Yamada, M. Lesur, A. Fujisawa, S.-I. Itoh and K. Itoh	4. 巻 6
2. 論文標題 Eddy, drift wave and zonal flow dynamics in a linear magnetized plasma	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 33371 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep33371	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 T. Kobayashi, S. Inagaki, Y. Kosuga, M. Sasaki, Y. Nagashima, T. Yamada, H. Arakawa, N. Kasuya, A. Fujisawa, S.-I. Itoh, and K. Itoh	4. 巻 23
2. 論文標題 Structure formation in parallel ion flow and density profiles by cross-ferroic turbulent transport in linear magnetized plasma	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 102311 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4965915	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. Inagaki, T. Kobayashi, Y. Kosuga, S.-I. Itoh, T. Mitsuzono, Y. Nagashima, H. Arakawa, T. Yamada, Y. Miwa, N. Kasuya, M. Sasaki, M. Lesur, A. Fujisawa, K. Itoh	4. 巻 6
2. 論文標題 A Concept of Cross- Ferroic Plasma Turbulence	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 22189 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ srep22189	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 H. Arakawa, S. Inagaki, M. Sasaki, K. Itoh, S.-I. ITOH	4. 巻 10
2. 論文標題 An Application of Hadamard Transform for Plasma Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Plasma Fusion Res.	6. 最初と最後の頁 1201085 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.10.1201085	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 T. Kobayashi, S. Inagaki, M. Sasaki, Y. Kosuga, H. Arakawa, T. Yamada, Y. Nagashima, Y. Miwa, N. Kasuya, A. Fujisawa, S.- I. Itoh, K. Itoh	4. 巻 22
2. 論文標題 Azimuthal inhomogeneity of turbulence structure and its impact on intermittent particle transport in linear magnetized plasmas	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Phys. Plasmas	6. 最初と最後の頁 112301 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/ 1.4934537	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 H. Tsuchiya, S. Inagaki, T. Tokuzawa, Y. Nagayama	4. 巻 87
2. 論文標題 Initial Data of Digital Correlation ECE with a Giga Hertz Sampling Digitizer	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 03010 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/20158703010	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 B. Zhang, S. Inagaki, Y. Kawachi	4. 巻 14
2. 論文標題 Development of a Frequency Comb Sweep Microwave Reflectometer in the Linear Device PANTA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma and Fusion Res.	6. 最初と最後の頁 1201131 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1585/pfr.14.1201131	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 B. Zhang, S. Inagaki, et. al.,	4. 巻 61
2. 論文標題 Study of turbulence intermittency in linear magnetized plasma	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Plasma Phys. Control. Fusion	6. 最初と最後の頁 115010 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6587/ab434f	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 H. Arakawa, S. Inagaki, et. al.,	4. 巻 14
2. 論文標題 Ion temperature measurement by laser induced fluorescence spectroscopy in panta	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING	6. 最初と最後の頁 1450-1454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tee.22962	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26件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 稲垣滋
2. 発表標題 磁化プラズマにおける粒子の乱流ピンチによる密度分布の分岐
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Inagaki
2. 発表標題 Up-gradient particle diffusion in magnetized turbulent plasmas
3. 学会等名 Max Planck Princeton Center Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣 滋
2. 発表標題 均一磁場中のプラズマにおける粒子の乱流ピンチ
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 T. Tokuzawa
2. 発表標題 Rapid Radial Propagation of Momentum Change and Flow Oscillation Associated with a Pellet Injection
3. 学会等名 27th IAEA Fusion Energy Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒川弘之
2. 発表標題 直線磁化プラズマにおけるドリフト波・帯状流・孤立渦による飛沫生成機構
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Arakawa
2. 発表標題 Wave, flow and vortex: the third structure in drift wave turbulence
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田琢磨
2. 発表標題 PANTAにおける乱流の三次元構造
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yamada
2. 発表標題 Three Dimensional Structure of Streamer in Drift Wave Fluctuations
3. 学会等名 2nd Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Inagaki
2. 発表標題 Axial and Azimuthal Flows Driven by Turbulence in a Linear Plasma Device
3. 学会等名 1st Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲垣 滋
2. 発表標題 実験室磁化プラズマにおける乱流によるプラズマの磁力線方向加速
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Arakawa, M. Sasaki, S. Inagaki, et. al.
2. 発表標題 Observation of excitation/damping mechanism on solitary eddy in a linear magnetized plasma
3. 学会等名 Plasma Conference 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kawachi, S. Inagaki, et. al.,
2. 発表標題 Detection of phase of fluctuating wave excited in linear magnetized plasma
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference & The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Inagaki, T. Kobayashi, Y. Kosuga, S.-I. Itoh, Y. Nagashima, H. Arakawa, T. Yamada, N. Kasuya, M. Sasaki, A. Fujisawa, K. Itoh
2. 発表標題 Cross-interaction between inhomogeneities of density and axial flow in magnetized linear plasma
3. 学会等名 Asia-Pacific Transport Working Group International Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Inagaki
2. 発表標題 Recent Progress of Turbulence and Transport: Experimental Evidences of Violation of Local Closures
3. 学会等名 18th International Congress on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 稲垣 滋
2. 発表標題 磁化プラズマにおける多スケールプラズマ乱流
3. 学会等名 第32回九州山口プラズマ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 S. Inagaki, T. Tokuzawa, K. Ida, M. Lesur, T. Kobayashi, A. Fujisawa, S.-I. Itoh, K. Itoh
2 . 発表標題 Turbulence Structure with High Spatial Resolution and Its Dynamics in LHD
3 . 学会等名 5th Asia Pacific Transport Working Group (APTWG) International Conference (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 S. Inagaki, T. Tokuzawa, T. Mizokami, T. Yamada, Y. Nagashima, A. Fujisawa
2 . 発表標題 Application of Microwave Frequency Comb for Plasma Reflectometry
3 . 学会等名 42nd European Physical Society Conference on Plasma Physics (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 S. Inagaki
2 . 発表標題 Transport Phenomena in the High Temperature Non-Equilibrium Plasma
3 . 学会等名 日本物理学会2015年秋季大会 (招待講演)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 S. Inagaki, T. Tokuzawa, K. Ida, M. Lesur, T. Kobayashi, Y. Kosuga, A. Fujisawa, S.-I. Itoh, K. Itoh
2 . 発表標題 Observations of Fine Flow Structures and Related Turbulence Dynamics in Edge Region of LHD
3 . 学会等名 15th International workshop on H-moe Physics and transport barriers (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 R. Soga, T. Tokuzawa, K.Y. Watanabe, K. Tanaka, I. Yamada, S. Inagaki, N. Kasuya
2 . 発表標題 Developments of frequency comb microwave reflectometer for the interchange mode observations in LHD plasma
3 . 学会等名 17th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics (国際学会)
4 . 発表年 2015年

1 . 発表者名 S. Inagaki, Z. Boyu, et. al.
2 . 発表標題 Observation of density fluctuations in a magnetized plasma with a microwave frequency comb reflectometer
3 . 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Inagaki, Z. Boyu, et. al.
2 . 発表標題 Improvement of temporal resolution of sweeping frequency comb microwave reflectometry by non-stationary spectrum analysis
3 . 学会等名 プラズマ核融合学会
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Kawachi, S. Inagaki, et. al.
2 . 発表標題 Instantaneous frequency analysis for turbulent fluctuation in a linear magnetized plasma
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 Y. Kawachi, S. Inagaki, et. al.
2. 発表標題 Observation of spatiotemporal structures of temperature fluctuations by using statistical phase detection method
3. 学会等名 プラズマ核融合学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Tokuzawa, K. Tanaka, H. Yamada, S. Inagaki, et. al.
2. 発表標題 STUDY OF ISOTOPE EFFECTS FROM THE VIEWPOINT OF TURBULENCE OBSERVATION IN LHD
3. 学会等名 22nd International Stellarator & Heliotron Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>応用力学研究所 プレスリリース http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/publicity/press-release.html</p>

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
研究分担者	荒川 弘之 (Arakawa Hiroyuki) (00615106)	島根大学・学術研究院理工学系・准教授 (15201)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	徳沢 季彦 (Tokuzawa Tokihiko) (90311208)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授 (63902)	
研究 分担者	山田 琢磨 (Yamada Takuma) (90437773)	九州大学・基幹教育院・准教授 (17102)	
研究 協力者	張 博宇 (Zhang Boyu)		
研究 協力者	川内 祐一 (Kawachi Yuichi)		