

イオンドップラートモグラフィを用いた高ベータ球状トカマク合体生成機構の解明

著者	田辺 博士
学位授与年月日	2013-09-27
URL	http://doi.org/10.15083/00006426

博士論文(要約)

論文題目 イオンドップラートモグラフィを用いた
高ベータ球状トカマク合体生成機構の解明

氏名 田辺 博士

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻
2013年9月修了 博士論文要約

イオンドップラートモグラフィを用いた 高ベータ球状トカマク合体生成機構の解明

学生証番号 47-107029 氏名 田辺 博士
(指導教員 小野 靖 教授)

Key Words: Ion Doppler Spectroscopy, Inverse Problem, Abel inversion, Magnetic Reconnection

第1章 序論

1.1. 核融合開発研究における本研究の位置づけ

2011年3月11日の東日本大震災以降、これまでベースロード電源を担ってきた原子力発電の再稼働問題により、火力発電等の代替電力への負荷が高まる昨今、将来の大容量電力を支えうる新エネルギー源としての核融合エネルギーへの期待が高まっている。原子力開発機構のJT-60、プリンストンプラズマ物理研究所のTFTR、英国カラム研究所のJETにおける臨界プラズマ条件達成を受けて、国際熱核融合炉ITERの建設が2008年より開始された。2020年頃に運転開始予定のITERにおける自己点火領域の燃焼プラズマ実証が待たれる一方、大学・研究所ではさらにその次の原型炉・実証炉・商用炉を見据えた研究として、「高ベータ・定常」をキーワードとし、市場に投入しうるコストかつベースロード電力を担う電力源として安定的に電力を供給できる炉としてのシナリオを確立するため、経済性の指標となるベータ値(プラズマの熱圧力と磁気閉じ込めの磁気圧力の比)の高い先進プラズマ、そしてパルス運転ではない定常維持が求められる。

磁気閉じ込め核融合炉の経済性の指標となるベータ値は、トカマク炉では数%程度が一般的であるが、アスペクト比(=プラズマ大半径/プラ

ズマ小半径)に大きく依存する特長を持ち、アスペクト比を小さくした($A < 2$)球状トカマク(ST)では軽水炉とのコストに拮抗しうるための指標である20%以上のベータが達成できる。

しかし、STのようにアスペクト比を小さくすることは、中心導体の設置スペースを極端に小さくすることを意味するため、トロイダル磁場コイルおよび、センターソレノイドコイルに使用可能なスペースが大幅に制約される。この制約に関する妥協案として、トロイダル磁場コイルを常電導コイルで構成した場合に関するコスト試算として、ARIES-STなどの炉設計例があるが、常電導コイルを用いた場合は抵抗損失により高ベータによる経済的優位性が相殺されてしまうことが分かっている。しかしながら、超電導コイルを用いるためにはセンターソレノイドの容量を大幅に減らす必要があり、トカマク炉で通常用いられる、誘導電流による初期プラズマ生成・加熱の容量が十分に確保できなくなるため、NBIによる非誘導電流駆動運転との連結に課題を有する。したがって、近年のST研究開発で、は主にセンターソレノイドに頼らないCS-less startupの確立が至上命題の一つとなっており、電子サイクロトロン加熱(ECH)や電子バーンシュタイン波を用いたRF立ち上げ、同軸

ヘリシティ入射(CHI)、ポロイダル磁場反転法(PFスイング法)などによる、非誘導立ち上げの研究が、各国の大学等の小型装置を中心に研究されている。本研究ではこれらのうちPFスイング法によって生成した2つのプラズマを装置中心において軸対称合体させ、太陽フレア等で知られる磁気リコネクションによる爆発的なエネルギー変換を引き起こし、それを利用することによるCS-less立ち上げの開発を行っている。球状トカマクの合体生成は、東京大学TS-3, TS-4, UTST装置および英国カラム研究所のSTART, MAST装置を中心に研究がなされており、TS-3装置における合体生成による最大~200eVの非誘導過熱や70%を超える超高ベータの達成、START装置における合体生成とNBI運転を合わせた40%の達成、MAST装置における準定常運転との連結などが達成されてきた。こうした実績を経て、現在東京大学TSグループによる実験は全日本ST研究計画の主力装置に位置づけられ、高ベータ・非誘導立ち上げの国内研究を牽引する役割を担っている。

1.2. 合体立ち上げとリコネクション加熱

さまざまな魅力的なパラメータを持つプラズマを、センターソレノイドに依存せずに瞬時に立ち上げることが出来る合体法によるCS-less startup法の基盤をなす物理現象は、磁気リコネクションと呼ばれる反平行な磁力線がX点を境としてつなぎ変わる現象である。太陽フレア等の爆発的なエネルギー開放減少である磁気リコネクションは、再結合磁場 B_{rec} の磁気エネルギーを瞬時にプラズマの運動エネルギーや熱エネルギーに変換するため、トカマクのディスラプションを駆動する機構の一つでもあるが、合体法では、このリコネクションによって開放される磁気エネルギーを積極的に利用して、プラズ

マの熱エネルギーに変換させる。したがって、合体法を用いた高ベータプラズマ生成の基盤をなす物理現象は磁気リコネクションを介したエネルギー変換過程であり、その最適化にあたってはその加熱過程の詳細な解明が必要である。

しかしながら、磁気リコネクションを介したプラズマ加熱過程の解明に際しては、しばしば確かな局所計測の不在が問題となる。加熱領域へのプローブ挿入は簡便な解の一つではあるが、プローブ自身の侵襲効果による冷却および、プローブ表面のスパッタによる不純物発生の問題があるため、計測系は非接触であることが望ましい。高温プラズマの温度計測は、プラズマの速度分布関数をドップラー効果で検出し、スペクトル線の中心波長シフトから流速・波長広がりから温度を検出する手法が広く用いられ、電子温度計測に関してはレーザをプローブ光とすることによるトムソン散乱法、イオン温度計測に関してはLIF法、あるいは中性粒子ビームをプラズマに入射し、完全電離不純物イオンがビームの中性粒子との荷電交換反応によって一階下の準位で発光することを利用したCXRS法(Charge Exchange Recombination Spectroscopy)が知られているが、LIF法は励起前の準位の不純物イオンの密度が十分でないと難しく、核融合プラズマのような高真空条件への応用は難しい。CXRS法は核融合プラズマ研究で広く用いられている手法であるが、加熱・電流駆動用の高出力ビームを利用するため、ビームそのものによるプラズマの改善があり、また計測可能領域は加熱ビームの存在領域に限られることから、入射半径より内側の計測は難しく計測次元も一次元であることが多い。しかし、プローブ光もしくはビームを使わない状態では、イオンドップラー計測のような放射光の受動計測では、計測信号は計測視野の奥行き方向

の全てのプラズマからの発光が重ね合わさってしまうため、計測対象が視線奥行き方向に一様ではないトーラスプラズマのような三次元形状を有する場合、そのままではプラズマ内部の空間分布計測ができない課題を有する。

一般に、視線奥行き方向に積分された計測信号から計測対象の内部の情報を求める問題は逆問題である。身近な類似した計測対象としては人体断面形状など、直接撮影が出来ない断面の計測があげられるが、こうした問題の解決策としては、X線CTやMRIなどの画像診断でよく知られたコンピュータトモグラフィ(CT)の手法が知られている。CTの手法は、こうした医用画像診断に限らず、数学的に相似な状態が再現されれば物理計測にも応用が可能であり、プラズマ診断では長山らによるTFTRのsawtooth crashへのECEトモグラフィ応用実績例が比較的良好に知られている。

そこで、ドップラー計測についてもCTの手法の適用が当然検討されるが、他分野のトモグラフィ計測と比べるとドップラー計測へのトモグラフィ応用においては、プラズマの発光が空間一次元の入射スリットをもつ分光器を経由する必要があることに加え、信号の積分値そのものではなくスペクトルのピークシフト・ドップラー幅解析が伴うため、積分信号の流速・温度に対してそのまま逆変換演算を施しても、局所分布を再構成するとはできない。加えて、特にスカラーではなくベクトル量である流速が計測対象の場合、ドップラー効果は計測視線方向成分しか検出できないため、さらに問題が複雑化する。本研究では、こうしたハード・ソフト両面の課題を有するドップラー計測に対し、

- 分光光学系の入射光学系に光ファイバーを導入することにより視線配置を柔軟化
- 発光スペクトルの波長・空間分布に逆変換

を施すことにより局所発光スペクトルを再構成し、局所点のドップラー幅を直接解析

- ベクトル場の視線積分過程をモデルに組み込んだベクトルトモグラフィの導入
- 数値シミュレーションを踏まえて限られた本数の計測視線を2次元に最適配置

することにより、2次元イオンドップラートモグラフィ計測を開発、X点周辺において2次元的に進行する磁気リコネクションの加熱過程の診断に最適化された計測系を構築し、磁気リコネクションの加熱が局所的に進行していく過程を詳細に明らかにするとともに、従来周辺プラズマの発光の積分計測への影響により不明な点が多かった、リコネクション平面に直交する第3の成分の磁場(ガイド磁場)が存在する場合のリコネクション加熱の空間分布を明らかにし、合体加熱法の大型装置応用のためのスケーリング則の構築を行った。さらに英国カラム研究所が有する世界最大の球状トカマク実験装置MASTへの応用を行い、従来リコネクション加熱に最適化された局所計測の不在により不明な点が多かった、大型プラズマ合体実験におけるイオン加熱を初めて詳細に明らかにした。

第2章 実験装置概要

本研究で用いるTS-3, TS-4装置は、それぞれ大半径-200mm, 400-500mm、アスペクト比1.5程度の、球状トカマク(ST)をはじめとして、スフェロマック、FRCなどが生成可能な実験装置である。装置サイズのほかに、電極放電の有無などの差があるものの、基本的な運転方式はどちらも同じであり、PFコイル周りに生成した2つの初期プラズマが、コイルの反転電流への反発と、両プラズマの同軸電流で引き合うことにより装置中央に移動し、磁気リコネクションが引き起こされる。TS-3装置は小型であるもののエネルギー

ギー密度が高いために加熱実験の実施に有利な特徴を持ち、TS-4 装置では TS-3 装置にはない合体のインフロー速度を制御するための acceleration coil や、CO₂ レーザ干渉計による密度分布計測・マッハプローブなどが稼動しており制御・計測系に充実がみられる。本研究では、加熱実験は主として小型でエネルギー密度の高い TS-3 で行い、補助的に TS-4 を使用した。…以下、論文雑誌掲載のため公開できません…

第3章 局所イオン温度・流速分布の再構成原理

第3章は論文雑誌掲載のため公開できません。

第4章 計算機実験による再構成シミュレーション

第4章は論文雑誌掲載のため公開できません。

第5章 2次元イオンドップラー計測システム

第5章は論文雑誌掲載のため公開できません。

第6章 磁気リコネクションのプラズマ加熱機構の検証

第6章は論文雑誌掲載のため公開できません。

第7章 MAST装置を用いた大型プラズマ合体実験

第7章は論文雑誌掲載のため公開できません。

第8章 結論

本論文では、過去20年にわたり TS-3・TS-4・UTST と発展を遂げてきたトラスプラズマ合体法を用いた高ベータ球状トカマク生成実験に関し、コンピュータトモグラフィを応用した新しい局所計測を開発することにより、その核となる物理過程である磁気リコネクションにおけるプラズマ加熱機構を明らかにするとともに、合体法の大型装置応用のためのスケールリング則を確立し、さらには世界最大の大型球状トカマ

ク装置 MAST へ合体法によるプラズマ加熱の応用実験を実施、全日本 ST 計画において至上命題ともいえる CS-less startup に関し、プラズマ電流 100-500kA、イオン・電子温度 200eV-1keV クラスのプラズマを立ち上げる手法としてプラズマ合体法が有効であることを実証することに成功した。

8.1. イオンドップラー計測を用いたプラズマ加熱機構の解明

合体法を用いたプラズマ加熱法は、1990年代に TS-3 装置実験が開始されるとともに、その有用性は早くから認識されてきたが、特に顕著な加熱が観測されるイオンに関し、その加熱をとらえる計測手段が受動計測であるドップラー計測に限られていたことから、発光分布の変化の激しいリコネクション中の計測においてはしばしば低温の周辺プラズマの発光などに惑わされ、しばしば誤った解釈がなされることがあった。レーザーや中性粒子ビームを用いてプラズマを局所で光らせることによる能動計測はしばしば各国の装置で試みられてきたが、磁気リコネクションのような速いタイムスケールの現象においては(たとえば TS-3 では数 μs の露光時間が求められる)、LIF 法の併用では密度が高々 $1 \times 10^{20}/\text{m}^3$ のプラズマでは十分な発光を得ることが難しく、また中性粒子ビームを用いた荷電交換分光法を用いても、定常プラズマを基準に設計されたビームでは X 点付近の情報を得ることが難しく、長年局所計測不在の状況が続いていた。そこで、本研究では X 線 CT や MRI 等によく知られたコンピュータトモグラフィの技法をドップラー計測へと導入し、局所点におけるプラズマ加熱分布の詳細な計測を実現することにより、局所点における加熱構造の直接計測を実現し、2次元画像でその加熱構造を明快にとらえることを

可能とした。本局所計測の実現により以下の項目が明らかとなった。

1. 磁気リコネクションを介したイオン加熱過程においては、リコネクションアウトフローの熱化が鍵であり、ダウンストリーム領域において加熱が検出される。
2. 高ガイド磁場下の磁気リコネクションにおいては、加熱分布は電流シートが放出される装置内側に偏る変化があるものの、イオン加熱の減衰効果には飽和傾向がある。
3. 合体加熱における最も支配的なパラメータは再結合磁場 B_{rec} であり、トロイダル磁場依存性は再結合磁場依存性と比べると無視できるほど小さい。
4. 従来ガイド磁場 0 の効果により加熱が大きいと考えられていた異極性プラズマ合体に関しても、再結合するトロイダル磁場も組み込んだ B_{rec} による加熱スケールで評価を行うと他の合体条件と同一直線状に収束する。
5. TS-3 と TS-4 の異装置間における合体加熱スケールが同一直線にのったことにより、 B_{rec} スケールは異装置間で適用が可能であり、0.1T 以上の B_{rec} が期待できる MAST 装置では、 $\sim 0.6T$ のトロイダル磁場の影響下であっても、さらなる加熱効果が期待できることが示された。

8.2. MAST 装置におけるプラズマ合体法の大型装置応用実験

TS-3・TS-4 装置を用いたスケール実験の成功を経て、大型装置応用として世界最大の球状トカマク実験装置 MAST において合体実験を実施し、以下の結果を得た。

1. センターソレノイドコイルのアシストを受けることなく、最大 $\sim 400kA$ 程度のプラズ

マ電流立ち上げに成功した。

2. 合体生成プラズマの温度は、合体前の初期プラズマ生成のための P3 コイル電流に依存し、 $300kA$ を用いた放電では、合体加熱はイオンだけでなく、電子温度も最大で $\sim 1keV$ まで到達した。
3. 電子の加熱分布は二つの特徴的な性質を有し、リコネクション後から最初の 5ms は X 点周囲にピークした分布を形成する一方、その後ダウンストリームにもピークが成長し、トリプルピーク構造が形成された。
4. ダウンストリームの電子加熱構造は、イオンと電子のエネルギー緩和時間程度のタイムスケールで成長しており、リコネクションアウトフローの熱化によるイオン加熱の電子との緩和が、このような分布形成に貢献していると考えられる。

さらに、2013 年からはイオンドップラートモグラフィシステムの建設許可がおりたことを受け、1 次元 32 点の空間分解能をもつトモグラフィ分光システムの新規立ち上げを行い、MAST 装置のリコネクション領域全体をカバーできる新しいイオン温度分布計測が初めて使用可能となった。本システムの応用により、

1. MAST 装置においても磁気リコネクションによる顕著なイオン加熱はダウンストリームにおいて観測される。
2. 合体下流のイオン加熱は電子加熱に先行し、電子よりも強い加熱が得られる。
3. 合体完了後、X 点の電子加熱のイオンへの緩和を示唆するイオン加熱が X 点において観測され、ダウンストリームと X 点の 3 地点においてイオン温度がトリプルピーク構造を形成する
4. 加熱効果は合体前のプラズマの再結合磁場強度を決定付ける P3 コイル電流値の 2 乗

に対する依存傾向を示し、 B_{rec} 磁場の直接測定不在の課題は残るものの、 B_{rec}^2 スケーリングが MAST 領域にも拡張できることの準実証を果たした。

ことが明らかとなった。イオン温度・電子温度ともに、トリプルピーク構造はセンターソレノイドの有無に関わらず形成されたことより、電子温度のダウンストリーム加熱は、ohmic 加熱ではなくイオン・電子の異なる加熱分布が相互にエネルギー緩和したことによるものと結論付けられる。

8.3. 本論分の総括

トラスプラズマ合体法を用いた高ベータプラズマ生成法の基盤となる磁気リコネクション中の加熱現象に関し、コンピュータトモグラフィをドップラー計測に応用した新しいプラズマ診断を開発し、TS-3・TS-4・MAST の三装置の合体実験に応用することにより、従来視線積分の効果によって不明瞭であった磁気リコネクションの加熱の空間分布を詳細に明らかにすることが可能となった。本システムの応用により、合体下流のアウトフロー領域における加熱分布の成長過程の診断、MAST における電子温度のトリプルピーク加熱構造形成におけるイオン加熱の緩和効果の実証、リコネクション加熱のスケーリング則の確立が達成され、今後のさらなる大型装置応用に向けた可能性を切り開くことに成功した。

発表文献

学術論文 (主著)

[1] 田辺 博士, Setthivoine You, 桑波田 晃弘, 伊藤 慎吾, 井 通暁, 小野靖 「多数の視線積分された分光スペクトルを用いた 2 次元局所イオン温度分布計測システム」, 電気

学会論文誌 A, **130**, 8 (2009)

[2] H. Tanabe, H. Oka, M. Annoura, A. Kuwahata, K. Kadowaki, Y. Kaminou, S. You, A. Balandin, M. Inomoto and Y. Ono, "Two dimensional imaging measurement of magnetic reconnection outflow in the TS-4 toroidal plasma merging experiment", Plasma and Fusion Research, **8**, 2405088 (2013)

[3] H. Tanabe, A. Kuwahata, H. Oka, M. Annoura, H. Koike, K. Nishida, S. You, Y. Narushima, A. Balandin, M. Inomoto and Y. Ono, "Two dimensional ion temperature measurement by application of tomographic reconstruction to the Doppler spectroscopy", Nuclear Fusion, **53**, 093027 (2013)

学術論文 (共著)

[4] S. You, H. Tanabe, Y. Ono, A. L. Balandin, "Vector and Scalar Tomography of Compact Toroid Plasmas", Journal of Fusion Energy, **29**, 592 (2010)

[5] A. Kuwahata, H. Tanabe, S. Ito, M. Inomoto and Y. Ono, "Low Frequency Magnetic Fluctuations during Magnetic Reconnection in Laboratory Experiment", Plasma and Fusion Research, **6**, 1201127 (2011)

[6] 桑波田 晃弘, 田辺 博士, 伊藤 慎吾, 井 通暁, 小野 靖, 「磁気リコネクションを介した異極性プラズマ合体実験における低周波磁場揺動の計測」, 電気学会論文誌 A, **132**, 3 (2011)

[7] Y. Ono, H. Tanabe, Y. Hayashi, T. Ii, Y. Narushima, T. Yamada, M. Inomoto and

- C. Z. Cheng, “ Ion and Electron Heating Characteristics of Magnetic Reconnection in a Two Flux Loop Merging Experiment ”, *Phys. Rev. Lett.*, **107**, 185001 (2011)
- [8] Y. Ono, Y. Hayashi, T. Ii, H. Tanabe, S. Ito, A. Kuwahata, T. Ito, Y. Kamino, T. Yamada, M. Inomoto and TS-Group, “Intermittent magnetic reconnection in TS-3 merging experiment”, *Phys. Plasmas*, **18**, 111213, (2011)
- [9] N. Nishizuka, Y. Hayashi, H. Tanabe, A. Kuwahata, Y. Kaminou, Y. Ono, M. Inomoto and T. Shimizu, “A Laboratory Experiment of Magnetic Reconnection: Outflows, Heating, and Waves in Chromospheric Jets”, *The Astro Physical Journal*, **756**, 152 (2012)
- [10] Y. Ono, H. Tanabe, T. Yamada, M. Inomoto, T. Ii, S. Inoue, K. Gi, T. Watanabe, M. Gryaznevich, R. Scannell, C. Michael and C. Z. Cheng, “Ion and electron heating characteristics of magnetic reconnection in tokamak plasma merging experiments ”, *Plasma Phys. Control. Fusion*, **54**, 124039 (2012)
- [11] Michiaki Inomoto, Akihiro Kuwahata, Hiroshi Tanabe, Yasushi Ono, and TS group, ” Excitation and propagation of electromagnetic fluctuations with ion cyclotron range of frequency in magnetic reconnection laboratory experiment”, *Phys. Plasmas*, **20**, 061209 (2013)
- [12] H. Tanabe, S. You, A. Balandin, M. Inomoto and Y. Ono, ”3D Ion Temperature Reconstruction”, 51th Annual Meeting of the Division of Plasma Physics, 51st Annual Meeting of the American Physical Society Division of Plasma Physics, TP8. 00136, Atlanta, USA, 2009年11月
- [13] H. Tanabe, S. You, A. Balandin, A. Kuwahata, S. Ito, M. Inomoto and Y. Ono, ”2-D Ion Temperature Measurement by Tomographic Reconstruction for Ion Doppler Spectroscopy” , CMSO General Meeting 2010, Swarthmore, 2010年6月
- [14] H. Tanabe, A. Kuwahata, S. You, H. Oka, P. Copinger, S. Ito, Y. Hayashi, T. Ii, A. Balandin, M. Inomoto and Y. Ono, “Investigation of Ion Heating Mechanism of Magnetic Reconnection by Use of Tomographic 2-D Ion Doppler Diagnostics”, 52nd Annual Meeting of the American Physical Society Division of Plasma Physics, CP9.00124, Chicago, 2010年11月
- [15] H. Tanabe, A. Kuwahata, H. Oka, S. You, S. Ito, A. L. Balandin, M. Inomoto and Y. Ono, “Ion Heating Characteristics of Magnetic Reconnection in TS-3 and 4 Merging Experiments ”, US-JAPAN Workshop on Magnetic Reconnection 2010, Nara, 2010年12月
- [16] H. Tanabe A. Kuwahata, H. Oka, M. Annoura, S. You, M. Inomoto, Y. Ono, ”Laboratory Experiment on Plasma Heating During Magnetic Reconnection in Torus Plasma Merging Device TS-3 and TS-4”, Hinode5, Boston, 2011年10月

国際会議

- [17] H. Tanabe, H. Oka, A. Kuwahata, M. Annoura, S. You, M. Inomoto, Y. Ono, "Ion heating characteristics of magnetic reconnection in TS-3 & TS-4 tokamak and spheromak merging experiments ", 53rd Annual Meeting of the American Physical Society Division of Plasma Physics, NP9.00010, Salt Lake City, 2011年11月
- [18] H. Tanabe, T. Yamada, A. Kuwahata, H. Oka, M. Annoura, Y. Hayashi, S. Kamio, M. Inomoto, Y. Ono and M. Gryaznevich, " Ion and Electron Heating during Magnetic Reconnection in TS-3, TS-4 and MAST Torus Plasma Merging Experiments", US-JAPAN Workshop on Magnetic Reconnection 2012, Princeton, 2012年5月
- [19] H. Tanabe, T. Yamada, A. Kuwahata, H. Oka, M. Annoura, K. Kadowaki, M. Inomoto, Y. Ono and M. Gryaznevich, " Ion and Electron Heating Characteristics of Magnetic Reconnection in TS-3, TS-4 and MAST Merging Experiments", 54th Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, CP8.00041, Providence, 2012年10月
- [20] Y. Ono, H. Tanabe, Y. Kamio, K. Yamasaki, K. Kadowaki, Y. Hayashi, Y. Yamada and C. Z. Cheng, " High Power Heating of Magnetic Reconnection for a High-Beta ST Formation in TS-3 and UTST Merging Experiments", 24th IAEA Fusion Energy Conference, EX/8-2, San Diego, 2012年10月
- [21] H. Tanabe, H. Oka, M. Annoura, A. Kuwahata, K. Kadowaki, Y. Kaminou, S. You, A. Balandin, M. Inomoto and Y. Ono, "Two Dimensional Imaging Measurement of Magnetic Reconnection Outflow in the TS-4 Toroidal Plasma Merging Experiment", 22nd international Toki Conference, P1-4, Toki, 2012年11月
- [22] H. Tanabe, H. Oka, M. Annoura, A. Kuwahata, K. Kadowaki, Y. Kaminou, S. You, A. Balandin, M. Inomoto and Y. Ono, "Development of Tomographic 2D Toroidal Rotation Measurement by Multi-chord Doppler Spectroscopy Approach", The 9th Australia-Japan Workshop on Plasma Diagnostics, Naka, 2012年12月
- 国内会議**
- [23] 田辺 博士, S. You, A. Balandin, 井 通暁, 小野 靖, 「ドップラー分光CTによる2次元イオン温度・流速分布の計測」, 第4回ひので一実験室研究会, 柏, 2009年5月
- [24] 田辺 博士, S. You, A. Balandin, 井 通暁, 小野 靖, 「ドップラー分光CTによるイオン温度・流速分布の再構成」, 第48回プラズマ若手夏の学校, 筑波山, 15, 2009年8月
- [25] 田辺 博士, Setthivoine You, Alexander Balandin, 井 通暁, 小野 靖, 「TS-3実験再開における2Dドップラー計測状況の報告」, 第6回ひので一実験室研究会, 柏, 2009年11月
- [26] 田辺 博士, S. You, A. Balandin, 井 通暁, 小野 靖, 「ドップラー分光CT診断によるイオン温度・流速場の再構成」, プラズマ核融合学会 2009 年度年次会, 4aD43P, 京都, 2009年12月

- [27] 田辺 博士, S. You, A. Balandin, 井 通暁, 小野 靖, 「ドップラー分光計測のCT化によるイオン温度・流速場の再構成」, CT-RFP 研究会, 岐阜, 2009年12月
- [28] 田辺 博士, S. You, A. Balandin, 井 通暁, 小野 靖, 「ドップラー分光 CT 診断によるイオン温度・流速場の再構成」, 物理学会, 23aTJ-12, 岡山, 2010年3月
- [29] 田辺 博士, S. You, A. Balandin, 桑波田 晃弘, 伊藤慎吾, 井 通暁, 小野 靖, 「ドップラー分光トモグラフィによるイオン温度・流速場の再構成」, 3学会合同プラズマ宇宙物理シンポジウム 2010, PEM029-12, 幕張, 2010 年5月
- [30] 田辺 博士, 桑波田 晃弘, S. You, 岡 裕貴, A. Balandin, 伊藤 慎悟, 井 通暁, 小野 靖, 「2次元イオンドップラー温度・流速計開発の進展状況および今後の実験計画について」, 第8回ひので実験室研究会, 野辺山, 2010年8月
- [31] 田辺 博士, 桑波田 晃弘, 岡 裕貴, S. You, P. Copinger, 伊藤 慎悟, A. Balandin, 井 通暁, 小野 靖, 「2次元ドップラー計測を用いた磁気リコネクションのイオン加熱・加速機構の検証」, プラズマ核融合学会第27回年会, 30P05, 北海道, 2010年11月
- [32] 田辺博士, 岡祐貴, 桑波田晃弘, 伊藤慎悟, 案浦正将, 井通暁, 小野靖, 「トーラスプラズマ合体実験を用いた磁気リコネクションのイオン加熱機構の検証」, プラズマ核融合学会第28回年会, 23P105, 金沢, 2011年11月
- [33] 田辺 博士, 林 由記, 桑波田 晃弘, 西塚 直人, 岡 裕貴, 案浦正将, S. You, 井 通暁, 小野靖, 「ライトブリッジ共同実験におけるドップラー計測に関する報告」, 第 10回ひので実験室研究会, 本郷, 2011年9月
- [34] 田辺 博士, 岡裕貴, 桑波田晃弘, 案浦正将, 伊藤 慎悟, S. You, A. Balandin, 井 通暁, 小野 靖, 「ドップラー分光トモグラフィを用いた2次元イオン温度計測システムの開発」, 画像計測研究会, 岐阜, 2011年9月
- [35] 田辺 博士, 林 由記, 桑波田 晃弘, 西塚 直人, 岡 裕貴, 案浦正将, 井 通暁, 小野 靖, 「ライトブリッジ共同実験におけるドップラー計測」, 第11回ひので実験室研究会, 京都, 2011年12月
- [36] 田辺博士, 桑波田晃弘, 岡裕貴, 案浦正将, 門脇和丈, 神尾修治, 渡辺岳典, 山田琢磨, M. Gryaznevich, 井通暁, 小野靖: 「TS-3/4・MAST 装置におけるリコネクション加熱実験の進展」, 第13回ひので実験室研究会, 相模原, 2012年6月
- [37] 田辺博士, 桑波田晃弘, 山田琢磨, 岡裕貴, 案浦正将, 門脇和丈, 神納 康宏, 神尾修治, 渡辺岳典, M. Gryaznevich, 井通暁, 小野 靖, 「TS-3・TS-4・MAST 装置における実験室リコネクションの加速・加熱」, 第14回ひので実験室研究会, 三鷹, 2012年10月
- [38] 田辺 博士, 山田琢磨, 岡裕貴, 桑波田晃弘, 案浦正将, 門脇和丈, 神尾修治, R. Scannel, M. Clive, N. Conway, M. Gryaznevich, 井 通暁, 小野靖, 「トーラスプラズマ合体実験を用いた磁気リコネクションのプラズマ加熱機構の検証」, プラズマ・核融合学会 第29 回年会, 28aC02, 福岡, 2012年11 月

その他

- [39] N. Nishizuka, Y. Hayashi, H. Tanabe, A. Kuwahata, Y. Kaminou, Y. Ono, M. Inomoto and T. Shimizu, 「太陽表面での活動現象を世界で初めて地上で再現」, JAXA プレスリリース, 2012年9月7日