

平成23年5月20日現在

研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19204057
 研究課題名（和文） 中性粒子風と渦の極性反転
 研究課題名（英文） Neutral wind and polarization reversal of vortex.

研究代表者
 田中 雅慶（TANAKA MASAYOSHI）
 九州大学・総合理工学研究院・教授
 研究者番号：90163576

研究成果の概要（和文）：

狭帯域半導体レーザーを用いて、高精度レーザー誘起蛍光分光システムを開発し、これまで測定法が確立していなかった遅い中性粒子の流れ計測法を確立した。新しく開発されたシステムは 10^{-7} 以上の高精度でドップラーシフトを決定でき、その性能は5時間以上維持できることを確認した。これにより $\pm 2\text{m/s}$ の遅い中性粒子流れ速度が計測できるようになった。開発されたシステムを用いて、プラズマ中の中性粒子の流れ場を可視化し、径方向内向きの流の存在を明らかにした。この流れとイオン流れの電荷交換相互作用がプラズマ中の渦構造形成に果たす役割を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

A high-resolution laser-induced fluorescence (LIF) spectroscopy system has been developed using a tunable diode laser. Very high resolution of 10^{-7} has been achieved in determining the Doppler shift measurement. The minimum detectable velocity of the system is 2m/s , and the performance is maintained for more than 5 hours. The flow velocity field of neutrals in a plasma vortex is visualized and the role of neutral flow on the vortex formation in a plasma is clarified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	13,600,000	4,080,000	17,680,000
2008年度	10,700,000	3,210,000	13,910,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	26,200,000	7,860,000	34,060,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：プラズマ基礎、渦、中性粒子、流れ構造、レーザー誘起蛍光分光法

1. 研究開始当初の背景

(1) 弱電離プラズマは電離生成された電子およびイオンと中性粒子が共存する系であ

り、多くの実験室プラズマをはじめ、産業応用プラズマや電離層、さらには磁場閉じ込めプラズマの壁近傍のいわゆる境界層プラズマにおいて形成される。従来、弱電離プラズ

マ中の流れ構造の形成はプラズマに働く静電気力が主要な役割を果たし、中性粒子はプラズマ粒子の運動に対して弱い散逸効果をもたらすと考えられてきた。

(2) しかし、電離層における熱圏・電離圏結合やプラズマ応用分野における中性粒子枯渇現象、さらに実験室プラズマにおいて逆E×Bドリフト方向に回転するプラズマ渦等の観測が報告され、プラズマイオンと中性粒子は強く相互作用していることが明らかになってきた。

(3) イオンと中性粒子は衝突相互作用を行うが、通常の運動量交換は通常十分小さい。しかし、電荷交換過程を考慮すると、セナ効果と呼ばれる現象によって大きな運動量輸送が起こりイオンが力を受ける結果、その流れ構造が中性粒子の流れによって本質的な影響を受けることが明らかになってきた。そこで本研究ではこれまで測定法が確立していなかったおプラズマ中の遅い中性粒子の流れ計測法を開発し、プラズマ中の渦構造形成にはたす中性粒子の流れの効果を明らかにした。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、中性粒子の流れを高精度に測定するため高精度レーザー誘起蛍光(LIF)分光システムを新たに開発し、中性粒子の遅い流れの測定方法を確立すること第1の目的とした。

(2) また、新システムを用いてプラズマ中の中性粒子の流れ場を詳細にしらべ、プラズマの流れ構造形成に対する中性粒子の効果を明らかにすることを第2の目的とした。

(3) 特に、従来主要項と考えられてきた電場に起因する力よりも、中性粒子との相互作用によって生じる力が優勢となる場合のあるkとを実証し、またそのことが逆E×B回転する渦の基本メカニズムであることを証明することを目指した。

3. 研究の方法

(1) 遅い中性粒子の流れを高精度に計測するためには、速度分布関数のドップラーシフトをきわめて正確に測定する必要がある。そ

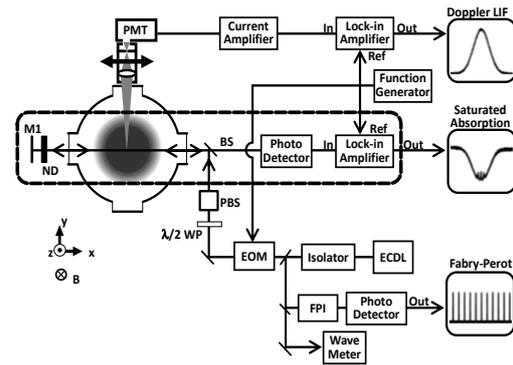


図1 本研究で開発した高精度レーザー誘起蛍光分光システム

(2) また新システムを用いた実験を行うことにより弱電離プラズマ中の中性粒子の流れを可視化し、渦構造形成に対する中性粒子の流れ効果を明らかにすることを目指した。

4. 研究成果

(1) 飽和吸収分光法を誘起蛍光分光法に組み込んだ。誘起蛍光スペクトルとラムディップを同時観測し、ラムディップを周波数基準として採用することにより、相対精度 10^{-7} に及ぶ高精度計測が可能になることを示した。

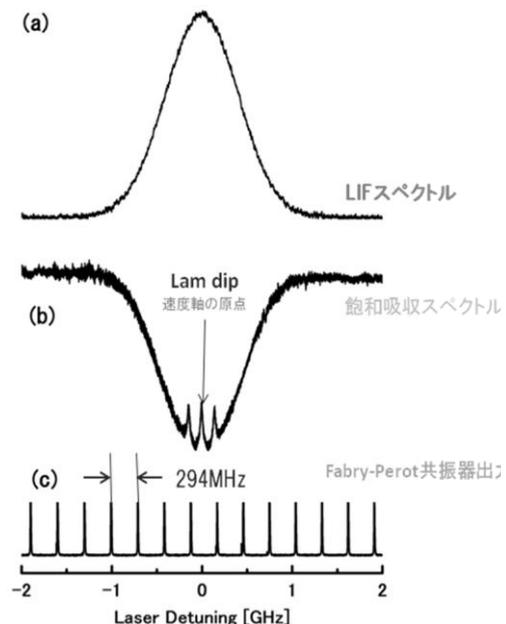


図2 高精度誘起蛍光分光出力。(a): 誘起蛍光スペクトル、(b): 吸収スペクトル上のラムディップ。(c): ファブリペロー干渉計出力

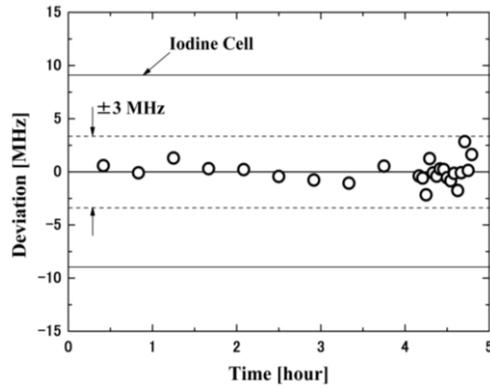


図3 高精度誘起蛍光分光システムの安定性

(3) 本研究で開発した LIF 分光システムの流速の計測精度は ± 2 m/s であり、従来の LIF 分光システムの計測精度を 1 桁改善した。

(4) 高精度 LIF 分光システムを用いた実験結果をもとに、反 ExB 回転する渦の形成機構を明らかにした。すなわち、中性粒子は径方向内向きに流れていること。また、反 ExB 方向の回転は、電荷交換衝突におけるセナ効果によってイオン - 中性粒子間に生じる径方向内向き力によるドリフトであることを明らかにした。

(5) また、磁力線に垂直な面上の渦度分布は中性粒子の密度分布から予測される分布に一致していることも明らかになった。

(6) 逆 ExB 方向に渦が回転するという事は、イオンに働く力が電場による力を上回ることを意味しており、プラズマ中の流れ構造形成に関して、中性粒子の流れが本質的な役割を担う新たな構造形成メカニズムが存在していることを示している。

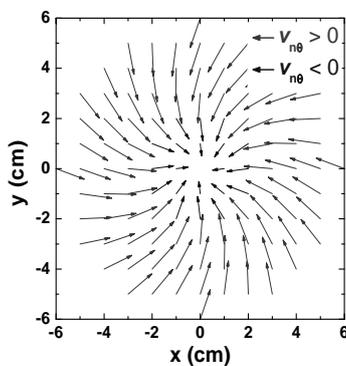


図4 反 E × B 渦に伴う中性粒子の流れ

(7) 中性粒子による力を化学ポテンシャルによって表現することにより、プラズマ - 中性粒子相互作用について一般的な結論を得た。すなわち、相互作用の特性長がプラズマ径に比べて小さいという条件の下で、静電ポテンシャルが支配的な場合は、流れ構造は静電気力によって決まり、化学ポテンシャルが優勢な場合は、中性粒子の流れがプラズマの構造形成を支配するという結論を得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件 査読有)

1. M. Aramaki, K. Ogiwara, S. Etoh, S. Yoshimura, and M. Y. Tanaka:
"Measurement of neutral velocity in an ECR plasma using tunable diode laser LIF spectroscopy combined with saturated absorption spectroscopy", Journal of Physics Conf. Series **227** (2010) 012008
2. K. Terasaka, S. Yoshimura, K. Ogiwara, M. Aramaki, and M. Y. Tanaka:
"Experimental studies on ion acceleration and stream line detachment in a diverging magnetic field", Physics of Plasmas **17**, (2010) 072106-1-4.
3. S. Yoshimura, A. Okamoto, K. Terasaka, K. Ogiwara, M. Aramaki and M. Y. Tanaka: "Parallel Ion Flow Velocity Measurement Using Laser Induced Fluorescence Method in an Electron Cyclotron Resonance Plasma", Plasma and Fusion Research **5**, (2010) S2052.
4. S. Yoshimura, A. Okamoto, and M. Y. Tanaka: "Measurement of Ion Flow Velocity Field Associated with Plasma Hole Using Laser Induced Fluorescence Spectroscopy", Plasma Fusion Research SERIES **8**, (2009) pp. 11-14.
5. S. Etoh, M. Aramaki, K. Ogiwara, S. Yoshimura, and M. Y. Tanaka:
"Development of high resolution LIF

- spectroscopy with saturated absorption spectrum”, Journal of Plasma and Fusion Research Series **8**, (2009) pp. 20-24.
6. J Vranjes, S Poedts, M Kono, M Y Tanaka: “Effects of friction on modes in collisional multicomponent plasmas”, Journal of Physics: Conference Series **162** (2009) 012017.
 7. K. Terasaka, T. Katahira, S. Yoshimura, M. Aramaki, and M. Y. Tanaka: “Effect of Plasma Rotation on Acceleration of Ions along the Magnetic Field Line”, Journal of Plasma and Fusion Research Series **8**, (2009) pp. 15-19.
 8. M. Aramaki, K. Ogiwara, S. Etoh, S. Yoshimura, and M. Y. Tanaka: “High resolution laser induced fluorescence Doppler velocimetry utilizing saturated absorption spectroscopy”, Rev. Sci. Instrum. **80**, (2009) 053505-1 - 4.
 9. M. Y. Tanaka and S Yoshimura:
(ア) “Quasi-neutrality Braking in a Rotating Plasma”, IEEE Trans. on Plasma Science, **36** No.4 (2008) pp.1224 - 1225
 10. M. Y. Tanaka, M. Aramaki, K. Ogiwara, S. Etoh, S. Yoshimura, and J. Vranjes: “Vortex Formation in a Plasma Interacting with Neutral Flow”, FRONTIERS IN MODERN PLASMA PHYSICS: edited by P. K. Shukla, B. Eliasson, and L. Stenflo, Plasma Physics Vol. 1061, (2008) pp. 57-65.
 11. J. Vranjes, B. P. Pandey, M. Y. Tanaka, and S. Poedts: “Ion thermal effect in oscillating multi-ion plasma sheath theory”, Physics of Plasmas Vol.15 (2008) 123505-1-6
 12. J. Vranjes, M. Kono, S. Poedts, and M. Y. Tanaka: “Collisional energy transfer in two-component plasmas”, Physics of Plasmas Vol.15 (2008) 092107-1-5
- [学会発表] (計 25 件)
1. 荻原公平、伊藤優太、荒巻光利、吉村信次、田中雅慶: “中性粒子の流れとプラズマの相互作用による反E×B渦形成” (日本物理学会第65回年次大会、2010年3月30日 岡山市)
 2. K. Ogiwara, Y. Itoh, M. Aramaki, S. Yoshimura, and M. Y. Tanaka: “LIF measurement of neutral flow associated with formation of an anti-ExB vortex” (19th International Toki Conference, 2009年12月9日 土岐市)
 3. 荻原公平、伊藤優太、荒巻光利、吉村信次、田中雅慶: “反E×B渦の形成機構に対する背景中性粒子の役割” (プラズマ・核融合学会第26回年会、2009年12月2日 京都市)
 4. K. Ogiwara, M. Aramaki, S. Yoshimura, and M. Y. Tanaka: “LIF Measurement of Neutral Flow Interacting with Vortex in a Plasma” (51st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, 2009年11月3日 米国 アトランタ)
 5. 荻原公平、伊藤優太、荒巻光利、吉村信次、加藤祥行、田中雅慶: “レーザー誘起蛍光法を利用した磁場計測の可能性” (日本物理学会 2009年秋季大会、2009年9月26日 熊本市)
 6. 荻原公平、伊藤優太、荒巻光利、吉村信次、田中雅慶: “中性粒子の流れが寄与するプラズマの渦形成” (プラズマ科学のフロンティア研究会、2009年9月4日 土岐市)

7. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、杉原拓実、吉村信次、田中雅慶：
“中性粒子と相互作用するプラズマの流れ構造”（日本物理学会第 64 回年次大会、2009 年 3 月 23 日 東京）
8. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、杉原拓実、吉村信次、田中雅慶：
“プラズマに影響を与える中性粒子の挙動とその計測システム開発”（第 12 回若手科学者によるプラズマ研究会、2009 年 3 月 16 日 那珂市）
9. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、吉村信次、杉原拓実、田中雅慶：
“反 E×B 渦と共存する中性粒子流れの計測”（プラズマ科学シンポジウム、2009 年 2 月 2 日 名古屋）
10. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、吉村信次、杉原拓実、田中雅慶：
“飽和吸収分光法を用いた高精度 LIF 流速計測”（「プラズマ分光診断と原子分子素過程の最先端」研究会、2009 年 1 月 15 日 土岐市）
11. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、吉村信次、杉原拓実、田中雅慶：
“プラズマと相互作用する中性粒子の 2 次元流速測定”（プラズマ・核融合学会 第 12 回九州・山口・沖縄支部大会、2008 年 12 月 22 日 春日市）
12. Kohei Ogiwara, S. Etoh, M. Y. Tanaka, M. Aramaki, T. Sugihara, and S. Yoshimura：
“ Measurement of neutral flow associated with a vortical structure in plasma ”（ 10th Cross Straits Symposium, 2008 年 11 月 13 日 春日市）
13. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、吉村信次、杉原拓実、田中雅慶：
“反 E×B 渦と共存する中性粒子の分布関数非対称性”（日本物理学会 2008 年秋季大会、2008 年 9 月 23 日 盛岡市）
14. Kohei Ogiwara, S. Etoh, M. Y. Tanaka, M. Aramaki, T. Sugihara, and S. Yoshimura：
“ Measurement of neutral Flow Velocity Field Associated with Anti-E×B Vortex ”（ International Congress on Plasma Physics , 2008 年 9 月 9 日 福岡市）
15. Kohei Ogiwara, S. Etoh, M. Y. Tanaka, M. Aramaki, T. Sugihara, and S. Yoshimura：
“ LIF measurement of neutrals interacting with ions ”（ 4th Japan-Korea Seminar Advanced Diagnostics for Steady-state Fusion Plasma, 2008 年 8 月 25 日 韓国 ポハン）
16. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、吉村信次、杉原拓実、田中雅慶：
“プラズマと相互作用する中性粒子の LIF 計測”（プラズマ科学のフロンティア研究会、2008 年 8 月 6 日 土岐市）
17. Kohei Ogiwara, S. Etoh, M. Y. Tanaka, M. Aramaki, T. Sugihara, and S. Yoshimura：
“ LIF measurement of neutrals interacting with ion flow ”（2nd ITER International summer school, 2008 年 7 月 24 日 春日市）
18. 田中雅慶、荻原公平、江藤修三、荒巻光利、吉村信次：
“中性粒子と相互作用する渦”（オイラー方程式の数理 渦運動 150 年、2008 年 7 月 17 日 京都市）
19. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、吉村信次、杉原拓実、田中雅慶：
“反 E×B 渦を駆動する中性粒子の 2 次元流速分布計測”（日本物理学会第 63 回年次大会、2008 年 3 月 23 日 東大阪市）
20. 荻原公平、荒巻光利、江藤修三、吉村信次、田中雅慶：

“中性粒子流速計測のためのレーザー誘起蛍光分光システムの開発” (プラズマ・核融合学会第 24 回年会、2007 年 11 月 29 日 姫路市)

21. 吉村信次、河野光雄、田中雅慶：
“磁化プラズマ中におけるプラズマホール形成” (プラズマ・核融合学会第 24 回年会、2007 年 11 月 28 日 姫路市)
22. K. Ogiwara, S. Etoh, M.Y. Tanaka, M. Aramaki, and S. Yoshimura：
“Laser induced fluorescence measurement for neutral flow in a plasma” (9th Cross Straits Symposium, 2007 年 11 月 21 日 韓国 ポハン)
23. K. Ogiwara, S. Etoh, M. Aramaki, S. Yoshimura, and M.Y. Tanaka：
“Neutral flow measurement using a tunable diode laser ” (Joint Conference of 17th International Toki Conference and 16th International Stellarator / Heliotron Workshop , 2007 年 10 月 15 日 土岐市)
24. 荻原公平、江藤修三、荒巻光利、吉村信次、田中雅慶：
“背景中性粒子の流れと相互作用する反 E×B 渦” (日本物理学会第 62 回年次大会、2007 年 9 月 22 日 札幌市)
25. K. Ogiwara, S. Etoh, M. Aramaki, S. Yoshimura, and M.Y. Tanaka：
“LIF measurement of neutral flow using a tunable diode laser” (13th International Symposium on Laser-Aided Plasma Diagnostics, 2007 年 9 月 18 日 高山市)

[その他]

研究室ホームページ

<http://zone.aees.kyushu-u.ac.jp/>

[受賞]

荒巻光利, 荻原公平, 吉村信次, 田中雅慶
第 14 回プラズマ・核融合学会技術進歩賞

(2009 年)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中雅慶 (TANAKA MASAYOSI)
九州大学・総合理工学研究院・教授
研究者番号：90163576

(2) 研究分担者

河野光雄 (KONO MITSUO)
中央大学・総合政策学部・教授
研究者番号：00038564
(H20 → H21：連携研究者)

吉村信次 (YOSHIMURA SHINJI)
自然科学研究機構・核融合科学研究所
助教
研究者番号：50311204
(H19 → H20：連携研究者)

牟田浩司 (MUTA HIROSHI)
岐阜大学・工学研究科・准教授
研究者番号：10219850
(H19 → H20：連携研究者)