

令和 2年 2月 3日

学位論文の審査要旨

学位論文申請者氏名：浦野 貴弘

論文題目：低周波波動を印加した磁場反転配位プラズマに関するシミュレーション研究

(Simulation study on a low-frequency-wave-excited field-reversed configuration plasma)

論文の概要及び判定理由

磁場反転配位 (FRC) プラズマは、核融合発電を目的とした磁気閉じ込めプラズマの一種であり、一定の外部磁気圧の条件のもと、現在提案されている磁気閉じ込め方式の中で最も高いプラズマ圧となる。このため、外部コイルに投入する電力、核融合反応によって単位体積あたりに発生するエネルギーの観点から、経済性に優れた方式として期待される。一方で、核融合反応を実現するためには、プラズマ中のイオン加熱が不可欠であるが、FRCにおいてイオンを直接的に加熱する手法が確立されていないのが現状である。過去に大阪大学 FIX 装置で、イオンサイクロトロン周波数程度の低周波波動印加実験がなされ、イオン加熱が確認されているが、その加熱メカニズムについては明らかになっていない。

浦野貴弘氏は、FRC プラズマへの低周波波動印加をハイブリッドモデルにより再現し、低周波波動の伝播、低周波波動によるプラズマ加熱についてシミュレーションを実行した。既往研究では、電磁流体力学 (MHD) モデルによる波動伝播が調査されているが、MHD モデルではイオン軌道を考慮できないため、イオン加熱効果を直接的に議論することは出来ない。したがって、同氏は、低周波波動を印加した FRC プラズマ中のイオン応答を世界で初めて調査したことになる。

同氏は、FRC プラズマ周辺片側 1 カ所に設置したアンテナ (周波数 160 kHz, ピーク電流 30 kA) から低周波波動を印加したシミュレーションを実行し、揺動磁場の方位角方向成分がプラズマ外部を伝播する様子を観測した。この結果、プラズマコア領域には磁場の軸方向成分を除き電磁場の揺動が観測されないことを見出した。さらに、磁気圧に対するプラズマ圧の比が一定となる面でカットオフされることを明らかにした。また、FRC プラズマを挟み込むように設置したアンテナから低周波波動を印加したシミュレーションの結果、プラズマの圧縮・膨張が生じ、それに伴って電子温度が断熱的に変化することを明らかにした。一方で、イオンについては、波動印加による断熱的な変化に加えて、熱エネルギーの増加が伴うことも示された。この点について同氏は、FRC プラズマ中には磁気中性点や湾曲磁場領域が存在し、イオン運動がランダマイズされやすく、断熱不変性が破れるために生じている加熱効果であることを明らかにした。従来の波動加熱は波と粒子の相互

作用に基づくものであるとされる。しかし本研究から、FRCプラズマのイオン加熱は、波動による圧縮・膨張といったプラズマの巨視的形狀変化を介した現象であることが示されたことになり、この知見が特筆すべき成果と言える。

以上のように、本論文は、FRCプラズマ中の低周波波動伝播および低周波波動印加によるイオン加熱メカニズムの解明という理学への貢献と、核融合研究における新たなプラズマ加熱技術に関する工学への貢献という観点で理工学的価値の高い研究であり、博士（理工学）の学位に値するものと判定した。

審査年月日 令和 2年 1月 30日

審査委員

主査	群馬大学学術研究院	教授	本島 邦行	印
副査	群馬大学学術研究院	教授	高田 和正	印
副査	群馬大学学術研究院	教授	橋本 誠司	印
副査	群馬大学学術研究院	准教授	伊藤 直史	印
副査	群馬大学学術研究院	准教授	高橋 俊樹	印

関連論文

- 1 著者名 T. Urano, T. Takahashi, A. Hosozawa, T. Asai, S. Okada
論文題目 Hybrid simulation study on anisotropic response of ions to a low-frequency wave in a field-reversed configuration (磁場反転配位への低周波波動に対するイオンの非等方性応答に関するハイブリッドシミュレーション)
雑誌名 Plasma and Fusion Research 第14巻 1203064-1 頁～1203064-2 頁
2019年3月
- 2 著者名 T. Urano, T. Takahashi, A. Hosozawa, T. Asai, S. Okada
論文題目 Hybrid simulation of a high-beta linear plasma column applied with low frequency wave (低周波波動を印加した高ベータプラズマカラムのハイブリッドシミュレーション)
雑誌名 Plasma and Fusion Research 第14巻 1203064-1 頁～1203064-2 頁
2019年1月

参考論文

- 1 著者名 T. Takahashi, T. Urano
論文題目 Theoretical framework of relation between anomalous resistivity and toroidal spin-up of field-reversed configurations (磁場反転配位プラズマの異常抵抗とトロイダル回転の関係性の理論的フレームワーク)
雑誌名 Plasma and Fusion Research 第14巻 2403037-1 頁～2403037-4 頁

2019年2月

2 著者名 T. Urano, T. Takahashi

論文題目 Full-particle simulation of electromagnetic waves induced by electron motion in a field-reversed configuration (磁場反転配位プラズマ中の電子挙動に誘発される電磁波のフルパーティクルシミュレーション)

雑誌名 Plasma and Fusion Research 第13巻 3403055-1頁～3403055-4頁
2018年5月

3 著者名 T. Takahashi, T. Urano, S. Koike, T. Watanabe

論文題目 Rapid Transition to non-Grad-Shafranov equilibrium state of field-reversed configuration plasma (磁場反転配位プラズマの非グラッドシャフラノフ平衡への急速転移)

雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials 第134巻 第9号
517頁～518頁 2014年9月

4 著者名 T. Watanabe, T. Urano, T. Takahashi

論文題目 Possibility of poloidal current drive by low energy axial NBI into field-reversed configuration plasma (磁場反転配位プラズマへの低エネルギー軸方向 NBIによるポロイダル電流駆動の可能性)

雑誌名 Plasma and Fusion Research 第8巻 1203015-1頁～1203015-2頁
2013年3月

5 著者名 T. Urano, T. Watanabe, T. Mitsui, T. Takahashi

論文題目 Feasibility study of the poloidal current drive by axial neutral beam injection into a field-reversed configuration (磁場反転配位プラズマへの軸方向中性粒子ビーム入射によるポロイダル電流駆動の実現可能性研究)

雑誌名 Transactions of Fusion Science and Technology 第63巻 第1T号
383頁～385頁 2013年5月

令和 2年 2月 3日