

非共鳴マイクロ波を用いたプラズマ生成

—ウクライナ・ハルキウ物理技術研を共同研究で支援—

概要

磁場を用いた核融合研究では、安定に信頼性良くプラズマを生成することは核融合プラズマ放電に必要不可欠です。京都大学エネルギー理工学研究所 長崎百伸教授、同小林進二准教授らの研究グループは、磁場閉じ込め核融合プラズマ実験装置 Heliotron J において、ウクライナ・ハルキウ物理技術研究所・研究員 Yurii Kovtun 博士、ドイツ・マックスプランク・プラズマ物理研究所 研究員 Heinrich Laqua 博士、同研究員 Torsten Stange 博士と共同研究を行い、電子サイクロトロン共鳴のない条件において 10kW 程度の 2.45GHz マイクロ波を入射し、生成されたプラズマの特性を明らかにしました。通常の密度上限を越えるプラズマには、絶縁破壊、予備電離プラズマの生成、準定常プラズマの3段階のプロセスがあること、電子密度に線形・非線形の時間発展過程があること、また、入射パワー調整により定常パワー入射より高い密度を得られることを見つけました。この成果は、磁場に依らずにプラズマを生成することにつながり、今後、核融合プラズマの運転領域の拡大が期待されます。本成果は、2023年2月23日ウクライナの国際学術誌「*Problems of Atomic Science and Technology: Plasma Physics*」にオンライン掲載されました。

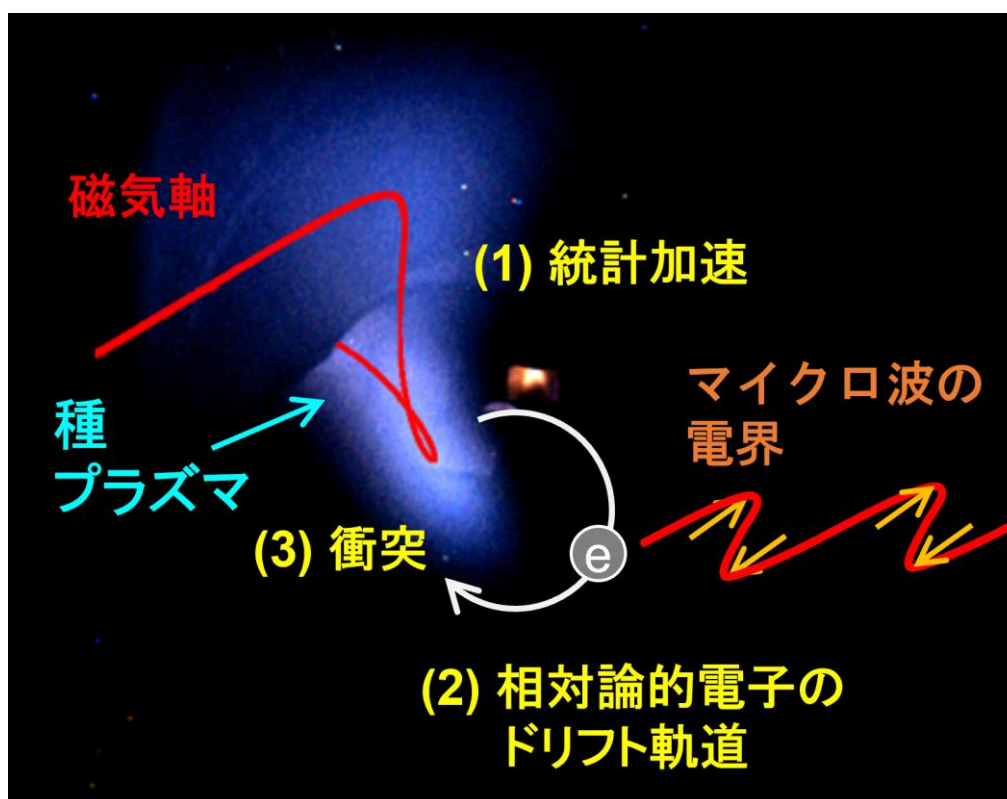


図 Heliotron J における非共鳴マイクロ波を用いたプラズマ生成の模式図

エネルギー理工学研究所はウクライナ・ハルキウ物理技術研究所と研究協力協定を締結しており、Heliotron J グループは先進ヘリカル系プラズマの閉じ込め、プラズマ・壁プロセス、高周波によるプラズマ生成と加熱に関する共同研究を進めています。Kovtun 博士は 2020 年・2021 年に遠隔で Heliotron J プラズマ実験に参加し、非共鳴マイクロ波を用いたプラズマ生成のデータ収集・解析を行ってきました。ハルキウ物理技術研究所はロシアからの攻撃を受け、Kovtun 博士はハルキウから退避、リビウでの滞在を余儀なくされています。その様な厳しい環境下でも共同研究を継続され、本論文の掲載に至りました。

1. 背景

磁場を用いた核融合研究では、放電初期で安定した信頼性の高いプラズマ生成が求められる。磁場閉じ込めにおけるプラズマ生成として電磁波を利用する方法があり、電子のサイクロトロン周波数に相当する周波数の電磁波を入射するサイクロトロン共鳴が用いられる。この手法は、電磁波によって電子が磁力線に垂直方向に加速されることで効率良くプラズマを生成することができるため、広く用いられてきた。一方で、サイクロトロン周波数は磁場強度に比例するため、発振源の周波数が制限されると、共鳴条件を満たすために磁場強度が制限されてしまう。共鳴条件に関係なくプラズマ生成を行えるようになると、広いパラメータ範囲でプラズマの性能を調べることが可能となる。

2. 研究手法・成果

Heliotron J 装置で非共鳴のマイクロ波 (2.45GHz) を強磁場 (~1T) 中に入射する実験を行ったところ、 $10^{16}\sim 10^{18}\text{m}^{-3}$ 台の電子密度を持つ初期プラズマが生成された。今回の研究により、通常の密度上限を越えるプラズマに絶縁破壊、予備電離プラズマの生成、準定常プラズマの 3 段階のプロセスがあること、電子密度に線形・非線形の時間発展過程があること、また、入射パワー調整により定常パワー入射より高い密度を得られることを見出した。この成果は、磁場に依らずにプラズマを生成することにつながり、今後、核融合プラズマの運転領域の拡大が期待される。

3. 波及効果、今後の予定

エネルギー理工学研究所はウクライナ・ハルキウ物理技術研究所と研究協力協定を締結しており、Heliotron J グループは先進ヘリカル系プラズマの閉じ込め、プラズマ・壁プロセス、高周波によるプラズマ生成と加熱に関する共同研究を進めている。Kovtun 博士は 2020 年・2021 年に遠隔で Heliotron J プラズマ実験に参加し非共鳴マイクロ波を用いたプラズマ生成のデータ収集・解析を行ってきた。

4. 研究プロジェクトについて

予算：京都大学施設運営経費、双方向型共同研究、JSPS 国際拠点形成事業 A. 先端拠点形成型

関連研究機関：マックスプランク・プラズマ物理研究所 (ドイツ)、京都大学エネルギー科学研究科

<研究者のコメント>

ハルキウ物理技術研究所はロシアからの攻撃を受け、Kovtun 博士は住居のアパートもミサイル攻撃により破壊され、ハルキウから退避、家族は海外に脱出し、Kovtun 博士一人がリビウでの滞在を余儀なくされている。その様な厳しい環境下でも共同研究を継続され、本論文の掲載に至った。ウクライナの国際学術誌「Problems of Atomic Science and Technology: Plasma Physics」は戦争下でも発刊活動を続けており、今回の論文は Kovtun 博士の希望により本国の学術誌への投稿となった。本共同研究を通し、ハルキウ物理技術研究所の研究を支援し続けてゆきたいと考えている。(長崎百伸)

<論文タイトルと著者>

タイトル：Non-Resonant Microwave Discharge Start-Up in Heliotron J (非共鳴マイクロ波を用いたプラズマ生成)

著者：Yu. V. Kovtun, K. Nagasaki, S. Kobayashi, T. Minami, S. Kado, S. Ohshima, Y. Nakamura, A. Ishizawa, S. Konoshima, T. Mizuuchi, H. Okada, H. Laqua, T. Stange

掲載誌： *Problems of Atomic Science and Technology: Plasma Physics*

DOI：10.46813/2023-143-003