

S1-5

ヘリコン波による高密度プラズマ生成の物理 Mechanism of high-density plasma production by helicon wave

諫山 翔伍¹、篠原 俊二郎^{1,5}、羽田 亨¹、陳 仕宏⁶

1. 九州大学、2. 東京農工大学、3. 中部大学、4. 中国科学技術大学（中国）、
5. 西南物理研究院（中国）、6. 国立中央大学（台湾）

1. Kyushu University, 2. Tokyo University of Agriculture and Technology, 3. Chubu University, 4. University of Science and Technology (China), 5. Southwestern Institute of Physics (China), 6. National Central University (Taiwan).

1970年にBoswell [1]によって磁化プラズマ中に励起されるヘリコン波（有限境界をもつホイスラー波）によって高密度なプラズマが生成される事が発見されて以来、多くの理論と実験によりヘリコンプラズマ生成機構の基礎的な理解が進んだ [2]。また、ヘリコン源の特性[高効率な高密度プラズマ生成(10^{19} - 10^{20} m^{-3})、低温度数(数eV)]を生かし、様々な分野でのヘリコンプラズマ応用が展開されている [3]。一方で、波動現象と高効率なプラズマ加熱機構の更なる理解が求められ、応用研究は発展途上にある。

高効率なプラズマ加熱は基本的に波動によるジュール加熱によるものである。特に、主要な加熱機構の一つとして‘Trivelpiece-Gould (TG)’波（電子慣性項を含めると必然的に現れる背景磁場に対して準垂直方向に伝搬する静電波）によるプラズマ表面での加熱がある。TG波による高効率なプラズマ加熱は理論・シミュレーションでは予測されているものの、TG波の波長と減衰長は非常に短い(~1 mm)ため、高減衰TG波の直接観測は難しい。したがって、TG波のプラズマ加熱への寄与を示す実験的証拠としては乏しいのが現状である。

近年、我々はヘリコン波とTG波によるジュール加熱とプラズマ生成をセルフコンシステントに取り入れた流体モデルを構築し、ヘリコンプラズマ生成とプラズマ加熱構造の時間発展を示した(図1) [4, 5]。プラズマ生成初期($t=12$ μs)ではTG波によるプラズマ表面での加熱により表面密度が成長する。プラズマ密度がヘリコン波のカットオフ密度を超えると、ヘリコン波がプラズマ中心を伝搬できるようになり、中心密度が成長する($t=30$ μs)。一方プラズマ表面では、密度勾配が作る壁への流束消失とTG波加熱による流束生成がバランスするため、表面での密度成長は止まる。したがって定常状態($t=122$ μs)ではプラズマ中心で

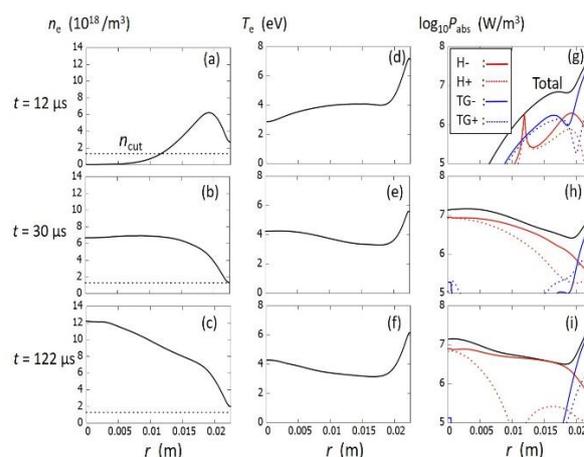


図1 ヘリコンプラズマ生成の時空間発展. (a)-(c) プラズマ密度分布（点線はヘリコン波カットオフ密度）(d)-(f) 電子温度分布 (g)-(i) ヘリコン波(H)（赤線）とTG波（青線）によるパワー吸収分布.

高い密度分布となる。これらの数値計算結果（密度分布、電子温度分布の時間発展など）を実験結果と比較することができれば間接的にTG波のプラズマ加熱の寄与を証明することができる。

本研究の更なる目標はプラズマ密度限界の物理機構を解明する事であり、今後は中性粒子枯渇現象とドリフト波乱流による異常拡散、さらには無衝突プラズマ加熱効果も含めた数値計算モデルを構築する予定である。

参考文献:

- [1] R. W. Boswell, Phys. Lett. **33A**, 457 (1970).
- [2] S. Isayama, S. Shunjiro and T. Hada, Plasma Fusion Res., **13** 1101014 (2018).
- [3] S. Shinohara, Physics and applications, Adv. Phys. **X 3**, 1420424 (2018).
- [4] S. Isayama, S. Shinohara, T. Hada and S. H. Chen, Phys. Plasmas, **26** 023517 (2019).
- [5] S. Isayama, S. Shinohara, T. Hada and S. H. Chen, Phys. Plasmas, **26** 053504 (2019).