

ヘリコン波の分散関係とその散逸過程 Dispersion relation of helicon waves with dissipation

諫山 翔伍^{1*}, 羽田 亨¹, 谷川 隆夫², 篠原 俊二郎³
Shogo Isayama^{1*}, Tohru Hada¹, Takao Tanikawa², Shunjiro Shinohara³

¹九州大学総合理工学府, ²東海大学総合科学技術研究所, ³東京農工大学大学院工学研究院

¹Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University, ²Research Institute of Science and Technology Tokai University,

³Institute of Engineering, Agriculture and Technology, Tokyo University

惑星探査などの長期ミッションにおいては比推力の高い電気推進機関が有効であり注目されている。これは推進剤としてプラズマを用い、これを加速することにより推進力を得る方法である。一方、イオンエンジン等、既存の多くの電気推進機関は有電極型のため、プラズマとの接触による電極摩耗による寿命の制限が大きな問題となっている。この現状を踏まえ、我々はプラズマ生成、プラズマ加速の両段階ともに無電極である、完全無電極型の新しい電気推進機関の開発研究を行っている(HEATプロジェクト)。

無電極推進機関は、主にプラズマ生成部とプラズマ加速部からなる。特に、プラズマ生成に関しては、「ヘリコン波」というプラズマ波動をガス内に伝播させることにより効率よくプラズマを生成する技術がほぼ確立している。その一方、なぜヘリコン波がプラズマを生成するのか、という最も基本的な問題については、未解決の課題が多い。これはプラズマ生成過程が、波動の電磁場による電子加速、加速電子による中性粒子の電離、中性粒子を多く含むプラズマ中のヘリコン波伝播、さらにはプラズマ励起による分散関係の時間発展等、多くの複雑な物理過程を含み、これらが互いに影響しあう複合過程だからである。ヘリコンプラズマ生成過程を理解するための第一段階として、非一様円柱プラズマ中にヘリコン波が伝播する際にどのような電場ができ、それがどのような電子加速を引き起こすか、を理解するために、本研究では散逸がある場合のヘリコン波の分散関係を正確に求める。

ヘリコン波の分散関係は円柱プラズマ(r - z)を仮定し、励起周波数帯 ω_{ci} (イオンサイクロトロン周波数) $\ll \ll \omega_{ce}$ (電子サイクロトロン周波数)の条件下で導かれる。ヘリコン波は軸方向背景磁場 B_0 に対してある角度をもって伝播するホイッスラー波動といえる。閉じた円柱チャンパー内を想定し、軸方向波数(k_z)をある境界条件によって定めると、分散関係より、背景磁場に対して平行方向に近い角度で伝播するヘリコン波(k_H :長波長)と垂直方向に近い角度で伝播するTG波(k_{TG} :短波長)2つのモードの解が得られる。また、それぞれの解(波数)は密度勾配によって変化し、ある密度の点において2つの解は完全に一致する。Shamrai等は、ヘリコン波は非一様プラズマ中を伝播する際、ある密度点でTG波へモード変換し、このTG波が電子を効率よく加速し、プラズマ生成の主役となっている事を主張している。本研究ではまず、流体モデルにおいてプラズマ密度の非一様性、散逸がある場合の分散関係を正確に求め、衝突を介した波動の電子加速について議論する。さらに1次元PICシミュレーションによって、分散関係を議論し、また散逸過程を解析する。

キーワード: 電気推進機関, 無電極推進, ヘリコン波, TG (Trivelpiece-Gould) 波

Keywords: Electric thrusters, The electrodeless thrusters, Helicon wave, TG(Trivelpiece-Gould)wave