

ヘリコンプラズマを用いた次世代無電極推進機関の開発と研究

羽田 亨 [1]; 大塚 史子 [1]; 山之口 和輝 [1]; 諫山 翔伍 [1]; 篠原 俊二郎 [2]; 西田 浩之 [3]; 谷川 隆夫 [4]; 船木 一幸 [5]
[1] 九大総理工; [2] 東京農工大・工; [3] 東京農工大・工・機械; [4] 東海大・総科研; [5] JAXA

Research and development of next generation electrodeless plasma thrusters using helicon source

Tohru Hada[1]; Fumiko Otsuka[1]; Kazuki Yamanokuchi[1]; Shogo Isayama[1]; Shunjiro Shinohara[2]; Hiroyuki Nishida[3]; Takao Tanikawa[4]; Ikkoh Funaki[5]
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] Inst. Eng, TUAT; [3] Mechanical System Eng., TUAT; [4] RIST, Tokai Univ.; [5] JAXA

Electric thruster is a form of spacecraft propulsion that uses electric energy to accelerate plasma propellant. Due to its large specific impulse, the electric thrusters are suited for long duration operations such as missions to outer planets. On the other hand, the performance of many of the conventional electric thrusters is severely limited by electrode wastage. In order to overcome this difficulty, we have been conducting the HEAT (Helicon Electrodeless Advanced Thruster) project to pursue research and development of completely electrodeless (i.e., no electrodes are in direct contact with a plasma) thrusters. After very briefly describing the background and the targets of the project, we will discuss in some detail current issues concerning the electrodeless plasma production using the so-called helicon waves (i.e., bounded whistler waves) and the electrodeless plasma acceleration via externally applied electromagnetic fields. Results of a PIC simulation including impact ionization process will be discussed. Although the helicon plasma is collisional and dissipative, it actually shares many intrinsic features with space plasmas, implying that there are realistic possibilities that SGEPPS members make substantial contributions in the field of electric thrusters.

宇宙空間での衛星推進および制御、特に外惑星探査等の長距離航行ミッションにおいて、比推力の高い電気推進機関は有用であり、活躍が期待されている。一方、はやぶさで脚光を浴びたイオンエンジンや DC アークジェットなど、既に実用化されている電気推進機関は有電極であり、プラズマとの接触による電極摩耗が長時間オペレーションのネックとなっている。この問題を根本的に解決するために、我々は外部アンテナにより生成したヘリコンプラズマを外部電磁場で加速する、生成・加速の両段階ともにプラズマに直接接触する電極の無い「完全無電極」推進機関を提案し、HEAT (Helicon Electrodeless Advanced Thruster) project として研究をすすめている。

本講演ではこのプロジェクトの背景、目的について簡単に紹介した後、2012年秋現在の研究進展の状況について紹介する。プラズマ生成に関しては、ヘリコン波を用いた無電極生成が実験的にほぼ完成しており、広範囲なデバイススケールにおいて定常かつ安定なプラズマ供給が実現されている。理論的には非一様媒質中のヘリコン波が短波長・静電的なTG波にモード変換され、効率よくエネルギーローディングが行われることが予測される。衝突電離過程をとり入れたPIC計算の結果を紹介する。

プラズマの無電極加速のためには、インプットとして与えるAC外部電流が何らかの非線形性をDCスラストを生み出す必要がある。回転磁場方式(RMF)、回転電場方式(REF)、ポンドロモータィヴおよびイオンサイクロトロン加速(PA/ICR)、さらに非軸対称加速のそれぞれについて、原理および数値モデルの紹介を行い、現状と問題点を整理する。

ヘリコンプラズマは、プラズマの生成・損失が比較的早い時間スケールで起き、また粒子間衝突が無視できない散逸的媒体であるが、その他の側面では宇宙プラズマとの共通点も多く、連携により、SGEPSS分野から航空宇宙分野への具体的貢献が期待できる。また、無電極加速により定常推進力を得るためには「プラズマ非線形効果」が本質的に重要であり、純粋に科学的な側面からも興味深い研究課題である。