

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]; 市原 拓 [1]; 相良 雄大 [2]; 篠原 俊二郎 [3]; 西田 浩之 [4]; 谷川 隆夫 [5]; 船木 一幸 [6]; 松岡 健之 [7]
[1] 九大総理工; [2] 九大・総理工・大海; [3] 東京農工大・工; [4] 東京農工大・工・機械; [5] 東海大・総科研; [6] JAXA; [7] JAXA/ISAS

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

Tohru Hada[1]; Fumiko Otsuka[1]; Kazuki Yamanokuchi[1]; Shogo Isayama[1]; Taku Ichihara[1]; Yuta Sagara[2]; Shunjiro Shinohara[3]; Hiroyuki Nishida[4]; Takao Tanikawa[5]; Ikkoh Funaki[6]; Takeshi Matsuoka[7]
[1] ESST, Kyushu Univ; [2] ESST, Kyushu Univ.; [3] Inst. Eng, TUAT; [4] Mechanical System Eng., TUAT; [5] RIST, Tokai Univ.; [6] JAXA; [7] JAXA/ISAS

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. The HEAT (Helicon Electrodeless Advanced Thruster) project aims to solve this issue by conducting research and development of electric thrusters without using any electrodes that are in direct contact with the plasma.

After briefly describing the background and the targets of the project, we will discuss some current issues we have been dealing with, including (1) how the helicon waves (bounded whistler waves) are excited in the cylindrical plasma and how they can possibly be converted into the so called TG waves in an inhomogeneous background, (2) merits and demerits of the three plasma acceleration schemes we consider in the project; acceleration due to the rotating magnetic field (RMF), rotating electric field (REF), and the ponderomotive and ion cyclotron resonance (PA/ICR).

The helicon plasma is collisional and dissipative, and this is essential for some of the acceleration schemes to operate: for example, the RMF would not work with a collisionless plasma since no magnetic field can penetrate into it. Plasma nonlinearity is another important element for obtaining a DC thrust out of the externally applied AC electromagnetic field. The presentation will be given from a basic science rather than technology point of view. Possible fruitful collaboration with plasma physics community in SGEPSS will be emphasized.

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、イオンエンジンやDCアークジェットなどの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が無い、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現状について、いくつかのトピックスに絞って紹介する。プロペラントとして用いるプラズマ源としてはヘリコン波による高密度・低温プラズマの安定生成が実験的にほぼ確立しており、広範囲なデバイススケールにおいて定常かつ安定な供給が可能である。一方、ヘリコンプラズマがなぜ効率よく生成されるのか、サイエンスとしての理解は未解決である。密度勾配によるヘリコン波から短波長のTG波への線形モード変換が本質的な役割を果たしている可能性がある。

生成されたプラズマの外部電磁波による無電極加速として、現在我々は3種類のスキーム: 回転磁場方式 (RMF)、回転電場方式 (REF)、ポンドロモティブ・イオンジャイロ共鳴加速方式 (PA/ICR) を考えている。RMFではプラズマに回転磁場をかけることにより周方向の電子電流を生成し、これによるJxB力がイオンを軸方向に加速することを利用する。REFは回転電場により反磁性電流と同等の周方向電子電流を励起する。PA/ICRは外部電磁場によるポンドロモティブ力による軸方向加速とイオン共鳴による垂直加速がミラー磁場中で軸方向加速に変換されることを利用するものである。それぞれに長所・短所があり、実用化へ向けての未解決の課題も多いが、すべてに共通の重要な問題は、いかに外部電磁場をプラズマ中に浸透させるか(空間スケール・時間スケール)である。粒子および流体モデルによる解析を紹介する。

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、粒子間衝突が無視できない散逸的媒体である。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重要であり、科学的な側面からも興味深い研究課題である。宇宙プラズマ分野の将来発展の方向とも共通する課題が多く、連携によるメリットは大きいと考えられる。