

次世代無電極推進機関のための発散磁場と周方向交流電流によるプラズマ加速

平田 義治 [1]; 繁田 彬 [2]; 羽田 亨 [3]; 篠原 俊二郎 [4]
[1] 九大・総理工・大海; [2] 九大総理工; [3] 九大総理工; [4] 東京農工大・工

Electrodeless plasma acceleration by AC azimuthal current in an axially asymmetric configuration

Yoshiharu Hirata[1]; Akira Shigeta[2]; Tohru Hada[3]; Shunjiro Shinohara[4]
[1] ESST, Kyushu Univ.; [2] ESST, Kyushu Univ.; [3] ESST, Kyushu Univ.; [4] Inst. Eng, TUAT

Topics related to space development are gathering much attention in recent years. Among them is the science and technology of electric propulsion systems, which yield thrust by accelerating plasma by an electric force. While the electric thrusters typically have high specific impulse (fuel consumption rate) and are thus suited for long term space missions such as those to outer planets, the performance of many of the conventional electric thrusters (such as the ion engines) is limited by electrode wastage. In order to overcome this difficulty, we are currently conducting the HEAT (Helicon Electrodeless Advanced Thruster) project, which aims at development of completely electrodeless thrusters (i.e., no electrodes directly in contact with the plasma).

The electric thrusters we consider consist of the plasma production part and the plasma acceleration part. As for the plasma production, it is experimentally well established that a high density, low temperature plasma can be stably generated by using the so-called helicon waves. On the other hand, as for the plasma acceleration part, various schemes are still being evaluated and compared. We note that the nonlinearity is an essential element for the producing thrust due to the following reason. In the electrodeless plasma acceleration, electric current is applied outside the plasma, so that internal plasma current and the internal electromagnetic field are generated. These internal perturbations are converted into axial plasma flow, which gives the thrust. Maxwell's equations tell us that the external current (Input) has to be an AC signal so that the internal perturbations are induced, while the eventual thrust (Output) has to be DC so that its time average does not vanish. Therefore, it is essential that the external AC perturbations nonlinearly self-couple to produce the DC output. The plasma acceleration schemes we consider, i.e., the Rotating Magnetic Field (RMF), the Rotating Electric Field (REF), and the Ponderomotive acceleration, are all nonlinear processes which converts the AC input to DC output.

In this presentation, we introduce yet another scheme which utilizes the nonlinearity due to the axial asymmetry of the device. In this scheme, the external current drives internal AC azimuthal current. The Lorentz force due to this current and the radial component of the background magnetic field yields axial force, which accelerates the plasma in the axial direction. Although this acceleration is AC and its long time average vanishes, if a 'wall' is placed at only one end of the thruster, the plasma motion becomes asymmetric and a finite non-zero thrust should be obtained after averaging over time. The 'wall' does not need to be a real wall, but it could be any element that introduces asymmetry to the system, e.g., the the asymmetry of the background magnetic field. We perform a 2-d fluid simulation to show this acceleration concept can be realized. Moreover, a thrust is evaluated using a realistic set of parameters.

近年、宇宙開発に関する話題が多く取り上げられるようになってきた。工学、理学、さらには社会学、生物・医学等、様々な側面から多くの研究が行われている。宇宙航行のための推進機関としては、主として電気的手法によりプラズマを加速してその反動力により推力を得る電気推進機関の分野が特に注目されている。現在用いられている電気推進機関の多くは有電極型であり、プラズマと電極が接触する事による電極の経年劣化が大きな問題となっている。そこで我々はプラズマ生成、プラズマ加速の両段階ともに完全無電極（電極とプラズマが接しない）電気推進機関を提案し実証することをめざして、研究をすすめている。プラズマ生成については、ヘリコン波を用いることにより、安定に高密度・低温度プラズマが得られることが実験的にほぼ確立している。

一方、プラズマ加速としては様々な方法が考案されているが、以下に説明するように、非線形性をうまく利用することが必須である。プラズマ外部のアンテナに電流を流すことにより、プラズマ内部に電流および電磁場を励起し、これを何らかの方法で推力に変換するわけであるが、電磁波の方程式からわかるように、プラズマ内部に電磁場や電流が励起されるためには、外部電流（インプット）は交流でなければならない。一方、スラスト（アウトプット）は直流でなければならないので、何らかの非線形過程によって交流のインプットから直流のアウトプットを作り出す必要がある。我々が携わっている回転磁場（RMF）、回転電場（REF）、ポンデロモティブ型の加速スキームは、いずれも非線形過程である。

本講演では、軸方向のスラスト形状が非対称であることに起因した非線形性により、推力を得る方法について紹介する。外部交流電流により、プラズマ内部に周方向交流電流を励起することができる。これと発散磁場（径方向背景磁場）とのローレンツ力により、軸方向のプラズマ加速を得る。ただしこの加速は交流であるため、時間平均はゼロ、つまり推力は得られない。そこで、プラズマを射出したい方向と反対側に「壁」を置けば、加速は非対称となり、時間平均をしても一定の推力が得られるであろう。「壁」としては、実際の壁だけではなく、背景磁場の非対称性などがその役割を

果たすと考えられる。流体モデルの範囲で数値シミュレーションを行い、この考え方が成立することを確認する。また現実的なパラメータにより推力を算定し、室内実験のための指針を与える。