

衝突電離によるプラズマ生成のテスト粒子シミュレーション

宮本 向陽 [1]; 諫山 翔伍 [2]; 羽田 亨 [2]; 谷川 隆夫 [3]; 篠原 俊二郎 [4]
[1] 九大・総理工・宇宙; [2] 九大総理工; [3] 東海大・総科研; [4] 東京農工大・工

Test particle simulation study of plasma generation via impact ionization

Koyo Miyamoto[1]; Shogo Isayama[2]; Tohru Hada[2]; Takao Tanikawa[3]; Shunjiro Shinohara[4]
[1] ESST,Kyushu Univ.; [2] ESST, Kyushu Univ; [3] RIST, Tokai Univ.; [4] Inst. Eng, TUAT

Electric thrusters, characterized with high specific impulse, are considered to be useful for long-term space missions such as those to outer planets. On the other hand, the performance of many of the conventional electric thrusters (e.g., ion engines) is limited by electrode wastage. In order to overcome this difficulty, we are conducting the HEAT (Helicon Electrode less Advanced Thruster) project [1], in order to pursue research and development of completely electrode-less (i.e., no direct contact of electrodes with plasma) thrusters.

The electric thrusters we consider consist of two parts: plasma production part and plasma acceleration part. Among various methods for producing the plasma, in our project we employ the so-called helicon plasma production, in which the helicon wave (i.e., bounded whistler wave) triggered by external antenna play a major role. While it is experimentally well established that a high density, low temperature plasma is stably generated by this method, there still remain a number of open questions from physics point of view. For example, what are the roles of the helicon wave (and its mode-converted TG wave) for accelerating seed electrons, how the in-elastic collision between the seed electrons and neutral particles proceed, and how the entire process proceeds depending on external parameters, just to list a few.

In this presentation, we attempt to answer some of these questions by performing test particle simulations including in-elastic collision between electrons and neutrals using VORPAL. A simple model for the impact ionization is assumed. Also, the wall loss of the plasma is taken into account. Details of the simulation result, as well as its comparison with plasma production experiment at Tokai University, will be presented.

長期ミッションを想定した惑星探査では推進機関として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。電気推進とは推進剤をプラズマ化し、そのプラズマを電磁氣的な力で射出し加速させることにより推進力を得るものである。イオンエンジン等、既存の電気推進機関の多くはプラズマを射出する際に電極を使用する。その時に生じるプラズマと電極の接触による電極摩耗が推進機関の寿命低下の原因となり大きな問題となっている。この現状を踏まえ我々は電極摩耗の生じないプラズマ生成・プラズマ加速ともに無電極である完全無電極型の（プラズマに直接接触する電極が無い）電気推進機関の研究開発を行っている（HEATプロジェクト）[1]

想定する推進機関は、プラズマ生成部とプラズマ加速部の2つの部分から成る。プラズマ生成には種々の方法があるが、我々はヘリコンと呼ばれる電磁波動（ホイッスラー波動と同等）を用いる方法を想定している。ヘリコンによるプラズマ生成には未解明の部分が多いが、基本的には波動の電場が種電子を加速し、これが中性粒子と非弾性衝突を行うことにより電離が進んでいくものと考えられている。ただし、ヘリコン波動は比較的長波長であり減衰は大きくないため、背景プラズマの非一様性に起因するモード変換により、TG波と呼ばれる短波長の準静電波が励起され、これの減衰が電離を引き起こすとする考えが有力である。

本発表では、外部アンテナにより励起された高周波電場により加速された電子と中性粒子の非弾性散乱によるプラズマ生成を、VORPALを用いた粒子計算により議論する。加速された1次電子が中性粒子に衝突することにより衝突電離（impact ionization）が起こり、2次電子が放出される基礎過程は、簡単な衝突電離モデルにより与える。中性粒子が荷電粒子の集団運動による電磁場の変化は考慮しない。また、生成されたプラズマと壁面との相互作用（壁面ロス）も考慮する。昨年より行っている東海大学でのプラズマ生成実験から、背景磁場の磁場配位および外部高周波電場の物理パラメータが、生成されるプラズマの密度分布に大きな影響を与えることがわかっている。実験とシミュレーションとの関わりについて議論を行う。