

イオンエンジン局所ビームの中和電子ダイナミクスに関する粒子シミュレーション Full particle-in-cell simulation on the dynamics of electrons for charge neutralization of a local ion engine beam

臼井 英之^{1*}, 三宅 洋平¹

USUI, Hideyuki^{1*}, MIYAKE, Yohei¹

¹ 神戸大学大学院システム情報学研究科

¹ Graduate school of system informatics, Kobe University

惑星間航行システムとして実用化されている非化学推進システムの一つに電気推進器がある。その中でも小惑星探査衛星「はやぶさ」に搭載されたイオンエンジンの成功は記憶に新しい。イオンエンジンは、キセノンやアルゴンの中性粒子をエンジン内部で電離し生成イオンを電氣的な力で加速、噴射することにより推力を得る。同時にビーム口横に取り付けられた中和器から電子も外部に放出され、イオンビームの電荷中和をはかる。イオン、電子共、同量のフラックスが排出されるため、マクロ的に見ると、イオンビーム中和は成り立つが、エンジン近傍領域においては、電子とイオンのダイナミクスの違いやそれぞれの放出場所の違いにより、必ずしもイオンビームの電荷中和が成り立っているかどうかは定かでない。このエンジン近傍のプラズマ混合領域において特に中和電子がどのような振る舞いをしているのか、また、それが衛星環境にどのような影響を与えているのかについてプラズマ粒子シミュレーションによって定量的に解析を行った。イオンは電子に比べて十分重く、エンジン内で加速され噴射されたイオンビームはそのまま衛星から離れる方向に伝搬していく。一方、イオン噴射口の横に設置された中和器からはイオンビーム速度より十分大きい熱速度をもつ電子が放出される。この時、電子は正の電位を持つイオンビームに大きく引き寄せられ、ビーム方向のみならずビーム半径方向にも加速を受ける。今回扱うイオンエンジンビームは自然界のものとは違い、非常に局所的でありかつ有限である。そのため、中和電子ダイナミクスはビーム存在領域に大きく影響を受ける。ビーム先端と背景空間との間に大きな電位差があるため、ビーム進行方向に加速を受けた中和電子のうちその電位差を越えられないものは衛星方向へと反射される。またそれらの電子はビーム放出口再び反射されビーム進行方向へと戻る。このようにビーム進行方向に沿って中和電子は複数流体的な振る舞いをしながら全体としてビームとともに伝搬していく。また上述と同じ原理でビーム半径方向にも往復する電子挙動がみられる。これらの電子の振る舞いに関する詳細解析を報告するとともに衛星環境への影響についても議論したい。

キーワード: イオンエンジン, PIC シミュレーション, 電荷中和, 電子ダイナミクス

Keywords: ion engine, PIC simulation, charge neutralization, electron dynamics