

R008-15

C 会場 : 11/27 AM1 (9:15-10:45)

10:00~10:15:00

人工衛星からの二次粒子放出に伴う空間電荷効果に関する粒子シミュレーション

村井 佑多¹⁾, #三宅 洋平¹⁾, 岩本 昌倫¹⁾

(¹ 神戸大学大学院システム情報学研究科)

Particle Simulations of Space Charge Effects Associated with Secondary Emission from Spacecraft

Yuta MURAI¹⁾, #Yohei MIYAKE¹⁾, Masanori IWAMOTO¹⁾

(¹ Graduate School of System Informatics, Kobe University)

The European Space Agency (ESA) and JAXA are collaborating on the Comet Interceptor mission to visit and explore a long-period comet. Comets are composed of more than 80% water molecules, and since their surfaces are constantly evaporating, the surroundings of comets are abundant in neutral particles, mainly water molecules. When these particles collide at high speed with a spacecraft, the spacecraft surface will release secondary particles (electrons and ions). These secondary particles not only act as unwanted detection components in plasma observations but also interfere with spacecraft charging processes.

This study aims to clarify the effects of secondary particle emission on spacecraft charging and the surrounding plasma environment. We performed 3-dimensional plasma particle simulations with a spacecraft body based on the Particle-in-Cell (PIC) method. The results showed that the majority of emitted secondary remained close to the spacecraft surface. The dense ion cloud forms a positive potential barrier at the surface. Due to the potential structure caused by the dense population of secondary ions, both electrons from the cometary plasma and secondary electrons emitted from the spacecraft are also concentrated around the spacecraft. The potential structure formed by such a space charge effect is suggested to affect low-energy ion measurements to be made in the Comet Interceptor mission.

To further elucidating the potential barrier formation processes, we conducted 1-dimensional simulations focusing on proximity of the emission surface of the spacecraft. The formation of a potential barrier depends on the secondary ion yield and temperature. The formation of the barrier is suppressed, particularly at high temperatures. A detailed parametric analysis revealed that the minimum secondary ion temperature required to suppress the potential barrier is proportional to the secondary ion yield raised to approximately the 2.5th power.

We have also identified a repeated accumulation and release of space charge near the emission surface, which results in temporal oscillations in secondary ion density, secondary ion current, and space potential. Such oscillations tend to be suppressed by higher temperature of ions, and the oscillation period decreases as the secondary ion yield increases. This paper reports the simulation results and discusses the physical implications of the results.

欧州宇宙機関 ESA と JAXA が共同で推進する長周期彗星探査計画 Comet Interceptor ミッションに向けた研究開発が進められている。彗星は8割以上が水分子で構成されており、表面は常に蒸発しているため、彗星の周囲には水分子を主とする中性粒子が豊富に存在し、これらが高速で探査衛星に衝突すると、その表面から二次粒子（電子・イオン）が放出される。二次粒子は彗星プラズマを観測する際に不要な粒子検出成分となる上、放出に伴って衛星電位を変化させる。

本研究では、衛星からの二次粒子放出が帯電や周囲プラズマ環境に与える影響を明らかにするため、PIC法に基づいたプラズマ粒子シミュレーションを行った。結果として、放出された二次イオンは衛星近傍に高密度に分布し、正の電位バリアを形成することが示された。この高密度の二次イオンがもたらす空間電位構造によって、彗星プラズマ電子と衛星から放出された二次電子も衛星周辺で高密度に分布することが確認された。このような空間電荷効果によって形成される電位構造は、衛星で実施が予定される低エネルギーイオン観測にも影響を及ぼすことが示唆される。

さらに電位バリアの形成条件を明らかにするために二次イオン放出面近傍に着目した1次元シミュレーションを実施した。電位バリア形成の有無は二次イオン放出量と二次イオン温度に依存し、特に温度が高いとバリアの形成は抑制される傾向にある。詳細なパラメトリック解析の結果、電位バリアを抑制するために必要な最低二次イオン温度は二次イオン放出量の約2.5乗に比例することが分かった。

加えて、二次イオン放出量を空間電荷制限電流以上に設定した場合には、電位バリアへの電荷蓄積と減衰が繰り返され、二次イオン密度・二次イオン電流・空間電位が時間的に振動する現象が観測された。この振動はイオンの熱速度によって減衰することや、二次イオン放出量を大きくすると振動の周期が小さくなるといった振る舞いも確認した。本発表では、これらのシミュレーション結果を報告するとともに、結果の物理的意味について議論する。