

イオンシース環境下におけるアンテナインピーダンス特性に関する粒子シミュレーション解析

三宅 洋平 [1]; 臼井 英之 [2]; 小嶋 浩嗣 [3]; 大村 善治 [4]
[1] 京大 RISH; [2] 京大・生存圏/JST-CREST; [3] 京大・RISH; [4] 京大・生存圏

On the Impedance Characteristics of a Dipole Antenna Surrounded by an Ion Sheath via Particle-In-Cell Simulation

Yohei Miyake[1]; Hideyuki Usui[2]; Hirotsugu Kojima[3]; Yoshiharu Omura[4]
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ./JST-CREST; [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] RISH, Kyoto Univ

The impedance of an antenna aboard sounding rockets and scientific spacecraft is widely utilized for some plasma diagnostic techniques as the impedance probe. Such diagnosis is based on the fact that antenna impedance reflects much information about surrounding plasma parameters, e.g., density and temperature. However, because of complexity of the plasma dynamics around the antenna, the theoretical analysis of the impedance characteristics is often difficult without some simplifying assumptions. One of the difficulties, which should be considered in the analysis, is the inhomogeneous plasma environment around the antenna such as an ion sheath. The real structure of an ion sheath is governed by metal-plasma interactions, and then we have to consider the kinetics of individual plasma particles.

By applying the 3-dimensional Electromagnetic Particle-In-Cell (EM-PIC) simulation, we successfully developed a numerical tool for the antenna analysis in plasma environment. The developed tool enables us to perform simulation analysis including plasma kinetics. We also incorporated the numerical model of the conducting surfaces of an antenna as inner boundaries and a boundary treatment for plasma particles on the surfaces in the simulation tool. With these treatments, we can simulate sheath dynamics in a self-consistent manner throughout the antenna analysis and evaluate antenna impedance without any assumptions on the sheath structure.

The present paper reports a framework of the developed numerical tool and some application to the antenna impedance analysis in space plasma. We particularly focus on ion-sheath effects created around a dipole antenna, which have significant contribution on the impedance particularly in an ionospheric environment. The sheath structure obtained by numerical simulations and its contribution on the impedance characteristics will be reported.

ロケット実験や科学衛星に搭載される電界アンテナの特性は、インピーダンスプローブに代表されるような宇宙プラズマ診断に広く利用されている。これはプラズマ中のアンテナインピーダンス特性そのものが周辺プラズマパラメータの情報を反映しているためであるが、その反面アンテナ周辺のプラズマの複雑な挙動のため、仮定を置くことなくアンテナ特性を理論的に解析することは一般的には困難である。特にアンテナ周辺に形成されるイオンシースなどの非一様プラズマ環境はアンテナ表面とプラズマ間の相互作用に支配されており、その構造を定量的に評価するためにはプラズマ運動論効果を正確にとりこむことが必要である。

我々は、3次元粒子シミュレーション手法を応用することにより、プラズマ中のアンテナインピーダンス特性数値解析ツールの開発を行った。本手法では個々のプラズマ粒子の運動を解くため、プラズマ運動論効果を矛盾なくとりこむことができる。またアンテナの金属表面をシミュレーションの内部境界として数値的に取り込むことにより、アンテナの帯電とそれによって決定されるイオンシースの構造を仮定を置くことなく解析することができるようになった。

本ツールによってアンテナインピーダンス特性を正確に評価することにより、インピーダンスプローブなどを用いた宇宙プラズマ探査の発展に貢献ができると考えられる。本発表では、電離圏プラズマで特に重要となるイオンシース環境下でのダイポールアンテナインピーダンス特性解析への本数値ツールの適用について報告を行う。また現実的なプラズマ環境を粒子シミュレーション内で扱う場合には、その膨大な計算量が問題となる。こうした点も含め、数値ツールの開発の現状についても報告を行う。