

R008-07

C会場：9/25 PM1 (13:45-15:30)

15:15~15:30

宇宙プラズマ中の低域混成周波数付近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

#草地 恒史郎¹⁾, 三宅 洋平¹⁾, 白井 英之¹⁾, 小嶋 浩嗣²⁾, 栗田 怜²⁾, 深澤 伊吹²⁾

⁽¹⁾ 神戸大・システム情報, ⁽²⁾ 京都大学 生存研, ⁽³⁾, ⁽⁴⁾, ⁽⁵⁾, ⁽⁶⁾ 京都大学, ⁽⁷⁾ 京都大学

Particle Simulation on Antenna Impedance Characteristics near the Lower-Hybrid Resonance Frequency

#Koshiro Kusachi¹⁾, Yohei Miyake¹⁾, Hideyuki Usui¹⁾, Hirotsugu Kojima²⁾, Satoshi Kurita²⁾, Ibuki Fukasawa²⁾

⁽¹⁾ Department of Computational Sciences, Graduate School of System Informatics, Kobe University, ⁽²⁾ Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, ⁽³⁾, ⁽⁴⁾, ⁽⁵⁾, ⁽⁶⁾ Kyoto University Graduate School of Engineering and Faculty of Engineering, ⁽⁷⁾ Kyoto University Graduate School of Engineering and Faculty of Engineering

For the plasma wave observations in space, the electric field sensor based on a dipole antenna is commonly put in use onboard scientific satellites. The electrical properties of the dipole antenna in space are different from those on the ground due to the dispersive nature of space plasma. Since the observed wave data are calibrated taking into account the antenna characteristics, it is important to understand them quantitatively for correct interpretation of the observational data. The solar-terrestrial physics community in Japan has organized a new polar ionosphere-mesosphere mission FACTORS, one of whose objectives is to observe and elucidate the ion-mode plasma wave processes that cause ion heating and acceleration. Thus, we have initiated numerical investigations of the antenna characteristics in a low-frequency range where the ion dynamics are involved. It is reported that previous chamber experiments detected a lower-hybrid resonance feature in the measured impedance data [1]. In this study, we apply the particle-in-cell (PIC) method to the analysis of antenna impedance in such a low-frequency range [2]. The PIC simulation is advantageous to include plasma kinetic effects.

In the simulation, we place a dipole antenna in the center of a three-dimensional simulation box domain filled with a large number of plasma particles. We evaluate the antenna impedance by using the delta-gap feeding technique [3]. In the simulation results, we observed an impedance resonance near the lower hybrid resonance frequency: ω LHR (Figure). To clarify the relationship between the impedance resonance and relevant plasma wave modes, we derived dispersion relations from the simulation. We found that the impedance resonance frequency coincides with the frequency at which a lower hybrid wave branch intersects the particular wavenumber k_{half} where the antenna behaves as a half-wave dipole. In addition, we found that the dependence of the antenna impedance on plasma conditions such as ion temperature and magnetic field strength. Our preliminary simulations have also identified similar impedance resonances relevant to the electrostatic ion cyclotron harmonic waves, which are, however, pronounced in different simulation configurations. We will discuss necessary physical conditions under which these impedance resonances are prominent.

References

[1] A. Kumamoto, K. Endo, and Y. Ishigaya, “Experiment of lower hybrid resonance detection by wideband impedance probe for measurement of ion composition and electron number density”, Proceedings of 2017 Symposium on Laboratory Experiment for Space Science, SA6000095011 (2017).

[2] Y. Miyake, H. Usui, H. Kojima, Y. Omura, and H. Matsumoto, “Electromagnetic particle-in-cell simulation on the impedance of a dipole antenna surrounded by an ion sheath.”, Radio Science, 43(03):1-14 (2008)

[3] Raymond Luebbers, Li Chen, Toru Uno, and Saburo Adachi, “FDTD calculation of radiation patterns, impedance, and gain for a monopole antenna on a conducting box”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 40 No. 12, pp. 1577-1583 (1992).

宇宙環境におけるプラズマ波動観測では、ダイポールアンテナを基本とした電界センサーが観測器として広く用いられている。宇宙空間では、プラズマ媒質の分散性からアンテナの電気特性が地上とは大きく異なることが知られている。観測された波動データはアンテナ特性を考慮して較正が行われていることから、アンテナの宇宙プラズマ中特性の定量的な理解は、観測データの正しい解釈につながるとして現在まで研究が進められてきた。日本の太陽地球物理コミュニティが組織する探査計画の中に電離圏・中間圏探査計画「FACTORS」があり、その探査ミッションの一つに、イオンモードに関するプラズマ波動に関連した粒子加速・加熱過程の調査がある。したがって我々は、イオン運動が関連する低周波領域でのアンテナ特性について数値シミュレーションを用いた研究を進めてきた。過去のチャンバー実験では、測定されたインピーダンスデータに低域ハイブリッド共振の特徴が検出されたことが報告されている [1]。シミュレーションには、プラズマの運動論に基づいた PIC (Particle-in-cell) 法 [2] を採用した。

本研究では、一様な磁化プラズマ中を模した三次元シミュレーション空間の真ん中にダイポールアンテナを設置し、デルタギャップ給電法 [3] を用いてアンテナインピーダンスの周波数特性を算出した。シミュレーションの結果、我々は低域混成周波数 (ω LHR) 付近で特徴的なインピーダンス共振を観測した (図)。このインピーダンス共振とプラズマ波動を関連づけるため、我々は波動分散関係をシミュレーション値から導出した。その結果、インピーダンス共振が起きた周

波数は、波動分散関係上の半波長ダイポールアンテナとみなせる波数 k_{half} に対応した LHR 波のブランチの周波数とよく一致することが確認された。加えてアンテナインピーダンス特性には、イオン温度、磁場強度のようなプラズマ環境の依存性があることが考察された。上記に加え、静電イオンサイクロトロン高調波に対応したインピーダンス共振も異なる計算条件で確認されている。それぞれの波動に対するインピーダンス共振の条件についての研究の進歩を報告する。

参考文献

[1] A. Kumamoto, K. Endo, and Y. Ishigaya, “Experiment of lower hybrid resonance detection by wideband impedance probe for measurement of ion composition and electron number density”, Proceedings of 2017 Symposium on Laboratory Experiment for Space Science, SA6000095011 (2017).
 [2] Y.Miyake, H.Usui, H.Kojima, Y .Omura, and H.Matsumoto, “Electromagnetic particle-in-cell simulation on the impedance of a dipole antenna surrounded by an ion sheath.”, Radio Science, 43(03):1-14 (2008)
 [3] Raymond Luebbers, Li Chen, Toru Uno, and Saburo Adachi, “FDTD calculation of radiation patterns, impedance, and gain for a monopole antenna on a conducting box”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 40 No. 12, pp. 1577-1583 (1992).

