

## 数値実験によるイオンの特性周波数帯におけるインピーダンスプローブ計測の検討

# 鈴木 朋憲 [1]; 加藤 雄人 [2]; 小野 高幸 [3]; 寺田 直樹 [4]; 熊本 篤志 [5]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・地球物理; [3] 東北大・理; [4] 東北大; [5] 東北大・理・惑星プラズマ大気

## Numerical experiments of impedance probe measurements in the range of the ion characteristic frequencies

# Tomonori Suzuki[1]; Yuto Katoh[2]; Takayuki Ono[3]; Naoki Terada[4]; Atsushi Kumamoto[5]

[1] Dep. of Geophys, Graduate School of Sci., Tohoku Univ.; [2] Grad. Sch. Sci, Tohoku Univ.; [3] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [4] Tohoku Univ.; [5] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.

In-situ plasma diagnostics are essential for evolutions of the space plasma physics. Impedance probe, which is a kind of RF probe, was developed as a powerful tool to measure absolute values of the electron number density. The frequency variation of the probe impedance allows us to derive the electron density from the upper hybrid resonance (UHR) frequency. Over the past half a century, impedance probes have been installed on many sounding rockets and satellites to measure the electron density in the ionosphere and magnetosphere.

The probe impedance reflects various physical quantities of the plasma as well as the electron density. The evaluations of the probe impedance are therefore valuable for plasma diagnostics. We are now applying the electron hybrid code (Katoh, 2003) to evaluate the probe impedance in the ionospheric plasma. In this presentation, we focus on the variations of the probe impedance in the range of ion characteristic frequencies.

The impedance probe measurements have mainly performed in the range of the electron characteristic frequencies. On the other hand, the analytical theory based on Balmain (1964) demonstrates that the probe impedance has resonance frequencies at the ion cyclotron frequencies and lower hybrid resonance (LHR) frequency. These resonance frequencies provide the information of the ion composition as well. However, the availability of detection of the LHR frequency from low frequency impedance measurements is still controversial.

The current distribution on the probe surface is an issue for analytical evaluation of the probe impedance in plasmas. Meanwhile, it is difficult to detect the LHR frequency from the laboratory experiment using the plasma chamber, since the collision frequencies in the chamber are too high (Ejiri et al., 1973). Therefore, numerical experiments are effective to evaluate the probe impedance in the ion characteristic frequency range. We solved equations of motion of fluid, which include multi-ion species, and Maxwell's equations to compute the probe impedance. We compared the results with analytical calculations to discuss the availability of the detection of the LHR frequency and the ion cyclotron frequencies by the impedance probe measurements.

プラズマ中のアンテナインピーダンスの特性は、プラズマの診断法に広く応用されている。その典型例がインピーダンスプローブである。インピーダンスプローブ法は、高域混成共鳴 (UHR) 周波数におけるインピーダンスの変化を検出することによりプラズマの電子密度を導出する方法であり、電子密度の高精度な絶対値計測が可能であるという利点を持っている。これまで、インピーダンスプローブは電子密度計測器として数多くの電離圏観測ロケットや科学衛星に搭載されてきた。

近年では、観測されたインピーダンス曲線の評価や、電子密度以外の物理量を求める試みも盛んになってきている。我々は現在、電離圏プラズマ中におけるインピーダンスプローブ計測の評価をすべく、電子ハイブリッドコード (Katoh, 2003) を適用したインピーダンスの特性に関する数値実験を進めている。本発表では、イオンの特性周波数帯におけるインピーダンスプローブ計測に関する検討結果について報告する。

インピーダンスプローブは、これまで電子の特性周波数帯において適用されてきた。一方で、電子と多成分のイオンを考慮した誘電率テンソルを用いて、Balmain (1964) による理論をもとにイオンの特性周波数帯でインピーダンスの計算を行うと、衝突周波数がサイクロトロン周波数やプラズマ周波数に比べて十分に小さい場合に、低域混成共鳴 (LHR) 周波数やイオンサイクロトロン周波数に共鳴が生じることを確認できる。インピーダンス計測から LHR 周波数やイオンサイクロトロン周波数を求められると、イオン組成の情報が得られる。しかしながら、イオンの特性周波数帯のインピーダンス計測によって、LHR 周波数が同定可能か否かについては、未だに結論の出していない課題といえる。

インピーダンスを解析的に求める場合には、プローブ表面における電流分布などが問題となってくる。一方、プラズマチャンバ中は衝突周波数が大きいため、室内実験によって LHR を検出するのは困難である (Ejiri et al., 1973)。従って、イオンの特性周波数帯においてインピーダンスを評価するには数値実験が有効である。本研究では、電子と多成分のイオンについて流体の運動方程式を解き、電磁場については Maxwell 方程式を解くことで数値実験を実施し、インピーダンス計算している。本発表では、イオンの周波数帯における計算結果を解析解と比較し、LHR 周波数やイオンサイクロトロン周波数の検出が可能となる条件について議論する。