

イオン低周波領域の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

Particle simulation study on the antenna impedance characteristics in the low-frequency range

研究代表者：臼井 英之（神戸大学 大学院システム情報学研究科，教授）

h-usui@port.kobe-u.ac.jp

研究分担者：三宅 洋平（神戸大学 大学院システム情報学研究科，准教授）

担当：計算機実験結果の検討

草田 恒史郎（神戸大学 大学院システム情報学研究科、M2）

担当：計算機実験実行、データ解析

深澤 伊吹（京都大学工学研究科）小嶋 浩嗣（京都大学 RISH・教授），

栗田 怜（京都大学 RISH・准教授）： 担当：計算機実験結果の検討

研究目的 (Research Objective):

本研究の目的は、3次元プラズマ粒子シミュレーションによって宇宙プラズマ空間におけるダイポールアンテナの低周波域インピーダンスおよびその共振特性を理解することである。

計算手法 (Computational Aspects):

当研究グループで用いられている全粒子モデルシミュレーションコードである宇宙環境シミュレータ (EMSES) を用いて、宇宙空間プラズマ中に配置されたダイポールアンテナのインピーダンス特性をデルタギャップ給電法によって求める。アンテナ中央での電流と電圧の比からインピーダンスを求め、それを時間的にフーリエ変換することで、その周波数特性を得る。本研究では、イオンの特性周波数である低周波混成共鳴周波数 (lower hybrid Resonance (LHR)) 近傍でのアンテナ共振特性に着目する。

研究成果 (Accomplishments) :

図1右図に示すように、アンテナ長を半波長とした波数(緑線)においてLHR付近でのプラズマ波動が卓越しており、その結果、左図の青線で示すようにLHR周波数近傍においてア

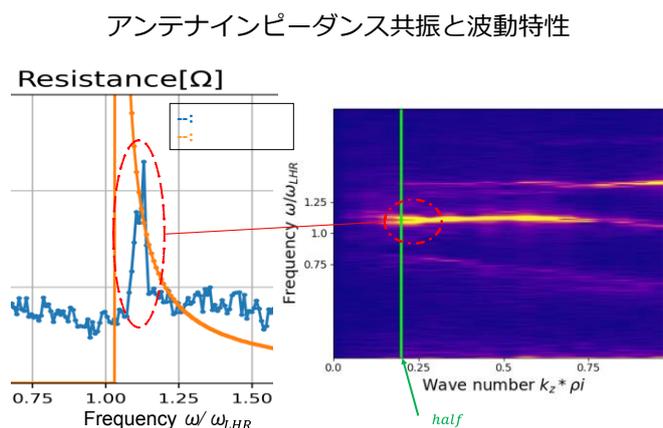


図1：LHR周波数近傍でのアンテナインピーダンスの変化(左)とアンテナ長を半波長とした波数(k_{half})におけるプラズマ波動の分散関係(右)

アンテナインピーダンスがピークをもつことがシミュレーション結果から明らかとなった。同図オレンジ色で示すように理論的には共鳴時にインピーダンスは非常に大きくなるが、イオンの運動論的効果によりその特性は弱められると考えられる。このことを示すために、イオン温度が違う2つのケースについて LHR 周波数近傍でのアンテナインピーダンスを比較した。その結果を図 2 に示す。赤線で示すようにイオン温度が高い場合にはインピーダンスのピーク値が下がることがわかった。これは温度が高くなることにより相対的に磁場とイオン運動の結合関係が弱くなり、その結果 LHR 周波数付近のプラズマ波動強度も低くなるためダイポールアンテナと波動とのレゾナンスが弱くなるためである。

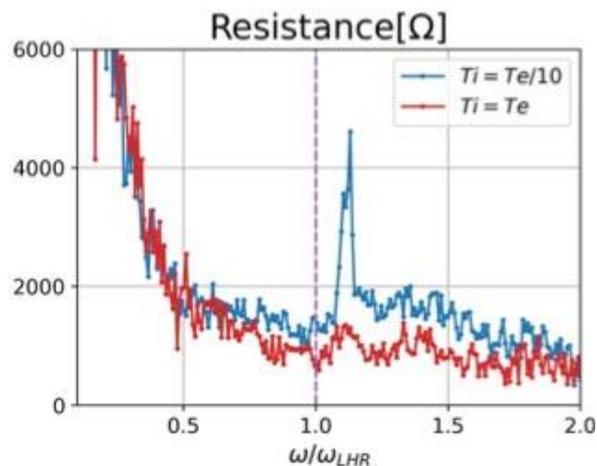


図 2：電子温度に対して等温(赤色)と低音(青色)の場合についての LHR 周波数近傍でのアンテナインピーダンス特性

とイオン運動の結合関係が弱くなり、その結果 LHR 周波数付近のプラズマ波動強度も低くなるためダイポールアンテナと波動とのレゾナンスが弱くなるためである。

極域上空でのイオンダイナミクスとプラズマ波動との関係を観測する極域熱圏探査ミッション「FACTORS」に搭載する電界センサーではイオン周波数領域でのアンテナインピーダンス特性の定量的な理解が非常に重要となる。本研究で得られた知見はその基礎となるものであり、引き続きシミュレーション解析を進めていきたい。

公表状況 (Publications)：

(論文)

1. I. Fukasawa, Y. Miyake, H. Usui, K. Kusachi, S. Kurita, H. Kojima, Particle-in-Cell Simulations on Interferometry Technique by a Single Spacecraft, URSI Radio Science Letters 4 2023 年 4 月.
2. 草地 恒史郎、プラズマ波動観測用アンテナの低周波域特性に関する粒子シミュレーション、神戸大学大学院システム情報学研究科修士論文、2024 年 2 月

(口頭)

1. 草地 恒史郎, 三宅 洋平, 臼井 英之, 小嶋 浩嗣, 栗田 怜, 深澤 伊吹, 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, 地球電磁気・地球惑星圏学会第 154 回総会 2023 年 9 月 25 日
2. K. Kusachi, Y. Miyake, H. Usui, S. Kurita, I. Fukasawa, H. Kojima, Particle Simulation on Antenna Characteristics at around the Lower-Hybrid Resonance Frequency in space plasma, URSI GASS 2023 2023 年 8 月 24 日
3. 草地 恒史郎, 三宅 洋平, 臼井 英之, 深澤 伊吹, 栗田 怜, 小嶋 浩嗣, 低域混成周波数帯のアンテナインピーダンス共鳴特性に関する数値シミュレーション, Japan Geoscience Union Meeting 2023 2023 年 5 月 23 日