

衛星搭載電界観測ワイヤアンテナの低周波特性解析

山下 耕司 [1]; 八木谷 聡 [2]; 井町 智彦 [3]; 長野 勇 [2]
[1] 金沢大; [2] 金沢大・工; [3] 金沢大

Characteristics of Electric Wire Antenna onboard Scientific Spacecraft

Koji Yamashita[1]; Satoshi Yagitani[2]; Tomohiko IMACHI[3]; Isamu Nagano[2]
[1] Kanazawa Univ; [2] Kanazawa Univ.; [3] Kanazawa Univ.

The calibration is an indispensable work for the wire antenna that observes the electric field intensity of the plasma waves in thin plasma of space. One of the important parameter for the calibration is 'effective length' of the wire antenna. The effective length is the proportion constant between input electric field E and the output voltage of the antenna V . Generally, it is shown by the expression named $V = \text{heff} \cdot E$, where heff is the effective length. It is very difficult to measure an accurate value of the effective length of the wire antenna onboard satellite by the ground testing. Because the intensity of the electric field of plasma waves are ordinary very weak, and we need very long wire especially when we observe low frequency waves such as several hundreds Hz. For example, 'Akebono' has 60m antennas, 'Geotail' has 100m antennas. Additionally, the space is a plasma medium so that the antenna characteristics in the space are different from those in free space. For the above reasons, in the analysis that has been done up to now, the effective length for the exchanging electric field measurement is assumed to be $L/2$, and for the electrostatic field is assumed to be the L , where L is the length of wire antenna. However, there are few researches that investigate whether this assumption is really correct is few.

Then, to clarify the frequency characteristics of the effective length of the wire antenna for the satellite in the low frequency, the experimental measurement that is called 'Rheometry experiment' and the numerical simulation with electromagnetic field simulator MAFIA were done in this research. The outline of the Rheometry experiment is described. The board made of the stainless steel is arranged at both ends of a plastic water tank as a pole board. The exchanging voltage that generates it with the signal generator is impressed. In the measurement in water, it is possible to keep low antenna impedance of low frequency. Therefore the detecting phase in the receiver becomes possible. The value of the effective length is obtained from the relation of $V = \text{heff} \cdot E$, where V is an output voltage of the antenna, E is an electric field in water (= input voltage / pole board distance), heff is the effective length. Structure of reception antenna used by this experiment. (1) Structure that cut section alone doesn't have enamel insulation coating. (2) Structure to remove all enamel insulation coatings. The frequency characteristic of these two kinds of structures was measured. Electromagnetic field simulator MAFIA is a general-purpose simulator that used the Finite Integration Algorithm, and the input model is delimitation numerical value calculated like the grid. The model input by this simulation is the same environment as the Rheometry experiment.

Result of experimental measurement and numerical simulation confirms the effective length in the low frequency depends on the structure of the antenna, the effective length in the high frequency changed to the $L/2$ regardless of the antenna structure. (1) Structure, effective length in the low frequency became the L , and the effective length in the high frequency became the $L/2$. (2) Structure, it did not depend on the frequency and the effective length always became $L/2$. The wire antenna onboard satellite is possible to approximate with (1) Structure, and the frequency characteristic of the effective length can be considered that it is possible to approximate with (1) Structure. In other word, we were able to confirm that the effective length for the exchanging electric field measurement is assumed to be $L/2$, and for the electrostatic field is assumed to be the L is correct. In the future, experimental measurement and the numerical simulation is improve, and the more accurate frequency characteristic of the effective length of wire antenna will be pursued.

宇宙空間の希薄なプラズマ中で、プラズマ波動の電界成分を観測するワイヤアンテナの絶対較正は必要不可欠な作業である。ワイヤアンテナの絶対較正において、特に重要なパラメータは実効長である。実効長とは入力電界 E と出力電圧 V の間の比例定数であり、一般的に $V = \text{heff} \cdot E$ という式で表される。ここで、 heff が実効長である。地上試験によって、衛星搭載用ワイヤアンテナの実効長の正確な値を測定することは非常に困難である。なぜならば、ワイヤアンテナの観測対象であるプラズマ波動は強度が非常に弱く、特に数百 Hz 程度のプラズマ波動を観測しようとするアンテナは長大なものとなる。例えば過去に打ち上げられた衛星では、「あけぼの」が全長 60 m、「GEOTAIL」が 100 m、「のぞみ」が 50 m のワイヤアンテナを搭載している。それに加えて、観測を宇宙空間はプラズマ媒質であり、地球の大気中とはアンテナの特性が異なってしまう。このような理由により、これまで行なわれてきた解析では、交流電界での実効長はアンテナ全長の半分、静電界での実効長はアンテナ全長と単純な値に仮定されている。しかし、この仮定が本当に正しいかを究明した例は少ない。

そこで、本研究では衛星搭載用ワイヤアンテナの低周波における実効長の周波数特性を明らかにするために、「レオメトリ実験」と呼ばれる実験測定と電磁界シミュレータ MAFIA を用いたシミュレーションを行なった。レオメトリ実験装置の概要を述べると、プラスチックの水槽の両端に極板としてステンレス製の板を配置し、これにシグナルジェネレータで発生させた交流電圧を印加する。水中で測定することで、アンテナのインピーダンスを低周波においても低く保つことができ、受信機での検波が可能となる。この入力波形と水槽の中心に配置したアンテナの出力電圧の波形から $V = \text{heff} \cdot E$ の関係より実効長の大きさが求まる。ここで、 V はアンテナの出力電圧、 E は水中の電界 (= 入力電圧 / 極板間距離)、 heff は実効長を示す。この実験で使用した受信アンテナの構造は (1) 切断した断面だけエナメル絶縁被覆

が無い構造(2)エナメル絶縁被覆を全て取り除いた構造の2種類について周波数特性を測定した。電磁界シミュレータMAFIAとは、有限積分法を用いた汎用電磁界シミュレータであり、入力したモデルをグリッド状に区切り数値計算を行なっている。今回のシミュレーションで入力したモデルは、レオメトリ実験装置と同じ環境である。

実験測定とシミュレーションの結果、低周波においての実効長はアンテナの構造に依存しており、周波数が高くなるに従い実効長はアンテナ構造に関係なくアンテナ全長の半分に推移することが確認された。アンテナ構造(1)では、低周波における実効長はアンテナ全長となり、高周波における実効長はアンテナ全長の半分となった。アンテナ構造(2)では、周波数に依存せず実効長は常にアンテナ全長の半分となった。実際に衛星搭載されているワイヤアンテナは、アンテナ構造(1)と近似でき、実効長の周波数依存性もアンテナ構造(1)と近似できると考察できる。つまり、交流電界での実効長はアンテナ全長の半分、静電界での実効長はアンテナ全長という仮定が正しいことが確認できた。今後は実験測定・電磁界シミュレーションの精度を上げ、より正確なワイヤアンテナの実効長の周波数依存性を追求していく。