

R010-05

Zoom meeting B : 11/3 AM2 (10:45-12:30)
11:45-12:00

宇宙環境の時間変動を考慮した人工衛星帯電数値解析手法の開発

#川口 慧士¹⁾, 三宅 洋平²⁾, 深沢 圭一郎³⁾, 白井 英之⁴⁾

¹⁾神戸大学, ²⁾神戸大学, ³⁾京大・メディアセンター, ⁴⁾神戸大学

Development of Spacecraft Charging Analysis Method Considering Dynamically-Changing Space Environment

#Keishi Kawaguchi¹⁾, Yohei Miyake²⁾, Keiichiro Fukazawa³⁾, Hideyuki Usui⁴⁾

¹⁾Kobe University, ²⁾Kobe University, ³⁾ACCMS, Kyoto Univ., ⁴⁾Kobe University

Numerical simulations based on the particle-in-cell method are widely used for quantitative analysis of spacecraft charging processes in space environment. Due to the high computational cost for calculating the motions of a large number of plasma particles, the method allows us to simulate only phenomena of very limited temporal and spatial scales within practical computation time. This feature makes it difficult to analyze temporal evolution of a spacecraft potential in dynamically-changing space environment.

In this study, we newly develop a numerical analysis method that enables us to assess a spacecraft potential variations in a longer time period, which can cover geospace environmental changes. The basic design of the method is as follows. First, we perform a large number of plasma particle simulation runs to construct a data set of spacecraft current-voltage characteristics for various space environmental parameters. In each simulation, the spacecraft potential is fixed at a prescribed value, while the plasma currents into the spacecraft will be updated and monitored to obtain their equilibrium values. Such a simulation configuration is advantageous in terms of a required number of time integrations to obtain a steady-state solution, in comparison with the conventional setup, for which the simulation is performed until an equilibrium value of the spacecraft potential is obtained.

As a next step of the analysis method, time-series data of environmental parameters extracted from spacecraft observations or global simulations are used as an input. Based on the input parameters, we can obtain the plasma currents into the spacecraft by referring to the current-voltage characteristic database constructed above. Then, we numerically integrate an analytical equation, which describes the time evolution of a spacecraft potential, to see the spacecraft potential response to the environmental parameter changes. In this process, the spacecraft potential response is solved with reference to the pre-constructed current database, its calculation cost is much lower than that of the plasma particle simulations. This feature enables us to evaluate a spacecraft potential behavior in a time period that is long enough to cover the space environment changes.

For a case study using the proposed method, we chose a spacecraft failure event of the Galaxy 15 in 2010, which is considered to be triggered by a large solar flare. The Earth's magnetosphere environment during the spacecraft failure is simulated by means of a global MHD simulation, and the obtained time-series data of environmental parameters will be served as an input for the spacecraft charging analysis. We report the recent progress of the method development, particularly construction of a current-voltage characteristic database based on particle-in-cell simulations.

宇宙環境における人工衛星帯電現象の定量評価のため、プラズマ粒子計算手法を用いた数値シミュレーション解析が広く活用されている。しかし、非常に多くのプラズマ粒子の運動を計算する当該手法の計算コストの高さ故に、現実的に実行できるシミュレーションはその時空間スケールが大きく制限され、宇宙環境のプラズマパラメータの時間的変動を考慮した帯電解析は困難であった。

本研究では、太陽活動度に応じてダイナミックに変化する宇宙環境を考慮しつつ、従来より長時間の衛星電位計算に対応可能な数値解析手法を新たに開発する。本手法の基本設計は以下の通りである。まず事前に多数回のプラズマ粒子シミュレーションを実施し、様々な宇宙環境パラメータに対応した電流電圧特性のデータベースを作成する。このとき、各シミュレーション中では衛星電位を固定して、衛星流入電流の定常解が得られるまで時間更新を行うことにする。これにより、一般的に行われる衛星電位の定常解を求める計算に比べて、1シミュレーションあたりの所要時間を短縮することが可能である。

次に衛星観測やグローバルシミュレーションから抽出した宇宙環境パラメータの時系列データを入力とし、蓄積された電流電圧特性データベースを参照して、衛星電位の時間発展方程式を数値積分することで、変動する宇宙環境に対する衛星電位応答を計算する。この計算では、衛星近傍のプラズマ粒子の軌道計算ではなく、データベース化された衛星流入電流を用いて衛星電位の時間発展を解くため、その計算コストはプラズマ粒子シミュレーションに比べて非常に低く、宇宙環境パラメータが変動するのに十分な長時間の衛星電位について解析することができる。

上記の解析手法開発のためのテストデータとして、2010年に太陽フレアの影響によって障害を起こしたとみられる静止軌道衛星「Galaxy15」の事例を用いる。太陽フレア発生時を模擬した地球磁気圏 MHD シミュレーションを事前に実施し、衛星障害発生時の宇宙環境パラメータを抽出する。現在は、得られたパラメータを入力として電流電圧特性データベースを作成しており、その進捗を報告する。