

Title	Study on Active Spacecraft Charging Model and its Application to Space Propulsion System(Abstract_要旨)
Author(s)	Hoshi, Kento
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2018-03-26
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k21069
Right	許諾条件により本文は2019-03-26に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博士 (工学)	氏名	星 賢人
論文題目	Study on Active Spacecraft Charging Model and its Application to Space Propulsion (宇宙機能動帯モデルとその宇宙推進システムへの応用に関する研究)		
<p>本論文は、近年提案された「宇宙機帯電を用いた宇宙機推進・軌道制御手法」の実現に向けた基礎研究として、能動帯電モデルの構築及び帯電を用いた推進手法に関する検討についてまとめられたもので、8章からなっている。本論文の構成は以下の通りである。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の研究背景として、宇宙機の帯電原理・電流平衡則について述べ、更に近年提案された「宇宙機帯電を積極的に利用した宇宙機推進・軌道制御手法」について紹介している。また、それらの新規推進手法が主に軌道力学の観点からのみ評価されていることを述べ、本論文ではプラズマ物理学の観点から、より現実的な評価を行うための帯電モデル・推力モデルの確立に取り組むことを述べている。</p> <p>第2章では、宇宙機の帯電現象を計算機上で再現するために本論文で用いている Particle-In-Cell (PIC) 法について、その計算手順の概説と利点について述べている。更に、第3章以降で利用している2つの PIC コードについて、それぞれの特徴を述べ、静電計算結果の検証を行っている。</p> <p>第3章では、本論文の大きな目的である「宇宙機の能動帯電モデルの確立」のために、まず従来の能動帯電モデルとその欠点について示し、計算機上で能動帯電を再現するために PIC シミュレーションを用いて宇宙機表面からのビーム放出計算を行った結果について示している。更に、計算から得られた宇宙機表面電位と背景プラズマ環境の関係から、放出プラズマの速度分布関数を用いてビーム戻り電流量を計算する新しいモデルを提案しており、提案モデルによって得られる表面電位特性が PIC シミュレーションによって得られた電位と非常によく一致するというを示している。</p> <p>第4章では、二次電子放出現象の粒子シミュレーションへの実装について取り扱っている。従来の宇宙機帯電シミュレーションに用いられてきたモデルでは弾性反射や後方散乱といった二次電子放出プロセスを取り扱えないことを述べたのち、近年提案された確率的二次電子放出モデルについて紹介している。ただし確率的二次電子放出モデルは事前の実験によるパラメータフィッティング等が必要であることから、帯電計算への直接の適用は難しいということ述べ、宇宙機帯電分野でも適用可能な新しいモデルを提案している。提案モデルは原理的に事前のフィッティング等を必要とせず、宇宙プラズマのような単一エネルギーでない粒子衝突による二次電子放出を再現することが可能であり、宇宙機帯電シミュレーションでも適用可能であることを PIC シミュレーションにより示している。</p> <p>第5章では、新規な惑星間空間セイル推進手法である帯電セイルを取り扱っており、特に帯電セイルテザー回りの電位分布に着目している。まず帯電セイルの推力モデルにおけるテザー回り電位分布の重要性について述べ、現在は2つの推力モデルが提案されていることを紹介している。それらのモデルで仮定している電位分布はそれぞれ大きく異なっているため、より現実的な環境における検証のために、世界で初めて帯電セイルテザー回りの3次元 PIC シミュレーションを行っている。その結果、計算によって得られたテザー回り電位分布は2つのモデルのいずれとも一致しなかったことを明らかに</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	星 賢人
<p>している。また、光電子放出や帯電のためのビーム放出は電位分布に影響を与えないことを明らかにしている。更に、プラズマ中でデバイ遮蔽された無限長円柱周りの電位分布を2次元フーリエ変換により求める新たな電位解析方法を提案し、それにより得られる電位分布がPICシミュレーションの結果とよく一致することを示している。</p> <p>第6章でも前章に引き続き帯電セイルについて取り扱っており、特に推力特性について着目している。3次元PICシミュレーションを用いて帯電セイルテザーに働く推力値を求め、その推力特性が従来の帯電セイル推力モデルの特性と異なることを明らかにしている。また、前章で提案した電位解析手法を用いて、先行研究で提案された2つの推力モデル中で仮定していた電位分布を2次元フーリエ変換によって得られた電位分布に置き換え、同様の手順で推力見積もりを行うとPICシミュレーション中で得られた推力と近い傾向の推力特性が得られることを明らかにしている。</p> <p>第7章では地球周回軌道環境においてローレンツ力を用いる軌道制御手法について、実現可能なローレンツ力の大きさについて解析を行っている。現実的な検討を行うためにビーム放出時に用いる電力を固定するという制約の下で、第3章で提案した能動帯電モデルを用いてローレンツ力の計算を行っており、特に地球低軌道環境では0.5マイクロニュートン程度の力が1kWから10kWの電力で得られ、持続的に力を発生させ続けることができる点から効率的に実用化できる可能性があることを示している。また、宇宙機サイズと実現可能なローレンツ力の値についても検討を行い、宇宙機サイズに合わせてビーム加速電位を変更する必要があることを示唆している。</p> <p>第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、近年提案された「宇宙機帯電を用いた宇宙機推進・軌道制御手法」の実現に向けた基礎研究として、能動帯電モデルの構築及び帯電を用いた推進手法に関する検討についてまとめられたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 宇宙機から放出する荷電粒子ビームの速度分布関数を考慮した新しい宇宙機能動帯電モデルを提案しており、更にその数値解が3次元 Full Particle-in-cell 法を用いた帯電シミュレーションから得られる値と非常によく一致することを示している。
2. 宇宙機表面からの二次電子放出用の計算モデルについて、従来の二次電子モデルを改良した新しいモデルを提案している。提案モデルは原理的に事前のフィッティング等を必要としない柔軟なモデルであることを PIC シミュレーションの結果を用いて示している。
3. 帯電セイルについて、そのテザー周りの電位分布及びテザーに働く推力値を PIC シミュレーションで求め、その推力特性が従来の帯電セイル推力モデルの特性と異なることを明らかにしている。また、過去のモデルとの推力差の原因がテザー周り電位分布の違いであることを示し、推力モデルの修正を行っている。

以上の通り、本論文は、特に宇宙機の能動帯電とそれを用いる推進・軌道制御手法について電磁気学、宇宙プラズマ物理学に基づくモデル構築、および、シミュレーションによる検証を行っており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 1 月 19 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

