

氏 名	うす い ひで ゆき 臼 井 英 之
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1348 号
学位授与の日付	平 成 6 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 子 工 学 専 攻
学位論文題目	Study on the Electrodynamic Interaction Between a Tethered Satellite System and Space Plasma (テザー衛星系と宇宙プラズマの電磁力学的相互作用の研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 本 紘 教 授 木 村 磐 根 教 授 深 尾 昌 一 郎

論 文 内 容 の 要 旨

テザー衛星系は、導電性テザーワイヤーで繋がれた衛星とスペースシャトルオービターからなるシステムである。本論文は、宇宙建造物近傍のプラズマ電磁環境を定量的に理解するために、テザー衛星系と宇宙プラズマの電磁力学的相互作用を計算機実験と理論解析により研究を行なったものであり6章よりなる。

第1章は序論であり、テザー衛星系、及びそれを用いた宇宙実験の概略、宇宙プラズマとテザー衛星系との電磁力学的相互作用現象の解析に対する計算機実験の役割と威力について述べた後、2章以下のあらましをまとめている。

第2章では、計算機実験用プログラムである2次元電磁粒子コードの改良、及び3次元静電粒子コードの開発について述べられている。まず、テザー衛星系、すなわち、電氣的に接続されている衛星とオービターの2つの飛翔体導体を一つの計算機実験空間内で矛盾なく扱うために行った2次元電磁粒子コードの改良について述べられている。また、静電的な成分が支配的であるテザー系の電磁力学過程を3次元的に解析するために、静電場のみを解き進める3次元静電粒子コードの開発も行ない、実用化している。

第3章では、テザー系近傍のプラズマ応答、電磁界擾乱、オービターから放出される電子ビームのダイナミクス、それに伴うプラズマ波動励起、及び、テザー系の電位変動等の電氣的特性についての計算機実験を行ない解析し、テザー系の電磁力学過程についての基礎的な物理素過程を明らかにしている。 $V \times B$ 効果により背景プラズマに対し高電位に帯電する衛星近傍では、鞘状の電子の高密度領域(電子シース)、イオンの空乏領域が形成され、背景プラズマ流に対して下流では航跡状のプラズマ低密度領域が形成されることを明らかにしている。また、オービターから放出される電子ビームは、基本的には地球磁場に沿って拡散するが、地球磁場に垂直な方向には高密度電子雲が形成されることを確認している。また、テザー系両端におけるプラズマ特性周波数での静電振動、電子ビームによって形成されたプラズマ雲の位置で低域ハイブリッド共鳴周波数に相当する低周波の電磁波擾乱が顕著に見られることを示している。この電磁波擾乱は、低減ハイブリッドドリフト不安定性(LHD不安定性)理論により説明できると結論づ

けている。また、3次元静電粒子コードを用いた計算機実験により、2次元計算機実験で得られた結果との比較計算を行ない、両者の定性的な一致を確認し、テザー衛星系の電気的特性における定量的な面での違いについて、モデル空間の次元数に依存する静電気力の違いを基に考察を行なっている。

第4章では、電位エネルギーが周辺プラズマエネルギーよりはるかに大きくなるテザー衛星に着目し、磁化プラズマ中での高電位衛星の電流電圧特性、衛星近傍のプラズマ密度変動、電流変動等について2次元及び3次元計算機実験及び理論を用いて定量的に議論している。プラズマ応答では、磁場に垂直方向に高密度になる電子シース、及び強い $E \times B$ 効果とプラズマ流との相互作用により非対称な形をもつ衛星近傍のイオン空乏領域についてそれらの形成過程を明らかにしている。衛星の電流電圧特性については、過渡状態にみられる最大電流、及び定常電流の定量的解析を行ない、理論値との比較検討を行なうことにより、その特性を解明している。

第5章では、テザーワイヤーを流れる過渡電流による電磁界擾乱、また、高電位衛星近傍の電子—イオン間の相対速度差によるプラズマ不安定性について着目し、2次元電磁粒子コードを用いた計算機実験により定量的解析を詳細に行なっている。初期のテザー電流変動に対応してホイッスラーモードの波動パッケージが励起され、ほぼ地球磁場に平行方向に伝搬していくことを明らかにしている。また、高電位衛星近傍のシース形成過程においては、電子は衛星方向、イオンはその逆方向に加速を受けるため、地球磁場に平行方向にブーネマン不安定性、垂直方向には、 $E \times B$ 速度を持った電子により、ビームサイクロトロン不安定性が成長することを定量的に示している。

第6章は結論であり、テザー衛星系と宇宙プラズマの電磁力学的相互作用に関して本研究を通して得られた成果のまとめが述べられている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、スペースシャトルオービターと導電性テザーワイヤーで繋がれた衛星からなるテザー衛星系と宇宙プラズマの電磁力学的相互作用に関し、計算機実験と理論解析を行なったもので、得られた主な研究成果は以下の通りである。

- 1) テザー衛星系を磁化プラズマ空間内で矛盾なく扱うために、2次元電磁粒子コードに改良を施し、かつ、3次元電磁力学過程を解析するために、3次元静電粒子コードの開発を行い、実用化した。
- 2) テザー衛星系と宇宙プラズマの電磁力学的相互作用の計算機実験により、テザー系の電位及び電流変動等の電気的特性がオービターから放出される電子ビームのダイナミクスに大きく依存することを示した。また、テザー系近傍の静電振動、及び電子ビームによる低周波電磁波の励起を明らかにした。
- 3) 高電位テザー衛星の電磁力学過程に関する計算機実験を行ない、近傍プラズマの応答として、磁場に垂直方向に高密度になる電子シース、非対称な形をもつ衛星近傍のイオン空乏領域の形成について明らかにした。さらに、過渡状態での高電位衛星における最大電流、定常時の電流電圧特性の定量的解析を行ない、理論値との比較検討を行なうことにより、その特性を解明した。
- 4) テザー衛星系による電磁界擾乱の計算機実験を行い、テザー電流変動によるホイッスラーモードの波動パッケージ励起、また、ブーネマン不安定性、ビームサイクロトロン不安定性による高電位衛星近傍で

の静電擾乱を定量的に明らかにした。

以上、要するに本論文は、テザー衛星系と宇宙プラズマの電磁力学的相互作用に関して研究したものであり、宇宙建造物近傍のプラズマ電磁環境の定量的理解に貢献するばかりでなく、将来の宇宙建造物構築に対して工学的な知見を与える、という点で、学術上、実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6年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。