

氏名（本籍）	<small>イケダ トモユキ</small> 池田 知行（兵庫県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	工博甲第65号
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当者
学位授与の年月日	平成27年3月13日
学位論文題目	各種宇宙機用の低電力型及び大電力型ホールスラストの研究と超小型人工衛星用の姿勢制御システム・電源システムの構築
論文審査委員	（主査）教授 田原 弘一 教授 上田 整 教授 小池 勝 教授 西川 出

## 論文の内容の要旨

本論文は2つの研究テーマから成り、二部構成となっている。

第1部は全6章で構成されており、宇宙用電気推進機の一つであるホールスラスタに対して行った、質量50kg級の超小型人工衛星への搭載を想定した低電力型スラスタと、将来の軌道間輸送用に期待されている大電力型スラスタに関する研究開発について、試作機の開発や作動試験、評価を通して得られた成果を総括している。

第1章は低電力型・大電力型ホールスラスタの研究開発についての概要であり、これまで行われてきた超小型人工衛星の開発経緯と推進システムの必要性、超小型人工衛星への搭載についての利点と問題点、低電力および大電力域におけるホールスラスタの作動特性の有用性と課題点を指摘し、これらの研究の目的と意義を述べている。

第2章では、ホールスラスタの作動時において放電室内で生成されるプラズマ中の電子とイオンの挙動などの物理現象と、イオンの加速原理を述べ、ホールスラスタの推進性能の定義を決定している。

第3章では、ホールスラスタの性能を評価する試験において使用した装置とその仕様・能力、推進性能を測定するための実験方法について述べている。

第4章では、既存の消費電力200W級のシリンドリカル型ホールスラスタ「TCHT-3B」を元に、設計相似則を用いてダウンサイジングを行い試作した、電力100W級の低電力シリンドリカル型ホールスラスタ「TCHT-4」の詳細を述べている。開発において地球低軌道から月軌道までの軌道上昇を想定し、比推力1300-1900秒、推進効率30%を目標値として設定している。作動試験では、放電電圧とキセノン推進剤流量の増減、印加磁場の強度が作動特性に及ぼす影響、ミラー効果による電子捕捉の有効性を明らかにしている。また推進性能の更なる向上と作動時に発生する内蔵磁石の熱減磁の解決方法として、放電室内の径方向磁場の強度を増加させることを提案している。

第5章では、更なる推進性能の向上と、作動試験で明らかとなった印加磁場の熱減磁を解決するために、磁石のスラスタ外周部への配置の有効性と径方向磁場の強化に対する推進性能の評価を行うため、磁極間距離と放電室長を変更可能な機構を有する新たなシリンドリカル型ホールスラスタ「TCHT-5」を試作し作動実験を行い、TCHT-4では確認することができなかった磁極間の最適位置を取得している。また使用する永久磁石の種類や放電室長の違いによる性能差を調べるために作動試験を綿密に行い、最適な条件を検討している。

これらの試験を通して得られた最適作動条件により開発したTCHT-5は、これまでに世界各国で開発されてきた小型・低電力型のホールスラスタよりも高い推進性能を示すことを明らかにしている。

第6章では、日本国内の6大学と宇宙航空研究開発機構（Japan Aerospace eXploration Agency: JAXA）とで共同研究を行っている5-10kW級大電力ホールスラスタ開発プロジェクト

ト「RAIJIN」において、作動実績が少ない 2kW 以上の大電力作動時で起こりうる問題点を抽出するため、既存の SPT 型ホールスラスタ「THT-VI」と TAL 型ホールスラスタ「TALT-2」の両スラスタに対する大電力作動試験を行い、作動時の推進性能と問題点を指摘し、その解決案を検討している。

第 2 部は、全 3 章で構成されており、超小型人工衛星「プロイテレス」に搭載された、重力傾斜トルクを利用した伸展ブームと、衛星搭載機器への発電を行う電力供給システムの構築について、衛星打上げ後軌道上から得られた情報を元に開発成果を総括したものである。

第 1 章では、プロイテレス衛星の開発経緯や行うミッションについて述べ、本研究の目的となる伸展ブームと電源システムの開発の意義について示している。

第 2 章では、姿勢制御系についての概要を述べ、搭載するアンテナと高解像度カメラによるミッション要求から伸展ブームに求められる姿勢精度と姿勢安定度を示し、目標性能の決定している。目標性能を元にサイジングを行い、数値計算によりメインの姿勢制御機である磁気トルカと併用した際に、軌道上で姿勢安定させることができるかを検証し、サイジングの妥当性を検証している。得られた結果を元に伸展ブームを製作し、打ち上げ時の衝撃に耐えうることを証明している。また、軌道投入後に通信により得られた発電状況から、伸展ブームの展開と姿勢制御が正常に行われていると推定している。

第 3 章では、宇宙開発合同会社 AstreX と共同開発した電源システムについて述べており、軌道上で衛星が最悪姿勢を取った際に得ることができる電力量の見積りを行っている。また衛星の各作動モードごとの機器の消費電力量を算出し、発電電力量が消費電力量を上回っていることを明らかにしている。これらの結果を元に電源システムを完成させ、打ち上げ後の通信により取得した電源情報から開発した電源システムが正常に作動していることを確認している。

結論において、本研究で行った内容と結果および考察を取りまとめている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は宇宙用電気推進機の一つであるホールスラストの低電力化および大電力化に関する研究と、超小型人工衛星プロイテレスの姿勢制御および電力供給システムの構築に関する2種の研究テーマについて取りまとめたものである。

低電力で作動するホールスラストを開発するにあたり、シリンドリカル型ホールスラストに着目して消費電力100W域の低電力での作動において高比推力、高推進効率を目標とする研究開発を展開している。2機の試作機の設計開発と作動試験の実施、性能改善点の模索を通じて適切な作動条件を決定して推進性能の向上を行い、電力100W域での作動において世界各国で開発が進む他の推進機よりも高い推進効率を示し、将来の超小型人工衛星による宇宙推進の可能性を大きく引き上げる、大きな成果を生み出している。

また大電力作動においては、2種のホールスラストに対して大電力作動試験を行い、国内で初めて消費電力2kW以上での安定作動と推進性能の取得に成功し、目標としていた性能値（比推力3000秒、推進効率60%）を満たしている点から、将来の日本の宇宙輸送を担うRAIJINプロジェクトにおける大電力ホールスラストの研究開発に対し、大きく貢献している。

次に超小型衛星プロイテレスの姿勢制御システムの開発においては、採用実績が少ない超小型人工衛星用の伸展ブームの設計・製作が行われており、小型でありながら打ち上げ時の衝撃に耐えうるパンタグラフ機構を用いた新しい形式の伸展ブームを生み出している。軌道投入後に得られた情報から、伸展ブームの展開と姿勢制御が正常に行われていると推定されており、超小型人工衛星に最適な低消費電力で姿勢制御を行うことができる姿勢制御アクチュエータの開発技法を確立している。

電源システムの構築においては、衛星打上げ後軌道上での電力収支の見積りと、超小型人工衛星としては初めてとなる電圧12V系電源バスが組み込んだ電力供給装置の設計開発の他、太陽電池パネルやバッテリーなどサブシステムを含めたシステム全体の構築を行っており、超小型人工衛星の電源装置開発の手法と技術的知見を得ている。

以上のように、本論文で得られた知見は宇宙推進工学・プラズマ応用の分野において大きく寄与するものであり、さらに超小型人工衛星の機器開発・搭載に関して新たな道筋を付けるなど、将来の宇宙工学全般に対する貢献も大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。