

氏名	山崎 純子		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第9422号		
学位授与年月日	令和2年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	代替推進剤を用いたホールスラスタの評価方法と高性能化		
主査	筑波大学 准教授	博士（工学）	横田 茂
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	西岡 牧人
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	藤野 貴康
副査	筑波大学 助教	博士（科学）	嶋村 耕平
副査	宇宙航空研究開発機構 研究員	博士（工学）	張 科寅

論文の要旨

本論文では、宇宙機用電気推進機の一つであるホールスラスタについて、一般に推進剤として用いられているキセノンガスが高価かつ地球埋蔵量が少ないため、これに代わる推進剤として安価なアルゴン推進剤と出来るかの実現可能性について、技術的な側面と、経済的な側面を融合させて論じられている。技術的には、アルゴンを推進剤とした際の推進機の性能向上策を提案し、実験的に検証、物理的な背景の分析まで行われた結果がまとめられており、経済的には、輸送コストを推進剤の性能（推進効率、比推力など）の関数として定式化し、アルゴン推進剤が宇宙における輸送費に与えるインパクトについての研究の成果がまとめられている。

本論文は全6章からなり、第1章では、今後の宇宙開発では輸送コストの低減が必須であるという社会背景から、宇宙推進機としては低燃費である電気推進機、なかでもホールスラスタが有望であることが、その一般的な性能や作動原理、開発の歴史を含めて述べられている。一方で、そのホールスラスタの問題点として、推進剤として高価なキセノンガスが用いられている点を挙げ、この推進剤費用の低減を目指すには、安価なガスを用いることが必須であることについて指摘しており、そのためには宇宙における輸送コストの評価法の構築が必要であること、また、そのコスト低減には、安価な推進剤を用いても推進機の性能を向上させる必要があることを述べている。

第2章では、その目的のもと、宇宙における輸送コストの評価方法の構築について議論されている。まず、輸送コストが、地上から低軌道までの打ち上げ費用や宇宙機自体の製造費、推進剤費用、運用費等から構成されることを元に、それぞれが推進機の性能と推進剤価格の関数となるモデルを構築し、定式化している。その上で、先行研究においてキセノンやそれに代わる代替推進剤によって、輸送コストがどのようになるのかを評価し、キセノンガスの代わりにアルゴンをを用いると、推進剤価格

は大幅に下がるものの、推進性能低下のために、その他のコストが上昇し、輸送コスト全体としては利点が出ないことを指摘している。

第3章では、第2章の結果をうけて、アルゴンを用いた際のホールスラストの推進性能向上策を検討するため、標準的なホールスラストの実機を設計・製作し、その性能が一般的なホールスラストと同等であることを検証した上で、アルゴンを用いた際の推進効率の解析を行い、特に推進剤利用効率（推進剤の電離度合い）を改善する必要があるという、性能改善指針を導き出している。

第4章では、第3章での結果を受け、アルゴンの推進機内部での電離を促進させる手法として、アルゴンにキセノンを着火剤として混合させる方法、および、推進機内部の電離領域を拡張する方法の2つを提案し、そのどちらにおいても性能改善効果があることを実証している。また、性能改善効果の原理についても分析がなされ、前者においては電離のみならず電離位置が上流側へ移動して放電が安定化し、加速効率（推進剤が電場から受け取るエネルギーの割合）も上昇していること、後者においては、壁面へのイオンの衝突を抑制すればさらなる性能向上が期待できることを指摘している。

第5章では、第4章での性能改善結果を第2章で構築したコスト評価モデルに適用し、静止軌道衛星ミッション、および、太陽光発電衛星構築のための大量物資輸送ミッションにおいて、性能の改善されたアルゴン推進剤ホールスラストを用いることで、キセノン推進剤より輸送コストが安価に抑えられることを示している。

第6章では、本研究の結論が述べられている。

審 査 の 要 旨

【批評】

著者は、代替推進剤を用いた際のホールスラストの性能向上策を2つ提案し、どちらも実験的に検証しており、また、その際の推進剤の電離位置や領域などについても物理的な分析を行い、そこで新たに得られた知見を今後の代替推進剤を用いた際のホールスラストの性能向上のための一般的な指針としてまとめている。また、宇宙における輸送コストを推進機の性能の関数として定式化し、上述の性能向上策を適用することで、キセノンに代わる代替推進剤としてアルゴンが有望であると指摘しており、これまで推進機の性能のみで評価されていた宇宙推進機分野において、あらたな評価軸を構築している。これら本文で得られた知見は、今後の宇宙大量物資輸送ミッションの実現可能性を高めるもので当該分野において有用であり、また、高い新規性を有するものと判断されたため、本論文は博士論文の水準に達していると判定した。

【最終試験の結果】

令和2年1月28日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。