

氏名(本籍)	小島 康平		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 9826 号		
学位授与年月日	令和 3 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	電気推進用大電流ホローカソード設計指針・作動指針の構築		
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 研究開発員	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に一般的に用いられる電子源であるホローカソードについて、その内部のプラズマの理論モデルから導き出された大電流仕様のホローカソード用に設計理論とその実験的検証、構築した設計理論の適用可能範囲、および推進機への適用可能性の実証試験について論じられている。

本論文は全5章からなり、第1章では、社会的背景として、今後の宇宙開発は宇宙における大量物資輸送に向けて動いており、その輸送費低減の観点から、輸送機のエンジンとして電気推進機が有望であること、その電気推進機には100 A級の大電子電流を発生させるホローカソードが必要となることなどが述べられている。一方で、そのホローカソードについては、これまで理論的な設計則がなく、これを確立す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、ホローカソード内部のプラズマの理論モデルをもとにしたホローカソードの設計則の構築と、その検証試験について述べられている。まず、ホローカソード内部のプラズマの拡散方程式をもとに、内部の電子数密度分布が出口から上流に向かって指数関数的に減少していくことに着目し、電子放出剤の長さには適正值を決めることが可能であること、その長さを基準として、他の部分の長さを決めることができ、それらを設計則としてまとめている。その上で、構築した設計則を検証すべく、設計則に沿ったサイズの試験機を制作し所定の電流量が取得できたこと、また、内部の電子数密度分布を計測したところ、理論解析通りであったことが述べられている。一方で、駆動ガス流量次第では、不安定な作動に陥るという、設計則の限界が存在することについても言及されている。

第3章では、その設計則の限界である不安定作動について、安定作動時と不安定作動時の電流電圧

特性と内部の電子数密度分布の計測を行い、その比較から、安定作動時は、外部からの電子の要求量に対して十分な電子が電子源から供給されている状態、不安定作動時は、電子の供給量が要求量に対して不十分な状態であること、また、その不安定作動の原因は、ホローカソード内部の電離振動に起因したものであると結論づけている。

第4章では、設計・制作されたホローカソードが実際に推進機の電子源として機能することを実証するために、Magneto-Plasma-Dynamic (MPD) 推進機とのカップリング試験について述べられている。MPD 推進機の推力の計測結果と推力理論モデルの比較を行い、推進機の一部として機能していることが示されている。

第5章では、本研究の結論がまとめられている。

審 査 の 要 旨

【批評】

著者は、これまで設計則の存在しなかったホローカソードについて、プラズマ理論モデルをもとに理論的な設計則を構築し、その設計則およびもととなるプラズマ理論モデルも正しいことを実験的に示している。また、その実証試験のなかで、構築した設計則には限界があり、その限界を超えると、不安定作動を引き起こすことを発見し、さらに、その不安定作動についても、プラズマ診断等の手段を用いて、その物理的な原因を明らかにしている。また、ホローカソードと推進機とのカップリング試験によって、理論通りの推力が発生することを実証している。これら本論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3年2月10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。