

審査の結果の要旨

氏名 大道 渉

修士（工学）大道渉提出の論文は、「A Study on the Degradation Mechanism and Lifetime Enhancement of Microwave Discharge Neutralizers」（マイクロ波放電式中和器の劣化機構と長寿命化に関する研究）と題し、7章から構成される。

宇宙航空研究開発機構が世界とは技術的に一線を画して研究・開発・実用化するマイクロ波放電式中和器を取り扱う。電気推進機の陰極や衛星の帯電防止のための電子源にはホローカソード技術が唯一無二であったが、「はやぶさ」小惑星探査機において世界で初めてマイクロ波放電式中和器が実用され、宇宙用陰極として代替手段となることを示した。地上試験にて2万時間級の耐久性を実証した上で宇宙運用に臨んだが、宇宙では1万時間級で性能劣化を来した。本論文は、この劣化機構を明らかにすると共に、マイクロ波放電式中和器の高性能化・長寿命化・高信頼化を目標としている。

第1章では、本研究の背景を説明し、従前技術であるホローカソードと比較し、本研究で扱うマイクロ波放電式中和器の原理と得失を説明する。本論文の目的および構成を掲げる。

第2章では中和器の劣化機構を推定する。2万時間級の地上耐久試験にて現れた性能変化状況を分析し、1万時間級の安定動作後に劣化が始まり、千時間規模で急激に悪化することを見出した。地上耐久試験で使用した劣化中和器の内部調査を行い、磁気回路に付着した数百個にわたる微小な磁性フレークやアンテナ誘電体上に金属汚染を確認した。これらの分析から次の劣化機構が構築された。1) キセノン2価イオンによる鉄製磁気回路のスパッタリング損耗、2) スパッタリングにより四散した鉄分子がモリブデン内壁表面に堆積し、薄膜が成長、3) 温度サイクルにより剥離し磁性フレークが発生、4) 磁力にて磁気回路先端に誘引、5) スパッタリングにて周囲を激しく汚染。この様な経緯の結果、次の3つの性能低下要因を抽出した。A) スパッタリングや磁性フレークの存在による磁場形状や強度の変化、B) 磁性フレークによるプラズマ損失の増大、C) 誘電体表面の金属汚染によるマイクロ波伝送損失の増大。

第3章では本研究で用いている実験装置と、性能評価をする上で考慮すべき実験誤差を説明する。

第4章では、第2章で抽出された劣化要因を実験的に検証する。無数の微小なフレークが付着した劣化中和器のフレーク清掃前後での性能回復は軽微であり、実際に観測されたフレークより50倍も大きい模擬フレークを付着させて中和器を作動させても性能低下は軽微であった。中和器アンテナの誘電体表面を人為的に汚染すると甚だしく性能変化することを実験的に示した。これらを根拠に、要因C「誘電体表面汚染」が性能低下の直接の主因であると結論づけた。また α) 接触電圧低減によるスパッタリング緩和と、 β) 磁性フレークの

発生防止にて、耐久性向上が期待されると予測している。

第5章では、前章で示された長寿命化を実現するための具体的方策を個別に検証する。中和器内部に分割電極を施し、プラズマ電流分布の計測を行った。それによると、電子放出電流を賄うために放電室内壁にてイオン電流を受け持つ中和器が、イオン電流のみでなく電子電流も吸収していることが分かった。これを抑制し、 α 策を実現するために、あ) 特に電子電流を吸収しているアンテナを電氣的に浮遊させる、い) 磁場強化により電子の拡散を防ぐ、う) ノズル部の電氣的浮遊化という3方式を実験し、接触電圧の低減を達成した。しかしながら、あ方式に関してはアンテナ部のスパッタリングが増大し、耐久性へ懸念があると指摘している。い方式の結果を、磁場強度に依存する電子の移動度やカスプ閉じ込めにて説明しようとしている。う方式による効果は、ラングミュア・トックスの陽光柱自由落下理論により説明できるとしている。また、長寿命化策 β は、中和器内部をすべてモリブデンで被覆することにより、低スパッタリングによるフレーク発生量低減・同種金属による剥離の防止・フレークの非磁性化にて実現されることを示唆した。

第6章では、抽出された長寿命化策のうち、 α 策い方式「磁場強化」と β 策「モリブデン被覆」に関して、耐久試験を実施した。これに先立ち、鉄の累計損耗量に寿命が依存するというモデルに従い、 α 策い方式では寿命2万2千時間と予測し、実時間試験にて1万2千時間までを実証した。 β 策では10万時間以上の耐久性が期待される。

第7章では、本研究の結論を述べている。

以上を要約すると、本研究はマイクロ波放電式中和器の劣化機構を特定し、複数の長寿命化対策を提案するとともに、それらを長時間試験にて実地に実証した。マイクロ波放電式イオンエンジンの長寿命化・高性能化・高信頼化に寄与するものであり、中和器の宇宙利用を促進する。プラズマ工学および宇宙工学への貢献は多大である。

よって、本件は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。