

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏名 伊藤 彦

修士 (科学) 伊藤 彦 提出の論文は、ホールスラスタ地上試験で推進機に逆流する中性粒子の抑制技術に関する研究 *A study of suppression method of neutral particles flowing back to the thruster in Hall thruster ground test* と題し、6 章から構成されている。

近年、静止衛星の軌道間輸送の主推進機としての利用が進むホールスラスタの地上性能試験では、推進機より噴射された推進剤ガスが真空ポンプで排気されるまでに、試験設備 (真空チャンバ) 内に残存し、その一部が推進機に逆流して推進剤として再利用され、推進機の推力が過大に見積もられることが問題視されており、軌道上での推力を地上試験で正しく評価するために粒子の逆流を抑制する技術が必要とされている。本論文の目的は、ホールスラスタの地上試験において推進機に逆流する中性粒子を効果的に抑制する手法を考案することである。

一般に地上試験設備には、推進機が排出する高エネルギーイオンビームのスパッタによる真空チャンバ壁面の損耗と、スパッタされたチャンバ壁面金属による推進機表面汚染を軽減するためにビームターゲットが設置されている。イオンビームはビームターゲットに衝突する際に中性化し、推進機に向かって反射するが、本研究ではビームターゲットの形状を工夫して反射粒子を直接真空ポンプへ導くことを提案している。ビームターゲットの形状設計および逆流粒子抑制効果の予測に必要なビームターゲット表面での反射粒子の速度ベクトル分布、および誘導された粒子が真空ポンプで排気される確率 (ポンプ係数) について、それぞれ粒子入射角度依存性に着目した独自のモデルを考案し、ビームターゲットの形状設計指針および逆流粒子抑制効果について議論している。

第 1 章は序論であり、ホールスラスタの地上試験設備内で生じる推進剤ガスの運動を概説し、関連する先行研究を紹介して本研究の目的を述べている。

第 2 章では、地上性能試験で生じる逆流粒子の軌道を数値解析で予測するために必要となる物理モデルおよび計算手法について説明している。その際、ビームターゲット表面での反射粒子の速度ベクトル分布を与える従来モデル (CLL モデル) では、想定している入射粒子のエネルギーがホールスラスタのイオンビームのエネルギーよりも 4 桁ほど小さいため、CLL モデルの拡張を提案している。

第 3 章では、イオンビームがビームターゲットに衝突して生じる反射粒子の運動を、分子動力学を用いて解析し、粒子の描く軌道がその入射角度とターゲット材料に依存すること、入射角度が狭角の場合と広角の場合で反射のメカニズムが異なることを明らかにしている。また、分子動力学計算で得られた散乱確率密度分布、エネルギー分布を利用して拡張 CLL モデルに必要な 3 つのパラメータを決定することで、拡張 CLL モデルを用いて反射粒子の 3 次元速度ベクトル分布をよく再現することができることを定量的に示している。

第 4 章では、ビームターゲットで反射した粒子を真空ポンプへ導いた際のポンプ入射角とポンプ係数の関係を、一般的な 2 段クライオ板構造を持つクライオポンプを詳細にモデル化することによって解析的に明らかにしている。また、その検証のために、定常ガス噴流がある真空チャンバ内の流れについて、得られたポンプ係数を用いた DSMC 計算結果と電離

真空計を用いた圧力分布測定結果を比較し、クライオポンプモデルが実際の真空ポンプの排気特性をよく再現することを確認している。

第5章では、円錐形ビームターゲットを提案し、真空ポンプとビームターゲットの相対位置とビームターゲットの円錐頂角の最適設計法を提案し、その効果を空間2次元・速度空間3次元の DSMC 計算を行って評価している。その結果、IHI の真空チャンバと同サイズのチャンバを用いた場合では、平板ターゲットを用いた場合に比べて推進機への逆流粒子を 37% まで低減することが可能であると述べている。

第6章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。

以上要するに本論文は、従来はイオンビームによる真空チャンバ表面の損耗を軽減するために用いられていたビームターゲットを、イオンビームが反射して生じる中性粒子を効率的に真空ポンプへ導く反射板として利用する方法を提案し、分子動力学計算によって反射中性粒子の速度ベクトル分布とポンプ係数の粒子入射角依存性をモデル化し、さらに DSMC 計算によってその逆流粒子低減効果を評価したもので、今後の推進機開発における有用性も高く、航空宇宙工学、特に電気推進分野に貢献するところが大い。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。