

論文の内容の要旨

論文題目 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

氏 名 伊藤 彦

ホールスラスタの地上試験では、推進機より噴射された推進剤ガスが真空ポンプで排气されるまでの間、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推進剤として再利用されてしまう。この逆流粒子が多いほど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逆流粒子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、真空チャンバ壁面が高エネルギーイオンビームの衝突により損耗することと、スパッタされたチャンバ壁面金属が推進機表面を汚染することを抑制するためにビームターゲットが設置されている。本研究ではこのビームターゲットにイオンビームが衝突して発生した反射粒子を真空ポンプへ直接導く反射板として利用する方法を提案している。そのビームターゲットの設計には、ビームターゲット表面で生じる反射粒子の分布、およびビームターゲットによって誘導された粒子がポンプに排气される確率を明らかにする必要がある。

ビームターゲットには一般にグラファイトやスパッタ率が低い金属が用いられている。従来、金属ターゲット表面での反射は拡散反射であると考えられてきた。しかし、ホールスラスタで加速されたイオンのように数百Vで加速されたイオンが金属ターゲット表面で反射した際、数eVものエネルギーを持つ反射粒子が発生することが知られており、拡散反射ではこれを説明できない。そこで分子動力学でイオンの金属ターゲット表面での反射を解析する手法を開発し、数eVに運動エネルギー分布のピークを持つ反射粒子の分布解析に成功した。金属ターゲットから発生した反射粒子の分布は拡散反射とは異なる葉状分布を示し、指向性をもつことを明らかにした。上記の計算結果を再現する

モデルとして、ホールスラストによって噴射されるイオンビームのエネルギーと常温の金属ターゲット表面のエネルギーとの差を考慮した新しいモデルを提案し、このモデルによって3次元分布が良く再現できることを確認した。

次に粒子がポンプに排気される確率はポンプ係数としてモデル化されており、設備内の設置場所によってポンプ係数が変化することが知られているが、実験で圧力を計測して推定するのが一般的であり、粒子の流れとポンプ係数の関係は明らかになっていない。そこでホールスラストの試験設備で広く使われる2段構造を持つクライオポンプに着目し、内部構造を詳細にモデル化して粒子が流入する角度とポンプ係数の関係を明らかにした。

構造が簡素な円錐型ビームターゲットに焦点を当て、上記の金属ターゲット表面での反射粒子分布とポンプ係数の粒子流入角度依存性、およびホールスラストのビーム分布を考慮して、ビームターゲット頂角、およびクライオポンプとビームターゲットの位置の設計法を提案した。円錐型ビームターゲットをチャンバ内に設置して得られる効果を空間2次元・速度空間3次元のDSMC計算を行って評価した。直径2 m長さ3 mのスペースチャンバをモデルとし、幅30インチのクライオポンプがチャンバ全周に設定しているという条件下では、円錐型A1ターゲットを設置して計算された推進機への逆流粒子流量は、平板型A1ターゲットが設置されている場合の37% (1/3) に低減するという結果が得られ、本研究で考案した手法によって逆流粒子が抑制されることを確認した。