

極超音速エアインテーク型構造を活用した ダストサンプリング技術の基礎研究

学生証番号 47-216068 氏名 盧 承鉉
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授、小澤 宇志 准教授)

Key Words : Dust sampler, Hypersonic flows, Hypersonic intake, Dusty flows, Martian exploration

火星の環境をより深く理解するために、火星サンプルの回収ミッションは長年注目を浴びてきた。従来は、探査機が火星の地表に着陸し、その場でサンプルを解析するという手法が一般的だった。これは、サンプルを地球に輸送することは技術的に困難であり、高コストという課題があるためである。そこで JAXA^[1] は、探査機が火星の大気圏に突入した後、地表に着陸することなく、飛行中に待機中の浮遊サンプルを採集する方法「MASC (Mars Aeroflyby Sample Collection)」を提案し、研究を進めてきた。しかし、従来の方法では、サンプルが回収機内部に速い速度で衝突し、サンプルを止めるためのエアロゲルや粒子自体が損傷する問題があった。本研究では、サンプルを回収機内部の壁に斜めに衝突させることで、衝撃量を抑える方法を提案する。具体的には、極超音速エアインテークを模した形状を利用し、先端のランプで発生する斜め衝撃波を活用してサンプル粒子の軌道を変更する方式を考えた。本研究の目的は、斜め衝撃波を活用して大気中でサンプルを回収する可能性を評価することである。さらに、サンプルの衝突速度をどの程度抑えられるか、また、どの程度の回収率が得られるかを調べることを目指す。

本研究では、数値解析を中心に研究を行なった。まず、提案モデルのエアインテーク型サンプラー内部の気流をシミュレーションするために、形状に沿ったドメインを作成し、二次元 Navier-Stokes 方程式を解いた。また、極超音速風洞実験を行い、数値解析と実験結果の定性的な比較を行なった。流れ場の計算が終了した後、粒子運動の計算を行なった。問題の簡略化のために、本研究では、粒子間の衝突と粒子が流れ場に与える影響は考慮しないものとした。

サンプラーの性能を評価するために、サンプラー先端のランプの角度およびインレットの幅をパラメータとし、特性を調べた。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) サンプラー内部での粒子の運動について、粒子直径が $5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ の4つのケースで解析を行った。その結果、粒子直径が $1\mu\text{m}$ 以下から衝撃波による流れ場の変化に影響を受け始めることがわかった。
- (2) ランプの角度を大きく、インレット幅を小さくするほど粒子の回収率が上昇することが確認された。粒子がサンプラーに与える衝撃量については、ランプ角度を小さくするほど抑えられることがわかった。

以上を踏まえ、ランプ角度を小さくすることで粒子およびサンプラーへの損傷を抑えられることが明らかになった。一方で、回収率を高めるにはランプ角度を大きくし、インレット高さを小さくすることが効果的である。これらの結果から、実際の運用ではミッションの目的に応じて最適なサンプラー形状を選定する必要があると考えられる。

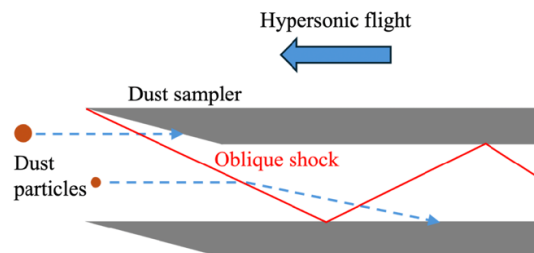


図 1 エアインテーク型ダストサンプラーおよびサンプリングコンセプト