

ダストを含む低レイノルズ数気流における翼型の 空力特性に及ぼす粒子反射条件の影響

学生証番号 47-126077 氏名 小林 穰
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words : CFD, ダスト流れ, 衝突

1. 背景・目的

火星は地球から最も近い惑星で特に近年はローバーによる表面探査機が注目を集めているが、探査範囲の拡大を考えると、将来は飛行機で上空から行う広範囲の探査が理想的であると考えられている。火星飛行機の空力設計の研究によると、想定されている環境は巡航速度40m/s、レイノルズ数は 10^4 程度で、翼コード長は0.2mほどの小型なものである。また、火星はたびたび惑星全体を覆うような砂嵐が起こることも観測されている。低密度、低レイノルズ数の効果だけでなく、大気中のダスト粒子の存在も翼性能に影響を及ぼすことが考えられる。そこで今回の研究では、火星飛行を想定し、翼が火星大気の状態によってどのような影響を受けるか数値解析する。

2. 粒子の衝突実験

粒子が壁面と衝突するときどのような振る舞いをするのか調査した研究は過去にほとんどないので、粒子の反射モデルを実験で調べることにする。実験は傾斜をつけたアクリル板にビーズを落とし、高速度カメラで反発係数と入射角反射角を測定する。実験の結果から、反発係数に関しては $[0, 1]$ の一様乱数を与えることにした。角度については、反射角と入射角の関係は3次関数で近似すると、 R^2 値が0.967と、ほぼ一致することがわかったので、3次関数で近似する。実際は入射角から反射角を求めるので、3次方程式の解の公式を用いて反射角を求める。標準偏差が5.31度となったので、これを正規分布関数で与え、正規分布乱数を用いてばらつきを与える。

3. 数値解析

本研究ではNACA0012 翼周りを2次元圧縮性Navier-Stokes方程式で解く。初期値としてダストを含まない流れ場の解析結果を用いて解析する。粒子相から気相へ、運動量と単位時間あたりの仕事の情報が受け渡され、逆に気相から粒子相へは速度・密度・温度の情報が受け渡される。レイノルズ数10000でダストを 1m^3 あたり 10^{10} 個投入した。ダストを含まない流れ場の図と比較すると明らかに圧力と速度の分布は違いが見られたが、反射条件による違いは見られなかった。この結果から、ダストの有無で流れ場の結果は変わるが、反射条件はほとんど影響を与えていないことがわかった。

4. 結論

・粒子の衝突実験から反射モデルを得る手法を構築し、粒子の壁面における反射は、粒子の形や運動量、材質などにより、理想的な鏡面反射でもランダム反射でもない、反射をすることがわかった。

・ダストがあることで、揚力係数は下がるが、本計算の条件下では、壁面の条件は空力特性にほとんど影響を与えないことが判明した。