

ダスト環境における風車利用を目的とした 翼周りの流れ場解析

学生証番号 47116061 氏名 飯野 亨
(指導教員 鈴木 宏二郎 教授)

Key Words: Wind Turbine, Airfoil, Computational Fluid Dynamics, Low Reynolds Numbers, Dusty Flow

1. 研究背景および目的

近年、持続可能な社会の実現に向け、再生可能エネルギーのひとつである風力への期待が高まっている。将来型の風車利用として、宇宙開発への利用も NASA の David Bubenheim (Ames Research Center) などから提唱されている^[1]。特に火星では惑星全体規模の砂嵐である「ダストストーム」の存在が確認されており、太陽光発電の出力低下が懸念されることから、太陽光と風力のハイブリッド利用が検討されている^[2]。しかし火星風車に関する研究は、概念設計などに留まっており、空力的な観点から風車性能を評価したという研究は皆無に等しい。そこで本研究では、火星環境における風車性能を解析的に評価することを目的とする。

2. 解析対象

風車の性能は受風面に流入する風のエネルギーと風車出力の比である出力係数 C_p によって評価することができる。出力係数はGlauertの翼素・運動量理論から算出でき、各断面における揚抗比 C_l/C_d によって最大値が決まる。そこで火星風車の性能を評価すべく、火星環境すなわちダストを含む流れ場における翼性能を解析的に求めた。なお、風車翼には航空機などの分野において最も広く用いられているNACA0012を用いた。

3. 解析手法

ダストを含む流れ場の解析では、流体はEuler的視点から流れ場として解析し、ダストはLagrange的な視点から軌道解析を行い、両者のカップリングによって求めた。気相の支配方程式は2次元圧縮性Navier-Stokes方程式とし、粒子相の支配方程式は2次元運動方程式とした。流体から粒子への影響は両者の相対速度差から外力項として与え、粒子から流体への影響はその反作用としての運動量、エネルギーとして気相へ与えることにより、弱連成解析を可能とした。

4. 解析結果

火星における直径100mの風車を想定し、レイノルズ数を10,000とする低レイノルズ数領域の流れ場解析を行った。その結果、圧力場および翼性能にダストが影響を及ぼすことがわかった。揚抗比の導出に際しては、圧力および粘性の影響から導出される空力的な揚力・抗力と、ダストが翼面に衝突する際の撃力による揚力・抗力を算出し、それらのベクトル和を取ることで求めた。その結果、高迎角において翼性能の顕著な改善がみられた。さらに、ダスト環境における翼性能の解析結果を基に再度設計を行い、風車の翼弦長分布および出力係数分布を求めた結果、翼弦長、ねじり角などの設計値において確かな違いが見られた。また、出力係数分布には揚抗比の向上は直接的に影響を及ぼし、大幅な増加が見られた。

5. 結論

本研究ではダスト環境における風車性能の変化を明らかにするため、ダストを含む流れ場の解析および風車の設計を行った。本研究により、ダスト環境によって、翼背面の圧力分布に変化を生じるとともに、大迎角における揚抗比が飛躍的に増加することがわかった。また、解析結果を基に翼素・運動量理論に基づく風車設計に適応した結果、設計値および出力係数に影響を及ぼすことがわかった。これらの結果から、極めて濃いダスト環境においては、それらの効果を考慮した風車設計および性能推算が必要であると言える。

参考文献

- [1] NASA:http://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2001/01_72AR.html.
- [2] G. James, Ph.D., G. Chamitoff, Ph.D., D. Barker, M.S., M.A., "Resource Utilization and Site Selection for a Self-Sufficient Martian Outpost", NASA/TM-98-206538