

審査の結果の要旨

氏名 フライク オリバー

本論文は、従来の経験則などでしか行われていなかった風車の高周波空力騒音の予測を、精度の高い大規模数値解析法を駆使して世界で初めて実現し、プロペラ先端の翼形状の改良法を示唆したものである。

地球温暖化対策や持続的発展を求める環境において、風車導入の一層の普及が叫ばれている。その中で、現在の風車を大規模化するためには、低コスト化の一方で、さらなる騒音の減少が求められることになり、新しい騒音に関する空力設計の提案が必須となっている。このような環境の中で、プロペラ翼端で発生する高周波騒音に的を絞り、世界最大規模の LES (Large-Eddy Simulation) を地球シミュレータで実施し、騒音直接計算によって風車翼の空力騒音発生プロセスを詳細にシミュレートした。

近年の計算機の発展により、風車のナビエ・ストークス解法による研究が行われてきてはいるものの、空力性能の予測に着目している。計算機能力の問題から、風車翼の空力騒音についての大規模な数値解析は行われていない。圧縮性流れの解法による騒音直接計算は、世界的にも先進的研究であり、それを風車の性能解析に応用するという特徴を備えている。本論文で構築した騒音数値解析ツールを適用することにより大型風車の空力騒音低減に向けた新翼型の設計に貢献することが可能になり、風車のさらなる普及促進を図ることができる。

本論文では、はじめに計算コードの検証を行った。単独翼において LES 圧縮性解析手法、騒音直接解析手法を用いて数値解析結果と実験結果を比較した。2次元翼において、層流から乱流への遷移の現象を近似的に捕らえることができた。後縁での表面圧力の変動スペクトルが風洞実験の計測値と非常に良い一致を示していることを確認した。また、実際の風車のレイノルズ数に対応する翼端を有する単独翼における翼端渦空力騒音を計算し、風車翼の計算で着目する翼端を発生源とした空力騒音の伝播について、精度の高い結果を得ることができることを示した。実験値と非常に良い一致を示し、計算手法の信頼性を確認している。

本論文の中心課題である水平軸風車翼の空力騒音予測については、開発した LES・圧縮性・騒音直接計算手法で、流れ場と空力騒音の数値解析を行った。計算対象は産業技術総合研究所で開発された WINDMELIII を利用した2枚翼風車とした。特に翼端付近に着目し、翼端の形状の違いによる遠距離場での空力騒音レベルの低減の現象を数値解析で捕らえている。音波の直接シミュレーションを行うことによって音波の壁での反射や屈折、非線形な効果などが考慮でき、より精度高い騒音予測が可能になった。なお、本計算に用いられた計算資源について、およそ3億点の格子を用いた大規模計算を、地球シミュレータにおいて 10 ノード、およそ 60 時間を要して行っている。

本手法を適用することにより、現在プロペラ風車に通常に用いられている翼端形状と、“Ogee”と呼ばれる前縁に向かってS字型に後縁が近づく形状の2種類について、騒音と空力性能の比較を行った。”Ogee“形状が従来翼に比べて高周波騒音が低減すること、その原因は翼端渦と後縁剥離の干渉が弱まっているためと推測されることを示した。大規模風車の翼端形状の設計を行うとき、本研究の定量的データを利用しながら、新しい翼端形状の選択の可能性があることを示唆した。

以上のように、本論文は、世界的にも研究が遅れている水平軸風車翼の騒音予測コードを開発し、実験値と比較検証を行い、従来の設計手法以上の信頼性を有していることを確認している。風車の空力騒音を直接計算により高精度に解析する試みは独創的であると言える。世界で初めて風車翼の翼端で発生する空力騒音を数値解析で予測したこと、翼端形状による空力騒音の低減を計算で再現できたこと、将来の大型風車において本計算法で騒音低減に向けた設計方法の提案が可能になったことは評価されるべきものである。風車における空力騒音プロセスをシミュレートすることによって風車の空力騒音低減に向けた新翼型の設計が可能になり、設計への大きな貢献を果たした。このように、本研究は従来の水平軸風車の空力騒音低減技術を飛躍的に進歩させる一助となったと考えられる。

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。