

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 飯田 誠

本論文は三次元水平軸風車の設計と、風車周り流れを三次元数値解析により明らかにしたものである。従来水平軸風車周りの流れ解析は、翼素・運動量理論、局所循環理論をはじめ、流入する流れが定常、安定な一様流れであるという仮定を設け、基礎流体理論及び経験則を適用したモデル理論により解析されてきた。これらの解析手法は、流れが安定的な設計点付近では非常に良い精度で性能を予測することが可能であるが、これ以外の非設計点では、流れの仮定が崩れるためその信頼性は大きく低下する。風車は、変動する自然風況下で運転されるため、作動レイノルズ数範囲が航空機などに比べ低く且つ広範囲で、翼に対する迎角が絶えず変動する。そのため風車は設計点以外で運転することが多くなる。風車の非設計点の流れ場解析は、非常に重要であるにもかかわらず、先に述べたモデル理論では困難とされてきた。また、粘性を含めたナビエ・ストークス解法で解析を行う場合、外部流れである風車周りに格子を配置させるには、かなり多くの格子点数を必要とするため計算機および計算時間の制約上解析されなかった。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米国で行われたが、多くの計算時間を要した圧縮性流れとして取り扱った解析が一例があるのみで、本分野の研究は未だ遅れている。本研究は、擬似圧縮性解法・重合格子法などの数値流体力学手法を用いて、三次元風車周りの流れの特徴である翼端渦、翼端近傍の後流を詳細に解析した。さらに非定常解析に拡張しタワーも含めた風車全体シミュレーションを行った。非圧縮解法による風車全体のシミュレーションは、世界的にも先進的研究であり特徴の一つといえる。

本論文では、はじめに従来の設計手法に基づいた新しい風車翼型の提案を行っている。先に述べたように風車は、変動する自然風況下で運転されるため、作動レイノルズ数範囲が航空機などに比べ低く且つ広範囲で、翼に対する迎角が絶えず変動する。そのため、このような状況下で安定性能を有する翼型の開発が必要とされてきた。工業技術院機械技術研究所では、翼面上で層流を維持するため薄翼理論をもとに層流剥離点をより後方にする設計を行い、低レイノルズ数域で高性能を維持した MEL シリーズ翼を開発してきた。申請者は、本研究において、この MEL シリーズ翼型に改良を施した MF シリーズ翼型の提案を

共同で行い、国産高性能風力発電用タービンブレード WINDMELⅢの開発を導いている。

本論文の中心課題である数値解析については、単純な形状を有する小型風車での研究を行っているデルフト工科大学 Vermeer の風洞実験と比較した結果、パワー係数・スラスト係数の実験値と非常に良い一致を示し、信頼性を確認している。本解析コードは、膨大な計算格子点数を要する風車シミュレーションを可能にすべく、重合格子などの技術が組み込まれていて、より少ない格子点数で高い解析精度を有するものとなっている。また、高性能風車 WINDMELⅢに対してもシミュレーションを行い、従来の設計手法と比較し翼特性が十分反映した結果であることを示し、より信頼性のある手法となっていることを確認している。WINDMELⅢに関してはさらに、タワーを含めた非定常の風車シミュレーションを行い、実用問題で非常に重要とされているタワーとの干渉によってブレードに作用する力が変動する現象を捕らえている。

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の全体シミュレーションコードを開発し、実験値と比較検証を行い従来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。また数値解析に止まらず新たな高性能風車翼及びタービンの開発も行っている。このように、本研究は従来の水平軸風車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。