

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 武藤 厚俊

近年、電力の電源構成に関する議論が活発化しており、再生可能エネルギーの比率は、他の発電方式に匹敵する数値目標が立てられている。特に、発電コストが優位である風力発電の導入促進への期待が高まっており、今後も日本国内において風力発電の導入は積極的に進められると考えられる。一方で、日本国内においては、風車適地の減少から新設風車は山岳地域のような複雑地形に建設される傾向にある。複雑地形では高乱流が発生するため風況が非常に厳しく、風車の故障や事故が多数報告されており、厳しい風況下における風車の安全な運転方法が求められている。本論文は、地形による風況の変化、風況因子が風車に及ぼす影響、及び厳しい風況における風車運転方法を、風況観測、新たな評価手法、数値シミュレーションにより明らかにした研究である。特に、先行研究においてほとんど取り組まれていない、風スペクトル形状の変化及び地形により発生する突風の特性変化を、新たな手法を用いて定量的に評価している。さらに、これら風況因子の変化を、風車建設前に入手可能な地形や風況データを用いて、定量的に予測する手法を提案した初の研究として評価できる。また、本論文では、地形による風況変化が風車各部に及ぼす影響を評価し、そして風車を安全に運転するための新たな制御の提案まで結び付けており、地形、風況、風車荷重、および最適運転に関する一貫した理論により構成された新規性の高い論文である。

本論文は以下の 4 章から構成されている。

第 1 章では、国内外におけるこれまでの大型風力発電機の導入量の推移、および今後の展望を示している。また、日本国内における近年の風車の事故事例をまとめ、風車の普及が進んでいる欧州と比較して、日本の風車建設サイトが、台風、乱流、落雷等によって厳しい環境条件であることを確認し、本研究における目的および実施内容を示している。

第 2 章では、日本国内における風車建設サイトの代表的な例として、洋上、沿岸、山岳地域の 3 か所で測定された風データを分析した結果を示している。風車設計時には、国際規格で示されている風況条件を使用することが一般的であるが、そこで規定されている風スペクトルや突風は、欧州における平坦な地

形を仮定しており、日本の風車サイトの風況の特性とは大きく異なる。本論文では、上流側の地形によって風のスペクトル形状が大きく変化することを示しており、風車建設前に取得できるデータ及び数値解析を援用することにより、それらを精度よく予測する新たな手法を示している。また、日本国内の山岳地域において発生する突風の特性を調査した結果も示している。複雑地形では上流の地形スケールと相関を有する渦が発生し、それによって急激な風速変化が発生しており、その突風の大きさは地表面粗度、および風速標準偏差と強い相関があることを示している。また、突風の頻度および大きさに関して、風車建設前に予測する新たな手法を、検証を含めて定量的に示している。

第3章では、2章で示したスペクトル形状が変化した風が、風車各部の荷重に及ぼす影響の評価手法を確立している。スペクトル形状を変化させた変動風モデルと、実機風車を模擬した解析モデルを用いて動解析を実施し、風車各部の疲労荷重を評価している。その結果、同一の乱流強度であっても、スペクトル形状が異なると、風車各部の固有振動数によって疲労荷重は変化することを明らかにし、風車荷重評価の新たな指標を提案している。また本章では、2章で示した複雑地形によって発生する突風が、風車に及ぼす影響について解析した結果を示している。国際規格を超える突風は、風車ロータの大きな回転数変動を発生させ、その結果、電装品に大きな温度変化が生じるため、熱疲労による損傷確率が増加することを示している。

最後に4章では、統計量的風況パラメータおよびスペクトル形状から算出した等価乱流強度、さらに、定量化した突風による風車の機械的疲労荷重および熱的疲労荷重の影響を評価している。加えて、それに対する対策制御により、複雑地形における風車運転方法について考察した結果を示している。本論文では、各風向における風車停止風速を、発電量を最大化するように決定することにより、乱流強度が高い風向においても極力発電を継続し、発電量損失を抑制できる可能性を示している。また、地形によって発生する大きな突風に対しては、突風を事前に検知して先行制御することにより、突風によるリスクを低減できることを示している。

以上要するに、日本国内において風車建設が進んでいる山岳地域などの複雑地形における風況の特性、特にこれまで議論されていなかったスペクトル形状の変化や、突風性状の変化を明らかにした。また、風況の変化が風車の機械的及び熱的疲労に及ぼす影響を系統的に整理し、厳しい風況における風車制御についても提言を行っている。これらの結果より、日本国内の多くの地形における風況評価、風車設計および運転に関して、学問的かつ工学的に有用な知見が得られたと判断する。

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。