

2023 年 2 月 27 日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学 専攻  
学位審査委員会  
委員長

佐藤 海二



## 論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Qidun Maulana Binu Soesanto		学籍番号	第 199103 号
申請学位	博士（工学）	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学 専攻	
博士学位論文名	Analysis and analytical modeling of wake aerodynamics behind horizontal-axis wind turbines (水平軸風車後流の空気力学の解析とモデル化)			
論文審査の期間	2023 年 1 月 12 日 ~ 2023 年 2 月 24 日			
公開審査会の日	2023 年 2 月 24 日	最終試験の実施日	2023 年 2 月 24 日	
論文審査の結果*	合格		最終試験の結果*	合格
審査委員会(学位規程第6条)				
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。				
委員長	中村 祐二			
委員	横山 博史		加藤 千幸	
	飯田 明由			印

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

## 論文内容の要旨

本論文は、大規模数値流体解析をもとに洋上風車の性能評価において重要となる風車後流モデルの構築を行ったものである。論文は8章からなり、第1章では、研究背景として洋上ウィンドファームに用いられている風車の特徴及びこれまでに開発された後流モデルについて述べ、第2章では、風車後流の空力特性および後流モデルの基本的な考え方についてまとめている。第3章では、1台の風車に対する詳細な乱流解析結果をもとに、風車近傍の後流のモデル化を行い、本研究で使用したダブルガウシアン (DG) モデルの特徴と問題点を示した。第4章では第3章で得られた知見をもとに流れ場の非等方性を考慮したDGモデルを提案し、従来の後流モデルと比較検討することにより提案手法の有効性を示した。第5章では、後流の発達過程を数値解析結果に基づいて調べ、後流の広がり方と風車のスラスト係数、直径、乱流強度の関係をモデル化することにより、従来は経験定数として調整していた変数を反復計算により求める手法を提案し、モデルの汎用性を向上させた。また、提案手法を従来研究と比較することにより本手法の有効性を示した。第6章では、複数の風車が設置されたウィンドファームにおける後流干渉に関する数値解析を基に、後流干渉を考慮したDGモデルを提案し、モデルの精度評価を行った。第7章では得られた知見の一般性について解説し、第8章では、2章から7章で得られた知見をまとめ、大型風車の後流モデルの予測方法、空力特性を述べるとともに本モデルの適用限界について述べ、ウィンドファームの性能予測を行う際の問題点について述べている。

## 審査結果の要旨

洋上ウィンドファームによる発電は持続可能なクリーンエネルギー源として我が国を始めとして世界各国で開発が進められているが、直径100mを超える巨大な風車を複数並べる洋上ウィンドファームの性能等を実機で評価することは難しく、数値解析やサロゲートモデルを用いた開発手法を確立することが急務となっている。複数の風車が設置される洋上ウィンドファームでは下流側の風車に対する上流風車後流の干渉が問題となるため、風車後流のモデル化が最も必要とされている。本研究では、スーパーコンピュータを用いた高精度の数値解析結果をもとに、風車後流の数値モデルを構築し、洋上ウィンドファームの性能評価のための基礎技術を確立することを試みている。直径120mの風車の数値解析を実施するには、風車の大きさや大気乱流に相当する数100m規模の渦や、風車ブレード周りの数m規模の渦、ブレード境界層内の数mm、数 $\mu\text{m}$ の渦を同時に解析する必要があり、スーパーコンピュータを用いても大規模なパラメータサーベイを行うことは難しい。そこで本研究では、1台の風車について大規模な乱流解析（要素数2億から6億）を実施し、風車近傍の後流速度分布の二つのピークが下流に行くに従い一つのピークに遷移していく過程を明らかにした。この現象を再現するため、風車近傍では2つのガウス分布関数を重ね合わせたダブルガウシアン (DG) モデルを適用し、後流の非等方性、下流への発達過程を考慮することにより下流側で速度分布が一つのピークに遷移するモデルを提案した。また、風車のスラスト係数、直径、流入風の乱流強度を変数としてモデルに組み込むことにより予測モデルの汎用性を向上させた。従来は予測対象となっていなかった風車近傍の流れを含めてモデル化することにより、後流の流体力学的な性質を明らかにし、幅広い範囲の後流を予測することが可能となった。さらに風車を3台並べた大規模な乱流解析（要素数17億）の結果から後流干渉による下流側の風車の性能低下や後流分布の変化を求め、提案した後流モデルを用いてこれらの現象が再現できるかを検証し、その有効性を評価した。本研究で得られた後流モデルにより、後流の発達過程に関する学術的に重要な知見が得られた。また、大型風車の後流を精度良く再現し、ウィンドファームの性能評価、最適化に適用可能な技術が開発されたことは、実用的な観点からも重要である。これらのことを勘案し、博士（工学）の学位論文に相当すると判定した。