

CFDシミュレーションによる200kWレンズ風車の強風 対策措置の有効性評価

岩佐, 光泰

九州大学大学院総合理工学府総合理工学専攻機械・システム理工学メジャー

<https://hdl.handle.net/2324/7178752>

出版情報：九州大学, 2023, 修士, 修士
バージョン：
権利関係：



CFDシミュレーションによる 200kWレンズ風車の強風対策措置の有効性評価

九州大学大学院 総合理工学府 機械・システム理工学メジャー
海洋環境エネルギー工学研究室 岩佐光泰

1. 序論

現在、地球温暖化対策として脱炭素社会の実現が世界的な目標である。日本でも火力発電によらない電力供給源として再生可能エネルギーの普及が推進されており、今後発展が期待される分野の一つにレンズ風車による風力発電が挙げられる。

レンズ風車は風車の周りにレンズ状の集風体構造を取り付けることで風車近傍の風速を増加させることにより、高効率に発電を行うことができる風車である。

このようなメリットをもつ反面、風車全体にはより高負荷がかかるため、強風発生時には抗力を減少させたりする機構を用いて破損や事故を防ぐ必要がある。

九州大学応用力学研究所の当研究室は共同実施者として200kWレンズ風車の実現を目標とする環境省のプロジェクトに参加している。本プロジェクト内において重要である強風対策措置の有効性を、CFDシミュレーションと模型による風洞実験によって調査し評価することが目的である。200kWレンズ風車にはロータ直径21mのCiB7.5型が採用されており、プロジェクトにおけるレンズ風車の求められる強風対策基準はSmall wind turbine (SWT) クラスの選定基準Class II (風速59.5m/s) において Cd^* が0.5以下であることである。

2. 強風対策措置

(1) ブレードフェザリング

ブレードフェザリングとは発電時に風からの抗力を最も受けられる迎角で取り付けられているブレードを90°回転させ、強風発生時に最も抗力を受けない角度に変更することで回転数を減少させ最終的には回転を停止させる機構である。

(2) ツバ可倒レンズ

ツバ可倒レンズとはレンズ風車において抵抗成分に影響を与えている、主流方向と正対するツバ部分を、ディフューザーとの接合部分から垂直に倒し、主流方向と平行に向きを変えることで抵抗を減らすことを目的とした構造である。

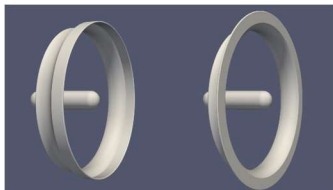


図2.1 ツバ可倒レンズ モデリング比較

(3) 風車ファーリング

風車ファーリングとは発電時にはレンズ風車を主流方向に正対し多くの風力を受けとっているが、強風発生時に主流方向と平行になる向きに垂直に回転させ、風からの抵抗を最小限に抑える機構である。

(4) レンズ直径で評価した抵抗係数 Cd^*

風車にかかる抵抗を評価するパラメータである。レンズとナセルにかかる力(F)とブレードにかかる力(T_{th})を、レンズ半径(R_r)を基準とした投影面により得られる通過した流体の運動エネルギーで割ることで求められる無次元数である。

$$Cd^* = \frac{F + T_{th}}{\frac{1}{2}\rho U^2 \pi R_r^2} \quad (1)$$

3. 計算手法

(1) 格子ボルツマン法

格子ボルツマン法は仮想流体粒子群の速度分布関数の時間発展方程式を完全陽解法で計算する非圧縮性流体解析手法であるため、ポアソン方程式の疎行列計算がないため効率的に計算を行うことができる。そのため本研究のように大規模流体解析計算が必要となる際に用いることで計算コストを大幅に減少させることができる。

(2) 適合格子細分化法(AMR法)

AMR法は重要度が高い部分のみに対して、より細かい計算格子生成を行うことで高解像度かつ全体としては計算負荷の増加を低減することができる格子生成法である。本研究においてはタービンのナセルやブレード、レンズ近傍に最高解像度を設定し計算を行う。また、本研究においては解像度の基準にロータ直径 $D[m]$ を用いており、解像度は低解像度から高解像度にかけて、最少格子幅 $[m]$ をもとに $D/256$, $D/512$, $D/1024$ というように設定されている。

4. 計算結果と考察

ブレードは回転せずブレードフェザリングの状態で固定したまま、流速は表4.1の条件でそれぞれ条件での計算と模型による風洞実験を行った。

表4.1 各ロータ直径における流速条件

	200kWスケール	模型スケール
ロータ直径[m]	21	1
流速[m/s]	59.5	12

(1) ブレードフェザリングの効果

ブレードフェザリングを行ったレンズ風車による計算結果を図4.1に示す。スケールによる変化はあまりなく、解像度による影響も非常に小さいことが分かった。模型スケールの風洞実験との比較をすると全体的にシミュレーションの方が Cd^* を過大評価する傾向がみられた。また、200kWレンズ風車の要求性能をブレードフェザリングのみで達成することは厳しいという結果が得られた。

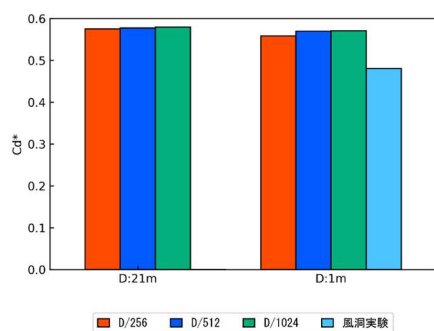


図4.1 CiB7.5型レンズ風車 スケール比較 Cd^*

(2) ツバ可倒レンズの効果

ツバ可倒レンズ風車での計算結果を図4.2に示す。ツバ可倒レンズ条件では平均流速場を見てもわかる通り、解像度依存性が高く、D/1024までの解像度では Cd^* の収束性がみられなかったためD/2048の高解像度での計算を行った。模型スケールではD/2048で収束性がみられたが200kWスケールではみられなかった。風洞実験との比較をもとに考えるとD/1024以上ではシミュレーションが Cd^* を過小評価しすぎているためD/512程度の解像度が適切であると考えられる。よって200kWスケールのD/2048での約0.05程度という結果はあまり正確な結果ではないと考える。ツバ可倒レンズを用いることで Cd^* は約0.2程度に抑えられるため、非常に有効な強風対策措置であると考えられる。

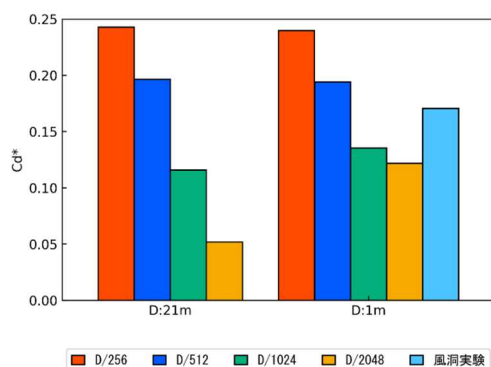


図4.2 CiB7.5型ツバ可倒レンズ風車 スケール比較 Cd^*

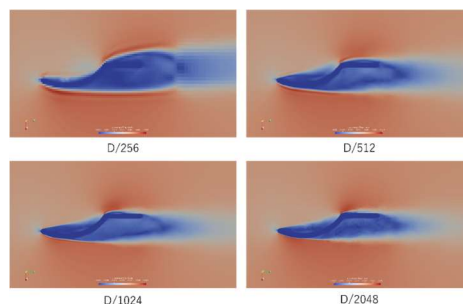


図4.3 模型スケールにおける平均流速場 解像度比較

(3) 風車ファーリングの効果

風車ファーリングでの計算結果を図4.4に示す。スケール依存性も解像度依存性も低いことが分かった。風車ファーリングを行うことで受風面積が減少し、十分に Cd^* を抑えることができることが分かった。また、表4.2にブレードフェザリングの有無による Cd^* の計算結果を示す。結果をみるとフェザリングを行わないことによって Cd^* が減少することが分かった。これは風上のディフューザーにより発生した後流の風力をフェザリング状態ではより多く受け取ってしまうブレード角度であることが原因だと考える。

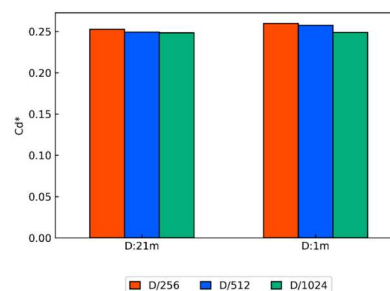


図4.4 CiB7.5型風車ファーリングスケール比較 Cd^*

表4.2 ブレードフェザリングの有無による影響

ブレードフェザリング	あり	なし
Cd^*	0.248	0.193

5. 結言

本研究では、レンズ風車の強風対策であるブレードフェザリング、ツバ可倒レンズ、風車ファーリングの有効性をCFDシミュレーションと風洞実験によって評価した。模型スケールと200kW中型風車のスケールのシミュレーションを実施し、風抵抗への風車スケールの影響を調査した。どの条件においてもスケールの影響はあまり大きくなく、風洞実験との結果を比較することでD/512程度の中解像度で十分に正確性のある計算結果を得られることが分かった。有効性についてはブレードフェザリングのみでは要求性能を得られなかったが、ツバ可倒レンズを用いる、または風車ファーリングを行うことで200kWスケールにおいてClass II 59.5m/sの流速条件で Cd^* を十分に低い値に抑えることができるということが分かった。