

複数のサボニウス型回転装置周りの流れと相互作用に関する数値的研究

皆川晶子

地球温暖化問題やエネルギー問題を解決する手段として、再生可能エネルギーは重要である。その中で風力エネルギーは自然エネルギーの代表であり、多くの風力発電所やウィンドファームが日本各地に建設されている。一方、風力発電は太陽光発電とともに天候に左右されやすいという欠点がある。安定的なエネルギーの供給のためには、自然エネルギーの獲得方法を増やし、選択肢を増やしていくことが重要である。そのひとつで風力や太陽光の欠点をカバーできるものとして海流エネルギーの利用がある。運動する流体が持つエネルギーはその流体の密度に比例するため、空気の約 1000 倍の密度である海水の流れが持つエネルギーは風力に比べて文字通り桁違いに大きい。さらに日本には近海に世界最大級の海流である黒潮が流れているほか、潮流の速い海域も多く存在する。このため、狭い国土で風車を建設できる場所が少ないという風力発電のデメリットを克服できる。

海流は低速であるため抗力型で構造が簡単なサボニウス型回転装置が利用できる可能性がある。サボニウス型回転装置とは円筒を 2 つに割ってずらした形をしており、円筒の 2 つの部分（ブレードもしくはバケット）が流れから受ける抗力の差により回転する。この回転装置を海中に複数個設置する場合、2 つを組みにして支持棒などで繋ぎひとつのユニットにして回転装置を逆方向に回転するようにすればそれぞれの回転モーメントが打ち消しあって装置全体の安定性はよくなる。その場合、装置全体を小さくするためには 2 つの装置を近接して設置する必要がある、回転装置間の相互作用は無視できない。

本研究では、海流発電への応用を考え、独立して回転する複数のサボニウス回転装置周りの流れを数値シミュレーションにより検討する。このシミュレーションを行うために、本研究では、複数の回転座標系格子を静止座標系に埋め込むことにより複数の回転装置周りの流れを精度よく計算するサボニウス型回転装置用差分格子の生成法を提案する。

一般に、回転体周りの流れを解析する場合、回転座標系を用いることが多い。しかし、複数の物体が独立して回転する場合、1 つの回転座標系で計算することは困難である。そこで、計算領域全体を 1 つの回転体を含む複数の矩形領域に分割した。このとき、各領域間では、それぞれの長方形の辺を通じてデータのやり取りが行われる。1 つの矩形は、内側の円形領域と外側の円形にくり抜かれた矩形領域に分けられる。内側の円形領域では、回転装置の回転に合わせた回転座標系を使い、外側の領域では静止座標系を使った。これら回転座標系の領域と静止座標系の領域のデータは円周上で受け渡されるが、双方の領域を 1 格子分重ねることにより周方向に対してのみ補間を行えば計算可能である。この手法により計算時間が大幅に短縮されるだけでなく、補間の精度も向上する。さらに、サボニウス型回転装置のブレードに沿った格子を生成するために、回転座標系の内部領域をいくつかの領域に分割し、分割した領域の境目では格子を一致させることにより補間することなくデータの受け渡しを可能とした。

この方法では、各装置領域で独立した回転座標系を用いるため、装置の回転方向、回転速度等を装置ごとに自由に変更することが可能である。また、この方法は、回転装置の設置数に関係なく適用することができる。提案手法により生成した格子を用いた計算は、装置に対する主流の方向、回転装置の回転方向、回転装置間の距離など各種パラメータを変化させて行い、トルクやパワーへの影響を流れ場の解析と合わせて以下の検証を行った。

第一に、一对の回転装置を並べた場合における、流れの方向による 2 つの回転装置のトルク係数の違いを比較するため、一对の回転装置の軸同士を結んだラインを y 軸に取り、それに垂直な x 軸とのなす角を 0 度、45 度、90 度となる流れが当たる場合について計算を行った。結果として、0 度の場合には両装置間に差異が見られず、45 度の場合には予想に反して下流側に位置する装置のトルク係数が上流側を上回り、90 度の場合は下流側の装置のトルク係数が著しく低下した。この結果から、上流側の装置によって主流が曲げられたり渦が生じたりすることで、下流側の装置のパフォーマンスが向上する可能性があることが示唆された。

第二に、一对の回転装置を並べた際に、その回転方向によつ流れがどのように変化するか検証するため、同一方向に回転する場合と互いに逆方向に回転する場合を比較検証した。その結果、装置の回転方向に関わらず、主流の方向と装置の位置関係が効率的な運転に影響することが示唆された。

第三に装置の設置距離によって効率がどのように変化するか検証するため、回転装置の半径の長さを R とし、その比で回転装置の回転軸間の距離が $3.1R$ となる場合、 $5R$ となる場合、 $6R$ となる場合について計算を行った。結果として、装置間距離が小さいときほど相互作用が大きく現れ、その相互作用は回転効率に対してはプラスに働いていたため、装置同士の干渉を避けて装置同士を遠く離して設置するよりも、近い距離に設置する方が、装置同士の相互作用により効率が上がることが明らかとなった。

第四に、一对の回転装置に位相差を設定した場合の振る舞いについても検討するため、片方の装置に位相進みを持たせ、それぞれについて主流の方向を 5 方向に変化させて計算を行った。結果として、距離や主流の方向によって 2 つの装置間での相互作用が生じている場合、装置同士の位相差が効率に影響することが確認できた。また、主流の方向によって効率に優位となる位相差があることが確認できた。

最後に、装置を多数設置した場合の計算への拡張性の確認として、装置を 4 つ設置した場合の計算を行った。主流の方向が 0 度方向および 45 度方向の場合の流れ場を表示したところ、装置間の結合部では異常値のようなものは見られず、問題なく接続できていることが確認できた。結果として、より実際的な条件としてさらに回転装置を増やした場合の計算や最適配置設計にも本手法が適用可能であることを示唆し、実際に多くの装置を配置した計算を行うことの有意性を示した。

本研究では、海流発電における装置の開発・設置に関する先駆けとなる、計算手法の提案及び基礎的検討を行った。前述の結果から、装置間の相互作用を考慮した最適な配置が存在することも示唆されるため、今後、本手法をさらに拡張しより大規模なシミュレーションを行うことで、本研究は海流発電の今後の発展に大きく寄与することが見込まれる。