

## 論文の内容の要旨

氏名：渡 邊 由 香

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：潮流発電装置群周辺流場の実用モデルを用いた数値解析法に関する研究

潮流発電に関する研究開発は、水槽実験だけでなく、実スケールあるいはそれに近い規模の実機による実海域での実証試験が行われ、さらに商用化へと進展している。特にヨーロッパでは潮流エネルギーのポテンシャルが高いため、次の技術開発のステップとして潮流発電のファーム化が検討されている。しかし、日本国内の海洋再生可能エネルギーの動きは、欧州と比較して遅れており、その中でも潮流発電用水車は未だに技術開発段階である。

平成 25 年に改定された第 2 次海洋基本計画では、海洋再生可能エネルギーの実用化に向けた技術開発と事業化の促進が謳われており、これを受けて環境省は平成 28 年度の潮流発電技術実用化促進事業として、長崎県の五島列島で単機では国内最大級となる実証試験の計画を発表した。また、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合機構（NEDO）の海洋エネルギー技術研究開発として、多数のプロジェクトが計画されている。しかし、これらは全て単機の水車技術開発であり、ファーム化を想定した複数配置時の検討は含まれていない。ファーム化は、装置の生産コストや電気設備の共有、工事の集中化等により一機あたりの設備コストの低減につながる。したがって、今後のファーム化の検討は必然である。

ファーム化のために重要な検討項目の一つとして装置間の流体干渉や水車後流状況という水車周辺の流場特性の把握がある。これは、潮流発電設備等によって生じる環境影響の要因の一つとして、発電設備の周りに生じる流況変化が挙げられるためである。これまでも、水車の装置間の干渉や後流状況について実験的研究や数値シミュレーションによる評価が多数報告されている。例えば、アクチュエータディスクを複数用いた水路実験や 3 枚翼の水平軸型水車を想定した複数配置のデバイス間干渉について BEM-CFD による評価が挙げられる。しかし、いずれも小規模ファームでの検討であり、実機を想定した規模での検討は十分ではない。

水車周辺の流れ解析に一般的に適用される方法は、流場の運動を記述する Navier-Stokes (N-S) 方程式を直接解く数値流体力学 (CFD) 的手法である。数値計算においては、詳細な水車の翼の形状等を表現した水車モデルが必要であり、この水車モデルを含めた計算格子により、水車の回転運動と流体の流れを再現する必要がある。したがって膨大なセル数が必要となり流場解析には膨大な計算労力を要する。実際に水車を模擬したモデルでウエーク領域の詳細な数値シミュレーションを実施したところ約 1 か月かかるとの報告も見られる。仮に水車を数十機から数百機設置した場合には、その計算労力を含む計算コストがさらに膨大になり、結果的に実用に供する計算とはいえなくなる。そのため、水車や水車近傍の流場を再現できる実用的なモデル化や手法が必要となる。

そこで本研究では、このような計算労力を低減する方法として、ファンモデルとポーラスメディアを組み合わせる方法を考案した。従来から、ポーラスメディアは、潮流発電装置の流場特性の評価に適用されてきた。水車を直接的に水車としてモデル化する方法と比較すると、水車の翼表面の境界層を解く必要がないため、大幅な計算労力の低減が図れる。ただし、この方法では翼による回転影響などの局所流場の状態を再現することができない。その対策には、3 次元 N-S ソルバーに各ブレードに沿って放射状に力を分布する手法を組み合わせたアクチュエーターライン法により、後流域に発生する旋回流を考慮した手法が挙げられる。しかし、この手法ではポーラスメディアを用いた手法よりも計算労力が必要となる。そこで、CFD 解析ソフトとして利用されているファンモデルに着目した。これは、翼の幾何形状を定義せずにファンとその近傍の局所流場をモデル化できるものである。このモデルを用いて水車前後の圧力差と流量を、実際の水車が設置された状況に近づけて周辺流場を再現できれば本モデルを水車として活用できる。しかし、通常ファンモデルは流れを送り出す場合に利用されるため、そのままでは、水車モデルとして置いたファン部分を通過後に流速が増加し、水車でのパワー吸収を適切に表現することはできない。したがって、ポーラスメディアを用いて、数値的に流速を減衰させることで水車による Power Take-Off (PTO) をモデル化した。本手法を用いることで、計

算時間は格段に短縮され、さらに水車後方に発生する流体の回転影響を考慮できるため、多数の水車が並ぶファームの検討に必要となる水車周辺の流れ解析が可能となる。

以上の背景から本研究の目的は、潮流発電のファーム化を想定して複数配置した発電装置間の流体干渉および装置の後流状況を解析すると共に、計算労力において実用的な数値計算手法を提案することである。提案に際しては、その有用性と共に、ファーム内の水車周辺の流場特性を把握し、水車の配置方法によるパワー吸収量の相違を検討した。本研究の具体的な実施目標は以下の2つである。

- 1) ファンおよびポーラスメディアの複合モデルにより、潮流発電装置を簡易的に評価できる手法を提案し、水車が複数配置された潮流発電ファームの流場特性を明らかにする。
- 2) 特定の水路幅に対して、水車の配置数による流場の変化を明らかにし、運動量理論を用いて水車の配置による個々の水車とファーム全体のパワー吸収量の相違の評価を実施する。

本論文は全5章からなり、以下にその概要を示す。

第1章は「序論」であり、本研究の概要について特に海外における潮流発電の事例や複数配置の課題について述べ、さらに本研究の目的と目標について述べた。

第2章は「水車理論と数値モデル」とし、水車で扱われる運動量理論についてまとめ、本研究の主となるエネルギー損失を考慮した水車のモデル化に関する基本的な特性について述べた。ここでは、ファンモデルとポーラスメディアの実用例やその特性、さらにファンとポーラスメディアを組み合わせた際の流場特性について述べた。

第3章は「ファン・ポーラスメディアの適用」として、3つの節から構成される。第1節では水車の後流状況の数値モデル化を実施するために、まず単機の水平軸型水車が存在する流況を把握した。つづいて、ファンとポーラスメディアを組み合わせたモデルと水車でモデル化した際の流況と比較しファン・ポーラスメディアの妥当性について検討した。その結果をもとに、複数配置するための基本特性を把握するために、ファンとポーラスメディアのモデルを直列と並列方向に配置した場合の装置間の流速特性について評価した。そして、第2節ではファン・ポーラスメディアのモデルの検証として、単機の水平軸型水車との比較以外に海外論文を参考に、水路実験との比較も行い、本手法の妥当性について示した。第3節では3章で実施した内容についてまとめている。

第4章は「複数配置による流場特性」で、第3章で示した手法を用いて、特定の水路幅で本モデルを複数配置した場合の流場特性について検討し、配置場所によるパワー吸収量の相違について評価した。

第5章は本研究で行ったことについて総括し、本論で得られた結論をまとめている。

本研究の主たる結論は以下のとおりである。

- 1) 潮流発電装置を簡易かつ合理的に評価するためにファン・ポーラスメディアモデルを提案した。水平軸型水車とファン・ポーラスメディアの流場特性を比較することにより、本モデルの妥当性が確認された。
- 2) 本モデルでは、水平軸型水車と本手法の計算時間を同条件下でメッシュ幅や計算領域を比較した結果、ファン・ポーラスメディアモデルにおいて1/12時間で流場特性を求めることができた。
- 3) 水車による流体の回転影響については、ブレード付水車モデルとファン・ポーラスメディアモデルと比べ、ファン・ポーラスメディアでは旋回流が残る傾向にあるが微小の範囲内である。
- 4) ファン・ポーラスメディアモデルを直列および並列配置して装置間の流況について検討した結果、並列に対しては2D (Dは水車直径) 以上にし、直列に20D以上に設置することで2列目以降に流入する流速は1列目とほとんど同じになることが確認できた。
- 5) 水路実験との比較により、本モデルは実験値より流速の減衰率が高くなるが、流速の傾向は近似していることが確認できた。
- 6) 並列2Dにおいて、直列10Dと20Dのそれぞれ32機と58機配置した場合の1機当たりの平均水車パワーは58機で5.04%の減衰が確認できた。