

論文審査の結果の要旨

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

審査委員：（主査） 教授 居 駒 知 樹

（副査） 教授 小 林 昭 男 教授 近 藤 典 夫

特任教授 増 田 光 一

本論文は、海洋再生可能エネルギーの中では世界的に商用化が期待される潮流発電を対象としたもので、特に商用段階で最も必要な発電装置群（以下、アレイ）全体の発電量や海洋環境影響評価に必要な予測技術を考究した成果である。ヨーロッパでは多くの潮流発電装置の実海域実証実験が継続中であり、今後の課題はファーム化、いわゆるアレイによる周辺海洋環境影響評価やアレイ全体での発電量の試算であるとしている。すでに幾つかの潮流発電群のパイロット事業が準備されつつあり、これを受けてヨーロッパの大学や研究期間は多数の潮流発電装置を同時に考慮した予測手法の開発を開始しており、その多くは数値流体力学的手法、いわゆる CFD 計算を導入している。しかしながら単に海底地形を考慮した流況を予測するのではなく、水車というタービンが回転しながら流れのパワーを取り出すという状況を数値計算で再現しなければならない。そのような数値計算は計算機の飛躍的な性能向上によって可能ではあるものの水車の複数設置に対しては、前処理にかかる労力と CPU 時間が膨大になるので容易ではない。本論文ではまず、潮流発電を将来的に実現するためには、①経済性の観点からも単一水車（装置）での利用ではなくファーム化が必要であること、②そのアレイシステムによる発電量を定量的かつ合理的に予測するシステムが必要であること、③しかし、そのための計算手法や数値モデルは未だ確立されておらず、早い段階で合理的な実用モデルを提案することが必要であることを示し、既往論文と海外のパイロットプロジェクトの調査結果から、ファーム化を含めた潮流発電開発の現状を詳細に解説している。

これらの調査結果に基づいて、本論文では一般的な数値モデルとして導入されるポーラスメディアやポーラスディスクのみの応用に疑問を抱いた。すなわち、①潮流発電用水車は流れのパワーを取り出す状態では必ず回転しているということが蔑ろにされていること、②その結果として、運動量理論的な取り扱いにおいては取り出せる流れパワーの予測は可能だとしても、水流の回転を考慮しないために流況を把握することや評価することは困難であるということである。このことは結果として海洋環境影響評価そのものの信頼性低下につながる。

以上の背景と着想から、本論文は非常に多くの潮流発電用水車によって構成される潮流発電群全体の流況と発電量の予測解析手法の開発を目的としている。この目的を達成するために、CFD 計算で用いられる回転ソースであるファンモデルに着目し、これを水車を通過する流れの解析に適用するための方法を提案し、これにより複数の水車が並ぶアレイシステム全体の流れ場解析とパワーの取り出しについての予測が可能であることを明示した。また、この方法を適用した具体的な計算例とエネルギー吸収量の評価例を示すことで、本研究の有用性を明らかにした。

本論文が提案する数値計算モデルは、ポーラスメディアにファンモデルを併用するものである。そのために、単一水車モデルを用いて回転する水車の数値計算を行い、その水車前後の流速や圧力場の特性とファン・ポーラスメディアモデルを適用した計算を同定させることで、どのような流入速度に対しても水車性能を表現できるファン・ポーラスメディアが設定できることを示している。ファンモデルに着目したことは数値計算の可能性を拡大するものであり、本来はソースとして流れを出してパワーを与えてしまう境界を、流れのパワーを吸収することに利用するという発想はユニークであり、それを達成するための数値モデル構築の工夫は高く評価される。さらに、水車の回転による流体の回転状態を定性的ではあるものの再現しながら流速や圧力分布を表現できていることは画期的である。

本論文で提案したファン・ポラスメディアモデルで単一水車モデルが表現可能となったことは、ファン・ポラスメディアモデルが運動量的にも流れパワーを十分に取り出せることを意味している。このことについては本論文で詳細に述べているが、運動量理論は基本的な理論ではあるがゆえに汎用性は高く、本手法が応用範囲の広い計算手法であることを示唆しており、高く評価される。

本論文の目的の一つとして挙げた、多くの水車が並ぶアレイシステム全体の評価を行う前に、装置の並べ方についても考究している。装置の横方向の間隔と流れ方向の間隔の設定で、アレイ内の流速分が大きく異なり、結果として獲得できる流れパワーに差が生じることを指摘している。ここでは、水車の直径を基準として、平面的に横方向や縦方向にどの程度の間隔を保つことがよい流れ場を維持できるかについて数値計算結果に基づいて考察している。例えば、流下方向には水車直径の30倍以上もの距離で流れの減速が確認されている。ここで示されている考察は、アレイが構成される海域で効率的に水車サイズと配置計画を立てるための基本情報となるものである。このような考察は風力発電では見受けられるが、流体特性が異なる水車として考察されている意味でも重要であり、有用性が高く評価できる。

本論文では、最後に実海域規模の水路を設定して、水車を32機と58機配置した場合のアレイ全体の流況及び獲得パワーの特性について数値実験を実施している。この数値実験と運動量理論的な考察によって実際に獲得できる流れのパワーと水車効率が定量的に評価されている。このことは、本論文で提案した数値計算モデルが有効に機能することを説明している。本提案モデルの有効性を実海域実験などによりさらに高めていく必要はあるものの、現状においては流況や発電コスト試算に本提案モデルによる暫定評価が有効であり、それを実現したことが本論文にまとめられていることは高く評価される。

本論文の主たる成果は、①新たな数値モデルであるファン・ポラスメディア複合モデルを提案し、その有用性を幾つかの数値計算や実験値との比較から示したこと、②本モデルにより流体の旋回の影響をも考慮したアレイ全体の流場が再現できること、③水車の流れ方向の配置では水車直径の20倍以上離すことが望ましいことを客観的に導いたことである。

本論文の着目点は、潮流発電群において多くの発電量を確保するための方策とファーム化による商用化への道筋を如何にすべきか、ということにある。その解決方法は非常にユニークであり、それを達成するまでの論旨の展開は極めて明確である。着想がユニークであるがゆえに既往研究との違いは明らかであり、独創的である。達成すべき目的はこの分野で関係する研究者の誰もが望むところであり、本論文の成果はそれらの研究者にも大きく影響を与え、潮流発電の開発に対して貴重な貢献を成すものと考えられる。

このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成29年2月16日