

ROSEリポジトリいばらき（茨城大学学術情報リポジトリ）

Title	下掛け式クロスフロー水車の自由表面流れの解明とそれに基づく性能分析
Author(s)	谷萩, 雄一郎
Citation	
Issue Date	2017-03-23
URL	http://hdl.handle.net/10109/13190
Rights	

このリポジトリに収録されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作権者に帰属します。引用、転載、複製等される場合は、著作権法を遵守してください。

お問合せ先

茨城大学学術企画部学術情報課（図書館） 情報支援係
<http://www.lib.ibaraki.ac.jp/toiawase/toiawase.html>

氏名	谷萩 雄一郎		
学位の種類	博士 (工学)		
学位記番号	博理工第538号		
学位授与年月日	平成29年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文題目	下掛け式クロスフロー水車の自由表面流れの解明とそれに基づく性能分析		
審査会	委員長	西 泰行	委員 稲垣 照美 委員 田中 伸厚 委員 坪井 一洋 委員 道辻 洋平

論文内容の要旨

東日本大震災以降、化石燃料や原子力に依存しない再生可能エネルギーの重要性が高まっている。既に実用化され普及が進んでいる発電方式として太陽光、風力および水力発電などがあるが、太陽光および風力発電は天候の影響を受けやすく、さらに太陽光発電は夜間に発電できない課題がある。対して水力発電は天候の影響を受けにくく夜間も発電可能なため、電力エネルギーバランスの重要な役割を果たすベースロード電源となり得る特徴がある。

日本国内での水力発電は過去一世紀の間、山岳地帯にダムなどの土木インフラを建設し、管路用水車を用いた大容量の中大水力発電が主流であった。しかし建設適地の減少や生態系への影響が懸念され、今後新たな建設は見込めない。そのため近年では、小規模河川や農業用水路に容易に設置可能な小水力発電への移行が進んでいる。

小水力発電では、設置範囲を広げるために落差の小さい水路や河川に適用可能な開水路用水車の開発が期待されている。一般に落差の小さい流れでは、水車周りで水と空気の界面（自由表面）が混在する複雑な流れとなるため、羽根車近傍での水の流れ方を特定することは容易ではない。流れに適した水車の設計指針を確立するためには羽根車近傍での水の流れ方を解明し、水車性能との関連性を明らかにする必要がある。しかしながら、開水路用水車の自由表面を有する流れ場を数値流体解析により明らかにした事例は極めて少なく、実験的にもほとんど調査されていないのが現状である。

本論文では、落差の小さい流れに適した下掛け式クロスフロー水車を対象として、PIV（粒子画像流速測定法）計測と数値流体解析の両方から羽根車近傍の自由表面流れを解明した。さらに、羽根車近傍の流れに基づく性能分析法を構築し、羽根車のトルクに及ぼす角運動量、圧力および重力の力学的成分の影響を明らかにした。

本論文は、主として全8章から構成される。

第1章は、本研究を行う社会的背景について、日本国内のエネルギー情勢や再生可能エネルギーの動向および水力発電の歴史について述べた。次に、研究の目的と論文の構成・内容を示した。

第2章は、本研究で使用した水車の形状や寸法、および実験装置について説明した上で、それらを用いた性能試験方法やPIV計測方法について述べた。

第3章は、数値流体解析の方法や条件について述べた。羽根車近傍の自由表面流れを精度良く再現するために、計算格子や解析条件の高精度化を図った内容とその理由について記載した。

第4章は、中流量時に、羽根車の回転速度を変更して水車性能と羽根車近傍の自由表面流れを実験と数値解析で精度良く求めた。その結果、羽根車のトルクや水車出力は、計算値と実験値が良く一致することを確認した。また水車性能特性を決定する羽根車近傍の流れ場の算出が可能となった。低回転速度時に第二段出口領域から流出する流れには大きな転向が生じ、高回転速度時に第一段出口領域に生じる渦が発達した。

第5章は、第4章の結果を基にした性能分析を行った。羽根車近傍の流れを羽根車の内周側に至る貫流流れ、羽根内を移動する反転流れなどの種類に分類した。その結果に角運動量保存則を適用することにより、自由表面流れが羽根車のトルクに及ぼす角運動量、圧力および重力の力学的成分を求めた。高回転速度では、羽根車近傍での反転流れが増加し、貫流流れが減少した。また羽根車のトルクおよび水車出力に対して最も支配的となるのは、流れの種類では第二段貫流流れ、流れの力学的成分では角運動量成分であることを明らかにした。

第6章は、流量を変更したときの水車性能と羽根車近傍の自由表面流れを求めた。流

量が増加すると水車出力および水車効率が増加し、それらの最大値は高回転速度へ移行した。高流量時に、第二段出口領域から流出する流れには大きな転向が生じ、第一段出口領域には渦が発達した。

第7章は、第6章の結果を基にした性能分析を行った。流量による羽根車近傍の流れの種類、および羽根車のトルクに及ぼす力学的成分を求めた。流量が増加すると、貫流流れが増加し、反転流れが減少した。流量により最も大きく変化する力学的成分は、角運動量成分であることを明らかにした。

第8章は、総括として各章の成果をまとめ、今後の課題を述べた。

本論文で、下掛け式クロスフロー水車の羽根車の回転速度と流量による自由表面流れと水車性能を明らかにし、それらの関連性に係る性能分析法を構築したことは、本水車のみならず落差の小さい流れに適した開水路用水車の設計指針の確立につながり、水車効率の向上ひいては再生可能エネルギーの有効利用に資するものである。

論文審査の結果の要旨

本論文は、小水力発電用の水車として、河川や用水路等の超低落差に適用可能な下掛け式クロスフロー水車に着目し、その羽根車近傍の複雑な自由表面流れを解明するため、回流水槽を用いた模型実験と数値流体解析を行ったものである。さらに、本水車のトルク発生機構を明らかにするため、羽根車近傍の流れに基づく性能分析法を構築し、角運動量、圧力および重力の力学的成分がトルクに及ぼす影響について検討している。以下、本論文の概要を各章ごとに記述する。

第1章では、本研究の背景、本研究に係る研究動向、本研究の目的と意義について述べている。

第2章では、本研究で使用した水車および実験装置について説明した上で、それらを用いた性能試験方法やPIV（粒子画像流速測定法）計測方法について述べている。

第3章では、数値流体解析の方法および条件について述べている。

第4章では、流量を中流量に固定したときの水車性能と羽根車近傍の自由表面流れを明らかにしている。

第5章では、羽根車近傍の流れに基づく性能分析法を提案し、その方法を用いて、流量を中流量に固定したときの羽根車近傍の流れを、羽根車の内周側に至る貫流流れ、羽根内を移動する反転流れなどの種類に分類している。さらに、それらの種類の流れの力学的成分がトルクに及ぼす影響について検討し、高回転速度では、反転流れが増加し、貫流流れが減少すること、トルクに対して最も支配的となるのは、流れの種類では第二段貫流流れ、流れの力学的成分では角運動量成分であることを明らかにしている。

第6章では、流量を変更したときの水車性能と羽根車近傍の自由表面流れを明らかにしている。

第7章では、流量を変更したときの性能分析を行っている。流量が増加すると、貫流流れが増加し、反転流れが減少すること、流量により最も大きく変化する力学的成分は、角運動量成分であることを明らかにしている。

第8章では、総括として各章の成果をまとめている。

以上のように本論文は、開水路の超低落差への適用が期待されている下掛け式クロスフロー水車の羽根車近傍の自由表面流れを模型実験と数値流体解析の両面から明らかにしている。さらに、その流れに基づく性能分析法を構築し、各力学的成分が羽根車に作用するトルクに及ぼす影響を明らかにしており、下掛け式クロスフロー水車のみならず開水路用水車の高性能設計指針の確立、ひいては再生可能エネルギーの有効利用に資するものである。本論文の主たる内容は、学術誌論文1編および国際会議論文1編に発表されており、学術上寄与するところが大きい。また、最終試験における口頭試問により、当該分野における十分な専門知識を有していることが認められた。以上を総合して、本論文は論文審査および最終試験に合格とする。