

学位論文の審査結果の要旨

本学位論文は、極低落差水力ポテンシャルの有効利用を可能にする開放型貫流水車の開発を目的としている。特に、ランナに対する流水の作用位置で分類される上掛け水車と下掛け水車において水力発電用途に特化した設計指針を獲得した。

第1章では、近年のエネルギー事情を取り上げて極低落差水力ポテンシャルの有効利用の意義について述べるとともに、開放型水車の先行研究についてまとめている。その中で、出力が10kW程度のナノ水力発電への適用を考えた場合、発電機とのマッチングや導入コストの観点から大径水車は適さず、小径の開放型貫流ランナの開発意義を述べている。

第2章では、上掛け水車と下掛け水車のラポモデル用の実験装置の構成、実験方法についてまとめるとともに、人工開水路から落下する水流特性に関して水流の速度、厚み、自由表面形状についての評価結果を述べている。具体的には、水流の落下速度が設定した流量条件の範囲でほぼ一定であり、自由落下時の流速よりも高いことを明らかにした。また、曲面状の導水路は、水流方向を固定できる一方で、大流量時には水流の自由表面に生じる定在波が水流の落下位置を最適位置から遠ざけるため、水車効率が低下することを述べている。

第3章では、上掛け水車を対象として、落下水流とランナとの相対位置、水流厚み、ランナブレード角度と、水車の出力特性との関係を実験的に調べるとともに、開放型貫流ランナの動力発生機構を解明した。また、有効落差を拡大する観点から、ランナとその下側の水面あるいは水路底面との距離が出力特性に与える影響を評価した。さらに、曲面状の導水路を使用した際に発生する定在波の抑制することで、水車の出力特性を改善する方法を検討した。その結果、水車効率は相対位置の影響を強く受け、相対距離と水車効率がおおよそ比例することがわかった。また、水流厚みがランナ直径の4%のときに水車効率が最大となり、水流厚みの増加により水車効率は緩やかに減少し、ランナ直径の24%の水流厚みにおいても発電が可能である。第一段流れと第二段流れの割合についてMPS法で調べた結果、水流厚みが増加するにつれて第二段流れが発生する出力の割合が増加すること、ランナブレードの好適な入口角度が29度であることを明らかにした。次に、ランナ下部に固体壁または水面がある場合について、ランナ下部が固体壁の場合では、ランナと固体壁間距離が小さくなると水車効率が低下するのに対して、ランナ下部が水面の場合では水車直径の約5%まで没水させても水車効率に影響を与えず有効落差の増大に有効であることが認められた。曲面状流路を流下する水流の自由表面に生じる定在波の抑制のために、流路直線部の勾配と水流表面での定在波の発生状況との関係を調べた。その結果、水流の偏向角度を小さくすることにより、水流自由表面の定在波が大幅に抑制でき、水車出力が顕著に

改善することを明らかにした。

第4章では、下掛け水車を対象として、ランナ設置条件と出力特性との関係を解明した。具体的には、水流が作用するランナブレードの枚数と水流の作用位置、ランナ下部に存在する隙間の大きさと出力特性の関係を調べた。ランナ設置高さを変化させた場合、設置高さが低いほど水車効率は高くなり、隙間を流下する水流のエネルギーは小さくなる。このとき、隙間高さと水流のエネルギーは比例しておらず、隙間が小さい条件の方が水車出力に対して隙間を通過して廃棄される水流エネルギーの割合が大きかったことがわかった。ランナ直径の1.5%の隙間とした場合の水車効率が39.9%であった。次に、ランナ直径に対する水流厚みの影響を評価した結果、水流厚みの増加にともない水流を同時に受けるブレード数が増加するものの、負の回転トルクとなるブレード凸面側への衝突水流の割合が増加することがわかった。そのため、ランナ上流部の水流が盛り上がり、ランナに流入する水流速度の低下を招くことを明らかにした。安定した発電が可能な衝突水流厚さはランナ直径の28%が上限であることもわかった。

第5章では、本論文で得られた結論を総括している。

申請学位論文は、申請者を筆頭著者とする審査付き原著論文4編と審査付き国際会議論文1編に基づいてまとめられており、学術的に高い評価を得ている。また、小型貫流水車の実用化の観点からの工学的な価値も認められる。以上より、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値あるものと審査委員会全員一致で判断した。

公表主要論文名

論文発表（1）（レフェリー制のある学術雑誌）

- (1) Y. Katayama, S. Iio, T. Uchiyama, T. Ikeda: Effect of Flow Condition on Undershot Water Wheel Performance, International Review of Mechanical Engineering, Vol. 8, No. 6, pp.1005-1011, 2014.
- (2) Y. Katayama, S. Iio, S. Veerapun: Effect of Runner Position on Performance for Open Type Cross-Flow Turbine Utilizing Waterfalls, International Review of Mechanical Engineering, Vol. 8, No. 6, pp.1012-1016, 2014.
- (3) Y. Katayama, S. Iio, K. Kimoto, S. Veerapun: Open-type Cross-Flow Turbine with Curved Channel (Effect of Channel angle on Water Surface Stability), International Review of Aerospace Engineering, Vol. 7, No. 6, pp.187-191, 2014.
- (4) Y. Katayama, S. Iio, S. Veerapun, T. Uchiyama: Investigation of Blade Angle of an Open Cross-flow Runner, International Journal of Turbo and Jet-Engines, Vol. 32, No. 1, pp.65-72, 2015.

論文発表（2）（レフェリー制のある国際会議議事録）

Yusuke Katayama, Shouichiro Iio, Tomomi Uchiyama and Salisa Veerapun: Study of Open Type Cross-flow Turbine (Influence of Drop Position and Thickness of Water), Proceedings of The 13th Asian International Conference on Fluid Machinery, AICFM13-119, 2015.