

博士論文の要旨及び審査結果の要旨		
氏名	WANG Tianbo	
学位	博士 (工学)	
学位記番号	新大院博 (工) 第 524 号	
学位授与の日付	令和 4 年 3 月 23 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
博士論文名	Experimental and Numerical Study on Performance of Open Cross-Flow Hydraulic Turbine (開放クロスフロー水車の性能に関する実験的および数値的研究)	
論文審査委員	主査	教授・平元 和彦
	副査	教授・松原 幸治
	副査	教授・佐々木 朋裕
	副査	准教授・山縣 貴幸
	副査	准教授・櫻井 篤
	副査	名誉教授・藤澤 延行
<p>博士論文の要旨</p> <p>自然エネルギーを利用した発電方法に関する研究が進められており、その一つとして開放クロスフロー水車を用いた小型水力発電システムの開発が注目されている。開放クロスフロー水車は低コストかつメンテナンス性に優れており、小流量でも稼働できることから農業用水や下水処理水などでも利用可能であり、電力系統から離れた離島や開発途上国など幅広い領域での利用が期待される。しかしながら、現在広く用いられているフランス水車と比較すると水車効率が低いという問題がある。これは、水流が水車ランナに入る際と出る際にトルクを発生させることと内部で水流が複雑な挙動を行う事からトルク発生の詳細なメカニズムや流れ場との関係が十分に明らかになっていないためである。</p> <p>本論文では、開放クロスフロー水車のトルク発生メカニズムを明らかにすることを目的として、数値計算による流動場解析と実験による速度場計測およびトルク計測を行っている。また、開放クロスフロー水車の運転方式として下掛け式運転と滝型運転における水車性能およびトルクメカニズムの違いについて論じている。</p> <p>本論文は、全 4 章から構成されている。</p> <p>第 1 章「緒論」では、開放クロスフロー水車を始めとする各種水車の特性や過去の研究に関する基礎的な知識、背景、意義および本論文の目的を述べた。</p> <p>第 2 章「下掛け式クロスフロー水車の性能に関する実験的および数値的研究」では、下掛け式クロスフロー水車を対象とした流れ場の可視化計測および数値解析を行った。可視化計測には、Particle Image Velocimetry (PIV) 法を用い、水車ランナ内部の位相平均速度場を明らかにした。数値解析では、2 流体を対象とした Volume of Fluid (VOF) 法を用いた 2 次元解析により、流れ構造およびトルク特性を求めた。これらの結果によると、下掛け式開放型クロスフロー水車周りの流れ場は、水車ブレード凹面側に見られる流れの衝突と凸面側に見られるコアンダ流効果によって水車回転方向のトルクが発生することが分かった。一方、水車と水路底面の間の隙間を変化させることで、流れに増速効果を生じることが可能であり、それを最適化することで、トルクや水車効率を最適化することができることを明らかにした。本研究で得られた最大水車効率は 39% であり、過去の研究よりも高</p>		

い値を示した。

第 3 章「滝型クロスフロー水車の性能に関する実験的及び数値的研究」では、滝型クロスフロー水車を対象とした実験および数値解析を行った。実験では位相平均 PIV による速度場計測に加えてトルク計測を行った。実験及び数値解析結果より、水車内部とその周りの流れ場は、下掛け式の場合と同様に水車ブレード凹面側の水流の衝突効果と凸面側のコアンダ流効果が主なトルク発生メカニズムである。一方、滝型クロスフロー水車では、水車回転の進行方向ブレード側から逆方向のブレード側へ向かう二次流れが認められ、水車のさらなるトルク発生に寄与することを示した。これらの流れ場の特徴は水車のトルク・出力特性ともよく一致しており、計算結果が実験とよく一致することを確認した。滝型クロスフロー水車では、水流と水車軸間距離を変化することが可能で、この距離を最適化することで水車効率を上昇させることが可能であることを示した。本実験での最大効率は 60%であった。本研究の範囲内においては、滝型運転の方が下掛け式運転よりも最大効率が高く、滝型運転の優位性を示した。

第 4 章「結論」では、本研究で得られた結果を総括した。

審査結果の要旨

本論文は、開放クロスフロー水車の効率向上のためトルク発生メカニズムについて実験および数値解析の両面から研究したものである。実験により水車内部流れを可視化し、数値解析によりさらに詳細な流れ構造と水車ランナに作用するトルク関係を明らかにしている。本研究での数値解析モデルによる水車性能予測の有用性を示し、さらなる効率改善の方法を提案している。

落差が小さい水路などの水平な流れを想定した下掛け式クロスフロー水車では、PIV 計測を用いた流れ場計測と VOF 法を用いた流動解析を行い、周速比による流れ場の変化や水車効率の変化を明らかにしている。両者の比較により、水車効率が高い条件では、水車翼の凹面側では流れの衝突により回転方向のトルクが発生していることに加えて、凸面側ではコアンダ流効果によるトルクも発生するメカニズムが示された。さらに、水車と流路底部との隙間を小さくすることにより、流れの増速効果を高め水車効率が增加することから、最適化によりさらなる効率の向上が可能であることを主張している。

落差が大きくとれる水路を想定した滝型クロスフロー水車では、PIV 計測による流れ場計測や VOF 法による流動解析に加えて、水車トルク計測による水車性能の実験的な評価も行われている。これらの実験および解析結果より、滝型クロスフロー水車でのトルク発生メカニズムは、下掛け式と同様に水車翼の凹面側への衝突効果と凸面側でのコアンダ流効果であることが示されている。滝型クロスフロー水車の場合には、水車内部を通過した流れが出口部で再び水車翼に作用することでさらなるトルク発生を生じるため、水車効率も増加するというメカニズムが本論文で明らかになった。さらに、水流と水車回転軸間距離により水車効率も変化することも示されており、最適化によりさらなる水車効率の増加が期待される。

以上より、本論文はクロスフロー水車の性能向上や性能評価法の高度化に寄与し、研究成果の社会への還元、および機械工学、流体力学に係る学術の発展への貢献は大きい。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。