

氏名	塚 本 直 史			
学位の種類	博 士 (工学)			
学位記番号	工博甲第219号			
学位授与の日付	平成17年3月25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	マイクロチューブラ水車の広帯域化に関わる開発研究			
論文審査委員	主 査	教 授	西	道 弘
		教 授	富 田	侑 嗣
		教 授	塚 本	寛
		教 授	金 元	敏 明
		教 授	秋 山	壽一郎

学位論文内容の要旨

水力発電は、実用化されている電源の中で二酸化炭素排出量が最も少ないクリーンエネルギーであることから、基幹エネルギーの中で唯一「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」(RPS法)の対象となっている。このRPS法の対象になる未利用水力エネルギーを調査すると、上下水道、農業用水、砂防ダムおよび河川の堰堤などに存在し、それらの多くはマイクロ水力と呼ばれる100kW以下の容量である。マイクロ水力は、地球温暖化防止の一翼を担える賦存量を有するものの、地点の多様性と小容量に起因した低い経済性もあって僅かしか開発されていない。しかしながら、その経済性の低さは、エネルギー変換機としての水車の開発研究が大容量化を中心に行われ、小形水車は従来殆ど顧みられなかったという点にもあると推察される。このような地点に向けたチューブラ水車は、上水道などの配管の途中に設置でき、形状変更なしに広い運転範囲に適用できるという可能性を持つ。それ故、マイクロ水車としての開発事例はあるものの、水車を設置地点に最適化する技術については課題として残されたままである。主な該当課題として、高落差地点に導入される機器の費用を削減するための直列配置方式、変落差・変流量地点の年間発生電力量を増加させるための適用技術、取水位より高い位置に水車を置くことで土木費用を削減する水車設置技術が挙げられる。これらを扱う研究は、従来の落差、流量および吸出し高さの適用範囲を拡大することになるので、マイクロ水車の広帯域化と位置づけ得る。本論文は未利用水力エネルギーの活用を実現するため、マイクロチューブラ水車の広帯域化に関わる課題解決を流体力学の面から図ったものである。

著者は上述の視点に基づき、第1章でマイクロ水車に関連する従来の研究を整理し、研究の意義を明確にして、本論文の目的および構成を示した。

第2章では、前章で整理した未利用水力エネルギー地点に標準水車で対応できるようにするという立場から、マイクロチューブラ水車のランナ径として290mm、500mm、760mmの3種類を選定した。この中で、ランナ径290mmの標準化設計と製作を行い、水車効率とキャビテーション性能を

実験的に調べた。その結果は、E.Goede や Keck らが報告しているバルブ水車性能と比較され、開発したマイクロ水車は広範囲な運転領域で優れた性能を有することを明らかにした。大形バルブ水車模型と比べると、開発機は約4%の効率低下で抑えられている。

第3章は、マイクロチューブラ水車を高落差地点に適用する直列配置方式について究明した。低落差用のチューブラ水車は、水車入口と出口部の管軸が同一の形状を有するために、複数台の水車を連続あるいは分散して容易に配置することができる。2台の水車を直列に配置（直列水車と呼ぶ）して特性を測定した結果、旋回流れの強くなる非設計点において下段水車の性能が低下すると予想されていたが、下段水車の性能は上段水車に比べ優れていることが見出された。この結果は、下段水車バルブ部のトップカバーが円錐吸出し管出口部の中央域に在ることで、吸出し管の管軸付近に集積する低エネルギー流体を支えるのに費やされる主流の運動量が少ないためと説明され、直列に配置された水車の効率が分散配置に比べて優れることを流体力学的に明らかにした。

第4章では、マイクロチューブラ水車の広帯域化を実現するため、変流量・変落差地点への適用技術について取り扱った。種々のランナベーン角度とガイドベーン角度の組み合わせに対し広範囲な性能実験を行った結果、変流量特性は、水車効率および水圧変動ともランナベーン可動方式が優れていることを確認した。一方、変落差特性は、ガイドベーン可動方式が優れているが、ランナベーン可動方式においても効率低下の少ないガイドベーン角度が存在することを見出した。さらに、広帯域化を具現化するため新たなランナベーン可動機構の開発を行い、現地試験にてその信頼性を確認した。

第5章では、初期投資の50%以上を占める土木費用を削減する方策として、取水位より高い位置に水車を設置する可能性に関して追究した。水車の吸出し高さを大きくできるように、従来顧みられなかった、水車効率よりもキャビテーション特性を優先させる考えをとり入れた。チューブラ水車では、オンカムよりキャビテーション特性の優れたベーンの組み合わせ（オフカム）が存在すると考察されたので、オフカム・キャビテーション試験によりその特性を調べた。この結果、オンカム状態より入射角が-6度程度つくように相対流れをねかせることで、ランナボス部に発生するキャビテーションが抑制され、臨界キャビテーション係数で0.1程度改善できることが明らかになった。さらに、上水位より高い位置に水車を配置する可能性について検討した。

第6章は、本研究を通して得られた知見をまとめた結論である。

学位論文審査の結果の要旨

電源の中で水力発電は、地球温暖化につながる二酸化炭素の排出量が最も少ないクリーンエネルギーとみなされている。現状の未利用水力エネルギー資源に関わる国内調査によれば、該当地点は上下水道、農業用水、砂防ダムおよび河川の堰堤などに見出され、マイクロ水力と呼ばれる100kW以下の容量が多い。このようなマイクロ水力資源は、地点の多様性と小容量に起因した低い経済性もあって未だ十分開発されていないが、相当の賦存量が見積られる数少ない国産エネルギーであり地球温暖化防止にも寄与できる特徴を有しているので、今後の有効利用が期待される。その低い経済性の原因は、従来、エネルギー変換機としての水車の開発研究が大容量化を目指して専ら進められ、マイクロ水力用の水車は殆ど顧みられなかったという問題もあると推察される。マイクロ水力地点に適応す

る水車として種々の水車形式が考えられるものの、低落差用のチューブラ形水車は上水道などの配管の途中に設置できるだけでなく、多様な要求仕様に標準機を大きな形状変更なしに適用できるという可能性がある。それゆえ、チューブラ形の開発事例は他に見出されるものの、水車を設置地点に最適化する技術については課題として残されている。高落差地点への導入を目指した水車直列配置方式、変落差・変流量地点における年間発生電力量の増加を図る技術、取水位より高い位置に水車を置くことを可能とする技術が喫緊の該当課題として挙げられる。本論文は、これらを扱う研究を落差・流量・吸出し高さに係る従来の適用範囲を拡大するものとして広帯域化と位置づけ、未利用水力エネルギー活用への要望を工学技術面から応え得るように、流体力学の視点からマイクロチューブラ水車の広帯域化に関わる課題解決を図ったものである。

著者は上述の立場から、第1章でマイクロ水車に関連する従来の研究を整理し、チューブラ形水車を対象とする研究の意義を明確にして、本論文の目的および構成を示した。

第2章では、マイクロ水力資源開発を高い経済性のもとで推進する立場からマイクロチューブラ水車の標準化を構想し、ランナ径として290mm、500mm、760mmの3種類を選定している。実証のためにランナ径290mmの標準化設計と製作を行い、水車効率とキャビテーション性能を実験的に調べた。得られた結果を既存の大形バルブ水車の性能と比較し、開発水車が広範囲な運転領域で優れた性能を有することを明らかにした。その最高効率は、大形バルブ水車の模型と比べて約4%の低下となったが、主として経済性への配慮に伴う機械損失の増加に因るので、良好であると判断される。

第3章では、標準化されたマイクロチューブラ水車を高落差地点に適用するための直列配置方式について追究している。2台の水車を直列に配置（直列水車と呼ぶ）して性能試験した結果、旋回流れが強くなる非設計点において、直列水車の効率が単段水車よりも高くなることを見出した。この興味深い結果は、下段水車バルブ部のトップカバーが円錐吸出し管出口部の中心に置かれていることで、上段水車吸出し管の管軸付近に集積する低エネルギー流体を支えるのに費やされる主流の運動量を、したがって流動損失を低減できるためと説明され、直列に配置された水車の効率が分散配置に比べて優れていることを流体力学的に明らかにした。

第4章は、変流量・変落差地点へのマイクロチューブラ水車の適用技術について述べている。種々のランナベーン角度とガイドベーン角度の組み合わせに対し広範囲な性能試験を行い、変流量特性は、ランナベーン可動方式が優れていることを明らかにした。一方、変落差特性はガイドベーン可動方式が優れているものの、ランナベーン可動方式においても効率低下の少ないガイドベーン角度が存在することを見出した。さらに、広帯域化を実現するため新たなランナベーン可動機構も開発して、その有用性と信頼性を確認している。

第5章では、取水位より高い位置への水車設置に関して追究した。水車の吸出し高さを大きくするという視点から、水車効率よりもキャビテーション特性を優先する考えを提唱している。チューブラ水車では、オンカムよりキャビテーション特性の優れたベーンの組み合わせ（オフカム）が存在すると推測し、その特性をオフカム・キャビテーション試験により調べた。その結果、試験機ではオンカム状態より入射角が -6 度程度つくように相対流れを周方向に向けることで、ランナボス部に発生するキャビテーションが抑制され、臨界キャビテーション係数で0.1程度改善できるという知見を得て

いる。

第6章の結論では、本研究を通して得られた知見をまとめると共に水車選定線図を提示した。

以上を要約するならば、本論文は流体力学的視点のもとにマイクロチューブラ水車の広帯域化を実現し、有用性に優れた価値ある業績であって、機械工学特に流体工学分野の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文に値すると認められる。

なお、本論文に対して審査委員及び公聴会の出席者からバルブ水車模型との比較の意味、機種選定の考え方、数値解析の予測精度、上水道への適用法、マイクロ水車の運転制御、直列水車の流体性能改善のメカニズム、取水方式と吸込み渦などについて種々の質問がなされたが、いずれも著者からの確な回答がなされ、質問者の理解が得られた。

以上の結果から、当審査委員会は著者が最終試験に合格したものと認める。