

氏名	西川 雄基
学位の種類	博士（工学）
学位の番号	甲 第 2 3 号
学位授与の要件	学位規則（昭和 28 年 4 月 1 日文部省令 9 号） 第 4 条第 1 項該当
学位授与の日付	令和 5 年 3 月 2 1 日
学位論文題目	クロスフロー水車のノズルからの吸気による 部分負荷運転時の効果に関する研究
論文審査員	（主査） 湘南工科大学教授 北洞 貴也 （副査） 湘南工科大学教授 井上 文宏 （副査） 湘南工科大学教授 佐藤 博之 （副査） 湘南工科大学准教授 稲毛 達朗

## 論文内容の要旨

クロスフロー水車はガイドベーン開度を絞ると、ノズル壁との間のランナ側流路が拡大流路となる。拡大流路は下流方向に正の圧力勾配を持つため、条件によっては剥離の発生や流れの乱れによりエネルギー損失が増える。また高落差では流速が速くなるため、拡大流路上流側の流路断面積が最も小さくなる絞りの圧力がランナ室内圧力よりも大きく低下してキャビテーションが生じる。本論文では対策としてガイドベーン下側拡大流路に、上流側最狭部の低圧を利用して壁面の孔から空気を自然吸入することで、水流の剥離を促進して圧力低

下と損失を低減できるかを検討した。まず、吸気の有効性確認のために単純化した拡大管を使い、壁面に開けた丸孔から空気を自然吸入して流れを剥離させ、その際の水流のエネルギーを CFD と実験で比較した。次に、クロスフロー水車の実形状について、吸気による損失低減やキャビテーション抑制の効果を CFD により調べた。その結果、丸穴ではガイドベーン開度が大きい時には漏れが生じたため、孔をスリットにしてその角に面取りを行った。これを適用した実験機はガイドベーン開度 30% でランナ室の空気を吸気した場合に 1.2%、外気を吸気した場合には 2.8% 水車効率を向上させることができた。

## 審査の結果の要旨

中小水力発電に使われるクロスフロー水車は、ガイドベーンを絞った低流量の部分負荷運転時に水力効率が低下するが、その要因の 1 つに、ガイドベーンとノズル壁で構成される流路の出口部が拡大流路となり、はく離やキャビテーションが生じることが挙げられる。中小水力で運転されるため、季節や天候による降雨量の変動を受けやすく、低流量で運転される期間も長いため、この際の効率向上が求められている。

本論文はこの部分負荷運転時の発電効率を改善する新しい方法を提案している。具体的には、上記拡大流路の水流によるはく離を無くすために、拡大上流縮流部が低圧になることを利用して壁に開けた孔から空気を自然吸入し、水流を壁面からはく離させることにより、縮流部での圧力低下を低減してキャビテーションを抑制すると共に、はく離域を水から空気に変えることで、水流の乱れを減らして損失を低減することを狙いとする独創的なものである。

この作動原理が CFD と実験的検証により論理的に解明された。まず初めに、単純な拡大流路モデルについて、縮流部壁面中央に丸孔を設け、拡大流路出口と同等の圧力で吸気が可能となる条件にした場合に、拡がり角  $3^\circ$  以上では吸気が行われて、穴部下流の水流がはく離して拡がり流路出口の気相とつながり圧力

の低下が抑制されることが確認された。また、入口全圧に対する損失の割合も下げられることが分かったが、その理由はいく離による入口全圧の増加によることが明らかにされた。

この機構を水車実験装置に組み込み、性能の変化等が調べられた。ノズルとランナ室間の壁に丸孔を設けて、ランナ室の空気を吸気する方法では、CFDによりガイドベーン開度が65%以上ではノズル側からランナ室側に漏れる水流量が多いことが分かったため、丸孔に換えて流路全幅に渡って面取りの有るスリットを設けた。これにより水の漏れ量が低減され、幅方向の自由表面の凹凸もなくなり、実験では30%ガイドベーン開度での水車効率を1.2%向上させられることが確認された。しかし、低NPSHの場合に生じるガイドベーン壁面近傍のキャビテーションを消滅させるには至っていない。そこで、より圧力の高い外気を直接スリット内部に吸気出来るような構造に変えたところ、多くの空気が吸入され、キャビテーションが消滅し、効率を2.8%向上させることができた。さらにこの構造では、流量をよりガイドベーン開度に比例させられることも確認されている。

以上のように、新しく開発された本機構はクロスフロー水車のみならず、気液2相流中で羽根車が動作するターボ機械の原動機に広く応用が期待出来るものであり。またその方法は簡便で経済的にも優位であるといえる。

本研究成果は、査読付き学術論文2件、国際会議1件、国内会議9件で発表が行なわれている。4名の審査員により、本論文、口頭発表及びその後の質疑応答により審査した結果、本論文を博士後期課程学位論文として認める。