

## ポンプ逆転水車の性能改善 Improvement on the Pump-turbine Performance

菊沢 正裕  
Masahiro Kikusawa

### 1. はじめに

発電効率が低いとされるポンプ逆転水車の利点（ポンプ自体の普及度，維持管理の容易さ等）に着目し，その羽根を加工することで発電利用の可能性を探る．前報<sup>\*)</sup>では小型（800W）の加工羽根水車を高水圧（0.4MPa）で実験し，実用的な効率が得られることを示したが，本報では落差30m以下の山村におけるパイプライン水の利用を想定してポンプ水車（5kW）を製作し負荷試験後，その羽根を加工して同じ試験を行い加工効果を調べる．

### 2. 方法

#### （1）実験装置と計測項目

写真1はタンク（容量 $1.5m^3$ ）の水を，ポンプ（15kW）で125A管から吐出し，流量制御（仕切）弁を経て2.7m先の水車に導水，水車からの排水を80A管でタンクに戻す循環装置（㈱浪速ポンプ製作所）である．水車は5kW，その取水管と排水管は150A，発電機は3相PM同期4.5KVAである．計測項目は，排水管がタンクに戻る手前80cmの流量，バルブ手前と水車前後の計3箇所の水圧，及び発電機からの3相交流を整流器で直流に変換した後の電流，電圧，電力である．

#### （2）羽根の加工

図1に示す6枚の羽根を2種類（A，Bの各3枚）に分け，羽根Aを羽根Bの回転軸側端部に比べてより羽根車外周側に配置し，回転方向後進部に凸状部（ツメ）を形成する方法（特許No.4523064）で水車効率を上げる．今回は通常のポンプ逆転水車を製作して負荷試験を行った後，羽根にツメを溶接付けするだけの簡易加工（木型からの製造や3Dプリンタによる製造には時間とコストを要するため）羽根で試験し，両者を比較する．

#### （3）負荷試験

発電機に電球負荷（消費）を0.1～3.4[kW]の適正範囲で段階的にかけ，そのときの電流，電圧，電力を測定する負荷試験を実施した．想定する現場の流量と水圧を念頭に吐出量を

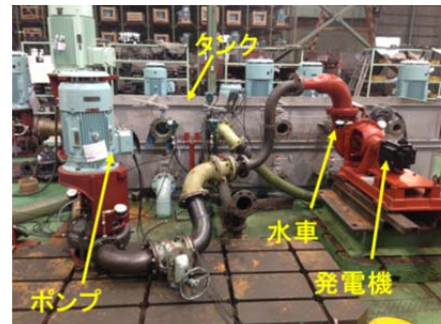


写真1 室内実験装置外観  
The outside of laboratory experiment.

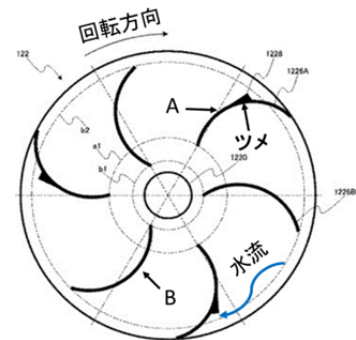


図1 加工羽根  
Nail attached runner

福井県立大学（学術教養センター）Fukui Prefectural University（Center for Arts and Sciences）

キーワード 流体力学一般 管・開水路流れ 水利システムの計測・管理・制御 中山間地域

謝辞：本研究は平成26年度県立大学地域貢献研究推進事業の助成を受けて実施した．研究の遂行に当たり福井小水力利用推進協議会，及び㈱浪速ポンプ製作所の協力を得た．ここに感謝の意を表す．

\*) 菊沢正裕：「管水路のマイクロ水力発電効率に関する実験的考察」，農業農村工学会平成26年度大会講演要旨集，新潟，pp.412-413，2014

変え、制御弁を全開する場合（ $90\text{m}^3/\text{h}$ ）と半開の場合（ $63\text{m}^3/\text{h}$ ）を試験した。ただし加工羽根の試験で弁を全開したときの流量（ $73\text{m}^3/\text{h}$ ）は非加工時の流量（ $90\text{m}^3/\text{h}$ ）に届かなかった。これは加工時の水圧上昇にポンプの吐出能力が不足したことによると思われる。

### 3. 結果

#### (1) 羽根の加工が流況に及ぼす影響

無負荷時の流量が $63\text{m}^3/\text{h}$ の場合、羽根加工の有無に拘らず吐出水圧は $0.36\text{MPa}$ である。しかし、非加工羽根に比べて加工羽根実験では無負荷時の水車前水圧が67%上昇し排水圧が20%減少、水圧と流量から計算される理論水力が64%増加、負荷時の流速は最大11%増えた。入水圧を高め排水を滑らかにして水エネルギーを有効に利用する羽根の加工効果は、流量が大きい弁全開時や負荷時にも認められた。

#### (2) 回転速度と電流の特性

図2は、負荷を段階的に増やすとき回転速度が落ち電流が増す様子を示す。各ケースの無負荷時回転速度の50-65%付近（図の灰色縦帯は60-65%）で出力が最大になる。図の上部灰色横帯（定格電流42Aの40-60%）は発電効率が低い領域で、これ以上負荷を大きくしても出力はそれほど上がらない。図の流量 $63\text{m}^3/\text{h}$ の結果をみる限り加工羽根には、回転速度と電流をより高い状態に維持し、最大出力を高める効果が期待される。

#### (3) 最大出力と羽根の加工効果

図3は、回転速度と流速当たりの出力 $P_f$ の関係を示す。流量 $63\text{m}^3/\text{h}$ では出力は最大に達し、加工羽根の $P_f$ は非加工羽根に比べ太矢印のように約2倍になる。同様に流量が大きい場合、加工羽根の $P_f$ は非加工羽根の $P_f$ に比べ28%大きい。また6割回転速度まで外挿してもほぼ同程度の改善効果があると推定される。この時の最大出力は $2.2\text{kW}$ 、加工羽根で流量が $90\text{m}^3/\text{h}$ あれば、更に大きい出力が期待される。

### 4. まとめ

#### 5kWのポンプ逆転水車を用いた負荷試験

によって加工羽根は入水圧を高め排水圧を減じ、流れを速めて水エネルギーを有効に利用する効果、回転速度を高い状態に保ち最大出力を増加する効果があることを示した。今回、吐出ポンプの能力不足のために $90\text{m}^3/\text{h}$ の流量における加工効果を明示できなかった。また加工効果があるとはいえ設備効率は0.35で流量を増やしても0.4程度と推察される。より高いレベルの羽根加工によって設備効率を0.5程度に上げることが実用化には求められる。

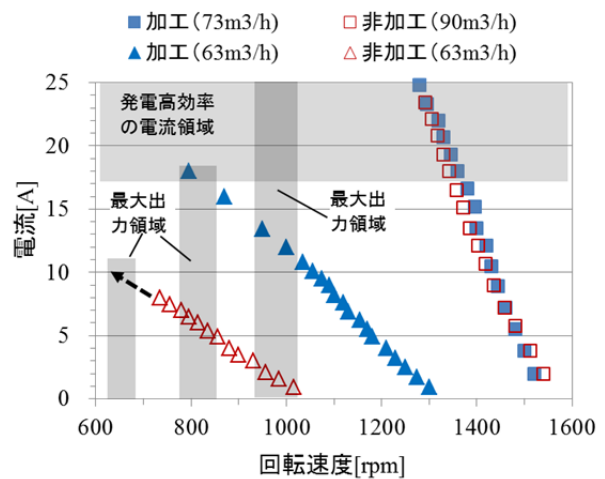


図2 回転速度と電流の特性  
Turbine rotary rate and electric current.

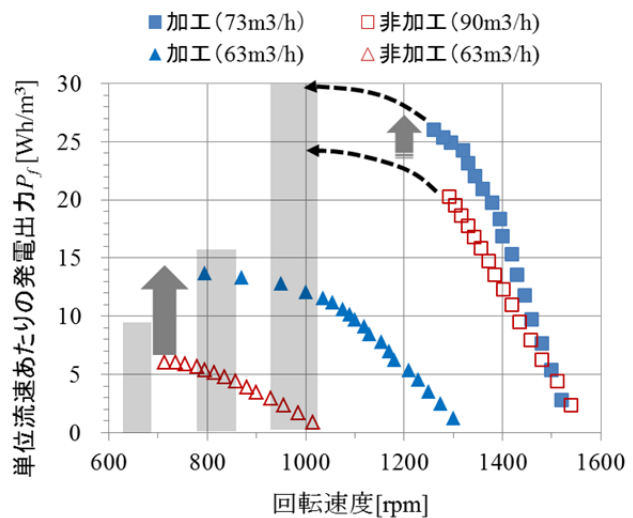


図3 回転速度と流速当たりの出力 $P_f$   
Turbine rotary rate and power per flow rate.