

## アルキメデス・スクリューの性能評価

細谷 阿希<sup>\*1</sup>, 高島 裕輔<sup>\*1</sup>, 藤原 諒<sup>\*1</sup>, 樋口 善彦<sup>\*2</sup>

### Performance Evaluation for Archimedean Screw Pump

Aki HOSOTANI<sup>\*1</sup>, Yuusuke TAKASHIMA<sup>\*1</sup>,  
Ryo FUJIWARA<sup>\*1</sup> and Yoshihiko HIGUCHI<sup>\*2</sup>

**Synopsis:** Broadband infrastructure is generally efficient, but it fails to function in catastrophic situation such as earthquake, typhoon and so on. Therefore, local power supply based on renewable energy is important. However, the energy is unstable and changeable and it is difficult to meet supply and demand. The present authors addressed effective lifting because it is necessary to store unstable energy in pumped hydropower. In this report, water model experiments on Archimedean screw pump were carried out and the effect of screw angle and rotation speed on capacity of pump.

(Received Sep. 16,2021)

**Key words:** Archimedean Screw, water pumping, revolving motion

### 1. 緒 言

一か所の発電所から広範囲の地域に送電する集中システムは、日常生活や通常の生産活動にとって合理的な存在である。しかし、大規模地震や大型台風などによる激甚災害が発生した場合、発電所の停止が広範囲な停電につながる恐れがある。そのため、最近では電力などのエネルギーを地産地消する分散型システムの利点が評価され始めている。地域で発生する太陽光、風力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーを活用することは、エネルギー供給のリスク分散や地球温暖化ガス排出量低減に寄与する。現在の主力発電方式は火力発電や原子力発電であり、必要な電力を計画的かつ安定的に供給することが可能である。これに対して、再生可能エネルギーの多くは、天候や時間帯により発電量が大きく増減するため、電力の需要と供給のバランスを安定させることが難しい。そのため、電力の供給が需

要を上回った際に発生した余剰電力を何らかの方法でエネルギーとして蓄え、需要が供給を上回った際に、放出することが必要である。例えば、電池に蓄電する方法もあるが、蓄電量やコスト面の制約を考慮すると必ずしも適用しやすいとはいえない状況である。一方、揚水発電はすでに実用化されており、余剰電力を位置エネルギーの形で蓄え、必要に応じて電力に変化することができる。ただし、再生可能エネルギーに依存した分散型システムでは、余剰電力の時間変動が大きいことが想定され、揚水ポンプで水を汲み上げている最中に余剰電力を電力供給に回さなくてはならない状況が発生する可能性がある。通常の揚水ポンプでは途中まで汲み上げた水が下流側に戻ってしまう。上原らは風力発電を想定し、ポンプが停止しても水を保持できるアルキメデス・スクリューに着目して電力安定化を狙った研究を実施している<sup>1)</sup>。

アルキメデス・スクリューはその名称からわかるように紀元前の科学者であるアルキメデスにまで遡れる古くからある技術であり、日本でも螺旋ポンプの名称で 1950 年代に守島ら<sup>2)</sup>や葛原<sup>3)</sup>によって

\*1 産業技術短期大学 機械工学科 令和2年度卒研究生

\*2 産業技術短期大学教授 博士(工学) 機械工学科

実験的・理論的な検討が加えられ, 最近でも金子らが再評価を行っている。

しかし, アルキメデス・スクリューの使用条件が各報告間で異なっており, スクリュー形状や傾斜角等の影響は必ずしも同じ傾向を示していないため, 実際にアルキメデス・スクリューを用いた揚水ポンプを製作し, その特性を評価することにした。本報告では, その結果について述べる。

## 2. 実験方法

アルキメデス・スクリューとは, Fig.1 に示すように円筒管の内部に螺旋状の板を設けた構造のポンプである。管の中心部に設けた軸を回転させることで, 内部の螺旋状の板も回転し, 板ですくいながら水を下から上へと汲み上げることができる。アルキメデス・スクリューの揚水効率に大きく関係するパラメーターには, Fig.1 中に示すスクリュー螺旋角, 管径, 傾斜角, 揚程, 回転速度の4つがある。今回の実験では, 最も基礎的なパラメーターである螺旋角  $\theta$  と回転速度  $N$  に着目して評価を行った。

実験装置の外観を Fig.2 に示す。内部にスクリュー本体が固定されたアクリル製円筒管(内径 30mm, 全長 300mm)をスピードコントロールモーター(オリエンタルモーター製, US206-001)を用いてベルト駆動し, 回転数はデジタル回転計(モノタロウ製, RM-01U-M)で測定した。外筒内を經由して汲み上げられた水は樋を通して回収し, デジタル質量計で 10 秒ごとの質量を測定することにより時間当たりの揚水能力を評価した。

スクリューは, CAD ソフト(Autodesk 製, Inventor Professional 2018)で作図(Fig.3)し, STL 形式に変換したファイルをもとに Multi Jet Fusion 方式の 3D プリンター(HP 製, Jet Fusion 3D 4200)でナイロン粉を原料として作成した。アルキメデス・スクリューは, 傾斜角:30 度, 軸径: $\phi 8$  mm, 全長:375 mm, 螺旋部外径: $\phi 28$  mm(円筒管内径 30mm との間は 1mm 厚のゴムシートを設置), 螺旋部長:300 mmとした。螺旋角 10,20,30,40 度の4種類のスクリューを作製して使用した(Fig.4)。

水を満たした大型容器内に円筒管をセットし, 円筒管の下端の浸漬深さを 50mm, 大型容器内浴面から円筒管上端の最下部(揚程に相当)を 100mm で固定し, 回転数 150~450rpm の条件で測定を行っ

た。

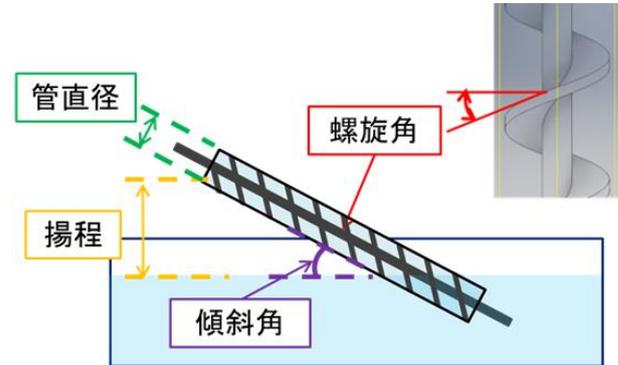


Fig.1 Schematic diagram of apparatus.

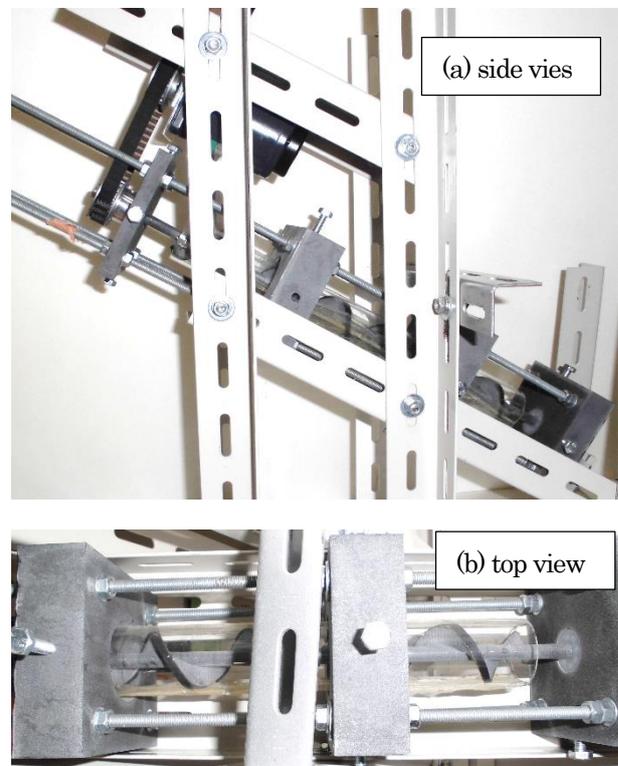


Fig.2 External view of apparatus.

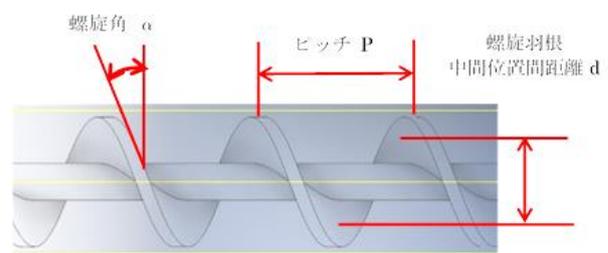


Fig.3 Archimedean screw designed using 3D CAD.

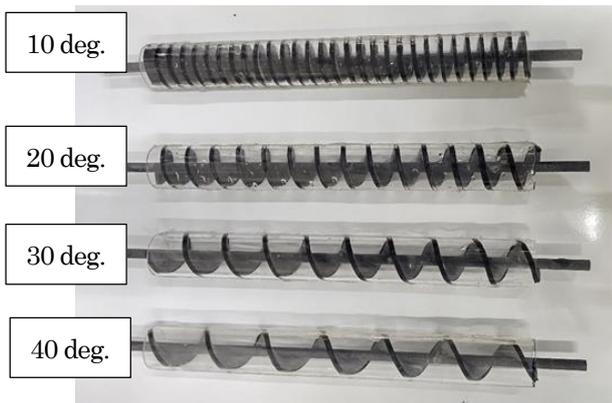


Fig.4 External view of Archimedean screw.

3. 実験結果および考察

回転数と質量流量の関係をスクリーウの螺旋角毎に整理した結果を Fig.5 に示す. 螺旋角 10 度では回転数の増加とともに質量流量は増加したが, 300rpm を越えるとほぼ一定値になった. 螺旋角 20 ~40 度では, 回転数の増加とともに質量流量は増加したが, ある回転数を越えると質量流量は最大値をとった後に減少した. 全ての螺旋角のデータが存在する回転数 300rpm での質量流量を螺旋角で整理した結果を Fig.6 に示す. この図から螺旋角 30 度で質量流量が最大になることがわかる. 以上をまとめると, 質量流量が最大になる条件は, 螺旋角 30 度, 回転数 350rpm である.

螺旋角毎に質量流量の挙動が異なる原因の一つに, 螺旋で区切られた空間に保持されている水の量が異なっている可能性が考えられる. そこで, 実験中にスクリーウ管内を観察したところ, Fig.7 に示すようにスクリーウ螺旋角が大きくなるほど管内部の螺旋面上に溜まる水の割合は減少していることが分かる. 次に, 管内部の螺旋面上の隙間体積を 3D CAD で求め, Fig.7 から目視で判定した管内部螺旋面上に溜まる水の割合を使って, 保持される水の割合を計算した. その結果を Table 1 に示すが, 螺旋角が増加するにつれて保持割合が減少した. これは, 螺旋角が大きくなることにより螺旋面の傾斜が緩くなったためである. ただし, 螺旋角の増加とともに 1 回転分の空隙体積が大きくなるため, 水の保持体積は 30 度で最大値になる. この 1 回転当たりの保持体積が全て質量流量に寄与すると仮定し, 各回転数での質量流量を予測した結果を Fig.8 に示

すが, 質量流量が螺旋角 10 度で最も小さく, 30 度で最も大きいこと, 螺旋角 20 度と 40 度の条件同士の値が近くなること, が分かる. この傾向は実験結果の傾向を再現しており, 螺旋部の水の保持率が質量流量に大きく影響していることが明確になった.

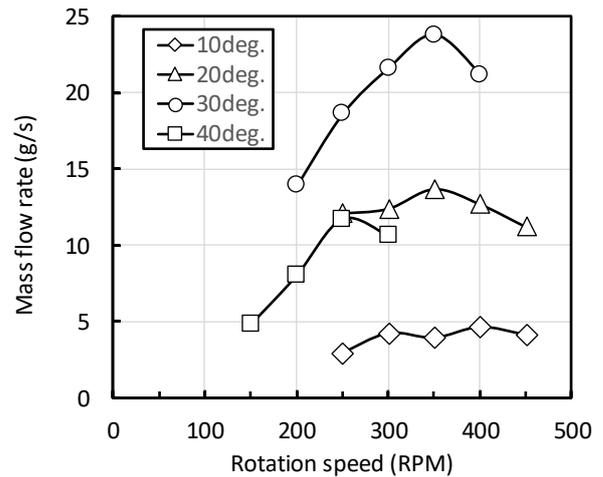


Fig.5 Effect of rotation speed on mass flow rate in Archimedean screw pump.

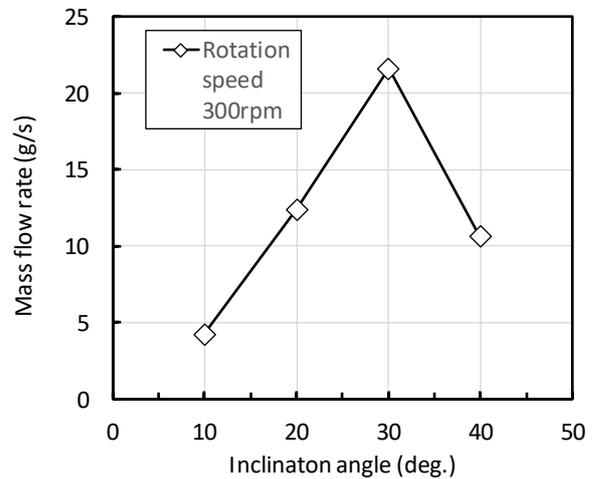


Fig.6 Effect of inclination angle on mass flow rate at 300rpm in Archimedean screw pump.

しかし, Fig.8 の予測値と実験値は絶対値で少なくない差があり, また, 回転数が高い領域で質量流量が低下する現象を説明できない. なお, 本研究と同様の螺旋ポンプの特性を実験的に評価した金

子ら<sup>4)</sup>も回転数が100~400rpmの範囲でポンプの効率が最高値をとると報告している. また, 守島ら<sup>2)</sup>も質量流量が回転数に対して最大値を示す現象を実験で見出し, 回転数の増加により円筒管内の水が遠心力によって管内面に押し付けられ螺旋羽根の押し上げ作用を受けなくなると推定している.

しかし, 金子らも守島らも回転数の増加によって生じる負の作用を定量化していない. この負の作用は, 円筒管内で羽根間に保持された水の運搬効率が低下した, あるいは, 円筒管内で逆流現象が生じた, ことに起因する可能性がある. いずれが真の原因であるかは水中にトレーサー粒子を導入して観察し

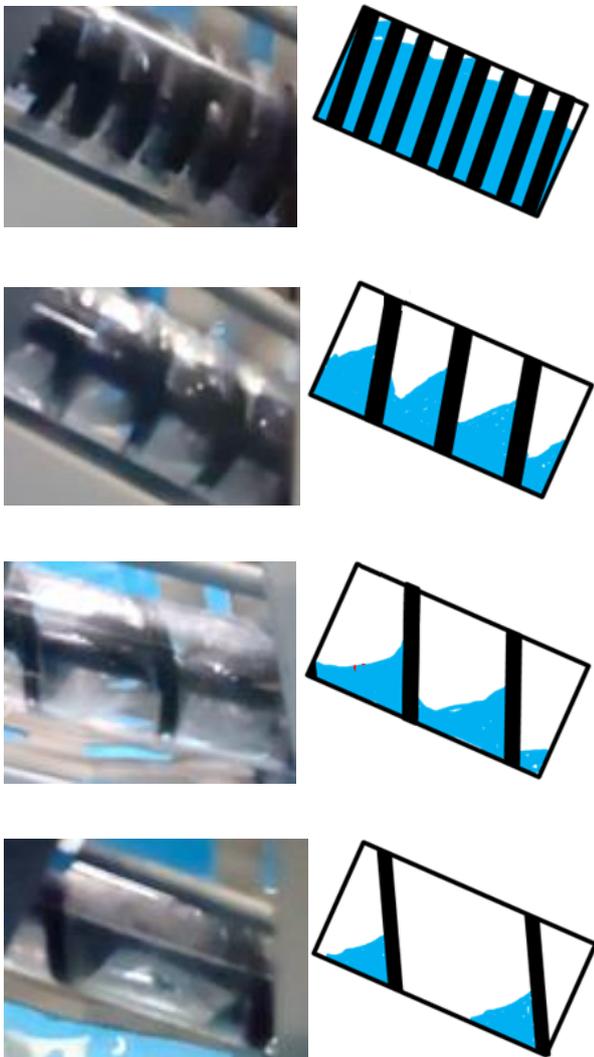


Fig.7 Effect of rotation speed on mass flow rate in Archimedean screw pump.

て判断すべきであるが, 今回は回転中の円筒管の下端部近傍の水の流れの様子を観察することにした. 回転数の増加とともに円筒管下端部近傍の水面の乱れが増加することが観察されたことから, 今回の実験条件では逆流現象が生じていたことが示唆された.

そこで, 逆流の質量流量を計算質量流量と実測質量流量の値の差であると定義して算出したなお, 螺旋角30度で値を例にとり予測値と実験値とを比較した結果をFig.9に示す. この図から逆流する質量流量を逆算し, 回転数で整理した結果をFig.10に示すが, 低回転数域では客流する質量流量の回転数依存性は低いが, 高回転数域では回転数の増加とともに飛躍的に逆流する質量流量が増加すること, この傾向は螺旋角によっても変化していること, がわかる.

Table 1 Retained water volume by screw.

スクロウ螺旋角	10度	20度	30度	40度
体積 [ml]	4577.1	11544.2	19466.7	29370.7
水質量 [g]	4.6	11.5	19.4	29.3
目測水量割合	0.8	0.4	0.3	0.2
目測揚水量 [g]	3.7	4.6	5.8	4.4

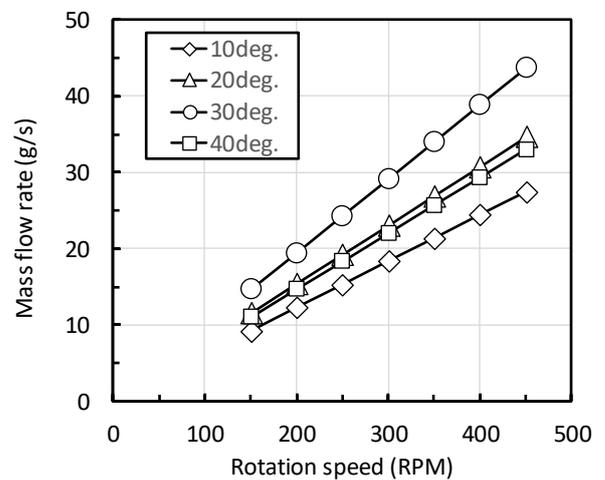


Fig.8 Effect of rotation speed on mass flow rate in Archimedean screw pump.

螺旋角30度での実測質量流量を再現する逆流質量流量  $Q$  を試行錯誤的に求めたところ, 式(1)の関係が得られ, 回転数  $N$  のべき乗で表現される関数として評価できることが示唆された.

$$Q = 4.975 + 2.5 \times 10^{-7} N^{5.86} \quad (1)$$

が得られ、この関係に Fig.8 を組み合わせて計算した螺旋角 30 度での質量流量を実測値と比較した結果を Fig.11 に示すが、比較的良い一致が得られた。以上から、螺旋角毎に逆流質量流量の関係を定めておけば、アルキメデス・スクリューによるポンプ特性を評価できると考えられる。

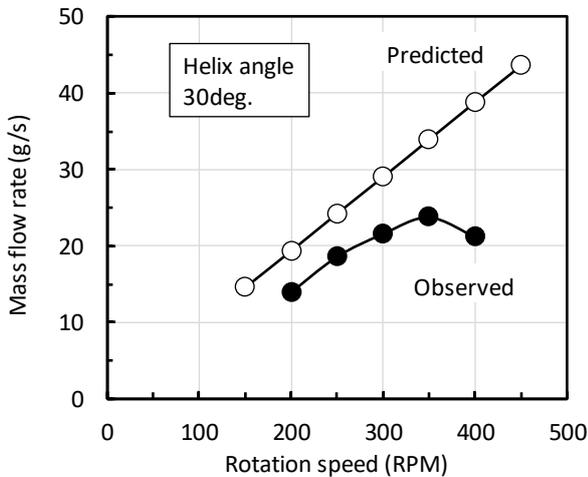


Fig.9 Comparison of predicted mass flow rate and observed one at helix angle 30deg.

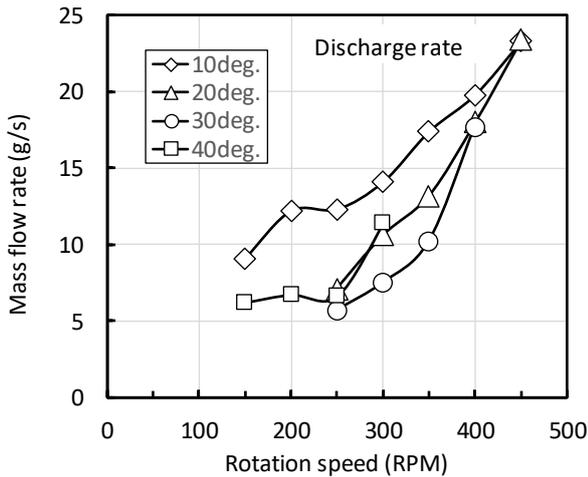


Fig.10 Calculated discharge rate at 30deg.

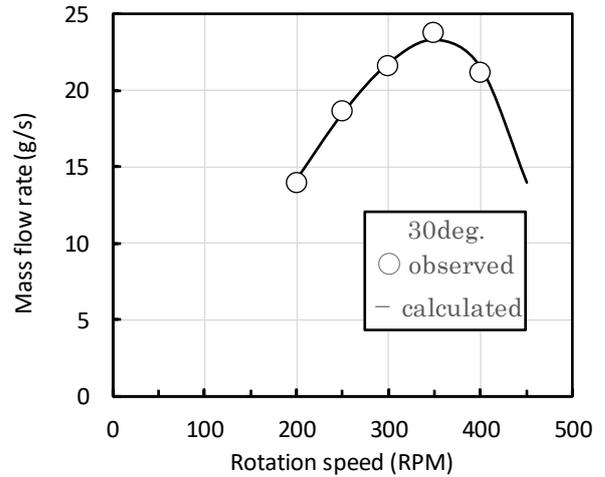


Fig.11 Comparison of calculated mass flow rate and observed one at helix angle 30deg.

#### 4. 結 言

本研究では、電力出力が不安定な再生可能エネルギーを位置エネルギーの形で貯蔵する揚水発電での汲み上げにアルキメデス・スクリュー型のポンプを適用することを想定し、その揚水特性を評価した。

円筒内部に設置するスクリューは螺旋角を 10 度から 40 度まで 10 度刻みで変更したものを 3D プリンターで作製し、円筒全体をモーターで回転駆動可能な水モデル実験装置を構築した。

この装置を用いて、螺旋角および回転数が揚水質量流量に及ぼす影響を調査した結果、螺旋角 30 度で汲み上げ質量流量が最大値を示すことが明らかになった。これは螺旋角の変化に応じて、螺旋羽根間に保持できる水の体積が変化することに起因すると考えられた。

また、汲み上げ質量流量は回転数増加とともに増加したが、250~350rpm の回転数を越えると質量流量は減少に転じた。低回転域では羽根間で保持した水を円筒管内で輸送できた割合が高かったのに対し、高回転域では回転数の増加とともにポンプ内の水に遠心力が強くなり、逆流現象が発生した結果として輸送可能な割合が減少したためと考えられた。今後の課題は円筒管の傾斜角度がアルキメデス・スクリューのポンプ能力に及ぼす影響を定量化することである。

参考文献

- 1) 上原聡一郎, 菅原 晃: 風力エネルギー利用シンポジウム, **35**(2013), 276-279.
- 2) 守島正太郎, 中川健治: 農業機械学会誌, **12**(1951), 61-65.
- 3) 葛原定郎: 三重大学農学部学術報告, **5**(1952), No.12, 97-105.
- 4) 金子憲一, 二瓶泰範: 実験力学, **19**(2020), 313-316.