

ギャロッピングの原理を利用した革新的なタービンプレード

岡山大学	正会員	○比江島 慎二
岡山大学	非会員	高松 宏彰
(株)ハイドロヴィーナス	非会員	上田 剛慈

1. はじめに

流体励起振動で剛体振り子を回転振動させて発電する Hydro-VENUS (Hydrokinetic Vortex ENergy Utilization System) 方式^{1)~5)}を開発している(図-1). 特に, 楕円を長軸に沿って半分にした半楕円断面を持つ振り子は, 水流によって角度振幅が 180° 以上に達する激しいギャロッピングを生じ, 円柱振り子などに比べ, 高いエネルギー取得性能が得られた. ところが, 振り子に復元力を与える回転バネを外したところ, 振り子の回転振動に代わって, 持続的な片方向回転が生じることが明らかとなった. ギャロッピングの原理に基づくと考えられるこの回転現象は, ギャロッピングと同様に高いエネルギー取得性能を発揮することが判明した.

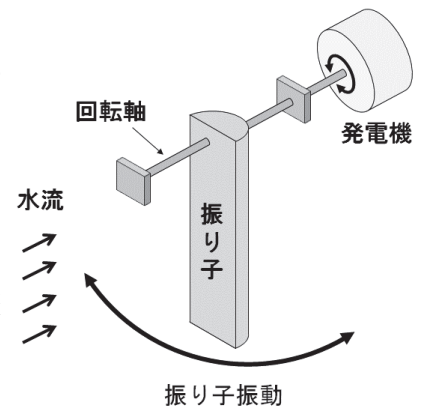


図-1 Hydro-VENUS の概念

2. 実験装置と方法

楕円の長径 $D = 15\text{cm}$ および短半径 $b = 2.5\text{cm}$ とした断面アスペクト比 $e = D/b = 6$ の半楕円柱を用い, 水槽実験によりエネルギー取得性能を検討した. 実験装置を図-2 に示す. 装置最下端に取り付けられた半楕円柱を水流中に没し, 半楕円柱に生じた回転運動をチェーン・スプロケットで装置最上部のトルクセンサーに伝達してトルクと角速度を計測する. パウダーブレーキでトルク負荷を様々に変化させながら, 測定したトルクと角速度の積で仕事率を算出し, トルク負荷に対する仕事率の最大値を探索した. なお, 回転との比較として半楕円柱をギャロッピング振動させる場合, 伝達経路上のねじりコイルバネを作動させた.



図-2 水槽実験装置

3. 実験結果

曳航水槽(九州大学応用力学研究所深海機器力学実験水槽)と回流水槽((株)西日本流体技研高速回流水槽)の2種類の水槽を用いて実験した. 曳航水槽では曳航時の半楕円柱の流体抵抗が大きく, 0.9m/s 以下の曳航速度しか出せなかったため, 回流水槽により流速 2.2m/s までの実験を行った. 長さ $L = 40, 50, 60\text{cm}$ のそれぞれの半楕円柱について, 各流速 U でトルク負荷を様々に変化させて得られた最大の仕事率 P , およびその時のトルク T と角速度 ω を図-3 に示す. ただし, $L = 50\text{cm}$ の半楕円柱は $U = 1.7\text{m/s}$ の測定中に破損したため, 回流水槽では $U = 1.5\text{m/s}$ の測定値しか得られていない. また, $L = 60\text{cm}$ は断面サイズの制約により回流水槽では測定しておらず, 曳航水槽の結果のみである.

図-3 には比較のため, $L = 40\text{cm}$ の半楕円柱を振り子としてギャロッピング振動させたときの実験結果も示してある. $L = 40\text{cm}$ の回転時と比較すると, 回転時の仕事率 P の方が振動時より $40 \sim 50\%$ 前後高い. しかし, このときのトルク T は, 低流速域では回転時が振動時よりやや高いが, 高流速域ではほとんど違いがない. 一方, 角速度 ω は, 回転時の方が振動時より高く, 角速度 ω の差が回転時と振動時のエネルギー取得性能の差に

キーワード Hydro-VENUS, 潮流発電, 小水力発電, ギャロッピング, ローター, 半楕円断面

連絡先 〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1 岡山大学大学院環境生命科学研究科 E-mail: hiejima@okayama-u.ac.jp

なっている。同一トルク負荷の下で、回転時より振動時の方が回転速度が低くなる要因として、振動時には、往復運動に伴って振り子の回転方向が周期的に転換し、角速度も変動するため、時間平均的な角速度 ω が回転時より低くなったと考えられる。

$L = 40, 50, 60\text{cm}$ の半楕円柱の仕事率 P はいずれも流速 U とともに指数関数的に増大し、同じ流速 U で比べるとブレード長さ L が長いほど高い仕事率 P が得られている。一方、トルク T と角速度 ω のいずれも流速 U とともに増大し、トルク T はブレード長さ L に対しても増大するものの、角速度 ω はブレード長さ L による差があまり見られない。つまり、各流速 U において、ブレード長さ L に関わらず、特定の角速度 ω で回転するときに最も効率的にエネルギーが取得されている。

さらに、図-3 からパワー係数を別途求めたところ、ブレード長さ L が長くなるほどパワー係数も増加する傾向が見られた。このことは、仕事率 P がブレード長さ L の2乗よりも大きいオーダーで増大していることを意味する。しかし、理論上、仕事率 P は L^2 に比例するはずなので、ブレード長さ L をさらに長くしていくと、仕事率 P は次第に L^2 に比例するようになり、パワー係数も一定に近づくと推測される。また、このときのトルク係数はブレード長さ L に関わらずほぼ一定であるのに対し、周速比は L とともに増加する傾向も別途明らかになった。つまり、ブレード長さ L の増加に伴うパワー係数の増大は、同一のトルク係数の下での周速比の増加が原因である。この周速比の増加は、ブレード長さ L に依存しない図-3の角速度 ω に起因している。しかし、上述のようにパワー係数はブレード長さ L の増加とともに一定に近づくと予想されることから、角速度 ω はやがてブレード長さ L の増加とともに低下するようになり、周速比も一定になると考えられる。

4. まとめ

同じ長さの半楕円柱であれば、振り子として振動させるよりもタービンブレードとして回転させる方が高いエネルギー取得性能が得られた。半楕円柱ブレードを回転させたところ、ブレード長さの増加とともにパワー係数も増大する過渡的な状態にあり、より長いブレードを用いることでエネルギー取得効率をさらに高められる可能性がある。ただし、理論的制約から、ブレード長さを長くするほど、パワー係数の増加は鈍化し、やがて一定値に近付くと予想される。

参考文献

- 1) 比江島慎二, 岡圭人, 林健一, 井上浩男: 流体励起振動を利用した潮流発電のための基礎的実験, 「フラッターの制御と利用」に関する第1回シンポジウム梗概集, pp.88-93, 2011.
- 2) 比江島慎二, 岡圭人, 林健一, 井上浩男: 倒立振り子を用いた流力振動発電のためのエネルギー取得性能の検討, 第22回風工学シンポジウム, pp.425-430, 2012.
- 3) 比江島慎二, 岡圭人, 林健一, 井上浩男: 倒立振り子の流力振動を用いた発電のための基礎的実験, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.1, pp.12-21, 2013.
- 4) Hiejima, S., Oka, K., Hayashi, K., Inoue, H. and Sheena, R.: Energy harvesting by flow-induced vibration of Hydro-VENUS converter, *Proc. Grand Renewable Energy 2014*, O-Oc-3-2, 2014.
- 5) 比江島慎二, 大熊広樹: 振り子式潮流発電機の円柱振り子に作用する流体力特性, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.2, pp.315-321, 2016.

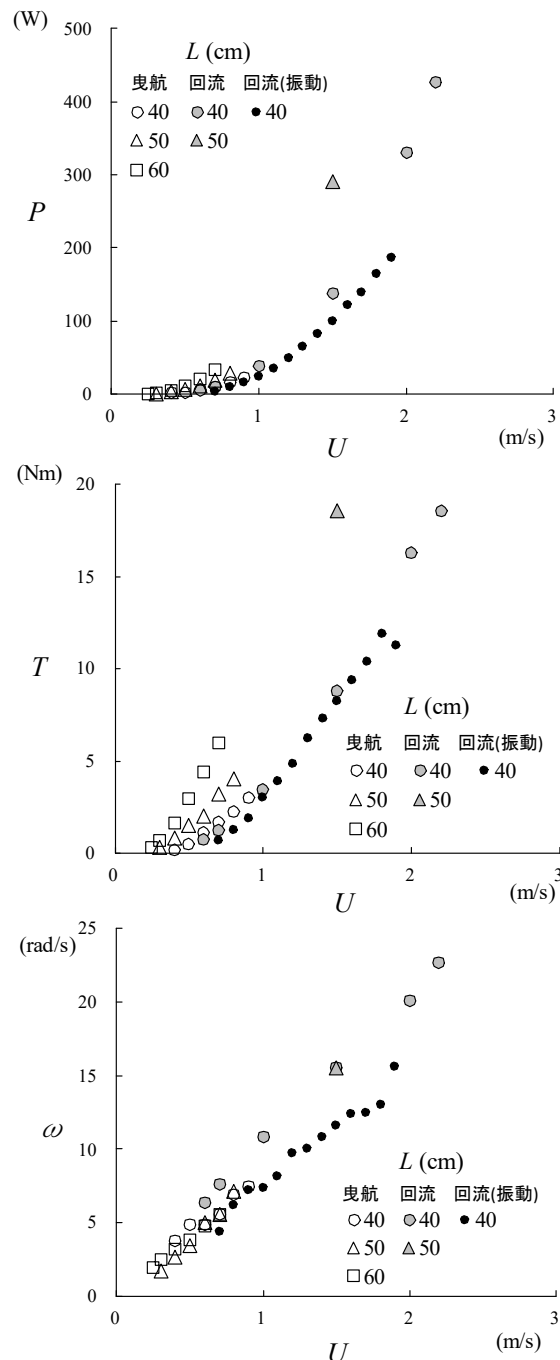


図-3 半楕円柱のエネルギー取得性能