

自律高空帆走発電に用いる浮体式 Hydro-VENUS タービンの開発

岡山大学大学院 学生会員 ○竹村 一樹

岡山大学大学院 正会員 比江島 慎二

1. はじめに

現在、国内外で洋上風力発電の導入が盛んである。しかし、風車を用いた現在の方式は、送電コストや水深の制約のために設置場所が離岸距離 30km 程度以内に限定され、30km 超の海域の風力に比べて微弱な風力しか得られない。また、30km 以内では漁業と競合しやすく風車設置の障壁となりやすい。われわれが提案している自律高空帆走発電は、上空に揚げたカイトで洋上風力をとらえ、その曳航力で浮体を帆走させる。帆走によって生じた水流により、浮体下部の水流タービンで発電する仕組みである。

本研究では、ギャロッピングを原理とする水流タービンとしてこれまで開発してきた回転型 Hydro-VENUS¹⁾²⁾について、水槽実験で基本性能を探るとともに、実規模の 1/10 ～ 1/20 に相当する浮体式水流タービン模型を設計・製作し、農業用水路で発電実験を行った。

2. 回流水槽実験による基本特性の検討

断面アスペクト比 6 の半楕円の断面形状を持つ全長 L 80mm の Hydro-VENUS ブレードについて、ブレード先端のウィングレットやブレード本体にピッチ角 5° を与えた 3 種類を用いた (図 1)。2 枚翼の半楕円柱ブレードをブラシレスモーターによって回転数を制御しながら水流中で回転させ、流速 U 0.7m/s～1.0m/s の範囲でトルク Q と角速度 ω を測定してパワー P を求めた。

流速 1.0m/s 時の周速比 $\lambda = \omega L / U$ に対するパワー係数 $C_p = P / 0.5\pi\rho L^2 U^3$ とトルク係数 $C_Q = Q / 0.5\pi\rho L^3 U^2$ を図 2 と図 3 に示す。このとき λ の正負は正回転と逆回転を表す。半楕円断面は左右対称形状であるため、ピッチ角 0° の場合、正逆両方向に回転できるという特異な性質があり、 λ の正と負で C_p は対称、 C_Q は逆対称のグラフになるはずなので、 λ の負のデータはそのまま λ の正のデータをコピーして描いている。ピッチ角 0° で比較すると、ウィングレットありの場合は C_p が増加し、ウィングレットによる性能向上効果が見られる。

一方、ピッチ角 5° の場合は、 λ の正と負のそれぞれで測定した結果を示している。ピッチ角を与えると逆回転はできないと思われたが、意外なことに図 2 の C_p は λ が負でも正の値となり、逆回転が可能であることを示している。実際に水流中でピッチ角 5° のブレードに逆回転方向に初速度を与えると、逆回転をそのまま維持することが確認できた。Hydro-VENUS ブレードはギャロッピングの自励流体力で

回転するため、ピッチ角を与えた場合でさえ、図 3 のように $\lambda < 0$ の回転方向にトルクが発生する。このことが逆回転発生 の要因である。なお、ウィングレットあり・ピッチ角 5° のブレードで最大の C_p 32.3% が得られ、このとき λ 3.52、 C_Q 0.092 であった。

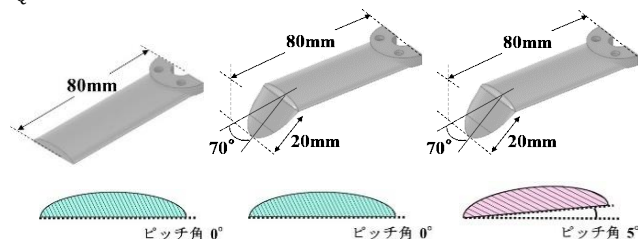


図 1 水槽実験で用いた 3 種類の半楕円ブレード

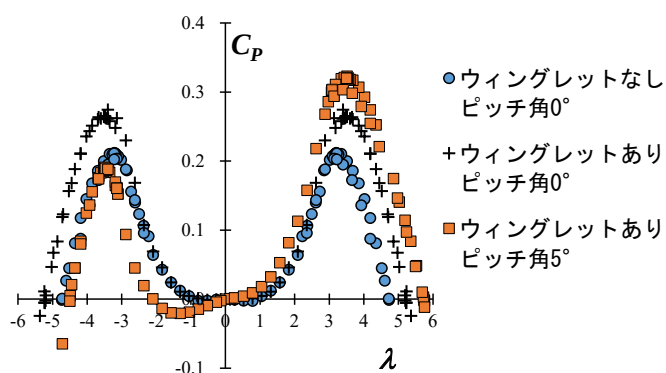


図 2 3 種類のブレードのパワー係数(流速 1.0m/s)

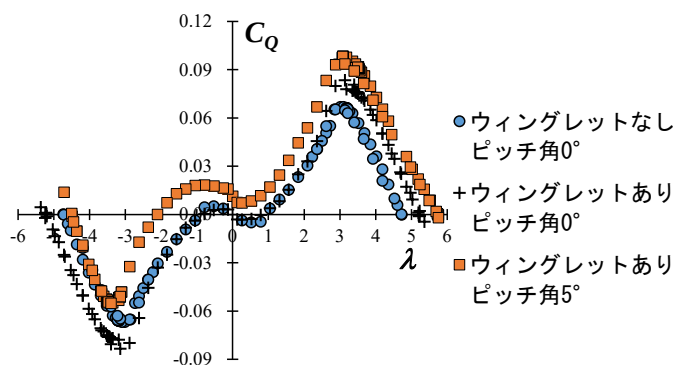


図 3 3 種類のブレードのトルク係数(流速 1.0m/s)

Hydro-VENUS はギャロッピングによる自励流体力で回転すると考えられることから、図 3 の C_Q はブレードの角速度の奇関数³⁾、つまり λ の奇関数として次式で表すことができるはずである。

$$C_Q = C_1\lambda + C_3\lambda^3 + C_5\lambda^5 + C_7\lambda^7 + C_9\lambda^9 + \dots \quad (1)$$

しかし、ピッチ角を有する場合は図 3 のように逆対称性が

キーワード 洋上風力発電, 流体励起振動, ギャロッピング, Hydro-VENUS, 半楕円断面

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

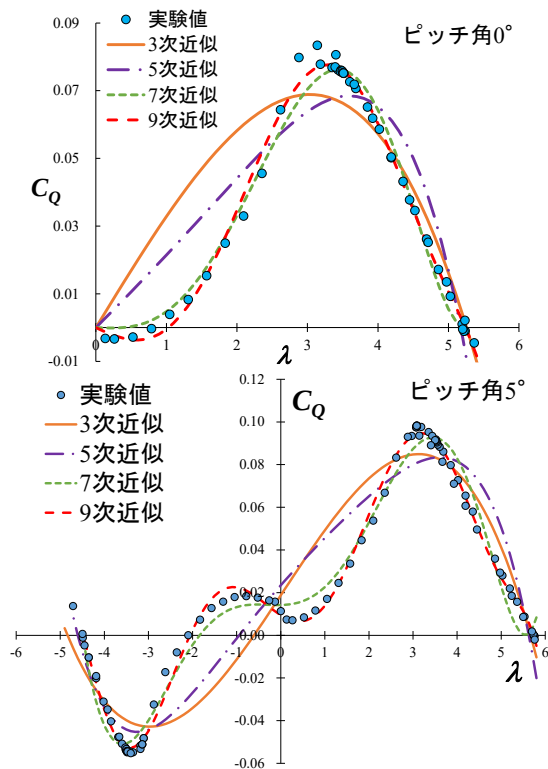


図4 ウィングレットありのブレードのトルク係数の近似

失われるため、定数項や偶数次項も含めて下記のように表されると考えられる。

$$C_Q = C_0 + C_1\lambda + C_2\lambda^2 + C_3\lambda^3 + C_4\lambda^4 + C_5\lambda^5 + C_6\lambda^6 + C_7\lambda^7 + C_8\lambda^8 + C_9\lambda^9 + \dots \quad (2)$$

ウィングレットありのブレードのピッチ角 0° には式(1)、ピッチ角 5° には式(2)を適用して近似曲線を求めた結果を図4に示す。5次程度までは実験値との乖離が大きいが、7～9次まで考慮すれば十分に近似できているのが分かる。

3. 農業用水路における浮体式 Hydro-VENUS 発電実験

Hydro-VENUS タービンを浮体に搭載した図5の小型実証機により農業用水路で発電実験を行った。発電機とタービン間のギア比 G を変えた数ケースについて、アウターローターコアレス発電機にかかる電気抵抗を変えながら発電電力 E を測定した。Hydro-VENUS ブレードは、水槽実験と同じ断面アスペクト比6の半楕円形断面を有するウィングレット付きでピッチ角 5° の2枚翼ブレードを用いた。ブレード長さ L 270mm、ブレード見付幅 90mm である。

各ギア比 G において総合効率の最大値 $\eta_{\max} = E / 0.5\pi\rho L^2 U^3$ とそのときの周速比 $\lambda_{\eta_{\max}}$ とトルク係数 $C_{Q\eta_{\max}}$ を図6に示す。トルク係数は、電気抵抗と回転数に対する発電機のトルク特性から求めた推定値である。図6には、水槽実験でパワー係数が最大 C_p 32.3% となったときの周速比 λ 3.52 とトルク係数 C_Q 0.092 を設計値として示すとともに、それらから推定した総合効率の設計値も示している。 $\eta_{\max}$ はどのギア比 G でも設計値に近いものの、設計値に比べるとやや大きい。これは、 $\lambda_{\eta_{\max}}$ が設計値に近いのに対して、 $C_{Q\eta_{\max}}$ は設計値よりもやや大きいことが要因

である。



図5 浮体式 Hydro-VENUS 発電装置

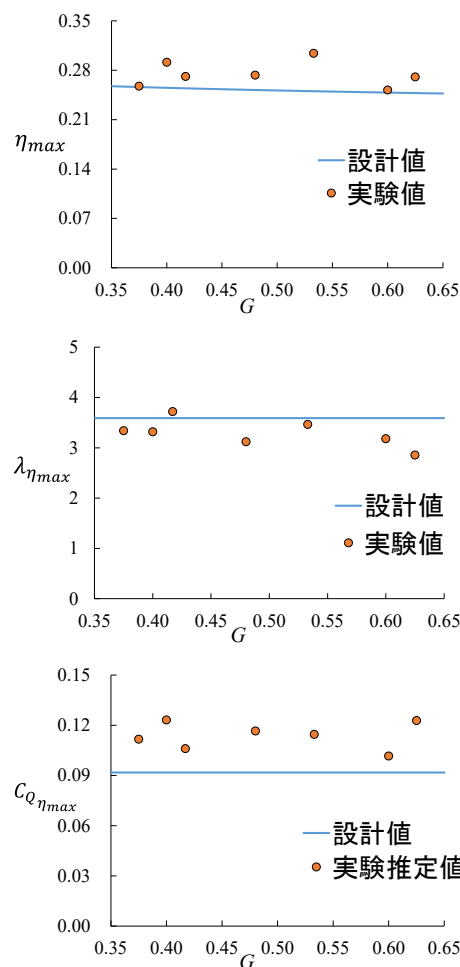


図6 ギア比ごとの総合効率の最大値

参考文献

- 1) 比江島慎二, 高松宏彰, 大熊広樹, 上田剛慈: 流体励起振動の励振機構を利用した革新的な水流発電用タービンプレード, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.74, No.1, pp.1-12, 2018.
- 2) 比江島慎二, 高松宏彰, 大熊広樹, 上田剛慈: 流体励起振動の励振機構を利用した革新的な水流発電用タービンプレード, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.74, No.1, pp.1-12, 2018.
- 3) Parkinson, G. V. and Smith, J. D.: The square prism as an aeroelastic non-linear oscillator, Quarterly J. Mech. and Applied Mathematics, Vol.17, Issue 2, pp.225-239, 1964.