

翼端渦抑制による VENUS ブレードの性能向上

岡山大学 正会員 ○比江島慎二

岡山大学 非会員 伊藤 隼

岡山大学 非会員 栗岡 大滋

岡山大学 非会員 坂平 薪志

(株)エナジーフロント 非会員 上田 剛慈

1. はじめに

ギャロッピングの原理で振り子を振動あるいは回転させて発電する Hydro-VENUS^{1)~6)}を開発している. 本研究では, 振り子 (VENUS ブレード)が回転体として作動するときの翼端渦の抑制により, エネルギー取得性能を高めるため, ブレード先端のウィングレットやブレード長さに沿った楕円湾曲を導入した.

2. ウィングレットと湾曲ブレード

楕円を半分にした半楕円 (長径 $D = 25\text{mm}$, 短半径 $b = 4.17\text{mm}$) の断面を持つ VENUS ブレードに対して, 図-1 のように上流方向に向けた, ブレード先端のウィングレットおよび楕円状のブレード湾曲を与えた. ウィングレットは折り曲げ角 ψ と折り曲げ長 w , 楕円湾曲は長半径 L と短半径 L' の楕円の軸比 $R_c = L/L'$ をそれぞれ変化させた. VENUS ブレード 1 枚翼のローターを水流で回転させ, 図-1 (c) の装置で計測したトルクと角速度の積で仕事率を算出する. ヒステリシスブレーキでトルク負荷を変えながら最大の仕事率を探索した.



図-1 ウィングレット・湾曲を与えた VENUS ブレードおよび水槽実験装置

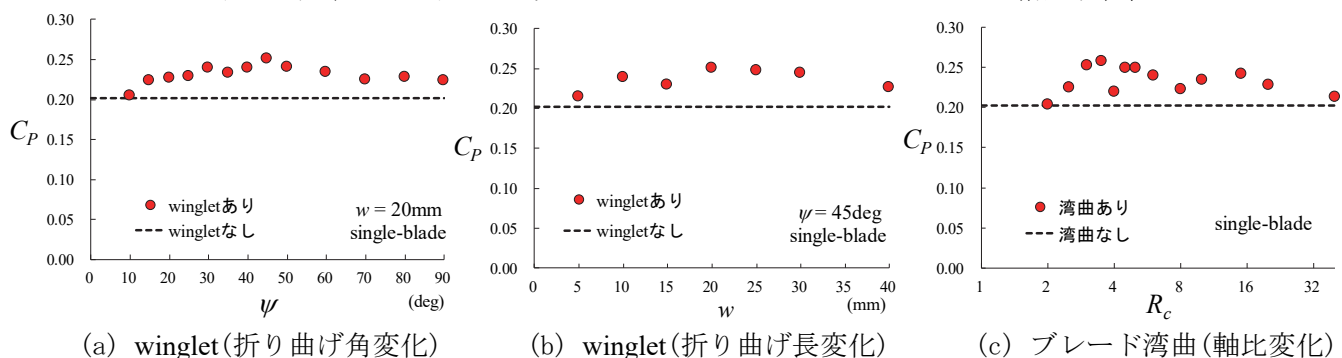


図-2 ウィングレットおよびブレード湾曲の効果

3. 水槽実験結果

折り曲げ長 $w = 20\text{mm}$ の下で折り曲げ角 $\psi = 0^\circ \sim 90^\circ$ で変化させたウィングレット, 折り曲げ角 $\psi = 45^\circ$ の下で折り曲げ長 $w = 0 \sim 40\text{mm}$ で変化させたウィングレット, および軸比 $R_c = 2 \sim 40$ で変化させた楕円湾曲のそれぞれのケースで得られたパワー係数 C_p を図-2 に示す. 比較のため, ウィングレットも楕円湾曲も与えない

キーワード Hydro-VENUS, 潮流発電, ギャロッピング, 半楕円断面, ウィングレット, 湾曲ブレード

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

直線状の半楕円柱 VENUS ブレード（翼端は半楕円断面を 90° 回転させて丸めた）のパワー係数 $C_p = 0.202$ を破線で示してある．いずれも半径 $L = 80\text{mm}$ の 1 枚翼ローターである．ウィングレットあるいは楕円湾曲を与えることで，直線ブレードよりも高い性能が得られている．ウィングレットの場合は折り曲げ角 $\psi = 45^\circ$ かつ $w = 20\text{mm}$ のとき最大の $C_p = 0.251$ ，楕円湾曲の場合は軸比 $R_c = 3.5$ のとき最大の $C_p = 0.258$ が得られており，直線ブレードに対してそれぞれ 24%と 28%の性能向上である．また，ウィングレットと楕円湾曲ではいずれもトルクが増加するが，楕円湾曲ではさらに回転速度も増加することが別途明らかになった．

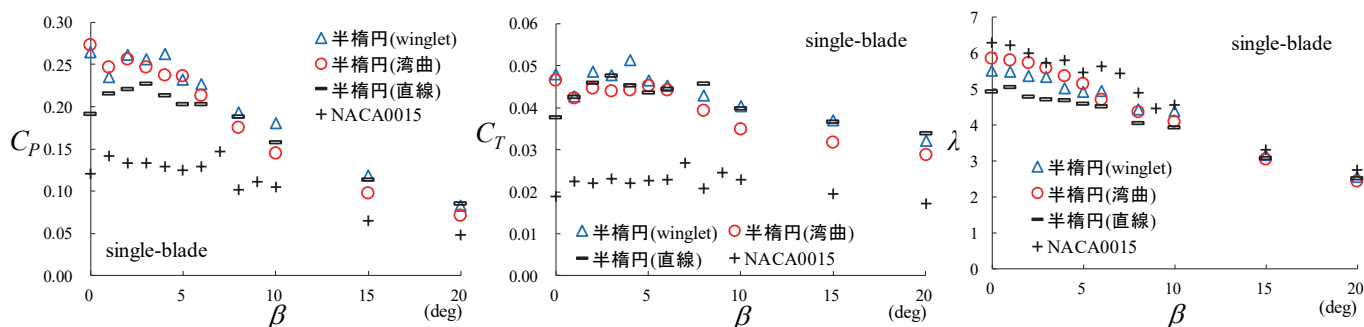


図-3 ピッチ角の影響および翼型ブレードとの比較

図-2 で性能が高かった $\psi = 45^\circ$ かつ $w = 20\text{mm}$ のウィングレットおよび $R_c = 3.5$ の楕円湾曲を持つ半楕円柱 VENUS ブレードについて，ピッチ角 β に対するパワー係数 C_p ，トルク係数 C_T ，周速比 λ を図-3 に示す．比較のため，ウィングレットと楕円湾曲のいずれも与えない直線状の半楕円柱ブレード，および NACA0015 翼型断面のブレード（図-4）の結果も示している．直線状の半楕円柱ブレードと翼型ブレードの翼端はいずれも丸めていない．翼型の翼弦長は半楕円の長径と同じく $D = 25\text{mm}$ で，いずれもローター半径 $L = 80\text{mm}$ の 1 枚翼である．直線状の半楕円柱ブレードはピッチ角 $\beta = 3^\circ$ で最大のパワー係数 $C_p = 0.227$ が得られ， $\beta = 0^\circ$ のときの $C_p = 0.192$ に比べて性能が 18% 向上した．一方，ウィングレットあるいは楕円湾曲を与えた半楕円柱ブレードも， $\beta = 2^\circ \sim 4^\circ$ 付近で C_p のピークが見られるものの，最大の C_p はいずれも $\beta = 0^\circ$ のときであり，ピッチ角を与えない方が性能が高い．



図-4 NACA0015 翼型ブレード

これらに対し，NACA0015 翼型ブレードは $\beta = 7^\circ$ で最大の $C_p = 0.147$ が得られた．しかし，いずれのピッチ角 β でも半楕円柱ブレードを超える性能は得られなかった．トルク係数 C_T と周速比 λ を見ると，NACA0015 翼型は半楕円柱ブレードよりも周速比が高いものの，半楕円柱よりトルク係数が低い．通常，翼型ブレードは高迎角で剥離失速しないようにねじりを与えるが，本実験では翼根から翼端まで一定のピッチ角しか与えておらず，NACA0015 翼型は翼根に近い位置ほど失速している可能性が高い．また，本実験のブレードアスペクト比 $L/D = 3.2$ が低いことから，NACA0015 翼型では翼端渦やその他の 3 次元的な流れの影響を強く受けた可能性もある．一方，半楕円柱では，ブレード上のいずれの場所でも，鋭い前縁エッジから剥離した流れによるギャロッピング機構が支配的となり，失速することなく，翼端渦などの影響も小さかった可能性が考えられる．しかし，現時点では流れの詳細は不明であり，さらなる検討が必要である．

謝辞：本研究の一部は，国立研究開発法人科学技術振興機構の地域産学バリュープログラム，一般社団法人中国建設弘済会の技術開発支援事業，および日本財団・(株)リバネス共同事業の海底探査技術開発プロジェクトの支援により行われたことを付記し，ここに謝意を表します．

参考文献

- 1) 比江島他，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.69, No.1, pp.12-21, 2013.
- 2) 比江島他，第 22 回風工学シンポジウム論文集，pp.425-430, 2012.
- 3) 比江島，大熊，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.72, No.2, pp.315-321, 2016.
- 4) Hiejima, S., et al., *Proc. Grand Renewable Energy* 2014, O-Oc-3-2, 2014.
- 5) 比江島他，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.73, No.1, pp.24-34, 2017.
- 6) 比江島他，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.74, No.1, pp.1-12, 2018.