L-23

# 往復気流発生装置における垂直軸形タービンのトルク特性の検討
## -往復気流が 8 枚翼垂直軸形タービンに及ぼす影響-
## Study on the Torque Characteristics of the Vertical Axis Turbine in Reciprocating Air Generator
## -Effects of Reciprocating Air on the 8-bladed Vertical Axis Turbine

○寒川弘一[1]，辻健太郎[2]，直井和久[2]，吉田和範[3]，槻舘悦浩[3]，塩野光弘[2]
*Hirokazu Samukawa[1], Kentaro Tsuji[2], Kazuhisa Naoi[2], Kazunori Yoshida[3], Etsuhiro Tsukidate[3], Mitsuhiro Shiono[2]

Abstract：In this paper, we investigate the characteristics of the vertical axis turbine in the reciprocating air by using the reciprocating air generator. Reciprocating air is generated by using piston drive. As a result, the torque of the turbine is obtained in proportion to the reciprocating air. Average torque is constant at low rotational speed. And, the average torque as the rotation speed increased tends to increased.

### 1.はじめに

現在，OWC 型波力発電装置には主にウェルズタービンという水平軸形タービンを用いている．しかし，水平軸形タービンは発電機をダクト内に設置するため[1]，発電機が塩分を含む空気流に晒されて腐食しやすく，またタービンへの流入風量を下げてしまう．そこで，発電機の設置環境を改善するため OWC 型波力発電装置に垂直軸形タービンを用いることを提案した[2]．OWC 型波力発電装置内の空気流は海面の上昇と下降によって発生する往復気流であることから我々は往復気流発生装置の製作を行い，装置内に任意の大きさの往復気流が発生することを確認した[3]．

本稿では，往復気流発生装置を用いて往復気流中における 8 枚翼垂直軸形タービンのトルク特性に及ぼす影響について検討を行ったので報告する．

### 2.実験装置

図 1 に往復気流発生装置を示す．往復気流はモータの回転運動をボールねじによりピストンの直線運動に変換することでタービンに流入させる．装置のピストン部と測定部の断面はそれぞれ一辺 1.25m，0.4m の正方形となっておりその間を縮流部で繋いでいる．ピストン部においてピストンを往復直線運動させ空気の圧縮と膨張を行い，測定部に往復気流を発生させる．測定部先端は常に開放させ，空気の流入と流出を行う．

測定部内の風速を測定するために，縮流部側から 0.5m の位置に風速計 α，開放部側から 0.5m の位置に風速計 β を設置した．風速計はそれぞれ測定部断面の中央に設置する．測定部内の風速はピストンが測定部に近づいた場合の風速計 α が測定した風速の最大値を用いて設定する．

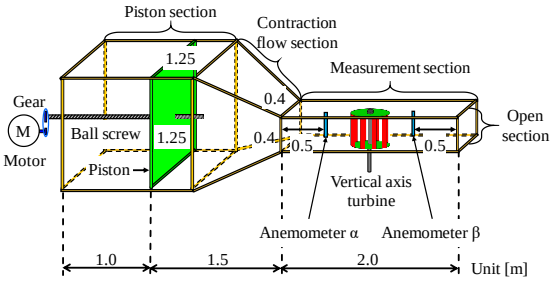



**Figure 1.** Reciprocating air generator

図 2 に実験に使用した垂直軸形タービンの概形を示す．翼形状は NACA63$_3$-018 翼形に基づく円弧キャンバー翼[4]である．直径 D は 300mm，高さ H は 300mm，タービンの翼枚数は 8 枚とした．使用した翼の翼弦長の長さ C は 81.4mm である．

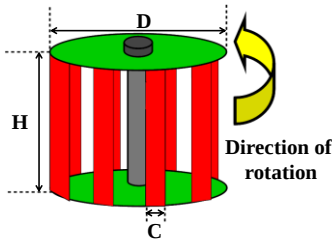



**Figure 2.** Vertical axis turbine

### 3.実験方法

図 3 に実験で使用した測定装置を示す．本実験は図 1 に示す往復気流発生装置の測定部にタービンを設置し，図 3 に示す発電機を任意の回転速度で回転させる．往復気流を発生させた時にタービンに生じるトルクをトルク検出器により，タービンの回転速度を回転速度検出器により測定する．測定部内の風速は，尻羽岬の 1985 年から 2007 年の波浪データ[5]を参考に ISLAY 島にある OWC 型波力発電装置を想定した場合[1]，ダクト内の風速の試算値が最大 8.2m/s, 最小 5.7m/s であることを考慮し, 6~8m/s で 1m/s 毎に設定する．タービンの回転速度は 280min$^{-1}$ まで 20min$^{-1}$ 毎に設定する．ピストン駆動の往復運動を 1 周期として測定時間は 20 周期分とする．

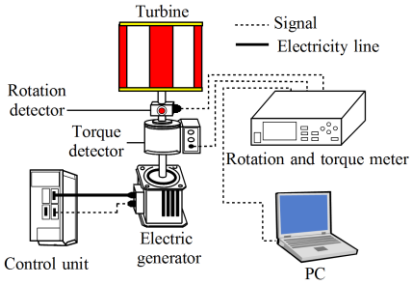



**Figure 3.** Measurement system

### 4.実験結果

#### 4.1.測定風速及びトルク特性

設定風速 6m/s，回転速度 200min$^{-1}$ における測定風速を図 4(a)に，トルク特性を図 4(b)に示す．t は経過時間，T はトルク，W は風速である．図 4 は測定した 20 周期中，風速の最大値が一定値となる 10 周期以降[3]の 13~17 周期

1：日大理工・院(前)・電気　2：日大理工・教員・電気　3：日大理工・教員・機械

を含む t=55~85 秒を示す．設定風速 6m/s における 1 周期の時間は 4.8 秒である．図 4 において 57.6~62.4 秒の 4.8 秒間が 13 周期における測定値であり, 14 周期以降は 62.4 秒から 4.8 秒間隔で 17 周期の 81.6 秒まで測定されている．ここで, 風速の測定値は風速計 α で測定した値を $W_\alpha$, 風速計 β で測定した値を $W_\beta$ とする．

図 4(a)において，13 周期における前半の半周期 57.6~60.0 秒の風速は $W_\beta$ より $W_\alpha$ の風速が大きく，最大値は $W_\alpha$ が 5.6m/，$W_\beta$ が 2.5m/s である．また，後半の半周期 60.0~62.4 秒の風速は $W_\alpha$ より $W_\beta$ の風速が大きく，最大値をみると $W_\alpha$ が 1.8m/s, $W_\beta$ が 6.7m/s である．14~17 周期の間でも 13 周期と同様に前半の半周期では $W_\beta$ より $W_\alpha$ の風速が大きく，後半の半周期では $W_\alpha$ より $W_\beta$ の風速が大きく見られる．これは，ピストンが測定部に近づくとき，空気流は風速計 α，タービン，風速計 β の順で通過し装置外に流出する．一方，ピストンが測定部から遠ざかるときは，ピストンが測定部に近づくときの反対の順で装置内に空気流が流入する．そのため，13 周期における前半の半周期 57.6~60.0 秒ではピストンが測定部に近づくため $W_\beta$ に比べ $W_\alpha$ の方が風速の測定値が大きい．後半の半周期 60.0~62.4 秒ではピストンが測定部から遠ざかるため $W_\alpha$ に比べ $W_\beta$ の方が風速の測定値が大きい．

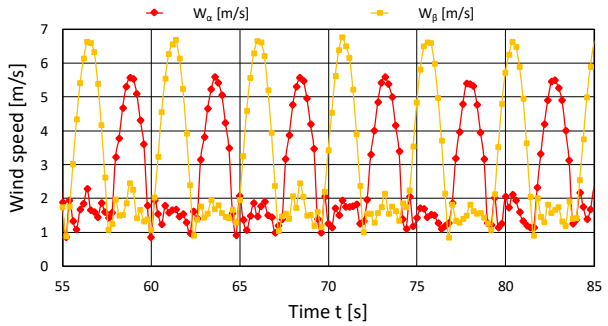
図 4(b)において，トルクの大きさは時間経過に対して周期的に変化している．13 周期におけるトルクの値は，前半の 57.6~60.0 秒においてタービンに流入する前の風速 $W_\alpha$ の時間変化に対して増減するのに対し、トルクの値も同様に変化した．また，後半の 60.0~62.4s についても前半の半周期と同様にトルクの変化が見られ, 14~17 周期において 13 周期と同様の結果が周期的に見られることから，トルクの値は垂直軸形タービンに流入する往復気流に応じて変化することが確認できた．次に 13~17 周期の範囲で半周期毎にトルクの最大値を見ると，設定風速 6m/s においてトルクの最大値は 58.2~86.4mN・m の範囲で得られる．同様に，トルクの最小値を見ると，トルクの最小値は-4.2~-28.3 mN・m の範囲で得られる．

### 4.2.平均トルク特性

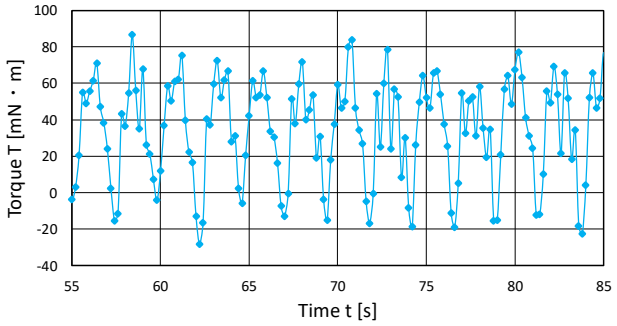
図 5 に設定風速 6m/s，回転速度 20~280min$^{-1}$ における平均トルク $T_{AV}$ [mN・m]を示す．平均トルクは 11~15 周期，13~17 周期，16~20 周期の各周期の範囲における平均値を求めた．平均トルクは，各周期において回転速度が 20~160 min$^{-1}$ の範囲では平均トルクが 20~30mN・m でほぼ一定の値が得られた．一方，回転速度が 160min$^{-1}$ 以上の範囲では回転速度の増加にともない平均トルクが増加し，回転速度 280 min$^{-1}$ で平均トルクの最大値が 57mN・m となった．また，11~15 周期，13~17 周期，16~20 周期での平均トルクを比較すると，平均する時間範囲を変化させても得られる平均トルクの値に大きな差が見られないことから、11 周期以降の時間変化に対して得られるトルク特性はほぼ等しい．

### 5.まとめ

本稿では，往復気流発生装置を用いて往復気流中における垂直軸形タービンのトルク特性に及ぼす影響について検討を行った．測定部に流れる往復気流の大きさは，設置した垂直軸形タービンにより、タービンから流出した後の風速に比べ流入する前の風速の方が大きいことが




(a)　Measured wind speed




(b)　Characteristics of t-T

Figure 4. Torque characteristics

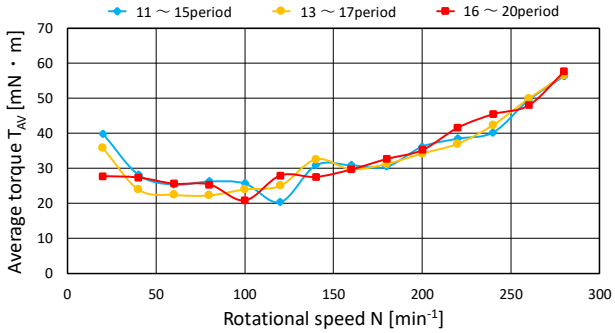



Figure 5. Characteristics of N–$T_{AV}$

確認できた．トルクはタービンに流入する風速の時間変化に応じて変化することが確認できた．トルクの最大値は 58.2~86.4mN・m の範囲で，最小値は-4.2~-28.3 mN・m の範囲で得られる．平均トルクは，タービンの回転速度が 160min$^{-1}$ 以下では平均トルクが 20~30mN・m でほぼ一定のトルクを得る．一方，160min$^{-1}$ 以上では回転速度の上昇にともない平均トルクが増加し，回転速度が 280 min$^{-1}$ で平均トルクの最大値が 57mN・m となった．また、時間変化に対して得られるトルク特性はほぼ等しいことが確認できた．

### 参考文献

[1] The Queen's University：「ISLAY LIMPET WAVE POWER PLANT」, PUBLISHABLE REPORT 1 November 1998 to 30 April 2002, pp.4,15,17-20

[2] 宮前ほか：「OWC 型波力発電装置に用いる垂直軸形タービンの効率にダクト幅が及ぼす影響」, 2013 年電気設備学会全国大会講演論文集, pp.39-40(2013)

[3] 寒川ほか：「波力発電用往復流発生装置におけるダクト内風速の検討」, 平成 28 年電気学会全国大会講演論文集, pp.109-110(2016)

[4] 例えば,名塚ほか:「NACA63$_3$-018 翼型を基にした翼形の違いによる 3 枚翼ダリウス形タービンの負荷特性の検討」, 2016 年電気設備学会全国大会論文構文集, pp.186-187(2016)

[5] 気象庁：波浪観測累年表 1985-2007 尻羽岬, http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/wave/stat//pdf/47418s.pdf