L-21

風力発電に用いるダリウス形タービンの負荷特性
ー翼形状と翼枚数の違いによる影響ー
Load Characteristic of Darrieus Type Turbine used in a Wind Power Generation
ーEffect of the Wing Section and Number of Blade ー

○守屋陽央[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]
*Akihisa Moriya[1], Kentaro Tsuji[2], Kazuhisa Naoi[2], Kazunori Yoshida[3], Etsuhiro Tsukidate[3], Mitsuhiro Shiono[2]

Abstract: Darrieus turbine based on the NACA63$_3$-018 have been used as a water turbine for the tidal current power generation. We have investigated that study on effects of using this turbine as a wind turbine for the wind power generation by wind tunnel experiments. This paper shows effects of the number of blade and wing section on the load characteristics of turbines.

１．はじめに
我々は潮流発電用の水車として使用された実績のある NACA63$_3$-018 翼形に基づく直線翼のダリウス形タービン[1] を，風力発電に利用した場合の特性について検討を行っている．

直線翼のダリウス形タービンを風力発電に利用する場合，単一流管理論によって 1～4 枚翼のタービンで解析が行われており，翼形状および翼枚数ごとにタービンの負荷特性は異なることが明らかにされている[2]．

そこで我々は文献[1]のタービンの翼枚数を 3~6 枚と変化させた場合のタービン特性を風洞実験により検討した結果，5,6 枚翼と比べ 3,4 枚翼は風車効率が高く，3,4 枚翼では最大効率がほぼ等しいことを明らかにした[3]．また 4 枚翼タービンの翼形状に着目し，文献[1]のタービンの翼形状である円弧キャンバー翼に加え直線キャンバー翼を用いて風洞実験を行いパワー係数特性により比較検討を行った．その結果，直線キャンバー翼よりも円弧キャンバー翼の方がパワー係数の最大値は高いことが示された[4]．また，同様に 3 枚翼タービンについてトルク特性，パワー係数特性により検討を行った結果，直線キャンバー翼よりも円弧キャンバー翼の方がトルクが負値となる範囲が狭く，パワー係数の最大値は高いことが示された[5]．

本稿では NACA63$_3$-018 翼形に基づく直線キャンバー翼および円弧キャンバー翼を用いた 3,4 枚翼の 4 種類のタービンにより風洞実験を行い，翼形状と翼枚数の違いがタービンの負荷特性に及ぼす影響についてトルク特性，パワー係数特性から明らかにしたので報告する．

２．供試タービン
実験に使用したタービンの概形を図 1 に示す．タービンは回転軸に対して平行な直線翼を円周上に配置した．翼枚数は 3 または 4 枚とした．タービンの直径 D は 600mm，高さ H は 450mm，翼弦長 C は 105mm である．

図 2 に実験に使用したタービンの翼形状を示す．図 2(a)に示す直線キャンバー翼である NACA63$_3$-018 翼形と，図 2(b)に示す，NACA63$_3$-018 翼形に基づいてキャンバー線をタービンの回転軌跡に一致するように設計した円弧キャンバー翼を使用した．

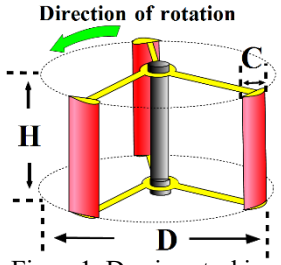


Figure1. Darrieus turbine

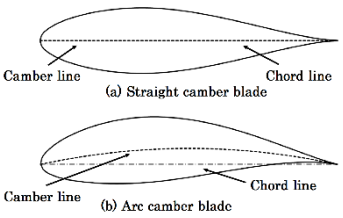


Figure2. Wing section

３．実験装置および測定方法
負荷特性試験は水平式閉鎖回流型風洞(測定部：幅 2000mm，高さ 2000mm，奥行 5300mm)内にタービンを設置し実験を行い，設定風速は 9，12m/s とした．

負荷特性の測定に使用した装置を図 3 に示す．負荷特性試験は風速を設定した後，発電機の回転速度制御器でタービンを任意の回転速度に設定し，20min^{-1} ごとにタービンの回転速度とトルクを，回転速度検出器とトルク検出器により測定する．

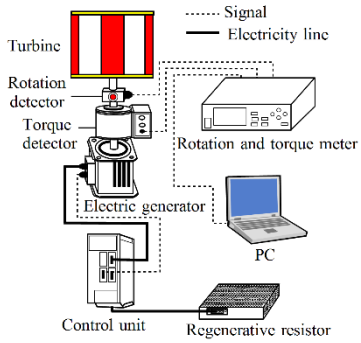


Figure3. Measurement

回転速度はタービンの寸法によらず評価するため周速比 λ を用いる．周速比 λ を式(1)に示す．ただし，N：回転速度[min^{-1}]，R：タービン回転半径(=D/2)[m]，V：風速[m/s]である．

$$\lambda = \frac{2\pi N}{60}\frac{R}{V} \tag{1}$$

また，出力をタービンの寸法によらず評価するためパワー係数 C_P を用いる．パワー係数 C_P を式(2)に示す．ただし，T：トルク[Nm]，ρ：流体密度[kg/m^3]，A：タービン掃過面積(A=H×D)とする．

$$C_P = \frac{2\pi N}{60}\frac{T}{0.5\rho A V^3} \tag{2}$$

４．実験結果
４．１．トルク特性
図 4(a)に風速 9m/s のトルク特性を，図 4(b)に風速 12m/s のトルク特性を示す．

トルクの最大値は風速 9m/s のとき，直線キャンバー翼の 3 枚翼は 340min^{-1} において 0.196Nm，4 枚翼では 320min^{-1} において 0.197Nm，円弧キャンバー翼の 3 枚翼は 380min^{-1} において 0.381Nm，4 枚翼では 320min^{-1} において 0.413Nm となった．風速 12m/s のとき，直線キャンバー翼の 3 枚翼は 480min^{-1} において 0.507Nm，4 枚翼では 400min^{-1} において 0.469Nm，円弧キャンバー翼の 3 枚翼は 520min^{-1} において 0.786Nm，4 枚翼では 420 min^{-1} において 0.750Nm となった．

翼形状で比較を行うと，風速 9m/s のとき 200 min^{-1} 以上，風速 12m/s のとき 300 min^{-1} 以上の回転速度において 3 枚翼，4 枚翼ともに，トルクは円弧キャンバー翼の方が直線キャンバー翼よりも高いため優位であると考えられる．また，風速 9m/s のとき回転数 200 min^{-1} 以下において，3 枚翼タービンのトルクが負値となる回

１：日本大学・院(前)・電気　２：日本大学・教員・電気　３：日本大学・教員・機械

転速度は，直線キャンバー翼が 80~180 min^{-1} であり，回転速度の範囲は 100 min^{-1} である．円弧キャンバー翼が 80 min^{-1} のみとなった．このことからトルクが負値となる回転速度の範囲は円弧キャンバー翼が直線キャンバー翼よりも狭くなるため起動性の面で優位であると考えられる．

翼枚数で比較を行うと，風速 9，12m/s のとき直線キャンバー翼，円弧キャンバー翼ともにトルクが最大値となる回転速度は 4 枚翼のタービンの方が 3 枚翼のタービンよりも低くなるため優位であると考えられる．

４．２．パワー係数特性

図 5(a)に風速 9m/s のパワー係数特性を，図 5(b)に風速 12m/s のパワー係数特性を示す．

パワー係数の最大値は風速 9m/s のとき，直線キャンバー翼の 3 枚翼は周速比 1.678 において 0.063，4 枚翼では周速比 1.120 において 0.058，円弧キャンバー翼の 3 枚翼は周速比 1.750 において 0.149，4 枚翼では周速比 1.114 において 0.117 となった．風速 12m/s のとき，直線キャンバー翼の 3 枚翼は周速比 1.776 において 0.102，4 枚翼では周速比 1.150 において 0.076，円弧キャンバー翼の 3 枚翼は周速比 1.820 において 0.170，4 枚翼では周速比 1.580 において 0.137 となった．

翼形状で比較を行うと，風速 9，12m/s のとき周速比 1.0 以上では，3 枚翼，4 枚翼ともにパワー係数は円弧キャンバー翼の方が高いため優位であると考えられる．

翼枚数で比較を行うと，風速 9，12m/s のとき直線キャンバー翼，円弧キャンバー翼ともにパワー係数の最大値は 3 枚翼の方が 4 枚翼よりも高い．また，パワー係数が高く，前節から起動性の面で優位である円弧キャンバー翼において風速 9m/s のときパワー係数が 0.05 以上になる周速比は 3 枚翼が 0.973~2.428 であり，周速比の範囲は 1.455 ある．4 枚翼は 0.911~2.012 であり，周速比の範囲は 1.101 であり，3 枚翼の方が 4 枚翼よりも発電可能な周速比の範囲は広い．トルク特性では 4 枚翼の方が優位と考えられたが，3 枚翼の方が 4 枚翼よりもパワー係数の最大値が高く，発電可能な周速比の範囲は広いため優位であると考えられる．

５．まとめ

本稿では NACA63_3-018 に基づくダリウス形タービンにおいて翼形状，翼枚数の違いがタービンの負荷特性に及ぼす影響を明らかにするために，直線キャンバー翼および円弧キャンバー翼を用いたタービンで翼枚数を 3 および 4 枚として風洞実験を行った．

翼形状では円弧キャンバー翼はトルク特性からトルクの最大値が高く，トルクが負値となる回転速度の範囲が狭い．また，パワー係数特性からパワー係数の最大値が高いため優位であると考えられる．

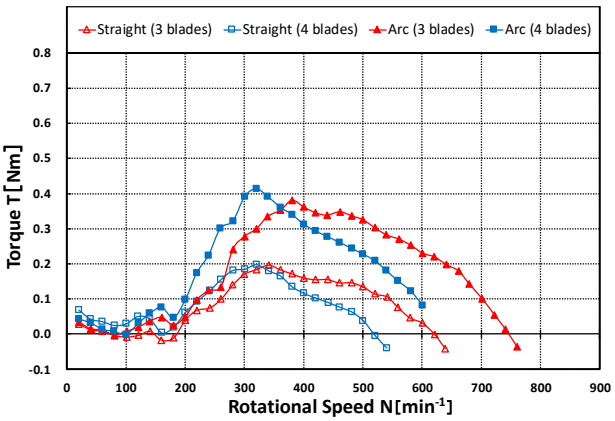
翼枚数ではトルク特性から低回転速度でトルクが最大値となる 4 枚翼が優位と考えられたが，パワー係数特性から 3 枚翼の方が 4 枚翼よりもパワー係数の最大値が高く，発電可能な周速比の範囲は広いため優位であると考えられる．

以上のことから円弧キャンバー翼を用いた 3 枚翼タービンは発電可能な周速比の範囲が最も広いため風力発電用のタービンとして利用する場合，優位であると考えられる．

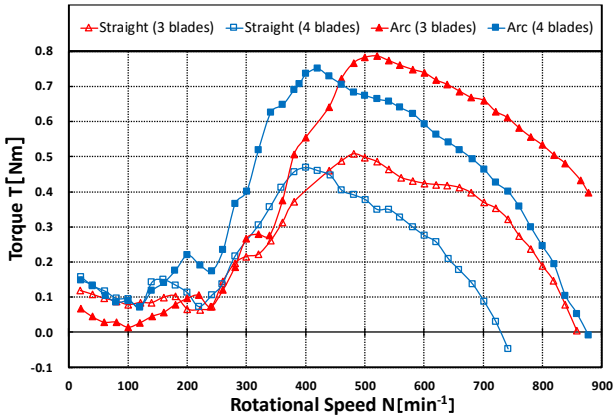
風洞実験に際し，御協力していただいた本学風洞実験室の先生方に謝意を示す．

参考文献

[1]木方，塩野：「来島海峡におけるダリウス形水車による潮流発電」，電気学会論文誌，Vol.112,No.6,pp530-538,1992
[2]関ほか：「直線翼垂直軸風車の性能」，太陽エネルギー,Vol.6,No3,1990
[3]谷口ほか:「円弧翼垂直軸風車の開発−−風車の翼枚数による特性への影響−」，第 47 回日本大学理工学部学術講演会予稿集，pp1116~1117,2003
[4]守屋ほか：「ダリウス形タービンに用いる翼形の違いによる負荷特性の基礎検討」，電気学会全国大会講演論文集，Vol.7,p.98,2016
[5]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」，電気設備学会講演論文集,pp183-184,2016

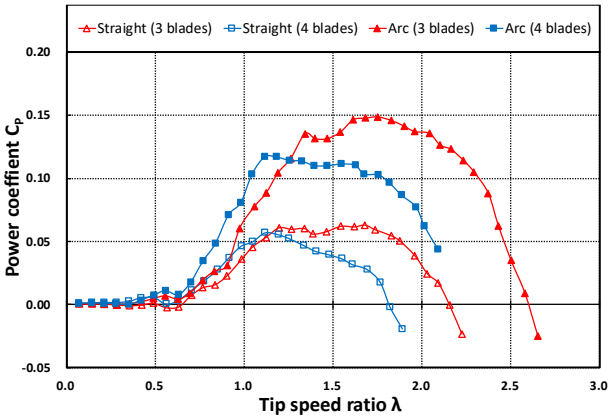


(a)9m/s

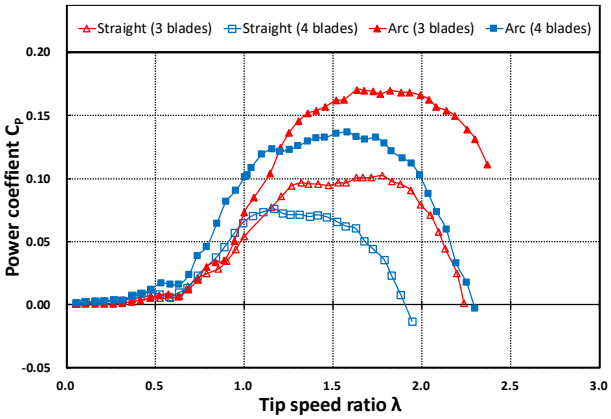


(b)12m/s

Figure4. Characteristics of N-T



(a)9m/s



(b)12m/s

Figure5. Characteristics of λ-C_P