

タワー出口形状の改良によるウィンドソーラータ ワーの発電性能向上

柳川, 泰我
九州大学大学院工学府

渡邊, 康一
九州大学応用力学研究所

大屋, 裕二
九州大学応用力学研究所

内田, 孝紀
九州大学応用力学研究所

<https://hdl.handle.net/2324/7432666>

出版情報 : Proceedings of Japan Wind Energy Symposium. 44, pp.298-300, 2022. 日本風力エネルギー
学会
バージョン :
権利関係 : © 2022 JWEA



タワー出口形状の改良によるウインドソーラータワーの発電性能向上*

Power output enhancement of a wind solar tower with effective tower exit shape

○柳川 泰我**
Taiga YANAGAWA

渡邊 康一***
Koichi WATANABE

大屋 裕二***
Yuji OHYA

内田 孝紀***
Takanori UCHIDA

1 緒言

太陽エネルギーを用いる発電機器の1つにソーラーチムニー (Solar Chimney : 以下 SC) がある^(1,2). 本研究室では, この SC を改良したウインドソーラータワー (Wind Solar Tower : 以下 WST) を開発してきた⁽³⁻⁶⁾. WST は太陽エネルギーに加え, タワー上空に吹く風のエネルギーを同時に活用することで, SC の発電効率を改善することができる. 先行研究では, WST の風力エネルギー利用効率の向上を目的としてタワー出口形状を改良してきた. その 1 つに, タワー側壁の 3 箇所にスリットを設けたモデルがある⁽⁵⁾. このモデルは, タワー側面を風が通過する際の加速流による低圧を利用し, スリットからタワー内の空気を吸い出す (Fig.1(a)) ことにより, 内部上昇風を生成する (集風効果). しかしながら, スリットに風が入り込む風向 (Fig.1(b)) では集風性能が低下することが課題であった.

本研究では, WST の風向依存性の低減を目的として, スリット外側にガイド板を設置するタワーモデルを考案した. このモデルに対して風向を変化させた風洞実験から, 風向依存性と集風性能を評価した結果をまず報告する. 次に, WST に設置する風車の発電性能の検証のため, タービンの翼枚数 (ソリディティ) を変化させ, 風洞にて出力性能試験を実施した. その結果に基づき, WST が最大の発電性能を得るための最適翼枚数について考察した結果を報告する.

2 風向に依存せず高い集風性能を発揮する

タワー出口形状

2-1 実験方法

風洞実験には九州大学応用力学研究所の大型

*令和 4 年 12 月 02 日第 44 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演

**学生会員 九州大学大学院工学府

***会員 九州大学応用力学研究所

境界層風洞を用いた. 風洞の測定部寸法は 幅 3.6 m × 高さ 2.0 m × 長さ 15.0 m であり, ブロッキングの影響を抑えるため, 測定部の上流側 2.0 m から 8.0 m の区間の両側壁と天板を取り外した. 本研究では上空風を模擬するためにタワーは風路床を貫通させ, モデル上部のみに風が当たるように設置した.

風洞実験における座標系の定義を Fig.2(a)に, 主流に対するタワーのヨー角度 θ の定義を Fig.2(b)に示す. ヨー角度 θ を変化させることでタワーに対する風向を相対的に変化させた. 本実験では風洞風速 $U_{\infty} = 8 \text{ m/s}$ に設定した. タワー内風速の測定には超音波流速計を用い, x 方向の分布を測定した. x 方向分布は $160 \leq x \leq 160 \text{ mm}$ の範囲を 40 mm ピッチで 9 点測定した. また, 結果の考察ではタワー内鉛直方向風速に着目し, 鉛直方向風速の x 方向分布を平均したタワー内平均上昇風速を集風性能の指標とした.

2-2 実験に使用したタワーモデル

異なるタワー出口形状の風向依存性および性能を比較検討するため, 4 種類のタワーモデルについて風洞実験を行った. 本実験で使用したタワーモデルを Fig.3 に示す. Diffuser タイプ (Fig.3 (a)) は, ディフューザ形状であり, 風向依存性がないモデルである. Vortex generator タイプ (以下 VG, Fig.3 (b)) は, Diffuser タイプの性能の向上を目的として, タワー出口に渦生成板を設置したモデルである. このモデルは, 渦生成板によりタワー上空に渦 (低圧域) を生成することで高い性能を得るが, その性能は風向に依存する⁽⁶⁾. Slit タイプ (Fig.3 (c)) は, Diffuser タイプのタワー側壁の 3 箇所にスリットを設けたモデルである. タワー側面を風が通過するときタワー側面に生じる低圧を利用することで集風効果を得るが, スリットからタワー内部に風が入り込む風向では集風性能が低下する. Guide vane タイプ (以下 GV, Fig.3 (d)) は, Slit タイプのスリットの外側にガイド板を設置することで, タワー内部への風の流入を防ぎ,

Slit タイプの性能を維持しながら，風向依存性をなくすことを目的として提案するモデルである．

2-3 集風性能と風向依存性の測定結果

今回提案する GV タイプと，過去に開発されたモデルの集風性能と風向依存性を Fig.4 に示す．性能の指標として，タワースロート部での上昇風速 w_{thr} を風洞設定風速 U_{∞} で正規化した w_{thr}^* をプロットした． Fig.4 より，本研究で提案する GV は VG と比較した場合， $\theta < 45^{\circ}$ での性能は及ばないが， $\theta \geq 45^{\circ}$ では高い集風性能をもつことがわかる． Slit タイプと比較した場合，ガイド板を持たない Slit タイプは集風性能が大きく低下している風向があるが，GV で θ の変化による集風性能の大きな低下はみられない．すなわち，GV はガイド板によって Slit タイプの風向依存性を改善していることがわかる．

風向依存性を加味した性能の評価指標として，測定したすべての θ に対する w_{thr}^* の平均値 $\overline{w_{thr}^*}$ を，風向依存性の評価指標として， w_{thr}^* の標準偏差を算出した．それぞれの値を Table.1 に示す．Table.1 の $\overline{w_{thr}^*}$ から，GV は風向依存性を加味した集風性能が全タワーモデルの中で最も高いことがわかる．また w_{thr}^* の標準偏差から，GV は Slit タイプから風向依存性を約 94% 低減したといえる．このことから，タワーのスリット外側にガイド板を設置することで，風向に依存せず高い集風性能が得られることがわかった．

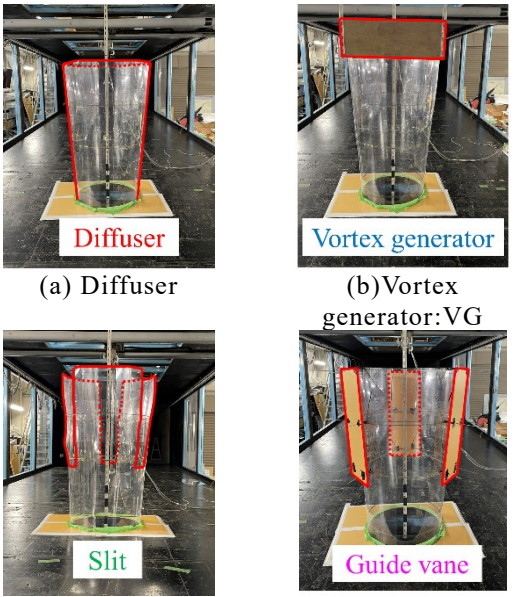
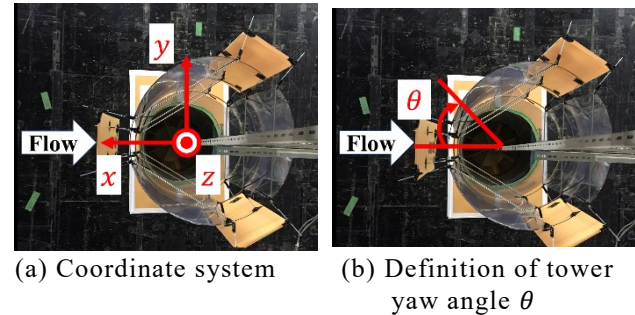
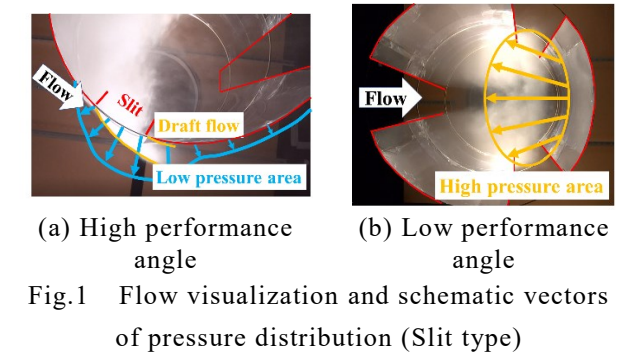


Fig.3 Experimental tower models

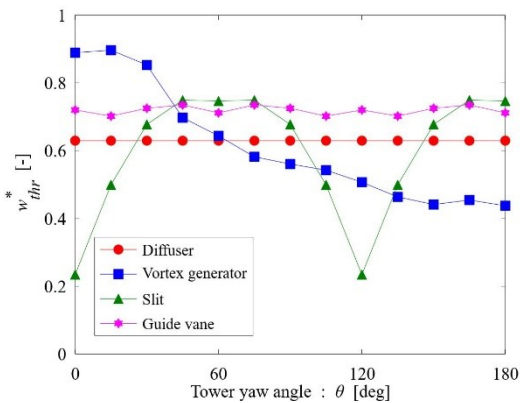


Table 1. $\overline{w_{thr}^*}$ and standard deviation of w_{thr}^*

	$\overline{w_{thr}^*}$	Standard deviation of w_{thr}^*
	[-]	[-]
Diffuser	0.63	0.00
Vortex generator	0.61	0.16
Slit	0.60	0.18
Guide vane	0.72	0.01

3 翼枚数を変化させた場合のブレード出力性能実験

3-1 実験方法

本実験は，タワー下部にタービンを設置し，タービンの回転数 ω を変化させながら，モーターから出力されたトルク Tr を測定した．これを翼枚数 3, 4, 6 枚の 3 条件に対して行い，翼枚数の変化が出力性能に与える影響を調べた．ここで，風車の

出力は回転数とトルクの積として算出した。風洞の設定風速は $U_{\infty} = 20 \text{ m/s}$ とした。本実験では、レイノルズ数依存性による翼性能の低下を抑えるため、高い風洞風速に耐えられる肉厚の円筒形状のタワーを用い、タワー出口形状についても主流垂直断面に大きな投影面積をもつ角柱形状の渦生成板もつVGタイプを用いた (Fig.5)。

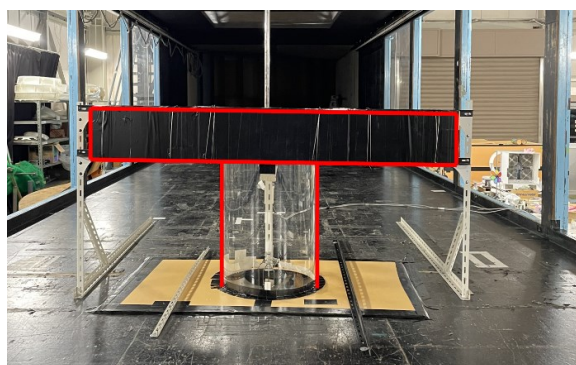


Fig. 5 Experimental tower model

3-2 翼枚数ごとの出力性能試験結果

翼枚数ごとに最も大きなPowerを得た回転数での実験結果を抜粋し、Table 2に示す。ここで、周速比 λ はタワー内上昇風速を用いて算出した。

Table 2. Maximum power at each number of blades

Number of blades	ω [rpm]	λ [-]	Tr [N·m]	Power [W]
3	2150	5.10	0.230	51.9
4	1950	5.27	0.261	53.3
6	1450	4.75	0.309	46.9

Table 2より、4枚翼において最も高い出力が得られたことがわかる。ただし、出力が最も高い4枚翼と最も小さい6枚翼の出力の差を比較しても13.6%であり、翼枚数による劇的な出力変化はみられない。

4 結言

本研究では、先行研究での課題であったWSTの集風性能の風向依存性の改善を目的として、タワー側面のスリット外側にガイド板を設置したモデルを提案した。このモデルと先行研究で開発されたモデルについて風洞実験を行い、出力性能と風向依存性について比較検証を行った。また、WSTに設置する風車の発電性能の検証のため、タ

ービンの翼枚数を変化させ、出力試験をおこなった。それらの結果、以下の知見を得た。

- 今回提案したスリット外側にガイド板を設置したタワー形状は、先行研究で考案されたモデルの風向依存性を約94%低減した。
- 翼枚数を変化させた風洞実験より、3,4,6枚翼の中では4枚翼で最も高い出力性能が得られることがわかった。ただし、翼枚数の変化に伴う出力変化は最大で13.6%であった。

今後、ガイド板を設置したタワーが風向依存性を改善するメカニズムを詳細に解析するとともに、得られた知見を、発電用のタワーのみならず、排気用煙突ファンの省エネへ等へも活用していく。また、ブレードの翼枚数変化に伴う出力性能実験の結果を、出力予測へ適用する方法を考案していく。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費JP21K04967の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1)W. Haaf, K. Friedrich, G. Mayr and J. Schlaich, “Solar chimneys, part I : principle and construction of the pilot plant in Manzanares” , International Journal of Solar Energy, vol. 2, 1983
- (2)W. Haaf, “Solar chimneys, part II : preliminary test results from the Manzanares pilot plant” , International Journal of Solar Energy, vol. 2, 1984
- (3)Y. Ohya, M. Wataka, K. Watanabe, and T. Uchida, “Laboratory experiment and numerical analysis of a new type of solar tower efficiently generating a thermal updraft,” Energies, vol. 9, no. 12, 2016.
- (4)K. Watanabe, S. Fukutomi, Y. Ohya, and T. Uchida, “An Ignored Wind Generates More Electricity: A Solar Updraft Tower to a Wind Solar Tower,” Int. J. Photoenergy, vol. 2020, Mar. 2020.
- (5)河原信太郎, “ウインドソーラータワーの発電性能向上に関する研究”, 九州大学修士論文, 2018.
- (6)福富翔, “ウインドソーラータワーの上空風吸い込み効果による風力発電”, 九州大学修士論文, 2014.