

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656218

研究課題名（和文） 創風および集風型の風力発電装置に関する開発研究

研究課題名（英文） Wind Generation and Wind Convergence Performance Evaluation of a New Solar Tower (VT-WCONVS)

研究代表者

大屋 裕二 (OHYA YUJI)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：00150524

研究成果の概要（和文）：

従来のソーラータワーの発電効率を大幅に増加するために二つのアイデアを試し、ともに有効な結果を得た。まず、最初にタワーの形状を従来の直円筒型から上空に向かって広がるディフューザ型に変更した。構造体外部の一般風を微小と仮定し、太陽熱により加熱された地表面と周囲との温度差が30℃である条件下にソーラータワーを設置することを模擬した室内実験及び数値解析を行った。その結果、円筒型風路塔モデルに比べ、ディフューザ型風路塔モデルでは約1.4～1.5倍の速い上昇流速を風路塔下部に得た。この創風性能の向上は、風路塔下部のスロート近傍を低圧にすることが起因する。風速の3乗則によるとディフューザ型風路塔を適用した構造体は、円筒型風路塔を適用するより約2.7～3.4倍の風力エネルギーを集束することが期待される。

次にソーラーチムニーに関して、太陽熱により熱上昇風が駆動される場合（一般風がない場合）の実験室規模のモデルを用いた実験および数値解析を行い、実スケール（100m高さの煙突）における煙突内部上昇風の平均速度を推測した。解析の結果、ほぼ無風の状態であるにも関わらず、構造体を利用することで0.56m/sの上昇風を得ることができた。相似則に基づいて実スケールの風速を見積もると約8.9m/sの上昇流が推測され、このとき約46kWの出力が予想される。

最後に集風型の垂直構造体としての性能評価を行った。周囲の風環境及び流体力学的形状特性により、風を集める垂直型集風構造体（VT-WCONVS）の集風原理を風洞実験および直接数値計算の流れ場解析により明らかにした。本研究では構造体への近寄り風速の約1.9倍に増速する集風性能を風洞実験により得た。VT-WCONVSは風速の3乗則により近寄り風速の約6.8倍の風力エネルギーを集束することが期待される。

研究成果の概要（英文）：

The Solar Chimney (a.k.a. the Solar Updraft Tower) is a power generation system which rotates the wind turbine from capturing the updraft wind induced from solar heat. A higher power output is expected by replacing the original high rise cylindrical-type tower into a diffuser-type tower. Addition of assistive structures to guide the external wind into the tower may further increase the output. In this research, a laboratory sized models without the wind turbine, are used to analyze the updraft wind velocity at the designed location of the wind turbine. The laboratory experiments and the computational fluid dynamics analyses show that, when the thermal convection dominates the flow field, 1.4 times larger velocity is induced by the effect of the diffuser-type tower. Furthermore, when the external wind dominates the flow field, 1.9 times larger velocity is converged by the synergetic effect of the diffuser-type tower along with the assistive structures to guide the wind into the tower. Wind power generation output is proportional to the cube of the incoming flow velocity into a wind turbine; therefore approximately 2.7 to 6.8 times

larger power output can be estimated by the usage of the structural design investigated in this research.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	0	1,800,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	390,000	3,490,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学、エネルギー学

キーワード：自然エネルギーの利用

1. 研究開始当初の背景

(1) 化石燃料依存の社会は高度で便利な文明をもたらした反面、地球温暖化、砂漠化、異常気象等を引き起こし、我々の生活環境を脅かしている。さらに化石燃料の枯渇化は直面している問題であり、次世代のクリーンで持続可能な燃料への転換は急務である。各種の自然エネルギーを有効に取り出すためには各地域における最適な方法の検討が必要である。

(2) J. Schlaich が発案したソーラーチムニーは太陽熱を集め煙突状の構造体内部に熱上昇風を生成し風力発電を行うシステムである。このシステムは太陽エネルギーが十分にある地域に最適である。過去の研究としては1982年から7年間100kW級のパイロットプラントがスペインで運転された例があり、50kWの発電に成功している。

(3) このように実用的なシステムであるにも関わらず、基本原理と変換効率に関して熱力学的観点から考察が行われたのみで、流体力学的観点から形状の最適化または周囲の風環境を考慮した性能予測等は報告されていない。

2. 研究の目的

(1) 大気の流れを考慮したシステムを二通り検討する。

(2) 一つは上空の一般風がない場合における熱上昇の風速の推定を行う。実験室規模のモデルを用いて実験および数値解析を行い、得られた上昇速度から流れ場の相似則に基づいて実スケールにおける上昇速度を推定する。

(3) ソーラータワーの形状に風レンズ風車でも成功したディフューザ型の風路塔形状を採用し、熱上昇風を増加させる創風タイプ垂直型構造体を研究開発する。

(3) 高高度までそびえ立つ風路塔及びその下部に風力タービンを設置する構成を前提とし、上空風がある場合の周囲の風環境及び流体力学的形状特性により風路塔下部に風を集める垂直型集風構造体 VT-WCONVS (Vertical Type - Wind CONvergence Structure) の集風原理及び集風性能を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) ソーラータワーの形状に風レンズ風車でも成功したディフューザ型の風路塔形状を採用し、熱上昇風を増加させる垂直型創風構造体の創風性能を評価する。このとき、室内実験装置のシステムを開発する。同時に数値流体解析 (CFD) で、同じ境界条件、入力条件を用いて比較検討する。

(2) 夜間や強風時などの太陽熱による熱上

昇風が得られない状況下を想定し、流体力学的形状特性により風路塔下部に風を集める垂直型集風構造体の集風原理を数値解析および風洞実験により明らかにし、集風性能を評価する。

(3) タワー高さ 5.3m、集熱部直径 7.9m、風車ロータ直径 0.7m のプロトタイプモデルを製作し、熱上昇風による創風性能、上空にある程度の風がある場合の集風性能をそれぞれ評価し、プロトタイプ 1 号機でどれだけの発電量を生産するかを、従来のソーラータワー、太陽光発電、風力発電と比較し、その優位性を実証する。

4. 研究成果

(1) 従来のソーラータワーの発電効率を大幅に増加するために二つのアイデアを試し、ともに有効な結果を得た。

(2) タワーの形状を従来の直円筒型から上空に向かって広がるディフューザ型に変更した。構造体外部の一般風を微小と仮定し、太陽熱により加熱された地表面と周囲との温度差が30℃である条件下にソーラータワーを設置することを模擬した室内実験及び数値解析を行った。その結果、円筒型風路塔モデルに比べ、ディフューザ型風路塔モデルでは約1.4~1.5倍の速い上昇流速を風路塔下部に得た。この創風性能の向上は、風路塔下部のスロート近傍を低圧にすることが起因する。風速の3乗則によるとディフューザ型風路塔を適用した構造体は、円筒型風路塔を適用するより約2.7~3.4倍の風力エネルギーを集束することが期待される。

(3) 次にソーラーチューブに関して、太陽熱により熱上昇風が駆動される場合(一般風がない場合)の実験室規模のモデルを用いた実験および数値解析を行い、実スケール(100m高さの煙突)における煙突内部上昇風の平均速度を推測した。解析の結果、ほぼ無風の状態であるにも関わらず、構造体を利用することで0.56m/sの上昇風を得ることができた。相似則に基づいて実スケールの風速を見積もると約8.9m/sの上昇流が推測され、このとき約46kWの出力が予想される。

(4) 集風型の垂直構造体としての性能評

価を行った。周囲の風環境及び流体力学的形状特性により風を集める垂直型集風構造体 VT-WCONVS の集風原理を直接数値計算の流れ場解析により明らかにした。本研究では、上空風がある場合、構造体への近寄り風速の約1.9倍に増速する集風性能を風洞実験により得た。VT-WCONVS は、風速の3乗則により近寄り風速の約6.8倍の風力エネルギーを集束することが期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① 内田孝紀、丸山 敬、大屋裕二、流体力学 CFD モデルを用いた連続的な風向変化の再現性について、日本風力エネルギー学会論文集、査読有、35 巻 99 号、2011、pp.7-13
- ② Takanori UCHIDA, Takashi MARUYAMA, Tetsuya TAKEMI, Yuichiro OKU, Yuji OHYA, Graham LI, Proposal of Designed Wind Speed Evaluation Technique in WTG Installation Point by Using the Meteorological Model and CFD Model, 九州大学応用力学研究所所報, 査読無, 141 巻、2011、pp.1-12
- ③ Takanori UCHIDA, Takashi MARUYAMA, Yuji OHYA, New Evaluation Technique for WTG Design Wind Speed Using a CFD-Model-Based Unsteady Flow Simulation with Wind Direction Changes, Modelling and Simulation in Engineering, 査読有, Vol. 2011, Article ID 941870, 2011, 6pages, DOI 10.1155/2011/941870
- ④ Takanori UCHIDA, Yuji OHYA, Latest Developments in Numerical Wind Synopsis Prediction Using the RIAM-COMPACT® CFD Model-Design Wind Speed Evaluation and Wind Risk (Terrain-Induced Turbulence) Diagnostics in Japan, Energies, 査読無、Vol. 4, 2011, pp. 458-474, DOI 10.3390/en4030458
- ⑤ Shinsuke OKADA, Yuji OHYA, Tkanori UCIDA, Takashi KARASUDANI, Wind Generation Improvement Using Diffuser Type Tower, Proc. Of, 査読有, 2011
- ⑥ Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, A Shrouded Wind Turbine Generating

High Output Power with Wind-Lens
Technology, 査読有、CD-ROM, 2010

[学会発表] (計 5 件)

- ① 中村浩基、大屋裕二、渡邊公彦、集風体付き小型風車に関する新構造体の基礎研究、日本航空宇宙学会西部支部、平成 23 年 11 月 17 日、長崎ブリックホール (長崎)
- ② Hiroki NAKAMURA, Yuji OHYA, Basic Investigations of a New Type Wind Lens Turbine, EAEP2011, 平成 23 年 11 月 14 日, Fukuoka Garden Palace (Fukuoka)
- ③ Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, Chris Takashi MATSUURA, Huge GRIFFITH, Small to Mid-Size Shrouded Wind Turbine with Wind-Lens Technology, CanWEA2011 (WesNet) (招待講演), 平成 23 年 10 月 3 日, Vancouver (Canada)
- ④ Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, Chris Takashi MATSUURA, A Highly Efficient Wind Turbine with Windlens Shroud, 13th International Conference on Wind Engineering (ICWE13), 平成 23 年 7 月 14 日, Amsterdam (Netherlands)
- ⑤ Yuji OHYA, Takashi KARASUDANI, Tomoyuki NAGAI, Chris Takashi MATSUURA, Development of Shrouded Wind Turbines with Wind-Lens Technology, EWEA2011, 平成 23 年 4 月 6 日, Brussels (Belgium)

[図書] (計 1 件)

- ① 大屋裕二 他、丸善出版株式会社、風の事典、2011、267 p

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大屋 裕二 (OHYA YUJI)
九州大学・応用力学研究所・教授
研究者番号：00150524

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし