

集光型ソーラーアップドラフトタワー発電効率の実験

筑波大学大学院システム情報工学研究群
筑波大学システム情報系

学生会員 ○張 蒙
正会員 山本 亨輔

ABSTRACT This paper summarizes and illustrates the research results on power generation efficiency for Concentrated Solar Updraft Tower Power Generator. By comparing the experimental data obtained by making a physical model and the numerical calculation, it is confirmed that the Concentrated Solar Updraft Tower Power Generator can effectively improve efficiency.

KEYWORDS renewable energy, solar updraft-tower power generator, concentrated sunlight tower/キーワード：再生可能エネルギー，ソーラーアップドラフトタワー，集光型ソーラータワー

1. 背景

従来のエネルギー源（化石燃料）の使用による環境汚染や、供給の不安定性（政治的・経済的に様々な影響を受ける）に直面する現代社会において、エネルギー供給の多様性と安定性を高めることが求められる。そのような要請に応える新しい発電方式として、SUTPG（Solar Updraft Tower Power Generator: ソーラーアップドラフトタワー発電システム）が期待されている。SUTPGは、主にタワー、コレクター、タービンの三つの要素で構成される。このシステムは太陽光の熱を利用して地表付近の空気を温め、中央部に設置したタワー一部に上昇気流を誘導し、風力タービンを回転させ、発電する。太陽光エネルギーを利用する以外にも、地熱や都市廃熱を利用することも考えられる。しかしながら、従来型のSUTPGには発電効率が非常に低いという課題も存在する。

SUTPGの効率を改善するため、筆者らはC-SUTPG（Concentrated Solar Updraft Tower Power Generator: 集光型ソーラーアップドラフトタワー、Fig-1に示す）を提案し、発電効率に関する数値的研究を行なった。さらに、タワー内部に、対流発生によるエネルギー損失を抑制するため、フローガイドタワーを設置するとともに、コレクター下部には傾斜も設けた。また、コレクター部の熱損失を低減するため、仕切り壁（ガイド）を加えた。

本稿では、実験結果と数値計算結果を用いて、C-SUTPGによって発電効率が改善するか検証を行う。

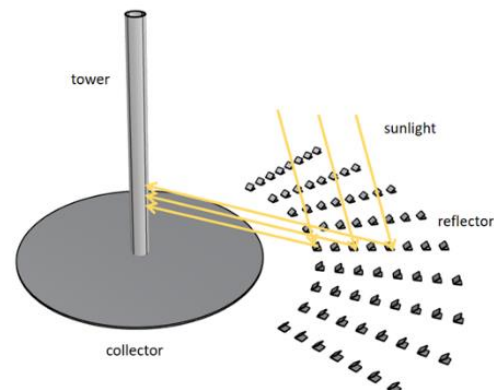


Fig-1 C-SUTPG の概念図

2. 実験概要

500m 高さの C-SUTPG を想定し、この 0.004 倍となるタワー高さ 2m、コレクター半径 0.8m、コレクター面積 2.0096 m²、反射板面積 0.68 m² の実験模型を製作した。ディフューザ型タワーは、下部の端から上方出口の端に向かって鉛直方向から 4°開く形状である。また、タワーの側面は双曲面である。天井高さが 3m 以上の実験室にて、実験を実施した。模型周辺気流の風速はゼロとみなして良い。

透明塩ビ板でタワーとコレクター部上面を製作し、黒い塩ビ板で底面のヒーター板を作った。熱交換の効率を高めるため、加熱部には黒色のアルミ板を使用した。四つの 500w 投射ライトを使って太陽光を模擬し、コレクター部を温めるとともに、アルミ板製の反射板によって、光線をタワー部に集中させた。タワー内部の空間が複雑であることから、タワー内部の風速は、熱線式風速計により計測した。

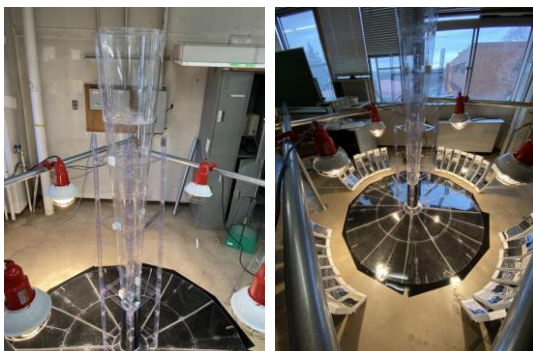


Fig-2 反射板なし Fig-3 反射板あり

3. 実験結果

まず、反射板なしの場合、従来型の SUTPG のタワー部株における風速と温度を計測した。以下は一時間毎にタワー底部、タワー底部から 60cm 高さの位置（500m 高さのタワーに対して、150m の高さに相当）、タワー上部で計測された温度と風速である。実験結果として、最大温度：21.1°C、最大風速：0.49m/s を得た。

次に、C-SUTPG を検討するため、反射板を設置して、同様の実験を行なった。最大温度：26°C、最大風速：0.69m/s を得た。

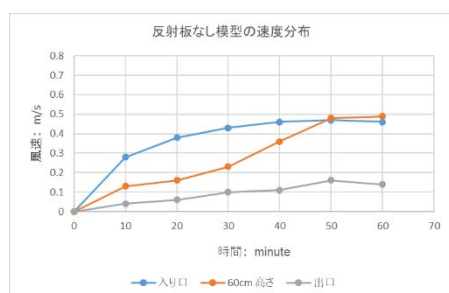


Fig-4 反射板なし模型の速度分布

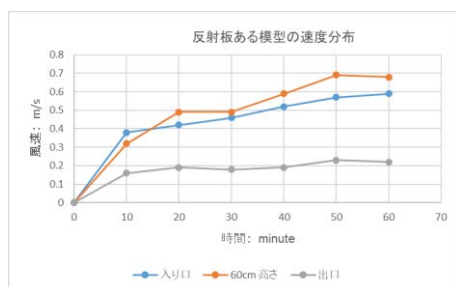


Fig-5 反射板ある模型の速度分布

4. 発電効率の分析

SUTPG は流れの運動エネルギーだけを利用して発電する方式であるから、太陽光エネルギーから運動エネルギーへと変換する効率を検討すれば良い。

2.1 数値計算の結果

数値計算によると、500m高さ SUTPG モデルにおける、運動エネルギーへの変換効率は 0.94%であったのに対し、C-SUTPG は 3.015%、最大風速 23.3m/s を得た。C-SUTPG の変換効率は従来型よりも格段に改善される。

2.2 実験の結果

実験模型が光線エネルギーを受ける面積は、従来型と集光型で 1:1.237 である。一方、2つのモデルの最大風速の比は 1.408 であった。集光型が従来型の効率と比べて 2.7 倍に改善される。効率増加量に実験と数値計算で差が生じた原因として、①模型加熱部における太陽光エネルギーの吸収効率が低い、②反射板の反射効率が低い、③数値計算モデルにおける境界加熱と周辺気流の設定条件の影響が考えられる。

5. まとめ

本研究では、2m 高さの模型を製作した。無反射板模型と集光型タワーの最大風速と光線を受ける面積を比較したことで、集光型タワーの方が、効果的に上昇気流を誘導して発電効率が向上されると期待できる。よって、アップドラフトタワーのような建物で生じる上昇気流がタワー壁に設置した熱源からのエネルギーを運動エネルギーに転換の能力はコレクターに配置した熱源より高い。

参考文献

- 1) Masataka Motoyama, Kenichiro SugitaniTomoyuki Nagai Shinsuke Okada: Improving the Power Generation Performance of a Solar Tower Using Thermal UpdraftWind, Energy and Power Engineering, Vol.11, October 15, 2014 .