

## 集光型ソーラーアップドラフトタワーに関する数値的研究

筑波大学大学院システム情報工学研究群

学生会員

○張 蒙

筑波大学システム情報系

正会員

山本 亨輔

**ABSTRACT** This paper examines the velocity distribution of updraft wind inside the concentrated solar updraft-tower. According to analysis of the traditional solar updraft-tower power plant, it has been found that when the updraft moves upward, the heat energy converts into potential energy, which causes the air temperature to decrease. Thus, this paper proposes to use concentrated sunlight to supplement the lost heat of the tower for increasing buoyant force. The flow speeds inside the various types of solar updraft-towers are simulated by the CFD calculation method, and a significant increase of flow speed is confirmed.

**KEYWORDS** renewable energy, solar updraft-tower power generator, concentrated sunlight, solar sun power/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

気候変動や環境汚染，化石燃料の枯渇に対する懸念から，再生可能エネルギーへの転換が世界的に進められている．太陽光エネルギーの利用は，エネルギー量が無尽蔵かつ温暖化ガス排出抑制の観点から，現在，最も主要な再生可能エネルギーの一つである．

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) 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．コレクター部は，巨大な温室構造であり，太陽光の熱を利用して地表付近の空気を温める．温められた空気は，中央部に設置したタワー内部へと誘導され，上昇気流を生じる．上昇気流はコレクターとタワーの接続部に設置された風力タービンを回転させ，発電する．1980年代にスペインに設置されたSUTPGの試験機は，約50kWの最大発電出力を記録した．しかしながら，従来型のSUTPGの効率が非常に低いという問題が存在している．Mohammedは従来型SUTPGの効率を計算し，最大値は0.25%未満の状態を確認した．長井知幸の研究チームはディフューザ型（風路の出口径が入口径より拡大している形状）構造の集風効果に着目し，従来型と比べて効率が三倍になるディフューザ型SUTPGを提案した．太陽熱を利用する発電システムの中では，集光型太陽熱発電方式の変換効率が最も優れている．このシステムは主に多数の反射板を使用して太陽熱エネルギーを収集し，熱交換デバイスを介して蒸気タービンを駆動し，発電する．

本研究では，集光型太陽熱発電と類似した方法で従来型 SUTPG を改造し，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) 装置を提案し，発電効

率に関する数値的研究を行う．

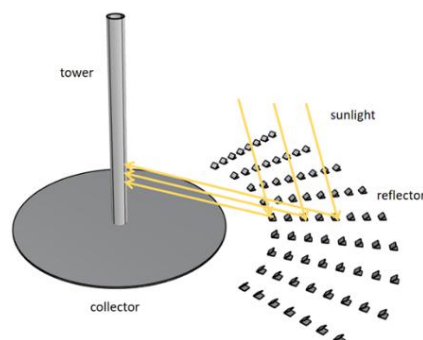


Fig-1 C-SUTPG (集光型ソーラーアップドラフトタワー)

## 2. 数値計算モデル

C-SUTPG 周辺の気流の影響を考慮して，数値計算モデルの流れがタワー内部と周辺気流二つの部分で構成される．Fig-2 は数値計算モデルである．中央部に橙色で示された構造が，コレクターとタワーであり，周辺気流が 1m/s の風速で左側から入り，他の面が出ることを設定した．ディフューザ型タワーの安定性を考えて，タワーの外壁が双曲面になり，開き角 4°を設定する．本研究では，数値シミュレーションのため，ソフトウェア ANSYS FLUENT を使う，太陽光のパワーは 1000 kW/m<sup>2</sup> に仮定する．FLUENT の輻射モデルにより，コレクターの地面部とガラス部が受けた太陽光エネルギーは，0.723kW/m<sup>2</sup> と 0.242kW/m<sup>2</sup> である．SUTPG 内の流れを数値的に再現するために，粘性散逸と圧縮率の効果が無視できる圧縮性ニュートン流体を仮定し，数値計算を行う．三次元で乱流が存在する場合を考え，連続方程式，運動方程式，エネルギー方程式と  $\kappa$ - $\epsilon$  方程式に基づいて，流れを数値的に再現する．また，効率を比較するため，従来型 SUTPG と C-SUTPG の両方のモデルを作成した．

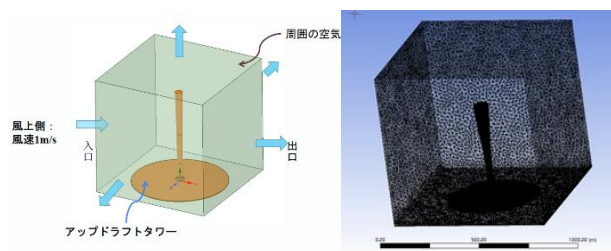


Fig-2 三次元の数値計算モデルとメッシュ

### 3. 計算結果と C-SUTPG の改善

高さ と 風速 の 関 係 を 検 討 す る た め に、三 つ の モデル（500m, 600m, 700m 高さ）を作った。FLUENT で C-SUTPG が 120 秒 で 運 転 す る 場 合 を 計 算 し、三 つ の モデルの許容計算誤差は 0.001 程度以下とした。計算結果については、500m, 600m, 700m 高さのタワーに対して、高さ 150m 位置の断面の平均風速が 10.1m/s, 11.6m/s と 12.2m/s である。つまり、高さが大きくなるにつれて、タワー内部の風速が大きくなると分かった。しかし、計算結果から、C-SUTPG には以下に示す三つの現象が生じることで（Fig-3 に示す）、十分に効率が上がらないことが分かった。①タワー内部の対流、②底部の気流衝突、③コレクター内空気の内半分がタワー部へ集中していない。

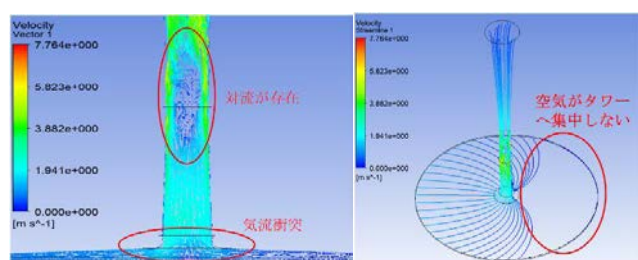


Fig-3 C-SUTPG の問題点

以上の問題の解決策として、今回は、対流の発生を抑制するフローガイドタワーを設置するとともに、気流の衝突を抑制する傾斜をコレクター部の地面に設けた。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。そして、改良済の 500m-C-SUTPG モデルを作成し、Fig-4 に示す。最後に、改良済の 500m-C-SUTPG モデルを数値的に 13 分間、運転させ、タワー内部 150m 高さ地点での風速と気温を観測したところ、最大平均風速が 23.3m/s、気流温度は 33.2～34.4℃という結果を得た。なお、SUTPG モデル全体の最大平均風速は 13.8m/s であった。改良モデルの流速分布を Fig-5 に示す。

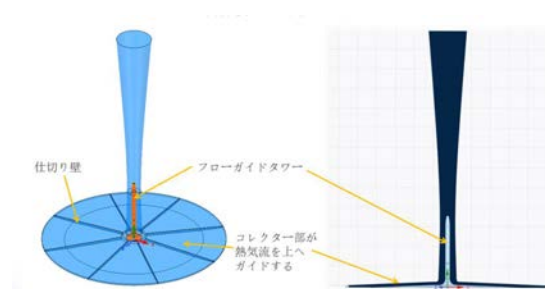


Fig-4 改善した C-SUTPG

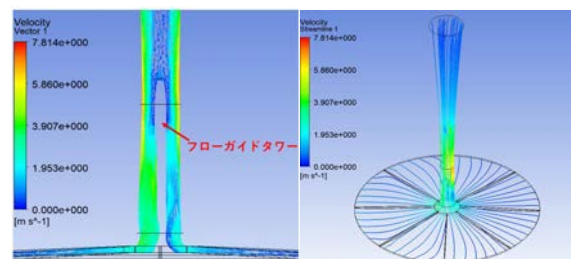


Fig-5 改善した C-SUTPG に風速分布

### 4. まとめ

本研究では、SUTPG の発電効率を高めるために、C-SUTPG を提案した。三次元の数値計算モデルを作り、タワー内部上昇気流の風速分布を調べて、三つの問題点を発見した。C-SUTPG の効率を高めるために、3つの解決策を適用した。従って、C-SUTPG の改善モデルを数値計算し、このモデルの流速分布を検討し、上述の問題点が解決できることを確認した。今後は模型実験の結果と比較していく。

### 参考文献

- 1) A.Dhahri, A. Omri and J. Orfi: Numerical Study of a Solar Chimney Power Plant Research, Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 8(18): 1953-1965, 2014.
- 2) Koonsrisuk Atit, Chitsomboon Tawit: Accuracy of theoretical models in the prediction of solar chimney performance, J. of Solar Energy, 83(10), pp.1764-1771, 2009.
- 3) Mohammed Awwad Al-Dabba: A PERFORMANCE ANALYSIS OF SOLAR CHIMNEY THERMAL POWER SYSTEMS, THERMAL SCIENCE, Vol. 15, No. 3, pp. 619-642, 2011.
- 4) Masataka Motoyama, Kenichiro Sugitani, Tomoyuki Nagai, Shinsuke Okada: Improving the Power Generation Performance of a Solar Tower Using Thermal Updraft Wind, Energy and Power Engineering, Vol.11, October 15, 2014.