

熱上昇風によるソーラータワーの発電効率向上に関する研究

本山, 雅孝

<https://doi.org/10.15017/1785414>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 本山 雅孝

論 文 名 : 熱上昇風によるソーラータワーの発電効率向上に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

再生可能エネルギーの中でも太陽熱利用型発電方式には二通りあり、一つが反射鏡利用型、他の一つは空気を作動流体として利用する方式である。後者の方式にソーラータワーと呼ばれる発電プラントがある。太陽光を集熱部と呼ばれるビニールハウスのような地表構造物に集め、その集熱部中央にタワーを設置し、熱上昇風を発生させる。タワー内部の根元に風車を設置すれば熱上昇風でタービンが回り発電する。ソーラータワーに関しては1982年のスペインのマンザナレスにおけるパイロットプラントの運用から様々な研究が行われている。非常にシンプルかつメンテナンスが簡単という長所がある反面、自然エネルギー機器として非常に低効率な発電システムという短所がある。

ソーラータワーの発電効率を上げるために、過去、いろいろな研究が積み重ねられている。中でも従来の直円筒のタワー形状から上方拡大のディフューザ型タワーへの変更は、熱上昇風速度を数割増加させるという非常に有望なアイデアであった。風速の3乗で比例する発電量では数倍になることが期待される。本研究ではディフューザ型タワーへ着目し、実用性を展望するとき、どのようなタワー形状が発電効率向上に最適か、室内実験、野外実験を通して種々の検討を行った。

ソーラータワーに関して熱力学的、流体力学的に考察すると、熱上昇風の速度は、温度差(集熱部内部温度と上空の外環境温度の差)とタワー高さに関して平方根で比例する。本研究の目的を以下に述べる事項とした。1) 室内実験モデルのスケールを5倍にしてスケール効果を評価する。2) タワー形状について円筒型とディフューザ型の2種を用い、発電用の風車ロータ部とその制御システムを開発し、熱上昇風速、発電能力を比較してディフューザ型の発電向上効果を実証する。3) ディフューザ型タワーの上方への片開き角、高さを変化させた時の熱上昇風速、発電量変化を計測し、ディフューザ型タワーの発電量に及ぼす影響について検討する。4) 実際に太陽光を利用する野外実験を行い、さらにスケール効果を検討し、温度差と熱上昇風速の関係を評価する。5) 野外実験モデルの成果を使い、タワー高さ100-200m級の実プラントに適用して発電量を試算し、ソーラータワーが再生エネルギー機器として有望かどうかを調査する。以上の目的に対して次に述べる第2章から第6章に取り組んだ。

第2章では、ソーラータワーの実験に関して、室内実験装置としてどのような手法でシミュレーション実験ができるか議論する。実験装置の概要と手法について述べる。集熱部(コレクタ内部)において、位置と高さによる気流温度分布を評価し、集熱部の気流温度分布特性を評価した。タワー内に設置する風車の発電システムを確立するため、簡易な制御システムを組み、大型風洞において風車ロータの周速比、発電出力係数、回転数、風速などの関係を計測し、試験結果について述べた。

第3章では、過去の実験モデルの40cmタワー高さのミニモデルから2mタワー高さの室内実験モデルへと実験スケールを5倍に変更し、熱上昇風速を計測する実験を行った結果について述べる。

熱上昇風速は、流体におけるナビエーストークス方程式にブシネスク近似を施した理論解析に従い、 $\sqrt{5}$ 倍の風速を得た。つまり、スケール効果はスケール比の平方根倍の風速となることを確認した。また、タワー形状を円筒型からディフューザ型のタワーに変更して全体効率の向上を図り、熱上昇風速の変化を観測した。風車をタワー下部に設置して回転数や発電量を計測し、ディフューザ型タワーが発電量に及ぼす効果について調査を行った。計測結果から、円柱型よりもディフューザ型タワーのほうがタワーの熱上昇風速が 1.4 倍速くなり、風車の発電量も 4 倍になった。熱上昇風速と発電量の関係は風速の三乗に比例し、熱上昇風速と風車ロータ回転数の関係は比例関係である結果も得た。これらのことから実際のタワー根元部での風車ロータ発電においても、ディフューザ型タワーが有効であることが示された。

第 4 章では、ディフューザ型タワーの上方片開き角を 0° 、 2° 、 4° 、 6° と変化させ、熱上昇風速や設置した風車回転数、発電量の変化を計測した結果についてまとめた。熱上昇風速、風車発電量は 4° の開き角が最大となった。また、開き角 4° のディフューザ型タワーについては、タワー高さを 1.0m から 2.6m まで変化させて、タワー高さや熱上昇風速や発電量の関係について調査した。その結果、タワー高さについてもシュライヒ等による理論解析に従い、温度差と同様にタワー高さの平方根に比例して熱上昇風が増加し、発電量に関してはその 3 乗の $3/2$ 乗で増加することを確認した。

第 5 章では、九州大学応用力学研究所横に建設した 10m タワー高さ、15m 四方の集熱部を有するソーラータワーのプロトタイプに関して野外実験を行った結果を述べる。ほぼ 1 年間にわたる野外タワーについての計測結果を示し、室内実験と比較した。室内実験の 2m タワーから野外タワーの 10m へのスケール効果を確認した。つまり、 $\sqrt{5}$ 倍で熱上昇風が増加した。スペイン、マンザナレスでのシュライヒの理論式と比較し、熱上昇風速は妥当な値であることを確認した。

第 6 章では、実用性の検討として、スペインのマンザナーレスと同じタワー高さ 200m、ただし、ロータ径 60m、集熱部 300m 四方のソーラータワーを想定し、熱上昇風速を 4 章で議論した結果から推定して発電量を計算した。現在の野外プロトタイプからスケールアップした際の実機プラントの有用性を検討した。この結果、温度差 15°C で、熱上昇風速は 13.8m/s、年間発電量は 1160 万 kWh となり、マンザナーレスの約 260 倍、同じ土地面積の太陽光パネルの年間発電量の 1.9 倍になり、大規模プラントとして実用性のある発電量を生成できることがわかった。

第 7 章では、本研究で得られた結論を総括した。