

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630466

研究課題名(和文)地熱風力ハイブリッド発電システムの開発研究

研究課題名(英文)Development of geothermal-wind hybrid power generation system

研究代表者

糸井 龍一(Itoi, Ryuichi)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50108768

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):地熱発電において排出される大量の高温熱水を主な熱源とするソーラータワーと風力タービンを組み合わせた新しい自然エネルギーハイブリッド発電システムを開発することを目的とし、高さ2mの小型のタワーを作製し、基本的特性を明らかにする室内実験を行った。実験はタワー下部の熱源として熱水プール、熱水を通水させたエロフィンチューブそして両者を組み合わせた3通りの場合について行った。両者を組み合わせた場合、風速2.2-2.4m/sが得られ、風力タービンが回転し発電量30mWを確認した。すなわち、熱源として熱水プールとエロフィンチューブを組み合わせた構造によりハイブリッド発電が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文):A new hybrid power generation system by coupling solar tower and geothermal water as a main heat source was developed. A 2 m high tower with a heat source at the bottom was made for examining heat supply methods for generating enough wind velocity at the base of the tower. A heat source coupled with a hot water pool and finned tube generates enough air velocity above 2.2 m/s for rotating wind turbine set at the base of the tower.

研究分野：地熱工学

キーワード：地熱 ソーラータワー ハイブリッド発電

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーの開発促進はグローバルな喫緊の課題である。太陽エネルギーを利用するソーラータワーの熱源に地熱発電所から排出される還元熱水を用いるハイブリッド発電システムを開発し、地熱エネルギーのさらなる有効利用方法を開発する。

2. 研究の目的

太陽エネルギーを利用した発電システムの一つにソーラーアップドラフトタワー (Solar Updraft Tower、以下、ソーラータワー) がある。本システムは図1に示すように、集熱部、円筒形のタワー、風車で構成される。集熱部の空気が太陽熱によって暖められ浮力を生じ、タワー内を上昇する。この上昇気流が、タワー基部に設置された風力タービンを回転させ発電を行う。本システムはスペインのマンザレス地域に高さ約200mのタワーを用いたパイロットプラントが建設され、最大50kWの出力を達成している(Schlaich, 2002)。しかし、本システムは、夜間および曇天下では太陽光のエネルギーを利用できないため、それを補う熱源が必要である。

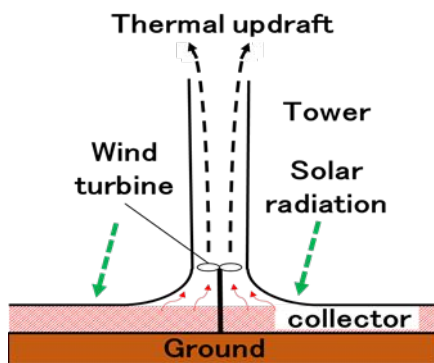


図1 ソーラータワーの概念図

熱水型の地熱貯留層を活用した地熱発電所において、発電に使用する蒸気を分離した後の熱水は貯留層流体の涵養と圧力維持を目的として地下に還元される。この時、還元される熱水の持つ熱エネルギーを本システムの熱源として利用することができれば、太陽光エネルギーが得られない夜間などでも発電を行うことができる。

本研究では、ソーラータワーシステムの安定した熱源として、地熱発電所から排出される熱水をタワー下部に送り、地熱、太陽熱を組み合わせたハイブリッド発電システムの開発を目指す。まず、室内でディフューザ型タワー(本山,2014)を利用した小型実験装置を用い、熱水を熱源とした発電システムの実証実験を行う。

3. 研究の方法

実験装置および実験条件

図2に実験装置の概念図を示す。実験装置はタワー、熱水タンク、ヒーター、熱水プール、ポンプ、フィンチューブ、風速計、温度・熱水流量測定装置で構成される。タワーは、高さ2000mm、基部直径320mm、頂部直径570mm、開き角4°のディフューザ型であり、厚さ0.5mmのアクリル製である。熱水タンクは容量250Lで3.0kWのヒーターを2本取り付けている。フィンチューブは鉄製で口径40mm、フィン高さ32mm、長さ1.1m、フィン有効長さ1mを4本矩形に接続し、プールを囲むようにプール上面から150mmの高さに設置している。超音波風速計をタワー下部から高さ380mmに設置し熱上昇風速(V)を測定する。温度計をタワー頂部から水平に3m離れた空中、熱源であるプール内および集熱部であるプール中心部から高さ200mmの位置に設置し、各点での温度(Ta, Ts, Te)を測定した。

実験は、ヒーターによって所定温度に加熱されたタンク内の熱水を2つのポンプを用いて、それぞれ円筒形プールとフィンチューブへ送る。プールは二重構造になっており、中心の底部から内側のプールへ送られた熱水は、外壁を越流した後に、外側のプールへ流れ込み、その底部の排出口から自然流下でタンクに戻る。今ひとつのポンプでフィンチューブに送られた熱水は、チューブ内を循環し、タンクへと循環する仕組みとなっている。また、タワー下部に風力タービンを設置し、回転数を測定した。熱水の温度は60~90℃、プール、フィンチューブへ送る熱水流量はそれぞれ8 L/min、18 L/minとした。Vは一秒間隔で測定した。表1に実験条件を示す。

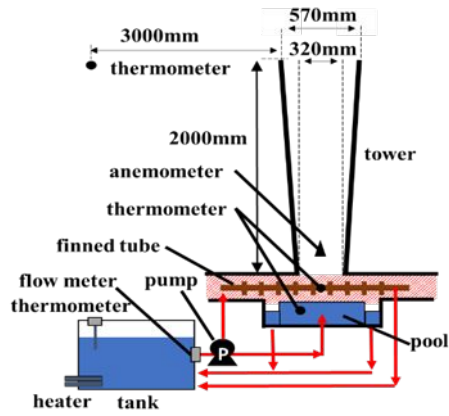


図 2 模擬実験装置の概念図

表 1 実験条件

番号	タワー	熱源	タービン
Case1-1	無	P+F	無
Case1-2	有	P+F	無
Case2-1	有	P	無し
Case3-1	有	P	無
Case3-2	有	F	無
Case3-3	有	P+F	無
Case4-1	有	P	有
Case4-2	有	F	有
Case4-3	有	P+F	有

P: 熱水プール、 F: フィンチューブ

- (1) Case1 は、熱水プールのみを熱源とし、タワーの有無による熱上昇風の有無の確認と風速測定を行う。
- (2) Case2 は、熱源は熱水プールのみでタワー内の風速と各点の温度を測定し、経過時間が異なる 2 期間にて、所定の期間内の風速と温度差の関係を検討する。
- (3) Case3 は、熱源が熱水プールのみ、フィンチューブのみ、両者を組み合わせた場合についてタワー内の風速と各点の温度を測定し、風速と温度差の関係を検討する。
- (4) Case4 は、Case3 の条件に加え、タワー下部に風力タービンを設置し、タービンの回転の有無の確認と回転数を測定する。

4. 研究成果

(1) Case-1 の結果

Case1-1 と Case1-2 の結果について熱上昇風速 (V) の経時変化を図 3、図 4 に示す。プール内温度 (T_s) の平均値はどちらも 71.8 であるが、集熱部温度 (T_c) の平均値はそれぞれ、32.2、22.4 であり、約 10 の差が生じている。ここで、Case1-1 と Case1-2 の V の平均値はそれぞれ 0.57m/s、1.52m/s であり、タワーありの場合、無い場合に比べ 0.95m/s 大きい。すなわち、タワー設置により煙突効果が生じ、大きな上昇風速が得られたと言える。熱源としてタワー集熱部底面にヒーター (合計 12 kW) を敷き詰めた本山 (2014) の実験では、 V の平均値が 2m/s 以上の場合、風力タービンが安定して回転した。また、摩擦損失を考えない円筒系の構造物内を流れる流速 V_i と構造物内外の温度差 T の間にはベルヌーイの式より (Schlaich, 1995)

$$V_i = \sqrt{2gh \Delta T / T_a} \quad (1)$$

g は重力加速度。式 (1) にタワーを設置したときの $T = 13.1$ 、 $h = 2m$ を代入すると、 V_i は 1.32m/s であった。実測値 V の平均値は 1.52 m/s であり、式 (1) で求めた値に比べ 0.2m/s 大きい。この差は、タワーの形状によると考えられる。式 (1) から判断すると、大きな上昇風速を得るためには T を大きくする必要がある。

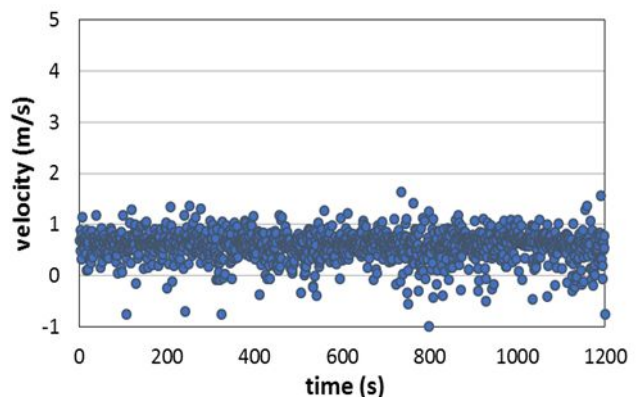


図 3 タワーを設置しない場合の V

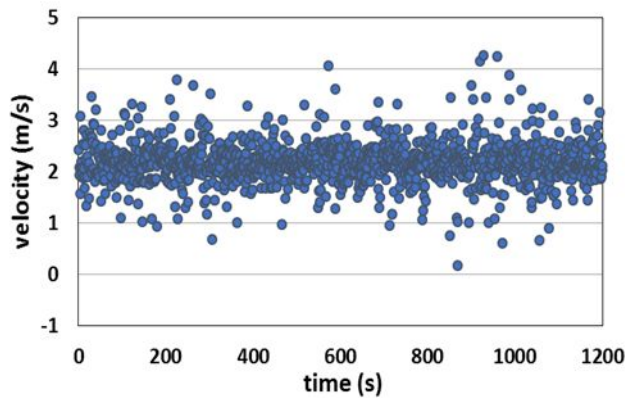


図 4 タワーを設置した場合の V

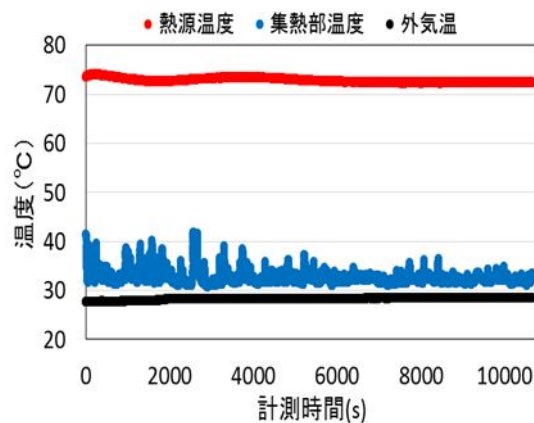


図 5 各温度の経時変化

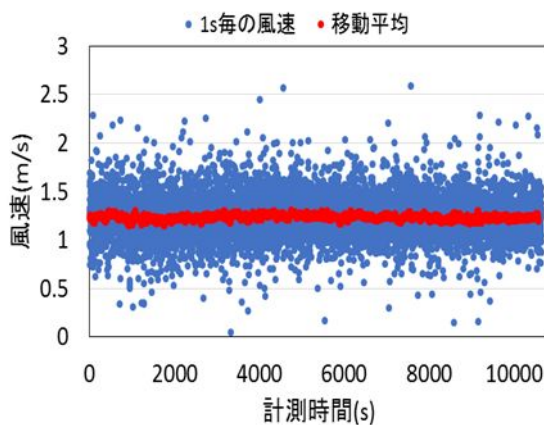


図 6 V の経時変化

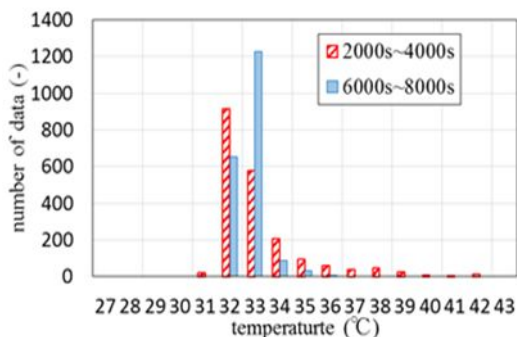


図 7 Tc のヒストグラム

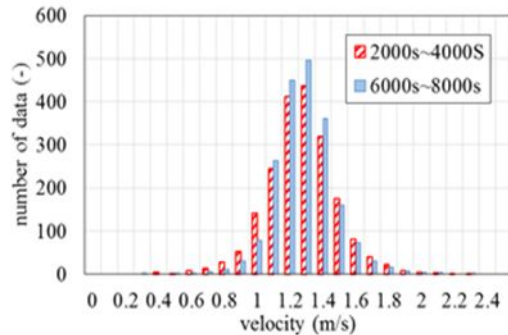


図 8 V のヒストグラム

(2) Case2 の結果

図 5 に Ts および Tc、Ta の経時変化、図 6 に V と V の 60 秒間の移動平均の経時変化を示す。Ta と Ts の平均値はそれぞれ 28.4、72.9 であり標準偏差はいずれも、0.38 である。このことから Ta と Ts は一定値を保っていることがわかる。Tc の平均値は 32.6 標準偏差は 2.1 である。Ts に比べ、Tc のばらつきが大きく、式 (1) で表される V の値に影響を与えると想定される。そこで、Tc のばらつきが V にどのような影響を与えるかを検討するために Case2 の計測において、2000 秒から 4000 秒間(以下、期間 A)と 6000 秒から 8000 秒間(以下、期間 B)の 2 つの異なる期間においてそれぞれの値の発生頻度をヒストグラムで表し、図 7、図 8 に示す。

期間 A の Tc の平均値が 33.4、期間 B では平均値は 32.3 であり、両者の差は 1.1 である。両者の差は 3%と小さいが、期間 A では Tc が最大 42 に達し、期間 B の Tc の最大値 36 と比べると期間 A の $T (= Tc - Ta)$ の変化は大きい。しかし、平均値から大きくずれる温度の発生頻度が小さいため、 T の変化が V に及ぼす影響は無視できるほど小さい。したがって、Ts が一定の場合、Tc の平均値と Ta の平均値の差を T とする。

次に V の平均値をより短い計測期間の測定値を用いて計算する場合を検討した。ま

ず、期間 A と期間 B について 60 秒間ごとの移動平均を取った。その移動平均の平均値はいずれも 1.23 m/s であり、標準偏差はそれぞれ、0.20m/s、0.19m/s であった。さらに短い測定期間として 900 秒間のデータを用い同様の移動平均およびその平均値を

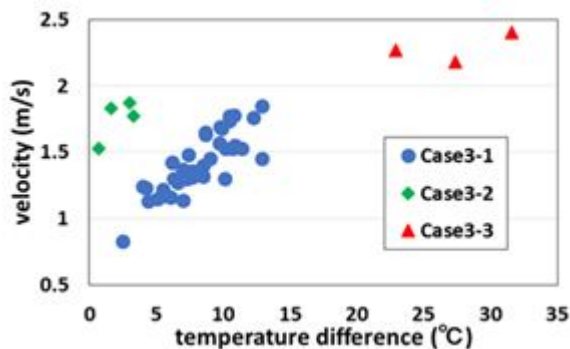


図 9 T と V の関係

算出したところ 1.23m/s となった。すなわち、900 秒間の測定データを用いて十分に有意な V の平均値が得られると言える。よって、今後は測定結果について 60 秒間ごとの移動平均を算出し、その平均値を V の平均値として扱う。

(3) Case3 の結果

図 9 に T と V の関係を示す。T の増加に連れて V の増加が確認できる。Case3-2 において T が 5 以下でも 1.5m/s 以上の V が得られたが、これは、フィンチューブに囲まれた集熱部中心の一点を計測し、Tc としているため、T が実際よりも小さくなっていることが原因と考えられる。今後はタワー上部や集熱部周辺の温度も計測し、それらを考慮して、温度補正を行っていく必要がある。また Case3-1、Case3-2 では V が 2.0m/s を超えなかったが、Case3-3 では V が 2.0m/s を超えた。これは Case3-3 の場合、他に比べ、熱源の発熱量の大きいことが要因として考えられる。

(4) Case4

図 10 に、風力タービンの回転の様子を示

す。V が 2.0m/s 以下である Case4-1、Case4-2 においては風力タービンは回転しなかったが、V が 2.0m/s 以上である Case4-3 においては図 10 に示すように風力タービンが安定して回転する様子が確認できた。このことは、Case4-3 が最も集熱部への熱量供給が多く、集熱部を平均的に加熱できることが要因であると考えられる。よって、熱水を熱源として利用する本システムにおいて発電が可能であることが示唆された。



図 10 風力タービンの写真 (Case4-3)

<引用文献>

本山 雅孝, 杉谷 賢一郎, 大屋 裕二, 烏谷 隆, 長井 知幸, 岡田 臣右, 熱上昇風を利用するソーラータワーの発電出力の改良, 風工学シンポジウム論文集, 23rd, pp.109-114, 2014.12.

Schlaich, J. (1995) The Solar Chimney, Edition Axel Menges.

Schlaich Bergemann und Partner (2002) The Solar Chimney, https://www.math.purdue.edu/~lucier/The_Solar_Chimney.pdf.

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0件)

[学会発表](計1件)

大塚康平、糸井龍一、田中俊昭、Saeid

JALILINASRABADY、大屋裕二、熱水を熱源
としたソーラータワーにおける熱上昇風
に関する研究、日本地熱学会平成 27 年度
学術講演会
〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

糸井龍一 (ITO I, Ryuichi)
九州大学・工学研究院・教授
研究者番号：50108768

(2) 研究分担者

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

(3) 連携研究者

()

研究者番号：