

ソーラーアップドラフト発電の効率化に向けた研究

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○湯井大貴
京都大学大学院工学研究科 学生会員 Hadyan Hafizh
京都大学大学院工学研究科 正会員 白土博通

1. まえがき

ソーラーアップドラフト発電(SUPG)は、太陽の放射エネルギーを用いてコレクター内に温室効果を生じさせ、上昇気流を生み出すことによってタービンを回し発電する方法である。(Fig.1)

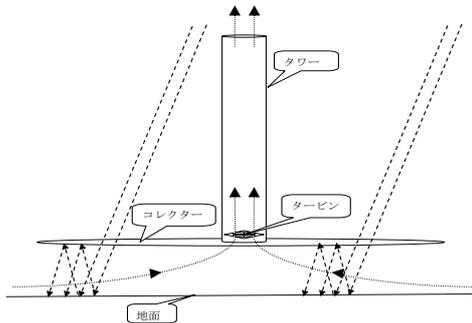


Fig.1 SUPG の仕組み

再生可能エネルギーの1つであり、天候によらず発電できる一方、発電効率が悪いという課題がある。本研究では、SUPGのタワー部とコレクター部の屋根形状を変え、発電効率向上の可能性を実験から検討した。またSUPG内の熱流動の数値モデルを構築し、その解析値と実験値と比べることで数値モデルの整合性を考察した。

2. 実験

SUPGはコレクター部、タワー部に分けられ、タービンの設置場所の風速は発電量に直結する¹⁾。

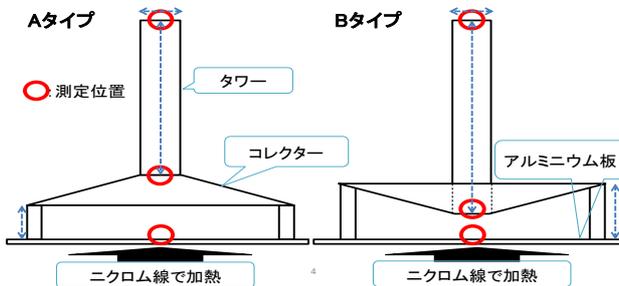


Fig.2 実験模型

Fig.2に実験に用いたSUPG模型の概略を示す。太陽放射の代わりに地面をニクロム線で加熱して温室効果を模擬した。また、コレクターは直径1.0[m]で、

屋根形状を図のようにA、Bタイプの2通りで行った。コレクター、タワーは共にアクリル樹脂製である。図に示すように、タワー上部、下部で風速及び温度を、アルミニウム板表面で温度を測定した。

Table.1 実験ケース

Table with 5 columns: Type, Collector height h [mm], Tower diameter D [mm], Tower height H [mm], and Total cases. It lists parameters for Type A and Type B.

Table.1に実験ケースを示す。計測時間は地面の加熱直後より各ケース60分とし、1分おきに計測した。

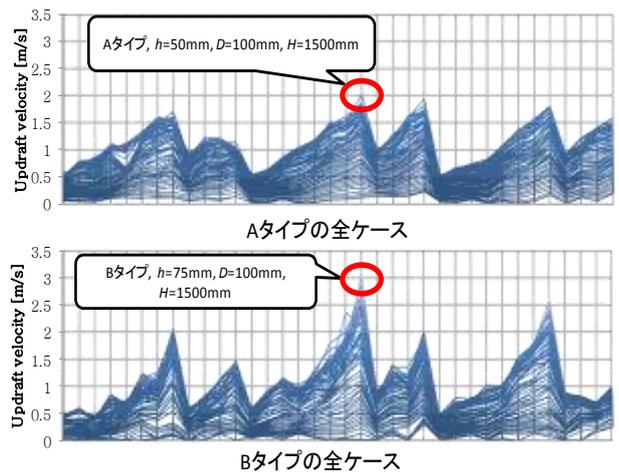


Fig.3 全ケースの上昇流速

Fig.3にタワー下部における上昇流速の時間変化を全ケースにわたり比較した図を示す。図は横軸方向にAタイプ、Bタイプそれぞれ36ケース、全72ケースの結果を並べて示しており、すべて時間の経過と共に流速は増加し、60分直後の値が最大となっている。この結果から最も適した形状はBタイプ、コレクター高さ(h)75[mm]、タワー直径(D)100[mm]、同高さ(H)1500[mm]である。そして、h、Dには最適値が存在し、Hは高いほど上昇流速が速く、発生効率が高いという結果が得られた。

ソーラーアップドラフト発電, 上昇気流, 太陽エネルギー

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1棟457号室 Tel:075-383-3170 Fax:075-383-3168

3. 数理モデルと解析結果

コレクター内部を円筒座標系で表現し、連続式、運動量保存則、エネルギー保存則を整理すると式(1)が得られる。

$$d\dot{q} = -\frac{\dot{m}c_p(T_a - T_{a,c})}{\pi(r_{out}^2 - r_m^2)} \quad (1)$$

なお、 \dot{q} : 熱流速[W/m²], \dot{m} : 質量流量[kg/s], c_p : 比熱容量 [J/kg · K], T_a : コレクター内の温度[K], $T_{a,c}$: 室内温度[K], r_{in} : タワー半径[m], r_{out} : コレクターの外径[m]を示す. 次に、コレクター表面、コレクター内部、アルミニウム板表面での熱回路網を Fig.4 に表し、それぞれにおいて式(2)~(4)の熱収支方程式が得られる. T_c : コレクター表面温度[K], T_p : アルミニウム板表面温度[K]であり、 h はそれぞれの熱伝達係数及び熱伝導係数を表す.

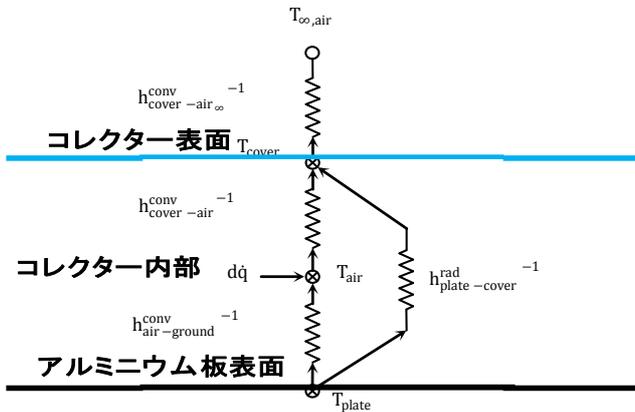


Fig.4 熱回路網

$$-h_{c-a_{\infty}}^{conv}(T_c - T_{a_{\infty}}) + h_{c-a}^{conv}(T_c - T_a) + h_{p-c}^{rad}(T_p - T_c) = 0 \quad (2)$$

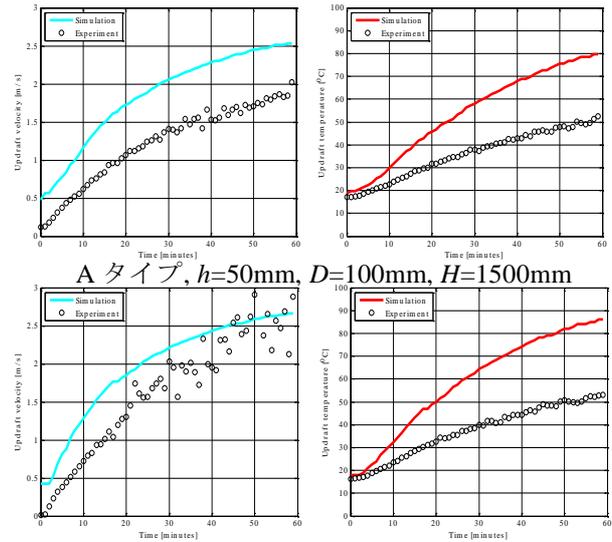
$$-h_{c-a}^{conv}(T_c - T_a) + h_{a-p}^{conv}(T_a - T_p) + d\dot{q} = 0 \quad (3)$$

$$-h_{a-p}^{conv}(T_a - T_p) - h_{p-c}^{rad}(T_p - T_c) = 0 \quad (4)$$

式(1)~(4)を用いて行列化し、反復計算により各時刻におけるタワー下部の上昇流速、温度を求めた. なお、初期条件として全ての温度は室温に等しく、質量流量は 1.0[kg/s]とした. 入力は室内温度(一定)、1分間のアルミニウム板上の温度、実験で用いた幾何学パラメータである. ここで、コレクターの高さは全体の平均値を用い、Aタイプ、Bタイプといったコレクターの形状は考慮していない.

解析結果を Fig.5 に示す. なお、実験において A

タイプ、Bタイプそれぞれの最大風速を得られたケースを用いて、風速及び温度の比較を行った.



Bタイプ, h=75mm, D=100mm, H=1500mm

Fig.5 解析値の比較(上2つAタイプ, 下2つBタイプ)

解析では温度、風速とも実験の時間的な変動傾向を概ね捉えられたと判断できる. 一方、解析値が実験値より高い傾向が見られ、これは熱回路網にコレクターの外周部から外へ逃げる熱を考慮していないためと考えられる.

4. 結論

実験では、タワー下部すなわちタービン設置部の風速が最大となるケースを見つけることで、SUPGを建設する際の最適な形状を特定することができた. 数理モデルによる解析では、温度、風速の時間的な変動傾向を概ね予測することができた. 今後、コレクターの形状やコレクター外周部から流出する熱を考慮することで、より正確な予測モデルの構築が可能となると考えられる.

謝辞

本研究の一部は(公財)谷川熱技術振興基金の助成により行われた. 記して謝意を表する.

参考文献

- 1) Hafizh et al., Journal of Structural Engineering, Vol.61A, 2015 (登載決定済)
- 2) Bernardes et al., Solar Energy, 75, 511-524, 2003
- 3) Bergman et al., Fundamentals of Heat and Mass Transfer 7th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2011
- 4) Bernardes et al., Solar Energy 83, 264-275, 2009
- 5) Duffie et al., Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, Inc., 2013