

第 I 部門

日射による上昇流発生に関する実験的研究

京都大学工学部

学生員 ○山崎 健登

元京都大学大学院工学研究科

学生員 Hadyan Hafizh

京都大学大学院工学研究科 学生員 湯井 大貴

京都大学大学院工学研究科 正員 白土 博通

1. 序論 世界のエネルギー事情を考えると、化石燃料に依存した従来の発電方法による環境負荷が問題となっている。また、原子力発電の是非も問われており、再生可能エネルギーへの期待が一層高まっている。本研究では、供給されるエネルギー量の大きさと建設の簡易さから、ソーラーアップドラフト発電(SUPG)に着目した。SUPG の概念図を(図1)に示す。原理は、日射が地表を温め、コレクター内の空気の温度上昇及び密度の低下が起こり、中心方向の気流が発生し、最終的にタワー部を通過する。そして、タワー基部に設置されたタービンによって発電が行われるというものである。本研究では、実際の日射を用いて屋外実験を行い、自然条件下での影響とシミュレーションの再現性を検討した。

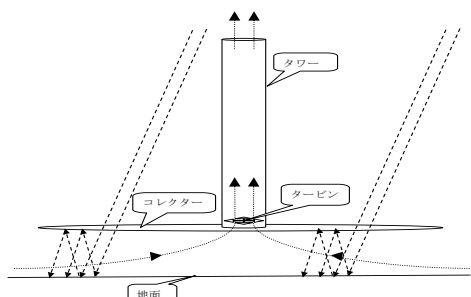


図1 SUPG の仕組み

2. 屋外実験 昨年の室内実験による研究(参考文献[1][2])で得た最適形状のスケールアップ(A,B,C-type)と、スペインの Manzanares 計画で用いられたプロトタイプスケールダウン(M-type)の模型を作成した。それぞれの断面図を図2に示す。コレクター直径3m, タワー高さ2.4m は各タイプで同様にし、タワー直径とコレクター高さがタイプ毎異なる。実験場所は、京都大学桂キャンパス C クラスターのビルの屋上とした。測定したのは、日射量、外気温、プレートとコレクターの表面温度、コレクター内気流温度、コレクター基部の上昇流速である。上昇流速のみ5分間平均値を取り、その他は1分毎計測した。実験は、

7:00～17:00 間のデータを各タイプ2日分収集した。

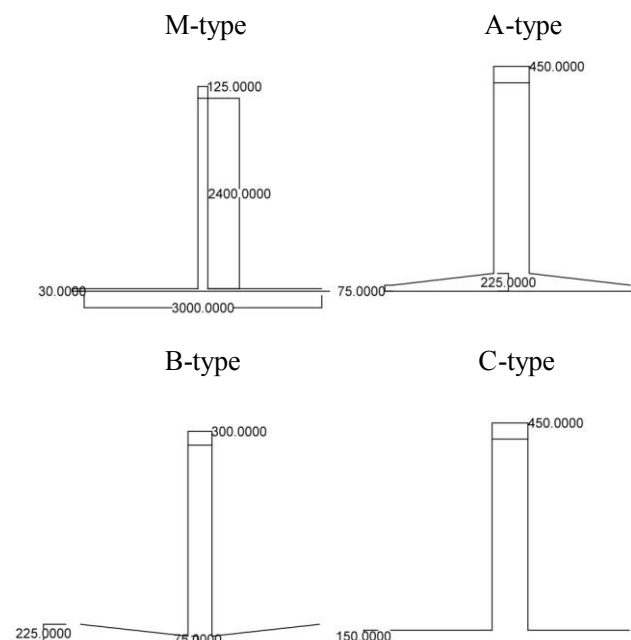


図2 実験模型の断面形状

3. 数理モデル 円筒座標系を用いて、コレクター内の気流に対して表1で示される支配方程式を導入する。なお、中心方向流速 u_r (m/s), 密度 ρ (kg/m³), 圧力 p (N/m²), 温度 T (K), 熱フラックス $\dot{q}$ (W/m²)である。

表1 支配方程式

連続式	$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \rho u_r = 0$	(3.1)
-----	--	-------

運動量式	$\rho u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial p}{\partial r} = 0$	(3.2)
------	--	-------

エネルギー式	$\rho u_r c_p \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial \dot{q}}{\partial r} = 0$	(3.3)
--------	--	-------

また、コレクター表面、コレクター内の気流、地表面での熱ネットワークを図4に示す。なお、コレクター表面温度 T_c (K), 外気温 $T_{a\infty}$ (K), 気流温度 T_a (K), 空の温度 T_s (K), 地表温度 T_g (K)である。

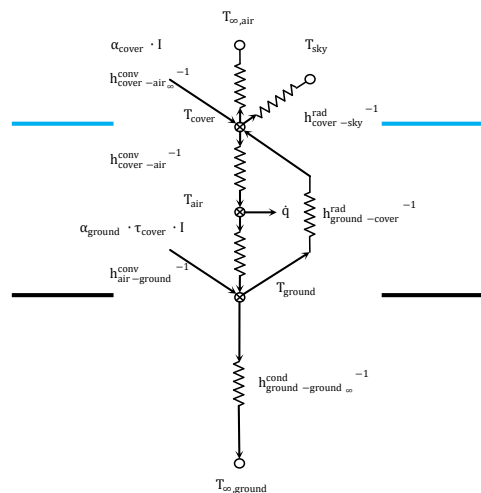


図4 熱ネットワーク

解析では、各評価点における熱収支式を立て行列化して用い、日射量と外気温を入力値とし、コレクター基部の温度と上昇流速を反復計算により求めた。

4. 実験結果と解析結果の比較 実験値として最も大きい上昇流速が得られたのは、M-type であった。今回最も効率的であると判断された M-type(図5)と、最も低い風速値しか得られなかった B-type(図6)の結果を示す。上昇流速について、実験値と解析値との乖離が見られた原因は、M-type では壁面摩擦の影響、B-type では温められた空気が逃げやすく、自然風の影響を受けやすかったためであると考えられる。

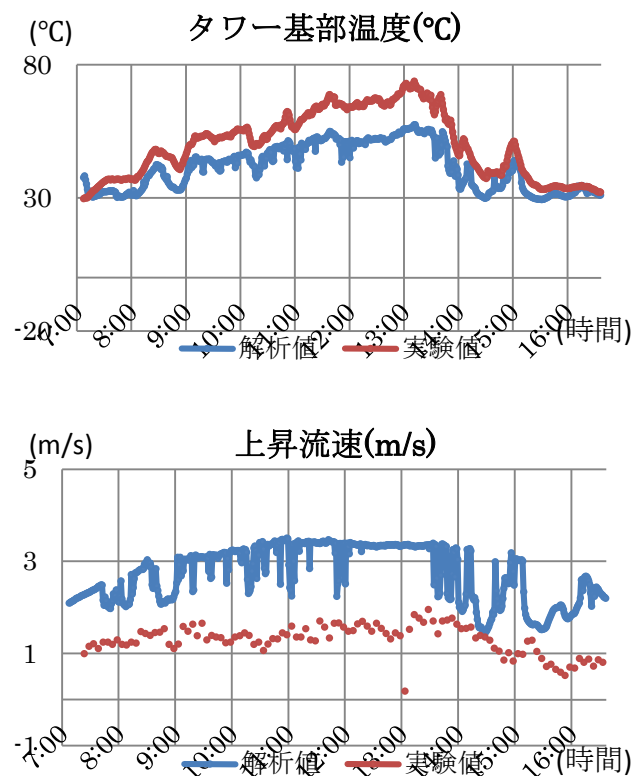


図5 M-type の実験値・解析値

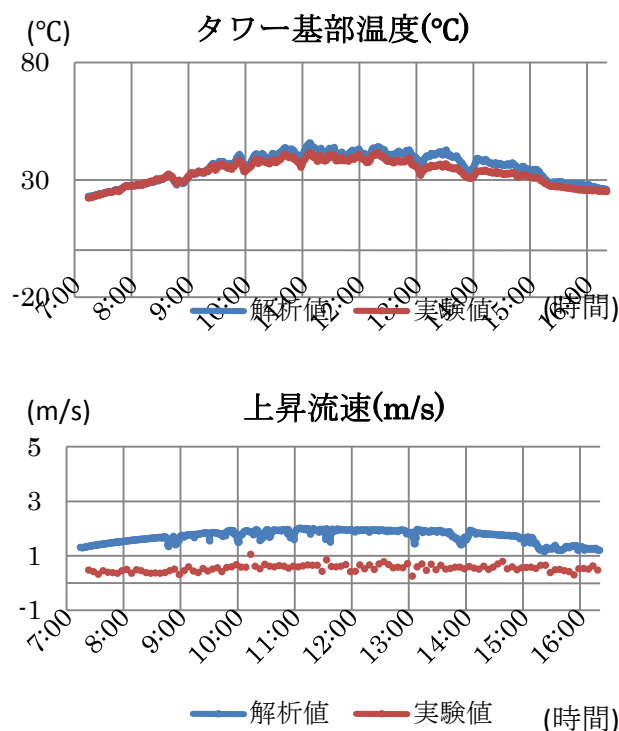


図6 B-type の実験値・解析値

タワー基部温度について、M-type でのみ解析値が実験値を下回るという結果となり、他のケースで概ね再現に成功した。また、プレート温度の解析値が M-type で再現されており、他のケースでは過大評価されていることから、コレクター内気流に伝わる熱が過少評価されていること、熱伝導係数の正確性に問題があることが考えられる。

5. 結論と課題

- (1) B-type では風速値にばらつきがみられたため、実験過程で自然風の影響を最小限に抑える必要がある。
- (2) また、B-type の風速値について、実験と解析で乖離が大きかったため、解析過程に温められた空気の漏れを考慮する必要がある。
- (3) コレクター高さが低い場合、解析過程で壁面摩擦の影響を考慮する必要がある。
- (4) プレート温度とタワー基部温度の解析値の結果から、気流に伝わる熱が過少評価されていることが考えられ、熱伝導係数の再評価と伝導する熱の正確な評価を行う必要がある。

参考文献

- [1] Hadyan Hafizh – Theoretical Analysis and Experimental Optimization of Solar Updraft Power Generator
- [2] 湯井大貴 ソーラーアップドラフト発電の効率化に関する基礎的研究