534 3D 地形図を用いた風況解析による天売島太陽光発電所の変換効率の予測

Conversion Efficiency Prediction of Photovoltaics Power Plant in TEURI Island by the Wind-Condition Analysis Using 3D Topographic Map

○学 宇都木裕太 (北見工業大学)

Yuta Utsugi, Kitami Institute of Technology
ml452300034@std.kitami-it.ac.jp

正 小原伸哉 (北見工業大学)

Shin'ya Obara, Kitami Institute of Technology

Key Words: solar cell module, 3D topographical map, wind analysis, surface temperature, conversion efficiency

1.はじめに

現在、北海道羽幌町の天売島で、環境に配慮した島の活性化及び災害に強い地域づくりを目指して「エコアイランド構想実証プロジェクト」が行われている。このプロジェクトの一環として、太陽光発電の導入が検討された。現段階で、天売小中学校の屋上に小規模な太陽電池が設置されているが、島内の電力を賄うほどの大規模な太陽電池の最適な設置場所が調査されていない。そこで本稿は、Solid Works 2013 を用いて、天売島の地形と太陽電池を 3D データで作成し、島内に太陽電池が設置された状態を模擬する。そして、島周辺の風況と外気温、日射量共に考慮した熱流体解析及び伝熱解析を行うことで、太陽電池の表面温度を調査し、変換効率を計算する。上で述べた解析結果から、天売島内における太陽電池の最適な設置場所を明らかにする。

2.解析事例

天売島²⁾は北海道の北部に位置し、人口約 350 人、周囲約 12km の小さな島である。島に電力供給設備はなく、隣の焼尻島に設置されたディーゼル発電機により電力が供給されている。本稿では、図 1 に示すように最大出力 100[kW]の太陽電池を島の 4 箇所に、表面を南向きに配置することで、太陽電池の表面温度と変換効率を調査し、この結果から太陽電池の最適な設置場所を検討する。

3.解析フロー

図 2 は解析フローである。まず、SolidWorks 2013 により、3D 地形図を作成する。次に、Flow Simulation 機能を用いて太陽電池の表面温度を解析する。最後に、解析結果より変換効率を計算する。

4.伝熱計算

太陽電池の表面温度は下記の計算式から決定する。式中の u_{∞} 及び T_{∞} は天売島の外気温と風速を使用する。

Fig.1 天売島

Fig.2 解析フロー図

4.1 太陽電池表面と外気との伝熱

太陽電池の表面と外気との伝熱は、平板上の強制対流熱伝と考えられるため、外気に持ち去られる熱量 q_{ht} [kW] は、式(1)で計算される。

$$q_{ht} = A_{pm} \cdot h_{pm} \cdot (T_{pm} - T_{\infty}) \quad (1)$$

A_{pm} : 太陽電池の表面積 [m²] h_{pm} : 熱伝達率 [kW/(m²·h·K)]
 T_{pm} : 太陽電池の表面温度 [K] T_{∞} : 外気温 [K]

ここで、強制対流熱伝達の場合、熱伝達率 h_{pm} は式(2)のヌセルト数(Nu)により計算される。

$$Nu = h_{pm} \cdot L / k_{\infty} \quad (2)$$

L : 代表長さ [m] k_{∞} : 空気の熱伝達率 [kW/(m·K)]

式(2)に示す Nu 数は式(3)及び(4)より計算されるが、使用する計算式は式(5)の Re 数により決定される。

$$\text{層流} \quad Nu = 0.664 \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \quad Re < 10^5 \quad (3)$$

$$\text{乱流} \quad Nu = 0.037 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \quad (4)$$

$$Re = (u_{\infty} \cdot L) / \nu_{\infty} \quad (5)$$

u_{∞} : 空気の流速 [m/s] ν_{∞} : 空気の動粘性係数 [cm²/s]

4.2 日射の反射とふく射伝熱

ガラス被覆における日射の反射率を γ_r に設定したとき、日射 q_s [kW] に対する、太陽電池表面の反射エネルギー q_r [kW] は式(6)で計算される。また、式(7)は、太陽電池と外気の温度差に応じて発生するふく射熱 q_{tr} [kW] である。 σ はステファンボルツマン定数 [J/(s·cm²·K⁴)] である。

$$q_r = \gamma_r \cdot q_s \quad (6)$$

$$q_{tr} = \sigma \cdot A_{pm} \cdot (T_{pm}^4 - T_{\infty}^4) \quad (7)$$

4.3 熱収支式

式(8)の太陽電池から外気に放出される熱量 q_m [kW]は、式(1)、(6)、(7)により表せる。

$$q_{ca} = q_{ht} + q_r + q_{tr} \quad (8)$$

サンプリング時刻 $t-1$ から t までの、太陽電池表面の温度変化 ($T_{pm,t} - T_{pm,t-1}$) は式(9)による計算で示す。従って、式(9)を計算することで、太陽電池の表面温度 $T_{pm,t}$ が求められる。

$$Q_{ca,t} = G_{pm,t} \cdot c_{p,pm} \cdot (T_{pm,t} - T_{pm,t-1}) + Q_{ht,t} + Q_{r,t} + Q_{tr,t} \quad (9)$$

G_{pm} : 太陽電池の質量 [kg] $c_{p,pm}$: 太陽電池の比熱 [J/(g·K)]

5. 解析条件

本稿では、1月(冬期)、4月(中間期)、7月(夏期)の各月の15日を代表日と設定し、日の出から日の入りまでのAM6:00からPM18:00まで、1時間ごとの太陽電池の表面温度と変換効率を調査した。このとき、外気温、風速、風向などの情報は、気象庁、過去の気象データ⁴⁾から取得した。

6. 解析例

Flow Simulation による3D地形図の風況解析の例を図3(a)に示す。解析条件は、7月15日、PM11:00、外気温 20.2℃、風速 3.5m/s、風向き南西、と設定した。また、この解析により得られた太陽電池表面の温度分布を図3(b)に示す。

7. 解析結果

天売島の4ヵ所に分散して設置した太陽電池 PV1 から PV4 の表面温度と変換効率を図4に示す。1月では、日中の気温上昇が低く、1日の平均気温が-4.6℃と低温となったこ

Fig.4 太陽電池の表面温度と変換効率

とから、全体的に表面温度が低く抑えられた。4月におけるPV3は、他のPVに比べて表面温度が低く、変換効率が最も高くなった。また、1月、7月においても、比較的低い値を示した。一方、PV4は、4月、7月共に他のPVに比べ表面温度が高温となり、変換効率が最も低い値となった。その理由として、天売島の地形による風流の変化が考えられる。天売島の地形は、西側が絶壁となっているため、西から吹く風は、その絶壁に衝突し、速度が減速する。また、絶壁に衝突した風は、壁に沿って上昇し、舞い上がり、PV4の設置場所上空を通過することから、風の冷却効果が低下し、表面温度が上昇したと考えられる。

8. 結言

天売島の3D地形図による風況解析を導入して、太陽電池の表面温度と変換効率を調査し、最適な太陽電池の設置場所を検討した。本稿では以下の結論を得た。

- (1) PV3の設置場所では、1月、4月、7月を通して、比較的表面温度が低く抑えられた。特に4月では、表面温度が他のPVに比べて低い値を示したため、変換効率が最も高くなった。そのため、PV3の設置場所が天売島における太陽電池の最適な設置場所と考えられる。
- (2) PV4の設置場所では、天売島の地形による風流の変化により冷却効果が減少し、太陽電池の表面温度が上昇する。そのため、変換効率が低下すると考えられる。

文献

- 1) 羽幌町エコアイランド構想実証プロジェクト
<http://www.town.haboro.lg.jp/gyousei/shisaku-plan/ecoislandproject.html>
- 2) 国土交通省一国土情報ウェブマッピングシステム
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A9%E5%A3%B2%E5%B3%B6>
- 3) 基盤地図情報、国土地理院
<http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 4) 過去の気象データ、気候の統計情報、気象庁
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>

Fig.3 Flow Simulation による熱流体解析及び伝熱解析