受光量最大化のための太陽光パネル最適設置に関する検討

Study on Optimum Installation of Solar Panels to Maximize the Amount of Light Received

○学 入佐 佳史 (信州大) 学 金子 聖司 (信州大院) 正 中村 正行 (信州大)

Yoshifumi IRISA, Shinshu University, 4-17-1 Wakasato, Nagano City, Nagano

Seiji KANEKO, Graduate School of Shinshu University, ditto

Masayuki NAKAMURA, Shinshu University, ditto

Key Words: Optimization, Photovoltaic Panels, Shade, Solar Radiation, Installation

1. はじめに

太陽光発電は、発電パネルを屋根や壁に取り付けることが容易であり、一般家庭への普及が増大している。太陽光発電パネルの設置方法には Fig.1 のように固定型、追尾型、集光型等がある⁽¹⁾⁽²⁾が、コストや設置スペースの問題があるため一般家庭には固定型が普及している。

一方で、固定設置された太陽光パネルにはいくつかの課題がある。まず、影によってパネルへの入射量が減少する。Fig.2 に示すように太陽光パネルの近くに樹木や建物等の障害物があると太陽光が遮られて発電量が低下する。周囲の環境によっては、真南にパネルを設置せず、周りの障害物による影響を考慮して設置場所および角度を設計することで発電量を最大化できる。また、地域に適した設置角度が存在する。地軸の傾きにより1年を通して太陽の軌道が変化する。さらに夏には大気中の水蒸気量が多く、散乱により日射量が低下するとともに太陽光パネルの温度が上昇するので発電効率が低下する。そのため、太陽光パネルの向きや角度および設置場所を1年を通して影を考慮して発電量が最大となるように最適化することで、固定型においても発電量の増加が期待できる。

本研究では、太陽光パネルの日射量を増加させるために、太陽光パネル設置場所での太陽の軌道と障害物によってできる日影および入射角等に依存する日射量を解析し、最適な設置場所の設計を行うことを目的とする。まず、設置地域の緯度と経度および日時から、太陽の軌道を計算する。太陽の軌道より、太陽光線が障害物にあたり太陽光パネルに投影される影を、光線追跡により求める。また、日射量は、法線面直達日射量および散乱日射量を考慮して、両者を加えた水平面日射量を求める。また、水平面日射量は気象庁の過去のデータを使用することで設置場所の1年間～数年間の気象を考慮する。

2. 日射量の解析

影の位置を計算するために、太陽高度角と太陽方位角を求める。太陽高度角 h と太陽方位角 γ は以下の式で表わされる。

$$\sinh = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega \quad (1)$$

$$\sin\gamma = \cos\phi \sin\omega / \cosh \quad (2)$$

ϕ は緯度、 δ は太陽赤緯、 ω は時角を表している。水平面日射量 I_{HT} は、法線面直達日射量 I_{ND} と散乱日射量 I_S の和で表わされる。

$$I_{HT} = I_{ND} + I_S \quad (3)$$

Fig.1 Installation types of solar panel

Fig.2 Shade on a solar panel

法線面直達日射量は次式で表わされる。

$$I_{ND} = I_0 P^{1/\sinh} = I_0 P^{\csc h} \quad (4)$$

I_0 は太陽定数である。ここでは、太陽定数を 1367W/m^2 とする。 P は大気透過率である。散乱日射量は、天候や雲の様子によって大きく変化するが、晴天日の散乱日射量は次に示す Berlage の式によって求めることができる⁽²⁾。

$$I_S = \frac{I_0 \sinh(1 - P^{1/\sinh})}{2(1 - 1.4 \ln P)} \quad (5)$$

3. 影の解析

3.1 光線追跡

影の動きを捉える上で光線追跡の手法を用いる。木などの任意形状を持つ障害物は外形形状を離散化して考える。Fig.3 に障害物と影を表すための座標を示す。Fig.3 に示すように木などの障害物表面を3角形平面に分割する。これら3角形 i の中心座標を $O(x_0^i, y_0^i, z_0^i)$ 、その影で太陽パネルが遮られた時の投影3角形 i の中心座標を $P(x_p^i, y_p^i, z_p^i)$ とする。このときの光源である太陽の位置は $S(h, \gamma)$ とする。光源からの法線ベクトル $\mathbf{n}_s(l_s, m_s, n_s)$ は、太陽高度角 h と

太陽方位角 γ より次式で与えられる．

$$n_s(\coth\cos\gamma, \coth\sin\gamma, \cosech\sin\gamma) \quad (6)$$

3.2 隠面処理

式(6)により,影が移動する際の座標を求めることができる．影が太陽光パネルに重なっているかどうかの判定には隠面処理による内包判定を用いる．隠面処理の中でも奥行き座標の大きさによってその面が視点から前方にあるか後方にあるかを判定するzバッファ法を用いる．奥行き座標の値が小さい場合,それは手前の面にあると判定できる．逆に,奥行き座標が大きい場合は遠い位置にある．最も手前にある面の面積を求めることで時間的な重なりが判定できる．

4. 解析例

Fig.4に,影を考慮して太陽光パネルへの日射量を求めるための例題におけるパネルと建物の上面図,正面図,右側面図を示す．長野市において $a \times b = 5\text{m} \times 6\text{m}$ のパネルを南方向に設置し,高さ $l=15\text{m}$,幅 $W=1\text{m}$ の障害物が南西方向にあると仮定したときの日射量をFig.5に示す． $c=5\text{m}$, $d=2\text{m}$ とした．Fig.5のグラフから,午後には影がパネルにかかっているため,日射量が減少しているのが分かる．午前中には影がパネルにかからないためその場所における最大の日射量を受光できる．発電量が大きい南中高度付近の12時～14時に影がかかっており,この配置は不利である．同様に,障害物を南東方向に設置した場合をFig.6に示す．グラフより午前中から午後にかけて影がかかっている様子がわかる．

6. おわりに

本研究は,日射量を求めるために太陽高度角と太陽方位角を太陽軌道から求め,移動する影の面積を光線追跡と隠面処理の手法を用いて求めた．太陽光パネルに影がかかった際の日射量の変化を求めることができた．また,緯度や設置角度など様々な条件を変えることで日射量の総量に変化が見られた．今後,太陽光パネルの設置角度や方向,設置位置をパラメータとした最適化を行う．

Fig.3 Coordinates of an obstacle and its shade

Fig.4 Configuration of panel and obstacle

Fig.5 Solar radiation to the panel installed in the direction of south-west

Fig.6 Solar radiation to the panel installed in the direction of south-east

参考文献

- (1) 化学工学会, 図解 新エネルギーのすべて(改訂版), 工業調査会, (2009), pp.7-68.
- (2) 金山公夫, 馬場 弘, ソーラーエネルギー利用技術, 森北出版, (2004), pp.26-31.
- (3) John A Duffie, William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, Wiley, (2006), pp.3-40.