

需要変動を考慮した独立型太陽光発電システムの設計方法

鳥取大学大学院工学研究科 学生会員 ○福永剛士
鳥取大学大学院工学研究科 正会員 赤尾聡史

1. はじめに

近年、太陽光、風力、バイオマスといった再生可能エネルギーが注目を集めている。中でも太陽光発電は、その中心的存在と認識されている。本研究は太陽光発電が持つ特質の一つであるオンサイト性、つまり独立電源と成り得る点に着目した。独立型太陽光発電システムは、エネルギーシフトの進むヨーロッパ諸国、あるいはアジア、中東など比較的日照条件に恵まれる新興国において導入が進みつつある。同システムでは、夜間や日射量が少ない時にも電力を供給する必要がある。蓄電装置が必要となる。そのため、設備設計では太陽光パネル容量のほかに蓄電池容量を定める必要がある。しかし、それら容量の設計方法は確立途上にある。近年の報告¹⁾では、日照変動に伴う発電量の変化を考慮した設計方法が提案されてきたが、その際の電力需要量は固定値とされている場合が多い。電力需要量を変動させた計算を行うことで、より現実的で、より厳しい電力供給状況を反映した設備設計が行える。

本研究では、電気需要の変動を考慮した場合の独立型太陽光発電システムの容量計算を行った。50人の仮想集落を対象とし、平均年間1日の停電を許容する場合の最も安価となる同システムに必要な設備を、発電量と電気需要量を日ごとに変動させ求めた。

2. 研究方法

(1) 発電量の計算

(a) 発電量の計算式

JIS C 8907を参考に、太陽光発電の発電量の推定式は以下とした(式(1)、式(2))。

$$E = P \times H / G \times K \quad (1)$$

E : 発電量(kWh), P : 太陽光パネル定格容量(kW_p), H : 積算日射量($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{day}^1$), G : 標準試験条件における日射強度 (kW/m^2 , $=1 \text{ kW}/\text{m}^2$), K : 設計係数(-)。

$$K = (1 - 0.45 \times (T + 18.4 - 25.0) / 100.0) \times K_p \quad (2)$$

K_p : 変動・補正係数 ($=0.7955$), T : 気温 ($^{\circ}\text{C}$)

(b) 積算日射量

積算日射量は季節と天気に関連付けて設定した。天気を晴、曇、雨の3つに分類し、各月ごとに日射量を与えた²⁾。本研究では気象庁HP (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>)より舞鶴の2002年12月31日から2012年12月31日の天気概況と日射量を用いて3分類した。天気の推移は、分類によって得られた月ごとの天気の出現確率を用いてマルコフ連鎖により表現した。

(2) 電力需要量の計算

電力需要量は1日ごとに定めた。1年間の電力需要量推移をsinカーブで近似し、近似曲線上に365個の離散値

を定めた。それぞれを平均値とする正規分布を用意し、乱数を与えることで電力需要のトレンドと変動を持つ1日ごとの電力需要を定めた。

平均的な電力需要量の推移を示す近似曲線は、東京電力HP (<http://www.tepco.co.jp/forecast/html/download-j.html>)にあった2009年度電力需要量を用いた。式(3)にて最小二乗法により近似し、得られた近似式の平均値 c と振幅 a を、東京電力管内と対象集落の間の年間平均電力需要量の比で除すことで50人の集落へ当てはめた。50人に必要な年平均電力量は、資源エネルギー庁が提供する2009年度のエネルギーバランスシート (<http://www.enecho.meti.go.jp/info/statistics/jukyu/resource/xls/2009fy.xls>)と総務省統計局が提供する人口統計 (<http://www.stat.go.jp/data/nihon/zuhyou/n0200100.xls>)から求めた1人あたりの年間電力消費量より求めた。

$$E = a \times \sin([2\pi \times x + b] / 182.5) + c \quad (3)$$

E : 電力需要量, a , b , c : パラメータ (振幅, 位相, 平均値)。

集落用の近似曲線を得た後は、同曲線に与える正規分布の標準偏差を式(4)により求めた。

$$SD(i) = C_v(i) \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{365} \left(\frac{D(i)}{C_T(i)} - \frac{\bar{D}}{\bar{C}_T} \right)^2}{365}} \quad (4)$$

$SD(i)$: 集落における i 日目の電力需要量標準偏差, $C_v(i)$: 集落における i 日目の平均的な電力需要量 (近似曲線上の値), $C_T(i)$: 東京電力管内における i 日目の平均的な電力需要量 (近似曲線上の値), $D(i)$: 東京電力管内における i 日目の電力需要量 (観測値) と平均的な電力需要量 (近似曲線上の値) の差, $\bar{C}_T$: 東京電力管内における電力需要量の平均値, $\bar{D}$: 東京電力管内における電力需要量 (観測値) と平均的な電力需要量 (近似曲線上の値) の差の平均。

(3) 電力消費の計算

電力量収支は、昼間と夜間の二度に分けて検討した。電力需要量は昼間と夜間を同じとし、発電は昼間に起こるとした。電力量収支は蓄電量の視点から計算した。

(a) 昼間の発電量が昼間の電力需要量を上回る場合

昼間の蓄電量は式(5)で示される。また、夜間の蓄電量は式(6)で示される。

$$B(i)_{-1} = B(i-1)_{-2} \times (1 - \eta_b) + (P(i) - C(i) / \eta_{inv}) \times \eta_{bat} \quad (5)$$

$B(i)_{-1}$: i 日目昼間の蓄電量 (kWh), $B(i-1)_{-2}$: $i-1$ 日目夜間の蓄電量 (kWh), $P(i)$: i 日目昼間の発電量 (kWh), $C(i)$: i 日目昼間の電気需要量 (kWh), η_b : 自然放電率 (0.9995), η_{inv} : インバータ効率 (0.90), η_{bat} : 充放電効率 (0.83)。

$$B(i)_{-2}=B(i)_{-1} \times (1-\eta_b)-C(i)/\eta_{inv} \times \eta_{bat} \quad (6)$$

$B(i)_{-2}$: i 日目夜間の蓄電量 (kWh).

(b) 昼間の発電量が昼間の電力需要量を下回る場合

昼間の蓄電量は式(7)で示される. また, 夜間の充電量は式(6)で示される.

$$B(i)_{-1}=B(i-1)_{-2} \times (1-\eta_b)+(P_i-C(i)/\eta_{inv} \times \eta_{bat}) \quad (7)$$

(c) 停電日数のカウント

蓄電池は放電深度を設定し, 定格容量の 0.80 倍 (B_{max}) までしか充放電できないものとした. 式(5), (6), (7)の充電量の計算において, 蓄電量が B_{max} を超える場合は蓄電量を B_{max} とし, 蓄電量が負となる場合は蓄電量をゼロとした. また, 蓄電量がゼロとなった日は, 昼間と夜間あるいは夜間のみを問わず停電日数 1 日とカウントした.

(4) 電力量収支の計算

太陽光パネル容量と蓄電池容量をあらかじめ設定し, これを計算条件とした. 計算初日を 4 月 1 日, 蓄電量ゼロを初期状態とし, 発電量と電力需要量を求めて電力量収支計算を行った. 1 年間電力量収支計算を行った後, 2 年目の 4 月 1 日から 1 年間の計算を評価対象とした. 同様の計算を合計 100 回繰り返し, 1 つの計算条件において 100 年分の計算結果を得た. 計算のフローを図-1 に示す.

(5) 独立太陽光発電システムのコスト計算

本研究で用いた独立太陽光発電システムに関わる単価を表-1 に示す. 設置面積原単位は, 太陽光パネルと蓄電池それぞれ 0.288 kWp/m^2 , 86.14 kWh/m^2 とした. 土地代は $5,000 \text{ 円/m}^2$ とし, 工事費は, 全設備費の 0.5 倍と設定した. この中に架台, ケーブルなど材料費を含めるものとした(式(8)).

$$C_{st}=(Pc \times 373507+Bc \times 50000) \times (1+0.5) \\ + (Pc/0.288+Bc/86.14) \times 5000 \quad (8)$$

C_{st} : システムに必要なコスト(円), Pc : パネル容量(kWp), Bc : 蓄電池容量(kWh).

(6) 停電日数関数

停電日数をパネル容量と蓄電池容量で表す関数式を応答曲面法により求めた. ただし, 応答曲面法は比較的限られた領域に適用する手法と考えたため, あらかじめ応答曲面法を適用する太陽光パネルと蓄電池の容量範囲を定めた. 太陽光パネルと蓄電池の広い領域(太陽光パネル: $350 \sim 490 \text{ kWp}$, 蓄電池: $480 \sim 2,000 \text{ kWh}$)に対して停電日数の変化傾向を求めた. 概ね停電日数が 1 日となる太陽光パネルと蓄電池の容量関係を求め, 同関係を基に独立型太陽光発電システムのコスト推移をおおよそ求め, 同コストが低くなる設備領域に対して応答曲面を適用した.

3. 結果

(1) 応答局面法による関数式

停電日数が概ね 1 日の太陽光パネルと蓄電池容量の関係を求め, それらに必要なコストを見た. 最も安価

となる設備規模は, パネル: $400 \sim 420 \text{ kWp}$, 蓄電池: $880 \sim 980 \text{ kWh}$ の範囲と考えられた. そこで, 表-2 に示す条件にて計算を行い, 停電日数がパネル容量と蓄電池容量にて定まる関数式を作成した(式(9), 図-2).

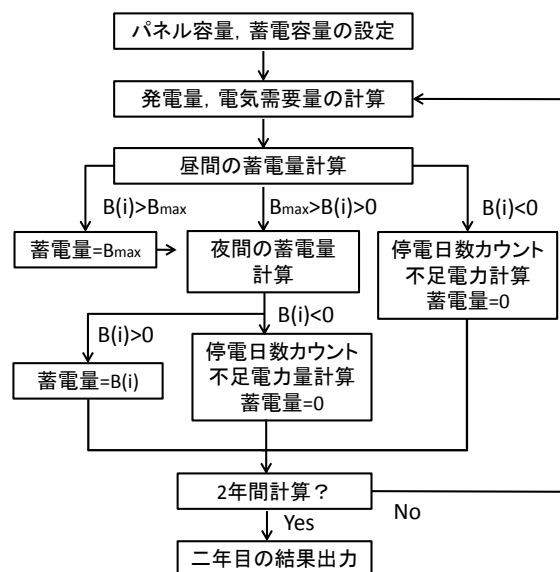


図-1 電力量収支の計算フロー

表-1 コスト計算における単価表

ユニット名	価格
太陽光パネル	292,787 円/kW _p ³⁾
インバータ	48,616 円/kW _p ³⁾
充放電コントローラ	32,104 円/kW _p ⁴⁾
蓄電池	50,000 円/kWh ⁵⁾

表-2 実験計画

No.	P容量*1 (kWp)	B容量*2 (kWh)	停電日数 (day)
1	396	930	1.52
2	400	880	1.62
3	400	980	1.21
4	410	859	1.34
5	410	1001	0.80
6	420	880	0.98
7	420	980	0.65
8	424	930	0.71
9	410	930	1.05
10	410	930	1.07
11	410	930	0.78
12	410	930	0.76
13	410	930	1.09
14	410	930	0.72

*1: P容量: 太陽光パネル容量

*2: B容量: 蓄電池容量

$$F(P_c, B_c) = 1.0077 \times 10^{-3} P_c^2 - 0.855633 \times P_c - 3.7592 \times 10^{-2} \times B_c + 185.875 \quad (9)$$

F : 停電日数(日).

(2) コストの最適化結果

式(9)より、年間平均停電日数 1 日を実現する太陽光パネルと蓄電池容量の関係が求まる。独立型太陽光システムのコストは、太陽光パネル容量と蓄電池容量により求まることから(式(8)), 両式により太陽光パネル容量を変数とするコスト関数が定まる(図-3)。これによると、太陽光パネル容量: 409 kWp, 蓄電池容量: 929 kWh, のときに同システムは最も安価となり、327 百万円となった。

4. まとめ

本研究では、電力需要を日ごとに変動させた場合の独立型太陽光発電システムの太陽光パネルと蓄電池容量の設計を行った。人口 50 人の仮想集落において、年間平均停電日数 1 日となる独立型太陽光発電システムに必要な太陽光パネル容量と蓄電池容量を求めた。舞鶴の気象条件を用い、同設備の初期投資を最小とする設計計算を行った結果、必要な太陽光パネル容量は 409 kWp, 蓄電池容量は 929 kWh となり、同設備コストは 327 百万円と求まった。

参考文献

- 1) Shen, W. X. : Optimally sizing of solar array and battery in a standalone photovoltaic system in Malaysia, *Renewable Energy*, Vol.34, No.1, pp.348-352, 2009.
- 2) 市野美夏, 坂本尚美, 増田耕一, 三上岳彦: 天候記録を用いた全天日射量の推定法歴史時代の気候復元に向けて, 天気学会誌, vol48, No11, pp.823-830, 2001. http://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2001/2001_11_0823.pdf (2014 年 3 月 13 日確認)
- 3) 資源エネルギー庁: 太陽光発電システム等の普及動向に関する調査, pp.8-16, 177-179, 2013, http://www.meti.go.jp/eti_lib/report/2013fy/E002502.pdf (2014 年 3 月 13 日確認)
- 4) Sharma, R. and Tiwari, G. N. : Life cycle assessment of stand-alone photovoltaic (SAPV) system under on-field conditions of New Delhi, India. *Energy Policy*, Vol.63, pp.272-282, 2013.
- 5) 経済産業省: 蓄電池技術の現状と取組について, p.16 <http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90225a05j.pdf> (2014 年 3 月 13 日確認)

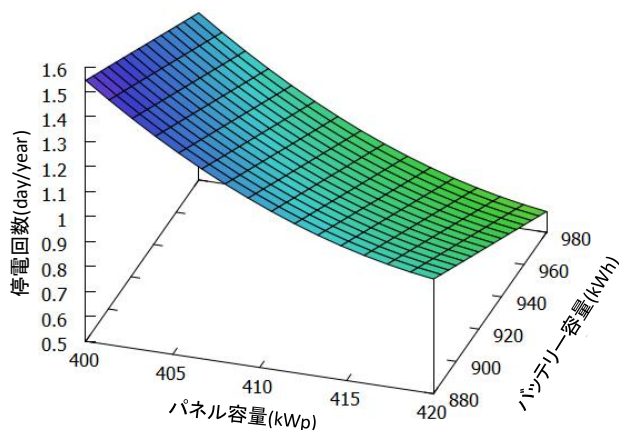


図-2 停電日数局面

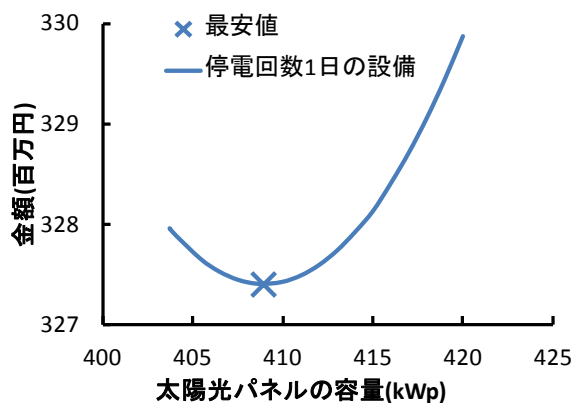


図-3 停電回数1日に必要なコスト関数