

# 人工蜂コロニーアルゴリズムの動的最大電力 点追従への応用

坂本, 秀人 / SAKAMOTO, Hideto

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

3

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014175>

# 人工蜂コロニーアルゴリズムの動的最大電力点追従への応用

## APPLICATION OF ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM TO DYNAMIC MAXIMUM POWER POINT TRACKING

坂本 秀人

Hideto SAKAMOTO

指導教員 斎藤利通

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

This paper studies application of the artificial bee colony algorithm to maximum power point tracking in Photovoltaic systems. Depending on insolation and temperature, the voltage-power characteristic becomes a complex multi-model shape and the maximum power point becomes time-variant. In order to track the maximum power point, this paper presents an improved algorithm including flexible re-assignment of individuals. Performing basic numerical experiments, the algorithm efficiency is investigated.

**Key Words :** Artificial Bee Colony, Maximum Power Point Tracking

### 1. まえがき

ABC アルゴリズム (Artificial Bee Colony algorithm) とは群知能に基づくアルゴリズムの 1 つである。[1] ABC は現在の自身と別個体の情報を参照し更新を行う、過去の状態に影響を受けない探索が可能なアルゴリズムである。パワーエレクトロニクス分野において、ABC は AD 変換器やデジタルフィルターの回路設計などに応用されている。[2]

太陽光発電システムは再生可能エネルギーの 1 つとして注目されている。電力供給の効率化を図るためには最大電力点 (Maximum Power Point, MPP) を追従する必要がある。しかし、太陽電池の PV 特性は温度、日射量などの外部影響によって変化してしまう。特に複数のセルに当たる日射量の差から発生する部分陰問題を考慮すると、PV 特性は多峰性の関数となり追従時に局所解へトラップされてしまう可能性がある。[3] [4] また、外部影響は時間経過に応じて変化することで PV 特性自体が変動するため時間経過に対応した MPP を見つける必要がある。

本論文では最大電力点追従の手法として再配置の条件を変更した ABC アルゴリズムを提案する。再配置の条件を変更することで動的な PV 特性の追従が可能になると考える。また、提案したアルゴリズムと従来のアルゴリズムを用いて簡単な性能比較を行う

### 2. 太陽光発電システムと目的関数

### 3. 太陽光発電システム

太陽電池のセル 1 つに対する等価回路を図 1 に示す。簡単のために  $R_{sh}$  と  $R_s$  は無視することにする。本論文で最大電力点の追従を行う太陽電池システムを図 2 に示す。

太陽電池の VI 特性を式 (1) に示す。

$$i_j = f(v_j, S_j) = I_{ph} - I_{rs} \left( \exp\left(\frac{qv_j}{kATn_s}\right) - 1 \right) \quad (1)$$

$$I_{ph} = (I_{scr} + k_i(T_s - T_r)) \frac{S_j}{100}, \quad j = 1 \sim 3$$

ただし、 $I_{ph}$  は光電効果によって発生した電流、 $n_s$  はセル

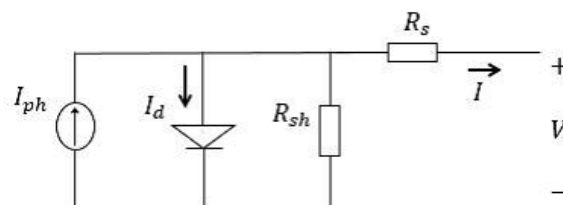


図 1 太陽電池の等価回路

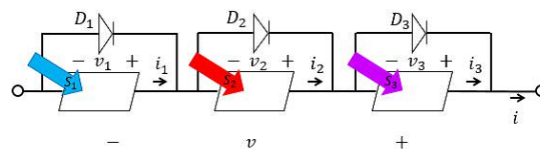


図 2 太陽電池モジュール回路図

数、 $q$  は電子素量、 $k$  はボルツマン定数、 $I_{scr}$  は短絡電流、 $k_i$  は短絡電流温度効率、 $I_{rs}$  は逆飽和電流、 $A$  は理想ダイオード因子、 $T_s$  は太陽電池の温度である。

$S_j$  は各太陽電池の日射強度である。日射強度を式 (2) と図 3 に示す。

$$S_1 = 2.5 \cos\left(\frac{5t}{8} + \frac{2\pi}{3}\right) + 85$$

$$S_2 = 20 \cos\left(\frac{5t}{16} + \frac{4\pi}{5}\right) + 55$$

$$S_3 = 10 \cos\left(\frac{9t}{32}\right) + 25 \quad (2)$$

各セルに流れる電流はそれぞれ  $i_1 \equiv f(0, S_1)$ ,  $i_2 \equiv f(0, S_2)$ ,  $i_3 \equiv f(0, S_3)$  となる。各セルでの電圧を式 (3) に示す。

$$v_1 = g_1(i_1) = f^{-1}(v_1, S_1)$$

$$v_2 = g_2(i_2) = f^{-1}(v_2, S_2)$$

$$v_3 = g_3(i_3) = f^{-1}(v_3, S_3) \quad (3)$$

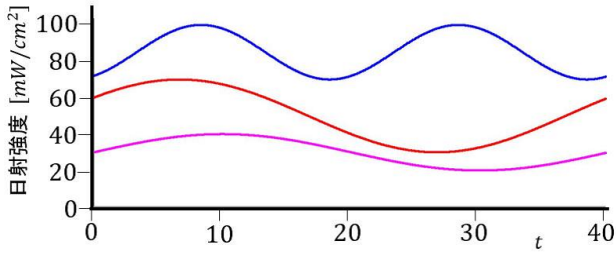


図 3 各日射強度青が  $S_1$ , 赤が  $S_2$ , 紫が  $S_3$  である。

3つのセルをあわせた電流を式(4)に示す。

$$v = G(i) = \begin{cases} g_1(i_1) & (i_2 \leq i < i_1) \\ g_1(i_2) & (i_3 \leq i < i_2) \\ g_1(i_3) & (0 \leq i < i_3) \end{cases} \quad (4)$$

また、各セルおよび、セルをあわせた状態のVI特性を図4に示す。太陽電池モジュールのPV特性を式(5)に示し、こ

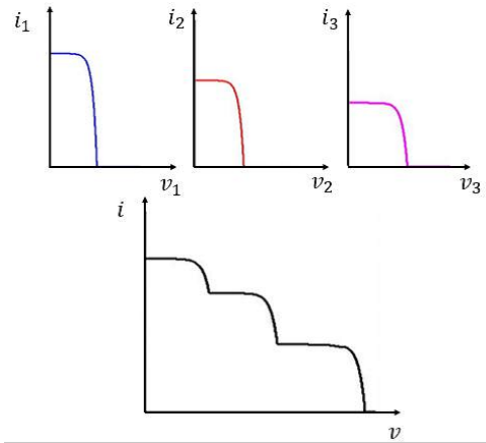


図 4 各セルおよび太陽電池モジュールのVI特性

の式を評価関数  $F(v)$  とする。このPV特性は多峰性の関数である。また、PV特性を図5に示す。図5のようにこのPV特性は(a) → (b) → (c) → (a)の順番で移り変わっていく

$$F(v) = vi = vG^{-1}(v) \quad (5)$$

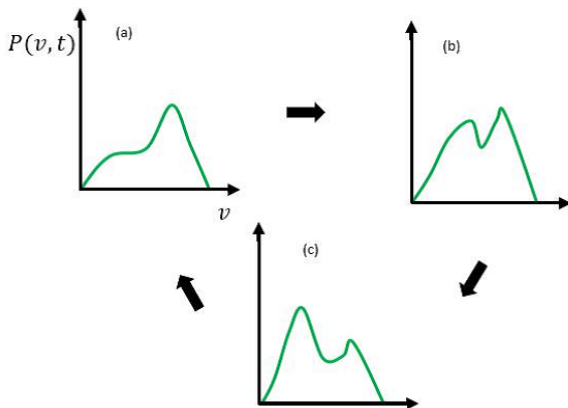


図 5 各サンプリング時間におけるPV特性

#### 4. Rule-changed ABC アルゴリズム (RABC)

ABCは探索開始時に  $M$  個の個体が存在する。各個体は3段階の探索を行う。

大域的探索では個体の位置  $x_n$  と任意の1個体の位置  $x_r$  の2つによって位置の更新を行う。局所探索では相対価値確率  $P_n$  をもとに個体を1つ選択し探索を行う。再配置は個体の連続未更新回数  $T_n$  が上限  $T_{lim}$  を超えた場合に行う。

通常のABCでは探索回数  $n$  において複数存在している個体が同時に更新し探索を行う。しかし、実際のシステムにおいて動作点は同時に1つしか取ることができず、複数の個体を同時に動作させることは難しい。そこで、本論文では個体の更新を以下のように定義する。サンプリング時間  $t = n\Delta t$  において、1つの個体が更新される。ここで、 $\Delta t$  はサンプリング間隔とする。図??と図??に各手法での個体の定義を示す。以下にアルゴリズムの定義をする。

##### Step 1 初期化

$n = 0$  にする。初期個体として電圧  $v(n\Delta t)$  からなる個体  $x_n$  を作成する。

$$x_n = v(n\Delta t) \quad (6)$$

個体は位置の他に連続未更新回数  $T_n$  という情報を持つ。  $T_n = 0$  として、個体が更新されない場合に  $T_n \leftarrow T_n + 1$  となる。

##### Step 2 働き蜂探索

式(7)から更新候補個体  $x_c$  を作成する。

$$x_c = x_n + \phi(x_n - x_r) \quad (7)$$

$x_r$  は参照個体であり、 $x_n$  以外の個体から1つ選択する。その後式(8)に従って個体の更新を行う。

$$x_n \leftarrow \begin{cases} x_c & (F(x_c, t) > F(x_n, t)) \\ x_n & (F(x_c, t) \leq F(x_n, t)) \end{cases} \quad (8)$$

##### Step 3 見物蜂探索

各個体の評価値をもとに相対価値確率  $P_n$  を作成し、ルーレット選択によって個体を1つ選択する。

Step 4 Step 3で選ばれた個体に対してStep 2を  $M$  回繰り返す。

##### Step 5 再配置

連続未更新回数  $T_n$  が上限  $T_{lim}$  を超えた個体  $x_n$  を探索領域内に再配置する。

##### Step 6 探索終了判定

探索回数  $n$  が上限  $n\Delta t = t_{max}$  となった場合、探索を終了する。探索を終了しない場合は  $n \leftarrow n + 1$  としStep 1に戻る。

また、Step 5を以下のStep 5'に置き換えたものをRule-changed ABCアルゴリズム (RABC) と定義する。

##### Step 5' 再配置

連続未更新回数  $T_n$  が上限  $T_{lim}$  を超え、かつ最良個体ではない個体  $x_n$  を探索領域内の別の位置に再配置する。

#### 5. 数値実験

探索で使用したパラメータは以下のとおりである。

サンプリング上限  $t_{max} = 40$ , サンプリング間隔  $\Delta t = 0.05$ , 更新回数上限  $n_{max} = 800$ , 個体数  $M = 5$ , 連続未更新回数上限  $T_{lim} = 5$

RABC での追従例を図 6 に示す. また, 提案手法と ABC の MPPT 過程を図 7 に示す.

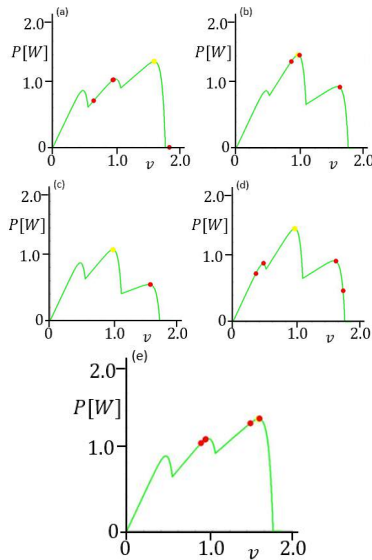


図 6 RABC の追従過程例 1

(a)  $n = 20$ , (b)  $n = 200$ , (c)  $n = 400$ , (d)  $n = 600$ , (e)  $n = 800$ . 各図の赤い点は各個体, 黄色の点は最大電力点である.

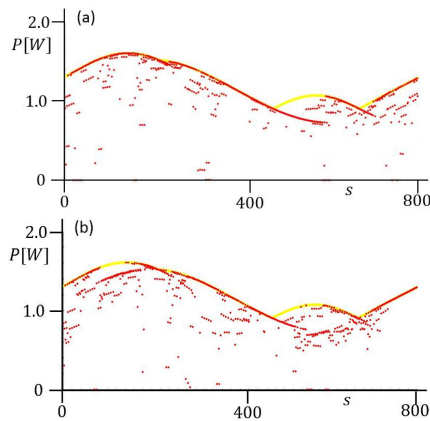


図 7 各アルゴリズムの MPPT 過程

(a) RABC, (b) ABC. 各図の赤い点は各個体, 黄色の線は最大電力点である.

図 6 より各スナップショットにおいて  $n = 200$  および  $t = 800$  の段階では MPP 付近をサンプルしていることがわかる. 一方で追従開始直後である  $n = 20$  と追従途中である  $n = 400$  および  $n = 600$  では MPP から離れた付近をサンプルしていることがわかる.

図 7 において  $n = 200$  の段階までは RABC の方がより追従できていることがわかる. しかし,  $n = 440$  から  $n = 600$  の最大電力が再上昇している段階においては両者とも追従ができていないことがわかる. これは前段階の最大電力点に個体が集中しているためであると考えられる.

各アルゴリズムの性能比較を行うために以下の式 (9) によって追従効率  $P_{ef}$  および総合電力  $P_{all}$  を定義する.

$$P_{ef} = 1 - \frac{\sum_{n=1}^{n_{max}} \frac{|F(x_n, n) - MP_n|}{MP_n}}{n_{max}} \quad (9)$$

$$P_{all} = \sum_{n=1}^{n_{max}} F(x_n, n)$$

$MP_n$  = Maximum Power at time  $n$   
 $P_n$  = power of time  $n$

RABC, ABC の追従効率および総合電力を表 1 に示す. 提案手法は従来手法よりも追従効率が向上していることがわかる.

## 6. むすび

ABC アルゴリズムを動的な最大電力点探索に適用した. また, 適用方法として再配置条件を変更したアルゴリズムを提案し, 性能の検討を行った. その結果, 提案手法は粒子群最適化に比べ追従効率がよいという結果が得られた.

今後の課題としては探索過程の詳細な解析, 更なる性能比較などがあげられる.

## 参考文献

- 1) D. Karaboga and B. Bastrurk, A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: Artificial bee colony (ABC) algorithm, J. Global Opt. (2007) 459.
- 2) H. Lee, H. Nakano, and A. Miyauchi, A Tabu Artificial Bee Colony Algorithm for Effective Forwarding Power Adjustment in Wireless Sensor Networks, Proc. of NOLTA (2012) 22.
- 3) M. Miyatake, M. Veerachary, F. Toriumi, N. Fujii and H. Ko, Maximum Power Point Tracking of Multiple Photovoltaic Arrays: A Particle Swarm Optimization Approach, IEEE Trans. Aerosp. Elect. Systems, 47, 1 (2011) 367.
- 4) H. Patel and V. Agarwal, Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions, IEEE Trans. Ind. Electron., 55, 4 (2008) 1689.
- 5) R. Akeno, K. Tanakajima, and T. Saito, The Imaginary Particle Swarm Optimizer for Dynamic Maximum Power Point Tracking, Proc. IEEE/SMC, (2016) 2978.

表 1 各アルゴリズムの性能比較

	$P_{ef}[\%]$	$P_{all}[W]$
RABC	89.3	892.8
ABC	85.8	858.9