異種個体集団が共存する遺伝的アルゴリズムによる 負荷融通問題の解法

正員 増田 達也 (大阪工業大学) 学生員 中尾 好寿 (大阪工業大学)
正員 重弘 裕二 (大阪工業大学) 正員 山本 成辰 (三洋電機)

A Method for Service Restoration in Distribution Systems by Genetic Algorithm Considering the Coexistence of Heterogeneous Populations

Tatsuya Masuda, Member, Yoshihisa Nakao, Student Member,
Yuji Shigehiro, Member (Osaka Institute of Technology),
Naritatsu Yamamoto, Member (SANYO Electric Co.,LTD.)

Service restoration in distribution systems can be formulated as a combinatorial optimization problem, and it is very difficult to obtain a global optimal solution in practical applications. Numerous works have been reported for this problem. In these works, only a restricted part of network associated with the out-of-service area is reconfigured. Thus, spare capacity can not be transferred between adjacent feeders, and there may be a case where some de-energized load is not restored even if sufficient spare capacity exists. We propose a new genetic algorithm for service restoration problem on the basis of the coexistence of heterogeneous populations. In the proposed method, the whole network associated with all systems is taken into account, and reconfigured. Consequently, spare capacity can be restored as much as possible. We have also applied the proposed method to several service restoration problems corresponding to various faults in order to demonstrate the effectiveness of the proposed method.

キーワード：異種個体集団，遺伝的アルゴリズム，負荷融通問題，配電系統，区分開閉器

1. まえがき

配電系統は事故，工事等により線路の一部が停電した場合に備えて，他の系統から電力を融通できるように網目状に構成されている。しかし，通常は系統内の各所に設置されている区分開閉器のオン・オフ状態を適切に設定して，上位系統からみるとネットワーク構成が放射状になるように運用されている。事故等により停電区間が発生した場合，この区分開閉器のオン・オフ状態を変更して，周囲のフィーダより停電区間への応急的な再送電が行われる。この事故等が復旧するまでの一時的な配電系統を求める問題を負荷融通問題⁽¹⁾といい，フィーダ遮断器容量や線路容量，電圧降下等の各種配電系統制約の下で停電区間の総負荷量が最小になるように区分開閉器のオン・オフ状態を決定する，一種の組合せ最適化問題と考えることができる。

ところが，この負荷融通問題は系統規模が大きくなると区分開閉器のオン・オフ状態の組合せの数が膨大になり，しかも，多くの制約が存在するため，計算時間の面から分枝限定法などの数理計画的な厳密解法で解くことは困難であった。そのため，最近ではニューラルネットワーク，ファジィ理論，遺伝的アルゴリズムなどを用いた様々な負

荷融通問題の近似解法が提案されている^{(2)~(4)}。しかし，これらの解法はいずれも隣接フィーダの供給可能な容量（以下，予備力と呼ぶ）を固定し，オン・オフ操作の対象を被融通区間内の区分開閉器に限定して解を求めている。そのため，例えば停電負荷から離れた区分開閉器を操作して隣接フィーダの予備力を増加させなければ停電区間の総負荷量が最小とならないような事故例には対応しきれない。このように，従来の解法は事故発生箇所によっては有効な解を求めることができないという問題があった。

本論文ではこのような背景の下に，あらゆる系統，事故例を想定して，系統内のすべての区分開閉器をオン・オフ操作の対象とすることにより，探索中に柔軟に隣接フィーダの予備力を変化させ，どのような事故に対しても効率的に最適解あるいは準最適解を求めることが可能な異種個体集団が共存する GA⁽⁵⁾ による負荷融通問題の新たな解法を提案する。さらに，本解法を実際に配電系統の様々な負荷融通問題に適用して，その有効性を示す。

2. 負荷融通問題

<2-1> 概要

負荷融通問題とは，線路容量や電圧降下等を許容範囲

内に収めるという制約条件の下で、配電系統内に発生した停電区間の総負荷量が最小となり、かつ閉路および被融通区間以外の系統部分に停電区間を含まない放射状のネットワークを構成するように各所に設置されている区分開閉器のオン・オフ状態を決定する問題である。

図 1 (a) は矢印の区間で事故が発生した直後の配電系統を、変圧器、フィーダ遮断器 (FCB)、区分開閉器、分岐点、終端、上位系統接続点を節点、各負荷線路を枝と考えて、節点数 $n=24$ 、枝数 $b=26$ のグラフで表わしたものである。この場合、区分開閉器①と②をオフにして事故区間を遮断するため、区分開閉器②より下位の網掛けした区間群がすべて停電区間となる。このように事故の発生により生じた事故区間以外の停電区間群を被融通区間という。また、変電所の変圧器から最初の負荷供給点までをフィーダという。さらに、本論文では図のⅠ、Ⅱ、Ⅲに示すように配電系統内に存在する閉路を基本閉路と呼び、分岐点から分岐点の間、分岐点と上位系統接続点（これも一種の分岐点とみなせる）の間、分岐点と終端の間をアークと呼ぶことにする。

図 1 (b) は図 1 (a) の事故直後の系統を区分開閉器⑦、⑬を新たにオンにし、④をオフにすることによって事故区間以外には停電区間が残らないように系統を再構成して負荷融通を行った一例である。この例では融通後の系統が線路容量等の制約条件をすべて満たしているため、事故区間以外の停電区間をすべて解消することができているが、事故箇所によっては配電系統の各種制約条件により、被融通

区間の一部が停電区間として残る場合もある。
実際の負荷融通問題では種々の制約条件や評価基準が要求されるが、本論文では文献 (2)、(3) と同様に以下のように定義する。

〔目的〕

停電区間の総負荷量の最小化

〔制約条件〕

(1) 電力供給制約

被融通区間以外の区間には電力が重複せずに供給されなければならない。

(2) フィーダ遮断器容量制約

各フィーダ遮断器に流れる電流は許容範囲内に収めなければならない。

(3) 線路容量制約

各線路に流れる電流は許容範囲内に収めなければならない。

(4) 電圧降下制約

オフ状態の区分開閉器あるいは終端における電圧降下値を許容範囲内に収めなければならない。

(5) 供給予備力の平均化

各フィーダの供給予備力が平均化されなければならない。
なお、上記の電力供給制約以外の制約は 3 章で述べる解法では適応度関数のペナルティ項として取り扱われる。

〈2・2〉実行可能解であるための必要条件

負荷融通問題の実行可能解とは、図 1 (b) に示したように配電系統が放射状であり、事故区間および被融通区間以外の系統部分に停電区間を含まなく、かつ閉路も含まないような区分開閉器のオン・オフの組合せのことである。我々は先に配電損失最小化問題において実行可能解ならば必ず満たす 4 つの必要条件を挙げて、その有効性を示した⁽⁶⁾。本論文で提案する負荷融通問題の解法においても、以下に示す同様の 4 つの必要条件をコーディングおよび各遺伝的操作において考慮することにより、不必要に実行不可能解（本論文では致死遺伝子と呼ぶ）が発生するのを抑制している。

〔条件 1〕節点数 n 、枝数 b の時、配電系統内でオフにする区分開閉器の数 μ は $\mu \geq b - n + 2$ でなければならない。

〔条件 2〕被融通区間に含まれない各アークではオフ状態の区分開閉器数は 1 個以下でなければならない。

〔条件 3〕被融通区間に含まれない分岐点に接続するアークのうち、オフ状態の区分開閉器を含まないアークが少なくとも 1 つなければならない。

〔条件 4〕各基本閉路内には少なくとも 1 個以上のオフ状態の区分開閉器がなければならない。

条件 1 は負荷融通後の配電系統が放射状になるために必要なオフにする区分開閉器の数を示す条件である。一方、条件 2、3 は事故区間および被融通区間以外に停電区間を含まないための必要条件であり、条件 4 は負荷融通後の系統内に閉路を含まないための必要条件である。

図 1 負荷融通前後の配電系統
Fig.1. Distribution system before / after service restoration.

〈2・3〉 従来解法の問題点と提案解法の特徴

従来提案されている負荷融通問題の解法^{(2)~(4)}には、以下のような問題点がある。

(i) オン—オフ操作の対象とする区分開閉器を被融通区間内の区分開閉器に限定しているため、これ以外の区分開閉器を操作して隣接フィードの供給予備力を増加させない限り停電区間の総負荷量が最小とならないような事故例には対しては、最適解が求まらない。

(ii) すべての被融通区間が復旧可能と仮定しているが、実際には事故区間以外に被融通区間の一部を停電区間として残さない限り、配電系統の各種制約条件に触れて復旧不可能な事故例が存在する。このような事故例には対応できない。

次節で提案する解法では、まず (i) の問題点を克服するために、系統内のすべての区分開閉器をオン—オフ操作の対象にしている。これにより、探索中に被融通区間以外の区分開閉器も操作して隣接フィードの供給予備力を柔軟に変化させることが可能になり、停電区間の総負荷量を最小にする配電系統を求めることができるようになっている。ただし、区分開閉器の操作範囲を拡大することによって当然従来解法よりも探索空間は広がるが、本解法では〈2・2〉で示した実行可能解であるための 4 つの必要条件を GA の各遺伝的操作に組み込むことにより、致死遺伝子の発生を極力抑制しながら効率よく最適解の探索が行えるようになっている。

一方、(ii) のような場合にはオフにする区分開閉器の数 μ を前節の条件 1 で示した下限個数 b_{-n+2} より増やして事故区間以外にも被融通区間の一部を停電区間として余儀なく残さなければならないが、このオフにする区分開閉器の最適個数 μ^* は事前に決定することができない。そこで、本解法では最初はオフにする区分開閉器の数が $\mu = b_{-n+2}$ の 1 種類の個体集団から探索を開始するが、探索中に後述する「異種個体集団間の個体の移動」操作⁽⁵⁾を繰り返すことにより、図 2 に示すように μ の値が異なる複数の異種個体集団が徐々に形成され、最終的に最適な区分開閉器数 μ^* の集団へと個体が集中するようになっている。

図 2 異種個体集団の概要
Fig.2. Heterogeneous populations.

3. 異種個体集団が共存する GA による解法

〈3・1〉 コーディング

本解法で用いる GA においては〈2・2〉で述べた 4 つの必要条件を容易に判定できるように以下のような個体（染色体）のコーディングを行う。まず、区分開閉器がオンならば「1」、オフならば「0」とし、系統内のすべての区分開閉器を遺伝子にコーディングする。これにより、個体内に含まれる「0」の数で条件 1 の判定ができる。なお、個体内における区分開閉器の並びはアーク単位とし、任意につけたアーク番号の若い方から順に並べていく。また、被融通区間に含まれる区分開閉器を「0」、含まれない区分開閉器を「1」とする被融通区間情報、各アークがどの分岐点に接続しているかを示す分岐点に関する情報、各基本閉路がどのアークによって構成されているかを示す基本閉路に関する情報を持たせておく。これにより、残りの 3 つの条件が判定できる。図 1 (a) の事故直後の配電系統をコーディングした例を図 3 に示す。

区分開閉器番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬
個体	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	
被融通区間情報	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	
アーク情報	1		2	3	4		5	6		7			
基本閉路情報	I		II		I		I	II		III			
分岐点情報	A		A	A	A		B	B		C			
	D		C	A	B		D	C		E			

図 3 コーディング例

Fig.3. An example of coding.

〈3・2〉 アルゴリズム

本解法のアルゴリズムをフローチャートで図 4 に示す。一般的な GA のアルゴリズムに、「異種個体集団間の個体の移動」操作を追加した形となっている。図の斜線で示した「初期集団の生成」、「交叉」、「突然変異」の各ステップで〈2・2〉で述べた 4 つの必要条件を考慮することにより、致死遺伝子の発生を抑制する工夫がされている。以下に各ステップの詳細を述べる。

(1) パラメータの設定

個体数、集団数、終了世代、選択率、基本突然変異率、基本移動率等のパラメータを設定する。

(2) 初期個体集団の生成

図 4 アルゴリズム

Fig.4. Algorithm.

第1世代の個体はオフ状態の区分開閉器数が最も少ない $\mu=b-n+2$ の個体のみに限定し、初期個体集団はこれらの個体で形成されるものとする。すなわち、第1世代では異種個体集団は1種類しか存在しない。この初期個体集団の生成に関しては、先に述べた条件1~4をすべて満たすように以下で述べる手順で各々の個体を生成する。

まず、事故区間を健全区間から切り離す区分開閉器をすべてオフ(対応する遺伝子座を0)にし、他の区分開閉器はオン(遺伝子座を1)にする。次に、各基本閉路に対してオフ状態の区分開閉器を含まないアークをランダムに選び、そのアーク内の区分開閉器をランダムに1つオフにする。この操作をオフ状態の区分開閉器の総数が μ に達するまで繰り返す。

最後に、この個体が条件3を満たしているか否かの判定を行い、満たしていればこれを初期個体集団の個体として採用する。満たさなければ生成をやり直す。

(3) 適応度の計算

(1)式の適応度関数に従ってすべての個体の適応度を計算する。

$$F = \frac{\alpha}{p_1 + w_1 p_2 + w_2 p_3 + w_3 p_4 + w_4 p_5} \quad (1)$$

ここで、 w_1, w_2, w_3, w_4 は重み定数で、 α はスケリング定数である。一方、 p_1 は停電区間の総負荷量であり、 p_2, p_3, p_4 はフィーダ遮断器容量制約、線路容量制約、電圧降下制約に対して逸脱した分のそれぞれのペナルティ値である⁽⁶⁾。また、 p_5 は全フィーダの供給予備力の分散値である。すなわち、(1)式はフィーダ遮断器容量、線路容量、電圧降下の各制約を満たし、各フィーダの供給予備力が平均化され、かつ停電区間の総負荷量が小さいほど適応度が高くなるようになっている。

(4) 選択

適応度比例戦略⁽⁷⁾により選択率に比例した個体数だけ次の世代に残し、残りの個体は淘汰する。なお、この適応度比例戦略において個体数の小数点以下は切り捨てるものとする。

(5) 交叉

まず、ランダムに1つの個体集団を選ぶ。続いて、この個体集団に属する2個体を重複も認めて親として選ぶ。次に、この2つの親のアークとアークの節目をランダムに選び、そこを交叉点として一点交叉を行う。この操作により条件2は必ず満たされることになり、残りの条件を満たす個体ができるまで交叉をやり直す。

以上の操作を淘汰した個体数分だけ繰り返し、選択で減少した個体を補充する。

(6) 突然変異

まず、各個体の突然変異率を次式より求める。

$$P_m = P_{m0} \cdot T \quad (2)$$

ここで、 P_{m0} ($0 \leq P_{m0} \leq 1$) はあらかじめ設定しておく基本突然変異率、 T は次式で定義する焼きなまし温度をそれぞれ表している。

$$T = 1 - kF \quad (3)$$

k : 温度係数, $0 \leq k \leq 1$

すなわち、(2)、(3)式は各個体の持つ適応度 F に応じた焼きなましによって突然変異率を決めており、適応度の高い、優秀な個体ほど突然変異を起こす確率が低くなっている。次に各個体に対して、この突然変異率 P_m に従って突然変異を起こすか否かを決定する。突然変異を起こす場合は、この個体の遺伝子座の中からランダムに「1」と「0」(ただし、事故区間を切り離している区分開閉器に対応する遺伝子座は除く)を選び交換を行う。この操作では、個体内に存在する「0」の数、すなわちオフ状態の区分開閉器の数は変化しないため、必然的に条件1を満たすことになる。残りの条件を満たさない場合は突然変異をやり直す。

以上の操作をすべての個体に対して繰り返す。

(7) 終了条件の判定

あらかじめ設定した終了世代に達したかどうかを判定する。そして、終了世代に達している場合は手続きを終了する。

(8) 異種個体集団間の個体の移動

まず、各個体の移動確率を次式より求める。

$$P_t = P_{t0} \cdot T \quad (4)$$

ここで、 P_{t0} はあらかじめ設定しておく基本移動率、 T は(3)式と同じ焼きなまし温度である。(4)式は突然変異の場合と同様に各個体の持つ適応度に応じた焼きなましによって移動確率を決めており、適応度の高い優秀な個体ほど他の異種個体集団へ移動する確率が低く、現在所属している集団に残るようになっている。続いて、各個体に対して移動確率 P_t に従って移動操作を行うか否かを判定し、移動操作を行う場合は図5に示すように行う。すなわち、移動対象となった個体が、フィーダ遮断器容量制約、線路容量制約、電圧降下制約のいずれか1つでも逸脱している場合は、被融通区間に含まれるオン状態の区分開閉器の中からランダムに1つ選び出しそれをオフにして、現在所属している集団からオフ状態の区分開閉器の数が1つ多い集団へと移動させる。逆に、移動対象となった個体がすべての制約を満たしている場合は、被融通区間に含まれるオフ状態の区分開閉器の中からランダムに1つ選び出しそれをオンにして、現在所属している集団からオフ状態の区分開閉器の数が1つ少ない集団へと移動させる。ただし、オフにする区分開閉器の数がそれ以上増減できない場合は移動しない。

図5 異種個体集団間の個体の移動

Fig.5. Movement of Individual.

以上の操作をすべての個体に対して繰り返す。

4. 適用例

＜4・1＞ 比較実験

まず、本解法の有効性を明らかにするために、切り替え操作の対象を被融通区間内の区分開閉器のみに限定している従来解法⁽⁴⁾との比較実験を行う。

実験は図 6 に示す節点数 $n=83$ 、枝数 $b=92$ 、区分開閉器数 53、区間数 73、基本閉路数 10 の健全な配電システムを用いて、各々矢印で示した区間での事故発生を想定した事故例#1～事故例#10 に対する負荷融通問題に両解法を適用して行った。事故例#1～#8 は区間内での事故であり、事故例#9、#10 は変電所内のバンク事故に相当している。なお、適用に際して、系統内のフィーダ遮断器 FCB1～FCB6 の許容電流値はいずれも 400A 以下とし、系統末端での電圧が 6150V 以下になれば電圧降下違反とした。また、事故が発生する前の各フィーダの供給予備力は以下のように設定した。

フィーダ 1 の予備力：104A、フィーダ 2 の予備力：125A
フィーダ 3 の予備力：78A、フィーダ 4 の予備力：97A
フィーダ 5 の予備力：96A、フィーダ 6 の予備力：135A
実験結果を表 1 に示す。ここで、被融通区間数は事故の発生により停電となった事故直後の停電区間数(ただし、事故区間は除く)のことである。また、同表に示されているオフにする区分開閉器のうち下線のついたものは負荷融通のためにオンからオフに切り替えられた区分開閉器を、一方、無印のものは事故の発生前からオフのままの区分開閉器を表わしている。

表 1 を見ると、事故例#1～#6 の場合はいずれの解法でも事故区間以外のすべての停電区間を解消して、停電区間の総負荷量が最小となる同一の最良解が求まっていることがわかる。これは、これらの事故例の場合、発生した被融通区間数が比較的小さいため、被融通区間に直結している隣接フィーダの予備力の投入だけで(これは被融通区間内の区分開閉器の切り替え操作のみで実現でき、従来解法でも可能)、すべての停電区間の復旧が十分可能であるため

図 6 実験に用いた配電系統
Fig.6. Distribution system used in the experiment.

表 1 実験結果

Table 1. Experimental results.

事故例	被融通区間数	負荷融通後の停電区間数		本解法により得られた最良解においてオフにする区分開閉器
		従来解法	本解法	
#1	1	0	0	5,8,9,13,17,21,30,35,39,43,49
#2	7	0	0	5,10,14,15,16,20,30,35,39,43,49
#3	3	0	0	5,10,13,17,28,29,30,35,39,43,49
#4	6	0	0	5,10,13,17,21,30,35,40,43,47,48
#5	5	0	0	5,10,13,20,22,23,30,35,39,43,49
#6	3	0	0	5,10,13,17,21,30,35,39,44,51,52
#7	11	3	0	1,2,8,11,16,21,30,35,39,43,49
#8	7	4	0	5,10,13,17,26,27,29,30,38,43,49
#9	27	適用不可	10	1,3,9,11,17,21,24,27,28,30,44,48
#10	21	適用不可	11	5,10,13,19,21,23,30,34,37,39,44,52,53

図 7 事故例#7 の場合の負荷融通
Fig.7. Service restoration for fault #7.

である。
一方、事故例#7、#8 の場合は本解法では負荷融通後の停電区間数が 0 となる最良解が求まっているが、従来解法ではこの最良解が求まらず停電区間が一部残っていることがわかる。これは＜2・3＞の (i) で述べたように被融通区間数が多いため、隣接フィーダの現状の予備力の投入、すなわち被融通区間内の区分開閉器の切り替え操作だけでは停電区間をすべて解消できないためである。このことを事故例#7 の場合を例にとって詳しく述べてみる。図 7 (a) は事故例#7 の場合の事故直後の被融通区間付近の系統を図示したものである。図中のイタリックで書かれた数値はその区間の負荷量を示しており、各 FCB 内の数値はその FCB を含むフィーダの予備力を示している。従来解法では、切り替え操作の対象を被融通区間内の区分開閉器(2,3,4,5,8,9,10,11,12,13)に限定して、被融通区間に直結するフィーダ 2、3 の現状の予備力 125A および 78A に

よって復旧を図るため、この事故の場合、これら 2 つの隣接フィーダの合計予備力 203A が被融通区間内の総負荷量 239A に足りなく、その結果図 7 (b) のように 3 つの区間が停電区間として残ってしまう。しかし、この場合、図 7 (a) における被融通区間外の区分開閉器 16 をオフにし 17 をオンにすれば、フィーダ 4 の予備力 97A のうちの 88A をフィーダ 2 に移せて、フィーダ 2 の予備力を 125A から 203A に増強することができる。その結果、隣接フィーダ 2 および 3 の合計予備力は 281A となって被融通区間の総負荷量 239A を十分補え、図 7 (c) のように停電区間をすべて無くすことができる。すなわち、本解法はすべての区分開閉器を切り替え操作の対象としているため、このような隣接フィーダの予備力の調整が可能であり、従来解法では停電区間が残ってしまう事故例#7、#8 でもすべての停電区間を解消する最良解を見つけ出すことができる。

また、表 1 を見ると事故例#9 および#10 の場合には本解法で得られた最良解においても被融通区間のうちの一部が停電区間として残っていることがわかる。これらの事故例は配電系統の各種制約条件により、すべての停電区間の解消が不可能な場合に相当している。従来解法ではこのような事故例は対象外としているため適用することができないが、<2.3>で述べたように本解法では探索中にオフにする区分開閉器の最適な個数を自動的に決定しながら、停電区間の総負荷量が最小となる表 1 の最良解を得ている。図 8 は事故例#10 に本解法を適用した場合の各個体集団内の個体数および適応度の変化の様子を世代ごとに図示したものである。同図において棒グラフは各個体集団内に存在する個体数を示し、上下に延びた線の上端がその集団に属する個体の最大適応度、下端が最小適応度、白丸が平均適応度をそれぞれ表わしている。また、横軸はオフにする区分開閉器の数 μ ごとに形成した各個体集団を表わしている。

本解法では、オフにする区分開閉器の数が条件 1 で示した下限値 $\mu = b - n + 2$ (図 6 の配電系統の場合、 $\mu = 11$ となる) である個体集団を初期集団として用いるため、図 8 からわかるように初期世代では全個体が $\mu = 11$ の集団に属している。しかし、これらの個体はいずれも各種制約条件に違反しているために、世代が進むにつれて「異種個体集団間の個体の移動」操作により、オフにする区分開閉器の数を増やしながら、 $\mu > 11$ の集団へと個体が徐々に移動していった。そして最終的に、制約条件を満たし、かつ停電区間の総負荷量が最小となる表 1 に示した最良解が存在する $\mu = 13$ の集団に大部分の個体が集中していることがわかる。このように、停電区間を残さなければならない事故例の場合でも本解法は探索中にオフにする区分開閉器の最適な個数 (言い換えると、停電総負荷量が最小となる停電区間) を自動的に決定しながら最良解を獲得している。

〈4.2〉 探索効率

続いて本解法の探索効率を明らかにするため、表 2 に

図 8 事故例#10 の場合の個体数および適応度の変化

Fig.8. Change of population size and fitness for fault #10.

示す規模の異なる 5 種類の配電系統に本解法を適用して負荷融通実験を行った。これらの配電系統のうち#4 および#5 は現在実際に運用されている系統である。実験においては、本解法の各種パラメータの値を個体数 100、集団数 5、選択率 50%、基本突然変異率 50%、基本移動確率 30%、学習終了世代 500 に設定し、いずれの系統に対しても初期集団を変えて各々 10 回ずつ試行した。なお、実験にはパーソナルコンピュータ PC-9821Xa16/R16 (CPU クロック 166MHz、実装メモリ 96MB) を使用した。

実験結果を表 2 に示す。ここで、最良解獲得世代と計算時間は、最良解に対応する個体が初めて現れた世代とその世代までに要した計算時間をそれぞれ最良解獲得回数で平均した値である。また、致死遺伝子発生率は全世代を通

表 2 実験結果

Table 2. Experimental results.

実験に使用した配電系統	最良解			致死遺伝子発生率(%)
	獲得回数	獲得世代	計算時間(秒)	
配電系統#1 区分開閉器数 15 区間数 22 基本閉路数 3	10	5.6	2.0	4.50
配電系統#2 区分開閉器数 53 区間数 78 基本閉路数 10	10	28.1	8.0	12.36
配電系統#3 区分開閉器数 76 区間数 122 基本閉路数 19	8	39.9	18.8	15.95
配電系統#4 区分開閉器数 131 区間数 250 基本閉路数 29	8	73.6	27.9	17.61
配電系統#5 区分開閉器数 189 区間数 306 基本閉路数 42	7	153.2	56.7	22.64

して発生した致死遺伝子の総数を全世代を通して生成した個体数で割ったパーセント値を試行回数 10 回で平均した値である。

表 2 の実験結果を見ると、適用対象となる配電系統の規模が大きく、複雑になるにつれて探索効率が若干低下する傾向はあるが、系統#4、#5 のような実際に運用されている規模の配電系統においても十分実用に耐えうる計算時間で、しかも高い確率で最良解を獲得できていることがわかる。これは本解法が負荷融通問題の実行可能解であるための 4 つの必要条件をコーディングおよび遺伝的操作の各段階に組み込んで、致死遺伝子の発生を極力抑制しながら効率よく最良解の探索を行っているためであり、表 2 の結果は本解法の実用性を示している。

5. あとがき

本論文では異種個体集団が共存する GA による負荷融通問題の新たな解法を提案した。本解法の特徴は (i) 配電系統のすべての区分開閉器を切り替え操作の対象としている点、(ii) 探索効率を上げるために実行可能解であるための 4 つの必要条件をアルゴリズムに取り入れている点、

(iii) 「異種個体集団間の個体の移動」操作によってオフにする区分開閉器の個数を自動的に決定できる点にある。さらに本論文では、本解法を様々な事故例の負荷融通問題に適用して従来解法と比較することにより、従来解法では最適解が求まらないような事故例あるいは対応できないような事故例に対しても、本解法によれば最適解あるいは準最適解が容易に求まることを実証した。また、本解法を規模の異なる負荷融通問題に適用することにより、本解法は大規模で複雑な実規模系統の負荷融通問題に対しても十分適用可能であることを明らかにした。

今後は最近文献 (8) で提案されたエキスパートシステムとタブサーチを併用した解法と本解法の比較実験を行うことにより、両者の得失を明らかにしていく予定である。

(平成 11 年 3 月 12 日受付, 平成 11 年 6 月 7 日再受付)

文献

- (1) 配電自動化研究会：配電自動化システム入門，オーム社 (1991)
- (2) 福井千尋，川上潤三：「電力系統の負荷融通問題におけるホップフィールド型ニューラルネットワークの適用」，電気学会論文誌 D，Vol.111-D，No.1，pp.10/19 (1991)
- (3) 今村譲，叶井実，川上潤三：「配電融通問題へのファジィ推論の適用」，電気学会論文誌 B，Vol.113-B，No.5，pp.493/498 (1993)
- (4) 福山良和，植木芳照：「負荷融通問題への遺伝的アルゴリズムの適用」，電気学会論文誌 B，Vol.114-B，No.4，pp.361/366 (1994)
- (5) 林真也，増田達也：「異種個体集団が共存する遺伝

的アルゴリズムによるニューラルネットワークの構造決定」，第 6 回 FAN シンポジウム講演論文集，pp.384/387 (1996)

- (6) 増田達也，守屋英明，他：「致死遺伝子発生率を抑制した遺伝的アルゴリズムによる配電損失最小化問題の解法」，電気学会論文誌 C，Vol.117-C，No.11，p.1547/1556 (1997)
- (7) 北野宏明：「遺伝的アルゴリズム」，産業図書株式会社 (1993)
- (8) 藤根栄，元治崇，他：「ES と RTS による配電線負荷融通の高速化と最適系統構成の決定」，電気学会電力技術研究会資料，PE-98-46 (1998)

増田 達也

(正員) 1950 年 8 月 2 日生。1981 年 3 月大阪大学大学院博士課程単位取得退学 (電気工学専攻)。日本学術振興会奨励研究員を経て、1985 年 4 月大阪大学工学部電気工学科助手。1987 年 4 月大阪工業大学工学部電気工学科講師、現在同教授。工学博士。ニューラルネットワーク、ファジィ制御、遺伝的アルゴリズム、多目的意思決定、システム構造分析などの研究に従事。電子情報通信学会、計測自動制御学会、システム制御情報学会、日本ファジィ学会、日本オペレーションズ・リサーチ学会、IEEE 各会員。

中尾 好寿

(正員) 1974 年 9 月 17 日生。1999 年 3 月大阪工業大学大学院修士課程 (電気電子工学専攻) 修了、同年 4 月三菱電機コントロールソフトウェア (株) 入社。在学中、遺伝的アルゴリズムの応用に関する研究に従事。電気学会会員。

重弘 裕二

(正員) 1965 年 1 月 28 日生。1992 年 3 月大阪大学大学院博士課程単位取得退学 (電子工学専攻)、同年 4 月大阪大学工学部情報システム工学科助手、1998 年 4 月大阪工業大学工学部電気工学科講師。工学博士。VLSI のレイアウト設計自動化に関する研究に従事。IEEE、情報処理学会、エレクトロニクス実装学会各会員。

山本 成辰

(正員) 1974 年 1 月 22 日生。1998 年 3 月大阪工業大学大学院修士課程 (電気電子工学専攻) 修了、同年 4 月三洋電機 (株) 入社。在学中、遺伝的アルゴリズムの応用に関する研究に従事。電気学会会員。