都市部における配電線増設位置決定アルゴリズム

正員 奈良 宏一 (茨城大学)
 正員 林 泰弘 (茨城大学)
 正員 武藤 昭一 (東京電力)
 非会員 土田 鋼太郎 (東京電力)

An Algorithm for Determining Distribution Feeder Allocation in Urban Area
 Koichi Nara, Member, Yasuhiro Hayashi, Member (Ibaraki University),
 Shoichi Muto, Member, Kotaro Tsuchida (TEPCO)

The problem of the distribution system expansion planning in urban area is how to minimize new facility installation cost under the constraints of (1) line and transformer capacity, (2) voltage drop at each load point, (3) demand/supply balance and (4) radial configuration of the system. Many approaches to solve the distribution system planning problem have been proposed^{[1]-[18]}. These approaches assume that new installation candidates are known beforehand so as to simplify the problem. However, for the expansion planning in urban area, the task to determine the candidates of the distribution lines to be expanded includes the task to find the optimal candidate which satisfies the specified constraints. Therefore, it is useless to solve the optimization problem again once the candidates are selected. From the above background the authors have been proposing a new distribution systems expansion planning method which can determine the optimal expansion facilities by searching all the candidates which satisfies the expansion constraints such as current capacity, voltage drop as well as geographical installation restrictions.

In this paper, the authors discuss the determination method of the geographical allocation of the newly installed feeders. Since it is difficult to find the space to install new facilities in urban area, a part of the specified existing feeder may be used as a newly installed feeder. In such a case, so as to eliminate the over load feeders and to accomplish the load balance of feeders, load sections of over loaded feeders are transferred to the specified feeder by multi-stage load transfer, and the part of the feeder is cut off to form a new feeder. A new method to accomplish the multi-stage load transfer for this purpose is proposed in this paper. The proposed method can be used for the tool of the AM/FM-GIS, because it can deal with the geographical information. Through numerical examples, the validity of the proposed method is examined.

キーワード：配電系統、配電計画、組合せ最適化、負荷切替

1. まえがき

配電設備増設計画は、予め用意した複数の増設設備候補の中から与えられた制約条件を満足するように増設設備コスト最小の候補を選び出す問題として定式化され、そのさまざまな解法が提案されてきているが^{[1]-[18]}、いまだに確立された手法はない。配電線の増設にあたっては、増設設備コストと供給信頼性を考慮して配電用変電所から負荷までの配電線の増設経路を決定する必要がある、増設する配電線（以後、「新設線」と呼ぶ）をどこに配置し、それをどの配電用変電所までどのような経路で接続し、既設の配電線（以後、「既設線」と呼ぶ）とどのような経路で連系すべきかを決定しなければならない。したがって、従来からの考え方で配電設備増設計画を立案するには、増設経路候補を前もって用意しなければならない。しかしながら、さまざまな制約を満足するように増設経路候補を与える作業そのものが、増設経路候補の中から制約を満足する増設設備候補を選び出す作業を包含しているため、さらに与えられた候補の中から設備コスト最小の候補を選ぶ作業は二重の労力と言わねばならない。そのため、現場からは、増設経路候補の自動的な作成を内包した新しい計画手法が望まれている。

このような背景から、筆者らは、新設線の配置に関する

地理的な制約を考慮に入れ、かつ、線路容量制約、電圧降下制約などを満たす配電線増設経路の候補を探索しながら、増設設備コスト最小の候補を見出す手法について研究を続けてきている^{[19]-[22]}。この手法は、大きく分けて、①新設線の地理的な位置候補の選択、②新設線から配電用変電所までの接続経路候補（架空線、地中線を含む）の選択、③新設線から既設線までの連系線経路候補の選択を行い、最後に、④これら選択された候補の中からあらゆる制約を満足し、かつ、設備増設コストが最小となる組合せを見いだす、という手順からなっている。①～④の各手順は、あらゆる候補の中から最適な計画に含まれそうな候補をあらかじめ選択する部分問題になっており、最適化問題として定式化されねばならない。本論文は、上記部分問題のうち①の新設線の地理的な位置候補の選択に関するものである。

都市部においては、配電線を新設可能な地理的余裕がほとんど無いため、設備増設が必要であることがわかっていてもその設備増設位置すら見い出せないことが多い。その場合、負荷が大きい既設線を（亘長を）二分して、その非電源側を新設線とする方法がよくとられる。この場合、非電源側部分を近隣の配電用変電所に接続しなければならないし、また、事故時対策として負荷部分を区間に分割してその各区間を他配電線に連系しなければならないので、上記①～

④で与えられる計画手順が効果的であると考えられる。

さて、上記計画手法においては、既設線を二分して新設線を作り出す場合に、同時に、二分する既設線（以降、「スラック配電線」と呼ぶ）以外の配電線の負荷を均等化することも考慮している。本論文では、スラック配電線が何らかの方法で与えられた（たとえば、負荷密集地域の最大過負荷配電線をとる等）と仮定した場合に、二分した非電源側部分が一配電線として十分な負荷をとれるように、スラック配電線以外の配電線の負荷均等化を行いながら、余分な負荷をスラック配電線まで移行し、スラック配電線を二分可能なまで大きくする方法について提案する（大きくされた配電線は二分され、非電源部分が新設線とされる）。負荷を均等化する方法は基本的には配電線間の負荷移行によらねばならないが、従来から提案されている負荷移行手法では余分な負荷をスラック配電線まで多段で移行することが困難であった。本論文では、スラック配電線への「近さ」を考慮したオーダという新しい概念を導入し、負荷均等化とスラック配電線までの多段の負荷移行を同時に実現できるよう考慮している。以下、第2章では全体の配電設備増設計画手法の概要とその中で本論文の位置づけを述べ、第3章では、新設線（スラック配電線非電源側）の地理的配置を決定する問題について説明する。第4章では、問題の解法について述べ、第5章で小規模系統と大規模系統での数値計算例を紹介して、提案する手法の正当性を検証している。

2. 配電線の増設計画手法の概要と本論文の位置づけ

配電線の増設を計画するには、(1) 地理的な制約（例えば、道路上への架空線設置の可否、既設線との交差の禁止など）、(2) 系統運用上の制約（線路電流容量制約、電圧降下制約、系統の放射状構成など）、(3) 供給信頼性確保のため既設線と連系する場合の制約、などを満足し、かつ、増設設備コストが最小となる増設経路を探し出さねばならない。この問題を解くための計画者になじみやすい解法として、著者らは前章に述べた①～④の手順による解法を開発・提案してきている。この解法全体の概略フローチャートを図1に示す。図1では、まず、(1) 指定された既設線に対する新設線部分位置を決定後、(2) 新設線候補から全ての立ち上がり点候補までの設備コスト最小の架空線増設経路を探し出す^{[19][20]}。もし、地理的な制約などにより増設経路が一つも作成できない場合は、スラック配電線として別の既設線を指定しなおす。この経路が見つければ、次に、(3) 全ての立ち上がり点候補から対応する配電用変電所までの設備コスト最小の地中線増設経路を作成する^[20]。増設経路が一つも得られなかった場合は、変電所から立ち上がり点候補までの地中線の増設が不可能であるとして終了する。これらの経路が見つかった後、(4) 新設線から立ち上がり点候補までと、立ち上がり点候補から変電所までの得られた経路の中から、変電所から新設線までの設備コスト最小の供給経路を探索する^[20]。もし、連続した供給

経路が得られない場合には、別の既設線を指定しなおす。このようにして新設線が確定した後、事故に対応するため、(5) その新設線から複数の既設線までの設備コスト最小の連系経路を作成する^{[19][21][22]}。もし、作成できなければ再び別のスラック配電線を指定し直す。

図1 配電線の増設計画手法の概略フロー

Fig. 1. General flowchart of proposed algorithm for distribution feeder expansion planning.

理解を容易にするために、以上の流れを簡単な例（図2参照）を用いて説明しよう。この例でも、都市部を想定しているため、図2(a)に示すようにほとんどの道路に既設線が張り巡らされていて増設にあたっての地理的余裕はない。また、この例では、配電線の増設設備コストが道路の長さに比例するものとしよう。まず、(1) 図2(b)の太線で示すように架空線の増設位置(N1)を既設線の末端部分を使用して決定する（詳細は後述）。続いて、(2) 電力供給を確保するため、図2(c)の太線で示すように、新設線(N1)から全ての立ち上がり点候補までの増設コスト最小の増設経路(P1, P2)を、地理的制約などを考慮して作成する。次に、(3) 図2(d)に示すように、全ての立ち上がり点候補とそれに対応する変電所とを最小の増設設備コストで接続する地中線の増設経路(Q1, Q2)を作成する。続いて、(4) 作成した架空線と地中線の増設経路候補の中から、増設設備コストの総和が最小となる組合せ（図2(e)の太線 N1, P1, Q1）を供給経路として選択する。最後に、(5) 新設線(N1)から既設線までの増設コスト最小の連系経路を作成し（図2(f)の太線 C1）、配電線のすべての増設経路（図2(f)の太線 N1, P1, Q1, C1）が確定する。

図2 配電線の増設経路決定までの流れ
Fig.2. Procedure for installing a new feeder.

本解法は、増設コスト最小の供給経路や連系経路を探索する問題、新設線の増設位置を決定するための問題など幾つかの部分問題に分けて考えることができ、これまでにその幾つかの解法を公表してきている^{[19]~[22]}。本論文は、上記(1)の新設線の増設位置の決定に関するものであり、新設線位置決定のための新しい多段負荷移行手法について提案する。

3. スラック配電線までの多段負荷移行問題

先に述べたように、新設線の地理的位置は、スラック配電線の周辺の配電線の負荷を均等化して、余った負荷をスラック配電線まで移行し、それを二分して非電源側部分をとる方法で決められる。この問題は、各配電線が持つよい最大の負荷（最大責務）が与えられており、この総和が

全体負荷に等しいかまたはわずかに大きく、各配電線が最大責務の負荷をとった時に最も配電線負荷が均等化されているものと仮定すると、次のように考えても良い。すなわち、各配電線の負荷が最大責務以下で、かつ、制約違反が無い範囲で可能な限り最大責務に近い負荷をとるように負荷移行を行えば望む結果が得られる。言葉を変えれば、我々が対象とする問題を、系統運用上の制約（線路容量制約、電圧降下制約、放射状構成制約など）の下で、スラック配電線の負荷量を極力増加させず、すべての既設線の負荷量を目標値（最大責務）内に納めるように負荷を移行する問題として定義すれば良い。この問題は、放射状系統構成が負荷移行によっても常に満足されていると仮定すれば、以下の(1)~(5)式のように定式化される。なお、本論文では、「街区」と呼ばれる単位で負荷移行を実施する。「街区」とは、例えば、交差点間又は区間開閉器と交差点などによって配電線を分割した時の「配電線の部分(単位)」を意味しており、その単位で配電線が分割可能ならば「街区」を自由に定義して良い。本論文では、交差点、区間開閉器、架空線と地中線の接続点などで区分される区間を「街区」と考えている。

$$\text{最大化} \quad \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_j x_{ij} \quad (i \neq K) \quad (1)$$

$$\text{(線路容量制約)} \quad \sum_{j \in J_r} a_j x_{ij} \leq b_{ir} \quad (i \in I, i \neq K, r \in S_i) \quad (2)$$

$$\text{(電圧降下制約)} \quad \sum_{r \in I_r} \left\{ \left(\sum_{j \in J_r} u_{ij} \right) Z_{ir} \right\} \leq V_{ie} \quad (i \in I, i \neq K, e \in S_i) \quad (3)$$

$$\text{(配電線の負荷量制約)} \quad \sum_{j \in J} a_j x_{ij} \leq L_i \quad (i \in I) \quad (4)$$

$$\text{(負荷供給制約)} \quad \sum_{i \in I} x_{ij} = 1 \quad (j \in J) \quad (5)$$

a_j : 街区 j の負荷量

x_{ij} : 街区 j が配電線 i から電力供給を受けるかを決定する 0-1 変数 (1: 供給を受ける, 0: 供給を受けない)

I : 全ての配電線番号の集合 ($i=1 \sim N$)

J : 全ての街区番号の集合 ($j=1 \sim M$)

K : スラック配電線の番号

J_{ir} : 配電線 i の街区 r から末端までの街区の集合

b_{ir} : 配電線 i に属する街区 r の線路電流容量

S_i : 配電線 i に属する全ての街区番号の集合

Z_{ir} : 配電線 i の街区間 r のインピーダンス

u_{iq} : $q \neq r$ の時 $u_{iq} = a_q x_{iq}$, $q = r$ の時 $u_{iq} = a_q x_{iq} / 2$

T_e : 配電線の根から街区 e まで至る線路上の街区間の集合

V_{ie} : 配電線 i の街区 e の許容電圧降下量

L_i : 配電線 i の負荷量の目標値 ($L_K > L_i (i \neq K)$)

G_i : 配電線 i 上の開閉器、交差点、立ち上がり点の総和

なお、(1)~(5)式で与えられる問題を解いた後、二分したスラック配電線の非電源側部分を、新設線とすれば良い。どのようにスラック配電線を二分するかについては、さまざまな制約があるため専門家の知識や経験に委ねられねばならないが、単純には負荷の大きさを二分するように電源側と非電源側に分けることが考えられる。

4. 問題の解法

<4.1> 解法の概要と全体の流れ 上で定義した、スラック配電線の負荷量を極力増加させず、制約条件 (2) 式～(5) 式) 下で、すべての既設線の負荷量を目標値内に納めるような負荷移行問題を一括して厳密に解くことは、組合せが膨大となるため容易ではない。そこで、本論文では、基本的には文献[23]と同様の双対有効勾配の概念を用いた負荷移行手法を用いて、近似解を求めている。すなわち、負荷移行は次節に示すように単に制約違反解消量が最も大きいものから順に行って解法が組み合わせ的になることを避け、高速に近似解を得る方針をとっている。また、さらに、多段負荷移行を容易に実現可能なように、新しく「オーダー(order)」という概念を導入している。オーダーとは、図3に示すように、スラック配電線と直接接続がある配電線を「オーダー1」の配電線、スラック配電線を内側としてみた時にオーダー1の配電線の外側に直接接続がある配電線を「オーダー2」の配電線として定義される配電線の組につけられた名称である。以下、オーダー3、オーダー4、…、オーダーNの配電線も同様に定義される。提案する手法では、負荷移行が制約違反を解消する方向に行われることを考慮して、オーダー1の配電線から始めてオーダーNの配電線に向かって、多段負荷移行による制約違反の解消を行っていく。この理由は、本論文で採用している負荷移行手法が前述の双対の概念によっているからである。すなわち、先に制約違反を起こして、制約違反を解消する方向に負荷移行を行う方針をとっているからである。そのため、近隣の配電線に移行できない負荷を一番内側のスラック配電線まで移行するには、まず内側のオーダーの制約違反を解消しておいて、外側のオーダーの制約違反を順次強制的に内側に移動して最終的にスラック配電線まで移行する方針をとらねばならないからである。もちろん、オーダーの大きい外側の配電線から順次制約違反を解消するように内側の配電線に負荷を移行していく手法も考えられるが、経験から双対法^[23]の方がより良い解が得られることがわかっている。

図3 配電線のオーダーによる分類
Fig.3. Classification of feeders by order.

さて、オーダー g ($g=1\sim N$) の配電線に対する負荷移行では、スラック配電線に負荷をできるだけ移行させずに負荷量を目標値内に納めるため、まず、スラック配電線を除く配電線の負荷移行を実施する。この負荷移行では演算時間

と精度の兼ね合いを考慮して、オーダー g とその近傍のオーダーに属する配電線間で二段までの負荷移行を行っている。以降、この負荷移行を「近傍負荷移行」と呼ぶことにする。近傍負荷移行では、制約違反がない配電線に負荷を移行して新しい制約違反を発生させることはしない。もし、近傍負荷移行を実施してもオーダー g に属するすべての配電線の制約違反がなくならない場合には、一つ下位のオーダー ($g-1$) の配電線に制約違反を無視して強制的に負荷を移行して、オーダー g の配電線の制約違反を解消する。以後、この移行を「強制負荷移行」と呼ぶことにする。強制負荷移行の結果、オーダー ($g-1$) の配電線に制約違反が発生するが、今度はオーダー ($g-1$) の配電線の制約違反を、近傍負荷移行と強制負荷移行を用いて解消する。これらの負荷移行を繰り返すことにより、オーダー g の配電線の負荷を、オーダー g の近傍のオーダーの配電線へと拡散 (移行) させながら、移行しきれなかった負荷を順次一段下のオーダーの配電線へ移行していくことを繰り返して、スラック配電線まで多段で移行することが可能となる。以上の解法の方針に基いた解法全体の流れを図4のフローチャートに示す。オーダー1からオーダーNまでの各オーダーの全ての配電線の負荷量が目標値内に納まるまで、(1)近傍負荷移行と、(2)強制負荷移行の繰り返しが実施される。

図4 解法全体の概略フローチャート
Fig.4. General flowchart of the proposed method.

<4.2> 解法の詳細 上記の解法の方針に基づけば、オーダー g の配電線の負荷移行 (近傍負荷移行と強制負荷移行) は、オーダー g のすべての配電線が制約条件式 (2) 式～(5) 式) を満足するまで続けられねばならない。オーダー g の配電線の負荷移行は、一度にあまり多くの負荷を移行して結果の精度が悪くならないように、オーダー g の配電線に属す

る街区の中で他の配電線と直接接続している街区（以後、「末端接続街区」と呼ぶ）を一街区ずつ移行することによって行われる^[23]。末端接続街区を移行しても、常に負荷供給制約と放射状構成制約は満足されているので、移行にあたっては、線路容量制約、電圧降下制約、負荷量制約だけを考慮すればよい。そこで、近傍負荷移行と強制負荷移行を実施する際には、(6)式に示す指標を用いる。すなわち、オード g のすべての配電線の線路電流量、負荷量の目標値、ならびに許容電圧降下量からの逸脱量の総和（以後、「制約違反量」と呼ぶ）を最も効果的に軽減できる末端接続街区の移行を繰り返すことにより、オード g のすべての配電線の制約違反を解消する。以下、制約違反（線路電流量、負荷量の目標値、許容電圧降下量からの超過）がある配電線を「違反配電線」、制約違反がない配電線を「健全配電線」と呼ぶことにする。

$$R_j = h_j / (k \cdot a_j + b_{jm}) \quad (j \in J_{gm}^{(W)}, m \in M) \quad (6)$$

但し、

$$h_j = \frac{P_j \cdot Q}{|Q|} \quad (j \in J_{gm}^{(W)}) \quad (7)$$

$$|Q| = \sqrt{\sum_{i \in I_g} \sum_{r \in S_i} C^2 + \sum_{i \in I_g} \sum_{r \in S_i} D^2 + \sum_{i \in I_g} E^2} \quad (i \in I_g) \quad (8)$$

$$C = \max \left\{ \left(\frac{C_{ir}}{b_{ir}} - 1 \right), 0 \right\} \quad (9)$$

$$D = \max \left\{ \left(\frac{D_{ir}}{V_{ir}} - 1 \right), 0 \right\} \quad (10)$$

$$E = \max \left\{ \left(\frac{E_i}{L_i} - 1 \right), 0 \right\} \quad (11)$$

- a_j : 末端接続街区 j の負荷量
- b_{jm} : オード g の違反配電線の末端接続街区 j が直接接続している健全配電線 m の総負荷量
- M : オード g の違反配電線の末端接続街区 j と直接接続している健全配電線番号の集合
- I_g : オード g の違反配電線番号の集合
- W : 近傍負荷移行と強制負荷移行を区別するための番号 ($W=1$ の時: 近傍負荷移行、 $W=2$ の時: 強制負荷移行)
- $J_{gm}^{(W)}$: オード g の違反配電線の街区の中で健全配電線 m と直接接続している街区(末端接続街区)番号の集合
- h_j : 末端接続街区 j の負荷移行によるオード g の制約違反解消量
- $|Q|$: 末端接続街区 j の負荷移行前におけるオード g の制約違反量
- Q : 末端接続街区 j の負荷移行前におけるオード g の制約違反ベクトル
- P_j : 末端接続街区 j の負荷移行によるオード g の違反解消ベクトル
- C_{ir} : 配電線 i に属する街区 r の線路電流
- b_{ir} : 配電線 i に属する街区 r の線路電流量
- D_{ir} : 配電線 i に属する街区 r の電圧降下量
- V_{ir} : 配電線 i に属する街区 r の許容電圧降下量
- S_i : 配電線 i に属する全ての街区番号の集合
- E_i : 配電線 i の総負荷量
- L_i : 配電線 i の総負荷量の目標値
- k : 負荷移行方向を制御するためのパラメータ ($k > 0$)

ここで、(6)式の指標値 R_j を用いる理由は、①移行による制約違反の解消量 h_j (R_j の分子) が大きく、②移行する負荷

量 a_j (R_j の分母) が小さいために移行先の配電線に制約違反を発生しにくく、かつ、③移行先の配電線の総負荷量 b_{jm} (R_j の分母) が小さいため移行先に制約違反を発生しにくいからである。なお、(8)式の第1項は線路電流量からの逸脱量を、第2項は許容電圧降下量からの逸脱量を、第3項は負荷量の目標値からの逸脱量を表している。末端接続街区の移行先の配電線のオード番号を限定することにより、近傍負荷移行ではオード0のスラック配電線への末端接続街区の移行を禁止し、強制負荷移行では一つ下位のオード ($g-1$) への末端接続街区の移行のみを許可できる。これは、(6)式のパラメータ k の調整により可能である。すなわち、移行してはいけないオードの配電線に接続がある末端接続街区の k を大きくすることによりその街区の移行を阻止でき、オード単位での負荷移行の制御が可能となる。また、 k を個別に動的に変更することにより、負荷移行されることを嫌う配電線への負荷移行も必要に応じて動的に制御可能である。たとえば、スラック配電線を延長したくない方向へのオード1の配電線からの負荷の移行も制御可能であり、計画者の意志を結果に反映することもできる。

なお、負荷移行の実施過程において、同じオードが繰り返して対象となるために、同じ街区が移行対象として幾度も選択される。しかし、(6)式の値は、その配電線の違反量と移行先の配電線負荷量 b_{jm} が変化しない限り同じであるので再度計算する必要はない。したがって、その末端接続街区の負荷移行により移行先の健全配電線に違反が生じることがわかった街区については、移行先の配電線負荷量に変化するまでは移行の対象としないことができ、計算時間の短縮を図ることができる。

5. 数値計算例

提案手法の有用性を検証するために、小規模と大規模の二つの例題システムを用いて、提案手法を適用した結果を以下に示す。

(1) 小規模モデル 小規模システム(変電所数: 1、変圧器数: 3、配電線総数: 12、街区総数: 704)に提案する手法を適用した時の負荷移行前後の各配電線の負荷量を図5に示す。なお、ここでは負荷移行前の目標値の超過量が最大である配電線9をスラック配電線とし、負荷量の上限值は600[A]としている。

図5 小規模モデルでの負荷移行前後の配電線負荷量
Fig.5 Load value of feeders in the small model after load transfer

図5より、負荷移行前に目標値を超過していたスラック配電線9以外の配電線（配電線番号1, 2, 4, 7, 8）の負荷量が、負荷移行の後は、すべて目標値内に納まっていることが判る。この例では、42個の街区負荷の移行が決定され、計算時間はワークステーション（SUN SPARC station 20 S20SX8 モデル）上で7秒であった。また、本手法によって移行が決定した街区負荷の集合と、新設線の増設位置を図6に示す。図6を見ると、スラック配電線9から遠く離れた既設線においても負荷移行が実施され首尾よくスラック配電線まで負荷が移行されていることが確認できる。

図6 小規模システムにおける結果
Fig.6. Result by proposed method in the small scale model.

(2)大規模モデル 大規模システム（変電所数：3、変圧器数：9、配電線数：52、街区総数：2316）に提案手法を適用した時の負荷移行前後の各配電線の負荷量を図7に示す。なお、負荷移行前の目標値の超過量が最大である配電線31をスラック配電線とし、負荷量の上限値は600[A]としている。図7から、スラック配電線31以外の全ての配電線の負荷量が、負荷移行により目標値内に納まることがわかる。移行が決定した街区負荷の総数は78個で、計算時間は261秒であった。また、図8に、移行が決まった街区負荷の集合と新設線の増設位置を示す。

図7 大規模モデルでの負荷移行前後の配電線負荷量
Fig.7. Load value of feeders in the large model after load transfer.

図8 大規模システムにおける結果
Fig.8. Result by proposed method in the large scale model.

6. あとがき

本論文では、著者らが提案する新しい配電設備計画手法の概要について述べ、その一部である新設線の増設位置決定手法について提案した。提案手法の特徴は、スラック配電線までの負荷の移行を効率良く行うために「オーダ」の概念を導入したところにある。すなわち、「オーダ」に基づく既設線の分類を行い、実施する負荷移行の順序付けにより、スラック配電線から離れている配電線からも、スラック配電線までの負荷の移行が可能になった。また、提案手法では、地理情報に基づく街区単位での負荷移行を対象としており、今後の配電系統計画業務の自動化にも対応できるものになっている。さらに、小規模系統と大規模系統での数値計算を行い、手法の有用性を検証した。提案した手法には、スラック配電線をどのような基準で選択すべきかという点や、演算効率や実際の計画時の利用のし易さの点でまだ改良の余地が残っており、今後、改良を続けていきたいと考えている。

(平成9年3月3日受付, 同9年6月5日再受付)

文献

- [1] T. Gönen, I. J. Ramirez-Rosado: "Review of distribution system planning models: a model for optimal multistage planning", IEE Proc., Vol. 133, Pt. c, No. 7 (1986)
- [2] S. G. Menon et. al.: "Planning of Distribution system in developing countries", IEE Proc., Vol. 133, Part C, No. 7 (1986)
- [3] E. Ben-Dov et. al.: "Design of An Optimal Reticulation System for A Residential Area", IEEE Trans. PWRD, Vol. PWRD-2, No. 1 (1987)
- [4] K. Aoki, K. Nara et. al.: "New Approximate Optimization Method for Distribution System Planning", IEEE Trans. PWRD, Vol. 5, No. 1 (1990)
- [5] J. Partanen: "A Modified Dynamic Programming for Sizing, Locating and Timing of Feeder Reinforcement", IEEE Trans. PWRD, Vol. 5, No. 1, (1990)
- [6] Y. Y. Hsu, J. L. Chen: "Distribution Planning Using A Knowledge-based Expert System", IEEE Trans. PWRD, Vol. 5, No. 3 (1990)
- [7] T. Gönen, I. J. Ramirez-Rosado: "Optimal Expansion Planning of Distribution Systems-Part I: Voltage Drop and Radiality Constraints", International Journal of Energy Systems, Vol. 10, No. 2 (1990)
- [8] T. Gönen, I. J. Ramirez-Rosado: "Optimal Expansion Planning of Distribution Systems-Part II: Basic Modeling", International Journal of Energy Systems, Vol. 10, No. 2 (1990)
- [9] A. C. Marshall et. al.: "Optimal design of electricity distribution networks", IEE Proc., Vol. 138, Part C, No. 1 (1991)
- [10] I. J. Ramirez-Rosado, T. Gönen: "Pseudodynamic Planning for Expansion of Power Distribution Systems", IEEE Trans. PWRD, Vol. 6, No. 1 (1991)
- [11] K. Nara et. al.: "Multi-Year Expansion Planning for Distribution System", IEEE Trans. PWRD, Vol. 6, No. 3 (1991)
- [12] C. W. Hasselfield et. al.: "An Automated Method for Least Cost Distribution Planning", IEEE Trans. PWRD, Vol. 5, No. 2 (1992)
- [13] K. Nara et. al.: "Distribution Systems Planning by Multi-Stage Branch Exchange", IEEE Trans. PWRD, Vol. 7, No. 1 (1992)
- [14] V. H. Quintana et. al.: "Two-stage power system distribution planning algorithm", IEE Proc., Vol. 140, Part C, No. 1 (1993)
- [15] N. Kagan: "A Benders' Decomposition Approach to the Multi-Objective Distribution Planning Problem", Electric Power and Energy Systems, Vol. 15, No. 5 (1993)
- [16] V. Glamocanin et. al.: "Open Loop Distribution System Design", IEEE WM 191-7 PWRD (1993)
- [17] K. Nara et. al.: "Algorithm for Expansion Planning in Distribution Systems Taking Faults into Consideration", IEEE Trans. PWRD Vol. 9, No. 1 (1994)
- [18] Y. Tang: "Power Distribution System Planning with Reliability Modeling and Optimization", IEEE WM202-2 PWRD (1995)
- [19] 奈良、林、他: "既設配電線の取り込みと迂回を考慮した新設配電線経路の決定", 平成8年電気学会電力・エネルギー部門大会論文I, No. 1 (平8)
- [20] 奈良、林、他: "新設配電線への供給経路決定手法", 電気学会全国大会, 1285, pp. 23, (平8)
- [21] 奈良、林、他: "新設配電線の連系経路決定問題へのタブー探索の適用", 電力技術研究会資料, PE-95-65 (平7)
- [22] K. Nara, Y. Hayashi, et al. "A Tabu Search Algorithm for Determining Distribution Tie Lines", ISAP96, pp. 266-pp. 270 (1996)
- [23] K. Aoki, K. Nara et al. "A New Algorithm for Service Restoration in Distribution Systems", IEEE Trans. PWRD, PWRD-4, 1832 (1989)

奈良 宏一 (正員)

1945年8月20日生。1970年北海道大学大学院工学研究科修士課程電気工学専攻修了。同年4月三菱電機(株)入社。1977年4月北見工業大学工学部、1987年4月広島大学工学部を経て1992年4月より茨城大学工学部システム工学科教授、現在に至る。工学博士。主として、電力系統、配電システムの計画運用最適化に関する研究に従事。日本OR学会、情報処理学会、IEEE会員。

林 泰弘 (正員)

1967年1月5日生。1989年早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1991年同大学院修士課程修了。1993年3月より1年間同大学助手。1994年同大学院博士課程修了。同年4月より茨城大学工学部システム工学科助手、1997年4月より同学科講師、現在に至る。主として、電力系統の計画・運用における最適化に関する研究に従事。1995年電気学会論文発表賞受賞。工学博士。日本OR学会、IEEE会員。

武藤 昭一 (正員)

1956年6月20日生。1981年東京工業大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修了。同年東京電力(株)入社。現在、システム研究所AI研究室勤務。主として、電力分野へのシステム技術の研究開発に従事。1990年3月より1年間スタンフォード大学CSLI客員研究員。1982年IEEE-IAS論文賞、1988年、1993年電気学会論文賞、1995年電気学会進歩賞各受賞。博士(工学)。計測自動制御学会、人工知能学会各会員。

土田 鋼太郎 (非会員)

1960年9月18日生。1984年東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。同年東京電力(株)入社。現在、配電部配電計画課勤務。主として、配電設備の設備計画、設備形成方策の策定に従事。