1995年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

タブー探索による電力系統新設配電線の連系経路決定手法

01403655　茨城大学　奈良 宏一　NARA Koichi
01506440　茨城大学　*林 泰弘　HAYASHI Yasuhiro
非会員　茨城大学　山藤 幸博　YAMAFUJI Yukihiro
非会員　東京電力　武藤 昭一　MUTO Syoichi

1．はじめに

配電システムでは、設備事故発生の際に迅速な復旧ができるように、配電線を幾つかの区間に分割し、これを異なる配電線と連系する構成をとっている。故に、配電線の新設時には、連系線設置コストを最小にするように、新設線の各区間を既設の配電線（又は、他の新設線）に連系する必要がある。従って、都市部においては、本問題は地理情報や連系線が新設可能な道路情報を考慮して膨大な連系経路候補の中から最適な組合せを決定する問題となる。そこで、本稿では、この問題を簡易化のために縮約したモデルと、タブー探索[1]を用いた解法を提案する。

2．新設線連系経路決定問題

新設線連系経路決定問題を説明する簡単な例として、1本の新設線(f1)の2つの区間を2本の既設線（f2、f3）に連系する問題を考えよう。

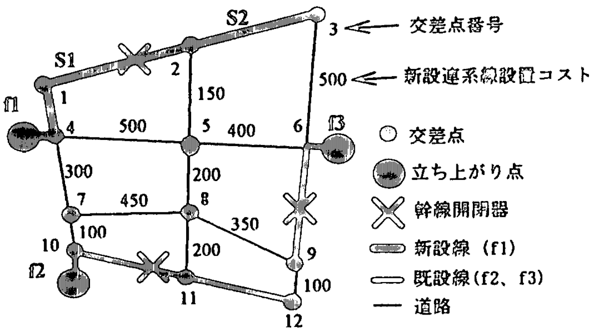

図1　新設線連系問題の図的表現

図1は、この例の管轄地域の道路地図上に配電線を図的に表現したものである。連系線を設置した時に要する設置コストを対応する道路上に記している。この例では、新設線 f1 の2つの区間 S1 と S2 を既設線 f2 か f3 に連系配電線で連系しなければならない。ただし、連系線同士を交差させてはいけないし、道路に沿って設置できる連系線数に上限がある。問題は、これらの制約を満足しつつ、連系線設置コストの総和を最小にすることである。

3．問題の縮約と定式化

3．1　縮約のための戦略

実規模レベルの配電システムにおいては、図1に示した例題よりも遥かに多くの道路と交差点が存在し、連系線の組合わせ数が膨大となるので最適解を得ることは困難である。

そこで、本稿では、問題を縮約し、縮約された問題を解いて原問題の近似解を得ることを目標とし、以下の戦略を考える。

(1)原問題をグラフ化し最短経路問題を解く（ダイクストラ法）ことにより、新設線の区間と各既設線とを最小コストで連系するための経路（最小コスト連系経路）を前もって全部算出する。この場合、配電線同士の交差禁止などの制約条件を考慮し易いように原問題における新設線の区間上の交差点ならびに既設線上の交差点をそれぞれグラフの同一ノードに統合したグラフにしている。図1の例題のグラフと得られた最小コスト連系経路を図2に示す。

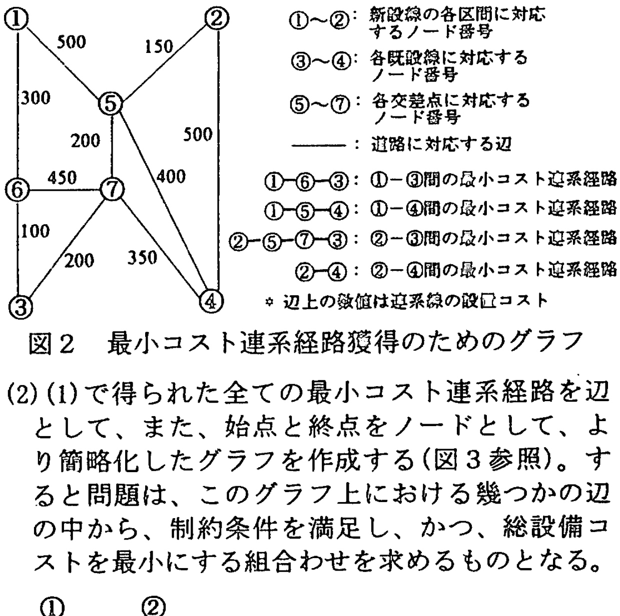

図2　最小コスト連系経路獲得のためのグラフ

(2)(1)で得られた全ての最小コスト連系経路を辺として、また、始点と終点をノードとして、より簡略化したグラフを作成する（図3参照）。すると問題は、このグラフ上における幾つかの辺の中から、制約条件を満足し、かつ、総設備コストを最小にする組合わせを求めるものとなる。

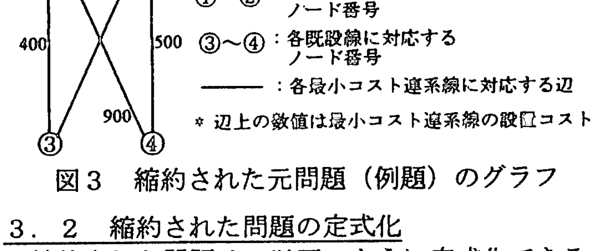

図3　縮約された元問題（例題）のグラフ

3．2　縮約された問題の定式化

縮約された問題は、以下のように定式化できる。

［目的関数］

$$F = \sum_{i,j}^{n} C_{ij} x_{ij} \quad \Rightarrow \quad \text{minimize} \tag{1}$$

[制約条件]
(新設線区間の連系制約)

$$\sum_{j\in R_i} x_{ij} = 1 \qquad (i = 1 \sim m) \tag{2}$$

(既設線における連系制約)

$$\sum_{i\in S_{fj}} x_{ij} \le 1 \qquad (j = m+1,\cdots,n,\ f = 1,\cdots,w) \tag{3}$$

(設置連系線の上限制約)

$$\sum_{ij\in T_{ij}^{l}} x_{ij} \le K_l \qquad (l = 1,2,\cdots,NG) \tag{4}$$

(交差制約)

$$\sum_{ij\in U_{ij}^{Q}} x_{ij} = 0 \qquad (Q = 1,2,\cdots,NC) \tag{5}$$

C_{ij}:配電線 i と j の連系に要するコスト
x_{ij}:配電線 i と j の連系を実施するかどうかを決定する 0、1 変数 (0:実施しない, 1:実施)
R_i :新設線区間 i が連系可能な配電線の番号の集合
m :新設線区間の総数
n :新設線区間数と既設線の総数の和
w :新設線の総数
T_{ij}^{l}:同一街区 l を最小コスト連系経路が使用している ij の集合
K_l :街区 l に設置可能な連系線数の上限
S_{fj} :j につながる f 番目の新設線の区間番号の集合
U_{ij}^{Q}:交差点 Q で交差する最小コスト連系経路が使用している ij の集合
NG:街区の総数
NC:交差点の総数

4. タブー探索による新設線連系経路の決定手法

タブー探索を組合せ最適化問題に適用する際に演算効率を左右するのは、近傍と tabu list の定義であるが、本問題では以下のように定義する。

4. 1 近傍の定義

近傍は、そのくり返しによって現在の解の近傍を十分に探索できるように定義されなければならない。本問題においては、図3のグラフにおける辺が実行可能解の構成要素となっており、(2)～(5)式の制約条件式を満足する辺の集合が実行可能解となるので、実行可能解の更新は制約条件式を満足する辺の集合を変化させることに相当する。そこで、交換 move と移動 move という2種類の解の移動により近傍を定義している（図4参照）。図4に示すように、交換 move とは、実行可能解の構成要素である辺の集合から全ての2本の組を選び、制約条件下でのそれらを交換することであり、移動 move とは、辺の一方のノードを連系がない隣接ノードへと移動することである。

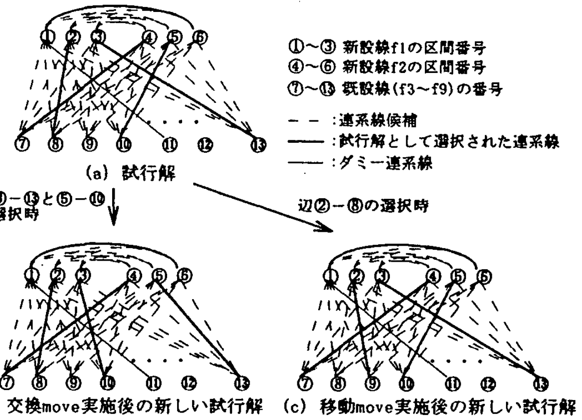

図4 交換 move と移動 move

4. 2 tabu list の定義

tabu list は、試行解の巡回を避けるために定義され、本解法では、直前に実施した2つの連系経路の交換と辺の移動を tabu として定義している。

5. 数値計算

モデル系統（新設線2本、既設線7本）において、提案手法で決定した連系線を図5に示す。本例題では新設線は3つの区間に分割されており、このすべての区間が別の配電線と連系される問題となっている。

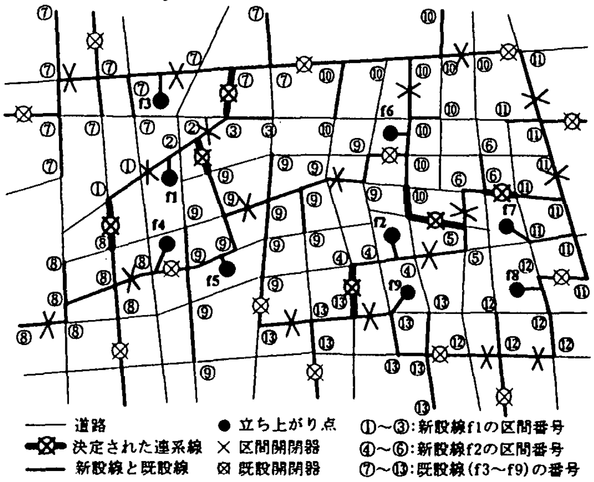

図5 提案手法により決定された連系線

6. まとめ

本稿では、新設線の連系経路を効率的に決定するために、問題を縮約したモデルでのタブー探索による解法を提案した。提案手法の有用性を数値計算結果より確認した。

なお、本研究の遂行にあたり、実務面での指導を頂いた東京電力システム研究所AI研究室ならびに配電部の関係者各位に深謝申し上げます。

参考文献

[1]F. Glover:"Tabu search-Part Ⅰ ", ORSA J. Computing, Vol.1, No.3 (1989)