

タブー探索による設備計画問題の解法

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 林 幸治 HAYASHI Koji

1. 緒言

産業分野において、将来予想される状況に対処できるように、設備計画を行うことは重要である。計画にあたっては、設備コストが最小となるように設備をどこへどれだけ設置するかを決定しなければならないが、そのためには各運用断面で設備をどのように運用するかも同時に考慮する必要がある。しかし、設備の運用を決める問題自身が最適化問題となる場合が多く、運用を考慮した設備計画問題を解くことは容易でない。筆者らは、これまでひとつの運用断面のみを考慮した設備計画問題に対する研究^[1]を行ってきた。本稿では、設備計画案をタブー探索^{[2][3]}で決定する場合に、その案に対する多数の運用断面における最適運用をもタブー探索で決定する解法を提案する。なお、適用例として無効電力設備計画問題を取り上げる。

2. 設備計画問題

(1) 問題の定義

本稿では、設備の計画と運用に関する制約の下で、総設備コストと各運用断面における運用コストの重み付け和との総和を最小化するように、設備計画案を決定する問題を取り扱う。

(2) 問題の定式化

この問題は以下のように定式化できる。

$$\text{Minimize } Z = k_1 \text{Cost}(x) + k_2 \sum_{l \in NC} d^l F^l(x, y^l) \quad (1)$$

$$\underline{x} \leq x \leq \bar{x} \quad (2)$$

$$0 \leq y^l \leq x \quad (3)$$

ただし、 x :設備計画案を表す変数ベクトル、 y^l :運用断面 l における設備の運用状態を表す変数ベクトル、 \underline{x}, \bar{x} :既設設備および増設上限のベクトル、 $\text{Cost}(x)$:設備計画案の総設備コスト、 $F^l(x, y)$:運用断面 l における設備の運用コスト、 d^l :運用断面 l の持続時間に比例した係数、 k_1, k_2 :係数、 NC :運用断面集合

3. 解法の概略

計画時に多数の運用断面における運用状態を同時に考慮する場合でも、先に設備計画案が決まらなければ、各運用断面における最適運用状態は決定できない。そこで本解法では、まず、式(4)で定義される単位ベクトル e_i (ベクトル x と同次元)を用いて、設備の計画に関する制約条件式(2)を満足するように現在の設備計画案 x^{current} に以下の式(5)(6)で定義されるような操作を行い、近傍解 x^{trial} を作成し、式(1)の第1項の値を固定する。

$$e_i = [0, 0, \dots, 1, 0, 0, 0]^T \quad (0:\text{非選択}, 1:\text{選択}) \quad (4)$$

単純操作

$$x^{\text{trial}} = x^{\text{current}} \pm e_i \quad (5)$$

交換操作

$$x^{\text{trial}} = x^{\text{current}} + e_i - e_j \quad (i \neq j) \quad (6)$$

次に、 x^{trial} に対する設備の運用コスト F^l を最小にする変数 y^l を運用に関する制約条件式(3)を満足するようにタブー探索で運用断面毎に決定して式(1)の第2項の値を固定し、式(1)の値を求める。固定する x^{trial} の値を変更しながらこれを繰り返し、式(1)の値を最小とする変数 x と y をタブー探索で決定する。つまり、本解法では、タブー探索により設備計画案を決定する過程において、設備の最適運用状態の計算もタブー探索で行う。なお、本稿では便宜上、設備計画案を求めるためのタブー探索を「計画TS」、与えられた設備計画案に対し目運用断面において設備の運用コストを最小とするような運用状態を求めるためのタブー探索を「運用TS」と呼ぶこととする。解法の概略フローチャートを図1に示す。

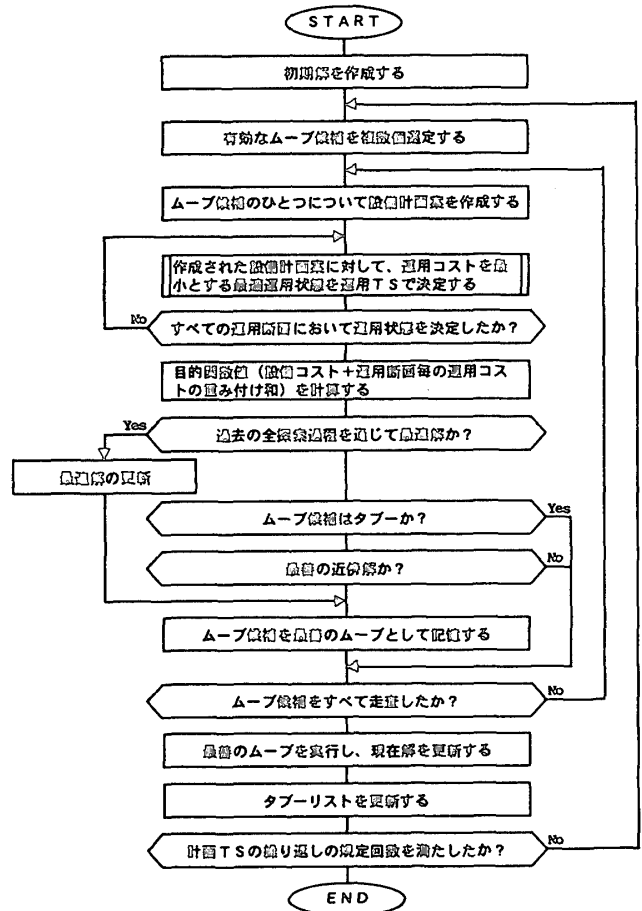


図1. 解法の概略フローチャート(計画TS部分)

4. 無効電力設備計画問題への適用例

本手法を、無効電力設備計画問題^[4]に適用する。本稿における無効電力設備計画問題とは、多数の負荷断面(運用断面)において系統電圧を規定範囲内に維持できるように、設備すべき調相設備数および設備位置ならびにその投入状態(運用状態)を決定する問題である。

4.1. 問題の定式化

本問題の定式化を以下に示す。

$$\text{Minimize } F = \text{Cost} + \gamma w \sum_{l \in NC} d^l \text{Ploss}^l \quad (7)$$

ただし、 Cost : 可変費、固定費を考慮した総設備コスト、 Ploss^l : 負荷断面 l の送電損失コスト、 γ : 送電損失のコスト換算係数、 w : 考察期間

[制約条件]

$$SC_i^{\text{exist}} \leq SC_i^{\text{new}} \leq SC_i^{\text{upper}} \quad (i \in NB) \quad (8)$$

$$ShR_i^{\text{exist}} \leq ShR_i^{\text{new}} \leq ShR_i^{\text{upper}} \quad (i \in NB) \quad (9)$$

$$0 \leq SC_i^l \leq SC_i^{\text{new}} \quad (i \in NB, l \in NC) \quad (10)$$

$$0 \leq ShR_i^l \leq ShR_i^{\text{new}} \quad (i \in NB, l \in NC) \quad (11)$$

$$\varphi_i^l(V^l, \theta^l) = 0 \quad (i \in NB, l \in NC) \quad (12)$$

$$G_i^l \leq G_i^l \leq \bar{G}_i^l \quad (i \in NG, l \in NC) \quad (13)$$

$$V_i^- \leq V_i^l \leq V_i^+ \quad (i \in NL, l \in NC) \quad (14)$$

ただし、 $SC_i^{\text{new}}, ShR_i^{\text{new}}$: 調相設備の設備バンク数(設備計画案)、 SC_i^l, ShR_i^l : 同投入バンク数、 $SC_i^{\text{exist}}, ShR_i^{\text{exist}}$: 同既設バンク数、 $SC_i^{\text{upper}}, ShR_i^{\text{upper}}$: 同設備上限バンク数、 φ_i^l : 負荷断面 l における i 番目の潮流方程式、 V^l, θ^l : 負荷断面 l における電圧および位相角ベクトル、 G_i^l : 負荷断面 l における発電機母線 i の有効・無効電力出力および電圧を表すベクトル、 NB : 母線集合、 NL : 負荷母線集合、 NT : 系統内送電線集合、 NG : 発電機母線集合、 $-, +$: 下限値、上限値

本問題は、式(7)を最小化する設備計画案を求めることを目的とする。ただし、計算上、計画TSについては電圧制約(14)の逸脱量の自乗和を電圧制約違反量として式(7)に加えた関数式を、運用TSについては送電損失コスト+電圧制約違反量の関数をそれぞれのTSの目的関数とする。

4.2. 解の定義

解を定義する整数変数ベクトル x および y^l を式(15)(16)のように定義する。

$$x = \begin{bmatrix} SC^{\text{new}T} & ShR^{\text{new}T} \end{bmatrix}^T \quad (15)$$

$$y^l = \begin{bmatrix} SC^{lT} & ShR^{lT} \end{bmatrix}^T \quad (16)$$

4.3. 感度解析による有効なムーブ候補の選定

4.2 で定義した現在解における近傍解は多数存在するが、運用コスト(式(7)の第2項)の計算に時間が掛かるため、感度解析を用いてそれらの近傍解の中から有効と思われるいくつかの近傍解に探索範囲を絞り込む。本稿では、各母線電圧のうち一カ所でも規定範囲内に達しないものがある場合(電圧制約違反)には、近傍解における電圧制約違反解消量を近似的に計算し、解消効果が高いと思われる近傍解から複数個を詳細計算の対象とする。また、違反が存在しない場合には、目的関数値の減少量を近似計算し、減少効果が高いと思われる近傍解から複数個を詳細計算する。なお、感度解析に関するより詳細な記述は文献[4]を参照されたい。

5. 数値計算例

モデル系統はIEEE30母線系統を使用し、負荷を1.5倍、2.0倍に設定した2つの負荷断面を例題として、数値計算を行った。初期状態では両負荷断面で最大19カ所に電圧制約違反が発生していた。探索の結果、調相設備が10,17,22番の母線にそれぞれ2,4,2バンク設備され、両負荷断面ともに当初の電圧制約違反はすべて解消された。得られた最適設備計画案を図2に示す。

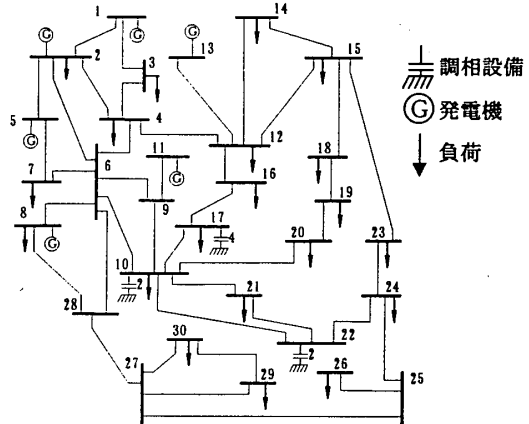


図2. 最適設備計画案

6. 結言

本稿では、多数の運用断面における設備の最適運用を考慮した設備計画問題に対し、タブー探索を多重に適用した解法を提案した。また、無効電力設備計画問題に対する適用例を示した。

参考文献

- [1] 奈良, 林: "設備増設計画問題の多重タブー探索による解法", OR学会秋季研究発表会アブストラクト集, 1-B-1, 1997
- [2] F.Glover, "Tabu search-part I", ORSA Journal on Computing, Vol. 1, No. 3, Summer, 1989
- [3] F.Glover, "Tabu search-part II", ORSA Journal on Computing, Vol. 2, No. 1, Winter, 1989
- [4] 奈良, 林, 林: "多重タブーサーチによる無効電力設備計画", 電力技術・電力系統技術合同研究会資料, PE-97-79, 1997