

## 設備増設計画問題の多重タブー探索による解法

01403655 茨城大学 奈良 宏一 NARA Koichi  
 01506440 茨城大学 \*林 泰弘 HAYASHI Yasuhiro

### 1. まえがき

産業分野では、将来想定される状況（環境）に対処できるように、一般に、設備の増設が必要である。設備の増設にあたっては、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、設備をどう運用するかも同時に考慮する必要がある。しかしながら、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。そこで、本稿では、増設設備の運用を考慮した計画問題の解法としてタブー探索<sup>[1][2]</sup>を適用する。

### 2. 設備増設計画問題

#### (1) 問題の定義

設備の計画と運用に関する制約の下で、設備の総増設コストと運用コストの和を最小化するように、増設設備の配置と設備数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。

最小化  $Z$

$$Z = k_1 \text{Cost}(\mathbf{x}) + k_2 F(\mathbf{x}, \mathbf{y}, t) \quad (1)$$

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}) \leq 0 \quad (2)$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{y}) \leq 0 \quad (3)$$

但し、 $\mathbf{x}$  : 設備の増設位置を表す変数と増設数を表す変数からなるベクトル、 $\mathbf{y}$  : 設備の運用状態を表す変数ベクトル、 $\text{Cost}(\mathbf{x})$  : 設備の増設位置と増設数が与えられた時の設備コスト、 $F(\mathbf{x}, \mathbf{y}, t)$  : 設備の運用コスト、 $t$  : 時間、 $k_1, k_2$  : 係数

### 3. 解法

設備の増設位置と設備数が決まらなければ、その時の最適運用状態は決定できない。そこで本解法では、まず、設備の計画に関する制約条件式 (2) 式) を満足するように変数  $\mathbf{x}$  の値を固定し、(1) 式の第 1 項の値を固定する。次に、それに対する設備の運用コスト ( $F(\mathbf{x}, \mathbf{y}, t)$ ) を最小にする変数  $\mathbf{y}$  を (3) 式 (設備運用に関する制約式) を満足するよう

にタブー探索<sup>[1][2]</sup>で決定して(1)式の第 2 項の値を固定し、(1)式の値を求める。固定する  $\mathbf{x}$  の値を変更しながらこれを繰り返し、(1)式の値を最小とする変数  $\mathbf{x}$  と  $\mathbf{y}$  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の増設位置と増設数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。解法の概略フローチャートを図 1 に示す。

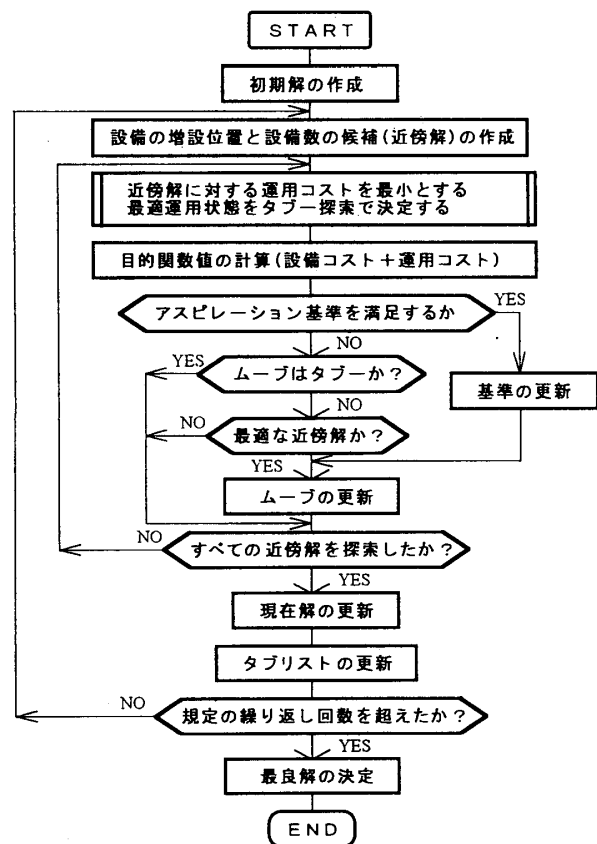


図 1 解法の概略フローチャート

### 4. 適用例

本手法を、電力システムでの分散電源設備と電力貯蔵装置の最適配置問題に適用する。この問題は、通常発生する程度の事故時に、できるだけ停電する需要家が少なくなるように、どの分散電源設備と電力貯蔵装置をどの負荷（需要家）にどれだけ配置するかを決定する問題である。最小化する

べき目的関数は、分散電源設備と電力貯蔵装置の総増設コストと増設設備を最適に運用した場合の総期待停電損失(停電が需要家に与える影響を定量化したもの)との和であり、仮定と制約は以下の通りである。

- ・分散電源設備は電力システムの負荷ノード(需要家)に接続される。
- ・分散電源設備の種類と容量は何種類か異なるものの中から1つ選択される。
- ・電力貯蔵装置の定格出力と定格貯蔵容量は与えられたものの中から1つ選択される。

### (1) 近傍解の定義

どの電力貯蔵装置をどの負荷(需要家)にどれだけ配置するかを表現するために、0-1変数  $x_{ij}$  ( $i$ : 負荷番号 ( $i=1 \sim M$ ),  $j$ : 設備の定格出力の種別を表す番号 ( $j=0 \sim Q$ ),  $h$ : 設備の種類を表す番号 ( $h=1 \sim H$ )) を使用する。問題の仮定より、分散電源設備の種類と容量は何種類か異なるものの中から1つ選択されなければならないため、現在解  $x_{ij}^*$  をマトリクス表現で例示すると、図2のように一つだけ1の値をとることになる。同様に、電力貯蔵装置に関しても、どの分散電源設備をどの負荷(需要家)にどれだけ配置するかを表現するために、0-1変数  $x'_{ikh}$  ( $i$ : 負荷番号 ( $i=1 \sim M$ ),  $k$ : 設備容量の種別を表す番号 ( $k=0 \sim R_k$ ),  $h$ : 設備の種類を表す番号 ( $h=1 \sim H$ )) を使用する。また、問題の仮定から、現在解  $x'_{ikh}^*$  は図3のように表現できる。近傍解は、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。そこで、ある負荷  $i$  において図2、図3の網かけ部分の要素の全てに1の値を移動したものを近傍解と定義する。

	j=0	...	j=Q
i=1	0	0	0
	0	0	0
⋮	0	0	0
	0	0	0
⋮	0	0	0
	0	0	0
i=V	0	0	0

図2 負荷  $i$  への貯蔵装置の配置と容量のマトリクスの表現例

	k=0	...	k=R_k
h=1	0	0	1
⋮	0	1	0
	0	0	1
⋮	1	0	0
h=H	0	0	1

図3 負荷  $i$  への分散電源設備  $h$  の配置と容量のマトリクス表現の例

### (2) タブー方向及びアスピレーション基準

(1)で定義した近傍解へのムーブの逆操作をタブームーブとする。現在までに探索してきた解の中

で最良の目的関数値をアスピレーション基準とする。近傍解の目的関数値がアスピレーション基準を超える場合には、タブーであっても、その近傍解へのムーブを実行する。

なお、配置された設備が最適運用された場合の期待停電損失をタブー探索で求める手法については、文献[3]を参照されたい。

## 5. 数値計算例

本解法を例題系統(負荷ノード数:30、事故ケース数:3)に適用して決定した分散電源設備と電力貯蔵装置の配置と容量を図4に示す。設備配置前後の設備コストと期待停電損失を表1に示す。

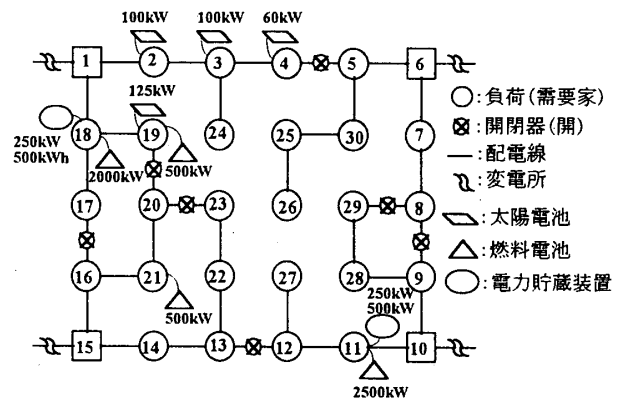


図4 配置された分散電源設備と電力貯蔵装置

表1 配置前後の設備コストと期待停電損失

	配置前 ( $\times 10^3$ )	配置後 ( $\times 10^3$ )
目的関数値 Z	16,837,920	3,330,578
設備コスト	0	3,204,000
期待停電損失	16,837,920	126,577

## 6. まとめ

本稿では、設備の最適運用を考慮した設備増設計画問題の解法として、多重タブー探索法を適用した。また、実システムである電力システムの分散電源設備と電力貯蔵装置の最適配置問題に対する適用例を示した。

## 文献

- [1] F. Glover: "Tabu search-Part I", ORSA J. Computing, Vol.1, No.3 (1989)
- [2] F. Glover: "Tabu search-Part II", ORSA J. Computing, Vol.2, No.1 (1990)
- [3] 奈良、林、村井: 「分散電源設備の事故時における最適運用手法」平成8年電気学会B部門大会論文集 II, P. 89