

## 種々の運用状態を考慮した大規模放射状ネットワークの多年度設備増設計画手法

01101675 近畿大学 \*楽原兵二郎 KUWABARA Heijiro  
01403655 茨城大学 奈良 宏一 NARA Koichi

1. まえがき 物流、交通、通信あるいは電力システムなどは放射状ネットワークで表現可能である。予測される将来の新規需要あるいは需要の増大に対処するため、これらのネットワークシステムを構成する設備を増設する必要がある。運用上においては事故時あるいは保守作業などのために種々の運用状態を考慮しておく必要がある。この種の設備増設計画問題は混合整数計画問題として定式化されるため、大規模システムを扱う場合には計算上の困難が生じる。筆者らはこのような問題に対して、“一段ブランチ交換法”に基づく解法を提案してきた[1-3]。設備増設計画は単年度のみでは不十分であり、設定された計画年度を通じて増設設備費用が最小となるように策定する必要がある。さらに本稿では、種々の運用状態をも考慮した大規模放射状ネットワークの多年度設備増設計画手法を提案する。本手法では二段ブランチ交換法を用いて解の精度を向上させている。

2. 問題の説明 隣接ノード  $i, j$  において(1)式が成立するような放射状ネットワークを考えよう。

$$v_i - v_j = z_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

但し、 $v_i$ :ノード  $i$  の横断変数の値、 $x_{ij}$ :ノード  $i, j$  間の流量、 $z_{ij}$ :ノード  $i, j$  間のブランチに付与された係数。このネットワークで、将来の需要、増設候補設備とその費用および考慮する運用状態は与えられるものと仮定する。この問題の目的は全計画年度にわたる増設設備費を最小化することである。但し、この問題ではすべての運用状態において以下の制約を満足しなければならない; (i)ブランチの最大流量 (ii)横断変数の最小値制約 (iii)需要供給バランス (iv)放射状ネットワーク構成の維持。

3. 問題の定式化 本問題は次のような混合整数計画問題として定式化される。

(1)目的関数

$$\text{Min. } Zc = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^m c_{j,t} w_{j,t} \quad (2)$$

(2)制約条件

(a)増設可能設備制約

$$y_{j,t} \leq w_{j,t} \quad (t=1, 2, \dots, T, f=1, 2, \dots, F_t, j=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

(b)放射状ネットワークを維持するための条件

$$\sum_{j=1}^m y_{j,t} = n-1 \quad (t=1, 2, \dots, T, f=1, 2, \dots, F_t) \quad (4)$$

(c)流量制約

$$M y_{j,t} - x_{j,t}^+ - s_{j,t}^{I+} = 0, \quad M y_{j,t} - x_{j,t}^- - s_{j,t}^{I-} = 0 \quad (t=1, 2, \dots, T, f=1, 2, \dots, F_t, j=1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

(d)需要供給バランス制約

$$A_{f,t} X_{f,t} = D_{f,t} \quad (t=1, 2, \dots, T, f=1, 2, \dots, F_t) \quad (6)$$

(e)横断変数制約

$$\begin{aligned} (v_{i,t} - v_{k,t}) - R_j x_{j,t}^+ + s_{j,t}^{V++} - s_{j,t}^{V+-} &= 0 \\ (v_{i,t} - v_{k,t}) - R_j x_{j,t}^- + s_{j,t}^{V-+} - s_{j,t}^{V--} &= 0 \end{aligned} \quad (t=1, 2, \dots, T, f=1, 2, \dots, F_t, i, k=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

(f)ブランチの最大流量制約

$$\begin{aligned} \bar{x}_j - x_{j,t}^+ - s_{j,t}^{IM+} + \sigma_{j,t}^{IM+} &= 0 \quad (\sigma_{j,t}^{IM+} = 0) \\ \bar{x}_j - x_{j,t}^- - s_{j,t}^{IM-} + \sigma_{j,t}^{IM-} &= 0 \quad (\sigma_{j,t}^{IM-} = 0) \end{aligned} \quad (t=1, 2, \dots, T, f=1, 2, \dots, F_t, j=1, 2, \dots, m) \quad (8)$$

(g)横断変数下限制約

$$v_{irt} - v - s_{irt} v^M + \sigma_{irt} v^M = 0, (\sigma_{irt} v^M = 0) \\ (t=1, 2, \dots, T, f=1, 2, \dots, F_t, i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

(h)非負条件・整数条件

$$x_{irt}^+ \geq 0, x_{irt}^- \geq 0, v_{irt} \geq 0, s_{irt} \geq 0, \sigma_{irt} \geq 0, y_{irt} \in \{0, 1\}, w_{jt} \in \{0, 1\} \\ (t=1, \dots, T, f=1, 2, \dots, F_t, i=1, \dots, n, j=1, \dots, m) \quad (10)$$

但し、T:計画年数、m:ブランチ数、n:ノード数、 $F_t$ :運用状態数、 $D_{rt}$ :需要量ベクトル、M:適当な大きい数、 $x_{irt}$ :ブランチjの流量、 $A_{rt}$ :ノード・ブランチ接続行列、 $c_{jt}$ :ブランチjの増設費、 $w_{jt}$ :設備増設意志決定0-1変数(1:増設, 0:しない)、 $y_{irt}$ :意志決定変数(1:設備jが採用される, 0:されない)、 $R_j$ :ブランチjの係数、s:スラック変数、 $\sigma$ :制約違反量を表す変数、 $\bar{x}, \underline{v}$ 等の-は上限値、下限値。添字 jft はブランチj, 運用状態f, 年度tを表す。

4. 問題の解法 本問題では目的関数の値は決定変数 $w_{jt}$ のみで定まる。この $w_{jt}$ は(2)式および(3)式のみで現れる。そこで、一旦 $w_{jt}$ が(3)式を満足するように与えるならば、制約を満足するように $y_{irt}$ の値を変化させても、t年度の目的関数の値は不変である。すなわち、 $w_{jt}$ の値を固定すると、各運用状態毎に独立に増設計画問題を解くことができる。与えられた $w_{jt}$ のみではt年度のすべての運用状態では実行可能でなければ、新たに設備を増設しなければならない。このとき、各年度で独立に設備を増設すると過剰な設備増設を行うことになるため、本解法では当該年度以降の年度ならびにすべての運用状態の制約違反量あるいは余裕量増加を目的とした設備増設基準を設けている。以上の設備増設をフォワードパスと呼ばれる手続きで実現する。フォワードパスによって一旦t年度までの増設パターンが策定されたならば、t年度以前に増設された不要設備があるか否かを調べる。これをバックワードパスと呼ぶ。バックワードパスが成功したならば初年度から再度フォワードパスを実行する。バックワードパスが失敗した場合には引き続き(t+1)年度からフォワードパスを続行する。この操作を繰り返してt=Tとなったとき全計画年度の増設計画が得られる。以上の考え方に基づく解法ステップを以下に示す。

- [ステップ1]初年度の増設パターンを与える(t=1)。
- [ステップ2]フォワードパスによりt年度の増設計画 $P_0$ を策定する。
- [ステップ3]バックワードパスにより増設計画 $P_1$ を策定する。
- [ステップ4]増設計画 $P_1$ が増設計画 $P_0$ よりも費用増加ならばステップ7へ行く。
- [ステップ5]フォワードパス/バックワードパスによる新たな増設計画 $P_2$ を策定する。
- [ステップ6]増設計画 $P_1$ と増設計画 $P_2$ を比較して安価な計画を採用する。
- [ステップ7]t=t+1としてステップ2へ戻る。但し、t>Tならば終了する。

5. 数値例 本解法を大規模ネットワークシステム計画の典型例としての配電システム計画に適用した。例題システムは4変電所、5変圧器、50負荷点、69配電線からなる配電システムである。本例では5計画年度、3運用状態および4運用状態を想定しており、増設候補設備数は34、使用計算機はFUJITSU S-4/5である。

表1 数値計算結果

年度	3 運用状態					4 運用状態				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
増設費用	527	88	19	721	0	526	88	19	423	0
累積増設費用	527	615	634	1355	1355	526	614	633	1056	1056
増設設備数	20	2	1	7	0	20	2	1	6	0
ブランチ交換	37	85	101	114	127	63	105	104	132	166
計算時間[秒]	1087					1316				

6. まとめ 種々の運用状態を考慮した大規模放射状ネットワークの多年度設備増設計画手法を提案し、その妥当性をモデルシステムを用いて検証した。

[ 文 献 ]

- [1]D. W. Ross et al. : "Development of Advanced Method for Planning Electric Energy Distribution Systems", U. S. DOE Report, ET-78-03-1845, Feb. (1980)
- [2]K. Aoki, K. Nara et al. : "New Approximate Optimization Method for Distribution System Planning", IEEE Trans. PWRD, Vol. 5, No. 1 (1990)
- [3]栗原, 奈良: 種々の運用状態を考慮した大規模放射状ネットワークの設備増設計画手法, 日本OR学会1992年度秋季研究発表会77' 資料集, pp. 222-223