

## 環境対策技術を考慮した電源開発計画策定モデル

01007870 電力中央研究所 情報研究所 大屋 隆生 OHYA Takao

### 1 はじめに

中国では、急速に経済の自由化・近代化を図っており、そのために適切な需要予測とそれに対応した電力供給計画が必要とされている。電中研と中国電力事業連合会では中国の華東地域を対象として長期需給計画手法に関する共同研究を実施している。

華東地域の電力需要は年率10%を越える急増加が見込まれているので、2010年までに様々なタイプの発電所200基以上の建設が必要となる可能性が高い。またこの地域では石炭火力が電源の主力となることが予想され、環境対策として、硫黄酸化物( $SO_x$ )の排出抑制が重要である。本報告では、脱硫技術の導入が発電効率や建設費に与える影響も考慮した電源開発計画策定モデルについて述べる。

### 2 電源開発計画策定モデルにおける環境問題の取り扱い

電力における発電設備の建設および運転をコストを最小化するように定める電源開発計画策定モデルは、従来から線形計画モデルなどの数理計画モデルとして多くの定式化が行われてきた([1])。いくつかのモデルでは環境対策に対する定式化を行なっている。しかし、それらは発電所ごとに脱硫装置を付設するかどうかは決定せず、あらかじめ脱硫率を与えて、硫黄酸化物などの排出量の規制値を達成するように使用する燃料の組合せ(ミックス)を決定するという定式化を行なっている。本モデルでは、硫黄酸化物の排出量を目標値以下にできるように、脱硫装置の付設を行なうかどうかも決定するように定式化を行なった。

### 3 脱硫装置付設の定式化

ここでは、電源開発計画策定に用いる線形計画モデル([1])に、脱硫装置の付設に関する追加・変更を加え

た。以下、 $i, j$ は新設、既設の発電ユニット、 $r$ は負荷領域、 $t$ は時間帯、 $m$ は燃料に対応するインデックスで、 $I, J, R, T, M$ はそれらの集合を表す。以下にここで用いる変数を示す。

$x_{ih}$  : 新設設備運転状態 (1= 運転、0= 未使用)

$y_{ihl}$  : 新設設備の運転出力 (MWh)

$f_{ihm}$  : 新設設備の燃料消費量 (ton)

$z_{jhl}$  : 既設設備の運転出力 (MWh)

$g_{jhm}$  : 既設設備の燃料消費量 (ton)

$s_{ih}$  : 脱硫装置付設状態 (1= 付設、0= 付設せず)

$v_{ihl}$  : 脱硫装置のついた新設設備の運転出力 (MW)

$h_{ihm}$  : 新設設備の脱硫出力に対応する燃料消費量 (ton)

$x_{ih}, s_{ih}$  は、設備の導入を表す0-1変数であるが、区間 $[0,1]$ の連続変数として近似する。実際これらは、ある期に0と1の間の値になることがあるが、その場合には次の期には対応する設備の状態(つまり $x_{ih}$ に対して $x_{ih+1}$ の値、 $s_{ih}$ に対して $s_{ih+1}$ の値)は1になる。

脱硫装置の付設に関連して以下のような制約条件を考えた。

設備の運転出力に関する制約

この制約は、脱硫の運転出力が容量を上回らず、発電設備の運転出力を上回らないことを示す。また、脱硫の容量が発電設備の容量を上回らず、 $k+1$ 期の容量は $k$ 期の容量を上回る。

$$\sum_{l \in L(t)} v_{ihl} \leq \xi_{ihl} C_i s_{ih}$$

$$v_{ihl} \leq y_{ihl}$$

$$s_{ih} \leq x_{ih}$$

$$s_{ih} \leq s_{ih+1}$$

$C_i$  : 新設設備 $i$ の設備容量(MW)

$\theta_i$  : 新設設備 $i$ の瞬間ピークでの利用可能率

表 1: 脱硫装置設置容量および脱硫率

	2001	2004	2007	2010
脱硫装置容量率 (脱硫装置総容量 / 石炭火力総容量; %)	38.71	40.18	57.15	73.92
総脱硫率 (硫黄分除去量 / 燃料硫黄分含有量; %)	35.25	41.44	54.62	66.09

**燃料消費と発電電力量に関する制約**

脱硫装置のついた新設設備の発電電力量が脱硫される燃料消費量とバランスする。

$$\sum_{l \in L} d_l K_i v_{ikl} = \sum_{m \in M} h_{ikm}$$

$d_l$  : 負荷領域  $l$  の時間の長さ ( $h$ )

$K_i$  : 新設設備  $i$  の燃料消費率 ( $ton/MWh$ )

**硫黄酸化物排出量の規制に関する制約**

硫黄酸化物排出量の規制に関する制約に脱硫により取り除かれる硫黄分の量を引く項を付け加える。

$$\sum_{m \in M} \left\{ \sum_{i \in I(r)} (S_m f_{ikm} - \phi S_m h_{ikm}) + \sum_{j \in J(r)} S_m g_{jkm} \right\} \leq \Gamma_k$$

$S_m$  : 燃料  $m$  の硫黄分含有率 ( $ton - S/ton$ )

$\phi$  : 脱硫装置の脱硫率 (%)

$\Gamma_{k,r}$  :  $k$  期における  $r$  地域での硫黄分排出量の上限値 ( $ton - S$ )

**目的関数 (最小化)**

目的関数に、脱硫装置付設費用を付け加える。

$$k \text{ 期の脱硫装置の付設費用} = \sum_{i \in I} \zeta_k C_i s_{ik}$$

$\zeta_k$  :  $k$  期における脱硫装置の単位容量あたりの費用 ( $RMB/MW$ )

**4 シミュレーション分析結果**

中国の華東地域において、1990年から2010年までの21年間を対象期間とし、これを3年1期とした7期の供給計画を本モデルを用いてシミュレーションした。この間、石炭火力の発電電力量は約3倍になり、従って消費する石炭に含まれる硫黄分も約3倍になる。こ

こでは脱硫装置として、わが国で実用している脱硫技術 [5] をもとに、脱硫率が約70%で容量費が  $kw$  あたり300RMBの半湿式のものを使用し、2000年以降の硫黄酸化物の排出量を1995年レベルにおさえるという条件でシミュレーション分析を行なった。

表1に、石炭火力発電所の総容量に対する脱硫装置の容量の割合 (脱硫装置容量率) と、燃料に含まれている硫黄分に対する脱硫装置により除去できる硫黄分の量の割合 (総脱硫率) を示す。脱硫率70%の脱硫装置を容量でみて約74%の発電所に取り付けるだけで燃料の石炭に含まれていた硫黄分の合計の ( $0.74 \times 0.7 = 0.52$  より多い) 約68%を脱硫できるのは、発電効率が良いために運転費が少なく、そのため年間の稼働率が高く運転される (したがって年間の石炭消費の多い) 発電ユニットから脱硫装置が付設されるからである。

**5 おわりに**

本モデルは、中国において環境に対する対策目標を達成しつつ、経済的な電源開発計画を策定するのに参考になると考える。

**参考文献**

- [1] 大山達雄: 「最適化モデル分析」, 日科技連出版社, 1993.
- [2] 日本電力調査委員会: 「電力需要想定および電力供給計画算定方式の解説」, 1993.
- [3] 椎名孝之: 「電力供給計画の確率的モデル化」, 電力中央研究所研究報告 No.R94013, 1995.
- [4] 椎名孝之: 「確率的電気事業計画モデル」, 日本OR学会1995年度春季研究発表会アブストラクト集, pp. 188-189, 1995.
- [5] 本藤祐樹, 内山洋司: 「火力発電プラントの環境対策コスト分析」, 電力中央研究所研究報告 No. Y92009, 1994.