

<企業における数学活用紹介・・・電力系統計算への応用>

(株) 東芝 平戸 康太

電力系統運用は電力品質（電圧および周波数一定）の確保と経済性（すなわち発電費用の低減）の確保の両立を目的とする。各種運用の中でも最も重要な需給制御は時々刻々変動する需要に発電機の発電量を追従させる制御である。効率の異なる各火力・水力発電機の経済的な出力配分を計算し、発電機出力を制御する必要がある。これを経済負荷配分と呼ぶ。経済負荷配分方法としては、等増分燃料費法が古くから知られている。等増分燃料費法とは、各発電機の増分燃料費が等しくなるように運転すれば、発電機群全体で燃料費が最も安価な発電機出力が得られるという手法である。数学的に表現すると、総需要と発電量合計が等しいという等式制約の元で、目的関数である燃料費合計を例えば発電機出力の2次関数の和として表現できるので、ラグランジュの未定乗数を導入することで容易に計算することが出来る。結果的に増分燃料費は導入したラグランジュの未定乗数（これを通常 λ で表す）と一致するため、等 λ 法とも呼ばれる。

ところで、時間帯に跨る運用制約条件、例えば、発電機出力変化速度制約など複数の時間帯に跨る制約条件を含む期間総燃料費最小化問題では、このような配分方法を時間帯毎に繰り返すだけでは、最適解が得られない。この問題に対しては2次計画法（線形不等式の制約のもとで、二次関数を最小化する手法）を適用することで、最適解を得られることが知られている。しかしながら、実用的な火力発電機の運転を行うための制御を考えた場合、発電機出力バンドを考慮する必要がある。すなわち、火力発電機には燃料を供給するパイプのバルブが複数個あり、このバルブを順次開き出力を増加する制御方式となっており、このバルブを開くとき、ある時間一定出力を保持しなければならない制約などがある。このような問題を考慮しようとする、出力バンドを境に不連続な問題となり、連続変数だけを扱う2次計画問題で扱える範囲を逸脱してしまう。また、本問題の解となる発電機出力の変化は、バンド切替のタイミングによって様々な解が考えられるので、それによって発電機の運転費用等が異なってくるため、ある時刻断面における最適化では不足であり、計算期間全体における最適化問題として考慮（期間最適化）する必要がある。しかしながら、各発電機における組合せ可能なバンドを全て評価すると計算が膨大になる（例：発電機10台が各々3バンド持ち、計算期間が36断面の場合、1ミリ秒で1組合せを調べても 3×10^{38} 年必要）。

要約すると本問題は存在するべき運転バンドの決定（離散変数の問題）と、決定された運転バンド内で出力配分を決定する2つの問題が組み合わさった問題（連続変数の問題）と捉えることができる。このような連続変数と離散変数を含む問題に対するアプローチとしては混合整数計画法が知られている。しかし、先に述べたように、バンド切り替え中に

出力を一定値に保持という特殊な制約があるため、バンド切り替え中とある運転出力バンドで運転中という状態を同等に扱うことが困難であり、バンド決定を含む経済負荷配分問題に対して混合整数計画法を適用した例は存在しなかった。

上述した課題を解決するために筆者らは、バンド切り替え中という状態も仮想的にバンドと見なすことで、各発電機の運転出力バンドで運転中と、バンド切り替え中という状態を同等に扱えることを可能とした火力発電機の経済負荷配分方法を提供することが可能となった。本発電機の経済負荷配分方法は、経済負荷配分期間における各発電機の各時間帯における運転出力バンド及び運転出力を決定し、各発電機のバンド切り替え中という状態を仮想的に運転出力バンドと見なし、どの時間帯にどの出力バンドを表す整数変数と、どの時間帯にどのくらいの出力で運転するかを表す連続変数を状態変数として、経済負荷配分期間の全時間帯の発電費用の総和の最小化を目的関数とし、需給バランス制約、発電機運転可能バンド上下限制約、該出力バンドでの発電機出力上下限制約及びバンド切替時間制約を制約条件とし、これら目的関数及び制約条件を混合整数計画問題として定式化し、前記混合整数計画問題を解き各発電機の各時間帯の運転出力バンド及び運転出力を求めることを特徴とする。実際に某電力会社における系統で経済性効果を試算したところ、従来行われている制御と比較して、2億円／年間程度の費用削減効果見込まれた。

参考文献：特許電子図書館 <http://www.ipdl.inpit.go.jp/Tokujitu/tokujitu.htm>

「火力発電機の経済負荷配分方法及びその装置（特開 2010-178522）」