

# 火力発電所の経済運用システム

Cost-Saving Solutions for Thermal Power Plant Operation

田中 俊彦  
TANAKA Toshihiko

中本 政志  
NAKAMOTO Masashi

村田 仁  
MURATA Jin

近年の電力事業を取り巻く環境は、電力市場の自由化、新電気料金方式の導入など厳しさを増しており、火力発電所においても発電コストを低減し、競争力を強化することが必要である。一方、火力発電所は、低稼働率の経年火力<sup>(注1)</sup>から、最新のコンバインドサイクル火力など、多種にわたっており、その運用に求められるものは一律ではない。当社では、こうした発電ユニットごとの相違を踏まえたコストの削減・改善システムや、複数ユニットをグループ運用することにより、トータルコストを低減するための複合最適化システムを提案している。

Deregulation of the electric power industry has made the market competitive, and the Japanese government has introduced a new method for assessing electric power charges. The need has therefore recently arisen for electric power companies operating fossil-fuel power stations to rationalize their plants. On the other hand, thermal power plants in Japan are operating under various conditions, from aged power plants to the latest combined-cycle power plants.

Toshiba offers several solutions for thermal power plants to reduce their total cost of operation.

## 1 まえがき

電力市場の自由化やヤードスティック方式<sup>(注2)</sup>による新電気料金方式の導入、また、これに伴う発電・送電部門の分離検討など、発電事業を取り巻く環境は年々厳しさを増しており、発電コストの低減は重要な課題である。一方で、ピーク負荷対応、負荷追従性の確保など、発電事業における火力発電の重要性はますます増加していくと予想される。

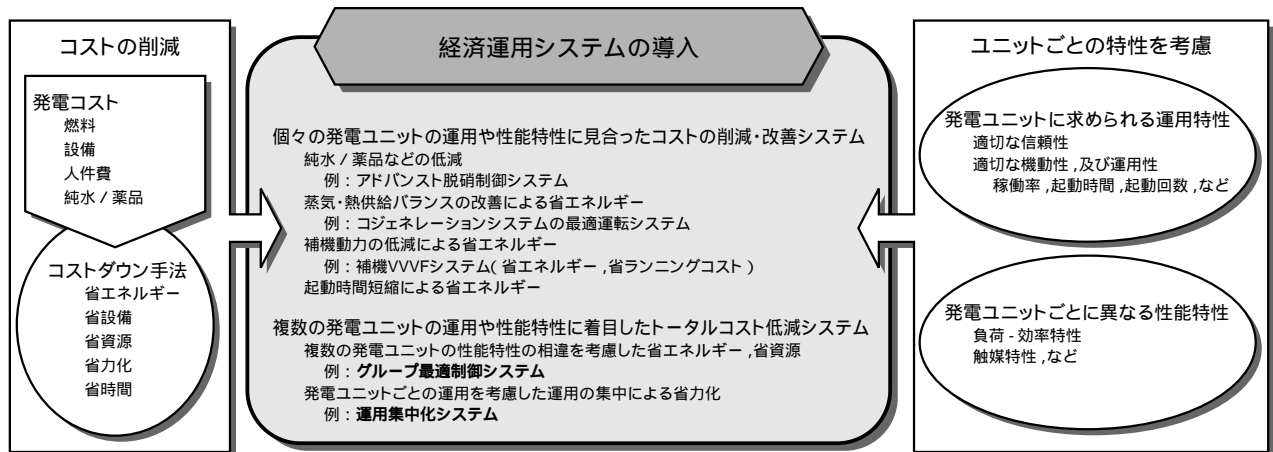
更に、最近では建設後20年を越える経年火力も増加する一方、年々性能向上が図られるコンバインドサイクル火力の建

設が増えており、効率や出力などの特性が異なる発電ユニットが混在する発電所が多くなっている。

こうした多種多様のユニットが求められる運用特性や性能特性は、個々のユニットごとに異なり一律ではない。こうしたことから、個々の発電ユニットの運用や性能特性に見合ったコストの削減・改善システムや、またそれらを踏まえたうえで、複数の発電ユニットの運用や性能特性に着目するト

(注1) 建設(運転開始)後、十数年以上経過した火力発電所。

(注2) 1995年12月に実施された電気事業法の改正による新電気料金算出制度で、各電力会社の効率化度合いにより料金を決定する方式。



VVVF: Variable Voltage Variable Frequency(可変速制御装置)

図1. 火力発電所の発電コストを低減する経済運用システムの考え方  
特性に着目することで、発電コストの低減を図る。

削減すべき発電コスト項目と、個々の発電所に求められる運用特性や性能

Concept of cost-saving solutions for thermal power plants

ータルコスト低減を行うシステムが求められており、これらを総称して火力発電所の経済運用システムと呼ぶ。

図1に示すように、当社では様々な経済運用システムの提案をしており、次章以降に、特に複数の発電ユニットの運用や性能特性に着目したトータルコスト削減システムの例について述べる。

## 2 経済運用システムの提案例

2.1 グループ負荷制御及びNOx制御における最適運用  
火力発電所では、単機の運転については効率改善や運転状態の管理がほぼ極限まで行われており、ユニット単位での効率向上は大きく望めない状況である。ただし、複数のユニットをグループ運用することで全体としての経済性を向上できる。そのような運用システムの例として、グループ全体の最適運用を実現するグループ最適制御を提案している。

従来のグループ制御は、図2(a)のようにグループ全体の目標値(負荷、又は窒素酸化物(NOx)排出量)に対して、均等配分あるいは一定比率配分で目標値が与えられている。これに対してグループ最適制御は、各ユニットの特性の差異を積極的に反映して、全体特性が最適になり、かつユニットごとの制約を考慮した最適制御を考える。

最適化計算では次の最適問題をオンラインで解く。

### グループ最適制御計算(グループ負荷制御の場合)

操作変数( $x_i = \#i$ ユニットの出力)

$$x_1, x_2, \dots, x_N$$

評価関数( $F_i(x_i) = \#i$ ユニットの燃料消費)

$$\min F_1(x_1) + F_2(x_2) + \dots + F_N(x_N)$$

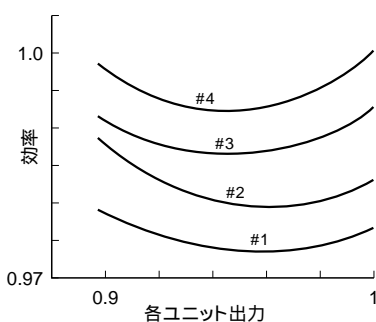
制約条件

(1) 目標値制約( $X =$ グループ全出力目標値)

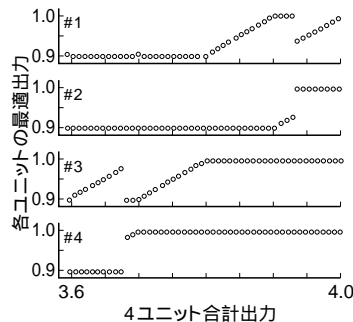
$$x_1 + x_2 + \dots + x_N = X$$

(2) 出力制限( $x_{i,\min}, x_{i,\max} = \#i$ ユニットの下限, 上限)

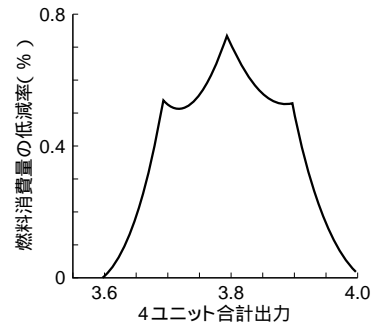
$$x_{i,\min} < x_i < x_{i,\max}$$



(a) 定格出力付近での熱効率

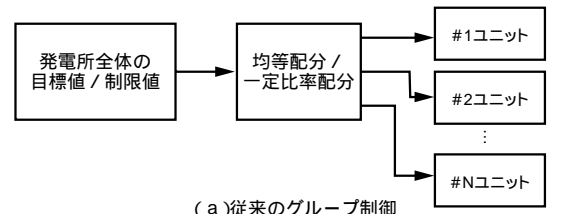


(b) 最適出力配分

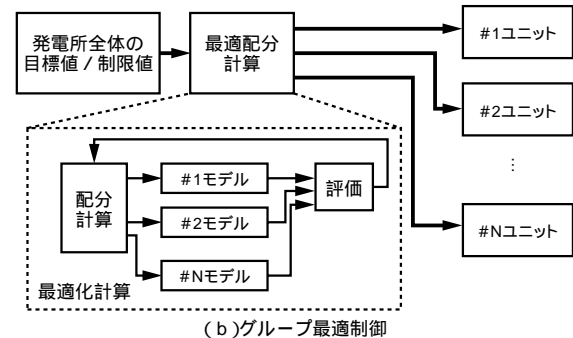


(c) 燃料消費量の低減率

図3. グループ効率の最適運用 異なる負荷-効率特性を持つユニットをグループ最適制御することで、燃料消費量を低減することができる。 Optimization of load sharing for minimum fuel consumption rate



(a) 従来のグループ制御



(b) グループ最適制御

図2. グループ最適制御システム 従来は均等配分であった制御を、ユニットごとに最適配分することで、グループ全体のコストを削減できるグループ最適制御システム概念を示す。

Group control systems

2.1.1 グループ最適制御の負荷制御適用例 4ユニットから成るグループ負荷制御で最適化を実施した例を図3に示す。ユニットごとの熱効率曲線が異なる場合に、総発電量に対して総燃料消費量を最小にするユニットごとの発電指令値を求める。直感的には、運転に必要な最小負荷を各ユニットに割り当てたあと、効率の高いユニットから順に残りの負荷を分担する方法がグループで最高効率となるように思えるが、実はそうではない。低負荷では効率の悪いユニットの運転出力を上げるほうが、全体の効率を改善する場合があるためである。

各ユニットの熱効率を図3(a)、最適化した場合の発電所全体の出力と各ユニットの出力の関係を図3(b)に、最適化による燃料消費量の低減率を図3(c)に示す。この例では、最適化により燃料消費量が最大で0.7%低減できる。

### 2.1.2 グループ最適制御のNOx制御への適用例

グループ最適制御をNOx制御へ適用した例を図4に示す。

ここでは、ユニットごとに異なる脱硝触媒の特性差異に対して、ユニットごとに最適なNOx排出量の制御目標値を設定することで、グループトータルのアンモニア(NH<sub>3</sub>)消費量を低減する。定格で脱硝効率が1%異なった場合の最適運転の計算例を図5に示す。

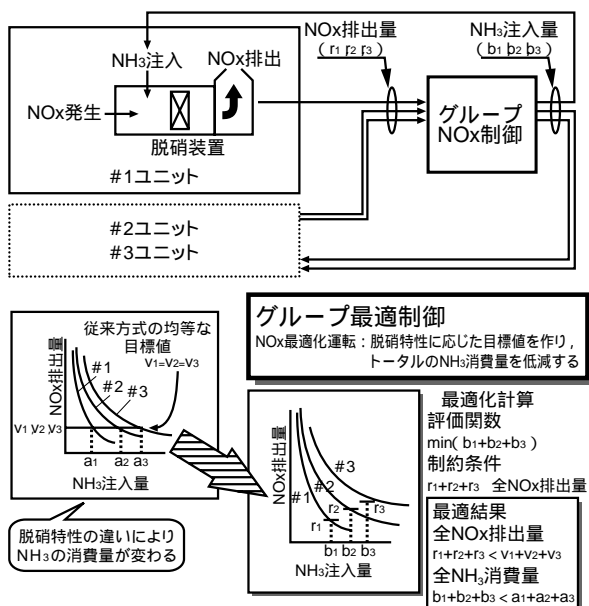


図4. グループ最適NOx制御システム 従来はユニットごとに均等配分していたが、総NOx排出量をグループ最適配分することで、NH<sub>3</sub>注入量を低減することが可能となる。

Optimized group NOx emission control system

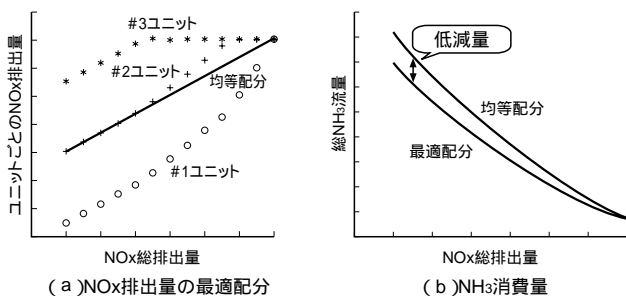


図5. グループ最適NOx制御の適用例 (a)に示すように、制御目標値として要求された総NOx排出量を、脱硝率の異なるユニットごとに最適配分すると(b)のようにNH<sub>3</sub>注入量の低減が可能となる。

Example of NOx emissions with optimized group NOx emission control system

このように、ユニットの特性に応じた負荷、又はNOx排出量を設定することで、トータル燃料効率の向上や、NH<sub>3</sub>消費量の削減が期待できる。

### 2.2 運用集中化システムについて

既設火力発電所において、複数ユニットの監視制御を1か

所の中央操作室に集中化する“集中化”の考え方は従来からあり、実際に導入された事例もある。しかし、これらの事例は、対象ユニットごとに独立した監視制御システムのマンマシンインタフェース部を一室に集中化するものであり、“集中化”自体の効果としては監視制御設備のボリュームは変わらない。また、新たな自動化機能や高度監視制御機能の導入などを行わなければ、運用に必要な人員数も同等であり、“集中化”自体の効果による設備費、又は人件費などの大幅な低減は困難であった。

ここで述べる運用集中化システムは、ユニットの運用形態(稼働状況)に必要な運用に絞った集中監視制御システムを設置することで、省力化及び省設備によるコストメリットを図るものである。運用集中化システムの概念を図6に示す。

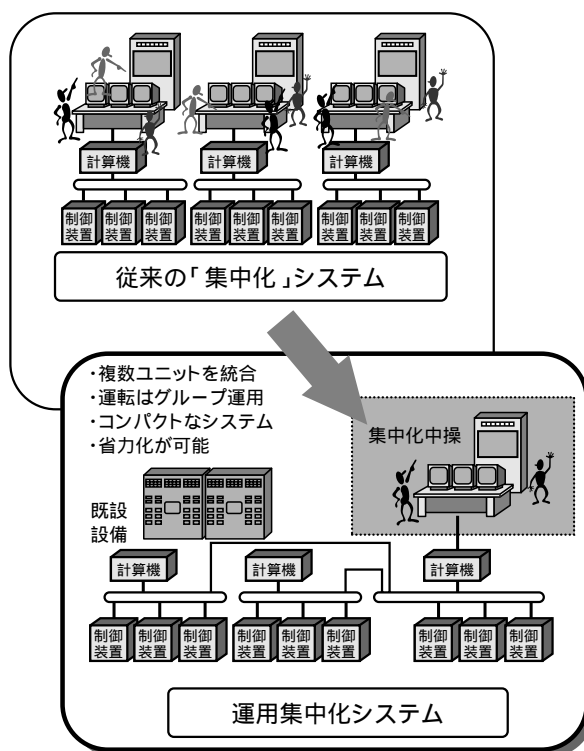


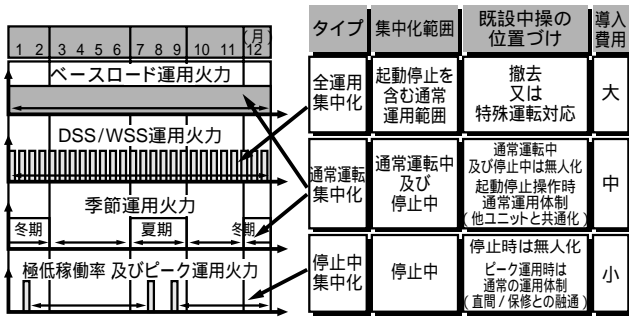
図6 “運用集中化”システムの概念 従来の“集中化システム”は、複数ユニットの監視制御システムの集合体であったが、“運用集中化システム”においては“運用”も集中化することで、コンパクトに省力化を行うシステムを実現している。

Concept of integrated control system for concentrated operation of power plants

図7に示すように、火力発電ユニットの運用形態は大きく4通りに分類され、それぞれの運用によって適合する運用集中化システムのタイプも異なる。

### 2.2.1 全運用集中化タイプ “DSS/WSS<sup>(注3)</sup>運用火力”

(注3) DSS: Daily Start-up & Shutdown(日ごと起動停止)  
WSS: Weekly Start-up & Shutdown(週ごと起動停止)



ベースロード運用火力：長期にわたり高負荷で発電する発電ユニット。

図7. ユニットの運用形態と集中化の対応 ユニットの個々に稼働率や起動停止回数などの運用形態が異なり、適した運用集中化のタイプも異なる。

Models of integrated control systems suited to operating pattern of each unit

は、年間を通じてDSS、又はWSS運用を行う火力ユニットであり、このようなユニットでは、常にすべてのユニット運用が可能な“全運用集中化”タイプの監視制御システムが適切である。“全運用集中化”タイプでは、従来の集中化と同様に、すべてのユニットの全監視制御が可能となるシステムを必要とするが、複数ユニットの同時起動、及び同時停止を制限するなどにより省力化・省設備を図ることも可能である。

2.2.2 通常運転集中化タイプ “季節運用火力”では、冬季、又は夏季だけ運転し、運転期間中はDSS/WSSを行わず、ハーフロード程度までの負荷調整だけを行う運用が必要とされている。このようなプラントでは、“通常運転集中化”タイプの運用集中化が適している。このタイプでは、集中化中央操作室(以下、中操と略記)に警報監視などの長期停止期間中のユニット監視に必要な機能と、通常の運転を実施しているユニットの負荷調整に必要な監視操作機能だけを備えた設備を設置し、運転期前後に一度ずつ必要となるプラントの起動、又は停止操作は従来の既設中操から行う。これにより、運転期間の大半を占める通常運転中及び長期停止中の運用を集中化し、最小限の設備で省力化の効果を得ることができる。

また、年間を通じて一定負荷運用を行う“ベースロード運用火力”でも“通常運転集中化”により、年間のほとんどの期間を占めるベース運転期間の運用を集中化し、同様の効果を得ることが可能である。

2.2.3 停止中集中化タイプ 電力需要が伸びる夏冬期に限って運用を行う火力発電ユニットの“極低稼働率ピーク運用火力”には、“停止中集中化”タイプが適している。このタイプでは、警報監視などの長期停止中、ユニットの監視に必要な機能だけを備えた設備を集中化中操に追加設置し、ユニットの起動、又は停止操作が必要となる運転は既存の中操から行う。これにより、ユニットが長期停止している期間の運用を集中化する省力化が可能となる。

### 2.3 地熱発電所の運用集中化適用について

地熱発電所は、一般に交通の不便な山岳部に存在し、監視員の通勤・常駐、又は技術員の通勤・常駐が困難であること、通常の火力発電所と比較して蒸気条件が低く、システムがシンプルで運転操作及び保守が容易であること、更に燃焼機関を持たないことから火災のおそれがないため、発電所から離れた市街地に設けた遠隔監視所から遠隔監視を行う方式が採られている。また、地熱発電所は、比較的小容量のために負荷調整能力が小さいことと、地熱により発生する蒸気をタービン駆動源としており、ハーフロード運転は不経済であることから全負荷運用が一般的である。

このような条件から、地熱発電所では“通常運転集中化”タイプの運用集中化による省力化が期待される。

実際、各地において複数の地熱発電所の監視制御室を統合し、定期点検と異常発生時以外は統合された遠隔監視制御室から監視制御を行う計画が進められている。

## 3 あとがき

当社は、これまでに多数の火力発電所の監視制御システムを納入してきたが、当初はベースロード運用火力として運転開始したものが、ユニットの経年化と、より効率の高い最新火力の建設などの状況変化につれて、DSS/WSS運用へと移行し、更に季節運用火力、極低稼働率ピーク運用火力へと変わってきている例が多く見受けられる。

また、コンバインドサイクル発電など比較的新しい発電所においても、性能特性の異なる最新発電設備が増設されたために、発電所全体としての効率特性などが複雑になり、最適な経済運用が難しくなるものがある。

当社は、今後これらの発電所に対して、グループ最適制御システムや運用集中化システムなどの経済運用システム適用を提案し、発電コストの低減に寄与していく所存である。



田中 俊彦 TANAKA Toshihiko  
電力システム社 火力事業部 火力改良保全技術部主務。  
火力発電プラントの情報制御システムエンジニアリング業務に従事。  
Thermal Power Systems & Services Div.



中本 政志 NAKAMOTO Masashi, Ph.D.  
電力システム社 火力事業部 火力開発技術部主幹、工博。火力プラントの情報制御エンジニアリング業務に従事。IEEE、電気学会、計測自動制御学会、システム情報制御学会会員。  
Thermal Power Systems & Services Div.



村田 仁 MURATA Jin  
府中電力システム工場 発電制御システム部主務。  
火力発電所向け監視制御システムの設計に従事。  
電気学会、火力原子力発電協会会員。  
Fuchu Operations - Power Systems