

特集

電力システムと電力機器の省エネルギー

電力システム運用における省エネルギー

西森 壽郎*
Toshirou Nishimori

1. まえがき

我が国の55年度の総需要電力量は5203億kWh、これに電力を供給する発電設備は55年度末で14370万kWとなっている。このうち自家用を除く電気事業用設備は12936万kW、発電電力量は5141億kWhであり、電源設備構成とそれぞれの発電電力量は表1に示すとおりである。これによれば設備、電力量ともに火力発電所が最も多く、全体の65%強を占めている。この火力発電所の熱効率、発電ユニットの大容量化、高効率化によって年々向上し(図-1)、現在38%台にある。一方、発電した電力を需要家に届ける間に失われる損失の割合は、500kV送電線の導入、20kV配電の採用などの都市配電の近代化その他によって年々低減し、現在9%台にある。

このような状況のもとにあって大規模な電力システムを構成する各種発電所、変電所、送配電網を高信頼度に、効率的に運用することはますます重要となっている。

表1 発電設備および発電電力量の構成

(電気事業用)(電気事業便覧による)

(a) 発電設備 (55年度末現在)

種別	最大出力(万kW)	構成比(%)
水力	2,867	22.2
火力	8,518	65.8
原子力	1,551	12.0
合計	12,936	100.0

(b) 発電電力量 (55年度)

種別	電力量(億kWh)	構成比(%)
水力	852	16.6
火力	3,469	67.5
原子力	820	15.9
合計	5,141	100.0

* 関西電力㈱総合技術研究所設備効率研究室主任研究員
〒661 尼崎市若王寺3-11-20

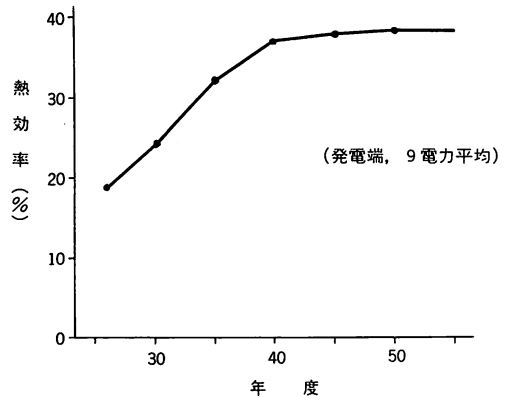


図-1 汽力発電所熱効率の推移

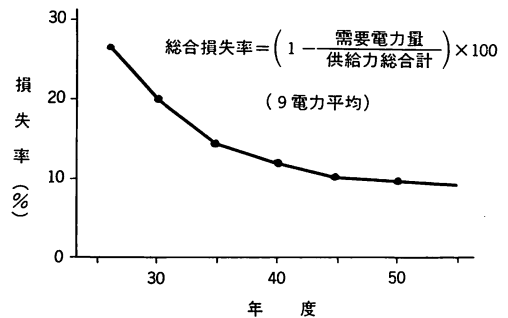


図-2 総合損失率の推移

ここでは電力システム運用上のエネルギー面からみた効率運用について概観する。

2. 電源の運用

電力需要は年間を周期として変動しており(図-3)、その最大電力は夏季に発生する。また需要は日間を周期として変動しており(図-4)、その最大値は季節の需要構成、天候などによって、午前・午後・点灯時と変化する。

時々刻々に変動する需要に対して、水力・火力・原子力他の自社電源、電力会社間の融通電力、公営他の他社受電などの供給力を適正に運用して、需要家に電力を供給する。供給力種別毎の基本的な負荷分担は、

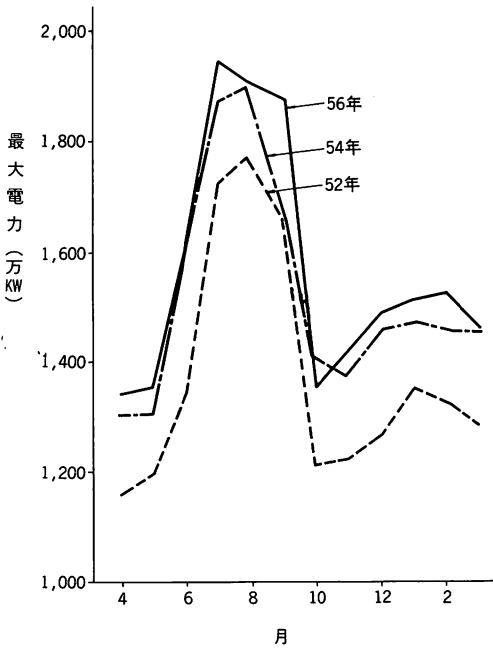


図-3 月別最大電力の推移 (例)

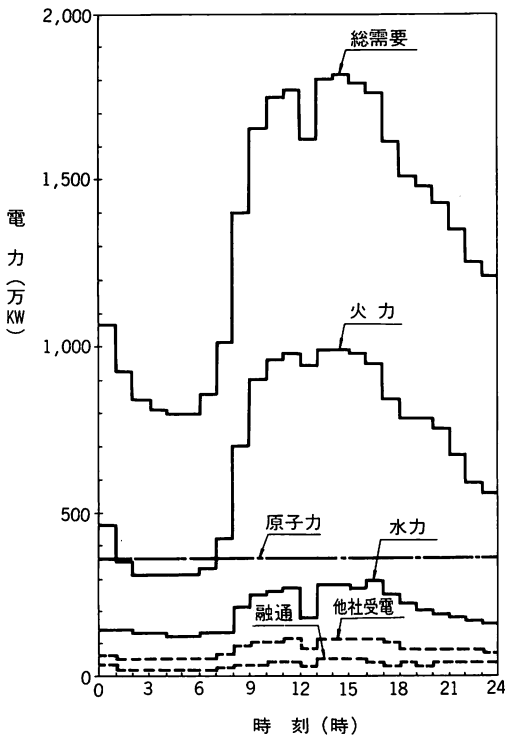


図-4 日負荷曲線 (夏季ピーク時の例)

①自流水力および原子力発電所は負荷のベース部分
 ②火力および調整池式発電所は中間負荷部分③貯水池式、揚水式あるいはガスタービン発電所はピーク負荷をそれぞれ分担する。この他、融通電力、他社受電は

必要に応じて適宜組込まれる。

電源の運用計画は、需給計画として、年間計画、月間計画、週間計画、日間計画の諸計画から成り立っており、それぞれの断面において過去の実績などをもとに、需要動向、出水状況、気象条件などを加味して、以降の負荷予想とそれに基づく供給力計画、作業停止計画などを作成する。この供給力計画では予想負荷に対応した電源を確保することはもちろん、不測の事態、例えば需要予測の狂い、大電源の事故による脱落等に対しても供給力不足の生じないように、数多の予備の発電電力(予備力)を保有するよう計画する。

このように作成された計画にもとづく当日の運用は、一般に周波数制御(AFC)と経済負荷配分制御(ELD)によって行われる。電力の需要と供給の間に差が生ずるとその結果は電力システムの周波数変動および他電力会社との連系線の電力潮流変動となって現われるこの周波数変動と潮流変動を監視して発電機出力を調整することを周波数制御と言う。時々刻々に変動する負荷のうち、数分から10分程度の周期変動までの短周期変動を制御するのが周波数制御であるのに対し、それ以上の長周期変動およびデイリーのサイクルで変動する成分に対して発電調整するのが経済負荷配分制御およびマニュアル調整である。一般に周波数制御および経済負荷配分制御には電子計算機または専用装置が使用されており、その概念図を図-5に示す。

電力需要に対して種類と容量の異なる多数の電源を適正に運用し、総合的に発電効率、エネルギー効率を上げることは、取扱う規模の大きいことから極めて重要である。

2.1 経済負荷配分

電力システムには水・火力の他各種の電源が多数あり、それぞれの発電機は設備容量・効率が異なり、また火力の中にあっても使用する燃料種別・燃料費も異なる。このような発電機を運用上の制約条件のもとで最も経済的になるよう発電機出力を決定することが経済負荷配分である。現在一般的に実用されているのは火力発電機間の負荷配分および水・火力間の負荷配分である。なおこの配分では同一燃料を使用した発電機間においては最小燃料消費の発電機出力となる。以下簡単のために火力機の経済負荷配分を考える。いま各火力発電機*i*の出力を G_i 、燃料費を F_i 、また電力系統の送電損失を P_L 、火力全体で分担すべき負荷を P_R とすると次の定式化ができる。

$$\sum G_i - P_L = P_R \dots\dots\dots \text{需給バランス}$$

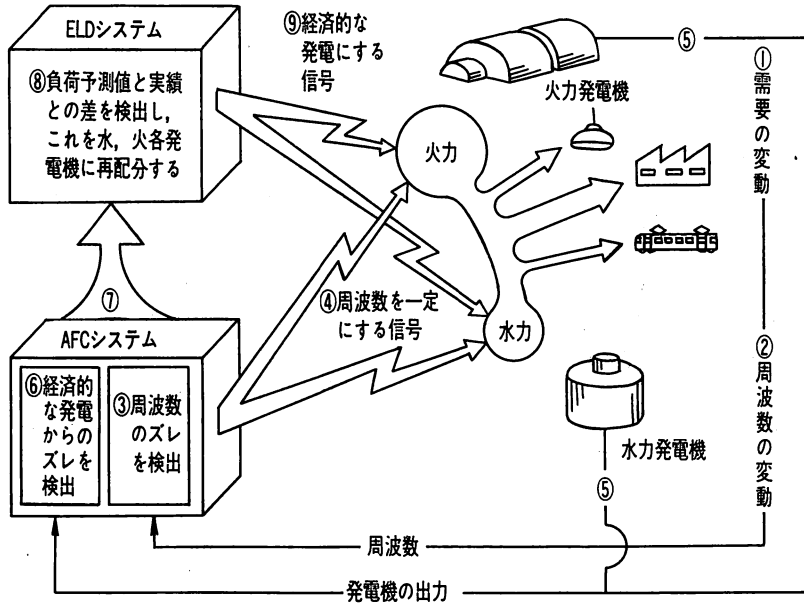


図-5 自動周波数制御と経済負荷配分制御の概念図

$$P_L = P_L(G_1, \dots, G_n) \dots \dots \text{送電損失}$$

$$F_T = \sum F_i(G_i) \dots \dots \text{総燃料費}$$

経済負荷配分の目的は需要と供給力のバランス（需給バランス）の条件下で総燃料費 F_T を最小にすることであり、ラグランジュの未定数法を適用して次のような必要条件が得られる。

$$\frac{dF_1}{dG_1} / \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial G_1} \right) = \frac{dF_2}{dG_2} \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial G_2} \right) = \dots \dots \lambda$$

この結果は、「ある時刻において各発電機の増分燃料費 (dF_i/dG_i) に送電損失によるペナルティ・ファクター $1/(1 - \partial P_L/\partial G_i)$

を乗じた値が全ての発電機について等しくなるとき最も経済的である」ことを示している（図-6）。この式は通常協調方程式と云われ、前述の当日運用の経済負荷配分制御に適用される他、各断面の運用計画策定にも広く用いられる。

近年の電源の多様化に伴う燃料面の運用制約あるいは河川利用、環境規制など社会面の要請などによって経済運転、効率運用への制約が強まり、これらの条件を加えて電子計算機を用いたきめ細かい計画計算と自動制御を行なって効果をあげている。

2.2 発電機の起動停止

電力の需要は昼間と夜間の1日の周期で変化するとともに、平日と休日の周期でも変化する。近年、一般に負荷変更をさせない原子力電源の比率が増大し、負荷変更の容易な水力電源の比率が低下しており、これ

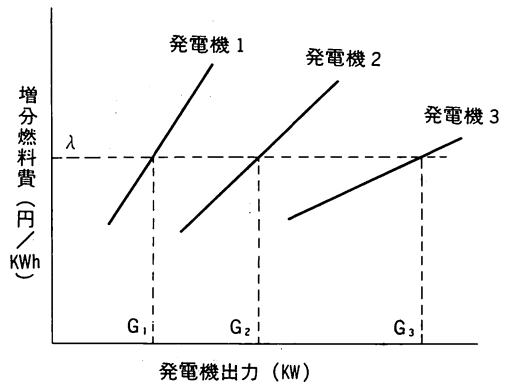


図-6 経済負荷配分の概念

に伴って全体の中に占める比率の最も多い火力電源の負荷追従運転が普通に行なわれ、また起動停止の機会も増加している。需給運用上の火力機の起動停止は、週末の需要減に対応した週末起動停止と、深夜の需要減に対応したデイリー起動停止がある。火力機では水力機に比べ起動停止に要する時間が長く、起動損失を伴うので、起動停止を含む運転計画では発電時の燃料費などの他に起動損失費用を加えた合計費用を最小にするように策定する。一般に起動時には発電コストの安いユニットから、停止時には発電コストの高いユニットから行なわれるが、送電線潮流超過や電圧維持の面から起動停止に制約を受ける場合もある。近年の電源構成の変化と、昼夜の負荷変化の拡大によって、

従来ベース電源であった中容量火力機についても週末停止はもちろんデイリーの起動停止が必要となり、これらのニーズに対応する電源の開発と既設設備の改造が進められ、総合発電効率向上に役立てられつつある。

2.3 揚水式発電所の運用

揚水式発電所は貯水池の規模によって週間から日間程度の範囲で揚水発電に利用され、その運用は通常昼間ピーク発電用電源として利用される。電源を経済的、効率的に運用するための揚水運用は、深夜あるいは週末の軽負荷時におけるベース原子力、あるいは、使用しなければ無効放流してしまう余剰水力を利用して揚水し、ピーク時間帯に発電することであり、これによって昼間帯ピーク時の低能率高価格の火力の運転を抑制することができる。揚水式発電所はこれの他、ピーク時の供給力確保および電源脱落等不測の事態発生時の供給力として利用され、この場合は経済性は無視して実施される。

2.4 経済融通

50Hz系および60Hz系の各電力会社間は連系送電線で結ばれており、各社はこれを用いて必要に応じて電力の授受するのが電力融通である。電力融通の内でデイリーの運用に活用されるのが随時融通で、この中には電力系統事故時など不測の事態に対応して行なわれる需給安定のための融通と、運転費の節減を目的とした経済融通がある。経済融通にも幾つかの種類があるが、①ある会社で高運転費の火力が稼動し、他社では低運転費の火力が遊んでいる場合、これを入れ替えて運転費を節減する。②異常豊水などにより深夜軽負荷時に水力発電所を停止して無効放流する場合に、もし他社に火力発電所出力を抑制したり貯水池に貯留する余地があれば融通送電する。などの方法が一般に行なわれる。

2.5 貯水池式・調整池式発電所の運用

貯水池式発電所は一般に河川の最上流の発電所として建設され、大きな貯水容量を有するので、これによってピーク電力を供給するとともに全系の総燃料費、燃料使用量が最小となるよう運用する。すなわち、豊水期の貯水を渇水期に利用し、水系として溢水させない範囲で高水位運用による発電効率（電水比）の向上をはかり、また需要の大きいときに貯水池を使用することにより低能率火力の運転を抑制し、燃料費の節減をはかる。

調整池式発電所は普通デイリーのピーク電源として利用され、これも溢水を生じない範囲でできるだけ高

水位運転を維持し、発電効率の向上をはかる。

3. 送電電損失の軽減

発電した電力は500kV以下の大規模送電網を通じて需要点に送られており、各設備各々で実施される効率運転とともに全系レベルでの効率運用がはかられる。

(1) 電圧無効電力の運用

日常の電圧・無効電力調整の目的は、時々刻々の負荷変動に対応して変化する電力系統各部の電圧を適正に維持し、需要家電圧の維持と系統の安定運転をはかるとともに送電損失を最小にすることである。電圧・無効電力の調整には、各発電所の変圧器負荷時タップ切替器（LRT）、発電機の励磁電流、電力用リアクトルおよびコンデンサ（調相設備）が使用される。

3.1 電圧・無効電力の運転方式

電圧・無効電力の運転方式には大略、個別制御方式と総合制御方式があり、さらにその中間的なローカル協調制御方式も適用されている。

個別制御は、発電所の自動電圧調整または自動無効電力調整、変電所のLRT自動電圧調整または調相設備のスケジュール運転などにより電力系統各所の電圧あるいは線路無効潮流を定められた目標値に保つよう各発電所単位で制御するものである。各所の運転電圧等は機器の運転限界、系統の無効電力の適正化も考慮して事前に計算・検討の上運転基準値としてあたえられ、実際の運転では状況の変化に応じて発電機の力率調整、並列送電線の一部停止なども含めて種々の対応策がとられている。

これに対して総合制御は、発電所を含む広範囲の系統を一括して協調制御する方式であり、系統内の制御量、たとえば変電所の2次電圧、連系線の無効電力などを、各所の調相設備、発電機、LRTなどを自動制御し、広範囲な系統の適正運用と、調相設備の有効利用をはかるものである。ただしこのためには相当量の情報伝送設備の他、制御用の計算機を必要とする。

個別制御方式では事前のオフライン検討時に、総合制御方式では自動制御の目的函数の一つとして送電損失軽減策がとられる。

3.2 系統運転電圧の上昇

送電系統、特に架空送電系統では、同一電圧階級内で可能な限り運転電圧を上昇させることが送電損失軽減に有効である。即ち送電電力が同一であれば電圧を上昇することによって電流を減少させ、電流の2乗に

比例する抵抗損失を減らすことができる。

一般に、電力系統では負荷側に対して電源側の電圧が高く、運転電圧の上限は電源側の電圧によって制限される。特に近年の500kV導入によって275kV以下の系統が分割されて部分系統となり、しかも長距離送電線を有しない系統などでは運転電圧を上昇させて送電損失軽減をはかることができる場合がある。なお、これの実施にあたっては、各所の電圧・無効電力バランス、安定度限界の他、損失増となる機器も含めた充分の事前検討が行なわれる。

3.3 変圧器の経済運転

変圧器損失には鉄損などの無負荷損と負荷電流による銅損などの負荷損がある。超高圧変電所あるいは配電用変電所において並列運転している主要変圧器がある場合、通過電力の少い季節あるいは時間帯においては並列台数を減少させることによって無負荷損を減らしてロス軽減をはかることができる。なおこれの実施にあたっては、停止することによって無負荷損は減少するが、残存変圧器の負荷損は増大するので全体としての損失軽減効果を適正に評価することが必要である他、変圧器事故時の過負荷対応策などについても充分の検討が行なはれる。

4. 省エネルギー技術の研究開発

省エネルギーに関する研究開発は既に各部門で巾広く行なわれており、当社研究部門に関するものを主にして幾つかあげると次のとおりである。

発電部門では、電気エネルギーへの変換効率を高めるものとしての燃料電池の開発が進められており、熱の利用を含めると飛躍的効率の向上が期待される。

送電部門では、架空送電として500kV低インダクタンス送電線、地中送電として275kV低損失絶縁紙電力ケーブルの研究開発によって、省資源と損失低減が

はかれる。

変電部門では、変圧器可変速冷却装置によって補機損失の低減をはかる一方、変圧器の発熱を暖冷房に利用する技術開発も進められている。さらに蒸発冷却式ガス絶縁変圧器の研究開発によって省資源効果も期待される。

新型電池電力貯蔵システムの研究開発は、国のムーンライト計画として進められており、当社もその一部を受託し研究を進めているが、これによれば揚水式発電所と同様に負荷の平滑化（ロード・レベリング）による省エネルギー効果が期待できる。

これらの研究開発の中で幾つかは、フィールド・テストあるいは実用化の域にあり、省資源と省エネルギーに効果を発揮できよう。

5. むすび

電力系統運用上の効率化、省エネルギー策としてこれらの他に

- 電力系統の接続切替可能な発電機・負荷を適正に接続構成することによる送電損失の節減
- 発電所の補機類の効率運用による所内電力の節減
- 停電工事期間の協調、短縮による溢水電力の節減など、各分野できめ細かい対応がとられる。

電力系統運用では周期をもって大巾に変化する電力需要に対し、広い地域に分布する各種設備の特性を活用し、設備・気象その他の異常時にも安定して電力を供給するため、高信頼度を第一義に、その中で積極的な省エネルギー策を進めている。効率化、省エネルギー化推進にあたっては、個々の省エネルギー量が小さいものであっても、設備および取扱うエネルギーが膨大であるため、地道で継続した実施により省エネルギー量として大きなものが期待できる。

