

最新の需給制御システム

—コストミニマムと地球に優しい制御を目指して—

Latest Energy Management Systems

中山徳之 Tokuyuki Nakayama
野本正明 Masaaki Nomoto

原田泰志 Yasushi Harada
鶴貝満男 Mitsuo Tsurugai



(a) 中央給電指令所の指令室



(b) 基準出力指令装置

関西電力株式会社中央給電指令所の指令室

関西電力株式会社中央給電指令所は、管内の500 kV、275 kVの基幹系電力系統、変電所、および発電所を対象に、電力の需給バランスの調整、周波数の維持、および系統監視を実施している。最大電力は、1996年8月2日時の32,230 MWである。

近年、わが国の電力会社を取り巻く状況は一変し、非常に厳しい環境になっている。要因として、(1) 規制緩和に伴うIPP(独立発電業者)の参入、(2) 地球規模の環境問題、特に温暖化の原因となるCO₂規制、(3) 電力料金の問題などがあげられる。

このような状況の下で、電力会社に対しては、従来の電力の安定供給だけでなく、いっそうの高効率経営が求められている。

日立製作所は、1993年から、関西電力株式会社中央給

電指令所計算制御システムを段階的に更新中であり、その主要機能の一つである火力発電所の経済運用を目的とするELD(Economic Load Dispatching: 経済負荷配分)の一部運用を1997年7月に開始した。このELDは、発電所プラントの動特性を考慮した燃料消費特性モデルと最適化計算手法の組合せにより、従来の経済運用をより向上させ、燃料費最小化を実現し、NO_x、SO_xおよびCO₂低減にも貢献するものである。

1. はじめに

近年、電力会社に対して、従来の電気を品質よく安定的に供給することに加えて、より低廉に供給することが求められている。

このような状況の下で、電力会社の電力系統運用の中核を成す中央給電指令所には、従来にも増して電源の高効率運用が求められている。

ここでは、日立製作所が、1993年から段階的にシステム更新中である関西電力株式会社中央給電指令所納め計算制御システム(表1参照)での需給計画作成から、オンライン発電機出力制御[ELD(Economic Load Dispatching: 経済負荷配分)]までの需給制御について述べる。

2. 需給制御に求められる要件

1日の電気の使用量である総需要の変化を図1に示す。総需要は一定ではなく、朝5時ころから急速に立ち上がり、昼休みはやや落ち込み、その後は深夜に向かって徐々に下がっていくというように、われわれの日常生活に密接に関係して変化する。当然、変化の割合は、季節、曜日、天候、および社会的イベントなどによって異なる。このような特徴を持つ総需要に対して、電気は貯蔵が困難であるため、需給制御としては、時々刻々と変化する総需要に的確に追従し、かつ、経済的に発電することが必要となる。

需給計画作成からオンラインELDまでの需給制御全般の流れを図2に示す。

(1) 需要想定

過去の総需要実績と気温・天候などの予想から、週

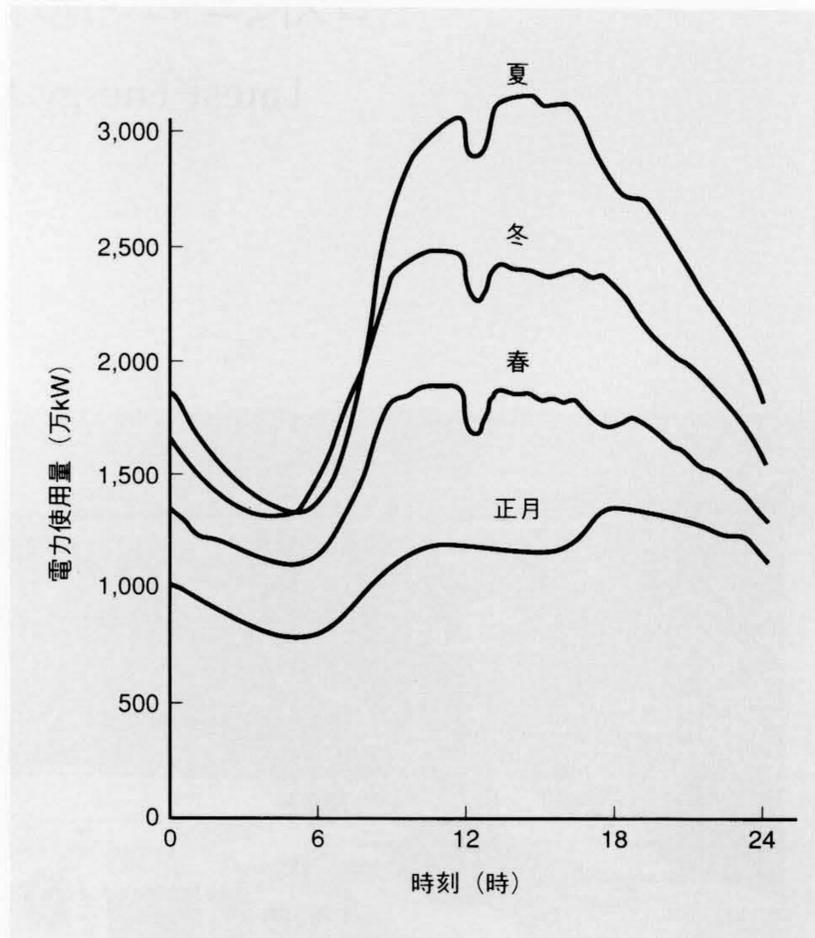


図1 季節別の1日の総需要の変化

季節別では、春に比べて、夏と冬に需要が多い。また、1日の時間帯では、深夜に比べて、昼間は2倍近い需要となっている。

間・1日単位の総需要を予想する。予想需要は需給制御の最も基本となるデータであり、高い精度が要求される。

(2) 発電所運用計画

予想需要に対して、状況に合わせた適正な予備力を確保し、原子力や貯水池式を含む水力電源を有効活用し、週間・1日単位の経済的な火力発電所と揚水発電所の起動・停止スケジュールを立案する。発電所の運転制約、燃料基地の消費制約や揚水発電所の池水位制約の各種運

表1 関西電力株式会社中央給電指令所納め計算制御システムの概要

大規模オープン分散型システムとして、第1期と第2期に分け、段階的に開発した。

機能増強期	制御系	系統監視	数値上下限チェック, 状態処理, 加工計算, アラーム・イベント処理ほか
		第1期機能増強 (平成7年6月)	オンライン監視制御系
		状態推定	重み付き最小二乗法とデータ検定
		潮流制御支援	10時間先までの系統状態予測と想定事故計算実施, 系統信頼度とコストのトレードオフ計算
	オフライン計画支援系	需要想定支援	統計的手法により, 平均予測精度の向上と大はずれの防止
		作業停電調整支援(1期)	線表作成, 潮流計算による系統信頼度チェック, 停電不可能設備の提示
		系統運用関係情報システム	支店, 電力所および自治体への情報提供機能の強化
第2期機能増強 (~平成10年6月)	オンライン監視制御系	新需給制御(ELD)	発電機の動特性を考慮, 将来時点での負荷追従能力を満足する最経済な配分計算実施
		電圧・安定度監視	2時間先までの系統状態予測と電圧違反チェック, 電圧違反時に感度係数により, 調相設備および変圧器タップを操作する電圧対策を立案, P-V(有効電力-電圧)カーブ表示, 安定限界潮流の算出
		事故復旧支援	需給バランスを考慮した復旧方針の立案, 事故模擬学習機能
	オフライン計画支援系	発電所運用計画支援	ダイナミックプログラミングによる最経済な発電機起動・停止計画の立案, タブサーチ法を用いた火力ユニット並列時刻の立案
		作業停電調整支援(2期)	自動スケジューリングによる作業実施時期の調整

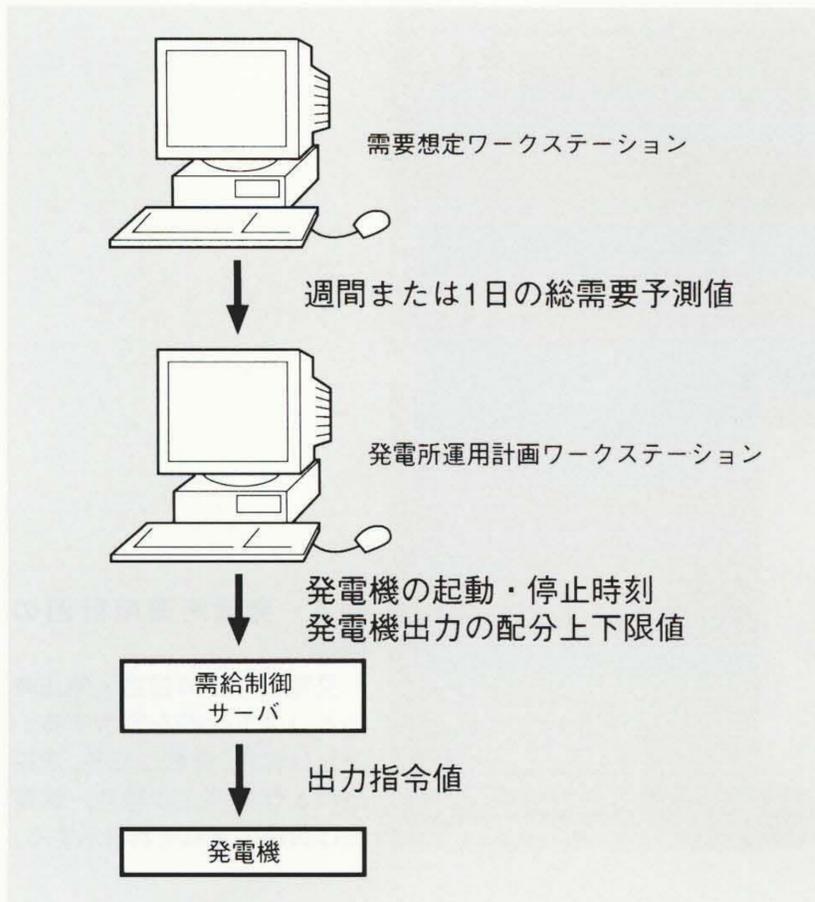


図2 需給制御全般の流れ

過去の需要実績や、天候・温度・景気などの最新情報を分析した結果から翌日の需要を予測し、それに合わせて発電所を効率的に運用する起動・停止計画を立案する。

用制約を考慮のうえ、発電所の運用費用(火力発電機の起動費+燃料費、揚水費用)を最小に抑える必要がある。

(3) ELD(経済負荷配分)

適切な制御余裕量を確保し、朝の立上りや昼休みの急

激な需要変化に追従する、経済的な発電機出力配分をリアルタイムで算出する。発電機の出力上下限、変化速度や送電線の運用限度などの制約条件を考慮のうえ、燃料費を最小に抑える必要がある。

関西電力株式会社中央給電指令所納め計算制御システムでは、これらの要件を満足するものとして、条件検索法による予測手法を追加した需要想定支援、最適計算手法であるDP(Dynamic Programming)法、およびタブサーチ法を用いた発電所運用計画支援も合わせて開発している。需要想定支援と発電所運用計画支援の代表画面を図3、図4にそれぞれ示す。

3. オンライン発電機出力制御(ELD)

3.1 従来の技術とその問題点

各火力発電機の燃料費が発電機出力の二次関数に従うことを前提に、系統全体の燃料費を最小とする出力配分を定周期(関西電力株式会社では3分周期)で等λ法で求めていた。しかし、実際の燃料特性は、厳密には二次関数には従わず、むしろ二次関数に対して発電プラントの動特性が重畳した特性に従う。そのため、特に発電機出力の変動が大きいとき、二次関数で算出される燃料費と実際の燃料費との間に大きな偏差が生じる。この場合、従来のELDでは、必ずしも燃料費最小の発電機出力配分を求められない。実際の燃料特性と二次関数モデルを図5に示す。

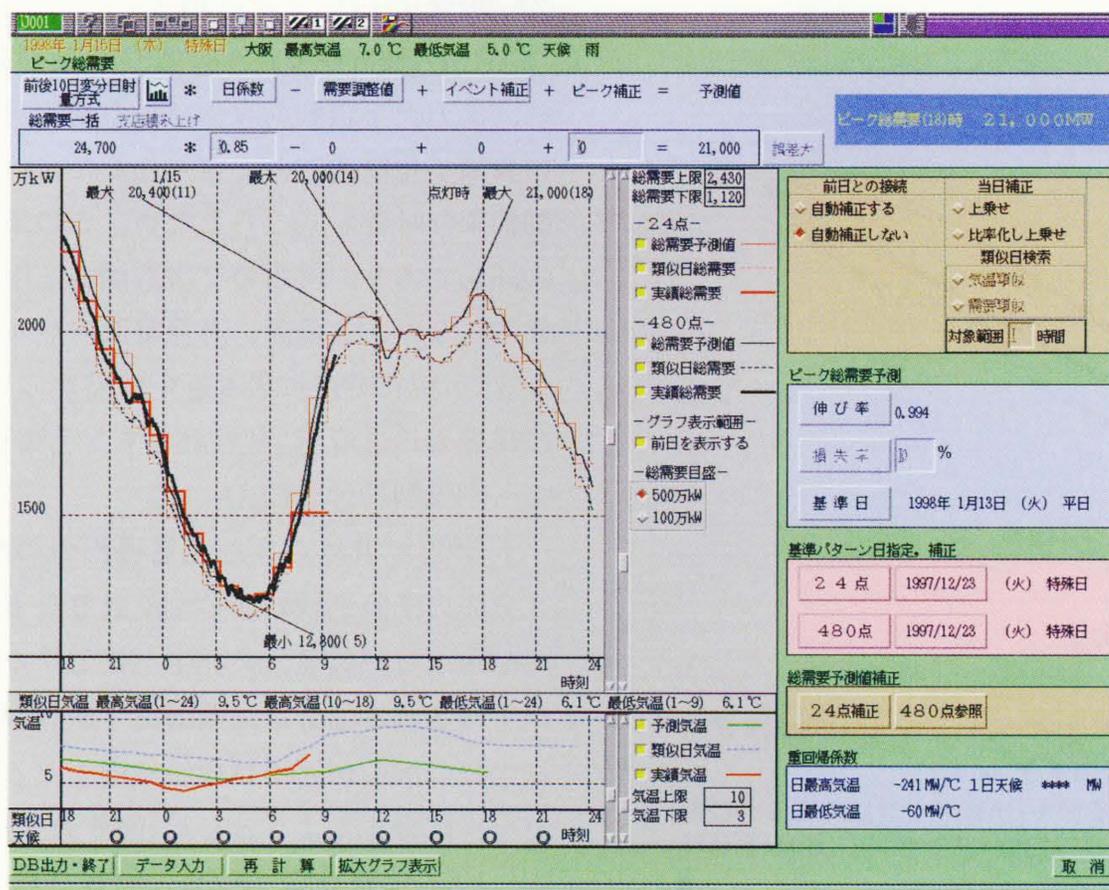


図3 需要想定画面

予想に使用した各種パラメータと予想総需要・気温を表示する。当日になると、実績が表示され、比較ができる。

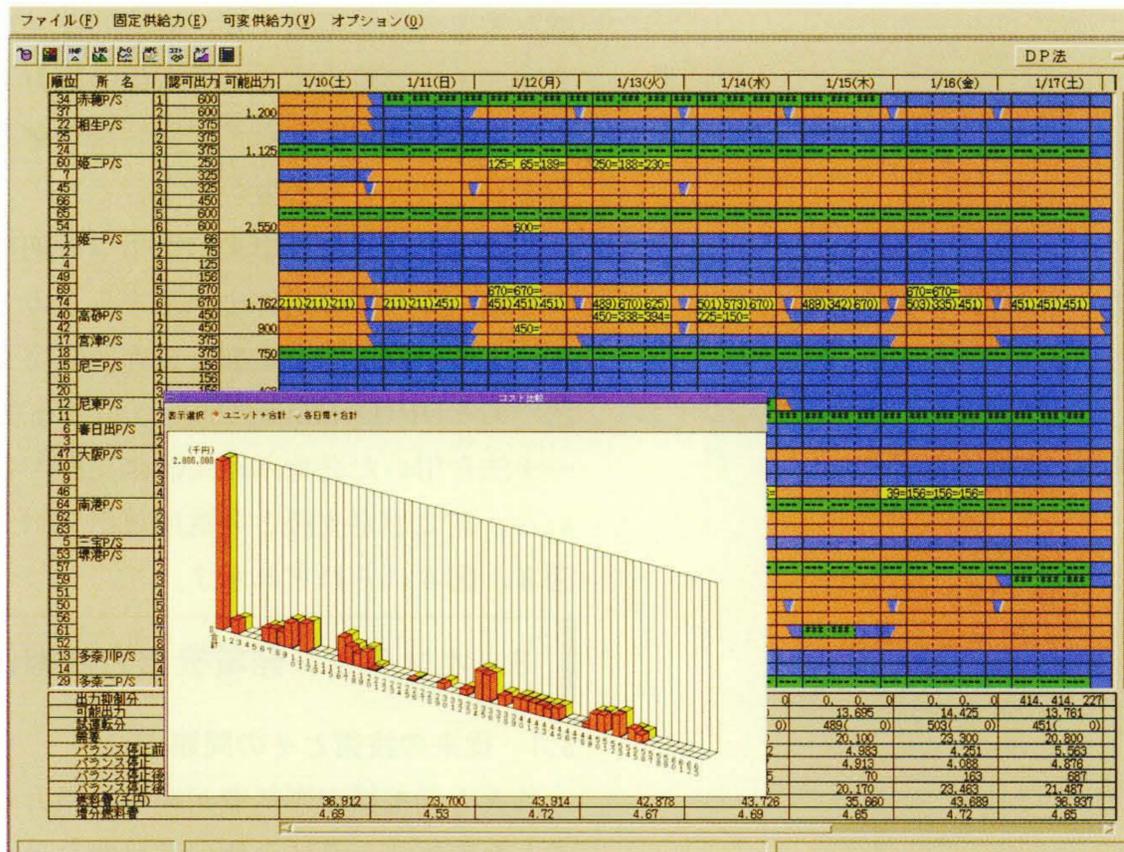


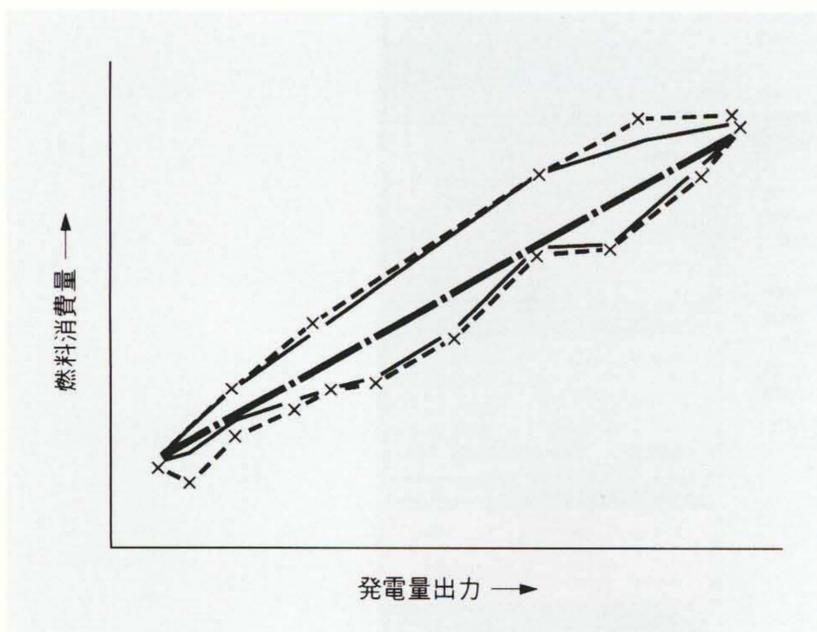
図4 発電所運用計画の画面

発電機ごとの起動・停止時刻とコスト比較を表示する。停止は青色、運転は赤色、定期点検と作業停止は緑色、試運転は黄色でそれぞれ表示する。

また、常に3分先の総需要予想に対する発電機出力の配分値を求めるため、総需要の変化が急峻(しゅん)となる朝の立上りや昼休み時間帯での供給力や変化速度が考慮されず、その部分での追従性が十分ではなかった。

3.2 今回開発した技術とその効果

以下に示す技術により、燃料費を年間で数億円相当節減し、かつ朝の立上りや昼休み時間帯のような総需要の変化が急峻な部分での供給力や変化速度を確保することができるようになった。



注：--x--(実績値)，——(従来近似モデル)，——(新近似モデル)

図5 発電機の燃料特性と近似モデル

従来の近似モデル(2次関数モデル)が単純な直線であるのに対し、実績値は右回りの曲線である。新しい近似モデル(ARMA動特性モデル)の精度がよいことがわかる。

(1) 発電プラントの動特性を考慮した燃料消費特性モデル

発電機の実績データの分析によると、ボイラ制御系により、ある時点での燃料特性が、その前後の時点の燃料費と関連を持つため、モデルの精度、安定性やELDでの計算時間を考慮して、定係数線形デジタルフィルタであるARMA(Auto-Regressive Moving Average:自己回帰移動平均)モデルを適用し、動特性を考慮したELD配分モデル作成手法を開発した。

(2) 最適化手法(2次計画法)

ARMA動特性モデルに基づくELDを、需給バランス制約、出力上下限制約および出力変化速度制約の下での燃料費最小化問題として定式化した。目的関数は二次関数、制約条件は線形式であるため、この最適化問題は2次計画問題であり、汎用の2次計画法を用いて解くことができる。なお、この際、計算時間の点から、3分先と特徴点5点(現在時点に最も近い総需要のピーク、ボトムおよび総需要最急変点)を対象とする手法を開発した。

(3) 潮流制約付きELD

上記(2)で求められた発電機出力の配分値を使用して3分先の予想系統断面の潮流計算を実施し、送電線の潮流が運用目標値違反の発生を確認する。運用目標値違反が予測される場合は、最適化手法(線形計画法)により、送電線の潮流が運用目標値以内となるように、発電機出力を再配分するようにした(図6参照)。

(4) LNG消費計画、NOx・SOx日量規制の反映

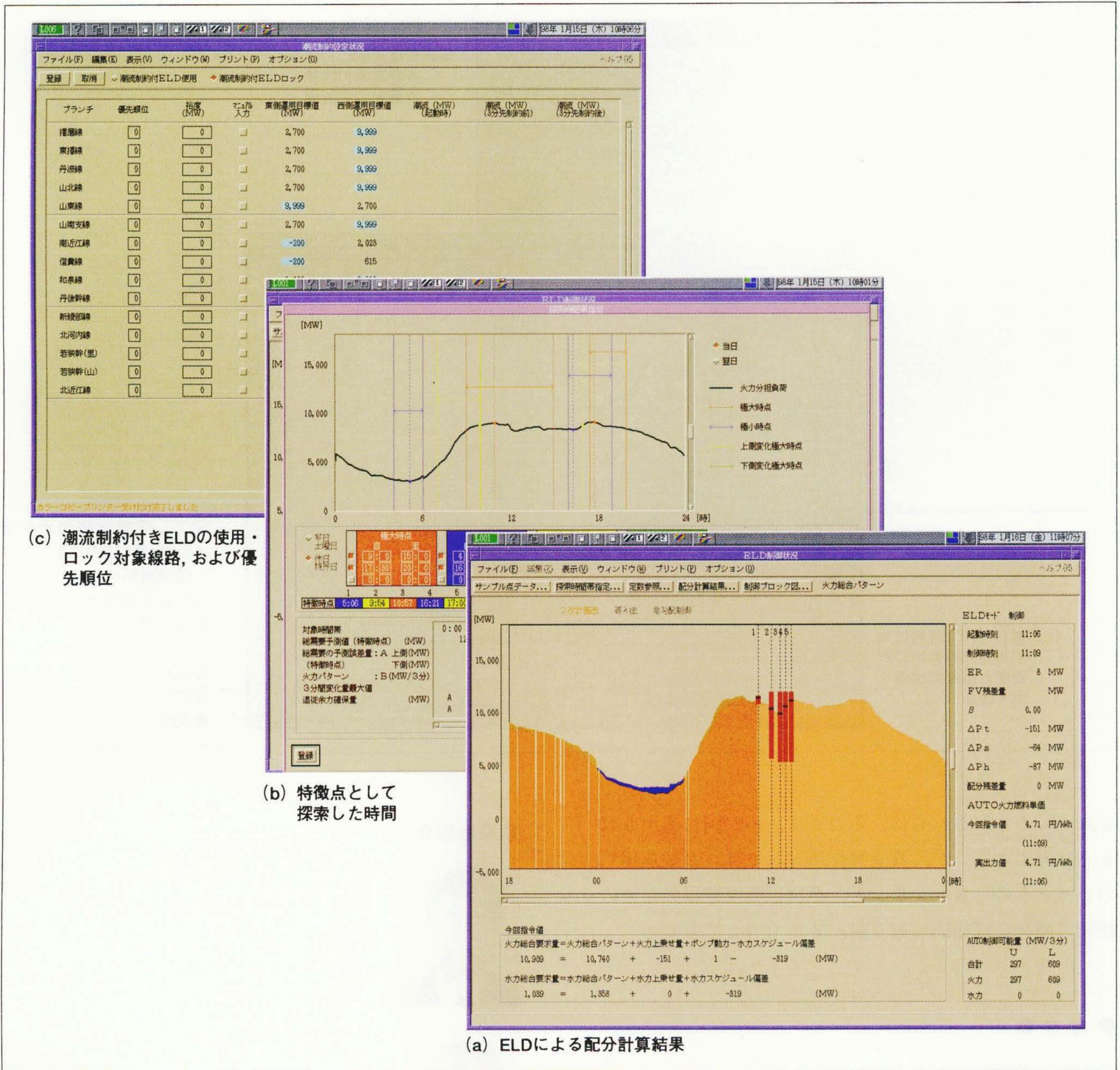


図6 需給制御のオンライン画面(その1)

3分周期で起動されるELDの配分計算結果を総括的に表示する画面(a)、配分計算の過程で将来時点の総需要から探索された特徴点(総需要のピーク、ボトム)を表示する画面(b)、送電線の運用目標値違反が予想される場合に、それを対策する潮流制約付きELDの条件を設定する画面(c)をそれぞれ運用者に提供する。

LNG(液化天然ガス)については、タンカーの入船に合わせてLNGタンク内の燃料を消費しておかなければならないため、1日単位の必要消費量を発電機出力上下限に反映させ、必ずその日のうちに消費するようにした。NOx・SOxの日量規制についても、発電機出力上下限に反映するようにした(図7参照)。

4. おわりに

ここでは、関西電力株式会社の中央給電指令所に納めた計算制御システムによる需給制御について述べた。

このシステムは、すでに1997年7月から実運用に入っており、実運用での燃料費低減効果についてのデータ蓄積・分析を行っていく。また欧米諸国では、電力供給の規制緩和がさらに進み、競争環境、市場原理の導入が図



図7 需給制御のオンライン画面(その2)
 環境規制(NOx, SOx)に対する各発電機の実績と残量を表示する画面(a), タンカーの入船に合わせたタンクの燃料(LNG)規制に対する各燃料基地の計画値と消費実績値を表示する画面(b)をそれぞれ運用者に提供する。

られつつある。これらは、そのまま、わが国に適用されるには考えにくいですが、日立製作所としては、系統運用でのいっそうのコストダウンと、系統信頼度確保のための技術の開発に積極的に取り組んでいく考えである。

参考文献

- 1) 吉川, 外: 発電所プラント動特性を考慮した経済負荷配分法, 電気学会論文誌-B, 117-B, 1231~1237(平9-9)
- 2) 吉川, 外: 系統運用高度化を実現するインテリジェント中央給電指令所システム, 日立評論, 78, 2, 151~156(平8-2)

執筆者紹介



中山徳之
 1966年関西電力株式会社入社, 電力システム室, 中央給電所設備工事所長
 現在, 中央給電所設備の設計・施行に従事



野本正明
 1984年日立製作所入社, 大みか工場 電力システム設計部所属
 現在, 電力系統監視制御システムの開発に従事
 電気学会会員



原田泰志
 1988年日立製作所入社, 大みか工場 電力システム設計部所属
 現在, 電力系統監視制御システムの開発に従事
 電気学会会員



鶴貝満男
 1993年日立製作所入社, 大みか工場 電力システム設計部所属
 現在, 電力系統監視制御システムの開発に従事
 電気学会会員