1 解説

原子力発電所の負荷追従運転

(京都大学原研)若林 二郎, (東京電力)森 寿久, (勝東芝)住田 侑,
(四国電力)石井 一典, (動燃事業団)川太徳夫, 飯島 隆

原子力発電所の運転形態を従来の基底負荷運転から負荷追従運転も含んだ形に拡大していく必要が高まりつつある。電力系統の負荷は季節変化、日変化、さらにより小さな時間スケールの変動成分よりなる複雑な変化を示し、それに対応して原子力発電所を運転するには新しい制御方策の導入と複数種の制御手段の有機的な統合利用が必要となる。

本稿では、現在盛んに開発が進められているこの種技術の実情について、BWR, PWR, ATR の各炉型ごとに要約して紹介する。

I. はじめに

電力系統に占める原子力発電の割合は今後も増大を続け、電力会社によっては近い将来に設備容量で約40%、発電電力で約70%に達すると考えられる。したがって、原子力発電所がいつでも基底負荷運転を続けることは、系統周波数の制御や給電調整の観点から困難となる。このため数年前から電力会社とメーカーの協力により、原子力発電所の負荷追従運転について技術開発や実証試験が進められている。これらの開発の成果と技術の現状について、実証試験の結果も含めて以下に紹介する。

II. 技術的課題

電力系統の負荷は、季節的、時間的、瞬時的に絶えず変動しており、この負荷変動が系統周波数や潮流に変化をもたらす。一方、電力系統は、周波数変化0.1 Hz以下、積算誤差 ± 3 s以下程度を目標に運用されているので、発電所の負荷追従運転は系統制御上重要な問題となっている。負荷変動のうち季節的および時間的变化は第1図のような傾向を持ち、これは過去のデータ

第1図 日負荷曲線および季節的負荷変動の例

から数%の精度で予測できるので、これを日、週、月、年等の需給計画に取り入れて系統内の各発電所の経済負荷配分を決めている。しかしながら、瞬時的な負荷変化は前もって予測することが困難なため、系統運用のなかで対応する必要がある。

負荷変動量と変動周期の関係を概念的に示すと第2図の太線のようになり、制御方式により通常A, B, Cの3領域に分けられている。図中で T_1 , T_2 , P_1 , P_2 は系統の性質に依存するもので、およその目安値はそれぞれ数min, 10数min, 約2%, 約4~5%と考えられる。ここで領域Aは主として経済負荷配分を中心とした需給計画で処理されるが、自動周波数制御(Automatic Frequency Control; AFC)運転も一部これに関与している。領域Bは系統内のAFC発電所によって制御されるが、急激かつ大幅な負荷変動に対しては発電機の出力行が十分追従できないため3~10 min後の系統負荷を予測して制御する予測制御も併用されてい

第2図 負荷変動量と変動周期との関係

Load Following Operation of Nuclear Power Plants, Jiro WAKABAYASHI, Toshihisa MORI, Susumu SUMIDA, Kazunori ISHII, Norio KAWATA, Takashi IJIMA.

(1986年 7月11日 受理)

追従のように時間オーダの緩やかな出力変化を手動で調整することは運転員にとってかなりの負担となる。そこで、これを軽減するとともに、よりきめ細かい出力制御を行うべく出力調整装置が開発され、福島第一原子力発電所3, 5号機に設置されている。これによる出力制御方法は第3図のようにになっている。

一方、日負荷追従運転の解析については、計算機シミュレーションにより炉心動特性評価の検討が進められてきた⁽¹⁾。BWRで日負荷追従運転を行う場合、原子力固有の特徴である出力変更時のXe反応度特性を補償しつつ炉出力および炉心流量が適切に制御されることや、炉心軸方向出力分布が燃料のならし運転された出力包絡曲線内に維持されることが主要な着目点となる。これらの着目点を経済的に評価するために、主要な炉心特性パラメータである炉出力、炉心流量、Xe反応度、出力分布、燃料最大線出力密度などの動特性を評価できる、簡便な炉心軸方向1次元Xe過渡解析コードを開発した。このコードは、炉出力または炉心流量の一方を与え、他方を予測するだけでなく、簡易手法により局所的な出力分布の変動も予測できる特徴を持っている。

次に、実プラントでの試験については、従来国内での負荷追従運転の経験がなかったため、現状の燃料および炉心で実施可能な範囲を解析コードで確認しつつ段階的に実証試験を行い実用化を進めている⁽²⁾⁽³⁾。

第4図に、国内での実機運転実績を示すとともに、これら一連の実証試験のうち出力変更幅および出力変

第4図 日負荷追従運転の国内運転実績 (BWR)

化速度の最も大きい場合について、発電機出力と炉心流量の解析値と実測値とを比較して示す。これらは良く一致しており良好な負荷追従特性を示している。

また、このときの出力分布の実測値と解析値との比較を第5図に示すが、これについても良く一致していることがわかる⁽⁴⁾。

第5図 炉心平均軸方向の出力分布 (BWR)

さらに本格的な負荷追従運転に対応するために、すでに実用化された高性能燃料(Zrライナー燃料)を装荷することにより、制御棒操作も併用した大幅で自由な負荷追従運転が可能となる。つまり高性能燃料は高い線出力密度まで燃料健全性の低下はみられず、従来燃料に比べて良好な出力急昇性能をもっていることが試験で確認されており、大幅な負荷追従運転に耐えられるものである⁽⁵⁾。

高性能燃料の採用については、1987年度頃より導入することが計画され、1990年度頃には炉心の大半が高性能燃料となるプラントもあるので、負荷追従のための実証試験として100% ↔ 50% 定格出力変化が可能と考えられる。

2. AFC 運転

安定な電力システムの周波数を維持するには、AFC運転が必要であるため、まずBWRのAFC運転の制御方法について説明する。

AFC 信号は中央給電指令所で作成され、通信回線を経由して各発電所のそれぞれのユニットの出力制御装置に伝送され、出力要求信号となる。典型的な AFC 信号は、標準周波数発信器(50 Hz)と系統周波数の偏差が ± 0.06 Hz 以上で発信、 ± 0.02 Hz 以下でリセットされ、その大きさは周波数偏差に比例するように作成されるが、このほかに系統周波数偏差にしきい値を設けない方式もある。

出力変化特性については、前節で述べた日負荷追従運転が時間オーダの比較的緩やかな出力変更であるのに対し、AFC 運転は出力変化幅が約 $\pm 5\%$ 定格と小幅であるが、分オーダの周期であることが特徴である。このような比較的高速の出力変化は、BWR の最も得意とするものであり、その手段として再循環流量制御により炉心全体の平均出力を容易かつ迅速に制御できることにある。

BWR の AFC 対応運転性能を調べるため、80 万 kWe プラントで AFC 運転を模擬した試験を実施しているが、その結果を第 6 図に示す⁽⁶⁾。AFC 模擬信号として再循環制御系にステップ状の上げ/下げ要求を繰返し入力してプラントの応答特性データを得た。

第 6 図 AFC 運転を模擬した試験結果 (BWR)

この実機応答から自己回帰法を用いてプラント動特性を同定し、AFC 信号に対する発電機出力の応答解析した結果を第 7 図に示す。発電機出力の追従特性に若干の遅れはあるものの良好な AFC 運転が可能であることがわかる。

BWR の AFC 運転の出力領域は通常 $65 \sim 100\%$ 定格出力の範囲としているが、これは高出力領域では中性子束変化の応答に着目し、低出力領域では炉心の核熱水力学的安定性を考慮して決められるものである。

AFC 運転の周期については従来、火力などに対し $2 \sim 15$ min であったが、1985 年代後半の系統運用面

第 7 図 AFC 信号に対する発電機出力
応答の解析結果 (BWR)

から見た原子力プラントへの要求は、高品質の電力供給の必要性から AFC 運転に対して $10 \text{ s} \sim 5 \text{ min}$ の変動周期に対応することを求められており、新たな課題となっている。このような短周期への AFC 能力の拡張については、1985 年度より始まった負荷追従共同研究(電力共研)の中で、実機での予備試験でプラントの応答性を調査することになっている。

3. GF 運転

電力系統の短周期の周波数変動により、発電所のタービンガバナ信号のゆれを生じるが、この信号で直接、タービン蒸気加減弁を制御する方式を火力プラント等では、GF 運転と呼んでいる。この運転モードの周期は、従来 $20 \text{ s} \sim 2 \text{ min}$ 程度とされており、BWR では再循環流量制御により迅速に出力制御することで十分に対応可能と考えていた。しかし、前節で説明したように、最近の系統運用面から AFC 運転が短周期まで期待され、これに合わせて GF 運転は $2 \sim 10 \text{ s}$ 程度までのより短い周期に対応する方向である。

このような高周波の系統外乱に対しては火力プラントのようにタービン蒸気加減弁を直接制御し、比較的周期の長い数 10 s の系統外乱は再循環流量制御により原子炉出力を制御する方式の 1 例として、第 8 図の制御系ブロック図が考えられている⁽⁷⁾。つまり、高周波成分に対しては火力プラントのような GF 運転となるが、負荷要求幅が $1 \sim 2\%$ 定格出力程度の小幅である

第 8 図 BWR の GF 制御系ブロック図(例)

ため、原子炉の保有蒸気量を利用しても圧力外乱は小さく、しかもタービン蒸気を迅速に制御することが可能となる。第9図に、従来方式と改良制御方式をおのおの用いた場合のタービン蒸気流量の周波数特性を比較して示す。GF運転として注目する周波数帯では、ゲイン低下も少なく位相遅れも約30度以下であり、従来と比べて非常に改善されている。

第10図に、実際の系統周波数の変動に対するプラント主要変数の応答の解析結果を示す。従来方式と比べて負荷要求信号のフリンジ成分に対しても発電機出力が良好に追従していることがわかる。

第9図 BWRプラント応答性の比較(蒸気流量)

第10図 GF運転を模擬した解析結果の比較(BWR)

4. まとめ

BWRの負荷追従運転についてまとめると、以下のようになる。

- (1) BWRは再循環流量制御により簡便で迅速かつ安定な出力制御が可能である。
- (2) 日負荷追従運転は、実機実績にも示す通り、95↔75%出力、14-1-8-1* hパターンの運転ができる。高性能燃料を採用すればさらに大幅で自由な出力制御(例えば100↔50%出力)が可能となる。
- (3) AFC運転は原子炉系の高速出力制御能力(最大30%/min)で容易に対応可能であり、実機模擬試験の実績例がある。
- (4) GF運転についても可能であることを解析で確認した。

以上のように、BWRは実機運転実績等により、現状のプラントでも良好な負荷追従性能があることを確認しているが、今後、高性能燃料の採用や制御系の一部を改良することにより、さらに改善できることがわかった。また、改良型BWR(ABWR)では再循環ポンプに小型のインターナルポンプを採用し、その駆動電源もサイリスタ電源としているため、現状のプラントより負荷追従特性がさらに改善されると期待されている。

負荷追従運転の本格的運用開始時期は、需給動向や系統運用状況等の種々の要因で決まるが、現在も電力共同研究等を行なって着実に準備を進めており、実証

* 高出力14h, 低出力8h, 出力変更それぞれ1hを配分した運転方式を指す。後出の12-3-6-3についても意味は同じ。

試験などの実施可能なことから順次、段階的に進めてゆく予定である。

Ⅳ. PWR の負荷追従運転⁽⁸⁾⁽⁹⁾

1. PWR の制御方式と制御能力

PWR プラントの制御方式はタービン負荷変化に原

子炉出力を追従させる方式であり、原子炉の出力制御は基本的には制御棒の位置を調整して反応度を制御することにより行い、負荷変動に伴って生じるXeの変化、あるいは燃焼の進展等に伴う比較的緩やかな反応度の変化は、1次冷却材中のホウ素濃度を手動調整することにより調整する方式としている(第11図)。

第11図 PWRの制御系系統図

原子炉は15~100%の負荷範囲において下記の負荷変動に対して原子炉トリップすることなく自動的に負荷追従することを標準設計としている。

- (1) $\pm 10\%$ のステップ状負荷変動
- (2) $\pm 5\%/min$ のランプ状負荷変動
- (3) タービンバイパス制御の動作により、50% (または95%)のステップ状負荷減少

2. 日間負荷追従運転

PWR プラントで標準設計としている日間負荷追従運転は12-3-6-3パターン(第12図)であり、その実用化および性能向上のため、以下の点を中心に研究・開発が進められている。

(1) 負荷追従運転可能期間

負荷追従運転においては、負荷変化、Xe変化等に伴う反応度変化は、制御棒とともにホウ素濃度の調整により行う。ホウ素濃度調整のうち、濃縮は1次冷却材中のホウ素濃度によらず寿命期間中はほぼ一定の効果を

第12図 代表的な日負荷追従パターン(PWR)

を示すが、希釈はホウ素濃度に大きく依存するため、ホウ素濃度の低くなる炉心寿命末期においては負荷追従運転が制限される。

負荷追従運転によるホウ素濃度の調整に伴って、出力一定運転時に比べ、大量の1次冷却材が抽出される。この抽出水はホウ酸回収設備で回収、処理する必要があるが、抽出水量はホウ素濃度の低下に伴って増加す

るため、炉心寿命末期に負荷追従運転の制限となる。

現在までの検討結果では、炉心寿命の80～85%程度以降で負荷追従運転が制限され、出力変動幅を小さくする必要がある。

(2) CAOC 運転

現在、PWR プラントでは1次冷却材喪失事故(LO-CA)時の燃料保護の制限から通常運転時の軸方向出力分布をできるだけ平坦にする、いわゆるアキシアルオフセット一定値制御(Constant Axial Offset Control; CAOC)運転法が採用されている。このため、軸方向中性子束偏差(ΔI)を目標値の $\pm 5\%$ の範囲で管理しているが、取替炉心では初期炉心に比べ、軸方向出力分布が平坦化されており余裕があることから、 ΔI 許容幅の拡大(目標値 $\pm 5\sim 10\%$ 程度)について検討が進められている。

ΔI 許容幅の拡大により制御棒の調整可能量が增加するため、ホウ素濃度の調整量が減少して負荷追従性能が向上する(第13図)。

第13図 ΔI の許容変化幅拡大の効果

(3) 燃料棒の健全性

負荷追従運転時には、制御棒の移動により燃料棒はある程度の局所出力変化を被るが、制御棒はクラスター型であることや、負荷追従運転時にもホウ素濃度調整による出力調整を行なってCAOC運転制限を守るため、局所出力変化は小さい。このため、負荷追従運転時においても燃料の健全性は十分維持されと考えられるが、定常運転時に比べて次のような差異がある。

- (1) 被覆管に作用する繰返し応力(疲労)
- (2) 燃料ペレットと被覆管がなじんだ出力を超える出力変化

(1)については、PWR燃料ではペレットと被覆管の接触時期を遅くするため製造時にHeガスで加圧していることなどから、被覆管に加わる応力が小さく、特に問題にならない。

(2)については、世界各国で種々の試験研究が行われている腐食性核分裂ガス雰囲気下での被覆管の応力腐食割れ(PCI破損)の問題がある。

PCI破損の観点から重要と考えられるパラメータとしては、到達線出力レベル(P_f)と、ペレットと被覆管がなじんでいた線出力レベル(プレコンディショニングレベル)からの線出力上昇幅(ΔP)がある。

現在得られているデータからは、 P_f については約12 kW/ft、 ΔP については約2 kW/ftを同時に越えた場合、PCI破損が起ると考えられている。

PWRでは、負荷追従運転を実施した場合に想定されるこれらのパラメータの値が、炉心解析上また出力上昇実証試験(PRD)結果においても制限を下回っていることから、現行燃料で12-3-6-3、14-1-8-1パターン程度の負荷追従運転は可能な見通しである。

さらに、安全余裕を増して将来のより柔軟な運転に対処するため、改良燃料(中空ペレット、Zrライナー被覆管)の開発が進められている。

(4) 新負荷追従制御系の開発

PWRでは、出力上昇に比例して1次冷却材平均温度を増加させるプログラム温度制御が採用されているが、負荷追従運転時にはプログラム温度制御系に時間遅れを持たせ、1次冷却材の負の温度係数を活用して制御棒制御、ホウ素濃度調整の負担を軽減する改良型プログラム温度制御を導入した新負荷追従制御系の開発が進められている。この制御系では、14-1-8-1パターンの日間負荷追従運転を容易にし、即時復帰能力の増加、運転可能期間の拡大等負荷追従能力を向上できる。

3. 周波数制御運転

PWRプラントでは、発電機周波数の変動により直接タービンガバナを自動制御するシステム(GF運転)と、中央給電指令所からの遠隔信号によりガバナ弁を制御して系統の周波数を自動制御するシステム(AFC運転)が設計されている。

周波数制御運転においては、比較的早い周期で負荷変動が繰り返されるため、温度、圧力等の各パラメータが機器の設計繰返し過渡変化を越えることがないように出力変動幅を制限する必要がある。系統運用面からの周波数調整要求量も勘案して、この出力変化幅の目標値は $\pm 2.5\sim 5\%$ に設定されている。

現行の制御棒制御系の設定では、周波数制御運転時の出力変動に伴う制御棒の移動回数が多くなるため、その負担軽減の観点から温度不感帯幅の設定値を拡大し減速材温度係数を有効活用することとしている。

最近、関西電力機美浜3号機で自動周波数制御運転(AFC, GF, AFC+GF)の実証試験が行われており、その試験結果の例を第14図に示す。

第14図 AFC運転時のパラメータ変化例(PWR)

発電機出力の変動は中心出力に対し、目標変動範囲内($\pm 2.5\%$)に制限されており、他の主要パラメータ変動もほぼ解析で予想された範囲内に収まっている。

V. ATR の負荷追従運転

1. ATR における負荷追従運転の概要

ATR における負荷追従運転は、軽水炉と同様、日負荷追従運転、AFC 運転、GF 運転を対象としている。

日負荷追従運転は、周期的な出力変動に伴う Xe 反応度と、出力係数による反応度を予測して出力制御系により制御する。日負荷追従運転モードとして、14-1-8-1 運転(100-50%)を想定しており、出力制御は主に減速材である重水中のボイズン濃度制御、補助的に出力調整用制御棒の若干の作動により行う。

AFC 運転は給電指令所から AFC 信号を受け、原子炉出力の要求信号とし、原子炉出力との偏差から出力制御系により制御を行う。AFC 運転モードとして、運転出力範囲 70~100%、出力変動幅 $\pm 15\%$ 、出力変動周期 15 min を想定しており、これに対応するため、出力調整用制御棒の作動により制御する。

また、GF 運転は、電力系統の負荷変動に対してタービン速度を一定に保つように蒸気加減弁開度を制御し、これに伴う炉出力の増減を行う。GF 運転モードとして運転出力範囲 50~100%、出力変動幅 5%、出力変動率 5%/10 s を想定しており、これに対応する

第15図 ATRの出力制御装置の概略構成図

ため、出力調整用制御棒の作動により制御する。おのの負荷追従運転に対応するため検討を行なっている原子炉出力制御装置の概略構成を第15図に示す。

「ふげん」における出力変動時の炉心特性評価の実績から、負荷追従運転に対し十分な制御性を有していることを確認しており、逐次解析コードの予測精度向上を行なっている¹⁰⁾。

2. 負荷追従運転のための技術課題

および ATR の特長

負荷追従運転時の技術的課題は、安定性を含めた出力制御性と燃料健全性の確保である。

(1) 炉心出力制御性

ATR は、減速材(重水)により中性子が十分に減速されるため、冷却材(軽水)のボイド率の増減により炉出力に与える影響が少なく、冷却材ボイド係数がゼロ近傍で小さい。このため、GF 運転のように、タービン系からの外乱により1次冷却系の蒸気圧力が変化して炉心のボイド率が変化する場合でも、炉心出力の変動が少なく安定に制御できる特長を有し、GF 運転に適している。

また、直接サイクルのプラントであるため、炉心出力の変化が電気出力の変化に直に対応し、AFC 運転モード等の出力変化幅が大きく、かつ比較的早い負荷変動が要求されるモードに対し、安定した制御が可能である。この際、出力係数が小さいことと相まって、制御が容易でかつ即応性が高い出力調整用制御棒を大幅に作動させることなく良好な制御が行える。

これらの比較的早い負荷応答性に対し、動特性解析により炉心制御性プラント安定性の適合性を検討している。上記に示した冷却材ボイド係数が小さい特長のほかに、MOX 燃料を利用していることから遅発中性子割合、また重水を減速材に利用していることから光中性子の影響、中性子寿命等の動特性パラメータが軽水炉と異なり、これらを考慮して外乱に対するプラントのプロセス量の挙動解析を行なっている。

一方、日負荷追従性については、出力係数が小さいことから、出力制御のための反応度補償対象は主に Xe 反応度となる。この反応度制御に対応し、重水中のボイズン濃度制御、制御棒操作を行う。このため、Xe 反応度変化の予測精度および各制御因子の反応度評価が制御上重要となる。特に、核分裂による Xe 収率、Xe 吸収断面積等は MOX 燃料に特徴的なものであり、燃料の燃焼に伴う依存性を含め、「ふげん」の各燃焼サイクルの起動・停止・出力変更時のデータにより評価を行なっている。

(2) 燃料健全性

動燃事業団重水臨界実験室(DCA)における制御棒位置変化に伴う制御棒の最近接燃料棒の出力変化を第16図に示す⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。ATR は、中性子移動面積が大きい出力調整用制御棒の作動による燃料棒の局所的出力変化が小さい。また、全出力の変動幅が大きい日負荷追従の場合は、主たる制御を重水中のボイズン濃度調整によって行うため燃料の局所的な出力変化はない。

燃料健全性は、エンベロップの範囲等の PCI 破損回避

第 16 図 制御棒位置による燃料棒軸方向の出力分布変化 (ATR)

のための制御条件を守ることの評価の指針としており、上記の特長を有するため燃料の健全性を損なうことなく負荷追従に対応できる。

一方、海外炉の負荷追従試験出力急昇試験、「ふげん」の照射実績等を評価し、Zrライナー被覆管の採用等により、燃料自身の負荷追従時の性能向上を図っている。

3. 「ふげん」における負荷追従試験の評価

「ふげん」では、各運転サイクルの起動停止時のデータ採取のほか、主蒸気隔離弁全閉試験時等の運転期間中に出力変更が必要な時期を利用して、日負荷追従運転モードを模擬した制御特性の評価を行なっている。

第8サイクル(1984年6月～85年7月)のサイクル中期(1985年1月)に、炉出力を定格出力から50%出力に変更して主蒸気隔離弁全閉試験を行なった。この出力変

更をするに当り、反応度制御のための予測解析を炉心1点近似のXe動特性解析コードで行い、局所出力の変化、Xe空間分布変化に伴う反応度への影響については炉心3次元Xe動特性解析コードを併用して評価した。また、燃料への影響を小さくするため、反応度制御のほとんどを重水中のボイズン濃度制御により行なった。

第17図に、出力変更予定パターン、出力の制御実績、およびXe反応度、出力係数に基づく全反応度補償を行うための重水中ボイズン濃度の計算値、実績値を示す。これにより、重水中のボイズン濃度の制御パラメータ(ボイズン注入時間、ボイズン除去塔の通水流量、通水間隔、通水時間等)の調整により、ほぼ予定パターン通りの制御が行われたことがわかる。また、同図に示されている制御棒先端位置の変動は、ボイズン濃度制御

第17図 「ふげん」の出力変動実績(第8サイクル主蒸気隔離弁全閉試験時)

系による出力変動中の反応度補償の余剰分を示しているが、この大きさは、1本の出力調整用制御棒操作量で $\pm 3\%$ (± 15 cm 程度)、反応度で $\pm 0.015\% \Delta k/k$ 程度であり、ほとんどすべての反応度制御が重水中のボイゾン濃度調整により行われていることを示している。

以上の試験結果より、日負荷追従運転のための反応度予測性、反応度制御能力は充分であるといえる。

一方、燃料の局所出力の変化は、制御棒の駆動量がきわめて小さいため定格運転時のエンベロップを越えることはなかった。

今後は、種々の炉心状態での実証ならびに制御方式としてより即応性が高く、制御が簡単な出力調整用制御棒を主体的に利用した制御モード等の実験を含めた評価を進めていく。

Ⅶ. むすび

実用化の時期が次第に近づきつつある原子力発電所の負荷追従運転について、その実現のための技術開発の現状を紹介した。通常の日負荷追従に加えて、より変化の速い負荷変動に対処するための AFC 運転、GF 運転についても展望の範囲に含めて解説を試みた。前章までに紹介されたように、BWR、PWR、ATR の 3 種の炉型いずれにおいても積極的な技術開発がなされ、負荷追従運転の要請に対処できる体制が基本的には整いつつあるといえよう。しかしながら、従来までの基底負荷運転に比較した場合、負荷追従運転方式は運転員の負担も相対的に大であり、安全性の確保にはより広い視点に立脚した技術開発が今後とも必要なことはいうまでもない。本稿では触れる余裕がなかったが、

外乱解析に基づく運転員支援技術(いわゆるインストラクションシステム)を、出力レベルが大幅に変更される運転モードにも対応できるように高度化することなどがその 1 例である。安全性を損なうことなく原子力発電所の運用性を向上させるための着実な技術開発の一層の推進を期待したい。

—参考文献—

- (1) 田辺 章, 他: BWR 原子力発電所の昼夜負荷追従運転, 東芝レビュー, 34[10], 1 (1979).
- (2) 榎本聡明, 他: 沸騰水型原子力発電所の日間出力調整運転, 火力原子力発電, 35[1], 41 (1984).
- (3) 二見常夫: 原子力発電所の負荷追従運転の課題, 電協誌 10, 18 (1984).
- (4) 青木四朗, 他: BWR 発電所の日間出力調整 20% 出力連続 5 サイクル運転, 原子力学会「昭 58 分科会」予稿集, C23, C24.
- (5) 宮本俊樹, 他: 高性能炉心燃料, 東芝レビュー, 41[1], 43 (1986).
- (6) 住田 侑, 他: BWR-4 プラントの AFC 運転特性評価—実機データを用いた評価, 原子力学会「昭 60 年会」要旨集, E20, (1985).
- (7) SUEOKA, Y., et al.: The improved BWR power control system for fast load following, *Proc. ANS Annu. Mtg., Boston*, (1985).
- (8) 細道棟一, 他: 計装制御と自動化講座, 火力原子力発電協, p151~161 (1983).
- (9) 近藤吉明, 寺西智幸, 渡海親術: 三菱重工技報, 19[6], 34 (1982).
- (10) 中島一郎, 他: 新型転換炉実証炉プラント制御系の特性評価, 日立評論, 67[11], 57 (1985).
- (11) 竹村守雄, 他: 圧力管型重水炉における制御棒半挿入実験(1), 軸方向出力分布変動の測定, 原子力学会「昭 54 年会」要旨集, E5.
- (12) WAKABAYASHI, T., et al.: Power distribution and control rod worth in heavy-water-moderated, cluster-type plutonium fuelled core, 27th OECD NEA-CRP, Aix-en-Provence, 1984. 10. 22~26.

「和文誌」・「欧文誌」各専用

◇合本ファイル◇

簡単な操作で、自由に入替えできるファイルです。金文字の和文、欧文の各誌名が入った美麗堅牢なもの(新装でビニールレーザー装幀)。

1冊 各 700円(千350円)

○東工大・原子炉工学研究所○

教 官 公 募

公募人員 トリチウム化学 助教授 1 名
(本部門は昭和 65 年 3 月までの時限部門)
専門分野 核融合工学におけるトリチウム化学
提出書類 ①履歴書, ②業績リスト(論文, 著書等)および
主要論文の別刷, ③他薦の場合は推薦書
公募締切 昭和 61 年 10 月 25 日(土)必着
書類提出先(152)東京都目黒区大岡山 2-12-1
東京工業大学原子炉工学研究所 事務長代理 西田 朗
問合せ先 同所選考委員長 岡本眞實(03-726-1111, 内3065)