ATR実証炉のプラント制御設備

Plant Control System for the Demonstration Advanced Thermal Reactor

小松康之*

新沢達也**

Tatsuya Niizawa

Yasuyuki Komatsu

良則*****

Masaru Sasagawa

隆*** 飯島

Takashi Iijima

Hitoshi Uchiyama

Yoshinori. Mae

川崎剛秀****

Takahide Kawasaki

警報 指示 CPTR 00000 CRCD FWCD TCD (圧力) (タービン速度・出力) 度) タービン 発電機 復水器 原子炉 再循環ポンプ 給水ポンプ 復水ポンプ

注:略語説明 CPTR (プロセス計算機), BACCD (ほう酸濃度制御装置), CRCD (制御棒制御装置) FWCD (給水制御装置), TCD (タービン制御装置)

ATR実証炉プラント制御系の概要 最新技術を生かし原子炉出力、蒸気ドラム水位、蒸気ドラム圧力などのプラントの主要パラメータを、 実証炉の特性を考慮して適切に制御するシステムである。

電力系統に占める原子力発電所の比率が増大する につれ,原子力発電所にはよりいっそう安定な運転 が望まれるようになってきている。ATR(Advanced Thermal Reactor:新型転換炉)実証炉でも運転信 頼性および運転操作性向上のため、最新の技術を取

り入れた最適な制御系を確立することが必要であ る。これらの背景を踏まえて、原型炉「ふげん」の 十数年にわたる良好な運転経験を反映し, ATRの特 性と最新の計測制御技術との調和を図ったプラント 制御系の構築と、その確証を進めている。

^{*} 電源開発株式会社 原子力部 ** 動力炉・核燃料開発事業団 動力炉開発推進本部 *** 動力炉・核燃料開発事業団 ふげん発電所 ***** 日立製作所 日立工場 ****** 日立製作所 大みか工場 ****** 日立エンジニアリング株式会社

1 はじめに

原子力発電所のよりいっそうの安定運転を実現するため、計測制御設備についても信頼性向上、制御性向上などを目的とした研究開発を進め、改善、改良の努力を続けてきた。ATR(Advanced Thermal Reactor:新型転換炉)実証炉のプラント制御設備は、原子炉出力制御や蒸気ドラム水位制御など、プラント運転に重要な制御系であることから、重水減速、沸騰軽水冷却圧力管型炉というATR実証炉の炉心特性を最大限に生かし、原型炉「ふげん」の運転経験および適用可能なBWR(Boiling Water Reactor:沸騰水型原子炉)の最新技術を踏まえながら、プラントの機能向上と安定かつ効率的な運転を目指して、プラント制御系の確立を図っている。

2 プラント制御系の概要

ATRの主要な制御量として、原子炉出力、蒸気ドラム水位および蒸気ドラム圧力があげられる。

原子炉出力を制御する手段として、制御棒位置を制御する方法と、減速材である重水中のほう酸濃度を制御する方法があり、ゆっくりとした重水中ほう酸濃度制御に制御棒操作を併用して起動時間の短縮を図っている。このため、制御系として制御棒位置制御を行う原子炉出力制御装置と、ほう酸濃度制御を行うほう酸濃度制御装置を設けている。

蒸気ドラム水位の制御は、二つの蒸気ドラム水位を同時に制御する点に特徴があるが、制御方式としては火力発電所や沸騰水型原子炉と基本的に類似であり、給水制御装置で給水調整弁の開度を変えて蒸気ドラムに供給する給水流量を調節することで行う。

蒸気ドラム圧力の制御は、圧力制御をタービン速度制御に優先させ、タービン制御装置から加減弁およびタービンバイパス弁の開度を制御して行う。

これら制御系の中でATR特有の制御特性として、出力制御特性と給水制御特性の二つがあげられる。以下に、これらの制御特性について述べる。

3 原子炉出力制御の特性評価

3.1 出力制御

出力は、制御棒系とほう酸濃度制御系のそれぞれの特性を生かして制御する。制御棒は、炭化ボロン粉末を充てんしたステンレス鋼管で作られた反応度価値の大きい停止棒と、中性子吸収の弱い中空のステンレス鋼管で作

られた調整棒を用いる。停止棒は、炉心内一様に76本配置しており、反応度価値は全体で約4% Δk/kである。また、調整棒は炉心の各量領域に3本、炉心中心に1本の計13本配置しており、反応度価値は全体で約0.3% Δk/kである。停止棒は、起動・停止時出力30%以下での反応度制御を分担し、調整棒は起動・停止時30%以上での出力一定制御および通常運転時の出力レベル微調整を分担する。ほう酸濃度制御系による重水中のほう酸濃度制御は、ゆっくりした大きな反応度の制御に適しており、主として起動・停止時の反応度制御および通常運転時の燃焼反応度補償を分担する。

3.2 出力調整用制御棒の駆動制御系

調整棒は、通常出力運転時の出力一定制御に用いられるものであり、駆動頻度が高くなることからその駆動電動機としてステップモータを用いている。また、運転中に予想される外乱に対する制御性を高めるため、連続可変速制御方式を採用している。駆動制御系は原子炉出力制御をつかさどる重要な系統であるため、表1に示す仕様の試作装置を製作し、機能確証試験を実施している。試作装置の外観を図1に示す。この装置と簡易シミュレータを組み合わせて、調整棒位置やほう酸濃度変化を模擬し、応答性、耐久性試験などを実施している。

3.3 出力変更特性

出力制御に関連する炉心特性は次のとおりである。

(1) 重水減速材中のほう酸濃度調整は、炉心全体にわたる均一な反応度の調整が可能であり、出力変更による出力分布の局所的変動が小さい。

表 1 各反応度制御系の操作方式 出力30%以上の出力運転時は,調整棒による自動制御が主体になり,起動時は停止棒またはほう酸濃度の手動制御が主体となる。

機	反応度制御系 能	停止棒	調整用棒	ほう酸濃度制御系
起	低温状態→高温状態 (未臨界) (臨界後)	M.G		
動	高温状態→30%出力	M.G		M.G
	30%出力→定格出力		Α	M.G
出力制御	燃焼反応度補償	-		M.G
	出力レベル微調整 (領域出力制御)	-	А	
停	定格出力→高温状態 (未臨界)	M.G		-
止	高温状態→低温状態 (未臨界) (未臨界)		A-1-11-1	M.G

注:略語説明など A(自動制御)

M.G(操作ガイダンスによる手動操作)

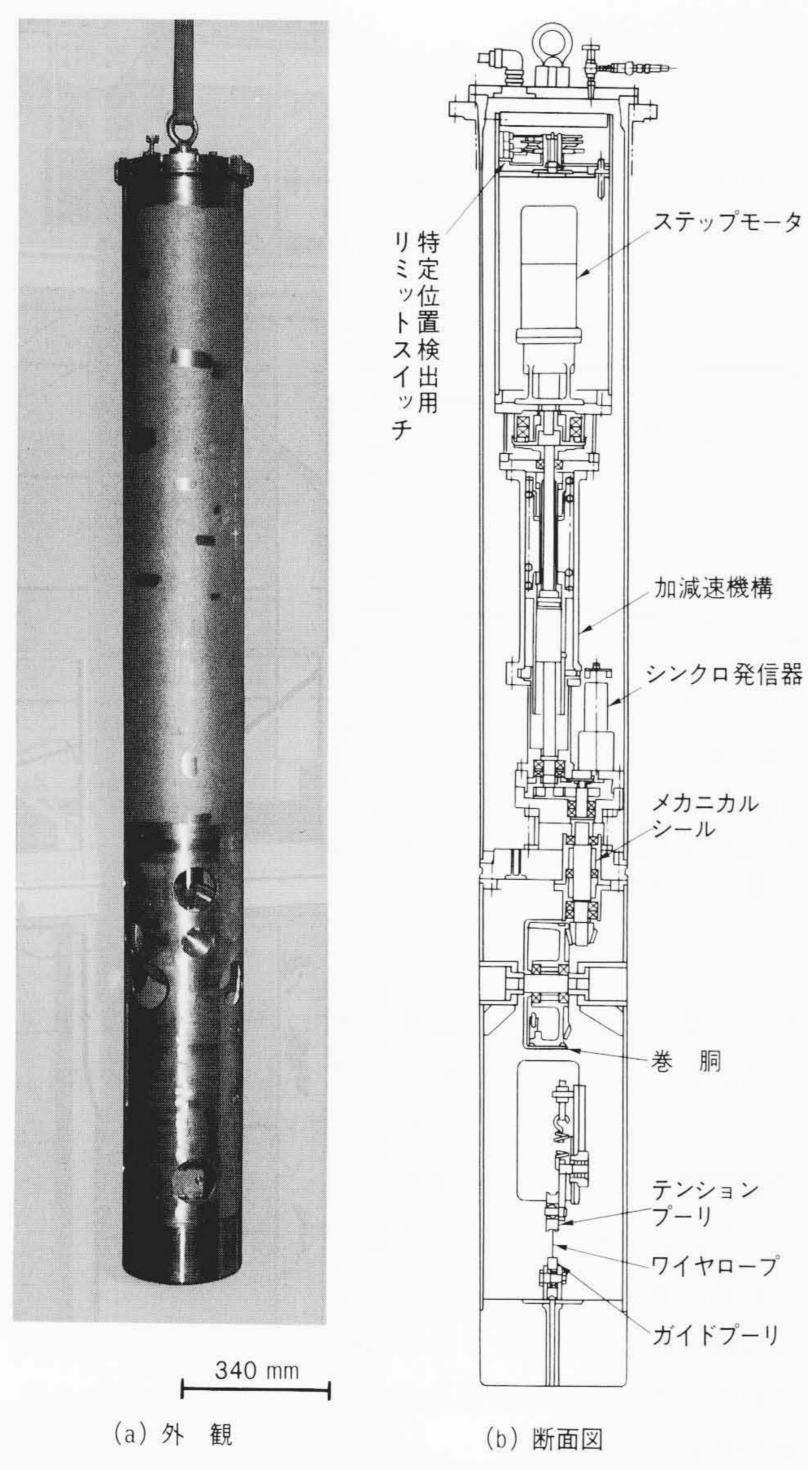


図 I 試作した調整棒駆動装置の外観 駆動用電動機であるステップモータ,ステップモータの回転を巻胴に伝える加減速機構,調整棒の位置を連続的に検出するシンクロ発信器などで構成する。

(2) 出力調整用制御棒は燃料から離れた重水減速材中に配置され、かつ反応度価値の小さなステンレス鋼管製であるため、制御棒駆動による燃料の局所的出力の変動が小さい。

上記の特性を生かし原子炉の出力変更には、大きな変更をほう酸濃度の調整によって行い、小さな変更などを出力調整用制御棒の出力一定制御機能によって行う。同機能による出力レベル変更時の制御特性解析の結果例を図2に示す。原子炉出力は、設定点の変更に対し10秒以内に速やかに、かつ安定に応答する。

4 給水制御特性

冷却材再循環系は独立2ループ構成であり、二つの蒸気ドラムを持っている。図3に示す給水制御系はそのうちーループ分を示しており、各ループ個々に蒸気ドラム水位を制御している。通常出力運転時は、給水調整弁を用いた三要素制御を、起動・停止過程での低出力運転時には、低流量給水調整弁を用いた単要素制御を基本としている。

最新の計測・制御技術動向を踏まえ、運転信頼性向上のため給水制御装置のディジタル化、多重化を図る一方、給水制御特性解析コードの整備を進め、より詳細な給水制御特性評価を可能としている。運転操作性向上の観点からもAI応用技術などの最新制御技術の評価が進めら

表 2 試作調整棒駆動制御装置の主要仕様 ステップモータを用いた連続可変制御方式を採用することにより,即応性の高い出力制御が達成できる。

項目	仕 様		
駆動電動機	永久磁石型三相ステップモータ		
速度制御範囲	6.5~65 mm/s		
応 答 時 間	l s以内(0 mm/s→65 mm/s)		
位置検出器	シンクロ位置発信器およびリミットスイッチ		

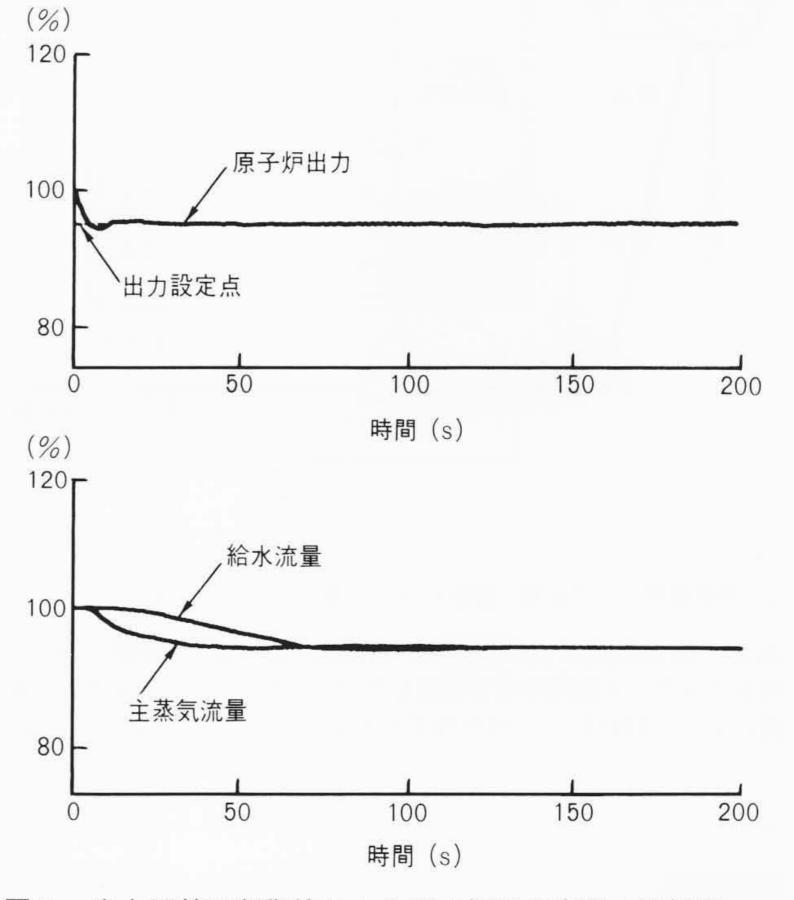


図 2 出力調整用制御棒による原子炉出力変更の解析例 原子炉出力設定点を 5 %ステップ状に下げたときの解析結果で あり、原子炉出力が速やかに、かつ安定に設定値に追随する。

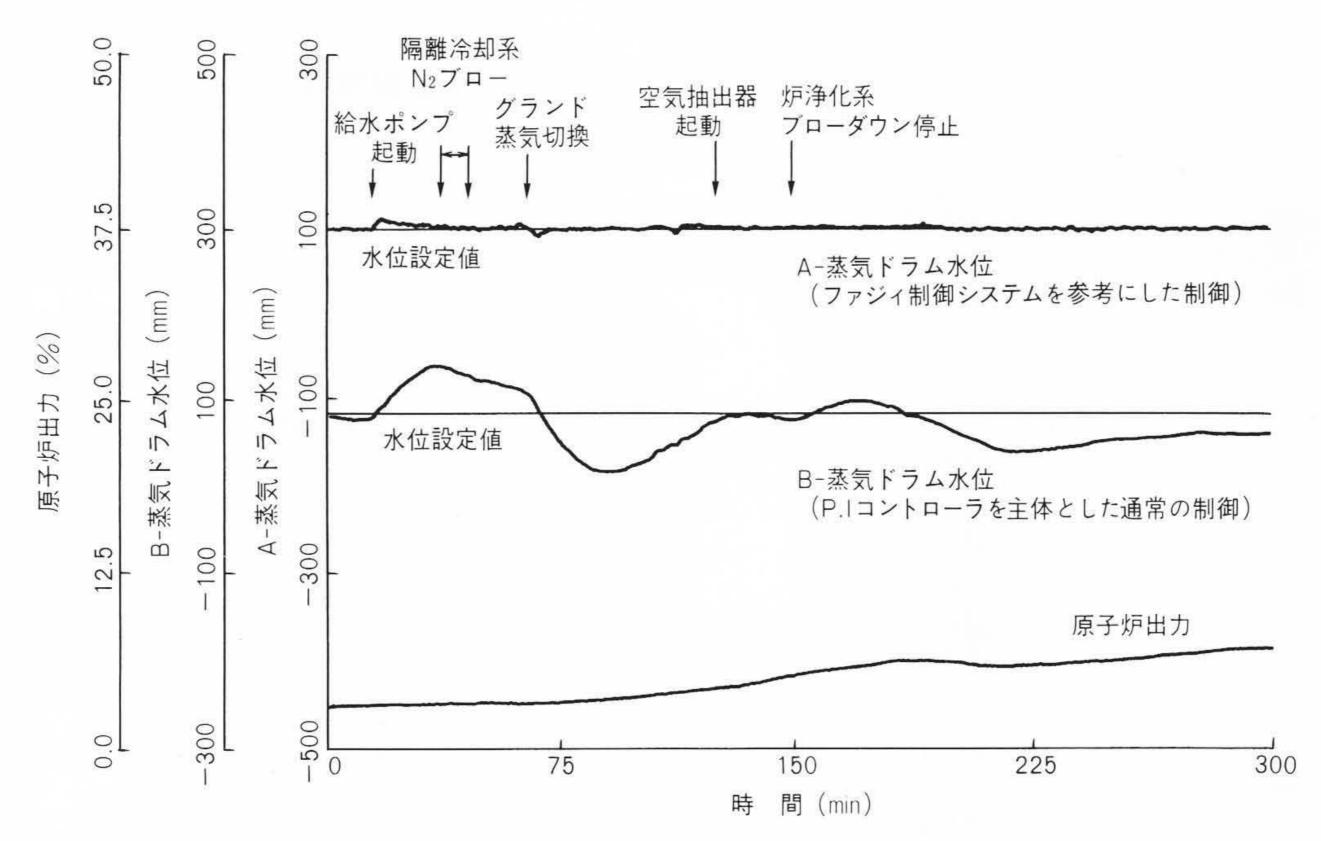
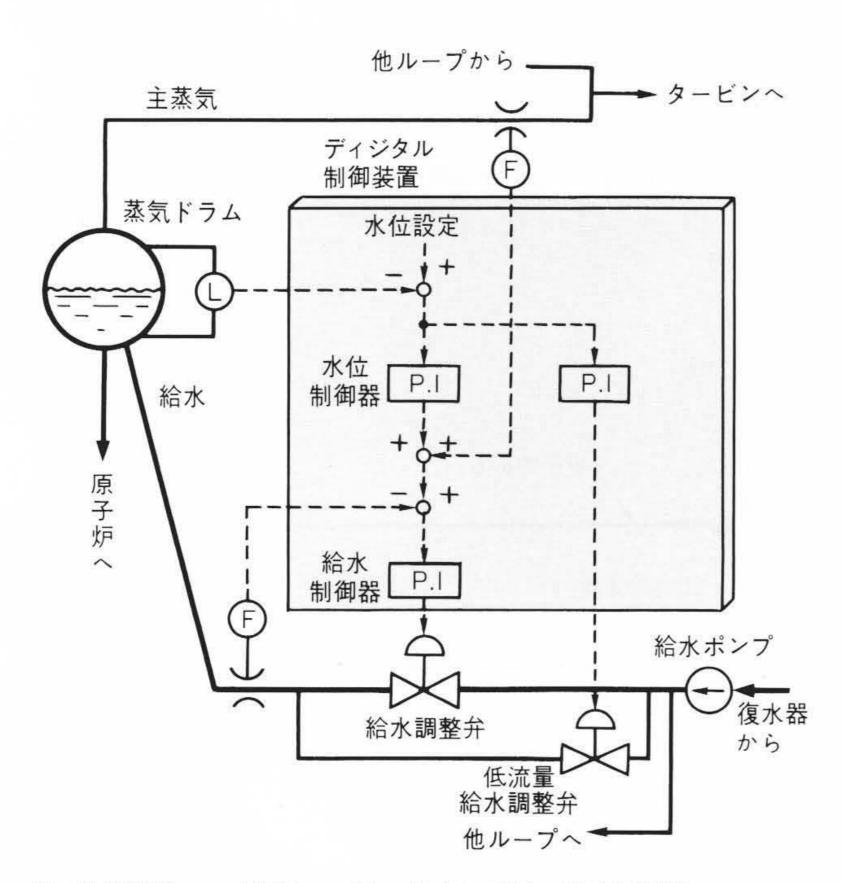


図 4 ファジィ制御システムの機能確認結果 A-蒸気ドラム水位は,ファジイ制御システムの演算結果を参考にして,操作員が給水調整弁を操作した結果であり,P.I制御を主体とした通常の制御によるB-蒸気ドラム水位よりも,水位変動をきわめて小さくすることが可能となっている。



注:略語説明 P.I(比例·積分), F(流量計), L(水位計)

図3 給水制御方式の構成 水位制御器と給水制御器で構成されるカスケード制御方式を採用している。またディジタル多重化装置により、信頼性向上、保守性向上および制御性向上を図っている。

れている。一例として、図4に低出力時ファジィ給水制御方式を、「ふげん」に適用した場合の水位応答例を示す。ファジィ給水制御方式は、長年の運転経験やプラントの特性評価から得られた知識を制御システムに取り込んだもので、従来制御方式に比較し優れた制御特性が得られている。実証炉では、これら「ふげん」の開発成果を評価し軽水炉などで確立された自動化技術やディジタル制御技術を踏まえた、最適な給水制御系の構築を進める計画である。

5 おわりに

最近の原子力発電所に対する高度化のニーズにこたえるため、ATRの特性を最大限に生かしたプラント制御系の構築が必要である。

ここでは,実証炉特有のプラント特性とそれを最適に 制御するプラント制御系の構成について述べた。

今後とも、運転操作性のよりいっそうの向上を目指して自動化技術やAI技術などの適用を拡大し、プラント制御系の高度化を図る考えである。

参考文献

- 1) 中島,外: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, 909~912(昭60-11)
- 2) 川崎, 他:新型転換炉の低出力レベル時動特性解析モデルの開発, 日本原子力学会, 平成3年秋の分科会