資料

「ふげん」の臨界試験

宮脇良夫*

(1978年 7月3日 受理)

Zero Power Start-Up Tests of "FUGEN"

By Yoshio MIYAWAKI

"FUGEN"-a 165 MWe prototype heavy water moderated and boiling light water cooled reactor reached initial criticality on March 20, 1978.

The experience of core loading and critical experiments on minimum core, plutonium partial core and full core are described.

KEYWORDS: FUGEN reactor, critical experiments, reactor fueling

I. ま え が き

ナショナル・プロジェクトの一つとして、動力炉・核燃料開発事業団が建設している新型転換炉の原型炉「ふげん」は、昭和53年3月20日、混合酸化物燃料22体で最小臨界に達した。その後引き続いて混合酸化物燃料および4体の特殊燃料を装荷し、100体燃料装荷臨界炉心を形成した。さらに、124体のウラン酸化物燃料を追加して全燃料装荷炉心で臨界を達成した。この体系で各種の炉物理試験を実施し、6月1日には核加熱開始時の臨界試験を終了した。これでゼロ出力段階における炉物理試験をすべて完了した。今後核加熱試験を経てタービン発電機を電力系統に併入し、逐次電気出力を上昇して明春には定格出力165 MWeで運転を開始する予定である。成功の暁にはわが国の自主開発技術による初の発電用原子炉が誕生することになる。以下、燃料装荷に伴って実施された臨界試験について述べる。

II. 炉心の構成

「ふげん」は重水減速-沸騰軽水冷却型炉であり、カランドリア・タンク内に配置されたカランドリア管と圧力管とで重水減速材と軽水冷却材とが分離されている。炉心中央部の100本の圧力管には、混合酸化物燃料(96体)と照射試料片の組み込まれた特殊燃料(4体)が、炉心周辺部の124本の圧力管にはウラン酸化物燃料が装荷される。カランドリア・タンク内の重水領域には、49本の制御棒と各種の中性子検出器が全炉心をカバーできるように配置されている。第1図に「ふげん」の炉心配置を示す。

重水系統は軽水によるフラッシングののち真空法に

よる乾燥が行われ、160 tの99.8%の重水を注入しても、重水純度の低下は見られなかった。臨界試験中重水は、カランドリア・タンク内に通常水位4,500 mmを保ち、また蒸気ドラムの軽水冷却材水位を常に通常水位(約±150 mm)に保持した。

制御棒は炉心外周部を除いて、燃料4体に制御棒1本の割合で計49本炉心内に配置されている。炉心の中

第1図 「ふげん」の炉心配置

* 動力炉・核燃料開発事業団敦賀建設事務所 (Tsuruga Construction Office, Power Reactor and Nucl. Fuel Develop. Corp.)

心にある制御棒はMと呼ばれ、他の48本の制御棒は炉心を4分割した各象限に12本ずつ(炉心の外側から内側に向って順にA, B...Lと呼ばれる)配置されている。制御棒の位置は%で表示され、0%位置が全挿入、41%位置が半挿入、82%位置が全引抜きである。制御棒はさらに、100%位置まで引抜き可能である。

「ふげん」には重水減速材中に液体ボイズンを注入あるいは除去することによって、炉心反応度を制御する機構が備わっている。あらかじめボイズン溶解槽内に ^{10}B を濃縮した無水ボウ酸(B_2O_3)が約1,000 lの重水に溶かされ、その濃度は約3,000 ppm ^{10}B に調整されている。このボイズン溶液を注入することにより炉心内の ^{10}B 濃度を増す。また、ボイズン除去塔に液体ボイズンを含んだ重水減速材を通過させることにより、炉心内の ^{10}B 濃度を減少させることができる。重水減速材中の ^{10}B の濃度分析は比色法(敦賀サイト)および同位体希釈法(東海事業所分析課)で行なった。

中性子検出器は、仮設備の燃料装荷用検出器(FLC)4本と、常設備として起動用検出器(SUM)4本、出力上昇用検出器(PUM)6本、局部出力用検出器(LPM)16×4本、出力校正用検出器(PCM)2本が炉心内に配置されている。燃料装荷用、起動用および出力上昇用検出器は軸方向に移動可能である。出力校正用検出器は、任意の局部出力用検出器に沿ってスキャンできるようになっている。

中性子源は0.3 Ci ^{252}Cf で、外径が燃料体とほぼ同じ円筒形 Al 容器からなる中性子源集合体に組み込まれ、必要に応じて任意の圧力管に燃料交換装置を用いて出し入れできるようになっている。

「ふげん」の燃料装荷は、炉心の下部から燃料交換装置を用いて行われる。燃料交換装置は燃料交換プールの下部から燃料3体を受け取り炉心下部へ移動し、圧力管へ1体ずつ3体装荷し、再び交換プールへ戻る(燃料初装荷時)。これらの作業は、すべて中央制御室からの遠隔操作で行われる。

Ⅲ. 臨界試験

全燃料224体装荷するにあたって、最少の燃料本数で臨界になる最小臨界試験、混合酸化物燃料全数と特殊燃料からなる100体燃料装荷臨界試験を行い、その後、全燃料装荷臨界試験を行うことにした。

1. 最小臨界炉心

中性子源集合体は、特殊燃料を装荷する圧力管(15-75)に挿入した。燃料装荷の順序は、カランドリア・タンクの中心部から、なるべく正方形炉心を形成するよ

うに決めた。その場合、中性子源、中性子検出器、制御棒の配置および燃料交換装置の性能をも考慮に入れた。燃料装荷は、臨界近傍で追加される燃料のもつ反応度を充分抑制することをねらって、炉心中央にある制御棒Mを40%位置(引抜き位置)、他の48本の制御棒は100%位置で行なった。燃料1体装荷ごとに中性子計測を行い、燃料3体装荷ごと(臨界近傍では1体装荷ごと)に制御棒Mを100%位置まで引き抜いて中性子計測を行い、未臨界を確かめながら臨界近接を行なった。第2図に燃料装荷に伴う逆増倍率曲線を示す。

第2図 燃料装荷に伴う逆増倍率曲線 (最小臨界炉心)

昭和53年3月20日14時49分、混合酸化物燃料22体、制御棒M56.3%位置で最小臨界に達した。予測計算値は 20 ± 3 体であり良好な評価であった。

2. 100体燃料装荷炉心

最小臨界炉心形成後、重水減速材中に液体ボイズンを注入し、重水減速材中の ^{10}B 濃度を約12 ppmにした。計画された燃料装荷順序に従って燃料を装荷し、99体装荷後は中性子源を取り出し、その圧力管へ100体目の燃料(特殊燃料)を装荷した。100体燃料装荷後は、重水減速材中のBを除去して臨界近接を行なっ

第3図 液体ポイズン除去に伴う逆増倍率曲線(100体燃料装荷炉心)

た。第3図にB除去に伴う逆増倍率曲線を示す。

燃料装荷に伴う逆増倍曲線に比べて、B除去に伴う逆増倍曲線は直線性を示している。100体燃料装荷炉心は、重水減速材中の ^{10}B 濃度10.3 ppm、制御棒M 67.0%位置(他の48本の制御棒は100%位置)で臨界に達した。この体系は「ふげん」2領域炉心の内側領域を意味しているとともに、熱中性子動力炉において本格的に混合酸化物燃料が装荷された世界最初のものである。この燃料体は東海事業所Pu燃料部で製造され、約60万個の混合酸化物ペレットが入っている。動燃事業団大洗工学センター重水臨界実験室で行なったB入り炉心の実験による計算値の補正を適用すれば、100体燃料装荷炉心の予測計算値と今回の実験値の一致はきわめてよいものであった。

3. 全燃料装荷炉心

100体燃料装荷臨界炉心を形成した後、さらに液体ポイズンを注入し、今度はウラン酸化物燃料を装荷した。中性子源としては、すでに装荷されている混合酸化物燃料(主として ^{240}Pu)から放出される自発核分裂中性子を利用した。3月15日燃料を装荷し始め、1日

6体のベースで燃料を装荷し、5月1日全燃料(混合酸化物燃料96体約16.9 t $\text{PuO}_2 \cdot \text{UO}_2$ 、特殊燃料4体約0.5 t UO_2 、酸化物燃料124体約21.5 t UO_2)の装荷を終えた。全燃料装荷炉心は、重水減速材中の ^{10}B 濃度12.9 ppm、制御棒M 67.5%位置(他の48本の制御棒100%位置)で臨界に達した。第1表にこれまで行われた最小臨界炉心、100体燃料装荷炉心、全燃料装荷炉心

第1表 臨界達成時データ

	最小臨界 炉心	100本燃料 装荷炉心	全燃料 装荷炉心
燃料			
混合酸化物燃料(体)	22	96	96
特殊燃料(体)	0	4	4
酸化物燃料(体)	0	0	124
^{10}B 濃度(ppm)	<0.005	10.3	12.9
減速材温度($^{\circ}\text{C}$)	11.9	14.2	16.0
冷却材温度($^{\circ}\text{C}$)	16.0	16.0	24.0
制御棒M(%)	56.3	67.0	67.5
実効増倍係数	1.0	1.0	1.0
臨界日	昭53.3.20.	53.4.11.	53.5.9.

他の制御棒は全引抜き(100%位置)。重水純度 99.8 mol/o

の臨界達成時のデータをまとめて示す。

全燃料装荷炉心については、制御棒反応度測定試験、液体ボイズン反応度測定試験、停止余裕試験・重水水位降下による炉停止確認試験などが行われ、貴重な実験データが得られた。

4. 核加熱開始時の臨界試験

これまでに述べた臨界試験は、すべての制御棒がほとんど引き抜かれた状態で行われ、主として核計算精度のチェックのために行われたが、本節で述べる臨界試験は、核加熱開始時の液体ボイズン濃度6.8 ppm ^{10}B で計画されている制御棒引き抜き順序に従って制御棒を引き抜き、大気圧の範囲で臨界近接を行なった。

この試験からは、仮設の燃料装荷用検出器は撤去されており、起動用検出器で中性子をモニタした。このため、あらかじめ中央部の燃料1体(19-69)を取り出し、そこの圧力管に中性子源を装荷した223体燃料装荷炉心で臨界にし、臨界状態を保ちながら中性子源を炉心から取り出して燃料を戻し、核加熱開始時の臨界炉心を形成した(出力運転後は光中性子を強力な中性子源として利用できる、このような中性子源と燃料の出し入れは不要になる)。第4図に制御棒引き抜きに伴う逆増倍率曲線を示す。重水減速材中の ^{10}B 濃度が6.8 ppm 制御棒Iから引き抜きを開始し、1Gを75.0%位置まで引き抜いたところで核加熱開始時の臨界を達成した。

Ⅳ. あとがき

ゼロ出力段階の炉物理試験は無事終了し、これから核加熱段階、出力段階における試験(炉物理、動特性、機器性能、化学・放射線測定)が本格化し、昭和54年春には定格で運転を開始する予定である。

われわれは、自らの手で設計した原型炉「ふげん」の技術的諸性能を総合機能試験、起動試験等を通して確

第4図 制御棒引き抜きに伴う逆増倍率曲線(核加熱開始時)

認し、重要な機器、炉心性能および安全性に関する知見の蓄積に努力している。この「ふげん」の建設、運転経験を通じての技術的、経済的評価を新型転換炉の実証炉の研究開発に逐次反映している。

おわりに、「ふげん」の建設、試験は関係各界の協力を得て進められており、この機会に各界に心から感謝の意を表したい。

— 参考文献 —

- (1) 鷗木文夫: 「ふげん」から「実証炉」へ、本誌, 19(9), 565 (1977)。

○第19回真空に関する連合講演会○

主催 日本真空協会、協賛 本会、ほか
 時期 11月13日(月)～15日(水)
 場所 京都府会館(京都市岡崎)
 研究発表は各学会会員より募集し、聴講は自由
 照会先 (〒105)東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館512号)
 日本真空協会 (Tel. 03-431-4395)

○日本化学会「第39春季年会」のご案内○
 The ACC/CSJ Chemical Congress: 1979

1979年4月1～6日(ハワイ・ホノルル市)
 研究発表 一般研究発表(講演20分)とシンポジウム講演の2種類あり、所定用紙でいずれか1人1件に限る。発表は日本語でよい。
 申込締切 10月9日(月) 午後5時までに必着
 参加登録の申込みは所定用紙で1979年2月15日まで、年会参加のための団体旅行は1978年12月末までとする。
 問合せ先 (〒101)東京都千代田区神田駿河台1-5
 日本化学会事務局ハワイ年会係
 (Tel. 03-292-6161, 担当 松前)