OS8-3 稠密格子炉心の除熱技術開発 (1)

— 37 本バンドル熱特性試験の結果と NASCA による解析的評価 —

Feasibility Study on Thermal-Hydraulic Performance in Tight-Lattice Rod Bundles (1) - 37-rod bundle tests and subchannel analysis -

玉井秀定・原子力機構

呉田昌俊・原子力機構

Hidesada Tamai, JAEA

Masatoshi Kureta, JAEA

大貫晃・原子力機構

吉田啓之・原子力機構

佐藤隆・原子力機構

Akira Ohnuki, JAEA

Hiroyuki Yoshida, JAEA

Takashi Sato, JAEA

劉維・原子力機構

秋本肇・原子力機構

Wei Liu, JAEA

Hajime Akimoto, JAEA

Key Words: Critical Power, Subchannel Analysis, Gap Width Effect, Scale Effect, Bowing Effect, Tight-Lattice Bundle

A thermal-hydraulic feasibility project for the Innovative Water Reactor for FLEXible fuel cycle (FLWR) was started since 2002. In this R&D project, large-scale thermal-hydraulic experiments, several model experiments and development of advanced numerical analysis codes are being carried out. This paper describes results of the large-scale thermal-hydraulic experiments that simulate the tight-lattice bundle in the FLWR core and subchannel analyses for effects of gap width, bundle scale and rod bowing. As a result, it is confirmed that (1) fundamental characteristics of flow parameter impact on critical power can be evaluated by the subchannel analysis code, NASCA, (2) the increase of the number of rods in a bundle promotes the thermal performance to cool the fuel rods and (3) the critical power decreases with increasing the amount of the bowing.

1. はじめに

日本原子力研究開発機構では、電力、メーカー、大学と協力して水冷却増殖炉の研究開発を進めている⁽¹⁾。本炉では、増殖比を高めるため、稠密二重炉心を採用して中性子の減速を抑制している。原子力機構では、本炉心設計の最重要課題である除熱性能の評価を行うため、稠密 37 本バンドル試験体を用いた熱特性試験を実施している。表 1 に示すように、平成 15,16 年度には燃料棒間ギャップ幅の異なる二つの試験体を用いた試験を完了し、昨年度までの本学会においてその成果を報告してきた^{(2),(3)}。平成 17 年度には、燃料棒曲がり効果試験体を用いた各種試験を実施した。本報では、これまでに得られた試験結果の概要とサブチャンネル解析コード NASCA⁽⁴⁾による解析結果(試験解析、バンドルスケール効果、燃料棒曲がり効果)に関して述べる。

2. 稠密 37 本バンドル熱特性試験

2-1 試験装置

試験装置は、設計炉心と同じ高温高压条件での熱特性試験が可能な大型装置であり、試験体の各種境界条件を所定の値に設定できる。図 1 に稠密格子炉心熱特性試験装置の概略及び試験体断面と軸方向出力分布を示す。試験体は 37 本バンドル試験体であり、内面が正六角形のステンレス製フローシェラウド内に模擬燃料棒 37 本が装荷された構造となっている。模擬燃料棒の外径は 13.0mm であり、棒間ギャップ幅は 1.3mm と 1.0mm である。これらの燃料棒配置は、ハニカム型スペーサ(肉厚:0.3mm、高さ:20mm)を用いて、棒の偏芯誤差 0.1mm 以下で固定した。燃料棒の軸方向出力分布

は、水冷却増殖炉の設計案を 12 ステップで模擬したものである。模擬燃料棒の表面温度は、燃料棒表面に埋め込んだ 250 個の非接地型 K 型熱電対(シース外径 0.5mm)で測定した。

Table 1 Test items in large-scale thermal-hydraulic experiments

Type of Test	Base Case	Gap Effect	Bowing Effect
FY	2003	2004	2005
Characteristics	Steady and Transient Critical Powers, Pressure Drop, Void Fraction		
Parameter	Flow Rate, Temperature, Pressure, Local Peaking

2-2 試験範囲

表 2 に定常時限界出力試験の試験範囲を示す。炉の運転範囲を内包する広い範囲で試験を行った。

Table 2 Experimental range for steady critical power test

Parameter	Unit	Gap Width: 1.3mm	Gap Width: 1.0mm
Pressure	MPa	2 - 9	2 - 9
Mass Velocity	Kg/(m ² s)	150 - 1000	300 - 1200
Inlet Temperature	°C	205 - 299	205 - 299
Local Peaking	-	1.0 - 1.2	1.0 - 1.2

2-3 定常時限界出力試験の結果及び解析結果

図 2 に定常時限界出力の主要な実験結果とサブチャンネル解析コード NASCA⁽⁴⁾ による解析結果を示す。NASCA は BWR 体系に対して開発されたものを使用した。図より、質量速度の増加に伴い限界出力が増加する傾向及びギャップ幅の減少に伴い限界出力が低下する傾向は実験結果と解析結果で一致する。しかし、ギャップ幅 1.0mm の体系においては過大評価の傾向にあり、現行の NASCA では燃料棒の稠密化による影響を十分に予測できていない。このため、NASCA の稠密格子炉心体系への適用性が別途検討されている⁽⁵⁾。

図 3,4 にバンドルスケール（燃料棒本数）効果を検討した結果を示す。図 3 のクオリティ分布より、水冷増殖炉の稠密格子燃料集合体では外周領域に冷却材が多く分布するため、バンドルスケールを大きくし外周領域割合を減じると冷却材が有効に利用されることがわかる。図 4 の燃料棒 1 本あたりの限界出力の比較より、37 本バンドルに比べて 217 本バンドルでは冷却能力が 5% 上昇する結果となった。

図 5 に燃料棒曲がり効果試験体を模擬した体系において、燃料棒の曲がり量が限界出力に及ぼす影響を検討した結果を示す。燃料棒曲がり量増加に伴う流路面積減少に対応して、限界出力が低下する結果となった。

3. おわりに

稠密 37 本バンドル試験体を用いた熱特性試験の概要とサブチャンネル解析コード NASCA による解析結果（試験解析、バンドルスケール効果、燃料棒曲がり効果）を述べた。現行の NASCA コードでは限界出力の基本特性は予測可能であるが、燃料棒の稠密化による影響を十分に予測できないため、稠密格子炉心体系への適用性検討が必要である。また、バンドル大型化により冷却能力は上昇し、燃料棒曲がり量増加に応じて限界出力が低下することがわかった。

本研究は、文部科学省からの受託研究「超高燃焼水冷却増殖炉用燃料集合体に関する技術開発」による成果である。

参考文献

- (1) A. Ohnuki, et al., "Development of Predictable Technology for Thermal/Hydraulic Performance of Reduced-Moderation Water Reactors (1) - Master Plan -", Proc. ICAPP'04, Pittsburgh, PA USA, June 13-17, 2004, No. 4055, (2004).
- (2) 呉田, 他 5 名, "稠密 37 本バンドル熱特性試験と熱流動モデル実験 第 9 回動力・エネルギー技術シンポジウム, NP3-07, 東京 (2004).
- (3) 玉井, 他 4 名, "稠密 37 本バンドル熱特性試験とギャップ幅効果の評価 第 10 回動力・エネルギー技術シンポジウム, OS8-04, 長崎 (2005).
- (4) H. Ninokata, et al., "Development of the NASCA Code for Prediction of Transient BT and Post BT Phenomena in BWR Rod Bundles", Proc. 4th Int. Seminar on Subchannel Analysis, 231-265, (1997).
- (5) 玉井, 他 3 名, "サブチャンネル解析コード NASCA による稠密格子炉心限界出力予測に関する研究 日本混相流学会年会講演会 2005, A333, 東京 (2005).

Fig.2 Comparison between measured and calculated critical power

Fig.3 Calculated distribution of quality

Fig.4 Bundle scale effect on critical power

Fig.5 Rod bowing effect on critical power