A118

高速増殖炉の変形燃料ピンバンドル内側の速度場計測

越智 大輔[☆] (東京大学), 染矢 聡 (東京大学), 岡本 孝司 (東京大学)

Measurement of Velocity Field in Wire-wrapped Rods Bundles for a Safety Design of FBR Fuel Systems

Daisuke OCHI, Satoshi SOMEYA and Koji OKAMOTO

ABSTRACT

It is important to advance safety and efficiency of the FBR. A numerical prediction method of high accuracy and its validation with a simulated thermal flow field are indispensable. A wire-wrapped rod bundle system, which briefly simulated the fuel rods system in FBR, was built up in the experiments. The wire wrapped rods were made from Mexflon-material, of which refractive index was exactly same with that of water. The particle image velocimetry was applied to measure the velocity field in the rod bundles, with variable flow rates and the temperature conditions. The aim of this study was to contribute to the certification of results of numerical simulation for the safety design of the FBR.

Keywords : PIV, FBR, Wire-wrapped rod bundle

1. 諸 論

原子力発電は、発電過程で二酸化炭素を排出しないため、地球環境問題を考えると、非常に有効なエネルギーである¹⁾。原子力発電における高速増殖炉の炉心熱流動評価手法の高信頼化は、安全で高効率かつ小型高出力性能が求められる次世代炉開発に重要な視点である。例えば冷却材ナトリウム温度が不均一になると、燃料棒が熱応力によって変形し、早期の交換が必要になる等、長期的な総合効率の低下につながる。そのため高速増殖炉の炉心における高精度かつ、実用的な熱流動場の予測手法が不可欠である。予測には数値計算が利用されるが、計算資源の制約のため、現在でも簡単な近似を含む乱流モデルの利用が主流であり、これらの結果を裏付ける実験データもあまりない。

そこで本研究では、高速増殖炉の燃料ピンバンドルを模擬した7本ピンバンドル体系の試験装置を用いて水流動実験を行い、熱流動場の速度分布データを取得する。

2. 実験方法

実験装置の概略図(ループ構成)を Fig.1 に示した。テストセクションは実機の燃料ピンを模擬する7本のロッドを有し、ポンプを用いてタンク内の水を循環させて、実験装置内部にロッド軸方向の流れ形成した。7本のロッド

Fig.1 Schematic of test section.

Fig.2 Measurement plane.

は、観察対象である長さ 100mm、直径 14.4mm のメックスフロンロッドの両端を同じ直径の材料で延長して 400mm とした。観察対象のロッドはメックスフロン製で、

水と屈折率が等しいため、構造物壁面近傍での PIV 解析の S/N 比低下を防ぐ。さらに複数のロッド、バンドルワイヤの存在に関わらず、複雑な形状をした流路の内部の流れを、屈折等の問題なく測定可能である。

ロッドには太さ 3mm のメックスフロンを用いてワイヤスペーサを観察部に 1 巻きし、助走区間となる上流側ロッドにも同ピッチで 1 巻きした。熱対流が冷却水の複雑な流れに与える影響を調べるため、上流側の長さ 200mm のアルミロッド内部にはヒータ(100W)を設置した。PIV 計測は、レーザ(527nm,YLF, 3mJ/pulse)をシート状にしてテストセクション内の観察領域に照明し、高速度カメラによって撮影を行った。計測断面は Fig.2 に示す 3 箇所とした。実験は、ヒータ加熱(100Wx7 本)有り無しの条件で、それぞれ流量を 5-70L/min で 5L/min 毎に変化させて行った。計測条件は、空間解像度を 1024x1024pixel, 撮影速度を 2500fps とした。

3. 実験結果

Cross Section 3 での流量 10L/min, ヒータ加熱無しの時間平均流速分布 Fig.3(a)に、加熱有りから加熱無しの流速を差し引いた時間平均相対速度分布を Fig.3(b)に示す。なお、時間平均は 500 枚の画像から解析して得られた 499 個のデータの平均を取った。Fig.3(a)に示すように上流からの流れは、右のロッドに巻かれたワイヤによって左上方向へと進む。その流れは、中央のロッドに巻かれたワイヤの下側を沿う流れと、ワイヤをまたいでワイヤの上側を沿う流れとに分かれる様子が見られた。流量や加熱の有無に関わらず同様のフローパターンが見られた。

ただし上流部で加熱した場合、Fig.3(b)に示すように、ワイヤ近傍で互いの流速が大きく異なる様子が見られた。ワイヤをまたぐ流れは、加熱無しの場合の方が速く、ワイヤに沿う流れは、加熱有りの場合の方が速いことがわかった。解析して得られたデータから乱れ度分布を求めると、ワイヤ近傍で乱れ度が大きくなっていたため、ワイヤ近傍ではヒータ加熱の有無で流速に差異が出たと考えられる。なお、ヒータ加熱有、流量 10L/min の条件で Cross Section 2 近傍の軸方向温度を計測したところ、観察領域内の温度差は最大で 4℃あり、ヒータからの距離と温度の関係は単調ではなかった。

次に、時系列流速データを求め、その標準偏差を Fig.4 に示す。なお、時系列流速データは Fig.3(a)の白丸で囲

った 3 点を求めた。Fig.4 より、ワイヤをまたぐ位置(b)での標準偏差が大きく、この位置では流れの乱れが強い。(c)ではいずれも同程度の標準偏差であったが、(a),(b)では 70L/min のときに加熱の有無による大きな違いが見られた。この条件では、レイノルズ数が 25,000 で、流れ場は強い乱流のため、加熱の影響は考えられない。0.2msec という短い時間での平均値であることも標準偏差に違いが現れた一因と考えられるが、(c)では差異がないことから、特に(a),(b)ではワイヤの影響により非常に不安定な流れとなっていると考えられる。

Fig.3 Velocity and relative velocity distribution in cross section 3.

Fig.4 Standard deviation of time-series data.

4. 結論

7 本ピンバンドル体系試験装置を用いて PIV 計測を行い、ヒータ加熱の有無と流量をパラメータとして 3 箇所の流速分布を得た。ヒータ加熱の影響は、低流速でわずかに見られたが、高流速では強い乱流の影響により、見られなかった。今後、乱流場に対応するために長時間のデータを取得する必要がある。

参考文献

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁: 平成 19 年度エネルギーに関する年次報告, pp.287-294, (2008).