

鉛直加熱源を有する水プール内の温度成層化機構の分析

Elucidation of thermal stratification mechanisms in water pool with vertical heat source

*関根 将史^{1,2}, 塚本 直史¹, 増原 康博¹, 古谷 正裕²¹原子力規制庁, ²早稲田大学

使用済燃料プールの冷却機能喪失時等において温度成層化が発生する可能性がある。この温度成層化の発生と消散メカニズムを明らかにするため、水プール容器内に鉛直加熱源を設置した実験を実施し、温度成層界面の位置、温度・流速分布の構造を分析してきた。本報では、プールサイズ等の影響について検討した結果を報告する。

キーワード: SFP、温度成層化、PIV、サーモグラフィ、光ファイバ

1. 緒言 使用済燃料プール(SFP)の冷却機能喪失時等において温度成層化が発生する可能性がある[1]。温度成層化はプール上部空間の温度と湿度を上昇させ、作業性や設備の健全性を悪化させるため、その機構を把握することが重要である。本報では、水プール容器内の加熱源出力及び位置をパラメータとした温度成層化実験を踏まえて[2]、プールサイズ等をパラメータとして実験を行い、温度成層化機構を分析した。

2. 実験装置 図1に本実験体系の概略図を示す。小型プール実験装置はポリカーボネート製であり、寸法は 320 mm^H×160 mm^W×30 mm^Dとした。ヒーターロッドはφ12 mm であり、長さ 180 mm となるように水中に設置した。ヒーターロッドの先端より長さ 100 mm の部分は加熱部とし、残りの 80 mm は非加熱部とした。K 型熱電対を側壁近傍に 5 か所ずつ設置し、鉛直方向に光ファイバの挿入、正面からサーモグラフィにより温度場を計測した。速度計測は 15 μm の粒子を用いて粒子画像流速測定 (PIV) を行った。また、プールサイズの影響を確認するため、図1の容器幅を3倍にした 320 mm^H×480 mm^W×30 mm^Dの容器も用いた。

3. 実験条件 本実験では、加熱源出力及び位置の条件に加えて、容器サイズ等をパラメータとした。初期条件は、プール水は室温で均一分布であり、速度は静止状態とした。大気圧下でヒーター出力を実験中一定に保ち、水プール昇温過程における温度場と速度場を計測した。

4. 実験結果及び考察 図2に容器幅1倍、図3に容器幅3倍でのサーモグラフィ温度分布とPIV速度分布を示す。図3は現象的に左右対称であったため容器半分を示す。これらの温度分布から温度成層界面は加熱部下端付近で生じることを明らかにした[2]。また、温度・速度分布から、高温領域内に巨視的な流れが生じる渦領域 (Region 1) と流速の小さな淀み領域 (Region 2)、低温層においてはほぼ流れのない淀み領域 (Region 3) の3領域に大別できることを明らかにした[2]。これらは、プールサイズに依らないことを確認した。さらに出力条件等によっては、渦領域が高温層の淀み領域全体にまで広がり、渦領域が低温層に広がることで温度成層化の消散する様子が観測された。

5. 結論 水プール容器内に鉛直加熱源を設置した温度成層化実験を実施し、本実験条件の範囲ではプールサイズに依らず、温度成層界面の発生位置は加熱部下端であること、温度分布と流速分布の構造から鉛直方向に3領域に大別できることを明らかにした。今後は複数の加熱源が温度成層化に与える影響について分析する予定である。

本研究は、原子力規制庁と早稲田大学との共同研究にて得られた成果の一部である。

参考文献 [1] 原子力規制庁 実用発電用原子炉施設の廃止措置計画に係る審査会合「第8回資料3-1 美浜発電所1,2号炉の廃止措置計画変更申請について(審査会合における指摘事項の回答)」(令和元年8月27日) [2] M. Sekine et al., ANE, Vol. 207, 110681, 2024.

*Masashi Sekine^{1,2}, Naofumi Tsukamoto¹, Yasuhiro Masuhara¹ and Masahiro Furuya²

¹Nuclear Regulation Authority, ²Waseda Univ.

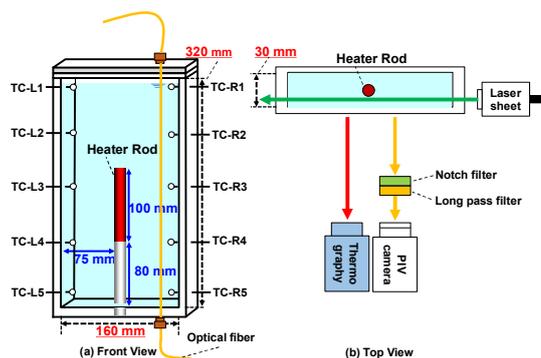


図1 実験体系概略図 [2]

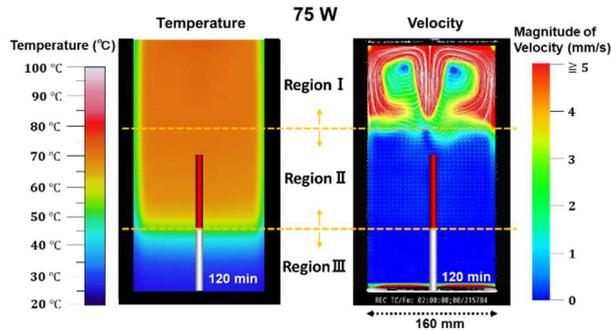


図2 温度分布と流速分布の構造 (75W, 容器幅1倍) [2]

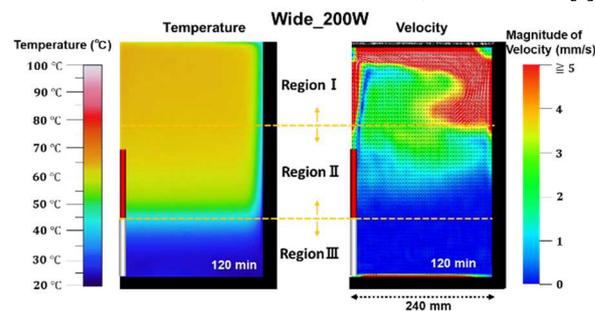


図3 温度分布と流速分布の構造 (200W, 容器幅3倍)