

熱流動部会セッション

国内における浮体式原子力発電の検討状況

Japanese Research Activity for Offshore Floating Nuclear Power Plant

(3) 核熱結合を考慮した BWR プラント揺動解析

(3) BWR Plant Oscillation Analysis with Thermal Hydraulics-Neutronics Coupling

*古谷 正裕¹¹ 早稲田大学

1. 緒言

洋上における原子力利用については、浮体式原子力発電の設計や、原子力船としての実用例がある。洋上では気象条件により大きな揺動や傾斜を経験することから、原子力プラント応答が古くから研究されている。近年においても浮体式原子力発電^{[1],[2]}及び原子力船^[3]の揺動や傾斜影響が数値シミュレーションにより評価されている。

これらはいずれも炉心が単相流である加圧水型原子炉(PWR)であり、炉心で沸騰二相流となる沸騰水型原子炉(BWR)を対象とした核熱結合を考慮した揺動解析は見当たらない。本報では、産業競争力懇談会(COCN)の浮体式原子力発電プロジェクトにおいて、BWR プラントを対象に、核熱結合を考慮した揺動解析評価を行ったので報告する。

2. BWR プラント揺動解析評価

浮体式 BWR の鉛直方向の揺動が炉内流動に与える影響を把握するため、電気出力 110 万 kW の典型的な BWR 5 を対象に、鉛直方向の加速度を正弦波で与える解析を実施した。BWR5 プラント諸元は文献^[4]を参照した。ボイド反応度及びドップラー反応度を考慮している。システム動特性解析コードとして米国規制委員会が管理する TRACE コードを用いた。2021 年 12 月時点に於ける最新バージョン Version 5.0 patch level 6 である。ソースコードに、任意の時刻の加速度を三次元で与えられるように変更し、コンパイルして実行形式を生成した。加速度の時間変化を考慮した修正コードの妥当性を確認するために、矩形プールの揺動試験における液面振動(スロッシング)が実験結果と精度良く一致することを確認した。

浮体式 BWR が経験する揺動を保守側に包絡すべく、加速度変動周期を 2~300 s、鉛直方向加速度振幅を 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 G の範囲で改良コードを用いてパラメータサーベイした。図 1 に鉛直加速度揺動が炉心入口流速に与える影響を示す。図 1 下図が、BWR プラント全体に与えた鉛直方向加速度である。重力加速度(鉛直上向きを正として $-1\text{ G} = -9.8\text{ m/s}^2$)に周期 3 s の鉛直方向加速度を目的振幅まで 10 周期で到達するように振幅を線形に増大させた。図 1 上図は、炉心入口流速の応答である。初期に定格運転条件にある BWR が鉛直下方に重力が増減すると、自然循環駆動力の増減により流速が増減している。流速応答の振幅は概ね加速度変動の振幅に比例している。加速度振幅が 0.8G の場合でも、入口流速の変化は±4%の範囲に限定されている。

図 2 に加速度変動の振幅(0.2~0.8 G)と周期(2~300 s)が入口流速変動に与える影響を示す。加速度変動の目標振幅が増大すると、入口流速の標準偏差が数%増大している。加振周期 10 s 以上と比較すると数 s 程度の加振周期では入口流速の標準偏差がやや上昇している。これは BWR の炉心安定性の共振周波数に近接していることが原因と考えられるが、定格運転条件における強制流動下ではその影響は小さいことを示している。計算範囲の周期(2~300 s)においては、入口流速の標準偏差の変化が小さいことから炉心入口流量の追従性が高いことが判明した。

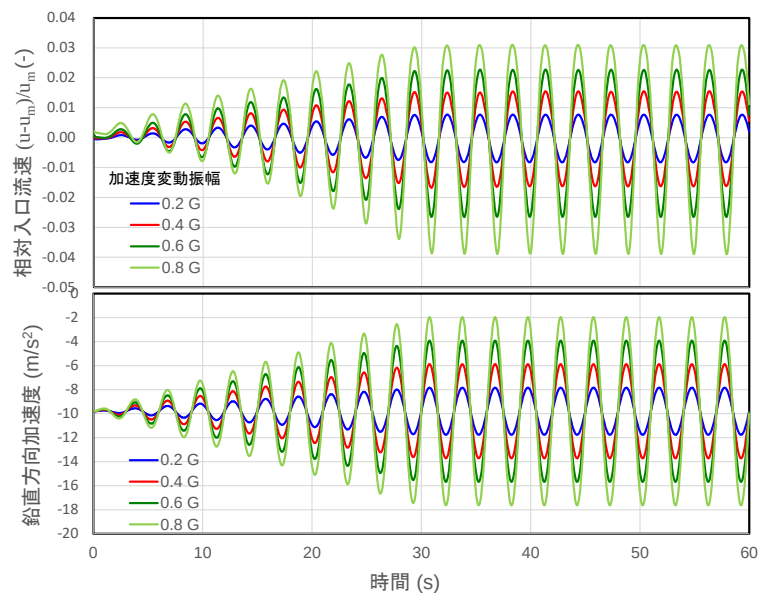


図1 鉛直加速度による炉心入口流量の振動

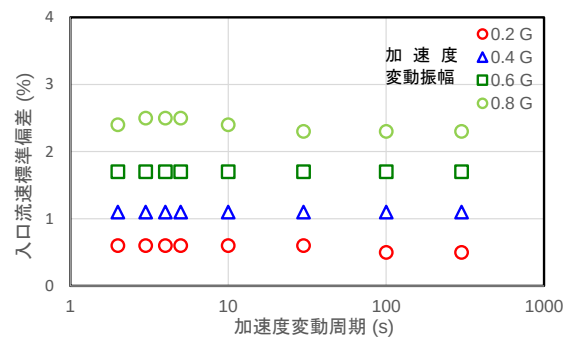


図2 加速度振幅と周期に対する入口流速変動

3. 結言

プラント過渡解析コード TRACE に三次元加速度を考慮する改良を行い、ボイド反応度フィードバックを考慮した BWR 揺動解析を行った。ボイド反応度フィードバック等を考慮した計算結果では、定格運転条件において振幅 0.8 G、周期 2~300 s に対する流量振動は標準偏差 3% 未満であり、鉛直加振の影響は小さい。今後は、ポンプトリップ後の自然循環状態における安定性評価や、傾斜における炉内流動評価が行われることで、BWR が浮体式原子力発電の重要な選択肢となることが期待される。

参考文献

- [1] Zhang, Y., Buongiorno, J. *et al.*, “Safety Analysis of a 300-MW (electric) Offshore Floating Nuclear Power Plant in Marine Environment,” Nuclear Technology, 203-2, (2018).
- [2] Li, R., Peng, M. *et al.*, “The natural circulation flow characteristic of the core in floating nuclear power plant in rolling motion,” Ann. Nucl. Energy, 142 (2020) 107385.
- [3] Yan, B. H., “Review of the nuclear reactor thermal hydraulic research in ocean motions,” Nucl. Eng. Des., 313, (2017), pp. 370-385.
- [4] 玉越武, 渡辺憲夫, 平野雅司「110 万 kW 級 BWR プラントを解析対象とした熱水力解析コード TRAC-BF1 用入力データの作成」, JAERI-Data/Code 98-037 (1998).

*Masahiro Furuya¹

¹Waseda Univ.