時間依存モンテカルロ計算による 中性子雑音を用いた軽水炉内ボイド情報の推定

Prediction of Void Information in LWR
using Neutron Noise calculated with Time-Dependent Monte Carlo Method

*髙山 直毅[1]，山本 俊弘[2]，佐野 忠史[2]，堀 順一[2]，中島 健[2]
[1]京都大学 原子核工学，[2]京都大学 原子炉実験所

中性子雑音から軽水炉内のボイド率並びにボイド速度の推定を行う方法は以前から存在したが、実際にボイドを含む非均質気液二相流を模擬した時間依存中性子輸送計算による解析は行われてこなかった。本研究ではこれらを同時に取り扱うことにより、高精度なボイド情報取得の可能性を検討した。

キーワード：モンテカルロ法(MC 法)，中性子雑音，軽水炉(LWR)，ボイド

1. 背景及び目的

原子炉で利用される軽水減速材/冷却材中のボイド率及びボイド速度等のボイド情報を推定する方法として、炉内中性子検出器によって観測される中性子雑音を用いた方法が存在する。先行研究では、軽水中に含まれるボイドの形状を模擬した体系に対し、拡散理論に基づいた数値解析が行われている[1]。一方、軽水とボイドを均質に取り扱った体系について、MC 法を用いた輸送計算による解析も行われており、両者の結果に差異が報告されている[2]。そこで、本検討ではボイド形状を実際に模擬した上で MC 法を用いたより厳密な解析を行い、中性子雑音測定に関する知見を得ることを目的とした。

2.解析方法

厚さ 5 cm の 2 次元平板体系において、平板の下部よりボイドを含む非均質の気液二相流が上部に流れることを想定した。軽水の温度は室温とし、ボイド率，粒径，速度が任意で与えられる。平板の片側面から中性子が入射され、もう一方の側面に透過してきた中性子を検出する状況を時間依存の MC 計算でシミュレーションした。エネルギー群数は 3 群とし、入射中性子のスペクトルは典型的な軽水炉のものを使用した。

中性子検出の時系列データから中性子雑音の自己パワースペクトル（APSD）の折れ点周波数が得られれば、ボイド情報が取得できるとされている[3]。一方で熱群中性子では折れ点周波数が定義できないため、ピーク周波数からボイド情報を推定することを新たに試みた。本稿では、ボイド率を 20%に固定し、ボイド速度を 10～200 cm/s の範囲で変化させた場合と、ボイド速度を 120 cm/s に固定し、ボイド率を 1～30%の範囲で変化させた際の APSD の周波数特性変化を紹介する。なお、ボイド直径を 7 mm に固定して計算を行った。

3. 結果及び考察

ボイド速度及びボイド率をパラメータとした際の、折れ点周波数とピーク周波数の変化を、それぞれ図 1 と図 2 に示す。先行研究で予測されているように、ボイド速度と折れ点周波数の関係に線形性が確認された。一方で、ピーク周波数はボイド率とともに増加しているが、これは従来の知見とは逆の傾向となっている。これは、ボイドを非均質として陽に取り扱ったことが影響していると考えられる。

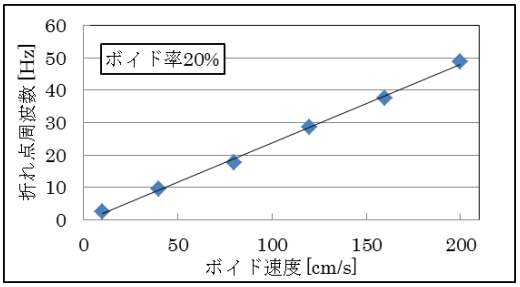

図 1 ボイド速度と折れ点周波数の関係

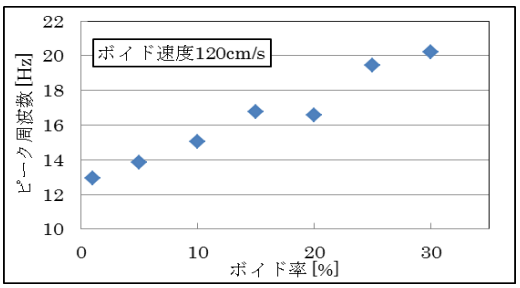

図 2 ボイド率とピーク周波数の関係

4. 結論

ボイド速度並びにボイド率変化に伴う APSD の周波数特性から、ボイドが非均質に存在する体系であってもボイド情報を取得できることが確認できた。

ボイド粒径やボイド率をさらに変化させたときの中性子雑音特性については口頭発表で説明を行う。

参考文献

[1] V. Dykin, I. Pázsit, Nucl. Technol., **183**(2013) 354-366.
[2] T. Yamamoto, H. Sakamoto, Prog. Nucl. Energy, **90**(2016) 58-68
[3] G. Kosály, Prog. Nucl. Energy, **5**(1980) 145-199.

*Naoki Takayama[1], Toshihiro Yamamoto[2], Tadafumi Sano[2], Jun-ichi Hori[2] and Ken Nakajima[2]
[1]Department of Nuclear Engineering, Kyoto University, [2]Kyoto University Research Reactor Institute.