

遷移過程における溶融燃料－冷却材相互作用（FCI）の不確かさの影響評価

1. 概要

S I M M E R－IVの検証及び妥当性確認において、重要現象の一つである溶融燃料－冷却材相互作用（FCI）に関する試験解析は、ナトリウムを用いた FCI 試験で発生する圧力をやや過大評価するものの、ほぼ同程度の圧力値を再現することから、同コードが格納容器破損防止措置有効性評価への適用性を有することを確認した。ULOF 遷移過程の事象推移においては、炉心内の大半はボイド化が進展しているものの、炉心周辺部には液体ナトリウムが残存している。炉心周辺部で FCI が発生すると、その発生圧力が駆動力となって燃料集中を引き起こす可能性がある。この場合、溶融燃料とナトリウムが接触・混合する状況の不確かさが大きく、また、炉心周辺での FCI による燃料スロッシング現象は、実験的に模擬することが難しいことから、有効性評価においてその不確かさの影響を評価する必要がある。具体的には、遷移過程の損傷炉心周辺部で発生する FCI は、評価指標である炉心平均燃料温度への影響が大きく、有効性評価ではその不確かさの影響を保守的に包絡する条件を用いて解析することとし、遷移過程の基本ケースに対して FCI の発生状況の不確かさを保守的に考慮するパラメータ解析を行い、その不確かさを包絡する評価を行った。

2. FCI の不確かさの影響評価

第 1 図に ULOF 遷移過程の基本ケースにおける即発臨界超過直前の反応度時間変化を示す。基本ケースでは、主に局所的な FCI と FP ガス放出による圧力発生と重力に駆動された炉心プールの水平方向の揺動によって燃料が凝集することで即発臨界を超過する。炉心プールのスロッシングによって 131.2s に燃料が炉心中心から遠ざかり、131.4s から燃料凝集が再開することで反応度は 131.2s に極小値を取り、131.4s から再上昇して即発臨界に至る。

基本ケースに対して感度解析においては、FCI の発生状況の不確かさの影響を保守的に評価して燃料凝集量を増加させるために、131.2s 以降の燃料凝集の過程で炉心中心への燃料凝集を加速する位置で FCI 圧力を発生させることとした。すなわち、炉心周辺領域で FCI が発生する可能性があり、かつ、燃料を炉心中心へ凝集させる位置にある外側炉心の制御棒下部案内管（LGT）の位置で圧力発生を伴う FCI が発生することを仮想し、FCI 現象の不確かさの影響を包絡することとする。

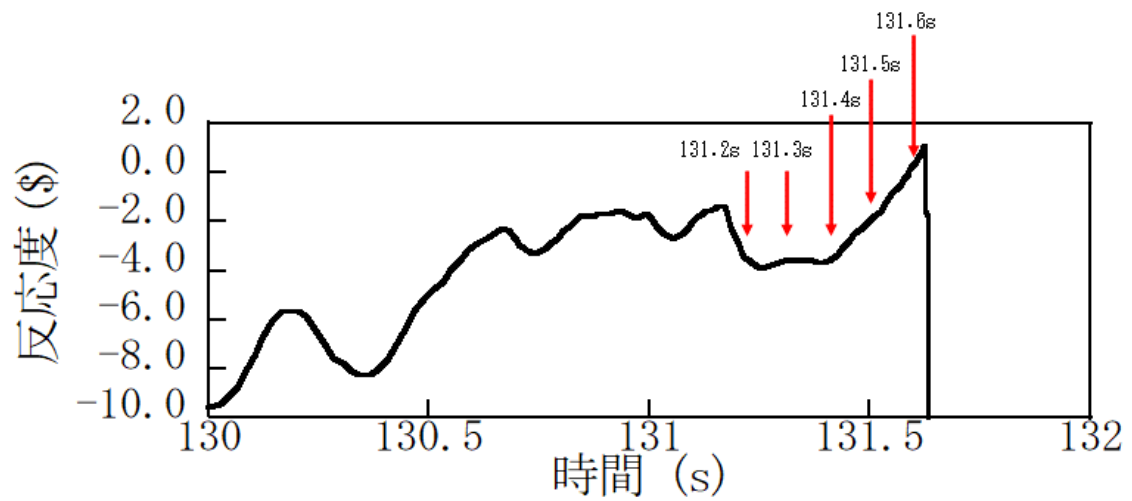
FCI の規模としては、過去に実施された UO_2 とナトリウムを用いた炉外 FCI 試験における圧力のピーク値が約 4MPa であるのに対して約 8MPa の圧力が発生する量のナトリウムを強制的に LGT の位置に設定した。また、FCI が複数の LGT 位置で同時に発生することは考えられないが、ここでは、燃料の集中を強制するために、2カ所の LGT で同時に FCI が発生するという、極めて保守的かつ仮想的な想定を用いた解析も実施した。

感度解析においては時間及び空間の両面から包絡的な FCI の発生条件を絞り込むために、FCI の発生時刻は、第 1 図に示す 131.2s、131.3s、131.4s、131.5s、131.6s とし、発生位置は第 2 図の赤丸で示す外側炉心にある LGT 位置の 1カ所又は 2カ所とした。解析の結果、第 2 図に示す LGT 位置の 1カ所での FCI 発生を想定した場合の即発臨界超過による発生エネルギーは基準ケースよりも小さくなった。これは FCI の発生位置が 1カ所である場合は、FCI が燃料を分散させて燃料の集

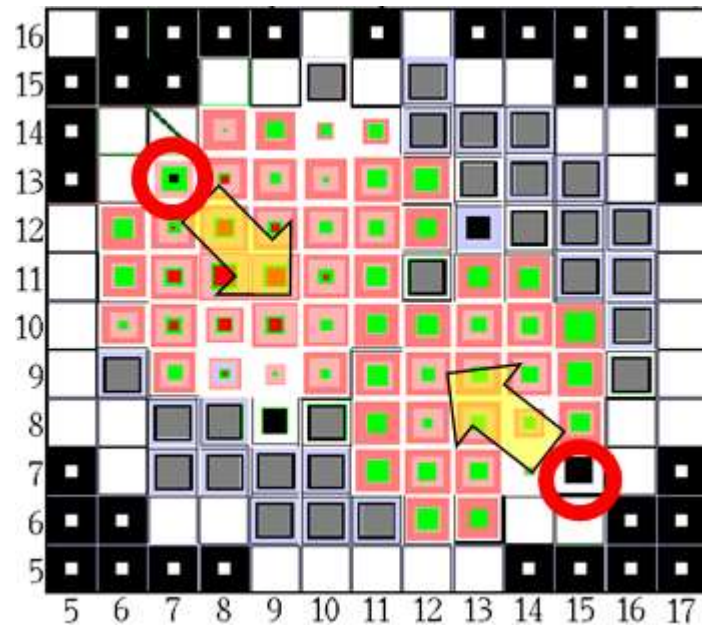
中を妨げることになるためである。第 2 図の 2 カ所同時の FCI 発生を仮想した場合のみ、基準ケースを上回るエネルギーが発生し、最大の出力逸走となったのは、131.3s に FCI を発生させたケースで、基準ケースの反応度挿入率約 30\$/s、炉心平均燃料温度約 3,700°C に対して、反応度挿入率は約 50\$/s、炉心平均燃料温度は約 4,070°C となった。

3. まとめ

遷移過程の基本ケースに対して FCI の発生状況の不確かさの影響を保守的に考慮する感度解析を行い、不確かさを包絡する評価を行った。基本ケースの即発臨界超過による出力逸走の直前で燃料の集中を強制するために、外側炉心に位置する 2 カ所の LGT 位置で同時に FCI が発生するという極めて仮想的な想定と、既存の溶融燃料とナトリウムを用いた実験データを大幅に超える圧力発生を伴う FCI を強制的に発生させる条件を用い、さらに発生タイミングについてもパラメータ解析を実施した。最も厳しい結果を与える解析ケースでは、反応度挿入率で約 50\$/s、炉心平均燃料温度で約 4,070°C となった。この結果は、極めて保守的な FCI 発生状況を重ね合わせた仮想的な条件設定によるものであり、遷移過程における FCI の不確かさ影響を十分に包絡した解析結果を与えるものと判断している。



第1図 遷移過程基本ケースにおける即発臨界超過前の反応度変化



第2図 強制的にFCIの発生を想定した制御棒下部案内管位置