

ナトリウム冷却高速炉の炉心崩壊事故時における 損傷炉心物質の冷却性評価手法整備；重要現象に関する検討

Development of an evaluation methodology for in-place cooling of degraded core materials
in the core disruptive accident of sodium-cooled fast reactors; Study on key phenomena

*青柳 光裕¹, 神山 健司¹, 鈴木 徹¹, 松場 賢一¹

¹原子力機構

炉心領域に残留した損傷燃料の冷却（インプレース冷却）は、炉心崩壊事故の影響を炉容器内に格納させるための主要な要素の一つである。本報では、インプレース冷却に関連する物理現象の重要度を評価するとともに、安全解析コードで同事象を評価する際に重要現象と関連するモデルを整理した。

キーワード：ナトリウム冷却高速炉，炉心崩壊事故，冷却過程，インプレース冷却，炉心残留燃料，PIRT

1. 研究背景および目的

ナトリウム冷却高速炉の炉心崩壊事故において、燃料等の損傷炉心物質を原子炉容器内で安定的に冷却することが、事故の影響を原子炉容器内に格納（IVR）するための一つの要件である。損傷炉心物質は主に炉心部と炉心下方に設置される受皿等の構造上に再配置すると想定される。炉心下方ではサブクール度を有する大量の冷却材による燃料冷却が見込まれる。一方で、この冷却材が炉心部に再流入することで炉心部でも燃料が安定的に冷却（インプレース冷却）される可能性があるため、インプレース冷却は IVR 達成のための重要な要素の一つである。本研究では、高速炉安全解析コード SIMMER をベースとしたインプレース冷却の評価手法整備を目的とする。著者らはこれまでに SIMMER コードを用いた解析評価を行い、インプレース冷却時の挙動を予測した[1]。本報では、SIMMER コードにおいて必要なモデルの充足性を確認するために、PIRT 手法[2]に基づき、インプレース冷却に関連する物理現象の重要度を評価し、同コードにおける関連モデルを整理する。

2. インプレース冷却における物理現象の抽出および関連するモデルの整理

まず PIRT 手法に基づき、ナトリウム冷却高速炉の構成要素を階層的に分類して、インプレース冷却に関連する物理現象を抽出した。合わせて実施した事象推移の検討においても、同様の物理現象が抽出されることを確認した。冷却材による燃料の除熱量を評価指標として、各物理現象の重要度を High、Medium、Low の三段階にて評価した。従来の解析[1]で得られた知見に基づく評価結果を下表に示す。評価指標への寄与が大きい現象を重要度 H と判定した。また評価指標への影響は比較的小さいが、事象推移の中では無視できない現象は重要度を M とした。一方で評価指標と事象推移のいずれに対しても影響度が小さい現象は重要度 L とした。また重要度評価表の右側に、各物理現象に対応する SIMMER コードにおけるモデルを示す。重要度 H と M の現象に対しては、同コードにてモデル化がなされていることが確認された。

表. インプレース冷却に関する重要度評価表

物理現象	重要度	関連する SIMMER コードのモデル		
崩壊熱発熱	M	崩壊熱減衰（入力値）		
ふく射熱移行	L	モデルなし		
二相流熱伝達（燃料中）	H	固気液間熱伝達	固気液間界面積	流動様式
二相流熱伝達（気液間）	M	気液間熱伝達	気液間界面積	流動様式
固体間熱伝導	L	セル間伝導伝熱	構造ノード間伝熱	
炉心圧力変化	H	状態方程式	蒸発・凝縮物質伝達	
流動抵抗（燃料中）	H	球体抗力係数	固気液間運動量交換	流動様式
流動抵抗（燃料外）	M	構造面運動量交換	気液間運動量交換	流動様式
相変化（蒸発・凝縮）	H	蒸発・凝縮物質伝達	状態方程式	
対流輸送（熱・質量・運動量）	H	質量・運動量保存	構造面運動量交換	

3. 結論

インプレース冷却の評価手法整備のため、関連する物理現象を抽出して、各物理現象の重要度を評価した。また高速炉安全解析コード SIMMER で同事象を評価する際に、重要現象に関連するモデルを整理した。その結果、同コードにおいて必要なモデルの充足性を確認できた。

参考文献

[1] 青柳他、日本原子力学会「2014 年秋の大会」I43

[2] Wilson, G. E. et al., *Nuclear Engineering and Design*, 186, pp. 23–37 (1998).

*Mitsuhiro Aoyagi¹, Kenji Kamiyama², Tohru Suzuki¹ and Ken-ichi Matsuba¹

¹ Japan Atomic Energy Agency