

ナノ粒子分散ナトリウムによる高速炉の安全性向上に関する研究 (12) 全体進捗状況

Study on safety enhancement of the fast reactor by using nanoparticle suspension sodium

(12) Progress of Project

*斉藤淳一¹、永井桂一¹、荒 邦章¹

¹原子力機構

ナノ粒子分散ナトリウム（以下、ナノ流体）による高速炉の安全性向上に関する研究を進めている。本報ではこれまでの研究の進捗状況について報告するとともに、ここまでの成果を総括する。

キーワード：液体ナトリウム、ナノ流体、高速炉プラント、ナノ粒子、反応抑制

1. 目的 冷却材ナトリウムに起因する格納機能を阻害する可能性のある事象として、ナトリウムの漏えい燃焼、漏えいナトリウム燃焼生成物によるライナ腐食、ライナ貫通破損によるナトリウム－コンクリート反応および蒸気発生器の伝熱管破損によるナトリウム－水反応の4つの事象を挙げて、ナノ流体の反応抑制効果の実験的な把握および理論的な解明、実機への適用性効果の評価およびナノ流体の製造技術の開発により、ナノ流体技術適用による高速炉の安全性向上を図る。

2. 進捗状況

(1) 反応抑制効果と適用効果

①漏えい燃焼：通常の運転温度を超える条件のナトリウム漏えい事象を対象にナノ流体の適用による効果として、燃焼挙動の緩和、周囲への熱的影響の低減などの抑制効果に関する特性ならびにナノ粒子分散による燃焼の自己終息に関する特性などの反応抑制効果に関する実験知見の取得が進んでいる。また、これらの知見を基に実炉での漏えい燃焼の予測手法の整備が進んでいる。（詳細結果は発表(13)、(14)を参照）

②ライナ腐食：ナトリウム漏えいから床ライナ鋼材の腐食に至る事象進展プロセスを分析して、ナノ流体の適用による評価の着眼点として、高湿分雰囲気で生じる腐食源（過酸化ナトリウム、水酸化ナトリウム）の生成挙動の変化ならびにその腐食源が堆積して生じる床ライナ鋼材の腐食挙動の把握を進めている。その結果、ナノ流体の適用により、腐食源が顕著に低減でき、床ライナ鋼材の腐食速度を顕著に低下できることを確認している。このことは、特殊な高湿分雰囲気下で起こる可能性のある熔融塩型腐食を回避できることを示唆している。

③ナトリウム－コンクリート反応：万が一、ライナが破損した場合に生じるナトリウム－コンクリート反応を対象として、ナノ流体の適用による効果、影響の把握を進めている。ナトリウム－コンクリート反応における水素発生プロセスとして、ナトリウムによるコンクリートの加熱と含有水の放出ならびに放出水とナトリウムの反応による水素発生挙動を調査している。その結果、ナノ流体の適用により、含有水の放出量および放出水とナトリウムの反応抑制により水素発生量が顕著に低減できることがわかり、その評価ならびにメカニズムの解明を進めている。

④ナトリウム－水反応：これまでのナノ流体のナトリウム－水反応に関する実験知見を基に、設計基準を超えた条件（例えば、水反応発生後の水ブロー機能喪失に係る多重事故）を想定事象として、ナノ流体の適用による影響の予測を行っている。その結果、反応現象の抑制（反応ジェット温度低下）と影響の緩和が期待され、予定するナノ流体の反応抑制効果把握試験に備えている。

(2) 反応抑制メカニズムの解明

これまで実施したナトリウム原子とナノ粒子の原子間相互作用の研究を発展させ、量子論に基づく相互作用解析をベースとした、実験融合マルチスケール・マルチフィジックス計算化学を適用することにより、液体状態のナトリウム中のナノ粒子の原子間相互作用について評価している。ナノ粒子分散による原子間結合力および電荷状態が明らかになり、反応抑制メカニズムの解明が進んでいる。（詳細は発表(15)～(20)を参照）

(3) ナノ流体製造技術

上記①～④の成果を踏まえて、ナノ流体技術の実用化に向けて基盤技術開発として、ナトリウムに適合するナノ流体の製造技術開発を進めている。要求されるナノ粒子仕様の製造制御に必要な装置化知見ならびにナトリウム分散手法の高度化知見が得られている。（詳細は発表(21)を参照）

本研究は、特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、日本原子力研究開発機構が実施した平成26年度「ナノ粒子分散ナトリウムによる高速炉の安全性向上技術の開発」の成果です。

*Jun-ichi SAITO¹, Keiichi NAGAI¹ and Kuniaki ARA¹

¹Japan Atomic Energy Agency