

## 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 (26) 成果概要

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

### (26) Summary of Project

\*荒 邦章<sup>1</sup>、宮本 明<sup>2</sup>、山下晃弘<sup>3</sup>、栗田晃一<sup>4</sup>

<sup>1</sup>原子力機構、<sup>2</sup>東北大学、<sup>3</sup>三菱重工業、<sup>4</sup>三菱 FBR システムズ

ナノ粒子分散ナトリウム（ナノ流体）による冷却材ナトリウムの化学的活性度抑制技術を用いた高速炉の安全性向上を目指している。従来の設計基準を超える厳しい事故を想定したナノ流体技術の開発および適用性評価を進めており、これまでに明らかになったナノ流体の適用効果等について報告する。

**キーワード**：高速炉、ナトリウム、反応抑制、ナノ流体

**1. 研究目標**：ナノ流体技術を用いて、冷却材ナトリウムに潜在する危険性を低減することにより、ナトリウムの化学的活性度が係る事故等における格納機能の健全性確保ならびに重大事故への進展防止の可能性を明らかにし、その方策の提示に資することを目標とする。

**2. 研究計画**：かかる目標を達成するために、①ナノ流体の反応抑制効果の評価および抑制メカニズムの解明、②原子炉プラントに適用した場合の効果の評価ならびに適用方策の検討、③全く新しい技術であるナノ流体の製造技術開発を実施している。また、これらの研究を通じて、アルカリ液体金属媒質へのナノ粒子分散と言う新しい固-液分散系技術の特性、応用等に関わる技術のポテンシャルを評価し基盤知見として整備する。

**3. 進捗および成果概要**：これまでの研究から明らかになったことの主要な点を次に示す。

**(1) ナノ粒子分散による反応抑制効果**：①評価対象事象としたナトリウム漏えい起因する燃焼火災、特殊な雰囲気条件下で発現の可能性を有する鋼製ライナの溶融塩型腐食、更に、ライナが貫通破損に至った場合のナトリウム-コンクリートならびに蒸気発生器伝熱管破損に起因するナトリウム-水反応について、反応抑制効果を把握し、従来の設計基準を超える事象を想定しても格納機能の維持に十分な効果を有することが明らかになった。②また、これらの反応現象把握とともに、ナノ粒子分散による原子間相互作用の理論推定や相互作用に基づく物性の変化および反応抑制効果との相関性など理論的検討を進め、ナノ粒子分散ナトリウム中の構造や特性が明らかになってきた。

**(2) 反応抑制のメカニズム**は、①ナノ粒子分散による原子間結合力の増大(凝集エネルギーの増加)による反応速度の緩和および反応熱量の低減が全ての反応現象で効果があることに加えて、副次的な効果として、②粒子種を選べば安定化合物生成による反応の自己終息効果の制御が可能となり、③アルカリ金属に固有の電気化学的特性に起因する腐食現象の緩和など相乗的な反応効果を生み出しうるということが明らかになった。

**(3) 事故条件の厳しさとその影響**：漏えい温度の高温化、規模の拡大等事故条件の厳しさに応じて影響が拡大するが、ナノ流体の適用により影響を限定しうるということが明らかになってきた、例えば、大規模漏えい燃焼の場合には反応自己終息効果により漏えい規模に依らず影響を限定でき、高湿分環境下でも溶融塩型腐食を回避しうる。

**(4) 実炉における適用効果予測**：反応抑制メカニズムを取り込んだ評価手法を整備し、実機における反応抑制効果の予測を通じてナノ流体適用による漏えい燃焼事故および水反応事故時の効果の有効性を評価した。

**(5) ナノ製造に関わる基盤技術**：ナトリウムに適合する粒子仕様を明らかにし、その製造法(気相蒸発急冷)と装置化に必要な設計知見を取得するとともに、液体金属への分散に関わる技術要件を整理してナノ流体製造に必要な基盤技術の整備を図っている。実用化に向けた提案として粒子生成と同時に分散を行う直接分散手法を検討した。

**(6) 反応抑制以外の冷却材適用性評価**：反応抑制に関する研究に加えて、ナノ流体の実炉への適用の観点から冷却材への適用性に関して、設計から運転、保守・補修などの広範な切り口から懸念事項を抽出して、理論検討だけでなく小規模の実験による検証を行って、基盤研究の段階において成立性を阻害する要因が無いことを把握しており、今後の工学的開発段階で検証する。以上を総じて、反応抑制に関わる基盤知見、実炉の評価手法および製造技術基盤等の整備が進み、今後の実用化に向けた検討に向けた検討に備えている。

**4. ナノ流体技術のポテンシャル**：ナノ粒子分散による原子間相互作用は強固であり、高速炉の使用条件下(温度範囲など)においては安定した反応抑制効果を示すことが理論及び実験の両面から明らかになっており、事故事象が厳しくなる程に反応抑制効果はより顕著に期待しうる。ナトリウムの弱点を克服のブレークスルーとなりうる。

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28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。

\*Kuniaki ARA<sup>1</sup>, Akira MIYAMOTO<sup>2</sup>, Akihiro YAMASHITA<sup>3</sup>, Koichi KURITA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>Mitsubishi Heavy Industries, LTD., <sup>4</sup>MITSUBISHI FBR SYSTEMS.