

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 (24) 反応抑制効果 (その 7)

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

(24) Reaction Suppression (7)

*永井 桂一¹, 斉藤 淳一¹, 荒 邦章¹

¹原子力機構

ナトリウムと水反応との現象について、ナノ流体の（ナノ粒子分散による）反応抑制に係わる特性や効果を明らかにするとともに、実炉への適用効果を評価している。

キーワード：高速炉、ナトリウム-水反応、ナトリウム-コンクリート反応、反応抑制、ナノ流体

1. 研究計画

研究アプローチは次のとおり。

- (1) (基礎知見把握) ナノ粒子分散による原子間相互作用に基づく物性や特性の変化の把握、反応速度および反応熱量の変化の把握
- (2) (反応現象把握) ナトリウム-水反応におけるナノ粒子分散の効果の把握
- (3) (実炉適用効果把握) 実炉で生じる反応形態や条件を考慮した実験による効果の把握

2. ナトリウム-水反応におけるナノ粒子分散の効果

- (1) 基礎知見として、ナノ粒子分散による原子間相互作用ならびに相互作用に基づく有意な物性や特性の変化について、理論推定と実験検証により確認している[1]。これらの知見をデータベース化して実用化検討に備えている。
- (2) また、ナトリウムと水との反応の特徴は、反応速度が極めて高く(瞬時に反応)且つ反応によって生じる熱量が大きいことにある。ナノ粒子分散により、反応速度が緩和することならびに反応熱量の低減を把握しており、理論検討でもこれらが裏付けられている。水反応におけるナトリウムとの反応抑制を把握した。
- (3) 実炉で生じるナトリウムと水との反応現象は、水や蒸気が直接的に接触する例えばナトリウム-コンクリート反応のような反応形態に加えて、高温高压の蒸気が液体ナトリウム中に急速に注入されるような蒸気発生器 (SG) 伝熱管破損時に生じる水蒸気ジェットで周囲のナトリウムがエントレンされて反応が進行するような特殊な反応形態が存在する。このため、代表的な反応として、水蒸気ジェット様相を形成する水反応現象と水や蒸気と直接接触するような様相の反応についてナノ流体の反応抑制効果の評価を行っている。

以下、両者について、ナノ粒子分散による反応抑制への寄与（現象挙動）および事故時の影響緩和（反応抑制効果）について報告する。

- ① SG 伝熱管破損による水反応：ナトリウム中に高温高压の水蒸気を噴射させ、その際に形成される反応ジェット温度の抑制効果を把握し反応温度の低下を確認した。原子間結合力の増加により表面張力が大きくなってエントレン液滴径が増し反応が抑制される。さらに液滴からの蒸発速度が減少することにより反応が抑制、反応ジェット温度が低下（反応抑制）する。
- ② コンクリートとの反応：現象は燃焼反応とナトリウム-水反応が混在する複合反応であり、燃焼反応によってコンクリートが加熱され、放出された内包水とナトリウムとの反応現象である。この際の反応による水素発生の支配要因はコンクリート含有水との反応にあり、その放出挙動（コンクリート加熱時間や到達温度）と放出量が反応を支配する。反応挙動の把握によりナノ流体適用により水素発生速度および発生量が顕著に低下することを把握している。

3. 現状の整理

以上を総括するとナノ流体技術は、高速炉で生じる水反応事故に対し、ナノ流体を適用することにより、ナトリウム-コンクリート反応では発生水素の燃焼（爆発）を抑制し、蒸気発生器伝熱管破損事故については隣接伝熱管の破損抑制ならびに設計基準を超える条件を想定しても破損規模の拡大緩和の効果が期待できる。今後、工学実証や実炉への応用に必要な基盤知見の取得を進めていく予定である。

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 27 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。

参考文献

[1] Jun-ichi SAITO and Kuniaki ARA: Nuclear Engineering and Design, Vol.240 (2010), pp.2664-2673.

*Keiichi Nagai¹, Jun-ichi Saito¹ and Kuniaki Ara¹

¹Japan Atomic Energy Agency