

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 (29) 反応抑制効果 (その8)

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

(29) Reaction Suppression (8)

*斉藤淳一¹、永井桂一¹、荒 邦章¹

¹原子力機構

これまでに得られたナノ流体の反応抑制効果に関する知見を整理して、ナトリウム漏えい燃焼事故におけるナトリウムの事象進展、反応特性の違いについて検討した。

キーワード：高速炉、ナトリウム、原子間相互作用、反応抑制、ナノ流体

1. 緒言

ナノ流体の特性把握が進んだことにより、反応特性や抑制効果が明らかになってきた。特に従来の設計基準を超えるような厳しい条件(漏えい温度高、漏えい規模拡大など)ではナノ流体が有する機能に起因して、ナトリウムの事象進展や反応過程と異なる様相を示すこともわかってきた。このため前述の漏えいナトリウムの高温化など事故時条件が厳しくなる場合において、ナトリウムとナノ流体の事象進展、反応様相の差異について、これまで取得した実験知見を基に分析評価し、ナノ流体が有する反応抑制ポテンシャルについて考察した。

2. (ナトリウムとナノ流体の)事象進展と反応挙動の違い

ナトリウム漏えいに起因する事象進展と各過程における影響について、両者の特性を比較する。漏出以降の事象進展挙動を以下に示す。

- (1) 燃焼過程：雰囲気温度上昇：ナトリウムは温度が高くなるにしたがって影響が拡大、ナノ流体ではナトリウムに比べて燃焼温度の低下により影響が小さい
- (2) 構造物への熱負荷：ナトリウムは温度が高くなるにしたがって影響が拡大、ナノ流体ではナトリウムに比べて燃焼温度の低下、燃焼停止により影響が顕著に低下
- (3) 構造物への作用：特殊環境(高湿分)下の腐食：ナトリウムでは温度が高くなるにしたがって腐食速度が著しく増大、ナノ流体では腐食速度が顕著に低下
- (4) 更に進展：コンクリート反応：ナトリウムでは温度が高くなるにしたがって反応拡大、ナノ流体ではコンクリートに接するまでの温度が低下

3. 反応抑制(事象進展、反応挙動)に対するナノ粒子分散の寄与

(1) 基本的反応抑制機能

ナノ粒子の分散により、ナノ粒子と周囲のナトリウム原子との原子間結合力の増強により蒸発速度が低下する。ナトリウム原子からナノ粒子への電荷移行の増大により反応速度の低下および反応熱量の低減が起きる。

(2) 副次的機能(効果)

- ・自己終息機構：ナノ粒子の金属種を選択することにより、表面反応の酸化膜層中にナノ粒子金属とナトリウム、酸素の熱力学的に安定で融点の高い3元系酸化物を生成することから、高い燃焼温度でも燃焼表面へのナトリウムの供給経路を閉止することにより燃焼が停止する。
- ・電気化学的な腐食反応抑制：腐食源である過酸化イオンがナノ粒子と安定な酸化物を形成することにより、腐食速度が低下する。
- ・ナノ粒子の元素吸着機能：ナノ粒子表面に水素が吸着(結合)することにより、水素発生量が減少する。

(3) ナノ流体のポテンシャル

原子間相互作用はナトリウムの沸点まで安定に維持されることから、反応抑制は高速炉の使用温度範囲を超えた厳しい高温まで効果(高いポテンシャル)がある。

4. 結言

ナノ流体の反応抑制効果に関する知見を整理して、ナトリウム漏えい燃焼事故におけるナトリウムの事象進展、反応特性の違いを示した。反応抑制効果へのナノ粒子分散の寄与については後報で詳述する。

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。

*Jun-ichi SAITO¹, Keiichi NAGAI¹ and Kuniaki ARA¹

¹Japan Atomic Energy Agency