

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 (35) 反応抑制効果 (その 1 2)

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

(35) Reaction Suppression (12)

*斉藤淳一¹、永井桂一¹、荒 邦章¹

¹原子力機構

ナトリウム漏えい燃焼とライナ鋼材の破損に続いて起こるナトリウム-コンクリート反応（以下、ナトコン反応）の反応挙動をナノ粒子分散ナトリウム（以下、ナノ流体）のナノ粒子とナトリウムの原子間相互作用に起因する物性変化から反応抑制メカニズムを推測する。

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

1. 緒言

前報でナトコン反応へのナノ流体の反応挙動を評価し、抑制効果が明らかに確認された。本報ではナノ粒子とナトリウムの原子間相互作用による特性変化とそれに起因する反応抑制メカニズムについて理論的に推定する。

2. 原子間相互作用および分散による基本的な反応抑制効果

ナノ流体中のナノ粒子とナトリウムの原子間相互作用による基本的な反応抑制メカニズムを以下に示す。

- ① ナノ粒子とナトリウムの原子間結合力：原子間結合力の増加により、ナノ流体の物性である表面張力の増加、蒸発速度の低下
- ② ナトリウムからナノ粒子への電荷移行：電荷移行により反応プロファイルのエネルギーが変化し、活性化エネルギーの増加による反応速度の低下、反応前の凝集エネルギーの低下による反応熱量の低減
- ③ ナノ粒子分散の効果：分散しているナノ粒子の表面原子と水素原子の結合（吸着）による水素の捕獲

3. ナトコン反応の抑制メカニズム（主反応抑制のメカニズム） 前報でナトコン反応におけるナノ流体による主反応の遅れ、水素発生量の抑制を実験により把握した。本報では主反応の遅れのメカニズムを解明する。ここでは、特にコンクリート中へのナトリウム（ナノ流体）の液体および蒸気浸透の相違に着目する。前提条件として、燃焼によるコンクリートへ加わる熱量はナトリウムおよびナノ流体で同一とする。

A) 前述の基本的な反応抑制効果①により、同一温度においてもナノ流体の表面張力は増加し、コンクリートへの浸透が鈍化する。

B) 同様の理由でナノ流体の蒸発速度は低下し、コンクリート内に浸透するナノ流体量は抑制する。

C) 図 1 にナノ流体とナトリウムのコンクリート内への蒸発量の時間推移（蒸発速度の実験値より推定）を示す。

D) この図から、主反応が発生する蒸気量に閾値があると考え、ナトリウムのある浸透量に到達するまでの時間①とナノ流体のその時間②に相違がある。

E) この相違（差）は前報の主反応遅れの原因である。

F) 主反応が生じた後は上述の反応抑制効果である②により発熱量および反応速度が抑制されるとともに、ナノ粒子の分散により、③の効果より反応で発生した水素がナノ粒子により捕獲され、水素濃度が低下する。

4. 結言 ナトリウム-コンクリート反応における主反応遅れは、ナノ粒子とナトリウムの原子間相互作用に起因すると推定できた。また、水素発生量の低減はナノ粒子の表面原子と水素の相互作用による原子の捕獲が原因であると推定できた。ナノ流体の適用により高速炉の運転基準を超える事象への抑制効果が期待できることを明らかにした。

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。

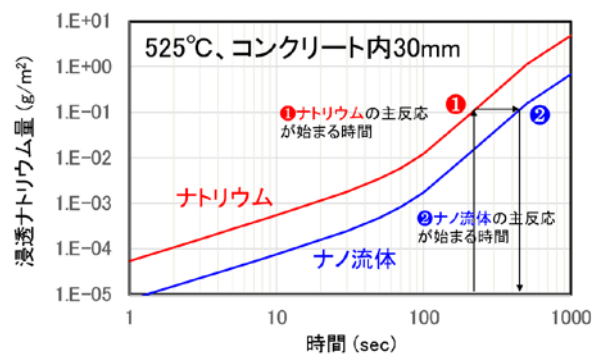


図 1 コンクリート中へのナトリウム浸透量の相違（蒸発速度の実験値からの推定）

*Jun-ichi SAITO¹, Keiichi NAGAI¹ and Kuniaki ARA¹

¹Japan Atomic Energy Agency