

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 (30) 反応抑制効果 (その9)

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

(30) Reaction Suppression (9)

*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

本報告では前報(29)で挙げたナノ粒子分散による反応抑制効果へ寄与する機能について、その抑制メカニズムについてナノ粒子表面原子とナトリウム原子の原子間相互作用とともにナノ粒子分散による副次的効果の寄与を考察した。

2. 燃焼現象からみたナノ粒子分散の効果

① **反応過程全般への効果**： ナノ粒子が分散したことによる反応過程全般への寄与として、ナノ粒子表面原子とナトリウム原子の原子間結合力の増加による凝集エネルギーの増加により、蒸発速度が抑制される。また、ナトリウム原子からナノ粒子への電荷移行(電荷の偏り)による反応の活性化エネルギーの増大により反応速度の低下、初期エネルギー状態の安定化により反応熱量の低減が抑制効果として現れる。これらはナノ粒子とナトリウム原子の共有結合を基にしており、結合は沸点まで安定に維持されることから、抑制効果は運転温度を超える高温でも発現する。抑制効果は広い範囲温度で発現することが示され、高いポテンシャルを有することが明らかになった。

② **(気液)反応界面**： 界面反応は燃焼酸化物層中の過酸化ナトリウムが燃焼熱により融点を超えると融解し、それにより燃焼界面へのナトリウムの供給経路が形成し、燃焼が継続する現象である。ナノ流体では酸化膜層中でナノ粒子成分と反応物であるナトリウムと酸素が強固なイオン結合を起こし、熱力学的に非常に安定な3元系酸化物が生成される。この酸化物は融点が高く燃焼温度では融解しないため燃焼酸化物層中の燃焼界面へのナトリウムの供給経路を閉鎖し供給が止まり、燃焼の自己終息を出現させる。

この自己終息機構は漏えい規模に依存することなく、燃焼界面で発現する抑制効果である。この自己終息機構と前項の原子間相互作用による抑制効果を併せた相乗効果により大規模漏えい燃焼ほど抑制効果が期待できる。

③ **反応(開始、停止)の閾値**： ナノ流体は酸素ポテンシャルに対する感度が非常に高いことが実験知見により明らかになっている。これにより前述の自己終息機構の酸化膜層が物理的に破壊されたり、高温で表面が気相反応になり、仮に自己終息機構が発現しないとしても酸素濃度が少し低下しただけでも燃焼が終息する。これは原子間相互作用による抑制効果と自己終息機構が重畳して発現する効果である。

閉じ込められた空間で漏えい燃焼が生じた場合、ナノ流体では燃焼することにより空間内の酸素量が低下し、それにより、燃焼は自己窒息消火に至る。また、この効果は再着火の閾値(酸素濃度、温度)を上げると期待できる。

④ **アルカリ金属に固有の特殊な反応**： 高温分下の漏えい燃焼時に生じるアルカリ金属に固有の熔融塩型腐食速度は著しく速い。この原因物質は高温のアルカリイオン溶融体中に過酸化ナトリウムが混入しイオン化して生じる過酸化イオンである。この過酸化イオンがライナ材の主成分である鉄と著しい腐食反応を起こす。ナノ流体では原子間相互作用による抑制効果により燃焼温度が低下し、溶融体温度が低下する。また、燃焼生成物が変化し、過酸化ナトリウムの生成量が低下する。さらに、ナノ粒子金属種を選択することにより過酸化イオンはナノ粒子と強いイオン結合を生じ、熱力学的に安定な酸化物を形成する。それらの相乗効果により腐食速度が顕著に低下する。

ナノ流体の適用により熔融塩型腐食の速度は速度の遅い複合酸化物型腐食のそれよりも低下した。これは床ライナ腐食量が設計上、無視してもよい程度まで低減した。床ライナの減厚が可能であると共に腐食による床ライナの破損が回避でき、これに起因するナトリウム-コンクリート反応に至らないことが期待できる。

2. 結言

漏えい燃焼に対して、プラントへの影響が特に顕著な抑制効果について抑制メカニズムをナノ粒子とナトリウム原子の原子間相互作用の観点から明らかにした。

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。

* Keiichi NAGAI¹, Jun-ichi SAITO¹ and Kuniaki ARA¹

¹Japan Atomic Energy Agency