

ナトリウム冷却高速炉における格納容器破損防止対策の有効性評価技術の開発

(7)フェーズフィールド法によるナトリウムとコンクリートの反応解析

Development of Estimation Technology for Availability of Measure for Failure of Containment vessel
in Sodium Cooled Fast Reactor

(7) Simulation of Sodium-concrete Reaction Behavior using Phase-field Model

*河口 宗道¹, 宮原 信哉¹, 宇埜 正美²

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 福井大学

Na とコンクリートの反応挙動について、フェーズフィールド法を用いた反応解析を行った。Na-コンクリート反応の停止機構に関する研究の一環として、反応解析の結果を報告する。

キーワード：シビアアクシデント，高速炉，Na-コンクリート反応（SCR），フェーズフィールド法

1. 緒言

ナトリウム冷却高速炉では、冷却材の Na が漏えいした場合でも、SCR を防止する鋼製ライナーが設置されているが、安全評価上 SCR が発生した場合の反応機構を把握しておくことは重要である。本研究は、SCR の反応停止機構の解明を目的として、Na プール中の反応生成物の熱力学計算及びフェーズフィールド法[1]を用いた反応解析を行った。

2. 計算方法

過去の SCR 試験を踏まえて、Thermo-calc SSUB5 を用いた Na-Si-O 系の熱力学計算を実施し、試験で得られた反応生成物の濃度分布を比較して、SCR での主要相の特定、ギブス自由エネルギー等の熱力学計算を実施した。また熱力学計算と連成させたフェーズフィールド法を用いた反応解析を実施した。

3. 結果・考察

熱力学計算及び過去の SCR 試験から、反応生成物は Na とコンクリート主成分の SiO₂ が主要構成要素であり、その濃度分布は Na-Na₂O-SiO₂ 相内に位置した。コンクリートには Al₂O₃/CaO も含まれるため、Na-Si-O 系に数%の Al 及び Ca を混合した系も検討したが、Al/Ca の依存性は小さく、SCR では Na と SiO₂ の反応 ($4\text{Na}+3\text{SiO}_2\rightarrow 2\text{Na}_2\text{SiO}_3+\text{Si}$ あるいは $4\text{Na}+2\text{SiO}_2\rightarrow \text{Na}_4\text{SiO}_4+\text{Si}$) が重要であった。反応生成物が Na-Na₂O-SiO₂ 相内に位置した理由は、反応生成物がケイ酸 Na と液体 Na の混合物であることを示唆している。

また SCR 反応生成物の状態を考察するために、熱力学計算と連成させたフェーズフィールド法を用いた SCR 反応解析を実施した。Na プール中での SiO₂ 粒子（約 10 μm）は、Na/SiO₂ の拡散境界層で反応・拡散するが、Na-SiO₂ 反応は拡散より相対的に速いため、境界層で主に反応生成物（ケイ酸 Na、Si）が発生し、Na 中の SiO₂ 粒子は周囲に発生した反応生成物により拡散が制限される結果となった。

謝辞 本研究は文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務「ナトリウム冷却高速炉における格納容器破損防止対策の有効性評価技術の開発」として福井大学および再委託先の JAEA が実施した成果の一部である。

[1] Yaochan Zhu, et.al, “Numerical Modeling Chemical Vapor Infiltration of SiC Composites”, Journal of Chemistry, 2013

*Munemichi Kawaguchi¹, Shinya Miyahara¹ and Masayoshi Uno²

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Fukui Univ.

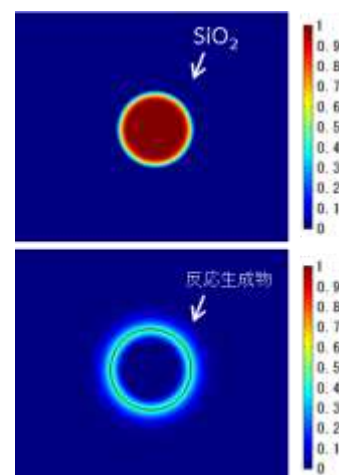


図. 反応生成物の生成状況