

ナトリウム冷却高速炉の炉心損傷事故時の制御棒材の共晶熔融挙動に関する研究 (17) 熔融ステンレス鋼/B₄C 固液反応後の元素濃度分布

Study on Eutectic Melting Behavior of Control Rod Materials in Core Disruptive Accidents of Sodium-Cooled Fast Reactors

(17) Reaction Behavior between Molten Stainless Steel and Solid Boron Carbide

*中村 勤也¹、太田 宏一¹、江村 優軌²、高井 俊秀²、山野 秀将²

¹電中研、²原子力機構

ナトリウム冷却高速炉の炉心損傷時に、燃料に先行して制御棒が熔融・移行する挙動解析モデルを構築するため、熔融ステンレス鋼 (SS) と中性子吸収材 (B₄C) の高温反応後の SS を対象に、構成元素の濃度分布を測定した結果、ホウ素濃度は水平方向に一樣である一方、鉛直方向には下方ほど低下する傾向が認められた。

キーワード：ナトリウム冷却高速炉、炭化ホウ素、制御棒、共晶反応、濃度分布

1. 緒言

ナトリウム冷却高速炉の炉心損傷時において、制御材 (B₄C) とステンレス鋼 (SS) は約 1200°C 以上に達するとその界面近傍で共晶反応により鉄を主成分としホウ素を含む低粘性融体を形成して下方へ移動し、燃料に先行して形状を喪失すると考えられている。原子力機構は、この共晶反応および融体の移動挙動を解析するコード開発を進めている^[1]。本報告では、上述解析コードの検証データを取得することを目的に、B₄C と SS の高温反応試験で得られた熔融固化体の断面について、微細組織観察ならびに元素濃度分布を測定した。

2. 濃度分析に供した B₄C/SS 高温反応試料

表 1 に示す 2 種類の体系で、アルゴンガス雰囲気置かれたアルミナ製角型容器内で、B₄C 焼結体と熔融 SS を反応させたのちに炉冷した^[1-3]。2014-2 試験では、熔融 SS と B₄C 焼結体が接触し熔融 SS の凝固が完了するまで約 8 分、接触後の熔融 SS の最高温度は 1485°C であった。また、2017-4,6 試験ではヒーター温度 1600°C、2017-5,9 試験では同 1800°C で加熱された熔融 SS 中に B₄C 焼結体を一定時間 (0 分または 1 分) 浸漬後に加熱電源を遮断した。いずれの試験も浸漬部の B₄C は全量溶解した。冷却後の SS 縦断面を対象に、電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いて微細組織観察および元素濃度分布を測定した。

3. 熔融 SS 中の元素濃度分布

いずれの試料も、SS 全域にわたり (Cr,αδFe)

と (Cr,Fe)₂B の共晶組織を形成した。SS 中に溶解するホウ素量が溶解度限以下の場合、試料全域にわたり均一な共晶組織を形成し、B₄C 焼結体の浸漬位置からの距離によるホウ素濃度分布に有意な差は見られなかった (2017-4,5,6,9 試験)。一方、溶解度を超えるホウ素が SS 中に拡散した場合、水平方向には一樣な共晶組織を形成するが、鉛直方向には上方ほど (Cr,Fe)₂B 相の割合が増加し、上面近傍のみに針状組織 (Cr,Fe)₂B が形成された (図 1、2014-2 試験)。図 2 に示すとおり、底面から上面に向けてホウ素濃度が単調増加する傾向から、熔融 SS 中のホウ素の拡散が水平方向に速いものの、下方へは相対的に遅い傾向が示唆される。これらの結果は、高速炉制御棒の共晶反応およびその移動挙動解析コードの検証データに活用される。

*本報告は、経済産業省からの受託事業である、平成 29 年度および平成 30 年度高速炉国際協力等技術開発の一環として実施した成果である。

参考文献

[1] H. Yamano, et al., FR17, IAEA-CN-245-43, [2] 山野ら, 第 21 回動エネシンポ, 2016, B242, [3] 山野ら, 第 23 回動エネシンポ, 2018, A224.

* Kinya Nakamura¹, Hirokazu Ohta¹, Yuki Emura², Toshihide Takai², Hidemasa Yamano², ¹CRIEPI, ²JAEA

表 1 B₄C/SS 高温反応試験条件^[1-3]

項目	試験名				
	2014-2	2017-4	2017-5	2017-6	2017-9
試験体系	B ₄ C 焼結体入り容器に SS を出湯	B ₄ C 焼結体を熔融 SS 中に浸漬			
B ₄ C 寸法	接触面 (W50mm×H25mm) × D30mm	φ 10mm × H25mm (浸漬部分)			
熔融 SS 寸法	W131mm × D104mm × H17mm	W190mm × D190mm × H25mm			
重量	2.1 kg	8.2 kg			
備考		浸漬 0 分後電源断		浸漬 1 分後電源断	

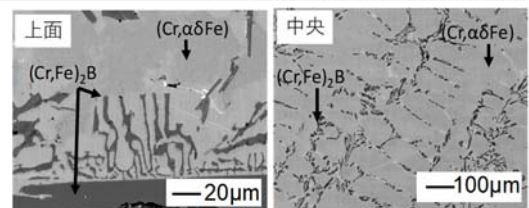


図 1 熔融 SS の微細組織 (2014-2 試験)

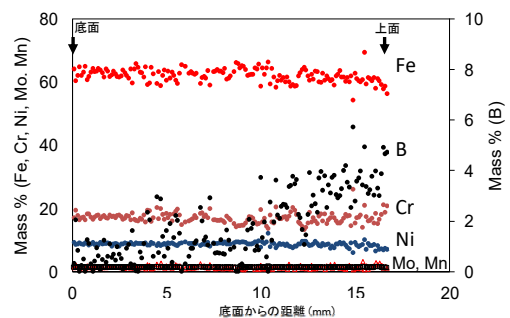


図 2 深さ方向の元素濃度分布 (2014-2 試験)