## 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溶融挙動に関する研究

(24) 炭化ホウ素とステンレス鋼の共晶反応時の相互拡散

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

(24) Interdiffusion between Boron Carbide and Stainless Steel in the Early Stage of the Eutectic Reaction \*中村 勤也<sup>1</sup>, 菊地 晋<sup>2</sup>, 山野 秀将<sup>2</sup>

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制御棒が溶融・移行する物理モデルを開発する一環として、炭化ホウ 素とステンレス鋼を上下に重ね合わせて1300℃まで等速昇温させた後に冷却する試験を行った。この試料断 面について、微細組織および元素濃度分布を調べた結果、B4CとSSの各構成元素が界面を挟んで相互拡散し、 少なくとも3種類の反応層を形成したことが示された。

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、相互拡散

## 1. 緒言

ナトリウム冷却高速炉の炉心損傷時に、中性子吸収材の炭化ホウ素(B<sub>4</sub>C)を内包するステンレス鋼(SS) 製の制御棒被覆管は約 1200℃以上に達するとその界面近傍で共晶反応により液相を形成し下方へ移行する。 原子力機構は、この共晶反応による液相形成と融体の移動挙動モデルの開発を進める一環として<sup>[1]</sup>、B<sub>4</sub>C と SS の共晶反応速度定数を求める試験を実施した<sup>[2]</sup>。本研究では、液相形成初期における形状変化と構成元素 の相互拡散について知見を得るため、共晶反応速度試験後の B<sub>4</sub>C/SS 界面について、微細組織観察と元素濃度 分布測定を行った結果について報告する。

## 2. B<sub>4</sub>C/SS 反応試験後試料の分析

粒径 150µm の B<sub>4</sub>C および SS 各粉末を原料とし、円板状に成 型した試料を用いた。各試料を上下に重ね合わせてアルミナ 容器に入れ、熱重量示差熱分析装置を用いて、アルゴンガス 気流中 1300℃まで等速昇温したのちに 20℃/分で降温した。 昇温速度と試料の配置を変えた試験条件の一例を表 1 に示 す。冷却後の試料をエポキシ樹脂に包埋し、光学顕微鏡およ び電子プロ─ブマイクロアナライザーを用いて試験後試 料断面の微細組織観察および元素濃度分布測定を行った。

## 3. 液相形成初期における形状変化と構成元素の相互拡散

試料の配置によらず、SS に少量の B を含む融体が形成 され、円板状 B<sub>4</sub>C を包み込む形状に変化した(表 1 の写 真)。外表面からの元素濃度プロファイル(図 1)が示すと おり、Layer I、II、IIIの少なくとも3種類の層構造が形 成された。なお、B<sub>4</sub>C に由来する炭素と蒸着材および包埋 材に由来する炭素との識別が不明瞭となったため、炭素の み特性 X 線強度(任意単位)で表示している。Layer I は、(Fe, Cr, Ni)<sub>2</sub>B と  $\gamma$ Fe からなる共晶組織に加えて、 (Cr, Fe)<sub>2</sub>B の形成が推測された。Layer II は、微小な空隙 表1 B<sub>4</sub>C/SS 共晶反応速度試験の条件



に加えて少なくとも(Cr, Fe)<sub>2</sub>Bの形成が推測された。B<sub>4</sub>C 成型体内の Layer Ⅲには、有意な析出相は確認され なかったが、Layer Ⅱ/Ⅲ界面から約 500µm だけ B<sub>4</sub>C 内でホウ素濃度が Layer Ⅱ/Ⅲ界面に向けて単調減少す る傾向が確認された。これは、B<sub>4</sub>C から SS 側へのホウ素の拡散に伴う濃度減少に対応すると推測される。以 上の観測結果は、B<sub>4</sub>C/SS 界面での液相形成の初期過程の理解を深めると期待される。

\*本報告は、経済産業省からの受託事業である「平成31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., ASME's POWER2020 and Nuclear Engineering Conference powered by ICONE, Aug. 4-5, 2020. [2] S. Kikuchi et al., ibid.

<sup>\*</sup> Kinya Nakamura<sup>1</sup>, Shin Kikuchi<sup>2</sup>, Hidemasa Yamano<sup>2</sup>, <sup>1</sup>CRIEPI, <sup>2</sup>JAEA