

7-4 高速炉制御棒の長寿命化を目指して —ナトリウムボンド型制御棒の照射挙動—

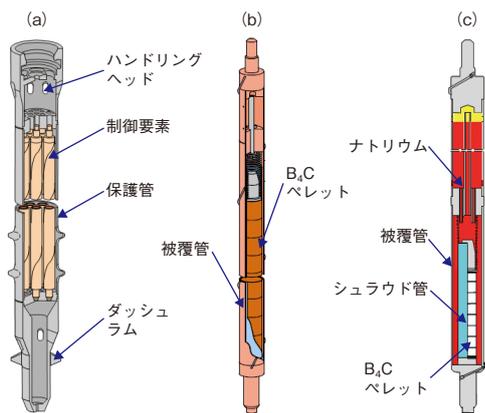
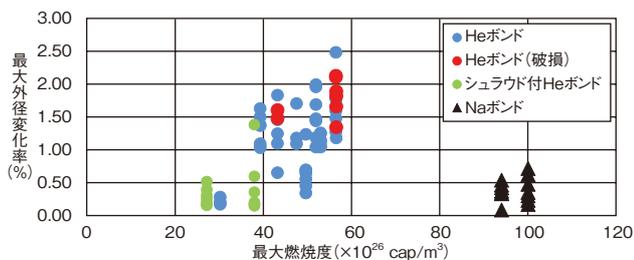


図7-9 (a) 制御棒、従来型の (b) He ボンド型制御要素、(c) Na ボンド型制御要素

「常陽」の (a) 制御棒には、7本の制御要素が装荷されており、(b) He ボンド型制御要素は制御要素の内部にHeが充てんされています。(c) Na ボンド型制御要素は、制御要素内に高熱伝導度のNaを充てんし、被覆管-ペレット間ギャップの拡大とシュラウド管の装着を行うことで、ペレットの温度上昇を抑えています。



制御棒は原子炉内の核分裂反応を制御することで炉出力を調整するとともに、原子炉を停止するには核分裂の連鎖反応を止める重要な機能を担います。制御要素のペレットであるボロン炭化物 (B_4C) 中のBは中性子を吸収する性質を有しますが、中性子吸収時に (n, α) 反応でヘリウム (He) が生成します。このペレット内のHe生成と炉内中の高温環境によりペレットに割れが生じ、破片の再配置 (ペレットリロケーション) と照射中の体積膨張 (スエリング) が重畳することで、ペレットを包む被覆管を異方的に押し広げる機械的相互作用 (Absorber Cladding Mechanical Interaction : ACMI) が生じます。

高速実験炉「常陽」の制御棒 (図7-9(a)) には、7本の制御要素が装荷されており、He ボンド型制御棒 (図7-9(b)) には、内部にペレットが収納され、ペレットと被覆管のギャップには気体では熱伝導度に優れたHeが充てんされています。He ボンド型制御要素の使用壽命はACMIで制限され、燃焼度で約 $50 \times 10^{26} \text{ cap/m}^3$ (ペレット 1 m^3 当たり 50×10^{26} 個の中性子を吸収) でした。

このACMIを抑制するため、Heよりも熱伝導度が900倍以上高い液体金属ナトリウム(Na)をギャップに充てんすることで、ペレットの温度上昇を抑えるとともにギャップ

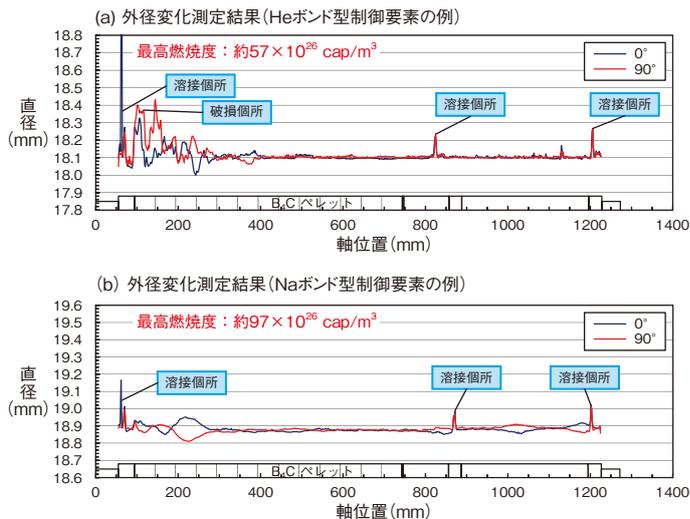


図7-10 (a) He ボンド型制御要素と (b) Na ボンド型制御要素の外径変化の例

(a) He ボンド型制御要素と比較すると、(b) Na ボンド型制御要素は外径変化及び変化の異方向性が小さいことが分かりました。

図7-11 制御棒の最大燃焼度と最大外径変化率

Na ボンド型制御要素は、He ボンド型制御要素やシュラウド付きHe ボンド型制御要素よりも高い燃焼度においても、最大外径変化率が低く保たれています。

幅を広げ、ペレットリロケーションを抑制するため、ペレットをシュラウド管 (薄肉のステンレス鋼管) で包む構造としたNa ボンド型制御要素 (図7-9(c))を開発しています。

このNa ボンド型制御棒を「常陽」において、従来の制限壽命の2倍となる約 $100 \times 10^{26} \text{ cap/m}^3$ まで照射し、その照射挙動を照射後試験にて確認しました。照射後試験で取得した制御要素の寸法変化データの例を、図7-10と図7-11に示します。炉運転時、制御棒は炉心上方に引き抜いて使用されるため、ACMIは、燃焼度、照射量がピークとなる制御要素下側に集中しています。制御要素下部に注目すると、He ボンド型 (図7-10(a)) と比較してNa ボンド型制御要素 (図7-10(b)) は、高い燃焼度においても外径変化及び異方向性が低減し、ACMIは大幅に抑制されていることが分かります。また、Na ボンド型制御要素の最大外径変化率については、He ボンド型及びシュラウド管付きHe ボンド型よりも低く抑えられており (図7-11)、Na ボンド型制御要素が、従来の制限壽命の2倍の長期使用において、優れた耐久性 (健全性) を有することが実証されました。

今後は、将来の長寿命制御棒開発に資するデータとして、制御棒内部のシュラウド管及びペレットの状況を確認する計画です。

●参考文献

Sasaki, S. et al., Irradiation Performance of Sodium-Bonded Control Rod for the Fast Breeder Reactor, Journal of Nuclear Science and Technology, vol.55, issue 3, 2018, p.276-282.