

次世代ナトリウム冷却高速炉の燃料集合体・炉心構成要素設計

(2) 径方向中性子遮蔽体構造の最適化方策の検討

Fuel and NFBC assemblies design for the next generation sodium-cooled fast reactor

(2) Optimization of a radial shielding structure

* 斎藤 裕幸¹, 日暮 浩一¹, 増山 大輔², 大木 繁夫³, 大釜 和也³, 前田 誠一郎³

¹MFBR, ²三菱重工, ³原子力機構

次世代ナトリウム冷却高速炉の中性子遮蔽候補材に対し、遮蔽性能・構造健全性等に対する得失を整理し、使用条件に応じた構造最適化方策をまとめた。

キーワード：次世代炉，ナトリウム冷却高速炉，径方向遮蔽体，黒鉛，水素化ジルコニウム，炭化ホウ素

1. 緒言

次世代ナトリウム冷却高速炉の炉心径方向遮蔽には、中性子検出器 (NIS) が適切に応答する等価熱中性子束を達成しつつ、原子炉容器内構造物の着目部位 (炉心槽等) での中性子照射量制限を満足するよう中性子束を減衰させることが求められるとともに、原子炉容器大型化の回避のために可能な限り遮蔽体厚さを薄くすることが求められる。その一方で、ガンマ線については放射化 Na が主線源となるため、径方向遮蔽に対しては特段の要求はない。そのため、候補遮蔽材は中性子遮蔽に着目して、水素化ジルコニウム (Zr-H)、炭化ホウ素 (B₄C)、黒鉛及びステンレス鋼が考えられる。本発表では、それぞれの遮蔽材に対する得失を整理し、径方向中性子遮蔽体としての使用条件に応じた構造最適化について検討した。

2. 検討内容

ブランケット燃料集合体外側にステンレス鋼遮蔽体 2 層を設置し、その外側に上記 4 種の遮蔽体を 1 層設置した場合について、炉心中心高さ位置での高速中性子束 ($E > 0.1 \text{ MeV}$) の減衰分布を図 1 に示す。①Zr-H は、3 桁減衰を可能とする優れた遮蔽体であるが、熱中性子による構造材の He 脆化及び遮蔽体破損時の水素放出が問題となる。②B₄C は、Zr-H に次いで優れた遮蔽性能を有するが、¹⁰B(n, α) 反応により発生する He ガスへの対応 (ガスプレナムの確保あるいはベント型ピンの採用等) が必要となる場合がある。③黒鉛は、1 桁減衰程度は期待できるが、熱中性子による構造材の He 脆化が懸念事項となるため、黒鉛にホウ素を微添加等の対応が必要である。④ステンレス鋼では、候補材中では最も遮蔽性能が低く、炉心槽照射量制限値を満足するためには 4 層の設置を要するが、使用実績が多く特筆すべき課題はない (寸法制約上径方向遮蔽体は 4 層迄設置可能)。NIS 応答に対しては、遮蔽体透過後に中速中性子が多く残っているステンレス鋼が最も優れている。一方で、Zr-H は高速中性子遮蔽性能が高い反面、NIS 応答に必要な中性子束を得られないことが課題であるため、NIS 応答性と高速中性子遮蔽性のトレードオフに配慮した設計が必要となる。

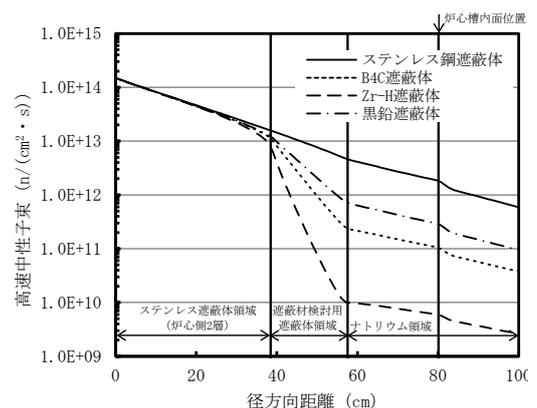


図 1 径方向高速中性子束減衰分布

3. 結言

種々の中性子遮蔽候補材を採用した場合における得失を整理した結果、次世代ナトリウム冷却高速炉の径方向遮蔽体は寸法上の制約を踏まえ、ステンレス鋼遮蔽体 4 層の構成が最適であるとの結論に至った。◇本報告は、経済産業省からの受託事業である「高速炉等技術開発」の一環として実施した成果を含む。

* Hiroyuki Saito¹, Koichi Higurashi¹, Daisuke Masuyama², Shigeo Ohki³, Kazuya Ohgama³ and Seiichiro Maeda³

¹Mitsubishi FBR Systems, ²Mitsubishi Heavy Industries, ³Japan Atomic Energy Agency