次世代ナトリウム冷却高速炉の原子炉周り遮蔽設計
（2）径方向中性子遮蔽合理化に向けた設計手法改良

Shielding design in the reactor vessel for the next generation sodium-cooled fast reactor
(2) Improvement of shielding design methods for optimizing radial neutron shieldings

*日比 宏基[1]，福地 郁生[1]，増山 大輔[2]，杉野 和輝[3]，大木 繁夫[3]
[1]MFBR，[2]三菱重工，[3]原子力機構

高速炉に高性能遮蔽材を用いる時に顕著となる、(a)遮蔽体からの中性子ストリーミング、(b)炉心槽での中性子束分布周方向不均一性、(c)B_4C 遮蔽材での B-10 燃焼効果による影響を評価し、設計対応を検討した。

キーワード：次世代炉、ナトリウム冷却高速炉、中性子透過挙動、径方向遮蔽体、設計手法改良

1. 緒言：次世代ナトリウム冷却高速炉では、原子炉容器大型化を回避するための合理化策として、高速中性子(0.1MeV 以上)に対する遮蔽性能が高い材料(Zr-H、B_4C 等)を径方向遮蔽材に採用する傾向にある。この場合、構造上の理由で生じる遮蔽材充填率の粗密によって中性子ストリーミングが顕著になる等、高性能遮蔽材特有の現象が生じる。そこで、懸念事項を抽出して、B_4C を代表例として設計への影響を定量的に評価し、設計対応を明らかにする。

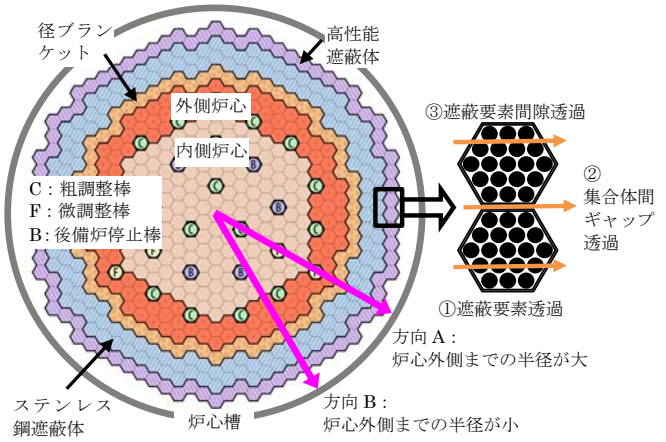


図 1 遮蔽体での中性子ストリーミングと炉心からの中性子漏えいの概念

2. 検討内容

2-1.中性子遮蔽体での中性子ストリーミング：ピン型遮蔽要素の場合では、図 1 に示すように、①減衰率が高い遮蔽要素での透過の他に、減衰率が低い②遮蔽体がない集合体間ギャップ及び③遮蔽材充填密度が低い遮蔽要素間隙からの透過があり、これにより高性能遮蔽体では中性子ストリーミングが顕著になる。詳細メッシュによる 2 次元 XY 体系での Sn 計算にてストリーミング係数を評価し、B-10 濃縮度が高い(遮蔽性能が高い)ほど大きくなるが、濃縮度に依らず遮蔽要素本数 19 本以上でほぼ飽和する結果を得た。

2-2. 炉心槽位置での周方向中性子束分布の不均一性効果：図 1 に示す方向 A(炉心コーナー方向)と方向 B(炉心辺部方向)では炉中心から炉心外側までの半径が異なるため、炉心槽位置での周方向中性子束分布に歪が生じる。この歪は透過物質との散乱によって緩和されるが、減衰率が高い高性能遮蔽材では、歪緩和効果が抑制されるためピーク値/周方向平均値(周方向歪率)が小さくならない傾向となる。集合体形状等を忠実に模擬した 3 次元モンテカルロ計算にて評価し、高速中性子束の周方向歪率は約 1.2 となる結果を得た。

2-3. B_4C での遮蔽性能に対する B-10 燃焼効果：B_4C は、主に中性子吸収反応により中性子を減衰させるが、B-10 が燃焼するために長期炉内滞在の場合には遮蔽性能の低下が無視できなくなる。遮蔽体寿命 60 年(プラント寿命に同じ)として B-10 燃焼率変化を評価し、B-10 濃縮度の減少率は約 10%となる結果を得た。

3. 結言：高性能遮蔽体採用時の炉心径方向遮蔽設計に対し、(1)遮蔽要素本数を 19 本以上として中性子ストリーミングを抑制し、(2)ストリーミング効果×周方向不均一性効果を評価して補正係数として考慮するとともに、(3)B_4C を使用する場合は遮蔽性能の観点から必要とされる B-10 濃縮度の 10%増で製作時仕様を設定する手法を定めた。

◇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。

*Koki Hibi[1], Ikuo Fukuchi[1], Daisuke Masuyama[2], Kazuteru Sugino[3] and Shigeo Ohki[3]
[1]Mitsubishi FBR Systems, [2]Mitsubishi Heavy Industries, [3]Japan Atomic Energy Agency