

別紙2 換算係数法計算例（BWRチャンネルボックス）の中性子条件設定について

(1) 炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動幅について

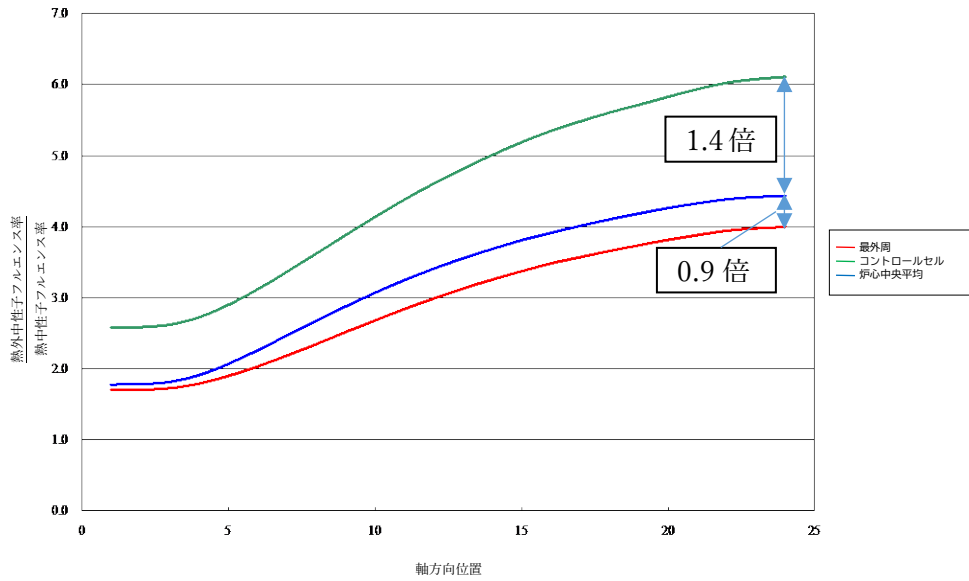
BWRの径方向の炉心配置位置（最外周、コントロールセル（注1）、炉心中央平均）の違いによる中性子スペクトルの変動幅の評価として、熱中性子フルエンス率に対する高速中性子フルエンス率及び熱外中性子フルエンス率の比率がどの程度変動するか評価した結果を図に示します。

図に示すとおり、高速中性子、熱外中性子ともに径方向の炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動は、炉心中央平均の中性子スペクトル（下図グラフの青線）に対して0.9（グラフの赤線）～1.4倍（グラフの緑線）（-10%～+40%）程度の範囲となります。

炉心配置位置による中性子スペクトルの変動範囲

	軸方向	径方向
中性子スペクトル	軸方向の位置における中性子スペクトルの分布を考慮	炉心配置位置の違い（最外周、コントロールセル、炉心中央平均）による熱外中性子スペクトル、高速中性子スペクトルの変動範囲を確認
変動幅の評価例 高速中性子スペクトル		
<p align="center">BWR チャンネルボックスでの高速中性子フルエンス率の 熱中性子フルエンス率に対する比</p> <p>本グラフは標準図 G.6 に事業者から提示されたコントロールセルのデータを追加したもの</p> <p>評価結果：炉心中央平均の高速中性子スペクトルに対し 0.9～1.4 倍</p>		

熱外中性子
スペクトル



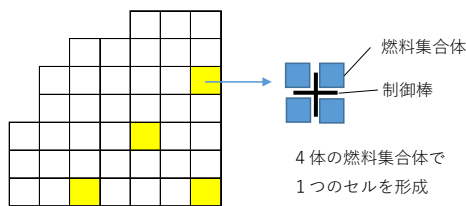
BWR チャンネルボックスでの熱外中性子フルエンス率の
熱中性子フルエンス率に対する比

本グラフは標準図 G.7 に事業者から提示されたコントロールセルのデータを追加したもの

評価結果：炉心中央平均の熱外中性子スペクトルに対し 0.9～1.4 倍

注 1：コントロールセルとは、BWR の出力運転中に反応度制御のために制御棒を挿入するセルをいう。一般的にコントロールセルの位置は限定され、燃焼の進んだ燃料が装荷される。

コントロールセルは運転中も制御棒を挿入しているため、当該セルの中性子フルエンス率は低くなり、またスペクトルは炉心平均と比較して高速、熱外中性子の寄与が高くなる。



■ : コントロールセル

BWR炉心を上からみた図 (1/4 炉心)

(2)中性子スペクトルの違いによる放射化放射エネルギーの変動範囲について

(1)で評価した炉心配置位置の違いによる高速中性子及び熱外中性子のスペクトルの変動が放射化放射エネルギーに及ぼす影響を確認するため、スペクトルインデックスを任意に設定できる ORIGEN79 コードを用い、高速中性子及び熱外中性子のスペクトルインデックスを0～10 倍に振って、放射化放射エネルギーの感度を評価しました。感度解析は、埋設施設の申請核種を想定した核種に対し実施しました。

各解析ケースにおいては、基本ケース (F4：基本ケース 1、R2：基本ケース 2) から高速中性子、熱外中性子についてそれぞれ桁で振ってスペクトルインデックスの違いに対する放射化放射エネルギーの感度解析を実施しました。(下表参照：高速中性子スペクトルインデックスの感度解析条件：F4 (基本ケース 1) と F5、熱外中性子スペクトルインデックスの感度解析条件：R2 (基本ケース 2) と R4)

感度解析結果のうち、感度が高かった核種の結果例を下図に示します。Ni-63 と Tc-99 の放射化放射エネルギーについて、各基本ケースに対する比較ケースにおける放射化放射エネルギーの比を見ると、高速中性子に対して感度はありませんでした。一方、熱外中性子に対しては、スペクトルインデックスが 10 倍になると Ni-63 の生成量は約 3～8 倍 (比例係数 (注 2) で 0.3～0.8) となり、Tc-99 の生成量は約 3～9 倍 (比例係数で 0.3～0.9) となりました。その他の核種についても同様な傾向を示しました。

以上より、中性子スペクトルの変動による放射化放射エネルギーへの影響は、高速中性子スペクトルの変動比率に対しては感度はなく、熱外中性子スペクトルの変動比率に対する放射化放射エネルギーの変動比率は最大でも 0.9 倍程度であることを確認しました。

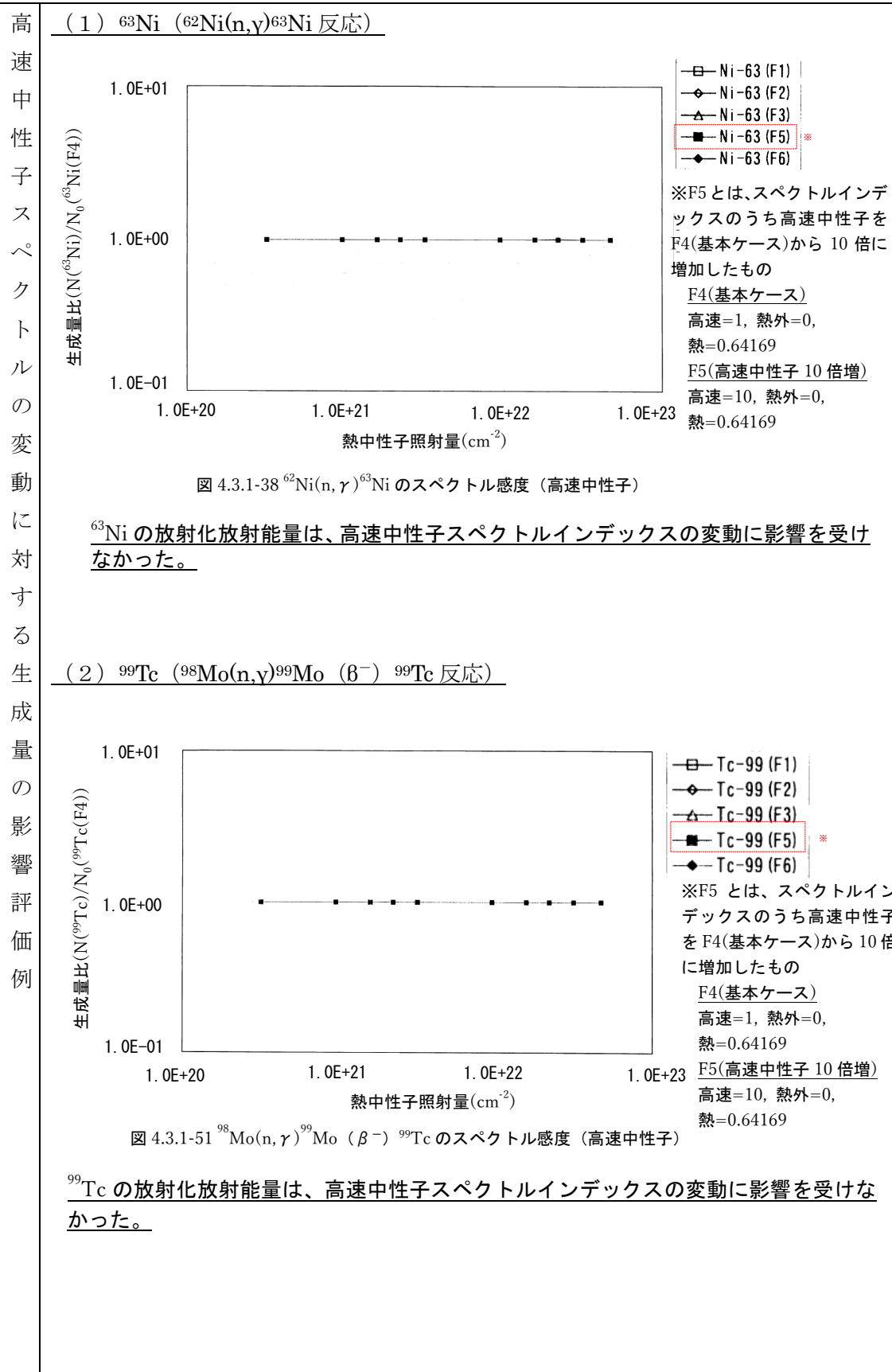
注 2：比較ケースの生成放射能比／比較ケースの中性子フルエンス率比
(各々の比は基本ケースとの比を意味します)

表 中性子スペクトルの違いに対する放射化放射エネルギーの感度解析条件 (ORIGEN index)

感度解析のケース		中性子スペクトルインデックス			中性子束 (cm ⁻² ・sec ⁻¹)		
		高速中性子	熱外中性子	熱中性子	高速中性子	熱外中性子	熱中性子
F4	基本ケース 1 (高速中性子の影響評価)	1	0	0.64169	6.9E13	0.0E00	1.0E14
F5	高速中性子のスペクトルインデックスを 10 倍に設定したケース	10	0	0.64169	6.9E14	0.0E00	1.0E14
R2	基本ケース 2 (熱外中性子の影響評価)	0	0.1	0.64169	0.0E00	1.45E14	1.0E14
R4	熱外中性子のスペクトルインデックスを 10 倍に設定したケース	0	1	0.64169	0.0E00	1.45E15	1.0E14

事業者より提供されたデータ

中性子スペクトルの変動による放射化放射エネルギーの変動範囲



熱外中性子スペクトルの変動に対する核種生成量の影響評価例

(1) ^{63}Ni ($^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$ 反応)

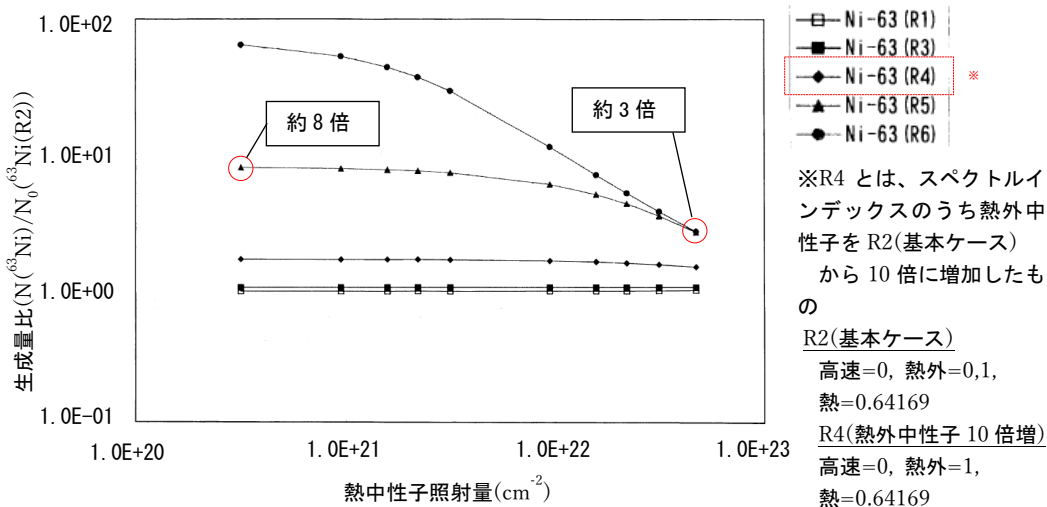


図 4.3.1-39 $^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$ のスペクトル感度 (熱外中性子)

熱外中性子スペクトルインデックスの変動比率に対する ^{63}Ni 生成反応の感度は、熱外中性子の基本ケース (R2) から熱外中性子の 10 倍増に対し、 ^{63}Ni 放射化放射量は約 3~8 倍増 (比率 0.3~0.8) であった。

(2) ^{99}Tc ($^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo} (\beta^-) ^{99}\text{Tc}$ 反応)

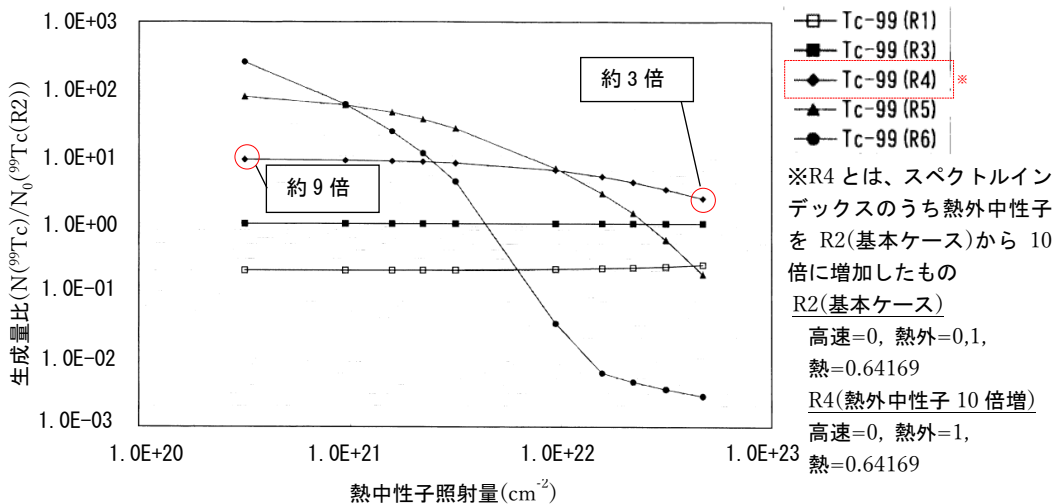


図 4.3.1-52 $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo} (\beta^-) ^{99}\text{Tc}$ のスペクトル感度 (熱外中性子)

熱外中性子スペクトルインデックス変動に対する ^{99}Tc 生成反応の感度は、熱外中性子の基本ケース (R2) から熱外中性子の 10 倍増に対し、 ^{63}Ni 放射化放射量は約 3~9 倍増 (比率 0.3~0.9) であった。

事業者より提供されたデータ

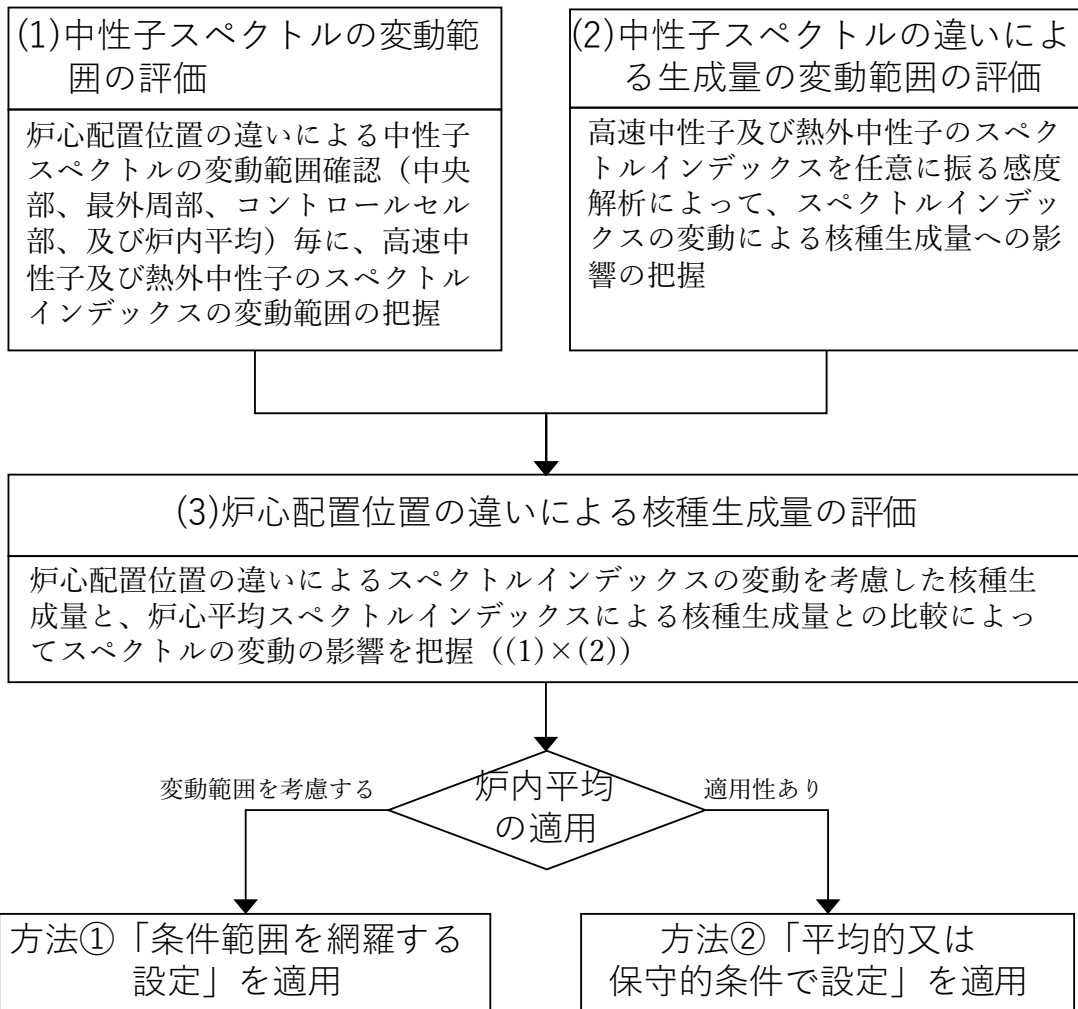
(3) 炉心配置位置の違いによる放射化放射エネルギーの影響評価

(1)(2)の結果より、径方向の炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動範囲は、炉心平均のスペクトルに対して高速、熱外ともに0.9~1.4倍(-10%~+40%)程度となっています。また、スペクトルの変動による放射化放射エネルギーへの影響は高速中性子スペクトルの変動に対しては影響がなく、熱外中性子スペクトルの変動比率に対する放射化放射エネルギーの感度は最大でも0.9倍であることから、炉心配置位置の違いによる放射化放射エネルギーの影響は、-9%~+36%程度となることがわかります。

なお+36%となるのはチャンネルボックスがコントロールセルに配置されている場合となりますが、実際にはチャンネルボックスは炉心内をローテーションして使用されますのでコントロールセルのみに配置されることはなく、炉心配置位置の違いによる中性子スペクトルの変動によって生じる放射化放射エネルギーへの影響はさらに小さなものになります。

上記評価は、燃料タイプの違い等による影響を考慮する必要があり、また申請核種確定後に放射化放射エネルギーの感度解析の追加評価が必要になると考えられますが、その場合でも上記に示した中性子条件設定のための手順を適用できるものと考えています。炉心平均(径方向)の中性子条件を適用するための確認手順を下図に示します。

今後、中深度処分施設の事業許可申請が行われる時期までに、実機プラントでの両者の計算結果の比較例が蓄積され、本手順の妥当性の定量的な根拠がより明確になることが期待されます。



炉心平均（径方向）の中性子条件を適用するための確認手順

以上