

1. 背景と目的 高いウラン利用率から高速炉の実用化が期待されており、今後建設が予定されている高速炉は、商業化へ向けて大型化の傾向にある。炉心の大型化は、臨界集合体を用いた炉心の核特性評価を困難とするため、建設された初号機を用いた安全解析の実施が検討されている。この際、臨界安全の観点から体系の未臨界が担保される必要があるが、その測定手法の一つとして三次中性子相関法が提案されている。過去の研究により、三次中性子相関法で測定される未臨界面が検出中性子増倍率 k_{det} に基づくことがわかっており^[1]、実効増倍率 k_{eff} と検出中性子増倍率 k_{det} が一致する検出器位置では、三次中性子相関法による精度の高い k_{eff} の測定が可能となる。本研究では、300MWe級高速炉について、検出中性子増倍率 k_{det} と実効増倍率 k_{eff} の比較による最適検出器位置の探索、および、最適検出器位置の決定条件に対する考察を行った。

2. 検出中性子増倍率 k_{det} k_{det} は検出器インポートランス I により重み付けられた中性子の生成と消滅の比として定義される中性子増倍率である。ここで、検出器インポートランス I は、ある検出断面積を持つ検出器の中性子検出に対して、ある領域の中性子1個が持つ期待値であり、非斉次項として中性子検出断面積を持つ、随伴中性子輸送方程式の解と定義される。 k_{det} は、体系の固有値として一意に決まる k_{eff} と異なり、中性子検出の効果を含んでいるため、検出器の位置や感度に依存した中性子増倍率である。

3. 検出中性子増倍率の未臨界面依存性と位置依存性

計算対象は、先行高速炉クラスの300MWe級炉心を模擬した体系であり、炉心はいくつかの代表領域に均質化されている(図1)。全エネルギー群に対して一様に感度をもつ検出器を、各領域に図1に示されるように配置した。制御棒の挿入状態を変えることで体系の未臨界面を変化させながら、各検出器位置における k_{det} と k_{eff} を求め位置依存性および未臨界面依存性を評価した(図2)。この結果、 k_{det} は炉心中心から径方向外側に対して増加傾向を持っていること、この傾向が未臨界面に依らず一定であることが確認された。また、炉心内で $k_{det} < k_{eff}$ 、炉心外で $k_{det} > k_{eff}$ が成立していることから、 $k_{det} = k_{eff}$ となるような最適検出器位置が未臨界面に依らず常に存在することが確認された。

4. 最適検出器位置決定条件

検出中性子増倍率は、高次モード固有値 λ_n の重ね合わせとして表現することも可能である(式1)。ここで、 $w_{n,det}$ は n 次モードの検出中性子増倍率への影響を表す重みである。

$$\frac{1}{k_{det}} \approx \sum_{n=0}^{\infty} \frac{w_{n,det}}{\lambda_n} \quad (式1)$$

$w_{n,det}$ は固有関数の空間、エネルギーによる積分値が0となる固有関数において0となり、また、値を持つ場合でも、その大小は固有関数の大きさに比例するという性質を持つ。300MWe級炉心の全制御棒引き抜き状態における高次モードを数値計算により求め、最適検出器位置との関係を調べた(図3)。高次モード固有関数分布の概形から、 k_{det} に対して有意な重みを持つと考えられる5次および6次モードの固有関数分布と、 $k_{eff}=0.9585$ における径方向 k_{det} の位置依存性を比較したところ、節近傍で $k_{det}=k_{eff}$ となっていることが確認された。この結果から、高次モード固有関数の解析によって炉心の最適検出器位置を決定可能であることがわかった。

参考文献 [1] T. Endo, et al., “空間及び中性子エネルギーを考慮した三次中性子相関法による未臨界面測定法の研究” 名古屋大学博士論文(2007).

公刊論文

- 菅原慶, 他, “修正中性子源増倍法の予測精度の検証” 日本原子力学会中部支部 第40回研究発表会, R23, 名古屋大学, (2008年12月9日).
- 菅原慶, 他, “高速炉実機未臨界状態で行う反応度フィードバック精密測定技術の開発:(4) k_{det} を用いた高速増殖炉の最適検出器位置の探索” 日本原子力学会「2009年秋の大会」, F18, 東北大学, (2009年9月17日).
- K. Sugawara, Y. Yamane, A. Yamamoto, S. Okajima, “Subcriticality Estimation of Large FBR by the Detectable Multiplication Factor k_{det} ,” American Nuclear Society 2009 winter meeting, Washington D.C., (November 17, 2009).

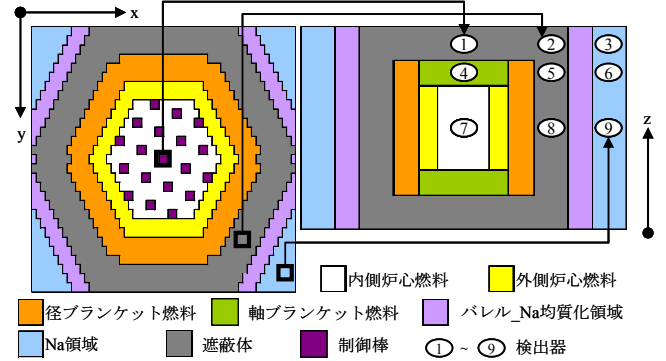


図1 炉心概略図

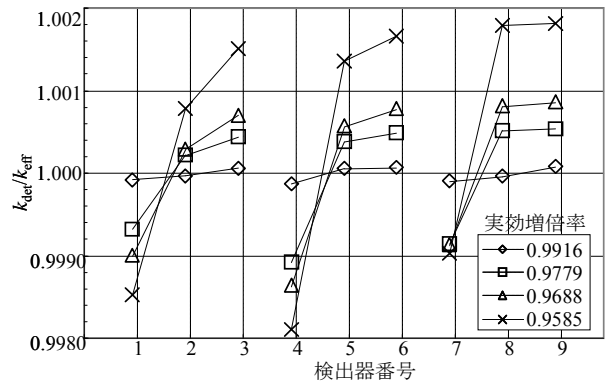


図2 k_{det} の検出器位置および未臨界面依存性

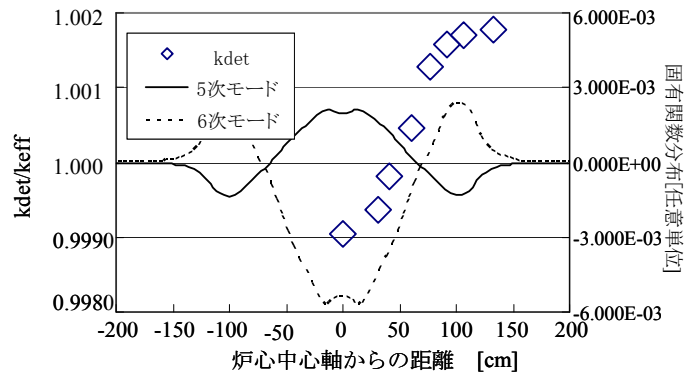


図3 最適検出器位置と高次モード固有関数の関係未臨界面依存性