

一点炉動特性方程式に基づく未臨界状態における出力の漸近的挙動

Asymptotic behavior of power in subcritical state based on one-point kinetics equation

*山根 祐一

原子力機構

再処理施設における溶液の誤移送や原子炉及び臨界集合体での臨界近接、福島第一原発での燃料デブリ取出しなど、未臨界状態の核燃料に反応度が添加される条件で、反応度添加終了後の全反応度と、出力の漸近的挙動とを関係づける方程式を一点炉動特性方程式に基づいて導出した。

キーワード：未臨界、反応度測定、一点炉動特性、即発中性子寿命、実効遅発中性子割合

1. 緒言 核燃料施設においては核燃料溶液の安全でない容器への流入、原子炉においては燃料の装荷や制御棒引き抜き、福島第一原発では燃料デブリ取出しや準備のための水張りなどを想定した場合、これまでに提案されている反応度評価手法^{[1][2]}のうち、Feynman- α など炉雑音法や制御棒オシレータ法、パルス中性子法などでは、あらかじめ即発中性子寿命や実効遅発中性子割合を計算で求める必要がある。この計算では、核燃料内部の構造や形状を詳細に知るか想定する必要がある。即発中性子寿命などを必要としない制御棒落下法やソースジャーク法は、臨界状態を出発点とすること、中性子源を動かすことがそれぞれ必要であり、用途が限定される。内部構造や形状によらず未臨界度の広い範囲で成り立つような出力挙動と未臨界度の関係がわかれば、出力に比例する中性子検出器の計数率のみによる広範囲の条件で利用可能な反応度測定方法の開発に有益である。本研究においてあらたに導出した方程式は、中性子源項を含む一点炉動特性方程式に基づいているが、反応度添加率や中性子源強度の変化率が低いなどの一定の条件下で、即発中性子寿命や実効遅発中性子割合を含まない形となる（遅発中性子の比率はわかっているものとする）。出力挙動が、安定出力（図1の P_∞ ）などの項を含むこの方程式に従うことは、核燃料体系の内部構造や形状に依存しない、未臨界度と遅発中性子の比率のみで決まる出力挙動が存在することを意味する。この方程式はドル単位の反応度の関数である変数 α_y により特徴づけられるのでこれを数値計算との比較に用い、 $-100\$$ 程度から $-1\$$ 程度の広い範囲においてこの方程式が有効であることを確認した。この成果は、核燃料施設や原子炉施設の安全性向上、核燃料物質を取り扱う際の臨界防止に役立つことが期待される。

2. 想定する条件 核燃料物質に反応度が加えられたあと、未臨界状態 $\rho_0 (< 0\$)$ となっている状態を考える。未臨界体系において、反応度添加後の出力挙動は図1に示すような、一定値に漸近する形状となることが知られている。簡単のために反応度添加終了時から出力が安定するまでの出力の漸近挙動（図1の P_j から P_∞ ）について考えるが、出力が小さいことから、この期間における温度上昇などの反応度フィードバックもしくはその変化は無視できるものとする。自発核分裂もしくは起動用の中性子源等は考慮する。方程式や変数の詳細は当日報告する。

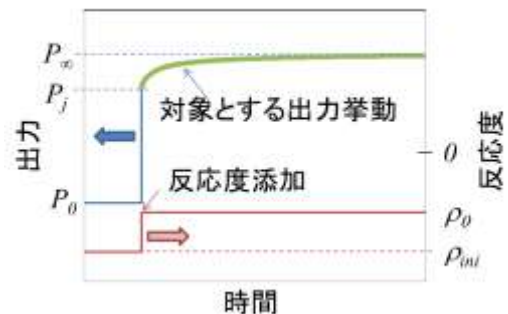
3. 結論 一点炉動特性コード AGNES^{[3][4]}により、図1内の表に示される条件で出力挙動の数値計算を行った。この計算では $\rho_{mi} = -300\$$ で出力が安定した状態に添加反応度を一定時間（定率）で与え、目的の反応度 ρ_0 に達したところでそれを維持し、出力が安定するまでの計算を行った。図1内の表に AGNES の入力としての添加後の反応度 ρ_0 、この ρ_0 から直接求めた (ρ_0 に相当する) α_y 値、新たに導出した方程式を用いて評価した α_y 値を示す。表に示されるようにそれぞれの α_y 値はほぼ一致している。

参考文献 [1] J.J.Duderstadt, L.J.Hamilton, “Nuclear Reactor Analysis”, [2] 「原子力施設に対する未臨界度測定装置に関する技術開発」革新的実用原子力技術開発費補助事業平成16年度成果報告書概要版

<https://www.iaec.or.jp/KOUBO/innovation/theme/pdf/h16-6-16.pdf>, [3] JAERI-Data/Code 2002-004, [4] NEA No.6285

*Yuichi Yamane

Japan Atomic Energy Agency



反応度 ρ_0 ($\$$)	反応度添加時間(s)	ρ_0 に相当する α_y 値 (-)	評価した α_y 値 (-)
-1.06	1000	-1.94	-1.94
-10.6	100	-1.09	-1.09
-99.0	0.01	-1.01	-0.99

図1：対象とする出力挙動及び動特性コードとの比較