

## (15) 中性子源落下による未臨界体系の反応度測定

日本原子力研究開発機構  
安全研究センター  
近畿大学原子力研究所

山根 祐一、荒木 祥平  
左近 敦士

### 1、はじめに

原子力機構・安全研究センターでは、福島第一原発の燃料デブリの取出しや再処理施設における核燃料溶液の誤移送等の条件を想定した反応度測定手法の開発を行っている。これらの条件の特徴は、燃料の組成、構造等が不明もしくはあらかじめ決まっていないことである。このため、外部に漏れ出て来る中性子計数率の測定データだけで反応度を評価できることが重要である。反応度の急な変化に応じて、できるだけ速やかに評価ができることが望ましい。

本研究の目的は、開発中の反応度評価手法を検証するためのデータを取得することである。本来は、ある未臨界状態から正の反応度の添加によって、より臨界に近づく条件が望ましいが、安全上の制約から、そのような運転は通常の臨界実験装置ではできない。開発中の手法は、後述する準定常状態での出力挙動と反応度の関係を利用するものであるため、準定常状態が生じるような条件であれば、上述の条件に代替するようなデータを取得することができる。

UTR-KINKIでは、原子炉ペリオドをバイパスして中性子源を急速に挿入することが可能である。この特徴を利用して、中性子源を炉心内に落下させる方法(中性子源挿入法)及び中性子源を急速に引き抜く方法(ソースジャーク法)を行い、変動する中性子計数率の時系列データを取得した。

### 2、準定常状態の出力挙動

原子炉の運転において、特に臨界に近い未臨界状態において、臨界に達しない程度に制御棒を引き抜いた場合に、制御棒引き抜きを停止した後も、原子炉の出力は上昇を続け、安定するまでにある程度の時間を要する。この、出力が安定するまでの状態を準定常状態という。

これまでの研究により、このような準定常状態において、原子炉出力 $P$ は以下の方程式を満たすことが示されている。

$$P = \alpha_y q + P_\infty. \quad (1)$$

ここで、

$$\alpha_y \equiv \frac{1}{\rho_s} - 1, \quad (22)$$

かつ $\rho_s$ はドル単位の反応度を表す。  
変数 $q$ は次のように定義される。

$$q \equiv \frac{\dot{P}}{\mu}, \quad (3)$$

$$\mu \equiv \frac{\sum_{i=1}^6 \lambda_i \dot{C}_i}{\sum_{i=1}^6 \dot{C}_i} \quad (3)$$

出力の時間微分 $\dot{P}$ を中性子計数率から求めることは難しいため、(1)式を積分するなどして利用する。

### 3、実験条件

定期検査で用いられる基本炉心で、シム安全棒(SSR)等の挿入位置を調整して未臨界状態にした。  
-0.04から-0.6 $\Delta k/k$ の範囲で中性子源を出し入れし、変動する中性子計数率を測定した。

測定にはHe-3中性子検出器を用いた。3つの検出器の配置を図1に示す。

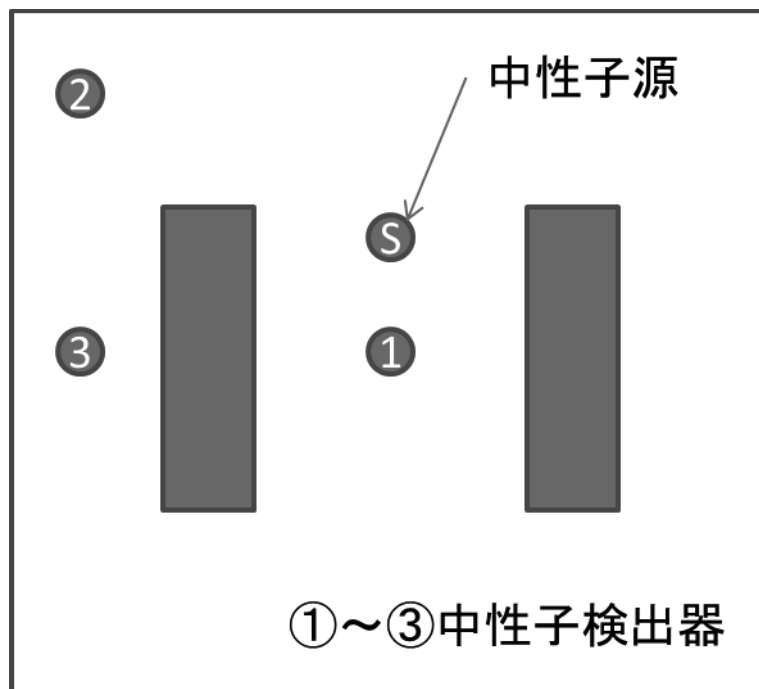


図1 原子炉の構造と中性子検出器配置

測定した未臨界条件を表1に示す。

表1 測定した未臨界条件

実験番号	SSR位置(%)	概略値(% $\Delta k/k$ )
1	85.9	-0.045
2	72.3	-0.08
3	61.0	-0.17
4	35.0	-0.23
5	0.0	-0.57

#### 4、測定データの例

中性子源挿入法によって得られた中性子計数率データの例を図2に示す。中性子計数率は0.01sあたりの計数を表示している。

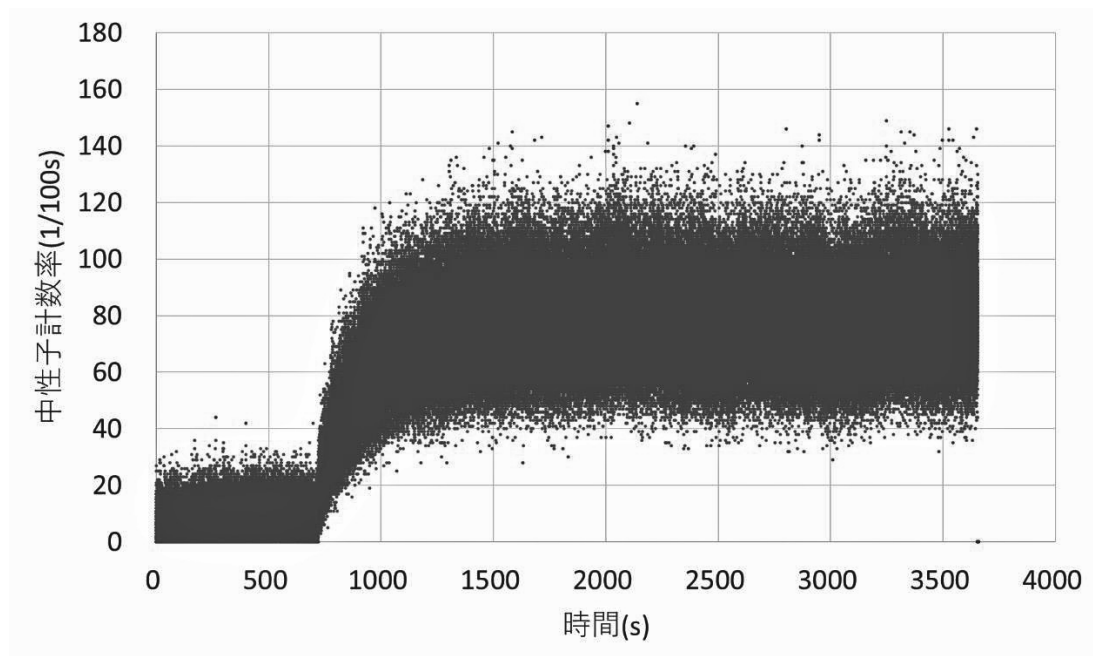


図2 中性子源挿入法で得られたデータの例

700s付近で中性子源を落下させたあと、中性子計数率が徐々に増加し、1500sあたり以降で安定状態に達している。700sから1500sの範囲が準定常状態である。

ソースジャーク法によって得られたデータの例を図3に示す。

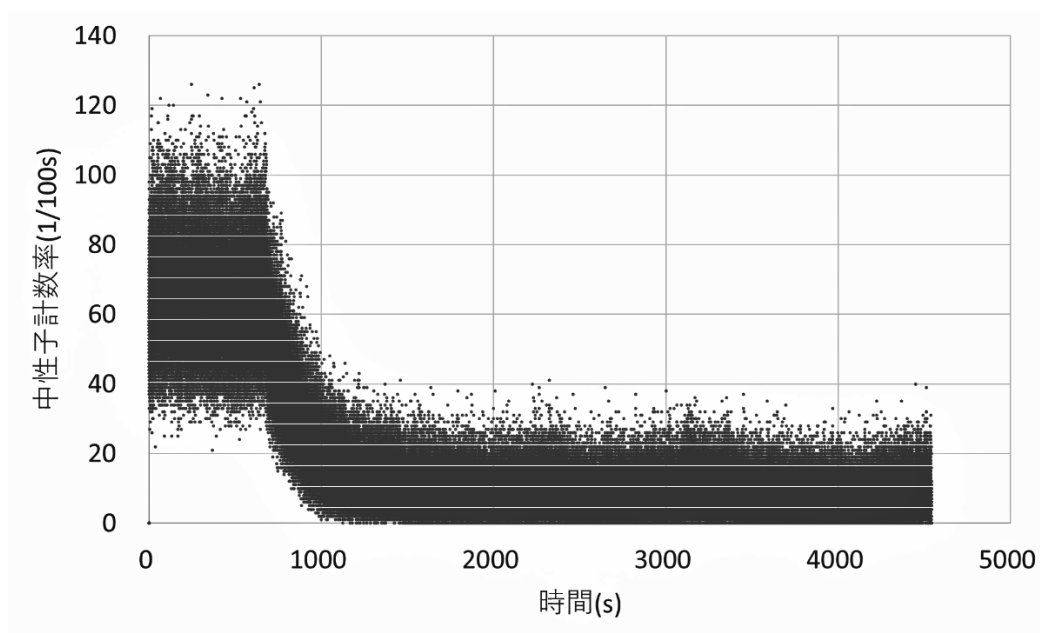


図3 ソースジャーク法で得られたデータの例

700s付近で中性子源を引き抜いたあと、中性子計数率が徐々に減少し、1500sあたり以降で安定状態に達している。700sから1500sの範囲が準定常状態である。

## 5、試解析結果

各手法を用いた試解析の結果を表3に示す。概略値はSSR位置から推定した値である。安定状態の中性子のデータにFeynman- $\alpha$ 法を適用して比較に用いた。準定常状態における出力の方程式に基づく開発中の新しい手法はFeynman- $\alpha$ 法に近い値を示している。Feynman- $\alpha$ 法と概略値はあまりよく一致していないが、Feynman- $\alpha$ 法はデータがよくフィッティング式に乗っている上、互いに相関はあるため、概略値にバイアスが乗っている可能性があると考えられる。新手法の評価値は暫定値である。適用範囲や精度を確認しながら、今後検討を進めて行く。

表3 制御棒校正実験における臨界点

実験番号	SSR位置(%)	概略値(% $\Delta k/k$ )	Feynman- $\alpha$ 法(% $\Delta k/k$ )[cent]	新手法[cent]
1	85.9	-0.045	-0.029 [-4.0]	-
2	72.3	-0.08	-0.059 [-8.0]	-
3	61.0	-0.17	-0.117 [-16]	-13(暫定値)

実験・測定補助者:なし