

1. 緒言

福島第一原子力発電所(1F)事故により発生した燃料デブリを取り出す際には、体系内の水/燃料の比(H/U 比)が局所的に変化することで未臨界度(負の反応度) $-\rho$ に変化が生じ、再臨界となる可能性も考えられる。再臨界防止のためには、未臨界度の監視が必要となる。未臨界度を推定する方法の1つとして、一点炉動特性方程式に基づいた逆解析手法の利用が考えられる。一点炉動特性方程式を用いると、未臨界度の時間変化に対応した核分裂出力の時間変化を推定することができる。未臨界度の時間変化と核分裂出力の時間変化が対応しているのであれば、核分裂出力の時間変化から未臨界度を逆推定することが可能であると考えられる。しかし、一点炉動特性方程式を用いて未臨界度の推定を行う際には、一点炉動特性パラメータ(中性子生成時間 Λ 、実効遅発中性子割合 β_{eff})という体系に依存するパラメータを適切に設定する必要がある。しかし、1Fの炉内について考えた際に、燃料デブリの空間分布、燃料核種組成、H/U 比(水に含まれる水素原子と燃料に含まれるウラン原子の数密度比)などの正確な状況は現段階の知見を踏まえても不確かである。このように体系が大きな不確かさを持つために、一点炉動特性パラメータにも大きな不確かさが生じ、結果として、一点炉動特性方程式を用いた推定結果にも大きな不確かさが生じると考えられる。そこで、観測値をシミュレーションモデルに取り込むことによって、より観測値に近い推定値を算出できるようモデルパラメータの修正を行うデータ同化という手法を一点炉動特性方程式に対して適用する。本研究では、データ同化手法として拡張カルマンフィルタを用いる。拡張カルマンフィルタを一点炉動特性方程式に対して適用することで、核分裂出力の観測値から、未臨界度の推定を行い、かつ未臨界度推定値の不確かさの低減が可能であるのかを検討する。

2. 検証計算

仮想的な数値実験を実施するため、まずは模擬観測値を用意する。 $k_{\text{eff}} = 0.5$ の極めて深い未臨界定常状態から、 $\Delta\rho = 90\% \Delta k/k$ のステップ状反応度添加が生じた場合について、一点炉動特性方程式により核分裂出力の時間変化を計算する。ここで、任意のH/U比を仮想真値とみなし、そのH/U比に対応した中性子生成時間 Λ 、実効遅発中性子割合 β_{eff} を仮想真値として設定する。計算で得られた核分裂出力値にランダムな観測ノイズを加えることで、模擬観測値とする。

次に、一点炉動特性方程式に対して拡張カルマンフィルタを適用し、模擬観測値の条件とは異なる未臨界度、中性子生成時間、実効遅発中性子割合の値を初期値として与える。観測値を逐次取り込み、データ同化を行うことによって、未臨界度 $-\rho$ 、中性子生成時間 Λ 、実効遅発中性子割合 β_{eff} を逐次推定する。この推定結果が、模擬観測値で用いた仮想真値をどれだけ再現できるのかを調べることによって、拡張カルマンフィルタの有効性を確認する。

3. 結果・考察

未臨界度の推定結果を図1に示す。図1において、誤差バーは未臨界度推定値の不確かさ(標準偏差 $\pm 1\sigma$)、破線はステップ状の反応度添加後における未臨界度の仮想真値にそれぞれ対応する。図1の結果から、 $\pm 1\sigma$ の範囲内で未臨界度の推定を行うことができていることが確認できる。よって、本検証では、拡張カルマンフィルタの有効性が確認できた。図2では、未臨界度推定値の相対不確かさとして、(標準偏差)/(推定値)を示している。未臨界度推定値の相対不確かさは、初めの時点で約100%存在するが、データ同化を行うにつれて、約2%まで低減することを確認できた。

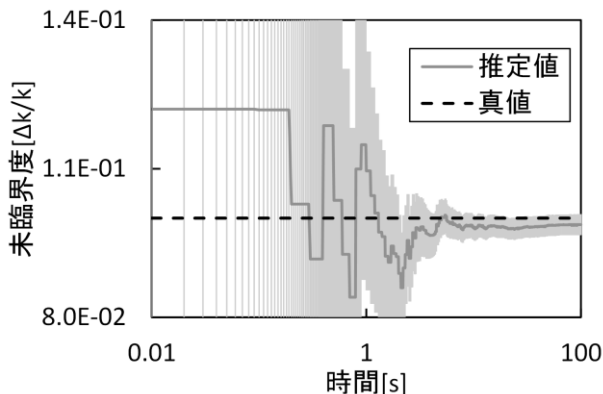


図1 未臨界度の推定結果

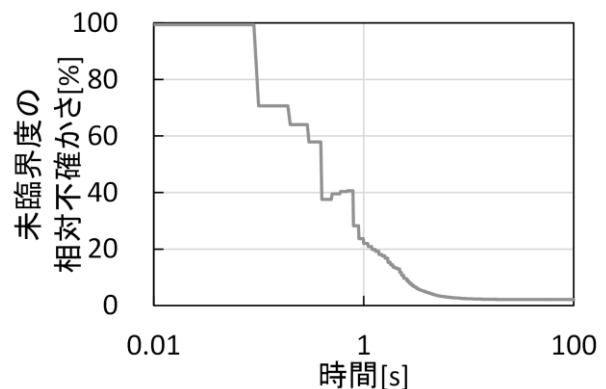


図2 未臨界度推定値の相対不確かさ

口頭発表

[1]池田卓弥, 遠藤知弘, 山本章夫, 日本原子力学会中部支部第48回研究発表会, 名古屋大学, 12月14-15日, 2016, R20(2016).