即発中性子減衰定数αを用いた未臨界監視における不確かさ評価手法の開発

Development of Uncertainty Evaluation Methodology for Sub-Criticality Monitoring using Prompt Neutron Decay Constant

*小池 啓基[1], 浅野 耕司[1], 左藤 大介[1]
[1]MHI

体系情報の不確かさが大きな燃料デブリ体系の未臨界監視では、直接測定の可能な即発中性子減衰定数αを監視パラメータとすることで、従来手法におけるαから実効増倍率k_{eff}への変換係数に対する体系起因の不確かさを排除し、監視パラメータに見込むべき不確かさを低減できる可能性がある。本研究では、αを指標とした定量的な未臨界監視に用いる推定臨界制限値の評価手法を開発し、その有効性を確認した。

キーワード：燃料デブリ、未臨界監視、即発中性子減衰定数、α固有値、推定臨界制限値

1. 緒言

MHI は、燃料デブリ体系を対象として、即発中性子減衰定数αを監視パラメータに用いる未臨界監視手法を開発した。従来の実効増倍率k_{eff}または未臨界度による未臨界監視では、αをk_{eff}に変換する際、変換係数(動特性パラメータ)の計算値に対する体系起因の不確かさを考慮する必要があるが、αを直接監視することで、体系起因の不確かさを排除した。本研究では、αの数値計算手法開発と、臨界実験体系のαを用いた未臨界監視の推定臨界制限値評価手法開発について報告する。

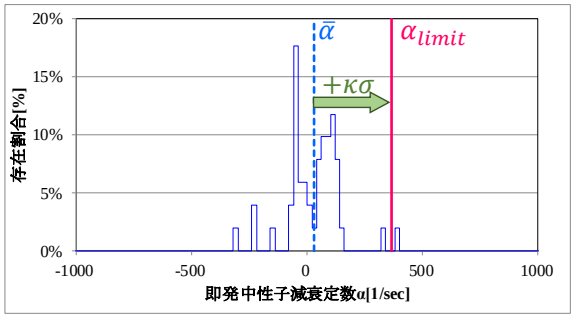
2. αの数値計算手法

本研究では、λ固有値方程式(1)を解く既存の中性子輸送計算コードを活用し、α固有値方程式(2)を解く手法を開発した。具体的には、式(1)において消滅演算子$\boldsymbol{A}$を$\alpha/\boldsymbol{v}$だけ減じたとき$k_{\mathrm{eff}}=1$となるようにαをサーチする手法を開発した。中性子エネルギー2 群、無限均質体系におけるαの解析解との比較によって、本手法を検証した。

$\boldsymbol{A}\boldsymbol{\psi}=\frac{1}{k_{\mathrm{eff}}}\boldsymbol{F}\boldsymbol{\psi}$ (1), $\left(\boldsymbol{A}-\frac{\alpha}{\boldsymbol{v}}\right)\boldsymbol{\psi}=\boldsymbol{F}\boldsymbol{\psi}$ (2) ($\boldsymbol{A}$：消滅演算子, $\boldsymbol{F}$：生成演算子, $\boldsymbol{\psi}$：中性子束, $\boldsymbol{v}$：中性子速度)

3. 推定臨界制限値の評価

ICSBEP[1]から 51 の臨界実験ベンチマークを選定して解析を実施し、αを算出した(図)。得られたαに基づき、ノンパラメトリック・ブートストラップ法を用いて推定臨界制限値を統計評価[2]した結果、臨界にならない確率 97.5%、信頼度 97.5%の条件において$\alpha_{limit}=\bar{\alpha}+\kappa\sigma=366[1/\mathrm{sec}]$ となった。なお、同一条件におけるk_{eff}の推定臨界制限値(推定臨界下限増倍率)は$k_{limit}=0.981$となり、臨界近傍において、現行の臨界安全評価における制限値と同程度になることを確認した。



α_{limit}：αの推定臨界制限値　$\bar{\alpha}$：各体系のαの平均値
σ：αと$\bar{\alpha}$の差異の標準偏差　κ：信頼係数

図　各臨界実験体系におけるαの頻度分布
(核データ：JENDL-4.0)

4. 結言

αを用いた未臨界監視における推定臨界制限値の評価手法を開発した。本手法の適用により、燃料デブリ体系における精度のよい未臨界監視を可能とした。

参考文献

[1] OECD/NEA, “International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments (ICSBEP),” 2019.

[2] T.Hayashi, et al., “Calculation method of estimated criticality lower-limit multiplication factor using the Bootstrap method,” M&C2019, 2019.

* Hiroki Koike[1], Koji Asano[1] and Daisuke Sato[1], [1]MHI