高速炉燃料の FP 崩壊熱不確かさ低減のための検討

Study for uncertainty reduction of FP decay heat of FBR fuel

*大釜 和也[1]，湊 太志[1]，大木 繁夫[1]，片倉 純一[2]
[1]日本原子力研究開発機構，[2]長岡技術科学大学

最新の JENDL FP 崩壊データおよび核分裂収率ファイルに基づく総和計算により、高速核分裂による FP 崩壊熱不確かさの評価を行った。特に、高速炉燃料において FP 崩壊熱への寄与が大きい Pu-239 の FP 崩壊熱の感度解析から、FP 崩壊熱不確かさへの寄与の大きい核データを特定するとともに、それらの不確かさの改善による FP 崩壊熱不確かさ低減の効果について検討した。

キーワード：核分裂生成物，崩壊熱，崩壊データ，核分裂収率，不確かさ

1. 緒言

高速炉設計においては、除熱源喪失型事象等の安全評価、崩壊熱除去系や使用済燃料貯蔵施設等の安全上重要な設備の設計に崩壊熱およびその不確かさデータが重要である。近年、最新の JENDL FP 崩壊データおよび核分裂収率ファイルに基づく総和計算により、FP 崩壊熱およびその不確かさについて報告されている[1]。高速炉設計に最新の知見を反映するため、これらの核データおよび評価方法により、高速中性子核分裂による FP 崩壊熱不確かさを評価した。また、感度解析により、FP 崩壊熱不確かさへの寄与が大きい核データを特定し、それらの不確かさの改善による FP 崩壊熱不確かさ低減効果につき検討した。

2. 検討条件・解析方法

最新の JENDL FP 崩壊データおよび核分裂収率ファイルに基づく総和計算により、無限照射時の Pu-239 の高速中性子核分裂の FP 崩壊熱およびその不確かさを評価した。崩壊に伴い放出される β 線および γ 線のエネルギーの不確かさが、FP 崩壊熱不確かさへの寄与として大きい。そこで、比較的 FP 崩壊熱の不確かさが大きい照射後 10s および 10^8s において、放出エネルギーに対する感度係数から、FP 崩壊熱不確かさに寄与が大きい核種を分析した。また、それらの核種の核データおよび不確かさを JENDL 以外のライブラリで代替することにより、FP 崩壊熱不確かさの低減効果を予備的に評価した。

3. 結論

図.1 に、照射後 10s における放出エネルギーに対する感度係数と崩壊に伴い発生する β 線のエネルギーの不確かさ（ΔE_β）の分布を示す。FP 崩壊熱の不確かさは、それぞれの核種の感度係数と核データ不確かさにより評価する。したがって、図.1 の右上に位置する核種は、感度係数が高く、かつ、核データ不確かさが大きいため、FP 崩壊熱の不確かさへの寄与が大きい。

核データの中には、不確かさが評価されていないものもある。そのような場合、FP 崩壊熱の不確かさの計算では、保守性を考慮し、その核データの不確かさを 100%としている。このような核種として、図.1 の感度係数が高いほうから、Cs-140、Nb-98 および Tc-103 が挙げられる。なお、これらの核種は、ΔE_γ も不確かさを 100%としている。また、10^8s において同様の分析を行うと、Ba-137m の内部転換電子のエネルギーの不確かさが寄与していることがわかった。これは、理論計算で得られた内部転換係数の不確かさが与えられていないことが原因であることがわかった。

これらの核データの不確かさ評価値が与えられた場合の無限照射時の Pu-239 の高速中性子核分裂の FP 崩壊熱不確かさの改善効果を評価するため、JEFF3.1 Radioactive Decay Data の Cs-140、Nb-98 および Tc-103 の E_β、ΔE_β、E_γ および ΔE_γ を使用した計算を実施した（図.2）。また、Ba-137m については、内部転換電子のエネルギーおよびその不確かさを使用した。Cs-140、Nb-98 および Tc-103 の ΔE_β および ΔE_γ の評価により、照射後 100s までの FP 崩壊熱不確かさ約 3%のうち最大で 0.8%の改善の可能性があることがわかった。また、Ba-137m の内部転換電子のエネルギー不確かさの評価により、10^8s における約 5%の FP 崩壊熱不確かさを 3.8%改善できる可能性があることがわかった。これらの知見は、JENDL に今後反映する余地がある。なお、ΔE_β および ΔE_γ などの崩壊データは、他の重核種や熱中性子核分裂の FP 崩壊熱不確かさ評価においても共通して使用されるため、それらの評価においても不確かさ低減が期待できる。

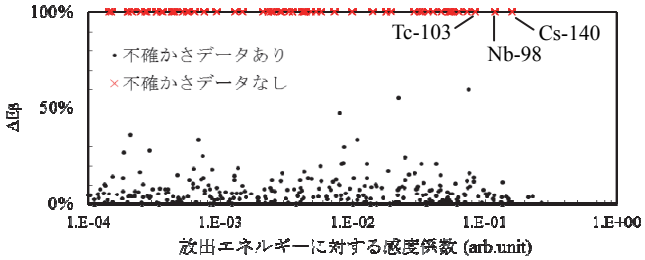

図.1 ΔE_β と放出エネルギーに対する感度係数(Pu-239, 10s)

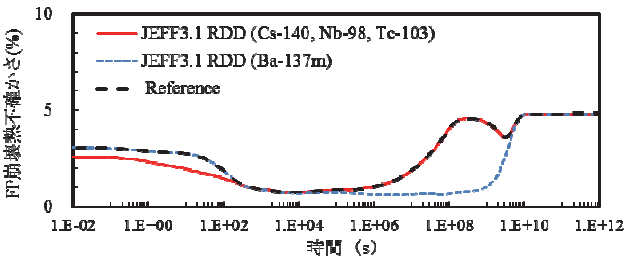

図.2 Pu-239 の FP 崩壊熱不確かさの評価

参考文献

[1] Katakura J. Uncertainty analyses of decay heat summation calculations using JENDL, JEFF, and ENDF files. J Nucl Sci Technol. 2013;50:799-807.

*Kazuya Ohgama[1], Futoshi Minato[1], Shigeo Ohki[1] and Jun-ichi Katakura[2]
[1]Japan Atomic Energy Agency., [2]Nagaoka University of Technology.