

軽水炉燃料燃焼計算における短半減期 FP 核種の影響評価

Impact of short half-lived FP nuclides on LWR fuel burnup calculations

*柳原 健人¹, 千葉 豪¹, 三輪 周平², 田淵 将人²

¹北海道大学,²原子力エンジニアリング

詳細な燃焼チェーンにて通常とは異なる運転条件を想定した軽水炉燃料燃焼計算を行い、簡易燃焼チェーンで無視される FP 核種の反応度への影響を評価し、それらの核種の反応度への影響度が小さいことを確認した。

キーワード：簡易燃焼チェーン、核分裂生成物

1. 背景

核燃料の燃焼計算に一般的に用いられる簡易燃焼チェーンでは、反応度に影響が小さい FP 核種は無視されている。しかし、無視された FP 核種には通常とは異なる運転時に影響度を強める核種が存在する可能性がある。従って、通常とは異なる運転条件における簡易燃焼チェーンの妥当性を確認することが重要である。

2. 検討方法

軽水炉の燃料ピンセルモデルを対象に通常とは異なる運転を想定した燃焼計算を行い、FP 核種毎の中性子吸収量を定量化し、炉心特性への影響を評価した。燃焼チェーンでは JENDL/FPD-2011 に評価データが与えられている全ての核種を考慮し、そのうち 320 の FP 核種は反応断面積を考慮した。320 核種のうち、223 核種は JENDL-4.0 にて反応断面積の評価データが与えられている核種である。残りの 97 核種は JENDL-4.0 にて評価データが与えられていないものの、TENDL-2019 では与えられており比較的影響が大きいと考えられる核種である。また計算は、当研究グループで開発している炉物理解析コード CBZ を用いて行った。

3. 検討結果

UO₂ 燃料 (U-235 濃度 : 4.1 wt%) において燃焼度 20 GWD/t までの燃焼後、冷却期間を経て再起動し燃焼度 40 GWD/t まで燃焼させたという条件で燃焼計算を行った。冷却期間は通常の条件 90 日と通常とは異なる条件 30 年を想定した。これより冷却期間を大きくした時に燃焼度 20 GWD/t~40 GWD/t における吸収率の最大値の変動が大きい 4 核種を見出した (表 1)。なお、体系における吸収率の総量を 1.0 と規格化した。Eu-152m と Gd-153 は一般的に簡易チェーンに含まれない。この 2 核種が冷却期間 30 年にて吸収率が大きくなる要因は、半減期 90 年の Sm-151 にある。Sm-151 は冷却期間が長くなるとそれだけ崩壊が進み、娘核種が生成する。これに伴い娘核種の核反応数が増え、Eu-152m と Gd-153 の数密度が増え吸収率も大きくなる。しかし、2 核種は冷却期間 30 年にて影響力を強めるが、吸収率は小さく炉心特性への影響は無視できる。また、半減期 14.1 年の Cd-113 の娘核種である Sn-114 や In-113 の吸収率も増加したが影響は無視できる程度であった。その他の簡易チェーンに含まれない核種の一部も吸収率は増加したが、その値は小さく通常とは異なる条件における反応度への影響が小さいことを確認した。

表 1 90 日と 30 年の冷却期間後における中性子吸収率の最大値とその変動率

核種	90d	30y	変動率[%]
Eu-152m	1.50E-07	9.83E-06	6466
Eu-151	9.67E-06	6.27E-04	6386
Nb-93	1.42E-11	9.08E-10	6280
Gd-153	6.53E-07	1.03E-05	1479

* Kento Yanagihara¹, Go Chiba¹, Shuhei Miwa², Masato Tabuchi²

¹ Hokkaido University, ² Nuclear Engineering, Ltd