

ChainJ40 相当の燃焼チェーンを作ってみた

2026/10/13 千葉（北大）

現在、MVP-BURN を用いた燃焼計算で標準的に使用されている（であろう）燃焼チェーン ChainJ40 については、MVP-3.0 のパッケージに同梱されている文書「ChainJ40; JENDL-4.0 に基づく燃焼チェーンデータ」に以下の記述がある。

- ・ 2010 年に公開された JENDL-4.0 の核分裂収率データを採用。
- ・ 主要な核異性体比について、JENDL-4.0 と JEFF-3.1/A の新しいデータに基づき更新。
- ・ 半減期データを近年の核構造データファイル（ENSDF）や文献値で更新。

また、JENDL-4.0 の核分裂収率データファイルのコメントセクションには、累積収率と独立収率の整合性は JENDL/FPD-2000 をベースとして考慮されているというような文言が述べられていることから、崩壊データとしては JENDL/FPD-2000 が用いられているものと判断できる。

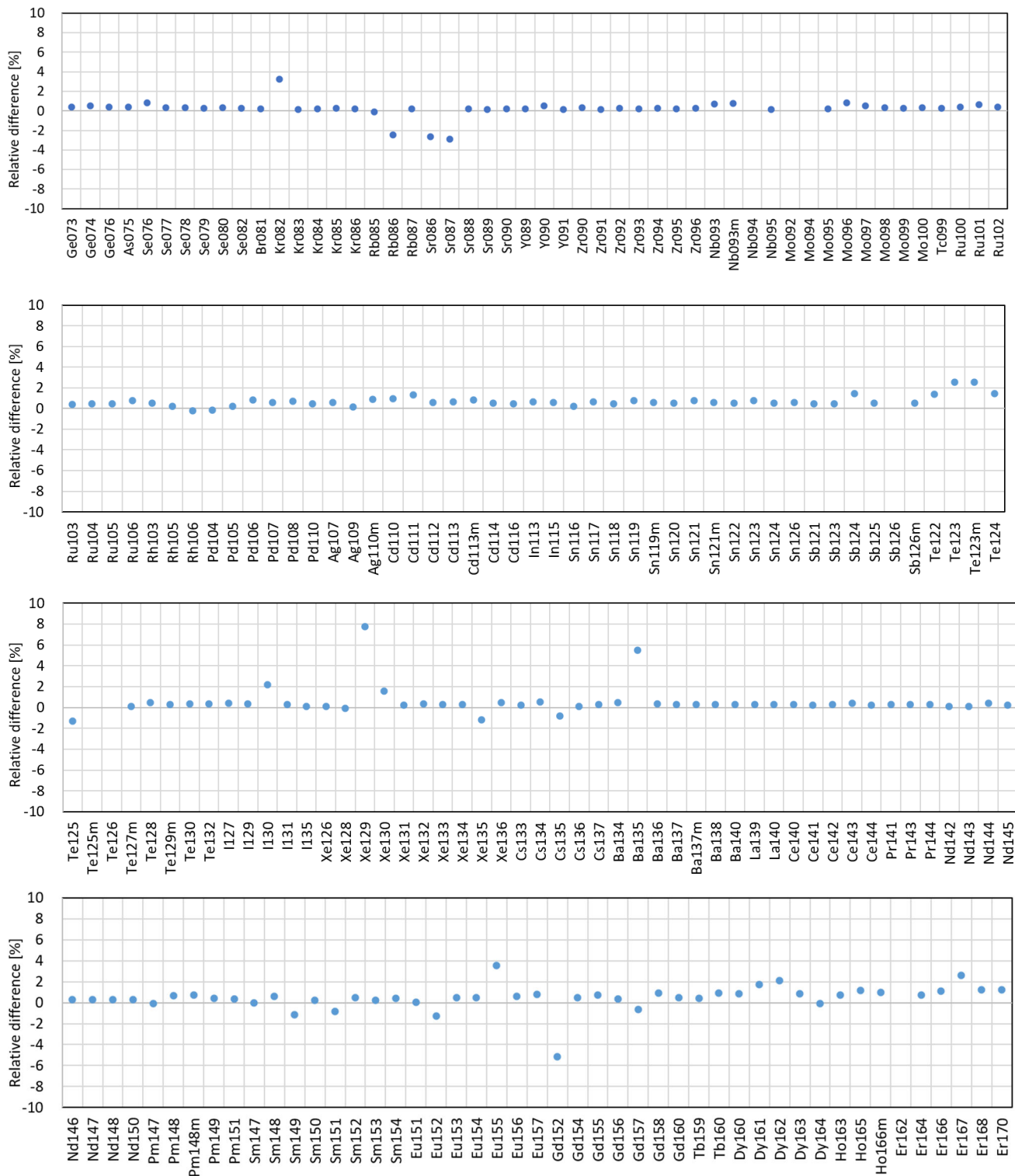
ChainJ40 相当の燃焼チェーンを用いた計算を他のコードで行いたい場合には、ChainJ40 のテキストデータを基にして、使用するコードで用いる燃焼チェーンのフォーマットに書き出すようなことを行えばよいが、ChainJ40 では核種を特有の文字列で扱っていることなど、多少の手間を要することが想定される（生成 AI を使えば一発かもしれないが、、、）。一方、近年は、燃焼計算コードにおいて、ユーザが指定した核種で構成される燃焼チェーンを自動的に生成する機能が付加されるのが一般的となっていることから、今回、CBZ を用いて、ChainJ40 相当のチェーンを作ることを試みた。

ChainJ40 相当のチェーンの作成は以下の方針で行った。

- ・ 考慮する FP の個数は ChainJ40 の所謂「開発者用チェーン」と同様に 193 とした。
- ・ 崩壊データとして JENDL/FPD-2000、収率データとして JENDL-4.0 を用いた。
- ・ (n,g)反応の分岐比（核異性体比）は、JEFF-3.1/A からエネルギー依存のデータを読み込み多群化したうえで、多群の捕獲断面積と LWR-UO2 の中性子スペクトルを用いて、エネルギー群についての平均化を行った。
- ・ FP の(n,2n)反応による核種変換は無視した。

ORLIB-J33 の作成のために用意された PWR-UO2 の燃料ピンセルモデル（U-235 濃縮度 4.1wt%）について、45GWD/t までの燃焼計算を MVP-BURN+ChainJ40 と CBZ/Burner（361 群ライブラリ使用）を用いて行い、45GWD/t 時点での FP 数密度の比較を行った。反応断面積はいずれも JENDL-4.0 に基づくものを用いた。MVP-BURN の結果に対する CBZ の結果の相対差を以下に示す¹。

¹ JENDL-4.0 には Ho-165 の評価データが存在しないが、CBZ/Burner で JENDL-4.0 ライブラリに基づく計算を行う際には、デフォルトで ENDF/B-VII.0 に基づく Ho-165 のデータを使用している。今回の検討では、この設定を外し、Ho-165 の反応断面積は考慮しない条件で行っている。



大部分の核種について2%以内での一致が観察される一方で、いくつかの核種について数%（場合によっては10%）を超える差異が観察された。以下、大きな差異が観察された核種について個別に述べる。

・Nb-94、Mo-94 について、CBZ が大幅な過小評価を示した。この原因は、ChainJ40 では、例外的に Nb-95、Mo-95 の(n,2n)反応による核種変換を考慮していることにあった。実際に、CBZ で(n,2n)反応を考慮し

た計算を行った場合には、コード間の差異が小さくなることを確認した。

- ・Mo-92 について、CBZ が大幅な過小評価を示した。数密度は EOL で $1e-19$ 程度であり、重要性が低いものと考えられるため、検討は行わないこととした。

- ・Sb-126 について、CBZ が大幅な過小評価を示した。これは、Sb-125 の(n,g)反応の分岐比の差異が原因であった。Sb-126 への分岐比は、ChainJ40 では 0.936、CBZ のチェーンでは 0.290 であった。JEFF-3.1/A のデータに基づいて平均化した分岐比は、Sb-126、Sb-126m、Sb-126n についてそれぞれ 0.290、0.064、0.646 と計算された一方、JENDL/FPD-2000 では Sn-126n のデータが与えられておらず、Sb-126n の寄与の扱いに違い(ChainJ40 では Sb-126 に加えているが、CBZ ではいずれにも加えていないという違い)が生じたものと考えられる。なお、JENDL/FPD-2011 では、Sb-126n のデータが与えられており、Sb-126n は崩壊により Sb-126m に変換されるものとされていることから、ChainJ40 の処理がより適切であるとは簡単には判断できない。

- ・Te-125m、-126 に大きな差異が見られた。この原因は親核種の Sb-125 の崩壊分岐比の差異にあった。ChainJ40 では Te-125、-125m への分岐比として 0.782、0.218 が与えられている一方、CBZ のチェーンではそれらは 0.65、0.35 とされていた。JENDL/FPD-2000 のデータを参照したところ、CBZ のチェーンと同一の値となっていた。なお、JENDL/FPD-2011 では ChainJ40 相当の数値となっていたため、Sb-125 の崩壊分岐比については、ChainJ40 は JENDL/FPD-2011 にデータに基づいている可能性が高い。

- ・Xe-129 について、CBZ が 8%程度の過大評価を示したが、明確な原因を特定することは出来なかった。燃焼感度を計算したところ、I-127、Xe-128 の(n,g)断面積に対する相対感度がそれぞれ 0.96、0.99 となっており、I-127 を起点に、2 度の(n,g)反応により生成する核種であることが分かった。核分裂収率に対する感度は U-235、Pu-239 それぞれについて 0.45、0.42 であった。親核種である Xe-128 の数密度の一致は良好であることから、I-127 の(n,g)については問題ないものと考えられる。

- ・Ba-135 について、CBZ が 6%程度の過大評価を示したが、明確な原因を特定することは出来なかった。燃焼感度を計算したところ、Cs-133、Ba-134 の(n,g)断面積に対する感度がそれぞれ 0.92、0.99 となっており、Cs-133 を起点に、2 度の(n,g)反応により生成する核種であることが分かった。核分裂収率に対する感度は U-235、Pu-239 それぞれについて 0.73、0.18 であった。親核種である Ba-134 の数密度の一致は良好であることから、Cs-133 の(n,g)については問題ないものと考えられる。

- ・Gd-152 について、CBZ が 5%程度の過小評価を示した。この違いは Eu-151 の(n,g)反応の分岐比にある可能性が高い。ChainJ40 では Gd-152、Eu-152、Sm-152 への分岐比がそれぞれ 0.2617、0.655659、0.08265184 と与えられている一方、CBZ のチェーンでは 0.2477、0.655007、0.0963189 とされている。JEFF-3.1/A のエネルギー依存のデータからの平均化処理で差異が生じた可能性が高い。

- ・Er-162 については、MVP-BURN、CBZ の計算結果がそれぞれ $1e-20$ 、0 であった。いずれのコードでも、Er-162 への核反応、崩壊による生成経路は存在せず、また核分裂収率は全てのアクチニドについてゼロであった。MVP-BURN では数密度がゼロのものを $1e-20$ としている可能性が高い。

以上