

軽水炉解析用 CBZLIB の改訂*

千葉豪

平成 32 年 5 月 24 日

CBZ を用いた軽水炉の解析では、これまでディレクトリ j4.107g.iwt7 に収納されているものを用いるのが一般的であったが、FRENDY-MG コードとの比較を行った際に、その作成過程において種々の問題点（コードのバグや不適切なオプションの使用など）が見つかった。今回、それらを改め、新たな軽水炉解析用 CBZLIB として j4.107g.iwt4 を作成したので、その詳細を報告する。

1 これまでの不適切な取り扱い

CBZLIB の作成過程における不適切な取り扱いを以下に示す。

- NJOY-99 の GROUPE モジュールの入力の CARD9 において、mf/mt のペアとして 5/18 を指定していた（NjoyInputMaker がそのように入力を作成していた）。これによって、MATXS ファイルに出力される核分裂スペクトルデータが不適切なもの（GENDF データと整合していないもの）となっていた。
- CBGLIBEditor において、全中性子核分裂スペクトルに対して遅発中性子の寄与が反映されていなかった（即発中性子のみのもとなっていた）。
- 天然組成の同位体データの作成に不適切な箇所があった（LibData クラスのメソッド WriteFile において、それに対応するメソッド ReadFile との不整合があった）。
- TIMS-1 コードによってライブラリを作成する際に利用する PostNjoy において、全中性子核分裂スペクトルに対して遅発中性子の寄与が反映されていなかった。
- NJOY-99 の GROUPE モジュールにおける重み関数オプション iwt として、高速炉を想定したものの（7）を使用していた（ただし、重み関数データが格納されている N-ENERGY ファイルにおいては、iwt=3（1/E）のデータが収納されていた¹）。

2 新たな軽水炉解析用 CBZLIB の作成

以上を踏まえ、以下の方針で新たな軽水炉解析用 CBZLIB を作成した。なお、上で述べられた不適切な取り扱いについては問題を解消した。

- PENDF データは全て FRENDY により作成した。
- NJOY-99 による非分離共鳴領域の処理について、これまでは UNRESR モジュールを用いていたが、全て PURR モジュールを用いることとした。
- NJOY-99 の GROUPE モジュールにおける荷重関数として、NR 近似に基づくものではなく Flux calculator により得られたものを用いた。

* /Document/CBG_Manual/cbzlib.j4.107g.iwt4

¹ どこかのタイミングで、故意であるかは不明であるが入れ替わったものと考えられる。

- TIMS-1 を用いてライブラリを作成する際は、UNRESR モジュールと Flux calculator により計算した結果を用いた。
- TIMS-1 を用いて作成したライブラリについては、核分裂スペクトルデータを NJOY-99 の PURR、Flux calculator により計算した結果で置換した。
- NJOY-99 の GROUPR モジュールにおける重み関数オプション *iwt* として 4 (熱中性子炉を想定したもの) を用いた。

GROUPR モジュールでの重み関数を Fig. 1 に示す²。これまで用いてきた *iwt*=7 のものが軽水炉解析には不適であることが分かる。

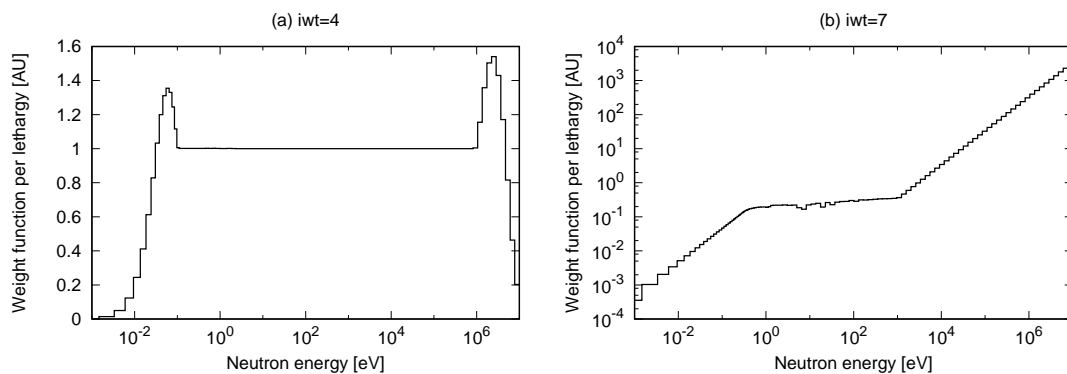


Fig. 1: Weight functions in the GROUPR module

3 検証計算結果

3.1 未燃焼ピンセルモデルにおける無限増倍率

文献 [1] で整備された、種々の軽水炉未燃焼ピンセルモデルにおける無限増倍率の計算を新旧の CBZLIB を用いて行った。参照解は MVP-II で得られたものである。なお、CBZ の固有値計算では、核分裂スペクトルは入射エネルギー依存で考慮している。参照解に対する相対差を Fig. 2 に示すが、新旧ライブラリ間に大きな差異は見られていない。

3.2 ピンセル燃焼問題における無限増倍率

JENDL-3.3 に基づく ORIGIN コード用ライブラリ ORLIB-J33 の整備の際に作成された PWR ピンセルの燃焼問題に対する計算を新旧の CBZLIB を用いて行った。燃焼チェーンとしては、CBZ による軽水炉の燃焼解析で標準的に用いられている 138 の FP 核種からなるものを用いた。旧ライブラリに対する k_{∞} の相対差を Fig. 3 に示す (挙動が滑らかではないのは有効数字桁数に由来しており、有意なものではない)。UO₂、MOX のいずれにおいても、燃焼とともに新ライブラリは k_{∞} を小さめに評価する傾向が見られるが、その大きさは 10 pcm を超える程度である。

²ここで示している重み関数は、厳密には CBZLIB の N-ENERGY ファイルに格納されている多群の重み関数である。N-ENERGY ファイルには、CBZLIBeditor により、MATXS 形式の多群データファイルにおいて最初に定義される重み関数データが収納される。従って、CBZLIB の一般的な作成手続きにおいては 300 K の無限希釈状態での重み関数データとなる。GROUPR モジュールにおいて Flux calculator を用いた場合、ユーザが指定した上限エネルギーと 0.1 eV の間のエネルギー領域については Flux calculator による結果となるため、この図では 0.1 eV が 1/E スペクトルと Maxwell スペクトルの境界となっている。仮に GROUPR で Flux calculator を用いない場合には、GROUPR モジュールで指定されたエネルギーが 1/E と Maxwellian の境界となる (この場合、熱中性子ピークはより顕著に現れるものと考えられる)。

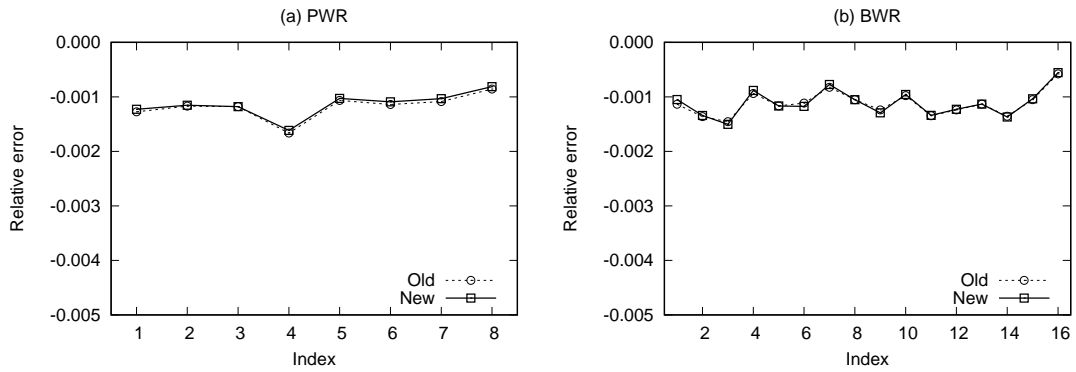


Fig. 2: Relative errors in k_{∞} of LWR pincell benchmark problems

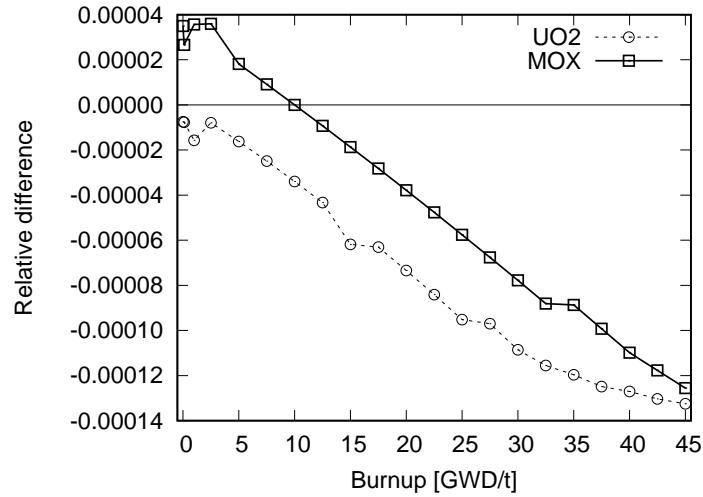


Fig. 3: Relative difference in k_{∞} during burnup of PWR pincell model

燃焼後 (45 GWD/t) の核種数密度について、新旧ライブラリによる計算結果の比を計算した。そのうち、差異が 0.001% を超えるものについて Table 1 に示す。UO2 ピンセルにおける U-234 の数密度に 2.5% 程度の差異が見られ、それが最大であった。

3.3 OECD/NEA 燃焼度クレジットベンチマーク Phase III-C

BWR 燃料集合体を対象とした OECD/NEA の燃焼度クレジットベンチマーク Phase III-C のモデルに対する燃焼計算を新旧の CBZLIB を用いて行った。参照解は MVP-BURN により得られた文献値を用いた。新旧 CBZLIB による k_{∞} の相対差を Fig. 4 に示すが、ライブラリ改訂による影響は小さいことが分かる。

参考文献

- [1] G. Chiba, *et al.*, “Advanced Bondarenko method for resonance self-shielding calculations in deterministic reactor physics code system CBZ,” *Ann. Nucl. Energy*, **96**, p.277-286 (2016).

Table 1: Ratios in nuclides number densities after burnup

Nuclide	UO2	MOX
U-234	1.0257	1.0074
U-237	1.0025	1.0168
Np-237	1.0031	1.0174
Pu-238	1.0031	1.0002
Nd-142	1.0018	1.0032
Pm-147	0.9949	0.9951
Pm-148	1.0044	1.0074
Pm-148m	1.0051	1.0075
Pm-149	1.0017	1.0016
Sm-147	0.9965	0.9967
Sm-148	1.0042	1.0060
Sm-149	1.0029	1.0024
Sm-150	1.0015	1.0010
Gd-155	1.0015	1.0011
Gd-157	1.0013	1.0009

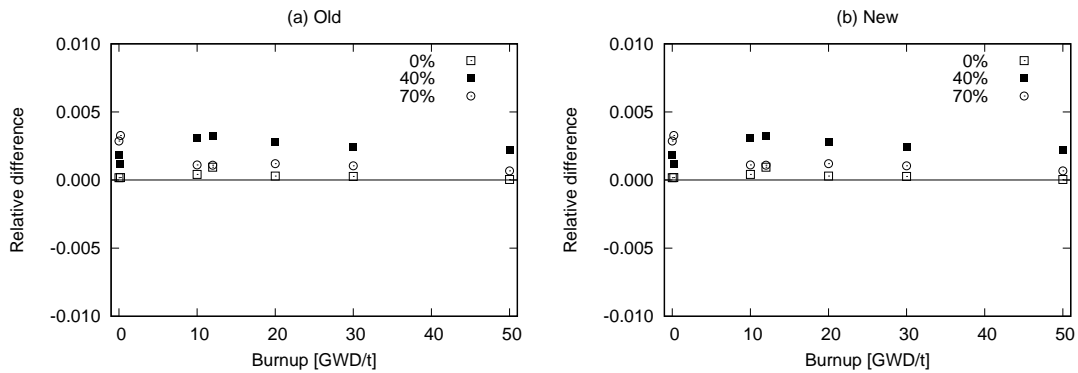


Fig. 4: Relative difference in k_{∞} during burnup of OECD/NEA burnup credit benchmark phase III-C