

JENDL-5のMATXSライブラリ作成

Production of JENDL-5 MATXS Library

今野 力

Chikara KONNO

原子力科学研究所

原子力基礎工学研究センター

Nuclear Science and Engineering Center

Nuclear Science Research Institute

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートはクリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の
条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 科学技術情報課
〒 319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under
the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section,
Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

JENDL-5 の MATXS ライブライアリ作成

日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
原子力基礎工学研究センター
今野 力

(2025 年 11 月 26 日受理)

遮蔽計算等でのニーズに応えるため、FRENZY コードをベースに一部 NJOY コードを使って作成した評価済み核データ JENDL-5 の MATXS 形式ライブライアリ MATXS-J50 を 2025 年 8 月に公開した。MATXS-J50 の群構造は、中性子 200 群+ガンマ線 42 群と中性子 48 群+ガンマ線 20 群の 2 つである。本報告書では MATXS-J50 の作成方法、及び TRANSX コードを用いた MATXS-J50 の使用方法について詳述する。MATXS-J50 検証のためのテスト計算を行い、MATXS-J50 に問題がないことを確認した。

Production of JENDL-5 MATXS Library

Chikara KONNO

Nuclear Science and Engineering Center
Nuclear Science Research Institute
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received November 26, 2025)

The MATXS format library MATXS-J50 of the Evaluated Nuclear Data Library JENDL-5 produced with mainly the FRENDY code and partially the NJOY code was released in August of 2025 to meet needs of shielding calculations and other applications. The group structures of MATXS-J50 are neutron 200 groups + gamma 42 groups and neutron 48 groups + gamma 20 groups. This report explains in detail how to produce and use MATXS-J50 with TRANSX. Test calculations for verification of MATXS-J50 were also performed, which demonstrated that MATXS-J50 has no problem.

Keywords: JENDL-5, MATXS, FRENDY, NJOY, TRANSX

目 次

1. 序論 -----	1
2. 作成方法 -----	2
2.1 FRENDY-----	2
2.2 作成手順と不具合対応-----	4
3. 使用方法 -----	8
4. テスト計算 -----	10
5. 結論 -----	12
謝辞 -----	13
参考文献 -----	13
付録 1 MATXS-J50 の群構造 -----	16
付録 2 TSL データリスト -----	18
付録 3 MATXS-J50 作成のための入力例 -----	27
付録 4 TRANSX の入力例 -----	30
付録 5 多群計算で使う多群ライブラリについての注意点 -----	32

Contents

1. Introduction -----	1
2. Production Method -----	2
2.1 FRENDY-----	2
2.2 Production Procedure and Bug Fixes-----	4
3. How to Use MATXS-J50 -----	8
4. Test Calculation -----	10
5. Conclusion -----	12
Acknowledgements -----	13
References -----	13
Appendix 1 Group Structures of MATXS-J50 -----	16
Appendix 2 TSL Data List -----	18
Appendix 3 Sample Input for MATXS-J50 Production-----	27
Appendix 4 Sample Input of TRANSX -----	30
Appendix 5 Remarks on Multigroup Libraries used in Multigroup Calculations -----	32

表リスト

Table 2.1	MATXSR モジュールで考慮している熱中性子散乱則データの物質の名称	6
Table A1.1	中性子 48 群の群構造	16
Table A1.2	ガンマ線 20 群の群構造	17
Table A2.1	TSL ファイルのリスト	18

図リスト

Fig. 2.1	半径 1 m のヒ素球の中心に 20 MeV 中性子源があるモデルで ANISN で計算した球の中心から 60 cm での中性子スペクトル(修正前)	2
Fig. 2.2	半径 1 m のヒ素球の中心に 20 MeV 中性子源があるモデルで ANISN で計算した球の中心から 60 cm での中性子スペクトル(修正後)	4
Fig. 2.3	Fe-56 の全断面積	7
Fig. 4.1	計算モデル	10
Fig. 4.2	鉄球の中心から 60 cm での中性子スペクトル	10
Fig. 4.3	鉄球の中心から 60 cm でのガンマ線スペクトル	10
Fig. 4.4	水球の中心から 60 cm での中性子スペクトル	11
Fig. 4.5	水球の中心から 60 cm でのガンマ線スペクトル	11
Fig. A5.1	鉄球の中心から 40 cm での中性子スペクトル(VITAMIN-B7)	34
Fig. A5.2	鉄球の中心から 40 cm での中性子スペクトル(MATXS-J50)	34
Fig. A5.3	JPDR 生体遮蔽コンクリートの約 1.2 m の深さでの中性子スペクトル	34

This is a blank page.

1. 序論

日本の評価済み核データライブラリ JENDL-5¹⁾は 2021 年 12 月に、JENDL-5 の連続エネルギーライブラリ ACE-J50²⁾は 2022 年 12 月に公開され、炉心計算、遮蔽計算等で使われている。遮蔽計算等でニーズの多い JENDL-5 の MATXS 形式の多群ライブラリ MATXS-J50 を 2025 年 8 月に公開し、その後、問題が見つかったので 2025 年 12 月に改訂した³⁾。本報告書では MATXS-J50 の作成方法とその使用方法について詳述する。また、MATXS-J50 のテスト計算についても報告する。

2. 作成方法

2.1 FRENDY

日本原子力研究開発機構では核データ処理コード FRENDY⁴⁾を開発している。FRENDY 第1版⁵⁾では MCNP コード、PHITS コードで使う連続エネルギー ACE ファイルを作成することができ、ACE-J50 は FRENDY 第1版及び、JENDL-5 用に修正された NJOY2016.65⁶⁾の HEATR モジュール⁷⁾を用いて作成された。FRENDY 第2版⁸⁾では多群ライブラリも作成できるようになったため、JENDL-5 の MATXS 形式⁶⁾の多群ライブラリ MATXS-J50 は FRENDY 第2版をベースに作成した。

FRENDY 第2版では多群ライブラリを ACE ファイルから作成するようになっているので、当初、ACE-J50 から FRENDY で JENDL-5 の MATXS 形式の多群ライブラリ MATXS-J50 を作成しようとした。しかし、以下の問題が見つかった。

- 1) ACE-J50 に運動学的手法の KERMA 係数⁶⁾が入っていない。
- 2) ACE-J50 での非分離共鳴の扱いに問題はなかったが、ACE-J50 から作成した MATXS ファイルを使って ANISN コード⁹⁾で得られた中性子スペクトルが、JENDL-5 から全て NJOY で作成した MATXS ファイルを使って ANISN コードで得られた中性子スペクトルと大きく異なった(4 章のテスト計算で物質をヒ素にした時の計算結果を Fig. 2.1 に示す。この図で、FRENDY は ACE-J50 から FRENDY2.05 で作成した MATXS ファイルを使用した ANISN 計算、NJOY は JENDL-5 から NJOY2016.65 で作成した MATXS ファイルを使用した ANISN 計算である。FRENDY の結果が非常に不自然であることがわかる)。

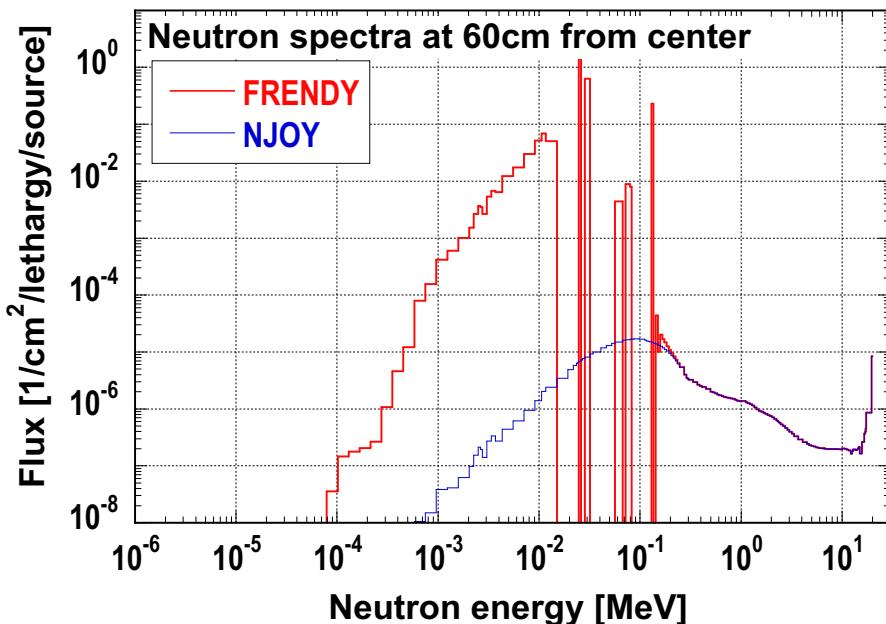


Fig. 2.1 半径 1 m のヒ素球の中心に 20 MeV 中性子源があるモデルで ANISN で計算した球の中心から 60 cm での中性子スペクトル(修正前)

3) ACE-J50 の公開後も JENDL-5 の一部の核種が改訂された¹⁰⁾。

1)については FRENDY 第 2 版の FRENDY2.05 で修正されている。2)の問題は参考文献 11 で指摘され、JENDL-5 用に修正された NJOY2016.65⁷⁾では対応済みであるが、FRENDY での対応が不十分であることが判明し、開発者により FRENDY2.05 で以下の修正が行われた。3)については upd16¹⁰⁾までの JENDL-5 を使用して対応した。

frendy/UnresoUtils/ProbabilityTableCalculator.cpp の 12 行目

const Real8 ProbabilityTableCalculator::min_xs_coef = 1.0E-2;

を

const Real8 ProbabilityTableCalculator::min_xs_coef = 1.0E-1;

に変更する。

frendy/UnresoUtils/ProbabilityTableCalculator.cpp の 2369 行目

xs_val[j][k] = min_sig_val;

の後に

```
if( k == fission_xs && fis_flg == 0 )
{
    xs_val[j][k] = 0.0;
}
}
```

//Modify small cross section data to appropriately calculate P1 bondarenko cross section

//When the back ground cross section and sampled total cross section are so small,
//this small total cross section affects p1 total Bondarenko self-shielding cross section.

//To avoid such problem, small cross section is modified.

if(xs_val[j][total_xs] < xs_data_back[total_xs] * min_xs_coef)

{

for(int k=0; k<xs_type_no; k++)

{

xs_val[j][k] = xs_data_back[k] * min_xs_coef;

を追加する。

上記修正をすることで Fig. 2.2(Fig. 2.1 と同じ計算を修正した FRENDY で行った結果で、Modified FRENDY が ACE-J50 から上記修正をした FRENDY2.05 で作成した MATXS ファイルを使用した ANISN 計算である)に示すように、非分離共鳴領域の問題も解決した。

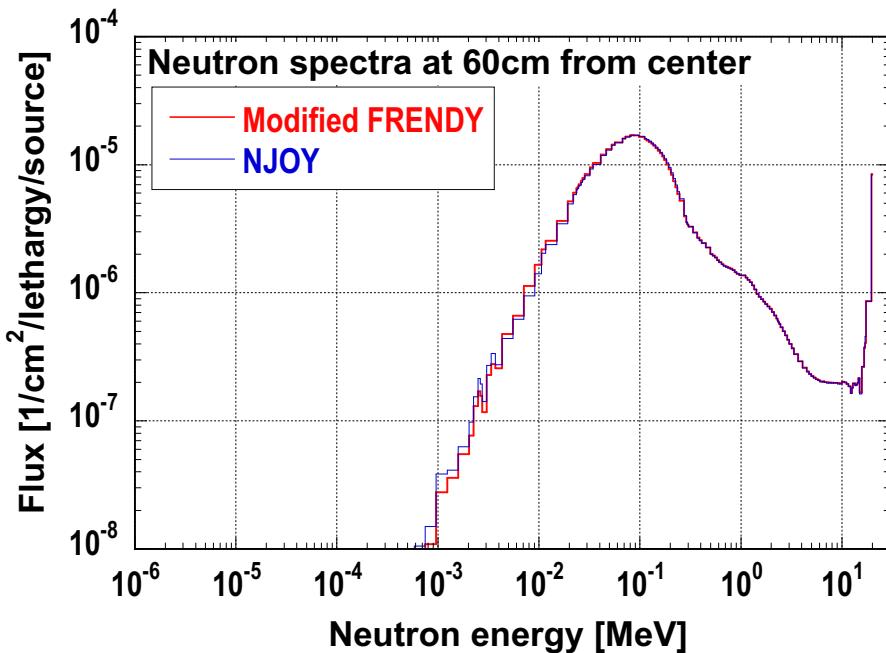


Fig. 2.2 半径 1 m のヒ素球の中心に 20 MeV 中性子源があるモデルで ANISN で計算した球の中心から 60 cm での中性子スペクトル(修正後)

FRENDY 第 2 版でも NJOY の HEATR モジュールの機能、GAMINR モジュールの機能、中性子・光子結合ライブラリの MATXS ファイルを作成する MATXSR モジュールの機能が入っていないため、これらの機能については NJOY2016.65 で代替した。

2.2 作成手順と不具合対応

MATXS-J50 の具体的な作成手順は以下のとおりである。

- 1) 修正した FRENDY2.05 と JENDL-5 用に修正した NJOY2016.65 の HEATR モジュールで JENDL-5 から中性子の ACE ファイルを作成し、その後、中性子の GENDF⁶⁾ ファイルを作成する。
- 2) NJOY2016.65 の GAMINR モジュールで JENDL-5 の光子・原子サブライブラリからガンマ線の GENDF ファイルを作成する。
- 3) NJOY2016.65 の MATXSR モジュールで、1)で作成した中性子の GENDF ファイルと 2)で作成したガンマ線の GENDF ファイルを結合した MATXS ファイルを作成する。

処理条件は、それぞれ JENDL-3.3 と JENDL-4.0 の MATXS ライブラリ MATXSLIB-J33¹²⁾ と MATXSLIB-J40¹³⁾を参考に以下のように設定した。

- 群数：中性子 200 群+ガンマ線 42 群、中性子 48 群+ガンマ線 20 群(群構造は付録 1 参照)
- 荷重関数：VITAMIN-E¹⁴⁾ 荷重関数(中性子)、1/E spectrum (ガンマ線)
- ルジャンドル展開次数：P₆
- KERMA 係数：運動学的手法で算出(ACE-J50 と同様)

- 中性子に対する処理条件

- ✓ 背景断面積 : $10^{10}, 10^4, 10^3, 300, 100, 30, 10, 1, 0.1, 10^{-5}$ b
- ✓ 温度 : 250, 300, 600, 900, 1200, 1800 K (ACE-J50 と同様。TSL データは入っている温度全て)
- ✓ 熱中性子の上限エネルギー : 10 eV

MATXS-J50 の作成の際に以下の 2 つの問題が生じた。

- 1) JENDL-5 の光子-原子ライブラリの処理で、NJOY 入力の MAT 番号を原子番号*100 と自動設定していたが、JENDL-5 の Fm の MAT 番号は 10000 ではなく 9920 になっていたため、NJOY 入力の MAT 番号と不整合が生じた。
→ NJOY 入力の MAT 番号を 10000 から 9920 にマニュアルで変更して解決。
- 2) FRENDY で作成したテキスト形式の GENDF ファイルから NJOY の MATXSR モジュールで MATXS ファイルを作成したが、その MATXS ファイルのバックグラウンド断面積が以下のように元になった GENDF ファイルのバックグラウンド断面積と異なってしまった。

GENDF ファイルでのバックグラウンド断面積

$10^{10}, 10^4, 10^3, 300, 100, 30, 10, 1, 0.1, 10^{-5}$



MATXS ファイルでのバックグラウンド断面積

$10^{10}, 10^3, 100, 30, 10, 30, 10, 1, 0.1, 10^{-5}$

この問題は、FRENDY で作成したテキスト形式の GENDF ファイルで以下の赤字データを NJOY の MATXSR モジュールが適切に読むことができていないことが原因であった。

0.00000000 1.00000+10 10000.0000 1000.00000 300.000000 100.000000	2631 1451 3
30.0000000 10.0000000 1.00000000 1.000000-1 1.000000-5 1.000000-5	2631 1451 4

FRENDY で作成したテキスト形式の GENDF ファイルを NJOY の MODER モジュールでバイナリ形式の GENDF ファイルに変換し、それを NJOY の MATXS モジュールで処理するとこの問題は解消した(NJOY の MATXSR モジュールの GENDF ファイル読み込みルーチンに問題があると思われるが、修正していない)。

以上で JENDL-5 の中性子サプライブラリの全核種の処理をすることができたが、作成した MATXS-J50 を使った 4 章のテスト計算で、Fe-57 の MATXS ファイルのデータの一部に問題が見つかった。この問題は FRENDY2.05 の R-matrix Limited 処理の不具合が原因で、Fe-57 以外では現れず、FRENDY2.05 の一つ前のバージョンの FRENDY2.04 では生じなかったため、Fe-57 のみ FRENDY2.04 で作成しなおした(2025 年 12 月の改訂)。また、FRENDY2.05

で作成した GENDF ファイルの FILE16 MT=102 データにも不具合が見つかったため、 GENDF ファイルの FILE16 MT=102 データを NJOY2016.65 で作成した GENDF データで 差し替えて、全核種の MATXS ファイルを作成しなおした(2025 年 12 月の改訂)。

TSL サプライブラリも JENDL-5 に入っている全物質を処理しようとしたが、 SiO_2 は作成しなかった(HinH_2O の H1 のように 1 核種のファイルであれば、10 eV 以上のデータになる中性子サプライブラリも H1 のファイルを使って MATXS ファイルを作成することができる。しかし、 SiO_2 は Si と O の混合ファイルで、10 eV 以上のデータになる中性子サプライブラリは Si 同位体と O 同位体に分かれているため、10 eV 以上のデータを Si と O の混合ファイルにすることは困難で、 SiO_2 の MATXS ファイルを作成することができなかった)。また、TSL サプライブラリに KERMA 係数、損傷エネルギー生成断面積は入れず、グラフアイトは C-12 のみ、 UN の N は N-14 のみにした。TSL データの MATXS ファイルで、NJOY の MATXSR モジュールで考慮している熱中性子散乱則データの物質の名称(Table 2.1 参照)以外は、incoherent は mt249、coherent は mt250 にした(詳細は付録 2 参照)。

付録 3 に 300 K の Fe-56 の中性子 200 群+ガンマ線 42 群の MATXS ファイルを作成するために使った入力データを示す。また、作成した MATXS-J50 の多群断面積の一例として、Fe-56 の中性子 200 群、中性子 48 群の 300 K の全断面積の図を ACE-J50 の 300 K の Fe-56 の全断面積とともに Fig. 2.3 に示す。

Table 2.1 MATXSR モジュールで考慮している熱中性子散乱則データの物質の名称⁶⁾

Name	MT	Description
free	221	free-gas scattering
hh2o	222	H in H_2O
poly	223	H in polyethylene (CH_2) incoherent
poly\$	224	H in polyethylene (CH_2) coherent
hzrh	225	H in ZrH incoherent
hzrh\$	226	H in ZrH coherent
benz	227	Benzene incoherent
dd2o	228	D in D_2O
graph	229	C in graphite incoherent
graph\$	230	C in graphite coherent
be	231	Be metal incoherent
be\$	232	Be metal coherent
bebeo	233	Be in BeO incoherent
bebeo\$	234	Be in BeO coherent
zrzrh	235	Zr in ZrH incoherent
zrzrh\$	236	Zr in ZrH coherent
obeo	237	O in BeO incoherent
obeo\$	238	O in BeO coherent
ouo2	239	O in UO_2 incoherent
ouo2\$	240	O in UO_2 coherent
uuo2	241	U in UO_2 incoherent
uuo2\$	242	U in UO_2 coherent
al	243	Al metal incoherent
al	244	Al metal coherent
fe	245	Fe metal incoherent
fe	246	Fe metal coherent

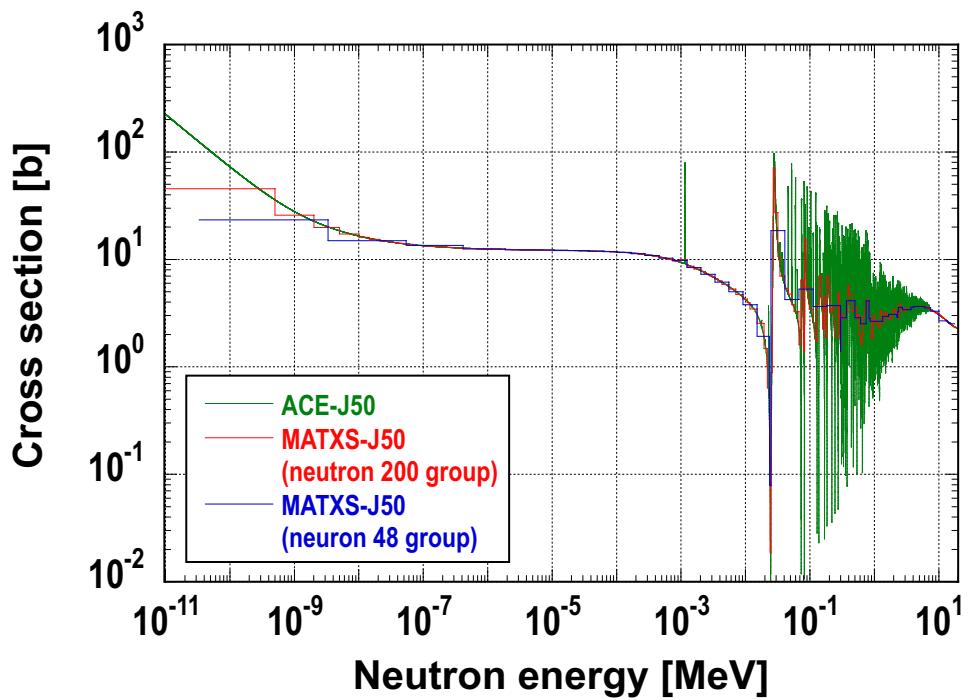


Fig. 2.3 Fe-56 の全断面積

3. 使用方法

MATXS-J50 ライブライから DOORS⁹⁾等の Sn コードで使うことができる、計算モデルに対応した多群ライブラリを作成するには、米国ロスアラモス国立研究所で開発された TRANSX2.15¹⁵⁾コード(高度情報科学技術研究機構 RIST から入手できる)が必要である。TRANSX はバイナリ形式の MATXS ファイルしか扱うことができないため、公開されているテキスト形式の MATXS-J50 ライブライを TRANSX コード付属の BBC¹⁵⁾コードで予めバイナリ形式の MATXS ファイルに変換しておく必要がある。そのためのシェルスクリプトの例 @bcd2bin を以下に示す。

```
#!/bin/csh
ln -s $1.m text
$HOME/transx/bbc < $HOME/transx/bcd2bin >! $1.out
mv matxs $1
rm text
```

\$HOME/transx/bcd2bin の中身は以下のとおりである。

```
-1 1 0 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

例えば、MATXS ファイルのあるディレクトリで、

@bcd2bin fe056

を実行すると、テキスト形式の fe056.m ファイルからバイナリ形式の fe056 ファイルを作成することができる。あるディレクトリにあるテキスト形式の MATXS ファイルを全てバイナリ形式の MATXS ファイルに変換したい場合は、以下のシェルスクリプト@bcd2bin.all を使うといい。

```

#!/bin/csh
foreach file (*.m)
    if (-e text) then
        rm text
    endif
    echo $file
    set NUC = `echo $file | sed -e s@".m"@@g `
    echo $NUC
    ln -s $NUC.m text
    $HOME/transx/bbc < $HOME/transx/bcd2bin >! $NUC.out
    mv matxs $NUC
    mv index $NUC.index
    rm $NUC.out
    rm $NUC.index
    rm text
end

```

なお、TRANSX コードのバグがいくつか報告されており^{16, 17)}、MATXS-J50 を使う場合、以下のパッチを TRANSX のソースに当てる必要がある。

```

*d up14.4
maxds=5+12*(nl+1)

*d transx.1364
if (nwds+nk.ge.maxw) go to 230

*d transx.2298
if (nwds+nk.ge.maxw) go to 215

```

次章のテスト計算で使った多群ライブラリを作成するための TRANSX の入力を付録 4 に示す。

4. テスト計算

作成した MATXS-J50 のテストとして、温度 300 K で半径 1m の球(球の物質を種々変更)の中心に中性子第 1 群のエネルギー(200 群の場合、19.64-20 MeV、48 群の場合、14.92-17.33 MeV)の中性子源があるモデル(Fig. 4.1 参照)で、球内の中性子スペクトルを ANISN で計算した。MATXS ファイルは今回作成した 300 K の MATXS-J50 と全て NJOY で作成した 300 K の MATXS ファイルの 2 つを使用した。また、比較のため、ACE-J50 を用いた MCNP6.2¹⁸⁾計算も実施した。

テスト結果の一例として、球の物質が鉄の場合の中心から 60cm での中性子スペクトル、ガンマ線スペクトルの計算結果をそれぞれ Fig. 4.2 と Fig. 4.3 に示す。3 つの計算ともほぼ同じ結果になっていることがわかる。また、球の物質が水の場合

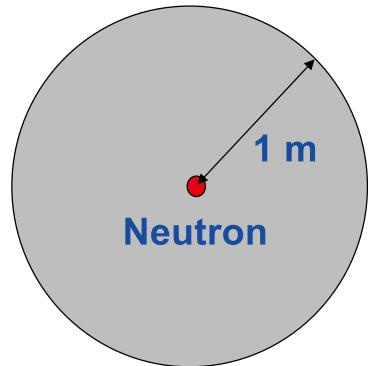
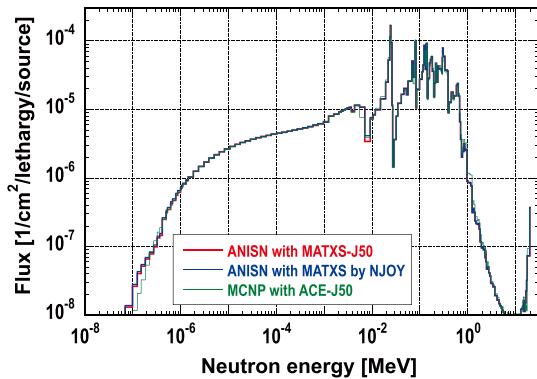
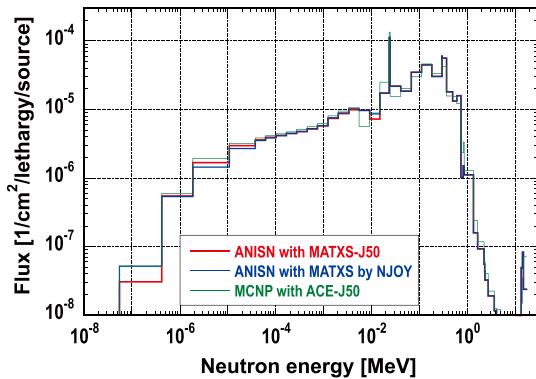


Fig. 4.1 計算モデル

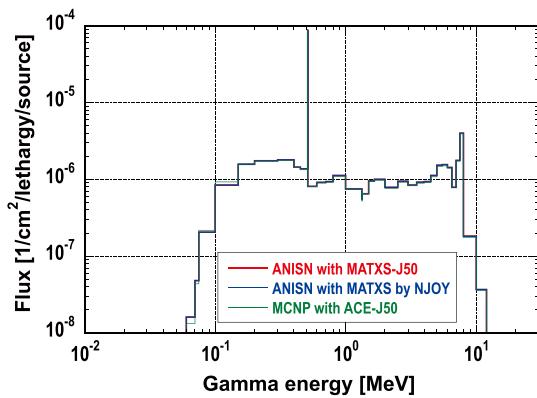


(a) 中性子 200 群+ガンマ線 42 群

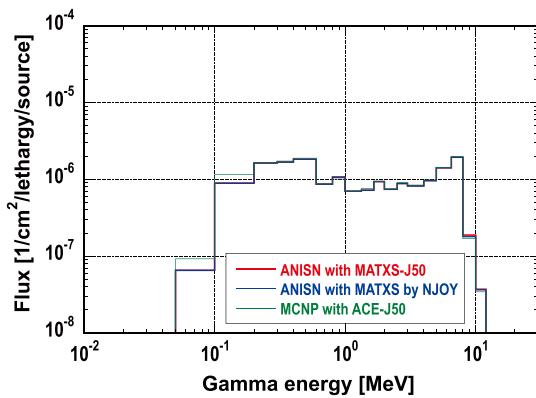


(b) 中性子 48 群+ガンマ線 20 群

Fig. 4.2 鉄球の中心から 60 cm での中性子スペクトル



(a) 中性子 200 群+ガンマ線 42 群

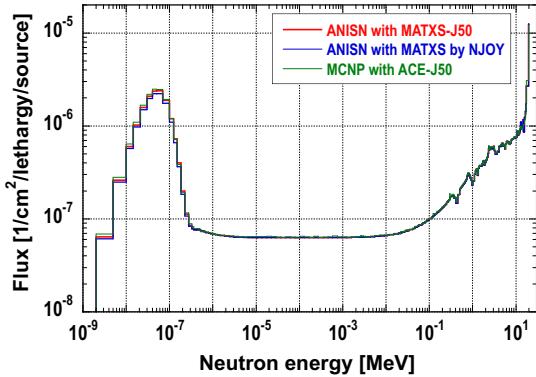


(b) 中性子 48 群+ガンマ線 20 群

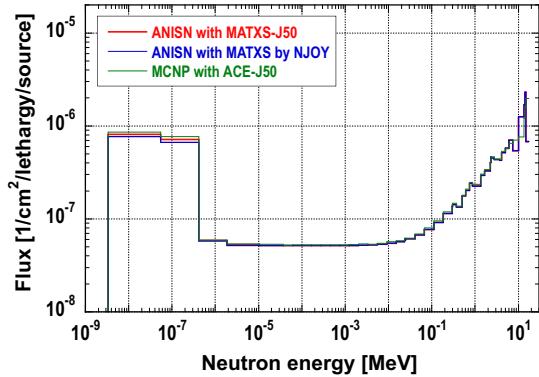
Fig. 4.3 鉄球の中心から 60 cm でのガンマ線スペクトル

の中心から 60 cm での中性子スペクトル、ガンマ線スペクトルの計算結果(ANISN では上方散乱も考慮)を Fig. 4.4 と Fig. 4.5 に示す。この場合も 3 つの計算はほぼ同じ結果になっている。

以上のことから、今回作成した MATXS-J50 に大きな問題はないと判断した。

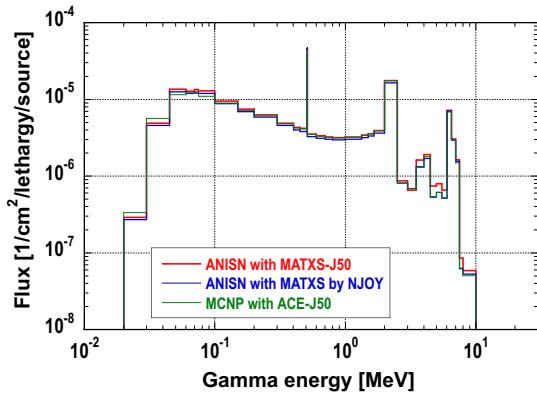


(a) 中性子 200 群+ガンマ線 42 群

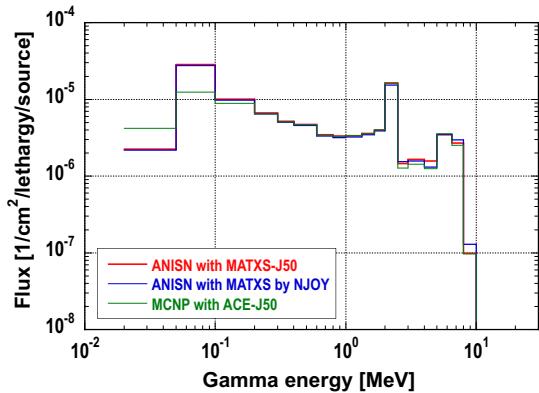


(b) 中性子 48 群+ガンマ線 20 群

Fig. 4.4 水球の中心から 60 cm での中性子スペクトル



(a) 中性子 200 群+ガンマ線 42 群



(b) 中性子 48 群+ガンマ線 20 群

Fig. 4.5 水球の中心から 60 cm でのガンマ線スペクトル

5. 結論

JENDL-5 から MATXS 形式の MATXS-J50 ライブライアリを FRENDY ベースで作成した。本レポートでは MATXS-J50 の作成方法、使用方法について記載した。また、作成した MATXS-J50 の検証のため、ANISN 計算を行い、問題がないことを確認した。MATXS-J50 は日本原子力研究開発機構炉物理・熱流動研究グループのホームページ³⁾で公開している。

謝 辞

本研究を進めるにあたり日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究センター炉物理・熱流動研究 Gr 研究主幹の多田健一氏には多くのご協力とご助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Iwamoto, O., et al., Japanese evaluated nuclear data library version 5: JENDL-5, J. Nucl. Sci. Technol., vol. 60, 2023, pp.1-60.
- 2) 日本原子力研究開発機構 炉物理・熱流動研究グループ, ACE-J50 の利用条件, <https://rpg.jaea.go.jp/main/ja/ACE-J50/> (accessed 2025-11-04).
- 3) 日本原子力研究開発機構 炉物理・熱流動研究グループ, MATXS-J50 の利用条件, <https://rpg.jaea.go.jp/main/ja/matxs-j50/> (accessed 2025-11-04).
- 4) 日本原子力研究開発機構 炉物理・熱流動研究グループ, FRENDY, https://rpg.jaea.go.jp/main/ja/program_frendy/ (accessed 2025-11-04).
- 5) Tada, K., Nagaya, Y., Kunieda, S., Suyama, K., Fukahori, T., Development and verification of a new nuclear data processing system FRENDY, J. Nucl. Sci. Technol., vol. 54, 2017, pp. 806-817.
- 6) MacFarlane, R.E., Muir, D.W., Boicourt, R.M., Kahler, A.C., Conlin, J.L., The NJOY Nuclear Data Processing System, Version 2016, LA-UR-17-20093, 2016, 796p.
- 7) 日本原子力研究開発機構 炉物理・熱流動研究グループ, Modification of NJOY2016.65 for JENDL-5 neutron, photoatomic, and charged particle sublibraries (Rev.2), https://rpg.jaea.go.jp/download/ace_lib/acej50/20221205/NJOY2016.65.modification.r2.pdf (accessed 2025-11-04).
- 8) Tada, K., Yamamoto, A., Kunieda, S., Konno, C., Kondo, R., Endo, T., Chiba, G., Ono, M., Tojo, M., Development and verification of nuclear data processing code FRENDY version 2, J. Nucl. Sci. Technol., vol. 61, 2024, pp.830-839.
- 9) ORNL RSICC, DOORS3.2a: One, two- and three-dimensional discrete ordinates neutron/photon transport code system, CODE PACKAGE CCC-650, 2007.
- 10) 日本原子力研究開発機構 核データセンター, Errata of JENDL-5 sublibraries, https://wwwndc.jaea.go.jp/jendl/j5/JENDL-5_Errata.html (accessed 2025-11-04).
- 11) Konno, C., Kwon, S., Tada, K., MATXS multigroup file problem due to NJOY unresolved resonance processing, Proc. of 14th International Conference on Radiation Shielding and 21st Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division, September 25-29, 2022, Seattle, WA, pp.440-443.
- 12) Kosako, K., Yamano, N., Fukahori, T., Nakagawa, T., Hasegawa, A., The Libraries FSXLIB and MATXSLIB based on JENDL-3.3, JAERI-Data/Code 2003-011, 2003, 38p.

- 13) 日本原子力研究開発機構 炉物理・熱流動研究グループ, MATXSLIB-J40, https://rpg.jaea.go.jp/main/ja/library_matxslibj40/ (accessed 2025-11-4).
- 14) Weisbin, C.R., Roussin, R.W., Wagschal, J.J., White, J.E., Write, R.Q., VITAMIN-E: An ENDF/B-V Multigroup Cross-Section Library for LMFBR Core and Shield, LWR Shield, Dosimetry and Fusion Blanket Technology, ORNL-5505, 1979, 22p.
- 15) MacFarlane, R.E., TRANSX 2: a code for interfacing MATXS cross-section libraries to nuclear transport codes, LA-12312-MS, 1993, 123p.
- 16) IAEA Nuclear Data Section, TRANSX patches, <https://www-nds.iaea.org/fendl20/transx-patches.htm> (accessed 2025-11-4).
- 17) Konno, C., Kwon, S., Fischer, G., EFFECT OF IAEA PATCH FOR TRANSX2.15, Proc. ANS RPSD 2018 - 20th Topical Meeting of the Radiation Protection & Shielding Division of ANS, Santa Fe, NM, August 26 – 31, 2018, 25264.
- 18) (Ed.) Werner, C.J., MCNP® USER'S MANUAL Code Version 6.2, LA-UR-17-29981, 2017, 746p.
- A1-1) (Ed.) Wieselquist, W. A., Lefebvre, R. A., Jessee, M. A., SCALE Code System, ORNL/TM-2005/39, Version 6.2.4, 2020, 2742p.
- A1-2) (Ed.) Wieselquist, W. A., Lefebvre, R. A., SCALE6.3.1 Users Manual, ORNL/TM-SCALE-6.3.1, 2023, 2397p.
- A1-3) Sukegawa, T., Sasamoto, N., Fujiki, K., ACCURACY VERIFICATION FOR CALCULATION OF INVENTORY IN JPDR DUE TO NEUTRON ACTIVATION, INDC(JPN)-164, 1993, 38p.
- A1-4) 小山謹二, 奥村芳弘, 古田公人, 宮坂駿一, 遮蔽材料の群定数 -中性 100 群・ガンマ線 20 群・P₅近似-, JAERI-M 6928, 1977, 116p.
- A5-1) 今野力, 放射線遮蔽ハンドブックに基づく遮蔽設計の基礎と応用 (2)放射線輸送計算で使う断面積ライブラリとコードの盲点, 2021 年原子力学会春の年会 2D_PL02, https://confit.atlas.jp/guide/event-img/aesj2021s/2D_PL02/public/pdf?type=in (accessed 2025-11-4).
- A5-2) Konno, C., et al., Insufficient Self-Shielding Correction in VITAMIN-B6, Prog. Sci. Technol., vol. 1, 2011, pp.32-35.
- A5-3) Konno, C., et al., Important Remarks on Latest Multigroup Libraries, Prog. Sci. Technol., vol. 2, 2011, pp.341-346.
- A5-4) Ingersoll, D.T., et al., Production and Testing of the VITAMIN-B6 Fine-Group and the BUGLE-93 Broad-Group Neutron/Photon Cross-Section Libraries Derived from ENDF/B-VI Nuclear Data, ORNL-6795, 1995, 125p.
- A5-5) Risner, J.M. et al., Production and Testing of the VITAMIN-B7 Fine-Group and the BUGLE-B7 Broad-Group Neutron/Photon Cross-Section Libraries Derived from ENDF/B-VII.0 Nuclear Data, ORNL/TM-2011/12, 2011, 108p.
- A5-6) IAEA Nuclear Data Section, ADS Nuclear Data Library v2.0,

<https://www-nds.iaea.org/ads/adsmatxs.html> (accessed 2025-11-4).

- A5-7) ORNL RSICC, SCAMPI: Collection of Codes for Manipulating Multigroup Cross Section Libraries in AMPX Format, RSICC CODE PACKAGE PSR-352, 2010.

付録 1 MATXS-J50 の群構造

MATXSLIB-J40 では中性子 199 群+ガンマ線 42 群の群構造が採用されている。MATXS-J50 では、ガンマ線は MATXSLIB-J40 と同じ 42 群であるが、中性子は SCALE6.2^{A1-1)} あるいは SCALE6.3^{A1-2)} の ORIGEN^{A1-1, A1-2)} 計算で使う 200 群の中性子スペクトルに合わせて、MATXSLIB-J40 の 199 群に 19.64-20 MeV の群を追加した 200 群とした。また、SCALE6.2 の ORIGEN 計算を少数群の中性子で行うニーズを考慮し、JPDR 解体時の放射化計算^{A1-3)}で使われた中性子 48 群も採用した。この時のガンマ線の群構造は JAERI-M 6928^{A1-4)} で採用されている 20 群とした。Table A1.1 に中性子 48 群の群構造を、Table A1.2 にガンマ線 20 群の群構造を示す。

Table A1.1 中性子 48 群の群構造

Group No.	Upper energy [eV]	Lower energy [eV]	Group No.	Upper energy [eV]	Lower energy [eV]
1	1.733e+07	1.492e+07	25	1.832e+05	1.111e+05
2	1.492e+07	1.419e+07	26	1.111e+05	6.738e+04
3	1.419e+07	1.350e+07	27	6.738e+04	4.087e+04
4	1.350e+07	1.000e+07	28	4.087e+04	2.479e+04
5	1.000e+07	7.408e+06	29	2.479e+04	2.358e+04
6	7.408e+06	6.065e+06	30	2.358e+04	1.503e+04
7	6.065e+06	4.966e+06	31	1.503e+04	9.119e+03
8	4.966e+06	4.066e+06	32	9.119e+03	5.531e+03
9	4.066e+06	3.679e+06	33	5.531e+03	3.355e+03
10	3.679e+06	2.725e+06	34	3.355e+03	2.035e+03
11	2.725e+06	2.365e+06	35	2.035e+03	1.234e+03
12	2.365e+06	2.307e+06	36	1.234e+03	7.485e+02
13	2.307e+06	2.231e+06	37	7.485e+02	4.540e+02
14	2.231e+06	1.653e+06	38	4.540e+02	2.754e+02
15	1.653e+06	1.353e+06	39	2.754e+02	1.670e+02
16	1.353e+06	8.629e+05	40	1.670e+02	1.013e+02
17	8.629e+05	8.208e+05	41	1.013e+02	6.144e+01
18	8.208e+05	7.427e+05	42	6.144e+01	3.727e+01
19	7.427e+05	6.081e+05	43	3.727e+01	1.068e+01
20	6.081e+05	4.979e+05	44	1.068e+01	1.855e+00
21	4.979e+05	3.688e+05	45	1.855e+00	4.140e-01
22	3.688e+05	2.985e+05	46	4.140e-01	5.452e-02
23	2.985e+05	2.972e+05	47	5.452e-02	3.341e-03
24	2.972e+05	1.832e+05	48	3.341e-03	3.310e-05

Table A1.2 ガンマ線 20 群の群構造

Group No.	Upper energy [eV]	Lower energy [eV]
1	1.4e+07	1.2e+07
2	1.2e+07	1.0e+07
3	1.0e+07	8.0e+06
4	8.0e+06	6.5e+06
5	6.5e+06	5.0e+06
6	5.0e+06	4.0e+06
7	4.0e+06	3.0e+06
8	3.0e+06	2.5e+06
9	2.5e+06	2.0e+06
10	2.0e+06	1.66e+06
11	1.66e+06	1.33e+06
12	1.33e+06	1.0e+06
13	1.0e+06	8.0e+05
14	8.0e+05	6.0e+05
15	6.0e+05	4.0e+05
16	4.0e+05	3.0e+05
17	3.0e+05	2.0e+05
18	2.0e+05	1.0e+05
19	1.0e+05	5.0e+04
20	5.0e+04	2.0e+04

付録 2 TSL データリスト

MATXS-J50 の TSL ファイルのリストを Table A2.1 に示す。

Table A2.1 TSL ファイルのリスト

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent
tsl_HinH2O.dat	n_001-H-001.dat	270	hh2o1	hh2o	-
		280	hh2o2		
		290	hh2o3		
		293.6	hh2o4		
		296	hh2o5		
		300	hh2o6		
		310	hh2o7		
		320	hh2o8		
		330	hh2o9		
		340	hh2o10		
		350	hh2o11		
		360	hh2o12		
		370	hh2o13		
		380	hh2o14		
		390	hh2o15		
		400	hh2o16		
		410	hh2o17		
		420	hh2o18		
		430	hh2o19		
		440	hh2o20		
		450	hh2o21		
		460	hh2o22		
		470	hh2o23		
		480	hh2o24		
		490	hh2o25		
		500	hh2o26		
		510	hh2o27		
		520	hh2o28		
		530	hh2o29		
		540	hh2o30		
		550	hh2o31		
		560	hh2o32		
		570	hh2o33		
		580	hh2o34		
		590	hh2o35		
		600	hh2o36		
		610	hh2o37		
		620	hh2o38		
		630	hh2o39		
		640	hh2o40		
		650	hh2o41		
		660	hh2o42		
		670	hh2o43		
		680	hh2o44		
		690	hh2o45		
		700	hh2o46		
		710	hh2o47		
		720	hh2o48		
		730	hh2o49		
		740	hh2o50		
		750	hh2o51		
		760	hh2o52		
		770	hh2o53		
		780	hh2o54		
		790	hh2o55		
		800	hh2o56		

Table A2.1 TSL ファイルのリスト(続き)

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent
tsl_OinH2O.dat	n_008-O-016.dat	270	oh2o1	mt249	-
		280	oh2o2		
		290	oh2o3		
		293.6	oh2o4		
		296	oh2o5		
		300	oh2o6		
		310	oh2o7		
		320	oh2o8		
		330	oh2o9		
		340	oh2o10		
		350	oh2o11		
		360	oh2o12		
		370	oh2o13		
		380	oh2o14		
		390	oh2o15		
		400	oh2o16		
		410	oh2o17		
		420	oh2o18		
		430	oh2o19		
		440	oh2o20		
		450	oh2o21		
		460	oh2o22		
		470	oh2o23		
		480	oh2o24		
		490	oh2o25		
		500	oh2o26		
		510	oh2o27		
		520	oh2o28		
		530	oh2o29		
		540	oh2o30		
		550	oh2o31		
		560	oh2o32		
		570	oh2o33		
		580	oh2o34		
		590	oh2o35		
		600	oh2o36		
		610	oh2o37		
		620	oh2o38		
		630	oh2o39		
		640	oh2o40		
		650	oh2o41		
		660	oh2o42		
		670	oh2o43		
		680	oh2o44		
		690	oh2o45		
		700	oh2o46		
		710	oh2o47		
		720	oh2o48		
		730	oh2o49		
		740	oh2o50		
		750	oh2o51		
		760	oh2o52		
		770	oh2o53		
		780	oh2o54		
		790	oh2o55		
		800	oh2o56		
tsl_HinCH2.dat	n_001-H-001.dat	77	poly1	poly	poly\$
		196	poly2		
		233	poly3		
		293.6	poly4		
		300	poly5		
		303	poly6		
		313	poly7		
		323	poly8		
		333	poly9		
		343	poly10		
		350	poly11		

Table A2.1 TSL ファイルのリスト(続き)

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent	
tsl_HinZrH.dat	n_001-H-001.dat	296	hzrh1	hzrh	hzrh\$	
		400	hzrh2			
		500	hzrh3			
		600	hzrh4			
		700	hzrh5			
		800	hzrh6			
		1000	hzrh7			
		1200	hzrh8			
tsl_ZrinZrH.dat	n_040-Zr-090.dat	296	zr90h1	zrzrh	zrzrh\$	
		400	zr90h2			
		500	zr90h3			
		600	zr90h4			
		700	zr90h5			
		800	zr90h6			
		1000	zr90h7			
		1200	zr90h8			
tsl_ZrinZrH.dat	n_040-Zr-091.dat	296	zr91h1	zrzrh	zrzrh\$	
		400	zr91h2			
		500	zr91h3			
		600	zr91h4			
		700	zr91h5			
		800	zr91h6			
		1000	zr91h7			
		1200	zr91h8			
tsl_ZrinZrH.dat	n_040-Zr-092.dat	296	zr92h1	zrzrh	zrzrh\$	
		400	zr92h2			
		500	zr92h3			
		600	zr92h4			
		700	zr92h5			
		800	zr92h6			
		1000	zr92h7			
		1200	zr92h8			
tsl_ZrinZrH.dat	n_040-Zr-094.dat	296	zr94h1	zrzrh	zrzrh\$	
		400	zr94h2			
		500	zr94h3			
		600	zr94h4			
		700	zr94h5			
		800	zr94h6			
		1000	zr94h7			
		1200	zr94h8			
tsl_ZrinZrH.dat	n_040-Zr-096.dat	296	zr96h1	hzrh	zrzrh\$	
		400	zr96h2			
		500	zr96h3			
		600	zr96h4			
		700	zr96h5			
		800	zr96h6			
		1000	zr96h7			
		1200	zr96h8			
tsl_HinSolidBenzene.dat	n_001-H-001.dat	20	hben1	mt249	mt250	
		50	hben2			
		100	hben3			
		150	hben4			
tsl_HinLiquidBenzene.dat		200	hben5	mt249	-	
		250	hben6			
		300	hben7			
		350	hben8			
		400	hben9			
		450	hben10			
		500	hben11			
		600	hben12			
		700	hben13			
		800	hben14			
		900	hben15			
		1000	hben16			

Table A2.1 TSL ファイルのリスト(続き)

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent
tsl_CinSolidBenzene.dat	n_006-C-012.dat	20	cben1	mt249	mt250
		50	cben2		
		100	cben3		
		150	cben4		
		200	cben5		-
		250	cben6		
		300	cben7		
		350	cben8		
		400	cben9		
		450	cben10		
tsl_CinLiquidBenzene.dat		500	cben11	mt249	-
		600	cben12		
		700	cben13		
		800	cben14		
		900	cben15		
		1000	cben16		
tsl_DinD2O.dat	n_001-H-002.dat	283.6	dd2o1	dd2o	-
		293.6	dd2o2		
		325	dd2o3		
		350	dd2o4		
		375	dd2o5		
		400	dd2o6		
		425	dd2o7		
		450	dd2o8		
		475	dd2o9		
		500	dd2o10		
		525	dd2o11		
		550	dd2o12		
		575	dd2o13		
		600	dd2o14		
tsl_OinD2O.dat	n_008-O-016.dat	283.6	od2o1	mt249	-
		293.6	od2o2		
		325	od2o3		
		350	od2o4		
		375	od2o5		
		400	od2o6		
		425	od2o7		
		450	od2o8		
		475	od2o9		
		500	od2o10		
		525	od2o11		
		550	od2o12		
		575	od2o13		
		600	od2o14		
tsl_crystalline-graphite.dat	n_006-C-012.dat	296	grph1	graph	graph\$
		400	grph2		
		500	grph3		
		600	grph4		
		700	grph5		
		800	grph6		
		1000	grph7		
		1200	grph8		
		1600	grph9		
		2000	grph10		
tsl_Be-metal.dat	n_004-Be-009.dat	296	be1	be	be\$
		400	be2		
		500	be3		
		600	be4		
		700	be5		
		800	be6		
		1000	be7		
		1200	be8		

Table A2.1 TSL ファイルのリスト(続き)

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent
tsl_BeinBeO.dat	n_004-Be-009.dat	293.6	bebeo1	bebeo	bebeo\$
		400	bebeo2		
		500	bebeo3		
		600	bebeo4		
		700	bebeo5		
		800	bebeo6		
		1000	bebeo7		
		1200	bebeo8		
tsl_OinBeO.dat	n_008-O-016.dat	293.6	obeo1	obeo	obeo\$
		400	obeo2		
		500	obeo3		
		600	obeo4		
		700	obeo5		
		800	obeo6		
		1000	obeo7		
		1200	obeo8		
tsl_OinUO2.dat	n_008-O-016.dat	296	ouo21	ouo2	ouo2\$
		400	ouo22		
		500	ouo23		
		600	ouo24		
		700	ouo25		
		800	ouo26		
		1000	ouo27		
		1200	ouo28		
tsl_UinUO2.dat	n_092-U-234.dat	296	u4uo21	mt249	mt250
		400	u4uo22		
		500	u4uo23		
		600	u4uo24		
		700	u4uo25		
		800	u4uo26		
		1000	u4uo27		
		1200	u4uo28		
tsl_UinUO2.dat	n_092-U-235.dat	296	u5uo21	mt249	mt250
		400	u5uo22		
		500	u5uo23		
		600	u5uo24		
		700	u5uo25		
		800	u5uo26		
		1000	u5uo27		
		1200	u5uo28		
tsl_UinUO2.dat	n_092-U-236.dat	296	u6uo21	mt249	mt250
		400	u6uo22		
		500	u6uo23		
		600	u6uo24		
		700	u6uo25		
		800	u6uo26		
		1000	u6uo27		
		1200	u6uo28		
tsl_UinUO2.dat	n_092-U-238.dat	296	u8uo21	mt249	mt250
		400	u8uo22		
		500	u8uo23		
		600	u8uo24		
		700	u8uo25		
		800	u8uo26		
		1000	u8uo27		
		1200	u8uo28		
tsl_013_Al_027.dat	n_013-Al-027.dat	20	al1	al	al\$
		80	al2		
		293.6	al3		
		400	al4		
		600	al5		
		800	al6		

Table A2.1 TSL ファイルのリスト(続き)

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent	
tsl_026_Fe_056.dat	n_026-Fe-056.dat	20	fe1	fe	fe\$	
		80	fe2			
		293.6	fe3			
		400	fe4			
		600	fe5			
		800	fe6			
tsl_reactor-graphite-10P.dat	n_006-C-012.dat	296	gr101	graph	graph\$	
		400	gr102			
		500	gr103			
		600	gr104			
		700	gr105			
		800	gr106			
		1000	gr107			
		1200	gr108			
		1600	gr109			
		2000	gr1010			
tsl_reactor-graphite-30P.dat	n_006-C-012.dat	296	gr301	graph	graph\$	
		400	gr302			
		500	gr303			
		600	gr304			
		700	gr305			
		800	gr306			
		1000	gr307			
		1200	gr308			
		1600	gr309			
		2000	gr3010			
tsl_HinC5O2H8.dat	n_001-H-001.dat	300	hluci1	mt249	mt250	
tsl_HinIceIh.dat	n_001-H-001.dat	115	hice1	mt249	mt250	
		188.15	hice2			
		208.15	hice3			
		228.15	hice4			
		233.15	hice5			
		248.15	hice6			
		253.15	hice7			
		268.15	hice8			
		273.15	hice9			
tsl_HinSolidEthanol.dat	n_001-H-001.dat	20	hetha1	mt249	mt250	
tsl_HinLiquidEthanol.dat		100	hetha2		-	
tsl_HinSolidM-Xylene.dat	n_001-H-001.dat	200	hetha3	mt249	-	
		300	hetha4		-	
tsl_HinLiquidM-Xylene.dat		20	hmxy11	mt249	mt250	
		50	hmxy12			
		100	hmxy13			
		150	hmxy14			
tsl_HinSolidMesitylene.dat	n_001-H-001.dat	200	hmxy15	mt249	-	
		250	hmxy16			
		300	hmxy17			
tsl_HinLiquidMesitylene.dat		20	hmesi1	mt249	mt250	
		50	hmesi2			
		100	hmesi3			
		150	hmesi4			
tsl_HinLiquidMethane.dat	n_001-H-001.dat	200	hmesi5	mt249	-	
		250	hmesi6			
		300	hmesi7			
tsl_HinSolidMethane.dat		20	hmeth1	mt249	mt250	
tsl_HinSolidToluene.dat	n_001-H-001.dat	110	hmeth2	mt249	-	
tsl_HinLiquidToluene.dat		20	htolu1	mt249	mt250	
		50	htolu2			
		100	htolu3			
		150	htolu4			
tsl_HinLiquidToluene.dat		200	htolu5	mt249	-	
		250	htolu6			
		300	htolu7			

Table A2.1 TSL ファイルのリスト(続き)

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent	
tsl_HinSolidTriphenylmethane.dat	n_001-H-001.dat	20	htrpm1	mt249	mt250	
		100	htrpm2			
		300	htrpm3			
		450	htrpm4			
tsl_HinLiquidTriphenylmethane.dat	n_001-H-001.dat	14	horth1	mt249	-	
tsl_HinOrthoH.dat		15	horth2			
		16	horth3			
		17	horth4			
		18	horth5			
		19	horth6			
		20	horth7			
tsl_HinParaH.dat	n_001-H-001.dat	14	hpara1	mt249	-	
		15	hpara2			
		16	hpara3			
		17	hpara4			
		18	hpara5			
		19	hpara6			
tsl_DinOrthoD.dat	n_001-H-002.dat	20	dorth1	mt249	-	
		21	dorth2			
		22	dorth3			
		23	dorth4			
		24	dorth5			
tsl_DinParaD.dat	n_001-H-002.dat	19	dpara1	mt249	-	
		20	dpara2			
		21	dpara3			
		22	dpara4			
		23	dpara5			
tsl_HinYH2.dat	n_001-H-001.dat	293.6	hyh21	mt249	mt250	
		400	hyh22			
		500	hyh23			
		600	hyh24			
		700	hyh25			
		800	hyh26			
		1000	hyh27			
		1200	hyh28			
		1400	hyh29			
		1600	hyh210			
tsl_NinUN.dat	n_007-N-014.dat	296	n14un1	mt249	mt250	
		400	n14un2			
		500	n14un3			
		600	n14un4			
		700	n14un5			
		800	n14un6			
		1000	n14un7			
		1200	n14un8			
tsl_OinIceH.dat	n_008-O-016.dat	115	oice1	mt249	mt250	
		188.15	oice2			
		208.15	oice3			
		228.15	oice4			
		233.15	oice5			
		248.15	oice6			
		253.15	oice7			
		268.15	oice8			
		273.15	oice9			
tsl_OinSolidEthanol.dat	n_008-O-016.dat	20	oetha1	mt249	mt250	
		100	oetha2			
tsl_OinLiquidEthanol.dat		200	oetha3	mt249	-	
		300	oetha4			

Table A2.1 TSL ファイルのリスト(続き)

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent
tsl_YinYH2.dat.dat	n_039-Y-089.dat	293.6	yyh21	mt249	mt250
		400	yyh22		
		500	yyh23		
		600	yyh24		
		700	yyh25		
		800	u8uo26		
		1000	yyh27		
		1200	yyh28		
		1400	yyh29		
		1600	yyh210		
tsl_UinUN.dat	n_092-U-234.dat	296	u4un1	mt249	mt250
		400	u4un2		
		500	u4un3		
		600	u4un4		
		700	u4un5		
		800	u4un6		
		1000	u4un7		
		1200	u4un8		
		296	u5un1		
tsl_UinUN.dat	n_092-U-235.dat	400	u5un2	mt249	mt250
		500	u5un3		
		600	u5un4		
		700	u5un5		
		800	u5un6		
		1000	u5un7		
		1200	u5un8		
		296	u6un1		
tsl_UinUN.dat	n_092-U-236.dat	400	u6un2	mt249	mt250
		500	u6un3		
		600	u6un4		
		700	u6un5		
		800	u6un6		
		1000	u6un7		
		1200	u6un8		
		296	u8un1		
tsl_UinUN.dat	n_092-U-238.dat	400	u8un2	mt249	mt250
		500	u8un3		
		600	u8un4		
		700	u8un5		
		800	u8un6		
		1000	u8un7		
		1200	u8un8		
tsl_CinSolidEthanol.dat	n_006-C-012.dat	20	cethal1	mt249	mt250
tsl_CinLiquidEthanol.dat		100	cetha2		
tsl_CinSolidM-Xylene.dat	n_006-C-012.dat	200	cetha3	mt249	-
tsl_CinLiquidM-Xylene.dat		300	cetha4		
tsl_CinSolidM-Xylene.dat		20	cmxyl1		mt250
tsl_CinLiquidM-Xylene.dat		50	cmxyl2		
tsl_CinSolidM-Xylene.dat		100	cmxyl3		
tsl_CinLiquidM-Xylene.dat		150	cmxyl4		
tsl_CinSolidM-Xylene.dat		200	cmxyl5	mt249	-
tsl_CinLiquidM-Xylene.dat		250	cmxyl6		
tsl_CinSolidM-Xylene.dat		300	cmxyl7		
tsl_CinSolidMesitylene.dat	n_006-C-012.dat	20	cmesi1	mt249	mt250
tsl_CinLiquidMesitylene.dat		50	cmesi2		
tsl_CinSolidMesitylene.dat		100	cmesi3		
tsl_CinLiquidMesitylene.dat		150	cmesi4		
tsl_CinSolidMesitylene.dat		200	cmesi5	mt249	-
tsl_CinLiquidMesitylene.dat		250	cmesi6		
tsl_CinSolidMesitylene.dat		300	cmesi7		
tsl_CinLiquidMethane.dat	n_006-C-012.dat	20	cmeth1	mt249	mt250
tsl_CinSolidMethane.dat		110	cmeth2		

Table A2.1 TSL ファイルのリスト(続き)

JENDL-5 TSL file name	JENDL-5 file name (>10 eV)	temperature (K)	MATXS file name	incoherent	coherent
tsl_CinSolidToluene.dat	n_006-C-012.dat	20	ctolu1	mt249	mt250
		50	ctolu2		
		100	ctolu3		
		150	ctolu4		
		200	ctolu5		
tsl_CinLiquidToluene.dat		250	ctolu6	mt249	-
		300	ctolu7		
		20	ctrpm1		
tsl_CinSolidTriphenylmethane.dat	n_006-C-012.dat	100	ctrpm2	mt249	mt250
		300	ctrpm3		
		450	ctrpm4		
		300	csic1	mt249	mt250
tsl_CinSiC.dat	n_006-C-012.dat	400	csic2		
		500	csic3		
		600	csic4		
		700	csic5		
		800	csic6		
		1000	csic7		
		1200	csic8		
		300	si28c1		
tsl_SiinSiC.dat	n_014-Si-028.dat	400	si28c2	mt249	mt250
		500	si28c3		
		600	si28c4		
		700	si28c5		
		800	si28c6		
		1000	si28c7		
		1200	si28c8		
		300	si29c1	mt249	mt250
tsl_SiinSiC.dat	n_014-Si-029.dat	400	si29c2		
		500	si29c3		
		600	si29c4		
		700	si29c5		
		800	si29c6		
		1000	si29c7		
		1200	si29c8		
		300	si30c1	mt249	mt250
tsl_SiinSiC.dat	n_014-Si-030.dat	400	si30c2		
		500	si30c3		
		600	si30c4		
		700	si30c5		
		800	si30c6		
		1000	si30c7		
		1200	si30c8		

付録 3 MATXS-J50 作成のための入力例

MATXS-J50 を作成するための入力例を以下に記す。

- 1) 2 章に記載の修正をした FRENDY2.05 と JENDL-5 のために修正した NJOY2016.65 を使い、JENDL-5 の中性子反応サプライブラリから中性子の ACE ファイル(温度 250 K、300 K、600 K、900 K、1200 K、1800 K)を作成する。この処理での入力データ(300 K、Fe-56 の場合)は以下のとおり。

①最初の FRENDY の入力データ

```

reconr
 20 22
'pendf tape for jendl-5  n_026-Fe-056 '
 2631 3 0 /
.001 /
'n_026-Fe-056 from jendl-5'
'processed with the frendy nuclear data processing system'
'see original jendl-5 tape for details of evaluation'
0/
broadr
 20 22 23
 2631 1 0 0 0 /
.001 /
300 /
0/
stop

```

②NJOY の入力データ

```

moder
 20 -21
moder
 23 -25
heatr
 -21 -25 -26  0 /
 2631  5  0 0 0 2 0 1 /
 302 318 402 443 444 /
moder
 -26 24
stop

```

③2回目の FRENDY の入力データ

```

gaspr
 20 24 28
acer
 20 28 0 29 30
 1 1 1 .20/
'n_026-Fe-056 jendl-5 frendy njoy 2025.5'
 2631 300 /
 1 1 /
/
stop

```

- 2) 作成した ACE ファイルから GENDF ファイルを FRENDY で作成する。この処理での入力データ(300 K、Fe-56 の場合)は以下のとおり。

FRENDY の入力データ

```

mg_neutron_mode //Process mode
ace_file_name ( n_026-Fe-056.ace )
mg_edit_option ( GENDF )
mg_file_name n_026-Fe-056

mg_structure ( ign102 ) //VITAMIN-B6 200
mg_structure_gam ( igg10 ) //VITAMIN-J 42
mg_weighting_spectrum ( iwt11 ) //VITAMIN-E weight function
(ORNL-5505)
legendre_order 6

mg_mat_no ( 2631 )

```

- 3) NJOY2016.65 の GAMINR モジュールで JENDL-5 の光子-原子ライブラリからガンマ線の GENDF ファイルを作成する。この処理での入力データ(300 K、Fe-56 の場合)は以下のとおり。

NJOY の入力データ

```

reconr
30 31
'pendf tape from jendl-5'
2600 1 0 /
.001 0. 7 /
'n_026-Fe-056 from jendl-5'
0/
gaminr
30 31 0 32
2600 10 3 6 0
'42-group photon interaction library'
-1 0 /
0/
stop

```

- 4) NJOY2016.65 の MATXSR モジュールで、2)で作成した中性子の GENDF ファイルと 3)で作成したガンマ線の GENDF ファイルを結合した MATXS ファイルを作成。この処理での入力データ(300 K、Fe-56 の場合)は以下のとおり。

NJOY の入力データ

```

moder
27 -28
matxsr
-28 32 33/
15 'jendl-5 frendy'
2 4 1 1/
'jendl-5 n_026-Fe-056 300K frendy'
'n'
'g'/
200 42/
'nscat'  'ng'  'gscat'  'ntherm' /
    1      1      2      1 /
    1      2      2      1 /
'fe056' 2631 2600/
stop

```

付録 4 TRANSX の入力例

MATXS-J50 を Sn コードで使うには TRANSX コードで MATXS-J50 を処理する必要があるが、TRANSX の入力データはマニュアルを読んでもわかりにくい。そこでユーザーの一助として、4 章のテスト計算で使用した TRANSX の入力データを以下に示す。なお、水球の場合、上方散乱計算で使う全上方散乱断面積データを追加するため、TRANSX で anisnb 形式¹⁵⁾の多群ライブラリを作り、それを GIP コード⁹⁾で処理して全上方散乱断面積データを追加した anigif 形式¹⁵⁾の多群ライブラリを作成する必要があるので、その GIP コードの入力データも示す。

(1) 鉄 1m 球計算のために anigif 形式の多群ライブラリを作成する TRANSX 入力データ

```
jendl5 n200g42 fe
0 8 0 12 2 1 0 3 0 0 0
-242 6 245 0 0 2 2 6 0 0
*j50.200.42.n300/*
fe air
fe 300. 1. 1 1.0+06/homogeneous selfshielding
air /
1 1 fe054 4.9630e-3/
1 1 fe056 7.7909e-2/
1 1 fe057 1.7993e-3/
1 1 fe058 2.3945e-4/
2 2 n_014 3.8810e-5/
2 2 o_016 1.0400e-5/
stop
```

(2) 水 1m 球計算のために anisnb 形式の多群ライブラリを作成する TRANSX 入力データ

```
jendl5 n200g42 water
0 7 0 12 1 1 0 1 0 0 0
-242 6 284 39 39 2 2 4 0 0
*j50.tsl.200.42/*
water air
water 300. 1. 1 1.0e+06/homogeneous selfshielding
air /
1 1 hh2o6 0.06687 hh2o/
1 1 oh2o6 0.03344 mt249/
2 2 o_016 1.0400e-5 free/
2 2 n_014 3.8810e-5 free/
stop
```

- (3) 水 1m 球計算のために anisnb 形式の多群ライブラリに全上方散乱断面積データを追加した anigif 形式の多群ライブラリを作成する GIP 入力データ

```
jendl-5 graphite
1$$
 242  3 43  284  12   0  12 24 0  5
    2   2   2   8000  e
  t
10$$
  4i13 18    /water
  4i19 24    /air
11$$
  4i1   6    /water
  4i7   12   /air
12**
  6r1.0  /water
  6r1.0  /air
13$$ 10i1  12
  t
  t
```

付録 5 多群計算で使う多群ライブラリについての注意点

原子力学会 2021 年春の年会放射線工学部会セッション「放射線遮蔽ハンドブックに基づく遮蔽設計の基礎と応用」の(2)で、著者は「放射線輸送計算で使う断面積ライブラリとコードの盲点」について報告した^{A5-1)}。この発表の予稿^{A5-1)}の 3 章、4 章には多群ライブラリを使う上での注意点を書いているので、MATXS-J50 用に加筆、修正して再掲する。

(1) 断面積ライブラリの注意点

核データライブラリのデータ自体に何らかの間違いがあって、放射線輸送計算で問題が生じることがある。しかし、これは極めて稀で、放射線輸送計算で生じる問題の多くは核データライブラリから作成した断面積ライブラリに起因する。特に、自己遮蔽補正が不可欠である多群ライブラリでは注意が必要である。以下、多群ライブラリで注意すべき点を述べる(詳細については参考文献 A5-2 と A5-3 参照)。

(2) 多群ライブラリの問題

多群ライブラリ MATXS、AMPX^{A1-1, A1-2)}ファイルに入っている多群断面積は、以下の Pn 形式の多群ボルツマン方程式(簡単のために、1 次元平板の場合を記述)で使われる Pn 断面積である¹⁵⁾。

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial}{\partial x} \psi_g(\mu, x) + \sum_{\ell=0}^N \frac{2\ell+1}{2} P_\ell(\mu) \sigma_{\ell tg}^{Pn}(x) \psi_{\ell g}(x) \\ = \sum_{\ell=0}^N \frac{2\ell+1}{2} P_\ell(\mu) \sum_{g'} \sigma_{\ell g \leftarrow g'}^{Pn}(x) \psi_{\ell g'}(x) + S_g(\mu, x), \end{aligned}$$

$$\sigma_{\ell tg}^{Pn} = \frac{\int_g \sigma_t(E) W_\ell(E) dE}{\int_g W_\ell(E) dE}, \sigma_{\ell g \leftarrow g'}^{Pn} = \frac{\int_g dE \int_{g'} \sigma_\ell(E' \rightarrow E) W_\ell(E') dE'}{\int_{g'} W_\ell(E') dE'}, W_\ell(E) = \frac{C(E)}{[\sigma_0 + \sigma_t(E)]^{\ell+1}},$$

ここで、 μ は散乱角の余弦、 $\psi_g(\mu, x)$ は g 群の角度中性子束、 $\psi_{\ell g}(x)$ は g 群の ℓ 次のルジヤンドル中性子束、 $P_\ell(\mu)$ は ℓ 次のルジヤンドル多項式、 $S_g(\mu, x)$ は g 群の外部中性子源、 $\sigma_t(E)$ は全断面積、 $\sigma_\ell(E' \rightarrow E)$ は ℓ 次の散乱断面積、 $C(E)$ は滑らかな関数、 σ_0 はバックグラウンド断面積、 $W_\ell(E)$ は断面積を群平均する時の ℓ 次の荷重関数である。荷重関数の分母に $\ell+1$ 乗がついているが、これは後述する自己遮蔽補正で重要な役割を果す。また、適切に自己遮蔽補正を行うためには計算対象としている物質のバックグラウンド断面積より小さいバックグラウンド断面積が必要で、そのバックグラウンド断面積のデータが多群ライブラリにないと自己遮蔽補正が適切に行われない。例えば、天然組成の鉄では Fe-56 のバックグラウンド断面積として 0.1 b 程度が必要になるが、米国オーコリッジ国立研究所が作成した AMPX ライブラリ VITAMIN-B6^{A5-4)}、VITAMIN-B7^{A5-5)} では Fe-56 の最小のバックグラウンド断面積が 1 b になっているため、適切な自己遮蔽補正を行うことができない。MATXS ファイルであっても、国際原子力機関が公開している ADS Nuclear Data Library v2.0 の MATXS ファイル^{A5-6)}のように、最小のバックグラウンド断面積が 1 b の

ものがあり、このような MATXS ファイルでも適切な自己遮蔽補正をすることができない。多群ライブラリのバックグラウンド断面積の最小値が計算対象としている物質のバックグラウンド断面積より小さくなっていることを確認する必要がある(MATXS-J50 のバックグラウンド断面積の最小値は 10^{-5} b になっているので問題ない)。

あまり知られていないが、Sn コードで使う多群断面積は Pn 断面積ではなく、以下の Sn 形式の多群ボルツマン方程式(簡単のために、1 次元平板の場合を記述)の Sn 断面積である¹⁵⁾。

$$\mu \frac{\partial}{\partial x} \phi_g(\mu, x) + \sigma_g^{Sn}(x) \phi_g(\mu, x) = \sum_{\ell=0}^N \frac{2\ell+1}{2} P_\ell(\mu) \sum_{g'} \sigma_{\ell g \leftarrow g'}^{Sn}(x) \phi_{\ell g'}(x) + S_g(\mu, x).$$

説明は省略するが、Sn 断面積と Pn 断面積は以下の式のような関係になっている¹⁵⁾。

$$\begin{aligned} \sigma_{\ell g \leftarrow g'}^{Sn} &= \sigma_{\ell g \leftarrow g'}^{Pn} \text{ for } g' \neq g, \\ \sigma_{\ell g \leftarrow g}^{Sn} &= \sigma_{\ell g \leftarrow g}^{Pn} - \sigma_{\ell tg}^{Pn} + \sigma_g^{Sn}. \end{aligned}$$

Sn 断面積と Pn 断面積の自群散乱断面積が必ずしも同じでないことに注意しよう。この第 2 式を変形すると、

$$\begin{aligned} \sigma_{\ell g \leftarrow g}^{Sn} &= \sigma_{\ell g \leftarrow g}^{Pn} - (\sigma_{\ell tg}^{Pn} - \sigma_{0tg}^{Pn}) - \Delta_g^n, \\ \sigma_g^{Sn} &= \sigma_{0tg}^{Pn} - \Delta_g^n, \end{aligned}$$

と書ける。ここで、 σ_g^{Sn} は任意に選ぶことができ(これを輸送近似と呼ぶ)、いくつかの選び方がある¹⁵⁾。一番簡単なのは $\Delta_g^n = 0$ つまり $\sigma_g^{Sn} = \sigma_{0tg}^{Pn}$ とする Consistent-P 近似で、

$$\begin{aligned} \sigma_{\ell g \leftarrow g}^{Sn} &= \sigma_{\ell g \leftarrow g}^{Pn} - (\sigma_{\ell tg}^{Pn} - \sigma_{0tg}^{Pn}), \\ \sigma_g^{Sn} &= \sigma_{0tg}^{Pn}, \end{aligned}$$

となる。以下、この式で説明する。この第 1 式の右辺第 2 項($\sigma_{\ell tg}^{Pn} - \sigma_{0tg}^{Pn}$)が 0 であれば、Sn 断面積の自群散乱断面積は Pn 断面積の自群散乱断面積と同じになるが、先に述べたように荷重関数の分母に $\ell + 1$ 乗がついているため、右辺第 2 項($\sigma_{\ell tg}^{Pn} - \sigma_{0tg}^{Pn}$)は $\ell \neq 0$ で 0 にならず、Sn 断面積と Pn 断面積の自群散乱断面積は同じにならない。

Pn 断面積から Sn 断面積を作るコードは、MATXS ファイルでは TRANSX コード¹⁵⁾、AMPX ファイルでは SCALE^{A1-1)}あるいは SCAMPI^{A5-7)}コードである。MATXS ファイルには分母に $\ell + 1$ 乗がついている荷重関数(但し、 $\ell \geq 1$ では分母に 2 乗がついている荷重関数になっている)が入っていて、TRANSX コードではその荷重関数を使って Pn 断面積の自群散乱断面積と異なる適切な Sn 断面積の自群散乱断面積を作ることができる。但し、自己遮蔽補正の影響が小さい場合は、荷重関数の分母の効果は小さくなるため、自群散乱断面積でも Sn 断面積は Pn 断面積とほとんど同じになる。一方、AMPX ファイルには分母に $\ell + 1$ 乗がついていない荷重関数しか入っていないため、 $\sigma_{\ell tg}^{Pn} = \sigma_{0tg}^{Pn}$ で第 1 式の右辺第 2 項($\sigma_{\ell tg}^{Pn} - \sigma_{0tg}^{Pn}$)は常に 0 になり、SCALE あるいは SCAMPI コードで処理すると Pn 断面積の自群散乱断面積がそのまま Sn 断面積の自群散乱断面積になる。その結果、自己遮蔽の影響が大きいと、Sn 計算で正しい結果を得ることができない。

(3) AMPX 多群ライブラリの問題の影響

上述した AMPX ファイルの種々の問題の影響を示すために、半径 1 m の鉄球の中心に 17.33-

19.64 MeV(199 群の第 1 群、200 群の第 2 群)の等方点中性子源がある簡単なモデルで、一次元 Sn コード ANISN とモンテカルロコード MCNP を使って球内の中性子スペクトルを計算した。多群ライブラリは 199 群の VITAMIN-B7 と比較のために 200 群の MATXS-J50 を、ACE ファイルは多群ライブラリに対応した核データライブラリから作成されたものを使用した。鉄球の中心から 40cm での中性子スペクトルの計算結果を Fig. A5.1 と Fig. A5.2 に示す。VITAMIN-B7 を用いた ANISN 計算は MCNP 計算と最大 30% 程度異なっている。これは自己遮蔽補正の不備が原因である。一方、MATXS-J50 を用いた ANISN 計算は MCNP 計算とよく一致し、MATXS-J50 では自己遮蔽補正を適切に行うことができていることがわかる。

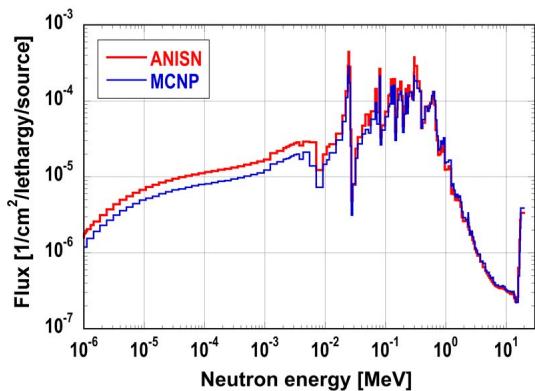


Fig. A5.1 鉄球の中心から 40 cm での中性子スペクトル(VITAMIN-B7)

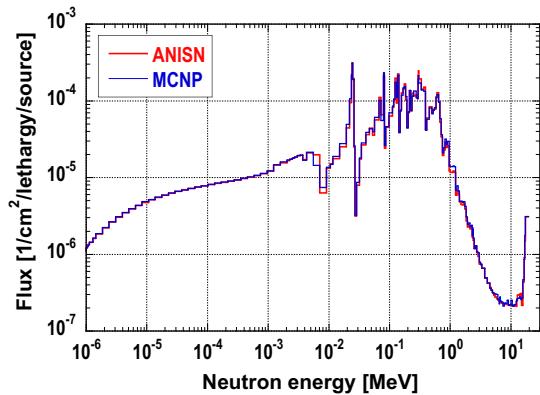


Fig. A5.2 鉄球の中心から 40 cm での中性子スペクトル (MATXS-J50)

(4) Sn 計算での上方散乱計算

放射線輸送計算でよく使われる ANISN、DORT⁹⁾、TORT⁹⁾、等の Sn コード自体に大きな問題はなく、マニュアルに従って適切な入力ファイルを作って計算すれば正しい結果が得られる。そのため、Sn コードを用いた放射線輸送計算で注意すべき点は前章で説明した多群ライブラリの自己遮蔽補正であるが、もう一つ注意すべき点がある。それは Sn 計算での上方散乱である。通常の Sn 計算では、中性子は原子核との核反応で減速し、エネルギーの大きい群からエネルギーの小さい群に移っていく(下方散乱)。しかし、中性子が減速されエネルギーが数 eV 以下になると、原子核の熱運動が無視できなくなり、原子核と衝突した中性子が原子核からエネルギーをもらい、中性子のエネルギーが衝突前よりも大きくなる。つまり、エネルギーの小さい群からエネルギーの大きい群に中性子が移ることが起こる。これが上方散乱で、コンクリートや水等の遮蔽計算を行う際に重要になってくる。一例として、MATXS-J50 を使った DORT 計算で得られた、廃止措置が完了している旧日本原子力研究所 JPDR^{A1-1)}の生

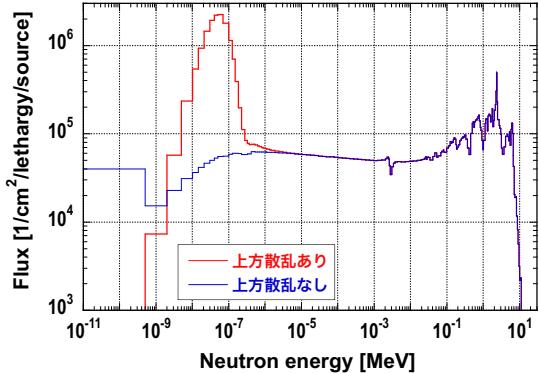


Fig. A5.3 JPDR 生体遮蔽コンクリートの約 1.2m の深さでの中性子スペクトル

体遮蔽コンクリートの約 1.2 m の深さでの中性子スペクトルを Fig. A5.3 に示す。廃止措置の放射化計算では捕獲反応断面積が大きい熱中性子束が重要になるが、上方散乱を考慮しないと、この熱中性子束を正しく計算できないことがわかる。コンクリートや水等で放射線輸送計算を行う場合、上方散乱を入れた計算をする必要がある。

ANISN、DORT、TORT 等の Sn 計算コードには上方散乱のための外部反復計算機能が備わっているため、上方散乱も含めた Sn 計算を行うにあたりコード上の問題はない。問題になるのはこの場合も計算で使う多群ライブラリである。上方散乱も含めた Sn 計算を行う場合、当然、多群ライブラリにも上方散乱データが必要で、使う多群ライブラリに上方散乱データが入っているかどうか事前に確認し、上方散乱データが入った計算モデル用の多群ライブラリを作る必要がある(MATXS-J50 には上方散乱データも入っている)。また、コードのマニュアルに明確に書かれていらないが、上方散乱も含めた Sn 計算を行う場合、全上方散乱断面積を計算モデル用の多群ライブラリに追加しなければならない。MATXS ファイルの場合、TRANSX コードで anisnb 形式の計算モデル用の多群ライブラリを作成し、それを GIP コードで処理すれば全上方散乱断面積が追加された anigif 形式の計算モデル用の多群ライブラリを作ることができる(付録 4 参照)。AMPX ファイルでも、最後に GIP コードを使って全上方散乱断面積が追加された anigif 形式の計算モデル用の多群ライブラリを作っている。この処理を忘れると、おかしな結果になることがあるので、注意してほしい。

This is a blank page.

