

(4) 遮 蔽

動燃 大谷 暢 夫

放射線遮蔽は、原子炉、再処理施設等の核燃料施設、加速器、使用済核燃料や放射性物質の輸送容器、医療用や非破壊検査のための放射線照射施設等で問題となる。対象とする放射線は、主として中性子、及び、ガンマ線である。遮蔽の分野では、どちらかと言えばガンマ線の方が対象となる場合が多いが、遮蔽評価のための放射線分布の計算や工学的な遮蔽設計は、ガンマ線よりも中性子の方がより困難である。ここでは、筆者が主として係わっているナトリウム冷却高速炉の炉体まわり遮蔽を念頭において、シグマ委員会の活動について、日頃感じていること等を述べたい。

1) 断面積活動におけるサービス体制

原子炉プラント等の遮蔽設計においては、遮蔽担当者（表現に問題はあがあるが、以後、遮蔽設計者と称する。）は、核定数と放射線分布計算コードを用いて、対象とする領域の放射線分布を求める。評価の結果を、機械設計や配置設計を行う人々に示して対応を求める事になるが、彼らは我々が行う物理的計算の内容には一切立ち入りたがらないのが普通であり（逆も真であるので、どちらが悪いというわけではない）、遮蔽設計者は、この分野では、シグマ委員会の成果である核断面積の最も下流側の利用者という事になる。遮蔽設計は、類似の分野である原子炉炉心の核設計と比較しても明らかなように、その対象が多岐にわたっており、その結果、遮蔽設計者は、プラントの構造設計等を担当する人々に対する答を作成するのにその大部分の時間を費やしている。即ち、高速炉プラントの遮蔽設計を例にとれば、遮蔽設計者は、線源分布も含めた放射線分布の計算と評価だけで手一杯であって、研究開発テーマとしても、その主な興味は、放射線分布が直接得られるようなテーマにしばられている。

このような観点から核断面積を見ると、我々が必要としているのは、必要なすべての核種とその反応を含んだ群定数（現在使用している輸送計算コードを使う場合）であって、決して特定の核種、反応の非常に優れた断面積データではない事が理解して頂けると思う。極端な例をあげれば、最新のナトリウムの断面積データがあつて、アルミニウムの断面積がない組み合わせよりも、一昔前のナトリウムの群定数と、アルミにはナトリウムの断面積を密度変換して使えという（シグマ委員会のような権威ある組織の明確な）指示の方が、我々にとってははるかに有効で利用価値が高い。

高速炉の遮蔽解析や炉体まわり遮蔽設計では、現在、原研のRADHEAT-V3^{*)}システムによ

*) RADHEAT-V3は実際には定数処理コード（SUPERTOG）から縮約のためのANISNまでを含んでいるが、我々が使用しているのは、微視的断面積から実効巨視的断面積を求める部分だけである。

る群定数が使用されており、ENDF/B-IVから作成された無限希釈断面積ファイルJSD100と、共鳴自己遮蔽因子ファイルJFT200から実効群定数を求めているが、我々の分野がENDF/B-IVから脱却するためには、JENDLから作られた、JSD100等と完全な互換性を持つ（物質番号も同じ方が良い位である。）群定数セットが必要である。（計算手法を現在使用しているRADHEAT-V3、及び、輸送計算コードANISN、DOTから改変するのは別の問題である。現状では変更は考えていない。）

結論を一言で述べれば、我々の分野は、“シグマ委員会が、RADHEAT-V3、ANISN、DOTでそのまま使える完全な群定数を提供してくれること”を期待している。

調子に乗ってここまで書いてくると、必要なら自分達で作れと言う声も聞こえるが、技術の自主性というある種の哲学的価値の追求を別にすれば、我々には時間も能力も不足しており、“自分で作る位なら現用のENDF/B-IVによる定数をそのまま使う”というのが、遮蔽設計に関わる者の正直なところである。

遮蔽の分野では、これまで放射線物理にほとんど関わりを持たなかった人々が、計算の必要にせまられている事が多い。断面積活動をより有効なものにするためには、そのような人々がすぐ利用できる形にまで、データをそろえておく必要がある。

2) ガンマ線データ

放射線遮蔽の分野では、中性子と同様、ガンマ線も取り扱う。ガンマ線の物質内透過については、古くから種々の半解析的な計算法と、そのための定数が開発整備されており、ハンドブックのような形でまとめられているが、実際に与えられた問題を解こうとすると、なかなか適当なデータが見つからないというのが実感である。いわゆる簡易計算手法のための定数は、シグマ委員会の範囲からははずれているかも知れないが、ガンマ線の計算をより一般的なものにするためにも、輸送計算コードによる計算に必要な核データは整える必要がある。（ただし、ガンマ線については、現状の輸送計算コードによる計算自身にも問題が残っており、核データの整備だけでは充分でない可能性がある。）

また、特に原子炉の遮蔽では、中性子反応によって発生するガンマ線を問題とする事が多い。RADHEAT-V3システムでは、ガンマ線生成断面積ファイルとしてPOPOP-4というかなり古いファイルを使用しており、当面はこれをENDF/B-IVのデータにおきかえる事が課題であるが、新しいデータの整備も必要である。

周知のように、JENDL-2にはガンマ線に関するデータが含まれていない。今後、新しい版には含まれると期待しているが、前述のように、我々としては、とにかく全核種の全反応に対するデータ（代わりに何を使えという指示も含めて）がそろっている事と、群定数化された定数が

提供される事を期待している。

3) JENDL-2の利用経験

筆者が所属する動力炉・核燃料開発事業団では、高速炉の遮蔽設計及び評価のための研究開発の一部として、JENDL-2による遮蔽計算用中性子群定数の整備を行った。技術的詳細は別の機会に譲るとして、ここでは、作業を進める上で問題となった点と、若干の定性的結果をまとめておく。

遮蔽設計の立場から、我々は前出のJSD 100とJFT 200と完全に互換性のある、即ち、これらのファイルだけを入れかえれば、従来のコードでそのまま輸送計算コード(DOT, ANISN, MORSE)に使用できる巨視的群定数が得られる事を前提とした。その結果、仕事の内容が、研究というよりも作業という事になり、まず、引き受けてくれるところを探すのに苦労した。(事業団の限られた研究予算で実施するため、十分な資金が無い事が1つの原因ではある。) 結果的には、高速炉の遮蔽研究に経験のある原子力メーカーに、業務委託研究として引き受けてもらった。

作業を進める過程で明らかになった事は、何と云っても、核データや定数処理コードの専門家が少ない事であり、計算処理の途中でエラーが発生して(頻繁に発生する。念のため)、その原因が我々の知識の範囲を越えていると、次の過程に進めるのに多大な時間を必要とした。(相談にのってもらった個々の研究者の方々には、誠実に対応して頂き感謝しているが、たまたま長期海外出張でもしておられると、国内にわかる人はだれもないというのを何回も経験した。)

また、核データファイルを、我々の場合は遮蔽設計に、実際に使用する事を目的として作業を進めると、そのファイルに含まれていない核種や反応に関する情報がない事が非常に大きな問題となった。核データを評価してファイル化する立場から言えば、評価された限られたデータの信頼性が最大の関心事であり、欠けているデータは、“機会を改めて”というところであろうが、我々としては、“代わりに何を使え”という指示でもないと、たちまち立往生してしまう。上記作業の結果として我々が整備したのは、中性子100群の無限希釈断面積と共鳴自己遮蔽因子のテーブルであるが、JENDL-2から作成したと称していても、まだかなりENDF/B-IVを処理したデータが含まれている。

本作業は、JENDL-2が公開される前から、予備的データを提供して頂いて進めたが、最終的に群定数ファイルを完成させるまでに、3~4年かかった。(作業担当者が本件に100%かかっていたわけでもないし、もちろんサボっていたわけでもない。) これは、新しい核データによる積分評価を、核データそのものの評価にfeedbackするのに、4年以上かかる事を示しており、核データ評価者にとっても、利用者にとっても、許容できる時間ではないと思われる。

結論として、私個人としては、遮蔽設計者の側でデータファイルから群定数を作成する事には、無理があると考えている。

(評価結果)

JENDL-2から作成した群定数を用いて、いくつかの高速炉体系の計算を実施した。遮蔽計算は各々の計算規模が大きく、多くの計算経験を蓄積するには至っていないので、ここでは定性的な傾向について概説しておく。

●高速実験炉「常陽」炉心中心面半径方向1次元計算

JENDL-2による計算は、ENDF/B-IVによる計算より、中性子束を小さく、かつ、軟らかく評価する。(設計としては危険側である。)ただし、「常陽」は体系が小さいため、差は小さく、測定値に対するC/Eからはどちらが正しいとも言えない。

●「常陽」炉上部ピット室近傍ストリーミング計算

主として鉄とコンクリートからなる体系に対する2次元ストリーミング計算でも、JENDL-2はENDF/B-IVよりも、中性子束を小さく、かつ、軟らかく評価する。

●「常陽」炉上部ピット室の線量率、Mk-IとMk-II、2次元計算

「常陽」は、最初Mk-Iと呼ばれる増殖炉心で運転され、その後、照射用炉心であるMk-IIに変更された。Mk-IIでは、Mk-I炉心の炉心まわりブランケットがステンレス鋼の反射体に変更されており、炉上部ピット室の線量測定結果では、Mk-IIの方がMk-Iより数倍高い値を示している。しかしながら、JENDL-2によるMk-II体系の線量率の計算結果は、ENDF/B-IVによるMk-Iの結果より小さい値を与えており、事実と逆転している。即ち、ENDF/B-IVとJENDL-2の差による影響は、機械構造上の変更による影響よりも大きく、定数の影響が無視できない結果を示している。

●高速実証炉炉心中心面半径方向1次元計算

傾向は「常陽」の場合と同じであるが、体系が大きいため、大きな差が出る。しかし、差の大きい箇所中性子束は、いずれも充分低い値であり、プラント設計としては問題にならない。

●CRBR遮蔽実験解析

米国で計画されていた(途中で中止になった。)高速原子炉CRBRのための遮蔽実験を解析した。実験では、ステンレス鋼とナトリウムと炭素鋼を、この順に並べた体系における全中性子束の減衰が測定されている。ENDF/B-IVによる2次元解析の結果、C/E値は体系後端で0.4~0.9となったが、別途行った1次元計算による結果はすべての領域で、JENDL-2による計算値が、ENDF/B-IVによる計算値よりも小さくなる。このような大きな差をもたらした主な原因は、ナトリウムの断面積にあるとの評価を得ている。

特に最後の実験解析の結果は、従来からの計算手法を用いる限り、ナトリウム冷却高速炉の遮蔽計算に JENDL-2 を用いる事には、まだ多くの問題を含む事を示している。

いずれにしても、本稿において筆者が問題視しているのは、以上の評価を得るために、核データファイルの処理を始めてから4年以上の年月を要している事であって、現状では断面積活動の成果が、具体的な積分評価や設計に利用されるまでに、時間がかかりすぎていると思う。

(追記)

文章の都合上、高速炉の遮蔽分野にたずさわっている人を我々と書いたが、内容は私個人の独断と偏見である。

また、私自身シグマ委員会にメンバーとして参加させてもらっている事を考えると、議論に矛盾があるが、ここでは一応“若手”利用者の立場から意見をまとめた。

筆者は、10月にあった学会でのパネルディスカッションの後、11月15日から2年間の予定で、動燃事業団と米国DOEとの間で進めている、日米共同高速炉遮蔽ベンチマーク実験(JASPER計画)の派遣員として、米国オークリッジ国立研究所のEngineering Physics and Mathematics Division に駐在している。内容はパネルディスカッションで述べた意見をまとめなおしたものであるが、勝手な意見を書いて気を悪くされる方も多々おられると思う。14時間の時差のなせるところとして、2年間の間に忘れていただけるものと期待している。最後にこのような機会を与えて頂いた事に謝意を表す。

(ORNLにて)