

研究室だより (I)

金属材料技術研究所における核データ利用研究

精密励起場ステーション 野田哲二*

力学機構研究部 藤田充苗

* noda@nrim.go.jp

1. はじめに

当研究所における核データの利用研究が始まったのは、1970年代の後半、当時、筆者等が所属していた原子炉材料研究部の主要テーマが核融合炉材料研究に向けられた頃である。サイクロトロンが設置され、金材技研における照射損傷の研究が本格的に進められるようになった。その時は、材料の損傷をイオン照射で模擬するのに実際の核融合炉で想定される損傷量のほか、核変換によって生じる水素、He量を推定するのに核データが必要となったが、それほど細かいデータまでは要求されなかった。高速中性子照射にさらされる核融合炉材料の課題として、照射損傷と同時に注目されるようになったのは構造材料の誘導放射化である。特に1982年の米国のDOEパネルで核融合炉材料開発において低誘導放射化の方針が打ち出されて以来、各国で材料の誘導放射能を考慮した合金設計が必須と考えられるようになった。核融合炉材料を目指した研究を行っていた筆者らのグループでは、初めのうちは文献をたよりに材料組成を検討していたが、論文によっては元素の評価、ならびに許容濃度などまちまちで、材料を作る側にとっては、どれを信頼すべきか迷わされた。おそらく計算している研究者が使用している核データの出典が異なっていたためであろう。端的な例はAlである。中性子エネルギーが約13MeV以上になると、 $^{27}\text{Al}(n,2n)^{26}\text{Al}$ (半減期 7.2×10^5 年)の反応が起こる。当面D-T反応による核融合炉を想定すると、14MeVの中性子による ^{26}Al 生成は無視できなくなる。Alはほとんどすべての材料に含まれているため、材料研究者にとってAlの濃度がどの程度まで許されるのかが大変関心があつた。現在、原研で開発されたF82Hや9Cr-2W鋼が核融合炉のブランケット構造材料として有望となっている。しかし、合金溶解の段階で脱酸するためにAl添加が一般に行われているが、Alが使えないとすると、他の添加元素を考えねばならず、当所ではMn脱酸に切り替えた。低放射化材料として候補となっているSiCは難焼結性であり、焼結助剤を使用しなければいけないが、Alを含まない助剤を探さなければいけない。また、Siについても核融合中性子照射条件下では2段反応等により ^{26}Al の生成が起きることが予測されている。現在でもSiの誘導放射化による許容レベルについて議論がなされている。AlさらにはSiの濃度がどこまで許されるかは、すべて上記の反応の断面積の大きさ、すなわち断面積データの信頼性に依存する。ちな

みに 14MeV での JENDL3.2 や FENDL/2.0 の値は ENDF/B-VI の約半分以下となっている。

このように、誘導放射化を考慮した材料を開発するには、放射化の評価方法、特に核データの値が合金設計、材料プロセスすべてに影響を与えるため、自分のところでもある程度、きちんと評価できるようにしなくては、というのが自前で核変換計算プログラムを作り、核データを収集するきっかけとなった。また、同時期、原子力関係のデータベースを原研、核燃料サイクル（当時動燃）、金材技研の3者が中心になってネットワークで結ぶ計画（データフリーウェイ）がスタートし、作られたソフトウェア、核データを一般の材料ユーザがより容易に利用できるよう整備も始めた。以下には、現在の核変換計算シミュレーションならびにデータフリーウェイ活動の現状について概略する。

2. 研究概要

2.1 核変換シミュレーション

核変換シミュレーションコードを作製するに際し、多段反応を扱えること、GICX40、CROSSLIB、FUSION40 などの利用を想定した 42 エネルギー群に対応できるようにした。線形連立微分方程式の解法には Gear 法をベースとして、逐次整備に務めて来た。1985年に IRAC コードとして公開し、その後、中性子スペクトル計算の ANISN、はじき出し損傷の dpa 計算を組み入れて、与えられた材料組成に対して、中性子スペクトルを計算し、損傷関数と自己遮蔽効果を考慮した放射化量を算出できるようにした（図1参照）。多段反応に関しては、イギリス AEA の FISPACT で行われている pathway 解析のような、わずかで長半減期核種ができる道筋を計算するとともに、W など組成変化

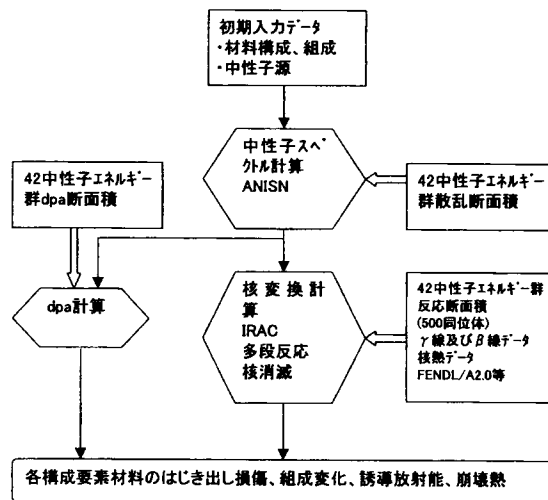


図1 核変換計算流れ図

が最も大きい元素については多段反応計算を行うようにしつつある。核変換計算にあたっては、不安定核種についても反応断面積を知る必要がある。核データの大部分が、原研核データセンターからの提供によるが、最近では、不安定核種の核データについては IAEA から直接 FENDL/A-2.0 Activation File をダウンロードして利用している。また、ANISN については高度情報科学技術研究機構（旧原子力データセンター）から提供していただいた。現在、基本的な反応の計算については周期表の Bi までのほぼ大部分の元素までを扱えるようにしたが、多段反応については、膨大な計算プログラムとなるため、今後、各元素に対して順次整備していく予定である。

2.2 材料用核反応データベース

金材技研、原研、サイクル機構、JST の 4 機関が共同してデータフリーウェイと称する分散型原子力材料用情報システムを構築しているが、金材技研サイトでは活動の 1 つとして、材料用核反応データベースを整備している²⁾。このデータベースには、原子力用材料の中性子照射に伴う化学組成変化や誘導放射能を考えるに必要なデータを格納している。すなわち、中性子捕獲断面積などの核データと崩壊過程の各種のデータをインターネット(JENDL3.2, FENDL/A-2.0)や書籍から収集し、編集加工して、材料に中性子照射した際にどの如何なる核反応が生じ易いか、また生成核種の崩壊過程を容易に知ることのできるデータベースを整備している。なお、このデータベースは、(<http://inaba.nrim.go.jp/Irra/>) の URL にインターネットのブラウザで接続すれば、図 2 および図 3 に示すようなデータ検索画面や指定した核種の各種の核反応における生成核種や中性子スペクトラムに対する中性子捕獲断面積がグラフや画面として容易に利用できる。

収集したデータは、材料中の核反応現象を計算機上に表現するもので、材料を表現するための元素では元素名と原子量、核種では核種名と中性子と陽子の数、放射性核種であるか否か、放射性核種であれば半減期や崩壊に伴う過程やそのエネルギーなどのデータである。また、核反応を表現するには、核種名、核反応の種類、中性子エネルギーと中性子捕獲断面積、核反応生成核種などのデータである。収集したデータ数は、約 3500 種類の核種と約 8500 種類の核反応についての中性子捕獲断面積、約 7300 種類の崩壊エネルギーである。

核図表全体図から希望の範囲を選択し、(b)で検索する核種を決定すると図 4-4 の検索核種が中央に位置する核図表（上左の図）とその核種に中性子核変換反応が生じた際の核変換生成核種との位置関係を示す図（上右の図）が現れる

データの検索は、指定した核反応によって生成する核種とその中性子捕獲断面積が表示され、さらに生成核種が不安定であれば、いかなる核種に崩壊するか、そのときの半減期や崩壊エネルギーが表示され、検索する核種の中性子スペクトラムに対する各中性子捕獲断面積のグラフが表示され、如何なる中性子エネルギー範囲で個々の核反応が生じ

易いかを知ることができる。半減期が長い核種が生成する場合には、長時間に渡る放射性廃棄物の管理が必要であるとか崩壊熱の利用が可能か否かなどを知ることができる。また、放射性核種を非放射性核種（安定同位体）に変換させる消滅処理を考える場合、いかなる核反応を行えば良いかなども知ることができ、その際の核反応が生じ易いか否かも知ることができる。さらに、ある核種においてある核反応が生じ易いか否かを軽水炉と高速炉で比較することは多いし、さらに核融合炉ではどうか等の問に対して、定性的ではあるが、このデータベースでは答えることができる。

この原子力材料用核反応データベースは、世界の各場所から利用が可能で、中性子照射に伴う材料中の化学組成変化や放射化の程度を定性的ではあるが容易に知ることができ、特定の核反応が軽水炉と高速炉で、どちらの炉で生じ易い核反応かを容易に知ることができると言えよう。

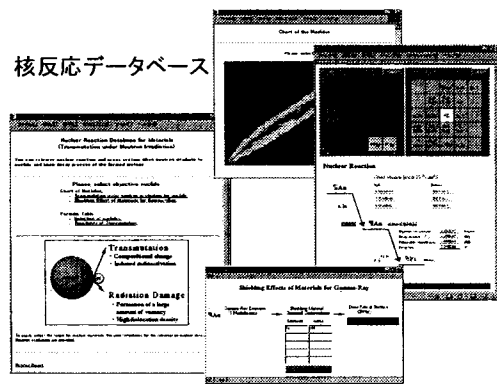


図2 原子力材料用核反応データベース
の主要なデータ検索と検索結果画面

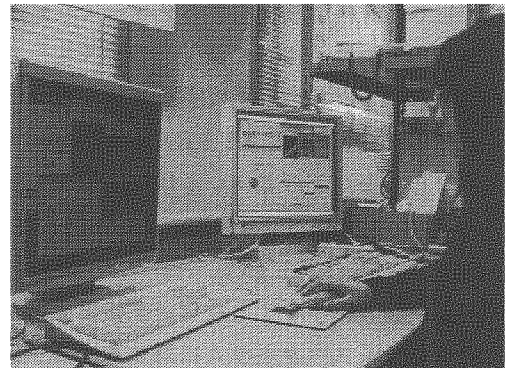


図3 インターネットブラウザを用いての
データ検索作業

3. おわりに

金属材料技術研究所における核データを利用した研究活動の概略を紹介した。すでに述べたように、核変換計算シミュレーション結果は使用した核データの値に大きく依存している。したがって、材料の評価にあたっては必ず核データの出所を明らかにしなければいけないが、同時に、データが未整備の反応については計算されていない。特に不安定核種の核データに関しては、まだまだ十分とはいえず、今後、ますますデータ自身の信頼性の向上を含めた核データの整備を期待したい。

文 献

- 1) T.Noda et.al.: Trans.NRIM, 27(1985)195-210.
- 2) 藤田充苗、内海美砂子、野田哲二：日本金属学会誌、Vol.63, No.9, (1999) 1141-1144.