核変換と崩壊データのインターネット上での提供[†]

藤田 充 苗 内海美砂子 野田 哲 二

金属材料技術研究所

J. Japan Inst. Metals, Vol. 63, No. 9 (1999), pp. 1141-1144
Papers from JIM Spring Meeting (1999)

Nuclear Transmutation and Decay Process Data Provided on the Internet

Mitsutane Fujita, Misako Utsumi and Tetsuji Noda

National Research Institute for Metals, Tsukuba 305-0047

A database for transmutation and radioactivity of nuclear materials under neutron is important in view of selection and design of materials for various nuclear reactors. A database based on the FENDL-II on the Internet and additional data collected from several references has been developed on the NRIM "Data-Free-Way" site on the Internet. A user interface has been constructed for retrieval of necessary data and for graphical presentation of the relation between the energy spectrum of the neutrons and the neutron capture cross section. The possibility of chemical compositional change and radioactivity in a material caused by nuclear reactions can be easily retrieved using a browser such as netscape or explore, though the evaluation is qualitative.

(Received April 28, 1999; In Final Form August 2, 1999)

Keywords: internet, database, information, nuclear materials, neutron irradiation, nuclear transmutation, decay

I. 緒 言

急速に発展するインターネットでは種々の情報が公開されつつあり、専門性の高いデータの入手も容易になって来た。しかし、そのようなデータそのままでは、専門以外の分野で容易に利用することは難しい。専門以外の分野でも利用されるようにするには、その分野で必要とする形式のデータに編集・加工し、別のデータとも組み合わせ、さらに利用しやすいユーザーインターフェイスを備える必要がある。

原子力用材料は、中性子照射によって核変換反応を生じ、放射化や化学組成の変化をもたらす。種々の核種(同位体)において、中性子との種々の核反応の中で如何なる核反応が容易に生じるかは、核データを調べることによって知ることができる。すなわち、核データの1つである中性子捕獲断面積の大きさで、核反応の容易さが分かる。この断面積は核種と核反応によって異なり、中性子エネルギーにも依存する。さらに、核反応で生成した放射性核種(不安定同位体)は種々の放射線を放出して、別の核種へと崩壊する。このため、原子力材料の材料選択や材料設計を行う場合、中性子核変換反応の種類と核反応の容易さを示したり、核反応生成核種が如何なる種類の放射線を放出しながら如何なる核種に崩壊するかを示す核反応情報システムが必要である。

そこで、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

スを構築した。なお、このデータベースは、データフリーウェイと称する分散型材料情報システム⁽¹⁾の金材技研サイトの機能の一つである。WWW(<http://inaba.nrim.go.jp/Irra/>)にPCを接続し、インターネットのブラウザで容易に利用できる。ここでは、収集したデータの種類や編集方法、データベースのデータ構造、ユーザーインターフェイスの機能などの概要と利用例を紹介する。

II. データベースの概要

1. システム

本データベースは、OSがUNIXのワークステーションで稼働する市販のデータベース管理ソフトウェア(RDBMS)を使用し、RDBMSとWWWとを連携し、インターネットで使用されるNetscapeやExplorerのブラウザから手軽に世界中から利用できる。材料が中性子照射される際の核変換や生成核種の崩壊挙動を、定性的ではあるが容易に知ることができる。なお、核変換に伴う化学組成の変化や放射化と崩壊挙動を定量的に知るには、照射される中性子のフラックスとエネルギースペクトラム、照射時間、中性子捕獲断面積などを基に予測計算が行われている⁽²⁾⁽³⁾。この予測には長時間を要し、手軽でない。定量的にはこの予測計算が必要であり、中性子照射に伴う化学組成変化や放射化の程度を計算するシミュレータをインターネットから利用できるように整備中である。試験的ではあるが(<http://inaba.nrim.go.jp/>)でアクセス可能である。

2. 核変換反応の表現と収集データ

収集すべきデータは、材料中の核反応現象を計算機上に表

[†] 1999年3月30日日本金属学会春期大会において発表

現するに十分なものでなければならない。材料を構成するのは元素であり、元素を構成するのは核種(同位体)であり、核種を構成するのは電子、原子核であり、原子核を構成するのは中性子と陽子である。したがって、材料を表現するには、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が必要なデータである。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、核反応生成核種が必要なデータである。

これらのデータを下記の図表、書籍やインターネットからを収集した。

元素：“Elsevier’s Periodic Table of the Elements”, compiled by P. L. of, 1987.

核種：“核図表”，compiled T. Horiguchi, T. Tachibana and J. Katakura, 1996, JNDC and NDC in JAERI. なお、核図表は、各核種を原子番号(Z)と中性子数(N)の座標上に配列したものである。

崩壊：“放射線データハンドブック”，村上悠紀，團野浩文，小林昌敏，1982，地人書館：“Table of Radioactive Isotopes”，E. Browne and R. B. Firestone, 1986, LBLU of C, John Wiley & Sons.

核反応：“FENDL/A-2.0”(<http://iaeand.iaea.or.at/fendl/fen-activation.htm>)

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中性子捕獲断面積、約7300種類の崩壊エネルギーである。

3. データ構造

収集したそれぞれのデータは、Fig. 1 に示すような5種類の表に格納することにして、データベースを構築した。iso. tabl には、元素：(元素記号，原子量，密度，...)と核種(同位体)：(核種の名称，安定か否か，存在比，半減期，崩壊エネルギー，...)に関するデータを格納した。崩壊エネルギーの詳細は gs. table と bs. table に γ 線と β 線に関するそれぞれ格納した。tr. table には、核反応：(核反応形式，生成核種，...)に関するデータを、cs. table には、中性子捕獲断面積($10^{-3} \sim 10^7$ eV の中性子エネルギーを42分割)のデータを格納した。各表には、それぞれの表との連携を行うために各レコードにキーとなる項目が格納されている。このキーによ

Fig. 1 The data structures of the database on transmutation for nuclear materials.

てそれぞれの表は、Fig. 1 の線で示すような連携を持ち、表と表を関係づけたデータ検索を行うことができる。

4. データの編集

原子炉材料では、原子炉などの核反応炉で使用中に如何なる核種が生成するか、その核種は如何なる崩壊挙動をするかがまず明確になれば良いので、個々の核反応や崩壊挙動を詳細に知る必要は一般にはない。すなわち、核変換反応では、中性子エネルギーのわずかな変化によって、中性子捕獲断面積が大きく変化する場合があるが、ここでは $10^{-3} \sim 10^7$ eV の中性子エネルギーを42分割して、核核種のそれぞれの核反応の中性子捕獲断面積を編集することにした。インターネットから収集した FEND/A-2.0 の中性子捕獲断面積には、中性子エネルギー間隔が詳細なものとたまかなものがあり、これらを42分割となるようにした。さらに、核断面積があまりにも小さく、材料の観点からは中性子照射によって化学組成変化や放射化が認め難い 10^{-7} barn 以下の断面積は格納しないことにした。崩壊については、 β , γ , α 崩壊などにおけるエネルギーから崩壊エネルギーを計算し、その値も格納した。

III. ユーザーインターフェイス

データベースにおける個々の表のデータを検索できる他に、核図表から核種のデータをクリックのみで検索できるユーザーインターフェイスを整備した。それらを、Fig. 2, 3, 4, 5 に示す。Fig. 2 は、約3500種類の核種の中で、検索する核種を選択するための画面である。(a)の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 Fig. 3 の検索核種が中央に位置する核図表(上左の図)とその

Fig. 2 Selection of required isotope or nuclide by the chart of the nuclides.

Fig. 3 Screen of properties for retrieved ^{185}W nuclide. Fig. 5 Screen to retrieve data on nuclear transmutation and decay process of ^{186}W nuclide and the results.

Fig. 4 A example of graph of relation between neutron capture cross section for various reactions and neutron energy spectrum.

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。Fig. 3において、Property ボタンをクリックすれば、その核種が不安定(放射性核種)であれば、半減期や崩壊エネルギーが図の下表示される。また、Fig. 3において、Graph ボタンをクリックすると、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Fig. 4のように表示され、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。さらに、Fig. 3において、各核反応において中性子捕獲断面積のデータが格納されていれば、それぞれの核反応ボタンをクリックするとFig. 5が表示される。この画面では、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る。Fig. 5から、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。

IV. 利 用 例

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。Fig. 6は、周期律表で選択した元素(ここではWの例を示す。)の核種に中性子を照射した際に

Fig. 6 Screen to retrieve data on nuclear transmutation using periodic table and an example of the results of ¹⁸⁶W.

それぞれの核反応によって生成した核種が生じ易いか否かを示している。軽水炉は大部分の中性子エネルギーは 10^5 eV 以下 (Low energy) であり、高速炉のそれは 10^6 eV (High energy) 以上である。42に分割した中性子捕獲断面積を 10^5 eV 以下と以上で加算したそれぞれの値が 0.001 barn 以上であれば生じ易い反応として、○印で示した。このように、定性的ではあるが、容易に如何なる核反応が生じ易いかを知ることができる。

インターネット上にこのような核反応情報を提供することによって、インターネットに接続した PC を使用すれば、原子力材料の選択や探査を定性的ではあるが世界中に如何なる場所からも容易に行える。今後は、遮蔽などの情報も整備し、より充実した材料用核反応情報を提供する予定である。

V. 結 言

材料用核反応データベースをインターネット上に構築し、その概要と機能を紹介し、以下の情報提供が容易に行えるようになった。

- (1) 材料に中性子を照射した際の核反応は、元素、核種、崩壊、崩壊エネルギー、中性子捕獲断面積などの表と表中の項目で表現することができる。
- (2) 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る。
- (3) 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。
- (4) インターネット上で提供しているので、世界の各場所から利用が可能である。

文 献

- (1) M. Fujita, Y. Kurihara, H. Shindo, N. Yokoyama, F. Ueno, S. Kano and S. Iwata: ASTM STP 1311, ASTM, (1997), pp. 249-260.
- (2) M. Fujita and T. Noda: COMP '93, ISIJ, (1993), pp. 404-409.
- (3) T. Noda, H. Araki, F. Abe and M. Okada: Trans. NRIM, 30(1988), 1-31.