

分散型原子力用材料データベース (データフリーウェイ)の現状と将来展望

Present and Future Status of Distributed Database for Nuclear Materials (Data-Free-Way)

¹⁾物質・材料研究機構, National Institute for Materials Science, ²⁾日本原子力研究Japan Atomic Energy Research Institute, ³⁾核燃料サイクル開発機構, Japan Nuclear Cycle Development Institute.

藤田 充苗¹⁾、徐 一斌¹⁾、加治 芳行²⁾
塚田 隆²⁾、益子 真一³⁾、小野瀬庄二³⁾

要旨

物質・材料研究機構、(物材機構と以下略)、日本原子力研究所、(原研)、核燃料サイクル開発機構(サイクル機構)の3機関が共同して、インターネットから相互利用可能な分散型材料データベースシステム、(以下、データフリーウェイと言いDFWと略す。)の開発を平成2年から進めてきた。現在3機関が共同してDFWの充実や公開運用管理を進めるとともにDFWから得られる知識の分散型知識ベースの開発を行っている。DFWの構築開始当時から現在までの約15年間にネットワーク技術や情報提供と獲得技術は急速に発展し、社会に大きな変革をもたらし、我々の日常生活も様変わりした。DFWがこれらの変革との関わりを示すとともに、現状を述べ、材料データベースの将来展望についても言及する。

1 はじめに

原子力用材料は中性子照射、高温、腐食あるいはそれらが重畳される過酷な環境下で使用されることが多い。材料問題解決、材料

探査・設計や材料の破壊現象の解明を行う場合、種々の視点からの検討が必要である。それには、巨大な材料データベースが必要であるが、巨大な材料データベース構築は一研究機関では困難である。そこで、物材機構、原研、サイクル機構が共同してDWFと称する分散型原子力用材料データベースの構築を平成2年から開始した。各機関が得意分野の材料データベースを構築し、それらのデータベースを相互にネットワークを介して利用できるDFWを開発した¹⁻⁵⁾。それぞれのURLは、物材機構 (<http://dfw.nims.go.jp/>)、原研 (<http://jmpdpca.tokai.jaeri.go.jp/>)、サイクル機構、(<http://dfw.jnc.go.jp/>)である。現在3機関が共同してDFWのデータなどの充実や公開運用管理を進めるとともにDFWから得られる知識の分散型知識ベースの開発を行っている。DFWの構築開始当時から現在までの約15年間にネットワーク技術や情報提供と獲得技術は急速に発展し、社会に大きな変革をもたらし、我々の日常生活も様変わりした。DFWがこれらの変革との関わりを示すとともに、現状を述べ、材料データベースの

将来展望についても言及する。

2 データフリーウェイの経緯と現状

原子力用材料の特性データを収集し、材料データベースを構築し、ネットワークを介してそのデータベースを相互に利用できる分散型材料データベースの開発が、原子力関連施設の充実、維持に不可欠なことが指摘された。すなわち、原子力関連の材料特性は多岐にわたるため巨大なデータベースが必要で、1機関で構築するのは困難である。そのため、物材機構(当時 金材技研)、原研、サイクル機構(当時 動燃)の3機関が共同して昭和63年から2年間のシステム構築のための調査を行った。平成2年度から3機関がDFWと称する分散型材料データベースの構築の共同研究を開始し、約15年経過し、図1に示すようにインターネット上に各機関のDFWを公開提供している。その利用状況を図2に示す。紆余曲折はあるが右肩上がりであり、最近では20万弱のファイルが月にアクセスされている。

以下にその間の経緯と活動状況を示す。

・経緯と活動

平成2年度—平成6年度(1990—1994) データフリーウェイの構築 第1期

3機関で分散型原子力用材料データベースのDFWの構築が予算化されて共同研究を開始し、現在のインターネットの通信プロトコルと同じTCP/IPを用いて、3機関を専用電話回線で接続してデータの相互利用が可能なプロットタイプのシステムを開発した。すなわち、3機関で得意分野の材料データベース構築し、それらを参加機関内で相互に利用可能にした。DFWの充実や維持管理のための組織が整備され、平成5年度からは、当時の計量研、船舶研、JICSTの3機関が新たに参加し、6機関でのデータ利用可能な環境を整備した。これによってネットワークの活用の有効性が材料分野でも証明され、インターネット網整備の道を開いた。DFW参加機関におけるDFW構築グループが、ネットワークの有用性を示すとともにインターネットへの

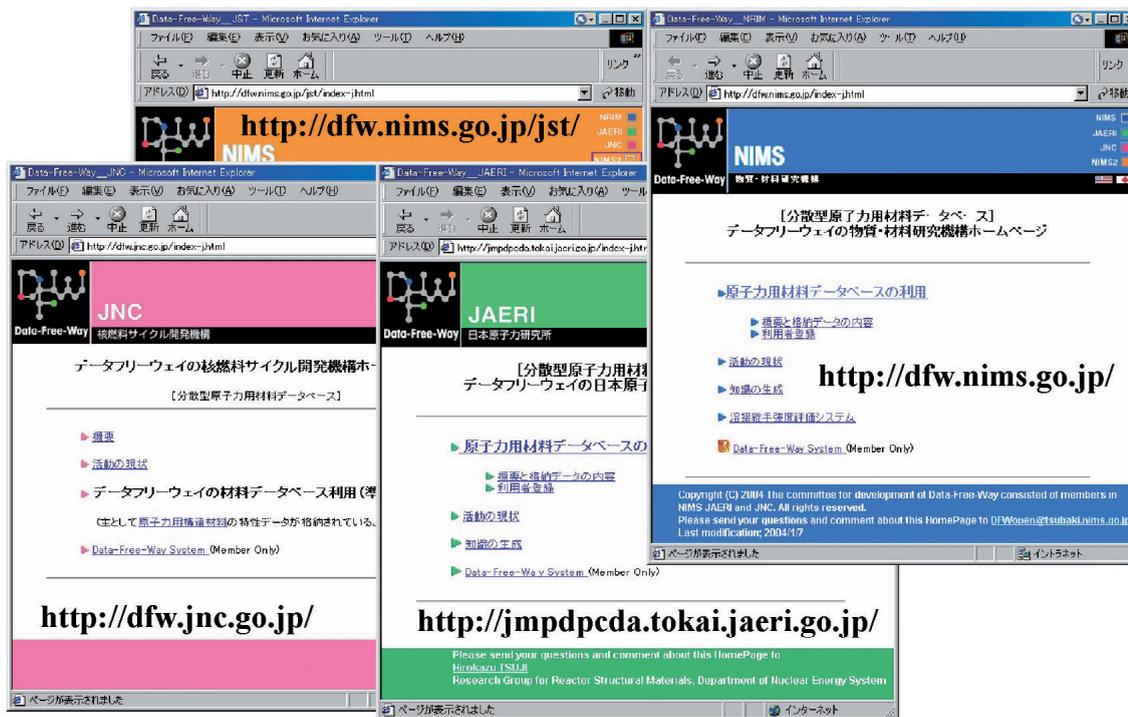


図1 物材機構、原研、サイクル機構で稼働中のDFWのWebとJSTから移管されたWeb

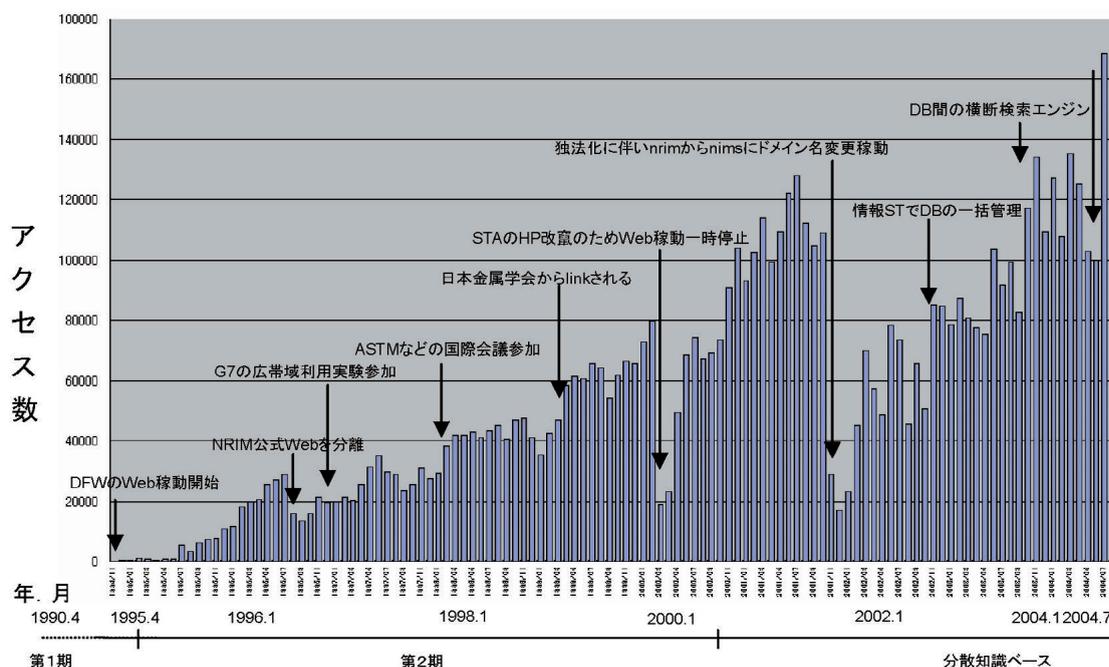


図2 DFWのNIMSサイトWebの約10年間のアクセス状況

接続について、技術的な指導的役割を果たした。

平成7年度—平成11年度（1995—1999）データフリーウェイの構築 第2期

第1期で整備した3機関の共同研究体制にJST（当時 JICST）を加えた4機関の共同研究として、データフリーウェイのシステムを充実させ、技術革新の先導となる原子力材料情報の効率的な活用を目的に研究を進めた。平成8年度には、4機関の間で、インターネットを介して材料データの相互利用が可能となった。平成11年度には、4機関でインターネットでのシステム公開のための覚書を締結し、材料データの提供方針を確立した。インターネットのコンテンツの充実に向けて、多機関によって構築したシステムやデータの公開提供方法の先駆的役割を果たした。

平成12年度—平成16年度（2000—2004）DFWの知識化

当初、物材機構と原研は予算化されたが、他の機関では内部資金を活用した維持管理が認められる状態となった。平成12年度には、

4機関でデータフリーウェイ公開の覚書を締結しDFWの公開の手続を整えたが、平成13年度には、物材機構以外の機関は、維持管理のみ予算化となり、平成14年度末には、JSTのデータフリーウェイで格納したデータが物材機構に移管した。平成15年8月に、物材機構で、DFWの公開を行い、現在利用者登録数は160人程度である。平成16年8月に原研もDFWの公開を開始した。

・格納データ

現在、3機関における基盤原子力材料研究で得られたデータ約16,000試験片分のデータと参考となるデータ約10,000レコードを格納している。さらに、データベースから検索した数値データ間の相関関係を検討するためのグラフ作成及び応用プログラムが動作可能な環境を整備した。また、数値データに付随する画像データの格納・検索が数値データと同様に取り扱える環境を整備したほか、材料の破壊現象の解明を容易にする各種の予測計算ツールの整備を行っている⁶⁾。

・利用について

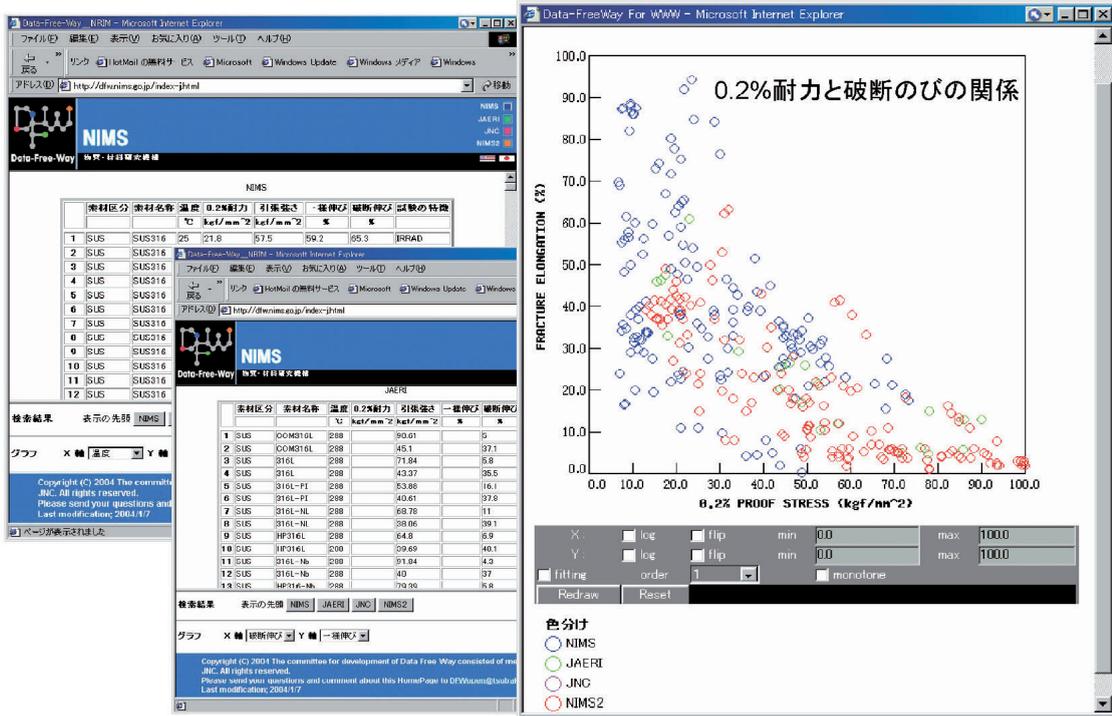


図3 DFWのデータ検索例

利用者は、3機関のいずれかで利用登録を行い、データベースにアクセスすれば、図3に示すように、3機関が格納しているデータの存在機関を意識することなく利用できる。しかも、その機関のデータベースでは得られないかもしれないデータの検索が可能である。

DFWではデータ検索に2つの方法を用意している。必要とする検索項目をあらかじめ組みにした定型検索と検索項目を選択できる汎用検索が行える画面を用意している。当面は定型画面でのデータ検索を公開している。

3 知識ベースシステムの概要

DFWからデータ検索で得られた結果を知見として示し、その知見から格納データの詳細を検索できれば、無駄な試行錯誤の検索が必要なくなる。さらにデータ検索前に、データベースに如何なるデータが格納されているかを知ることでもできる。各機関の専門家は、DFWを用いて、それぞれの分野に適した

データの検索、グラフの作成及びデータの評価・解析を行い、新たな知見が見いだされた場合には、これに知見情報等を付け加えた知見ノートを作成する。知見ノートには、後述するように単に知見のみならず、これを得るに至った専門家の探索手順も記録されている。この知見ノートをそれぞれのサイトに登録・保存し、知識ベース管理システムを通してユーザーの検索・閲覧に供する。ここでは1つの知見ノートは知識ベースを構成する1つの知識として格納される。これにより、専門外のユーザーでもその手順を追うことにより、試行錯誤することなくその分野に精通した専門家と同様の探索を行うことが可能となる。開発した知識ベースシステムとDFWがリンクしていることにより互いに補完して、材料現象解明、材料探査、新材料創製などの諸問題をより効率的に解決できるシステムである。

現在、DFWのデータ検索・表示過程において生成できる知識ベースシステムを図4に

示す。知見ノートは、知見タイトル、記入者、日付、検索内容、知見、知見記載文献などの項目についての記述と検索結果の表やグラフで構成されている。知見情報、データ検索条件、検索結果及びグラフ表示からなる知見ノートの例を図4示す。これは、3機関が所有する引張試験データを検索し、検索結果から得られる知見を加えて、作成した知見ノートをWebブラウザにより表示させたものである。このような一連の知見情報及びその根拠となるデータ等を一括して、1つの知識として内容を代表する表題をつけ、各機関で蓄積していくことになる。利用者は、表題から関連知見ノートを選択でき、また知見ノートに記載されていない項目について、データ検索をファクトデータベースに対して再度行うことが可能である。

・知見ノートのデータ加工

知見ノートはXMLで記述されているので、表やグラフの表示形式を利用者が自由に交換、そして利用者がすでに使用しているアプ

リケーションのデータフォーマットに容易に変換ができる。しかも、検索した数値に付随する単位なども容易に受け継ぐことができる。さらに、表形式で表示されている数値データを、図4の(d)画面を用いて加工した結果をグラフに表し、新たな知見ノートとして登録できる機能を備えている。このような知見ノートが、経験豊かな多数の材料の専門家によって作成され、集積されれば、材料分野の知識ベースとなりうる。この知識ベースは、XMLで記述されているので多くの研究者に利用されることにより、新たな観点からの知見の生成を可能にすることが期待できる。

・知見ノートのデータ加工による新たな知見例

データ検索結果が表やグラフで表示されても、ある性質が2つ以上の因子で影響される場合、その特性が同じ条件で測定された結果であれば、2種類の材料でどちらの材料がその特性が優れているかを比較することが出来

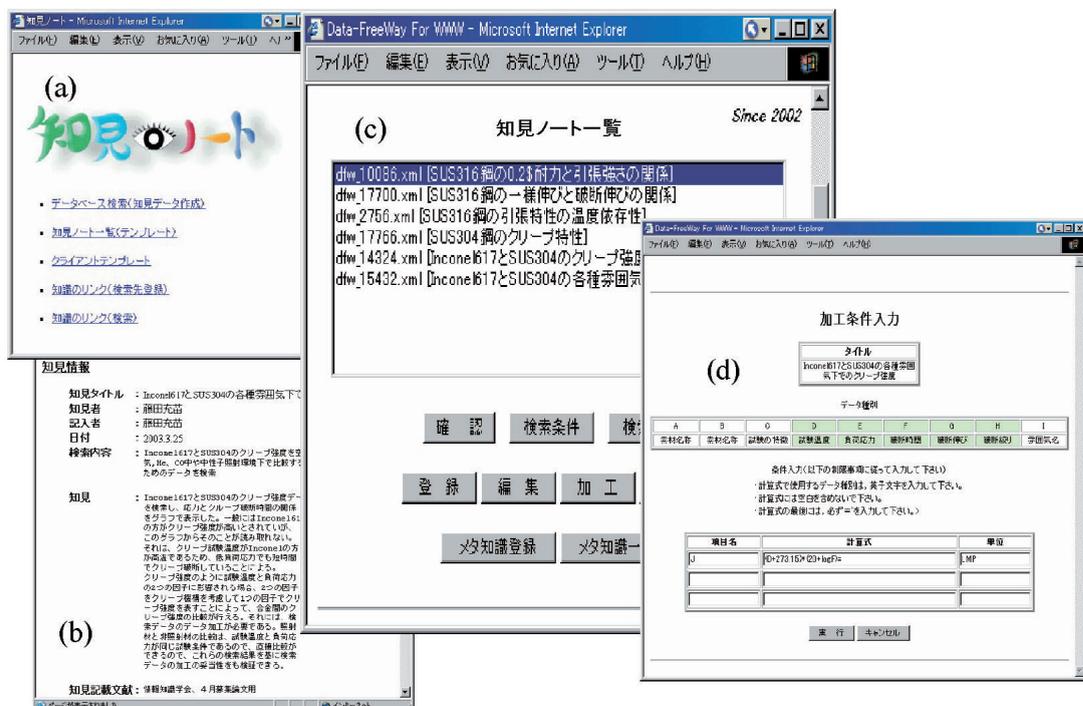


図4 知見ノート作成機能。(a) 表紙画面、(b) 作成した知見ノートの一部、(c) 知見ノートの編集・加工ボタン、(d) データ加工画面

る。検索データの加工を行い新たな知見として追加できる機能が必要になる。この知見ノート作成システムでは、この機能を備えている。その例として、高温で使用される材料の特性を評価するためのクリープ特性を取り上げて示す。材料に高温で長い時間荷重が負荷されると、しだいに材料が伸びて破断に至る。この破断に至る時間をクリープ破断時間と称し、高温で材料が使用に耐えるか否かを示す1つの特性である。この破断時間は、温

度と負荷応力、(単位面積当たりの負荷荷重)の2つの因子に影響される。負荷応力が一定なら、高温ほど破断時間が短くなり、温度が一定なら負荷応力が高い程破断時間は短くなる。一般には、クリープ破断曲線として、図5のようなX軸を破断時間とY軸を負荷応力の対数グラフで示される。クリープ破断時間が負荷応力と試験温度の2つの因子に影響されるが、クリープ破断機構を考慮した種々統合するための考え方が示されてきた。

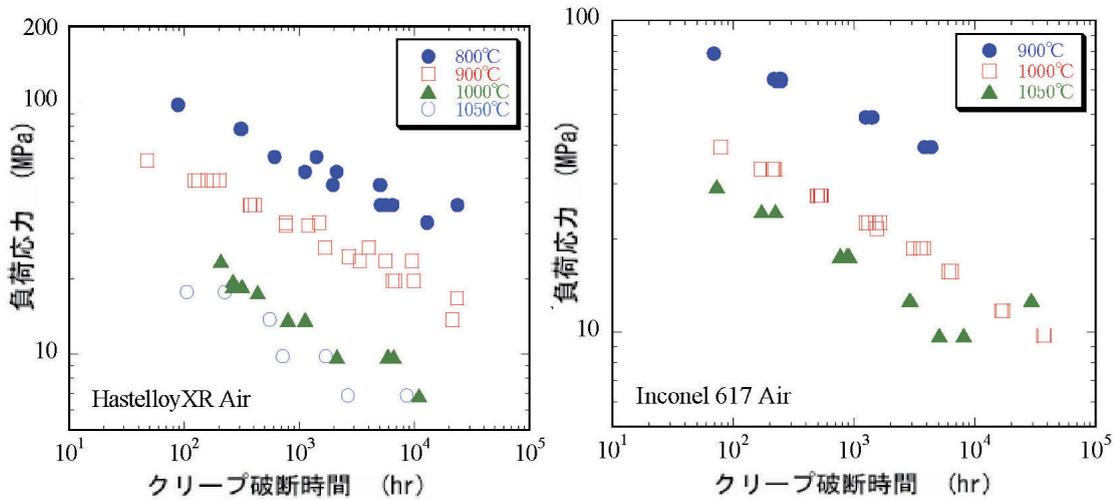


図5 HastelloyXRとInconel617のクリープ破断曲線の比較

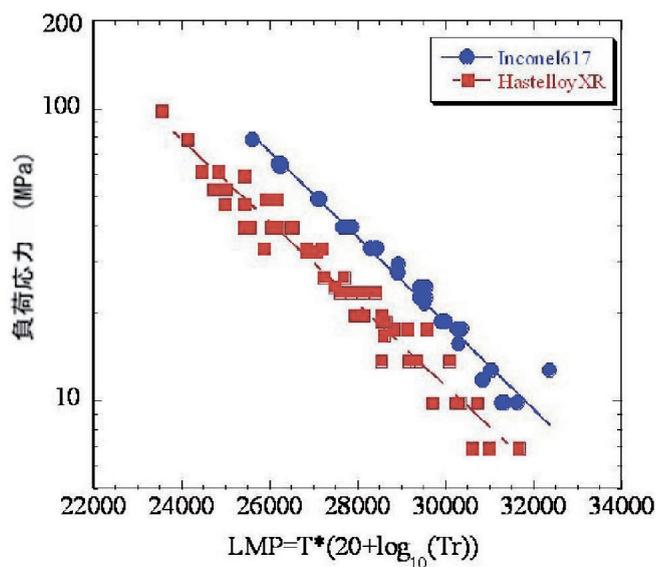


図6 HastelloyXRとInconel617のクリープ破断強度の比較
Tr: クリープ破断時間 (hr) である

ここでは、Larson-Millerのパラメータ(LMP)と負荷応力との関係を、2種類の、HastelloyXRとInconel617の材料で比較した例を示す。(LMP)は、次のような式で示される。

$$LMP = T * (C + \log \text{ 破断時間})$$

Cは、定数で、材料によって15-30の変動する数値である。ここでは、両合金とも20を使用した。

HastelloyXRとInconel617ともに800℃以上の高温で使用される材料である。両合金とも熱交換器に使用される合金である。すでに登録されているHastelloyXRとInconel617の知見ノートのデータを加工して、空気中でのクリープ強度はどちらの合金が高いかを、調べることにする。クリープ破断時間の試験温度は、Hastelloy XRは800-1050℃であり、Inconel617は900-1050℃である。試験温度域さらに負荷応力も異なるので、データ加工を行うと同じ温度域で使用した場合のクリープ破断特性を比較することが可能である。LMPと負荷応力の関係を示す図7のグラフをみれば、Inconel617は、同じ負荷応力でも高いLMPを示しているのので、HastelloyXRより破断し難いことが分る。

このように、材料特性が2つ以上の因子に影響される場合データ加工を行って、その結果をグラフで表示すると、どちらの材料がある特性に対して優れているかを容易に理解できる。このデータ加工の過程を知見ノートとして格納しておけば、使用条件に最適な材料を選択する上での支援に役立つであろう。しかも、XMLで知見ノートは記述されているので、このような知見が多数蓄積できれば、より多くの人々によって共有し、新たな知見の生成を支援することが可能になるであろう。

4 DFW参加機関の独自の活動

DFWに参加することによって培われた技

術を使って3機関はそれぞれ独自の活動も行っている。さらに各機関で公開している材料関係の情報についても紹介する。

・物材機構

物材機構では、インターネット普及を促すための活動として、G7関係のプロジェクトで拡帯域回線の利用試験を米国ミシガン州立大との間で行った。最近では、材料基盤情報ステーションの材料データベース(<http://mits.nims.go.jp/>)の一翼としての溶接用情報システム(<http://inaba.nims.go.jp/Weld>)や当機構が発行してきたデータシートのデータベース(<http://tsuge.nims.go.jp/>)を構築提供してきた。ここでは、材料用核反応データベースと材料核反応シミュレータについて紹介する。

材料に中性子が照射されると核反応が生じ、材料の化学組成が変化し、放射化する。図7に、提供している材料用核反応データベースと化学組成変化と誘導放射能シミュレータの画面を示す。核反応データベースでは、材料を構成している元素のそれぞれの核種に中性子が照射した際にいかなる反応が生じ、その反応が熱中性子と高速中性子でどちらの中性子エネルギーで生じ安いかが定性的ではあるが示すことができる。また、化学組成変化シミュレータでは、中性子照射を受けた材料中の元素が核反応によって、いかなる化学組成の材料に変化するかを知る。誘導放射能シミュレータでは、中性子照射を受ける材料にどの程度の放射化が起こり、その誘導放射能が減衰する時間などが図として提供される。2種類の予測は、いずれも中性子照射のエネルギーと量に化学組成変化は依存するので、核反応炉と照射時間をプルダウンメニューから選択することによって対象の材料の化学組成変化や誘導放射能挙動の計算結果が提供される。計算時間が長く掛かる場合には、計算が終了するとメールで知らせる機能

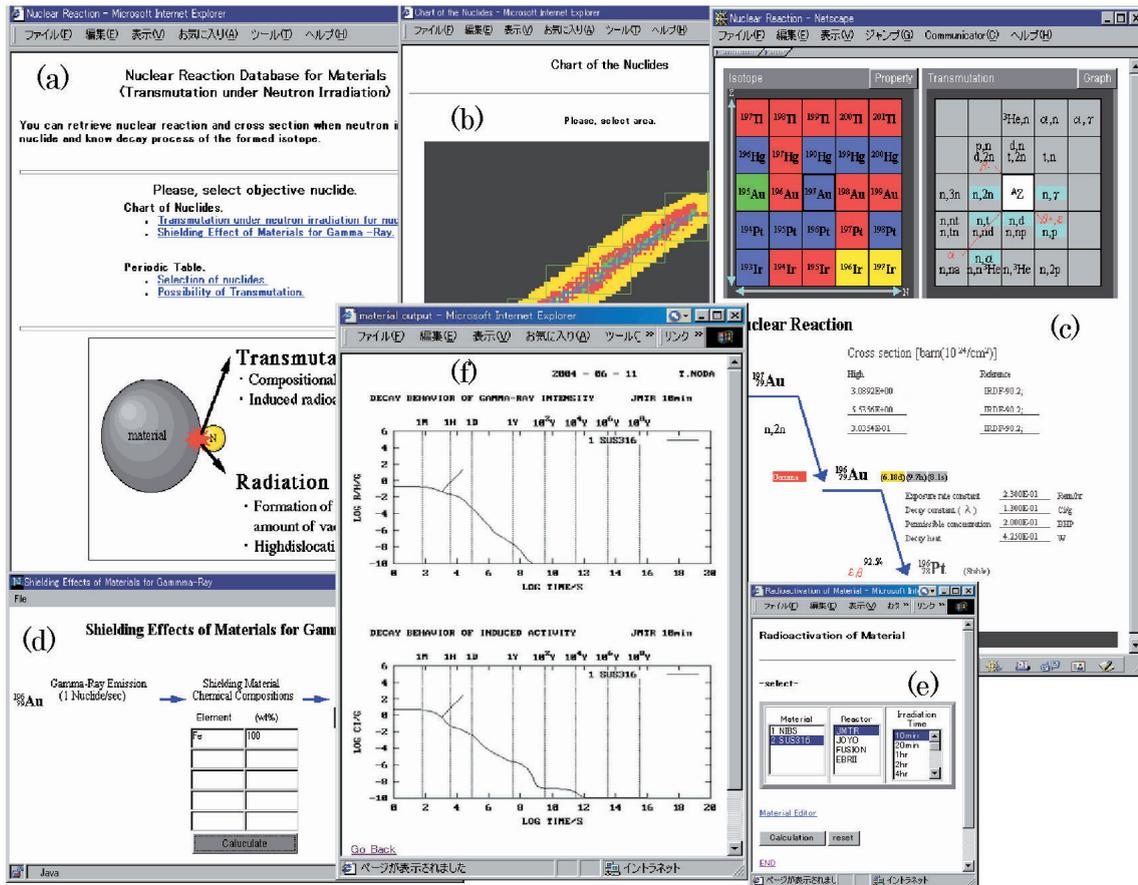


図7 材料用核反応データベースと誘導放射能シミュレータのユーザーインターフェイス
 (a) 表紙画面、(b) 核図表で対象核種の選択、(c) 197Auの中性子照射のn,2n核反応
 (d) 材料の遮蔽効果、(e) 誘導放射能計算条件設定画面、(f) SUS316の誘導放射能計算結果

を備えている。計算結果は、化学変化は表で、誘導放射挙動は図で表示する。これらのシミュレータは材料選択を行う上で参考になるであろう。

・原研

原研では、原子力プラントへの実用的応用を目指して、構造材料の基本的な研究を実施してきた。構造材料の信頼性、安全性の評価のために、これまでの研究活動を通じて、疲労き裂進展、クリープ、引張、低サイクル疲労、低ひずみ速度試験 (SSRT) 等の種々のデータを蓄積してきた。このような材料特性データを有効に利用するために、原子力総合材料データベース (JMPD) を開発し、格納データの拡充、システムの改良等を行ってき

た。

JMPDのデータ構造は3階層で構成されている。第1階層は、試験情報、素材関連、試験片情報、試験・解析方法、試験条件、試験結果の6項目に分類している。第2階層は、25テーブルからなり、第3階層としては420以上のデータ項目を準備している。ユーザーは、参考文献、材料、試験タイプ、試験条件等などのスクリーンからもデータ検索を開始することができる。この新しいインターフェースを使用することにより、ユーザーは検索結果をファイルとしてセーブし、汎用グラフソフトにより、容易に種々のグラフ作成ができる。JMPDにはデータ評価のために11600以上の試験片のデータが格納されてい

る。

2000年にIASCC技術開発に関する国家プロジェクトが開始された。原研では、材料試験炉（JMPD）における中性子照射と照射後試験を含む沸騰水型炉（BWR）に関する試験を担当している。この目的は、IASCCに対する維持基準整備に貢献するためのIASCCデータベースに必要なIASCC発生・進展データを評価することである。

JMPDのうちIASCCデータベースに関する部分では、約300の我々の研究による照射後SSRTデータと20の公開論文データが入力されている。IASCCデータは、照射温度333～573Kでの304及び316ステンレス鋼データで構成されている。高速中性子照射量は、 $1 \times 10^{22} \text{ n/m}^2 \sim 8 \times 10^{26} \text{ n/m}^2 (E > 1 \text{ MeV})$ の範囲である。材料のIASCC感受性は、約573Kでの1 ppb～32ppmの溶存酸素を含む高温水中でSSRTにより調べられてきた。

JMTRでは、1999年にIASCC研究の照射及び照射下試験にフォーカスした新しい水

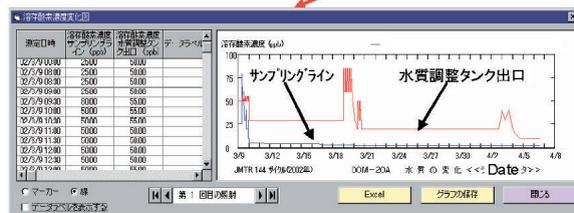
ループシステムの設計活動を開始した。ループ施設は、BWR条件下での材料照射に対して設計している。最大運転パラメータは、温度：593K、圧力：10MPa、流速： $1 \text{ m}^3/\text{h}$ である。照射キャプセルの入口水の温度は、キャプセル内の温度を561Kに保つように制御できる。BWRの通常の水質条件（NWC）及び水素添加条件（HWC）を模擬するために、溶存酸素濃度（DO）及び溶存水素濃度（DH）をそれぞれ200ppb及び1 ppmまでのレベルで制御できる。したがって、JMTRにおける照射条件やIASCCの実験データを格納するためにJMPDにデータ項目及び機能の追加を行った。図8は、JMPDに格納されているJMTRにおける水化学（水質変化情報）のデータの例である。試験片の照射条件を含む照射キャプセルのデータもJMPDに格納されている。

JMPDに格納されたIASCCデータを用いたデータ解析の例を図9に示す。これは、IASCC感受性のデータを高速中性子照射量

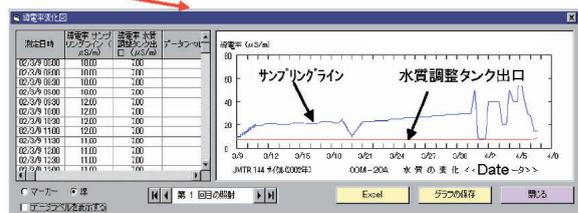
ステンレス鋼の応力緩和特性

試験片名	素材名称	照射形態	試験名称	形状タイプ	キャプセル名	公称中性子照射量 (1 MeV) (n/m ²)
A1	SUS304	non-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A12	SUS304	non-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A10	SUS304	non-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A2	SUS304	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A3	SUS304	non-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A4	SUS304	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A5	SUS304	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A6	SUS304	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A7	SUS304	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0
A8	SUS304	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0
B1	SUS16L	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0
B12	SUS16L	non-irrad	応力緩和試験	---	---	0
B10	SUS16L	non-irrad	応力緩和試験	---	---	0
B2	SUS16L	non-irrad	応力緩和試験	---	---	0
B3	SUS16L	non-irrad	応力緩和試験	---	---	0
B4	SUS16L	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0
B5	SUS16L	post-irrad	応力緩和試験	---	---	0

水化学情報の履歴



第1サイクルにおける溶存酸素濃度の履歴



第1サイクルにおける導電率の履歴

図8 JMTRにおける照射情報（水質変化履歴）の表示例

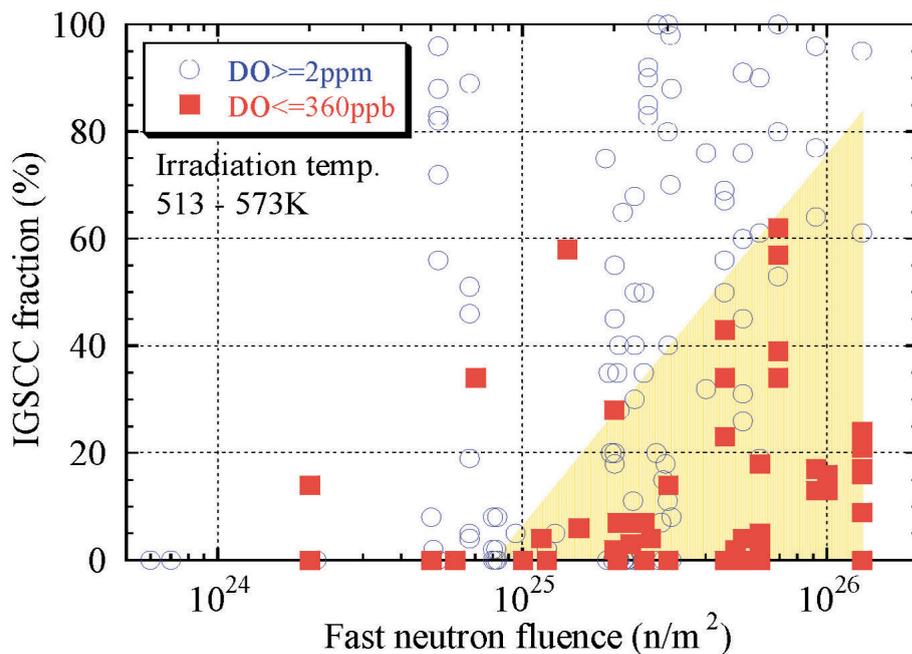


図9 IASCC感受性における溶存酸素の影響 (JMPDを用いたデータ解析の例)

($E > 1 \text{ MeV}$) に対してプロットしたものである。IGSCC Fraction (%) は、SSRTを実施した試験片の破面中に占める粒界割れ (IG) の面積比で表されるパラメータで、IASCC感受性を評価するための重要なパラメータである。IASCC感受性データは、中性子照射量に対して大きくばらついている。高温水中におけるDO濃度はSCC現象に対して重要因子であるので、全てのデータをDO濃度のレベルによって2つのグループに分類する。この結果から、DO濃度が低い環境でのIASCC感受性が小さい傾向が見られた。

今後の課題としては、照射材及び非照射材の信頼性の高いSCCデータを取得し、JMPDに格納していくことである。

・サイクル機構

サイクル機構では、DFWに登録している主なデータとして、「エンジニアリングセラミックスの高温液体ナトリウム中共存性試験データ」および「304ステンレス鋼の照射後引張試験データ」がある。サイクル機構では現在試験的公開の準備中であるが、これらの

データは先行してシステムの公開を開始した物材機構または原研のDFWサイトにて利用者登録することで参照することができる。

図11は、「エンジニアリングセラミックスの高温液体ナトリウム中共存性試験データ」は、高速炉の高性能化を図るための新材料として期待されているエンジニアリングセラミックスの高温ナトリウム環境下での共存性評価を目的に取得したものである。データは約450件登録しており、550℃および650℃の試験温度で最高4000時間まで浸漬して得られた重量変化データおよび試験片観察画像データからなる。これらのデータは、基本検索システムを拡張した画像検索機能を用いることで、重量変化データなどの試験結果データと併せてそれらの関連する画像データを同時に検索できるようになっている。さらに、簡易グラフ機能 (Java) についても画像データリンク機能を開発し、画像データを有するデータについては作図したグラフ上のデータ点から画像データへのリンク (二重丸) が表示される仕組みになっており、グラフ上で示され

る数値データの傾向とともに観察画像データ等の参照ができるようになっている。

「304ステンレス鋼の照射後引張試験データ」は、現在使用されている高速炉用構造材料の健全性評価および実証炉以降の高速炉設計に必要な構造材料の照射データを拡充する目的で取得したものであり、主に高速実験炉「常陽」にて中性子照射した304ステンレス鋼の引張試験結果データを約200件登録している。サイクル機構では、このような高速炉構造材料に関する材料データベースとして、高速炉の設計等に係る材料強度基準の策定を目的に開発したFBR構造材料データ処理システム (SMAT) がある。同データベースには上記の目的で取得した高速炉構造材料に関する文献情報や各種試験データが多数収録されており、一般工業、産業の分野での利用も期待されている。

このほか現在サイクル機構で公開中のデータベースには、情報公開の促進を目的とした「成果情報データベース

(<http://jserv-internet.jnc.go.jp/>)」があり、本データベースではこれまでの研究開発結果をまとめた技術資料や既発表論文等の成果情報について検索・閲覧でき、さらに公開資料についてはダウンロード (PDF) も可能となっている。

5 おわりに

これまで物材機構、原研、サイクル機構の3機関が分散型材料データベースのDFWシステムの開発を共同して進めてきた。このDFWを材料探査・設計や材料現象の解明及び新材料創製をより効率的な支援システムとすること、利用対象者を材料研究者から理工学技術者まで幅広い層に拡大することを目的として、ファクトデータベースから抽出した原子力用材料知識をそれぞれの機関の知識ベースに格納し、インターネットを介して相互利用可能な分散型知識ベースシステムを共同で開発した。一般的なファクトデータベースの検索では、格納されたデータが表やグラ

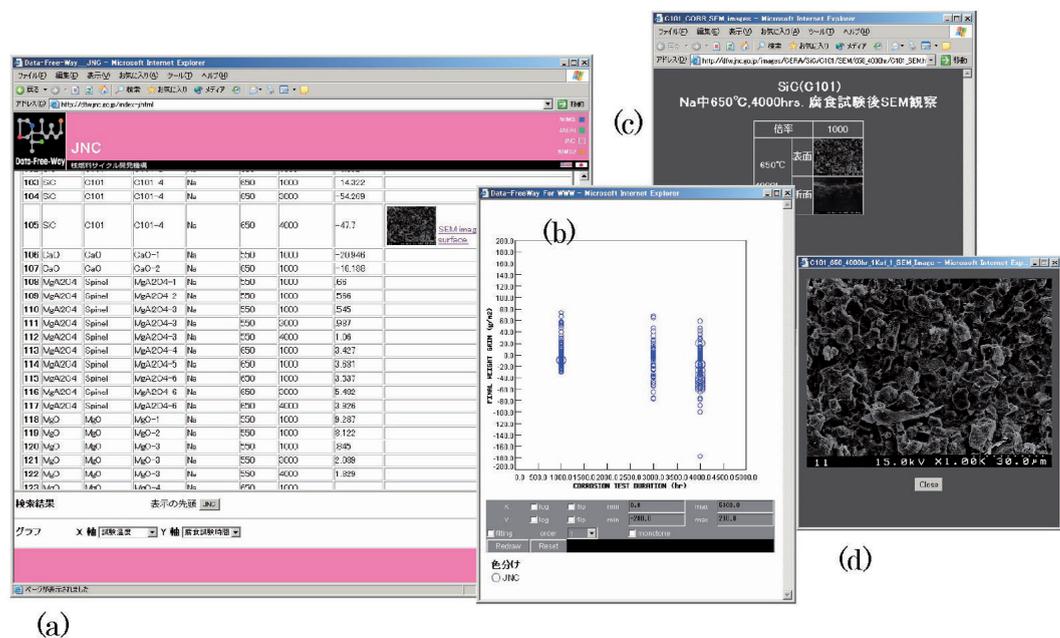


図10 セラミックスの高温ナトリウム共存性試験データの検索例
(a) 液体ナトリウム浸漬データ、(b) グラフ表示、(c) 画像のサムネール、
(d) 表面のマイクロ状態の画像

フとして検索結果が表示されるにすぎない。この知識ベースシステムは、検索結果を専門家が知見ノートとして集積し、ファクトデータベースを検索する前に知見ノートを参照することによって、データ検索を容易にかつ詳細な検索を可能にした。XMLで記述した知見ノートは、将来、知識ベースの1つの知識を構成し、しかも世界規模での共有が可能となると考えられる。

今後は、各機関が知識ベースに格納する知見ノートの量を充実させ、さらに知識や知見の源となるファクトデータベースのデータの整備・充実を進めて行く予定である。

参考文献

- 1) Tsuji, Hirokazu; Yokoyama, Norio; Fujita, Mitsutane; Kano, Shigeki; Tachi, Yosiaki; Shimura, Kazuki; Nakajima, Ritsuko; and Iwata, Shuuich: "Distributed Database System for Mutual Usage of Material Information (Data-Free-Way)", Materials for Advanced Power Engineering 1998, Part III, pp.1739-1745, Liege, (Belgium), (1998).
- 2) Tsuji, Hirokazu; Yokoyama, Norio; Fujita, Mitsutane; Kano, Shigeki; Tachi, Yosiaki; Shimura, Kazuki; Nakajima, Ritsuko; and Iwata, Shuuich: "Distributed Database System for Advanced Nuclear Mutual Materials, (Data-Free-Way)", Proc. 9th Inter. Conf. On Modern Materials & Technologies, pp.417-424, Florence, (Italy), (1999).
- 3) Tsuji, Hirokazu; Yokoyama, Norio; Fujita, Mitsutane; Kano, Shigeki; Tachi, Yosiaki; Shimura, Kazuki; Nakajima, Ritsuko; and Iwata, Shuuich: "Present Status of Data-Free-Way, (Distributed Database System for Advanced Nuclear Materials)", Journal of Nuclear Materials, 271&272, pp.486-490, (1999).
- 4) Fujita, Mitsutane; Kinugawa, Jhunich; Tsuji, Hirokazu; Kaji, Yoshiyuki; Tachi, Yoshiaki; Saito, Junich; Shimura, Kazuki; Nakajima, Ritsuko and S. Iwata: "Application of the Distributed Database, (Data-Free-Way) on the Analysis of Mechanical Properties in Neutron Irradiated 316 Stainless Steel", Fusion Engineering and Design, 51-52, pp.769-774, (2000).
- 5) 藤田充苗; 栗原豊; 舘義昭; 加納茂機; 新藤雅美; 横山憲夫; 志村和樹; 岩田修一: 「データフリーウェイ--分散型材料特性データベース--」、第32回情報科学技術研究集会発表論文集; p.87-92、(1995).
- 6) 舘義昭; 加納茂機; 藤田充苗; 辻宏和; 横山憲夫; 志村和樹; 岩田修一: 「データフリーウェイにおける画像データ利用」、第35回情報科学技術研究集会予稿集、p.97-100、(1998).
- 7) 加治芳行; 吉田健司; 益子真一; 藤田充苗; 志村和樹; 衣川純一; 辻宏和; 宮川俊一; 岩田修一: 「データフリーウェイからの知識の生成 ファクトデータベースから獲得される知見の表現方法」、第38回情報科学技術研究集会予稿集、pp.43-47、(2001).