

## 解説



## 学術情報データベースの構成と利用

 高速増殖炉開発データベース†  
 原子力分野のデータベース

佐藤 一雄†† 佐々木 修 一†††

## 1. はじめに

1.1 我が国の原子力開発の経緯<sup>1)</sup>

我が国の原子力開発は、昭和 31 年に原子力基本法が制定され、原子力委員会が発足したことにより本格的に開始された。研究開発機関として「日本原子力研究所」「原子燃料公社（現在の動力炉・核燃料開発事業団）」「放射線医学総合研究所」などが設置され、また産業界においても「日本原子力産業会議」の設立、原子力関係産業 5 グループの結成、「日本原子力発電(株)」の設立など、体制の整備が進められた。

日米原子力協定により、「日本原子力研究所」は「動力試験炉 (JPDR)」(電気出力 1.25 万 kW) を導入し、昭和 38 年 10 月 26 日に送電を開始した。この日を記念して「原子力の日」としている。

電気事業者も、原子力発電所の建設計画を進め現在(平成 3 年 4 月)運転中 42 基、合計電気出力 3,349.4 万 kW に達しており、我が国の総発電電力量の 26% 以上を供給するまでになっている。

原子力は、原子力発電をはじめとして、医療、工業、農業など多くの分野で利用され、大きな役割をもって発展してきており、国民生活や産業活動に欠くことのできないものとなっている。ここでは原子力発電、特に新型炉の開発に係るデータベースシステムに絞って概観することにする。

## 1.2 新型動力炉開発の必要性

現在実用化されている原子力発電所は、軽水炉 (LWR) である加圧水型炉 (PWR)、沸騰水型炉

(BWR) を用いている。これらの炉の燃料は天然に存在するウランのうち 0.7% しか存在しない <sup>235</sup>U を濃縮して利用している。したがって、軽水炉のみでは原子力は人類にとって永く安定したエネルギー源となりえない。しかし、残りの 99.3% の <sup>238</sup>U は原子炉の中で中性子を吸収するとプルトニウムに変わり、<sup>235</sup>U と同様の核燃料となる(図-1)。

現在の軽水炉でも <sup>238</sup>U から Pu が生成されるが、以下の式で示す転換比 R は約 0.6 程度である。

$$R = \frac{\text{生産される新しい燃料の数}}{\text{消費される燃料の数}}$$

新型炉の一つである新型転換炉 (ATR) は軽水炉の技術を利用しつつ、転換比を高めるとともに、プルトニウムやウランを燃料とすることができ原子炉である。また高速増殖炉 (FBR) は、核分裂で放出された高速中性子をそのまま次の核分裂に使うことにより、転換比が 1.0 以上(増殖比という)となり、運転すると消費した燃料以上の新しい燃料が生産されるもので、「夢の原子炉」とも呼ばれている。

原子力委員会も、昭和 31 年の「原子力開発利用基本計画策定要領」においてすでに核燃料資源の有効利用の面から増殖炉の開発を示唆していた。

昭和 38 年には新型動力炉を自主開発することとし、昭和 41 年には、高速増殖炉、新型転換炉を国のプロジェクトとして計画的・総合的に開発することとなり、「原子力燃料公社」を改組し、「動力炉・核燃料開発事業団(以下動燃事業団)」が設置された。

動燃事業団では高速実験炉「常陽」を茨城県の大洗工学センターに建設し、昭和 52 年 4 月に臨界させ増殖炉としての運転・試験後、照射試験などを実施している。また原型炉「もんじゅ」(電

† The Database System on Development of Liquid Metal Fast Breeder Reactor by Kazuo SATO (Computer Technology System Office, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) and Syuichi SASAKI (Technology Management Section).

†† 動力炉・核燃料開発事業団技術協力部情報システム室

††† 動力炉・核燃料開発事業団技術開発部技術管理室

気出力約 28 万 kW) を新型転換炉原型炉「ふげん」(電気出力 16.5 万 kW, 運転開始昭和 54 年 3 月) と同じ敦賀市に建設し, 現在臨界前の総合機能試験を進めている。

### 1.3 情報の面からみた特徴

原子力開発は, 最新の技術とともに広範囲にわたる従来技術の集約が必要であり, 「巨大科学」とも言われている。

現在実用化されている軽水炉を含めて, 原子力プラントの開発・改良すべき重要な項目として, 次の 4 項目が考えられる。

- 核設計
- 燃料
- 構造材料
- 安全性

それぞれの項目ごとに研究開発が進められ, 多くのデータを収集し, より安全で経済的なプラントを設計, 建設して安定したエネルギーを供給する努力が続けられている。

特に, 新型炉の開発については, 新たな技術と多くの資金が必要であり, 国際的な技術情報の交換, 技術者の交流などの協力が進められている。

技術データベースについても研究開発の進展とともに種々のものが整備されてきている。また並行して計算機システムも整備され, 動燃事業団では大洗工学センターに「情報センター」を設け, スーパーコンピュータ (VP 2600) と 2 台の大型汎用計算機を設置し, 動燃事業団内の各事業所から利用することが可能 (図-2) であり, さらに大洗工学センター内にはローカルエリアネットワーク (LAN) を敷設してデータ, 技術情報の入出力などを行っている。以下に新型炉という範疇の中で特に国産技術の粋を集めて作られた高速増殖炉

について研究開発から設計, さらに製作に到るまでの過程の中で情報がどのように整理され, またどのように利用されてきたか, 事例をあげて説明する。

具体的には, 特に原子力プラントにとって開発改良すべき上記 4 項目のうち, 大洗工学センターを中心として研究開発が実施され, データベースの整備が進められてきたシステムの中から燃料, 構造材料, 安全性に関するものを取り上げる。

燃料については, 高速増殖炉の燃料材料を開発改良するために, 燃料材料データベースとして用いている。構造材料データベースは, 各種構造材料試験の結果を一元的にまとめている。また安全性に関するものとしては, 信頼性データベースとして国際協力のもとでデータの充実を図っている。

## 2. 燃料材料データベース<sup>2), 3)</sup>

### 2.1 開発の背景

高速増殖炉は, 中性子エネルギーを吸収せず, 効率良く熱を取り出すために, 冷却材として液体金属ナトリウムを使用し, また燃料も混合酸化物燃料 ( $UO_2-PuO_2$ ) を使用するなど軽水炉とは異なった特徴をもっている。また燃料要素は,

- 多量の高速中性子の照射を受けること。
- 高温 ( $\sim 650^\circ C$ ) で使用されること。
- 軽水炉をはるかに上まわる核分裂密度, 高燃焼度という条件で使用されること。

などの特徴をもっている。

我が国で高速増殖炉の開発が開始された約 20 年前は, 海外の炉などを利用して試験データを得ていた。しかし, 高速実験炉「常陽」及び照射後試験施設が建設され, 照射試験データの質・

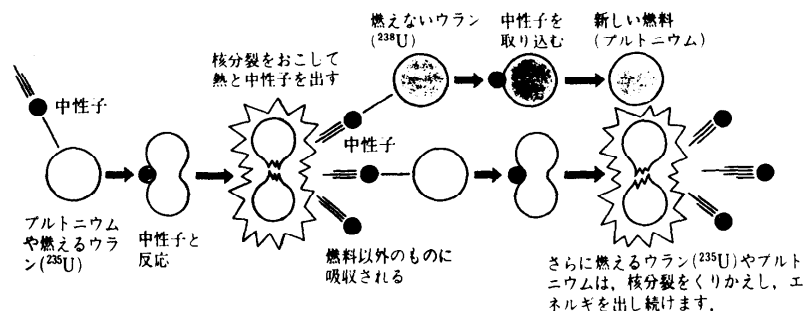


図-1 核分裂反応の概要

量は格段に向上した。

照射試験データには以下のような特徴がある。

- 製造された燃料が照射され、照射後試験に供せられて結果が得られるまでの期間平均5年程度と長時間を要し、また得られたデータを基に改良を加えていくなど、研究開発を進めていくためにデータを利用する期間が長いこと。

- 発生するデータは製造からはじまって、照射、照射後試験までの広範囲にわたり、かつデータ量が多いこと。

このような長期間を要し、多量のデータを収集しつつ研究開発を進めるにはコンピュータを用いて一元的に管理する必要がある。

そこで、動燃事業団では、「常陽」データバンク

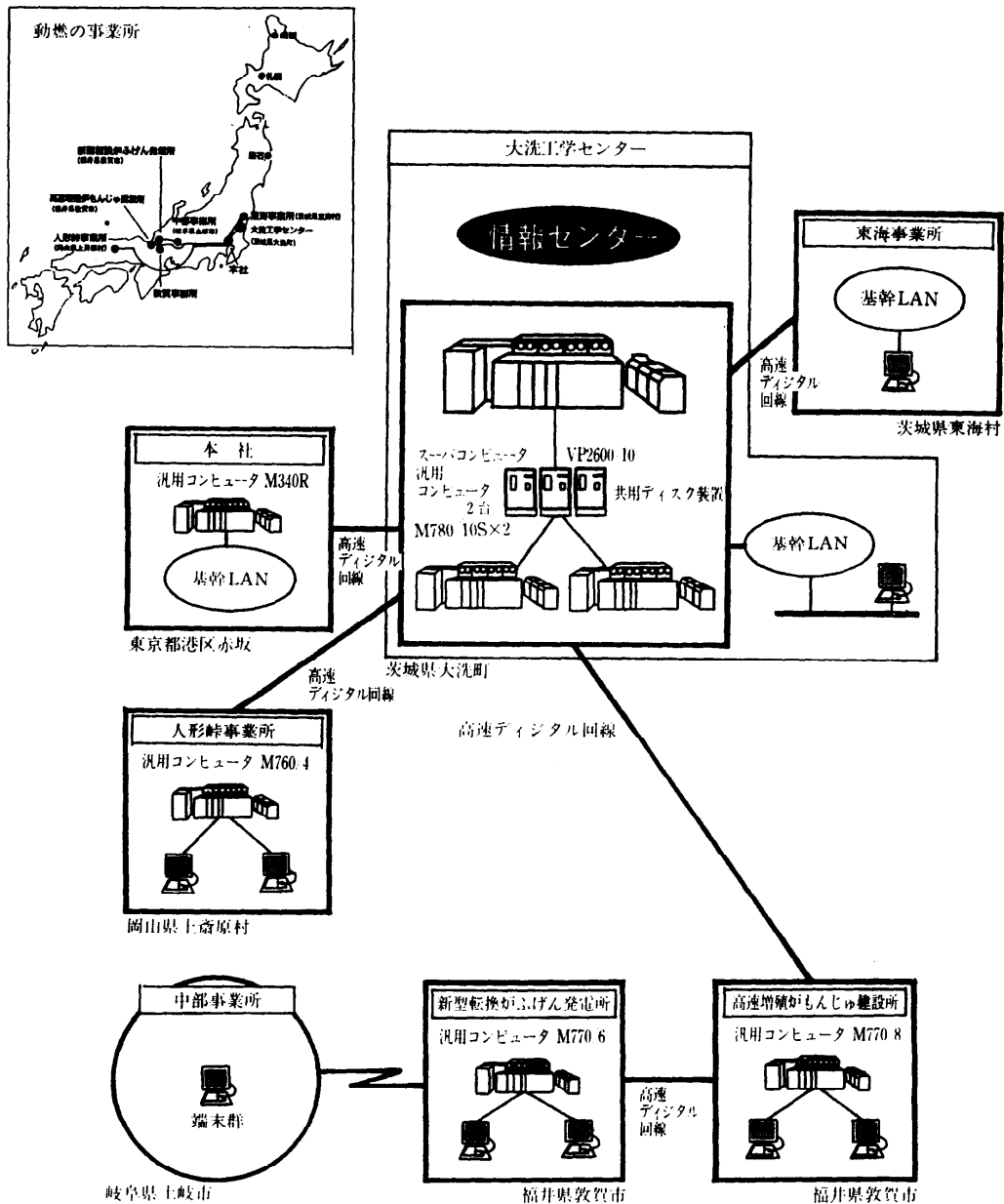


図-2 事業団内ネットワーク図

ングシステム（以下「常陽」DBS）を開発し、「常陽」増殖炉心（以下「MK-I 炉心」という）及び「常陽」照射炉心（以下「MK-II 炉心」という）で使用する炉心燃料集合体、特殊燃料集合体を初めとする炉心構成要素に関し、照射前、照射中及び照射後の試験、検査データをデータベース化し、燃料設計の改良、製造工程の改良、品質保証

計画の評価、炉心設計の評価、各種資料の作成など、多種多様な用途に対し必要なデータを提供することとした（図-3）。

2.2 システムの概要

「常陽」DBS は「常陽」の照射計画によって、MK-I 炉心用と MK-II 炉心用に分けられる。この二つはさらに扱うデータの内容により、照射

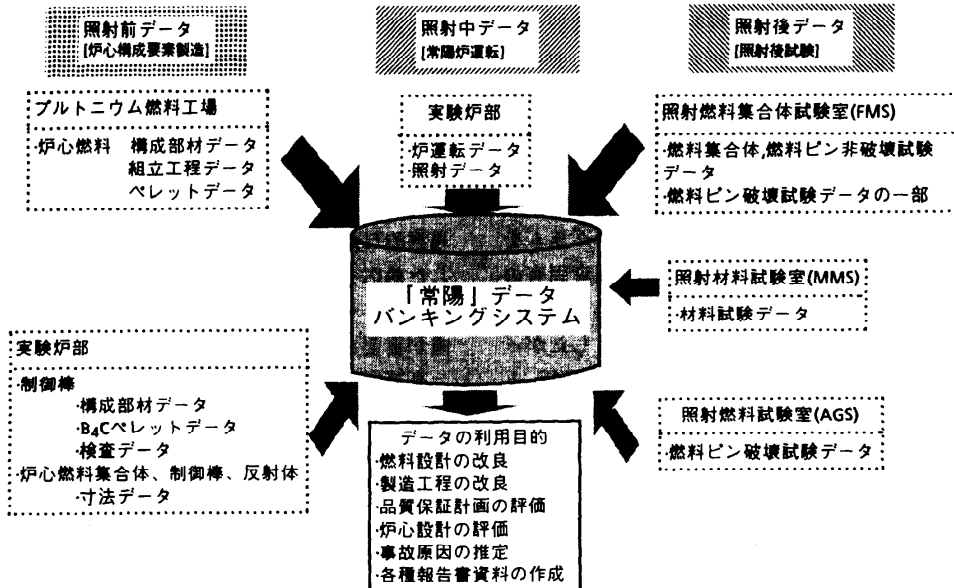


図-3 「常陽」データバンキングシステム概要

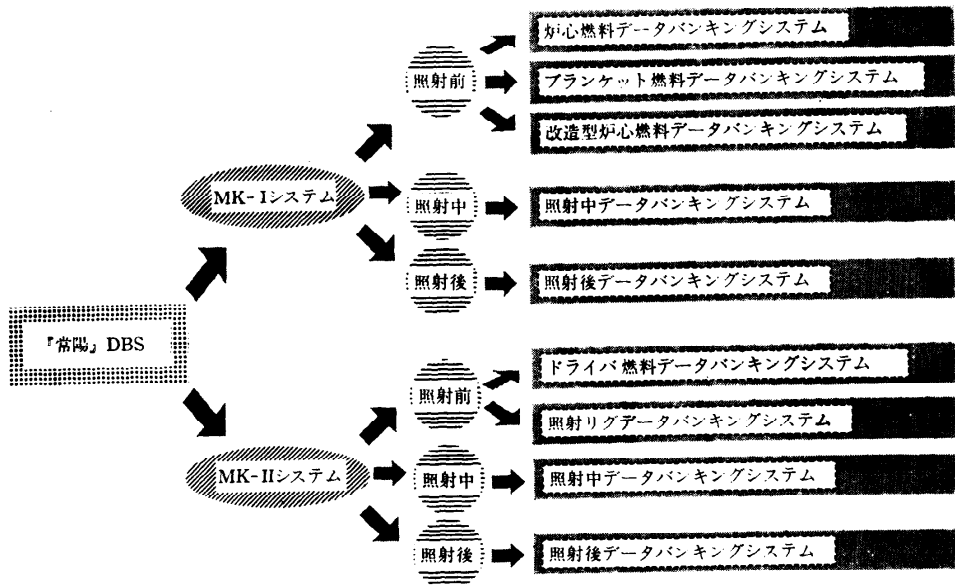


図-4 「常陽」データバンキングシステム体系

前、照射中、照射後サブシステムにより構成される(図-4)。

### 2.3 改良・利用の状況

「常陽」DBSのデータは、解析評価、コード開発、設計研究、基準作成などに常時利用される。したがって取得データの有効利用と業務の円滑な推進のために、管理、検索、加工を行う「燃料材料データ評価システム」を開発した(図-5)。

本システムはデータ管理機能とデータ解析ツールからなる汎用計算機用のプログラムで、データベースシステムとしてみた場合、関係型データベースマネジメントシステム(DBMS)に属する。しかし、汎用のDBMSに比べ、データ処理の多様化(不定型処理)に対応しやすい構造、たとえば、利用者が必要に応じた解析処理プログラムを任意に作成し、登録することで、利用者固有のデータ処理が可能となるなど、データ処理面での改良自由度が高い特徴を有している。したがって、開発要素の高い試験データを扱うDBMSとして有効なものとなっている。

照射試験の多様化により、定型処理中心の「常陽」DBSでは対応しきれなくなっており、漸次「常陽」DBSのデータを上述の「燃料材料データ評価システム」(燃料データベース)に移設中

ある。

燃料データベースについては、図形作成、数値解析などの処理の効率化のためエンジニアリングワークステーションへ移設し、利用者の扱いやすいシステム化を図っている。

## 3. 構造材料データベース<sup>2),4)</sup>

### 3.1 開発の背景

高速増殖炉は、使用圧力が高压である軽水炉と比較して、冷却材の液体ナトリウムを常圧で使用するため、構造材料に作用する内圧負荷は小さい。

しかし、ナトリウムは構造材料への熱伝達が非常に良いため、ナトリウムの温度変化にともなう過渡的な熱応力が生じやすい。したがって、こうした熱応力が断続的に繰り返されるため、構造材料のクリープ\* 疲労破損を防止するような設計配慮が重要となってくる。

高速増殖炉における構造材料は、これまでのところ SUS 304, 2・1/4 Cr-1 MO などの比較的限定されたものが使用されているが、強度評価に際しては種々の高温材料特性を総合的に把握する必要がある。

構造材料試験は、高温強度評価の基本特性を得

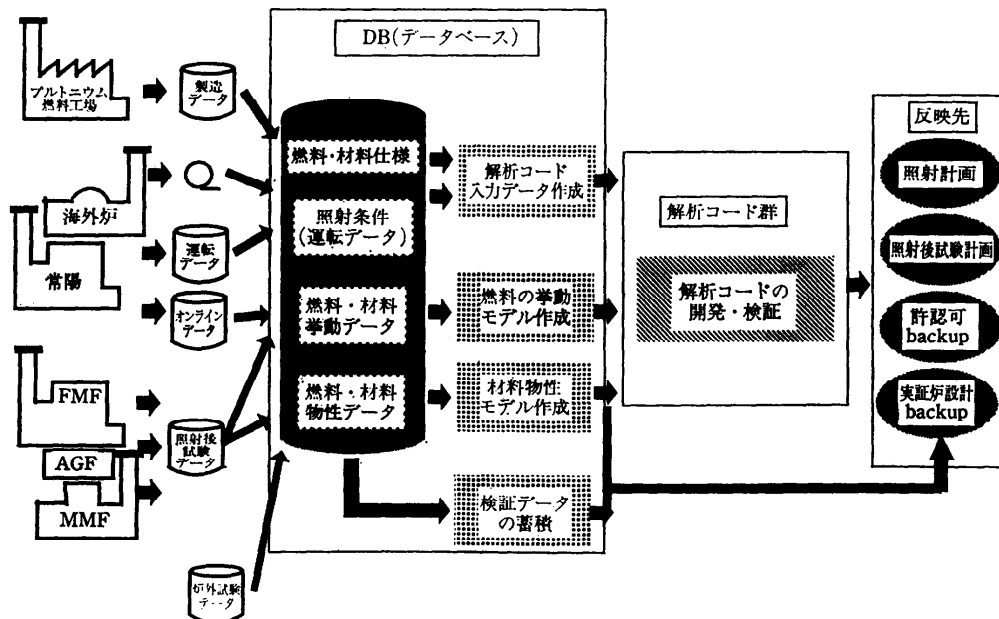


図-5 燃料材料データ評価システムの概略図

\* クリープ: 応力が加わった状態で構造材料の塑性変形が時間とともに増加する現象

るための大気中試験とナトリウム中や中性子照射などの環境効果試験とに大きく分けられる。これらの試験から得られる多量のデータを、正確かつ迅速に入出力処理するために、構造材料データ処理システム (SMAT システム : Structural Materials Data Processing System) を開発した。

### 3.2 システムの概要

SMAT システムはいくつかの段階 (フェーズ I ~ IV) を経て現在に至っている。

当初は単純なファイル管理と定型的なデータ検索・処理ができるだけのものではあったが、現在は大型汎用計算機と小型計算機を組み合わせ、基本材料特性データファイルに対する解析プログラムの整備をはじめとし、データベースシステムとしての整備を進め、活用している (図-6)。

大型計算機と小型計算機の役割分担は、

- 大型計算機は、汎用データベースとしてデータを管理し、解析についても広く関係者の合意が得られた方法でコード化し、信頼できるシステムを構成するのに適用している。

- 小型計算機は、材料試験機より得られるデータをリアルタイムで集録する場合の中核となるとともに、データファイルの内容を比較的短時間に随意に変更し、解析方法を含め小廻りを必要とするときに適用しており、データ処理の流れの中でも活用される。

### 3.3 改良・利用の状況

SMAT システムは改良の段階として、現在フェーズIVを終了した段階にある。この段階で特に重点をおいて開発をすすめたのがデータベース構造の関係型データベース (RDB) への変更ならびにデータ入力支援、データ検索支援及びデータ加工・出力支援の各利用者サブシステム機能の強化である (図-7)。

これらの各サブシステムの概要を以下に示す。

#### (1) データ入力支援機能

データ入力支援機能の充実における基本的な考え方は以下のとおりである。

- ①データ提供者あるいは入力担当者の労力軽減
- ②入力用装置の多様化
- ③入力データのチェック機能の強化

フェーズIVでは、標準の入力媒体として普及率が高く画面上の編集機能が充実しているパソコンを活用しており、画面の指示に沿って入力するだけでよくなっている。また高速増殖炉の構造材料の特徴として、非弾性の応力-ひずみ-時間挙動 (塑性、クリープ) に関するデータの入力についてはオンライン計測データの大量一括入力処理を整備した。さらにデータの種々の入手経路と形式を考慮して、自由フォーマット形式により磁気テープあるいはディスクからの直接入力、記録紙/図面などからのディジタイザによる読み込み

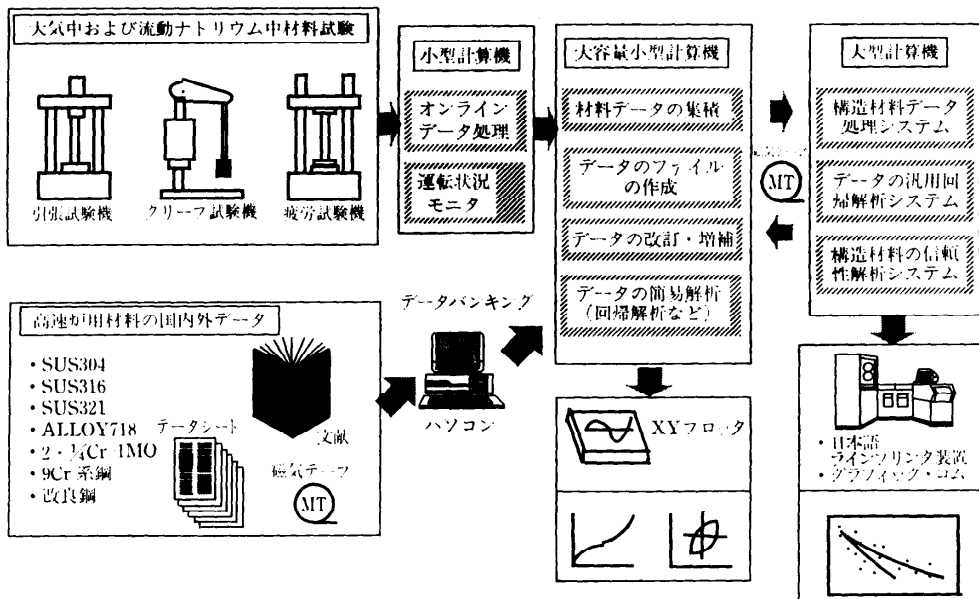


図-6 SMAT のシステム構成概念図

力に対する機能も整備した。

(2) データ検索支援機能

関係型データベースは構造としての柔軟性を有する反面、大規模なデータを取り扱うには検索時間を要するため、検索効率を向上させる工夫が必要となる。具体的な方法としては、

①内部コードを効率的に利用したコマンド型の検索方式

②非定型検索のパターン化とマクロ登録

③タグ辞書の併設

を行った。

(3) データ加工・出力支援機能

データの統計解析、材料特性の標準値算定、標

準データパッケージ、検索データのグラフ出力、定型フォーマットによる出力などの一連の処理ルーチンを用意している(図-8)。

SMAT システムは、数少ない高温構造材料に関するデータベースとして評価されており、今後本格的に運用していく段階となるが、推論機構の導入なども含めてさらに高度化を進める計画である。

4. 信頼性データベース<sup>4),5)</sup>

4.1 開発の背景

安全評価の手法として、決定論的手法と確率論的手法がある。いずれの方法にも長所、短所があ

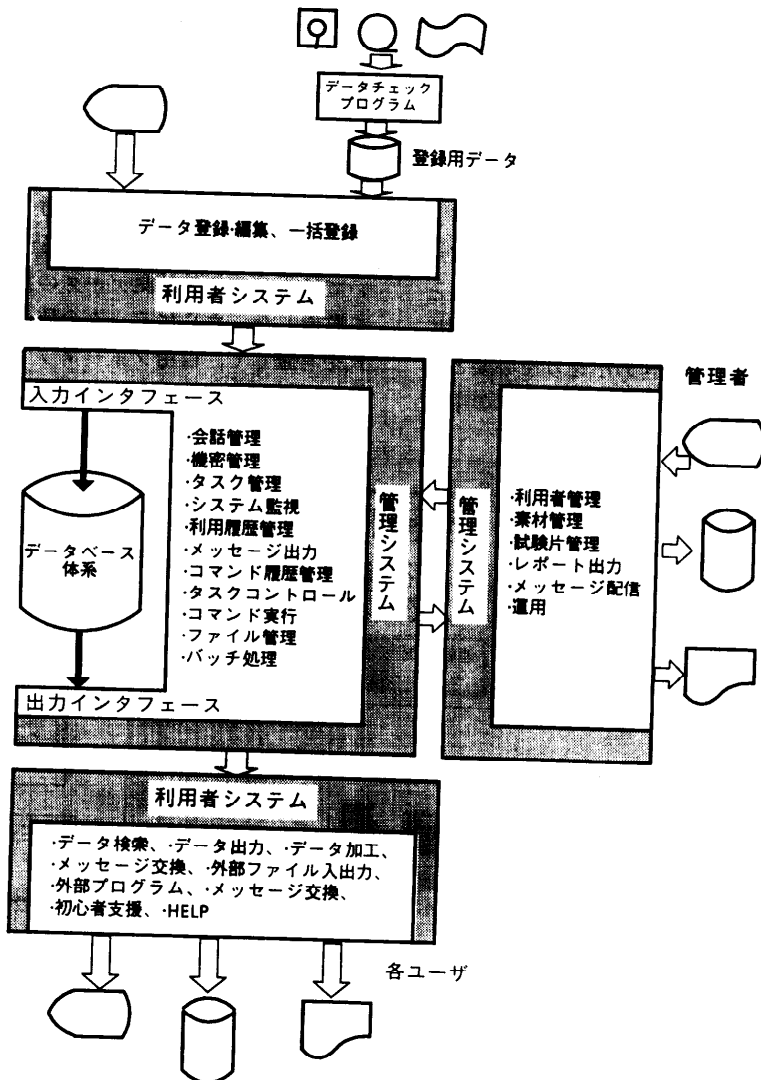


図-7 SMAT システムフェーズIVの機能概要

り、実際には用途に応じて使い分け、安全評価を現実的なものにする努力が必要である。

従来、主に決定論的手法が安全評価手法として採用されてきたが、昭和 50 年にラスムッセンらによる軽水炉の確率論的リスク評価 (PRA; Probabilistic Risk Assessment) が発表されて以来、確率論的安全評価 (PSA; Probabilistic Safety-Assessment) 手法の有効性の認識が高まっている。

PSA 手法によるシステム信頼性解析の効用は、使用するデータベースの充実度に大きく依存する。軽水炉については、国内外の関係機関において運転実績に基づく信頼性データの収集分析がなされつつあり、一般産業界における信頼性データの活用と相まって PSA 実施にあたっての有力な情報源となりつつある。

一方、高速増殖炉においても、信頼性評価や運転保守方法の合理化検討に資するため、大洗工センターの高速実験炉「常陽」の運転・保守データの収集・整備を図り、機器信頼性データベース

FREEDOM (FBR Reliability Evaluation Data Base for Operation & Maintenance) を開発した。

さらに、データの母集団の拡大を図るため、米国の高速炉用機器信頼性データベースと相互乗り入れすることとし、米国エネルギー省 (DOE) と協定を結び、オークリッジ国立研究所 (ORNL) で構築中の信頼性データ集中管理組織 (CREDO; Centralized Reliability Data Organization) データベース管理システムを核に、日米共同プロジェクトとして展開することとした。

現在、大洗工学センターとオークリッジ国立研究所で、同一の管理システム上で同一のデータベースの運用を行っている。

#### 4.2 システムの概要

上記 CREDO システムの目的は、以下のとおりである。

- 高速炉プラント機器に関する機器データ、運転データ、故障データを収集する。
- データベース管理システムの下に信頼性デー

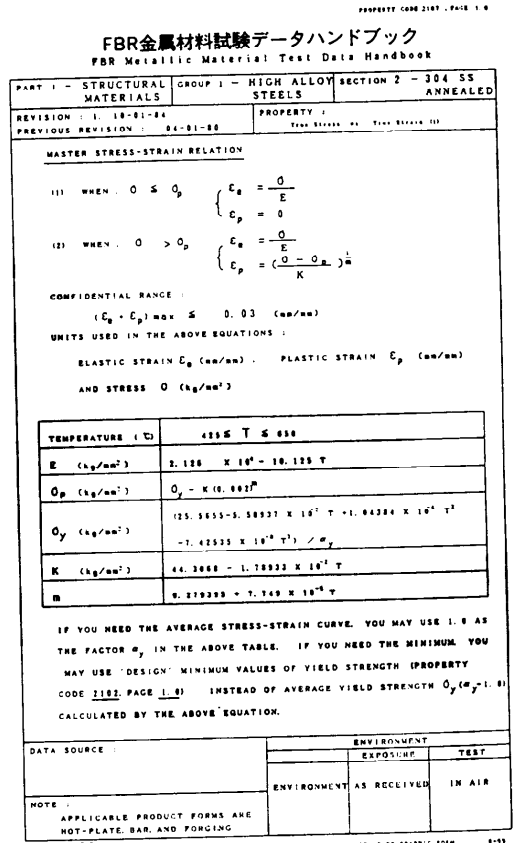
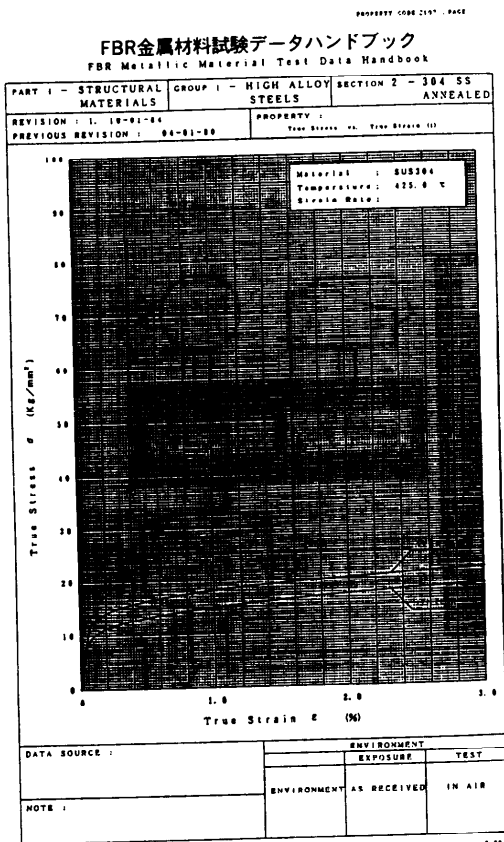


図-8 SMAT のポストプロセッサによる処理結果例 (HANDBOOK)



タの登録，編集，検索，表示，分析を行う。

●統計処理プログラムによる高速炉プラント機器の運転経験を分析評価する。

これに基づきデータは，以下のように構成されている。

(1) 機器データとしては，次の機器の仕様が登録される。

- ①機器の設置場所，設置日，改造日，撤去日
- ②機能・運転特性
- ③保守・検査・試験計画
- ④放射線量
- ⑤機能の属性
- ⑥重要部位の材料
- ⑦設計・運転パラメータ

(2) 運転データは各プラントごとに3カ月に1度ずつ次の項目が登録される。

- ①プラントの運転モード別運転時間
- ②報告開始日，終了日
- ③当該時間帯のプラント出力
- ④計画及び計画外の停止時間
- ⑤試験施設の過度試験数

(3) 故障データとしては，機器の異常事象に関する次の情報が登録される。

- ①異常発生日・時刻
- ②発見方法
- ③運転状態

- ④対応操作，修復時間
- ⑤故障タイプ，故障モード，故障原因
- ⑥故障前の保守・試験・校正の実施日
- ⑦人的因子
- ⑧内容

CREDO システムは，データベース管理システムと各種プログラム群を利用して，情報センタの汎用大型計算機システム上で運転されている(図-9)。

データはキーワード型，数値型，記述型で表現され，キーワード型と数値型データは検索対象キーとなる。

### 4.3 改良・利用の状況

これまでに収集されたデータは，日米の各施設の機器数約 23,000，故障数約 2,100，総機器運転時間約  $2.7 \times 10^9$  機器・時間となっており，高速炉機器信頼性データベースとしては世界最大規模となっている。

主なデータソースとしては，我が国の実験炉「常陽」，50 MW 蒸気発生器試験施設，米国の FFTF (Fast Flux Test Facility)，EBR-II (Experimental Breeder Reactor-II) などである(図-10)。

CREDO システムのデータベース運用管理システムの機能をさらに強化するため，データベースの関係型データベース (RDB) 化を進め，それにとりまなう解析プログラムの整備をほぼ完了し，現

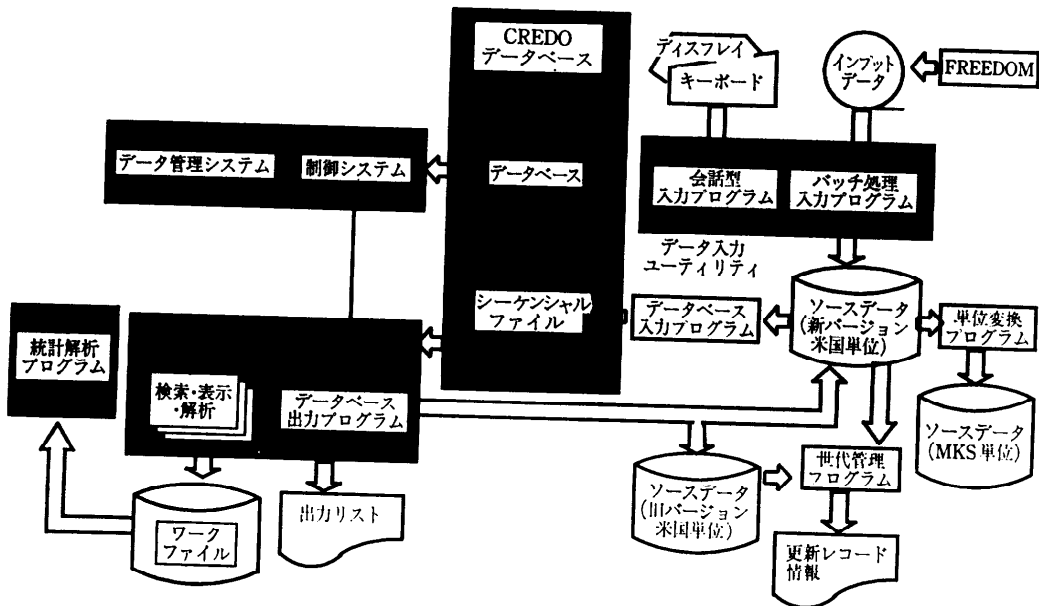


図-9 高速炉用機器信頼性データベースの構成

在 CREDO/RDB システムの試験運用を行っている。

今後、継続的にデータを入力するとともに、データベース管理システム、統計分析プログラムの充実により、高速増殖炉の実用化に向けて安全設計や運転・保守方法の最適化検討に資することができると思われる。

## 5. ま と め

原子力エネルギーの利用は、人類が20世紀に手に入れた科学技術として非常に重要なものの一つである。来る21世紀へ向けて原子力のもつ潜在的可能性をさらに引き出し、発展させていくべき技術であると考えられる。

原子力開発は前述のように、幅広くかつ高度な技術や知識を集大成してはじめて可能となるものであり、このためには広範囲にわたる高い科学技術水準と並行して開発しなければならない。

現在、「原子力開発利用長期計画」の改訂作業を実施しており、今後見通せる技術開発を踏まえて長期計画に基づき、さらに具体的に開発・利用が進められるものと思われる。

原子力発電のうち、軽水炉については、すでに実用化段階に達しており、改良標準化計画も実施された。しかし新型炉、特に高速増殖炉に関しては、我が国においては原型炉「もんじゅ」の建設が終了した段階である。また実証炉については4機関（動力炉・核燃料開発事業団、日本原子力発電(株)、電力中央研究所、日本原子力研究所）によって組織している「高速増殖炉研究開発運営委員会」で調整しつつ進められている状況であり、2010年代に実用化の見通しを得ることを目標としている。

当事業団では、実験炉「常陽」、原型炉「もんじゅ」の開発成果を実証炉、実用炉へ反映させるため、技術の高度化を達成する計画である。

これらの研究開発成果を設計などに反映するためには、得られたデータをデータベース化し、さらに計算コード、基準、指針などにまでまとめ上

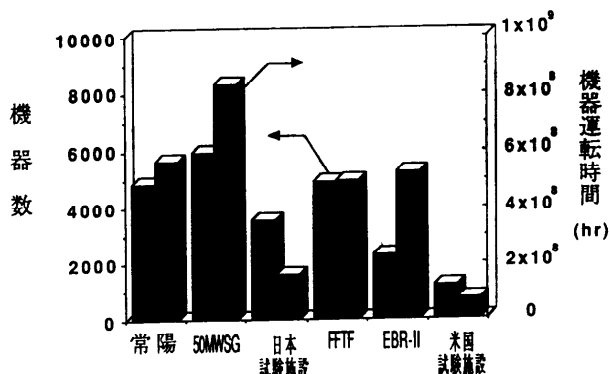


図-10 CREDO データインベントリ

げることが重要である。前述の「常陽」DBS, SMAT システム, CREDO システムなどのデータベースは今後とも有力な道具となるものと考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) 原子力委員会：原子力開発三十年史，日本原子力文化振興財団（1986）。
- 2) 動燃技報 No. 73 大洗工学センター特集（1990.3）。
- 3) 「高速増殖炉研究開発の現状」昭和59年 動力炉・核燃料開発事業団。
- 4) 和田雄作：動力炉・核燃料開発事業団における高速炉構造材料データベースの開発，資源・素材学会誌，Vol. 106（1990.7）。
- 5) 中井良大：高速炉用機器信頼性データベースの開発，日本原子力学会誌，Vol. 31, No. 5（1989）。

（平成4年4月21日受付）



佐藤 一雄

1947年生。1970年早稲田大学理学部数学科卒業。現在動力炉・核燃料開発事業団技術協力部情報システム室室長代理。



佐々木修一

1945年生。1970年武蔵工業大学工学部電気工学科卒業。現在動力炉・核燃料開発事業団技術開発部技術管理室長。