

JAERI-Tech  
2005-046



JP0550488



原子炉解体に係る廃止措置費用評価手法の検討  
—COSMARDを用いた廃止措置費用の計算—

2005年 9月

大島 総一郎・白石 邦生・島田 太郎・助川 武則  
柳原 敏

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2005

編集兼発行 日本原子力研究所

原子炉解体に係る廃止措置費用評価手法の検討  
－COSMARD を用いた廃止措置費用の計算－

日本原子力研究所東海研究所バックエンド技術部

大島 総一郎\*・白石 邦生・島田 太郎・助川 武則・柳原 敏<sup>†</sup>

(2005年7月14日受理)

OECD/NEA が標準化した廃止措置費用項目に対して、費用特性に基づいたグループ分けを行い、労務費、装置資材費、経費からなる、廃止措置費用の評価モデルを作成し、原子炉施設の廃止措置計画策定及び管理のための計算システム（COSMARD）に実装した。そして、JPDR の廃止措置を対象に廃止措置費用評価のための入力データファイル及びデータベースを作成し、COSMARD を用いて廃止措置費用を計算した。その結果、全費用に寄与の大きい費用項目は、解体作業費用及び廃棄物の処理・処分費用であることが分かった。また、BWR 大型原子力発電所の廃止措置を対象に COSMARD を用いて廃止措置費用を計算し、COSMARD の適用可能性を検討した。これらの検討により、COSMARD を用いて原子力施設の廃止措置費用評価の検討が効率よく実施できることが分かった。

---

東海研究所：〒311-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

\*企画室

†東洋エンジニアリング(株)から出向中

Study of Decommissioning Cost Evaluation Technique for Nuclear Reactor Dismantlement  
- Calculation of Decommissioning Cost by COSMARD -

Soichiro OHSHIMA\*, Kunio SHIRAISSI, Taro SHIMADA, Takenori SUKEGAWA  
and Satoshi YANAGIHARA<sup>+</sup>

Department of Decommissioning and Waste Management  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 14, 2005)

A model for estimating decommissioning costs consisting of labor cost, device cost and expense, was developed for items which OECD/NEA had standardized, and was installed into the computer system for planning and management of reactor decommissioning (COSMARD). Input data files and databases for the decommissioning of JPDR were prepared, and the decommissioning cost was calculated with COSMARD. In addition, the decommissioning cost for a large scale BWR power plant was also calculated on the assumption of the advantage of scale.

The calculations have shown that it is useful and efficient for studying the decommissioning costs for nuclear reactors to apply the COSMARD with database for cost estimation to the decommissioning cost calculation.

Keywords : COSMARD, JPDR, Decommissioning, Decommissioning Cost, Decommissioning Project Management Data, Cost Item, Radioactive Waste, Work Breakdown Structures, Labour Cost, Equipment and Material Cost, Expense

---

<sup>+</sup> Office of Planning

\* On loan from Toyo Engineering Corporation

## 目 次

|  |    |
|--|----|
| 1. はじめに .....                          | 1  |
| 2. COSMARD の概要 .....                   | 2  |
| 2.1. COSMARD の構成 .....                 | 2  |
| 2.2. プロジェクト管理データ計算プログラム : Dmaf .....   | 3  |
| 2.3. 作業構成と単位作業データベース .....             | 3  |
| 2.4. 物量データ .....                       | 3  |
| 2.5. グラフィカル・ユーザー・インターフェイス .....        | 4  |
| 3. 廃止措置費用評価のモデルの構築 .....               | 4  |
| 3.1. 廃止措置費用評価の考え方 .....                | 4  |
| 3.2. 廃止措置費用評価手順 .....                  | 6  |
| 3.3. 廃止措置費用評価モデルの COSMARD への実装方法 ..... | 10 |
| 4. JPDR 廃止措置費用の評価 .....                | 11 |
| 4.1. 計算条件 .....                        | 11 |
| 4.2. 計算結果 .....                        | 12 |
| 5. BWR 大型原子力発電所の廃止措置費用の評価 .....        | 13 |
| 5.1. 計算条件 .....                        | 13 |
| 5.2. 計算結果 .....                        | 15 |
| 5.3. JPDR と BWR の廃止措置費用の計算結果の比較 .....  | 16 |
| 6. ケーススタディ .....                       | 17 |
| 7. まとめ .....                           | 18 |
| 謝辞 .....                               | 18 |
| 参考文献 .....                             | 19 |
| 付録 1 費用項目設定の詳細 単位 : [百万円] .....        | 41 |
| 付録 2 廃止措置費用項目の階層構造 .....               | 45 |
| 付録 3 放射能レベル別発生量 .....                  | 46 |

## Contents

|   |    |
|---|----|
| 1. Introduction .....   | 1  |
| 2. Outline of COSMARD .....   | 2  |
| 2.1 Composition of COSMARD .....  | 2  |
| 2.2 Project Management Data Calculation Program : Dmaf .....                        | 3  |
| 2.3 Work Breakdown Structure and Unit Activity Data Base .....                      | 3  |
| 2.4 Physical Inventory Database .....   | 3  |
| 2.5 Graphical User Interface .....  | 4  |
| 3. Development of Cost Evaluation Model.....  | 4  |
| 3.1 Decommissioning Cost Evaluation Modeling .....                                  | 4  |
| 3.2 Cost Evaluation Procedure .....   | 6  |
| 3.3 Mounting Method to COSMARD of Valuation Modeling .....                          | 10 |
| 4. Evaluation of JPDR Decommissioning Cost .....                                    | 11 |
| 4.1 Calculation Condition .....   | 11 |
| 4.2 Calculation Result .....  | 12 |
| 5. Evaluation of Decommissioning Cost of BWR Large-scale Nuclear Plant.....         | 13 |
| 5.1 Calculation Condition .....   | 13 |
| 5.2 Calculation Result .....  | 15 |
| 5.3 Comparison of Calculation Results of Decommissioning Cost of JPDR and BWR ..... | 16 |
| 6. Case Study .....   | 17 |
| 7. Summary .....  | 18 |
| Acknowledgement .....   | 18 |
| References .....  | 19 |
| Appendix 1 : Details of Cost Items .....  | 41 |
| Appendix 2 : Work Breakdown Structures of Decommissioning Cost Item .....           | 45 |
| Appendix 3 : Amount of Generation According to Radiation Levels .....               | 46 |

## 図表リスト

|      |  |    |
|------|--|----|
| 表 1  | JPDR 廃止措置工程項目毎の期間の設定 .....                       | 20 |
| 表 2  | JPDR 廃止措置費用グループ毎の期間及び必要人員数の設定 .....              | 20 |
| 表 3  | JPDR 廃止措置作業毎の作業人工数、クルー構成、労務・資材比率の設定 .....        | 21 |
| 表 4  | JPDR 廃止措置における特殊費用の設定 .....                       | 21 |
| 表 5  | JPDR 廃止措置における費用項目の作業比率の設定 .....                  | 22 |
| 表 6  | JPDR 廃止措置におけるその他の費用の設定 .....                     | 23 |
| 表 7  | JPDR 廃止措置費用の計算結果 .....                           | 23 |
| 表 8  | BWR 廃止措置工程項目毎の期間の設定 [安全貯蔵期間 5 年 以降の表も同様] .....   | 24 |
| 表 9  | BWR 廃止措置費用グループ毎の期間及び必要人員数の設定 .....               | 24 |
| 表 10 | BWR 廃止措置作業毎の作業人工数、クルー構成、労務・資材比率の設定 .....         | 25 |
| 表 11 | BWR 廃止措置における特殊費用の設定 .....                        | 25 |
| 表 12 | BWR 廃止措置における費用項目の作業比率の設定 .....                   | 26 |
| 表 13 | BWR 廃止措置におけるその他の費用の設定 .....                      | 27 |
| 表 14 | BWR 廃止措置費用の計算結果 [安全貯蔵期間 5 年] .....               | 28 |
| 表 15 | BWR 廃止措置費用の計算結果 [安全貯蔵期間 20 年] .....              | 28 |
| 表 16 | 安全貯蔵期間 5 年を 20 年に延長したときの BWR 廃止措置費用の変化 .....     | 29 |
| 図 1  | COSMARD の構成 .....                                | 30 |
| 図 2  | COSMARD の GUI .....                              | 30 |
| 図 3  | 管理データの計算結果の図画表示例 .....                           | 31 |
| 図 4  | 廃止措置費用評価モデルの概念 .....                             | 32 |
| 図 5  | JPDR 廃止措置の作業期間と費用発生の関係 .....                     | 33 |
| 図 6  | JPDR 廃止措置の費用の年度別積算値及び累積値 .....                   | 33 |
| 図 7  | JPDR 廃止措置の費用グループ別の費用 .....                       | 34 |
| 図 8  | JPDR 廃止措置の費用グループ別の割合 .....                       | 34 |
| 図 9  | JPDR 廃止措置の費目別の費用 .....                           | 35 |
| 図 10 | JPDR 廃止措置の費目別の割合 .....                           | 35 |
| 図 11 | JPDR 廃止措置の費用グループ別費目の割合 .....                     | 36 |
| 図 12 | BWR 廃止措置の作業期間と費用発生の関係 [安全貯蔵期間 5 年 以降の図も同様] ..... | 36 |
| 図 13 | BWR 廃止措置の費用の年度別積算値及び累積値 .....                    | 37 |
| 図 14 | BWR 廃止措置の費用グループ別の費用 .....                        | 37 |
| 図 15 | BWR 廃止措置の費用グループ別の割合 .....                        | 38 |
| 図 16 | BWR 廃止措置の費目別の費用 .....                            | 38 |
| 図 17 | BWR 廃止措置の費目別の割合 .....                            | 39 |
| 図 18 | BWR 廃止措置の費用グループ別費目の割合 .....                      | 39 |
| 図 19 | BWR 廃止措置の作業期間と費用発生の関係 [安全貯蔵期間 20 年] .....        | 40 |
| 図 20 | BWR 廃止措置の費用の年度別積算値及び累積値 [安全貯蔵期間 20 年] .....      | 40 |

## List of Tables and Figures

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Table 1  | Working schedule of JPDR decommissioning project.....   | 20 |
| Table 2  | Duration and work force for each JPDR decommissioning cost group.....   | 20 |
| Table 3  | Work force, crew composition, and ratio of labors and materials at each JPDR decommissioning work.....          | 21 |
| Table 4  | Special costs in JPDR decommissioning project.....  | 21 |
| Table 5  | Work ratios of cost items in JPDR decommissioning project.....  | 22 |
| Table 6  | Other costs in JPDR decommissioning project.....  | 23 |
| Table 7  | Calculated Results of decommissioning cost for JPDR decommissioning project.....                                | 23 |
| Table 8  | Working schedule of BWR decommissioning activities.....   | 24 |
| Table 9  | Duration and work force for each BWR decommissioning cost group .....   | 24 |
| Table 10 | Work force, crew composition, and ratio of labors and materials at each BWR decommissioning work .....          | 25 |
| Table 11 | Special costs in BWR decommissioning activities.....  | 25 |
| Table 12 | Work ratios of cost items in BWR decommissioning activities.....  | 26 |
| Table 13 | Other costs in BWR decommissioning .....  | 27 |
| Table 14 | Calculated Results of decommissioning cost for BWR decommissioning in case of safe storing of five years .....  | 28 |
| Table 15 | Calculated Results of decommissioning cost for BWR decommissioning in case of safe storing of twenty years..... | 28 |
| Table 16 | Difference of BWR decommissioning costs between the two case of safe storing of five and twenty years .....     | 29 |
| Fig.1    | Concept of COSMARD .....  | 30 |
| Fig.2    | GUI of COSMARD .....  | 30 |
| Fig.3    | Example of displaying calculated results of management data .....   | 31 |
| Fig.4    | Concept of the decommissioning cost evaluation model.....   | 32 |
| Fig.5    | Relation between work period and cost generation for JPDR decommissioning .....                                 | 33 |
| Fig.6    | Evaluated cost for each fiscal year and accumulated values in JPDR decommissioning project..                    | 33 |
| Fig.7    | Evaluated cost for each cost group in JPDR decommissioning project.....   | 34 |
| Fig.8    | Ratios of cost groups in JPDR decommissioning project.....  | 34 |
| Fig.9    | Evaluated cost for each item in JPDR decommissioning project .....  | 35 |
| Fig.10   | Ratios of cost items in JPDR decommissioning project .....  | 35 |
| Fig.11   | Ratios of cost items in each cost group in JPDR decommissioning project .....                                   | 36 |
| Fig.12   | Relation between work duration and cost in BWR decommissioning project [Safe storage period of five years]..... | 36 |
| Fig.13   | Evaluated cost for each fiscal year and accumulated values in BWR decommissioning project ..                    | 37 |
| Fig.14   | Evaluated cost for each cost group in BWR decommissioning project .....   | 37 |
| Fig.15   | Ratios of cost groups in BWR decommissioning project .....  | 38 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| Fig.16 | Evaluated cost for each item in BWR decommissioning project.....   | 38 |
| Fig.17 | Ratios of cost items in BWR decommissioning project .....  | 39 |
| Fig.18 | Ratios of cost items in each cost group in BWR decommissioning project .....   | 39 |
| Fig.19 | Relation between work duration and cost in BWR decommissioning project [Safe storage period of 20 years] .....             | 40 |
| Fig.20 | Evaluated cost for each fiscal year and accumulated in BWR decommissioning project [Safe storage period of 20 years] ..... | 40 |

This is a blank page.

## 1. はじめに

役割を終了して寿命を迎えた原子力施設の廃止措置は原子力施設を有する各国が持つ重要な課題の1つであり、欧米を中心として原子力施設の廃止措置プロジェクトが進められている<sup>(1)</sup>。我が国では日本原子力研究所（原研）の動力試験炉（JPDR: Japan Power Demonstration Reactor）の廃止措置が終了し、現在、JRR-2 や再処理特別研究棟の解体作業が進行中である。また、既に商業用原子力発電所として30年間運転を続けた東海発電所が平成10年3月31日に停止し、解体作業が進行中である<sup>(2)</sup>。更に、新型転換炉ふげん発電所が平成15年3月29日に停止し、約10年間の廃止措置準備期間の間に、廃止措置計画を具体化していく方針や、また、敦賀発電所1号機の運転停止時期を平成22年とする方針が発表されている。

原子力施設の廃止措置を安全で効率的に進めるためには予めその作業計画を十分に検討することが不可欠である。計画検討には、作業期間、作業員数、作業人工数、費用などのプロジェクト実施に要する資源量、作業から発生する廃棄物量、作業で生じる作業者の被ばく線量等の値を予測する必要がある。これらの量は総称してプロジェクト管理データ（以下「管理データ」と記す。）と呼ばれおり、関連性を持つことから各々の量を単独に予測することはできず、作業内容、作業条件等を含めて、総合的な計画を検討する中で管理データを予測することが可能になる。また、管理データの予測結果に基づいて、その計画の合理性に関する検討も行われることになる。

プロジェクトに要する費用を精度良く求めることは原子力施設の廃止措置において特に重要である。このため、OECD/NEAなどの国際機関を始めとして、各国で廃止措置の費用評価に関する方法論の検討や各種施設の廃止措置に関する費用の検証が行われ、その結果の妥当性が検討されている。例えば OECD/NEAにおいては参加国毎に代表的な原子力発電所の廃止措置に関する費用評価が行われ、その比較がなされた<sup>(1)</sup>。この結果、対象施設の相違以外に、廃止措置の法律や規制の相違、費用評価範囲の相違などが原因で各国の評価した費用が異なることなどが明らかにされた。これらを反映して費用項目を明確にする作業も行われ、OECD/NEAの廃止措置費用評価作業部会で標準化した廃止措置費用項目としてまとめられた<sup>(5)</sup>。他方、管理データを効率的に予測するためにはプロジェクトに関する様々な条件を体系的に整理し、かつ、部分的な条件を変更した場合、その結果への影響を容易に算出できる計算システムが有効である。原研では廃止措置の管理データを予測するための計算コードシステム（COSMARD）を開発し、原研施設等の解体計画の検討に役立てた<sup>(3),(4)</sup>。

原子力施設の廃止措置費用項目は多岐に亘るため費用を体系的に漏れなく評価する上で、OECD/NEAが標準化した廃止措置費用項目<sup>(5)</sup>を利用して評価することは有効である。そこで、それらの費用項目に基づいて費用評価のための評価モデルとデータベースを作成し、それを COSMARD へ実装した。そして、JPDR の廃止措置実績をもとに COSMARD への入力データファイル及びデータベースを作成し、COSMARD を用いて廃止措置費用を計算するとともに、その結果を分析した。

更に、BWR 大型原子力発電所の廃止措置費用評価へ COSMARD を適用し、その適用性について検討した。これらの検討により、BWR 大型原子力発電所の廃止措置費用評価に COSMARD が有効であることが分かった。

本報告書は、OECD/NEA が標準化した廃止措置費用項目に基づいて、COSMARD を用いて費用評価が行えるように評価モデルとデータベースを作成し、JPDR の廃止措置費用の計算と、BWR 大型原子力発電所の廃止措置費用評価への COSMARD の適用方法についてまとめたものである。

## 2. COSMARD の概要

原研では JPDR の解体作業に要する作業人工数の計算を、COSMARD を用いて行い計画検討に役立てた。以下に COSMARD の概要、COSMARD の主要計算サブプログラム Dmaf、計算に必要な作業構成、施設特性を表わす物量データ、操作を統合的に行うグラフィカル・ユーザー・インターフェイスについて述べる。

### 2.1. COSMARD の構成

COSMARD は原子力施設の廃止措置計画を立案・検討するためのプロジェクト管理用計算ツールとして開発されたものである。我が国で初めて実施した動力試験炉（JPDR）の解体計画の検討に適用されるとともに、JPDR の解体作業から収集したデータや適用経験を反映してさらに効率的かつ精度良く各種計算が実行可能となるよう改良・開発が進められた<sup>(3)-(6)</sup>。原子力施設の廃止措置計画を検討するためには、施設内の機器の放射能インベントリ、解体・除染作業を行う領域の線量当量率、各種解体作業に必要な人工数、作業者の被ばく線量、廃棄物の発生量等の予測が必要となる。COSMARD はこれらの計算を実行する幾つかの計算プログラムと、その計算に必要なデータベースから構成される。COSMARD の構成を図 1 に示す。以下に COSMARD を構成する計算プログラムの概要を示す。

**Rado** : 原子炉の炉心周辺部の放射化量を計算するプログラムである。原子炉の運転履歴、炉心周辺部の幾何形状等から運転中の中性子束を計算し、それに基づいて各種機器・構造物の放射化量を推定する。

**Dose** : 解体・除染の作業現場における線量当量率の分布を計算し（2 次元）、その結果をプロジェクト管理データ計算用のデータベースに格納するプログラムである。

**Dmaf** : 予め設定した作業工程に基づいて作業者の被ばく線量、人工数、廃棄物の発生量等のプロジェクト管理データの計算、山積計算（作業工程期間のプロジェクト管理データの負荷状態を評価する）、及び PERT 計算（プロジェクトを最短で完了させるオペレーションズ・リサーチの方法）を行うプログラムである。

**Graph** : Dmaf によるプロジェクト管理データ計算結果を工程図、管理データの円・棒グラフ、山積図（リソースグラフ）、PERT 図（アローダイヤグラム）等で表示するプログラムである。

**Opti** : 廃止措置計画の工程、工法等を変更して Dmaf によるプロジェクト管理データ計算を行い、人工数や被ばく線量などの単位の異なる複数の評価基準の重み付けを考慮した評点付けを行い廃止措置計画の優劣を評価する計算プログラムである。

本検討に関連するプロジェクト管理データ計算プログラム：Dmafについて次に述べる。

## 2.2. プロジェクト管理データ計算プログラム：Dmaf

Dmafは入力データファイルの計算条件に基づいて、データベースを参照して基本作業（以下「単位作業」と記す。）毎に人工数、被ばく線量、廃棄物重量等の管理データを計算するとともに、その結果を作業構成（WBS：Work Breakdown Structure）に沿って積算する計算プログラムである<sup>(3),(4)</sup>。管理データの計算には、その特性に応じて異なる評価手順が適用される。すなわち管理データは、作業依存型、期間依存型、付随型に大別することができる。

作業依存型：小型機器を手作業で解体する作業（在来工法による解体作業）に必要な人工数のように、解体作業や解体対象物の重量等に直接関係して算出される管理データである。例えば機器の種別毎に、単位重量当たりの解体に必要となる基準人工数（以下「単位作業係数」と記す。）を用いて機器の重量から人工数が算出される。

期間依存型：作業管理のように作業期間を通して一定量必要な管理データである。

付随型：上述した作業依存型又は期間依存型の管理データとは独立した数値で与えられるものである。

これらの管理データの計算モデルは単位作業データベースに記述され、プログラム本体とは分離されている。このため、管理データや管理データの評価式の変更や追加を容易に行うことができる（図1参照）。

## 2.3. 作業構成と単位作業データベース

解体作業の管理データを計算する上で、作業構成を想定することは不可欠であるため、Dmafでは作業構成と作業条件が入力データファイルとして与えられる。作業構成は、遠隔解体作業、在来工法による解体作業、建家除染作業、確認測定作業、建屋解体作業に分類され、さらに、各作業は、機器及び構造物を安全で効率的に解体撤去するために必要となる準備作業、解体対象となる機器の取り外しと切断及び容器への収納作業（切断収納作業）、機器及び構造物の撤去が終了した後の後処理作業に分類される。このうち、準備作業と後処理作業は作業内容に多少の相違はあるものの、全ての作業に対してほぼ共通する単位作業で構成される。切断収納作業では、解体対象機器または作業の特性に応じて作業内容が異なるが、基本的には、作業員が手足を動かして簡単な工具により解体作業を行う在来工法による解体作業と、作業員が主に装置の運転を行う遠隔解体作業とに分類される。Dmafは単位作業データベースを参照してこれらの単位作業ごとに、管理データを計算することになる。例えば、在来工法による解体で必要な人工数は、解体する機器の種別毎に単位重量当たりの作業員数と時間の積として、また、遠隔解体作業に必要な人工数は、一回の解体動作に要する時間と作業クルーの積として整理したものであり、これらは全てJPDR解体実地試験で収集した作業データを分析して得られた結果に基づいている。

## 2.4. 物量データ

解体作業の管理データを計算するために、Dmafでは作業構成や作業条件とともに機器・構造物の特性に関するデータ（物量データ）を参照するよう構成されている。物量データベースに記

述された主な情報は以下の通りである。

- 機器名称：機器の名称を記述。
- 設置位置：機器の所在場所（建屋、フロア、エリア、機器番号）を数値で記述。
- 機器特性：機器の特性（系統、機器種別、形状、材質等）を数値で記述。
- 機器重量：機器の重量を記述。

また、上述した基本データに加えて作業人工数の計算に必要な、汚染の有無、機器毎の切断回数等幾つかのデータが機器毎に記述される。主要なデータは以下の通りである。

- 在来工法による解体作業 : 汚染の有無
- 遠隔解体作業 : 切断回数、収納回数
- 建家除染作業 : 領域毎の除染面積、深さ、部位
- 確認測定作業 : 領域毎の測定面積、部位
- 建屋解体作業 : 建家の重量、埋設配管の重量

## 2.5. グラフィカル・ユーザー・インターフェイス

管理データの計算をより効率的に行うため、COSMARD はグラフィカル・ユーザー・インターフェイス（GUI）を装備している。例えば、管理データの計算では作業構成の設定が基本的な役割を持つため、作業構成がツリー図を用いて模式的に表示され、ユーザーはその修正、追加、削除等をマウスにより計算機画面上で実行することができる。GUI の主要画面の例を図 2 に示す。左側ウィンドウは作業構成図を、中央下部ウィンドウは管理データの計算結果を、右側下部ウィンドウは計算に用いる単位作業データベース、作業環境データベース、物量データベースの内容を表示した例である。

計算結果を図形として表示するためのプログラム（Graph）は別途用意されており、工程図、管理データの円・棒グラフ、山積グラフ、PERT 図等を表示することが可能である。本プログラムによる図形表示の例を図 3 に示す。これらは画面上に表示されるメニューに従って必要なボタンをクリックすることにより表示することができる。

## 3. 廃止措置費用評価のモデルの構築

前章で述べた、プログラム本体と管理データの計算モデルが分離されている COSMARD の特徴により、管理データの計算モデルを、廃止措置費用評価のモデルに置き換えることにより、廃止措置費用評価を行うことが可能である。以下に廃止措置費用評価のモデルの構築について述べる。

### 3.1. 廃止措置費用評価の考え方

廃止措置費用評価の手法を検討する上で、廃止措置費用項目及び廃止措置作業工程を明確にして費用評価手順の検討を行うことは不可欠である。そこで、廃止措置費用項目、廃止措置作業工程、及び廃止措置費用評価用の基本データから構成される廃止措置費用評価モデルを作成した。廃止措置費用評価モデルの概念を図 4 に示す。

### 廃止措置費用項目

廃止措置費用項目は多岐にわたるが漏れなく抽出することが重要である。そこで、OECD/NEA 廃止措置費用評価作業部会が標準化した廃止措置費用の費用グループと費用項目<sup>(5)</sup>を利用して、廃止措置費用評価を行う計算モデルについて検討を行うこととした。OECD/NEA が標準化した廃止措置費用項目は 93 あり、それらは 11 の費用グループに分類されている。廃止措置費用項目を付録 1 に、階層構造を付録 2 に示す。この廃止措置費用項目と階層構造を用いて廃止措置費用を評価することとした。廃止措置費用の 11 の費用グループを以下に示す。例えば「(1)廃止措置の前作業」の費用項目は廃止措置計画の作成、許認可作業、計画と認可のための放射能評価、有害物質の調査と分析、主契約者選択のである。

- |               |                 |           |
|---------------|-----------------|-----------|
| (1) 廃止措置の前作業  | (5) 廃棄物の処理・処分   | (9) 研究・開発 |
| (2) 施設の停止措置作業 | (6) 施設の防護・点検・維持 | (10) 燃料   |
| (3) 装置・資材の調達  | (7) 敷地の清掃・整地    | (11) その他  |
| (4) 解体作業      | (8) 計画の管理・施設の管理 |           |

また、各費用項目はその用途に応じて以下に定義される 3 つの費目で構成され、その 3 つの費目の合計で各費用を求めることができる。

- 労務費：職員及び請負業者の労働時間に対する労働賃金単価に基づいて算出される費用
- 装置資材費：作業で直接使用されるまたは消費される装置及び資材の費用
- 経費：労務費及び装置資材費以外の間接的に消費される費用

$$\text{費用} = \text{労務費} + \text{装置資材費} + \text{経費}$$

### 廃止措置作業工程

廃止措置費用評価を行うにあたり職員が行う計画作成と管理作業に着目して、廃止措置作業を以下の 6 つの作業に分類し、それぞれの作業の期間と前後関係で廃止措置作業工程を記述することとした。

- |          |           |             |
|----------|-----------|-------------|
| (1) 計画作成 | (3) 燃料取出し | (5) 機器解体    |
| (2) 施設停止 | (4) 安全貯蔵  | (6) 建屋解体・整地 |

### 基本データ

費用評価の基になる基本データの例を上に挙げた費目別に以下に示す。

- 労務費の評価の基になるデータ

例) 職種別作業人工数、職種別労務単価、役職別人員数、役職別労務単価、期間など

- 装置資材費の評価の基になるデータ

例) 遠隔解体装置費、測定装置費、収納容器費、放射線防護機材費、技術開発費など

- 経費の評価の基になるデータ

例) 水道光熱費、税金、保険、処理処分費など

### 3.2. 廃止措置費用評価手順

廃止措置費用項目は階層構造となっており、各費用項目の費用を階層構造に沿って積算することにより廃止措置費用を求めることができる。各費用項目の労務費、装置資材費、経費はその特性に応じて以下に定義する3つの費用特性に分類できる。

- 作業依存型：作業に直接関係する費用であり、解体作業の労務費や装置資材費などが含まれる。
- 期間依存型：期間に比例して発生する費用であり、作業管理の労務費や経費などが含まれる。
- 付随型：上述した2種類とは独立して発生する費用であり、遠隔解体装置の装置資材費などが含まれる。

従って、廃止措置費用を求めるためには費用項目ごとに各費目の費用特性に応じてそれぞれ計算手順を決定することになる。各費目の基本的な計算手順の考え方を以下に示す。

- 労務費 = 作業依存型の労務費 + 期間依存型の労務費 + 付随型の労務費

作業依存型の労務費は作業員労務費で、機器の解体などに要する作業人工数と労働賃金単価の積で算出する。期間依存型の労務費は職員労務費で、特定の部、課又はグループ単位で、ある期間に複数の作業が行われることを想定して、費用グループに設定した役職毎の職員の人員数と年俸と期間の積で求めた労務費と、費用項目ごとの作業比率（各費用項目の作業量の比率）の積で算出する。付隨型の労務費は必要に応じて算出する。

- 装置資材費 = 作業依存型の装置資材費 + 期間依存型の装置資材費 + 付隨型の装置資材費

作業依存型の装置資材費は、作業に必要な装置資材費を設定し算出する。期間依存型の装置資材費は、機器のリース費用などであり、期間と単位期間に要する費用との積で算出する。付隨型の装置資材費は、遠隔解体装置などの開発費用で直接設定した値で算出する。労務費に対して一定の割合で発生する装置資材費は、作業の内容により労務費に対する装置資材費が異なり、作業毎に労務費に対する装置資材費の割合（以下「労務・資材費比率」と記す。）を設定し、労務費との積で算出する。

- 経費 = 作業依存型の経費 + 期間依存型の経費 + 付隨型の経費

作業依存型の経費は、輸送費や処分費などであり、次近似式（詳細は3.3参照。）を用いて算出する。期間依存型の経費は、光熱費や税金などであり、期間と単位期間に要する費用との積で算出する。付隨型の経費は、系統溶液の撤去費などがあり、直接設定した値で算出する。労務費に対して一定の割合で発生する経費は、作業の内容により労務費に対する経費が異なり、作業毎に労務費に対する経費の割合（以下「労務・経費比率」と記す。）を設定し、労務費との積で算出する。

各費用項目の各費目の特性に応じてそれぞれ計算手順を整備することにより廃止措置費用を求めることができる。

これらの考え方に基づき、JPDRの廃止措置費用評価に必要な廃止措置費用項目の階層構造の費用グループ順に、費用特性と対応する費用項目と各費目の計算手順を以下に示す。

### (1) 廃止措置の前作業

#### 期間依存型：

- 廃止措置計画の作成
- 許認可作業
- 計画と認可のための放射能評価

期間依存型の労務費は職員が行う作業を想定し、費用グループに設定した職員人員数と期間と年俸と、費用項目に設定した作業比率との積で算出する。また経費として計算機リース費、印刷費、旅費などの費用の算出に労務・経費比率を設定する。

### (2) 施設の停止措置作業

#### 期間依存型：

- 停止したシステムの排水・乾燥
- 使用済樹脂の撤去

期間依存型の労務費は職員が行う作業を想定し、費用グループに設定した職員人員数と期間と年俸と、費用項目に設定した作業比率との積で算出する。

#### 作業依存型：

- 施設の停止と点検
- 燃料と核燃料物質の撤去
- 電源装置の隔離

作業依存型の労務費は請負作業を想定し、費用項目に設定した作業人工数と労働賃金単価の積で算出する。

#### 付随型：

- 系統溶液（水、油等）の撤去

廃液処理費などの経費を設定する。

### (3) 装置・資材の調達

#### 付随型：

- 放射線防護と保健物理用一般機材

注) 下記の調達については別の費用項目で算出する。

- 遠隔解体の特殊装置：「解体作業」の中で装置資材費として算出する。
- 廃棄物収納容器：「廃棄物の処理・処分」の中で装置資材費として算出する。
- 解体作業で使用する装置資材：「解体作業」の中で装置資材費として算出する。

### (4) 解体作業

#### 期間依存型：

- 領域区分後の放射能特性評価
- 放射性物質の特性評価
- 人員の訓練

期間依存型の労務費は職員が行う作業を想定し、費用グループに設定した職員人員数と期間と年俸と、費用項目に設定した作業比率との積で算出する。

作業依存型：

- 建家内の領域と装置の除染
- 原子炉容器と炉内構造物の撤去
- 生体遮へい体と熱遮へい体の撤去
- 格納容器と他の全施設からの物資と装置の撤去
- 建家除染
- 放射能の最終測定

作業依存型の労務費は請負作業を想定し、費用項目に設定した作業人工数と労働賃金単価の積で算出する。また使用する装置資材費の算出に労務・資材比率を設定する。

付随型：

- 遠隔解体の特殊装置の設計、調達、試験
- 遠隔解体装置の購入費用（輸送、設置及び調整を含む）を装置資材費に設定する。

**(5) 廃棄物の処理・処分**

期間依存型：

- 解体廃棄物の処理
- 解体廃棄物の容器収納
- 解体廃棄物の輸送

期間依存型の労務費は職員が行う作業を想定し、費用グループに設定した職員人員数と期間と年俸と、費用項目に設定した作業比率との積で算出する。また収納容器費用などの費用を装置資材費に設定する。

作業依存型：

- 解体廃棄物の処分

金属及びコンクリートの放射性廃棄物重量に基づいて処分費用を算出する。

**(6) 施設の防護・点検・維持**

期間依存型：

- サイトの防護と監視
- サイトの維持
- エネルギーと水

期間依存型の労務費は職員が行う作業を想定し、費用グループに設定した職員人員数と期間と年俸と、費用項目に設定した作業比率との積で算出する。また土地の管理費、電気、水道料金などの経費を、設定した期間と単位期間あたりの単価に基づいて算出する。さらに、防護、監視設備などの費用を装置資材費に設定する。

(7) 敷地の清掃・整地

作業依存型：

- 建家の解体又は修復

作業依存型の労務費は請負作業を想定し、費用項目に設定した作業人工数と労働賃金単価の積で算出する。また費用項目に設定した労務費に対する労務・資材比率に基づいて装置資材費を算出する。

(8) 計画の管理・施設の管理

期間依存型：

- 計画管理と設計支援
- 広報活動
- 保健と安全
- 支援業務

期間依存型の労務費は職員が行う作業を想定し、費用グループに設定した職員人員数と期間と年俸と、費用項目に設定した作業比率との積で算出する。また一般事務経費、報告書作成費用、計算機サポート費用などの経費を設定した期間と単位期間あたりの単価に基づいて算出する。

(9) 研究・開発

期間依存型：

- 除染、測定、解体手順、装置の研究開発
- 複雑作業のシミュレーション

期間依存型の労務費は職員が行う作業を想定し、費用グループに設定した職員人員数と期間と年俸と、費用項目に設定した作業比率との積で算出する。また調査、研究、開発費などの費用を経費に設定する。

(10) 燃料

燃料または核物質の最終処分場への輸送までの費用とし、再処理や処分費用は除外とする。

期間依存型：

- 燃料または核物質の最終処分場への輸送

期間依存型の労務費は職員が行う作業を想定し、費用グループに設定した職員人員数と期間と年俸と、費用項目に設定した作業比率との積で算出する。

作業依存型：

- 燃料または核物質の最終処分場への輸送

作業依存型の労務費は請負作業を想定し、費用項目に設定した作業人工数と労働賃金単価の積で算出する。また費用項目に設定した労務費に対する労務・資材比率に基づいて装置資材費を算出する。

## (11) その他

期間依存型：

- 税金
- 保険
- 間接費と一般業務費用

期間依存型の経費は費用グループに設定した期間と費用項目に設定した単位期間あたりの単価の積で算出する。

### 3.3. 廃止措置費用評価モデルの COSMARD への実装方法

廃止措置費用評価モデルと廃止措置費用評価手順を COSMARD に実装するための方法を以下に示す。

## (1) 廃止措置費用項目

費用グループ及び費用項目の階層構造を COSMARD の入力データファイルに記述する。

## (2) 廃止措置作業工程

3.1 で示した廃止措置作業工程(パラメータ変数)と値と、費用グループの前後関係を COSMARD の入力データファイルに記述する。各廃止措置作業が工程に従って行われたときに発生する、費用グループごとの期間を求める式を COSMARD の単位作業データベースに記述する。

例) 計画の管理、施設の管理の費用グループの期間は、機器解体の開始から建家解体、整地の終了の期間とする。

## (3) 基本データ

費用評価に必要なデータを以下の 3 つに分類し、それらのデータをそれぞれのファイルに記述する。以下に分類したデータを示す。(これらのデータはユーザーが必要に応じて設定し変更することができる。)

- 物量データベース：費用評価に必要なデータの集合で、データを参照するときに指定する種別コードと値を物量データベースに記述する。例) 特殊費用（遠隔解体装置、測定装置など）、解体作業人工数、収納容器費、放射線防護機材、技術開発費など
- 入力データファイル：個々の費用項目ごとに任意の値を設定して費用評価を行うもので、入力データファイルにパラメータ変数名と値を記述する。例) 職員人員数（職員、課長、部長の人員構成）、期間、職種別人員数（作業員、監督、放管、技術要員の人員構成）、作業人工数、装置資材費の割合、金属及びコンクリート廃棄物重量など
- 定数定義ファイル：単価など共通に用いる値を定数定義ファイルに定数名と値を記述する。例) 役職別労務単価、職種別労務単価、金属密度、コンクリート密度、金属充填率、コンクリート充填率など

## (4) 費用評価式

費用評価は基本データと費目ごとの費用特性に基づいた費用評価式を用いて行う。その費用評

価式を COSMARD 固有の書式で単位作業データベースに記述する。

代表的な評価式を以下に示す。例えば、作業労務費は、その作業の作業人工数、クルー構成（職種毎の人員構成）と労務単価を基に求めている。また、廃棄物の輸送及び処分費については、総合エネルギー調査会原子力部会で、処理処分の各工程に要する費用を一定の積算単価によって積み上げて算定（個別積算法）した結果より、除染前の解体放射性廃棄物量（二次廃棄物を除く）を変数とする物量一次近似法<sup>(9)</sup>（以下「物量一次近似式」と記す。）としてまとめられており、その式を用いて算出する。

- ① 費用=労務費+装置資材費+経費
- ② 労務費=職員労務費+作業員労務費
- ③ 職員労務費=（職員年俸×職員人員数+課長年俸×課長人員数+部長年俸×部長人員数）×期間×作業比率  
作業員労務費=作業人工数／（作業員数+監督人員数+放管人員数+技術要員数）×（作業員単価×作業員数+監督単価×監督人員数+放管単価×放管人員数+技術要員単価×技術要員数）
- ④ 装置資材費=付随型装置資材費+労務費×労務・資材比率
- ⑤ 経費=付隨型経費+期間依存型経費×期間+労務費×労務・経費比率+廃棄物輸送・処分費
- ⑥ 廃棄物輸送・処分費=放射性廃棄物容積×0.391+7680 [単位：百万円]<sup>(9)</sup>
- ⑦ 放射性廃棄物容積=（放射性金属重量／金属密度／金属充填率+放射性コンクリート／コンクリート密度／コンクリート充填率）[単位：m<sup>3</sup>]

#### 4. JPDR 廃止措置費用の評価

JPDR 解体実地試験を対象に、COSMARD を用いて廃止措置費用の評価を行った。初めに計算条件を述べ、次に計算結果を述べる。

##### 4.1. 計算条件

###### (1) 前提条件

廃止措置費用の評価対象、評価範囲、及び評価条件を以下に示す。

- 評価対象：JPDR 解体実地試験

JPDR の炉心部の炉内構造物の解体には水中プラズマアーク切断装置（マスト型）、ロボット型プラズマ切断装置、圧力容器にはアークソーカット装置、接続配管にはディスクカッターカット装置、生体遮へい体には機械的切断装置及び水ジェット切断装置を用いた。炉内構造物と圧力容器中央部の解体物の収納は 6 種類の遮へい容器に、それ以外の大部分は 2000 ドラム缶に、大型のポンプ、タンク、コンクリートブロックは角型鋼製容器（1m<sup>3</sup>、3m<sup>3</sup> 容器）に収納した。機器の解体撤去後に建屋の除染・測定を行い、管理区域を解除した後に建屋の解体を行った。

- 評価範囲：解体準備から廃棄物のモルタル充填等の処理・輸送・処分までを含む。ここに、低レベル放射性廃棄物については、六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターで処分を行

うと仮定した。放射性廃棄物のクリアランスは想定せず、低レベルあるいは極低レベル放射性廃棄物として取り扱った。また、放射性廃棄物でない廃棄物は一般産業廃棄物として扱い、廃棄物の処理・輸送・処分費用には含めなかった。なお、OECD/NEA の費用グループの燃料については、本評価では廃止措置費用に含めなかった。

- 評価条件：計画時点での単価を用いた。ここに、価格変動については考慮しなかった。

#### (2) 廃止措置作業工程

JPDR 解体実地試験の実績に基づいて、計画作成に 5 年、施設停止に 0.5 年、燃料取出しに 1 年、安全貯蔵に 0 年（炉停止後 10 年経過の為）、機器解体に 6 年、建屋解体・整地に 2 年の工程とした。設定した廃止措置作業工程と年数を表 1 に示す。

#### (3) 廃止措置費用グループ毎の対応する廃止措置作業工程及び人員数

費用グループごとに、JPDR 解体実地試験の実績に基づいてリソース（課またはグループ単位で実施する必要人員数）及び対応する廃止措置作業工程を設定した（表 2 参照）。

#### (4) 作業人工数

JPDR 解体作業に要する作業人工数は、炉内構造物の解体から建屋解体までの作業については別途 COSMARD で評価した値<sup>(6)</sup>とし、それ以外の作業人工数と、労務・資材比率は JPDR 解体実地試験の実績値とした。また、人員構成は、一般機器の解体に 1 クルー（作業員 5、放管 1、監督 1）、炉心部機器の遠隔解体に 2 クルー（作業員 10、放管 2、監督 2）及び技術指導員 1 とした。

設定した廃止措置作業毎の作業人工数、クルー構成、及び労務・資材比率を表 3 に示す。

#### (5) 特殊費用

JPDR 解体実地試験に用いた遠隔解体装置、測定装置、及び収納容器などの特殊費用を実績に基づいて設定した（表 4 参照）。

#### (6) その他のデータ

JPDR 解体実地試験の実績に基づいて、以下の値を設定した（表 5、表 6 参照。詳細は付録 1 参照）。

- 費用項目の作業量比率
- 税金、保険、公衆被ばくの計算費用、計算機リース費、電気・水道料金、一般業務費
- 金属及びコンクリート廃棄物の重量及び密度、収納容器の充填率
- 職員年俸、職種毎の労務単価

### 4.2. 計算結果

表 7 に JPDR 廃止措置費用の計算結果を示す。廃止措置費用の総額は廃棄物の処分費を含めて約 312 億円となった。費用グループ別では解体作業と廃棄物の処理・処分費がそれぞれ約 101、105 億円で、割合はそれぞれ約 32、34% であった。費目別では労務費、装置資材費と経費はそれぞれ

約 109、100、103 億円で、割合はそれぞれ約 35、32、33% であった。個々の費目別で最大は廃棄物の処理・処分費の経費の約 94 億円で、つぎは解体作業の労務費の約 61 億円であった。

図 5 に作業期間と廃止措置費用発生の関係を示す。これから、60 ヶ月（5 年）を境に廃止措置前作業、施設の停止措置作業、研究・開発の 3 つの費用グループの費用の発生が終了して次の解体作業とそれに連動する費用グループの費用が発生することが分かる。図 6 に費用の年度別積算値及び累積値を示す。60 ヶ月以降で解体に関連する費用が増大し、132 ヶ月（11 年）に建屋の解体と敷地の清掃・整地が始まり最大の値となり、最終年度は解体作業が終了しているので費用は減少している。図 7 に費用グループ別の費用を示す。廃棄物の処理・処分、解体作業、研究・開発の 3 つの費用グループが突出しており、その中で、廃棄物の処理・処分の経費、解体作業の労務費と装置資材費、研究・開発の装置資材費の 4 つの費目が突出していることが分かる。図 8 に費用グループ別の割合を示す。解体作業と廃棄物の処理・処分の費用を合わせて約 66% で、また JPDR の特徴として研究・開発が約 18% であることが分かる。図 9 に費目別の費用を示す。労務費の中では解体作業が、経費の中では廃棄物の処理・処分が突出しており、装置資材費の中では解体作業と研究・開発がほぼ同じくらい多いことが分かる。図 10 に費目別の割合を示す。労務費 35%、経費 33%、装置資材費 32% であり、これらは大差ない。図 11 に費用グループ別費目の割合を示す。労務費の割合が多い費用グループとして、廃止措置の前作業、施設の停止作業、解体作業、敷地の清掃・整地、計画の管理・施設の管理が挙げられる。装置資材費の割合が多い費用グループは、装置・資材の調達、研究・開発である。経費の割合が多い費用グループは、廃棄物の処理・処分、施設の防護・点検・維持、その他である。

## 5. BWR 大型原子力発電所の廃止措置費用の評価

電気出力 110 万 kW の BWR 大型原子力発電所（以下「BWR」と記す。）を対象に COSMARD を用いて廃止措置費用の評価を行った。

### 5.1. 計算条件

JPDR との主な違いは建屋及び機器の重量とそれに伴う解体作業人工数である。JPDR の廃棄物発生量は金属 3,150 トン、コンクリート 20,740 トンであるが、一方、BWR の廃棄物発生量<sup>(10)</sup>（付録 3 参照）は金属 38,570 トン、コンクリート 498,080 トンで、金属で約 12 倍、コンクリートで約 24 倍と規模が大きく異なる。また、JPDR 解体実地試験では実施された「研究・開発」及び「解体作業」期間にインベントリ評価等の研究開発的な作業については BWR では行わないと考えられることから、研究開発的な作業は含めないこととする。

廃止措置費用評価には解体に要する作業人工数、職種別人員数、職員等人員数、労務単価、水道光熱費、保険、税金などが必要であるが、公開されたデータはない。そのため、解体に要する作業人工数については、別途 COSMARD で計算した結果を設定する。その他、BWR の廃止措置費用評価で必要な費用で不明なものは JPDR の実績値を仮定する。

### (1) 前提条件

BWR の廃止措置費用の評価にあたり、仮定した廃止措置費用の評価対象、評価範囲、及び評価条件を以下に示す。

- 評価対象：BWR110 万 kW 級発電所

110 万 kW 級 BWR の解体で発生する廃棄物量として、エネルギー総合研究所が算定した放射能レベル別発生量<sup>(10)</sup>（付録 3）を仮定した。炉心部の炉内構造物の解体には、JPDR 解体実地試験の実績を参考に、水中プラズマアーク切断装置（マスト型）、ロボット型プラズマ切断装置、圧力容器にはアークソー切断装置、接続配管にはディスクカッターカット装置、生体遮へい体には機械的切断装置及び、水ジェット切断装置を用いることを仮定した。炉内構造物と圧力容器中央部の切断片収納は 6 種類の遮へい容器に、それ以外の大部分は 2000 ドラム缶に、大型のポンプ、タンク、コンクリートブロックは角型鋼製容器（1m<sup>3</sup>、3m<sup>3</sup> 容器）への収納を仮定した。機器の解体撤去後に建屋表面の除染を行い、確認測定を経て管理区域を解除し、その後建屋を解体することを仮定した。

- 評価範囲：解体準備から廃棄物のモルタル充填等の処理・輸送・処分までを含む。ここに、低レベル放射性廃棄物については、六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターで処分を行うと仮定した。なお、クリアランスレベル廃棄物を含む非放射性廃棄物の処理・輸送・処分費は含めなかった。また、OECD/NEA の費用グループの燃料については、本評価では廃止措置費用に含めなかった。
- 評価条件：JPDR の評価時点と同じ単価を用いた。ここに、価格変動については考慮しなかった。

### (2) 廃止措置作業工程

JPDR 解体実地試験の作業工程を参考に、計画作成に 5 年、施設停止に 0.5 年、燃料取出しに 1 年、安全貯蔵に 5 年、機器解体に 6 年、建屋解体・整地に 2 年を仮定した。仮定した廃止措置作業工程と年数を表 8 に示す。

### (3) 廃止措置費用グループ毎の対応する廃止措置作業工程及び人員数

費用グループごとに、廃止措置工程に基づいてリソース（課またはグループ単位で実施する必要人員数）及び対応する廃止措置作業工程を仮定した（表 9 参照）。ここで、JPDR 解体実地試験では「研究・開発」及び「解体作業」期間にインベントリ評価等の研究開発的な作業を行っていたが、BWR 大型発電所の廃止措置の場合は行わないこととした。「計画の管理・施設の管理」については JPDR と同じ人員数とし、それ以外の作業と安全貯蔵期間中の施設の防護・点検・維持については施設の規模が大きいため JPDR の 2 倍の人員数を仮定した。

### (4) 作業人工数

作業人工数には COSMARD を用いて評価した値と、それ以外の値がある。後者は施設の停止と点検と解体前除染の作業人工数であり、JPDR 解体実地試験の実績値を仮定した。前者は機器解体（炉内構造物、圧力容器、接続配管、生体遮へい体、一般機器）、建屋除染、確認測定、建屋解

体、及び整地作業の作業人工数である。

COSMARD を用いて作業人工数を計算するには解体対象施設の物量データや解体作業特性データが必要である。物量データとしては、建屋、機器種別、材質、汚染の有無と機器毎の重量が必要で、これらのデータを以下の方法で算出した。

我が国の 110 万 kW 級 BWR の廃棄物発生量<sup>(10)</sup>（付録 3 参照）は 536,650 トンと言われているが、建屋別、機器種別の機器毎の重量等の詳細な値は公開されていない。そこで、既知の JPDR の物量データを基に機器重量の合計が 536,650 トンとなるように重量に一律の係数を掛けた物量データを作成した。

解体作業特性データとして、炉心部機器（炉内構造物、圧力容器、生体遮へい体）の切断回数、除染面積、確認測定面積、埋め戻し面積等のデータが必要である。これらは NUREG 参考 BWR<sup>(8)</sup> のデータを基に作成した。

作業人工数を規定する他の条件として、作業構成、作業工法及びクルー構成がある。これらは、JPDR と同じと仮定した。切断・収納作業の作業効率については、作業の合理化を考慮して JPDR に対して 2 倍を仮定した。一般機器解体と建屋解体作業はスケールメリットを考慮して 4 倍の作業効率を仮定した。また、準備・後処理作業のうち作業エリアのサーベイに係わる面積については、遠隔解体、一般機器解体、建屋除染、建屋確認測定、建屋解体作業それぞれに対して、100、10、10、100、100 m<sup>2</sup>を仮定し、準備・後処理作業の難易度は、JPDR の単位作業係数の標準値を仮定した。これらの仮定と前述の解体作業特性データ及び物量データを用いて別途 COSMARD で作業人工数の計算を行った。計算結果は約 31 万人日であった。

仮定した廃止措置作業毎の作業人工数、クルー構成、労務・資材比率を表 10 に示す。

#### (5) 特殊費用

遠隔解体装置及び測定装置などの特殊費用は JPDR 解体実地試験の実績と同じ値を仮定した。収納容器の費用は、JPDR の 3 倍を仮定した（表 11 参照）。これは、放射性廃棄物重量は JPDR の約 6 倍であるが、3m<sup>3</sup>、5m<sup>3</sup> 等の大型容器を用いることで収納効率の向上を考慮したことによる。

#### (6) その他のデータ

公開されたデータが無い以下のデータ項目については、JPDR 解体実地試験の実績と同じ値を仮定した（表 12、表 13 参照）。

- ・費用項目の作業量比率
- ・税金、保険、公衆被ばくの計算費用、計算機リース費、電気・水道料金、一般業務費
- ・金属及びコンクリート廃棄物の重量及び密度、収納容器の充填率
- ・職員年俸、職種毎の労務単価

### 5.2. 計算結果

表 14 に BWR 廃止措置費用の計算結果を示す。廃止措置費用の総額は廃棄物の処分費を含めて約 566 億円となった。費用グループ別では解体作業と廃棄物の処理・処分がそれぞれ約 249 億円、231 億円で、割合はそれぞれ約 44%、41% であった。費目別では労務費、装置資材費と経費はそ

それぞれ約 235、124、207 億円で、割合はそれぞれ約 41、22、37% であった。個々の費目の中で最大は廃棄物の処理・処分費の経費の約 194 億円で、つぎは解体作業の労務費の約 172 億円であった。

図 12 に作業期間と廃止措置費用発生の関係を示す。これから、60 ヶ月（5 年）を境に廃止措置前作業、施設の停止措置作業の費用グループの費用の発生が終了し、60 ヶ月（5 年）～120 ヶ月（10 年）の安全貯蔵期間には施設の防護・点検・維持とその他の費用が発生し、120 ヶ月（10 年）以降から解体作業とそれに連動する費用グループの費用が発生することが分かる。図 13 に費用の年度別積算値及び累積値を示す。120 ヶ月（10 年）以降で解体に関連する費用が増大し、192 ヶ月（16 年）に建屋の解体と敷地の清掃・整地が始まり最大の値となり、最終年度は解体作業が終了しているので費用は減少している。図 14 に費用グループ別の費用を示す。解体作業、廃棄物の処理・処分の 2 つの費用グループが突出しており、その中で、廃棄物の処理・処分の経費、解体作業の労務費と装置資材費の 3 つの費目が突出していることが分かる。図 15 に費用グループ別の割合を示す。解体作業と廃棄物の処理・処分の費用を合わせて約 85% である。図 16 に費目別の費用を示す。労務費と装置資材費の中では解体作業が、経費の中では廃棄物の処理・処分が突出してることが分かる。図 17 に費目別の割合を示す。労務費 41.5%、経費 36.6%、装置資材費 21.9% の割合の順であることが分かる。図 18 に費用グループ別費目の割合を示す。労務費の割合が多い費用グループとして、廃止措置の前作業、施設の停止作業、解体作業、施設の防護・点検・維持、敷地の清掃・整地、計画の管理・施設の管理が挙げられる。装置資材費の割合が多い費用グループは、装置・資材の調達である。経費の割合が多い費用グループは、廃棄物の処理・処分、その他である。

OECD/NEA の公開レポート<sup>(7)</sup>では、東海 2 号発電炉 110 万 kWe の廃止措置費用は約 545 億円（約 43600 万 US\$ を為替レート 1 ドル 125 円(2001-07-01)で換算）とされている。また、同レポートの単位電力量あたりの廃止措置費用 420[USD/kWe] を用いて東海 2 号発電炉の廃止措置費用を求めるとき約 578 億円となる。COSMARD を用いて本研究で求めた BWR の廃止措置費用（約 566 億円）はこれらの値の範囲に含まれており、妥当な結果であるといえる。

### 5.3. JPDR と BWR の廃止措置費用の計算結果の比較

BWR は JPDR と比べて解体対象の規模が大きく、5 年の安全貯蔵期間に施設の防護・点検・維持とその他の費用が発生することが異なる。廃止措置費用は JPDR と BWR はそれぞれ約 312 億円と約 566 億円で、BWR の廃止措置費用は JPDR の約 1.8 倍であった。

廃棄物重量は JPDR と BWR はそれぞれ約 23,890 トンと約 536,650 トンで、BWR の廃棄物重量は JPDR の約 22.5 倍であった。労務費は JPDR と BWR はそれぞれ約 109 億円と約 235 億円で、BWR の労務費は JPDR の約 2.1 倍であった。労務費百万円あたりの解体廃棄物重量は JPDR と BWR はそれぞれ約 2.2 トン/百万円と約 22.8 トン/百万円で、この例では BWR の解体効率は JPDR の約 10.4 倍であった。

また、放射性廃棄物重量は JPDR と BWR はそれぞれ約 3,770 トンと約 25,460 トンであり、BWR の放射性廃棄物重量は JPDR の約 6.8 倍であった。廃棄物の処理処分費の経費は JPDR と BWR はそれぞれ約 94 億円と約 194 億円であり、BWR の廃棄物の処理処分費の経費は JPDR の約 2 倍で

あった。放射性廃棄物重量に対する倍率にくらべ、廃棄物の処理処分費の経費の倍率が小さいことは、廃棄物の処理処分費を求める物量一次近似式<sup>(9)</sup>の切片の値が約 77 億円と大きく、傾きの値が 0.391 と小さいことによる。

## 6. ケーススタディ

廃止措置費用の変動要因のひとつに安全貯蔵期間が考えられる。安全貯蔵期間が長期になると廃棄物の放射能の減衰により、レベル区分毎の廃棄物発生量が減少し、廃棄物の処理・処分費の減少が期待できるが、同時に、安全貯蔵期間中の管理費が増加することになる。

この安全貯蔵期間に応じて減少する費用と増加する費用の関係より、費用が最小となる安全貯蔵期間を求めることが可能となる。

前章の BWR 廃止措置の費用評価では安全貯蔵期間を 5 年と仮定したが、期間を延長して仮に 20 年を仮定した費用評価を行い、安全貯蔵期間 5 年と 20 年の場合について、廃止措置費用の比較を行った。

### (1) 安全貯蔵期間を 20 年とした場合の費用評価

安全貯蔵期間 20 年の解体作業では管理区域内で行われる作業には変わりが無いとして解体人工数、クルー構成及び職員人員数は安全貯蔵期間が 5 年のケースと同じ値を仮定した。また、放射性廃棄物重量は安全貯蔵期間 20 年の減衰を考慮し、金属及びコンクリートの放射性廃棄物重量はそれぞれ 19,556 トン、1,280 トンを仮定した。この値は 110 万 kW 級 BWR の安全貯蔵期間 5 年の金属及びコンクリートの汚染及び放射化の放射能レベル別の重量<sup>(10)</sup>（付録 3 参照）を基に、10 分割した放射能レベル別の重量毎に、各放射能レベルを 10 分割した放射能濃度が均一に分布すると仮定し、NUREG 参考 BWR<sup>(8)</sup>の炉停止時の材質毎の汚染と放射化の核種組成割合を用いて、核種毎の半減期を考慮し、安全貯蔵期間が 20 年として、10 分割した放射能レベル別の重量毎に放射能濃度を求め、付録 3 のクリアランスレベル以下の廃棄物の濃度を下まわった放射能レベル別の重量を集計した結果である。

汚染金属は放射能レベル E ( $3.7E+05 \sim 3.7+06 [\text{Bq}/\text{t}]$ ) の 520 トンの内 260 トンが、放射化金属は放射能レベル D ( $3.7E+06 \sim 3.7+07 [\text{Bq}/\text{t}]$ ) の 780 トンの全量と放射能レベル C3 ( $3.7E+07 \sim 3.7+08 [\text{Bq}/\text{t}]$ ) の 1140 トンの内 114 トンの合計 894 トンが、放射化コンクリートは放射能レベル D ( $3.7E+06 \sim 3.7+07 [\text{Bq}/\text{t}]$ ) の 1,720 トンの全量が放射性として扱う必要のない廃棄物となる。

表 15 に安全貯蔵期間を 20 年とした BWR 廃止措置費用の計算結果を示す。減衰の効果及び安全貯蔵期間の 20 年の維持管理を考慮して評価した廃止措置費用の総額は約 575 億円となった。工程及び費用の年度別積算値及び累積値を図 19、図 20 に示す。費用グループ別では解体作業、廃棄物の処理・処分、施設の防護・点検・維持がそれぞれ約 249 億円、219 億円であり、割合はそれぞれ約 43%、38% であった。費目別では労務費、装置資材費と経費がそれぞれ約 245、124、205 億円であり、割合はそれぞれ約 43、22、36% であった。個々の費目の中で最大は廃棄物の処理・処分費の経費の約 182 億円で、次は解体作業の労務費の約 172 億円であった。

## (2) 安全貯蔵期間 5 年と 20 年の費用評価の比較

安全貯蔵期間を 5 年と 20 年とした場合の費用の比較を表 16 に示す。期間を 20 年にすると放射性廃棄物発生量の減少により廃棄物の処理・処分費の経費が約 12 億円減少する一方で、安全貯蔵期間の延長により施設の防護・点検・維持の労務費が約 11 億円増加と経費が約 8 億円増加すること、その他の費用の経費が約 3 億円増加することにより合計で約 9 億円増加となることが分かる。放射性廃棄物の発生量の減少による処理・処分費の減少以上に、安全貯蔵期間の施設の防護・点検・維持及びその他の増加分が大きい評価となった。

## 7. まとめ

(1) OECD/NEA 廃止措置費用評価作業部会が標準化した廃止措置費用の費用グループ及び費用項目と、廃止措置作業工程、基本データで構成する廃止措置費用評価モデルとその費用評価手順を COSMARD に実装し、JPDR と BWR を対象として廃止措置費用の評価を行った結果、以下の点を明らかにした。

- 低レベル放射性廃棄物を六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターで処分を行うと仮定した JPDR の廃止措置費用の計算結果は、総額で約 312 億円となった。また、全費用に寄与の大きい費用グループは、解体作業と廃棄物の処理・処分費で、それぞれ約 101、105 億円で、割合はそれぞれ約 32、34% であった。
- 安全貯蔵期間として 5 年を仮定した BWR の廃止措置費用の計算結果は、公開されている東海 2 号発電炉の解体費用とほぼ等しい結果であった。
- 安全貯蔵期間を 5 年と 20 年の廃止措置費用の比較を行い、20 年にすると放射性廃棄物の発生量の減少による処理・処分費の減少以上に、安全貯蔵期間の施設の防護・点検・維持及びその他の増加分が大きい評価となった。

(2) 上述の廃止措置費用評価モデルとその費用評価手順を COSMARD に実装することにより、以下のようなパラメータを変更した費用評価を容易に行うこと可能とした。

- 廃止措置工程の期間及び職員人員数
- 作業人工数、職種別労務単価及び遠隔解体装置、容器などの特殊費用
- 物価上昇率、割引率を考慮した費用評価など

(3) COSMARD は評価条件を容易に変更して費用評価を行うことができることから、原子力施設の最適な廃止措置シナリオを検討する上で役立つものと考える。

## 謝辞

本報告書をまとめるにあたって、バックエンド技術部デコミッショニング技術開発室の諸氏に種々の助言や協力を頂きました。ここに深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- (1) バックエンド技術部 : JAERI-Review 2000-013, “OECD/NEA 廃止措置協力に関する活動状況と参加プロジェクトの現状” (2000).
- (2) 佐藤忠通 : 日本原子力学会誌, 40, 855 (1998).
- (3) 柳原敏、他 : JAERI-M94-005, “原子炉デコミッショニング管理のための計算コードシステムの開発・ I ” (1994).
- (4) S. Yanagihara : J. Nucl. Sci. Technol., 30, 890 (1993).
- (5) OECD/NEA : A Proposed Standardised List of Items for Costing Purposes in the decommissioning of Nuclear Installations, 1999
- (6) 大島総一郎、他 : JAERI-Tech 2001-086, “原子力施設の廃止措置計画策定及び管理のための計算システムの開発” (2001).
- (7) OECD/NEA : Decommissioning Nuclear Power Plants: Policies, Strategies and Costs, 2003
- (8) H.D.Oak, G.M.Holter, G.J.Konzek, W.E.Kennedy,Jr “TECHNOLOGY, SAFETY AND COSTS OF DECOMMISSIONING A REFERENCE BOILING WATER REACTOR POWER STATION” NUREG/CR-0672 (1980)
- (9) 総合エネルギー調査会原子力部会中間報告－商業用原子力発電施設解体廃棄物の処理処分に向けて－ 平成 11 年 5 月 18 日 資料 9 物量一次近似法
- (10) (財)エネルギー総合工学研究所「実用発電用原子炉廃炉技術調査報告書(平成 11 年度)」 平成 12 年 3 月 IAE-C9933

表 1 JPDR 廃止措置工程項目毎の期間の設定

| 工程符号 | 工程項目    | 期間[年] | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------|---------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| A    | 計画作成    | 5     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| B    | 施設停止    | 0.5   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| C    | 燃料取出し   | 1     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| D    | 安全貯蔵    | 0     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| E    | 機器解体    | 6     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| F    | 建屋解体・整地 | 2     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

表 2 JPDR 廃止措置費用グループ毎の期間及び必要人員数の設定

| 番号 | 費用グループ      | 対応工程符号 <sup>注1)</sup> | 職員[人]            | 課長[人] | 部長[人] |
|----|-------------|-----------------------|------------------|-------|-------|
| 1  | 廃止措置の前作業    | A                     | 5                | -     | -     |
| 2  | 施設の停止措置作業   | B                     | 2                | -     | -     |
| 3  | 装置・資材の調達    | E+F-1                 | 0                | -     | -     |
| 4  | 解体作業        | E                     | 5 <sup>注2)</sup> | -     | -     |
| 5  | 廃棄物の処理・処分   | E+F-1                 | 5                | -     | -     |
| 6  | 施設の防護・点検・維持 | D+E+F-1               | 6                | -     | -     |
| 7  | 敷地の清掃・整地    | F                     | 0                | -     | -     |
| 8  | 計画の管理・施設の管理 | E+F-1                 | 38               | 5     | 2     |
| 9  | 研究・開発       | A                     | 33               | 5     | 2     |
| 10 | 燃料          | C                     | 0                | -     | -     |
| 11 | その他         | D+E+F-1               | 0                | -     | -     |

注 1) 英字は表 1 の工程符号を、数字は年を表す。

注 2) 解体期間中にインベントリ評価等の研究開発的な作業を行ったことによる。

表 3 JPDR 廃止措置作業毎の作業人工数、クルー構成、労務・資材比率の設定

| 連番 | 作業名称        | 人 工 数<br>[人・日] | 作業員<br>[人] | 監督<br>[人] | 放管<br>[人] | 技術員<br>[人] | 労務・資<br>材比率 |
|----|-------------|----------------|------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| 1  | 施設の停止と点検    | 120            | 5          | 0         | 0         | 0          | 0.0         |
| 2  | 燃料と核燃料物質の撤去 | 40             | 5          | 0         | 0         | 0          | 0.0         |
| 3  | 電源装置の隔離     | 30             | 5          | 0         | 0         | 0          | 0.0         |
| 4  | 解体前除染       | 10,000         | 5          | 1         | 1         | 0          | 0.3         |
| 5  | 炉内構造物の解体    | 11,505         | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 6  | 接続配管の解体     | 1,185          | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 7  | 圧力容器の解体     | 6,921          | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 8  | 生体遮へい体機械的切断 | 5,746          | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 9  | 生体遮へい体制御爆破  | 6,399          | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 10 | 一般機器の解体     | 36,620         | 5          | 1         | 1         | 0          | 0.3         |
| 11 | 建屋除染        | 13,214         | 5          | 1         | 1         | 0          | 0.3         |
| 12 | 建屋放射能測定     | 3,299          | 5          | 1         | 1         | 0          | 0.3         |
| 13 | 建屋解体        | 11,229         | 5          | 1         | 0.5       | 0          | 0.25        |

表 4 JPDR 廃止措置における特殊費用の設定 単位：[百万円]

| 連番 | 装置名称等             | 費用    | 連番 | 装置名称等              | 費用  |
|----|-------------------|-------|----|--------------------|-----|
| 1  | アークソー切断装置         | 440   | 16 | スラッジ固化処理装置         | 18  |
| 2  | プラズマアーク切断装置       | 338.4 | 17 | カートンボックス焼却処分資材     | 73  |
| 3  | ディスクカッター切断装置      | 142.8 | 18 | 中央集中警報盤            | 30  |
| 4  | 成型爆薬切断装置          | 22    | 19 | 計測系計器              | 10  |
| 5  | 機械的切断装置           | 306.2 | 20 | 解体工法に関する調査         | 32  |
| 6  | 水ジェット切断装置         | 178.8 | 21 | 解体関連除染技術開発         | 709 |
| 7  | ロボット型プラズマ切断装置     | 311.5 | 22 | 放射能インベントリ技術開発      | 323 |
| 8  | プラズマアーク二次切断装置     | 80    | 23 | 解体システムエンジニアリング技術開発 | 293 |
| 9  | 放射線管理用測定器         | 570   | 24 | 配管内部放射能汚染測定技術開発    | 497 |
| 10 | 放射能インベントリ測定器      | 60    | 25 | 解体に係る放射線管理技術開発     | 50  |
| 11 | 放射線防護資材           | 62    | 26 | 解体工法機器技術開発         | 865 |
| 12 | 遮へい容器 34 個        | 290   | 27 | ロボット技術開発           | 517 |
| 13 | 鋼製容器 1,000 個      | 330   | 28 | 解体廃棄物の処理処分技術開発     | 295 |
| 14 | ドラム缶 8,000 個      | 160   | 29 | モックアップ試験           | 616 |
| 15 | カートンボックス 35,000 個 | 10    |    |                    |     |

表 5 JPDR 廃止措置における費用項目の作業比率の設定

| 番号      | 名称              | 作業比率 |
|---------|-----------------|------|
| 01.0100 | 廃止措置計画の作成       | 0.64 |
| 0200    | 許認可作業           | 0.16 |
| 0300    | 計画と認可のための放射能評価  | 0.20 |
| 02.0300 | 停止したシステムの排水・乾燥  | 0.50 |
| 1000    | 使用済樹脂の撤去        | 0.50 |
| 04.0500 | 領域区分後の放射能特性評価   | 0.40 |
| 2100    | 放射性物質の特性評価      | 0.60 |
| 05.1200 | 解体廃棄物の処理        | 0.20 |
| 1400    | 解体廃棄物の輸送        | 0.80 |
| 06.0100 | サイトの防護と監視       | 0.20 |
| 0300    | サイトの維持          | 0.80 |
| 08.0200 | 計画管理と設計支援       | 0.56 |
| 0300    | 広報活動            | 0.04 |
| 0400    | 支援業務            | 0.27 |
| 0500    | 保健と安全           | 0.13 |
| 09.0100 | 除染、測定、解体装置の研究開発 | 0.90 |
| 0200    | 複雑な作業のシミュレーション  | 0.10 |

表 6 JPDR 廃止措置におけるその他の費用の設定

| 番号      | 名称             | 百万円 | 経費  | 労務・経                                     | 備考 |
|---------|----------------|-----|-----|--|----|
|         |                |     | 費比率 |  |    |
| 01.0100 | 廃止措置計画の作成      |     | 0.6 | 公衆の被ばく計算費用                               |    |
| 0200    | 許認可作業          |     | 0.1 | 印刷費、旅費など                                 |    |
| 0300    | 計画と認可のための放射能評価 |     | 1.7 | 計算機リース費                                  |    |
| 02.0500 | 系統溶液（水、油等）の撤去  | 0.3 |     | タンクローリーと人件費                              |    |
| 04.2300 | 人員の訓練          | 1   |     | 毎年                                       |    |
| 05.1400 | 解体廃棄物の輸送       |     | 1.0 | 重機リース                                    |    |
| 1600    | 解体廃棄物の処分       |     |     | 放射性金属重量=1,190ton<br>放射性コンクリート重量=2,580ton |    |
| 06.0400 | エネルギーと水        | 50  |     | 毎年                                       |    |
| 08.0200 | 計画管理と設計支援      | 12  |     | 毎年                                       |    |
| 0300    | 広報活動           | 12  |     | 毎年                                       |    |
| 0400    | 支援業務           | 12  |     | 毎年                                       |    |
| 11.0400 | 税金             | 5   |     | 毎年                                       |    |
| 0500    | 保険             | 10  |     | 毎年                                       |    |
| 0600    | 間接費と一般業務費用     | 5.5 |     | 毎年                                       |    |

表 7 JPDR 廃止措置費用の計算結果

単位：[百万円]

| 番号 | 費用グループ      | 労務費   |       |        | 装置資<br>材費 | 経費     | 費用     |        |
|----|-------------|-------|-------|--------|-----------|--------|--------|--------|
|    |             | 職員    | 作業員   | 小計     |           |        | 合計     | [%]    |
| 1  | 廃止措置前処置     | 150   | 0     | 150    | 0         | 111    | 261    | 0.8%   |
| 2  | 施設の停止措置作業   | 6     | 8     | 14     | 0         | 0      | 14     | 0.0%   |
| 3  | 装置・資材の調達    | 0     | 0     | 0      | 692       | 0      | 692    | 2.2%   |
| 4  | 解体作業        | 180   | 5,911 | 6,091  | 3,999     | 6      | 10,096 | 32.4%  |
| 5  | 廃棄物の処理・処分   | 210   | 0     | 210    | 881       | 9,424  | 10,515 | 33.7%  |
| 6  | 施設の防護・点検・維持 | 252   | 0     | 252    | 40        | 350    | 642    | 2.1%   |
| 7  | 敷地の清掃・整地    | 0     | 656   | 656    | 164       | 0      | 821    | 2.6%   |
| 8  | 計画の管理・施設の管理 | 2,156 | 0     | 2,156  | 0         | 252    | 2,408  | 7.7%   |
| 9  | 研究・開発       | 1,390 | 0     | 1,390  | 4,197     | 0      | 5,587  | 17.9%  |
| 10 | 燃料          | 0     | 0     | 0      | 0         | 0      | 0      | 0.0%   |
| 11 | その他         | 0     | 0     | 0      | 0         | 144    | 144    | 0.5%   |
|    | 合計          | 4,344 | 6,575 | 10,919 | 9,973     | 10,287 | 31,179 | —      |
|    | [%]         | 13.9% | 21.1% | 35.0%  | 32.0%     | 33.0%  | 100.0% | 100.0% |

注) OECD/NEA の費用グループの燃料については、本評価では廃止措置費用に含めなかった。

表 8 BWR 廃止措置工程項目毎の期間の設定 [安全貯蔵期間 5 年 以降の表も同様]

| 工程符号 | 工程項目    | 期間[年] | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
|------|---------|-------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| A    | 計画作成    | 5     |   |   | ■ |   |    |    |    |    |    |
| B    | 施設停止    | 1     |   |   | ■ |   |    |    |    |    |    |
| C    | 燃料取出し   | 1     |   |   | ■ |   |    |    |    |    |    |
| D    | 安全貯蔵    | 5     |   |   | ■ | ■ |    |    |    |    |    |
| E    | 機器解体    | 6     |   |   |   |   |    | ■  | ■  | ■  |    |
| F    | 建屋解体・整地 | 2     |   |   |   |   |    |    |    | ■  | ■  |

表 9 BWR 廃止措置費用グループ毎の期間及び必要人員数の設定

| 番号 | 費用項目        | 対応工程符号 <sup>注1)</sup> | 職員[人]          | 課長[人]          | 部長[人]          |
|----|-------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | 廃止措置の前作業    | A                     | 10             | -              | -              |
| 2  | 施設の停止措置作業   | B                     | 4              | -              | -              |
| 3  | 装置・資材の調達    | E+F-1                 | 0              | -              | -              |
| 4  | 解体作業        | E                     | <sup>注2)</sup> | -              | -              |
| 5  | 廃棄物の処理・処分   | E+F-1                 | 10             | -              | -              |
| 6  | 施設の防護・点検・維持 | D+E+F-1               | 12             | -              | -              |
| 7  | 敷地の清掃・整地    | F                     | 0              | -              | -              |
| 8  | 計画の管理・施設の管理 | E+F-1                 | 38             | 5              | 2              |
| 9  | 研究・開発       | <sup>注2)</sup>        | <sup>注2)</sup> | <sup>注2)</sup> | <sup>注2)</sup> |
| 10 | 燃料          | C                     | 0              | -              | -              |
| 11 | その他         | D+E+F-1               | 0              | -              | -              |

注 1) 英字は表 8 の工程符号を、数字は年を表す。

注 2) 作業はないことによる。

表 10 BWR 廃止措置作業毎の作業人工数、クルー構成、労務・資材比率の設定

| 連番 | 作業名称        | 人 工 数<br>[人・日] | 作業員<br>[人] | 監督<br>[人] | 放管<br>[人] | 技術員<br>[人] | 労務・資<br>材比率 |
|----|-------------|----------------|------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| 1  | 施設の停止と点検    | 120            | 5          | 0         | 0         | 0          | 0.0         |
| 2  | 燃料と核燃料物質の撤去 | 40             | 5          | 0         | 0         | 0          | 0.0         |
| 3  | 電源装置の隔離     | 30             | 5          | 0         | 0         | 0          | 0.0         |
| 4  | 解体前除染       | 10,000         | 5          | 1         | 1         | 0          | 0.3         |
| 5  | 炉内構造物の解体    | 32,905         | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 6  | 接続配管の解体     | 311            | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 7  | 圧力容器の解体     | 2,930          | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 8  | 熱遮へい体機械的切断  | 5,784          | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 9  | 生体遮へい体制御爆破  | 20,638         | 10         | 2         | 2         | 1          | 0.5         |
| 10 | 一般機器の解体     | 189,364        | 5          | 1         | 1         | 0          | 0.3         |
| 11 | 建屋除染        | 9,757          | 5          | 1         | 1         | 0          | 0.3         |
| 12 | 建屋放射能測定     | 5,166          | 5          | 1         | 1         | 0          | 0.3         |
| 13 | 建屋解体        | 43,097         | 5          | 1         | 0.5       | 0          | 0.25        |

表 11 BWR 廃止措置における特殊費用の設定

単位 : [百万円]

| 連番 | 装置名称等              | 費用    | 連番 | 装置名称等              | 費用 |
|----|--------------------|-------|----|--------------------|----|
| 1  | アークソーカット装置         | 440   | 16 | スラッジ固化処理装置         | 18 |
| 2  | プラズマアークカット装置       | 338.4 | 17 | カートンボックス焼却処分資材     | 73 |
| 3  | ディスクカッターカット装置      | 142.8 | 18 | 中央集中警報盤            | 30 |
| 4  | 成型爆薬カット装置          | 22    | 19 | 計測系計器              | 10 |
| 5  | 機械的カット装置           | 306.2 | 20 | 解体工法に関する調査         | -  |
| 6  | 水ジェットカット装置         | 178.8 | 21 | 解体関連除染技術開発         | -  |
| 7  | ロボット型プラズマカット装置     | 311.5 | 22 | 放射能インベントリ技術開発      | -  |
| 8  | プラズマアーク二次カット装置     | 80    | 23 | 解体システムエンジニアリング技術開発 | -  |
| 9  | 放射線管理用測定器          | 570   | 24 | 配管内部放射能汚染測定技術開発    | -  |
| 10 | 放射能インベントリ測定器       | 60    | 25 | 解体に係る放射線管理技術開発     | -  |
| 11 | 放射線防護資材            | 620   | 26 | 解体工法機器技術開発         | -  |
| 12 | 遮へい容器 102 個        | 870   | 27 | ロボット技術開発           | -  |
| 13 | 鋼製容器 3,000 個       | 990   | 28 | 解体廃棄物の処理処分技術開発     | -  |
| 14 | ドラム缶 24,000 個      | 480   | 29 | モックアップ試験           | -  |
| 15 | カートンボックス 105,000 個 | 30    |    |                    |    |

表 12 BWR 廃止措置における費用項目の作業比率の設定

| 番号      | 名称              | 作業比率 |
|---------|-----------------|------|
| 01.0100 | 廃止措置計画の作成       | 0.64 |
| 0200    | 許認可作業           | 0.16 |
| 0300    | 計画と認可のための放射能評価  | 0.20 |
| 02.0300 | 停止したシステムの排水・乾燥  | 0.50 |
| 1000    | 使用済樹脂の撤去        | 0.50 |
| 04.0500 | 領域区分後の放射能特性評価   | 0.40 |
| 2100    | 放射性物質の特性評価      | 0.60 |
| 05.1200 | 解体廃棄物の処理        | 0.20 |
| 1400    | 解体廃棄物の輸送        | 0.80 |
| 06.0100 | サイトの防護と監視       | 0.20 |
| 0300    | サイトの維持          | 0.80 |
| 08.0200 | 計画管理と設計支援       | 0.56 |
| 0300    | 広報活動            | 0.04 |
| 0400    | 支援業務            | 0.27 |
| 0500    | 保健と安全           | 0.13 |
| 09.0100 | 除染、測定、解体装置の研究開発 | -    |
| 0200    | 複雑な作業のシミュレーション  | -    |

表 13 BWR 廃止措置におけるその他の費用の設定

| 番号      | 名称             | 百万円 | 経費  | 労務・経                                      | 備考 |
|---------|----------------|-----|-----|---|----|
|         |                |     | 費比率 |   |    |
| 01.0100 | 廃止措置計画の作成      |     | 0.6 | 公衆の被ばく計算費用                                |    |
| 0200    | 許認可作業          |     | 0.1 | 印刷費、旅費など                                  |    |
| 0300    | 計画と認可のための放射能評価 |     | 1.7 | 計算機リース費                                   |    |
| 02.0500 | 系統溶液（水、油等）の撤去  | 0.3 |     | タンクローリーと人件費                               |    |
| 04.2300 | 人員の訓練          | 1   |     | 毎年  |    |
| 05.1400 | 解体廃棄物の輸送       |     | 1.0 | 重機リース                                     |    |
| 1600    | 解体廃棄物の処分       |     |     | 放射性金属重量=20,710ton<br>放射性コンクリート重量=3,000ton |    |
| 06.0400 | エネルギーと水        | 50  |     | 毎年  |    |
| 08.0200 | 計画管理と設計支援      | 12  |     | 毎年  |    |
| 0300    | 広報活動           | 12  |     | 毎年  |    |
| 0400    | 支援業務           | 12  |     | 毎年  |    |
| 11.0400 | 税金             | 5   |     | 毎年  |    |
| 0500    | 保険             | 10  |     | 毎年  |    |
| 0600    | 間接費と一般業務費用     | 5.5 |     | 毎年  |    |

表 14 BWR 廃止措置費用の計算結果 [安全貯蔵期間 5 年] 単位 : [百万円]

| 番号 | 費用グループ      | 労務費   |        |        | 装置資<br>材費 | 経費     | 費用     |        |
|----|-------------|-------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
|    |             | 職員    | 作業員    | 合計     |           |        | 合計     | [%]    |
| 1  | 廃止措置前処置     | 300   | 0      | 300    | 0         | 222    | 522    | 0.9%   |
| 2  | 施設の停止措置作業   | 24    | 8      | 32     | 0         | 0      | 32     | 0.1%   |
| 3  | 装置・資材の調達    | 0     | 0      | 0      | 692       | 0      | 692    | 1.2%   |
| 4  | 解体作業        | 0     | 17,168 | 17,168 | 7,771     | 6      | 24,945 | 44.1%  |
| 5  | 廃棄物の処理・処分   | 420   | 0      | 420    | 3,280     | 19,390 | 23,090 | 40.8%  |
| 6  | 施設の防護・点検・維持 | 864   | 0      | 864    | 40        | 600    | 1,504  | 2.7%   |
| 7  | 敷地の清掃・整地    | 0     | 2,520  | 2,520  | 630       | 0      | 3,149  | 5.6%   |
| 8  | 計画の管理・施設の管理 | 2,156 | 0      | 2,156  | 0         | 252    | 2,408  | 4.3%   |
| 9  | 研究・開発       | 0     | 0      | 0      | 0         | 0      | 0      | 0.0%   |
| 10 | 燃料          | 0     | 0      | 0      | 0         | 0      | 0      | 0.0%   |
| 11 | その他         | 0     | 0      | 0      | 0         | 246    | 246    | 0.4%   |
|    | 合計          | 3,764 | 19,695 | 23,459 | 12,413    | 20,717 | 56,588 | —      |
|    | 割合          | 6.7%  | 34.8%  | 41.5%  | 21.9%     | 36.6%  | 100.0% | 100.0% |

注) OECD/NEA の費用グループの燃料については、本評価では廃止措置費用に含めなかった。

表 15 BWR 廃止措置費用の計算結果 [安全貯蔵期間 20 年] 単位 : [百万円]

| 番号 | 費用グループ      | 労務費   |        |        | 装置資<br>材費 | 経費     | 費用     |        |
|----|-------------|-------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|
|    |             | 職員    | 作業員    | 合計     |           |        | 合計     | [%]    |
| 1  | 廃止措置前処置     | 300   | 0      | 300    | 0         | 222    | 522    | 0.9%   |
| 2  | 施設の停止措置作業   | 24    | 8      | 32     | 0         | 0      | 32     | 0.1%   |
| 3  | 装置・資材の調達    | 0     | 0      | 0      | 692       | 0      | 692    | 1.2%   |
| 4  | 解体作業        | 0     | 17,168 | 17,168 | 7,771     | 6      | 24,945 | 43.4%  |
| 5  | 廃棄物の処理・処分   | 420   | 0      | 420    | 3,280     | 18,161 | 21,861 | 38.0%  |
| 6  | 施設の防護・点検・維持 | 1,944 | 0      | 1,944  | 40        | 1,350  | 3,334  | 5.8%   |
| 7  | 敷地の清掃・整地    | 0     | 2,520  | 2,520  | 630       | 0      | 3,149  | 5.5%   |
| 8  | 計画の管理・施設の管理 | 2,156 | 0      | 2,156  | 0         | 252    | 2,408  | 4.2%   |
| 9  | 研究・開発       | 0     | 0      | 0      | 0         | 0      | 0      | 0.0%   |
| 10 | 燃料          | 0     | 0      | 0      | 0         | 0      | 0      | 0.0%   |
| 11 | その他         | 0     | 0      | 0      | 0         | 554    | 554    | 1.0%   |
|    | 合計          | 4,844 | 19,695 | 24,539 | 12,413    | 20,545 | 57,497 | —      |
|    | 割合          | 8.4%  | 34.3%  | 42.7%  | 21.6%     | 35.7%  | 100.0% | 100.0% |

注) OECD/NEA の費用グループの燃料については、本評価では廃止措置費用に含めなかった。

表 16 安全貯蔵期間 5 年を 20 年に延長したときの BWR 廃止措置費用の変化 単位 : [百万円]

| 番号 | 費用グループ      | 労務費   |     |       | 装置資<br>材費 | 経費     | 費用<br>合計 |
|----|-------------|-------|-----|-------|-----------|--------|----------|
|    |             | 職員    | 作業員 | 合計    |           |        |          |
| 1  | 廃止措置前処置     | 0     | 0   | 0     | 0         | 0      | 0        |
| 2  | 施設の停止措置作業   | 0     | 0   | 0     | 0         | 0      | 0        |
| 3  | 装置・資材の調達    | 0     | 0   | 0     | 0         | 0      | 0        |
| 4  | 解体作業        | 0     | 0   | 0     | 0         | 0      | 0        |
| 5  | 廃棄物の処理・処分   | 0     | 0   | 0     | 0         | -1,229 | -1,229   |
| 6  | 施設の防護・点検・維持 | 1,080 | 0   | 1,080 | 0         | 750    | 1,830    |
| 7  | 敷地の清掃・整地    | 0     | 0   | 0     | 0         | 0      | 0        |
| 8  | 計画の管理・施設の管理 | 0     | 0   | 0     | 0         | 0      | 0        |
| 9  | 研究・開発       | 0     | 0   | 0     | 0         | 0      | 0        |
| 10 | 燃料          | 0     | 0   | 0     | 0         | 0      | 0        |
| 11 | その他         | 0     | 0   | 0     | 0         | 308    | 308      |
|    | 合計          | 1,080 | 0   | 1,080 | 0         | -172   | 908      |

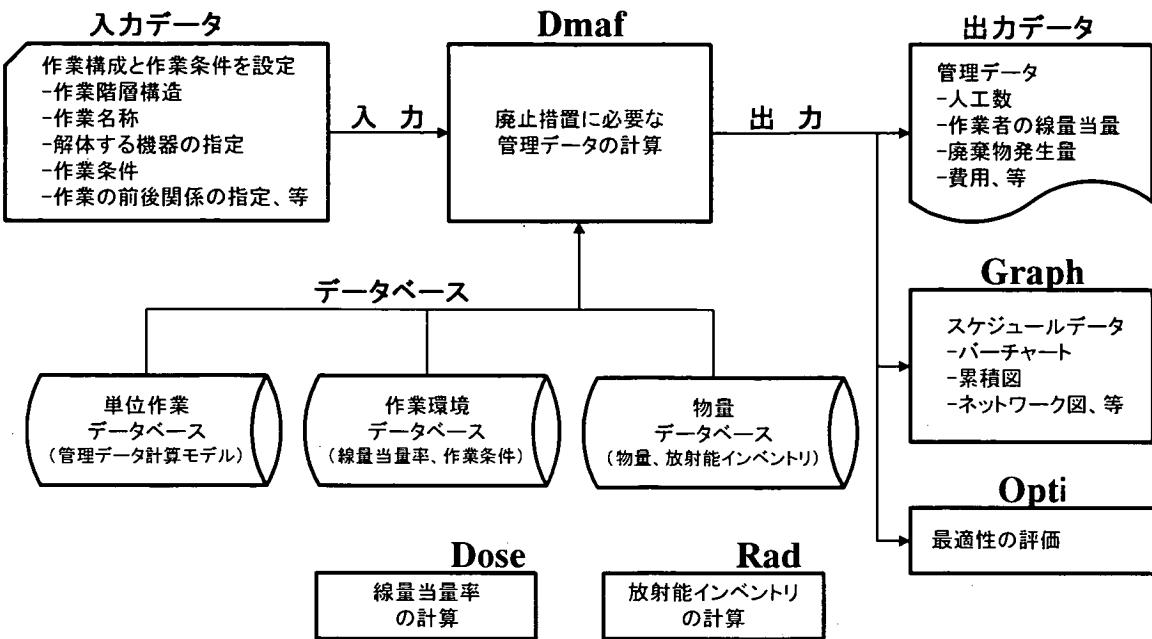
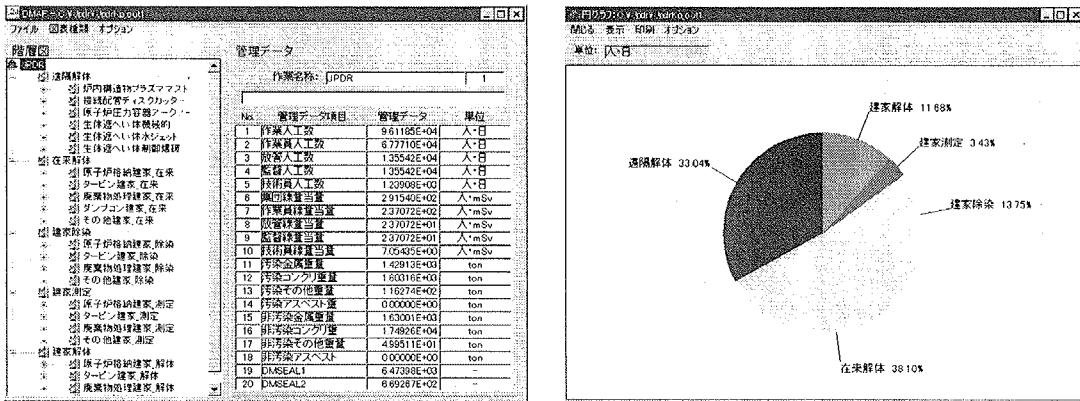


図 1 COSMARD の構成

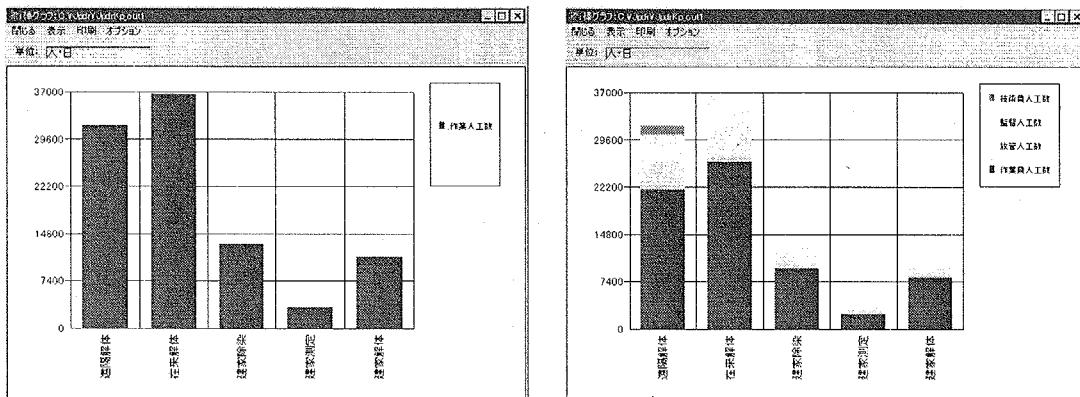


図 2 COSMARD の GUI



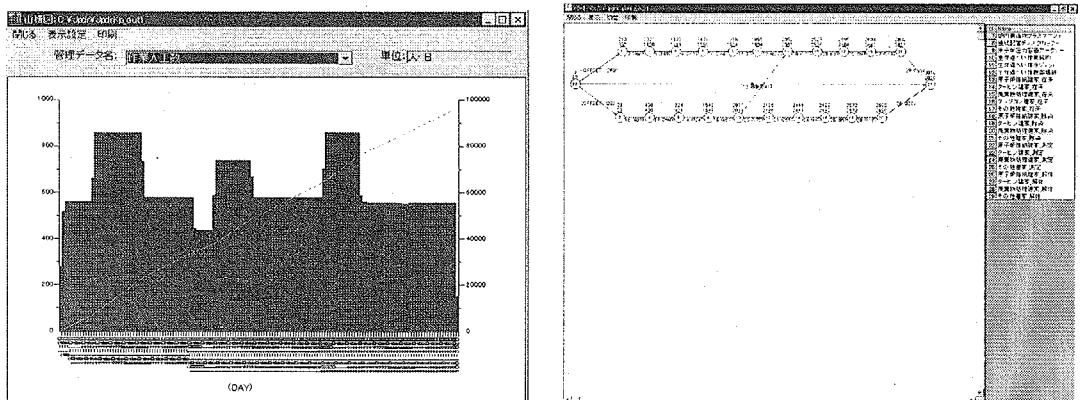
(1) 階層構造図

(2) 円グラフ



(3) 棒グラフ

(4) 積上げ図



(5) 山積図

(6) PERT 図

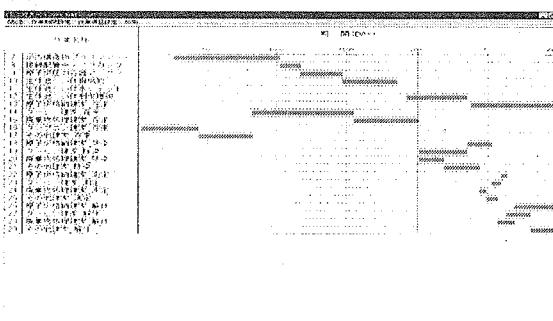


図 3 管理データの計算結果の図面表示例

(7) 工程図

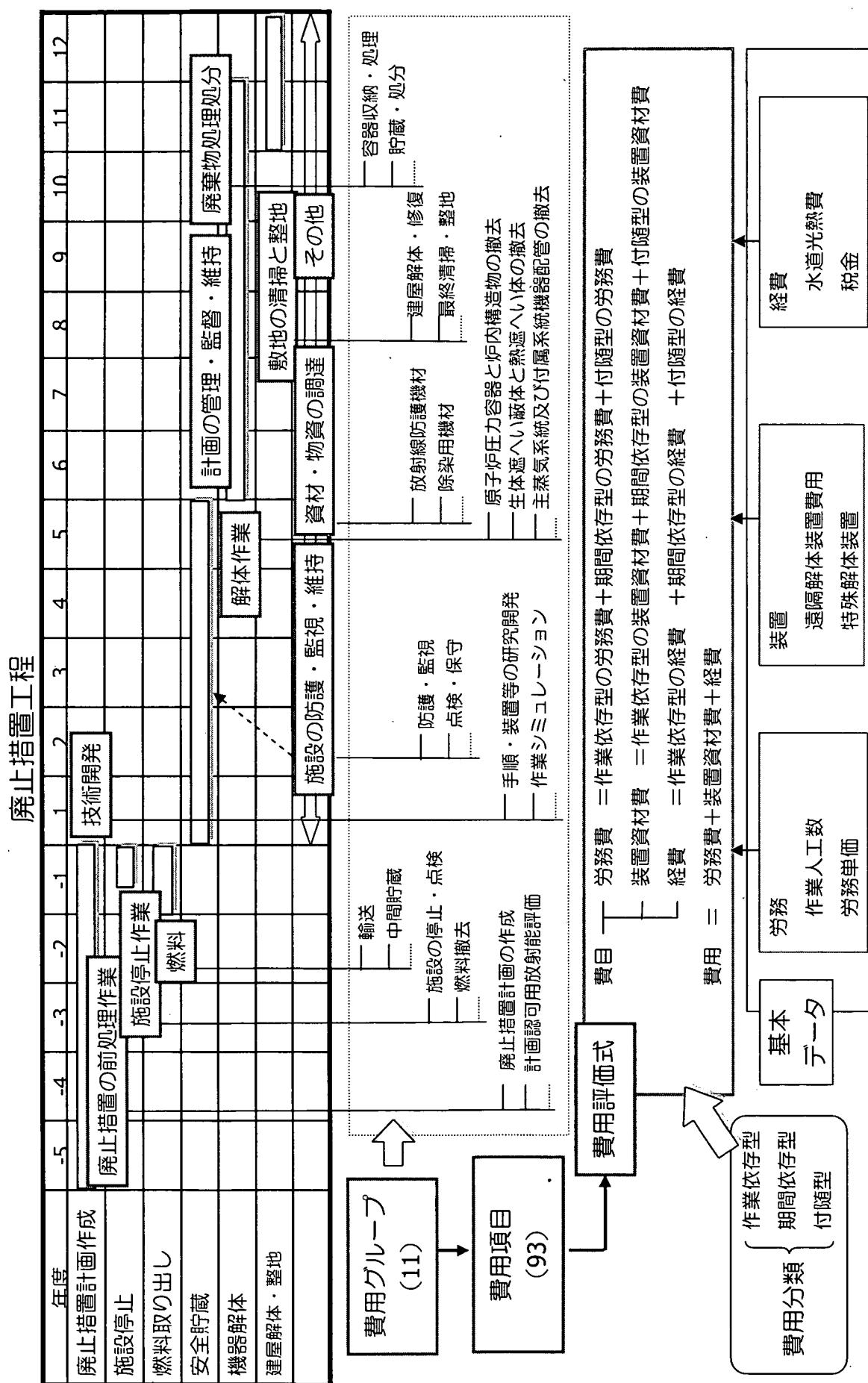


図 4 廃止措置費用評価モデルの概念

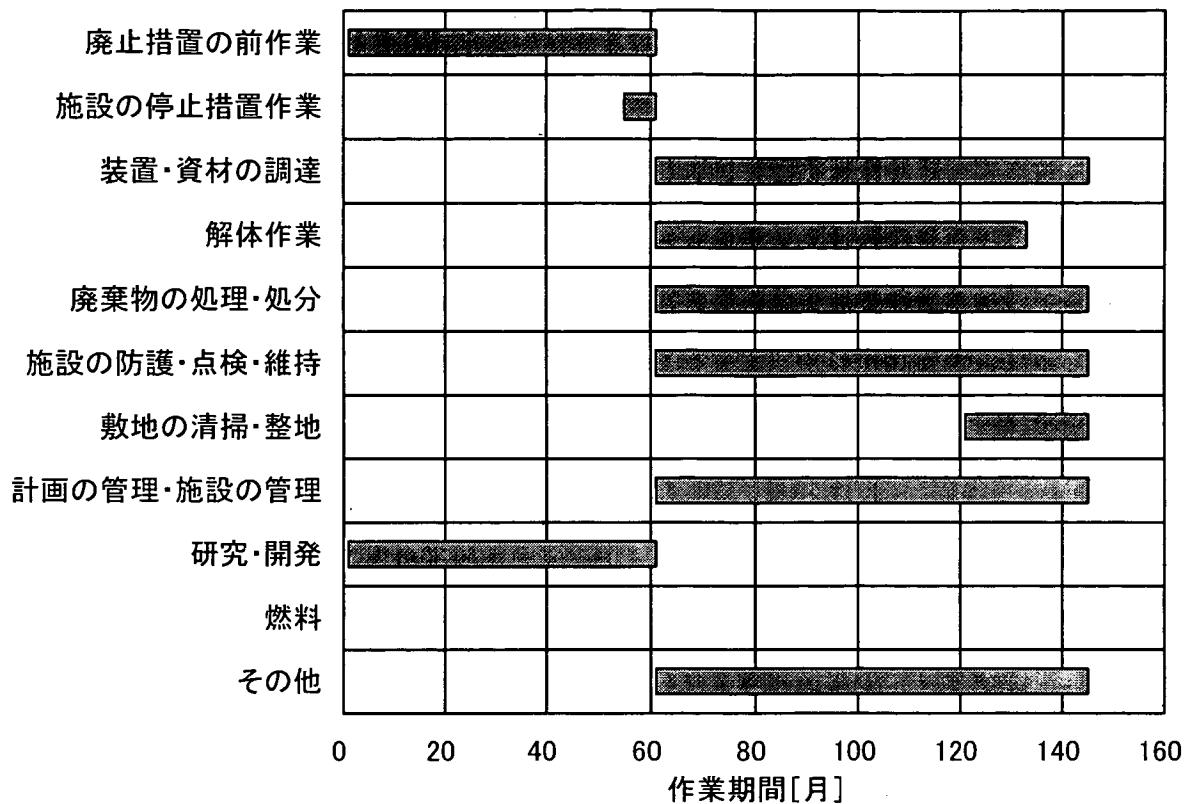


図 5 JPDR 廃止措置の作業期間と費用発生の関係

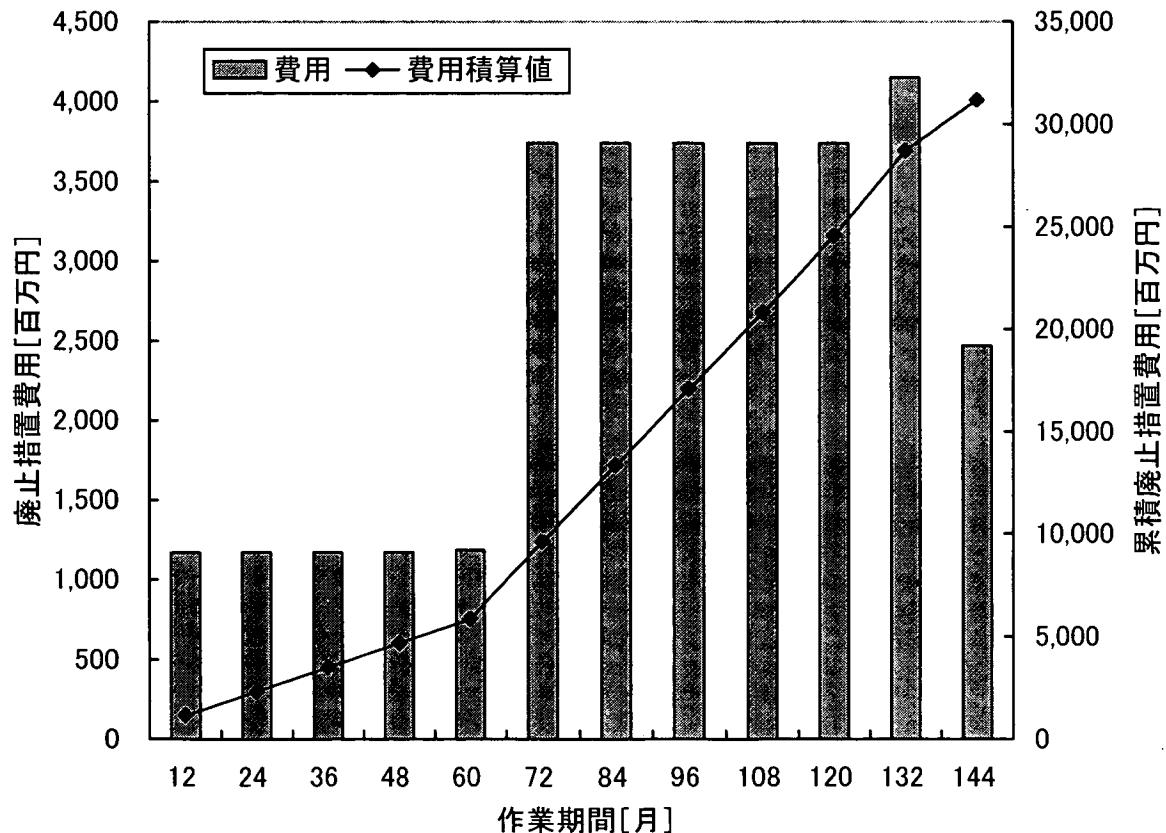


図 6 JPDR 廃止措置の費用の年度別積算値及び累積値

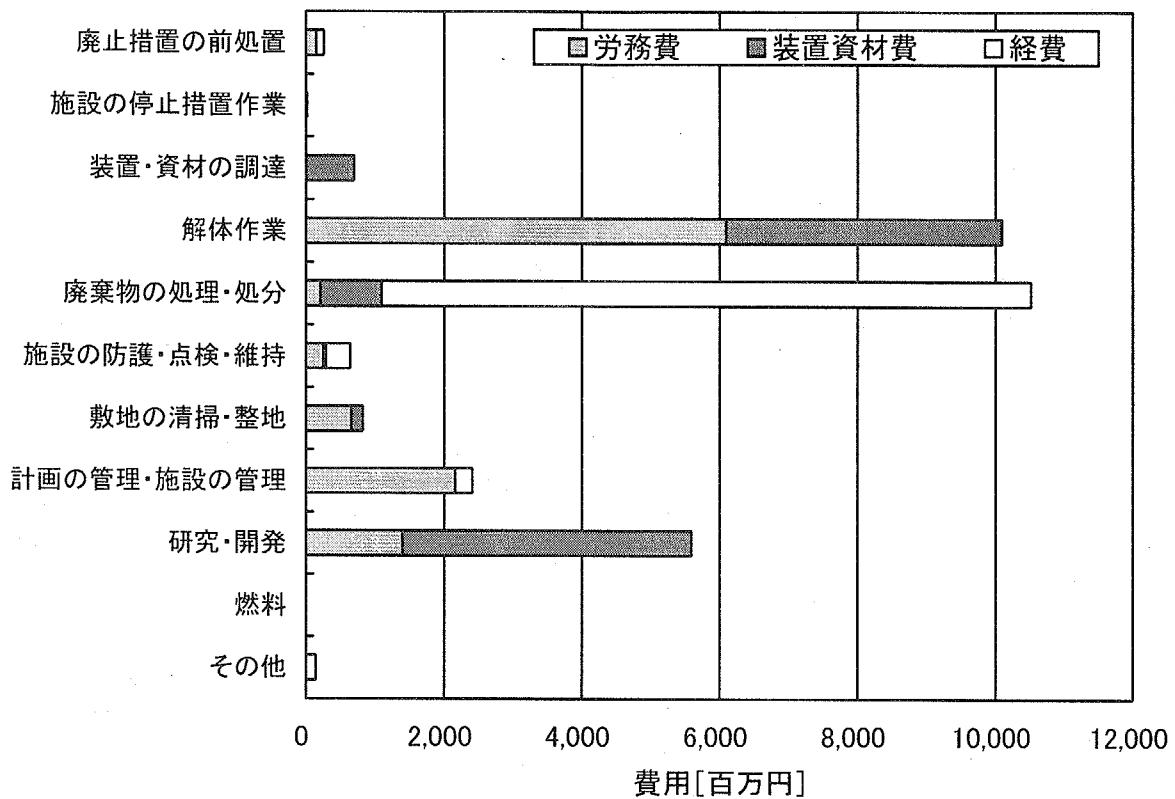


図 7 JPDR 廃止措置の費用グループ別の費用

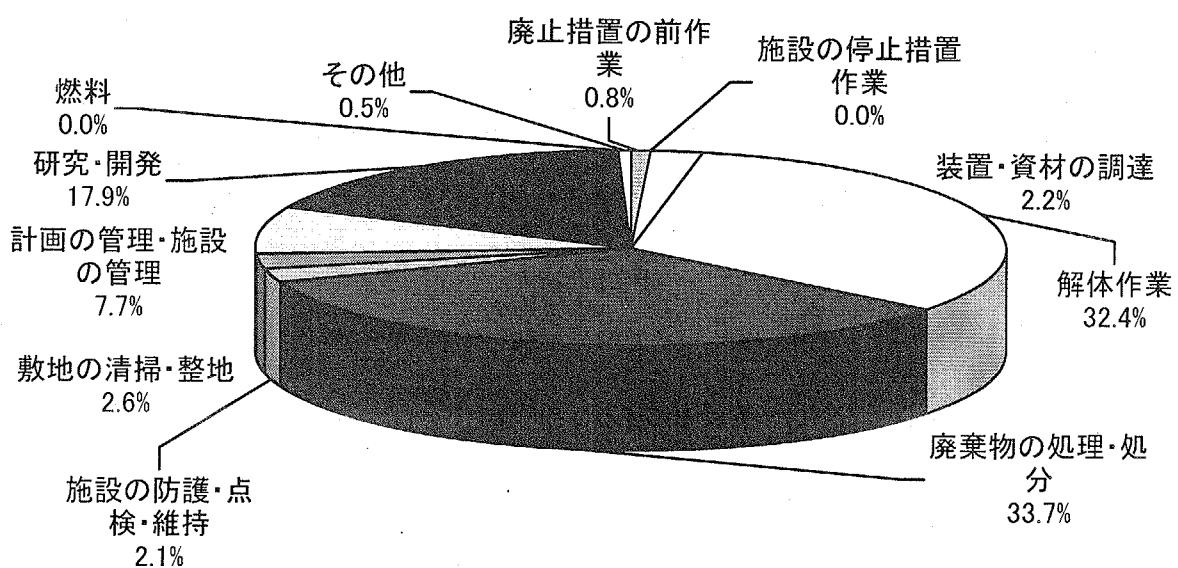


図 8 JPDR 廃止措置の費用グループ別の割合

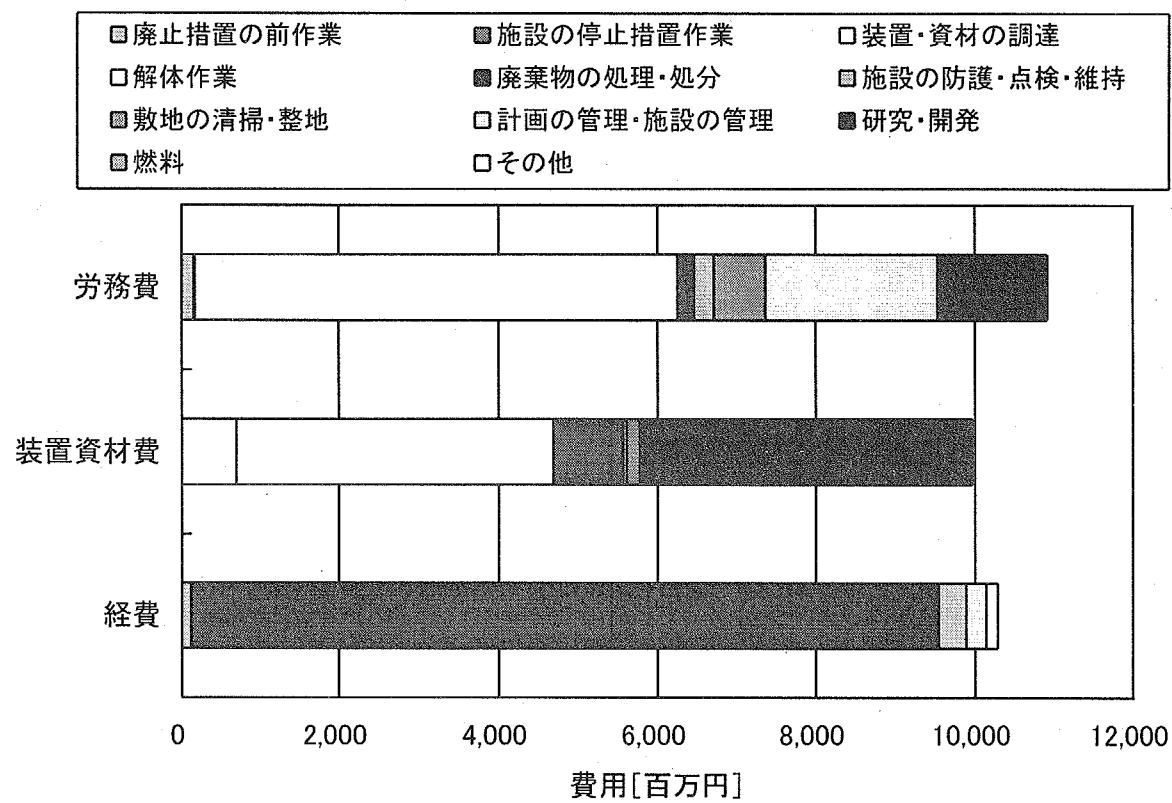


図 9 JPDR 廃止措置の費目別の費用

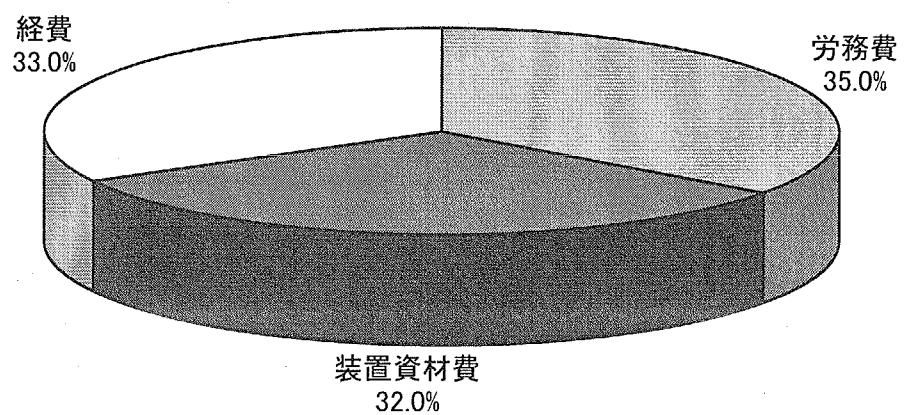


図 10 JPDR 廃止措置の費目別の割合

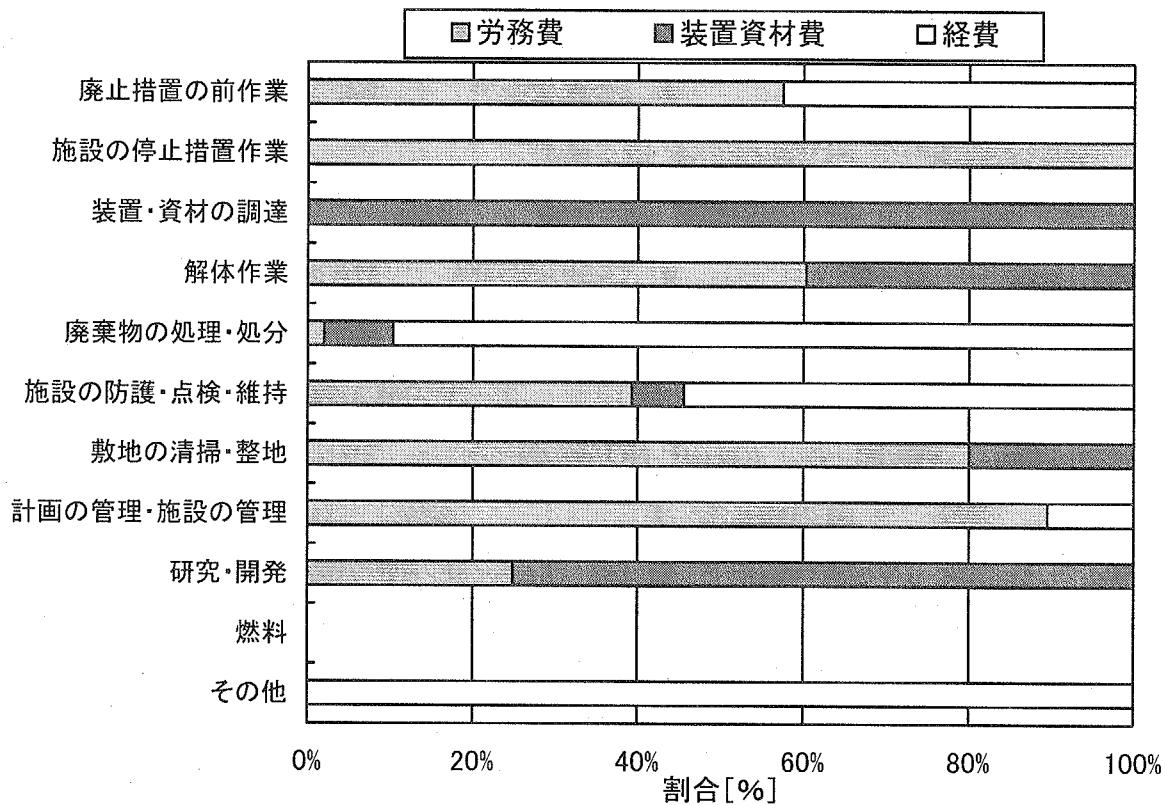


図 11 JPDR 廃止措置の費用グループ別費目の割合

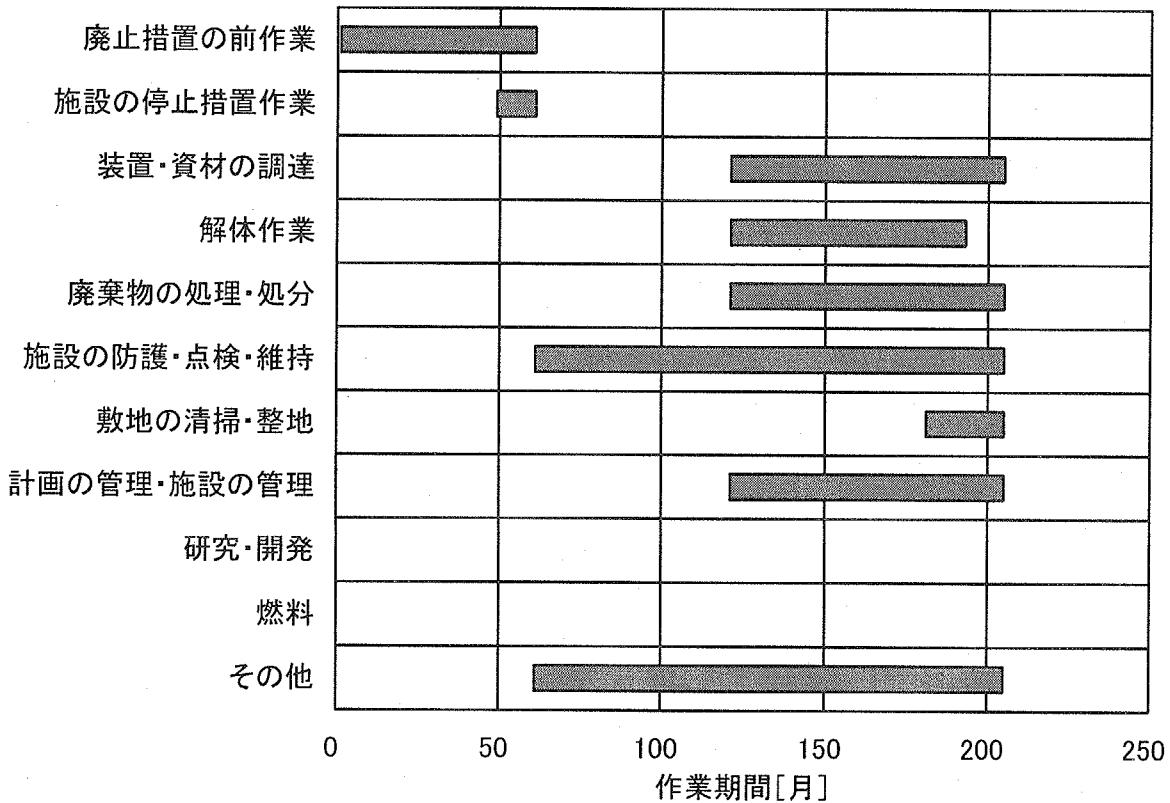


図 12 BWR 廃止措置の作業期間と費用発生の関係[安全貯蔵期間 5 年 以降の図も同様]

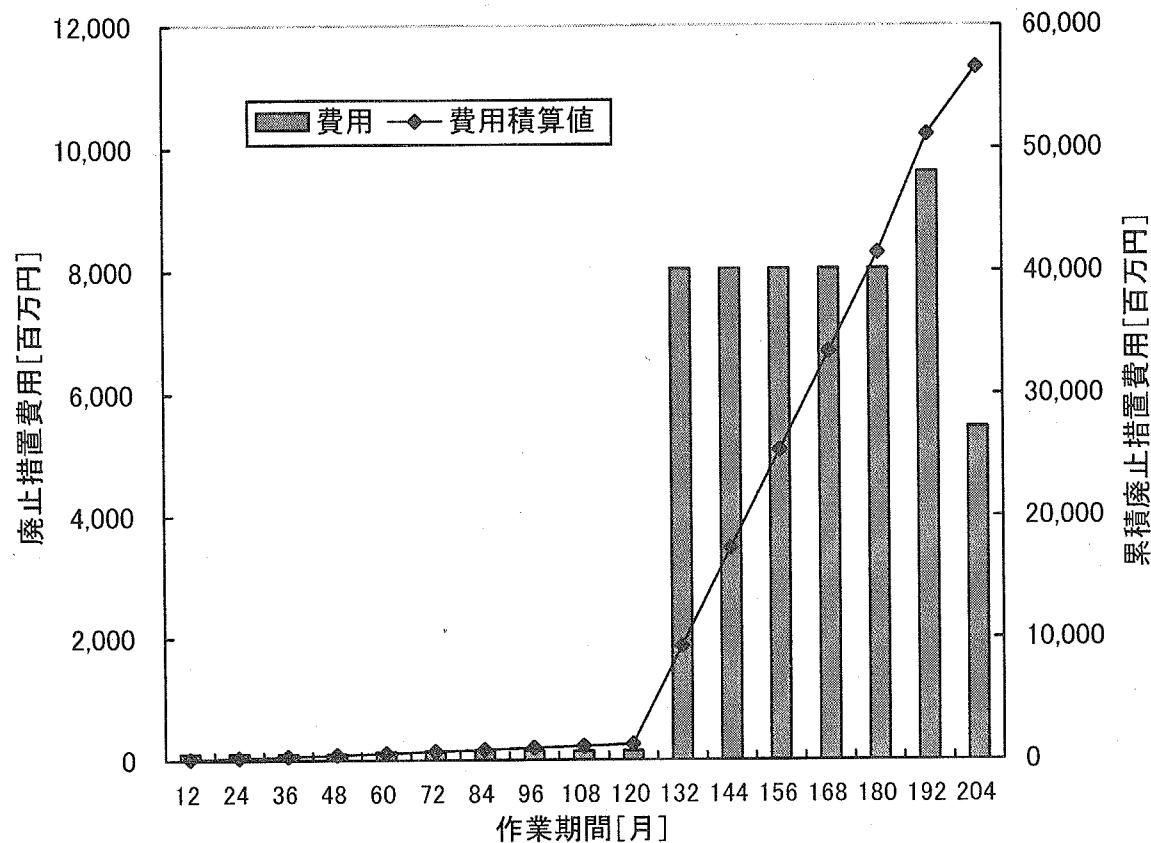


図 13 BWR 廃止措置の費用の年度別積算値及び累積値

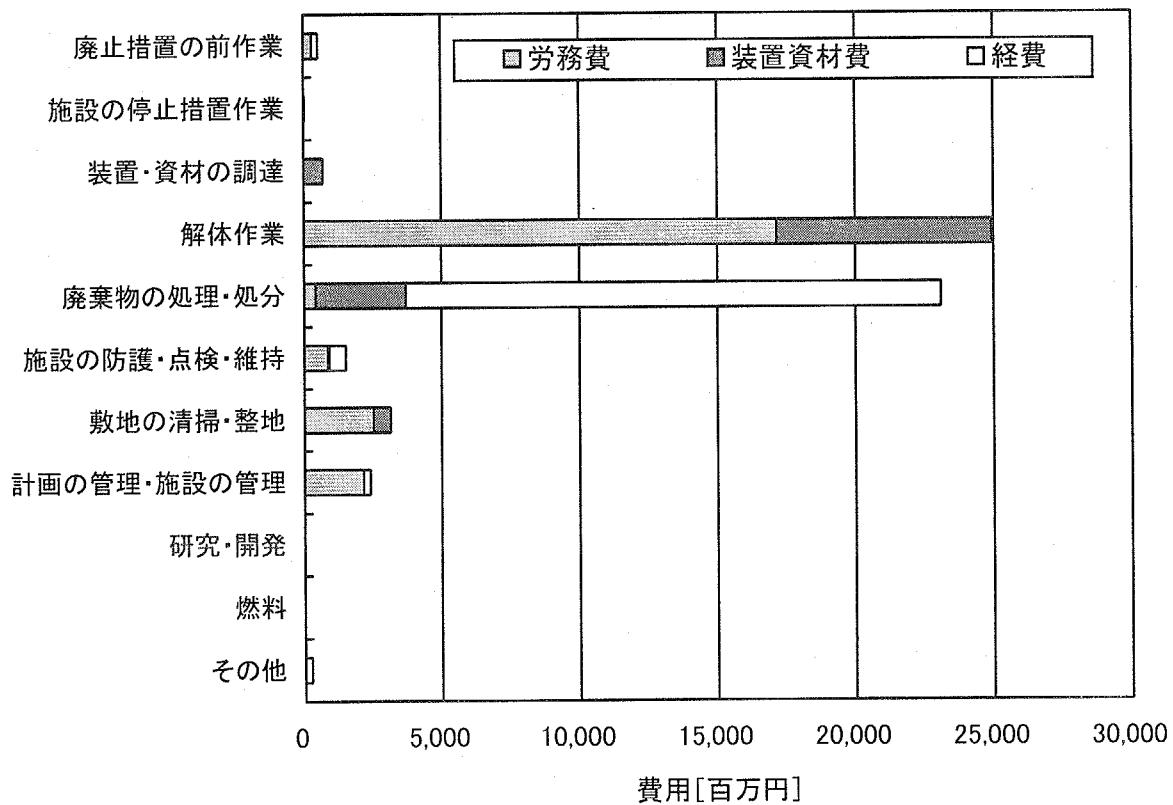


図 14 BWR 廃止措置の費用グループ別の費用

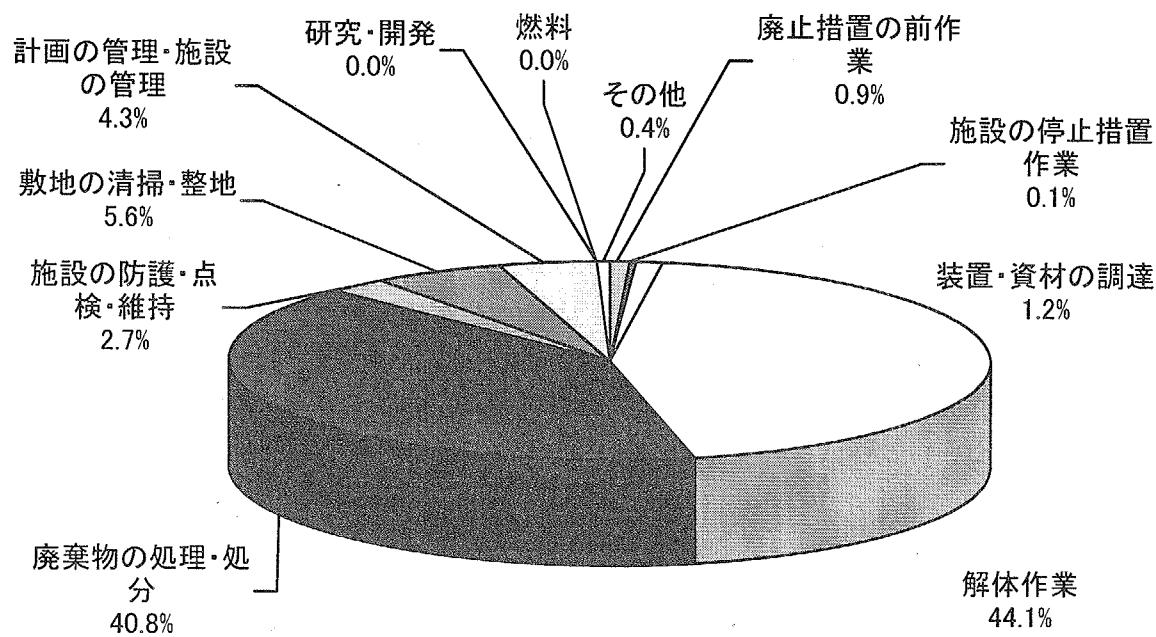


図 15 BWR 廃止措置の費用グループ別の割合

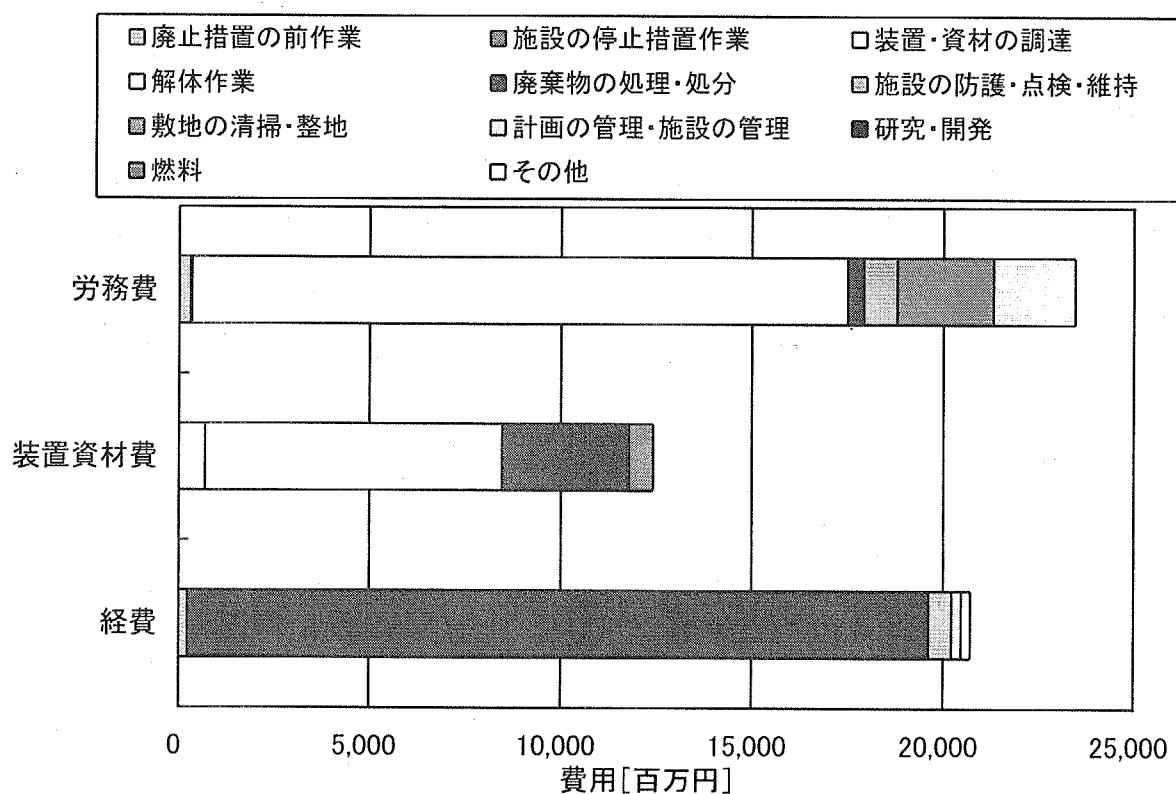


図 16 BWR 廃止措置の費目別の費用

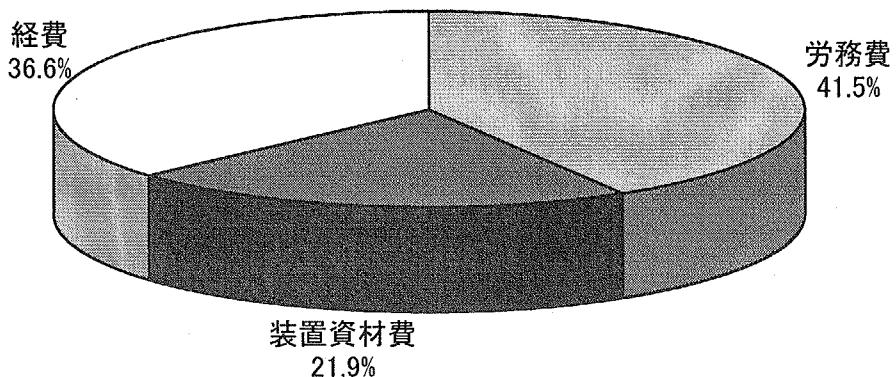


図 17 BWR 廃止措置の費目別の割合

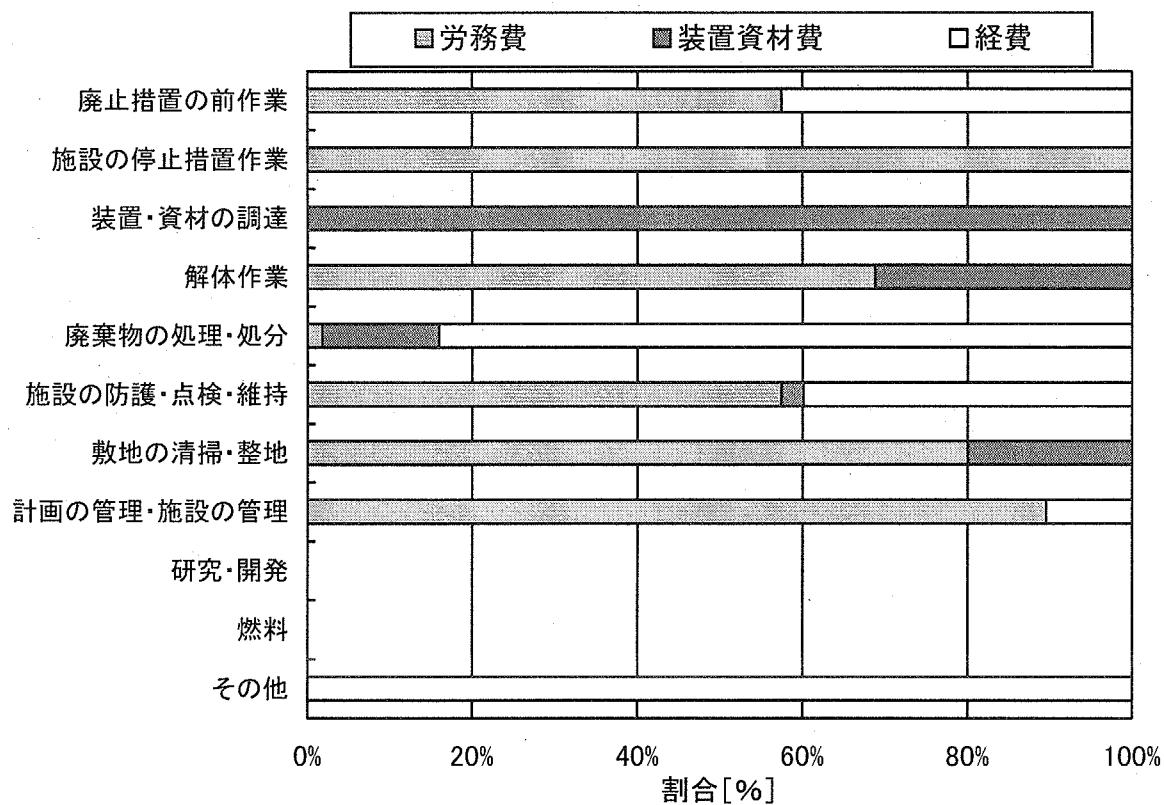


図 18 BWR 廃止措置の費用グループ別費目の割合

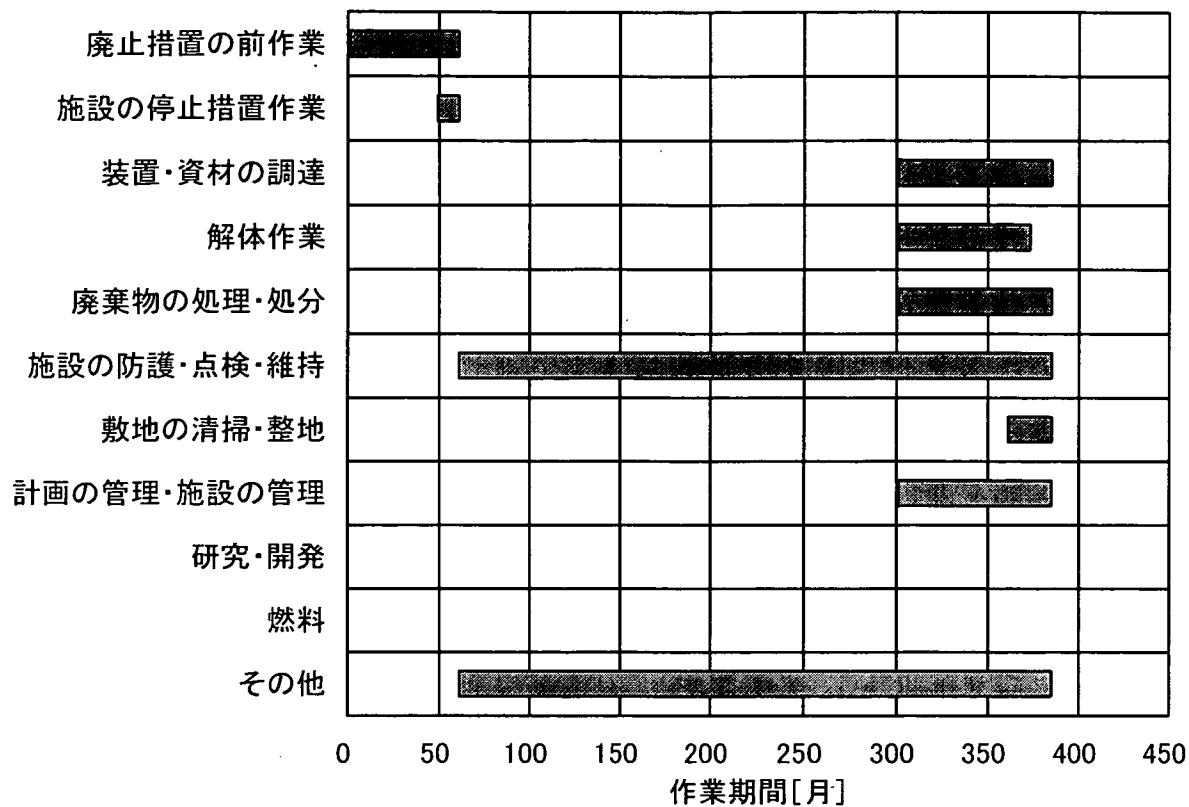


図 19 BWR 廃止措置の作業期間と費用発生の関係[安全貯蔵期間 20 年]

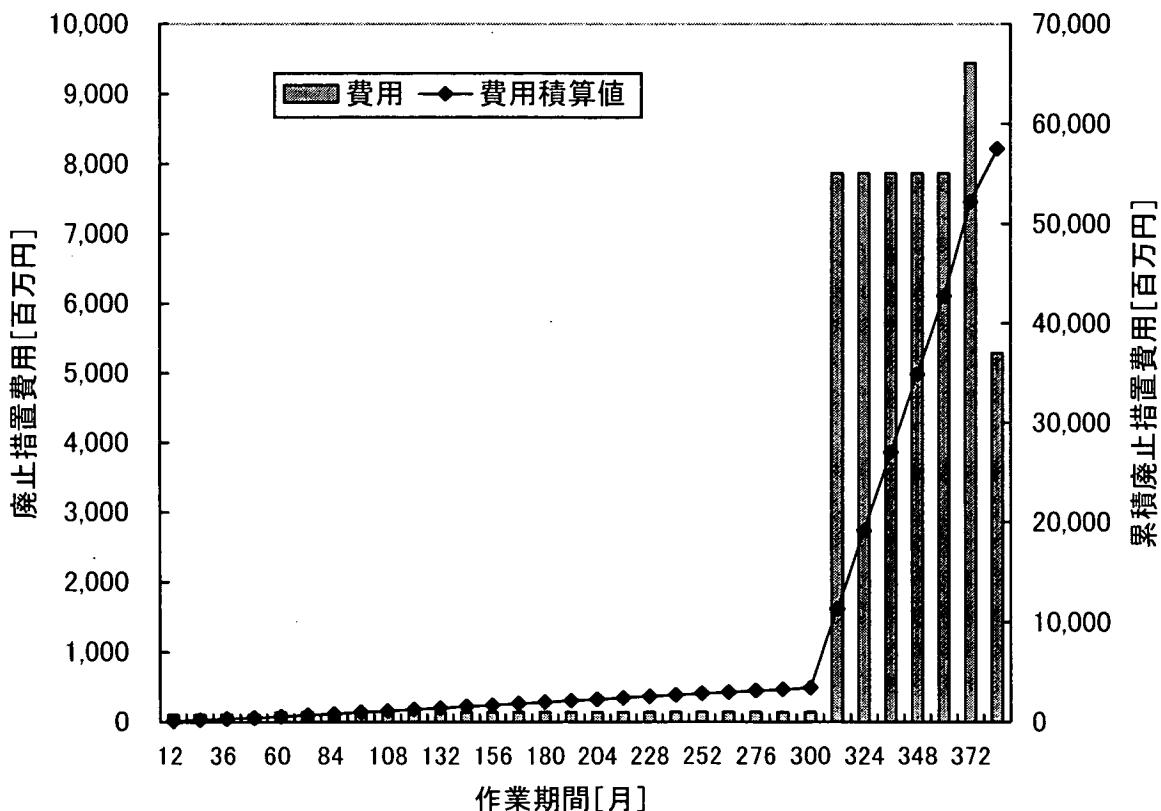


図 20 BWR 廃止措置の費用の年度別積算値及び累積値[安全貯蔵期間 20 年]

## 付録1 費用項目設定の詳細 単位：[百万円]

- 01 廃止措置の前作業** 期間依存型：期間=5年，職員=5人
- 0100 廃止措置計画の作成 作業比率=0.64、付随型：労務・経費比率=0.6
  - 0200 許認可作業 作業比率=0.16、付随型：労務・経費比率=0.1
  - 0300 計画と認可のための放射能評価 作業比率=0.20、付随型：労務・経費比率=1.7
  - 0400 有害物質の調査と分析 (→01.0100 で考慮)
  - 0500 主契約者の選択 (→08.0200 で考慮)
- 02 施設の停止措置作業** 期間依存型：期間=0.5年，職員=2人
- 0100 施設の停止と点検 作業依存型：人工数=120人日, 作業員=5人, 監督=0人, 放管=0人, 技術員=0人, 労務・資材比率=0.0
  - 0200 燃料と核燃料物質の撤去 作業依存型：人工数=40人日, 作業員=5人, 監督=0人, 放管=0人, 技術員=0人, 労務・資材比率=0.0
  - 0300 停止したシステムの排水・乾燥 作業比率=0.50
  - 0400 停止後の放射能特性評価 (→04.0500 で考慮)
  - 0500 系統溶液（水、油等）の撤去 付隨型：経費=0.3 #タンクローリーと人件費
  - 0600 特殊系統溶液（重水、ナトリウム）の撤去
  - 0700 被ばく低減のための系統除染 (→04.0100 で考慮)
  - 0800 除染廃棄物の撤去 (→05 で考慮)
  - 0900 可燃性物質の撤去 (→05 で考慮)
  - 1000 使用済樹脂の撤去 作業比率=0.50
  - 1100 他の施設運転廃棄物の撤去
  - 1200 電源装置の隔離 作業依存型：人工数=30人日, 作業員=5人, 監督=0人, 放管=0人, 技術員=0人, 労務・資材比率=0.0
  - 1300 施設機器や装置、余剰資源の売却
- 03 装置・資材の調達** 期間依存型：期間=7年，職員=0人
- 0100 サイト解体の一般機材 (→07.0100 で考慮)
  - 0200 人員や工具除染用の一般機材 (→04 で考慮)
  - 0300 放射線防護と保健物理用一般機材 付隨型：装置資材費=692.0
  - 0400 長期保管のための警備と保守機材 (→06.0100 で考慮)
- 04 解体作業** 期間依存型：期間=6年，職員=5人
- 0100 建家内の領域と装置の除染 作業依存型：人工数=10000人日, 作業員=5人, 監督=1人, 放管=1人, 技術員=0人, 労務・資材比率=0.3
  - 0200 使用済燃料プールの排水と内張りの除染 (→04.1500 で考慮)
  - 0300 休止期間の準備

- 0400 汚染装置と物資の解体と格納容器への移送
- 0500 領域区分後の放射能特性評価 作業比率=0.40
- 0600 サイトの再配置、隔離、構造物の強化
- 0700 施設の強固化、隔離または埋葬
- 0800 廃止措置と除染のための放射能特性評価 (→04.0500 で考慮)
- 0900 一時的な廃棄物貯蔵領域の準備 (→04.1200 で考慮)
- 1000 燃料取扱装置の撤去 (→04.1200 で考慮)
- 1100 遠隔解体の特殊装置の設計、調達、試験 付随型：装置資材費=1819.7
- 1200 原子炉容器と炉内構造物の撤去 作業依存型：人工数=19611 人日,作業員=10  
人,監督=2 人,放管=2 人,技術員=1 人,労務・資材比率=0.5
- 1300 主蒸気系及び付属系統の撤去 (→04.1500 で考慮)
- 1400 生体遮へい体と熱遮へい体の撤去 作業依存型：人工数=12145 人日,作業員=10  
人,監督=2 人,放管=2 人,技術員=1 人,労務・資材比率=0.5
- 1500 格納容器と他の全施設からの物資と装置の撤去 作業依存型：人工数=36620 人日,作業員  
=5 人,監督=1 人,放管=1 人,技術員=0 人,労務・資材比率=0.3
- 1600 アスベストの撤去と処分 (→04.1500 で考慮)
- 1700 プール内張の撤去 (→04.1500 で考慮)
- 1800 建家除染 作業依存型：人工数=13214 人日,作業員=5  
人,監督=1 人,放管=1 人,技術員=0 人,労務・資材比率=0.3
- 1900 環境の清掃
- 2000 放射能の最終測定 作業依存型：人工数=3299 人日,作業員=5 人,  
監督=1 人,放管=1 人,技術員=0 人,労務・資材比率=0.3
- 2100 放射性物質の特性評価 作業比率=0.60
- 2200 再利用、再使用のための除染
- 2300 人員の訓練 付随型：経費=1.0/毎年
- 2400 回収された機器・設備、物資の売却と移送

## 05 廃棄物の処理・処分 期間依存型：期間=7 年, 職員=5 人

- 0100 廃棄物の処理、貯蔵、処分の安全解析
- 0200 廃棄物輸送の実行可能性研究
- 0300 特殊許可、容器収納と輸送の必要品
- 0400 系統溶液（水、オイル）の処理と輸送
- 0500 特殊溶液（重水、ナトリウム）の処理と輸送
- 0600 除染廃棄物の処理と輸送
- 0700 可燃性物質の処理と輸送
- 0800 使用済樹脂の処理と輸送
- 0900 他の放射性と有害物質の処理と輸送
- 1000 廃棄物の貯蔵と処分

- 1100 廃棄物の処分
- 1200 解体廃棄物の処理 作業比率=0.20
- 1300 解体廃棄物の容器収納 作業依存型：経費=881
- 1400 解体廃棄物の輸送 作業比率=0.80、作業依存型：労務経費比率  
=1.0
- 1500 解体廃棄物の貯蔵
- 1600 解体廃棄物の処分 作業依存型：放射性金属重量=1190, 放射性コ  
ンクリート重量=2580
- 06 施設の防護・点検・維持 期間依存型：期間=7年、職員=6人
- 0100 サイトの防護と監視 作業比率=0.20、付随型：装置資材費=40
- 0200 建家と運転中システムの点検と保守 (→06.0300で考慮)
- 0300 サイトの維持 作業比率=0.80
- 0400 エネルギーと水 付随型：経費=50/毎年
- 0500 放射線と環境の定期的検査
- 07 敷地の清掃・整地 期間依存型：期間=2年、職員=0人
- 0100 建家の解体又は修復 作業依存型：人工数=11229人日, 作業員=5人,  
監督=1人, 放管=0.5人, 技術員=0人, 労務・資材比率=0.25
- 0200 最終清掃と整地 (→07.0100で考慮)
- 0300 清掃とサイト再利用の基準の自主的な確認 (→07.0100で考慮)
- 0400 永久拘束、限定・制限された資産の監視
- 08 計画の管理・施設の管理 期間依存型：期間=7年, 職員=38人, 課長=5人, 部長=2人
- 0100 勤員と準備作業 (→08.0200で考慮)
- 0200 計画管理と設計支援 作業比率=0.56、付随型：経費=12/毎年
- 0300 広報活動 作業比率=0.04、付随型：経費=12/毎年
- 0400 支援業務 作業比率=0.27、付随型：経費=12/毎年
- 0500 保健と安全 作業比率=0.13
- 0600 勤員解除 (→08.0200で考慮)
- 09 研究・開発 期間依存型：期間=5年、職員=33人、課長=5人、部長=2人
- 0100 除染、測定、解体手順、装置の研究開発 作業比率=0.90、付随型：経費=3581
- 0200 複雑な作業のシミュレーション 作業比率=0.10、付随型：経費=616
- 10 燃料 期間依存型：期間=0年、職員=0人
- 0100 燃料または核物質の中間貯蔵施設への輸送
- 0200 中間貯蔵

0300 一時的な燃料貯蔵施設の除染・解体・処分

0400 燃料または核物質の最終処分場への輸送 作業比率=0.00、付随型：経費=0

0500 中間燃料貯蔵施設の除染・解体・処分

11 その他 期間依存型：期間=7年、職員=0人

0100 所有者費用

0200 コンサルト費用

0300 規制費・検査・認可・審査費用

0400 税金 付随型：経費=5/毎年

0500 保険 付随型：経費=10/毎年

0600 間接費と一般業務費用 付随型：経費=5.5/毎年

0700 予備費

0800 借入金利子

0900 一般的な設備や物資の転売と移送

## 付録 2 廃止措置費用項目の階層構造

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| 廃止措置費用(0)                   |  |
| 廃止措置の前作業(01)                |  |
| 廃止措置計画の作成(0100)             |  |
| 許認可作業(0200)                 |  |
| 計画と認可のための放射能評価(0300)        |  |
| 有害物質の調査と分析(0400)            |  |
| 主契約者の選択(0500)               |  |
| 施設の停止措置作業(02)               |  |
| 施設の停止と点検(0100)              |  |
| 燃料と核燃料物質の撤去(0200)           |  |
| 停止したシステムの排水・乾燥(0300)        |  |
| 停止後の放射能特性評価(0400)           |  |
| 系統溶液（水、油等）の撤去(0500)         |  |
| 特殊溶液（重水、ナトリウム）の撤去(0600)     |  |
| 被ばく低減のための系統除染(0700)         |  |
| 除染廃棄物の撤去(0800)              |  |
| 可燃性物質の撤去(0900)              |  |
| 使用済樹脂の撤去(1000)              |  |
| 施設運転廃棄物の撤去(1100)            |  |
| 電源装置の隔離(1200)               |  |
| 施設機器や装置、余剰資源の売却(1300)       |  |
| 装置・資材の調達(03)                |  |
| サイト解体の一般機材(0100)            |  |
| 人員や工具除染用の一般機材(0200)         |  |
| 放射線防護と保健物理用一般機材(0300)       |  |
| 長期保管のための警備と保守機材(0400)       |  |
| 解体作業(04)                    |  |
| 建家の領域と装置の除染(0100)           |  |
| 使用済燃料プールの排水と内張りの除染(0200)    |  |
| 休止期間の準備(0300)               |  |
| 汚染装置と物資の解体と格納容器への移送(0400)   |  |
| 領域区分後の放射能特性評価(0500)         |  |
| サイトの再配置、隔離、構造物の強化(0600)     |  |
| 施設の強固化、隔離または埋葬(0700)        |  |
| 廃止措置と除染のための放射能特性評価(0800)    |  |
| 一時的な廃棄物貯蔵領域の準備(0900)        |  |
| 燃料取扱装置の撤去(1000)             |  |
| 遠隔解体の特殊装置の設計、調達、試験(1100)    |  |
| 原子炉容器と炉内構造物の撤去(1200)        |  |
| 主蒸気系及び付属系統の撤去(1300)         |  |
| 生体遮へい体と熱遮へい体の撤去(1400)       |  |
| 格納容器と他の全施設からの物資と装置の撤去(1500) |  |
| アスベストの撤去と処分(1600)           |  |
| プール内張の撤去(1700)              |  |
| 建家除染(1800)                  |  |
| 環境の清掃(1900)                 |  |
| 放射能の最終測定(2000)              |  |
| 放射性物質の特性評価(2100)            |  |
| 再利用、再使用のための除染(2200)         |  |
| 人員の訓練(2300)                 |  |
| 回収された機器・設備、物資の売却と移送(2400)   |  |
| 廃棄物の処理・処分(05)               |  |
| 廃棄物の処理、貯蔵、処分の安全解析(0100)     |  |
| 廃棄物輸送の実行可能性研究(0200)         |  |
| 特殊許可、容器収納と輸送の必要品(0300)      |  |
| 系統溶液（水、オイル）の処理と輸送(0400)     |  |
| 特殊溶液（重水、ナトリウム）の処理と輸送(0500)  |  |
| 除染廃棄物の処理と輸送(0600)           |  |
| 可燃性物質の処理と輸送(0700)           |  |
| 使用済樹脂の処理と輸送(0800)           |  |
| 他の放射性と有害物質の処理と輸送(0900)      |  |
| 運転廃棄物の貯蔵(1000)              |  |
| 運転廃棄物の処分(1100)              |  |
| 解体廃棄物の処理(1200)              |  |
| 解体廃棄物の容器収納(1300)            |  |
| 解体廃棄物の輸送(1400)              |  |
| 解体廃棄物の貯蔵(1500)              |  |
| 解体廃棄物の処分(1600)              |  |
| 施設の防護・点検・維持(06)             |  |
| サイトの防護と監視(0100)             |  |
| 建家の運転中システムの点検と保守(0200)      |  |
| サイトの維持(0300)                |  |
| エネルギーと水(0400)               |  |
| 放射線と環境の定期的検査(0500)          |  |
| 敷地の清掃・整地(07)                |  |
| 建家の解体又は修復(0100)             |  |
| 最終清掃と整地(0200)               |  |
| 清掃とサイト再利用の基準の自主的な確認(0300)   |  |
| 永久拘束、限定・制限された資産の監視(0400)    |  |
| 計画の管理・施設の管理(08)             |  |
| 動員と準備作業(0100)               |  |
| 計画管理と設計支援(0200)             |  |
| 広報活動(0300)                  |  |
| 支援業務(0400)                  |  |
| 保健と安全(0500)                 |  |
| 動員解除(0600)                  |  |
| 研究・開発(09)                   |  |
| 除染、測定、解体手順、装置の研究開発(0100)    |  |
| 複雑作業のシミュレーション(0200)         |  |
| 燃料(10)                      |  |
| 燃料または核物質の中間貯蔵施設への輸送(0100)   |  |
| 燃料の中間貯蔵(0200)               |  |
| 一時的な燃料貯蔵施設の除染・解体・処分(0300)   |  |
| 燃料または核物質の最終処分場への輸送(0400)    |  |
| 中間燃料貯蔵施設の除染・解体・処分(0500)     |  |
| その他(11)                     |  |
| 所有者費用(0100)                 |  |
| コンサルト費用(0200)               |  |
| 規制費・検査・認可・審査費用(0300)        |  |
| 税金(0400)                    |  |
| 保険(0500)                    |  |
| 間接費と一般業務費用(0600)            |  |
| 予備費(0700)                   |  |
| 借入金利子(0800)                 |  |
| 一般的な設備や物資の転売と移送(0900)       |  |

( ) 内は費用グループ又は費用項目のコード番号を表す。

付録 3 放射能レベル別発生量 (1100MWe 級 BWR、安全貯蔵準備 1 年、安全貯蔵期間 5 年)  
 出典：(財) エネルギー総合研究所  
 1. 放射能レベル別発生量  
 低レベル区分値:下北申請最大濃度 極低レベル区分値:非固化化コンクリート政令 1 桁下

| 放射能レベル<br>(Bq/t)    | 金属        |          |          |       | コンクリート |          |       | 合計              |  |
|---------------------|-----------|----------|----------|-------|--------|----------|-------|-----------------|--|
|                     | 汚染        |          | 放射化      |       | 小計     | 放射化      | 汚染    |                 |  |
|                     | ステンレス鋼    | 炭素鋼      | 放射化小計    |       |        |          |       |                 |  |
| A 3.7E+13≤          | B 0       | B 0      | 70       | 0     | 70     | 70       | B 0   | 0 70            |  |
| B1 3.7E+12≤ <3.7+13 | B 0       | B 0      | 10       | 0     | 10     | 10       | B 0   | 0 10            |  |
| B2 3.7E+11≤ <3.7+12 | L 0       | L 20     | 0        | 20    | 20     | 20       | B 0   | 0 20            |  |
| B3 3.7E+10≤ <3.7+11 | L 0       | L 70     | 170      | 240   | 240    | 240      | L 0   | 0 240           |  |
| C1 3.7E+09≤ <3.7+10 | L 200     | L 70     | 0        | 70    | 70     | 270      | L 0   | 0 270           |  |
| C2 3.7E+08≤ <3.7+09 | L 110     | L 40     | 10       | 50    | 50     | 160      | L 0   | 470 630         |  |
|                     | VL 780    | VL 160   | VL 650   | 810   | 810    | 1,590    |       | 0 1,590         |  |
| C3 3.7E+07≤ <3.7+08 | VL 3,100  | VL 10    | VL 1,140 | 1,150 | 4,250  | VL 810   | VL 0  | 810 5,060       |  |
| D 3.7E+06≤ <3.7+07  | VL 12,790 | VL 0     | VL 780   | 780   | 13,570 | VL 1,720 | VL 0  | 1,720 15,290    |  |
| E 3.7E+05≤ <3.7+06  | VL 510    | VL 0     | VL 20    | 20    | 530    | VL 0     | VL 0  | 0 0             |  |
|                     | CL 10     | CL 1,110 | CL 1,280 | 1,280 | 1,290  | CL 1,560 |       | 1,560 2,850     |  |
| F 3.7E+04≤ <3.7+05  | CL 5,760  | CL 0     | CL 810   | 410   | 1,520  | CL 4,420 | CL 60 | 4,480 6,000     |  |
| G <3.7E+04          | CL 5,760  | CL 0     | CL 810   | 810   | 6,570  | CL 2,100 | CL 0  | 2,100 8,670     |  |
| 合計(放射性廃棄物)          | 24,370    | 450      | 5,270    | 5,720 | 30,090 | 11,080   | 60    | 11,140 41,230   |  |
| 放射性廃棄物でない廃棄物        |           |          |          |       | 8,480  |          |       | 486,940 495,420 |  |
| 合計                  |           |          |          |       | 38,570 |          |       | 498,080 536,650 |  |
| B 高βγ放射性廃棄物         | 0         | 80       | 0        | 80    | 80     | 0        | 0     | 0 80            |  |
| L 低レベル放射性廃棄物        | 310       | 200      | 180      | 380   | 690    | 470      | 0     | 470 1160        |  |
| VL 極低レベル放射性廃棄物      | 17,180    | 170      | 2,590    | 2,760 | 19,940 | 2,530    | 0     | 2,530 22,470    |  |
| CL クリアンスレベル以下の廃棄物   | 6,880     | 0        | 2,500    | 2,500 | 9,380  | 8,080    | 60    | 8,140 17,520    |  |
| NL 放射性廃棄物でない廃棄物     |           |          |          |       | 8,480  |          |       | 486,940 495,420 |  |
| 合計                  |           |          |          |       | 38,570 |          |       | 498,080 536,650 |  |

# 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

| 量     | 名称     | 記号  |
|-------|--------|-----|
| 長さ    | メートル   | m   |
| 質量    | キログラム  | kg  |
| 時間    | 秒      | s   |
| 電流    | アンペア   | A   |
| 熱力学温度 | ケルビン   | K   |
| 物質量   | モル     | mol |
| 光强度   | カンデラ   | cd  |
| 平面角   | ラジアン   | rad |
| 立体角   | ステラジアン | sr  |

表3 固有の名称をもつSI組立単位

| 量           | 名称     | 記号 | 他のSI単位による表現         |
|-------------|--------|----|---------------------|
| 周波数         | ヘルツ    | Hz | s <sup>-1</sup>     |
| 力           | ニュートン  | N  | m·kg/s <sup>2</sup> |
| 圧力、応力       | パスカル   | Pa | N/m <sup>2</sup>    |
| エネルギー、仕事、熱量 | ジュール   | J  | N·m                 |
| 功率、放射束      | ワット    | W  | J/s                 |
| 電気量、電荷      | クーロン   | C  | A·s                 |
| 電位、電圧、起電力   | ボルト    | V  | W/A                 |
| 静電容量        | ファラード  | F  | C/V                 |
| 電気抵抗        | オーム    | Ω  | V/A                 |
| コンダクタンス     | ジーメンス  | S  | A/V                 |
| 磁束密度        | ウェーバ   | Wb | V·s                 |
| 磁束密度        | テスラ    | T  | Wb/m <sup>2</sup>   |
| インダクタンス     | ヘンリー   | H  | Wb/A                |
| セルシウス温度     | セルシウス度 | °C |                     |
| 光束度         | ルーメン   | lm | cd·sr               |
| 照度          | ルクス    | lx | lm/m <sup>2</sup>   |
| 放射能         | ベクレル   | Bq | s <sup>-1</sup>     |
| 吸収線量        | グレイ    | Gy | J/kg                |
| 線量当量        | シーベルト  | Sv | J/kg                |

表2 SIと併用される単位

| 名称     | 記号        |
|--------|-----------|
| 分、時、日  | min, h, d |
| 度、分、秒  | °, ', "   |
| リットル   | l, L      |
| トン     | t         |
| 電子ボルト  | eV        |
| 原子質量単位 | u         |

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

| 倍数                | 接頭語  | 記号 |
|-------------------|------|----|
| 10 <sup>18</sup>  | エクサ  | E  |
| 10 <sup>15</sup>  | ペタ   | P  |
| 10 <sup>12</sup>  | テラ   | T  |
| 10 <sup>9</sup>   | ギガ   | G  |
| 10 <sup>6</sup>   | メガ   | M  |
| 10 <sup>3</sup>   | キロ   | k  |
| 10 <sup>2</sup>   | ヘクト  | h  |
| 10 <sup>1</sup>   | デカ   | da |
| 10 <sup>-1</sup>  | デシ   | d  |
| 10 <sup>-2</sup>  | センチ  | c  |
| 10 <sup>-3</sup>  | ミリ   | m  |
| 10 <sup>-6</sup>  | マイクロ | μ  |
| 10 <sup>-9</sup>  | ナノ   | n  |
| 10 <sup>-12</sup> | ピコ   | p  |
| 10 <sup>-15</sup> | フェムト | f  |
| 10 <sup>-18</sup> | アト   | a  |

(注)

- 表1—5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC開催理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換算表

| 力       | N(=10 <sup>5</sup> dyn) | kgf      | lbf |
|---------|-------------------------|----------|-----|
| 1       | 0.101972                | 0.224809 |     |
| 9.80665 | 1                       | 2.20462  |     |
| 4.44822 | 0.453592                | 1        |     |

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ポアズ)}(\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)}(\text{cm}^2/\text{s})$$

| 圧力 | MPa(=10 bar)               | kgf/cm <sup>2</sup>        | atm                        | mmHg(Torr) | lbf/in <sup>2</sup> (psi)  |
|----|----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------|----------------------------|
| 1  | 10.1972                    | 9.86923                    | 7.50062 × 10 <sup>3</sup>  | 145.038    |                            |
| 力  | 0.0980665                  | 1                          | 0.967841                   | 735.559    | 14.2233                    |
|    | 0.101325                   | 1.03323                    | 1                          | 760        | 14.6959                    |
|    | 1.33322 × 10 <sup>-4</sup> | 1.35951 × 10 <sup>-3</sup> | 1.31579 × 10 <sup>-3</sup> | 1          | 1.93368 × 10 <sup>-2</sup> |
|    | 6.89476 × 10 <sup>-3</sup> | 7.03070 × 10 <sup>-2</sup> | 6.80460 × 10 <sup>-2</sup> | 51.7149    | 1                          |

| エネルギー・仕事・熱量                 | J(=10 <sup>7</sup> erg)     | kgf·m                       | kW·h                        | cal(計量法)                    | Btu                         | ft · lbf                   | eV                | 1 cal = 4.18605 J(計量法) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------|------------------------|
| 1                           | 0.101972                    | 2.77778 × 10 <sup>-7</sup>  | 0.238889                    | 9.47813 × 10 <sup>-4</sup>  | 0.737562                    | 6.24150 × 10 <sup>18</sup> | = 4.184 J(熱化学)    |                        |
| 9.80665                     | 1                           | 2.72407 × 10 <sup>-6</sup>  | 2.34270                     | 9.29487 × 10 <sup>-3</sup>  | 7.23301                     | 6.12082 × 10 <sup>19</sup> | = 4.1855 J(15 °C) |                        |
| 3.6 × 10 <sup>6</sup>       | 3.67098 × 10 <sup>5</sup>   | 1                           | 8.59999 × 10 <sup>3</sup>   | 3412.13                     | 2.65522 × 10 <sup>6</sup>   | 2.24694 × 10 <sup>25</sup> | = 4.1868 J(国際蒸気表) |                        |
| 4.18605                     | 0.426858                    | 1.16279 × 10 <sup>-6</sup>  | 1                           | 3.96759 × 10 <sup>-3</sup>  | 3.08747                     | 2.61272 × 10 <sup>19</sup> | 仕事率 1 PS(仏馬力)     |                        |
| 1055.06                     | 107.586                     | 2.93072 × 10 <sup>-4</sup>  | 252.042                     | 1                           | 778.172                     | 6.58515 × 10 <sup>21</sup> | = 75 kgf·m/s      |                        |
| 1.35582                     | 0.138255                    | 3.76616 × 10 <sup>-7</sup>  | 0.323890                    | 1.28506 × 10 <sup>-3</sup>  | 1                           | 8.46233 × 10 <sup>18</sup> | = 735.499 W       |                        |
| 1.60218 × 10 <sup>-19</sup> | 1.63377 × 10 <sup>-20</sup> | 4.45050 × 10 <sup>-26</sup> | 3.82743 × 10 <sup>-20</sup> | 1.51857 × 10 <sup>-22</sup> | 1.18171 × 10 <sup>-19</sup> | 1                          |                   |                        |

| 放射能                    | Bq                          | Ci | 吸収線量 | Gy | rad |
|------------------------|-----------------------------|----|------|----|-----|
| 1                      | 2.70270 × 10 <sup>-11</sup> | 1  | 100  | 1  |     |
| 3.7 × 10 <sup>10</sup> | 1                           |    | 0.01 | 1  |     |

| 照射線量                    | C/kg | R |
|-------------------------|------|---|
| 1                       | 3876 |   |
| 2.58 × 10 <sup>-4</sup> | 1    |   |

| 線量当量 | Sv  | rem |
|------|-----|-----|
| 1    | 100 |     |
| 0.01 | 1   |     |

原子炉解体に係る廃止措置費用評価手法の検討

- ICOSMARDを用いた廃止措置費用の計算 -

R100  
古紙配合率100%  
白色度70%再生紙を使用しています