

東海ガス炉の解体計画と廃棄物管理計画

菊込 敏*

日本原子力発電(株)の東海発電所は、平成 10 年 3 月に営業運転を終了し、その後、使用済み燃料の炉心からの取出し、更に、再処理工場への搬出作業を行ってきたが本年夏までにこれらの作業を完了した。これら作業と並行して、施設解体に係る諸準備を進めてきた。

国においては、廃止措置段階における安全確保のあり方や安全規制のあり方、更には、低レベル放射性廃棄物処分に係る検討がなされ、平成 13 年 10 月には解体届を提出、同年 12 月から廃止措置段階に移行した。国内においても、日本原子力研究所の JPDR など、原子炉施設の解体実績が蓄積されてきているが、商業用原子力発電所の廃止措置としては東海発電所が初めての事例となる。本稿においては、廃止措置と廃棄物管理計画について概説する。

Keywords: 東海発電所、廃止措置、低レベル放射性廃棄物、残存放射能

Tokai Nuclear Power Station of the Japan Atomic Power Company ceased commercial operation in March, '98. We had been started removing spent fuel out of the reactor core and shipping it to a reprocessing plant shortly after the end of operation, and completed these works until summer last year. And we had been preparing for dismantling equipment simultaneously.

In the meantime, government examined safety security and safety regulations for decommissioning phase, furthermore, disposal of low level radioactive waste. The notification of decommissioning plan was handed in to the authority in October, '01, and we moved on to the decommissioning phase in December of the same year. Some domestic nuclear reactors (e.g. JPDR of Japan Atomic Energy Research Institute, etc) were dismantled already and some knowledge were accumulated. But it is first time to dismantle a commercial power station in this country. We give a rundown on the plan of decommissioning and waste management in this report.

Keywords: Tokai Nuclear Power Station, decommissioning, low level radioactive waste, residual radioactivity

1 はじめに

東海発電所(電気出力 16.6 万 kW)は、昭和 41 年に我が国初の商業用原子力発電所として営業運転を開始して以来、30 年余にわたり安定した運転を続けてきたが、我が国唯一の炉形であることに起因する経済的理由から、平成 10 年 3 月末日をもって運転を停止した。東海発電所は、国内唯一の天然ウラン黒鉛減速炭酸ガス冷却炉であり、運転中に燃料交換を行うタイプであることから、運転終了時に約 16000 本の中空円筒型・マグノックス被覆燃料が装荷されていた。運転停止後、炉心からの燃料取出し、英国への搬出作業を続け、平成 13 年 6 月末には原子炉内からの全燃料の取出し及び英国への搬出が完了した。平成 13 年 10 月に原子炉等規制法第 38 条の規定に基づく原子炉解体届を経済産業省に提出し、同年 12 月から廃止措置段階に移行した。

我が国における商業用原子力発電所の廃止措置については、「総合エネルギー調査会原子力部会報告書」(昭和 60 年)において、日本の実情に合った合理的な廃止措置方式を選定する観点から、5~10 年程度の安全貯蔵期間を経た後に解体撤去する方式を前提とした標準工程が策定された。その後、廃止措置関連技術の開発、日本原子力研究所動力試験炉(JPDR)の解体といった進展も踏まえ、同部会

は「商業用原子力発電施設の廃止措置に向けて」(平成 9 年)を報告した。同報告によれば、「昭和 60 年の標準工程に沿って廃止措置を実施することは十分可能で、標準工程の妥当性は損なわれておらず特段の変更は要しない」、「標準工程については、その時点、その現場の状況に応じて一定の柔軟性をもって理解すべきものである」とされ、現在なお、標準工程は妥当性を有するものと考えられている。標準工程の概要を Fig.1 に示す。

本稿では、東海発電所の廃止措置の概要、放射性廃棄物の処分方策の検討状況等について概説する。

2 廃止措置計画の概要

平成 13 年 8 月に総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃止措置安全小委員会より「実用発電用原子炉施設の廃止措置に係る安全確保のあり方および安全規制の考え方について」が報告された。安全確保の考え方の整理にあたっての主要論点は以下の通りである。

- 廃止措置計画の分割；系統除染、安全貯蔵、解体撤去の 3 工程に分割することが基本。
- 一部設備の先行解体；非汚染または低汚染設備については、系統除染中または安全貯蔵中に先行解体が可能。
- 廃止措置の完了期限；残置施設の老朽化を考慮し、30 年が一応の目安。

同報告書では実用発電用原子炉施設の廃止措置に係る安全確保上の留意事項もあわせて示されている。更に、原子力安全委員会においても、原子力安全総合専門部会が調査、審議を行い、「原子炉施設の解体に係る安全確保につ

Decommissioning and waste management plan of Tokai Power Station by Satoshi Karigome(satoshi-karigome@japc.co.jp)

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会第 17 回夏季セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

* 日本原子力発電株式会社廃止措置プロジェクト推進室

Waste strategy and technology group decommissioning project department, The Japan Atomic Power Company
101-0053 東京都千代田区神田美土代町 1 番地 1

商業用原子力発電施設の廃止措置の標準工程

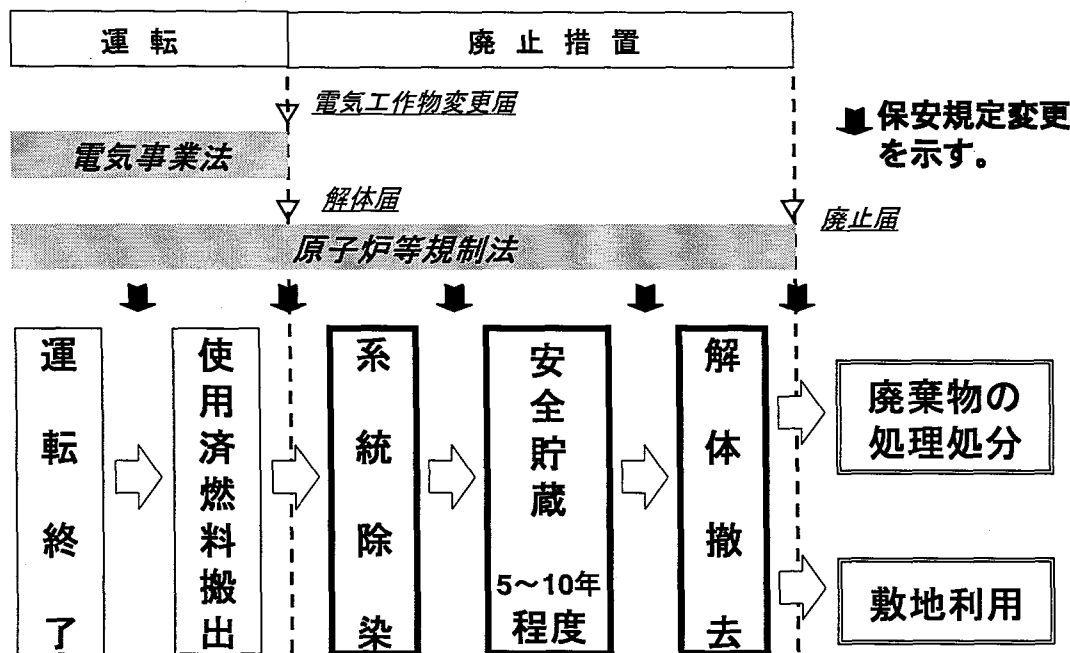


Fig.1 Standard process for the decommissioning of nuclear power plants.

いて」が同年7月に報告されている。基本的には「原子炉施設の解体に係る安全確保の基本的考え方-JPDRの解体に当て-」を商業炉を含めた一般の原子力発電所に適用することの妥当性が示された。

このような状況を踏まえ、東海発電所の廃止措置計画を策定した。

- 解体撤去後の跡地を、有効利用が可能な状態に復する。
- 原子炉領域は、約10年間の安全貯蔵の後、解体撤去。
- 原子炉領域以外の付属設備等は、安全貯蔵期間も含め順次撤去。

このうち、安全貯蔵期間は10年にわたり、この間に付属設備等の解体撤去を行うため、この期間を2期に分け、原子炉本体の解体等を行う期間と合わせ工程を3分割することとした。即ち、

- 第1期工事 平成13年度～17年度(約5年間)：準備工事、附属設備撤去等
- 第2期工事 平成18年度～22年度(約5年間)：熱交換器他附属設備撤去等
- 第3期工事 平成23年度～29年度(約7年間)：原子炉本体解体、各建屋解体等

昨年提出した解体届の記載内容は、廃止措置全期間を通じた計画の概要と、至近の第1期工事の詳細を示したものとなっており、今後、第2期工程以降の詳細計画をつめた上で、遅滞なく変更届を提出する予定となっている。廃止

措置工程を Table 1 に示す。

また、解体工事に伴い発生する放射性廃棄物の処理処分に係る基本的考え方は、

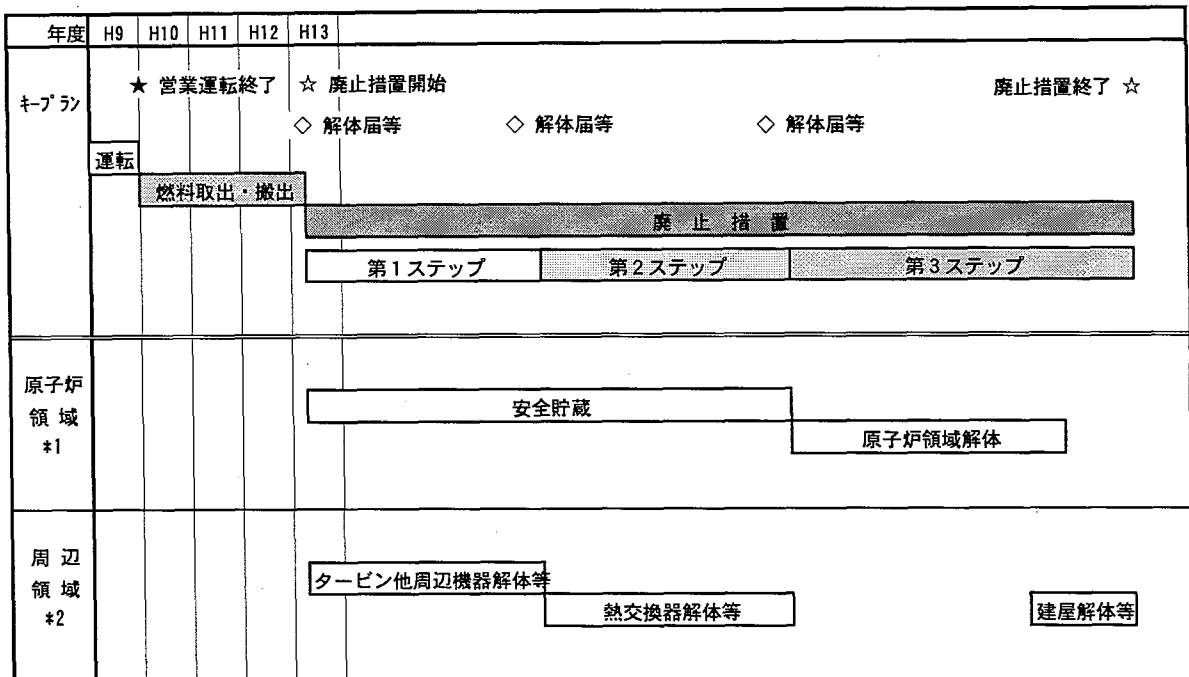
- 解体で発生する放射性廃棄物は性状に応じて減容した後、容器に固化、封入し、埋設処分する。
- 埋設処分先は第3期工事前までに確定する。確定できない場合は、安全貯蔵期間を延長する。
- 第1期及び第2期工事で発生する放射性廃棄物は少量であり、第3期工事を開始するまで既設の固体廃棄物貯蔵庫で一時保管を行う。

3 廃棄物の管理計画

原子力発電所の運転に伴い発生する低レベル放射性廃棄物(LLW)については、濃縮廃液等を200lドラム缶にセメント等で固型化したもの(均一・均質固化体)、及び定検工事などで発生した固体状の廃棄物(雑固体)を200lドラム缶にセメント充填固化したものを青森県六ヶ所村の日本原燃低レベル放射性廃棄物埋設センターで埋設処分している。

我が国では、発電所の運転及び解体で発生する放射性廃棄物は低レベル放射性廃棄物として区分され、含まれる放射性物質の濃度に応じて3種類に分類されている。これら3分類に対する名称は必ずしも定まったものがない。そこで、現在、日本原燃低レベル放射性廃棄物埋設センターの

Table1 Tokai decommissioning schedule.



* 1 原子炉領域とは、原子炉本体及び遮へいコンクリート等。
 * 2 周辺領域とは、タービン建屋、使用済燃料冷却池建屋、原子炉建屋（原子炉領域を除く）。

埋設対象となるものを、比較的放射性物質濃度の低い低レベル放射性廃棄物(略称：L2 廃棄物)、これより濃度が高いものを放射性物質濃度の比較的高い低レベル放射性廃棄物(略称：L1 廃棄物)、低いものを放射性物質濃度が極めて低い低レベル放射性廃棄物(略称：L3 廃棄物)と仮称する。この他、廃止措置により発生するものの大部分を占める、「放射性物質によって、汚染された可能性が全くないもの、又は、放射能レベルについて自然レベルとの間に有為な差が認められないもの」である、「放射性廃棄物でない廃棄物」や「固体状物質に含まれる微量の放射性物質に起因する線量が、自然界の放射線レベルに比較して十分小さく、又、人の健康に対するリスクが無視できる」ことを前提に導出されたクリアランスレベルを下回る「放射性廃棄物として扱う必要のない物」も存在する。

これらの低レベル放射性廃棄物のうち、L2 廃棄物については既に、日本原燃低レベル放射性廃棄物埋設センターで運転中に発生するものを対象とした埋設が行われており、また、L3 廃棄物についても日本原子力研究所動力試験炉(JPDR)の解体に伴い発生したコンクリートを実地試験として埋設した実績がある。更に、PWRの蒸気発生器取替工事で発生したコンクリートを「放射性廃棄物でない廃棄物」として扱った実績もある。

しかし、平成9年1月の「総合エネルギー調査会原子力部会報告書—商業用原子力施設の廃止措置に向けて—」によれば、「現在までの放射性廃棄物の処分の検討状況を見ると、その具体的処分方策を早急に確立しなければなら

ない分野が残されている」と指摘され、その後、原子力安全委員会等においてそれぞれの廃棄物に対する技術的検討がなされ、一部法令に取り入れられ、着実に検討が進展しているものの廃止措置により発生するものすべてが処理、処分できるような制度整備が完了している状況にはない。

東海発電所の廃止措置計画は、当面 10 年程度原子炉本体の残存放射能の減衰を待つため安全貯蔵し、この間、周辺機器の撤去を行うものの発生する放射性廃棄物の量は僅かであるため、既設のドラム貯蔵庫内に保管する計画である。この間に、所要の制度整備がなされることを期待するとともに、事業者も埋設施設や廃棄物の具体化検討を進める計画である。具体的には、電力各社と協調して、合理性も考慮して電力共通の処分容器の開発、米国で実施例のある大型機器をそのままの形状で埋設する概念の検討、廃棄物埋設施設の運用の具体化などを行うとともに、資源の有効活用の観点から、クリアランスレベルを下回る廃棄物であることを検認する方法や再利用方策を具体化するための検討などを鋭意進めていく必要がある。廃棄物処理処分の概念フローを Fig.2 に示す。

4 残存放射能評価

放射能に応じた解体手順や解体工法、遠隔自動化の導入など工法の適正化による被ばくの抑制、放射能に応じた分別による適切な処理処分、除染による費用合理化、更には周辺環境への拡散防止や影響評価など適切な放射線管理

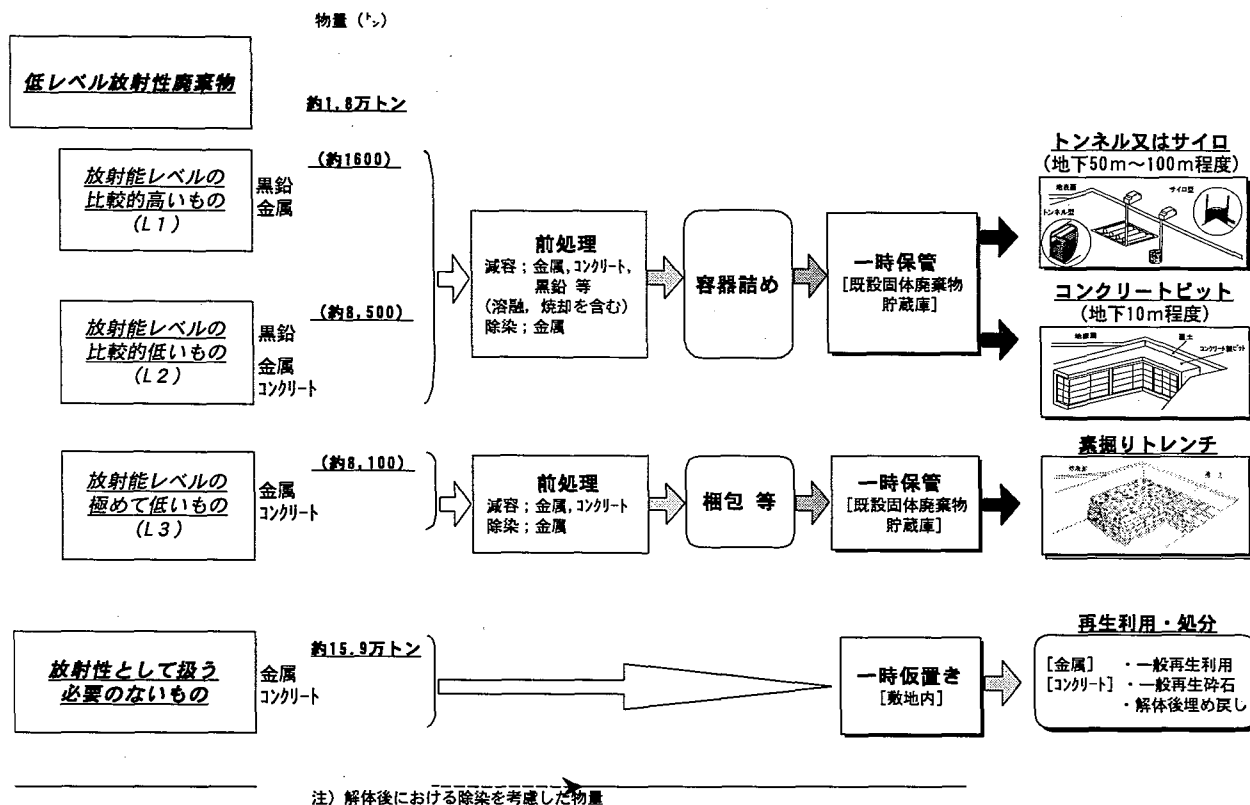


Fig.2 Concept of solid waste treatment and disposal.

手法の策定を行うために残存放射能評価が極めて重要な意味を持つ。

廃止措置段階において原子炉施設に残存する放射性物質は、放射化放射性物質と汚染放射性物質に分けることができる。放射化放射性物質は、炉心内及び炉心周辺部に設置されている原子炉圧力容器・生体遮へい体等の構造物が中性子照射を受けて放射化することにより発生したものである。汚染放射性物質は、炉心内及び炉心周辺部で放射化した放射性腐食生成物等が機器等に付着することにより発生したものである。

これら残存放射性物質の評価にあたっては、運転段階からサンプル調査を実施している。

放射化放射性物質については、計算結果を基にサンプル調査結果による比較・検証を行って評価した。汚染放射性物質については、サンプル調査結果による実測データに基づき評価した。評価対象とする放射性核種は、放射性固体廃棄物の処分に伴う周辺公衆の線量評価等に影響を及ぼす重要な放射性核種に加え、廃止措置期間を通じての放射線業務従事者や発電所周辺公衆の線量評価を包絡するよう Co-60 等、18 種類の放射性核種を設定した。

4.1 放射化放射能

(1) 評価手順

放射化放射能の評価手順を Fig.3 に示す。

a. 中性子束分布の評価

中性子束分布は、発電所設計のデータに基づき計算により評価した。中性子束計算に影響の大きい生体遮へい体コンクリート中の水分量については、サンプル調査で求めた値を用いた。計算においては、標準的中性子スペクトルで作成された群定数ライブラリ「VITAMIN-C」[1]と次元 Sn 輸送計算コード「ANISN」[2]を用いて次元 Sn 輸送計算用縮約群定数を求めた。次にこの群定数を用いて、Sn 輸送計算コードである二次元の「DOT3.5」[3]により中性子束分布を求めた。また、中性子ストリーミングの影響が大きい箇所については、評価精度を向上させるため三次元の「TORT」[4]を使用した。

本計算結果は原子炉運転中に金属箔等により測定した結果と比較し、計算値の妥当性を確認している。

b. 放射化量計算

放射化放射性物質濃度の計算には、放射性核種生成崩壊計算コードである「ORIGEN2」[5]コードを使用した。当該コードのデータベースとなる放射化断面積については、東海発電所原子炉の中性子スペクトルを用いて1群への縮約を行った。

c. 放射化放射性物質の濃度及び量の評価

中性子束、中性子照射履歴及び親元素の存在量を用いて、構造材の放射化放射性物質濃度を計算した。放射性物質濃度は、計算結果と構造材の実測結果と

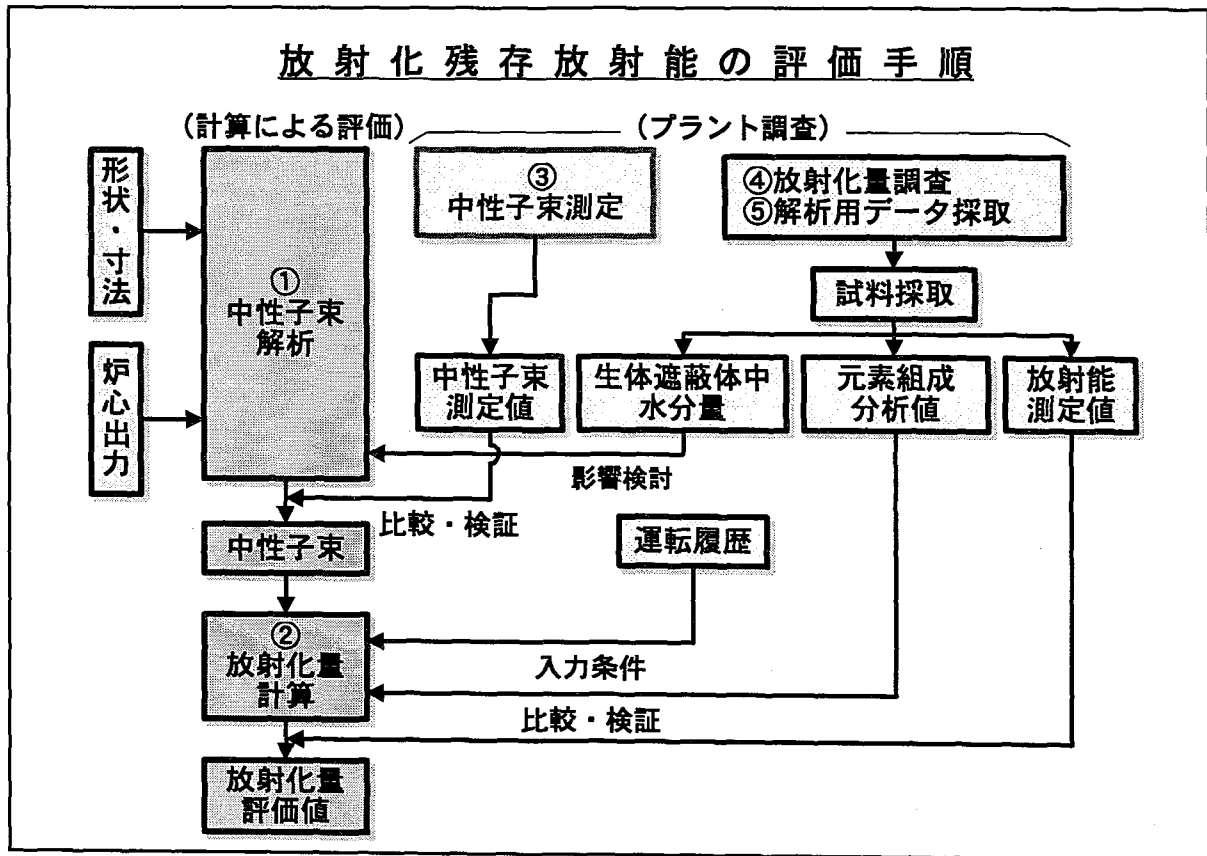


Fig.3 Evaluation procedure of residual radioactivity.

の比較を行い、評価値が実測値を上まわるよう評価した。

放射化放射性物質量は、この放射性物質濃度に放射化部位の重量をかけ合せて評価した。

(2) 評価結果

その結果、構造材に残存する放射化放射性物質量は、原子炉停止後3年及び原子炉停止後13年で、それぞれで約 9×10^{16} Bq、約 9×10^{15} Bqと推定される。

4.2 汚染放射性物質

汚染放射性物質の放射性核種、濃度及び量は、サンプル調査結果の表面汚染密度に基づき評価した。

(1) 評価手順

a. 汚染パターンの区分

汚染放射性物質の放射性核種組成は、汚染移行経路や汚染形態によって異なると考えられる。そのため、いくつかの汚染パターンに分けて評価を行った。

発電所内の汚染移行経路としては、原子炉冷却系で循環する気体系と廃液が移動する液体系の2種類がある。また、汚染形態は汚染媒体（気体、液体）と直接接触して生じた「直接汚染」と間接的に汚染した「間接汚染」がある。これから汚染移行経路と汚染形態の組み合わせにより汚染パターンを区分

した。

b. 放射性核種組成の設定

汚染に寄与する汚染源は以下の4種類とし、それぞれの寄与率を考慮して汚染パターンごとの放射性核種組成を設定した。

- (a) 燃料からの核分裂生成物等の放射性核種（代表核種 Cs-137）
- (b) 放射化した燃料構成材に由来する放射性核種（代表核種 Co-60, Ni-63）
- (c) 放射化した炉内構造物に由来する放射性核種（代表核種 Co-60, Ni-63）
- (d) 放射化した黒鉛に由来する放射性核種（代表核種 C-14）

c. 表面汚染密度の設定

汚染パターン別に、使用形態、系統構成及び汚染管理記録から表面汚染のレベルが同等とみなされる範囲ごとにサンプルを採取し、浸透汚染を考慮して代表放射性核種の表面汚染密度を評価した。この評価結果と各汚染パターンの放射性核種組成を用いて、評価対象箇所の放射性核種合計の表面汚染密度を設定した。

d. 汚染放射性物質の濃度及び量の評価

汚染放射性物質量は、表面汚染密度に汚染部位の

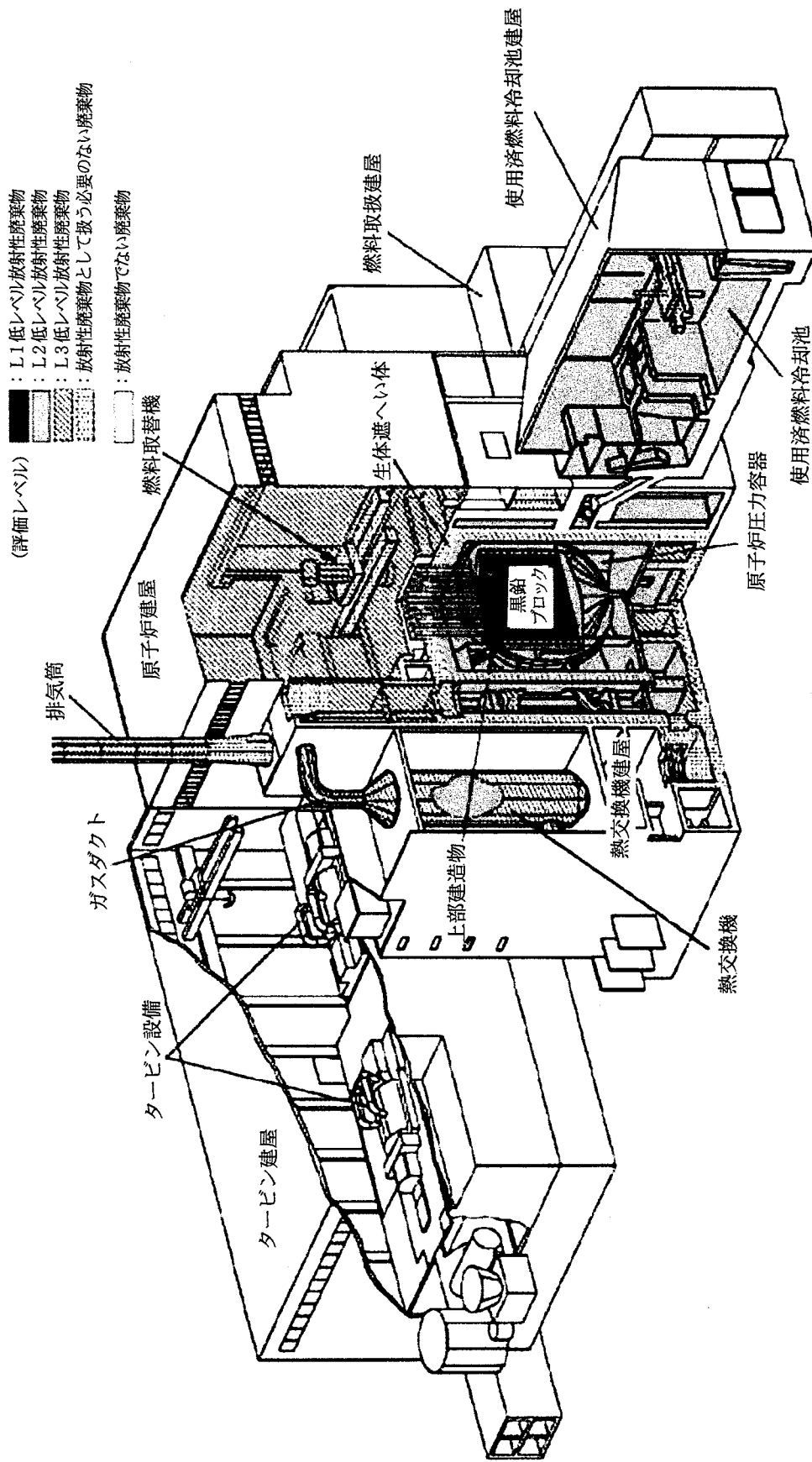


Fig.4 Radioactivity level of Tokai power station

表面積を乗じて評価した。

汚染放射性物質濃度は、汚染放射性物質質量を汚染部位の重量で除して評価した。

(2) 評価結果

その結果、汚染放射性物質質量は、原子炉停止後3年及び原子炉停止後13年で、それぞれ、約 3×10^{11} Bq、約 1×10^{11} Bqと推定される。

4.3 放射性固体廃棄物量と残存放射性物質分布の評価

放射性固体廃棄物は、原子炉本体、原子炉冷却系統、放射性廃棄物処理施設等の設備・機器及びそれらを収納する建屋・構築物の解体に伴って発生するものである。これらの設備・機器等について、前述「4.1 放射化放射能」及び「4.2 汚染放射性物質」で求めた放射性物質濃度（放射化放射性物質と汚染放射性物質の和）に基づき、以下に示す放射能レベル区分ごとに廃棄物の発生量を評価した。また、解体により発生する放射性固体廃棄物のうち、除染によって放射性廃棄物の放射能レベル区分のレベルを下げる効果があるものは、除染設備で除染することとした。この際、除染係数を用いて廃棄物の発生量を評価した。

これらに基づき評価した廃止措置開始時点の残存放射性物質の分布を Fig.4 に示す。

4.4 今後の調査

運転段階の残存放射性物質の評価結果に加え、廃止措置の進展に応じて、放射化放射性物質濃度及び汚染放射性物質の評価精度向上のため、炉内構築物を中心にサンプル調査を行う。

5 まとめ

東海発電所の廃止措置は、国内商業用原子力発電所の初めて事例であり、今後17年間にわたって実施される計画であるが、廃止措置を確実に実施することは、廃止措置の安全性及び経済性を実証するものであるとともに、将来の軽水炉の廃止措置につながる技術確立にとっても意義があるものとする必要がある。

解体工事に伴い発生する廃棄物の処理処分に関しては、現在国において制度化が進められている段階であり、今後、廃止措置の確実な実施に向けて、以下の事項について検討していく必要がある。

- ▶ クリアランスレベルに関する検認方法や「放射性廃棄物として扱う必要のない物」の再利用方策の検討
- ▶ 放射性廃棄物の埋設処分に向けた技術基準の確立及び埋設廃棄物作成方法の検討
- ▶ 埋設施設までの輸送方法の検討

このうち、クリアランスレベル以下と判定された物

の扱いについては、科学的な観点からは安全性が説明できるが、いわゆる風評被害を懸念する声があるのも事実である。そもそも、我々は自然界からの放射線環境下に暮らしており、医療にも放射線が利用されている事、クリアランスレベル以下と判定されたものによる被ばくはこれらに比べ格段に低い事などが正しく理解されるよう、折りに触れた活動が肝要であろう。

参考文献

- [1] Roussin R.W., et al.: VITAMIN-C: The CTR processed multigroup cross-section library for neutronics studies. ORNL-RSIC-37(ENDF-296) (1980).
- [2] W. W. Engle, Jr.: A user's manual for ANISN, A one-dimensional discrete ordinates transport code with anisotropic scattering. K-1693 (1967).
- [3] Rhoades, W.A., et al.: DOT3.5 Two-dimensional discrete ordinates radiation transport code. CCC-276 (1976).
- [4] Rhoades W.A., Simpson D.B.: "The TORT three-dimensional discrete ordinates neutron/photon transport code. ORNL/TM-13221 (1997).
- [5] Croff A.G.: A user's manual for the ORIGEN2 computer code. ORNL/TM-7175 (1980).
- [6] (財)原子力発電技術機構：軽水炉等改良技術確証試験 実用発電用原子炉廃炉設備確証試験に関する調査報告書 平成11年度。(2000).