技術報告

342. 原子炉施設の廃止措置計画策定および
管理のための計算システムの開発

東海発電所の解体作業に関するプロジェクト管理データの試算

柳原 敏^{*1}, 大島 総一郎^{*1}, 助川 武則^{*1},
田辺 憲男^{*2}, 高谷 純一^{*3}, 木内 喜雄^{*3}, 横田 修一^{*3}

*Development of Computer Systems for Planning and Management of
Reactor Decommissioning
Estimation of Project Management Data on Dismantling Tokai Power Station*

By Satoshi YANAGIHARA, Soichiro OHSHIMA,
Takenori SUKEGAWA, Norio TANABE,
Junichi TAKAYA, Yoshio KIUCHI and Shuichi YOKOTA

Data on the Japan Power Demonstration Reactor dismantling activities were analyzed to be applied to planning and evaluation of decommissioning reactor facilities. These were then combined with the computer systems for planning and management of reactor decommissioning (COSMARD) as a database to estimate decommissioning project management data such as manpower needs and radiation exposure to workers. The Tokai Power Station decommissioning program, which will be conducted by the Japan Atomic Power Company as the first project on decommissioning a commercial nuclear power plant in Japan, was characterized by evaluating the project management data using COSMARD and the database. It was found from the study that COSMARD and unit productivity factors were applicable to planning and evaluation of reactor decommissioning programs.

KEYWORDS : decommissioning, project management, reactor dismantling, dose rates, manpower, COSMARD, unit productivity factors, JPDR, Tokai Power Station, low-level radioactive wastes, decontamination, work breakdown structures, preparation, cutting

I. はじめに

原子力の開発が始められてからすでに半世紀が経過し、開発の初期に建設された原子力施設の中には、その目的を達成したり、経済的な理由から運転を停止したものが幾つかある。我が国では、2000(平成12)年6月現在、52基の原子力発電所が運転されているが¹⁾、これらのうち20年を経て運転を継続しているものが20基以上あり、21世紀の前半にはその幾つかが運転を停止して廃止措置されることが予想される。運転を終了した原子力発電所の廃止措置は近い将来の課題であり、安全で効率的な廃止措置を実現するための検討や技術開発は不可欠である。

日本原子力研究所(原研)では、動力試験炉(JPDR : Japan Power Demonstration Reactor)の解体(以下「JPDR 解体実地試験」と記す)を1996(平8)年3月に終了した。これは我が国で初めての原子力発電施設の解体に関する経験であり、解体技術の検証、知見・データの収集を主

な目的に実施されたものである²⁾。この後、商業用原子力発電所として初めて建設された東海発電所(日本原子力発電(株))が停止され、その廃止措置に関する準備が進められているが³⁾、より安全で効率的な作業を実施する上で、JPDR 解体実地試験で得られた知見やデータ、また、技術開発の成果を東海発電所の廃止措置計画に反映することが重要である。

原研では、JPDR の解体作業とともに各種技術の開発を進めたが、その中でも、廃止措置計画策定および管理のための計算システム(COSMARD)は、原子力施設の廃止措置を効率的かつ安全に実施するために有用な技術の一つであるため、解体作業の完了後も作業内容やデータの分析を続けるとともに、そこに適用した計算モデルの検証を進めた。また、同システムの性能向上を図るためには、JPDR 以外の施設の廃止措置に関する計算に適用し、計算モデルの妥当性や汎用性を検討し、その結果を改良作業に反映する必要がある。そこで、これまでに作成した東海発電所の機器特性データ(物量データ)を用いて、その解体作業に必要な人工数(従事者数と作業時間の積)、作業日数、総量当量、廃棄物量等のプロジェクト管理データ(以下「管理データ」と記す)を試算するとともに、計算モデルの適用性に関

^{*1} 日本原子力研究所 (Japan At. Energy Res. Inst.)

^{*2} 日本原子力発電(株) (The Japan At. Power Co.)

^{*3} 富士電機(株) (Fuji Electr. Co., Ltd.)

(2000年9月18日 受理)

する検討を行った。この結果、COSMARDが大型発電炉の解体計画に適用できる見通しを得た。

本報は、JPDR解体作業データの分析結果、COSMARDの東海発電所の解体計画への適用方法、また、その結果についてまとめたものである。

II. JPDRと東海発電所の解体計画

1. JPDR

JPDRは我が国で初めて原子力による発電に成功した沸騰水型の原子力発電施設(熱出力90 MW, 電気出力12.5 MW)である。原子炉の運転は、施設の改造期間等を除いて、1963(昭和38)年から1976(昭和51)年まで行われた。その後、原研ではJPDRを活用して原子炉解体のための技術開発を進めることを決定し、JPDR解体実地試験を1986(昭和61)年から開始した。JPDR解体実地試験では、まず、原子炉周辺機器を撤去した後、遠隔解体装置を用いて、炉内構造物、原子炉圧力容器、生体遮へい体等の放射化した機器・構造物の解体作業を実施した。また、タービン建屋や付属建屋等の機器・構造物は作業員が手作業により解体した。機器・構造物の撤去後は、建屋表面の除染と放射能の確認測定を経て、管理区域を順次解除し、建屋の解体と跡地の整地を行いすべての作業を1996(平成8)年3月までに終了した。これにより、本試験の目的である発電炉を安全に解体できることが実証され、また、大型発電炉の解体に役立てるための各種データの収集・整備が図られた。

2. 東海発電所

東海発電所は、我が国で初めて建設されたコールドホール型(黒鉛減速炭酸ガス冷却, 天然ウラン燃料)の原子力発電所(熱出力586.9 MW, 電気出力166 MW)である。同原子力発電所は、1966(昭和41)年の運開以来、我が国における原子力発電の先駆者として原子力技術の発展に貢献したが、主に経済的な理由から1998(平成10)年3月末に営業運転を停止した。運転終了までの総発電量は290億670万kWh, 累積時間稼働率は77.5%, 累積設備利用率は62.9%であった。東海発電所の施設の概要をTable 1に示す。原子炉は原子炉建屋(高さ約60 m, 幅約70 m, 奥行き約50 m)のほぼ中央に設置されており、炉心には燃料および減速材と反射材としての黒鉛ブロックが存在する。原子炉圧力容器は球型で、外殻は厚さ約9 cmの炭素鋼製である。東海発電所の解体に関しては現在、その計画を検討中である³⁾。基本的には、1985(昭和60)年の総合エネルギー調査会原子力部会報告書「商業用原子力発電施設の廃止措置のあり方について」等に示された標準工程⁴⁾に沿った形となることが予想される。

Table 1 Facility characteristics of Tokai Power Station

Items	Characteristics
Reactor building	
・ Materials	Reinforced concrete
・ Structures	Basement and 10 floors
・ Size	60 m in height, 70 m×50 m in width
Coolant	
・ Average pressure	14 kg/cm ² ·g
・ Inlet temperature	200℃
・ Outlet temperature	380℃
・ Flow rate	10 t/h
Reactor pressure vessel	
・ Shape	Spherical
・ Materias	Carbon steel
・ Size	18 m in O.D., 8 cm in thickness
Steam genergtor (4 units)	
・ Type	Forced circulation water pipe type
・ Materils	Carbon steel
・ Size	6 m in O.D., 24 m in height, 6 cm in thickness

III. JPDR解体作業の分析

1. 解体作業項目

JPDR解体実地試験では、作業内容、作業時間、人工数、解体装置の適用結果等のデータを収集・分析して解体作業の特徴を明らかにした。解体作業は、対象となる機器の種類、数量、重量、作業領域の特徴、予想される作業期間等を考慮して、作業領域や対象機器を特定し、その領域ごとに実施された。作業領域ごとの一連の作業は、準備作業、切断・収納作業、後処理作業に分類でき、準備作業と後処理作業はさらに作業領域の養生、放射線測定、解体用具・資材の搬出/搬入等、基本となる幾つかの作業項目から構成された。切断・収納作業では、対象となる機器・構造物および適用する工法により作業内容が異なるが、作業員が簡単な工具を用いて手作業で行う「在来工法による解体作業」と大型装置を適用する「遠隔解体作業」に分類できる。また、このほか、除染や放射能の確認・測定等の作業があり、すべての作業を、機器の解体、建屋除染、確認測定、建屋解体、管理作業に分類し、その作業内容を明らかにした。

2. 単位作業係数

上述した作業の分類に基づいて、原子炉施設を解体撤去する場合に必要な人工数や線量当量を予測するために必要となる基本量(単位作業係数)をまとめた。まず、作業ごとに人工数と解体した機器重量(または作業領域の面積等)との関係を整理した。この結果、例えば、在来工法による解体作業に必要な人工数は、解体する機器の種類ごとに、単位重量当たりの人・時間として整理することができ

た。Fig. 1 は各種機器の解体に要した人工数と機器重量との関係を整理したものである。本図からは、機器の種別に応じて、人工数と機器重量とが比例関係にあることがわかる。そこで、Fig. 2 に示すように、JPDR 解体作業での機器種別ごとに単位作業係数を整理した。他方、遠隔解体作業に要する人工数は、遠隔装置の1回の動作に要する時間と作業員の積として、建屋除染や確認測定は、作業領域の単位面積当たりの人工数として、単位作業係数を作成した。また、準備作業や後処理作業は、人工数と作業領域や機器重量との関係が得られなかったため、Fig. 3 に例示するように、基本作業ごとに、難易度に応じて数段階で人工数を整理した。Table 2 は分類した作業ごとの単位作業係

数をまとめたものである。後述するように、COSMARD では、本表の単位作業係数を作業条件等に応じて設定することにより管理データを計算する。

IV. COSMARD

COSMARD は、原子炉の解体に必要な作業(または組織等)を合理的と考えられる程度で分割可能な最小単位(単位作業)に細分化して作業構成(WBS: Work Breakdown Structure)を構築し、この単位作業ごとに管理データを算出するとともに、その結果をWBSに沿って積算する計算プログラムである⁵⁻⁹⁾。作業構成や作業条件は、本システム特有のコマンド体系に基づいて入力データとして設定するため、解体作業をできるだけ現実的にモデル化することが管理データを精度よく予測する上で重要になる。

管理データの計算では、その特性に応じて、作業依存型、期間依存型、付随型等に大別し、おのおの異なるアルゴリズムが適用される。ここで、作業依存型とは、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。また、期間依存型とは、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。付随型とは、予備費のように、上述した作業依存型または期間依存型の管理データに付随する形で算出されたり、独立した数値で与えられるものである。このうち、作業依存型の管理データについては、機器の種別

Fig. 1 Relationship between manpower and dismantled component weight

A: Demolition of building, B: Large components, C: Facility components

Fig. 2 Unit productivity factors for hands-on dismantling activities

Fig. 3 Man-hours of different categories in preparatory activities

Table 2 Unit productivity factors applied to estimating manpower need and worker dose

Activity group	Unit productivity factors	Remarks
Dismantling of components		
• Hands-on activities	3.2~115.7 man·h/t	Depend on component type
• Remote activities	0.15~1.08 h/cutting	Depend on operation easiness
• Preparation	3~91 man·h	Depend on work activities
• Cleanup	4~128 man·h	ditto
Building decontamination		
• Surface layer	1.90~4.51 man·h/m ²	Depend on tool types
• Thick layer	3.52~5.79 man·h/m ²	ditto
• Slate plate	1.9~4.95 man·h/m ²	ditto
Radiation survey		
• Floors, walls, ceiling	0.19 man·h/m ²	
Building demolition		
• Concrete structures	0.5 man·h/t	
• Steel wall	7.4 man·h/t	

ごとに、単位重量当たりの解体に必要なとなる基準人工数(単位作業係数)を用いて機器の重量等から人工数が算出される。これらの計算モデルはプログラム本体とは分離されており、変更や追加が可能である。COSMARDの概念をFig. 4に示す。物量データベースには、解体作業の対象となる機器・構造物の特性(名称, 存在位置, 機器種別, 重量, 放射能密度等)が機器ごとに、また、作業環境データベースには、作業領域の線量当量率と作業者の被ばく寄与率が作業領域ごとに記述される。管理データの計算モデルが実行されるごとに、必要な値がこれらのデータベースから検索される。

V. 東海発電所の解体作業に関するプロジェクト管理データの試算

1. 解体計画の検討条件

東海発電所の解体作業に必要なとなる管理データを計算するため、最も妥当だと考えられる作業シナリオ(作業範囲, 作業条件等)を設定した。東海発電所の解体計画に関しては、現在詳細な計画の検討が進められており、想定した解体条件と実際の解体計画とは必ずしも一致するものではない。想定した各種条件を以下に示す。

(1) 原子炉の運転

東海発電所の運転年数を30年(稼働率100%)として物量

Fig. 4 Concept of project management data calculations

データおよび放射能インベントリーを求めた。なお、実際は、毎年1回程度の定期点検があるため、時間稼働率は80%程度となるが、運転の詳細な履歴等、放射化量に及ぼす影響の少ない項目は考慮しなかった。

(2) 評価対象施設

本検討では、管理区域(原子炉建屋、使用済燃料冷却池建屋、放射性廃液処理建屋、固化処理建屋、ホットワークショップ、放射性固体廃棄物貯蔵建屋、サイトバンカー)とタービン建屋機器等の付属施設を評価対象とした。また、計算の対象となる作業は、機器構造物の解体、廃棄物の収納、輸送(放射性廃棄物処理施設まで)とし、廃棄物の処理、処分は計算の対象外とした。

(3) 解体手順と工程

作業工程を次のように想定した。まず、原子炉本体と燃料取替機の解体時に必要となる廃棄物の搬出経路を確保することを目的に、原子炉サービス建屋領域と燃料取扱施設領域の機器が解体される。続いて、燃料取替機、原子炉圧力容器、生体遮へい体が解体される。原子炉、生体遮へい体等の高放射化部は、従事者の被ばく低減のため遠隔で解体し、従事者が比較的長い時間滞在することが可能な領域では、手作業によって機器が解体される。機器の解体が終了した後は、建屋表面の除染、確認測定を経て管理区域が解除され、在来工法により建屋が解体される。付属施設に関しては、解体作業中に使用しない施設は早い時期に解体、除染、確認測定を実施し、解体作業中に使用する施設は工程の最終段階で解体、除染、確認測定を実施する。

2. 単位作業係数の作成

東海発電所固有の作業に関しては、その内容を分析し、以下に示すように、単位作業係数を設定した。

遠隔解体作業のうち、作業内容はJPDR解体実地試験とほぼ同様であるが、操作がより容易になると考えられる場合には、既存の単位作業係数を補正した。以下の作業に対してはプラズママーク切断(マニピュレータ)における単位作業係数を1/2にして適用した。

- ・把持のみの作業(黒鉛ブロック)
- ・対象物が平面上にあり位置決めが容易な作業
- ・垂直方向のみの位置決め作業(スタンドパイプ)

また、移動経路の指示が不要で、かつ、平面のみで切断位置が決められる作業(チャンネルボット)については、単位作業係数を1/4とした。

他方、東海発電所の生体遮へい体の解体にはワイヤソーを用いるが、この工法の適用経験はないので、ワイヤソーの切断速度から独自にその単位作業係数(3.64時/cutting)を作成した。また、東海発電所に特有な以下の機器に対しては、JPDR機器の中で類似するものを選定し(重量は小さいこともある)、それらと同様の解体手順が取られることを想定して、以下のように、単位作業係数を用いることとした(()内は参照したJPDRの機器とその単位作業係数)。

- ・電気回転器(ポンプ: 13.2人・時/t)
- ・燃料取替機(タンク: 27.3人・時/t)
- ・熱交換器(コンデンサ: 21.8人・時/t)
- ・生体遮へい冷却管(配管・バルブ: 63.0人・時/t)

3. 計算条件の設定

(1) 解体作業条件

解体作業は、原則として技術員1名、監督2名、従事者10名で構成される作業クルーにより実施されると仮定し、1日の勤務時間は8時間とした。ただし、管理区域への入退

域や打合せ等により、1日の実質的な作業時間は減少することになるため、作業領域ごとに、実質作業時間を、非管理区域(タービン建屋等)で390分、管理区域で230分と設定した。また、1ヵ月の作業日数は25日(または20日)とした。

(2) 作業構成

管理データの計算に必要な作業を、機器の解体、建屋除染、確認測定、建屋解体、管理作業の5項目に分類した。このうち、機器の解体は、遠隔解体作業と在来工法による解体作業に分類した。

遠隔解体作業はさらに細かな作業項目、すなわち、黒鉛取出し、原子炉本体の解体、生体遮へい体の解体(高放射化部と低放射化部に分類)から構成されるものとした。また、これらは、切断準備(切断装置の切断部への移動や切断線の教示等)と切断・収納(把持切断した後、容器へ収納するまでの作業)から構成されるものとした。

在来工法による解体作業は、基本的には部屋ごとの小さな領域で一連の作業が行われるため、これらの作業ごとに管理データを計算するよう設定した。ただし、施設内には約200の作業領域が存在することから、各解体作業はこの作業領域ごとに実施されるものとし、建屋ごと(タービン建屋、放射性廃棄物処理建屋、等)に作業領域をグループ化した。各作業領域に対する解体作業は、準備、切断・収納、後処理で構成されるものとした。

(3) 基本データ

Table 3は上述した単位作業係数を適用する場合の基本量をまとめた結果である。遠隔解体作業では、21種類の炉心部機器(4,050 t)に対して切断回数(21,497回)を設定した。生体遮へい体の解体作業に関しては、遠隔操作を必要

とする高放射化部とそれ以外の低放射化部に分類し、図面と放射化量の計算結果より、切断面積は高放射化部で12,000 m²、低放射化部は5,000 m²、解体重量は高放射化部で11,000 t、低放射化部で4,800 tとした。また、除染作業は、床、壁、天井では作業効率が異なるため、部屋の部位ごとに除染面積を求めるとともに、除染の程度(表層剝離または深層剝離)によって異なる単位作業係数を適用した。

(4) 線量当量

従事者の線量当量(集団線量当量)は作業領域ごとに計算した。まず、各作業領域の平均の線量当量率を推定し、この値に所要人工数を積算することで従事者の線量当量を求めた。ただし、すべての従事者が全作業時間その線量当量率を有する場所に滞在すると仮定することは保守的過ぎるため、JPDRの解体実績データより平均線量当量率(作業領域ごとの線量当量率の平均値)に対する寄与率、すなわち、作業者が作業領域の中で平均の線量当量率である領域に滞在すると仮定して計算した線量当量を補正する係数を、作業領域の線量当量率に応じて以下のように設定した。

- ・100 μSv/h以上：5%
- ・10～100 μSv/h：10%
- ・10 μSv/h以下：20%

(5) 廃棄物量

廃棄物は処分の形態に応じて以下のように分類し、対応する容器に収納することとした。

- ・高βγ低レベル放射性廃棄物(サイト外に処分)
- ・低レベル放射性廃棄物(サイト外に処分)
- ・極低レベル放射性廃棄物(素掘りトレンチ処分)
- ・放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物(サイト内再利用等)。

なお、上記分類はクリアランスレベルが将来決められることを前提としたものである。高βγ低レベル放射性廃棄物と低レベル放射性廃棄物は、それぞれ処分容器に収納して処分する。処分容器の仕様は収納物の放射能レベルや材質により異なるが、その内容積を1.0 m³および6.5 m³と想定した。極低レベル放射性廃棄物については布製容器(フレキシブルコンテナ)に収納した後、埋設処分するものとした。また、JPDR解体実地試験における実績等に基づいて、廃棄物の充填率を、金属廃棄物20%(比重：7.8)、黒鉛50%(比重：1.8)、コンクリート50%(比重：2.5)として必要な容器数を計算した。

VI. 計算結果

解体作業に必要な人工数の総計は約296,000人・日、放射性廃棄物の発生量は約22,700 t(全廃棄物量は約155,000 t)、放射線業務従事者の総線量当量は約4.2人・Svであった。作業日数は約3,200日になることから、平均すると1日に延べ約100人が作業に従事することとなる。なお、1ヵ月

Table 3 Basic data for project management data evaluation

Remote dismantling	
Metal components	
・ Components to be dismantled	4,050 t
・ Number of cutting/transporting activities	21,497 times
Concrete materials	
・ Biological shield	55,600 t
・ Number of cutting/transporting activities	4,764 times
Hands-on dismantling	
・ Components to be dismantled	8,900 t
・ Number of work areas	200 areas
Decontamination	
・ Area of surface removal	7,040 m ²
・ Area of thick-layer removal	16,860 m ²
Radiation survey	
・ Area of floors	19,980 m ²
・ Area of ceiling and wall	72,120 m ²
Building demolition	
・ Weight of building structures	124,207 t

の作業日数を20日とした場合、人工数は約1%（管理に要する人工数分）増加した。

主要な作業分類、すなわち、遠隔解体作業、在来工法による解体作業、除染作業、確認測定、建屋解体、管理作業に関する人工数、線量当量、廃棄物量の内訳をFig. 5に示す。上述した分類に対する人工数の割合は、55%、20%、13%、2%、3%、7%である。遠隔解体作業における人工数（約160,000人・日）が全作業の半分を占めた。右来工法による解体作業では、最も廃棄物量の多い蒸気発生器領域の解体作業で最多の人工数を要することになった。また、従事者の被ばくは、遠隔解体作業で約75%、在来工法による解体作業で約25%であった。

想定した作業工程に基づく人工数と線量当量の積算結果をFig. 6に示す。人工数は工事の開始から30~40ヵ月また110~120ヵ月の時点でピークがあり、これらはおおの遠隔解体の準備と除染・確認測定に起因している。特に、除染作業時期（2ヵ月間）にはそれまでの約2倍の従事者を必要とする結果となった。線量当量についてみると、特定の作業期間、すなわち、原子炉圧力容器の解体準備と生体

Fig. 6 Histogram of manpower need and worker dose with time progress in dismantling Tokai Power Station

Fig. 5 Breakdown of manpower need, worker dose and waste in dismantling Tokai Power Station

遮へい体の解体で多くの被ばくが生じる結果となった。これは解体装置の据付作業とワイヤソーの位置決め作業時に高線量域に接近するためである。

放射性および非放射性廃棄物の発生量の合計は約155,000tであり、このうち建屋のコンクリートが80%（約124,000t）を占めた。放射能レベルごとの廃棄物量は、高 $\beta\gamma$ 低レベル放射性廃棄物：2,700t、低レベル放射性廃棄物：12,000t、極低レベル放射性廃棄物：8,000t、放射性廃棄物として扱う必要のない廃棄物：132,000tであった。廃棄物容器の発生量に関しては、原子炉の黒鉛ブロックの解体で高 $\beta\gamma$ 低レベル放射性廃棄物を収納した容器が約1,600個発生することになった。また、建屋解体はプロジェクトの最終工程で短期間に実施されるため、その時点で多くの廃棄物が発生することになった。

Ⅶ. 検 討

1. 解体作業の分析

在来工法による解体作業に必要な人工数は領域ごとに整理した。Fig. 7は領域ごとの機器解体作業に必要な人工数を200人・日ごとに区分し、各区分に属する領域数をヒストグラムにまとめたものである。約200人・日の人工数を必要とする領域が50%を占めた。人工数が1,000人・日以上作業は、タービンと発電機の解体、燃料取替機とその移動器具の解体、蒸気発生器とその付属機器の解体等、大型機器の解体作業であった。このうち蒸気発生器とその付属機器の解体は、管理区域内で最も解体対象機器の重量が多く、中でも蒸気発生器の重量は約3,000tであり、この解体作

Fig. 7 Histogram of manpower need in dismantling components

Fig. 8 Histogram of worker dose in dismantling components

業に要する人工数は在来工法による解体作業の約40%を占める結果となった。なお、各領域の解体作業に要する人工数のうち、準備作業と後処理作業は定数として設定したが、これは全作業の約10%に相当した。

遠隔解体作業では、原子炉の解体に約52,000人・日を要するが、以下の作業で多くの人工数を必要とした。

- ・黒鉛ブロック(約3万個)の取出し: 7,200人・日
- ・炉心拘束シリンダの解体: 10,200人・日
- ・原子炉圧力容器の解体: 8,300人・日
- ・炉心支持台と遮へい冷却板の解体: 9,200人・日
- ・遠隔解体装置の据付調整: 6,000人・日
- ・遠隔解体装置の分解・片付け: 4,700人・日

原子炉の総重量は約4,000tであることから、単位重量当たりの平均人工数は13人・日/tとなった。

従事者線量当量の内訳は、生体遮へい体の解体作業が35%、原子炉の解体作業が25%、建屋除染作業が20%、蒸気発生器の解体作業が10%、その他の一般機器の解体作業が10%であった(Fig. 5 参照)。東海発電所は汚染レベルが

比較的低く、解体作業時に被ばくする可能性のある領域は限定されていたが、遠隔解体作業(原子炉および生体遮へい体高放射化部の解体)の準備で多くの被ばくが生じることになった。Fig. 8に作業領域ごとの線量当量をヒストグラムにまとめた結果を示す。同図から10人・mSv未満の線量当量となる領域が大部分であることがわかる。

2. 解体作業の評価

本検討では最も一般的と考えられる作業工程を想定し、その内容に対して管理データを予測した。これらの結果から、作業の効率化に関する検討が可能と思われるため、幾つかの作業に対して、その検討を試みた。

在来工法による解体作業についてみると、蒸気発生器やガスダクト等の大型機器の解体に要する人工数は全体の20%を占めるが、これらの機器が含有する放射線量は少ないことから、所定の準備をした上で、半自動化等により効率を重視した作業が可能であり、人工数が低減できる。また、非管理区域の機器解体では、重機を活用することによ

り、作業の効率化が可能であり、特に、タービン建屋の機器については機械化を考慮した作業内容を設定することが求められる。さらに、確認測定に関しても、自動測定装置の導入等(JPDRでは手作業で実施)により、作業効率をあげることが可能であり、今後、建家構造物を一般廃棄物として扱える放射能レベルとその測定方法が明確になった段階で、より細かな作業分析に基づく単位作業係数の設定が必要であると考えられる。

遠隔解体作業においては、標準的な切断作業(単位作業係数:0.54時/回(JPDRの1/2))に対して、効率化された作業(単位作業係数:0.36時/回(同1/3))を想定した場合、解体作業の人工数は5.2万人・日から4.7万人・日に約10%減少した。さらに、原子炉本体を解体した後に遮へい冷却板の解体を行うが、この作業では作業領域の線量当量率が低くなることが予想される。そこで、従事者による手作業(タンク解体の単位作業係数を使用)を想定して人工数を計算した結果、約3,000人・日の人工数の低減が見込まれた。

他方、解体プロジェクトの中期および後期において人工数のピークが認められるが、投入人員の平滑化はプロジェクトの効率的実施に不可欠である。例えば、遠隔解体作業においては、3交替制を採用して連続した作業の実施が有効である。

3. JPDR解体作業との比較

JPDRと東海発電所の解体に関する人工数の比較結果をTable 4に示す。JPDRの解体に関する人工数は、標準データベースを用いて計算したものである。遠隔解体作業についてみると、東海発電所の炉心部機器・構造物の重量はJPDRの約54倍あるのに対して、その解体に要する人工数はJPDRの3.3倍であった。これは、東海発電所が黒鉛ブロックやチャージポットのような同型で多数の構造物によって構成されており、その解体作業が比較的容易であることに起因している。

JPDRの解体作業では、除染・確認測定・建屋解体における人工数が全作業の約25%を占めたのに対して、東海発電所の解体作業ではこれらの作業に要する人工数の割合は10%と少ない。これは、東海発電所に関しては、確認測定はすべて床面の測定に関する単位作業係数を用いたこと等による。壁・天井等の作業性を考慮すると人工数が増加す

る可能性がある。

他方、東海発電所の建屋構造物の重量はJPDRと比較して1桁多いのに対して、その解体に要する人工数はJPDRとはほぼ同等になった。これは、JPDRの原子炉格納容器は鋼製であり、その単位作業係数がコンクリート構造物の解体作業よりも1桁以上であること、また、JPDRには多くの埋設配管が存在し、この処理に要する単位作業係数が多いこと等に起因している。

VIII. まとめ

JPDR解体実地試験は我が国で初めての原子炉施設の解体作業であり、多くの知見やデータを得、それらを分析して、基本的な作業項目ごとに、人工数や線量当量を予測するための単位作業係数(解体対象機器の重量や作業領域の面積等の基本量に基づいて、解体・測定・除染等の作業に要する人工数を予測するためのパラメータ)をまとめた。また、その結果を適用して、作業項目ごとに管理データ計算モデルを作成し、COSMARDのデータベースとしてより汎用的に各種管理データを計算できるようにした。さらに、本システムを用いて東海発電所の解体作業に関する管理データを試算し、システムの適用性、単位作業係数の改良、東海発電所解体作業の特徴の評価を実施した。この結果、単位作業係数(標準データベース)の多くは東海発電所の解体作業における管理データの計算に適用でき、また、それらを直接適用できない場合もあるが、詳細な作業分析に基づいて、類似する作業の単位作業係数を選択し、適当と考えられる範囲でその値を変更して、解体に関する作業量を推定することができた。

他方、東海発電所の解体作業に関する管理データの特徴を定量的に評価し、作業計画を検討する等、COSMARDを作業分析に役立てることができた。この結果、例えば、遠隔解体作業が工程上のクリティカルパスであり、人工数が全体の50%を占めるが、機器の切断回数が20,000回以上に達することから、切断機器の性能向上が人工数の大幅な低減につながる可能性があること、また、従事者の線量当量については、炉心部機器や構造物の解体に遠隔操作機器を適用しても、その準備等で多くの被ばくが予想されること等が明らかになった。今後、より現実的な作業を想定し、また、必要な場合には単位作業係数を作成(または補正)し

Table 4 Comparison of manpower need, worker dose and waste arising between Tokai Power Station and JPDR dismantling activities

Type of work activities	Manpower need ^{a)}	Worker dose ^{a)}	Waste arising ^{a)}
Hands-on dismantling of components	3.13	35.0	2.66
Remote dismantling of core components	3.30	5.0	53.57
Demolition of biological shield	6.65	17.33	8.98
Decontamination of building surfaces	2.68	—	1.25
Final survey of radioactivity	1.23	—	—
Demolition of building structures	1.17	—	7.29

^{a)} Ratios of Tokai Power Station to JPDR data

た上で、本システムを有効に適用できるものと考えられる。

なお、管理データの評価に当っては、管理区域内での従事者の実質作業時間、容器への廃棄物の充填率、作業者の被ばく寄与割合等、JPDR解体実地試験から得た多くのデータを適用した。現在進行している研究用原子力施設の解体作業や技術開発で得られたデータを定量化することにより、将来の廃止措置プロジェクトへの効果的な情報の伝達を図ることが重要であると思われる。

本研究は、日本原子力研究所(原研)、日本原子力発電(原電)、富士電機(株)の共同研究として実施したものである。本報をまとめるにあたり、原研の田中 貢部長(バックエンド技術部)、原電の油井宏平取締役を始め、多くの方々から貴重なご意見、資料を提供して頂いた。ここに深甚なる謝

意を表します。なお、本研究で使用したCOSMARDは科学技術庁からの委託により原研が開発したものである。

—参考文献—

- 1) 日本原子力学会, 原子力誌, 42(6), 482 (2000).
- 2) 宮坂靖彦, 他, 原子力誌, 38(7), 553 (1996).
- 3) 佐藤忠道, 原子力誌, 40(11), 855 (1998).
- 4) 石博顯吉, 原子力工業, 43(10), 2 (1997).
- 5) S. Yanagihara, *et al.*, *JSME Int. J., Series B*, 36(3), 493 (1993).
- 6) S. Yanagihara, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 30(9), 890 (1993).
- 7) 柳原 敏, 荻原博仁, JAERI-M 94-005, (1994).
- 8) 助川武則, 他, JAERI-Data/Code 99-005, (1999).
- 9) S. Yanagihara, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 38(3), 193 (2001).