

廃止措置の現状と課題

田中健一*1

我が国において、発電の役割を終えた原子力発電所を廃止する措置（廃止措置）の重要性が増してきている。本稿では、国内における廃止措置の現状を説明するとともに、廃止措置とはどのような行為であるかを説明する。また、今後の課題とその対策について紹介する。

Keywords: 廃止措置, 準備作業, 廃止措置工事, 放射性廃棄物

A role of decommissioning of a nuclear power plant (NPP) is becoming more important in this few years in Japan. In this paper, current status of decommissioning of NPP in Japan will be described and what actions are being done in decommissioning activity will also be provided. Difficulties on decommissioning actions to be fixed in the next few years will be shown and their correspondances will be proposed.

Keywords: decommissioning, preparatory tasks, decommissioning activity, radioactive waste

1 国内における廃止措置の状況

2016年10月の時点で廃止措置が完了した原子力発電施設としては、日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構（JAEA））の動力試験炉（JPDR）がある。JPDRは1976年3月に運転を終了し、1986年から1996年までの10年間をかけて解体が行われた。JPDRの解体の実績は、後に続く商業用原子力発電施設（商業用原子力発電所）の廃止措置について多くの知見を与えている[1]。

商業用原子力発電所では、1998年に日本原子力発電（株）東海発電所（東1）が営業運転を終了し、2001年から解体工事を開始している[2]。また、2003年には新型転換炉ふげん発電所（ふげん）が運転を終了し、2008年から廃止措置を開始している[3]。前者は、ガス冷却炉という炉型であり、後者は重水減速軽水冷却という炉型である。どちらも、国内に1基ずつしか設置されていない炉型であり、それぞれに独特な事情があるものの、ここで用いられている除染技術および解体技術ならびに解体し撤去されたもの（解体撤去物）の取り扱い技術は、国内で主流となっている炉型である軽水炉（沸騰水型原子炉（BWR）または加圧水型原子炉（PWR））の廃止措置でも十分活用可能なものである。

2009年に運転を終了し、その年から廃止措置を開始した中部電力（株）浜岡発電所1号機および2号機（浜岡-1, -2）が国内初となる軽水炉（BWR）の廃止措置である[4]。浜岡-1, -2では現在原子炉領域の周辺設備の解体撤去が行われている。

2012年の法改正による「実用発電用原子炉に係る新規規制基準」[5]への適合が合理的でないなどの理由から、2015年度に5基、2016年度にさらに1基が運転の停止を決定し、廃止措置準備作業および廃止措置計画の認可申請を行っている（表1参照）。これら6基で廃止措置を開始することになると、国内で廃止措置を行っている原子力発電所は10基となる。すなわち、国内に設置されている原子力発電所の約20%が廃止措置の状態にあるということになる。

今後運転停止する原子力発電所の増加が見込まれる中、

廃止措置を安全かつ合理的に実施していくためには、JPDRの解体から始まる一連の廃止措置の経験や知見を参考に国内の標準的な廃止措置技術を整備していくことが求められる。

表1 2016年度に新たに運転を終了した原子力発電所

発電所	運転者	炉型	電気出力	営業運転開始日	停止日
敦賀-1	原電	BWR	357MW	1970.3.14	2015.4.27
美浜-1	関西	PWR	340MW	1970.11.28	2015.4.27
美浜-2	関西	PWR	500MW	1972.7.25	2015.4.27
島根-1	中国	BWR	460MW	1974.3.29	2015.4.30
玄海-1	九州	PWR	559MW	1975.10.15	2015.4.27
伊方-1	四国	PWR	566MW	1977.9.30	2016.5.10

2 廃止措置とは

IAEAが発行する廃止措置に係る安全要求（IAEA安全要求）[6]では、原子力発電所の寿命期間を、①立地、②設計、③建設、④試運転、⑤運転および⑥廃止措置の6つの段階で構成されるとしている。廃止措置は、先行する5つの段階を経た後に来るものであり、廃止措置を行おうとする事業者は、先行する段階でどのようなことが行われてきたかという情報なしに安全かつ合理的な廃止措置を計画し実施することはできないとしている。一方、先行する5つの段階では、各段階で行われる行為が、結果として廃止措置の有りようを決めることになるとしている。IAEA安全要求では、原子力発電所の寿命期間を通した一貫した考え方の下に廃止措置を行っていくことの重要性が示されている。

国内においては、廃止措置は原子力発電所設置許可の下での認可事項として位置付けられている（図1参照）。設置許可の下での認可という位置づけは、IAEA安全要求に整合する位置づけであるといえる。国内では、廃止措置とは「発電所内に残存している放射性物質による周辺公衆への放射線被ばくのリスクを安全で合理的なレベルまで低減する行為」と定義され、その行為を法律では以下のとおり定めている。

原子炉等規制法 第43条の3の2（原子炉の廃止に伴う措置） 第1項

原子炉設置者は、原子炉を廃止しようとするときは、原子炉施設の解体、その保有する核燃料物質の譲渡し、核燃料物質による汚染の除去、核燃料物質によって汚染

Current status of decommissioning in Japan by Ken-ichi TANAKA (k-tanaka@iae.or.jp)

*1 エネルギー総合工学研究所 原子力工学センター

The Institute of Applied Energy Nuclear Power Engineering Center (NUPEC)
〒108-0014 東京都港区西新橋1-14-2

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会2016年度バックエンド週末基礎講座における講演内容に加筆したものである。

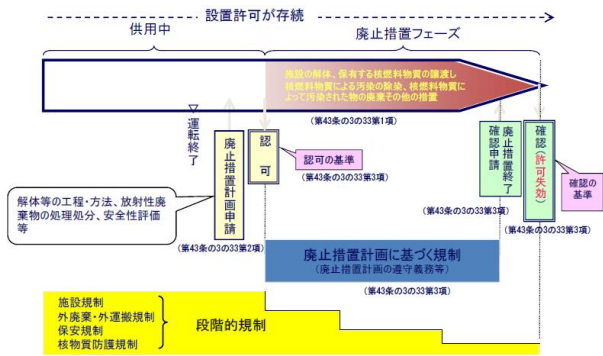


図1 廃止措置の規制の体系

された物の廃棄およびその他の主務省令で定める措置を講じなければならない。

原子炉等規制法の下で、原子力発電所の廃止措置を行うことを「通常炉の廃止措置」と呼ぶことがある。これは、福島第一発電所の廃炉作業との差別化を明確にするためである。通常炉の廃止措置は次のように定義できる。

種々の理由により運転を終了した発電所であって、次の条件を満たす発電所の解体および解体によって発生した廃棄物の処理などの一連の事業を通常炉の廃止措置とよぶ。

- ① 核燃料を通常の手順で原子炉から取り出し可能であり、かつ、通常の手順で施設から使用済燃料を搬出可能な状態であること。
- ② 発電所の運転終了時点における状態を、建設時の情報、運転中の記録、施設の修繕、改造、改築の記録などから把握することが可能であること。
- ③ 運転終了時点で、施設解体の順序、工事工法および工程並びに工事によって発生する廃棄物量の見積りなど、一連の事業に係る計画を立案することが可能であること

この定義を簡潔に言えば、通常炉の廃止措置とは、立地から運転に至る各段階における行為等の記録から、廃止措置の対象となる原子力発電所の状況を把握することが可能であり、状況を把握することで廃止措置をどのように進めていくかという計画が立案可能であり、計画に基づき廃止措置の行為が周辺環境に与える影響(周辺公衆の被ばく量)の評価や廃止措置に要する費用の見積りなどが可能であるということである。廃止措置の対象となる原子力発電所の状況を把握し、廃止措置の計画を立案する作業、すなわち、廃止措置計画認可申請を行うための作業を廃止措置準備作業と呼んでいる。

3 廃止措置準備作業

3.1 廃止措置計画認可

廃止措置という行為は、先にも述べた通り原子力発電所の設置許可の下での認可事項である。廃止措置を行おうとするもの(事業者)は、法令の定めるところに従い廃止措置計画認可申請書(申請書)を作成し、廃止措置の行為に係る計画の認可を得ることが必須である。申請書に記載すべ

きことは実用炉則 116 条に定められており(図 2 参照)、また、119 条には計画の認可の基準が示されている(図 3 参照)。事業者は、119 条の基準を満たすように 116 条に定められた内容の計画を立案して、認可の申請を行う。

(廃止措置計画の認可の申請)

第一百六条 法第四十三条の三の三十三第二項の規定により廃止措置に関する計画(以下「廃止措置計画」という。)について認可を受けようとする者は、次の各号に掲げる事項について廃止措置計画を定め、これを記載した申請書を原子力規制委員会に提出しなければならない。
(本文)

- 一 氏名又は名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名
- 二 廃止措置に係る工場又は事業所の名称及び所在地
- 三 廃止措置の対象となる発電用原子炉の名称
- 四 廃止措置対象施設及びその敷地
- 五 前号の施設のうち解体の対象となる施設及びその解体の方法
- 六 核燃料物質の管理及び譲渡し
- 七 核燃料物質による汚染の除去
- 八 核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の廃棄
- 九 廃止措置の工程

2 前項の申請書には、次の各号に掲げる書類又は図面を添付しなければならない。

(添付書類)

- 一 既に使用済燃料を発電用原子炉の炉心から取り出していることを明らかにする資料
- 二 廃止措置対象施設の敷地に係る図面及び廃止措置に係る工事作業区域図
- 三 廃止措置に伴う放射線被ばくの管理に関する説明書
- 四 廃止措置中の過失、機械又は装置の故障、地震、火災等があった場合に発生すると想定される事故の種類、程度、影響等に関する説明書
- 五 核燃料物質による汚染の分布とその評価方法に関する説明書
- 六 廃止措置期間中に機能を維持すべき発電用原子炉施設及びその性能並びにその機能を維持すべき期間に関する説明書
- 七 廃止措置に要する資金の額及びその調達計画に関する説明書
- 八 廃止措置の実施体制に関する説明書
- 九 品質保証計画に関する説明書
- 十 前各号に掲げるもののほか、原子力規制委員会が必要と認める書類又は図面

図2 廃止措置計画の認可の申請

(廃止措置計画の認可の基準)

第一百九条 法第四十三条の三の三十三第三項において準用する**法第十二条の六第四項**に規定する原子力規制委員会規則で定める基準は、次の各号に掲げるとおりとする。

- 一 廃止措置計画に係る発電用原子炉の炉心から使用済燃料が取り出されていること。
- 二 核燃料物質の管理及び譲渡しが適切なものであること。
- 三 核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の管理、処理及び廃棄が適切なものであること。
- 四 廃止措置の実施が核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は発電用原子炉による災害の防止上適切なものであること。

図3 廃止措置計画の認可の基準

3.2 廃止措置準備作業

廃止措置の計画立案のために実施する作業を廃止措置準備作業と呼ぶ。安全かつ合理的な廃止措置のためには、廃止措置の対象となる施設の特徴を的確に把握し、その特徴に配慮した廃止措置計画を立案する。準備作業において実施する内容は関連する技術分野から、次の5つの作業に分類できる。

- 1) 放射能インベントリ評価
- 2) 廃止措置対象施設の状況に関する特性調査
- 3) 廃止措置エンジニアリング
- 4) 廃止措置時の安全評価
- 5) 廃止措置費用評価

図4は、これら5つの作業のフローと作業間の関連を示したものである。また、各作業の結果が廃止措置計画認可申請書のどの箇所を用いられるかを示したものである。

5つの作業は、さらに作業を細分化できるが、各作業における必要な情報の授受について整理することにより準備作業における「手戻り」等を起こすことなく効果的な計画立案を行っていくことが可能となる。

上記5つの作業のうち、1)、2)は廃止措置の対象の施設における特徴を把握するものであり、廃止措置準備作業の最も上流側において実施するものである。この2つの作業の信頼性が廃止措置計画全体の信頼性を決定すると言える。この点を踏まえ、廃止措置の安全かつ合理的な計画の立案および実施に対して大きな影響を与えることに留意して、信頼性の高い評価及び調査を行うことが重要である。なお、ここでいう特徴とは、廃止措置の対象の施設に残存する放射能のこともおよび施設にある建物、構造物および設備の配置、寸法や材料の種類などのことであり、廃止措置の工事（除染工事、解体工事および／または廃棄物の処分）の工法および工程を選択していくための重要な要因である。

3)では、廃止措置対象の特徴を踏まえ、最適な工事技術を選択していく。このために既存技術はもちろんのこと最新技術の動向調査や他の工学分野のものまで広く情報を得ていくことが必要である。

4)は、周辺公衆、作業従事者および周辺環境の放射線リスクおよび一般労働安全(労災の発生防止)について評価するものである。この評価では、1)および2)において把握した廃止措置対象施設の特徴に関する情報に基づき、3)で検討した工事の工法に対して安全を評価するものである。安全評価の結果が安全に対する要求を満たさない場合は3)に戻り、工事工法の見直しをおこなうか、または、実施時の適切な対応を検討する。この選択は、主として5)の費用評価に関連して決まるものである。安全の確保は廃止措置の最優先事項ではあるが、経済性に対する配慮を欠いては事業が立ち行かなくなる。安全評価では、リスクの存在する行為または設備とその程度を明確にして、工事工法や設備の維持に過度の保守性が生じないような情報の提供（廃止措置エンジニアリングへのフィードバック）が必要である。

5)の費用評価については、廃止措置はその事業だけでは費用回収が行えないという事実を踏まえ、その事業の進め方が最適であり、過度な保守性を排除しリスクに応じた適

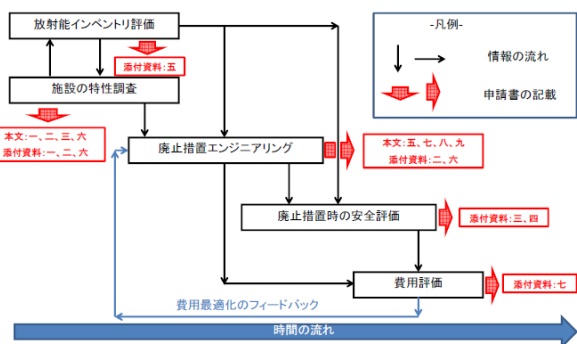


図4 廃止措置準備作業と申請書記載の関係

切な措置に対する費用であることを説明できる必要がある。費用は、廃止措置の安全性を確保するのに十分であることと共に社会受容性を持つものとするのが求められる。なお、費用評価においては、発生することが予想される廃止措置における工事の実施上の要因および外部環境の変化等を可能な限り勘案し、工程遅延のリスクとして、費用評価に取り込む方法も考えていくべきである。

ここに示す作業のうち、3)、4)および5)では、廃止措置の安全確保のための要件[6]と廃止措置計画の最適化との整合性の評価を行うため、種々のケーススタディを行うことになる。

なお、廃止措置の計画は、本来は寿命期間における設計の段階から継続的に行われているべきものであり、将来的にはここに記述した事項はライフサイクルを通して実施されていくものとなるべきである。

4. 国内における廃止措置の現状と課題

4.1 国内における廃止措置の現状

国内において廃止措置を実施中の原子力発電所は、1.で述べた通り東1[2]、ふげん[3]および浜岡-1,-2[4]の4基である。それぞれの廃止措置の実施状況は、それぞれの実施主体の事情により異なっているが、現時点ではいずれも放射能の高い原子炉領域の解体は着手しておらず、比較的放射能の低い原子炉周辺領域の解体を行っている段階である。

図5は東1の廃止措置工程計画を示したものであり、図6は廃止措置のこれまでの実績と今後の計画を図示したものである。東1では、原子炉領域は安全貯蔵期間を継続しており、原子炉領域以外の解体を実施中である。

東1の廃止措置の実施状況において特筆すべき事項は、熱交換器（蒸気発生器（Steam Rising Unit:SRU））の遠隔解体装置を用いた解体撤去である。SRUは直径6m、高さ約24mで、重量が約750tonの大型機器である。SRUの放射能のレベルは作業者が容易に接近できる程度であり、その点では遠隔解体工法を適用する必要性は低いといえる。しかし、ここでは将来実施される原子炉領域の解体に向けた実績と知見の蓄積を目的として遠隔解体工法が適用された。

ここで用いられた工法の特徴の一つは、ジャッキダウン工法にある。この工法は、SRUを建屋屋上に設置したジャッキ装置でSRUを吊り下げ、下部から段階的に切断し、

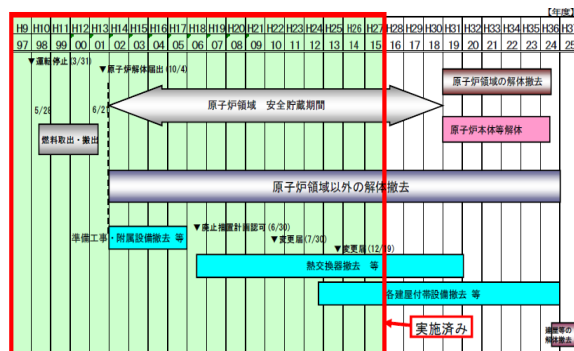


図5 東海発電所の廃止措置の計画[2]

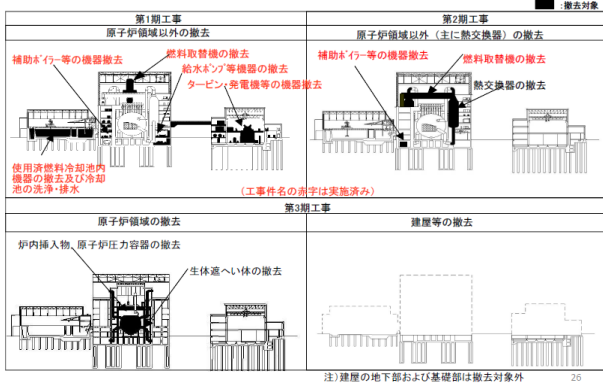


図6 東海発電所の廃止措置工事の全体概要[2]

吊り下ろしていくというものである(図7参照)。このような工法を取ることで、切断に伴い発生するヒュームや粉じんによる汚染の範囲を最小限に抑えることが可能になると共に、解体工事に従事する作業者の高所作業を避けることができる。この工法では約750tonの重量物を吊り下げるのであり、耐震上の考慮がジャッキダウン装置の設置上の要点となる。この工事の実施期間中に3.11が発生し、東海村も震度5の揺れとなったが、吊り下げ中のSRUの横揺れを抑える装置の一部に変形が見られた程度であり、この工法の耐震性を証明する結果となった。

遠隔解体装置は、一次切断装置と二次切断装置の2通りの装置で構成されている。一次解体装置は、SRUを取り囲む円環状のレールにマニピュレータアームが取り付けられている。アームの先端は、ガス溶断装置と機械的切断装置の両方の取り付けが可能になっており、用途に応じて使い分けが行われた。ガス溶断装置はSRUの外壁の切断に用いられ、機械的切断装置はSRUの内部機器および内部構造物の切断に用いられた。特に、後者は狭隘なSRU内部での細かい動作が要求される。多関節のマニピュレータアームによりこのような繊細な作業を可能としている。二次切断装置は、輪切りにされたSRUをさらに小割りして一時保管用の鉄箱に収納する作業を行うものである。遠隔解体措置を用いたSRUの解体は、東1に4基あるSRUのうちの2号SRUのみに適用された。1基のみの遠隔解体装置を用いた解体ではあったが、繊細な作業から大掛かりな切断までを網羅し、より放射能レベルの高い原子炉領域の解体工事に向けた十分な経験と知見の蓄積が行われた。

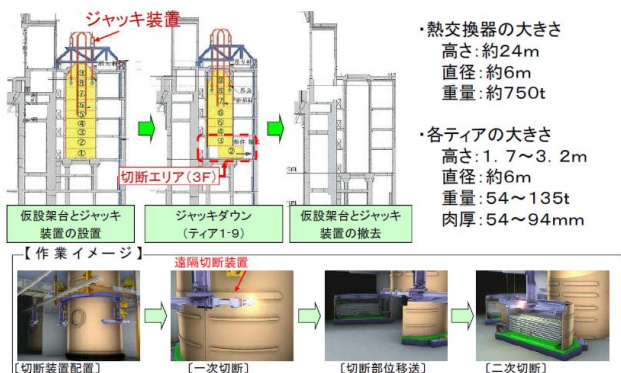


図7 東海発電所 SRU 遠隔解体装置 ジャッキダウン工法の概要[2]

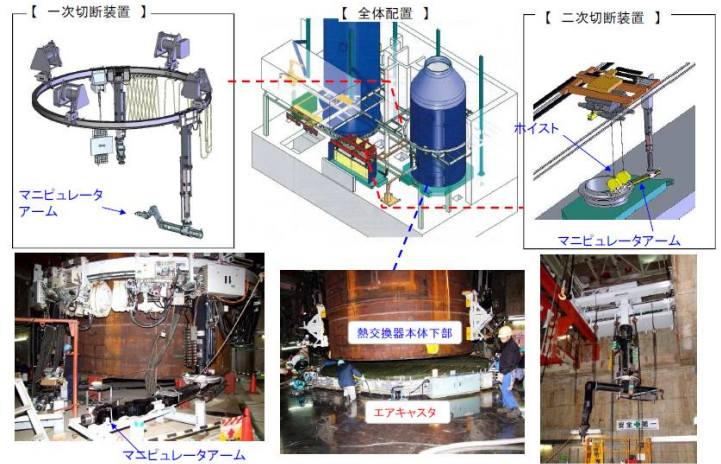


図8 東海発電所 SRU 遠隔解体装置 遠隔解体装置の概要[2]

4.2 国内における廃止措置の課題

現在実施中の廃止措置および今後の廃止措置について、国内における課題とその対策を以下に説明する。

(1) 準備作業の標準化

今年度新たに6基の原子力発電所が廃止措置計画認可申請を行った。ただし、認可の必要条件を満たす記載となっているものは敦賀発電所1号のみであるといえる。他の発電所は、本格的な解体を開始するまでに記載を充実させ、変更申請を行うことになる。これら5基については、これから本格的な準備作業を開始していくことになる。5基が準備作業を効率的に実施し、より安全かつ合理的な廃止措置計画の立案を可能とするため、そして、規制側において5基を対象として、効果的かつ円滑な審査が可能とするため、準備作業の標準化が喫緊の課題である。

なお、日本原子力学会標準委員会廃止措置分科会では、この課題に対応すべく、廃止措置の計画に係る標準の改定および新規制定の作業を進めている。

(2) 使用済燃料の中間貯蔵施設の建設

廃止措置では、使用済燃料の搬出を行うことで放射線リスクを大幅に低減することになる。このため、可能な限り早期に使用済燃料を搬出することが望ましい。しかしながら、運転中の発電所であっても使用済燃料の搬出先が決まらない現状がある。運転中の使用済燃料も含め、搬出先の早期決定が安全かつ合理的な廃止措置の実施に不可欠である。

この対策のひとつとして中間貯蔵施設の設置がある。今後立地自治体の理解を得て中間貯蔵施設を建設していくことが廃止措置の安全かつ合理的な実施のための重要な課題である。

(3) 廃止措置で発生する廃棄物の処理処分

廃止措置工事によって短期間に大量に発生する低レベル廃棄物の合理的な処理および処分も大きな課題のひとつである。ここでいう廃棄物の合理的な処理とは、より放射能レベルの高い廃棄物を適切に処理して、より低い放射能レベルの廃棄物とすること、および、減容などを行い廃棄物

の容積を減らすことなどがある。

また、低レベル廃棄物の処分場の確保も解決すべき大きな課題である。東1の場合は地元の理解が得られ、L3を敷地内に埋設することが可能になった。L3は放射能レベルが低い、物量が最も多いことから、敷地内埋設は輸送費用の面で大変有利な方策である。これに続く発電所も同様の施策を検討すべきであるが、発電所の立地条件など解決すべき課題は多い。L3以外のL1およびL2については電力会社間で集中管理の方針としている。L2については、青森県六ヶ所村で運転中廃棄物の処分場が既に操業を開始している。今後は廃止措置によって発生するL2のために地元理解を得ることが必要である。L1については、廃棄物の核種組成評価の見直しおよび廃棄体の仕様、地下坑道の仕様などの検討がすすめられている。L1相当の廃棄物が発生するまで（原子炉領域の解体が開始されるまで）には、まだ期間があり、それまでに十分な検討がなされるであろう。

(4) 廃止措置費用の低減

廃止措置は、建設や運転とは異なり、要した費用の回収はできない。廃止措置の計画立案および実施ではこの点に十分配慮し、安全性を最優先で費用の低減に努めることが求められる。費用削減の第一歩は準備作業にある。廃止措置の対象となる施設の特徴を合理的に可能な限り正確に把握することが、安全かつ効率的な廃止措置工事の実施に不可欠である。特に、廃止措置に存在するリスクを的確に把握し、リスクに応じた対応を取っていくことが重要である。

なお、廃止措置におけるリスクの考え方およびリスクに応じた対応（グレーデッドアプローチ）の適用については廃止措置分科会で検討中である。

また、既存の技術や福島第一発電所の廃炉作業で開発される技術などを積極的に取り入れていくことで、開発費の抑制が可能になる。さらに、今後は廃止措置期間全体（準備作業から終了確認まで）を通し、作業を効果的にマネージメントすることに努めることで全体の効率化が図れる。このためには廃止措置が先行している海外の良好事例などを参考にして、マネージメント手法を積極的に取り入れていくことが重要である。

謝辞

基礎講座の講演資料および本稿の執筆にあたって、日本原子力発電(株) 執行役員 廃止措置プロジェクト推進室長 山内豊明氏から情報の提供と図および写真等の提供をいただきました。山内氏のご厚意に感謝します。

参考文献

- [1] 原子炉解体技術 (JPDR), 日本原子力研究開発機構原子力科学研究所
https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/decommissioning/index_02.html.
- [2] 東海発電所の廃止措置, 日本原子力発電(株)HP
<http://www.japc.co.jp/haishi/tokai.html>

- [3] ふげんの廃止措置計画について, 日本原子力研究開発機構 原子炉廃止措置研究開発センター (ふげん) HP
<https://www.jaea.go.jp/04/fugen/haishi/plan/>
- [4] 浜岡発電所 1,2 号機の廃止措置の計画について, 中部電力(株)HP
http://www.chuden.co.jp/energy/hamaoka/hama_pickup/haishi/
- [5] 新規規制基準について, 原子力規制委員会 HP
https://www.nsr.go.jp/activity/regulation/tekigousei/shin_kisei_kijyun.html
- [6] IAEA Safety Standards, Decommissioning of Facilities Using Radioactive Materials, Safety Requirements No.WS-R-5(2014)

