

バックエンド週末基礎講座 原子力施設の廃止措置における基礎知識と課題

和田翔吾*1

原子力施設の廃止措置を安全かつ効率的に進めることは、当該施設による被ばくリスクを低減し、経済的負担を少なくすることであり、原子力産業界のみならず国民にとっても望ましいものである。わが国では東日本大震災を契機として、発電の役割を終えた多くの原子力発電所が廃止する措置（廃止措置）段階になっており、廃止措置の重要性が増してきている。本講演では、国内における廃止措置の概要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、廃止措置を完遂するために必要なものは何か、現状と課題について紹介する。

Keywords: 廃止措置, 放射性廃棄物, 廃止措置マインド

Safe and efficient decommissioning of nuclear facilities is desirable not only for the nuclear industry but also for the general public as it reduces the risk of radiation exposure from the facilities and reduces the economic burden. In Japan, the Great East Japan Earthquake triggered the decommissioning of many nuclear power plants that have finished their power generation role, and the importance of decommissioning is increasing. In this presentation, I will explain the outline of decommissioning in Japan, and introduce what decommissioning is, the current situation and issues.

Keywords: decommissioning, radioactive Waste, mind of decommissioning

1 廃止措置とは

原子力施設の廃止措置とは、法的には、役割を終えた原子力発電所に課せられた安全規制を解除することを言う。技術的には、施設から放射能を除去し、機器設備や建物の解体撤去、放射性廃棄物の安全な処理・処分等により、施設または土地を再利用できるようにすることである。

原子力施設のプラントライフとして、廃止措置はその最終段階であり、今後多くのプラントがこの段階を迎えることとなる。

1.1 国内外の原子炉施設の状況

現在（2023年時点）、国内外の原子炉施設の状況を、図1に示す。世界全体で22カ国209基の発電用原子炉が閉鎖しており、このうち19基が廃止措置を完了し190基が廃止措置中である。主要な国として、米国が41基閉鎖・15基完了、英国が36基閉鎖・完了なし、ドイツが33基閉鎖・3基完了、フランスが14基閉鎖・完了なしとなっている。日本では26基が閉鎖しており、このうち日本原子力研究所（現・日本原子力研究開発機構）の動力試験炉（JPDR）が廃止措置を完了している[1]。

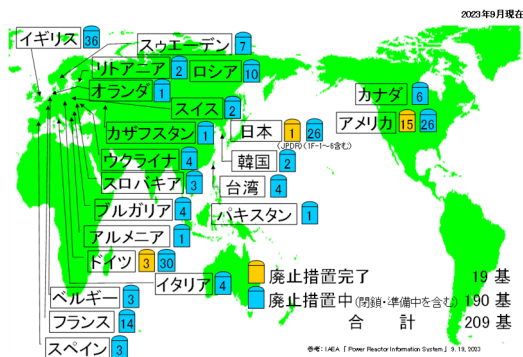


図1 世界における原子炉施設の状況

Decommissioning in Japan: Overview and challenges for the future by Shogo WADA (shogo-wada@japc.co.jp)

*1 日本原子力発電株式会社

Japan Atomic Power Company (JAPC)

〒110-0005 東京都台東区上野5丁目2番1号

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会2023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。

原子炉施設が閉鎖に至る理由はいくつかあり、以下の通り分類できる[2]。今後は多くの発電用原子炉が運転40年を超え、運転延長か閉鎖かを判断する時期を迎えていくこととなる。

- ・初期目的の達成：
研究炉, 実証炉 ……JPDR, ふげん
- ・経済性：
1960年代の小規模発電所 ……東海発電所
- ・安全性・技術的要因：
経済性のある解決策得られず ……浜岡1,2
敦賀1,美浜1,2 島根1,玄海1
- ・過酷事故：
TMI2, チェルノブイリ, 福島第一 1,2,3,4
- ・政治的要因：
イタリア, ドイツ, スウェーデン, 福島第一 5,6 等

廃止措置の進め方は、国ごと、プラントごとで異なっているが、IAEAは廃止措置の方式を以下の3つに分類している[3]。

— Immediate dismantling (即時解体)

閉鎖後早期に廃止措置を開始し、放射性物質を含む機器・構築物および系統・構成を撤去あるいは除染して、施設は、無制限利用できるよう規制管理から開放、あるいは将来の利用状態に応じた制限付きで開放される。

— Deferred dismantling (遅延解体)

施設から核燃料を撤去した後、放射性物質を含む施設の全部あるいは一部を安全貯蔵（Safe Storage）状態にして、施設が除染、解体されるまで維持管理する。安全貯蔵の準備のため、施設の一部分は早期に解体される。

— Entombment (永久埋設)

「即時解体」と「遅延解体」の組み合わせが、さまざまな要件を踏まえると現実的であると考えられる。

「永久埋設」は、施設の全部あるいは一部を構造的に長寿命の材料で密閉する方法であるが、廃止措置の方法とは見なされず計画的に閉鎖された施設では選択されない。この方法は、過酷事故施設など例外的な状況下のみでの解決策である。

1.2 日本における廃止措置の状況

ふげん、もんじゅを含む国内の原子力発電所 62 基の 2023 年時点における状況を表 1 に示す。福島第一の 6 基を含めて、廃止措置を実施しているものは全部で 26 基あり、全基数の 42%にも達する。

表 1 日本における原子力発電所の状況

状況	基数	プラント名
運転中（定期検査中含む）	12基	川内1&2、美浜3、高浜1、2、3、4、大飯3&4、玄海3&4、伊方3
運転準備段階（設置許可済）	4基	柏崎6&7、東海第二、女川2
安全審査手続き中	11基	泊1～3、敦賀2、浜岡3&4、島根2、志賀2、東北東通1、島根3、大間
検討中	9基	柏崎1～5、志賀1、女川3、浜岡5、東電東通1
廃止措置実施中	20基	東海、ふげん、もんじゅ、美浜1&2、玄海1&2、伊方1&2、大飯1&2、島根1、敦賀1、浜岡1&2、女川1、福島第二1～4
廃炉に向けた取組実施中	6基	福島第一～6

上表の62基の中には、建設中の島根3、大間、東電東通1及び研究開発段階のふげん、もんじゅを含む
 注) 青字：PWR（加圧水型軽水炉） 緑字：BWR（沸騰水型軽水炉） 紫字：その他の炉型
 出典：IAEA（国際原子力機関）ホームページを基に作成

このうち軽水炉に係る廃止措置の動きとして、浜岡原子力発電所 1, 2 号機が 2009 年 11 月から廃止措置に着手している。また、2011 年 3 月の東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故以降、運転 40 年を経過し 60 年運転への延長の是非と、今後の費用対効果を踏まえた経済性の観点から敦賀 1 号機、美浜 1, 2 号機、島根 1 号機、玄海 1 号機が廃止措置計画認可手続きを経て、2017 年 4 月に廃止措置に着手している。その後も、伊方 1 号機、大飯 1, 2 号機、女川 1 号機、玄海 2 号機、伊方 2 号機、福島第二 1～4 号機が廃止措置に着手している。これら廃止措置プラントの廃止措置期間は、個々のプラントや、周辺環境の事情などから、20 数年から 40 年程度の長期に亘るものとなる。

2 廃止措置の基本方針とプロセス

2.1 運転と廃止措置

廃止措置は、物の生産やサービスを提供して利益を上げるものではなく、生産活動はなく、限られた予算、要員の中で、プロジェクトを完遂しなければならない。そのためコストを優先するマインドが重要となる。つまり、これまで発電していたプラントは、単なる「廃棄物」と見立てて、効率的に解体し処分するマインドに切り替えなければならない。また、意識的にも、形態的にも、図 2 に示すように、廃止措置においては、原子力産業における「研究開発」、「運転・保守」、「廃止措置」の 3 業種が、例として、自動車産業における「開発メーカー」、「運送業」、「スクラップ業」の 3 業種と同じぐらい異なる。廃止措置は、研究開発や運転・保守とは異種の仕事であるとの意識をもって、廃止措

置としての独立したカルチャーやマインドがあることを認識し、これまでの運転炉における既成概念にとらわれることなく、廃止措置を進めることが重要となる。

<原子力産業における3業種>



<自動車産業における3業種の例>



図 2 原子力産業と自動車産業における 3 業種の違い

2.2 日本の廃止措置の基本方針

原子力委員会は 1982 年 6 月の原子力開発長期利用計画において、運転を終了した原子力発電所は解体撤去し跡地を有効に利用していくことを基本方針として示した[4]。旧通産省総合エネルギー調査会・原子力部会では商業用原子力発電所の廃止措置のあり方を検討し、1985 年 7 月に廃止措置の諸検討のベースとなる標準工程と費用試算の結果を取りまとめた[5]。日本の標準工程は、考え方としては遅延解体方式ではあるが、跡地の有効利用のため安全貯蔵の期間は 5～10 年程度としており、海外の安全貯蔵期間が数十年のオーダーから見れば短期的なものとなる。

2.3 日本の廃止措置プロセス

日本の原子力発電所の廃止措置工程については、2.2 で示したとおり国の方針として定めた標準工程に基づき進められている。その標準工程は図 3 に示すものであり、基本的な流れを以下で説明する。

運転を終了したプラントは、速やかに原子炉から燃料を取り出し、使用済燃料プールに移す。なお、この燃料は、その後、他の施設へ搬出もしくは他の事業者へ譲り渡すこととなる。これと並行して、プラントの状況に応じて、放射能汚染の高い配管などの汚染の除去（系統除染）や、時間経過とともに放射能が減衰する性質を利用して、一定期間の保管・管理（安全貯蔵）を行う。10 年程度の安全貯蔵の後、原子炉本体とその周辺設備の解体撤去を行うとともに、系統除染や安全貯蔵の期間中には、汚染の低い設備の解体撤去を行う。建屋内の設備が解体撤去された後には、必要

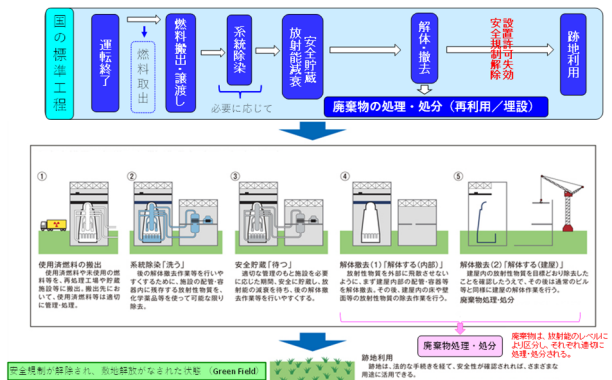


図 3 世界における原子力施設の状況

に応じて、建屋内の除染を行い、建屋内が放射線管理区域を解除できることを確認したうえで建屋自体の解体を行う。解体撤去された設備や建屋は、分別、細断され、非放射性廃棄物は、一般の産業廃棄物と同様に処理・処分され、放射性廃棄物は、その放射能レベルに応じて区分分けし、収納容器に納めるなどの処理後、埋設等の処分がなされる。建屋の解体撤去、廃棄物の処理・処分が完了すれば、更地にして跡地が利用できるようにする。これが標準工程の基本的な流れとなる。

3 放射性廃棄物の管理

3.1 放射性廃棄物の処理・処分とは

廃止措置の解体で発生した放射性廃棄物は、廃止措置の標準工程に基づき、処理・処分を行っていくこととなる。放射性廃棄物が、人間の生活環境へ与える影響が有意なものとならないような適切な取り扱いをすることが、放射性廃棄物の処理・処分である。ここで処理・処分の定義を以下に示す。

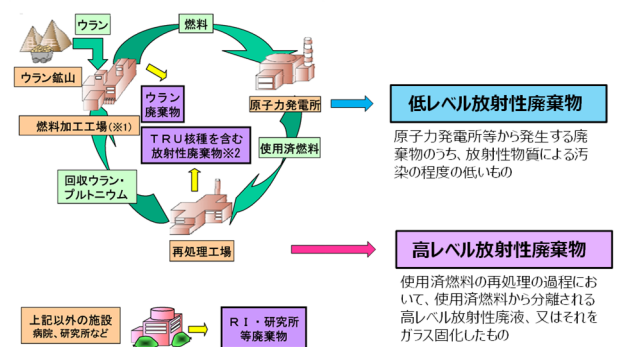
処理：放射性廃棄物に起因した環境汚染を生じさせないように処分できる状態にすること、または安全に貯蔵できる状態にする工程のこと

処分：処理を経て、環境汚染を生じさせない状態で環境に放出、または埋設すること

これを達成するため、廃止措置で発生する放射性廃棄物を、放射能に応じた区分ごとに、適切な方法により安全かつ合理的に処理・処分を行う必要がある。

3.2 放射性廃棄物の発生

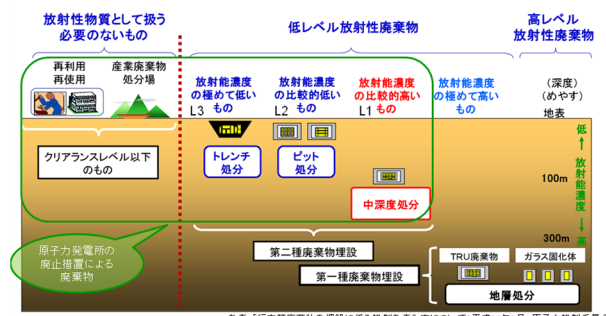
放射性廃棄物は、図4に示すとおり原子力発電に関係する燃料集合体の製造、原子力発電所の運転、使用済燃料の再処理で発生する。また、原子力発電所とは異なる、病院や研究所などからも発生する。放射性廃棄物は、それぞれ、放射能濃度や放射性核種の種類に応じて区分している。原子力発電所に関する放射性廃棄物の区分としては、低レベル放射性廃棄物、高レベル放射性廃棄物、ウラン廃棄物、TRU（超ウラン元素）廃棄物が挙げられる。廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物は、低レベル放射性廃棄物に区分され、放射能レベルの程度が低いものとなる。



※1 MOX燃料加工工場からは、TRU（Trans-Uranium 超ウラン元素）核種を含む放射性廃棄物が発生
 ※2 TRU核種は、プルトニウムとウランの比が重く、半減期が長い、アルファ線を放出するものがある。TRU廃棄物は、低レベル放射性廃棄物である。

図4 放射性廃棄物の発生

日本での放射性廃棄物の処分は、埋設による処分を行う方針となっている。放射性廃棄物の処分概念を図5に示す。低レベル放射性廃棄物および高レベル放射性廃棄物は、放射性廃棄物の放射能レベルに応じて、地下の適切な深度と物理的隔離方法を講じて、埋設処分が行われる。廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物は、低レベル放射性廃棄物に分類されるが、これをさらに放射能濃度の高い方から順に、L1、L2、L3に分けており、L1は中深度処分、L2はピット処分、L3はトレンチ処分が行われる。トレンチ処分、ピット処分、中深度処分、地層処分の順で、埋設する放射能濃度が高くなるため、埋設する深度を深くするとともに、格納設備を頑丈なものにするなどして、万一、埋設物から放射能が漏れたとしても、安全を確保するという概念となる。



参考：「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について」平成28年8月 原子力規制委員会
 ○高レベル放射性廃棄物
 使用済燃料がウラン、プルトニウムと分離・回収した後に発生する高レベルの放射性廃液で、我が国では廃液をガラスで固体化処理する。
 ○低レベル放射性廃棄物
 ・発電所廃棄物：原子力発電所において発生する放射性廃棄物で、全て低レベル放射性廃棄物（L1、L2、L3）である。
 ・TRU（Trans-Uranic）廃棄物：長半減期超熱放射性廃棄物で、再処理施設、MOX燃料加工施設において発生する。
 ・ウラン廃棄物：ウラン（U-234、235、238）に汚染された放射性廃棄物で、ウラン濃縮施設、ウラン燃料成形加工施設において発生する。

図5 放射性廃棄物の処分概念

放射性廃棄物を放射能レベル区分で分別し、図6に示すそれぞれの区分で適した処理を施している。L1廃棄物は前処理として、切断、破碎、圧縮減容等を行い、その後容器詰め、一時保管を行う。L2廃棄物は、前処理として、熔融、焼却等による減容、場合によっては金属物の除染を行い、その後、容器詰め一時保管を行う。L3廃棄物は、前処理として、金属物の除染を行い、その後、梱包等をし、一時保管となる。クリアランス物や放射性廃棄物でない廃棄物の処理は、決められた場所への一時保管になる。放射性廃棄物でない廃棄物を除く、L1廃棄物からクリアランス物までは、処分に進む前に国による確認が行われることとなる。

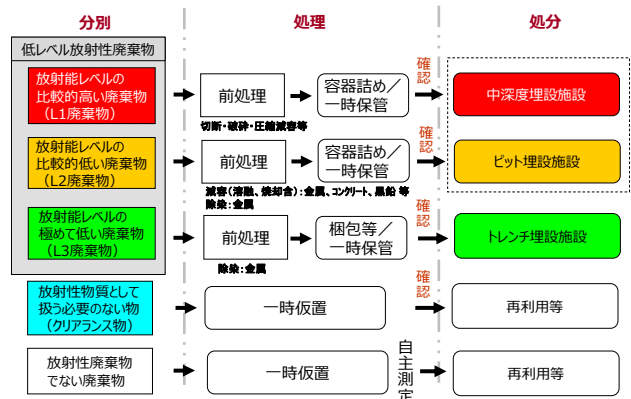


図6 解体廃棄物の処理フロー

日本の低レベル放射性廃棄物は、放射能レベル区分に応じた処分をしていくこととなる。

L1 廃棄物、これは放射能レベルの比較的高い廃棄物であり、これは中深度処分と呼ばれる 10 万年後においても地下 70 m 以深が確保できる深度に、トンネル等の人工構築物を造り、その中に埋設処分する。埋設後は、300 年から 400 年の管理期間を経て、国による管理が行われることとなる。なお、中深度処分は、処分概念の検討および法制度の検討が進められているが、国内で埋設施設は建設されていない。

L2 廃棄物は、放射能レベルの比較的低い廃棄物であり、これは地下 10 メートル程度のコンクリートピットの中に埋設処分する。人工構築物であるコンクリートピットにより、放射性物質による影響を緩和するように考慮されており、埋設後は 300 年から 400 年の管理期間を経て、一般開放されることとなる。L2 の運転中廃棄物のピット処分は、日本原燃株式会社により、青森県六ヶ所村において埋設施設が建設、操業されている。

L3 廃棄物、これは放射能レベルの極めて低い廃棄物であり、これは数 m の浅い所にトレンチを作り埋設処分する。埋設後は 50 年程度の管理期間を経て、一般開放されることとなる。L3 のトレンチ処分は、JPDR の解体コンクリートを埋設した埋設施設があり、管理を行っている段階である。また、現在、東海発電所の L3 解体廃棄物の埋設を目的として、当社の東海低レベル放射性廃棄物埋設施設の事業許可申請を行っており、国による審査が行われている状況である。

4 廃止措置の課題

廃止措置を円滑に進めるための要点を以下に整理した。

4.1 廃止措置の技術と伝承に係る課題

- ・実効性のあるマネジメント

廃止措置は、施設の特性に合わせた既存技術の組み合わせがベースであり、既存技術の採用や適用にあたっては、より合理的な技術の適用と全体最適となるような組み合わせが行えるマネジメントが重要である。

- ・幅広い分野での人材育成

合理的な技術の適用と全体最適となるような組み合わせが行えるマネジメントに係る知見や技術、能力を持つ人材を育成し、また、廃止措置は、通常数十年という長期間を要するため、この期間に延々とこうした技術が伝承される環境づくりが重要となる。

4.2 使用済燃料・解体廃棄物の処理処分に係る課題

- ・放射性廃棄物処分場の早期確保

廃止措置による解体で発生する放射性廃棄物の埋設施設は、決めないことには解体廃棄物の行き場がなく、本格的な施設・設備の解体ができない。このため、廃止措置を進めるためには、早期に解体廃棄物の行き場

を決めることが重要となる。

- ・使用済燃料の搬出先の確保

使用済燃料は最終的に再処理施設に搬出するとしている。日本では六ヶ所の使用済燃料再処理工場の早期稼働が必要となる。なお、廃止措置を進めるために、再処理工場が稼働するまでの間、一時的に使用済燃料を貯蔵することを目的に、中間貯蔵施設を設ける場合もある。

- ・関係者（国・規制当局、自治体等）の理解、協力

上記課題を解決するためには、国や規制当局、自治体、公衆などの理解、協力を得ながら進めていくことが不可欠となる。

5 おわりに

東日本大震災を契機として、多くの原子力施設が廃止措置段階に入ることになり、原子炉等原子力施設数だけで見れば、世界一、二の廃止措置大国となっている。廃止措置に関わる者は、廃止措置を完遂する責務がある。自身の職業人としての寿命の中で廃止措置が完遂できない場合であっても、技術者として将来に向けた道筋を整える責任があると自覚している。

しかしながら、我が国の廃止措置は、関係者のカルチャーや各種制度の仕組みなど環境条件が改善の余地がある状況であり、今の仕組みや状況をより良く変えて、廃止措置の効率的な完遂を目指す必要がある。

廃止措置を進める第一義的な責任は、ライセンスを持っている個別事業者に課されているが、個別事業者がバラバラに努力しているだけでは廃止措置を効率的に完遂できない。また、マインドの変更は事業者だけでなく、サプライチェーンや地元自治体、規制機関も発電事業等との違いを理解して協力していかないと廃止措置は進まない。すべての関係者の支援と協力が必要である。

参考文献

- [1] 原子力デコミッションング研究会:世界の廃止措置データベース
<http://www.decomiken.org/worlddb/index.html> (accessed 2023-09).
- [2] World Nuclear Associate (WNA) : Information Library/Decommissioning Nuclear Facilities (2022).
- [3] IAEA:Safety Standards (GSR) Part6 Decommissioning of Facilities (2014).
- [4] 原子力委員会:原子力の研究. 開発及び利用に関する長期計画, 昭和57年6月(1982).
- [5] 資源エネルギー庁: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のあり方について), 昭和60年7月(1985).