

原子力発電所の廃炉と放射性廃棄物の処分の法的課題

高 田 寛

1. はじめに

すべての生物に寿命があるのと同様に、人間の作った機械や設備・工作物も、いくらメンテナンスを施したとしても、いつしか老朽化により使えなくなる日が来る。原子力発電所も例外ではない。1950年代から始まったわが国の原子力利用は70年近く経過し、すでにいくつもの原子力発電所の廃炉が決定されている。現在稼働中の原子力発電所も、いつしかその役目を終える日が来る¹。特に、2011年3月11日に発生した東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故後、多くの原子力発電所の廃炉が決定された。

2012年に「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(以下「原子炉等規制法」という。)²が改正され、原子炉の運転期間を原子力規制委員会³の検査に合格した日から40年とし、その満了に際し運転延長の認可を受けた場合には、1回に限り最大20年間延長することを認めた⁴。すなわち、原子炉の寿命は40年であり、最長でも60年しかもたない、又はもたせるべきではないということである。これまでに廃炉となった原子炉の多くは、40年近く経過した高経年炉⁵であり、わが国の多くの原子力発電所の原子炉は高経年劣化の危険にさらされている⁶。

廃炉が決定された原子炉の廃炉措置⁷で問題となるのが、放射性廃棄物⁸の処分である。この放射性廃棄物は、原子炉の廃炉時だけに発生するものではなく、原子力発電所の稼働中でも、使用済み核燃料⁹として日々発生する。しかし、残念ながら、多くの使用済み核燃料は保管されたままの状態であり、使用済み核燃料を含む放射性廃棄物の最終処分場をどこにするかは、未だ決まっていない。また、放射性廃棄物の処分方法は、最も放射性の高いレベルの放射性廃棄物であっても、地中に埋設するという単純な方法しかない。

2000年に、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(以下「最終処分法」という。)が成立し、最終処分として放射性廃棄物を地下に埋設することが法律で規定された。しかし、原子力発電環境整備機構(NUMO)¹⁰が、最終処分場を探しているが、未だに最終処分場が決まらず、原子力発電所の敷地内や、青森県六ヶ所村及び茨城県東海村の再処理施設で保管されたままの状態となっている。

さらに、原子力発電所の廃止措置の工程は、通常20～30年の長期に亘り、技術的困難も多く、巨額の金額が必要とされる。特に再処理施設の場合、実際にはもっと長期に亘り、費用も莫大になる¹¹。例えば、茨城県の東海原子力再処理施設¹²の廃止措置にあたっては、廃炉まで70年かかり、費用も1兆円がかかると予想されている¹³。

本稿では、原子力発電所の廃炉と使用済み核燃料を含む放射性廃棄物について、その法的問題点を洗い出すとともに、廃炉と放射性廃棄物の取扱い及び原子力発電の今後について、若干の提

言を試みる。

2. 原子力発電所の構造

原子力発電所は、核分裂を利用した発電所である。わが国の原子炉はすべて軽水炉である。軽水炉の原子力発電所では、ウラン235などの核分裂しやすい物質を燃料として使用している。天然ウランには、核分裂しやすいウラン235が約0.7%、分裂しにくいウラン238が約99.3%含まれているが、発電時に用いるウラン燃料では、ウラン235を3～5%の低濃縮ウランにして使用している。これを粉末状の酸化物にし、直径・高さともに約10mm程度の円柱形に焼き固めたペレットを燃料として利用している¹⁴。

核分裂反応は、ウラン235やプルトニウム239に中性子がぶつかることによって起こる。いったん、核分裂反応が始まると、次々と連続して反応が起り、熱エネルギーを発生する。また、原子炉内で、燃えないウラン235が中性子を吸収することによりプルトニウム239が生まれる。このプルトニウム239は核分裂性なので、さらに中性子を吸収すると核分裂し熱エネルギーを発生する¹⁵。ちなみに、原子爆弾で使われるウラン235は、最低でも70%以上の濃縮ウランが必要であり、90%以上の濃縮ウランは兵器級（Weapons-grade）と呼ばれる。

原子力発電は、水の入った原子炉の中で、ウラン235及びプルトニウム239が核分裂するときに発生する熱を利用して蒸気を作る。蒸気でタービンを回して電気を作るという点では、石炭や石油、天然ガスによる火力発電と同じ仕組みであるが、以下のような特徴がある。

- ① 原子炉内ではウラン235及びプルトニウム239の核分裂によって発生した熱が燃料をとりまく水に伝えられ、これを高温・高圧の蒸気に変える。この蒸気は、主蒸気配管を通してタービンに送られ、タービン軸に直結した発電機を回して発電する。
- ② タービンを回し終えた蒸気は、復水器内で冷却され、水となって再び給水ポンプにより原子炉に戻される。
- ③ 復水器で蒸気を冷却する冷却水には海水を使う。海水は管を介して蒸気を冷却するため、海水に原子炉の蒸気が混ざることはない。
- ④ 原子炉の起動・停止は、制御棒の出し入れによって行う。

わが国で使用している商業用の原子炉には、沸騰水型軽水炉（Boiling Water Reactor：BWR）と加圧水型軽水炉（Pressurized Water Reactor：PWR）の2種類がある。沸騰水型軽水炉（BWR）は、原子炉の中で水を沸騰させて蒸気を作り、その蒸気で直接タービンを回す方式で、東日本にある原子力発電所を中心に採用されている。加圧水型軽水炉（PWR）は、原子炉内の圧力を高くすることで水を沸騰させず熱湯にし、その作られた熱湯を蒸気発生器に送り、別の系統の水を蒸気に変え、その蒸気でタービンを回す方式である。このタイプは西日本の原子力発電所で多く採用されている¹⁶。

なお、わが国は、軽水炉の安全性や信頼性、運転性などを国内の技術によって向上させた改良型沸騰水型炉（Advanced Boiling Water Reactor：ABWR）を開発した。改良型沸騰水型炉（ABWR）は、沸騰水型軽水炉（BWR）の原子炉圧力容器の外に設置してある原子炉再循環ポンプを圧力容器の中に設置し、ポンプ周りの配管をなくして単純化した点や、制御棒駆動機構と

して水圧駆動に電動駆動を加えた点が改良されている¹⁷。

3. 原子力発電所の廃炉

(1) 廃炉の現状

わが国初の商業用原子力発電所は、日本原子力発電東海発電所¹⁸である。炉型はイギリス製の黒鉛減速炭酸ガス冷却型原子炉（Gas-Cooled Reactor：GCR）であり、これに耐震強度の増強などの日本独自の改良を加えたものである。1960年1月16日に着工し、1965年5月4日に初めて臨界¹⁹に到達した。翌年の1966年7月25日に、日本初の商業用原子力発電所として運転を開始した。

その後、約32年に亘る運転の後、1998年3月31日に営業運転を停止し廃炉が決定された。2001年12月から解体に着手し、廃止措置に入った²⁰。最終的には、2025年度中に完全に廃炉解体終了する予定である。このように、わが国初の商業用原子炉の廃止措置が進んでいるが、未だ商業用原子力発電所の原子炉の廃炉及び解体が完全に終了した例はない。

東海発電所の廃炉の理由は、原子炉の経年劣化もさることながら、黒鉛炉特有の効率の悪さや発電力の小ささも問題であった。新しくできた東海第二発電所が、100万kW²¹級発電炉であるのに対し、この東海発電所は同程度の敷地を要するものの、出力は16.6万kWでしかなく、効率が悪かったことも大きな理由である。

2019年1月12日現在、わが国の商業用の原子力発電所は、稼働中9基、設置変更許可6基、適合性審査中12基、未申請9基、廃炉決定24基である。このほかにも、1979年から稼働していた新型転換炉原型炉「ふげん」²²が、2003年3月に運転を終了し廃炉が決定された。最終的な廃炉解体終了は2033年度の予定である。

また、高速増殖炉原型炉「もんじゅ」²³も、2016年12月21日に廃炉が決定された。施設の安全基準を満たすには多額の費用がかかるなど再稼働は難しいと判断されたためである。ただし、政府は、今後も使用済み核燃料を再利用する核燃料サイクル政策は維持し、高速増殖炉開発を続けるとしている。「夢の原子炉」と期待されたもんじゅは1兆円超を投じたものの、事故や不祥事が相次ぎ、22年で250日しか運転できないまま幕を下ろすこととなった²⁴。

名称	電力会社	場所	数	出力	備考
東海発電所	JAPC ²⁵	茨城県那珂郡東海村	1	16.6万kW	2025年廃炉解体終了予定
浜岡原発（1・2号機）	中部電力	静岡県御前崎市	2	128万kW	2036年廃炉解体終了予定
福島第一原発	東京電力	福島県双葉郡	6	469.6万kW	2051年廃炉解体終了予定
福島第二原発	東京電力	福島県双葉郡楢葉町	4	440万kW	2018年廃炉表明
美浜発電所（1・2号機）	関西電力	福井県三方郡美浜町	2	84万kW	2015年廃炉決定
敦賀発電所（1号機）	JAPC	福井県敦賀市	1	35.7万kW	2015年廃炉決定
玄海原発（1・2号機）	九州電力	佐賀県東松浦郡玄海町	1	111.8万kW	1号機：2015年廃炉決定 2号機：2019年廃炉決定
島根原発（1号機）	中部電力	島根県松江市	1	46.0万kW	2015年廃炉決定
伊方発電所（1・2号機）	四国電力	愛媛県西宇和郡伊方町	2	113.2万kW	1号機：2016年運転終了 2号機：2018年運転終了
大飯発電所（1・2号機）	関西電力	福井県大飯郡おおい町	2	235万kW	2017年廃炉決定
女川原発（1号機）	東北電力	宮城県牡鹿郡女川町	1	52万kW	2018年廃炉決定

【図表1】 廃炉決定及び廃炉検討中の商業用原子力発電所（資料を基に筆者作成）

【図表1】は、2019年1月12日時点での、廃炉決定の原子力発電所の一覧である。このように、廃炉が決定された24基の原子炉の総出力は、1,496.9万kWにも及ぶ。廃炉が決まった原子力発電所で、実際に原子炉を解体処分したのは、日本原子力研究所の動力試験炉（JPDR）だけで、【図表1】に掲げる商業用原子炉では、まだ経験がない。

(2) 法規制

原子炉等規制法は、2012年に改正され、発電用原子炉設置者がその設置した発電用原子炉を運転することができる期間は、当該発電用原子炉の設置の工事について、原子力規制委員会の検査を受けこれに合格した日²⁶から起算して40年とすると規定する²⁷。また、その満了に際し、原子力規制委員会の認可を受けて、1回に限り延長することができる。ただし、延長する期間は20年を超えない期間であって政令で定める期間を超えることができない²⁸。

このように、原子炉の運転期間は40年と定められ、発電用原子炉が、長期間の運転に伴い生ずる原子炉その他の設備の劣化の状況を踏まえ、延長しようとする期間において安全性を確保するための基準として原子力規制委員会規則²⁹で定める基準に適合していると認めるときに限り、さらに20年の延長を認可することができる³⁰。すなわち、原子炉の寿命は最長60年である。

2005年12月に「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則」³¹が改正され、廃止措置計画の認可の基準、廃止措置の終了確認の基準が設けられた³²。その後、原子力規制委員会により、規制関連法も2012年に見直された。また、発電用原子炉施設等の廃止措置に係る内規³³が2013年11月に定められた。

このように原子炉の寿命を40年と定めたものの、その科学的根拠は明確ではない。2012年に審議された法改正は、議員立法で行われ、世論に後押しされた形で成立した³⁴。2011年の東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、古い原子炉は事故を起こすのではないかと懸念が生じ、原子炉の寿命を設定する機運が高まったためである。原子炉規制法の改正案は当時の与党民主党に加え、自民党、公明党の議員による共同提出であった。その中で原子炉の寿命40年について、「科学的根拠はない」「政治的な数値」と議員らが認めている³⁵。

このように、原子炉の運転期間は40年と定めたが、その科学的根拠は薄く、明確な根拠が示されないまま法改正が行われている。原子炉等規制法は、原子力発電という危険なものを扱う法律であるにも拘わらず、確かな検証も行わず、また科学的根拠もないまま、法改正を行うというのは如何なものか。人体に対して危険なものを取り扱う法律は、そうでない法律の立法と異なり、科学的根拠なしに立法化するのは危険であると言わざるを得ない。

海外の原子炉の寿命に関する規定では、米国がわが国と同じく40年とし、20年の延長を認めている。現在、さらに20年延長し、最大80年とするか検討中である。ドイツは、32年という制限を設けていたが、東京電力福島第一原子力発電所の事故の後、原子力発電をゼロとすることが決まり、2022年までに順次閉鎖する予定である。フランスでは、電気事業者が60年を提案し、現在、各原子力発電所を精査中である³⁶。

ただし、わが国と同じ米国の原子炉の寿命40年も、米原子力規制委員会（Nuclear Regulatory Commission：NRC）³⁷自体が、科学的根拠が薄いことを認めており、税法・会計上、投資の償

却期間を40年としているためだとしている。原子炉の寿命40年というのも、どの程度妥当性があるか疑問である。

現在稼働中の9基の原子力発電所について、稼働が可能な期限を計算すると【図表2】のようになる。

名称	電力会社	場所	数	出力	期限 ³⁸	延長期限 ³⁹
大飯発電所 (3・4号機)	関西電力	福井県大飯郡おおい町	2	236万kW	3号機：2027年 4号機：2027年	3号機：2047年 4号機：2047年
高浜発電所 (1～4号機)	関西電力	福井県大飯郡高浜町	4	339.2万kW	1号機：2009年 2号機：2010年 3号機：2020年 4号機：2020年	1号機：2029年 2号機：2030年 3号機：2040年 4号機：2040年
伊方発電所 (3号機)	四国電力	愛媛県西宇和郡伊方町	1	89万kW	3号機：2026年	3号機：2046年
玄海原発 (3・4号機)	九州電力	佐賀県東松浦郡玄海町	2	236万kW	3号機：2024年 4号機：2024年	3号機：2044年 4号機：2044年
川内原発 (1・2号機)	九州電力	鹿児島県薩摩川内市	2	178万kW	1号機：2017年 2号機：2020年	1号機：2037年 2号機：2040年

【図表2】 現在稼働中の原子力発電所の稼働制限期限（資料を基に筆者作成）

【図表2】によると、高浜発電所1・2号機、川内原子力発電所1号機の3基が、認可からすでに40年を経過しているが、高浜発電所1・2号機は、2016年6月に運転延長が認可された。高浜発電所3・4号機、玄海原子力発電所3・4号機の4基が、今後5年以内に認可から40年が経過する。比較的新しい大飯発電所3・4号機でさえ、8年以内に稼働期限を迎える。このように、今後8年以内に、現在稼働中のすべての原子力発電所が40年の稼働期限を迎えることになり、20年の延長が認可されない限り、これらは廃炉の決断を迫られることになる。

わが国における原子炉廃止措置にかかる国の考え方は、1981年6月に原子力委員会⁴⁰がその基本方針を定め、2000年11月24日に原子力委員会が公表した「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」⁴¹の中に記載されている。この中で、商業用発電炉、試験研究炉、核燃料サイクル施設等の原子力施設の廃止措置は、その設置者の責任において、安全確保を大前提に、地域社会の理解と支援を得つつ進めることが重要であるとし、また、商業用発電炉の跡地は原子力発電所用地として、地域社会の理解を得つつ引き続き有効に利用されることが期待されるとしている。

また、原子力発電所の廃止措置について、わが国では、「安全貯蔵－解体撤去」方式を標準的な工程として採用している⁴²。運転を終えた原子力発電所は、営業運転を終了すると国の認可を受けて廃止措置が開始される。燃料搬出後、配管内などに付着している放射性物質を除去し（系統除染）、その後5～10年ほど放射能の減衰を待たために貯蔵し（安全貯蔵）、最終的に解体する（解体撤去）。解体撤去が完了した跡地は、地域社会と協調をとりながら、原子力発電所用地として引き続き有効に利用することを基本方針としている⁴³。

(3) 原子炉の経年劣化

原子力発電所の経年劣化としては、配管内の減肉（エロージョン・コロージョン）、応力腐食

割れ（SCC）、絶縁低下、中性子照射脆化、疲労割れ、コンクリートの中性化など様々であるが、原子力発電所の経年劣化で一番深刻なのが、中性子照射脆化である原子炉の劣化である⁴⁴。原子炉の格納容器や圧力容器は鉄できているが、その内部では核分裂を起こすために中性子が飛び交っている。その中性子が原子炉の鉄の壁に当たることで鉄が固くなり脆くなる。そのため劣化の目安として鉄片を原子炉内の壁に貼り付け、定期点検時に、それを取り出して叩いて劣化の進行状況を検査する。これを、脆性試験という。

鉄に不純物が含まれていた場合には、さらに劣化の進行が速くなる。特に、銅が不純物として含まれていた場合には、中性子の照射で鋼材が脆くなることが報告されている。初期の1970年代の敦賀原子力発電所1号機（1970年運転開始）では0.24%の銅が混入している⁴⁵。柏崎刈羽原子力発電所2号機（1990年運転開始）のような比較的新しい原子力発電所⁴⁶では、銅の混入が0.01%と低いものの、原子炉の劣化は原子力発電所にとって不可避の問題である。

原子炉の高経年劣化が進むと、原子炉圧力容器の瞬間的な破壊（脆性破壊）が起きる可能性がある。もし、圧力容器が瞬時に破壊すれば、その外側にある厚さ数センチの防御壁（格納容器）を圧力容器の破片が突き破って散り、放射能が外部に放出される⁴⁷。原子炉等規制法では、原子力発電所の寿命を40年と一律に規定するが、古い原子炉ほど劣化が進んでおり、脆性試験を正確に行い判断するなど、個別の対応が必要である。また、原子炉の脆性試験の厳格な基準に特化したガイドラインや法整備も必要ではないだろうか。

原子力施設では、年1回の定期検査に加え、10年を超えない期間ごとに、保安活動の実施状況、最新の技術的知見の反映状況を評価する「定期安全レビュー」が電力会社により実施されている。その内容については保安検査⁴⁸において確認している。さらに、営業運転が開始して30年が経過する前（その後10年ごと）に、事業者は安全上重要な機器・構造物について、今後長期間運転することを想定した技術評価（高経年化に関する評価）を実施し、それに基づいた長期保守管理方針を策定し、保安規定に記載することが義務づけられている。そして、その内容について原子力規制委員会により審査され認可される。

長期保守管理方針を具体化した運転サイクルごとの実施内容を含めて、原子力発電所の点検実績は機器の劣化状況等を踏まえた個別機器の点検の修繕の計画（保全計画）を運転サイクルごとに届け出て国の確認を受けることとなる。保全計画の実施内容については、保安検査や定期安全管理審査において確認している⁴⁹。問題は、それが確実に実行されるかどうかである。

（4）廃炉のコストと時間

廃炉に際しては、すべての処理が完了するのに、30年近くかかることが試算されていたが⁵⁰、実際には、もっと長い時間がかかることが判明してきた。海外でも、同様の事例が起きている。例えば、原子力発電の先進国であるイギリスであっても、ウェールズ地方のトローズフィニッド原子力発電所（Trawsfynydd nuclear power station）が、1993年から廃炉措置に入ったが、今後さらに70年を要し、廃炉に計90年の歳月を必要とする。この原子炉は、235万kWという比較的小さな原子炉で、大きな事故などはなかったものであるが、これだけの歳月を要す。また、廃炉の費用は、日本円にして約900億円かかる⁵¹。ただし、最新の情報によると、イギリスは4

千万ユーロ（約50億円）を投入して、トローズフィニッド原子力発電所を再稼働させる方針のようである⁵²。この背景には、新たに原子力発電所を作ることが難しいという事情がある。

2002年の試算では、再処理工場及び52基（当時）の原子力発電所の廃炉にかかる費用は、約30兆円になると予想されていたが⁵³、2016年12月9日、経済産業省は、東京電力福島第一原子力発電所の廃炉にかかる費用や賠償費用の総額が21兆5,000億円に上ると発表した。このうち、廃炉にかかる費用は、8兆円と試算されている⁵⁴。民間のシンクタンクである日本経済研究センター（JCER）⁵⁵によれば、50～70兆円かかるという⁵⁶。わが国の国家予算が約100兆円であることを思えば、この金額は途方もない金額であり、電力会社がまかないきれものではなく、将来、国民ひとり一人に重くのしかかってくるものである⁵⁷。

このように廃炉には莫大な金額がかかり、原子力発電所は決して安価なエネルギー源ではない。これに対して、資源エネルギー庁は、原子力発電のコストに関して、ホームページの中で反論を試みているが⁵⁸、廃炉に関する詳細な記述はなく、説得力は感じられないものである⁵⁹。なお、東京電力など原子力発電所を保有する電力会社が、稼働している原子力発電所がなかった2014年度に、原子力発電所の維持・管理のために、計約1兆4,000億円を使っていた⁶⁰。このように、稼働していない原子力発電所も、その維持・管理のために莫大な金額がかかる。

電力会社が、原子力発電所の運転期間を20年延長するかどうかは、一重に安全に稼働を続けられるかどうかの判断にかかっている。2019年2月13日に発表された九州電力玄海発電所2号機の廃炉決定は、2021年に運転から40年を迎えるが、安全対策費が多額になるというのが最大の理由である。廃炉にかかる費用は、約365億円であり、廃炉作業にはおよそ30年はかかるとの見通しである⁶¹。廃炉の技術が確定していない中、はたしてこの程度の金額と時間で収まるのか、はなはだ疑問である。

(5) 電力会社の体質

東京電力などの営利を目的とする電力会社にとっては、商業用原子力発電所の原子炉の高経年劣化は死活問題である。事業として継続させるには、できる限り運転中の原子力発電所を存続させたいと思うに違いない。それを象徴する出来事が、電力会社のトラブル隠しである。

2002年8月、東京電力の意図的にトラブル記録を改ざんした「ひび割れ隠し」事件が発覚した。これにより2003年4月には、東京電力の17基の原子力発電所すべてが止まった⁶²。この事件は、点検作業を行ったゼネラル・エレクトリック・インターナショナル（GEI）のアメリカ人技術者による内部告発により発覚したものである。

原子炉等規制法では、自主点検でトラブルが見つかった場合、程度に応じて国に報告することが義務づけられているが、東京電力は、それを怠っただけでなく、調査に非協力的であった。このほかにも、2002年8月、東京電力は、福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所、柏崎刈羽原子力発電所において、1980年代後半から90年代にかけて実施された自主点検作業時に、点検結果や修理作業等に関して記録の不正等が行われていた疑いがある事案が29件あることを公表した⁶³。

原子力発電所のような、人体に対して危険なものを扱う電力会社のような企業は、通常の企業

より一段と強いコーポレートガバナンスが要求されるにも拘わらず、電力会社のトラブル隠しが続いた。原子力規制委員会のような外部組織や監督官庁があるとはいえ、このような杜撰な管理をする電力会社に、人体に危険を及ぼすような原子力発電所を任せてよいものか、コーポレートガバナンスの観点から再検討する必要があるのではないだろうか。すなわち、原子力発電所のような危険なものを取り扱うものに対しては、通常より厳格なコーポレートガバナンスが必要であり、その仕組み作りが必要ではないだろうか。

4. 放射性核廃棄物の処分

(1) 放射性廃棄物とは

放射性廃棄物⁶⁴とは、使用済みの放射性物質及び放射性物質で汚染されたもので、以後の使用の予定が無く廃棄されるものである。ただし、同じ廃棄物でも、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」⁶⁵で定義される廃棄物には該当しない。原子力発電所から出る放射性廃棄物の場合、原子炉から取り出した使用済み核燃料、廃炉となった原子力発電所からの廃棄物、作業員が使用した衣服や除染で用いた水など多岐にわたる。

原子炉から出た使用済み核燃料は、原子力発電所に一時保管された後、青森県六ヶ所村又は茨城県東海村の再処理工場に運ばれる。再処理工場とは、使用済み核燃料の中から使用可能なウラン235、プルトニウム239を取り出す施設である。取り出されたウラン235やプルトニウム239は、再び核燃料に加工される。このような再処理工場からも、燃料棒の部品、燃料棒のペレットに含まれる核分裂反応による核分裂生成物、ウラン235、プルトニウム239の分離抽出の過程で生じた廃液などの多種の放射性廃棄物が発生する。

放射性廃棄物は、原子力発電所の運転にともない発生する放射能レベルの低い「低レベル放射性廃棄物」(Law Label Waste: LLW) と、使用済み核燃料の再処理に伴い再利用できないものとして残る放射能レベルが高い「高レベル放射性廃棄物」⁶⁶ (High Label Waste: HLW) とに大別される⁶⁷。高レベル放射性廃棄物は、使用済み核燃料の再処理における浸水廃液及び廃棄される使用済み核燃料、またこれらと同等の強い放射能を有する放射性廃棄物である。高レベル放射性廃棄物をガラス固化体⁶⁸したものを、特定放射性廃棄物⁶⁹という。

特定放射性廃棄物は、第一種特定放射性廃棄物⁷⁰と第二種特定放射性廃棄物⁷¹に分けられる。第一種特定放射性廃棄物とは、使用済み核燃料の再処理に伴い使用済み核燃料から核燃料物質その他の有用物質を分離した後に残存する物(残存物)を固型化した物、及び代替取得により取得した物である⁷²。第二種特定放射性廃棄物とは、使用済み核燃料の再処理等に伴い使用済み核燃料、分離有用物質又は残存物によって汚染された物を固型化し、又は容器に封入した物(代替取得に係る被汚染物を固型化し、又は容器に封入した物を除く。)であって、長期間にわたり環境に影響を及ぼすおそれがあるものとして政令で定めるものである⁷³。

放射線は種類によって、それぞれものを通り抜ける力が異なる。主な放射線のうち、アルファ(α)線は紙一枚で、ベータ(β)線はプラスチックやアルミニウムの薄い板などで止めることができる。ガンマ(γ)線は通り抜ける性質が強いが、鉛や鉄の板、厚いコンクリートなどで止めることができる。東京電力福島第一原子力発電所の事故で問題となっているものは、ほとんどが

放射性セシウムである。放射性セシウムは主にガンマ線を出すことがわかっている。これを防ぐためには、遮蔽するとともに距離をとることが大切である⁷⁴。

生物のDNAに放射線が当たると、DNAの一部が壊れることがある。DNAを傷つける原因は、放射線以外にも、食物の中の発癌物質、たばこ、環境中の科学物質、活性酸素等があり、1日1細胞当たり、1万から100万カ所の頻度でDNAは損傷を受けている。しかし、細胞には、DNA損傷を修復する機能があり、DNAが損傷を受けると、修復酵素により傷を修復するが、完全に修復される場合と、一部が修復されない場合がある。修復されない場合は、細胞が癌化することがある。

放射線の影響を受けやすい埋立作業員の安全を確保するために採用された国際基準が、国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection：ICRP）⁷⁵が勧告する、一般の人々の健康を守るための基準である公衆被ばくの線量限度「年間で1mSv（ミリシーベルト）」である。胸のレントゲン写真が0.05mSv、胃の集団検診が0.61mSvである。1993年に起きた茨城県東海村のJGO事故では被曝した作業員が死亡したが、その時の放射線量は1,600mSvであった⁷⁶。一般に1,000mSvを超えると非常に危険な状態になる。高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体は、約1,500,000mSv/hであり⁷⁷、これだけの放射線量を人間が浴びると、ほとんど即死に近い状態となる。

（2）放射性廃棄物の処分

1960年代から原子力発電所の建設が始まったが、ようやく2000年に最終処分法が成立し、特定放射性廃棄物の地層処分が法律で規定された。それまで、放射性廃棄物の処分についての法規制はなかった。地層処分とは、原子力発電所から生じる放射性物質の濃度が高く半減期の長い放射性廃棄物である使用済み核燃料の再処理に発生する高レベル放射性廃棄物を、人が触れることがない地層の深部地下に埋設することである。放射性廃棄物は、原子力を使用すれば必ず発生するものだが、自然界にこれを浄化させる作用はない。そのため、現時点での科学技術では、放射性廃棄物を地中深く埋設するしか方法がない⁷⁸。

具体的には、放射能レベルに応じて、処分する深さや放射性物質の漏出を抑制するための障壁（バリア）の違いにより、①人工構造物を設けない浅地中埋設処分（浅地中（トレンチ）処分）、②コンクリートピットを設けた浅地中への処分（浅地中（ピット）処分）、③一般的な地下利用に対して十分余裕を持った深度（地下50m以深）への処分（余裕深度処分）、④地下300mより深い地層中への処分（地層処分）、のいずれかの方法により処分することとしている⁷⁹。

原子力発電所の廃止措置には、放射性廃棄物の処分が伴うことから、安全確保のための制度上の手続面の明確化や、原子力施設の廃止や解体に伴って発生する様々な種類の廃棄物などから、放射性物質として管理する必要のあるものと、汚染のレベルが自然界の放射性物質の放射線レベルと比べても極めて低く、管理すべき放射性物質として扱う必要のないものを区分することが行われる。これをクリアランス制度⁸⁰という。

2005年5月に原子炉等規制法を改正して、クリアランス制度が導入された。具体的には、廃止措置によって出された廃棄物を、①放射性廃棄物、②放射性廃棄物でない廃棄物、及び③放射性

物質が少なく、放射性物質として扱う必要のないもの（クリアランス対象物）、の3種類に分ける方法であり、放射能レベルの度合いによって異なる廃棄方法を採用する方法である⁸¹。

クリアランス制度では、どのように使用あるいは廃棄されたとしても、人体への影響がないように、放射能濃度の基準を設けており、これを「クリアランスレベル」という。具体的には、1年間に受ける放射線の量が0.01mSvとなる放射線量と定められている。この放射線量は、自然界の放射線から受ける放射線量の1/100以下であり、仮に複数の影響が重なった場合でも人の健康への影響を無視することができるかと国際的に認められているものである⁸²。

放射性廃棄物のうち高レベル放射性廃棄物については、再処理した後に出る高レベル放射性廃棄物は液体のため、ガラスの原料とともに高温で溶かし混ぜ合わせ、ステンレス容器に入れて固め化学的に安定なガラス固化体とする。ガラスは、水に溶けにくく、化学的に安定しているため、放射性廃棄物を長期間変化することなく閉じ込めるのに優れている。これまでに発生したガラス固化体は、冷却するため、青森県六ヶ所村にある日本原燃の「高レベル放射性廃棄物貯蔵管理施設」で30～50年間貯蔵する。その後、人間の生活環境に影響を及ぼさない地下300メートルより深い安定した地層中に処分（地層処分）する。この処分方法は、地下深部の地層が本来持っている「物質を閉じ込める力」を利用したもので、日本を含め国際的にも最も好ましい共通の考え方とされている⁸³。

具体的には、ガラス固化体を鉄製のオーバーパックに入れ、それに緩衝材として厚さ約70センチの締め固めた粘土で包む。ここまですが人工バリアと呼ばれるものである。その後、地下300メートル以下の岩盤の中に埋設する⁸⁴。海外でも、放射性廃棄物の処分は地層処分である。アメリカでは、ガラス固化体をネバダ州ユッカマウンテンに埋設することが決まり、2017年から操業を開始している。その他、フランス、フィンランド、スウェーデン、イギリス、ドイツ、スイスでも地層処分を採用している⁸⁵。ただし、これらの国々は、わが国と異なり、広大な土地を確保することができ、若しくは大きな地震や火山のない国ばかりである。わが国の国土は狭く、また地震や火山の多い不安定な土地であることを考慮に入れなければならない。

(3) 最終処分場

最終的に、放射性廃棄物は、地下に埋設する地層処分という方法を採用するが、未だに最終処分場が決まらない。青森県六ヶ所村の再処理工場を、最終処分場とする考えもあるが、国と青森県との間で「六ヶ所村を最終処分場にはしない」という確認書を歴代の知事と交わしている以上、原子力発電環境整備機構（NUMO）は、青森県六ヶ所村以外の地を探すしかない。

最終処分法では、原子力発電環境整備機構（NUMO）が地層処分の実施主体となっているが、処分施設の建設場所を選ぶ際に、①文献（過去の履歴等文献による調査）、②概要（ボーリングによる調査等）、③精密（地下施設での調査等）、の3段階の調査を行うことが法律上義務付けられている。また、調査の段階を進めるにあたっては、地質環境が地層処分に適しているか確認するとともに、地元自治体の意見を聴くことが法律上必要とされている⁸⁶。

なお、資源エネルギー庁は、これら放射性廃棄物の埋設に適した地を公表している。公表されている地図（科学的特性マップ）では、好ましい地と好ましくない地を色分けして示している⁸⁷。

安全に地層処分を行うために、地下深部の科学的特性などを様々な観点から検討しなければならないが、地下深部の科学的特性が長期に亘って安定か、将来の人間が気づかずに近づいてしまわないか、輸送時の安全性が確保されているかなどを考慮する必要がある。例えば、火山に近いか、断層に近いか、鉱物資源が近くにあるか等を調べる必要がある⁸⁸。

ところが、実際に資源エネルギー庁が作成した科学的特性マップを見ると、好ましい地が海岸線に近く（20km以内）、比較的人口密度の多い平野部となっている。この理由は、廃棄物の貯蔵場所からの長距離輸送としては、海上輸送を想定しているためである。港湾からの陸上輸送にかかる時間や距離は、短い方が安全上好ましいからである。しかし、これらの多くが、堆積物が蓄積した比較的柔らかな沖積世の地層であることを思えば、いくら深い岩盤に埋設するとしても、このマップがどの程度科学的検証がなされたものなのか疑問が残る⁸⁹。

高レベル放射性廃棄物の地層処分は、放射線量が人体に影響がないまでに減衰するための時間、すなわち生命環境から隔離する時間は、10万～100万年と言われている。しかし、原子力発電環境整備機構（NUMO）によると、最終処分場での管理は約100年であり、その後は放置の状態となるという⁹⁰。ガラス固化体の放射線量は、最初1,000万GBq（ベクレル）あったものが、1万GBqに落ちるまでに1,000年、1,000GBqに落ちるまでに10万年かかる。その後100万年かけて放射線量は徐々に落ちていく⁹¹。このように、非常に長い年月がかかるが、その間、最終処分場を破壊するような日本列島を揺るがす巨大地震や火山の大噴火がないと言い切れるだろうか。

（4）最終処分のコスト

各原子力施設の運転及び解体により発生する低レベル放射性廃棄物の保管量は、2017年3月末、全国の原子炉施設（原子炉、加工、再処理、廃棄物埋設・管理施設）、及び取扱事業者の合計で、容量200l（リットル）ドラム缶に換算して約114万本分の貯蔵となっている⁹²。現在の主な保管場所は、青森県六ヶ所村、茨城県東海村の再処理施設である⁹³。

一方、発電によって発生した使用済み核燃料は、高レベル放射性廃棄物としてガラス固化され、冷却のため30～50年間程度貯蔵した後、地下300mより深い地層に埋設される予定であるが、2018年3月16日時点で、国内で処分されたもの、海外（フランス、イギリス）から返還されたもの（ガラス固化体）を合わせて2,482本が、青森県六ヶ所村、茨城県東海村の再処理施設で保管されている⁹⁴。さらに、原子力発電の運転により生じた使用済み核燃料を全てガラス固化体に換算すると、約24,800本相当が発生し、いずれこれらも地中に埋設されることになるが、未だ具体化されていない。

特定放射性廃棄物のコストは、2015年で、第一種特定放射性廃棄物の最終処分業務に必要な費用として2兆8,882億円、第二種特定放射性廃棄物の最終処分業務に必要な費用として7,896億円、計2兆9,671億円と算出された⁹⁵。このように、原子力発電所から出た放射性廃棄物の最終処分には膨大な金額がかかる。

また、茨城県の東海原子力再処理施設⁹⁶の廃止措置にあたっては、廃止まで70年かかり、費用も1兆円がかかると予想されているが、2018年6月、原子力規制委員会はこれを認可した。ここには、原子力発電所の使用済み燃料からウラン235とプルトニウム239を取り出す施設などおよそ

30もの施設があり、再処理で出た非常に高い放射線料の廃棄物などが保管されている。一部の廃棄物の保管用のプールには、容器にワイヤが絡みついた廃棄物が無造作に積まれていて、取り出すには新しい技術開発が必要とされている⁹⁷。このため、70年の歳月をかけ、1兆円を投入しても作業が完了するとは限らないと言われている⁹⁸。

5. 今後の法的課題

原子力発電に使われた核燃料の放射能の濃度は、使用前の約1億倍に増える。ガラス固化体にした時点で、少し放射能の濃度は下がるが、シールドが施されていなければ人が近づけば約20秒で死亡すると言われるほど危険なものである。元のウラン鉱石のレベルまで濃度を下げるには10万年もの歳月を要する。高レベル放射性廃棄物は、ガラス固化体として、鋼鉄製の容器などで覆われ岩盤の中に埋められるが、年月とともに容器の腐食が進み、放射性物質が漏れ出すまで1000年かかるとしている。その後、地下水によって流出する危険があるが、地表に到達するためには数万年かかるとされる。

2012年に日本学術会議⁹⁹が原子力委員会に提出した報告書¹⁰⁰では、地層処分は地震や火山の多い日本のような国ではリスクが高くかつ困難であり、高レベル放射性廃棄物の地層処分の方針は白紙に戻すべきであるとした¹⁰¹。また、日本学術会議は、2015年に「高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策提言―国民的合意形成に向けた暫定保管」¹⁰²という提言を発表している。日本学術会議は、著名な専門家・学者の集団であり、報告書や提言を真摯に受け止めるべきであろう。もし、これらを見做すならば、最初から地層処分ありきの政策であり、最終処分法は科学的根拠を欠いたものと言わざるを得ない。

放射性廃棄物の問題については、1960年代から放置されたままの状態が続き、原子力発電所の敷地内での保管が限界に達し、溢れそうになったので、2000年に最終処分法が成立したという経緯から考えると、放射性廃棄物の最終処分に対する国の政策は杜撰であると言わざるを得ないであろう。特に、日本学術会議が指摘しているように、十分な安全性の検証ができていないまま、地層処分を行うことのリスクを多数の専門家を交えて、徹底的に再検討すべきである¹⁰³。

また、最終処分法には放射性廃棄物についての総量規制に関する規定がない。2012年時点で、日本の原発から出された使用済み核燃料は、すでに青森県六ヶ所村で一時保管できる量の8倍に達している。現時点では、多くの使用済み核燃料が保管されている。原子力発電所を運転するには、必ず使用済み核燃料が出ることが分かっているが、総量についての規制がまったくなく、ただひたすら使用済み核燃料が増え続け、さらにその最終処分場も決まらないという不安定な状態が続いている。原子力発電政策を採り続けるならば、少なくとも、総量規制として、高レベル放射性廃棄物の上限を法規制として決めるべきであろう。さもなければ、最終処分場もなく行き場のない高レベル放射性廃棄物が無制限に増え続けることになる。この現状を放置することは、余りにも無責任と言わざるを得ない。

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に関して、2011年11月に、政府と東京電力が「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けたロードマップ」(中長期ロードマップ)を策定した。東京電力福島第一原子力発電所は、事故により、原子炉圧力容

器内の核燃料が溶け落ち、それともなって水素が発生し、その水素により水素爆発が発生した。現在、1号機～3号機の原子炉格納容器内には、融解して周りの構造物とともに固化した燃料（燃料デブリ）が残されている。ひたすら増え続けている汚染水や廃棄物などについても考える必要がある¹⁰⁴。

2017年9月26日には、4回目となる中長期ロードマップが改正された¹⁰⁵。中長期ロードマップによると、全体を3期に分けている。第1期は、2011年12月から2013年11月までの期間で、使用済み核燃料プール取り出しまでの期間である、これはすでに完了している。第2期は、2013年11月から2021年12月までの期間で、燃料デブリ取出しが開始されるまでの期間である。現在、第2期中である。第3期は、2021年12月から30年から40年かかると予想されているが¹⁰⁶、いつ完了するかは明確ではない。

廃炉が難しいのは、高い放射性物質濃度によって、人が立ち入って作業することが困難な状態にあり、内部の状況を正確かつ詳細に把握することが難しいためである。そのため、炉内状況に応じたロボットの開発が必要である。ただし、高放射線内の作業であるので耐久性の問題が大きい。また、原子炉格納容器内部が分からないので、どう作業してよいか分からない。そのため、宇宙線ミュオン¹⁰⁷を使って原子炉内部を透視し調査することも必要である。ミュオンを使えば、レントゲンのように炉内を透視することができ、燃料が炉心部のどの辺にあるかななどを調べることができる¹⁰⁸。このように、廃炉に関する技術は依然として確立されておらず、試行錯誤の状態が続いているのが現状である。原子炉格納容器内で溶け落ちた燃料デブリの取出しは、廃炉作業最大の難関で、現時点では取り出しの工法も決まっていない。

2016年12月9日、経済産業省が、東京電力福島第一原子力発電所の廃炉にかかる費用や賠償費用の総額が21兆5,000億円に上ると発表した。3年前の2013年時点での総額が11兆円だったので、3年間で倍増したことになる。東京電力で払いきれぬ金額ではないため、国が一時立て替え払いをしている。これらはすべて税金であり、国民に負担が重くのしかかってきている。総額21兆5,000億円のうち、廃炉にかかる費用は、8兆円と試算されている。日本経済研究センター（JCER）は、50～70兆円かかると試算している。燃料デブリの取出しが難航すれば、さらに費用が膨れ上がるであろう¹⁰⁹。

原子力発電所の建設が続いた理由は、火力発電所のように二酸化炭素を排出せず、安価でクリーンなエネルギーが確保できると考えられていたためである。しかし、東京電力福島第一原子力発電所の事故の後、各種の検証が進められた結果、原子力発電所は必ずしも安価でクリーンなエネルギー源ではないことが分かった。それどころか、人体に非常に危険な放射性物質を未だ十分に管理することができず、技術的にも未熟であり、その管理には莫大な費用がかかることが分かった。すなわち、原子力発電所がクリーンで安価なエネルギー源であるという大前提が一挙に崩れた形となった。

現時点での原子力発電所の問題点を整理すると、以下のようになる。

① 原子力に関する技術は未だに確立したものではない。

原子力発電という、人体に対して極めて危険なものを扱っているにも拘わらず、この技術は未熟なものである。特に、廃炉、最終処分に関する技術は、試行錯誤が続いている。

- ② 原子炉等規制法、最終処分法は科学的根拠を欠いたものである。

人体に対して極めて危険である原子炉や高レベル放射性廃棄物の処理の法律であるにも拘わらず、原子炉等規制法の原子炉の40年ルールや最終処分法の地層処分の規定は、科学的根拠が薄い。

- ③ 2050年までに、現在の原子力発電所は廃炉を余儀なくされる。

原子炉の寿命40年ルールにより、20年延長したとしても、2050年までに現在の原子力発電所は廃炉の時期を迎える。

- ④ 廃炉に関しては、莫大な費用と膨大な年月がかかる。

少なく見積もっても、数十兆円という莫大な廃炉の費用がかかり、これらは国民が支払う電気料金に上乗せされてくる。また数十年という膨大な年月がかかる。

- ⑤ 最終処分場が未だに決まっていない。

最終処分法で、放射性廃棄物を地中に埋設するという処分方法が決まったものの、最終処分場は未だ決まらず、放射性廃棄物は保管されたままの状態にあり、日々増え続けている。

原子力発電政策を推進するためには、これらの問題を予測・解決する必要があるが、そう簡単には解決できない問題が多く、また廃炉や最終処分など後戻りできない問題を抱えている。これらの問題の多くは、原子力発電所政策を策定する段階から、ある程度解決しておかなければならなかったものが、多くが先送りされたため、このように問題が多くなったと思われる。

特に、原子炉等規制法や最終処分法の規定は、人体に対して極めて危険である原子炉や高レベル放射性廃棄物の処理の法律であるにも拘わらず、科学的根拠が曖昧であることは、法律の立法方法として、後の世に大きな禍根を残す問題であり、杜撰な立法であったと言わざるを得ない。

例えば、原子炉等規制法で規定する原子炉の寿命40年ルールについては、古い原子炉ほど寿命が短いため、個別に厳格な脆性試験を行うことが重要であり、明確な基準を示したガイドライン等を含めた法整備の充実も必要であろう。

また、最終処分法による高レベル放射性廃棄物の地層処分については、日本学術会議のような、わが国で最も権威のある報告を重視し、専門家の意見を真摯に受け、その報告を十分に吟味する必要があるのではないだろうか。科学技術に関する法律を制定するに際しては、専門家の意見を無視した政策を採り続けるようなことは、絶対にあってはならないことであろう。

6. 結びにかえて

原子力発電は、二酸化炭素を排出せずクリーンで安価なエネルギー源であるという神話は、すでに崩れた。今では「トイレのないマンション」として、国民全体にとって危険なものであり、また負担の大きい高額な買い物となった。このようなジレンマに陥った最大の理由は、十分な科学技術の検証・調査もせずに、見切り発車したような形で原子力発電政策を推進し、杜撰な法律を成立させたことにある。

原子炉等規制法では、原子炉の寿命も考慮せずに成立させただけでなく、廃炉の技術が不完全であるにも拘わらず、廃炉についての規定を置いている。また、最終処分法では、日本学術会議が地層処分について警鐘を鳴らしているにも拘わらず、地震や火山の自然災害が多く国土の狭い

わが国で地層処分を採用した。そのため、最終処分場が未だ決まらず実効性を欠いたものとなっている。

このように、原子力発電所の廃炉と放射性廃棄物の処理は、科学的根拠を欠いた政策と、関連する法律による問題が多だけでなく、原子力発電政策の継続に大きな疑問を投げかけるものである。原子力発電政策を止めれば、今まで培ってきた原子力関連技術の衰退を招くという議論もあるが、研究だけでなく実験用原子炉だけで十分であろう。

太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーがベースロード電源¹¹⁰となれば、いずれ原子力発電は、その役目を終える。再生可能エネルギーを加速させるためにも、危険で高額な原子力発電政策を中止し、その分の時間・労力、コストを再生可能エネルギー推進政策に回した方が良いのではないだろうか。

*本研究は、平成30年度科学研究費（16K13333）の研究成果の一部である。

-
- 1 高田寛「2030エネルギーミックスにおける政策及び法的課題—再生可能エネルギー及び原子力発電を中心に—」企業法学研究2018 7巻2号15頁<<http://www.jabl.org/denshifile2018.html>> (as of Apr 1, 2019)。
 - 2 原子炉だけでなく、核物質全般の取扱いを規制する法律。原子力施設における事故の発生や規制体制の改革等を受けて、今までに約30回を超える改正が行われている。
 - 3 Nuclear Regulation Authority (NRA). 原子力規制委員会設置法に基づいて設置された環境省の外局。
 - 4 原子炉等規制法43条の3の32。
 - 5 原子炉等規制法にいう原子炉の寿命が40年であるという科学的根拠は、原子炉内の圧力容器の耐用年数の実験などの種々の実験から一般に妥当とされている。同じ40年ルールを使用している国としては米国がある。米国は、わが国同様20年の延長を認めている。ドイツは32年、フランスは60年、ベルギーは50年と国によって異なる (Global Energy Policy Research <<http://www.gepr.org/ja/contents/20150323-03/>> (as of Apr 1, 2019))。
 - 6 高田・前掲注(1) 13頁。
 - 7 使用済み核燃料を炉心から取出した後、原子炉設置許可を失効させるに至る過程をいう。
 - 8 核燃料物質及び核燃料物質によって汚染された物で廃棄しようとするものをいう (実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則2条2項2号)。
 - 9 ある期間原子炉内で使用したのちに取り出した核燃料をいう。
 - 10 原子力発電により発生する使用済み核燃料をリサイクル (再処理) する過程で発生する、高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体) 等の最終処分 (地層処分) 事業を行なう事業者<https://www.numo.or.jp/about_numo/> (as of Apr 1, 2019)。
 - 11 高田・前掲注(1) 17頁。
 - 12 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (JAEA) の東海研究センター核燃料サイクル工学研究所に属する、わが国で最初の核燃料の再処理工場。
 - 13 毎日新聞電子版 (2018年6月14日) <<https://mainichi.jp/articles/20180614/ddm/002/040/039000c>> (as of Apr 1, 2019)。
 - 14 J-POWER電源開発HP「原子力発電のしくみと種類」<http://www.jpowers.co.jp/bs/field/gensiryoku/atomic/mechanism/mechanism_and_kind/index.html> (as of Apr 1, 2019)。

論説

- 15 J-POWER電源開発・前掲注(14)。
- 16 J-POWER電源開発・前掲注(14)。
- 17 日本原子力財団HP「原子力総合パンフレットWeb版」<<https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-02-04.html>> (as of Apr 1, 2019)。
- 18 茨城県那珂郡東海村。
- 19 核分裂連鎖反応において、1回の核分裂の結果放出された中性子がちょうど平均1回の核分裂を引き起こして、毎秒起こる核分裂の回数が時間とともに変わらない状態をいう。
- 20 高田・前掲注(1) 15頁。
- 21 キロワット。電力量の単位。基本単位であるW（ワット）の1,000倍の電力量。発電設備の定格出力等は基本的にkWで記載される。
- 22 福井県敦賀市にある日本原子力研究開発機構の原子力発電所<<https://www.jaea.go.jp/04/fugen/>> (as of Apr 1, 2019)。
- 23 福井県敦賀市にある日本原子力研究開発機構の高速増殖炉であり、商業用原子炉とは異なる。冷却用ナトリウム漏れ事故等のトラブルにより、ほとんどの期間は運転停止状態であった<https://www.jaea.go.jp/04/turuga/monju_site/> (as of Apr 1, 2019)。
- 24 日本経済新聞電子版(2016年12月21日)<https://www.nikkei.com/article/DGXLASGG21H6O_R21C16A2MM8000/> (as of Apr 1, 2019)。
- 25 日本原子力発電株式会社。
- 26 原子炉等規制法43条の3の11条1項。
- 27 原子炉等規制法43条の3の32条1項。
- 28 原子炉等規制法43条の3の32条2・3項。
- 29 正式には「実用発電用原子炉の規制に関する原子力規制委員会規則」という<http://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/kettei/02/02_01_jitsuyoro_kisoku.html#jituyou_kisei_kisoku> (as of Apr 1, 2019)。
- 30 原子炉等規制法43条の3の32条4・5項。20年延長の例外については、原子炉設置者から延長の申請があった場合に、①施設自体の経年劣化、②運転期間中に的確に原子炉施設の保全を遂行する技術的能力、を審査し、問題がないものに限り一定期間の運転延長を承認する(宮野廣「原子炉の寿命問題」(資料8)第一回福島第一原子力発電所事故に関するセミナー(平成24年2月7日開催)<<http://www.aesj.or.jp/~safety/H240130siryou8.pdf>> (as of Apr 1, 2019))。
- 31 昭和53年通産省令第77号<http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=353M50000400077_20180608_430M600800000006&openerCode=1> (as of Apr 1, 2019)。
- 32 2018年6月にも改正が行われている。
- 33 原子力規制委員会HP「廃止措置段階の安全規制 関連内規」<<http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/reactor/haishi/haishi5.html>> (as of Apr 1, 2019)。
- 34 Global Energy Policy Research (GEPR)「おかしな原発廃炉40年ルール—科学的根拠なし」(2015年3月23日)<<http://www.gepr.org/ja/contents/20150323-03/>> (as of Apr 1, 2019)。
- 35 2012年6月18日、参議院環境委員会において法案提出者の自民党・田中和徳議員の答弁(Global Energy Policy Research (GEPR)「おかしな原発廃炉40年ルール—科学的根拠なし」(2015年3月23日)<<http://www.gepr.org/ja/contents/20150323-03/>> (as of Apr 1, 2019))。
- 36 Global Energy Policy Research (GEPR)・前掲注(34)。
- 37 <https://www.nrc.gov/> (as of Apr 1, 2019)。
- 38 原子力規制委員会の検査に合格し認可を受けた日から起算して40年を経過する日。

- 39 期限から20年を経過する日。
- 40 原子力基本法に基づき、国の原子力政策を計画的に行うことを目的として1956年1月1日に総理府の附属機関（のち審議会等）として設置された（Atomic Energy Commission：AEC）。
- 41 内閣府原子力委員会HP「これまでの原子力長期計画」（平成12年11月24日）3章4節4-2（原子力施設の廃止措置）<<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/siryu/houkoku2/tyoki1122.pdf>>（as of Apr 1, 2019）。
- 42 原子炉の廃止措置の方法は、国によって異なる。フランスとドイツでは、原子炉の即時解体方式を採用している。
- 43 経済産業省編『エネルギー白書2018』（経済産業調査会、2018年）165頁。カナダでは、原子炉を解体撤去という方法は採らず、長期間密閉したままの状態に放射線が少なくなるという方法を採用している。この方法は安全性が高いが、わが国のように国土が狭い国には向かない（高田・前掲注(1) 27頁（注106））。
- 44 原子炉の経年劣化に関する研究としては、柴田晃「原子炉材料の炉内における劣化現象に関する研究」JAEA-Review 2017-035、2017年に詳しい<<https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAEA-Review-2017-035.pdf>>（as of Apr 1, 2019）。
- 45 福島第一原子力発電所1号機（1971年）は0.23%、美浜発電所1号機（1970年）、高浜原子力発電所1号機（1974年）、島根原子力発電所1号機（1974年）は0.16%、玄海原子力発電所1号機（1975年）は0.12%の銅が混入している。なおカッコ内は、運転開始年である<http://www.oshietegensan.com/atomic/atomic_c/1573/>（as of Apr 1, 2019）。
- 46 泊原子力発電所3号機（2009年）は0.04%、玄海原子力発電所3号機（1994年）は0.018%、柏崎刈羽原子力発電所5号機（1990年）は0.01%である。なおカッコ内は、運転開始年である<http://www.oshietegensan.com/atomic/atomic_c/1573/>（as of Apr 1, 2019）。
- 47 山口幸夫「深まる原子炉圧力容器鋼のナゾー現状では劣化の予測ができないー」原子力資料情報通信388号（2006年）<<http://www.cnic.jp/424>>（as of Apr 1, 2019）。
- 48 保安検査とは、原子炉施設の運転に関し、保安のために必要な事項を定めた保安規定の遵守状況について、定期的に行う検査のことをいう。
- 49 原子力規制委員会HP「高経年化対策概要・定期安全レビュー及び高経年化対策」<http://www.nsr.go.jp/activity/regulation/reactor/untent/untent3_1.html>（as of Apr 1, 2019）。
- 50 総合資源エネルギー調査会「原子力安全・保全部会廃止措置安全小委員会報告書」（2001年8月2日）
- 51 毎日新聞朝刊（2013年8月19日）記事。
- 52 SIGHTLINE UO HP, “Trawsfynydd nuclear power station set to be reopened”, June 28, 2018, <<https://sightlineuo.com/2018/06/trawsfynydd-nuclear-power-station-set-to-be-reopened/>>（as of Feb 21, 2019）。
- 53 朝日新聞朝刊（2002年3月31日）記事。
- 54 THE SANKEI NEWS HP（2019年2月13日電子版）<<https://www.sankei.com/economy/news/190213/ecn1902130045-n1.html>>（as of Feb 21, 2019）。
- 55 公益社団法人日本経済研究センター（Japan Center of Economic Research：JCER）<<https://www.jcer.or.jp/>>（as of Feb 21, 2019）。
- 56 SankeiBiz「原発事故処理、総額70兆円 民間のシンクタンク試算、政府の3倍」（2017年4月4日）<<https://www.sankeibiz.jp/macro/news/170404/mca1704040500005-n1.htm>>（as of Feb 21, 2019）。
- 57 原子力発電所の建設費用は、100kW規模の原子力発電所の場合、1基あたり3,000～5,000億円である。

論説

- 58 資源エネルギー庁HP「原発のコストを考える」(2017-10-31) <<http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/nuclear/nuclearcost.html>> (as of Feb 21, 2019)。
- 59 原子力発電所のコストの資料としては、総合資源エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ(第三回会合資料「原子力発電」(2011年) <http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/003/pdf/003_05.pdf> (as of Feb 21, 2019)、竹濱朝美「東京電力の料金原価に基づく原子力発電の費用」立命館産業社会論集48巻3号(2012年) <http://www.ritsumei.ac.jp/ss/sansharonshu/assets/file/2012/48-3_02-03.pdf> (as of Feb 21, 2019) などがある。
- 60 フクナワ(沖縄タイムズ・福井新聞)HP「原発維持費1兆4000億円 稼働ゼロの14年度・電力9社」(2015年8月18日電子版) <<http://fukunawa.com/fukui/2145.html>> (as of Feb 21, 2019)。
- 61 NHK NEWS WEB(2019年2月13日) <<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20190213/k10011813251000.html>> (as of Apr 1, 2019)。
- 62 井野博満「原発材料はいかに老朽化しているか」原子力資料情報室公開研究会(2007年1月26日)1頁 <<http://www.cnrc.jp/files/lec/20070126INO.pdf>> (as of Apr 1, 2019)。
- 63 電気事業連合会HP「東京電力の一連の不正問題」 <<http://www.fepc.or.jp/nuclear/safety/past/tokyodenryoku/>> (as of Apr 1, 2019)。
- 64 厳密には、放射性廃棄物は、原子炉等規制法で定義される放射性廃棄物(核燃料廃棄物)と、それ以外の放射性廃棄物(RI)廃棄物に大別されていたが、2011年3月11日に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故後、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」(放射性物質汚染対処特措法)により、特定廃棄物(指定廃棄物と対策地域内廃棄物からなる。)という新たな放射性廃棄物が指定された。
- 65 昭和45年12月25日法律第137号。
- 66 使用済み燃料を再処理してウラン235とプルトニウム239を回収した後に、核分裂生成物を主成分とする放射能の高い廃液。原子力発電所で発生した後、高レベル放射性廃棄物として、再処理施設に移送される。1時間当たり1万ミリシーベルトの放射線を直接被ばくすると、人間は直ちに死亡する。
- 67 電気事業連合会HP「放射性廃棄物の処理・処分」 <<http://www.fepc.or.jp/nuclear/haikibutsu/>> (as of Apr 1, 2019)。
- 68 直径約40センチ、高さ約1.3メートルの容器。高レベル放射性廃棄物をガラス原料とともに高温で溶かし、ステンレス製の容器(キャニスター)の中で、ゆっくり固めガラス固化体とする。
- 69 使用済みの放射性物質及び放射性物質で汚染されたもので、以後の使用の予定がなく廃棄されるものをいう。
- 70 使用済み燃料の再処理後に残存する物を固型化した物(ガラス固化体)であり、いわゆる高レベル放射性廃棄物である。
- 71 最終処分対象となるTRU廃棄物。
- 72 最終処分法2条8項。
- 73 最終処分法2条9項。
- 74 環境省放射性物質汚染廃棄物処理情報サイト「放射線の種類と特徴」 <http://shiteihaiki.env.go.jp/radiological_contaminated_waste/basic_knowledge/types_and_features.html> (as of Apr 1, 2019)。
- 75 専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う民間の国際学術組織である <<http://www.irpa.net/page.asp?id=54502>> (as of Apr 1, 2019)。

- 76 安心科学アカデミーHP「放射線の健康レベルと危険度」<http://anshin-kagaku.news.cocacn.jp/anshin_level.html> (as of Apr 1, 2019)。
- 77 石黒勝彦「高レベル放射性廃棄物の地層評価について」(2013年2月17日) 3頁<http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/sohoko/2012/doc/20130217_ishiguro.pdf> (as of Apr 1, 2019)
- 78 このため、以前から原子力発電所は「トイレのないマンション」と言われてきた。高田・前掲注(1) 27頁(注92)。
- 79 経済産業省・前掲注(42) 162頁。高田・前掲注(1) 14頁。
- 80 1年間に受ける放射線の量が、1ミリレム(10マイクロシーベルト)以下であれば、クリアランス対象となる。この放射線の量は、自然界から受ける放射線の量の100分の1以下である。高田・前掲注(1) 16~17頁。
- 81 110万kW級の沸騰水型原子炉(BRW)の場合、発生する廃棄物の総量は約53.6万トンであり、このうち、放射性廃棄物でない廃棄物(大半がコンクリート廃棄物)が約93%を占める。またクリアランス対象物(金属、コンクリート廃棄物)が約5%、残りの放射性廃棄物(金属廃棄物)が約2%である。高田・前掲注(1) 28頁(注108)。
- 82 電気事業連合会HP「クリアランスの安全性」<<https://www.fepc.or.jp/nuclear/haishisochi/clearance/safety/index.html>> (as of Apr 1, 2019)。
- 83 日本原子力発電株式会社HP<<http://www.japc.co.jp/project/cycle/chisoushobun.html>>(as of Apr 1, 2019)。日本原子力発電環境整備機構(NUMO)HP「Q 地層処分とは何ですか」(<https://www.numo.or.jp/q_and_a/faq/faq100069.html>) (as of Apr 1, 2019)。
- 84 日本原子力発電株式会社・前掲注(82)。
- 85 資源エネルギー庁「諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について(2018年度版)」<<http://www2.rwmc.or.jp/publications:hlwkj2018>> (as of Apr 1, 2019)。
- 86 資源エネルギー庁HP「放射性廃棄物」<http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/hlw/hlw01.html#h05> (as of Apr 1, 2019)。
- 87 資源エネルギー庁HP「科学的特性マップ」<http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/maps/kagakutekitokuseimap.pdf> (as of Apr 1, 2019)。
- 88 資源エネルギー庁・前掲注(85)。
- 89 高田・前掲注(1) 15頁。
- 90 <https://www.youtube.com/watch?v=5axeW9Gmf4E> (as of Apr 1, 2019) .
- 91 石黒・前掲注(76) 4頁。
- 92 経済産業省・前掲注(42) 162頁。
- 93 高田・前掲注(1) 14頁。
- 94 経済産業省・前掲注(42) 62頁。ただし、いわゆる地層処分の最終処分場ではなく、当地に保管されているのが現状である。
- 95 資源エネルギー庁「特定放射性廃棄物の最終処分費用及び拠出金単価の改定について」(2016年1月8日) 2頁<<http://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000138236>> (as of Apr 1, 2019)。
- 96 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)の東海研究センター核燃料サイクル工学研究所に属する、わが国で最初の核燃料の再処理工場。
- 97 原子力機構の児玉理事長は、東海原子力再処理施設の廃止措置について、「楽観視はしていない。何

論説

- が起るかわからない」と困難な問題であるとの認識を示した（ANNニュース（2017年1月11日）<<https://www.youtube.com/watch?v=vcS3ZaSHDB8>>（as of Apr 1, 2019））。
- 98 ANNニュース（2018年6月13日）<<https://www.youtube.com/watch?v=9JdD2jIbSGI>>（as of Jan 22, 2019）。高田・前掲注(1) 17頁。
- 99 科学が文化国家の基礎であるという確信の下、行政、産業及び国民生活に科学を反映、浸透させることを目的として、昭和24年（1949年）1月、内閣総理大臣の所轄の下、政府から独立して職務を行う「特別の機関」として設立された。
- 100 日本学術会議「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」（平成24年（2012年）9月11日）<<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-k159-1.pdf>>（as of Apr 1, 2019）。
- 101 NHKクロズアップ現代プラス「10万年の安全は守れるか～行き場なき高レベル放射性廃棄物～」(2012年12月1日放送) <<http://www.nhk.or.jp/gendai/articles/3254/1.html>>（as of Apr 1, 2019）。
- 102 日本学術会議「(提言) 高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策提言—国民的合意形成に向けた暫定保管」<<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t212-1-abstract.pdf>>（as of Apr 1, 2019）。
- 103 日本学術会議「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」（2012年9月11日）19頁<<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-k159-1.pdf>>（as of Apr 1, 2019）。
- 104 資源エネルギー庁HP「福島第一原発廃炉に向けたロードマップ：燃料デブリの取り出しの今」<<http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/fukushima/roadmap.html>>（as of Apr 1, 2019）。
- 105 資源エネルギー庁「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」<<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/20171003.pdf>>（as of Apr 1, 2019）。
- 107 ミュー粒子。素粒子の一種であり、素粒子標準模型における第二世代の荷電レプトンである。
- 108 資源エネルギー庁・前掲注(103)。
- 109 THE SANKEI NEWS HP・前掲注(53)。
- 110 一定量の電力を安定的に供給できる電源。