

## 原子力施設の廃止措置の現状と課題

佐藤忠道\*1

福島第一の事故後においても、エネルギーセキュリティと地球温暖化防止の観点から世界的に原子力の有用性が評価されてきている。とりわけ、新興国が原子力発電の導入に向け積極的な姿勢を示してきている。今後の原子力発電プラントの廃止措置の見通しは、各国のエネルギー政策によって異なるが、世界の趨勢としては、現在運転中のプラントの高経年化対策を計画的に行い運転年数をできるだけ延伸する方向性にある。廃止措置のピークを迎えるのは2020～30年代あたりと想定される。現在運転中の原子力発電プラントに研究施設や核燃料サイクル施設などが加われば、世界全体で相当数の廃止措置が必要になる。それまでの間に、廃止措置の経験を積み重ね合理的な方法を確立していくことが重要である。プラントライフは、計画、設計、建設、運転、高経年化対策、そして廃止措置、さらにその後は、跡地とインフラを活用した新たなプロジェクトの始まりへと繋がる。廃止措置は終わりと同時に始まりを生み出す。21世紀の新しい産業として成長、成熟していく。わが国の原子力施設の廃止措置の現状と課題を紹介する。

**Keywords:** 原子炉施設の廃止措置（デコミッションング）、即時解体方式、遅延解体方式、廃止措置費用

### 1 廃止措置とは

原子力施設の廃止措置（デコミッションング）とは、法的には、役割を終えた原子力施設からそこに課せられている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、施設又は土地を再利用できるようにすることである。原子力施設は操業を終えても施設内に放射性物質が残存する。廃止措置段階でも放射線管理と放射性廃棄物管理が必要となり、一般の産業施設とは大きく異なり多くの労力、時間、費用を要する。

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、これを確実にやり遂げて初めて完結となる。建設、運転、廃止、各段階での施設の状態や仕事の性格・内容が異なり、廃止措置は、わが国においてこれから確立・熟達していかなければならない重要な分野である。

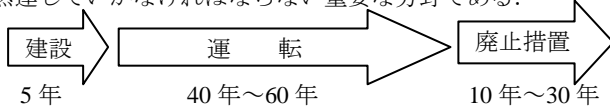


図1 原子力発電所の標準的なプラントライフ

### 2 国内外の最近の廃炉の動向

現在（2015年10月30日時点）、世界全体で19カ国156基の発電用原子炉が閉鎖しており、このうち17基が廃止措置を完了し139基が廃止措置中である。主要な国として、米国が33基閉鎖・12基完了、英国が29基閉鎖・完了なし、ドイツが28基閉鎖・3基完了、フランスが12基閉鎖・完了なしとなっている。日本では16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]。

発電用原子炉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]。

- 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, 1F 1,2,3,4
- 政治的要因：  
イタリア, ドイツ, スウェーデン, 1F 5,6 等  
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。

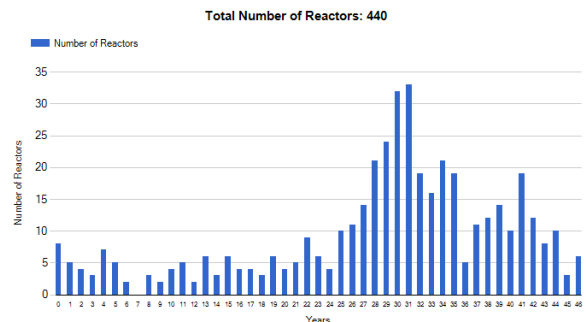


図2 世界の運転中発電用原子炉の運転年数[3] IAEA PRIS より

廃止措置の進め方は、国毎、プラント毎で異なっているが、IAEAは廃止措置の方式を3つに分類している[4]。

#### —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・構築物及び系統・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」の組合せが、様々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、廃止措置の方式とは見なされず計画的に

Decommissioning in Japan: Overview and challenges for the future by Tadamichi SATOH (satoh-sg@decomiken.org)

\*1 原子力デコミッションング研究会 事務局長

Assosiation for Nuclear Decommissioning Study (ANDES)

〒102-0073 東京都千代田区九段北4-1-31 吉田ビル401

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会2015年度週末基礎講座における講演内容に加筆したものである。

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。

米国は、原則として60年以内に廃止措置を完了させることを義務付けており、即時解体方式、遅延解体方式が、それぞれ同程度採用され、既に12プラントで廃止措置を完了している。一方、英国は、長期安全貯蔵後の遅延解体方式を方針としている。従来、原子炉領域の解体を恒久停止後135年後に行うとしていたが、今は80年後からと変更している。2005年、全施設の廃止措置や廃棄物の処分に責任を持つ組織NDA(Nuclear Decommissioning Authority)を発足させている。フランスも、従来、約40～50年間後に解体撤去を実施する、長期の安全貯蔵を基本戦略としていた。フランス電力庁(EDF)は、廃止措置・廃棄物関連業務を1箇所に集中する組織を作り、2001年に戦略を変更し、2026年までを目標に全発電所の廃止措置を完了することとした。現在、処分場の遅れで当初計画を10年延長している。ドイツは、即時解体が主流であり、3プラントが廃止措置を完了している。福島第一事故の後、2011年7月に連邦政府は、全発電炉を2022年までに段階的に閉鎖することを決定している。

### 3 日本の廃止措置への取組み

＜わが国の廃止措置の方針＞

わが国において廃止措置の検討が始められたのは1980年代あたり、JPDRが運転を終了して廃止措置の準備を行っており、東海発電所が運転20年を迎えつつある時期からである。

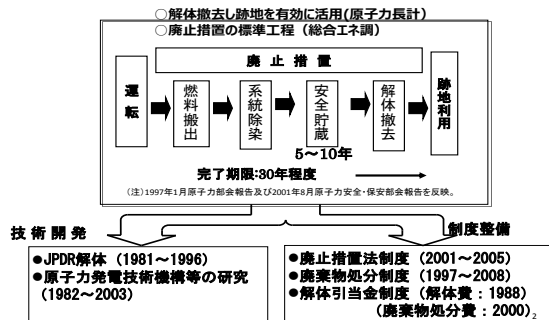


図3 日本の商業用原子炉廃止措置への取組み

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[5]。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[6]。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みれば短期なものとなっている。

標準工程は、通常の状態で寿命を全うした原子力発電所を対象にしたものであり、福島第一のような大事故プラン

トにはそのまま適用することはできない。

＜技術の開発、実証＞

上述の標準工程の検討作業と同時に廃止措置の技術の技術開発と制度整備の必要性が認識され、国のプロジェクトとしてJPDRの実地解体試験と旧(財)原子力発電技術機構(NUPEC)による商業用原子力発電所の廃止措置を対象とした技術の確証試験が進められた。JPDRの解体実地試験(1986年～1996年)[7]では、当時の技術を使って必要な技術開発をしつつ全ての原子炉施設を解体撤去して更地にするまでの全プロセスを実地で実証することができ、技術の実証とともに貴重な運用上の経験が蓄積され、ここでの知見がその後の廃止措置に活かされてきている。NUPECの確証試験(1982年～2003年)[8]では、厚く堅牢な鋼材やコンクリートの切断・撤去技術、遠隔操作技術、汚染除去技術、放射線計測技術など多くの技術について商業用原子力発電所の廃止措置への適用性の確証試験が行われ多くの有用な技術データが蓄積された。この2つのプロジェクトから数多くの成果が生み出され廃止措置を実施するうえで必要となる技術に困難性はなくなり、今やこれら技術をいかに上手く組み合わせる適用していくかの段階になっている。実際の廃止措置対象プラントの現場状況を仔細に把握することと、それに合わせた総合的なプロジェクトマネジメントがプロジェクト成功の要である。

＜必要な制度整備～まずは費用＞

技術開発と同時に廃止措置に必要なインフラとして制度整備があり、法制度、廃棄物処分制度、費用制度の3つの制度整備が国により段階的に進められた。先立つものはお金、費用制度が早い段階から始められた。

廃止措置は発電所が運転を終了し電気を生み出さなくなって以降、長期間多額の費用が費やされる。費用負担の世代間公平の原則から廃止措置費用は発電に必要な費用として、運転中から料金に含めることにより確保し、運転終了後に備える制度として解体引当金制度が平成元年に創設され、電力会社は全ての原子力発電所を対象として毎年一定額の引当を行ってきている。この引当額の算定ベースになるのが総見積額であり、解体工事費と廃棄物処理処分費の合計額は下表の通りである[9]。

表1 日本の発電用原子炉の廃止措置費用の総見積額

| 規模                   | 廃止措置費用    |
|----------------------|-----------|
| 小型炉(50万kW級)          | 350～476億円 |
| 中型炉(80万kW級)          | 434～604億円 |
| 大型炉(110万kW級～138万kW級) | 558～834億円 |

＜廃止措置に相応しい安全規制＞

廃止措置段階の原子力発電所は原子炉から燃料が取出されてしまえば、もはや核反応は起きないし系統内に放射性の高温、高圧の流体が循環することもない。運転段階的のを当てて整備されてきた安全規制の枠組みは廃止措置段階には過剰なものとなってしまうかねない。当初の原子炉等

規制法には廃止措置については原子炉解体前の届出が規定されているだけであった。JPDRが廃止措置を始める際に、その安全確保のあり方が整理されたが、法令改正までは行われずに行政文書の発出により規制運用が行われるに留まった。その後、東海発電所の廃止措置が開始され具体的な廃止措置活動が進むにつれ運転中を対象とした規定の適用に不都合な点が顕在化してきた。国は、廃止措置の現場の実情を踏まえて、より廃止措置に相応しい安全規制の方法の検討[10]を行い、2005年に手続きを届出制から認可制に変更し認可基準を明確にするとともに、運転中のみ適用すればよい規定は解除あるいは緩和することとした。

＜廃棄物の分別による合理的処分＞

もう1つの無くてはならない制度整備は廃棄物処分制度である。もちろん運転中に発生する廃棄物の処分に必要な制度は整備済みであったが、廃止措置では放射能レベルが10桁以上も大きく異なる様々な撤去物が運転中に比べて多量に発生する。放射能レベルに応じて円滑に処理処分できるように制度を予め整備しておかなくては、施設の解体撤去作業が滞ってしまいかねない。国の関係各機関は、東海発電所の廃止措置を機に廃止措置で発生する廃棄物の処分制度の整備に精力的に取り組んだ。放射能レベル毎に安全かつ合理的に処理処分ができるよう、放射能レベルに応じた放射能濃度限度、処分方策や技術基準が法令や指針の制改定により制定されてきた。これらの制度に基づき、廃止措置で発生する廃棄物の処理処分の計画立案や実運用が進められてきている。

|    |                           |
|----|---------------------------|
| L1 | ・ 余裕深度処分低レベル放射性廃棄物        |
| L2 | ・ 浅地中ピット処分対象物低レベル放射性廃棄物   |
| L3 | ・ 浅地中トリチウム処分対象物低レベル放射性廃棄物 |
| CL | ・ クリアランス対象物               |
| NB | ・ 放射性廃棄物でない廃棄物            |
| GN | ・ 管理区域外の廃棄物               |

図4 日本の廃棄物の分類

我が国では廃止措置を行う上で要の3つの制度が整備されているが、今後廃止措置の経験が蓄積されるに従って更により良い制度への改善が図られ、来るべき本格的な廃止措置時代に備えることが期待される。

#### 4 日本の廃止措置プロジェクト

わが国の本格的な大規模施設の廃止措置プロジェクトを以下に概括する。

商業用原子力発電所として初の廃止措置プロジェクトとなる日本原子力発電(株)・東海発電所の廃止措置が平成13年12月に開始され先駆けとしての役割を果たしてきている。その後、JAEAふげん発電所が平成20年、中部電力(株)浜岡原子力発電所1,2号機が平成21年に廃止措置を開始した。東京電力(株)福島第一原子力発電所1~4号機は平成24年に、5,6号機は平成26年に電気事業法上の廃止手続き実

施した。平成25年の規制強化後、加えて、5基(敦賀1, 美浜1,2, 島根1, 玄海1)が平成27年4月末までに廃止し、廃止措置計画を検討中である[1]。

個々のプロジェクトの詳細は、誌面の都合で省略する。

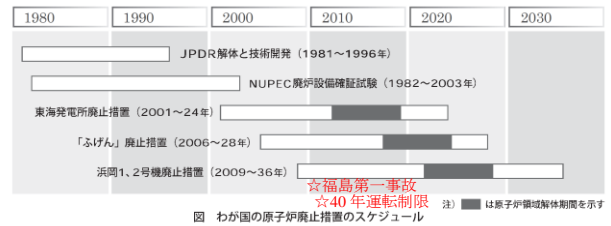


図5 日本の廃止措置プロジェクト ([11]に一部加筆)

#### 5 円滑な廃止措置実現への課題

廃止措置を円滑に進めるための要諦を以下に整理した。

- ・ 資金の確保 (Financial Resources)  
資金が不足してしまうとプロジェクトの遅延や先延ばしの事態にもなってしまう。
- ・ 廃棄物の行き先確保 (Waste Routes)  
撤去物の行き先(置場, 処理, 貯蔵, 処分)を確保すること。行き先が定まらなければ撤去工程が遅延するし廃止措置シナリオにも大きな影響を与える。
- ・ プロジェクト管理が重要 (Project Management)  
プロジェクト管理能力, 当該施設に関する知見, 廃止措置の技術スキルの3つの要素のバランスの良い組合せによる実施体制が理想。
- ・ 意識の転換 (Change Your Mindset)  
運転段階からの思考・発想の転換をすること。運転中のルールや考え方に拘ることが廃止措置を上手くやる発想を阻害することもある。
- ・ インセンティブ (Incentive)  
廃止措置は前向きな仕事。跡地の利用計画, リプレース計画, あるいは廃止措置技術の実証のようなインセンティブがあれば更に良い。
- ・ 全体最適化 (Total Optimization)  
解体~処理~輸送~処分 全体最適化を考える。
- ・ 事前調査を入念に (Characterization, Characterization, Characterization)  
事前調査はやればやるほど良い結果を生む。しっかりと現場把握は100のR&Dに匹敵する。
- ・ 現場主義 (hands-on approach / Combination of low-tech and high-tech)  
現場を重視し, 実績のある技術を上手く組み合わせる。実施者がR&Dをリードすべき(研究者との連携)。
- ・ 過剰規制の排除(Avoid Over-Regulation)  
不必要な規制負荷を避ける。過剰規制は作業者の意欲を削ぐなど結果として廃止措置の完了を遅らせる。

これらの内、現在、わが国で最も重要な課題は廃棄物の行き先が定まらないことである。

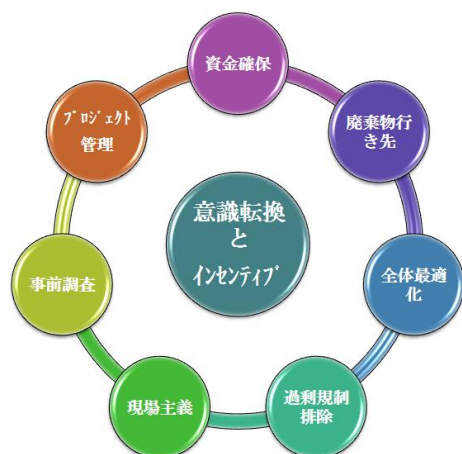


図6 廃止措置を円滑に進めるための要諦

L1 (余裕深度埋設) については、2012年9月に発足した原子力規制委員会の規制基準が未整備であり、現在策定作業が行われている。埋設施設の事業化も進んでいない状況にある。

L2 (浅地中ピット埋設) については、操業中の六ヶ所埋設センター施設では解体で発生するL2の受入は不可であり、次期埋設施設の事業化が必要な状況にある。

L3 (浅地中トレンチ埋設) については、JPDR 解体で発生したL3のJAEA 東海敷地内トレンチ埋設施設での実地埋設試験が行われ、この経験を踏まえて東海発電所の解体で発生するL3の敷地内トレンチ埋設が計画されている。

CL (クリアランス対象物) については、2005年の制度導入後、東海発電所の解体で発生した金属CL物での少量限定再利用に留まっている状況にあり、今後、多くの実績を積み重ねて社会の理解を深めていく必要がある。

いずれの廃棄物や撤去物も行き先が定まらなければ解体工程が遅延するし廃止措置シナリオにも大きな影響を及ぼしかねず、今後の関係者の一層の努力が期待される。

## 6 おわりに～「廃炉は楽しい仕事」

「閉鎖」「廃炉」「廃棄物」などの言葉から廃止措置には暗いイメージが付きまとうが、実際の廃止措置に係る人間はとても明るく仕事をしている。経験してみなければ実感できないであろうが、実は廃止措置は素晴らしく楽しい仕事である。実際に廃止措置に携わった国内外の人々もみな同じこと言っている。発電所の建設は組立図通りに造ればよいが、廃止措置は日々放射線への対応をしながら現場に即した工夫が必要でやりがいのある面白い仕事である。

未だ経験が少ない新たな分野であり、プロジェクト型の仕事で、その要諦は、徹頭徹尾エンジニアリング、画一的な方法はなく良いと思ったものを選択でき、仕事に自由度が大きく工夫がものを言い現場が尊重される。

廃止措置を終えた後の、跡地利用の夢のある将来計画に関与できるかもしれない。

今回の講座に参加されている方々に、私のお話が、廃止

措置の面白さを理解するのに少しでも役立つことができれば幸いである。

## 参考文献

- [1] 原子力デコミッショニング研究会：世界の廃止措置データベース  
<<http://www.decomiken.org/worlddb/index.html>>
- [2] World Nuclear Associate(WNA)：Information Library/Decommissioning Nuclear Facilities
- [3] IAEA: The Power Reactor Information System (PRIS)
- [4] IAEA: Safety Standards (GSR) Part6 Decommissioning of Facilities (2014).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] 日本原子力研究所 宮坂靖彦他：JPDR 解体実地試験の概要と成果，日本原子力学会誌 Vol.38, No.7 (1996).
- [8] 資源エネルギー庁：実用発電用原子炉廃炉設備確認試験／技術実証プロジェクト評価(事後)報告書(案)，軽水炉等改良技術確認試験等委託費技術評価検討会，平成16年4月(2004).
- [9] 資源エネルギー庁：原子力発電所の廃止措置を巡る会計制度の課題と論点，平成25年6月(2013).
- [10] 資源エネルギー庁：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(廃止措置規制のあり方について)，平成16年12月(2004).
- [11] 原子力デコミッショニング研究会：原子力施設の廃止措置とはなにか，月刊エネルギーレビュー (2010.5~2011.8).