

原発の廃炉・使用済燃料の課題について

全国保団連（2021年4月11日）

岩井 孝

日本科学者会議原子力問題研究委員会委員長

1. はじめに

福島第1原発事故機の廃炉が進められているが、非常に難航している。果たして、計画通りに進むのであろうか。

他の原発も廃炉が決定されたとしても、解体には長期間かかり、大量の放射性廃棄物が発生する。この放射性廃棄物の処分は難題である。

また、使用済燃料をどうするのかということも、これもまた難題である。

特にプルサーマル使用済燃料の問題は一層深刻である。

2. 福島第1原発事故機廃炉の問題

原発を含む原子力施設の後始末を、法制上は「廃止措置」という。

福島第1原発で運転中であった1～3号機は、炉心溶融物が圧力容器底を貫通という重大事故。いずれも格納容器の一部が破損しているので、圧力容器内に注水すると、格納容器に漏れ、建屋に漏れ出す。さらに、建屋地下構造物が損傷しており、地下水が絶えず流入することで、汚染水が1日に140トン程度発生している。トリチウム以外の放射性物質を除去した「処理水」はタンクで保管している。すでに、120万トンを超えている。この多くには、トリチウム以外の放射性物質が放出基準値を超えて残存している。

2021年3月1日時点での状況は以下の通りである。

☆1号機：水素爆発で建屋天井は崩れ落ちている。これから、カバーを設置する。

使用済燃料プールには、392体の使用済燃料が残されている。

☆2号機：水素爆発しなかった。放射能が充満したため、建屋内の線量率が非常に高い。

5階の原子炉直上の床面で1時間あたり最大630ミリシーベルト。線量率が高すぎるので、このままでは人が入って作業することはできない。1階の床では1時間あたり最大4400ミリシーベルトとすさまじい値。

使用済燃料プールには、615体の使用済燃料が残されている。

☆3号機：水素爆発で建屋天井は崩れ落ちた。すでに、クレーンを設置し、その上にカバーを設置。使用済燃料プールの使用済燃料はすでに2019年から取り出しが開始され、2021年2月28日に搬出が完了した。

①政府の方針

政府内では、廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議が責任組織。

2019年12月27日、「福島第1原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」を改訂した。

燃料デブリ（炉心溶融物が固まった物）の取り出しは、2号機から、2021年内を目標に

開始する（予定であったが、1年延期）。気中工法に重点を置く。格納容器底部に横からアクセス。

汚染水対策 2020年以内に汚染水発生量を日量150トン程度に抑制することが目標。

使用済燃料プールからの燃料取り出しは、3号機は2019年4月から取り出し開始し2021年2月28日に完了。2号機は2024～2026年度内の開始を目標。1号機は2027～2029年度内の開始を目標。すべての使用済燃料の取り出し完了は2031年を予定。

廃炉完了は、事故から30～40年後（2041年～2051年）で変更なし。

②福島第1原発事故機の廃炉は問題山積み

地下水流入を止められないから汚染水が増え続ける。「地下ダム」（原子炉建屋地下を覆う構造物を設置し、地下水の流入を防ぐ）は出来ないのか？

格納容器の破損を修復できない。冠水工法が採用できないので気中工法。

原子力学会報告書「廃炉で敷地利用できるまで100年以上必要」

燃料デブリの全量取り出しは技術的に不可能。「墓地方式」で長期監視すべき。

③福島第一原発事故機で、処理水はどうして発生し、増えるのか？

地下水や雨水が、原子炉建屋に1日に140トンくらい流入するので汚染水は増えていく。汚染水は、除去装置で放射能を除去して処理水になるが、トリチウムは除去できないので、残留する。2021年2月末で、処理水は120万トン以上、タンクで1000基以上。国は、トリチウムを含む処理水を希釈して、基準値以下の濃度にして、「海洋放出、あるいは大気放出」する方針。処理水は処分せずタンク保管を継続すべきである。

処理水の海洋放出による内部被ばくを「ゼロではないから、人に害を与えるので、大問題だ。流してはならない」と主張するのは、科学的ではない。風評被害を広げるので、保管を続けるべきである。

3. 全原子力施設の廃止措置実施方針公表

2018年の原子炉等規制法改正で、原子力事業者は2018年12月31日までに各施設の廃止措置実施方針を作成し公表することが義務付けられた。これらの方針は、各事業者のホームページで公表されている。

すでに廃止措置を実施している施設だけでなく、現存するすべての施設の廃止措置にかかる費用・期間・放射性廃棄物推定量などが公表されている。ただし、建設中の、中国電力島根原発3号機、電源開発大間原発は含まれていない。なお、放射性廃棄物の処分費は含んでいるが、現状では処分場も処分方法も未確定なため、あいまいな評価額であると言わざるを得ない。

3. 1 原発

事故を起こした福島第1原発1～4号機を除く廃止措置費用は、各電力会社の見積もりの合計として、3兆578億円とされた。福島第1原発1～4号機の廃止措置費用については、現在のところ、約8兆円とされている。事故を起こしていない原発の廃止措置費用は、過小評価と考える。たとえば、四国電力の伊方原発3基（1号機、2号機は廃炉決定済み）の廃止措置費用は1400億円と見積もられている。発表されている1号機の廃止措置計画

では、完了までに約 40 年かかるとしている。3 基 40 年で 1400 億円であれば、1 基 1 年あたり約 12 億円というわずかな金額に過ぎない。これで解体工事などができるとはとうてい思えない。施設管理、放射線管理、放射性廃棄物処分などにかかる巨額の費用が隠れているのではないか。

3. 1 再処理工場等

日本原燃は、保有する施設の廃止措置費用を約 1 兆 7300 億円と見積もっている。このうち六ヶ所再処理工場だけでも約 1 兆 6000 億円である。再処理工場の解体に伴う放射性廃棄物は約 3 万 2000 トンと推定されている。ウラン廃棄物に関しては廃棄の基準がないので、見積もりに含まれていない。

3. 3 日本原子力研究開発機構

日本原子力研究開発機構は、保有する 79 施設を廃止した場合の費用を 1 兆 9100 億円とする試算を公表した。これらの費用には、施設の解体費、放射性廃棄物をドラム缶に詰めるなどの処理費、実際に処分場に埋設する処分費が含まれている。廃止措置完了まで最大で 70 年かかるのが茨城県東海村にある再処理工場である。最も高額なものも再処理工場の廃止費用で、7700 億円にのぼる。これらには、当面の維持費は含まれていないので、実際に廃止措置完了までに必要な費用はさらに高額となる。再処理工場ではそれらを含めると約 1 兆円と推定される。すでに廃止措置が始まった高速増殖原型炉もんじゅの廃止費用は今回の試算では約 1500 億円と見込んでいるが、維持費を含めた政府試算では約 3750 億円とされている。放射性廃棄物の処分費用も未確定であり、廃止措置完了までにかかる費用は、この試算より大幅に割り増しされるのは間違いない。

4. 原発の廃炉

稼働停止した原子力施設を解体撤去することを廃止措置という。原発の廃止措置を一般的に「廃炉」と称する。伊方原発 1 号機を例に、廃止措置計画を紹介する。四国電力は、2016 年 12 月 26 日に、廃止措置計画認可申請書を原子力規制委員会に提出した。その中で、「全体を 4 段階に区分し、約 40 年かけて実施する」としている。

第 1 段階：解体工事準備期間（約 10 年）

第 2 段階：原子炉領域周辺設備解体撤去期間（約 15 年）

第 3 段階：原子炉領域設備等解体撤去期間（約 8 年）

第 4 段階：建家等解体撤去期間（約 7 年）

既に廃炉が決定している他の原発でも、ほぼ同様に約 40 年を費やして、更地にする方式を採用している。

5. 廃止措置で発生する放射性廃棄物は膨大

原子炉の廃止措置において発生する放射性廃棄物はすべて「低レベル放射性廃棄物」に分類され、放射能濃度の高い順に「L1、L2、L3」に区分される。L1 としては制御棒・炉内構造物・放射化物など、L2 としては廃液固化体・フィルター・廃器材など、L3 としてはコンクリート・金属などである。非常に高い放射能レベルであるはずの制御棒でさえ「低レベル放射性廃棄物」に区分されているのであるから、L3 であっても、決して放射能レベ

ルは低くはない。セシウム 137 の場合で 10 万ベクレル/kg 以下が L3 の区分基準であるから、実際には相当の放射能レベルである。このことには注意を払う必要がある。

このほかに、放射能は若干あるのだが、原子炉等規制法に定められた放射能の基準値（クリアランスレベル）以下のものは、「放射性物質として扱う必要のないもの」という法律上の扱いとなる。放射性セシウムでは 100 ベクレル/kg 以下と定められている。これは大量に発生する。

一般の軽水炉で既に廃止措置に移行しているのは、浜岡原発 1 号機 2 号機である。2009 年度から使用済燃料の搬出が開始されており、2036 年度までに建屋解体を完了する計画である。ここでも更地方式が採用され、1・2 号機合わせた低レベル放射性廃棄物は約 2 万トン、そのうち L3 は約 4000 トンと推定されている。クリアランスレベル以下が約 7.8 万トンと推定されており、膨大な量になる。

日本原子力発電東海原発（電気出力 16.6 万 kW）の解体作業が 2001 年から開始されている。東海原発はガス冷却炉である。ここでも更地方式が採用され、推定される放射性廃棄物の量は約 27000 トンである。このうち、L1 が約 1600 トン、L2 が約 13000 トン、L3 が約 12300 トンである。他に、クリアランスレベル以下が約 41100 トンと推定されている。2020 年に廃止措置を終了する予定であったが、現在では 2030 年に終了時期を延期している。この理由は、L1 及び L2 に区分される廃棄物の処分場が定まらないので、解体を進めるほどに、収納した廃棄物が蓄積していき、広い置き場が必要になるからである。L3 については、敷地内の地表近くの地中に直接埋設（トレンチ埋設）することになっている。具体的には、地表から約 4 メートル掘り下げ、廃棄物を鉄箱やコンテナバッグに入れて直接埋設し、約 2 メートルの覆土を施す工法である。約 50 年間管理し、その後は放置するとしている。既に地元の東海村の了解が得られ、埋設を開始する予定であるが、住民からは反対の声もあがっている。L1 及び L2 については、処分場が決まっておらず、先行きが見えない。クリアランスレベル以下の約 4 万トンは、法律上は「放射性物質として扱う必要のないもの」とされ、一般の産業廃棄物と同じ扱いになるが、再利用なども含めて社会的に容認されるかどうか疑問である。

各原発の廃止措置において、L3 廃棄物については、東海原発における敷地内埋設処分という方式が今後の流れになっていくのではないだろうか。大量に発生する L3 廃棄物の行き場がなければ、廃止措置は全く進捗しないことになる。なお、東海村は L1 及び L2 については、敷地内を処分地としては認めない方針である。

それでは、L1 及び L2 廃棄物についてはどうするのか。これまで国の考え方として、L1 については地下 50～100 メートルで 300 年間管理、L2 については地下 10 メートル程度で 300 年間管理、L3 については浅い地中で 50 年間管理、という方針が示されていた。

L1 廃棄物について、2016 年 8 月 31 日の原子力規制委員会で「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について」が了承されている。「L1 については、原子炉等規制法に定める廃棄物埋設事業者が 300～400 年程度管理する」。国は一定期間の規制はするが、管理は一切しないということである。果たしてそれで良いのか。処分場には「10 万年の隔離」を規制要求としている。そんな保証ができるのか。事業者が 300 年先も存続しているかどうか多いに疑問。

L1 及び L2 については、未だ、先行きが全く見えていない。いずれにしても、L1 及び L2 の処分場が建設されるまでには、相当の期間がかかるのではないだろうか。

このように、原発の廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物は膨大であり、その処分場についてのめどは立っていないのが現状である。

6. 墓地方式の検討を

日本の原発の廃止措置は、どうして更地方式なのであろうか。おそらく、跡地に新設することを念頭に置いていたのではないだろうか。しかし、これまで見てきたとおり、更地にすれば、膨大な放射性廃棄物が発生し、その処分に苦慮することは明白である。またクリアランスレベル以下であるからといって「放射性物質として扱う必要がないもの」が大量に世の中に出回ることも簡単には容認されないのは自明である。L3 廃棄物は原発敷地内に処分（保管ではない）する流れになっている。そもそも、今後、「跡地に新設」という状況になることは無いであろう。そうであれば、いっそのこと、更地方式を止めて墓地方式に切り替えてはどうだろうか。墓地方式とは、核燃料はもちろん取り出すが、それ以外には制御棒などの容易に撤去可能な部分だけを撤去して、それ以外の放射化している構造物は解体しない。原子炉本体などは、しっかりした構造物で覆い、さらに盛り土をする。事故を起こしたチェルノブイリ原発の措置のようなイメージである。合わせて、取り出した廃棄物や「墓地」などは、国が永久に管理するということを提案したい。もちろん、永久管理の費用（原発 1 基あたり何千億円？）は原発事業者が事業終了時に全額を国に拠出する。原発がもたらした放射能という「負の遺産」をできるだけ拡散しないためには良い方法ではないだろうか。もちろん、廃止措置の工期が短縮され、作業員の被爆も減少し、処分場の負担も軽減されるというメリットもある。

7. 使用済燃料はどうする

廃炉に伴い、その原発にある使用済燃料を移動させなくてはならない。これまでは、使用済燃料は再処理工場に送り、取り出したプルトニウムを MOX 燃料に加工して軽水炉の燃料として使用するプルサーマル計画であった。しかし、この核燃料サイクルは完全に破綻している。危険が増大し、コストがかかるだけで「百害あって一利なし」のプルサーマルは絶対にやるべきでない。現実問題として、六ヶ所再処理工場の操業は停止しており、貯蔵施設も満杯で、新規に使用済燃料を受け入れる余地はない。廃炉以外の原発を含めて、大量の使用済燃料を安全に長期保管する必要がある。

使用済燃料の保管方法としては、湿式貯蔵と乾式貯蔵がある。湿式貯蔵とは水を張ったプール内に貯蔵する方式であり、乾式貯蔵とは水を満たしていない密封容器内に貯蔵する方式である。

7. 1 湿式貯蔵の危険性

プールで保管する湿式貯蔵では、様々な能動的な安全対策が必要である。大きな地震などで循環冷却系が停止したりプール自体が損傷したりすれば、使用済燃料の水冷状態を維持できなくなり、重大事故に至る危険性がある。これは、廃炉に関係なく、すべての使用済燃料のプール保管に共通する重大な危険性である。

使用済燃料の発熱がある程度高い場合にプール水が喪失すると、ジルカロイ被覆管が空

気中の酸素と反応して燃焼し火災が発生する恐れがある。火災の結果、燃料が露出して放射能の放出が始まる。さらに燃料が崩壊して積み重なり、燃料溶融に至ることで大量の放射能放出の危険性がある。プルサーマル使用済燃料が保管されていると、その発熱量の高さから、さらにこの問題を深刻にする。

福島第1原発4号機では、使用済み燃料プールの水が抜けていたら、さらなる大惨事になるところだった。

7. 2 早く乾式貯蔵に移行を

乾式貯蔵は、既に福島第1原発、東海第2原発で実施中であり、浜岡原発で建設中、伊方原発に建設予定である。全国で、廃炉に関わらず、乾式貯蔵施設の建設は続く見込みである。また、敷地外に設置される中間貯蔵施設では乾式貯蔵を採用している。なお、ここでいう「中間」とは、建前としては、「使用済燃料を再処理工場に搬出するまでに一時的に保管するための原発敷地外の施設」のことである。原発敷地内の使用済燃料貯蔵施設の増設は容易でなく、貯蔵設備が満杯になれば原発の運転が継続できない。こうした深刻な状況を回避するために、敷地外に置き場を設置しようとしているという見方もできる

日本では、乾式貯蔵容器として金属キャスクのみを想定しており、耐震Sクラスで設計される。貯蔵専用容器と輸送兼用容器がある。放射能の閉じ込め機能は貯蔵容器だけで担保する。また、除熱は自然対流だけで行うという設計であり、強制換気などの能動的な冷却設備は必要ない。これらのことから、保管建屋には、頑健性や閉じ込め性能は要求されない。

乾式貯蔵容器に収納できるまでの期間は、使用済燃料の発熱量と貯蔵容器の除熱性能で決定される。原子炉から取り出してしばらくは、発熱量が多いので、燃料プールでの水冷が必要である。ウラン使用済燃料では、おおむね、プール冷却期間10年以上で乾式貯蔵容器に収納している。

プルサーマル使用済燃料はウラン使用済燃料に比べて、アクチノイド元素（超ウラン元素）がはるかに多いので、発熱量が相当高い。このため、乾式貯蔵に移行できるまでの期間が長く必要である。早めに収納するためには、収納体数を減らすか特別に除熱性能の良い貯蔵容器が必要である。なお、六ヶ所再処理工場ではプルサーマル使用済燃料は再処理の対象外であり、後述するように、電力会社は再利用をあきらめたので、敷地内か、中間貯蔵施設に搬出して長期保管したのち直接処分となる。

7. 3 使用済燃料の処理・処分

核燃料サイクルを放棄するのであれば、使用済燃料を直接処分することを真剣に検討する以外はない。しかし、再処理で発生する高レベル放射性廃棄物の地中処分と同様に、安全性は担保できるのかという課題と国民的理解と納得を得る上での困難さを抱えている。当面は、乾式貯蔵方式で長期監視保管する以外はないであろう。航空機落下等を考慮すれば貯蔵所設置は地下が望ましい。