これまでをふりかえり、今後を展望する(福島第一原子力発電所廃炉検討委員会)

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会の取り組み

Activity for Study Committee on Decommissioning of the Fukushima Daiichi NPP

宮野 廣
Hiroshi Miyano

KEYWORDS: Fukushima-daiichi, Decommissioning, Committee of AESJ, Outcome and Future Contribution

I. はじめに

東日本大震災から8年が経った。

衝撃的な情景と共に原子力発電所の事故の印象が、焼きついて消えないが、そろそろ、しっかりと国のエネルギー問題とこの事故炉の廃炉を、どのように進めて行くべきかの議論に真摯に向き合うべき時期になったと考える。

廃炉の作業では、1号機、2号機、3号機のそれぞれの格納容器内部の映像が得られ、損傷が想像以上に大きく、高い放射線が測定され、かなり厳しい環境にあり、燃料の溶融混合物の取出し作業は容易ではないという状況がわかってきた。

これまでに、廃炉作業での国としての取り組みの方針を定めるロードマップが策定され、それに基づく詳細な技術戦略マップが策定、各年の進捗に合わせた見直しの取り組みも進められるようになった。

各炉内の崩壊熱の除去システムと汚染水の管理システムが定常に動く仕組みが完成し、環境改善と管理は常態化してきた。

格納容器内、炉内に取り残された燃料の溶融混合物(燃料デブリと言う)を取り出し安定な保管状態に持ち込む取り組みにいよいよ取り掛かる。2019年度内に取り出し方法を確定し、2021年内には取り出しを開始する計画が示された⁵⁾。そこで、福島第一原子力発電所の事故炉の廃炉について、その論点を明確にし、原子力学会としてのこれからの取り組みについてまとめる。

II. 福島第一原子力発電所の状況^{3, 4)}

東京電力福島第一原子力発電所(以下「福島第一」という)の状況を概観する。福島第一の敷地全体の広さは、約350万m²である。東京ドームの75個分である。そこには、原子力発電所が被災した1号機から4号機までの4基と、無事であった5号機6号機がある。1号機から4号機の前には、港湾施設がある。敷地内には多くの処理水と濃縮された放射性物質を含む廃液があり、水を貯めるための、タンク、水槽類が多数設置されている。現在

まで、約100万トンの汚染水が処理され、このタンクに貯蔵、保管されている。

発電所の状況は4号機では、既に、使用済燃料は全数取出され、除染して、解体するまでになった。一般の廃炉の廃止処置を待つみの状態となっている。

1号機から3号機の事故炉の状況は、それぞれの特徴があるが、使用済燃料の取出しはこれからである。各号機とも使用済燃料プールの設置床面など汚染状態が厳しく、取出しに苦労している状況である。床面や使用済燃料プール内に落ちたがれきを取り除き、放射線の防護処置を行うなどの作業を進めた後に取出し作業に取り掛かる計画で、進められている。

一方、各号機の炉内の燃料は、多くが溶融、破損し、一部は炉低部にたまり固まっている状態であるが、多くは、炉低部から高熱の液状となって漏れ出し、フラスコ状の格納容器の底部にある、コンクリートの一部を溶かして、固まった状態になっていると推定されている。各号機の格納容器の底部ベダスタル内(圧力容器を支持するコンクリート製の円筒状の壁の内側)の状況は、ほぼテレビカメラによる目視での調査がされ、この部位での構造物の損傷状態や低部での水の溜まり具合などが把握されたところである。

III. 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会の活動^{1, 2)}

原子力学会では、2011年3月11日の事故後、速やかに事故調査委員会(主査:田中知東大教授)を立ち上げ、事故の原因分析と反省をとりまとめ、事故調査報告書を発刊した。それに基づき体制を整え、長期に取り組む観点から、2014年に「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」(以下「廃炉委」という)を理事会直結の組織として設置した。

廃炉委の主な目的は、このような福島第一の廃炉に向けての政府および事業者等の活動が、安全、かつ円滑に進められ、地元の復興に結びつくよう、課題の抽出と対応策の検討など、広く学の知恵を集め、それぞれの専門性を生かした活動を行い、有用な提言、提案を提示する

図1 日本原子力学会 東京電力福島第一廃炉検討委員会の体制と学会内外の連携

ことである。

廃炉委では、具体的な課題への取り組みとして、分科会を設置し、活動を加速させてきた。他の学協会の協力を得て、協働し課題の解決に向き合っているところである。各分科会の活動の状況を以下に示す。

①リスク評価分科会－廃炉過程でのリスク要因の分析や評価法の確立のための評価法の検討、②建屋の構造性能検討分科会－建屋の健全性の確認、評価基準の検討、③ロボット分科会－高放射線場であり、かつ手探りの狭隘部での構造物取出しの工法に適用するロボット技術の検討、④事故提言・課題フォロー分科会－燃料の破損過程などの未解決の技術課題の研究に結び付けるための解明事項のまとめ、⑤廃棄物検討分科会－サイトのエンドステート（目標とするサイトの姿）に持って行くための、廃炉の過程で排出される多量の放射性廃棄物の処分法の検討、他の分科会を設置し、専門家による検討の活動を進めてきた。

活動の成果¹⁾は、学会では春の年会、秋の大会に報告、学会員との意見交換を行っている。また、一般に向けては公開文書での公表や毎年春に開催している廃炉委シンポジウムで活動を公開し、廃炉の課題の紹介や学会としての提言を行い、市民、マスコミ、他の専門家の方々と意見交換を進めてきた。

原子力学会では、福島第一の事故の復旧と周辺地域、福島復興の支援を学術界との連携を深めて、学術界全体として成果を上げ貢献するべく、広く学協会に声をかけ多くの学協会の賛同を得て、2016年5月に「福島復興・廃炉推進に貢献する学協会連絡会」(以下、「学協会連絡会」という)を発足させた。現在、36団体が参画し、情報の共有と学術支援の協働を進めてきている。今後とも継続して、廃炉委と共に活動を進める。

IV. 福島第一の廃炉事業の課題と学会の貢献

福島第一の廃炉は、国の一大プロジェクトでもあり、東京電力が責任を持って実施していかなければならない事業でもある。しかし、事故の発生はわが国の原子力界の大きな責任でもあると考える。

原子力界(学術界)は、この廃炉の活動に対して、積極的に貢献したいと考えている。これまでの活動の中から、見えてきた課題がいくつかある。以下に、これらの課題を取り上げ、学会としての取り組みについてまとめる。

1. 廃炉の体制とロードマップによる戦略－リスク低減戦略

福島第一の事故炉の廃炉の作業は、周辺地域の放射性物質による汚染の、除染や、住民の補償を含めて、当面は、国が全体を取りまとめ指揮をしている体制となっている。実際には、組織のトップにNDF(原子力損害賠償・廃炉等支援機構)を置き、研究開発を分担するIRID(国際廃炉研究開発機構)やJAEA(日本原子力研究開発機構)、さらに実行部隊である東京電力ホールディングスの廃炉カンパニー(以下、「東電」という)がある、とい

う体制である。

取り組みの基本方針は、「安全」、「合理的」、「迅速」、「現場志向」として、中長期戦略プランを立てて、それをロードマップの形に見える化を行い、実行管理をしているものとしている。

最も重要な方針が、「リスク低減戦略」である。

それは、様々な放射性物質を特定し、その特徴を捉えて、分析、評価して、優先順位を決めた上で、このリスク低減のための対応を決定する、というものである。これを着実に進めるために、プロジェクトリスクを特定して、適切に管理する方法であり、これらの計画を社会と共有して、協働で廃炉を進める考えである。

以下、廃炉事業のプロジェクトにおける課題とその対応について案を示す。

2. プロジェクトの課題

その1：研究・技術開発

わが国の原子力発電の推進と原子力安全規制を行ってきた国、福島第一の事業責任者である東京電力、各原子力発電技術を担ってきたメーカ各社と専門技術を担う関係組織が協働して、福島第一の廃炉を進めている。そこには大きな国の資源を投入し、初めての事故炉の廃炉と言う取り組みを行う、原子力安全としての放射線安全の取り組みと高放射線下、未確認の構造への失敗の許されない作業を行わなければならないという、極めて難しい課題がある。

学会では、多くの専門家が各組織に参画し貢献することはもちろん、誰もがその専門としての視点から計画へのコメントや異論と可決策の提示など積極的に働きかけを行っている。廃炉委はNDFの研究開発会議に参加し協力している。学会をあげてNDFで取りまとめている技術開発に対して、専門家として積極的に意見を述べ、研究者として技術開発に参加、貢献している。この事故炉の廃炉作業は、今後とも、長期にわたり常に新たな知見が得られ、対応しなければならない作業である。学会の廃炉委は長期にわたり対応すべく、体制を整備して知見の解明や作業での原子力安全の確保のために、協力を続けなければならない。

3. プロジェクトの課題

その2：事故炉の安全目標と管理基準

二つ目の課題は、事故炉の安全目標である。通常の原子力発電所では安全目標を定めて、それに基づき、格納容器の破損限界や炉心燃料の熔融限界を定める性能目標を決め、設備の設計基準を定めている。しかし、福島第一の1～3号機は、既に事故炉となって大きく損傷しており、燃料を内在するとは言え、通常の原子力発電所に適用している安全目標や基準をそのまま適用することは適切ではないと考えられる。まず、この損傷を受けた炉

の具体的な安全の目標を、検討し定めなければならない。その上で、福島第一として具体的に管理しなければならない項目とその管理基準を明確にしなければならない。長期にわたり、格納容器内から発電所敷地内への、大量の燃料を含めて高レベルの放射性廃棄物を取扱わなければならない状況において、周辺地域への影響はもちろんであるが、廃炉作業員に重大な影響を及ぼす放射線リスクがある。そこで重要なのは、放射性物質の排出基準の設定とリスク評価である。大気への放出に対して、現状は、放出する側に、規制は掛けられていない状況である。周辺のモニタリングポストでの測定で、異常がなければよい、としている。原子力発電所では、漏れることを許さない管理をしており、隔離は最も重要な要求でもあると考える。

一方、地下水への排出においては、排出基準は明確には設定されてはいない。海水域での測定や井戸での測定など、いくつかの地点での測定は行われているが、排出側の基準は明確ではない。どのような基準を要求するのか、またそれをどのように管理確保して行くのかを早急に定めなければならない。

この分野は学会の重要な役割であり、廃炉委の議論は重要と考える。責任を持って取り組み、提案することが望まれる。

4. プロジェクトの課題

その3：エンドステート考えた工法選択

現在のロードマップでは 2021 年までに汚染水の処理を完了させ、2022 年には溶けた燃料、燃料デブリの取り出しを始め、2051 年には廃炉が完了する、想定するエンドステートに到達する計画としている。しかし、このロードマップには発電所内全体の、最終の姿については、示されてはいない。敷地には既に、大量の放射性廃棄物を抱えており、今後さらに大量の放射性廃棄物、特に高い放射線レベルの廃棄物が、格納容器内、原子炉内から敷地の方に出てくる。

三つ目の課題は、これらをどのように処置するのか、またどのように(最終)処分をするのかである。福島第一の放射性廃棄物は、通常炉の廃棄物と大きく異なりほぼ全ての廃棄物には、燃料との混合物か、少なからず燃料を構成していた放射性物質が含まれていることである。この処分については、これまでは議論もされてはおらず、廃棄物の処分を含めて、敷地全体を含めて福島第一の最終的な状態＝すなわち、エンドステートが見えていない。限られた敷地内で、長期にわたり、これらの廃棄物をどのように管理して行くのか、またどのように処分して行くのか、その方向性によっては、廃炉の作業は、大きく異なり、廃炉の手順も変わってくる。この廃炉の作業では、高レベルの放射性廃棄物を直接扱うことから、手戻りがあってはならない。従って、当面の最終の

姿，エンドステートを社会に提示し，社会との合意を形成することが必要である。

廃炉委には，これまでに放射性廃棄物の処理処分に係わってきた専門家が多数参画しており，十分な議論をして目指すべきエンドステートを提案しなければならない。

5. プロジェクトの課題

その4：プロジェクトのリスクとロードマップの見直し

四つ目の課題は，プロジェクトが抱える様々なリスクである。最も重要なものは，方針として示された「リスク低減戦略」のリスクの定量化である。その中で更に，重要と考えられるのが放射性物質の放出リスクである。それは，周辺住民への健康影響はもちろんであるが，他の廃炉（廃止措置）にはない，燃料デブリなど放射性物質の福島第一の廃炉作業員への影響は大きく，重要なものとなっている。

他，プロジェクトリスクには，投入費用と時間の制限がある。これは経営問題であり，国の経営問題として税金を投入する上で，プロジェクトの管理母体が国民に納得のいく計画を示すことが必要なことである。

廃炉のプロジェクトが，国の予算で動くものである以上，国民の理解が重要である。これに対応する方策が，ロードマップによる管理であり，見える化である。ロードマップは，誰が責任を持ち，いつまでに，どれくらいの費用を使い，目標とする成果を得るかを示すものである。それを国民に明確に示し，国民の理解を得て，ロードマップに基づく評価と管理と，その修正，見直しをするものでなければならない。

廃炉委では，特に作業の過程で発生するトラブルによる放射性廃棄物の放出のリスクについて，リスク評価法を中心に検討を進め「リスク低減戦略」に貢献する。

6. 福島第一の廃炉事業の課題とまとめ

福島第一の廃炉事業を進めるに当たっての課題と原子力学会としての取り組みと貢献の概要をあげてきた。以下に要点をまとめる。

①誰が責任を持って事業を運営するのか

国がとりまとめた事業のロードマップでは，目標と責任を明確にしたロードマップとなっているのか，という本質的な疑問が指摘される。その上で，事業推進の体制はそれでよいか，という枠組みが問われる。

②エンドステート（最終的な状態）をどのように見ているのか

主に，各号機の格納容器内から大量に取出される放射性廃棄物は，各号機の最終状態と取出された放射性廃棄物の取り扱いや発電所全体の敷地内の取り扱いを明確にしなければ，廃炉の工事そのものの手順や工法は決まら

ない。それにより工法全体の見直しも必要となる。

③目標とする安全目標，コスト運営，管理計測項目，達成時期

事故炉の廃炉において，最も重要な管理要素は「リスク」すなわち「放射線リスク」であると定義している。このリスクについて住民，国民と共有し，受け入れるリスクを明確にしなければならない。その上で，リスクを管理するための計測方法と管理方法の提示が必要である。また，一方，放射線リスクは十分に小さいことから他のリスク，税金の投入や電気料金からの資金の投入，さらには工期の大幅な遅れなどのリスクも生じることを理解し，選択が求められる。

原子力学会は技術的な課題の解決だけではなく，これらのリスクに係わる課題の解決のためにも貢献して行かなければならない，と考える。

V. 事故炉の廃炉を進めるための 周辺の課題

福島第一の廃炉事業を進めるに当たって，取り組まなければならない課題がいくつかある。人材の育成と研究開発への取り組みである。

1. 技術力・人材の確保と育成

廃炉事業の重要な問題は，人材の確保である。廃炉事業では放射線管理や，材料劣化対策，放射性廃棄物に計測・分離や取扱い，処理処分問題への対応など放射性物質を扱う技術分野から自動機やロボットの開発と補修，さらには大量のデータの蓄積と分析などの原子力に直接の係わりの少ない技術分野の技術者，研究者が求められる。他方，高放射線下での作業には，これらの事業を把握した上での，放射線物質を含んだ廃棄物の取り扱い，管理の作業にはそれなりの訓練を受けた多くの放射線下の作業員を確保しなければならない。それぞれの分野での人材の確保と育成が求められるが，人材を集める仕組みはできてはいない。東京電力だけの問題ではない。国として廃炉事業を進めなければならないことを考慮すれば，国全体で取り組まなければならない課題と言える。

さらには，廃炉は建設，運転を経験しての廃炉事業とも言える。技術の根幹は，発電プラントの設計，製造，建設，運転，保守・補修にある。総合的に人材の育成を考えなければ，長期にわたる人材の確保は難しいものとなると考える。今から，国，事業者，メーカ，学术界が協働して，総合的な人材育成を考えた取り組みに着手していただきたい。

厳しい環境下での作業が続くことから，いかに人材を集めて行くか，いかに人材を育成して行くかは，大きな課題となる。

2. 研究開発費の継続的確保

廃炉に係わる技術開発や調査研究は、前述のように多分野での取り組みと人材確保、育成が求められ、自ずと技術開発・研究のニーズは高くなる。しかし、廃炉作業で求められる直接、直ぐに役立つ課題は、開発に要する時間が見えずニーズは多くはない。一方、現在、事業者、メーカ、学术界に存在する多くの人材は、これまでの発電炉の研究開発で育成されてきたものであり、新設炉の沈滞により急激に削減されてきている。10年を待たず人材の枯渇は生じてくるものと推察される。さらに、当面の廃炉作業が終了してもなお、廃棄物の処理処分の研究開発を行って行かなければならないと推察される。福島第一の廃炉を含めた原子力分野の総合的な技術開発、研究開発に携わり、人材育成を行う仕組みを作ることが一つの方策と考えられる。

3. 国際協力と地域社会との連携

地域社会との関係を見てみる。現在、福島第一の発電所地域、福島県ではJAEAなどが中心となり、様々な廃炉に係わる施設が建設されている。大物の試験施設やロボットの実証試験地区、照射化された材料の試験検査施設などが整備されている。これらの施設を如何に有効に活用するか、これはこのような全ての施設の大きな課題となっている。

この解決のための方策の一つに、国際共同研究としての活用がある。現在も、廃炉技術の獲得には、研究の公募に世界から参画を求めたり、研究成果の報告を国際大会として海外から専門家を招いたり、また積極的に国際会議での発表を行うなどの取り組みがなされている。福島第一の事故のデータの取得や、除染、溶融燃料の取扱い等を含めて、それらの取扱いが貴重なものであると言える。これらを国際社会の共有財産として活用することも考えなければならぬと考える。

国際社会からの積極的な廃炉作業への参画や、研究開発の協働への参画を促すことも必要と考える。この地区の研究施設を利用して、研究者・技術者を受け入れることである。この地域を国際研究都市として開発することは、日本の存在意義を高めることにもなると考える。

そのために、わが国が住居や研究施設を提供し、参加国は研究費を分担する仕組みを作ること一つの方策と言える。参加費を負担することで、膨大で貴重なデータにアクセスできる大きなメリットが得られるであろう

し、このような仕組みを提供すれば、わが国は廃炉の技術開発での世界の知恵を活用でき、更には原子力の安全性向上に大きく貢献することとなるであろう。それは、国際社会から評価されるものであると考える。

地域社会は放射線リスクを受け入れるだけではない、地域が潤うメリットを得る仕組みもまた必要である。

VI. おわりに

福島第一の廃炉は、国民一人一人が積極的に、プロセスを見守って行かなければならない。原子力学会は原子力界の一員として、事故の責任を果たすべく、国民と共にこの廃炉事業が成功するように積極的な貢献を行って行かなければならない。

福島第一の廃炉は不明確でどんな不具合が起きるかわからない事業であり、様々な分野の多くの方々との協力が、これから長い道のりの中で求められる。各界とも若手が引き継いでいくものと推察するが、引き続き、様々な分野との協力関係を持ち活動して行くことを期待する。

— 参考文献 —

- 1) 日本原子力学会 HP
<http://aesjnet.sakura.ne.jp/>
- 2) 日本原子力学会東京電力福島第一原子力発電所 廃炉検討委員
URL http://www.aesj.net/activity/activity_for_fukushima/public
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁 廃炉・汚染水ポータルサイト
URL http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osen/sui/index.html
- 4) 経済産業省資源エネルギー庁 スペシャルコンテンツ、福島
URL <http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/fukushima/>
- 5) NDF 廃炉支援部門 戦略プラン 東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2018 他 URL
<http://www.dd.ndf.go.jp/jp/strategic-plan/index.html>

著者紹介

宮野 廣 (みやの・ひろし)
法政大学 大学院
廃炉委委員長