



事故炉である福島第一原子力発電所の現場状況には大きな不確かさが存在することから、燃料デブリ取り出し等の大掛かりな作業について、既存の知見のみに基づいて作業全体を設計しようとすると、極めて大きな安全余裕や幅広い技術選択肢の想定が必要となる。このため、対応期間の長大化や手戻りのリスクが避けられず、その結果、廃炉全体の遅れ、廃炉費用の高騰、作業員被ばくの増加等を招き、全体プロジェクトの成立性や予見性を低下させる可能性が大きくなる。一方で、現状既に放射線レベルが高い環境下にあること、閉じ込め障壁等の更なる劣化、今後の大きな自然事象（地震や津波等）の発生の可能性等を考慮すると、リスク状態の改善と不確かさ縮小は早急に行うことが求められる。このため、作業をいくつかの段階に分けた上で、実質的な安全の確保を保證できる「最初の段階の作業」に取り組み、そこで得られた情報を次の段階に展開するという「逐次型の取組」が重要となる。

### 3. 福島第一原子力発電所の廃炉に向けた技術戦略

#### 3.1 燃料デブリ取り出し

燃料デブリ取り出しについては以下の目標を達成すべく取組を進めている。

- (1) 周到な準備をした上で燃料デブリを安全に回収し、これを十分に管理された安定保管の状態に持ち込む。
- (2) 2号機の試験的取り出しについては、2021年内の取り出し開始としていたものの、新型コロナウイルス感染拡大の影響により工程が遅れているが、工程遅延を1年程度に留めることを目標に作業を進める。段階的な取り出し規模の拡大等の一連の作業を進め、その後の取り出し規模の更なる拡大に向けて必要な情報・経験を得る。
- (3) 取り出し規模の更なる拡大については、初号機の燃料デブリ取り出し、内部調査、研究開発、現場環境整備等を見極めつつ、収納・移送・保管方法を含め、その方法の検討を進める。

2号機における試験的取り出し及びPCV内部調査では、X-6ペネトレーション（X-6ペネ）のフランジを開放することにより、従来よりも大きな開口を利用してロボットアームを出し入れし、PCV内の燃料デブリを外へ取り出すことを行う。この作業では、従来の閉じ込め障壁の位置がX-6ペネの閉止フランジ部であったものから、X-6ペネ開放作業時に設置する隔離部屋（図2）や新たに設置するエンクロージャに拡張することになる（図3）。これは、規模は小さいながらも、PCVに新たな開口を設けて、PCV外側に閉じ込め障壁を拡張するという今後の取り出し作業の基本的な現場構成の形であり、新たな段階に入る取組である。

不確かな現場への適用に向けて、様々な状態での機能を検証すること、及び万一の際に装置を確実に救出できることが重要である。そのため、必要な準備を整えること、現場を模擬したモックアップ試験等を行うことにより、時間をかけてでも要求機能を満足していることを確実に確認すること、新たに抽出されたりリスクを確実に潰していくことが必要である。また、必要な場合には、それを繰り返し行っていくことも求められる。

取り出し規模の更なる拡大においては、取り出し工法に係る概念検討を、3号機を先行して実施中であり、燃料デブリ取り出しシナリオを検討するとともに工法の検討を進めている。この中で、2021年度末に有望な工法の候補を絞り込んできたが、各工法ともに、難度の高い課題・リスクが数多く抽出されたことから、

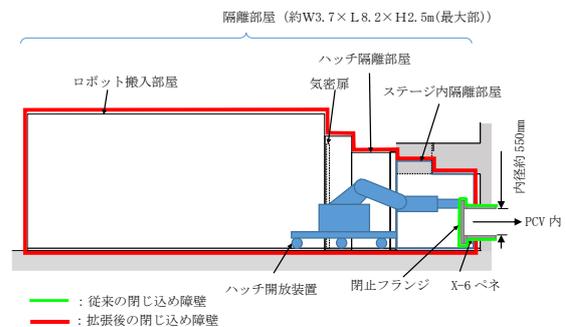


図2 X-6ペネ解放作業時の閉じ込め障壁概略図

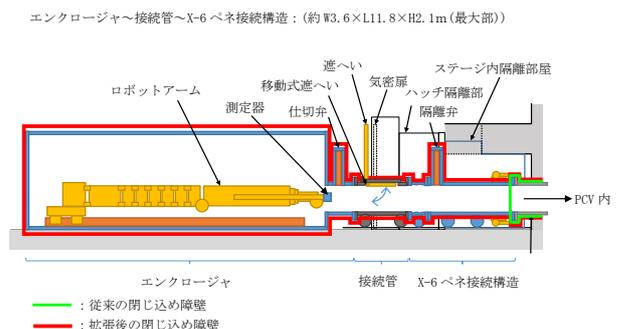


図3 試験的取り出し及びPCV内部調査時の閉じ込め障壁概略図

2022 年度以降は、これらの課題・リスクの対応策に対する現場適用性、技術成立性の確認を行っていく。これらを確認した結果、予め定めた判断基準を満足できない場合等も考えられるため、その他の工法の検討も考慮しておく必要がある。

### 3.2 廃棄物対策

廃棄物対策については以下の目標を達成すべく取組を進めている。

- (1) 当面 10 年間程度に発生する固体廃棄物の物量予測を定期的に見直ししながら、発生抑制と減容、モニタリングをはじめ、適正な保管管理計画の策定・更新とその遂行を進める。
- (2) 2021 年度に示した処理・処分方策とその安全性に関する技術的見通しを踏まえ、固体廃棄物の特徴に応じた廃棄物ストリームの構築のため、性状把握を進めつつ、処理・処分方策の選択肢の創出とその比較・評価を行い、固体廃棄物の具体的管理について全体として適切な対処方策の提示に向けた検討を進める。

中長期ロードマップにおいて、第 3 期には、固体廃棄物の性状分析等を進め、廃棄物の仕様や製造方法を確定するとされているため、第 3-①期では、固体廃棄物の具体的管理に関する全体としての適切な対処方策の提示に向けた検討を進める。具体的には、分析データの蓄積と統計論的方法の適用により評価された性状データを反映した現実的インベントリ設定を基に、安全確保を前提とした廃棄物ストリーム毎の処理・処分方策の最適化・合理化の試行例を積み重ね、廃棄物ストリーム毎の最適化の知見を幅広く得るとともに、全ての廃棄物ストリームを束ねた全体像の最適化・合理化に向けた方策の具体化に向けた検討を進め、その考え方を明らかにする。

これらの検討の際には、最新知見を反映すること及び利用可能な最良の技術 (Best Available Techniques) の概念を適用することにより、利用実績や経済的実現性をも考慮して、最適な方策を柔軟に検討することが重要である。検討が進み、廃棄物の全体像に対する処理・処分方策を固めていくに当たっては、地元・社会と問題意識を共通理解にするなど、最適化に向けた検討の過程を共有することが重要である。

### 3.3 汚染水・処理水対策

汚染水・処理水対策については以下の目標を達成すべく取組を進めている。

- (1) 汚染水問題に関する 3 つの基本方針（汚染源を「取り除く」、汚染源に水を「近づけない」、汚染水を「漏らさない」）の下、構築された水位管理システム運用を継続しつつ、2025 年以内に汚染水発生量を 100m<sup>3</sup>/日以下に抑制するとともに、2022 年度～2024 年度には原子炉建屋滞留水を 2020 年末の半分程度に低減する。また、汚染水対策の安定的な運用に向け、津波や豪雨等の大規模自然災害リスクに備えた対策を計画的に実施する。
- (2) 今後本格化する燃料デブリ取り出し等の廃炉工程との関係を整理するとともに、中長期を見据えた汚染水対策の在り方についての検討を進める。
- (3) 現在タンク保管中の ALPS 処理水について、2023 年春頃の放出に向けた対応を進める。

燃料デブリ取り出し等の廃炉工程を見据えた汚染水対策の課題としては、燃料デブリ取り出しに向けた水処理設備の検討においては、既存の建屋滞留水の処理設備（SARRY、ALPS 等）とどのように機能分担して適正な構成にしていくかの全体像の検討が重要である。同時に、既存の水処理設備のリプレースを計画的に進めることも求められる。こうした検討を行うためには、燃料デブリ取り出し時の水処理設備への要求仕様や基本設計をできるだけ早い段階で実施していく必要がある。

ALPS 処理水の海洋放出に向けた今後の取組としては、設備の運用に向けた教育・訓練等の準備を確実にしていく必要がある。さらに、東京電力は、処理水放出後の敷地活用の迅速かつ確実な実施に向け、敷地利用計画に応じたタンク内処理水の放出計画を適宜策定するとともに、状況に応じて計画を適切に見直していくことが必要である。NDF は、東京電力が進める設備の構築や運用開始の準備などに対し技術的・専門的な支援を行うとともに、諸外国の関係機関との会合、国際会議等を通じて、正確かつ受け手の関心に応じた情報発信や理解促進を進めていく。

### 3.4 使用済燃料プールからの燃料取り出し

使用済燃料プールからの燃料取り出しについては以下の目標を達成すべく取組を進めている。

- (1) 第3-①期において、1～6号機の全てで使用済燃料プールからの燃料取り出しの完了を目指す。
- (2) 周辺地域で住民の帰還と復興が徐々に進む中、放射性物質の飛散防止をはじめとしたリスク評価・安全確保を確実にいき、1号機は2027～2028年度、2号機は2024～2026年度にプール内燃料取り出しを開始する。
- (3) 事故の影響を受けた1～4号機の燃料については、使用済燃料プールから取り出した後に共用プール等に移送して適切に保管することにより、安定管理状態とする。なお、共用プールの容量確保に向け、共用プールに保管されている燃料を乾式キャスク仮保管設備へ移送・保管する。
- (4) 取り出した燃料の長期的な健全性の評価及び処理に向けた検討を行い、将来の処理・保管方法を決定する。

1号機については、オペレーティングフロア上に落下している天井クレーン（落下防止の支保を設置済み）の撤去、不安定な状態で残置しているウェルプラグへの対応、また事故前からプール内に保管されている被覆管の破損した燃料67体の取り出しが大きな課題である。また2号機では、これまで国内原子力施設では経験のないブーム型クレーン式の燃料取扱設備を用いて、遠隔操作によりプール内燃料取り出しを行う計画であり、新たな設備を安全かつ確実に設置すること、事前のモックアップ試験等により事前に設備の操作・機能性を十分に習熟することが重要である。これらに向けては、各作業に伴う安全性を評価し、必要十分な安全の確保を確認した上で、技術的な確実性、合理性、作業工程に関わる迅速性、現場適用性、プロジェクト上のリスク等を総合的に考慮して対応を行うことが基本であり、それらを着実に進める必要がある。

## 4. 廃炉の推進に向けた分析戦略

燃料デブリの分析結果は、取り出し工法、保管・管理、処理の必要性、事故原因の究明等の多くの反映先があり、その関係は廃炉の進捗とともに変化していくことになる。分析結果は廃炉を円滑に進めるための検討における不確かさの幅を小さくするための重要な判断材料の1つとなる。

燃料デブリに係るサンプル分析については、燃料デブリは不均質性を持つために採取された部位に応じて分析値に幅がある上、十分な量を分析できる状況ではなく、評価における不確かさに幅が生じることになる。このため、分析品質の向上やサンプル量の改善に制限がある中で、良好な分析結果を増やすためには、従来のホットラボでのサンプル分析での数量の増加に注力するだけでなく、他の分析・計測の手法の多様化・拡充を行い、分析結果の用途に応じて相互に補完することを検討し、総合的な評価をすることが有効である。この燃料デブリに係るサンプル分析の結果を補完する分析・計測の手法の1つとして、サンプルを破壊せずに核燃料の量等を評価する手法（非破壊計測）がある。非破壊計測では計測項目が少ないものの、サンプル分析よりも計測時間は短く、1回の計測につき多くの量が計測でき、分析施設内でのサンプル分析に加え、特定の項目に対して実施できれば、分析数の少なさを補うとともに、燃料デブリ中の核燃料の量を迅速に把握することができ、未臨界状態を維持したまま、次の工程へと移行することが可能となる。

## 5. 研究開発への取組

福島第一原子力発電所の廃炉を安全、確実、合理的、迅速及び現場指向の視点で推進していくためには、研究開発が必要となる困難な技術課題が多数存在する。燃料デブリの試験的取り出しが開始されようとしている現在、段階的な取り出し規模の拡大、取り出し規模の更なる拡大に向け、現場での適用を見据えた研究開発を加速する必要がある。政府は、廃炉に向けた応用研究、実用化研究のうち技術的難易度の高い課題の課題解決を目指すため「廃炉・汚染水・処理水対策事業」により、国内外の大学、研究機関等の基礎的・基盤的研究及び人材育成の取組を推進するため「英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業」により各機関が行う研究開発を支援している。

廃炉・汚染水・処理水対策事業において幅広い視点から研究開発課題を検討すること及び現場適用性の観

点から事業の評価を行い研究開発内容に反映していくことは引き続き重要であるため、NDF は東京電力等と協力して研究開発の企画提案や事業品質確保の取組に係る機能をより一層強化して再構築する計画である。また、東京電力は、基礎基盤研究から実用化研究に至る全ての研究開発に対してそれぞれの意義、役割を十分認識した上で各研究開発に適切に関与しつつ、廃炉技術開発センターによる技術開発マネジメントの下、自主技術開発も含めた廃炉研究により一層積極的に取り組んでいく必要がある。その際、2022年10月に設立予定の燃料デブリ取出しエンジニアリング会社（仮称）の活用を図っていく必要がある。

## 6. 技術戦略を支える取組

### 6.1 プロジェクト管理の一層の強化

発電所の建設のように技術が成熟し要求性能が明確なプロジェクトでは、初期の段階で発注者の要求事項を受注者に明確に伝えることが、プロジェクト遂行を円滑に進める上で有効である。一方、燃料デブリ取り出しのような未経験のプロジェクトでは、廃炉の事業執行者である東京電力からの目標設定・要求仕様がエンジニアリング着手時点では必ずしも明確にならず、性能要求設定等も試行錯誤的なものにならざるを得ない。したがって、「最初の段階の作業」に取り組み、そこで得られた情報を次の段階に展開するという「逐次型の取組」に加えて、ある結果を基に次の結果を求め、これを繰り返すことによって次第にエンジニアリングの完成度を高めていく取組が必要となる。このため、東京電力は事業執行者として「エンジニアリング上の判断を行い、その結果に対して責任を持つこと」が強く求められることとなり、東京電力がオーナーとして主体的に行うオーナーズ・エンジニアリング能力を向上させていく必要がある。

### 6.2 国際連携の強化

難度の高い工学的課題を扱う福島第一原子力発電所の廃炉を着実に進めるためには、リスク低減戦略として、先行する廃止措置活動等の事例から教訓を学び、廃炉に活かしていくことや世界最高水準の技術や人材を活用すること、すなわち世界の英知の結集と活用が重要である。また、世界の英知を結集するためには、廃炉に対する国際社会の継続的な理解・関心や協力関係を維持・発展させていくことが重要である。そのため、廃炉の進捗等の正確な情報を発信し、国際社会からの信頼を得ることや、福島第一原子力発電所の事故及び廃炉で得られた知見等を積極的かつ戦略的に還元し、国際社会に開かれた互恵的な廃炉を進めることが必要となる。特に、信頼関係の構築については、専門家だけでなく非専門家にも分かりやすい情報発信、国ごとの情報量の開きに配慮した情報発信等が必要である。

### 6.3 地域共生

東京電力は、2020年3月末に策定した「復興と廃炉の両立に向けた福島の皆さまへのお約束」に基づき、廃炉産業集積に向けた取組を大きく「①地元企業の参画拡大」「②地元企業のステップアップサポート」「③地元での新規産業創出」の3つに整理し、段階的に着手している。既に着手した①、②の取組に加え、「③地元での新規産業創出」の取組として2022年4月に新たに公表した2020年代に複数の新たな施設を設置・運用、及びパートナー企業と共同企業の設立については、比較的大規模な投資であり浜通り地域への大きな経済効果が見込まれることから、着実に取組の推進・強化を行っていく必要がある。一方、特に高機能製品の製造については高度な技術を要することから、地元企業の技術力の向上を図るなど、地元企業の積極的な参画に繋がられるかが課題となるため、新たな廃炉関連施設の立地場所や規模、建設・運用までのスケジュールなど諸々の検討状況について、地元の自治体、商工団体及び関係機関に丁寧に説明し、理解・協力を得ながら取組を進めていくことが重要である。

---

<sup>1</sup>Noriyoshi Nakamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation