

福島第一原子力発電所の廃炉戦略立案への OECD/NEA のサポート (仮訳)  
 NEA News, OECD/NEA, 2017 - No. 35.1  
[www.oecd-nea.org/nea-news/2017/35-1/nea-news-35-1.pdf#page=10](http://www.oecd-nea.org/nea-news/2017/35-1/nea-news-35-1.pdf#page=10)

I. Weber NEA 放射性廃棄物管理部門 廃止措置専門官  
 K. Funaki NEA 原子力安全技術・規制部門 上級原子力安全専門官  
 N. Sandberg NEA 原子力安全技術・規制部門 原子力安全専門官  
 I. Otsuka NEA 放射性廃棄物管理部門 放射性廃棄物専門官



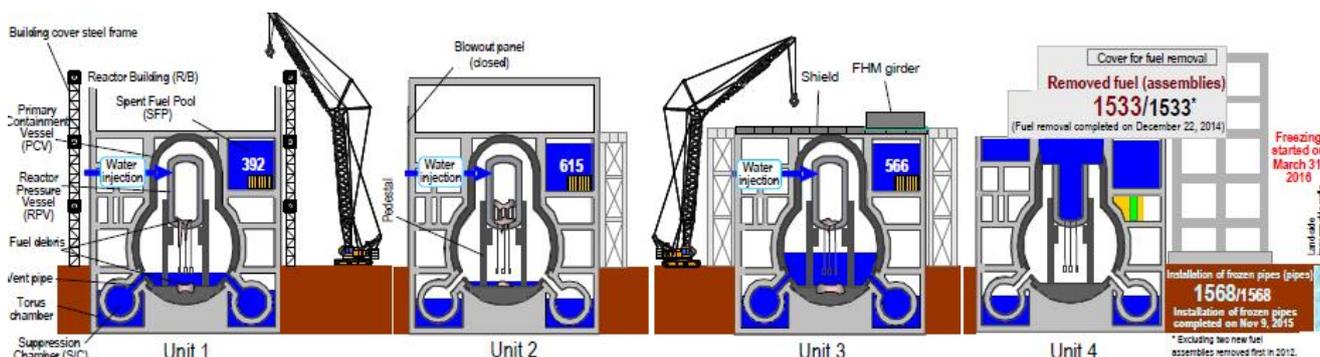
福島第一原子力発電所事故から 6 年が経過し、日本政府及び東京電力ホールディング (TEPCO) は、損傷した原子炉の廃止措置に関連する長期的な課題に対する戦略立案に焦点を移しつつある。

国際社会は事故を生じた同施設の管理という先例の無いチャレンジに対する支援を行ってきており、NEA は特に放射性廃棄物の管理、燃料デブリの状況や位置の評価に関しサポート・調整に重要な役割を果たしている。

現場では、2017 年上半期に、遠隔操作型の機器・ロボットを活用した一連の調査を行い、3 つのユニットの炉内状況や燃料デブリの分布を確認する試みが行われた。2017 年夏には、政府ロードマップに記載されているように、各号機の燃料デブリ取り出し方針が提示され、それをもとに 2018 年にいずれの号機から燃料デブリを取り出す作業を行うか議論されることとなる。また、2017 年度内に事故で発生した放射性廃棄物の処理・処分の基本的な考え方が提示される予定である。

本稿は、福島第一原子力発電所の廃炉計画立案における課題について、NEA の枠組みで取り組まれている国際協力活動について焦点を当てる。

図 1. 福島第一原子力発電所 1～4号機の進捗状況



(出典) 経済産業省

## 福島第一原子力発電所の廃炉戦略の基本的考え方

福島第一原子力発電所の中長期的な廃炉戦略は、前身となる原子力損害賠償機構の組織見直しにより2014年に設立された原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)により策定された。この新組織は、事故で損傷した原子力施設の廃止措置に関する中長期的な戦略の立案を所掌とし、政府のロードマップに反映すべき技術的な戦略計画を策定してきた。中長期的な廃炉戦略立案に特化する組織ができたことにより、日本政府やTEPCOは、汚染水対策や使用済燃料プールからの燃料取り出しといった直近の取組みに焦点を絞ることが可能となった。

損傷した福島第一原子力発電所は、原子力規制委員会(NRA)により特定原子力施設に指定され、特別な規制手続きの対象となっているが、TEPCOがライセンシー(被規制者)として引き続きサイトの運営及びエンジニアリング作業の実行に責任を有している。これに加え、複数の研究開発(R&D)機関が廃炉戦略立案に資する政府資金による関連のR&Dプロジェクトに関わっている。NDFは、2016年に戦略プラン改訂版を公表しており、さらに、これまでの取組みの進展や課題等について日本政府、TEPCO及びR&D機関(即ち、国際廃炉研究開発機構(IRID)、原子力研究開発機構(JAEA))と議論を重ねた上で、2017年夏に更なるアップデート版をとりまとめる予定である。

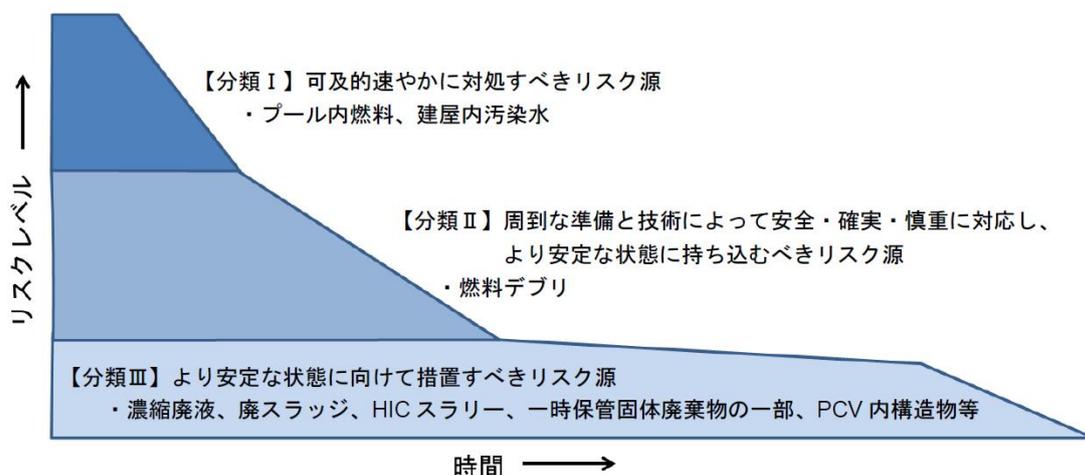
戦略プランは、福島第一原子力発電所の廃炉の基本方針を「事故により発生した放射性物質によるリスクを、継続的に、かつ、速やかに下げること」であるとし、リスク低減に向けての5つの基本的な考え方を提示している。戦略的な廃炉立案は、中長期の時間軸に沿った「リスク低減戦略の設計」と定義されている。

### Box 1: 5つの基本的考え方

- ・ 安全: 放射性物資によるリスクの低減及び労働安全の確保
- ・ 確実: 信頼性が高く、柔軟性のある技術
- ・ 合理的: リソース(ヒト、モノ、カネ、スペース等)の有効活用
- ・ 迅速: 時間軸の意識
- ・ 現場指向: 徹底した三現(現場、現物、現実)主義

この「リスク低減戦略」は、リスクのソースである様々な放射性物質を特定し、その特徴をとらえて分析・評価を行い、特定されたリスクに伴う課題に対応する優先順位を設定していくことである。福島第一原子力発電所サイトに残存する様々な放射性物資によるリスクを比較分析し、時間の経過によってリスクレベルがいかに変化するかも把握すべきである。また、廃炉プロセスのステップを一つ一つ進めていく上で、プロジェクトリスクの管理に関する重要性についても強調されている。

図2: リスク低減戦略



(出典)NDF 戦略プラン 2016

## NEAによるサポート: WPDD 及び CPD

事故を起こしていない原子力施設の廃止措置に関してこれまで策定された戦略やアプローチの多くも、福島第一原子力発電所の廃炉に向けた準備に活用することが可能である。NEA 放射性廃棄物管理委員会 (RWMC)のもとに設置されている NEA 廃止措置作業部会 (WPDD)は、廃止措置及びそれに伴う廃棄物の管理に関して安全・持続的かつ社会に受け入れられる戦略を立案できるよう加盟国をサポートすることを目指している。WPDD に蓄積されている知識・専門性は、福島第一原子力発電所の廃炉の中長期的なプロセスにおいても良い参考となると考えられるものであり、実際、日本の関係機関も WPDD の活動を通じた情報共有に参加してきている。現在、WPDD は、i)廃止措置コスト試算、ii)放射性物質に関する性状把握と廃止措置、iii)運転期間と最終停止後における廃止措置のための準備、iv)廃止措置で発生する低レベル放射性廃棄物の管理の最適化といった課題について複数のタスクグループを設置して検討を進めている。

また、TEPCO は、NEA 廃止措置協力プログラム (CPD)のメンバーになっている。これは NEA 加盟国を中心とした関係機関が他の廃止措置プロジェクトから学び、最も安全、経済的かつ環境に配慮したオプションを実行できるようなることを目指す共同の取組みである。CPD プログラムの目的は、実際に廃止措置を行う機関の間で、廃止措置の実施において得られる経験や教訓を情報交換・共有するものである。

## 燃料デブリ取り出しの戦略と炉内状況の評価

原子力発電プラントが廃止措置へ移行する際の一つの重要な作業は、全ての使用済燃料及びプラントに残存する燃料物質を取り出すことである。福島第一原子力発電所の場合は、この状況が極めて異なり、事故時に大量の損傷燃料が生成された状態にある(即ち、燃料被覆管による閉じ込め機能が無く、他の材料と混ざった状態にある)。これらのリスク要因としては、臨界、崩壊熱、閉じ込め、高放射線、水素発生、支持構造の健全性劣化に関するものが挙げられる。しかしながら、燃料デブリの放射エネルギーは、事故直後の約数百分の1と大きく減少していると NDF が試算している。また、現場で測定されるプラント・パラメータは、臨界、冷却、閉じ込めの観点で安定状態を維持している。燃料デブリに起因するプラントのリスク管理を実施する上では、炉内状況が十分把握できていないという”不確かさ”、事故により溶融した燃料や損傷した施設という”不安定さ”、厳しい放射線環境によるアクセスが困難なことによる”不十分な管理”といった3つの困難が考慮されるべきとされている。

これらの困難に対応するためには、燃料デブリによるリスクを継続的かつ速やかに下げること、即ち、炉内状況を理解し、モニターし、管理する方法を確立することが重要である。

また、長期的視点として、閉じ込め機能の劣化により放射性物質が漏洩して環境汚染が発生する可能性を考慮すべきである。こうした汚染を防止するためには、事故後数十年以内に、燃料デブリを取り出し、収納すべきである。いずれにしても、燃料デブリ取り出しに着手・実施していくことがリスクを最小化していくための鍵である。

### Box 2: 燃料デブリ取り出しの戦略に関する主要要素

#### 格納容器内部状況の把握・推定

～燃料デブリの位置・量・性状、FPの分布、炉内構造物の損傷状況に関する不確かさの低減に繋がる～

- ・ プラント実機調査による推定(PCV・圧力容器の内部調査、ミュオン測定、PCV漏えい箇所調査)
- ・ 解析による推定(改良された過酷事故進展解析コードによる計算)
- ・ 知見及び実験による推定(プラントパラメータ分析、熱バランス法、過去の過酷事故に関する試験・研究成果、模擬燃料デブリによる性状試験)

### 燃料デブリ取り出し工法の実現性の検討

～炉内状況の改善を通じて不安定さの低減に繋がる～

- ・ PCV・建屋の構造健全性の確保
- ・ 臨界管理
- ・ 冷却機能の維持
- ・ 閉じ込め機能の確保
- ・ 作業時の被ばく低減
- ・ 労働安全の確保
- ・ 燃料デブリへのアクセスルートの構築
- ・ 燃料デブリ取り出し機器・装置の開発
- ・ 系統設備、エリアの構築

### 燃料デブリの安定な保管状態での管理

～管理レベルの向上に繋がる～

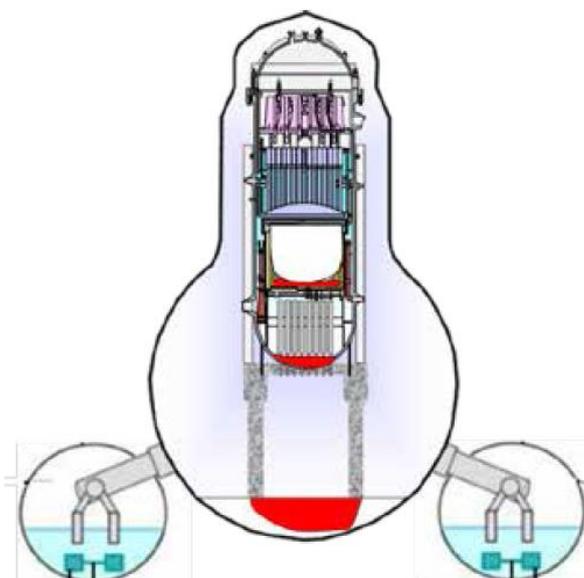
- ・ 収納缶の設計
- ・ 移送システムの構築
- ・ 保管システムの構築
- ・ 保障措置方策の検討

炉内状況と燃料デブリの性状の推定・評価は、現在の安定な状態を維持し、不確実性を低減していくための主要な取組みの一つである。また、得られた情報は、安全で信頼性の高い燃料デブリ取り出し工法を設計・計画していく際の重要なインプットとなるものである。

### NEA によるサポート:BSAF、SAREF 共同研究プロジェクト及び WGAMA

事故進展をより良く理解し、炉内状況を評価を改善するためのニーズに対応し、福島第一原子力発電所の事故に関する国際的ベンチマーク研究(BSAF)が 2012 年に開始された。現在は本プロジェクトの第2フェーズが進められ、11 国から 20 の機関が署名・参加している(カナダ、中国、フィンランド、フランス、ドイツ、日本、韓国、ロシア、スペイン、スイス、米国)。国際的な専門家が一同に会し、福島第一原子力発電所事故で生じた過酷事故の現象理解を進めつつ、そうした過酷事故をモデリングする方法論と解析コードの改良に取り組んでいる。BSAF プロジェクトの第1フェーズは、事故後 6 日間を対象としてコンピュータ・コードによる熱水力現象の解析に焦点を当てて実施し、2015 年に終了している。第 2 フェーズでは、解析対象期間を事故後 3 週間とし、核分裂生成物(FP)の挙動分析についても対象としている。2018 年 3 月まで継続し、各号機の事故進展シナリオに加え、熔融燃料コンクリート反応(MCCI) や FP の状況に関するベスト・エスティメート(最良推定)を得ることを目指している。

図 3: 1号機圧力容器損傷シナリオの最良推定の比較を踏まえた定量的な推定  
(BSAF 第1フェーズ概要報告書、2015年3月)



(出典)NEA(2015)

安全研究と廃炉計画の両方にとっての重要性を認識し、2013年にNEA原子力施設安全委員会(CSNI)は、ポスト福島安全研究機会に関するシニアレベル専門家グループ(SAREF)を設立した。その目的は、安全面の知識を向上させるとともに、福島第一原子力発電所の廃炉戦略をサポートする機会を検討するプロセスを提案するものであった。日本の原子力規制庁が議長を務めて精力的な議論が行われた結果として、2016年に報告書がとりまとめられ、損傷した燃料や炉内構造物のサンプリングといった長期的に検討されるべきより複雑な取組みに向けた準備を開始するために必要となる当面進めるべき短期プロジェクトが提案された。また、3～5年後に長期的な取組みを議論するための新たな情報が得られた時点で、同グループの第2フェーズを再開することが提言された。2017年1月、SAREFの枠組みでの短期プロジェクトの準備会合が開催され、日本から提案された複数の共同研究プロジェクトが議論された。このうち、燃料デブリの性状把握に焦点を当てた国際共同研究プロジェクトについて、現在NEA加盟国においてレビューが行われている。また、複数のポスト福島関連の研究活動を調整するメカニズムについても検討されるべきである。

CSNI事故分析・管理作業グループ(WGAMA)においても、福島第一原子力発電所の廃炉戦略立案に関連する一定の知見や専門性が蓄積されている。例えば、MCCI研究に関する現状のレポートが現在公表に向けて準備されているところ、当該議論に関する貴重なインプットとなるものである。また、別のタスク・グループでは、溶融燃料を含め損傷した原子炉の長期的な管理について議論し、国際的なケース・スタディを収集しているところであり、日本の関係機関も参加し、これらの課題に関する戦略を共有している。

### 放射性廃棄物対策の戦略

福島第一原子力発電所事故に伴う燃料溶融と水素爆発は、瓦礫や伐採木を含む大量の多様な放射性廃棄物の発生・拡散をもたらすと同時に、汚染水処理によってスラリーやスラッジといった二次廃棄物が発生した。これらの放射性廃棄物は、その取り扱いに伴うリスクを低減するために表面線量により分類を行った上で、安全かつ安定した状態で保管・管理されている。同時に、新たな性状把握の方法論の開発についても現在検討が進められている。信頼できる技術と方法論による放射性廃棄物の安全かつ最適な処理・処分方策について長期的に検討されるべきである。NDF戦略プランにおいて、中長期的な観点から様々な課題を十分に考慮した上で、放射性廃棄物の統合的管理に取り組むべきと提唱している。

### Box 3: 放射性廃棄物対策の戦略に関する重要要素

#### 保管管理

- ・ 廃棄物発生量の低減(廃棄物ヒエラルキー、二次廃棄物に対する考慮)
- ・ 保管管理(保管管理計画、保管廃棄物の安定化、燃料デブリ取り出し作業に伴ない発生する固体廃棄物等)

#### 処理・処分

- ・ 性状把握(分析計画、性状把握のための分析能力)
- ・ 処理及び処分方策に関する検討

日本政府のロードマップにおいて、2017 年度に固体廃棄物の処理・処分に関する基本的考え方をとりまとめ、2021 年度頃を目途に固体廃棄物の処理・処分における安全性の見通しを確認することとされている。

#### NEA によるサポート:EGFWMD

日本政府からの要請に対応し、複雑な性状を有する大量のオンサイト廃棄物の管理に関する戦略的なアプローチを関係機関に対して提示し、サンプリングや分析の計画を含め複雑な性状把握プロセスの管理を行い、国際社会と経験を共有し、福島第一原子力発電所で生じている事故後廃棄物の管理や廃止措置の課題に関する知識を改善することを目的として、福島第一原子力発電所の廃棄物管理・廃炉研究開発に関する NEA 専門家グループが 2014 年に設置された。同グループは、JAEA、原子力規制庁、TEPCO など日本の機関からの専門家のほか、スリーマイル・アイランドやチェルノブイリでの原子力発電所事故、ウインズケール・パイル1の火災、環境修復や廃棄物処理に関する R&D の分野で経験を有する世界各国の専門家によって構成された。2016 年 12 月、同グループは福島第一原子力発電所における事故後の放射性廃棄物管理や研究開発についての技術的意見・検討事項、廃止措置における課題をとりまとめた報告書を公表した。

2017 年 3 月の RWMC 会合において、NDF が同専門家グループの議論の成果がどのように NDF の戦略や研究開発プロジェクトの計画に反映されたか報告した。その際、大量の性状が分からない廃棄物を管理するための統合的な方法論の確立に焦点を当てた新たな活動を開始するための要請が行われ、RWMC は同提案を支持した。

#### 今後の取組み:協働・調整の強化

重要な技術課題について関係機関がより緊密に連携を図るとともに、R&D プロジェクトの成果を反映しつつ廃炉戦略を定期的に評価・見直しを行うことが重要である。これらの調整により、戦略立案のスパイラルアップを図り、燃料デブリ取り出しや廃炉作業に向けて着実に前進していく。比類のないチャレンジであることから、関係する機関が協力を強化して一連の R&D プロジェクトを効率的かつ効果的に管理していくことが、R&D の成果を実際に現場に適用していく上で不可欠である。こうした中で、JAEA の新たな研究施設は、地域の再活性化に繋がる「福島イノベーション・コースト構想」の重要な一部をなすものであり、国際協力を更に強化することを目指している。

NEA は、引き続き、国際協力活動の結節点(ハブ)として主要な役割を果たし、進捗状況のアップデート・共有を図っていく。現在進められている関連するプロジェクトは、効率的なインターフェース管理を通じて調整を図っていく。また、NEA が進めている「原子力イノベーション 2050」では、現在、複数の分野について国際共同 R&D プログラムを選定・提案すべく検討を進めているところ、この中の一つに福島第一原子力発電所事故や廃炉活動から得られる教訓に着目した協力活動が盛り込まれる可能性もある。

## 参考情報

原子力損害賠償・廃炉等支援機構 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 2016 (2016年7月13日): [www.dd.ndf.go.jp/en/strategic-plan/index2016.html](http://www.dd.ndf.go.jp/en/strategic-plan/index2016.html)

NEA 原子力施設安全委員会 (CSNI)による報告: [www.oecd-nea.org/nsd/docs/indexcsni.html](http://www.oecd-nea.org/nsd/docs/indexcsni.html)

NEA 放射性廃棄物管理委員会 (RWMC)による NEA 報告書: [www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2016](http://www.oecd-nea.org/rwm/pubs/2016)

NEA 刊行物: [www.oecd-nea.org/pub/](http://www.oecd-nea.org/pub/)