

2020 年度

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会

活動報告書

(2020 年 4 月 ~ 2021 年 3 月)



2021 年 7 月

一般社団法人日本原子力学会

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会

1. はじめに	1
2. 廃炉委員会の概況	1
3. 廃炉委員会の体制と委員構成	2
(1) 体制	
(2) 委員の構成	
4. 廃炉委員会の活動状況	
(1) 廃炉委員会の開催	3
(2) 分科会の活動	3
(3) 本年度にまとめた成果報告書 廃棄物検討分科会中間報告書 事故調提言フォローWG 報告書	4
(4) 情報発信・コミュニケーション	4
1) 秋の大会・春の年会 廃炉委企画セッション	
2) 福島第一事故後10年行事への貢献	
3) 春の廃炉シンポジウム	
(5) 廃炉委ワークショップ	6
(6) 部会、連絡会等との連携	6
福島復興・廃炉推進学協会連絡会(ANFURD) 水化学部会・燃料デブリ専門委員会	
(7) 外部機関の研究成果等の聴取と意見交換	7
NDF、IRID、JAEA、資源エネルギー庁	
(8) 廃炉委員会表彰制度の検討	7
5. 次年度の活動方針 とスケジュール	
(1) 廃炉委員会	8
(2) 分科会	9
(3) スケジュール	9

- 添付資料 -

頁

1 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会 委員リスト	10
2 同分科会・WG 委員リスト	13
3 分科会・WG 活動状況	18
4 分科会・WG 成果報告書 抜粋	
-1 廃棄物検討分科会 中間報告書	21
「国際基準から見た廃棄物管理」2020年7月	
-1-1 上記報告書についての報道各社との対話会	40
-2 事故調提言フォローWG 報告書	
「福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会報告における 提言の実行度調査 -10年目のフォローアップ-」2021年5月	44
5 廃炉委企画セッション他 報告	
-1 秋の大会廃炉委企画セッション報告	60
-2 春の年会廃炉委企画セッション報告	62
-3 3.11 原子力学会シンポジウムへ貢献	66
-4 春の年会理事会企画セッションへ貢献	73
6 関係組織・部会・委員会からの報告	
-1 JAEA 「1F 廃炉関連研究開発と研究基盤整備の現状」	77
-2 水化学部会 春の企画セッション報告	81
-3 FP 挙動研究専門委員会	
-1 春の企画セッション報告	87
-2 成果報告書要旨	93
7 廃炉委表彰制度の検討	102
8 廃炉委員会スケジュール	106
2020年度実績と2021年度計画	

1. はじめに

福島第一原子力発電所（以下 福島第一）の廃炉は、事故炉の廃止措置であり、通常炉と異なり燃料を炉内に残したまま廃炉工程に入るもので、かつて経験のない世界でも初めての技術的な挑戦を伴いつつ、極めて長期にわたり継続される事業である。日本原子力学会としてこの問題に長期に取り組み、事故炉の廃炉が安全かつ円滑に進むよう技術的・専門的な貢献を行うとともに学会事故調の提言・課題をフォローするため、2014 年度に「福島第一廃炉検討委員会」（以下 廃炉委員会）を設置し、活動を進めている。

本報告書は、廃炉委員会の 2020 年度の活動についてまとめたものである。

2. 廃炉委員会の概況

福島第一事故後10年目となった2020年度は、個別検討課題に取り組む分科会の活動が次の通り進展するとともに、「廃棄物検討分科会」及び「学会事故調提言フォローWG」の成果がまとまり、報告書を公開した。

- ・建屋の構造性能検討分科会は、燃料取り出し開始後の原子炉建屋の長期に亘る使用での構造の劣化について検討を進めている。また、高温に晒されたベデスタルの構造性能を把握することも重要な課題と認識し、これらに対する現状の知見を、強度基準検討分科会と連携しつつとりまとめて行く。
- ・ロボット分科会は、実際の廃炉プロジェクトに直接かかわる技術者等から定期的に情報発信願ひ、それに基づきシーズ技術を提案する活動を、廃炉ロボット技術オープンフォーラム等を通して継続的に進めている。
- ・廃棄物検討分科会は、廃棄物処分の最終的なプラント・サイトの状況（エンドステート）を見据えた検討を進め、中間報告書「国際基準から見た廃棄物管理」をとりまとめて 2020 年 7 月に公開した（添付資料 4-1 参照）。また、報道機関との対話会を持ち論点を説明した。
- ・強度基準検討分科会は、福島第一事故により損傷を受けて一部機能を失っている構造物に対しての強度基準の在り方、適切な基準化に対する考え方の検討を、建屋の構造性能検討分科会と連携しつつ進めている。
- ・事故調提言フォローWGは、福島第一事故後10年を迎え、学会事故調で提言された各項目がどの程度実現され何が残された課題となっているのかを、関係省庁及び学会内外委員会・機関の協力を得て2015年度に続き再度、学会の立場で現況調査とレビューを行い、報告書をとりまとめて 2021 年5月に公開した（添付資料4-2参照）。

また、事故から 10 年が経過し、福島第一では環境を含めて安定化が進み、燃料デブリ取り出しの本格的な作業の準備が進みつつある状況であり、廃炉に向けて関係者の率直な意見を集めて分科会の活動を支援すべく、本年度は 4(5)項に示す通り廃炉委ワークショップを 2 回実施した。

なお；

- ・原子力に携わる若手研究者・技術者を対象にした廃炉委員会としての表彰につき、2020 年度に 4(8)項の通り規定を整備し（添付資料 7 参照）、表彰を実施した。
- ・新型コロナウイルスの影響により；
 - 廃炉関連設備視察を、本年度は中止した。

- FDR2021につき、2021年5月予定であったところ、2022年度に延期した。

3. 廃炉委員会の体制と委員構成

(1) 体制

廃炉委員会の運営を円滑に進めるため、運営タスクチームを2017年1月に設けており、各分科会からの協力者も加わって活動している。なお、運営タスクチーム内に、2021年4月よりWGチームを置き、活動項目毎の機動性を強化している。

分科会については、現在 図1に示す次の5分科会1WGの構成で進めている。

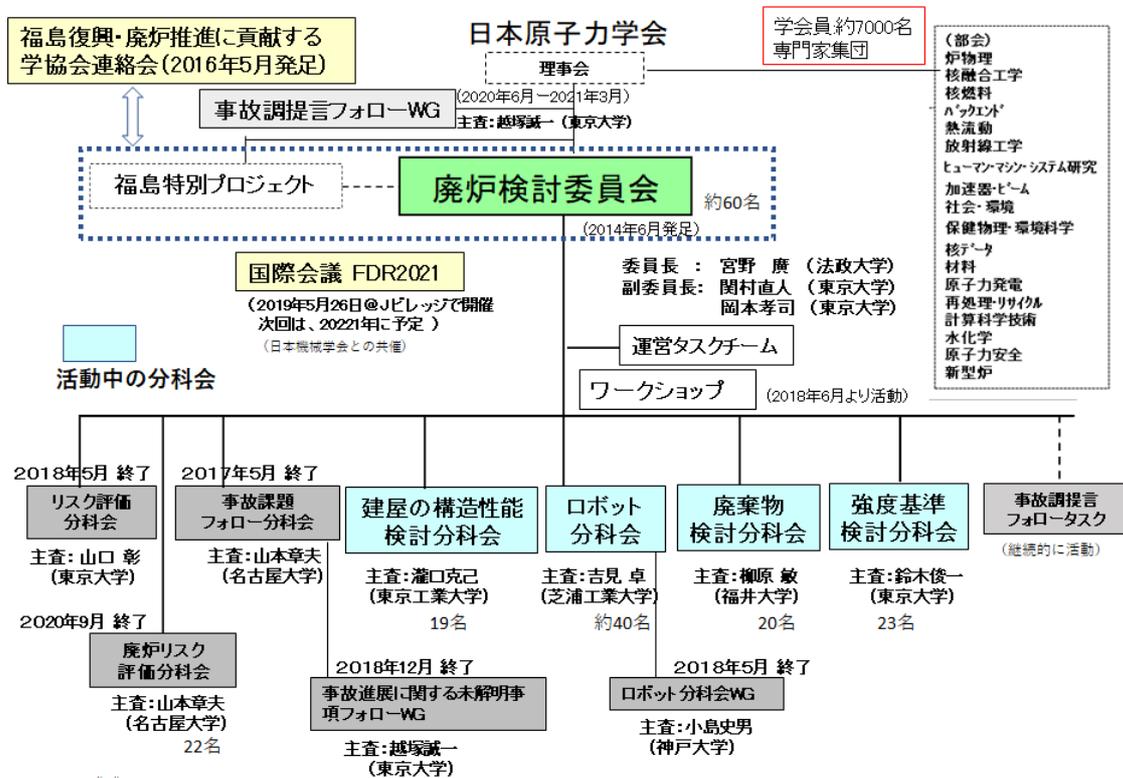
- ・廃炉リスク評価分科会*

*2020年12月に報告書（3号機燃料取り出しを例にリスク評価手法を検討）をとりまとめ公開した後、休会中。

- ・建屋の構造性能検討分科会
- ・ロボット分科会
- ・廃棄物検討分科会
- ・強度基準検討分科会
- ・学会事故調提言フォローWG

福島第一での廃炉作業が本格化し学会が取り組み支援を進める中で、今後とも課題に応じて新たな分科会および検討WGを設定し、多くの学会員に協働いただき、支援を強化していく。

図1 福島第一原子力発電所廃炉委員会の体制



202105028作成

(注) FDR : International Workshop on Fukushima Decommissioning Research

(2) 委員の構成

(2) 分科会の活動

各分科会の活動方針、本年度活動状況、来年度の展望を添付資料3に示す。

(3) 本年度にまとまった成果報告書

本年度にまとまった成果報告書は次の通りで、いずれも下記廃炉委員会サイトで公開済である。

https://www.aesj.net/aesj_fukushima/fukushima-decommissioning

1) 廃棄物検討分科会 中間報告書

「国際基準から見た廃棄物管理」2020年7月 (抜粋：添付資料 4-1)

この報告書については、報道各社と対話会を持ち、趣旨を添付資料 4-1-1 の通り説明した。

2) 事故調提言フォローWG 報告書

「福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会報告における提言の実行度調査

-10年目のフォローアップ-」2021年5月 (抜粋：添付資料 4-2)

(4) 情報発信・コミュニケーション

1) 秋の大会・春の年会 廃炉委企画セッション

当学会員向けに、廃炉委企画セッションにて、秋の大会ではJAEAなど各組織の1F廃炉に向けた研究・技術開発状況と1Fサイトの現況、春の年会では廃炉委の活動状況と成果を紹介し意見交換を行なっている。

-1 秋の大会

秋の大会(Web開催)中の2020年9月17日午後、廃炉委企画セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会-現地状況及び活動報告-」を次の通り実施した(添付資料5-1参照)。参加者数は約190名で、学会員の関心の高さが窺えた。

福島第一廃炉の現況・課題と展望、廃炉委員会の活動状況を伝える良い場であり、今後とも活用して行きたい。

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| ・座長：関村副委員長 | |
| ・講演-1 福島第一原子力発電所廃炉作業の現状 | 東京電力HD 石川真澄 |
| -2 福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略 | NDF 中村紀吉 |
| -3 I R I Dの研究開発概況 | IRID 奥住直明 |
| -4 学会廃炉委における廃棄物の取り組みと今後について | 東北大 新堀雄一 |
| ・全体討論 | |

-2 春の年会

春の年会(Web開催)中の2021年3月17日午後、廃炉委企画セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会 現地状況及び活動報告」を次の通り実施した(添付資料5-2参照)。参加者数は約160名であった。

- | | |
|---------------------------|---------------|
| ・座長：関村副委員長 | |
| ・講演-1 原子力学会の1F廃炉に向けた活動 | 廃炉委員会委員長 宮野 廣 |
| -2 福島第一における廃炉・汚染水対策の現状と課題 | 東京電力HD 小野明 |
| -3 廃炉技術の研究開発の進捗：成果と課題 | JAEA 野田 耕一 |
| ・全体討論 | |

2) 春のシンポジウム

社会への発信のため、最もホットな話題を取り上げ、例年3月に廃炉委シンポジウムを開催してきたが、2021年3月は1F事故後10年にあたり、この時期の当学会主催シンポジウムに廃炉委として3)項の通り貢献し、廃炉委員会シンポジウムは2021年6月に実施することとした。

3) 福島第一事故後10年 原子力学会シンポジウムへの貢献

2021年3月11日に開催された以下の原子力学会「福島第一事故後10年特別シンポジウム」にて、廃炉委員会から2項に貢献した。

1. 事故調提言フォローWGの報告

- (1) WGの活動と報告書作成の経緯：越塚誠一（東大）
- (2) 提言I原子力安全の基本的な事項：成宮祥介(JANSI)
- (3) 提言II直接要因に関する事項：高田孝(JAEA)
- (4) 提言III背後要因のうち組織的なものに関する事項：山本章夫（名大）
- (5) 提言IV共通的な事項：笠原直人（東大）
- (6) 提言V今後の復興に関する事項：田中隆則（原環センター）
- (7) 総括：関村直人（東大）

－14:46黙とう－

2. 廃炉検討委員会の報告（添付資料 5-3 参照）

- (1) 廃炉の10年と廃炉委の役割：宮野委員長
- (2) 学術の視点からのエンドステートへの提言：岡本副委員長

3. 福島特別PJの報告

- (1) 福島の実況および福島特別プロジェクトの活動と今後について：藤田代表
- (2) 除染・帰還・復興に関する見解（2016）に対する現状について：三倉副代表

4. 総合討論

4) 理事会企画セッションへの貢献

春の年会中の2021年3月18日午後、以下の理事会企画セッション「福島第一事故後10年シンポジウムを振り返り今後について考える」に、廃炉委から1.2)項で貢献した。

1. 3.11 原子力学会シンポジウム サマリー

- 1) 学会事故調提言フォローWGからの報告（越塚主査）
- 2) 廃炉委員会からの報告（宮野委員長）[3月11日のまとめ概要]（添付資料 5-4 参照）
- 3) 福島特別プロジェクトからの報告（藤田代表）

2. 3.12 原子力の未来像シンポジウム サマリー（村上）

3. 今後に向けた総合討論（中島会長）

(5) 廃炉委ワークショップ

福島第一事故から10年が経過、環境を含めて安定化が進み燃料デブリ取り出しの本格的な作業の準備が進みつつある中、原子力学会は専門家集団として積極的に貢献しなければならない。廃炉委員会として関係者の率直な意見を集めて分科会の活動を支援すべく、本年度は、表2に示す通り2回の廃炉委ワークショップを実施した。

表2 廃炉委ワークショップ 開催状況

回	開催日	テーマ：話題提供者	主な論点
1	2018/5/28	廃炉のロードマップ、論点と対応： 岡本 廃炉委副委員長（東大）	1F 廃炉の位置づけとあり方、1F の現状とリスク源、外部ハザード対応、人材育成、ロードマップの在り方、社会との関係、今後の研究課題
2	6/9	廃止措置と管理目標： 山本 事故・課題フォロー分科会主査（名大）	廃止措置作業と管理目標、管理目標が対象とする範囲、管理目標の必要性・策定主体、策定にあたっての基本的な考え方、構成例、策定例
3	7/7	廃棄物の取り扱いについて(その1)： 柳原 廃棄物分科会主査（福井大）	廃棄物対策に係る基本的考え方、廃炉(1F)の定義、中長期を見据えた廃棄物管理シナリオ、環境修復、エンドステート
4	12./8	事故炉廃炉での放射性物質/放射線の閉じ込めのためのバウンダリの考え方： 村松健（東京都市大）	バウンダリの意味・性能要求と施設の管理目標との関連、定量的管理目標の例、我国規制における定量的・定性的表現の例、・・・
5	2019/1/19	廃棄物の取り扱いについて(その2)： 柳原 廃棄物分科会主査（福井大）	発生する放射性廃棄物の行先、放射性廃棄物の発生量低減への取組み、廃炉終了の姿とそこに至るシナリオの考え方
6	1/26	事故炉廃炉における自然事象に対する備えを議論する上での前提条件 糸井 建屋・構造分科会幹事（東大）	地震動・津波ハザード評価の動向、状況に応じた備えの必要性、ハザード評価者と技術者の役割、施設側の備えの考え方
7	2/9	宇宙・衛星の信頼性技術と事故炉廃炉向けロボットへの展開：小畑裕裕（東大）	人工衛星の品質保証の課題・不具合事例・原子力発電所との関連性、システムズエンジニアリング、事故炉廃炉向けロボットへの展開、・・・
8	9/23	廃棄物の取り扱いについて(その3)： 柳原 廃棄物分科会主査（福井大）	廃棄物分科会中間報告の論点整理
9	2020/3/9	福島第一廃炉のためのIAEAにおける活動： 八木 雅浩(IAEA)	福島第一廃炉に向けたIAEA国際ピアレビューミッション
10	2021/1/9	廃棄物計量管理： 堀 雅人(JAEA)	燃料デブリに関連する保障措置、1F 廃炉への展開
11	2/6	クリアランス：服部隆利(電中研) 山内豊明（日本原電）	クリアランスレベルの考え方と国際動向、一般炉のクリアランスの状況と1Fでの課題

(6) 部会、連絡会等との連携

本年度は、福島第一廃炉に関連する部会、連絡会のうち「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会から第26,28,29,30回廃炉委にて、また、水化学部会から第30回廃炉委にて活動状況を紹介いただき意見交換を行った。その代表的な資料を各々添付資料6-2, 6-3に示す。

(7) 外部機関の研究成果等の聴取と意見交換

福島第一の廃炉に関連する外部機関（エネ庁、NDF、東電、JAEA）の活動状況・研究成果等の聴取と意見交換を、廃炉委員会及び秋の大会を活用して行った。廃炉委員会で行われた項目を表4に示す。

表4 廃炉委員会での外部機関との意見交換

廃炉委	開催日	主な内容
第26回	2020/7/14	-エネ庁：福島第一廃炉への取組
第27回	9/7	-NDF：1F 廃炉戦略プラン 2020 要旨
第28回	11/27	-JAEA：1F 廃炉関連研究開発と研究基盤整備の現状（添付資料 6-1 参照）

- ・秋の大会(Web開催)では、9月17日の廃炉委企画セッションで、(4)1項に記載の通り、東京電力から「福島第一廃炉作業の現状」、NDFから「福島第一廃炉のための技術戦略」、IRIDから「IRIDの研究開発概況」

が紹介され意見交換が行われた。また、11月14日にWeb開催された(エネ庁)／NDF主催の「廃炉戦略ワークショップ」では、各号機炉内・燃料デブリの状況把握、および燃料デブリ取出し工法に関して調査・研究成果等の聴取と意見交換が行われた。

(8) 廃炉委員会表彰制度の制定

原子力に携わる若手研究者・技術者を対象に、原子力学会理事会と調整の上、廃炉委員会としての表彰制度を制定し、対象者を選考して第31回廃炉委員会（2021年5月25日）にて表彰した。

(添付資料7参照)

5. 次(2021)年度の活動方針とスケジュール

2021年度は、福島第一事故後10年の節目を越え、今後の10年に向けた更なる挑戦の起点となる重要な年度である。改めて廃炉委員会において「事故調提言フォローWG」を引き継ぎ、学会内の部会・連絡会との連携を強化しつつ、広く学術の集約を図り、これまでの活動を取りまとめ、今後に向けた学術としての新たな提言を取りまとめ、フォローして行く。

(1) 廃炉委員会の活動方針

○2021年の事故後10年目からの活動に向けた検討を始める。

- ・各分科会を中心に、廃炉を具体的に進めるにあたっての課題の洗い出し
- ・社会に向けての発信。専門家集団としての課題への取組み

○課題解決型のWSの開催を継続する。

- ・学会提言フォローの一環として、分析・評価報告のレビュー会として開催

(他のテーマ例)

- ・世界と何を共有すべきか
- ・社会との連携の在り方
- ・廃棄物の計量管理
- ・弁別の考え方（クリアランス）
- ・ロボットの信頼性

○学会員との交流

「秋の大会」において会員との意見交換を行うと共に、関係機関の協力も得て関連研究に関して会員の専門家の意見を聴く場を設ける。また「春の年会」では廃炉委の活動成果に関する意見交換の場を設けることを企画していく。

- ・秋の大会は2021年9月8～10日にWebで開催予定。
- ・春の年会は2022年3月16～18日に神戸大での開催が検討されている。

○社会への情報発信

- ・社会への情報発信のため例年3月に実施していた廃炉委シンポジウムは、当学会の福島第一事故10年の行事と重なるため2021年6月に実施することとした。なお次回は、コロナ禍の状況を勘案しつつ、福島県浜通地区での開催も検討する。

○国際会議

- ・FDR2022の開催（2022年5月19日～22日 於J-Villageを予定）準備を進める。
- ・JASMiRTと連携して国際会議に協力する。SMiRT26はポツダム（ベルリン近郊）にて2022年7月に開催される。
- ・NDF第5回福島第一廃炉国際フォーラムに協力する。

(2) 分科会の活動

各分科会で、個別検討課題に深く取り組む以下の活動を行う。

- ・ 建屋の構造性能検討分科会：長期健全性の検証法
- ・ ロボット分科会：炉内調査ロボット開発の課題、信頼性の検討
- ・ 廃棄物検討分科会：中間報告でのクリアランス等の課題への対応の検討
- ・ 強度基準検討分科会：損傷を受けて一部機能を失っている配管・支持構造物等の強度基準の在り方の検討
- ・ 廃炉の安全評価：廃炉作業における安全評価について残件はないか

(3) スケジュール

本年度の廃炉委員会のスケジュール実績と次年度の計画を添付資料8に示す。

以 上

日本原子力学会「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」

委員リスト

2021-07-13

委員長	宮野 廣	元法政大学
副委員長	関村 直人	東京大学 大学院工学系研究科原子力国際専攻
	岡本 孝司	東京大学 大学院工学系研究科原子力専攻
幹事	FP・廃棄物処理・汚染水対策	浅沼 徳子 東海大学 工学部原子力工学科
	燃料デブリ	阿部 弘亨 東京大学 大学院工学系研究科原子力専攻
	分科会主査	越塚 誠一 東京大学 大学院工学系研究科システム創成学専攻
	分科会主査	鈴木 俊一 東京大学 大学院工学系研究科総合研究機構
	リスク評価	高田 孝 東京大学 大学院工学系研究科原子力国際専攻
	分科会主査	瀧口 克己 東京工業大学名誉教授
	福島第一廃炉	早瀬 佑一 エネルギー・環境研究会
	福島特別プロジェクト代表	藤田 玲子 元(株)東芝
	分科会主査	柳原 敏 福井大学 附属国際原子力工学研究所
	分科会主査	山本 章夫 名古屋大学 大学院工学研究科総合エネルギー工学専攻
	分科会主査	吉見 卓 芝浦工業大学 工学部電気電子学群電気工学科
委員	福島第一廃炉	矢板 由美 東芝エネルギーシステムズ(株)エネルギーシステム技術開発センター 化学技術開発部
		林道 寛 (一財)エネルギー総合工学研究所
	廃炉シナリオ/除染	山内 豊明 日本原子力発電(株) 廃止措置プロジェクト推進室
	燃料デブリ	安部田 貞昭 元三菱重工業
		川原 博人 三菱重工業(株) 原子力セグメント デコミプロジェクト室
	FP・廃棄物処理・汚染水対策	出光 一哉 九州大学 大学院工学研究院エネルギー量子工学部門
		内田 俊介 (国研)日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門
		可児 祐子 (株)日立製作所 研究開発グループ原子力システム研究部
		小西 哲之 京都大学 大学院エネルギー理工学研究所/エネルギー科学研究科
		高木 純一 東芝エネルギーシステムズ(株)原子力化学システム設計部
	ロボット	大隅 久 中央大学 理工学部精密機械工学科
	材料・構造 (特に耐震構造)	安部 浩 (一社)日本原子力学会
		加治 芳行 (国研)日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門
		高田 毅士 (国研)日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門
渡邊 豊 東北大学 大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻		
放射線影響	服部 隆利 (一財)電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 生	

			物・環境化学研究部門放射線安全ユニット
	(旧)事故調	奈良林 直	東京工業大学 科学技術創成研究院先導原子力研究所
	リスク評価	竹田 敏	大阪大学 大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻
		成宮 祥介	(一社)原子力安全推進協会

運営タスクチーム	安部 浩	(一社)日本原子力学会
	浅沼 徳子	東海大学 工学部原子力工学科
	可児 祐子	(株)日立製作所 研究開発グループ 原子力システム研究部
	川原 博人	三菱重工業(株) 原子力セグメント デコムプロジェクト室
	高田 孝	東京大学 大学院工学系研究科原子力国際専攻
	成宮 祥介	(一社)原子力安全推進協会
	矢板 由美	東芝エネルギーシステムズ(株) エネルギーシステム技術開発センター 化学技術開発部
	笹沼 美和*	【建屋の構造性能検討分科会】東京電力ホールディングス(株) 原子力 設備管理部
	芦澤 怜史*	【ロボット分科会】名城大学 理工学部メカトロニクス工学科
	川崎 大介*	【廃棄物検討分科会】福井大学 学術研究院工学系部門原子力・エネルギー安全工学専攻
	中野 宏之*	【強度基準検討分科会】東京電力ホールディングス(株) 経営技術戦略研 究所 技術開発部 材料・化学エリア

*:分科会からの協力者

アドバイザー (顧問)	近藤 駿介	原子力発電整備機構
	石樽 顕吉	東京大学名誉教授
	石川 迪夫	原子力デコミッションング研究会

オブザーバー	福田 光紀	資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室長
	石原 弘仁	資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室 企画官
	中舘 尚人	資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室 課長補佐
	中村 圭佑	資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室 係長
	中村 紀吉	原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (NDF)
	舟木 健太郎	日本原子力研究開発機構
	今村 功	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)
	大橋 隆	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)
	長谷部 伸治	化学工学会(京都大学国際高等教育院特定教授)
	松方 正彦	化学工学会(早稲田大学理工学術院教授)
		東京電力 廃炉推進カンパニー
		原子力規制委員会

	山口 彰	学会会長（東京大学）
	中山 真一	学会副会長（(国研)日本原子力研究開発機構）
	池田 伸夫	学会理事（九州大学）
	岩城 智香子	学会理事（東芝エネルギーシステムズ(株)）
	中島 健	学会前会長（京都大学）
	上坂 充	学会元会長（原子力委員会）
	上塚 寛	学会元会長（放射線計測協会）
	岡嶋 成晃	学会元会長（(国研)日本原子力研究開発機構）
	駒野 康男	学会元会長（MHI NSエンジニアリング(株)）
	田中 隆則	学会元副会長
	堀池 寛	学会元会長（大阪大学）
【 事務局 】	富田 靖	（一社）日本原子力学会

「建屋の構造性能検討分科会」委員リスト

2021-07-13

主査	瀧口 克己	東京工業大学 名誉教授
幹事	糸井 達哉	東京大学 大学院工学系研究科建築学専攻
委員 (五十音順)	今本 啓一	東京理科大学 工学部建築学科
	兼近 稔	鹿島建設(株) 原子力部
	倉員 宗一	東芝エネルギーシステムズ(株) 原子力プラント設計部
	黒澤 到	清水建設(株) 原子力・火力本部
	笹沼 美和	東京電力ホールディングス(株) 原子力設備管理部
	鈴木 俊一	東京大学 大学院工学系研究科総合研究機構
	高田 毅士	日本原子力研究開発機構(JAEA) 安全研究・防災支援部門 リスク情報活用推進室
	堤 知明	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)
	中村 隆夫	大阪大学 大学院工学研究科
	福士 直己	日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 原子力計画部
	村上 健太	東京大学 大学院工学系研究科 レジリエンス工学研究センター
	藪内 彰夫	原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 技術グループ
オブザーバー (五十音順)	安部 浩	(一社) 日本原子力学会
	小林 博栄	原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 技術グループ
	三浦 和晃	東京電力ホールディングス(株) 福島第一廃炉推進カンパニー 福島第一原子力発電所 計画・設計センター 建築保守技術グループ
【事務局】	富田 靖	(一社) 日本原子力学会

「ロボット分科会」委員リスト

主査	吉見 卓	芝浦工業大学 工学部電気電子学群電気工学科
副主査	大西 献	三菱重工業(株) エネルギー・環境ドメイン原子力事業部機器設計部
	梅田 和昇	中央大学 理工学部精密機械工学科
幹事	芦澤 怜史	名城大学 理工学部メカトロニクス工学科
委員 (五十音順)	浅間 一	東京大学 工学系研究科精密工学専攻
	安達 弘典	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)
	安納 章夫	原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 技術グループ
	上野 陽平	日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 原子力設計部
	大須賀 公一	大阪大学
	大隅 久	中央大学 理工学部精密機械工学科
	大道 武生	元 名城大学 理工学部メカトロニクス工学科
	岡田 聡	(株)日立製作所 日立研究所
	川妻 伸二	(国研)日本原子力研究開発機構
	川端 邦明	(国研)日本原子力研究開発機構
	神徳 徹雄	(国研)産業技術総合研究所 情報・人間工学領域
	小島 史男	神戸大学 大学院システム情報学研究科
	阪上 知己	東京電力ホールディングス(株) 経営技術戦略研究所
	佐藤 知正	東京大学
	田所 諭	東北大学 大学院情報科学研究科応用情報科学専攻
	中村 仁彦	東京大学
	田村 雄介	東北大学 大学院工学研究科 ロボティクス専攻
	中山 良一	元 工学院大学 先進工学部機械理工学科
	平井 成興	千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター
	藤井 浩光	千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科
	藤江 正克	早稲田大学 理工学術院次世代ロボット研究機構
	細田 祐司	(一社)日本ロボット学会
	松日楽 信人	芝浦工業大学
	間野 隆久	(一財)製造科学技術センター
	湯口 康弘	(株)東芝 原子力福島復旧・サイクル技術部
	油田 信一	芝浦工業大学 SIT 総合研究所
	横井 一仁	(国研)産業技術総合技術研究所
	横小路 泰義	神戸大学
	吉灘 裕	大阪大学
	【事務局】	富田 靖

「廃棄物検討分科会」委員リスト

主査	柳原 敏	福井大学 附属国際原子力工学研究所
副主査	新堀 雄一	東北大学 大学院工学研究科・工学部量子エネルギー工学専攻原子核システム安全工学講座原子力地質工学分野
幹事	川崎 大介	福井大学 学術研究院工学系部門工学領域 原子力安全工学講座
	岸本 克己	(国研)日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所バックエンド技術部高減容処理技術課
	渡辺 直子	北海道大学 大学院工学研究院エネルギー環境システム部門エネルギー生産・環境システム分野原子力環境材料学研究室
	渡辺 将久	(国研)日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門企画調整室
委員 (五十音順)	浅沼 徳子	東海大学 工学部原子力工学科
	浅野 隆	日立GEニュークリア・エナジー(株)燃料サイクル部
	安部 浩	日本原子力学会
	出光 一哉	九州大学 大学院工学研究院エネルギー量子工学部門
	大井 貴夫	(国研)日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門廃炉国際共同研究センター廃棄物処理処分技術開発グループ
	金子 昌章	日本核燃料開発株式会社 研究部材料グループ
	紺谷 修	鹿島建設(株) 原子力部原子力設計室
	鈴木 俊一	東京大学 大学院工学系研究科原子力国際専攻
	前田 一人	三菱重工業(株) 新型炉・原燃サイクル技術部原子力中長期措置対策
	宮本 泰明	(国研)日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門廃炉国際共同研究センター研究推進室
	山下 雄生	東芝エネルギーシステムズ(株)原子炉化学・サイクル技術開発部原子炉化学管理・廃棄物処分技術開発グループ
オブザーバー	早瀬 佑一	エネルギー・環境研究会
	山内 豊明	日本原子力発電(株) 廃止措置プロジェクト推進室

「廃炉リスク評価分科会」委員リスト

主査	山本 章夫	名古屋大学
幹事	竹田 敏	大阪大学
	高田 孝	(国研) 日本原子力研究開発機構
委員 (五十音順)	糸井 達哉	東京大学
	内田 俊介	(国研) 日本原子力研究開発機構
	内田 剛志	(一財) 電力中央研究所
	張 承賢	東京大学
	鈴木 俊一	東京大学
	成宮 祥介	(一社) 原子力安全推進協会
	野口 和彦	横浜国立大学
	宮野 廣	法政大学
	牟田 仁	東京都市大学
	村松 健	東京都市大学
	松本 昌昭	(株) 三菱総合研究所
常時参加者	木村 有輝	(株) テプコシステムズ
	増田 貴広	(株) 東京電力
	高守 謙郎	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)
	肥田 和毅	原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)
	井野 孝	原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)
	中島 清	(株) 三菱総合研究所
	江藤 淳二	(株) 三菱総合研究所
	安部 浩	(一社) 日本原子力学会

「強度基準検討分科会」委員リスト

主査	鈴木 俊一	東京大学 大学院工学系研究科原子力国際専攻
幹事	中野 宏之※	東京電力ホールディングス（株） 経営技術戦略研究所技術開発部材料・化学エリア
委員 (五十音順)	青木 孝行	東北大学 原子炉廃止措置基盤研究センター
	朝田 誠治	三菱重工業（株） 原子力セグメント機器設計部
	浅山 泰	(国研) 日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門大洗研究所高速炉サイクル研究開発センター
	糸井 達哉	東京大学 大学院工学系研究科建築学専攻
	稲田 文夫	(一財) 電力中央研究所 エネルギートランスフォーメーション研究本部 (兼) 原子力リスクセンターリスク評価研究チーム
	井上 龍介※	東京電力ホールディングス（株） 福島第一廃炉推進カンパニー福島第一原子力発電所燃料デブリ取り出しプログラム部安全システムPJグループ
	小山田 修	元(一社) 原子力安全推進協会
	笠原 直人	東京大学 大学院工学系研究科原子力国際専攻
	木村 博	清水建設（株） 原子力・火力本部建設エンジニアリング部
	小林 博栄	原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 技術グループ
	紺谷 修	鹿島建設（株） 原子力部
	堤 知明	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID) 研究管理部
	手塚 英志	東京電力ホールディングス（株） 経営技術戦略研究所技術開発部材料・化学エリア
	永田 徹也	日立GEニュークリア・エナジー（株） 原子力生産本部 原子力設計部
	松永 圭司	東芝エネルギーシステムズ（株） パワーシステム事業部
	山下 裕宣	(一社) 日本保全学会
山根 正嗣	東京電力ホールディングス（株） 福島第一廃炉推進カンパニー福島第一原子力発電所汚染水対策プログラム部	
渡邊 豊	東北大学 大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻	
常時参加者	宮野 廣	廃炉検討委員会委員長
	瀧口 克己	東京工業大学 名誉教授
	安部 浩	(一社) 日本原子力学会

分科会の活動状況

2021. 7. 13

各分科会の活動方針、活動状況を下表にまとめる。

(1)建屋の構造性能検討分科会 (主査：瀧口克己(東京工業大学名誉教授))

活動方針	福島第一の建屋の健全性について、信頼性の検証や課題の整理を行うと共に、社会にわかりやすく情報を発信していく。		
活動状況	第 22 回	2020/ 12/22	<ul style="list-style-type: none"> ・福島第一原子力発電所 1/2 号機排気筒解体工事の概要紹介。 ・吉村教授の講演会 (NDF 殿開催) の概要紹介。 ・春のシンポジウム (廃炉 10 年目) に関する分科会取組み内容の議論。
	第 23 回	2021/ 02/25	<ul style="list-style-type: none"> ・長期健全性評価における課題に関する議論の一環として、「軍艦島の歴史的 RC 建造物の調査と検討」について概要紹介を行った。
	第 24 回	2021/ 06/16	<ul style="list-style-type: none"> ・長期健全性評価における課題に関する議論の一環として、1～3 号機原子炉建屋に関する検討状況について報告があった。 ・春のシンポジウムの講演内容について紹介があった。
今年度の展望	<ul style="list-style-type: none"> ・本分科会に関連する課題で大きなものは、先ず、使用済み燃料取り出しを第一ステップとして、廃炉の各ステップにおける建屋の耐震性の評価である。また、高温に晒されたペDESTALの構造性能を把握することも重要な課題である。これらの課題に対する現状の知見をとりまとめる。 		
その他	第 25 回分科会予定 2021/09/15 am		

(2)ロボット分科会 (主査：吉見卓(芝浦工業大学))

活動方針	福島第一の廃炉にかかわる遠隔操作ロボットに関し、ロボット技術からの俯瞰的支援と社会に受け入れられるロボット技術貢献の在り方を提言する。		
活動状況	分科会	2021 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・新型コロナウイルスの感染拡大の影響で、2019 年度末から分科会活動が停止状態となっていた。2021 年度は、昨年実施が見送られたオープンフォーラムを開催するため、詳細を企画準備中。
	オープンフォーラム	2021 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・第 39 回日本ロボット学会学術講演会 (9/8-11 にオンラインで開催) において、オープンフォーラム「廃炉に向けた日本原子力学会との連携と課題 6」を開催する。(9/8(水)10:00～12:00 で実施。)
	企画セッション	2021 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・日本原子力学会の大会における廃炉検討委員会企画セッションへの協力について、今後の状況により検討を進める。
	その他	2021 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・6/12 に開催された廃炉委員会第 5 回シンポジウム「東京電力福島第一原子力発電所の廃炉 10 年目の課題と展望ーより安全な廃炉に向けてー」において、大隅委員 (中大) が「福島第一原子力発電所の廃炉に向けたロボット技術の現状と課題」と題して講演を行った。
今年度の展望	<p>「ロボット分野で、学会は、そして当該分科会は、本格的にデブリ取り出しのフェーズを迎える廃炉作業にどのような形で関わり、貢献していくのか。」についての議論に基づき、活動を継続実施していく。我々の活動を実際の廃炉プロジェクトに役立てるために、プロジェクトに直</p>		

	接かかわる技術者等からの定期的な情報発信を受けて、シーズ技術の提案等の活動を進めていく。そのための仕組みづくり、場の提供を念頭においた活動を、今年度も分科会全体で行う。
その他	2021年度は、コロナ禍の影響を脱却し、今後、徐々に分科会活動を再開していきたい。分科会メンバー、IRID等関係者との議論に基づき、今後の活動を企画実施していく。

(3)廃棄物検討分科会(主査：柳原敏(福井大学))

活動方針	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性廃棄物管理シナリオの分析 ・事故炉の放射性廃棄物対策に係るレビュー 		
	第10回	2019/ 3/7	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性廃棄物管理に係る課題の整理 ・中間報告の討議(用語の定義、構成など)
	第11回	2019/ 4/17	<ul style="list-style-type: none"> ・第4回福島廃炉シンポジウムの概要説明と意見の整理 ・中間報告の討議(全体構成、報告の主眼など)
	第12回	2019/ 6/21	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告の討議(全体構成、放射性廃棄物管理シナリオなど) ・今後の活動方針に係る討議
	第13回	2019/ 9/25	<ul style="list-style-type: none"> ・第8回ワークショップの紹介とコメントの整理 ・中間報告の討議(宮野委員長のコメント対応など)
	第14回	2019/ 11/6	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告の討議(予め設定された燃料デブリの量を取り出せなかった場合に係るシナリオの考え方の討議など) ・今後の活動方針に係る討議
	第15回	2020/ 1/30	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告の検討(全体構成の見直し) ・中間報告を公表する場合の説明資料の内容
	第16回	2021/ 2/17	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告公開後のフォローアップに係る討議 ・今後の活動に係る討議
今年度の展望	<ul style="list-style-type: none"> ・報道機関等への中間報告の説明(質疑応答)を継続。 ・1F廃棄物管理に係る意見を集約し今後の活動について討議。 		
その他	第17回分科会：2021年9月頃に開催予定。		

(4)廃炉リスク評価分科会(主査：山本章夫(名古屋大学)) 活動休止中

(5) 強度基準検討分科会（主査：鈴木俊一(東京大学特任教授)）

活動方針	損傷を受けて一部機能を失っている構造物に対しての強度基準の在り方を議論し、適切な基準に対する考え方をまとめて提言する。		
第4回	2020/2/10	・ 第3回までの議論内容を受けた1Fにおける強度基準の在り方(案)を示し、議論した。	
第5回	2020/7/5	・ S/C耐震支持構造物等のケーススタディーを実施し、第4回に示したフローの修正すべき点等について議論し、課題を洗い出した。	
第6回	2020/9/8	・ 第5回において、各委員より意見が出されたフローへのご意見に対する検討結果を示し、議論した。	
第7回	2020/10/13	・ 3委員より、「日本地震工学会／日本原子力学科「原子力発電所の地震安全の基本原則に関わる研究委員会」の活動内容」、「BDBEに対する構造力学分野からのアプローチ」、「システム化規格」について紹介頂き、廃炉に適用する場合の扱い等について議論した。	
第8回	2020/12/8	・ 第7回でご紹介頂いた内容を受け、これまでに検討してきた「1Fにおける強度基準全体のフロー」を再検討した結果を議論した。	
第9回	2021/1/28	・ フローの判断項目の一つとして考えている「検知性」について、原子炉注水配管等を代表にどのような方法が考えられるかを議論した。	
第10回	2021/3/16	・ 2/13の地震影響について共有した。また、PCVを代表に「検知性」について議論した。	
第11回	2021/5/17	【建屋の構造性能検討分科会との共同開催】 ・ 分科会内で議論してきた「1Fにおける強度評価の考え方」について、建屋の構造性能検討分科会と議論した。	
第12回	2021/6/17	・ 廃炉委シンポジウムの講演内容を共有した。 ・ レジリエンスについて議論した。	
今年度の展望	・ 分科会で実施した強度基準の在り方に関する議論の取りまとめ。		
その他	第13回分科会予定 2021/8/3		

国際標準からみた廃棄物管理

- 廃棄物検討分科会中間報告 -

- 抜粋 -



2020年7月

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会
一般社団法人 日本原子力学会

公開にあたって

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会は、福島第一発電所の事故の反省を踏まえて、原子力分野の専門家集団として何ができるかを考え、同発電所の廃炉等に積極的に貢献するために日本原子力学会に設置されました。このたび、当委員会廃棄物検討分科会でまとめた「国際標準からみた廃棄物管理」を公表し、関係する多くの皆様にご覧頂くことは意義があると考え、「公表にあたって」を付し、本報告書の位置づけをご理解頂きたいと思っております。

事故を起こした原子力施設や広範な汚染のある原子力施設の廃炉を進めるには、最終的な状態(以下、エンドステートといいます)をあらかじめ設定することが国際的にも重要とされています。このようなエンドステートの設定は、廃炉に係る複雑かつ多様な課題を如何に解決するのかということ、また、福島復興の将来像をどう考えるのかということと綿密に関係しており、ステークホルダー間で話し合うことが必要となります。

そこで、本報告書では、事故後 9 年が過ぎ、いよいよ燃料デブリ取出し作業が開始されようとしている同発電所の廃炉の課題として、あらかじめエンドステートの概念を関係者で共有した上で、廃棄物管理に係る対策などの取組みを進めることの必要性を示すと共に、エンドステートに至る過程の代表的な選択肢を、現在まで得られている情報を基に海外の知見等を踏まえてまとめました。本報告書を中間報告とさせて頂くのは、本報告の内容を今後どのように福島第一の廃炉に活かしていくかを、地元の方々を始め様々なステークホルダーから多様な観点のご意見を伺った上で更なる検討を深めると共に、廃炉作業の進捗に伴う追加情報を得て改訂していくことが必要と考えたものです。

当分科会は、政府や東京電力等に所属しない日本原子力学会の専門家から構成されており、この中間報告を示すことにより、地元の皆様や政府関係者等の間で廃炉や放射性廃棄物に関する議論を深化させるきっかけとなればと考えております。

以上

2020年7月
日本原子力学会 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会
委員長 宮野 廣
同 廃棄物検討分科会
主査 柳原 敏

目次

1. はじめに	1
2. 廃止措置・サイト修復・廃棄物管理に係る対策	6
2.1 廃止措置の定義	6
2.2 廃止措置の基本方針	6
2.3 放射性廃棄物の分類と処分方策	8
2.4 廃止措置で発生する放射性廃棄物の量と廃棄体	10
2.5 サイト修復	12
2.6 エンドステート	12
2.7 1Fにおける課題	13
3. 事故炉の廃棄物管理に係る対策	15
3.1 エンドステートに至るタイムライン	15
3.2 領域区分	15
3.3 事故に起因する放射性廃棄物の特徴	16
3.4 1F 廃炉の廃棄物特性	18
3.5 エンドステートに向けた取り組み	20
4. 放射性廃棄物の取り扱いに係る様々なシナリオの検討	21
4.1 前提条件	21
4.2 シナリオの検討	23
4.3 シナリオの特徴	25
5. 廃棄物管理に係る対策の検討課題	29
6. 提言	31
7. おわりに	33
参考文献	34
付録1 1Fにおける廃棄物管理に係る対策の現状	36
付録2 サイト修復と環境管理の事例	38
廃棄物検討分科会メンバーリスト	42

1. はじめに

背景

2011年3月に発生した巨大地震・津波（東日本大震災）に起因する東京電力福島第一原子力発電所（1F）の事故により、環境に放射性核種が放出される深刻な事態に至り、同時に1Fサイトに存在する多くの機器、設備、建屋の他、植栽、土壌などが放射性核種により汚染した。事故後には、水素爆発で散乱した瓦礫や破損片の片づけ及び作業環境の改善を目的とした活動から瓦礫、伐採木、汚染水、汚染土壌など、様々な形態を有する放射性廃棄物が発生した。これらの放射性廃棄物は、現在、固体廃棄物貯蔵庫や一時保管施設で保管されている。また、事故対応及びその後の活動で作業者が着用した作業衣などの焼却処理を始めとする減容化などを目的とした廃棄物の処理が進められている¹⁾。他方、「東京電力(株)福島第一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（中長期ロードマップ）」²⁾によると2021年を目途に残存燃料及び燃料デブリ（コリウム〔溶融燃料とコンクリート構造物が反応したもの〕を含む）の取り出しが開始される計画となっている。これらの活動からは、原子炉格納容器（PCV）の中に設置されていた高度に放射能汚染した設備・機器の解体物、残存燃料及び燃料デブリなど様々な形状、材質、放射性核種、化学形態を持つ放射性廃棄物が発生する。残存燃料及び燃料デブリの取り出しの後に（または並行して）実施される施設の除染・解体などの廃炉作業、汚染した敷地の除染・修復など（サイト修復）からはさらに大量の放射性廃棄物が発生することが予想される。

上述した中長期ロードマップでは、「福島第一原子力発電所の廃止措置等を、放射性物質によるリスクから、人と環境を守るための継続的なリスク低減活動と位置づけ」ており、事故が発生した2011年から30-40年を要して廃炉を終了するとしている。中長期ロードマップにおける工程・作業内容は、策定時の知見や号機ごとの状況の分析に基づいて策定され、現場の状況、廃炉・汚染水対策の進捗、研究開発成果等を踏まえて見直すこととされており、廃炉を終了した際のサイトの姿（「エンドステート」という）については明らかにされていない。1Fサイト全体の環境を含めた除染・修復を完了し、事故に起因する汚染がサイト内に存在しない状態に戻すためには多くの作業が必要であり、長期間を要する可能性がある。また、2021年に開始される残存燃料及び燃料デブリの取り出しで発生する放射性廃棄物の処理・保管のほか、トリチウムを含む汚染水の処理、これまでに発生した放射性廃棄物を保管する施設の整備、施設の除染・解体で発生する解体廃棄物の安定化・減容処理、サイト修復で発生する放射性廃棄物の管理、さらに、全ての廃棄物（放射性廃棄物を含む）の処分など、廃炉・サイト修復の終了までを視野に入れた長期的視点を持つ廃棄物管理に係る対策の基本的な考え方の検討が必要になる。

一方、放射能汚染した原子力施設及び原子力サイトの除染・解体・修復は、米国、英国、フランス、ドイツ、ロシアなど、原子力利用を進めてきた国々が有する共通した課題である³⁾⁻⁵⁾ことから、IAEAやOECD/NEAなどの国際機関では、原子力開発や平和利用を目的とした施設における事故及び環境汚染を対象にして、原子力施設の廃止措置（廃炉）及び原子力サ

イトの除染・修復などに係る過去の経験や現状のレビューを行い、その結果を幾つかの報告書にまとめている^{4)~9)}。これらの報告書には、事故を伴わない通常炉の廃止措置に加えて、事故炉におけるサイトの除染・修復活動に向けた有用な知見が示されており、その中の幾つかは1Fにおける施設の除染・解体及びサイトの除染・修復を実施する上で有益と考えられる。例えば、「事故直後から施設の修復が終了するまでのタイムラインにおいて、施設の除染・解体のほかサイトの除染・修復までを含めた様々な活動が必要であること」、「事故後の取り組みでは、エンドステートを見据えた上で、そこに至るまでの道筋と計画を十分に検討することが重要であること」、「十分な情報がなくエンドステートが明確に定義できない段階では、複数のエンドステートの選択肢を設定し、それぞれの利点・難点を検討することが有用であること」、「(作業をするだけして、最後に残った廃棄物をどうするのか考えるのではなく)放射性廃棄物管理計画を廃炉、環境修復の作業計画と統合して検討すること」、「環境修復とは汚染からの被ばくを低減することであり、完全な除染や、サイトをバックグラウンド状態に戻すことでは必ずしもなく、長期のスチュワードシップ^{注1}を環境修復活動として考慮することもあり得ること」などの指摘は注目に値する。さらに、放射性廃棄物の処分などの取り組みは周辺住民を含む様々なステークホルダーとのコミュニケーションおよび社会的合意なくして解決が困難であることも指摘されている⁷⁾。1Fの廃炉・サイト修復の計画を検討する際には、各国での対応の事例に基づき、IAEA、OECD/NEAなどで討議・整理された様々な知見・教訓を踏まえることが重要と思われる。

1F サイト全体の環境を含めた除染・修復を完了し、事故に起因する汚染がサイト内に存在しない状態に戻すためには多くの作業が必要であり、長期間を要する可能性がある。また、2021年に開始される残存燃料及び燃料デブリの取り出し、トリチウムを含む汚染水の処理、施設の除染・解体、サイト修復などの作業からは放射性廃棄物の発生が見込まれる。1Fの事故対応、残存燃料・燃料デブリ取り出し、廃炉、サイト修復の取り組みにおいては、これまでに発生した放射性廃棄物も含め、安定化・減容処理、放射性廃棄物保管施設の整備、さらに全ての廃棄物(放射性廃棄物を含む)の処分など、廃炉・サイト修復の終了までを視野に入れた長期的視点を持つ廃棄物管理に係る対策の基本的な考え方の検討が重要であることは言を俟たない。このため、これまでに公開された中長期ロードマップには、2017年度内に廃棄物の処理・処分に係る基本的な考え方を取りまとめるとともに、「2021年度頃を目途として固体廃棄物の処理・処分における安全性の見直しを確認し、必要な制度の検討を行い、処分の実施の見直しを得るなど、長期的観点から検討する」ことが明記され、原子力損害賠償・廃炉等支援機構が公開する「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 2019」には廃棄物対策に係る取り組みの考え方が示されている¹⁰⁾。これに対応して、2019年12月に公開された中長期ロードマップでは、「当面10年

注1 スチュワードシップとは「(アクティブな)環境修復、環境評価の終了後、残留物による健康、環境への影響からの長期にわたる保護が必要な場合にとられる技術的、社会的な対応策；サイト管理、モニタリング、保守、情報管理など」と定義されている。

間程度に発生する固体廃棄物の物量予測を行い、固体廃棄物の発生抑制と減容を図った上で、一時保管エリアにおける保管や、遮へい・飛散抑制機能を備えた施設の計画的な導入、継続的なモニタリングによる適正な保管を前提とした保管管理計画を策定しており、今後の廃炉作業の進捗状況や計画等により変動するものであることから一年に一度発生量予測を見直し、必要に応じて更新を行う。」などが記載されている。ただ、燃料デブリの取り扱いを含め廃棄物管理に係る対策の具体的な内容は、放射性廃棄物の特性データ等がまだ取得されていないことから、今後の検討とされている。

残存燃料及び燃料デブリ取り出しの開始で始まる第 3 期の活動では、燃料デブリ取出しに伴い発生する放射能レベルが高く α 核種を含む燃料デブリ、コリウム、機器の解体片などの放射性廃棄物、また、廃炉に伴い発生する Cs-137 を中心とした高濃度に汚染した大量の機器・構造物の解体廃棄物が発生し、廃炉と並行または引き続いて実施されるサイト修復（除染・汚染土壌の撤去）では、土壌など放射能レベルは比較的低いものの大量の放射性廃棄物が発生することが予想される。世界各国の経験及びわが国における廃棄物管理に係る対策の経緯では、放射性廃棄物の最終的な行先を決め、処分が可能になるまでに長期間を要することが通例である状況を鑑みると、1F では、まだ十分に放射性廃棄物の特性データ等が取得されていないものの、サイト修復が終了するまで、或いは、中長期ロードマップで示す廃炉終了時（「中間エンドステート」という）までを想定した廃棄物管理に係る対策の検討を複数のエンドステートの比較を含めて早急に開始することが必要と思われる。

1F 廃炉に係る活動の経緯

1F 事故以降、日本原子力学会では事故原因の究明、事故処理に向けての提言、住民への情報提供・対話など、緊急に必要な活動を実施してきた。また、2012 年 6 月には、専門分野ごとに設置された部会などで実施された福島事故関連の活動を統合化するため、「東京電力福島第一原子力発電所事故における調査委員会」を設置し、専門家集団としての知識や経験を生かした活動が進められた。この結果は報告書として取りまとめられ、中長期ロードマップの改訂などに役立てられている¹¹⁾。

上述した委員会とともに設置された「福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分」特別専門委員会においては、1F 事故対応からサイト修復までに発生する大量の廃棄物に対して長期的視点に立った検討が必要であることを明記した上で、廃棄物管理に係る対策の当面の研究開発課題を具体的に提案した¹²⁾。

一方、上述した委員会による報告書の公開後、事故の経過や施設状況の調査の進展に伴い、廃炉に係るリスク評価及び施設の健全性評価など更なる検討が必要との認識のもと、2014 年には「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」が発足した。本委員会には、リスク評価分科会、事故課題フォロー分科会、事故進展に関する未解明事項フォロー分科会、ロボット分科会、建屋の構造性能検討分科会などが設けられ、総合的な事故の分析および今後の取り組みに係る検討が進められている。また、廃棄物管理に係る課題をより詳細に検討するため、2016 年 4 月に「廃棄物検討分科会」が設置された。これまでの作業で発生した放射性廃棄

物の適切な処理及び保管、放射性廃棄物の減容、液体廃棄物の処理など、廃棄物管理に係る課題が山積していることを背景にしたものである。

廃棄物検討分科会では、1F 廃炉が安全で効率的に進められるよう廃棄物管理に係る対策に関して適切な提言を行うことを目的とし、原子力に係る専門家集団として学術的な立場から様々な検討を実施してきた。本分科会の活動は、1F 廃炉で発生する放射性廃棄物の処理・処分に係る取り組みを対象とし、放射性廃棄物の発生およびその管理シナリオの検討、放射性廃棄物管理、国の政策との整合性や経済性などに関するものである。

廃棄物検討分科会の活動概要

放射性廃棄物の処理・保管・処分を含む管理は、2021 年以降に本格化する残存燃料および燃料デブリの取り出し、施設の除染・解体、サイト修復（除染を含む）など、1F を放射能汚染の拡散を防止するための管理状態から解放し、新たな跡地の利用を可能にするまでの全ての取り組みと密接に関係する。1F 跡地の再利用を展開するためには、放射能汚染した設備・機器、建屋・構造物を解体・撤去した上で土壌・地下水を除染し、それらの作業から発生する大量の放射性廃棄物を処理・処分することが必要である。或いは放射性廃棄物をサイトに保管する場合でもその容量を極力少なくし、保管エリアを限定するための対策が必要になる。

本分科会の当面の目的は、1F 廃炉・サイト修復における最終着地点であるエンドステートまでの作業・工程を俯瞰して、廃棄物管理に係る対策の観点から、今後の取り組みの基本的な考え方、方策、道筋の可能性を幾つか示し、その特性を明らかにすることである。廃炉・サイト修復のエンドステートに至る過程には様々な選択肢があり、それらの選択肢に対し廃棄物管理の観点からの特徴を明らかにすることは、社会的合意に基づく廃炉・サイト修復の進め方・ゴールに関する意思決定への第一歩であると考えられる。そこで、国際機関における廃炉・サイト修復に係る検討内容の調査、わが国の廃棄物管理に係る現状の整理、これまでに発生した放射性廃棄物の物量、性状、処理・保管状況の整理、今後発生すると予想される放射性廃棄物の推定などを基本にして、エンドステートを視野に入れた廃炉・サイト修復の方針及び廃棄物管理シナリオへの影響を検討した。

「廃棄物管理シナリオ」とは、放射性廃棄物を最終的に処分するまでの道筋を示すものであり、管理の形態には様々な選択肢が考えられる。また、1F の廃炉（施設の除染・解体）、サイト修復の進め方を含め、作業を終了するまでに行われる作業内容や除染の程度などにより発生する放射性廃棄物の特性および量が異なり、廃棄物管理シナリオの検討に影響を与える。このため、放射性廃棄物の最終的な行先を見据えた上で、施設の除染・解体およびサイト修復に係る活動を大きく分類し、発生する放射性廃棄物（固体廃棄物に限定）の管理シナリオを検討した。ここで、放射性廃棄物の行先としては、概括的に「処分場に処分」、「サイトで貯蔵」、「廃棄物をできるだけ発生させない（除染・解体領域を限定して原子力施設の管理を継続）」の3つを基本的な選択肢とした。また、エンドステートに至るまでの取

り組みや汚染状況を考慮し、サイトを幾つかの領域に区分することにより廃棄物管理に係る検討を行った。区分した領域ごとに発生する放射性廃棄物の特性が異なることが予想されるため、サイト全体としての放射性廃棄物の行先は「1F サイト外」、「1F サイト内で貯蔵」に分類できる。また、発生する放射性廃棄物については、クリアランス、限定再利用、減容（溶融等）を進めて、その容量を少なくするための様々な処理、貯蔵方法などが考えられ、これらを含む幾つかの選択肢を検討した。さらに、「廃棄物をできるだけ発生させない」選択肢についても、これまでの海外の取り組みを踏まえると、どこまで解体するのか（「建屋解体まで(地下構造物残存)」、「全て解体撤去」など）、どこまで除染するのか（「サイトの除染・修復の程度」）など、様々な選択肢があり得る。本分科会では、放射性廃棄物の特性（発生時期、量、汚染の程度）に対応した幾つかの選択肢を示して廃棄物管理シナリオを検討した。なお、1F の廃炉・サイト修復及び廃棄物管理に係る対策の策定では、サイトを如何に有効に利用できるようになるかの視点が重要になる。

上述したように、「廃棄物管理シナリオ」の選択肢は「廃炉シナリオ」と密接に関連する。「廃棄物管理シナリオ」の評価には、放射線リスク評価（一般公衆、1F 作業員）、社会的（ステークホルダ）受容性評価（具体的方法は今後の課題）、経済性、環境影響などが考えられるが、これらについても分科会の課題として今後検討を進める予定である。

本報告は、「1F 廃炉で発生する廃棄物をどうするか」（どうするのが良いのか）に関する検討の第一ステップとして、1F 施設及びサイトについて現段階で入手可能なデータに基づき、幾つかの「廃棄物管理シナリオ」を評価し、まとめたものである。廃棄物管理シナリオの検討には、より正確な放射能インベントリや物量の評価、汚染領域の推定が不可欠である。本検討は、今後、調査・分析などの進展に伴い、廃棄物管理シナリオ検討に必要な1F 施設及びサイトの特性に関する情報が拡充された際には、再度の見直しが必要となる。

なお、本報告書では、通常原子力発電所には「廃止措置」という言葉を当て、1F のような事故炉には「廃炉」という言葉を当てることにした。通常炉の廃止措置、少なくとも商用原子力発電所の廃止措置では、燃料を炉心から全て取り出した後からの作業を「廃止措置」として定義し、立案される計画は認可の対象になる。また、通常炉の廃止措置計画の申請では、廃止措置終了までの期間及び必要となる費用を記載することが求められている。一方、1F の1-3号機では、残存燃料及び燃料デブリが炉心及びその周辺に分布しており、汚染も広範囲に広がっているため、通常炉の手順に従った作業とはならない。また、1F は特定原子力施設に指定され、通常炉と同様の手順を取ることが必須の要件とはなっていない。このように、残存燃料及び燃料デブリを取り扱うこと、作業は事前に認可された実施計画に沿って実施される点が通常炉との大きな違いである。これらを考慮して1F 施設の除染・解体を通常炉の廃止措置と区分して「廃炉」と記述する。

2. 廃止措置・サイト修復・廃棄物管理に係る対策

2.1 廃止措置の定義

国際原子力機関（IAEA）では廃止措置を次のように定義している^{13),14)}。すなわち、「廃止措置とは原子力施設の一部又は全部をそこに課せられている規制から除外するための行政的、技術的な活動である（処分施設は除外、処分施設は閉鎖であり廃止措置とは定義されない）。この廃止措置の活動には、放射性物質、廃棄物、機器・構造物の除染、解体、撤去が含まれ、放射線リスクの低減を実現するために適用されるものであり、安全確保に必要な事前の計画や評価に基づいて実施される。」

一方、わが国における原子力施設の廃止措置の規制に関して検討された報告書では、「廃止措置とは、許可・指定をうけた事業または原子炉に係る主たる活動が終了した後、原子炉等規制法の規制を終了するまでの間に行う核燃料物質の譲渡、核燃料物質による汚染の除去、核燃料物質または核燃料物質によって汚染された物の廃棄等の一連の措置と捉えることとする。」と記述され¹⁵⁾、IAEAと同様に、原子炉等に係る主たる活動が終了した後に行われる規制解除のための解体、除染及び放射性廃棄物の廃棄などに係る作業と定義されている。さらに、原子炉等規制法の下（実用炉規則第119条など）における廃止措置の終了条件は以下の通りである。

- ・核燃料物質の譲渡
- ・施設や敷地の放射能の除去
- ・放射性廃棄物の廃棄
- ・放射線管理記録の引渡し^{注2}

ここで、「施設や敷地の放射能の除去」とは、施設や敷地の規制が解除された後、公衆がそれらを利用する際に有意な放射線被ばくを生じないように、施設や敷地の除染を実施することを意味している。例えば、IAEAでは年間10-300 μ Svの範囲で適切な基準を設けることを推奨している¹⁶⁾。

2.2 廃止措置の基本方針

原子炉施設の廃止措置の実施には様々な選択肢がある。すなわち、廃止措置の方式は、原子炉施設の特性、施設の立地条件、施設所有者（事業主）の考え方等により千差万別である。IAEAの報告書では、廃止措置の考え方（基本方針）をより単純にするために、以下に示すように、即時解体（Immediate Dismantling）、遅延解体（Deferred Dismantling）、原位置処分^{注3}（Entombment）に分類している¹³⁾。

即時解体：放射能汚染物質を含んでいる器材、構造物、設備の部分を撤去するか、又は、規制当局が示す無拘束の許容レベルか制限付き許容レベルまで除染することを基本方針とす

注2（公財）放射線影響協会への引き渡し

注3 Entombmentの本来の英訳は「埋葬」であるが、ここではより理解しやすく「原位置処分」とする。

る。この場合、廃止措置作業は運転停止後に速やかに開始される。この基本方針は廃止措置の迅速な完遂を意味し、全ての放射性廃棄物を保管施設か処分施設へ移送することを含んでいる。

遅延解体：安全貯蔵、安全保管、安全隔離などとも呼ばれ、放射能汚染を含む施設の一部を処理するか安全に貯蔵・維持できる状態にして管理し、その後に規制当局が示す無拘束解放に係る許容レベルか制限付き使用に係る許容レベルまで除染又は解体撤去することを基本方針とする。ここでは放射性廃棄物の扱いは即時解体と同様である。

原位置処分（長期保管）：放射性核種で汚染した物質を、放射能レベル、核種の化学形態および周辺環境等を考慮して適切な安全機能を施した上で原位置に処分すること、または、構造的に長寿命材料の中に格納するなどして、規制当局が示す施設の無拘束解放に係る許容レベルか制限付き使用に係る許容レベルまで放射能の減衰を待つことを基本方針とする。

廃止措置計画の検討では、廃止措置が終了するまでの時間軸を考慮することが重要である。上述した IAEA の分類は時間軸をパラメータにして、原子炉の運転停止後のなるべく早い時期に廃止措置作業に取り掛り早期に廃止措置を終了する「即時解体」、本格的な廃止措置作業に取り掛る時期を遅らせる「遅延解体」、かなりの長期間に亘り廃止措置の終了を遅らせる「原位置処分」の基本方針とみることが出来る。図 2.2-1 は上述した廃止措置の基本方針を時系列で示したものである。

何れの基本方針においても、施設の最終の姿（エンドステート）を明らかにした上で準備に取り掛かることになる。廃止措置を進めるに当たっては、施設特性（残存放射能、汚染状況など）を十分に調べて計画を立案することが重要である。除染や解体が終了した後に、最終的な放射能測定を行い、許容レベル以上の放射能汚染が存在しないことを確認することにより廃止措置が終了する。

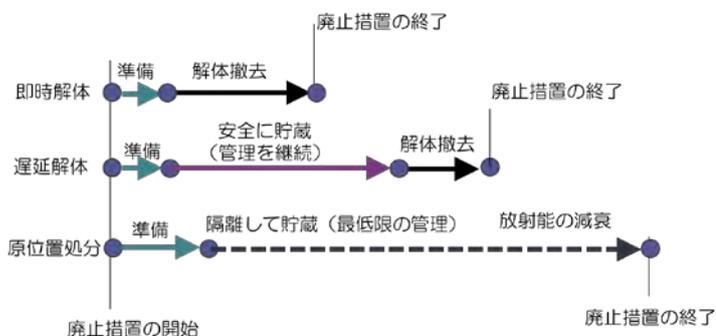


図 2.2-1 時系列で示す廃止措置の基本方針

2.3 放射性廃棄物の分類と処分方策

わが国では原子力発電を含む核燃料サイクル及び原子力に係る研究活動などから発生する放射性廃棄物はその特性に応じた処分形態の分類がなされている。即ち、放射性廃棄物はその放射能レベルの高低に応じて「高レベル放射性廃棄物」と「低レベル放射性廃棄物」に区分されている。高レベル放射性廃棄物は、原子力発電所で使用された使用済燃料の再処理の過程で作られるガラス固化体であり、これらは地下の深い部分（300m以深）に地層処分される。原子炉施設の廃止措置で発生する放射性廃棄物は全て低レベル放射性廃棄物に分類される。このうち、比較的放射能レベルが高い廃棄物は70m以深の地下に処分（中深度処分）される。また、放射能レベルが低い廃棄物は浅地中処分（コンクリートピット処分又はトレンチ処分）される。これらを区分するため埋設濃度上限値が定められており、例えば、トレンチ処分ではCo-60で 10^{10} Bq/トン、コンクリートピット処分ではCo-60で 10^{15} Bq/トンである。原子力利用で発生する低レベル放射性廃棄物の分類とその処分方法は以下の通りである（図2.3-1参照）。

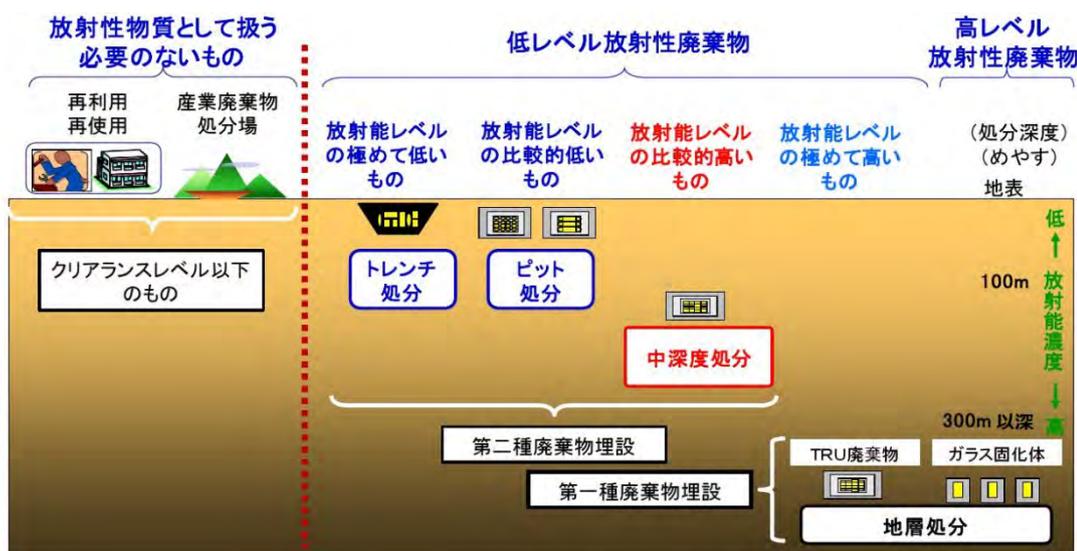


図 2.3-1 放射性廃棄物の処分形態（地層処分は第一種廃棄物埋設、中深度処分、コンクリートピット処分およびトレンチ処分は第二種廃棄物埋設に区分される。）

放射能レベルが比較的高い廃棄物（中深度処分）

炉心近傍の炉内構造物や制御棒などが中性子の照射を受けて放射化したものなどが対象である。地下70m以深の空洞（トンネル又はサイロ）に搬送して定置され、処分坑道は最終的に埋め戻される。

放射能レベルが比較的低い廃棄物（コンクリートピット処分）

原子力発電所の運転や廃止措置で発生する放射能濃度の低い廃棄物が対象である。浅地

中のコンクリートピット（コンクリート構造物で囲われた区画）内に処分され、コンクリートピットは埋め戻される。

放射能レベルが極めて低い廃棄物（トレンチ処分）

放射能濃度が極めて低く、コンクリートピットのような区画内への埋設を必要としない放射性廃棄物が対象である。例えば、土地を掘削した溝（トレンチ）に定置され埋設される。掘削溝は埋め戻される。なお、埋め戻された掘削溝は人工構造物と定義され、周辺土壌と区別される場合がある。

以上は原子力発電所の運転や廃止措置で発生する放射性廃棄物（発電所廃棄物）を対象に処分形態に係る分類を示したものであるが、放射性廃棄物の発生源で区分すると、この他、核燃料サイクルの様々な活動で発生する放射性廃棄物として、ウラン廃棄物、超ウラン核種を含む放射性廃棄物（TRU 廃棄物）が分類されている（表 2.3-1）。TRU 廃棄物は再処理施設や燃料加工施設の運転から発生するものであり、燃料棒の部品、廃液を処理した固体、フィルターなどである。このうち放射能レベルの高いものは地層処分されるが、上述した高レベル放射性廃棄物の処分場に隣接する場所を処分場にする（併置処分）も一つの選択肢となる。また、ウラン廃棄物はウラン濃縮施設や燃料加工施設から発生するものであり、ウラン核種で汚染した各種部材が相当する。比較的放射能レベルの高いものは中深度処分の対象となるが、その他はピット処分又はトレンチ処分の対象である。

他方、医療機関や研究機関（研究炉を含む）などから発生する放射性廃棄物（RI 廃棄物、研究所等廃棄物）があり、これらは原子力発電所の運転・廃止措置で発生する放射性廃棄物と同様に、放射能濃度に応じて上述した処分方法が採られることになる。

なお、わが国には青森県に六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターがあり、日本原燃が放射性廃棄物（低レベル）の埋設事業を進めている。但し、現在は原子力発電所の運転で発生した放射性廃棄物（放射能レベルが比較的低い廃棄物）を処分の対象としている。茨城県東海村には JPDR^{注4}の廃止措置で発生した放射能レベルが極めて低い廃棄物の処分施設（トレンチ処分）が存在する（処分場は閉鎖）。また、現在、廃止措置が進められている東海発電所の機器・構造物の解体で発生する放射能レベルが極めて低い廃棄物は同サイト（東海村）にトレンチ処分することが計画されている。

注4 わが国で初めて旧日本原子力研究所（東海村）に建設された試験用原子力発電所（Japan Power Demonstration Reactor）。原子炉特性、燃料特性などの研究及び運転員の訓練などに供された（電気出力は 1.25MW）。また、わが国で初めて廃止措置（1986-1996）が行われ、施設は解体撤去され跡地は更地になっている。

3. 事故炉の廃棄物管理に係る対策

3.1 エンドステートに至るタイムライン

事故で運転を停止した施設の廃炉は異なる性質の幾つかの作業から構成され、事故発生からサイト修復のエンドステートに至る取り組みに関して図 3.1-1 のようなタイムラインが示されている⁹⁾。即ち、事故対応、安定化活動、クリーンアップ、廃炉作業（除染・解体）、サイト修復などであり、各段階の作業では発生する放射性廃棄物の特性が異なる。ここで、事故対応とは、放射性物質の環境への漏洩防止及び原子炉の冷却を可能にするための活動などである。安定化活動とは、事故で発生したレベルの高い放射能汚染の除去、放射性物質の環境への放出抑制などで、引き続き実施される取り組みを容易にするための活動である。クリーンアップとは、敷地の放射能汚染を除去し、放射性物質の環境への放出が制御できる状態にする活動であり、その後に廃炉作業（除染・解体）が始められる。但し、残存燃料及び燃料デブリの取り出し、熔融燃料とコンクリート構造物が反応したコリウムの取り出し、核燃料物質で汚染した機器の解体・撤去の際には、クリーンアップと廃炉作業が並行して実施されることもある。最終段階ではサイト修復が実施される。エンドステートとして解体撤去の範囲(全て～一部)、跡地利用の制限の有無など広範囲の設定が可能であり、その想定如何により、一連の工程における作業の必要性の要否や作業の特性が大きく異なる可能性があることに留意することが大切である。このため、廃炉（除染・解体）における達成目標とサイト修復における達成目標を明確に設定することが重要になる。なお、ここでは各活動の達成目標を「中間エンドステート」という。

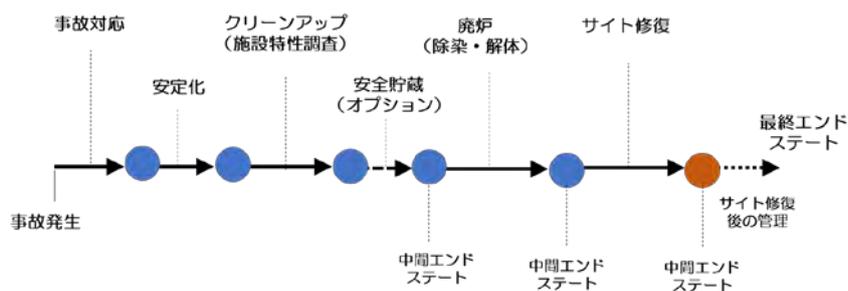


図 3.1-1 事故発生から最終状態に至るまでの主要なタイムライン

3.2 領域区分

原子力サイトは一般に広大な敷地を有しており、原子炉建屋、緑地帯、事務建屋など様々な役割を有する施設や土地が存在する。事故で停止した原子炉施設では、施設の内部が放射性汚染していることは勿論であるが、作業者の被ばく管理を前提にした原子炉施設（原子炉

3.5 エンドステートに向けた取り組み

廃炉作業では残存燃料及び燃料デブリの取り出しと施設の除染・解体が行われ、原子炉建屋、タービン建屋、発生する放射性廃棄物の保管施設などの領域が対象になる。また、サイト修復では港湾施設、緑地帯、道路、事務管理施設などの除染が対象になるが、この場合、汚染除去の程度を決める必要がある。除染作業や放射性廃棄物の運搬、処分施設の整備などに伴う全般的な環境負荷を考慮すると放射性廃棄物の発生量を極力低減する方策も重要であり、放射性核種で僅かに汚染している土壌などは、安全性を十分に評価した上で除去せずにそのまま管理することも選択肢としてあり得る。このような作業を前提として、施設やサイトの汚染状況、解体・撤去・除染の技術的可能性、コストなどを勘案してサイト利用計画を作成し、廃炉の方式、領域区分、放射性廃棄物対策を統合化したシナリオの構築（タイムラインを含む）が必須の課題となる。

中長期ロードマップの第3期計画では廃炉・サイト修復が進められると考えられることから、核種、材質、放射能などの特性の異なる放射性廃棄物が大量に発生することが予想される。また、放射性廃棄物のサイト外への搬出が困難である場合、長期にわたるサイト内での管理が必要になる。どこまで除染して作業を終了するのか、放射性廃棄物をどうするのかは今後の課題として残されている。上述した中長期ロードマップでは、「廃止措置計画は、30～40年後の廃止措置終了を目標に、燃料デブリ取り出し等の廃炉作業や研究開発等の進捗状況を踏まえ、東京電力が第3期に策定する。」とされている。エンドステートの姿によっては発生する放射性廃棄物の量が異なり、それに応じて廃棄物対策も異なることになるため、エンドステートや中間エンドステートを定めて、廃炉作業に取り組むことが求められる（図3.5-1）。なお、この検討において重要なことは1Fサイトをどのように活用するかとの視点と考えられる。廃炉・サイト修復では発生する放射性廃棄物の行先、放射性廃棄物の発生量の抑制、サイトの有効利用を視野に入れたエンドステート及びタイムラインの検討が重要である。

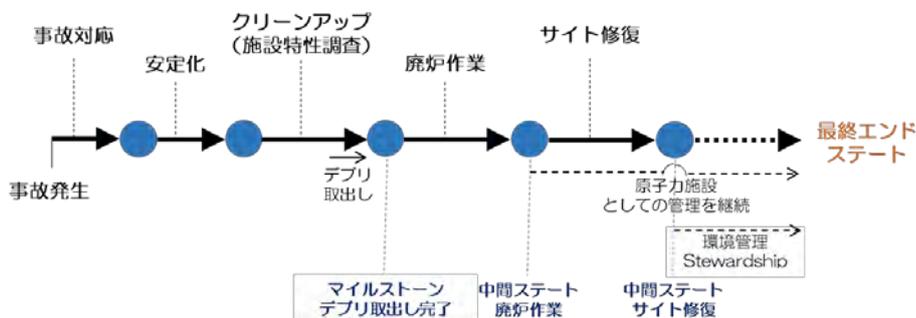


図 3.5-1 長期のサイト管理を考慮したタイムライン

4. 放射性廃棄物の取り扱いに係る様々なシナリオの検討

廃炉・サイト修復の活動からは様々な形態の放射性廃棄物が発生する事が予想されるが、最終的なサイトの利用形態を考慮した上で発生する放射性物質の行先を検討することが重要であることは世界各国の様々な試みから学ぶべき課題である。本章では、1Fのエンドステートを見据えた廃炉・サイト修復に係るシナリオの検討と、予想される放射性廃棄物発生量の半定量的な検討を行う。この検討は、将来、1Fの廃炉・サイト修復に係る最適なシナリオの決定を行うための情報を提供することにある。1Fサイトの利用方法、放射性廃棄物の行先などに係るステークホルダーを含めた議論は必須の課題であり、そのためには原子力の専門家集団が検討した多くの情報を提供することが重要と考えるためである。なお、本項は放射性廃棄物の管理の視点からの検討を主目的としている。シナリオそのものについては、放射性廃棄物の管理に加えて、各作業プロセスでの作業員・公衆の安全性、コスト、環境影響、実行可能性などの総合的な評価が必要であるが、これらは今後の課題である。

4.1 前提条件

1) シナリオの範囲

本検討の対象範囲は、燃料デブリ取り出し後からエンドステートに到達するまでの放射性廃棄物の取り扱いとした。中長期ロードマップの第3期計画では燃料デブリ取り出しの程度に関しては明確にされていないため、本検討では計画された取り出し量の全ての核燃料物質が取り出されるものと仮定した場合を基本とした。なお、予め設定した量の残存燃料及び燃料デブリが取り出せない場合については、初期条件として考慮する必要があることから付加的な検討を加えた。シナリオ構築ではエンドステートにおける「機器・構造物及び汚染土壌などの撤去の範囲」、また、「機器・構造物の解体からエンドステートに至るまでの期間」を変数とした。シナリオ構築の基本的な考え方と検討対象範囲の時間軸を各々表4.1-1、図4.1-1に示す。このよう条件の下では、エンドステートは以下の2ケースとなる。

- ① 1Fサイト内の機器・構造物及び汚染土壌・地下水等の汚染が全て取り除かれた状態
- ② 1Fサイト内の機器・構造物及び汚染土壌・地下水等の汚染の一部が管理・監視の可能な状況で残存する状態

また、エンドステートに至るまでの主要な工程は以下を想定した。

- ① 原子炉施設に存在する機器・構造物の解体撤去（廃炉）
- ② サイト内の汚染した土壌、構造物などの撤去（サイト修復）
- ③ サイト修復が終了しサイトの利用が可能になるまでの猶予期間

ここで、廃炉方式としては通常炉の廃止措置で適用される以下を考慮した。

- ① 即時解体
- ② 遅延解体（安全貯蔵の後に解体撤去）

2) 時間軸

燃料デブリの取り出しが終了した後の取り組み（廃炉・サイト修復）を対象とし、この期間における時間軸を以下のように想定した。

フェーズ0：残存燃料及び燃料デブリ取り出しが終了するまで（作業が中断する場合も考慮）

フェーズ1：廃炉作業のうち主要施設(原子炉建屋・タービン建屋)の解体が終了するまで

フェーズ2：残存する他の構造物の解体が終了するまで

フェーズ3：汚染土壌・地下水の除去・処理等サイト修復が終了するまで

フェーズ4：サイト利用に必要な準備が終了するまで（廃棄物の管理などを含む）

表 4.1-1 シナリオ構築の基本的な考え方

初期条件	<ul style="list-style-type: none"> ① 予め設定した量の残存燃料及び燃料デブリが取り出せた場合：後続する機器・構造物の解体には核燃料物質（残された量）の存在が影響しないとする。 ② 予め設定した量の残存燃料及び燃料デブリが取り出せない場合：フェーズ0におけるゴールの設定が達成できないため、一旦作業を中断して別の取り組みを検討する（遅延解体）必要があるものとした。
エンドステートの状態	<ul style="list-style-type: none"> ① 機器・構造物及び汚染土壌・地下水等の汚染が全て取り除かれた状態 ② 機器・構造物及び汚染土壌・地下水等の汚染の一部を管理・監視する状態
エンドステートまでの工程	<ul style="list-style-type: none"> ① 廃炉作業：原子炉施設に存在する機器・構造物の解体撤去（フェーズ1，2） <ul style="list-style-type: none"> 1) 即時解体 2) 遅延解体（安全貯蔵の後に解体撤去） ② サイト修復：サイト内の汚染した土壌、構造物などの撤去（フェーズ3） ③ サイト修復が終了しサイトの利用が可能になるまでの猶予期間（フェーズ4）

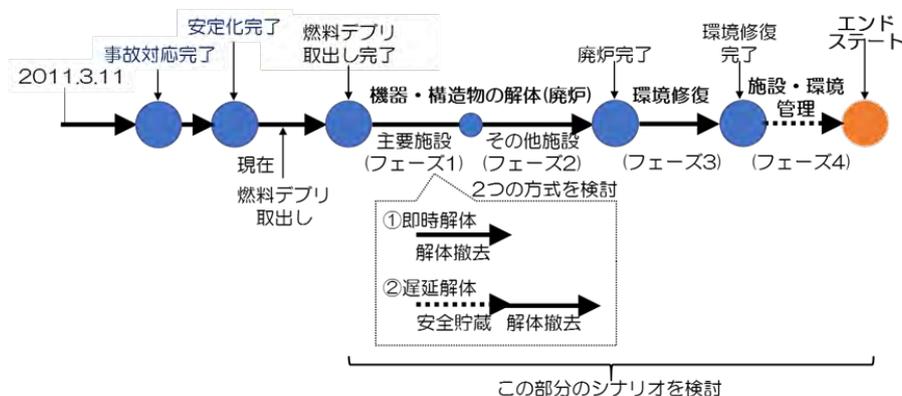


図 4.1-1 検討対象範囲と時間軸



図 5-1 英国 NDA における廃棄物対策に係る階層構造の概念

6. 提言

前章までの検討に基づき 1F の廃炉・サイト修復を安全で効率的に進める上で重要と考えられる課題を提言として以下にまとめた。

廃炉の定義

中長期ロードマップ^{注 5}では、現在進められている様々な活動に対して「廃止措置」、「廃炉」という用語が用いられており、「ステップ 2 終了から 20 年～30 年で廃炉を終了することを目標」としているが、廃炉終了の姿は今後の課題とされており、どのような姿を目指すのかの議論が早い段階から必要である。例えば、1F の廃炉を第 2 章で示した通常炉の廃止措置と同等のものと捉えると、ステップ 2 終了から 20 年～30 年で通常炉の廃止措置終了条件を満たすことは現実的に困難であると考えられる。中長期ロードマップに示された廃炉は、通常炉と同様であるのか、それに至る中間状態なのかの説明が必要である。

エンドステートに係る議論の必要性

中長期ロードマップで示す「ステップ 2 終了から 20 年～30 年の期間」に 1F サイトを事故前の状態に戻すことが困難であるとするれば、如何なる姿を目標とするかの議論が必要になる。海外における原子力サイトの環境修復活動では、原子力サイト全体を完全に解放した

注5 東京電力(株)福島第一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, 2019年12月27日

例は稀であるが、米国 DOE の環境管理プログラムにおいて原子力サイトの一部を解放してビジネスセンターや公園に利用されている例がある（付録2参照）。1F サイトにおいても、原子炉施設領域、事務施設領域、放射性廃棄物管理施設領域など、領域を区分して部分的にサイトを解放することや、30～40年後の各々の状態（中間エンドステート）を如何にするかについての議論が、国内の制度の見直しを含めて必要になる。エンドステートには、原子力施設としての利用、一般の人のサイトへの立ち入りを限定した利用（制限付き解放）、誰でもが自由に利用できる土地（施設）として解放（無効束解放）など、様々な選択肢が考えられる。

ステークホルダーによる討議機会の整備

1F サイトを元の状態に戻す（又は有効に利用する）ためには世代を超えた取り組みが必要である。エンドステートを決定する上で、将来の施設や土地の有効利用、その周辺で活動する様々な立場の人々を含めた議論が重要となる。米国 DOE の環境管理プログラムでは、地域住民との協議を経て廃炉・サイト修復の内容やエンドステートを決定する方法が採られ、活動の完了に至ったことが報告されている。我が国においても、通常行われる「国や事業者が考え方を示してから地域住民の了解を得る」という取り組み方法について、海外の事例を参考に改善策を考慮することも必要と思われる。1F サイトおよびその周辺の土地利用は40年以上の長い期間を経て実現できるものと考えれば、今から、討論の機会を作り議論を進めることが重要である。

放射性廃棄物の低減に係る取り組みの早期実施

これまでの原子力開発や原子力事業の展開の結果、多くの放射性廃棄物が発生したが、その処理・処分は後送りされてきた。廃炉・サイト修復が本格化すると大量の放射性廃棄物が発生することが予想される。廃炉の終了までにどのくらいの放射性廃棄物量が発生するかの具体的な分析・予測が重要であり、放射能インベントリーを含む物量の評価を進めるとともに、放射性廃棄物の発生量の抑制、減容に係る検討を引き続き実施することが求められる。また、作業計画の策定でも放射性廃棄物低減を意識した検討を継続的に進める必要がある。即ち、廃棄物ヒエラルキーの概念（図5-1）に示すように、作業計画の策定段階から発生量抑制、廃棄物量最小化、再利用・再使用に係る検討を継続し、それらの実現に向けて進めることが重要となる。「発生量の抑制」および「再利用・再使用」の検討内容について改めて整理すると以下のようなになる。

発生量抑制：クリアランス、スチュワードシップなど放射性廃棄物を低減することを前提にした、廃炉・サイト修復の計画及び制度の検討

再利用・再使用：クリアランスレベルよりも多少放射能濃度の高いものであっても、作業員の安全性を評価した上で1F サイト内での限定再利用の検討

放射性廃棄物処分に係る制度の見直し

原子力発電所の運転で発生した放射性廃棄物の処分体系の整備はほぼ完了しているが、1Fの廃炉・サイト修復で発生する放射性廃棄物の処分が現行制度のまま実施できるのかについては未知の部分が多い。1Fの放射性廃棄物に特化した処分制度が必要なのか、或いは現行制度に準じた処分の実施が可能なのかの検討が必要である。即ち、1Fの廃炉・サイト修復を完了して同サイトを有効に活用するためにはこれからの活動で発生する放射性廃棄物の取り扱いに係る制度面での検討を推進することが重要と考えられる。第2.7章で示したように、燃料デブリの取り扱いに関しては未知の部分が多い。燃料デブリを放射性廃棄物として処分するのか、核燃料物質として管理するのかなどを含め、燃料デブリの定義に係る検討も必要である。

7. おわりに

本報告書では、事故後9年が経過し、いよいよ燃料デブリ取出し作業が開始されようとしている1F廃炉・サイト修復の課題として、予めエンドステートの概念を関係者で共有した上で、廃棄物管理に係る対策などの取組みを進めることの必要性を示すとともに、エンドステートに至る過程の代表的な選択肢を、今ある情報をベースに海外の知見等を踏まえてまとめた。1Fの廃炉・サイト修復で発生する放射性廃棄物の取扱いは世代を超えた長期にわたることが予想され、エンドステートを念頭に中間エンドステートを定め、着実にステップを踏むことが重要となる。

一方、放射性廃棄物の処分を含む廃棄物管理に係る対策には社会的合意形成が不可欠であり、このためには原子力の専門家が技術的な立場において様々な角度から分析し、その結果、即ち、1F廃棄物の安全で合理的な管理に向けた見解を社会に丁寧に説明すること、また、提言として発信することが重要と考える。本報告書の公開後も、1Fの廃炉・サイト修復に係る進展や放射性廃棄物の管理に係る取組みを注意深く観察・分析・評価し、本報告書で議論した内容をさらに深めることが必要であり、このような活動を継続することは原子力の平和利用に関わる技術者集団としての責務と思われる。

2020-11-27

廃炉委廃棄物検討分科会中間報告(2020.11)についての「プレスとの対話会」

廃炉委廃棄物検討分科会報告書を#25 廃炉委承認を経て学会サイトに公開したが、一般の関心の大きいテーマであり、広報委員会と連携して以下の通りプレス各社に内容を説明するとともに、今後の廃炉委活動への要望などを聴取した。

1. 説明先とスケジュール

NHK：8.6、朝日新聞：8.13、読売新聞：8.13、毎日新聞：8.25、共同通信：9.25
日経新聞：10.23、(参考)笹川記念財団：11.24

2. 説明の要点（別紙参照）と各社の反応

主要な質疑は以下である。

(1) なぜ、今の時期か。

←これまでも論点によってはシンポジウムなどで議論を行ってきた。しかし、様々なステークホルダーの思惑があり、ようやく、受け入れられる状況になった。

(2) 誰に対する提言か。

←主に地元が発信している。一方、国、東電などのステークホルダーにも共通に理解を得たい。ただし、地元への理解では、内容をわかりやすくする必要がある。

(3) 汚染水の扱いについては考えないのか。

←液体の取り扱い、処分は含んでいない。(別途の議論：凝縮、蒸発で減容、処分の方向)

(4) 時間軸の概念は。

←燃料デブリの取り出し完了までの経過の後に、この報告書の主要工程を示したが、時間的な概念を初めて提示した。(A[ロードマップ]:30年、B[中間]:100年、C[低レベル廃棄物管理期間]:300年である。)

各社の反応

- NHKは、デスク以下5名が参加し、唯一対面での質疑の機会を持った。報告書の趣旨、特にリスクコミュニケーションが課題として、これに関連して海外での成功例に興味を持たれ、地元との関連で今後の進め方が課題と意見交換した。
- 朝日新聞は、具体的な内容についての質疑が多かった。エンドステートは「更地」との理解が強く、学会の提言は新鮮だったようだ。トリチウム水の処理をどのように行うのか、今の話題の課題にも興味がある。放射性廃棄物の処分をどのように行うのか、現行の処分との関連での取り扱いが気になり、地元との関連、対話が重要であろう。
- 読売新聞は、報告書の位置づけ、初めての時間軸提示の理由、シナリオ選定の考え方、地元の理解の必要性などについて意見交換を行った。
- 毎日新聞は、この報告書で誰が議論するのか、地元の理解を得るには難しいのではないか、などの議論を行った。

- 共同通信は、廃棄物の量と管理基準に強い興味を持っている。地元への説明にトライすべきではないか。
- 日経新聞は、広く地元との対話問題に言及した。その上で、時間的な対応(時間軸)を含めて地元の理解を得る活動が重要。また、「廃棄しない案」もあるのではないかと、など最適なものは他にもあると言う指摘などもあった。
- 笹川記念財団は、この問題、特にエンドステートについての議論の必要性を提言していることに興味を持った。今後、学会の協力を得て検討を進めたい。

総じて、エンドステートの議論のニーズは理解されたようだ。長期に渡る作業時間、管理期間が必要であることには認識されたが、地元の理解を得ることや地元とサイトの協働が必要となることなど、地元の理解活動が必要ではあるが、難しいと指摘している。

マスコミの報道

国内 NEWS

- ① NHK ニュース 2020/07/26：メルトダウンを起こした東京電力福島第一原子力発電所の廃炉について、日本原子力学会は、4つのシナリオを示し、エンドステートを見据えた議論に着手すべきとする報告を発表した。
- ② 原子力産業新聞ニュース 22 Jul 2020：「原子力学会、福島第一廃炉に伴う廃棄物管理対策で報告書発表」(記事は省略)

趣旨の説明

廃炉での廃棄物の取り扱いについて 「国際標準からみた廃棄物管理」の位置づけ

日本原子力学会 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会 2020-7-22

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会は、福島第一発電所(1F)の事故の反省を踏まえて、原子力分野の専門家集団として何ができるかを考え、同発電所の廃炉等に積極的に貢献するために日本原子力学会に設置された。当委員会廃棄物検討分科会でまとめた「国際標準からみた廃棄物管理」を社会に公表することは意義があると考え、ここに公表にあたっての位置づけを示す。

事故を起こした原子力施設や広範な汚染のある原子力施設の廃炉を進めるには、最終的な状態(エンドステート)をあらかじめ設定することが国際的にも重要とされている。

エンドステートの設定は、

- 廃炉に係る複雑かつ多様な課題をいかに解決するのかということ、また、
- 福島復興の将来像をどう考えるのかということ

と綿密に関係しており、ステークホルダー間で話し合うことは重要である。

事故後9年となり、いよいよ燃料デブリ取出し作業が開始されようとしている今、1Fの廃炉の課題として、

あらかじめエンドステートの概念を関係者で共有した上で、

○廃棄物管理に係る対策などの取組みを進めることの必要性を示す と共に、
○エンドステートに至る過程の代表的な選択肢を、現在まで得られている情報を基に
海外の知見等を踏まえてまとめた。

特に、地元の方々、また政府関係者、廃炉を進める関係者等の中で、廃炉や放射性廃棄物に関する議論を
深化させるきっかけとなることを期待している。サイトの状況が進む中、早く地元との議論を進めるこ
とが必要ではないか、と言う意見が多い。

今後、これをどのように福島第一の廃炉に活かしていくか、様々なステークホルダーから多様な観点の
意見を聴いた上で、更なる検討を深めると共に、廃炉作業の進捗に伴う追加情報を得て改訂していくこ
とが必要と考える。

日本原子力学会誌記事

『学会廃炉検討委、1Fの最終的な姿で4シナリオを提示』

原子力学会の福島第一原子力発電所廃炉検討委員会は7月21日、廃炉が進められている福島第一原子力発電所の将来の最終的な姿であるエンドステートについて4つのシナリオを盛り込んだ報告書を公表した。

「国際標準からみた廃棄物管理」と名付けられたこの報告書では1Fのエンドステートの状態を、関連機器や建屋、地下構造物、汚染土壌、汚染地下水などをすべて取り除いた「全撤去」と、その一部が監視・管理可能な状況で残存する「部分撤去」の2つを想定。さらに、そのための解体を「即時」に行う方式と、一定期間、「安全貯蔵」した後に解体する方式を想定し、この二つの想定を組み合わせた4つのシナリオを設定して評価した。

このうち「即時・全撤去」ではサイトがクリーンな更地となるものの、解体時の放射能が減衰していないため作業が困難になる。また、780トという大量の放射性廃棄物が短期間で発生するため、その搬出が実現できなければサイト解放ができない。「即時・部分撤去」では地下構造物や一部の汚染土壌などを残すため、廃炉・サイト修復を早期に終了でき、放射性廃棄物の発生量も低減できる。ただし地下構造物などの長期管理・監視が必要となる可能性があり、解体時の放射能レベルも高い。最終的にはサイト内に汚染された地下構造物などが残存するため、サイト解放は一部に限られる。

「安全貯蔵・全撤去」では廃炉に着手する時期が遅くなるが、放射能が減衰しているため作業が相対的に容易になる。大量の放射性廃棄物は発生するが、汚染の程度は前述のシナリオより低いため、クリアランスを採用することでその量を低減できる。「安全貯蔵・部分撤去」でも廃炉に着手する時期が遅くなり、放射能減衰により作業が相対的に容易になる。地上部のみを解体するため放射性廃棄物の発生量は少なくなるが、サイトには地下構造物や汚染土壌が残存するため、サイト解放は限定される。

一方、報告ではどのシナリオの場合でも相当量の放射性廃棄物が発生するため、放射能のレベルが低いものについては公衆の侵入禁止や環境への漏洩防止などを施した上で、そのままの状態管理する方法（スチュワードシップ）の検討を提案した。また、現状の中長期ロードマップでは「ステップ2終了から20～30年で廃炉を終了する」ことが目標とされているものの、その期間までに終えることは困難だとし、エンドステートの姿とその実現時期について議論することを求めた。その際には、従来の「国や事業者が考え方を示してから地域住民の理解を得る」方法ではなく、方針決定前にステークホルダーと議論や協議を進めることが重要だと指摘している。

（原子力学会誌編集委員会）

福島第一原子力発電所事故に関する
調査委員会報告における提言の実行度調査
－10年目のフォローアップ－

- 抜粋 -

2021年5月



一般社団法人日本原子力学会

学会事故調提言フォローワーキンググループ

発刊にあたって

東日本大震災に伴い発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故は、大量の放射性物質を放出するという最悪の事態を引き起こしました。事故から10年が経過した今日でも、いまだに帰還できない多くの住民の方がおり、また、事故を起こした原子炉の廃止措置においても、計画が先延ばしとなった燃料デブリの取り出しなど、多くの課題に直面しています。

日本原子力学会は、原子力に関する唯一の総合的学術団体として、この事故を防ぎえなかったことを真摯に受け止め、「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」を立ち上げ、事故原因と事故の影響を調査するとともに、今後解決すべき課題を網羅的に特定し、日本原子力学会からの50項目の提言として公表しました。本会では、これらの提言が関係機関における具体的な活動に結びつくことを期待するとともに、提言の実現に向けて、関係機関への働きかけを続けていくこととしております。その一環として、本会を含む関係機関における提言への取組の状況を定期的に調査することとし、事故から5年目の2016年には調査結果を第1回調査報告書として取りまとめました。

事故から10年目となる本年は、前回の調査以降の取組状況の調査に加え、その実施状況に対する分析と評価を実施致しました。本報告書の分析・評価の結果を踏まえ、今後本会としての取組の検討を進め、示された課題の実現に向けた活動を進めてまいります。また、この結果を関係者で広く共有することにより、関係機関においても提言の実現に向けた継続的な取組が実施されることを期待するとともに、本会としてもその実施に向けて関係機関への働きかけを継続していきます。

なお、提言の実現に向けた取組は、これからも長期にわたり継続が必要な項目もありますので、今後も同様の調査を定期的に行い、その結果を取りまとめ、公開していく予定です。

2021年5月

一般社団法人日本原子力学会
会長 中島 健

目次

要旨	1
1. はじめに	2
2. 根本原因分析の概要	3
(1) 事故の直接要因	3
(2) 事故の背後要因	3
3. 提言のフォロー・評価	4
(1) 提言I：原子力安全の基本的な事項	4
1) 原子力安全の目標の明確化と体系化への取組	4
2) 深層防護の理解の深化と適用の強化	7
(2) 提言II：直接要因に関する事項	10
1) 外的事象への対策の強化	10
2) 過酷事故対策の強化	13
3) 緊急事態への準備と対応体制の強化	13
4) 原子力安全評価技術の高度化	15
(3) 提言III：背後要因のうち組織的なものに関する事項	18
1) 専門家集団としての学会・学术界の取組	18
2) 産業界の取組	20
3) 安全規制機関の取組	21
(4) 提言IV：共通的な事項	25
1) 原子力安全研究基盤の充実強化	25
2) 国際協力体制の強化	26
3) 原子力人材の育成	28
(5) 提言V：今後の復興に関する事項	32
1) 今後の環境修復への取組	32
4. おわりに	35
略語集	37
付録1 フォローアップ協力組織	39
付録2 ワーキンググループメンバー及び協力者	40

要 旨

日本原子力学会が2014年3月8日に公表した東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会報告書では、福島第一原子力発電所事故の根本的な直接要因は、不十分だった津波対策、不十分だった過酷事故対策、そして不十分だった緊急時対策、事故後対策及び種々の緩和・回復策の3つであったとした。そして、その背後要因として専門家の自らの役割に関する認識の不足、事業者の安全意識と安全に関する取組の不足、規制機関の安全に対する意識の不足など5つの要因を挙げた。これらの要因の改善策として、原子力安全の基本的な事項、直接要因に関する事項など5つの分類にわたり、50項目の提言を行った。

2016年、事故後5年目の契機に、提言の実行状況の調査を関係機関、学会に広く行い、その結果をエビデンスと共にまとめた。

今般、2021年に10年目を迎えるにあたり、再度、実行状況の事実を調べるとともに、実行状況を分析し、達成の度合を評価し、今後更に取り組むべき課題をとりまとめた。

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震及びこれによって引き起こされた津波により、東京電力福島第一原子力発電所（以下「1F」と記す）では炉心溶融事故が生じ、放射性物質の大量放出という事態を引き起こした。放射性物質による汚染は広範囲に及び、今なお帰還困難区域が解消されず、多くの方々か避難を続けている。また、事故を起こした原子炉の廃炉作業は現在も続けられており、残された溶融炉心の取出しについては今後長期にわたって行わなければならない。

日本原子力学会は2012年6月22日に「東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」（以後、「学会事故調」と記す）を発足させ、事故の内容及び1Fサイト内外でなされた事故対応について調査し、様々な観点から事故の分析評価と課題の抽出を行った。そして2013年3月に中間報告書を、また、2013年9月に最終報告書ドラフトを公表した。その後、主要各国のピアレビューを受け、2014年3月8日に「福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言 ―学会事故調 最終報告書―」¹⁾（以降、本章を除き「学会事故調報告」と記す）を公表した。最終報告書では1F事故の直接要因は、(1) 不十分であった津波対策、(2) 不十分であった過酷事故対策、(3) 不十分であった緊急時対策、事故後対策及び種々の緩和・回復策、の3点であるとした。そして、その背後要因として、① 専門家の自らの役割に関する認識の不足、② 事業者の安全意識と安全に関する取組の不足、③ 規制当局の安全に対する意識の不足、④ 国際的な取組や共同作業から謙虚に学ぼうとする取組の不足、⑤ 社会や経済に深くかかわる巨大複雑システムとしての特性を踏まえ、原子力発電所の安全を確保するための俯瞰的な視点を有する人材及び組織運営基盤が形成されていなかった、ことを挙げた。さらにこれらの要因の改善のために、I 原子力安全の基本的な事項、II 直接要因に関する事項、III 背後要因のうち組織的なものに関する事項、IV 共通的な事項、V 今後の復興に関する事項、の5つに分類し、13課題50項目の提言を行った。

1F事故から10年が経過し、日本原子力学会では最終報告書で提言した5分類13課題50項目のフォローアップを行い、提言がどの程度実行されているかを把握し、今後の活動に反映させるべきと考えた。そこで、2020年8月に提言フォローワーキンググループを設置し、活動を開始した。まず、提言項目に関して学会内外の原子力界の主要な組織に実行状況の情報を提供いただき、提言ごとにそれらを取りまとめた。提供いただいた組織は「付録1：フォローアップ協力組織」にまとめられている。なお、提言項目の実行状況の調査は今回で2回目であり、第1回の調査結果は報告書として2016年3月に公表されている²⁾。今回の調査結果は第1回の結果に追記する形で取りまとめている。本報告書とともに公表される「提言項目整理表」が今回の調査結果のまとめである。

次に、学会内の多数の専門家に依頼して、実行状況に基づいた分析を行い、提言項目ごとの達成度を評価した。この分析と評価は第1回の調査の際には行っていなかったものである。分析・評価いただいた専門家は本ワーキンググループのメンバー及び協力者の方々であり、「付録2：ワーキンググループメンバー及び協力者リスト」として掲載した。提言の13課題ごとに、4～5名の専門家が実行状況に基づいた課題の達成範囲、達成レベル、及び、今後への改善の期待、を分析及び評価した。ただしこの分析と評価は、日本原子力学会の会員の中から各課題に関する専門家に依頼して、それぞれ独自の見識に基づいたものであり、必ずしも日本原子力学会の総意ではないことに注意されたい。各専門家の分析はコメントとして集め、50項目ごとに文書としてまとめた。その文書は本報告書の第3章となっている。

本報告書の位置づけとしては、1F事故から10年が経過した時点で、事故の教訓がどこまで達成されたかを評価するだけでなく、むしろ、事故の教訓の中で更に達成の努力が必要なものや、将来にわたって継続的に達成の努力を続けていかなければならないもの、時間の経過とともに忘れられているものがないかどうか、を点検し、継続的な安全性の向上に向けて今後どのように努力をしていかなければならないかを明らかにすることである。さらに、日本原子力学会としては、1F事故の反省の上に導き出した提言を原点として、そのフォローアップに基づいて今後の活動の方向を定めていくべきと考える。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本原子力学会 東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会「福島第一原子力発電所事故 その全貌と明日に向けた提言 ―学会事故調 最終報告書―」丸善出版(2014)
- 2) http://aesj.net/hp/documents/2016.3_事故調提言への取組状況第1回調査報告書.pdf

2. 根本原因分析の概要

(1) 事故の直接要因

事故の直接要因としては、以下の4項目が挙げられている。

- 不十分であった津波対策：事前に得られていた2つの重要な警鐘を対策に活かせなかった。第一は貞観三陸沖地震津波、第二は福島県沖海溝沿いの津波地震である。
- 不十分であった過酷事故対策：2002年以降、過酷事故対策の強化が行われなかった。地震、津波などの外的事象に対する過酷事故対策が行われなかった。9.11テロ後に海外で強化されたテロ対策がほとんど行われなかった。
- 不十分だった緊急時対策、事故後対策及び種々の緩和・回復策：10km以内と想定していた緊急時の避難範囲が不十分であった。オフサイトセンターが地震により使用できなかった。ヨウ素の服用指示の連絡が徹底せず、ほとんどの地域で服用されなかった。
- 結果論としてはオンサイトにおける過酷事故の現場対処に不手際が認められるが、それは事前準備に起因するもので、直接要因とは言えない。

(2) 事故の背後要因

事故の背後要因としては5項目が挙げられており、以下にその概要を示す。

1) 専門家の自らの役割に関する認識の不足

- 自然災害に対する原子力安全の専門家の理解が足りなかった。
- 研究や警鐘が社会で活かされる仕組みが不足していた。
- 中立性を守るための努力が不足していた。

2) 事業者の安全意識と安全に関する取組の不足

- 事業者である東京電力は、津波や過酷事故に対する新たな知見により明らかとなったリスクを軽視し必要な安全対策を先延ばしにした。
- 事業者は規制要求以上の安全対策を自ら進める姿勢に欠けていた。
- 事業者は安全を優先させるための俯瞰的なマネジメント能力に欠けていた。リスク管理が経営の一環であるとの認識が不足していた。

3) 規制当局の安全に対する意識の不足

- 規制当局が安全規制に責任をもつ意識が不足していたため、東京電力から得ていた津波想定情報を活かせなかった。
- 過酷事故対策及び原子力防災に関わる安全規制が国際的に大きく後れをとっていたにも拘らず、規制当局は安全規制の進化を迅速に行ってこなかった。
- 緊急時の対策などに関するマネジメントが確立されていなかったことが事故対応における多くの不手際の要因となった。

4) 国際的な取組や共同作業から謙虚に学ぼうとする取組の不足

マグニチュード9.1を記録した平成16年(2004年)のスマトラ沖地震では巨大津波が発生しており、インド洋の対岸にある原子力発電所が浸水するという事態に至っている。しかしながら、このような規模の地震と津波がわが国の近海で発生すると想定し、その場合に原子力発電所が浸水する事態になることを予測し、対策を施すということがなかった。

5) 安全を確保するための人材及び組織運営基盤の不足

原子力発電所は巨大複雑系システムである。これは、単に工学的な巨大複雑システムというだけでなく、社会や経済も深く関わっている。たとえば、安全対策は単に安全機器を設置するだけで機能するものではなく、その維持管理や緊急時の操作など、人的なマネジメントも大きく関わっている。ここまで述べてきた背後要因の更に共通的な要因として、巨大複雑系システムである原子力発電プラントの安全を確保するための俯瞰的な視点を有する人材及び組織運営基盤が形成されていなかったことが挙げられる。

学会事故調報告では背後要因を中心に、執るべき策を策定し提言として取りまとめた。今回のフォローアップでは、提言に対してのその実行度を調査し、その結果を分析・評価し、とりまとめた。以下に分析・評価の結果を示す。

3. 提言のフォロー・評価

(1) 提言 I：原子力安全の基本的な事項

1) 原子力安全の目標の明確化と体系化への取組

①安全目標の合意形成

- ・ 定量性をもった安全目標は、リスクがどの程度であれば社会に受け入れられるかを示すものであり、社会との共有に向けて対話の努力を継続的に行うべきである。
- ・ この安全目標とともに、リスク情報を積極的に活用し、規制機関においては規制活動の透明性、予見性、合理性、整合性の向上を図るべきである。
- ・ 事業者においては原子力利用活動に伴うリスクを合理的に実行可能な限り低くするよう努めるべきである。

注：上記枠内は学会事故調報告における記載内容を示している（以下同様）。

安全目標に関しては、学会事故調報告では、「環境への放射性物質の放出という最悪の事態が現実になり得るものとしての検討が行われていなかった」ことの原因として、「安全の達成目標とその重要性が十分に認識されていなかったこと」が挙げられている。さらに、「安全の達成目標」に関連する検討は行われたものの、「規制への取り入れが避けられてきたこと」、「外的事象の影響度や事象進展に関する分析にリスクの分析評価が十分には利用されていなかった」ことも、指摘されている。

原子力規制委員会において環境を考慮した性能目標(Cs137 換算 100TBq, 10⁶/炉年)が 2013 年に出されていること、2016 年には新規制基準と安全目標の関係が示されたこと、2018 年には炉安審・燃安審からの安全の目標と、新規制基準への適合によって達成される安全の水準との比較評価にかかる意見を踏まえた原子力規制委員会における安全目標（旧原子力安全委員会における中間とりまとめ）を振り返る議論がなされたこと、日本原子力学会の原子力安全部会では 2016 年の原子力学会企画セッションで、安全目標の設定と活用に関する議論の場を設け、リスク部会では 2018 年、2019 年に安全目標に関するシンポジウムを開催し安全目標の階層構造、定性的な上位目標の議論を行っていること、電中研 NRRC からは学会の企画セッションやシンポジウムにおいて安全目標の階層化などの見解が提示されていることなど、公開の議論が様々に実施されている。

この 10 年間に於いて、安全目標にかかる活動が、旧原子力安全委員会での議論の時とは異なる形式でなされてきたことは、安全目標が必要であるとの認識がみえる点で、意義が深い。今後も制定に向けて議論を継続することが必要である。しかし、議論を積み重ねるだけに終始してしまい、未だに安全目標の策定には至っておらず、我が国は定量的な安全目標の設定が不明瞭な原子力発電所保有国となっている。原子力規制委員会が安全目標をあいまいなままにしていることについては問題があり、国民とのコンセンサスを得ることを進めなければならない。

この状況をそのまま継続していても、安全目標の制定、活用の段階には到達しない。安全目標が制定されなければリスクインフォームドアプローチが真の意味で実現せず、各関係組織の安全性向上への取組が将来、停滞することも予想される。議論すべき項目とその検討体制を決めること、目標を定めること、工程を作成すること、などを関係組織が集まって早急に行うべきである。学協会、とくに日本原子力学会が大きな役割を果たすことが期待されるものの、残念ながら現在まで役割を果たしてはいない。

安全目標はそもそも社会との合意により成立すべきものであるが、エネルギー安全保障や温暖化対策などの他のエネルギー源を含む大きな議論と社会の合意が上位で必要である。そのためにも社会あるいは地元住民との対話の機会が必要である。対話ということは、一方的な説明により理解を求めるのではなく、相互に意見交換をしっかりと行い、安全目標の制定、そしてその後のリスク情報を活用した活動の実現に資するように、関係組織が心掛けることが重要である。学会らしい社会への働きかけという点から、日本学術会議との連携もその一つであり、原子力の専門家による議論に、他分野（社会科学、人文科学など）の専門家も入れて議論をすることも、社会との合意形成に重要な役割を果たすと考える。

1F 事故後 2011 年に旧原子力安全委員会は、地震、津波などの外的要因も含めたシビアアクシデント対策を図ること、PRA と決定論的評価を併用することなどの新たなシビアアクシデント対策の枠組みを示し、その後、原子力規制委員会は、重大事故等の拡大防止に関する要件の明記、PRA 結果を参照した事故シーケンス抽出、などを求めた新規制基準を制定した。これらは、将来に発生する事故の発生防止・影響緩和の点で予見性を有した枠組みになっていると評価できる。2013 年には事業者の自主的な安全性向上を目指した安全性向上評価届出制度を開始し、具体的な PRA のガイダンス文書として「PRA の説明における参照事項」を「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイ

ド」の参考資料として発出している。2020年度より実施されている検査制度は、事業者の自主的な安全性向上活動を継続的に行うことをベースにしたもので、リスクインフォームド・パフォーマンスベースの考え方を取り入れている。これらの原子力規制委員会の活動は、1F事故の反映として原子力施設のリスクを把握しその低減対策を立てる仕組みを提供している点で意義は大きい。

資源エネルギー庁は、2014年に「自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ」を設置し自主的安全性向上の取り組みの在り方の検討を行い、日本原子力学会の特別専門委員会での議論を得て2017年にロードマップをまとめた。さらに地震、津波、断層変位のPRA技術開発も支援した。

日本原子力学会においては標準委員会原子力安全検討会に「リスク活用分科会」が設置され、原子力施設の設計、運転管理、規制、防災、リスクコミュニケーション等の分野におけるリスク情報の活用のある方に関する調査・検討並びに検討成果の普及活動等を実施している。リスク情報活用を促進するために技術レポート「リスク評価の理解のために」を2016年に作成し、さらに最新の知見を反映し、2020年に改訂した。また、リスク評価の手法の標準としての外的事象も含んだ各種PRA実施基準、リスク情報を活用するためにPSR⁺指針、IRIDM実施基準を発行している。このようにPRA標準、IRIDM標準の整備が進み、リスク情報活用にかかる理解と知識の普及のための技術基盤の整備は進んでいる。日本電気協会、日本機械学会の規格策定の委員会においても、耐震設計技術規程や保守管理規程などにおいて、リスクインフォームドの考え方を導入した規格の策定の議論が開始されている。

電中研NRRCは、PRA、RIDM、リスクコミュニケーションの最新手法を開発し用いることで、原子力事業者及び原子力産業界による、原子力施設の安全性向上のためのたゆまぬ取組を支援している。各種PRA手法の研究開発、リスク情報活用にかかる教育、PRAピアレビューやデータベース整備などに取り組んでいる。PRAやRIDMにかかるシンポジウムを2015年と2019年に、ワークショップを2017年と2018年に開催し、広く知識情報の共有と普及を続けている。

事業者においては、規制の枠組みにとどまることなく、JANSIや電中研NRRC等と連携しながら、PRA、RIDMによる自主的かつ継続的な安全性向上に取り組んでいる。改善活動などにリスク情報を活用することを進めており、実例が積みあがっている。再稼働したプラントだけではあるが、安全性向上評価届出書においてPRAや安全裕度評価等の結果を踏まえた安全性向上計画を記載し、原子力規制庁へ提出するとともに各社のホームページで公開している。リスク情報活用の検討成果は学会等の場での発表あるいは安全性向上評価届出書に対策実績を掲載する、などの形で、自主的に社会への発信がなされている。新しい検査制度においては、事業者の自主的な安全性向上活動を規制が客観的な視点から見ることにより、事業者自らがリスクに注視しその管理に努力することを促す仕組みであることから、安全性向上に有効であると評価できる。

JANSIは事業者のリスクマネジメント体制の構築を支援・牽引するため、2014年に事業者CEOに対して「リスクを考慮した安全確保体制の構築に係る提言」を発出するとともに、2015年にリスクマネジメントエクセレンスガイドラインを策定した。さらに発電所の体制及び本店の関連する体制の確認、ベンチマーキング、個別支援等を通じて、リスクマネジメント体制の確立を支援している。今後は、本店のオーバーサイト機能の観点からのリスクマネジメントの状況も含めて確認することにより、安全性向上機能を継続的に高められるよう支援する。

以上のように、関係各組織は、PRAの整備開発とともに、その結果を活用したリスク低減の対策及びマネジメント体制の実現を進めており、安全性向上につながる活動の成果は見えてきている。しかし、安全性向上を進めていく際に、PRA結果だけでなく多様な視点を取り入れることはIRIDMの概念に見られるように重要であるが、この点について、まだ具体的な取組がなされていない点で、改善の余地がある。このような配慮をしつつ、今後もリスク情報活用にかかる取組を継続していくことで、予見性、合理性を備えた継続的な安全性向上が達成できると考える。

安全目標を踏まえたリスク情報活用による継続的な安全性向上の取組は、リスク情報に含まれる不確実さの扱い、意思決定におけるバイアスなどの問題のために、いずれの組織の意思決定においても議論に時間がかかり、結局、リソースの配分を無視した過剰な余裕を施した対策に進んでしまい、安心してしまうことが懸念される。特に、我が国は地震や津波などによる外的事象災害が多いため、その対策（ハードウェアだけでなくマネジメントも含む）を、いままでの10年間に尽力した成果に甘んじることなく、新知見を広く収集、検討して、予見性をもって安全の維持向上を続ける必要がある。これには、安全性向上評価届出の仕組みを活用し、日本原子力学会標準委員会で制定しているPSR⁺指針を用いることも有効な手段である。規制活動の判断において、リスク情報は重要な役割を果たすことから、制度の確立、規制基準、学協会規格・標準の整備と活用を、今後も継続するとともに、新しい知見を反映し改善していくことが必要である。

さらに、個々の取組に加えて、外的事象に代表されるように複数の分野の専門的知見を用いる必要があること、長期間にわたる機能を期待する対策には物理的な変化だけでなく社会における新しい考え方を見る必要があること、な

どから、各組織間の対話や取組の融合など、連携した取組が重要である。

②規制基準などの体系化

- 基本安全原則など安全に関する高次の思想を発展、深化させるための努力を国際社会と協力して行っていくべきである。その際、原子力以外の分野の知見も積極的に取り入れていくべきである。規制組織は原子力安全の基本安全原則など高次の安全思想を規制上に位置づけるとともに、それに基づき規制基準などの体系化を図るべきである。

学会事故調報告書では、「原子力の安全対策を想定が困難な事態にも対応できるものにする重要なアプローチの一つ」として、安全の基本的な考え方の体系的整備を挙げている。これは「様々な事態においても全体システムとして最適に設備、システムを機能させるために、設計からマネジメントまでをカバーする俯瞰的な安全体系に基づいて考える必要がある」と記載し、体系的な考え方の重要性を論じている。また、「我が国は1F事故以前から技術の高度化に努め国際的にも高く評価されているが、安全を体系的に捉え考え方を掘り下げる活動に関係各組織は重点を置いていなかった。2006年にIAEAからSF-1（基本安全原則 Fundamental Safety Principles）が発行されたのちにも、これに相当する上位の安全思想が規制制度において位置付けられることはなかった。」とも記載し、「全体を俯瞰する羅針盤となるもの」の作成の意義を記載している。

規制機関が1F事故後に策定した、重大事故対策、外的事象対策、などの規制基準は、すでに実効を上げている。世界的にみて厳しい規制基準への適合性を認められた原子力発電所は、2021年1月現在で16基に達し、9基が再稼働を果たしている。このことに対しては、再稼働審査に時間がかかり過ぎている、廃炉を決めた原子炉も多く将来の電力供給に問題がある、との意見もあるが、日本は複数の原子炉の過酷事故という世界的に類を見ない事故を経験した国であることを忘れてはならない。規制機関は、審査、面談などの会合を公開し資料もダウンロード可能となり透明性はかなり向上している。

日本原子力学会原子力安全部会では、2017年の日本原子力学会企画セッション・セミナーの場で規制全般の課題と今後の方向性について議論を行い、水化学部会では技術課題を深層防護のレベルと関係づけてロードマップを策定する取り組みを進めている。

関連する学協会規格・標準も整備されて、原子力規制委員会及び事業者において活用されている。特に、地震や津波などの外的事象に関する規制基準、学協会規格・標準、民間ガイドラインの整備は、地道に取り組まれている。これらは規制審査だけでなく、事業者が行う安全性向上に貢献している。原子力規制委員会が策定した安全性向上評価届出の仕組みについても、再稼働を果たしたプラントを対象としていることに検討すべき点はあるが、事業者の自主的な検討と工夫、PRAなどの評価の提示が進んでいることには1F事故以前とは異なる状況がみえる。

しかし、原子力規制委員会から、原子力安全の基本的考え方を示す文書は未だ出されていない。それにつながる学協会規格・標準、民間ガイドラインの体系的関係性も学協会規格類協議会などで議論はされているが、未だに明確になっていない。安全目標とともに、安全に関する基本的な考え方が発出されていないということは、今後、安全性向上の意思決定をする際に、基準となるものが存在しないことを意味している。つまり、属人的、あるいは組織の都合による意思決定がなされ、科学的合理的な判断にならない場合が出てくるのが危惧される。

日本原子力学会標準委員会は、原子力安全の基本原則について検討を行い、基本安全原則や深層防護の考え方に関する技術レポートを発行した。深層防護の適切な実装に関する考え方について公開シンポジウムなどを行い、意見を聴取した。原子力関連学協会規格類協議会は、3学協会*規格策定委員会委員長連名で、学協会規格策定の更なる充実、強化の取組み方針について述べたステートメントを2018年に出している（*日本機械学会、日本原子力学会、日本電気協会）。なかでもIAEAのSF-1を踏まえた技術レポート「原子力安全の基本安全原則」（2012年）は、その後IAEAから出されている文書などを参照して更新する検討も必要ではあるものの、日本として原子力安全の基本的考え方を関係組織合意のもとで原子力規制委員会が制定していくための活動の契機として期待でき、日本原子力学会は議論の場を提供するなどの働きかけを規制、事業者などに広く行う役割を果たすことができると考える。

外的事象にかかる基準、規格の整備については、設計、リスク評価だけの各分野における規格・標準の議論において、新知見を広く収集し反映して継続した改善を行うこと、さらに、地震従属事象のような分野の複合、保守と設計のような部署間の協働について、規制基準、学協会規格・標準の関連性の強化を図る必要がある。その際、個々の学会は、自らの分野だけに籠ることなく、異なる分野との意見交換、情報共有を積極的に行うことも重要である。この意見交換、情報共有の結果、新規の考え方、規格の内容の高度化、拡張が必要になることが露見する場合もあり得るであろう。このように規制基準や規格・標準は常に見直し、これでいいのかの問いかけを行っていかねばならな

(5) 提言 V : 今後の復興に関する事項

福島における環境修復については、この 10 年間で除染が進み、汚染状況重点調査地域の除染は終了し、除染特別地域の避難指示も帰還困難区域を除き解除されている、また、仮置き場から中間貯蔵施設への除去土壌・除染廃棄物（以下、「除去土壌等」という）の搬出が進められており、移送後の仮置き場の原状回復も進められるなど、大きな進展が見られる。一方、除去土壌等の処理・処分への取組は、未だ多くがその途上にあると言わざるを得ない。特に、県外での最終処分に向けては、除去土壌等の減容化・再利用を含め最終処分の方針や方法など、長期に亘り取り組むべき大きな課題が残されている。

このような課題については、地元の住民、自治体、関係機関との密接なコミュニケーションの下で、検討を進めることが重要である。また、時間の経過と共に、これらの問題に対する国民の関心の低下が懸念される。今後の復興のためには、達成度を随時検証しつつ、適切な地元支援を地道に継続することが必要である。

1) 今後の環境修復への取組

①環境放射線モニタリング

- ・ 初期段階から一元的にデータを収集、保存するためのシステムを確立しておく必要があり、緊急時に対応できるような体制整備を図るべきである。
- ・ 今後は小児も含め住民の長期の線量評価も必要であり、個人線量モニタリングの新しい手法を開発し、継続的評価管理を進める仕組みを構築すべきである。

原子力災害対策指針が制定・改訂されてきており、その中で緊急時モニタリングについても関係機関の役割等が定められており、統一的・一元的な体制作りが目指されている。関係機関が連携しての原子力防災訓練も定期的を実施されており、実効性のあるシステムの確立が進められている。また、環境放射線モニタリング技術、例えば航空機や無人飛行機、無人観測船によるモニタリング技術などの開発も継続的に行われてきている。以上から、優れた成果があげられているものと認められる。なお、緊急時モニタリングで収集されるデータには、各機関の情報伝達の時間差や一定の不確実性などが内包されることを考慮し、実効性のある活用方法について検討を深める必要がある。

小児を含めた住民の長期の線量評価は、環境放射能などの測定結果や住民の個人被ばく線量の調査結果などに基づき開発された被ばく評価手法を用いて行われるようになってきている。国及び福島県は、関連機関や大学と連携し、必要な被ばく線量把握や健康調査を行っており、小児の甲状腺被ばくに対しては、健康を長期に見守ることを目的に甲状腺検査が継続的に実施されている。なお、粉塵による内部被ばくについても調査が行われており現状では特段の課題は報告されていないが、廃炉の進展に伴い粉塵が飛散するようなトラブル発生の可能性に備えて、今後は、粉塵のモニタリングについても留意する必要がある。

②法規制とガイドライン

- ・ 仮置き場などの施設の設置が遅れていること、除染効果が顕著でないケースもあることから、除染実施方法の指針であるガイドラインを、最新知見を取り入れることにより充実するとともに、除染に柔軟に現実的に対応できるようにすべきである。
- ・ 汚染土壌、がれき、草木などの発生は、発電所サイト内、サイト外でも同じであることから、より効果的な対応として、放射性物質汚染対処特措法（以下「特措法」という）と従来から存在する原子炉等規制法などとの関係を整理するとともに、これらの法律の上位の考え方を纏めるべきである。

環境省において、「除染関係ガイドライン」と「廃棄物関係ガイドライン」が制定され、その後、前者については、河川・湖沼等の除染、森林の除染、仮置場の原状回復に関する内容が追加され、後者については、「特定廃棄物関係ガイドライン」が追加されている。このように、最新知見に基づき、随時見直し・拡充が行われており、除染の現場で適用できるようなガイドラインの整備が進んでいる。今後も、帰還困難区域での除染も考慮し、これまでの除染経験をガイドラインに反映する努力を継続する必要がある。

除去土壌等の処理・処分に関する規制は、サイト外については 1 F 事故による環境汚染に対応するために制定された特措法に基づき、また、サイト内については原子炉等規制法に基づき、それぞれ行われていてその内容は異なったものとなっているが、当面は、サイト外とサイト内での状況に応じた取組を、対応した法律に基づき確実に進めることが重要と考えられる。

一方、事故後の法改正により、放射性物質による環境汚染も環境基本法の対象となり、これを受けて、大気汚染防止法、水質汚濁防止法等が改正された。しかしながら、特措法との関係が深い土壤汚染防止法や廃棄物処理法等については、特措法との関係整理が必要であるとして今後の検討課題とされた状態にある。

このため、除染土壤等の処理・処分に関する規制について、国際的な放射線防護の考え方も踏まえつつ、サイト内とサイト外の間の整合や、事故前から存在しているものと事故後に新たに発生したものの間の整合を含めて考え方を検討することが必要である。このような検討結果が、特措法と原子炉等規制法、土壤汚染対策法、廃棄物処理法等との関係についての整理に繋がることが期待される。

③除染対象区域の設定

- ・ 国は一律に追加被ばく線量が 1 mSv/年以上となる区域を除染対象とした。1 mSv/年を長期目標として位置づけつつ ICRP の最適化の原則を踏まえ、除染の効果と要する時間や費用、個人年間実効残存線量などを考慮して、現実的な除染目標や除染区域を設定すべきである。
- ・ 除染にあたっては被ばく管理に「平均的個人」でなく、各個人の線量測定結果に基づいて見直すべきである。

除染特別地域については、帰還困難区域を除く全ての市町村において、面的除染が完了し避難指示も解除された。汚染状況重点調査地域については、指定解除の要件である毎時 0.23 μ Sv 未満となった市町村について、指定の解除が順次行われている。このように、除染区域の指定においては、除染の状況を統一的に評価する観点から、空間線量率から推定される被ばく線量が 1 mSv/年以上であることを基準としており、この点は変わっていない。

一方、避難指示解除は年間 20 mSv 以下であることを要件の一つとしつつ、避難指示解除後の地域の状況に関して、ICRP が提示する現存被ばく状況に準じた扱いをすることが妥当との考えから、原子力規制委員会は、帰還後の住民の被ばく線量の評価に当たっては、空間線量率から推定される被ばく線量ではなく、個人線量を用いることを基本とすべきことを示した。この基本的考え方は、内閣府原子力被災者生活支援チーム、復興庁、環境省、原子力規制庁が、平成 30 年 12 月に発表した「特定復興再生拠点区域における放射線防護対策について」に取り入れられ、特定復興再生拠点区域の除染後の避難指示解除、帰還、居住に活用されている。このように提言に沿った対応が取られていると認められる。

このような対応自体は評価できるが、空間線量率から推定される被ばく線量が 1 mSv/年を超える段階での避難指示解除は、不安を抱く住民もみられることから、個人線量計の活用などによる個々の住民の被ばく線量の把握やきめ細かいリスクコミュニケーションにより住民の不安軽減努力を続けることが重要である。

④除染と除染技術

- ・ 市町村が行う除染では地域の状況に合わせて柔軟に除染ができるよう、現場に近いところで意思決定が速やかにできるようにすべきである。除染の実施にあたっては、地域住民の協力、参加が得られるように関係者は最大限の努力を払うべきである。
- ・ 除染技術の選定にあたっては、場所や対象物の特徴に応じて個別に判断することが必要である。各関係機関で実施している成果を体系的に整理し、有機的に連携させ、その成果を効果的に除染の指針や手引きに反映させる仕組みを政府、自治体が一体となって構築するワンストップサービスの早期実現を図るべきである。

汚染状況重点調査地域では、自治体や土地の所有者等が協働して土壤等の除染等を実施することとなっており、現場に近いところでの意思決定が実施しやすい仕組みが取られている。また、環境省では、情報提供や専門家派遣等を通じて、地方公共団体が行う住民説明等の場で、除染箇所に応じた除染技術の選定等がなされるよう支援を行っている。

除染技術については、日本原子力学会福島特別プロジェクト（クリーンアップ分科会）が作成した「除染技術カタログ」や EURANOS 除染技術データなどの諸外国の知見、さらには除染実証試験の結果等を踏まえ、内閣府により「除染技術カタログ」がとりまとめられた。これを参考にして、環境省において、「除染関係ガイドライン」が作成・開示されると共に、これらに基づく技術や今後活用し得る可能性のある技術の実証事業が継続的に実施されている。また、これらの情報は、環境省の除染情報サイトでの提供が行われており、ワンストップサービスの体制が整っていると認められる。

今後は、除染が未実施の地域やホット・スポット、生活圏に含まれる河川・湖沼、森林の中に位置する公共的な施設など、見逃されていた箇所が無いか、きめ細かい対応を継続して進めると共に、特定再生復興拠点で行われている

除染の経験も踏まえた帰還困難区域での除染の在り方についても検討することが必要である。

⑤除染廃棄物の保管・貯蔵

- ・ 仮置き場の設置が除染の進展に直ちに影響することから、関係者は住民との対話、また場所の選定にあたっては住民の参加を積極的に行うことが必要である。
- ・ 除染廃棄物は仮置き場から中間貯蔵施設で、更には最終処分場にて管理することとなる。この流れにおいて移動する物量の最小化は速やかな移動に大きく貢献する。このため、除染廃棄物の減容処理、再利用は不可欠となる。速やかにそれらの措置がとれるよう関係者は必要な措置を講じるべきである。

仮置き場については、基本的には除染特別地域では環境省が、汚染状況重点調査地域では当該市町村が、関係住民と交渉を繰り返し行い、多くの市町村では必要な数が確保・設置されたが、福島市、郡山市など人口が多いところでは仮置き場の設置が困難な場所もあり、それらでは自宅敷地内に保管（現場保管）された。現在、除去土壌等が中間貯蔵施設に搬出された仮置き場に関して、順次原状回復が行われており、現場保管の汚染土壌等の仮置き場への移送も進められている。また、除去土壌等の減容処理や再利用については、中間貯蔵施設への移送の負担を軽減するため、仮置き場において取組が進むことを期待したが、具体的な方法の策定や住民との調整等が難しく実現しなかった。

このため、仮置き場から中間貯蔵施設への移送量は、減らすことができず、移送による交通量の大幅な増加に伴う問題が懸念された。除去土壌の移送は2015年度のパイロット輸送を経て、基本計画と各年度の輸送計画に基づき実施され、2020年末において既に除去土壌等の7割以上が中間貯蔵施設への搬出を終えており、2021年度に搬入がほぼ終わる予定である。このように計画に従って確実に中間貯蔵施設への移送が進められている。なお、軽微なものがほとんどであるものの交通事故が増加しており、事故防止策の徹底が求められる。

除去土壌等の減容処理、再利用は、移送先の中間貯蔵施設において、最終処分量を大幅に低減する観点から取組が進められている。環境省は、有識者で構成する検討会を設け、減容処理・再利用技術の開発戦略を中心に、県外最終処分に向けた取組についても検討を進めている。ここでの検討結果を踏まえ、技術開発戦略と工程表、また除去土壌等の再生利用を段階的に進めるための指針が取りまとめられ、これに沿った除去土壌等の再生利用実証事業が、南相馬市や飯舘村において進められ安全性の確認が行われている。しかし、土壌の再生利用を円滑に進めるためには、住民が抱く不安に対して丁寧な対話を行うなど住民と連携した取組が必要である。

また、除去土壌等については、中間貯蔵施設で保管した後、2045年までに県外最終処分を行うこととなっている。既に工程表に基づき検討が始まっているが、最終処分に向けて、基本となる方針や方法について早期の段階から国民全体で議論し、時間をかけて合意形成を図ることが必要である。

その他、以下のような課題にも、適切に取り組むことが求められる。

- ・ 仮置き場の原状回復に当たっては、営農再開ができるような農地に戻す努力（地味等の面での改善など）を行うと共に、住民の意向を反映し、運動場や公園等地域の復興につながるような利用方法も検討すべきである。
- ・ 放射能濃度が一定の範囲内の汚染廃棄物は、管理型処分場での埋め立てが行われているが、その際、処分場の線量モニタリングと場内から排出される浸出水等のモニタリングの継続実施が求められる。
- ・ 中間貯蔵施設の稼働においては、除去土壌や焼却灰の取扱いに伴う放射性物質の飛散防止策を十分に講じると共に、そのモニタリングを行い、周辺住民はもとより、従業員の被ばく防止を図る必要がある。
- ・ 福島県外の汚染状況重点調査地域の自治体では、除去土壌等の処理処分に向けた取組が進んでおらず、住民の反対から仮置き場が見つからず現場保管が行われている例があるなど、支援の強化が必要と考えられる。

4. おわりに

学会事故調からの提言項目は、以下である。

- 1) 原子力安全の基本的な事項
 - (1) 原子力安全の目標の明確化と体系化への取組
 - (2) 深層防護の理解の深化と適用の強化
- 2) 直接要因に関する事項
 - (1) 外的事象への対策の強化
 - (2) 過酷事故対策の強化
 - (3) 緊急事態への準備と対応体制の強化
 - (4) 原子力安全評価技術の高度化
- 3) 背後要因のうち組織的なものに関する事項
 - (1) 専門家集団としての学会・学術界の取組
 - (2) 産業界の取組
 - (3) 安全規制機関の取組
- 4) 共通的な事項
 - (1) 原子力安全研究基盤の充実強化
 - (2) 国際協力体制の強化
 - (3) 原子力人材の育成
- 5) 今後の復興に関する事項
 - (1) 今後の環境修復への取組
 - ①環境放射線モニタリング
 - ②法規制とガイドライン
 - ③除染対象区域の設定
 - ④除染と除染技術
 - ⑤除染廃棄物の保管・貯蔵

それぞれの項目での活動実績（添付資料参照）を見ると、多くの活動に取り組み、成果を上げてきたことがわかる。特に、1F事故を踏まえた技術的な対策に関する教訓、すなわち原子力発電所の安全確保への取組については、規制機関をはじめ、事業者各社、産業界や学術界において、様々に実行されてきた。現在の原子力発電所の安全性については、格段に向上しているものと考えられる。

一方、学会事故調で提言された多くの項目は、安全確保のための単なる取組ではなく、提言を実効あるものとする仕組みの構築をねらったものであった。組織間の連携や共有をはじめ、協働の取組のほか、特に社会との対話や情報の共有、活動などのつながりが強く求められた。このような項目については、全般的には、提言の実現はまだまだ進んでいないという評価が多い。

特に、1) 原子力安全の基本的な事項における、(1) 原子力安全の目標の明確化と体系化への取組や、(2) 深層防護の理解の深化と適用の強化、及び、2) 直接要因に関する事項での、(1) 外的事象への対策の強化、また、3) 背後要因のうち組織的なものに関する事項での、(1) 専門家集団としての学会・学術界の取組、及び(3) 安全規制機関の取組、さらには、4) 共通的な事項での、(2) 国際協力体制の強化など、の項目では取組に十分な進展が見られないという厳しい評価であった。添付資料にエビデンスの調査結果がまとめられているが、それぞれの項目では多くの取組は成されていることがわかる。しかし、従来の定型的な対応であったり、若しくは新しい仕組みとしての取組となっていないという評価が多いとの分析であり、今後、更なる工夫が必要であると指摘されている。一方、2) 直接要因に関する事項での、(4) 原子力安全評価技術の高度化のように、純粋な学術的部分では進展があったという評価であったが、規制機関、事業者、産業界、さらには社会への積極的なかわりが不足しており、提言の実現、仕組みの構築は、遅れているという反省である。

日本原子力学会として、この分析評価の結果をもとに、原子力安全の確保に更にとどのように取り組めば良いのかの検討を進め、提言の実現に向けて更なる努力をしていかなければならない。

各項目、分析・評価に基づき、今後、日本原子力学会として取り組むべきと指摘された課題を以下にまとめる。

- ・社会との対話を進め、情報の共有や理解を得、新たな取組に反映させる。
- ・ロードマップの活用等により安全研究を積極的に推進する。
- ・他学会との連携を含めて、広い分野での専門家を集めて自由に議論できる仕組み、場を設ける。
- ・規制機関や事業者、産業界とのトップ対話をはじめ各層での対話に積極的に取り組み、提言の実現に寄与する。
- ・各層の教育に積極的に関与し、実践する。
- ・他の学会とも連携し、新知見へのアンテナを高くして積極的に取り込み、新技術の分析、評価を実施し、規制機関、事業者等の関係者に提供する。
- ・国のエネルギー計画の策定（第6次エネルギー基本計画など）に提案を出していく。
- ・社会と共に歩み、声明、提言、意見、情報を発信する。
- ・1F事故の廃炉への支援やそれに関連しての地元の復興への支援を積極的に継続して進める。

本報告に書かれた学会事故調提言フォローアップの分析結果が規制機関を始めとする政府、産業界、学術・研究機関などさまざまな関係者において、今後の具体的な活動に結びついていかなければならない。また、日本原子力学会自らが取り組むべき課題も含まれており、それらへの真剣な取組を含め、今後、それらが実現するよう、学会として関係機関へ働きかけ、協働を続けていかなければならない。さらに、原子力を専門とする者が狭い視野に陥らないようにするためには、社会や他分野との幅広い交流をさらに深めることが必要である。

学会事故調提言フォローアップの分析結果は、何よりも原子力関係情報の透明性を重視する立場から、原子力発電に関心を持つあらゆる人々と共有されるべきものと考え。原子力に係る全ての組織と専門家がここで示された課題を自らへの問いかけととらえ、真剣に取り組むことが必要である。これができないと組織と専門家は、原子力に携わる資格がないと改めて自覚しなければならない。

以上

付録1 フォローアップ協力組織

フォローアップ組織（五十音順）

環境省	(一社)日本電気協会
技術研究組合国際廃炉研究開発機構	(一社)日本電機工業会
経済産業省（資源エネルギー庁）	(一社)日本保全学会
(一社)原子力安全推進協会	電気事業連合会
原子力規制庁（2015年調査）	(一財)電力中央研究所
原子力損害賠償・廃炉等支援機構	内閣府
(一社)日本機械学会（発電用設備規格委員会）	福島復興・廃炉推進に貢献する学協会連絡会
(国研)日本原子力研究開発機構	文部科学省
(一社)日本原子力産業協会	

日本原子力学会内フォローアップ組織

企画委員会	熱流動部会
編集委員会	放射線工学部会
広報情報委員会	ヒューマン・マシン・システム研究部会
教育委員会	加速器・ビーム部会
国際活動委員会	社会・環境部会
標準委員会	保健物理・環境科学部会
倫理委員会	核データ部会
福島特別プロジェクト	材料部会
北海道支部	原子力発電部会
東北支部	再処理・リサイクル部会
北関東支部	計算科学技術部会
関東・甲越支部	水化学部会
関西支部	原子力安全部会
中国・四国支部	新型炉部会
炉物理部会	リスク部会
核融合部会	若手連絡会
核燃料部会	学生連絡会
バックエンド部会	学術連携ワーキンググループ

付録2 ワーキンググループメンバー及び協力者

学会事故調提言フォローワーキンググループメンバー（敬称略）

越塚 誠一（主査）	鈴木 俊一	村松 健	幹事
糸井 達哉	関村 直人	師岡 慎一	浅沼 徳子
内田 俊介	高田 孝	山内 豊明	安部 浩
岡本 孝司	田中 隆則	山口 彰	可児 祐子
笠原 直人	中島 健	山本 章夫	川原 博人
工藤 和彦	奈良林 直	林道 寛	富田 靖
五福 明夫	新堀 雄一		成宮 祥介
佐治 悦郎	宮野 廣		矢板 由美

協力者（五十音順，敬称略）

阿部 弘亨	大場 恭子	高木 敏行	松山 昌史
阿部 豊	岡嶋 成晃	高田 毅士	三島 嘉一郎
新井 剛	小原 徹	高原 省五	牟田 仁
井口 哲夫	片岡 勲	田中 忠夫	守屋 公三明
伊藤 哲夫	黒田 雄二	田中 治邦	諸葛 宗男
井上 正	駒野 康男	中田 耕太郎	山内 澄
上塚 寛	三倉 通孝	服部 隆利	吉田 博之
氏田 博士	杉本 純	藤田 玲子	渡邊 豊
宇埜 正美	鈴木 達也	堀池 寛	
梅澤 成光	鈴木 雅秀	松井 一秋	

日本原子力学会2020年秋の大会 廃炉委企画セッション報告

2020.11.27 廃炉委 運営タスク

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」現地状況及び活動報告

2020年9月17日(木) 13:00 ~14:30 オンライン開催D会場(Zoomルーム4)

座長：宮野廣（廃炉検討委員会委員長法政大）

参加者：約190名

報道関係者：福島民報社、読売新聞ほか

1. プログラムと概要

(1)福島第一原子力発電所廃炉作業の現状 東電HD 石川真澄氏

福島第一の現状として、各プラントの状況、注水量の変化（流入水量150t/d）、作業員の被ばく（約4千人、0.34mSv/m、）汚染水対策（源の排除、隔離、囲い込み、発生量470t/dから150t/dへ）、SF取り出し（3号360/566済、1,2号工法決定）、1号機（ウエルラゲ調査、SF取り出し2028年終了予定）、2号機（SF取り出しカバー工事）、3号機（SF取り出し）、燃料デブリ取り出しは2号機、2021年中に開始、1号機アクセスルート構築（水中ロボット）、2号機PCV内部調査・デブリ試験取り出し（アーム型ロボット）、固体廃棄物10年で78万m³見込み

(2)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略 NDF 中村紀吉氏

2020戦略プラン（具体的プランほか）、オペレータの視点からも安全確保を追加（設計と運用のトータルで現場からのフィードバック）、2号機で2021年に試験取り出し開始、東電のオーナーズエンジニアリングの参画で責任の明確化、廃棄物の取り扱いの具体化・長期計画の策定、 α 核種に注目した取り組み、取り出し材の分析の充実、現場ニーズを優先する研究開発

(3)IRIDの研究開発概況 IRID 奥住直明氏

7年目となったR&D,1号機ではロボットによるペDESTAL内調査（ボート型）、ペDESTAL内燃料デブリ取り出しロボット（アーム型）の開発、圧力容器上部からの内部調査装置開発、下部気中燃料デブリ取り出し（アクセスレール方式、アクセストンネル工法）2021年から適用目指し開発

(4)学会廃炉委における廃棄物の取り組みと今後について 東北大 新堀雄一教授

エンドステートの概念の共有が必要（即時全量解体環境整備、一部残存解体・撤去、一時中断解体・撤去、一部残存・中断解体・撤去など）、将来の使い方を考えた取り組みを

時間（30年、100年、300年のオーダーの違い）と廃棄物量を考慮して決めて行く必要がある。廃棄物量を考えた燃料デブリの取り出しが必要。

◇まとめ（座長）

石川：多くの作業が確実に進んでいることがよくわかった。

中村：新たな安全にかかわり「オペレータの視点」からの安全の確保が加わり強化された。オーナーズエンジニアリング能力の発揮が期待される。境界条件の明確化、 α 核種に注目しての対応などに着目。

奥住：多くのロボットが活躍されている。これから、高放射線下の難しい作業、ペDESTアル内でのポート型、アーム型の活動に期待される。

新堀：目指すところ（エンドステート）を定めて廃炉を進めることが肝要であり、常に最適化を考えて行かなければならない

2. 運営に関して

- ・初めてのオンライン開催であったが、運営事務局内での接続・動作テスト、講演者様からもご希望により個別の接続テストを実施し、臨んだことで、当日の運営は順調であった
- ・聴衆でマイクオンになっている方がごく一部いた（すぐオフとし、大きな弊害なし）。注意喚起はやはりしつこいくらい必要。
- ・事前の資料配布はなく、また発表内容の情報量が非常に多かったことから、チャットやメールによる質問がでなかった。話を聞くので手一杯であり質問をしている余裕がない。後から質問するにも資料がない。→学会側で、事前に資料ダウンロードできる様にしてもらえないか。

以 上

2021 春の年会 廃炉委企画セッション報告

2021-3-30 廃炉委運営タスク

- 「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」現地状況及び活動報告 -

2021年3月17日(水) 13:00 ~14:30 オンライン開催 D 会場

座長：関村直人（廃炉検討委員会副委員長）

参加者：約 160 名

報道関係者：朝日新聞(2名)、福島民報、News pick

1. プログラムと概要

(1) 開会挨拶 関村座長

関村座長より開会挨拶、及び3/11,12に行われた学会シンポジウムを報告。

(2) 原子力学会の1F廃炉に向けた活動 廃炉委 宮野廣委員長

【講演概要】

廃炉に向けた取り組みの全体像、廃炉委の活動と研究開発部門との連携、成果のまとめ、これからの取り組みについて報告。

汚染水への対応：学会は技術面を見てきたが社会との対話をしていく必要あり。

学術・技術的未解明事項の調査：学会として解明の役割を果たしていく。

廃炉の国際会議：国際社会との協働を目指した仕組みづくりに取り組む。

専門家間での自由な意見交換、学会からの課題提起による社会との対話の推進。

反省点：技術を中心としてきたが、地元、社会との対話が不足。双方向のコミュニケーションを進める。

(2) 福島第一における廃炉・汚染水対策の現状と課題

東京電力 HD 福島第一廃炉推進カンパニー 小野明プレジデント

講演に先立ち、2/13の福島沖を震源とする地震の1Fへの影響について報告。

燃料プール等からの水漏れ(合計3L程度)、物の位置づれなどあったが外部へ影響なし。

1号機2/15以降、3号機2/17以降、原子炉内が水位低下傾向。格納容器の損傷部の状況が変化したためと推測。水位低下傾向は収まりつつあると考えるが今後も監視し、必要に応じ注水を増やすなど対策をしていく。

【講演概要】

汚染水対策、燃料取り出し、燃料デブリ取り出し、廃棄物管理に関するこれまでの成果と今後の課題について報告。

1) 汚染水対策

・汚染水の発生抑制：2020年内に汚染水発生量約140m³/日達成、2025年100m³/日目標

- ・ALPS 処理水取扱い：2022 年秋タンク貯蔵量 137 万トンに達する見込みだが、環境放出基準以上（告示濃度比総和 1 以上）の汚染水が 70%あり※1、環境放出する場合二次処理が必要。ALPS 再度処理で基準クリアを確認済み。

※1：構内保管の基準、敷地境界 1mSv/年以下を目的として処理したもの

- ・滞留水処理：1～4 号機のタービン建屋、廃棄物処理建屋、4 号機原子炉建屋、ドライアップ完了、滞留水処理の目標を達成（2020 年 12/24）。

1～3 号機の原子炉建屋滞留水を 2020 年末の半分程度に低減（2022～2024 年度目標）。

滞留水除去における課題：ゼオライト土嚢(3000～4400 mSv/h)、スラッジ等の高線量物の扱い。

2) SFP からの燃料取り出し状況

1 号機(2027～28 取出開始予定)、2 号機(2024～26 取出開始予定)、3 号機(2021.2.28 完了)、4 号機（2014.12 取出完了）

3) 燃料デブリ取り出し

2 号機を取り出し初号機と決定（2020.12）。2021 年に予定していた試験取り出しは、ロボットアームのコロナ影響輸送困難で遅れ再スケジュール。

4) 固体廃棄物管理

当面構内で保管管理。10 年での発生予測約 78 万 m³→約 26 万 m³に減容し保管

【質疑】

Q：

①汚染水(基準越え)70%、米国の研究者は「放出できない」と宣伝している。

なぜ処理できないのか国際的にもきちんと説明をしてほしい。

② 3 つの原子炉の中に Cs-137 が 700 ベタベクレルあったが、汚染水処理で回収されたものはどのくらいの割合か

A：

① 広報資料をしっかりと作り、海外にも発信していく。

② 別途回答する。Cs の炉外の分布をどう評価するかが課題で、さらに調査が必要。

これまで汚染水から回収された分は評価できている。

座長：的確な情報発信をお願いします。

(3) 廃炉技術の研究開発の進捗：成果と課題 JAEA 野田耕一 福島担当理事

【講演概要】

10 年の節目にあたり研究開発の経緯の振り返り。研究開発の体制とこれまでの取り組み、研究開発成果、研究開発体制の強化と今後の課題への取り組みを報告。

- ・基礎・基盤研究の全体マップ

JAEA より、廃炉全体を俯瞰した研究開発のニーズシーズを整理した「基礎・基盤研究の全体マップ」を公表、HP に掲載。

全体戦略、1F 現場のニーズを合わせた形で全体マップを作成、基盤になるもの、現場で実施するもの、事業者がやるものなど色分けし、ニーズ、技術開発課題、時間軸などを記載。常に見直しをする。

- ・ 研究開発成果

1F 実用化研究 遠隔技術開発 (IRID)

JAEA における基礎・基盤研究開発 炉内状況の解明、燃料デブリの性状把握、デブリ分析関係の情報を東電と共同で debriswiki としデータベース化 (関係者に公開)、1F 廃棄物の分析データベース “FRAnDLi” 立ち上げ、遠隔技術開発 (主に計測技術)

- ・ 英知事業 J-PO 体制による研究サポートの強化

- ・ 今後の課題

難易度の高い技術的課題への取り組み→国、NDF、東京電力、JAEA がより緊密に連携。基礎・基盤研究から現場実装まで、適切に資源配分を行いながら技術をつなげていく。

【質疑】

Q:

基礎基盤研究の全体マップ 色分けについて丁寧にマッピングしている。追加で説明があれば。

A:

英知事業と 1F 現場との連携がやや薄かったのが反省点で、現場のニーズとの連携等が必要。このマップは CLADS が NDF、東電に出向いて議論して作成した。今後も見直しをしていく。

東電で PJ 制となり、マネージャを選任している。マネージャと意見交換をしており、問題意識などが明確になってきておりそれをマップに反映している。連携ができてきている。より深めていきたい。

Q:

このマップは既往のものをプロットしただけか。今後これを使って埋めるべきところを探すような用途はあるか。

A:

現状は、今ある課題をマップ化したもの。項目をクリックすると詳細内容が出てくる構造になっている。

Q:

東電や NDF とのリンクはこのマップを活用するのか。

A:

活用予定である。

(4) 全体討議

Q:

廃炉を進める前提として、事故の進展をもっと詰めなくてよいのかと疑問に思っている。ペDESTALに落ちたデブリの定量的評価など、今後の検討に含まれているか。

A:

事故進展シナリオ、事故の解明が重要な課題である。解析に加え、これまで集まったデータも用いてまとめているが、集めたデータが作業で得られたものが中心。近年、必要な情報を取りに行くスタンスに変わってきている。廃炉作業が進むと事故の痕跡を示すものがなくなっていく可能性があるため、こういった情報があれば事故解明につながるか、といった観点で積極的なアプローチをとるよう議論している。規制庁とも歩調を合わせて進めていく。

A:

炉内状況の把握と事故進展の把握は表裏一体で進めていく必要がある。JAEAの炉内状況の把握は事故進展の理解も考えながら進めている。

Q:

宮野先生から廃炉作業を国際PJにしようとの発言があった。廃炉作業自体のデータが国際的に貴重なデータであり、共有していくのは賛成。どのように国際機関等を関与させていくか、情報の共有をどう進めていくか、アイデアがあれば

A:

CLADSがそういう動きをしていると聞いている。原子力学会も進めていきたい。

A:

個別の開発テーマは海外機関と進めている。JAEAの共同研究の枠組みも使っている。大熊分析センターがオープンしたら海外の研究者も来てもらって進めていきたい。

2. 運営に関して

20秋の大会での反省を踏まえ以下の点を今回変更した。

- ・セッション内での質疑実施
- ・講演資料の事前配信（廃炉委員会HPに掲載）

これらの改善により企画セッション内での議論が前回より活発化した。

以上



日本原子力学会 シンポジウム
 「VISION2050-事故を振り返り未来を見据える」-東京電力福島第一原子力発電所事故から10年を迎えて-
 プログラム1: 事故を振り返る @2021年3月11日 13:00~18:00 (online)
 [2] 廃炉検討委員会の報告

[2] 廃炉検討委員会の報告

廃炉の10年と廃炉委の役割

日本原子力学会
 廃炉検討委員会 委員長
 宮野 廣

2

目次

- ① 1F廃炉の事故後と現在の状況
- ② 廃炉に向けた取り組みの全体像
- ③ 学会の役割
- ④ 学会事故調で提示された廃炉の課題と廃炉委での検討
- ⑤ 成果のまとめ
- ⑥ 今後の取り組み(廃炉作業・学会・国として)

3

① 福島第一の廃炉1Fの敷地全体像(現在)



4

① 1F 各号機の事故直後から現在へ

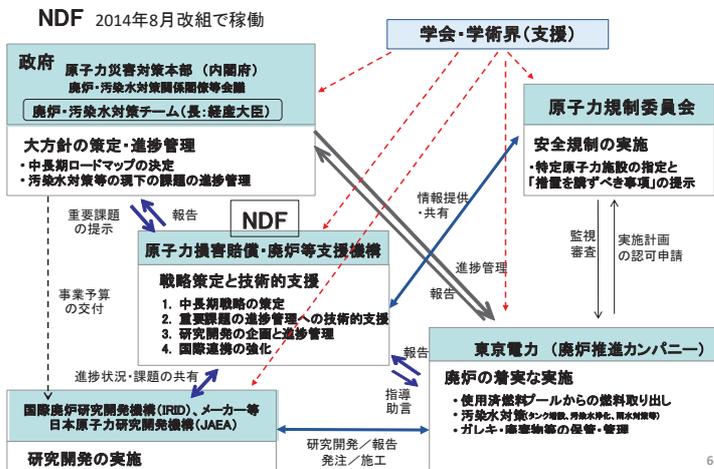
○ 福島第一原子力発電所の現状(現状と課題) (出典:東京電力HP/経済産業省HP資料を基に作成)

号機	現状	課題	写真
1号機	水素爆発した原子炉建屋にカバーを設置(2011年10月) 使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた遮断カバー撤去期間中の放射性物質の飛散防止	原子炉建屋上部及びプール内ガレキ状況の把握 遮断カバー撤去期間中の放射性物質の飛散防止	2011年9月12日撮影 2014年12月撮影 2020年12月
2号機	ブローアウトパネルを閉止し、放射性物質の飛散を抑制 原子炉建屋内の積量低減対策 使用済燃料取り出しに向けた準備	原子炉建屋内の積量低減対策 使用済燃料取り出しに向けた準備	2011年4月10日撮影 2012年9月撮影 2020年12月
3号機	原子炉建屋上部のガレキ撤去が完了(2013年10月) 使用済燃料プール内ガレキ撤去作業終了し、燃料取り出し作業実施(2021年2月完了)	積量が高いため、積量低減対策を遠隔操作重機で安全かつ着実に実施	2012年2月12日撮影 2013年10月11日撮影 燃料取り出し用カバー
4号機	使用済燃料プールからの燃料取り出し完了(2014年12月22日完了) 建屋解体を含む本格的な廃炉作業の検討中	使用済燃料プールからの燃料取り出し完了(2014年12月22日完了) 建屋解体を含む本格的な廃炉作業の検討中	2011年9月22日撮影 カバー工事完了 2014年12月22日 2020年12月 燃料取り出し完了

<事故後の取組みの進展が非常にわかりやすく説明されている最新版ビデオ(エネ庁作成、下記参照)>
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/haio_osensui/index.html#movie

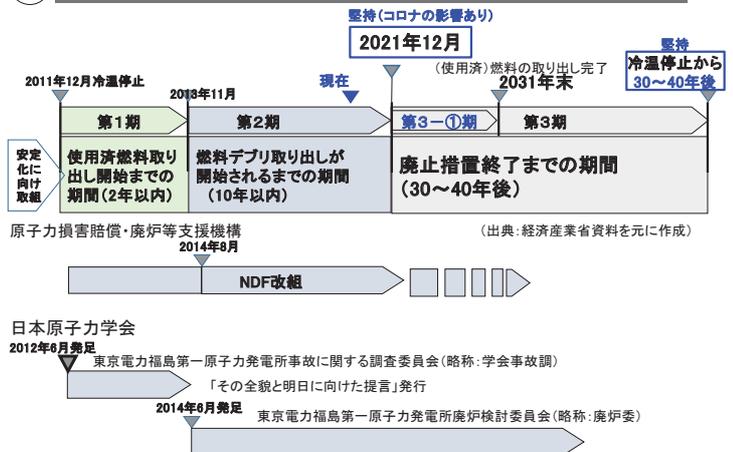
5

② 廃炉に向けた連携の取組み 全体像



6

② 福島第一廃炉の中長期ロードマップ(2019年12月改定より)



7

4 廃炉国際会議 FDR2019 開催と国際協力

FDR2019 [International Topical Workshop on Fukushima Decommissioning Research]
May 24-26, 2019, J-Village, Naraha, Fukushima, JAPAN

- 福島第一原子力発電所の廃炉に係る国際研究者会議FDR2019を2019年5月24-26日@Jビルディングを開催した。
- 40年にも及ぶとされる東京電力福島第一原子力発電所の廃炉について、国内外の技術者と研究者が最新の研究成果などを報告する国際会議である。
- この会議は、日本機械学会(JSME)と日本原子力学会(AESJ)が共同開催の初めての国際会議である。
- 次回は、2022年を予定している。



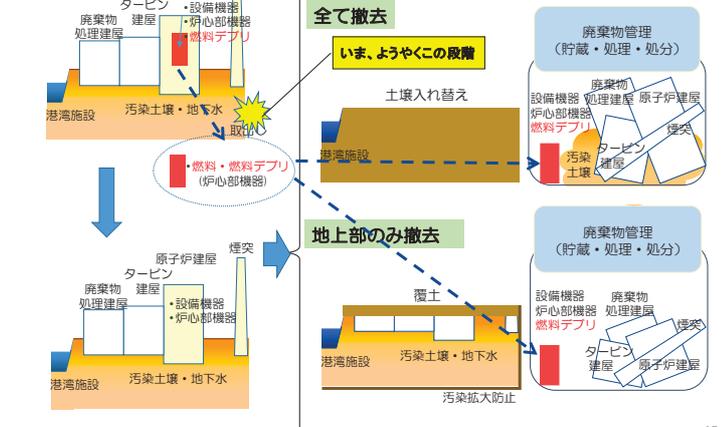
国際社会は大きな関心を持っている

国際会議を開催、参加するだけでは情報の活用はできない

国際社会との協働を目指した仕組みが必要

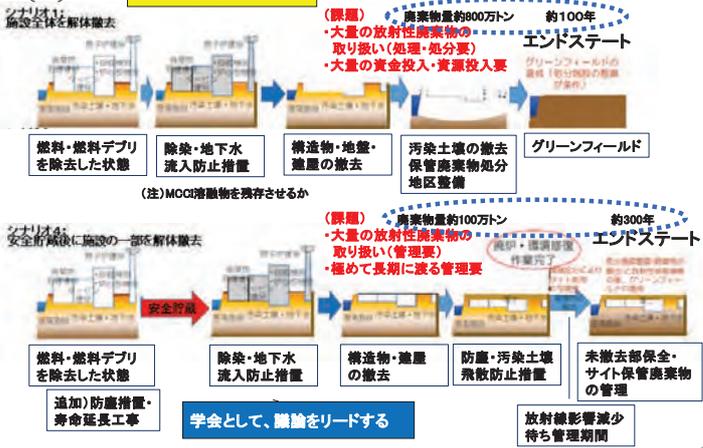
4 1F 廃炉(解体・撤去)のシナリオの論点

【廃炉】機器・建造物の全量を撤去。
【サイト修復】敷地内全域の汚染土壌を撤去。



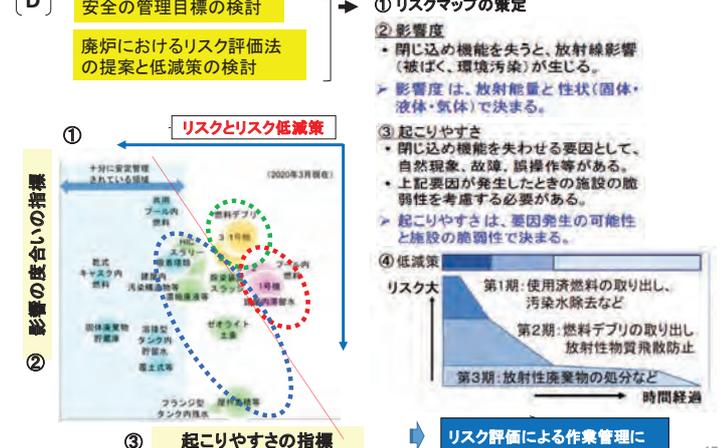
4 廃炉のシナリオ例でエンドステートを考える

「いつ、何を選択するか」



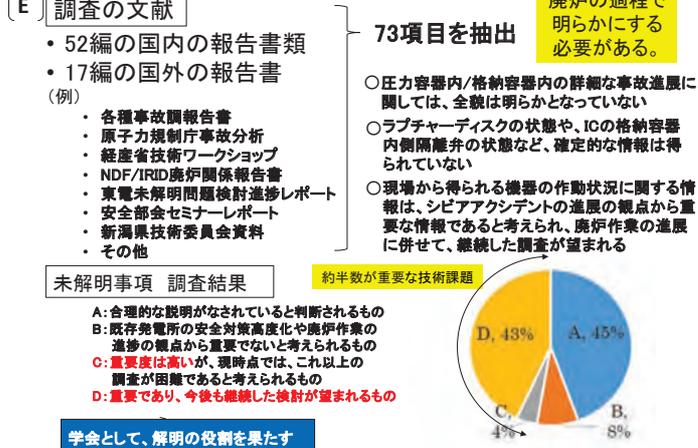
4 1Fの廃炉作業におけるリスクとその低減策

リスクに基づく運用のために、管理目標の設定とリスク評価法の提案



4 学術・技術的未解明事項の調査

原子力の安全に必要なデータの世界との共有



4 更なる炉内状況調査と重要な役割のロボット

ネックとなるロボット開発 更なる支援が必要



5 廃炉委の活動と成果 (まとめ)

公開の成果 **原子力学会廃炉委員会 HPに公開** (https://www.aesi.net/aesi_fukushima/fukushima-decommissioning/)

公開報告書

- 2016年「学会事故調査最終報告書における提言への取り組み状況(第1回調査報告書)」
- 2018年「福島第一原子力発電所事故—未解明事項の調査と評価」
- 2018年「福島第一原子力発電所の廃炉作業に関わる管理目標の考え方について」
- 2019年「廃炉リスク評価分科会報告書(燃料デブリの現状及びその取り出しにおける定量的リスク評価手法の検討)」
- 2020年「燃料取り出し開始までを対象とした原子炉建屋の耐震安全性について—建屋構造性能検討分科会報告」
- 2020年「国際標準からみた廃棄物管理—廃棄物検討分科会中間報告」

一般公開シンポジウム (毎年開催へ)

- 2016年「東電福島第一原子力発電所廃炉への取り組み—過去・現在・未来—」
- 2017年「東電福島第一原子力発電所の廃炉について—廃炉の状況と課題、その対応策—」
- 2018年「東電福島第一原子力発電所の廃炉について—廃炉の論点と展望—」
- 2019年「確かな廃炉のために今すべきこと」
- 2020年「原子力を見る—社会の目」(新型コロナウイルス感染症重症対応のため中止とした)

廃炉委の各活動の状況

廃炉委で以下のテーマで「ワークショップ」を開催し、深い議論を行い課題への対応の提案に反映した。

- 第1回 1F廃炉—廃炉の論点と対応
- 第2回 廃止措置(1Fは“廃炉”という)と管理目標
- 第3回 廃炉での“廃棄物の取り扱い”について
- 第4回 事故炉の廃炉における放射性廃棄物・放射線の閉じ込めのためのバウンダリの考え方について
- 第5回 廃炉での“廃棄物の取り扱い”について(その2)
- 第6回 外部ハザードにどこまで対応すべきか
- 第7回 ロボットの信頼性をどのように考えるか
- 第8回 IAEAの活動と汚染処理水対応
- 第9回 燃料デブリに関連する保障措置
- 第10回 クリアランスレベルの考え方

20

5 学会事故調査報告での廃炉にかかわる提案の学会の対応と評価

2014年の学会事故調査報告では、以下の項目を提案していた

- (1) 燃料デブリ冷却系は、**小さい循環系(○)**とする。
- (2) **汚染水は**、環境への漏えいを抑制し、**浄化する(◎)**。汚染水の排出を抑える。
- (3) **トリチウム**を主とする**処理水は**、**適切な濃度で海洋に放出(△)**が適切。
- (4) 燃料デブリの分析・解析は、**国内外の機関と連系を綿密に行う(△)**。
- (5) 燃料デブリの**収納、移送、保管は**、**慎重に(○)**進める。
- (6) **エンドステートは**、**柔軟に考える(○)**。現実的なシナリオを選択する(△)。
- (7) 放射性物質の**特性分析は重要(○)**であり、長期保管を含めて**学会標準(△)**を定める。
- (8) **分析設備の整備(◎)**を早急に行う。
- (9) **放射性物質の長期保管**に関して、分別、ガス発生、腐食**特性を把握(○)**する。
- (10) **リスク低減の観点**が重要である(○)。
- (11) 各号機施設の**耐震性を十分に評価(○)**する。
- (12) **適切なマネジメントによる全体最適と柔軟な対応(○)**を行うべき。

どれくらい実行されているか (提言のフォロー評価)

(◎) 対応済 (○) 取組実施中・計画 (△) 取組予定

21

6 「学」の取り組み—学会の役割

—立場にとらわれないことなく、社会にとって本来あるべき姿や進め方を指し示すこと—

大きな反省: **地元、社会との対話が足りなかった**

- 「学」としての広い分野の活用
 - ・原子力学会での“炉物理”、から“熱流動”、“材料”、“安全”と広い技術分野に対応した22部門の部会・連絡会の活用
 - ・**広く他学会との連携と融合した活動**
 - 30年を超える長期にわたる活動を視野に入れた体制
 - ・シニアと若手の混合による知見、活動の**次世代への継承**(人材育成)
 - ・国際社会との連携による**知見の収集と集約**(情報基盤の整備)
 - 自由な場を提供
 - ・**社会への説明責任と積極的なコミュニケーションを主導**
 - ・自由な意見と発想
 - ・廃炉の技術分野、**原子力分野の活性化**に役立てる
- 多くの方々のご協力を得て、この国家プロジェクトを支援して行く。

22



日本原子力学会 シンポジウム

「VISION2050—事故を振り返り未来を見据える—」東京電力福島第一原子力発電所事故から10年を迎えて—
プログラム1: 事故を振り返る @2021年3月11日 13:00~18:00 (online)

[2] 廃炉検討委員会の報告

[2] 廃炉検討委員会の報告

学術の視点からの 1F廃炉の課題と対応

日本原子力学会
廃炉検討委員会 副委員長
岡本孝司
(東京大学・JAEA/GLAD)

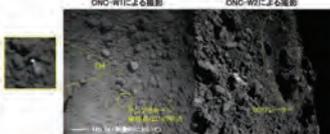
24

Fukushima Challenge

- ・福島第一を安全に片付ける事
 - ・現在の福島第一は放射性廃棄物の塊
 - ・福島第一内部に存在するリスクの高いデブリを取り出して、安全に管理する
 - ・大量の放射性廃棄物を処理し安全に管理する

ハヤブサ2/リュウグウ調査

福島第一/2号機格納容器内調査



http://www.hayabusa2.jaxa.jp/topics/20190726_T02_images/

<https://photo.tepco.co.jp/cat2/03-j.html> 東京電力ホールディングス

JAXA・千葉工大・東京大・高知大・立教大・名古屋大・明治大・会津大・産総研

https://photo.tepco.co.jp/cat2/03-j.html 東京電力ホールディングス

25

燃料損傷事故を起こした炉の廃止措置

- ・TMI-2
 - ・燃料取り出しに10年以上
 - ・現在は燃料が取り出され、格納容器や建屋による密封管理状態でリスクは十分に低い
 - ・即時解体を進める可能性が高い
- ・チェルノブイリ
 - ・燃料は空冷
 - ・新ドーム(閉じ込め)による安定保管で、リスクは低減された状態
 - ・具体的な解体は将来検討

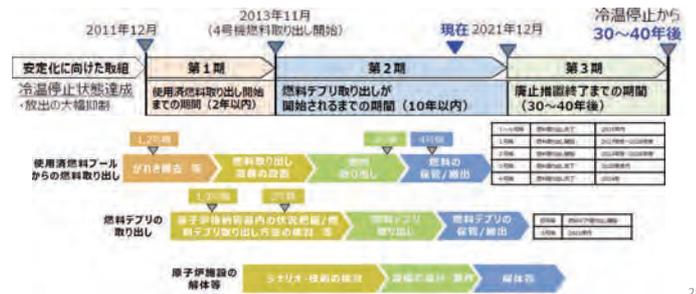
26

福島第一原子力発電所の現状

- 燃料の状況
 - 止める、冷やす、水素を管理
 - ガスサンプリングによる核分裂監視と必要に応じホウ酸水注入
 - 循環注水により崩壊熱除去と温度計による監視
 - 窒素注入により水素濃度低減と濃度監視
- 閉じ込めの状況
 - 1号機: 格納容器、がれき除去、使用済燃料取り出し準備
 - 2号機: 格納容器、原子炉建屋、使用済燃料オベフロ経由
 - 3号機: 格納容器、使用済燃料取出しほぼ終了
 - 4号機: 使用済燃料排出済 / 通常炉廃止措置に近い状況
 - 汚染水: 封止 (モニタリングで確認)
 - 固体廃棄物: 敷地内仮保管 (がれき、樹木、汚染水フィルタ含)

廃炉ロードマップ

- プラントの安定状態維持・継続
- 使用済燃料プールからの燃料取り出し
- 燃料デブリ取り出し
- 原子炉施設の解体、放射性廃棄物処理・処分
 - 第3期(10~40年後)に実施

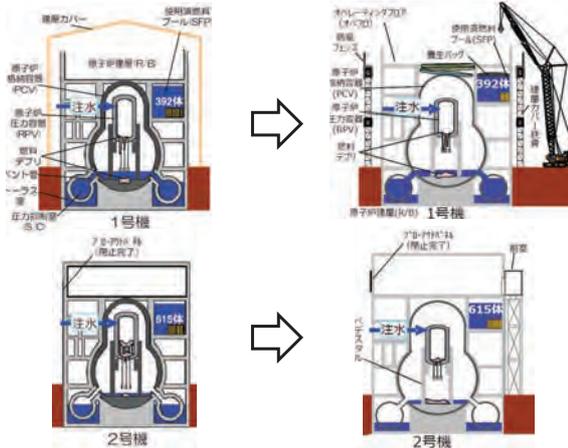


福島第一原子力発電所

廃炉・汚染水対策チーム会合 事務局会議資料
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning.html>

第14回 (2015年1月29日)

第86回 (2021年1月28日)

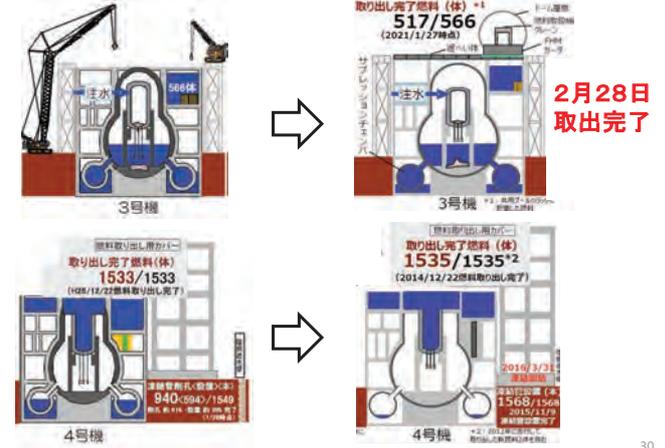


福島第一原子力発電所

廃炉・汚染水対策チーム会合 事務局会議資料
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning.html>

第14回 (2015年1月29日)

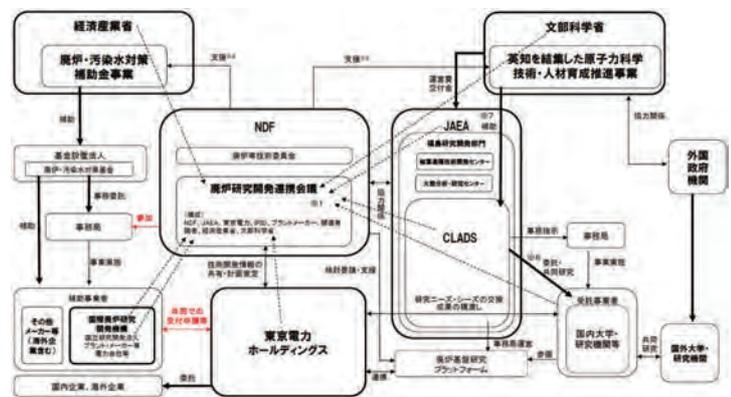
第86回 (2021年1月28日)



福島第一廃炉におけるリスク管理の特徴

- 通常の原子炉と同様のマネジメントでは危険
 - 例えば、リスクのわずかな増大も許さない工事をを行うと、結果的にリスクの大きな増大を招く。また、時間的な先送りもリスク増大につながる。
- 現場を中心とし、時間・空間・対象(放射性物質)を考慮した、**俯瞰的なリスク管理**を実施する必要
 - 数多くの作業が相互に関連している。
- 5年、10年と長期に掛かる廃炉を見越し、俯瞰的な管理のできる人材を戦略的に養成

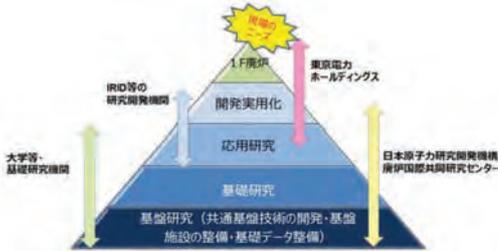
福島第一廃炉に係る研究実施体制



東京電力ホールディングス株式会社 福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2020, NDF, 65ページ

NDF 廃炉研究開発連携会議

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策に係る各機関で進められている様々な研究開発を、実際の廃炉作業に効果的に結び付けていくこと

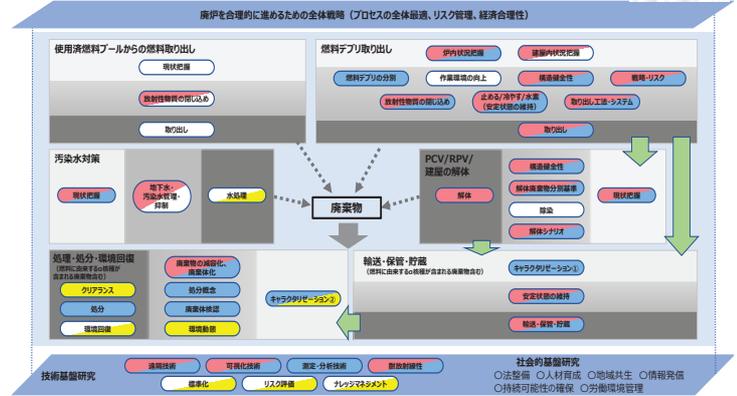


経済産業省
文部科学省
NDF
東京電力
IRID
メーカー
JAEA
大学
学会など

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2019, NDF, 78ページ

33

基礎・基盤研究の全体マップ(2020年版) JAEA/CLADS



<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd/map/map.html>

34

重要度評価による研究資源配分の目安

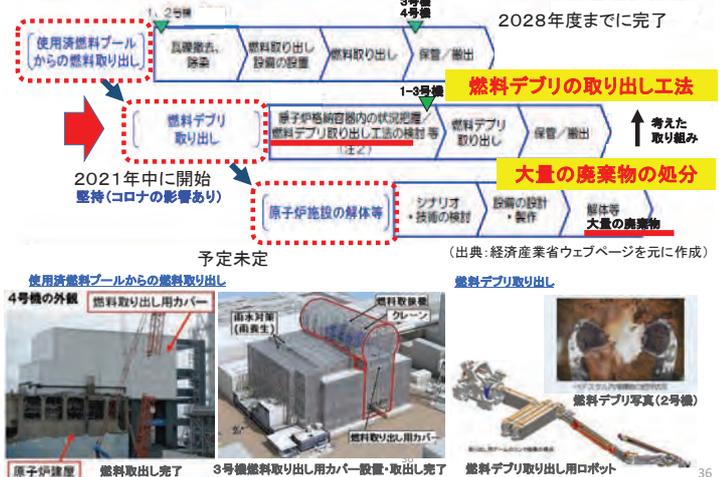
課題: 基礎・基盤・応用研究と現場プロジェクトの距離
⇒ 全体を俯瞰しつつ現場に必要なニーズの提示、現場適用への助言が重要
⇒ 基礎・基盤研究の全体マップの一件一業の活用により連携



重要度は、CLADSディヴィジョン長、外部専門家により評価

35

廃炉の手順と直面する課題



36

「学」の取り組み-学会の役割

一立場にとらわれないこと、社会にとって本来あるべき姿や進め方を指し示すこと
大きな反省: 地元、社会との対話が足りなかった

- 「学」としての広い分野の活用
 - ・原子力学会での「炉物理」から「熱流動」、「材料」、「安全」と広い技術分野に対応した22部門の部会・連絡会の活用
 - ・**広く他学会との連携と融合した活動**
 - 30年を超える長期にわたる活動を視野に入れた体制
 - ・シニアと若手の混合による知見、活動の**次世代への継承**(人材育成)
 - ・国際社会との連携による**知見の収集と集約**(情報基盤の整備)
 - 自由な場を提供
 - ・**社会への説明責任と積極的なコミュニケーションを主導**
 - ・自由な意見と発想
 - ・廃炉の技術分野、**原子力分野の活性化**に役立てる
- 多くの方々のご協力を得て、この国家プロジェクトを支援して行く。

37

国のプロジェクトとして更なる叡智の結集

人類史上例のない厳しい取組 (“ナショナル・チャレンジ”)

世界の原子力発電所の安全運用に有用なデータが得られる。世界への貢献が期待されている。

- ・地域や作業員にとっての安全確保を前提とし、
- ・未来を担う世代に負の遺産を残さぬよう、
- ・迅速に、合理的に、戦略的に「1F廃炉」を進めていく。
- ◆ リスク認識を共有し、政府/規制/事業者に加え、地域のステークホルダーとの間で優先事項を共有し、**協働する仕組みの構築**
- ◆ 原子力以外の**広範な技術分野**の知見・経験の活用
- ◆ **長期的な課題**も視野に入れた学際的な研究開発体制

廃炉への挑戦は、次なるイノベーションの始まりでもある。

「福島浜通りを原子力安全研究の拠点として位置づけ、福島第一の廃炉を活用する」ことで国際社会での責務を果たす

38

Fukushima Challenge (with AESJ)

- 廃炉に関する基礎基盤研究の拡充
 - 放射線や核燃料に関連する基礎基盤研究
 - 放射線を束縛条件とする、工学の基礎基盤研究
 - プランB、プランCを見据えた基盤研究
 - 過酷事故研究
- 社会科学的視点の研究
 - 風評被害のメカニズム
 - 合意形成とリスク認知
 - 情報学的アプローチ
- 人材育成は曲がり角に来ている。
 - 今年の大学新生は、事故当時小学2年生
 - 福島を知らない学生が増えている。

39



日本原子力学会 シンポジウム
「VISION2050 - 事故を振り返り未来を見据える」-東京電力福島第一原子力発電所事故から10年を迎えて-
プログラム1:事故を振り返る @2021年3月11日 13:00~18:00 (online)
[2] 廃炉検討委員会の報告

講演 廃炉検討委員会の報告

ご静聴いただきありがとうございました。

日本原子力学会 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会

40



[2A_PL02] 福島フォーカス編サマリー

2) 1F廃炉検討委員会からの報告

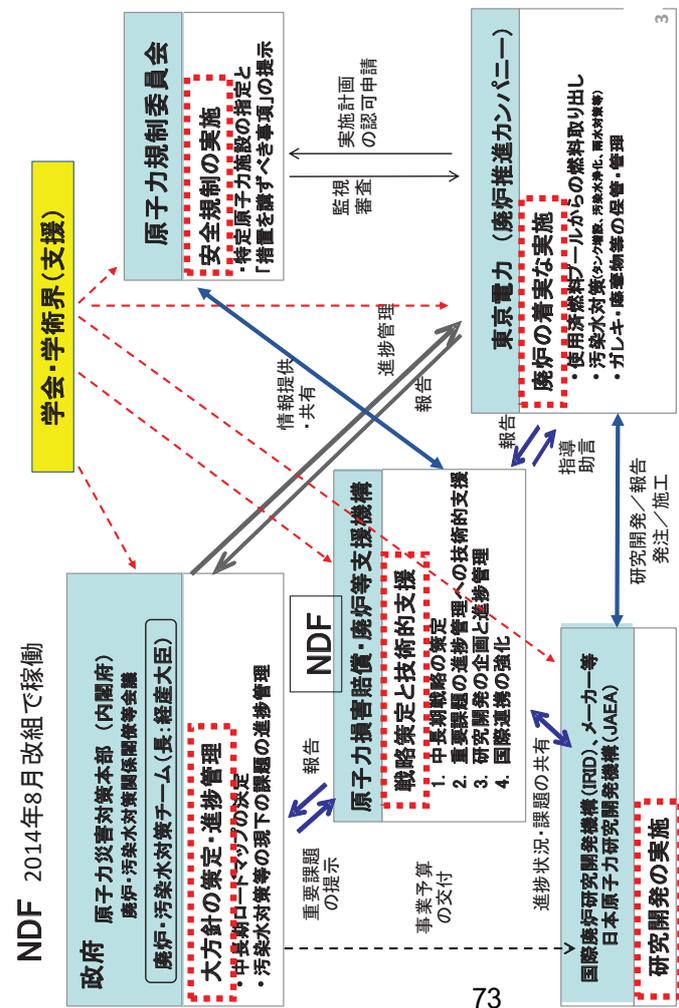
廃炉の10年と廃炉委の役割 委員長報告
学術の視点からの
1F廃炉の課題と対応 副委員長報告

2021年3月18日
 日本原子力学会
 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会
 宮野 廣

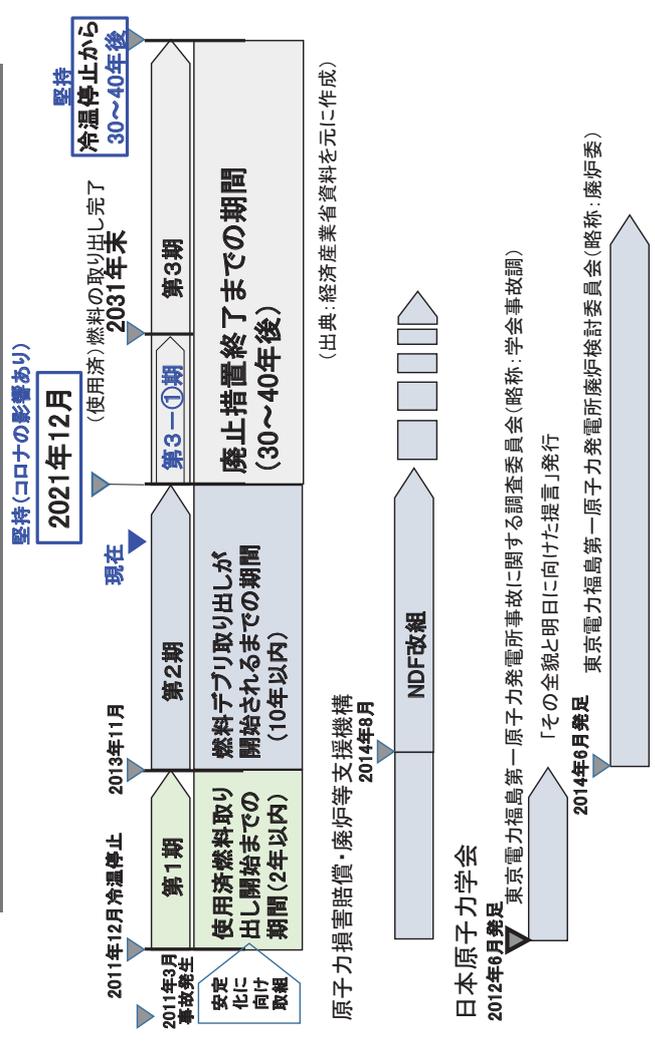
目次

1. 1F廃炉に向けた取り組みの全体像と今
2. 学会の役割と成果の例
(廃炉の課題と廃炉委での検討)
3. 成果のまとめ
4. 1Fの廃止措置(廃炉)とは
5. 今後の取り組みにあたり

1.1 廃炉に向けた連携の取組み 全体像



1.2 福島第一廃炉の中長期ロードマップ (2019年12月改定より)



2.1 廃炉検討委員会

ー2014年6月「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」を設置ー

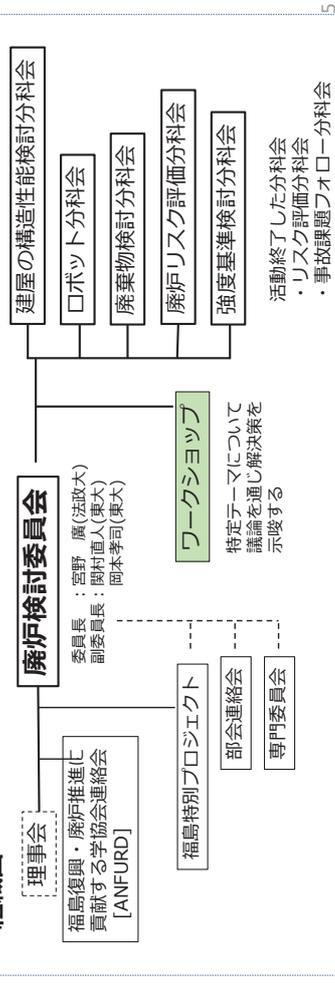
■ 目的

- 1F廃炉について、課題の抽出と対応策の検討など専門性を生かした活動を行う。併せて、学会内の活動情報の集約・共有化を図る。
- 学会事故調の提言・課題のフォローを行なう。

■ 活動方針

- 新たな知見を効果的に活用すべく、学会等での規格基準化、標準化を図る。
- 1Fの廃炉に関する俯瞰的な視点での検討を独自に行い、成果を提言する。

■ 組織図



活動終了した分科会
・リスク評価分科会
・事故課題フォロー分科会

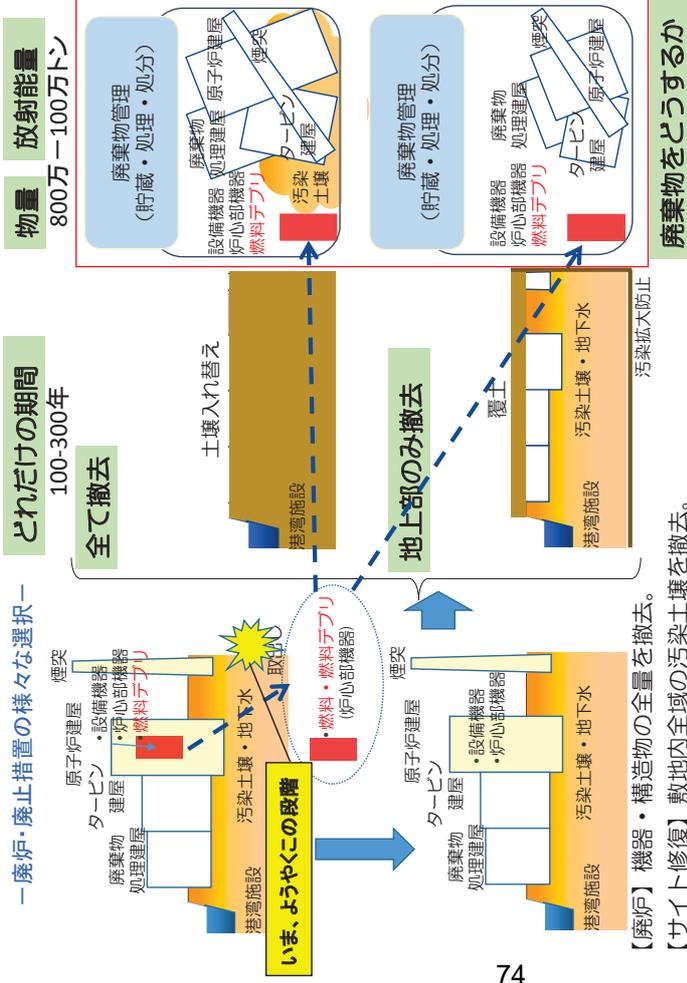
2.2 学会事故調報告での廃炉にかかわる課題と提案

ー2014年の学会事故調報告では、以下の項目を提案していたー

- (1) 燃料デブリ冷却系は、小さい循環系とする。ALPS等で実施
 - (2) 汚染水は、環境への漏えいを抑制し、浄化する。汚染水の排出を抑える。残された課題
 - (3) トリチウムを主とする処理水は、適切な濃度で海洋に放出が適切。国際会議を主催
 - (4) 燃料デブリの分析・解析は、国内外の機関と連系を綿密に行う。シナリオを提示、議論を提案
 - (5) 燃料デブリの収納、移送、保管は、慎重に進める。学会報告書(2020年)
 - (6) エンドステートは、柔軟に考える。現実的なシナリオを選択する。学会報告書(2020年)
 - (7) 放射性物質の特性分析は重要であり、長期保管を含めて学会標準を定める。分析センター設置 (IAEA)
 - (8) 分析設備の整備を早急に行う。学会報告書(2018年)
 - (9) 放射性物質の長期保管に関して、分別、ガス発生、腐食特性を把握する。管理目標の提案
 - (10) リスク低減の観点が重要である。リスク評価法の提案
 - (11) 各号機施設の耐震性を十分に評価する。学会報告書(2020年)
 - (12) 適切なマネジメントによる全体最適と柔軟な対応を行うべき。学会報告書(2018年)
- ・廃炉の展開に際して実施すること → 未解明技術課題の抽出
・廃炉作業を進める鍵となる技術 → ロボット技術への支援

2.3 1F廃炉(解体・撤去)のシナリオと論点

ー廃炉・廃止措置の様々な選択ー



【廃炉】機器・構造物の全量を撤去。
【サイト修復】敷地内全域の汚染土壌を撤去。

廃棄物をどうするか

3. 廃炉委の活動と成果 (まとめ)

公開の成果 原子力学会廃炉委員会 HPIに公開 (https://www.aesj.net/aesj_fukushima-decommissioning)

公開報告書

- 2016年「学会事故調最終報告書における提言への取り組み状況(第1回調査報告書)」
 - 2018年「福島第一原子力発電所事故一未解明事項の調査と評価」
 - 2018年「福島第一原子力発電所の廃炉作業に関する管理目標の考え方について」
 - 2019年「廃炉リスク評価分科会報告書(燃料デブリの現状及びその取り出しにおける定量的リスク評価手法の検討)」
 - 2020年「燃料取り出し開始までを対象とした原子炉建屋の耐震安全性についてー建屋構造性能検討分科会報告」
 - 2020年「国際標準からみた廃棄物管理ー廃棄物検討分科会中間報告」
- 一般公開シンポジウム (毎年開催へ)
- 2016年「東電福島第一原子力発電所廃炉への取り組みー過去・現在・未来ー」
 - 2017年「東電福島第一原子力発電所の廃炉についてー廃炉の状況と課題、その対応策ー」
 - 2018年「東電福島第一原子力発電所の廃炉についてー廃炉の論点と展望ー」
 - 2019年「確かな廃炉のために今すべきこと」
 - 2020年「原子力を見るー社会の目」(新型コロナウイルス感染症蔓延対応のため中止とした)

廃炉委の各活動の状況

- 廃炉委で以下のテーマで「ワークショップ」を開催し、深い議論を行い課題への対応の提案に反映した。
- 第1回 1F廃炉ー廃炉の論点と対応
 - 第2回 廃止措置(1Fは「廃炉」という)と管理目標
 - 第3回 廃炉での「廃棄物の取り扱い」について
 - 第4回 事故廃炉の廃炉における放射性廃棄物・放射線の閉じ込めのためのパウンダリの考え方について
 - 第5回 廃炉での「廃棄物の取り扱い」について(その2)
 - 第6回 外部ハザードにどこまで対応すべきか
 - 第7回 ロボットの信頼性をどのように考えるか
 - 第8回 IAEAの活動と汚染処理水対応
 - 第9回 燃料デブリに関連する保償措置
 - 第10回 クリアランスレベルの考え方

人類史上例のない厳しい取組（“ナショナル・チャレンジ”）

世界の原子力発電所の安全運用に有用なデータが得られる。
世界への貢献が期待されている。

- ・地域や作業員にとつての安全確保を前提とし、
- ・未来を担う世代に技術革新の財を残そう、
- ・迅速に、合理的に、戦略的に「1F廃炉」を進めていく。
- ◆ 政府/規制/事業者に地域のステークホルダーを加えた協働する
仕組みの構築が必要
- ◆ 原子力以外の広範な技術分野の知見・経験の活用
- ◆ 長期的な課題も視野に入れた国際社会との連携
- ◆ 社会科学的視点での取組

廃炉への挑戦は、次なるイノベーションの始まりでもある。

「廃炉技術の開発と進化で世界に貢献」

「福島浜通りを原子力安全研究の拠点として位置づけ、
福島第一の廃炉を活用する」ことで国際社会での責務を果たす



[2A_PL02] 福島フォーカス編サマリー

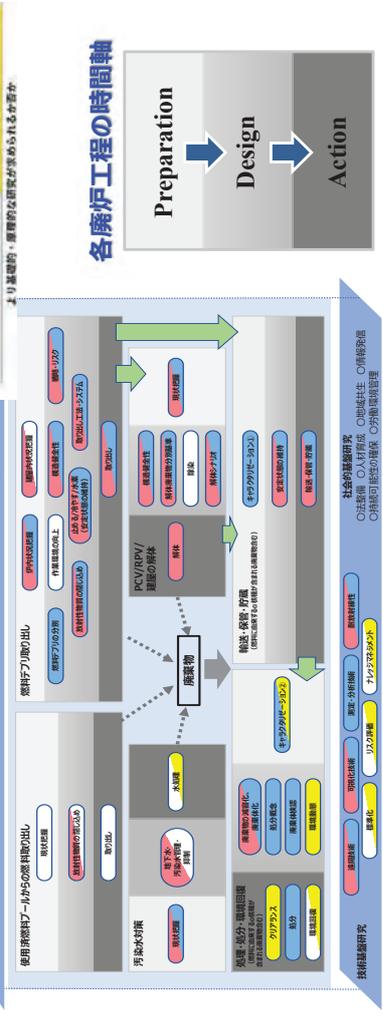
2) 1F廃炉検討委員会からの報告

ご静聴いただきありがとうございます。

研究ニーズの抽出と提示

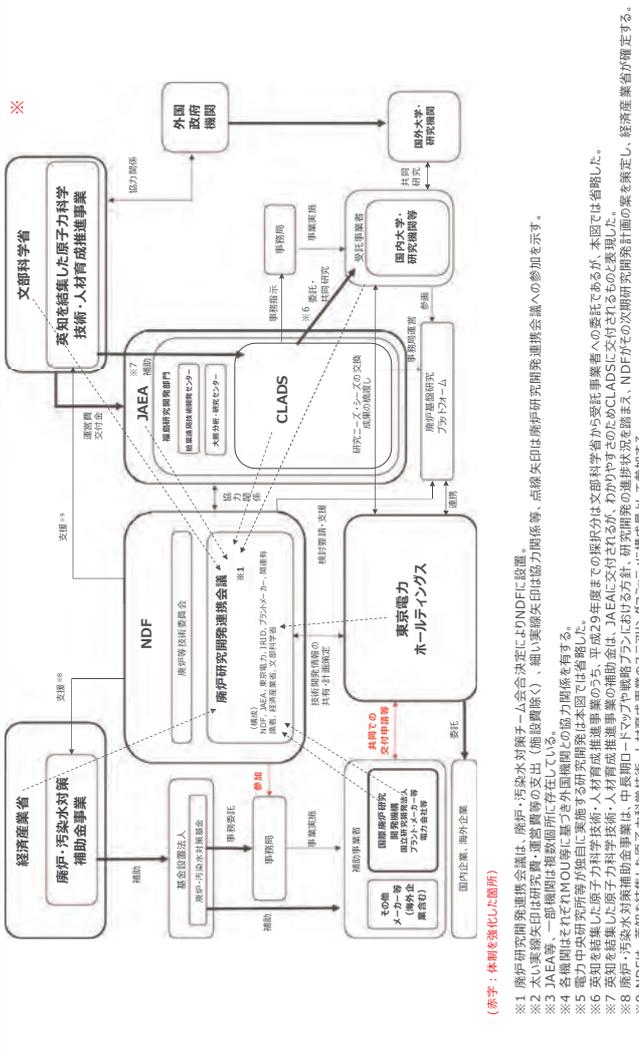
- 1F現場のニーズに基づき研究課題を俯瞰する「**基礎・基礎研究の全体マップ**」を策定した(CLADS HPIにて公開中)
- このマップを基にアカデミアを対象とした**基礎・基礎研究開発事業**(英知事業)の公募を実施した
- 基礎・基礎研究マップ**は1F廃炉ニーズ・シーズのデータベースとしても活用できるようにすることで、**ニーズ・シーズのマッチング**に貢献する

重要度評価



各廃炉工程の時間軸

福島第一原子力発電所の廃炉に係る研究開発実施体制の概略 (2020年度)



※(赤字: 体制を強化した部分)

※1 廃炉研究開発推進会議は、(株)原子力発電所技術センター(以下「技術センター」)を事務局とし、関係機関の参加により設置された。技術センターは、(株)原子力発電所技術センター(以下「技術センター」)を事務局とし、関係機関の参加により設置された。

※2 大い研究開発推進事業は、(株)原子力発電所技術センター(以下「技術センター」)を事務局とし、関係機関の参加により設置された。

※3 JAEA等第一相機関は、(株)原子力発電所技術センター(以下「技術センター」)を事務局とし、関係機関の参加により設置された。

※4 各機関はそれぞれMOU等に基づき外部機関との協力関係を構築する。

※5 電力中央研究所等が独自に実施する研究開発は本図では省略した。

※6 英知を推進した原子力科学技術・人材育成推進事業の補助金は、JAEAに交付されるもの、CLADSに交付されるもの、NDFに交付されるもの、NDFがその次期研究開発計画の案を策定し、経済産業省が確定する。

※7 英知を推進した原子力科学技術・人材育成推進事業の補助金は、JAEAに交付されるもの、CLADSに交付されるもの、NDFに交付されるもの、NDFがその次期研究開発計画の案を策定し、経済産業省が確定する。

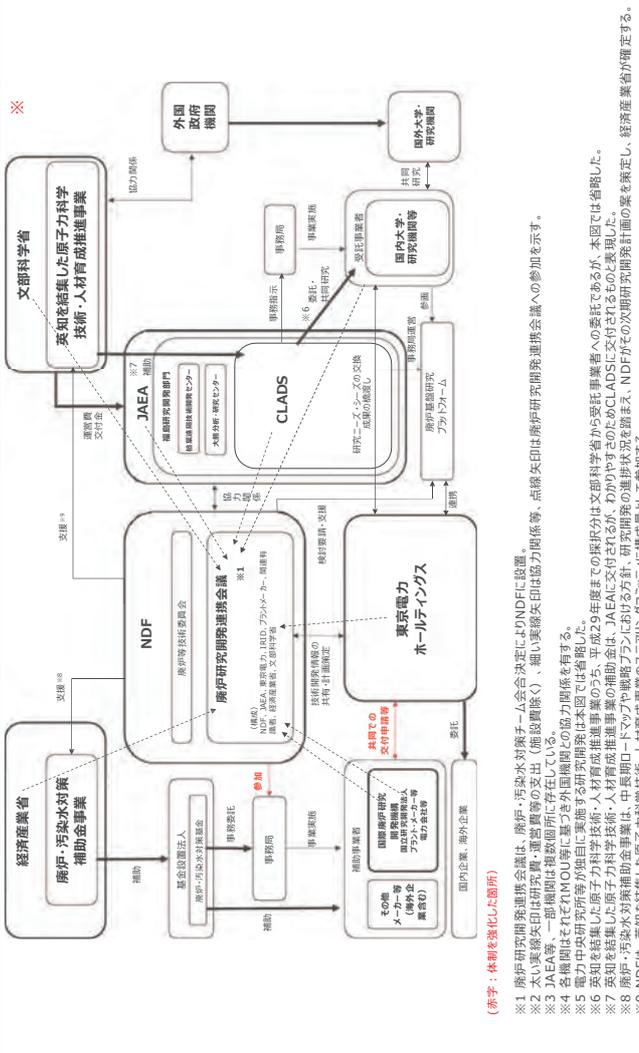
※8 廃炉・汚染水対策補助金事業は、中核的ロードマップや廃炉プランにおける方針、研究開発の進捗状況を踏まえ、NDFがその次期研究開発計画の案を策定し、経済産業省が確定する。

※9 NDFは、英知を推進した原子力科学技術・人材育成推進事業の補助金を活用して参加する。

CLADSにおける廃炉への貢献



廃炉分野と環境分野の連携

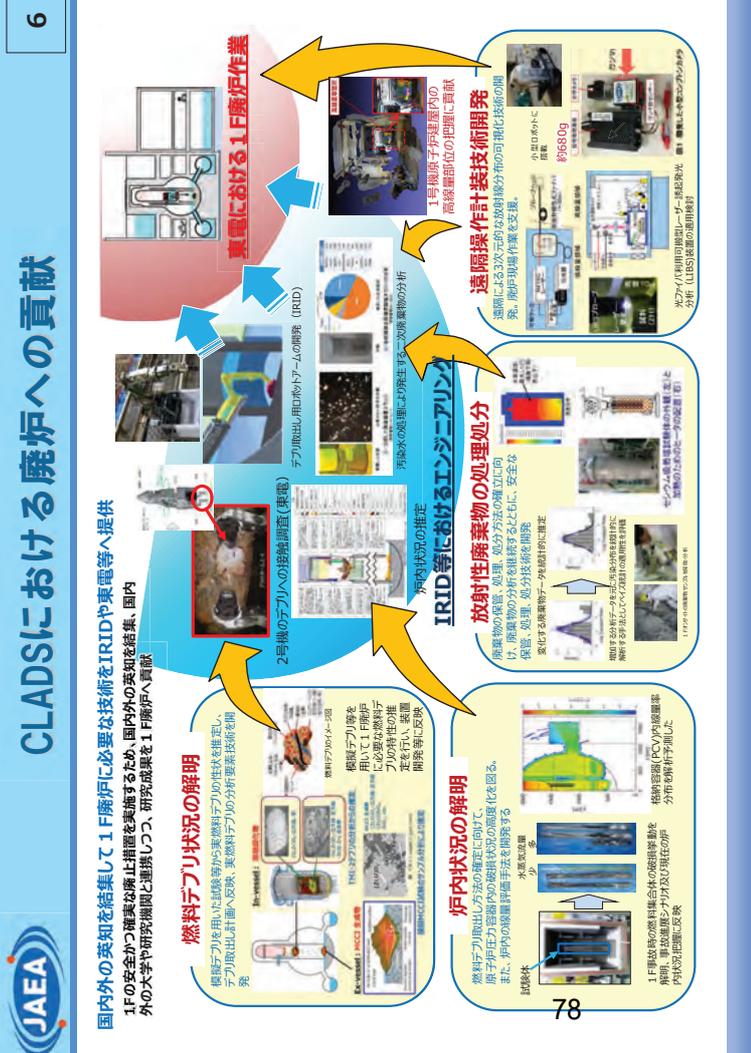


● 廃炉分野と環境分野の連携の事例

● 1F廃止措置から環境回復への適用事例

● 小型コンプトンカメラの開発

● 遠隔放射線イメージングシステムの開発





建屋工事の様子 (2017.6)



建屋全景 (2020.6)



フード室 整備状況(2020.10)



グローブボックス内装置の整備状況(2020.11)



鉄セル室 整備状況(2020.11)

第2棟は、1Fで発生した燃料デブリ等の性状等を把握し、燃料デブリの取出しの各工程（取出し、収納・移送・保管等）の検討を進めるための分析等を行う。

第2棟の分析結果の反映先

- 燃料デブリ取出し時の臨界安全の確認
- 燃料デブリ取出し作業時の線量、ガス挙動の把握
- 燃料デブリ取出し工法へのフィードバック
- 燃料デブリの収納・移送・保管にあたっての安全確認・評価
- 燃料デブリの処理・処分方策の検討

建築概要

- 階数：地上2階、地下1階
- 延床面積：約3,300m²
- 主要構造：鉄筋コンクリート造、直接基礎

分析対象物

- 燃料デブリ等
- 年間12受入物を想定

第2棟工程

- 2018年4月 詳細設計に着手
核燃料物質を含む燃料デブリ等を取扱うため、様々な安全対策を施設設計に反映
- 2020年5月 実施計画変更認可申請
▶ 審査中



第2棟完成予想図

主要分析設備

設備名	コンクリートセル	鉄セル	グローブボックス、フード
線量率	高		
設備例*			
遮蔽体(厚さ)	コンクリート (100cm～)	鉄 (16cm～)	

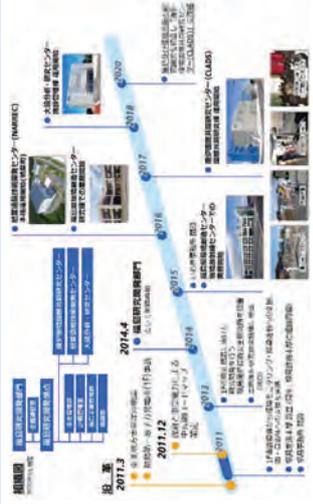
*各設備の詳細はJAEA発行資料PDFを参照

10年誌の編纂

1F事故から10年という節目の年を迎えるにあたり、事故直後から10年後の現在の間に至るまでの、原子力機構の福島復興対応に関する活動を10年誌として編纂を実施した

主要なコンテンツ

1. 東京電力福島第一原子力発電所事故の緊急時対応から
2. 国の方針と研究開発体制
3. 研究開発基盤の整備
4. 廃止措置等に向けた研究開発
5. 環境回復に係る研究開発
6. 研究開発成果の現場への実装
7. 今後に向けて

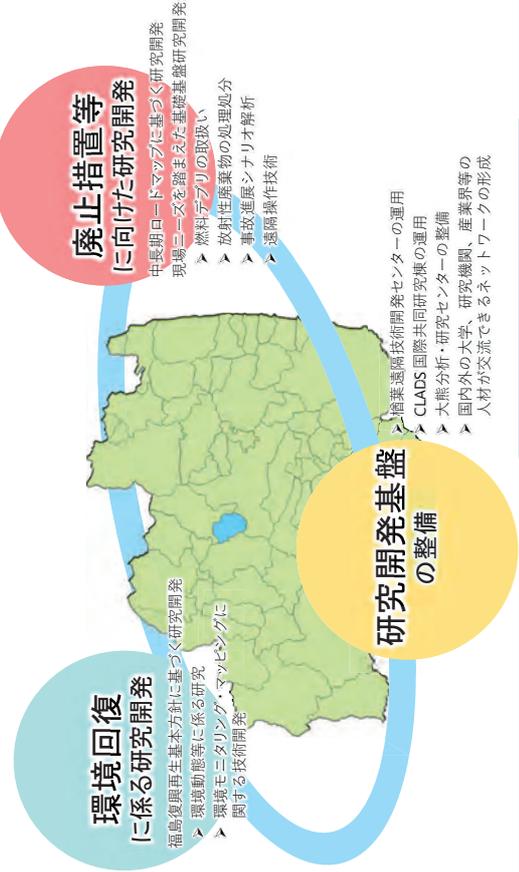


▲東京電力福島第一原子力発電所事故の対応に係る研究開発一ふくしま復興に向けた10年の取り組み

12/5にJAEA HRPに公開予定

まとめ

福島第一原子力発電所事故からの復興に向けて
科学技術的専門性を最大限活用した取り組みを実施している



添付資料 6-2

水化学部会企画セッション 福島第一原子力発電所廃炉への水化学からの取り組み

2021年3月19日(金) 13:00 ~ 14:30 G会場 (Zoomルーム7)
座長：高木 純一 (東芝ESS)

部会長・座長挨拶	13:00-13:05
[3G_PL01] 汚染水処理の最新の状況	13:05-13:30
山根 正嗣 (東電HD)	
[3G_PL02] ラジオシス解析による放射線環境下での腐食環境評価	13:30-13:55
佐藤 智徳 (JAEA)	
[3G_PL03] 放射線下における腐食挙動評価	13:55-14:20
阿部 博志 (東北大)	
質疑応答・総合討論	14:20-14:30

2021年春の年会 水化学部会セッション 福島第一原子力発電所廃炉への水化学からの取り組み (1)汚染水処理の最新の状況

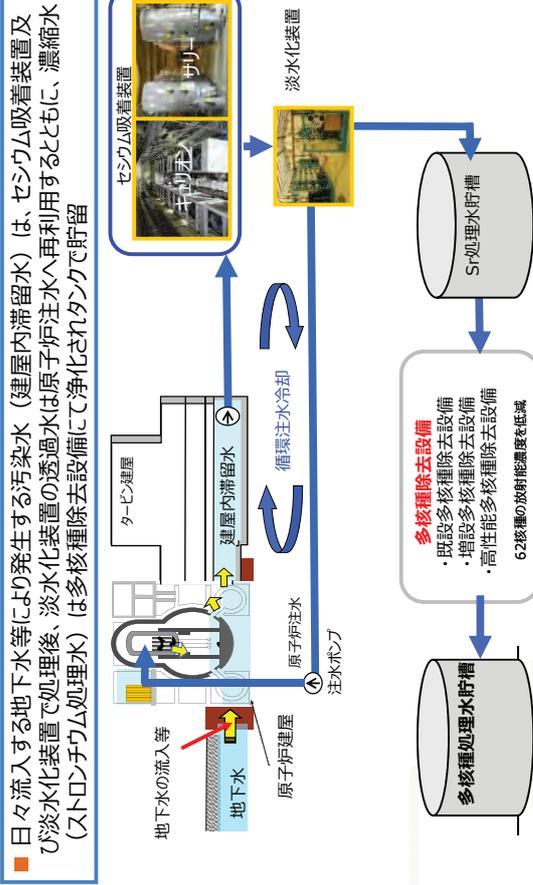


2021年3月19日

東京電力ホールディングス株式会社 山根 正嗣

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

汚染水処理の概要



※ 170t/日主建屋/高温焼却炉建屋

汚染水対策の概要

- 山側から海側に流れている地下水や破損した建物から入る雨水などが、原子炉建屋等へ流れ込み、建屋内等に溜まっている放射性物質を含む水と混ざることなどで汚染水は増加
- 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3つの基本方針にそって、地下水を安定的に制御するための、重層的な汚染水対策を進めている。

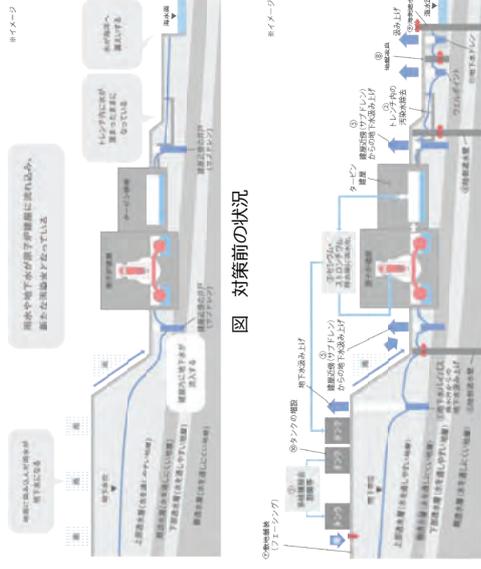


図 対策前の状況

図 対策後の状況

1～4号機滞留水処理の状況

滞留水移送装置による床面露出状況	1号機		2号機		3号機		4号機	
	T/B	Rw/B	T/B	Rw/B	T/B	Rw/B	T/B	Rw/B
出発	2017年3月24日	2020年3月19日 ^{※2}	2020年10月8日	2020年8月18日	2020年8月18日 ^{※3}	2020年8月18日	2020年8月18日	2020年8月18日
予備系（B系統）運用開始	同上	2020年12月22日	2020年12月22日	2020年11月18日	2020年11月18日	2020年11月18日	2020年11月18日	2020年11月18日

※1 A系統運用による床面露出確認日。
 ※2 2号機Rw/Bへ滞留水を排水させることにより床面露出した日。なお、今回の工事に合わせて、床ドレンサンプへ水検ポンプを設置している。
 ※3 3号機7号サービシアリアは2020年10月8日に床面露出を確認。

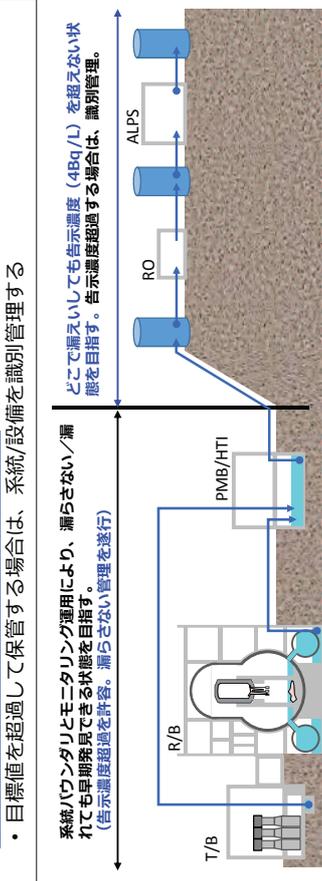


1～4号機の最下階床面の状況

アルファ核種汚染に対する目指すべき姿

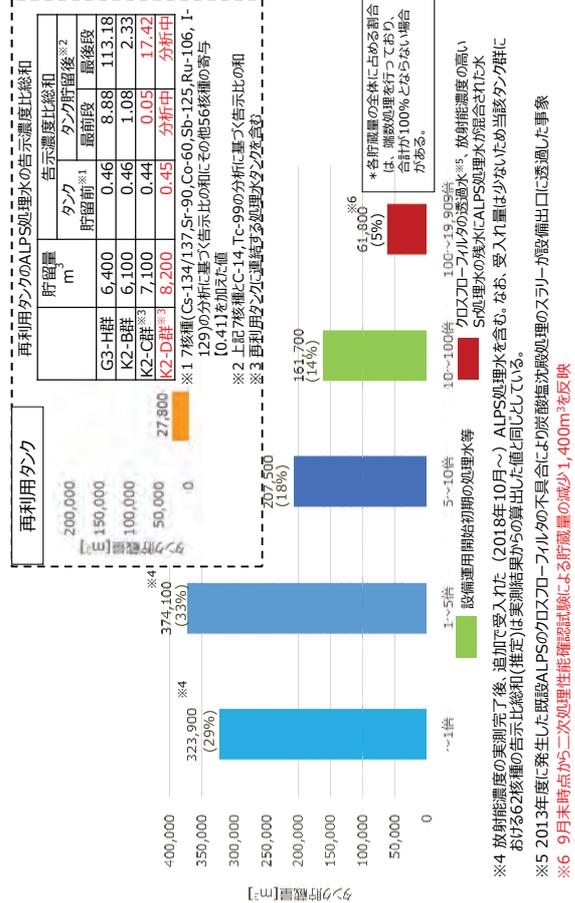
- ①8.5m盤：α汚染拡大リスクの最小化を図れた状態
 - ・漏らさない系統構成と早期発見を目指した状態監視（β汚染と同じ）
 - ・各建屋滞留水の定期モニタリングによるα放射能濃度の把握
 - ・8.5m盤から33.5m盤へのα汚染移行抑制措置。水処理設備の最下流（SARRY）の系統内濃度を告示濃度（4Bq/L）未満とする。
- ②33.5m盤：α汚染管理が要らない状態
 - ・目標値を超過して保管する場合は、系統/設備を識別管理する

系統パワンダリとモニタリング運用により、漏らさない/漏れても早期発見できる状態を目指す。
 (告示濃度超過を許容。漏らさない管理を遂行)



8.5m盤内でα核種を管理するためSARRY、SARRY IIでα核種を除くことができる状態を目指す。

多核種除去設備等処理水の告示濃度比総和別貯蔵量（2020年12月末時点）



※4 放射能濃度の実測完了後、追加で受入れた（2018年10月～）ALPS処理水を含む、なお、受入れ量は少ないため当該タンク群における62核種の告示比総和（推定）は実測結果からの算出した値と同じとしている。
 ※5 2013年度に発生した既設ALPSのカビコロフィルタの不具合による放射能濃度試験の減少1,400m³を反映
 ※6 9月末時点から二次処理性能確認試験による貯蔵量の減少1,400m³を反映



原子力学会 2021年春の年会 水化学部会セッション

福島第一原子力発電所廃炉への水化学からの取り組み

(2) ラジオリシス解析による放射線環境下での腐食環境評価

原子力機構 佐藤智徳

○ラジオリシスに関する取組

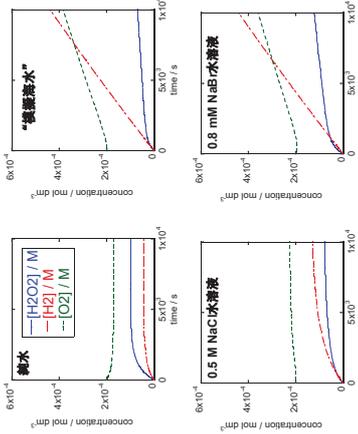
- ・海水のラジオリシス
- ・保管容器での水素発生
- ・I₂発生

○放射線環境下での腐食データベース

- ・腐食データベースの概要
- ・ラジオリシスデータベースを用いた解析

海水に含まれる不純物イオン: Cl⁻, SO₄²⁻, Br⁻, HCO₃⁻, Na⁺, Ca²⁺ etc.

1Gy/sのガンマ線定常照射下における分子生成物の濃度の時間変化



“模擬海水”組成 (単位: mol/dm³)
 [NaCl] = 5 × 10⁻¹
 [NaHCO₃] = 2.3 × 10⁻³
 [NaBr] = 8 × 10⁻⁴
 [O₂] = 2 × 10⁻⁴

H₂

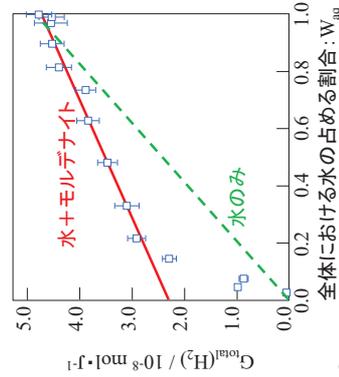
- ・発生量: 純水 < NaCl < 海水 = NaBr
- ・海水、NaBrにおけるH₂収量
≒水分解における水素のブライグ値 (0.45 / 100eV)

H₂O₂

- ・発生量: 海水 < NaCl < 純水 < NaBr
- ・傾きは溶液によって異なる。

脚註: 「水の放射線分解におけるハロゲン化物イオン及び鉄イオンの影響」, 原子力学会「水化学第5」第39回定例会報告会, K. Hata, et al. Journal of Nuclear Science and Technology, 53, 1183 (2016)

ゼオライトと海水の共存下での水素発生



$$n(\text{H}_2) = g_{\text{aq}}(\text{H}_2) \times E_{\text{aq}} + g_{\text{MOR}}(\text{H}_2) \times E_{\text{MOR}}$$

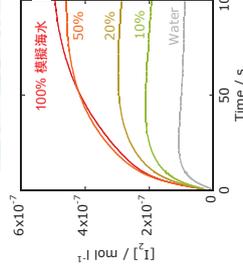
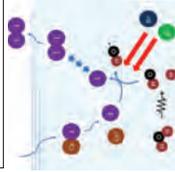
モルデナイトの影響項

$$g_{\text{aq}}(\text{H}_2): 4.7 \times 10^{-8} \text{ mol/J}$$

$$g_{\text{MOR}}(\text{H}_2): 2.3 \times 10^{-8} \text{ mol/J}$$

モルデナイト共存下($w_{\text{aq}} > 0.2$)では、水のエネルギー吸収だけでなく、モルデナイトのエネルギー吸収に起因する水素発生も考慮する必要がある。

- ・原子力事故時のヨウ素 (I⁻) 挙動への海水注入の影響を検討。
- ・既存のI⁻, Br⁻, Cl⁻の反応データセットに加え、I⁻, Br⁻, Cl⁻及びこれらのラジカル同士の酸化還元反応も追加。

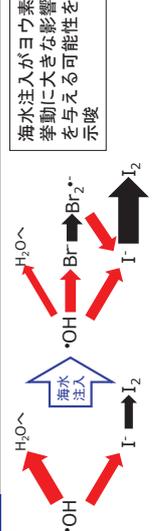


予想

- ・還元力の差 (I⁻ > Br⁻ > Cl⁻) から、海水成分の添加によるI₂発生量は変化は小さい?
- ・または、海水成分が少量の・OHを捕捉することで、I₂発生量は減少?

計算結果

- ・海水成分の添加によりI₂発生量が増加。
- ・各成分のラジオリシスへの寄与を調べ、I₂発生量増加は以下のプロセスに依ることを確認。
- ・I⁻のみの場合にはH₂Oに再結合する・OHが、海水注入時にはBr⁻との反応により消費される。
- ・Br⁻と・OHとの反応中間体であるBr₂⁻がI⁻を酸化。

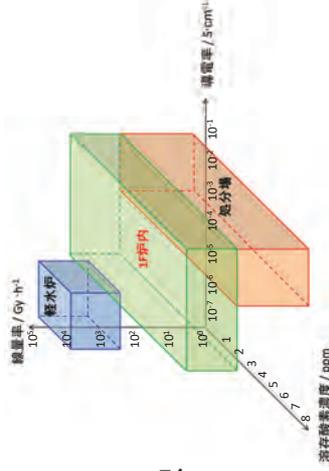


脚註: 「水の放射線分解におけるハロゲン化物イオン及び鉄イオンの影響」, 原子力学会「水化学第5」第39回定例会報告会, K. Hata et al., "Effects of constituents of seawater on formation of volatile iodine by aqueous phase radiation chemistry", International Atomic Energy Agency, IAEA-CN-25/19, 1996-203 (2016)

I⁻水溶液 (I⁻ = 1 × 10⁻⁵ mol/dm³) のラジオリシスによるI₂発生への海水成分の影響

福島第一原子力発電所の40年にわたる廃止措置を安全かつ継続的に進めるためには、経年的に劣化が進む構造材料の腐食が重要である。しかし、腐食反応を律速する環境要因に関しては、現状十分にデータが得られている訳ではなく、また、作業の進展に伴い時々刻々と変化し得る。

そこで想定される範囲を十分に包含した環境条件でのラジオリスシズデータおよび腐食影響データをデータベース化



JAEA、QST、大阪府大、東工大、東北大、東大の連携により実施

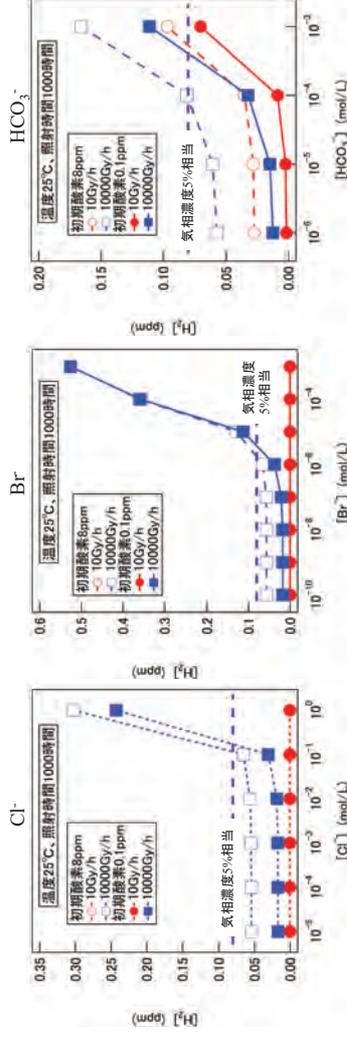
福島第一原子力発電所廃炉への水化学からの取り組み

(3)放射線下における腐食挙動評価

阿部 博志

東北大学 大学院工学研究科

2021/3/19



“模擬海水”組成 (単位: mol/L)
 $[NaCl] = 5 \times 10^{-1}$
 $[NaBr] = 8 \times 10^{-4}$
 $[NaHCO_3] = 2.3 \times 10^{-3}$
 $[O_2] = 2 \times 10^{-4}$ (6.4ppm)

1. 背景ならびに目的
 - 1.1. 福島第一原子力発電所の廃止措置
 - 1.2. 中性溶液中における炭素鋼の腐食
 - 1.3. 炭素鋼の腐食が加速される環境
 - ・ 水膜下
 - ・ ガンマ線照射環境下
 - 1.4. 本研究の目的および方針
2. 炭素鋼の腐食に及ぼす水膜効果および照射効果の影響評価
 - 2.1. 試験概要
 - 2.2. 試験片外観および腐食生成物の同定
 - 2.3. 水膜効果および照射効果による腐食の加速
3. ガンマ線照射環境における炭素鋼の腐食浸食深さ予測
 - 3.1. 炭素鋼の腐食速度則調査
 - 3.2. 炭素鋼の腐食浸食深さの長期予測
4. まとめ

1.4. 研究目的および方針

研究目的

ガンマ線照射環境下における喫水部での炭素鋼の腐食浸食深さに関する長期予測を行う

研究方針

- 水膜効果：全浸漬試験片と半浸漬試験片の喫水部での腐食速度と比較
 全浸漬試験片の腐食速度 $\xrightarrow{\text{水膜効果}}$ 喫水部の腐食速度
- 照射効果：非照射および照射下の腐食速度を比較
 非照射環境の腐食速度 $\xrightarrow{\text{照射効果}}$ 照射環境の腐食速度
- 水膜効果と照射効果の重畳効果：非照射下の全浸漬と照射下の喫水部の腐食速度を比較
 全浸漬試験片非照射環境 $\xrightarrow{\text{水膜効果+照射効果}}$ 喫水部照射環境
- 腐食浸食深さの長期予測
 複数の試験時間での腐食データから炭素鋼の腐食速度則を調査し、外挿法で予測を行う

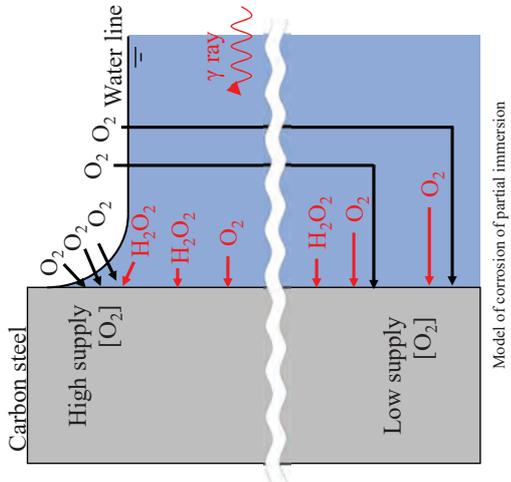
水膜効果および照射効果が重畳する場合の腐食モデルの検討

非照射下

- 曝気時の酸化剤供給源は大気
- 大気に近い喫水部で酸素供給速度が高い
- 喫水部での腐食速度が液相部よりも高くなる

ガンマ線照射下

- 非照射と同様に水膜効果により喫水部の腐食が加速される
- ラジオリシスによってO₂, H₂O₂が溶液中に生成される
- 喫水部では水膜効果および照射効果が重畳して腐食が加速される



ラジオリシスで生成される過酸化水素は初期溶解酸素濃度に依存する。
 したがって、溶解酸素は腐食およびラジオリシスの両方への影響があると考えられる

3. ガンマ線照射環境下における炭素鋼の腐食浸食深さ予測 3.1 炭素鋼の腐食速度則調査(C.R.weight)

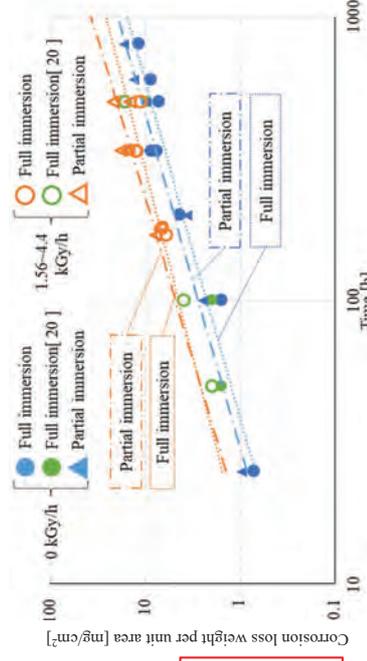
IFの廃止措置は40年以内の完了を目標としている^[3]
 40年の腐食試験は現実的ではないため、実験結果をもとに外挿を行うことで長期予測を行う

近似式

$$\log(d) = n \log(t) + C$$

速度則の調査

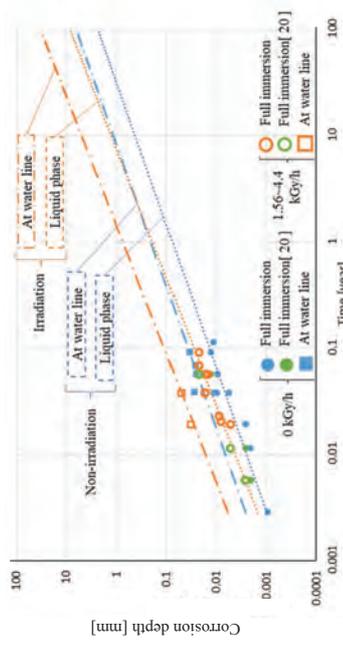
本研究および既往知見^[20]のC.R._{weight} (はn=0.7~0.8のべき乗則であった。



The relationship between corrosion loss weight and immersion time

3.2. 炭素鋼の腐食浸食深さに関する長期予測 喫水部における平均腐食浸食深さ

- 全浸漬の推定には既往知見^[20]の結果を含んでいる
- 喫水部のC.R._{ave. depth}のべき数は全浸漬と等しいと仮定し、べき乗則に従って外挿を行った
- 大気開放下で、40年後の照射下における喫水部では腐食浸食深さが約10 mmと推定された



The results of long-term estimation of full immersion and at water line

The results of long-term estimation

	Non-irradiation	At water line, non-irradiation	Irradiation	At water line, irradiation
Dose rate [kGy/h]	0	0	1.54~2.78	2.55
Slope [mm/year]	0.744	0.744	0.766	0.766
Corrosion depth in 40 years [mm]	0.618	3.11	1.78	10.6

研究目的

ガンマ線照射環境における喫水部での炭素鋼の腐食に関する長期予測を行う

結言

- 照射環境下における喫水部での腐食は水膜効果と照射効果が重畳することで加速される。
-
- | mm/year | 0 kGy/h | 2.11 kGy/h |
|--|---------|------------|
| C.R. _{weight} (Full immersion) | 0.255 | 0.421 |
| Water film effect | × 2.8 | × 1.65 |
| C.R. _{ave. depth} (At water line) | 0.795 | 1.28 |
| Irradiation effect | × 1.61 | × 3.0 |
- 照射環境下における喫水部での炭素鋼の腐食がべき乗則に従うと仮定した長期予測の結果、40年間大気開放状態の場合、喫水部での平均腐食浸食深さが約10mmと推定された。

今後の課題

- 本研究では曝気条件で行った。しかし、1Fでは酸素分圧は低く保たれているので、喫水部での腐食速度はより低いことが予想される。

2021年3月18日 (木)
13:00 - 14:30
企画セッション

添付資料 6-3-1

「シビアアクシデント時のFP挙動」 研究専門委員会の 活動実績と今後の展開

座長 勝村 庸介

セッションの概要

1. 研究専門委員会の設立の経緯 (5分)

2. 活動報告と課題 (4人 x 15分)

- ・ 実機でのFP挙動把握の実績と課題
- ・ FP挙動に関する実験サーベイの実績と課題
- ・ 短期/長期FP挙動評価の実績と課題
- ・ 研究専門委員会4年間の活動成果と今後への展開

3. コメント (2人 x 5分)

4. 討議、総括 (15分)

WG3にて報告された講演題目一覧

Phase	年度	回	年	月日	分類	講演題目	所属
Phase1	2017年度	1	2017年	11/17	解析評価	Phabus-F173 実験結果の概要と福島第一原発事故中のFP挙動との対比	JAEA
					実機データ	福島第一原子力発電所における汚染水処理の実績	東芝エネルギーシステムズ
	2	2018年	2/19	実機データ	福島第一原子力発電所格納容器内調査 線量率調査状況	IRID	
					解析評価	原子炉過熱事故における放射性核分裂生成物挙動の評価- Backward 評価の例-	JAEA
2018年度	3	2018年	7/31	廃棄物データ	廃棄物処理・処分技術の開発に係る放射化学分析データ	JAEA	
	4	2018年	11/15	リスク評価	燃料デブリ取り出しに係る定量的リスク評価手法の開発-現状と課題	NDF	
					性状	核分裂生成物の基礎性状について	JAEA
2019年度	5	2019年	3/12	実機データ	福島第一・1号機原子炉建屋整備改善の取組み	日立GE	
					解析評価	汚染水の現状とその評価手法	エネ総研
	6	2019年	7/17	実機データ	2号機原子炉建屋オペラの放射線等調査結果について	東京電力HD	
					解析評価	1F事故注水停止後再注水時の水素およびH ₂ 放出促進について	JAEA
2020年度	7	2019年	11/12	廃棄物データ	福島第一事故汚染物に関する放射性核種分析と由来の推定	NFD	
					解析評価	短/中/長期FP挙動解析手法	エネ総研
	8	2020年	7/29	実機データ	1F-2号機オペラのFP分布の部位毎の評価	JAEA	
					解析評価	ORIGEN2による主要核種インベントリ評価	JAEA

実機の知見に基づく観察結果、分析・評価結果
⇒1F事故に基づく課題抽出のためには不可欠な情報

1Fの放射能データの現状

- ◆ 汚染滞留水のデータ
 - 比較的採取が容易でデータ点数も多いが、ソースチームの観点からは下流側のデータ。
 - 発生源からのFP挙動を評価するには不十分な情報。
- ◆ 格納容器内の調査
 - 進展を見せてきたが、高い放射線量のためにアクセスが極めて困難。現時点はまだ目視の段階。
 - 核種分布や化学形態の情報については皆無に近い状況。
- ◆ 汚染廃棄物のデータ
 - 金属・コンクリート等様々な形態があるが、その由来は異なり、ソースチームとの関連の把握が困難。

Backward評価により核種の発生、移行、付着、離脱挙動を評価し、ソースチームを推定することが重要

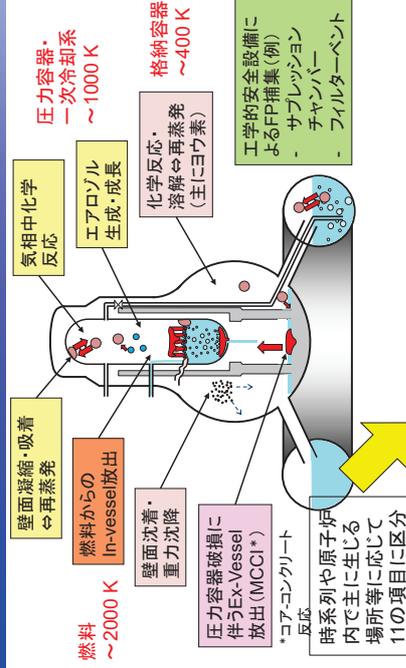
廃炉作業に係わるWG3技術課題の整理

- ◆ 調査に伴う汚染データの取得
 - PCV内部調査やオペフロ調査に伴い、汚染データや線量率データに迅速にアクセスし、分析する体制が重要。
 - 並行して、効率的・合理的なデータ取得の検討が必要。
- ◆ FP核種の化学形態の同定
 - 通常の元素分析、核種分析に加え、FP挙動の詳細を把握するためには化学形態の特定が必須。
 - 従来想定していなかった化学形態の存在を指摘。
- ◆ 燃料デブリ取り出しへの要求事項の提言
 - デブリ随伴FP(燃料デブリ中のFP)と付着FP(PCV内の構造材等への付着FP)の両面からFP挙動を総合的に評価。
 - サンプリング・分析項目を明確にして要求事項を提言。

WG3は、実機データの知見に立脚し、FPマスバランス把握に向けた技術課題解明に努める

調査実施項目・内容について

4



- 熱流動、SA解析、化学、計算科学、燃料等、多様な専門性を持つ委員から、FPに係る最新の研究動向や課題、課題解決のための基礎知識等について講演を頂くことにより、調査
- 11の項目をなるべく網羅するように調査内容を検討

区分	項目	概要
①	MOX/高燃焼度燃料影響	FP放出挙動への影響
②	FP化学挙動(高温)	Bの化学的影響、Os等の鋼材との化学反応 等
③	デブリ/廃棄物中FP分布	Sr, Ba, Cs等の残留・分布
④	FP1種経路	ハプキン、隙間、スクラビング
⑤	FP化学挙動(低温)	I/Cs/Ru化学
⑥	FP挙動(低温)	FPエアロソールのコンクリ等への沈着・浸透・再浮遊
⑦	水分・酸化等影響(低温)	スプレー、スクラビング、破産・溶解
⑧	水相移行	デブリ・沈着物からのFP溶出、壁面等への沈着、水付着化時の移行
⑨	物理化学性状変化	沈着物の水分等との反応、酸化など、性状変化によるFP溶出・再浮遊・再固着
⑩	関連	炉外、他施設等
⑪	その他	全体、SA、実験設備、P/Sアーベ

[2H_PL02]

FP挙動に関する実験サーベイの実績と課題

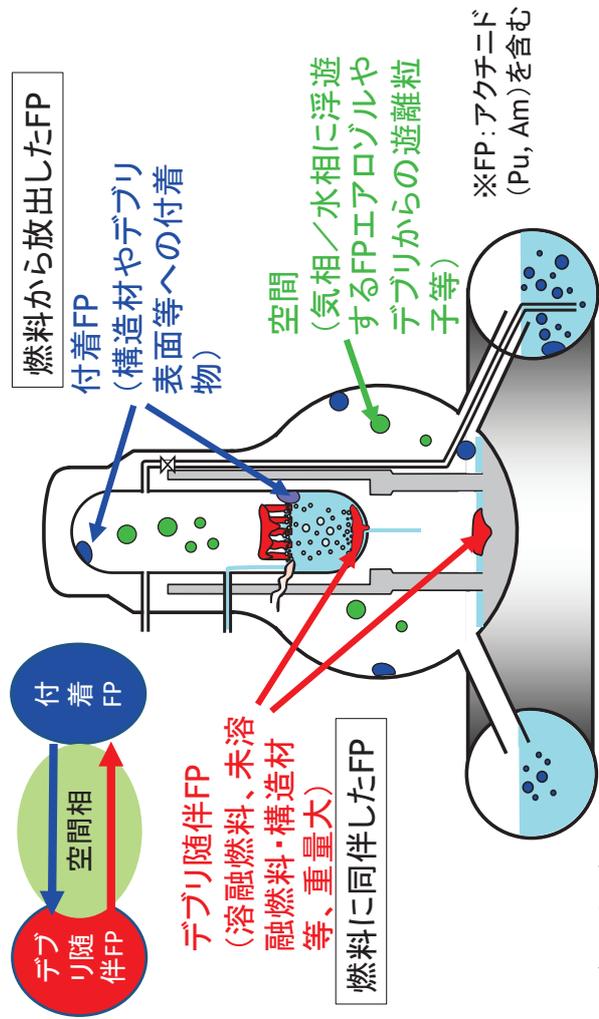
実績と課題

逢坂 正彦 (JAEA)

- NDF 6課題(1)(2)(4)(5): 最新の情報や基礎的知見・考え方・ベース等を収集
- **長期的な課題**(水相を介した長期ソースターム評価、建屋解体時の粉塵発生評価、解体廃棄物のインベントリー評価等)に関する情報を収集

把握すべき現象に不足は無いか、さらに深掘り/詳細検討すべきものはどれか

- (1) **燃料デブリの経年変化プロセス等の解明**
- (2) **特殊環境下の腐食現象の解明**
- (3) **画期的なアプローチによる放射線計測技術**
- (4) **廃炉工程で発生する放射線飛散微粒子挙動の解明(αダスト対策を含む)**
- (5) **放射性物質による汚染機構の原理的解明**
- (6) **廃炉工程で発生する放射性物質の環境中動態評価**



スライド11~14は以下を引用:
「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会、核分裂生成物と燃料デブリの比較 -福島第一- 原子力発電所の廃炉作業時に留意すべき核分裂生成物の影響 - , 日本原子力学会誌, vol. 61, no. 9, 2019, pp. 661-666.

注目すべきFPの選定

	長期(シャットダウン後30年経過)		短期(シャットダウン後1年経過)	
	デブリ随伴FP	附着FP	デブリ随伴FP	附着FP
	外部	内部	外部	内部
Cs-137	◎	◎	○	◎
Cs-134	-	-	◎	○
Sr-90	-	○	○	○
Eu-154	△	-	△	-
Pu-239	-	○	-	△
Am-241	-	◎	-	◎
Ru-106	-	-	○	-
Ba-140	-	-	△*	△*

- ① FPの附着(燃料からの放出特性、附着形態と量)と再放出
- ② Cs-137のデブリ随伴FPへの移行の可能性

[2H_PL03]
短期/長期FP挙動評価の実績と課題
唐澤 英年 (JAEA)

5.5.1 SA解析コードFP挙動モデル高度化の課題

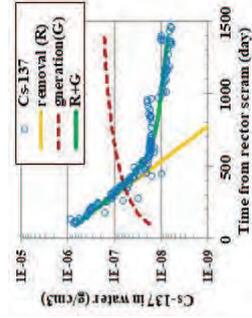
- 5.4節の検討で得られたFP挙動モデルの課題を、下表に示す
- **FP挙動モデルの高度化**には、Phébus実験ベンチマークやIF事故解析で得られた**課題の対応が必要**
- 特に、SA解析コードで用いられるFP挙動モデルは、実験結果に基づく実験相関式が多い。このため、モデルの高度化には、実験相関式の元になった実験条件が、SA条件に外挿可能なかの検討が必要

#	FP挙動モデル	課題
①	FP放出	・燃料詰落時の燃料ベレット温度の評価、FP放出量評価 ・FP-被覆管との反応 ・溶融燃料からの放出
②	MCCI時の放出 化学形態 エアロゾル生成・成長	・実験データの拡充と解析 ・コンクリートエアロゾルとFPエアロゾルの相互作用 ・熱化学平衡が成立する温度条件 ・化学組成の評価、エアロゾル粒径の評価 ・燃料デブリ取り出し時の機械的放出とエアロゾルの空気酸化挙動
③	エアロゾル付着	・リーク箇所の特異、リークに関する知見拡充とコードへの反映 ・壁付着FPの冷却水による洗い流し ・建屋における移行・沈着挙動(Cs分布の経時変化)
④	プールのスクラビング	・号機毎のDFの違い
⑤	ヨウ素化学	・環境データとの比較のためヨウ素化学を考慮した解析が必要

5.5.2 廃炉解析の提案

- ソースターム評価を目的とするSA解析では、短期間(スクラム後500h程度)のCs分布は評価可能
- 燃料デブリ取り出し時における線量率分布を評価するためには、**長期間に渡る放射性核種(RN)の挙動解析**(ここでは「**廃炉解析**」と呼ぶ)が必要
- 廃炉解析に必要なモデル例:コンクリート中へのFP浸透挙動など

冷却水によるFP洗滌挙動や燃料デブリからのRN溶出挙動のモデル



壁付着FPの形態変化モデル

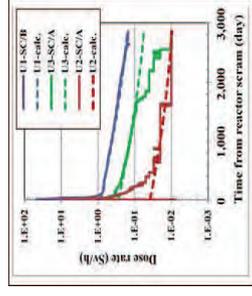


図 汚染水中¹³⁷Cs濃度の経時変化

図 SCでのCAMSデータとCsの減衰曲線

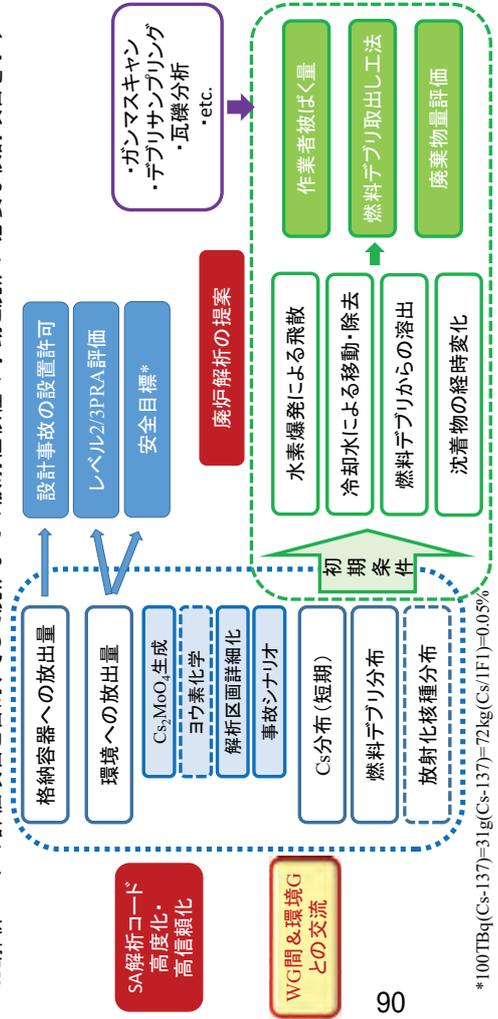
空間線量率: 34, 23μSv.m²/h/g-debris

作業者被ばく量評価モデル

表 外部被ばく量の核種寄与割合	10年後	20年後
¹³⁷ Cs (27%)	¹³⁷ Cs (44%)	
^{137m} Ba (37%)	^{137m} Ba (43%)	
¹⁵⁴ Eu (18%)	¹⁵⁴ Eu (12%)	
¹³⁴ Cs (5%)	²⁴¹ Am (1%)	
¹²⁵ Sb (2%)	¹³⁴ Cs (0.2%)	
¹⁰⁶ Rh (0.5%)	¹²⁵ Sb (0.2%)	
²⁴¹ Am (0.5%)	¹⁵⁵ Eu (0.1%)	

SA解析と廃炉解析の関係

SA解析コードの評価項目と目的、そして廃炉までの放射性核種の挙動と廃炉に必要な検討項目を示す



*100TBq(Cs-137)=31g(Cs-137)=72kg(Cs/IF1)=0.05%

WG2の今後の課題

#	目標	実施項目	実施内容
1	SA解析コードの高度化、高信頼化	(1) FP挙動モデルの適用限界の把握 (2) ヨウ素化学モデルに関する課題抽出 (3) FP挙動モデルの高度化、高信頼化への提案	・実験式を作成した実験の実験条件の範囲を調査 ・Phébus-FPT試験の文献調査 ・環境グループとの交流 ・必要な実験のリスト作成 ・RN挙動の入力条件となる熱水力評価への課題抽出 ・実験WGと上記リストのレビュー
2	廃炉計画、作業への貢献のため廃炉解析の提案	(1) 廃炉解析に必要なモデルの抽出 (2) 廃炉解析の提案	・Csを含む主要RNの分布評価に必要なモデルの検討 ・モデル作成に必要な実験の抽出 ・実機調査グループとの交流 ・廃炉解析によるメリットの明確化 ・具体的な貢献内容の明確化

より効果的な運営体制を議論して進め課題の抽出、情報提供に貢献図る

WG	成果
WG1: FPP実験	<ul style="list-style-type: none"> SA時のFPP放出、移行に係る現象・挙動のリスト化とリストに基づく調査、原子力損害賠償・廃炉等支援機構「6課題」との関係性を分析 廃炉に要する長期的なFPP放出移行について重要な課題を選定 デブリ随伴FPP、付着FPPを区分
WG2: BMP評価	<ul style="list-style-type: none"> SA解析コードの理解と高度化への課題のまとめ <ul style="list-style-type: none"> Phébusおよび1F事故の分析 FPP挙動モデル調査 廃炉解析ツールを提案 事故後のFPP分布・汚染状況の把握 <ul style="list-style-type: none"> 汚染水の実態把握
WG3: 技術課題抽出	<ul style="list-style-type: none"> 新規技術課題の抽出 技術集団構築 成果のまとめを通じた技術伝承 技術報告書
全体	

FP:核分裂生成物、BM:ベンチマーク、SA:シビアアクシデント

© Hitachi, Ltd. 2021. All rights reserved. 5

[2H_PL04]

研究専門委員会4年間の

活動成果の総括と今後への展開

和田 陽一 (日立)

より効果的な運営体制を議論して進め課題の抽出、情報提供に貢献図る

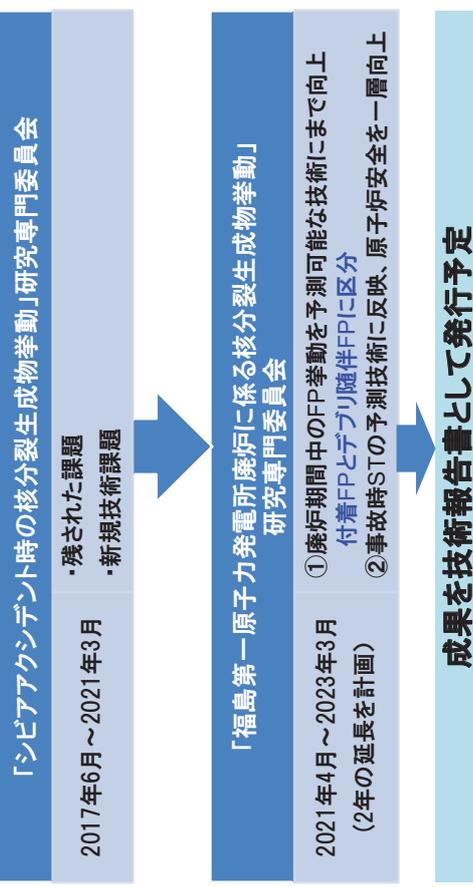
WG	技術課題	運営課題
WG1: FPP実験	<ol style="list-style-type: none"> 検討項目リストに沿った調査の継続、関連実験の検討推進 <ul style="list-style-type: none"> 水相を介したソースターム挙動 建屋解体時の粉塵発生評価 解体廃棄物インベントリー デブリ随伴FPP、付着FPPの分析及び評価 	<ol style="list-style-type: none"> 各WG間の連携深化 <ul style="list-style-type: none"> WG1長期挙動分析⇒WG2廃炉解析 WG2廃炉解析モデル⇒WG1実験提案 WG3実機 ⇒ WG1,2実験・解析 廃炉解析の提案 <ul style="list-style-type: none"> 環境評価との交流 1F廃炉作業の効率の遂行と従事者被ばく低減の提言 効率的・合理的データ取得への寄与 燃料デブリ分析・評価への情報提示 軽水炉安全性へのフィードバック 報告書の英文化等
WG2: BMP評価	<ol style="list-style-type: none"> SA解析コードの更なる評価 <ul style="list-style-type: none"> モデル適用範囲 ヨウ素化学 廃炉解析に必要なモデルの抽出 	
WG3: 技術課題抽出	<ol style="list-style-type: none"> 調査に伴う汚染データの取得 FPP化学形態の同定 燃料デブリ取り出しへの提言 <ul style="list-style-type: none"> デブリ随伴FPP・付着FPP両面からの挙動評価 	
全体	<ol style="list-style-type: none"> デブリ随伴FPPの検討追加 海外への成果の発信強化 	

FP:核分裂生成物、BM:ベンチマーク、SA:シビアアクシデント、ST:ソースターム

© Hitachi, Ltd. 2021. All rights reserved. 6

「福島第一原子力発電所廃炉に係る核分裂生成物挙動」研究専門委員会

本研究専門委員会での残された課題、新たな課題を検討するため2021年4月から新規研究専門委員会を設立



FP:核分裂生成物、ST:ソースターム

© Hitachi, Ltd. 2021. All rights reserved. 7

まとめと総括

次期研究専門委員会：

「福島第一原子力発電所廃炉に係る核分裂生成物挙動」

期間：2021年4月～2023年3月（提案、2年延長も計画）

活動内容

- ① 機器・構造物表面に付着したFP（付着FP）と燃料デブリに捕捉されたFP（デブリ随伴FP）に分け、廃炉作業時のFP挙動を予測・評価可能とする技術を開発
- ② 現8部会（水化学、熱流動、核燃料、保健物理・環境科学、計算科学技術、原子力安全、バックエンド、再処理サイクル）に、放射線工学部会（線量率評価）と核融合炉部会（トリチウム挙動評価）の2部会が参加、多面的にFP挙動を議論・評価、安全かつ確実な廃炉作業に貢献目指す
- ③ 活動体制は現3SWG体制を踏襲するが、発足後の議論に委ね、デブリ随伴FP関連の評価、検討を追加
- ④ 活動成果を技術報告書として発行予定

技術報告書の刊行

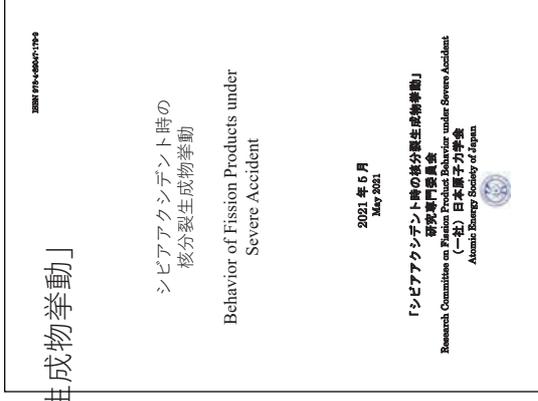
技術報告書

「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」

2021年5月に刊行予定、

価格：4000円＋税

ISBN 978-4-89047-179-9



シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動

Fission Product Behavior under Severe Accident

2021 年 5 月

May 2021

「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」

研究専門委員会

Research Committee on Fission Product Behavior under Severe Accident

(一社) 日本原子力学会

Atomic Energy Society of Japan



要 旨

「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会は、

- 1) 「福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」での、ソースタームの評価に、従来の評価ベースでは説明できない事象が散見され、新たな研究が必須という指摘と
 - 2) ソースターム関連研究の衰退とともに、技術を支えてきた研究者、技術者の多くが第1線を離れ、技術的な空洞化が顕著となっているという認識
- に応える形で発足した。

本研究専門委員会の設立に先立って、水化学部会の「FP挙動」研究専門委員会準備会で Phebus FP プロジェクト関連文献をサーベイし、技術報告書「Phébus FP プロジェクトにおける核分裂生成物挙動のまとめ - 福島プラント廃炉計画及びシビアアクシデント解析への適用-」として出版した。

本技術報告書は、上記技術報告書の応用編ともいふべき位置づけで、3つのWGで①FP関連の基礎実験の在り方、②シビアアクシデント解析コードのベンチマーク、そして③実機データに基づく技術課題の摘出、についての議論を進めてきた結果をまとめた。内容は大きく3つの編、すなわち、基礎編、応用編そして将来課題編に分け、FPの基礎特性、基礎的挙動のまとめ、実機でのFP挙動の実態の紹介、そして本研究専門委員会では未消化で次期研究専門委員会に引き継がれるべき課題についてまとめた。

第I編 基礎編では、FPおよび燃料デブリの基礎特性、FPの現象把握、挙動評価、1F事故より顕在化した研究ニーズ・課題、FP挙動把握のための共通技術、およびシビアアクシデント解析コード、についてまとめた。

第II編 廃炉作業を念頭に、実機でのFP、燃料デブリ把握の現状、FP除去法、汚染水処理の実状、環境汚染の実状、そして廃炉のリスク評価をまとめた。

第III編 今後の課題として、議論の過程で新たに顕在化した課題や議論が十分ではなく今後に残された課題をまとめた。

ABSTRACT

“Research Committee on Fission Product (FP) Behaviors under Severe Accident” was established based on the following comment and understanding.

- 1) Lots of facts and phenomena, which had been learned from the nuclear accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (NPP) (1F), let us modify some of important preconceptions on FP behavior under severe accident (SA) (Atomic Energy Society of Japan. The Fukushima Daiichi Nuclear Accident - Final Report of AESJ Investigation Committee (2014)).
- 2) Since late 1990's research activities related to source term of severe accident have gradually faded away and experts supporting the technologies related to FP behaviors have retired from the research fronts, which resulted in hollowing out of the FP related technology.

In order to prevent the hollowing, a preparation group for “FP behavior” Research Committee was organized in the Division of Water Chemistry in the Atomic Energy Society of Japan to prepare for suitable technical transfer based on discussion on FP behaviors and then to publish the previous technical report on FP behaviors “FP Behavior obtained from Phébus FP Projects – Application for Decommissioning Plans for Fukushima Daiichi Plants and Severe Accident Analysis”.

In the technical report, which followed the previous one as an application version, as a result of discussions in three Working Groups of the Committee, ①necessary basic research activities related to FP behavior, ②, benchmark evaluation of SV analysis codes and ③primary subjects on FP behaviors observed at the 1F were summarized. The technical report were divided into three terms; Basic, Application and Future subjects, where basic properties of FPs, actual behaviors of FPs in the plant and future subjects not sufficiently to be discussed at the committee and to be continued at the coming committee, which are as follows.

- I. Basic term: Basic properties of FPs and fuel debris. Understanding and evaluations of the FP behaviors. Newly proposed research needs and primary subjects related FP behaviors in the plant. Common technologies to understand FP behaviors in the plant.SA analysis codes.
- II. Application term: Actual FP and fuel debris behaviors to be applied for decommissioning. FP removal technologies. Contaminated water treatment. Environmental contamination. Risk evaluation related to decommissioning.
- III. Future subject term: Newly obtained phenomena as future subjects. Primary subjects for further discussions

目次

要旨	i
ABSTRACT	i
はじめに	vii
委員リスト	viii
執筆者リスト	ix
I. 基礎編	1
1. 核分裂生成物の基礎特性	3
1.1 核分裂生成物の生成, 蓄積と物理特性	3
1.1.1 核の壊変	3
1.1.2 天然放射性核種	5
1.1.3 核反応と放射性核種の生成	6
1.1.4 核分裂生成物の生成, 壊変, 放射化及び蓄積	9
1.2 主要な核分裂生成物のカテゴリー分け	10
[参考文献]	11
2. 燃料デブリの基礎特性	12
2.1 シビアアクシデント事故時の燃料ふるまい	12
2.2 燃料デブリの性状	13
2.3 1F 燃料デブリの性状	16
[参考文献]	17
3. FP の現象・挙動評価に係る現状と研究課題	18
3.1 ソースタームの経緯	18
3.1.1 はじめに	18
3.1.2 設置許可における安全評価	18
3.1.3 新規制基準におけるソースタームの適用	19
3.1.4 許認可におけるソースターム評価に係る課題	20
3.2 軽水炉 SA 時の FP 放出・移行挙動	20
3.2.1 燃料からの FP 放出挙動	20
3.2.2 燃料から放出された FP の移行挙動	21
3.3 FP 研究ニーズ・課題等	22
3.4 FP の現象・挙動評価に係る課題、関連事項等の調査	26
3.4.1 調査の進め方	26
3.4.2 FP 研究ニーズ・課題の調査結果 (SA 研究関連)	32
3.4.3 FP 研究ニーズ・課題の調査結果 (1F 関連)	47
3.5 まとめと今後の課題	63
3.5.1 まとめ	63
3.5.2 今後の課題	63
[参考文献]	64
4. 発電所における FP 生成量、存在量の把握	70
4.1 はじめに	70
4.2 放射性核種のインベントリ評価	70
4.2.1 核種発生量評価のための基礎式とデータ	70
4.2.2 ORIGEN コード	71
4.2.3 ORIGEN2 による照射後試験解析	71
4.2.4 1F の核種インベントリデータ	72
4.2.5 SA 解析や廃炉評価などに用いられる主な元素、核種のインベントリデータ	72
4.3 短/中/長期 FP 分布評価法	72
4.4 廃棄物として処理される FP 核種の評価法	74
4.4.1 放射性廃棄物と分析	74
4.4.2 土壌	76
4.4.3 瓦礫	77

4.4.4	汚染水	78
4.4.5	移行挙動のまとめ	79
4.5	おわりに	79
	[参考文献]	79
5.	シビアアクシデント解析コード	81
5.1	SA 解析コードの概要	81
5.1.1	安全評価と SA 解析コード	81
5.1.2	米国における最近の安全評価	82
5.1.3	SA 解析コードとその活用例	82
5.2	FP 挙動モデル	85
5.2.1	燃料からの放射性物質放出モデルと放出後の化学形態	85
5.2.2	エアロゾル生成・成長モデル	89
5.2.3	エアロゾル除去モデル	92
5.2.4	安全系での除去モデル	93
5.2.5	ヨウ素化学	96
5.2.6	熱水力の影響	98
5.3	Phébus 実験ベンチマーク	99
5.3.1	Phébus 実験の概要と実験で得られた知見	99
5.3.2	Phébus FPT-1 ベンチマークで得られた FP 挙動モデルの課題	101
5.3.3	Phébus FPT-3 ベンチマークで得られた FP 挙動モデルの課題	104
5.4	1F 事故解析	107
5.4.1	BSAF の概要	107
5.4.2	環境放出量に基づくプラント状態の推定	109
5.4.3	大気拡散シミュレーションによるソースターム評価	112
5.4.4	PCV 内の線量率分布評価	116
5.4.5	1F 事故評価で得られた FP 挙動モデルの技術課題	121
5.5	まとめ	124
5.5.1	SA 解析コード FP 挙動モデル高度化の課題	124
5.5.2	廃炉解析の提案	126
	[参考文献]	128
II.	応用編	135
1.	通常炉と事故炉の廃炉への対応の差異	137
1.1	はじめに	137
1.2	通常炉の廃炉	137
1.3	福島第一原子力発電所 1-4 号機（特定原子力施設）の廃炉	138
1.4	まとめ	139
	[参考文献]	139
2.	FP 分布の把握	140
2.1	はじめに	140
2.2	FP 分布評価の現状	140
2.2.1	FP 分布関連データへのアクセス	140
2.2.2	線量率データ	142
2.2.3	FP 核種分析データ	147
2.2.4	シビアアクシデント解析コードによる評価	148
2.3	短/中/長期 FP 挙動評価による推定	148
2.3.1	短/中/長期 FP 分布評価法	149
2.3.2	短期 FP 分布評価法	150
2.4	汚染水中の核種移行量評価	153
2.5	現状での FP マスバランス	157
2.6	おわりに	157
	[記号と略号の説明]	157
	[参考文献]	158

3. 燃料デブリ分布の把握	160
3.1 はじめに	160
3.2 測定値に基づく推定	160
3.2.1 主な測定法	160
3.2.2 具体的な測定手法	161
3.2.3 主な測定結果	162
3.3 SA 解析コードによる推定	166
3.3.1 主な燃料デブリ分布評価用 SA 解析コード	166
3.3.2 BSAF プロジェクトでの評価	166
3.3.3 国家プロジェクトでの評価	166
3.4 今後の課題とその対応	167
3.5 おわりに	167
[参考文献]	167
4. FP の除去回収	169
4.1 原子炉建屋内の遠隔除染	169
4.1.1 背景および目的	169
4.1.2 実施内容	169
4.1.3 今後の実機適用	170
4.2 X-6 ペネにおける局所除染	170
4.2.1 背景および目的	170
4.2.2 実施内容	170
4.2.3 建屋解体時の除染方法	170
[参考文献]	171
5. 汚染水処理	172
5.1 汚染水対策の概要	172
5.2 汚染水処理における FP 除去	172
5.2.1 汚染水処理の概要	172
5.2.2 第二セシウム吸着装置 (SARRY™)	172
5.2.3 多核種除去設備 (ALPS)	173
[参考文献]	173
6. 環境汚染状況	174
6.1 はじめに	174
6.2 事故進展と大気拡散過程	174
6.3 環境汚染の特徴	175
6.4 不溶性セシウム含有粒子	176
[参考文献]	176
7. 廃炉作業に係るリスク評価	178
7.1 はじめに	178
7.2 リスク評価にあたっての考え方	178
7.2.1 定量的リスク評価の目的	178
7.2.2 リスク指標	179
7.3 分析手法	180
7.3.1 分析の方針 ²⁾	180
7.3.2 ハザード分析 ²⁾	180
7.3.3 シナリオの定量化 ²⁾	183
7.4 今後の課題	185
[参考文献]	186
III. 今後の課題	189
1. はじめに	191
2. 研究専門委員会全体としての成果と今後の課題	192
3. 「FP 実験」関連の主要成果と今後の課題	194
3.1 WG1 「FP 実験」の活動実績	194

3.2 WG1 の今後の技術課題	194
4. 「ベンチマーク評価」関連の主要成果と今後の課題	195
4.1 WG2 「ベンチマーク評価」の活動実績	195
4.2 WG2 の今後の技術課題	195
5. 「技術課題抽出」関連の主要成果と今後の課題	197
5.1 WG3 「技術課題抽出」の活動実績	197
5.2 1F の放射能データの現状	197
5.3 WG3 での今後の技術課題	197
6. 軽水炉の安全性向上に向けた活動の課題	199
7. 次期研究専門委員会での対応	200
[参考文献]	200
おわりに	203
IV. 付録	205
1. 「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会 設立申請書	207
1-2. 「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会 延長申請書	209
2. 「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会活動記録	211
3. 「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会	227
4. 日本原子力学会 2018 年春の年会企画セッション 総合講演 報告 2	234
総合講演 報告 2M_PL01	235
総合講演 報告 2M_PL02	237
総合講演 報告 2M_PL03	239
総合講演 報告 2M_PL04	241
総合講演 報告 2M_PL05	243
総合講演 報告 2M_PL06	245
解説記事「事故時の核分裂生成物挙動解明への挑戦」	247
5. 日本原子力学会 2019 年春の年会企画セッション 部会合同セッション	253
合同セッション 2D_PL01	254
合同セッション 2D_PL02	256
合同セッション 2D_PL03	258
合同セッション 2D_PL04	260
解説記事「核分裂生成物と燃料デブリの比較」	262
6. 日本原子力学会 2020 年春の年会企画セッション 総合報告 3	268
総合講演・報告 3D_PL01	269
総合講演・報告 3D_PL02	272
総合講演・報告 3D_PL03	273
総合講演・報告 3D_PL04	275
7. 日本原子力学会 2021 年春の年会企画セッション 総合講演 報告 1	277
総合講演・報告 1H_PL01	278
総合講演・報告 1H_PL02	281
総合講演・報告 1H_PL03	284
総合講演・報告 1H_PL04	287
解説記事原稿「活動実績と次期研究専門委員会への展開」	289
8. 略号集	294

はじめに

本報告書「福島第一原子力発電所における核分裂生成物の短期/長期挙動」は2017年から2021年までの4年間の「シビアアクシデント時の核分裂性生物挙動」研究専門委員会の活動に基づく技術報告書である。これに先立つ2015年からの2年間、水化学部会に「核分裂生成物挙動」研究専門委員会準備会を組織し、国際的なPWRのインパイルループによるベンチマーク実験「Phébus FPプロジェクト」の公開文献を精査する活動を行なった。この活動は、核分裂生成物の挙動の検討は福島第一原子力発電所の今後40年余に及ぶ廃炉に深く関わること、さらにはFP関連の技術を支えてきた研究者・技術者が第一線を退いてきたことから、若い年代に確実に技術伝承することが重要課題であるとの認識に基づいている。このような状況に鑑み「Phébus FPプロジェクトにおける核分裂挙動のまとめ - 福島プラント廃炉計画およびシビアアクシデント解析への適用」なる技術報告書を刊行した。今回も全く同じ認識のもとに活動し、その成果を技術報告書としてまとめたものである。

さて、「シビアアクシデント時の核分裂性生物挙動」研究専門委員会の活動は三つのWG(WG1:FP実験、WG2:ベンチマーク評価、WG3:技術課題抽出)と全体会議で行ない、3つのWGは目的、内容は相互に関連を持つよう心がけて行なった。このあたりの狙いについてはこの後に詳細に紹介する。主に水化学部会のメンバーが活動を担い、熱流動部会、核燃料部会、保健物理・環境科学部会、計算科学技術部会、原子力安全部会、バックエンド部会、再処理リサイクル部会からの支援も得た。この活動の間、福島プラント内の汚染分布やデブリの状況も少しずつわかってきた。これらについても最新のデータを取得するようしてきた。

本報告書はI.基礎編、II.廃炉におけるFP挙動とその対応、III.今後の課題からなる。さらに資料として、ATOMS解説記事、活動記録も収録している。本専門委員会の4年間の活動報告のまとめであり、今後の活動の一助になることを期待している。

2021年3月

「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会 主査 勝村庸介

委員リスト

主査	勝村 庸介	日本 RI 協会、東大名譽教授	委員	坪田 陽一	原子力機構 (2019 年 4 月から)
幹事	内田 俊介	原子力機構 [水化学部会代表]	委員	富永 和生	日立=>日立 GE (2018 年 4 月から)
幹事	逢坂 正彦	原子力機構 [核燃料部会代表]	委員	永井 晴康	原子力機構 [保健物理・環境科学部会代表]
幹事	唐沢 英年	エネ総研=>原子力機構	委員	中野 純一	NDF
幹事	高木 純一	東芝 ESS [廃炉検討委員会代表]	委員	中野 祐介	原電 (2019 年 3 月まで)
委員	青木 政徳	関電 (2020 年 3 月まで)	委員	中村 勤也	電中研
委員	天谷 政樹	原子力機構	委員	中村 秀夫	原子力機構 [原子力安全部会代表]
委員	有田 裕二	福井大学	委員	中村 康一	電中研
委員	出光 一哉	九州大学	委員	西岡 佳朗	東芝 ESS (2019 年 4 月から)
委員	伊藤あゆみ	エネ総研 (2019 年 3 月まで)	委員	野滝 友博	NDC (2018 年 4 月から)
委員	植田 滋	東北大学 (2019 年 4 月から)	委員	埜 悟史	原子力機構
委員	牛尾 典明	花王 (2019 年 4 月から)	委員	林 弘忠	東芝 ESS (2019 年 3 月まで)
委員	宇埜 正美	福井大	委員	久宗 健志	原電=>WANO
委員	江藤 淳二	三菱総合研究所	委員	日高 昭秀	原子力機構 (2018 年 4 月から)
委員	大杉 武史	原子力機 [バックエンド部会代表]	委員	日高 政隆	日立 (2019 年 4 月から)
委員	岡田 英俊	IEST (2018 年 4 月から)	委員	氷見 正司	アドバンスソフト (2018 年 4 月から)
委員	梶谷 幹男	RANDEC	委員	深澤 哲生	日立 GE=>NFD
委員	木野 千晶	エネ総研 [熱流動部会代表]	委員	福井 宗平	日立
委員	木下 幹康	東京大学	委員	藤原 大資	テプコンシステムズ
委員	樽松 繁	NDC	委員	古川 徹	東電 (2018 年 6 月まで)
委員	黒崎 健	大阪大学	委員	町田 昌彦	原子力機構 [計算科学技術部会代表]
委員	甲川 憲隆	NDC	委員	宮原 直哉	三菱重工 (2018 年 4 月から)
委員	駒 義和	原子力機構 (2020 年 4 月から)	委員	三輪 周平	原子力機構 (2019 年 4 月から)
委員	小松 祐哉	東電 (2018 年 6 月から)	委員	村上 健太	長岡技術科学大学
委員	酒井 幹夫	東京大学	委員	矢板 由美	東芝 ESS
委員	佐藤 勇	東京都市大学	委員	山下 真一	東京大学
委員	澤田 佳代	名古屋大学 [再処理リサイクル部会代表]	委員	和田 陽一	日立 (2018 年 3 月まで) (2020 年 10 月から)
委員	杉野 亘	原子力発電 (2019 年 4 月から)			
委員	鈴木 晶大	NFD			
委員	鈴木 俊一	東京大学 (2019 年 4 月から)			
委員	園田 健	電中研			

以上

執筆者リスト

はじめに	勝村庸介	5.シビアアクシデント解析コード	
I 基礎編		5.1 SA 解析コード	唐澤英年 氷見正司 中村康一
1.FP の基礎特性	宮原直哉 内田俊介	5.2 FP 挙動モデル	日高昭秀 唐澤英年 藤原大資
2.燃料デブリの基礎特性	中村勤也		西岡佳郎 三輪周平
3.FP 現象把握・挙動評価に係る 研究課題	逢坂正彦	5.3 Phébus 実験ベンチマーク	岡田英俊 唐澤英年 三輪周平
3.1 ソースタームにかかわる規制、 許認可の現状と課題	三輪周平	5.4 SA 解析コード	木野千晶 氷見正司 永井晴康
3.2 軽水炉 SA 時の FP 放出・移行挙動	宮原直哉		奥村啓介 日高昭秀 唐澤英年
3.3 FP 研究ニーズ・課題等	宮原直哉	5.5 まとめ	
3.4 FP の現象・挙動評価に係る課題、 関連事項等の調査	村上健太 深澤 哲生 宮原直哉 山下真一 澤田佳代 町田昌彦 岡根哲夫 樽松繁 植田滋 園田健 佐藤勇 矢板由美 木野千晶 牛尾典明 逢坂正彦	II 応用編 廃炉における FP の挙動とその対応	
3.5 まとめと今後の課題		1.通常炉と事故炉の廃炉への 対応の差異	内田俊介
4.福島第一原子力発電所における FP 挙動の把握		2. FP 分布の把握	内田俊介
4.1 はじめに	内田俊介	3. 燃料デブリ分布の把握	内田俊介
4.2 ORIGEN2 コードによる 炉心インベントリの評価	奥村啓介	4. FP の除去回収	高木純一
4.3 短/中/長期 FP 分布評価法	内田俊介	5. 汚染水処理	高木純一
4.4 廃棄物として処理される FP 核種の評価法	駒義和	6. 環境汚染状況	永井晴康
		7. 廃炉作業に係るリスク評価	江藤淳二
		III.今後の課題	内田俊介 勝村庸介 逢坂正彦 唐澤英年 高木純一 和田陽一
		おわりに	勝村庸介



一般社団法人日本原子力学会

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会 表彰制度細則

(目的)

第1条 本細則は「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会規定」(0118)第20条に基づき、「部会・連絡会・支部表彰制度規定」(0110)を準用し、福島第一原子力発電所廃炉検討委員会の表彰制度について定めることを目的とする。

(趣旨)

第2条 福島第一原子力発電所の廃炉分野における若手の研究者・技術者の奨励を目的として、本分野において優れた活動を行っている若手研究者・技術者を、福島第一原子力発電所廃炉検討委員会として「廃炉貢献賞」を贈呈し表彰する。

(受賞資格)

第3条 廃炉貢献賞の受賞資格は以下のとおりとする。

- 2 当該年度の募集時締め切り時点で満40歳以下であること。
- 3 原子力学会員（正会員，学生会員）であること。

(選考方法・選考対象)

第4条 受賞候補者の選考は、福島第一原子力発電所廃炉検討委員会（以下、「委員会」という）内に設置する選考小委員会が行う。

2 選考小委員会は、廃炉貢献賞の受賞候補者を委員会へ推薦し、委員会は受賞者を決定する。

(表彰時期)

第5条 廃炉貢献賞の表彰は、原則として3月の委員会にて行う。

(選考結果報告)

第6条 廃炉貢献賞の受賞者決定後、選考過程および選考結果を理事会へ報告する。

(改定)

第7条 本細則の改定は、委員会が決定し、理事会に報告するものとする。

(その他)

第8条 本細則の変更および本細則に規定されていない事項については、委員会において協議する。

附則

- 1 令和3年5月25日 第31回福島第一原子力発電所廃炉検討委員会制定
令和3年〇月〇〇日 理事会承認の日から施行する。

【福島第一原子力発電所廃炉検討委員会 表彰選考申合せ】

(目的)

第1条 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会表彰制度細則（以下、「細則」という）第4条の規定に基づき、福島第一原子力発電所廃炉検討委員会表彰（以下、「廃炉貢献賞」という）の選考方法について定める。

(募集)

第2条 他薦または自薦により募集をおこなう。

- 2 募集は細則第4条に規定する選考小委員会により実施する。
- 3 原子力学会員（正会員・学生会員）による研究開発について、様々な機会に発表された成果（論文に限らず雑誌等も含め発表形態を問わず）を対象とする。（※1）
- 4 募集期間は、年1回とし、毎年8月から10月末までとする。（原子力学会賞募集期間と同）
- 5 募集の広報は、福島第一原子力発電所廃炉検討委員会（以下、「委員会」という）を通じて学会内の各部会に依頼する。（もしくは学会メールサービスを利用して広く募集する）
- 6 応募は、別途指定の様式を用い、推薦代表者（自薦の場合は当人）が応募するものとする。
- 7 推薦代表者（自薦の場合は当人）は、廃炉検討委員会委員もしくは原子力学会員（正会員、学生会員）であることを要する。代表者と、自薦の場合は当人を含め2名以上の推薦人による推薦状を必要とするものとする。

（※1）協力学会（化学工学会、日本ロボット学会）会員も対象に含める。

(選考)

第3条 廃炉貢献賞の選考は、委員会委員長および副委員長と若干名の委員をもって構成する選考小委員会にておこなう（※1）。

- 2 選考小委員会は、推薦（他薦または自薦）された論文や発表について推薦資料を参考とし選考をおこない、数件の廃炉貢献賞受賞候補者を選考する（※2）。
- 3 候補者の評価に当たっては、業績を公正に示すと認められる推薦資料を判断材料とし、寛大化傾向や集中化傾向を排し、あくまでも評価委員自身の判断として公正・的確に行うものとする。なお、選考には、委員3名以上の採点の平均を参考とし、候補者と同じ所属機関の委員は評価には加わらないものとする。
- 4 受賞者のうち、評価結果が最も優れた1件を「最優秀賞」、他を「優秀賞」とする。
また、受賞者のうち特に優れた成果を上げた評価された場合は、委員長から原子力学会長に感謝状贈呈を依頼する。（各年度で都度審議する。）
- 5 選考小委員会主査は、選考結果を委員会に報告し、委員会にて受賞者を決定する。

（※1）委員会の委員もしくは分科会委員から委員長が選任する。

（※2）選考に際しては、福島第一原子力発電所の廃炉推進への貢献度につき、以下の観点で優先順位を決定する。

- ①現場適用、②適用が見込まれる技術開発、③将来につながる研究開発 について
(a) 廃炉への貢献度、(b) 社会の認知度、(c) 本人の意識、を評価する。

(表彰)

第4条 最優秀賞，優秀賞の表彰は原則として3月の委員会にて実施する。表彰にあたり，表彰状と副賞（記念盾等）を贈呈する。また，最優秀賞については春のシンポジウムにて紹介する。

(改定)

第5条 本申合せの改定は，委員会が承認する。

(その他)

第6条 本申合せに規定されていない事項については，委員会において協議する。

(注) 2020年度については，上記精神を踏まえ手順を一部省略し先行実施した。

なお，選考評価結果を明確にして記録で残した。

(参考)【選考手順】

1. 募集：委員会，各部会を通じて推薦を依頼（もしくは学会メールサービスを利用して広く募集する）【8～10月】
↓
2. 廃炉タスク内のWGにて受賞候補案を整理し，申請書とともに推薦小委に提示【11月中旬】
↓
3. 推薦小委員会にて審議，選考（廃炉貢献賞数件）【11月】
↓
4. 委員会にて選考結果を承認【11月末】
↓
5. 受賞候補を理事会に報告【12月】
↓（→ 感謝状の贈呈決定～1月，理事会承認～2月）
6. 表彰【3月委員会，3月春のシンポジウムにて紹介】

2020年度 廃炉検討委員会表彰 「廃炉貢献賞」 受賞者

(於 第31回廃炉検討委員会 2021.5.25)

	氏名	所属	件名
最優秀賞	沢田 充佳	(株)エイブル	1/2号機共用排気筒解体に伴う地元企業と連携した遠隔解体装置開発ならびに同装置適用による工事完了
	半澤 大介	東京電力HD(株)	
優秀賞	Pellegrini Marco	東京大学	炉内性状把握のための事故進展数値解析技術の高度化と評価手法の国際統一活動
優秀賞	野崎 謙一郎	(株)テプコシステムズ	2011.3.15朝時点での2号機格納容器減圧シナリオの解明
優秀賞	平野 喬博	東京電力HD(株)	事故後長期間に亘るプラントパラメータ監視・分析によるプラント状態の評価研究
優秀賞	溝上 暢人	東京電力HD(株)	格納容器内等から得られたサンプル分析
優秀賞	田村 雄介	東北大学	1F廃止措置のための俯瞰的人材育成

廃炉委員会 2021年度スケジュール

I 主な行事

	2020年度 実績					2021年度 計画				
1 廃炉委	#26 7/14	#27 9/7	#28 11/27	#29 1/22	#30 3/30	#31 5/25	#32 7/中	#33 9/初	#34 11/下	#35 2/下
1) シンポジウム、企画セッション		・秋の大会(Web) 企画セッション：9/17 〔・NDF戦略WS：11/14〕		・春のシンポ-3/土 →6/12へ		廃炉シンポ 6/12PM		・秋の大会(Web) 企画セッション：9/〔・NDF戦略WS：検討中〕		・春のシンポ 3/上 ・春の年会企画セッション 3/
2) 国際会議										
3) 施設視察		施設視察：中止						施設視察：検討中		
4) 廃炉委 WS				廃炉委 WS；問題解決型として継続： -計量管理(#10:1/9) -弁別の考え方(#12: 7/) -クリアランスの評価法(#11:2/6) -新規テーマ						
2 関係組織										
1) NDF	#5 福島廃炉国際フォーラム：中止									
2) ANFURD						ANFURD ウェビナー：1F 処理水について 6/12AM		#5 福島廃炉国際フォーラム：検討中	2021年度原子力学会 秋の大会：Web(2021/9/8-10) 春の年会：神戸大(2022/3/16-18)	

II 委員会の主なテーマ・審議対象

	#26 2020.7/14	#27 9/7	#28 11/27	#29 2021 1/22	#30 3/30	#31 5/25	#32 7/中	#33 9/初	#34 11/下	#35 2022 2/下
1 本委員会	・体制/委員構成 ・2019年度報告書案 ・2020年度スケジュール ・秋の企画セッション計画 ・廃炉委表彰制度検討状況	・秋の企画セッション準備状況 ・施設視察計画 ・FDR2022延期 ・「10年目企画」廃炉委の取組み#1	・2021年度予算案 ・秋の企画セッション報告 ・春の「」計画 ・「10年目企画」廃炉委の取組み#2 ・廃炉委表彰制度状況報告	・春の企画セッション/シンポ準備状況 ・「10年目企画」廃炉委の取組み#3〈準備状況〉	・春の企画セッション報告	(廃炉貢献賞表彰) ・体制/委員構成 ・2021年度廃炉委の課題と活動方針 ・廃炉貢献賞規程改定案 ・2021年度スケジュール ・2020年度報告書骨子 ・秋の企画セッション骨子	・2020年度報告書案 ・廃炉シンポ報告 ・秋の企画セッション計画	・秋の企画セッション準備状況	・2022年度予算案 ・廃炉貢献賞選考案 ・秋の企画セッション報告 ・春の「」計画 ・春のシンポ計画	・春のシンポ準備状況 ・春の企画セッション準備状況
2 分科会/WG		中間報告書最終案 プレス対話報告#1	プレス対話報告#2					検討現況と課題		検討現況と課題
・建屋構造分科会										
・廃炉リスク評価分科会 (2020.1より活動停止中)										
・ロボット分科会										
・廃棄物分科会	中間報告書 最終案									
・強度基準検討分科会										
・事故調提言フォー WG			報告書骨子	報告書検討状況			検討現況と課題			

III 関係組織、関連部会・専門委員会から []：秋の企画セッションにて

	#26	#27	#28	#29	#30	#31	#32	#33	#34	#35
関係組織										
-国	1F 廃炉への取組み					1F 廃炉への取組み				
-NDF		廃炉戦略プラン 2020 要旨〔1F 廃炉 技術戦略〕						廃炉戦略プラン 2021 要旨		
-IRID		〔研究開発概況〕	研究開発現況						技術開発現況	
-JAEA										研究開発現況
-東電		〔1F 廃炉作業の現状〕								
-ANFURD						ウェビナー：「1F 処理水について」紹介				
部会/専門委員会					春の企画セッション 報告 (FP 専門委・ 水化学部会)	新規 FP 専門委設立報告	FP 専門委報告書紹介			
-FP 拳動専門委・ 水化学部会	活動現況		活動現況	活動現況					活動現況	春の企画セッション 予定