

2018 年度

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会

期 末 報 告 書

(2018 年 5 月 ~ 2019 年 4 月)



2019 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	1
(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	4
(3) 本年度にまとめた成果報告書 リスク評価分科会、建屋・構造分科会、ロボット分科会、 廃炉委ワークショップ	6
(4) 情報発信・コミュニケーション	7
1) 秋の大会廃炉委員会セッション	
2) 春の年会 〃 〃	
3) 春のシンポジウム	
(5) 廃炉委ワークショップ	8
(6) 廃炉関連施設の視察（福島第一サイト・JAEA 楢葉）	9
(7) 部会、連絡会等との連携	9
水化学部会・燃料デブリ専門委員会、 福島復興・廃炉推進学協会連絡会(ANFURD)	
(8) 外部機関の研究成果等の聴取と意見交換	10
NDF、IRID、JAEA、東京電力、資源エネルギー庁	
5. 次年度への課題、注力事項	11
(1) 福島第一廃炉の全体概況と技術課題	
(2) 次年度に向けた廃炉委員会の課題と注力事項	
1) 廃炉委員会	
2) 分科会	

- 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	<u>13</u>
2 同分科会委員リスト	<u>15</u>
3 廃炉リスク評価分科会 設立趣旨	<u>19</u>
4 本年度にまとめ公開された成果報告書	
-1 リスク評価分科会 最終報告書 「リスク評価分科会の活動のまとめ ～廃炉の過程におけるリスクの評価とマネジメント～」 2018年5月	<u>20</u>
-2 廃炉委員会第2回ワークショップ(2018/6/9) 「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」 2018年12月	<u>32</u>
-3 ロボット分科会 「福島第一原子力発電所の廃炉作業に関わるロボットアイデアの提言」 2019年4月	<u>41</u>
5 秋の大会・春の年会廃炉委員会セッション、春の一般向けシンポジウム報告	
-1 秋の大会廃炉委員会セッション(岡山大学、2018/9/7)	<u>54</u>
-2 春の年会廃炉委員会セッション(茨城大学、2019/3/20)	<u>56</u>
-3 春の一般向けシンポジウムおよびアンケート結果(機械振興会館、2019/3/9)	<u>59</u>
6 廃炉委ワークショップの成果	<u>67</u>
7 廃炉関連施設視察委報告およびアンケート結果 (福島第一サイト・JAEA 楡葉、2018/11/6)	<u>70</u>
8 関係部会・委員会からの報告	
-1 燃料デブリ専門委員会活動報告(第19回廃炉委員会)	<u>77</u>
-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状況 (第21回廃炉委員会)	<u>82</u>
9 事故炉廃炉の全体概況と課題 (事故炉廃炉の全工程とホールドポイント)	<u>88</u>
10 2018年度 廃炉委員会スケジュール実績	<u>95</u>

1. はじめに

福島第一原子力発電所の廃炉は、かつて経験のない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「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」(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2018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

福島第一原子力発電所の事故後8年目となった2018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した。

- ・リスク評価分科会は3号機使用済み燃料取り出しを例に廃炉作業のリスク評価手法を検討した成果報告書を取りまとめ活動を終了。廃炉作業のリスク評価については、NDFからの依頼もあり、新たに燃料デブリ取り出しのリスク評価結果のレビューを行なう「廃炉リスク評価分科会分科会」を2018年8月に設けた。
- ・建屋の構造性能検討分科会は3号機原子炉建屋の耐震性を評価した中間報告書を取りまとめた。今後の長期に渡る使用での構造の劣化について検討を進める。
- ・ロボット分科会は廃炉に貢献できるロボット技術開発のあり方を検討した中間報告書を取りまとめた。新たに、圧力容器内の状況把握へのロボットのチャレンジに取り組む。
- ・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ている。

また、事故から8年が経過し、福島第一原子力発電所(以下 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整い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4(5)項に示す廃炉ワークショップを実施した。

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。

分科会については、現在 図1に示す次の4分科会の構成で進めている。

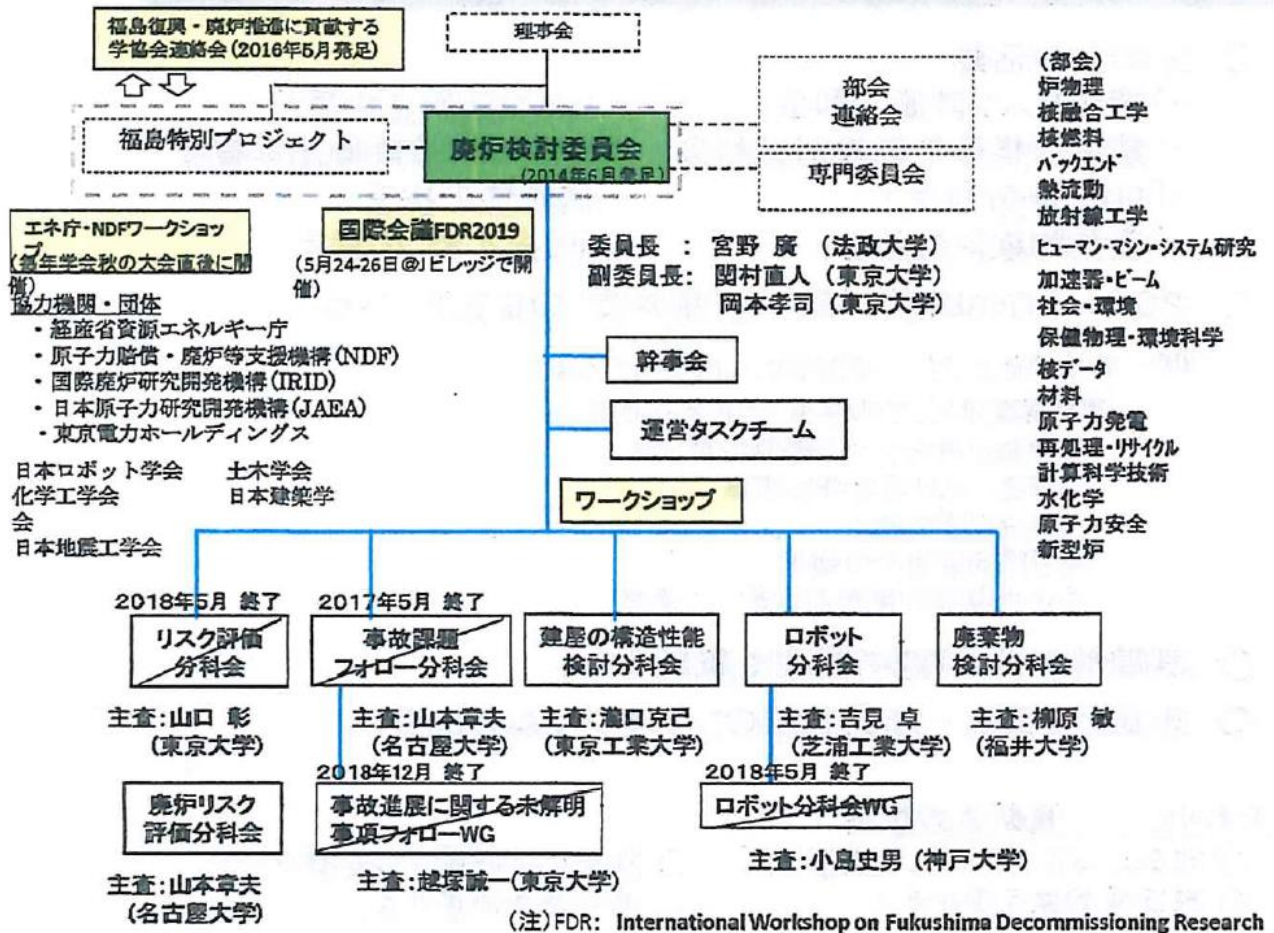
- ・廃炉リスク評価分科会
- ・建屋の構造性能検討分科会
- ・ロボット分科会
- ・廃棄物検討分科会

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。

(2) 委員の構成

2018年度末の廃炉委員会委員リストを添付資料1に、分科会の委員リストを添付資料2に示す。

図1 福島第一原子力発電所廃炉委員会の体制



4. 廃炉委員会の活動状況

本年度の廃炉委員会及び分科会の活動状況は以下の通りである。

(1) 廃炉委員会の開催

廃炉検討委員会を表1の通り開催した。

表1 廃炉検討委員会 開催状況

回	開催日	主な議事内容
第18回	2018/5/16	<ul style="list-style-type: none"> ・春のシンポジウム / 年会廃炉委セッション報告 ・秋の大会廃炉委セッション計画 ・年間スケジュール案 ・2017年度活動報告書 案 ・リスク評価分科会最終報告書案 ・関係組織の活動状況 <ul style="list-style-type: none"> - エネ庁：福島第一廃炉への取組 - NDF：第3回福島第一廃炉国際フォーラム紹介 - ANFURD：活動状況
第19回	2018/8/31	<ul style="list-style-type: none"> ・秋の大会廃炉委セッション準備状況 ・廃炉関連施設視察計画 ・廃炉リスク評価分科会の設置 ・建屋構造分科会中間報告書最終案 ・部会/専門委員会からの報告 <ul style="list-style-type: none"> - 燃料デブリ専門委報告 - SA時のFP挙動専門委活動状況 ・関係組織の活動状況 <ul style="list-style-type: none"> - NDF：福島第一廃炉戦略プラン2018要旨及び戦略WSプログラム - JAEA：大熊分析/研究センター整備状況と今後の計画
第20回	2018/12/18	<ul style="list-style-type: none"> ・秋の大会廃炉委セッション報告 ・次年度予算構成 案 ・廃炉関連施設視察(11/6 1Fサイト・JAEA 檜葉)報告 ・春のシンポジウム / 年会廃炉委セッション計画 ・廃炉国際会議 FDR2019 準備状況 ・廃炉関連施設視察報告 ・廃炉委 WS 成果報告(廃炉の管理目標) ・部会/専門委員会からの報告 <ul style="list-style-type: none"> - SA時のFP挙動専門委活動状況
第21回	2019/4/3	<ul style="list-style-type: none"> ・春のシンポジウム報告 ・春の年会廃炉委セッション報告 ・廃炉委 WS 全般報告 ・ロボット分科会中間報告書案 ・建屋構造分科会中間報告書最終版 ・部会/専門委員会からの報告 <ul style="list-style-type: none"> - SA時のFP挙動専門委活動状況 ・関係組織の活動状況 <ul style="list-style-type: none"> - NDF：廃炉研究開発連携会議報告 - IRID：廃炉研究開発の概況

(2) 分科会の活動

各分科会の活動方針、本年度活動状況、来年度の展望を下表2にまとめる。

表2 分科会活動状況

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13回	2018/5/11	・本分科会中間報告のまとめ方に関する議論
	第14回	8/9	・本分科会中間報告書のまとめ方に関する議論 ・次回分科会テーマに関する議論
	第15回	11/28	・1F-3 SFP 燃料取出し用カバーの構造強度および耐震性に関する紹介。 ・RPV ペDESTALの鉄筋高温腐食試験に関する IRID 研究成果の紹介。
	第16回	2019/4/5	・自然現象に対する事故炉の安全性評価に関する講演内容の紹介。
来年度の展望	・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17回分科会予定 2019/07/10 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	幹事会	2018/6/4	・ロボット分科会幹事会を開催し、2018年度の日本ロボット学会学術講演会にて開催するオープンフォーラムの企画内容案を検討。
	第11回	6/5-7 Robomech 2018 会場 で実施	・RSJ2018でのオープンフォーラムについて報告。 ・RSJ2019でのオープンフォーラム企画、今後の活動内容等について
	オープンフォーラム	9/6	・第36回日本ロボット学会学術講演会の会場にて、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4」を開催。
	その他	3/28 5/28 7/7 12/8 2019/2/9	・日本原子力学会「2018年春の年会」の福島第一原子力発電所廃炉検討委員会のセッションにて、分科会の現状および活動報告を実施。 ・廃炉検討委員会第1回、第3回、第4回および第7回ワークショップに分科会から委員が出席し、議論に参加。特に、第7回では、ロボットの信頼性に関して議論した。
来年度の展望	「ロボット分野で、学会は、そして当該分科会は、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、幹事会を中心に議論を進めている。我々の活動を、実際の廃炉のプロ		

	<p>プロジェクトに役立たせるためには、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をいただき、学会はそれに基づきシーズ技術を提案する、といった活動を地道に日常的に継続して実施できる仕組みづくり、場の提供が必要であると考えており、それを念頭においた活動を、来年度も分科会全体で継続的に進めて行く。</p>
その他	<p>2019年9月3日(火)～7日(土)に早稲田大学にて開催される、第37回日本ロボット学会学術講演会にて、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5」を開催し、日本ロボット学会会員への情報発信を行う予定である。企画内容の詳細は、今後議論して決定していく。</p>

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 		
活動状況	第7回	2018/ 5/23	<ul style="list-style-type: none"> ・1F 廃炉で発生した放射性廃棄物の特性紹介 ・1F 廃棄物の処分方策に係る考え方の討議 ・放射性廃棄物管理シナリオの検討
	第8回	8/22	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告の目次案等の整理 ・エンドステートに至る5つのシナリオに関する討議と整理
	第9回	12/20	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性廃棄物管理シナリオの討議(結果の表示方法など) ・中間報告の討議(構成等の検討)
	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	4/17	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告の討議(全体構成、報告の主眼など)
来年度の展望	<ul style="list-style-type: none"> ・中間報告の取纏め ・エンドステートに至る作業シナリオと廃棄物管理シナリオの分析 		
その他	第12回分科会：2019年6月21日に開催予定。		

4) 廃炉リスク評価分科会(主査：山本章夫(名古屋大学))

本分科会は、その設置趣旨(添付資料3)が第19回廃炉委員会(2018.8.31)で承認され、設置された。

活動方針	<p>燃料デブリ取り出し等、廃炉作業に伴って放射線リスクが増加する可能性があり、リスクの定量化検討がNDFによって行われている。本分科会では、検討されているリスク評価手法について、各分野の専門家の観点で、レビューを実施することを通じて、その改善と手法としての確立に資する。</p>		
活動状況	第5回	2019/ 5/15	<ul style="list-style-type: none"> ・分科会でこれまで議論されてきた内容をまとめた報告書案、および定量的評価例について議論を行った。 ・報告書案について、目的の記載が不十分なところがあり、また目的に対する成果や今後の課題が明確に対応できていない部分があるため、報告書の構成を再度見直すこととなった。 ・報告書は公開をイメージしているため、これまでのレビューの内、公開で

			<p>きるものを添付とする方向となった（レビュー資料自体は非公開扱いとする）。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 報告書案について 6/3 を目途に委員からコメントを頂くこととした。 ・ 評価例についてはシナリオ分析と計算が明確に分離できていないところもあり、もう少し丁寧な説明が必要である。 ・ 最終的な目標である、異なる工程間のリスク評価の具体的な見通しについて議論があり、定量化は継続するもののその期限については現時点で明確になっていない。
2019 年度の展望	<ul style="list-style-type: none"> ・ これまでのレビュー結果としての報告書の取りまとめ（2019 年度上期中を目途） 		
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ 当面分科会としての会合は行なわず、報告書のとりまとめに関してはメールベースとする。 ・ 報告書の構成については幹事側で別途調整する。 		

（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ある。

1) リスク評価分科会 最終報告書

「リスク評価分科会の活動のまとめ

～廃炉の過程におけるリスクの評価とマネジメント～ 」 2018 年 5 月

（下記廃炉委員会サイトで公開済、抜粋：添付資料 4-1）

www.aesj.net/activity/activity_for_fukushima/public

2) 廃炉委ワークショップ

「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」 2018 年 12 月

（同上廃炉委員会サイトで公開済、抜粋：添付資料 4-2）

3) 建屋の構造性能検討分科会

「燃料取り出し開始までを対象とした原子炉建屋の耐震性について」 2019 年 3 月

（日本建築学会と図等の版權を調整中）

4) ロボット分科会

「福島第一原子力発電所の廃炉作業に関わるロボットアイデアの提言」 2019 年 4 月

（同上廃炉委員会サイトで公開準備中、抜粋：添付資料 4-3）

(4) 情報発信・コミュニケーション

秋の大会、春の年会に加え、原子力学会を軸に 2016 年 5 月に設立された「福島復興・廃炉推進に貢献する学協会連絡会(ANFURD)」を情報発信・コミュニケーションの場として活用している。なお；

- ・秋の大会では 福島第一の廃炉に関連する各組織の研究成果報告と意見交換
- ・春の年会では 廃炉委の活動状況・成果報告および検討の方向性に関する議論

を主に行うこととしている。

廃炉委としての社会への発信は、毎年春にシンポジウムを開催して、その時の最もホットな話題を取り上げ、議論いただくようにしている。

1) 秋の大会

秋の大会(岡山大学 津島キャンパス)中の 2018 年 9 月 7 日午後、廃炉委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会－現状および活動報告－」を実施した(添付資料 5-1 参照)。

会場(キャパ 183 名)がほぼ満席、立ち見の方もいた盛況で、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。

プログラム

- ・挨拶(関村副委員長)
- ・発表-1 福島第一原子力発電所廃炉の現状：石川 真澄(東京電力 HD)
 - 2 廃炉の取り組み体制とロードマップの状況：田中 佑典(資源エネルギー庁)
 - 3 福島第一廃炉の技術戦略と研究開発の全体像：福田 俊彦(NDF)
 - 4 福島第一原子力発電所廃炉に向けた IRID による技術開発の現状：清浦 英明(IRID)
 - 5 廃炉委員会のお話 WS 廃炉の論点と対応：宮野 廣(廃炉委員会委員長 法政大学)
- ・全体討論

2) 春の年会

春の年会(茨城大学 水戸キャンパス)中の 2019 年 3 月 20 日午後、廃炉委員会セッション

「廃炉に向けた技術開発の現状」を実施した(添付資料 5-2 参照)。

会場はほぼ満席で聴講者数は約 180 人。今回は具体的な技術について講演者より紹介頂き、それを如何に実際の工法として適用していくか等について活発な議論がなされた。

プログラム

- ・挨拶(関村副委員長)
- ・発表-1 公開シンポジウム報告：浅沼 徳子(廃炉委員会幹事、東海大)
 - 2 福島第一原子力発電所建屋内での 3 次元放射線イメージング技術の開発：佐藤 優樹(JAEA)
 - 3 デブリ形成に影響を与える制御棒崩落挙動解明に係る現状：山崎 幸春(JAEA)
 - 4 IRID の研究開発の概況：高守 謙郎(IRID)
 - 5 総括・廃炉委員会の取り組み：宮野 廣(廃炉委員会委員長、法政大)
- ・全体討論

3) 春のシンポジウム

2019年3月9日に機械振興会館にて、一般向けのシンポジウムを次の通り開催した。
詳細報告および参加者へのアンケート結果を添付資料5-3に示す。

「東京電力福島第一原子力発電所の廃炉 -第4回：確実な廃炉のために今すべきこと-」

座長：関村直人（東京大学）

開会挨拶 駒野 康男：（日本原子力学会会長、MHI NS エンジニアリング(株)）

講演1：事故炉の廃炉の全工程とホールドポイント 宮野 廣（廃炉委員会委員長・法政大）

講演2：事故炉の安全確保と管理目標 山本章夫（廃炉委 WS 主査・名大）

講演3：廃炉とサイト修復の最終の姿に向けた廃棄物の取り扱い

柳原 敏（廃棄物検討分科会主査・福井大）

講演4：自然現象に対する事故炉の安全性評価 糸井達哉（廃炉委 WS 主査・東大）

講演5：新技術への挑戦－国の補助事業による研究開発

松本昌昭（廃炉・汚染水対策事業事務局・MRI）

講演6：国際協力への提案 岡本孝司（JAEA/CLADS 長・東大）

（結果） 約120名の参加を得て活発な議論が行われた。現状のロードマップは不十分であり、十分な議論ができていない。原子力学会はこの充実に協力し、確実に廃炉を進めていくため貢献していく。また、若い人たちが参加していくようにしたい。

(5) 廃炉委ワークショップ (WS)

福島第一事故から8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整いつつある中、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、表3に示す廃炉委ワークショップを本年度に実施した。その成果を添付資料6に示す。

表3 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 廃炉委事故・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 廃炉委廃棄物分科会主査(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 廃炉委廃棄物分科会主査 (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: 小畑俊裕 (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,・・・

(6) 廃炉関連施設の視察

廃炉関連施設として、福島第一サイトおよび JAEA 櫛葉遠隔技術開発センターを 11 月 6 日に次の通り廃炉委関係者 15 名で視察した。視察内容を添付資料 7 にまとめている。

- ・福島第一サイト：

管理区域内に立ち入り、1～4号機外観、凍土壁設備、処理済水タンクヤード、汚染水処理設備他を視察。

- ・JAEA 櫛葉遠隔技術開発センター：

研究管理棟にて格納容器内状況を立体視できる VR システムを体験、試験棟にてロボット試験用水槽/モックアップ階段、止水技術実証試験装置、モーションキャプチャー設備を視察。

(7) 部会、連絡会等との連携

本年度は、燃料デブリ専門委員会および福島第一廃炉に関連する部会等のうち

- ・燃料デブリ専門委員会から活動状況を第 18 回廃炉委にて添付資料 8-1 により、
- ・「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活動状況を第 19,20,21 回廃炉委にて説明いただき意見交換を行った。第 21 回廃炉委での資料を添付資料 8-2 に示す。

(8) 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、IRID、JAEA）の活動状況・研究成果等の聴取と意見交換を、廃炉委、秋の大会および春の年会を活用して行った。

- ・廃炉委で行われた項目を下表に示す。

回	開催日	主な議事内容
第 18 回	2018/5/16	- エネ庁：1F 廃炉への取組 - NDF：第 3 回福島第一廃炉国際フォーラム紹介 - ANFURD：活動状況
第 19 回	8/31	- NDF：1F 廃炉戦略プラン 2018 要旨及び戦略ワークショッププログラム - JAEA：大熊分析/研究センター整備状況と今後の計画
第 21 回	2019/4/3	- NDF：廃炉研究開発連携会議報告 - IRID：廃炉研究開発の概況

- ・秋の大会では、9月7日の廃炉委員会セッションで、(4)1)項にある通り、
東京電力から「福島第一廃炉の現状」、
資源エネルギー庁から「廃炉の取り組み体制とロードマップの状況」、
NDF から「福島第一廃炉の技術戦略と研究開発の全体像」、
IRID から「福島第一廃炉に向けた IRID 技術開発の現状」

が紹介され意見交換が行われた。これに引き続き行われた(エネ庁)／NDF 主催の「戦略ワークショップ」では、燃料デブリや核分裂生成物の状況把握、および燃料デブリ取出し工法に関して研究成果等の聴取と意見交換が行われた。

- ・春の年会では、3月20日の廃炉委員会セッションで、(4)2)項にある通り以下が紹介され意見交換が行われた。
 - JAEA から
「福島第一原子力発電所建屋内での3次元放射線イメージング技術の開発」および
「デブリ形成に影響を与える制御棒崩落挙動解明に係る現状」、
 - IRID から「IRID 研究開発の概況」

5. 次年度の課題、注力事項

(1) 福島第一廃炉の全体概況と技術課題

東電と国による福島第一の現況と廃炉作業全体のマイルストーン並びにロードマップおよび、これらから見える廃炉作業のリスク要因と技術課題が添付資料9(宮野委員長の2019春のシンポジウムでの講演)にまとめられ、技術課題として次の項目が挙げられている。

- ・シナリオの見えない事象のリスク評価のあり方
- ・サイトのどのような姿を目指して廃炉作業を進めるか
- ・大きな災害に対する健全性維持のあり方
- ・必要な技術開発項目の整理と現況の把握
- ・国際社会との連携をどのように進めるか

(2) 次年度に向けた廃炉委員会の課題と注力事項

2019年度は福島第一での廃炉作業が本格化して行く。当学会が取り組み支援を進める中で、新たな検討グループを設定し、多くの学会員の協働をいただき、支援を強化していかなければならない。次年度への課題と注力事項は以下と考えられる。

なお、廃炉委員会の2018年度年間スケジュール実績は添付資料10の通りであった。

1) 廃炉委員会

① 次年度への課題

- ・2021年の事故後10年に向けた”学会事故調最終報告書における提言“のフォロー
- ・新しい分科会の設置
 - 強度基準検討分科会
 - 事故炉の強度基準の考え方を検討する分科会を新設する。
- ・課題解決型の廃炉委ワークショップの開催を継続
 - (例) 廃棄物計量管理、弁別の考え方、クリアランスの評価法

② 注力事項

- ・国際会議
 - 日本機械学会と日本原子力学会の共催で、福島第一原子力発電所の廃炉について国内外の研究者・技術者が最新の研究成果などを報告する国際会議
 - International Topical Workshop on Fukushima Decommissioning Research FDR 2019-
(略称： FDR 2019)
 - を、福島のJヴィレッジで 5月24-26日に開催する。
 - また、JASMiRTと連携して8月にSMiRT25(米シャーロット)で廃炉国際セッションを共催するとともに、8月のNDF第4回福島第一廃炉国際フォーラムに協力する。
- ・秋の大会、春の年会の廃炉委員会セッション
 - 9月の秋の大会(富山大学)、来年3月の春の年会(福島大学)での廃炉委員会セッション

を計画・実施する。

・春のシンポジウム

来年3月の一般向け廃炉シンポジウムについて市民目線の内容で計画・実施する。

・廃炉関連施設の視察

福島第一サイト等、廃炉関連施設を視察する。

2) 分科会

① 廃炉リスク評価分科会

燃料デブリ取り出しを例にしたリスク評価手法の検討

② 建屋の構造性能検討分科会

・他の廃炉構造物（原子炉指示構造物など）の構造評価法の提案

・中間報告書「3号機原子炉建屋の、使用済み燃料取り出しまでの耐震安全性」の発刊

③ ロボット分科会

・2018年度中間報告書「1F廃炉にかかわるロボットアイデアへの提言」の具体化の検討

④ 廃棄物検討分科会

・中間報告書「(案) 福島第一原子力発電所の廃止措置等で発生する放射性廃棄物の管理シナリオに係る検討」のとりまとめ

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 (2019年 4月3日時点)

委員長	宮野 廣	法政大学 大学院デザイン工学研究科
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
	福島特別プロジェクト代表	井上 正 (一財)電力中央研究所 原子力技術研究所
	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
	リスク評価	山口 彰 東京大学 大学院工学系研究科原子力専攻
	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)原子炉化学・サイクル技術開発部
		林道 寛 (一財)エネルギー総合工学研究所
	廃炉リソ/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
	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
		鈴木 俊一 東京大学 大学院工学系研究科原子力国際専攻
		高田 毅士 東京大学 大学院工学系研究科建築学専攻
		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 原子力技術研究所
	(旧)事故調	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
		奈良林 直 東京工業大学 科学技術創成研究院先端原子力研究所
	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
	可見 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
	矢板 由美	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
	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) 福島第一廃炉推進カンパニープロジェクト計画部
	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
	高田 孝*	【廃炉リスク評価分科会】(国研)日本原子力研究開発機構
	成宮 祥介*	【廃炉リスク評価分科会】(一社)原子力安全推進協会

*：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	埼玉工業大学
	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	比良井 慎司	資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室長	
	岡本 正樹	資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室 企画官	
	田中 佑典	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	
	乾 俊輔	資源エネルギー庁原子力発電所事故収束対応室 係長	
	梅原 肇	原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (NDF)	
	野田 耕一	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)	
	清浦 英明	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構 (IRID)	
	長谷部 伸治	化学工学会副会長 (兼 福島原発事故対策検討委員長、京都大学)	
		東京電力 廃炉推進カンパニー	
		原子力規制委員会	
		駒野 康男	学会会長 (MHI NSエンジニアリング (株))
		三倉 通孝	学会理事 (東芝エネルギーシステムズ (株))
		上坂 充	学会前会長 (東京大学)
		上塚 寛	学会元会長 (放射線計測協会)
		田中 隆則	学会元理事 (原子力環境整備促進・資金管理センター)
		藤田 玲子	学会元会長 (科学技術振興機構)
	堀池 寛	学会元会長 (大阪大学)	
	宮原 要	学会前理事 (日本原子力研究開発機構)	

【事務局】	富田 靖	(一社) 日本原子力学会
-------	------	--------------

分科会委員リスト (2019.4.3 時点)

1. 「建屋の構造性能検討分科会」委員リスト

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原子力国際専攻
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	(株)東芝 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
	佐藤 芳幸	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プロジェクト計画部
	鈴木 俊一	東京大学 大学院工学系研究科原子力国際専攻
	高田 毅士	東京大学 大学院工学系研究科建築学専攻
	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
	前田 匡樹	東北大学 大学院工学研究科 都市・建築学専攻
	村上 健太	長岡技術科学大学 技術学研究院
	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
	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
	平間 敏彦	アイディールブレイン(株)
【事務局】	富田 靖	(一社) 日本原子力学会

2. 「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・環境ト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)	
	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	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	
	中山 良一	工学院大学 先進工学部機械理工学科	
	引田 直人	原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 技術グループ	
	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	
	オブザーバー	堀内 敏光	原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 技術グループ
	【事務局】	富田 靖	(一社)日本原子力学会

3. 「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原子力・エネルギー安全工学専攻
	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
	中澤 俊之	三菱マテリアル (株) エネルギー事業センター 地下環境システム部
	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
	山内 豊明	日本原子力発電 (株) 廃止措置プロジェクト推進室
	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	加藤 和之	原子力損害賠償・廃炉等支援機構
	早瀬 佑一	エネルギー・環境研究会

4. 「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
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

日本原子力学会福島第一原子力発電所廃炉検討委員会
「廃炉リスク評価分科会」の設置について

2018/8/31

山本 章夫(名古屋大学)

○分科会の趣旨と検討内容

福島第一原子力発電所の事故が発生して7年を経過する中、様々な対策が実施された結果、燃料デブリは現在、一定の安定状態を維持していると考えられる。しかしながら、中長期的には安定状態からの逸脱や施設の劣化等の可能性があるため、燃料デブリを取り出して、より安定で安全な状態で保管することが計画されている。

燃料デブリを取り出す作業は、現在の安定状態に手を加え、格納容器の外壁を部分的に開放して、燃料デブリにアクセスし、安定状態に変化をもたらす行為であり、作業に伴って放射線リスクが増加する可能性がある。そこで、このようなリスクの変化を考慮しつつ燃料デブリに起因するリスクを速やかに低減するための燃料デブリの取り出し作業を進めなければならない。このリスク低減戦略を検討するにあたっては、これらのリスクをできるだけ定量的に評価することが重要となってくる。

このような観点から、燃料デブリ取り出し時のリスク評価方法を確立しなければならない。廃炉リスク評価分科会は、検討されているリスク評価手法について、各分野の専門家の観点で、レビューを実施することを通じて、その改善と手法として確立することに資することを目的とする。

また、リスク評価に関連すると考えられる管理目標の考え方について、必要に応じて検討を行う。

○スケジュール

年4回程度分科会を開催し、レビューを実施することを予定している。レビューを完了した時点で成果を取りまとめ、報告書として公開し、分科会を終了する。

○その他

本分科会での審議内容については、その概要を議事概要として廃炉検討委員会で報告し、公開する。

(注) リスク評価法については、分科会で策定するもの、学会員から提供されるもの等、広い観点で評価に取り組み、実用を目指すものとする。

添付資料：

1. 委員候補名簿
2. 原子力学会理事会引き継ぎ（廃炉検討委員会）
3. 定量的リスク評価手法のレビューに関して分科会にお願いしたい事項

- 抜粋 -

リスク評価分科会の活動のまとめ

～廃炉の過程におけるリスクの評価とマネジメント～

2018年5月

東京電力福島第一原子力発電所廃炉検討委員会
リスク評価分科会

目次

1. はじめに
2. 活動の目的, 体制, 活動実績
3. 検討方針
4. 検討の前提
5. 定量的リスク評価の適用試行
6. 今後の取り組みへの提言
7. まとめ

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一）の廃炉において、リスク評価とリスクマネジメントに関する提言を行うことを目的として、リスク評価分科会が廃炉検討委員会の傘下に2015年発足した。メンバーは、原子力発電所のPRA（確率論的リスク評価）の専門家を中心に、廃炉の事業主体からも参加を得た。通常の原子炉のPRAとは全く異なり、対象となる施設の状況に不確定なことが多いことから、評価の考え方と試行に、2年あまりの年月を費やした。

本報告書は、分科会での活動、対外発表などを通じて、成果をまとめることで、今後の福島第一の廃炉プロセスにおけるリスク評価、リスクマネジメントへ役立つ知見を繋げるものであることを、期待する。

2. 活動の目的、体制、活動実績

リスク評価分科会は、福島第一の廃止措置において、安全性（放射線に係る安全と労働安全）、環境の保全、およびプロジェクトの管理（廃炉プロセスの滞りなく進捗に係る課題の解決）に資するための、定量的リスク評価とリスクマネジメントに関する提言を行うことを目的とする。

体制としては、山口彰（東大教授）を主査として、付録1の名簿に示す委員とオブザーバーで活動した。炉のPRAの専門家として、メーカ、エンジニアリング会社、電力、JAEA、電中研、大学、そして円滑な廃炉推進のための指導・助言を行うNDF（原子力損害賠償・廃炉等支援機構）からも委員が参集した。また、規制庁からオブザーバーとして参加があった。

分科会としては、2年間にわたり15回開催した。当初の分科会においては、規制庁、原子力損害賠償・廃炉等支援機構（以下、NDF）、事業主体である東京電力から、現場の状況や作業計画、などの説明を受けた。主な意見やコメントは参考として付録2にまとめた。適宜、進捗状況の報告および中間報告を廃炉検討委員会へ行い、原子力学会年会の企画セッションにて検討概要を発表し、意見交換を行った。国際会議には、2016年にPSAM13（Probabilistic Safety Assessment & Management）に発表し、selected paperに選出されNuclear Science and Engineering誌に掲載された。さらに、2017年CSD&Mにて論文発表した。

3. 事前の調査

原子力規制庁の「東京電力株式会社福島第一原子力発電所の中期的リスクの低減目標マップ（平成27年2月版）」¹⁾、NDFの「東京電力(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2015（以下、技術戦略プラン2015）」²⁾、英国原子力廃止措置機関NDA(Nuclear Decommissioning Authority)のSED(Safety and Environmental Detriment)指標³⁾、NRC（米国原子力規制機関）のR.G.1.174rev3⁴⁾を踏まえ、本分科会での検討の進め方の方針を決めるために、以下を調査した。

- ・ 主要リスク源については技術戦略プラン2015で整理されている。また、潜在的影響度と閉じ込め機能喪失の起こりやすさでマッピングがなされている。これを参考にする。
- ・ 意思決定の説明性を与える指標としてSEDの考え方を調査したが、SEDの必要十分性、すなわち、必要なリスク特性要素は含まれているか、現実の状況を表現できているかを検討す

る必要があることが判った。

$$SED = (RHP + CHP) \times (FD \times WUD)^4$$

$$RHP = Inventory \times \frac{Form Factor}{Control Factor}$$

SED は「危険のポテンシャル:RHP」,「危険の安定度:FD」と「監視・移動のしやすさ WUD」で表されている。また,危険のポテンシャルはインベントリ,危険物質の相,監視の頻度(様相が変化する頻度)で表される。

- ・ リスク源ごとにシナリオを列挙する。シナリオの検討は,極めて大切である。シナリオの検討が廃炉プロセスのリスク管理の主要な要素である。
- ・ 不確かさについては,地震 PRA の fragility 評価のように,不確かさを統計的不確かさと系統的な不確かさにわけて,応答係数法のようなアプローチ(対数正規分布を用いる)を採用することができれば,定量的なリスク評価に基づくマネジメントを試みる事が出来るが,対象とするシステムの情報が無いため,定量的な不確かさ評価は難しい。そこで定性的な評価でも良いので不確かさを考慮する。
- ・ プラントの状態が時間とともに変化し,ハザードポテンシャルも変化するので,時間ファクターを導入する。タスクを延期することは,タスクに伴うリスクを生じさせないが,一方で,必要なリスク抑制が先送りされることになり,さらなる付加リスクを生じさせうる。リスクの増加があるとしてもタスクを早期に実施することが合理的であるのか,リスクの増加を回避するためにタスクの実施を延期することが良いのかを判断するために,時間とともにリスク指標が悪化していくことを考慮する。
- ・ プロジェクト管理リスクを考えるためには,社会のアクセプタンスの要素を入れることが有効だが,入れ方は相当に難しい問題。しかし,社会への情報発信,丁寧な説明,アクセプタンスを得るための若干のプロジェクトの遅れ,フルアクセプタンスがない状況でもアクションを取ることに合理性,これらを定量化できるスキームが必要であると考え,要素として取り込む。
- ・ R.G.-1.174 の考え方を導入し,リスク情報を活用した意思決定の原則を定めることが重要

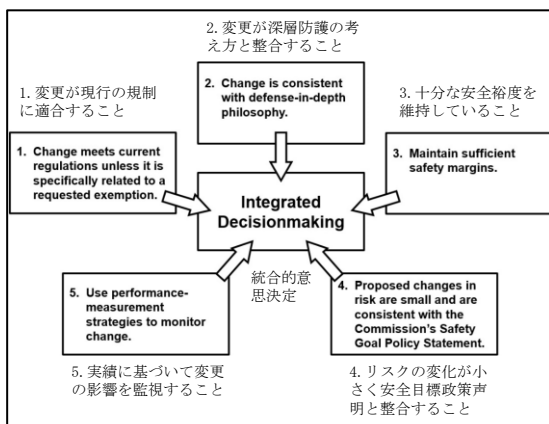


図 1 リスク情報を活用した統合的意
思決定の原則

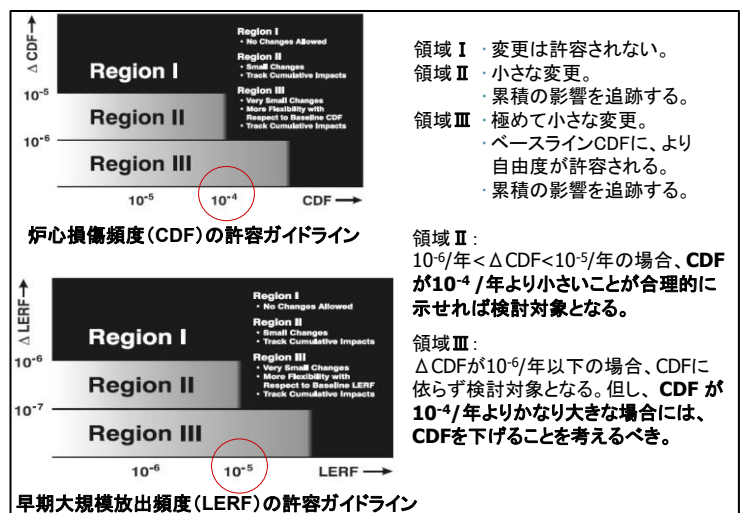


図 2 リスク情報活用の判断基準

である。NRC の R.G.-1.174 には、リスク情報を活用した統合的意思決定の原則と要件が示されている（図 1）。これは、廃炉プロセスにおいても適用される原則である。統合的な意思決定のためには、具体的な活動や活動の変更に伴うリスクの変化に関する評価指標を定める必要がある。R.G.-1.174 では、炉心損傷頻度（CDF）と早期大規模放出頻度（LERF）としている（図 2）。CDF や LERF に相当する指標を検討する。図 2 に示すような潜在的影響度と閉じ込め機能喪失の起こりやすさは指標となりうる。この場合には、リスク源を除去することによるベネフィット（潜在的影響度）と閉じ込め機能喪失の起こりやすさ（リスクの顕在化可能性）比較していることになる。

4. 定量的リスク評価のプロセス

(1) リスクマネジメントプロセス

リスクとは、どのようなことが起きうるのか（シナリオ）、それはどれくらい現実的なのか（確からしさ）、その結果どのような被害あるいは影響があるのか（影響度）、の三要素からなる。さらに、それらの結果の解釈により適切(rational)な意思決定を行う。一連のプロセスが滞りなく進捗するためのリスクに関するコミュニケーション（パブリックアウトリーチ）もリスクマネジメントに含まれる。リスクマネジメントのプロセスの参考として、IRGC がリスクガバナンスのフレームワーク⁵⁾として示されている図 3 がある。

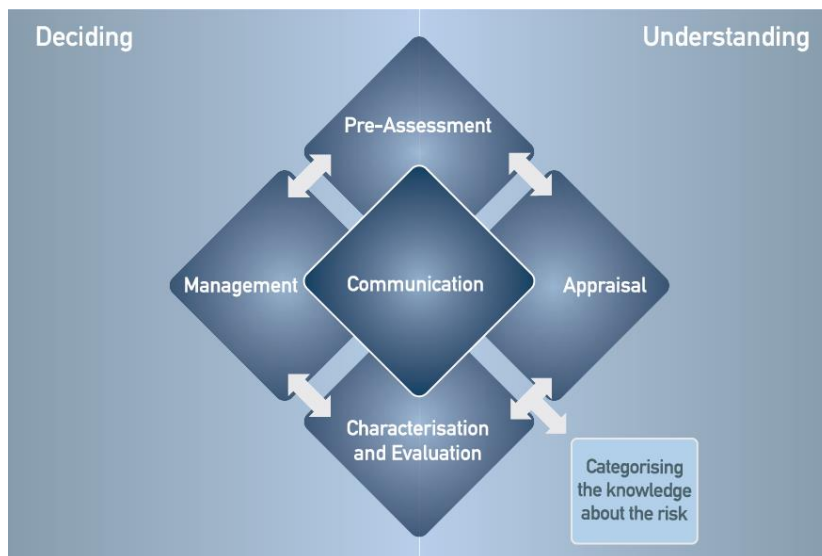


図 3 IRGC のリスクガバナンスフレームワーク⁵⁾

NDF の技術戦略プラン 2015 によると、福島第一原子力発電所の廃炉の基本方針は、放射性物質のリスクを継続的かつ速やかに下げること、とされている。そのため、リスクを許容可能な程度に抑制するリスク抑制活動の目安となる目標を定める必要がある。

- ・ 定性的管理目標
- ・ 定量的管理目標

(2) 定量的リスク評価方法論

通常の原子力発電所の PRA と異なり、建屋内の設備等の状態、強度、配置、などが不確かだ

ある。そこでそのようなシステムのリスクを評価する方法論として、J.B.Garrick 氏の QRA⁶⁾を参考に、表 1 の 6 つのステップを定めた。図 4 にそのプロセスの概念を示す。

表 1 定量的リスク評価のステップ

ステップ	概要
ステップ1	対象システムを明確に定義する。すなわち成功するプロセスを記述する。
ステップ2	成功するプロセスに影響を及ぼしうる危険要因 (hazards) を列挙し特性化する (危険要因がどのような影響を与えるか)
ステップ3	成功するプロセスが失敗に至るあらゆるシナリオを策定するとともに、それらをカテゴリー化する (リスクトリプレットの第一要素)
ステップ4	各シナリオの尤度を定量化する (そのシナリオの確からしさでありリスクトリプレットの第二要素)
ステップ5	各シナリオの被害度を定量化するとともに、適切に分類してリスクプロファイルを記述する。 (リスクトリプレットの第三要素)
ステップ6	リスクマネジメントの指針となるべく結果の分析と解釈を行い、これによりリスク管理に関する意思決定 (対策) の優先度を定める

福島第一原子力発電所の廃炉においても、この 6 ステップを基本としてリスクマネジメントを考慮することが適切である。具体的な評価の方法の方針として、次の事項を考慮した。なお、発電所の状態の特殊性により必要に応じて修正を行う。

- ・ 全てのシナリオを考慮すること
- ・ 効率性と実効性のため、スクリーニングを活用すること
- ・ 可測性 (measurability) を持って示すこと
- ・ 優先度を評価すること

(3) リスク源の選定

リスクを継続的にかつ速やかに下げるといふ基本方針は、福島第一原子力発電所が及ぼす悪影響を許容可能な程度に抑制するというリスクマネジメントの目的に対応する。原子力安全の目的を踏まえ、“悪影響を抑制する”は以下を指すと考える。

- ・ 公衆へのリスクを抑制すること
- ・ 従業員の被ばくを管理すること
- ・ 環境への悪影響を抑制すること

福島第一原子力発電所の

特性を踏まえれば適切に管理すべきリスク要因は次のとおりと考える。

- ・ 燃料、汚染水、廃棄物などのリスク源の管理を適切に行うこと
- ・ プロジェクト管理を適切に行うこと
- ・ 関係者との情報共有・意思疎通を適切に行うこと
- ・ 社会への発信を適切に行い、相互理解を得ること

対象とするリスク源を、優先度に応じて選定し、管理目標を達成するための成功パスの設定 (ステップ 1) 並びに、リスク評価 (ステップ 2 からステップ 5)、結果の分析と解釈 (ステップ

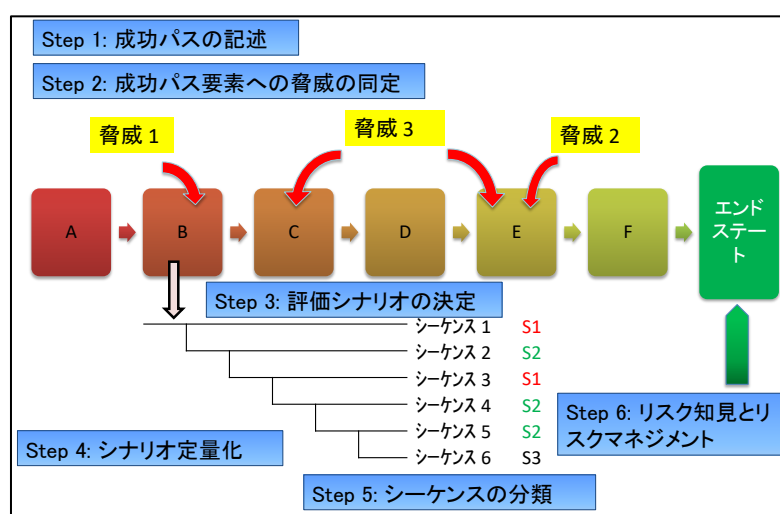


図 4 定量的リスク評価プロセスの概念図

6) を実施することとした。

放射性物質によるリスクを着実に低減するためには、リスク源を洗い出し、そのリスクを分析した上で優先順位を付けて対応すべきである。福島第一原子力発電所に現存する主要なリスク源は、技術戦略プラン 2015²⁾によると、そのリスクレベルによって 3 分類できる²⁾。

- ・ 可及的速やかに対処すべきリスク
- ・ トレンチ内汚染水
- ・ 建屋内汚染水
- ・ タンク内汚染水
- ・ プール内燃料
- ・ 周到的準備と技術によって安全・確実・慎重に対処し、より安定な状態に持ち込むべきリスク
- ・ 燃料デブリ
- ・ 長期的な措置をすべきリスク
- ・ 水処理設備廃スラッジ
- ・ 水処理設備廃吸着塔
- ・ 放射性固体廃棄物

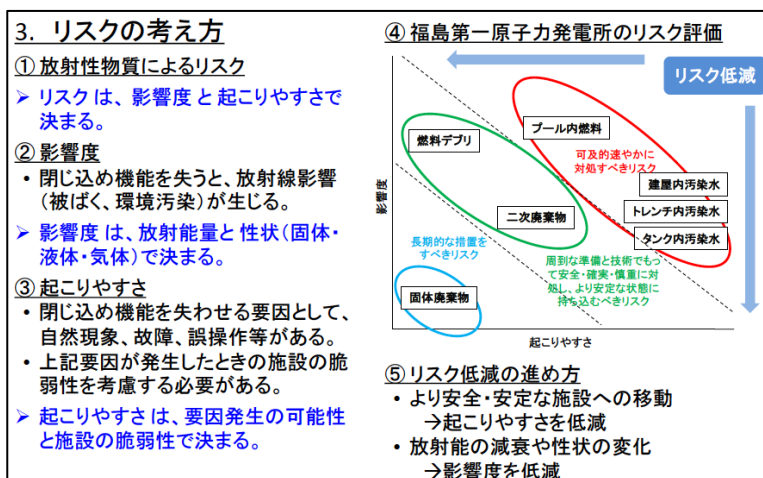


図 5 リスクの定義と各リスク源の相対的重要度²⁾

出典：技術戦略プラン 2015 をもとに再整理

そして、これらを、影響度と起こりやすさの二軸で整理する考え方によりそれぞれのリスク源の優先度を示している。図 5 に示す。

さらに、これらの特徴と閉じ込め機能喪失の起こりやすさで分類した結果を表 2 に示す。技術

表 2 リスク源の特性記述と閉じ込め機能喪失起こりやすさ評価²⁾

リスク源	特徴	閉じ込め機能喪失の起こりやすさ
燃料デブリ	PCVに重大な損傷は認められておらず、臨界管理、冷却、水素爆発防止が多重化されているため、閉じ込め機能喪失は比較的起こりにくいと考えられる。ただし、不確かさを考慮して評価に幅を持たせる。	I ~ II
プール内燃料	使用済燃料プールについては、一部の号機において、ガレキや重量物の落下、建屋天井の欠損、海水注入の経験等があるため、閉じ込め機能喪失の起こりやすさは中程度と考えられる。	II
トレンチ内汚染水 及び建屋内汚染水	建屋及びトレンチでは、地下水との水位のバランスにより汚染水の閉じ込めを維持しており、閉じ込め機能の喪失は他のリスク源に比べて相対的に起こりやすいと考えられる。	III
タンク内汚染水	汚染水タンクは、現実に誤操作が発生しており、またタンクは溶接型に更新中であるもののフランジ型が一部残っているので、閉じ込め機能喪失は他より相対的に起こりやすいと考えられる。	III
水処理設備廃吸着塔	水処理設備廃吸着塔は、Csを吸着したゼオライトを炭素鋼遮へい容器に収納したものであり、遮へい容器に収納され、壘内又は架台上に据置されている。また、崩壊熱除去等の管理を必要としない。	I
水処理設備廃スラッジ	水処理設備廃スラッジは、プロセス主建屋と一体のビット構造の造粒固化体貯槽に貯蔵されており、漏えい監視、崩壊熱除去、水素排気を実施しているため、閉じ込め機能喪失は比較的起こりにくいと考えられる。	I ~ II
放射性固体廃棄物	ガレキ等のうち放射性物質濃度が高いものは、容器に詰められ固体廃棄物貯蔵棟に保管されている。特別な管理は必要としない。	I

戦略プラン 2015 では、閉じ込め機能喪失の起こりやすさは、簡易的に、建屋や設備の損傷状態及び管理の必要性等に基づいて、分類している。たとえば、水処理設備廃吸着塔及び放射性固体廃棄物は、廃棄物を保管するために設計され、特別な管理を必要としないことから最も小さい分類 I とし、II, III の 3 段階に分類されている。

ではなく大まかな推量で行っている。図 10 にリスク評価表で用いた判断基準を示す。この中で、表 A に示すように、起因事象の起こりやすさは、「高」「中」「低」の 3 段階に分けた。

この段階の推察で当該起因事象がほとんど起こらないと思われるものは、起こりやすさを「-」としてここで評価を止めた。たとえば、十分な落下防止対策がされていると仮定し中程度の地震では解体撤去物は落下しない、と考へ「-」にしている。なお、ステップ 3 で記載している「安全対策等の設定根拠」の情報は、のちに判断の正当さを説明する、トレーサビリティを確保するなどのために必要である。

【リスク評価のステップ 4】

このステップでは、失敗シナリオを簡易に挙げた。起因事象からは発生防止と影響緩和の対策を含む複数のシーケンスが描ける。緩和策を考慮に入れて失敗シナリオを表現する。数学的あるいは数字を用いた方法でシナリオを定量する。シナリオは、次の 3 つのタイプに分類した。

- ① 作業員への影響（作業従事者の安全）
- ② 放射性物質の放出（原子力安全）
- ③ 作業遅延（プロジェクトリスク）

ステップ 4 においても、ステップ 3 と同様に、「安全帯テク等の設定根拠、影響の程度とその根拠等」を記載し、それを参考にして失敗シナリオの起こりやすさを判断する。ただし、この起こりやすさは、起因事象が発生するとした場合の「条件付き起こりやすさ」である。その際にも定量的な計算によるのではなく、図 10 の表 B に示す判断基準で「高」「中」「低」に分けた。さらに、安全対策の可能性と効果を推測し、失敗シナリオの重要度を判断した。安全対策が十分、効果があり影響防止ができると考えられる場合には「×」とし、その後の展開を行わないこととした。

【リスク評価のステップ 5】

失敗シナリオの結果をこのステップで 3 分類の観点から影響度を判定し、さらにステップ 3 と 4 から起こりやすさを決め、両方を合わせて優先度を定める。影響度の判断基準を、図 10 の表 E、起こりやすさの判断基準を図 10 の表 C、そして優先度を図 10 の表 F に示す。

表 C では、ステップ 3 の起因事象の起こりやすさ 3 段階と、ステップ 4 の失敗シナリオの条件付き起こりやすさ 3 段階のマトリックスから、ステップ 5 の起こりやすさ「高」「中」「低」を判定した。表 E では、失敗シナリオの 3 タイプの影響度を「大」「中」「小」に分ける。作業員への影響では人数によらず状態の程度で分けた。表 F では、起こりやすさと影響度をマトリックスにし、優先度の高いものを選んだ。優先度高のシナリオは、ステップ 6 において詳細評価を行うこととなる。

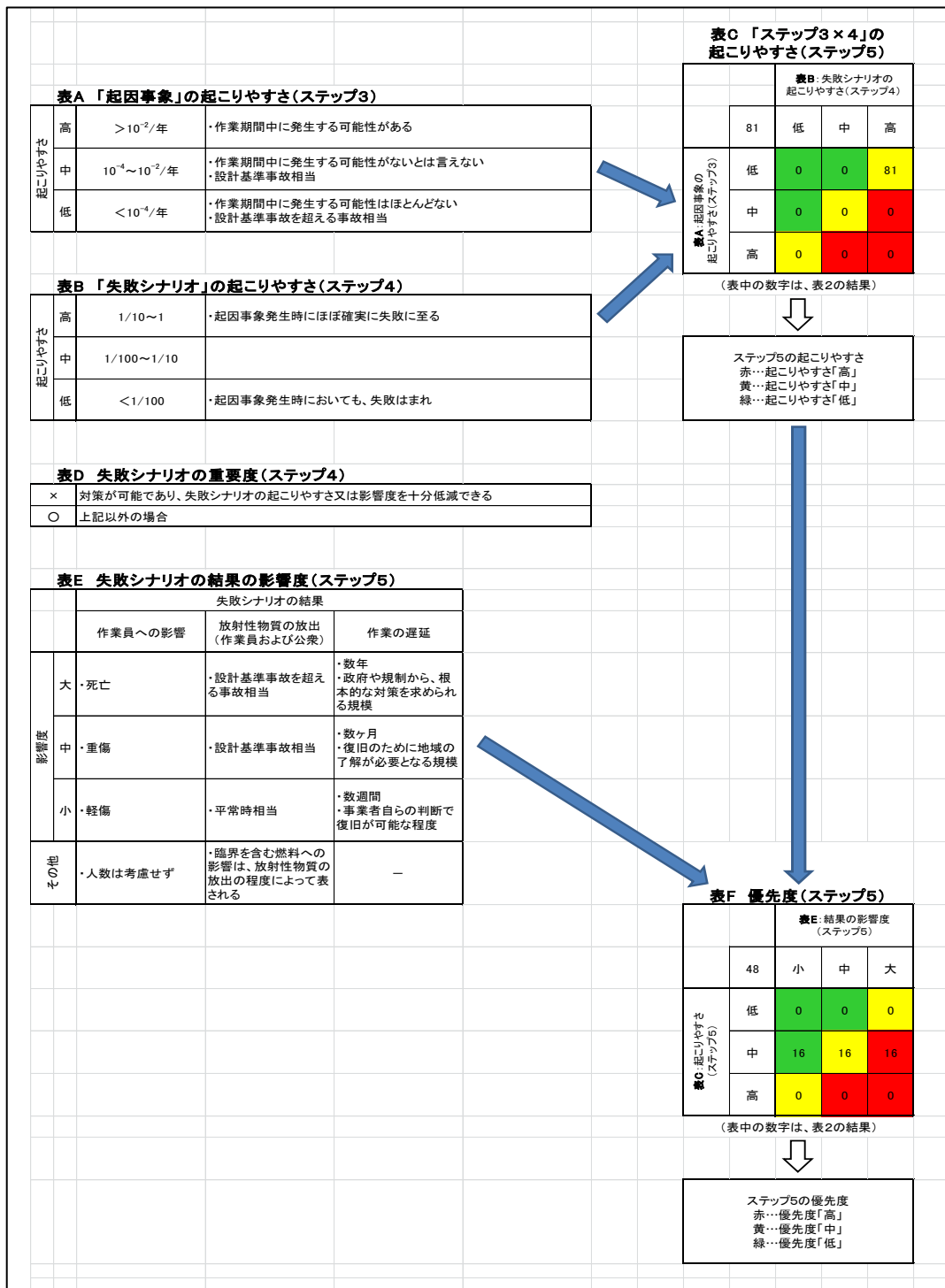


図 10 リスク評価表の判定基準

注：表 C と F の数字はシナリオ数

(4) リスク評価表のレビュー

以上の各ステップでの方法論を、表 4 に示すような形でリスク評価表にまとめ、議論した。「取り出し後の保管・処分」の検討例を別紙に掲載する。ただし、このリスク評価表は、あくまで本試行で議論したプロセスの具体的実行性を議論し、リスク評価表の成立性を検討するため

の例である。そのため起こりやすさや重要度は相互レビューのために一定の評価記載にしてある。前述のように実際の作業にかかる情報が無いことから、分科会から SFP 燃料取出しリスク評価結果を出すことは行わず、廃炉工程の検討において本方法論を適用する場合の、留意点を抽出することにしたためである。

1 列目には、「ステップ 1：成功パス」を記載した。「1. 取り出し装置解体」(1.1 ドーム屋根一部解体・撤去, 1.2 燃料取扱機解体・撤去, 他), 「2. 校内輸送容器の移送」(2.1 構内輸送, 2.2 共用プール建屋への搬入, 2.3 輸送台車への積載, 他), 「3. 輸送容器から貯蔵ラックへの燃料の移動」(3.1 輸送容器の上蓋取り外し, 3.2 使用済燃料の吊上げ・移動・吊下げ, 他), 「4. 貯蔵ラックでの燃料の保管」(共用プールの健全性維持, 他)を、作業工程計画を踏まえて列挙した。

(3)で記載したように、起こりやすさや影響度の評価は客観的なデータに基づいた定量分析に依るものではないので、評価者の恣意性が入る。そこで、分科会の委員 10 名による相互レビューを行い、判断基準の妥当性を分析した。

表 4 リスク評価表 (イメージ)

リスク評価項目	失敗シナリオ		成功シナリオ		リスク評価		リスク評価		リスク評価		リスク評価		リスク評価		リスク評価	
	発生可能性	影響度	発生可能性	影響度	発生可能性	影響度	発生可能性	影響度	発生可能性	影響度	発生可能性	影響度	発生可能性	影響度	発生可能性	影響度
燃料取扱機解体・撤去	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低
校内輸送容器の移送	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低
輸送容器から貯蔵ラックへの燃料の移動	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低
貯蔵ラックでの燃料の保管	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低	低

別紙に示すリスク評価表は「取り出し後の保管・処分」を対象に分科会で議論したものである。失敗シナリオは 118 で、レビュー者がコメントしやすいように、ステップ 3 の起因事象起こりやすさはすべて「低」、ステップ 4 の失敗シナリオ起こりやすさはすべて「高」にした。「ステップ 3 の起因事象起こりやすさ」「ステップ 4 の失敗シナリオ起こりやすさ」「失敗シナリオ重要度」「失敗シナリオの結果の影響度」について、各自、自分の考えとして変更案とその理由を提

出した。たとえば、No.5「取り出し装置解体において大きな地震（設計地震動を超える）により、対策が及ばないため解体・撤去物が落下し、作業員が負傷する。作業管理で防止はある程度は可能だが発生すれば影響は大きい」というシナリオでは、

- ・作業員配置により起こりやすさは低減可能なので「高」→「中」
- ・作業員に当たれば死亡することもあるので影響度は「小」→「大」

とのコメントがある。

さらに、重要度中以上とされた 48 シナリオについて、分析をした。

以上のレビューと試行過程での議論・意見をまとめると次のようになる。本リスク評価表を適用する際には、これらの点に留意されたい。

- A) 脅威については、その発生頻度や影響の深刻さを取えずに出来るだけ多くリストアップする。これにより抜け落ちが少なくなる。たとえば、どれだけの大きさの地震を脅威とするのか、との議論が出たが、耐震設計など判らないのに無用な議論になってしまう。そこで起因事象として極めて起こり難いとしたもの（中規模地震やテロ攻撃による燃料取出し装置の損傷、津波や竜巻による校内燃料移送中事故などが含まれる）も入れ、起因事象で区別した。
- B) 起因事象は抜け落ちなくすべて挙げること。そこで影響を受けるもの（設備、作業員、プロセスなど）と脅威との組み合わせを丁寧に考えた。ただこのまま次のステップに進むと作業が膨大になり破たんするので、およその起こりやすさでスクリーニングした。ここでデータの有無の議論にならないこと。
- C) 起因事象の検討では、対策が充実しているためシナリオが起こり難い、と考えることは当然なので、設定根拠として明記した。
- D) 簡易的な失敗シナリオを挙げる際には、緩和対策も考慮に入れて記載すること。対策の見直しや妥当性確認に使える。失敗シナリオの起こりやすさは、起因事象が発生するとした場合の条件付き起こりやすさであるので、注意すること。このようにすることでシナリオ進展の考察を十分に行うことができる。
- E) 簡易的な失敗シナリオの「重要度」の評価は分散した。たとえば、地震などの外的要因による燃料損傷は発生防止可能で重要度小、とする意見と、発生した時の影響度は中、とする意見に分かれた。また、操作ミスなどで燃料が損傷するシナリオで、損傷自体が影響度大、とする意見と、損傷しても影響は限定されるとする意見に分かれた。対策の信頼度を確認すること、影響がどの程度と予想できるかの確認などの条件を議論しておく必要がある。

6. 今後の取り組みへの提言

定量的リスク評価の方法論とリスクマネジメントへの留意点を挙げたが、今後、福島第一原子力発電所において廃止措置を安全に進めていくために取り組む課題がある。今回の検討から考える点をいくつか挙げる。

(1) 作業プロセスを確定できない場合の定量的リスク評価

対象施設は、建屋や設備、配管等が破損しているだけでなくガレキ等が混在しているという

状態であり、たとえば、燃料取出しは通常の停止時においても行うが、ガレキがある状態ではないように、類似の作業はあっても、そのデータが使えない、という通常の PRA と同様の評価プロセスは難しいものであった。そこで、定量的リスク評価法 (QRA) を参照し、評価方法を構築した。福島第一の廃炉と同様にモデル化が困難な状況のリスク評価については、まずそのエンドポイントを明確にし、成功パスを描き、その支障になる脅威を抽出する、という方法論の整備は有用である。事例集を共有することで、PRA の手法整備に手間取るあまりリスク活用が進まないという事態を打破できる可能性はあると考える。

(2) 定量的な計算過程に依存できないことの扱い

起因事象やシナリオの発生頻度は、用いる設備の信頼性は判っていても、放射線や粉じんなどの使用環境が異なることから故障率データの流用は難しい。そこで数値データではなく、離散的な階層分類により頻度の多少を表現した。ただし、主観が入ることを防止すること、後に見直す際にベースにできるように根拠を記載することを付した。事例を蓄積することで、福島第一の廃炉の作業内容や操作環境が判るので、適用可能な他のデータ (運転中プラントのデータ、一般産業データなど) を使うことも可能になる。

(3) 影響度の評価に根拠とした前提条件を明記したこと

作業・操作工程の詳細が不明なため、事故防止策や影響緩和策がモデル化できない。そこで、対策を類推して影響度を評価した。今後、福島第一の廃炉のリスク評価において、作業工程や操作手順などを検討する際に、本リスク評価において前提とした対策の適用を考える、あるいはそれをヒントに対策を施すことになれば、有用であると考えられる。

(4) リスク評価は単に頻度数値結果を得て安全であることを示すことではないこと

リスク評価で最も重要なことは、リスク上重要なシナリオを把握できることである。そして、そのシナリオを防止あるいは影響緩和する対策を考案することにつながる情報を得ることができることである。ただ、エンドポイントに到達できない失敗シナリオは膨大な数になるため、適切な説明性をもったスクリーニングを行い、詳細なシナリオ分析の対象とするものの抽出を行うことが重要である。またリスク評価の対象には個々の作業メニューだけではなく、作業全体計画の策定も含まれる。たとえば、デブリ取出し工法を決定する際、リスク評価は大いに参考になる。複数の工法がある場合に、その失敗確率の多少を比較することにリスク評価を使うだけでなく、シナリオに含まれる設備や操作、外的事象などを防止/回避する対策を考えることにも役立つ。

(5) リスクプロファイルの詳細分析 (ステップ 6) において必要なこと

今回の試行では、ステップ 6 は実施していないが、必要事項を検討した。分析のためにはリスク指標を定める必要がある。リスクマネジメントに活用するためには、リスク低減の優先順位をつけること、トレードオフを判断することのできる指標を提案する必要がある。作業員安全に関しては、作業事故による負傷あるいは死亡が考えられるが、廃炉作業は未だ新しい試み

であり定例作業化されていないので、作業は極めて慎重に行われる必要がある。特別な教育や訓練が必要な場合もあり、リスクが高いと判断されれば適切な保障措置をとることになる。リスク指標は負傷者/死亡者の数である。原子力安全については、放射性物質放出、不適切な操作手順、不十分な放射線防護により個人/公衆の放射線被ばくが起ることによる。リスク指標は防護/格納の信頼性、緩和・緊急時応答の性能である。プロジェクトリスクについては、公衆信頼性の喪失、リソース（人材、費用等）の欠如、技術的な問題・不確かさにより、工程遅延が起る。遅延が回復するまではプラントシステム全体としてリスクの高い状態が続くこととなるので、長期間の視点で全体リスクをマネジメントすることが重要となる。工程遅延は公衆への広報活動の失敗とも関わる。関係者からの十分な理解が得られないと、工程通りに廃止措置を進めることは難しいため、リスクマネジメントのすべてのステップにおいて継続的なリスクコミュニケーションが必要である。

7. まとめ

福島第一発電所の廃止措置における定量的リスク評価とリスクマネジメントに関する提言を行うことを目的として、約2年間にわたりリスク評価分科会において検討した内容をまとめた。

設計や運用の情報が確定しない状態を対象に定量的なリスク評価を行うため、炉で行っている PRA 手法はモデル化の点でもデータの点でも適用できないので、Garrick の **Quantitative Risk Assessment(QRA)**の方法を参考とした。対象候補として、デブリ、SFP、地下水などを比較分析し、比較的実行可能で、既存炉でも行ってきたことが部分的に活用できる「SFP からの燃料取り出し」を対象にした。データに基づいた定量計算ができないため、2分類、3分類程度の判断基準を設ける簡略法を適用したが、その後には詳細化が可能なように設定根拠を明記することにも注力した。

今回のリスク評価試行は、SFP からの燃料取出しを対象にして方法論と今後詳細化するための課題とその取り組みの方向性について提言をしたが、福島第一 3 号の燃料取出しの実評価を試行したわけではないことに留意されたい。

福島第一の廃止措置は、リスク情報を用いた意思決定 (RIDM) を慎重かつ適切な迅速さで行っていくことが必要であると考え。施設内における作業の円滑化、安全確保にリスク情報を役立てるだけでなく、社会とのコミュニケーション、社会からみた指標導入、などの社会とのつながりを意識した RIDM にも大いに役立てることが重要である。廃炉のプロセスにおけるリスクマネジメントが適切に行われなければ、技術開発そのものは順調であったとしても社会からの信頼が劣化しかねない。特段の対応を必要としないトラブルと、重要で的確に対処すべきトラブルを峻別し、そのリスクマネジメント上の意味と影響評価を社会に発信し、円滑な廃炉プロジェクト遂行に資することを期待する。

今後、デブリの取出しのステージに移っていくと考えるが、この方法論をすぐにデブリ取出しに応用することは難しいので、新しい体制の中で、デブリ取り出しの各ステップの技術面のリスク評価だけでなく、全体（社会影響）をみた方法と指標を考えることが必要である。

- 抜粋 -

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

2018年12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

目次

1.はじめに	3
2.廃炉作業のリスクと管理目標で対象とする範囲	3
3.廃炉作業時の原子力安全確保の概要と管理目標	5
4.各主体における管理目標の必要性	6
5.管理目標策定の主体	8
6.管理目標を検討する際の基本的な考え方	9
7.管理目標の構成例	12
(1)管理目標の基本的な構成	12
(2)主体ごとの管理目標の設定の考え方	12
8.定性的管理目標の例	13
9.性能管理目標の例	14
10.まとめ	15

1.はじめに

福島第一原子力発電所の廃炉作業を進めるにあたり、廃炉作業に関連するリスク抑制活動の深さと広さの目安が必要となる。この目安は、動力炉の安全目標と類似の趣旨を持つものであるが、一般の動力炉の運転管理と福島第一の廃炉作業では安全確保の面から異なった側面が存在することから、その考え方や構成が必ずしも同一にはならないことが予想される。そのため、本資料では、廃炉作業に関連するリスク抑制活動の深さと広さの目安を管理目標¹と呼ぶこととする。この管理目標は、安全規制上の目安にもなりえるものと考えられる。

これまで、通常動力炉の運転管理を対象に安全目標の議論がなされてきた一方、事故炉の廃炉作業に関して、管理目標をどのように設定すべきか、十分な議論はなされていない。

本資料は、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、以下の点を議論・整理することを意図している。

- ・管理目標で対象とする範囲
- ・管理目標の位置づけ
- ・管理目標の必要性和意義
- ・管理目標を策定する主体
- ・管理目標策定の基本的考え方
- ・管理目標の構成
- ・管理目標の例

本資料の目的は、福島第一原子力発電所の廃炉作業に関わる管理目標を議論するための基礎を提示することにある。従って、取り上げられていない論点やさらに議論が必要な論点もあると思われる。これらの点は、今後、検討していく必要がある。なお、本資料における「廃炉作業」とは、福島第一原子力発電所の廃炉作業を示している。

2.廃炉作業のリスクと管理目標で対象とする範囲

廃炉作業を進めるにあたっては、以下に示すように様々なリスクが想定される。

- ①原子力安全に関するリスク
- ②放射性物質や放射線に起因しない一般の労働安全に関するリスク
- ③廃炉作業に要する費用増加に関するリスク
- ④廃炉作業に要する期間増大に関するリスク
- ⑤廃炉作業で発生する放射性廃棄物増加に関するリスク
- ⑥廃炉作業に関わる人材確保に関するリスク

¹ 日本語の「目標」は、objective, goal, target 等の意味合いを有するが、本資料で議論する管理目標は、management goal に相当するものである。達成が必須条件になる制限値(limitation)ではないことに留意する必要がある。

⑦風評被害などの社会的要因に関するリスク

⑧その他のリスク

これらのリスクは、いずれも廃炉作業にあたって十分に考慮する必要がある。本資料では、廃炉作業が直接の原因となって発生する可能性のあるリスク要因の一つである①原子力安全に関するリスクを対象として管理目標を検討する。

②労働安全のリスクは現場作業に伴う一般的なものであり、廃炉作業に特有のものではない。従って、リスクへの対応方法については、多くの経験が積み重ねられており、この経験を活かすことが出来ると考えられる。③費用増大、④期間増大、⑤廃棄物増加、⑥人材確保のリスクは、いずれも放射線に起因する原子力安全に関するリスクを顕在化させないために生じるリスクであり、その意味では原子力安全に間接的に関連するリスクと考えられる。⑦社会的要因のリスクは、放射性物質放出などの原子力安全に関わる事象を起因として発生することが考えられる。そのため、管理目標を定め、廃炉作業が管理目標を目安に実施される実績を積み重ねることで、社会的リスクを低減することに寄与できると考えられる。

以上のことから、②～⑧のリスクそのものについては、本資料の管理目標では直接対象としない。しかしながら、これらのマネジメント上のリスクと原子力安全に関するリスクがお互いに関連することに留意しておく必要がある。また、廃炉の計画立案及び作業を推進するにあたっては、①の原子力安全のリスクを受容できる範囲内に管理しつつ、②～⑧のリスクを管理・最適化する統合的なマネジメントが必要になる。

原子力安全の目的は「人と環境を原子力施設に起因する放射線の有害な影響から防護すること」であり、本資料においては、以下の三点を管理目標の検討におけるリスク²として考慮する。

- ・ 周辺公衆に対する放射線被ばく³
- ・ 廃炉作業従事者に対する放射線被ばく⁴
- ・ 廃炉作業に伴う放射性物質の敷地外放出による周辺への影響

² 一般的には、リスクは、発生時の影響(被ばく、退避など)と発生頻度の関数として与えられる。

³ 通常の廃炉作業に伴う通常被ばくと廃炉作業に伴い発生する事故による潜在被ばくの二種類が考えられるが、管理目標を事故時のリスク抑制の目安として考えることから、潜在被ばくを対象とする。なお通常被ばくについては、被ばく量の法的な管理がなされていること、平成24年11月7日原子力規制委員会決定の「特定原子力施設指定への指定に際し東京電力福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項について」が示されており、この中で廃炉作業に起因する敷地境界線量の目安が1 mSvとされていること、平成28年5月18日原子力規制委員会改正「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則第18条の運用について(内規)の制定について」により、LCO逸脱の条件が示されていることから、本資料では対象としない。

⁴ 同上

3. 廃炉作業時の原子力安全確保の概要と管理目標

通常炉では、放射性物質を閉じ込めるためのバウンダリが健全であり、放射性物質が管理されていない形で放出されることはない。一方、福島第一では、放射性物質閉じ込めのバウンダリが損傷した状態であり、事故直後に比べて量は大幅に低減したものの、放射性物質の放出が継続している状態である⁵。

原子力安全の目的は、人と環境を放射線の有害な影響から防護すること、であり、これは福島第一の廃炉作業も動力炉の運転管理も同じである。一方、福島第一と動力炉では、以下の点が異なることに留意する必要がある。

- ① 運転中の動力炉の炉心のエネルギー密度は高く、また、スクラム後の炉心の崩壊熱も大きい。異常事態が発生した場合には自動の恒設設備などで短時間に対応する必要がある。また、これらの設備には高い信頼性が求められる。これに対して、福島第一は、燃料デブリ及び使用済燃料プール内の使用済燃料とともに冷却が進み、崩壊熱が小さく、エネルギー密度が低くなっており、異常事態が発生した場合でも対応する際の時間的余裕が大きい。
- ② 福島第一では、原子炉建屋内などにおいて、汚染のために線量が高い箇所があり、また、設備・建屋などが大きく破損していることから、現場作業が大きく制約される場合がある。これに対して、通常動力炉では、建屋・設備は健全であり、すべての施設・設備が管理下に置かれていることから、現場作業の制約は、福島第一に比べると大幅に少ない。
- ③ 福島第一では、現場作業の制約のために建屋・設備の点検や更新が十分に出来ない場合があり、経年変化によって時間とともにリスクが増大していく傾向にある。一方、通常動力炉では、点検や更新、改善により、経年変化への対応は可能である。

これらの差異の結果として、福島第一の原子力安全確保の実装は、動力炉のものと同じにはならないと考えられる。

福島第一では、放射性物質の放出を抑制し、人と環境をいかに防護するか、という観点から、以下のように深層防護に基づいた対策が必要になる。

- ① 体制整備、運転経験の活用、品質マネジメントシステム(継続的改善を含む)の確立、安全文化の確立などによる安全確保
- ② 使用している常設・仮設機器の状態の監視、点検、検査などによる可能な範囲での健全性の確認及び Corrective Action Program (CAP)による自主的な保安措置
- ③ ダスト状の放射性物質の飛散抑制防止(飛散防止剤の散布、使用済燃料プールからの使用済燃料取り出しの際の建屋カバーと排気系の設置など)
- ④ 液体状の放射性物質の漏洩防止(汚染水の浄化、建屋内汚染水レベル・地下水レベル)

⁵ 放射性物質の放出による敷地境界における追加的な線量は、スカイシャイン及び直接線等による線量を合わせて1 mSv/年以下に抑制された状態にある。

の制御、遮水壁、汚染水貯留タンクの改善など)

- ⑤固体状放射性物質の保管庫での管理
- ⑥ダスト状、液体状放射性物質の放出の監視(ダストモニター、海水・排水路のサンプリングなど)
- ⑦廃炉作業に伴う敷地境界での放射線量のモニター・管理と制限(1 mSv/y)
- ⑧各種パラメータ(放射性物質濃度含む)の監視と、通常状態からの逸脱基準(LCO)の設定
- ⑨異常状態の想定とその対応(主として人的対応、冷却停止時の代替措置、津波・地震などの外的ハザードへの対応、作業員の退避、オフサイトでの対応など)
- ⑩廃炉作業従事者の被ばく管理と健康管理
- ⑪上記の枠組みが適正であるか、適正に働いているかを確認する安全規制

今後、廃炉作業を進めていく際、例えば燃料デブリ取り出しにあたっては、格納容器に新たな開口部を設ける、原子炉容器の上蓋を開ける等、既存のバウンダリに対する作業が必要となる。長期的に見て福島第一のリスクを低減させるためには、このような作業は必須となるが、一方でバウンダリを変更することになるため、特定の作業期間中のリスクは短期的に上昇する可能性があり、適正な安全対策が必要となる。管理目標は、廃炉作業中の安全確保の目安であると同時に、このような短期的なリスクの上昇をどのように考えるか、あらかじめステークホルダーが合意を形成しておくためにも重要である。

4.各主体における管理目標の必要性

管理目標の策定においては、「どの主体が何のために管理目標を必要とするか」という観点が重要になると考えられる。以下では、想定される主体と必要性を示す。

①周辺公衆(オフサイト)

現在、福島第一の敷地境界付近は帰宅困難区域となっており、住居している一般公衆はいない。しかしながら、福島第一の西約2 km を通っている国道6号線は一般車両が通行している。また、6号線の近くを通っている常磐線も2019年度末までに全線開通が予定されている。このように、付近を通行している人は、周辺公衆として考える必要がある⁶。また、避難区域の解除が進んでおり、廃炉作業時のトラブルや事故により原子力安全に関わる影響を受ける可能性がある周辺住民は、周辺公衆として考える必要がある。

これらの周辺公衆にとって、管理目標は廃炉作業リスクがどの程度まで抑制されているのかを確認するための目安となりえる。

②周辺自治体

⁶ 通行などに伴って福島第一の近くを通る一般公衆は、影響評価にあたり、距離や時間などの観点から定住している場合と異なる取り扱いをすることが合理的である。

周辺自治体は、ステークホルダーの一つとして重要である。周辺自治体の主たる関心事は、周辺公衆の安全確保及び社会的リスクの低減であると考えられる。そのため、本資料においては、①周辺公衆と同様の必要性があるものとして、①に包絡することが可能であると考えられる。

③従事者(オンサイト)

通常原子炉に対する安全目標は、一般的にサイト外の一般公衆を対象としている。一方、福島第一は通常原子炉と異なり、廃炉作業に伴うリスクが通常炉(事故を起こしていない炉)の運転管理や廃炉に比べて高いと想定されることから、サイト内の従事者に対する管理目標を考慮すべきである。

サイト内で放射線・放射性物質の漏えいや発生を伴う事故が発生した場合、最も大きな影響が及ぶのは距離的な観点からサイト内の従業者であることは明らかである。現在、福島第一では数千人の従業者が働いており、その安全確保は非常に重要な視点となる。管理目標は、どの程度の深さと広さをもって従事者のリスク抑制活動(安全確保)を行うのか、という観点からとらえることが出来る。

④事業者⁷

廃炉作業を進めるにあたり実施するリスク抑制活動の深さと広さの目安とすることが出来る。また、廃炉作業を進めるための様々な施設や設備を設計するにあたっては、それらの設備の信頼性や安全対策の設計目標が必要となる。管理目標は、この設計目標を設定するための上位の条件として必要になる⁸。

⁷ なお、福島第一の廃炉作業に関し、事業者とは何か、安全確保に関し第一義的責任を負っている組織はどこか、その組織が第一義的責任を果たせる体制になっているかを明確にしておくことはマネジメント上重要であろう。まず、原子力安全の基本原則の考え方から、福島第一の廃炉作業の安全確保について、第一義的責任を負っているのは東京電力であることは明かである。事業者としては、東京電力の他に、廃炉作業に関わっている観点から、国(エネ庁)、廃炉機構、IRID、プラントメーカーなどが対象として考えられる。それぞれの組織は、異なった役割分担を持っていることから、後述する上位の管理目標は同じであっても、下位の管理目標は部分的には異なるものになる可能性があることに留意が必要である。なお、本資料は管理目標の検討を行うものであることから、この点について、これ以上の議論は行わない。

⁸ 通常原子炉において、性能目標と原子力発電所の PRA の結果を直接比較し、管理目標への適合性を直接判断することは、現時点では、PRA の不確かさや限界から様々な困難が伴う。同様に、管理目標をクリアするように設備設計を行うのか、あるいは設備設計における単なる目安なのか、については検討が必要である。いずれにせよ、最新かつ最善の知識と技術をもって設備設計・運用及び廃炉作業を行わざるを得ないわけであり、結果として上位の管理目標から導かれた性能目標を満足しないケースは生じえると考えておくべきである。また、不確かさの大きい福島第一において、リスク評価の結果は大きな不確かさを含み、リスクの絶対値を性能目標と比較することに工学的な意味があるかどうかはよく検討する必要がある。なお、規制委員会は、通常炉においても、リスク評価の結果得られた絶対値(点推定値)を性能目標と直接比較することは、不確かさの観点から適切でないとしている。本資料で述べているのは、不確かさが存在するために性能目標との直接比較が出来ないからリスク評価に意味がないということではない。例えば、設備設計を行う際に、PRA の情報を用いて、相対的によりリスクの低い、あるいは、同じリスクであればより効果の大きい工法を選択することは、risk informed decision making (RIDM)を用いた現実的な工学的アプローチとして重要である。

⑤規制組織

既成組織としては、福島第一の長期的なリスク低減が最も重要な目標である。このために行われる福島第一の廃炉作業にあたって、安全規制の目安の一つとして管理目標を参考にすることが可能であると考えられる。一方、廃炉作業に関わるリスクは多種多様であり、全てのリスクを管理目標のみに基づいて管理することは困難である。現在、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所原子炉施設の保安及び特定核燃料物質の防護に関する規則第18条の運用について（内規）の制定について」において示されている法令報告事象の判断基準に加え、追加的に放出される放射線及び放射性物質による敷地境界での線量を1mSv/y以下に押さえることが安全規制上の目安となっており、これらが通常の廃炉作業時における安全規制における事実上の性能目標になっていると考えられる。一方、異常事象に対応する潜在被ばくについては、現時点で明確な性能目標が設定されていないことから、管理目標は、潜在被ばくに対する規制上の目安の検討に利用できるものと考えられる。

⑥国民

廃炉作業を行う際のリスク抑制の水準を広く共有するための目安の一つとして考えることができる⁹。ここで、国民とは、広く国全体の公衆を指している。周辺公衆は国民の一部であり、両者を合わせて考えることも可能であるが、周辺公衆は廃炉作業とより密接に関係することから、本資料では区別している。

本資料では、主として上記の①、③を念頭に置いて管理目標の考え方を検討する。このような考え方に基づいて策定された管理目標は、上記の②、④、⑤として活用可能であると見込まれる。また、管理目標の議論のプロセスの透明化及び管理目標を目安としたリスク抑制活動を行うことにより、結果として⑥の観点から役立つと期待できる。

5.管理目標策定の主体

管理目標の議論は、本質的に多くのステークホルダーが関わるべきである。一方で、どの主体が、どのような権限や根拠で、どのような形で管理目標の議論を主導すべきか、は難しい問題であり、管理目標策定の目的に依存するものと考えられる。例えば、廃炉作業のリスク抑制の水準を念頭においた場合には、事業者や原子力規制委員会が管理目標の検討を推進する主体となろう。一方、廃炉作業のリスク抑制水準を国民とコミュニケーションするための目安として管理目標を考えるのであれば、事業者や国が管理目標の検討を行うことが妥当であると考えられる。

留意しておかなければならないことは、福島第一の廃炉作業においては、現状のサイトの

⁹大まかな「安全の水準」としてコミュニケーションのツールの一つにはなりえるが、先に述べたように「絶対値」の比較が困難であり、○×が付けられない状態で管理目標をどのように用いれば有効なコミュニケーションができるかについても、よく検討する必要がある。これは、動力炉における安全目標の活用に関わる課題と同一である。

7.管理目標の構成例

(1)管理目標の基本的な構成

福島第一の管理目標の構成を検討する上では、動力炉における安全目標の基本的な構成が一つの参考になりえると考えられる。動力炉の安全目標では、以下のように、上位の概念的な目標から出発し、具体的に活用出来るレベルの性能目標に落とし込んでいく階層的な構成が取られる。

<動力炉の安全目標の構成例>

定性的安全目標

達成すべき安全上の目標を概念的に示したもの

定量的安全目標

定性的安全目標を達成するための数値的な目安を示したもの

性能目標

定量的安全目標を達成するための代替指標であり、設計・管理・運用などで参照できるレベルのもの。

福島第一廃炉作業の管理目標の出発点として、動力炉の安全目標は参考になるが、条件の異なる廃炉作業に直接適用することは困難な面も考えられる。特に、福島第一の廃炉作業において、PRA等の手法によりリスクを確率の形で評価することは困難が伴うことが予想できるため、確率を明示的に使用しない形で管理目標を示す必要があるかもしれない。

そのため、定性的目標において、リスクの増加が「放射線被ばくもしくは周辺区域への影響」に起因するものであることを示した上で、定性的目標から性能目標を直接示す形とすることが一つの選択肢である。これは、定量的目標が不要であるということではなく、定量的目標の設定が困難である可能性が高いため、定性的目標から性能目標を示すことにはどうかとの提案である。定量的目標が設定でき、性能目標を設定するに際して有益であるならば、定量的目標を設定すればよい。

(2)主体ごとの管理目標の設定の考え方

1)定性的目標

基本的な考え方を示す定性的目標については、管理目標の対象とするステークホルダーにかかわらず、同一になると思われる。

2)性能目標

性能目標については、ステークホルダー毎に、以下のように整理できる可能性がある。

①周辺公衆及び自治体

- ・放射線被ばく(潜在被ばく¹³)による健康への影響及び周辺区域への影響が発生するリスクを適切に表す性能目標¹⁴。

②廃炉作業に従事する作業者

- ・放射線被ばく(潜在被ばく¹⁵)による健康への影響が発生するリスクを適切に表す性能目標

③事業者

- ・①、②及び①、②を満足しつつ、廃炉作業を実施するための施設・設備・作業の信頼性及び安全性に対する要求を設定することに寄与する性能目標

④規制組織

- ・①及び②と同等

⑤国民

- ・①及び②と同等

上記のように整理すると、いずれのケースについても、①、②のケースに対する管理目標で包絡できるものと考えられる。

8.定性的管理目標の例

定性的管理目標の一例を以下に示す。

福島第一原子力発電所の廃炉作業に起因する放射線・放射性物質が周辺公衆へもたらすリスクの増加量は、日常生活に伴うリスクに比べて、十分に低い水準に抑制されるべきである。

福島第一原子力発電所の廃炉作業に起因する放射線・放射性物質が廃炉作業従業者にもたらすリスクの増加量は、一般産業に従事する際のリスクに比べて同程度以下の水準に抑制されるべきである。

¹³ 通常被ばくに関しては、すでに法的な管理がなされており、管理目標の策定からは除外して考える。

¹⁴ 風評被害は、現時点において廃炉作業に大きな影響があるが、安心に関係するものであり、定量化が難しいことから管理目標の対象からは除外することが適切である。ただし、廃炉作業を進めていく上で風評被害の抑制は重要な課題である。管理目標の議論と、これに従ったリスク抑制活動が風評被害を抑止するという形が期待される。

¹⁵ 通常被ばくに関しては、すでに法的な管理がなされており、管理目標の策定からは除外して考える。なお、通常被ばくは管理目標の策定では直接考慮しないものの、廃炉期間、人的資源の確保、コストなどの面から管理すべき重要なファクターである。

－抜粋－

福島第一原子力発電所の廃炉作用にかかわる

ロボットアイデアへの提言

2019年4月3日

廃炉検討委員会
ロボット分科会
シーズニーズ融合WG

目次

1. はじめに
2. 廃炉ロボットの開発（現状の廃炉に向けたロボット技術）
3. 課題抽出（ニーズ）
 - 3-1 除染ほか R/B 内作業ロボットの課題(ニーズ)
 - 3-2 内部調査に関連した移動機能について(内部調査用ロボットの課題(ニーズ))
 - 3-3 原子炉格納容器内部調査のための要求仕様について
4. シーズ技術と検討（シーズ技術抽出や検討の方向性について）
 - 4-1 はじめに
 - 4-2 ロボットの移動機能
 - 4-2-1 格納容器内部調査用ロボットに求められる移動環境と適用可能な技術の整理
 - 4-2-2 移動ロボットシステムへの要求事項と現状の課題
 - 4-2-3 格納容器内部調査へのロボット利用に向けた移動原理と実現に向けた課題
5. ロボットコンペ
 - 5-1 「あなたの技術・アイデアに基づく新しい廃炉のためのロボット技術提案」に向けて
 - 5-2 提案受け付けの概要と評価
 - 5-3 優秀提案及び奨励提案の選定
 - 5-4 廃炉作業への貢献
6. まとめ

1. はじめに

廃炉ロボット分科会 WG はロボット分科会の活動を推進するにあたり、分科会に提言する内容をまとめてきた。廃炉検討委員会では、ロボット学会との連携を深めることにより、福島廃炉プロジェクトへの支援体制を整えることを目的に活動してきたが、その目的を達するに十分な成果を挙げるに至っていない。このような現状に鑑み、WG ではこれまでの活動の課題を抽出し、原子力学会を取り巻く学术界の連携強化を図るアクションプラン策定に資することを目的とした。ロボット学会との廃炉プロジェクトへの連携を進めるにあたっての現状の問題点をまとめると以下の2点となる。

- a) ロボットの利用目的（ニーズ）が多岐にわたっており、目的ごとの仕様が明らかではない。
- b) 現場からのフィードバックにもとづくシーズの掘り起こしに至っていない。

福島廃炉対策で必要となるロボット開発の現状から、内部調査に関わる遠隔操作に関わる技術課題が明らかにされつつある。

ロボットに求められる機能は、「耐環境」、「耐温度」、「耐水」、「耐放射線」であるが、これらに対する要求値は現場の環境条件は現状では不確定な要因が多い。耐久性評価の結果に基づいて想定される環境条件に対して耐用時間を計算し、交換頻度などの工事計画に反映されるため、耐久性については、上限値を設定することは困難であり、開発側からここまで耐えられるとの暫定値にもとづく仕様を提示したほうがよいと考えられる。

また現場に投入される機材は全て放射能で汚染され、除染対象物や放射性廃棄物となるので、廃炉作業、廃棄物処分の負担は今後一層高まると予想される。廃棄物を減らすことも重要であり、廃棄物量低減で自分自身を廃棄物にしないこと、アクセスルート上で障害物にならないことなど、その他の重要な要求として信頼性の高い再帰還型ロボットの開発が求められる。

このように、廃炉系ロボットの移動機能・作業機能に関する要求事項には、連携強化により実現可能な項目が多数あると考えられる。廃炉系ロボットで求められる移動機能としては、先に述べた耐環境性能のもとで、配管外・狭隘部等移動経路上人間が立ち入れない空間での移動機能の向上の可能性、またはしご等人の代替では移動が困難な部位において高い信頼性を保持した移動機能の開発が急務である。移動についてはレーザスキャンによる VR (virtual reality)、3DCAD データを用いた経路決定は既存技術で実現可能と考えられるが、通常原子力プラントとは異なり、経路上に予測不可能な障害物や、予想外の高放射能障害物の存在等により、内部調査のアクセスには相当高度な遠隔技術・自動化技術が求められる。また2号機ペDESTAL下部に侵入しデブリ取り出し工法のための内部調査を着実に実施するためには、移動に伴う障害物除去等の作業機能も搭載した移動ロボットの開発が求められる。これらの開発ニーズをより明確にするには、格納容器内の形状が図面通りとは限らないこと、仮設物、廃炉作業の中の撤去、設置作業の進捗で現場が変化す

ることに対するデータ更新が課題となる。これらのニーズをくみ上げるためには

- 開発者がサイト調査で現場を確認することが可能な仕組みを検討すること
- 現場でのロボット開発での技術課題を整理すること

が必要となるであろう。

例えば、作業対象部が狭隘部、線量が分からないために作業員による接近が困難であるような場合には、機器の撤去の前に先行して移動して、対象部及び対象部までのアクセスルートの線量、汚染状況サンプリング等の環境情報を収集できるセンシングロボットシステムが実現すれば、廃炉作業だけではなく、プラント改造工事等の計画にも汎用的に活用できる我が国固有の成果となる可能性があり、この意味においてもロボット学会との連携を強化することには意義があると考ええる。

以下本 WG においては、これらの課題解決の糸口を見出すため、本報告書において、

- (1) 現状の廃炉に向けたロボット技術
- (2) 課題抽出(ニーズ)
- (3) シーズ技術と検討

の各項目について詳細な分析を通じて、廃炉プロジェクト支援のための連携強化に資する情報を取りまとめ、提示することとする。

2. 現状の廃炉に向けたロボット技術

リスク低減のための東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置においては、人が近づけない高放射線環境の中で調査し、作業することが求められており、ロボット技術を活用した遠隔作業しか解決手段がないのが現状である。現在、高放射線環境における廃炉作業を実現するために、ロボット技術を活用した多種多様な遠隔操作機器の研究開発が進められている。最新の廃炉ロボット技術開発として、作業員の被ばく線量低減を目指した原子炉建屋の屋内用遠隔除染装置と、アクセスが困難な原子炉格納容器の内部状況把握を目指した遠隔操縦型調査装置の開発状況を紹介するとともに、廃炉ロボット開発の難しさについて議論する。

2-1 はじめに

事故発生後の東京電力福島第一原子力発電所（1F）における放射性物質によるリスクから人や環境を守るために、「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」に基づいて、東京電力や政府を始めとした関係機関が連携して廃炉に向けた取り組みを続けて来ている。

世界でも経験の無い廃炉作業の実施に当たって、広範かつ前例の無い技術的課題の解決が中長期的に求められ、技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）は、国内外の叡智を集めた技術開発の実施機関の役割を担っている。重要な技術課題のひとつとして、高放射線環境における廃炉作業を実現するために、ロボット技術を活用した多種多様な遠隔操作機器の研究開発が進められてきている。

本稿では、平成 25 年度、及び、平成 26 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業補助金」により開発を進めたロボット技術を紹介するとともに、廃炉ロボット開発の難しさについて議論する。

2-2 遠隔除染技術の開発

原子炉建屋内部は、放射線量が極めて高く、作業員の被ばく線量を低減するために、環境の除染、線源からの遮蔽、線源の撤去を組み合わせた総合的な対策が求められる。「原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発」プロジェクトでは、環境の除染作業に注目し、原子炉建屋 1 階低所用除染装置、原子炉建屋 1 階高所用除染装置、2 階以上の上部階用除染装置の開発を計画している。

すでに、原子炉建屋 1 階低所用除染装置として、免震重要棟から遠隔操作可能な、高圧水除染装置、ドライアイスブラスト除染装置、吸引・ブラスト除染装置の 3 種類の除染装置を開発してきた(添付 2-1 参照)。これらの 3 装置とも東京電力福島第一原子力発電所での実証試験も完了し、今後の除染作業に活用されることが期待されている。

現在は、これらの低所用除染技術を活用しつつ、高所用除染装置の開発を進めている。高所用には、原子炉建屋内を移動できるように走行時はコンパクトな車体ながら作業時に

は 8m 以上の高所まで届く機構、配管等の入り組んだ複雑な箇所を効率的に除染する方法等の課題に、また、上部階用除染装置には、除染装置を上部階に移送する方法等の課題に対応すべく研究開発を進めている。

2-3 内部調査技術の開発

過酷事故解析コードによる事故解析の研究により、燃料デブリは、原子炉圧力容器から溶け落ち原子炉格納容器内に存在すると推定されている。しかし、その具体的な位置、量、性状については、これらを予測する研究が活発に行われているが、未だ明らかになっていない。「原子炉格納容器内部調査技術の開発」プロジェクトでは、高線量／高湿度環境で、かつ暗闇・蒸気等による視界不良状態という過酷環境にロボットを投入した調査を目指している。限られた貫通口(ペネトレーション)からのアクセスが求められるため、厳しい形状／寸法制約や、狭隘空間・障害物がある状態でのアクセスとなること、得られている格納容器内部の環境情報が限定的であることから、原子炉格納容器内部の本格調査に先立ち、段階的に原子炉格納容器内部の環境を把握する調査を計画している。

(1)福島第一原子力発電所 1 号機の調査

1 号機原子炉格納容器については、溶融した燃料がペDESTAL外部まで広がっていることが予測されており、燃料デブリの広がりを確認するためにペDESTAL外側調査の優先度が高い。まず、ペDESTAL外側 1 階グレーチング上調査 (B1 調査) のために、狭い X-100B ペネトレーションからアクセスして原子炉格納容器内の 1 階グレーチング上の情報を得ることを目的として「形状変化型ロボット (クローラ)」を開発した(添付 2-2 参照)。

このロボットは、棒形状で直径 100mm 程度の狭い配管内を走行し、原子炉格納容器の内部に到達した後にコの字型に変形する。この安定した形状でグレーチングの上を遠隔操作で走行して内部調査を行う。平成 27 年 4 月に 2 台の調査装置を投入した調査結果として、地下階にアクセス可能な開口部の周囲に干渉物がないことや、調査範囲での温度と線量情報を取得しつつ、設備に大きな損傷が無いことが確認された。

格納容器内部は、当初想定していた放射線量率よりも低い線量率であることが確認されるなど、事故解析や今後の廃炉ロボット開発に資する重要なデータを得る成果が得られた。

(2)福島第一原子力発電所 2 号機の調査

2 号機原子炉格納容器については、溶融した燃料の一部がペDESTAL内部に落下していることが予測されており、ペDESTAL内部調査の優先度が高い。そこで、ペDESTAL内部プラットフォームの状況調査 (A2 調査) のために、X-6 ペネトレーションからアクセスして、接続されている CRD レールに沿ってペDESTALの開口部からその内部に入って、CRD プラットホーム上の情報を得ることを目的として、「ペDESTAL内遠隔調査ロボット」を開発した(添付 2-2 参照)。

直径 100mm 程度の狭い配管内を走行可能なロボットの前後に LED ライトとカメラをそ

れぞれ搭載し、ロボットの後方を尾のように振り回す機構を装備することで、視野範囲を広げるとともに、自力で転倒から復帰可能な機能を持つ。原子炉格納容器内でプラットフォーム上の落下物や損傷の有無、状態などを確認するとともに、原子炉格納容器底部付近へのアクセスルートの状態の確認を遠隔操作で行う調査装置である。

内部調査の前段階の作業として、平成27年6月からX-6ペネトレーション前に設置された遮蔽ブロックの撤去作業が実施された。作業従事者の被ばく量を削減するために、新たに開発した遮蔽ブロック撤去装置（TEMBO）を現場に投入し、100mSv/hを超える厳しい環境の中で、遠隔操作によるコンクリートブロックの撤去作業を実施した。錆の発生により想定以上の固着があった最後の一行のブロックを除いて、遠隔操作による遮蔽ブロック撤去を実現した。

今後、ペネハッチ前の除染作業とペネハッチへの穴開け作業を行い、その穴からガイドパイプを挿入した後、調査装置を投入して内部調査を実施する予定である。

2-4 システム開発の難しさ

廃炉ロボットの技術開発は、通常のシステム開発と異なり、3つの高いハードルとなる課題が存在する。

一般に、ロボット技術を活用したシステム開発は、ユーザのニーズに応えるソリューションビジネスとなっている。あらかじめ動作環境を規定し、求める機能を実現するために、信頼性、安全性、経済性の制約の下に技術を統合したシステムを設計する。機能、信頼性、安全性、経済性はそれぞれトレードオフの関係があり、ユーザと開発者との合意のもと、折り合いをつける必要がある。

それに対して、廃炉ロボットの開発においては、人が容易に近づけない高放射線環境での作業を求められるため、現状では、作業環境をあらかじめ正確に把握することが困難である。

第一の課題は、要求仕様として作業環境を正確に設定することが出来ないことである。そのため、安全率を見込んだ大雑把な想定環境を前提にシステム設計が求められ、過剰な仕様のシステムになる傾向がある。

第二の課題は、要求仕様として具体的な作業を設定することが出来ないことである。そのため、あらゆる事態を想定した対応が出来るような装備を検討し、人間-機械系となる遠隔操作システムを構成して人間の状況判断力を活用したシステム設計が必要となる。

第三の課題は、短期間に信頼性の高いシステムの構築が求められることである。特注システムの開発においては、プロトタイプを実際にユーザに利用してもらったフィードバックによる改善が欠かせない。しかし、廃炉ロボットでは、実際の作業環境で問題が発生した場合、回収して改良することが困難であり、作業環境を想定したモックアップ試験を通してしかフィードバックによる改善の機会が無い。また、少ない試作回数で現場投入に耐える高い信頼性が求められる。

2-5 おわりに

合理的な廃炉作業ロボットを開発するためには、作業環境を正確に調査し、将来開発する廃炉ロボットの要求仕様設定を正確にすることが肝要である。また、次々と明らかになる原子炉の内部状況や各作業の進捗状況に応じて、最適な廃炉措置全体の構想も刻々と変化している。つまり、工法等の選択に欠かせない調査すべき情報や必要とされる作業内容が刻々と変化するため、廃炉ロボット技術開発においては、状況に応じた柔軟な開発体制が本質的なものとなる。

今後も関係機関と密に情報交換を行いつつ、国内外の叡智を集めた研究開発が期待されている。

参考文献

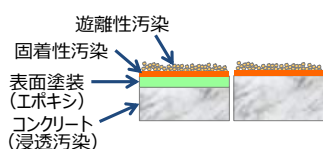
- 1) 研究開発成果概要（平成 26 年度版）、国際廃炉研究開発機構、2015 年 3 月。
http://irid.or.jp/_pdf/oanogketh26.pdf

添付 2-1

遠隔除染技術の開発

汚染形態

遊離性、固着性、浸透汚染が混在



遠隔除染技術の開発方針

- 表面の堆積物を回収あるいは除去 → 吸引
- 表面の固着物を除去 → 高圧水噴射
- 塗膜あるいはコンクリートに浸透した汚染を除去 → ドライアイス・ブラスト
- コンクリートに浸透した汚染をコンクリートごと除去 → ブラスト

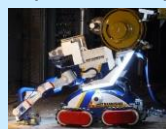
空間線量の構成

床面、壁面、ダクトや配管などの天井面の線源から構成



原子炉建屋 1 階 (例)

低所(床、下部壁面)用



吸引/ブラスト

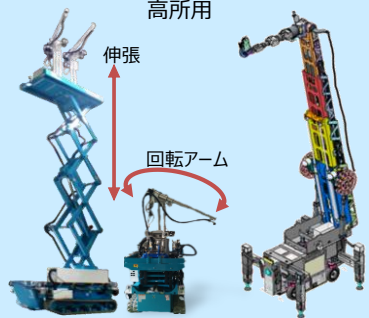


高圧水噴射



ドライアイス
ブラスト

高所用



上部階用

100m

コンプレッサー台車除染ユニット台車

40m

作業台車

20m



IRID

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

出典：IRIDシンポジウム2015講演資料「廃炉に向けた研究開発」（<http://irid.or.jp/reports/20150723/>）

4. シーズ技術と検討（シーズ技術抽出や検討の方向性について）

4-1 はじめに

ロボットとは、既成概念の無い機械、あるいは機能を持つ機械システム一般に対して使われる言葉であり、その本質は一般的にはメカトロニクスシステムそのものと言える。現場で実用に足りるロボットの開発には、適用作業についての深い知見が不可欠であるとともに、実環境下での利用を通じた作り込み、そのためのシステムインテグレーションが特に重要となる。ところが一方で、未知環境こそロボットの出番である、といった世間の期待も大きい。更に、ロボットの概念には、人の代わりに何でもできるといった、極めて高い汎用性を持つ機械システムという側面も含まれる。DARPA ROBOTICS CHALLENGEはそのようなロボットを目指す取り組みの一環と位置付けられる。しかし、人間に替わるほどの機能を持つロボットは残念ながら現状では存在せず、目途も立っていない。

原発災害への対処、特にこれからの廃炉作業に向けては、これまで想定されていなかった過酷環境での、未知の作業が必要となることは間違いなく、ロボットへの期待は高い。ただし、廃炉作業自体の工程が決定されていない段階では、そのためのロボット、更にはロボットに求められる機能自体が定かではないため、技術的に意味のある検討は行い難い。しかしそのような中で、作業を決定するための現状調査には、やはりロボットの利用が不可欠である。そこで以下では、特にロボット特有の機能として期待される移動について、利用可能性の高いシーズ技術、及び課題の抽出を行うこととする。

4-2 ロボットの移動機能

ロボットで実現可能な移動性能は、廃炉作業の工程に大きく影響する。例えば、高所の点検ロボットとして、もしドローンのような飛行ロボットが配管の間を縫って飛行できれば、管の亀裂を発見したり、放射線量を測定することが簡単にできる。しかし、現状の技術では、このような飛行ロボットは実現されておらず、実際の高所点検ロボットは、平地での走行系と、マニピュレータのリフトアップ機能が備わったものとなっている。このように、移動機能を考える上では、現状で実現可能な機能の他に、もし開発できれば廃炉作業、あるいはそのための調査点検作業を遥かに簡単にすることのできる機能の、両面からの考察が必要となる。現状でできる機能の利用であれば、仕様に合わせた装置を開発する、という設計の問題に帰着するのに対して、ヒューマノイドによる歩行や梯子の移動、(超)小型 UAV、微細配管内移動ロボット等、実現できれば工程が飛躍的に簡単になるといった移動機能に対しては、技術開発のための課題の明確化が重要となってくる。

以下では、格納容器内部の燃料デブリ調査を対象とし、4-2-1で、格納容器内部構造と想定される移動環境、そのための移動形態を整理し、4-2-2においては、移動能力を持つロボットをシステムとして機能させるために必要となる技術と、その課題をまとめる。更に4-2-3では、現状では実現の難しい格納容器内での移動方法として、壁面移動、ドローンによる空間移動の2つを例に、実用に向けた技術課題を検討する。

4-2-1 格納容器内部調査用ロボットに求められる移動環境と適用可能な技術の整理

1)格納容器内部調査の概要

Fig.4.2.1 に福島第一原子力発電所の 1 号機～3 号機の状況を示す。それぞれの容器には、溶け落ちた燃料を冷却するために冷却水が絶えず注入されており、水が溜まっている。ただし、それぞれの容器の破損状況は異なり、水位は 3 つの号機でそれぞれ異なる。格納容器内へのアクセスには、格納容器を貫通するペネトレーションと呼ばれる穴を通過するのが簡単である。しかし、格納容器の水位より上のペネトレーションしか利用できず、その穴径も小さい。穴径を拡大することも考えられるが、新たな遮蔽のための設備が必要となる。またそれ以前の問題として、利用可能なペネトレーションの入り口まで作業員が近づける程度の線量であることも必要である。

現在、1 号機内部のみ、X-100B ペネと呼ばれる貫通孔に通した直径 10cm の管を利用して、ロボットが進出した実績があるのみである (図 4.2.2)。また、2 号機については、間もなく X6 ペネと呼ばれる貫通孔に設置された直径 11.5cm の管を利用し、その穴の格納容器内部側出口に繋がったレール上を移動し、ペDESTAL内部の圧力容器下部の調査が予定されている (図 4.2.3)。3 号機は水位が高く、X6 ペネの上まで水がきており、更に上部の X-53 ペネからのカメラによる調査しか行われていない (図 4.2.4)。

今後の廃炉作業のためには、3 つそれぞれの格納容器底に溶け落ちたデブリの状況、およびそのサンプリングが必要となっている。このための移動には、3 号機ではほとんどが水中移動ロボットにたよらざるを得なくなるが、ここでは扱わない。1 号機と 2 号機では、Fig.4.2.5 に示すように①ペネトレーションの通り抜け、②グレーチングへの着地、③グレーチング上の走行、④地下階への移動、⑤水中移動、が全て必要である。X-100B ペネからの進入では、まずペネ内部では外側からの押し出し、あるいは自走が、容器内部側出口からグレーチングまではロボットに接続されたケーブルの送りにより、ゆっくりと着地をさせることが現実的である。グレーチングに着地した後、デブリまでのアクセスには、1 階グレーチング上の移動、地下階開口部から地階への下降、水中移動によるデブリへの接近、のフェーズが必要となる。この移動に必要な距離は Fig.4.2.6 に示したサイズから見積もることができる。圧力容器下部の損傷の調査には X6 ペネが利用される。X6 ペネの格納容器内側には CRD 交換レールが設置されており、ペDESTAL内部プラットフォームのグレーチング上まで降下している。その先の移動は、圧力容器底部の損傷状況によって大きく変わってくるので、ここでは取り上げない。

- 必要な条件 ペネトレーション出口からグレーチングまでの高さ，空間の広さ
- ii) X6 ペネの場合（容器内管出口からグレーチングまで CRD 交換レール敷設済）
考えられる機構 車輪，クローラ
必要な条件 レール幅，傾斜，摩擦係数，レール・グレーチング間の溝幅，深さ

2-3) グレーチング上の走行

- 考えられる機構 車輪，クローラ
必要な条件 グレーチング幅，摩擦係数，走行空間サイズ

2-4) 地下階への移動

- 考えられる機構 車輪，クローラ，脚
必要な条件 ステップの有無，高さ，傾斜角度，ステップ面幅，段差，階段横幅，構造（踊り場等），摩擦係数，地下階の水深

2-5) 水中移動

- i) 水深が浅い場合
考えられる機構 ボード，水陸両用車（車輪，クローラ），脚
必要な条件 水深，底部状況（堆積物）
- ii) 水深の深い場合
考えられる機構 ROV，水陸両用車（車輪，クローラ）
必要な条件 水深，底部状況（堆積物）

4-2-2 移動ロボットシステムへの要求事項と現状の課題

ロボットによる調査，除染作業等においては，遠隔操縦型ロボット，自律で調査・作業を行い帰還するロボット，が考えられる。その際，原子炉建屋内という環境の特徴として，放射線量が高く作業者が近づけない場所がある，天井が高く調査する空間も広い，一方で配管が多く狭隘な空間も多い，階段が狭く急である，照明が無い，無線の利用が期待できない，といった特徴がある。以下では，それぞれの特徴に起因した技術課題をまとめる。

1) 耐放射線

ロボットを構成する要素の中でも，電子部品の CCD カメラやセンサ類の耐放射線が問題となる。この対策として，鉛板でロボットコントローラ部を遮蔽する必要があるが，本体重量が増加してしまう。ただし，試験結果より，積算の放射線量が 20Sv 以下であれば問題無いことがわかっている。よって，格納容器外部であれば，稼働時間を管理することで問題無く利用が可能である。ただし，格納容器内部は線量が高く，1号機格納容器内部調査に利用されたロボットの1台はカメラの故障により帰還ができなくなった。他の号機も含め，放射線の遮蔽が必要である。

2) ケーブルの処理, バッテリ

無線の期待できない環境において遠隔操縦を行うには、通信ケーブルが必要である。しかし、調査範囲が広いことから、ロボットによるケーブルの牽引には限界がある。そこで、Quince 等では、本体にケーブル収容のリールが取り付けられており、自分でケーブルを引き出したり巻き取ったりしながら走行している。このケーブルを本体が切断したことで、帰還できなくなる事故が発生している。また、電源としてバッテリーを搭載することから、作業時間が限られる。本体の大きな上部階除染装置では、中継器を介して電源がオペレータ側から供給されており、非常用電源として除染ユニットにバッテリーが搭載されている。アクセスのための入り口が狭い格納容器内部調査用ロボットでは、巻き取り装置をロボット本体に搭載する負担はより大きく、ケーブルの処理は課題の1つである。自律ロボットではケーブルの必要が無いため、有線に起因する問題は発生しない。ただし、要求される計測制御技術、システム化技術のレベルは遥かに高く、実現は困難である。

3) 自己位置同定法

移動ロボットの遠隔操縦においては、ロボットの内界センサの他に照明装置とカメラの利用、レーザーレンジファインダといったセンサ情報を統合することで、もし建屋が図面通りであれば自己位置はかなり正確に計測できるものと思われる。これに対して水中における自己位置同定は、水の濁りにより困難が予想される。IMU, ソナーの利用, 建物図面とのマッチング, SLAM 技術の組み合わせにより、ある程度の推定は可能かもしれない。一方、小型飛行ロボットについては、GPS のような測量方法が不可能な建屋内で自己位置同定が可能な実用的手法は今のところ開発されていない。

4) 帰還方法

ロボットの利用される環境は、作業者が立ち入ることのできない高放射線エリアであり、そこでのロボットの故障は、その後の作業にとって致命的となる可能性がある。ロボットには、高い信頼性、及び故障した際に帰還が可能な工夫が求められる。これまでに実際に発生した事故としては、操作ミスによる信号ケーブルの切断、クローラが床の隙間にはまり込むことによるスタック、カメラの不具合などがある。この他にも、ロボットの転倒、バッテリー切れなど、想定される事故をできる限りリストアップし、対応を検討する必要がある。最後の手段としては、通信ケーブルの手繰り寄せなども考えられるが、確実ではなく、信頼性確保のための何らかの基準が必要である。

4-2-3 格納容器内部調査へのロボット利用に向けた移動原理と実現に向けた課題

ここでは、現状では実現の難しい格納容器内での移動方法として、壁面移動、ドローンによる空間移動の2つを例に、実用に向けた技術課題を検討する。

1) 格納容器内部調査のための壁面移動技術

現状のロボットの移動方法として主なものは、車輪移動、クローラ移動、脚移動である。

5-4 廃炉作業への貢献

ロボット技術提案公募「廃炉のためのロボット技術コンペ」で集まった優秀アイデア提案を実際の廃炉作業に役立たせるため、コンペ実施後に以下の活動を行った。

- ・廃炉のためのロボット技術コンペの結果について、2017年4月5日にNDFに説明した。今後の協力を依頼し、理解を得た。
- ・2017年9月11日に、第35回日本ロボット学会学術講演会の会場にて、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3」を開催し、ロボット分野における学会への期待について話題提供した。
- ・2017年11月7日には、廃炉のためのロボット技術コンペの結果について、エネ庁に説明した。今後の協力を依頼し、理解を得た。

学会が、ロボット分野で廃炉作業にどのような形で関わり、貢献していくのかを考えた場合、現場の詳細を知らずに、単にアイデアを出しているだけでは、なかなか実際の廃炉のプロジェクトに役立たせられない。このため、IRIDや廃炉の機器開発を担っているメーカーの技術者等から、廃炉のロードマップに基づき、各フェーズでのロボットやロボット技術に対する課題、検討項目、学会への期待、等を定期的に発信いただき、学会（学会員）は、それらの情報に基づき、シーズ技術を提案する形が望ましいと考える。このため、日本ロボット学会廃炉に向けたロボットの調査研究と社会貢献に関する研究会、および日本原子力学会廃炉検討委員会ロボット分科会の両学会（研究会/分科会）は、学会HPや学術講演会のフォーラム等の場を活用し、情報交換活動を地道に日常的に継続して実施することが重要であり、その仕組みづくり、場の提供を担っていくとともに、今後も現場のニーズに合致したアイデア提案、シーズ技術提案を行っていくことが求められる。

6. まとめ

福島第一原子力発電所の廃炉作業、特に遠隔操作ロボットの整備、技術開発活動は、日本原子力学科、日本ロボット学会、両学会の技術者・研究者はもとより、さまざまな人々の英知を集結して解決していく必要がある難しい作業である。廃炉作業は、長い月日をかけて継続して取り組んでいくプロジェクトであり、両学会は、各フェーズにおいて、実際にロボットを開発する技術者からの情報に基づく技術提案等を、定常的な作業として、地道に継続して行う必要がある。廃炉検討委員会ロボット分科会では、ロボット学会との連携により、その仕組みづくり、場の提供を担っていく。

添付資料 5-1

日本原子力学会 2018 年秋の大会 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-

実施報告

2018.9.14 廃炉委 運営タスク

◇日時等：2018.9.7 13:00-14:30 岡山大学 津島キャンパス I 会場

◇座長：関村 直人（廃炉検討委員会副委員長 東京大学）

◇プログラム

座長挨拶

講演

- 1 福島第一原子力発電所廃炉の現状： 東京電力 HD 石川 真澄 13:00-13:25
- 2 廃炉の取り組み体制とロードマップの状況： 経産省 田中 佑典 13:25-13:40
- 3 福島第一廃炉の技術戦略と研究開発の全体像：NDF 福田 俊彦 13:40-14:00
- 4 福島第一原子力発電所廃炉に向けた IRID による技術開発の現状：
IRID 清浦 英明 14:00-14:25
- 5 廃炉検討委員会の話題 WS 廃炉の論点と対応：
廃炉検討委員会委員長 法政大学 宮野 廣
及び、全体討論・意見交換 14:25-14:30

◇実施結果

会場（キャパ 183 名）がほぼ満席、立ち見の方もいた盛況で、学会員の関心の高さが窺えた。報道関係者は 2 名参加。IF 廃炉の現況・課題と展望、廃炉委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。各講演の要旨と主な質疑を以下に記す。

- ・ 関村座長挨拶：1F 廃炉の概況、廃炉委のミッション、分科会構成を紹介の後、本セッションでの活発な意見交換を願う旨挨拶
- ・ 講演 1 福島第一原子力発電所廃炉の現状（東電 石川氏）
要旨：1F サイト・各号機の概要、汚染水対策・使用済燃料取り出し・廃棄物対策の現況を紹介
質疑：なし
- ・ 講演 2 廃炉の取り組み体制とロードマップの状況（経産省 田中氏）
要旨：1F 廃炉の全般概況、国全体の体制と各ミッション、ロードマップの要点を紹介し、廃炉の安全・リスク低減、廃炉全体の最適化、地域とのコミュニケーションを目指す旨説明
質疑：
Q1 「廃炉全体の最適化」とは何を目指すのか、誤解を受けるかも知れない
A：廃炉各工程の安全・リスク低減を目指している

- ・講演 3 福島第一廃炉の技術戦略と研究開発の全体像(NDF 福田氏)
 - 要旨： NDF 廃炉戦略プラン 2018 につき、今回の改訂の要点は；
 - ・デブリ取り出しの作業方針と、廃棄物処理の基本的な考え方を出した
 - ・NDF で廃炉積立金の管理を行うこととなり、東電の作業をお金の面でも監視していく。
 - ・今後の主なスケジュール目標
 - 1)デブリ取り出し： 2021 に開始
 - これに向け、研究開発の段階は終わり号機毎のシナリオを設定した。
 - この実現に向けた予備エンジニアリングを東電に始めてもらっている。
 - 2)廃棄物処理： 2021 までに安全性対策を含めた方針を出す
 - 3)汚染水対策： 2020 に建屋内滞留水の処理完了
 - 4)なお、SFP からの燃料取り出しは、キャスク・保管庫の準備が必要
 - 5)今後、研究開発とエンジニアリングを総合的に推進していく
 - 質疑： Q1 研究に 3 極があったが、全体を見ているのは NDF か
 - A 基本的には NDF が見ているが、連携会議でチェックしている

- ・講演 4 福島第一原子力発電所廃炉に向けた IRID による技術開発の現状
 - (IRID 清浦氏)
 - 要旨： CV 内補修 (止水)、CV 内調査技術 (アーム・ボートでのアクセス、センサー、レーザー切断)、燃料デブリ取り出し (アクセスルート、ペDESTAL 干渉物撤去) 等につき開発の現状を説明
 - 質疑： Q1 遠隔操作には、位置同定技術が重要であろう
 - A 検討を進めている
 - Q2 センサーの耐放射線性が課題であろう
 - A 今ある中で、使えるものを使っている

- ・講演 5 廃炉検討委員会の話題 WS 廃炉の論点と対応 (宮野委員長)
 - 要旨： 廃炉委のミッション・構成と、廃炉の論点と対応 WS のテーマ・実施状況と今後の予定 を紹介
 - WS テーマ： ロードマップ、管理目標の考え方、廃棄物管理 につき実施済で、今後 バウンダリ、ロボット・自動機、廃棄物エンドステート につき実施予定
 - 質疑： Q1 管理目標とバウンダリでは何を議論したか
 - A 管理目標の考え方、安全をどう確保するか観点で議論した

- ・セッション全体での質疑
 - Q1 一般とのコミュニケーションをどのように強化していくか
 - A 春のシンポジウムをその狙いで行っている
 - A 地域住民とは 車座での対話も始めている
 - Q2 デブリ取り出し後の安定保管が大きな課題であろう、保管容器をどこに置くか
 - A 今後検討する
 - まずはサイト内か → そう考えている
 - Q3 デブリ取り出しのアクセスルートの検討状況はどうか
 - A 現場を見ながら、予備エンジニアリングで検討している
 - A 予備エンジニアリング後、どこから始めるかを検討する

以 上

日本原子力学会 2019 年春の年会 企画セッション/委員会セッション
- 「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」廃炉に向けた技術開発の現状-

実施報告

2019.4.3 廃炉委 運営タスク

◇日時等：2019.3.20 13:00-14:30 茨城大学水戸キャンパス A 会場

◇座長：関村 直人（廃炉検討委員会副委員長 東京大学）

◇プログラム

1. 座長挨拶

2. 講演

(1)公開シンポジウム報告 : 東海大 浅沼 徳子

(2)福島第一原子力発電所建屋内での 3 次元放射線イメージング技術の開発
: JAEA 佐藤 優樹

(3)デブリ形成に影響を与える制御棒崩落挙動解明に係る現状 : JAEA 山崎 幸春

(4)IRID の研究開発の概況 : IRID 高守 謙郎

(5)総括・廃炉検討委員会の取り組み : 廃炉検討委員会委員長 法政大 宮野 廣

3. 全体討論・まとめ

◇実施結果

会場はほぼ満席の盛況であり、聴講者数は約 180 人。学会内における関心の高さが窺えた。IF 廃炉に向けての技術開発の現況と展望、廃炉委の活動状況を伝える良い場であり、今後とも活用していきたい。今回は具体的な技術についてご講演者より紹介頂いたことで、技術的な議論と、またその技術を如何に実際の工法として適用していくか等について活発な議論がなされた。各講演の要旨と主な質疑を以下に記す。

1. 座長挨拶（東大 関村先生）

事故後 8 年を迎えた 1F 廃炉の概況、本セッションでの活発な意見交換を願う旨挨拶

2. 講演

(1)公開シンポジウム報告（東海大 浅沼先生）

要旨：3/9 に行った公開シンポジウムの講演概要とアンケート結果等報告

質疑：なし

(2)福島第一原子力発電所建屋内での 3 次元放射線イメージング技術の開発(JAEA 佐藤氏)

要旨：コンプトンカメラを基盤とした 3 次元放射線イメージングシステムを用いた放射性物質の可視化技術に係わる開発状況を報告

質疑

Q：線量の定量評価について、相対的な比較ができれば、どこか一点の線量率がわかれば相対的に求められるのではないか。

A：現状Intensityは相対値にもなっていない。距離の影響などもある。定量評価に関して見直しはあるので、再構成のアルゴリズムに組み込む予定である。

C：作業員にとっては、その場に入れるのか、ホットスポットはどこにあるのか、入れるならどのくらいの線量があり被ばくはどの程度になるかが重要

A：現状は空間線量率の情報が得られない。今後組み込んでいきたい。

Q：デブリ近傍など高線量環境にも対応できるのか

A：現在使用しているセンサの対放射線性が 5mSv 程度であり対応は不可。3D モデリング技術と、高線量率に対応したセンサを組み合わせ、対応できる様にしたい。

(3) デブリ形成に影響を与える制御棒崩落挙動解明に係る現状 (JAEA 山崎氏)

要旨：BWR 燃料の事故初期フェーズでの破損挙動を整理すると共に、大型模擬制御棒ブレード破損試験状況を報告。チャンネルボックスとブレードの共晶反応には昇温速度と水蒸気量が影響。

質疑

Q：水蒸気流量の単位 m-rod というのはどういう単位と考えてよいか？

A：単位は g/s/m-rod で、海外など rod 長が違う場合もあるため規格化した。

Q：皮膜生成なので、rod 長より、濡れぶち長さで考えた方が良いのでは？

A：海外 PWR を想定してこうした。BWR を考えるならご指摘の方法が良いと考える。

Q：いつ時点で溶融したのかなどが分かる計測データはとっているか

A：熱電対による温度データを取得しており、下部温度などでいつ溶け落ちたかなどは分かる。

Q：この成果はどの様に生かしていくのか。評価コードへの組込み当考えているか

A：JAEA の JUPITER コードの検証データとして活用している。

Q：国際的な協力などは？

A：下部ヘッド領域での反応等については国際協力していくことを検討したい。

(4) IRID の研究開発の概況 (IRID 高守氏)

要旨：燃料デブリ取り出し及び放射性廃棄物の処理・処分に係る研究開発の状況を報告
質疑

Q：Fact とデブリ取り出しプロセスを関連づけているが、Fact はどこまでわかる必要があるのか、わからなかった時にはどのような対応になるのか。安全の考え方について、規制庁とどのようにすりあわせていくか。

A：IRID では規制庁との調整はない。規制庁とのやりとりは事業者が行う。IRID は事業者に必要な技術開発を進めている。

Fact がどこまでわかる必要があるか、の質問については、まずアクセスできるか、どこにアクセスしないと行けないか、の検討はある程度の Fact と仮説があれば可能。

中に入れるようになったら、ステップバイステップ、確認・作業しながら進めていくしかないと考えている。普通の炉との違い、通常の再臨界とは違う臨界を考慮する必要がある。

Q：全体の安全の考え方をそろそろはっきりさせる、規制側と擦り合わせる必要があるのではないか。

A：研究側としていろいろなパターンについて評価を繰り返している。

IRID だけでなく、基礎研究、NDF、電力等、全体を見通していく必要がある

Q：Fact が積み重なり、要素技術も積み重なる。工法と設計が重要になる。IRID がどこまで責任を持ってやっていくのか。

A：安全の責任は設計者にも全員にある、と組合員に伝えている。安全設計の基本の考え方として、見つけたリスクは最大限に見積もり、対策をとることとしている。

Fact として必要でない対策とわかったら削除する方針である。

(5) 総括・廃炉検討委員会の取り組み 廃炉委委員長

要旨：廃炉検討委員会の取り組み・WS実施（ロードマップと目標管理、リスク管理、宇宙の信頼性技術の廃炉ロボットへの展開など7回）等の活動を報告

質疑：なし

3. 全体討論・まとめ

いろいろなステークホルダーをつなぎ、学会として果たすべき役割を進めていきたい。

（関村）

以上

原子力学会 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会
シンポジウム「東電福島第一原子力発電所の廃炉 ―確実な廃炉のために今すべきこと―」

日時：2019年3月9日(土) 13:30～17:00
場所：機械振興会館 B2F 多目的ホール
出席者数：120名

プログラム

- 座長 関村 直人（廃炉検討委員会副委員長・東大）
開会の挨拶 駒野 康男（日本原子力学会会長・MHI NS エンジニアリング）
講演1：事故炉の廃炉の全工程とホールドポイント 宮野廣（廃炉検討委員会委員長・法政大）
講演2：事故炉の安全確保と管理目標 山本章夫（WS 主査・名大）
講演3：廃炉とサイト修復の最終の姿に向けた廃棄物の取り扱い 柳原敏（WS 主査・福井大）
講演4：自然現象に対する事故炉の安全性評価 糸井達哉（WS 主査・東大）
講演5：新技術への挑戦―国の補助事業による研究開発 松本昌昭（廃炉・汚染水対策事業事務局・三菱総合研究所）
講演6：国際協力への提案 岡本孝司（JAEA/CLADS 長・東大）
質疑対応 関村直人（廃炉検討委員会副委員長・東大）
閉会の挨拶 宮野廣（廃炉検討委員会委員長・法政大）

議事概要：

AESJ の福島廃炉検討委員会で毎年開催している、今回で第4回となるシンポジウム。今回は、今年度、WS として行った議論の成果と技術開発の進捗、国際社会との連携に関する6つのテーマについて、講演を行った。

座長挨拶（関村先生）：福島第一事故から8年が経過。AESJ としては学会事故調を行い、引き続き廃炉検討委員会につないだ。学会としては、専門家集団での議論を踏まえ解決策を模索し、国民に発信することが責務。2018年度はWS 形式で活動してきた。本日はその6つについて情報共有と課題認識をする。

開会挨拶（駒野会長）：2月14日に原子力学会は創立60周年を迎えた。原子力の再生再興に向けたスタートを切りたい。そのために事故炉の廃炉についてきちんとした議論をしたい。廃炉検討委員会は、他学会と協力して課題を見極め、情報発信することに期待する。

(1) 「事故炉の廃炉の全工程とホールドポイント」 宮野先生

原子力学会の福島廃炉にかかる活動の体制と概要。福島第一の「敷地復旧」として考えるべきこととして「リスク管理」「汚染水処理」「敷地をどうするか」など。廃炉の課題「オペフロ高放射能対応」

「バウンダリー確保」「除染」「飛散防止」など。廃炉作業の RM とホールドポイント。

Q：ホールドポイントの設定についての意味は？

A：個々の作業ステップの達成を、見極めるのがホールドポイント。リスク評価は重要な役割をする。

(2) 「事故炉の安全確保と管理目標」 山本先生

動力炉の安全目標と同趣旨のものを事故炉廃炉で「管理目標」と呼ぶ。時間（長期短期）の視点で廃炉作業を判断するために管理目標は必要。例、廃炉作業をせずそのまま放置すればリスクは上がる。多くのリスク範囲があるが、原子力安全リスクを対象。廃炉作業に起因する追加被ばくを対象。管理目標は目安であり制限値ではない。事業者と規制がステークホルダーを交えて議論して策定すべき。

C：廃炉作業には、技術的可能性とリスク評価が重要。事故炉はすでに損傷しているのでリスク評価の考え方も異なる。学会として規制の議論に参加してほしい。

A：そのとおりと考える。PRAなどで意思決定するのは難しい。管理目標に照らして判断することは避けるべき。規制における議論は必要。

Q：技術の有効性をあらかじめはかっておくべき。シナリオ評価で用いる技術の確証が要る。

A：廃炉作業を進めるにはリスク評価が必要。いま、リスク評価分科会にて手法を検討しているところ。途上ではあるが。

Q：事故炉はすでにリスクがある。廃炉作業をしない場合のリスクは？

A：何もしない場合に劣化による長期的なリスク上昇が考えられる。一方、廃炉作業をすると短期的にはリスクが上昇するがそれを許容するか、ということがある。

C：福島第一では津波リスク対策をいま、議論している。それは事業者が風評被害リスクを大きくとらえていることに基づいている。規制、自治体、事業者で議論すべきこと。

(3) 「廃炉とサイト修復の最終の姿に向けた廃棄物の取り扱い」 柳原先生

IAEAは廃止措置を「原子力施設を規制から除外すること」と定義。一方、OECD/NEAは「環境修復」を「汚染による被ばくを低減する活動」と定義。時間軸で考えた方式（即時解体、遅延解体、原位置埋設）を紹介。1F廃炉の廃棄物管理には、廃炉終了は？廃棄物発生量は？放射性廃棄物をどうするか？など。廃炉終了の姿（エンド・ステート）を議論すべき。廃棄物の取り扱いの検討を公平、透明なプロセスが必要。今の世代と次の世代の課題を明らかにすべき。

(4) 「自然現象に対する事故炉の安全性評価」 糸井先生

事故炉の外的事象対策は「リスク低減」「費用」の点から適切性を判断すべき。事故炉は設備損傷状態が把握されていない中で、外的事象への備えを評価し考えないといけないので、認識論的不確かさの扱いには専門家判断が不可欠（SSHACプロセスのような参加型）。

(5) 「新技術への挑戦―国の補助事業による研究開発」 松本氏

資源エネルギー庁による廃炉汚染水対策事業の、体制、5年間（H26～30）概要を紹介。海外からも参加。

Q：学会の活動と国の補助事業とのつながりは？

A：学術界の専門家に、審査評価委員会に参加してもらう。

(6) 「国際協力への提案」 岡本先生

通常炉は「廃止措置」、事故炉は「廃炉」と言葉を使い分けている。JAEA 廃炉国際共同研究センター（CLADS）の活動紹介。岡本先生はセンター長。国際 WS 開催、国際共同研究棟整備など。日本で遅れている分野、事実上研究できない分野（核燃料実験など）により国際協力必須。基礎基盤研究の全体マップを示し、汚染水対策、デブリ取出し、処理処分、環境回復、輸送保管などの研究関係を明確化。

Q：国際社会からのニーズはあるのか？

A：SA 研究は福島事故のためだけではない。国際社会からみれば安全研究の一環になる。狙いは国内外でずれているが、実施内容は同じなので成果をそれぞれ使えばよい。

C：将来に役立つことを行うことは、世界への貢献になる。国際社会を 1 F の後処理に参加させるのは難しいだろう。

A：研究活動から多くのことがスピノフする。それらは技術向上に資するものになる。

(7) 質疑応答

Q：福島第一で津波対策はどうしているのか？

A：福島沖、千島列島などを津波源に評価し、15m には防波壁、20m には建屋開口部をできるだけ閉めて汚染水流出を防ぐ考え。

C：仮に 20m の津波が来ても流出による被ばく影響は小さい。それよりも風評被害のほうが大きい。全体のリスクを考えるべき。

A：想定は幅広く考えるべき。その打ち合わせで対策を検討する。

Q：モックアップなど要素技術は適用できるのか？

A：ゴールを決めて進めている。

C：リスクと安全をどう考えるかが重要。事故炉で守るべきは何か？継続するとはどういうことか？ぜひ、学会から発信してほしい。

A：リスク評価手法の検討が出来上がれば、シンポで発表する。

A：高いレベルで安全をどうするか、ということだけでなく、今ある手法で簡便に評価することも大事。

A：基礎基盤研究が必要。

Q：廃棄物に関して研究開発は？

A：通常炉と事故炉では廃棄物の特性の違いを把握し分析すべき。廃棄物処理処分という今の考え方を事故炉については見直しても良いと思う。

(8) 閉会挨拶 (宮野先生)

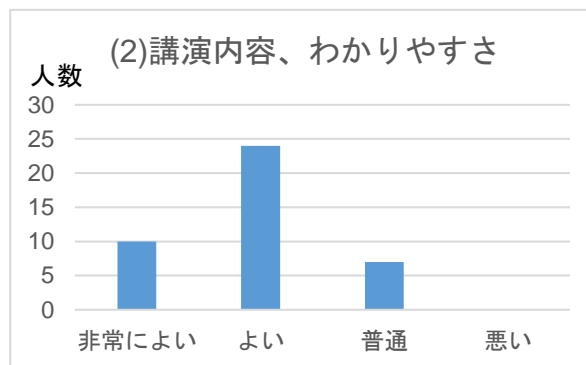
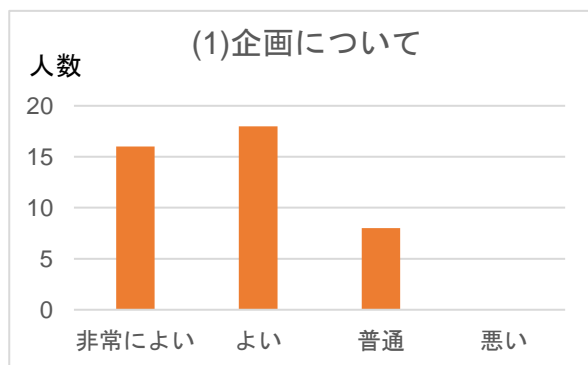
確実に廃炉を進めていくため原子力学会として貢献していく。若い人たちが参加していくようにしたい。

以上

日本原子力学会 シンポジウム
東京電力福島第一原子力発電所の廃炉— 確実な廃炉のために今すべきこと —
アンケート集計結果

- ・ アンケート回答数43名／出席者120名 （前回：55名／80名）
- ・ アンケート項目
 1. 今回のシンポジウムについて
(1) 企画、(2) 内容・わかりやすさ、(3) 感じたこと、(4) 廃炉に対する学会への期待
 2. 今後の企画（催し・テーマ）、時期
 3. その他（要望など）

1. 今回のシンポジウムについて



(1) 企画

- ・ 今まで断片的に聞いていた活動の関係性、位置付けがよく理解できた。全体をふかんするという意図はよかった。
- ・ 1F事故後8年というタイミングでのテーマとしてふさわしかったと思う。
- ・ 課題を判り易く分類整理されており、良い企画であった
- ・ 福一の問題への学术界の取り組みがコンパクトに紹介された。一方、2号炉のデブリが分かったなど最新の情報に基づく、廃炉プロセスへのインパクトなども解説があれば更によかったと感じた。
- ・ 現時点でのまとまった話があった
- ・ やや新規性に欠ける
- ・ 関係者内での認識の共有という点では意義がある
- ・ WSで議論されている内容の概要を聞いてよかった。事業者、規制、学会等の議論の場に進めて、そこでの議論の中身も紹介してほしい。
- ・ 社会への発信（も重要と考えるなら）が不十分。一般市民がもっと集まるような企画と発信方法が必要では？（着ている服装からみると業界の人間（そのOB）がまだまだ多いのでは？）
- ・ 全体が概観できる、よい機会をいただきました
- ・ 福島廃炉全体について考えるよい企画でした
- ・ 学術的、概念的内容が多かったが、技術的側面、フィージビリティと具体的シナリオ設定の実際、ロードマップ（計画）との対応やアイテレーションの全体プロセスがより良く見える内容に整理されていればなお良かった。
- ・ 学会として当然企画すべきシンポジウムであると思う
- ・ 流れとして概念→技術となっていて分かり易かったです
- ・ 大きなテーマを体型だてて発表し、議論することができているので、大変良い企画であると考えます。
- ・ 誰に（専門家か、一般の方にも）向けたものなのか、何を目的にしたシンポジウムなのか、少しわかりにくかったように感じました。
- ・ 必要不可欠な議論であり、廃炉が完了する迄、実施するべきかと思えます。
- ・ 廃炉に関わる各工程の大切さと難しさを理解できました。

(2) 講演内容、わかりやすさについて

- ・ 各講演のつながりを最初に示してほしい

- ・ 管理目標の考え方が非常に参考になった（業務への活用を考えたい）
- ・ 一般の人へのわかりやすさはない、あるいはむしろかすすぎると考えます。しかし、このようなレベルの議論は必要なので継続していただきたい。
- ・ 短時間で多様な話を聞けました
- ・ 各講演、ポイントを明確にした説明で分り易かった
- ・ 糸井先生の前段の考え方の整理が分かりやすかった
- ・ 一度聴いただけでは理解できない程、内容が多い
- ・ 特になし
- ・ 机上の論理にとどまる講演が多い
- ・ WSではざっくりばらんな議論がなされ、それを聞くことにより理解が深まった。シンポジウムでもどういった議論があったかも少し紹介いただければ良かった。
- ・ 講演4は中々わかりにくい
- ・ 専門的になりすぎず理解しやすかった
- ・ 各パートともに論点も明確でわかりやすかった
- ・ 学会らしい検討内容を平易に講演されたと思う
- ・ 全体的に理解し易いものでした
- ・ 全般的に分かり易い講演内容であった。資料も見易い表示である。
- ・ ホールドポイントはもっと具体的にしないとわかりにくいのでは
- ・ 概念的な発表が多く、具体論に欠ける。実際にどのようなことが課題になっていて、どのような技術がこれから必要とされるのか、という話に落としこまないと廃炉は進捗していかないと思います。
- ・ 各テーマわかりやすい内容であったと感じた。
- ・ 資料中の文字が見えない（印刷上かすれてる）のは改善してほしい。
- ・ 先生方の講演は大変わかりやすいです。講演時間も30分と適切と考えます。

(3) 講演内容により考えたこと、感じたこと

- ・ 原子力学会として種々の組織で行われている活動の全体係を描き、国民に発信することは必要。各組織の説明図はあっても国内外全てを入れた図があればよい
- ・ ・ 学会の議論である以上、国や事業者にとにかくせずに「技術」に忠実な議論をしても良いのでは？と感じた。
 - ・ デブリ取り出しについては、国やNDFや事業者は取り出す前提して設定できない。「取り出さない」「取り出せない」（取り残せば同じこと）事も分かりやすい議論せスタートさせるべきでは？
- ・ 管理目標の考え方は非常に勉強になった。
- ・ 廃炉コストの大きさ
- ・ 毎年3月に開催されている本シンポジウムに今後も参加したい。
- ・ 講演3のエンドステートに対する議論を開始すべきという提言に賛同。いつまでも「クサイものにフタ」をしたままではなく、きちんと議論すべき。
- ・ 講演5は、過去だけでなく、将来のこともあったと良かった。税金が投入され、開発されても、現場で十分に活用されないケースもあるが、これはあってはならない。国民の税金、国の借金かもしれないが、無駄に使われないことを切に願う。
- ・ 風評被害というリスクを考えないわけには行かないが、学会がそれに捉われた議論をしてはならないと考える。学会は基本的に学術的立場から国民や地元がいやがる事でも主張していかなければならないと考える。強烈的な批判を受けることを覚悟する必要がある。
- ・ 廃止措置の計画・実施の実際は大変難しいものだと感じました
- ・ 高次の実施適否の判断には、リスクの変化、リスク低減が重要であり、廃棄物の処分方策とエンドステートの考え方を明確にすべき事が大きな因子である事を、より一層強く感じた。
- ・ ホールドポイントに具体的にどのような設定がありうるか、もう少し掘り下げた話が欲しかった
- ・ 課題はまだ多々あるが、確実に進んでいる印象を受けた
- ・ 建前論の域を出ていない
- ・ 「期限」がはっきりしないものが多い。「今すべきこと」？なら、いつまでにということは明言すべきではないか
- ・ 継続、深掘りをお願いしたい。
- ・ 講演1/2 ホールドポイントと管理目標の関係をわかりやすく知りたい
- ・ 一般の人と共有するという視点では内容が難しく、わかりやすいメッセージがあると良い
- ・ 廃炉に関する最終的な目標が描きにくいこと。そのため、あるいはそれが原因として、責任が不明確になっている現状を改めて認識しました。
- ・ (1)と同じ

- ・ 専門家のギロンで評価する際に、データが不十分、精度がないとなった時に、どのような結論となるのだろうか。専門家がギロンしても妥当な判断がえられないとなるのだろうか。
 - ・ 国の予算の使い方がわかった。シンポジウムにふさわしいかどうかは別にして
- ・ 国、東電が行う1Fプロジェクトへの具体的関与、貢献が殆どない。しかし、これはある程度予想できたことか。
- ・ 非常に有益な講演であった。廃止措置、廃炉措置含め、構成要素の廃棄物構成要素と〇〇〇のデータ集積が急がれる
- ・ 廃炉に向けたシナリオ・ロードマップが具体的になっていない中で技術開発の明確なニーズが出ているのか、技術開発の成果が出ているとは何をもって役立つ技術としているのか少し疑問に思った（講演5）
- ・ 多角的な技術が必要だと思いました。とくに経年炉と事故炉の違いを意識する必要がある
- ・ 今後の膨大な研究開発テーマが示され、引き締まる思いである。但し、緊急テーマといった雰囲気ではなく、緊張感に乏しい感じがあった。もう少し、スピードアップしても良いのではないか？
- ・ 処分場がないと現状の検討は（取り出しの工程）果たしてどうなるのか心配ですが
- ・ 各講演とも資料は文字のら列のものが多く、聞く人に理解してもらおうという感じがしません。内容も分かりづらい事が多いので、かみくだいた分かり易い資料の配布を望みます。席が埋まらないのは講演の演題に魅力を感じられないのではないか？
- ・ 廃炉のシナリオ、将来のあるべき姿がまったく見えていない（確定していない）ことが判った。
- ・ 実際の1Fへの貢献、どの程度廃炉カンパニー（TEPCO）と話をしているのか？といった位置づけが不明でしたが、内容としてはとても面白かった。
- ・ 学会なので止むを得ないが、一般的な議論が中心であり、具体的な対策との関連が良く分らなかった。この点、講演5, 6は具体例があって分かり易かった。
- ・ 廃炉について知識がほとんどない中、参加しましたがわかりやすかった。
- ・ 発表者も聴衆も年配の方が多いと感じました。
- ・ 廃炉作業を円滑にかつ安全に進めるためには、管理目標を設けて国民に対して安心する材料を提示する必要がある。そのためには事業者、NRA、周辺自治体にて廃炉作業の管理のあり方について合意形成を行なうことが必要である。
- ・ 1F廃炉の基本的課題を将来に向けて常に振り返るというスタンスが重要
- ・ 廃炉遅延リスクの中には実態として規制庁による認可手続きが最も大きな遅延リスクの原因の一つとなっており、学会としても国に対しリスク＝コスト増大を意識した規制対応を低減すべきかと思えます。

(4) 福島第一原子力発電所の廃炉に対して日本原子力学会に期待すること

- ・ 原子力学会の活動（廃炉委）が諸機関の活動にどう役立っているか、役立っていくかを示してほしい
- ・ (3)のコメントと同じ。
- ・ 廃炉委の成果は次にどこに、どんな活動に（学会の中、外問わず）つなげていくのか。検討しておしまいで非非常にもったいないと思えますので。
- ・ 後世に貴重なデータを残す
- ・ 講演3は、まさにその通りであり、例えば廃棄物の処分要件が決まっていないことで前に進めないことが多い。学会が標準を作るなどよく考えて欲しい。
- ・ 前項(3)の通り
- ・ 廃炉の視点以外に何か利用できるものはないか探ることも必要かと思えます。
- ・ 他の学会との連絡・調整の中心となること。将来に希望が持てるテーマを掲げて、若者が入り易いような対策を。
- ・ 学会活動が1Fの課題解決に寄与しているか疑問。よりサイトの課題に歩み寄る必要があるのではないか。
- ・ 会員の保有する技術の体系的把握と、それらの現場投入のための積極的営業活動
- ・ 学会の提言が実際の1Fの廃止措置に生かされているのかも紹介してほしい
- ・ 学術研究の責任主体として継続して取組んで欲しい
- ・ 学会の責任として最後までフォローしていただきたい
 - ・ 廃棄物管理のあり方を示すことは重要
 - ・ 若い人をもっと入れて欲しい
- ・ ステークホルダーではないので、それを踏まえたスタンスを維持すべき。一面的な意見を学会だから自由に発言できている人がいるがそれは違う。不確実性を小さくするための検討や、オプションなり得る提案を技術的根拠をもって実施してほしい。
- ・ 恐れることのない情報発信、社会への問題提起

- ・ 提案に終わらず、実現に向けた活動や仕組み作り
- ・ 技術系を担う部会、原子力（学会）全体によるロードマップの相互比較と有効性評価に関する議論
- ・ 学会らしい貢献をお願いしたい。
- ・ 1F廃炉を真の国のプロジェクトとするために、TMI-2時のGENDのような国家が一体となった組織の結成が望まれる。特に、事業者と規制側との距離感が障害になっていると感じる。この辺り、学会の貢献が望まれる。
- ・ 風評被害を打破する為の方策を学会として、まともに取り組む必要があるのでは。具体的作業が見えない。
- ・ 廃炉というワードには未来が見えない気がします。廃炉により将来に継がる明るい未来が見えるようなワードを使うようにすべきかと思います。
- ・ 今回のような基本的な検討成果が具体的な対策に資するようになって頂きたい。
- ・ 独立した議論と社会への発信

2. 今後の日本原子力学会の企画について

(1) 希望する催し、テーマ

- ・ 原子力の教育に係るシンポジウム（国、研究機関、大学、高校、企業）
- ・ 日本の原子力（産業含め）に将来はあるのか
- ・ もう少し、一般の方も参加できる企画も検討されたい
- ・ 特になし
- ・ 実事例紹介の多いイベント
- ・ 小型炉（SMR）の可能性
- ・ 若者が原子力技術を目指すきっかけとなるようなもの
- ・ 今回と同様で、より技術の進捗が分かる内容のもの。1Fの今（炉内観察vs. 対策のアップデート）

(2) 時期

3. その他（日本原子力学会への要望など）

- ・ 宮野先生、柳原先生のスライドで各1ヶ所ずつ「トリチウム水」とある。正確には「処理水」。「トリチウム水」を使うと、社会的影響があるおそれがある。
- ・ 若者が入ってくるような対策を！
- ・ 特になし
- ・ 放射線利用分野の活動が相対的に小さい。エネルギー分野は重要であるが、今後は放射線利用分野を強く意識した活動も行って欲しい。
- ・ 技術的な話の講演会が必要かと思います
- ・ 原子力学会は放射能に関する研究について最高位の学会であり、オフサイトの問題（課題）についても言及すべきではないでしょうか。

日本原子力学会 2019年春の年会@茨城大学 委員会セッション「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」
2019年3月20日(水) 13:00 ~ 14:30 A会場(講堂 ホール)

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」廃炉に向けた技術開発の現状 (5)総括・廃炉検討委員会の取り組み

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会の成果 課題への対応 —ワークショップの成果を中心に—



—抜粋—

2019年3月20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

法政大学

AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

「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

福島第一の事故から8年が経過した。廃炉の作業は、環境を含めて安定化が進み、燃料デブリ取出しの本格的な作業の準備が整いつつある状況である。

福島第一原子力発電所の廃炉は、極めて長期に亘り継続される国を挙げて取り組む事業、重要な国家プロジェクトである。

内閣、経済産業大臣を頂点とする組織体系が整えられ、予想される技術的な困難さから、世界がその進展に関心と懸念を示す中、世界の英知を集め、事業を進める体制ができ、実作業のフェーズは順調に進展している。

サイトの着実な進展、国として予算化を含めた国家プロジェクトとしての運営、初めての事故炉の廃炉に必要な技術開発とサイトへの適用、難しい技術開発への挑戦と強力な体制の下、着実に進展している。

原子力学会は、原子力分野の専門集団として積極的な貢献を行っていかねばならない。学術には様々な意見があるはずであり、率直な意見を集めて分科会の活動を支援して適切な提言を行わねばならないと考える。以下のWSを開催し意見を集約した。

廃炉委で以下のテーマで 詰めた議論 「ワークショップ」を開催し、課題への対応をとりまとめた。

- 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

ワークショップ－廃炉の論点と対応－ の概要(1/4)

(全体を見通す)

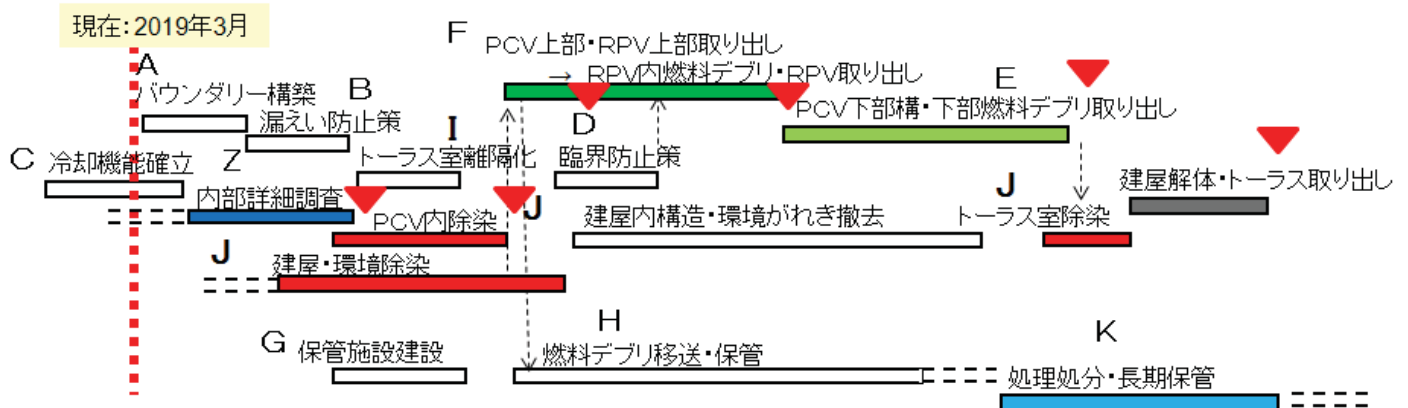
第1回－廃炉のロードマップ

- ・廃止措置は既にも実証された技術であるが、「廃炉」は事故炉福島第一に用いる。
- ・廃炉には**新技術開発**が必要、**既存の技術と組み合わせるマネジメント**も重要であり、**長期的視点の政策**が必要である。
- ・福島第一廃炉のリスク管理において**時間的、俯瞰的見方**が必要である。
- ・**戦略マップ**に繋がる**研究開発**を行うべき。
- ・**機能重視のリスク評価**を行わなければならない。
- ・作業を始める前に**十分な調査と分析**が必要である。

(例示)

ロードマップによる目標管理

▼ ホールドポイント



ワークショップ－廃炉の論点と対応－ の概要(2/4)

(リスク管理)

第2回－廃炉と管理目標

- ・事故炉には「**管理目標**」とする。
- ・管理目標－**目指すゴールから定量管理の性能目標を設定**する。
- ・追加の**危険性(潜在リスク)**を減らすように作業を行う、と同時に、**現状のリスクを避ける**。
- ・**責任を持つ誰が**、管理目標を設定し、**誰が監視**する、**仕組みが必要**だ。
- ・**トップダウンとボトムアップ(CAP)**を併用する。

第4回－放射性廃棄物の閉じ込めのためのバウンダリーの考え方について

- ・**バウンダリーの考えは安全管理と共に考える**。
- ・**グレーデッドアプローチの考え方**が必要。
- ・**リスク評価、管理と合わせて決めていく**。

第6回－外部ハザードにどこまで対応すべきか

- ・福島第一の**廃炉でも新基準を適用すべき**ではないか。しかし、そのままでは適用できない。一つの手法は専門家による評価手法(SSHAC)がある。
- ・福島廃炉でも「**廃炉での深層防護**」の構築の検討が必要。特に設計基準を超える事象。

ワークショップー廃炉の論点と対応ー の概要(3/4)

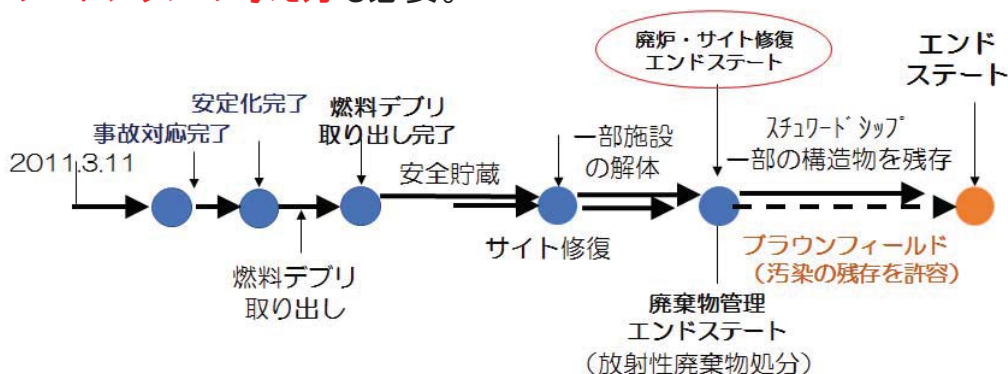
(目指す姿)

第3回ー廃炉での廃棄物の取り扱い

- ・**エンドステートの議論の前に、理念、考え方ー住民への対応、技術の将来などー**を示すべきである。
- ・**エンドの位置づけ、最終、中間、などの設定**も考える。
- ・敷地と廃棄物量との関係を考え、リスクとの関係を踏まえ、作業を検討する**BackCast**の考え方を取り入れる。

第5回ー廃炉での“廃棄物の取り扱い”について(その2)

- ・**1F廃炉は廃棄物を中心に考えるべき**。常に廃棄物を念頭に置くべき。
- ・最終的にサイトをどの様にするのか(**エンドステート**)、**という観点は重要**。
- ・廃炉(除染・解体と規制解除)と環境修復(サイトのクリーンナップ)は分けて考えるべき。
- ・**廃棄物量が重要**。1F全体で最大は560万トン以上にもなる。
- ・**シチュワードシップの考え方**も必要。



ワークショップー廃炉の論点と対応ー の概要(4/4)

(ロボットの信頼性)

第7回ーロボットの信頼性をどのように考えるか

- ・**厳しい環境、条件は宇宙も原子力も共通**。実物・実地での実証が難しい中で、品質を確保しなければならない。手厚い対応が重要。
- ・**ステップ毎に、目的(何のために)、達成の要点分解(やるべきこと)、手段(どのようにする)**を常に分析、確認する仕組みを構築すること。その上で、運用をベースとしたニーズを明確にすることが必要。
- ・運用環境が重要であり、宇宙では「**運用設計**」を設定し、運用時の必要な機能を明確にして、それを実現するよう検証をする。データを全て残し、**トレーサビリティを確保**する。
- ・**TRL管理を確実に**行き、ステップを進め実現する。**基準を設定し、客観的に満足**していることがわかる管理を行う。
- ・条件を超える事態等、設計の変更には、**リスク評価を実施し、リスクマネジメント**をすることで設計や検証計画を固めて行く。
- ・**ゴール**(途中で変わらない目的)を明確にして、**ニーズ**(ステークホルダーの明示的・非明示的要望)と**要求**(実現の手段、ものづくりの規格・基準やその検証の内容)が一致していることを**ステップステップでタイピング**すること(確認する)、検証目的に即した**コンフィギュレーション管理**が重要である。

2018年12月18日

廃炉検討委員会

運営タスクチーム

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会

福島第一サイト

日本原子力研究開発機構 楢葉遠隔技術開発センター 視察報告

昨年度に引き続き、2018年11月6日に福島第一サイトと楢葉遠隔技術開発センターの視察を実施した。視察の概要を以下の通り報告する。

添付資料：視察スケジュール(添付1)、参加者アンケート(添付2)

I. 視察内容

1. 東京電力HD 福島第一原子力発電所サイト

(1) 視察設備・ルート

東電旧エネルギー館(富岡町)から1Fサイトに移動、現況説明を受けた後、管理区域内に立入り、1~4号機外観、凍土壁設備、処理済水タンクヤード、汚染水処理設備他を構内バスで約1時間視察した。



(2) 主な説明内容

- ・現在、1F 見学を積極的に実施している。昨年度は 12500 人、今年は 10 月までで 10000 人以上に見学してもらっている。
- ・1～3 号機は冷温停止状態を継続。港湾内の放射性物質濃度も事故直後と比較し $1/10^6$ まで低下。
- ・凍土壁、サブドレン、フェーシング等の重層的な対策により汚染水発生量を低減。降雨の影響を受けるのはフェーシングしきれない部分(建屋直近など)からの浸み込みによる。
- ・労働環境も改善され、一般作業服エリアが全体の 96%に拡大した。個人被ばく線量の管理も徹底している。
- ・1～2 号機間のスタックは解体に向けて他所でモックアップ中。
- ・1 号機はオペフロの瓦礫撤去作業中。建屋カバーを取り外したため、スプリンクラー8 基で散水してダストの飛散防止を図っている。
- ・汚染水タンクはフランジ型を溶接型に変更中。使用済タンクが多く並べられている状態。

(3) 主な質疑

- ・1 号機など、オープンな環境で作業されている印象だったが、排気や排水の核種濃度は管理されているか。
 - 管理している。雨水も堰の途中で分析ポイントがあり、基準値以上のものは排水しない。ダストモニタも放射能の基準値を超えたことはない。
- ・5,6 号機は津波の形跡が見られなかったが、被害はあったのか。
 - 5,6 号機も津波は建屋内に進入した。現在は片付けており、線量率も低い。
- ・地下水の進入量削減に向けた対策は？凍土へ気は効果があったのか。
 - 雨水対策として、サブドレンの強化、建屋の修復などを進めている。2020 年には降雨時も 150t に抑えることが目標。
 - 凍土壁は壁の内外で地下水位 4m 差があり、効果が出ていると考えている。当初 10 億円/年で設計していたが、現状は $1/3\sim 1/2$ 程度のコストで運用している。
- ・汚染水のタンク保管の限界は？トリチウム以外の核種を再処理するとどのくらいかかるか。
 - タンク容量の限界は 2022 年 12 月ごろとの試算。137 万トンまで。仮に希釈するとしてもそのためのインフラ整備が必要で、時間的にもあまり余裕がない。方式が決まらないと具体的対策が進められない。
- ・使用済の吸着塔や使用済燃料の乾式キャスクはどこにある？
 - 屋外に貯蔵している。
- ・汚染水タンクはどこで作っている？使用済のフランジタンクはどうするか。
 - 外部で製造し運んでいる。今後は構内で作っていきたい。フランジタンクは除染できれば溶融、再利用したい気持ちはある。議論はこれからの状況。

2. 日本原子力研究開発機構 楢葉遠隔技術開発センター

(1) 視察設備、試験体

研究管理棟で概要説明を受けた後、VR システムを体験、試験棟でロボット試験用水槽、止水技術実証試験装置、モックアップ階段、モーションキャプチャ設備を見学した。

(2) 主な説明内容

- ・本センターは共同利用施設で、利用者数は 38 件(16 年度)、64 件(17 年度)と増加している。今年度はこれまで 50 件程度。17 年度の内訳は、産業界(32 件)、大学(15 件)、残りは政府関係。産業界は防災やロボット関係。1F 関連が多いが他分野の利用もある。
- ・試験棟では人材育成プログラムによる廃炉創造ロボコンを実施。次回開催に向けた試験体を作成中。

(3) 主な質疑

- ・センターは利用者の利用料金で成り立っている？
→国の資金で運用している。できるだけ使ってほしい。
- ・福島ロボットテストフィールドとの関係は？
→目的に応じて使い分けてもらおうとよいと思う。テストフィールドは屋外で広い。防災関係の試験が多い。JAEA は建屋内で、条件を変えて試験ができる。
- ・モーションキャプチャは実環境では風の影響なども考慮が必要と思うが、設備は風を出せるか？
→扇風機などで風を当てることはできる。
- ・自前のロボット開発は実施しているか。
→東海の研究炉を対象とした開発を行なっている。

II. まとめ

今回の視察は ANFURD(学協会連絡会)より多く参加いただいた。福島廃炉作業には原子力分野以外の多くの分野の技術や知見が必要であり、今回原子力関係者以外の視点で質問やコメントが得られたのは有意義であった。参加者からも視察に参加してよかったとの声が多く聞かれており、今後の ANFURD の活動にも役立てていただけることと思う。

廃炉委員会での視察は 2 回目であったが、通常の見学ルートでは物足りないとの意見もあった。一方、多くの方に現地の状況を直接見ていただくことにも意義がある。アンケート結果も参考にしながら、次回以降の視察計画を検討していく。

(添付1)視察スケジュール

■視察日 11月6日(火) 参加者 15名

時間	場所
7:50	集合：いわき駅南口 ミスタードーナツいわき駅前ショップ前
～9:30	移動：いわき駅→旧エネルギー館
9:30～13:10	東京電力HD 福島第一原子力発電所視察
13:10～13:20	移動：旧エネルギー館→さくらモールとみおか
13:20～14:00	昼食休憩：さくらモールとみおか
14:00～14:30	移動：さくらモールとみおか→JAEA 櫛葉センター
14:30～15:30	日本原子力研究開発機構 櫛葉遠隔技術開発センター見学
～16:30	移動：JAEA→いわき駅
16:30	解散：いわき駅南口ロータリー

○福島第一サイト

時間	内容	場所
9:30	旧エネルギー館 到着	旧エネルギー館
09:35-09:55	[バス移動] 旧エネルギー館 ～ 協力企業棟	東電構外移動バス
10:00-10:50	ご挨拶ご本人確認概要・ルート・入構案内等ご説明 ◆配付資料 ・視察ルート図 ・福島第一原子力発電所の現状と今後の対応について ・1F2F概要と津波被害状況 ◆上映ビデオ ・福島第一原子力発電所は今【9分】	協力企業棟 208 会議室
10:55-11:15	一時立入許可証、個人線量計の貸与	入退域管理棟
11:15-12:05	福島第一原子力発電所 構内視察（降車なし）	構内移動バス
12:05-12:20	身体スクリーニング個人線量計、一時立入許可証の返却	入退域管理棟 VIP室
12:25-12:45	質疑応答アンケート ご帰着準備	協力企業棟 208 会議室
12:50-13:10	[バス移動] 入退域管理棟前 ～ 旧エネルギー館	東電構外移動バス
13:10	旧エネルギー館 発	旧エネルギー館

○櫛葉遠隔技術開発センター

時間	内容
14:30～14:40 (10分)	施設の概要説明
14:40～15:00 (20分)	VR体験
15:00～15:15 (15分)	試験棟内部設備の説明
15:15～15:30 (15分)	質疑応答

(添付 2) 参加者アンケート

1. 福島第一原子力発電所 視察

(1) 視察のご感想はいかがでしたか。該当するものを一つお選びください。

- A. 大変満足 7名、B. やや満足 2名
C. 普通 D. やや不満 E. 大変不満 0名

(2) 視察に参加してよかった点をお書きください。

- ・ 1Fの最新状況が把握できました。
- ・ バスの中からでしたが、事故炉のすぐ横まで行くことができ、感動しました。でもそれ以上に、作業をされている方々、計画管理を遂行されている方々、本当にご苦労様、と思いました。ここまで整理できた、という印象はなく、むしろ、広い敷地をうまく利用して工夫しながら、進めておられるのを目の当たりに出来て良かったです。
- ・ 東電福一の現状や課題がおぼろげながら判った
- ・ 現状の福島第一原子力発電所の状況を確認できた。
- ・ 現地の状況を自らの眼で確かめ、現状を正しく理解することができました。
現地におけるリスク管理を肌で感じることができました。
現地関係者の尽力を目の当たりにすることができ、改めて、感謝の念を覚えました。
- ・ 以前訪問した時から格段に進んでいる。2号機と3号機の間は、以前は線量が高すぎて近付けなかったが、今回は通過ができた。
- ・ 廃炉の現状を現地で肌で感じる事ができ、また檜葉町から1Fに至る帰宅困難区域の沿道も自分の目で見る事ができたこと。
- ・ サイト内の現状、特に作業環境が大幅に改善されているところなどが知れて良かった。まだ建屋の屋根を修理したり、建屋周辺のフェーシングなど汚染水の発生量を抑えることができる余地があることを知れたのも良かった。加えて、サイト周辺の帰宅困難区域の広さなどがわかり、全ての廃炉作業をサイト内で行う必要性がないことを感じたのも、今後のタンク置き場の議論の参考になった。
- ・ 場内における作業の様子、事故による破損の状況、構内における線量率等のモニタリングの状況がわかったこと。また、粉じん等飛散防止対策がわかったこと。

(3) 視察に参加したが不満足だった点をお書きください。

- ・ 仕方がないことですが、現場で、バスを降りて見学したかった。事故炉の近くは無理でしょうが、高台あたりは降りたかった。
- ・ 構内には廃棄物処理施設など数多くあるが、見学時間の関係が見られなかったこと
- ・ バスから降りて、視察できる場所があればより良かったと思いました。
- ・ リスク管理のためでしょうが、身分の確認が厳しすぎるように感じました。写真撮影制限をもう少し緩めていただくと良いと感じました。
- ・ 港湾付近で工事が行われており、港湾の近くに行けなかったことが残念。視察のコースに入っていなかったが、環境試料を分析をしている場所なども見てみたかった。

2. 檜葉遠隔技術開発センター 見学

(1) 見学のご感想はいかがでしたか。該当するものを一つお選びください。

- A. 大変満足 6名、B. やや満足 2名、C. 普通 1名
- D. やや不満 E. 大変不満 0名

(2) 見学に参加してよかった点をお書きください。

- ・ 廃炉に向けての最新技術が理解出来ました。
- ・ 解析だけでなく、実験により検証をされているのが良かった。
- ・ VR を使ったり、段ボール紙で模型を作るなど、出来る範囲で工夫されているのは、もっと広く宣伝しても良いのではないか、と思った。原子力の研究は、多額の予算を使っていると誤解している向きも多いので。
- ・ 現在の廃炉へのアプローチ方法の状況が一部であるが見ることができた
- ・ VR の体験ができ、今後の廃炉作業に役立てれることを実感できた。
- ・ 初めての施設見学ですので、なされていることを理解できました。
- ・ 初めての訪問で、どのような研究開発が行われているか分かった。VR 技術の利用も実感できた。
- ・ センターを積極的に研究開発に利用してもらおうという活動を知ることができたこと。
- ・ 最新の設備が導入されていることを知れて、大変心強く思った。また、共同利用施設であるなどの情報を得られて良かった。
- ・ VR の体験ができたこと

(3) 見学に参加したが不満足だった点をお書きください。

- ・ タイミングにもよるが、実験装置を実演してほしかった。
- ・ 実験場にあまりそれらしい施設やロボットなどの設備がなく、残念であった。
- ・ 時間があれば、モックアップ試験体の中を見学させていただきたかった。
- ・ 大型装置は中が見えず、若干内容を掴みきれないところがあった。
- ・ やや時間が短かった点を除いて特に見学自体に不満はないが、必ずしもいつも稼働をしている状況ではないような点が気になった。

3. 全体を通して：現地調査全体を通してのご感想、ご意見、ご要望をお聞かせください。
- ・ 行程につきまして、臨機応変にご対応していただければ幸いです。
 - ・ あれだけの事故が起きてしまったことは、時計を過去には戻せないのです、仕方がないが、被害を受けた方々、亡くなった社員の方々のためにも、少しでも良い未来のために、努力されている姿は、日本全国で共有すべきと思う。
 - ・ 廃炉作業の検討を行う上でも、現地調査は多くの方に体感してもらうことが望ましいと考えます。
 - ・ 目的を設定しそれに沿って見学コースと質疑時間を設定するのも一法と感じました。たとえば、現状視察のみ、リスクとリスク管理方法、作業工程と管理などです。
 - ・ 私は今回が初めての見学会参加でしたが、廃炉の現場を直接見ることでいろいろ学ぶことができました。また機会があれば参加したいと思います。
 - ・ 視察そのものに関しては、大変満足している。ただ、廃炉検討委員会が以前から議論しているような現地でのニーズを拾うような場がなかったことが残念かと思う。ただ、現地ニーズを聞くのであれば、視察メンバーをセレクトするなどの対応は必要かと思う。
 - ・ 廃炉作業の進捗に応じてまた企画していただけるとありがたい。

(その他)

- ・ 当学会（計測自動制御学会）でも福島第一を見学したいという会員が数名おり、このような見学会を学会として企画可能か、あるいは個別に申し込み可能な見学会があれば情報をいただきたいと思えます。

「燃料デブリ」研究専門委員会 活動報告

(1) 研究専門委員会の設立趣意

大石 佑治 大阪大学

日本原子力学会 2018年秋の大会
2018年9月5日－7日
岡山大学津島キャンパス

「燃料デブリ」研究専門委員会活動報告

「燃料デブリ」研究専門委員会の設立の経緯と目的

- 福島第一発電所(1F)事故において、核燃料（燃料ペレットと被覆管）に関する技術課題が山積
 - これらの課題を核燃料の専門家の視点から検討し、1Fにおける様々な取組に寄与
- ➡
- 2011年8月に核燃料部会において、「溶融事故における核燃料関連の課題検討ワーキンググループ」設立
 - 2年間活動
 - SAに関する研究状況を整理し、課題を抽出

「燃料デブリ」研究専門委員会の設立の経緯と目的

1Fから数年が経過し、

- 事故時の状況が少しずつ明らかになりつつある
- 1F廃止措置に関わる燃料デブリ取出し方法の検討およびその技術開発が進み、SA研究にも進展がみられる

- ➡ 2016年6月、「燃料デブリ」研究専門委員会設立
- 今後の1F廃止措置にかかる取り組みや、SA研究への反映を目的とする
 - 燃料溶融や燃料デブリ等に関する最新の知見やデータに基づき、**多角的な視点から**調査・検討し、課題を整理して提言としてまとめる

活動の概要

- 本研究専門委員会は2016年6月1日から2018年3月31日まで活動
- 委員数は58名（2018年3月時点）
 - 核燃料部会に所属している委員は半数以下
 - 半数以上は核燃料部会以外の様々な部会に所属
- R&Dの現状調査と共通の知識基盤の提供を目的として計5回の講演会（講演11件）を開催
- 4回の会合を実施し、スコープと進め方について議論
 - タスクチームを設置し、それぞれの分野の技術課題について、課題に関連する専門家による検討を実施

委員一覧

主査 阿部 弘亨 (東京大学)

幹事 伊藤 邦博 (ニュークリア・デベロップメント株式会社)、安部田 貞昭 (元 三菱重工業株式会社)、尾形 孝成 (電力中央研究所)、中村 勤也 (電力中央研究所)、鈴木 晶大 (日本核燃料開発株式会社)、大石 佑治 (大阪大学)、高野 公秀 (日本原子力研究開発機構)

委員 鈴木 嘉章 (原子力安全推進協会)、高木 直行 (東京都市大学)、木下 幹康 (東京大学)、小無 健司 (東北大学)、有田 裕二 (福井大学)、佐藤 宗一 (日本原子力研究開発機構)、芹澤 弘幸 (日本原子力研究開発機構)、宇埜 正美 (福井大学)、野瀧 友博 (ニュークリア・デベロップメント株式会社)、松永 純治 (グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン)、手島 英行 (三菱原子燃料株式会社)、杉山 智之 (日本原子力研究開発機構)、山口 徹治 (日本原子力研究開発機構)、北田 孝典 (大阪大学)、内藤 俣孝 (株式会社ナイス)、奥村 啓介 (日本原子力研究開発機構)、Van Rooijen (福井大学)、中島 健 (京都大学)、名内 泰志 (電力中央研究所)、小原 徹 (東京工業大学)、出水 丈志 (株) 荏原製作所、馬原 陽一 (三菱日立パワーシステムズ株式会社)、長澤 克己 (東京電力ホールディングス(株))、高木 純一 (株) 東芝、竇重 宏明 (東京電力ホールディングス(株))、豊原 尚実 (株) 東芝、星野 国義 (日立GEニュークリア・エナジー株式会社)、大貫 敏彦 (東京工業大学)、横山 武 (三菱重工業株式会社)、川野 昌平 (株) 東芝、福谷 耕司 (原子力安全システム研究所)、加治 芳行 (日本原子力研究開発機構)、根本 義之 (日本原子力研究開発機構)、勝山 仁哉 (日本原子力研究開発機構)、谷本 浩一 (三菱重工業株式会社)、鈴木 博之 (エネルギー総合工学研究所)、古谷 正裕 (電力中央研究所)、鈴木 達也 (長岡技術科学大学)、高橋 優也 (株) 東芝、坂村 義治 (電力中央研究所)、鷲谷 忠博 (日本原子力研究開発機構)、津幡 靖宏 (日本原子力研究開発機構)、鈴木 俊一 (東京大学)、山路 哲史 (早稲田大学)、吉田 啓之 (日本原子力研究開発機構)、中村 京春 (株式会社三菱総合研究所)、酒井 幹夫 (東京大学)、三浦 弘道 (電力中央研究所)、三輪 周平 (日本原子力研究開発機構)

5/10

講演題目一覧

項目	講演タイトル	講演者
事故進展解析等による燃料デブリ形成過程と分布	解析・評価等による燃料デブリ分布の推定について	戎家 津雄 (IRID)
	OECD/NEA BSAFプロジェクトにおける福島第一原発の事故進展解析	内藤 正則 (IAE)
	1F事故進展の不確かさとJAEAにおける研究例	佐藤 一憲 (JAEA)
燃料デブリの特性と性状	燃料デブリ性状把握研究の成果概要-U 含有模擬デブリ、TMI-2 との比較検証-	高野 公秀 (JAEA)
	燃料デブリ性状把握研究の成果概要 -大規模MCCI 試験、MOX 模擬デブリ等-	北垣 徹 (JAEA)
FP 放出及び移行	軽水炉シビアアクシデント時のFP挙動評価	三輪 周平 (JAEA)
燃料デブリ取り出し方法	IRID における燃料デブリ取り出し技術の開発	高守 謙郎 (JAEA)
臨界管理方法	1F燃料デブリ取り出し時臨界管理技術の開発状況	原田 康弘 (三菱重工業(株))
線量分布評価と放射線遮へい	1F廃炉作業に向けたプラント内線源・線量率分布評価手法開発	奥村 啓介 (JAEA)
燃料デブリ・損傷燃料の保管と処理	燃料デブリ特性把握と化学処理	池内 宏知 (JAEA)
その他	TMI-2 事故での燃料デブリ取出しの経緯と概要	鷲谷 忠博 (JAEA)

6/10

79

タスクチームの設置

- R&Dの現状調査（講演会）を踏まえて抽出される技術課題について、課題に関連する専門家による深掘り作業を行う
- タスクチームでの作業成果を委員会に報告し、委員会での課題の整理・提言の纏め作業に資する
 - 「事故進展」タスクチーム（8名）
チームリーダー：電力中央研究所 尾形委員
 - 「デブリ性状」タスクチーム（10名）
チームリーダー：日本原子力研究開発機構 高野委員
電力中央研究所 中村委員

7/10

本委員会の構成

燃料デブリ研究専門委員会

- 多くの部会員から構成
- 活動のベースとなる講演会を開催
- 委員数 58名

課題を深掘り
検討結果の提示

多角的視点から検討
課題を提案

事故進展
タスクチーム

8名

デブリ性状
タスクチーム

10名

8/10

80

まとめ

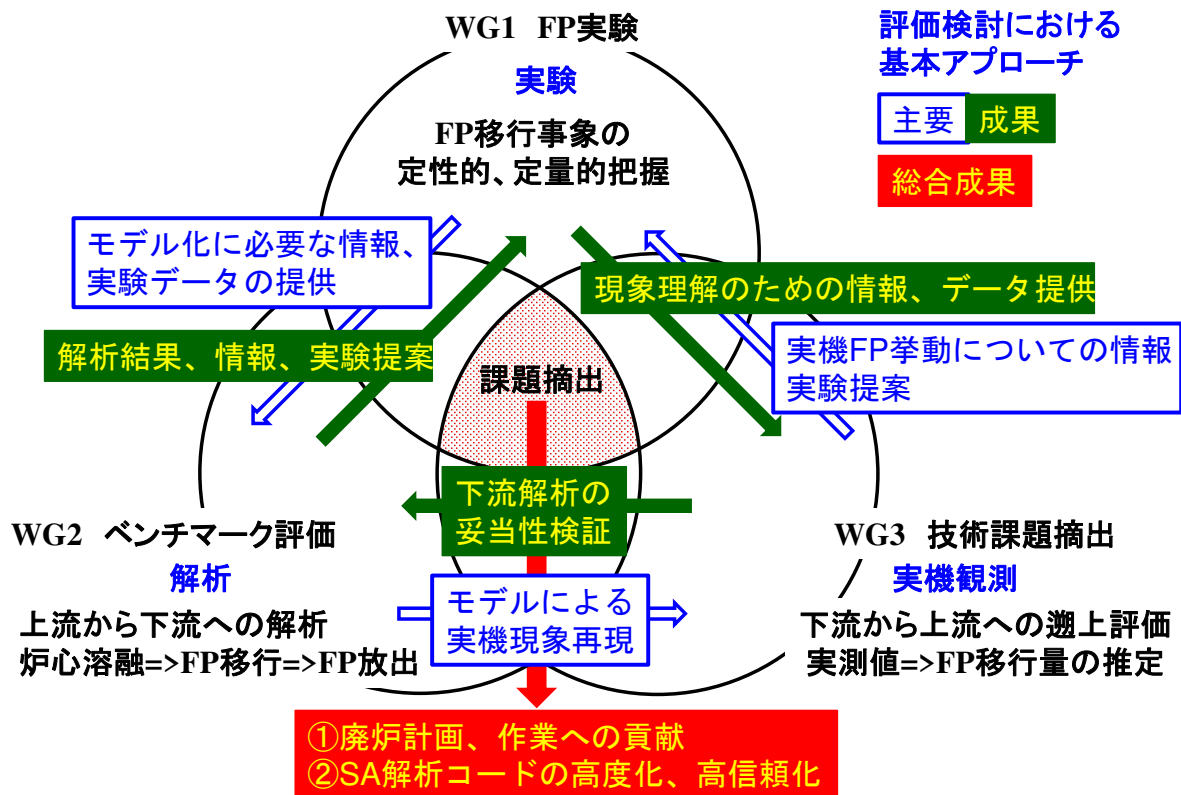
- 「燃料デブリ」研究専門委員会は、多くの部会の協力の下、核燃料部会が中心となって2016年6月から2018年3月まで活動
- 燃料溶融や燃料デブリ等に関する最新知見やデータに基づいて多角的な視点から調査検討し、課題を整理し、提言としてまとめた
- 報告書を10月頃を目途に取りまとめる予定

日本原子力学会
「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」
研究専門委員会の活動現況

水化学部会
高木純一
内田俊介

3つのWGの役割分担と主要成果

No. 1



本委員会活動

第5回委員会(2018年11月15日、於エネ総研702会議室:出席者25名)

- ・ 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・駒氏)
- ・ 燃料デブリの基礎性状について (JAEA・高野氏)
- ・ WG 進捗状況 (担当幹事)
- ・ 2019年春の年会企画セッションの計画案 (JAEA・内田幹事)
- ・ 委員会延長と技術報告書の紹介 (JAEA・内田幹事)

第6回委員会(2019年3月12日、於エネ総研702会議室:出席者23名)

- ・ 会議の方向:本委員会の2年延長について (JAEA・内田幹事)
- ・ 講演1「戦略プラン2018の概要」 (NDF・福田氏)
- ・ 講演2「原子力学会2019年春の大会の企画セッションの概要」
「核分裂生成物と燃料デブリの比較—廃炉作業時の影響比較の観点より」
(電中研・中村氏、JAEA・宮原氏、JAEA・逢坂幹事、東芝ESS・高木幹事)
- ・ 3つのWGの活動状況報告 (担当幹事)

なお、本研究専門委員会は**2年間の延長**が決定し、2021年春に4年間の成果として、**委員会報告書**の出版を予定。

WG活動 <WG1:FP実験>

第5回会合(2018年11月2日、於エネ総研、出席者15名)

- ・ WG 成果物についての議論 (JAEA・逢坂幹事)
- ・ 1F 原子炉建屋内の除染 (東芝ESS・矢板委員)
- ・ Sr、I の化学 (名大・澤田委員)
- ・ SAMPSON による FP 移行挙動解析および 1F 廃炉に向けた取り組み (IAE・木野委員)
- ・ 非溶解性中性吸収材の開発と 1F への花王の取組 (花王・牛尾氏)

第6回会合(2019年2月19日、於エネ総研、出席者15名)

- ・ WG 成果物についての議論 (JAEA・逢坂幹事)
- ・ FP に係る計算科学 (JAEA・町田委員)
- ・ FP 実験のための施設 (NDC・野瀬委員)
- ・ FP 放射性粒子の性状評価 (NFD・鈴木氏)

WG活動 <WG2:ベンチマーク評価>

第5回会合(2018年10月10日、於エネ総研、出席者7名)

- ・ 1F1解析によるFP挙動の把握 (アドバンスソフト・氷見委員)
- ・ FPモデルの検討 (エネ総研・唐澤幹事)
- ・ FP放出挙動からのプラント状態推測 (エネ総研・唐澤幹事)

第6回会合(2018年11月21日、於エネ総研、出席者9名)

- ・ 日本分析センター観測値からの放出源情報 (アドバンスソフト・氷見委員)
- ・ WSPEEDIからの放出源情報 (エネ総研・唐澤幹事)
- ・ BSAF解析結果の概要(1F2 & 1F3) (エネ総研・唐澤幹事)

第7回会合(2019年2月6日、於エネ総研、出席者9名)

- ・ FP放出モデルの検討;コード間モデルの比較 以下すべて全体議論
- ・ PCV内FP沈着モデルの検討;CAMSデータとの比較
- ・ スクラビングモデルの検討;WSPEEDIや観測値との比較
- ・ 化学形態の検討;敷地内デブリ調査結果との比較

WG活動 <WG3:技術課題抽出>

第4回会合(2018年11月15日、於エネ総研、出席者15名)

- ・ 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・肥田氏)
- ・ 核分裂生成物の基礎性状について (JAEA・宮原委員)
- ・ 今後の進め方

第5回会合(2019年3月12日、於エネ総研、出席者14名)

- ・ 講演1:福島第一・1号機原子炉建屋環境改善の取組み (日立GE・関上氏)
- ・ 講演2:汚染水の現状とその評価手法 (エネ総研・木野氏、JAEA・内田幹事)
- ・ 今後の進め方

◆ 企画セッションの概要(1/2)

企画セッション 合同セッション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、
核燃料部会、水化学部会 合同セッション

3月21日(木) 13:00～14:30 茨城大学 D会場

「核分裂生成物と燃料デブリの比較 - 廃炉作業時の影響比較の観点より」

座長 (東芝ESS・高木幹事)

- (1) 燃料デブリの基礎特性と事故時のふるまい (電中研・中村委員)
- (2) 核分裂生成物の基礎特性と事故時のふるまい (JAEA・宮原委員)
- (3) 廃炉作業時に想定される燃料デブリと核分裂生成物の挙動の比較
(JAEA・逢坂幹事)
- (4) 廃炉作業時の放射性物質管理の留意事項 (東芝ESS・高木幹事)

全体討論とまとめ

座長 (東芝ESS・高木幹事)

2019年春の年会 企画セッション(2/5)

◆ 企画セッションの概要(2/2)

- 「シビアアクシデント時の核分裂生成物(FP)挙動」研究専門委員会が核燃料部会、水化学部会と合同して題記企画セッションを実施した。
- まず、燃料デブリとFPそれぞれの基礎特性と事故時挙動を電中研、JAEAから報告した。
- その後、研究専門委員会の議論の成果として、廃炉時の両者挙動の比較と被ばく特性の相違点を、“**デブリ随伴FP**”と“**付着FP**”とに分類してJAEAが報告した。特に、核種ごとの被ばく影響を簡易的に試みた。
- これを受け、まとめとして、現場での放射性物質管理の留意事項を座長から報告した。
- フロアとのディスカッションでは、規制との対応、内部被ばくの考え方、FPマップ策定の必要性、等、多岐にわたり質疑がなされ、今後、現場データの一層の拡充とフィードバックが必須であることを確認して閉会した。
- 100人超の聴講があり、会場は立ち見も出る盛況であった。

◆ 主要な質疑応答(1/2)

- ◆ これまでのUO₂-ZrO₂状態図には、UO₂側(立方晶)とZrO₂側(単斜晶)にそれぞれ低温まで溶解度があったが、発表に使われた状態図には低温域に溶解度がない。検証はなされているか？
⇒ 縦軸の温度はケルビン(K)である。2018年の最新の状態図を使用している。
- ◆ PCV内壁にはエポキシや亜鉛等の塗膜が形成されているが、この塗膜中の有機物とFPとの相互作用について検討しているか？
⇒ ヨウ素とペイント反応による有機ヨウ素の研究はなされている。
- ◆ 規制との整合性や今後の対応についての見通しについてどう考えているか？
⇒ まずはこれから得られる1Fサンプル分析結果との対照などを通じて、検討して行きたい。しかし、現時点では、規制対応について議論できる段階までの情報把握、整理はできていないと考える。
- ◆ Am-241やPu-239の内部被ばくが重要との指摘だが、PCV内部はロボットで対応すると考えられる。内部被ばくを検討する意義があるのか？
⇒ 今回は簡易的な評価手法の提案であり、核種の重要度を検討する際に視点に入れて行きたいと考えている。
- ◆ 環境放出量、汚染水、等のインベントリ比は抑えているか？
⇒ 内田先生の評価にあるが、汚染水の中に存在するFPが多く重要である。ただし、不確かさも大きい。

◆ 主要な質疑応答(2/2)

- ◆ FP分布のマップに相当するものはあるのか？ラフなものでもまず提示することが必要。継続的にブラッシュアップし、システムティックなアップデートの体制・仕組み構築を期待する。
⇒ IRID事業で行われた炉内状況把握のためのプロジェクトにおけるFP分布推定図などが挙げられるであろう。現在、まだそのような体制・仕組みはできていない。
⇒ SAMPSONでは41区画に分けたFP分布解析をしているが、それでも不十分であり、今後詳細解析をしていく予定。
- ◆ 当初は、FP研究専門委員会と燃料デブリ研究専門委員会が両輪となって進める方針だったが、後者が終了してしまった。今後のFP分布評価において、燃料デブリとFPの双方の専門家から構成される体制が委員会の中に必要ではないか？
⇒ 例えば、デブリからのFP再放出は重要な課題であり、それらを専門の立場から物質科学的に評価することは必要であり、WG-1~3が連携して行く必要がある。体制構築については今後の検討課題としたい。

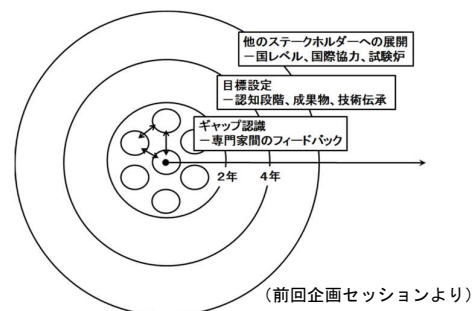
◆ 全体総括

- ◆ 今回、デブリとFPの比較を通して“デブリ随伴FP”と“付着FP”の考え方を提示した。
- ◆ 今後、現場データのフィードバックを受け、仮説や解析の検証を行って行きたい。

◆ 今後の進め方

1. 本研究専門委員会では、2年間の延長に伴い、2021年3月に4年間の活動成果を技術報告書としてまとめる予定である。
2. 各WG(実験、解析、課題抽出)の活動をさらに充実させるとともに、燃料デブリ取り出しを念頭においた検討を、専門家を交えて進めて行く。
3. 現場からの情報(サンプリング分析結果、等)を適切に議論に取り込み、以下の両輪を有効に回して行く。

- ① 廃炉計画、作業への貢献
- ② SA解析コードの高度化、高信頼化



日本原子力学会 廃炉委第4回シンポジウム



AESJ 日本原子力学会
Atomic Energy Society of Japan

「確実な廃炉のために今すべきこと」

事故炉の廃炉の全工程とホールドポイント

—抜粋—

2019年3月9日

宮野 廣

日本原子力学会 東京電力福島第一原子力発電所
廃炉検討委員会 委員長
法政大学 大学院 デザイン工学研究科 客員教授

目次

1. 学会の体制と活動
2. サイトでの作業と現状
3. 廃炉の全体概要
 - 3.1 国の方針(ロードマップ)
 - 3.2 作業を展開してみる—そこから見える課題
4. 開発の技術課題
5. まとめ—課題と解決の例

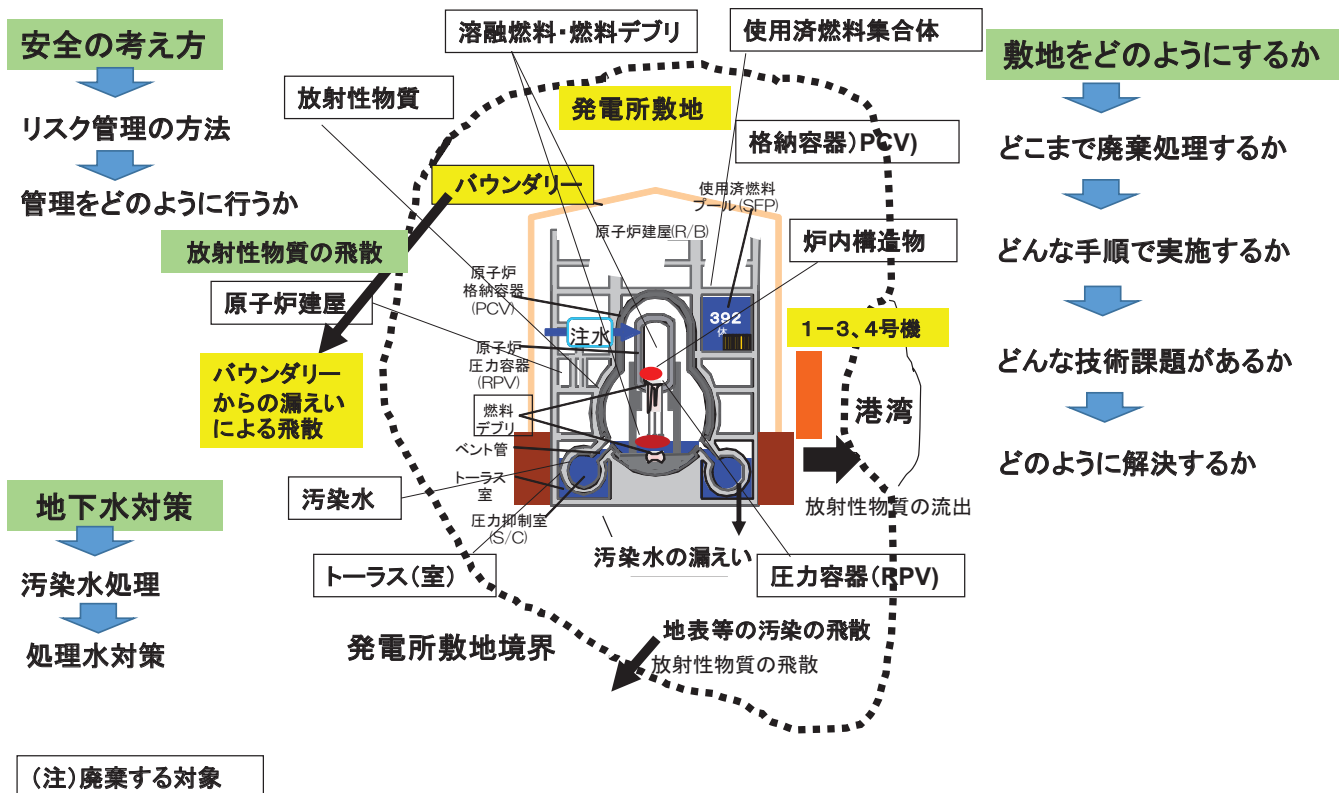
学会の体制 — 原子力学会福島第一原子力発電所事故に関連して

学会事故調の活動と廃炉検討委員会の活動のフォローへ

- ・学会事故調では、事故の直接要因、間接要因を分析し、教訓を取りまとめ [(注) 参照]、各ステークホルダーが実施すべきこと提言した。
- ・日本原子力学会は、真摯に反省し、長期に渡る廃炉の活動を支援すべく2014年6月、「東京電力福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」を設置し、活動してきた。これからも活動を続ける。
- ・福島第一の廃炉に向けての活動
 - 極めて長期に渡る、世界の原子力界でも初めての取り組みである。世界は深い関心を示すと同時に懸念もしている。
 - 学会・学术界全体に、深いかかわりと多くの貢献が求められている。
 - 学会は、定款変更し組織をあげてそれを支える活動をしている。学会の活動はボランティアなものであり、真に技術の視点に立った助言・苦言・支援が行えると同時に社会への説明責任を果たしていかなければならない。
- ・2021年の事故後10年の節目に向けて、提言の実績をフォローする。

(注)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 — 学会事故調最終調査報告書 — 丸善出版

福島第一の敷地復旧で何を考えなければならないか



福島第一原子力発電所 1-4号機の現状

- 1～3号機は安定状態を維持した上で、使用済み燃料プール内の燃料取り出しに向けた準備作業中（ガレキ撤去、除染、遮へい、取出用設備の設置等）。
- 事故時に溶けて固まった燃料（＝燃料デブリ）の取り出し方針を決定。今後、取り出しに向けた方法を検討。



出展：経済産業省資源エネルギー庁 原子力発電所事故収束対応室資料より

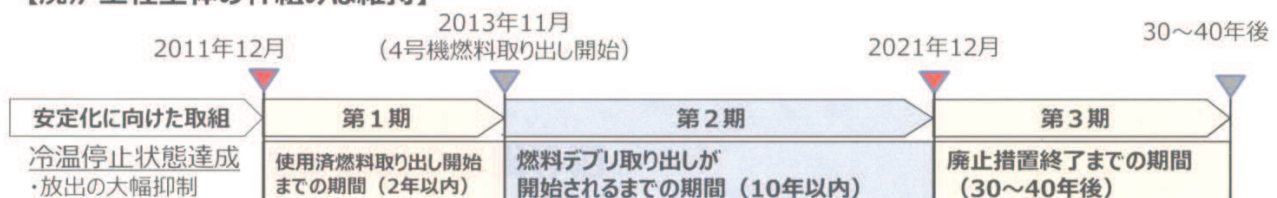
3. 廃炉の全体像概要 3.1 国の方針（ロードマップより）

福島第一の廃炉の国の方針＜目標工程（マイルストーン）＞

【対策の進捗状況を分かりやすく示す目標工程】

汚染水対策	汚染水発生量を150m ³ /日程度に抑制	2020年内
	浄化設備等により浄化処理した水の貯水を全て溶接型タンクで実施	2018年度
	① 1, 2号機間及び3, 4号機間の連通部の切り離し	2018年内
滞留水処理	② 建屋内滞留水中の放射性物質の量を2014年度末の1/10程度まで減少	2018年度
	③ 建屋内滞留水処理完了	2020年内
燃料取り出し	① 1号機燃料取り出しの開始	2023年度目処
	② 2号機燃料取り出しの開始	2023年度目処
	③ 3号機燃料取り出しの開始	2018年度中頃
燃料デブリ取り出し	① 初号機の燃料デブリ取り出し方法の確定	2019年度
	② 初号機の燃料デブリ取り出しの開始	2021年内
廃棄物対策	処理・処分の方策とその安全性に関する技術的な見直し	2021年度頃

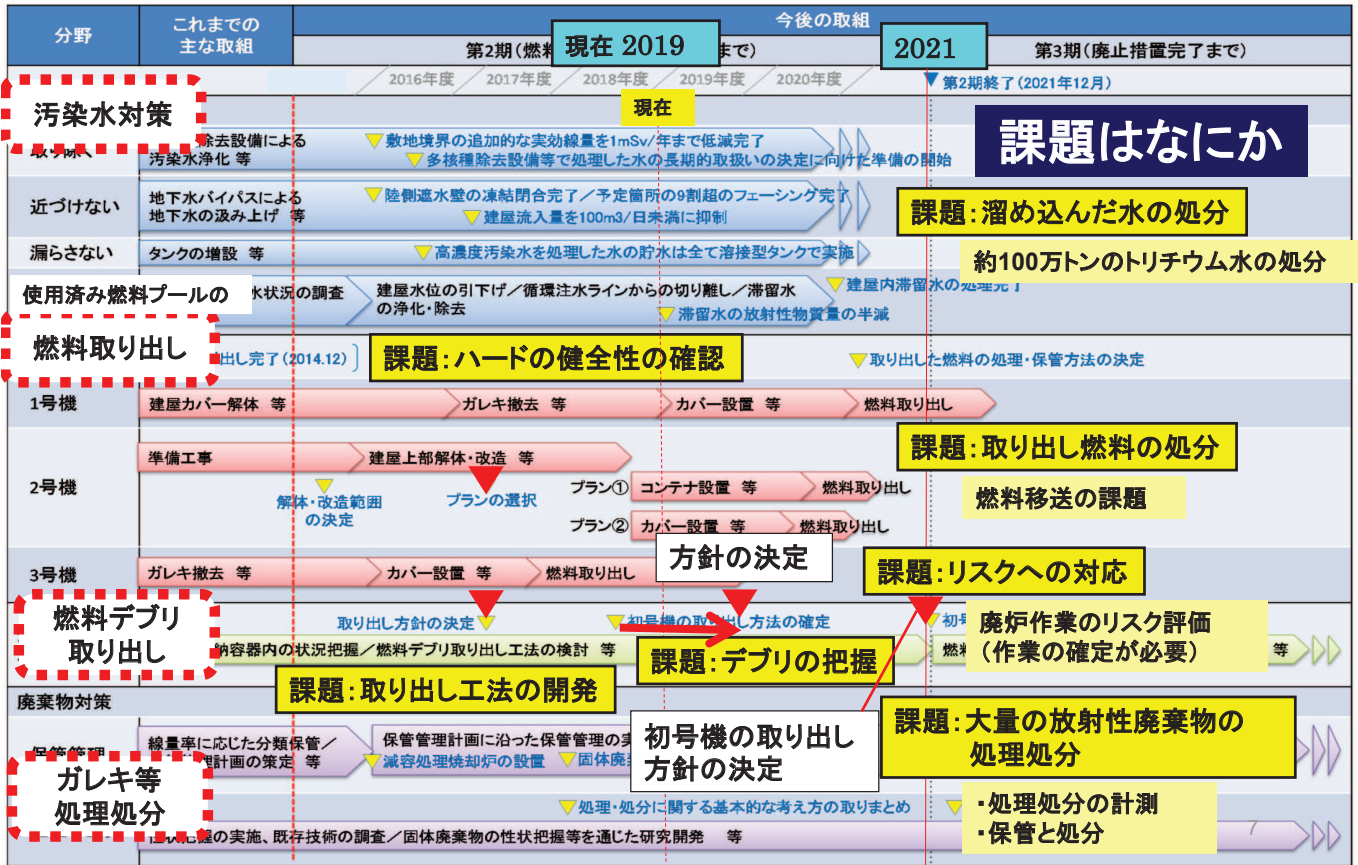
【廃炉工程全体の枠組みは維持】



出展：経済産業省資源エネルギー庁 原子力発電所事故収束対応室資料より

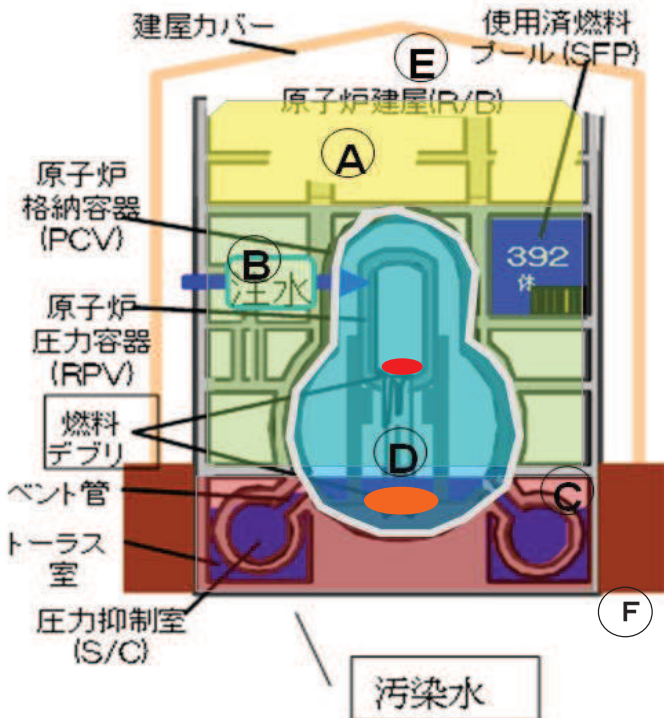
3.1 国の方針
 廃炉の全体概要これまでのRMの評価

当面のロードマップとこれに見る技術課題



3. 廃炉の全体概要

廃炉の領域と課題



領域 の分類と技術・課題

- A オペレーションフロア領域
高放射能への対応
- B 建屋・機器・配管 領域
バウンダリー確保と複雑な構造の除染
- C トーラス室領域
隔離(PCVから、地下水から)
- D PCV内(RPV 含む)領域
バウンダリー確保と除染、燃料デブリ取り出し
- E 建屋外周辺がれき領域
飛散防止と撤去の両立
- F 地下水領域
汚染土壌の除去

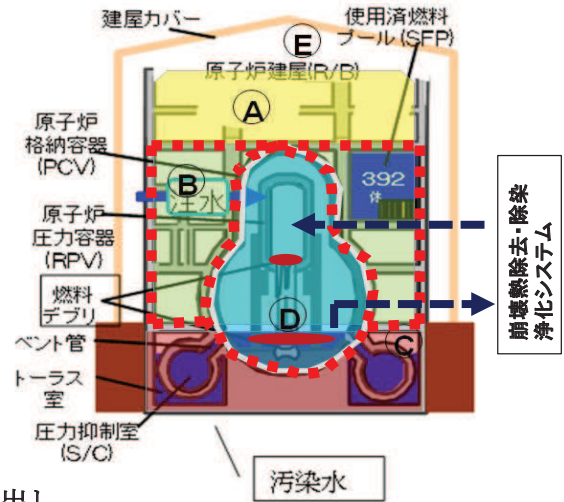
3. 廃炉の全体概要

廃炉の作業

様々な作業が考えられる。分類の例として以下の項目があげられる。
いずれも、必要な作業であるがどのように実施するか、どの順で実施するか、十分な検討が必要である。

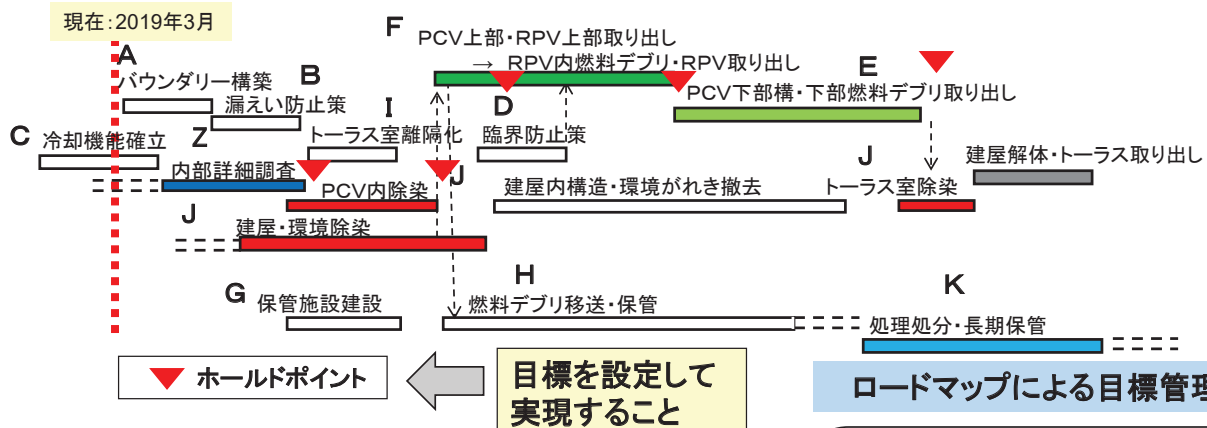
Z. 内部詳細調査

- A. PCV・原子炉建屋の閉じ込め機能確立
- B. 気相部の放射性物質の漏えい防止機能確立
- C. 溶融燃料・燃料デブリ冷却機能確立
- D. 臨界（防止）対応機能確立
- E. 横（上）アクセス工法によるPCV底部燃料デブリ取り出し
- F. 気中上アクセス工法によるRPV内燃料デブリ取り出し
- G. 溶融燃料等放射性廃棄物の保管施設の建設
- H. 溶融燃料等燃料デブリの移送と安全・安定保管
- I. トーラス室の密閉化・隔離化
- J. 除染（オペフロ・PCV内、RPV内、建屋内ほか）
- K. 処理・処分



3. 廃炉の全体概要
3.2 作業を展開してみる

廃炉の作業の工程例とホールドポイント

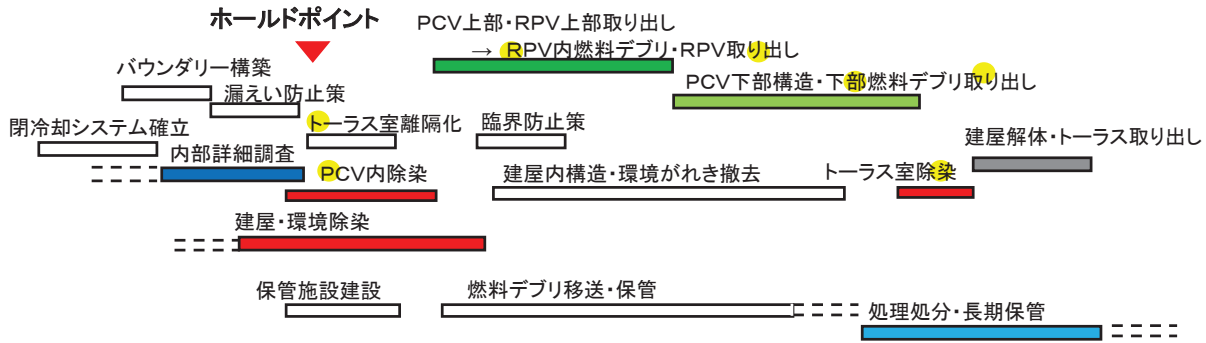


Z. 内部詳細調査

- A. PCV・原子炉建屋の閉じ込め機能確立
- B. 気相部の放射性物質の漏えい防止機能確立
- C. 溶融燃料・燃料デブリ冷却機能確立
- D. 臨界（防止）対応機能確立
- E. 横（上）アクセス工法によるPCV底部燃料デブリ取り出し
- F. 気中上アクセス工法によるRPV内燃料デブリ取り出し
- G. 溶融燃料等放射性廃棄物の保管施設の建設
- H. 溶融燃料等燃料デブリの移送と安全・安定保管
- I. トーラス室の密閉化・隔離化
- J. 除染（オペフロ・PCV内、RPV内、建屋内ほか）
- K. 処理・処分

○目標として、得たい時期得たいもの（技術）を明確にして設定する。
[夢であってはならない]
○責任を持つ者を置き、実現を図る。
○実現できた場合でも、できなかった場合でも、以降のプログラムを見直し、選択する。

廃炉の作業の工程例と技術課題

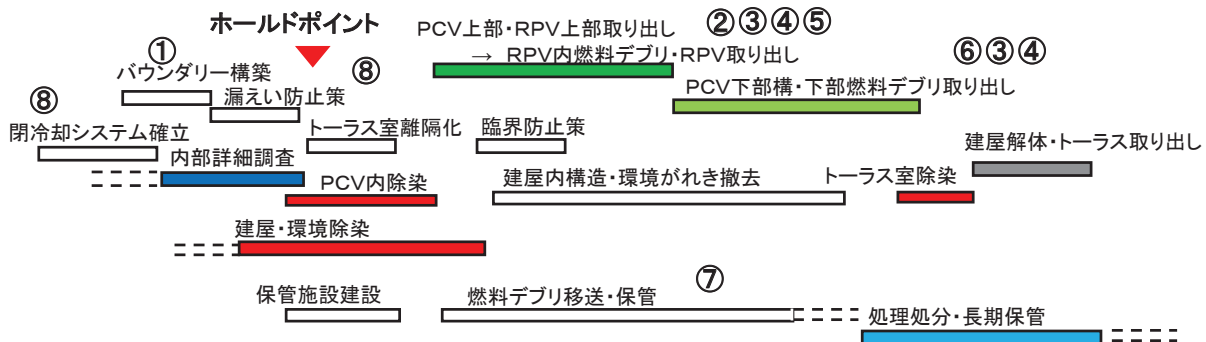


重要な課題 (● 技術開発に困難を有するもの)

- ① 内部詳細調査 (特にRPV内の燃料溶融状況の把握)
- ② バウンダリー構築 (PCV漏えい補修・トーラス隔離) とその工法
- ③ 動的バウンダリーの有効性評価
- ④ 除染方法 (PCV上部・内部除染方法[化学除染])
- ⑤ 閉冷却システム
- ⑥ 溶融燃料の取り出し方法・技術
- ⑦ 燃料デブリの切削・破断取り出し方法・技術
- ⑧ 自動機・ロボットの信頼性確保の方法と遠隔修復技術
- ⑨ 溶融燃料等燃料デブリの移送と安全・安定保管
- ⑩ 長期のリスク対応 (評価法と重要事象への対応) 等

○ホールドポイントの実現のためにどんな技術開発が必要か。
 ○階層的に開発項目と達成目標を作り上げる。
 ○いくつかの道を設けてリスクヘッジを行うことも方策。
 ○開発できた時点で、次の方向を検討して見直す。

廃炉の作業の工程例におけるリスク要因



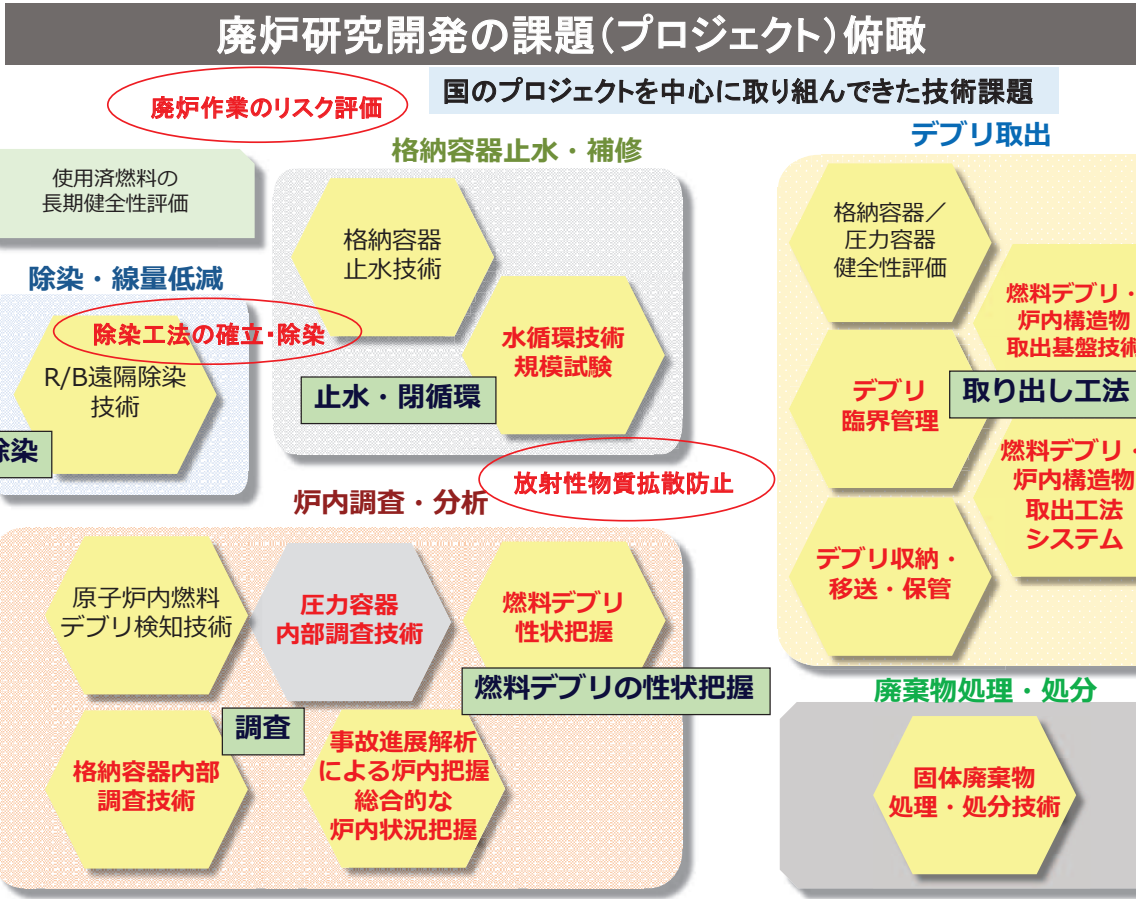
工法を選択で発生するリスク要因(例)

- ① 工事機器によるバウンダリーの損壊
- ② 工事機器によるデブリの損壊・拡散
- ③ 燃料・デブリの落下
- ④ 構造物によるバウンダリーの損壊
- ⑤ 構造物によるデブリの損壊・拡散
- ⑥ 水素ガスの蓄積(爆発)
- ⑦ 自然災害によるリスク要因の発生
- ⑧ 自然災害によるシステムの停止

放射性物質の放射

- バウンダリーからの放射
- 拡散量の増大による放射
- デブリの拡散の増大による放射
- 構造物の移動や破断による放射
- 同上 デブリの損壊による放射
- 水素ガス溜まりの放射
- 特に地震動による①-⑤の発生
- 特に地震動による冷却系、排気系などの停止

○リスク要因を抽出し、各工程でのリスクと選択した場合のトータルリスクを工法、技術でどのように異なるのかを比較評価して、選択の一助とする。[重要な判断データ]
 ○このリスク評価法を確立することが、重要な課題である。



5. まとめ

福島第一の廃炉の課題と取り組み

- 福島第一の廃炉は**国としてのプロジェクト**である。このプロジェクトを動かす全体の責任は誰が持っているのか。責任ある体制を明確に作るべきである。
- **ロードマップ**の例を示した。
- **実効性のあるロードマップによる開発を含むプロジェクト管理**が必要である。
- 特別の**廃炉の「安全目標」**を明確にすることが必要である。
放射線リスク、発生費用、工期、設計基準を明確にしなければならない。
- **目指すべき姿(エンドステート)**を見据えた**廃炉のシナリオ**が必要であり、**総合的な放射性廃棄物の取り扱い**を考えなければならない。
- 下記の**技術課題**がある。
 - ・シナリオの**見えない事象のリスク評価の在り方**
 - ・サイトのどのような姿を目指して、**廃炉作業を進めるか**
 - ・大きな**災害に対する健全性維持のあり方**
 - ・技術開発は何が必要で、どこまで進んでいるのか
例) 高放射線場での**作業ロボット・システムの開発**
遠隔自動装置の信頼性をどのように評価・確認すべきか
 - ・**国際社会との連携**をどのように進めるべきか

ご静聴いただきありがとうございました。

本報告書への御意見、お問い合わせは
廃炉委員会担当の下記まで御願います。

問い合わせ先 日本原子力学会事務局 廃炉委員会担当(安部・篠崎)
電話：03-3508-1261 Email：hairo@aesj.or.jp