

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
～研究開発課題の抽出と解決に向けた考え方～

報告書

平成 25 年 3 月

日本原子力学会

「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

目 次

1. はじめに	1-1
1.1 背景と目的	1-1
1.2 達成すべき目標と評価項目	1-2
2. 検討の前提となる事項の整理	2-1
2.1 検討の対象とする廃棄物と特徴	2-1
2.2 目標達成時期について	2-3
2.3 研究開発段階で得られる情報の制約	2-4
2.4 廃棄物管理との関連性	2-7
3. 研究開発の基本的な考え方	3-1
4. 計画	4.1-1
4.1 汚染水処理二次廃棄物	4.1-1
4.2 瓦礫／伐採木等	4.2-1
4.3 燃料デブリ／解体廃棄物	4.3-1
5. 研究開発推進上の諸課題	5-1
5.1 リソース、マネジメント等に関する課題	5-1
5.2 政府・東京電力中長期対策会議（現・東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進 会議）の方針等	5-1
5.3 プロジェクトの特徴	5-2
5.4 課題及び対策の検討	5-3
6. おわりに	6-1
6.1 委員会及び委員	6-1
6.2 委員会の活動	6-2

1. はじめに

1.1 背景と目的

1.1.1 背景

東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4号機は廃止措置に向けた作業が行われているが、事故由来の放射性核種で汚染された多種多様な物質が今後も作業に伴い発生する。発電所周辺の環境の改善も含めて、廃止措置を円滑に進めるためには、これら放射性核種で汚染された物質を分別保管する、あるいは記録を保管するといった管理を行うことのみならず、処理・処分を進めていく必要がある。

図 1.1-1 に、これらの汚染された物質の管理及び処理・処分の流れを示す。それぞれのプロセスにおいて、汚染された物質の特徴とその後のプロセスにおける扱いを考慮して、次に進むか、何らかの措置を取るのかを判断し、最終的には汚染された物質からの放射線による人及び環境への影響を安全に防護し、かつ処分する廃棄物量が適切に抑制されるよう、作業を進めていく必要がある。

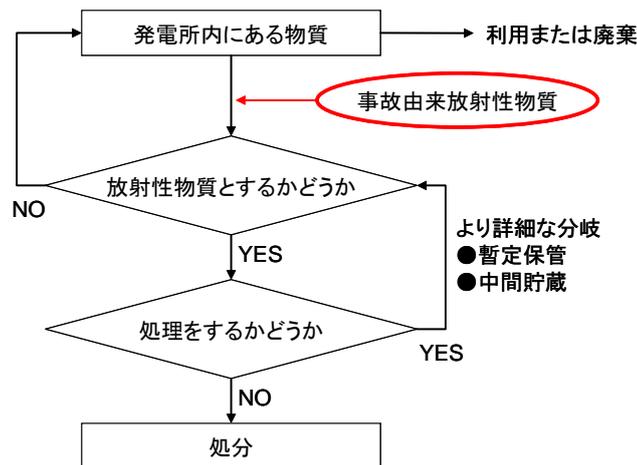


図 1.1-1 汚染された物質の処理・処分の流れ

東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故により発生した、放射性核種により汚染された物質は、破損した燃料に由来した放射性核種を含んでいることや、事故直後の炉心冷却に用いた海水成分（塩分は処分場の性能に影響を与えることが知られている）を含む可能性があること、汚染のレベルが多岐にわたりその物量も大きいこと等、従来の原子力発電所で発生する放射性廃棄物とは異なる特徴がある。また、事故後の措置としての廃止措置作業によっても放射性核種が移動し、新たに汚染された物質が発生するため、汚染が起こってしまった敷地において、除染、廃止措置、廃棄物の分別及び処理・処分に向けた作業等が安全かつ効率的に行われるよう、管理と諸作業を最適化する必要がある点でも、従来の放射性廃棄物に対する扱いとは異なる。また、廃棄物の物量が非常に多いため、処分場の立地は、貯蔵・輸送の難易とコストを大きく左右することにも留意する必要がある。

これらの放射性核種で汚染された物質の処理・処分に関する安全性の見通しを得る上では以上のような従来の放射性廃棄物とは異なる点を把握して研究開発を行う必要がある。

この研究開発は、これまでは政府・東京電力中長期対策会議のものと研究開発推進本部に置かれたワーキングチームとタスクフォースのうち放射性廃棄物処理・処分ワーキングチームが、その計画を策定し実施してきたが、ここまで述べてきたように、この計画の策定と実施に当たっては様々な面での考慮が必要となるため、多くの知恵が集められ統合されることが望ましい。日本原子力学会では、ワーキングチームで作成される計画や研究開発課題について、専門的立場から検討を行うとともに適切な助言を行い、廃止措置の進展に寄与することとし、本特別専門委員会を設立した。なお、政府・東京電力中長期対策会議は、廃炉に関する研究開発体制の強化等を図ることを目的として平成 25 年 2 月 8 日に廃止され、新たに研究開発に携わる主要な関係機関の長を構成員とする東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議が設置された。

1.1.2 目的

福島第一原子力発電所敷地内で一時的に保管されている放射性核種により汚染された物質並びに、今後の廃止措置作業に伴い将来的に発生する放射性核種により汚染された物質（これらのうちには、廃棄物あるいは放射性廃棄物とされない可能性のあるものも含まれるが、これらを含めて、以下、「福島第一事故廃棄物」という）を安全に処理・処分するための技術的な見通しを得るのに必要な研究開発計画について取りまとめる。

1.2 達成すべき目標と評価項目

福島第一事故廃棄物は、主に次の点において従来の原子力発電所から発生する廃棄物とは性状が大きく異なる。

- (1) 使用中であったあるいは使用済の燃料起源の放射性核種により汚染されている
- (2) 処分場の性能に影響を与える塩分を含んでいる
- (3) ゼオライトやスラッジ、樹木、土壌などが廃棄物として大量に発生している
- (4) 多くの材料ではセシウムによる汚染は明らかではあるものの処理・処分の検討で重要なその他の核種に関する情報が得られていない

また、これらの廃棄物の処理・処分は、事故後の措置としての廃止措置作業が安全かつ効率的に行われるように配慮する必要もある。このため、福島第一事故廃棄物の処理・処分においては、その特性（材質、物量、汚染濃度、核種組成）及びその後のプロセス（放射性物質としない扱い、処理、処分の方法）に応じて、図 1.1-1 における各ステップの判断基準と処理、処分の方法を、廃止措置作業の進展に応じて最適化することが重要となり、これに向けた研究開発が必要とされている。福島第一事故廃棄物の処理・処分を実現する上では、廃止措置作業の進展に応じて、段階的に研究開発の結果を取りまとめ、安全に処理・処分ができるという技術的な見通しを得ることにより、必要な制度的な検討及び処理施設や処分場の

確保を進めていくことが重要である。

図 1.2-1 に「安全に処理・処分するための技術的な見通し」を得るという最終目標を達成するための必要条件(実施目標)と実施目標の達成度合いを評価するための指標(評価指標)をまとめる。実施目標には、安全性を説明できる処理・処分概念の構築と処理・処分概念の実現可能性の確認を置いた。

放射性廃棄物の処理・処分における安全性は、「処理・処分施設の操業時の安全性」に加え、「処分が終了した後のリスク」について評価した上で判断される。また、特に処分場閉鎖後のリスクの評価は、評価する必要がある期間が長期にわたるため、それに伴い評価方法や結果に不確実性が内在する。このため、放射性廃棄物の処分後の安全確保の観点から、評価における不確実性ができるだけ小さくなるような処理・処分方法を選択していくことが重要である。

また、放射性廃棄物の処理・処分に関する問題を解決しなくては、廃止措置は終了しないということを念頭に、福島第一事故廃棄物の処理・処分に関する安全性の見通しを検討するに際しては、上記のような安全性評価に関連する事項に加え、こうした処理・処分方法の実現可能性について同様の重要性をもって検討することが重要である。

実現可能性については、まず、構築した処理・処分概念を実現する上で必要な技術の成立性について検討する必要がある。福島第一事故廃棄物は、前述のように従来の放射性廃棄物とは異なる特徴を有しているため、処理・処分の実施に際しては新たな技術が必要になる可能性がある。しかし、それらの技術開発に際しては、技術の持つ性能の高さだけではなく、必要な時期に、大量で多様な廃棄物に対して実用化できるという見通しを確認する必要がある。また、処理施設や処分場の設置面積等の規模および経済性が、施設の確保のしやすさに影響し、処理・処分事業の推進を左右する因子となり得ることも念頭に検討を進める必要がある。

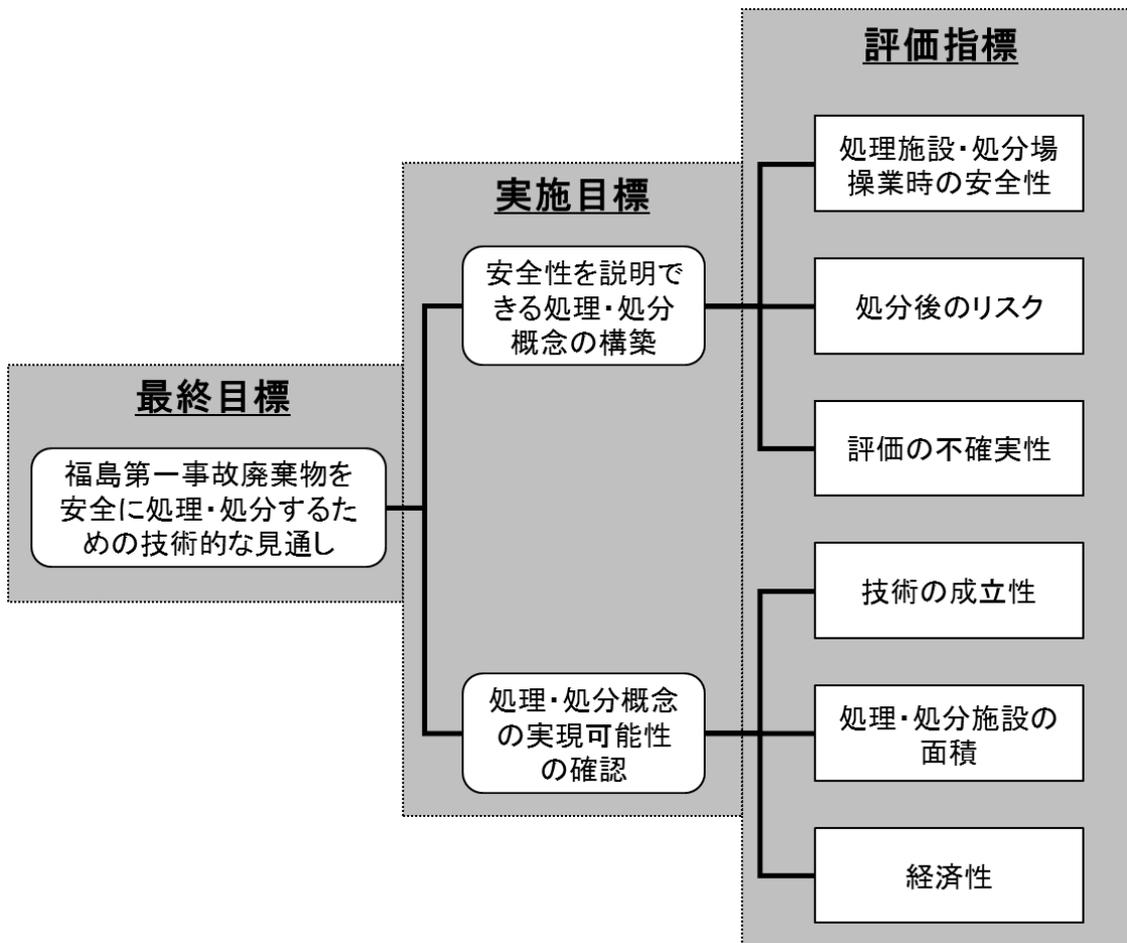


図 1.2-1 研究開発目標と評価指標

2. 検討の前提となる事項の整理

2.1 検討の対象とする廃棄物と特徴

2.1.1 福島第一事故廃棄物の特徴

福島第一原子力発電所 1～4 号機から原子力施設の建屋内外に飛散・拡散した放射性核種の主な起源は 1～3 号機の炉内に装荷されていた核燃料中に含まれる放射性核種である。

これらの放射性核種が種々の材料の表面または隙間に吸着・吸収・沈殿することにより多量の汚染物が発生した。このように、廃棄物の汚染起源は明らかであるが、炉心溶融及びその後の水素爆発においてどのような核種がどの程度どの範囲に飛散・拡散したのかについては、セシウム、ヨウ素等一部の核種を除き分かっていない。また、事故後、事故収束や廃止措置に向けた作業に伴い、福島第一事故廃棄物が発生している。将来の廃止措置作業については、「東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」²⁻¹⁾（原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議（現・東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議）、2012 年 7 月 30 日、以下「中長期ロードマップ」という）に手順として示されているが、例えば原子炉建屋の止水方法等、具体的な作業の内容は決まっていないものが多い状況にある。発生する廃棄物の性状把握に際しては、作業内容に関する情報が不可欠であるが、作業内容は現場の状況や研究開発の結果を踏まえ進展していく廃止措置作業を通じて徐々に明らかになっていくものであることを考慮する必要がある。

2.1.2 福島第一事故廃棄物の分類

上述のように情報が不足している状況であるが、これまで発生している廃棄物や中長期ロードマップに記載されている作業内容から想定すると、福島第一事故廃棄物は大きく下記の 3 つに分類することができる。

- ① 【汚染水処理二次廃棄物】汚染水の処理により発生する核種除去に用いた物質（廃ゼオライト、スラッジ、樹脂等）及び、汚染水の処理に伴い設置した設備のうち汚染水の通水により汚染した物質（配管、タンク等）
- ② 【瓦礫／伐採木等】水素爆発により建屋外に飛散・拡散した放射性核種による汚染に伴い発生した瓦礫、伐採木、土壌、及び燃料デブリ取り出し終了までの廃止措置作業により建屋から撤去されたコンクリート、金属等
- ③ 【燃料デブリ／解体廃棄物】燃料デブリ取り出し作業によって燃料デブリ収納缶に収納されたもの、及び燃料デブリ取り出し終了以降の廃止措置作業で発生する廃棄物

なお、燃料デブリの処理方針は決定していないが、処理の有無によらず一部または全部を廃棄物として扱う必要が生じるため本検討に含めることとした。以下に、これらの廃棄物分類毎に主な特徴を記載する。また、2.1.1 で示した福島第一事故廃棄物の共通的な特徴と合わせ、各廃棄物の特徴を図 2.1-1 にまとめる。

2.1.3 汚染水処理二次廃棄物の主な特徴

汚染水処理に伴いこれまでに発生した主な廃棄物としては、セシウムを吸着した廃ゼオライトが入った吸着塔と凝縮沈殿装置により発生したスラッジがある²⁻²⁾。これらの廃棄物は高線量であり、かつ、廃棄物として処理・処分を行った実績がない材料である。また、現在のところ、汚染水処理施設的设计情報に基づき、施設内におけるセシウムやストロンチウムの分布の推定が可能であるが、吸着塔の構造上内部のゼオライトの取り出しが容易ではないなど原廃棄物を採取して分析することが困難な廃棄物がある。その一方で、水処理施設の系統水の採取や分析は現時点においても可能であり、既に長半減期核種の分析に着手され少数の分析結果が得られつつある。これらの情報を適切に活用し、これら廃棄物の処理・処分の検討を進展させる必要がある。

なお、2012年2月時点で運転開始に向けた準備を行っている多核種除去設備からも汚染水処理二次廃棄物が今後発生する²⁻³⁾。また、将来的には炉注水循環システムの縮小などにより新たな水処理施設が導入される可能性があり、それらの具体的な内容が明らかになり次第さらに検討を加える必要がある。

2.1.4 瓦礫／伐採木等の主な特徴

汚染した瓦礫、伐採木、土壌は、水素爆発により広範囲にわたって汚染が生じたことから物量が非常に多いことが一つの特徴となる。また、伐採木や土壌については有機物を多く含有するものであり、我が国では放射性廃棄物として処理・処分した実績がない廃棄物である。さらに、敷地内の空間線量率のばらつきが大きい²⁻⁴⁾ことから、対象廃棄物の汚染レベルにもばらつきがあることが想定される。高線量の瓦礫を除くと試料の採取は比較的容易であり、現在、合わせて19試料の瓦礫と伐採木について日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という）東海研究開発センターで放射性廃棄物の処理・処分に関する検討を念頭においた核種分析を実施中である。この分析結果の一部が2013年3月までに得られる予定とされており²⁻⁵⁾。2013年2月時点においては、土壌に対するプルトニウム等の分析結果²⁻⁶⁾が発表されている。

2.1.5 燃料デブリ／解体廃棄物の主な特徴

燃料デブリに代表される建屋内部に留まっている汚染物も廃止措置を通じて放射性廃棄物として扱う必要が生じる。既存の廃止措置と比較して、汚染範囲は広がっていることから、廃棄物量は多くなると想定される。

これまで遠隔操作のロボット等を用い、建屋内の空間線量率が取得されている²⁻⁷⁾が核種組成に関するデータは得られていない。また、燃料デブリ取り出しに向けた建屋内除染や、その他の作業を通じて少しずつ状況が明らかになっていくと思われるが、より高線量が想定される炉心に近づくほどアクセスの困難さは高まるため、炉心に近い物質のデータは容易に

増加しない。

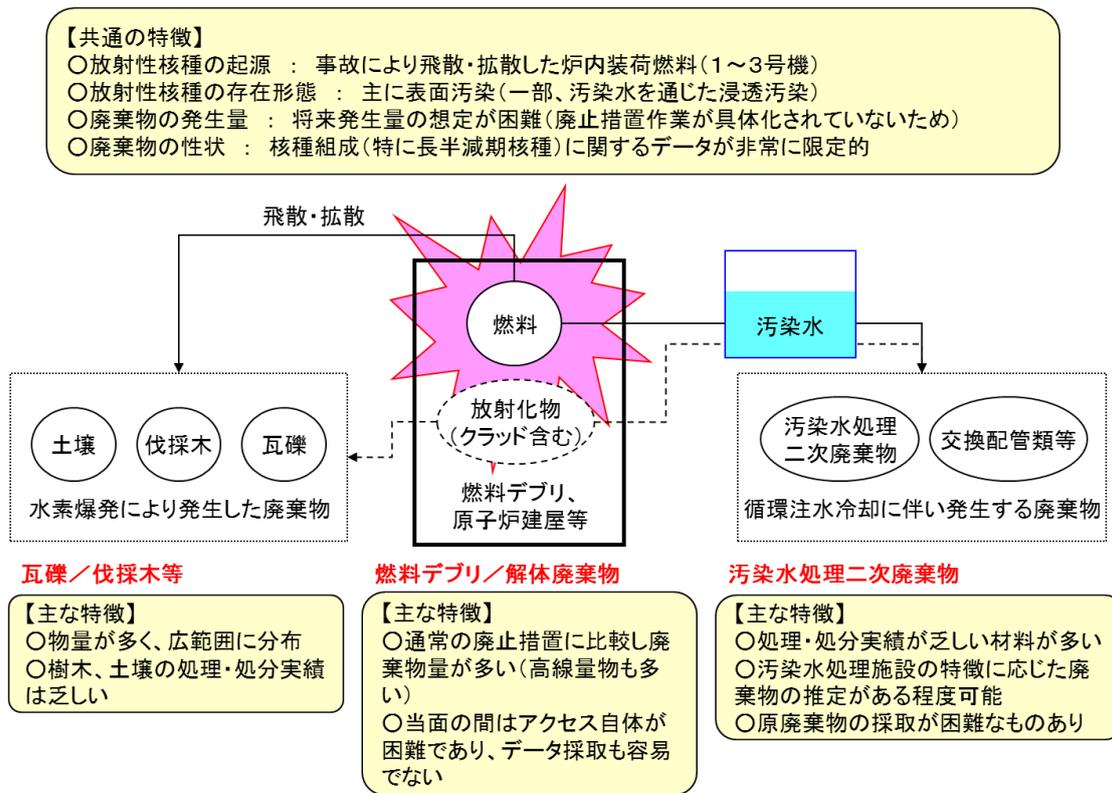


図 2.1-1 福島第一事故廃棄物の特徴

2.2 目標達成時期について

本検討では、中長期ロードマップに記載された判断ポイントを参考に目標を設定し、研究開発計画を検討することとした。「(HP5-2) 廃棄物の処理・処分における安全性の見通し」を2021年頃に明らかにすること、また、成果の中間取りまとめ時期として、「(HP5-1) 廃棄物の性状に応じた既存概念への適用性の確認」に対応する2017年頃を念頭におく。

研究開発の取りまとめは、取りまとめ時期の1年前までに得られた研究成果や情報に基づき行うことを前提に置いて次の2つを目標に設定した。

(ア)目標1 (2016年度末)

中間的な報告を取りまとめるために必要な情報を集約する時期

(イ)目標2 (2020年度末)

福島第一事故廃棄物を安全に処理・処分するための技術的見通しを評価した情報を集約する時期

なお、中長期ロードマップでは、燃料デブリに関する処理・処分方法の決定については、上記の判断ポイントとは切り離し、国の政策との整合性等を踏まえた上で20～25年後頃に決定するとしている。しかし、燃料デブリは再処理の如何に関わらず最終的には一部または全部を放射性廃棄物として処分を検討しなければならない。また、福島第一事故廃棄物の処理・処分について、最も放射能レベルの高い燃料デブリを除外して安全性の見通しを評価することは困難である。よって、燃料デブリも本検討の対象として含めることとし、検討の目標についても他の廃棄物と同時期とすることとした。

本報告書では研究開発計画を検討する上で中長期ロードマップに記載された目標を前提とした。しかし、研究開発を進めるにあたっては、後述する基本的な考え方を踏まえ、できるだけ早く目標を達成できるよう効率的・効果的な計画を立案することが重要である。また、研究開発成果を次段階の研究開発計画に反映することにより効率化を継続的に図ることも重要である。

2.3 研究開発段階で得られる情報の制約

2.1 に示した通り、福島第一事故廃棄物については、放射性廃棄物の処理・処分に関する検討を行う上で不可欠な廃棄物性状に関する情報が非常に少ない状況で検討を開始しなければならない。その情報は、廃止措置作業の進展や分析データの蓄積に伴い増加していくという特徴がある。そこで、本節では研究開発計画を立案する前提として廃止措置作業や分析に必要なリソースに起因する情報の制約について考察を加える。

廃棄物の発生状況に関する検討にあたっては、中長期ロードマップを前提とした。また、廃棄物の性状把握の状況に関する検討にあたっては、放射性核種の組成分析には長半減期のいわゆる難測定核種が多く対象となるため、分析に長い時間を要することを念頭に、年間の分析試料数を仮定する。

目標1までの期間の分析試料数は、現在計画されている分析試料数を参考に年間50試料²⁻⁸⁾と仮定した。しかし、多種多様な廃棄物の性状を把握する上では年間50試料という分析数量は十分とはいえない。放射性廃棄物の処理・処分に関する検討はもとより、廃止措置や事故原因の究明には放射性核種で汚染された廃棄物、すなわち福島第一原子力発電所に今も存在する「物証」の分析が欠かせない。中長期ロードマップにおいても研究拠点構想として放射性物質の分析のための施設に言及がなされている。本施設の具体的な内容や分析可能数量は明らかではないが、ここでは廃棄物の性状分布をある程度推測するのに最低限必要と思われる分析数を仮定し、そこから逆算することにより、目標1以降の期間の分析可能数量を年間200試料程度とした。

このような前提や仮定に基づき、研究開発の目標達成時期までに得られる情報を推定した結果を表2.3-1に示す。

目標1までは、汚染水処理二次廃棄物の発生量の減少等が予測されるが概ね現状と同様の廃棄物が発生し続けると推測できる。廃棄物性状については分析データの蓄積に伴い廃棄

物毎の核種組成や汚染レベルの特徴が把握できるようになると推定した。

目標 2 の段階では、汚染水の処理や燃料デブリ取り出し準備作業の進展が進んでいると考えられることから、現状とは廃棄物の発生状況が変化していると思われる。また、分析データの蓄積により核種組成や汚染レベルの分布がある程度評価できるようになると推定した。

中長期ロードマップでは廃棄物の性状把握、物量評価を 2014 年度までに実施するとしている。しかし、2014 年段階では、廃棄物は発生途上にあり、かつ、性状把握に必要な分析データ等の知見も限定的である。廃棄物性状や物量の評価は早急に進めるべきであるが、評価の精度を向上させるため情報の増加に応じ継続的に見直しを実施していく必要がある。

なお、表 2.3-1 に示した情報量はあくまでも今回の研究開発計画を検討する上での目安として整理したものである。分析や研究開発で得られた情報の量と質、廃止措置作業の進展の状況に応じて、表 2.3-1 は適宜見直されていくものである。特に、中長期ロードマップで示された様々な判断ポイントについては、その達成状況によりそれ以降の展開が変更になる可能性がある。福島第一事故廃棄物の検討に際しては、このような状況の変化に対応できるよう柔軟性のある計画とする必要がある。また、得られた情報や作業の状況を定期的にフィードバックし計画を見直していくことが重要になる。このために、研究開発に要する資源を勘案し、4 章に述べる研究開発工程がより具体的に検討されることを期待する。

表 2.3-1 研究開発成果取りまとめ時期までに得られる情報の制約

		目標1 (2016年度末) で得られている情報	目標2 (2020年度末) で得られている情報
廃棄物の発生状況	主な作業状況	<ul style="list-style-type: none"> 【汚染水処理】サブドレン設備や地下水バイパスの稼働により地下水流入量が低減／多核種除去設備による構内貯留水の浄水が進捗 【使用済燃料プールからの燃料取り出し】3,4号機の使用済燃料を取り出し中／1号機について取り出し準備作業(瓦礫撤去等)実施中 【燃料デブリ取り出し】漏えい箇所調査が終了し、格納容器下部補修方法、止水方法確定 	<ul style="list-style-type: none"> 【汚染水処理】タービン建屋／原子炉建屋の汚染水処理が終了 【使用済燃料からの燃料取り出し】全号機の燃料取り出しが概ね終了／使用済燃料プールから取り出した燃料の保管方法・再処理方法が決定 【燃料デブリ取り出し】格納容器内調査・サンプリングが終了／格納容器上部の補修、上部水張が終了し、炉内調査・サンプリングを実施中／原子炉建屋コンテナ等の設置が進捗
	廃棄物発生状況の推定	<ul style="list-style-type: none"> 【汚染水処理二次廃棄物】発生が継続しているが汚染水減少に伴い発生量も減少 【瓦礫】使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた準備作業に伴い発生が継続 【燃料デブリ】漏えい箇所調査に伴い試料が得られる可能性あり 	<ul style="list-style-type: none"> 【汚染水処理二次廃棄物】汚染水処理に関する水処理二次廃棄物の発生が収束／地下水・除染水処理が継続 【瓦礫】使用済燃料プールからの燃料取り出しに向けた準備作業に伴う瓦礫発生は終了／原子炉建屋コンテナ等の設置に伴い瓦礫が発生する可能性 【燃料デブリ】格納容器内や炉内の調査・サンプリングにより試料が採取されている
廃棄物の性状把握状況	分析可能数量	・50試料／年（前提条件）	・200試料／年（前提条件）
	累積分析数量（参考）	<ul style="list-style-type: none"> 汚染水処理前後水 10点／箇所 汚染水 20点 多核種除去設備廃棄物 10点／箇所 瓦礫 50点 伐採木 10点 土壌 10点 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染水処理前後水 50点／箇所 汚染水 100点 多核種除去設備廃棄物 30点／箇所 瓦礫 250点 伐採木 50点 土壌 50点
	評価状況の推定	・廃棄物毎の核種組成や、汚染レベルに関する特徴が推定しうる段階	・廃棄物の性状分布がある程度把握できると期待される段階

2.4 廃棄物管理との関連性

1.1.1 に記載した通り、廃棄物の処理・処分はそれらの管理のあり方と密接に関連している。現状、福島第一事故廃棄物の管理は、保管エリアの確保や敷地境界へ与える放射線影響の低減に注力して実施されているが、それに加え、作業計画立案段階から廃棄物発生量の低減を念頭におくことや処理・処分が困難な材料を持ち込まないこと、発生した廃棄物については減容や再利用を検討することや、廃棄物の処理・処分を念頭において分別保管方法、記録の管理方法等を計画的に実施していくことが重要である。

例えば、汚染水処理二次廃棄物については高線量なものがあることや処理・処分実績のない材料が多いことから、当面の間一時的に安全に保管するための方策を確立した上で、その状態から、どのように処分に適した廃棄体とするか、どのような形態であれば処分の安全が確保されるかをその実現可能性と合わせて考える必要がある。また、瓦礫／伐採木等については、処理・処分において非常に物量が多いことと、汚染レベルに大きなばらつきがあることが重要な特徴であるため、汚染レベルの低いものを放射性廃棄物とせず再利用するかどうか、何らかの減容処理を行うかかどうかといった廃棄物管理上の課題について多量の廃棄物に適した処分概念の検討と合わせて実施する必要がある。

本専門委員会は、1.1.2 で示した通り、中長期ロードマップに記載された目標も踏まえ廃棄物の処理・処分に関する研究開発計画を中心として検討を実施することとした。しかし、処理・処分の実現に向けては、これに加え、上記のように廃棄物の発生、管理から処理・処分までの一連の流れを総合的に捉え廃棄物全体に対する対策を検討していくことが重要であることを今後の検討課題として付記する。

参考文献

- 2-1) 原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議、「東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」、2012 年 7 月 30 日
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/t120730_02-j.pdf
- 2-2) 東京電力株式会社、「福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について（第 83 報）」、2013 年 1 月 23 日
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu13_j/images/130123j0301.pdf
- 2-3) 東京電力株式会社「多核種除去設備（ALPS）確証試験及び設備設計の状況」、2012 年 7 月 30 日、原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議第 8 回運営会議資料
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/m120730_05-j.pdf
- 2-4) 東京電力株式会社、「敷地全体サーベイマップ【1月8日現在】」、2013 年 1 月 16 日
<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/images/f1-sv2-20130116-j.pdf>
- 2-5) 原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議、「【資料 3】個別の計画毎の検討・実施状況、放射性廃棄物処理・処分 スケジュール」、2012 年 12 月 25 日、第 13 回運営会議資料
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/m121225_05-j.pdf
- 2-6) 東京電力株式会社、「福島第一原子力発電所 土壌中の Pu 分析結果」、2012 年 12 月 26 日
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/smp/2012/images/soil_121226-j.pdf
- 2-7) 原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議、「【資料 4】中長期ロードマップ進捗状況（概要版）」、2012 年 12 月 25 日、第 13 回運営会議資料
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/m121225_06-j.pdf
- 2-8) 原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議、「【資料 2-1】H25 年度研究開発実施計画（案）、(3-2)放射性廃棄物の処理・処分技術の開発（平成 25 年度計画案）」、2012 年 12 月 25 日、研究開発推進本部第 11 回会合資料
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/r121203_03-j.pdf

3. 研究開発の基本的な考え方

一般に、放射性廃棄物処分に関する検討は、処理方法やインベントリといった廃棄体条件に関する事項を前提条件として設定したうえで進められる。しかし、2章で示した通り、福島第一事故廃棄物について、廃棄物性状に関する情報は現時点では限定的であり、それらの情報は分析や廃止措置作業の進展に応じて得られていくことになる。

上述した一般的な進め方と同様の進め方で検討を実施した場合、廃棄物性状に関する情報を十分に得た上で進める必要があるため、2.3に示した情報の制約を踏まえると、その検討は目標2の期限に近づくまで達成出来ない可能性もある。従って、福島第一事故廃棄物に関する処理・処分について安全性の見通しを得るという目的にできるだけ早く到達するために、廃棄物性状に関する情報が不足している段階においても、放射性廃棄物の処理・処分方法に関する検討を併せて行えるよう計画することが重要となる。

廃棄物性状の把握は、インベントリに加え、処理・処分の検討に必要な化学組成や物性等も対象に行う必要がある。そのためには蓄積した限られた分析データの蓄積を活用し、解析的な手法による評価を併用する。2.1.1に記載した通り、福島第一事故廃棄物の主な汚染起源は1～3号機に装荷されていた燃料である。よって、それに含まれる放射性核種が事故事象により飛散・拡散した割合や汚染水処理施設で除去される割合等を想定することにより、分析が行われていない核種も含めて廃棄物の核種組成や濃度をある程度の精度で推定し、その推定結果を前提として処理・処分に関する検討を進める。事故事象の詳細が明らかではなく、情報が不足している状況においては、廃棄物性状の解析的評価の推定誤差は大きいと思われるが、事故事象の詳細解明や分析データの蓄積を適宜反映することにより、評価の信頼性を高める。

図3-1にIAEAの放射性廃棄物対策に関する用語の定義を示す。廃棄物処理方法の検討に際しては、福島第一事故廃棄物の種類毎に適用可能と思われる既存の廃棄物処理に関連する技術として、図3-1にしたがい、処理に向けた保管、前処理（主として分別）、処理（除染、減容、再利用）、廃棄体化に関する技術をできるだけ網羅的に整理する。処理技術の選定・組み合わせは、廃棄物の保管といった管理や処分に与える影響を総合的に判断して決定する必要がある。そのための判断材料とするため、処理方法の整理にあたっては、処理施設の操業時の安全性や処分後のリスクに対する影響に加え、実現性の評価に必要な技術の実用化状況、経済性、二次廃棄物の発生量や性状等の情報も対象とする。その上で、実際の廃棄物性状把握の進展に応じて技術の適用性を評価し、技術の絞込みを実施する。本作業を進めるにあたっては、初期段階では机上検討を中心として情報を整理・評価した上で、基礎試験等を実施していく。廃棄物処理方法の検討が進捗することにより廃棄物処分の検討を行う上で必要な廃棄体条件がより明確に設定されるようになる一方で、二次廃棄物の評価や廃棄物分類の見直しが必要となる場合も想定される。その場合は、適宜、廃棄物性状の把握に反映する。

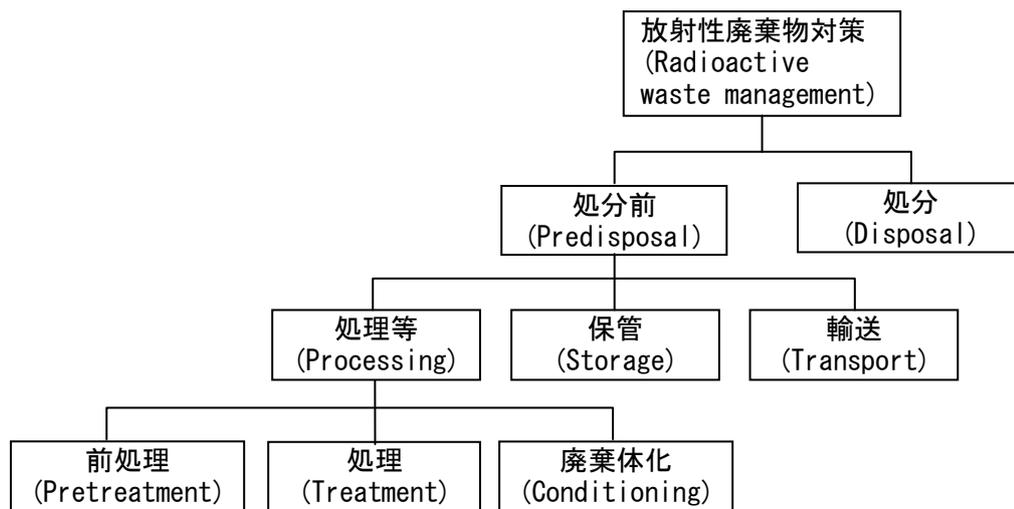


図 3-1 放射性廃棄物対策に関する用語の定義 (IAEA) ³⁻¹⁾

処分に関する検討に際しても、2章で記載した廃棄物の特徴や、廃棄物性状に関する評価の精度が分析や廃止措置作業の進展に応じて向上していくものであることを念頭に検討する。具体的にはまず、我が国で主に検討されてきた既存の処分概念に加え、海外情報等を参考に適用可能と思われる処分概念を幅広く抽出し、その特徴を比較検討する。検討に際しては、処理方法と同様、安全性の説明に必要な事項だけではなく、処分場の広さや経済性といった実現可能性を検討する上で必要な事項についても対象とする。その上で、廃棄物性状把握の進展に応じ、処分概念の適用性を評価し、福島第一事故廃棄物を処分するための方策を立案する。このような進め方を適用することにより、廃棄物性状把握における推定誤差が大きい状況においても処分に関する検討を行う。加えて、処分の安全性や実現性を検討する上で必要な廃棄物性状に関する情報を抽出することにより、効率的な分析計画の立案に反映させる。

なお、実際に廃棄物を処分する際には、処分した廃棄物中に含まれるインベントリが安全評価の前提として設定したインベントリを下回っていることを評価する必要がある。その際に用いる評価の方法は処分概念や処分の安全性評価のやり方に依存するため、その成立性についても処分に関する検討に際して評価する。

以上のように、福島第一事故廃棄物に関する処理・処分の安全性の見通しを得る上では、廃棄物処理方法や処分概念についてあらかじめ幅広く評価し、廃棄物性状把握の進展に応じて絞り込んでいくことにより、できるだけ早期に安全性の見通しを得るべく、効率的・効果的に研究開発を進めていく。また、検討に際しては、性状把握、処理方法、処分方法の各々の検討で得られた情報を他の検討に反映させる。これらを円滑に進めるためには、情報のやりとりが複雑化することを念頭に、関係者が情報を共有できるよう研究開発に必要な情報をデータベース化し管理することが重要である。

福島第一事故廃棄物に関する研究開発の基本的な考え方を整理して図 3-2 に示す。

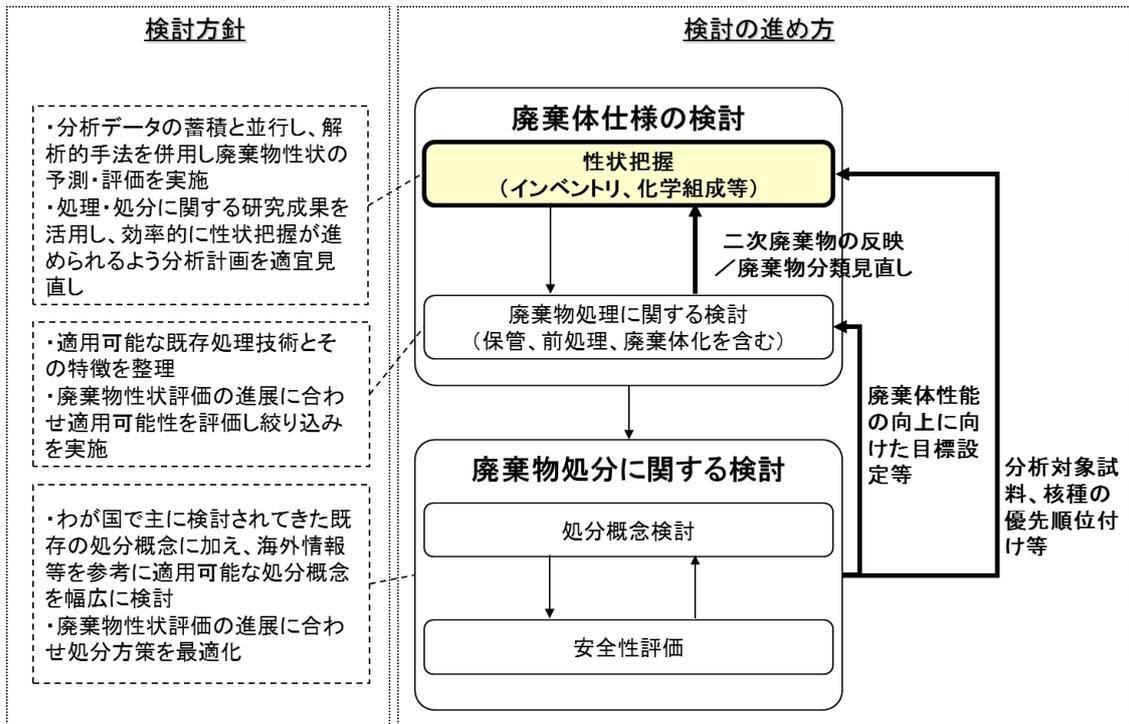


図 3-2 福島第一事故廃棄物に関する研究開発の基本的な考え方

参考文献

3-1) International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Glossary, IAEA, Vienna (2007).

4. 計画

4.1 汚染水処理二次廃棄物

4.1.1 廃棄物の特徴と保管状況

(1) 特徴

福島第一原子力発電所では、津波及び炉心冷却用の水に起因する海水成分やホウ酸を含む大量の汚染水が発生している。汚染水の一部は浄化後、炉心冷却のために再利用されているが、残水については敷地にタンクを設置し保管している。汚染水の浄化に際しては、セシウム等の事故由来の核種の除去を目的とした装置が設置され稼働しており、その結果、様々な汚染水処理二次廃棄物が大量に発生している。これらの汚染水処理二次廃棄物には、処理・処分した実績のない材料が含まれているため、安全に処理・処分するための技術的な見通しを得るための研究開発を行う必要がある。また、現在、汚染水処理二次廃棄物は敷地内において保管されているが、処理・処分の目処が得られるまで、安全な保管を継続する必要がある。

まず、汚染水処理工程とその処理により発生する汚染水処理二次廃棄物の特徴等について簡単にまとめる。2.1.2 で示した通り、汚染水処理二次廃棄物には、汚染水の処理により発生する核種除去に用いた物質のみならず、汚染水の処理設備における汚染水の通水により汚染した物質（配管、タンク等）も含まれるが、本節では福島第一事故廃棄物として特に特徴的な前者について主に議論する。

汚染水処理設備は、油分分離装置、セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、除染装置、淡水化装置から成り、新たに多核種除去設備の設置が進められている（図 4.1-1、図 4.1-2）。処理を開始してからこれまで、定常的に数千 m^3 /週で汚染水を処理してきている。当初はセシウム吸着装置と除染装置を直列に用いてセシウム等を除去した後、淡水化処理してきた。現在は、除染装置を停止し、セシウム吸着装置と第二セシウム吸着装置を並列に使用し、セシウム除去後の処理水は淡水化処理している。淡水化処理では、逆浸透膜（RO 膜）を用いて濃縮塩水と淡水を得た後、蒸発濃縮装置でさらに濃縮塩水を蒸発濃縮し、濃縮廃液と淡水を得ている。現在、RO 膜処理により注水に必要な量が確保されており、蒸発濃縮装置は停止中である。以下、汚染水処理工程から発生する汚染水処理二次廃棄物について簡単に解説するとともに、特徴等をまとめて示す。

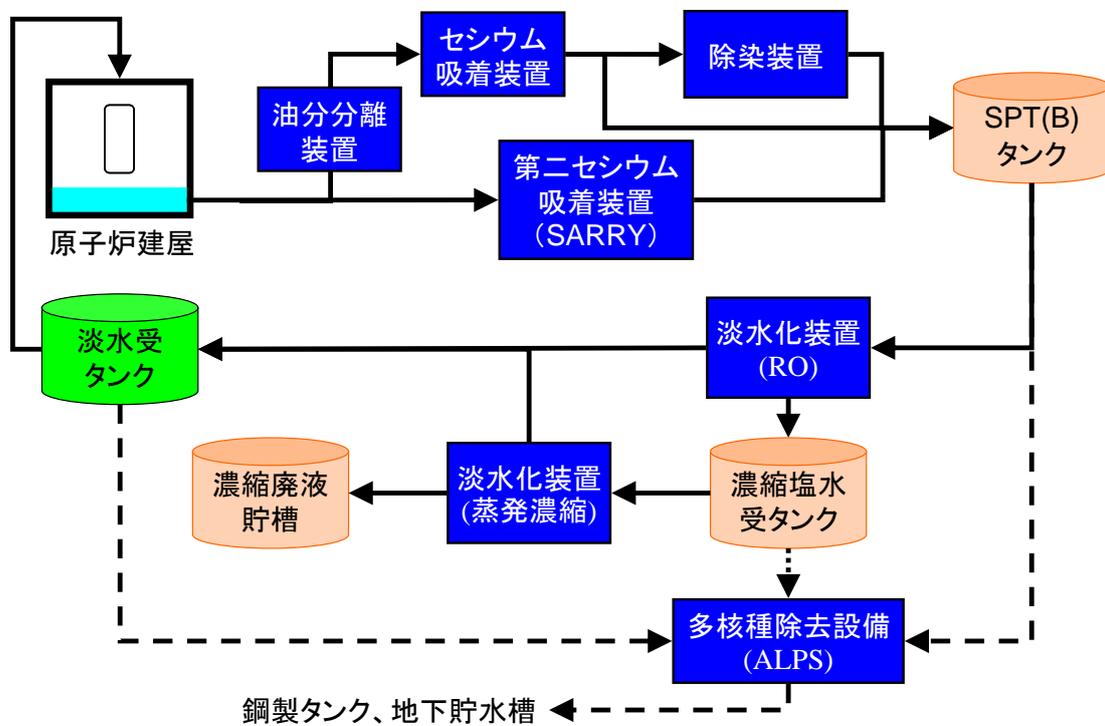


図 4.1-1 汚染水処理設備 ^{4.1-1)}

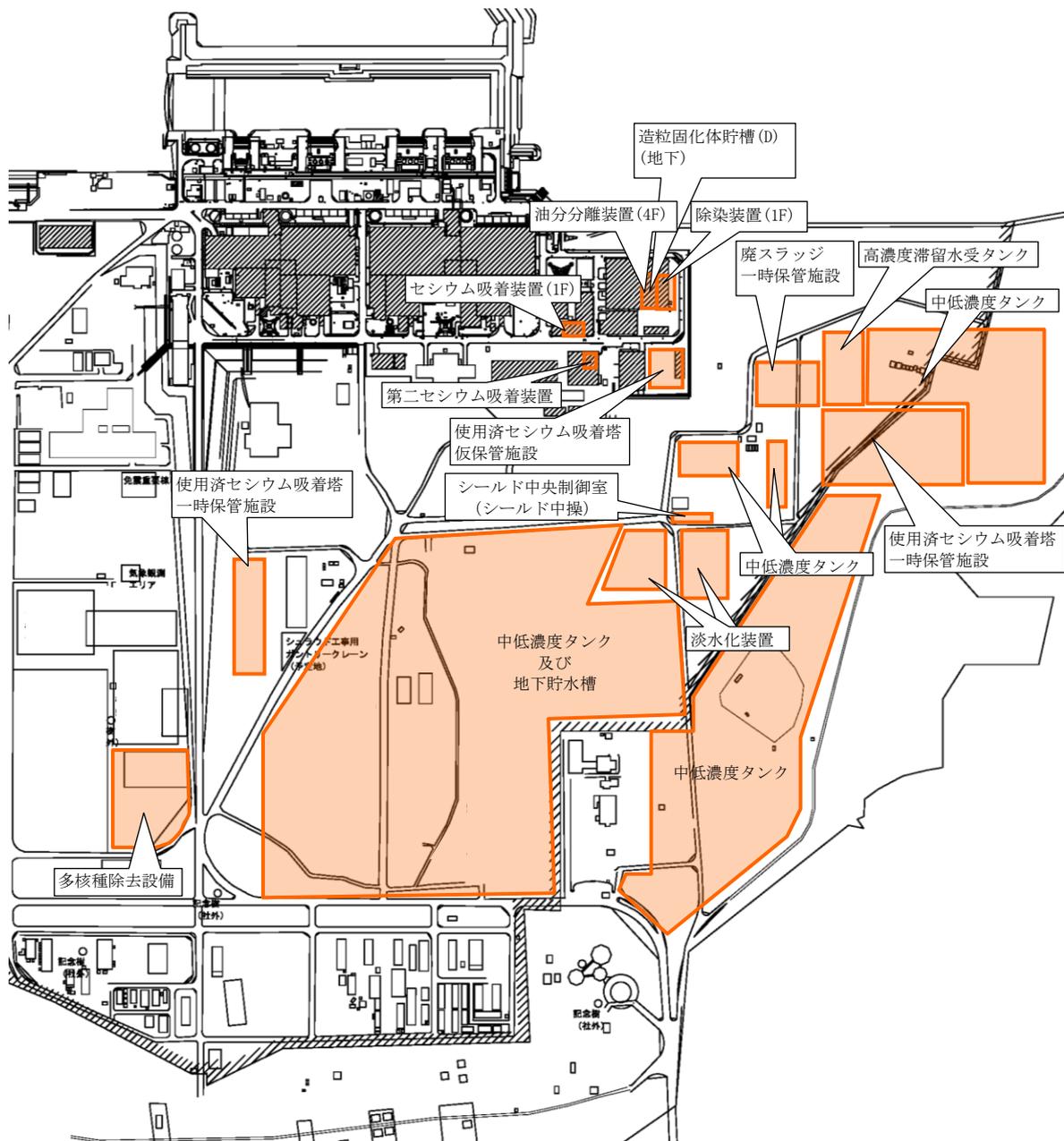


図 4.1-2 汚染水処理設備や汚染水処理二次廃棄物の一時保管施設等の配置 4.1-2)

表 4.1-1 汚染水処理二次廃棄物の現状

処理工程	廃棄物	発生量*/(推定量)	性状等	保管状況
セシウム吸着装置	ゼオライト-H ^{4.1-3)}	402 本	ゼオライト(ハーシュライト(現在の区分ではチャバサイト-Na))	吸着塔(ステンレス鋼製、外径 1.4m、高さ 2.4m、重量約 15t) ^{4.1-5)} に充填した状態で、吸着塔内水洗浄・温風乾燥の後、コンクリート製のボックスカルバート内で保管。ボックスカルバート外側で 10mSv/h と評価 ^{4.1-5)} 。
	ゼオライト-SMZ ^{4.1-3)}		表面改質ゼオライト	
	ゼオライト-AGH ^{4.1-3)}		銀吸着ゼオライト	
	シリカサンド		シリカサンド	
第二セシウム吸着装置	IE-96 ^{4.1-8)}	68 本	ゼオライト(チャバサイト)	吸着塔(ステンレス鋼製、外径 1.4m、高さ 3.6m、重量約 24t)に充填した状態で、吸着塔内水洗浄・通風の後、スキッドで保管。鉛遮蔽体と一体型。吸着塔外側で 1mSv/h と評価 ^{4.1-5)} 。
	IE-911 ^{4.1-8)}		ケイチタン酸塩	
除染装置(停止中)	スラッジ	597 m ³	硫酸バリウム、フェロシアン化ニッケル、水酸化鉄、ポリマー等の沈殿物 ^{4.1-9)}	コンクリート製ピット(厚さ 1m)内一括保管、空送攪拌。将来的にスラッジ貯槽(厚さ 25mm、有効容量 90m ³ /基×8 基)への移送、保管を検討中 ^{4.1-5)}
淡水化装置	濃縮塩水	215,967 m ³	液体	炭素鋼製のタンク及び地下貯水槽に保管 ^{4.1-5)}
	濃縮廃液	5,509 m ³	液体	炭素鋼(厚さ 12mm 又は 9 mm)製のタンクに保管 ^{4.1-11)}
多核種除去設備(未稼働)	水酸化鉄スラッジ	(147 塔/年) ^{4.1-12)}	水酸化鉄スラッジ	高性能容器(HIC、外径 1.5m、高さ 1.8m)内で保管予定 ^{4.1-11)}
	炭酸塩スラッジ	(635 塔/年) ^{4.1-12)}	炭酸塩スラッジ	
	活性炭 ^{4.1-11)}	(4 塔/年) ^{4.1-12)}	活性炭	
	Ag 添着活性炭 ^{4.1-11)}	(8 塔/年) ^{4.1-12)}	Ag 添着活性炭	
	チタン酸塩 ^{4.1-11)}	(8 塔/年) ^{4.1-12)}	チタン酸塩	
	フェロシアン化合物 ^{4.1-11)}	(5 塔/年) ^{4.1-12)}	フェロシアン化合物	
	酸化チタン ^{4.1-11)}	(7 塔/年) ^{4.1-12)}	酸化チタン	
	キレート樹脂 ^{4.1-11)}	(7 塔/年) ^{4.1-12)}	キレート樹脂	
樹脂系吸着材 ^{4.1-11)}	(10 基/年) ^{4.1-13)}	樹脂系吸着材	吸着塔に充填した状態で保管	

*平成 25 年 1 月 1 日時点^{4.1-6)}

油分分離装置は、油分がセシウム吸着装置の吸着性能を低下させるため、その上流側に設置し、汚染水に含まれる油分を自然浮上分離により除去する^{4.1-2}。

セシウム吸着装置は汚染水中のセシウム除去を主目的とした装置である。当初は、汚染水中の残留油分除去用の表面改質ゼオライト（SMZ）を装荷した吸着塔、セシウム吸着用のゼオライト（H）を装荷した吸着塔、ヨウ素吸着用の銀吸着ゼオライト（AGH）を装荷した吸着塔で構成されていた^{4.1-3}。現在は、SMZの代わりにシリカサンドを詰めした吸着塔とHを装荷した吸着塔を使用している^{4.1-4}。このセシウム吸着装置からは、主にHを装荷した使用済の吸着塔が汚染水処理二次廃棄物として発生する。使用済吸着塔は、遮蔽体を含めて外径1.4m、高さ2.4m、重量約15tであり（図4.1-3）^{4.1-5}、その発生本数は、平成25年1月1日現在で402本である^{4.1-6}。

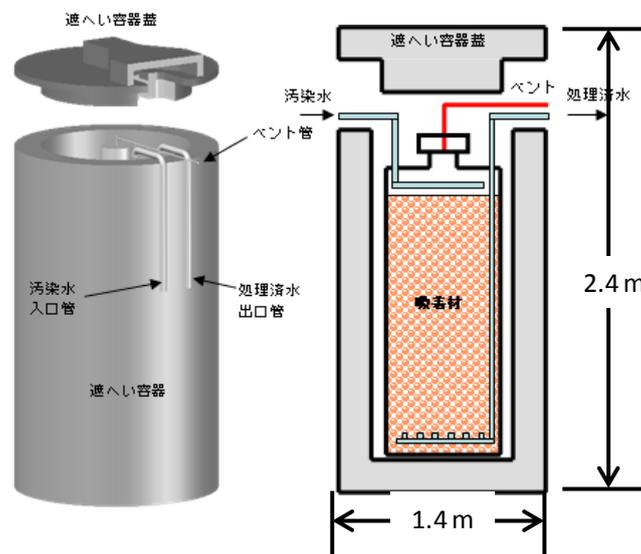


図 4.1-3 セシウム吸着装置及び吸着塔^{4.1-7, 4.1-2}

第二セシウム吸着装置も汚染水中のセシウム除去を主目的とした装置である。ゼオラ

イト (IE-96) を装荷した吸着塔とケイチタン酸塩 (IE-911) を装荷した吸着塔からなる 4.1-8)。使用済吸着塔は遮蔽体を含めて外径 1.4m、高さ 3.6m、重量約 24 t であり 4.1-5) (図 4.1-4)、その発生本数は、平成 25 年 1 月 1 日現在で 68 本である 4.1-6)。

除染装置もセシウムを凝集沈殿物として除去することを主目的とした装置である。汚染水にフェロシアン化ニッケル、塩化バリウム、塩化鉄、ポリマー等を加えて 4.1-9)、吸着、沈降させる。沈殿物の主な成分は硫酸バリウム、フェロシアン化ニッケル、水酸化鉄、ポリマーである。除染装置からは沈殿物を含むスラッジが発生する。本装置は現在停止中であるが、平成 25 年 1 月 1 日現在で 597 m³ のスラッジが発生している 4.1-6)。

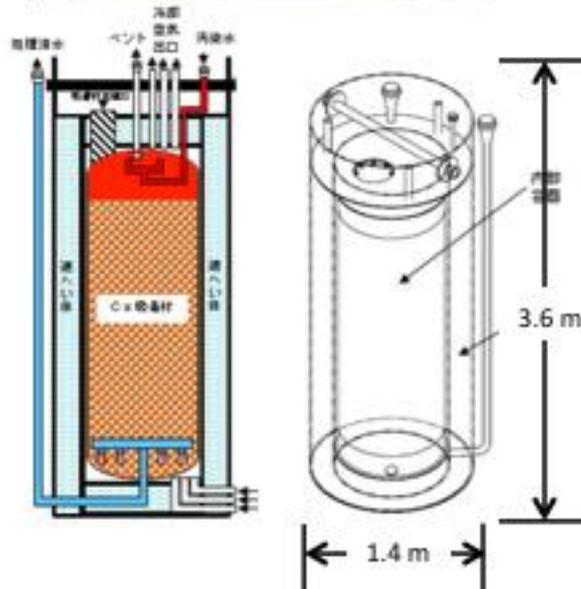


図 4.1-4 第二セシウム吸着装置及び吸着塔 4.1-10, 4.1-2)

淡水化処理には、RO膜を用いた逆浸透膜装置と、蒸発濃縮による蒸発濃縮装置の二つが用いられている。RO膜と蒸発濃縮による淡水化によって濃縮塩水並びに濃縮廃液が発生す

る。その発生量は平成25年1月1日現在で濃縮塩水が215,967 m³、濃縮廃液が5,509 m³である^{4.1-6)}。なお、蒸発濃縮装置は現在停止中である。

現在汚染水からより多くの核種を取り除くため、多核種除去設備の導入が進められている。これは、汚染水処理設備の処理水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去する設備であり^{4.1-11)}、複数の凝集沈殿設備と吸着設備から成る。RO膜処理前の処理水と濃縮塩水、淡水が処理対象である。2種類（水酸化物沈殿、炭酸塩沈殿）の凝集沈殿物（スラッジ）と7種類の使用済吸着材（活性炭、チタン酸塩、フェロシアン化合物、Ag添着活性炭、酸化チタン、キレート樹脂、樹脂系吸着材）が汚染水処理二次廃棄物として発生する^{4.1-11)}。なお、将来的に、現在の処理設備の小ループ化等に伴い、新しい汚染水処理二次廃棄物の発生が予想される。施設に関する具体的な内容が明らかになれば、発生する廃棄物の想定が可能となる。

(2) 保管状況 4.1-5)

汚染水処理の各工程からは、前節で記載したような種々の汚染水処理二次廃棄物が発生している。ここではこれらの保管状況について簡単に述べる。汚染水処理二次廃棄物の特徴と同様、保管状況についても表 4.1-1 にまとめて示す。

セシウム吸着装置で使用されている吸着塔は、ゼオライトを充填したステンレス鋼製容器を炭素鋼製の遮蔽容器が覆う二重構造である。使用済みの吸着塔は、水によって洗浄することで吸着塔内に滞留する海水分を含む処理水を洗い出し、次いで風を通じることによって乾燥し、一時保管施設内でコンクリート製のボックスカルバート内に入れ、保管している(図 4.1-5、図 4.1-6)。吸着塔はスキッド表面の線量率が 4mSv/h 程度になると交換されている。また、使用済セシウム吸着塔をボックスカルバート内で保管した場合の線量を評価した結果、ボックスカルバート外側での線量率は 10mSv/h 程度であると評価されている。現状は所定の除染係数を発揮するように交換している 4.1-11)。

第二セシウム吸着装置で使用されている吸着塔は、ゼオライトを充填したステンレス鋼製容器を炭素鋼製の遮蔽容器が覆う二重構造であり、遮蔽容器は二重管構造で、アニュラス部に鉛を装填している。使用済みの吸着塔は、水によって洗浄することで吸着塔内に滞留する海水分を含む処理水を洗い出し、次いで温風を通じることによって乾燥し、一時保管施設で保管している(図 4.1-5、図 4.1-6)。吸着塔外側での線量率は、1mSv/h 程度であると評価されている。

除染装置から発生したスラッジは、プロセス主建屋地下に設置されたコンクリート製のピットに保管されている。また、スラッジは廃スラッジ貯蔵施設のセル室(1 m 厚のコンクリート製)に設置されているタンクに移送して保管することが検討されている。タンクは厚さ 25mm の炭素鋼製の横置円筒型(直径 3.2m、長さ約 13.5m、有効容量 90m³)で、スラッジ攪拌や水素掃気のための機能を備えている。

RO 膜処理によって発生する塩濃度が高くなった廃水(濃縮塩水)は屋外に設置された RO 後濃縮塩水受けタンクならびに地下貯水槽に保管されている。RO 後濃縮塩水受タンクは炭素鋼製の円筒で、縦置きと横置きがあり、容量は 120~1,100m³ のものがある 4.1-5)。地下貯水槽は、止水のための 3 重シート(2 重の遮水シート及びベントナイトシート)、その内部に地面からの荷重を受けるためのプラスチック製枠材を配置した構造である 4.1-11)。

蒸発濃縮によって発生する濃縮廃液は、屋外に設置された濃縮廃液貯槽(炭素鋼製、厚さ 12mm 又は 9 mm)に保管されている 4.1-2)。

多核種除去設備から発生したスラッジや使用済吸着材は、高性能容器(High Integrity Container; HIC)に保管される計画である 4.1-11)。HIC は円筒形(外径 1,524mm、高さ 1,828.8mm)で、本体の材料はポリエチレンである。表 4.1-1 に記載した発生量は、現時点での見込みの値である 4.1-12)。



図 4.1-5 セシウム吸着塔一時保管施設の外觀 4.1-14)

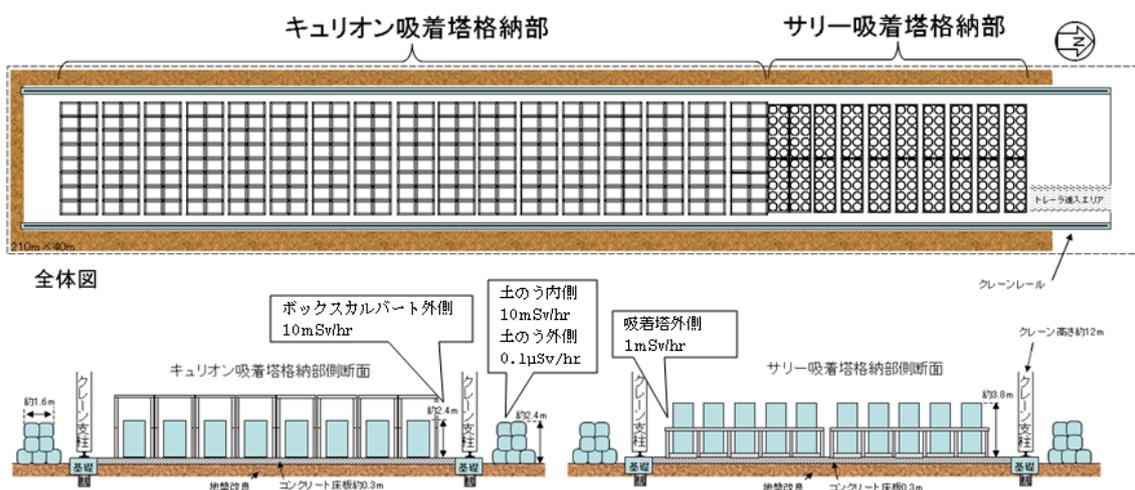


図 4.1-6 セシウム吸着塔一時保管施設の構造 4.1-5)

(キュリオン：セシウム吸着装置、サリー：第二セシウム吸着装置)

以上のように使用済吸着材やスラッジは様々な容器等に保管されている。そのため、処理・処分に関する検討を行う上では容器等の取扱いについても念頭におく必要がある。

4.1.2 研究開発の考え方

3章の研究開発の基本的な考え方及び、4.1.1に示した廃棄物の特徴や保管状況を踏まえ、汚染水処理二次廃棄物に関する研究開発の考え方を示す。

(1) 性状把握

廃棄物の処理・処分に関する研究開発を進める上では、放射能インベントリや化学組成等の廃棄物性状を把握することが必要不可欠である。しかし、保管容器の構造や高線量であること等により、実際に発生している汚染水処理二次廃棄物には採取することが困難なものがあることを念頭に、研究開発計画を立案する必要がある。また、将来的に導入される施設から発生する汚染水処理二次廃棄物に関しては、設備導入に合わせて研究開発計画に反映していくこととなる。

インベントリ評価については、実廃棄物の採取が可能なものは試料を採取し分析した結果に基づき行うが、実試料採取が困難なものは汚染水処理施設の系統水の分析結果に基づく評価を中心として進める。分析結果に基づくインベントリ評価に際しては、解析的な手法や、汚染水処理設備の設計情報・運転情報を活用する必要がある。評価に必要な設計情報や運転情報は現在公開されているものでは不足しているため、必要な情報を明確にした上で、それらの情報が適切に管理・共有化される仕組みを検討・構築する必要がある。

化学組成やその他の性状の把握については、実廃棄物が高線量であること等を念頭に、未使用の吸着材や模擬廃棄物等を用いた物性研究を中心に進め、汚染水処理設備の設計情報や運転情報等と合わせて評価する。必要な情報の取扱いについてはインベントリ評価と併せて仕組みの検討・構築が必要である。

(2) 廃棄物の処理・処分に関する検討

3章で示した考え方にに基づき、汚染水処理二次廃棄物の性状把握の進捗状況を適宜反映しながら、考えられる複数の処理・処分フローを念頭に置いて検討を進める。

将来的に導入される施設から発生する汚染水処理二次廃棄物については現在想定不可能であることから、検討に際しては不確定要因として考慮し、設備の導入に応じて実施される性状把握の状況を適宜反映する。

なお、既に発生している汚染水処理二次廃棄物については、設備が緊急的に導入された経緯があるため、処理・処分の見通しが得られるまでの間（中長期ロードマップでは20～25年後以降とされている）の間、安全に保管が継続できるかどうか十分に評価されていないものがある。このような廃棄物については、現状の保管方策がどの程度の期間にわたり機能するかについて評価する必要がある。また、現在の方法による保管が十分ではないと予想される場合は、改善策や新たな方策を検討する必要がある。

4.1.3 研究開発の課題と対応方法

(1) 汚染水処理二次廃棄物の性状把握

4.1.2 に示した通り、インベントリ評価やその他の性状把握は実廃棄物の直接的分析結果に基づく方法よりも、むしろ、当面は分析と解析を併用する間接的な方法に頼らざるを得ない。

ここでは汚染水処理二次廃棄物の性状把握・分析及びインベントリ評価に向けた研究開発課題とその対策案を記す。

1) インベントリ評価

課題 1：インベントリ評価

既発生の汚染水処理二次廃棄物についてもセシウムやストロンチウム以外の核種についてはインベントリ評価に必要な分析結果はほとんど得られていない。また、当面直接採取・分析が困難なものが多い。このため、解析的手法による評価を併用しなければならない。

対策 1：汚染水及びその処理水の分析、並びに水処理設備の設計や運転実績等に基づくモデルによる解析を組み合わせ、間接的にインベントリを評価する方法を確立する。分析結果に基づく評価に際しては、保管容器間でばらつきがあることを念頭に、分析結果の代表性を評価する必要がある。インベントリ評価の対象核種は、処分における安全評価への影響等を考慮して決定する。間接的な方法による評価の精度を考慮したうえで、廃棄物処理・処分の検討等に結果を反映させる。また、それにより処理・処分の検討結果を反映し、適宜、汚染水及びその処理水の分析計画や、評価モデルの見直しを行うとともに、インベントリ評価精度を向上させるために必要な実廃棄物試料の選択、試料数について検討し、実試料採取計画を取りまとめ、改めて試料採取・分析、ならびにインベントリ評価を実施する。

課題 2：試料の採取

課題 1 で検討した実試料採取計画で採取が必要とされた汚染水処理二次廃棄物には、吸着塔やスラッジ（除染装置）等採取が困難なものがある。それぞれ次のような課題が考えられる。

- ・吸着塔：高線量重量物の移動、開封
- ・スラッジ（除染装置）：高線量現場での試料採取

対策 2：採取する試料の量や性状、保管容器内の採取位置等を具体化し、採取方法やそれに必要な装置を検討、開発する。

課題 3：試料の輸送

ほとんどの汚染水処理二次廃棄物は高線量であり、また、セシウム吸着塔は重量物

でもある。従来の輸送容器では対応が難しい可能性が考えられる。

対策3：高線量重量物である等の特徴を考慮して吸着塔の輸送方法を検討する。また、汚染水処理二次廃棄物試料の輸送の負荷を低減するため、放射能レベルの観点から他の放射性廃棄物の輸送と合わせて合理的な輸送計画を検討する。他の研究開発の進捗状況を反映して輸送計画を適宜見直す。

課題4：試料分析手法

試料が高線量であるため、大量に試料を取り扱うことが困難である。また、核種組成が既存の廃棄物と異なることから分析方法が確立されていない核種がある。このため、次の課題が考えられる。

- ・分析前処理としての、汚染水処理二次廃棄物からの核種の溶解方法（各種ゼオライト、スラッジ、吸着材）
- ・高線量下での主要化学組成、微量成分、微量核種の分析
- ・難測定核種の分析
- ・不純物、水分の分析

対策4：分析手法の確立が必要な核種を抽出し、分析手法の開発を行う。極微量の試料でも測定が可能で、かつ分析感度が高い分析法の開発を行う。

2) その他性状把握

課題1：組成、含有不純物、有害物質、状態等の推定

安全な長期保管方策を含めた放射性廃棄物の処理・処分の検討を行うに当たり、性状に関する次の事項を把握する必要がある。

- ・廃ゼオライト等吸着材（セシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置）：化学組成、海水成分等の吸着塔内残存率、吸着塔内の核種分布、水分量、吸着塔間のばらつき、熱伝導率、発熱量、放射線化学反応等
- ・スラッジ（除染装置、多核種除去設備）：成分組成（沈殿及び上澄み液）、有害物質、固液比、脱水性、熱伝導率、発熱量、放射線化学反応等
- ・吸着材（多核種除去設備）：化学組成、海水成分等の保管容器内残存量、吸着塔内の核種分布、容器間のばらつき等
- ・濃縮塩水、濃縮廃液：溶液組成、容器間のばらつき等
- ・吸着塔、高性能容器（HIC）等の仕様

対策1：試料採取が困難なことから、直接的に汚染水処理二次廃棄物の性状等を調べるのが難しいことを念頭に、未使用の吸着材や模擬廃棄物等を用いた分析結果や基礎試験、汚染水処理装置の設計仕様や運転条件等の情報を基に汚染水処理二次廃棄物の性状等を推定する方法を確立する。

例) 吸着塔：セシウムの吸着シミュレーション解析に関し、コード開発と基礎吸着

試験との比較を実施、吸着塔内の吸着分布を推定する。なお、検討を通じ、汚染水処理二次廃棄物を直接採取して分析する必要性が明らかになった場合は、対象試料と数量を検討し、1)課題1で検討する実試料採取計画に反映させる。

課題2：物理的、化学的安定性

汚染水処理二次廃棄物を長期間保管した場合、その性状等が変化する可能性があり、そのような場合に処理・処分の影響を評価する必要がある。

対策2：スラッジや有機吸着材等の汚染水処理二次廃棄物の長期保管期間中の物理的(水圧)、化学的、熱的、放射線化学的安定性に関する基礎試験を実施し、安全性評価に必要なデータを収集する。また、放射性核種の崩壊熱による保管容器中の温度分布の解析結果から、保管中の汚染水処理二次廃棄物の物理的、化学的安定性を評価し、廃棄物処理・処分への影響を検討する。

(2) 汚染水処理二次廃棄物の処理方法

1) 処理に至るまでの長期保管対策

前節に示した通り、緊急的に導入された汚染水処理設備から発生する汚染水処理二次廃棄物について、処理・処分の見通しが得られるまでの間、安全に保管が継続できるかどうか評価する必要がある。

長期保管の観点からは、保管施設・容器の閉じ込め性(容器の腐食等)と、可燃性ガス(水素等)の影響について評価する必要がある。

課題1：水素ガス発生

汚染水処理二次廃棄物は高線量のものも多く、また、水分を含んでいるため、水素ガスの発生が懸念され、次の事項を検討する必要がある。

- ・水分の放射線分解による水素発生(必要データ：放射線量と水分量)
- ・放射性核種の崩壊熱による発熱と保管容器内の蓄熱条件下での水素濃度評価

対策1：性状把握によって求めた水素ガス発生G値を用いて、保管状況下における水素ガス発生量の推算、容器内滞留の評価、掃気方法の妥当性の評価等を実施する。合わせて熱流動解析等による保管容器内の温度分布評価も実施し、冷却方法(自然放冷)等の妥当性等の安全性評価に資する。

例えば、廃ゼオライト吸着塔内の水素拡散を数値解析及び実体系模擬試験によって確認し、吸着塔・保管設備の設計・運用に係るバックアップデータを取得する。

また、保管状況変更等に対応したケーススタディを実施する。例えば、廃ゼオライト吸着塔の水出口管の閉塞等。

課題2：保管容器等の腐食・劣化

保管容器には水分が存在するとともに、海水由来の塩の付着等、容器の腐食を促進する要因が存在する。このため、長期保管における材料の耐久性を評価する必要がある。

対策2：保管容器材料を対象に、塩化物イオン（無機系塩素化合物を含む）濃度、放射線、汚染水処理二次廃棄物等との接触を考慮した浸漬試験及び電気化学試験等により腐食に関するデータを整備し、容器の耐食寿命等を評価する。加えて、保管状況変更等に対応したケーススタディを実施する。例えば、保管容器の状態を推定するために、セシウム吸着塔の塩分洗浄試験等を実施する。以下に検討事項の例を示す。

- ・海水由来成分、やハウ素等不純物の影響
- ・塩水の放射線分解の影響
- ・複数の腐食形態の検討
- ・熱影響
- ・保管時の安定性評価

課題3：追加的な保管方策の検討

上記課題1、2に関する検討の結果、安全に保管を継続することが困難との結論が得られた場合に備え、追加的な安定保管対策について検討する必要がある。

対策3：追加的な安定保管対策として、1) の評価の進捗に合わせて以下の事項を検討する。

- ・十分な耐食性を有する容器の設計
- ・汚染水処理二次廃棄物の移送方法等の検討
- ・水素ガス、熱対策の検討
- ・安定化处理（一次処理）等の方策の準備（安定化处理技術を調査・整理し、適用性評価に必要な基礎試験を実施）

(3) 汚染水処理二次廃棄物の処理等

1) 安定化、廃棄体化

課題1：廃棄体化技術調査・評価

汚染水処理二次廃棄物は処理・処分の実績のない材料が多いため、適用しうる廃棄体化技術について検討を行う必要がある。

対策1：汚染水処理二次廃棄物へ適用の可能性がある廃棄体化技術を調査し、それらの概要、特徴、実用例等を取りまとめる。また、汚染水処理二次廃棄物の性状把握の進捗や廃棄物処分に関する研究成果を反映し、その適用性を検討することにより廃棄体化技術の候補の絞り込みを行う。適用性検討を実施する上でデータ等が不足している場合は、データを入手するための基礎試験計画を策定し実施する。

検討項目例)

- ・海水由来成分、ホウ素等の廃棄体化への影響
- ・フェロシアン化物等有害物質対策（核種移行への影響、分解によるシアン化物生成）
- ・樹脂系吸着材の取り扱い
- ・廃棄体特性評価（高線量の影響（水素ガス発生、耐熱性）、不純物の影響等）
- ・保管容器からの取り出し、ハンドリング技術
- ・処分容器（処分区分、核種組成、放射線量、不純物の特徴等を考慮）

評価項目例)

- ・作業時の安全性、処分後のリスク
- ・技術の実用化の状況、経済性
- ・廃棄体発生量と廃棄体化に伴い生じる二次廃棄物の性状、発生量

(4) 汚染水処理二次廃棄物の処分

廃棄物の性状やインベントリ評価の精度が分析や廃止措置作業の進展に応じて向上していくものであることを念頭に、処分方法の検討では、既存の処分概念や安全評価手法の適用性に係る検討とともに、既存の概念にとられない方法の考案等を含め、幅広くに検討すべきである。例えば、セシウム除去装置から発生する廃ゼオライトを吸着塔のまま処分する方法から吸着塔から取り出しガラス固化等の廃棄体化処理を施してから処分する方法まで、工学的に実現可能と考えられる処理・処分法の候補を想定し、安全性、経済性等の様々な視点から多角的にその効果や長所・短所等を検討することがあげられる。

なお、廃棄物処分の検討は、混合による合理化の可能性も踏まえ汚染水処理二次廃棄物だけではなく他の福島第一事故廃棄物と合わせて検討する必要がある。

課題 1：処分概念検討

汚染水処理二次廃棄物は処理・処分の実績のない材料が多いため、適用可能な処分概念の検討を行う必要がある。

対策 1：国内のみならず海外情報も含め処分概念を調査・整理し、汚染水処理二次廃棄物への適用性を検討する。これらの検討は他の福島第一事故廃棄物の検討と合わせて実施する。既存処分概念の適用（バリア構成等）に関する検討は、廃棄物の性状把握等の進捗に合わせ、段階的に概括的なものからより詳細なものへと進展させていく。例えば、汚染水処理二次廃棄物の量や性状が未定な場合は様々な想定での検討を行い、量や性状が評価あるいは見通せるようになった時点ではその評価結果の幅等を考慮した処分概念の検討を実施する。処分概念の検討に関わる計画立案及びその実施においては、例えば以下の点に留意しつつ検討を進める。なお、実際に廃棄物を処分する際には、処分した廃棄物中に含まれるインベントリが安全評価の前

提として設定したインベントリを下回っていることを評価する必要がある。この際に用いる評価の方法は処分概念や処分の安全性評価のやり方に依存するため、その成立性についても検討を行う必要がある。

検討項目例)

- ・ 既存処分概念の適用性
- ・ 処分概念の合理化・高度化方策（例えば、短半減期のセシウムのみを含む廃棄物等、廃棄物の特徴に応じた合理的な処分概念の考え方）
- ・ 処分概念の適用の可否や合理性を判断するための情報整備
 - 判断項目、判断基準の整理(バリア性能、技術的実現性、社会的・経済的成立性等)
 - 性状把握、インベントリ評価、長期保管、一次処理、廃棄体化に係る処分の観点での課題やニーズの整理
 - 上記以外に処分概念の検討や判断のために取得しなければならないデータの抽出及びそのための研究開発計画の策定 等

課題 2：汚染水処理二次廃棄物にかかる処分安全性評価

汚染水処理二次廃棄物は処理・処分の実績のない材料が多いため、課題 1 で検討した処分概念を念頭に安全評価手法を整備し、評価を実施していく必要がある。

対策 2：国内のみならず海外情報も含め安全評価手法を調査・整理し、汚染水処理二次廃棄物への適用性を検討する。ここで、上記の調査・整理は瓦礫等の他の廃棄物における調査と連携させつつ実施する。既存安全評価手法の適用（シナリオ、地質環境条件等）に関する計画立案及びその実施において、廃棄物の性状把握等の進捗及び処分概念の検討に合わせ、段階的に概括的なものからより詳細なものへと進展させていく。例えば、インベントリが未定な場合はインベントリをパラメータとした安全性の感度解析的な検討を行い、インベントリが評価できた時点ではその確度等を考慮した安全性の評価を実施する。安全性の評価に関わる計画立案及びその実施においては、例えば以下の点に留意しつつ検討を進める。

検討項目例)

- ・ 廃棄体の特性、物量の評価
- ・ 既存安全評価手法の適用性
- ・ 安全評価手法の合理化・高度化方策
 - 複数の手法の使い分けや組合せ（感度解析、不確実性評価、（インベントリ分布の推定に対する）確率論的評価等）
 - 廃棄物の特徴に応じた安全性への影響把握（有機物等による核種移行への影響、塩分による緩衝材性能や核種移行への影響等） 等
- ・ 処分概念検討と安全性検討を連携させたバリア性能評価に基づく処分概念とバリ

ア構成の最適化（例：短半減期の放射性セシウムのみを含む廃棄物に対して最適な処分概念とバリア構成の考え方）

- ・ 廃棄物を処分する際に実施する、安全性評価への適合性を判断するためのインベントリ評価手法
- ・ 安全性を判断するための情報整備
 - 判断項目、判断基準の整理(安全性、安全性評価に係る不確実性等)
 - 性状把握、インベントリ評価、長期保管、一次処理、廃棄体化、処分概念に係る処分の観点での課題やニーズの整理
 - 安全性判断のために取得しなければならないデータの抽出及びそのための研究開発計画の策定 等

課題3：水処理二次廃棄物の処分にかかる安全性の見直し確認

上記課題1、2の検討を踏まえ汚染水処理二次廃棄物の処分に関する安全性の見直しについて評価する必要がある。

対策3：目標1及び目標2のそれぞれの時点までに得られた技術情報（性状やインベントリの推定と精度の評価、廃棄体化技術や処分概念についての適用性の評価や開発状況、安全性評価手法並びにパラメータの整備等）を基に、各目標時点での処分の安全性の見通しの確認を行うとともに、より適切な評価としていくための課題の抽出を行う。なお、これらの評価は、汚染水処理二次廃棄物単独ではなく、その他の福島第一事故廃棄物と共に行う。

4.1.4 研究開発計画

2.2節において設定した目標1及び目標2の達成に向けて、前節で検討した対策のスケジュール化を検討する。検討にあたっては、廃棄物性状を評価する上で必要な情報が少ないといった状況を考慮しつつ、最大限の成果が得られるよう実施項目の内容、達成時期、情報のフィードバック等のマッチングを図る。

(1) 目標

水処理汚染水処理二次廃棄物の研究開発における目標は、「東京電力（株）福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」で設定されている2つの判断ポイントを参考に、以下のものとする。

（目標1）：廃棄物の性状に応じた既存処分概念への適用性の確認（2016年度末）

（目標2）：廃棄物の処理・処分における安全性の見直し確認（2020年度末）

目標1に向けての取り組みは、取得される情報が概括的なものであると予想され、中

間取りまとめという意味合いが強いことから、国内外の関連する情報を幅広く収集し、必要に応じて基礎試験を実施しつつ、技術の適用性評価を行うことを基本的な進め方とする。

これに対し、目標 2 は、ある程度詳細な情報が蓄積されると予想されること及び安全性の見通し確認が目標となっていることから、必要に応じてホット施設を利用した長期評価試験等を実施しつつ、研究開発成果を活用して目標 1 で適用性評価を行った技術の絞込みを行うことを基本的な進め方とする。

1) 汚染水処理二次廃棄物の性状把握

目標 1 に向けては、廃棄物性状の把握に必要となる放射性核種、化学組成、物理的性状等の分析を進めつつ、分析と解析的手法を組み合わせたインベントリ評価方法の確立を目指す。これと並行して目標 2 で必要となる難測定核種、高線量試料等の種々の分析データを迅速に取得するための分析技術の開発を実施する。目標 2 に向けては、開発した分析技術を活用してより多くの試料の分析を進めるとともに、インベントリ推定の確度の向上を図る。なお、実施にあたっては、処理、処分に関する検討の進捗を試料採取計画の見直しやインベントリ評価方法の高度化に適宜反映させる。

2) 汚染水処理二次廃棄物の処理に向けた保管の検討

目標 1 に向けては、現在の廃棄物保管方法の妥当性及び適用期間を評価するため、水素ガス等発生安全評価、保管容器材料腐食評価等を実施し、必要に応じて長期保管方策を検討する。

3) 汚染水処理二次廃棄物の処理等の検討

目標 1 に向けては、廃棄体化処理に関しては、幅広く技術調査を行い、必要に応じて基礎試験を実施しつつ、適用可能な技術のカタログ化を目指す。目標 2 に向けては、性状把握の結果を活用しつつ、必要に応じてホット施設を利用した長期評価試験等を実施して廃棄体化処理技術の絞込みを行う。

4) 汚染水処理二次廃棄物の処分の検討

目標 1 に向けては、我が国で主に検討されてきた既存の処分概念に加え、海外情報等を参考に適用可能な処分概念を幅広く検討する。また、安全評価手法に関する国内外情報を調査・整理する。インベントリ評価や廃棄体化技術候補の評価を踏まえ、廃棄物の特性を整理しつつ、既存の処分概念、安全評価手法の適用範囲を検討する。また、必要に応じ、新たな処分方策の検討を行う。目標 2 に向けては、インベントリ評価や廃棄体化技術候補の評価の進展を活用しつつ、既存の処分概念、安全評価手法の適用あるいは合理化・高度化を反映した、処分概念の技術的成立性と安全性の見通しを得る。

上記の各目標での概要とその目標の判断に必要な情報を、表 4.1-2 に示す。

(2) スケジュール

これまでの議論を踏まえてまとめた水処理汚染水処理二次廃棄物の処理・処分に係る

研究開発のスケジュールを表 4.1-3 に示す。

参考文献

- 4.1-1) 福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画等を参考に作成。
- 4.1-2) 東京電力株式会社、福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画、II 部、2.5 汚染水処理設備等 (2012).
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/121207j0104.pdf
- 4.1-3) 東京電力株式会社、除染装置 (吸着塔) の設備概要、平成 23 年 6 月 17 日 (2011).
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_110617_04-j.pdf
- 4.1-4) 東京電力株式会社、水処理装置不適合まとめ、平成 23 年 8 月 31 日 (2011).
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_110831_01-j.pdf
- 4.1-5) 東京電力株式会社、福島第一原子力発電所第 1～4 号機に対する「中期的安全確保の考え方」に基づく施設運営計画に係る報告書 (その 1) (改訂 2)、別紙：高レベル放射性汚染水処理設備、貯留設備 (タンク等)、廃スラッジ貯蔵施設、使用済セシウム吸着塔保管施設および関連設備 (移送配管、移送ポンプ等)、平成 24 年 9 月 11 日 (2012). http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/120911j0501.pdf
- 4.1-6) 東京電力株式会社、福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について (第 80 報)、平成 25 年 1 月 4 日 (2013).
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu13_j/images/130104j0201.pdf
- 4.1-7) 東京電力株式会社、写真・動画集、福島第一原子力発電所水処理施設、福島第一原子力発電所水処理施設スキッド、2011 年 6 月 11 日 (2011).
<http://photo.tepco.co.jp/date/2011/201106-j/110611-04j.html>
- 4.1-8) 有馬由紀、竹内努、吉野晃、福島第一原子力発電所の汚染水処理システムと東芝の取り組み、東芝レビュー、Vol. 67, No. 11 (2012).
http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2012/11/67_11pdf/f05.pdf
- 4.1-9) Thierry Prevost et al., Areva's Actiflo™-Rad Water Treatment System for the Fukushima Nuclear Power Plant, Internationale Zeitschrift für Kernenergie, 308 (2012).
- 4.1-10) 東京電力株式会社、動画解説「事故の収束に向けて」: 第二弾 第 2 回、セシウム吸着塔及びメディアフィルター、2011 年 10 月 29 日 (2011).
<http://photo.tepco.co.jp/date/2011/201110-j/111029-01j.html>
- 4.1-11) 東京電力株式会社、福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画、II 部、2.16 放射性液体廃棄物処理施設及び関連施設 (2012).
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/121207j0104.pdf
- 4.1-12) 東京電力株式会社、第 3 回特定原子力施設監視・評価検討会、多核種除去設備の運転開始に当たっての安全評価再説明資料、平成 25 年 2 月 1 日 (2013).
http://www.nsr.go.jp/committee/youshikisya/tokutei_kanshi/data/0003_01.pdf
- 4.1-13) 東京電力株式会社、中長期対策会議運営会議第 7 回会合、2012 年 6 月 25 日 (2012).

http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/m120625_05-j.pdf

4.1-14) 東京電力株式会社、写真・動画集、セシウム吸着塔一時保管施設の設置、2011年12月21日(2011).

<http://photo.tepco.co.jp/date/2011/201112-j/111221-01j.html>

表 4.1-2 目標と必要な情報（汚染水処理二次廃棄物）

目標	目標 1	目標 2
概要	<p>廃棄物の性状に応じた既存処分概念への適用性の確認</p>	<p>廃棄物の処理・処分における安全性の見通しの確認</p>
必要な情報	<p>1. 性状把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・汚染水処理二次廃棄物の性状、物性データ ・確度が十分ではないインベントリの推定及び確度の推定 ・難測定核種等分析技術のフロー <p>2. 処理に向けた保管の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現在の保管方法の妥当性、適用期間 ・（必要に応じて）新たな長期保管方策 <p>3. 処理等の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・廃棄体化技術の調査結果と適用性検討結果 ・候補技術に基づく廃棄体特性整理結果 <p>4. 処分の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・インベントリ評価や廃棄体化技術候補の評価を踏まえた、既存の処分概念、安全評価手法の適用範囲の検討結果 	<p>1. 性状把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・確度を向上させたインベントリの推定 ・確度・不均質性の推定 <p>2. 処理等の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・絞り込まれた廃棄体化技術の評価結果 <p>3. 処分の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・処理・処分フロー案と廃棄体情報 ・既存の処分概念、安全評価手法の適用あるいは合理化・高度化（特に不確実性評価，確率論的評価）を反映した、処分概念の技術的成立性と安全性の見通し

表 4.1-3 汚染水処理二次廃棄物の研究開発ロードマップ

項目	第 1 期			第 2 期							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
1. 性状把握					目標 1 廃棄物の性状に応じた既存処分概念への適応性の確認	HP5-1				目標 2 廃棄物の処理・処分における安全性の見通しの確認	HP5-2
(1) インベントリ評価		汚染水等の分析					開発した分析技術を活用した分析データ蓄積				
(2) その他性状把握		難測定核種等分析技術開発									
		分析と解析的手法を組み合わせたインベントリ評価手法開発					インベントリ推定精度の向上				
		化学組成、物理性状の把握									
2. 処理に向けた保管の検討		処理技術・処分概念適用性評価に必要な分析項目を反映					インベントリ評価結果を処理、処分検討に反映				
		現行保管方法の評価									
		次期保管方策検討					インベントリ評価結果を処理、処分検討に反映				
3. 処理等の検討		廃棄体化技術の調査（広範囲）					性状把握結果等を踏まえた候補技術の絞り込み				
		適用性評価のための基礎試験					適用性評価のための長期試験（ホット）				
		適用性の検討									
4. 処分の検討		廃棄物特性評価					処分の安全性に関する検討結果をインベントリ評価や処理に関する検討に反映				
		処分概念、安全性評価手法の調査（広範囲）									
		処分概念、安全性評価手法の適用性検討					処分概念、安全評価手法の合理化・高度化				
						成果のまとめ				成果のまとめ	

4.1-23

4.2 瓦礫／伐採木等

本節では現在撤去と一時保管が進められている瓦礫及び伐採木、並びに土壌を対象とする（以下、「瓦礫等廃棄物」という）。処理・処分に関わる技術開発事例の検討の結果、これらの廃棄物が類似した技術開発項目を有すると判断できたことから、以降は主として瓦礫について記載し、伐採木及び土壌については相違点を中心に記載する。

4.2.1 廃棄物の特徴と保管状況

(1) 特徴

1) 瓦礫

水素爆発により原子炉建屋周辺に飛散した鉄筋コンクリート、使用済燃料プール内燃料の取り出しのために残存建屋から撤去された鉄筋コンクリートや金属類が瓦礫として発生している。瓦礫片の一部はコンクリート部材中に鉄筋が含まれている。また、使用済燃料プールにも一部落下していることが確認されており、それらについても撤去が計画されている^{4.2-1)}。

瓦礫には、大気中に放出された放射性核種の付着により汚染が生じていると思われる。加えて一部の瓦礫片については、冷却のための放水作業に伴い、揮発性放射性核種及び冷却水に溶存した放射性核種が部材表面に付着するのみならず浸透している可能性がある。汚染の範囲は広範囲に及び、汚染の経路や状況が異なるため、瓦礫片の放射性核種濃度は広範囲にわたると想定される。さらには、塩分と飛散防止剤、及び一部の瓦礫にはホウ素や油分等の不純物が付着していると考えられる。瓦礫は平成 24 年 12 月 27 日時点でコンクリートと金属類が合わせて 59,000m³発生している^{4.2-2)}（図 4.2-1 参照）。今後、飛散した瓦礫の収集や現存建屋の撤去作業に伴い重量が増加する一方で、一時保管の合理化等の観点から圧縮等により体積が減少する可能性があり、物量の想定はこれらの作業状況に依り変動する。

金属類は主としてステンレス、炭素鋼と考えられるが、その他にもアルミニウム合金や鉛等、それ自身が処理・処分に与える影響を検討する必要がある金属が混入している可能性がある。また、ケーブル類の被覆材である PVC（塩化ビニル）が有機物として含まれる。これらは、コンクリートと異なり、内部への汚染の浸透は少ないと想定できる。

瓦礫等廃棄物は物量が多く、汚染のレベルが広範囲にわたることが大きな特徴の一つであるため、廃棄物低減の観点から再利用（廃止措置作業にのみ使用するという限定的な再利用を含む）の対象となる可能性がある。

2) 伐採木

汚染水貯留設備等の設置のための敷地造成や敷地内除染の際に伐採した草木類は、平成 24 年 12 月 27 日時点で 72,000m³発生している^{4.2-2)}。福島第一原子力発電所構内に植生されているマツ等の常緑樹では、構外の常緑樹の放射線測定や放射性物質の分布の調査結果^{4.2-3)}からの類推により、幹部よりも枝葉部の汚染が大きいと推定できる。また、

伐採木は長期的には微生物活動により分解・腐敗するという特徴がある。今後の敷地造成等に伴うさらなる伐採による増量の可能性があるが、腐植による減量が同時に進行するため、物量の想定にはこれらの作業や現象を考慮した評価が必要である。なお、管理に際しては、微生物活動に伴う発熱による火災の可能性を念頭におく必要がある。

3) 土壌

サイト内表面土壌と植生、腐葉土層等が、今後の除染作業や敷地造成に伴い発生すると想定されるが、現在、発生量の想定は困難である。すでに一部、発電所構内グラウンド等で採取した土壌試料の分析により、種々の放射性核種の存在が認められている^{4.2-4)}。多くは土壌や植物に吸着されていると推定できるが、表面土壌の飛散の可能性も考えられる。

なお、地下水を介して地中の土壌や岩盤が汚染している可能性がある。これらを廃棄物として扱う必要があるか否かについては敷地全体の除染作業の進捗に合わせ検討する必要がある。

(2) 保管状況^{4.2-2、4.2-5)}

発生した瓦礫は、コンクリートと金属類の材料別、目安とする表面線量率に基づいて可能な限り分別され、サイト内数カ所に設けられた保管場所（「一時保管エリア」）に飛散抑制対策等が取られた上で保管（「一時保管」）されている。放射線量が低いものについてはシート養生や屋外集積場で保管され、放射線量が高いものについては固体廃棄物貯蔵庫や容器内に保管されている。また、敷地境界における放射線量低減を目的とした「覆土式一時保管施設」への移動が一部で開始されている（図 4.2-1、図 4.2-2 参照）。

伐採木は、汚染の程度が異なる枝葉部と幹部を分別して保管場所に屋外集積されている（図 4.2-1 参照）。火災のリスクがあり、汚染が大きい枝葉部については、温度監視等が行われているとともに、火災防止や敷地境界線量低減を目的とした「伐採木一時保管槽」への移動が一部で開始されている。

ガレキ・伐採木の管理状況(H24.12.27時点)

保管場所	エリア境界空間線量率 (mSv/h)	種類	保管方法	保管量 ^{※1}	前回報告比 (H24.11.30)	エリア占有率
固体廃棄物貯蔵庫	0.05	コンクリート、金属	容器	2,000 m ³	- m ³	35%
A：敷地北側	0.06	コンクリート、金属	仮設保管設備	5,000 m ³	- m ³	43%
B：敷地北側	0.06	コンクリート、金属	容器	4,000 m ³	- m ³	98%
C：敷地北側	0.01	コンクリート、金属	屋外集積	31,000 m ³	+ 2000 m ³	90%
D：敷地北側	0.01	コンクリート、金属	シート養生	2,000 m ³	- m ³	86%
E：敷地北側	0.01	コンクリート、金属	シート養生	3,000 m ³	- m ³	88%
F：敷地北側	0.01	コンクリート、金属	容器	1,000 m ³	- m ³	99%
L：敷地北側	0.01	コンクリート、金属	覆土式一時保管施設	5,000 m ³	+ 1000 m ³	66%
O：敷地南西側	0.06	コンクリート、金属	屋外集積	6,000 m ³	- m ³	36%
合計（コンクリート、金属）				59,000 m ³	+ 3000 m ³	68%
G：敷地北側	0.01	伐採木	屋外集積	11,000 m ³	- 7000 m ³	53%
H：敷地北側	0.01	伐採木	屋外集積	16,000 m ³	- m ³	93%
I：敷地北側	0.02	伐採木	屋外集積	11,000 m ³	- m ³	100%
J：敷地南側	0.06	伐採木	屋外集積	12,000 m ³	- m ³	77%
K：敷地南側	0.05	伐採木	屋外集積	5,000 m ³	- m ³	100%
M：敷地西側	0.01	伐採木	屋外集積	17,000 m ³	+ 6000 m ³	80%
合計（伐採木）				72,000 m ³	+ 1000 m ³	79%

※1 端数処理で1,000m³未満を四捨五入しているため、合計値が合わないことがある。



図 4.2-1 瓦礫・伐採木の発生状況と発電所内保管場所、保管施設 (4.2-2)

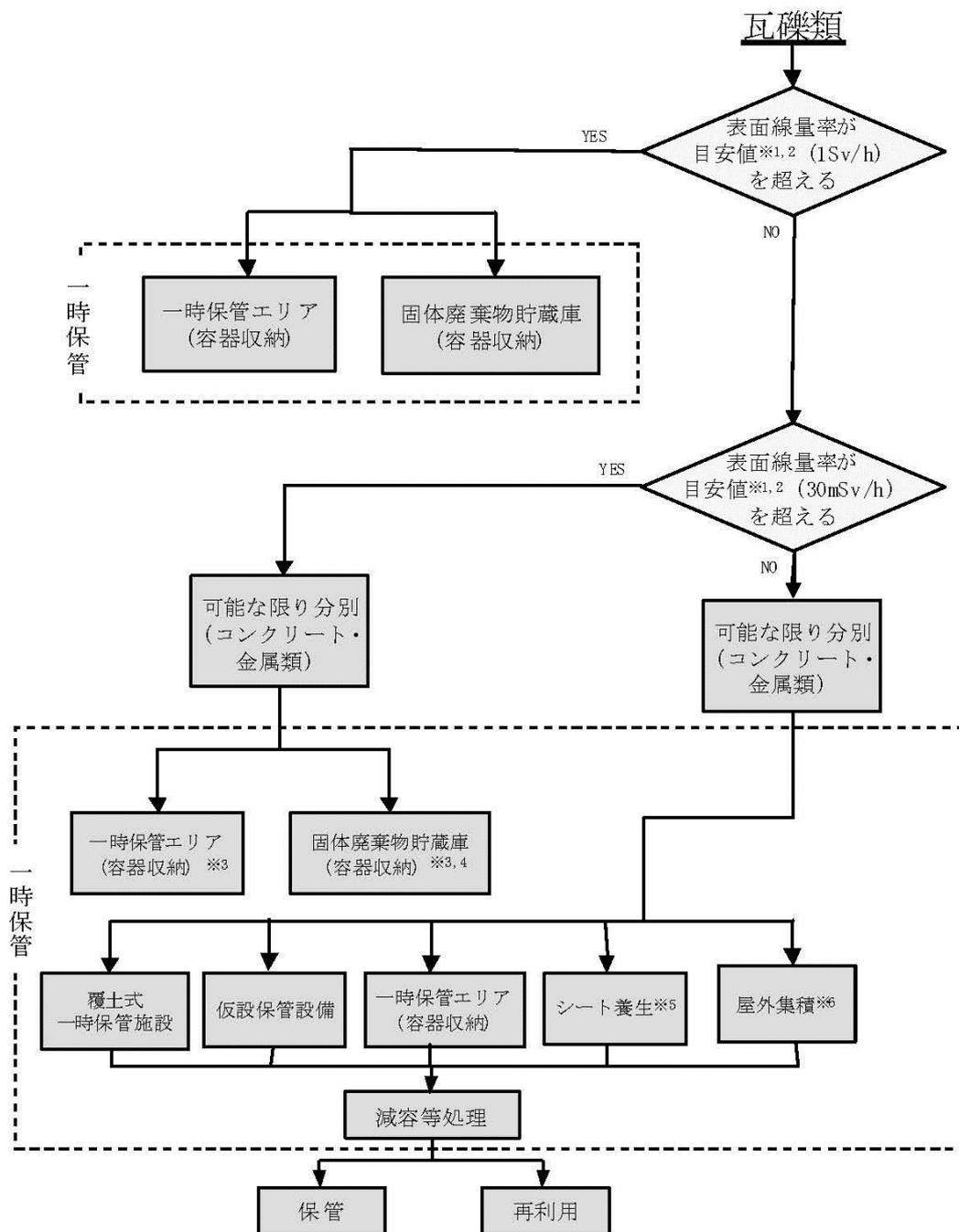


図 4.2-2 発電所敷地内で発生する瓦礫類の管理の流れ 4.2-5)

(図中点線枠上のフローに従って大きく分けられ、枠内にある施設・エリアで保管中)

4.2.2 研究開発の考え方

瓦礫等廃棄物に共通した特徴として、物量が多く今後も大きく変動すること、放射性核種濃度が広範囲にわたること、含まれる放射性核種が多岐にわたる可能性があること、処理・処分を検討する上で影響のある有機物等の化学物質が含まれること等が挙げられる。また、保管エリアの確保等の観点から、減容や再利用が検討される可能性もあるため、最終的な処分に供される廃棄物の物量やインベントリの推定は現時点では困難である。これらの推定は廃止措置作業の進展や廃棄物の性状把握に関する分析結果の蓄積により精度が向上していくものであることを踏まえ、当該廃棄物の安全な処理・処分実施の見通しを得るための研究開発を行う必要がある。

(1) 性状把握

廃棄物の処理・処分に関する研究開発を進める上では、放射能インベントリや化学組成等の廃棄物性状を把握することが必要不可欠である。瓦礫等廃棄物は、高線量の瓦礫を除き、比較的容易に試料採取が可能であり、19 試料の瓦礫と伐採木について JAEA により 2013 年 3 月末終了の予定で分析が進められている。しかし、4.2.1 で示した通り、瓦礫等廃棄物は物量が多く、汚染のレベルや状況が多岐にわたる。そのため、分析試料の代表性を確保することが困難なことから、分析結果に基づき廃棄物の性状を把握する際には多数の分析を行わなくてはいけない可能性がある。よって、必ずしも十分な分析結果が蓄積されていない状況においても検討を進められるよう、実測データと解析的評価を併用してインベントリ評価と化学組成等の推定を行う必要がある。また、効率的に性状把握を進めるため、廃棄物の処理・処分に関する研究成果を適宜反映し、分析計画や性状把握のための解析モデルの見直しを行う必要がある。

(2) 廃棄物処理方法検討

3 章で示した考え方にに基づき、性状把握の進捗状況を適宜反映しながら、考えられる複数の処理フローを念頭に置いて検討を進める。

瓦礫等廃棄物は、今後の廃止措置作業によってもさらに増加する可能性がある。また、保管エリア確保等の観点から減容や再利用が検討されることにより廃棄物の保管形態が変更になる可能性がある。このように瓦礫等廃棄物に関する放射性廃棄物の処分に向けた処理方法の検討は、管理のための処理方法の検討と密接に関わっていることを念頭に、特に、処分の安全性の観点を考慮した管理方法や、再利用を考慮した分別方法、二次廃棄物の発生を極力抑える除染技術、焼却処理等の減容による放射能濃度増大を考慮した適切な減容手法等に注目する必要がある。

(3) 廃棄物処分に関する検討

3 章で示した考え方にに基づき、性状把握の進捗状況を適宜反映しながら、考えられる

複数の処分方法を念頭に置いて検討を進める。

特に、瓦礫等廃棄物については、物量が多いことに加え、放射性核種の組成や濃度のばらつきが大きいことを念頭に検討を進める必要がある。

4.2.3 研究開発課題と対応方法

(1) 瓦礫等廃棄物の性状把握

瓦礫等廃棄物については、物量が多く、汚染のレベルが広範囲にわたることから、試料の分析結果についてはデータの代表性の考え方が重要となる。また、データ数が限られている状況では解析的手法を併用し性状やインベントリを推定する必要がある。

1) インベントリ評価

課題1：放射性核種の種類と濃度、汚染状況の実測とデータのばらつきの把握

瓦礫等廃棄物は、種々の形状や性質の物質から構成されており、また、放射性核種が気体、或いは液体を介して汚染しているため、放射性核種の種類と濃度が幅広い分布を持ち、そのばらつきの程度やデータの代表性が課題2のインベントリ評価の精度に影響する。

対策1：2.3で示したように、分析結果の蓄積には時間を要する。そのことを念頭に、処理・処分における影響を考える上で重要な核種による汚染の有無やおおよその濃度のばらつきを効率的に把握できるような分析計画を立案し、実行する。

検討項目例：

- ・ 性状データのばらつきを可能な限り低減させるための試料採取方法
- ・ ホットパーティクル等の検出方法
- ・ コンクリート瓦礫内部への汚染浸透データ取得方法

課題2：インベントリ評価

目標1、目標2の期間における廃棄物の性状把握状況下、すなわち統計的な扱いができない程度の少ない実測データ数を基にして、種々の形状や大きさの瓦礫や伐採木、未発生の土壌に対するインベントリを評価する必要がある。

対策2：各目標の時点で得られる実測データ数に限りがあることを念頭に、実測データの分析評価と事故シナリオに基づく瓦礫等廃棄物のインベントリの推定モデル等を組み合わせたインベントリ評価方法を開発する。

課題3：分析方法

核種組成や汚染状況が既存の廃棄物と異なることから分析方法が確立していない核種がある。

対策3：分析手法の確立が必要な核種を、処分した場合の安全評価計算結果等の重要度

から抽出し、それら核種の分析手法の開発を行う。

2) その他性状把握

課題1：処理や処分の安全性、処分システムの健全性に影響する物質の把握

廃棄物に含まれる有害物の化学組成、物理形状は、処理技術の検討に必要な情報となるが、不純物としての塩素やホウ素、飛散防止材等の有機物、有害金属等の存在量情報が不足している。これらが、保管時のみならず、処理・処分時の放射性核種の挙動やガス発生へ影響する可能性を把握する必要がある。

対策1：有害物を含む廃棄物の化学組成、物理形状は、処理技術の検討に必要な情報となることから、これらの廃棄物データについても取得を行い、塩素、ホウ素、飛散防止材等の有機物、有害金属等の存在量を推定する。測定対象としては以下が考えられる。

測定項目例：

- ・瓦礫片の概略の形状
- ・廃棄体化や処分システム性能に影響しそうな物質とその影響の洗い出し
- ・廃棄体化や処分システム性能に影響すると考えられる物質、例えば塩分、ホウ素、有機物等含有量
- ・有害金属類の含有量
- ・異なる材質の廃棄物含有量（コンクリート中鉄筋等）

(2) 瓦礫等廃棄物の処理に向けた保管

課題1：長期保管対策に関する検討

金属類ならびに金属被覆物の腐食、有機系飛散防止剤の分解、土壌に含まれる植生の腐植等に伴いガス発生が生じる可能性がある。また、瓦礫等廃棄物の保管に際して、容器を用いる場合には、容器仕様が処分に与える影響の評価が必要である。

対策1(1)：金属類ならびに金属被覆物の腐食、有機系飛散防止剤の分解、土壌に含まれる植生の腐植等に伴うガス発生量を推定し、安全な長期保管の実施に必要なガス発生対策を調査・検討する。必要に応じて分別や処理による影響回避策を調査・検討する。

対策1(2)：保管、移動、処分の各段階で異なる容器を用いることは二次廃棄物が発生すること、廃棄物の移し替え作業や施設が必要となることから効率的ではないため、できるだけ同一の容器を使用できるよう検討することが望ましい。容器の検討に際しては、塩分やホウ素等廃棄物中の不純物が保管容器のみならず、処理や廃棄体化、処分システム性能や処分の安全性に影響を与える可能性を念頭におく必要がある。廃棄物性状把握の結果や不純物含有量の推定により、廃棄体容器の健全性及び処分の安全性への影響を明らかにする。

(3) 瓦礫等廃棄物の処理方法

1) 分別

課題 1：分別方策の検討

瓦礫は材質と表面線量率の大小で大きく分別保管されているが、処分の際の廃棄物区分や再利用を考慮した分別方策が未検討である。また、分別を行うための具体的な技術の調査も必要である。

対策 1：廃棄物の分別においては、事前に処分や再利用の対象とする物量を計画的に想定し、適切な基準値を如何にして設定するかが課題となる。大量に存在する瓦礫片の迅速・簡便な測定方法と分別のための技術等を調査・検討する。特に、ホットパーティクル等の付着による高線量のコンクリート瓦礫を安全かつ効率的に特定し、分別する方法を調査する。

検討項目例：

- ・高バックグラウンド条件での放射線測定技術
- ・新規処分区分に応じた分別区分の検討
- ・鉄筋、鉛やアルミ材等有害金属の分別や回収方法の検討

2) 除染

課題 1：除染方策の検討

大量に発生する瓦礫等廃棄物全部を放射性の廃棄物として処分する方策に対して、除染処理により放射性核種濃度を低減させる方策の適用性についても検討する必要がある。瓦礫と土壌および伐採木の皮はぎが対象となるが、具体的な除染技術も含めた方策が必要となる。

対策 1：放射性の廃棄物物量低減のための再利用や安全な処分区分の見直し等を念頭に、除染方法を調査しその適用性を評価する。調査に際しては除染により発生する二次廃棄物の量や性状について特に着目して行う必要がある。

3) 減容

課題 1：減容技術に関する検討

廃棄物の保管エリア確保の観点等から減容処理が行われる可能性があるが、これらの実施に際して、廃棄体化処理や放射性廃棄物の処分に対する影響を考慮する必要がある。また、廃棄物の処分を行う上でも、廃棄物の減容処理の有効性を検討する必要がある。

対策 1(1)：圧縮や切断等による減容が行われる場合、含有放射エネルギーが保存されるため、減容処理後の廃棄物は事前の放射能濃度区分よりも高い区分となる可能性に留意して廃棄物処分に対する影響を検討する。また、減容処理に際して取得が必要な記録

についても後段の廃棄体化や処分に対する影響を念頭に検討する。なお、減容技術として二次廃棄物の発生量と性状についても着目する必要がある。

対策1(2)：伐採木のうち、特に汚染の高い枝葉部を焼却処理で減容する場合にはセシウムをはじめとする放射性核種が焼却灰中に濃縮されることを念頭におき、その影響を検討する必要がある。また、焼却に供する伐採木には土壌が混入している可能性があること、焼却処理過程での放射性核種の移行挙動の把握、焼却施設の排ガス処理能力の把握、フィルター等の二次廃棄物の取り扱い等についても検討する必要がある。伐採木の減容処理としては焼却のほか、コンポスト処理も考えられるが、この場合には、処理後の有機物を含む残渣の処理・処分方策の検討が必要である。

4) 再利用

課題1：再利用方策の検討

大量に発生する瓦礫等廃棄物全部を放射性廃棄物として処分する方策は必ずしも効果的なオプションでない可能性がある。瓦礫等廃棄物のうち、金属やコンクリートについては敷地内等での再利用方策を検討し、処分への負担の低減効果を評価する必要がある。

対策1：再利用方法について、国内外の事例を調査し、実現性・実効性が高い方法を明らかにする。また、再利用実施のために必要な分別・処理・除染技術の選定の考え方を明らかにする。必要に応じて新規技術を開発する。

5) 廃棄体化

課題1：廃棄体化技術に関する検討

廃棄体化には、容器への収納や固型化処理が必要となるため、体積が増加する傾向にある。多量であるという瓦礫等廃棄物の特徴を念頭に、廃棄体化技術の適用性や必要性を検討する必要がある。

対策1：廃棄物処分に関する検討と合わせ、廃棄体化の必要性について検討する。また、並行して3章の考え方にに基づき、廃棄体化処理技術の調査を行い、その適用性を評価する。適用性の評価にあたっては、ホウ素等の不純物や有機物が固型化や容器の健全性、処分の安全性に与える影響についても検討する。また、廃棄体中の放射能濃度の不均質性の度合いやそれを評価する方法についても検討する。なお、本検討は、解体廃棄物と性状が似ていると想定されることから合わせて検討することが合理的である。

(4) 瓦礫等廃棄物の処分

廃棄物の性状把握やインベントリ評価の精度が分析や廃止措置作業の進展に応じて向上していくものであることを念頭に、処分方法の検討では、既存の処分概念や安全評

価手法の適用性に係る検討とともに、既存の概念にとらわれない方法の考案等を含め、幅広く検討すべきである。例えば、物量が多いことや、汚染レベルが広くその分別が困難である可能性があることを念頭に、工学的に実現可能と考えられる処分方法の候補を想定し、安全性、経済性等の様々な視点から多角的にその効果や長所・短所等を検討することが挙げられる。

なお、廃棄物処分の検討は、混合による合理化の可能性も踏まえ、瓦礫等廃棄物だけではなく他の福島第一事故廃棄物と合わせて検討する必要がある。

課題 1：処分概念の検討

瓦礫等廃棄物は多量であり、放射能濃度が広範囲にわたる。また、伐採木や土壌についてはこれまで我が国において処理・処分を行った実績がない。このような状況下で、当該廃棄物に対する処分概念を検討する必要がある。

対策 1：国内のみならず海外情報も含め処分概念を調査・整理し、瓦礫等廃棄物への適用性を検討する。これらの検討は他の福島第一事故廃棄物の検討と合わせて実施する。適用性の検討については、3章の考え方にに基づき、性状把握や廃棄物処理に関する検討の進展に応じて行う。なお、瓦礫等廃棄物については、相応の処理や除染により放射性廃棄物となる物量が減容できたとしても、依然として大量の物量が処分の対象となることが想定されることに留意する。例えば、単位面積当たりの収納量が多いモノリス型^{4.2-6)}やサイロ型等の処分概念についても検討することが考えられる。

課題 2：処分安全性評価

課題 1 で検討した処分概念を念頭に安全評価手法を整備し、評価を実施していく必要がある。

対策 2：国内のみならず海外情報も含め安全評価手法を調査・整理し、瓦礫等廃棄物への適用性を検討する。ここで、これらの調査・整理は汚染水処理二次廃棄物等の他の廃棄物における調査と連携させつつ実施する。既存安全評価手法の適用（シナリオ、地質環境条件等）に関する計画立案及びその実施において、廃棄物の性状把握等の進捗及び処分概念の検討に合わせ、段階的に概括的なものからより詳細なものへと進展させていく。例えば、インベントリが未定な場合はインベントリをパラメータとした安全性の感度解析的な検討を行い、インベントリが評価できた時点ではその確度等を考慮した安全性の評価を実施する。特に、瓦礫等廃棄物の検討に際しては、塩分やホウ素等の不純物、金属類及び有機系飛散防止剤、土壌に含まれる腐植物質等の性状把握の進捗や、その影響を踏まえた処理方法の検討の進捗を考慮し評価を行う。なお、実際に廃棄物を処分する際には、処分した廃棄物中に含まれるインベントリが安全評価の前提として設定したインベントリを下回っていることを

評価する必要がある。この際に用いる評価の方法は処分概念や処分の安全性評価のやり方に依存するため、その成立性についても検討を行う必要がある。

課題3：安全性の見直し確認

課題1、2の検討を踏まえ瓦礫等廃棄物の処分に関する安全性の見直しについて評価する必要がある。

対策3：目標1及び目標2のそれぞれの時点までに得られた技術情報（性状やインベントリの推定と精度の評価、廃棄体化技術や処分概念についての適用性の評価や開発状況、安全性評価手法ならびにパラメータの整備等）を基に、各目標時点での処分の安全性の見直しの確認を行うとともに、より適切な評価としていくための課題の抽出を行う。なお、これらの評価は、瓦礫等廃棄物単独ではなく、その他の福島第一事故廃棄物と共に行う必要がある。

4.2.4 研究開発計画

2.2節において設定した目標1及び目標2の達成に向けて、前節で検討した対策のスケジュール化を検討する。なお、瓦礫等廃棄物の保管や分別段階等における廃棄物管理上の技術課題が考えられる。保管期間中の廃棄物管理にかかる研究開発が、処理・処分をより効率的に実施できる可能性に繋がることが予想される。

(1) 目標

目標1（2016年度末）の段階では性状データが十分に整備できていないことから、廃棄物性状に関する情報が不足している状況でのインベントリ推定や処理の必要性、設計・評価の検討を余儀なくされる。また、物量が多く且つ汚染のレベルのばらつきが大きいという特徴も鑑み、幅広い処理・処分方法の検討により、当該廃棄物を一括処分する等のオプションも含めて適用可能な処分概念を確認する。今後試料採取方法や放射能分析方法の向上も期待されることから、目標2（2020年度末）の時点では廃棄物の性状分布がある程度把握できると見込まれる。また、処理・処分シナリオや、関連する処理技術、廃棄体仕様、処分場仕様の絞込みが可能と考えられることから、当該廃棄物に適した処分概念を提示し、同時に複数の処理・処分シナリオに対して安全性の見直しを確認することが必要となる。

上記の各目標での概要とその目標の判断に必要な情報を、表4.2-1に示す。

(2) スケジュール

研究開発課題と対応策を基に、瓦礫等廃棄物の発生状況等を考慮して実施すべき時期を検討して、ロードマップを作成した。

1. 瓦礫等廃棄物の性状把握

瓦礫等の分析が進められているが、目標達成時期の目標1（2016年度末）では得られている分析データが限られていることから、事故進展評価等も参考に解析的な評価を行う。なお、検討にあたっては、瓦礫等廃棄物の発生は目標2の時点以降も継続すると見込まれること、及び土壌に関しては表面土壌の剥ぎ取り時期や地中の土壌の取り扱い時期が不明であることなどの廃棄物発生量に関する不確定性を考慮する。

目標2（2020年度末）に向けては、瓦礫等廃棄物の発生状況や分析データの蓄積を反映し、評価精度の向上を図る。

2. 瓦礫等廃棄物の処理に向けた保管及び処理等の検討

目標1に向けて、国内外の事例を参考に、適用可能性のある技術を広範囲に調査し、その適用性を評価する。ただし、瓦礫等廃棄物については、廃棄物管理の観点から分別、除染、減容、再利用等が早期に行う必要が生じる可能性があるため、2014年度末を目処に処理・処分の観点から留意すべき事項について取りまとめる計画とする。

目標2に向けては、性状把握結果を踏まえて、適用技術の絞込みを行う。検討に際しては、多量の廃棄物に対する処分概念の検討成果を反映する。

3. 瓦礫等廃棄物の処分の検討

(1) 処分概念の検討

(2) 安全性評価

「国内外の処分概念への適用可能性の検討」が目標1での確認事項であり、その時点までに研究開発成果を得る必要がある。また、それまでに得られた技術情報が、目標2の処理・処分の安全性の見通し確認に必要な分析・評価作業の材料の一部となる。

これまでの議論を踏まえた瓦礫等廃棄物の処理・処分に係る研究開発のスケジュールを表4.2-2に示す。

参考文献

- 4.2-1) 東京電力株式会社、「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」平成 24 年 12 月、p. I-1-1-添 1-1、「東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップの主要スケジュール」
http://www.nsr.go.jp/activity/earthquake/data/1207jisshikeikaku_03.pdf
- 4.2-2) 東京電力株式会社、「ガレキ・伐採木の管理状況(H24.12.27 時点)」2013 年 1 月 31 日
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/genkyo/fp_reactor/fp_gdata/_icsFiles/afieldfile/2013/02/05/bassaiboku-j.pdf
- 4.2-3) 例えば下記
プレスリリース「森林内の放射性物質の分布状況及び分析結果について（中間とりまとめ）」（別添 1）、農林水産省、平成 23 年 9 月 30 日
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/press/hozen/110930.html>
除染モデル事業等の結果の分析・評価—除染技術— 日本原子力研究開発機構他 除染モデル実証事業等の成果報告会資料、2012.3.26.
<http://www.jaea.go.jp/fukushima/decon04/ke04.pdf>
- 4.2-4) 東京電力株式会社、「福島第一原子力発電所周辺の放射性物質の核種分析結果」
<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/f1/smp/index-j.html>
- 4.2-5) 東京電力株式会社、「福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画」平成 24 年 12 月、p. II-3-2-1-10
http://www.nsr.go.jp/activity/earthquake/data/1207jisshikeikaku_04.pdf
- 4.2-6) フランスにおける放射性廃棄物の処分—主として低レベル廃棄物について、原環センタートピックス、No.3, (1987).
<http://www.rwmc.or.jp/library/file/no3.pdf>

表 4.2-1 目標と必要な情報（瓦礫等廃棄物）

目標	目標 1	目標 2
	<p>廃棄物の性状に応じた処分概念への適用性の確認</p>	<p>廃棄物の処理・処分における安全性の見直し確認</p>
<p>概要</p>	<p>廃棄物の性状等に関する研究等の成果を受け、国内外で検討された処分概念への適用性の確認を行う。塩分や有機物を含み、大量に発生することから、既存の処分概念への適用が困難なケースが想定される場合には、除染や減容の効果や新たな処分概念の検討も視野に入れる。</p>	<p>国内で実現可能な処理・処分技術を適切に適用する道筋を明らかにし、安全かつ安定的に処理・処分が実施できる見直しを得る。</p>
<p>必要な情報</p>	<p>1. 性状把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・瓦礫等廃棄物の性状（材質、放射能、不純物等）データ ・汚染状況（放射性核種、放射能濃度の分布）に応じた一時保管廃棄物全体、廃棄体毎のインベントリ情報と確からしさ ・必要な核種分析方法の開発 <p>2. 処理等の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・保管状況下での廃棄物性状 ・再利用・限定再利用の可能性 ・実現可能な再利用増大のための除染方策・減容方策の見直し ・適切な廃棄体区分方策 ・可能な技術カタログ ・処理・廃棄体化フローのオプション ・処理・廃棄体化の判断基準 ・廃棄体の不均質性評価と不均質低減化策 <p>3. 処分の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・想定する物量と既存処分概念への適合性 ・処分システムの高度化や合理化を考慮した既存処分概念への適合性 ・国内外の検討の対象となる処分概念カタログと適合性評価結果 	<p>1. 性状把握</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物量も加えた性状データ ・廃棄体性状分布をした廃棄体毎のインベントリと確からしさ <p>2. 処理等の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適切な区分や処理の必要性判断 ・区分方法、処理技術の見直し ・再利用・限定再利用方策に基づく放射性廃棄物物量、放射能濃度の再評価値 ・適用可能な技術、既存技術では不十分な研究開発要素 ・適切な処理・廃棄体化フローのオプション ・処理・廃棄体化の判断基準 ・廃棄体の不均質性情報 ・廃棄体化の実現性確認 <p>3. 処分の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物量に適合する処分概念オプション ・現行処分システムと合理化技術等との組み合わせにより実現可能となる国内外の既存処分概念 ・適用可能な新たな処分概念 ・安全評価パラメータに基づく安全性評価結果

4.3 燃料デブリ／解体廃棄物

4.3.1 廃棄物の特徴と保管状況

(1) 特徴

1) 燃料デブリ

東京電力（株）福島第一原子力発電所の1～3号機においては多くの燃料が溶融した可能性が高く、溶融した燃料の一部は圧力容器を貫通し、格納容器内に落下していると考えられる。圧力容器内にある燃料デブリ（燃料と被覆管などが溶融し再び固まったもの）は、スリーマイル島原子力発電所2号炉（TMI-2）事故から類推すると、燃料（主成分 UO_2 ）、被覆管（主成分 Zr ）、制御棒（主成分 B_4C ）、及び構造材（主成分 SUS 、インコネル等）の破片や、これら材料同士の相互作用や水蒸気による酸化反応で生じる $(\text{U,Zr})\text{O}_2$ 、 (Fe,Ni) 酸化物、及び合金等で構成されていると考えられる。ただし温度履歴が場所ごとに異なり、温度の違いにより材料間相互作用の種類が異なるため、燃料デブリは多様な形態をとりうると思われる。また、発熱量が大きく、放射線量も高いことから、取り出し・保管・処理にあたっては、冷却・遠隔操作・遮蔽等の対策が必要となる。一方、TMI-2 と異なる点としては、炉型が沸騰水型軽水炉であることから Zr の存在量が多く、制御棒に B_4C を用いていること、さらに海水が注入されたため海水成分との相互作用を起こした可能性があること、圧力容器外に抜け落ちた溶融炉心とコンクリートとで相互作用(MCCI: Molten Core Concrete Interaction)が起きた可能性があるため溶融物・コンクリートとの混合相等を考慮する必要があることが挙げられる。^{4.3-1)} 図 4.3-1 に炉内の溶融状態のイメージを示す。また、発生する燃料デブリの概算の参考のため、炉内 U インベントリ[tHM]を表 4.3-1 に示す^{4.3-2,3)}。

今後の処理・処分の方策等の検討にあたっては燃料デブリの特性を把握する必要があるが、原子炉建屋内部が高濃度に汚染されているため放射線量が高く、人が容易に立ち入ることができない状況にあり、現時点では実際の燃料デブリの性状は把握できていない。燃料デブリ取り出しに向けた建屋内除染や、その他の作業を通じて少しずつ状況が明らかになっていくと思われるが、燃料デブリの性状を把握するためのデータ取得には時間を要すると思われる。

なお、通常は放射化物として処分される制御棒、燃料集合体構成要素、炉内構造物等のうち燃料デブリ状とはならず残存しているものもあると思われるが、通常原子力発電所における放射化物と比較して高濃度に燃料成分に汚染されている可能性がある。これらの廃棄物の取り出しや撤去は通常原子力発電所と同様にはできないため、廃棄物としての取扱いについては、燃料デブリの取り出しや、その後の廃止措置作業の進め方と合わせて検討する必要がある。

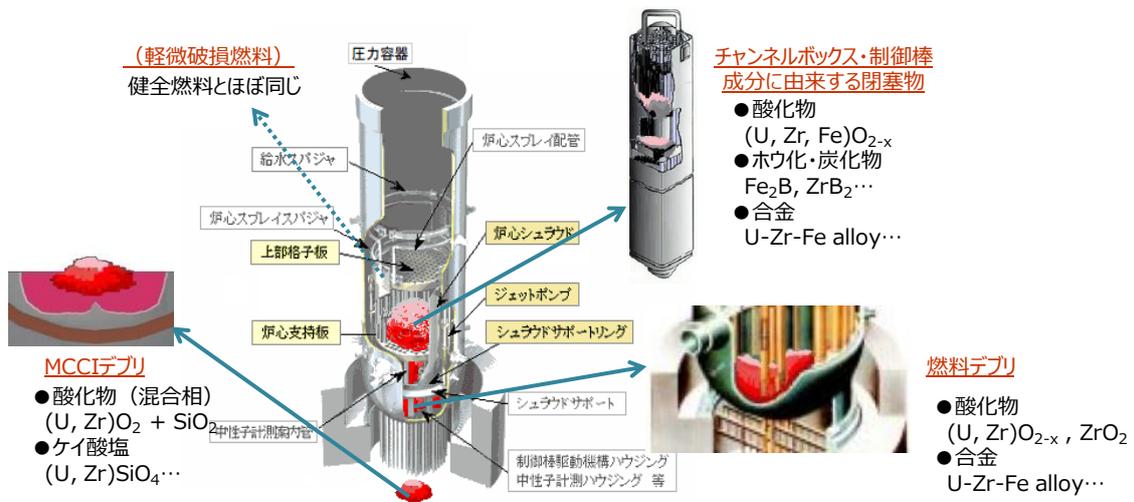


図 4.3-1 溶融状態のイメージ 4.3-1)

表 4.3-1 炉心内インベントリ 4.3-2,3)

項目	単位	1F1	1F2	1F3	1F4
炉心熱出力	MWt	1380	2381	←	←
U235濃縮度	wt%	3.7	←	←	←
集合体数	本	400	548	←	←
炉内Uインベントリ	tHM	69	94	←	←
平均比出力	MW/tHM	20.0	25.3	←	←
炉内平均燃焼度(本検討)	GWd/tHM	25.8	23.1	21.8	-
(公開データ[8])	GWd/tHM	25.769	~23.05*	21.800	-
プール内SF体数	本	292	587	514	1331
プール内平均燃焼度	GWd/tHM	33.3	42.3	41.3	36.8

* 文献[8]の出力分布サマリログ中の印字が不鮮明のため、前後のログから推定した。

(注：上記表の文献[8]は参考文献 4.3-4) である。)

2) 解体廃棄物

一般的な原子力発電所の廃止措置においては、解体廃棄物は、発電所施設の解体時に発生するコンクリート部材（鉄筋を含む）と機器類からなり、それぞれ発電所の運転に伴い放射化した部位と放射性核種で汚染した部位が存在する。また、一般には9割以上のコンクリート等の解体廃棄物はクリアランスの考え方により非放射性物質として扱うことができる（4.3-5）。福島第一原子力発電所の解体廃棄物は、一般的な原子力発電所の廃止措置における解体廃棄物とは異なり、以下のような特徴を有する。

✓ 汚染源となる放射性核種の種類が異なる

一般的な原子力発電所における汚染に加え、燃料起源の放射性核種による汚染が生じている。汚染水と接触した部材については、これらの放射性核種の内部浸透汚染の可能性も考えられる。

✓ 廃棄物の化学特性が異なる

塩分、ホウ素、油分、有機物の付着や混入の可能性があり、今後の処理・処分プロセスへの化学的影響等の考慮が必要となる。

✓ 汚染範囲が広範に及んでいる

水素爆発により原子力施設の建屋内外に放射性核種が飛散・拡散しており、さらに汚染水によっても汚染が拡大している可能性がある。その場合は放射性廃棄物とする対象の種類が増加する。また、部材内部への放射性核種の浸透も考えられる。

✓ 廃棄物量が多い

汚染範囲が広範なことから廃棄物量が多い。そのため、安全かつ合理的な保管・処理・処分を実現する上では、廃棄物性状に応じて適切に分別、除染、減容、再利用等の処理方策を検討する必要がある。

✓ 解体手順や工法が異なる

解体対象構造物が事故で損傷していることや、放射性核種の漏洩防止や燃料デブリ取り出し作業を経ることから、解体手順や工法は一般的な原子力発電所の廃止措置とは異なると想定される。そのため、一般的な原子力発電所の廃止措置とは異なる廃棄物が発生する可能性がある。

✓ 性状把握に必要なデータ採取が困難

炉心に近づくほど高線量であることが予想されるため、廃棄物の性状把握に必要なデータの採取には除染、遮蔽及び遠隔操作技術の適用が必要である。そのため、炉心に近づくほど実データに基づく性状把握の進捗が遅くなることを念頭におく必要がある。

✓ 解体廃棄物として廃止措置対策用の設備等も含まれる

一連の事故に伴う廃止措置に必要な構造物（燃料取り出しカバー等）や機器類（燃料デブリ取り出し用等）についても放射性核種で汚染され、解体廃棄物として処理・処分が必要となると考えられる。中長期ロードマップでは解体・除染工法の確定は HP4-1（2021年度）としているが、廃止措置に向けた作業の進捗状況を踏まえつつ、安全でか

つ放射性廃棄物を低減可能な処理・処分方策を早い段階から検討する必要がある。

(2) 保管状況

1) 燃料デブリ

現在、燃料デブリは圧力容器内に存在すると考えられるが、圧力容器が破損し一部は格納容器床面に存在する可能性がある^{4.3-6)}。また、燃料デブリは冷却水による冷却が行われており、燃料デブリの溶解物や微細粉末が冷却水と共に、圧力容器外、格納容器外に移行している可能性がある。このため、燃料デブリの存在範囲や物量を想定することが困難な状況にある。

2) 解体廃棄物

解体廃棄物は燃料取り出し作業の終了後の解体工事に伴い発生するものであり、中長期ロードマップでは20～25年後以降で発生するとされている。現在、解体廃棄物の発生元となる原子炉建屋等では、耐震安全性の評価^{4.3-7)}を実施した上で、使用済燃料プールからの使用済燃料取り出しや燃料デブリ取り出しに向けた準備作業が進められている。

4.3.2 研究開発の考え方

(1) 燃料デブリ

現在中長期ロードマップでは燃料デブリ取り出しが2021年度、燃料デブリの処理・処分方法の決定はさらにその10年以上後とされている。ただし、燃料デブリは最終的にはその一部もしくは全部を放射性廃棄物として処分を検討する必要があることから、2.2で定めた目標1（2016年度末）、目標2（2020年度末）に向けて、安全に処理・処分するための技術的な見通しを得るために必要な情報の集約および評価を行う必要がある。

研究開発を進めるにあたっては、4.3.1(1)で示した通り、様々な性状の燃料デブリの可能性のあるのに対し、目標2の段階で得られる情報は2.3で推定した通り極めて限定的であることを念頭におく必要がある。そのため、3章で示した考え方に従い、廃棄物処理方法や処分概念について幅広く検討・評価し、燃料デブリ取り出し等廃止措置に向けた作業の計画及び進捗状況に応じて、それを見直していく必要がある。なお、燃料デブリの処理には高度な技術開発を伴うが、処分の安全性の観点で処理の必要性を評価することにより、早期に方針を決定することができる可能性がある。

また、研究成果に基づき、燃料デブリの取り出しや、収納、保管に際して、処理・処分を適切に行う上で配慮すべき事項を抽出しフィードバックすることも重要である。

(2) 解体廃棄物

1) 性状把握

福島第一原子力発電所事故における解体廃棄物は、一般的な原子力発電所の廃止措置における解体廃棄物とは異なる放射性核種で汚染されており、化学的にも異なる特性を

有すると考えられる。安全かつ実現可能性のある処理・処分を進めるためには、まず対象を調査し、解体対象物の把握、解体対象物の汚染状況（核種組成、濃度、表面からの浸透深さ）の把握、及び廃棄物量の把握を行う必要がある。また、処理プロセスへ影響を与える要因についても考慮が必要であり、必要に応じ解体対象物の化学組成の情報も必要になると考えられる。ただし、対象区域は高線量のため適切な調査が困難な状況であり、取得できる汚染状況の実測データも限られることから、解析的な廃棄物性状の推定も合わせて、評価精度を向上させていく必要がある。

2) 廃棄物処理等（分別、除染、減容、再利用、廃棄体化）の検討

汚染が広範囲に及んでおり放射性廃棄物の物量が多いことから、安全でかつ実現可能性のある処理・処分とするためには、分別、除染、減容、再利用等の廃棄物量低減のための検討が重要となる。特に除染については、除染にともなう二次廃棄物の発生抑制や汚染拡大（除染処理による汚染の拡散や浸透等）の防止等を考慮し、処分への悪影響を極力与えない方法とする必要がある。安全で実現可能性のある処分概念を踏まえた廃棄体化技術の検討も必要となる。これら処理技術の検討にあたっては、廃棄物の保管等の管理方法と処分の双方に与える影響を総合的に判断して決定する必要がある。

3) 廃棄物処分に関する検討

3章で示した考え方に基づき、廃棄物性状把握の進捗状況を適宜反映しながら、柔軟な対処ができるよう適用可能と考えられる複数の処分方法を念頭に置いて検討を進める必要がある。

特に、解体廃棄物については、将来的に解体作業が行われるに際しては、廃棄物の発生元や汚染状況に関するデータがある程度蓄積されていると想定される一方で、目標1、目標2の段階では十分なデータは得られていない状況である可能性が高いこと、一般の原子力発電所の廃止措置時と比較して、物量が多量であることを念頭におく必要がある。

4.3.3 研究開発課題と対応方法

(1) 燃料デブリの性状把握

燃料デブリの処理・処分方策の検討においては、その性状把握が課題である。中長期ロードマップにおいて燃料デブリのサンプリングは燃料デブリ取り出し計画の一環として実施される予定だが、処理・処分の検討に必要な性状についても把握することが重要である。

課題1：インベントリ評価

燃料デブリの処理・処分の方策を検討するにあたって、燃料デブリのインベントリを把握する必要がある。

対策1：評価のための分析に関しては、燃料デブリの処理・処分の検討に必要な分析項目を整理したうえで、サンプリング試料の分析方法、輸送、分析施設等の検討を行

う。目標2の段階では、様々な燃料デブリが存在することが想定されている一方で、得られる情報は極めて限定的であることを念頭に、解析的な手法を中心とした検討を行う。

課題2：その他性状把握

燃料デブリの処理・処分を検討するにあたって、化学的・物理的な性状を把握する必要がある。特に、処理プロセスや処分に悪影響を及ぼす化学成分について把握する必要がある。

対策2：処理・処分の検討において着目すべき項目としては、化学組成、重量・密度、形状、比重、有害物・危険物・爆発物の有無、ガス発生の可能性（例えば水素ガス）、熱特性（熱伝導率、比熱）等が挙げられるが、重要度に応じて優先順位をつけて分析・評価方法を検討していく。目標2の段階では得られる情報が限定的であることから、実サンプル分析と並行して解析的評価による推定等の手法の検討を行う。検討に際しては、TMI-2等の知見^{4.3-8)}の活用、事故進展解析や熱力学的評価に基づく燃料デブリの性状把握、及び性状把握の妥当性確認のための模擬燃料デブリ試験の有効性等を念頭におく。

(2) 燃料デブリの処理に向けた保管

課題1：取り出された燃料デブリの収納、保管方法

燃料デブリは圧力容器、あるいは格納容器から取出され、専用の容器（収納缶）に収納した後保管され、処理・処分のために輸送される。これらの方策のうち、取り出し・収納については計量管理、臨界管理等を踏まえて重要な研究開発課題であるが、例えば、収納缶を処分まで使用するとした場合の仕様の検討等、安全な処理・処分を実現するという観点から必要な検討を、これら作業を実施するに際して行っておく必要がある。

対策1：燃料デブリの性状把握、処分概念の検討を進めつつ、燃料デブリの処理・処分に困難な材料を持ち込まないこと、物量の低減を図ること等処分の観点から必要な対応策を検討し、デブリ取り出し方法の検討や、収納缶の技術開発に反映する。

(3) 燃料デブリの処理等

1) 処理の検討

燃料デブリの処理方法の検討にあたっては、処分方法を踏まえた検討が必要である。処理・処分方策としては、特段の処理は施さずに直接処分する、何らかの安定化処理等を行い廃棄体化し処分する、再処理（ウラン、プルトニウムの抽出）するという選択肢が考えられる。目標1（2016年度末）及び目標2（2020年度末）の段階では、燃料デブリの性状に関する情報は限られているため、特定の処理方法に限定せず、

広く候補処理技術を検討する。ここで、燃料デブリの処理には高度な技術開発を伴うため、「(3)燃料デブリの処分」の検討成果を踏まえ、処分の安全性の観点から処理の必要性や処理を行う際に必要となる技術的要件について検討し、燃料デブリ取扱いの方針決定に資することが重要である。

課題 1：処理方策の検討

安全な処分という観点も念頭に置き、燃料デブリの合理的処理方策の検討を行うことが必要である。

対策 1：処理施設の操業時の安全要件としては、外部被ばくの防止、放射性核種の漏洩等に起因する内部被ばくの防止、臨界管理、収納缶の健全性確保等があるが、これらは基本的に燃料デブリ取り出し後の管理方策に係る要件と同様である。一方、処分の安全性の観点からは処分後のリスクについて検討を行う必要がある。具体的な検討は「(3)燃料デブリの処分」の課題と対策に従うが、その検討結果に基づき、燃料デブリの処理の必要性や、処理が必要な場合の技術的要件を検討する。

課題 2：処理技術の検討

上記方策を実現するための処理技術の検討が必要である。

対策 2：処理技術として、溶解のような化学的な処理、あるいは破碎分級のような機械的な処理を施したのち廃棄体化することが考えられるが、現時点では燃料デブリの性状に関する情報が不十分であるため、まずは候補技術の調査を行う。処理時には安全性に加え、保障措置や核セキュリティ等の核物質管理上の観点での検討も必要となる。燃料デブリの性状把握の進捗に応じ、候補技術を絞り込んでいき、必要に応じ処理技術の開発を進める。

(4) 燃料デブリの処分

燃料デブリに関する性状把握について、目標 2 までの断面では実試料に基づく評価は困難なことを念頭に、3 章で示した考え方に従い、処分方法の検討では、既存の処分概念や安全評価手法の適用性に係る検討とともに、既存の概念にとらわれない方法の考案等を含め、幅広く検討する。

なお、廃棄物処分の検討は、燃料デブリだけではなく他の福島第一事故廃棄物と合わせて検討する必要がある。また、燃料デブリの処分の検討成果は、(1)項と(2)項で述べた燃料デブリの性状把握と処理方法の検討に反映することを念頭におく必要がある。

課題 1：処分概念の検討

燃料デブリの性状を踏まえつつ、安全でかつ実現可能性のある処分概念を検討する必要がある。

対策 1：燃料デブリの処分概念の検討にあたっては、我が国で主に検討されてきた高レベル放射性廃棄物の処分概念^{4.3-9)}あるいは TRU 廃棄物の処分概念^{4.3-10)}が参考となる。安全性が担保された上で既存概念が適用できるなら、新たな技術開発課題は相対的に軽減されると期待できる。なお既存概念が適用できない場合や既存概念の合理化を検討する場合は、我が国で検討されてきた既存の処分概念に加えて、海外事例^{4.3-11)}も視野に入れる。燃料デブリの性状は既存のガラス固化体や TRU 廃棄物と異なるため、安全確保の観点から既存概念を見直す可能性、及び、人工バリア等をさらに高度化する可能性がある。例えば、燃料デブリは燃料溶融によりヨウ素等の揮発性核種が放出されている可能性があり、その場合、オーバーパックや緩衝材の仕様を変更することも可能性として残されている。一方、燃料溶融により放射性核種の閉じ込め性低下、つまり浸出率が增大する可能性があること、粒子状の燃料デブリがあるため核種漏洩速度が通常の使用済燃料より大きい可能性があること等により、より強固なオーバーパックや閉じ込め性に優れた緩衝材仕様が要求される可能性もある。また、炉内構造物と燃料が混合した燃料デブリの場合、廃棄物の発熱量が相対的に小さくなると予想されるため、より廃棄体を集密させた処分概念の可能性もある。そのため、あらゆる可能性を排除せず廃棄体条件を網羅して、前例に囚われずに新たな処分概念の検討を進めることが望ましい。

課題 2：処分安全性評価

課題 1 で検討した処分概念を念頭に安全評価手法を整備し、評価を実施していく必要がある。

対策 2：国内のみならず海外も含め安全評価手法を調査・整理し、燃料デブリへの適用性を検討する。ただし、これらの調査・整理は他の福島第一事故廃棄物における調査と連携させつつ実施する。既存安全評価手法（シナリオ、モデル及びデータベース等）の適用性検討及び必要に応じた新たな方法論・手法の開発に関する計画立案及びその実施において、廃棄物の性状把握等の進捗及び処分概念の検討に合わせ、概括的な評価からより詳細な評価へと段階的に進展させていく。

課題 3：安全性の見通し確認

課題 1、2 の検討を踏まえ燃料デブリの処分に関する安全性の見通しについて評価する必要がある。

対策 3：目標 1 及び目標 2 のそれぞれの時点までに得られた技術情報（性状やインベントリの推定と精度の評価、廃棄体化技術や処分概念についての適用性の評価や開発状況、安全性評価手法並びにパラメータの整備等）を基に、各目標時点での安全性を見通すための情報の集約及び評価を行うとともに、より適切な評価としていくための課題の抽出を行う。なお、これらの評価は、燃料デブリ単独ではなく、その他

の福島第一事故廃棄物と共に行う。また、検討の結果については、(1)項と(2)項で述べた燃料デブリの性状把握と処理方法の検討に反映する。

課題4：保障措置及び核セキュリティの検討

燃料デブリには核燃料物質成分が含まれており、保障措置及び核セキュリティの検討が必要となる。

対策4：燃料デブリの処分においても保障措置及び核セキュリティの検討が必要と思われる。しかしながら、処分におけるこれらの対応については、国際的にも検討の緒についたところである。一般的にガラス固化体については保管時点で保障措置の対象外とすることがIAEAにより認められているが^{4.3-12}、使用済燃料については、フィンランド等において処分時の保障措置方策の検討が開始されている程度である^{4.3-13}。我が国においてはガラス固化体の処分を前提としていることから保障措置の検討は進んでいないが、今後進められる予定である使用済燃料の直接処分の研究開発と連携して、検討を進めることが望ましい。また、海外の先事例も参考にして、核分裂性物質の量、表面線量率等を勘案して具体的な対策を検討することが必要である。

(5) 解体廃棄物の性状把握

解体廃棄物の処理・処分の検討に必要な廃棄物の性状把握を4.3.1で示した廃棄物の特徴に着目し行う必要がある。性状把握には、汚染状況に関する情報や解体手順や工法に関する情報が必要であるが、目標2までの段階においては、実測データは限定的であることを踏まえ、解析的手法を用いた評価を合わせて実施する必要がある。また、先行して実施される瓦礫等の分析結果を活用して評価することも有効と考えられる。

1) インベントリ評価

課題1：汚染状況、範囲の評価

廃棄物の物量や放射能レベルを把握するために、汚染範囲及び状況の評価が必要である。

対策1：燃料デブリ取り出しに向けた調査に際して実施される放射線量計測結果や、サンプリングされた試料の分析結果等と、汚染物質移行状況の推定に基づく解析的な評価手法に基づき汚染状況と範囲を評価する。高線量下での汚染状況の調査を進めるため、遠隔技術や高線量下でも利用できる測定技術やサンプリング技術の開発が必要であるが、先行する燃料デブリの調査技術の活用も検討し開発を進める。

課題2：放射性核種の種類と濃度の評価

4.3.1に示した通り、汚染範囲の拡大に加え、汚染源が一般的な解体廃棄物とは異なることからその評価が必要である。

対策2：燃料デブリ取り出しに向けた調査に合わせてサンプリングした試料について、処理・処分の検討に必要な核種分析等について計画し実施する。また、課題1の汚染状況、範囲の評価と合わせて放射性核種の種類と濃度を推定する。なお、分析可能な試料数は限られていることから、瓦礫や汚染水の分析結果や評価結果についても参考にする。

課題3：インベントリ評価

課題1、2に関する検討結果に基づき現状の建屋のインベントリを評価する必要がある。評価にあたっては、課題1、2に関する検討は限られた実測データに基づき行われること、目標1、2の段階では解体工法等が定まっていないことを加味した上で解体廃棄物の物量とインベントリを評価する必要がある。

対策3：各目標の時点で得られる実測データ数に限りがあること、解体工法等が定まっていないことを念頭に、課題1、2の実測データの分析に基づく評価に対し、事故シナリオに基づく解体廃棄物のインベントリの推定モデル等を組み合わせたインベントリ評価方法を構築し評価する。

課題4：分析方法

核種組成が既存の廃棄物と異なることから分析方法が確立していない核種がある。

対策4：分析手法の確立が必要な核種を抽出し、分析手法の開発を行う。

2) その他性状把握

課題1：処理技術や処分システムの健全性、処分の安全性に影響する物質の把握

塩素、ホウ素、飛散防止材等の有機物、有害金属等の存在量情報が不足している。これらが、処理・処分時の放射性核種の挙動やガス発生へ影響する可能性を把握する必要がある。

対策1：有害物を含む廃棄物の化学組成、物理形状は、処理技術の検討に必要な情報となることから、これらの廃棄物データについても取得し、塩素、ホウ素、飛散防止材等の有機物、有害金属等の存在量を推定する。測定対象としては以下が考えられる。

測定項目例：

- ・事故前の状況確認（竣工時の仕様、その後の経年劣化の状況）と事故及び事故対策の影響の把握（部材の欠落や塑性変形等の損傷、事故対策による部材の追加や切欠き等）
- ・廃棄体化や処分システム性能に影響すると考えられる塩分、ホウ素、有機物等含有量

- ・有害金属類

(6) 解体廃棄物の処理等

基本的には3章の考え方にに基づき検討を進めるが、解体廃棄物は物量が多いことから、廃棄物の適切な区分や物量の低減に必要な分別、除染、減容、再利用に関する技術の検討が重要である。これらの技術全般については、JAEAのJPDR・ふげん、日本原子力発電（株）の東海発電所等の先行事例の知見を活用するとともに、海外事例についても参考とする。

1) 分別

課題1：分別技術

解体廃棄物は物量が多いことから、解体工事に際して実施する分別方法の検討が処理・処分を適切に行うために重要である。

対策1：性状把握の状況を踏まえ、処理・処分の観点から分別技術について検討を行う。分別方法については、廃止措置の作業の安全や時間的制約等を踏まえる必要がある。

2) 除染

課題1：除染技術

廃棄物の適切な分別や、再利用による廃棄物物量低減を行うことが重要であり、除染技術の検討が必要である。

対策1：除染技術の適用にあたっては、対象物の表層からどこまで汚染が浸透しているかを把握するための技術の開発や濃度に応じて放射性廃棄物を分別・区分するための考え方について検討を行う必要がある。除染技術の検討に際しては、国内外の廃止措置に関連し検討されている技術情報に加え、福島第一原子力発電所のサイト外で実施されている除染事業やそのための技術開発による知見の活用も検討する。なお、除染技術の適用性の評価に際しては、除染に伴い発生する二次廃棄物の発生量や処理・処分に対して与える影響も念頭におく。また、コンクリート部材の放射性廃棄物該当部位を切り分けることが可能で二次廃棄物の少ない技術について整理し、開発項目を抽出する。放射性廃棄物該当部分とそれ以外の分離に関しては、先行するJPDR等の事例^{4.3-14)}の知見を活用する。

3) 減容

課題1：減容技術

解体廃棄物は物量が多いことから、廃棄物容量を低減することが重要であり、そのための減容技術の検討が必要である。

対策1：圧縮や切断等による減容が行われる場合、含有放射エネルギーが保存されるため、減容処理後の廃棄物は事前の放射能濃度区分よりも高い区分となる可能性に留意して

廃棄物処分に対する影響を検討する。また、減容処理に際して取得し記録しておくべき情報・データベースについても後段の廃棄体化や処分に対する影響を念頭に検討する。なお、減容技術を検討するうえでは、二次廃棄物発生量と性状についても着目する必要がある。

4) 再利用

課題 1：再利用技術

廃棄物量を低減するため、再利用技術の検討が必要である。

対策 1：再利用方法について、国内外の事例を調査し、実現性・実効性が高い方法を明らかにする。また、再利用実施のために必要な分別・処理・除染技術の選定の考え方を明らかにする。必要に応じて新規技術を開発する。

5) 廃棄体化

課題 1：廃棄体化技術

廃棄体化を行うことにより、安定した保管が可能になる一方で、容器への収納や固型化処理が必要となるため、体積は増加傾向となる。多量であるという解体廃棄物の特徴を念頭に、廃棄体化技術の適用性や必要性を検討する必要がある。

対策 1：廃棄物処分に関する検討と合わせ、廃棄体化の必要性について検討する。また、並行して 3 章の考え方にに基づき、廃棄体化処理技術の調査を行い、その適用性を評価する。適用性の評価にあたっては、ホウ素等の不純物や有機物が、固型化や容器の健全性、処分の安全性へ与えるに影響についても検討する。また、廃棄体中の放射能濃度の不均質性の度合いやそれを評価する方法についても検討する。なお、本検討は、瓦礫等廃棄物と課題としての共通性が高いことから合わせて検討することが合理的である。

(7) 解体廃棄物の処分

多様な廃棄物に応じた処分概念の検討と処分場の設計、建設・操業に関する課題を解決するための研究開発が必要となる。

課題 1：処分概念の検討

解体廃棄物は多量であり、放射能濃度が広範囲にわたることを念頭に処分概念の検討を行う必要がある。

対策 1：既存の処分概念への適用性を検討するとともに、海外情報等も参考にして、福島第一原子力発電所事故特有の性状を踏まえた安全でかつ実現可能性のある処分概念を検討する必要がある。例えば、放射能レベルが広範囲にわたり物量が多いという特徴を踏まえて、単位面積当たりの収納量が多いモノリス型^{4.3-15)}やサイロ型の処分概念も検討する。検討にあたっては解体廃棄物の性状に関する分析データが十分

でない可能性があるが、事故進展評価等解析的データ等と合わせて推定した解体廃棄物の性状を基に、ケーススタディを行い、処分概念を検討する。また、解体廃棄物の性状に関する情報の蓄積に応じ、処分概念の更新や具体化を進めていく。

課題 2：処分安全性評価

課題 1 で検討した処分概念を念頭に安全評価手法を整備し、評価を実施していく必要がある。

対策 2：国内のみならず海外も含めて安全評価手法を調査・整理し、解体廃棄物への適用性を検討する。ただし、これらの調査・整理は汚染水処理二次廃棄物等の他の廃棄物における調査と連携させつつ実施する。既存の安全評価手法（シナリオ、モデル及びデータベース等）の適用性検討や必要に応じた新たな方法論・手法の開発に関する計画立案及びその実施において、廃棄物の性状把握等の進捗及び処分概念の検討に合わせ、概括的な評価からより詳細な評価へと段階的に進展させていく。例えば、インベントリが未定な場合はインベントリをパラメータとした安全性の感度解析的な検討を行い、インベントリがより明確に把握できた時点ではその推定確度等を考慮した安全性の評価を実施する。

特に、解体廃棄物に関しては、塩分やホウ素等の不純物、金属類及び有機系飛散防止剤、土壌中に含まれる腐植物質等の性状把握の進捗や、その影響を踏まえた処理方法の検討の進捗を考慮した評価を行う。なお、廃棄物の種類は多岐にわたり、処理や廃棄体化のプロセスも複雑化することも考えられるため、実際に廃棄物を処分する際には、処分した廃棄物の実際のインベントリが安全評価の前提として設定したインベントリを下回っていることを示すことが重要になると考えられる。この際に用いる評価の方法は、処分概念や処分の安全性評価の手法に依存し、その妥当性についても検討を行っておく必要がある。

課題 3：安全性の見直し確認

課題 1、2 の検討を踏まえ解体廃棄物の処分に関する安全性の見直しについて評価する必要がある。

対策 3：目標 1 及び目標 2 のそれぞれの時点までに得られた技術情報（性状やインベントリの推定と精度の評価、廃棄体化技術や処分概念についての適用性の評価や開発状況、安全性評価手法並びにパラメータの整備等）を基に、各目標時点で安全性を見通すための情報の集約及び評価を行うとともに、より適切な評価としていくための課題の抽出を行う。なお、これらの評価は、解体廃棄物単独ではなく、その他の福島第一事故廃棄物と共に行う。

4.3.4 研究開発計画

燃料デブリ

(1) 目標

1) 燃料デブリの性状把握

目標 1（2016 年度末）に向けて、得られる試料数に限りがあることから、事象の進展評価に基づく解析的な手法によりインベントリ及びその他の性状を評価する。また、処理・処分の検討に必要な分析項目を整理したうえで、サンプリング試料の分析方法、輸送、分析施設等の検討を行う。特に燃料デブリについては取り扱える施設が限定されることを念頭に検討する。目標 2 に向けては、一部得られるサンプリング分析結果に基づき解析的な手法に基づく評価の精度向上を図る。

2) 燃料デブリの処理の検討

目標 1 に向け、燃料デブリの処理には高度な技術開発を伴うことを念頭に、下記 3) の検討成果を踏まえ、処分の安全性の観点から処理の必要性や処理を行うに際して必要となる技術的要件を整理する。なお、検討に際しては核物質管理上の観点にも留意する。一方で、国内外の事例を参考に、適用可能性のある処理技術を広範囲に調査するとともに、必要に応じ、基礎試験（コールド）を通じた適用性評価を行う。目標 2 に向けては、目標 1 までの評価の結果、処理が必要となった場合は、性状把握結果を踏まえて、適用可能な技術の絞り込みを行う。この絞り込みに際しては必要に応じて、追加のコールド試験やホット試験を行い、処理・処分の検討に必要な情報を収集する。

3) 燃料デブリの処分の検討

目標 1 に向けて、我が国でこれまで検討されてきた既存の処分概念に加えて、海外情報も参考に、広範囲に候補となる処分概念の調査を行う。目標 1 の段階で得られている性状把握結果も踏まえて、候補処分概念の適用可能性の検討を行う。また、安全評価手法の調査を行ったうえで、性状把握結果を踏まえた安全性評価の感度解析を行い、処分概念の適用可能性検討及び分析計画等に反映する。目標 2 に向けては、性状把握結果を踏まえて処分概念の具体化を図る。

上記の各目標での概要とその目標の判断に必要な情報を、表 4.3-2 に示す。

表 4.3-2 目標と必要な情報（燃料デブリ）

目標	目標 1（2016 年度末）	目標 2（2020 年度末）
	廃棄物の性状に応じた既存処分概念への適応性の確認	廃棄物の処理・処分における安全性見直し確認
概要	<ol style="list-style-type: none"> 1. 過去事例調査及び事故進展検討に基づく、燃料デブリ性状の推定 2. 処分の安全性・実現性の観点からみた処理の必要性評価 3. 国内外の処分概念の調査・検討 	<ol style="list-style-type: none"> 1. サンプルング実分析に基づく燃料デブリ性状把握の確度の向上 2. 処理方法の候補技術絞込みと課題抽出 3. 処分概念候補の抽出、適用性評価及び安全性評価
必要な情報	<ol style="list-style-type: none"> 1. 燃料デブリの性状把握 <ul style="list-style-type: none"> ・ サンプルング試料の採取、分析、輸送、分析施設の検討 ・ 海外事例調査や解析的手法による性状把握 2. 燃料デブリの処理の検討 <ul style="list-style-type: none"> ・ 候補技術の調査 3. 燃料デブリの処分の検討 <ul style="list-style-type: none"> ・ 適用可能性のある処分概念の調査 ・ 処分における核物質管理方法 ・ 安全性評価 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 燃料デブリの性状把握 <ul style="list-style-type: none"> ・ 実分析の代表性評価と解析的評価と合わせた性状の評価 2. 燃料デブリの処理の検討 <ul style="list-style-type: none"> ・ 性状把握結果に基づく候補技術の絞込みと課題抽出 3. 燃料デブリの処分の検討 <ul style="list-style-type: none"> ・ 性状把握結果に基づく候補概念の抽出と適用性評価 ・ 安全性評価

(2) スケジュール

上記の目標を整理した研究開発項目とスケジュールを表 4.3-3 に示す

解体廃棄物

(1) 目標

1) 解体廃棄物の性状把握

目標達成時期の目標 1（2016 年度末）に向けて、瓦礫等のサンプリング分析結果等を参考にして、解体廃棄物の汚染状況を評価する。この時点で得られる分析データは限られているため、事故進展評価等も参考に評価を行う。このような性状把握結果は、適宜、処理技術の検討及び処分概念の検討に反映する。並行して実施する処理・処分の検討経過を踏まえて、サンプリングにあたって必要な分析項目を抽出し、分析手法及び分析計画の検討に反映する。目標 2（2020 年度末）に向けては、燃料デブリ取り出し作業の進捗に伴い得られる分析データを活用し、汚染状況の評価精度の向上を図る。

2) 解体廃棄物の処理等の検討

目標 1 に向けて、国内外の事例を参考に、適用可能性のある技術を広範囲に調査する。必要に応じ、基礎試験（コールド）を行い、処理技術の適用性評価を行う。目標 2 に向けては、性状把握結果を踏まえて、適用技術の絞込みを行う。廃棄体化方法等については、有望な処理技術については必要に応じてホット試験も含めた長期試験を行い、処分概念検討に必要な情報を収集する。

3) 解体廃棄物の処分の検討

目標 1 に向けて、我が国でこれまで検討されてきた既存の処分概念に加えて、海外情報も参考に、広範囲に候補処分概念の調査を行う。目標 1 の段階で得られている性状把握結果、処理技術の適用可検討も踏まえて、候補処分概念の適用可能性の検討を行う。また、安全評価手法の調査を行ったうえで、安全性評価の感度解析を実施し、処分概念の適用可能性検討を進めるとともに、処理技術の検討や分析計画等に反映する。目標 2 に向けては、性状把握結果や処理技術検討の進展を踏まえて処分概念の具体化を図る。

上記の各目標での概要とその目標の判断に必要な情報を、表 4.3-4 に示す。

表 4.3-4 目標と必要な情報（解体廃棄物）

目標	目標 1（2016 年度末）	目標 2（2020 年度末）
	廃棄物の性状に応じた既存処分概念への適応性の確認	廃棄物の処理・処分における安全性見直し確認
概要	1. 瓦礫等のサンプリング分析結果及び事故進展も踏まえて性状把握を行う。 2. 処理等に関する候補技術調査と適用性評価 3. 国内外の処分概念の調査・検討	1. 燃料デブリ取り出し作業の進捗に伴う分析データを活用した解体廃棄物の性状の確度の向上。 2. 処理等に関する候補技術絞込みと課題抽出 3. 処分概念候補の抽出、適用性評価及び安全性評価
必要な情報	(1)解体廃棄物の性状把握 ①高線量化でのサンプリング、分析方法・分析計画の検討 ②分析結果や解析的評価による性状推定モデルの構築 (2)解体廃棄物の処理等の検討 ・候補技術の調査 ・適用性評価のための基礎試験（コールド） ・適用可能性の検討 (3)解体廃棄物の処分の検討 ・処分概念調査と適用可能性の検討 ・安全性評価手法の調査 ・想定条件における感度解析	(1)解体廃棄物の性状把握 ①解体対象物の分析データの蓄積 ②実分析結果に基づく性状把握 (2)解体廃棄物の処理等の検討 ・性状把握結果を踏まえた候補技術の絞込みと課題抽出 ・有望な廃棄体化技術に関する長期試験等（コールド/ホット） (3)解体廃棄物の処分の検討 ・候補概念の絞込みと有望候補の処分概念の具体化に係る検討 ・性状把握結果を踏まえた安全性評価

(2) スケジュール

上記の目標を整理した研究開発項目とスケジュールを表 4.3-5 に示す。

表 4.3-5 解体廃棄物の研究開発ロードマップ

項目	第 1 期		第 2 期								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
1. 解体廃棄物の性状把握					目標 1 廃棄物の性状に応じた既存処分概念への適応性の確認	HP5-1				目標 2 廃棄物の処理・処分における安全性の見通しの確認	HP5-2
2. 解体廃棄物の処理等の検討 ・ 分別、除染、減容、再利用技術検討 ・ 廃棄体化技術検討											
3. 解体廃棄物の処分の検討 ・ 処分概念検討 ・ 安全性評価											

分析手法・計画の確立 (遠隔技術含む)	瓦礫等の分析結果や解析的手法による性状の推定	廃棄物性状の評価精度向上
処理技術・処分概念適用性評価に必要な分析項目を反映	性状把握結果を処理・処分検討に反映	実分析結果に基づく性状把握
性状把握結果を処理・処分検討に反映	性状把握結果を処理・処分検討に反映	性状把握結果を処理・処分検討に反映
候補処理技術の調査 (広範囲)	性状把握結果を踏まえた候補技術の絞り込み、課題抽出	
適用性評価のための基礎試験 (コールド)	適用性評価のための長期試験等 (ウォールド/ホット)	
適用可能性の検討	処分安全性に関する検討結果を性状把握や処理に関する検討に反映	
処分概念調査 (広範囲)	適用可能性の検討	候補概念の絞り込みと有望候補の処分概念検討
安全性評価手法の調査	想定条件における感度解析評価	性状把握結果を踏まえた安全性評価
	成果のまとめ 	成果のまとめ 

4.3-19

参考文献

- 4.3-1) JAEA、東京電力（株）福島第一原子力発電所の廃止措置技術に係る原子力機構の取組（2012年度版）
<http://www.jaea.go.jp/fukushima/pdf/20121206-02.pdf>
- 4.3-2) 西原 健司 岩元 大樹 須山 賢也、福島第一原子力発電所の燃料組成評価、
JAEA-Data/Code 2012-018
- 4.3-3) 福島第一原子力発電所 設備の概要
<http://www.tepco.co.jp/nu/f1-np/intro/outline/outline-j.html>
- 4.3-4) 東京電力（株）、東北地方太平洋沖地震発生当時の福島第一原子力発電所プラントデータ集（3.警報発生記録等データ、出力分布サマリログ）
<http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/index10-j.html#anchor04>
- 4.3-5) 原子力施設の廃止によって発生する大量の放射性廃棄物の処理処分対策（ATOMICA）
http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_No=05-01-04-06
- 4.3-6) 鷲谷忠博、「東京電力（株）福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた研究開発計画に係る国際シンポジウム」における“燃料デブリの性状把握・処理に係る研究計画”の報告、日本原子力学会発行 核燃料、2012年5月
http://www.aesj.or.jp/~fuel/Pdf/kaihou_2011_47-2.pdf
- 4.3-7) 福島第一原子力発電所の原子炉建屋の現状の耐震安全性及び補強等に関する検討に係る報告書（その1）（追補版）（改訂）
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/120928j0401.pdf
- 4.3-8) 例えば D.W.Akers. et al, TMI-2 Examinations Results from the OECD/CSNI Program Volume 1 (1992)
<http://www.oecd-nea.org/nsd/docs/1991/csni-r91-9.pdf>
- 4.3-9) わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ -、JNC TN1400 99-020～024, (1999)
- 4.3-10) TRU廃棄物処分技術検討書－第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ－、JNC TY1400 2005-013, (2005)
- 4.3-11) TMI Fuel Characteristics for Disposal Criticality Analysis, USDOE(2003)
<http://www.inl.gov/technicalpublications/Documents/3323206.pdf>
- 4.3-12) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 原子力防災小委員会 危機管理WG（第12回 日時平成18年11月21日）議事要旨
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/genshiryoku/bousai_kikikanri_wg/pdf/013_s02_00.pdf
- 4.3-13) 新計画策定会議（第9回）資料第2号、核不拡散の観点からの評価について、平成16年10月7日

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/sakutei2004/sakutei09/siryu2.pdf>

4.3-14) 渡部 晃三、日本原子力研究所における試験研究用原子炉の廃止措置概要、日本原子力研究所、平成16年12月6日

http://www.nsr.go.jp/archive/mext/component/a_menu/science/anzenkakuhoh/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2009/06/11/20041209_01i.pdf

4.3-15) フランスにおける放射性廃棄物の処分—主として低レベル廃棄物について、原環センタートピックス、No.3, (1987)

<http://www.rwmc.or.jp/library/file/no3.pdf>

5. 研究開発推進上の諸課題

5.1 リソース、マネジメント等に関する課題

本章では、前章までに検討した廃棄物の処理・処分に関する直接的な技術的課題以外の課題、例えばリソース、マネジメント等に関する課題について検討する。

はじめにこれらの課題に関連する国の方針等を整理する。次に研究開発を進めていくにあたり、廃棄物の処理・処分に関する研究開発プロジェクトに特徴的な事項を挙げる。それらの特徴的な事項を軸に技術開発を効果的かつ効率的に実施していくための課題及び課題に対する対策を国の方針等と比較しながら検討する。

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・処分は、IAEAの国際基準によれば、「過去の活動と事故により影響を受けた地域の修復プロセス」^{5.1-1)}、「放射性廃棄物の処理、取り扱いおよび貯蔵のためのマネジメントシステム」^{5.1-2)}、「放射性廃棄物の処分のためのマネジメントシステム」^{5.2-3)}等のマネジメント要求のもとに進められるべきものであり、技術開発は、これらの要求をできる限り満たす形で進めることが望ましい。特に将来なされるべき処分に向けての知識、技術の継承及び人材の育成確保さらには記録の保存と品質管理は、プロジェクトが長期にわたることから特に重要となる。

5.2 政府・東京電力中長期対策会議（現・東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議）の方針等

政府・東京電力中長期対策会議（現・東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議）が作成した「東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた研究開発について」（以下「中長期ロードマップ／研究開発計画」という）^{5.2-1)}には、研究開発に関する共通事項として研究開発推進体制、研究拠点構想、国際協力、人材確保・育成に関する方針等が記載されている。

研究開発推進体制については、基本的な考え方として、国内外の専門家及び産業界の叡智を集結するとともに、柔軟かつ機動的な進め方を可能とする体制を整備することが重要であり、全体的なマネジメントを担う組織を設け、全体の進捗を踏まえた計画及び体制の柔軟な見直し・一部改廃を含め、研究開発全体の評価を適切に行っていく必要があると述べている。政府・東京電力中長期対策会議（現・東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議）のもとでは、研究開発を総合的かつ集中的に実施するため、研究開発推進本部を設置し、研究開発の推進に関する企画・立案、総合調整を行ってきた。また、研究開発推進本部のもとにワーキングチーム及びサブワーキングチームを設け、分野毎の研究開発の推進に関する企画・立案、総合調整を行ってきた。なお、新たに設置された東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議のもとでは、現場の作業と研究開発の進捗管理を一体的に進めていく体制を構築することが重要とされている。

研究拠点構想については、国内外の叡智を集結して研究開発を行い、将来的に国際的

な研究開発拠点となることを目指すため、必要な施設や設備について概念設計・基本設計の検討に着手し、これまで検討を進めてきた構想の具体化を図るとしている。新規に整備する施設としては、遠隔操作機器・装置の開発・実証のための施設、放射性物質の分析のための施設が挙げられており、これらの施設を活用した国際研究協力の検討も行う。

国際協力については、国内外の叢智を結集するため、中長期措置全体の計画・取組状況についてタイムリーに広く情報を公開・発信していく、諸外国政府機関、国際機関及び民間事業者からの情報・助言を含めた具体的な協力の可能性を的確に評価し、効果的・効率的な研究開発の実施に努める等の対策が挙げられている。世界に向けての積極的な情報発信には、国際会議等の場における研究計画・成果の発表が重要であり、また、IAEAやOECD/NEAとの協力を継続していくと述べている。国際協力に係る具体的な研究テーマについては、廃棄物処理方針の検討等を想定している。

中長期的視点での人材確保・育成については、東京電力、JAEA、プラントメーカー等の関係機関が人材確保・育成のニーズを明確にしつつ、内部での人材育成及び外部からの人材の受け入れを促進するための取り組みを進めるとともに、将来必要となる人材の育成を担う大学・研究機関等との連携を強化していくことが重要としている。具体的な対策としては、研究開発プロジェクトの一部の共同研究・委託、人材育成に関する重点領域の設定と中核拠点の選定、連携講座・大学間連携プログラム・集中ワークショップ等の支援、情報共有・提供を図るための情報・データのアーカイブ化等の検討を挙げている。

5.3 プロジェクトの特徴

廃棄物の処理・処分に関する研究開発プロジェクトの主な特徴として以下の3点が挙げられる。

- ・ 長期間の継続が必要
- ・ 幅広い分野にわたる技術が必要
- ・ 新規概念・技術の創出が必要

政府・東京電力中長期対策会議（現・東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議）が平成24年7月30日に改訂した「東京電力（株）福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」（以下「中長期ロードマップ」という）^{5.2-1)}に記載されているように、廃棄物の処理・処分の開始は、20～25年後を見込んでおり、これに向けた技術開発は、20年以上の長期間のものになる。

検討が必要な項目に関しては、燃料デブリ、瓦礫、水処理廃棄物等の種々の廃棄物に対し、性状把握、保管、減容・安定化等の処理、廃棄体化、トレンチ処分から地層処分までの様々なタイプの処分等の検討を実施する必要があり、幅広い分野にわたる技術が

必要となる。

また、事故で発生した廃棄物は、これまで発電所で発生してきた廃棄物とは大きく異なる性状を持つことから、その安全かつ合理的な処理・処分を達成するためには、既存の処分概念にとらわれず、新しい処理・処分概念を創出する必要性もあると考えられる。

5.4 課題及び対策の検討

上記「長期間の継続性」、「広い範囲にわたる項目の検討」、「新規概念・技術の創出」という3つの特徴に関し、リソース、マネジメント等の観点から項目別に課題及び対策を検討する。

5.4.1 リソース

人的リソースに関しては、全ての技術開発は長期間継続することが必要なため、それらを担う若手の育成が課題として挙げられる。東京電力（株）福島第一原子力発電所事故では、これまで発電所で発生してきた廃棄物とは性状が大きく異なる廃棄物が大量に発生していることから、その処理処分方策を検討していく廃棄物分野の専門家の必要性が増大している。この状況を踏まえると専門家の人数が現状では決して十分なものとはいえず、特に今後の長期間の技術開発を担う若手研究者・技術者の育成は、喫緊の課題である。中長期ロードマップ／研究開発計画に掲げる対策としては、東京電力、JAEA、プラントメーカー等における人材育成及び外部からの人材の受け入れの促進、将来必要となる人材の育成を担う大学・研究機関等との連携の強化が挙げられている。大学・研究機関等との連携強化の具体的な対策としては、研究開発プロジェクトに係る共同研究・委託、人材育成に関する重点領域の設定と中核拠点の選定、連携講座・大学間連携プログラム・集中ワークショップ等の支援等の検討を挙げている。特に、人材育成は知識・技術の継承とも関連しているので、研究開発拠点が、処分のための品質マネジメントを担うと共に人材育成を担う大学・研究機関との連携戦略を具体化することが望ましい。これらの連携強化策は、早急に検討を進め、具体化を図るべきである。若手育成に関しては、日本原子力学会バックエンド部会においても、夏期セミナー、週末基礎講座等を利用し、福島事故に関する廃棄物対策に特化した講義やセッションを設ける等によって取り組んできている。今後は、本報告書の内容の紹介、研究開発担当者による最新の成果の紹介等を織り込んで、より若手の関心を喚起するような内容にしていく。

幅広い分野にわたる技術が必要なこと及び新規概念・技術の創出が必要なことに対応するためには、国内外の関連する知識を集結して対処する必要があることから、若手の育成と同様に研究開発プロジェクトの一部の共同研究・委託を活用して国内外の機関との連携を図るとともに、情報交流の場として、研究開発拠点の設置及び国際的な活用についても検討していくことが有効である。

予算に関しては、高い技術レベルを維持しながら技術開発を長期間継続していくため

に、人材の確保に加えて技術開発予算の長期間の確保が重要となる。更に、幅広い分野にわたる技術開発が必要なことから、ある程度まとまった額の予算が必要であり、中長期的な研究開発計画を立てた上で、これに基づき必要となる予算を適宜・適切に国が長期にわたって確保していくことが極めて重要である。

技術開発を実施する施設については、研究機関、大学が持っている施設、装置を有効利用していくとともに、国内では実施が難しい試験等については、海外研究機関の施設の利用も視野に入れる必要がある。後述する総合的なマネジメントを実施する組織を中心に、研究機関、大学等の協力体制を構築し、情報共有のための施設や装置のスペックや利用可能性などのデータベース化等により施設、装置の有効利用を図る必要がある。また、研究開発拠点に関しては、分析施設の整備が予定されており^{5.2.1)}、施設の活用による廃棄物の性状把握のための分析等の進展によるプロジェクトの加速が期待される。

研究開発を実施する上で重要となる情報の収集及び管理については、国内外研究機関との協力等を通して最新の情報を収集するとともに、収集した情報及び技術開発により得られたデータ等を知識ベースとして使える形で整理した上で一括管理して共有化及び次世代へ伝承する仕組みを構築することが重要と考えられる。こうした仕組みは、5.2節で述べたように、中長期ロードマップ／研究開発計画でも若手への情報共有・提供を図るためのツールとしての重要性を挙げており、早期の整備が望まれる。

5.4.2 マネジメント

プロジェクトの総合的なマネジメントシステムの構築は、プロジェクトが技術的に長期間かつ広範囲にわたることから、プロジェクト全体を効果的かつ効率的に管理していくために重要な課題である。全体をマネジメントするための組織を作り、実施項目の優先順に応じたリソースの配分を適切に行った上で、実施項目間の調整を行いながらプロジェクト全体の進捗を管理する必要がある。外部の有識者も含めた評価を含む成果の評価を定期的実施し、評価後の計画へフィードバックさせるとともに、状況の変化に応じて適切に全体計画を見直さなければならない。また、新規概念・技術の創出に関しては、既存の国内規制の見直しも視野に入れて検討を進める可能性があることから、規制機関、国際機関等と協力しながら進める必要があると考えられる。以下に統合的なマネジメントシステム構築に必要と考えられる事項をまとめる。

- ・ マネジメント組織の構築
- ・ 優先順位付け
- ・ リソースの配分
- ・ 実施項目間の調整
- ・ 進捗管理
- ・ 成果の定期的な評価及びフィードバック
- ・ 計画の定期的な見直し

- ・ 国際機関等との協力

これまでは、研究開発推進本部、ワーキングチーム、サブワーキングチームが総合的マネジメントを実施しており、今後も東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議のもとで改善を図りつつ効果的なマネジメントを継続することが重要である。

5.4.3 国際協力

広範囲にわたる困難な課題を解決していくために国際協力が重要であることは本章においてすでに触れているが、ここでは国際協力をどのように進めればよいかについて検討する。

国際協力を進めていくための第一の基本として、研究開発の計画、状況等を正確に海外の研究者等に伝える必要がある。このためには、研究開発計画、成果等の時宜を得た迅速な発信が重要であり、5.4.2 節で述べた総合的マネジメントを行う組織等の中に情報を速やかに外国語に翻訳してインターネット等を通して公開していくチームの設置等を検討する必要がある。これに加えて、研究開発を実施している研究者が積極的に国際会議等を利用して海外の研究者と議論を深めていくことが、技術開発の計画、状況等を正確に伝えるために重要な役割を果たすことから、マネジメント組織が国際会議への参加計画を作成し、研究者へ国際会議への参加を促す等の対応が必要と考えられる。

国際機関との協力については、すでに IAEA 及び OECD/NEA と協力して国際シンポジウムを開催する等の実績がある。しかしながら、技術開発を進めていく上で国際機関との協力はその重要性が更に増大していくことから、国際機関から研究開発計画へのアドバイスを受ける等を通して国際機関との協力関係を強化していくことが望まれる。

中長期ロードマップ／研究開発計画においても、国内外の叢智を結集するため、中長期措置全体の計画・取組状況についてのタイムリーな情報公開・発信、諸外国政府機関、国際機関、民間事業者との協力の重要性が強調されており、今後も国際協力を進めていくことが重要である。

海外研究機関との協力についても、既に JAEA、東京電力等が 2 国間協力等を利用して米国、フランス、英国、ウクライナ等の研究機関と情報交換を実施しているが、協力関係を更に強化するために、国際共同研究の実施に向けた海外研究機関及び国際機関との検討を進めていく必要がある。国際共同研究の実施には、国による国際共同研究の枠組みや予算の整備の検討も必要と考えられ、国際的な研究開発拠点の活用と合わせて今後検討を行っていくことが有効である。

また、本プロジェクトの成果は、福島第一原子力発電所事故で発生した廃棄物の処理・処分への反映にとどまらず、国内の全ての放射性物質を含む廃棄物を合理的に処理・処分するための方策の検討、更には今後世界中で発生する同様の廃棄物のより安全かつ合理的な処理・処分等に反映されるべきである。国際協力を実施する際には、この視点を持つことが重要である。

5.4.4 社会的受容

最後に福島第一事故廃棄物の処理・処分に関する研究開発に関連し、放射性廃棄物としないものの環境への再循環、処分施設の立地等の社会的受容に関しては、技術開発あるいはこれを推進している事業主体のみによっては解決できるものでなく、国又は政治、安全規制の積極的協力が必須となる。本プロジェクトに関連するあらゆる組織・個人が一丸となって早期の福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けて取り組んでいくことを望む。

以上の検討内容を表 5.3-1 にまとめる。

表 5.3-1 廃棄物の処理・処分に関する技術開発に向けた課題と対策案

項目		課題			対策案
		長期間	幅広い分野の技術	新規概念・技術の創出	
リソース	人	・若手の育成	・多種多様な分野からの人材の確保 ・国内外研究者の協力	・国内外研究者の協力	・関係機関内の人材育成・受入システムの整備 ・共同研究・委託研究等による大学等との連携強化
	予算	・技術開発予算の長期的確保	・幅広い分野にわたる技術開発を実施するために必要な予算の確保		・中長期的な研究開発計画に基づいた国による長期間の予算の確保
	施設		・既存研究施設の有効利用 ・国内外研究機関の協力		・データベース化等による施設、装置の有効利用 ・研究機関、大学等の協力体制の構築 ・研究開発拠点の活用
	情報	・情報の伝承	・国内外最新情報の収集 ・他分野の情報の利用 ・情報の共有	・国内外最新情報の収集	・国内外研究機関との協力等を通じた情報の収集 ・データベースの構築
マネジメント		・統合的マネジメントシステムの構築		・規制機関等との協力 ・国際機関等との協力	・マネジメント組織による総合的マネジメント ・社会的受容に関する政策的決定を左右できるチーム又は仕組みの整備
共通事項	国際協力	・タイムリーな情報発信 ・国際会議等への積極的な参加 ・国際機関との協力 ・海外研究機関との協力 ・国際研究拠点			・翻訳チーム設置等の検討 ・国際会議への計画的参加 ・研究開発計画へのアドバイス等による協力関係強化 ・国際研究拠点を利用した共同研究実施のための枠組みや予算の整備の検討
	社会的受容	・放射性廃棄物としないものの環境への再循環、処分施設の立地等の社会的受容			・国又は政治、安全規制の協力

参考文献

- 5.1-1) International Atomic Energy Agency, Remediation Process for Areas Affected by Past Activities and Accidents, IAEA Safety Standard Series No. WS-G-3.1, IAEA, Vienna (2007).
- 5.1-2) International Atomic Energy Agency, The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste, IAEA IAEA Safety Standard Series No. GS-G-3.3, IAEA, Vienna (2008).
- 5.1-3) International Atomic Energy Agency, The Management System for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA IAEA Safety Standard Series No. GS-G-3.4, IAEA, Vienna (2008).
- 5.2-1) 原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議、「東京電力（株）福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」、2012 年 7 月 30 日
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/t120730_02-j.pdf

6. おわりに

本報告書の検討・作成にあたっては、短期間にもかかわらず、下記のような関係者の方々のご協力と熱心なご活動を経て、まとめ上げることができました。ここに改めて関係各位に謝意を表します。また、本報告書が、今後の福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置に向けて重要な放射性廃棄物の処理・処分を安全かつ速やかに進展させていくことに少しでも寄与できれば幸いと考える次第です。

6.1 委員会及び委員

委員会の構成委員、オブザーバ及び説明者は、以下の通りである。

(五十音順，敬称略)

委員

主査	枅山 修	原子力安全研究協会
幹事	新堀 雄一	東北大学
	池田 泰久	東京工業大学
	出光 一哉	九州大学
	梅木 博之	日本原子力研究開発機構
	大和田 仁	原子力環境整備促進・資金管理センター
	河西 基	電力中央研究所
	桐島 陽	東北大学
	小崎 完	北海道大学
	佐々木 隆之	京都大学
	佐藤 努	北海道大学
	高橋 邦明	日本原子力研究開発機構

オブザーバ

林道 寛	日本原子力研究開発機構
------	-------------

説明者

芦田 敬	日本原子力研究開発機構
石川 真澄	東京電力
上西 修司	東京電力
駒 義和	日本原子力研究開発機構
齋藤 典之	東京電力
佐々木 紀樹	日本原子力研究開発機構
杉山 大輔	電力中央研究所
塚本 政樹	電力中央研究所
藤田 元久	原子力環境整備促進・資金管理センター
星野 国義	原子力環境整備促進・資金管理センター

宮本 泰明	日本原子力研究開発機構
目黒 義弘	日本原子力研究開発機構
山本 武志	電力中央研究所

6.2 委員会の活動

平成 24 年度の本委員会の活動について示す。なお、第 1 回特別専門委員会の開催前に、本委員会を有効かつ効率的に進めるために準備会を実施した。

第 1 回準備会 平成 24 年 10 月 15 日、19 日

- ① 福島第一原子力発電所の視察

第 2 回準備会 平成 24 年 11 月 7 日

- ① 本委員会の設立趣旨、検討の進め方
- ② 発電所内の主な作業業況
- ③ 処理・処分に関する研究開発の状況

第 3 回準備会 平成 24 年 11 月 20 日

- ① 水処理施設・水処理施設二次廃棄物の概要
- ② 水処理二次廃棄物の処理・処分に関する課題

第 1 回委員会 平成 24 年 12 月 4 日

- ① 発電所内の主な作業業況
- ② 瓦礫・伐採木の保管管理状況
- ③ 課題の抽出事例（瓦礫、伐採木、汚染土壌）
- ④ インベントリ設定に関する課題の整理
- ⑤ 安全評価感度解析事例

第 2 回委員会 平成 24 年 12 月 19 日

- ① 課題の抽出事例（燃料デブリ／解体廃棄物）
- ② 研究開発計画検討の全体フロー
- ③ 研究開発計画の骨子案

第 3 回委員会 平成 25 年 1 月 17 日

- ① 発電所内の主な作業業況
- ② 研究開発計画

第 4 回委員会 平成 25 年 2 月 1 日

- ① 発電所内の主な作業業況
- ② 研究開発計画