

福島第一原子力発電所の廃炉と 関連課題

原子力委員会定例会議

2022年5月31日

原子力損害賠償・廃炉等支援機構 理事長
京都大学名誉教授

山名 元

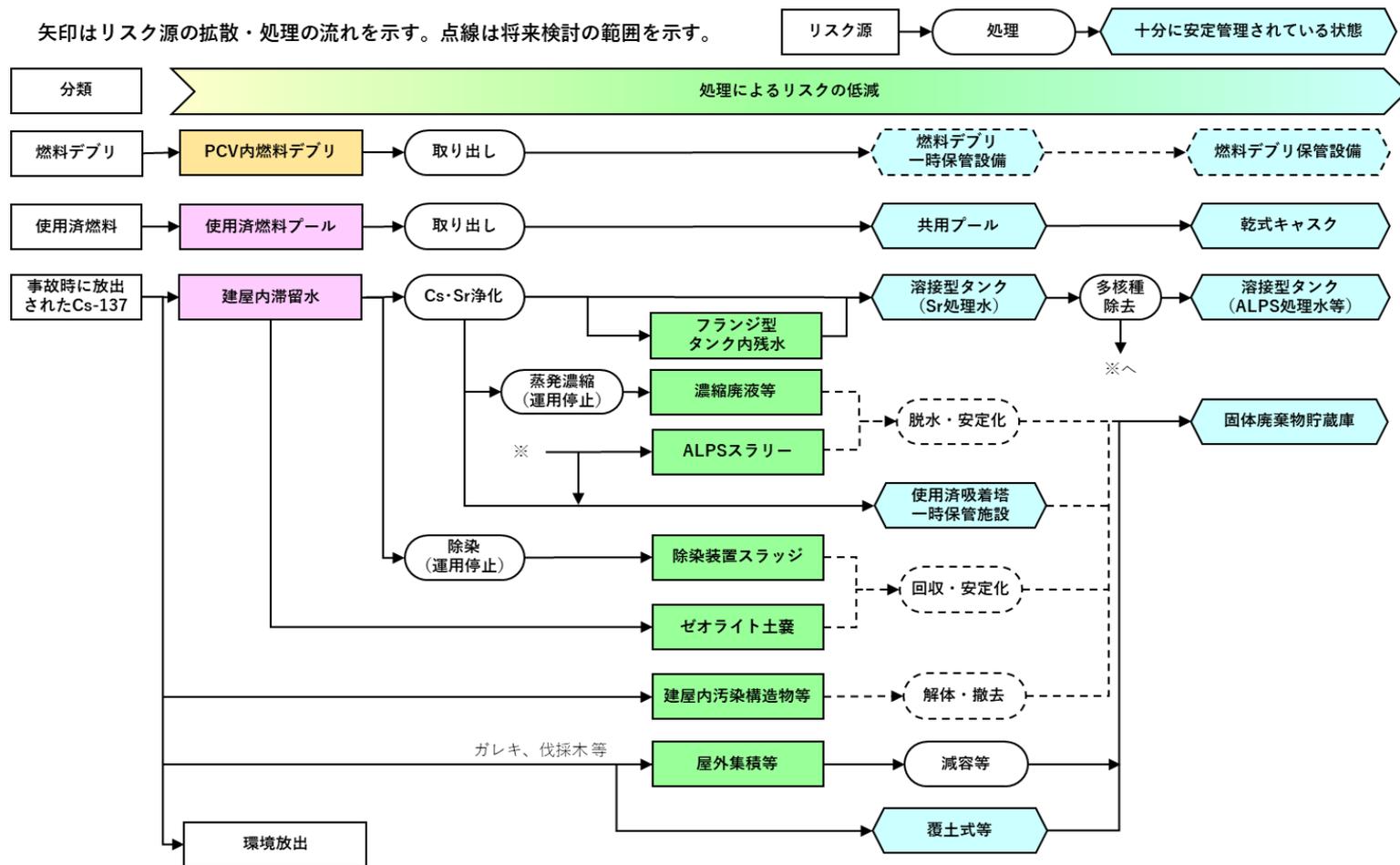
福島第一原子力発電所の廃炉

<要点>

- 一定の安定化を達成し、中長期的な本格的な廃炉事業の開始が始まっている
- リスクレベルの高いリスク源をより安定な状態に持ち込む作業を推進中
- 事故炉からの使用済燃料の回収が半分程度終了。1・2号機については、より確実な取出しの準備工事中
- 1号機と2号機の炉内点検が本格化（ROV、遠隔アームの利用）
- 固体放射性廃棄物の保管強化と減容が進行中
- 汚染水発生量低減と建屋内滞留水の低減が進行中
- ALPS処理水海洋放出の準備中（地元了解や風評対策を前提とする）
- 大熊分析センターの竣工を予定
- 東電のプロジェクト管理やエンジニアリング体制の強化を進めている
- 中長期廃炉に関わる地元産業の拡大を進めている

福島第一廃炉での物質フロー

主要なリスク源のリスク低減プロセスとそれに沿った廃炉作業の進捗のひとつの表し方を提示（事故時からのリスク源の移行プロセスを可視化）



(a) リスク低減プロセス

(技術戦略プラン2021より作成) 3

福島第一廃炉の計画

国際的に考えられている事故炉の廃炉工程 (IAEA NW-T-2.7)

任意の安全保管

事故 非常事態対応 冷温停止 安定化 クリーンアップ開始 汚染物の除去・浄化 解体及び修復 完了

中長期ロードマップ

放射性廃棄物管理

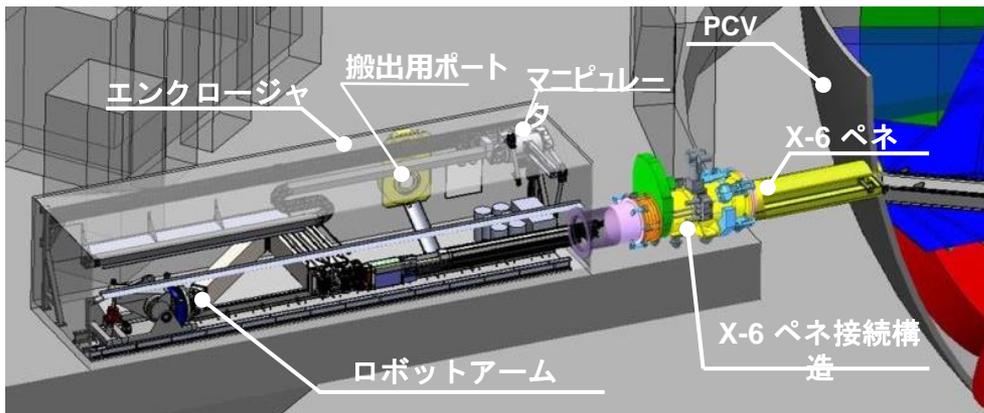
2011年3/11から	2011年12月	2013年11月から	2022年頃から	2031年頃から
事故 初期	第1期	第2期	第3期 第3期-①期	第3期-②期 完了
<ul style="list-style-type: none"> ●冷温停止 ●放射性物質放出の大幅な抑制 	<ul style="list-style-type: none"> ●初号機の使用済燃料取出し開始まで 	<ul style="list-style-type: none"> ●初号機の燃料デブリ取り出し開始まで 	<ul style="list-style-type: none"> ●第2期終了～廃止措置終了まで 目標はステップ2完了から30～40年後 	

- 原子炉の内部調査
- 燃料デブリ取出しの研究開発・工法検討
- 建屋内滞留水処理
- 3・4号機使用済燃料取出し
- 1・2号機使用済燃料取出し準備

- 1～6号機の使用済燃料取出しの完了
- 燃料デブリの試験的取出しに着手
- 段階的に取出し規模の拡大を進める。
- 汚染水発生量を最小限に減らす
- 廃棄物の保管を進める

2号機での格納容器内点検（試験的取出し）

- ◆ ロボットアーム、双腕マニピュレータの神戸での性能確認試験及び操作訓練が1月21日に終了。
- ◆ JAEA櫛葉モックアップ施設での性能確認試験及び操作訓練を2月14日より開始。
- ◆ これまでに、ロボットアームの基本的な性能(X-6ペネの通過、CRD開口からペDESTAL内部のプラットフォーム上側までのアクセス、ワンドのプラットフォーム開口からペDESTAL底部へのアクセス)を確認。現在、ロボットアーム制御ソフトの一部改良中。
- ◆ ロボットアーム単体での性能確認試験後、エンクロージャと組合せた試験へ移行する計画。
- ◆ 現場に設置した隔離部屋に一部損傷を確認。対策を検討中。

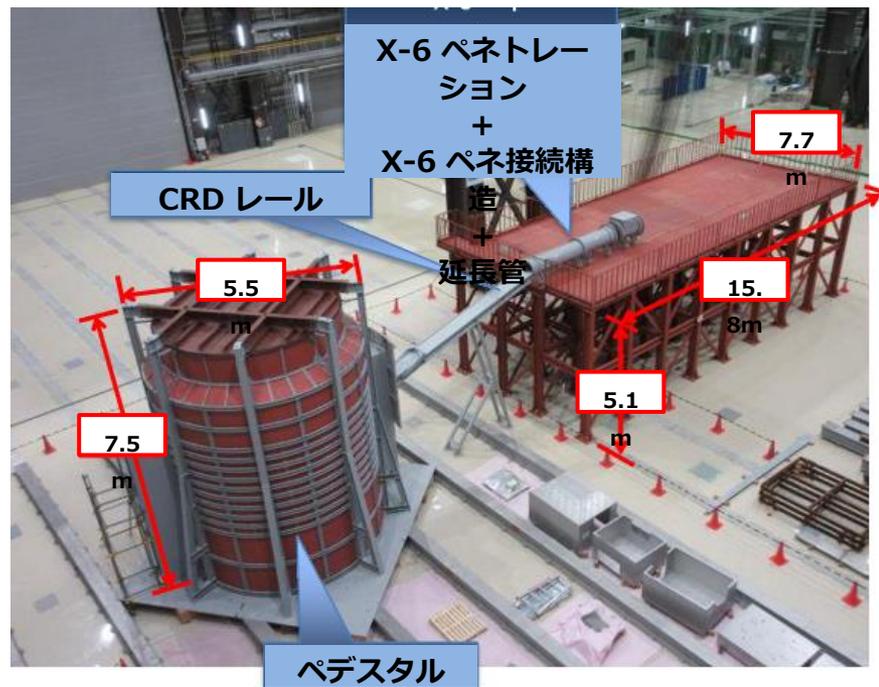


試験的取り出し・PCV内部調査の全体イメージ図



アーム最大伸長時

ロボットアームの試験状況



JAEA櫛葉モックアップ試験設備

2011 → 2022 → 2050

2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021

環境の除染

避難指示の解除

特定復興再生拠点整備

生活インフラの整備・帰還・生業再興・他

インフラの更なる強化

教育人材育成などの活性化

国際教育研究拠点の稼働

イノベーションコースト構想等の産業創出

帰還住民の増加

特定復興再生拠点の活性化

特定復興再生拠点外地区の除染

移住人口・交流人口の拡大

周到な準備による廃炉の山越え

福島第一サイトの地元による将来利用

福島第一廃炉から見える 放射性廃棄物の課題

<要点：福島第一廃炉>

- 放射性廃棄物の性状確認の重要性
- 放射性廃棄物ヒエラルキーの考えに従って、放射性廃棄物を最小化する取り組みを推奨

<要点：低レベル放射性廃棄物の一般的課題>

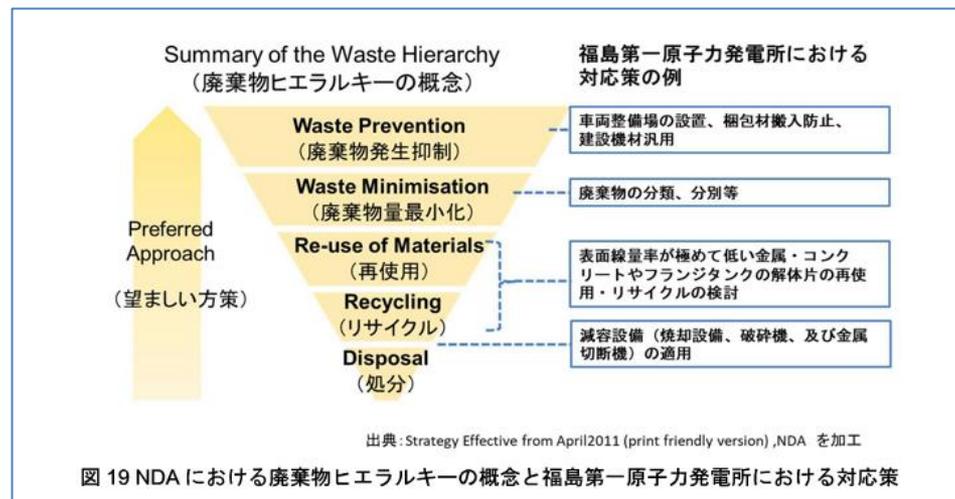
- 原子力事業の環境が事故前から大きく変わった事を前提に、放射性廃棄物への取組体制や考え方を柔軟に修正していくことが必要（政策、事業者の取組）
- 「低レベル放射性廃棄物等の処理・処分に関する考え方について（見解）（令和3年12月）」の共有が出発点となる
- 放射性廃棄物の一元処分、政策的支援、ステークホルダーインボルブメント等は、具体的な検討が望まれる重要課題

福島第一廃炉での廃棄物ヒエラルキーの考え方

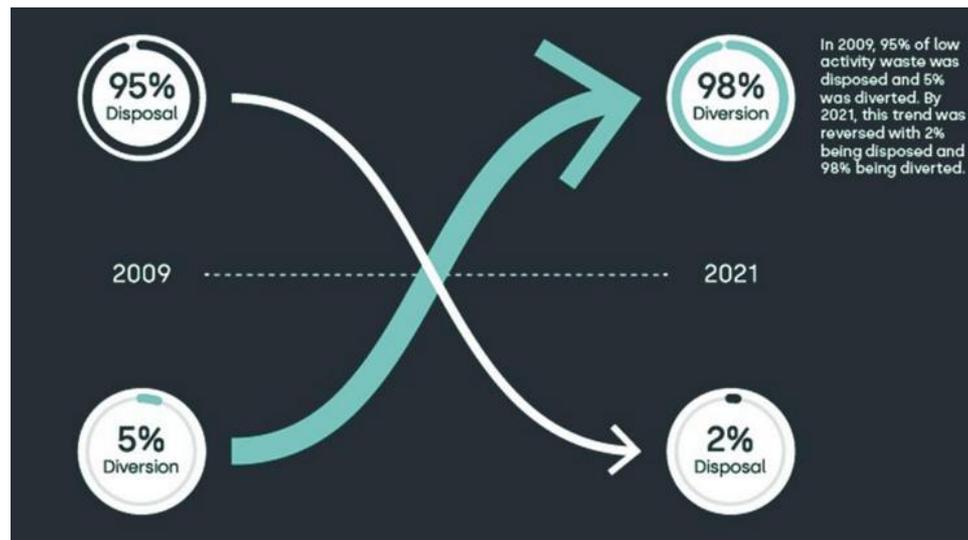
- 固体廃棄物が大量に存在すると、分別や分析に時間を要するだけでなく、保管容器数や保管施設規模も大きくなり、廃棄物管理の負荷が増大するため、可能な限り物量を低減することは非常に重要。
- 廃棄物ヒエラルキーの考え方を実践している諸外国の例を参考に、固体廃棄物管理全体の負荷低減のための物量低減の取組を廃炉活動全体に浸透させることが重要。
- 廃棄物対策として取るべき方策は、①廃棄物発生抑制、②廃棄物量最小化、③再使用、④リサイクル、⑤処分の優先順位。
- ①の方策から優先的に可能な限り取り組み、⑤の処分は最後の手段とする考え方に沿った廃棄物管理を行うことによって、保管や処理、処分の対象となる廃棄物量の低減を図ることが重要。

- 発生抑制の観点：設計や工事計画において使用物資量を低減するよう検討すること等が重要。処理・処分に影響を与える物質を極力持ち込まないことも重要。
- 物量最小化の観点：分別をしっかりと行い、汚染を防止することや製造物の維持管理・長寿命化、廃棄物の減容等を考慮することが重要。
- 再使用の観点：汚染チェック、除染、修理、部品交換等を実施して再使用することが必要。それらの容易性を設計段階から考慮することが有用。別の用途への使用の考慮も有益。
- リサイクル：汚染された有価物は汚染状況を考慮し、リサイクル可能なものは分別・処理し、新たな素材・製品として利用することの考慮が重要。

廃棄物ヒエラルキーの考え方 (技術戦略プラン2021より引用)



英国NDAの低レベル放射性廃棄物の削減の例



低レベル放射性廃棄物について（１）

- 福島第一事故以降、原子力発電の依存度低減を謳うエネルギー基本計画の下で、①放射性廃棄物に関わる事業の今後の展望が見えにくくなっていること、②放射線安全や原子力利用に対する国民の信頼が相当に低下していること、③廃止措置や蓄積する放射性廃棄物への措置が今後の原子力活動の中で非常に重みを増すこと、④放射性廃棄物に関わる国全体としての政府方針が国民から見えにくくなっていること等（政府コミットメントが見え難い事、放射性廃棄物や福島第一事故影響等に対する国民からの不安や不信が多い事）を勘案すると、放射性廃棄物に対する大きな基本的考え方を、「再整理」すべき時期に至っていた。
- この背景において、原子力委員会「低レベル放射性廃棄物等の処理・処分に関する考え方について（見解）（令和3年12月）」により、低レベル放射性廃棄物に関わる考え方が整理し、一定の見解が提示されたことは意義深い。
- 原子力利用の非常に厳しい環境が現に存在する中で、低レベル放射性廃棄物の問題が優先課題とはなりにくい現状があるのも事実。高レベル廃棄物、廃止措置、使用済燃料等の優先課題への優先的対応が進む中でも、「長期的にクリティカルな課題」としての低レベル放射性廃棄物に対する基本的考え方の重要性が、規制庁、経済産業省、文部科学省、厚労省等の、全ての関連省庁で共有され、具体的な政策が取られることを期待する。
- その際、総括原価方式で電気事業や原子力発電が行われ、放射性廃棄物への対処がその仕組みの中で大きなマージンをもって計画されていた時代と異なり、発生者が、非常に厳しい原子力事業環境の下で「原子力レガシーに対する責任を果たしてゆく」時代に入っていることを率直に認めた上で、現実的な取り組みを求めることが必要ではないか。
- 中でも、原子力発電コストが上昇していること、放射性廃棄物に対する社会の見方が非常に厳しくなっている事や、原子力事業の低迷に沿って放射性廃棄物に関わるサプライチェーンが変化しつつあること、人材や技術力が低下の傾向にあること、新規制による安全要求が厳しく課されていること等の、現実的な難しさの存在を前提として、なんらかの具体的な取り組みや解を、関係者に求めることが必要になるのではないか。（この件、関係省庁との政策論議を尽くす必要があることは当然）

低レベル放射性廃棄物について（２）

特に、廃止措置に関しては、以下の点が懸案事項

- 廃止措置廃棄物の処分場の確保
- 実効性のあるクリアランスの確保
- 廃止措置を受け負う産業界体制（サプライチェーン）の確保
- 廃止措置やその廃棄物に関わる国民への情報提供や対話の拡充
- 関係事業者による主体的かつ積極的な連携活動の拡大
- 廃止措置廃棄物やサイト開放に関わる安全規制基準（規制委員会による審議中）の制定

現実的な出口戦略を模索する動きを政府や事業者に要請する必要があるが、政策的に現状可能な対応として何が出来るのかを議論しておくことが必要。

- この取組の中では、発生者責任を有する電気事業者が全体で連携して合理的解を出す姿勢が必須。発生者責任を前提とした上で、国が何を支援できるかが政策的には重要なカギとなる。
- 廃棄物の放射能濃度や核種組成に応じて適切な処分方法を決定するというリスクレベルに応じた対応が国民に理解されていないと思われる現実に対して、全ての放射性廃棄物の処分安全性に関する理解醸成のために、国が事業者をサポートするアクションが今まで以上に必要ではないか
- 特に、廃止措置やクリアランス等に関する「ステークホルダーインボルブメント」の重要性が、世界的共通に指摘されている中で、政府による「ステークホルダーインボルブメント」強化の具体案が期待される

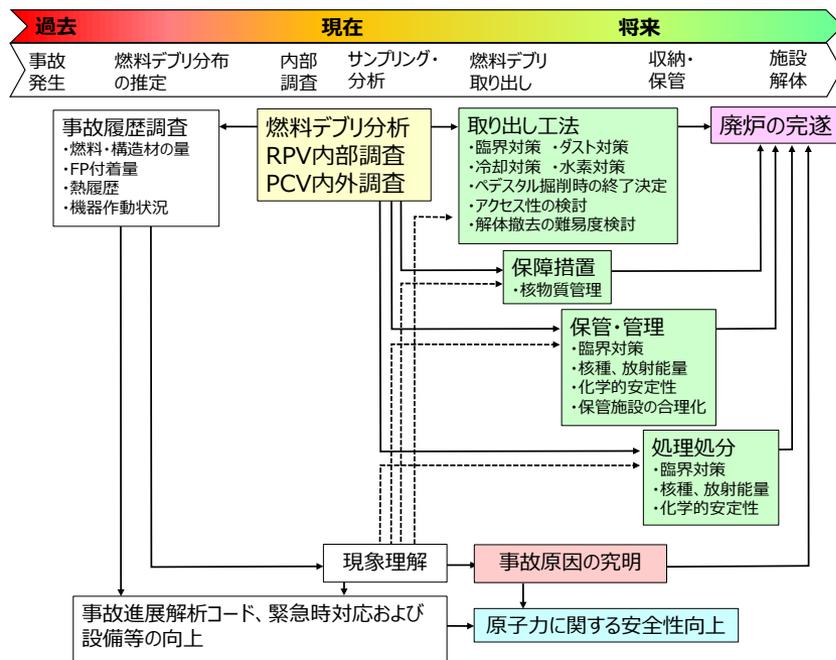
廃止措置廃棄物を含む低レベル放射性廃棄物への取組への、国としての統一感が、益々期待される。

福島第一廃炉から見える 分析の課題

<要点>

- 燃料デブリや放射性廃棄物の分析は、福島第一廃炉での安全性や経済性に極めて大きな影響を与えると共に、住民や国民の皆さんの安心にも直結する
- 分析技術の難しさ、分析設備の制限、分析専門家（人材）の不足などの問題が山積する
- 廃棄物処分の経済性が廃止措置の成功に必須であることを前提に、クリアランスや処分区分の決定に際して、分析値の統計的な取り扱いが重要となる
- 特に、規制庁による安全審査基準に沿うクリアランス検認を進める上で、分析・サンプリングでの統計論的な取り組みとその最適化は、今後の重要課題となる

燃料デブリ分析の展開



(技術戦略プラン2021より引用)

分析に関わる課題

- ・ 限られた分析設備能力で対処する事になること (既存ホットラボ、大熊新規施設、東電ラボ等)
- ・ 分析や化学的な専門性を持つ人材が少ないこと (分析評価者・分析作業員・分析開発者等)
- ・ 分析技術において、精度・確度の向上や時間短縮等が益々求められること (分析技術高度化の必要性)
- ・ 統計論的なアプローチの併用が必要となること

分析に伴う困難さ

- ・ 事故炉内部状況が不明
不確実性の高さ
対象物質の性状が未確認
- ・ サンプル量が限定
- ・ 高い適時性が求められる
- ・ 分析量が膨大になる可能性
- ・ 高放射性/高線量の試料が多い
- ・ 微量 (極低濃度) 不純物の検出
- ・ 放射化学的に難検出の対象核種の存在
- ・ 難溶解性固体試料が多い
- ・ 分析操作者の分析技能依存の限界
- ・ 同位体確認の必要性
- ・ ミクロな分析の必要性
- ・ 環境試料と生体試料の分析

分析の形態

- ・ 定量分析 (固体・液体・気体)
- ・ 定性分析 (固体)
- ・ 固体試料の相観察と性状解明 (含化合物同定)
- ・ 液体試料中溶存種同定
- ・ 同位体比測定
- ・ 状況に応じた非破壊分析
- ・ 限定試料分析結果からの全体推計 (統計推定)

放射性廃棄物分析での統計論的な取り組みの重要性

- 福島第一廃炉から発生する廃棄物や廃止措置廃棄物では、放射性核種濃度の測定値が対数正規分布を示すことがわかってきている。対数正規分布を示す廃棄物に対してクリアランス判断しようとする場合、過度な余裕を求める場合が起こり得るので、十分なサンプル数と測定誤差低減の努力が強く求められることになる。。
- 規制庁によって策定されたクリアランス審査基準においては、廃棄物の放射性核種の組成比の代表値として95%信頼区間の上限値を使う事を求めているが、「十分に確からしい算術平均を適用すれば、これを95%信頼区間の上限値として認める」旨の解釈を与えている。
- 廃棄物ヒエラルキーの実効性を、安全性と経済性の両立を前提として確保する上で、放射性廃棄物の核種濃度の分析・検認における統計論的な努力や慎重さが極めて重要となる。

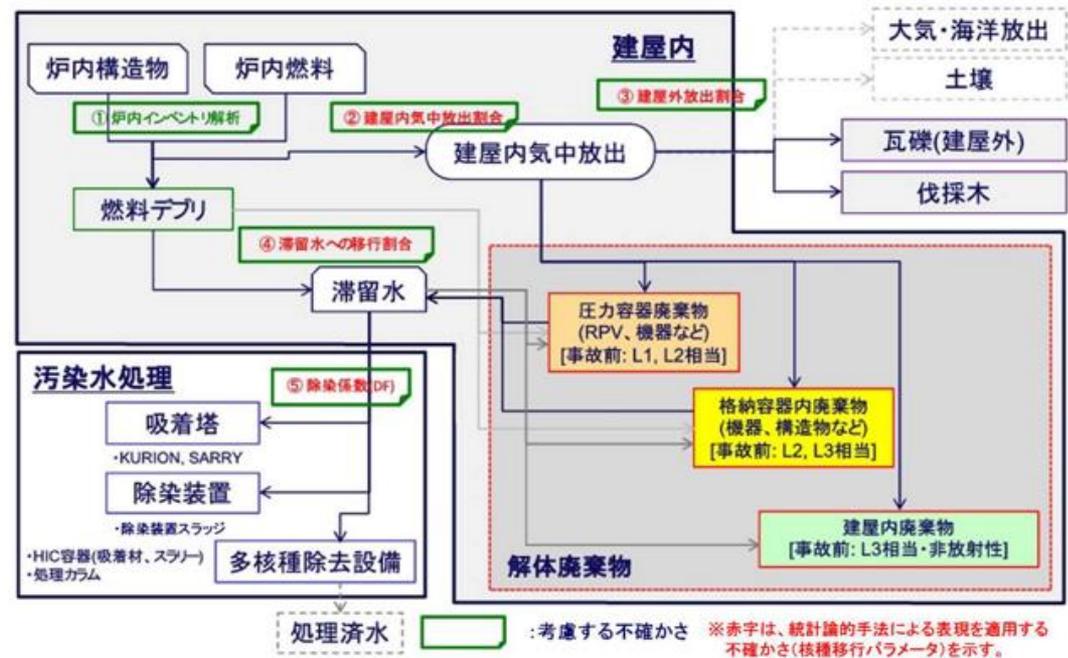


図 A11-11 廃棄物への移行を計算する核種移行モデル¹⁴⁹

(技術戦略プラン2021より引用)

国際研究教育機構における放射線科学研究

<要点>

- 国際研究教育機構の研究施設（通称：国際教育研究拠点）において、放射線科学・創薬医療研究が、研究の柱として設定されている
- 医療用の放射性同位元素の供給確保、内用療法を中心とした放射線医療の高度化とその実用化の加速は喫緊の課題であり、国内での放射線医療の拡充のための拠点研究施設として充実させる意義がある
- 併せて、放射線安全や放射線環境安全などに対する取り組みを強化し、全国的に低下しつつある放射線科学研究の人材と設備の基盤を維持・強化する観点から、放射線科学研究コミュニティの活動と整合する拠点の設計が重要となる
- 復興庁の取りまとめの下で、文科省が放射線科学研究政策の一環として本施設の具体化に主導的な立場をとると共に、原子力委員会からもこの活動へのエントースを期待したい

国際教育研究機構での放射線科学研究（山名の見解）

我が国において放射線科学研究を進める意義（その発展性と福島対応）

1. 福島第一での廃炉・汚染地域の修復・ALPS処理水の海洋放出等の、原子力レガシーや原子力利用に関わる放射線安全や環境影響に対する取り組みは、事故発災国である我が国にとっての義務とも言える。
2. 放射線安全に対する過剰な不安や印象が、多大な経済損失や社会的負荷（風評被害）を作りだしている。放射線に対する科学的な基盤強化と情報発信が、日本の「負の足かせ」の解消にとって重要。
3. 放射線安全（被ばく影響・食品安全等）や原子力廃炉・バックエンドの分野においては、大きな世界貢献に繋がる。原子力事故に対する防災における放射線安全の基盤の確保（安全基準や被ばく医療）は、今後の原子力利用において不可欠。放射線安全についての世界との協力体制の確保は日本にとって必須。
4. 医療用の放射性同位元素の供給確保、内用療法を中心とした放射線医療の高度化とその実用化の加速は、喫緊の課題。RI製造・創薬・臨床研究等を統合的に進めるための研究活動の強化は、極めて重要。

我が国における放射線科学研究の現状など（山名認識）

1. 大規模施設（放射光や加速器中性子利用等）が稼働中
2. 研究炉の老朽化（新規研究炉計画進行中）
3. 大学の放射線科学施設の老朽化や規制強化による研究母体の減少
4. 放射性薬品の全面海外依存と先進的核医学利用の遅れ（原子力委員会アクションプラン）
5. 放射線安全研究基盤の減少
6. 研究施設間および政府内での横断的連携の強化の必要性

国際教育研究拠点での放射線科学研究

- 加速器を用いた放射性核種製造
- 放射線医学・創薬医療研究
- 放射線安全研究
- 放射線産業利用
- 環境動態研究
- 研究基盤整備・基礎基盤研究（先端加速器科学・シミュレーション・宇宙放射線・同位体利用・ビーム利用・等、他にも研究課題多）

上記の放射線科学の潜在性を国レベルで引き出すと共に技術基盤を維持するために、拠点設置により統合的な連携を強化すべきではないか。全国的な放射線科学研究のテコ入れと、その活用 of 大きなビジョンが前提となるのではないか。

④－1 放射線科学・創薬医療

（研究テーマ）

- 我が国において、がんは昭和 56 年より国民の死因の第 1 位であり、健康長寿社会の実現に向けて、その克服が重要な課題の一つである。将来的に、既存の治療法では生存率の低い転移がん、進行がん等への革新的治療法となることが期待される標的アイソトープ治療（放射性薬剤をがんに特異的に集積させる治療法）として、アルファ線放出核種等を用いた新たな R I 医薬品の開発や臨床試験の実施等、創薬医療分野における世界最先端の研究開発（加速器を利用した R I の製造技術、標的照射後処理と薬剤合成技術、ドラッグデリバリー（薬剤送達）技術、生命科学・情報科学技術等の開発、臨床試験等）を一体的に推進する。
- 測定対象の内部構造や内部機能を非破壊的に描出できる放射線イメージング技術は、医療、研究開発等の現場で様々な応用が考えられる技術である。薬剤開発等において大きな効果が期待できる水準への高分解能化や、構造物の把握に適した大視野 3 D 化、様々な R I や線源に対応した新たなイメージング技術など革新的な研究開発を推進する。
- 成果を応用する裾野が広い放射線基礎科学の集積により、放射化学分野の研究はもとより、宇宙放射線科学、地球科学、環境科学、先端分析科学など様々な研究分野において革新的成果の創出に貢献し、新産業の創出や安全・安心な暮らしにつなげることが重要である。そのため、多様な用途に利活用可能な加速器や分析装置等の整備により、今後、宇宙を含む様々な分野での利用が見込まれるデバイスの開発等に貢献していくとともに、放射性医薬品の開発をはじめ様々な社会課題の解決に資する技術革新につなげていく。
- 放射線の影響解明は、医療応用や安全評価等に貢献するとともに、安全・安心な暮らしにつながる世界的にも重要な研究である。放射線に関わる現象の解明や、放射線の安全利用に関する科学的知見を強化するための基礎的・基盤的な研究開発（例：放射線影響評価、食品中の放射性核種による健康リスク評価、安全規制に関する研究等）や人材育成を推進する。

⑤ 原子力災害に関するデータや知見の集積・発信

（研究テーマ）

- 環境中の放射性物質等の移行メカニズムの解明、メカニズムに基づく予測モデルの開発、生態系への移行評価等を実施し、福島環境回復に貢献するとともに、原子力災害に関する環境面からの備えを国際発信することで、福島経験・知見を通じて世界をリードする。また、環境動態研究により培った計測技術や分析手法等を活用し、人間活動の影響を含めた長期的な変化の解明等により森林や河川、土壌等の現状把握や将来予測、気候変動の生態系影響などの地域課題や社会的問題の検討に資するデータや知見を提供する。
- 原子力災害時における情報伝達や平時からのリスクコミュニケーションの在り方、避難対応の在り方、災害・被災者医療、地域コミュニティの再生等の研究課題について、資料収集、単独又は共同での研究、国内外に向けた情報発信及び継続的な人材育成を実施する。
- 国際放射線防護委員会（ICRP）等の国際会議を招致することにより、創造的復興への助言を得るとともに、世界に情報を発信することで、機構の知名度・信頼度を向上させる。