

特集 放射性物質と放射線 ―その基礎から除染まで―

放射能汚染廃棄物の中間貯蔵及び処理処分における技術的課題

Technological Challenges on Interim Storage and Disposal of Radioactively Contaminated Wastes

大 迫 政 浩*

Masahiro Osako

1. はじめに

原発災害後約3年が経過し、放射能汚染廃棄物の問題解決に向けて、重要な局面にある。福島県内においては、中間貯蔵施設立地の地元への要請がなされ、合意形成に向けた努力がなされている。福島県外の宮城、栃木、群馬、茨城、千葉の五県においては、保管中の指定廃棄物の最終処分場立地に関する調整が続けられ、一部の県では立地選定方法について合意がなされ、具体的な候補地選定の段階に入った。このように、地元の苦難は計り知れないが、放射能汚染廃棄物の出口確保は、今後の環境リスク低減に向けて避けて通れない道である。

本稿では、放射能汚染廃棄物の中間貯蔵及び処理処分における今後の技術的対処の課題について、主に福島県内での処理スキームを念頭に概説する。

2. 放射性物質汚染対処特別措置法に基づく処理スキーム

本題に入る前に、まず、放射能汚染廃棄物が法的枠組みの下でどのようなスキームに従って処理されているのか、概略を説明する。

通常の廃棄物処理は「廃棄物処理法」に基づいてなされているが、放射性物質により汚染されたものは対象外とされていた。また、「原子炉等規制法」と「放射線障害防止法」は、それぞれ原子力発電所から生じる放射性廃棄物、及び放射性同位元素(RI)を扱う施設から生じるもののみを対象としていた。すなわち、原発事故により汚染された一般環境から生じる汚染廃棄物に対する対処を想定した法的枠組みは存在していなかったのである。

そこで原発災害後約半年経過した2011年の8月末に、「放射性物質汚染対処特別措置法」(以下、特措法)が新たに公布され、翌年1月1日から本格施行された。特措法では、汚染廃棄物の処理と除染およびそれに伴う除去土壌の処理の二本柱のフレームで汚染対処の措置が講じられることになった。汚染廃棄物への対処のスキームは図1のとおりで、

対策地域内(警戒区域及び計画的避難区域内)で生じた廃棄物及び8,000Bq/kg超の汚染程度の高い廃棄物(「指定廃棄物」)は「特定廃棄物」として厳格な処理基準に従って国が処理を行い、それ以下の限定されたもの(「特定一般廃棄物」又は「特定産業廃棄物」)については、市町村又は事業者が基本的には廃棄物処理法に基づき、特措法の上乗せ基準に従って放射性物質に配慮しながら対応することとされた。

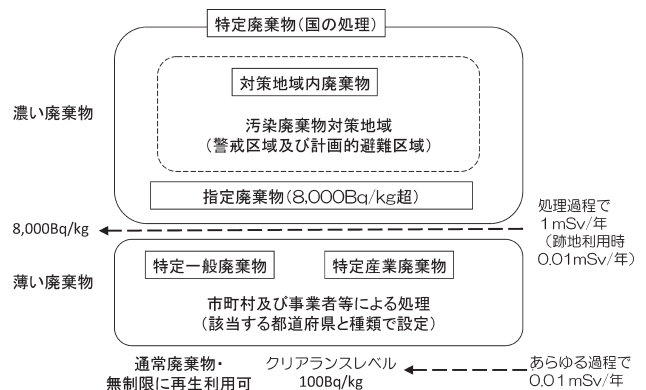


図1 放射性物質汚染対処特別措置法に基づく廃棄物処理スキーム(注:図中のクリアランスレベルは炉規法に基づく基準で参考を示したもの)

なお、指定廃棄物の基準として示された8,000Bq/kgは、廃棄物処理の収集運搬から最終処分までのあらゆる過程を想定して被ばく評価を行い、8,000Bq/kg以下であれば一般公衆及び作業者ともに年間1mSv(処分場の跡地利用時は年間0.01mSv)を上回らないという理由から定められたものである。原子炉等規制法では、通常の産業廃棄物として扱えるしきい値を「クリアランスレベル」として定め、放射性Csの場合は100Bq/kgとしている。先の8,000Bq/kgはあくまでも廃棄物処理を前提としており、一方のクリアランスレベルは、一般の生活環境での再生利用までを含むあらゆるシナリオを想定し、被ばく線量の許容限度として年間0.01mSvをクライテリアとした基準である。このように、両基準は評価のベースが異なっていることに留意が必要である。

特措法に基づく維持管理基準については、中間処理にお

*国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター センター長
〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2
E-mail: mosako@nies.go.jp

ける排ガスまたは排水、および最終処分における放流水の監視によって周辺の大気中または公共の水域における水中の放射性Csの基準は以下のとおりである（図2参照）。

一大気中の放射性物質の濃度限度（3月間平均）

$$^{134}\text{Csの濃度 (Bq/m}^3) / 20 (\text{Bq/m}^3) + ^{137}\text{Csの濃度 (Bq/m}^3) / 30 (\text{Bq/m}^3) \leq 1$$

一水中の放射性物質の濃度限度（3月間平均）

$$^{134}\text{Csの濃度 (Bq/L)} / 60 (\text{Bq/L}) + ^{137}\text{Csの濃度 (Bq/L)} / 90 (\text{Bq/L}) \leq 1$$

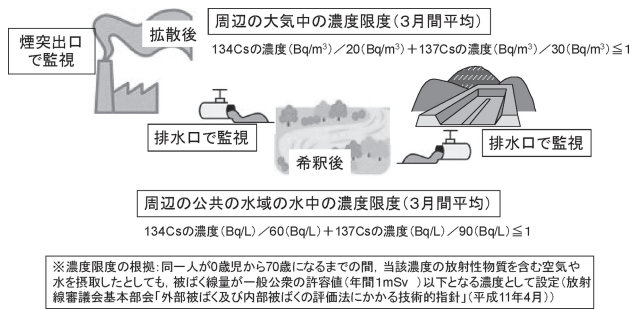


図2 焼却施設および埋立処分場の排ガスおよび排水の監視～濃度限度は排出口基準ではなく、環境中における基準～

3. 放射能汚染廃棄物の対処に向けた今後の技術的課題～福島県内の問題を中心にして～

3.1 汚染廃棄物ごとの課題

(1) 避難指示区域外の比較的線量が高い地域の一般廃棄物

避難指示区域外であっても比較的線量が高い地域では、一般ごみに放射性物質（放射性セシウム）が混入し、焼却過程で焼却灰（特に焼却飛灰）に濃縮し、多くの施設で8,000Bq/kgの基準を超えた。基準超過の焼却飛灰は指定廃棄物として国が処分することとなったが、指定廃棄物処分場の立地が困難となっていることから、各地域の焼却施設等に依然として保管されたままである。

図3に焼却処理過程における放射性Csの挙動イメージを示す¹⁾。放射性Csの一部は、高温の焼却炉内で揮発し、排ガス中では冷却とともに凝縮され、他の物質とも収着す

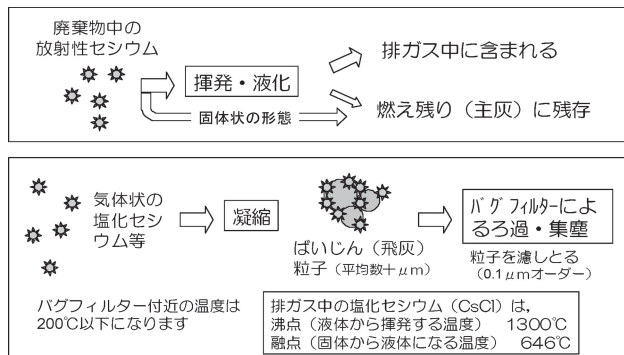


図3 焼却炉内の放射性セシウムの挙動イメージ

るなどして固体のばいじんになる。

ばいじんはバグフィルターで高効率に除去される。除去されたばいじん（焼却飛灰）に存在する放射性Csの化学形態は水に溶けやすい塩化セシウム等であり、埋立処分においては降雨との接触による溶出対策などが重要となる。

保管飛灰の処分先をどのように確保していくかについては、福島県内においては、10万Bq/kg超は中間貯蔵施設、それ以下は富岡町の民間処分場への受入が検討されているところである。

(2) 除染廃棄物及び除去土壌

除染措置は、避難が継続している高線量地域である除染特別地域においては国が直轄で行い、それ以外の年間1mSvを超える汚染状況重点調査地域は除染実施地域を定め市町村が行うこととされている。地域の環境リスク低減のためには、除染措置が重要かつ効果的な対処になるが、除染により生じた廃棄物や除去土壌の出口が確保されていない中では、一時的な保管場所である仮置き場の立地自体が進まず、除染の進捗に大きな影響を与えている。また、除染廃棄物のうち、伐採除去した枝葉等の腐敗性の除染廃棄物は、仮置き中に腐敗が進み、汚水やガス発生、沈下などにより一部では管理が難しくなっている状況もある。福島県内における対処においては、中間貯蔵施設を早期に整備していくことに尽きるが、腐敗性廃棄物は既存焼却炉や仮設焼却炉で減容化を同時並行で行っていくことを積極的に進めていくべきである。既存施設での除染廃棄物の混焼や仮設焼却炉での処理も実績が増えつつあるが、地域住民の不安視する排ガス中の放射性Csの問題については、バグフィルターを設置した高度な排ガス処理システムを備えた施設で十分な除去性能が確保されていることが膨大なデータの裏付けにより証明されている¹⁾。焼却減容化は、現時点においては、大量の汚染廃棄物を安定的に処理可能な最適技術であるといえる。

除去土壌については、現状では現地保管又は仮置場に保管されているところである。今後の技術的対応としては、後述するように中間貯蔵のタイプの異なる施設に埋設貯蔵することになるが、大量の除去土壌を早期にかつ適正なコストで処理する際に、事前の前処理技術の適用性について検討すべきと考えられる。分級洗浄などにより低汚染土と高汚染土に分離選別し、低汚染土は用途を限定して再生利用を図ることが中間貯蔵の負荷を減ずることにもつながる。すなわち、放射性セシウムの土壌・地下水内での移動性はきわめて低いと考えられることから、遮蔽による直接的な外部被ばく管理が長期的に維持できれば、必ずしも中間貯蔵施設で貯蔵管理する必要はないものも存在すると考えられる。例えば、災害廃棄物の不燃物等の再生利用においては、路盤材利用など30cmの被覆が行われる利

用用途であり、長期的に管理が可能な公共事業であれば、3,000Bq/kg程度の放射能濃度までは許容できるとされている(40cm被覆では、10,000Bq/kg程度まで許容)が、低濃度土壌についても同様の限定的な再生利用基準を設定することは可能であろう。このような基準を設定することで、分級洗浄などの汚染土壌処理技術の適用の意義が明確になり、発生源近くでの分散処理あるいは中間貯蔵施設における前処理技術として合理的なシステムが構築されていくことが期待される。ただし、地域における理解、利用用途の確保が前提である。

3.2 中間貯蔵施設に係る現状と課題

(1) 施設の概要

福島県内の除染によって生じた除去土壌や10万Bq/kg超の廃棄物は、中間貯蔵施設に搬入されることとなっているが、調査候補地の地層調査等が終了し、基本的な施設の青写真が提示された後、現在は地元への受け入れ要請がなされ、合意形成への関係者間の調整が続けられている。

中間貯蔵施設は、福島県内において除染に伴い発生した土壌や廃棄物などを最終処分するまでの間、安全に集中的に管理・保管する施設である。保管対象は除染に伴う除去土壌と10万Bq/kg超の廃棄物である。廃棄物としては、主に焼却減容化後の焼却残渣(主灰、飛灰)が想定される。

規模は、施設全体の容量としては約1,500～約2,800万 m^3 (東京ドームの約12～23倍)と想定されており、谷地や段丘等の地形を活かしながら大量の除去土壌や10万Bq/kg超の廃棄物を貯蔵する施設である。土壌は、8,000Bq/kg以下の低濃度土壌を貯蔵するタイプⅠと、それを超える比較的高濃度の土壌を貯蔵するタイプⅡに埋設貯蔵される予定である。また、10万Bq/kg超の廃棄物は、適切な収納容器に封入し、遮蔽機能をもつ建屋に貯蔵する予定となっている。

(2) 技術的課題

①種類・性状、放射能のレベルに応じた「器」のカテゴリー分け

除去土壌・廃棄物の種類・性状や放射能のレベルに応じて、受け入れる「器」をどのようにカテゴリー分けし、それぞれの構造基準をどのように設定していくか、という点については、先述のとおり、土壌について8,000Bq/kgをしきい値として2区分(タイプⅠとⅡ)、あと10万超の廃棄物に対する構造が示された(図4a～d参照)²⁾。

8,000Bq/kg以下の土壌タイプⅠは、底部・側部に排水層のみ敷設し、水との接触があっても溶出は生じないことを前提としている。8,000Bq/kg超の土壌タイプⅡはさらに、底部基盤が透水性の低い強固な泥岩層上に遮水シートを敷設するⅡAタイプと、比較的軟弱な砂泥互層上に変形追随性のある難透水層を敷設するⅡBタイプに区分されており、立地条件に応じて選択されることになる。

10万Bq/kg超の廃棄物は、焼却灰など減容化後の残渣などが前提になるが、溶出性やそれを踏まえた洗浄や固型化等の前処理をどうするか、収納容器等の要件等、県外での最終処分を踏まえた貯蔵の具体的な検討については今後の課題である。

②減容化技術

焼却、熔融、焼成などの熱処理や、分級、洗浄、選別などの機械的処理による減容化技術を中間貯蔵に位置づける場合は、二つの機能が考えられる。一つは、中間貯蔵へ搬入する廃棄物等の量を可能な限り減らす事前の減容化であり、もう一つは、最終処分に持ち込む量を可能な限り減らすための中間貯蔵後に行う減容化である。

除去土壌の減容化技術としては、先述のとおり、分級洗浄技術の適用が可能である。得られた低濃度の土壌は、中間貯蔵施設への負荷を減らすために管理された状態で発生地近くまたは中間貯蔵施設内の土工材として利活用する方策などを検討すべきである。そうすることで、県外での最終処分を前提にした中間貯蔵の対象量を極力減らしていく戦略を具体化しなければならない。一方、中間貯蔵施設に受け入れた除去土壌すべてを熔融や焼成により減容化する方策の選択は、膨大な土壌の量を考えれば現実的ではない。土壌に強固に吸着された放射性Csは、降雨浸透水と接触しても溶出リスクは無視できることから、外部への放射線遮蔽措置を施せば、長期的に安定であるといえる。

除染により生じる草木類、森林除染による腐葉土、落ち葉など、下水汚泥、廃稲わらなどの廃棄物は腐敗性物質であり、仮置きの際に環境保全上様々な問題を生じさせる。それだけに、既存の自治体焼却施設や仮設焼却炉での処理を最優先として、発生源近くでの焼却等による減容化処理を原則とすべきである。バイオマス発電などエネルギー化の付加価値をつけていくことは、将来の日本の再生可能エネルギー活用や森林保全等の観点からも重要な視点である(但し、残渣の問題には注意が必要)。

今後課題となってくるのは、焼却減容化後に生じる10万Bq/kg超の焼却残渣(主灰及び飛灰)の処理である。減容化は、同時に環境中にばら撒かれた放射性Csを分離回収し濃縮するプロセスでもあるが、それでも量自体は、100万 m^3 を超える焼却残渣の発生が見込まれており、これらをそのまま収納容器に封入し貯蔵するには、施設容量からみて困難になる可能性がある。また、中間貯蔵後の最終処分を考えた場合、セメント固型化等の措置を施すことは、後工程の減容化を困難にする可能性がある。このように考えると、10万Bq/kg超の焼却残渣はさらに減容化技術の適用を検討すべきである。焼却残渣のうち飛灰については、飛灰洗浄技術の適用により容易に放射性Csを分離することが可能である。主灰のように難溶解性の形態で存在する

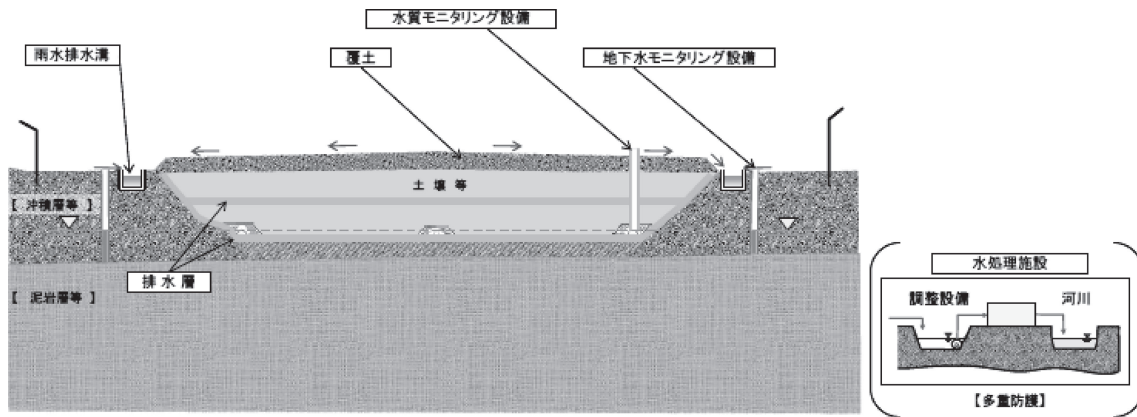


図4-a 除去土壌の貯蔵施設（土壌タイプⅠ）

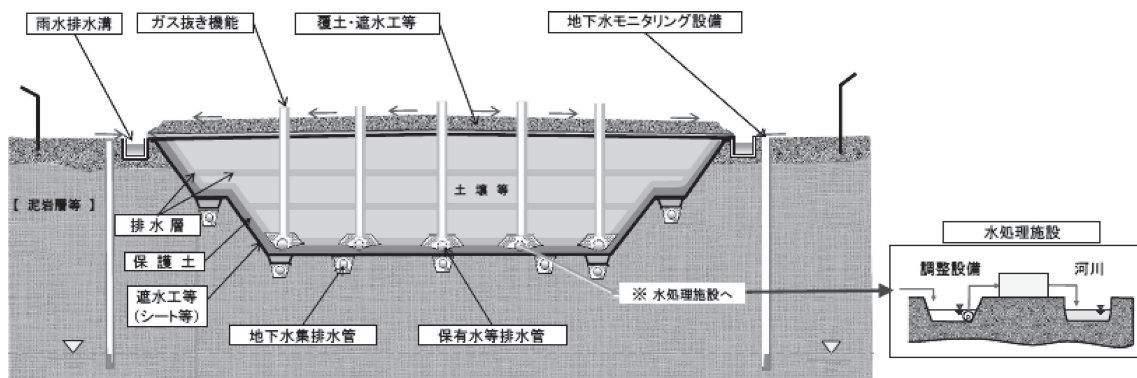


図4-b 除去土壌の貯蔵施設（土壌タイプⅡa）

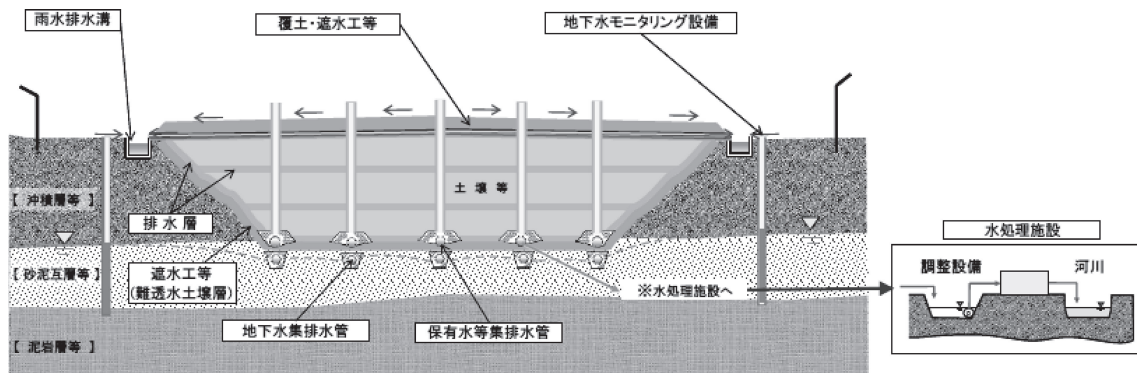


図4-c 除去土壌の貯蔵施設（土壌タイプⅡb）

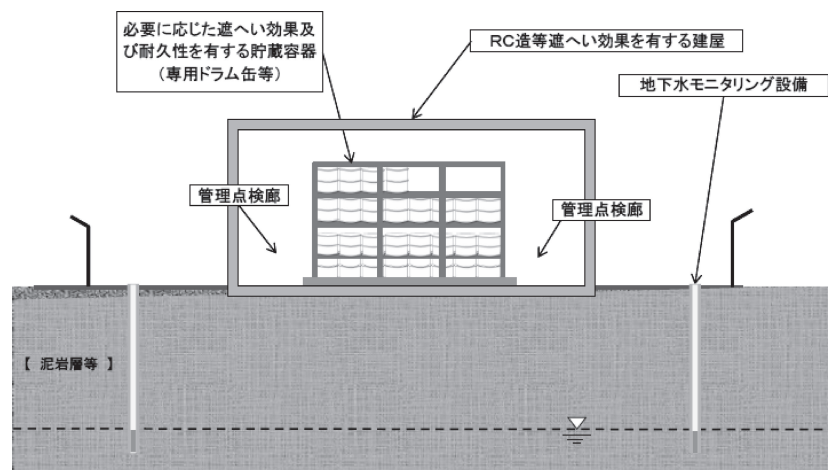


図4-d 10万Bq/kgを超える廃棄物の貯蔵施設

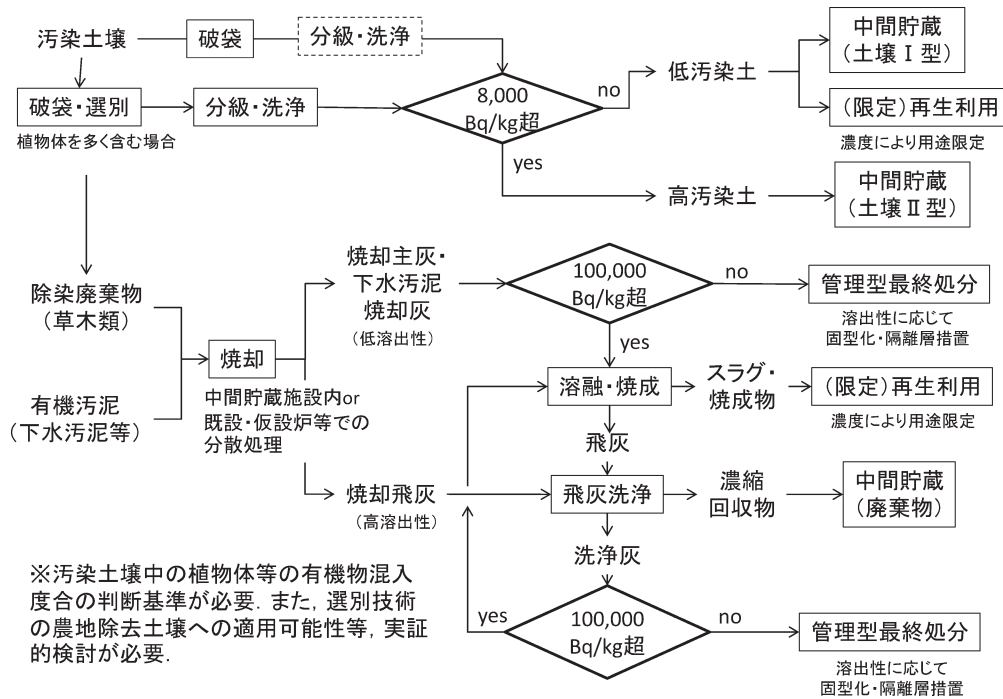


図5 中間貯蔵施設を中核とした処理スキーム試案

場合は、溶融や焼成などの技術により放射性Csをばいじん（飛灰）中に分離濃縮し、生成する溶融スラグや焼成物は放射性Csの含有濃度が低減されているので限定再生利用を行い、さらに分離濃縮された飛灰（ばいじん）は飛灰洗浄を行う。このようにして、最終処分の対象を減らしていくとともに、飛灰洗浄後の洗浄液中の放射性Csは安定した形で濃縮回収・固定化し、最終処分までの期間、厳重に貯蔵保管することを考えていくべきである。

以上の中間貯蔵施設を中核とした今後の処理スキームを図5に整理したが、一つの試案であり、今後の技術開発によってより合理的な技術システムの提案がなされることも考えられる。また、減容化による高濃度化は、施設の維持管理や解体撤去において、作業者の被ばくや解体廃棄物処理の観点から制約をもたらす可能性もあり、合わせて早急な検討が必要である。

③前捌き技術

中間貯蔵施設への受入にあたっては、大量の除去土壌等の前捌き技術の重要性についても見逃してはならない。

埋設貯蔵は、膨大な数のフレキシブルコンテナ（フレコン）に封入されて運ばれてくる土壌等をフレコンから出して、バラの状態でも埋設貯蔵することとなる。したがって、フレコンを破って土壌を取り出す効率的な破袋技術の確立

が必須である。また、植物等の異物を土壌等から選別除去する効率的かつ高精度の技術が確立できれば、貯蔵時の安定性確保や溶出ポテンシャルの低減に効果的である。

4. おわりに

本稿では、放射能汚染廃棄物の中間貯蔵及び処理処分における今後の技術的課題について、主に福島県内での処理スキームを念頭に概説したが、本文中で触れなかった、除染廃棄物・土壌の貯蔵、処分や運搬輸送の過程などにおいても、解決すべき技術的課題は多くあると考えられ、詳細な技術的詰め作業はこれからである。処理スキームの確実性を高めていくためにも、さらなる科学的知見の集積が必要であり、関係者のあらゆる叡智を結集していかなければならない。

参考文献

- 1) (独)国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター；放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料 第三版），第6章，平成24年12月20日，http://www.nies.go.jp/shinsai/techrepo_r3_121220.pdf
- 2) 環境省；中間貯蔵施設安全対策検討会及び環境保全対策検討会の検討結果取りまとめ，平成25年10月，環境省HP，http://josen.env.go.jp/soil/pdf/compiled_1310.pdf