

特集

放射能除染技術

放射性物質による土壌・地下水汚染の 調査・対策への取り組み

(社)土壌環境センター 田澤 龍三

はじめに

東日本大震災により発生した福島第一原子力発電所の事故に伴い、放射性物質が一般環境中にも広範囲に拡散し、迅速、かつ的確な除染等による措置が喫緊の課題となっている。

「放射性物質環境汚染対処特措法」(以下、放射性特措法と言う)が平成24年1月から全面施行され、特別除染及び汚染状況重点調査地域の指定、除染実施計画の策定及び除染等の措置等が実施されつつある。

当センターの技術委員会では、原発事故の収束やその影響範囲が混沌とし、国等の施策等も未確定の状況であった平成23年6月から急遽、放射性特別部会を立ち上げ、多数の部会員により一般環境中に拡散した放射性物質の問題解決を目指して取り組みを開始した。世界的にも前例が少なく、まずは放射性物質・放射能等の基礎的な事項、チェルノブイリ等における事例や適用技術、国内・外の関係法令や諸制度等を調査研究することを主眼に活動してきた。

また、平成24年度からは本格的な除染に伴い国等が制定した法令やガイドライン等で明示されていない事項、除染に伴う調査や除染工事等の実施により顕在化する課題とその解決策、土壌汚染対策法と放射性特措法との関係性等について検討する目的で活動している。

放射性物質による環境汚染は、放射線源、被ばく(暴露)経路が多岐にわたること、除染と

その効果の予測が難しいこと、除染除去物の管理、処理・処分が必須であること等の特徴がある。

本稿では、除染実施計画策定の支援、汚染状況調査及び除染等の工事を請負う会員企業が活動している当センターの取り組み状況等に関して紹介する。

1 取り組み状況の概要

1-1 活動目的

放射性物質による汚染の調査・対策に係る知見の収集と整理及び調査手法や施工・安全管理に係る事項などを取りまとめると共に、会員企業のポテンシャルアップを図り、放射性物質による環境汚染に係る問題の解決に資することを目的としている。

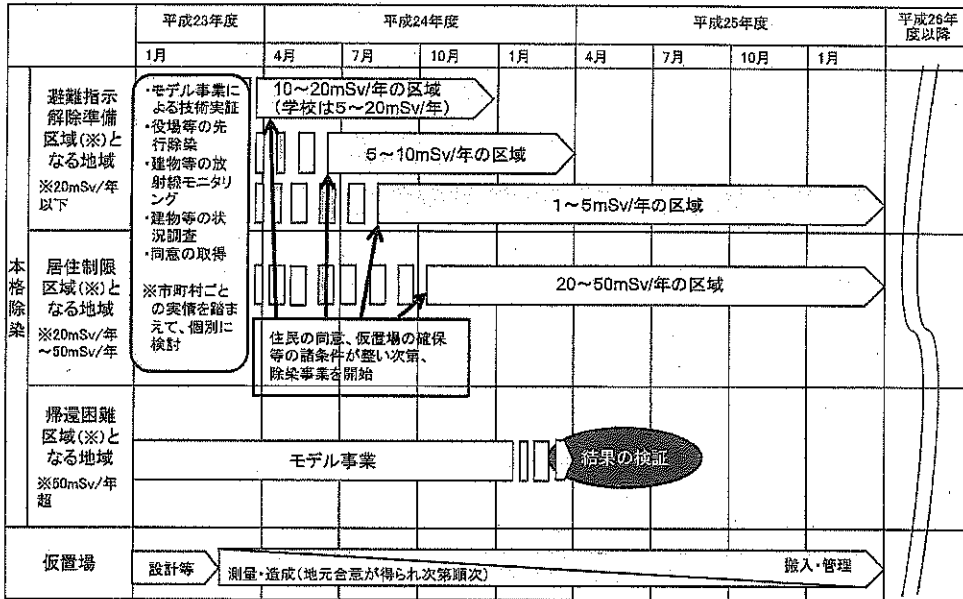
また、本年1月からの放射性特措法の全面施行に伴い、除染関係及び廃棄物関係ガイドライン、除染電離則及び同ガイドライン等が策定、公表された。国より第1図に示す除染ロードマップが示され、関係市町村での除染実施計画の策定後、本格的な除染が行われている。これらの施策や地方自治体等の関係機関の動向、除染等の進捗状況を睨んで、「福島第一原子力発電所事故への対処」に焦点を絞り課題及び重点実施事項を抽出・整理しながら活動している。

1-2 活動項目

平成23年度の主な活動内容(項目)は、以下

(別添2)

新たな避難指示区域ごとの除染工程表



※具体的な除染の実施に際しては、市町村ごとに除染の手順を設定。
 ※除染の実施に当たっては、モデル事業(内閣府、環境省)等で得られる技術的知見を適宜取り入れる。

第1図 新たな避難指示区域ごとの除染工程表(環境省 平成24年1月)

の五つである。“調査・評価ワーキンググループ”及び“措置・対策ワーキンググループ”の二つを設置し活動した。

(1) 土壌・地下水汚染に係る調査、
 対策に係る知見の収集と整理

チェルノブイリ原発事故などの事例、ICRP⁽¹⁾、IAEA、我が国関連機関の情報収集と整理。

- ① 放射性物質およびその動態など基本的事項の把握
 - ② 調査手法(平面・深度)、放射能汚染の指標・線量の測定法
 - ③ 対策法及びその事例と適用上の留意事項
- (2) 調査手法・評価に係る検討
- ① 調査手法(調査契機と手順、試料採取場所・頻度)
 - ② 線源・線量などの測定法(放射能:重量、面積あたり、線量率、核種)
 - ③ 評価手法(人の健康影響、措置・対策の要否、措置・対策内容/レベル)

(3) 対策手法、施工/安全管理に係る検討

- ① 対策法と適用可能性の検討、主な工法の適用事例と効果

② 主な工法の適用範囲・施工・安全管理、
 土壌のトレーサビリティ確保

③ モニタリング方法(放射能指標、位置、
 頻度:施工前～中～後～)

(4) 特別講演

放射性物質、調査・措置に関する有識者や行政の方8名を招聘し講演会を開催した。

- ① 放射線等に関する基礎的・基本的な事項
- ② 放射性物質による土壌・地下水等汚染状況の調査・措置に関する事項
- ③ リスク評価・管理、放射線障害防止に関する事項
- ④ 環境省等、国や地方自治体の施策、取り組みに関する事項

(5) 平成24年度の活動計画に関わる検討

- ① 除染等の課題、活動内容に関する部会メンバーへの意見募集
- ② 福島県等における調査・対策等の実態把握と重点実施事項等の審議等

平成24年度からは、「放射性物質除染等技術検討特別部会」及び「放射性物質による土壌汚染の調査・評価検討特別部会」の二つの部会で

活動している。

本年度の活動内容等は第3章で詳述するが、現在(7月)は、活動開始の初期段階であり今後の国の施策や除染等の進捗状況に応じて柔軟に対応していく予定である。

2 平成23年度の活動

世界的にも例が少ない事故及び汚染状況より関連情報の収集を図ること、ひいては部会員、会員企業の当該分野に関するポテンシャルアップを図ることを主眼に活動した。平成23年度の活動スケジュールを第2図に示した。国や地方自治体等による施策や諸情勢の変化等を逐次フォローしながら活動してきたが、部会立ち上げ時の目的や経緯より、調査・評価及び措置・対策の視点から情報収集したものを調査研究し、取りまとめることとした。

2-1 調査・評価ワーキンググループ

福島第一原子力発電所の事故に由来した放射性物質による土壌・地下水汚染に対して、どのような調査・測定を行い、どのような基準または評価方法で汚染状況の評価や退避ゾーン等を行えばよいのかを検討することを目的として、国内外における放射性物質による土壌・地下水

汚染や各種の基準設定等に関する既存の知見の収集・整理を行った。

収集した国内外の放射性物質による事故・事件は、主に放射性物質のフォールアウトに関わる事例であり、次のとおりである。

- ① チェルノブイリ原子力発電所事故
- ② スリーマイル島原子力発電所事故
- ③ ジェー・シー・オー東海事業所事故
- ④ マーシャル群島(ビキニ環礁)核実験
- ⑤ その他の核実験降下物
- ⑥ 劣化ウラン弾
- ⑦ 広島・長崎原爆
- ⑧ 三菱マテリアル総合研究所等の研究施設事故

また、今回の放射性物質汚染に対して環境モニタリングの結果や対応の考え方等が国から公表⁽²⁾され始めたことを受け、それらの情報の収集・整理も並行して行った。

主な検討内容は、以下のようである。

- ① 放射能及び放射性物質の基礎
- ② 海外・国内における放射能汚染の調査・対策事例
- ③ 福島第一原子力発電所事故による放射能汚染への対応状況
- ④ 福島第一原子力発電所事故による今後の

調査・検討事項	平成23年							平成24年				
	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
土壌・地下水汚染調査、対策知見の収集と整理	■											
調査手法・評価に係る検討							■	■	■	■		
対策手法、施工/安全管理に係る検討							■	■	■			
取りまとめ及び今後の課題と進め方							■				■	
特別講演会(外部講師)		★	★	★	★	★					★	★
国等による除染のしくみの整備、モニタリングなど	○モニタ実施計画 ○広域モニタ結果(継続中) ○基礎データ公表 ○除染モデル実証/技術実証事業 ▲特措法公布 ▲法基本方針 ▲特措法、除染報酬則施行 ▲除染ロードマップ/除染実施計画 ▲特別・重点地域指定 ▼除染・廃棄物GL ▼局所汚染対処GL ▼放射線障害防止GL											

第2図 平成23年度の活動スケジュール

放射能汚染の調査・評価の考え方

- ⑤ 土壌・地下水汚染における放射性物質の調査・評価手法のまとめと今後の課題
調査・評価に関する考え方と今後の課題等に関する検討結果を第3図に示した。

今後の放射能汚染の調査の考え方	
今後の課題	
① 放射性物質の濃度測定に関する課題	緊急時と平常時では、試料調製・測定方法が異なる。特に低濃度の試料については、前処理方法の差が重要になると考えられる。
② 試料採取地点の設定に関する課題	サンプリング地点の選定は、データの代表性を確保するために重要なファクターであり、方法論のガイドラインが示されることが望ましい。
③ 放射性物質の濃度表示に関する課題	沈着量(Bq/m ²)と含有量(Bq/kg)の関連性の整理が必要である。
④ 空間線量率と放射性物質の濃度との関係に関する課題	空間線量率の減衰等の将来予測のためには、核種ごとの線量換算係数の整理が必要となる。
⑤ 自然減衰の予測手法に関する課題	農用地におけるウエザリング効果のメカニズムや都市部におけるウエザリング効果の評価手法について検討する必要がある。

今後の放射能汚染の評価の考え方	
今後の課題	
緊急時	・複数、同時発生する原子力発電所事故を想定した退避ゾーンの検討 ・優先順位にメリハリのある汚染状況把握体制の整備
現存被ばく・平常時	①放射性物質の評価・管理の基準 ・除染電離則と除染基準 ・年間被ばく線量の想定手法に関する課題 ・放射性物質の土壌環境基準を一律基準にて設定した場合の課題 ・点放射線防護の評価方法 ②環境中における放射性物質の挙動に関する課題 ・放射性物質の環境中の物質収支の把握 ③土地の評価方法
その他	・除染基準の設定方法 ・除染効果の指標に関する課題 ・減容化等の中間処理に向けた汚染程度のカテゴリに関する課題 ・マイクロホットスポット対策

まとめ	
(1) 空間線量率と放射性物質の濃度	外部被ばくによる健康影響の観点から、年間追加被曝線量1mSv以上の地域が、放射性物質対策の対象区域とされている。核種の存在量は時間経過と共にその構成比率が変化すること、放射性物質毎に空間線量率に寄与するエネルギーが異なること、また、周辺環境からの影響(スカイシャイン)を受けることから、これらの関係を整理した空間線量率と放射性物質の濃度との関係を整理しておく必要がある。
(2) 土地取引等と放射性物質による土壌汚染	土地取引における当該地の放射性物質に関わる安全性の評価方法、特にマイクロ・ホットスポットの存在に関わる対応の要否、調査・評価方法について検討しておく必要がある。また、土壌汚染と放射性物質汚染との関わり方についても整理しておく必要がある。
以上の観点から、土壌中の放射性物質について①試料採取方法及び、②モニタリング手法について各課題点を考慮しながら整理し確立していく必要がある。	
● おわりに	平成24年に入ってからモデル事業・実証事業や研究結果等の新たなデータが公表され始めており、マニュアルやガイドラインの修正・追加も随時行われている。今後も継続して放射性物質対策と土壌・地下水汚染に関わる国内の現状・課題点を新たなデータ等を加味した上で整理・検討すると共に、問題解決に向けての検討を行う必要がある。

第3図 調査・評価に関わる今後の検討課題の概要

2-2 措置・対策ワーキンググループ

検討初期段階では、国外での事故や対策等の事例について知見収集を行い、その後は国内にて適用する措置・対策法を検討した。また、我が国における放射性特措法及び関連するガイドライン^{(2)~(6)}等の制定等を受けて、関連事項についてのフォローや検討を行った。

以下に主な検討事項を示す。

- ① 国外での事故やその対策の事例収集
 - ICRP、IAEA、ITRC、GBEPA等の資料の収集と要約作成
- ② 措置・対策実施時における調査方法
 - 現況把握調査
 - 平面的な対策範囲の設定
 - 土壌中の放射性セシウム濃度測定調査
 - 対策範囲設定の考え方
- ③ 対策方法
 - 覆土による遮蔽技術
 - 除染技術
 - 浄化・減容化技術
 - 対策実施時の運搬方法
 - 敷地内一時保管(現場保管)
- ④ 除去土壌等の運搬・処分等
 - 運搬・処分等に係る国の考え方
 - 処分等先への運搬方法
 - 処分方法(仮置場・中間貯蔵施設・処分場)
 - トレーサビリティと安全確保
- ⑤ 対策効果の確認/モニタリング
- ⑥ 作業環境管理
 - 放射線防護の考え方、国内関連法令の整理
 - 放射線曝露管理
 - 遮蔽・保護具の考え方
 - 記録管理
- ⑦ 周辺環境対策

措置・対策に関する今後の課題等をまとめると以下ようになる。

 - ① 放射性物質の濃度と空間線量率の関係
 - ホットスポットの残存、背後地の森林が

らの飛散等による再汚染

- 環境中の放射性物質の挙動の把握による除染作業への反映

② 除染等に伴う汚染土壌等量の把握と減容化・再利用技術

- 放射性物質が付着した落葉や伐採木、汚染土壌等が大量に発生
- 除染等による除去物の最小化及び焼却・土壌洗浄等による減容化・再利用

③ 除染後のモニタリング・評価等の管理技術

- 除染等の実施前後及び除染完了後等における継続したモニタリング・評価
- 土地利用／土地取引等におけるホットスポットの存在等への対応

3 調査・評価、除染等に係る論点と平成24年度の活動

3-1 調査・評価、除染等に係る論点

平成23年度の部会メンバーへ意見募集を行い審議した結果、今後検討すべきと考えられる論点を記すと以下ようになる。これらを総括すると「放射性特措法の対象事項」と「放射性特措法の対象外の事項」の取り組みの二つに大別される。

また、後者の「放射性特措法の対象外の事項」には、

- 放射性特措法に基づく指定地域以外での汚染に関わること
- 放射性特措法で未規定の事項（例えば、放射性物質に係る土壌基準、土壌汚染対策法との関係性など）に関わること

の二つの意味合いがある。以下に夫々の論点について概括する。

(1) 放射性特措法対象地域の除染等のフォローと手引き書の作成

除染実施計画に基づいて汚染状況調査や土壌等の除染が実施されるのに伴い現在のガイドラ

イン⁽²⁾⁽³⁾等に記載されている内容で判りにくく、より詳細に解説した方が良い場合や不十分な部分がある場合を想定して、これらを補完するための手引き書的なものを作成する。

- #### (2) 放射性特措法と土壌汚染対策法との関係性及び対応に関する検討 (放射性物質と特定有害物質の複合汚染がある、又はおそれがある場合)

土壌汚染対策法に規定されている特定有害物質による汚染のおそれが想定される場合に、放射性特措法対象エリア内・外での対処法に関する課題等を抽出し、整理する。土対法と放射性特措法の両者が係るエリアにおいては、両法令を満足する汚染状況調査や措置・対策が必要となるため、「場（ケース）」の想定をはじめ、両法令適用上の課題の有無、整理等基本的なところからスタディーをしておく必要があると考えられる。

除染関係ガイドライン⁽²⁾では、学校や通学路など児童等が生活する場所、住宅、公園等は10m、30m程度のピッチやメッシュ、その他の場所では土地利用や汚染状況に応じて調査頻度等を設定することになっている。即ち、調査地点・頻度や深度に関する詳細な規定はなく、状況に応じて適切に設定することとされている。柔軟性がある半面、土地所有者等の考え方により調査頻度等に相当の幅がでることになり、汚染状況によっては、健康影響や汚染の拡散を招くおそれが否定できない。したがって、今後とも集積される各種データの解析等により、地点・頻度等に関するより具体的な調査法、モニタリング法を定める必要がある。

- #### (3) 埋め戻し土壌の品質管理、建設工事等で土壌を搬出入する際の放射能汚染対応
- 放射性特措法の網が掛らないエリアにおける建設工事でホットスポット的に高線量率、放射線を有する土壌が発生した場合、エリア外への移動や他のエリアで利用等する際に齟齬を生じないようにするにはどうすべきか等の課題が

考えられる。現在、放射性物質による汚染状況の調査・評価は空間線量率を主指標としている。しかし、当該エリアが建物、樹木、道路等複数の汚染源により、ある空間線量率が形成されている場合には、それぞれの汚染源の寄与率を明らかにし、除染等の措置を施さないとの確かな対策ができない場合が多いと推定される。土壌を調査対象とする場合には、空間線量率（表面線量率）だけでは平面・深度の汚染範囲が特定できなく適切、効果的な対策ができない場合が想定される。土壌の放射エネルギー（Bq/kg）も把握することが重要であり、対処法等を明確にする必要がある。

土壌基準（放射エネルギー）が設定されるまではこのような問題が顕在化する可能性があるため、エリア外への土壌の移動や利用等に際しては「対象土壌のトレーサビリティ」の確保に留意が必要である。

(4) 土地取引・不動産鑑定における放射能汚染への対応

特定有害物質による土壌汚染を対象とする場合には、土対法の目的である“人への健康影響防止”と“土地売買や不動産鑑定等の契約に関わるトラブル防止”の両要件を考慮する必要がある。放射性物質を対象とする場合においても同様な問題が顕在化する可能性があり、基本的な考え方や対応法が必要かもしれない。

(5) ホットスポットの発見法や発見された場合の調査・措置等への対応

「放射性物質による局所的汚染箇所への対処ガイドライン（平成24.3 環境省）」⁽⁴⁾が制定されているので、本ガイドラインによる対応や実態等をフォローすることでよいと考えられる。

(6) 減容化・再利用等中間処理施設及び中間貯蔵施設

仮置き場等での保管やその後に中間貯蔵施設⁽⁵⁾へ移動・貯蔵する際に廃棄物や汚染土壌を減容化・再利用・資源化することが期待されている。

可燃物の焼却・エネルギー利用、汚染土壌の減容化、再利用・資源化は、放射性特措法や同ガイドラインで詳細な記述はなく、今後の課題として早急に解決すべきものである。また、これらの施設設置場所の確保や周辺住民等のコンセンサスが最大の課題となっている。国・関係自治体による政策面での対応、安全・安心を確保できる技術的な対応が重要である。

落葉、伐採材等の可燃性廃棄物の焼却等による減容化は、貯蔵時の腐敗、ガス発生防止等の措置も含めて必須のものである。また、除染により発生する汚染土壌についても膨大な量になること、復旧や復興のための砕石・土砂類が大幅に不足していると言われていることより、適材適所での再利用が効果的と考えられる。

土壌洗浄法は、浄化された粗粒分と放射性物質が濃縮された細粒分に分離できる。浄化土壌は、元土壌の土質性状や汚染状況にもよるが、概ね70～90%の放射エネルギーが除去され、容量は30%程度に減容化できる。濃縮残渣は適正に処理・処分する。

現在、福島県の一部地域における砕石や砂利の暫定出荷基準は100Bq/kg、但し、屋外の公共工事の場合には、0.23 μ S/hを下回れば出荷可能としている。また、災害に伴うコンクリートガラ等は、3,000Bq/kg以下であれば、上部に30 cm以上の覆土により道路等の公共工事へ再利用できるとしている。

このように再利用用途や再利用時の放射線障害防止を考慮した土壌基準・再利用基準等を設定し、減容化や再利用が促進されるような制度、仕組みの整備が必要である。

(7) 居住者、除染関連の作業員や周辺環境への放射線障害防止⁽⁶⁾

最も重要なものであり、除染効果とその限界の把握、除染作業員の被ばく放射線量等に関する継続的なデータの収集や評価等が肝要である。また、効果的な除染を行うために空間線量率と放射エネルギーの相関及び経年変化等を考慮した除染

前／後、中・長期に亘るモニタリング法も考察する必要がある。

3-2 平成24年度の活動状況

前記のような審議等を踏まえて、現在は以下の2つの特別部会で活動している。

- ① 放射性物質除染等技術検討特別部会
 - 放射性特措法のフォロー及び手引き書の作成、展開
 - 放射性特措法で規定されていない事項の検討（例えば、土壌基準の考え方、減容化など）
- ② 放射性物質による土壌汚染の調査・評価検討特別部会
 - 土対法と放射性特措法との関係性、複合汚染時の調査・評価法
 - 放射性特措法以外の地域における調査・措置等の検討（例えば、土地売買・利用、不動産鑑定への対応など）

なお、検討の詳細は国等の施策や除染等の実施状況を考慮して柔軟に対応する予定である。

ない場合も想定される。汚染状況や土地利用、住民等関係者の意向等を十分考慮して安全、効果的・経済的な方法で、試行錯誤しながら一歩ずつ目標に向かって進めていく必要がある。

謝辞

最後に、平成23年6月末から急遽立ち上げた本部会活動にご指導、ご支援をいただいた有識者、行政ご担当者及び部会員、センター事務局などの関係各位に謝意を表す。

<参考文献>

- (1) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103
- (2) 環境省：除染関係ガイドライン、第1版（平成23年12月）
- (3) 環境省：廃棄物関係ガイドライン、第1版（平成23年12月）
- (4) 環境省：放射性物質による局所的汚染箇所への対処ガイドライン（平成24年3月）
- (5) 環境省：放射性物質による環境汚染の対処において必要な中間貯蔵施設等の基本的考え方について（平成23年10月）
- (6) 厚生労働省：除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン（平成23年12月）

おわりに

原発事故発生後1年半以上を経過した現在、関係者が問題解決に向けて精力的に活動している。一般環境中における放射性セシウム-134、同-137を主な核種とする汚染状況調査や本格的な除染等が行われている。しかしながら、放射性物質の特性等より除染効果は期待できるものの、汚染状況等によっては大きな効果が得られ

筆者紹介

田澤 龍三

(社)土壌環境センター
運営委員会委員長／技術委員会副委員長
〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2
第二麹町ビル7F

TEL：03-5215-5955

FAX：03-5215-5954

E-mail：ryuzo.tazawa@simz.co.jp

● 優良技術図書案内

● CradleViewerで見る電子機器熱設計

法政大学 御法川 学／オリエンタルモーター(株) 伊藤 孝宏 共著

A5判 156頁+CD-ROM 定価 2,940円

お問合せは日本工業出版(株)販売課まで 販売直通 03(3944)8001 FAX 03(3944)0389