

## 5. まとめ

本ガイドライン調査事業では、基本的に住民が居住することは可能であるが放射性物質による汚染が進んでいる地域や放射線量のある程度高い地域を対象として、自治体等が除染を実施する際に必要となる知見の蓄積と情報提供を行うことを目的に、生活環境に存在する様々な構成要素を除染対象とした「除染効果実証実験事業」(実証事業)を行うとともに、実証事業を通じて得られた新しい知見やデータ等を踏まえ、「除染効果評価システム活用の手引き」の整備を行った。平成23年11月22日に公表された技術カタログについても、今後、本事業における成果等を踏まえた改訂を進める予定である。以下にそれぞれの結果を概括する。

### 5.1 除染効果実証実験事業

除染効果実証実験事業では、福島県伊達市下小国地区ならびに同南相馬市ハートランドはらまの2か所を除染実施区域として、森林、農地、家屋、道路などの生活環境に存在する様々な構成要素を含む比較的広い範囲を対象とした面的な除染実験を行い、その除染効果の実証および課題の抽出を行うとともに、除染効果評価システムの適用性、除去物発生量、コスト、放射線管理に係る評価等を行った。本実証事業では、平成23年8月26日に原子力災害対策本部が示した「除染に関する緊急実施基本方針」を踏まえ、除染実施区域における空間線量率を除染前の1/2に低減することを目標とした。これを達成するため、周辺に較べて局所的に空間線量率が高い「ホットスポット」については地表面等から1cm高さの空間線量率が3.0 $\mu$ Sv/hを下回るまで、それ以外の箇所については同じ高さでの空間線量率が少なくとも除染前の1/2となるまで除染することとした。

#### 5.1.1 伊達市下小国地区

##### (1) 面的除染の効果

伊達市下小国地区では、屋根、庭、側溝等の家屋の周囲、果樹園、牧草地を含む畑等、森林、道路等の様々な土地の利用状況や平地、傾斜地について、除染を実施した。その結果、除染実施区域全体における除染後の空間線量率の平均値は、概ね除染前の空間線量率の1/2まで低減した。

一方で、除染エリア毎、さらに同一エリア内においても、その地形、土地の利用状況等に応じた除染方法を用いたことから除染効果が異なる結果となった。

##### (2) 除染関連試験

###### ① 家屋屋根の汚染状況及び拭取り方式等による除染効果

家屋屋根については、原子炉等規制法等に規定されている管理区域の設定基準(4 Bq/cm<sup>2</sup>)を除染の目安とした。

屋根の汚染状況は、瓦屋根では上流の瓦から雨水等が滴下する箇所及び欠損した箇所等、トタン屋根では雪止め部位及び軒先の錆発生箇所等、また、森林が近い家屋屋根に付着した杉の樹液等の付着した箇所に、目安を超える汚染が検出された。コンクリート瓦については、瓦表面に凹凸があること等から、屋根全体に目安を超える汚染が検出された。一方で、これらを除くと目安を下回っていた。

これらの汚染状況に対して今回の実証試験では、家屋屋根の除染作業においてできる限り水を使用しない方針の下、複数の種類の瓦及びトタン屋根について、拭き取りを主とした除染及び除染効果に係る評価を実施した。

瓦屋根に対しては10%の酢を添加した水、トタン屋根に対しては水、それぞれで濡らした紙タオルを用いた拭き取り方式を採用した。上記の表面汚染密度の高い箇所内、瓦については予め霧吹き等で湿らせたあとに紙タオルで拭き取ると効率的に除染できた。トタンの杉の樹液等が付

着している箇所については予め霧吹き等で湿らせたあとにポリエチレン製の不織布シート等を装着した電動研磨機にて研磨し、紙タオルで拭き取ると効率的に除染できた。

これらの除染方法により、釉薬瓦の釉薬部が欠損した箇所やトタンの錆が発生している部分を除き、表面汚染密度を目やす値を下回るまで低減させることができた。

また、現在自治体が進めている除染計画又は除染作業を踏まえ、家屋屋根の除染の優先度についても評価・検討を試みた。

一般的に、家屋屋根の瓦及びトタンはある程度の遮へい効果を有しており、屋根が一様に  $4.0 \text{ Bq/cm}^2$  の汚染レベルであると仮定して計算すると、屋根から 1m 下の家屋内の地点での空間線量率は  $0.05 \sim 0.06 \mu\text{Sv/h}$  となる。

従って、家屋屋根の汚染状況、及び屋根による遮へい効果を考慮した場合、森林から近くて杉の樹液等の付着が比較的広い範囲で見られる家屋（普段人が済まない納屋等の家屋は除く）、コンクリート瓦を葺いた家屋（同）などの瓦及びトタン屋根の除染を優先的に進めていくことが効率的であると思われる。

## ② 雨樋の汚染状況及び除染効果

堆積物のある横樋、苔の発生箇所、金属製樋の塗装が劣化している箇所で空間線量率が高い傾向が認められた。

除染方法として、堆積物等を除去し、ポリエチレン製の不織布シート等により当該箇所を研磨したあと、水で濡らした紙タオルを用いた拭き取るという方式を採用した。この除染方法により塩化ビニル製の樋及び塗装が健全な金属製の樋については高い除染効果が得られた。

一方で、塗装が劣化し、十分な除染効果が得られない金属製の樋については塩化ビニル製の樋と交換する方法が効率的であった。

## ③ コンクリート構造物に対するスチールショットブラスト除染

コンクリート構造物を対象にスチールショットブラストの走行速度を変え、鋼製球の投射密度と除染効果の相関を確認するための試験を行った。

この試験により、コンクリート構造物に対するスチールショットブラスト除染における高い除染効果が確認できた。また、スチールショットブラスト除染における鋼製球の投射密度と除染効果の関係は、投射密度のしきい値を超えるまでは投射密度に応じた除染効果が得られ、しきい値を超えると除染効果はほぼ横ばいになるものと推測できる結果が得られた。

## ④ スチールショットブラスト除染が適用できないコンクリート構造物に対する除染

スチールショットブラスト除染が適用できないコンクリート製の側溝、集水枡、コンクリートスラブについて、電動研磨機、金属ブラシ等を用いた除染を行った（除染の際には、汚染した粉じんの飛散を防止するため、グリーンハウスを設置した）。しかしながら、側溝の亀裂部及びつなぎ目、集水枡の隅、コンクリートスラブの亀裂部等については研磨等では、十分な除染効果を得ることができなかったため、側溝についてはコンクリート蓋の設置、集水枡については交換、コンクリートスラブについては撤去後再施工という方法をとった。

これら家屋周囲のコンクリート製の側溝及び集水枡は、放射性物質を洗い流した雨水と接触しているため、雨樋出口と同様に高い線量率を有する箇所もあることから、今後除染対象箇所として十分に留意することが必要と考える。

これらコンクリート構造物を交換・再施工する場合、大きな規模の工事となる可能性があるため、費用対効果、除去物発生量の低減の観点から、このようなブラスト除染が適用できないコン

クリート構造物に対する形状、大きさ等を考慮した効果的な除染方法の開発が望まれる。

### (3) 除染効果評価システム（CDE）の検証と活用

本実証事業では、面的な線量低減効果として、本実証事業の除染目標である空間線量率の半減を達成しうる合理的な土壌の剥ぎ取り厚さを検討するため、日本原子力研究開発機構が開発した除染効果評価システム（CDE）を活用し、除去物の発生量を可能な限り抑制するよう努めた。また、本除染実施区域においては、CDEによる計算値と測定値の対比により、同システムの検証試験についても実施した。

CDEの検証試験では、計算値と測定値が良く一致し、適切な情報を同システムに入力することで正確な評価が可能であることが確認できた。また、同システムの評価に基づいて策定した除染計画に沿って除染を実施した結果、空間線量率の半減及び除去物発生量の抑制という所期の目標が達成され、同システムを活用した除染計画策定の有効性が確認できた。

### (4) 除去物発生量に係る評価

除去物の発生量（フレキシブルコンテナ数）は、不燃性除去物については、推定値が約1,486個に対し実績値が1,416個、可燃性除去物については、推定値が約200個に対し実績値が507個であった。

不燃性除去物は、約83%が表層土の鋤取り・客土を行った畑等から発生しているため、計画策定時に設定した表層土の鋤取り量に応じた発生量となった。

一方、傾斜地や家屋周囲では、地形の状況及び汚染の状況に応じた除染方法を取ったため、発生量が推定量と差がある結果となった。

可燃性除去物の発生量は、南相馬市ハートランドはらまちで行った森林除染トライアルの結果に基づく事前の推定量を大きく上回った。これは、森林等における植生の状況が事前に十分把握できなかったためであり、可燃性廃棄物の発生量の推定においては、除染エリアの植生の状況を把握することが重要と考えられる

除染作業及び一時保管作業に伴い発生した不燃性除去物、可燃性除去物を収納したフレキシブルコンテナの平均表面線量率は、それぞれ、 $2.4 \mu\text{Sv/h}$ 及び $3.1 \mu\text{Sv/h}$ であった。

### (5) コストに係る評価

除染作業に係る一人当たりの人件費単価が大きく変動している現状を踏まえ、除染作業に係るコストについては除染に要した費用ではなく人工数等で整理した。

除染作業について、本除染実施区域における総人工数は1,147人・日、総重機台数は283台・日、1日当たり（作業期間22日の平均）では作業員数、使用重機台数がそれぞれ約52人及び約13台となった。土地の利用状況等によって除染作業が人力中心または重機中心のエリアでは、単位面積当たりの人工数はそれぞれ $0.11 \text{人} \cdot \text{日}/\text{m}^2$ 、 $0.03 \text{人} \cdot \text{日}/\text{m}^2$ と差がある結果となった。土壌の剥ぎ取り作業ではバックホウを使用したのが、畑や広場等では $0.01 \text{台} \cdot \text{日}/\text{m}^2$ 程度であるのに対し、家屋の庭等のバックホウの動きが制約される除染エリアでは $0.02 \text{台} \cdot \text{日}/\text{m}^2$ 程度と大きくなった。

除去物の一時保管について、本除染実施区域における総人工数は916.5人・日、総重機台数は279台・日、1日当たり（作業期間56日の平均）では作業員数、使用重機台数がそれぞれ約16人及び約5台となった。

なお、本実証事業は試験的要素を含んでいることから、除染関連試験等に係る測定、除染目標を達成しているかどうかの確認測定等をこまめに行いながら除染作業を行った。従って、自治体等が、自らの除染作業の計画策定に本実証事業の人工数等を参照する場合、このことに十分留意

する必要がある。

## (6) 放射線管理に係る評価

除染エリア毎の外部被ばく線量については、畑等、家屋周囲、広場、森林が 8.1~12.7  $\mu\text{Sv}/\text{人}\cdot\text{日}$  と除染エリア間において大きな差はなかった。道路における作業が 6.4  $\mu\text{Sv}/\text{人}\cdot\text{日}$  とやや低い傾向が認められた。この差異は、道路の除染作業が他のエリアの除染作業がほぼ終了した後に実施されたため、道路の除染作業時の空間線量率が他の除染エリアの除染作業時と較べて低かったことなどが原因と考えられる。

作業の種類ごとの外部被ばく線量については、本除染実施区域では作業の種類間で大きな差異は認められないが、畑地等における草刈・野菜等の撤去、家屋周囲の木の剪定・伐採、森林等における剪定・伐採及び落葉除去、並びにフレキシブルコンテナの定置作業が、他と比べて幾分高くなっている。この差異については、作業の際にホットスポットや除去物を収納したフレキシブルコンテナに接近する必要があったことなどが理由と考えられる。

なお、今回の作業員等の被ばく管理にはポケット線量計及びガラスバッチを用いたが、一日の作業終了後、ガラスバッチを放射線量率が高い除染実施区域内（現場事務所）で保管管理していたことから、ガラスバッチの測定結果に作業終了後の線量が加わり、ポケット線量計の測定結果と比較してかなり大きい値となった。このため、今回の放射線管理に係る評価には、ポケット線量計の測定結果を用いた。

### 5.1.2 南相馬市ハートランドはらまち

#### (1) 面的除染の効果

南相馬市ハートランドはらまちでは、主に森林、傾斜地、及び傾斜地下の駐車場等の平地に対して、除染を実施した。その結果、除染実施区域全体における除染後の空間線量率の平均値は、概ね除染前の空間線量率の1/2まで低減した。

一方で、除染エリア毎、さらに同一エリア内においても、その地形、土地の利用状況等に応じた除染方法を用いたことから除染効果が異なる結果となった。

#### (2) 除染関連試験

##### ① 森林入口の空間線量率に対する検討

森林入口から奥行 10m までの除染を行うことにより、森林入口の空間線量率はほぼ半分に低減したが、奥行 10~20m 及び同 20~30m の除染に伴う森林入口の空間線量率のさらなる低下は見られなかった。これより、森林に隣接する家屋の居住者に対する被ばく線量を低減することを目的として森林を除染する場合、森林入口から奥行 10m までの区画を除染することが効率的だと考えられる。ただし、実際の除染にあたっては、除染対象となる森林の汚染状況や樹木の密度も考慮して除染範囲を決定する必要がある。

森林の種類に着目すると、針葉樹エリアより広葉樹エリアの地表面の線量率が高くなっている場合がみられ、これらは、森林の広葉樹エリアにおける腐葉土がより汚染しているためと推測される。従って、森林に隣接する家屋の居住者に対する被ばく線量を低減することを目的とした森林除染の効果をさらに高めるためには、広葉樹下の腐葉土の除去等を優先して行うことも有効な手段と考えられる。

##### ② スチールショットブラストの鋼製球の投射密度と除染効果の相関

アスファルト舗装道路を対象に4 m四方毎にスチールショットブラストの走行速度を変え、鋼製

球の投射密度と除染効果の相関を確認するための試験を行った。

この試験により、アスファルト舗装道路に対するチールショットブラスト除染における高い除染効果が確認できた。また、スチールショットブラスト除染における鋼製球の投射密度と除染効果の関係は、投射密度のしきい値を超えるまでは投射密度に応じた除染効果が得られ、しきい値を超えると除染効果はほぼ横ばいになるものと推測できる結果が得られた。従って、今回使用した仕様のスチールショットブラスト除染の機器では、 $50\text{kg/m}^2$ 程度の投射密度をめやすとし、除染後のアスファルト道路表面の状態を見ながら調整していくことが適切と考えられる。

### (3) 除染効果評価システム（CDE）の活用

本実証事業では、面的な線量低減効果として、本実証事業の除染目標である空間線量率の半減を達成しうる合理的な土壌の剥ぎ取り厚さを検討するため、日本原子力研究開発機構が開発した除染効果評価システム（CDE）を活用し、除去物の発生量を可能な限り抑制するよう努めた。

CDEの評価に基づいて策定した除染計画に沿って除染を実施した結果、空間線量率の半減及び除去物発生量の抑制という所期の目標が達成され、同システムを活用した除染計画策定の有効性が確認できた。

### (4) 除去物発生量に係る評価

除去物の発生量（フレキシブルコンテナ数）は、不燃性除去物については、推定値が約1,300個に対し実績値が1,228個、可燃性除去物については、推定値が約150個に対し実績値が207個となり、総量は同等となった。一方で、個々の除染対象においては、表土の鋤とり深さが計画より大きくなったことや、傾斜地では斜面の崩壊防止を考慮して鋤とり深さを減少させたことにより、推定発生量と発生量に差がある結果となった。

発生した除去物のうち不燃性除去物を収納したフレキシブルコンテナの平均表面線量率は、除染エリア間に大きな差が見られた。道路、ロッジ周囲及び森林では、それぞれ、スチールショットブラスト除染で発生した研削粉塵、ホットスポットの除染に伴う除去土壌、腐葉土を収納したフレキシブルコンテナにより、平均表面線量率が高い結果となった。

### (5) コストに係る評価

除染作業に係る一人当たりの人件費単価が大きく変動している現状を踏まえ、除染作業に係るコストについては除染に要した費用ではなく人工数等で整理した。

除染作業について、本除染実施区域における総人工数は780人・日、総重機台数は60台・日、1日当たり（作業期間23日の平均）では作業員数、使用重機台数がそれぞれ約34人及び約3台となり、本除染実施区域では人力を中心とした除染作業が主体であったことが分かる。

特に、本除染実施区域には多く存在する急傾斜地、法面等では、人力による草刈り、鋤取り等により除染を行い、傾斜が最も急な給水塔周囲の法面での単位面積あたりの人工数は $0.04$ 人・日/ $\text{m}^2$ 、それ以外の傾斜地では、 $0.02$ 人・日/ $\text{m}^2$ 程度であった。また、急傾斜地、法面等と同様の人力により除染を行った森林では、単位面積あたりの人工数は $0.02$ 人・日/ $\text{m}^2$ であった。

土壌の剥ぎ取り作業におけるバックホウの使用に関しては、障害物の無い駐車場では $0.014$ 台・日/ $\text{m}^2$ 程度であるのに対し、排水溝や柵などの障害物のある乗馬体験場や給水塔エリアでは $0.024$ 台・日/ $\text{m}^2$ 程度と大きくなり、土地の状況によって重機の作業効率が違う結果となった。

除去物の一時保管作業について、本除染実施区域における総人工数は167人・日、総重機台数は109台・日、1日当たり（作業期間23日の平均）では作業員数、使用重機台数がそれぞれ約7人及び約5台となった。除染作業と比べ、重機を使用した作業が中心であることが分かる。

なお、本実証事業は試験的要素を含んでいることから、除染関連試験等に係る測定、除染目標を達成しているかどうかの確認測定等をこまめに行いながら除染作業を行った。従って、自治体等が、自らの除染作業の計画策定に本実証事業の人工数等を参照する場合、このことに十分留意する必要がある。

#### (6) 放射線管理に係る評価

除染エリア毎の外部被ばく線量については、主に重機を用いたエリアでは 5.5~8.3  $\mu\text{Sv}/\text{人}\cdot\text{日}$ 、主に人力で除染した除染エリアでは 10.2~12.4  $\mu\text{Sv}/\text{人}\cdot\text{日}$ であった。

作業の種類ごとの外部被ばく線量については、人力による除染作業、除去物の一時保管施設の整備等、放射線管理作業が 10.3~15.0  $\mu\text{Sv}/\text{人}\cdot\text{日}$ となり、他の作業の外部被ばく線量 (2.3~8.6  $\mu\text{Sv}/\text{人}\cdot\text{日}$ ) と比べて大きくなった。この差異については、作業の際にホットスポットや除去物を収納したフレキシブルコンテナに接近する必要があったことなどが理由と考えられる。

なお、今回の作業員等の被ばく管理にはポケット線量計及びガラスバッチを用いたが、一日の作業終了後、ガラスバッチを放射線量率が高い除染実施区域内 (農業体験実習館) で保管管理していたことから、ガラスバッチの測定結果に作業終了後の線量に加わり、ポケット線量計の測定結果と比較してかなり大きい値となった。このため、今回の放射線管理に係る評価には、ポケット線量計の測定結果を用いた。

### 5.2 除染技術カタログ

これまでの国内外における除染の知見や経験を踏まえ、除染技術カタログ (第1版) を作成し、内閣府原子力被災者生活支援チームにより、平成23年11月22日に公表された。今後、実証事業を通じて得られた新しい知見やデータ等を踏まえ、以下のように技術カタログの改訂を進める予定である。

- ・ 各技術に関する説明は、今後の除染作業に有意に活用し得ると考えられるものを中心に加筆、修正する。本事業を通じて得られた注意点を明確に説明、除染による効果については、手法や対象物間の比較等の意義あるものを選定した追記等を予定している。
- ・ 第1版の技術カタログの技術項目に含まれていないが、家屋の屋根や構造物で、研磨、切削等の試験を進め、多くの知見が得られた。そこで、除染実施の際の選択肢として提示するため、必要に応じて、技術項目の一部変更または追加を行う。
- ・ 本事業以外の関連する除染関連事業での成果については、当該技術の実用性について検討した上で、記載可能な技術については課題を含めて掲載する。

### 5.3 除染計画立案のための除染効果評価システム活用の手引き

実証事業を通じて得られた新しい知見やデータ等を踏まえ、除染計画立案のための除染効果評価システムの利用に関わる取扱い説明書 (手引き書) を整備した。

除染効果評価システムは、学校等の公共施設、民家、農地または森林等を含む広範囲の領域を対象とした除染計画の立案に役立てるため、除染シナリオに基づいて実施される除染前後の線量当量率を算出し、除染による線量率の低減効果を推定するシステムである。このシステムは、日本原子力研究開発機構のWEB上から無償でダウンロードし、利用可能である。本事業で整備された手引き書を活用することで、除染効果評価システムの利用方法や操作方法がより具体的となった。今後、市町村単位で行われる除染計画の策定等においても除染効果評価システムが利用されることが期待される。