

3.3 除染作業に関する手引き

除染技術には落葉除去、洗浄、表土はぎ取りなどをはじめ、多種多様な方法が存在する。線量が同じでも、除染を行う場所の地勢や土地利用状況が異なれば、適用できる技術、効果の出る技術は異なる。

ここでは除染を進めるにあたって、本モデル実証事業で得られた知見を基に、除染作業計画の策定に当たって、計画に盛り込むべき事項、ならびに効率的、効果的な除染技術（手法）の選定方法ならびにその技術（手法）を用いて除染作業を行う際の留意すべき点についてまとめる。

3.3.1 除染作業計画策定

(1) 計画に盛り込むべき事項

2.3.2に記載した通り、除染作業計画を構成する要素は下記のとおりであり、これらの事項を考慮して除染作業計画を策定する必要がある。

- ・ 除染対象範囲の基本情報（位置、範囲、面積、地形情報、気象情報など）
- ・ インフラ整備状況（給排水（上下水道）状況、通電状況、道路・アクセスルートの整備状況、利用可能施設状況など）
- ・ ユーティリティスペース状況（スクリーニングサイト、資機材置場、駐車スペース、休憩エリアなど）
- ・ 事前モニタリング結果による汚染分布状況
- ・ 除染手法・手順、除去物発生量
- ・ 除去後の安全上必要な措置

除染作業計画に織り込む事項は下記のとおりである。

- ① 除染作業全体計画
- ② モニタリング計画
- ③ 除染作業実施計画
- ④ 除去物処理・仮置計画
- ⑤ 放射線・安全管理計画

以下、各事項について概説する。

① 除染作業全体計画

除染作業全体計画は、モニタリング、除染、除去物処理・仮置き、放射線・安全管理、自治体・住民対応等、本作業を構成する主な作業間の連携をとり、作業全体を円滑に進めるためのものであり、上記の基本要素をくまなく埋めるための指標となるものである。

除染実施サイトと仮置場の2つの流れがあり、それぞれに自治体・住民と調整することが必要になることから、これらのタイミングを合わせて対応していくことが、合理的かつ短期間に除染作業全体を進める上で重要である。

② モニタリング計画

モニタリング計画は、作業の各段階（除染前・除染中・除染後、仮置場等設置前・設置中・設置後）で行われるモニタリング作業について記載する。

計画策定に当たっては、以下の点を考慮することが重要である。

- ・ 事前に自治体等と調整した範囲がモニタリング範囲と相違がないことを写真、地図等で関係者間にて情報共有をしておく。

- ・ 私有地への立ち入りが必要な場合、および、土壌・草木・水等の試料採取が必要な場合は、あらかじめ地権者に了解をとっておかなければならない。なお、立ち入りの了解が得られない場合の対応策、別案についても協議し定めておくことが必要である。
- ・ 農地、特に圃場を対象とする場合には、湿潤状態も放射線量分布や除染の作業性に大きく影響することから、湿潤状態や排水性、排水口などをチェックしておくことが必要である。また冬期間では、積雪や土壌の凍結の影響等を考慮しておかなければならない。
- ・ 林地が隣接するエリアを対象とする場合も多いことから、樹木の種類、高さ密集の程度などもチェックしておくことが肝要である。
モニタリングは、事前モニタリング、事後モニタリングおよび除染中のモニタリングがあり、各々の目的、方法等の詳細は「3.2 モニタリングに関する手引」に譲る。

③ 除染作業実施計画の策定

除染作業実施計画は、除染方法選定の考え方について取りまとめるとともに、各除染対象物について、事前モニタリング・事前調査結果に基づき選定した具体的な除染方法、除染作業の管理方法等以下の項目を記述したものである。

- ・ 除染対象範囲の基本情報（位置、範囲、面積、標高等の地形情報、天候、気温等の気象情報）
- ・ 給水・排水設備等のインフラ整備状況
- ・ 休憩所・資材置場設置等に必要なユーティリティスペースの状況
- ・ 除染対象ごとの除染方法・手順、除去物発生量、除染後の措置
- ・ 新たな除染技術がある場合は、その実施計画
- ・ 除去物の除染実施対象地区内における集積、運搬方法
- ・ 安全上必要な除染後の措置
- ・ 必要に応じ、事前モニタリングデータ等に基づく線量率分布および分布データに基づく除染効果評価結果

④ 除去物処理・仮置計画

除去物処理・仮置計画書は、除去物の減容化とともに、除去物の運搬・仮置方法等以下の項目を記述したものである。

<除去物処理>

- ・ 除去物の減容化方法、放射性物質の飛散防止対策・モニタリング方法、灰などの二次廃棄物の処理方法

<仮置場>

- ・ 除染実施対象地区から仮置場までの除去物運搬経路および運搬方法
- ・ 仮置場における除去物荷卸し・定置方法
- ・ 仮置場の事前調査結果等に基づく設計（基本方針、遮へい・遮水・防火対策等の安全機能の仕様等）
- ・ 除去物・仮置場に関するデータの記録方法および記録管理方法
- ・ 防火対策、不審者・動物の侵入対策

計画の策定に当たって考慮する必要のある項目については、後述の「3.4 仮置場／現場保管場の整備と維持管理に関する手引き」に記載する。

⑤ 放射線・安全管理計画

放射線・安全管理計画は、作業員の放射線安全および一般作業安全の観点からの安全管理方法等以下の項目を記述したものである。

<放射線管理>

- ・ 除染実施対象地区のモニタリング結果等に基づく被ばく線量予測および作業員の放射線防護装備等の被ばく線量低減方法
- ・ 作業員の被ばく線量測定・被ばく記録管理方法
- ・ 作業員の健康診断・教育の実施方法
- ・ 作業員・使用機材のスクリーニング方法・除染方法
- ・ 二次汚染防止対策

<安全管理>

- ・ 放射線防護装備装着時に特段の配慮が必要な除染作業の安全対策
- ・ 除染実施対象地区における作業員の休憩方法
- ・ 傷病者発生時の対応方法

(2) 除染方法の選定の考え方

除染技術に求められる品質は、いかに「速く」、「無駄なく」、「きれい」に除染するかということである。「速さ」の具体的な指標は、1作業班が1日に施工できる量（施工スピード）である。「無駄なく」の具体的な指標は、余計に除去物を発生させないこと（除去物発生量の抑制）、および後戻り（二次汚染）が無いことである。「きれい」の具体的な指標は、低減率（表面密度、放射線空間線量率）である。なお、推奨される除染技術とは、上記3大要求品質を満足できる手法（ツール）だけに留まらず、その手法（ツール）を使ってどのように除染するかという方法（圧力、回数、投射密度等）も含んだものである。

以下、これらの指標を用いて各除染技術（手法）を説明する。

① 除染の基本

除染の実施にあたっては、避難区域区分、仮置き・中間処分の状況、スクリーニングポイント計画などの上位計画や地形・地勢、土地利用区分やインフラ状況をまず踏まえることが必要である。

その上で、事前モニタリングにより得られた除染区域の汚染状況等に基づき、上述した3大要求品質を満足する最適な除染技術を選択することが重要である。また、除染作業中も除染効果が得られているかどうかを確認することが重要である。

② 森林において適用する技術

1) 除染方法（手法）の選定

生活圏の放射線空間線量を下げするためには、除染方法の選定の前にどの範囲、どこまで森林を除染するかということを決めることが重要である。森林除染の範囲については、除染ガイドライン作成調査業務の一環として実施した南相馬における試験結果（日本原子力研究開発機構、2012）によると、生活圏との隣縁部から水平距離で10m以上森林除染を実施しても隣接する生活空間の空間線量率の低減はあまり認められない。

常緑樹林のスギやアカマツの場合、樹木の枝葉に20数%～50%程度、落葉層に20～50%程度付着しており、落葉樹林のコナラの場合、60数%が落葉層に付着していることが、農林水産省の調査（昨年8～9月時点）で明らかとなっている。本モデル事業における常葉樹林および落葉樹林の高さ方向の空間線量分布の測定結果、常緑樹林（スギ林）の場合、上部ほど高いか一定であり、農水省の調査を裏付ける結果となっている（表3.3-1、図3.3-1）。また、落葉樹の場合、木の高さ方向の線量率の調査の結果から木の上部ほど線量率が低くなる傾向が見られた。これにより事故時点で葉の無かった落葉樹では、大部分の放射性セシウムが直接地表に降下したと推定される。

表3.3-1 樹木の高さ方向の空間線量率

(a) 常緑樹 (杉)

地上高さ (m)	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)		
	北側	南側	東側
15	7.88	7.07	—
10	7.14	7.91	9.12
5	6.94	5.83	7.65

(b) 落葉樹と竹林の混合林

地上高さ (m)	空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
4.32	8.90
3.35	9.49
2.17	9.58
1.09	11.64

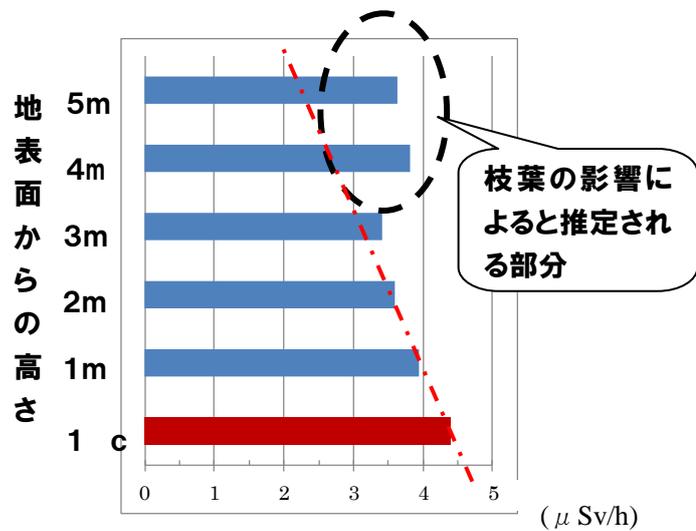


図3.3-1 樹木の高さ方向の空間線量率

表3.3-2 森林の除染方法毎の特徴比較

除染方法	落葉・腐植土層除去 (平地)	落葉・腐植土層除去 (傾斜地)	落葉・腐植土・ 表土の除去(平地)	樹木	
				樹幹洗淨	枝打ち
常緑樹の放射性物質の比率(8~9月時点)	44~84%			樹皮：1~3%	枝葉：14~53%
除去物発生量	200~900袋/ha	200~900袋/ha	1,000~2,000袋/ha	少量	2,700袋/ha (減容化なし)
二次汚染	なし	なし	なし	飛沫による土壌浸透あり	林床に枝が落下
周辺環境への影響	傾斜地では土砂流出に要留意				
コスト評価	530円/m ²	760円/m ²	890円/m ²	3,390円/本	580円/m ²
施工スピード	510m ² /日	340m ² /日	220m ² /日	32本/日	150m ² /日
歩掛	220人日/ha	320人日/ha	220人日/ha	0.1人日/本	240人日/ha

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

2) 除染技術と除染作業における留意点

除染方法毎の除去物発生量，周辺環境への影響等を表 3.3-2 に示す。

1) 項の知見を踏まえ，さらに地盤面の状況等（平地または傾斜地）を考慮して除染方法を検討することが重要である。除去物発生量の抑制，低減率の向上のためには，事前に設定した腐植土・表土等の剥ぎ取り厚さを作業員間で統一する必要がある，事前に十分な模擬試験，剥ぎ取り厚さの目合わせ等を行い，作業員の間で剥ぎ取り厚さのばらつきを少なくしておくことが重要となる。また，落葉，腐植土等を効率的に回収し，取り残しを防止するため，バキューム搬送等の手法も考慮する必要がある。

山林などの傾斜地の場合，線量低減のために，落葉・腐植土・表土等全てを除去する必要がある場合は，降雨による土砂流出と斜面崩壊の危険性が高まることになることから，しがらの設置，土のう積みなどの土砂流出防止対策を除染手法に含めて検討する必要がある。

③ 農地において適用する技術

1) 除染方法（手法）の選定

農地における土壌中の放射性セシウムは、地表付近にとどまっていることが知られており、本事業でも地表から深さ5cm以内に80%以上の放射性セシウムが付着・残留する傾向が確認された。

農地の除染では、深度方向の放射性セシウム濃度分布や農地の耕盤の深度を調査し、攪拌希釈、反転耕（天地返し）、表土剥ぎ取りのいずれを適用するかを決定する。

2) 除染技術と除染作業における留意点

a) 表土剥ぎ取り

地表付近の放射性セシウムを除去する方法として、薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り、バックホウによる表土剥ぎ取り、固化剤散布による表土剥ぎ取りがある。固化剤散布では、固化した表土の剥ぎ取り回収方法として分離回収機、バックホウがある。これらの方法による除去物発生量、適用条件等を、表3.3-3に整理するとともに、各除染作業における留意点を以下に示す。

○薄層表土剥ぎ取り

- ・1回の剥ぎ取り可能厚さが1cm以下と浅いため、事前の走行回数と剥ぎ取り厚さ及び除去率の関係を把握し、施工方法を決定することが重要である。
- ・薄層で表土を剥ぎ取るため、余掘りがなく、除去物発生量を低減できる。
- ・薄層の剥ぎ取りのため、地表に凹凸があると凹部は剥ぎ取りが残るため、剥ぎ取り残しの箇所をサーベイし、その部分は人力で剥ぎ取りを行う必要がある。

○バックホウによる表土剥ぎ取り

- ・土木施工用機械であり、汎用性がある。
- ・一方、バックホウ（平爪付）だけでは薄層を精度よく剥ぎ取ることが困難である。

○固化剤散布による表土剥ぎ取り

- ・固化剤を用いた表土剥ぎ取りでは、剥ぎ取り土壌の減容化、固化剤によるマーキング効果（削り残しの目視確認が可能）、表土固化に伴う土壌の飛散抑制の効果が期待できる。
- ・湛水状態や冬季の低温環境下では固化剤が固化しないため、適用条件を満たす範囲で適用することが重要である。
- ・固化土壌分離回収機は、水分の多い土壌では回収コンベアが固着し、回収不良となるため、土壌に応じた回収方法を選択することが重要である。

b) 反転耕

農林水産省が平成23年9月14日に取りまとめた「農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）」によれば、土壌中の放射性セシウム濃度が低い場合は、除去物が発生しない反転耕の適用が可能である。

土壌を反転させる方法には、プラウによる反転耕と天地返しがあり、これらの除去物発生量、適用条件等を、表3.3-3に示す。

○反転耕（プラウ）

- ・放射性セシウムを取り去る方法ではない点に留意する必要がある。
- ・放射性セシウムの深度分布及び耕盤の深度を把握し、反転深さを決定することが重要である。

○天地返し

- ・放射性セシウムを取り去る方法ではない点に留意する必要がある。

- ・放射性セシウムの深度分布及び耕盤の深度を把握し，天地返しの上層と下層の深度を決定することが重要である。
- ・上層の剥ぎ取った土壌が下層の剥ぎ取った土壌に混入しないように仮置きすることが重要である。

表3.3-3 農地の除染方法毎の特徴の比較

除染方法	薄層土壌 剥ぎ取り機 (ハンマーナイフ)	バックホウ (5cm剥取)	表面固化剤散布		反転耕 (トラクタ+プラウ)	天地返し (バックホウ)
			分離回収機	バックホウ剥ぎ 取り回収		
除去物発生量	300袋/ha	300~800袋/ha	300~800袋/ha		なし	なし
二次汚染	なし	なし	なし		なし	なし
周辺環境 への影響	なし	なし	なし		なし	なし
コスト評価	690円/m ²	560円/m ²	880円/m ²		33円/m ²	310円/m ²
施工スピード	500m ² /日	1,300m ² /日	290m ² (固化剤散布: 2870m ² /日 土壌回収: 410m ² /日)		1,340m ² /日	120m ² /日
歩掛	140人日/ha	120人日/ha	220人日/ha		9人日/ha	100人日/ha

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

④ 宅地及び大型構造物において適用する技術

1) 建物の除染方法（手法）の選定

建物（家屋及び大型建物）の除染は、生活圏における空間線量低減に向けて欠かせないものである。

建物に付着した土埃等が、雨の流れによって溜まる箇所（雨とい、雨だれ部）に、これらに吸着した放射性セシウムが多く残留している。逆に、雨水が流れるだけで溜まらない箇所には、比較的残留していない状況にある。また、壁に付着・残留している放射性物質量は屋根、地面に比べ1/10程度と少ない状況にある。

これらの知見を踏まえ、線量低減率や建物を構成するもの（屋上、屋根、壁など）の材質ならびに面の状況に応じて最適な除染技術を選択するが重要である。なお、震災および津波による影響を受けた建物に対しては、除染手法が限定される（高圧水洗浄による雨漏りやひび割れの発生・拡大の恐れなど）ことに留意する必要がある。

2) 除染技術と除染作業における留意点

表3.3-4にコンクリート・モルタル面の除染方法毎の除去物発生量、適用条件等を示す。

高圧水洗浄（圧力10～20 MPa）を行う際には、洗浄を上流から下流へと順次実施し、飛沫による二次汚染に留意するとともに、洗浄水については集水して必要に応じて水処理を実施することが重要となる。集塵サンダー、ショットブラスト、超高圧水洗浄等の表面を薄削する除染方法については、圧力、速度、回数等の条件について事前に試験等を行い、最適条件を確認しておくことが効率的に除染を行う上で有効となる。

表3.3-5に屋上の除染方法毎の除去物発生量、適用条件等を示す。

高圧水洗浄（圧力10～20 MPa）を行う際には、前項で述べた点に留意するとともに、屋上の防水施工の保護の観点から、洗浄圧力を決定することが重要となる。縦といについては、配管内部を洗浄することのできる専用機材を用いて高圧水洗浄を行い、といの端末部で洗浄水を回収する。縦といの洗浄効果を確認する場合は、配管内部の汚染状況を確認できる測定器を用いることが望ましい。

表3.3-6に宅地の除染方法毎の除去物発生量、適用条件等を示す。

家屋の除染方法については、事前に家屋の状況（地震等による被害の有無、経年劣化等）を調査し、その上で除染方法を決定することが重要となる。屋根の高圧水洗浄については、圧力、噴射方向（屋根に対して垂直に実施する）に留意し、家屋内への漏水への十分な配慮が必要となる。また、洗浄水の飛散防止、回収等の配慮も必要となる。

ブラシ掛け、拭き取りを行う際は、基本的に上から下へ行うことにより、二次汚染、手戻りのないように実施する。

雨といの除染については、土砂、落葉等の堆積物がある場合は、事前に取り除いた上で除染を実施する。

庭の表土剥ぎ取り、砕石除去については、事前に決定した剥ぎ取り厚さを確実に除去できるように、作業員間で事前に剥ぎ取り厚さの目合わせ等を行い、統一を図ることが望ましい。また、砕石の汚染状況によっては、洗浄し再使用することにより、除去物量を低減することも考慮する必要がある。

芝生については、地表から2～5 cmまで（サッチ層またはルートマット層まで）剥ぎ取れるソッドカッター等を使用することにより、作業の効率化、剥ぎ取り後の芝生の再生等が期待できる。

庭木の剪定については、むやみに剪定せずに、汚染状況を考慮した上で専門の庭師等と協議し、剪定範囲を決定することが望ましい。また、庭木の下部については腐植土、表土の除去のため、作業空間を確保する必要がある、可能であれば重点的に剪定する必要がある。

インターロッキングの高圧水洗浄については、インターロッキングの隙間に介在する苔や土砂等は、高圧水洗浄により除去できるが、これらを含んだ洗浄水の拡散による汚染の拡大防止措置が必要になる。インターロッキングの隙間に浸透した洗浄水の回収は困難であるため、回収型高圧水洗浄機などの採用が望ましい。

表3.3-4 コンクリート・モルタル面の除染方法毎の特徴の比較

除染方法	集塵サンダー (コンクリートかんな)	超高压水洗浄 (150MPa以上)	高压水洗浄 (10~20MPa)	ショットブラスト
除去物発生量	ほとんど無し	30袋/ha	ほとんど無し	30袋/ha
二次汚染	ダスト吸引回収 多少あり	洗浄水吸引回収 ほとんど無し	流末処理 多少あり	ダスト吸引回収 多少あり
コスト評価	1,940円/m ²	1,150円/m ²	960円/m ²	570円/m ² (中型)
施工スピード	80m ² /日	330m ² /日	100m ² /日	540m ² /日 (中型) 850m ² /日 (大型)
歩掛	9人日/100m ²	13人日/1,000m ²	25人日/1,000m ²	9人日/1,000m ²

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

表3.3-5 屋上の除染方法毎の特徴の比較

除染方法	屋上 (コンクリート)	屋上 (防水シート)	縦とい
	高压水洗浄 (ブラッシング等含む)	高压水洗浄 (ブラッシング等含む)	高压水洗浄 (最大50 MPa)
除去物発生量	ほとんど無し	ほとんど無し	ほとんど無し
二次汚染	飛沫が土壤に浸透 あり	流末回収 あり	流末回収 あり
コスト評価	340円/m ²	250円/m ²	860円/m
施工スピード	170 m ² /日	180 m ² /日	110 m ² /日
歩掛	10人日/1,000m ²	7人日/1,000m ²	27人日/1,000m

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

表3.3-6 宅地の除染方法毎の特徴の比較 1/3

除染方法	屋根除染			
	高圧水洗浄	ブラシ掛け	拭き取り	剥離剤塗布
除去物発生量	ほとんど無し	ほとんど無し	多少（ウエス）	多少（剥離剤）
二次汚染	飛沫が土壌に浸透あり	流末で水回収ほとんど無し	無し	無し
コスト評価	ブラシ掛けよりコスト高	1,090円/m ²	ブラシ掛けよりコスト高	ブラシ掛けよりコスト高
施工スピード	ブラシ掛けより早い	140m ² /日	ブラシ掛けより遅い	ブラシ掛けより遅い 10m ² /日 (養生で1～3日必要)
歩掛	—	5人日/100m ²	—	—

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

表3.3-6 宅地の除染方法毎の特徴の比較 2/3

除染方法	雨どい		壁面
	高圧水洗浄	拭き取り	ブラッシング
除去物発生量	少量	少量	無し
二次汚染	飛沫が土壌に浸透あり	流末で水回収(ほとんど無し)	ほとんど無し
コスト評価	1,230円/m	1,100円/m	100円/m ²
施工スピード	160m/日	140m/日	640m ² /日
歩掛	5人日/100m	4人日/100m	8人日/1,000m ²

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

表3.3-6 宅地の除染方法毎の特徴の比較 3/3

除染方法	表土剥ぎ取り	砕石洗浄	砕石除去
除去物発生量	200～400袋/ha (2～3cm)	少量	200～400袋/ha
二次汚染	なし	なし	なし
コスト評価	590円/m ²	930円/m ²	820円/m ²
施工スピード	530m ² /日	210m ² /日 (厚さ約10cm)	230m ² /日
歩掛	170人日/ha	550人日/ha	320人日/ha

除染方法	芝生除去	庭木剪定	インターロッキング (高圧水洗浄)
除去物発生量	200～500袋/ha	300袋/ha	なし
二次汚染	なし	なし	洗浄水の飛散あり
コスト評価	1500円/m ²	740円/m ²	1320円/m ²
施工スピード	100m ² /日	240m ² /日	140m ² /日
歩掛	630人日/ha	320人日/ha	660人日/ha

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

⑤ グラウンド等において適用する技術

1) グラウンド等の除染方法（手法）の選定

建物周辺のグラウンド等の除染は、生活圏における空間線量低減に向けて欠かせないものである。

除染モデル実証事業では、グラウンドについては、大部分の地点において表面から3～5cm程度までに放射性セシウムの90%以上が付着・残留していることが確認された。ただし、表面の土壌等の性状等によって、汚染されている深度は異なることも判明した。

これらの知見を踏まえ、線量低減率やグラウンド等を構成するもの（土、砕石、砂、芝など）ならびに地表面の状況に応じて最適な除染技術を選択するが重要である。

2) 除染技術と除染作業における留意点

表3.3-7にグラウンド（テニスコート、雑草地含む）の除染方法毎の除去物発生量、適用条件等を示す。

路面切削機、モーターグレーダーは作業幅2mであるため、路面に凹凸があると凹部が削り残されることになることから、凹凸があるグラウンドは事前に平らに均す必要がある。また、2～3cm以下での剥ぎ取りは構造上困難である。

ハンマーナイフモア＋スイーパーは一度に剥ぎ取れる深さが1cm以下であり、剥ぎ取り深さにより複数回剥ぎ取りを行う必要がある。また、施工スピードが遅いため、広いエリアの除染には適さない。いずれの方法においても、機材のアクセスできない狭隘部は小型バックホウ、人力等で剥ぎ取りを実施する必要がある。

排水層等の排水設備が設置されていない雑草地等においては、除去物が発生しない、剥ぎ取り残し、取りこぼし等が発生し難いことから、「天地返し」の適用も有効な手法である。

表3.3-8にプール、芝地の除染方法毎の除去物発生量、適用条件等を示す。

プールの高圧水洗浄については、プール槽の材質（防水モルタル、防水塗装等）、状態等を考慮して洗浄圧力等の条件を決定する必要がある。

広大芝生については、剥ぎ取り厚さを一定に調整でき、施工速度の速いターフストリッパーを導入することが望ましい。ただし、剥ぎ取り表面が軟弱な場合や小石混じりの場合な十分な性能を発揮できない場合がある。また、狭隘部については、ソッドカッター、小型バックホウ、人力等で剥ぎ取りを実施する必要がある。

表3.3-9に舗装道路（駐車場）の除染方法毎の除去物発生量、適用条件等を示す。

排水性舗装機能回復車は、基本的に表面を切削せずに洗浄する手法であり、他の表面を切削する方法（超高圧水洗浄、ショットブラスト、TS切削機）と比較すると、低減率は低くなるが、処理速度が他の手法と比べて速いため、低線量区域では有効な手法となる。

超高圧水洗浄、ショットブラストについては、圧力、速度、回数等の条件について事前に試験等を行い、最適条件を確認しておくことが効率的に除染を行う上で有効となる。また、ショットブラストのブラスト材、切削屑については取り残さないことが重要となる。

TS切削機については、処理速度は排水性舗装機能回復車に次いで速いが、5mm以下での切削は困難であるため、除去物発生量を考慮して適用を判断すべきである。

表面を切削する除染手法については、切削厚さによっては、オーバーレイ等の補修が必要になる場合がある。

表3.3-7 グラウンド（雑草地）の除染方法毎の特徴の比較

除染手法	薄層土壌剥ぎ取り			天地返し
	ハンマーナイフモア +スライパー	路面切削機	モーター グレーダー	
除去物発生量	200袋/ha (目標2cm深さ)	200～500袋/ha (目標2～5cm深さ)	200～500袋/ha (目標2～5cm深さ)	なし
二次汚染	ほとんど無し	ほとんど無し	多少あり	ほとんど無し
コスト評価	710円/m ²	360円/m ²	290円/m ²	230円/m ²
施工スピード	270m ² /日	1,580m ² /日	640m ² /日	180m ² /日
歩掛	160人日/ha	60人日/ha	60人日/ha	70人日/ha
適用条件	<ul style="list-style-type: none"> ・平坦地 ・凍土は不可 ・表土が締まっていること 	<ul style="list-style-type: none"> ・平坦地 ・表土が締まっていること ・3cm以下制御困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・平坦地 ・凍土は不可 ・表土が締まっていること ・2cm以下制御困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・排水層などがある場合は困難

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

表3.3-8 プール・芝生の除染方法毎の特徴の比較

除染手法	プール	広大芝生
	高圧水洗浄	ターフストリッパー
除去物発生量	10袋/ha	200～500袋/ha
二次汚染	除染水回収（ほとんど無し）	ほとんど無し
コスト評価	80万円/式	470円/m ²
施工スピード	280m ² /日	1,590m ² /日
歩掛	36人日/式	60人日/ha

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

表3.3-9 舗装道路（駐車場）の除染方法毎の特徴の比較

除染方法	排水性舗装 機能回復車	高圧水洗浄 +ブラッシング (15MPa程度)	超高圧水洗浄 (120~240MPa)	ショットブラスト	TS切削機
除去物発生量	少量	ほとんど無し	30袋/ha程度	30袋/ha程度	80袋/ha程度
二次汚染	洗浄水回収 ほとんど無し	流末処理 多少あり	洗浄水回収 ほとんど無し	多少あり	多少あり
コスト評価	150円/m ²	960円/m ²	1,150円/m ²	480円/m ²	390円/m ²
施工スピード	2,000m ² /日	100m ² /日	330m ² /日	850m ² /日(大型)	1,380m ² /日
歩掛	2人日/2,000m ²	20人日/1,000m ²	13人日/1,000m ²	約60人日/ha	70人日/ha
適用条件	・歪曲・損傷のない平 滑な道路	・損傷のない道路 ・側溝蓋も洗浄可	・損傷のない道路 ・側溝蓋も洗浄可	・乾燥した道路 ・歪曲・損傷のない道 路	・乾燥した道路 ・歪曲・損傷のない道路 ・5mm以下の薄削は困難

注) 除染モデル実証事業の成果から得られた数値

⑥道路において適用する技術

1) 除染手順および除染方法の選定

道路の除染手順（優先度）、除染方法を決定するに当たっては、以下のような事項に配慮することが重要である。

- ・道路は宅地や農地と異なり、限られた周辺住民だけでなく、不特定多数の人が利用する。一方、その場に長時間滞在することは稀である。
- ・市街地と山間部、または歩道と車道では、利用者数、利用形態（徒歩での移動、車での移動）、利用時間が異なる。
- ・道路（舗装面）は、周辺の農地やグラウンドなどの土面と比べ、表面密度及び表面線量率が低い傾向にある。
- ・道路は除染作業に携わる作業員の移動動線であり、資材、除去物の移動動線でもある。従って、二次汚染、手戻り等を考慮すると可能であれば除染済み区域を通行止めにする、除染地区内で最後に除染を行う等の配慮が望ましい。

2) 除染技術と除染作業における留意点

道路の除染作業における留意点を以下に示す。なお、除染方法毎の除去物発生量、適用条件等については、前項⑤「グラウンド等において適用する技術」に記載した。

- ・放射性物質は、道路に溜まった泥、草、落葉等の堆積物、及びアスファルト舗装面のごく表面（特にストレートアスファルト部分）に残留・蓄積する傾向にある。
- ・表面が密粒なアスファルトよりも、多孔質なアスファルトのほうが舗装面表面からより深くまで放射性物質が浸透している。
- ・除染対象となるアスファルト舗装面の幅や周辺の構造物の状況により、除染に使用できる機器が制限される。
- ・舗装面の形状（歪曲の有無、損傷の有無等）により、同様の除染方法を適用した場合においても低減率に差が認められる。
- ・除染の際に水を使用する場合、除染水の濃度に応じて回収・処理方法、排水経路を確認する必要がある。
- ・切削もしくは剥ぎ取り（撤去）による除染を行う場合、必要に応じて復旧工事を要することとなることから、事前に道路管理者と復旧の要否、復旧時期や方法について調整する必要がある。

(3) 除去物の減容化手法の選定の考え方

①減容方法（手法）の選定

除去物の減容は、仮置場の面積や安全性を左右するため、保管コストの低減化の上で非常に有効な手段である。特に腐敗性の「可燃性除去物」については、焼却による減容により灰の形に無機化することで除去物の形態を安定化することも可能となるため、保管が簡略化・安全性向上の観点から重要である。したがって、可能であれば除染作業に組み入れることも視野に置く必要があるが、減容化による放射性物質の濃縮により、減容物の表面線量率も上がる場合があるため、取り扱いには十分注意する必要がある。

なお、除染作業に伴って発生する除去物には、「可燃性除去物」、「不燃性除去物」と「可燃性除去物と不燃性除去物の混合物」があり、減容方法としてはそれぞれ以下の手法が考えられる。

i) 可燃性除去物；木質系のガレキや草木、枝葉といった除染対象として発生する腐敗可燃性のものと、除染作業で使用するタイベックスーツやウェス、ビニール袋、養生シート類などの可燃性のものが該当する。

・木材破砕機，チップパーによる減容

木質系の除去物については、木材破砕機，チップパーによる減容化処理が適用可能であり，場合によっては1/10程度にまで容量を小さくすることができる。比較的減容率^{*1}が高く，設備も小規模ですむため推奨できる手法となる。また，これらの機器は林業を中心に一般化していることから比較的利用しやすい環境にある。なお，本処理を実施する際は，対象物にもよるが木屑等の粉塵の飛散があるため，防塵シートを周囲に敷設する等の処置を考慮することが望ましい。

・焼却による減容

➤ 高温焼却処理（仮設）800℃以上

焼却炉は，減容率^{*1}が96%～99%と高いことから，特に腐敗性の「可燃性除去物」の処理に能力を発揮することが期待される。また，発生するタイベックスーツ等についても，日々の管理の中では同様に効果が期待される。

排気系へフィルタ等を設置することで，セシウムは主灰及び飛灰として回収され排気へのセシウム移行も低く抑えられるため非常に有効な処理方法である。設備が比較的大規模となることや，焼却灰の放射性物質濃度が相当高くなるため取扱いに注意が必要であるが，推奨できる手法である。

➤ 低温焼却処理（仮設）400℃以下

ロータリードライヤなどの低温焼却炉によっても「可燃性除去物」の処理を効果的に進めることが可能である。減容率^{*1}については75%～90%と高く，蒸し焼き状態となった処理物中にセシウムはその大半が残る。また，土壌等との分離が完全でなくとも焼却が可能であることから，植物根などの腐敗性の「可燃性除去物」に効果的である。

・圧縮による減容

重量物積載による減容や下草集積機（ロールベアラ），葉たばこ梱包器といった草木類に適用可能な減容方法がある。重量物積載による方法で約5割程度フレキシブルコンテナに入れた除去物を圧縮減容できる。また，刈り取った下草を効果的に集積する方法としてロール状にする下草集積機なども大量に発生する下草に対しては効果的である。

ii) 不燃性除去物；土壌，コンクリート，アスファルト等が該当する。

不燃性除去物のうち大半を占める土砂等の減容化については，除染モデル実証事業で試験した土壌洗浄試験によるセシウム吸着の多い細粒土壌の回収や設定した汚染基準値以上の土壌と未満の土壌に分別する「スキャンソート」等は処理後の土壌等の再利用が可能という点で「不燃性除去物」に対する減容化手法と言えるが，大量に発生する土壌の放射能濃度等との関係で効果的か否かを選定する必要がある。

iii) 可燃性除去物と不燃性除去物の混合物；植物根混じりの土壌等が該当する。

ツイスターと呼ばれる回転式粉碎機と振動ふるい機を併用して，植物根と土の分別を実施する技術については，粘性が高い土壌の場合の適用性には課題が残るものの，比較的乾いた植物根混じりの土壌に対しては，分離性能が良く発揮されるため，低温焼却処理などと組み合わせることにより，腐敗性の「可燃性除去物」の混合した不燃性除去物の減容処理に有効である。

iv) その他

水田の剥離土壌や河川等の底泥，水処理汚泥等高含水の除去物も発生する。これらについては，仮置場において自然に脱水されたり，また，特殊素材のシート，袋などを用いて脱水することが可能であり，脱水することで高い場合 50%に近い減容率*1 が得られるが，その場合，脱水による仮置場の変形や浸出水の対処が必要となることから，仮置場での管理を難しくすることとなり，積み直しや浸出水の回収及び分析，排水などの作業が追加されることになるため，積載方法や処理方法等を工夫しておくことが重要である。

*1：減容率＝（減容前の体積－減容後の体積）／減容前の体積×100

(4) 除去物の収集・運搬・管理手法の選定の考え方

基本的には除染関係ガイドライン第1版（環境省，2011）の第3編 除去土壌の収集・運搬に係るガイドラインに従うものとし，実施における留意点について以下にまとめる。

(a) 運搬経路

除染対象区域から仮置場／現場保管場までの運搬はダンプトラック（積載重量10トン）を使用することが想定される。その経路を選定する際には，関係自治体や地元住民の方々の意向や要請や，運搬距離，交通量，道路の幅員，震災による被害状況などを考慮し，最も効率的に除去物を運搬できる経路を選定することとなる。その際の留意点を以下にまとめる。

- 関係自治体や地元住民の方々からは，運搬時間帯や運搬経路を指定されることが想定される。
- 冬期においては，積雪地域では，除雪が必要となる場合や，路面凍結のために通常より運搬時間を要することを想定する必要がある。このような場合には，仮置場造成前であっても，除去物を先行的に仮置場近傍まで運搬し，そこで一時的に保管することや，雪解けまでの期間，除染対象区域に一時的に保管するといった対策をとることが考えられる。
- 仮置場／現場保管場の設置場所によっては，幅員や路面状態がダンプトラック（積載重量10トン）での運搬に適していない運搬経路しか選択できない場合がある。その場合は，搬入経路の整備を事前に実施するケースと運搬方法を変更する（車両サイズを小さくするなど）ケースを比較考量し，効率的な方法を選択する必要がある。

(b) 除染対象区域での一時保管

除去物を発生場所から仮置場／現場保管場に直接搬入することは非効率であることから，除染対象区域毎に一時集積所を設ける必要がある。その際の留意点を以下にまとめる。

- 防水機能がない容器を使用する場合は雨水の浸入を防止するため，防水性シートで覆う等必要な措置を講じなければならない。
- 一時保管期間が長くなる場合は，内容物や表面線量率等を提示するとともに，ロープ等による立入防止措置を講じる必要がある（図3.3-2，図3.3-3参照）。
- フレキシブルコンテナの上・下・側面をシートで覆い，さらに上部にネットを被せ杭により固定することで，強風環境下でも安定的に一時保管することが可能となる。



図 3.3-2 一時集積所除去物保管事例①



図 3.3-3 一時集積所除去物保管事例②

(c) 飛散防止策

除去物を運搬する際の放射性物質の飛散防止にあたっては，以下の点に留意する必要がある。除去物の保管・処分には，現在のところフレキシブルコンテナが多く用いられていることから，

フレキシブルコンテナ及び同等の密閉容器を用いる場合及びその他の場合に分けて整理した。

a) フレキシブルコンテナ及び同等の密閉容器を用いる場合

- フレキシブルコンテナ及び密閉容器を使用する場合には、一般的には容器自体が飛散防止機能を有しているため、運搬中の放射性物質の飛散防止の特段の考慮は必要ないものと考えられる。ただし、除去物の収納の際には、容器表面への除去物の付着がないこと、容器口が所定の密閉状態となっていることを確認する。
- 運搬中の飛散防止としては、フレキシブルコンテナの荷崩れ防止、積載作業中の落下防止対策を適切に実施する。
- 屋外に一定の期間一時保管する場合や、保管期間が終わった後に施設から除去物を取り出す際にも再利用することを考慮する場合は、耐候性の容器を使用する。
- 除去物をフレキシブルコンテナへ収納する際には、フレキシブルコンテナの口を広げるための専用フレームや大型漏斗など補助具を利用することが能率的であるとともに、フレキシブルコンテナの外へこぼれ落ちる量を少なくすることが出来る（図3.3-4参照）。



図 3.3-4 除去物収納補助具

b) フレキシブルコンテナ以外の方法を用いて運搬する場合

- 高線量地区の除染により発生する除去物の場合は、作業員の被ばく低減上積載作業の短縮のため、有蓋車やトラックの荷台への直積みが想定される。
- 有蓋車の場合は、トラック自体が飛散防止対応となっているため、車両表面汚染がないことの確認のみで対応可能である。一方、トラック荷台への直積みの場合には、荷台からの除去物の飛散防止措置として、荷台全面をシートにより覆うこと等の措置を講じる必要がある。

(d) 二次汚染防止策

除去物の輸送による二次汚染を防止するため以下の点に留意する必要がある。

- 運搬車両（ダンプトラック等）の荷台をシート養生するなどを行い、運搬車両の表面に放射性物質が付着しないような対策を講じる。
- 仮置場／現場保管場と除染対象区域に至る運搬経路の放射線測定（空間線量率、路面の表面密度）を事前に行い、必要な二次汚染および車両汚染防止策を検討実施する。

3.3.2 作業監理

請負会社の監理に関する全般的な事項については、3.8 委託業者監理に関する手引きに記載する。ここでは、除染作業に関して、特に監理する事が望ましい事項について整理する。詳細については、契約図書や設計図書に従う。

(1) 作業開始前

除染作業開始前には、請負会社による除染作業計画書について以下の視点で確認を行うことが望ましい。

- ✓ モニタリング結果（空間線量率（1m, 1cm）、表面密度、土壌サンプリング結果等）を踏まえた除染計画になっているか。
- ✓ 除染手法が具体的（除染順序、除染回数、高圧水洗浄圧力、道具の種類（素材）、剥ぎ取り厚さ等）に計画されているか。
- ✓ 除染効果の確認方法が計画されているか（当日もしくは一日遅れが望ましい）。
- ✓ 期待する除染効果が得られなかった場合の対処について計画されているか。
- ✓ 仕上がりの確認方法が計画されているか。
- ✓ 除染水の採水計画が妥当か。
- ✓ 除染水の処理計画が妥当か。
- ✓ （作業開始時点で判明している）使用する資機材の品質は妥当か。
- ✓ 作業安全対策（放射線防護を含む）が、除染手法毎に明記されているか。

(2) 作業中

除染作業中における、毎日の現場監理での確認事項を以下の視点で行うことが望ましい。

- ✓ 除染作業計画書、日報通りに作業が進んでいるか。
- ✓ 工程通りに作業が進んでいるか。
- ✓ 歩掛は妥当か。
- ✓ 除染作業計画書通りに安全対策（放射線防護含む）・環境対策が実行されているか。
- ✓ 使用材料について、要求品質を満たしているか。砕石や土壌など、搬入時は放射線検査証明書が提出されているか。
- ✓ 出来形が設計図書、除染作業計画書通りに実施されているか。
- ✓ 除染の効果を逐次把握できているか。
- ✓ 除染結果のムラが無いか。
- ✓ ホットスポット探しを行い、見落としが無いようにしているか。

(3) 作業完了時

作業完了時において、以下について確認する事が望ましい。

- ✓ 出来形検査、品質検査計画に沿って完了検査を実施する。

3.3.3 結果報告書

契約図書、設計図書に従い保存するが、下記について記録し保存する事が望ましい。

記録文書名	作成箇所	確認箇所
日報（作業内容、作業時間、作業場所、作業員数、下請け会社名等）	受注者	監理箇所
週間工程会議資料（工程表、技術資料、各種調整資料等）	双方	双方
指示・協議事項確認文書	監理箇所	双方
工事監理記録（施工確認図書等の確認記録、立会検査の記録等）	監理箇所	監理箇所
完了図書（仕様書などの記載に基づいた工事報告書（竣工図、モニタリング結果、作業写真等））	受注者	監理箇所

3.3.4 情報管理

除染方法に関する地権者了承確認書類など、個人情報や取り扱いに注意を要する書類については、3.3.3に示す結果報告書に整理せず、情報管理書類として別に整理・保存し、適切に書類管理する。