

1. 背景

フォローアップ除染については、平成 26 年 3 月の第 11 回環境回復検討会において基本的な考え方を示し、除染が終了した自治体における事後モニタリングの結果等を踏まえ、考え方をさらに整理することとした。

第 11 回 環境回復検討会 資料 2 (抜粋)

ii) フォローアップ除染

引き続き、除染が終了した自治体における事後モニタリングの結果等を踏まえ、以下の考え方をさらに整理する。

現在の知見によれば、除染の効果は面的には維持されていると考えられるため、面的な除染は基本的には再度実施しない。ただし、除染効果が維持されていない箇所が確認された場合には、個々の現場の状況に応じて原因を可能な限り把握し、合理性や実施可能性を判断した上で、フォローアップの除染を実施することとする。

また、平成 27 年 6 月 12 日に閣議決定された「原子力災害からの福島復興の加速に向けて」においては、帰還困難区域を除く避難指示区域について「遅くとも平成 29 年 3 月までに避難指示を解除し、住民の方々の帰還を可能にしていけるよう、除染の十分な実施」等に取り組む^{*1}との方針が示され、併せて、「居住地周辺における除染効果を確実なものとするための取組等、復興の動きと連携した除染を推進する」^{*2}こととされた。一方、避難指示解除には「年間積算線量が 20 ミリシーベルト以下になることが確実であること」^{*3}との要件を満たすことが必要とされており、今後、円滑な避難指示解除にできる限り貢献できるよう、除染を進めていく必要がある。

※1 「原子力災害からの福島復興の加速に向けて」改訂（平成 27 年 6 月 12 日 閣議決定）より抜粋

1. (4) 避難指示解除の見通しの提示とそれに向けた環境整備の加速

事故から 6 年を超えて避難指示の継続が見込まれる帰還困難区域以外の区域、すなわち避難指示解除準備区域・居住制限区域については、各市町村の復興計画等も踏まえ遅くとも事故から 6 年後（平成 29 年 3 月）までに避難指示を解除し、住民の方々の帰還を可能にしていけるよう、除染の十分な実施はもとより、インフラや生活に密着したサービスの復旧などの加速に取り組む。

※2 「原子力災害からの福島復興の加速に向けて」改訂（平成 27 年 6 月 12 日 閣議決定）より抜粋

1. (2) 復興の動きと連携した除染の推進等

今後、さらに除染を加速化するため、住民の方々の同意や仮置場の確保を地元と連携しつつ早急に完了し、除染の十分な実施に取り組む。実施に当たっては、除染とインフラ復旧の一体的施工や居住地周辺における除染効果を確実なものとするための取組等、復興の動きと連携した除染を推進する。

※3 「原子力災害からの福島復興の加速に向けて」改訂（平成27年6月12日 閣議決定）より抜粋

1.（4）避難指示解除の見通しの提示とそれに向けた環境整備の加速

避難指示解除の要件（「ステップ2の完了を受けた警戒区域及び避難指示区域の見直しに関する基本的考え方及び今後の検討課題について」（平成23年12月26日 原子力災害対策本部より）

- ① 空間線量率で推定された年間積算線量が20ミリシーベルト以下になることが確実であること
- ② 電気、ガス、上下水道、主要交通網、通信などの日常生活に必須なインフラや医療・介護・郵便などの生活関連サービスが概ね復旧すること、子どもの生活環境を中心とする除染作業が十分に進捗すること
- ③ 県、市町村、住民との十分な協議

2. 基本的な考え方

放射性物質による汚染の状況は多様であり除染の効果も実施箇所毎に様々であること、同じ手法を用いて再度除染を実施したとしても放射線量の大幅な低減効果は期待できないなど除染による放射線量の低減には限界があることなどから（別添1参照）、フォローアップ除染の実施基準や空間線量率の低減目標を一律に定めることは難しい状況にある。

このため、フォローアップ除染については、従来通り、事後モニタリングの結果等を踏まえ、再汚染や取り残し等の除染の効果が維持されていない箇所が確認された場合に、個々の現場の状況に応じて原因を可能な限り把握し、合理性や実施可能性を判断した上で、実施することを基本とする。

ただし、政府の放射線防護の長期的な目標は「追加被ばく線量が年間1ミリシーベルト以下となること」（以下、「長期目標」という。）であり、当該目標が達成されていることを確認できる場合には、フォローアップ除染の検討対象とはしないものとする。

一方、居住制限区域においては、避難指示解除要件である「年間積算線量が20ミリシーベルト以下になることが確実であること」をできる限り速やかに達成する必要があるが、別添2-1～2に示すとおり、除染実施計画に基づき「広範囲に展開可能な合理的な方法」^{※脚注1}による除染を適正に実施した後も、宅地内で年間積算線量が20ミリシーベルトを上回る箇所が残る場合があることが想定され、避難指示解除要件の達成により明確に貢献し、避難指示解除の迅速化を可能とするフォローアップ除染の方法を検討し、実施することが求められる。このため、除染後も宅地内で年間積算線量が20ミリシーベルト以下となることを確実に満たすとは言えない場合に、その原因となっている箇所限定して、事後モニタリングを待たず本格除染直後に、個々の現場の状況に応じたフォローアップ除染を実施する。

※脚注1 「広範囲に展開可能な合理的な方法」

地形等の現地の条件に関わらず広く一般的に適用が可能で、効果、除去土壌等の発生量等の面から一定の効率性があると考えられる手法。

3. フォローアップ除染の進め方

(1) 居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染（図1参照）

①実施時期

フォローアップ除染については、まず、除染効果の維持を確認するため、除染終了後、概ね半年から1年後に事後モニタリングを実施し、その結果等を踏まえ、その後フォローアップ除染を実施するものとしてきた^{※4}。しかしながら、避難指示区域における国直轄除染は遅くとも平成29年3月を目途に終了することを目指して作業を進めている一方、避難指示区域の解除もそれまでに実施できるよう取り組んでいく方針とされており、避難指示解除要件の達成により明確に貢献し、避難指示解除の迅速化を可能とする観点から、事後モニタリングを待たず本格除染直後のモニタリングを基にフォローアップ除染を実施する（別添2-3参照）。なお、事後モニタリングについては、概ね半年から1年後に実施し、必要な場合には、3.（2）によるフォローアップ除染を検討・実施する。

※4 第11回環境回復検討会（平成26年3月）資料2

②判断基準

年間積算線量20ミリシーベルトは、安全側に立った特定の生活パターンの条件の下で空間線量率に換算した場合、 $3.8\mu\text{Sv/h}$ となること、個人の被ばく線量を低減する上では滞在時間が長い宅地内の空間線量率が重要であることを踏まえ、除染後も年間積算線量が20ミリシーベルト以下となることを確実に満たすとは言えない場合については、除染直後の宅地内の空間線量率の測定結果において、 $3.8\mu\text{Sv/h}$ を上回るおそれのある部分が一定の範囲であるかどうかで判断する。具体的には、これまでに除染を行った居住制限区域の宅地について、除染後の宅地内の測定点における空間線量率の平均値と最大値との関係を見ると、宅地内平均値が $1\mu\text{Sv/h}$ を超える宅地に $3.8\mu\text{Sv/h}$ を上回る測定点が存在していることから（別添2-4参照）、空間線量率の平均値が $1\mu\text{Sv/h}$ を超える宅地について重点的に線量の調査を行い（別添2-5参照）、 $3.8\mu\text{Sv/h}$ を上回るおそれのある部分が一定の範囲で宅地内に確認された場合に、当該箇所について、フォローアップ除染方法の検討が必要と判断する。

③フォローアップ除染の手法

居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染の手法を検討するため、従来のフォローアップ除染の手法（宅地内の法尻、水みち、舗装面と未舗装面の境界等の削り取り及び被覆等を中心とする手法）に加え、これまで標準的には実施してこなかった手法（宅地内の法面の削り取り、植栽下等の部分的表土の削り取り及び被覆等を中心とする手法（別添2-6参照））を試験的に施工した結果を別添2-7～9に示す。

これらの従来のフォローアップ除染では標準的には実施してこなかった手法は、一定の線量低減効果が認められるが、降雨時等における土壌の流出や法面の崩落、植栽の枯死のおそれ等があり、土砂流出に対する安全の確保や財産の保全の観点から標準的に実施することは困難である。このため、居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染に限った特例的な措置として、現場の状況に応じ、これらの手法を採用し、土壌の流出や崩落、植栽の枯死等に留意しながら、細心の注意を払いつつ施工していくことが考えられる。

(2) その他のフォローアップ除染 ((1) を除くフォローアップ除染、図2参照)

これまで実施してきたフォローアップ除染の結果から、別添1に示すとおり、以下のような知見が得られている。

①同じ手法を用いて除染を繰り返した場合の効果 (別添1-1~3参照)

同じ手法を用いて長時間若しくは複数回の除染を繰り返した場合における放射線量の低減効果については、別添1-1~3に示すとおり、限定的であり、同一箇所を同じ手法で繰り返し除染しても、有効な効果は期待できないと考えられる。

②用いた手法別の低減効果 (別添1-4参照)

檜葉町で実施したフォローアップ除染の結果をもとに、用いた除染手法毎の空間線量率の低減効果を別添1-4に示す。空間線量率の低減効果は用いた手法毎に様々である。土壌の削り取り及び被覆等の手法について一定の効果が認められるが、堆積物を除去する手法や高圧水洗浄による低減効果は限定的である傾向がうかがえる。

③表面線量率と空間線量率の低減効果の関係 (別添1-5参照)

フォローアップ除染による表面線量率と空間線量率の低減効果の関係を別添1-5に示す。空間線量率には、その直下の表面汚染のみでなく、周囲の様々な要因が影響しているため、空間線量率の低減率は表面線量率の低減率と比べると小さく、フォローアップ除染による表面線量率の低減は、空間線量率の大幅な低減には必ずしも結びつかないと考えられる。

以上のような知見も踏まえ、フォローアップ除染については、図2の実施手順に示したとおり、事後モニタリングによる空間線量率の測定結果や市町村において収集された個人被ばく線量の測定結果等から長期目標の達成状況を確認した上で、個々の宅地等における再汚染や取り残し等の除染の効果が維持されていない箇所を検討し、特定された箇所について、

- ・汚染の広がりや程度
- ・地形
- ・一回目の除染で実施した手法 (除染関係ガイドライン等に新たに位置づけられた手法が適用可能か、フォローアップ除染の実績から有効と考えられる手法があるか等)

等の諸条件を総合的に勘案し、環境省と市町村等との必要な協議を経て、適用すべき手法やその有効性等フォローアップ除染の合理性や実施可能性を判断し、実施することとする。

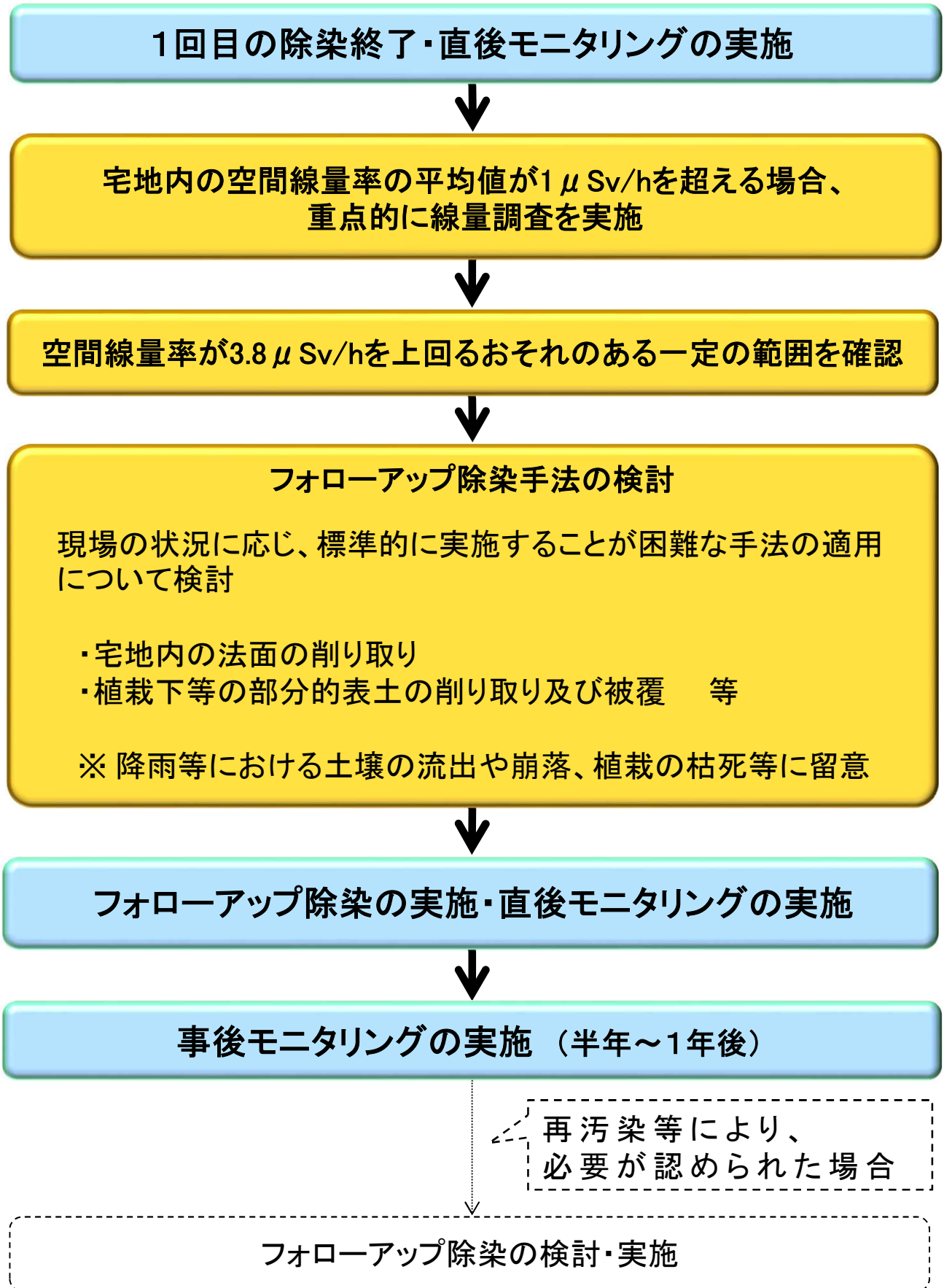


図1 居住制限区域の避難指示解除に向けた
フォローアップ除染の実施手順

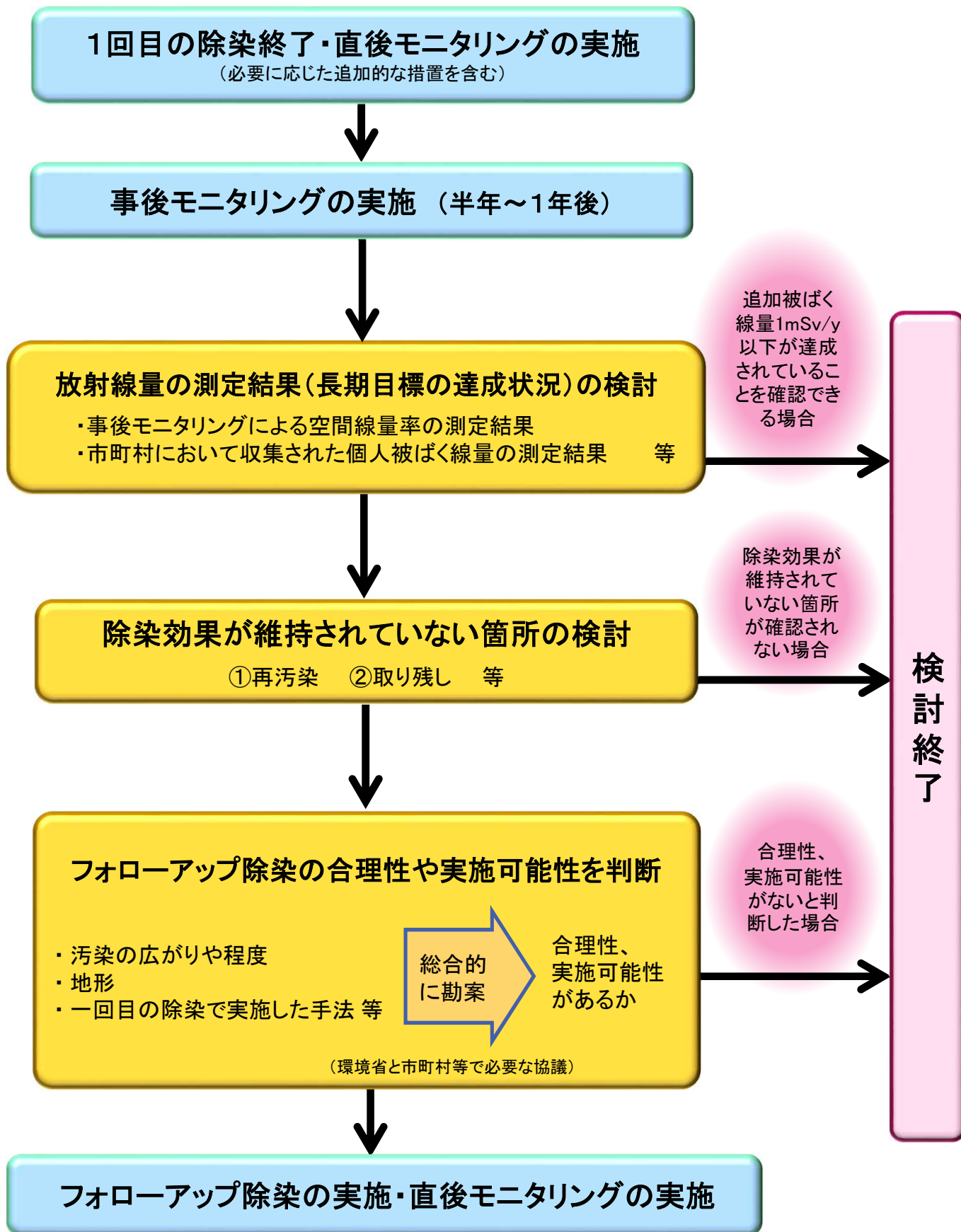


図2 フォローアップ除染の実施手順

※「居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染」を除く

1-1. 同じ手法を用いて除染を繰り返した場合の効果① (ウェットブラストのデータ)

- アスファルト道路における、ウェットブラストの処理時間と除染効果(空間線量率^{*})との関係から、除染処理の時間が一定の時間に達すると、それ以後、ほとんど低減効果が見られることがなく、同じ除染処理を繰り返しても、さらなる除染効果はそれほど期待できないことが示唆された。

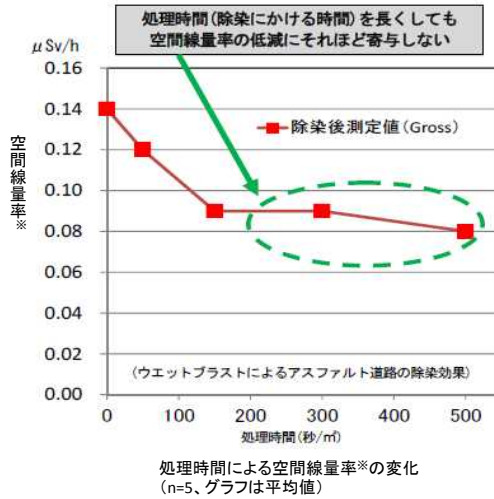
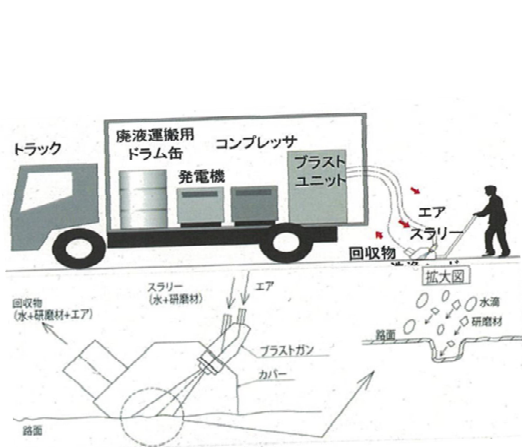


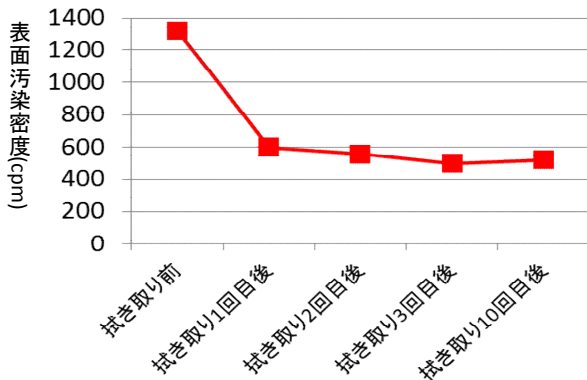
図:平成23年度「除染技術実証試験事業」

グラフデータ:「平成23年度除染技術実証試験事業(概要)」(独)日本原子力研究開発機構 福島技術本部

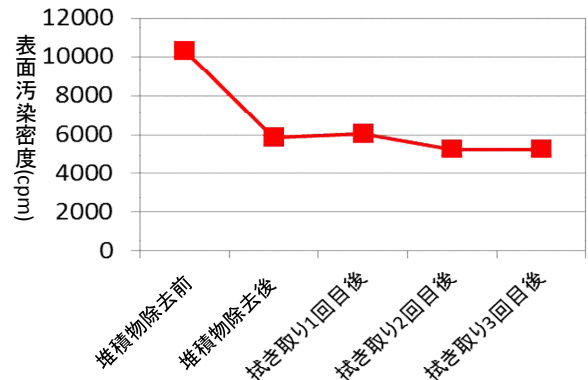
※鉛により遮蔽した高さ5mmの測定値

1-2. 同じ手法を用いて除染を繰り返した場合の効果② (拭き取り、堆積物除去のデータ)

- 居住制限区域・避難指示解除準備区域において環境省が実施した試験施工のうち、住宅地における拭き取りの回数と除染効果(表面汚染密度)との関係から、拭き取りの回数を増やしても表面汚染密度はほとんど変化がなく、堆積物除去後に拭き取りをしても表面汚染密度はほとんど下がらないことがわかった。



住宅地等の屋根・屋上を対象とした拭き取りの結果例
(n=3、グラフは平均値)

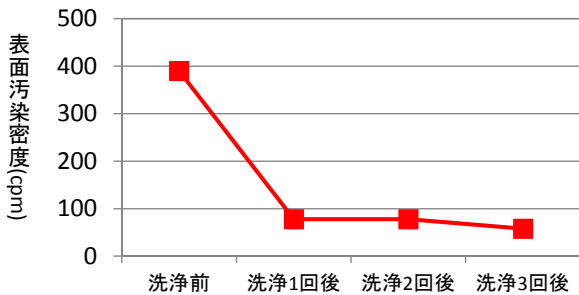


住宅地等の雨樋を対象とした堆積物除去および拭き取りの結果例
(n=3、グラフは平均値)

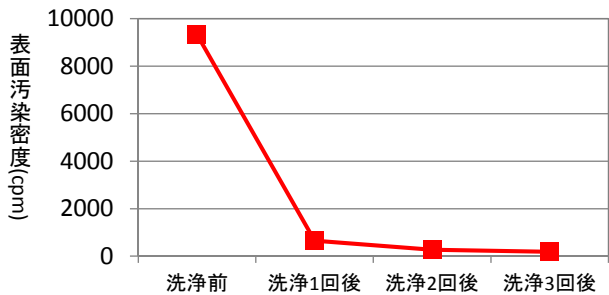
グラフデータ:平成26年度「除染に関する報告書」

1-3. 同じ手法を用いて除染を繰り返した場合の効果③ (高圧水洗浄のデータ)

- 同じく、居住制限区域・避難指示解除準備区域における試験施工のうち、幼稚園の屋上や学校のプールサイドを対象とした、高圧水洗浄の実施回数と除染効果(表面汚染密度)との関係から、1回目の高圧水洗浄により表面汚染密度は大きく減少するが、2回以上に回数を増やしても表面汚染密度はほとんど変わらないことがわかった。



幼稚園のシート防水の屋上を対象とした高圧水洗浄の結果例
(※洗浄圧15MPa)
(n=5、グラフは平均値)

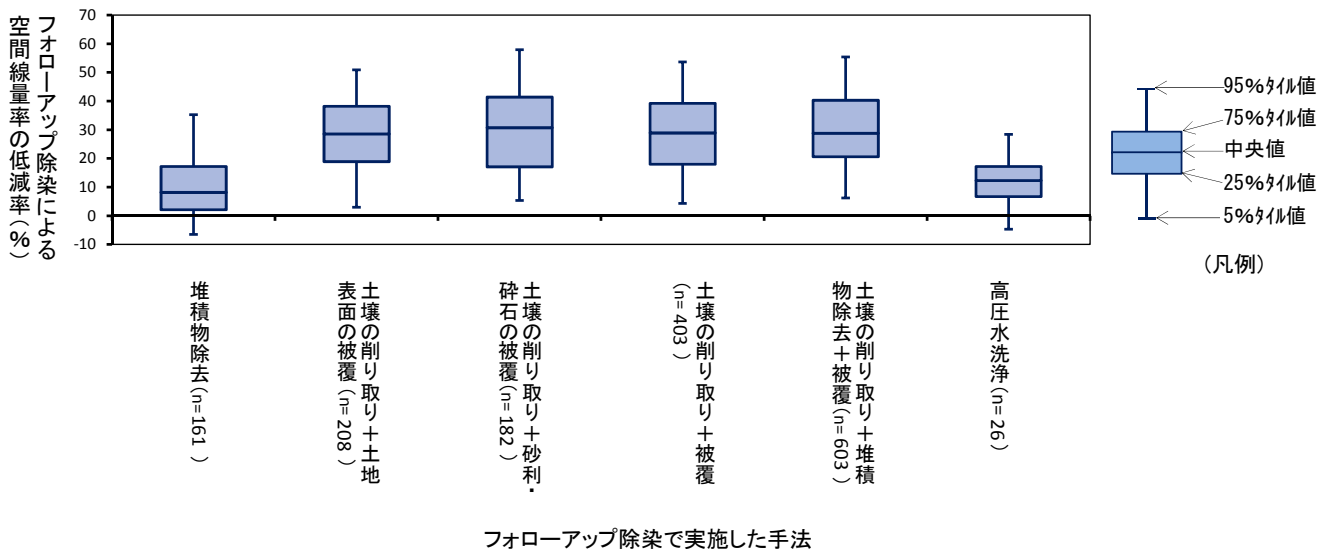


学校のプールサイド(表面素材はゴム系)を対象とした高圧水洗浄の結果例
(※洗浄圧15MPa)
(n=5、グラフは平均値)

グラフデータ: 平成26年度「除染に関する報告書」

1-4. 用いた手法別の低減効果

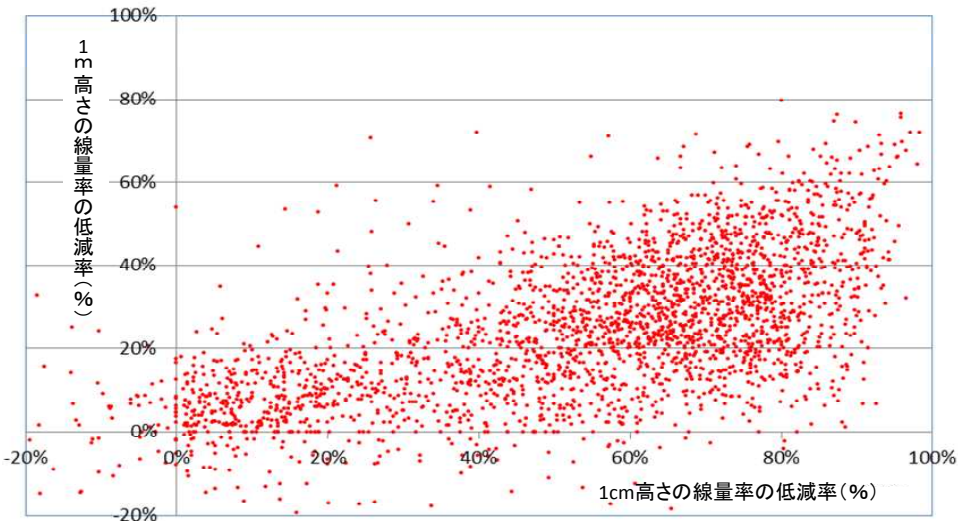
- 檜葉町でのフォローアップ除染で用いた様々な除染手法とフォローアップ除染の効果(低減率)との関係から、空間線量率の低減効果は用いた手法毎に様々である。土壌の削り取り及び被覆等の手法について一定の効果が認められるが、堆積物を除去する手法や高圧水洗浄による低減効果は限定的である傾向がうかがえる。



データ: 檜葉町の上繁岡・下繁岡におけるフォローアップ除染の結果

1-5. 表面線量率と空間線量率の低減効果の関係

- フォローアップ除染による表面線量率と空間線量率の低減効果の関係から、空間線量率には、その直下の表面汚染のみでなく、周囲の様々な要因が影響しているため、空間線量率の低減率は表面線量率の低減率と比べると小さく、フォローアップ除染による表面線量率の低減は、空間線量率の大幅な低減には必ずしも結びつかないと考えられた。



データ: 檜葉町におけるフォローアップ除染の結果

2-1. 居住制限区域における宅地の除染前後の空間線量率の状況

○ 一部の宅地は、除染後も空間線量率が比較的高い測定点がある。

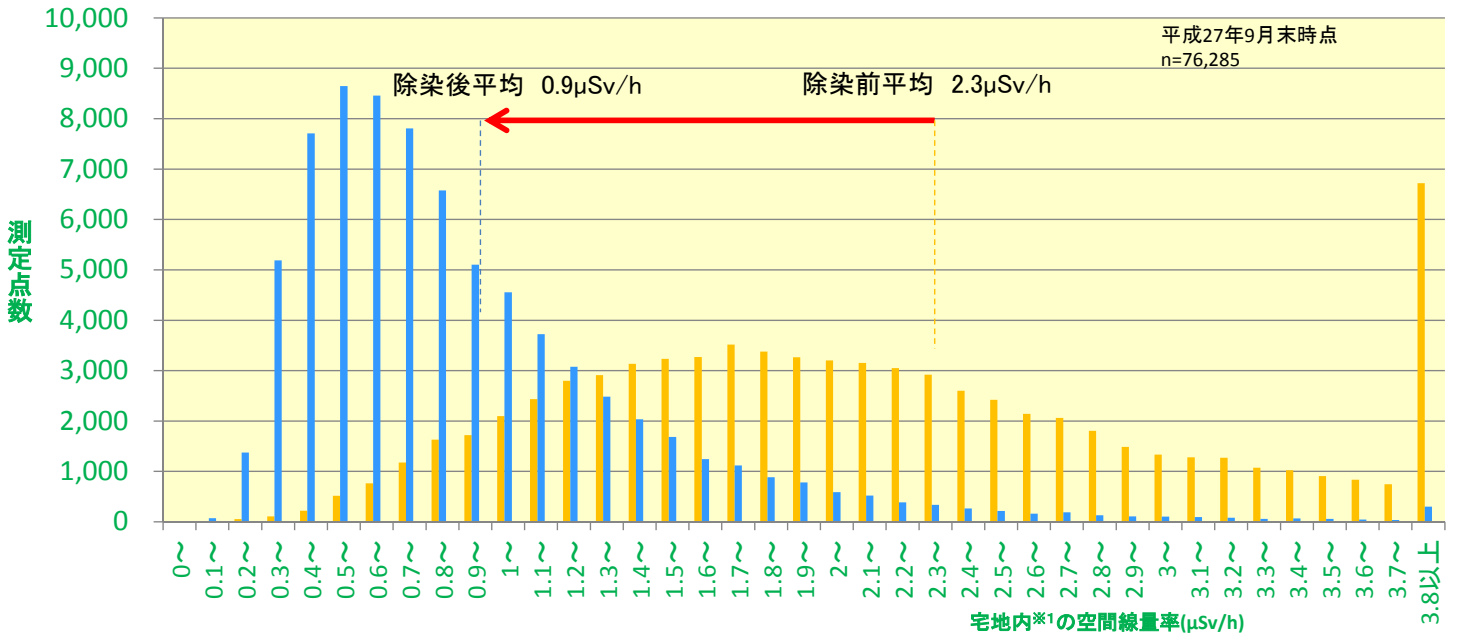


図. 居住制限区域における除染前後の宅地内空間線量率(1m)の度数分布
(川内村^{※2}、大熊町、葛尾村、川俣町、飯舘村、南相馬市、浪江町、富岡町)

※1：宅地における測定点全数を図示している。1軒あたり10-20箇所程度測定している。

※2：川内村については、現在は、避難指示解除準備区域に指定変更されている区域でのデータ。

2-2. 避難指示解除準備区域における宅地の除染前後の空間線量率の状況

○ 居住制限地域に比べ、除染前後の宅地内の空間線量率は低い。

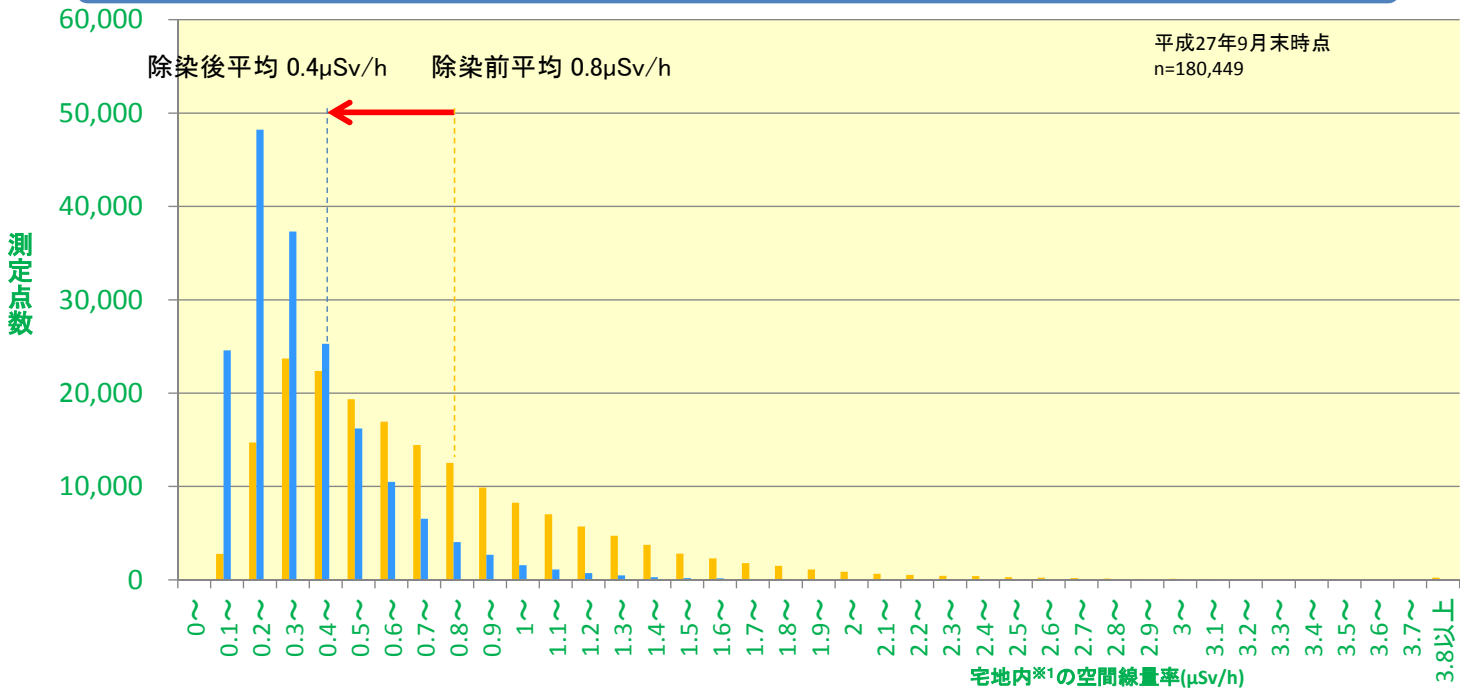


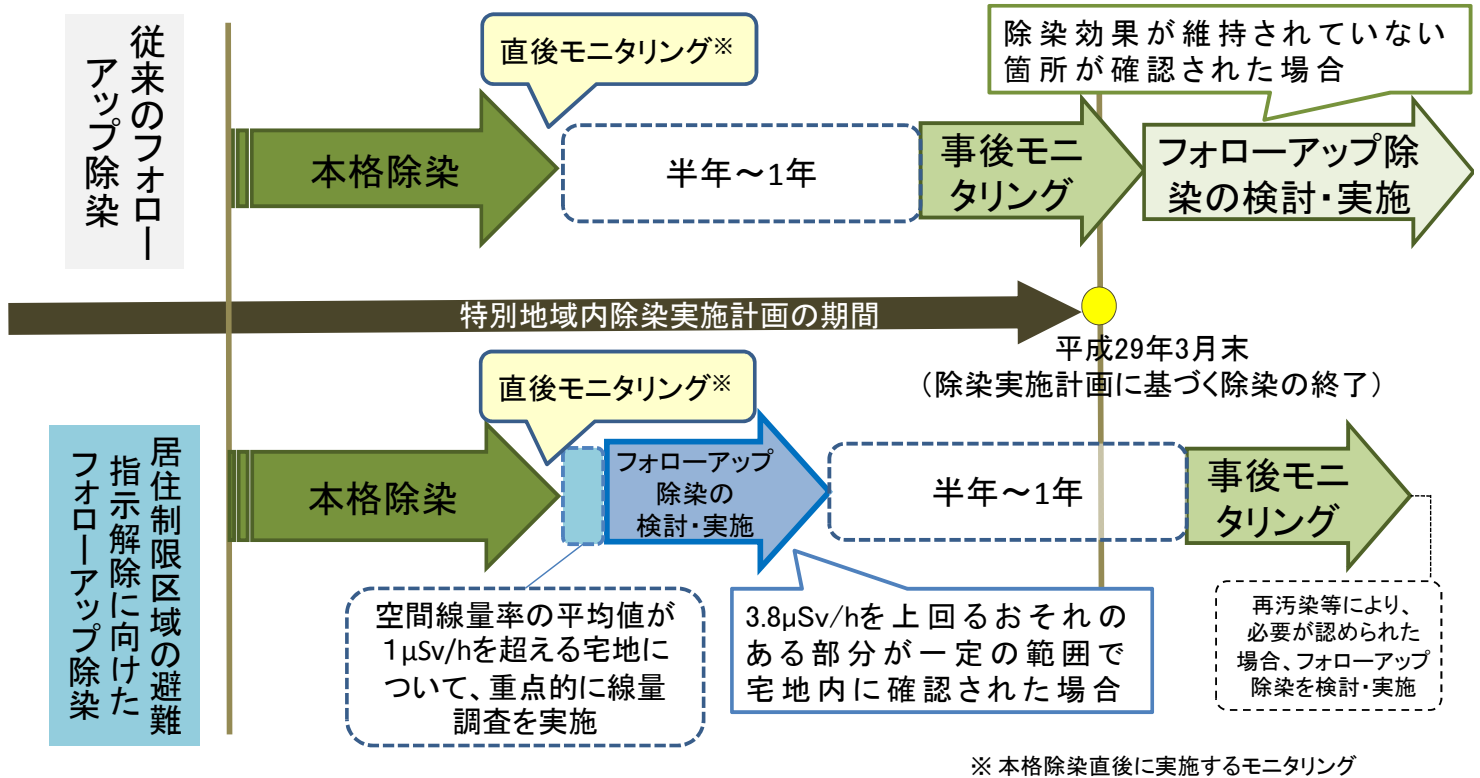
図. 避難指示解除準備区域における除染前後の宅地内空間線量率(1m)の度数分布
(田村市^{※2}、檜葉町^{※2}、川内村^{※2}、大熊町、葛尾村、川俣町、飯舘村、南相馬市、浪江町、富岡町、双葉町)

※1：宅地における測定点全数を図示している。1軒あたり10-20箇所程度測定している。

※2：田村市、檜葉町、川内村については、現在は、避難指示が解除されている区域でのデータ。

2-3. フォローアップ除染の実施時期

- 避難指示解除要件の達成により明確に貢献し、避難指示解除の迅速化を可能とする観点から、事後モニタリングを待たず本格除染直後のモニタリングを基にフォローアップ除染を実施する。



2-4. 居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染の対象箇所の検討

- 宅地の平均空間線量率が1μSv/h以上になると、宅地内に3.8μSv/h以上の測定点が散見される。

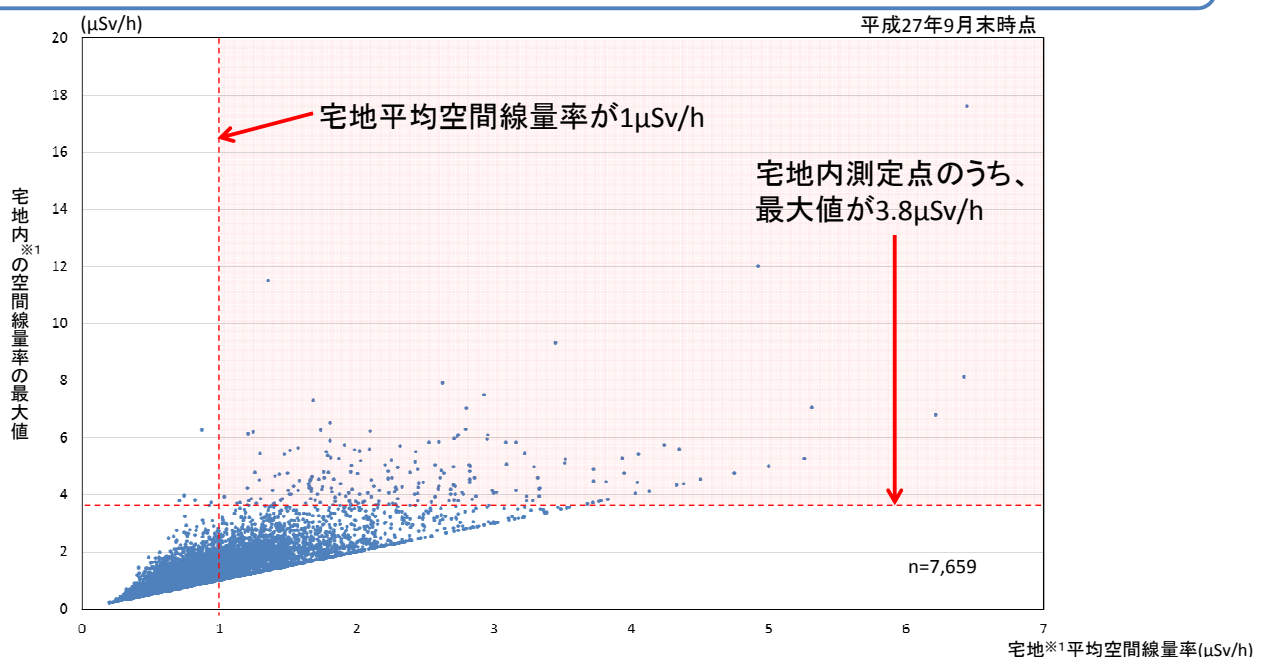


図. 居住制限区域における宅地内の空間線量率(1m)の平均線量と最大線量の関係
(川内村※2、大熊町、葛尾村、川俣町、飯舘村、南相馬市、浪江町、富岡町の居住制限区域)

※1：便宜的に、管理番号平均値および最大値をそれぞれ宅地平均値および最大値と見なして図示している。管理番号は、除染作業上宅地の単位ごとに設定しているが、宅地の敷地と一致しない場合もある。

※2：川内村については、現在は、避難指示解除準備区域に指定変更されている区域でのデータ。

2-5. フォローアップ除染前の線量調査の結果事例

1m高さ空間線量率

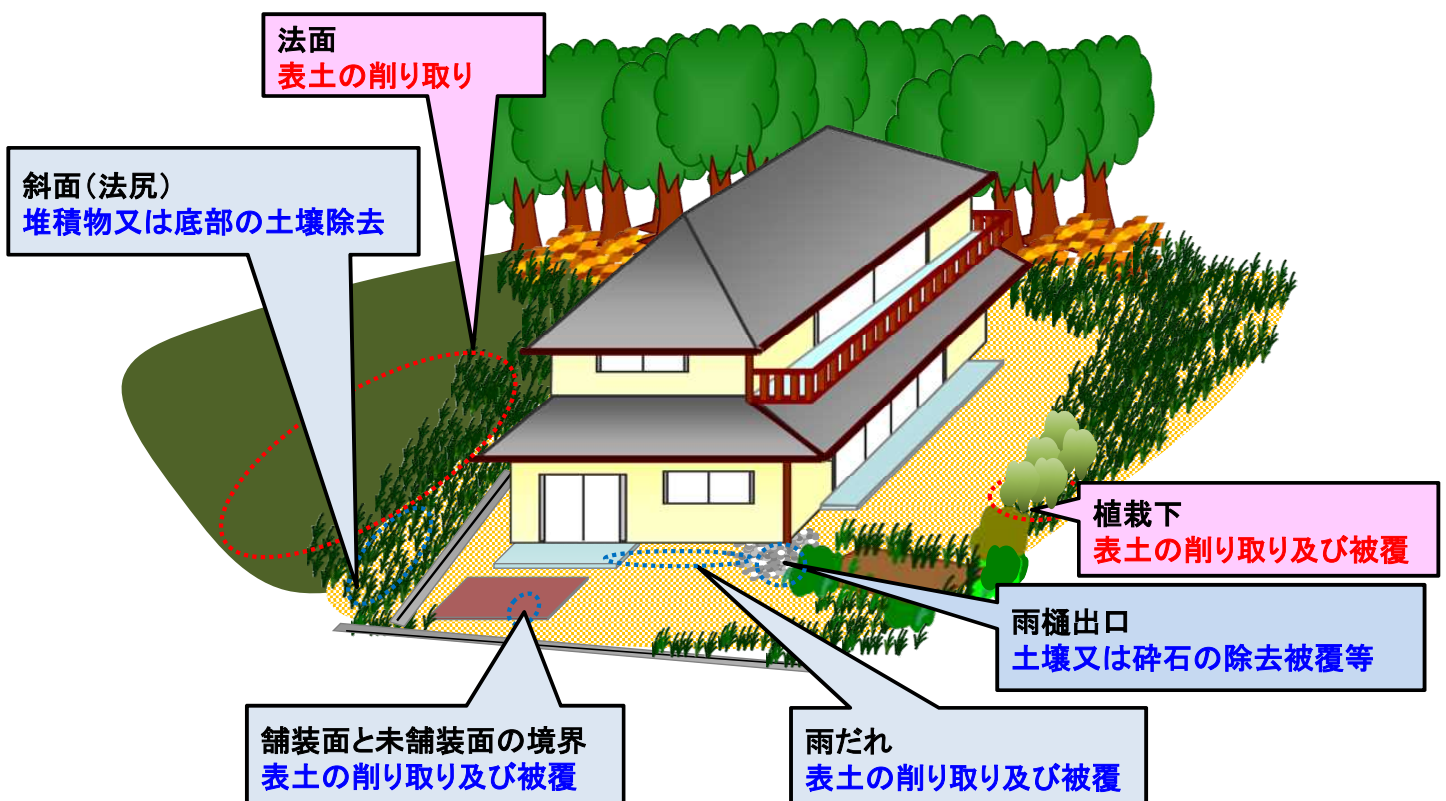


調査の手法: 線量上昇の原因となっている箇所を特定するため、歩行モニタリングにより1m高さ空間線量率を測定

2-6. 居住制限区域の避難指示解除に向けた宅地のフォローアップ除染方法のイメージ

青字: 従来のフォローアップ除染の手法

赤字: 従来のフォローアップ除染では標準的には実施してこなかった手法



2-7. 居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染手法

○ 居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染手法について、さまざまな条件で試験的に施工した結果は以下の通りとなった。

上段: 平均値
下段()内: 最小値～最大値

	事例数	施工前の1m高さ 空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	施工後の1m高さ 空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	試験施工 による 低減率
法面	13	2.2 (1.1～3.5)	1.2 (0.6～2.8)	45%
植栽下	16	1.4 (1.1～2.0)	0.8 (0.6～1.3)	42%

※実施箇所: 葛尾村、川俣町、飯舘村、南相馬市の一部

2-8. 居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染手法(その1)

● 宅地内の法面における削り取りの試験施工例1

施工前



施工後



<施工箇所> 1m高さ空間線量率: $3.05\mu\text{Sv/h}$
1cm高さ空間線量率: $3.26\mu\text{Sv/h}$

$1.02\mu\text{Sv/h}$ (67%減)
 $0.64\mu\text{Sv/h}$ (80%減)

● 宅地内の法面における削り取りの試験施工例2

施工前



施工後



<施工箇所> 1m高さ空間線量率: $4.10\mu\text{Sv/h}$
1cm高さ空間線量率: $3.40\mu\text{Sv/h}$

$2.40\mu\text{Sv/h}$ (41%減)
 $1.95\mu\text{Sv/h}$ (43%減)

(1) 除染の手法 : 法面の削り取り (2) 懸念事項 : 降雨時等における土壌の流出
(3) 留意したこと : 現場ごとに除染手法及び適用範囲を検討

2-9. 居住制限区域の避難指示解除に向けたフォローアップ除染の手法(その2)

●宅地内の植栽下における部分的表土の削り取り及び被覆の試験施工例

施工前



施工後



<施工箇所> 1m高さ空間線量率: 2.03 μ Sv/h
1cm高さ空間線量率: 1.11 μ Sv/h

0.60 μ Sv/h (70%減)
0.13 μ Sv/h (88%減)

- (1) 除染の手法 : 植栽下の部分的表土の削り取り及び被覆
- (2) 懸念事項 : 植栽の枯死リスク
- (3) 留意したこと : 残す植栽について個別に判断し、植栽下は丁寧に作業を実施

※施工例(2-8, 9)の1cm高さ空間線量率については、2-8. 試験施工例1以外は、コリメータ(測定機器の検出部に測定対象の外側にある線源からのガンマ線が入射することを防ぐための器具で、鉛等ガンマ線を遮蔽する材料で作られている)を使用した測定値。