

警戒区域、計画的避難区域等における 除染モデル実証事業

報告の概要

平成24年4月

内閣府原子力被災者生活支援チーム
独立行政法人日本原子力研究開発機構

目次

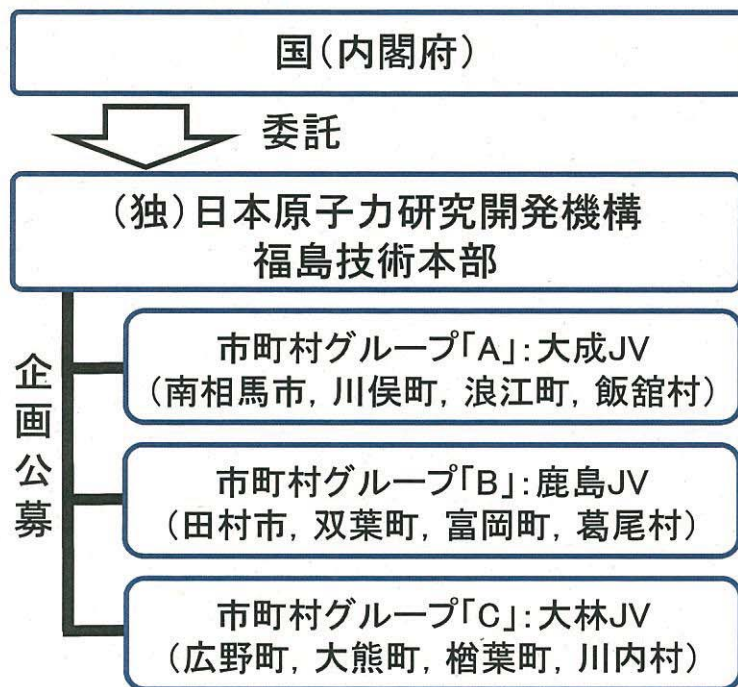
1. 除染モデル実証事業の概要および実施体制
2. 除染対象に関する分析
3. 除染付帯作業に関する分析
 - ・洗浄水の処理
 - ・枝葉等の除去物減容化方法
 - ・除去物発生量
 - ・仮置き場／現場保管場
 - ・除染作業員の放射線被ばく管理
4. 参考：除染モデル実証事業における面的除染の効果

1. 除染モデル実証事業の概要および実施体制

事業の概要

警戒区域、計画的避難区域等の12市町村を対象に、除染の効果的な実施のために必要となる技術の実証実験等を推進する。

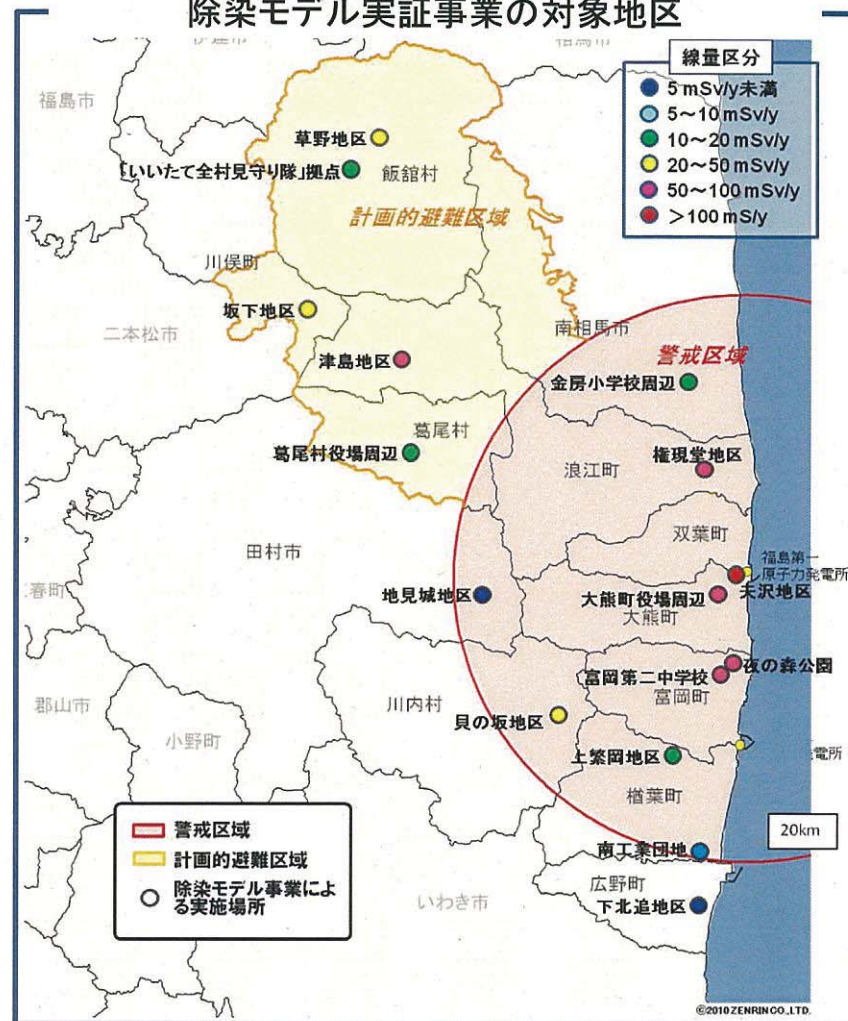
事業の実施体制



■ 各グループは、以下を含むように設定

- 様々な除染対象物: 森林、農地、宅地、建造物、道路
- 様々な線量率レベル: 高(>100mSv/年)、中(20~100mSv/年)、低(5~20mSv/年)

警戒区域、計画的避難区域における除染モデル実証事業の対象地区



双葉町については、町より除染モデル事業の実施は見送る旨、連絡あり。

各市町村の除染対象エリアの状況

※平成24年3月26日現在

グループ ／市町村		除染モデル実証事業 対象地区	除染対象(合計約209 ha)		除染作業 の状況※
			主な構成要素・特徴	広さ	
Aグループ	南相馬市	金房小学校周辺	農地、建造物(小学校)、道路、森林、宅地	約13 ha	終了
	川俣町	坂下地区	森林、農地、道路、宅地	約11 ha	終了
	浪江町	津島地区	建造物(中学校等)、森林、宅地、道路	約21ha	終了
		権現堂地区	建造物(駅・軌道、図書館等)、民家、道路、農地		
	飯舘村	草野地区	建造物(製作所、いいたてホーム等)、農地、民家、宅地、森林、道路	約17 ha	終了
		「いいたて全村見守り隊」拠点等			
Bグループ	田村市	地見城地区	農地、森林、宅地、道路	約15 ha	終了
	葛尾村	役場周辺	森林、建造物(小学校、役場)、宅地、道路	約6 ha	終了
	富岡町	夜の森公園	建造物(中学校、グランド等)、宅地、森林、道路(桜並木)	約12 ha	終了
		富岡第二中学校			
	双葉町	—	—	—	—
Cグループ	広野町	下北迫地区	建造物(役場、小・中学校、グランド)、宅地、森林、道路	約32 ha	作業中
	大熊町	役場周辺	建造物(役場、公民館、公園)、宅地、道路	約6 ha	終了
		夫沢地区	農地、森林、宅地、道路	約13 ha	作業中
	楢葉町	上繁岡地区	農地、宅地、森林、道路	約4 ha	作業中
		南工業団地	建造物(工場等)、道路	約37 ha	作業中
	川内村	貝ノ坂地区	農地、森林、民家、道路	約22 ha	作業中

2. 除染対象に関する分析

(除染対象に関して得られた知見)

(1) 宅地 P. 6

- ① ホットスポット P. 8
- ② 屋根 P. 9
- ③ 壁 P.12
- ④ 雨樋 P.13
- ⑤ コンクリート(たたき) P.14
- ⑥ 庭 P.15
- ⑦ 室内 P.16

(2) 大型建物 P.17

- ① ホットスポット P.18
- ② 屋根 P.19
- ③ 壁 P.20
- ④ 室内 P.22

(3) 農地 P.23

(4) 道路 P.27

(5) 公園・グラウンド P.33

① グラウンド P.34

② 遊具 P.35

(6) 森林・樹木 P.36

2. (1) 宅地 概要

○放射性セシウムの付着状況

- ◆ 土埃等が、雨の流れによってたまるところ(雨樋、雨だれ部)に、放射性セシウムが特に多く残留している。
- ◆ また、雨水が溜まる場所以外においては、宅地の庭の土面、土間コンクリート、アスファルト部に放射性セシウムが付着・残留しやすい傾向がある。
- ◆ 土埃等が流れ落ちてしまう壁面では、表面汚染密度は比較的低かった。
- ◆ 家屋屋根の材質の違い(いぶし瓦、釉薬瓦、セメント瓦、トタン)による放射性セシウムの付着・残留状況を調査した結果、セメント瓦の場合が最も多かった。これは、セメント瓦の表面状態の劣化が影響していると考えられる。
- ◆ また、焼付鉄板、スレートについては、放射性セシウムの残留は比較的少なかった。
- ◆ さらに、放射性セシウムは、屋根の特定箇所に付着・残留している傾向あり。
 - ー 屋根の部材(瓦、トタンなど)の重ね合わせ箇所
 - ー 屋根の部材の表面加工(瓦の釉薬部や塗装)が剥がれた箇所、錆等腐食が発生した箇所。
 - ー 屋根の汚れや樹液の付着箇所。
 - ー 雪止め箇所等屋根に降り積もった降下物を堰き止める箇所。
- ◆ 各部位の除染の結果により、全体的に線量率は低下するが、狭隘部等の除染作業が困難な場所や、庭木やその他障害物周辺などで除染後の線量率が他点と比べやや高い傾向が見られた。

2. (1) 宅地 概要

○除染方法

- ◆ 雨樋の堆積物を除去し、さらに拭き取ることによって高い除染効果が得られる。
- ◆ 屋根について、材質の違いによって除染効果に差異が確認された。
 - ー 粘土瓦と塗装鉄板にはデッキブラシによるブラッシングが有効。
 - ー 粘土瓦については、拭き取りも効果的。
 - ー 剥離剤は、スレート、セメント瓦に対しては、他の手法に比較して相対的に高い効果が認められた。
 - ー セメント瓦においては、いずれの除染方法においても効果が限定的であった。
- ◆ 剥離剤を用いた除染は、一部効果が認められた。また、除去物を周囲に拡散させないメリットはあるが、養生に1～3日を要し、冬季は養生中の温度管理が必要である等、作業性に課題がある。
- ◆ 壁について、トタン・サッシ・ガラス・木それぞれの材質のものに対し、「手洗い洗浄」、「ふき取り」、「高圧水洗浄」、「ブラッシング」を行ったところ、除染方法が異なっても除染後の表面汚染密度に大きな差異は確認されなかった。
- ◆ 雨樋については、拭き取りと高圧水洗浄の除染効果に顕著な違いは見られなかった。拭き取りの方が、汚染水が飛散しない等の点で作業性が良い。
- ◆ コンクリート(たたき)に対しては、高圧水洗浄だけでは、除染効果は限定的であったが、集塵サンダーによる表面切削が効果的である。また、高圧水洗浄については、金ブラシ等、他の手法を併用しても、その効果は変わらなかった。
- ◆ 庭については、ホットスポットとなっている雨樋下の砂利等の除去は効果が大きかった。
- ◆ コンクリート建て、木造建てにかかわらず、屋外の除染による線量低減効果とほぼ同比率で、屋内の線量も低減している。屋内の線量低減を目指すためには、周辺屋外の除染が重要である。

2. (1) 宅地 ②屋根 (その1)

○放射性セシウムの付着状況

- ◆ 家屋屋根の材質の違い(いぶし瓦、釉薬瓦、セメント瓦、トタン)による放射性セシウムの付着・残留状況を調査した結果、セメント瓦の場合が最も多かった。これは、セメント瓦の表面状態の劣化が影響していると考えられる。
- ◆ また、焼付鉄板、スレートについては、放射性セシウムの残留は比較的少なかった。
- ◆ さらに、放射性セシウムは、屋根の特定箇所に付着・残留している傾向あり。
 - ー 屋根の部材(瓦、トタンなど)の重ね合わせ箇所
 - ー 屋根の部材の表面加工(瓦の釉薬部や塗装)が剥がれた箇所、錆等腐食が発生した箇所。
 - ー 屋根の汚れや樹液の付着箇所。
 - ー 雪止め箇所等屋根に降り積もった降下物を堰き止める箇所。

根拠データは次ページに記載

2. (1) 宅地 ②屋根 (その2)

家屋屋根の材質(種類)の違いによる汚染状況
及び除染効果の違い

家屋	屋根の種類		表面汚染密度 ^{※1} (cpm/20cm ²)		平均値の 低減率%
			除染前	除染後	
HA	トタン	最小	0	70	75
		最大	6580	1430	
		平均	2550	630	
	塗装銅板	最小	100	100	*2
		最大	100	100	
	樹脂製波板	最小	1430	690	52
		最大	1430	690	
		平均	1430	690	
HB	トタン	最小	300	300	77
		最大	14100	3400	
		平均	4360	1020	
	釉薬瓦	最小	250	0	70
		最大	6900	3600	
		平均	3190	970	
	いぶし瓦	最小	350	0	82
		最大	700	200	
		平均	550	100	
	セメント瓦	最小	3000	1400	48
		最大	7000	5000	
		平均	5440	2840	
HC	トタン	最小	0	0	77
		最大	4500	1600	
		平均	1790	410	
	釉薬瓦	最小	0	0	74
		最大	700	400	
		平均	230	60	
	いぶし瓦	最小	200	50	70
		最大	2100	500	
		平均	880	260	
HD	トタン	最小	300	300	55
		最大	4100	1600	
		平均	1580	710	
HE	トタン	最小	1000	250	77
		最大	9300	1200	
		平均	3160	740	
HF	トタン	最小	0	0	70
		最大	3500	1700	
		平均	890	270	

※1: 1cm高さの計数率の測定結果から、1m高さの計数率の測定結果をB.Q.として引いた値。

※2: もとの汚染が少ないため、低減率が計算できなかった。

【瓦の製法】

セメント瓦: モルタル、またはセメントと石綿(アスベスト)を原料とし、型枠にいれてプレス・脱水・成型したもの。顔料を練りこむか、固まった後で、塗布して色を付ける。風化により塗膜が劣化し、表面に凹凸ができる。

粘土瓦: 粘土を混練、成形、焼成した屋根材の総称。釉薬を使用したものは釉薬瓦、使用していないものは無釉薬瓦に分けられる。いぶし瓦は無釉薬瓦である。

釉薬瓦: 粘土瓦のうち、釉薬を塗布して作られるもの。表面のガラス層が耐水性をもつ。

いぶし瓦: 素地の状態で瓦を焼成し、後にプロパンガスや水で希釈した灯油などを用いていぶし、表面に炭素膜を形成したもの。

家屋屋根の材質(種類)や箇所の違いによる汚染状況及び除染効果の違い
(cpm/20cm²)

屋根の種類	状態	除染前			除染後			低減率(%)
		最小	最大	平均	最小	最大	平均	
いぶし瓦 (土瓦)	きれいな瓦面	200	350	250	0	50	50	80
	汚れの付着部分			750			200	73
	重ね合わせ目の汚れ	1000	2100	1550	400	500	450	71
釉薬瓦 (陶器瓦)	きれいな瓦面	≒0	300	70	≒0	≒0	≒0	*2
	汚れの付着部分	2850	3000	2930	300	600	450	85
	重ね合わせ目の汚れ	1000	7000	4400	0	4000	1100	75 ^{*3}
	表面が欠けた部分	3650	6900	5320	500	3600	1970	63
	塗装面	≒0	1150	360	≒0	900	220	39 ^{*2}
トタン	汚れの付着部分	1500	9300	4060	≒0	1200	540	87
	軒先の汚れ	1400	10200	3480	200	1600	770	78
	重ね合わせ目の汚れ	1300	4100	2340	100	1700	650	72
	サビがある部分	700	14100	4930	500	3400	1580	64
	雪止め	300	6580	3120	100	930	760	76
	劣化した塗装面等	300	2530	1060	150	700	440	58

*1: 1cm高さの計数率の測定結果から、1m高さの計数率の測定結果をB.Q.として引いた値。

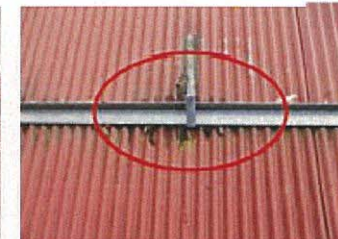
*2: 除染前の汚染が少ないため、低減率が小さい又は計算できなかった。



いぶし瓦
瓦の重ね合わせ箇所



釉薬瓦
釉薬の剥がれた箇所



トタン
雪止め箇所

2. (1) 宅地 ②屋根(その3)

○除染方法

- ◆ 粘土瓦と塗装鉄板にはデッキブラシによるブラッシングが有効であった。
- ◆ 粘土瓦については、拭き取りが最も効果的であった。
- ◆ 剥離剤は、スレート、セメント瓦に対しては、他の手法と比較して相対的に高い効果が認められた。
- ◆ セメント瓦においては、いずれの除染方法においても効果が限定的であった。

○その他

- ◆ 剥離剤を用いた除染は、一部効果が認められた。また、除去物を周囲に拡散させないメリットはあるが、養生に1～3日を要し、冬季は養生中の温度管理が必要である等、作業性に課題がある。

宅地部位の汚染箇所と屋根の除染結果

宅地部位		除染前汚染密度(cpm)	低減率(%)			
			デッキブラシ	拭き取り	ハンドポリッシャー	K-PACK
壁		約2,000	—	57%	—	—
屋根	焼付鉄板	約1,400～2,000	9%	13%	11%	0～16%
	スレート	約2,000～4,000	0%	24%	—	23～49%
	粘土瓦	約5,000～11,000	49%(ヒビ有0%)	77%(ヒビ有0%)	—	1～53%
	セメント瓦	約15,000～17,000	4%	0%	—	32%
	塗装鉄板	約10,000～20,500	34%	3%	—	15～18%
雨樋		約11,000				
庭		約10,000				
コンクリートたたき		約15,000				



焼付鉄板



スレート



粘土瓦



セメント瓦

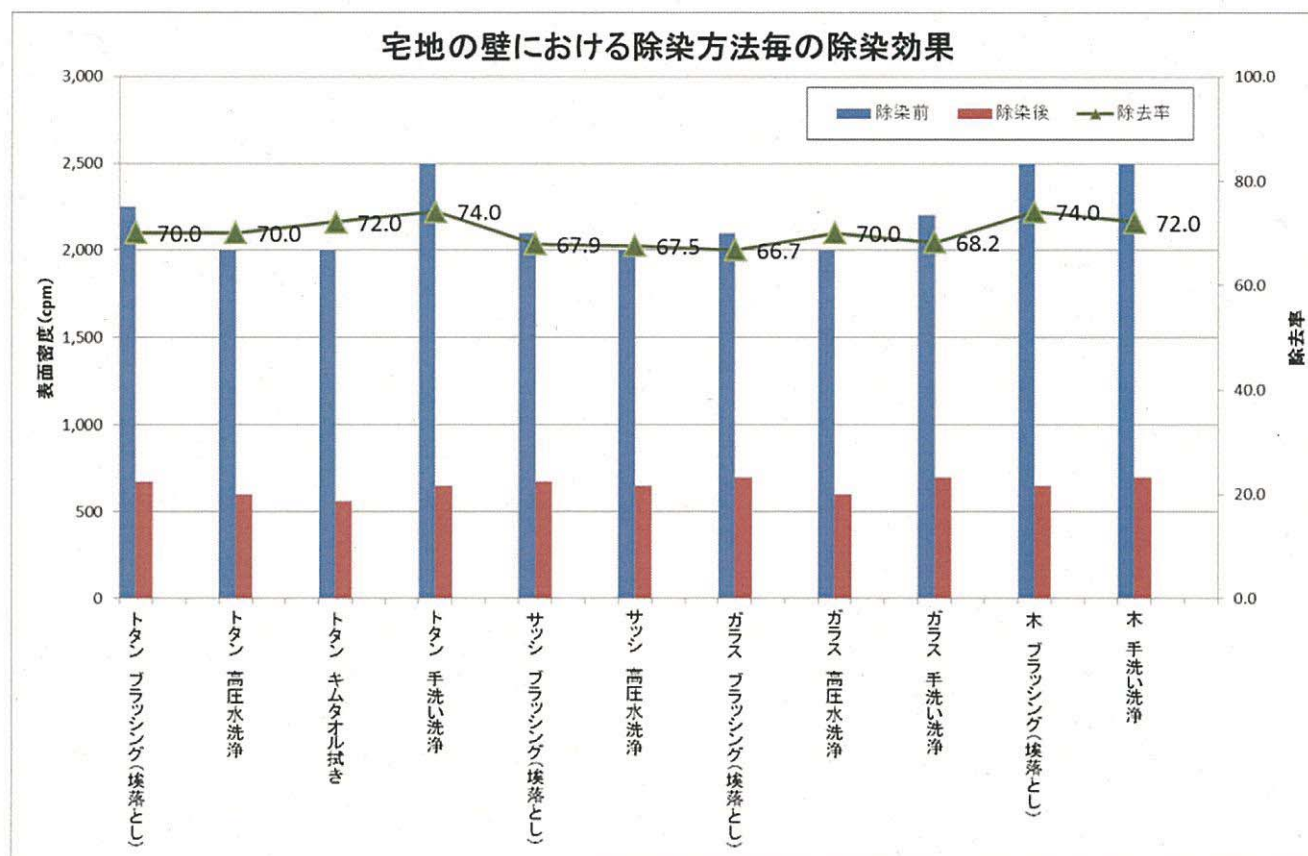


塗装鉄板

2. (1) 宅地 ③壁

○除染方法

- ◆ トタン・サッシ・ガラス・木それぞれの材質のものに対し、「手洗い洗浄」、「ふき取り」、「高圧水洗浄」、「ブラッシング」を行ったところ、除染方法が異なっても除染後の表面汚染密度に大きな差異は確認されなかった。
- ◆ この中で、特に「拭き取り」は、周囲に洗浄水を飛散させることがないため、作業性の観点からも有効な手段であるといえる。



2. (1) 宅地 ④雨樋

○除染方法

- ◆ 雨樋の拭き取りと高圧水洗浄の除染効果に顕著な違いは見られなかった。拭き取りの方が汚染水が、飛散しない等の点で作業性が良い。

雨樋に対する除染方法による除染効果の違い

除染方法	作業内容	表面汚染密度 低減率
拭き取り	雨樋に堆積物(土やコケなどが堆積)している場合は、除去した上でウエスや紙タオルで拭き取りを実施。	27～92%
高圧水洗浄	雨樋に堆積物(土やコケなどが堆積)している場合は、あらかじめ除去した上で、高圧水洗浄を実施。	55～66%



堆積物除去＋拭き取り作業

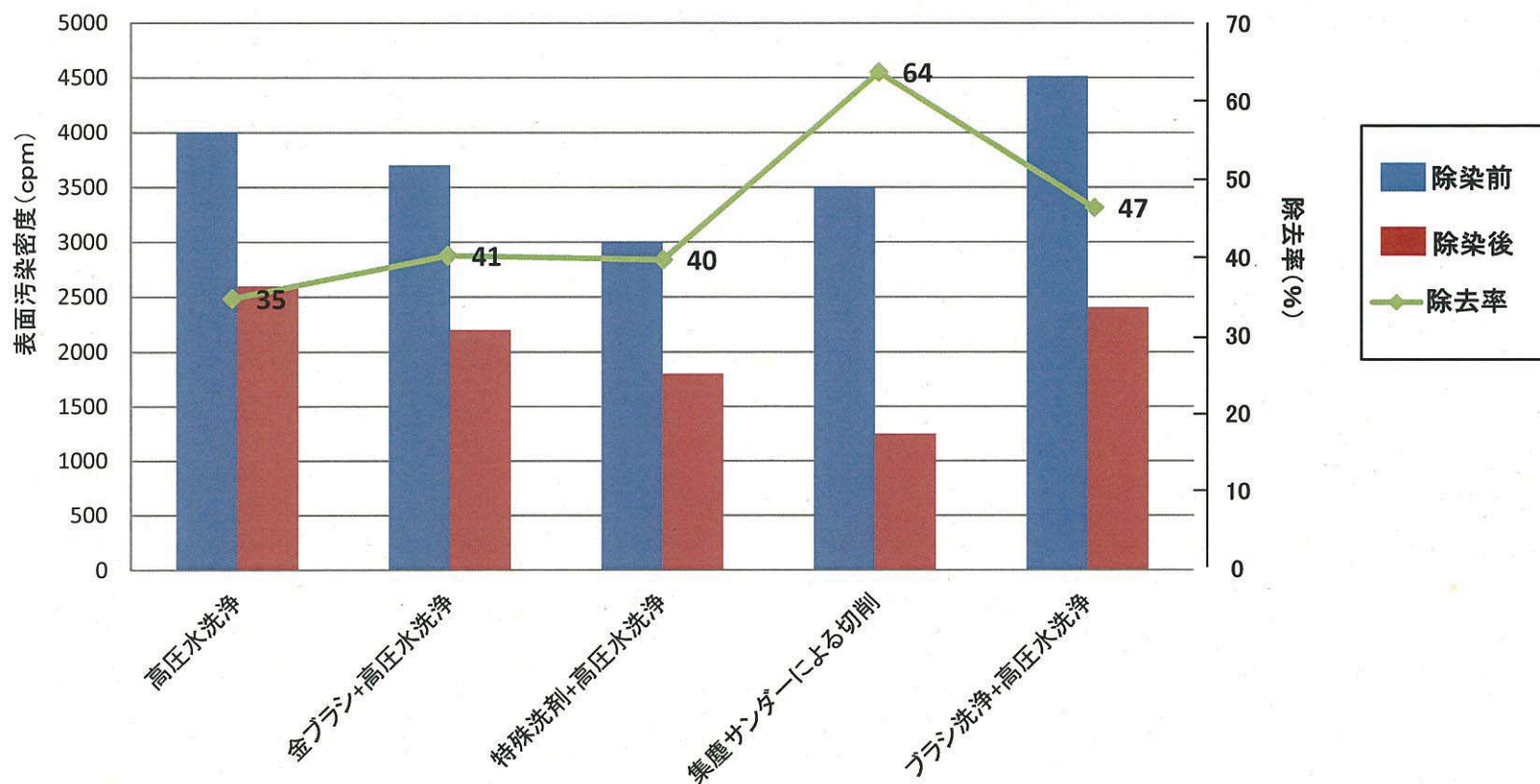


高圧水洗浄

2. (1) 宅地 ⑤コンクリート(たたき)

○除染方法

- ◆ コンクリート(たたき)には、高圧水洗浄では除染効果が限定的であったが、集塵サンダーによる表面切削が効果的である。
- ◆ 高圧洗浄水については、金ブラシ等、他の手法を併用しても、その効果は変わらなかった。



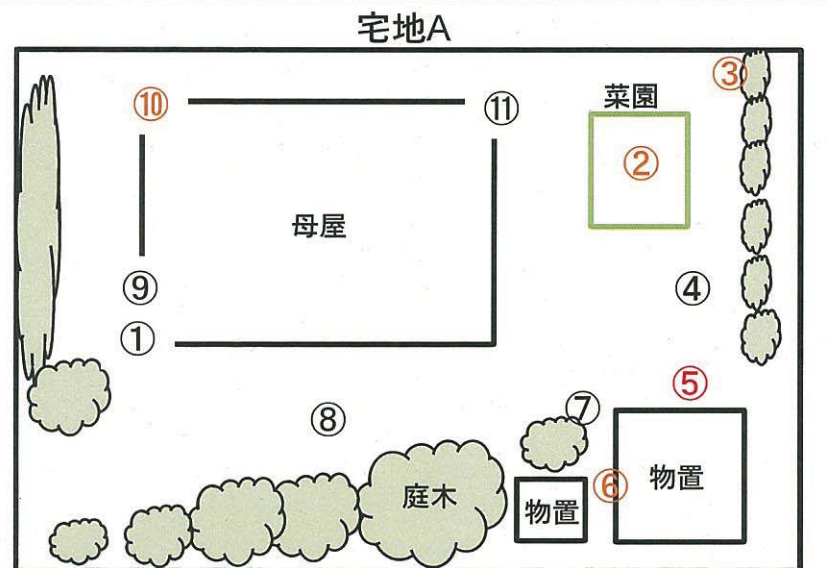
2. (1) 宅地 ⑥庭

○放射性セシウムの付着状況

- ◆ 各部位の除染の結果により、全体的に線量率は低下するが、狭隘部等の除染作業が困難な場所や、庭木やその他障害物周辺などで除染後の線量率が他点と比べやや高い傾向が見られた。

○除染方法

- ◆ ホットスポットとなっている雨樋下の砂利等の除去は効果大きい。



赤: 除染後の表面線量率が7 μ Sv/h以上の点
 橙: 除染後の表面線量率が5~7 μ Sv/h上の点

一般的な家屋の除染手法

- ・屋根: デッキブラシ(硬質ナイロン)
- ・雨樋(軒樋): 堆積物除去、拭き取り
- ・雨樋(竪樋): 高圧水洗浄、バキューム吸い取り
- ・雨樋下ホットスポット: 周辺50cm×50cm×深さ30cm程度を除去
- ・土、砂利: 2cm程度の剥ぎ取り
- ・庭木: 剪定

宅地Aに対する除染結果

測定場所	測定No	表面線量率(μ Sv/h)		空間線量率(μ Sv/h)		備考
		除染前	除染後	除染前	除染後	
敷地	①	11.3	2.4	6.7	2.9	角(砂利)
	②	15.0	5.3	8.2	4.7	菜園(土)
	③	13.4	5.7	8.2	5.1	庭(土)
	④	15.5	2.9	9.0	4.6	庭(土)
	⑤	11.9	7.6	8.7	7.3	庭(土)
	⑥	13.8	5.4	5.0	4.3	物置前
	⑦	12.2	4.4	9.0	4.5	庭木周り
	⑧	12.3	2.5	8.3	3.3	庭(砂利)
雨樋	⑨	5.4	3.3	5.6	3.1	雨樋
	⑩	14.5	6.7	6.6	4.9	雨樋(角樋)
	⑪	7.5	4.7	5.2	2.5	雨樋(角樋)

線量の高い要因 ③: 庭木周辺 ⑤: 障害物が存在 ⑥: 手が届きにくい等作業が困難な場所

宅地Bのホットスポット除去による除染結果

測定場所	測定No	表面線量率(μ Sv/h)		空間線量率(μ Sv/h)		備考
		除染前	除染後	除染前	除染後	
雨樋	-	140.0	11.1	13.8	7.9	雨樋(砂利)
	-	45.0	3.4	8.0	3.2	雨樋(砂利)

2. (1) 宅地 ⑦室内

◆ 建屋の放射線遮へい効果

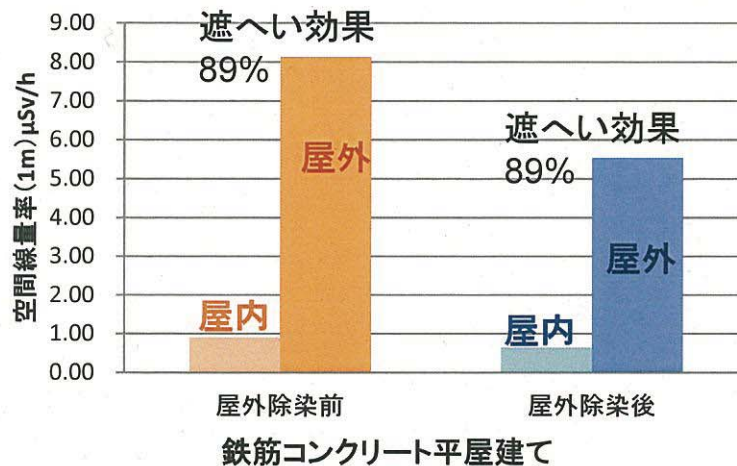
➤ 住宅建材による遮へい効果が確認された。またコンクリート建ての方が木造建てより高い遮蔽効果があった。

◆ 屋外の除染の効果

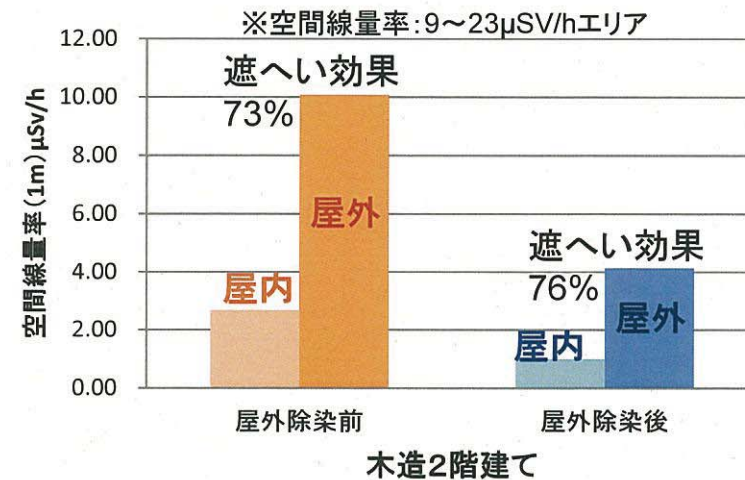
➤ コンクリート建て、木造建てにかかわらず、屋外の除染による線量低減効果とほぼ同比率で、屋内の線量も低減している。これは、屋外の除染効果が屋内における空間線量率の低減に寄与していることを意味している。

➤ 屋内の線量低減を目指すためには、周辺屋外の除染が重要である。

【建屋の放射線遮蔽効果と除染効果の室内外の比較】(屋内は除染していない)



屋内、屋外ともに低減率約3割とほぼ同比率



屋内、屋外ともに低減率約6割とほぼ同比率

2. (2) 大型建物 概要

○放射性セシウムの付着状況

- ◆ 大型建物に付着した土埃等が、雨の流れによって溜まる箇所(雨樋、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。
- ◆ 雨水の排水経路にあって、土砂が堆積したり、苔が生えているような場所では、周辺部より高い線量が確認された。
- ◆ 大型建物の壁は、土間や床に比べて表面汚染密度が低い傾向がある。一方、雨だれ等の状況によって汚染している壁も認められた。

○除染方法

- ◆ コンクリート(防水加工付)の屋上は、高圧水洗浄が効果的であった
- ◆ コンクリート(モルタル)の屋上では、高圧水洗浄(約10MPa)を実施した場合、高圧水洗浄にブラッシングを加えた場合、ナノバブル洗浄、過酸化水素水等、特殊溶液を活用した場合のいずれにおいても、効果は限定的であった。
- ◆ 壁では、いずれの材質(スチール、ブリキ、ガラス、木)に対しても、拭き取り、高圧水洗浄で効果に大きな差は見られなかった。
- ◆ 作業性の観点からすると、周囲に洗浄水を飛散させない「拭き取り」による除染が有効であると考えられる。

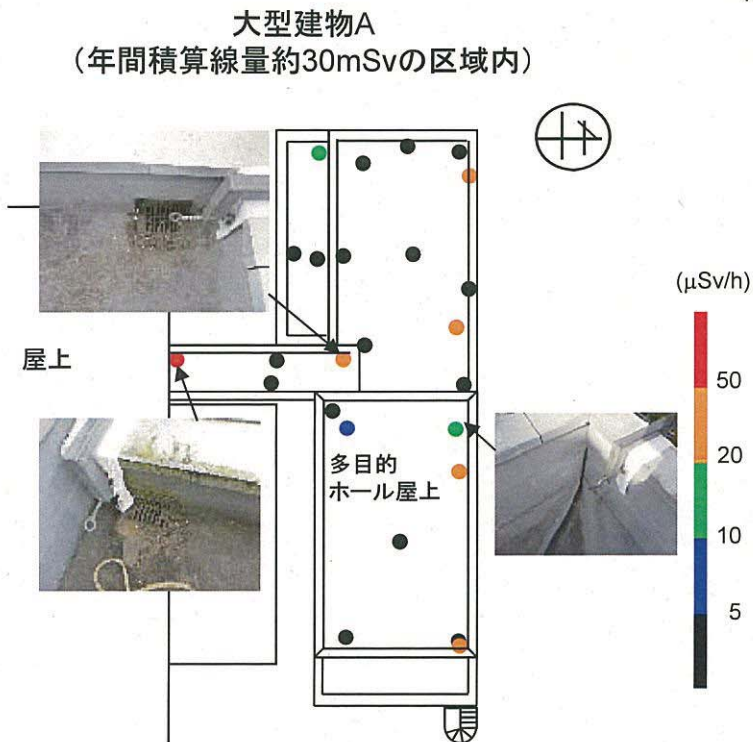
○その他

- ◆ 室外の除染効果が室内における空間線量率の低減に影響していた。これは、室内で計測される放射線量のうち室外の放射性物質から放出される放射線によるものを低減できた結果によると考えられる。

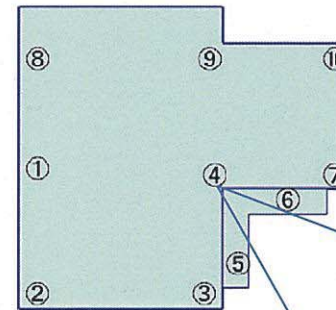
2. (2) 大型建物 ①ホットスポット

○放射性セシウムの付着状況

- ◆ 大型建物に付着した土埃等が、雨の流れによって溜まる箇所(雨樋、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。
- ◆ 雨水の排水経路にあって、土砂が堆積したり、苔が生えているような場所では、周辺部より高い線量が確認された。



大型建物B
(年間積算線量約50mSvの区域内)



測定点	空間線量率	
	1cm ($\mu\text{Sv/h}$)	1m ($\mu\text{Sv/h}$)
①	22.67	3.83
②	22.42	4.47
③	210.0	10.99
④	540.0	23.16
⑤	13.45	3.62
⑥	13.74	4.73
⑦	160.0	12.0
⑧	68.33	7.02
⑨	3.06	3.75
⑩	8.99	5.35



⑦から①、④の方向を撮影



④拡大図

2. (2) 大型建物 ②屋根

○除染方法

- ◆ コンクリート(防水加工付)、軽量コンクリートの屋上は、高圧水洗浄が効果的であった。
- ◆ コンクリート(モルタル)の屋上では、高圧水洗浄(約10MPa)を実施した場合、高圧水洗浄にブラッシングを加えた場合、ナノバブル洗浄、過酸化水素水等、特殊溶液を活用した場合のいずれにおいても、効果は限定的であった。

屋上材質	場所	除染手法	表面汚染密度 (cpm)		表面汚染密度 低減率
			除染前	除染後	
モルタル	大型建物C	高圧水洗浄に加え、回転ワイヤブラシによるブラッシング	38,500	16,200	58
モルタル	大型建物C	3%過酸化水素水とオゾン水を加えたナノバブル水を用いた高圧水洗浄	40,600	24,100	41
モルタル	大型建物C	高圧水洗浄	40,000	24,400	39
モルタル	大型建物C	ナノバブル水を用いた高圧水洗浄	40,100	18,200	57
モルタル	大型建物C	3%過酸化水素水を加えた水による洗浄	48,600	23,800	51
防水加工	大型建物C	高圧水洗浄	65,000	4,300	93
防水加工	大型建物A	水洗浄、ポリッシャー洗浄	21,229	4,006	81
防水加工	大型建物D	高圧水洗浄	420	280	33
軽量コンクリート	大型建物E	高圧水洗浄	25,220	5,830	77

大型建物C
(年間積算線量約65mSv
の区域内)



防水加工



モルタル

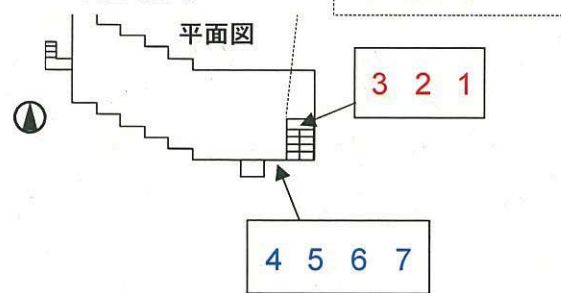
- ・大型建物A: 年間積算線量約30mSvの区域内)
- ・大型建物C: 年間積算線量約65mSvの区域内)
- ・大型建物D: 年間積算線量約10mSvの区域内)
- ・大型建物E: 年間積算線量約30mSvの区域内)

2. (2) 大型建物 ③壁

○放射性セシウムの付着状況

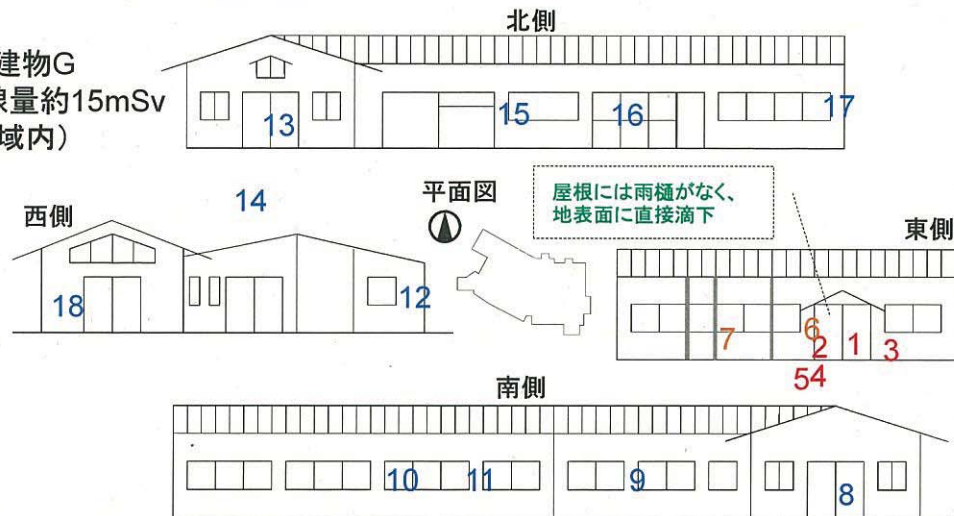
- ◆ 大型建物の壁は、土間や床に比べて表面汚染密度が低い傾向がある（例えば、大型建物F）。一方、雨だれ等の状況によって汚染している壁も認められた（例えば、大型建物Gの場合、東面は他の面に比べて高い傾向があった。）。

大型建物F
(年間積算線量約40mSv
の区域内)



No.	測定箇所	方向・材質等	表面汚染密度 (cpm)
1	階段床	コンクリート	15,500
2	階段床	コンクリート	6,750
3	階段床	コンクリート	18,900
4	壁	コンクリート	340
5	壁	コンクリート	310
6	壁	コンクリート	430
7	壁	コンクリート	410

大型建物G
(年間積算線量約15mSv
の区域内)



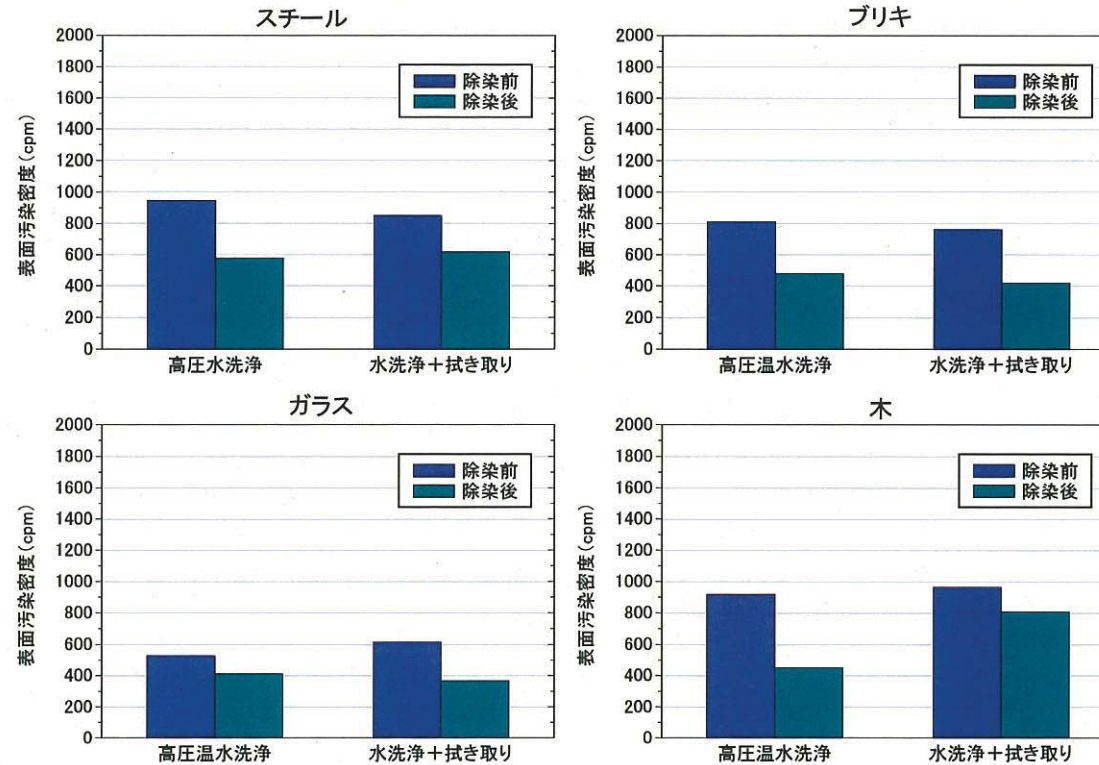
赤: 表面汚染密度が2,000cpmを超える箇所
 橙: 表面汚染密度が1,000～2,000cpmの箇所

No.	測定箇所	方向・材質等	表面汚染密度 (cpm)
1	玄関	ガラス	3800
2	玄関	ステンレス柵	3150
3	壁	コンクリート	2750
4	土間	コンクリート	3190
5	土間	レンガ	3110
6	その他	木	1190
7	柱	コンクリート	1130
8	扉	ガラス	710
9	壁	コンクリート	670
10	窓	ガラス	530
11	壁	コンクリート	670
12	壁	木	550
13	扉	ガラス	380
14	土間	コンクリート	410
15	壁	コンクリート	640
16	窓	ガラス	470
17	壁	コンクリート	670
18	壁	木	450

2. (2) 大型建物 ③壁

○除染方法

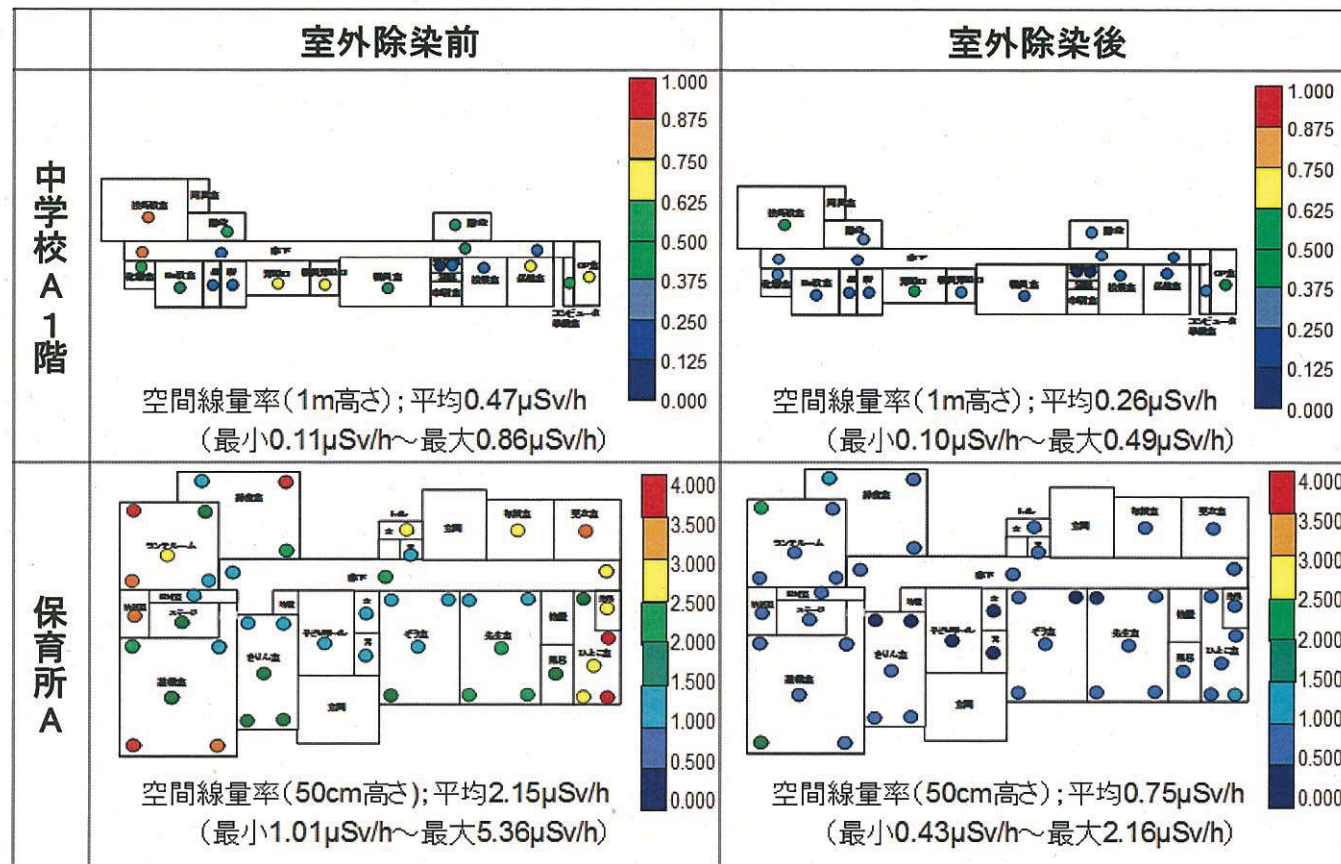
- ◆ 壁では、いずれの材質(スチール、ブリキ、ガラス、木)に対しても、拭き取り、高圧水洗浄で効果に大きな差は見られなかった。
- ◆ 作業性の観点からすると、周囲に洗浄水を飛散させない「拭き取り」による除染が有効であると考えられる。



2. (2) 大型建物 ④室内

◆ 室外の除染の影響

- 室外の除染効果が室内の線量低減効果に影響していた。これは、室内で計測される放射線量のうち室外の放射性物質から放出される放射線による寄与について低減できた結果によると考えられる。



<室内は除染しておりません。室外を除染したことによる空間線量率の変化を示しています>

2. (3) 農地

○放射性セシウムの付着状況

- ◆ 表層～深さ約5cmに80%以上の放射性セシウムが付着・残留する傾向があった。
- ◆ 事故直前に耕していた農地では、放射性セシウムが他よりも深く浸透している傾向がみられた。
- ◆ 田と畑と果樹園との間で、放射性セシウムの沈着・残留傾向に顕著な違いはみられなかった。

○除染方法

- ◆ 農地については、深度方向の放射性セシウム分布を調査した上で、攪拌耕・反転耕・天地返し・表土剥ぎ取りの深さを決定し実施する事が有効である事を確認した。
- ◆ また、農地については、概ね、「攪拌耕 < 反転耕 ≤ 天地返し ≒ 表土除去」という除染効果の違いがみられた。
ただし、除去土壌量については、「攪拌耕 ≒ 反転耕 ≒ 天地返し ≪ 表土除去」であった。
- ◆ 反転耕、天地返しは、除去土壌の発生がないにもかかわらず、表土剥ぎと同等の線量低減効果があった。



攪拌耕(人力)



反転耕(プラウ)



天地返し
(バックホウ)



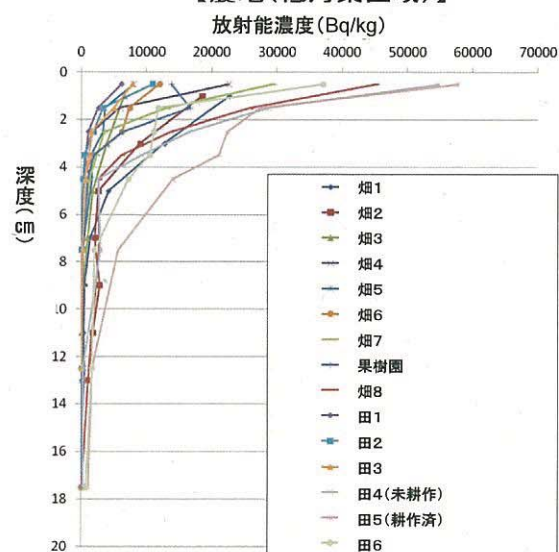
表土剥ぎ取り
(バックホウ)

2. (3) 農地

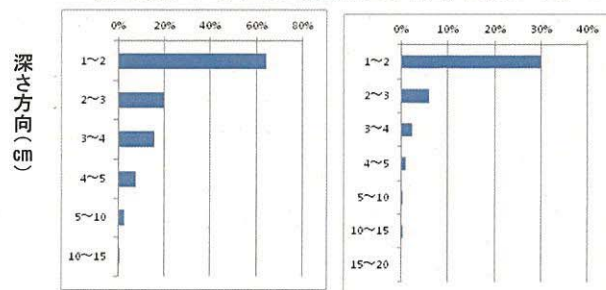
○放射性セシウムの付着状況(その1)

- ◆ 低・中・高汚染区域と比較すると、深さ方向の放射性セシウムの付着・残留の分布に顕著な違いはみられなかった。
- ◆ 表層～深さ約5cmまでに80%以上の放射性セシウムが付着・残留する傾向があった。
- ◆ 田と畑と果樹園の間で、放射性セシウムの付着・残留傾向に違いはみられなかった

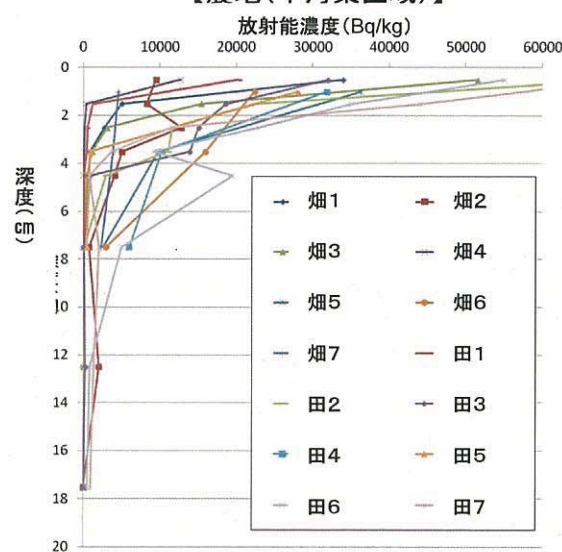
【農地(低汚染区域)】



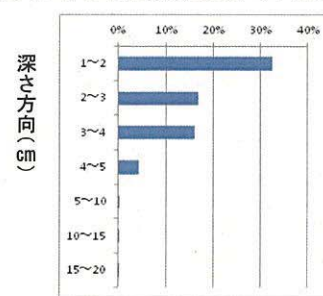
深度分布(対地表濃度比)(低汚染区域)



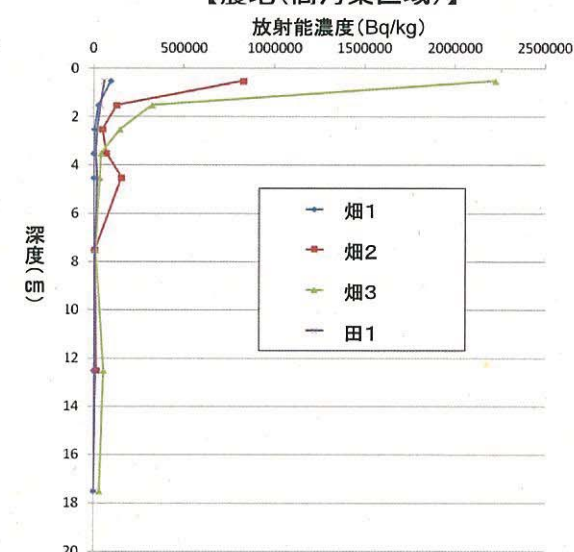
【農地(中汚染区域)】



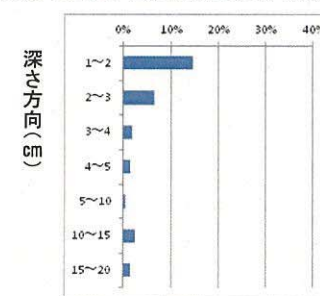
深度分布(対地表濃度比)(中汚染区域)



【農地(高汚染区域)】



深度分布(対地表濃度比)(高汚染区域)

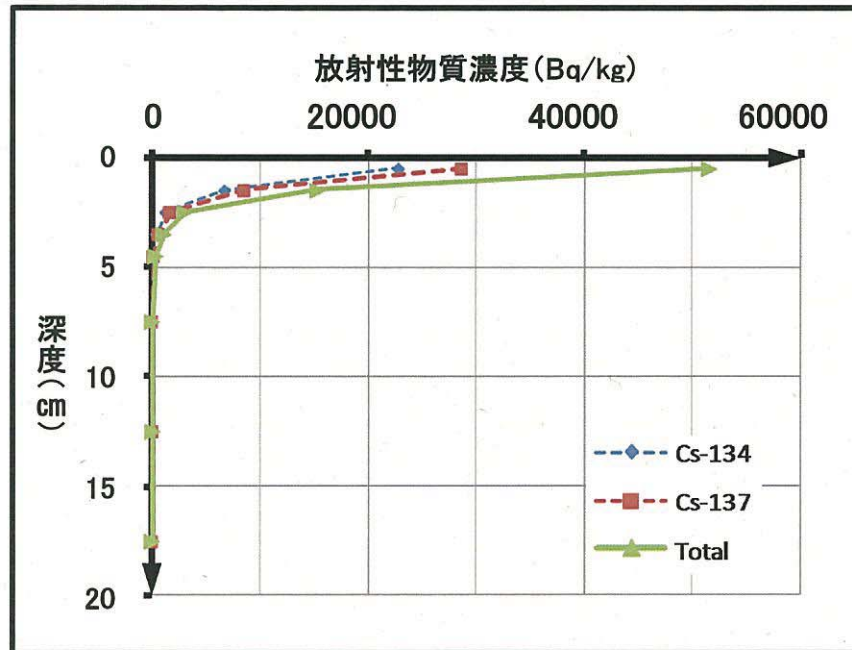


※地中の放射性セシウムの測定値は、試料採取時に表層部土壤が混入してしまうこと等による誤差が発生する場合があります。

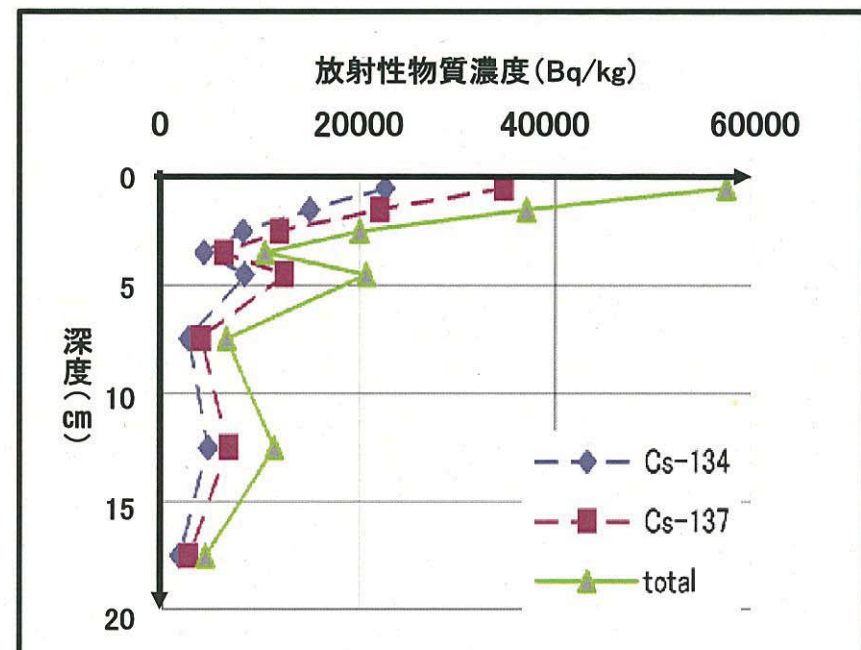
2. (3) 農地

○放射性セシウムの付着状況(その2)

- ◆ 事故直前に、土を耕している田(田起こし)では、耕していない田よりも深くまで放射性セシウムが浸透しており、トラクタの轍等の凹凸により濃度分布がばらついていた。



一般的な田畑の
セシウム濃度分布



事故前(H23/2月頃)に田起こした田畑の
セシウム濃度分布

※放射能濃度の測定値は、サンプリング手法、測定手法等による誤差が含まれる。

2. (3) 農地

○除染方法

- ◆ 表面汚染密度の低減効果は、概ね「攪拌耕 < 反転耕 ≤ 天地返し ≒ 表土剥ぎ」であった。
- ◆ ただし、除染実施面積あたりの発生除去土壌量については、「攪拌耕 ≒ 反転耕 ≒ 天地返し ≪ 表土剥ぎ」であった。
- ◆ 反転耕、天地返しは、除去土壌の発生がないにもかかわらず、表土剥ぎと同等の線量低減効果があった。

【除染効果の実績】

除染方法 (例)	使用機材	表面汚染密度 低減率(%)	除去物量 (m ³ /ha)	備考
攪拌希釈 (深さ10～25cm)	耕運機	約20～30	なし	計測データは、コリメータによる遮へい無しのデータ。
反転耕 (深さ30cm)	トラクタ+プラウ	約65～80	なし	
天地返し (5cm厚さ表土を深さ50cm土と入れ替え)	バックホウ	約65	なし	
表土剥ぎ取り (3cm剥ぎ取り)		約45～80	約350	
表土剥ぎ取り (5cm剥ぎ取り)		約65～95	約600	

2. (4) 道路

○放射性セシウムの付着状況

- ◆ 道路(舗装面)は、周辺の農地やグラウンドなどの土面上と比べ、空間線量率が低い傾向がある。これは事故以降の降雨等により、道路(舗装面)の表面に付着した放射性物質が洗い流されたことによるものと考えられる。
- ◆ 高線量地域のアスファルト舗装面の表面汚染密度の深度分布を測定した結果、放射性物質は密粒度の舗装面では表面から深度約2～3mm程度、多孔質なアスファルト舗装(透水性舗装等)でも表面から深度約5mm程度までにほとんど留まっていることが明らかとなった。
- ◆ 表面線量率と表面汚染密度の関係から、一部の道路(舗装面)で表面密度が比較的高い値を示すことがある。舗装面は農地やグラウンドなどの土面に比較し、放射性セシウムがごく表面に近いところに偏在しているため、固体中の飛程が短いベータ線の寄与が表面汚染密度に顕著に表れることに起因すると考えられる。これは放射性物質濃度の深さ方向の分布とも対応している。

○除染方法

- ◆ 舗装道路に対する除染方法として、「切削」は、除染効果は高いが、他の方法に比べると発生除去物量が多い。放射性物質は、アスファルト舗装面表面のごく近傍(数mm程度)にその大部分が付着・残留していることも踏まえると、切削厚さを可能な限り薄くすることにより発生除去物量を減らしながら、高い除染効果を達成することが可能。
- ◆ 「洗浄」は、「切削」と比較すると、路面を削り取ることによる除去物が発生しないという特長があるが、除染効果は高くなく、また、洗浄水の回収・処理が必要となる。
- ◆ アスファルト舗装面に対しては、「清掃(乾式路面清掃等)」や「洗浄(高圧洗浄、機能回復車等)」による除染よりも、表面の「剥離・切削(ウォータージェット、ショットブラスト、TS切削機等)」による除染のほうが効果的。
- ◆ 「剥離・切削」する手法を適用する場合、機械作業となるため、建物や塀の近傍などは、作業困難な場合があり、また、歪曲・損耗した路面では、除染効果にムラが生じる場合もある。

2. (4) 道路

乾式清掃車(路面清掃車)



湿式清掃車(機能回復車)



切削(ウォータージェット)



切削(ショットブラスト)



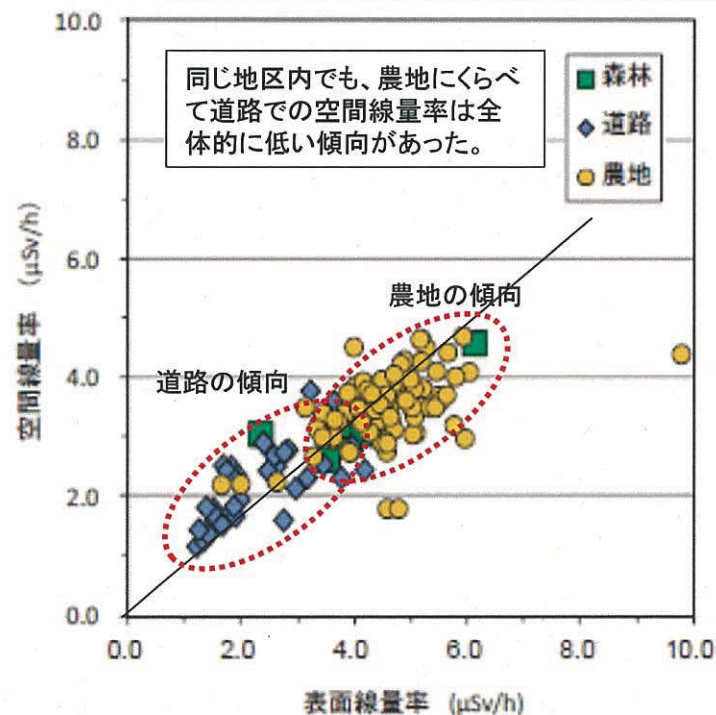
切削(TS切削機)



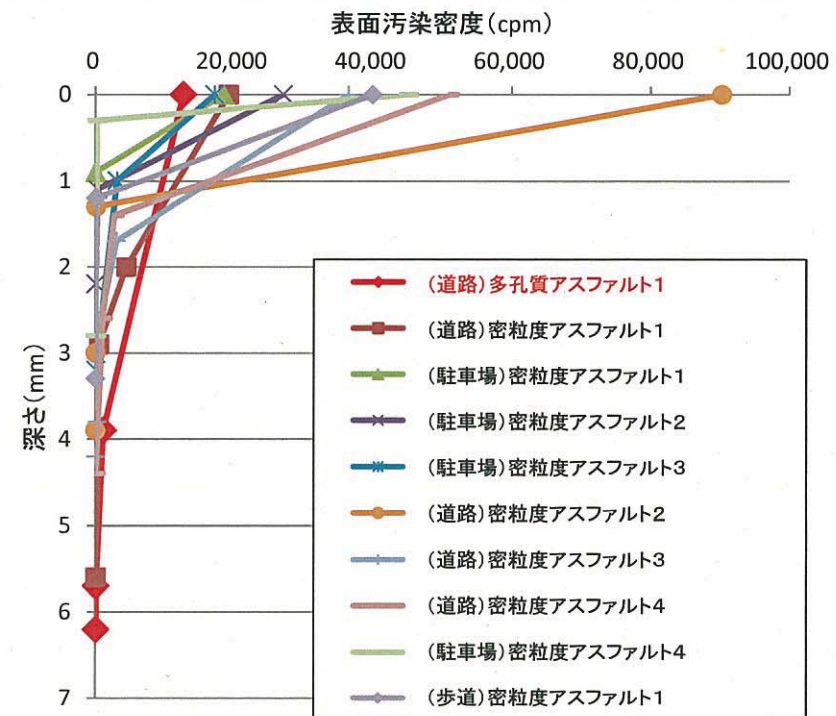
2. (4) 道路

○放射性セシウムの付着状況(その1)

- ◆ 道路(舗装面)は、周辺の農地やグラウンドなどの土面上と比べ、空間線量率が低い傾向がある。これは事故以降の降雨等により、道路(舗装面)の表面に付着した放射性物質が洗い流されたことによるものと考えられる。
- ◆ 高線量地域のアスファルト舗装面で表面汚染密度の深度分布を測定した結果、放射性物質は密粒度の舗装面では表面から深度約2～3mm程度、多孔質なアスファルト舗装(透水性舗装等)でも表面から深度約5mm程度までにほとんど留まっていることが明らかとなった。



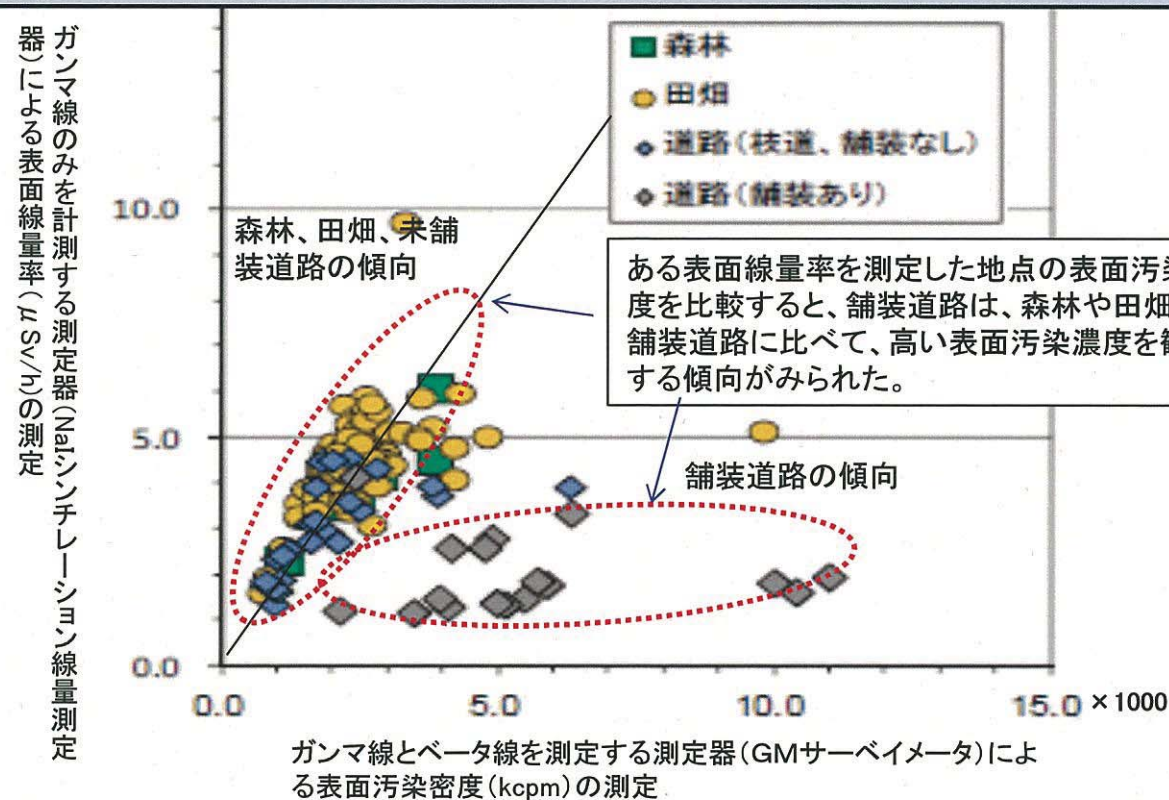
土地利用区分毎の表面線量率と空間線量率の関係



2. (4) 道路

○放射性セシウムの付着状況(その2)

- ◆ 放射性セシウムがごく表面に近いところに偏在している場合、飛程が短いベータ線でも減衰しにくいこと、及びGMサーベイメータではガンマ線よりもベータ線に対する感度が高いことから、このベータ線の寄与がGMサーベイメータによる表面密度測定値に顕著に表れてくることとなる。
- ◆ 表面線量率と表面汚染密度の関係をみると、ある表面線量率を測定した地点の表面汚染濃度を比較すると、舗装道路は、森林や田畑、未舗装道路に比べて、高い表面汚染濃度を観測する傾向がみられた。
- ◆ これらを考えると、舗装道路においては、ごく表面に放射性セシウムが付着しているものと考えられる。



2. (4) 道路

○除染方法(その1)

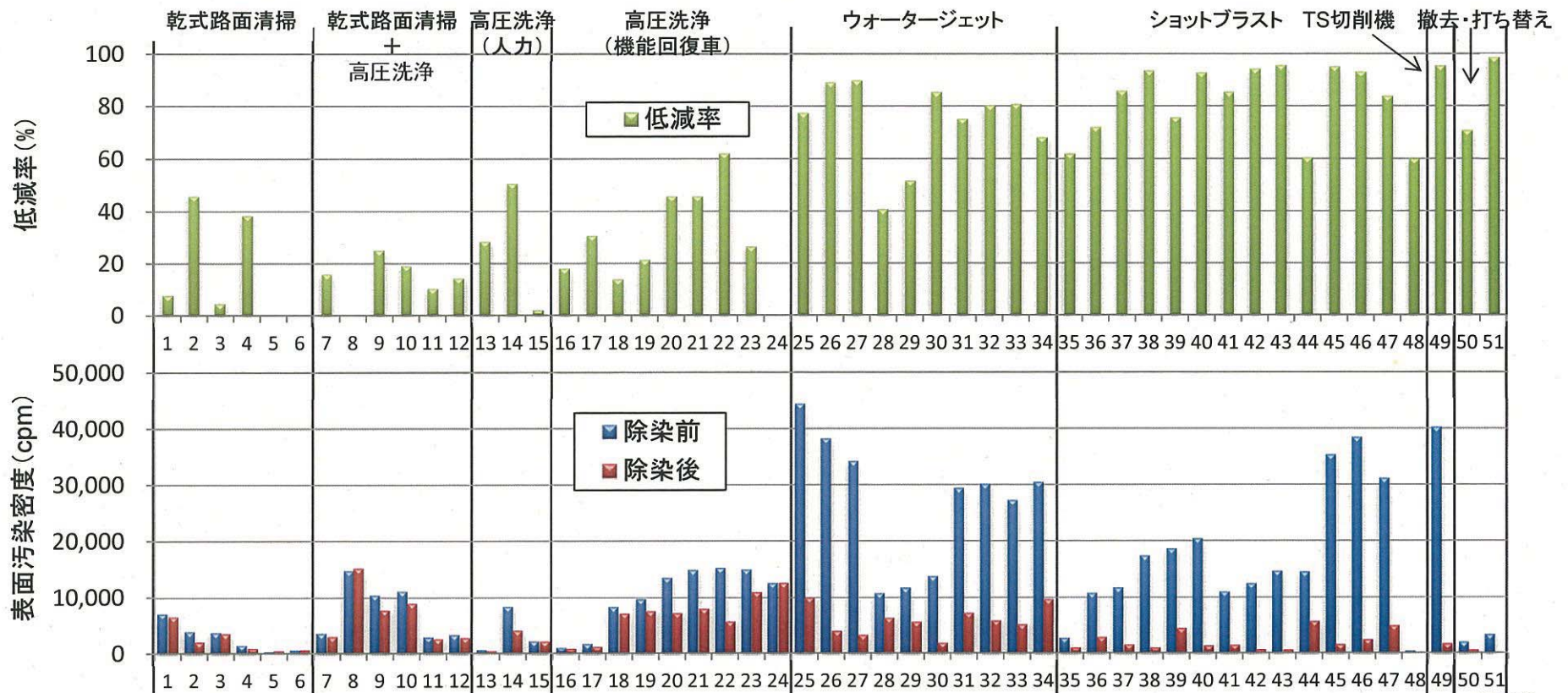
- ◆ 舗装道路に対する除染方法として、「切削」は、除染効果は高いが、他の方法に比べると発生除去物量が多い。放射性物質は、アスファルト舗装面表面のごく近傍(数mm程度)にその大部分が付着・残留していることも踏まえると、切削厚さを可能な限り薄くすることにより発生除去物量を減らしながら、高い除染効果を達成することが可能。
- ◆ 「洗浄」は、「切削」と比較すると、路面を削り取ることによる除去物が発生しないという特長があるが、除染効果は高くなく、また、洗浄水の回収・処理が必要となる。

		機能	注意事項	表面汚染濃度低減率(%)
清掃 (乾式除染)	路面清掃車	ブラシにより、路面に堆積した土砂等を掃き取る特殊車両。	アスファルト舗装の細孔に入り込んだ細かい土埃まで除去することが困難。	約0～50%
洗浄 (湿式除染)	高圧水洗浄	5～15MPa程度の高圧水により、路面に堆積した土埃・堆積物を洗い流す方法。	洗浄水の汚染濃度により必要に応じて処理が必要となる。 アスファルト舗装の細孔に入り込んだ細かい土埃まで除去することが困難。	約2～50%
	機能回復車	道路の透水性を確保するため、アスファルトの目地につまった土埃・堆積物を高圧水(約5.5MPa)により洗い出し、バキュームで吸い取る機能をもつ特殊車両	切削に比べると除去物量は少ないが、水処理が必要。 歪曲・損耗した路面では、除染効果が低くなり、回収率も低下する。	約0～60%
切削	超高圧水洗浄	最大240MPaの超高圧によりアスファルト舗装面の主にストレートアスファルトを薄く削り、汚染水をバキュームにより回収する方式	他の切削方式に比べると除去物量は少ないが、水処理が必要。 歪曲・損耗した路面では、ムラが生じる。	約40～90%
	ブラスト処理	投射材(主に、小さな鉄球)を路面に高速でぶつけて、路面表面を薄く削り、削り屑を投射材ごとバキュームで回収する方法。	歪曲・損耗した路面では、ムラが生じる。 降雨時は、投射材(鉄球)の回収が困難なため作業困難。	約60～95%
	路面切削機	路面表層部を切削する機械。	建物や塀の近傍などでは作業半径の確保上作業が困難な場合がある。	約95%

2. (4) 道路

○除染方法(その2)

- ◆ アスファルト舗装面に対しては、「清掃(乾式路面清掃等)」や「洗浄(高圧洗浄、機能回復車等)」による除染よりも、表面の「剥離・切削(ウォータージェット、ショットブラスト、TS切削機等)」による除染のほうが効果的。
- ◆ 「剥離・切削」する手法を適用する場合、機械作業となるため、建物や塀の近傍などでは、作業困難な場合があり、また、歪曲・損耗した路面では、除染効果にムラが生じる場合もある。



2. (5) 公園・グラウンド

○放射性セシウムの付着状況

- ◆ 公園・グラウンドにおいては、ほとんどの地点において表面から、深度約5cm程度の範囲に放射性セシウムの80%以上が沈着している傾向がみられた。
- ◆ 劣化したゴム製の遊具や金属製の遊具の錆の部分には、放射性セシウムが付着・残留している傾向が高く、金属製の遊具（表面が平滑なもの）には、放射性セシウムが付着・残留している傾向が低い。

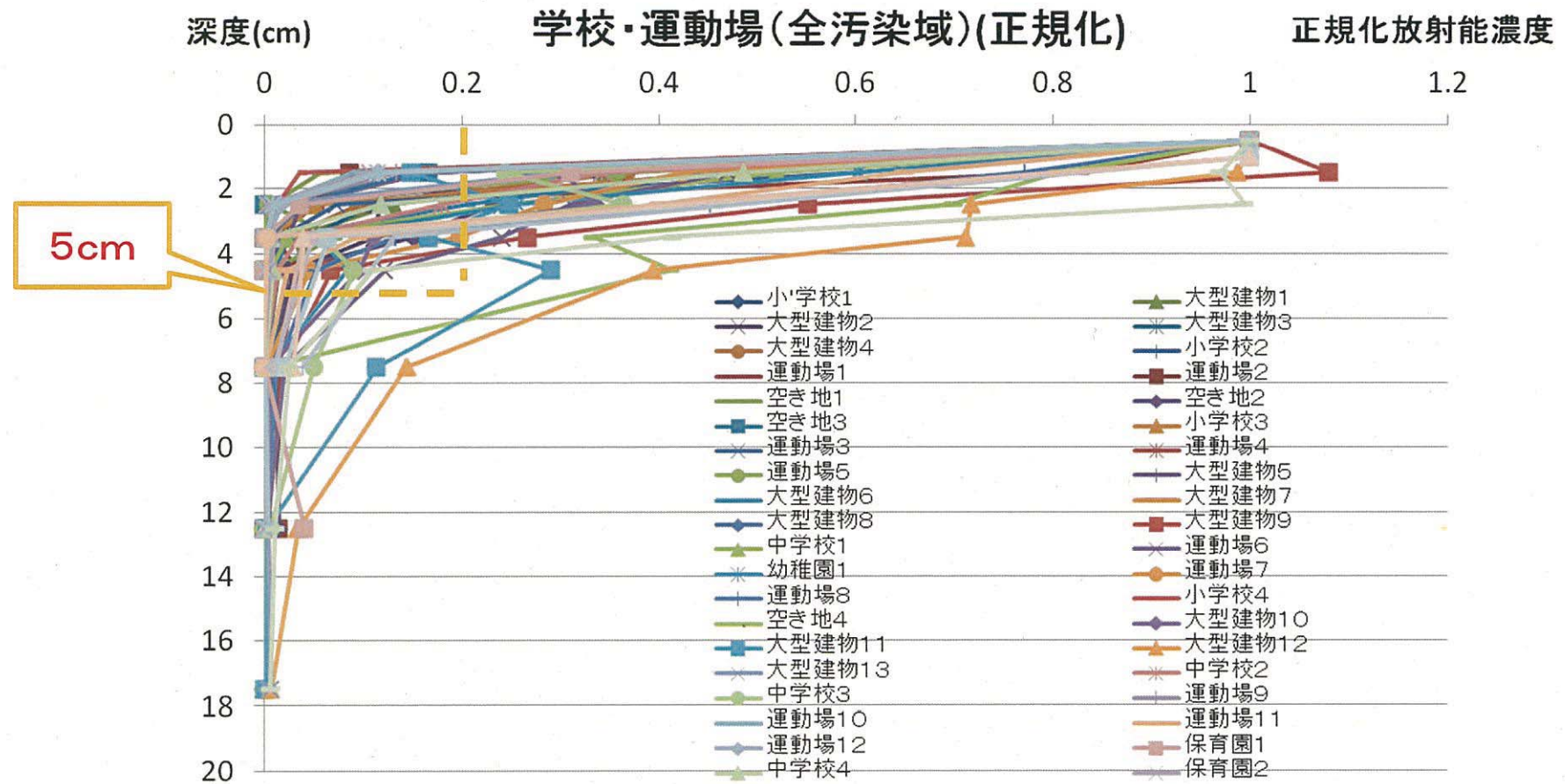
○除染方法

- ◆ プラスチック製など表面が平滑な遊具に対しては拭き取りが効果的。錆のある金属製の遊具に関してはタワシによる清掃も限定的ではあるが効果があった。

2. (5) 公園・グラウンド ①グラウンド

○放射性セシウム付着の状況

- ◆ 公園・グラウンドにおいては、ほとんどの地点において表面から、深度約5cmまでの範囲に放射性セシウムの80%以上が沈着している傾向がみられた。



2. (5) 公園・グラウンド ②遊具

○放射性セシウムの付着状況

- ◆劣化したゴム製の遊具や金属製の遊具の錆の部分には、放射性セシウムが付着・残留している傾向が高く、金属製の遊具(表面が平滑なもの)には、放射性セシウムが付着・残留している傾向が低い。

○除染方法

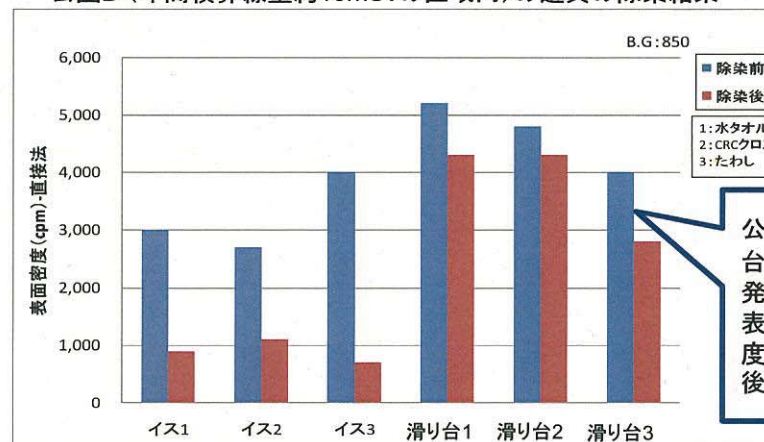
- ◆プラスチック製など表面が平滑な遊具に対しては拭き取りが効果的。錆のある金属製の遊具に関してはタワシによる清掃も限定的ではあるが効果があった。



園庭A(年間積算線量約10mSvの区域内)の遊具の除染結果(拭き取り等による除染)

除染作業前			除染作業後		備考
線量当量率(μ Sv/h)			線量当量率(μ Sv/h)	表面汚染密度	
地上 1c m	地上 50 cm	地上 1m	地上 1cm	直接法 (cpm) 遮蔽体 無	
2.00	-	-	1.10	6,000	園庭ブランコ椅子(ゴム)
2.00	1.80	1.70	0.80	450	園庭ウンティ握部(金属製)
1.30	1.50	1.50	0.70	300	園庭滑り台(金属製)

公園B(年間積算線量約10mSvの区域内)の遊具の除染結果



2. (6) 森林・樹木

○放射性セシウムの付着状況

(常緑樹林)

- ◆ 当年落葉層を含むリター層に放射性セシウムの残留が高い傾向が見られた。
- ◆ 木の幹の樹皮部分においては、他の部位に比べて放射性セシウムの残留が低い傾向がみられた。これは、降下した放射性セシウムの多くが、葉や枝に付着して、幹まで到達できなかったことによると推測される。
- ◆ 事故時に生えていた葉が落ちて形成された当年落葉層(その年に新たに落葉した葉により形成された地表層)の放射能濃度について、落葉樹と比べて高い傾向がみられた。これは、常緑樹では、他の部位に比べて相対的に多くの量の放射性セシウムが、事故時に生えていた葉に付着したことによると推測される。

(落葉樹林)

- ◆ リター層及び樹皮に、放射性セシウムの付着・残留が高い傾向がみられた。これは、事故時に葉が生い茂っていなかったことによると推測される。
- ◆ 当年落葉層と当年落葉層の下に形成されている事故前に落葉していた落葉層について、放射性セシウム付着・残留の傾向を比較すると、前者が後者に比べて低くなる傾向がある。これも、事故時に葉が生い茂っていなかったことにより、落葉樹に降下した放射性セシウムの多くが、地表面に沈着し、その後、当年落葉層が形成されたことによると推測される。

○除染方法

- ◆ 常緑樹林では、「下草刈り」と「当年落葉層の除去」までを実施すると限定的ながら効果が出る場合がある。
- ◆ 落葉樹林では、「下草刈り」と「当年落葉層の除去」だけでは表面汚染密度は逆に増大した。これは、事故時、放射性セシウムが付着した地表面の部分が、その後、放射性セシウムが付着していない新たに生い茂った草や葉の落葉に覆われたことにより、事故当時地表面に付着した放射性セシウムから放出される放射線が遮へいされたことが考えられる。
- ◆ 落葉樹林、常緑樹林とも、「下草刈り」と「当年落葉層の除去」に加え「リター層の除去」まで実施すると表面線量率及び表面汚染密度の低減に一定の効果が認められた。
- ◆ 樹木の幹に対しては、粗皮が剥がれても生育に悪影響のない範囲で高圧水洗浄を行うことによる除染効果が高い。

2. (6) 森林・樹木

○放射性セシウムの付着状況(その1)

(常緑樹林)

- ◆ 当年落葉層を含むリター層に放射性セシウムの残留が高い傾向が見られた。
- ◆ 木の幹の樹皮部分は、他の部位に比べて放射性セシウムの残留が低い傾向がみられた。
- ◆ 当年落葉層の放射能濃度は、落葉樹と比べて高い傾向がみられた。これは、常緑樹では、他の部位に比べて相対的に多くの量の放射性セシウムが、事故時に生えていた葉に付着したことによると推測される。

(落葉樹林)

- ◆ リター層※及び樹皮に、放射性セシウムの付着・残留が高い傾向がみられた。これは、事故時に葉が生い茂っていなかったことによると推測される。
- ◆ 当年落葉層と当年落葉層の下に形成されている事故前に落葉していた落葉層について、放射性セシウム付着・残留の傾向を比較すると、前者が後者に比べて低くなる傾向がある。これも、事故時に葉が生い茂っていなかったことにより、落葉樹に降下した放射性セシウムの多くが、地表面に沈着し、その後、当年落葉層が形成されたことによると推測される。

常緑樹の測定結果

部位	Cs濃度 (Bq/kg)
落葉	62,800
樹皮	23,270
枝	35,200

落葉樹の測定結果

部位	Cs濃度 (Bq/kg)
リター層(当年落葉層)	3,900
リター層(当年落葉層を除く)	155,700
樹皮	202,100
枝	60,500

落葉、リター層及び土壌の放射能濃度測定結果

測定試料	放射能濃度 (Cs-137+Cs-134) (Bq/kg)			
	常緑樹1	常緑樹2	落葉樹1	落葉樹2
リター層(当年落葉層)	54,000	104,000	14,100	20,200
リター層(当年落葉層を除く)	61,000	20,100	136,000	76,000
土壌	1,160	121	650	186

※リター層：落葉層と腐葉土層

2. (6) 森林・樹木

○放射性セシウムの付着状況(その2)

◆ 常緑樹(杉林)の高さ方向の空間線量率

- 木の上部と下部を比較すると、上部の線量率が高い傾向がみられた。事故時点より葉を付け続けている杉のような常緑樹では、枝葉部に多くの放射性セシウムをつけていると推定される。

◆ 落葉樹の高さ方向の空間線量率

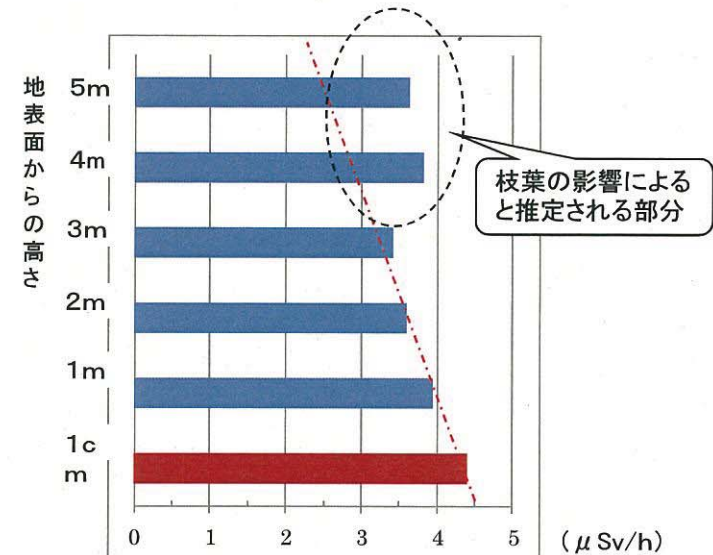
- 木の上部と下部を比較すると、上部の線量率が低い傾向がみられた。事故時点で葉の無かった落葉樹では、大部分の放射性セシウムが、直接、地上に降下したと推定される。

常緑樹(杉林)の高さ方向の空間線量率

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

落葉樹と竹林の混合林の
空間線量率の高さ方向分布

地上高さ	空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)
432.0cm	8.9
335.0cm	9.49
216.5cm	9.58
108.5cm	11.64



常緑樹(アカマツ)の高さ方向の空間線量率

2. (6) 森林・樹木

○除染方法

- ◆ 常緑樹林では、「下草刈り」と「当年落葉層の除去」までを実施すると限定的ながら効果が出る場合がある。
- ◆ 落葉樹林では、「下草刈り」と「当年落葉層の除去」だけでは表面汚染密度は逆に増大した。これは、事故時、放射性セシウムが付着した地表面の部分が、その後、放射性セシウムが付着していない新たに生い茂った草や葉の落葉に覆われたことにより、事故当時地表面に付着した放射性セシウムから放出される放射線が遮へいされたことが考えられる。
- ◆ 落葉樹林、常緑樹林とも、「下草刈り」と「当年落葉層の除去」に加え「リター層の除去」まで実施すると表面線量率及び表面汚染密度の低減に一定の効果が認められた。

除染効果の実績

樹木の種類	除染作業内容	表面線量率(1cm)(μ Sv/h)			表面汚染密度(cpm)		
		除染前	除染後	除去率(%)	除染前	除染後	除去率(%)
常緑樹林	下草刈り	5.02	4.80	4	2,400	1,900	21
	下草刈り+新落葉除去	7.85	4.90	38	6,400	4,500	30
	下草刈り+新落葉除去+リター層除去	7.85	3.70	53	6,400	2,200	66
落葉樹林	下草刈り	3.71	3.79	-2	2,200	2,350	-7
	下草刈り+新落葉除去	4.99	4.87	2	2,730	3,180	-16
	下草刈り+新落葉除去+リター層除去	5.37	1.85	66	3,200	1,000	69

2. (6) 森林・樹木

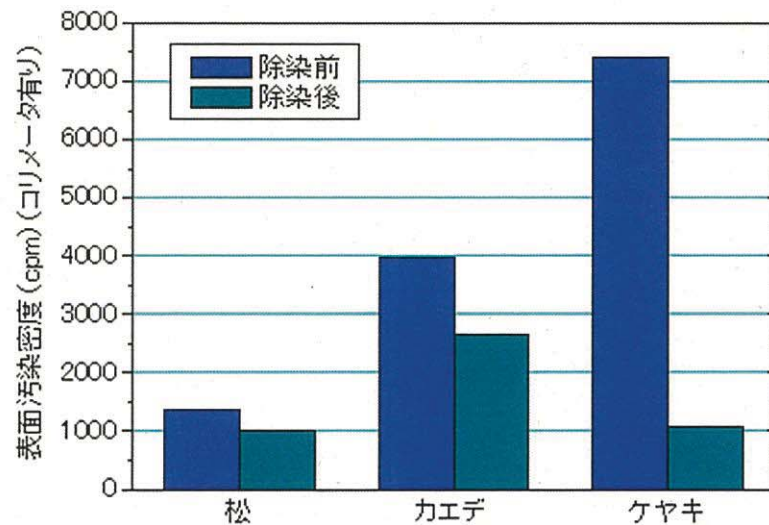
○除染方法

- ◆ 樹木の幹に対しては、粗皮が剥がれても生育に悪影響のない範囲で高圧水洗浄を行うことによる除染効果が高い。

○課題

- ◆ リター層を除去すると降雨により表層が浸食され、斜面の安定性を確保できなくなるおそれがあるため、適用不可能な場所があった。

樹の種類による樹皮での放射性セシウム付着・残留の傾向の違いの例



高圧水洗浄による除染(圧力9.8MPa)

リター層除去が適用困難だった場所の一例
(森林の急斜面)



2. (6) 森林・樹木

◆ 除染範囲

- 生活圏に接する森林外縁から森林の奥部方向に除染(落葉除去とリター層除去)を進め、森林から生活圏に与える放射線量の影響変化を調査したところ、10m奥部まで除染したところで、生活圏で最も森林に近い森林外縁部において測定される空間線量率は除染前に比べて40%程度低下した。
- 他方、10m以上の森林奥部に除染を進めても、森林外縁部において測定される空間線量率は、ほとんど低下しなかった。
- 生活圏に隣接する森林の除染(除草と落葉除去とリター層の除去)を行うことは、森林近隣の生活圏の放射線量を下げる上で効果的。



森林入口からの除染範囲および森林内の除染方法の違いによる森林入口での線量率変化に係る測定結果

領域	測定点	除染前	森林外縁から 10m(区画1)除染後			森林外縁から 20m(区画2)まで除染後		森林外縁から 30m(区画3)まで除染後	
			除草・ 落葉かき*1	リター層 除去	入口付近 枝打	除草・ 落葉かき	リター層 除去	除草・ 落葉かき	リター層 除去
針葉樹エリア入口	①	2.60	2.21	1.41	1.32	1.16	1.27	1.25	1.17
	②	2.45	2.30	1.63	1.36	1.45	1.35	1.20	1.29
広葉樹エリア入口	③	2.40	1.70	1.38	-*2	1.47	1.40	1.37	1.64
	④	2.70	2.26	2.02		2.15	2.18	1.45	1.87

*1 区画1除草・落葉かき後の線量率は、地表面10cmで測定。1m高さでの値は、概ねこの0.8倍程度。

*2 広葉樹は全て落葉しており枝打ちは実施していない。

3. 除染付帯作業に関する分析 (除染に付帯する作業に関して得られた知見)

(1) 洗浄水の処理	P.43
(2) 枝葉等の除去物減容化方法	P.44
(3) 除去物発生量	P.45
(4) 仮置き場／現場保管場	P.47
(5) 除染作業員の放射線被ばく管理	P.52

3. (1) 洗浄水の処理

○処理方法の違いによる効果を確認：

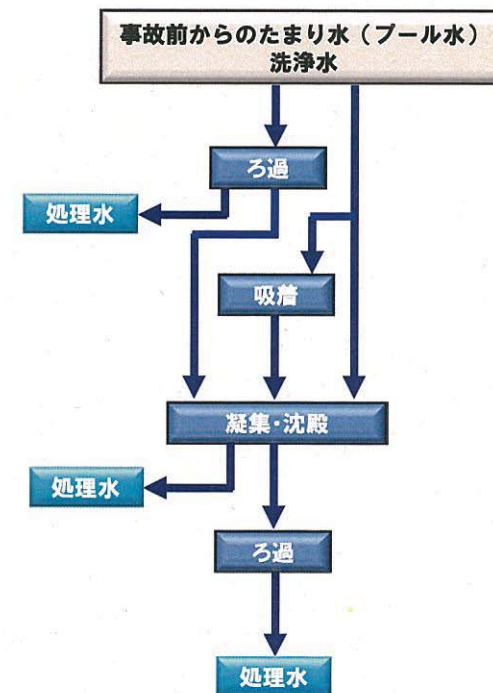
- 各地点の洗浄水(側溝等へのたまり水を含む)及び事故前からのたまり水(プール水)の汚染度等に応じて、ろ過、吸着、凝集・沈殿を組み合わせることで処理したところ、すべての処理方法で排水基準を満足する結果が得られた。

排水基準：200Bq/kg(飲料水に対する暫定規制値)又はセシウム134:60Bq/L、セシウム137:90Bq/L(混在する場合はそれぞれの濃度÷基準値の和が1以下)

【モデル事業における処理実績】

・処理内容：洗浄水、原子力発電所事故前からのたまり水(プール水)

汚染水の汚染レベル (発生源)	計測結果(Bq/kg)	低減率	備 考
高濃度(洗浄水)	処理前: 12,000 処理後: 140	約99%	浪江町 権現堂矢沢町地区の例
高濃度(洗浄水(濁水))	処理前: 33,000 処理後: 38	約100%	富岡町の例
中濃度(洗浄水+プール水)	処理前: 790~1270 処理後: 30~70	91~98%	浪江町 松木山地区の例
中濃度(洗浄水+プール水)	処理前: 370~870 処理後: 検出限界以下	約100%	南相馬市の例
低濃度(プール水)	処理前: 220 処理後: 150	約32%	飯舘村の例
低濃度(洗浄水)	処理前: 108 処理後: 9~11	約90%	飯舘村の例



<水処理フローの例>

3. (2) 枝葉等の除去物減容化方法

○減容化

- 破砕機では、粉塵対策を施すことにより、周囲に放射性物質が付着した枝葉の粉塵を飛散させずに、枝葉の減容化を両立することが可能。ただし、丸太については破砕前の状態でも嵩張らない背景もあり、減容率は低かった。
- 高温焼却による減容化は、枝葉に付着した放射性物質を煙とともに外部へ拡散させずに、極めて高い効率での減容化を両立することが可能であった。さらに、排煙をバグフィルターやHEPAフィルターを用いて処理することで、排気中のセシウム濃度は、法令に定める空气中放射性物質濃度未満を十分達成することが可能であることが確認できた。
- 低温焼却による減容化は、高温焼却や破砕機に比べると、減容化率が低い。

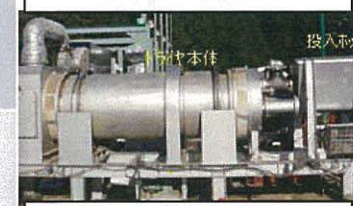
主な減容物	減容化方法	減容率	備考
破砕によるもの			
枝、笹	破砕機(枝・小径木用)	88%	横入れ式のため、枝葉等の人力投入に作業性が良い。作業中ダスト濃度:最大 $2.82 \times 10^{-8} \text{ Bq/cm}^3$ (防塵シート養生)
草・落葉	破砕機(木材用)	45～63%	木材用のため、草・落葉類では機械内部で固着し作業性が悪い。作業中ダスト濃度: $< 3 \times 10^{-5} \text{ Bq/cm}^3$ (防塵シート養生)
集積丸太(直径10-20cm)	破砕機(木材用)	7%	一定の寸法で切断集積した丸太を試験材料として利用。丸太の場合、枝葉と比べ嵩張らないため減容率は小さかった。
燃焼によるもの			
下草・枝葉	高温焼却炉 (29kg/h、 800℃以上)	96% 以上	・処理前:24-91KBq/kg ⇒ 処理後:500-2000KBq/kg(主灰) ・排気バグフィルター後:0.3～1.3Bq/m ³ ・排気HEPAフィルター後:検出限界未満
下草・枝葉	高温焼却炉 (49kg/h、 800-850℃)	96～99%	・処理前:45-723KBq/kg ⇒ 処理後:440-2050KBq/kg(主灰) ・排気バグフィルター後:1.4Bq/m ³ ・排気HEPAフィルター後:0.3Bq/m ³
根等の混じった土砂	ロータリードライア (低温焼却 250～400℃)	9～25%	・処理前:13KBq/kg ⇒ 処理後:22KBq/kg(灰) ・排気HEPAフィルター後:検出限界未満



破砕機(枝・小径木用)



破砕機(木材用)



ロータリードライア

3. (3) 除去物発生量

- ◆ 除去物の発生量は、除染実施区域の年間積算線量の違いよりも、除染手法の違いに大きく依存する。

- 表土剥ぎ取りや下草刈り、落葉等の除去といった除染手法の選択により、除去物が多く発生する。

単位面積あたりの除去物が多く発生する除染手法

(m³/ha)

表土剥ぎ	落葉・リター層の除去	枝葉の剪定	芝生剥ぎ取り
<ul style="list-style-type: none"> ・500～1000 (3cm程度切削) ・300 (2cm程度すき取り) 	500～1000	500～1000	200～500

除去物の発生量は除染対象個所によって異なるため、上記の値はあくまで目安。

- ◆ 年間積算線量及び土地利用区分に関わらず、ほとんどの地点で、最大約5cmの表土除去を行うことで80%以上の放射性物質を除去することが可能。ただし、表土の除去量に直接的に関連する剥ぎ取り厚さは、放射能濃度の深さ方向の分布、除染目標等を考慮して設定する必要あり。

- 地中方向の放射性物質濃度分布は、深くなるにつれて濃度減少率(1cm深くなったときの濃度の減少の割合)が著しく低くなる傾向(指数関数的減少傾向)がある。
- 仮に、表面から5cmまでの層に80%の放射性物質が、表面から8cmまでの層に90%の放射性物質が含まれていた場合、80%の放射性物質を除去ために表層5cmを剥ぎ取るケースに比べて、さらに3cmの層を除去することによって、追加的に10%程度の除染効果が向上する可能性もあるが、除去物発生量はさらに6割増加することになる。
- 年間積算線量の高い地域で、表土の放射性物質濃度を一定の絶対値以下に下げるためには、より深く表土剥ぎ取りを実施することが必要となる場合がある。
- ただし、土表面の凹凸状態等により、今回の除染モデル実証事業と同様の地中深さ方向の放射性物質濃度分布をしていない場合もあるので、除染前に、地中深さ方向の放射性物質濃度分布を調べてから、除染目標にあわせて剥ぎ取り厚さを決める必要がある。

表土剥ぎを実施する際の「剥ぎ取り厚」について

低:年間積算線量20mSv以下の地域

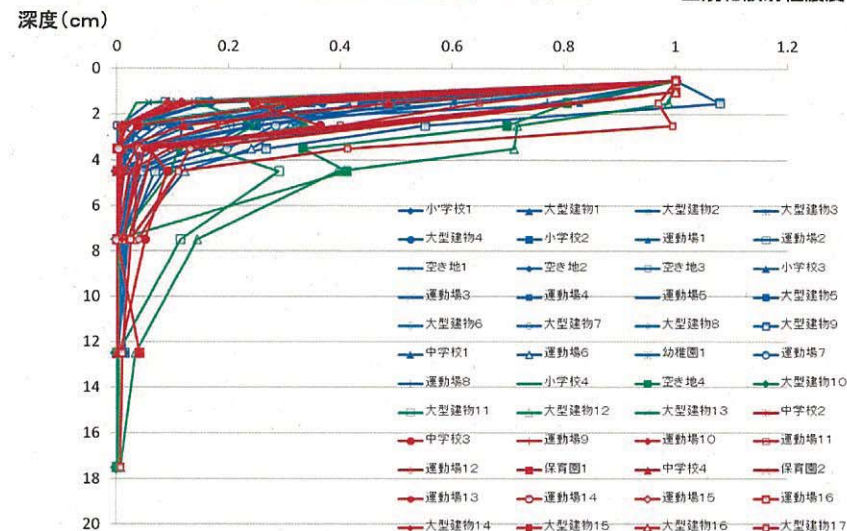
中:年間積算線量20～50mSvの地域

高:年間積算線量50mSv超の地域



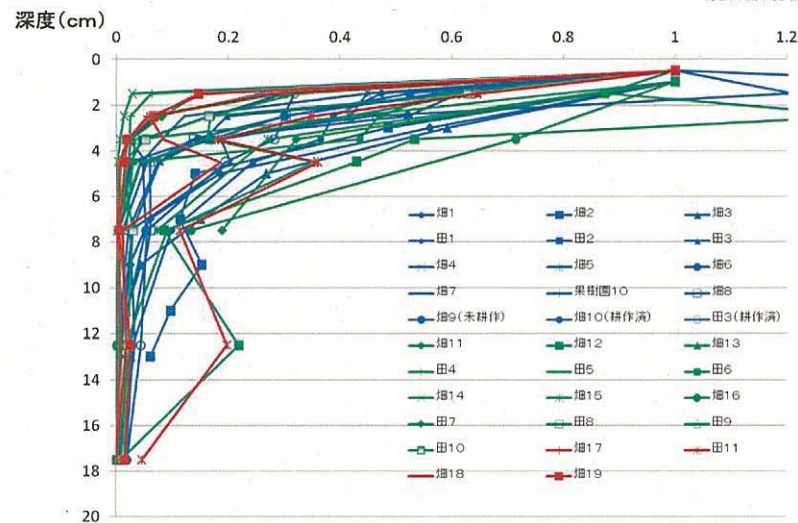
学校・運動場(正規化)

正規化放射性濃度



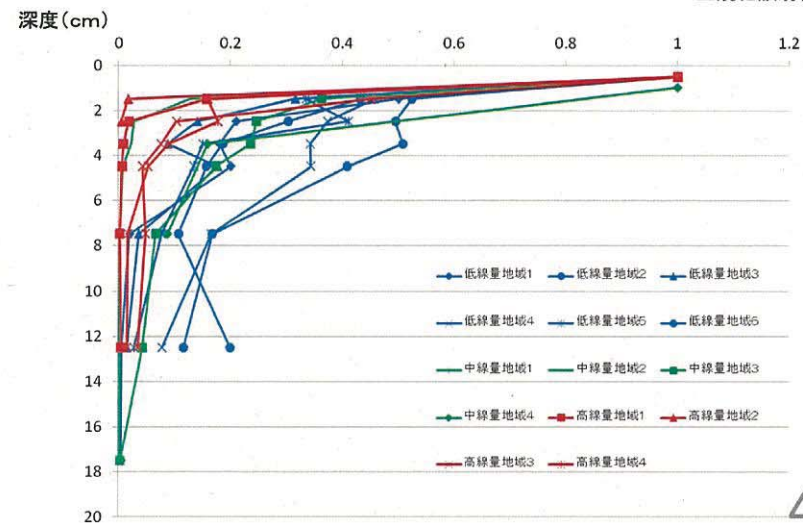
農地(正規化)

正規化放射性濃度



森林(正規化)

正規化放射性濃度



3. (4) 仮置場／現場保管場

- ◆ 仮置き場等の設置にあたっては、必ず設置予定地の除染を行うとともに、除去物の搬入・定置後に適切な遮へい措置を講じる。したがって、設置前の空間線量率の高低に関わらず、除去物の搬入・定置後に仮置き場等の空間線量率が上昇することはなく、設置前と比べてむしろ低減する。

- また、汚染されていない土壌を詰めた土嚢で除去物の周囲を覆うことでも遮へい効果が得られる。
- 除去物の搬入・定置にあたっては、表面線量率の高い除去物を中心に定置し、その周囲に、より表面線量率の低い除去物を定置することによって、除去物そのものの遮へい効果により、表面線量率の高い除去物からの放射線の影響を軽減することが可能。

- ◆ 自治体等の要望を踏まえて、地形や土地利用状況、利用可能面積等を考慮した上で形式を選択することが必要。

- 地上保管型：

中間貯蔵施設等への搬出作業が最も容易な形式である。他方で地盤が軟弱な場所に設置する場合、地盤改良を実施する必要がある。

- 地下保管型：

遮へい用の土を現場で確保できる等のメリットがある反面、地下部分の切削に時間を要する。また、地下水止水等の対策を考慮する必要がある。

- 半地下保管型：

小さい面積の場所でも定置量を増やすことが可能であるが、地下部分の切削に時間を要する。また、地上部分と地下部分の境に雨水浸入策を施す必要がある。

①地上保管型仮置き場／現場保管場について

導入地区：浪江町、飯舘村、川俣町、富岡町、葛尾村、田村市、大熊町、楡葉町、川内村

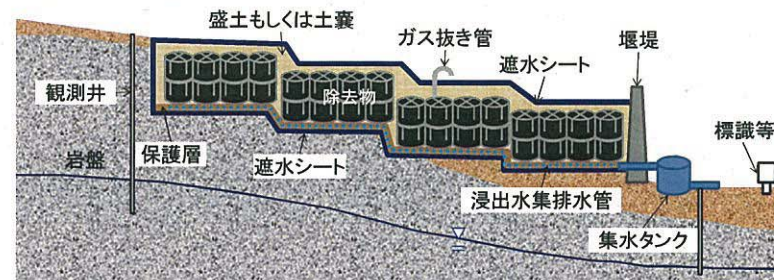
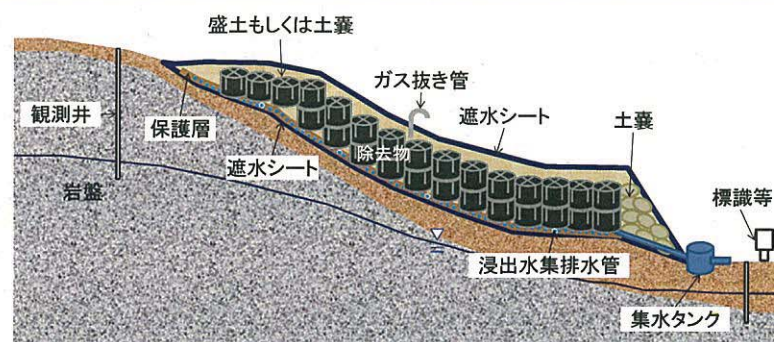
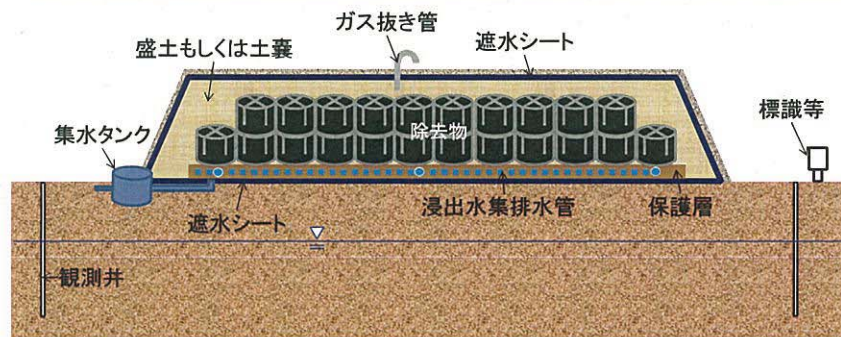
➤ メリット：

- ・ 中間貯蔵施設等への搬出作業が容易である。
- ・ 設置完了後の除去物の移動が容易であるため、補修・点検に手間がかからない。
- ・ 傾斜地の場合、斜面を利用した設置が可能。

➤ デメリット：

- ・ 遮へい用の土壌を他の地域から確保する必要あり。
- ・ 地盤が軟弱な場所に設置する場合、地盤改良を実施する必要あり。

➤ 定置量：約8,300～約26,500袋/ha(平均18,600袋/ha)



斜面を利用した設置例

②地下保管型仮置き場／現場保管場について

導入地区：南相馬市

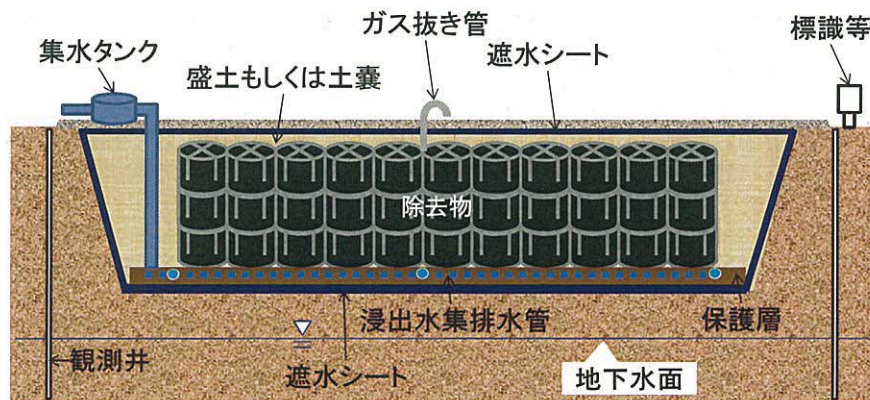
➤ メリット：

- ・ 遮へい用の土壌を現場で確保することが可能。
- ・ 地盤が軟弱な場所に設置する場合でも、地盤改良を実施する必要なし。
- ・ 覆土部分の補修・点検に手間がかからない。
- ・ 景観を損なわない。

➤ デメリット：

- ・ 地下部分の掘削造成に時間を要する(切削工期：約6日／1000m³)。
- ・ 除去物を地下水位より下部に設置使用とする場合、止水等の対策及び地下水浸入防止対策や地下水位低下防止対策が必要。
- ・ 除去物取り出しの際に掘り出し等の作業が必要。

➤ 定置量：約17,800袋/ha



③半地下保管型仮置き場／現場保管場について

導入地区：広野町※

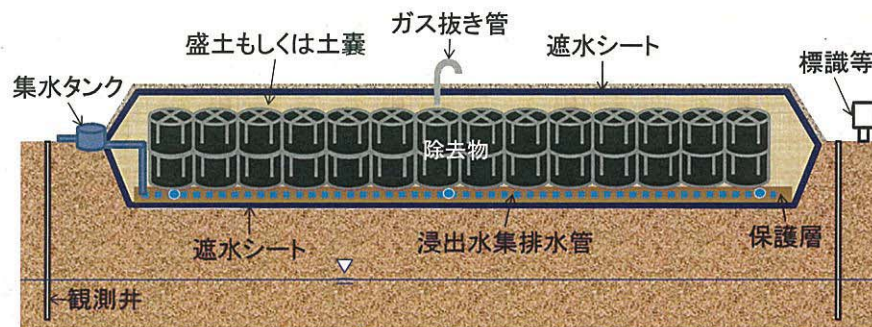
➤ メリット：

- ・ 地上部分と地下部分を併せると比較的段数を積むことができるため、小さい面積の場所でも定置量を増やすことが可能。
- ・ 地下部分に高濃度の除去物を定置し、地上部分に比較的濃度の低い除去物を定置することで、容易に遮へいが可能。
- ・ 遮へい用の土壌を現場で確保することが可能。

➤ デメリット：

- ・ 地下部分の掘削造成に時間を要する(切削工期：約5日／1000m³)。
- ・ 地上部分と地下部分の境に雨水浸入対策が必要。
- ・ 除去物を地下水位より下部に設置使用とする場合、止水等の対策及び地下水浸入防止対策や地下水位低下防止対策が必要。

※仮置き場について、現在設置作業中。



3. (4) 除染モデル実証事業における 除去土壌等の発生量及び仮置き場の空間線量率の変化

	年間 積算線量※ (mSv)	仮置き場／現場保管場 形状	除去土壌等の発生物量		仮置き場の 空間線量率(1m)	
			フレキシブル コンテナ (個)	重量 (ton)	保管前 (μ Sv/h)	保管後 (μ Sv/h)
田村市※※	4	地上保管型	571	185	0.74	0.58
南相馬市	5	地下保管型	4,116	2,835	1.74	0.35
葛尾村※※	8	地上保管型	1,664	948	2.80	2.60
川俣町	15	地上保管型	2,910	1,496	3.02	1.02
飯舘村	19	地上保管型	4,875	2,988	4.03	1.33
浪江町(権現堂地区)	26	地上保管型	2,239	2,461	1.67	0.63
富岡町(富岡第二中学校)	32	地上保管型	1,306	1,208	2.25	0.97
富岡町(夜ノ森公園)	43	地上保管型	3,056	1,744	5.44	1.44
浪江町(津島地区)	48	地上保管型	1,726	1,147	9.01	1.73
大熊町(町役場周辺)	65	地上保管型	1,665	1,130	42.2	17.4

※ 除染実施区域の事前モニタリングによって測定した空間線量率から個別に算出した値。

※※ 田村市及び葛尾村については、別の場所に仮置き場が設置されるまでの間の一時的な現場保管であり、かつ、除去物の表面線量率が低いことから、土壌等による遮へい措置を講じていない。このため、安全管理の観点から、居住地区への除去物の影響を防ぐために除去物の定置区域と居住地区との間に十分な離間距離を確保する等の代替措置を講じている。

(大熊町(夫沢地区)、楢葉町、広野町、川内村は除染作業未了のため未集計)

3. (5) 除染作業員の放射線被ばく管理

- ◆ 除染対象区域毎に除染作業員の被ばく線量を比較すると、除染前の作業場所の空間線量率の高いところで除染する作業員は、被ばく線量が高くなる傾向がみられた。しかしながら、今回の中間報告に盛り込まれた除染対象地区における集計結果としては、適切な被ばく線量管理を行うことにより、法令で定められる被ばく線量限度の目安を十分下回る結果が得られた。
- ◆ 上記のような傾向を考慮すると、年間積算線量50mSvを超える地域での作業においては、ここで5年間継続して作業をしたと仮定した場合、法令に定める放射線被ばく線量限度を超える可能性もある。したがって、このような高線量の地域で除染を行う場合には、被ばく低減に有効な除染手法と作業手順の組合せの最適化、機械利用による作業の効率化を進める等、より厳格な放射線管理が必要となる。

	年間積算線量※ (mSv)	作業期間 (日)	作業者数 (人)	平均線量 (mSv)	個人最大線量 (mSv)	法令に定める 放射線被ばく線量限度
田村市	4	52	237	0.02	0.12	5年間で100mSv かつ 1年間で50mSv （「東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則」(平成23年12月厚生労働省)より）
南相馬市	5	80	336	0.12	0.36	
葛尾村	8	61	343	0.05	0.25	
川俣町	15	84	307	0.21	0.87	
飯館村	19	79	617	0.33	0.93	
浪江町(権現堂地区)	26	54	302	0.41	1.15	
富岡町(富岡第二中学校)	32	78	627	0.33	1.56	
富岡町(夜ノ森公園)	43					
浪江町(津島地区)	48	40	188	0.51	1.41	
大熊町(町役場周辺)	65	70	198	1.30	6.96	

※除染実施区域の事前モニタリングによって測定した空間線量率から個別に試算した値。

仮に、「高線量地域で個人最大線量(6.96mSv)を示した作業員」が同様の作業を継続した場合、5年間で100mSvを超える： $6.96(\text{mSv}) \div 70(\text{日}) \times 240(\text{平日日数/年}) \times 5(\text{年}) = 119(\text{mSv})$

3. (5) 除染モデル実証事業における 作業員一人一日当たりの平均被ばく線量等

	年間積算線量※ (mSv)	作業日数 (日)	作業員数 (人日)	一人一日当たりの 平均被ばく線量 (μ Sv/人日)
田村市	4	52	2,139	2.0
南相馬市	5	78	6,605	6.1
葛尾村	8	61	3,303	5.4
川俣町	15	83	5,830	10.8
飯舘村	19	77	14,377	14.0
浪江町(権現堂地区)	26	54	6,988	17.3
富岡町(富岡第二中学校)	32	78	10,626	21.3
富岡町(夜ノ森公園)	43			
浪江町(津島地区)	48	40	3,942	24.5
大熊町(町役場周辺)※※	65	41	2,100	59.0

※ 除染実施区域の事前モニタリングによって測定した空間線量率から個別に試算した値。

※※ 大熊町(町役場周辺)のデータは、夫沢地区における除染作業等が未了のため暫定値
(大熊町(夫沢地区)、楢葉町、広野町、川内村は除染作業未了のため未集計)

4. 参考：除染モデル実証事業における面的除染の効果 (1m高さの空間線量率)

除染対象地区	土地利用区分	除染方法	除染前 平均値 ($\mu\text{Sv/h}$)	除染後 平均値 ($\mu\text{Sv/h}$)	平均空間線 量率低減率 (参考値)	除去物量等
田村市地見城地区 ・除染前で年間4mSv程度 ・除染対象面積：約15.5ha ・山間部の居住地域	宅地周辺	雨樋の堆積物除去・拭き取り、 雨樋下の土壌の除去等	0.7	0.6	23%	総量 : 約571m ³ 除染対象面積当たり : 約38m ³ /ha
	農地	攪拌希釈、反転耕等	0.7	0.6	13%	
	道路	高圧洗浄、側溝の堆積物除去	0.6	0.5	10%	
	森林	下草刈り等	0.8	0.7	14%	
	除染エリア範囲外		0.8	0.8		
南相馬市金房小学校周辺 ・除染前で年間5mSv程度 ・除染対象面積：約13.9ha ・市街地	宅地周辺	高圧水洗浄、ブラッシング、 庭の除草・表土剥ぎ、植栽の落葉等除去	1.3	1.1	19%	総量 : 約4,116m ³ 除染対象面積当たり : 約296m ³ /ha
	大型建物 (公共施設)	高圧洗浄、ブラッシング、 下草除去、表土剥ぎ、落葉等除去	1.3	0.8	40%	
	農地	下草除去、表土剥ぎ等	1.3	0.8	34%	
	森林	下草除去、落葉除去、表土剥ぎ等	1.6	1.2	24%	
	道路	高圧水洗浄、路面清掃車、 側溝の堆積物除去、表土剥ぎ等	1.2	1.0	17%	
	除染エリア範囲外		1.0	1.1		

4. 参考：除染モデル実証事業における面的除染の効果 (1m高さの空間線量率)

除染対象地区	土地利用区分	除染方法	除染前 平均値 ($\mu\text{Sv/h}$)	除染後 平均値 ($\mu\text{Sv/h}$)	平均空間線 量率低減率 (参考値)	除去物量等
葛尾村役場周辺 ・除染前で年間8mSv程度 ・除染対象面積：約6.5ha ・山間部の谷部の居住地域	宅地周辺	屋根の洗浄、雨樋・壁の拭き取り・ 堆積物除去、庭の除草・表土剥ぎ等	1.7	1.3	23%	総量 : 約1,664m ³ 除染対象面積当たり : 約256m ³ /ha
	大型建物 (小学校・幼稚園等)	表土剥ぎ	1.5	0.8	50%	
	大型建物 (役場等)	高圧洗浄	1.1	1.0	14%	
	森林	下草・枯葉の除去等	2.0	1.4	33%	
	道路	高圧洗浄	1.5	1.2	23%	
	除染エリア範囲外		1.8	1.6		
川俣町坂下地区 ・除染前で年間15mSv程度 ・除染対象面積：約11ha ・山間部の居住地域	宅地周辺	水洗浄、ブラッシング、 庭の除草・表土剥ぎ、落葉等除去	3.0	1.7	43%	総量 : 約2,910m ³ 除染対象面積当たり : 約264m ³ /ha
	農地	下草除去、表土剥ぎ等	3.5	1.6	54%	
	森林	下草除去、落葉除去、表土剥ぎ等	3.3	2.4	27%	
	道路	舗装打ち替え、碎石敷き直し 側溝の堆積物除去	2.4	1.6	35%	
	除染エリア範囲外		2.9	2.3		

4. 参考: 除染モデル実証事業における面的除染の効果 (1m高さの空間線量率)

除染対象地区	土地利用区分	除染方法	除染前 平均値 (μ Sv/h)	除染後 平均値 (μ Sv/h)	平均空間線 量率低減率 (参考値)	除去物量等
飯舘村草野地区 ・除染前で年間19mSv程度 ・除染対象面積: 約17.3ha ・山間部の居住地域 ※除染後の値は積雪の影響を補正した推定値(25cm程度の積雪で、空間線量率(1m)が約3割程度低減すると仮定)	宅地周辺	高圧洗浄、庭の除草・表土剥ぎ	3.6	2.2	39%	総量 : 約4,875m ³ 除染対象面積当たり : 約282m ³ /ha
	大型建物	高圧洗浄、ブラスト処理、表土剥ぎ等	4.6	1.7	63%	
	農地	下草除去、表土剥ぎ等	4.1	3.5	14%	
	森林	下草除去、落葉除去、表土剥ぎ等	3.8	3.7	3%	
	道路	高圧洗浄、側溝の堆積物除去	2.3	1.4	37%	
	除染エリア範囲外		3.6	3.4		
浪江町権現堂地区 ・除染前で年間26mSv程度 ・除染対象面積: 約12.8ha ・市街地	宅地周辺	高圧洗浄、庭の除草・表土剥ぎ	5.7	2.6	54%	総量 : 約2,239m ³ 除染対象面積当たり : 約175m ³ /ha
	大型建物 (鉄道施設)	高圧洗浄、表土剥ぎ等	5.9	2.7	55%	
	農地	下草除去、表土剥ぎ等	7.5	3.0	60%	
	道路	高圧洗浄、側溝の堆積物除去、 ブラスト処理	4.8	3.1	36%	
	除染エリア範囲外		5.0	4.6		

4. 参考: 除染モデル実証事業における面的除染の効果 (1m高さの空間線量率)

除染対象地区	土地利用区分	除染方法	除染前 平均値 (μ Sv/h)	除染後 平均値 (μ Sv/h)	平均空間線 量率低減率 (参考値)	除去物量等
富岡町富岡第二中学校 ・除染前で年間32mSv程度 ・除染対象面積: 約2.54ha ・市街地	グラウンド	表土剥ぎ	5.4	0.8	85%	総量
	除染エリア範囲外		6.1	4.1		: 約1,306m ³
						除染対象面積当たり : 約514m ³ /ha
富岡町夜ノ森公園周辺 ・除染前で年間43mSv程度 ・除染対象面積: 約8.65ha ・市街地	宅地周辺	高圧洗浄、水洗浄、ブラシ洗浄、 舗装切削、ブラスト処理、表土剥ぎ	7.9	4.2	47%	総量
	大型建物 (公共施設)	高圧洗浄、表土剥ぎ	8.7	4.6	48%	: 約3,056m ³
	道路	ブラスト処理、高圧洗浄	8.6	5.2	40%	除染対象面積当たり
	森林	水洗浄、ブラシ洗浄、下草除去、 落葉除去、表土剥ぎ	10.2	4.0	61%	: 約353m ³ /ha
	グラウンド	表土剥ぎ	10.5	2.0	81%	
	除染エリア範囲外		8.1	7.3		

4. 参考：除染モデル実証事業における面的除染の効果 (1m高さの空間線量率)

除染対象地区	土地利用区分	除染方法	除染前 平均値 (μ Sv/h)	除染後 平均値 (μ Sv/h)	平均空間線 量率低減率(参 考値)	除去物量等
浪江町津島地区 ・除染前で年間48mSv程度 ・除染対象面積：約5ha ・山間部の谷部の居住地域 ※除染後の値は積雪の影響 を補正した推定値(25cm程度 の積雪で、空間線量率(1m) が約3割程度低減すると仮定)	宅地周辺	拭き取り、庭の除草・表土剥ぎ	10.0	5.7	43%	総量 :約1,726m ³ 除染対象面積当たり :約345m ³ /ha
	大型建物	高圧洗浄、拭き取り各種ブラスト処理、 表土剥ぎ等	9.6	3.7	61%	
	農地	下草除去、表土剥ぎ等	9.6	5.6	42%	
	森林	下草除去、落葉除去、表土剥ぎ等	7.8	5.5	29%	
	道路	高圧洗浄、側溝の堆積物除去、 ブラスト処理	8.4	4.5	46%	
	除染エリア範囲外		9.1	6.9		
大熊町役場周辺 ・除染前で年間65mSv程度 ・除染対象面積：約5.1ha ・市街地	宅地周辺	屋根・壁の拭き取り、 庭の除草・表土剥ぎ	11.5	3.9	66%	総量 :約1,665m ³ 除染対象面積当たり :約326m ³ /ha
	駐車場・道路	舗装切削、各種ブラスト処理、 高圧洗浄、側溝の堆積物除去	13.8	5.3	62%	
	公園	芝刈、落ち葉・下草除去、枝打ち、 樹木洗浄、表土剥ぎ等	19.2	7.2	63%	
	除染エリア範囲外		11.3	9.7		

※大熊町(夫沢地区)、楢葉町、広野町、川内村は除染作業未了のため未掲載