

平成 26 年度福島県市町村除染技術支援事業  
実施結果報告書

福島県生活環境部

平成 27 年 3 月



## 目 次

1 事業概要 .....	1
2 実施結果 .....	1
(1) 実証結果一覧表 .....	2
(2) 実施結果報告書 .....	5
ア 舗装面のクラックにおける効果的な除染技術・手法の検証（技術1） .....	5
イ 道路側溝の効果的な除染技術の検証（技術3） .....	31
ウ 住宅除染における除染対象等別の効果検証（技術4） .....	57
エ 住宅除染等における効果的な測定技術の検証（技術5） .....	79
・ガンマプロッターH .....	94
・iPLUSHotSpotFinder .....	101
・歩行型自動放射線量計測システム（KURAMA-m） .....	108
・シンチレーションファイバー2次元マッピング装置(P-Scanner) .....	113
・ガンマ線空間線量当量率測定システム（D-phod） .....	119



## 1 事業概要

### (1) 目的

市町村からの要望を踏まえて除染技術を選定し、それら技術の実地試験、除染効果の検証等を行い、その結果を市町村へフィードバックすることにより、福島県内の除染の更なる加速化を図る。

### (2) 公募対象

- ア 舗装面のクラックにおける効果的な除染技術・手法の検証（技術1）
- イ 仮置場等の上面における雨水滞留対策技術の効果検証（技術2）
- ウ 道路側溝の効果的な除染技術の検証（技術3）
- エ 住宅除染における除染対象等別の効果検証（技術4）
- オ 住宅除染等における効果的な測定技術の検証（技術5）

### (3) 公募期間

平成26年11月7日（金）～平成26年11月21日（金）

### (4) 応募数

4技術（10社）

- |                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| ア 舗装面のクラックにおける効果的な除染技術・手法の検証（技術1） | 2社 |
| イ 仮置場等の上面における雨水滞留対策技術の効果検証（技術2）   |    |
| ウ 道路側溝の効果的な除染技術の検証（技術3）           | 1社 |
| エ 住宅除染における除染対象等別の効果検証（技術4）        | 2社 |
| オ 住宅除染等における効果的な測定技術の検証（技術5）       | 5社 |

※技術2の応募は無かった。

### (5) 選定技術

4技術（8社）

### (6) 実施期間

平成26年12月～平成27年3月

## 2 実施結果

実証結果の一覧は表1のとおり。

表1 平成26年度福島県市町村除染技術支援事業 実証結果一覧表

No	技術名	実証事業者名 (所在地)	実証概要	結果及び評価等
1	(技術1) 舗装面のクラックにおける効果的な除染技術・手法の検証	大林道路株式会社東北支店(宮城県)	放射性物質を除去する技術及び放射線を遮へいする技術を検証する。 ①除去技術：ポリイオン水を用いた高圧洗浄により放射性物質を除去する技術 ②遮へい技術：硫酸バリウムとモルタルを用いて高線量箇所の放射線を遮へいする技術	今回の試験結果から、除去技術、遮へい技術ともに実証技術であるポリイオン水を用いた高圧水洗浄(30 MPa、水温 80℃)及び硫酸バリウムとモルタルによる目地埋めにおいて、通常の除染技術よりも高い除染効果が認められた。これらの技術は、高線量かつ取り壊し等が困難な場所等において有用と考えられる。 今後、当該技術に係る作業時間の短縮等によるコストの低減や効果的な条件(高圧水洗浄における水圧や水温等)について更なる検討が必要である。
2	(技術3) 道路側溝の効果的な除染技術の検証	有限会社佐藤林業(会津若松市)	側溝蓋脱着・側溝蓋洗浄・側溝汚泥回収洗浄・汚水処理等の技術の効果を検証する。 ①側溝蓋脱着装置：機械力で側溝蓋を脱着 ②側溝蓋洗浄装置：側溝蓋を自動で高圧洗浄 ③側溝汚泥回収洗浄装置：側溝を高圧洗浄 ④汚泥脱水処理装置：汚泥を凝集沈降処理	今回の試験結果から、側溝蓋洗浄装置については、既存技術よりも高い除染効果が認められたことから、蓋の表面の線量が高く、既存技術では十分な効果が得られない場所等において有用と考えられる。また、側溝汚泥回収洗浄装置については、既存技術よりも短時間で作業ができたことから、無蓋側溝等において有用と考えられる。 今後、作業時間の短縮や作業員数の削減等について更なる検討が必要である。
3	(技術4) 住宅除染における除染対象等別の効果検証	パシフィックコンサルティング株式会社福島事務所(郡山市)	市町村のモニタリングデータ等をもとに、シミュレーションツール(RESET)を用いて、除染の部位や用いた除染技術の違いが空間線量率に与える影響等について検証する。	市町村の除染作業における事前・事後モニタリングのデータ等をもとに、除染の部位(庭、駐車場等)や用いた除染技術(除染係数)が生活空間の空間線量率に与える影響等について評価し、視覚的な情報として取りまとめた。 今回の実証結果は、市町村等における除染効果等の住民理解促進等に有用と考えられる。

4	(技術5) 住宅除染等における効果的な測定技術の検証	独立行政法人日本原子力研究開発機構福島環境安全センター (福島市)	①線量及び測定位置情報 (GPS 等) を自動的に PC 等に伝送し記録する技術	歩行速度が 1.0m/s の場合、線量の高低には追従したことから、高線量箇所がおおまかにどの辺りに分布しているかの一次スクリーニングに適していると考えられた。一方で、歩行速度 0.5m/s 以下の場合、線量の高低と位置ともにガイドライン法によく追従することが確認された。静止して測定する基準測定では、ガイドライン法と同等の値を示した。
		ポニー工業株式会社 (大阪府)		歩行速度が 1.0m/s の場合、線量の高低には追従したことから、高線量箇所がおおまかにどの辺りに分布しているかの一次スクリーニングに適していると考えられた。一方で、歩行速度 0.5m/s 以下の場合、線量の高低と位置ともにガイドライン法によく追従することが確認された。静止測定では、ガイドライン法と同等の値を示した。
		株式会社松浦電弘社 (石川県)		KURAMA-m は検出器の特性により表示値は低い値となるが、補正係数を使用することでガイドライン法による測定結果に近い値を得ることが可能であった。静止測定ではガイドライン法と同等の値を示した。また、本実証作業では実施しなかったが、歩行しながら測定することも想定されている。
		日本放射線エンジニアリング株式会社 (茨城県)	②シンチレーションファイバーにより一定区間の線量を同時に測定する技術	P-Scanner は 1m 高さにおいては、ガイドライン法と良い一致が得られた。地表面の測定においては、ガイドライン法と比較して常に低い値が得られたが、ガイドライン法との差異は平均値で±20%以内であった。 P-Scanner は PSF 上の測定点全てを同時に測定することが可能な点が大きな利点である。一方でファイバー状の装置形状のため 1m 高さの測定に際しては測定高さを維持するための治具が必要である。したがって、1m 高さの測定は地表面測定と比較して設置作業に時間を要することに留意する必要がある。
株式会社日立パワーソリューションズ (茨城県)	D-phod は測定高さによらずガイドライン法と良い一致が得られた。また、地表面の測定に際しては測定位置のずれが結果に大きく影響することが考えられた。 D-phod は検出器である PSF 上の測定点全てを同時に測定することが可能であることが利点である。一方で、ファイバー状の装置形状のため 1m 高さの測定に際しては治具が必要である。したがって、1m 高さの測定は地表面測定と比較して設置作業に時間を要することに留意する必要がある。			

※「(技術2) 仮置場などの上面における雨水滞留対策技術の効果検証」は、応募が無かったので実施していない。



## 平成 26 年度福島県市町村除染技術支援事業

(技術 1 舗装面のクラックにおける効果的な除染技術・手法の検証)



## 1 目的

住宅や公共施設等の除染において、舗装面のクラック（割れ目）は局所的に高線量を示しているが、既存の除染技術・手法では他の部位に比べて困難であることから、効果的な技術・手法を検証する。

## 2 実証事業者

大林道路株式会社東北支店（宮城県）

## 3 実証技術

次の2技術について、実証技術及び代表的な既存技術を試験した。

### (1) 技術Ⅰ（除去技術）

実証技術：ポリイオン水<sup>1)</sup>を用いた高压水洗浄（30MPa、80℃）

既存技術：水を用いた高压水洗浄（15MPa、常温）

### (2) 技術Ⅱ（遮へい技術）

実証技術：硫酸バリウムとモルタルによる目地埋め

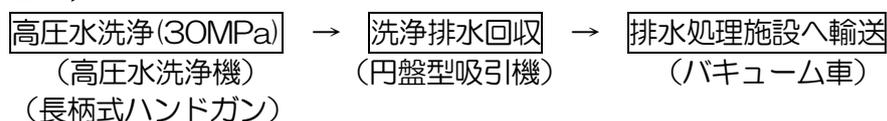
既存技術：アスファルトによる目地埋め

## 4 技術の概要

### (1) 技術Ⅰ（除去技術）

- ・実証技術：ポリイオン水を用いた高压洗浄（30MPa、80℃）

（作業フロー）



本技術は、イーコン・ポリイオン工法（2つの特許（特許第5687678号及び特許第5667029号）所得したエコボンド環境工学リサーチ（株）の登録商標（H24.12.14）である工法）によるものであり、道路除染で使用している機材である「除洗特装車」と「吸引車」を使用し、クラックの溝に長柄式洗浄ノズル（長柄式ハンドガン）でポリイオン水を高压（30MPa）で噴射し、放射性セシウムが付着した粉塵、シルト系微粒子などの汚れを掻き出し、噴射した洗浄水が周囲に飛散しないように、円盤型吸引装置で洗浄水をバキューム車で吸引回収する。

<sup>1)</sup> アニオン系ポリアクリルアミドの合成高分子凝集剤の水溶液。

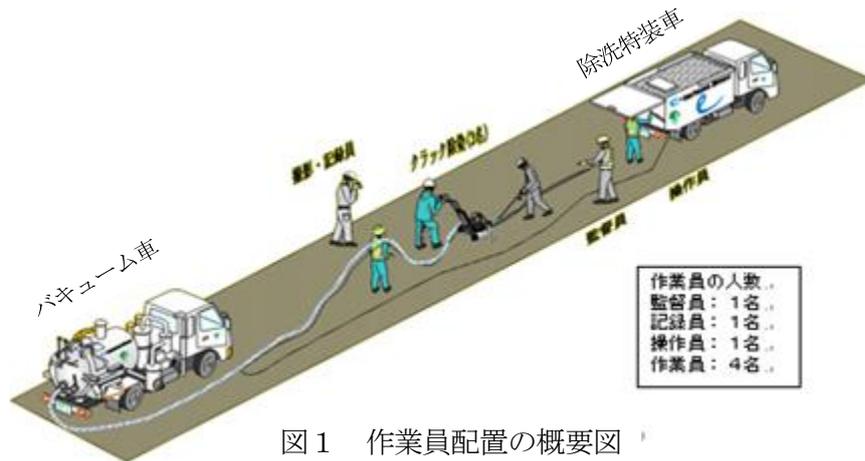


図1 作業員配置の概要図

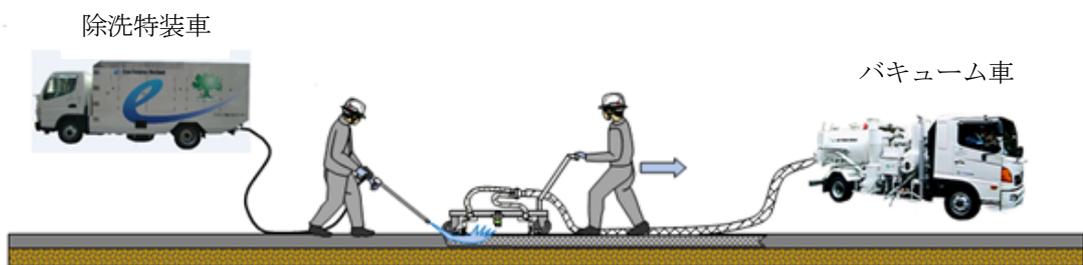
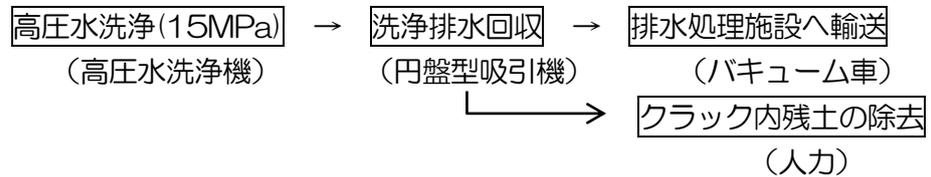


図2 施工方法の概念図

- ・既存技術：水を用いた高圧水洗浄（15MPa、常温）

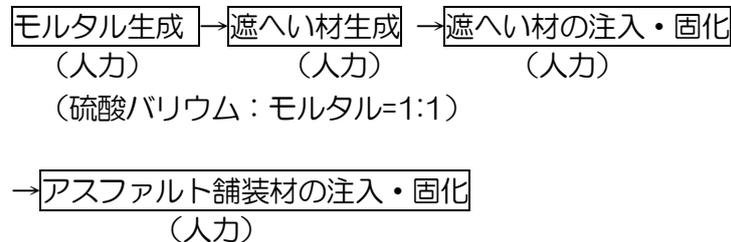
（作業フロー）



## （2）技術Ⅱ（遮へい技術）

- ・実証技術：硫酸バリウムとモルタルによる目地埋め

（作業フロー）



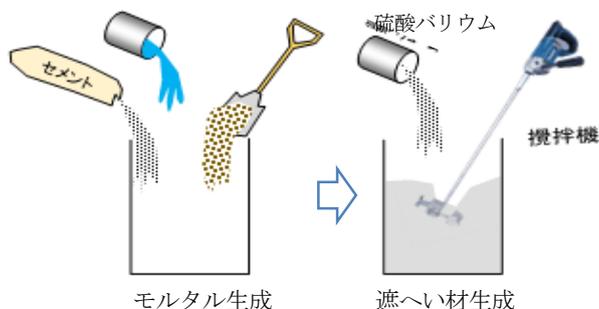
技術Ⅰにより除染したクラック部に対して、硫酸バリウム（粉末）：セメントモルタルを1：1（w/w）で混和した遮へい材を注入・固化し、クラック中に残った放射性物質からの放射線を遮へいする。なお、表面（約0.5～1.0cm）は舗装面と同材（アスファルト補修材）を注入し、目地を埋める。

・既存技術：アスファルトによる目地埋め

(作業フロー)

**アスファルト舗装材の注入・固化**

(人力)



セメントと砂でモルタルを生成し、硫酸バリウムをモルタルと1対1に投入して、混練しセシウムの遮へい材を生成する。

図3 遮へい材の製造方法

5 対象

アスファルト舗装面のクラック

6 実証作業の概要

(1) 実施日

- 平成27年1月13日(火) 技術Ⅰ・技術Ⅱの作業の実施
- 平成27年1月14日(水) 技術Ⅱ完了後の線量測定
- 平成27年1月15日(木) 浸透状況測定用試料採取
- 平成27年1月27日(火) 実証作業実施部分の舗装打ち換え

(2) 作業実施場所等

ア 実施場所

福島県県中地区

イ 実証作業場所

公共施設の駐車場 (図4及び写真1のとおり)

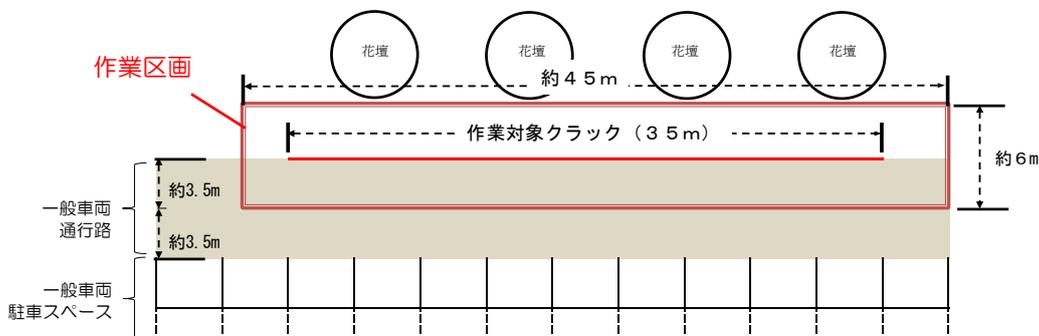


図4 実証作業場所のイメージ

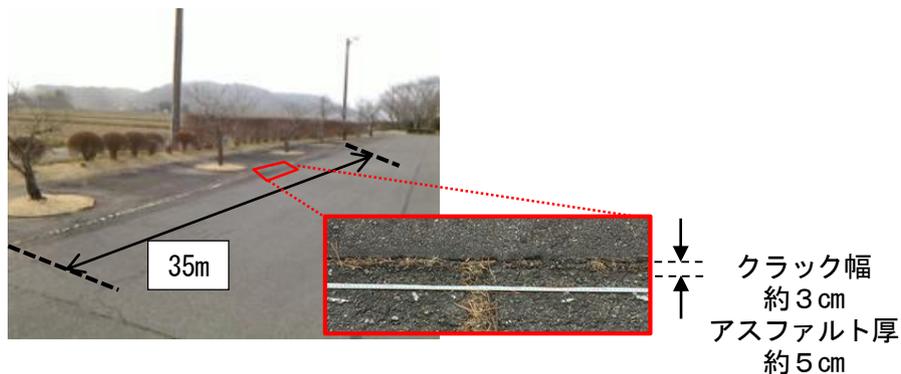


写真1 実証作業場所とクラックの状況

### (3) 実証作業の実施方法

#### ア 事前作業等

##### (ア) 作業区画分け

実証作業は、それぞれの技術の効果について、既存技術と比較検証するため、実証作業場所を以下の4つの区画に分けた。また、区画②と③の間に作業を実施しない区画（対照区画）を設けた。

区画①	技術Ⅰ（既存技術）＋技術Ⅱ（既存技術）
区画②	技術Ⅰ（既存技術）＋技術Ⅱ（実証技術）
区画③	技術Ⅰ（実証技術）＋技術Ⅱ（実証技術）
区画④	技術Ⅰ（実証技術）＋技術Ⅱ（既存技術）

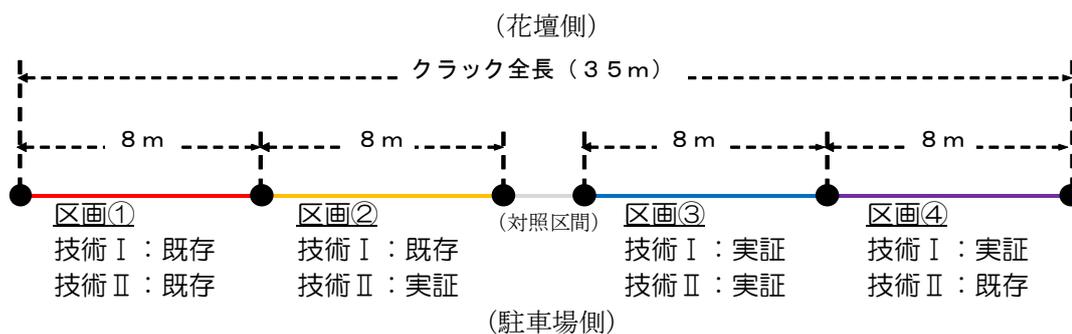


図5 作業区画のイメージ

##### (イ) 作業前測定

各区画を図6のとおり1mおきに8点（対照区画については1点）選定し、実証作業前の表面線量率（地表面1cm）、表面汚染密度を測定した。また、各区画の中心点において、空間線量率（地上1m）を測定するとともに、クラックの堆積物（草等）を採取し、放射性セシウム濃度を測定した。

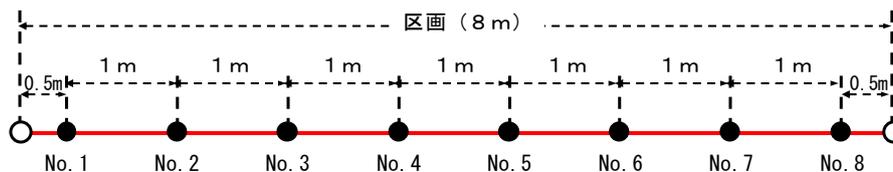


図6 事前測定場所のイメージ（区画①の例）

(ウ) 除草等

クラック部の洗浄を行う前に、雑草の引き抜き、竹ぼうきによる落葉等の表面の堆積物除去を行った。

(エ) 技術Ⅰ施工前測定

「ア（イ）実証作業前測定」と同様に表面線量率（地表面 1 cm）等、除草後のクラック堆積土の放射性セシウム濃度を測定した。

イ 技術Ⅰ（除去技術）施工

(ア) 技術Ⅰ施工

区画①②については既存技術、区画③④については実証技術で施工した。既存技術の作業時における水圧は 15MPa、水温は 5℃、実証技術の作業時における水圧は 30MPa、水温は 80℃であった。

なお施工後、区画①②のクラック中に残存する堆積物は、技術Ⅱ（遮へい技術）の施工のため、区画③④と同様のクラックの状態とする必要があることから、「イ（イ）施工後測定」を行った後、手作業で除去した。

(イ) 施工後測定

「ア（イ）実証作業前測定」と同様に表面線量率（地表面 1 cm）等を測定した。

ウ 技術Ⅱ（遮へい技術）施工

(ア) 技術Ⅱ施工

区画①④については既存技術、区画②③については実証技術で施工した。なお、実証技術については、遮へい材を表面から 1 cm 程度下まで注入し、表面を成型し一定時間放置後、防水を目的としてアスファルト補修材を 1 cm 程度充填した。

(イ) 施工後測定

「ア（イ）実証作業前測定」と同様に表面線量率（地表面 1 cm）等を測定した。

エ 事後作業等

(ア) 放射性物質浸透状況の確認

クラック部から放射性セシウムが、下部方向にどの程度浸透しているのかを把握するため、実証試験の施工完了後に各区画（対照区画を含む）1箇所について、縦 20 cm×横 50 cmの広さでアスファルト、路盤材（深さ 0～5 cm及び 5cm～路床境界）及び路床表層土をそれぞれ採取し、放射性セシウム濃度の測定を行った。また、各試料の採取時に路盤及び路床の表面線量率（地表面 1 cm）及び表面汚染密度の測定を行った。

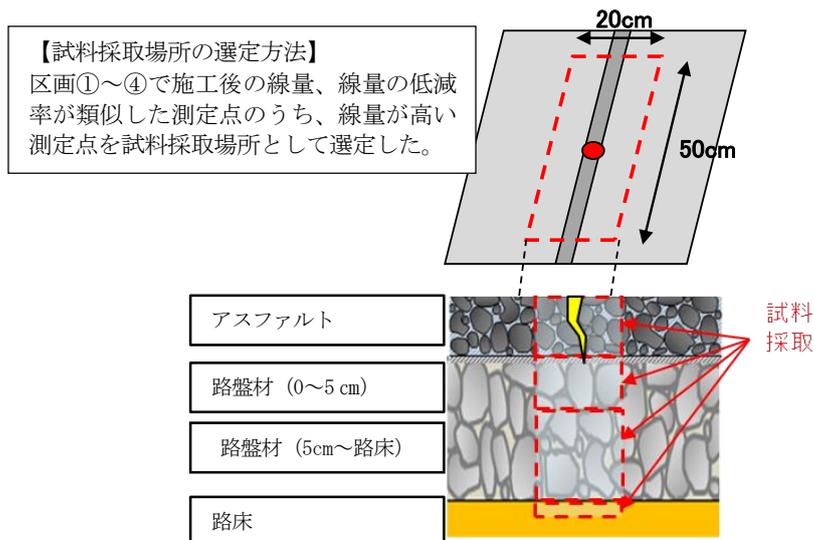


図7 試料の採取

(イ) 原状回復

実証作業の実施場所は、全ての作業終了後、再舗装した。(幅員 1.2m×延長 35 m)

オ 測定条件等

本実証作業における測定条件は次のとおり。

表1 空間線量率等

測定項目	測定機器	測定条件等	測定地点数
表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	NaI シンチレーション サーベイメータ (日立 アロカメディカル製 TCS-172B)	地表面 1 cm 時定数 10 秒 鉛遮へい体 (鉛厚 1cm)使用	33 地点 (4 区画× 8 地点) (1 対照区× 1 地点)
表面汚染密度 (cpm)	GM サーベイメータ (日 立アロカメディカル製 TCS-172B)	地表面 1 cm 時定数 10 秒 鉛遮へい体 (鉛厚 1cm)使用	33 地点 (4 区画× 8 地点) (1 対照区× 1 地点)
空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	NaI シンチレーション サーベイメータ (日立 アロカメディカル製 TCS-172B)	地上 1 m 時定数 10 秒 鉛遮へい体なし	5 点 (4 区画× 1 地点) (1 対照区× 1 地点)

※測定は、10 秒に 1 回ずつ、5 回読み取り値の平均値を使用した。

表2 放射性セシウム濃度

測定項目	試料の種類	測定機器	採取地点数
放射性セシウム濃度 (Bq/kg) [ <sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs]	堆積物 (草等) 堆積物 (土) アスファルト 路盤材 (0~5cm) 路盤材 (5~路床) 路床材 (表層)	Ge 半導体検出器 (セイコー・イメージャンドジー製 SEG-EMS (オルテック製 Ge 半導体検出器 GEM20-70)) NaI シンチレーションスペクトロメータ (パーキンエルマ製 2480 WIZARD <sup>2</sup> <sub>TM</sub> )	5 地点 (4 区画×1 地点) (1 区画×1 地点)
放射性セシウム濃度 (Bq/L) [ <sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs]	排水処理施設の水 (原水、処理水)	Ge 半導体検出器 (セイコー・イメージャンドジー製 SEG-EMS (オルテック製 Ge 半導体検出器 GEM20-70)) NaI シンチレーションスペクトロメータ (パーキンエルマ製 2480 WIZARD <sup>2</sup> <sub>TM</sub> )	3 試料

(4) 実証作業の評価ポイント

ア 除染効果

実証作業前後の表面線量率 (1 cm)、表面汚染密度及び空間線量率 (1 m) の低減率 (%) 及び除染係数 (DF) を評価する。

クラック部の下部方向の放射性セシウムの浸透状況 (深度分布) を評価する。

イ スピード及びコスト

検証技術の施工スピード及びコストについて、実証技術に要する作業時間、作業員数等を確認し、既存技術との比較を行う。

ウ 除去土壌等の発生量

作業で発生する除去土壌等の量及び放射性セシウム濃度 (排水等) を確認する。



表4 各区画における適用技術別の低減率

区画	種類	表面線量率*1		表面汚染密度*1		空間線量率*1	
		技術別*2	技術 I + II 後*2	技術別*2	技術 I + II 後*2	技術別*2	技術 I + II 後*2
①	技術 I (既存)	31	47	32	63	0	6
	技術 II (既存)	7.9		49		2	
②	技術 I (既存)	29	46	28	65	2	12
	技術 II 【実証】	13		55		9	
③	技術 I 【実証】	59	66	56	77	15	15
	技術 II 【実証】	16		49		5	
④	技術 I 【実証】	57	60	53	72	13	14
	技術 II (既存)	6.0		40		1	

\*1 単位はパーセント (%)

\*2 「技術別」については、各技術の施工前の測定結果を 100 とした場合、「技術 I + II 後」については、技術 I 施工前の測定結果を 100 とした場合の低減率のため、「技術別」の低減率の合算値が「技術 I + II 後」の低減率にはならない。

表5 各区画における適用技術別の除染係数

区画	種類	表面線量率*1		表面汚染密度*1		空間線量率*1	
		技術別*2	技術 I + II 後*2	技術別*2	技術別*2	技術 I + II 後*2	技術別*2
①	技術 I (既存)	1.5	2.0	1.5	2.8	1.2	1.1
	技術 II (既存)	1.1		2.0		1.0	
②	技術 I (既存)	1.5	2.0	1.4	3.1	1.2	1.1
	技術 II 【実証】	1.2		2.4		1.1	
③	技術 I 【実証】	2.6	3.1	2.4	4.8	2.6	1.2
	技術 II 【実証】	1.2		2.0		1.0	
④	技術 I 【実証】	2.5	2.6	2.2	3.8	2.3	1.2
	技術 II (既存)	1.1		1.7		1.0	

\*1 除染係数 (DF) = 施工前の線量 / 施工後の線量

\*2 「技術別」については、各技術の施工前の測定結果を 100 とした場合、「技術 I + II 後」については、技術 I 施工前の測定結果を 100 とした場合の低減率のため、「技術別」の低減率の合算値が「技術 I + II 後」の低減率にはならない。

## イ 放射性物質浸透状況

区画①～④、対照区画の深度別の放射性セシウム濃度を図8に示す。

アスファルト中の濃度では、区画③④が区画①②に比べて低い値であった。これは、区画③④で用いた技術Ⅰ（除去技術）の実証技術が、既存技術よりも放射性セシウムの除去効果が高かったため、と考えられる。

路盤中の濃度では、対照区画も含めたいずれの区画でも同程度の濃度であった。これはこのクラックでは、現在放射性セシウムが路盤に達していること、今回用いた技術では路盤中の放射性セシウムは除去できないことを示すものと考えられる。

なお、アスファルト以深の部分は試料採取にあたり、一定の容積を混合しているため、草や落葉、堆積物との濃度比較は出来ない。

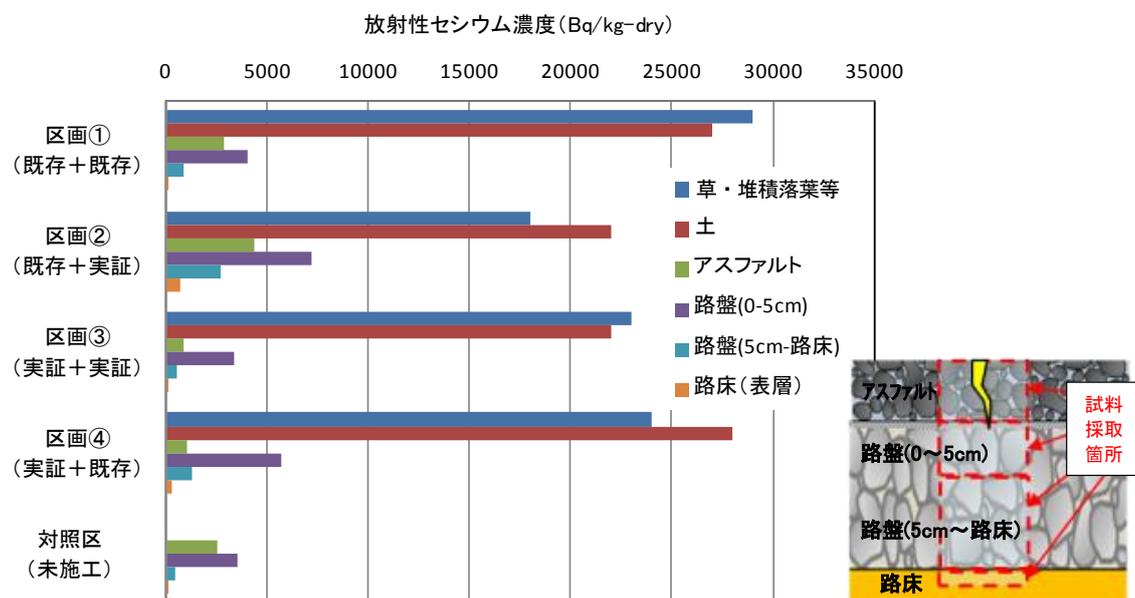


図8 放射性セシウム濃度の測定結果

## (2) 作業コスト等

### ア 作業時間

作業時間について、技術Ⅰ及びⅡともに実証技術が既存技術よりも長い時間を要しており、技術Ⅰでは約2倍、技術Ⅱでは約1.5倍である。

理由として、技術Ⅰでは洗浄水量が多く、排水の回収作業に時間を要したこと、技術Ⅱでは2段階（硫酸バリウム混入モルタル施工及びアスファルト系目地材施工）の作業を実施したことが考えられる。

なお、このほか実際の試験においては技術Ⅰの既存技術の施工後に技術Ⅱ試験の条件設定のため、人手による堆積物除去を行っている。

表9 作業時間と人員

技術の種類		使用資機材	仕様	数量	作業時間	作業人員	100m当り数量
技術Ⅰ (既存)	洗浄	高压洗浄機	15MPa	1台	5分 20秒	7名	作業員0.5人 機械0.1セット 水310ℓ
		水タンク	1,000ℓ	1基			
		作業車	ゲート付2tonトラック	1台			
		バキューム車	4ton 重力沈降式	1台			
		処理用水	水道水	50ℓ			
	堆積物 除去	作業車	ゲート付2tonトラック	1台	18分 30秒	5名	作業員0.7人 機械0.1セット
バキューム車	4ton車 重力沈降式	1台					
技術Ⅰ (実証)	除染特装車	6ton車 49MPaポンプ搭載	1台	10分 00秒	7名	作業員0.9人 機械0.2セット 水930ℓ	
	円盤型洗浄機	径400mm	1基				
	作業車	ゲート付2tonトラック	1台				
	バキューム車	4ton車 重力沈降式	1台				
	ガンタイプ洗浄機	クランク用	1基				
	処理用水	ポリイオン混合水	150ℓ				
技術Ⅱ (既存)	ガスバーナー	プロパン使用	1台	27分 30秒	5名	作業員1.8人 機械0.4セット 目地材87kg	
	アスファルト系目地材		14kg				
技術Ⅱ (実証)	ガスバーナー	プロパン使用	1台	42分 40秒	7名	作業員3.9人 機械0.6セット 目地材37kg 遮蔽材125kg	
	アスファルト系目地材		6kg				
	硫酸バリウム		10kg				
	砂	7号硅砂	5kg				
	セメント		5kg				

イ 作業コスト

実証技術に係る金額は、技術Ⅰ（除染技術）の場合 9,123円/m、技術Ⅱ（遮へい技術）の場合 2,964円/mであり、技術Ⅰ及びⅡの合計で 12,087円/mとなった。

### (3) 排水

実証作業で発生した排水の量と放射性セシウム濃度を表 11 に示す。排水を凝集沈殿処理した結果、いずれも検出下限値未満（検出下限値 2.0Bq/L）となった。

表 11 排水中の放射性セシウム濃度

排水	放射性セシウム濃度 (Bq/L)			(参考) 使用水量
	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs	
技術 I（既存）の回収水	1,900	8,200	10,000	50L
技術 I（実証）の回収水	3,700	15,000	19,000	150L
凝集沈殿処理水	<1.0	<1.0	<2.0	-

## 9 評価等

今回の試験結果から、除去技術、遮へい技術ともに実証技術であるポリイオン水を用いた高圧水洗浄（30 MPa、水温 80℃）及び硫酸バリウムとモルタルによる目地埋めにおいて、通常の除染技術よりも高い除染効果が認められた。これらの技術は、高線量かつ取り壊し等が困難な場所等において有用と考えられる。

今後、当該技術に係る作業時間の短縮等によるコストの低減や効果的な条件（高圧水洗浄における水圧や水温等）について更なる検討が必要である。

参考 施工等写真



写真1 事前作業の状況



写真2 技術 I 実証技術の作業状況



写真3 技術 I 実証技術使用機械



写真4 技術Ⅰ既存技術の作業状況



写真5 高圧洗浄機



写真6 吸引車



写真7 追加の土砂除去  
(作業区間①及び②のみ)



写真8 技術Ⅱ実証技術  
硫酸バリウム混入モルタル製造



写真9 技術Ⅱ実証技術  
遮へい用モルタル注入状況



写真10 アスファルトの切り出し



写真11 舗装材料の採取



写真12 路盤材料採取状況

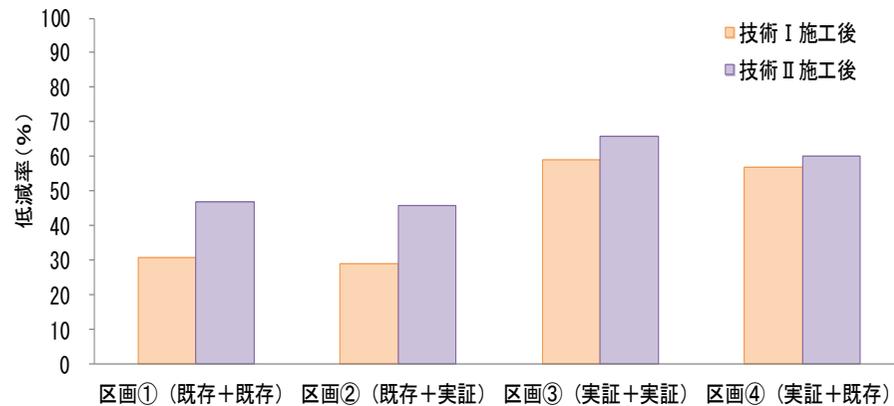


写真13 試料採取完了

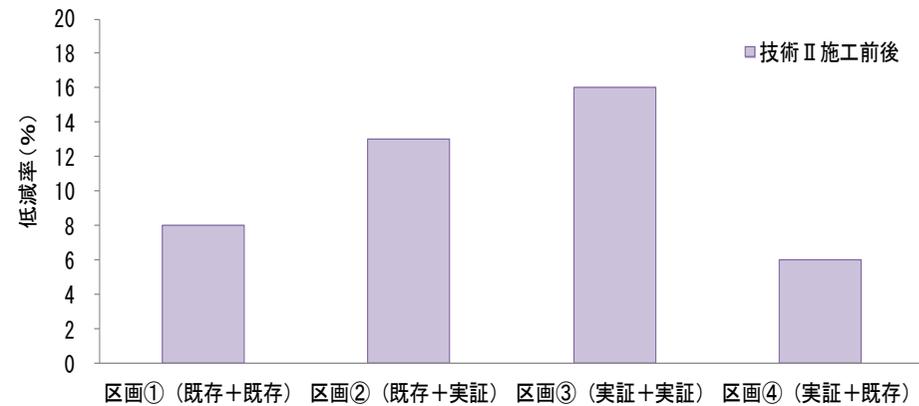
参考表1 施工による表面線量率（地上1 cm高さ、鉛遮へい体あり）の測定結果

技術の種類			技術 I 施工前	技術 I 施工後				(技術 I 追加施工後)	技術 II 施工後				技術 II 施工前後*	
区画	I	II	表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	低減率 (%)	DF	表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	低減率 (%)	DF	低減率 (%)	DF		
①	既存	既存	0.71 (0.36-1.21)	0.49 (0.22-0.85)	31 (22-42)	1.5 (1.3-1.7)	0.40 (0.18-0.63)	0.37 (0.19-0.59)	47 (31-61)	2.0 (1.4-2.6)	7.9 ( <del>比減無し</del> -13)	1.1 ( <del>比減無し</del> -1.2)		
②	既存	実証	0.69 (0.36-0.89)	0.49 (0.26-0.69)	29 ( <del>比減無し</del> -57)	1.5 ( <del>比減無し</del> -2.3)	0.41 (0.26-0.60)	0.36 (0.23-0.49)	46 (20-66)	2.0 (1.2-3.0)	13 (7-19)	1.2 (1.1-1.2)		
③	実証	実証	0.76 (0.50-1.01)	0.31 (0.20-0.47)	59 (50-72)	2.6 (2.0-3.6)	-	0.26 (0.18-0.38)	66 (53-76)	3.1 (2.1-4.1)	16 (6-27)	1.2 (1.1-1.4)		
④	実証	既存	0.78 (0.48-1.04)	0.33 (0.22-0.48)	57 (40-72)	2.5 (1.7-3.6)	-	0.31 (0.21-0.47)	60 (45-73)	2.6 (1.8-3.6)	6 (2-10)	1.1 (1.0-1.1)		

\*: 区画①及び②については技術 I 追加施工後、区画③及び④については技術 I 施工後の表面線量率を 100 とした場合



参考図 1-1 施工段階別の表面線量率（地上1 cm高さ、鉛遮へい体あり）の低減率の推移（技術 I 施工前を 0%とした場合）

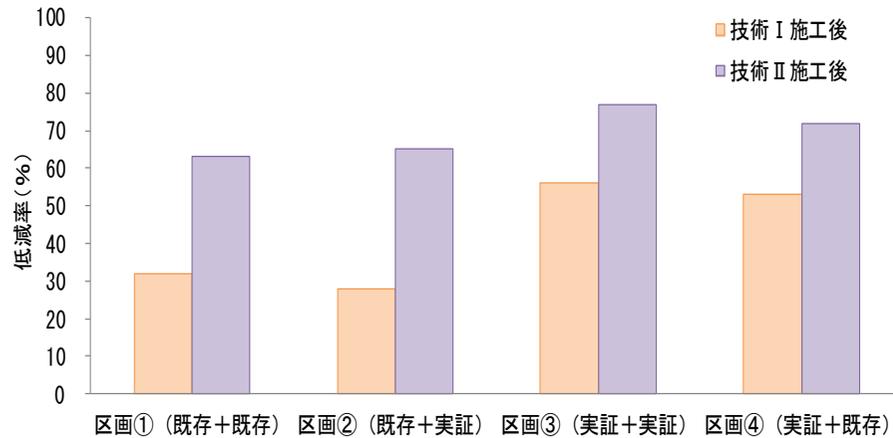


参考図 1-2 技術 II 施工前後の表面線量率（地上1 cm高さ、鉛遮へい体あり）の低減率の推移（技術 II 施工前を 0%とした場合）

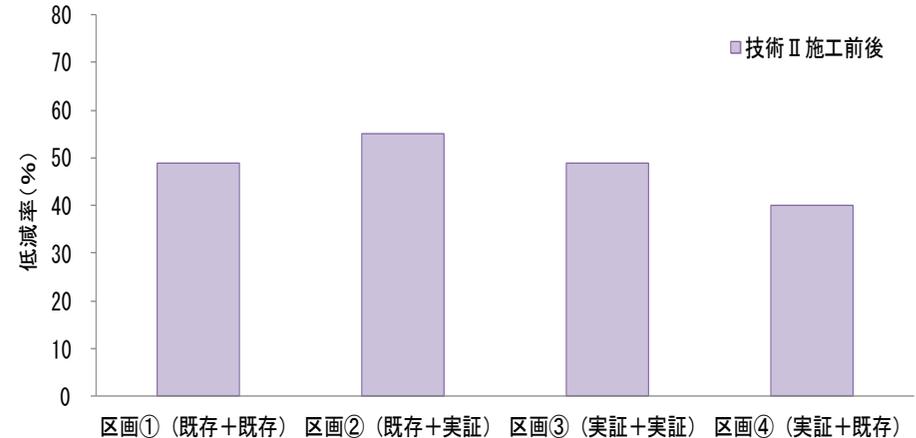
参考表2 施工による表面汚染密度（地上1 cm高さ、鉛遮へい体あり）の測定結果

技術の種類		技術 I 施工前	技術 I 施工後				(技術 I 追加施工後)	技術 II 施工後				技術 II 施工前後*	
区画	I	II	表面汚染密度 (cpm)	表面汚染密度 (cpm)	低減率 (%)	DF	表面汚染密度 (cpm)	表面汚染密度 (cpm)	低減率 (%)	DF	低減率 (%)	DF	
①	既存	既存	841 (527-1142)	570 (316-796)	32 (11-45)	1.5 (1.1-1.8)	620 (336-887)	314 (152-428)	63 (51-71)	2.8 (2.1-3.5)	49 (32-55)	2.0 (1.5-2.2)	
②	既存	実証	786 (508-1049)	556 (402-740)	28 (14-39)	1.4 (1.2-1.7)	607 (484-759)	265 (200-300)	65 (49-77)	3.1 (2.0-4.4)	55 (38-69)	2.4 (1.6-3.2)	
③	実証	実証	829 (545-994)	353 (250-447)	56 (38-71)	2.4 (1.6-3.5)	—	179 (143-238)	77 (67-85)	4.8 (3.1-6.8)	49 (37-55)	2.0 (1.6-2.2)	
④	実証	既存	822 (551-959)	380 (273-512)	53 (35-70)	2.2 (1.5-3.4)	—	225 (185-308)	72 (62-80)	3.8 (2.6-5.1)	40 (32-51)	1.7 (1.5-2.1)	

\*: 区画①及び②については技術 I 追加施工後、区画③及び④については技術 I 施工後の表面線量率を 100 とした場合



参考図 2-1 施工段階別の表面汚染密度（地上1 cm高さ、鉛遮へい体あり）の低減率の推移（技術 I 施工前を 0 %とした場合）



参考図 2-2 技術 II 施工前後の表面汚染密度（地上1 cm高さ、鉛遮へい体あり）の低減率の推移（技術 II 施工前を 0 %とした場合）

参考表3 施工による空間線量率（地上1m高さ、鉛遮へいなし）の測定結果

技術の種類			技術 I 施工前	技術 I 施工後		(技術 I 追加施工後)		技術 II 施工後	
区画	I	II	空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	低減率 (%)	空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	低減率 (%)	空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	低減率 (%)
①	既存	既存	0.38	0.38	低減無し	0.36	5	0.35	6
②	既存	実証	0.32	0.32	2	0.31	3	0.29	12
③	実証	実証	0.29	0.25	15	—	—	0.24	15
④	実証	既存	0.27	0.23	13	—	—	0.23	14

参考表4 除染後の材質別の表面線量率等の測定結果（鉛遮へい体あり）

区画	技術の種類		測定面	表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	表面汚染密度 (cpm)
	I	II			
①	既存	既存	アスファルト表面	0.33	307
			路盤表面	-	-
			路床表面	0.05	70
②	既存	実証	アスファルト表面	0.45	284
			路盤表面	0.41	465
			路床表面	0.09	125
③	実証	実証	アスファルト表面	0.18	143
			路盤表面	0.21	303
			路床表面	0.06	103
④	実証	既存	アスファルト表面	0.23	191
			路盤表面	0.24	340
			路床表面	0.06	102
対照区	除染無し		アスファルト表面	0.50	679
			路盤表面	0.22	416
			路床表面	0.06	79

参考表5 施工による表面線量率（地上1 cm高さ、鉛遮へい体あり）の測定結果

区画	技術の種類		地点名	起点からの距離 (m)	事前	除草後	技術 I 施工後*1			(技術 I 追加施工後)*1	技術 II 施工後*1			技術 II 施工前後*2	
	I	II			表面線量率 (μSv/h)	表面線量率 (μSv/h)	表面線量率 (μSv/h)	低減率 (%)	DF	表面線量率 (μSv/h)	表面線量率 (μSv/h)	低減率 (%)	DF	低減率 (%)	DF
①	既存	既存	1	0.5	0.42	0.42	0.32	24	1.3	0.21	0.20	53	2.1	7.5	1.1
			2	1.5	0.36	0.36	0.22	39	1.6	0.18	0.19	46	1.8	低減無し	低減無し
			3	2.5	0.43	0.43	0.28	33	1.5	0.29	0.29	32	1.5	低減無し	1.0
			4	3.5	0.98	0.98	0.57	42	1.7	0.43	0.38	61	2.6	12	1.1
			5*3	4.5	0.85	0.85	0.66	23	1.3	0.63	0.59	31	1.4	5.4	1.1
			6	5.5	1.21	1.21	0.85	30	1.4	0.62	0.54	55	2.2	13	1.1
			7*4	6.5	0.70	0.70	0.44	37	1.6	0.38	0.33	53	2.1	12	1.1
			8	7.5	0.73	0.73	0.57	22	1.3	0.46	0.40	46	1.8	13	1.2
			平均値 (最小-最大)		0.71 (0.36-1.21)	0.71 (0.36-1.21)	0.49 (0.22-0.85)	31 (22-42)	1.5 (1.3-1.7)	0.40 (0.18-0.63)	0.37 (0.19-0.59)	47 (31-61)	2.0 (1.4-2.6)	7.9 (低減無し-13)	1.1 (低減無し-1.2)
②	既存	実証	9	8.5	0.77	0.77	0.64	16	1.2	0.60	0.49	36	1.6	17	1.2
			10	9.5	0.77	0.77	0.33	57	2.3	0.29	0.26	66	3.0	12	1.1
			11	10.5	0.43	0.43	0.57	低減無し	低減無し	0.43	0.35	20	1.2	19	1.2
			12*4	11.5	0.81	0.81	0.57	30	1.4	0.51	0.45	45	1.8	12	1.1
			13*3	12.5	0.89	0.89	0.69	22	1.3	0.44	0.38	58	2.4	15	1.2
			14	13.5	0.70	0.70	0.43	39	1.6	0.34	0.30	58	2.4	14	1.2
			15	14.5	0.77	0.77	0.45	41	1.7	0.43	0.40	48	1.9	7.0	1.1
			16	15.5	0.36	0.36	0.26	28	1.4	0.26	0.23	35	1.5	11	1.1
			平均値 (最小-最大)		0.69 (0.36-0.89)	0.69 (0.36-0.89)	0.49 (0.26-0.69)	29 (低減無し-57)	1.5 (低減無し-2.3)	0.41 (0.26-0.60)	0.36 (0.23-0.49)	46 (20-66)	2.0 (1.2-3.0)	13 (7-19)	1.2 (1.1-1.2)

\*1: 低減率及び除染係数は、技術 I 施工前の表面線量率を 100 とした場合

\*2: 低減率及び除染係数は、区画①及び②については技術 I 追加施工後、区画③及び④については技術 I 施工後の表面線量率を 100 とした場合

\*3: 空間線量率測定地点

\*4: 放射性セシウム濃度測定用試料採取地点

参考表5 施工による表面線量率（地上1 cm高さ、鉛遮へい体あり）の測定結果（続き）

区画	技術の種類		地点名	起点からの距離(m)	事前	除草後	技術Ⅰ施工後*1			(技術Ⅰ追加施工後)*1	技術Ⅱ施工後*1			技術Ⅱ施工前後*2	
	I	Ⅱ			表面線量率(μSv/h)	表面線量率(μSv/h)	表面線量率(μSv/h)	低減率(%)	DF	表面線量率(μSv/h)	表面線量率(μSv/h)	低減率(%)	DF	低減率(%)	DF
③	実証	実証	18	19.5	1.01	1.01	0.47	54	2.2	—	0.38	63	2.7	20	1.2
			19	20.5	0.73	0.73	0.23	68	3.1	—	0.20	73	3.7	15	1.2
			20	21.5	0.50	0.50	0.25	50	2.0	—	0.24	53	2.1	6	1.1
			21	22.5	0.59	0.59	0.24	59	2.5	—	0.22	63	2.7	10	1.1
			22*3,4	23.5	0.73	0.73	0.20	72	3.6	—	0.18	76	4.1	13	1.1
			23	24.5	0.98	0.98	0.35	65	2.8	—	0.25	74	3.8	27	1.4
			24	25.5	0.87	0.87	0.41	53	2.1	—	0.35	59	2.5	13	1.2
			25	26.5	0.65	0.65	0.30	54	2.2	—	0.23	64	2.8	23	1.3
			平均値 (最小-最大)		0.76 (0.50-1.01)	0.76 (0.50-1.01)	0.31 (0.20-0.47)	59 (50-72)	2.6 (2.0-3.6)	—	0.26 (0.18-0.38)	66 (53-76)	3.1 (2.1-4.1)	16 (6-27)	1.2 (1.1-1.4)
④	実証	既存	26	27.5	0.58	0.58	0.22	62	2.6	—	0.21	63	2.7	2.7	1.0
			27	28.5	0.48	0.48	0.29	40	1.7	—	0.27	45	1.8	6.9	1.1
			28	29.5	0.80	0.80	0.22	72	3.6	—	0.22	73	3.6	1.8	1.0
			29	30.5	0.81	0.81	0.29	64	2.7	—	0.27	66	3.0	7.5	1.1
			30*3,4	31.5	0.82	0.82	0.25	70	3.3	—	0.23	72	3.5	5.7	1.1
			31	32.5	1.04	1.04	0.47	55	2.2	—	0.42	60	2.5	10	1.1
			32	33.5	0.76	0.76	0.41	45	1.8	—	0.37	51	2.0	10	1.1
			33	34.5	0.93	0.93	0.48	48	1.9	—	0.47	49	2.0	1.7	1.0
			平均値 (最小-最大)		0.78 (0.48-1.04)	0.78 (0.48-1.04)	0.33 (0.22-0.48)	57 (40-72)	2.5 (1.7-3.6)	—	0.31 (0.21-0.47)	60 (45-73)	2.6 (1.8-3.6)	6 (2-10)	1.1 (1.0-1.1)
対照区	未施工		17*3	17.5	0.52	0.52	0.50	3	1.0	0.50	0.50	3	1.0	0	1.0

\*1: 低減率及び除染係数は、技術Ⅰ施工前の表面線量率を100とした場合

\*2: 低減率及び除染係数は、区画①及び②については技術Ⅰ追加施工後、区画③及び④については技術Ⅰ施工後の表面線量率を100とした場合

\*3: 空間線量率測定地点

\*4: 放射性セシウム濃度測定用試料採取地点

参考表6 施工による表面線汚染密度（地上1cm高さ、鉛遮へい体あり）の測定結果

区画	技術の種類		地点名	起点からの距離(m)	事前	技術Ⅰ施工前	技術Ⅰ施工後*1			(技術Ⅰ追加施工後)*1	技術Ⅱ施工後*1			技術Ⅱ施工前後*2	
	I	II			表面汚染密度(cpm)	表面汚染密度(cpm)	表面汚染密度(cpm)	低減率(%)	DF	表面汚染密度(cpm)	表面汚染密度(cpm)	低減率(%)	DF	低減率(%)	DF
①	既存	既存	1	0.5	608	608	542	11	1.1	413	201	67	3.0	51	2.1
			2	1.5	527	527	316	40	1.7	336	152	71	3.5	55	2.2
			3	2.5	816	816	446	45	1.8	479	327	60	2.5	32	1.5
			4	3.5	1108	1108	796	28	1.4	700	350	68	3.2	50	2.0
			5*3	4.5	854	854	655	23	1.3	852	414	51	2.1	51	2.1
			6	5.5	1142	1142	757	34	1.5	887	428	62	2.7	52	2.1
			7*4	6.5	867	867	532	39	1.6	672	307	65	2.8	54	2.2
			8	7.5	803	803	516	36	1.6	620	328	59	2.4	47	1.9
			平均値 (最小-最大)			841 (527-1142)	841 (527-1142)	570 (316-796)	32 (11-45)	1.5 (1.1-1.8)	620 (336-887)	314 (152-428)	63 (51-71)	2.8 (2.1-3.5)	49 (32-55)
②	既存	実証	9	8.5	748	748	647	14	1.2	684	381	49	2.0	44	1.8
			10	9.5	730	730	505	31	1.4	551	260	64	2.8	53	2.1
			11	10.5	836	836	590	29	1.4	588	200	76	4.2	66	2.9
			12*3	11.5	970	970	623	36	1.6	741	284	71	3.4	62	2.6
			13*4	12.5	1049	1049	740	29	1.4	759	237	77	4.4	69	3.2
			14	13.5	821	821	498	39	1.7	558	249	70	3.3	55	2.2
			15	14.5	622	622	445	29	1.4	484	300	52	2.1	38	1.6
			16	15.5	508	508	402	21	1.3	492	211	58	2.4	57	2.3
			平均値 (最小-最大)			786 (508-1049)	786 (508-1049)	556 (402-740)	28 (14-39)	1.4 (1.2-1.7)	607 (484-759)	265 (200-300)	65 (49-77)	3.1 (2.0-4.4)	55 (38-69)

\*1: 低減率及び除染係数は、技術Ⅰ施工前の表面線量率を100とした場合

\*2: 低減率及び除染係数は、区画①及び②については技術Ⅰ追加施工後、区画③及び④については技術Ⅰ施工後の表面線量率を100とした場合

\*3: 空間線量率測定地点

\*4: 放射性セシウム濃度測定用試料採取地点

参考表6 施工による表面線汚染密度（地上1cm高さ、鉛遮へい体あり）の測定結果（続き）

区画	技術の種類		地点名	起点からの距離(m)	事前	技術Ⅰ施工前	技術Ⅰ施工後*1			(技術Ⅰ追加施工後)*1	技術Ⅱ施工後*1			技術Ⅱ施工前後*2	
	I	II			表面汚染密度(cpm)	表面汚染密度(cpm)	表面汚染密度(cpm)	低減率(%)	DF	表面汚染密度(cpm)	表面汚染密度(cpm)	低減率(%)	DF	低減率(%)	DF
③	実証	実証	18	19.5	1066	1066	487	54	2.2	-	251	76	4.2	48	1.9
			19	20.5	994	994	283	71	3.5	-	151	85	6.6	47	1.9
			20	21.5	545	545	250	54	2.2	-	158	71	3.4	37	1.6
			21	22.5	752	752	317	58	2.4	-	150	80	5.0	53	2.1
			22*3、4	23.5	976	976	283	71	3.5	-	143	85	6.8	49	2.0
			23	24.5	911	911	350	62	2.6	-	161	82	5.7	54	2.2
			24	25.5	729	729	447	39	1.6	-	238	67	3.1	47	1.9
			25	26.5	658	658	405	38	1.6	-	182	72	3.6	55	2.2
			平均値 (最小-最大)		829 (545-994)	829 (545-994)	353 (250-447)	56 (38-71)	2.4 (1.6-3.5)	-	179 (143-238)	77 (67-85)	4.8 (3.1-6.8)	49 (37-55)	2.0 (1.6-2.2)
④	実証	既存	26	27.5	707	707	273	61	2.6	-	185	74	3.8	32	1.5
			27	28.5	551	551	311	44	1.8	-	212	62	2.6	32	1.5
			28	29.5	942	942	280	70	3.4	-	185	80	5.1	34	1.5
			29	30.5	863	863	357	59	2.4	-	188	78	4.6	47	1.9
			30*3、4	31.5	848	848	363	57	2.3	-	191	77	4.4	47	1.9
			31	32.5	913	913	452	51	2.0	-	308	66	3.0	32	1.5
			32	33.5	791	791	512	35	1.5	-	249	69	3.2	51	2.1
			33	34.5	959	959	492	49	2.0	-	282	71	3.4	43	1.7
			平均値 (最小-最大)		822 (551-959)	822 (551-959)	380 (273-512)	53 (35-70)	2.2 (1.5-3.4)	-	225 (185-308)	72 (62-80)	3.8 (2.6-5.1)	40 (32-51)	1.7 (1.5-2.1)
対照区	未施工		17	17.5	725	725	676	7	1.1	666	679	6	1.1	0	1.0

\*1: 低減率及び除染係数は、技術Ⅰ施工前の表面線量率を100とした場合

\*2: 低減率及び除染係数は、区画①及び②については技術Ⅰ追加施工後、区画③及び④については技術Ⅰ施工後の表面線量率を100とした場合

\*3: 空間線量率測定地点

\*4: 放射性セシウム濃度測定用試料採取地点



## 平成 26 年度福島県市町村除染技術支援事業

(技術 3 道路側溝の効果的な除染技術の検証)



## 1 目的

現在、市街地の道路側溝除染現場においては、人力により側溝の蓋を撤去後、側溝内（蓋掛部を含む）に堆積した土壌等を除去し、機械による高圧水洗浄を行った後に蓋を再設置する方法が一般的である。これらの各作業を、除染効果だけでなく、簡易性及び迅速性等の観点から、これらの作業を効果的に実施できる技術が求められている。

以上の現状を踏まえて、市街地における道路側溝除染を効果的に実施できる技術について検証する。

## 2 実証事業者

有限会社佐藤林業（会津若松市）

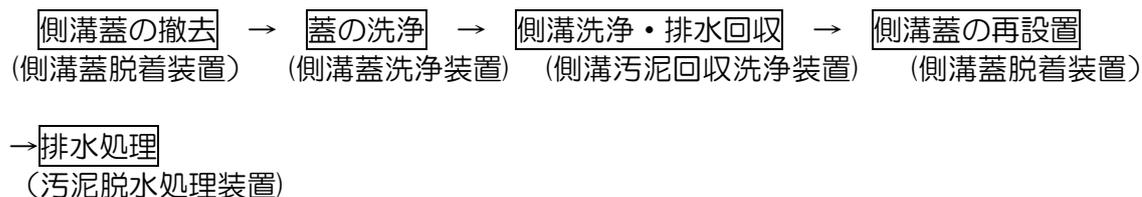
## 3 実証技術

GUSRAC 工法

（側溝汚泥回収洗浄と側溝・路面除染作業時に発生する汚泥脱水処理の安全化・迅速化技術）

## 4 技術の概要

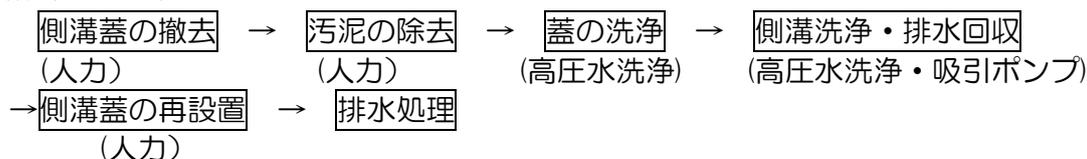
（作業フロー）



※今回の実証においては、排水処理は後日郡山市内にて実施。

※参考：既存技術

（作業フロー）



### （1）側溝蓋脱着装置

側溝蓋を挟み、側溝から脱着する装置で、バックホウのアーム先端に取り付けて使用する。洗浄後の蓋は、専用の側溝蓋置（木製台）に立て掛ける。

側溝蓋を挟み込むクランプ部には硬質ゴム素材を用いており、側溝蓋の破損を防ぎ、作業中の側溝蓋の落下を防止する。側溝蓋脱着装置は、バックホウのアーム先端で360度旋回可能であり、側溝の向きに容易に合わせることができる。

従来（既存）、側溝蓋の脱着は人力で行われているものを、機械力による脱着を可能にすることで、作業効率の向上を可能にした。

本装置の処理能力はバックホウ操縦士の熟練度や道路幅等により異なるが、熟練操縦士が実施する場合には2枚/分程度である。



写真1 側溝蓋脱着装置

## (2) 側溝蓋洗浄装置

密閉容器中に高圧洗浄水噴射ノズルと、回転する側溝蓋支持治具を備えた装置で、洗浄水を飛散することなく、側溝蓋6面を自動洗浄する。洗浄水は循環利用されるため、洗浄水も節約できる。本装置の蓋の開閉時間を除く洗浄時間は20～30秒/枚である。

側溝蓋洗浄装置の詳細を図1に示す。

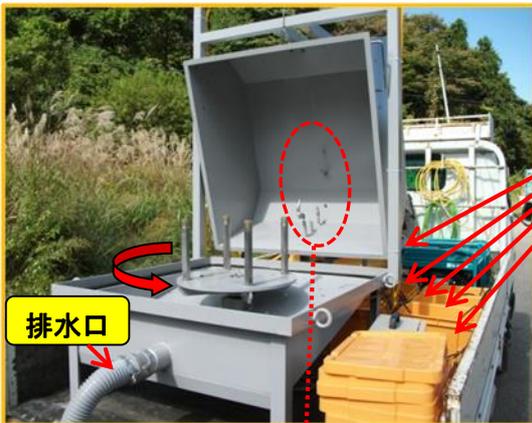


▲側溝蓋洗浄機(蓋を閉めた状態)



蓋洗浄台  
(回転式)

▲側溝蓋洗浄機(蓋を設置した状態)



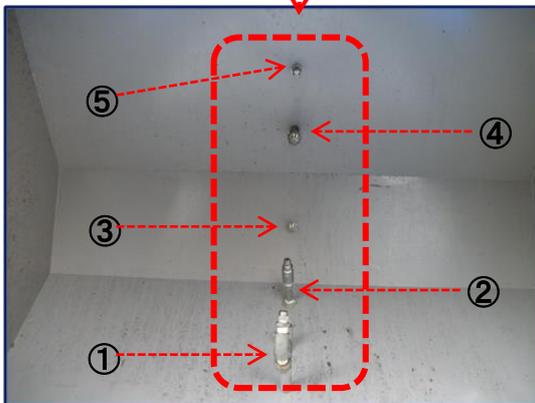
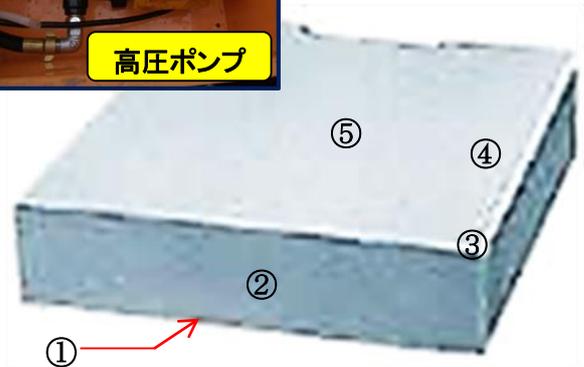
排水口

※側溝へ排水し、側溝汚泥回収洗浄装置で回収



高圧ポンプ

※1つのノズルに対して、ポンプ1基を使用(合計5基)



▲ノズルの設置箇所

▲ノズルの洗浄面

ノズル	働 き
①	ノズルは側溝蓋裏面(底部)全体を洗浄
②	ノズルは側溝蓋側面(4面)洗浄
③	ノズルは側溝側角(4面)を洗浄
④	ノズルは側溝表面(上部)周りを洗浄
⑤	ノズルは側溝表面(上部)中心部を洗浄

図1 側溝蓋洗浄装置の詳細

### (3) 側溝汚泥回収洗浄装置

側溝の下面・側面及び蓋掛部を洗浄する高圧洗浄水噴射ノズル、洗浄水と共に側溝中の汚泥を回収する回転ブラシと吸引口を備え、側溝中を移動する側溝洗浄ロボットに、吸引ホースで連結した吸引装置及び汚泥貯蔵タンクを備えた走行台車が一体化した装置であり、側溝内を洗浄しながら土砂を含む汚泥を回収する。側溝蓋洗浄装置の詳細を図2に示す。

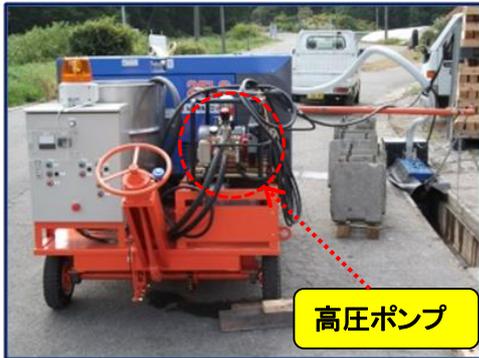
装置の特徴として、洗浄ロボットにより吸引される汚泥は汚泥貯蔵タンクに回収されるため、作業員が汚染物に直接接触することなく、安全で迅速に洗浄・汚泥回収が可能となる。また、洗浄水は同時に吸引されることから流出しない。

なお、側溝汚泥回収洗浄装置は、側溝のサイズに対応した機種が開発されており、本実証で使用した機種は、落蓋式側溝 III-A-i-300A (幅 30cm、深さ 30cm) に対応した機種である。本機種の処理能力は、側溝堆積物の厚さ等で異なるが、堆積物が 5 cm の場合には、1m/分である。幅 25cm×深さ 25cm の側溝等、他のサイズの側溝に対応した機種も製造されている。

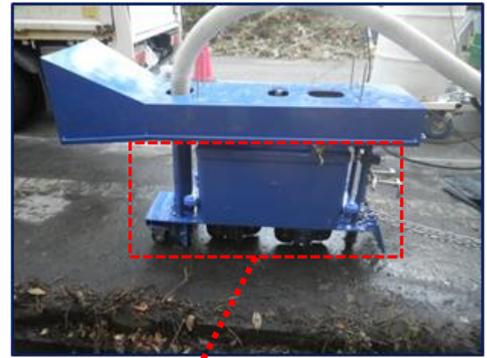


▲走行台車(側面①)

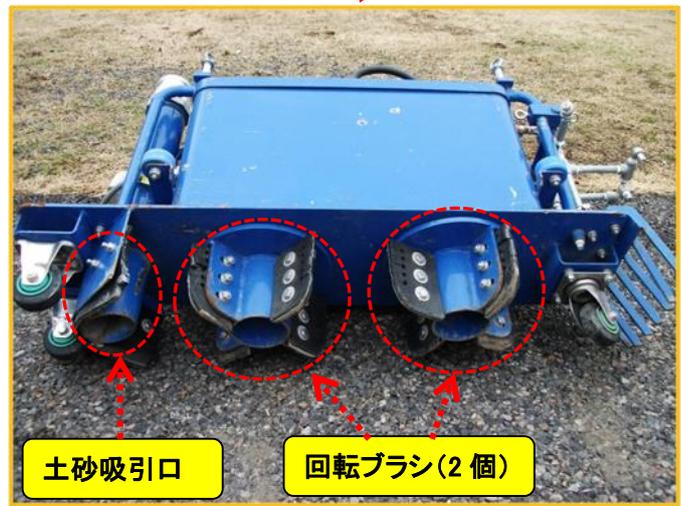
▲走行台車(①と反対の側面)



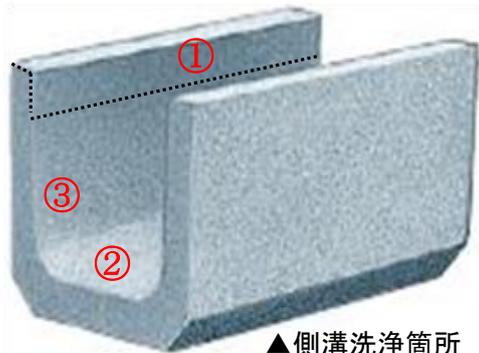
▲走行台車(後部)  
(側溝汚泥回収洗浄+土砂吸引装置)



▲装置全面部の高圧洗浄水射出口



▲装置底部の土砂吸引口及び回転ブラシ



▲側溝洗浄箇所

ノズル箇所	洗浄箇所	ノズル数
①	蓋掛部	2
②	底面部	3
③	側溝側面部	2

図2 側溝汚泥回収洗浄装置の詳細

#### (4) 汚泥脱水処理装置

側溝汚泥回収洗浄作業時には汚泥貯蔵タンク、路面洗浄作業時には吸引型高圧水洗浄機と連結して、それらの作業によって発生・回収した汚泥等の微粒子を凝集沈降処理する装置であり、凝集沈降処理には高性能凝集沈降剤(アルサ)を使用する。側溝や路面からの放射線の発生は、そこに存在する汚泥等の微粒子等に吸着等した放射性物質に起因する。汚泥等の微粒子に吸着等した放射性物質は、水洗浄などによっても容易に離脱することはない。従って、そのような放射性物質が吸着等した微粒子を含む汚泥と洗浄水を分離することによって、廃棄物の減容化を図ることができる。

装置の特徴として、得られた処理水は、特殊濾布を通過させた後、洗浄水として再利用又は下水や河川へ放流(排水)が可能である。



写真2 汚泥脱水処理の装置群



写真3 特殊濾布 (排水)

#### 5 対象

有蓋側溝

#### 6 実証作業の概要

##### (1) 実施日

平成27年1月21日(水) 事前測定

平成27年1月23日(金) 作業の実施、完了後の線量測定

##### (2) 作業実施場所等

###### ア 実施場所

福島県郡山市

###### イ 実証作業場所

道路幅員6m、側溝幅50cmの市道

図3及び写真4のとおり

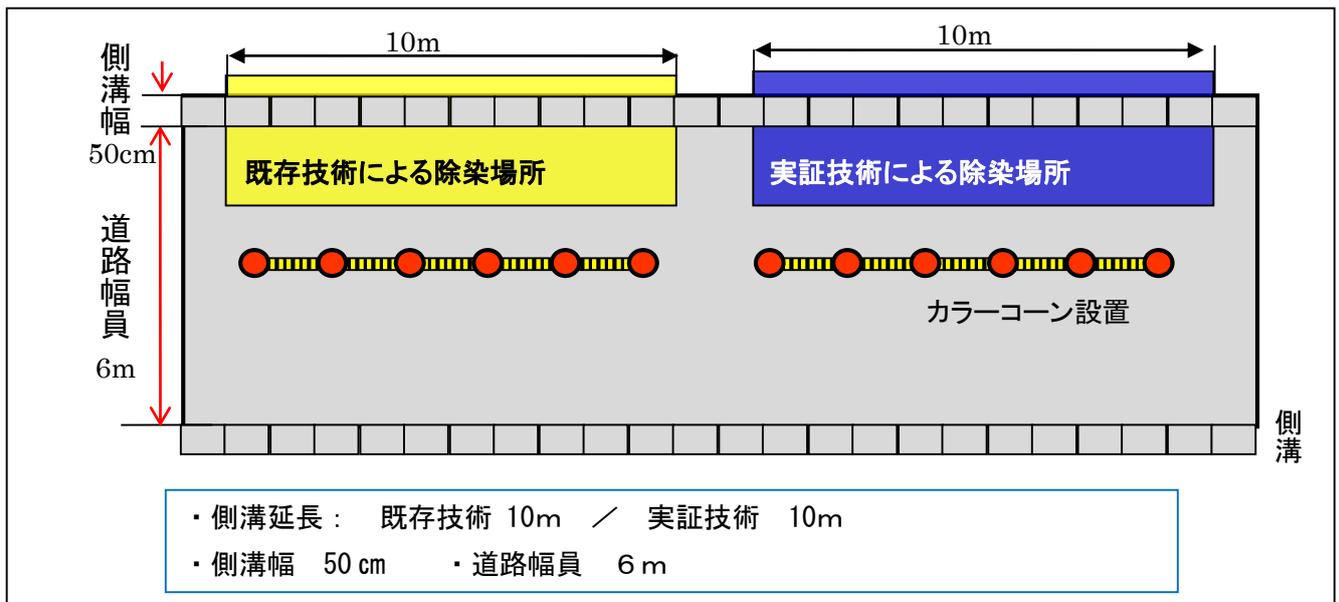


図3 実証作業場所のイメージ

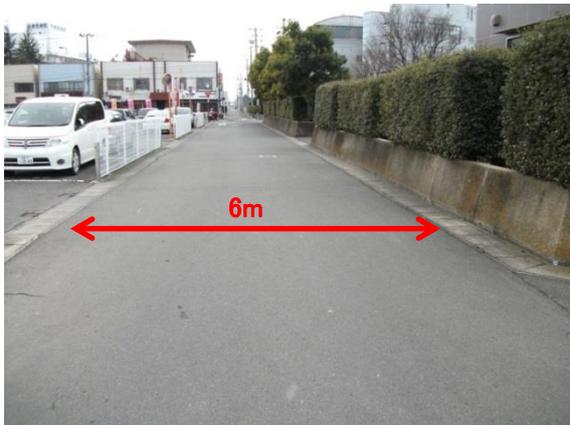


写真4 実証作業場所

## ウ 実証作業場所の空間線量率等

作業場所の 1m 空間線量率及び表面線量率の事前測定結果を表 1 に示す。

表 1 実証作業場所の空間線量率及び表面線量率\*1

区画		空間線量率 ( $\mu$ Sv/h)	1cm 表面線量率 ( $\mu$ Sv/h)
実証技術の施工区	平均	0.19	0.35
	(最小 - 最大)	(0.17-0.33)	(0.26-0.45)
既存技術の施工区	平均	0.18	0.45
	(最小 - 最大)	(0.16-0.19)	(0.27-1.16)
集水枡	-	0.24	0.28

\*1：鉛遮へい体は空間線量率及び表面線量率とも使用していない

### (3) 実証作業の方法及び状況

#### ア 事前作業等

##### (ア) 作業区画分け

実証作業は、それぞれの実証技術の効果について、既存技術と比較検証するため、実証作業場所を以下の 2 つの区画に分けた (図 4 参照)。

##### (イ) 事前測定

各区画を図 4 のとおり、各技術の 10m 区画内で 0 m、4 m、8 m の地点で、表 2 に示す有蓋側溝表面、蓋及び側溝底部の各測定点 (①~⑦) について、実証作業前の表面線量率 (地表面 1 cm、鉛遮へい体を使用)、表面汚染密度を測定した。また、各地点の②側溝蓋の中心部 (表面) において、空間線量率 (地上 1 m) 及び表面線量率 (地表面 1 cm、鉛遮へい体なし) を側溝蓋が閉じた状態と開けた状態で測定するとともに、側溝汚泥を採取し、放射性セシウム濃度を測定した。

#### イ 実証技術の施工

##### (ア) 側溝蓋の撤去

側溝蓋脱着装置を使用し、側溝蓋を 1 枚ずつ掴み上げ、蓋に付着した土壌を人力により鎌で除去した後に側溝蓋洗浄装置に設置する。

##### (イ) 側溝蓋の洗浄

側溝蓋洗浄装置で 30 秒間、高圧水洗浄 (3 MPa) を行う。洗浄後、側溝蓋脱着装置で側溝蓋を 1 枚ずつ掴み上げ、専用の側溝蓋置に立て掛ける。

##### (ウ) 側溝の洗浄

側溝汚泥回収洗浄装置で側溝を洗浄し、汚泥と洗浄排水を回収する。

##### (エ) 施工後測定

「ア (イ) 事前測定」と同様に各測定点の表面線量率 (地表面 1 cm)、表面汚染密度を測定した。また、各地点の②側溝蓋の中心部 (表面) において、空間線量率 (地上 1 m) 及び表面線量率 (地表面 1 cm、鉛遮へい体なし) を側溝蓋が閉

じた状態と開けた状態で測定する。

(オ) 側溝蓋の再設置

側溝蓋脱着装置を使用し、側溝蓋を1枚ずつ掴み上げ、側溝に再設置する。

**ウ 既存技術の施工**

(ア) 側溝蓋の撤去

専用治具を使用し、側溝蓋を2人で持ち上げ、側溝脇道路に直置きする。

(イ) 側溝蓋の洗浄

直置きした側溝蓋表面(裏面を除く5面)を高圧水洗浄機(3MPa)で洗浄する。

(ウ) 側溝の洗浄

高圧水洗浄機で側溝を洗浄し、汚泥と洗浄排水を吸引ポンプで回収する。

(エ) 施工後測定

「イ(エ) 施工後測定」と同様に各測定点の表面線量率(地表面1cm)、表面汚染密度等を測定した。

(オ) 側溝蓋の再設置

専用治具を使用し、側溝蓋を2人で持ち上げ、側溝脇道路に再設置する。

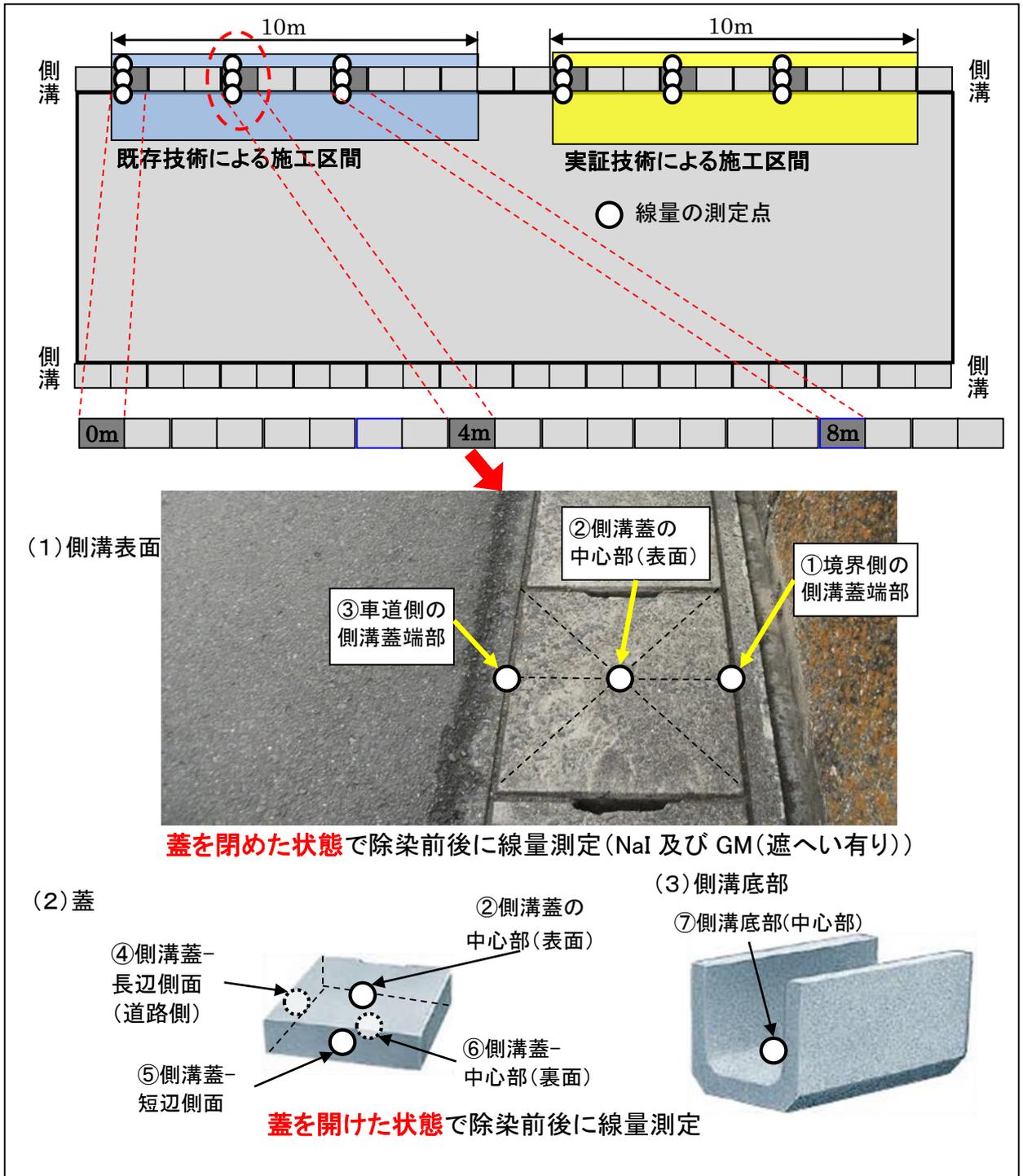


図4 事前測定場所のイメージ

表2 各地点の測定箇所

測定箇所		測定目的
有蓋側溝表面	①境界側の側溝蓋端部 ②側溝蓋の中心部（表面） ③車道側の側溝蓋端部	実証技術による除染効果の確認
蓋	②側溝蓋の中心部（表面） ④側溝蓋の長辺側面（道路側） ⑤側溝蓋の短辺側面 ⑥側溝蓋の中心部（裏面）	側溝蓋洗浄装置による除染効果の確認
側溝底部	⑦側溝底部の中心部	側溝汚泥回収洗浄装置による除染効果の確認

表3 測定項目一覧（空間線量率等）

測定項目	測定機器	測定点数	測定時期	測定条件等
表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	NaI シンチレーションサーベイメータ 日立アロカメディカル製 TCS-172B	42点(3地点×7測定点×2区画)	ア 事前測定 イ 施工後測定 ウ 側溝汚泥及び洗浄排水の放射性物質濃度の確認	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表面1cm</li> <li>・時定数10秒</li> <li>・鉛遮へい体(鉛厚1cm)を使用</li> </ul>
表面汚染密度 (cpm)	GM サーベイメータ 日立アロカメディカル製 TCS-172B	42点(3地点×7測定点×2区画)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表面1cm</li> <li>・時定数10秒</li> <li>・鉛遮へい体(鉛厚1cm)を使用</li> </ul>
※参考 空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	NaI シンチレーションサーベイメータ 日立アロカメディカル製 TCS-172B	6点(3地点×1測定点×2区画)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地上1m</li> <li>・時定数10秒</li> <li>・鉛遮へい体なし</li> </ul>
表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	NaI シンチレーションサーベイメータ 日立アロカメディカル製 TCS-172B	6点(3地点×1測定点×2区画)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・地表面1cm</li> <li>・時定数10秒</li> <li>・鉛遮へい体なし</li> </ul>

表4 測定項目一覧（放射性セシウム濃度）

測定項目	測定機器	測定点数	測定時期及び種類
放射性セシウム濃度 (Bq/kg) [ $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ ]	NaIシンチレーションスペクトロメータ パーキンエルマ製 2480 WIZARD <sup>TM</sup>	12点(3地点×2種×2区画)	事前測定(側溝汚泥及び落葉落枝)
放射性セシウム濃度 (Bq/L) [ $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ ]	Ge半導体検出器又はセイコー・イメージャーアンドジー製 SEG-EMS(オルテック製Ge半導体検出器GEM20-70)	3試料	除染後の水(原水2試料及び処理水1試料)

(4) 実証作業の評価ポイント

ア 除染効果

実証技術の側溝蓋洗浄装置、側溝汚泥回収洗浄装置の除染効果について、除染前及び検証技術による措置の実施後の表面汚染密度及び表面線量率（1 cm、鉛遮へい体を使用）の低減率（%）及び除染係数（DF）を評価する。

また、側溝汚泥の放射性セシウム濃度を測定する。

イ スピード及びコスト

実証技術の施工スピード及びコストについて、実証技術に要する作業時間・作業員数等を確認し、既存技術との比較を行う。

ウ 作業で発生する廃棄物等の量及び放射性セシウム濃度（排水、汚泥等）

7 実施工程

今回実施した検証作業の実施工程表を表5に示す。

表5 実施工程表

作業内容	1月21日		1月23日	
	AM	PM	AM	PM
<b>ア 事前作業等</b>				
(ア) 作業区画分け	⇨			
(イ) 事前測定	⇨			
<b>イ 既存技術施工</b>				
(ア) 事前測定			⇨	
(イ) 施工			⇨	
(ウ) 施工後測定			⇨	
<b>ウ 実証技術施工</b>				
(ア) 事前測定			⇨	
(イ) 施工				⇨
(ウ) 施工後測定				⇨

8 実証作業の結果

(1) 低減効果等

ア 表面汚染密度及び表面線量率等

除染前後の線量の低減率を表6に、除染係数（DF）を表7に示す。

有蓋側溝表面における除染前後の表面汚染密度及び表面線量率の低減率は共に、実証技術では平均10%及び8%であったのに対して、既存技術では平均13%及び3%で両者に顕著な差は認められなかったが、空間線量率(1m)の低減率では既存技術（低減無し）よりも実証技術(11%)で低減効果が高い傾向となった。

また、蓋（4面平均）における表面汚染密度及び表面線量率の低減率については、既存技術で平均14%及び11%であったのに対して、実証技術では平均19%及び30%と実証技術（側溝蓋洗浄装置）による除染効果が高い傾向が認められた。

一方、側溝汚泥回収洗浄装置による側溝内部の表面汚染密度及び表面線量率の低減率については、実証技術で平均 31%及び 58%、既存技術で平均 33%及び 56%であり、両技術に顕著な差は認められなかった。

また、除染係数においても概ね同様の結果となった。側溝底部の結果のみ、実証技術の除染係数が 4.4 及び 5.9 と大きな値を示しているが、測定した 3 点のうち 1 点が著しく大きな値となったことが原因であり、比較・評価対象からは除外する。

表 6 除染前後の表面汚染密度、表面線量率、空間線量率の低減率

測定箇所	技術	表面汚染密度 (鉛遮へい体あり) 低減率 (%)	表面線量率 (鉛遮へい体あり) 低減率 (%)	空間線量率 低減率 (%)
有蓋側溝表面	実証	10	8	11
	既存	13	3	0
蓋	実証	19	30	-
	既存	14	11	-
側溝底部 (3 点平均)	実証	[ 31 (0, 1, 91)※ ]	[ 58 (40, 41, 93)※ ]	-
	既存	[ 33 (20, 33, 47)※ ]	[ 56 (45, 56, 68)※ ]	-

※個別の測定値 [ ] : 参考値

表 7 除染前後の除染係数

測定箇所	技術	表面汚染密度 (鉛遮へい体あり) 除染係数	表面線量率 (鉛遮へい体あり) 除染係数
有蓋側溝表面	実証	1.1	1.1
	既存	1.2	1.0
蓋	実証	1.3	1.6
	既存	1.2	1.2
側溝底部 (3 点平均)	実証	[ 4.4 (1.0, 11.3, 11)※ ]	[ 5.9 (1.7, 1.7, 14)※ ]
	既存	[ 1.5 (1.2, 1.5, 1.9)※ ]	[ 2.4 (1.8, 2.3, 3.1)※ ]

※個別の測定値 [ ] : 参考値

## イ 側溝汚泥等の放射性セシウム濃度

側溝汚泥の放射性セシウム濃度を表 8 に示す。

側溝に堆積していた落葉落枝及び汚泥について、放射性セシウムの濃度を測定した結果、実証作業場所の落葉落枝の濃度は、実証技術で 36,000 Bq/kg-wet、既存技術の 24,000 Bq/kg-wet で実証技術の実証場所が高い傾向にあった。同様に側溝汚泥の濃度も実証技術で 47,000 Bq/kg-wet、既存技術の 33,000 Bq/kg-wet と実証技術で高い傾向にあった。

表 8 側溝汚泥等の放射性セシウム濃度

採取試料	技術	統計値	含水率 (%)	放射性セシウム濃度 (Bq/kg-wet)		
				<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs+ <sup>137</sup> Cs
側溝の 落葉落枝等	実証	平均値 (最小-最大)	39.5 (38.5-46.9)	6,700 (4200-10000)	30,000 (17000-49000)	36,000 (21000-59000)
	既存	平均値 (最小-最大)	39.5 (35.8-43.8)	4,300 (1500-7800)	19,000 (6800-36000)	24,000 (8300-43000)
側溝汚泥	実証	平均値 (最小-最大)	31.1 (25.4-30.6)	8,800 (5700-14000)	38,000 (23000-61000)	47,000 (29000-75000)
	既存	平均値 (最小-最大)	31.1 (28.3-35.5)	6,100 (3200-10000)	27,000 (13000-48000)	33,000 (17000-58000)

## (2) 作業コスト等

### ア 作業時間

各工種での作業時間及び作業人員等を表 9 に示す。

施工時間は、実証技術で約 130 分、既存技術で約 60 分と実証技術の施工時間は、既存技術の約 2 倍強の時間を要した。

実証技術で最も時間を要した作業は側溝蓋の撤去時間であり、人力で側溝蓋を 20 枚撤去した場合の作業時間が約 6 分であったのに対して、実証技術で側溝蓋を 20 枚撤去した場合、約 56 分の時間を要した。同様に、側溝蓋の再設置時間についても既存技術で 7 分であったのに対して 27 分であった。

一方、側溝汚泥の洗浄については、既存技術による洗浄時間が約 37 分であったのに対して、実証技術（側溝汚泥回収洗浄装置）による洗浄時間は約 16 分と既存技術の約半分の作業時間であった。

作業員数は、実証技術で 11 人、既存技術で 12 人と実証技術で少なかった。

表9 作業時間と作業人員

技術の種類	使用資機材	仕様	数量	作業時間*1	実証作業時の作業人員	単位当たり数量(1日当たり)		
実証技術	側溝蓋の撤去	バックホウ	0.3t	1台	56分	3人	300枚	作業員3人 バックホウ1台 アタッチメント1台
		蓋脱着アタッチメント	バケットベース	1台				
		蓋置き台	3枚置き用	7台				
	側溝蓋の洗浄	発電機	2.2kva/AC100V	1台	30分	2人	150枚	作業員2人 装置1セット 水990ℓ (2.2ℓ/分)
		蓋洗い装置	回転式高圧洗浄	1機				
		高圧ポンプ	3MPa	6機				
		洗浄水タンク	500ℓ	1基				
		作業車	2t 平トラック	1台				
	側溝洗浄	側溝汚泥回収洗浄装置	1.5kw	1台	側溝洗浄 11分+ 回収ドラム缶交換 5分 (16分)	4人	200m	作業員4人 装置1セット 水3,600ℓ (28ℓ/分)
		土砂吸引装置		1台				
		発電機	25kva/AC200V	1機				
		走行台車	0.75kw	1台				
		吸引バキューム	4.3kw	1機				
		汚泥回収ドラム缶	200ℓ	2台				
		高圧洗浄装置	3.7kw/5MPa	1台				
		洗浄水タンク	200ℓ	2台				
	制御盤	0.15kw	1台					
	側溝蓋の再設置	バックホウ	0.3t	1台	27分	2人	300枚	作業員2人 バックホウ1台 アタッチメント1台
蓋脱着アタッチメント		バケットベース	1台					
蓋置き台		3枚置き用	7台					
既存技術	側溝蓋の撤去	人力用治具	人力	1機	6分	2人	150枚	作業員2人 治具1セット
	側溝蓋の洗浄	発電機	20-25kva/AC200V	1台	9分	2人 +	150枚	作業員4人 装置1セット 水175ℓ
		高圧洗浄機	3MPa	1台				
		吸引バキューム車	2t トラック	1台				
		水タンク	1,000ℓ	1基				
		回収タンク	1,300ℓ	1基				
	側溝洗浄	発電機	20-25kva/AC200V	1台	32分 + 最終排水 吸引5分 (37分)	2人 +	100m	作業員4人 装置1セット 水175ℓ
		高圧洗浄機	3MPa	1台				
		吸引バキューム車	2t トラック	1台				
		スコップ	人力	1個				
		水タンク	1,000ℓ	1基				
	回収タンク	1,300ℓ	1基					
側溝蓋の再設置	人力用治具	人力	1機	7分	2人	100枚	作業員2人 治具1セット	

\*1：実証作業では側溝蓋20枚（距離10m）を対象とした。

## イ 作業のコスト

これまでの実績から算出した実証技術の作業コストを表10に示す。

表10 作業コスト

作業内容	概算費用 (円)	単位
側溝蓋の撤去・再設置	435円	枚 (0.5m)
側溝蓋洗浄	1,065円	枚 (0.5m)
側溝汚泥回収洗浄	1,308円	m
側溝全体	4,308円※	m

※(435円+1,065円)×2枚+1,308円

## (3) 排水

今回の検証作業で発生した排水の量と放射性セシウム濃度を表11に示す。

排水の放射性セシウム濃度については、実証技術で900Bq/L、既存技術で1200Bq/Lであった。

実証技術及び既存技術の高圧水洗浄排水を併せて凝集沈殿処理した排水の放射性セシウム濃度は、検出下限値未満 ( $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  共に検出下限値10Bq/L) であった。

また排水処理で発生した汚泥量は、両技術共に約180kgであった。

表11 排水中の放射性セシウム濃度

排水	放射性セシウム濃度 (Bq/L)			(参考) 使用水量
	$^{134}\text{Cs}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$	
実証技術の回収水	180	720	900	440L
既存技術の回収水	240	970	1,200	350L

## 9 評価等

今回の試験結果から、側溝蓋洗浄装置については、既存技術よりも高い除染効果が認められたことから、蓋の表面の線量が高く、既存技術では十分な効果が得られない場所等において有用と考えられる。また、側溝汚泥回収洗浄装置については、既存技術よりも短時間で作業ができたことから、無蓋側溝等において有用と考えられる。

今後、作業時間の短縮や作業員数の削減等について更なる検討が必要である。

参考 施工等写真

実証技術の施工写真



写真1 側溝蓋撤去



写真2 蓋除染(洗浄)



写真3 洗浄後蓋置きに立てる



写真4 側溝除染(洗浄)



写真5 側溝汚泥回収洗浄装置を台車牽引



写真6 側溝蓋再設置

既存技術の施工写真



写真7 人力による蓋撤去

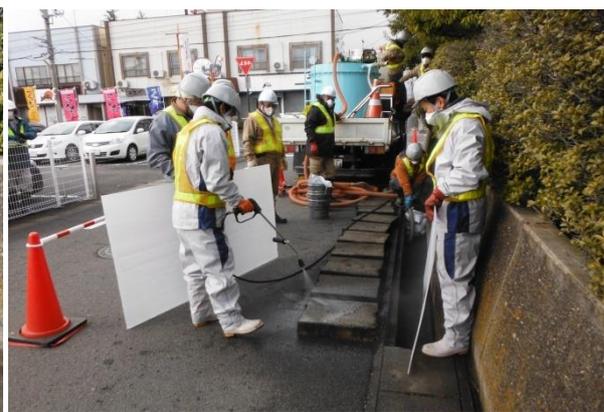


写真8 蓋洗浄（飛散防止遮へい板使用）

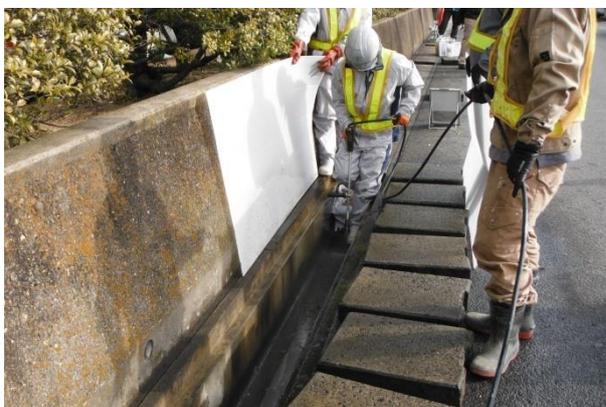


写真9 側溝洗浄（飛散防止遮へい板使用）



写真10 側溝下流（堰き止め）汚泥回収

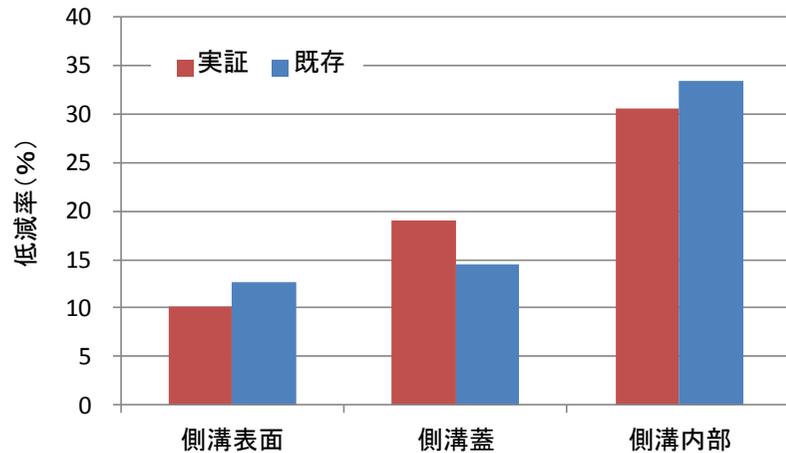


写真11 側溝蓋再設置

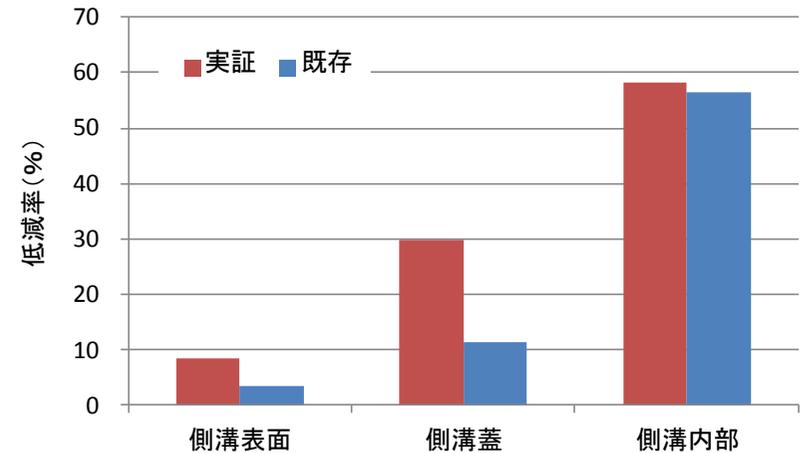
参考表 1 除染前後の表面汚染密度及び表面線量率

測定箇所	技術	統計値	表面汚染密度 (cpm) (鉛遮へい体あり)				表面線量率 ( $\mu$ Sv/h) (鉛遮へい体あり)			
			除染前	除染後	低減率 (%)	除染係数 (DF)	除染前	除染後	低減率 (%)	除染係数 (DF)
有蓋側溝表面 ①境界側の側溝蓋端部 ②側溝蓋の中心部 (表面) ③車道側の側溝蓋端部	実証	平均 (最小-最大)	509 (446-596)	459 (399-544)	10 (10-10)	1.1 (1.1-1.1)	0.11 (0.09-0.12)	0.10 (0.09-0.12)	8 (2-17)	1.1 (1.0-1.2)
	既存	平均 (最小-最大)	457 (372-553)	400 (312-497)	13 (9-17)	1.2 (1.1-1.2)	0.10 (0.08-0.13)	0.10 (0.08-0.13)	3 (低減無し-5.6)	1.0 (1.0-1.1)
	蓋	平均 (最小-最大)	275 (97-596)	231 (77-544)	19 (10-33)	1.3 (1.1-1.6)	0.09 (0.09-0.10)	0.06 (0.05-0.09)	30 (5-47)	1.6 (1.1-1.9)
側溝蓋の中心部 (表面) ④側溝蓋の長辺側面 (道路側) ⑤側溝蓋の短辺側面 ⑥側溝蓋の中心部 (裏面)	実証	平均 (最小-最大)	304 (103-553)	248 (93-497)	14 (8-27)	1.2 (1.1-1.5)	0.09 (0.07-0.12)	0.08 (0.07-0.09)	11 (1-30)	1.2 (1.0-1.5)
	既存	平均 (最小-最大)	292 (116-600)	147 (53-272)	31 (低減無し-91)	4.4 (1.0-11)	0.32 (0.10-0.71)	0.06 (0.05-0.08)	58 (40-93)	5.9 (1.7-14)
側溝底部 ⑦側溝底部の中心部	実証	平均 (最小-最大)	141 (103-195)	98 (55-156)	33 (20-47)	1.5 (1.2-1.9)	0.15 (0.13-0.16)	0.06 (0.05-0.07)	56 (45-68)	2.4 (1.8-3.1)
	既存	平均 (最小-最大)	292 (116-600)	147 (53-272)	31 (低減無し-91)	4.4 (1.0-11)	0.32 (0.10-0.71)	0.06 (0.05-0.08)	58 (40-93)	5.9 (1.7-14)

※ 低減率及び除染係数がマイナスの場合には低減率は0%、除染係数は1.0として、平均値を算出した。



参考図 1-1 除染前後の表面汚染密度の低減率



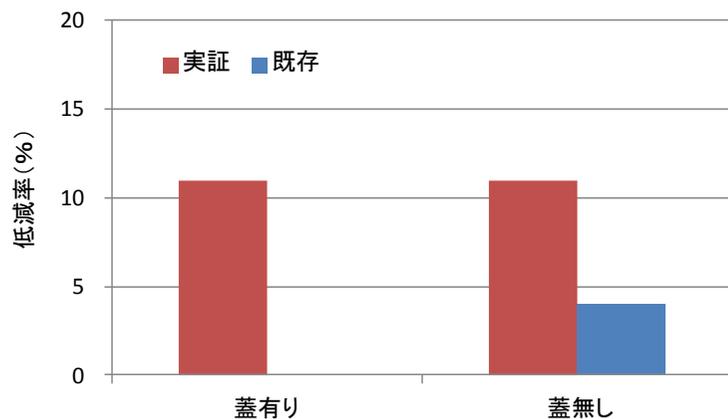
参考図 1-2 除染前後の表面線量率の低減率

参考表 2 除染前後の有蓋側溝の 1m 空間線量率及び表面線量率（鉛遮へい体なし）

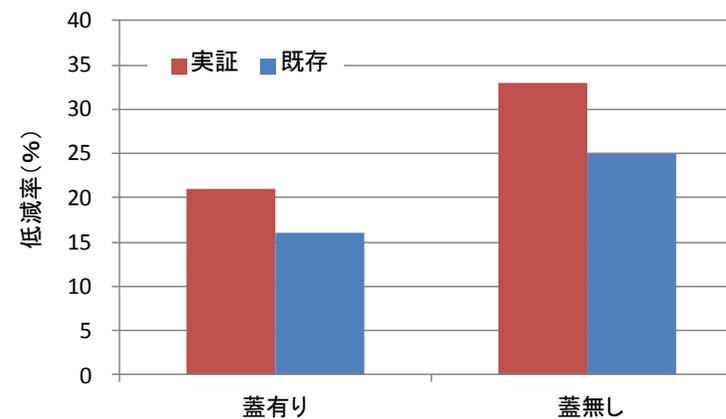
測定点	蓋	技術	統計値	1m 空間線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) (鉛遮へい体なし)				表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) (鉛遮へい体なし)			
				除染前	除染後	低減率 (%)	除染係数 (DF)	除染前	除染後	低減率 (%)	除染係数 (DF)
側溝蓋の中心	蓋有り	実証	平均 (最小-最大)	0.17 (0.16-0.18)	0.15 (0.15-0.15)	11 (5-16)	1.1 (1.1-1.2)	0.30 (0.25-0.33)	0.23 (0.23-0.23)	21 (7-30)	1.3 (1.1-1.4)
		既存	平均 (最小-最大)	0.17 (0.17-0.18)	0.17 (0.16-0.18)	低減無し (低減無し-4)	1.0 (低減無し-1.0)	0.27 (0.24-0.29)	0.22 (0.20-0.24)	16 (15-18)	1.2 (1.2-1.2)
	蓋無し	実証	平均 (最小-最大)	0.17 (0.16-0.18)	0.15 (0.14-0.16)	11 (6-17)	1.1 (1.1-1.2)	0.30 (0.25-0.38)	0.20 (0.18-0.22)	33 (19-51)	1.5 (1.2-2.1)
		既存	平均 (最小-最大)	0.18 (0.17-0.18)	0.17 (0.17-0.17)	4 (1-8)	1.0 (1.0-1.1)	0.26 (0.22-0.29)	0.19 (0.18-0.20)	25 (14-31)	1.3 (1.2-1.52)

※ 蓋無しの 1cm 測定は、道路舗装面から 1cm(側溝底面から 40cm)の位置。

※ 低減率及び除染係数がマイナスの場合には低減率は 0%、除染係数は 1.0 として、平均値を算出した。



参考図 2-1 除染前後の空間線量率の低減率



参考図 2-2 除染前後の表面線量率の低減率 (鉛遮へいなし)

参考表3 除染前後の表面汚染密度

測定場所	除染技術	地点名	表面汚染密度 (cpm) (鉛遮へい有り)			
			除染前	除染後	低減率 (%)	除染係数 (DF)
①境界側の側溝蓋端部	実証	0m	504	448	11	1.1
		4m	526	440	16	1.2
		8m	427	418	2	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>486</b> (427-526)	<b>435</b> (418-448)	<b>10</b> (2-16)	<b>1.11</b> (1.0-1.2)
	既存	0m	289	204	29	1.4
		4m	360	346	4	1.0
		8m	467	387	17	1.2
		平均 (最小-最大)	<b>372</b> (289-467)	<b>312</b> (204-387)	<b>17</b> (4-29)	<b>1.2</b> (1.0-1.4)
②側溝蓋の中心部(表面)	実証	0m	683	599	12	1.1
		4m	736	602	18	1.2
		8m	369	430	低減無し	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>596</b> (369-736)	<b>544</b> (430-602)	<b>10</b> (低減無し-18)	<b>1.1</b> (1.0-1.2)
	既存	0m	464	439	5	1.1
		4m	738	640	13	1.2
		8m	456	412	10	1.1
		平均 (最小-最大)	<b>553</b> (456-738)	<b>497</b> (412-640)	<b>9</b> (5-13)	<b>1.1</b> (1.1-1.2)
③車道側の側溝蓋端部	実証	0m	430	420	2	1.0
		4m	427	371	13	1.2
		8m	481	405	16	1.2
		平均 (最小-最大)	<b>446</b> (427-481)	<b>399</b> (371-420)	<b>10.4</b> (2-16)	<b>1.1</b> (1.0-1.2)
	既存	0m	446	370	17	1.2
		4m	367	373	低減無し	1.0
		8m	530	433	18	1.2
		平均 (最小-最大)	<b>448</b> (367-530)	<b>392</b> (370-433)	<b>12</b> (低減無し-18)	<b>1.1</b> (1.0-1.2)
④側溝蓋の長辺側面(道路側)	実証	0m	105	124	低減無し	0.8
		4m	135	91	33	1.5
		8m	115	111	4	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>118</b> (105-135)	<b>109</b> (91-124)	<b>12</b> (低減無し-33)	<b>1.12</b> (1.0-1.5)
	既存	0m	92	80	13	1.1
		4m	112	98	12	1.1
		8m	105	112	低減無し	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>103</b> (92-112)	<b>97</b> (80-112)	<b>8</b> (低減無し-13)	<b>1.1</b> (1.0-1.1)

参考表 3 除染前後の表面汚染密度(続き)

測定場所	除染技術	地点名	表面汚染密度 (cpm) (鉛遮へい有り)			
			除染前	除染後	低減率 (%)	除染係数 (DF)
⑤側溝蓋の短辺側面	実証	0m	329	167	49	2.0
		4m	351	293	17	1.2
		8m	189	124	34	1.5
		平均 (最小-最大)	<b>290</b> (189-351)	<b>195</b> (124-293)	<b>33</b> (17-49)	<b>1.6</b> (1.2-2.0)
	既存	0m	295	349	低減無し	1.0
		4m	802	373	54	2.2
		8m	275	198	28	1.4
		平均 (最小-最大)	<b>458</b> (275-802)	<b>306</b> (198-373)	<b>27</b> (低減無し-54)	<b>1.5</b> (1.0-2.2)
⑥側溝蓋の中心部(裏面)	実証	0m	93	71	24	1.3
		4m	99	89	10	1.1
		8m	99	71	28	1.4
		平均 (最小-最大)	<b>97</b> (93-99)	<b>77</b> (71-89)	<b>21</b> (10-28)	<b>1.3</b> (1.1-1.4)
	既存	0m	91	101	低減無し	1.0
		4m	107	83	23	1.3
		8m	111	94	15	1.2
		平均 (最小-最大)	<b>103</b> (91-111)	<b>93</b> (83-101)	<b>13</b> (低減無し-23)	<b>1.2</b> (1.0-1.3)
⑦側溝底部の中心部	実証	0m	161	272	低減無し	1.0
		4m	600	53	91	11.3
		8m	116	115	1	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>292</b> (116-600)	<b>147</b> (53-272)	<b>31</b> (低減無し-91)	<b>4.4</b> (1.0-11)
	既存	0m	103	55	47	1.9
		4m	126	84	33	1.5
		8m	195	156	20	1.2
		平均 (最小-最大)	<b>141</b> (103-195)	<b>98</b> (55-156)	<b>33</b> (20-47)	<b>1.5</b> (1.2-1.9)

参考表 4 除染前後の表面線量率

測定場所	除染技術	地点名	表面線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ ) (鉛遮へい有り)			
			除染前	除染後	低減率 (%)	除染係数 (DF)
①境界側の側溝蓋端部	実証	0m	0.09	0.08	9	1.1
		4m	0.12	0.10	19	1.2
		8m	0.12	0.09	24	1.3
		平均 (最小-最大)	<b>0.11</b> (0.091-0.12)	<b>0.09</b> (0.08-0.10)	<b>17</b> (9-24)	<b>1.2</b> (1.1-1.3)
	既存	0m	0.07	0.07	低減無し	1.0
		4m	0.08	0.08	低減無し	1.0
		8m	0.12	0.10	17	1.2
		平均 (最小-最大)	<b>0.09</b> (0.07-0.12)	<b>0.08</b> (0.07-0.10)	<b>6</b> (低減無し-17)	<b>1.07</b> (1.0-1.2)
②側溝蓋の中心部(表面)	実証	0m	0.10	0.10	低減無し	1.0
		4m	0.11	0.09	15	1.2
		8m	0.08	0.08	低減無し	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>0.09</b> (0.10-0.13)	<b>0.09</b> (0.08-0.10)	<b>5</b> (低減無し-15)	<b>1.1</b> (1.0-1.5)
	既存	0m	0.07	0.09	低減無し	1.0
		4m	0.09	0.09	2	1.0
		8m	0.09	0.08	9	1.1
		平均 (最小-最大)	<b>0.08</b> (0.07-0.09)	<b>0.09</b> (0.08-0.09)	<b>4</b> (低減無し-9)	<b>1.0</b> (1.0-1.1)
③車道側の側溝蓋端部	実証	0m	0.13	0.14	低減無し	1.0
		4m	0.12	0.11	7	1.1
		8m	0.12	0.12	低減無し	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>0.12</b> (0.12-0.13)	<b>0.12</b> (0.11-0.14)	<b>2</b> (低減無し-7.0)	<b>1.0</b> (1.0-1.1)
	既存	0m	0.11	0.13	低減無し	1.0
		4m	0.13	0.13	2	1.0
		8m	0.14	0.14	低減無し	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>0.13</b> (0.11-0.14)	<b>0.13</b> (0.13-0.14)	<b>0.5</b> (低減無し-2)	<b>1.0</b> (1.0-1.0)
④側溝蓋の長辺側面(道路側)	実証	0m	0.12	0.06	50	2.0
		4m	0.11	0.05	56	2.3
		8m	0.08	0.05	34	1.5
		平均 (最小-最大)	<b>0.10</b> (0.08-0.12)	<b>0.05</b> (0.05-0.06)	<b>47</b> (34-56)	<b>1.9</b> (1.5-2.3)
	既存	0m	0.07	0.11	低減無し	1.0
		4m	0.09	0.07	19	1.2
		8m	0.09	0.08	13	1.2
		平均 (最小-最大)	<b>0.08</b> (0.07-0.09)	<b>0.09</b> (0.07-0.11)	<b>11</b> (低減無し-19)	<b>1.1</b> (1.0-1.2)

参考表 4 除染前後の表面線量率（続き）

測定場所	除染技術	地点名	表面線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）（鉛遮へい有り）			
			除染前	除染後	低減率（%）	除染係数（DF）
⑤側溝蓋の短辺側面	実証	0m	0.12	0.05	58	2.4
		4m	0.08	0.07	17	1.2
		8m	0.08	0.04	51	2.1
		平均 (最小-最大)	<b>0.10</b> (0.08-0.12)	<b>0.05</b> (0.04-0.07)	<b>42</b> (17-58)	<b>1.9</b> (1.2-2.4)
	既存	0m	0.10	0.09	12	1.1
		4m	0.14	0.08	41	1.7
		8m	0.11	0.07	38	1.6
		平均 (最小-最大)	<b>0.12</b> (0.10-0.14)	<b>0.08</b> (0.07-0.09)	<b>30</b> (12-41)	<b>1.5</b> (1.1-1.7)
⑥側溝蓋の中心部（裏面）	実証	0m	0.07	0.06	19	1.2
		4m	0.12	0.05	57	2.3
		8m	0.07	0.07	低減無し	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>0.09</b> (0.07-0.12)	<b>0.06</b> (0.05-0.07)	<b>25</b> (低減無し-57)	<b>1.5</b> (1.0-2.3)
	既存	0m	0.05	0.06	低減無し	1.0
		4m	0.08	0.08	低減無し	1.0
		8m	0.07	0.07	3	1.0
		平均 (最小-最大)	<b>0.07</b> (0.05-0.08)	<b>0.07</b> (0.06-0.08)	<b>1</b> (低減無し-3)	<b>1.0</b> (1.0-1.0)
⑦側溝底部の中心部	実証	0m	0.13	0.08	40	1.7
		4m	0.71	0.05	93	14
		8m	0.10	0.06	41	1.7
		平均 (最小-最大)	<b>0.32</b> (0.10-0.71)	<b>0.06</b> (0.05-0.08)	<b>58</b> (40-93)	<b>5.9</b> (1.7-14)
	既存	0m	0.13	0.07	45	1.8
		4m	0.15	0.05	68	3.1
		8m	0.16	0.07	56	2.3
		平均 (最小-最大)	<b>0.15</b> (0.13-0.16)	<b>0.06</b> (0.05-0.07)	<b>56</b> (45-68)	<b>2.4</b> (1.8-3.1)

平成 26 年度福島県市町村除染技術支援事業  
(技術 4 住宅除染における除染対象等別の効果検証)



## 1 目的

市町村における効果的・効率的な除染作業の検討に資するため、市町村の除染作業における事前・事後モニタリングのデータ等をもとに、除染の部位（庭、駐車場等）や用いた除染技術（除染係数）の違いが生活空間の空間線量率に与える影響等について評価し、視覚的な情報として取りまとめる。

## 2 実証事業者

パシフィックコンサルタンツ株式会社福島事務所（郡山市）

## 3 作業概要

### （1）除染係数（DF）の整理

A市、B町の実測値のうち、除染前後の表面汚染密度（cpm）の実測値を用いて、以下の算出式により、除染の対象等別に除染係数(DF: Decontamination Factor)を算出し、整理する。

（算出式）

$$\text{除染係数 (DF)} = \frac{\text{除染前の表面汚染密度 (cpm)}}{\text{除染後の表面汚染密度 (cpm)}}$$

### （2）除染対象等別の効果検証

除染活動支援システム※（以下、「RESET」という。）で、除染対象（庭・駐車場等）及び除染手法等の違いが生活空間の空間線量率に与える影響を評価する。

#### ア 最適条件の検討

RESETの「除染後線量評価機能」を用い、A市及びB町の住宅を対象に、除染前の空間線量率（実測値）と（1）で整理した除染係数を用いて、除染後の空間線量率（RESET予測値）を算出する。

除染後の空間線量率（RESET予測値）と除染後の空間線量率（実測値）とを比較し、差が大きい場合はRESETに入力する除染係数を変更し、差が小さくなる除染係数（以下、「最適除染係数」という。）を求める。

#### イ 除染対象等別の効果検証

アで検討した最適除染係数を用いて対象、除染手法等を変えて除染したと仮定した場合の平均空間線量率の低減率を「RESET」により解析する。

#### ※効果検証に使用するシステム

- ・システム名 除染活動支援システム「RESET」（（独）日本原子力研究開発機構）

＊RESET：The Restoration Support System for Environment

- ・システム概要

－除染を行う際の除染計画立案、任意の経過年数における空間線量等を、インターネット上に設置したクラウドコンピュータによって予測し、効果的・効果的な除染の実施を支援するためのシステム。

－クラウド上のサーバーには、既知のモニタリングデータ、除染技術に関する除染係数（DF=除染前の表面汚染密度/除染後の表面汚染密度）、除染作業の歩掛（コスト）、地形データ、土地利用データ等をデータベースとして有し、GPSによる位置情報と除染前の線量率データから除染場所の空間線量率分布を予測・解析し、除染後の空間線量率、除染費用、予算に見合う除染工法等を自動で予測・抽出する。

#### 4 検証方法等

##### (1) 対象場所

福島県内の2つの市町村（A市、B町）

##### (2) 対象データ

1市町村につき、除染を実施した住宅を選定し、除染実施前後の空間線量率（1m）及び表面汚染密度（1cm、鉛遮へい体あり）等に関するデータの電子化を行った。また、除染対象及び工種等については、表1に示す項目に類型化した。

表1 除染対象及び工種等の類型化

対象	材質	工種
庭	土壌	洗浄
玄関前	草、芝	草木除去・客土
駐車場	舗装(アスファルト、コンクリート、焼成土等)	表土除去・客土
雨どい下	舗装(インターロッキング)	砂利採石除去
家屋	砂利、碎石	家屋の除染
屋根	プラスチック	その他
その他	金属	不明
不明	その他	
	不明	

### (3) 検証方法

検証方法の流れを図1に示す。

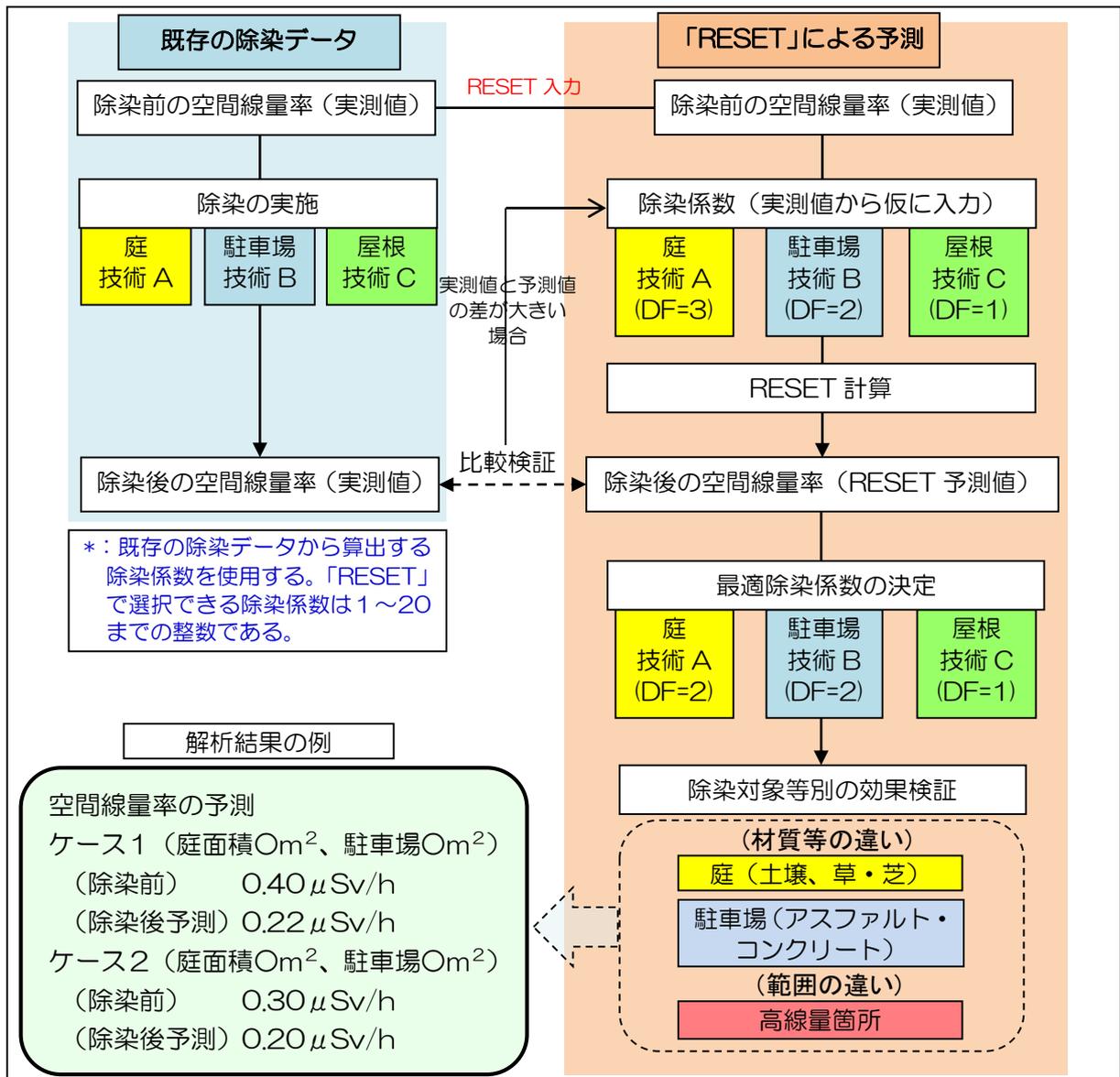


図1 「RESET」による除染効果検証のイメージ

#### ア 除染係数 (DF) の整理

除染前後の表面汚染密度の実測値に基づき、材質及び工種別に除染係数を算出した。

また、集計結果は除染係数の平均値、最小値、最大値、25パーセンタイル値、50パーセンタイル値、75パーセンタイル値として取りまとめた。

※ パーセンタイル値：

データを小さい順に並べ替え、指定された個数番目にある数値を代表値とする表現方法。例えば、データ数が9の場合には、5番目のデータが50パーセンタイル値。25パーセンタイル値 (第一四分位数)、50パーセンタイル値 (中央値)、75パーセンタイル値 (第三四分位数) が使われることが多く、四分位数と呼ばれる。パーセンタイルや四分位のそれぞれの数値と、平均値、最小値、最大値を比較することで、データの分布が把握できる。

## イ 最適除染係数の検討

### (ア) RESET による除染後の空間線量率の予測

対象場所別に住宅 20 軒程度の範囲を設定し、RESET 上において、設定した範囲を 2m×2m メッシュに区切った上で、それぞれのメッシュに除染実施箇所の対象、材質及び工種別の除染前の空間線量率（実測値）の測定結果、並びに対象別にアで整理した除染係数の情報を入力することにより、除染後の空間線量率（RESET 予測値）を計算した。

### (イ) 最適除染係数の決定

(ア) で算出した、除染後の空間線量率（RESET 予測値）と除染後の空間線量率（実測値）とを比較し、その差が十分に小さくなるように対象等別の除染係数を 1 ずつ上げていき、最適な除染係数を算出した。

なお、RESET に入力できる除染係数は整数のみであること、対象データには高線量箇所等が含まれているため、RESET 予測値と実測値が完全に一致する最適除染係数の算出は困難であった。

## ウ 様々なケースでの効果検証

「イ 最適除染係数の検討」で決定した条件下において、A市及びB町の除染対象や材質、工種等の異なる数件の住宅を選定し、それぞれの材質に応じて、数種類の除染前の空間線量率を設定した場合に予測される除染後の空間線量率（RESET 予測値）を算出し、比較を行った。

なお、設定する除染前の空間線量率は、材質毎に分類した対象データの 75%タイル値、50%タイル値、25%タイル値とした。

表 2 効果検証のケース

検証パターン		除染対象の状況※			除染の種類	
		対象	材質	面積	工種	除染係数
A市 ケース1	敷地:面積小 草芝:面積大	庭	土壌	96.67m <sup>2</sup>	表土除去・客土	2
		庭	草, 芝	87.96m <sup>2</sup>	表土除去・客土	3
		玄関前	舗装(As, Con, 等)	28.78m <sup>2</sup>	洗浄	2
A市 ケース2	敷地:面積小 土壌:面積大	庭	土壌	152.92m <sup>2</sup>	表土除去・客土	2
		玄関前	舗装(As, Con 等)	36.24m <sup>2</sup>	洗浄	2
		玄関前	舗装(インターロッキング)	4.62m <sup>2</sup>	洗浄	2
A市 ケース3	敷地:面積大 草芝:面積大	庭	土壌	23.14m <sup>2</sup>	表土除去・客土	2
		庭	草, 芝	105.56m <sup>2</sup>	草木除去・客土	3
		庭	砂利・碎石	150.82m <sup>2</sup>	砂利碎石除去	3
		駐車場	舗装(As, Con 等)	76.74m <sup>2</sup>	洗浄	2
		玄関前	舗装(インターロッキング)	61.57m <sup>2</sup>	洗浄	2
A市 ケース4	敷地:面積大 土壌:面積大	庭	土壌	204.66m <sup>2</sup>	表土除去・客土	2
		庭	草, 芝	38.52m <sup>2</sup>	草木除去・客土	3
		庭	舗装(As, Con, 等)	31.72m <sup>2</sup>	洗浄	2
		玄関前	舗装(インターロッキング)	3.14m <sup>2</sup>	洗浄	2
B町 ケース1		庭	土壌	63.87m <sup>2</sup>	表土除去・客土	2
		庭	土壌	23.05m <sup>2</sup>	草木除去・客土	2
		庭	草, 芝	6.67m <sup>2</sup>	草木除去・客土	2
		庭	舗装(As, Con 等)	19.56m <sup>2</sup>	洗浄	2
		庭	砂利・碎石	85.49m <sup>2</sup>	砂利碎石除去	2
		駐車場	舗装(As, Con 等)	46.78m <sup>2</sup>	洗浄	2

※空間線量率は、様々に変化させて効果検証するため、1つのケースにつき、複数例の予測を行う。

## 5 実施工程

今回実施した検証作業の実施工程表を表3に示す。

表3 実施工程表

作業内容	1月		2月			3月		
ア 除染係数の整理	→							
イ 最適除染係数の検討								
(ア) RESETによる除染後の 空間線量率の予測			→					
(イ) 最適除染係数の決定			→					
ウ 様々なケースでの効果検証						→		

## 6 検証結果

### (1) 除染係数等の整理

A市及びB町それぞれにおける除染係数の整理結果を表4及び表5に、空間線量率の整理結果を表6及び表7に示す。

除染係数については、A市では、工種別の除染係数は、「洗浄」が比較的低いが、総じてどの工種も高い値となった。特に砂利、砕石の除去の除染係数は50パーセント値（中央値）で3.00となり、最も除染係数が高かった。また、B町では、全般に除染係数がA市と比較すると若干低く、A市と同じ「材質」、「工種」と比較した場合も、低い結果となった。

空間線量率については、A市及びB町ともに除染前の空間線量率において、「土壌」、「草、芝」及び「砂利、砕石」が「舗装(As, Con, 焼成土等)」及び「舗装(インターロッキング)」に比べて高い傾向がみられた。

また、A市とB町において、同じ「材質」での除染前の空間線量率を比較したところ、大きな差はみられないものの、除染後の空間線量率ではA市の方が低い結果となった。

表4 除染係数の整理結果（A市）

対象	材質	工種	件数	表面汚染密度 (cpm)		除染係数 (DF)					
				中央値		平均	最大	最小	パーセンタイル値		
				除染前	除染後				25%	50%	75%
庭、駐車場	土壌	洗浄	3	468	243	2.60	4.14	1.73	1.73	1.93	4.14
庭、駐車場	土壌	表土除去・客土	307	516	205	3.08	30.40	0.72	1.84	2.45	3.26
庭	草, 芝	草木除去・客土	12	586	228	2.53	4.09	1.22	1.39	2.80	3.28
庭、玄関前、駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	258	759	358	2.36	13.85	0.10	1.46	1.95	2.66
庭、駐車場	舗装(インターロッキング)	洗浄	17	436	199	2.86	8.90	1.03	1.30	2.02	3.25
駐車場	砂利, 砕石	洗浄	34	498	244	2.34	5.76	1.04	1.49	2.19	3.07
庭、駐車場	砂利, 砕石	砂利砕石除去	54	666	196	4.11	23.11	1.06	1.85	3.00	4.93

表5 除染係数の整理結果（B町）

対象	材質	工種	件数	表面汚染密度 (cpm)		除染係数 (DF)					
				中央値		平均	最大	最小	パーセンタイル値		
				除染前	除染後				25%	50%	75%
庭	土壌	草木除去・客土	42	475	272	2.07	4.14	0.80	1.05	1.64	2.58
庭、玄関前、駐車場	土壌	表土除去・客土	585	500	270	2.16	9.52	0.50	1.33	1.80	2.60
庭、玄関前、駐車場	草, 芝	草木除去・客土	423	400	250	1.90	40.00	0.40	1.19	1.57	2.00
庭、玄関前、駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	412	700	450	1.93	8.72	0.31	1.08	1.62	2.33
庭、玄関前	舗装(インターロッキング)	洗浄	58	330	219	1.99	8.80	0.45	1.20	1.65	1.85
庭、玄関前、駐車場	砂利, 砕石	砂利砕石除去	409	460	230	2.30	8.81	0.55	1.48	1.88	2.82

表6 除染前後の空間線量率（1 m高さ）の整理結果（A市）

対象	材質	工種	件数	空間線量率(μSv/h)							
				平均値		パーセンタイル値					
						25%		50%		75%	
				除染前	除染後	除染前	除染後	除染前	除染後	除染前	除染後
庭、駐車場	土壌	洗浄	3	0.32	0.20	0.25	0.16	0.30	0.21	0.42	0.22
庭、駐車場	土壌	表土除去・客土	307	0.52	0.25	0.35	0.20	0.48	0.24	0.60	0.29
庭	草、芝	草木除去・客土	12	0.54	0.29	0.39	0.20	0.49	0.27	0.73	0.35
庭、玄関前、 駐車場	舗装(As, Con, 焼成土等)	洗浄	258	0.36	0.23	0.27	0.17	0.34	0.21	0.43	0.27
庭、駐車場	舗装(インター ロッキング)	洗浄	17	0.34	0.19	0.26	0.14	0.32	0.18	0.41	0.25
駐車場	砂利, 碎石	洗浄	34	0.51	0.28	0.38	0.24	0.49	0.28	0.62	0.32
庭、駐車場	砂利, 碎石	砂利碎石除去	54	0.51	0.25	0.40	0.19	0.47	0.24	0.61	0.30

表7 除染前後の空間線量率（1 m高さ）の整理結果（B町）

対象	材質	工種	件数	空間線量率(μSv/h)							
				平均値		パーセンタイル値					
						25%		50%		75%	
				除染前	除染後	除染前	除染後	除染前	除染後	除染前	除染後
庭	土壌	草木除去・客土	42	0.55	0.36	0.46	0.32	0.53	0.36	0.61	0.40
庭、玄関前、 駐車場	土壌	表土除去・客土	585	0.56	0.35	0.48	0.28	0.55	0.33	0.62	0.39
庭、玄関前、 駐車場	草、芝	草木除去・客土	423	0.56	0.33	0.50	0.27	0.55	0.31	0.60	0.38
庭、玄関前、 駐車場	舗装(As, Con, 焼成土等)	洗浄	412	0.42	0.30	0.38	0.25	0.42	0.28	0.47	0.33
庭、玄関前	舗装(インター ロッキング)	洗浄	58	0.35	0.25	0.30	0.21	0.34	0.24	0.39	0.28
庭、玄関前、 駐車場	砂利, 碎石	砂利碎石除去	409	0.50	0.31	0.45	0.26	0.50	0.30	0.55	0.35

## (2) RESET 最適条件の検討結果

最適除染係数を検討したところ、RESET 予測値と実測値の間に大きな変化はみられず、全ての対象において、除染係数に 50%パーセンタイル値（中央値）を用いた結果を最適除染係数として、その妥当性を検討した。（検討結果は表 8、9 に示す。）

RESET 予測値の確かさを確認するため、除染係数に 50%パーセンタイル値（中央値）を用いた場合の除染後の空間線量率（実測値）と RESET 予測値のプロット図を作成した（図 2）。相関係数は 0.4904、有意水準 0.1% で有意に相関が認められた。また、回帰直線の傾きが  $X=0.7786Y$  となり、実際の測定結果に比べて約 30%の範囲で予測できることが分かった。

また、A 市及び B 町の住宅各 1 戸において、最適除染係数を用いた除染後の空間線量率（実測値）と RESET 予測値との比較結果を行った（図 3 及び図 4）。この結果、除染後の空間線量率（実測値）と RESET 予測値に大きな離れは見られなかった。

これらの結果を踏まえ、最適除染係数は除染係数の 50%パーセンタイル値（中央値）を用い、かつ RESET 予測値に補正係数（0.7786）を乗じることにより、(4) 以降の除染効果の評価を行うこととした。

表 8 最適除染係数の検討結果（A 市）

対象	材質	工種	除染係数(DF)	
			最適除染係数	50 パーセンタイル値
庭	土壌	洗浄	2	1.93
庭	土壌	表土除去・客土	2	2.45
庭	草, 芝	草木除去・客土	3	2.80
駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	2	1.95
駐車場	舗装(インターロッキング)	洗浄	2	2.02
駐車場	砂利, 碎石	砂利碎石除去	3	3.00

表 9 最適除染係数の検討結果（B 町）

対象	材質	工種	除染係数(DF)	
			最適除染係数	50 パーセンタイル値
庭	土壌	草木除去・客土	2	1.64
庭、玄関前	土壌	表土除去・客土	2	1.80
庭、駐車場	草, 芝	草木除去・客土	2	1.57
庭、玄関前、駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	2	1.62
庭、玄関前	舗装(インターロッキング)	洗浄	2	1.65
庭	砂利, 碎石	砂利碎石除去	2	1.88

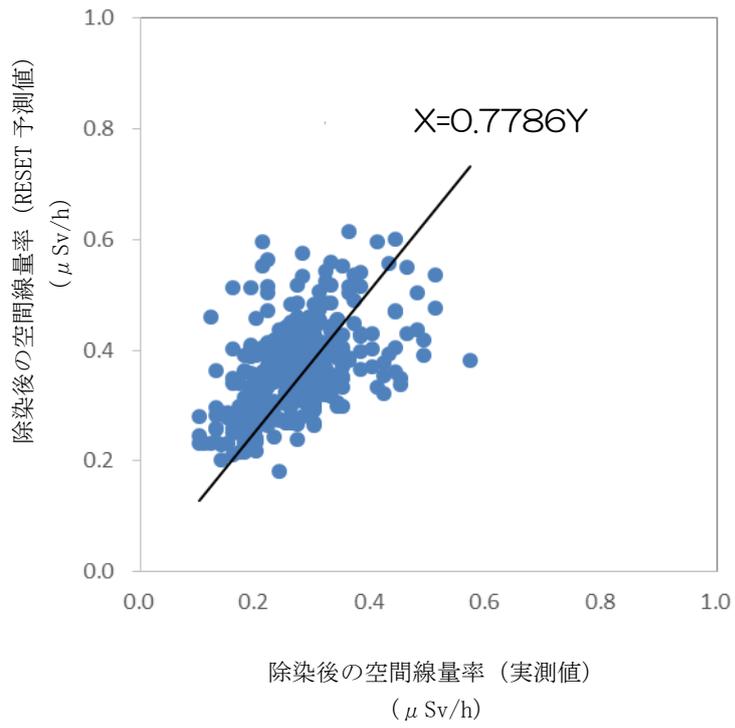
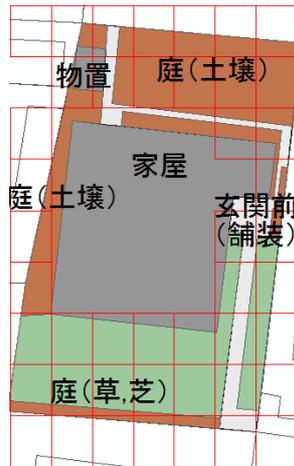


図2 除染後の空間線量率の実測値と RESET 予測値との関係

○A市の例

・除染対象等の条件（敷地面積 346m<sup>2</sup>）

対象	材質	工種	対象面積 (m <sup>2</sup> )	割合 (%)	最適 除染係数
庭	土壌	表土除去・客土	96.67	45	2
庭	草, 芝	草木除去・客土	87.96	41	3
玄関前	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	28.78	14	2



住宅の状況



空間線量率の分布

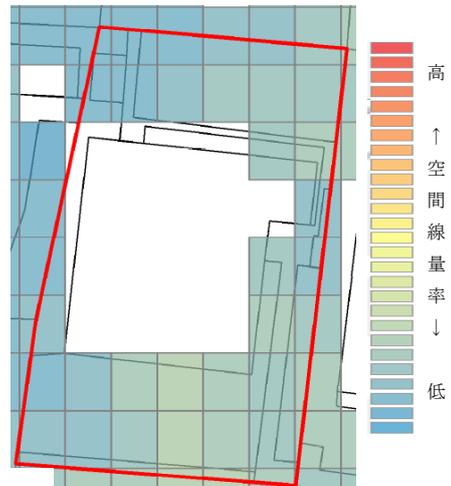
・検証結果

	平均空間線量率(μSv/h)	
	除染前	除染後
RESET 予測値	0.45	0.22 <sup>※</sup>
実測値	0.46	0.28

※RESET で算出した予測値に補正係数 (0.7786) を乗じた値



除染前 (RESET 予測値)



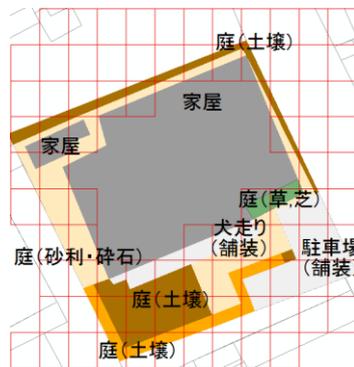
除染後 (RESET 予測値)

図3 RESET 最適条件の検討結果 (A市)

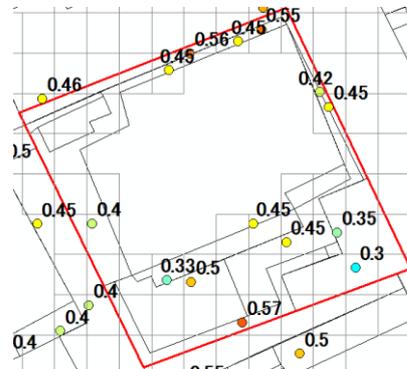
○B町の例

・除染対象等の条件（敷地面積 481m<sup>2</sup>）

対象	材質	工種	対象面積 (m <sup>2</sup> )	割合 (%)	最適除染係数
庭	土壌	表土除去・客土	63.87	26	2
庭	土壌	草木除去・客土	23.05	9.4	2
庭	草, 芝	草木除去・客土	6.67	2.7	2
庭	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	19.56	7.9	2
駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	46.78	19	2
庭	砂利, 碎石	砂利碎石除去	85.49	35	2



住宅の状況

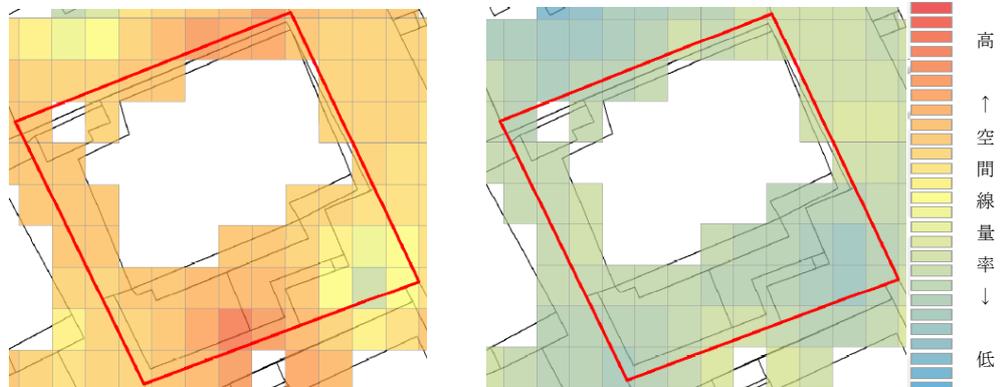


空間線量率の分布

・検証結果

	平均空間線量率(μSv/h)	
	除染前	除染後
RESET 予測値	0.45	0.27 <sup>※</sup>
実測値	0.46	0.29

※RESET で算出した予測値に補正係数 (0.7786) を乗じた値



除染前 (RESET 予測値)

除染後 (RESET 予測値)

図4 RESET 最適条件の検討結果 (B町)

#### (4) 様々なパターンでの効果検証

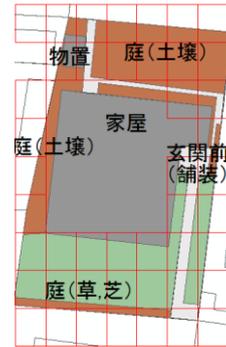
除染対象の条件が異なるいくつかの宅地における、除染前の空間線量率の違いによる除染効果の予測結果を図5から図9に示す。

対象、材質及び工種や対象面積の異なるA市4パターン、B町1パターンにおいて、除染前の空間線量率の違いによる空間線量率の予測を行うことが出来た。

なお、予測評価を実施する住宅の選定に当たっては、さまざまな材質や除染工種を使用して除染を実施した住宅を観点に選定した。

・除染対象等の条件（敷地面積 346 m<sup>2</sup>）

対象	材質	工種	対象面積 (m <sup>2</sup> )	割合 (%)
庭	土壌	表土除去 客土	96.67	45
庭	草, 芝	草木除去 客土	87.96	41
玄関前	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	28.78	14



・空間線量率の違いによる除染効果の予測

対象	材質	工種	最適 除染係数	空間線量率		
				75% タイル値	50% タイル値	25% タイル値
庭	土壌	表土除去 客土	2	0.60	0.48	0.35
庭	草, 芝	草木除去 客土	3	0.68	0.49	0.395
玄関前	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	2	0.43	0.34	0.27

【75%タイル値】

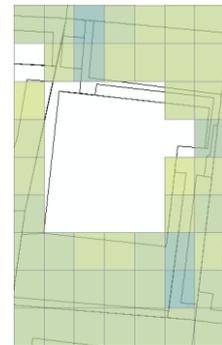
・除染前予測値

平均 0.60  $\mu$ Sv/h



・除染後予測値

平均 0.28  $\mu$ Sv/h



【50%タイル値】

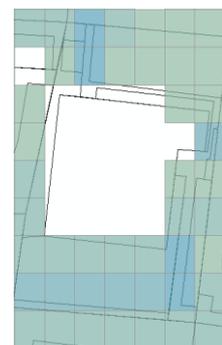
・除染前予測値

平均 0.46  $\mu$ Sv/h



・除染後予測値

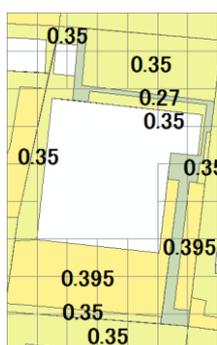
平均 0.22  $\mu$ Sv/h



【25%タイル値】

・除染前予測値

平均 0.36  $\mu$ Sv/h



・除染後予測値

平均 0.16  $\mu$ Sv/h

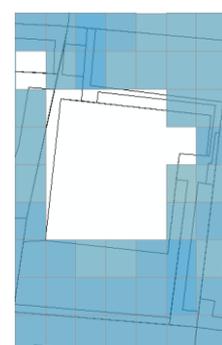
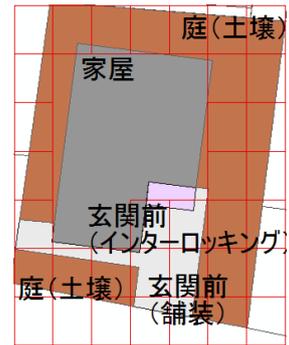


図5 様々なパターンでの効果検証（A市のケース1）

・除染対象等の条件（敷地面積 292m<sup>2</sup>）

対象	材質	工種	対象面積 (m <sup>2</sup> )	割合 (%)
庭	土壌	表土除去 客土	152.92	79
玄関前	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	36.24	19
玄関前	舗装(インター ロッキング)	洗浄	4.62	2

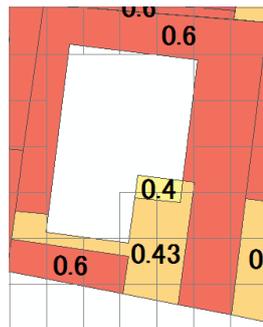


・空間線量率の違いによる除染効果の予測

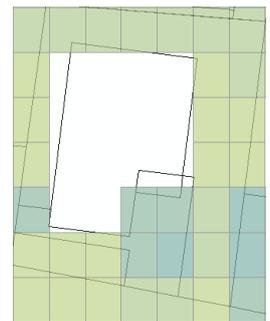
対象	材質	工種	最適 除染係数	空間線量率		
				75% タイル値	50% タイル値	25% タイル値
庭	土壌	表土除去 客土	2	0.60	0.48	0.35
玄関前	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	2	0.43	0.34	0.27
玄関前	舗装(インター ロッキング)	洗浄	2	0.40	0.32	0.27

【75%タイル値】

・除染前予測値  
平均 0.57  $\mu$ Sv/h

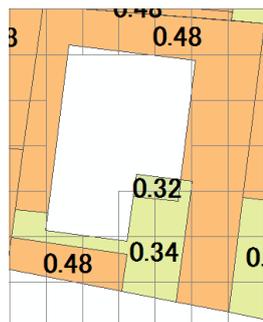


⇒ 除染後予測値  
平均 0.28  $\mu$ Sv/h

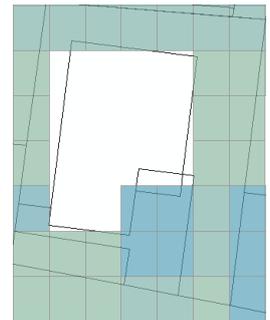


【50%タイル値】

・除染前予測値  
平均 0.45  $\mu$ Sv/h

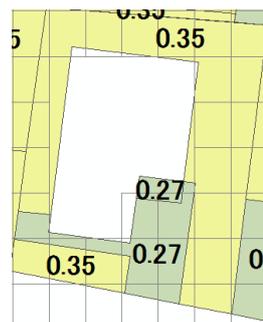


⇒ 除染後予測値  
平均 0.22  $\mu$ Sv/h



【25%タイル値】

・除染前予測値  
平均 0.33  $\mu$ Sv/h



⇒ 除染後予測値  
平均 0.17  $\mu$ Sv/h

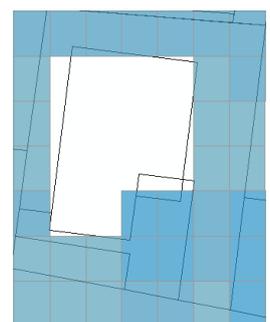
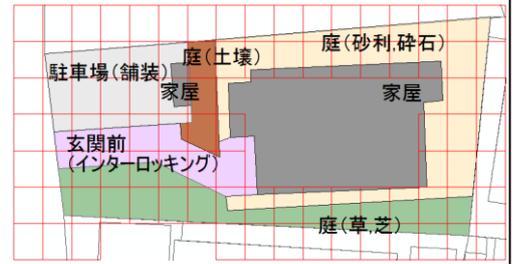


図6 様々なパターンでの効果検証（A市のケース2）

・除染対象等の条件（敷地面積 596m<sup>2</sup>）

対象	材質	工種	対象面積 (m <sup>2</sup> )	割合 (%)
庭	土壌	表土除去 客土	23.14	6
庭	草, 芝	草木除去 客土	105.56	25
庭	砂利, 碎石	砂利碎石 除去	150.82	36
駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	76.74	18
玄関前	舗装 (インター ロッキング)	洗浄	61.57	15



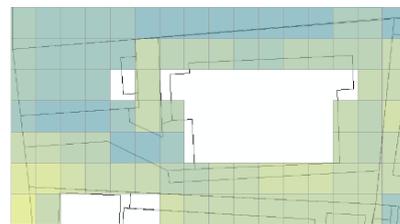
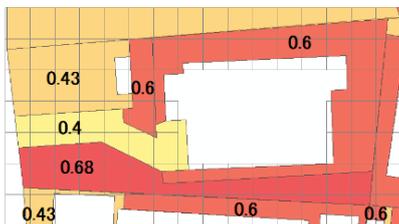
・空間線量率の違いによる除染効果の予測

対象	材質	工種	最適 除染係数	空間線量率		
				75% タイル値	50% タイル値	25% タイル値
庭	土壌	表土除去 客土	2	0.60	0.48	0.35
庭	草, 芝	草木除去 客土	3	0.68	0.49	0.395
庭	砂利, 碎石	砂利碎石 除去	3	0.60	0.47	0.40
駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	2	0.43	0.34	0.27
玄関前	舗装 (インター ロッキング)	洗浄	2	0.40	0.32	0.27

【75%タイル値】

・除染前予測値 平均 0.56 μSv/h

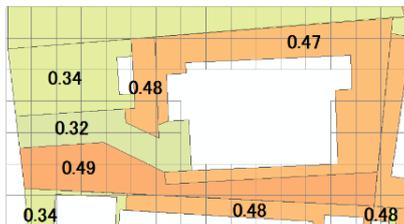
・除染後予測値 平均 0.25 μSv/h



【50%タイル値】

・除染前予測値 平均 0.43 μSv/h

・除染後予測値 平均 0.20 μSv/h



【25%タイル値】

・除染前予測値 平均 0.35 μSv/h

・除染後予測値 平均 0.16 μSv/h

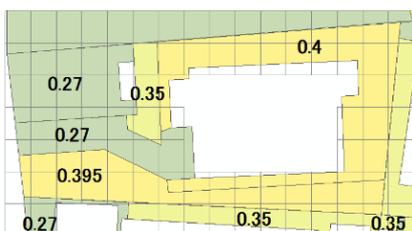
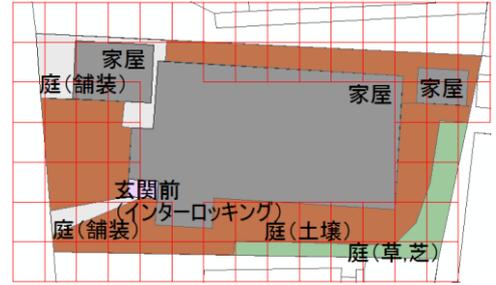


図7 様々なパターンでの効果検証（A市のケース3）

・除染対象等の条件（敷地面積 534m<sup>2</sup>）

対象	材質	工種	対象面積 (m <sup>2</sup> )	割合 (%)
庭	土壌	表土除去 客土	204.66	74
庭	草, 芝	草木除去 客土	38.52	14
庭	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	31.72	11
玄関前	舗装 (インター ロッキング)	洗浄	3.14	1

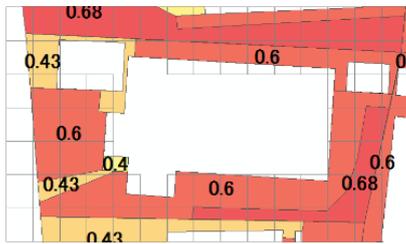


・空間線量率の違いによる除染効果の予測

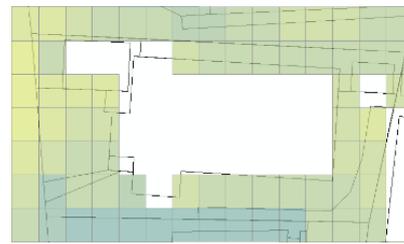
対象	材質	工種	最適 除染係数	空間線量率		
				75% タイル値	50% タイル値	25% タイル値
庭	土壌	表土除去 客土	2	0.60	0.48	0.35
庭	草, 芝	草木除去 客土	3	0.68	0.49	0.395
庭	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	2	0.43	0.34	0.27
玄関前	舗装 (インター ロッキング)	洗浄	2	0.40	0.32	0.27

【75%タイル値】

・除染前予測値 平均 0.60 μSv/h

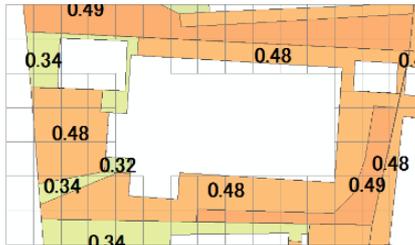


・除染後予測値 平均 0.29 μSv/h

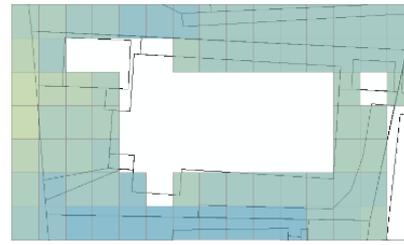


【50%タイル値】

・除染前予測値 平均 0.47 μSv/h

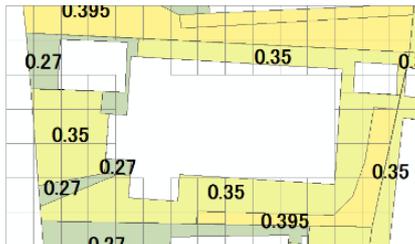


・除染後予測値 平均 0.23 μSv/h



【25%タイル値】

・除染前予測値 平均 0.35 μSv/h



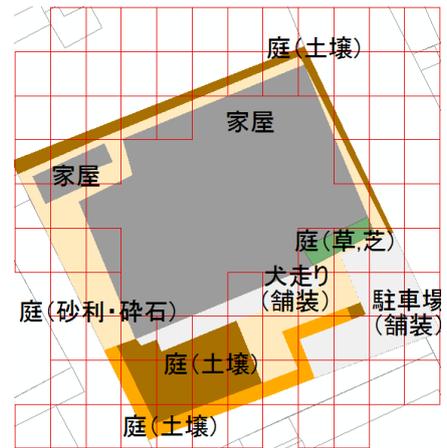
・除染後予測値 平均 0.17 μSv/h



図8 様々なパターンでの効果検証 (A市のケース4)

・ 除染対象等の条件（敷地面積 481m<sup>2</sup>）

対象	材質	工種	対象面積 (m <sup>2</sup> )	割合 (%)
庭	土壌	表土除去 客土	63.87	26
庭	土壌	草木除去 客土	23.05	9.4
庭	草, 芝	草木除去 客土	6.67	2.7
庭	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	19.56	7.9
駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	46.78	19
庭	砂利, 碎石	砂利碎石 除去	85.49	35

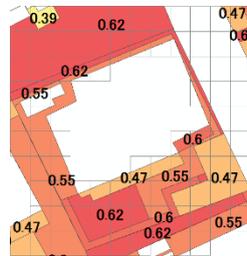


・ 空間線量率の違いによる除染効果の予測

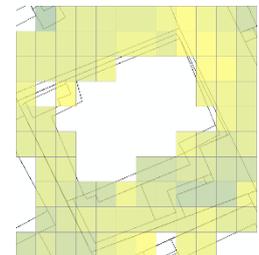
対象	材質	工種	最適 除染係数	空間線量率		
				75% タイル値	50% タイル値	25% タイル値
庭	土壌	表土除去 客土	2	0.62	0.55	0.48
庭	土壌	草木除去 客土	2	0.62	0.55	0.48
庭	草, 芝	草木除去 客土	2	0.60	0.55	0.50
庭	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	2	0.47	0.42	0.38
駐車場	舗装 (As, Con, 焼成土等)	洗浄	2	0.47	0.42	0.38
庭	砂利, 碎石	砂利碎石 除去	2	0.55	0.50	0.45

【75%タイル値】

・ 除染前予測値  
平均 0.55  $\mu$ Sv/h

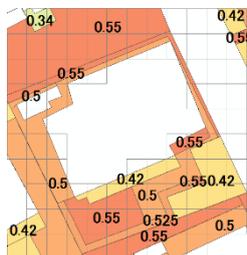


・ 除染後予測値  
平均 0.33  $\mu$ Sv/h

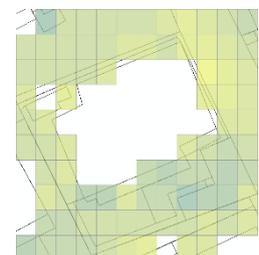


【50%タイル値】

・ 除染前予測値  
平均 0.49  $\mu$ Sv/h

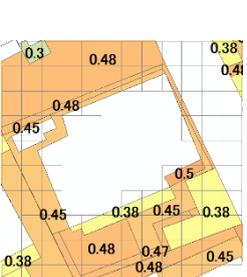


・ 除染後予測値  
平均 0.30  $\mu$ Sv/h



【25%タイル値】

・ 除染前予測値  
平均 0.44  $\mu$ Sv/h



・ 除染後予測値  
平均 0.26  $\mu$ Sv/h

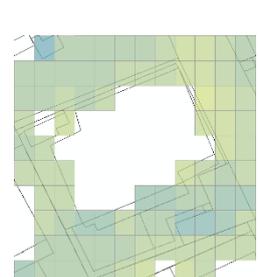


図9 様々なパターンでの効果検証（B町のケース1）

## 7 まとめ

市町村の除染作業における事前・事後モニタリングのデータ等をもとに、除染の部位（庭、駐車場等）や用いた除染技術（除染係数）が生活空間の空間線量率に与える影響等について評価し、視覚的な情報として取りまとめた。

今回の実証結果は、市町村等における除染効果等の住民理解促進等に有用と考えられる。



平成 26 年度福島県市町村除染技術支援事業  
(技術 5 住宅除染等における効果的な測定技術の検証)



## 1 業務の目的

住宅地等においては同一敷地内においても線量の高低差が存在していることから、これらの線量の詳細な状況を短時間かつ正確に把握し、視覚的に明示等することは、除染作業の効果的な実施や県民の除染に対する信頼性の確保のため重要である。このため、線量の高低差を効果的に測定可能な機器・技術について、最適な条件の検証を行うことを本業務の目的とする。

## 2 実証技術の概要

実証した技術は、次の5技術である。実証技術一覧を表1に示す。

表 1 実証技術

技術分類	実証事業者	技術名称
①線量及び測定位置情報(GPS等)を自動的にPC等に伝送し記録する技術	独立行政法人日本原子力研究開発機構福島環境安全センター(以下、JAEAと略記)	ガンマプロッターH
	ポニー工業株式会社	iPLUS HotSpotFinder
	株式会社松浦電弘社	歩行型自動放射線量計測システム(KURAMA-m)
②シンチレーションファイバーにより一定区間の線量を同時に測定する技術	日本放射線エンジニアリング株式会社	シンチレーションファイバー2次元マッピング装置(P-Scanner)
	株式会社日立パワーソリューションズ	ガンマ線空間線量当量率測定システム(D-phod)

## (1) 技術の概要

### ア ガンマプロッターH (JAEA)

ガンマプロッターH は高性能な衛星測位システム (GPS) で位置を測定しながら、製造の段階で予め決定された2つの高さ (例えば地上5cm と1m) に設定した放射線検出部 (プラスチックシンチレータ) で測定するステッキ状の測定器である。本装置を持って歩くだけで設定した時間ごとに2つの高さの放射線量を同時に計測・記録することが可能である。手動測定 (任意の位置での測定) も可能としている。自動的に測定・記録が行われ、測定した放射線量値を地図上にプロットした放射線量マップを作成することが可能である。

JAEA 開発の「除染活動支援システム」(RESET) へ測定結果をインポートすることで、除染効果の予測等の作業や線量マップの作成が容易に実施できる。

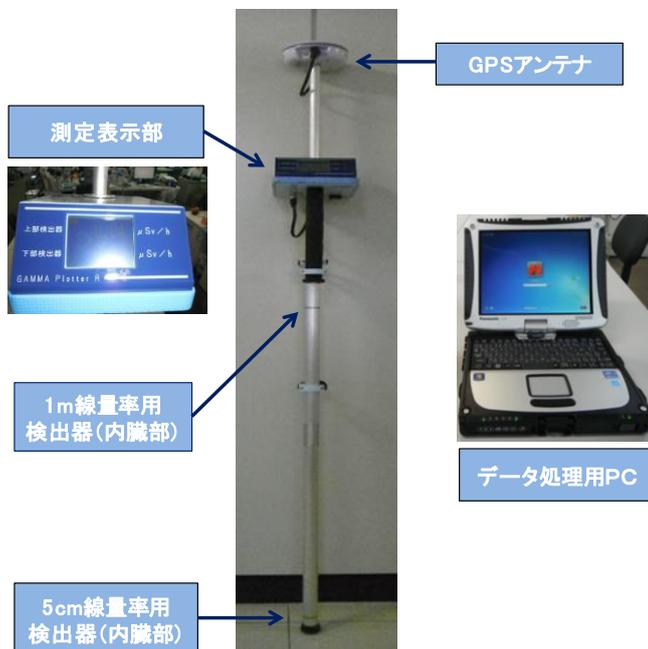


図1 ガンマプロッターH 装置外観



写真1 ガンマプロッターHによる測定の様子 (実証作業時)

## イ iPLUS HotSpotFinder (ポニー工業)

iPLUS HotSpotFinder は放射線検出部 (大容量 CsI シンチレータ) 及び高精度全地球測位システム (以下、GNSS と略記) 機器を接続し、測定位置を記録しながら、空間線量率、エネルギースペクトル値を PC に自動的に取り込むステッキ状の測定器である。シンチレータは最大 3 台接続可能であり、同時に測定する事ができるため、複数高さの放射線量を同時に計測できる。また、自動的に測定・記録が行われ、測定した放射線量値を地図上にプロットした放射線量マップを作成することも可能である。高精度 GNSS 機器及び位置補正情報 VRS を利用したアプリケーションが用意されており、測定位置の決定や線量率の分布などを示した調書の自動作成を行うことができる。各自治体で保有している精度の高い基図類 (航空写真、都市計画図、道路台帳図、地籍図) を用いたアプリケーションとの連携により測定位置を精密に決定することができる。

iPLUS HotSpotFinder はポニー工業 (株) の持つ測定技術 (HotSpotFinder) と、(株) 一測設計の持つ GIS・アプリケーションの技術を結合することによって短時間で高精度の測定が可能となったシステムである。

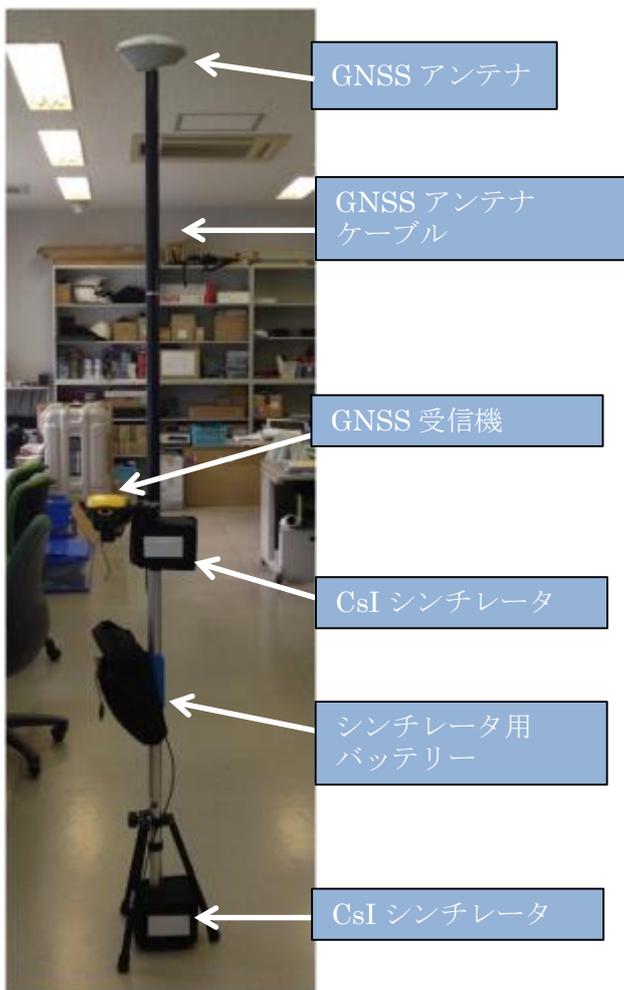


図 2 iPLUS HotSpotFinder 装置外観及び構成



写真 2 iPLUS HotSpotFinder による測定の様子 (実証作業時)

### ウ 歩行型自動放射線量計測システム (KURAMA-m) (松浦電弘社)

KURAMA-m は GPS で測定位置を記録しながら、任意の2つ以上の高さに設置した放射線検出部 (大容量 CsI シンチレータ) によって空間線量率をサーバーに自動的に取り込むステッキ状の測定器である。シンチレータを3つまで取り付けることが可能であり、3つの高さ (例: 1m、50cm、5cm) を同時に測定可能である。検出器は  $^{137}\text{Cs}$  が放出するエネルギー以外をカットして検出するため、予め決定された補正係数をかけて使用する。電源投入のみで操作するため、使用方法は簡易なものとなっている。本測定器は線量測定、GPS 機器による位置測定を行い、測定時刻と関連付けられたデータを 3G 回線経由でサーバーに送信、保存を行なうものである。また無線 LAN 経由でリアルタイム表示を行うことも可能である。測定した放射線量値を地図上にプロットした放射線量マップを作成することも可能である。



図3 KURAMA-m 装置外観及び構成

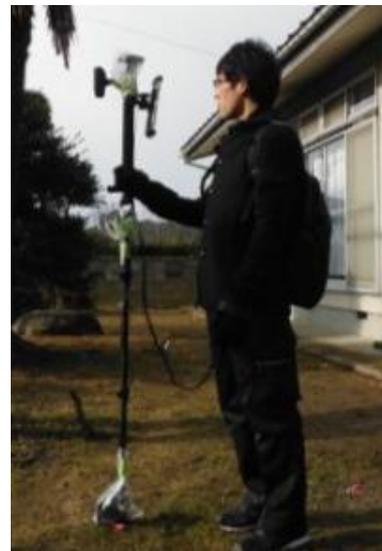


写真3 KURAMA-m による測定の様子 (実証作業時)

## エ シンチレーションファイバー2次元マッピング装置 (P-Scanner) (日本放射線エンジニアリング)

シンチレーションファイバー2次元マッピング装置 (以下、P-Scanner と略記) は放射線に有感なファイバー型の検出器 (プラスチックシンチレーションファイバー、以下、PSF と略記) を利用した測定器である。PSF 部に入射した放射線は測定部により入射した位置に変換され、その位置情報を PC に伝送、記憶する。PC では位置情報を蓄積することにより PSF 上の放射線強度分布を表示する。PSF 部は湾曲させることが可能であり、測定場所に応じて形状を変えることが可能であるほか、形状を活かした樹木などの垂直分布測定が可能である。PSF を1箇所固定し測定した場合は1次元測定、一定速度にて PSF を移動させながら計測した場合は2次元分布測定を行うことが可能である。データ処理に使用する PC 以外は全て防水機構となっており、水中測定、例えば防火水槽やため池の湖底における測定が可能である。2次元分布測定用の装置が用意されており、そちらを利用することで2次元マッピングが可能である。ただし2次元分布測定はスクリーニング測定となっている。

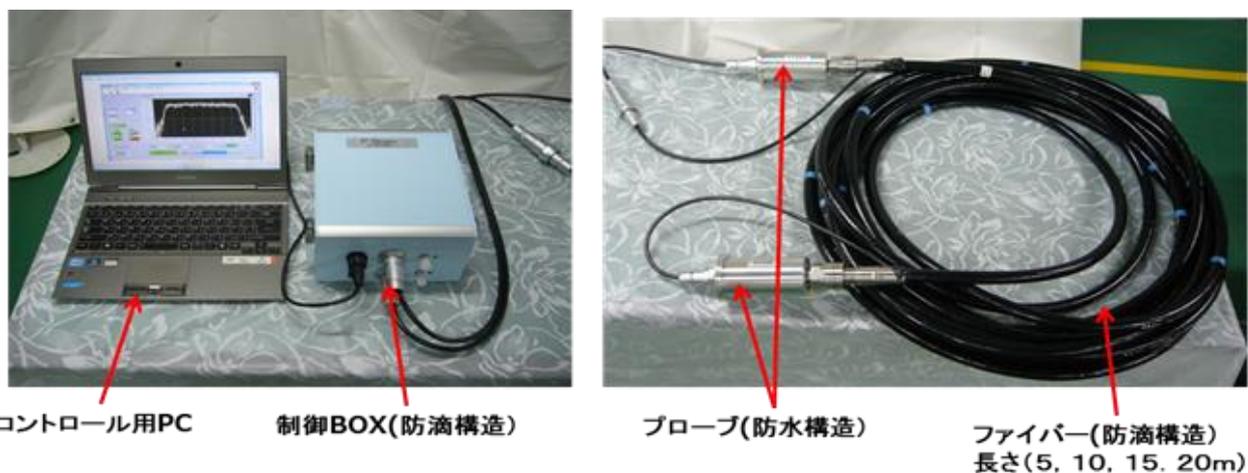


図4 P-Scanner 装置外観及び構成



写真4 P-Scanner による測定の様子 (1m 高さ測定、実証作業時)

## オ ガンマ線空間線量当量率測定システム(D-phod) (日立パワーソリューションズ)

ガンマ線空間線量当量率測定システム(以下、D-phod と略記)は放射線に有感なファイバー型の検出器(PSF)を利用した測定器である。PSF 部に入射した放射線は測定部により入射した位置に変換され、その位置情報を PC に伝送、記憶する。PC では位置情報を蓄積することにより PSF 上の放射線強度分布を表示する。PSF 部は湾曲(曲率半径  $R=200$ ) させることが可能であり、測定場所に応じて形状を変えることが可能である。専用の治具を用いることにより、樹木や壁面等に自由に設置し、線量測定が可能である。検出部は防水機構となっており、水中測定、例えば防火水槽やため池の湖底における測定が可能である。ファイバー部に測定治具が用意されており、これを用いることで家屋・樹木など垂直方向の測定が可能である。日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社による「広域空間線量率評価システム」(SOPHIDA) と連携して線量率マップの作成や除染計画の立案等が可能である。

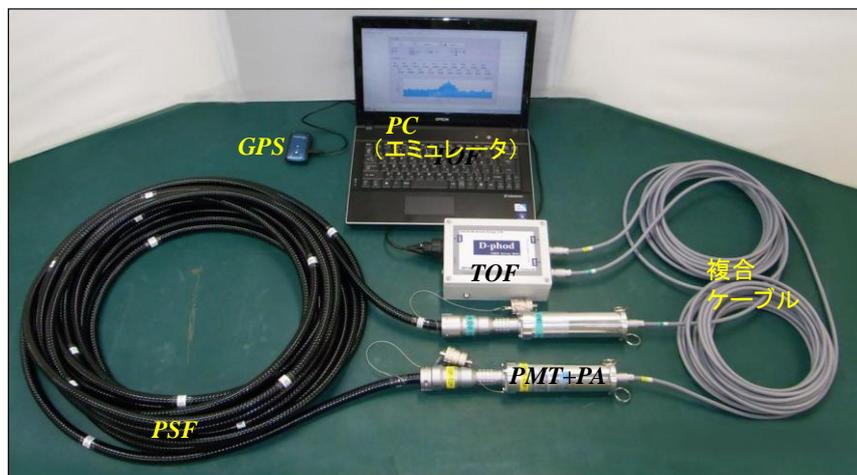


図 5 D-phod 装置外観



写真 5 D-phod による測定の様子 (1m 高さ測定、実証作業時)

## (2) 装置の仕様

実証作業に用いた各機器の仕様を表2に示す。なお、表2は各実証事業者が提出した申請書及び事業者へのヒアリングに基づき作成した。

表 2-1 実証対象機器の仕様

装置名	ガンマプロッターH	iPLUS HotSpotFinder	ガンマ線空間線量当量率測定システム (KURAMA-m)
検出器 (サイズ)	プラスチックシンチレータ (20mmφ×40mm)	CsI (Tl)シンチレータ (38mm×38mm×25mm)	CsI (Tl)シンチレータ (38mm×38mm×25mm)
時定数	3秒 (10秒、30秒へ変更可)	1秒	1秒
測定範囲 (カタログスペック)	バックグラウンドレベル～1mSv/h	0.001～10 μSv/h	0.001～10 μSv/h
装置重量	約3kg (バッテリー含まず)	約8kg (タブレットPC含む)	本体BOX部：約1.9kg センサーポール部：約2.4kg
位置情報取得方式等 (精度)	ディファレンシャル型GPS方式 ヘミスフィア A100 (60cm以内)	以下から選択する。 ①GPS-VRS-RTK方式 VRS-RTK対応ニコントリニブル Geo シリーズ (10cm以内) ②ディファレンシャル型GPS方式 NaviSys Technology GR-5013U/R (2.5～3.0m以内)	ディファレンシャル型GPS方式 SOKKIA社 GIR1600 (1m以内)
結果の出力及び視覚化	CSV形式	PDF 又は Excel 形式	CSV形式
	タブレットPCによる線量率のリアルタイム表示	タブレットPCによる線量率のリアルタイム表示	タブレットPCによる線量率のリアルタイム表示
	Google Earth に測定結果を表示可能	GIS エンジン・データベースによるマッピングを含めた調書の自動作成	GoogleMap または市販地図ソフトに測定結果を表示可能

表 2-2 実証対象機器の仕様（シンチレーションファイバー）

装置名	シンチレーションファイバー 2次元マッピング装置（P-Scanner）	ガンマ線空間線量当量率 測定システム（D-phod）
検出器	プラスチックシンチレーション ファイバー	プラスチックシンチレーション ファイバー
測定時間	300 秒※1	60 秒以上（バンドル 7 本の場合）※1
測定範囲 （カタログス ペック）	バックグラウンドレベル～500 $\mu$ Sv/ h（ファイバー長 20m、2mm、10 本バ ンドル）※2	0.1～20 $\mu$ Sv/h（バンドル 7 本）※ 2
装置重量	総重量：約 17 kg（PC 除く） 検出部重量：約 12.9 kg （20m ファイバー及び光電管含む） 測定部重量：約 4.1 kg （バッテリー含む）	約 2.5 kg（プラスチックシンチレー ションファイバー10 m、7 本バンド ル） 約 0.58kg（光検出器） 約 0.55kg（信号処理器）
位置情報取得 方式等（精度）	ディファレンシャル型 GPS 方式 ヘミスフィア A325 相当品 （60cm 以内）	ディファレンシャル型 GPS 方式 トランシステム社製 GPSTrip Recorder 747pro （5m 以内）
結果の出力及 び視覚化	PC への線量率のリアルタイム表示	航空写真データを利用した地図上へ の線量率のマッピング出力が可能
	Google Earth、デジタルマップル、 電子国土 Web による表示が可能	現場写真への測定結果出力が可能

※1：バックグラウンド線量率や選択したバンドル数に応じて変更される。

※2：測定範囲等の仕様はファイバー長やバンドルの本数（ファイバー本数）によって異なる。表中の値は本実証作業に用いた機器を掲載している。

### 3 実証作業の実施内容

#### （1）実証作業手順

実証作業手順を図 6 に示す。一般財団法人日本環境衛生センター（以下、JESC と略記）が予め除染関係ガイドラインに記載されている NaI シンチレーションサーベイメータによる測定方法（以下、ガイドライン法と略記）によって、試験場所の空間線量率（1m）及び表面線量率（1cm）を測定した。実証技術による試験は、以下のとおりとした。

#### ア 線量及び測定位置情報（GPS 等）を自動的に PC 等に伝送し記録する技術

実証作業場所にあらかじめ設定した基準点において、事前測定結果と実証技術の測定結果に大きなずれがないことを静止測定によって確認（基準測定）した後、測線に従って申請者の提案した方法により計測を実施した（本試験）。なお、ガンマプロッ

ターH 及び iPLUS HotSpotFinder については規定の作業時間内に歩行速度を変えて測定を行った。これに対して、KURAMA-m については申請書に基づき本実証作業では静止測定のための試験とした。測定高さは1 m 高さ（ガンマプロッターH、iPLUS HotSpotFinder）ないし 1cm 高さ（KURAMA-m）の線量率を同時に測定した。

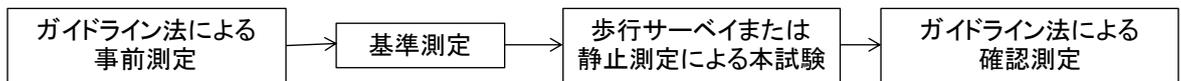
#### イ シンチレーションファイバー（PSF）により一定区間の線量を同時に測定する技術

基準点を含む測線上に設置した全ての測定点を測定できるように PSF を配置しながら、1m 高さ（ガンマプロッターH）と地表面を別々に測定した。基準測定と本試験の区別はせずに、基準点における測定のみ 2 回行った。

なお、実証作業前後で線量率の変化が無いことを確認するため、実証作業終了後に基準点においてガイドライン法による確認測定を行った。

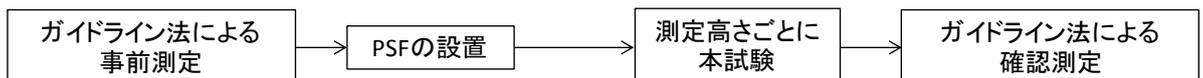
実証作業終了後、各技術で得られた結果をガイドライン法の測定結果と比較した。基準点における比較に際しては、ガイドライン法に記載の校正時における許容誤差である 20% を基準とした。本許容誤差は JIS Z4333 「X 線及び  $\gamma$  線用線量当量率サーベイメータ」に記載の相対基準誤差の許容範囲である  $\pm(15+U)\%$  に基づく数値である。除染関係ガイドラインでは基準線量における不確かさ U は概ね 5% であることから、20% という値を示しているところであり、本実証作業においてもこちらの基準を採用した。

##### 【ガンマプロッターH・iPULS HotSpotFinder・KURAMA-m】



※KURAMA-mは静止測定のみ実施

##### 【D-phod、P-Scanner】



※PSFについては、測定点を全て測定するようにPSFを自由に設置

図 6 実証作業手順（フロー図）

#### (2) 実施期間

平成 26 年 12 月 24 日～26 日

12 月 24 日（水） 試験準備、事前測定、ガンマ線空間線量当量率測定システム (D-phod) による測定、確認測定

12 月 25 日（木）（午前）：事前測定、ガンマプロッターH・iPULS HotSpotFinder  
（午後）：KURAMA-m による測定、確認測定

12 月 26 日（金） 事前測定、シンチレーションファイバー 2 次元マッピング装置 (P-Scanner) による測定、確認測定、撤収作業

### (3) 実証作業場所

福島市内の県有施設

### (4) 測線の配置

試験区は事前測定の前に 1m 間隔に測定点を記した測線を配置した。測線の配置図を図 7 に示す。測定点は起点の 0m を含めて 133 点設置した。基準点は 10m 間隔及び高線量地点 2 点を含めて 17 点設置した。

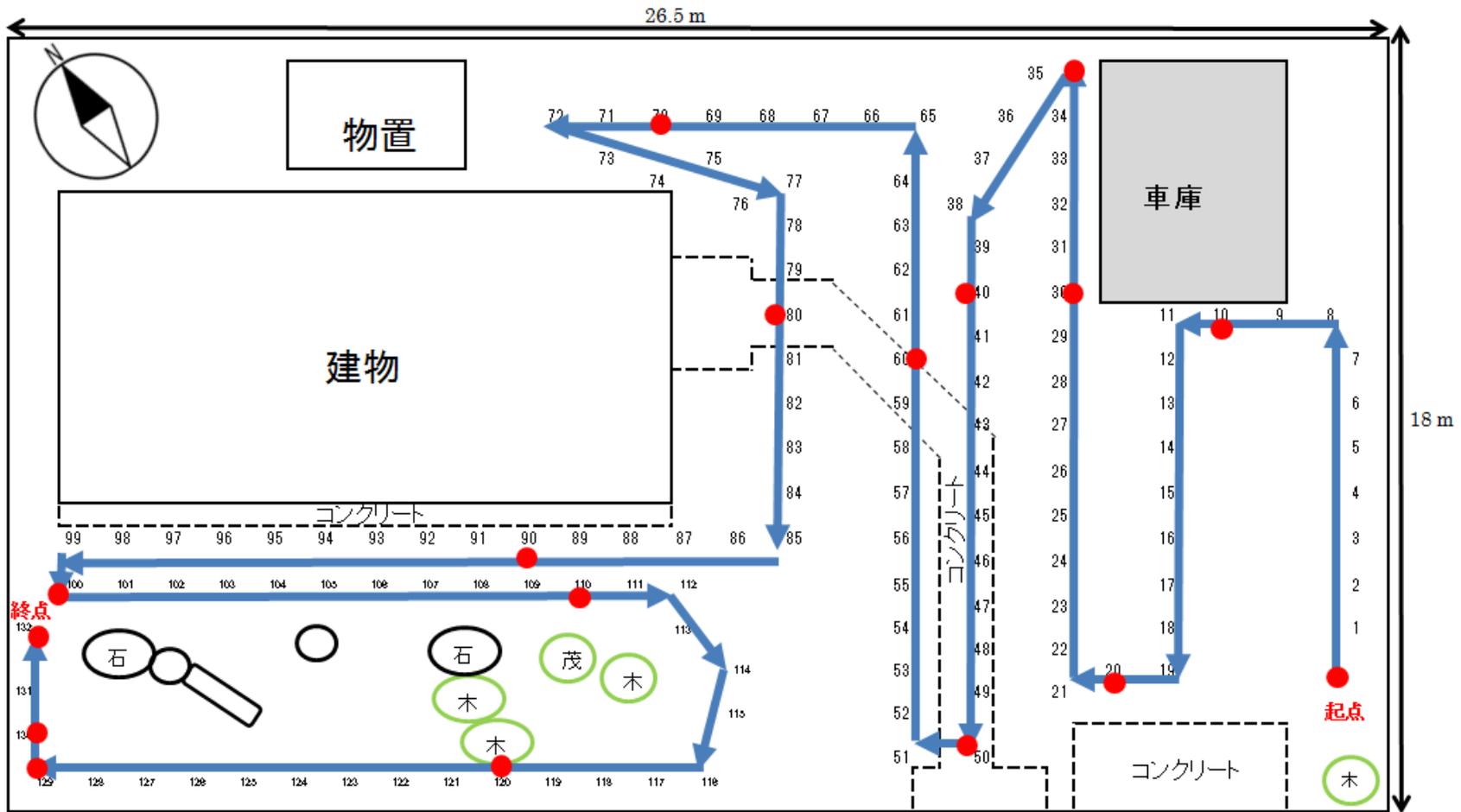


図7 測線配置図

0~132 : 測定点 (133ヶ所)

● : 基準点 (17ヶ所)

## (5) 評価のポイント

本実証は、それぞれの実証技術間の比較試験を目的とするものではないため、測定条件は、個々の実証事業者が提案する方法で実施している。

### ア 線量及び測定位置情報（GPS 等）を自動的に PC 等に伝送し記録する技術

#### (ア) 対象機器とガイドライン法との測定値の比較

対象機器を用いた静止測定の測定値とガイドライン法による測定値の差異を評価する。歩行サーベイについては歩行速度ごとのガイドライン法への追従性について評価する。

#### (イ) 測定に係る人員と機器の価格

対象機器を用いた測定に必要な人員及び機器の価格を確認する。

#### (ウ) 測定結果の表現方法

線量及び測定位置情報の取得結果の表現方法について確認する。測定位置情報の測位精度については、気象条件等により GPS 信号の取得が限られることがあるため、測定誤差が生じることがあるが、より多くの衛星から情報を取得することにより、位置特定の精度は高くなる。なお、本実証作業では測定位置の取得精度については参考情報とし、評価対象から除いている。

### イ シンチレーションファイバーにより一定区間の線量を同時に測定する技術

#### (ア) 対象機器とガイドライン法との測定値の比較

対象機器を用いた測定値とガイドライン法による測定値の差異を評価する。測定値の比較のほか、対象機器にて表示される測定位置と、図 7 に示す測定点とを比較、差異を評価する。

#### (イ) 測定に係る人員と機器の価格

対象機器を用いた測定に必要な人員及び機器の価格を確認する。

#### (ウ) 測定結果の表現方法

線量及び測定位置情報の取得結果の表現方法について確認する。対象機器は GPS 機器を搭載可能であるが、本実証作業では GPS による測定位置情報については評価の対象から除いている。

#### 4 ガイドライン法による事前測定

##### (1) 内容

測線上の全測定点において、NaI シンチレーションサーベイメータ TCS-172B（日立アロカメディカル）を用いて、空間線量率（1m）と表面線量率（1cm）を測定した。時定数は10秒とし、機器設置後30秒（時定数の3倍）経過後から10秒後ごとに5回指示値を読み取り、平均値を測定結果とした。測定は、4台で同時並行して行った。

##### (2) 結果

ガイドライン法による実証作業開始前の事前測定結果（基準点）を表3に示す。測定点は起点からの距離(m)として表記した。3日間の測定結果から、試験実施期間中に各測定点において大きな線量率の変化は認められなかったが、それぞれの日ごとのガイドライン法による測定結果を、実証作業に使用した機器の比較対象として使用することとした。

なお、全ての測定点の結果は巻末の参考資料表 A-1～A-3 に記載した。

表3 ガイドライン法による事前測定結果（基準点）

測定日	12月24日		12月25日		12月26日	
	1m ( $\mu$ Sv/h)	1cm ( $\mu$ Sv/h)	1m ( $\mu$ Sv/h)	1cm ( $\mu$ Sv/h)	1m ( $\mu$ Sv/h)	1cm ( $\mu$ Sv/h)
0	0.22	0.49	0.23	0.50	0.20	0.51
10	0.27	0.45	0.27	0.49	0.27	0.49
20	0.23	0.40	0.24	0.42	0.23	0.41
30	0.29	0.46	0.28	0.48	0.26	0.46
35	0.37	1.68	0.37	1.60	0.35	1.74
40	0.28	0.40	0.29	0.41	0.26	0.38
50	0.23	0.20	0.24	0.21	0.23	0.21
60	0.27	0.56	0.29	0.59	0.26	0.56
70	0.21	0.36	0.23	0.36	0.24	0.35
80	0.25	0.17	0.24	0.18	0.25	0.17
90	0.18	0.29	0.18	0.28	0.18	0.29
100	0.23	0.29	0.22	0.31	0.21	0.29
110	0.23	0.37	0.23	0.38	0.23	0.39
120	0.20	0.29	0.21	0.30	0.21	0.31
129	0.45	2.69	0.46	2.67	0.45	2.76
130	0.31	0.50	0.33	0.53	0.34	0.50
132	0.21	0.25	0.21	0.25	0.23	0.24

## 5 実証作業の結果

### (1) ガンマプロッターH (JAEA)

#### ア 基準測定

##### (ア) 内容

静止測定により、空間線量率（地表 1m）と表面線量率（地表 5cm）を測定した。時定数は 3 秒とし、時定数の 3 倍の時間が経過してから 10 秒ごとに 5 回測定を行い、その平均値を測定結果とした。

##### (イ) 結果

基準点において測定結果をガイドライン法による事前測定結果（表 A-2）と比較し、ガンマプロッターH による測定値との比を%で示した。結果を表 4 に示す。なお、測定機器の特性上、表面線量率の測定高さは 5cm となるが、除染作業における一般的な測定方法と比較するため、ガイドライン法の表面線量率の測定は 1cm 高さで実施し、両者の測定結果を比較した。ガイドライン法との比は 1m 高さで 87%～129%、5cm/1cm 高さで 67%～156%であり、平均すると 1m 高さで 112%、5cm/1cm 高さで 109%であった。基準点におけるガイドライン法との比は平均値で±20%以下であり、±20%を超えた箇所は 5 ヶ所であった。

ガンマプロッターH は両測定高の全測定点にてガイドライン法に相当する応答値が得られた。一部の測定点については 20%を超える差異が生じたが、平均値は±20%以内であり、NaI シンチレーションサーベイメータと同等の応答性を示すことが確認された。

表4 ガンマプロッターH とガイドライン法との比較

測定点	ガンマプロッターH ( $\mu$ Sv/h)		ガイドライン法 ( $\mu$ Sv/h) (表 A-2)		比較 (ガンマプロッターH /ガイドライン法)	
	1m	5cm	1m	1cm	1m	5cm/1cm
0	0.28	0.56	0.23	0.50	112%	123%
10	0.34	0.48	0.27	0.49	98%	126%
20	0.26	0.45	0.24	0.42	107%	109%
30	0.34	0.50	0.28	0.48	104%	122%
35	0.42	1.60	0.37	1.60	100%	113%
40	0.33	0.44	0.29	0.41	106%	115%
50	0.28	0.22	0.24	0.21	104%	115%
60	0.31	0.63	0.29	0.59	107%	108%
70	0.23	0.38	0.23	0.36	107%	101%
80	0.25	0.19	0.24	0.18	108%	104%
90	0.20	0.29	0.18	0.28	104%	112%
100	0.24	0.32	0.22	0.31	102%	111%
110	0.25	0.43	0.23	0.38	114%	107%
120	0.24	0.36	0.21	0.30	121%	113%
129	0.46	3.03	0.46	2.67	114%	99%
130	0.38	0.58	0.33	0.53	109%	116%
132	0.24	0.32	0.21	0.25	128%	115%
平均値					112%	109%
変動係数					7%	7%

※この表でのガンマプロッターHの測定値は、基準点上で静止して測定したものの。

## イ 歩行サーベイ

### (ア) 内容

試験区に設置した測線上を 1.0m/s、0.5m/s、0.25m/s の三水準の速度で歩行しながら測定を実施した。歩行速度の水準は、実証事業者の提案した速度を設定した。

### (イ) 結果

各歩行速度で測定を実施し、基準測定と比較した結果を図 8～10 に示す。なお、ガンプロッターH は設定した時間間隔毎に測定値を自動で記録するため、歩行速度 0.5m/s、0.25m/s の場合は、図 7 で示した測定点と測定点の間の線量率も測定されている。したがって、図 9～10 については測定点以外の測定結果についても反映されている。

歩行速度が 1.0m/s の場合、線量の高低の傾向は把握できたが、特に高線量地点の箇所でガイドライン法に比べてかなり小さい値を得た。また、極大値が表示される地点がやや後ろにずれる場合があった (図 8)。これは、機器の時定数による応答の遅れが原因と考えられた。

歩行速度が 0.5m/s の場合、歩行速度 1.0m/s に比べてガイドライン法との測定値の差異は小さくなったが、特に高線量地点の箇所ではガイドライン法に比べて小さい値を得た。極大値が表示される地点はガイドライン法とほぼ一致した (図 9)。

歩行速度 0.25m/s では、歩行速度 0.5m/s に比べて高線量箇所の測定値がガイドライン法の値により近づいた。極大値が表示される地点はガイドライン法とほぼ一致した (図 10)。

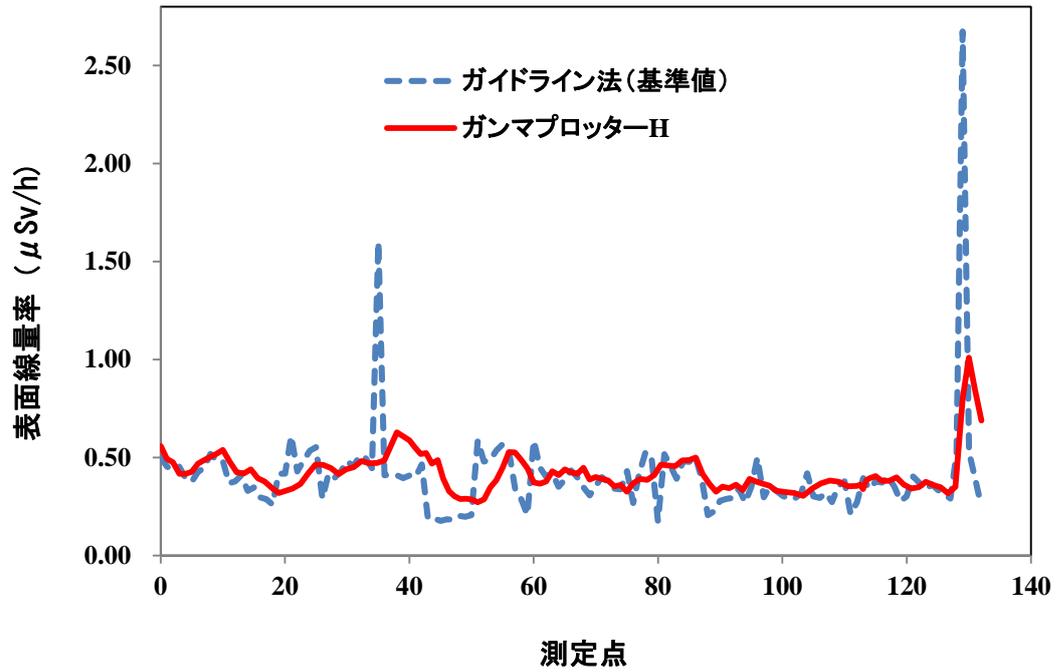


図 8-1 歩行サーベイの結果（速度 1.0m/s, 高さ 5cm）

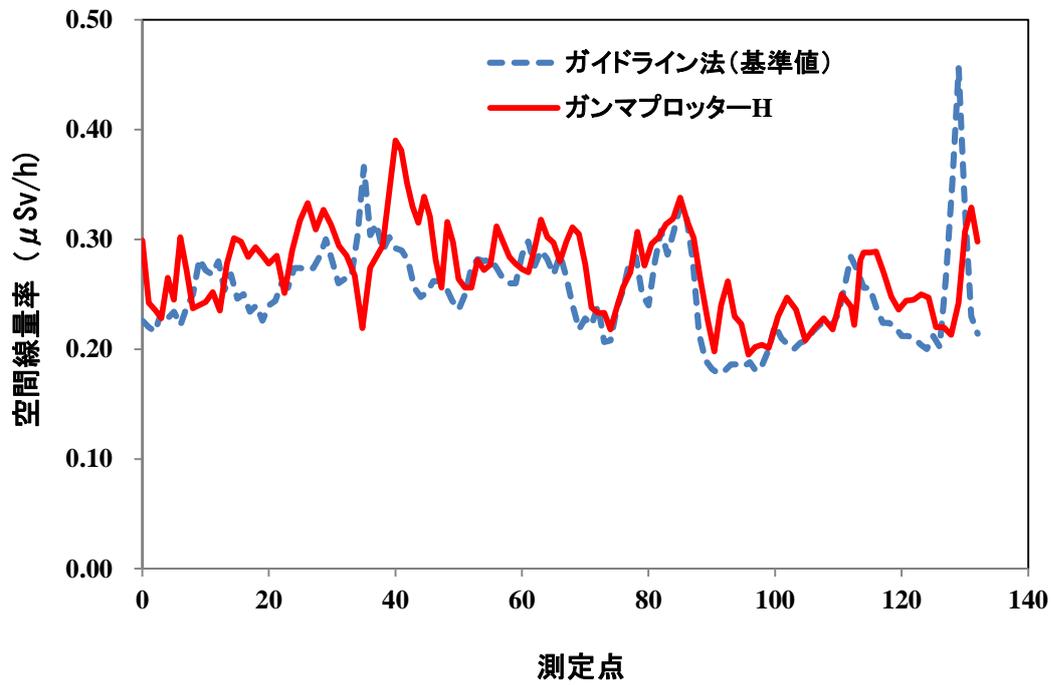


図 8-2 歩行サーベイの結果（速度 1.0m/s, 高さ 1m）

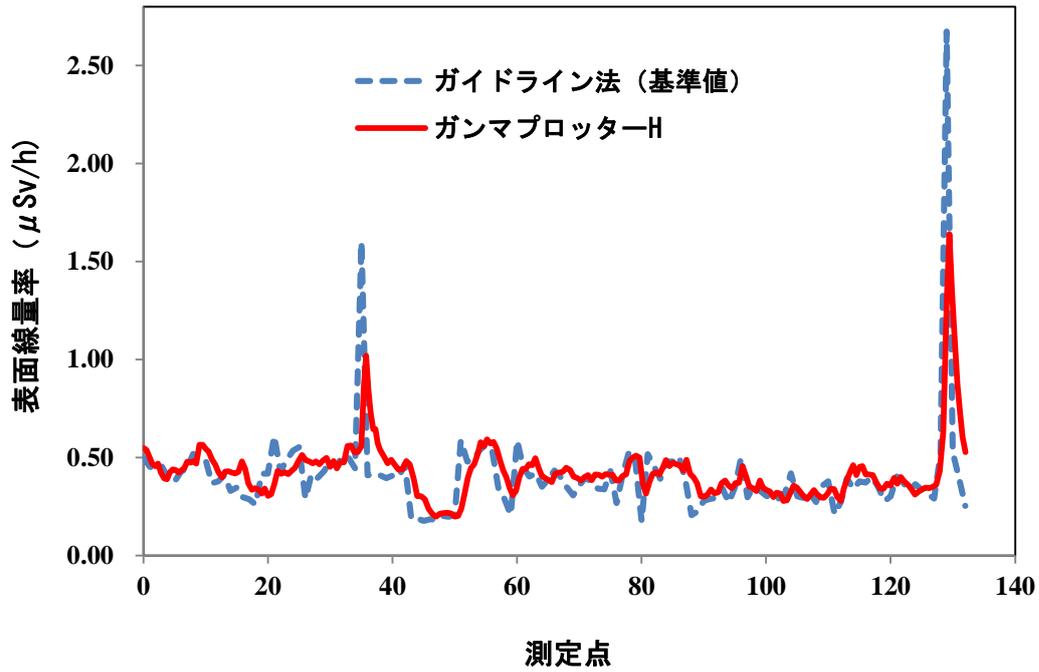


図 9-1 歩行サーベイの結果 (速度 0.5m/s, 高さ 5cm)

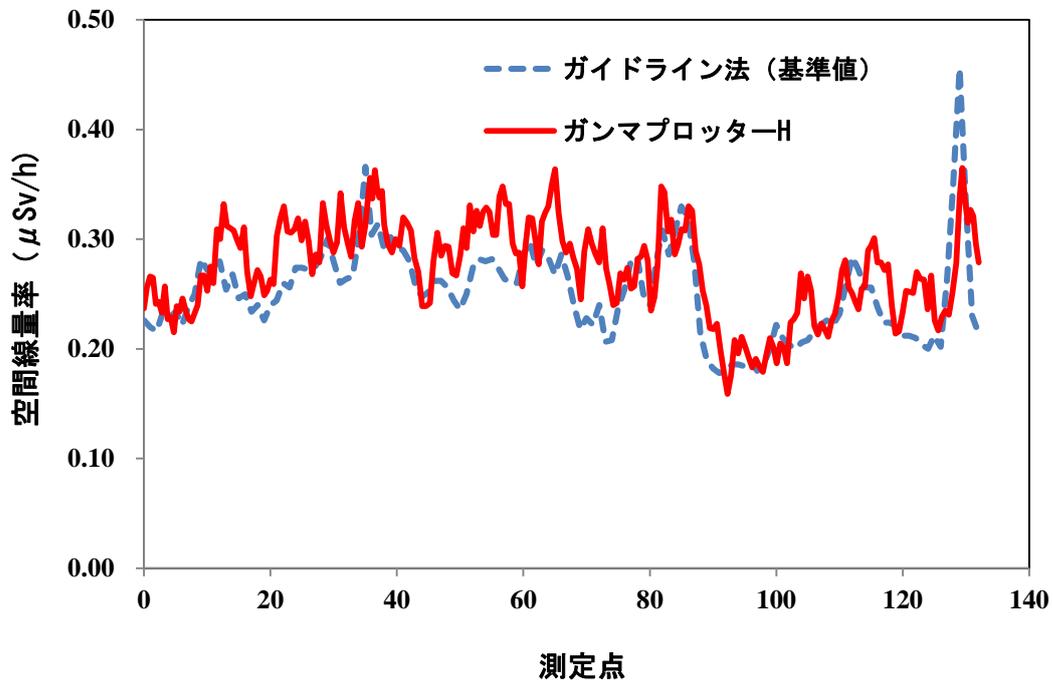


図 9-2 歩行サーベイの結果 (速度 0.5m/s, 高さ 1m)

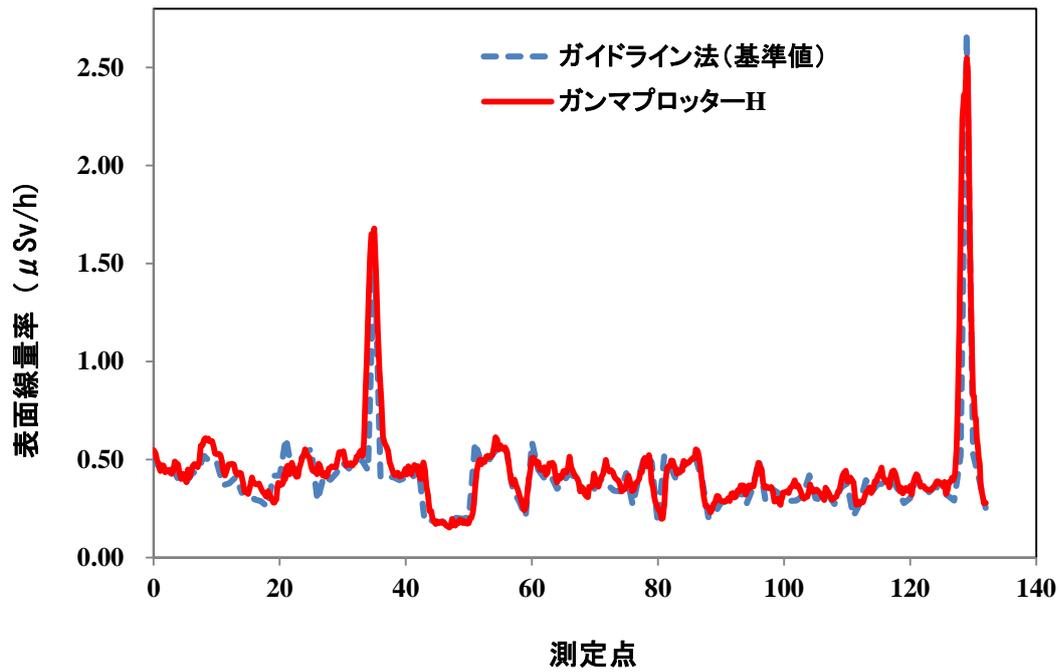


図 10-1 歩行サーベイの結果 (速度 0.25m/s, 高さ 5cm)

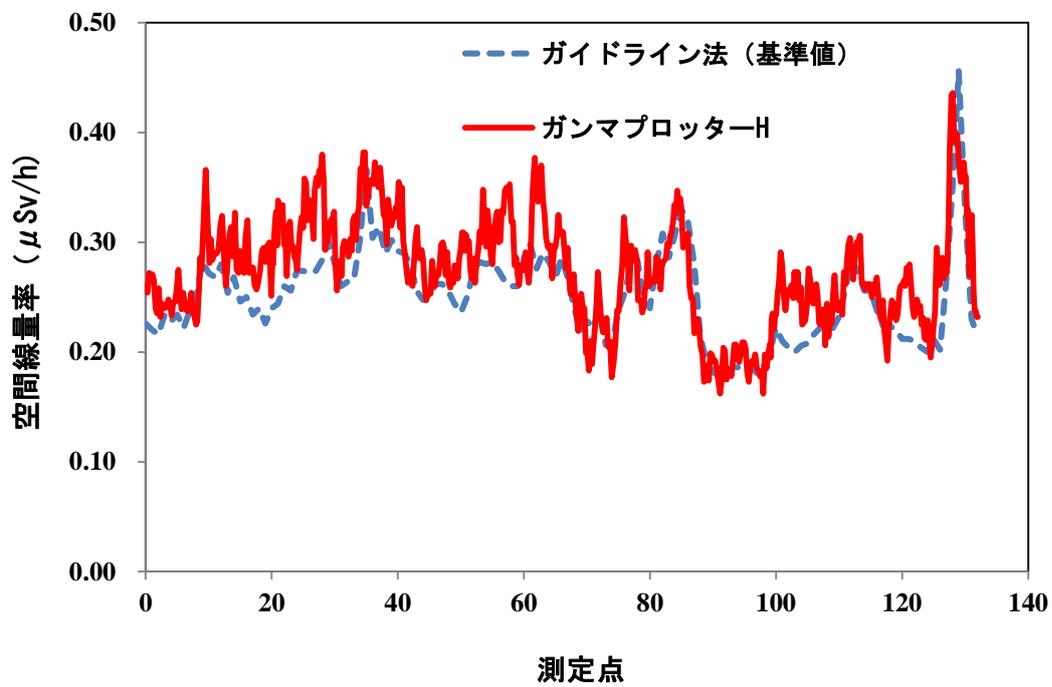


図 10-2 歩行サーベイの結果 (速度 0.25m/s, 高さ 1m)

## ウ 地図上への出力結果

ガンマプロッターHの測定値とGPSによる位置情報は自動的にPCに保存される。これらの結果を地図上に表示することが可能なシステムとなっている。測定結果の出力様式の一つ(歩行速度0.5m/s、5cm高さ)を図11に示す。背景となる地図には、「Google Earth」を使用した。GPS精度は水平方向で60cm以内である。

出力結果においては、高線量箇所である測定点35及び129を通り過ぎた後の測定点(例えば36や130など)で高い線量が表示されていることが分かり、歩行サーベイによる結果の図示の結果から、高線量箇所の特定が十分可能であることが確かめられた。



測定日:2014年12月25日  
検出素子:プラスチックシンチレーション検出器  
測定器の待機数:3秒、測定間隔:1秒

©2014ZENRIN Image©2011 DigitalGlobe  
Google earth

図11 ガンマプロッターHによる出力結果の一例(速度0.5m/s、高さ5cm)

## エ 測定に係る人数及び機器価格

今回の測定に際しては1台を2名で操作したが、測定人員は1名でも可能である。機器価格は一式(本体+測定用PC+地図ソフト)で約200万円である。

## オ 評価

歩行速度が1.0m/sの場合、線量の高低には追従したことから、高線量箇所がおおまかにどの辺りに分布しているかの一次スクリーニングに適していると考えられた。一方で、歩行速度0.5m/s以下の場合、線量の高低と位置ともにガイドライン法によく追従することが確認された。静止して測定する基準測定では、ガイドライン法と同等の値を示した。

## (2) iPLUS HotSpotFinder (ポニー工業)

### ア 基準測定

#### (ア) 内容

静止測定により、空間線量率(高さ 1m)と表面線量率(高さ 5cm)を測定した。  
10 秒ごとに 5 回測定を行い、その平均値を測定結果とした。

#### (イ) 結果

基準点において測定結果をガイドライン法による事前測定結果(表 A-2)と比較し、iPLUS HotSpotFinder による測定値との比をパーセント(%)で示した。結果を表 5 に示す。なお、測定機器の特性上、表面線量率の測定高さは 5cm となるが、除染作業における一般的な測定方法と比較するため、ガイドライン法の表面線量率の測定は 1cm 高さで実施し、両者の測定結果を比較した。ガイドライン法との比は 1m 高さで 72%~98%、5cm/1cm 高さで 78%~108%であった。基準点におけるガイドライン法との比は平均値で±20%以下であり、±20%を超えた箇所は 4 ヶ所であった。

基準測定において、iPLUS HotSpotFinder は両測定高さの全測定点にてガイドライン法に相当する応答値が得られた。一部の測定点については 20%を超える差異が生じたが、平均値は±20%以内であり、NaI シンチレーションサーベイメータと同等の応答性を示すことが確認された。

表5 iPLUS HotSpotFinder とガイドライン法との比較

測定点	iPLUS HotSpotFinder ( $\mu$ Sv/h)		ガイドライン法 (表 A-2) ( $\mu$ Sv/h)		比較 (iPLUS HotSpotFinder /ガイドライン法)	
	1m	5cm	1m	1cm	1m	5cm/1cm
0	0.22	0.42	0.23	0.50	93%	84%
10	0.26	0.42	0.27	0.49	96%	86%
20	0.22	0.34	0.24	0.42	90%	82%
30	0.26	0.40	0.28	0.48	94%	83%
35	0.33	1.74	0.37	1.60	88%	108%
40	0.26	0.36	0.29	0.41	91%	88%
50	0.24	0.18	0.24	0.21	98%	84%
60	0.25	0.46	0.29	0.59	87%	78%
70	0.21	0.32	0.23	0.36	93%	88%
80	0.23	0.14	0.24	0.18	97%	77%
90	0.16	0.25	0.18	0.28	86%	90%
100	0.20	0.27	0.22	0.31	91%	87%
110	0.21	0.36	0.23	0.38	91%	94%
120	0.19	0.28	0.21	0.30	91%	93%
129	0.33	2.39	0.46	2.67	72%	90%
130	0.25	0.45	0.33	0.53	76%	84%
132	0.19	0.22	0.21	0.25	91%	90%
平均値					90%	87%
変動係数					7%	8%

## イ 歩行サーベイ

### (ア) 内容

試験区に設置した測線上を静止測定、0.5m/s、1.0m/s の三水準の速度で歩行しながら測定を実施した。歩行速度の水準は、実証事業者の提案した速度を設定した。

### (イ) 結果

各歩行速度で測定を実施し、基準測定と比較した結果を図 12～14 に示す。

歩行速度が 1.0m/s の場合、線量の高低の傾向は把握できたが、特に高線量地点の箇所ガイドライン法に比べて小さい値を得た。極大値が表示される地点はガイドライン法と大きなずれはなかった。(図 12)

歩行速度 0.5m/s の場合、歩行速度 1.0m/s に比べてガイドライン法との測定値の差異は小さくなったが、特に高線量地点の箇所ガイドライン法に比べて小さい値を得た。(図 13)。

静止測定の場合、高線量箇所の測定値がガイドライン法の値により近づいた。極大値が表示される地点はガイドライン法とほぼ一致した (図 14)。

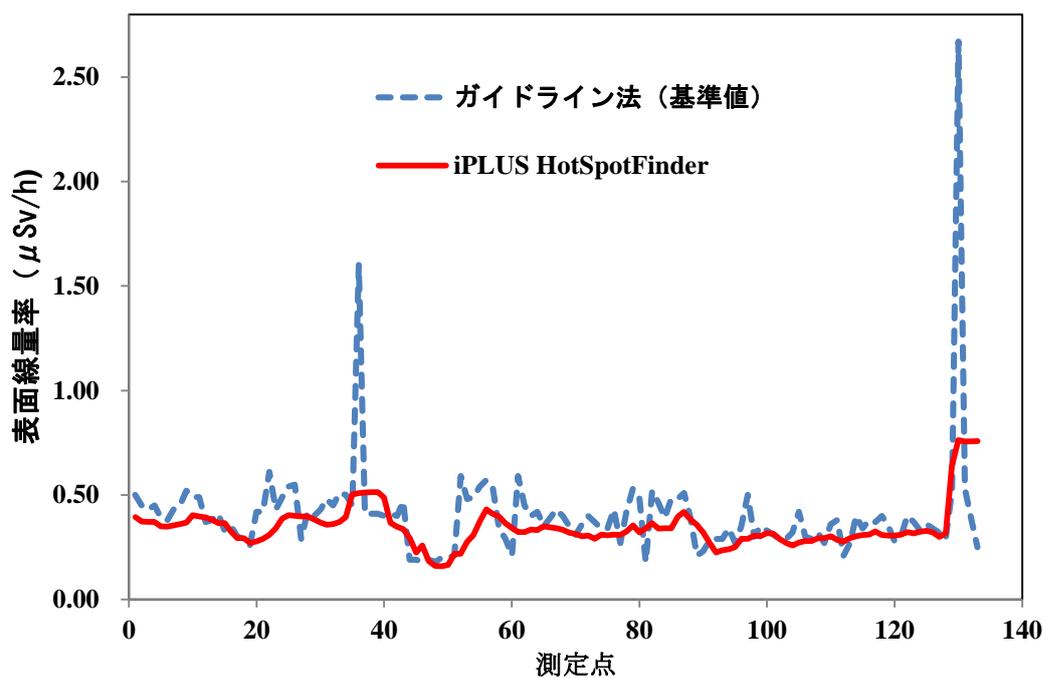


図 12-1 歩行サーベイの結果 (速度 1.0m/s, 高さ 5cm)

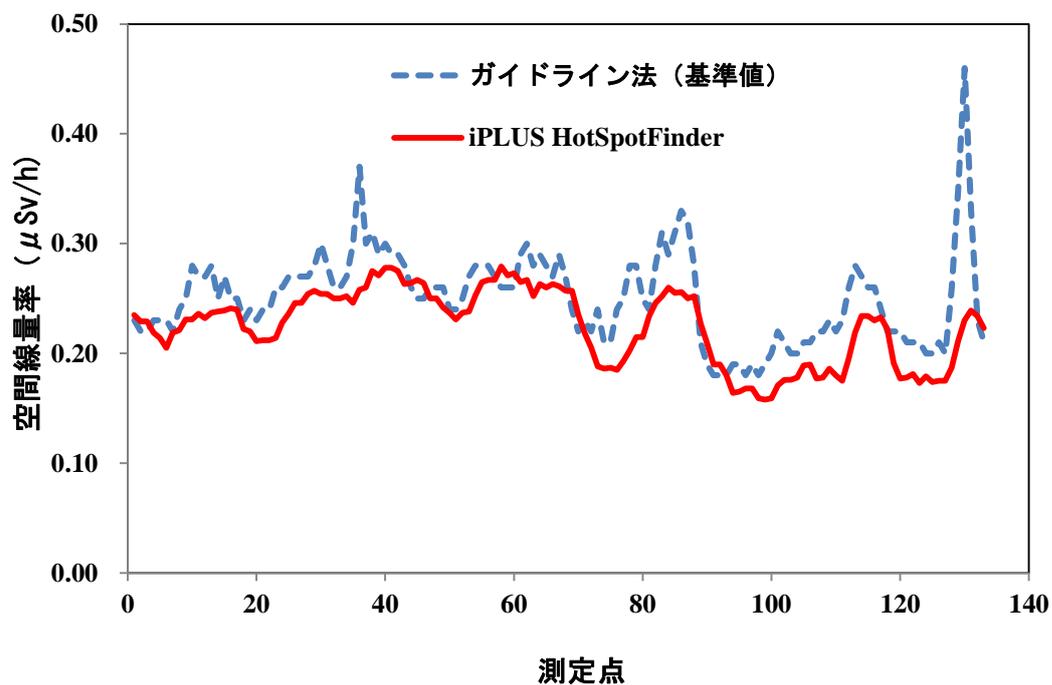


図 12-2 歩行サーベイの結果 (速度 1.0m/s, 高さ 1m)

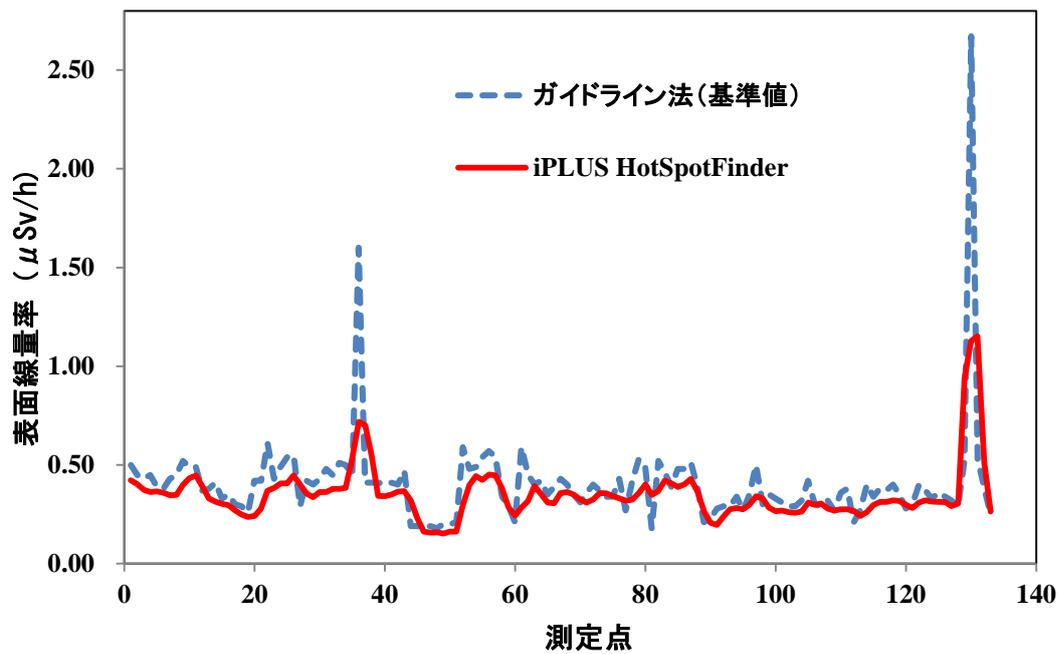


図 13-1 歩行サーベイの結果（速度 0.5m/s, 高さ 5cm）

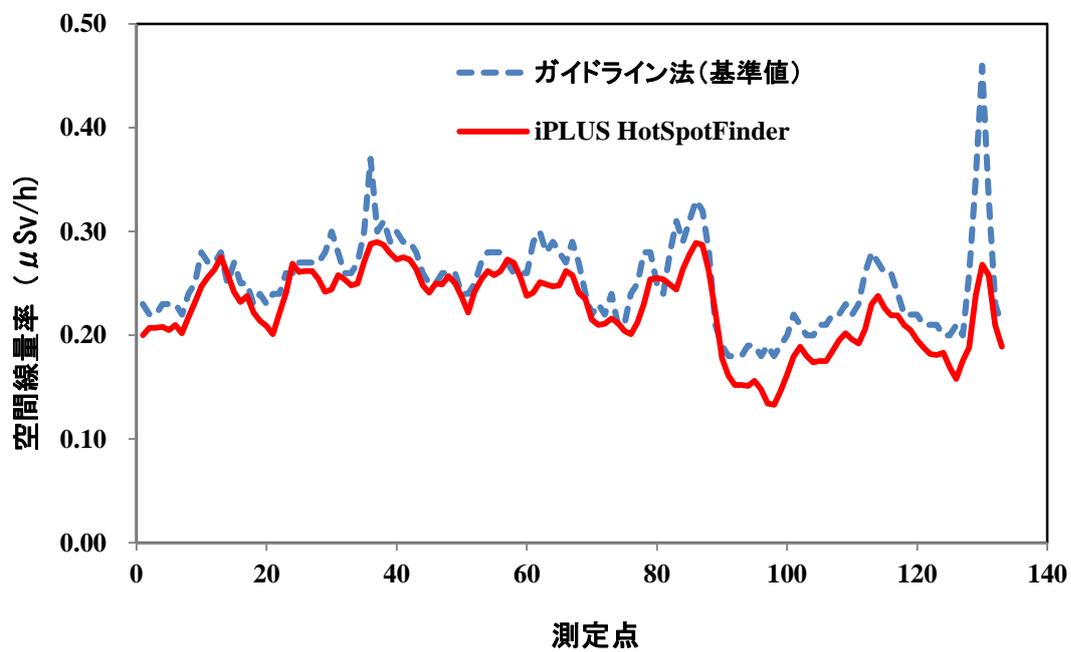


図 13-2 歩行サーベイの結果（速度 0.5m/s, 高さ 1m）

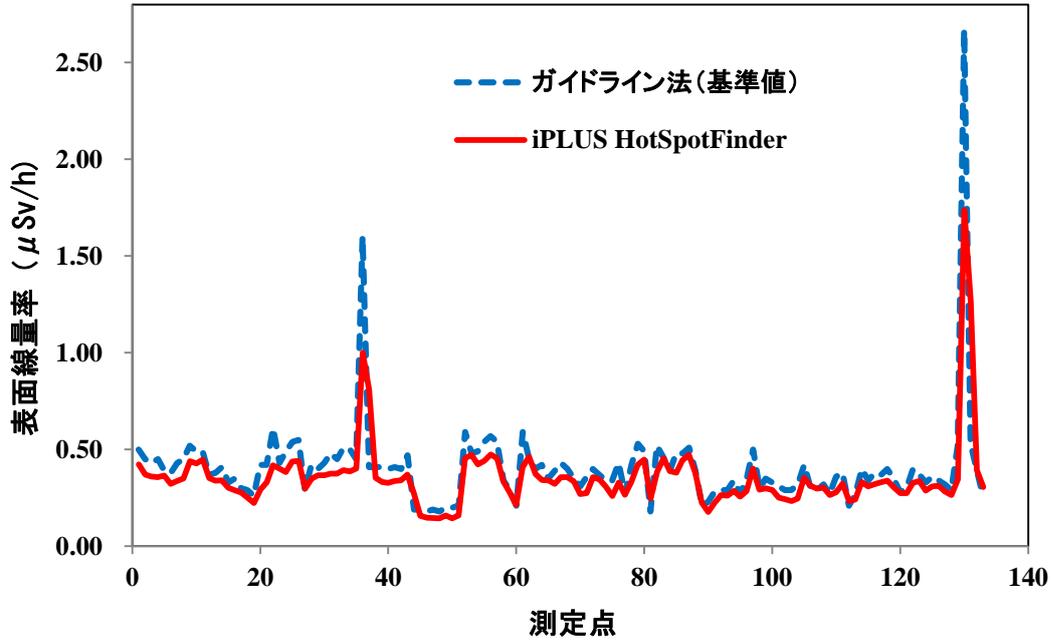


図 14-1 歩行サーベイの結果（静止測定，高さ 5cm）

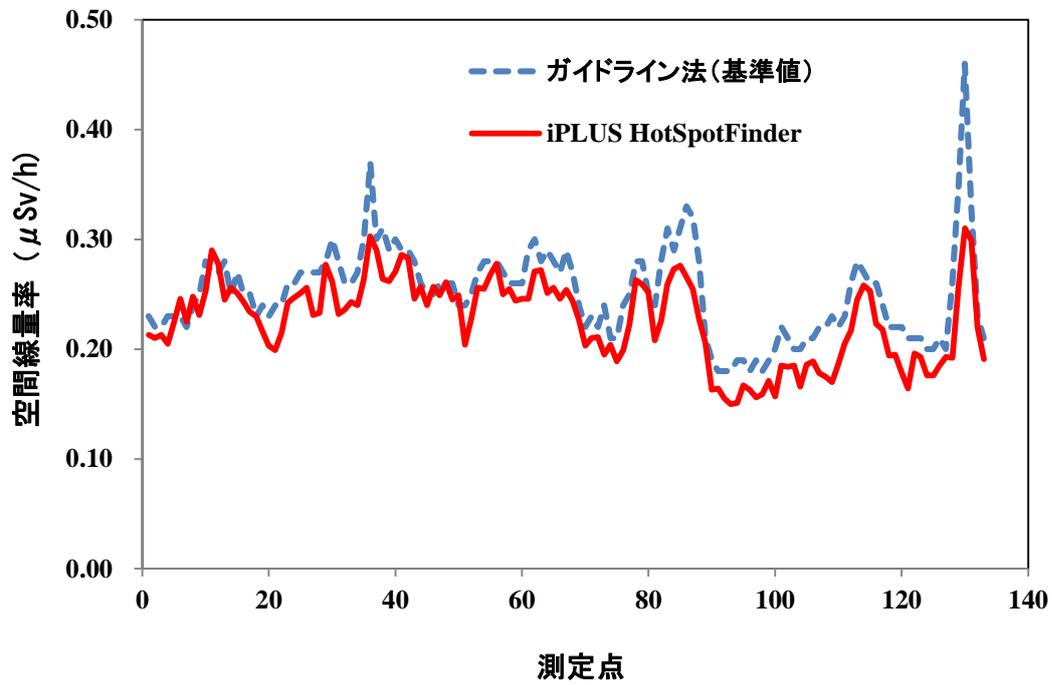


図 14-2 歩行サーベイの結果（静止測定，高さ 1m）

## ウ 地図上への出力結果

iPLUS HotSpotFinder の測定値と GPS による位置情報は自動的に PC に保存される。これらの結果を地図上に表示することが可能なシステムとなっている。測定結果の出力様式の一部（歩行速度 0.5m/s、5cm 高さ）を図 15 に示す。測定位置は高精度 GNSS 機器と各自治体が保有する精度の高い基図類を用いる事によって測定位置を精密にプロットすることができる。また、GPS は表 2-2 に示した 2 種類より選択可能であり、ネットワーク型 VRS-RTK GNSS 機器を併用すれば、10cm 以内の誤差で測定位置を特定できる。

出力結果においては、高線量箇所である測定点 35 及び 129 を通り過ぎた後の測定点（例えば 36 や 130 など）で高い線量が表示されていることが分かり、歩行サーベイによる結果の図示でも高線量箇所の特定が十分可能であることが確かめられた。

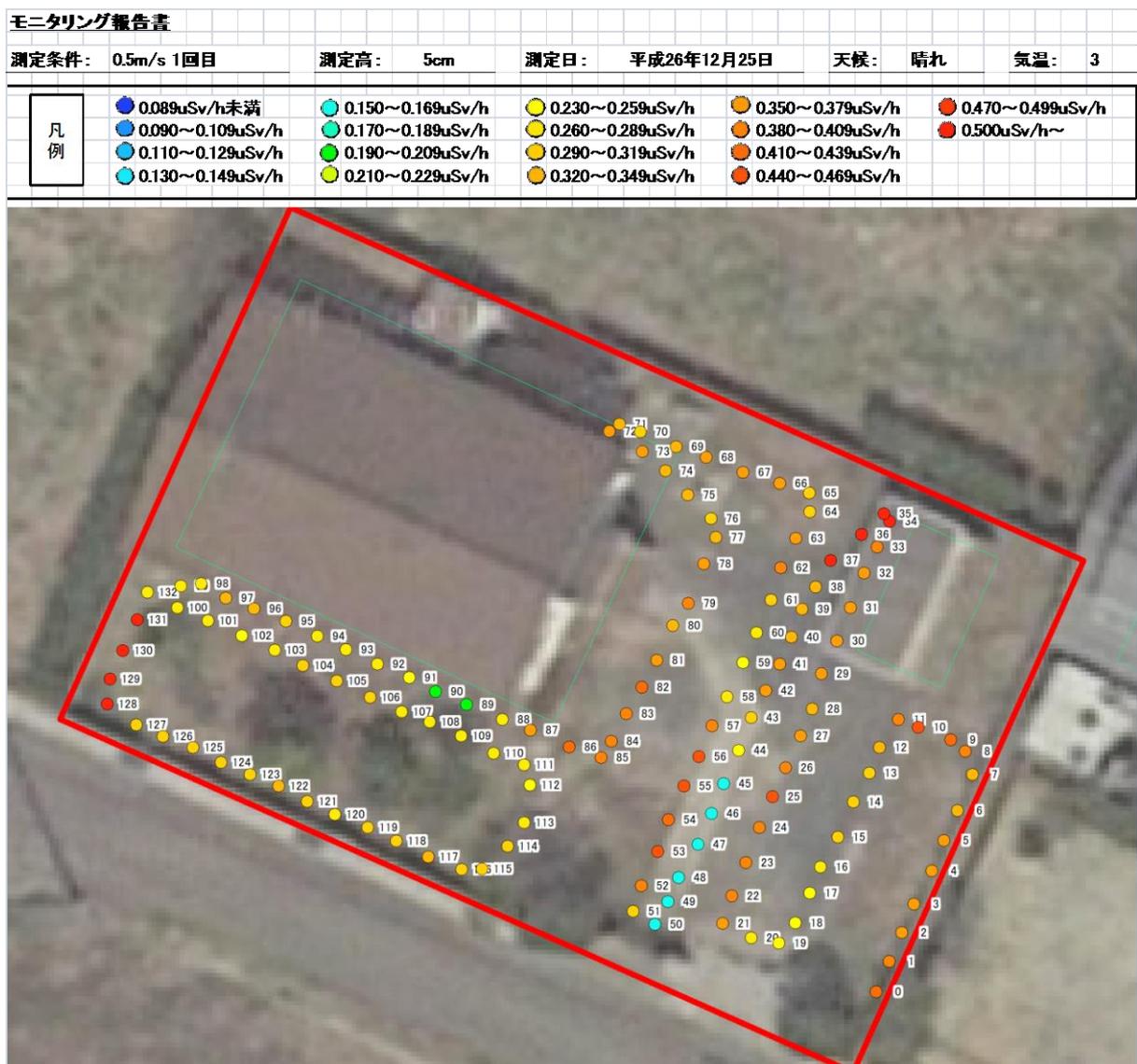


図 15 iPLUS HotSpotFinder による出力結果の一例（速度 0.5m/s、高さ 5cm）

## エ 測定に係る人数及び機器価格

今回の測定に際しては1台を2名（測定者+PC 操作者）で操作した。機器価格は一式（本体+測定用 PC+データベース）で500万円である。

## オ 評価

歩行速度が1.0m/sの場合、線量の高低には追従したことから、高線量箇所がおおまかにどの辺りに分布しているかの一次スクリーニングに適していると考えられた。一方で、歩行速度0.5m/s以下の場合、線量の高低と位置ともにガイドライン法によく追従することが確認された。静止測定では、ガイドライン法と同等の値を示した。

### (3) 歩行型自動放射線量計測システム（KURAMA-m）（松浦電弘社）

#### ア 基準測定

##### (ア) 内容

KURAMA-mは測定点ごとに静止して測定する静止測定での実証作業を実施した。KURAMA-mは、使用する際、測定結果に補正係数をかけて使用することとなっている。本実証作業においては、現場で測定したNaIシンチレーションサーベイメータの測定値から補正係数を求めた。

なお、以下に示す測定結果は特に断りがない限り、現場で求めた補正係数を適用した補正後の値を使用している。

##### (イ) 結果

基準点において測定結果をガイドライン法による事前測定結果（表A-2）と比較し、KURAMA-mによる測定値との比をパーセント（%）で示した。補正係数を用いない場合の基準測定の測定値はガイドライン法と比較すると平均73%（測定高さ1m）、77%（測定高さ1cm）（両者とも全133測定点平均）であった。補正係数を適用した測定値とガイドライン法による事前測定の比較結果を表6に示す。ガイドライン法との差異は1m高さで82%～115%、地表面で75%～137%であった。基準点におけるガイドライン法との比は平均値で±20%以下であり、±20%を超えた箇所は4ヶ所であった。

表6 KURAMA-m とガイドライン法との比較

測定点	KURAMA-m ( $\mu$ Sv/h)		ガイドライン法 (表 A-2) ( $\mu$ Sv/h)		比較 (KURAMA-m /ガイドライン法)	
	1m	1cm	1m	1cm	1m	1cm
0	0.23	0.56	0.23	0.50	100%	113%
10	0.31	0.51	0.27	0.49	115%	105%
20	0.26	0.45	0.24	0.42	107%	107%
30	0.28	0.45	0.28	0.48	100%	94%
35	0.36	1.69	0.37	1.60	97%	105%
40	0.29	0.39	0.29	0.41	101%	94%
50	0.23	0.22	0.24	0.21	96%	103%
60	0.29	0.44	0.29	0.59	101%	75%
70	0.22	0.36	0.23	0.36	94%	99%
80	0.27	0.24	0.24	0.18	113%	135%
90	0.17	0.32	0.18	0.28	93%	114%
100	0.23	0.30	0.22	0.31	102%	97%
110	0.25	0.43	0.23	0.38	110%	114%
120	0.20	0.30	0.21	0.30	96%	101%
129	0.38	2.68	0.46	2.67	82%	100%
130	0.27	0.73	0.33	0.53	82%	137%
132	0.21	0.30	0.21	0.25	99%	119%
				平均値	99%	107%
				変動係数	9%	14%

## イ 歩行サーベイ

### (ア) 内容

試験区に設置した測線上を静止測定により測定した。なお、本実証試験において、KURAMA-m については、実証事業者の提案により一定の速度で歩行しながらの測定は実施していない。

### (イ) 結果

静止測定にて測定を実施し、基準測定と比較した結果を図 16 に示す。

基準測定と同様に、両測定点において、ガイドライン法とよく一致する結果が得られた。

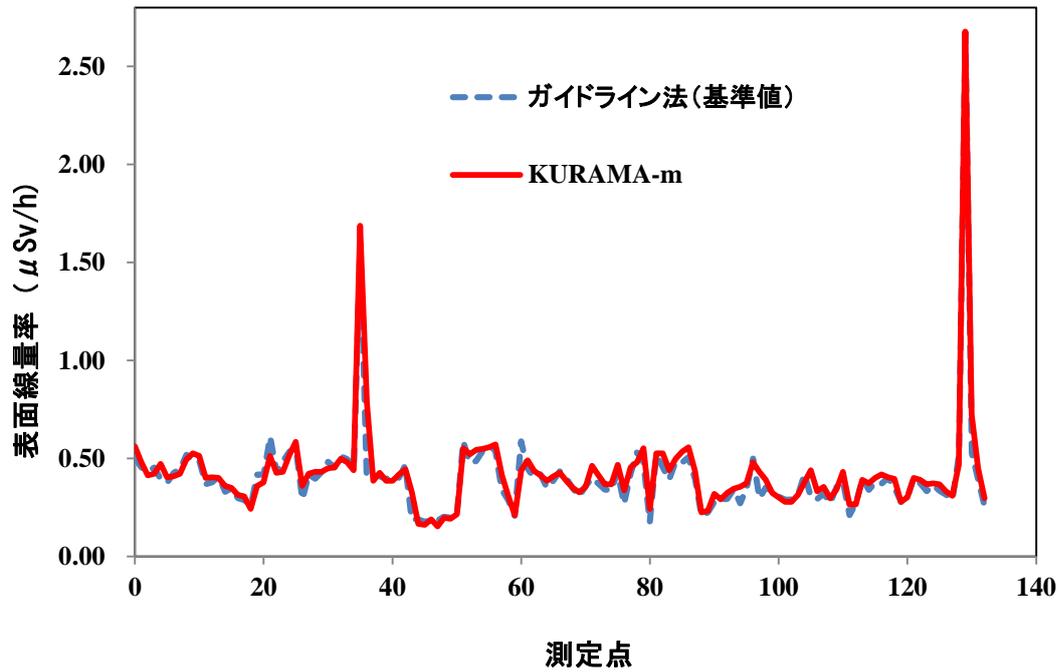


図 16-1 歩行サーベイの結果（静止測定，高さ 1cm）

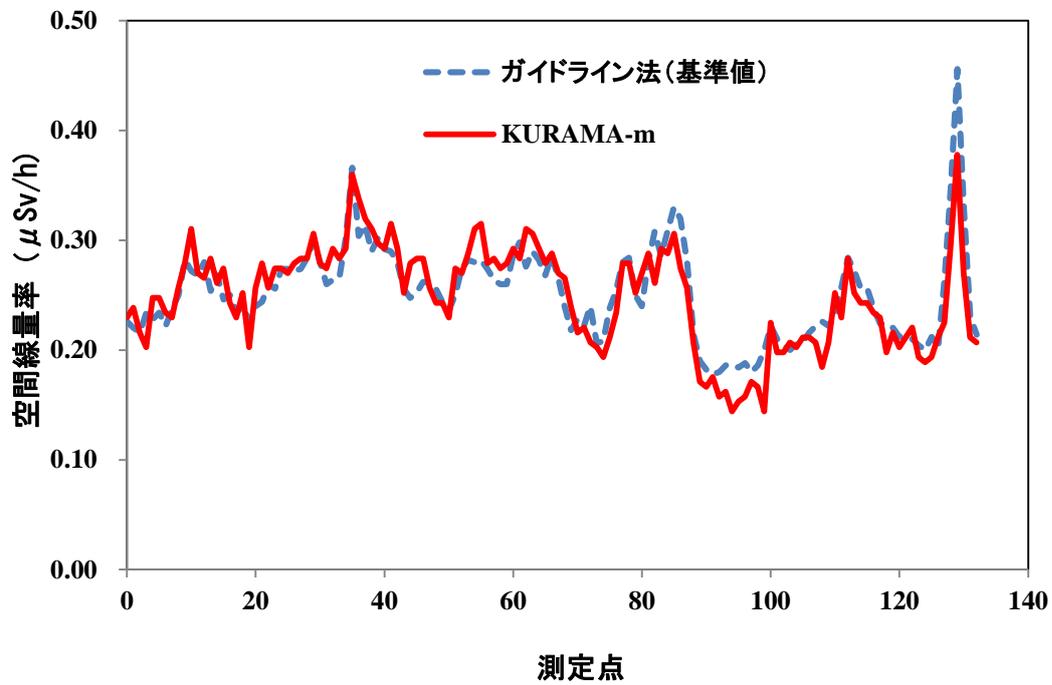


図 16-2 歩行サーベイの結果（静止測定，高さ 1m）

## ウ 地図上への出力結果

KURAMA-m の測定値と GPS による位置情報は自動的に PC に保存される。これらの結果を地図上に表示することが可能である。測定結果の出力様式の一部（静止測定、高さ 1cm）を図 17<sup>1</sup>に示す。背景となる地図は「Google Earth」又は「Googlemap」を使用可能であり、図 17 では Google Earth を使用した。GPS 精度は水平方向で 1m 以内である。なお、試験実施時は悪天候等の条件のため、本機については位置情報の取得が限られた結果となった。

参考として、GPS 情報が正常に取得できた場合の測定結果の出力様式の一部を図 18 に示す。図に示すように地図と測定結果を図示することが可能となっている。

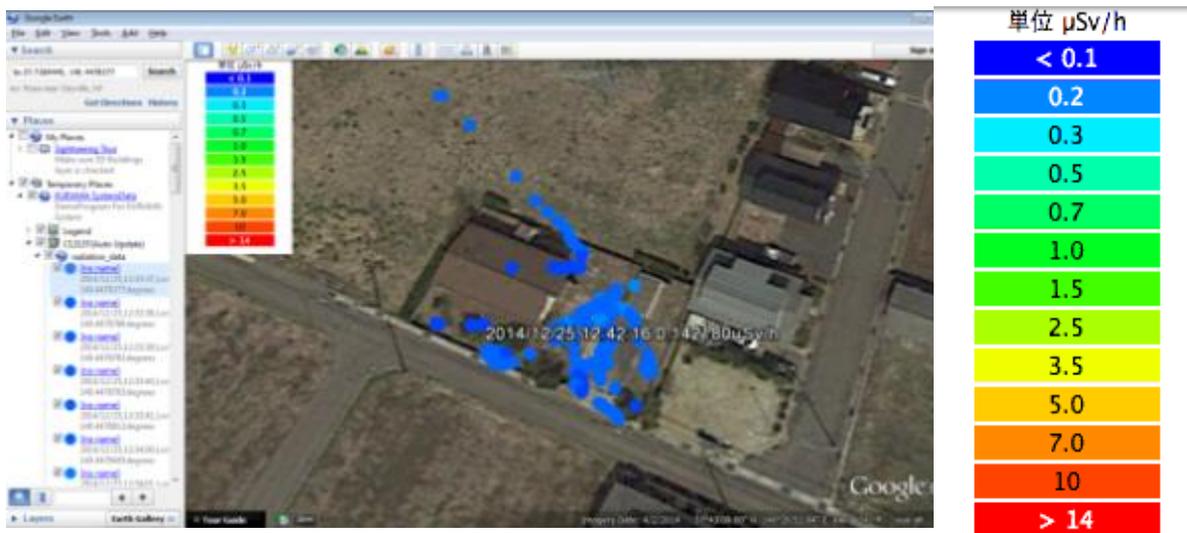


図 17 KURAMA-m による出力結果の一例（静止測定、高さ 1cm）

左図：出力画面、右図：凡例のみ拡大して抜粋

<sup>1</sup> 松浦電弘社による実証作業の実施時間に、上空の大気の状態や衛星の通信状況などの影響により、位置情報の取得が限られたことが考えられる。一般的に、GPS 測位は複数の GPS 衛星が発する信号を元に行われるため、GPS 衛星の位置の偏り、悪天候（大気中の水蒸気が電波を屈折させる、上空の電離層の状態が太陽フレア等の影響により変化する等）等の複数の影響により、受信感度の低下や測位誤差が生じることがある。KURAMA-m に使用されている GPS 機器は、位置特定に 4 つ以上の GPS 衛星からの電波受信を必要としており、受信できた衛星の数が多いほど、位置特定の精度は高くなる。



図 18 KURAMA-m による出力結果例（上：Googlemap、下：Google Earth）

## エ 測定に係る人数及び機器価格

今回の測定に際しては 1 台を 1 名で操作した。機器価格は本体のみで 120 万円である。

## オ 評価

KURAMA-m は検出器の特性により表示値は低い値となるが、補正係数を使用することでガイドライン法による測定結果に近い値を得ることが可能であった。静止測定ではガイドライン法と同等の値を示した。また、本実証作業では実施しなかったが、歩行しながら測定することも想定されている。

#### (4) シンチレーションファイバー2次元マッピング装置 (P-Scanner) (日本放射線エンジニアリング)

##### ア 基準点におけるガイドライン法との比較

###### (ア) 内容

実証事業者の提案方法により、PSF を任意の形で測線定点上に配置し、各測定点の空間線量率 (1m) 及び地表面の測定を実施した。空間線量率 (1m) の測定は、治具を使用し、1m 高さに PSF を持ち上げて測定した。地表面の測定は、測定点上の地面に直接 PSF を置いて測定した。各測定点に PSF を設置してから 3 分後の測定値を測定結果として記録した。測定結果から基準点の値を抽出し、ガイドライン法による測定値と比較した。なお、本実証試験においては、20m ファイバー、10 本バンドルの検出器を使用した。

###### (イ) 結果

基準点において測定結果をガイドライン法による事前測定結果 (表 A-3) と比較し、P-Scanner による測定値との比をパーセント (%) で示した。結果を表 7 に示す。ガイドライン法との比は 1m 高さで 79%~108%、地表面で 40%~131%であった。基準点におけるガイドライン法との比は平均値で±20%以下であり、±20%を超えた箇所は 8 箇所であった。主に地表での測定結果でガイドライン法に比べて±20%を超える差異が見られた。

P-Scanner はどちらの測定高さにおいてもガイドライン法とよく一致した。ただし、地表面の測定結果では、高線量地点に対する応答がガイドライン法と比較して常に小さい結果となった。

表7 P-Scanner とガイドライン法との比較

測定点	P-Scanner ( $\mu$ Sv/h)		ガイドライン法 (表 A-3) ( $\mu$ Sv/h)		比較 P-Scanner /ガイドライン法	
	1m	地表面	1m	1cm	1m	地表面/1cm
0	0.22	0.39	0.20	0.51	109%	77%
10	0.23	0.38	0.27	0.49	87%	77%
20	0.21	0.37	0.23	0.41	91%	92%
30	0.27	0.46	0.26	0.46	103%	100%
35	0.28	0.93	0.35	1.74	81%	54%
40	0.27	0.38	0.26	0.38	102%	100%
50	0.22	0.21	0.23	0.23	93%	92%
60	0.25	0.46	0.26	0.56	97%	82%
70	0.21	0.30	0.24	0.35	87%	84%
80	0.22	0.22	0.25	0.17	87%	131%
90	0.15	0.24	0.18	0.29	84%	84%
100	0.20	0.29	0.21	0.29	97%	99%
110	0.19	0.29	0.23	0.39	83%	73%
120	0.17	0.30	0.21	0.31	78%	99%
129	0.49	1.11	0.45	2.76	108%	40%
130	0.35	0.45	0.34	0.50	103%	90%
132	0.20	0.30	0.23	0.24	86%	124%
平均値					93%	88%
変動係数					10%	25%

## イ 全測定点におけるガイドライン法との比較

### (ア) 内容

基準点以外の測定点についてガイドライン法と比較し、グラフ化した。結果を図19に示した。

### (イ) 結果

P-Scannerはどちらの測定高さにおいてもガイドライン法とよく一致した。ただし、地表面上の高線量地点に対する応答がガイドライン法と比較して常に小さい結果となった。

当該結果は、検出部であるPSF直下の点としての値ではなく、ある程度幅を持った地点の値を平均化する、検出器の特性によるものと考えられた。また、地表面の測定に際しては測定位置のわずかなずれが結果に大きく影響することも考えられた。

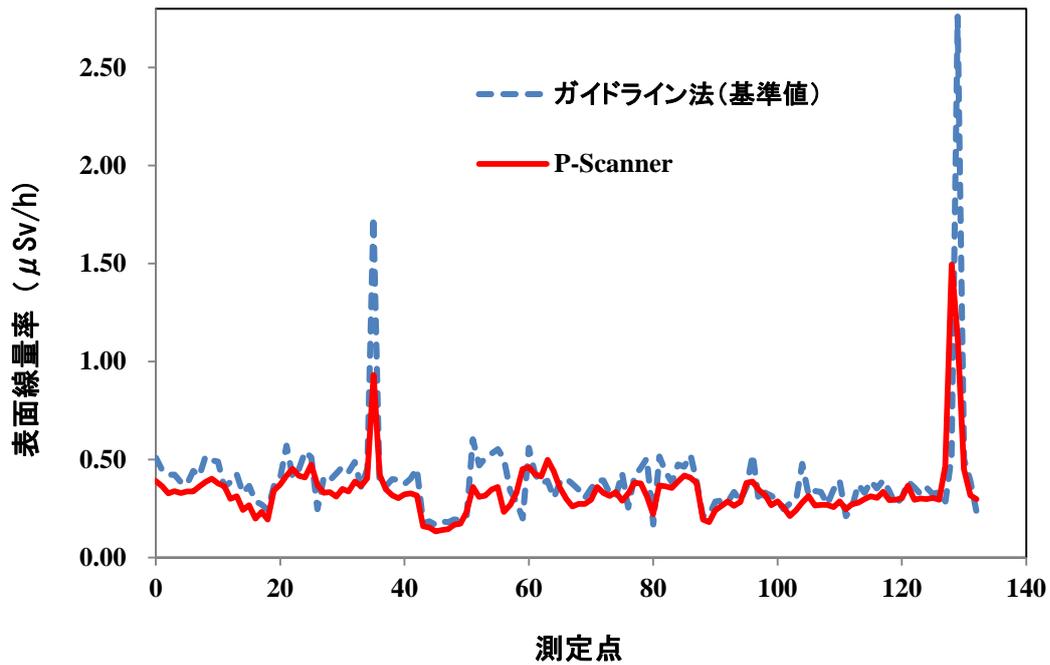


図 19-1 P-Scanner とガイドライン法との比較 (地表面)

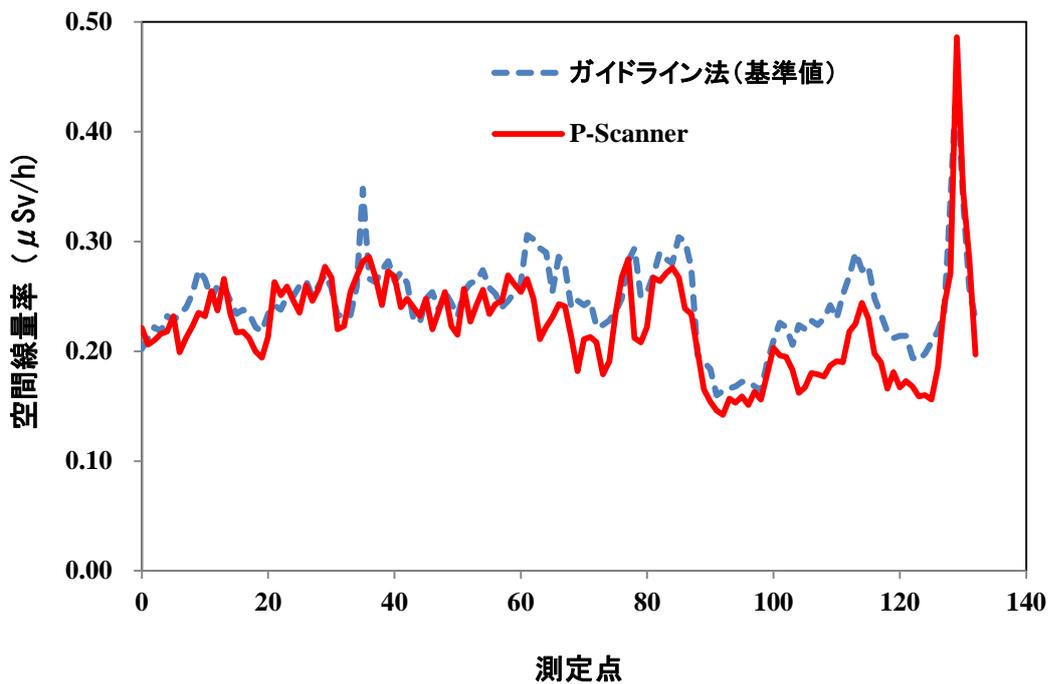


図 19-2 P-Scanner とガイドライン法との比較 (高さ 1m)

### ウ 地図上への出力結果及び二次元分布測定

P-Scanner によって測定した計測値は、PC に自動的に保存される。GPS 装置を接続した場合は、位置情報も PC に自動的に保存される。測定結果の出力様式の一例（地表面の測定）を図 20 に示す。背景となる地図には、「Google Earth」を使用した。



図 20 P-Scanner による測定結果の一例（測定高さ地表面）

線量率色分けレベル

#### 【参考】

P-Scanner は二次元分布測定（測定高さ 5cm）を可能としている。二次元分布測定は写真 6 のような専用移動台車を用いて地面に対して一定高さを保ちつつ、一定速度（作業時は 10cm/s）で移動しながら測定する。本測定方法によって得られた結果を図 21 に示す。写真手前側のコンクリート部分は表面線量率が低い場所であるが、二次元分布測定においてもその傾向が見てとれる。



写真6 P-Scannerによる二次元分布測定



図21 P-Scannerによる二次元分布測定結果（コンター図左側の水色の部分がコンクリート部）

## エ 測定時間及び機器価格

測定に際しては1台を2名で操作する。装置設置後、1回の測定に係る時間は3分30秒であった。1m高さの測定では治具を用いて測定を実施した。1m高さの測定においては、治具の設置及び移動に時間を要する。

参考情報として、二次元分布測定についても記載した。測定時間総計には台車の組み立て時間を含んでいる。測定時間単独では2分間程度であった。

表8 測定時間及び機器価格

測定箇所	測定点	測定時間 総計*1	1回あたりの 測定時間	測定に係 る人数	機器価格*2
地表面	133点 (9回測定)	58分40秒	3分30秒	2名	400万円/1台
1m高さ	133m (12回測定)	2時間33分			
(参考) 二次元分布 測定	120m <sup>2</sup> (測定面積)	36分30秒	—		

\*1：機器の設置時間含む

\*2：ファイバー長20m、10本バンドル。

## オ 評価

P-Scannerは1m高さにおいては、ガイドライン法と良い一致が得られた。地表面の測定においては、ガイドライン法と比較して常に低い値が得られたが、ガイドライン法との差異は平均値で±20%以内であった。

P-ScannerはPSF上の測定点全てを同時に測定することが可能な点が大きな利点である。一方でファイバー状の装置形状のため1m高さの測定に際しては測定高さを維持するための治具が必要である。したがって、1m高さの測定は地表面測定と比較して設置作業に時間を要することに留意する必要がある。

## (5) ガンマ線空間線量当量率測定システム (D-phod) (日立パワーソリューションズ)

### ア 基準点におけるガイドライン法との比較

#### (ア) 内容

実証事業者の提案方法により、PSF を任意の形で測線定点上に配置し、各測定点の空間線量率 (1m) 及び地表面の測定を実施した。空間線量率 (1m) の測定は、治具を使用し、1m 高さに PSF を持ち上げて測定した。地表面の測定は、測定点上の地面に直接 PSF を置いて測定した。各測定点に PSF を設置してから 1 分後の測定値を測定結果として記録した。測定結果から基準点の値を抽出し、ガイドライン法による測定値と比較した。なお、本実証においては、10m ファイバー、7 本バンドルの検出器を使用した。

#### (イ) 結果

基準点において測定した結果とガイドライン法による事前測定結果と比較し、D-phod による測定値との比を%で示した。結果を表 9 に示す。ガイドライン法との比は 1m 高さで 85%~121%、地表面で 81%~137%であり、平均すると 1m 高さでは 102%、地表面では 105%であった。基準点におけるガイドライン法との差異は平均値で±20%以下であり、±20%を超えた箇所は 3 ヶ所であった。

表9 D-phod とガイドライン法との比較

測定点	D-phod ( $\mu$ Sv/h)		ガイドライン法 (表 A-1) ( $\mu$ Sv/h)		比較 D-phod/ガイドライン法	
	1m	地表面	1m	1cm	1m	地表面/1cm
0	0.20	0.46	0.22	0.49	93%	94%
10	0.29	0.44	0.27	0.45	105%	98%
20	0.21	0.41	0.37	0.40	101%	101%
30	0.22	0.41	0.23	0.46	95%	89%
35	0.35	1.88	0.37	1.68	94%	112%
40	0.30	0.43	0.28	0.40	107%	108%
50	0.24	0.27	0.23	0.20	104%	137%
60	0.28	0.54	0.27	0.56	101%	96%
70	0.25	0.33	0.21	0.36	119%	94%
80	0.24	0.16	0.25	0.17	97%	94%
90	0.15	0.29	0.18	0.29	85%	101%
100	0.26	0.33	0.23	0.29	113%	116%
110	0.25	0.40	0.23	0.37	107%	106%
120	0.20	0.34	0.20	0.29	96%	116%
129	0.40	2.19	0.45	2.69	90%	81%
130	0.37	0.54	0.31	0.50	121%	109%
132	0.24	0.31	0.21	0.25	111%	125%
平均値					102%	105%
変動係数					10%	14%

## イ 全測定点におけるガイドライン法との比較

### (ア) 内容

基準点以外の測定点についてガイドライン法と比較し、グラフ化した。結果を図 22 に示した。

### (イ) 結果

D-phod は両測定高さの全測定点においてもガイドライン法とよく一致した。ただし、地表面上の測定結果は測定位置のずれや周辺の線量率が結果に影響することが考えられた。測定点 129 を測定する際には測定点 132 の方向に D-phod を延ばして測定しており、測定点 130~132 にかけて分布する線量率の低い部分の影響を受けていると考えられる。

測定点 130 では測定点 129 の影響を受けてガイドライン法より高い測定結果となっている。当該結果は、検出部である PSF 直下の点としての値ではなく、ある程度幅を持った地点の値を平均化する、検出器の特性によるものと考えられた。

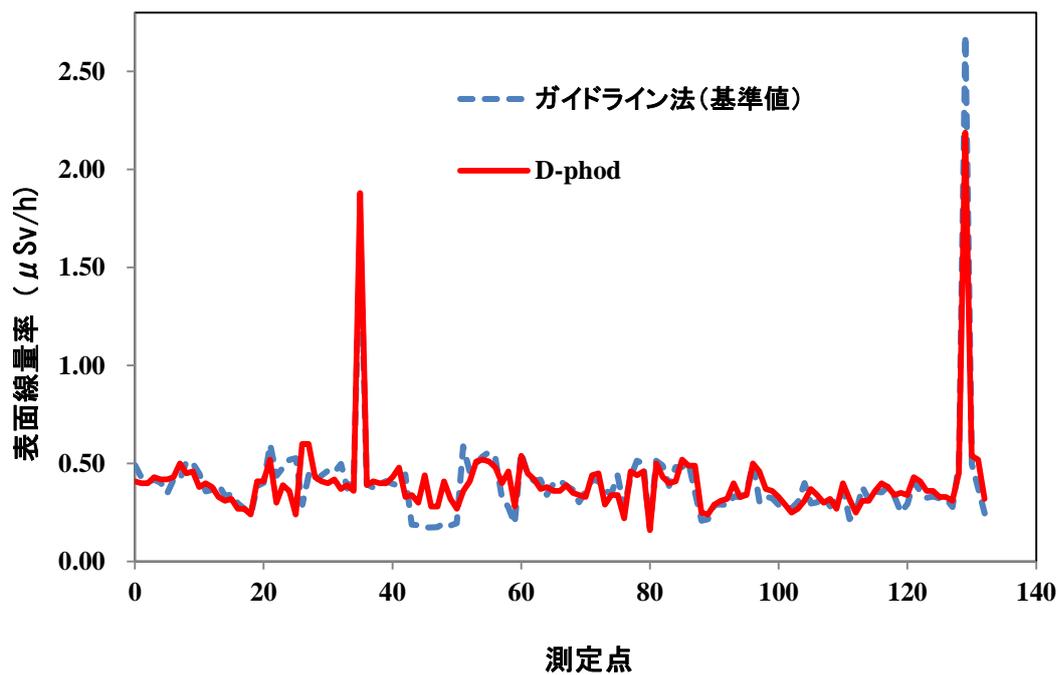


図 22-1 D-phod とガイドライン法との比較（地表面）

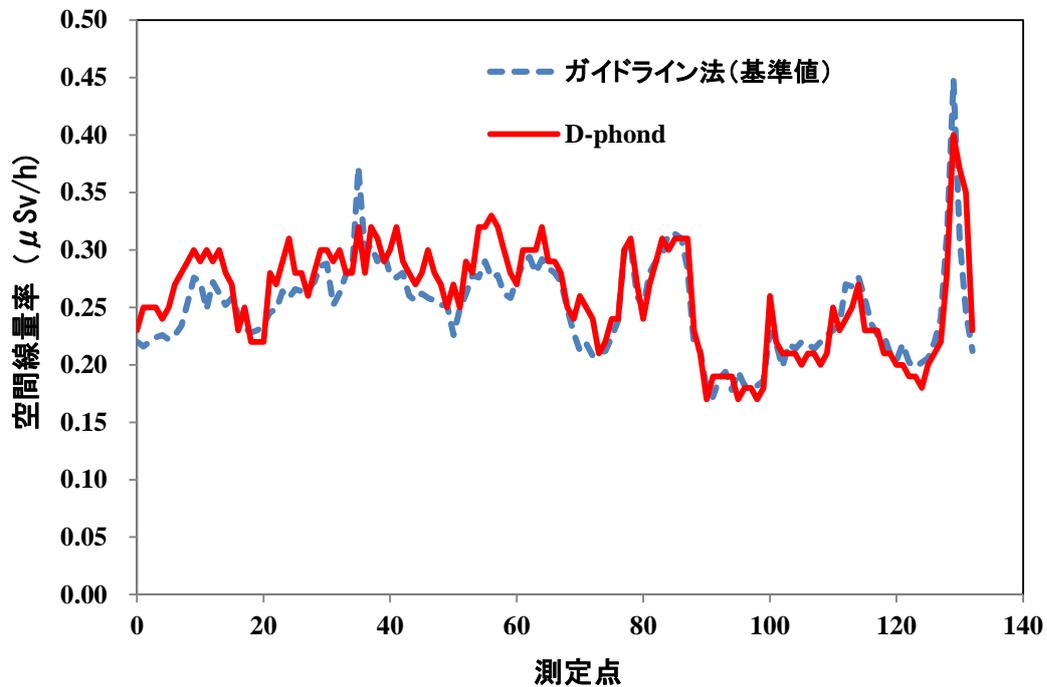


図 22-2 D-phod とガイドライン法との比較（高さ 1m）

## ウ 地図上への出力結果

D-phod によって測定した計測値は、自動的に PC に保存される。また、地図データに航空写真データを使用できるため GPS による位置情報の取得に関わらず、線量率を地図上に可視化することが可能である。出力結果の形式例を図 23 に示す。結果の出力に際しては実証作業中に測定した全結果を示している。そのため、測線以外の点についても PSF を敷設した箇所では線量率が得られており、二次元分布を確認することが可能である。可視化の方式は図 23 に示すような地図上に落とすだけではなく、現場写真と合成することも可能である。

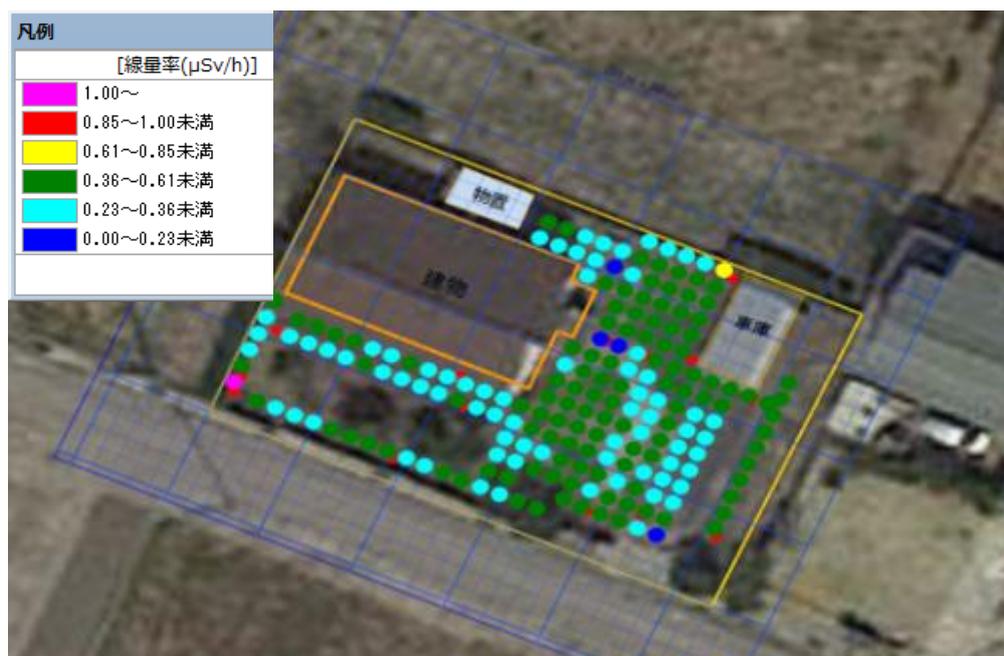


図 23 D-phod による出力結果の一例（測定高さ地表面）

## エ 測定時間及び機器価格

測定に際しては 1 台を 3 名で操作した。装置設置後、1 回の測定に係る時間は約 1.5 分であった。1m 高さの測定の際には治具を用いて測定を実施した。したがって 1m 高さの測定においては、治具の設置及び移動に時間を割く必要があるため地表面の測定より時間を要した。

表 10 測定時間及び機器価格

測定箇所	測定点	測定時間 総計*1	1 回あたりの 測定時間	測定に係 る人数	機器価格*2
地表面	192 (25 回測定)	53 分	1.5 分	3 名	410 万円/一式
1m 高さ	192 (25 回測定)	1 時間 26 分			

\*1：機器の設置時間含む

\*2：ファイバー長 10 m、7 本バンドル、解析用 PC 2 台、マッピングソフト、測定治具一式

## オ 評価

D-phod は測定高さによらずガイドライン法と良い一致が得られた。また、地表面の測定に際しては測定位置のずれが結果に大きく影響することが考えられた。

D-phod は検出器である PSF 上の測定点全てを同時に測定することが可能であることが利点である。一方で、ファイバー状の装置形状のため 1m 高さの測定に際しては治具が必要である。したがって、1m 高さの測定は地表面測定と比較して設置作業に時間を要することに留意する必要がある。

## 6 実証技術のまとめ

全ての実証技術の結果を整理した表 11 に示す。

基準測定においては、いずれの測定機器もガイドライン法とほぼ同等の測定値が得られた。また、いずれの測定機器も、ガイドライン法と比較して迅速に測定することができた。

さらに、今回実証した全ての測定機器は線量分布の視覚化が可能であるため、除染の住民説明会等で除染効果等を説明する場合等に有用であると考えられる。

### (1) 線量及び測定位置情報 (GPS 等) を自動的に PC 等に伝送し記録する技術

複数の測定高さにおける線量率測定が同時に、かつ 1~2 人で実施可能であり、測定結果が自動的にタブレット PC 等へ記録されることから、歩行サーベイにより高線量の地点を少ない労力でおおまかに特定する用途等で有用であると考えられる。

### (2) シンチレーションファイバーにより一定区間の線量を同時に測定する技術

シンチレーションファイバー全体が検出器であることから、シンチレーションファイバーを敷設した線上の線量を 1 度に測定可能であり、面的な線量分布を短期間で把握したい場合等に有用であると考えられる。

表 11 実証技術のまとめ

機器名称	ガンマ プロッターH (独立行政法人日本 原子力研究開発 機構福島環境安全 センター)	iPLUS HotSpotFinder (ボニー工業株式 会社)	歩行型自動放射線 量計測システム KURAMA-m (株式会社松浦 電弘社)	シンチレーション ファイバー2次元 マッピング装置 (P-Scanner) (日本放射線エン 지니어リング株式 会社)	ガンマ線空間線 量当量率測定シ ステム(D-phod) (株式会社日立 パワーソリュー ションズ)
ガイドライン 法との比較	良好	良好	良好	良好	良好
実証作業にお ける測定条件 *1	静止測定：－ 1.0m/s：○ 0.5m/s：○ 0.25m/s：○	静止測定：○ 1.0m/s：○ 0.5m/s：○ 0.25m/s：－	静止測定：○ 1.0m/s：－ 0.5m/s：－ 0.25m/s：－	-	-
ガイドライン 法への追従性	・歩行速度 0.5m/s 以下で良好に追従 ・静止測定ではほ ぼ同等	・歩行速度 0.5m/s 以下で良好に追従 ・静止測定ではほ ぼ同等	・静止測定ではほ ぼ同等	-	-
装置価格 (内訳)	200万円/一式 (本体+測定用 PC+システム)	500万円/一式 (本体+測定用 PC+データベー ス)	120万円/1台 (本体のみ)	400万円/1台 (ファイバー長 20m・10本バンド ル標準仕様)	410万円/一式 (ファイバー長 10m、7本バンド ル、解析用PC2台、 マッピングソフト、 測定治具)
測定に要する 時間*2	約 200 秒 (0.5m/s 時、歩行 速度によって変 化)	約 200 秒 (0.5m/s 時、歩行 速度によって変 化)	約 500 秒 (静止測定時)	約 32 分 (地表面) 1 時間 (高さ 1m) *3	約 21 分 (地表面) 約 34 分 (高さ 1m) *3
測定人数	2 人 (1 人でも可)	2 人	2 人 (1 人でも可)	2 人	3 人
位置情報 取得方式 (精度)	ディファレンシャル 型 GPS 方式 へミスフィア A100 (60cm 以内)	GPS-VRS-RTK 方式 VRS-RTK 対応 ニコントリプル Geo シリーズ (10cm 以内)	ディファレンシャル 型 GPS 方式 SOKKIA 社 GIR1600 (1m 以内)	ディファレンシャル 型 GPS 方式 へミスフィア A325 相当品 (60cm 以内)	ディファレンシ ャル型 GPS 方式 トランシステム 社製 GPSTrip Recorder 747pro (5m 以内)
測定結果の 可視化	・タブレット PC によるリアルタイム 表示 ・専用ソフトあり ・Google Earth へ の出力形式に対応	・タブレット PC によるリアルタイム 表示 ・専用ソフトあり ・基図を利用した 正確な位置決定が 可能	・タブレット PC によるリアルタイム 表示 ・専用ソフトあり ・Google Earth へ の出力形式に対応	2 次元分布測定が 可能 (要専用機材、 5cm 高さのみ対 応)	・航空写真を用い た地図化が可能 (GPS 位置情報不 要) ・専用ソフトあり
住宅除染で 想定される 使用ケース	・空間線量率及び 表面線量率の測定 (ガイドライン法 と同等) ・歩行サーベイに よる高線量箇所の 特定 ・線量マップの作 成	・空間線量率及び 表面線量率の測定 (ガイドライン法 と同等) ・歩行サーベイに よる高線量箇所の 特定 ・線量マップの作 成	・空間線量率及び 表面線量率の測定 (ガイドライン法 と同等) ・静止測定による 高線量箇所の特定 ・線量マップの作 成	・障害物の少ない 場所における表面 線量率測定 ・高線量箇所の 特定 ・線量マップの作 成	・障害物の少ない 場所における表 面線量率測定 ・高線量箇所の 特定 ・線量マップの作 成

\*1：測定条件は、実証事業者の提案に基づき設定した。○＝実施、－＝実施していない。

\*2：1m 間隔で 100 点測定する場合に係る時間

(参考) 一台の測定機器により、ガイドライン法(時定数 10 秒、機器設置後 30 秒経過後から 10 秒後ごとに 5 回指示値を確認する手法)で測定する場合、計算上、最速でも 2 時間以上必要である。

\*3：今回の実証試験における実績値から、1 回の測定時間を算出した。P-Sanner は 20m ファイバーで 5 回、D-phod は 10m ファイバーで 10 回測定する場合の時間を記載した。

#### 参考 ガイドライン法による事前測定結果

ガイドライン法による事前測定における全結果を表 A に示す。測定点は起点からの距離(m)として表記した。測定条件は次の通りとした。TCS-172B（日立アロカメディカル）、時定数 10 秒、機器設置後 30 秒経過後から 10 秒後ごとに 5 回指示値を読み取り、平均値を測定結果とした。測定は、4 台で同時並行して行った。

表 A-1 試験区のガイドライン法による事前測定結果 (24 日測定)

測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )	測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )	測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )
0	0.22	0.49	46	0.26	0.17	92	0.19	0.29
1	0.22	0.43	47	0.26	0.18	93	0.19	0.33
2	0.22	0.41	48	0.25	0.20	94	0.18	0.33
3	0.22	0.42	49	0.25	0.18	95	0.19	0.35
4	0.23	0.40	50	0.23	0.20	96	0.18	0.50
5	0.22	0.35	51	0.25	0.59	97	0.18	0.30
6	0.23	0.42	52	0.26	0.46	98	0.18	0.33
7	0.23	0.42	53	0.28	0.50	99	0.19	0.32
8	0.25	0.51	54	0.28	0.54	100	0.23	0.29
9	0.28	0.50	55	0.29	0.56	101	0.22	0.27
10	0.27	0.45	56	0.28	0.53	102	0.20	0.27
11	0.25	0.36	57	0.28	0.33	103	0.22	0.31
12	0.27	0.37	58	0.26	0.28	104	0.21	0.40
13	0.26	0.39	59	0.26	0.19	105	0.22	0.30
14	0.25	0.33	60	0.27	0.56	106	0.22	0.30
15	0.26	0.34	61	0.29	0.45	107	0.21	0.33
16	0.24	0.30	62	0.29	0.41	108	0.22	0.28
17	0.23	0.27	63	0.28	0.42	109	0.23	0.32
18	0.23	0.24	64	0.29	0.34	110	0.23	0.37
19	0.23	0.39	65	0.28	0.40	111	0.24	0.22
20	0.23	0.40	66	0.28	0.41	112	0.27	0.25
21	0.25	0.60	67	0.27	0.39	113	0.27	0.38
22	0.25	0.44	68	0.25	0.37	114	0.28	0.32
23	0.26	0.48	69	0.23	0.30	115	0.26	0.36
24	0.26	0.52	70	0.21	0.36	116	0.24	0.35
25	0.27	0.53	71	0.22	0.42	117	0.23	0.38
26	0.26	0.29	72	0.21	0.41	118	0.23	0.33
27	0.27	0.44	73	0.21	0.37	119	0.21	0.25
28	0.27	0.41	74	0.21	0.34	120	0.20	0.29
29	0.29	0.44	75	0.22	0.44	121	0.22	0.41
30	0.29	0.46	76	0.24	0.27	122	0.20	0.36
31	0.25	0.46	77	0.30	0.43	123	0.20	0.33
32	0.26	0.50	78	0.31	0.51	124	0.20	0.33
33	0.28	0.37	79	0.26	0.50	125	0.21	0.32
34	0.28	0.44	80	0.25	0.17	126	0.22	0.32
35	0.37	1.68	81	0.28	0.51	127	0.24	0.28
36	0.30	0.40	82	0.29	0.49	128	0.32	0.50
37	0.30	0.38	83	0.30	0.39	129	0.45	2.69
38	0.29	0.40	84	0.31	0.48	130	0.31	0.50
39	0.30	0.41	85	0.31	0.48	131	0.24	0.37
40	0.28	0.40	86	0.31	0.51	132	0.21	0.25
41	0.28	0.39	87	0.28	0.35			
42	0.28	0.44	88	0.22	0.21			
43	0.26	0.19	89	0.21	0.22			
44	0.26	0.19	90	0.18	0.29			
45	0.26	0.17	91	0.17	0.29			

※基準点：黄色

表 A-2 試験区のガイドライン法による事前測定結果 (25 日測定)

測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )	測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )	測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )
0	0.23	0.50	46	0.26	0.19	92	0.31	0.46
1	0.22	0.45	47	0.26	0.18	93	0.29	0.39
2	0.22	0.43	48	0.26	0.20	94	0.31	0.48
3	0.23	0.45	49	0.24	0.20	95	0.33	0.48
4	0.23	0.39	50	0.24	0.21	96	0.32	0.51
5	0.23	0.38	51	0.25	0.59	97	0.28	0.39
6	0.22	0.43	52	0.27	0.48	98	0.21	0.21
7	0.24	0.45	53	0.28	0.49	99	0.19	0.23
8	0.25	0.52	54	0.28	0.54	100	0.18	0.28
9	0.28	0.49	55	0.28	0.57	101	0.21	0.29
10	0.27	0.49	56	0.27	0.54	102	0.20	0.29
11	0.27	0.37	57	0.26	0.34	103	0.20	0.32
12	0.28	0.38	58	0.26	0.29	104	0.21	0.42
13	0.25	0.41	59	0.26	0.21	105	0.21	0.30
14	0.27	0.33	60	0.29	0.59	106	0.22	0.29
15	0.25	0.35	61	0.30	0.45	107	0.22	0.32
16	0.25	0.30	62	0.28	0.40	108	0.23	0.27
17	0.23	0.29	63	0.29	0.42	109	0.22	0.36
18	0.24	0.26	64	0.28	0.35	110	0.23	0.38
19	0.23	0.42	65	0.27	0.39	111	0.26	0.21
20	0.24	0.42	66	0.29	0.43	112	0.28	0.27
21	0.24	0.61	67	0.27	0.40	113	0.27	0.40
22	0.26	0.43	68	0.24	0.35	114	0.26	0.34
23	0.26	0.49	69	0.22	0.31	115	0.26	0.38
24	0.27	0.54	70	0.23	0.36	116	0.24	0.37
25	0.27	0.55	71	0.22	0.40	117	0.22	0.40
26	0.27	0.29	72	0.24	0.37	118	0.22	0.35
27	0.27	0.42	73	0.21	0.34	119	0.22	0.28
28	0.28	0.40	74	0.21	0.34	120	0.21	0.30
29	0.30	0.43	75	0.24	0.43	121	0.21	0.40
30	0.28	0.48	76	0.25	0.27	122	0.21	0.37
31	0.26	0.45	77	0.28	0.42	123	0.20	0.33
32	0.26	0.51	78	0.28	0.53	124	0.20	0.36
33	0.27	0.50	79	0.25	0.49	125	0.21	0.34
34	0.30	0.45	80	0.24	0.18	126	0.20	0.32
35	0.37	1.60	81	0.28	0.51	127	0.26	0.29
36	0.30	0.41	82	0.29	0.49	128	0.35	0.52
37	0.31	0.41	83	0.30	0.39	129	0.46	2.67
38	0.29	0.41	84	0.31	0.48	130	0.33	0.53
39	0.30	0.40	85	0.31	0.48	131	0.23	0.39
40	0.29	0.41	86	0.31	0.51	132	0.21	0.25
41	0.29	0.40	87	0.28	0.35			
42	0.28	0.47	88	0.22	0.21			
43	0.26	0.19	89	0.21	0.22			
44	0.25	0.19	90	0.18	0.29			
45	0.25	0.18	91	0.28	0.52			

※基準点：黄色

表 A-3 試験区のガイドライン法による事前測定結果 (26 日測定)

測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )	測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )	測定点	1m ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1cm ( $\mu\text{Sv/h}$ )
0	0.20	0.51	46	0.25	0.19	92	0.16	0.29
1	0.21	0.45	47	0.24	0.18	93	0.17	0.34
2	0.22	0.42	48	0.25	0.20	94	0.17	0.29
3	0.22	0.42	49	0.24	0.19	95	0.17	0.36
4	0.23	0.39	50	0.23	0.21	96	3.34	0.53
5	0.23	0.37	51	0.25	0.60	97	0.17	0.29
6	0.23	0.44	52	0.26	0.47	98	0.16	0.33
7	0.24	0.42	53	0.26	0.51	99	0.19	0.32
8	0.25	0.52	54	0.27	0.53	100	0.21	0.29
9	0.27	0.50	55	0.26	0.55	101	0.23	0.25
10	0.27	0.49	56	0.25	0.50	102	0.22	0.28
11	0.25	0.36	57	0.24	0.34	103	0.21	0.30
12	0.26	0.39	58	0.25	0.28	104	0.22	0.48
13	0.26	0.43	59	0.25	0.20	105	0.22	0.32
14	0.25	0.33	60	0.26	0.56	106	0.23	0.34
15	0.23	0.37	61	0.31	0.42	107	0.22	0.34
16	0.24	0.29	62	0.30	0.38	108	0.23	0.27
17	0.23	0.27	63	0.29	0.39	109	0.24	0.35
18	0.22	0.24	64	0.29	0.31	110	0.23	0.39
19	0.22	0.37	65	0.25	0.39	111	0.25	0.21
20	0.23	0.41	66	0.29	0.40	112	0.27	0.26
21	0.24	0.57	67	0.28	0.38	113	0.29	0.37
22	0.24	0.41	68	0.24	0.35	114	0.27	0.33
23	0.25	0.45	69	0.25	0.30	115	0.28	0.39
24	0.25	0.54	70	0.24	0.42	116	0.25	0.35
25	0.26	0.51	71	0.25	0.39	117	0.23	0.40
26	0.26	0.25	72	0.22	0.39	118	0.22	0.34
27	0.25	0.41	73	0.22	0.33	119	0.21	0.27
28	0.26	0.40	74	0.23	0.31	120	0.21	0.31
29	0.27	0.43	75	0.24	0.43	121	0.21	0.39
30	0.26	0.46	76	0.25	0.26	122	0.19	0.36
31	0.23	0.44	77	0.28	0.42	123	0.19	0.32
32	0.23	0.49	78	0.29	0.46	124	0.20	0.36
33	0.23	0.36	79	0.25	0.51	125	0.21	0.32
34	0.26	0.46	80	0.25	0.17	126	0.22	0.34
35	0.35	1.74	81	0.27	0.52	127	0.23	0.29
36	0.27	0.38	82	0.29	0.44	128	0.33	0.51
37	0.26	0.36	83	0.28	0.38	129	0.45	2.76
38	0.27	0.40	84	0.28	0.48	130	0.34	0.50
39	0.28	0.40	85	0.30	0.46	131	0.26	0.40
40	0.26	0.38	86	0.30	0.52	132	0.23	0.24
41	0.27	0.40	87	0.28	0.39			
42	0.26	0.45	88	0.20	0.21			
43	0.23	0.18	89	0.19	0.22			
44	0.23	0.19	90	0.18	0.29			
45	0.25	0.17	91	0.16	0.29			

※基準点：黄色