

放射線量平面分布計測システムの開発

Development of Radiation Level Distribution Mapping System

三上 博 HIROSHI MIKAMI

印南 修三 SHYUZO INNAMI

大津 慎一 SHUN-ICH OHTSU

福島第一原子力発電所事故（2011年3月）によって生じた、放射性物質汚染土壌の除染作業が、福島県やその周辺地域で行われている。筆者らは、このような作業の効率性を向上するために、GPSを搭載した測定車を用いて、放射線量分布マップを即時的にモニター上に表示する放射線量平面分布計測システムを開発した。本技術を除染現場での高濃度汚染箇所の正確な特定や、除染作業の前後における放射線量分布状態の容易な可視化など、さまざまな目的で活用していく予定である。本報では、技術内容と福島県内のフィールドで実施した実証試験結果について示す。

キーワード：東日本大震災、放射線物質汚染土壌、除染、GPS、情報化技術

Decontamination works of radioactive polluted soil resulting from the Fukushima Daiichi nuclear accident in March, 2011 have been carried out in Fukushima Prefecture and surrounding regions. In order to improve efficiency of such works, a measuring system has been developed using a GPS-aided monitoring vehicle that displays a radiation level distribution map to a monitor screen in real-time. This technique will be utilized for various purposes at decontamination work sites, such as accurate detection of highly contaminated parts in the work area or easy visualization of radioactive level distribution before and after decontamination works, etc. This report shows the system and the result of field tests which were conducted in Fukushima Prefecture.

Key Words: the Great East Japan Earthquake, radioactive contaminated soil, decontamination work, GPS, computer aided Technology

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故によって生じた、放射性物質汚染土壌などの除染作業が、福島県を中心に各地で行われている。除染作業に伴う放射線量の測定は、現状では、計測員の手作業による場合がほとんどであり、計測点の間隔は10mから50m程度とされることが通常である。測定には手間と時間を要するため、放射線量の分布状態を詳細に把握しながら除染作業を進めることは容易ではない。地表面の汚染濃度によっては、必ずしも削り取りが必要で無い部分も存在するが、その場での判別が難しいため、余分な削り取りが行われる状況が生じる可能性がある。削り取り土量の削減を図るためには、より効率的な作業手法の開発・導入が望まれる状況にある。

2. 計測システムの概要

(1) 技術開発の目的と技術適用先

本技術は、GPSを搭載した放射線量計測車を用いて、最新の線量マップをパソコン上にリアルタイムに表示するシステムである。汚染された表層土の削り取り作業を行う際に、本システムを活用することによって、作業現場で高濃度汚染箇所を正確に特定することが可能となる。また、汚染の少ない場所を特定することにより、必要の無い削り取りを行わず、処理土量を最小限にすることが可能となる。さらに、本システムを除染実施後の運動場や公園広場などの施設に適用すると、放射線量分布状態の“見える化”が可能となるため、施設利用者への安全・安心に関する情報提供面で有効に活用できる。

(2) システムの構成と計測方法

今回開発した平坦地用計測車(図-1 参照)は、電動式カートの後部に放射線量検出器(表-1 参照)、高精度 GPS 受信機(表-2 参照)を設置している。放射線量検出器は同時に 3 台(3 つの高さ)使用可能である。GPS で測位された位置情報と、放射線量計測値(3 位置)は、毎秒 1 回の頻度で、運転席のパソコンにシリアルインターフェイスを通じて取り込まれる。

パソコンにはあらかじめ、除染作業エリアの平面図を CAD データなどをもとに用意しておく。測定結果(放射線濃度と位置情報の組み合わせ)は、放射線濃度に応じた色区分によるマークとして、パソコンモニター上の平面図に描画する。現システムでは、毎秒 1 回の測定結果は、測定位置を中心位置とした、一辺 2m(原位置寸法)の正方形マークによって表している。新たな測定値が得られると、マークの上書きによる重ね書きによって更新する仕組みとしている。

測定は移動しながら連続的に行うものとして、作業エリア内を隈なく電動式カートを走行させることによって全域のデータを取得する。

表-1 放射線量検出器の仕様

機種	日立アロカメディカル(株) TSC-172B
測定線種	γ線
検出器	NaI(Tl)シンチレーション検出器
測定範囲	バックグラウンド~30.0 μSv/h
時定数	本システムでは 3 秒で設定

表-2 GPS 受信機の仕様

機種	(株) トプコン LEGACY-E+/GGD
測位方式	RTK-GPS 現場内に基準局設置
測位精度	水平精度±20mm, 鉛直精度±30mm
測位頻度	1 回/秒

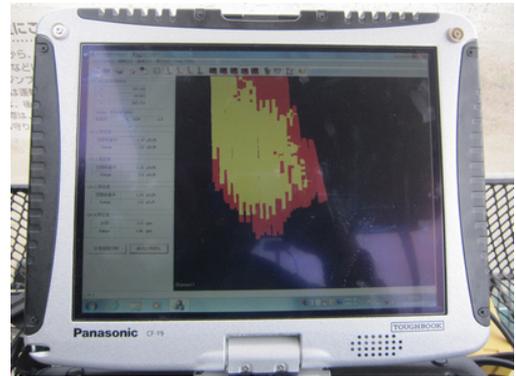


写真-1 運転席パソコンモニター表示例

(3) 移動計測による測定値への影響

放射性物質汚染土壌から放出される放射線の強さは、線香花火から火花が飛ぶようなイメージで例えられるように、時々刻々と揺れ動き変化している。したがって、空間放射線量の測定を行う場合においては、測定地点において、一定時間連続的にデータを取得して、平均化、平滑化などを行い、安定した代表値を示すような、演算

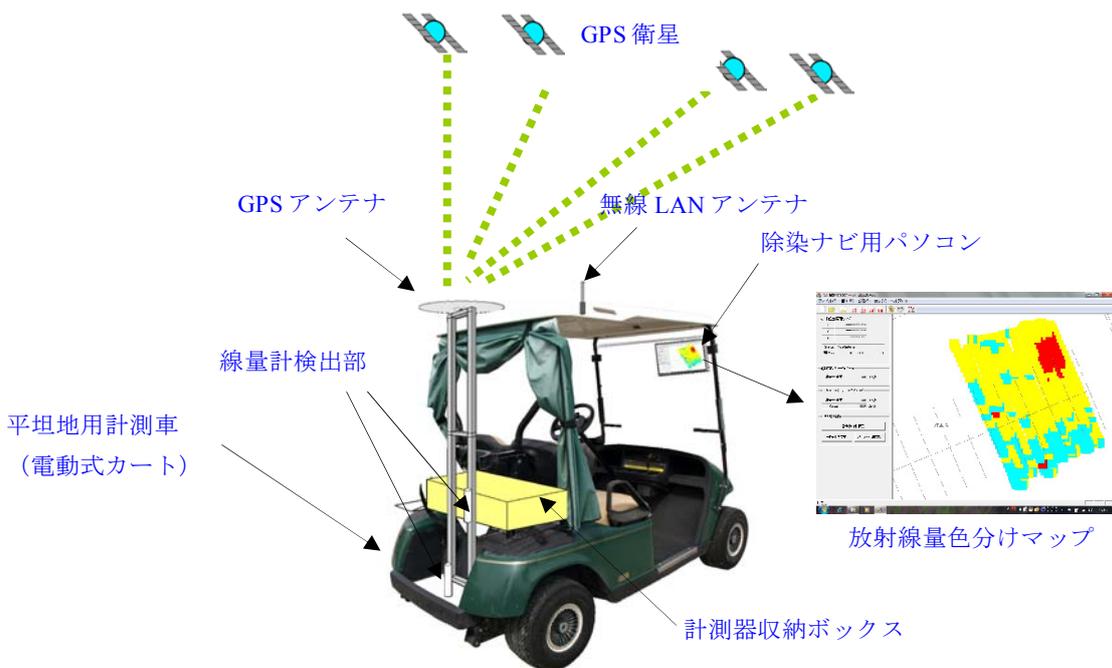


図-1 計測システムの構成

処理が測定器の中で行われている。今回、本システムで採用した放射線量検出器（NaI シンチレーションサーベイメータ）は、時定数の設定機能があり、3秒、10秒、30秒の3通りの設定が可能である。本システムは、移動しながらの測定を行うため、最も応答の速くなる時定数3秒を用いている。しかしながら、このような検出器の応答特性から、計測車を移動させながら放射線量を計った場合には、ある点で表示される測定値は、過去数秒の移動経路における空間放射線量が反映されたものであることに留意する必要がある。特に空間線量が急激に変化するような測定位置において、測定時の移動速度が速いと、実際と測定値の間の誤差が大きくなる傾向がある。種々の予備試験検討結果から、計測作業効率と計測誤差の兼ね合いを考慮して、本システムでは、測定時の移動速度を1m/秒以下とすることを目安としている。

図-2 および表-3 は、移動計測と静止計測（地表面からの高さ50cm）の差異を、千葉県流山市内のフィールドにおいて比較した事例である。約70mの直線計測ラインを設けて、起点から10m、30m、50mの3地点では静止計測を併せて実施した。移動計測は、1m/秒での一定移動速度の下での計測とし、静止計測は、測定ポイントに30秒間以上計測車を停止させて、測定値が安定することを確認するものとした。静止計測は各点において3回実施し、バラツキの有無を確認した。本試験フィールドは、空間線量率の分布範囲が0.25~0.35 μ Sv/h程度と、比較的变化が少ない条件ではあるが、移動計測結果と静止計測結果は大きな差異が生じることがなく、移動速度を1m/秒程度とする設定は、実用上妥当であると判断された。

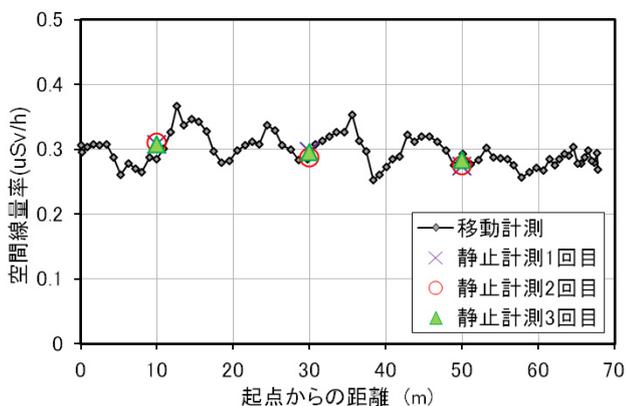


図-2 静止計測と移動計測の比較

表-3 静止計測と移動計測の比較

距離 (m)	静止計測値 (μ Sv/h)				移動計測値 (μ Sv/h)
	1回目	2回目	3回目	平均	
10	0.308	0.310	0.307	0.308	0.293
30	0.297	0.288	0.295	0.293	0.310
50	0.274	0.276	0.284	0.278	0.285

3. フィールドにおける実証試験

(1) 試験の位置づけ

本試験は、平成24年度第1回福島県除染技術実証事業における実地試験として実施された。福島県は、実用可能で効果的な除染技術を公募し、県自らが除染実施前および実施後の放射線量測定等を実施し、その結果を評価・公表することにより、事業者による新たな除染技術の開発および市町村などによる効果的・効率的な除染の促進を図ることを目的に本実証事業を実施している。本計測技術は、選定された12技術の内のひとつとして、実地試験の実施機会を得た。評価を含む試験結果の報告書¹⁾は、福島県のホームページ上で公開されている。

(2) 試験概要

以下に試験の概要について示す。

a) 実施日時

平成24年9月4日(月)～9月6日(木)

b) 実施場所

福島県伊達市

c) 試験対象

試験場所① グラウンド(運動公園)約20,000m²

試験場所② アスファルト舗装面・未舗装面(砂利)
(駐車場)約1,250m²

d) 試験内容

試験場所①および②において、NaIシンチレーションサーベイメータ3台(計測高さ100cm、50cm、15cm)を搭載した放射線量平面分布計測システムを用いて、面的な放射線量の測定を実施した。また測定時の走行速度の影響を確かめるため、試験場所の一部で、計測車の走行速度を3種(0.5m/s、1.0m/s、2.0m/s)に変化させた測定を実施した。さらに、これらの測定結果と、従来法の差異を比較するため、ヤード内に設けた計測点(試験場所①36点、試験場所②14点)で、手動による放射線量計測を実施した。手動計測は、技術の評価者である福島県が、環境省「除染関係ガイドライン」²⁾で示される手順・手法(以下、ガイドライン法)に基づいて実施した。

(3) 試験結果

a) 放射線量平面分布計測結果

図-3 から図-5 に試験場所①で実施した、放射線量平面分布計測結果（空間放射線量率）を示す。測定には写真-2 に示すように、電動カート式計測車を用いて、地表からそれぞれ高さ 100cm、50cm、5 cm の 3 位置で同時に測定を行った。計測車の移動速度は、1m/秒を目安とした。また、計測車の移動方向は、試験ヤード（100m×60m）の長手方向に往復するものとし、走行間隔は 1.5m を目安とした。各図の右側にはガイドライン法による手動計測結果を、各測定位置の上に、円の直径による相対的な大きさの比率で示した。

放射線量平面分布計測システムによる測定結果は、試験場所①内の空間放射線量率分布状態を詳細に表現していることが分かる。また、ガイドライン法による各点での手動計測値と、車載計測の放射線量の濃淡比率は良好に一致していた。しかしながら、高さ 100cm（図-3）および高さ 50cm（図-4）における各測定点での絶対値は、車載計測の方が手動に比べて全体的に 20%程度低い値となった。このような差異が生じた要因については、使用した計測機器のメーカーの違いによる特性差や検出器グループの設置方向（車載は下向き、手動は水平で高値を示す向き）、計測車の遮蔽効果などが推定される。

一方、高さ 5cm では、車載計測の方が手動に比べて絶対値は約 3 倍程度大きくなっている。これは手動計測では、鉛のコリメータを使用して、外界からの放射線影響を遮蔽していたことに対し、車載計測では遮蔽を行っていなかったことによるものである。

試験場所①に設けた試験ヤード（100m×60m、面積 6,000m²）全域の測定に要した時間は 90 分程度であり、作業効率面からも充分実用的であることが確認された。

図-6 および図-7 に同様の比較を試験場所②で実施した結果を示す。同試験場所は、エリアの半分がアスファルト舗装であり、他の半分が未舗装である。未舗装部分で放射線量が高い状況が手動計測値と一致しており、エリア全域の分布状態が良好に示されている。

b) 移動速度の影響

図-8 および図-9 に試験場所②において、中央測線に沿って計測車の移動速度を 1m/秒（標準）、2m/秒（高速）、0.5m/秒（低速）とした場合の、高さ 100cm および 50 cm の空間線量率測定結果³⁾を示す。各図には、計測車を移動距離 2m ごとに 30 秒静止させた状態で計測を行った結果³⁾を併せて示している（図中および以下、静止計測）。なお、計測時の移動方向は、距離 0m の始点側から距離 60 m の終点側への一方通行とした。

放射線量の位置的变化が比較的緩やかなエリアにお

いては、移動速度に関わらず、移動計測と静止計測の結果は良好に一致していた。一方、放射線濃度が急変する部分（距離 30m～32m 付近）を通過する時点で、移動計測と静止計測の値に乖離が認められた。図-8 で示す高さ 100cm の結果では、移動速度が速いほど静止計測による値との差が大きくなる傾向が見られた。試験結果から放射線量濃度の急変が認められる箇所においては、移動速度をより低下させた計測を再度行うことにより、放射線量の平面分布状態の位置的把握の精度を高めることができるものと判断された。

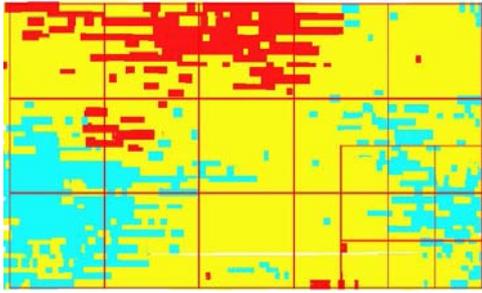


写真-2 試験状況（試験場所①）



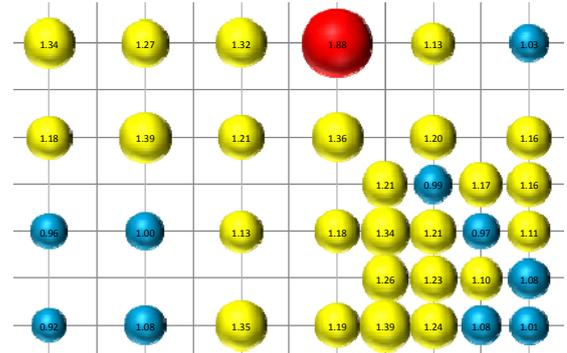
写真-3 試験状況（試験場所②）

■0.89 以下 ■0.9~1.19 ■1.2 以上 (単位: $\mu\text{Sv/h}$)



放射線量平面分布計測システムによる空間線量率

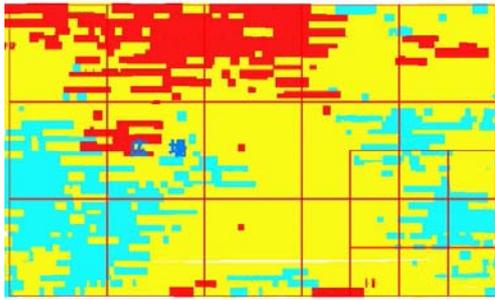
● 1.09 以下, ● 1.1~1.39, ● 1.4 以上 (単位: $\mu\text{Sv/h}$)



ガイドライン法による空間線量率

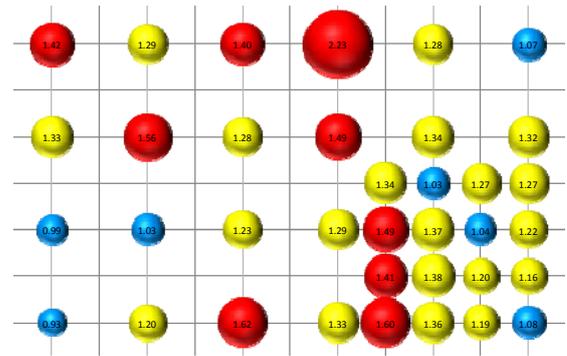
図-3 放射線量測定結果比較 (試験場所①, 高さ 100cm)

■0.89 以下 ■0.9~1.19 ■1.2 以上 (単位: $\mu\text{Sv/h}$)



放射線量平面分布計測システムによる空間線量率

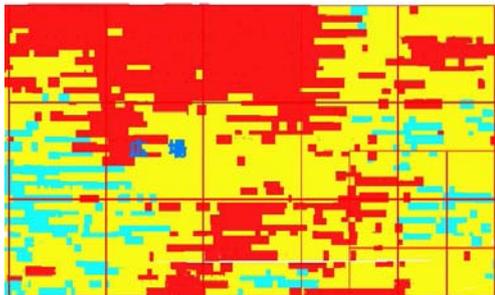
● 1.09 以下, ● 1.1~1.39, ● 1.4 以上 (単位: $\mu\text{Sv/h}$)



ガイドライン法による空間線量率

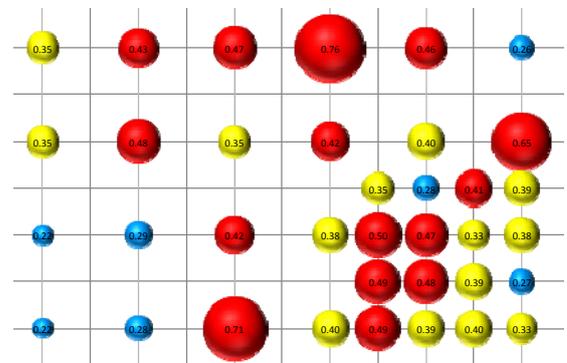
図-4 放射線量測定結果比較 (試験場所①, 高さ 50cm)

■0.89 以下 ■0.9~1.19 ■1.2 以上 (単位: $\mu\text{Sv/h}$)



放射線量平面分布計測システムによる空間線量率

● 1.09 以下, ● 1.1~1.39, ● 1.4 以上 (単位: $\mu\text{Sv/h}$)



ガイドライン法による空間線量率(高さ 1cm 鉛遮蔽)

図-5 放射線量測定結果比較 (試験場所①, 高さ 5cm・地表面近傍)

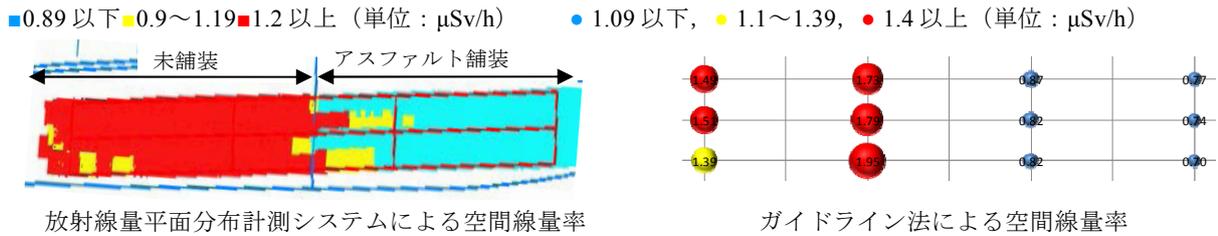


図-6 放射線量測定結果比較 (試験場所②, 地表から高さ 100cm)

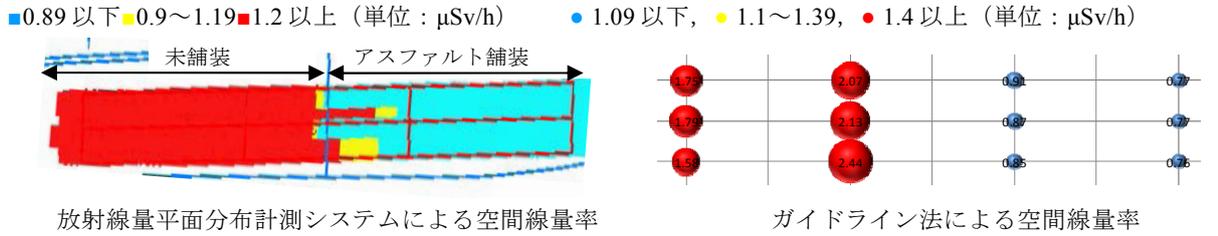


図-7 放射線量測定結果比較 (試験場所②, 地表から高さ 50cm)

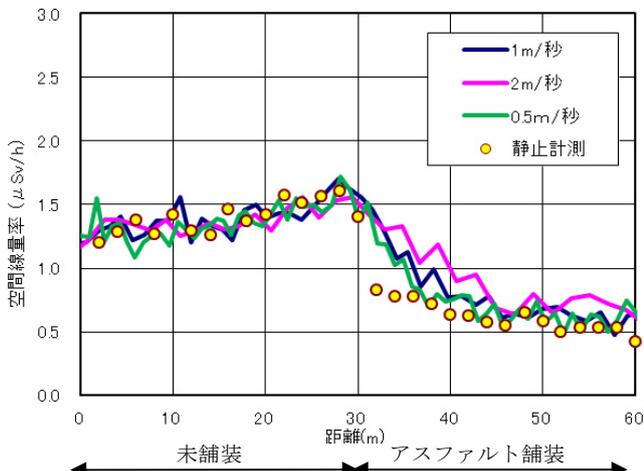


図-8 移動速度の影響 (試験場所②, 高さ 100cm) ³⁾

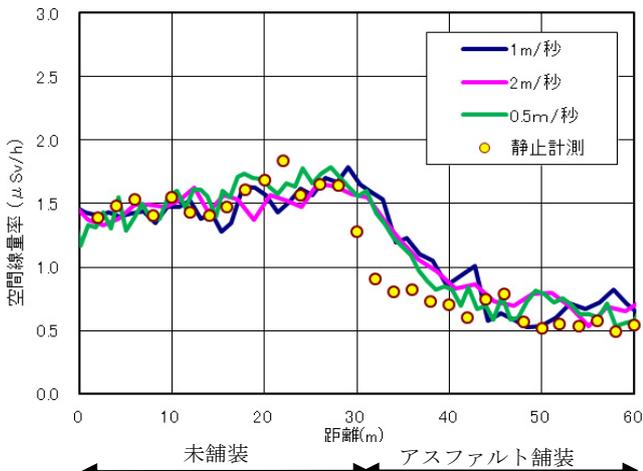


図-9 移動速度の影響 (試験場所②, 高さ 50cm) ³⁾

4. まとめ

フィールドにおける実証試験を含む一連の検討から得られた知見をまとめて以下に示す。

- ① 開発した放射線量平面分布計測システムによって測定される空間線量率の分布は、ガイドライン法による手動計測と良く一致しており、除染工事現場で放射性物質の汚染状況を評価する上では作業効率の点から有用な手法であることが確認された。
- ② 検出器の時定数を 3 秒とした場合、計測車の移動速度は 1.0m/秒以下とすることで、ガイドライン法との適合性の良い測定結果が得られる。放射線濃度の急変箇所においては、より低速での測定を行うことによって、分布状態の位置的把握精度が高まる。

5. おわりに

本技術が、除染工事現場における業務の効率化につながり、福島県を中心とした復興作業の一助となるべく、技術の改良・実用性向上に取り組んで行く所存である。

最後に、本技術の検証にあたり、貴重な実証試験の機会をいただきました、福島県および伊達市に対しまして、ここに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 福島県生活環境部：平成 24 年度第 1 回福島県除染技術実証事業実施結果報告書,2013.2
- 2) 環境省：除染関係ガイドライン(第 1 版),2011.12
- 3) 文献 1)の測定値に加え、当社で独自に取得した測定値を使用して作図