

# ガンマカメラ「パノラマ測定機能」を用いた 除染計画作成支援手法の実証

吉田 晃<sup>1\*</sup>、森 久起<sup>2</sup>、新宮 康之<sup>3</sup>、佐野 健一郎<sup>3</sup>、村田 隆志<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 日立アロカメディカル株式会社 (〒198-8577 東京都青梅市今井 3-7-19)

<sup>2</sup> 環境回復情報ネット (〒271-0086 千葉県松戸市二十世紀が丘萩町 37)

<sup>3</sup> 清水建設株式会社 (〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1)

## Verification Test for Developing Decontamination Plan Using Panorama Measurement with Gamma Camera

Akira YOSHIDA<sup>1\*</sup>, Hisaki MORI<sup>2</sup>, Yasuyuki SHINGU<sup>3</sup>, Kenichiro SANO<sup>3</sup>, and Takashi MURATA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hitachi Aloka Medical, Ltd. (3-7-19, Imai, Ome-Shi, Tokyo 198-8577, Japan)

<sup>2</sup>ERIN (37, Nijusseikigaokahagi-cho, Matsudo-Shi, Chiba 271-0086, Japan)

<sup>3</sup>Shimizu Corporation (2-16-1 Kyobashi, Chuo-ku, Tokyo 104-8370, Japan)

### Summary

Panorama Measurement with Gamma Camera has been developed to support efficient decontamination of radioactive material spread by the accident of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. The decontamination plan using Panorama Measurement will provide efficient decontamination. In order to confirm its usability, verification test has been performed. Panorama Measurement was performed before decontamination and extracted areas which have a huge effect on air dose rate. "Selected decontamination" which decontaminates only extracted areas with less man-hour showed almost same effect of decreasing of air dose rate as "Whole area decontamination". It was confirmed that decontamination plan using Panorama Measurement was useful for efficient decontamination.

**Key Words:** Gamma camera, Panorama measurement, Decontamination plan, Air dose rate

### 1. はじめに

福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性物質による汚染の除去は依然として大きな問題となっている。復興を進めていくため、効率よく確実な除染が求められる。現在行われている除染においては、除染前にサーベイメータ等で空間線量率及び表面汚染密度を測定し、その結果を踏まえて除染手法を決定する方法が実践されている<sup>1-2)</sup>。しかし、サーベイメータの測定結果は点情報であり放射性物質の正確な分布が見えず汚染状況を面的に把握することが難しい、また生活空間の空間線量率についてどの領域からの寄与が大きいのか分からない、さらに汚染の有無によらず対象エリア全域の除染を実施せざるを得ないため結果として作業量、作業者

の被ばく線量、除染除去物量が増える、といった課題がある。

こういった課題に対応するために、放射線源分布を可視化するガンマカメラ<sup>3-5)</sup>を用いた「パノラマ測定機能」を開発した<sup>6)</sup>。パノラマ測定機能はある地点の周囲 360°の放射線源分布を可視化、定量化する。本機能を用いて除染計画作成する効果として、放射線源の分布が可視化でき取りこぼしのない効果的な除染が可能、各領域からの寄与が分かるため寄与の大きい範囲のみ選択的に除染可能、効率的に除染できるため作業量、作業者の被ばく線量、除染除去物発生量を削減可能、などが期待できる<sup>7)</sup>。これらの効果を確認し、パノラマ測定機能を用いた除染計画作成支援手法の有効性を確認することを目的に実証試験を行った。

\*Corresponding author: TEL: 080-8777-9177, FAX: 0428-32-3153, E-mail: yosh5535@hitachi-aloka.co.jp

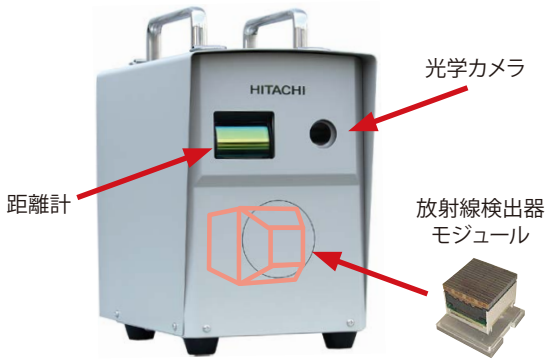


図1 ガンマカメラの外観

## 2. ガンマカメラ「パノラマ測定機能」の概要

### (1) ガンマカメラの概要

図1にガンマカメラの外観を示す。ガンマカメラは放射線検出器モジュール、光学カメラ、距離計から構成される。放射線検出器モジュールは16×16の256ピクセルのCdTe(テルル化カドミウム)半導体放射線検出器<sup>8)</sup>を持ち、放射線の検出位置と計数率の情報を得る。 $\gamma$ 線の飛来方向の情報を得るにはピクセル型の放射線検出器だけでは不十分で、飛来方向の情報をピクセル位置に変換する仕組みが必要となる。ガンマ

線は可視光のように曲げることができないため、凸レンズは使用できず、ピンホール光学系や符号化開口マスク<sup>9)</sup>、コンプトン散乱を利用した光学系<sup>10-11)</sup>などが可視化システムの候補となる。これらの中で、原理がシンプルで複雑な画像再構成の必要がないピンホール光学系を採用した。ピンホール光学系は放射線量が計数率に単純に比例するため定量性が良く、アーチファクトと呼ばれる偽像が生じにくいという特徴がある。放射線検出器モジュールの前に置かれたピンホールコリメータのピンホール部分を通ったガンマ線は検出器面上にて上下左右が反転した像を結ぶため、検出したピクセルの位置から放射線の飛来方向を特定できる。

得られた放射線の飛来方向と計数率の情報を光学カメラで撮影した可視画像に重ね合わせるように放射線量情報を色分け表示することで、放射線源分布の可視化を可能とする。距離計はガンマカメラから測定対象までの距離を測定し、距離の割り戻しにより測定対象付近の空間線量率を概略評価する場合に用いる。

ピンホール光学系においてピンホール以外の方向から飛来するガンマ線はノイズ成分となる。放射線検出器モジュールのピンホール方向以外には高密度でガンマ線遮蔽効果が大きいタングステンによる遮蔽を十分に施すことによりノイズ成分を抑制した。

図2にガンマカメラの測定画面を示す。左上の放射線源分

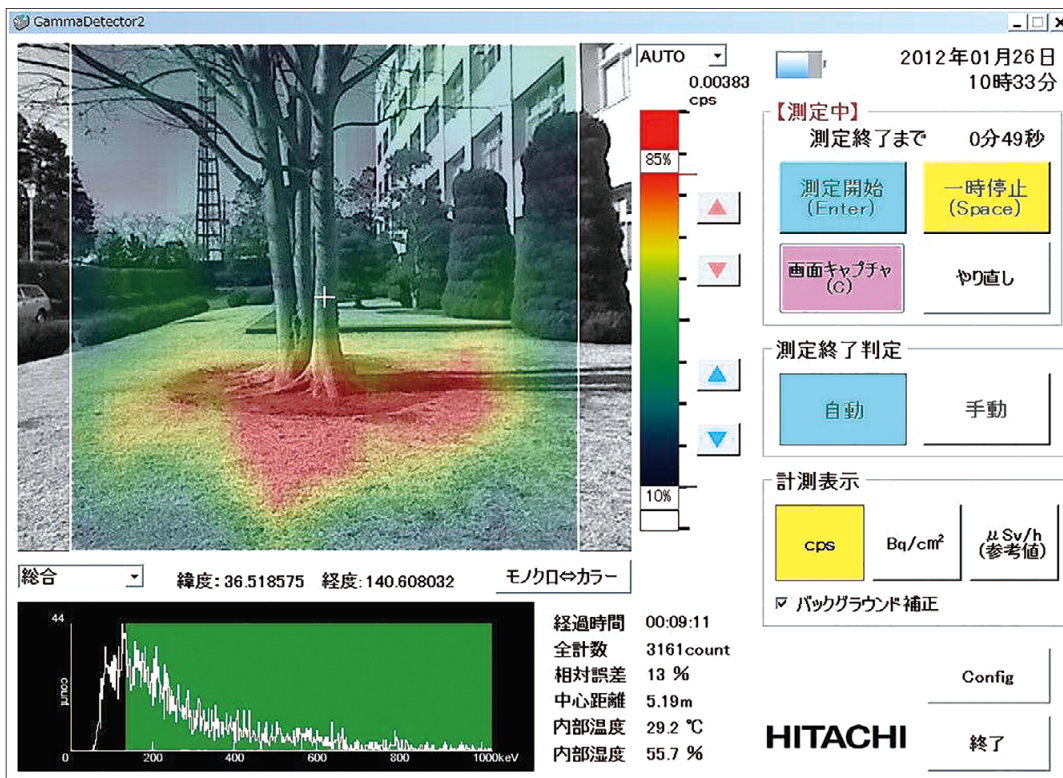


図2 ガンマカメラの測定画面



図3 パノラマ測定のセットアップ

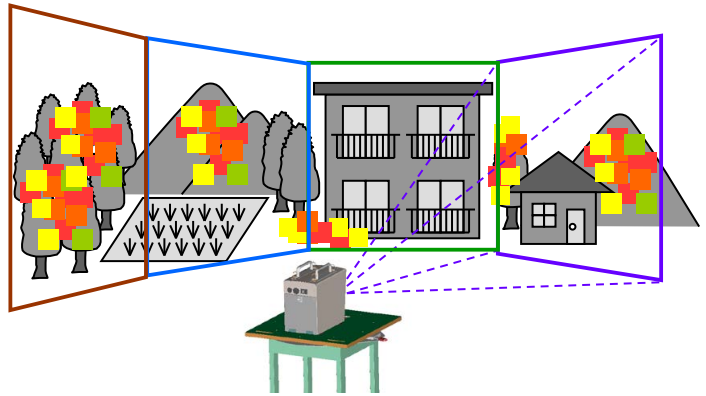


図4 パノラマ測定のイメージ

布画像は光学カメラで撮影した画像に線量分布を色分け表示して重ねたもので、赤いほど高線量率であることを示す。木の根元にホットスポットが存在することがわかる。専門知識が無い人でもガンマカメラを用いれば目に見えない汚染の状況を視覚的に確認することができ、福島県の自治体等におけるリスクコミュニケーション（地域住民への周知説明）などに活用されている<sup>5)</sup>。

(2) パノラマ測定機能の概要

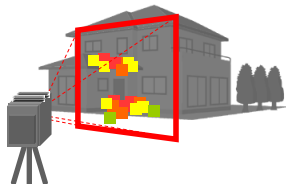
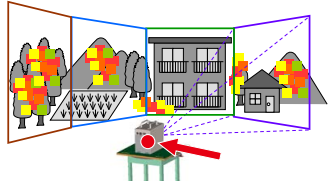
パノラマ測定機能は周囲 360 度から飛来する放射線量を測定することでホットスポットなどからの寄与を定量的に分析する機能であり、前述したガンマカメラを使用した機能である。

図3にパノラマ測定のセットアップを、図4に測定のイメージを示す。図3のようにガンマカメラを専用の回転台にのせて

測定の度に水平方向に一定角度回転させ、複数回の測定を行うことでパノラマ状の線量分布を取得する。

表1にガンマカメラのワンショット測定とパノラマ測定の比較を示す。ワンショット測定はホットスポット検出や放射線源分布の可視化などが目的であるが、パノラマ測定はガンマカメラ設置点の空間線量率の内訳を分析することを目的とする。空間線量率はその周り 4 π 方向から飛来する放射線の寄与の総和と考えられ、パノラマ測定では 4 π 方向の大部分を測定することで、ある地点の空間線量率がどの方向から飛来する放射線によるかを分析する。なお、ワンショット測定もパノラマ測定も放射線源分布の可視化が可能である。ワンショット測定ではガンマカメラの視野内の物体が測定対象になるが、パノラマ測定ではガンマカメラを置いた点が測定対象となる。サーベイメータを使った空間線量率の測定の考え方と同じであ

表1 パノラマ測定とワンショット測定の比較

	ワンショット測定	パノラマ測定
測定の目的	ホットスポット検出 放射線源分布の可視化 ガンマカメラの視野内	空間線量率の内訳分析 放射線源分布の可視化 ガンマカメラを置いた点
測定対象		
出力結果	・線量分布 ・ホットスポットの線量 単位：cps	・線量分布（パノラマ） ・空間線量率の寄与 単位：μSv/h

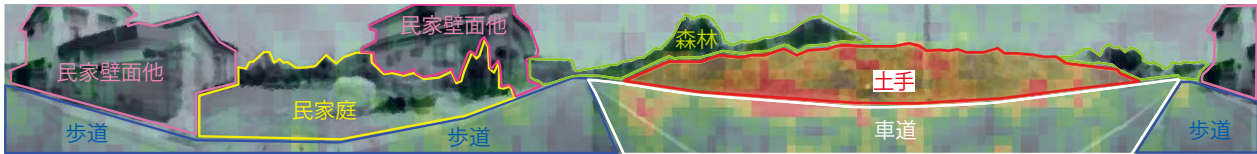


図5 パノラマ測定の出カイメージ

る。出力結果についてはワンショット測定の単位が cps であるのに対し、パノラマ測定は  $\mu\text{Sv/h}$  で出力するのでサーベイメータの測定結果と直接比較可能である。

パノラマ測定では図5のように任意の領域を指定し、その領域からの寄与を分析する。評価プログラムは指定領域内の計数率を計算し換算式に従い空間線量率への寄与を算出する。ガンマカメラの可視化システムに原理がシンプルなピンホール光学系を採用しているため、計数率から空間線量率に換算する際に複雑な演算が必要なく直線性がよい。また、サーベイメータと同様に散乱ガンマ線による空間線量率への寄与も含めて計算されるため、換算結果をサーベイメータの測定結果と直接比較できる。

パノラマ測定機能の適用シーンとしては、効率よい除染計画の作成や、除染後も期待通りに空間線量率が下がらない場所の要因分析などに有効と考えられる。前者について実証試験を行った結果を以下に説明する。

### 3. 実証試験方法

パノラマ測定を用いた除染計画作成支援手法の有効性を実証する目的で、試験方法の詳細を以下に説明する。

#### (1) 手順

実証試験は以下に示す手順で実施した。

- ① 除染前にパノラマ測定を実施し、空間線量率への寄与分析を行い寄与の大きい範囲を抽出する。
- ② 抽出範囲だけを選択的に除染する選択除染を実施する。

③ 残りの領域を網羅的に除染する全面除染を実施する。

④ 選択除染後と全面除染後の空間線量率、パノラマ測定による空間線量率への寄与を比較する。

また、各除染における除染作業者の作業員人工を比較する。

#### (2) 試験場所

実証試験は居住制限区域の民家で実施した。図6に実証試験対象民家と測定地点を示す。実証試験開始前の時点で実証試験対象民家及び周辺農地等は除染実施前であった。図7にガンマカメラの設置場所を示す。ガンマカメラは民家の玄関に近い庭の砂利の上に設置し、民家の建屋、花壇、砂利全体などが見渡せる位置を選んだ。除染前にガンマカメラ設置地点をサーベイメータで測定した空間線量率は  $4.57 \mu\text{Sv/h}$  であった。

#### (3) 測定方法

ガンマカメラを置いた点の周り4方向のできるだけ大部分をガンマカメラで測定できるように、図8のようにガンマカメラを上向き、下向きにチルトさせて、水平方向に40度ずつ回転させ、上下それぞれ9枚、合計18枚の測定画像を得た。パノラマ画像の生成は18枚の測定データを評価プログラムで自動合成した。ガンマカメラ位置の空間線量率はNaIサーベイメータで測定した。



図6 実証試験対象民家(左)と測定地点(右)



図7 測定地点の様子



測定の様子 (上向きチルト時)

#### 4. 実証試験結果と考察

##### (1) 除染前のパノラマ測定結果と領域定義

除染実施前に行ったパノラマ測定により、図9(上)のパノラマ画像を得た。地面全体が赤くなり放射性物質濃度が高い様子がよくわかる。これに対して図9(下)に示すように「砂利」、「花壇」、「家屋壁面」、「屋根」、「倉庫、門」、「空」の6つの領域定義を行った。

##### (2) 各領域の寄与分析

図10に評価プログラムによる各領域の寄与分析画面を示す。ガンマカメラ位置のサーベイメータ測定による空間線量率



測定の様子 (下向きチルト時)

図8 ガンマカメラのチルト

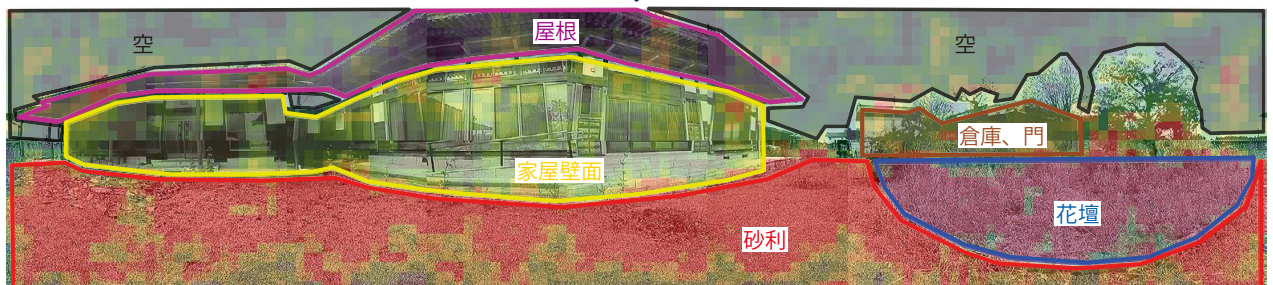
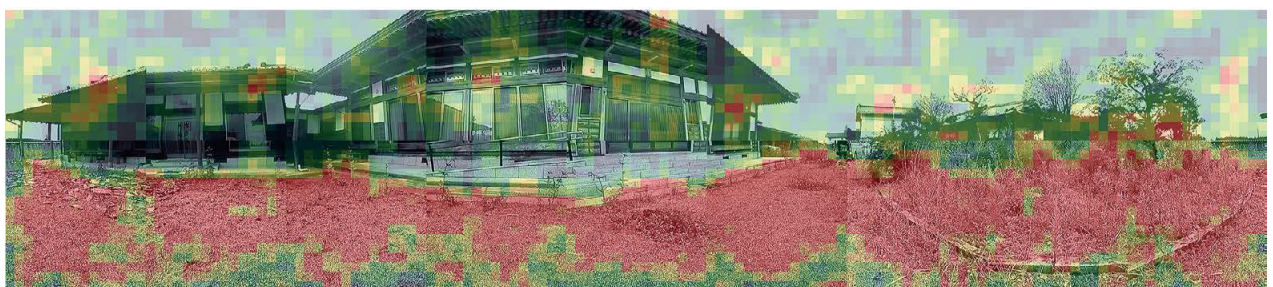


図9 除染前のパノラマ測定結果と領域定義



図 10 領域ごとの寄与分析

が  $4.57 \mu\text{Sv/h}$  であるのに対し、砂利の寄与が  $2.085 \mu\text{Sv/h}$ 、花壇の寄与が  $0.713 \mu\text{Sv/h}$ 、家屋壁面の寄与が  $0.531 \mu\text{Sv/h}$  であり、この3つの領域からの寄与だけで  $3.33 \mu\text{Sv/h}$  になり、ガンマカメラ位置の空間線量率の7割以上に相当することがわかった。屋根の寄与は  $0.165 \mu\text{Sv/h}$  と小さく風雨により流れ落ちていることが改めて確認された。屋根の除染の必要性は少ないと考えられる。

### (3) 選択除染範囲の決定

寄与の大きい砂利、花壇、家屋壁面について図 11 の黄色

い線で囲んだ範囲を、選択除染範囲の対象とした。一方、全面除染では残りの全範囲を対象範囲とした。なお、家屋の裏側などパノラマ画像に映らない範囲も全面除染の対象とした。

### (4) 除染作業

除染作業は除染箇所ごとに表 2 のとおりの内容を実施した。いずれも除染関係ガイドライン<sup>1)</sup>に示す標準仕様通りの作業内容である。砂利と花壇については表面から  $5 \text{ cm}$  除去の後、被覆をしたが、被覆作業は作業手順の都合上、選択除染時ではなく全面除染時に実施した。

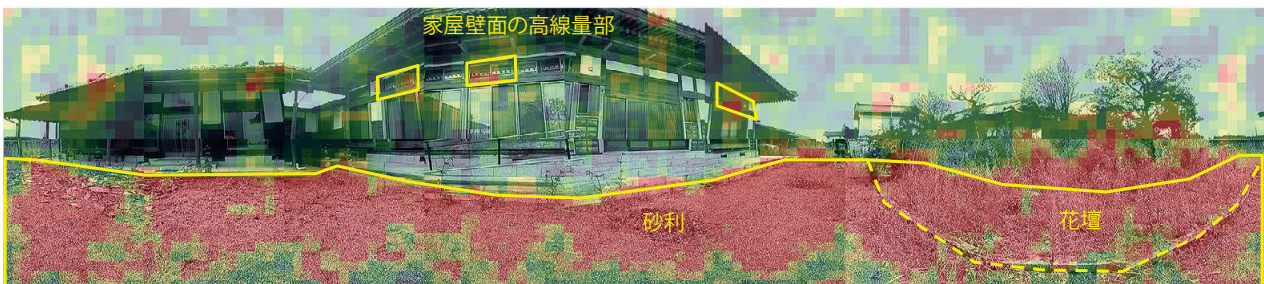


図 11 選択除染範囲

表2 除染作業の内容

除染箇所	除染作業の内容
砂利	表面から 5 cm 除去、砂利の被覆 等
花壇	除草、表面から 5 cm 庭土を削り取り、庭土の被覆 等
家屋壁面	拭き取り 等
屋根	堆積物の除去、拭き取り 等
雨樋	堆積物の除去、拭き取り、高圧水洗浄 等
舗装面	堆積物の除去、ブラシ洗浄、高圧水洗浄 等

(5) 除染前後のパノラマ画像比較

除染前後のパノラマ画像の比較を図12に示す。除染前に4.57  $\mu\text{Sv/h}$ であったガンマカメラ位置の空間線量率は、選択除染により1.45  $\mu\text{Sv/h}$ に低減し、除染前には全面的に赤かった砂利の領域が、選択除染により大きく改善した。全面除染後には空間線量率はさらに若干低減し0.94  $\mu\text{Sv/h}$ になり、選択除染後には赤い部分があった花壇からの線量も改善した。これは全面除染時に実施した被覆の効果と推測する。

(6) 除染前後の空間線量率への寄与比較

各領域の空間線量率への寄与を図13に示す。ガンマカメ

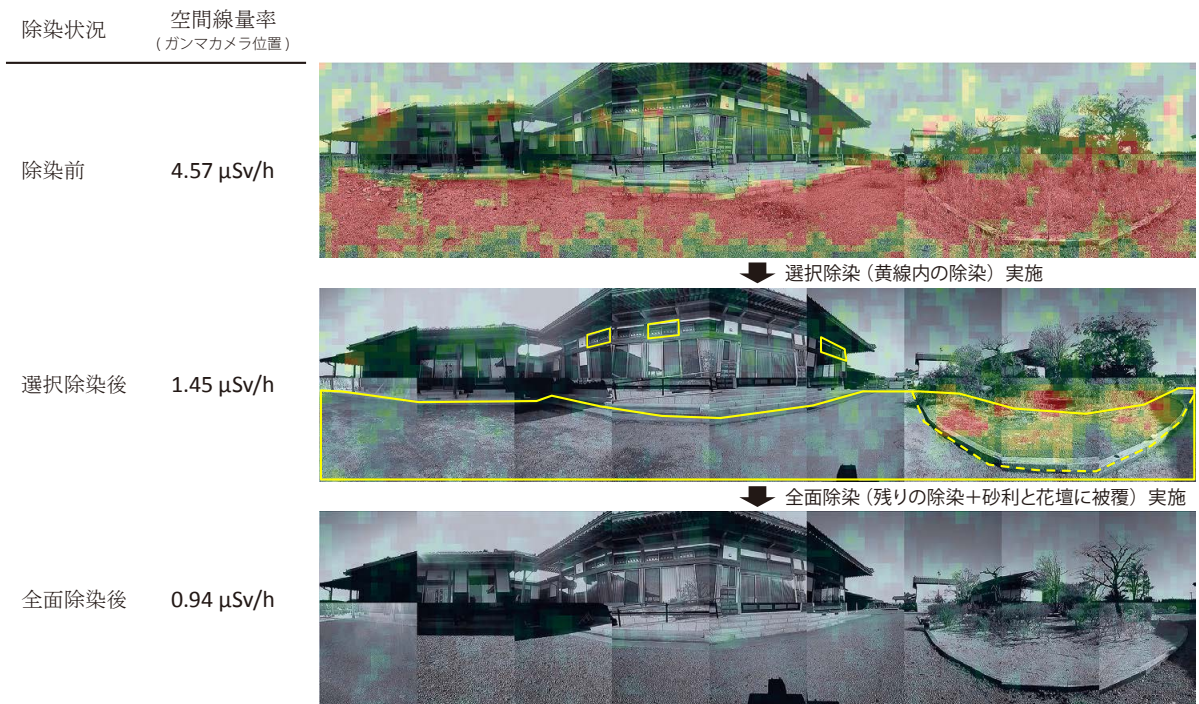


図12 除染前後のパノラマ画像比較

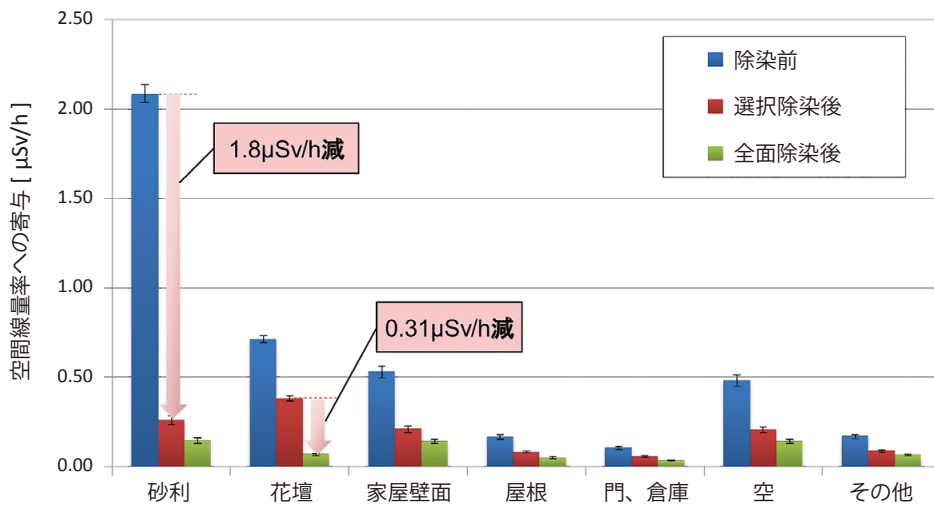


図13 除染前後の寄与比較

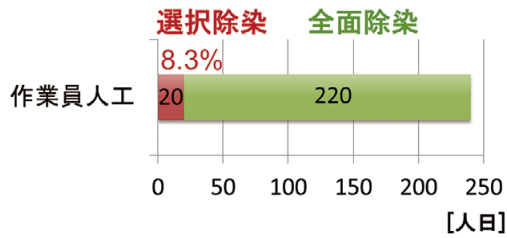


図 14 選択除染と全面除染の作業員人工比較

ラの統計誤差 ( $1\sigma$ ) をエラーバーで示した。選択除染により砂利の寄与が大きく低減したことがわかる。その改善効果は  $1.8\ \mu\text{Sv/h}$  分であった。花壇の寄与は全面除染により  $0.31\ \mu\text{Sv/h}$  低減しており、全面除染時に実施した被覆の効果と推測する。

### (7) 選択除染と全面除染の作業員人工比較

選択除染と全面除染の作業員人工の比較を図 14 に示す。選択除染の人工は 20 人日と全作業の 8.3% であった。全面除染は家屋の裏側なども除染しているため、単純な比較はできないが、選択除染だけを行えば作業員人工を低減できる可能性を示した。

## 5. 考察

### (1) パノラマ測定機能を用いた除染計画作成支援手法の有用性

実証試験の目的であったパノラマ測定機能を用いた除染計画作成支援手法の有用性について考察を行う。本来は全く同

じ 2 つの現場で一方を選択除染、一方を全面除染を行ってその比較を行うとよいが、そのような 2 つの現場は存在しない。そのため本試験では先に選択除染を行い、次にその残りの除染を実施することで全面除染とする方法により両者の比較を行った。

除染前に  $4.57\ \mu\text{Sv/h}$  であったガンマカメラ位置の空間線量率は選択除染をしたことで  $1.45\ \mu\text{Sv/h}$  にまで低減した。特に砂利の領域の寄与は  $1.8\ \mu\text{Sv/h}$  低減し大きな低減効果を示した。その後、全面除染後のガンマカメラ位置の空間線量率は  $0.94\ \mu\text{Sv/h}$  になり選択除染後と比べて  $0.51\ \mu\text{Sv/h}$  低減した。特に花壇の領域の寄与が  $0.31\ \mu\text{Sv/h}$  低減し低減分の大部分を占めた。花壇の寄与低減は全面除染時に行った花壇の被覆による効果が大いと考えられる。砂利、花壇の被覆作業は作業手順の都合上、全面除染時に行われたが、砂利、花壇は選択除染範囲として指定しているため本来は選択除染時に実施されるべきであり、砂利、花壇の被覆による線量低減効果は選択除染の低減効果として考えるべきものである。選択除染後の空間線量率は砂利、花壇の被覆を選択除染時に行えば  $1.45\ \mu\text{Sv/h}$  よりもさらに低減できたと期待でき、選択除染後と全面除染後の空間線量率の差分  $0.51\ \mu\text{Sv/h}$  はより小さなものになったと考えられる。この点を鑑みれば選択除染は実質的には全面除染と同程度の低減効果があったと考えられ、選択除染だけを行うことの有用性が確認できた。

また、全面的な除染が必須となる場合にも選択除染は総被ばく量低減に有効と期待できる。除染作業時間と空間線量率の関係を図 15 に概念的に示した。除染前には  $4.57\ \mu\text{Sv/h}$  であったガンマカメラ位置の空間線量率は選択除染により、 $1.45\ \mu\text{Sv/h}$  に低減し、全面除染の作業は線量が下がった中で行われたため被ばく線量の低減に寄与したと考えられる。図

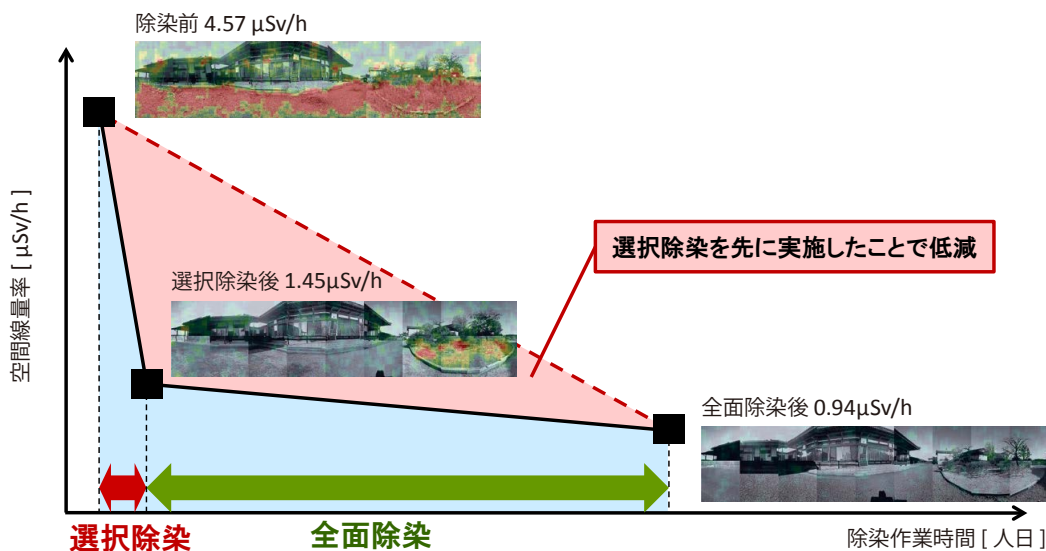


図 15 除染作業時間と空間線量率の関係(概念図)



15の水色の面積が今回の実証試験による被ばく線量に相当すると考えられ、選択除染を先に実施することでピンクの面積の分だけ被ばく線量を低減できる可能性がある。なお、屋根などでの本来は被ばく線量が低いと思われる作業も全面除染作業に含まれるが、選択除染を先に実施しないと選択除染エリアからの放射線による被ばく線量が増加する可能性があり、選択除染ではその影響を極力低減することができる。したがって、選択除染を先に実施することにより除染作業者の総被ばく線量を低減することが期待できる。

選択除染はパノラマ測定機能を用いて空間線量率への寄与が大きい領域を選択除染範囲として抽出することにより実施可能となる。上記のとおり選択除染の有用性が確認できたことにより、パノラマ測定機能を用いた除染計画作成支援手法の有用性が確認できたと考える。

(2) 散乱ガンマ線の影響

各領域の空間線量率への寄与を示した図13の「空」の領域の寄与に着目すると、除染前と選択除染後で空間線量率への寄与が低減した。空気中に浮遊する放射性物質はほとんど存在しないと考えられる上に、「空」の領域に対する除染は実施してはいない。「空」の領域の寄与低減は散乱ガンマ線(所謂「スカイシャイン」)による影響と考える。すなわち、砂利や

花壇などに存在する放射性物質から放射されたガンマ線が空気中の物質と散乱し、散乱したガンマ線は空の方向からガンマカメラに向かって入射する。砂利や花壇の放射性物質が除染により除去されると散乱ガンマ線の量も低減するため、「空」の領域の寄与が除染により低減したと考える。「空」の領域に限らず、「屋根」、「倉庫、門」、「その他」の領域でも同様の傾向が見られた。いずれも同じ原理と考える。

全面除染後の空間線量率は0.94 μSv/hであり図12に示す全面除染後のパノラマ画像には、放射性物質の取りこぼしは見られない。各領域の空間線量率への寄与を示した図13の全面除染後の値を比べると空の寄与が相対的に大きいことがわかる。全面除染後には民家の敷地内は全面的に除染が完了しているが、周囲の農地などは未除染の部分が多く残る。空の寄与はこういった周辺農地からの散乱ガンマ線の影響が大きいと推測する。そのため、全面除染後に民家周辺の除染を実施し、実施後にパノラマ測定を行い各領域からの寄与を分析した。除染前後の各領域の空間線量率寄与を表3に、全面除染後と民家周辺除染後の空間線量率寄与を図16に示す。表3において「全体」はガンマカメラ位置でサーベイメータを用いて測定した空間線量率である。民家周辺除染後の空間線量率は0.55 μSv/hに低減した。全面除染後と民家周辺除染後の間に約300日経過しており物理半減期による線量の減

表3 除染前後の各領域の空間線量率寄与(単位: μSv/h)

	砂利	花壇	家屋壁面	屋根	門、倉庫	空	その他	視野外	全体
除染前	2.085	0.713	0.531	0.165	0.106	0.481	0.169	0.319	4.570
選択除染後	0.259	0.382	0.210	0.082	0.057	0.206	0.088	0.165	1.450
全面除染後	0.145	0.068	0.143	0.050	0.034	0.141	0.064	0.294	0.940
民家周辺除染後	0.122	0.058	0.083	0.028	0.017	0.081	0.020	0.138	0.550
低減率 (民家周辺除染後 /全面除染後)-100%	-16%	-15%	-42%	-44%	-50%	-43%	-69%	-53%	-41%

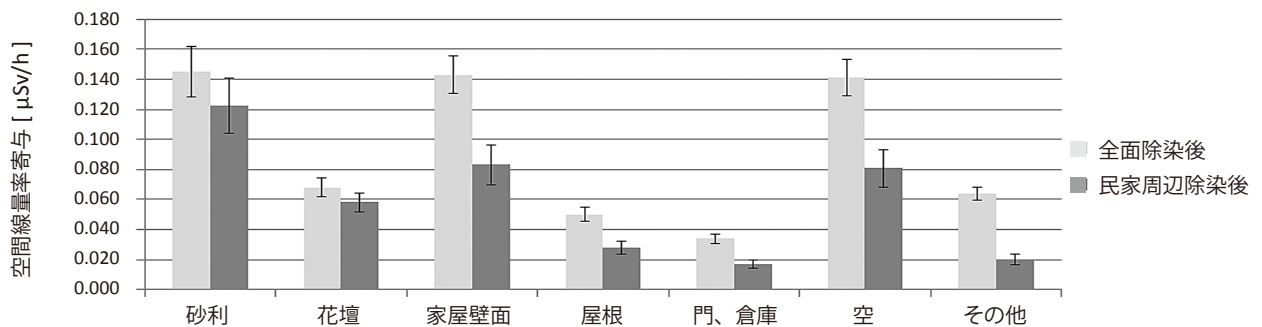


図16 全面除染後と民家周辺除染後の空間線量率寄与の比較

衰効果を考慮する必要がある。Cs-137とCs-134の半減期を考慮し、原子力発電所の事故当日のCs-137とCs-134の放射能が等量であるという仮定を踏まえると、全面除染後と民家周辺除染後の物理半減期による低減効果は-13.5%であった。一方、実際の低減率は-41%であり物理半減期による低減効果よりも大きく低減した。

領域ごとに見ると「その他」の領域が-69%と大きな低減効果を示した。「その他」の領域には塀などが含まれ、塀の先の農地から飛来する放射線量が農地の除染により低減されたためと推測する。次に、「家屋壁面」、「屋根」、「門、倉庫」、「空」の領域について-40～-50%程度の低減があった。これは散乱ガンマ線の影響が周辺農地等の除染により低減したと推測する。一方、「砂利」、「花壇」の領域については低減率が15%程度と、物理半減期による低減効果のみであった。砂利や花壇は農地とほぼ同じ高度であり、農地から放射された放射線は砂利や花壇には到達しづらく、砂利面や花壇面での散乱ガンマ線は少ないと考えられる。

本実証試験により散乱ガンマ線の影響の除染前後変化について知見を得ることができた。

## 6. まとめ

放射性物質の分布状況を可視化できるガンマカメラを用いたパノラマ測定機能を活用し、寄与の大きい領域を選択除染範囲として適切に抽出できることを確認できた。寄与の大きい領域だけを除染した選択除染は、全面除染と同程度の空間線量率低減効果を示した。また、選択除染を先に実施することで全面除染時の被ばく線量を低減することが期待できる。実証試験によりパノラマ測定機能を用いた除染計画作成支援手法の有用性が確認できたと判断する。

加えて、散乱ガンマ線の影響について定量的なデータが得られその一端を具体的に把握できたことも大きな成果と考える。散乱ガンマ線の空間線量率への影響は決して小さくなく、この影響も考慮することによりさらに効率的な除染計画を作成することが期待できる。

今後は、ガンマカメラを除染活動の課題を解決するためのソリューション機器として活用することができるよう測定実績を積み上げていくことが重要であると考え。除染用途への活用により、被災地域の復旧・復興に貢献できれば幸いである。

## 参 考 文 献

1) 環境省、除染関係ガイドライン第2版(2013)

- 2) 文部科学省、日本原子力研究開発機構、放射線測定に関するガイドライン(2011)
- 3) I. Takahashi, T. Ishitsu, H. Kawauchi, Juhyun Yu, T. Seino, I. Fukasaku, Y. Sunaga, S. Inoue, N. Yamada: "Development of edge-on type CdTe detector module for gamma camera," Conference Record of 2010 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2000-2003 (2011)
- 4) 田所 孝広: 環境放射線分布測定用ガンマカメラの開発、放射化学ニュース、第26号、36-42(2012)
- 5) 吉田 晃、茂呂 栄治、高橋 勲: ガンマカメラの開発と除染関連用途への適用検討、デコミッションング技法 特別号、50-54(2013)
- 6) 高橋 勲、山田 直之、森 久起、泉田 龍男: 放射線測定装置及び放射線測定方法、特開 2014-062797(2014)
- 7) 森 久起、君島 淳、新宮 康之: ガンマカメラを用いた除染計画作成支援手法の開発と実証、環境放射能除染研究発表会要旨集、2, 7(2013)
- 8) T. Takahashi, B. Paul, K. Hirose, C. Matsumoto, R. Ohno, T. Ozaki, K. Mori, Y. Tomita: "High-resolution Schottky CdTe Detectors for Hard X-ray and Gamma-ray Observations," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, A436, 111-119(2000)
- 9) E. Caroli, J. B. Stephen, G. Di Cocco, L. Natalucci, A. Spizzichino: "Coded aperture imaging in X- and gamma-ray astronomy," *Space Sci. Rev.*, **45**, 349-403(1987)
- 10) V. Schoenfelder, H. Aarts, K. Bennett, H. de Boer, J. Clear, W. Collmar: "Instrument description and performance of the Imaging Gamma-Ray Telescope COMPTEL aboard the Compton Gamma-Ray Observatory," *Astrophys. J. Suppl. S.*, **86**, 657-692(1993)
- 11) T. Takahashi, K. Makishima, T. Kamae, "Future Hard X-ray and Gamma-ray Observations," *New Century of X-ray Astronomy, Astron. Soc. Pacific*, **251**, 210-213(2001)

2014年10月30日受付

2014年11月17日受理

## 和 文 要 約

福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性物質の除染を効果的・効率的に行うために、ガンマカメラを用いた「パノラマ測定機能」を開発した。本機能を使って除染計画を立案することで効率的な除染を行うことが期待できる。この有用性を確認するための実証試験を実施した。除染前にパノラマ測定を実施し、空間線量率への寄与の大きい領域を抽出した。抽出範囲

だけを除染した選択除染では、少ない作業員人工でガンマカメラ位置の空間線量率を全面除染後と同等程度に低減しており、パノラマ測定を用いた除染計画により効率的に除染できることが確認できた。

