

除染事業への取組み ―南相馬市生活圏除染事業―

Efforts to Decontamination Business in Minamisoma City

吉田 真悟 Shingo Yoshida*¹ 水谷 敦司 Atsushi Mizutani*²
乗物 丈巳 Takemi Norimono*³ 村谷 優 Masaru Muratani*⁴

梗概

竹中工務店・竹中土木の除染事業への取組みとして、南相馬市除染事業での実施内容を開発技術と合わせて紹介する。大規模な除染作業を効率的に実施するため、関連業務を含めた除染スキームを構築し、事業運営にあたっている。GISと連動した放射線モニタリング情報記録システム「ラジ・クリーンM」、個人被ばく線量管理システム「ラジ・クリーンP」、除去物追跡管理システム「ラジ・クリーンT」を新たに開発し、業務に活用するとともに、小型路面高圧洗浄車を国内に初めて導入し運用している。放射線量の低減効果は、住宅で平均46%となっている。

キーワード：除染，南相馬市，放射線，放射能，ラジ・クリーンシステム

Summary

What TAKENAKA group is carried out in Minamisoma decontamination work and the technologies have developed were introduced. In order to operate the large-scale decontamination work more efficiently, the scheme of decontamination business including related work was constructed. "Radi-clean system", the systems which manages the monitoring data of radiation, the individual dose of radioactivity and the information of radioactive waste were developed and applied. The small road washer using high-pressure was introduced into Japan for the first time. Radiation was reduced an average of 46% at a residence.

Keywords: decontamination, minamisoma city, radiation, radioactive, radi-clean system

1 はじめに

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故により、環境中に放射性物質が放出され、今なお福島県の多くの住民の方が避難生活を強いられている状況にある。竹中工務店・竹中土木では、事故直後から福島第一原子力発電所の収束作業に従事するとともに、南相馬市の旧警戒区域・旧計画的避難区域を除く地域の除染事業を実施している。

竹中技術研究所は、関東のホットスポット地域（汚染状況重点調査地域）に所在しており、事故直後から建物周辺の除染方法、排水処理方法、土壌洗浄方法等の基盤技術の調査・研究を進めるとともに^{1)~9)}、南相馬市の生活圏除染事業の立上げに参画し、除染事業の仕組み作りを支援してきた。本報告では、竹中工務店・竹中土木の除染事業への取組みとして、南相馬市の生活圏除染事業での実施内容を紹介する。

2 南相馬市生活圏除染事業

2.1 南相馬市除染計画

南相馬市は、平成18年に鹿島町・原町市・小高町の3市町が合併して誕生した、福島第一原子力発電所の北側約10~40kmに位置する市である。福島第一原子力発電所事故により、20km圏内の旧小高町地区全域が「警戒区域」、旧原町市地区の西側が「計画的避難区域」、線量の高い市内約150戸の世帯が「特定避難勧奨地点」にそれぞれ指定されている。

*1 技術研究所 研究員 Researcher, Research & Development Institute

*2 環境エンジニアリング本部 副部長 Senior Manager, Environmental Engineering Department

*3 原子力火力本部 課長 Manager, Power Facilities, Engineering Department

*4 ㈱竹中土木 東北支店 南相馬市除染事業作業所 Minamisoma City Decontamination Project, Tohoku Office, Takenaka Doboku

2011年11月、南相馬市は、一刻も早く放射線量を下げ放射性物質からの不安を取り除くことを目的として、市内全域(国が除染を担当する旧警戒区域・旧計画的避難区域を除く)の除染計画を公表した。市の西側で放射線量が高く、東側(海側)に向かって放射線量が低い分布となっていることを考慮して、線量の高い西側の地域から順に仮置場を確保し、生活圏の除染を先行して実施する計画となっている^{10), 11)}。南相馬市生活圏除染事業の概要をFig. 1に示す。市内全域の住宅等：約21,000敷地(約1,400万m²)、道路(市道・私道)：約1,000km、森林(母屋から20mまで)：約180万m²を対象として、竹中工務店・竹中土木・安藤ハザマ・千代田テクノ共同企業体に業務を委託し、除染作業及び除染により発生する除去土壌等(以下、除去物とする)の運搬・仮置場造成・保管業務等を実施している。

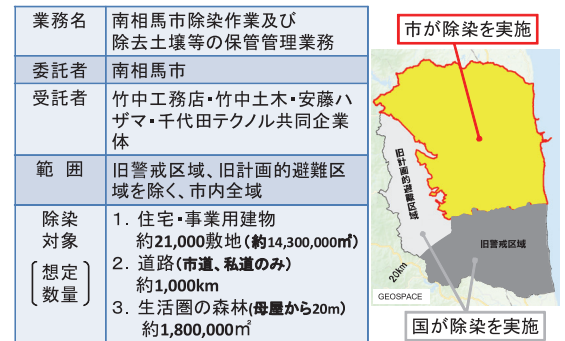


Fig. 1 南相馬市生活圏除染事業 概要
The outline of decontamination business at life space

2.2 除染作業方法

南相馬市では、前述したように西側では線量が高いものの、東側(海側)は追加被ばく線量が年間1mSv以下となっている地区もあり、地区ごとに線量に応じた除染作業方法で実施される計画となっている。ここでは既に除染が実施されている西側の線量の高い地域における主な除染作業方法を紹介する。住宅の除染作業方法をFig. 2に示す。住宅では、雨樋の清掃・洗浄、屋根の高圧洗浄、屋敷林・庭木の常緑樹高木の枝打ち、芝生のはぎ取り・張替え、庭の除草・土／砂利の表層はぎ取り・埋め戻し、舗装の表層研削/高圧洗浄、側溝の汚泥除去・高圧洗浄が主な実施内容となっている。アスファルト道路では、路面の高圧洗浄、側溝の汚泥除去・高圧洗浄、未舗装道路では、表層碎石の除去・埋め戻し、森林では、住宅の母屋から20m以内の範囲で、常緑樹高木の枝打ちと下草・落葉・堆積有機物の除去を実施している。

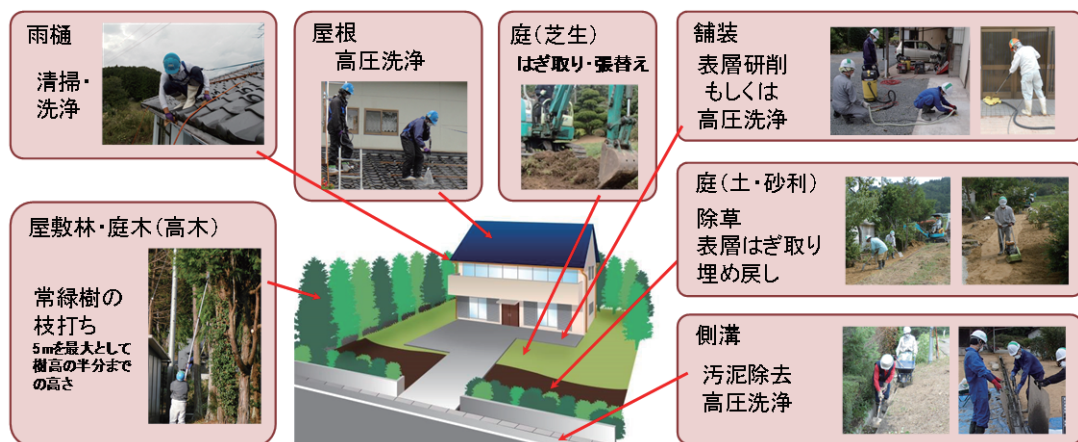


Fig. 2 住宅の除染作業方法(西側 線量の高い地区)
Method of decontamination work at a residence in the area of high air dose rate

2.3 放射線モニタリング方法

住宅の放射線モニタリング方法をFig. 3に示す。除染を実施する前後のタイミングにおいて、敷地の4隅付近と玄関前1点の5点以上で、NaIシンチレーション式サーベイメータを用いて空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)を測定高さ1m(小学生以下の児童がいる場合は高さ50cm)で測定している。加えて、除染効果を把握するため、屋根・雨樋・庭(土)・庭(芝生)などの除染対象ごとに1点、測定部を10mm厚の鉛コリメータで覆ったGMサーベイメータを用いて表面計数率(cpm)を測定している。道路では、車道の高さ1mの空間線量率を100mごと、歩道の空間線量率を20mごとに測定し、車道・歩道・路肩・側溝の表

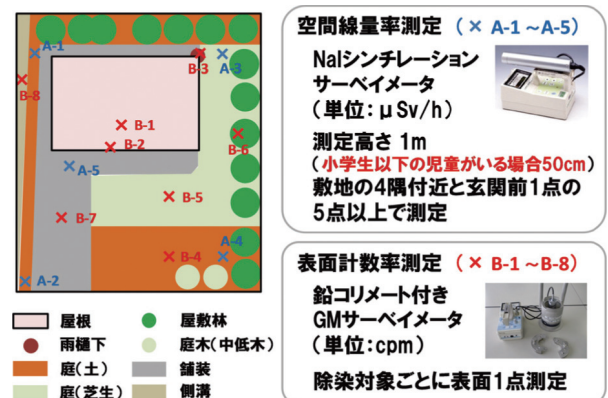


Fig. 3 放射線モニタリング方法
Method of a radiation monitoring at a residence

面計数率を100mごと（住宅が隣接している場合は20mごと）に測定している。森林では、林縁部に沿って50mごとに高さ1mの空間線量率と表面計数率を測定している。

3 除染事業スキームと実施内容

3.1 除染事業スキーム

除染事業における主な業務はもちろん「除染作業」であるが、大規模な除染作業を効率的に実施するためには、関連業務も含めて体系的に事業を運営していく必要がある。南相馬市生活圏除染事業における除染事業スキームをFig. 4に示す。

除染事業では、まず除染対象となる住宅等と周辺の土地の関係人を把握し、除染に関する同意取得を行い、現地調査・モニタリングを行った上で、住宅ごとの除染計画を立て、住宅等の所有者に送付する。次に除染作業を実施し、除染後のモニタリングを行い、住宅ごとに報告書を作成・送付して、一軒の住宅の除染が完了する。除染作業に伴って発生した除去物は、耐候性大型土のうに詰めて仮置場に運搬し、草木類は減容化を行い、保管ヤードに格納、遮へいのための覆土等を行い、仮置場に保管・管理される。共通の付随業務としては、作業員の放射線管理やGIS（地理情報システム）を用いた住宅ごとの情報管理、住民との個別の調整業務を行う専門グループである「市民窓口センター」の業務がある。以下、各プロセスにおける具体的な実施内容を紹介していく。

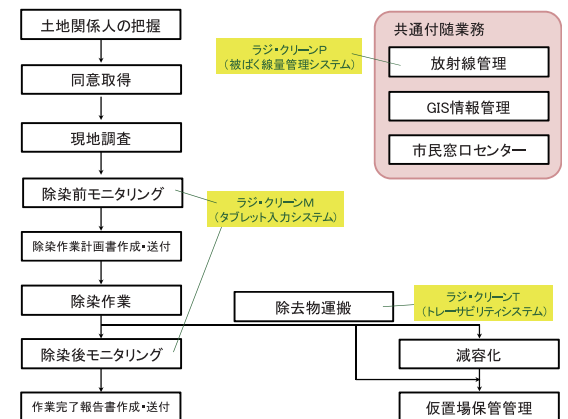


Fig. 4 除染事業スキーム
Scheme of decontamination business

3.2 同意取得

除染は個人の財産に行政からの委託を受けて手を加える行為であることから、実施にあたっては除染対象となる土地・建物の所有者から同意取得を行っている。土地情報を集約したGIS（3.10節に詳述する）を用いて、除染対象となる土地・建物の所有者等を把握し、「除染同意書」「アンケート」「除染パンフレット」を郵送する。「除染同意書」には、除染対象となる土地の登記概要と範囲が記載されており、除染に同意する旨を署名してもらう書面である。「アンケート」は、除染方法等に関する意向を調査する目的で住民自身に記載をお願いするもので、除染方法や埋め戻し材の種類、除染履歴や家屋損傷の有無等について、住宅の場合で30近くの項目について記載をお願いしている。「除染パンフレット」は、除染当日までのスケジュール、除染の方法やお願い事項等について、わかりやすく記載した説明資料である。これら資料の送付に加えて、地区ごとに「住民説明会」を開催し、除染の趣旨とお願い事項を丁寧に説明し、同意取得を行っている。地区ごとに指定した期日までに同意を得られない場合、個別に再度ご説明とお願いをして、同意が得られるよう努力している。2013年6月末現在の同意取得率は98%以上であり、ほとんどの住民に理解と協力を頂いている状況である。

3.3 現地調査

同意取得を終えた除染対象の土地・建物について、専属の調査員が現地を訪問し、地図と航空写真、土地・家屋等調査票を用いて、①除染範囲の確認、②除染工法の適用可否、③破損の有無、④仮設計画、⑤片付け必要箇所などの項目について詳しく調査を行う。調査に基づいて、除染範囲と除染方法を記載した除染計画書を作成し、南相馬市の担当者と再度現地を確認し、住民に送付している。除染計画書の例をFig. 5に示す。除染対象と

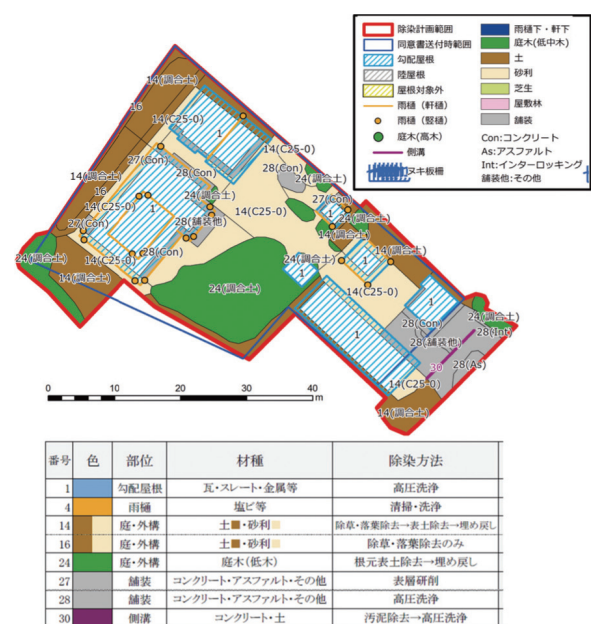


Fig. 5 除染計画書の例
Example of the plan document of decontamination work

なる土地の利用用途区分や筆界から、事前に除染範囲をおおよそ想定しているが、特に農村部において、土地の利用区分と現況が一致しない場合も多く、除染対象の面積は、調査前に比べて1.5倍程度に拡大している。

3.4 放射線モニタリング

除染作業の前後のタイミングで、2.3節で述べた方法にて放射線モニタリングを実施する。実施にあたっては、当社で開発したモニタリング情報記録システム「ラジ・クリーンM」(M: Monitoring)を活用している。ラジ・クリーンMの概要をFig. 6に示す。ラジ・クリーンMは、タブレット端末から空間線量率や表面計数率の測定データを入力でき、ホストPCのGISと連動させてデータの共有を行えるシステムである。タブレット端末では地図と航空写真が切り替えて表示できるようになっており、地図もしくは航空写真上で位置を指定することで、測定データ入力画面が立ち上がり、測定データと位置情報が紐付けられる。今回の除染事業で扱う情報はGISでの管理を行っているが(3.10節)、タブレット端末をホストPCに繋げるだけで、GISに測定データが自動的に回収されるようになっており、モニタリング情報を効率的に記録・管理することができる。ラジ・クリーンMでは、GPS(全地球測位システム)を活用して位置情報を記録することも可能であるが、①安価なGPSでは実用に耐えうる精度の確保が難しいこと、②建物や高木の側では上空視界の確保が難しくGPSが安定して作動しないこと、③高価なGPSを用いれば①②の問題は解消されるが、高額になること等から、現状では画面上での位置指定方式を採用している。なお、「除染後」の測定時は、タブレット端末画面の地図もしくは航空写真上に「除染前」の測定位置が表示される。



Fig. 6 ラジ・クリーンMの概要
The outline of "Radi-Clean M"

3.5 除染作業

除染計画書に記載した内容に従い、線量に応じた除染作業方法(2.2節)にて除染作業を実施する。ここでは、研究の成果を踏まえた独自の取組みについて紹介する。

3.5.1 高压洗浄

高压洗浄の主な施工条件には「吐出圧/水量」「ノズル種類」「ノズル-洗浄面距離」があり、これらの組合せや高压洗浄機特性によって「洗浄面圧力」が決まり、除染効果は洗浄面圧力に依存する。施工条件と洗浄面圧力の概念図をFig. 7に、洗浄面圧力と除染効果の関係をFig. 8に示す^{3), 4)}。高压洗浄による除染効果の安定化と屋根材損傷の防止のため、本事業で使用する高压洗浄機については、主な条件での洗浄面圧力測定を実施して特性を把握し、以下のような施工条件で実施している。

屋根：一定の洗浄面圧力が得られ、表面強度が弱い屋根材(いぶし瓦、素焼瓦等)の損傷可能性が小さい条件

Ex.) 精和産業(株)製高压洗浄機JC-1516GO 吐出圧12MPa, 扇形40°ノズル, ノズル-洗浄面距離30cm

舗装・側溝等：一定以上の洗浄面圧力が得られ、なるべく洗浄面圧力が高くなる条件

Ex.) ケルヒャー(株)製高压洗浄機HD5/14B 吐出圧14MPa, サイクロンジェットノズル, ノズル-洗浄面距離30cm以下

3.5.2 小型路面高压洗浄車

アスファルト道路のうち、車道の除染は小型路面高压洗浄車「サイクロンCY5000-J」を活用して実施している(Photo 1)。本機器は、これまで海外の空港滑走路等の洗浄に用いられてきたもので、当グループにて事業性の検討を行い、日本に初めて導入し、改良を加えたものである。コンクリー

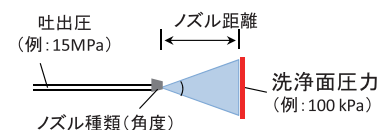


Fig. 7 施工条件と洗浄面圧力 概念図
Conceptual Diagram of construction condition and surface pressure

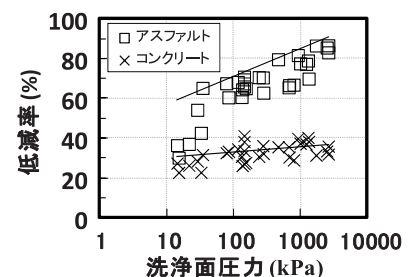


Fig. 8 洗浄面圧力と除染効果の関係
Relation between surface pressure and the effect of decontamination



Photo 1 小型路面高压洗浄車
Small high-pressure surface cleaning machine

トの洗浄に適した形で設計されているため、アスファルト道路での適用にあたり導入当初は若干トラブルがあり、除染に適した改良を実施している。南相馬市生活圏除染事業にて除染対象となっているアスファルト道路は、狭く細い道路も含んでいるが、車幅が1.4mと非常にコンパクトなため、ほとんど全てのアスファルト道路で適用できている。

3.6 放射線管理

除染作業を実施する作業員及び管理業務を行う職員を対象として、除染作業の従業者が遵守すべき法令である除染電離則及びそのガイドラインに準拠した放射線管理を実施している。特に、被ばく線量の管理にあたっては、当社で開発した個人被ばく線量管理システム「ラジ・クリーンP」(P: Personal)を活用している。ラジ・クリーンPの概要をFig. 9に示す。ラジ・クリーンPは、作業員のIDカードと個人線量計に付けられたQRコードにより、作業員情報と個人線量を紐付けて集計・管理を行うシステムである。作業員は、朝礼時に本システムでの入場処理と個人線量計の着用を実施し、帰宅前に退場処理と個人線量計の返却を行う。これにより、各作業員の勤務履歴と1日の被ばく線量が記録され、1ヶ月ごとの集計値が各協力会社に通じられる。除染電離則及び除染電離則ガイドラインでは、半年ごとの健康診断(一般及び電離)の受診が義務付けられているが、作業員のIDカード発行時に、本システムに健康診断受信日が登録され、要件を満たさないものは入場できない仕組みとなっており、法令遵守が徹底されている。

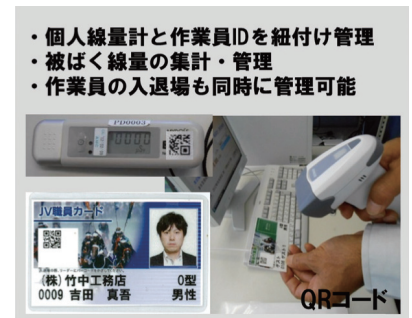


Fig. 9 ラジ・クリーンPの概要
The outline of "Radi-Clean P"

3.7 除去物等の運搬

除染作業に伴い発生した除去物と洗浄排水は、除染作業場所で分別し、所定の方法で仮置場に運搬する。南相馬市生活圏除染事業における除去物等の流れをFig. 10に示す。除染作業場所で発生する除去物等は、①草木、②土、③砂利、④汚泥・塵埃、⑤コンクリート・アスファルトガラ、⑥その他不燃物、⑦可燃物、⑧洗浄排水の8種類に分別される。さらに草木は、(a) 細枝(径5cm以下)・笹竹(径2cm以下)など、(b) 草・太枝(径5cm超)・落葉・堆積有機物などに分けられる。草木のうち(a)は、パッカー車で圧縮減容しながら仮置場に運搬され、破碎処理にてチップ化され、耐候性大型土のうに梱包されて、仮置場保管ヤードに格納される。草木のうち(b)と②～⑦の除去物は、除染作業場所で、耐候性大型土のうに直接梱包され、ユニック車等で仮置場に運搬されて、仮置場保管ヤードに格納される。一方、高圧洗浄等により発生する⑧洗浄排水は、各除染作業場所で、一時的に1m³の排水タンクに溜められた後、バキューム車により回収され、仮置場に運搬される。排水は仮置場の排水処理装置にて、後述する水処理を実施し(3.8節)、処理水は放流される。排水処理により生じる濃縮した放射性セシウムを含む汚泥は、脱水処理を行った後、耐候性大型土のうに格納し、保管ヤードに格納される。

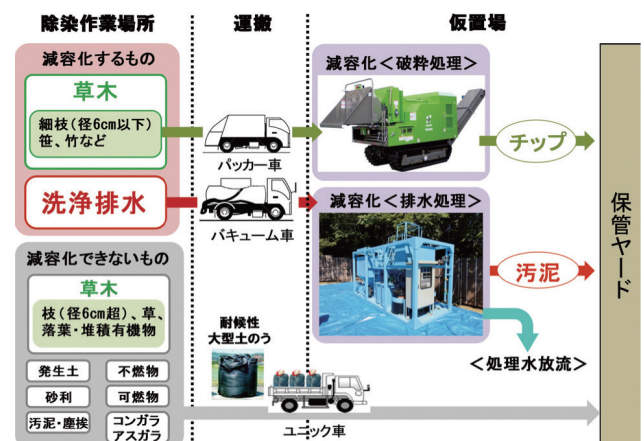


Fig. 10 除去物等の流れ
Flow chart of the radiation waste

除去物の運搬にあたっては、当社で開発した除去物追跡管理システム「ラジ・クリーンT」(T: Traceability)を活用している。ラジ・クリーンTの概要をFig. 11に示す。ラジ・クリーンTは、物流等で荷物の追跡管理に用いられるバーコードシステムを除去物の追跡管理用に応用したものである。除染作業の作業員は、除染作業現場で分別・梱包した耐候性大型土のうにQRコード付きのIDタグを取り付ける。除去物をユニック車で運搬する運転手は、除去物積込の際に所定のQRコードリーダーを用いてIDタグのQR



Fig. 11 ラジ・クリーンTの概要
The outline of "Radi-clean T"

コードを必ず読み込む。次に、仮置場での荷降ろし時にも同じくIDタグのQRコードを読み込む。最後に、仮置場保管ヤードに除去物を格納する保管作業員は、同様の操作を実施する。QRコードリーダーは、QRコードを読み取った際にGPSにより読み取り位置情報を記録しており、この情報をホストPCに集めて照合・管理することで、全ての除去物の状態（積込、荷降、格納）と位置情報、紛失の有無等を確認していく仕組みとなっている。耐候性大型土のうに取付けるIDタグの色は、前述した「7種類」の除去物の分別と対応させてあり、QRコードにも分別情報が埋め込まれており、除去物の量と種類を適宜集計できるようになっている。

3.8 排水処理

高压洗浄等により発生する洗浄排水は、各除染作業場所で回収して一時的に排水タンクに溜め、バキューム車により回収・運搬され、仮置場の排水処理装置にて浄化処理される。排水処理の概要をFig. 12に示す。排水は、バキューム車から排水処理装置の原水槽に移され、必要に応じて炭酸ガスもしくは苛性ソーダにてpH中和処理される。次に、2種類の凝集沈殿剤（PAC、高分子凝集剤）を添加の上、攪拌混合され、水中の濁り成分が凝集沈降させられることにより、上澄みと汚泥に分離する。この上澄み液を、さらに25 μ m、5 μ mの糸巻きフィルターでろ過し、最後にゼオライト吸着塔に通水して、放流槽に溜める。放流槽では、10m³ごとに放射能濃度測定が実施され、南相馬市との取り決め基準濃度（放射性セシウム合計50Bq/L）以下であれば処理水が放流される。

これまでに本事業で放流した処理水の放射能濃度実績をFig. 13に示す。処理水の放射能濃度平均値は、放射性セシウム合計で2.3Bq/kgである。飲料水の放射能濃度基準値が10Bq/Lであり、処理水の放射能濃度は、なるべく低い方が望ましいとの考えから、10Bq/kgを自主管理値として排水処理装置の運用を実施している。

3.9 仮置場

本事業の仮置場は半地下型もしくは地上型の構造となっている。主要な資材等の仕様をFig. 14に示す。地下水位・土質等の調査を行い決定した深さまで掘削した後、保護マット（t=10mm）敷設の上、下部遮水シートとしてベントナイト系の遮水シート（t=6.4mm）を敷設している。施工中の雨水や浸出水等を回収する目的で集水管等を施工した後、シート保護の目的で400mm程度の敷砂を行い、その上に耐候性大型土のうを格納している。格納状況をPhoto 2に示す。耐候性大型土のうの標準格納段数は半地下型6段、地上型3段で、下部を「土」「砂利」「汚泥・塵埃」等の不燃物、上部を「草木」等の可燃物としている。格納は下から順に1段ずつ行い、形状安定性を保つため1段ごとに保管ヤード掘削時に発生した掘削土等を用いて間詰めを行っている。最後の1段を格納する前に、草木等が腐敗することによって発生するメタン等の可燃性ガスを抜くための通気管を1,000m²に1箇所以上、保管ヤードをキャッピングした後に内部温度とガス濃度を計測するためのモニタリング管を100m²に1箇所程度設置する。最後の1段を格納し、掘削土等で30cm以上の遮へい土を覆土する。内部温度計測のための熱電対とガスサンプリングのためのガ

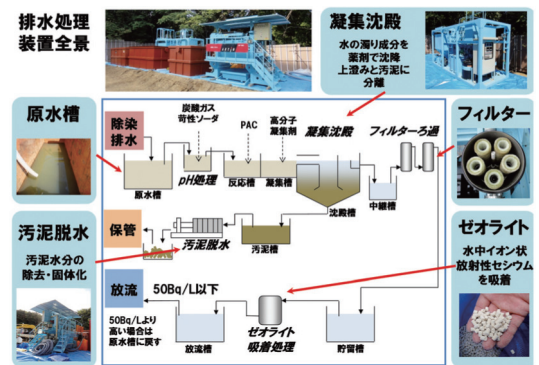


Fig. 12 排水処理 概要
Flow chart of the effluent processing

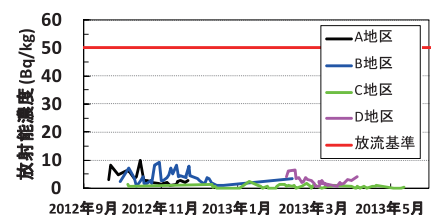


Fig. 13 処理水の放射能濃度実績
Radioactive concentration of treat water

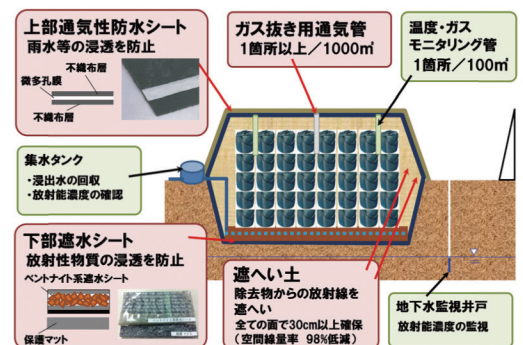


Fig. 14 仮置場仕様概要
The specification of storage yard

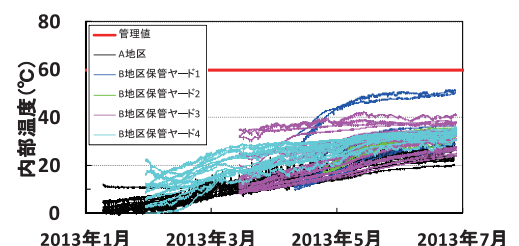


Fig. 15 温度モニタリング結果
The result of temperature monitoring

スチューブの配線を行い、最後に上部の通気性防水シートを施工して、格納作業が完了する。内部で発生したメタン等の可燃性ガスは、ガス抜き用通気管を通じて、耐候性大型土のう近傍から通気性防水シートの直下まで移動し、さらに通気性防水シート（ $t=4.5\text{mm}$ ）を通過して大気中に揮散される仕組みとなっており、当グループの特許構造となっている（特願2013-034460）。2013年6月末までの内部温度のモニタリング結果をFig. 15に示す。夏に向かって温度がやや上昇しているものの、現状では、管理値である 60°C 以下の温度を保持しており、無煙火災の要因とされる好気性発酵や酸化反応が起こっている様子は見られない。今後も引き続きモニタリングを継続していく予定である。



Photo 2 大型土のう格納状況
Containment of sandbag

3.10 GIS情報管理

除染対象である住宅や道路、森林等は、市内の各所に分散している状態のため、除染事業で取扱う情報は、地図上の「位置情報」に紐付いていると効率的に整理することができる。本事業においては、GIS（地理情報システム）を用いて、除染対象となる地域の地図、航空写真、筆界（公図）、利用用途区分、土地の所有者情報、避難情報、妊婦・未就学児の有無等の情報を結合し、地図・航空写真上から土地関係者を把握できるデータベースを構築するとともに、現地調査記録、放射線量データを入力し、GIS上で情報管理を実施している。GISを用いた情報管理の概念図をFig. 16に示す。

GISの活用により、①同意書、除染計画書、報告書などの住民配布資料のフォーマットを予め決めておき、GISの帳票出力機能によって出力する、②現地調査を実施した結果である現況図を基準として、地区や部位ごとに除染実施面積を集計し積算に活用する、③放射線量データを地区毎に集計したり地図上にわかり易く表示する など様々なデータの二次利用が可能となっており、除染事業を円滑に進めるための基盤技術となっている。

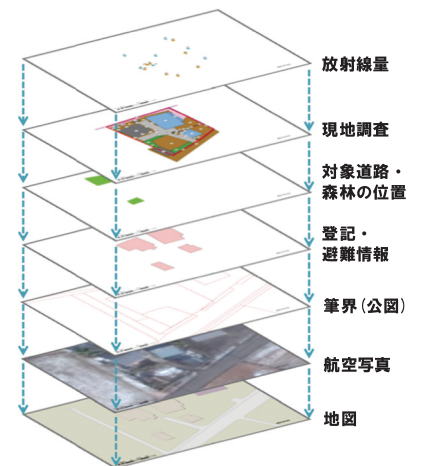


Fig. 16 GISを用いた情報管理 概念図
Information management using GIS

3.11 市民窓口センター

これまでに述べてきたように、除染事業では「除染作業」の他に様々な関連業務があり、これら全ての業務を住民の方々のご理解を得ながら進めていく必要がある。各工事・業務班との調整を行うとともに、住民の方々からのご要望等を一元的に受け付ける窓口として、「市民窓口センター」というグループを設けて対応している。市民窓口センターでは、住民説明会の開催（Photo 3）、同意取得、現地調査・モニタリング・除染作業等のスケジュール調整、除染計画書・報告書の送付業務、要望の受付等を実施し、作業が円滑に進むよう各所に配慮しながら業務を遂行している。



Photo 3 住民説明会の様子
Meeting to explain to local residents

4 除染の効果

4章では、南相馬市西側の線量が高い地域のうち、2013年3月までに除染作業が終了した地区の除染の効果を整理して紹介する。

4.1 部位・材種ごとの除染効果

部位・材種ごとの除染効果として、表面計数率の低減率を除染前の表面計数率との関係と対応付けて整理する。表面計数率の低減率は、以下の（1）式により計算した。屋根（高圧洗浄）の低減率をFig. 17, 18に、土・砂利（表土除去）の低減率をFig. 19, 20に、舗装面（表層研削/高圧洗浄）の低減率をFig. 21, 22に示す。

$$\text{低減率 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{除染後の表面計数率 (cpm)}}{\text{除染前の表面計数率 (cpm)}} \right) \times 100 \quad (1)$$

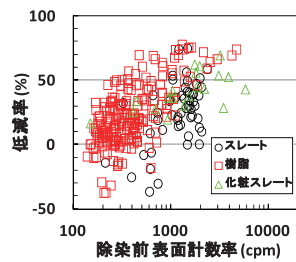


Fig. 17 屋根の低減率 (1)
Reduction ratio of roof

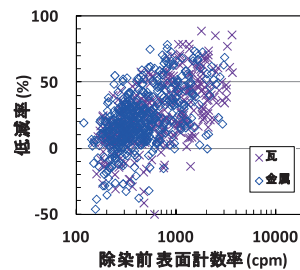


Fig. 18 屋根の低減率 (2)
Reduction ratio of roof

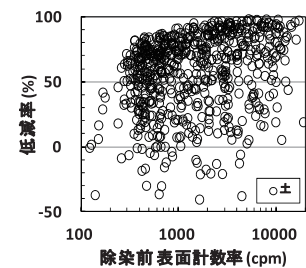


Fig. 19 土の低減率
Reduction ratio of yard

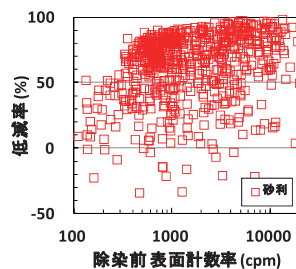


Fig. 20 砂利の低減率
Reduction ratio of gravel

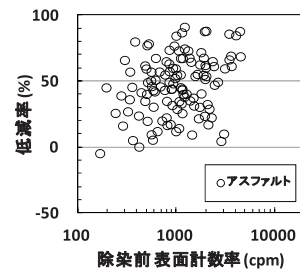


Fig. 21 舗装面の低減率 (1)
Reduction ratio of asphalt

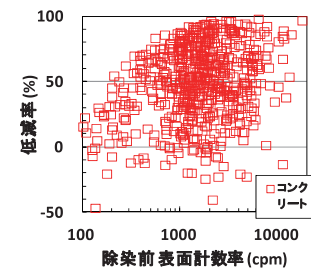


Fig. 22 舗装面の低減率 (2)
Reduction ratio of concrete

屋根のグラフを見ると、材種によって若干傾向に違いがあり、樹脂製屋根は、農業用ハウスやカーポート等の屋根であり、傾きがやや大きく、材料としても放射性物質の吸着が少なかったため、除染前の表面計数率が比較的小さかったものと考えられる。また、全ての材種で、除染前の表面計数率が1000cpmより小さいデータについて、低減率がマイナスとなる等バラツキが大きくなっている。放射線は確率現象であり一定のバラツキは必ず生じるが、既に環境省からも報告されている通り¹²⁾、表面計数率が小さい場合、その表面計数率の値に占めるバックグラウンド分の割合が大きいため、相対的にバラツキが大きくなるものと考えられる。土・砂利のグラフを見ると、除染前の表面計数率が1000cpmより大きいデータについても一部のデータで低減率がマイナスとなる等バラツキが大きくなっている。これは土・砂利面の汚染が「浸透汚染」であり深さ方向に分布を持っており、最表面の状態が事故直後から変化している場合（例えば、新しい草が生えている、落葉がある等）に、表面計数率による計測では正しい評価ができないことが一因として考えられる。舗装面では、バラツキの一因として、高压洗浄と表層研削のデータが混在していることが挙げられる。Fig. 17～22で紹介した部位・材種以外のデータも加えて、除染前後の表面計数率と低減率を、平均

Table 1 部位・材種ごとの除染効果まとめ
The effect of decontamination disaggregated by parts and materials

部位	材種	除染方法	データ数	表面計数率 (cpm)		低減率 (%)
				除染前	除染後	
雨樋	塩ビ等	清掃・洗浄	498	1917	657	41
屋根	スレート	高压洗浄	55	1280	893	26
	樹脂		210	551	320	22
	化粧スレート		20	1854	1004	41
	瓦		336	906	567	27
	金属等		505	561	389	22
陸屋根	コンクリート		28	1635	737	35
	その他		28	1047	381	40
庭	土	表土はぎ取り	665	2592	899	56
	砂利	表層はぎ取り	646	2819	893	63
	芝生	はぎ取り	26	1672	322	73
	土(庭木根元)	表土はぎ取り	293	940	522	41
	屋敷林根元	堆積有機物等除去	244	1590	581	47
舗装	アスファルト	高压洗浄 ／表層研削	119	1329	679	47
	コンクリート		597	2270	1026	49
	インタロッキング		26	1708	661	56
	タイル		70	497	300	29
	その他		35	1163	691	38
側溝	コンクリート	汚泥除去・高压洗浄	95	1467	688	43
	その他		14	982	596	35
道路(車道)	アスファルト	高压洗浄	2839	1079	571	44
森林	落葉等	堆積有機物等除去	846	642	565	7

値で整理したものをTable1に示す。平均としては、屋根・雨樋で22～41%、庭で41～73%、舗装面で29～56%、側溝で35～43%の低減率となっており、これまでモデル実証事業や他市町村の結果として報告されている低減率と同程度の値となっている。住宅以外では、道路（車道）で44%、森林で7%となっている。

4.2 空間線量率の低減効果

ここでは、除染による空間線量率の変化を整理する。住宅（玄関前）の除染前後の空間線量率をFig. 23に、道路の除染前後の空間線量率をFig. 24に、森林の除染前後の空間線量率をFig. 25に示す。なお、図中の灰色線は、除染前後の空間線量率が等しい場合の線である。住宅・道路・森林のほとんどの測定点で、除染により空間線量率は下がっていることがわかる。(1) 式の「表面計数率」を「空間線量率」に読み替えて低減率を算出し、平均値を算出すると、住宅での低減率は46%、道路での低減率は23%、森林での低減率は20%となった。本事業では、生活圏、特に住宅の線量をいち早く低減させることを目的としているため、宅地内の一定面積を低減効果の高い除染方法で実施しており、住宅の線量の低減が大きかったものと考えられる。空間線量率の平均値で見ても、 $0.89\mu\text{Sv/h}$ （除染前）から $0.46\mu\text{Sv/h}$ （除染後）に低減しており、追加被ばく線量に換算すると年間2～3mSv程度（ $0.42\sim 0.61\mu\text{Sv/h}$ ）の水準まで外部被ばく線量を低減させることができている。自然減衰等によりさらに空間線量率は下がると予測され、除染を実施した多くの住宅で数年以内に年間1mSvの水準となると考えられる。

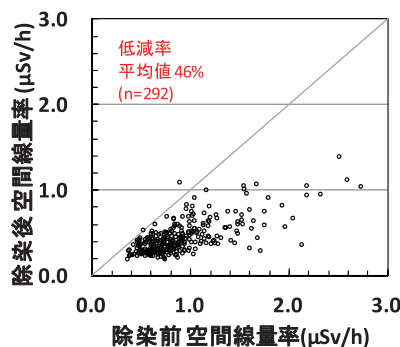


Fig. 23 住宅の空間線量率
Air dose rate at residences

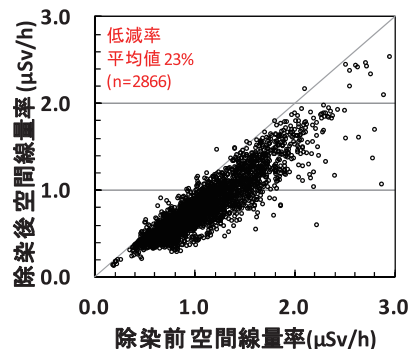


Fig. 24 道路の空間線量率
Air dose rate at roads

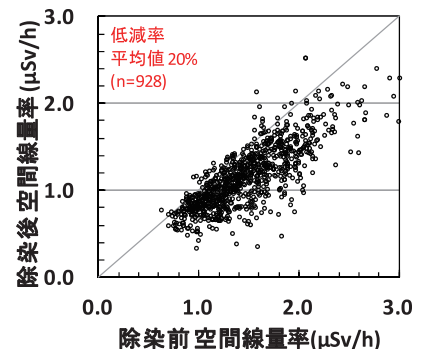


Fig. 25 森林の空間線量率
Air dose rate at forests

4.3 除染実施エリア

2013年3月までに除染が完了した西側の線量が高い4つの地区について、エリア全体で見た除染前後の空間線量率の変化をFig. 26～29に示す。除染前は、各地区ともに $1\mu\text{Sv/h}$ 以上の箇所（黄色～赤色）が多かったが、除染後は、全体的に線量が下がり、 $1\mu\text{Sv/h}$ 以下の箇所（青色系統）の箇所が多くなっていることがわかる。

5 おわりに

竹中工務店・竹中土木の除染事業への取組みとして、南相馬市の生活圏除染事業での実施内容を、開発技術と合わせて紹介するとともに、これまでに得られている除染の効果を整理して紹介した。除染事業はこれまでに前例のない取組みであり、本報告で紹介した内容についても、まだまだ改善が必要であると考えている。避難されている方々が、一刻も早く安全・安心な生活を取り戻せるよう、引き続き、グループとして全力で取組んでいきたい。

謝 辞

本報告にて紹介した南相馬市生活圏除染事業は、南相馬市より当社JVが委託を受けて実施している事業である。事業遂行にあたり、担当課である南相馬市復興企画部除染対策課各位より、多大なご指導、ご協力を頂いている。自らも被災者でありながら、市の復興に尽力される除染対策課の皆さんに、記して深い敬意と感謝の意を表する。また、実施内容各節の執筆にあたっては、竹中工務店・竹中土木・安藤ハザマ・千代田テクノ共同企業体の担当各位にご協力頂いた。重ねて感謝の意を表する。

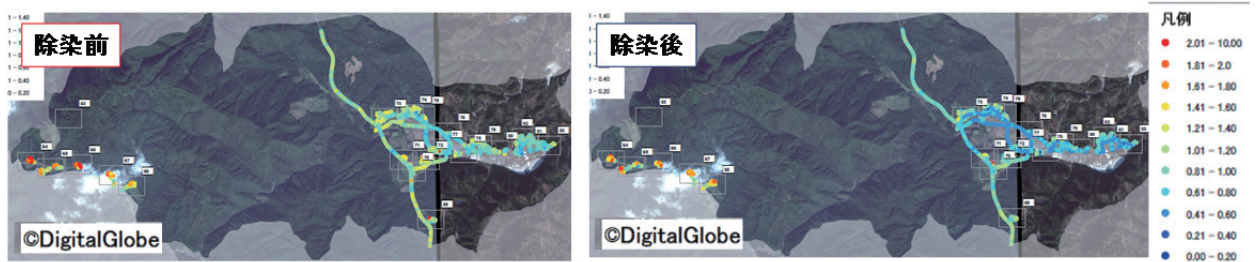


Fig. 26 除染による空間線量率の変化（鹿島区檜原地区）
Decreasing of air dose rate by decontamination (Jisabara, Kashima-Ku)

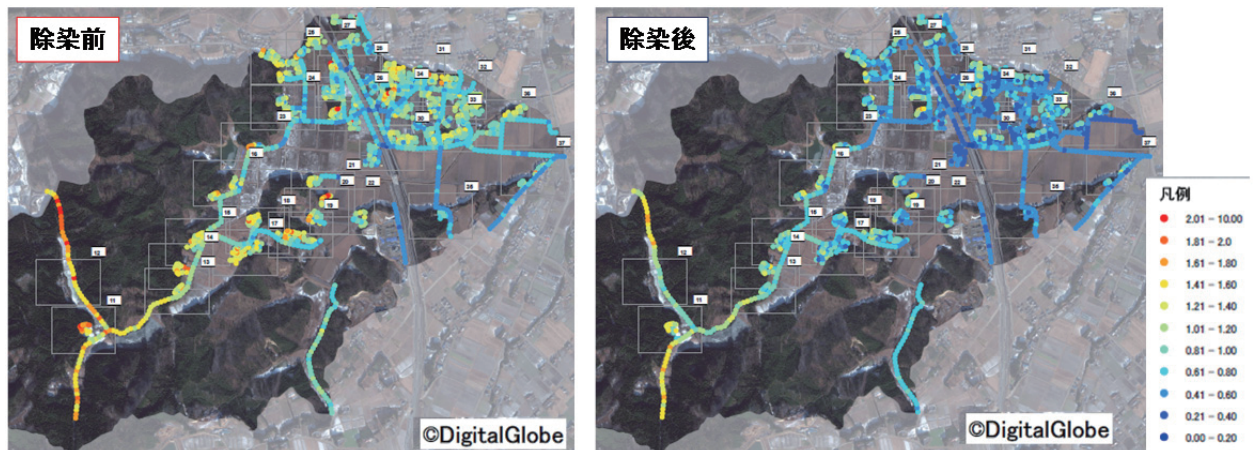


Fig. 27 除染による空間線量率の変化（原町区押釜地区）
Decreasing of air dose rate by decontamination (Oshigama, Haramachi-Ku)

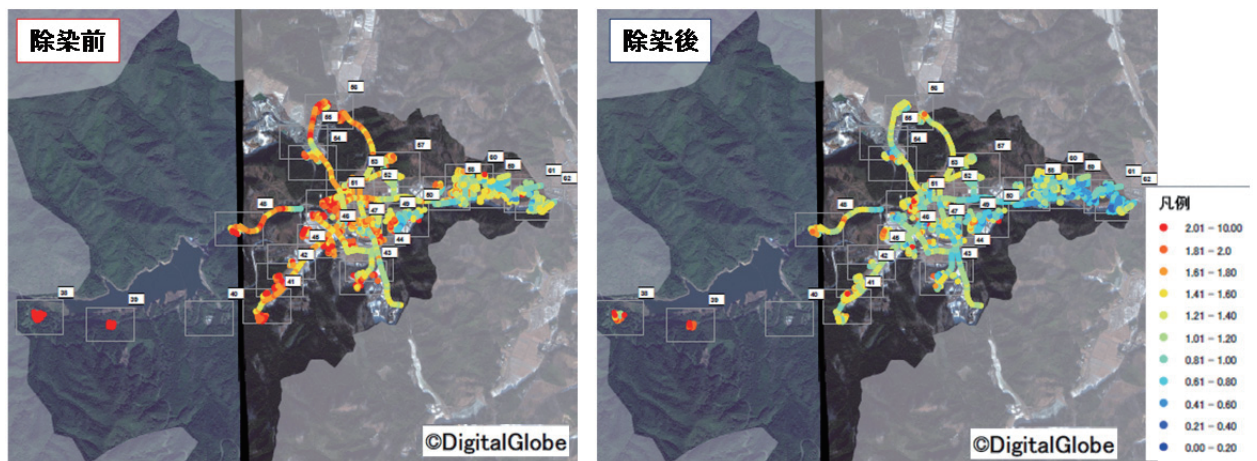


Fig. 28 除染による空間線量率の変化（原町区高倉地区）
Decreasing of air dose rate by decontamination (Takanokura, Haramachi-Ku)

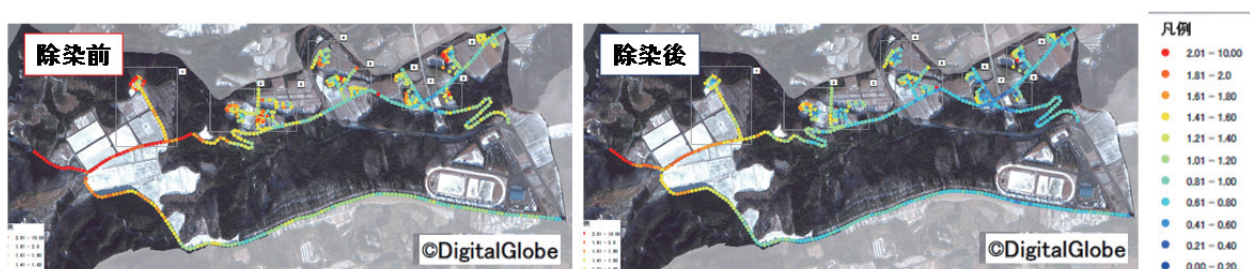


Fig. 29 除染による空間線量率の変化（原町区片倉地区）
Decreasing of air dose rate by decontamination (Katakura, Haramachi-Ku)

参考文献

- 1) 杉田敬太郎, 吉田真悟, 富岡裕一, 乗物丈巳, 岡本肇, 高橋拡:「屋根・外構面に堆積した放射性物質の除染に関する研究(その1~その3)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A1, pp.117-122, 2012.9
- 2) 吉田真悟, 杉田敬太郎, 高橋拡, 水谷敦司:「屋根・外構面に堆積した放射性物質の除染に関する研究(その4~その5)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A1, pp.1087-1090, 2013.9
- 3) 杉田敬太郎, 吉田真悟, 富岡裕一, 岡本肇, 高橋拡:「高圧洗浄の洗浄面圧力に関する研究」, 日本建築工学会大会学術講演会研究発表論文集, pp.283-286, 2012.10
- 4) 吉田真悟, 杉田敬太郎, 高橋拡:「高圧洗浄の洗浄面圧力に関する研究(その2~その3)」, 日本建築工学会大会学術講演会研究発表論文集, pp.109-116, 2013.10
- 5) 福島県生活環境部:「ショットブラスト/研磨機/高圧水洗浄を組み合わせた安全・安心・効果的な床面除染技術」, 株式会社竹中工務店, 平成23年度福島県除染技術実証事業 実地試験結果, pp.32-35, 2012.4
- 6) 奥田信康, 舟川将史, 村谷優:「放射性セシウム除染排水の凝集沈殿処理条件の検討」, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 67th VII-068, 2012.9
- 7) 舟川将史, 田邊康太, 村谷優, 奥田信康:「植物が混入した放射性セシウム汚染土壌の多段階土壌洗浄処理に関する研究」, 第一回環境放射能除染研究発表会要旨集, p.76, 2012.5
- 8) 田邊康太, 奥田信康, 舟川将史:「放射性セシウム汚染土壌の多段階土壌洗浄処理」, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 67th CS13-033, 2012.9
- 9) 舟川将史, 田川明広, 奥田信康:「植物が混入した放射性セシウム汚染土壌の多段階土壌洗浄処理試験」, 日本原子力学会和文論文誌, 11(4), pp.272-280, 2012.12
- 10) 南相馬市市長公室除染対策室:南相馬市除染計画(第一版), 2011.11
- 11) 南相馬市:南相馬市除染計画(第二版), 2013.1
- 12) 環境省 除染チーム:「国及び地方自治体がこれまでに実施した除染事業における除染手法の効果について」, 環境省平成25年1月18日報道発表資料, 2013.1