

汚染された腐葉土層等を効果的・限定的に除去

SC クリーンシステムの開発

小野 健一

福島第一原子力発電所事故による放射能汚染地域の生活圏の森林において、標準方法である「落葉等堆積有機物の除去」による作業を進めたが、放射線量の低減効果が得られない箇所が多数あった。そこで、該当する箇所の一部において試験的に下層の腐葉土層を除去したところ、放射線量が大幅に低減した。本報文では、森林保全、森林内での作業性、除去物減容等の観点のもと開発した、汚染された腐葉土層等を効果的・限定的に除去するシステムについて紹介する。

キーワード：放射性物質、森林除染、森林保全、作業性、減容、SC クリーンシステム

1. はじめに

福島第一原子力発電所から南に 20～27 km の距離に位置する福島県双葉郡広野町では、2011 年 3 月の原発事故発生直後、全町民の避難を余儀無くされたが、2011 年 9 月末、いち早く緊急時避難準備区域としての指定が解除されると、JR 常磐線広野駅までの運転再開に加え、国により役場周辺及び文教施設の先行除染が実施され、2012 年 2 月原発事故の約一年後に生活圏の森林（家屋から 20 m の範囲）除染を含む除染作業を開始した。

森林除染の方法は当初より地表面の落葉等の堆積物のみを除去するものであったが、除染の効果、つまり放射線量の低減が他の家屋除染等と比べると低かった。

除染作業を進めつつこの原因を調査するとともに、森林除染の効果を高める方法を検討し開発したシステムについて紹介する（写真—1）。

2. 森林の汚染の実状と問題点

(1) 森林の汚染の実状

森林では、原発事故により放出された放射性物質は表面に堆積しているということから、除染の方法は地表の上位に堆積した「落葉等堆積有機物の除去」であった（写真—2）。尚、この作業性を高めるため、事前に森林内の下草、灌木の刈払い、集積及び搬出を実施した（写真—3）。

この時、除去の対象となった「落葉等堆積有機物」とは、熊手等で集積が可能な「リター（litter）層」と呼ばれる、ほとんど未分解の落葉、落枝等からなる層であり図—1 に示す層位において L 層の部分である。

これにより森林の除染作業を進めていたが、多くの箇所では放射線量の低減量が少なく、逆に放射線量が増加した箇所もあった。

そこで、下層の腐葉土層を除去すると放射線量が大



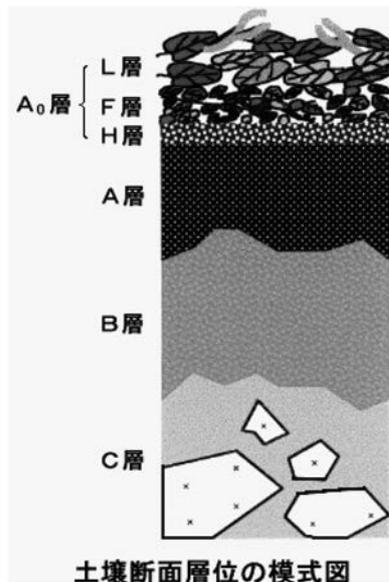
写真—1 SC クリーンシステムの展示 (Radiex2015 in Fukushima)



写真—2 落葉等の除去作業



写真—3 刈払いした下草・灌木の集積作業



土壌断面層位の模式図

出典：森林総合研究所九州支所 定期刊行物 九州の森と林業 第39号

図—1 土壌断面層位の模式図

幅に低減したことから、原発事故から既に一年が経過し、その間における大雨等の気象により、表面に堆積していた放射性物質は雨水等の浸透とともに腐葉土層等間隙のある下層へ浸潤してしまったと考えられた。また、放射線量が増加した箇所は、下層へ浸潤した放射性物質に対して遮蔽の役割を果たしていた表面の落葉等を除去した結果と考えられた。

尚、腐葉土層の除去は、その全てでは無く、層の上方の締りが緩い部分、すなわち間隙の多い部分を除去することで放射線量の大幅な低減効果が認められた。

(2) 問題点

以上より、森林除染では腐葉土層の上方のみを除去することで大幅な放射線量低減効果が得られるとともに、その効果に見合った除去物量の減容も図れるところであったが、以下の問題があった。

- ① 植生の根が多く存在する腐葉土層の除去において、熊手等の用具では根に引っ掛かってしまい作業効率が著しく低下する。
- ② 熊手等で集積しきれなかった汚染物は竹箒等での集積が可能であるが、植生の根の間から掻き出しながらの作業であるため作業性が低く、また、汚染物が掻き出しきれず残存する可能性がある。
- ③ 鋤等の農工具で根を断ち切りながら除去する方法が考えられるが、植生に大きな影響を与えるうえ、除去の深さが定め難く除去量の増加につながる。
- ④ 腐葉土層の余計な除去は、下層の鉍質土層が露呈し雨水等の浸食を受け易くなることで土壌の流亡につながる。
- ⑤ 除去量が増えることにより労力が増加する。

3. システムの開発

腐葉土層の除去における問題点を鑑み、システムの開発に着手した。

(1) 開発時の留意事項

開発時における留意事項を以下に示す。

- ① 腐葉土層のうち、間隙の多い上方部分のみを除去すること。これにより、鉍質土層の露呈を少なくすること。
- ② 植生の速やかな復旧を鑑み、植生の根を残すこと。また、傷付けないこと。
- ③ 汚染物の残存量を極力少なくすること。
- ④ 傾斜地及び木々の間を縫っての作業が可能なこと。
- ⑤ 機器の取り扱いが簡易であること。
- ⑥ 機器を狭小な場所にも運搬できるようにすること。
- ⑦ 大型土のう袋等回収容器に収納するまでの間、作業者の汚染物との接触機会を極力減じること。

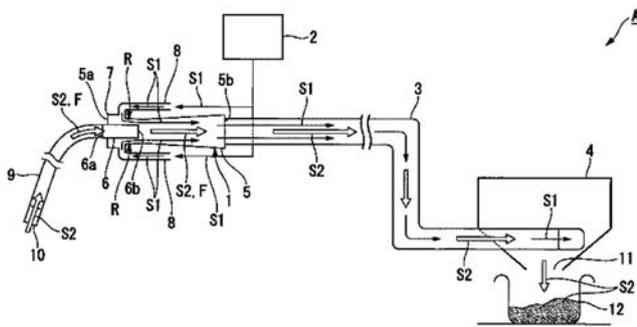
(2) 開発経過

(a) 汚染物の回収方法の検討

まず、汚染物の回収方法を検討した。根の隙間等にあつて竹箒等で掻き出しきれなかった残渣状の汚染物を、真空ポンプなどの真空吸引装置によって吸引し回収することは容易に考えられたが、十分な吸引力を確保できる作業範囲が小さく作業効率が低くなることが懸念された。また、回収した汚染物を直接、大型土のう袋等回収容器に収納することができれば、作業者の汚染物との接触機会は皆無となるが、その場合、吸引口と真空吸引装置との間に回収容器が設けられること等により、真空度の低下による吸引力の低下が懸念さ

れた。

そこで、吸引口付近に圧縮空気を回収容器側に向かって供給する装置（吸引力発生装置）を設置することで吸引管内に吸引力を発生させ汚染物を回収するとともに、供給された圧縮空気により圧送管を介し回収容器まで汚染物が空気搬送される「除去／回収システム」を開発した（図一2）。このシステムの最大の特徴は、吸引口から吸引力発生装置の間は負圧により汚染物が搬送されるが、吸引力発生装置から回収容器までは供給された圧縮空気により空気搬送されるため、回収容器の設置等による回収能力の低下が生じないことである。



1:吸引力発生装置 2:圧縮空気供給手段 3:圧送管 4:汚染物回収装置(分離装置)
9:吸引管 10:吸引口 12:回収容器

出典：公開特許公報 特開 2015-175778 より作成

図一2 除去／回収システムの模式図

また、圧縮空気の供給は一般のコンプレッサである。

よって、回収作業箇所に、以下の4点を持ち込むことで、運搬車両の乗り入れが可能な場所に設置された回収容器まで汚染物を搬送及び収納できるものである。

- ①吸引力発生装置
- ②吸引力発生装置にコンプレッサから圧縮空気を供給するための耐圧ホース（φ50 mm）1本
- ③吸引力発生装置に接続するホース（吸引管）
- ④圧送管（φ100 mm 軽量サクシオンホース）1本

(b) 回収容器への汚染物の収納方法の検討

除染作業における汚染物の回収容器は、耐候性大型土のう袋（φ110 cm, H=110 cm）である。

圧送管と土のう袋の間に、圧送されてきた空気流を利用し、サイクロン現象を発生させることで汚染物と空気を分離する装置（分離装置）を製作し、それに設置した大型土のう袋に汚染物を収納するものとした。

また、分離した空気は分離装置に設置したフィルターを通して排出し、細かい土粒子等はフィルターで捕集することで汚染物の拡散を防止するものとした。

(c) 除去の対象を限定する方法の検討

除去の対象を腐葉土層の上方の間隙のある部分、つ

まり多くの放射性物質が浸潤している可能性が高い部分のみに限定するために、吸引前にその部分をほぐすこととした。しかし、鋤等の用具でほぐした場合、根を傷付けたり下方の締まった層まで余計にほぐしてしまったり等、力加減が非常に難しい。

そこで、コンプレッサを使用した圧縮空気を当て、その吐出量を調整することで上方部分のみをほぐすこととした。作業箇所の腐葉土の状態に応じて圧縮空気の吐出量を調整し、間隙部分のみに空気を送り込みほぐすものである。

この装置は、吸引力発生装置に接続する耐圧ホースを使用できるように作成した。そして、圧縮空気が外方に漏れず腐葉土層の間隙部分に送り込まれるよう、また、解れた汚染物が飛散しないよう装置先端の吐出口付近にカバーを設置し、腐葉土層表面に押し当てるようにほぐす作業を実施することとした。

(d) システムの運搬方法の検討

システムのうち分離装置は、その下に回収容器である大型土のう袋を設置しなければならないことから稼働時の高さが約3mとなる。このまま一般のトラックに積載した場合、高さが4m以上となり公道を運搬できないことから、サイクロン現象を発生させる上部の円筒部分を回転させて倒せるようにし、2tトラック積載時の高さを3.8m以下に抑えた。この結果、システム全体が2tトラック2台で運搬できるようになった（写真一4）。



写真一4 システムの運搬状況

4. システムの実証

(1) 実証

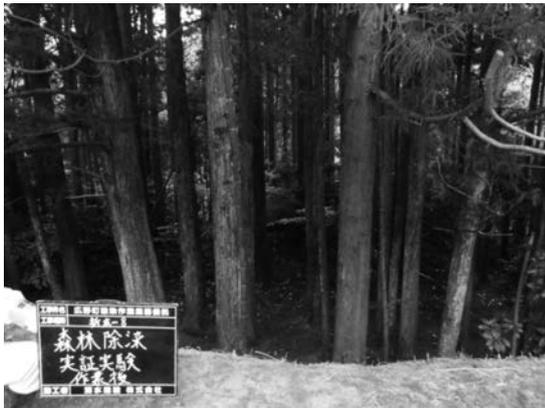
実用性の実証のため、2013年10月から2014年1月にかけて、広野町の生活圏の森林除染箇所3箇所において当該システムを使用した作業を実施し、最初の1箇所システム調整、改善等を図り、後の2箇所



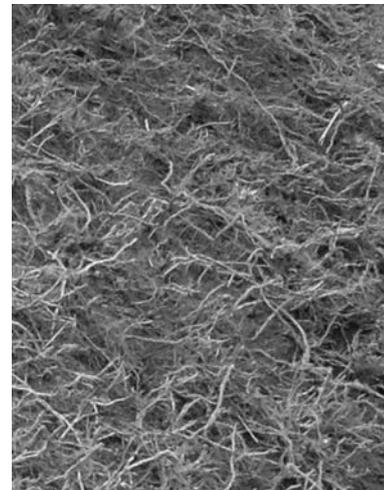
写真—5 実証作業前の森林状況



写真—7 実証作業前の土壌表面



写真—6 実証作業後の森林状況



写真—8 実証作業後の土壌表面

は放射線量の低減効果を確認した（写真—5, 6）。

(a) 空間線量率の変化

広野町内2箇所（A：下浅見川地区、B：折木地区）における落葉等堆積有機物除去後、システムによる実証作業の実施前後の線量率及び低減率を表—1に示す。

表面線量率は半減以上となっており、そのことが空間線量率の大幅な低減につながっていると判断できる。

(b) 土壌表面の変化

実証作業前の土壌表面を写真—7に、実証作業後の土壌表面を写真—8に示す。

実証作業後において植生の根がしっかり残っている。この結果、実用化について問題無いものと判断し、このシステムのうち汚染物を吸引し回収容器に収納す

る範囲の機構を、「汚染物の除去／回収システム」として2014年3月17日に特許出願し、既に2015年10月5日に特許出願公開済み（特開2015-175778）であるので、その詳細は公開特許公報を参照されたい。

また、2014年に環境省が開設している「除染技術探索サイト」に登録するにあたり、システム全体の名称を「SCクリーンシステム」とし、各装置にも名称を与えたので紹介する。

尚、「除染技術探索サイト」には技術名称「SCクリー

表—1 実証作業実施前後の線量率及び低減率

A	4測定点の平均値 (μSv/h)		低減率	
空間線量率 (遮蔽体無し)	at 1 cm	実施前	0.57	33%
		実施後	0.38	
	at 1 m	実施前	0.49	35%
		実施後	0.32	
表面線量率 (遮蔽体有り)	at 1 cm	実施前	0.41	54%
		実施後	0.19	

B	6測定点の平均値 (μSv/h)		低減率	
空間線量率 (遮蔽体無し)	at 1 cm	実施前	0.67	46%
		実施後	0.36	
	at 1 m	実施前	0.48	27%
		実施後	0.35	
表面線量率 (遮蔽体有り)	at 1 cm	実施前	0.40	58%
		実施後	0.17	

ンシステム（整理番号：T-00068）」として2014年11月11日に登録されているので、併せて参照されたい。

(2) 各装置の紹介

各装置とその使用状況を示す。

(a) ホレール（写真—9）



写真—9 ホレールによる腐葉土層のほぐし作業

圧縮空気を吹き出す装置である。

除去対象物にノズルを接近させ、圧縮空気を当てることで除去対象物をほぐす、また、掘り起こすものである。

(b) アツメール（写真—10～12）

ホレールでほぐされたもの、掘り起こされたもの及び植生の根に直接付着している土粒子を吸引により回収するものである。

(c) ワケール及びコンプレッサ等（写真—13）

アツメールにより吸引回収されたものは当該システムを構成する分離装置「ワケール」（写真左端）により空気と除去物に分離され、空気はフィルターを通して外部に排出され、放射性物質が付着している土粒子及び堆積有機物残渣等除去物はワケール下方に設置された大型土のう袋に回収されるものである。

ホレール及びアツメールは、土壌の流亡を防ぐ役割を担っているレベルの植生の根は切断までには至らない程度の圧力及び吸引力である。

(3) 技術の優位性

- ①一般の「土壌削り取り」に対して、雨水等による土壌の流亡を防いでいる植生の根を断ち切ることなく、放射性物質が付着している腐葉土層等中の土粒子及び堆積有機物残渣を除去できる。
- ②植生の根を残す分、除去物量を削減できることから、除染の進行の妨げとなっている仮置場の新設を減らすことにつながり、除染の進行に大きく寄与する。



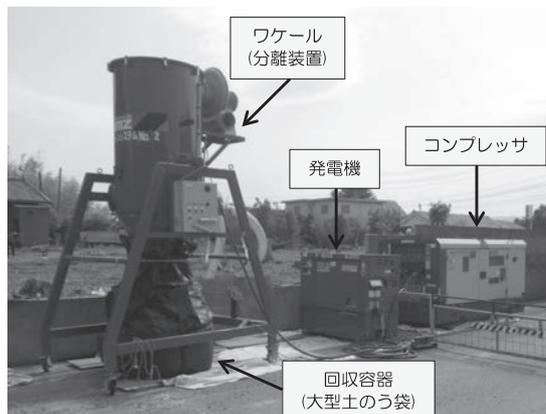
写真—10 アツメールによるほぐした腐葉土の吸引回収作業



写真—11 吸引回収前後の比較



写真—12 植生の根の残存状態



写真—13 ワケール及びコンプレッサ等

- ③除染箇所まではホース（φ50 mm の耐圧ホース及びφ100 mm のサクシオンホース）を通すスペースがあれば良いので、除去物搬出のための支障物の移動・撤去等の必要がほとんど無い。
- ④各装置の操作に資格は不要であるため、一般の作業員による作業が可能である。

5. システムによる除染作業の実施

2014年4月より再び、広野町の生活圏の森林除染を実施する機会に恵まれた。これは、より生活圏の放射線量を低減させるためであった。

しかし、当初と同じことのみを実施しても大きな効果を得られないことから一部において腐葉土層を除去することとし、生活圏の森林除染範囲である家屋から20 m の範囲の内、家屋への影響が大きい家屋側の林縁部から5 m の範囲において開発直後の本システムによる除去作業を実施した。

2014年4月から同年11月までの期間で約20 ha を実施し、これによりシステムとして十分に熟成されたものである。

6. おわりに

2015年12月21日、環境省は生活圏から離れた森林については除染を実施しない方針を示した。これは、森林中の放射性物質の8割程度が土壌表層に留まり、生活圏の空間線量に影響するような飛散、また、降雨などによる流出が確認されていないからだという。そして、落葉等を広範囲で除去すると表土の流出などの悪影響が懸念されるため、柵や土のうの設置で放射性物質を含む落葉や表土の流出を防ぐことが適切

との判断からである。しかし、2016年1月4日、福島県と同県の被災市町村は、除染範囲を森林全体ではなく住宅周辺などにとどめる国の方針を見直すよう環境省に要望するとともに、調査研究を進めながら、森林全体の放射線量の低減につながる方策を示すよう求めた。

費用や除去物の保管場所の確保という面から、現実的に森林全体を除染するのは非常に困難であるため環境省の方針は一理ある。しかし、県の面積の7割が森林である福島県の住民にとっては、汚染されたままの森林に囲まれた生活は非常に不安である。

除染の実施を生活圏に限定する場合、生活圏の放射線量の更なる減少のためにSCクリーンシステムの成果が寄与することとなれば幸いである。

謝 辞

本システムの開発にあたり、ご指導、ご協力を頂いた広野町、Jリンク(株)、広野町除染作業業務に従事された方々に深く御礼申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- ・日本国特許庁：公開特許公報 特許出願公開番号 特開 2015-175778 公開日 2015年10月5日
- ・環境省：除染技術探索サイト ウェブページ (<https://www2.env.go.jp/dtox/>)

【筆者紹介】

小野 健一（おの けんいち）
清水建設(株) 土木東京支店
東北震災復興土木建設所
工事長

