

放射性物質により汚染された農地土壌の 表土削り取り技術

Development of Techniques for Stripping the Topsoil of Radioactively-polluted Agricultural Land

中村優一* 寺口勝久*

要 旨

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により、福島県等を中心に農地が放射性物質により広範囲に汚染された。

農林水産省は、農地土壌等における放射性物質を除去する技術の開発を実証試験等の実施により進めてきた。農地土壌の放射性物質除去技術として、放射性物質の濃度によって、反転耕、水による土壌攪拌・除去、表土削り取り等が適用技術として示されている。特に土壌の放射性セシウム濃度が 10,000~25,000Bq/kg では表土削り取り、25,000Bq/kg 以上では固化材を使った表土削り取りが適用技術として示されている。

農地土壌の除染に対応するため、地表の凹凸に追従して放射性物質により汚染された農地土壌を削り取り、作業員への被曝を極力抑制するため、削り取りから大型土嚢への詰込が一連で可能となる放射性物質により汚染された農地土壌の表土削り取り技術を開発し、農林水産省が実施した農地除染対策実証工事に適用し、その性能を確認した。

キーワード：放射性物質汚染、除染、表土、削り取り

1. まえがき

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により、福島県等を中心に農地が放射性物質により広範囲に汚染された。

農林水産省は、農地土壌等における放射性物質を除去する技術を開発するために、内閣府総合科学技術会議、文部科学省、経済産業省と連携して、平成 23 年度科学技術戦略推進費「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」により、農地土壌等における放射性物質除去技術の開発に取り組んだ¹⁾。ここでは、地目（水田、畑）や汚染程度を考慮した上で、農地土壌除染技術の適用の考え方および各技術の詳細を取りまとめ、平成 24 年 3 月に、これを基に「農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）作業の手引き」²⁾が取りまとめられた。

取りまとめられた農地土壌の放射性物質除去技術（除染技術）として、放射性物質の濃度によって、反転耕、水による土壌攪拌・除去、表土削り取り等が示されている。特に土壌の放射性セシウム濃度が 10,000~25,000Bq/kg では表土削り取り、25,000Bq/kg 以上では固化材を使った表土削り取りが適用技術として示されてい

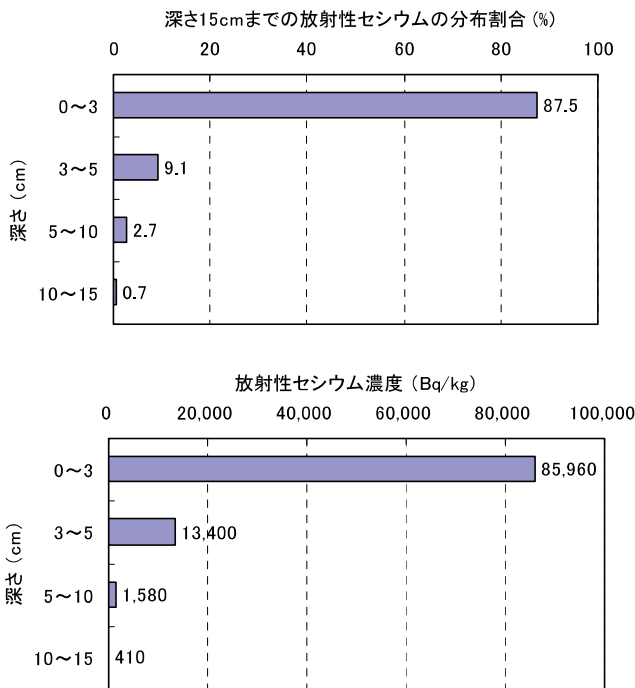
る。

農林水産省は、これらの確認された対策技術や知見を踏まえ、今後の除染作業における施工方法、施工管理方法、安全衛生管理方法の確立とそれに伴う除染作業の歩掛等の作成に資する基礎データを収集することを目的に、一定規模の圃場等において除染技術の実用化に向けた実証試験を実施した。実証試験は、平成 24 年 2 月に福島県飯館村および川俣町の約 40ha の農地を対象に「農地除染対策実証工事」として実施された。

農地土壌の除染技術として、放射性物質による汚染農地の表土削り取り技術（以降、ロータリーカッター工法、と記す）を開発した。ロータリーカッター工法は専用のアタッチメントを装着した重機（以降、ロータリーカッター機、と記す）を使用し、表土を削り取る工法である。本工法を、上記の農地除染対策実証工事の一技術として適用し、福島県飯館村において実証施工した。本報では、開発したロータリーカッター工法の概要および実証試験施工結果について述べる。

2. 農地除染の基本的な考え方および汚染状況

* 東日本支社機械部



図一 放射性物質濃度の事前調査結果 (農水省)

農地除染に当っては、周辺住民に与える放射線量を低減することに加えて、農業生産を再開できる条件を回復し、安全な農作物を提供するため、土壤中の放射性物質の濃度を低減することが重要である¹⁾。

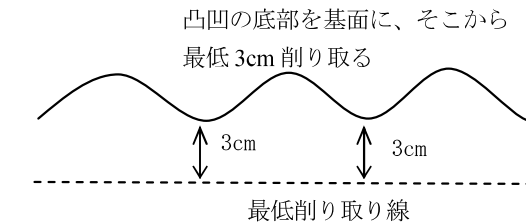
土壌と農作物の放射性物質濃度の間の相関は明確にされていないが、放射性物質の土壌から農作物への移行の観点から土壤中の放射性物質濃度を可能な限り減少させることが重要である。一方、土壌中の放射性物質を可能な限り減少させる際には、農地が有する食料生産基盤としての機能を維持するため、作土層をできるだけ保全する配慮が重要とされている¹⁾。

したがって、農地の表土削り取りによる除染においては、目標とする放射線量の低減に必要な設計削り取り厚さを削り取るとともに、作土層を保全するために設計削り取り厚さをできるだけ超過しない技術が求められている。

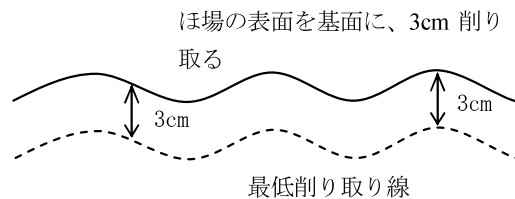
また、現在の国の計画では、削り取った汚染土壌は3年間仮置場に保管され、その後30年間を目安に中間貯蔵施設で長期保管することになっている。汚染土壌の削り取り深さを深くすれば、放射線量低減が確実になるが、中間貯蔵施設で保管する廃棄物の量が膨大になる。この廃棄物処理の観点からも設計削り取り厚さをできるだけ超過しないことが必要である。

農地除染対策実証工事前調査結果³⁾から、農地土壌に分布する放射性セシウムについて以下の状況が判明していた。

- i. 原子力発電所の事故により大気中に放出された放



(a) 小さな起伏がある場合の削り取りの考え方



(b) 大きな起伏がある場合の削り取りの考え方

図二 削り取りの考え方

射性セシウム (Cs134、Cs137 の合計) は耕起していない農地土壌では、その大半が表面から3cmの深さに存在する (図一参照)

- ii. 放射性セシウムは、粘土やシルトなど細かい土粒子に多く結合している
- iii. 放射性セシウムは、農地土壌中の粘土粒子等と強く結合し、容易に水に溶出しにくい

以上のような農地除染の基本的な考え方、汚染状況より、平成24年2月に実施された農地除染対策実証工事において、設計(最低)削り取り厚さは3~5cmと設定された。

図二に、設計削り取り厚さを3cmとした場合の表土削り取りの考え方を示す。図二(a)は、水田において削り取り機械では追従できないような小さな起伏がある場合の削り取りの考え方を示している。図二(b)は、畑における大きな畝等、大きな起伏がある場合の削り取りの考え方を示している。

3. ロータリーカッター工法の開発

農地における放射性物質による汚染土壌に対し、余剰な削り取り土量を抑制し、表土を設計削り取り厚さで効率的に削り取る工法を開発するに当たり、現地踏査の結果から開発目標を次のように設定した。

- i. 対象の水田は数年間休耕田であり、表土もかなり固結した状態のため、削り取り機は通常の農機具以上のパワーを装備させる

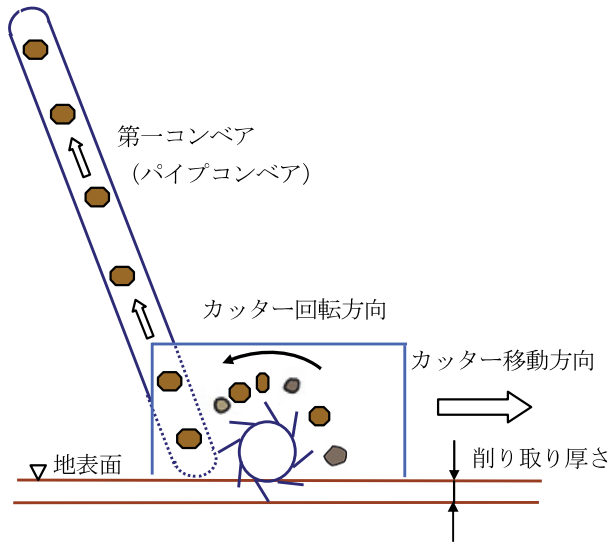


図-3 表土削り取りの模式図

表-1 ロータリーカッター1号機の仕様

名 称	仕 様
電動カッター	切削幅 700mm、11kw 回転数 1,100 r^{-1}
第一コンベア	パイプコンベア φ200mm チェーン駆動式
第二コンベア	ベルトコンベア W=350mm、L=7m 密閉型
ベースマシン	0.45 m^3 級バックホウ
発電機	60kVA

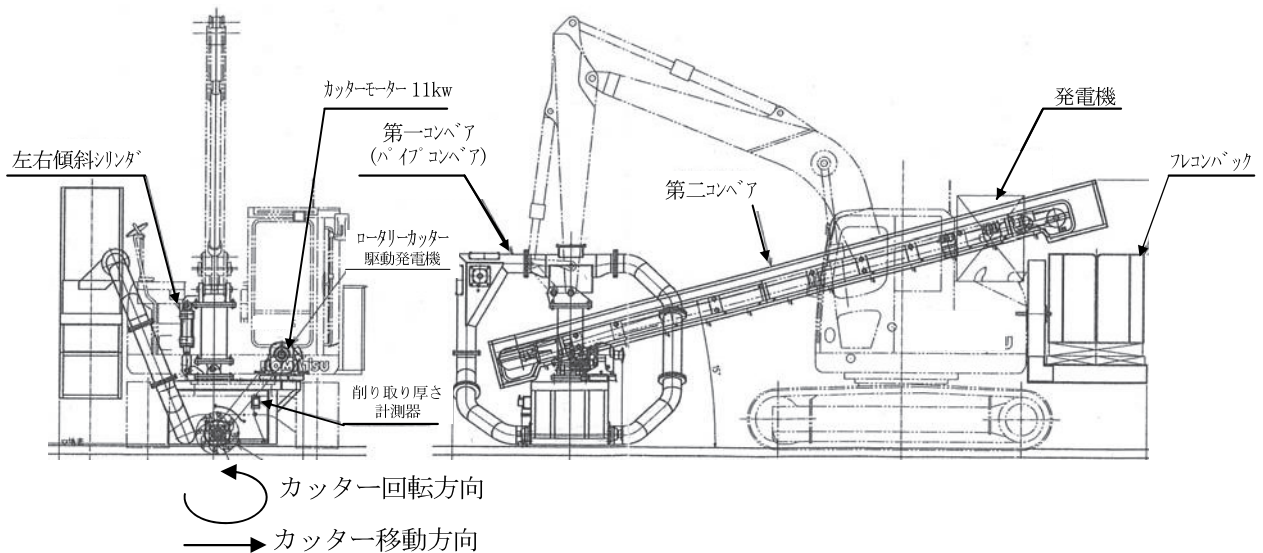


図-4 ロータリーカッター1号機の構造図

- ii. 水田には稲株や草根、畑には牧草根が存在するが、根を掘り起こす機構では、必要以上の大量の土壌を廃棄物として処理しなければならないため、設計深さの位置でカットできるものとする
- iii. 実証試験施工対象の田畑を現地踏査した結果、全体的に 10cm～15cm の溝状の凹凸が存在していたため、田畑の表面の凹凸に追従できるように、削り取る機械は前後左右に自在の動きが可能なものとする
- iv. 削り取り作業時に、運転席において削り取り厚さを確認できる
- v. 作業員の被曝量を低減できるように、削り取りから大型土嚢（以下、フレコンバックと記す）への詰込みまでを人力を介さず、一連のシステムで可能なものとする

3.1 ロータリーカッター1号機

ロータリーカッター工法に使用するロータリーカッター機は、ハンマーナイフ式（回転羽根による芝刈り方式）カッターを装着したクローラ型掘削機である。図-3に示すように、ハンマーナイフ式カッターを表土に押し付け、スライドさせて表土を削り取る。削り取られた表土は、アタッチメントに併設された2つのコンベア（第一コンベア、第二コンベア）を介して直接、フレコンバックに袋詰めされる。

開発した表土削り取り機の構造図を図-4に、表-1に仕様を示す。ベースマシンは、0.45 m^3 級バックホウを用いた。バックホウのアーム先端に、ハンマーナイフ式カッターと削り取った表土を第二コンベアに搬送する第一コンベア（パイプコンベア）を装備したアタッチメントを装着している。削り取った表土は、第一コンベア

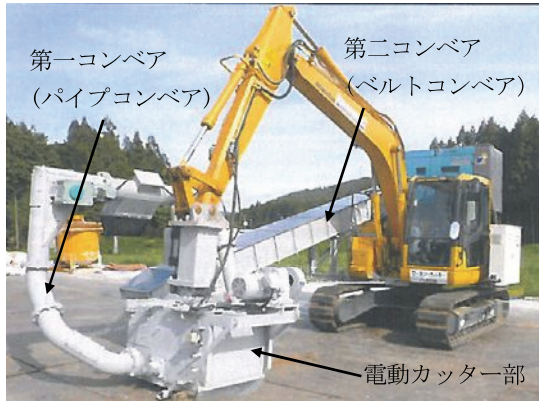


写真-1 ロータリーカッター1号機

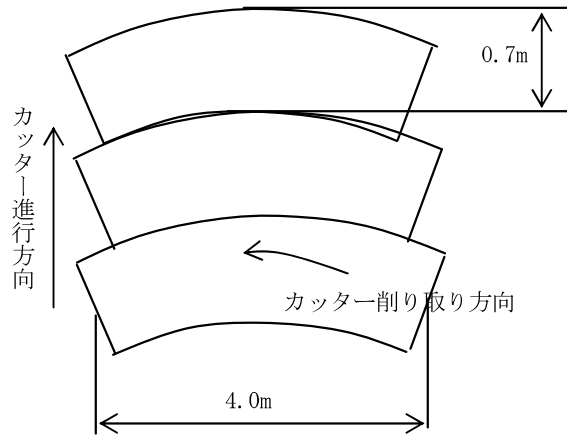


図-5 ロータリーカッター削り取り形状

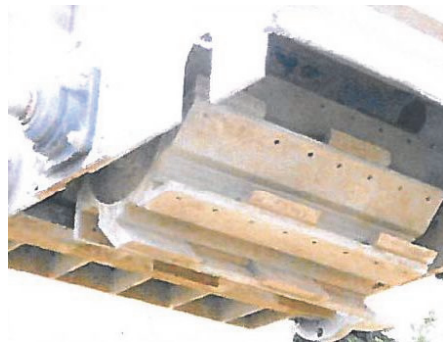


写真-2 カッター部

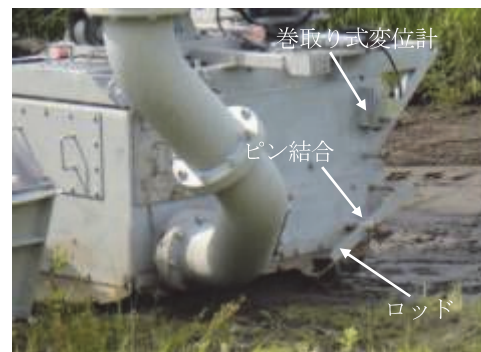


写真-4 削り取り厚さの測定状況



写真-3 第一コンベア (パイプコンベア)



写真-5 ロータリーカッター1号機による実証試験状況

から第二コンベアに受け渡され、バックホウ後部に設置したフレコンバックに搬送される。

写真-1に機械の全景を、写真-2にカッター部を、写真-3に第一コンベア (パイプコンベア) を示す。

表土削り取り機の構造を検討するに当たり、削った土砂等を円滑に第一コンベア部まで移動させることが技術的な重要課題であった。カッターを毎分 1,100 回転と高速回転にすることにより根株等の切削を可能にし、削った土砂等を跳ね飛ばすことで、第一コンベアまで移動させる機構とした。

削り取り方法は、図-5に示すように、バックホウの

旋回により 1 サイクルの施工範囲を縦：約 0.7m、横：約 4.0m の扇形状とし、前進しながらの削り取りが最も効率的であることを事前に確認した。

削り取り厚さを、写真-4に示すように、カッター函体の側面に取り付けた回転可能なピン結合されたロッド状ストローク計により確認する方式とした。ロッド先端を常に表土の表面に接地させ、ロッドの反対側の端部に取り付けた巻取り式変位計によりカッター函体と表土との離間距離 (削り取り厚さ) を測定する。測定結果は、運転席に表示され、オペレーターがリアルタイムに削り取り厚さを確認できるようにした。

表-2 農地除染実対策証工事・削り取り工法における工法別評価¹⁾

工法名	バックホウによる削り取り工法		ワイパー工法			ロータリーカッター工法※	ターフストリッパー工法	スキマー工法
	標準運搬	吸引※	コンベア	吸引※	標準運搬			
使用機械	バックホウ バックホウ(詰込用) 不整地運搬車	バックホウ 汚泥吸排車	バックホウ(削り取り用エッジ付き) スクリューコンベア 不整地運搬車	バックホウ(削り取り用エッジ付き) バックホウ(バキューム機付き) 汚泥吸排車	バックホウ(削り取り用エッジ付き) バックホウ(詰込用) 不整地運搬車	バックホウ(回転羽式掘削機・チェーンコンベア付) クレーン機能付きバックホウ(土のう運搬用)	トラクタ(ベルトコンベア付) ターフストリッパー 不整地運搬車	自走式削り取り機(デルタテーブル・ベルトコンベア付) 不整地運搬車
設計削り取り厚さ	5cm/3cm	3cm	5cm/3cm	5cm/3cm	5cm/3cm	5cm	3cm	3cm
平均削り取り厚さ mm	60.6/47.8	40	61.6/48.4	62.0/42.0	61.6/48.4	60.1	49.5	46.9
厚さ増加率 %	121/159	133	123/161	124/140	123/161	120	165	156

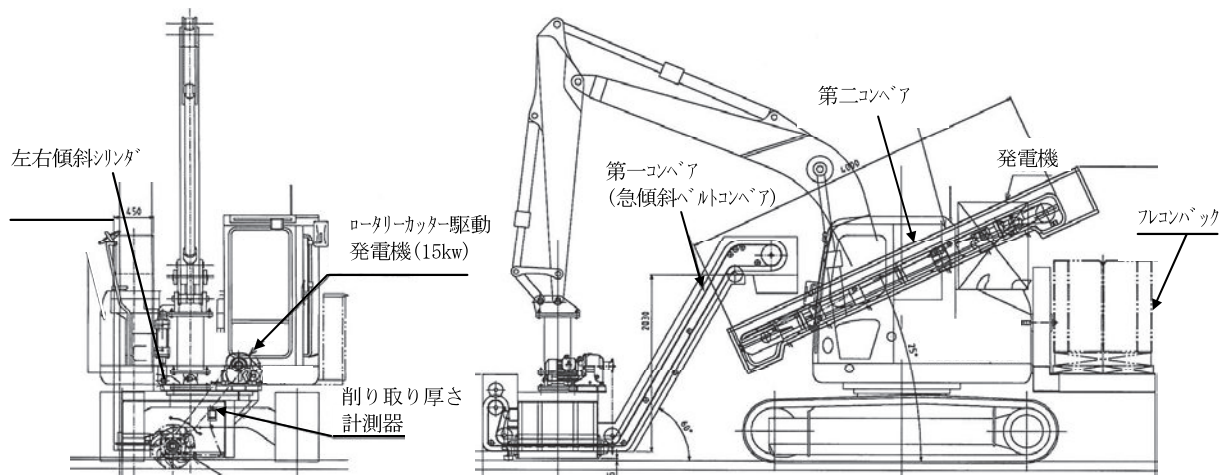


図-6 ロータリーカッター2号機の構造図

ロータリーカッター1号機を試験施工を経て、農地除染対策実証工事として飯館村に導入し、0.7haの実施工を行った。施工状況を写真-5に示す。

農地除染対策実証工事において実施された表土削り取り技術の実証施工結果について、表-2に平成25年2月に農林水産省が作成した工法別評価を示す。

表-2に示すように、設計削り取り厚さ5cmに対し、ロータリーカッター工法による平均削り取り厚さは6.01cmであり、削り取り厚さ増加率は120%であった。ロータリーカッター工法の削り取りの厚さ増加率は他工法と比較して小さく、非常に優れた結果となっており、ロータリーカッター工法の開発目標を達成することができたと考える。

しかし、「含水比が高い土壌および草根はチェーンコンベアに詰まりやすい」ことが問題として示された。

第一コンベアに採用したパイプコンベアは、写真-3

に示すようにφ200mmのパイプ内にチェーンで約30cm間隔に連結した円形の鉄板をエンドレスで移動させることにより土砂等を運搬するチェーンコンベアの種類である。このパイプの内面に水分が多い粘土が貼り付き、徐々に蓄積されていくため、詰まる原因となった。

これが表土削り取りの施工能力を大きく妨げる要因となり、平均の施工能力は10m²/hr、30m²/日程度であった。

また、その他の問題として、第二コンベアが長く、地表との離隔が小さいため、傾斜地にロータリーカッター1号機が進入する際に、地面に第二コンベアが接触する状況が発生した。

3.2 ロータリーカッター2号機

農地除染対策実証試験工事の結果を踏まえ、1号機を改良し、ロータリーカッター2号機を製作した。図-6に、ロータリーカッター2号機の構造図を示す。

表-3 ロータリーカッター2号機の仕様(変更点)

名 称	仕 様	
	変更前	変更後
電動カッター	11kw	15kw
第一コンベア	パイプコンベア	急傾斜ベルトコンベア
第二コンベア	L=7m	L=4m
発電機	60kVA	50kVA



写真-6 葛尾村仮置場工事における施工状況

ロータリーカッター1号機から変更した仕様の変更点を表-3に示す。

主な変更点は、以下の通りである。

- i. パイプコンベアのパイプ内面に水分が多い粘土が次第に堆積し、パイプ内に掘削土砂が詰まる原因となるため、第一コンベアをパイプコンベアから急傾斜ベルトコンベアに変更した
- ii. 傾斜地にロータリーカッター機が進入する際、第二コンベアが地面に接触しないように、第二コンベアの長さを短くした
- iii. 切削能力を向上させるため、電動カッターのモーター容量を大きくし、それに伴い発電機の発電容量も大きくした

ロータリーカッター2号機を葛尾村の仮置場現場において試験施工した。写真-6に施工状況を示す。

施工結果を以下に示す。

- i. ロータリーカッター2号機の施工能力は30m²/hr、120m²/日であり、1号機に比べ、施工能力が向上した
- ii. 第一コンベアをベルト式とすることにより、ベルトと共に搬出土砂が移動し、粘性土においても周囲との摺動面がなくなり、搬出土砂の貼り付きがなくなった
- iii. カッターモーター容量を大きくすることにより切削能力が向上した
- iv. 第二コンベアを短くすることにより傾斜地に進入する際にも、第二コンベア前部の地面への接触、支障することが回避できた

以上のように、ロータリーカッター2号機では、ロータリーカッター1号機の問題点を改善し、施工効率が向上した。これにより、農地土壌の放射性物質により汚染された農地土壌の表土を、効率的に、設計削り取り深さで削り取ることができるロータリーカッター工法を確立することができた。

6. あとがき

ロータリーカッター2号機においても当初想定していない15cmを超えるような礫があった場合は詰まり等が発生した。第一コンベアのベルトコンベアの軸とベルトとの隙間が15cm程度しかないと、その間に礫が詰まってしまうことが原因であった。これに対しては、屈折用ローラを軸式固定から外側からの独立軸受け式に変更する等の改造により、このような礫に対しても対応が可能と考えている。

今後、ロータリーカッター工法が農地土壌の除染工事に適用され、放射性汚染除去に貢献できる機会があることを期待する。

【参考文献】

- 1) 農林水産省、「農地除染対策の技術書(第1編調査・設計編)」、平成25年2月
- 2) 農林水産省、「農地土壌の放射性物質除去技術(除染技術)作業の手引き 第1版」、平成24年3月
- 3) 農林水産省、「農地土壌の放射性物質除去技術(除染技術)について」、平成23年9月14日

