

【別添4】各技術についての解説

目次

1. 農地土壌汚染に関する基礎的知見 P 2
2. 表土削り取り
 - 2-1) . 基本的な表土削り取り P 3
 - 2-2) . 固化剤を用いた表土削り取り P 5
 - 2-3) . 芝・牧草の剥ぎ取り P 7
3. 水による土壌攪拌・除去 P 9
4. 反転耕 P11
5. 高吸収植物による除染 P13
6. 放射性物質の中間処理・管理技術
 - 6-1) . コンクリート製容器による放射線減衰試験 P15
 - 6-2) . 土壌からの放射性物質の分離技術の開発 P17
 - 6-3) . 水溶液からの放射性物質の吸着・除去技術の開発 . . P19

試験データの修正報告があったため、本資料のデータの一部を修正しました（2012年3月23日）

1. 農地土壌汚染に関する基礎的知見

1) 放射性セシウム (^{134}Cs 、 ^{137}Cs の合計) は、耕起していない農地土壌の表面から 2.5 cmの深さに 95%が存在 (図 1)。

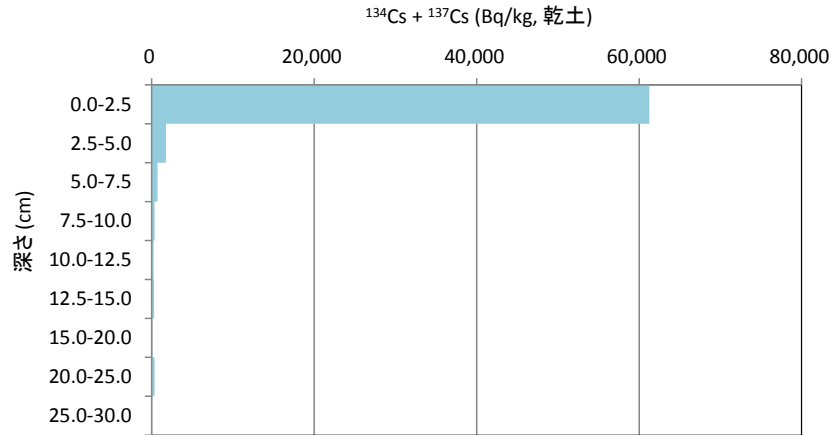


図 1 : 飯館村伊丹沢の水田土壌の放射性セシウム濃度

2) 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ており、容易に水に溶出し
ない (表 1)。一方、ため池や用水等、水の汚染は軽微 (表 2)。

表 1: 福島県の農地土壌からの放射性セシウム ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) 抽出試験

土の種類	水抽出	酢酸アンモニウム抽出
福島の水田土壌	ND	2.3%
福島の畑土壌	ND	5.3%

注) 検出限界値 (0.4 Bq/L)

表 2: 飯館村の実証試験水田周辺の水場の放射性セシウム濃度 ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) 測定

水の種類	放射性物質濃度
水源ため池水	ND
近傍の新田川河川水	ND
観測井地下水	ND
用排水中	ND

注) 検出限界値 (4~7 Bq/L)

3) 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 (表 3)。

表 3: 事前サンプリング土壌表層 (0-2.5 cm、伊丹沢) の粒径別の放射性セシウム濃度の測定結果

試料深さ	国際土壌学会法による粒径区分		組成割合 (%)	Bq/kg (各組成)	Bq/試料全体	Bq 割合 (%)
0-2.5cm	粘土	~2 μm	4.8	179,100	8,600	12
	シルト	20~2 μm	29.6	106,300		
	細砂	200~20 μm	45.2	66,600		
	粗砂	2mm~200 μm	20.4	22,200		

注) 0-2.5cm 表層全体の放射線濃度は、74,700 Bq/kg である。採土は平成 23 年 6 月。

2-1) . 基本的な表土削り取り

1. 概要

農地に降下した放射性物質は、土壌の表層に集中して存在している。従って放射性物質を含む表層の土壌を除去することで、汚染された農地を利用可能な状態に回復できると考えられる。そこで、物理的に農地の表土を除去する技術を開発することを目的として試験を行った。

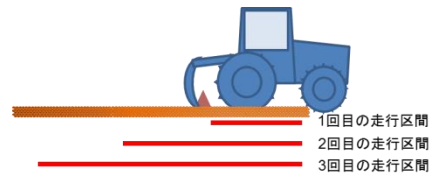
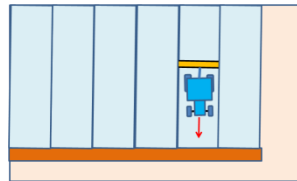
○担当：(独)農研機構中央農業総合研究センター

○実証試験実施場所：福島県相馬郡飯舘村飯樋の水田（8a）

2. 作業の流れ

砕土→削り取り→土壌の搬出・土のう詰め作業手順で行う。

- 1) 砕土：農業用トラクタにパーチカルハローを取り付け、ほ場表面を浅く（4～5cm）砕土し、膨軟にする。
- 2) 削り取り：農業用トラクタにリアブレード（排土板）を付け替え、砕いた表土を圃場の短辺方向に5～10m毎に削り取り、集積する。



- 3) 排土・土のう詰め：農業用トラクタのフロントローダで、集積した表土をダンプトラックに積み込み、ほ場外へ搬出し、バックホー等で土のう袋に詰める。



写真1：砕土



写真2：削り取り・集積



写真3：排土

3. 結果と考察の概要（表1、2参照）

- 1) 水田の表土を約4cm（10aあたり約40m³）削り取ることにより、土壌の放射性セシウム濃度は10,370 Bq/kgから2,599 Bq/kgに低下した。除去の前後で土壌表面の空間線量率は7.14 μSv/hから3.39 μSv/hに低下した。削り取りまでの作業時間は10aあたり55～70分かった。

- 2) 削り取った表層土壌の排出と土のう詰めに最も時間を要した。特に排出土の運搬を効率的に行う工夫が必要である。
- 3) 所要作業時間は、ほ場条件、オペレータの熟練度、排出運搬距離などにより異なる。
- 4) 作業により発生する土ほこりや粉塵による作業者の内部被ばくを防止する措置を講ずる必要がある。
- 5) 放射線量の高い農地では、排土の放射性物質濃度が 10 万 Bq/kg を超えないよう、厚めに削り取ることを検討する必要がある。

表 1 : 土壌中放射性セシウムの値 (単位 Bq/kg、表層 15cm)

	削り取り前	削り取り後	排土	低減率 (%)
水田	10,370	2,599	44,253	75

表 2 : 作業別所要時間 (10a 当たり)

作業の種類	所要時間	作業者数	必要機械
砕土	15~20 分	1	トラクタ、バーチカルハロー
削り取り	40~50 分	1	トラクタ、リアブレード
集積・排土	70~85 分	2 (トラクタ 1、ダンプトラック 1)	トラクタ、フロントローダ
袋詰め	15~20 分	2 (バックホー1、補助者 1)	バックホー、大型土のう、土のうスタンド

※ほ場に雑草がある場合に行う除草作業は含まない。

4. 今後の計画・課題

- 1) 水田圃場に作付けした稲の放射性セシウム含量等の調査。

2-2) . 固化剤を用いた表土削り取り

1. 概要

酸化マグネシウムを主材料とする固化剤やポリイオンをほ場表面に吹き付け、土壌表面を固化した後に、表層土壌の削り取りを行う。表層土壌の固化により、放射性セシウムが多く含まれる表層を効率的に削り取り、汚染土壌を効率的に除去する技術を開発することを目的とする。

○担当：(独) 農研機構農村工学研究所 ((独) 日本原子力研究開発機構)

○実証試験実施場所：福島県相馬郡飯舘村伊丹沢地区現地ほ場 (10a)

2. 作業の流れ (マグネシウム系固化剤の場合)

- 1) マグネシウム系固化剤を水と混合した溶液をほ場に吹き付ける。
- 2) 固化剤が浸透し、表層土壌が十分に固化 (晴天時 7~10 日) したことを確認したのち、表層土壌の削り取りを行う。
削り取りは、油圧ショベルのアームを押し付けながらスイングすることにより行う。これにより、削り取りの厚さを一定に制御できる。アームに取り付けるバケット部を改良することで、バキュームカーによる排土の収集が可能となり、汚染土壌の取りこぼしをなくすることができる。
- 3) バキュームカーで収集した排土をフレコンバッグに移し替え、決められた場所に仮置きする。



写真 1 : 固化剤吹き付け作業



写真 2 : 固化剤吹き付け後のほ場

3. 結果と考察の概要 (表 1 参照)

- 1) 土壌の放射性セシウムの濃度は、表層土を削り取ることにより、9,616 Bq/kg から 1,721 Bq/kg へ低減した。ほ場内の表面線量率は、7.76 μ Sv/h から 3.57 μ Sv/h へ低減した。
- 2) 10 a 当たりの排土量は約 30m³ であり、推定された削り取りの厚さは約 3.0cm であった。
- 3) 油圧ショベルのバケットの改良によって、これまで削り取り・収集・搬出の 3 工程

で行っていた作業を1工程で行うことが可能である。

- 4) 表層土壌を固化することで、土壌の飛散を抑えることが期待できる。
- 5) 固化剤を散布することで表層土壌が白くマーキングされるため、削り残しや取りこぼしを目視により確認できた。
- 6) 稲の刈り株や不陸のある田面でも適用が可能。
- 7) 降雨後ではほ場表面が濡れている場合は、固化剤混合溶液が所定の深度に浸透しない可能性があるため、ほ場が乾燥した後に吹き付けることが望ましい。
- 8) 固化剤混合溶液を吹き付ける際には、ほ場内の雑草を事前に処理する必要がある。
- 9) ポリオンや分子性ポリマーでも同様の効果が期待できる（飯舘村で予備試験を実施、日本原子力研究開発機構）。



写真3：表層土の削り取り



写真4：改良したバケット部

表1：結果の概要

	放射性セシウム濃度 (Bq/kg、乾土)	低減率 (%)	地表面線量 (μ Sv/h)
削り取り前	9,616	—	7.76
削り取り後	1,721	82	3.57

4. 今後の計画・課題

- 1) 削り取った表層土壌をより効率よく吸引するため、バケット部の改良を検討。
- 2) 削り取った表層土壌の吸引以外の効率的な収集方法についても検討



写真5：ポリオンにより固化した土壌

2-3) 芝・牧草の剥ぎ取り

1. 概要

芝の剥ぎ取り機であるターフスライサーを用いて、芝地や草地の草と表土とを同時に切り取ることにより、除草と除染の同時作業による効率的な汚染土壌の削り取りを行うことを目的とする。

○担当：福島県農業総合センター

○実証試験実施場所：1) 畜産研究所沼尻分場：ターフスライサーによる芝地の切り取りとフロントローダによる回収試験

2) 福島県相馬郡飯舘村飯樋の水田転換牧草地：ターフスライサーによる牧草地の切り取りとフロントローダによる回収試験

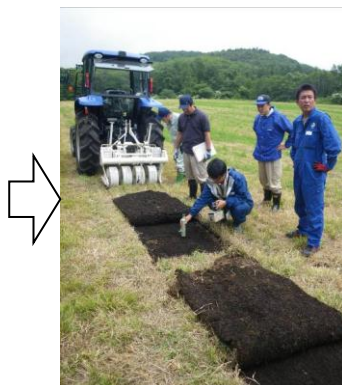
2. 作業の流れ

1) ターフスライサーにより芝や草を切り取る。

2) フロントローダで剥ぎ取り、搬出する。



スガノ農機製ターフスライサーを用いる。



土壌を 3cm (奥) もしくは 5cm (手前) に剥ぎ取る。

草丈の低い芝地等



フロントローダを用い、すくい上げによる搬出する。

草丈の高い牧草等



フロントローダを用い、引き剥ぎによる搬出する。

3. 結果と考察の概要 (表 1 参照)

1) ターフスライサーによるルートマットの切り取りは 3cm 及び 5cm の厚さで可能であり、ともに切り取り速度 0.15 km/h であった。

2) 放射性セシウム濃度は切り取り厚 3cm で 97% 減、5cm で 99% 減であり、どちらの剥ぎ取り厚でも大幅に減少した。

3) ターフスライサーによる切り取り及びフロントローダによる剥ぎ取り及び運搬時に

において、草丈 50cm 程度の牧草のルートマットでも表層土壌の落ちこぼれを防止できることを確認できた。

- 4) 表土を 3cm の厚さで切り取るとすると、10 a 当たりの大まかな作業時間は、切り取り時間は 135 分、剥ぎ取り時間は 113 分、また、牧草を含む剥ぎ取った土の重量は 41.6t であった。
- 5) 飯舘村の現地圃場のように水田からの転換地では、フロントローダによる剥ぎ取りについて、すくい上げでは想定より深く土を剥ぎ取ってしまうため、引き剥ぎで作業を行った。
- 6) ルートマットの発達した草地では作業がし易いが、そうでない草地では作業がし難い。

表 1：飯舘現地の土壌中の放射性セシウムの値（単位：Bq/kg）

試料の内容 (剥ぎ取り設定深度)	乾土 ¹³⁴ Cs	乾土 ¹³⁷ Cs	乾土 Cs 合計	低減率 (%)
剥ぎ取り前 (5 点の混合)	6,394	7,236	13,630	—
5 cm	80	97	177	98.5
3 cm	147	180	327	97.2

注) 土壌のサンプルについては 15cm の深さである。

4. 今後の計画・課題

- 1) ターフスライサーとフロントローダを用いる体系について、傾斜地や凹凸のある土地で効率的に実施できるか検討が必要である。
- 2) ルートマットがない草種が優占する群落での適用性の検討が必要である。
- 3) より小型のソードカッターと吸引器を組み合わせた方法についても検討中（農研機構中央農業総合研究センター）。

3. 水による土壌攪拌・除去

1. 概要

水田において表層土壌を攪拌（浅代かき）した後、細かい土粒子が浮遊している濁水をポンプにより強制排水し、沈砂地において固液分離を行い、分離した土壌のみを廃棄土とした。セシウム含量の高い土壌表層の細粒子を排出し、廃棄土を減容化するとともに除染を行うことを目的とする。

○担当：（独）農研機構農村工学研究所（（独）農業環境技術研究所）

○実証試験実施場所：福島県相馬郡飯舘村現地ほ場（4.2a）

2. 作業の流れ

- 1) パーチカルハローで表層約 2cm を攪拌する。
- 2) 水田に水を入れて、浅代かきを実施する。
- 2) 濁水をポンプにより沈砂地に強制排出する。その際、塩ビ管を使用し、人力でポンプ側への濁水の押し出しを実施する。
- 3) 凝集剤を投入し、沈砂地において固液分離を行う。
- 4) 上澄み液は放射性セシウム濃度を確認後、排出する。分離した土壌は乾燥した後にフレコンバッグに移し替え、決められた場所に仮置きする。



写真1：土壌攪拌（浅代かき）



写真2：沈砂地への濁水の排出

3. 結果と考察の概要

- 1) 土壌表面攪拌機による小規模の予備試験では、土壌の放射性セシウム濃度の低減率は、土壌によって異なり、29～71%であり、粘土含量が少ない土壌では高い効果が期待できない場合があることがわかった。
- 2) 土壌の放射性セシウムの濃度は、土壌攪拌（浅代かき）及び濁水の強制排水を行うことにより、16,052 Bq/kg から 9,859 Bq/kg へ低減した。圃場表面の空間線量率は、7.50 μ Sv/h から 6.48 μ Sv/h へ低減した。
- 3) 予備試験から 10a 当たりの排土量は 1.2～1.5t と推計され、表層土壌を 5cm はぎ取

った場合と比較して、排土量は1/10以下となる見込み。

- 4) 沈砂地において固液分離した後の上澄み液の放射性セシウム濃度は、検出限界（4～8 Bq/L）以下であったため、環境中への排出が可能。
- 5) 放射性物質が水に溶出した場合は、プルシアンブルー不織布をフィルターとした水路（産業技術総合研究所）や天然鉱物等による吸着が可能。
- 6) 土壌攪拌を実施する前に、ほ場内の雑草を事前に処理する必要がある。



写真3：沈砂地における固液分離



写真4：固液分離後の上澄み液
(放射性セシウム濃度は検出限界以下)

表1：土壌表面攪拌による実証試験結果の概要

	放射性セシウム濃度 (Bq/kg、乾土)	低減率 (%)	地表面線量率 (μ Sv/h)
試験実施前	16,052	—	7.50
試験実施後	9,859	39	6.48

4. 今後の計画・課題

- 1) 濁水状態を維持し、除染効率を上げることを目的に、土壌表面攪拌機を用いた実証試験を9月中に実施予定（農業環境技術研究所）。

4. 反転耕

1. 概要

プラウ耕により、放射性セシウムで汚染された表層土を土壌下層に反転することにより、土表面の空間線量率を低下させるとともに、作物への移行吸収量を低下させることを目的とする。反転耕では、表土除去の場合問題となる廃棄物としての排土が発生しない利点があり、施工コストも小さいことが期待される。今回は、反転深度の異なるプラウ（耕深 30, 45, 60cm）を試験。

○担当：（独）農研機構中央農業総合研究センター（協力：生物系特定産業技術研究支援センター）

○実証試験実施場所：福島県本宮市水田(28a)

2. 作業の流れ

①吸着材（パーミキュライト等）の表面散布→②プラウ耕→③踏圧・砕土・均平化→④施肥→⑤移植



図1：ジョインター付きプラウ（耕深 30cm、トラクタ牽引）：本宮市、5月9日実施

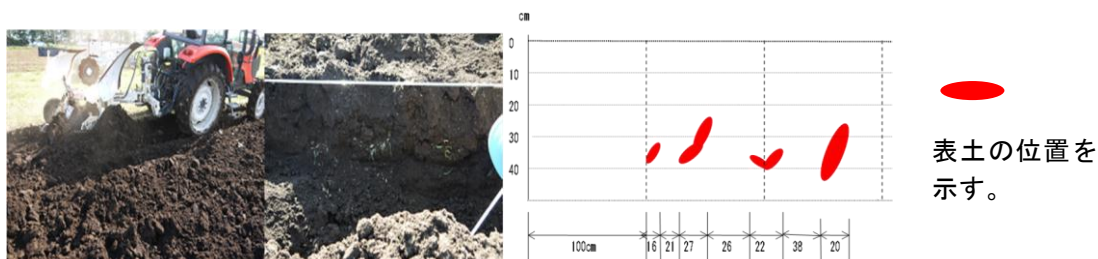


図2：改良型二段耕プラウ（耕深 45cm、トラクタ牽引）：中央研ほ場、8月29日実施

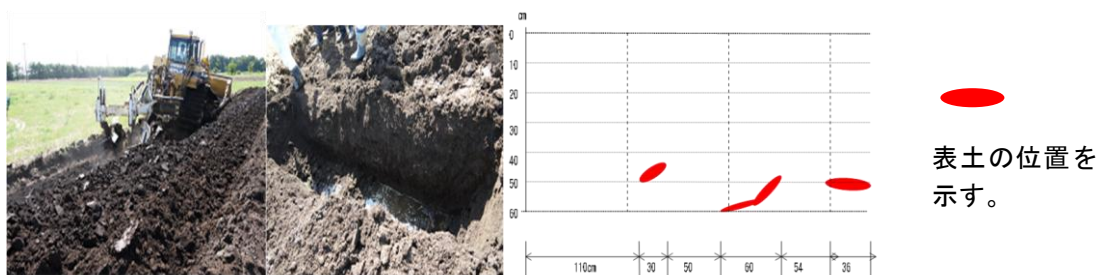


図3：二段耕プラウ（耕深 60cm、D6 ブルドーザー牽引）：中央研ほ場、8月29日実施

3. 結果と考察の概要

- 1) 本宮市における反転プラウ（30cm）では、放射性セシウムは深さ 15cm~20cm の層に入り、最表層では明らかに濃度は低下した（図 1）。
- 2) ほ場の表面線量率は、不耕起：0.66 $\mu\text{Sv/h}$ 、ロータリ耕：0.40 $\mu\text{Sv/h}$ 、プラウ耕：0.30 $\mu\text{Sv/h}$ であった。
- 3) プラウ耕の作業時間は 0.5 時間/10a。反転耕後、無代かき田植えを実施し、現在、順調に生育中。
- 4) 耕深 45cm の反転耕では、表土は 25-40cm の土中、耕深 60cm 反転耕では表土は 40-60cm の土中に移動。
- 5) 放射性物質を除去する方法ではないので、高度に汚染された農地に適用することはリスクが大きく、比較的軽度の汚染土壌向き。
- 6) 事前に、簡易ボーリングによる地下水位調査と土壌の放射性セシウム溶出試験を実施し、地下水汚染リスク評価が必要。
- 7) 反転深度が深いほど地表面の空間線量率の低下効果等は高いが、耕盤を壊す恐れがあるので、水田には 30cm タイプが適する。また、減水深の大きな水田では、丁寧にかきをするなどの漏水対策が必要。
- 8) 下層土が痩せた土壌の場合、反転耕により痩せた下層土で作物を栽培することになるので、堆肥や土壌改良資材の施用による地力向上対策が必要。

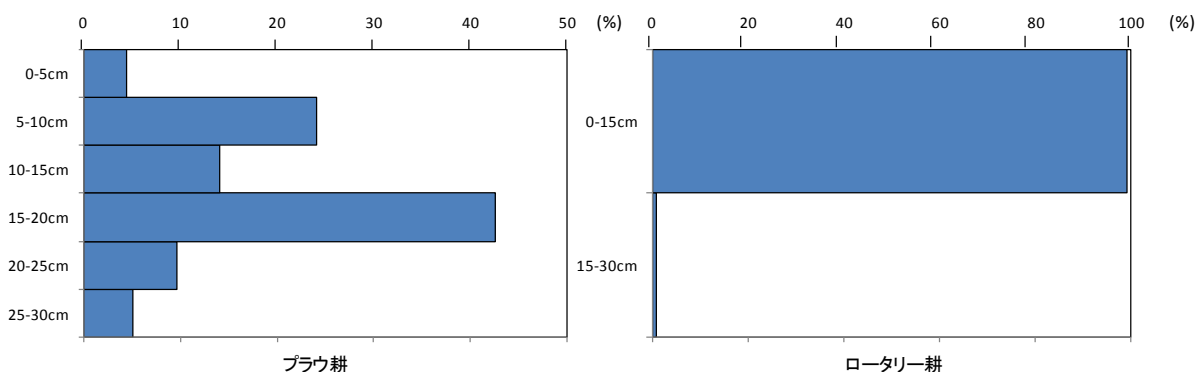


図 1：本宮市における反転プラウ（30cm）耕後の放射性セシウムの深度分布

4. 今後の計画・課題

- 1) 事前の地下水汚染リスク評価法を早急に確立。
- 2) 本宮市の現地実証水田で生育中の水稻の収穫物調査等を実施。

5. 高吸収植物による除染

1. 概要

放射性セシウムを吸収する能力が高いと考えられている植物により土壌から吸収させて回収する技術（ファイトレメディエーション技術）について有効性を確認・実証することを目的とする。試験研究機関の圃場および被災地の現地圃場で栽培し、放射性物質の吸収量を推定するとともに、残渣の焼却試験を行う。

○担当：(独)農研機構東北農業研究センター、福島県農業総合センター、(独)日本原子力研究開発機構

○実証試験実施場所：

- 1) 福島県相馬郡飯舘村二枚橋現地圃場(15a)：土壌の放射性セシウム濃度：7,715 Bq/kg、ヒマワリ（キク科）、アマランサス（ヒユ科）(5/28 播種)
- 2) 福島県伊達郡川俣町山木屋地区現地圃場(1a×2)：土壌の放射性セシウム濃度：5,690 Bq/kg ケナフ（アオイ科）、キノア（アカザ科）、アマランサス（ヒユ科）(6/29 播種)

2. 作業の流れ

飯舘村二枚橋地区現地圃場（褐色森林土）および福島県農業総合センター（灰色台地土）では、ヒマワリ、アマランサスを栽培し、放射性セシウムの吸収量を把握する。

川俣町山木屋地区現地圃場では、ケナフ、キノア、アマランサスを栽培し、放射性セシウムの吸収量を把握する。

東北農業研究センター福島拠点（黒ボク土）では、ヒマワリ2品種、アマランサス4品種・系統、キノア1品種、ケナフ1品種に加え、ソルガム1品種、キビ1品種、栽培ビエ1品種（以上イネ科）を栽培し、放射性セシウムの吸収量を比較する。

表1. ヒマワリ栽培の試験設計および開花日

試験地点	土壌	作期の気温 ^{注)}	播種日	開花日
飯舘村現地	褐色森林土	20.0℃	5月27日	8月5日
福島拠点	黒ボク土	23.0℃	5月25、27日	7月29日、7月31日
福島農総セ	灰色台地土	22.2℃	5月17日	7月20日

注：6月～8月の平均気温の平年値

3. 結果と考察の概要（暫定値）

- 1) 飯舘村現地圃場のヒマワリについて、開花時（8月5日）の放射性セシウム濃度は硫安+無カリ区において茎葉で52 Bq/kg、根で148 Bq/kgであった（表2）。この場合の、土壌（7,715 Bq/kg）から茎葉への移行率は0.00674であった。

- 2) 飯舘村現地圃場の土壌の放射性セシウムは、平方メートル当たり、1,067,820 Bqと計算される。一方、ヒマワリの収量（新鮮重）が約10 kg/m²、放射性セシウム濃度が52 Bq/kgとすると、平方メートルあたり520 Bqがヒマワリに吸収された計算になり、平方メートル当たりの土壌に含まれる放射性セシウム（1,067,820 Bq）の約2,000分の1にあたる。このことから、ヒマワリによる除染効果は小さいと考えられる。
- 3) 今回のヒマワリの値は開花時の値である。今後、開花30日後まで経時的に採取したサンプルの結果を総合的に評価する必要がある。

表2. ヒマワリの開花時の放射性セシウム濃度（飯舘村二枚橋圃場）

部位	区	¹³⁴ Cs Bq/kg, DW	¹³⁷ Cs Bq/kg, DW	Cs 合計 Bq/kg, DW	水分率	Cs 合計 Bq/kg, FW
茎葉	硫安+無カリ	280	340	620	0.91	52
	硝安+塩化カリ	140	185	325	0.91	31

それぞれ2箇所のアverage

4. 今後の計画・課題

試験している全ての植物の結果が出てないので、確定的ではないが、ヒマワリについては、吸収率が低く除染に極めて長い時間がかかるため、実用的ではない。

ヒマワリについては、開花期から開花後30日にかけて経時的に収穫し、放射性セシウム濃度を測定する。現地栽培ヒマワリの一部については、放射性物質を飛散させずに減容化するための焼却試験を実施する。さらに一部のヒマワリについては、種子を完熟させ、油への放射性セシウムの移行を調査する。

その他の各種作物については、生育ステージを見極めつつ生産量と放射性セシウム濃度を順次測定する。



写真1：焼却試験装置

6. 放射性物質の中間処理・管理技術

6-1) . コンクリート製容器による放射線減衰試験

1. 概要

6月13日～15日に飯舘村で実施した表土削り取り試験によって生じた排土（放射性セシウム濃度：約5万Bq/kg）を詰めたフレコンバッグを、試作したコンクリート製容器に封入し、放射線遮蔽効果を確認することを目的とする。

○担当：（独）農研機構農村工学研究所、他

○実証試験実施場所：福島県相馬郡飯舘村飯樋、他

2. 作業の流れ

使用したコンクリート製容器の外寸は1.5m×1.5m×1.5m、壁厚は15cm、内容積は1.6m³。使用した材料は、普通コンクリートと重量コンクリートであり、それぞれ重量は普通コンクリート製が4.2t、重量コンクリート製が6.0tである。

- 1) 吊り金具をもちい、安定した水平面にコンクリート製容器を設置
- 2) 飯舘村で実施した表層土剥離試験によって生じた排土を詰めたフレコンバッグを防水シートに包んだ後、コンクリート製容器に封入。
- 3) 蓋とのジョイント部にフチゴムを使用し、雨水の浸入と内部からの漏洩を防止。



写真1：コンクリート製容器の設置



写真2：フレコンバッグ挿入後の状況

3. 結果と考察の概要

- 1) 土壌を封入したコンクリート製容器表面の線量率は、フレコンバッグ表面と比較して90.1~94.3%減衰しており、コンクリート製容器による放射線の遮蔽効果が確認された(表1)。
- 2) コンクリート製容器の設置場所が水平であることや、総重量に耐えうる基礎地盤の処置が必要。
- 3) クレーンによる吊り上げの際に、吊り下げケーブルが本体に接触しないように治具を使用すること、また、使用クレーンの旋回やアウトリガーの延長スペースの確保が必要。

表1：土壌を封入したフレコンバッグ及びコンクリート製容器の表面線量率

測定位置	対象	表面からの距離	線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	低減率 (%)
上部	フレコンバッグ	1cm	3.31	-
		15cm	2.92	11.8
	普通コンクリート	1cm	0.28	91.5
	重量コンクリート	1cm	0.19	94.3
下部	フレコンバッグ	1cm	3.85	-
		15cm	3.31	14.0
	普通コンクリート	1cm	0.38	90.1
	重量コンクリート	1cm	0.22	94.3

注1：測定に際しては、サーベイメーターの受感部を鉛の円筒で覆い、バックグラウンドの影響を排除。

注2：空の状態におけるコンクリート製容器の表面線量率

普通コンクリート：0.33 $\mu\text{Sv/h}$ 、重量コンクリート：0.20 $\mu\text{Sv/h}$

4. 今後の計画・課題

- 1) コンクリート製容器のハンドリング性を向上させるため、軽量化の可能性について検討や、封入する汚染土壌の濃度によって、コンクリート製容器の性状を検討する必要がある。
- 2) 現地圃場実証試験で発生した放射性物質を含む土壌の処理（仮置き場への搬出等）を確実に実施する必要がある。

6-2) . 土壌からの放射性物質の分離技術の開発

1. 概要

抽出したセシウムをプルシアンブルーナノ粒子吸着材で回収することで、放射性廃棄物の総量を減らすことを目的とし、土壌中のセシウムを低濃度の酸水溶液中に抽出する技術を開発した。

○担当：(独) 産業技術総合研究所

2. 作業の流れ

計画的避難区域に指定されている福島県飯舘村の畑から採取した非汚染土壌（下層土、褐色森林土、非放射性セシウムを 2.3 ± 0.3 ppm 含む）を使用した。

- 1) 土壌を低濃度の酸水溶液で洗浄して、セシウムイオンを酸水溶液中に脱離させる。
- 2) 酸水溶液に抽出されたセシウムイオンは、セシウム吸着材であるプルシアンブルーナノ粒子で回収する。酸水溶液は低濃度であるため土壌洗浄に再利用できる（図1左）。
- 3) さらに、この2つの工程を接続することで連続処理も可能となる（図1右）。

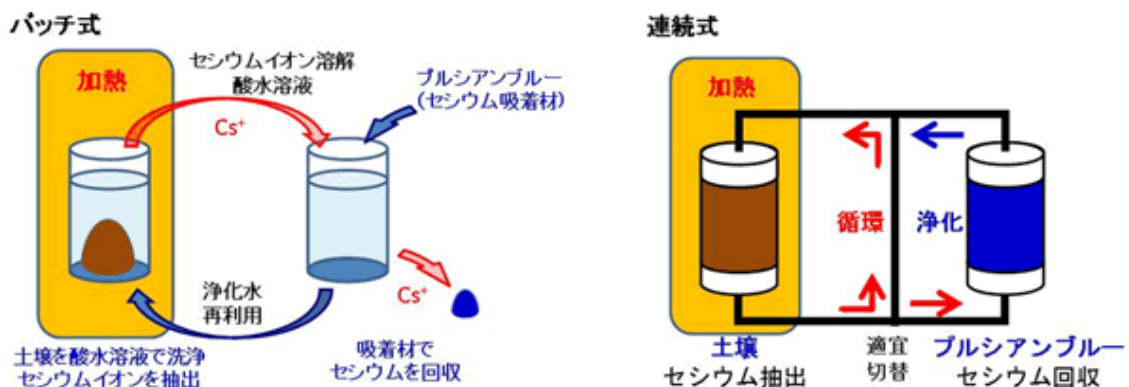


図1：土壌からの放射性セシウム抽出ー回収システムの模式図

3. 結果と考察の概要

- 1) 0.5 mol/L の希硝酸を使用した際のセシウムイオン抽出量は、固液比（土壌に対する希硝酸の量）を増加させると、セシウムイオンの抽出率が向上する（図2）。
- 2) 放射性セシウムが非放射性セシウムと同様の化学的挙動であれば、この処理により、処理温度を 200°C に上げることで、ほぼ 100% のセシウムイオンの抽出が可能である（図3）。
- 3) 土壌から抽出したセシウムイオンはプルシアンブルーナノ粒子でほぼ 100% を回収できた。今回の実験で使用したプルシアンブルーナノ粒子の量はセシウムイオンを抽出したもとの土壌量の 1/150 であった。
- 4) セシウムイオン回収後の酸水溶液は、酸濃度の調整のみで繰り返し利用できる。

- 5) 非放射性セシウムを対象としているため、実用化には放射性セシウムを用いた挙動の確認が必要である。
- 6) 酸水溶液を利用するため、抽出を行う機器は腐食に強い必要がある。
- 7) 溶液を 200°Cまで加熱するには加圧が必要である。

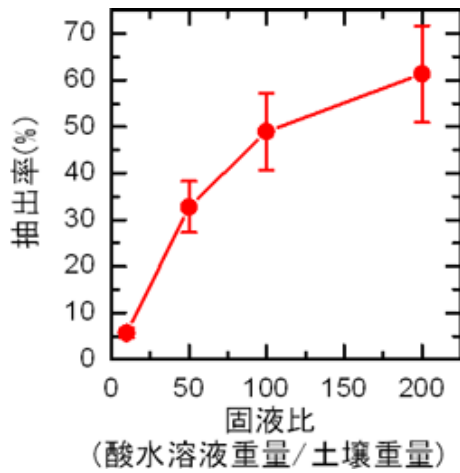


図 2 : 固液比によるセシウム抽出率の変化
 土壤と 0.5 mol/L の希硝酸を混合し、
 95 °C、45 分静置した際のセシウムイオン
 抽出率

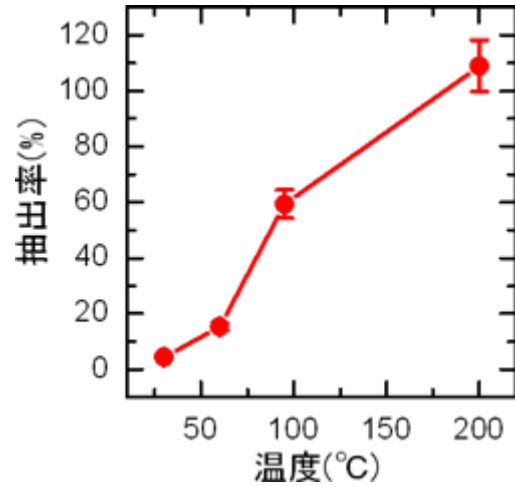


図 3 : 温度によるセシウム抽出率の変化
 抽出温度を変化した際のセシウムイオン抽
 出率 (0.5mol/L の硝酸、固液比 200)
 *抽出率が 100%を超えているのは、土壤中の
 セシウムイオン量のばらつきに起因する。

4. 今後の計画・課題

- 1) 処理温度、酸濃度などの最適化や、土壤量に対するプルシアンブルー使用量をさらに低減させるなど、技術改良を進める。
- 2) 処理後の土壤への酸による粘土鉱物への影響などの特性調査を行う。

6-3) 水溶液からの放射性物質の吸着・除去技術の開発

1. 概要

水溶液に溶解しているセシウムを吸着する素材として、天然鉱物等の無機材料を比較するとともに、化学合成や成型技術によりセシウムに選択性が高い捕集材を開発することを目的とする。

○担当：(独)物質・材料研究機構、(独)日本原子力研究開発機構、(独)産業技術総合研究所

2. 研究手法

- 1) セシウムの選択的吸着機能が知られる天然鉱石（ゼオライト、スメクタイト、パーミキュライト、鉄系鉱物、炭化物、層状複水酸化物）について、セシウムの吸着特性についての基礎的データを収集する。
- 2) 従来よりセシウムを吸着することが知られているプルシアンブルーを用いて、利用場面に応じた各種形態の吸着資材を開発する。
- 3) 選択性が高い捕集材として、セシウムを特異的に吸着するグラフト重合体、クラウンエーテルやタンパク質を用いて、セシウムの回収性能評価と、捕集材の量産化について検討するとともに、フィールド試験を行う。

3. 結果と考察の概要

- 1) 天然鉱物として約 100 種類、放射性セシウム濃度を 6 段階に設定した試験を行い、反応後の平衡濃度、セシウム吸着量、分配係数等を明らかにした（図 1）。得られた結果は(独)物質・材料研究機構のマテリアルデータベースサイト (MatNavi) に公表予定（図 2）。

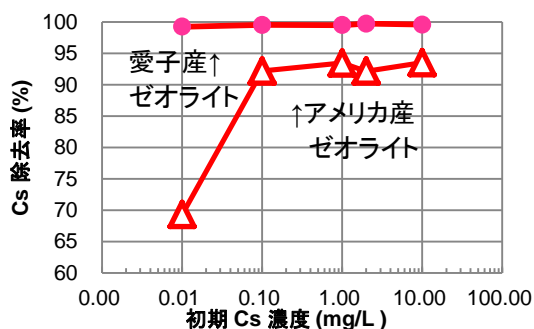


図 1：セシウム吸着試験例



図 2：マテリアルデータベースサイト
(<http://mits.nims.go.jp/index.html>)

- 2) セシウムを吸着するプルシアンブルーを用いて各種吸着資材を開発（図 3）。農研機構で実施中の水による土壌攪拌除染用に、排水から放射性セシウムを取り除くための除染フィルターを開発、提供した（図 4）。1.5L/秒の処理速度での通水が可能であることを示した。

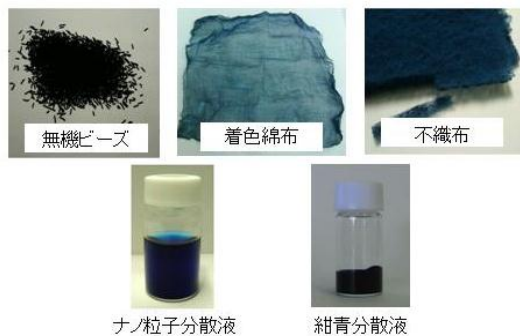


図3：各種プルシアンブルー吸着資材

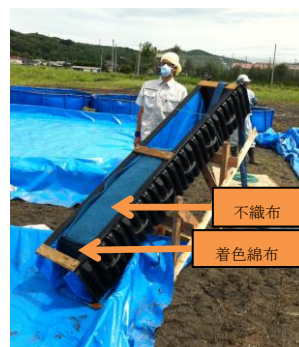


図4：除染フィルターによる実証試験

- 3) グラフト重合による捕集材では、捕集材体積の約 3,000 倍量の汚染水を処理可能であり、量産化によって 1 万円/m² での製造が可能となった。飯舘村のため水を対象とした試験ではフィルターろ過と組み合わせることで約 40 Bq/L のセシウム濃度を検出限界以下まで低減できた (図 5)。
- 4) セシウム選択的クラウンエーテルを新たに設計・開発し、セシウムの除去率はほぼ 100% であることとともに、極少量の 0.1N 硝酸溶液により吸着剤から除去後のセシウムを 100% 回収でき、繰り返し利用が可能であることを示した (図 6)。製造コストは 1.5 万円/kg である。

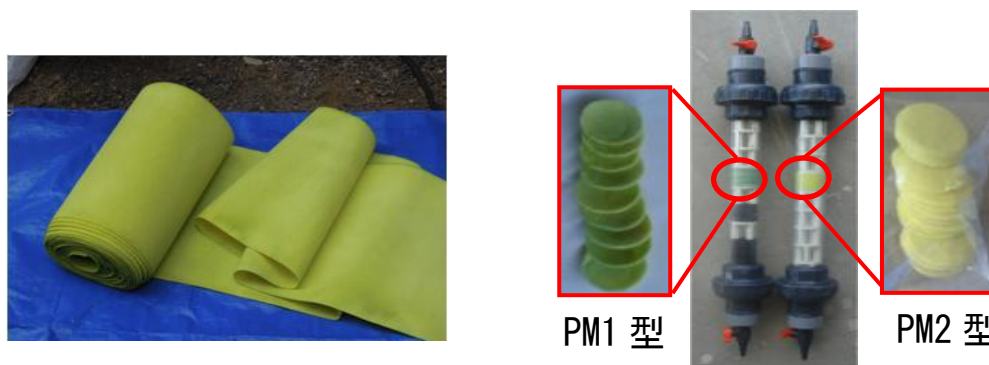


図5：量産型グラフト重合捕集材（左）とセシウム除去フィルター装置（右）

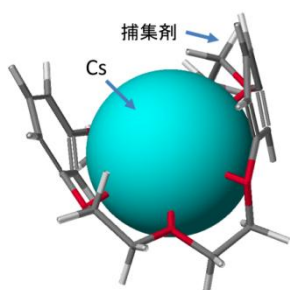


図6：クラウンエーテル捕集材によるセシウム吸着構造（左）とセシウム除去処理装置（中：プレフィルター、右：トルネード吸着塔）

- 5) 土壤から放射性セシウムを分離した溶液をはじめ、様々な除染場面で生じる汚染水溶液の処理に活用が期待される。
- 6) 天然鉱物は製造元等により諸性質が異なることがあり、利用前には検討が必要である。

4. 今後の計画・課題

- 1) タンパク質捕集材は、人工的な改変によりセシウムの吸着を確認したが、大量合成には至っておらず、合成系について検討する。