

農地除染用トラクタによる表土削り取り作業技術

宮原佳彦

キーワード 農地, 除染, 放射性物質, 表土削り取り, トラクタ

はじめに

平成23(2011)年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力福島第1原子力発電所の事故により, 大量の放射性物質が放出され, 福島県を中心とした広い範囲の地域が汚染された。この放射性物質の大半は放射性セシウム(以下, Cs)であり, 農地では表層の土壌中にその大半が集中している。このため, 汚染地域の放射線量低減, すなわち, 除染の方法としては, 表土の削り取り作業が有効とされている(農水省, 2013他)。

ここで, 農地やその周辺で表土削り取り作業を行う場合, 通常の農作業, すなわち, 耕うん, 整地, 資材運搬等で広く利用されている農用トラクタとこれに装着する作業機を用いることができれば, 非常に合理的である。しかし, 作業環境は通常と異なり, 放射線による運転者の被ばくを極力防止, あるいは, 抑制する必要がある。

そこで, (独)農業・食品産業技術総合研究機構(以下, 農研機構)・生物系特定産業技術研究支援センター(以下, 生研センター)では, 農機メーカーおよび公的研究機関と協力して, 運転者の放射線被ばく(外部および内部)を抑制する機能を有した農用トラクタの開発を行い, 同トラクタを用いて, 安全かつ効率的な農地表土除去作業を行う技術について, 現地での実証試験を行った(重松ら, 2013)。

今回, 日本土壌肥科学雑誌に解説として, 前記の研究開発について掲載していただく機会を得たので, 研究開発グループを代表して, 当方より, 以下のとおり, 述べさせていただきます。次第である。

1. 研究目的と開発目標

今回, 報告する研究開発の目的は, 以下のとおりである。

(1) 放射線による運転者の被ばく抑制機能を有したキャビンを搭載したトラクタ(以下, シールドキャビン付きトラクタ)を開発すること。

(2) 開発したトラクタと除染作業を行うために必要な各種作業機を選定し, これらを用いて, 効率的な農地除染作業技術を検証すること。

ここで, シールドキャビン付きトラクタの開発目標は, これまでの知見を基に, 以下のとおりとした。

- ① キャビン内部における運転者の放射線外部被ばく量は, キャビン外の放射線量に比較して概ね50%以下に低減する。
- ② キャビン外から内部への放射性物質(粉じん)の侵入は極力低減する。このとき, 防塵性能の目安は, 運転者が作業時に高価で重厚な防じんマスクを装着する必要のない程度のレベルとする。
- ③ 上記①と②の機能を有しつつ, 通常のキャビン付きトラクタとして必要な構造および機能等に関する要件を満たすこと。

2. シールドキャビン付きトラクタの概要

1) 開発トラクタの構造と仕様諸元

前記開発目標に基づいて, シールドキャビン付きトラクタ3機種(以下, それぞれ, A, B, C機)が開発された。それらの外観を図1に示す。

A機は, 国内市販のキャビン付きトラクタ(機関出力62.5kW, セミクローラ仕様)をベースとして, 放射線遮蔽材(薄手の鉛シート)をキャビン内各部に貼付するとともに, HEPAフィルタを備えた防じん空調装置を搭載(キャビン上面外側)したものである。本機は, ベース機(市販機)基本構成を変更せずに, 比較的小規模な改造により, 必要な機能を付加する方針で設計・製作された。このため, 放射線遮蔽材や空調装置は, いわゆる「後付け」であり, それらが不要となった場合等には, 市販機の状態に復元が容易である点も考慮されている。

B機は, 国内市販のキャビン付きトラクタ(機関出力58.8kW, セミクローラ仕様)をベースとして, 米国で市販されているトラクタ装着用キャビン(農薬散布作業用)を改造し, 放射線遮蔽資材(鉛板, 鉛ブロック, 含鉛ガラス等)をキャビン内壁部に装着し, HEPAフィルタとキャビン内加圧用ブローを用いた防じん空調装置を搭載(キャビン上面外側)している。本機は, トラクタの機能を維持しながら, 運転者の放射線被ばく抑制機能を最大限にする方針で設計・製作されている。

C機は, 国内市販のキャビン付きトラクタ(機関出力

Sumihiko MIYAHARA: Surface soil scraping by agricultural tractors for farmland decontamination

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター 生産システム研究部 (331-8537 さいたま市北区日進町1-40-2)

日本土壌肥科学雑誌 第85巻 第2号 p.125~128 (2014)



A 機 B 機 C 機

図1 開発したシールドキャビン付きトラクタ

92.9kW, フルクローラ仕様) をベースとして, 放射線遮蔽材 (鉛板, 鉄板) をキャビン内壁部に装着するとともに, HEPA フィルタとキャビン内加圧用ブロアを用いた防じん空調装置が搭載 (キャビン右外側) されている。

A, B, C それぞれの開発機の仕様諸元を表1に示す。

2) 開発トラクタの放射線遮蔽性能

前記開発トラクタ3機種を福島県飯舘村内に移送し, キャビン内外の空間線量率を測定し, 各トラクタの放射線低減効果を調査した。測定は, キャビン内の床面高さ1cmとハンドル近傍, さらに, トラクタの周囲 (キャビン外) 4方向の地上1mで測定した。

測定結果を表2に示す。ここで, 外部の空間線量率が2~7 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ の条件下で, キャビン内・ハンドル近傍の空間線量率の外部に対する比率は, 概ね, A機59% (床

面付近30%), B機13% (床面付近5%), C機36~57% (床面付近10%) となり, 開発トラクタはいずれも目標を達成していることが確認された。

3) 開発トラクタの防じん性能

前記開発機と通常のトラクタ計5機種を供試して, 農研機構・中央農業総合研究センター (以下, 中央農研) の閉閉式屋根付きほ場 (5a, 土性: SL, 含水比: 17~21%) において, 各供試トラクタに同じパワーハローを順次装着し, 表土破砕模擬作業10分間 (作業速度約0.3 m s^{-1} では場内2周作業) をそれぞれ行い, キャビン内外の粉じん濃度をデジタル粉じん計とローボリュームサンブラを用いて測定した。その測定結果を表3に示す。

この結果, 開発トラクタは通常のキャビン付きトラクタに比べて, 防じん性能が高く, 同トラクタを使用すること

表1 開発トラクタの主要諸元

供試機	A 機	B 機	C 機
機関出力 (kW)	62.5 (85PS)	58.8 (80PS)	92.9 (126PS)
走行部仕様	セミクローラ (前: 車輪, 後: クローラ)	セミクローラ (前: 車輪, 後: クローラ)	フルクローラ
全長 (mm)	5,100 (フロントローダ含む)	3,955	4,420
全幅 (mm)	2,020	1,890	2,640 (防じん空調装置含む)
全高 (mm)	3,260 (防じん空調装置含む)	2,765 (防じん空調装置含む)	2,680
質量 (kg)	5,000 (フロントローダ含む)	6,120	6,110
質量増加量 (kg)	200	2,600	1,000
放射線遮蔽素材	鉛板	鉛板, 鉛ブロック, 含鉛ガラス	鉛板, 鉄板
防じん空調装置	HEPA フィルタ, 空気与圧型	HEPA フィルタ, 空気加圧循環型	HEPA フィルタ, 空気加圧循環型

表2 放射線遮蔽性能調査結果¹⁾

供試機	空間線量率 ²⁾ ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)				
	A 機	B 機		C 機	
試験場所	飯樋	伊丹沢	長泥	伊丹沢	長泥
機体周辺外部	2.57	2.3	7.05	3.39	7.05
測定場所	キャビン内	0.31	0.93	1.21	4.01
ハンドル近傍	(59.3)	(13.5)	(13.2)	(35.7)	(56.9)
キャビン内	0.48	0.14	0.46	0.35	0.67
床面	(29.8)	(4.1)	(6.5)	(10.3)	(9.5)

¹⁾ () は機体周辺外部を100とした場合の空間線量率の比 単位: %

²⁾ シンチレーションサーベイメータ (日立アロカメディカル, TCS-172B) を使用。

表3 防じん性能調査結果¹⁾

供試機	キャビンなし	キャビン付き	A機 ²⁾	B機	C機
相対粉じん濃度 ³⁾ (cpm)	6.200	520 (8.4)	—	25 (0.4)	70 (1.1)
粉じん濃度 ⁴⁾ ほ場中央 (mg m ⁻²)	31.54	63.27	—	22.12	73.7
作業者口元	40.62 (128.8)	0.57 (0.9)	—	0.04 (0.2)	0.08 (0.1)

¹⁾ 相対粉じん濃度の () はキャビンなしを100とした場合の比, 粉じん濃度の () はほ場中央を100とした場合の比. 単位: %

²⁾ A機は空調装置に不具合があったため, 測定値なし.

³⁾ デジタル粉じん計 (柴田科学, LD-5) を使用し, 作業者口元近傍で測定.

⁴⁾ ローボリュームサンブラ (柴田科学, LV-40BR+A型ホルダ) を使用.



B機 (表土破碎作業)



A機 (集土作業)

図2 ほ場内の表土除去作業

で, 運転者の粉塵吸入による内部被ばく量は最小限に抑えられる見通しを得た. なお, 表3のA機は本調査時に空調装置に不備があり, 改造と再試験を検討中である.

3. 開発機を用いた表土削り取り作業の実証試験

1) 試験方法

試験ほ場は, 福島県飯館村の農家ほ場 (31.5a, 黒ボク土, 含水比: 85.1%) とした.

ほ場内の表土除去作業の方法は以下のとおりとした.

B機にパワーハローを装着し, 供試ほ場内に設置した2試験区 (各8.6a) で表土破碎作業を行う. その後, リアグレーダおよびフロントローダを装着したA機を用いて, 集土・排土作業を行う. 実際の作業の状況を図2に示す.

また, 外の放射線量の測定は, 試験区内12地点 (9m×8mメッシュ中央地点) で, 地上1cm (表面コリメート法: サーベイメータの検出器を鉛製の遮蔽体で覆い, 周囲からの放射線の影響を除外して測定対象地表面からの放射線のみを測定) と地上1mの空間線量率を作業の前後で測定し, 作業による低減度合いを調査した.

さらに, 同地点において, 採土器を用いて地表面から深さ15cmまでの5cmごとの土壌サンプルを採取し, 外部機関で放射性物質の分析を行い, 放射性Cs濃度を算出し, 放射性物質の除去効果を調査した.

ここで, 作業能率は, 作業速度および作業時間を固定ビデオカメラ, GPSロガーを用いて記録し, ほ場作業量等を算出した. 作業精度は, 試験区内216地点 (2m×2mメッシュ中央地点) において, 各作業の前後に測量器を用いて土壌表面の高さを測定し, 耕深および作業高さを算出した.

なお, 放射線遮蔽は前項2の2) および防じん性能は前

項2の3)と同様の方法で調査した.

2) 試験結果

空間線量率の低減効果について表4に示す. 表土除去前後の空間線量率は地上1cmで0.74から0.25 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ に, 地上1mで3.42から1.89 $\mu\text{Sv h}^{-1}$ に減少し, 除去前に対して地表1cmで34%, 地上1mで55%となった. 一方, 土壤に含まれる放射性Cs濃度 (地表面から深さ15cmまでの平均) は, 5,474から1,795 Bq kg^{-1} 乾土へと減少し, 除去後の濃度は除去前に対して33%となった. この結果, 開発トラクタによる表土除去作業が除染作業として有効であることが確認された. なお, 深さ別の放射性Cs濃度から, 地表面から深さ5cmまでに放射性Cs全体の95.3%が含まれていることも確認された.

表5に開発機の作業能率を示す. ほ場作業量は, B機の表土破碎作業26.9 a h^{-1} , A機の集土・排土作業3.0 a h^{-1} となった. この結果, 集土・排土作業の作業能率が非常に低く, その向上を図るために作業方法ならびに作業機につ

表4 空間線量率低減効果¹⁾

項目	空間線量率 ²⁾ ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)			
	表土除去前		除去後 ³⁾	
測定高さ	1cm ⁴⁾	1m	1cm ⁴⁾	1m
平均	0.74	3.42	0.25 (34)	1.89 (55)
最大	0.95	3.57	0.37	2.87
最小	0.47	3.28	0.12	1.64
標準偏差	0.13	0.07	0.09	0.36

¹⁾ シールドキャビントラクタB機で表土破碎作業, シールドキャビントラクタA機で集土・排土作業を実施.

²⁾ シンチレーションサーベイメータ (日立アロカメディカル, TCS-172B) を使用.

³⁾ () は表土除去前を100とした場合の空間線量率の比. 単位: %

⁴⁾ 表面コリメート法により測定.

表5 除染作業能率

作業名	表土破碎	集土・排土
供試機	B機	A機
作業時間 (min)	20	170
ほ場作業量 (a h ⁻¹)	26.9	3.0
作業速度 (m s ⁻¹)	1.24	— ¹⁾
燃料消費量 (kg 10a ⁻¹)	3.4	2.9

¹⁾ 集土・排土作業は加減速による速度変動が大きいいため、省略。

表6 放射線遮蔽・防じん性能¹⁾

供試機	A機	B機	
空間線量率 ²⁾ ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)	機体周辺外部	2.52	2.77
	キャビン内	1.48	0.48
	ハンドル付近	(59)	(17)
相対粉じん濃度 ³⁾ (cpm)	キャビン内	0.56	0.24
	床面	(22)	(9)
	ほ場内	4.1	14.1
	キャビン内	0.8	1.1
		(20)	(8)

¹⁾ 空間線量率の () は機体周辺外部を100とした場合の比、相対粉じん濃度の () はほ場を100とした場合の比。単位：%

²⁾ シンチレーションサーベイメータ (日立アロカメディカル、TCS-172B) を使用。

³⁾ デジタル粉じん計 (柴田科学、LD-5) を使用。

いて検討が必要と考えられた。

作業精度については、表土破碎作業の耕深がB機 28.8 ± 11.2 mm となり、概ね耕深 30 mm の作業が可能であった。なお、A機による集土・排土作業によって更に 10 mm 程度の表土の削り取りが確認され、集土・排土作業での作業精度向上についての検討も必要と考えられた。

表6に放射線遮蔽・防じん性能を示す。キャビン内部の空間線量率は、外部に対してA機 59% (床面付近 22%)、B機 17% (床面付近 9%) に低減した。また、相対粉じん濃度は、ほ場内に対してA機 20%、B機 8% であった。この時、相対粉じん濃度から算出した換算粉じん濃度 (質量濃度変換係数: $0.03 \text{ mg m}^{-3} \text{ cpm}^{-1}$) は、除染電離則が高濃度粉じん状態と定める 10 mg m^{-3} を大きく下回ることを確認した。なお、前述の防じん性能調査と比較して粉じん濃度の低減割合が小さかった原因は、対象ほ場の土壌含水比が高く、粉じん発生量が小さかったことが考えられた。

以上、開発したシールドキャビン付きトラクタは、表土除去作業に用いることが十分可能であり、放射線遮蔽性能と防じん性能は目標を達成していると判断された。

4. 今後の予定

以上のとおり、今回、通常の農用トラクタの作業性を確保しつつ、作業者の放射線による外部および内部被ばくを大幅に低減するトラクタが開発された。一方、農地周辺、すなわち、畦畔、法面、あるいは農道等の表土除去作業を行うための作業機 (トラクタ装着式) の開発が行われ、それらの開発機を用いて、現地での表土除去作業の実証試験も行われている (宮崎ら, 2012)。これまでの検討の結果、それらの作業機を用いて、円滑な農地周辺の表土除去作業を行う事が確認されている。

さらに、現在は、今回のトラクタ開発グループと表土削り取り機開発グループが共同して、より効率的で高精度な表土除去作業を行うために、表層破碎と集土 (排度畝を形成) を同時に行うとともに、表土を厚さ 3 cm 程度で正確に削り取ることができるトラクタ装着式の作業機の開発を行い、現地実証試験を実施中である。今後、除染作業を行うほ場において、開発機を効率的に利用する農地除染作業技術の体系化を目指す計画である。

おわりに

今回の報告内容は、農林水産省の平成 23 年度「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」で採択された「放射能汚染地域内水田等における除染作業用トラクタおよび作業機の開発」、ならびに、平成 24 年度委託プロジェクト「農地・森林等の放射性物質の除去・低減技術の開発」で採択された「高濃度汚染地域における農地土壌除染技術体系の構築・実証」において実施したものである。

今回、これらの研究プロジェクトにおいては、参画農機メーカー 5 社 (井関農機 (株)、(株)クボタ、(株)ササキコーポレーション、三菱農機 (株)、ヤンマー (株)) より多大なるご協力を賜った。また、現地実証試験の実施に当たっては、原子力発電所事故の被害を受け、様々な困難に直面する中にも拘らず、福島県飯館村の農業者・高野靖夫氏をはじめとする現地関係の皆様には、試験ほ場の管理や試験に付随する多くの作業へのご協力をいただき、さらに、飯館村復興対策課除染担当・万福裕造氏 (国際農林水産業研究センターより出向) には、現地の復興・復旧に取り組みつつ、現地関係部署との調整等をご尽力いただいた。改めてここに深く感謝する次第である。

今、農研機構をはじめ、各研究機関は、農機メーカー、あるいは、行政関係部局と連携を取りつつ、震災からの復興・復旧を目指す地域の要望に応えるべく、さらなる技術開発に取り組んでいる。これまでに開発された技術が用いられ、除染作業が円滑に進むことによって、一刻も早く現地の復興・復旧が図られるよう強く願う次第である。

文 献

- 重松健太・吉野知佳・宮原佳彦・紺谷秀之・市来秀之・山田祐一・堀尾光広・塚本茂善・皆川啓子・原田一郎・小林 恭・細川 寿 2013. 放射性物質汚染地域内水田等における除染作業用トラクタの開発。平成24年度生研センター研究報告会資料, 21-29.
- 農林水産省 2013. 農地除染対策の技術書 (第1編 調査・設計編), <http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/josen/pdf/tyousa.pdf>
- 宮崎昌宏・小竹一男・福田喜孝・野呂茂生・戸田 勉・前山達哉・宮西正美・原田孝弘 2012. 東日本大震災からの復興をめざして—農地周辺除染用作業機の開発—. 農業機械学会誌, 74, 251-279.