

施工性および防除効果に優れた蒸気除草手法の開発

谷川 光* 潮木 知良** 池畑 政輝** 中村 貴久*

Development of Steam Weeding Technique with Excellent Weed-Controlling Effect and Usability

Hikaru TANIGAWA Tomoyoshi USHIOGI Masateru IKEHATA Takahisa NAKAMURA

Currently, bush cutters are widely used for weed control along railway tracks. However, this method has some issues. For example, one of issues is that weeds regrow quickly after being cut during summer. Therefore, there is a need for more effective and efficient weed control methods. To address this need, we developed a specialized steam weeding equipment. This equipment consists of an ordinary steam cleaner and newly developed handheld nozzles. To verify the effectiveness of the developed equipment, it was tested in areas with vigorous weed growth. The test showed that this equipment provided effective usability with less labor and time. Furthermore, it was also confirmed that large weed regrowth was reduced by 70% after one year compared with bush cutter.

キーワード：刈払い、蒸気除草、手持ちノズル、熱変性、汎用スチーム洗浄機

1. はじめに

軌道外から用地境界までの鉄道用地では、雑草が繁茂することから（図1）、沿線環境の管理の一環として、一般的に刈払い機を用いた除草手法（刈払い）が広く用いられている。しかし、刈払いでは一時的に雑草を除去できるものの、雑草の成長速度が速い夏季では比較的短時間で再生するといった課題があった。また、刈払い機は振動工具に該当し、健康障害の防止のために作業時間の制約もあるため、1日の作業量も制限される（連続30分かつ1日2時間以内）。さらに、刈払い機の騒音により作業者の聴力が一時的に損失する健康障害も報告されている¹⁾。その他の課題として、鉄道用地内には列車運行用の信号通信ケーブルが敷設されており、刈払い機の回転刃による切断を防止するため、事前に探索を行うなどの対策を講じる必要があった。

刈払い以外の除草手法としては、化学的に雑草の光合成や成長を阻害する除草剤の散布が挙げられる。除草剤散布は防除効果に優れるが、沿線環境に応じて使用する除草剤を制限する²⁾など、用地外への飛散や流出に留意する必要がある。以上より、施工性や防除効果を確保しつつ、より安全性が高く沿線環境への影響がない除草手法が求められていた。

そこで、雑草に対して蒸気の熱を作用させ、タンパク質に熱変性を起こして枯死させる「蒸気除草」に着目し、施工性および防除効果に優れた蒸気除草手法を開発することとした。この手法は蒸気（水）を用いていることから、除草剤散布のような沿線環境への影響はない。また、

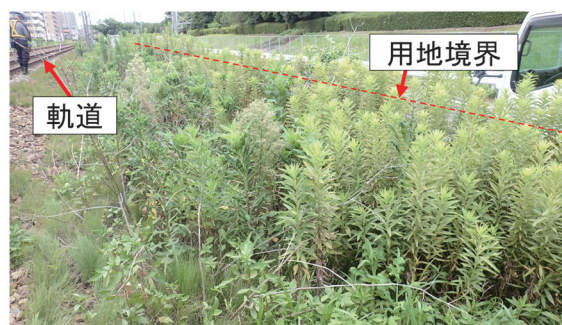


図1 鉄道用地における雑草の繁茂状況の例

刈払いや除草剤散布では効果が得られない未発芽の種子に対する死滅効果³⁾も期待できる。

2. 蒸気除草手法の開発⁴⁾

2.1 蒸気除草機材の構成

開発した蒸気除草手法に用いる機材を図2に示す。機材の構成は、汎用スチーム洗浄機1基および新たに開発した手持ちノズル2組となっており、図3に示すように補充用の水を入れたポリタンクも含めて3m²程度のトラックの荷台に必要品を全て積載して運搬できる。

蒸気除草は、もともと農業分野において、土壌を殺菌・消毒するための技術として開発されたが、水道水の利用を前提とした技術であるために蒸気発生源（ボイラー）が大型で、1時間あたり約1000Lといった多量の水が必要であるとともに、操作にボイラー技士の資格が必要であった。このため、水道水の利用が難しい鉄道用地では実用的でなく、実用化を図るためには、水の消費量が容量20L程度のタンク複数個分に抑えることが必要となる。そこで、本開発では、水の消費量が鉄道用地での

* 軌道技術研究部 軌道・路盤研究室

** 人間科学研究部 快適性工学研究室

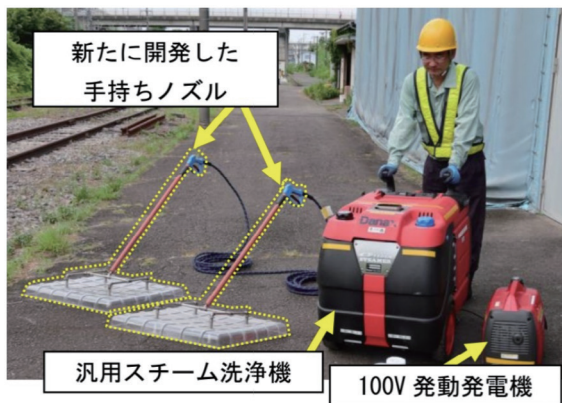


図2 開発した蒸気除草手法に用いる機材⁴⁾

蒸気除草に適したボイラーの選定をはじめに行った。国内市販品を調査した結果、水の消費量が農業分野で一般的な量の1/10以下である72L/hの汎用スチーム洗浄機を選定した。選定品は操作に資格が不要で、100V電源で起動する。

なお、選定品より大型の機種では、水の消費量が数千L/hと多くなり、操作に資格が必要で200V電源が必要であった。また、選定品より小型の機種では水の消費量(蒸気量)が数L/hと著しく少なく、鉄道用地に繁茂する大型雑草の防除には不適であると判断した。

2.2 手持ちノズルの形状検討

前節で選定したボイラーの性能をもとに、手持ち方式のノズルの検討を行った。農業分野での土壤の殺菌・消毒を目的とした施工では、一定面積のシートを農地上に敷設し、シート内に蒸気を数時間充填させる形態となっている。一方、電柱などの他設備も設置されている鉄道用地での除草を目的とした施工では、設備の状況に応じてシートを敷設する手間が生じる。また、自然風や列車の走行風によるシートの飛散も懸念される。そこで本開発では、設備の状況に機動的に対応可能な手持ちノズル方式とし、刈払いでの施工時間を参考に、単位施工面積(カバー部の面積)あたり10秒以内で短時間で処理できる性能を目標とした。

開発した手持ちノズルを図4に示す。開発品はボイラーからホースで供給される蒸気をカバー部内へ放出・滞留させる構造とし、水の消費量(蒸気量)を抑えながらも加熱効率を確保した。カバー部には格子状のリブ(凸部)を設け、高密度に繁茂した雑草がカバー内に収まった状態でもリブが蒸気の拡散経路となり、効率よく加熱できるような構造とした。

カバー部の他、蒸気排出口の形状の検討も実施した。図5に初期仕様、図6に最終仕様の蒸気排出口の形状を、それぞれの加熱特性とともに示す。初期仕様ではカバー面積を 0.16m^2 と設定し、カバー部内の上部から下

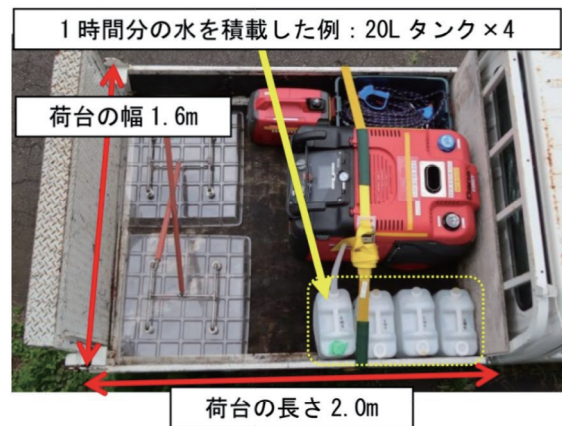


図3 機材および水のトラックへの積載状況⁴⁾

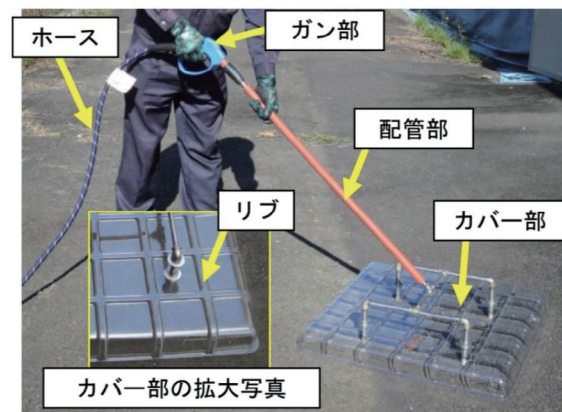
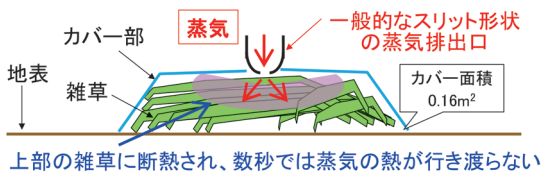


図4 開発した手持ちノズルの外観⁴⁾

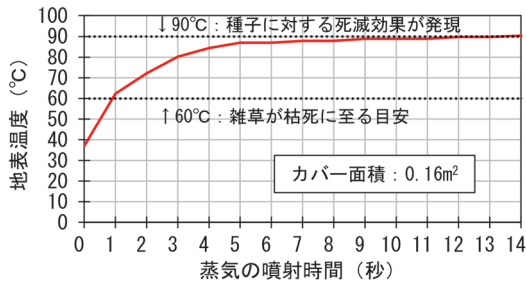
方に向かって蒸気を排出する一般的なスリット形状とした。最終仕様では円筒形状の配管を雑草に差し込む形状とし、地表付近の高さから雑草の根本に向けて側方に蒸気を噴射する構造とした。さらに施工速度向上のためにカバー面積も3.1倍(0.49m^2)に拡大した。

加熱特性の測定は、カバー内の四隅および中央位置の地表面に熱電対(計5点)を配置して測定し、5点とも概ね一様に温度上昇したことから、両図には5点の平均値を示している。なお、加熱特性の図における 60°C はタンパク質の熱変性が確実に進行する温度となる。高温下の細胞膜構造の熱変性に関する検討⁵⁾において、 50°C 程度で細胞膜の急激な体積膨張が進行することが報告されている。また、 60°C で2秒間の浸水処理により茎葉が枯死することも報告されていることから⁶⁾、 60°C は茎葉の細胞死により雑草が枯死に至る目安となる。さらに、農地にて種子への効果が試行された検討³⁾において、 90°C で種子に対する死滅効果が発現することが確認されている。

図5(a)に示したように初期仕様では約1秒で 60°C に到達したが、上部の雑草に断熱されて 90°C 到達には約14秒を要する結果となった。改良を重ねた最終仕様



(a) 形状のイメージ



(b) 雑草繁茂箇所での加熱特性

図5 初期仕様の蒸気排出口の形状と加熱特性

では、施工速度向上のためにカバー面積も 3.1 倍に拡大したが、図 6 に示したように 1 秒以内に 60°C に到達し、5 秒で 90°C に到達した。

また、騒音に係る作業環境を評価するため、機材の作業音（等価騒音レベル L_{Aeq} ）の測定を行った。その結果、手持ちノズルを保持して蒸気を噴射している状態の作業者の耳元で 59.7dB（高さ 1.5m）、蒸気噴射時の手持ちノズルのカバー部から 100mm 離れた位置で 67.6dB（地表面）、点火状態のボイラーから 1m 離れた位置で 67.0dB（高さ 1.5m）であり、作業中の会話にも支障しない程度であった。

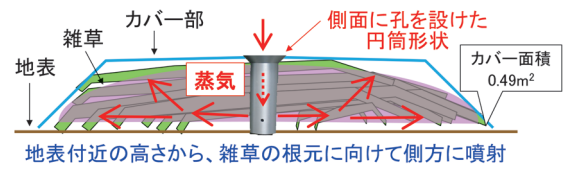
3. 蒸気除草の施工時期が雑草の再生に及ぼす影響

3.1 実験方法

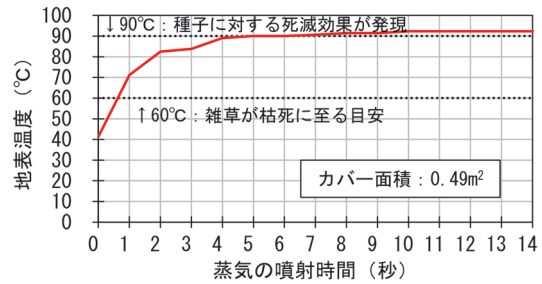
蒸気除草の施工時期（季節）が雑草の再生に及ぼす影響を把握するため、施工時期と防除手段をパラメータとした雑草防除試験を実施した。

イネ科の多年生雑草のチガヤが主に繁茂している鉄道総研の敷地内にて試験を実施した。1 区画あたり 2.2m × 1.5m の試験区画を準備し、春季から秋季にかけて各試験区画に対して施工時期と防除手段をパラメータとして防除作業を実施した。防除手段は、蒸気除草に加えて、比較用に刈払いも実施することとした。

刈払いは、他試験区画への種子飛散を防止し、区画内の防除後の草丈を一定の高さに揃えるため、刈払い機ではなく刈込鋏を用いて人力で実施した。刈払い機を用いた防除作業では、回転刃の接触による飛び石を防止するため、地表面から一定の高さに回転刃を浮かせて施工を



(a) 形状のイメージ



(b) 雑草繁茂箇所での加熱特性

図6 最終仕様の蒸気排出口の形状と加熱特性

行う。鉄道用地にはバラスト道床に用いられる砕石（最大粒径 63mm）が流入・点在している場合もあることから、刈込鋏の目標草丈を地表面から 63mm と設定した。刈払いでは刈り取った部位は産業廃棄物として処分することから、刈り取った部位は、試験区画内から撤去した。

蒸気除草については、本試験の実施時期と手持ちノズルの開発時期の関係から図 5 の形状の手持ちノズルを使用し、蒸気の噴射時間は 5 秒間として施工を行った。蒸気除草では除草剤散布の場合と同様に茎葉が根と切り離されずに原位置で枯死・自然風化するため、作業後はそのまま残置した。蒸気除草の施工直後は図 7 に示すように雑草が原位置で圧縮された状況となり、数時間後には圧縮された状態のまま枯死に至った。

測定項目は各試験区画の最大草丈および植被率とした。最大草丈は、試験期間中の最大値で除して正規化した。植被率は、区画内を占める雑草の面積の比率（図 8）であり、目視により測定した（枯死した雑草除く）。実験結果は、正規化した最大草丈と植被率を乗じて、これを雑草の再生度とした。測定は、防除作業後（翌日、1～2 週間後）および以降は概ね 1ヶ月間隔で実施した。

3.2 結果および考察

雑草の再生度の測定結果を図 9 に示す。なお、刈払いの結果において防除当日（0 日）時点で雑草の再生度が 0 とならないのは、刈払いを免れた目標草丈 63mm 未満の雑草が残存しているためである。刈払いの結果を見ると、施工時期によらず防除直後から再生を開始することがわかった。夏季の施工では防除後から 60 日程度で完全に再生に至った。

蒸気除草については、春季および夏季の施工では防除

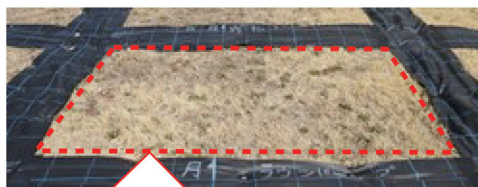


(a) 施工直後



(b) 施工3時間後

図7 蒸気除草施工後の区画の状況



植被率0(区画内に雑草なし)

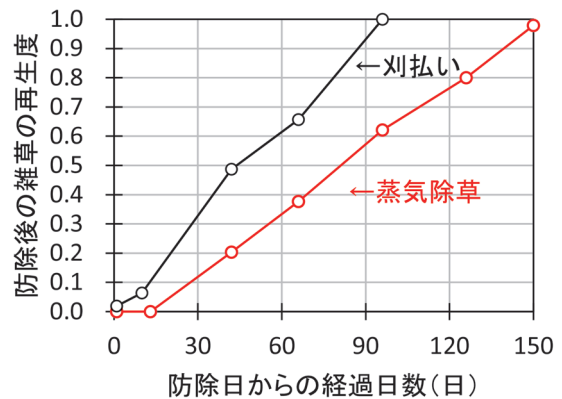


植被率1.0(区画が雑草で100%埋まる)

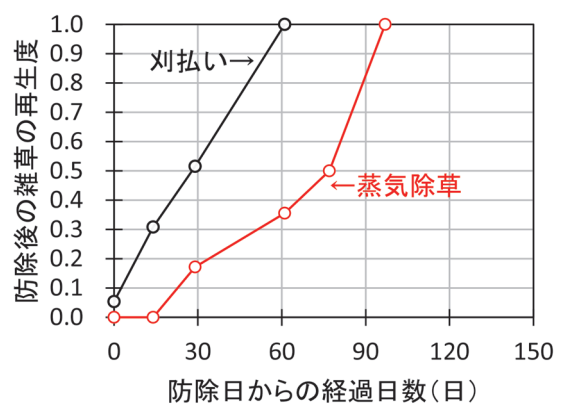
図8 植被率の測定イメージ

後から雑草の再生を15日程度抑制し、完全に再生するまでの日数も刈払いに比べて遅い傾向にあった。秋季の施工については、刈払いでは50%程度の再生が見られたが、蒸気除草では10%であった。いずれの時期においても蒸気除草は刈払い以上の防除効果が見られた。

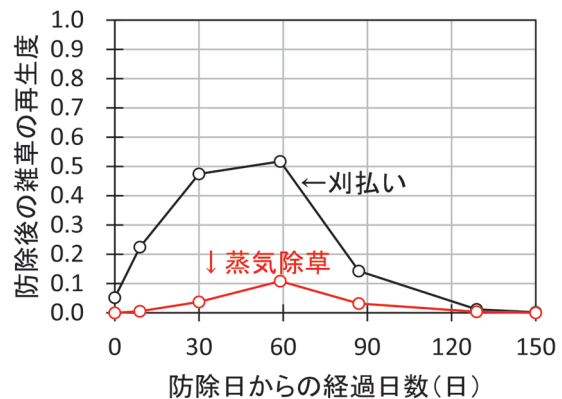
再生の差異が見られた理由としては、刈払いでは刈り



(a) 春季(4月)に施工



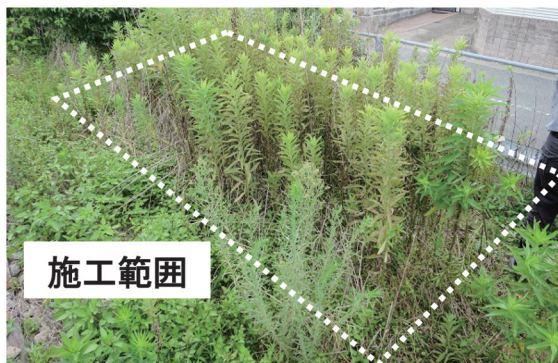
(b) 夏季(7月)に施工



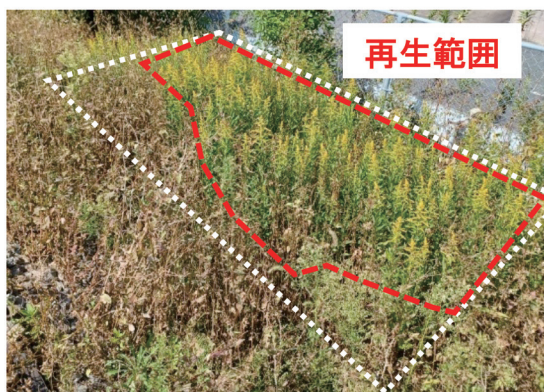
(c) 秋季(9月)に施工

図9 雑草の再生度の測定結果

残された地表面付近の新芽が直ちに再生していくが、蒸気除草では新芽を含む雑草の茎葉全体に熱が作用したためと考えられる。また、図7に示したように、蒸気除草では枯死した雑草が地表を被覆して太陽光を遮るため、遮光効果により再生が遅延した可能性も要因として考えられる。本実験は鉄道用地内での実験ではなかったため、営業線での効果検証のため、続いて現地試験を実施した。



(a) 施工前



(b) 施工約3ヶ月後

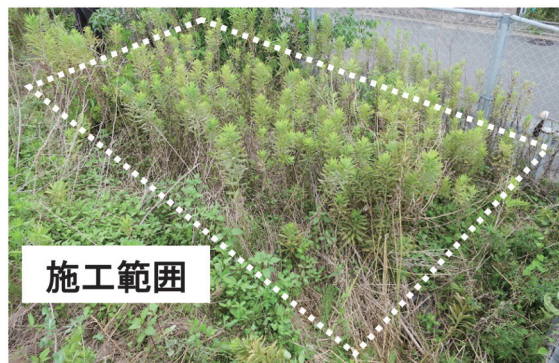
図10 刈払いを行った区画の状況⁴⁾

4. 現地試験による効果検証⁴⁾

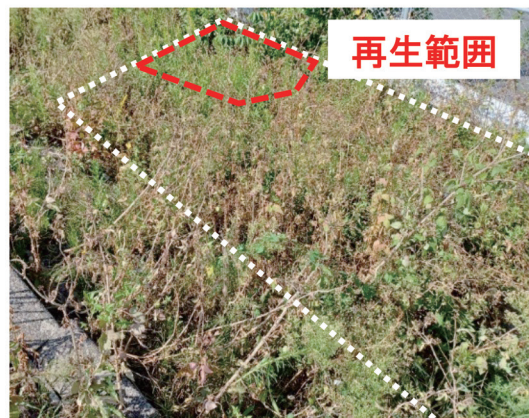
開発した最終仕様の機材の施工性および防除効果を確認するため、営業線の鉄道用地にて現地試験を実施した。現地試験は、夏季（7月）に大型雑草のセイタカアワダチソウが群生している箇所とし、比較用に隣接位置で刈払いを行う区画も設定した。セイタカアワダチソウはキク科の多年生雑草であり、大群落を形成して防除が困難として知られている雑草である⁷⁾。

事前・事後の作業を除く施工速度を測定した結果、刈払いでは刈払い機1台あたり4.0m²/分であった。蒸気除草は手持ちノズル1組あたり5.0m²/分となり、刈払いと比べて1.25倍の作業速度で処理できることを確認した。

施工約3ヶ月後（10月）の状況を見ると、刈払いを行った区画（図10）ではセイタカアワダチソウが施工範囲の80%程度で再生し、開花にも至った。これに対し、蒸気除草を行った区画（図11）ではセイタカアワダチソウの再生は施工範囲の10%程度に留まり、開花にも至っていなかった。これは前章と同様、蒸気除草は地表上の茎葉全体に作用し、再生可能な新芽が残らなかったため再生が進まなかったと考えられる。前章と同様に刈払い以上の防除効果が見られたが、前章の夏季の結果



(a) 施工前



(b) 施工約3ヶ月後

図11 蒸気除草を行った区画の状況⁴⁾

以上の防除効果が得られた。これは前章ではチガヤが繁茂した箇所での試験であったことから、雑草種の違いの影響が要因として考えられる。

さらに、長期的な効果を確認するため、1年後に各区画内の任意の1m²内のセイタカアワダチソウの残存株数を測定した。その結果、刈払いを行った区画では89株/m²であったが、蒸気除草を行った区画では25株/m²となり、施工1年後の大型雑草の残存株数が約70%減少したことを確認した。セイタカアワダチソウを刈払いで抑えるためには年3回以上の施工を要することが報告されている⁷⁾が、蒸気除草は1度の施工で1年後に残存する株数も抑えられた。これは地表上の茎葉に加えて種子に対する死滅効果も発現したことが要因として考えられる。

上記の結果は夏季の施工結果であったが、他季節での施工においても蒸気除草は刈払いで効果が得られない種子に対する死滅効果が期待できるため、同様の効果が期待できる。

なお、図10および図11とは別の箇所においても同日に施工を行っており、同様に1年後の株数測定まで実施した。再生に関して同様の結果が得られており、1年後の残存株数は刈払いを行った区画で109株/m²、蒸気除草を行った区画で24株/m²となり、別位置では約

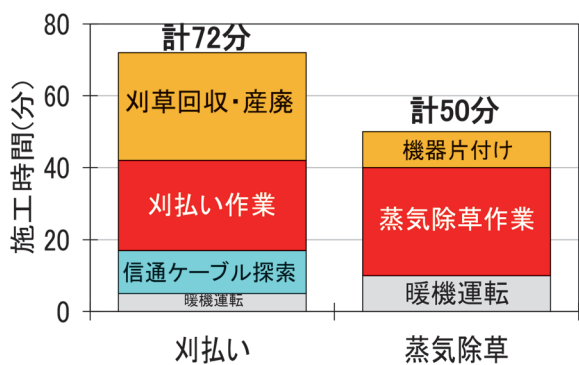


図 12 施工時間の試算結果

80%減少したことを確認した。

5. 除草効率の試算

除草方法による施工効率を考察するため、現地試験で得られた本作業の施工速度を用いて刈払いおよび蒸気除草の施工時間を試算した。一般的な作業を想定して作業面積を 300m^2 と仮定し、作業着手から終了までの所要時間を算出した。刈払いでは刈払い機3台をそれぞれ扱う作業員3名に、用地内に敷設された信号通信ケーブルの探索および刈草回収作業のための追加の2名を加えた計5名の作業パーティーを仮定した。蒸気除草ではボイラー1台に手持ちノズル2台を接続する機材構成であることから、手持ちノズル操作2名に、ボイラー監視および給水役1名を加えた計3名の作業パーティーを仮定した。前章の測定結果より、刈払い作業は刈払い機1台あたり $4.0\text{m}^2/\text{分}$ とし、蒸気除草作業は手持ちノズル1組あたり $5.0\text{m}^2/\text{分}$ とした。

図12に施工時間の試算結果を示す。刈払いでは、事前にケーブル探索作業が必要となる。また、刈払い作業の後には切断した刈草の回収作業が必要であることから、所要時間は計72分となった。

一方、蒸気除草の所要時間は刈払いより22分短縮し、計50分となった。必要作業員数を5人から3人の60%に抑えながらも、刈払いと比較して施工速度が44%向上することがわかった。作業内訳を見ると、蒸気除草作業の時間は、刈払い3台に対して手持ちノズル2台での作業となるため刈払いに比べて長くなったが、事前・事後作業の省略により全体の作業時間が短縮される結果が得られた。

6. まとめ

汎用スチーム洗浄機と新たに開発した手持ちノズルを組み合わせた蒸気除草手法を開発した。手持ちノズルについては、必要な加熱特性を得るために、蒸気排出口やカバー部の検討を進めた結果、刈払い以上の施工性および防除効果を有していることを確認した。さらに、現地試験を実施し、施工3ヶ月後の大型雑草の再生を抑制し、1年後に再生した株数も約70~80%減少したことを確認した。

本研究では軌道外の鉄道用地を対象としていたが、軌道内の雑草を対象として蒸気を噴射・滞留させるカバーを牽引して施工する手法の検討にも着手している。

謝 辞

本研究における現地試験および施工後の経過観察の実施において、九州旅客鉄道株式会社の関係各位に多大なご協力をいただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

文 献

- 1) 御手洗正文, Sicut Julius.C.V: 農業機械の騒音特性と一時的聴力損失, 農作業研究, No.33(2), pp.81-89, 1998
- 2) 谷川光, 湯ノ口洋平, 西川貢, 稲吉秀亮: 除草剤を用いた線路内の雑草管理方法の改定について, 土木学会年次学術講演概要集, VI-233, 2019
- 3) 西村愛子, 浅井元朗, 澁谷知子, 黒川俊二, 中村浩也: 蒸気処理機を用いた耕地雑草埋土種子の死滅技術開発, 雑草研究, Vol.59, pp.167-174, 2014
- 4) 谷川光, 潮木知良, 池畑政輝, 中村貴久: 施工性および防除効果に優れた蒸気除草手法に関する検討, 日本鉄道施設協会誌, Vol.62, pp.135-138, 2024
- 5) 岩柳茂夫, 杉浦嘉彦: 液晶と膜構造, 生物物理, Vol.15, pp.164-170, 1975
- 6) 宇都宮宏, 山県恂: 水稻幼植物の高温致死温度について, 日本作物学会中国支部研究集録, Vol.26, pp.6-8, 1984
- 7) 服部保, 赤松弘治, 浅見佳世, 武田義明: 河川草地群落の生態学的研究 I. セイタカアワダチソウ群落の発達および種類組成におよぼす刈り取りの影響, 人と自然, No.2, pp.105-118, 1993