

【SMART-Grass】大型遠隔操縦式草刈機による 堤防除草の自動化に向けて —ICTを活用した堤防除草の生産性向上に関する取組—

事業振興部 機械課 ○三浦 豪
田中 克彦
齊藤 成邦

令和2年度に河川堤防の維持管理における生産性向上のため、ICT（情報通信技術）を活用した堤防除草作業の自動化を進めるワーキンググループ「SMART-Grass」が発足した。本取組でこれまでに実施した、除草機械の自動運転、出来形の自動計測等の堤防除草自動化に必要な技術の開発や実証実験状況を紹介するものである。

キーワード：SMART-Grass、除草機械、自動運転、ICT、インフラDX

1. はじめに

生産年齢人口が減少する中、社会インフラの整備・維持管理や災害対応に重要な役割を果たしている建設産業の担い手確保・育成に向け、建設業の働き方改革と生産性向上は急務である。全産業平均に比べ建設業就業者の年齢構成比は高齢化が進行しており、特に北海道では全国に比べ高齢化が顕著である。

また、近年激甚化・多様化する災害に対し、河川堤防などインフラの品質確保と適切な機能維持が重要である。

河川堤防は、雨水や洪水流による侵食から保護するため植生による法面保護がなされており、堤防機能を健全に維持するには、定期的な堤防除草が必要となる。北海道開発局で管理する一級河川13水系における管理延長は約1,850kmに及び、国が管理する全河川堤防の20%にあたる。また、石狩川や十勝川の下流域では、泥炭層が広く分布する軟弱な地盤地帯のため、法勾配1:5～1:10のゆるやかな傾斜の堤防（丘陵堤）

〈図-1〉が整備されている。そのため、全道で除草が必要な堤防の面積は10,000haを超える広さがあり、この除草作業には多くの労力と時間がかかっている。河川堤防除草の省人化・効率化・費用の削減に向け、これまでも様々な取組が行われてきたが、更なる生産性向上が必要である。

このことから、北海道開発局では、これらの課題を解決するため、河川堤防除草作業におけるICT（情報通信技術）を活用した自動化技術の開発と導入に向けた検討を「堤防除草の自動化検討ワーキンググループ【SMART-Grass】（Self-Moving And Remote-sensing Technique for Grass-cutting）」として進めている。本取組で検討した除草機械の自動化技術や試験状況について

紹介する。



図-1 石狩川の丘陵堤の例（試験現場）

2. 堤防除草の自動化検討（SMART-Grass）

(1) 自動化目標レベル

現在、河川堤防除草は、現地の状況に応じてトラクター・モア、ハンドガイド式草刈機、大型遠隔操縦式草刈機、肩掛け式草刈機を用いて施工しており、各除草機械1台につき1人の作業員が必要である。また、除草後の出来形計測作業である、刈高計測・横断測量・写真撮影は、3人程度で実施している。横断測量は200m毎の測量で10測点当たり3～4時間程度、出来形数量の算出は、横断測量結果と横断図を基に平均断面法により除草面積を算出しており、1～2時間程度の時間を要する。

河川堤防除草作業の生産性向上を目指すにあたり、除草機械の自動化レベル及び本取組で目標とするレベルの検討を行った。現在の除草方法を「レベル0」、1人が1台の除草機械を管理する自動運転を「レベル1」、1

人が複数台の除草機械を管理する自動運転を「レベル2」、現地を無人とする自動運転を「レベル3」と設定し、本取組における当面の目標を「レベル2」として、以後の検討を進めた。〈図-2、図-3〉



図-2 堤防除草の自動化イメージ

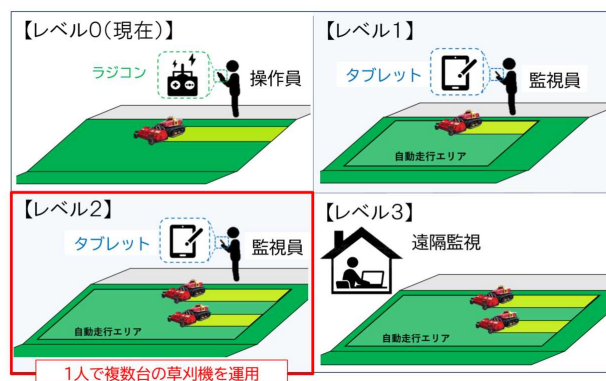


図-3 設定した自動化目標レベル

(2) ベースマシンの選定

本取組で使用する除草機械は、直轄河川における機械除草の条件を基に必要な登坂能力を30度以上、除草幅を1.5m以上とした。その他、除草能力、自動運転技術の実験状況及び改造への対応可否、国内でのメンテナンス性、国土交通省での保有状況等を比較検討した結果、大型遠隔操縦式草刈機CG750（以下、「草刈機」と言う）が本取組に最も適したベースマシンと判断した。ベースマシンの基本仕様を〈表-1〉に示す。

(3) 除草機械自動化システム

従来の除草作業の施工実態から、システムに必要な諸条件を整理し、河川堤防における除草機械自動化システム概要を作成した。〈図-4〉

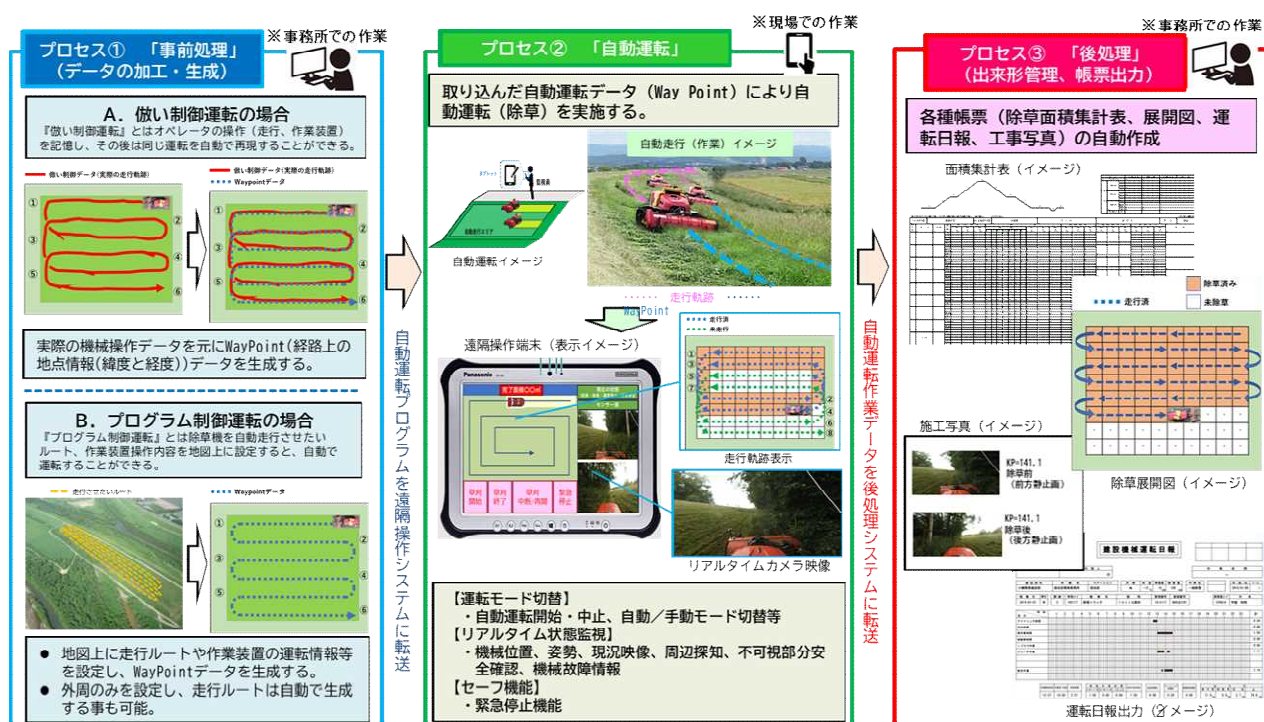


図-4 除草機械自動化システム概要

表-1 CG750 基本仕様

全長×全幅	4,450mm×2,040mm
刈幅	1,850mm
質量	3,000kg
走行速度	0～6km/h
最大自走法面勾配	40度

自動化システムは3つのプロセスで構成される。

【プロセス①】（事前処理）自動走行ルートや除草範囲を作成し、それらのデータを【プロセス②】（自動運転）へ送信・登録する。

【プロセス②】（自動運転）堤防除草の自動施工を実施すると共に、現地の監視員がリアルタイムで遠隔監視を行う。

【プロセス③】（後処理）記録された施工履歴データを処理し、出来形管理帳票等の自動生成・出力を行う。

自動走行パターンについては、北海道開発局の河川維持工事で行われている、前後進の両方で除草する「スイッチバック」及び前進のみで除草し旋回は前後進して方向転換する「 α ターン」に加え、本検討で新たに考案した前進のみで走行、旋回を行う「スパイラル」を選択出来るようにした。〈図-5〉

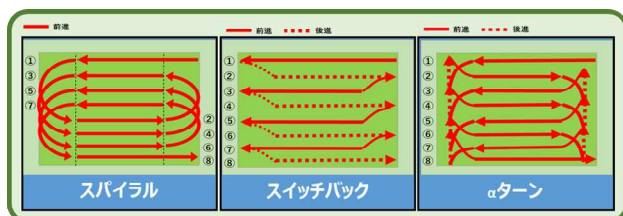


図-5 走行パターンイメージ図

(4) 実証試験に使用した試験機

除草機械自動化システムの主な機器構成は、草刈機本体上部に搭載した自動制御BOX、草刈機の遠隔操作・監視が可能な端末（以下、「タブレット」と言う）である。制御BOXは、GNSS受信機やIMU（加速度・角速度計）のセンサー類、各センサーが取得したデータを処理し自己位置推定を行う制御装置、ベースマシンへ走行指示信号等を通信するCANスイッチ等で構成される。〈図-6、図-7〉

自車の位置情報取得には、高精度な自己位置推定を行うため、準天頂衛星「みちびき」のセンチメートル級測位補強サービス（CLAS）に対応したGNSS受信機を使用した。



図-6 試験機

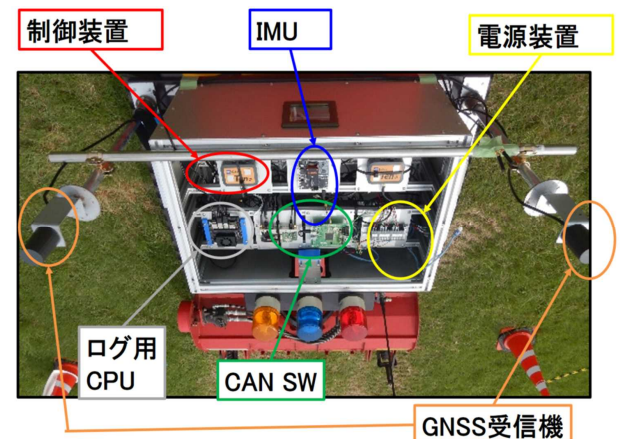


図-7 自動制御BOX

また、自動走行中の進行方向については、IMUの方位検出データを2個あるGNSSの相対位置から算出した方位で補正することで精度を高めている。

タブレットと制御BOXの通信はLTE回線を用いており、タブレットから制御BOXへは、施工範囲、走行ルート、走行速度等の施工条件を登録すると共に自動施工開始/停止及び、緊急停止の操作信号を送信する。また、制御BOXからタブレットには、カメラ映像、自己位置座標、時刻、方位、走行経路等のベースマシンのステータス情報が100ミリ秒周期で送信される。

さらに2台の草刈機による協調運転作業を行うためのシステムを搭載し、タブレットによる施工状況の確認を可能とした。

また、自動走行中の監視については、制御BOXの前後の監視カメラ映像をタブレットに表示することで進行方向の安全確認と後方の施工状況確認をリアルタイムで監視することが可能である。

(5) 出来形計測の自動化

出来形計測の自動化は、草刈機の除草幅と自動化システムから得られる走行軌跡データを用いて出来形展開図を作成し、除草面積を自動算出する。また、除草後の

状況は、記録された監視カメラの映像より確認することが出来る。

試験においては、タブレットに表示される出来形展開図及びカメラ映像による除草後の状況を、映像で確認できた。〈図-8〉

さらに【プロセス③】（後処理）を構築したことにより、施工履歴データから出来形管理帳票を出力することが可能となった。



図-8 タブレットの画面表示

3. 過年度までの自動化システム走行試験

令和3年度は、自動化システムの【プロセス②】（自動運転）を試作し、平坦な試験フィールドにおいて、試作機1台による自動走行及び安全対策の機能確認試験を実施した。走行パターンは「スパイラル」、走行速度は2km/h及び4km/hで試験を行った。

令和4年度は、平坦なフィールドによる機能確認試験及び、岩見沢河川事務所が管理する河川堤防（5割勾配・10割勾配）で現場実証試験を行った。走行パターンは「スパイラル」のほか、「スイッチバック」「αターン」の3種類で実施、走行速度は6km/hと4km/hで試験を行った。現場実証試験地における植生は、60cm程度のヒメシバが繁茂している区域と65～200cm程度のススキ等多種多様な雑草が繁茂する区域であった。

令和3年度から令和4年度の試験により、自動走行における走行ルート精度及び安全対策機能の確認や検証を行った。

令和3年度の自動走行プログラムは、施工エリアに配置された目標ポイントを通るようにルート計算を行っているため、事前に設定したルートから外れた場合、次のポイントを目指した走行になり、実走行軌跡と設定ルートに対する直角方向のズレ幅（以下、「誤差」と言う）が大きく、蛇行することが多く見られた。これを踏まえ、令和4年度は、自動走行の開始地点から終了地点まで順にポイントを結んで導いたルートとの誤差が最小となるように改良したことにより誤差は少なくなり、自

動走行精度が向上する結果となった。〈図-9〉

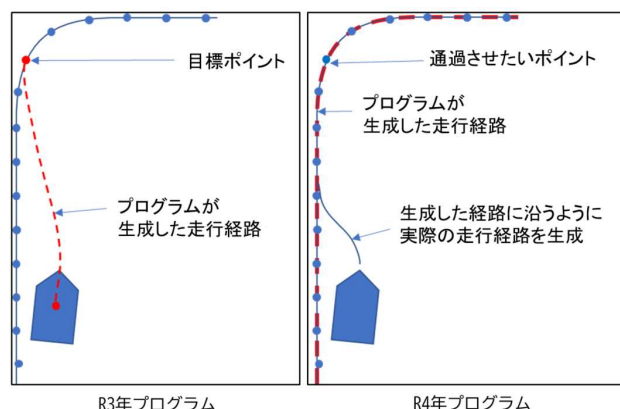


図-9 令和3年度、令和4年度の自動走行プログラム

傾斜の無い平坦なフィールドでの試験において、令和3年度の平均誤差は目標値±250mmに収まる値であったが、最大誤差は目標値を超える箇所が多数発生した。

それに対して、令和4年度の改良により誤差が減少すると共に蛇行した走行は見られず、概ね良好な結果を得られた。最大誤差も直線部は全ての条件で目標値±250mmをクリアしており、カーブ区間も一部を除き目標値を満足することができた。

また、平均誤差についても全ての条件で目標値を満たしていた。〈図-10〉

勾配のある河川堤防における現場実証試験では、令和4年度は全ての試験条件において、蛇行は見られず、直線部の平均誤差、最大誤差は全て許容値を満足した。

〈図-11, 図-12, 図-13〉

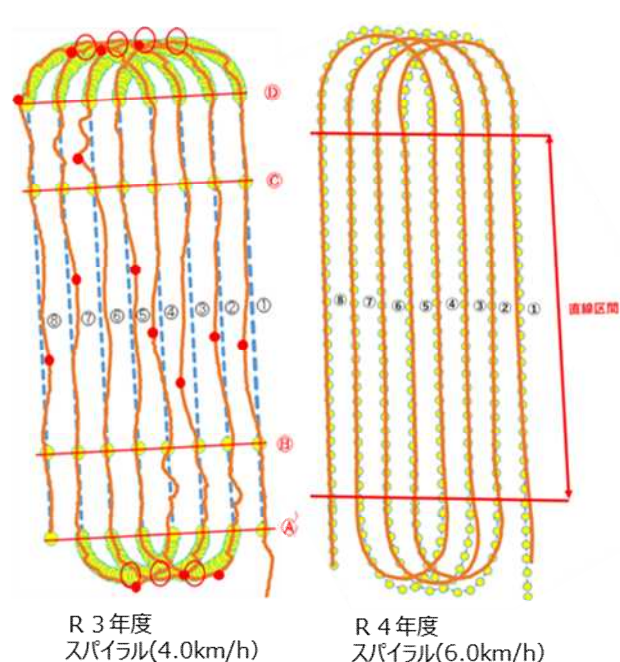


図-10 令和3年度、令和4年度の自動走行ルート精度比較

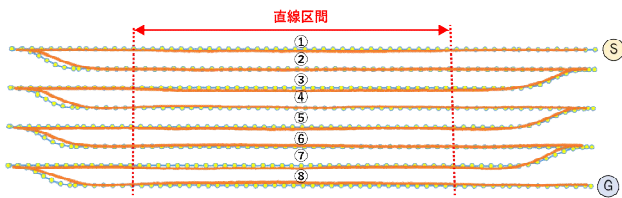


図-1 11 傾斜有、スイッチバック (6km/h) 自動走行精度

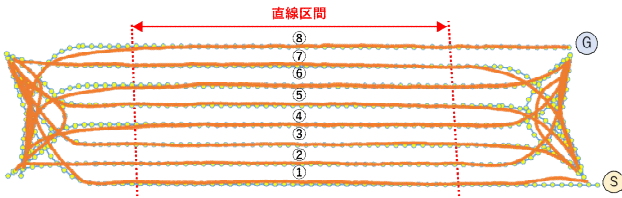


図-1 12 傾斜有、 α ターン (6km/h) 自動走行精度

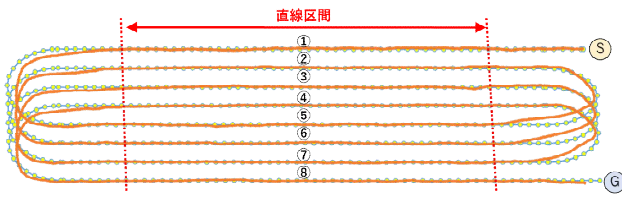


図-1 13 傾斜有、スパイラル (6km/h) 自動走行精度

但し走行パターンのうち「スパイラル」のカーブ区間は許容値を超える誤差が生じた。

この事象については走行方向が180度変化してから数メートル経過した地点（カーブ区間終了点）に目標点を設定したことで、カーブ区間をショートカットする経路が生成されていたことがわかり、カーブ区間で走行方向が90度変化する点（カーブの頂点）を目標点として経路を生成し、そこを通過後、次のゴールまでの経路を生成するプログラムに改良したことで解消された。

4. 令和5年度の現場実証試験

令和5年度は、自動化目標レベル「レベル2（現地は有人、1人で複数台を管理）」に向け自動化システムを改良し、平坦な試験フィールドによる機能確認試験、及び現場での有人による2台協調運転技術の検証を行った。

現場実証試験では走行精度、安全性等の機能を確認するため、2台協調運転技術を搭載した自動草刈機を2台使用した。

現場実証試験場所については令和4年度と同じ、札幌開発建設部岩見沢河川事務所管内の岩見沢市北村地区（石狩川たっぷ大橋下流左岸）を選定した。

2台協調運転技術の検証については、1つの作業エリア内で同時に2台の草刈機での自動運転を行う「雁行運転」と2つの作業エリアでそれぞれ1台の車両での自動

運転を行う「別エリア運転」の2パターンを設定した。

＜図-1 4＞

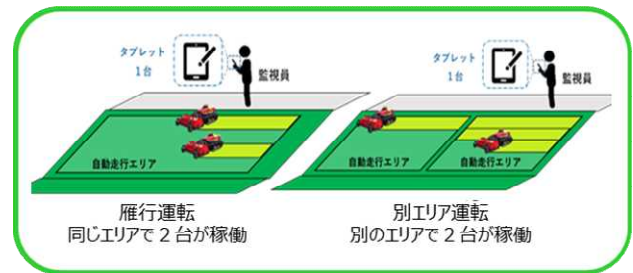


図-1 4 2台協調運転のイメージ

検証内容として「2台協調運転技術の検証（走行精度・安全性）の確認」「自動走行追加機能（エンスト防止、協調運転接触防止）確認」「出来形自動計測技術及び工事用帳票出力機能の確認」の項目を設定した。

試験条件は、5割勾配（1：5）、10割勾配（1：10）2パターンの堤防法面勾配に複数のエリアを設定し、協調運転走行パターンを2種類（雁行運転、別エリア運転）、走行パターンを3種類（スイッチバック、 α ターン、スパイラル）、走行速度は4.0km/h、又は6.0km/hで設定した。＜図-1 5＞

なお、自動化システム2台協調運転技術の制御を行う上で最初に走行する草刈機を1番車、次に走行する草刈機を2番車と定義する。

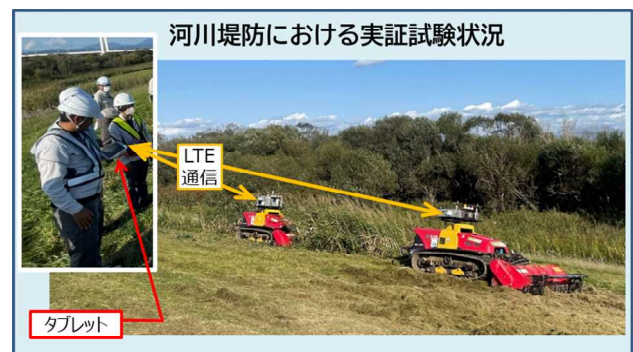


図-1 5 実証試験状況（2台協調運転）

(1) 2台協調運転技術の確認

試験の結果、2台協調運転技術による走行精度については雁行運転、別エリア運転ともに各試験条件において、設定ルートと実際の自動走行軌跡の平均誤差は目標値である ± 250 mmの範囲内であることを確認した。

また、走行安定性については、自動走行時に多少の蛇行が発生した場合でも、最大誤差は目標値（ ± 250 mm）を超えないことを確認した。＜図-1 6＞

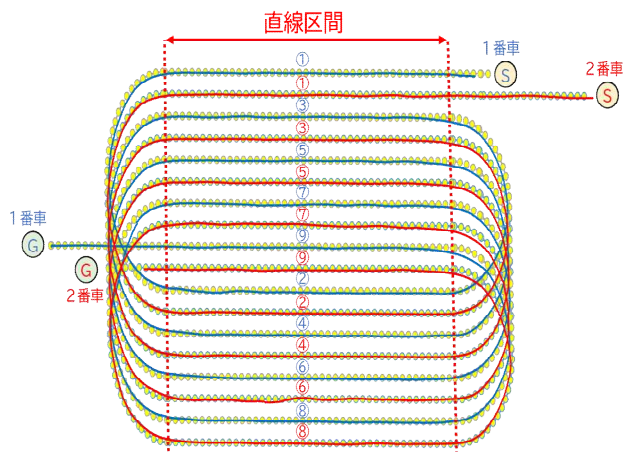


図-16 2台協調運転の自動走行ルート精度

(2) 自動走行追加機能の確認

エンスト防止機能については、過年度までは草が繁茂しているような高負荷がかかる場所で自動走行を行うと、エンジン回転数が低下し、そのまま、エンジンがストールする事象が確認されていたが、本機能を実装したことにより、同じ状況下でも、高負荷がかかりエンジン回転数が設定値である1,900rpm以下を検知すると、車両をその場で一時停止させて、負荷少なくなるのを待ち、エンジン回転数が1,900rpm以上まで回復してから、徐々に速度を上げて走行することで2m程度のイタドリ、ススキ等の区間でもエンストせずに自動走行できることを確認した。

また、協調運転接触防止機能については、雁行運転では、2台が一定距離に近づいた場合に警告を発出すると同時に減速し、その状態から更に両草刈機の接近を確認すると、先行している1番車は走行を継続し、2番車については一度停止し、1番車と一定距離離れてから徐々に速度を上げながら走行を再開することで接触を防止できることを確認した。〈図-17〉



図-17 協調運転接触防止機能

しかし、別エリア運転の場合は隣接する2つの作業エリアを走行している草刈機同士が接近すると、この機能により両車両が停止してしまい、自動復帰ができない状態が発生する場合があります、その状態になるとオペレータによるマニュアル操作が行われない限り、走行を再開することができない事象（デッドロック）が発生することが分かった。

(3) 出来形自動計測技術及び工事用帳票出力機能の確認

記録された施工記録データを「集計表」「施工エリア」「数量調査」「写真」としてエクセルシートに出力し、工事用帳票に活用できる電子データが作成できることを確認した。

(4) 安全対策機能

過年度に単機自動運転で確認した安全対策機能として2つの緊急停止機能「タブレットによる停止操作機能」「施工エリア逸脱時の自動停止機能」に加え、元々ベースマシンにある、本体のスイッチや操作プロポによる緊急停止も2台協調運転において問題なく動作可能であることを確認できた。

今後は、障害物等への衝突時の「接触自動停止機能」や人や車両をAI検知して衝突を防ぐ「周辺探知機能」の実装に向け検討中である。なお、「周辺探知技術」は、寒地土木研究所の研究成果を取り込む予定である。

5. まとめ

大型遠隔操縦式草刈機による堤防除草の自動化について、自動化目標「レベル2」として2台の協調運転による自動走行の検証により、走行精度は設定基準値内による走行を確認し、協調運転接触防止機能、及びエンスト防止機能について、問題なく作動することを確認した。

今後は2台協調運転における課題へ対応するための自動走行プログラムの改造、また、より角度がある勾配や施工規模等の様々な施工条件での試験による導入可能な現場条件の抽出、施工業者による大規模実証試験を行い、導入に向けての運用上の課題の抽出や、操作指導・故障サポートなどの施工者の支援体制を構築していく予定である。

これらSMART-Grassの取組を引き続き進め、スマートで持続可能なインフラメンテナンスの早期実現を目指す。

謝辞：令和5年度の現場実証試験に当たり、北海道開発局札幌開発建設部岩見沢河川事務所よりフィールド提供及び試験実施に協力頂いた。ここに記して謝意を表する。