

令和３年度 除草自動化検討ワーキング（第１回）

～ SMART-Grass ～

日時 令和３年 12 月 2 日(木) 13:30～

場所 札幌第 1 合同庁舎 2 階講堂

次 第

1. 挨拶 北海道開発局技術管理課長

2. 議 事

1) 令和３年度 検討業務中間報告

2) 確認事項

- ・除草機械自動化システムの検討内容について

- ・自動化機器実装確認試験内容について

3) 寒地土木研究所寒地機械技術チームからの連絡事項

4) 除草機械自動化ロードマップ（案）について

5) その他

- ・今後の検討スケジュールについて

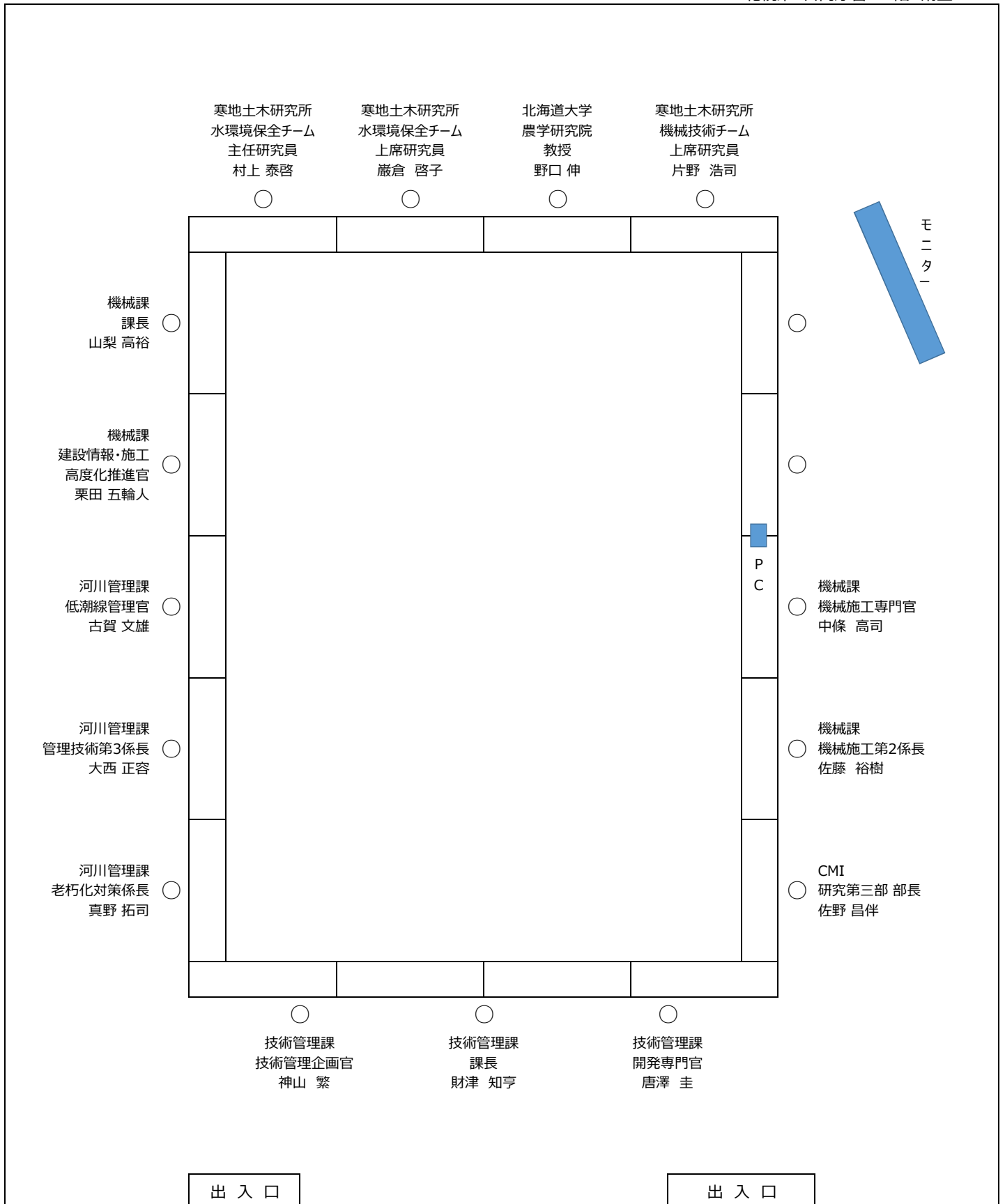
- ・次回WGの開催について

令和3年度 除草自動化検討ワーキング(第1回) 出席者名簿

	所属	氏名	役職
アドバイザー	北海道大学農学研究院	野口 伸	教授
	国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地技術推進室 寒地機械技術チーム	片野 浩司	上席研究員
	国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 水環境保全チーム	巖倉 啓子	上席研究員
構成員	北海道開発局 事業振興部 技術管理課	財津 知亨	課長
		神山 繁	技術管理企画官
		唐澤 圭	開発専門官
	北海道開発局 事業振興部 機械課	山梨 高裕	課長
		栗田 五輪人	建設情報・施工高度化推進官
		中條 高司	機械施工専門官
		佐藤 裕樹	機械施工第2係長
	北海道開発局 建設部 河川管理課	古賀 文雄	低潮線保全官
		大西 正容	管理技術第3係長
		真野 拓司	老朽化対策係長
一社 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部		佐野 昌伴	部長
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 水環境保全チーム		村上 泰啓	主任研究員

令和3年度 除草自動化検討ワーキング（第1回） 座席表

令和3年12月2日（木）
札幌第1合同庁舎 2階 講堂





令和3年度 除草自動化検討ワーキング（第1回） ～ SMART-Grass～

令和3年12月2日（木）13:30～
札幌第1合同庁舎 2階講堂

※SMART-Grass とは...

～Self-Moving And Remote-sensing Technique for Grass-cutting～

除草自動化検討ワーキングのキャッチフレーズです。



1) 令和3年度 検討業務中間報告

- ①R2 d 検討成果及びR3 d 検討内容について
- ②自動化に関する施工実態調査
- ③自動化に必要な要素、諸条件の抽出整理
- ④出来高計測作業の確認

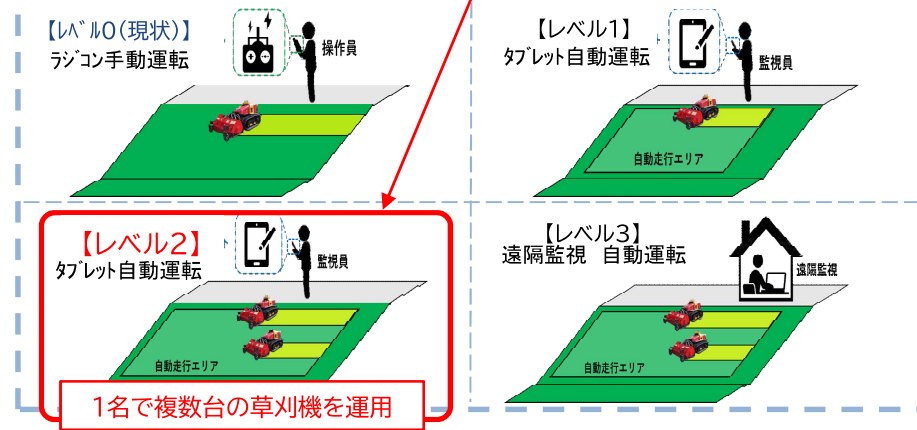
事業振興部 機械課

①R2 d 検討成果及びR3 d 検討内容について

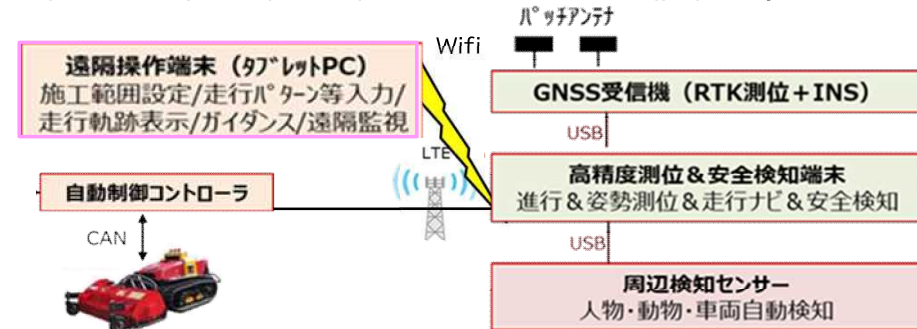
■令和2年度 検討成果概要（概略検討）

①自動化目標レベル設定

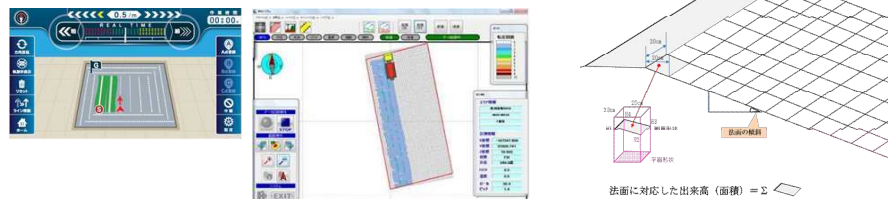
当面の開発目標はレベル2



②自動化システム概略設計（GNSS測位技術をベースに運転制御技術や周辺探知技術等を組み合わせたシステムを構築する）

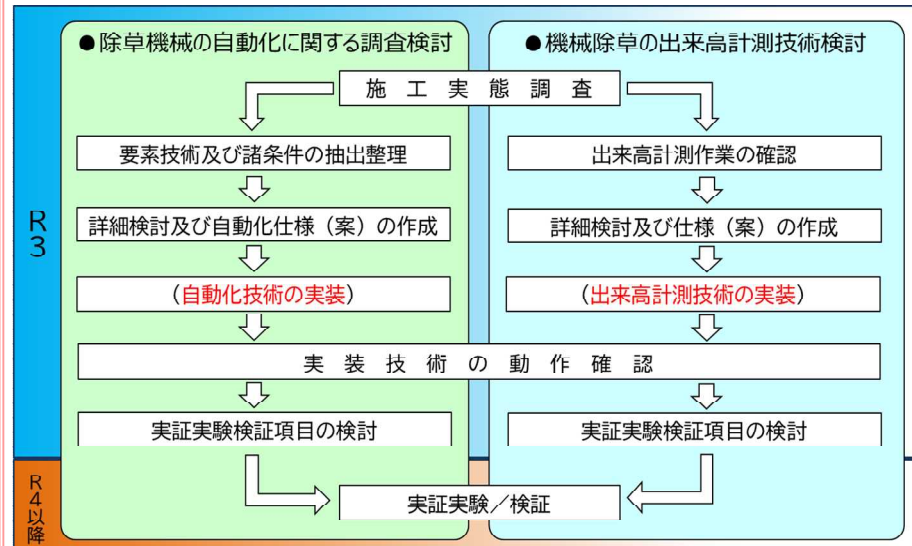


③出来高計測技術概略設計（草刈機の走行軌跡から出来高計測（面積）帳票出力可能なシステムを構築する）



■令和3年度 検討内容（詳細検討）

①検討フロー



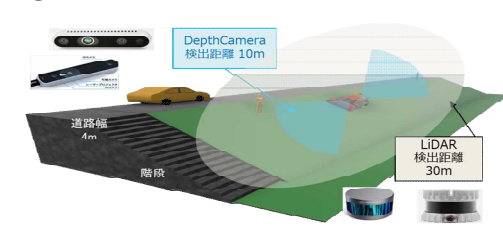
●遠隔監視制御に関する調査検討

- ・遠隔監視制御や無人化施工等、最新の技術市場動向調査
- ・光ケーブルや5Gを活用した通信方式の比較検討

②自動化技術イメージ



③周辺探知・障害物検知技術イメージ



周辺探知・障害物検知技術検知エリアイメージ

■寒地土木研究所との連携（R3～）

自動化に必要な要素である周辺探知技術や障害物検知技術などは寒地土木研究所が実施する研究開発と連携を図り、実用化を目指す。

②自動化に関する施工実態調査【調査概要】

■目的

河川堤防の機械除草自動化に必要な要素技術及び諸条件の抽出整理を行うため、大型遠隔操縦式草刈機等で実施する機械除草工の施工実態調査を実施した。

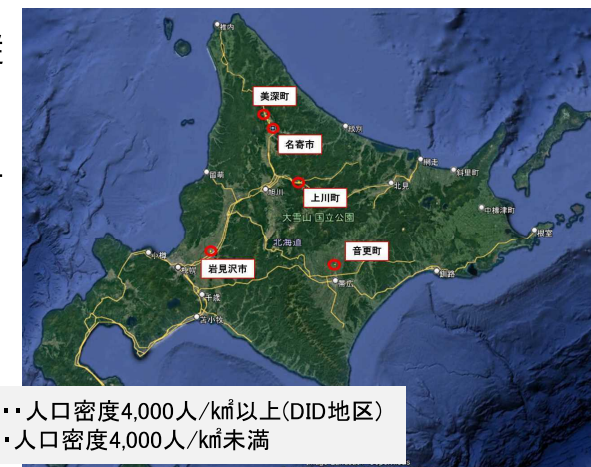
■調査内容

堤防形状、草の繁茂状況、走行経路や操作状況、旋回による法面への損傷状況、障害物や第三者等に対しての状況、その他自動化に必要な事項の確認等を行った。

■調査箇所

下記4河川事務所で全5現場で実施した。

- ① 札幌開発建設部 岩見沢河川事務所 【1工事：岩見沢市(市街地)】
- ② 旭川開発建設部 旭川河川事務所 【1工事：上川町(郊外)】
- ③ 旭川開発建設部 名寄河川事務所 【1工事：名寄市(市街地)・美深町(郊外)】
- ④ 帯広開発建設部 帯広河川事務所 【1工事：河東郡音更町(郊外)】



市街地・・・人口密度4,000人/㎢以上(DID地区)
郊外・・・人口密度4,000人/㎢未満

実態調査場所	帯広河川事務所管内	旭川河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内	岩見沢河川事務所管内
	音更川	石狩川	天塩川	天塩川	天塩川	幾春別川
	河東郡音更町(郊外)	上川町(郊外)	美深町(郊外)	名寄市(市街地)	名寄市(市街地)	岩見沢市(市街地)
現場河川						
実施日	2021/8/3	2021/8/26	2021/8/12	2021/8/24	2021/8/11	2021/8/17
気温	31℃	26℃	17℃	25℃	16℃	23℃
実施機械	大型遠隔操縦式草刈機 (クロカンジョージ)	大型遠隔操縦式草刈機 (クロカンジョージ)	ハンドガイド式草刈機 (パロネス：HM5500)	大型遠隔操縦式草刈機 (クロカンジョージ)	ハンドガイド式草刈機 (ゼノア：ZHM1520)	ハンドガイド式草刈機 (ゼノア：ZHM1520)
機械の保有区分	官貸	官貸	業持ち(リース含む)	官貸	業持ち(リース含む)	業持ち(リース含む)

②自動化に関する施工実態調査【堤防形状及び、雑草等繁茂状況】

《堤防形状》

- 法面勾配は郊外、市街地ともに20～30度（2割勾配程度）であり、3割勾配よりも緩やかなことが確認された。
ヒアリング調査では40度（1割2分）を超える急勾配の現場もあることが確認された。
- 堤防の断面形状（法長、小段の有無等）は各河川の計画断面により整備されているため様々であった。
- 天端道路幅は郊外、市街地ともに3.0mの共通であった。

《雑草等繁茂状況》

- 雑草の種類は郊外、市街地ともにイタドリが最も多く、茎の太さは1.5～2.0cmが多い結果となった。
- 雑草の密度は現場によって様々であるが100株/㎡の密な条件も確認された。
- 雑草の草丈は郊外で200～260cm、市街地で70～200cmであった。市街地で2回刈り/年の箇所は郊外よりも草丈が短い傾向であった。

実態調査場所		帯広河川事務所管内	旭川河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内		岩見沢河川事務所管内
現場河川		音更川	石狩川	天塩川	天塩川		幾春別川
現場の法面形状	勾配	河東郡音更町(郊外) 約30度	上川町(郊外) 約30度	美深町(郊外) 約30度	名寄市(市街地) 約30度		岩見沢市(市街地) 約20度
	法長	約12m	約10.5m	約15m	約7m	約14m	約13m
	天端道路幅	約3m	約3m	約3m	約3m	約3m	約3.5m
	小段の有無と幅	無	無	有 約2m	無	有 約8.5m	有 約3.0m
	法面の形状変化	無	無	無	無	無	起伏が激しい
雑草の繁茂状況	雑草の種類	イタドリ	イタドリ・ススキ	イタドリ・ススキ	イタドリ・牧草	イタドリ・スギナ	イタドリ・ヤナギ・ツル系
	草丈	200cm	260cm	200cm	70～80cm	150～200cm	170cm
	茎の太さ	1.5cm	2.0cm	0.5cm	1.5cm	1.5cm	0.5cm
	雑草の密度	1.43[株/㎡] 程度	2.5[株/㎡] 程度	100[株/㎡] 程度	3.125[株/㎡] 程度	3.125[株/㎡] 程度	100[株/㎡] 程度
	状況写真	 法勾配の計測状況  法長の計測状況  天端道路幅の計測状況  小段幅の計測状況  雑草の種類(イタドリ)  雑草の密度計測状況					

②自動化に関する施工実態調査【走行経路や旋回方法による法面損傷状況】

《走行経路》

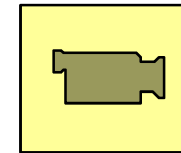
- ・河川の縦断方向に機械を走行させている。
- ・刈り残し防止のためのラップ幅は200～500mm程度を確保している。

《操作状況》

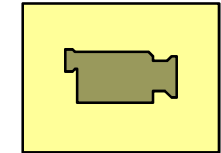
- ・大型遠隔操縦式草刈機の操作では、定点監視の離隔距離は20～30m程度、並走監視の離隔距離は2～3m程度であった。
- ・定点監視監視の場合における大型遠隔操縦式草刈機の除草速度は7.0km/h、並走監視の場合は3.5km/hであった。

《旋回方法》

- ・スイッチバックと α ターンの2パターンであった。
- ・名寄河川の現場では植生への影響を防ぐため、天端道路での切り返しを行っている。



作業動画 α ターン(2:30)



作業動画スイッチバック

実態調査場所	帯広河川事務所管内	旭川河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内	岩見沢河川事務所管内
現場河川	音更川 河東郡音更町(郊外)	石狩川 上川町(郊外)	天塩川 美深町(郊外)	天塩川 名寄市(市街地)	天塩川 名寄市(市街地)	幾春別川 岩見沢市(市街地)
草刈りの速度	7.0km/h	3.5km/h	3.5km/h	6.0～6.5km/h	6.0～6.5km/h	6.0～6.5km/h
操縦者と草刈機の最大距離/ 操縦者の動き	20～30m/定点監視	2～3m/並走監視	—	2～3m/並走監視	—	—
1区間の走行ルート旋回方法	スイッチバック スイッチバック(前後進で草刈り)	α ターン ・法面内で何度も切替し。 ・イタドリが寝てしまうため、もう一度逆方向から刈る。 α ターン(切り返し)	α ターン ・法面は天端道路で切り返し。 ・法面中央では小段で切り返し。 α ターン(切り返し)	α ターン ・法面は天端道路で切り返し。 ・法面中央では法面内で細かく切り返し。 α ターン(切り返し)	α ターン ・法面は天端道路で切り返し。 ・法面中央では法面内・小段で細かく切り返し。 α ターン(切り返し)	α ターン ・法面内(天端道路に柵があるため) α ターン(切り返し)
スパン延長	・30m/1スパン	・325m/1スパン	・100m/1スパン	・500m/1スパン	・280m/1スパン	・500m/1スパン
旋回における機械の動作や時間	・次のエリアに移る際は、法尻に向かって動作	・旋回：約30秒	・旋回：約30秒	・旋回：約40秒	・旋回：約30秒	・旋回：約8秒
草刈装置のラップ幅	200～300mm ※キャタ半分～1つ程度	300～400mm	200～300mm ※キャタ半分～1つ程度	500mm ※キャタ1つ程度	200～300mm ※キャタ半分～1つ程度	200mm
旋回部の損傷	・損傷は確認されず 	・土が露出し、履帯跡が残る。 	・天端道路・小段で切り返しを実施しているため損傷は確認されず 	・法面内で切り返しをする場合は、土が露出し、履帯跡が残る。 	・法面内で切り返しをする場合は、土が露出し、履帯跡が残る。 	・土が露出し、履帯跡が残る。

②自動化に関する施工実態調査【歩行者・車両・障害物の状況】

《歩行者・車両》

郊外部では車両及び歩行者の通行頻度はほとんど無かったのに対し、市街地では車両及び歩行者の通行が一定量確認された。
なお、岩見沢（市街地）の天端道路は管理車両以外は通行不可区間であり車両が少ない結果であった。

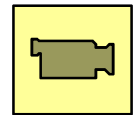
《障害物》

障害物は現場状況による差は無く、河川構造物（階段、距離標、杭、柵、護岸ブロック、水位計等）が主であった。
また、一部現場では樹木、倒木、浮き石、不法投棄物（鉄筋、空き缶等）も確認された。

《自動化に適さない現場条件》

- ・ 樹木や岩が多い複雑な地形(写真①②) → 自動化しても効率性が上がらないため、従来施工(ハンドガイド式)で実施。
- ・ 石張り法面(写真②③) → 大型遠隔操縦草刈機では重量が重く、滑ってしまうことから、従来施工(ハンドガイド式)で実施。

実施調査場所	帯広河川事務所管内	旭川河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内	岩見沢河川事務所管内
現場河川	音更川	石狩川	天塩川	天塩川	幾春別川
	河東郡音更町(郊外)	上川町(郊外)	美深町(郊外)	名寄市(市街地)	岩見沢市(市街地)
車が通る頻度	0~5台/日	0~5台/日	0~5台/日	16~20台/日	0~5台/日
人が通る頻度	0~5人/日	0~5人/日	0~5人/日	20人/日以上	20人/日以上
河川構造物(階段、距離標、杭、柵、護岸ブロック、簡易水位計等) 樹木、浮き石					
歩行者・車両・障害物の状況や頻度	固定障害物の有無				
	 距離標・杭				
	 樹木・浮き石				
自動化に適さない現場条件	 固定障害物(歩行人)				
	 移動障害物(車両)				
	 石張り法面				
自動化に適さない現場条件	 ①				
	 ②				
	 ③				



自動化不可動画

②自動化に関する施工実態調査【障害物や第三者等への対応状況】

《固定障害物》

固定障害物に対しては、直近で回避している。

草丈が高く密に繁茂した箇所では固定障害物を確認できず接触する事例があった。（接触音で確認）

《移動障害物》

通行人や車両などの移動障害物に対しては、飛び石障害を防止するため5～30m地点で、下記のような対応をしている事が確認された。

- ・ 刃の回転を停止または回転数を下げる
- ・ 作業装置を移動障害物と逆方向に向ける
- ・ 作業停止



固定障害物との接触



移動障害物（通行人）と除草機械

実態調査場所	常広河川事務所管内	旭川河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内		岩見沢河川事務所管内
現場河川	音更川	石狩川	天塩川	天塩川		幾春別川
	河東郡音更町(郊外)	上川町(郊外)	美深町(郊外)	名寄市(市街地)		岩見沢市(市街地)
固定障害物が確認された際の動作	・ 回避 (前方に落ちている枝や玉石が見えないため、ブレードを少し上げ低速で走行)	・ 回避 (草丈が高いため、接触するまでわからない)	・ 回避 (停止はしない)	・ 回避 (停止はしない)	・ 回避 (障害物が確認されたら作業機を上げてバックする)	・ 回避 (目視で確認し、速度を下げる)
上記の動作をする際の草刈機と障害物までの距離	・ 発見した後、直近の位置で避ける。	・ 発見した後、直近の位置で避ける。	・ 発見した後、直近の位置で避ける。 (草丈が高いため、倒木や石があっても、接触するまでわからない)	・ 発見した後、直近の位置で避ける。	・ 発見した後、直近の位置で避ける。	・ 発見した後、直近の位置で避ける。
移動障害物が確認された際の動作	・ 刃の回転を止めて停止または回避	・ 人や車が近づいたら停止する。 ・ 刃の回転は止めない。	・ 人が近づいたら回転数を下げ、作業機を法尻に向ける。 ・ 飛び石の可能性がある場合は、作業機を止める。	・ 人が近づいたら作業機を法尻に向ける。 ・ 刃の回転は止めない。	・ 人が近づいたら回転数を下げ、作業機を法尻に向ける。 ・ 刃の回転は止めない。	・ 人や車が近づいたら停止する。 ・ 刃の回転は止めない。
上記の動作をする際の草刈機と障害物までの距離	・ 発見次第	・ 20～30m	・ 10～30m	・ 5m	・ 10～30m	・ 10～30m ・ 通り過ぎたら再開。
障害物の除去にあたって	・ 枝や石は、人力によって除草範囲外に移動させてから作業を行う。 ・ 対応できないものは役所へ報告する。	・ 可能なものは人力で除去。	・ 石や倒木は自力で除去可能なものは人力で除去する。	・ 倒木はかわして放置。 ・ 除草後に除去。	・ 倒木はかわして放置。 ・ 除草後に除去。	・ 石は人力で除去し、倒木など大きなものは放置。
その他安全注意事項	・ 春に現場の調査を行い、周辺をあらかじめ手刈りで刈っておく。 ・ 川裏は支柱が多く視界が悪いため、ハンドガイド草刈機を使用し低速で行う。 ・ 移動が不可能な障害物の周辺は避けて作業し、刈残しを肩掛け式で行う。	—	—	—	—	—

②自動化に関する施工実態調査【衛星測位状況】

ほぼ全ての現場でFIX率が高い結果であったが、岩見沢市(8/17)の現場では13時～14時にFloatであった。これは、9時頃の衛星配置が図-1の様に天頂付近にQZSS(準天頂衛星システム)が確認されたが、13時頃には図-2のとおり確認されなかった事が要因として考えられる。(Floatでは測位精度に影響があるが、今回の測位結果では、走行ルートに大きなズレは確認されないため、影響は少ないと考えられる)。

また、音更町(8/3)と岩見沢市(8/17)の試験では直射日光や草刈機の温度上昇による熱影響で、GNSS受信機にエラーが発生し、走行経路のデータ取得が一部不可となった(赤点線箇所)。電子機器の故障率は図-3に示すとおり温度上昇に伴い上昇することから遮熱対策が必要である。

なお、今回使用した電子機器の使用環境温度は5～35℃であった。

実施調査場所	帯広河川事務所管内	旭川河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内		岩見沢河川事務所管内	
現場河川	音更川	石狩川	天塩川	天塩川		幾春別川	
	河東郡音更町(郊外)	上川町(郊外)	美深町(郊外)	名寄市(市街地)		岩見沢市(市街地)	
実施日	2021/8/3	2021/8/26	2021/8/12	2021/8/24	2021/8/11	2021/8/17	
気温	31℃	26℃	17℃	25℃	16℃	23℃	
実施機械	大型遠隔操縦式草刈機 (クロカンジョージ)	大型遠隔操縦式草刈機 (クロカンジョージ)	ハンドガイド式草刈機 (パロネス: HM5500)	大型遠隔操縦式草刈機 (クロカンジョージ)	ハンドガイド式草刈機 (ゼノア: ZHM1520)	ハンドガイド式草刈機 (ゼノア: ZHM1520)	
衛星測位状況 施工エリア	FIX: 98.3% float: 1.7% 延長: 約1500m/日 法長: 約12m 施工量: 約18000㎡/日 川表のみ施工 ※点線箇所:制御装置の熱影響により走行 計画取得不能	differetail GNSS fix: 0.2% FIX: 99.2% float: 0.6% 延長: 約900m/日 法長: 約10.5m 施工量: 約9450㎡/日 川裏のみ施工	FIX: 98.6% float: 1.4% 延長: 約900m/日 法長: 約15m 施工量: 約13500㎡/日 川裏のみ施工	FIX: 98.3% float: 1.7% 延長: 約700m/日 法長: 約7m 施工量: 約7000㎡/日 川表・川裏を施工 ※川表は全体の1/4のみ施工	FIX: 98.9% float: 1.1% 延長: 約700m/日 法長: 約14m 施工量: 約19600㎡/日 川表・川裏を施工	differetail GNSS fix: 1.3% FIX: 80.3% float: 18.3% ※floatとなった13時頃は天頂付近 にQZSSが無い 延長: 約2500m/日 法長: 約13m 施工量: 約32500㎡/日 川表・川裏を施工	
							
	データ取得不可区間						データ取得不可区間
計器の設置状況							

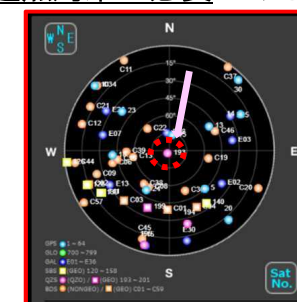


図-1 9時頃の衛星配置

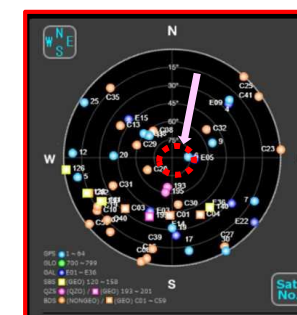


図-2 13時頃の衛星配置

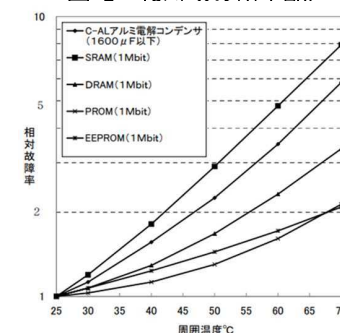


図-3 電子部品の周囲温度による相対故障率(電子情報技術産業協会規格より抜粋)

②自動化に関する施工実態調査【ヒアリング調査】

施工実態調査時に周辺探知・障害物検知、運転操作端末の表示内容等について確認するため、ヒアリングを実施した。

①周辺探知

- ・一般車両や自転車、歩行者等の移動障害物には全周探知が必要。
- ・除草時の飛び石を考慮して前方向には30～50m必要。後方は20～30m必要。
- ・警告方法はタブレット端末での表示と音声が必要。

②障害物検知

- ・雑草の中にある障害物の検知が必要。
- ・固定障害物には前後方向に5～10m程度の距離で確認できれば良い。
- ・検知した際は、刃の回転は止めて停止するまたは回避。

③センサの設置位置

- ・高い草は除草機械のボンネットに倒れこむため、高い位置に設置する必要がある。

実態調査場所		帯広河川事務所管内	旭川河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内		岩見沢河川事務所管内
現場河川		音更川	石狩川	天塩川	天塩川		幾春別川
		河東郡音更町(郊外)	上川町(郊外)	美深町(郊外)	名寄市(市街地)		岩見沢市(市街地)
周辺探知のための センサやカメラ	検知範囲	・前後方向に20～30m必要	・前後方向に20～30m必要	・前方は飛び石も考慮し、車や人は30～50mは必要	・前後方向に5～10m必要	・前後方向に5～10m必要	・前後方向に20～30m必要
	第三者やオペレータへの警告方法	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)
障害物検知のための センサやカメラ	検知範囲	・前後方向に5～10m	・前後方向に5～10m	・前後方向に5～10m	・前後方向に5～10m	・前後方向に5～10m	・前後方向に5～10m
	第三者やオペレータへの警告方法	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)	・音声警告(タブレット) ・警告表示(タブレット)
対象物を探知した場合の対処方法		・周辺探知範囲内を人や車が通る際は刃の回転を止めて停止してほしい。 ・障害物検知範囲内は、刃の回転を止めて停止または回避してほしい。	・周辺探知範囲内を人や車が通る際は刃の回転を止めず、停止してほしい。 ・障害物検知範囲内の固定障害物は接触した時点で停止、その後手動に切り替え。 ・石や倒木を巻き込んだ場合、振動や音がわかるため、振動や音が変わった時に停止など可能になると良いかもしれない。 ・出来れば回避が望ましい。	・周辺探知範囲内を人や車が通る際は停止し、刃の回転を下げ、作業機の向きを変えてほしい。 ・障害物検知範囲内は、停止してほしい。 ・回避する場合は、遠回りで回避してほしい。	・周辺探知範囲内を人や車が通る際は停止し、刃の回転を止めず、作業機の向きを変えてほしい。 ・障害物検知範囲内の、固定障害物は回避してほしい。 ・回避は障害物の手前3m程度で行う。	・周辺探知範囲内を人や車が通る際は停止し、刃の回転を止めず、作業機の向きを変えてほしい。 ・障害物検知範囲内の、固定障害物は回避してほしい。	・周辺探知範囲内を人や車が通る際は停止し、刃の回転を止めず、作業機の向きを変えてほしい。 ・障害物検知範囲内の、固定障害物は回避してほしい。
運転制御端末の表示		・自己位置画面は大きく、WEBカメラは小さくても良い。 ・情報が多すぎると見にくい。					

④出来高計測作業の確認

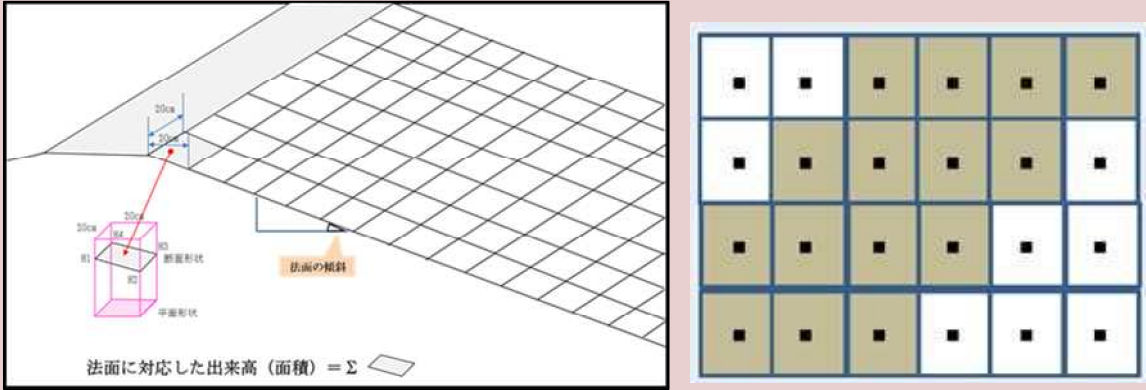
出来高管理計測作業（現地計測、写真撮影、各種資料整理等）の実態を調査した。

- ・刈高計測及び写真撮影では、3～4人体制で実施している（ヒアリング調査結果）
 - ・施工面積計測は200m毎に横断測量を実施し、横断図を基に平均断面法による面積計算している。
 - ・横断測量10測点あたりの人員は2～3人体制で実施し、3～4時間程度要している。
- その後、面積計算書の作成に1～2時間を要する。

実態調査場所		帯広河川事務所管内	旭川河川事務所管内	名寄河川事務所管内	名寄河川事務所管内	岩見沢河川事務所管内
現場河川		音更川	石狩川	天塩川	天塩川	幾春別川
		河東郡音更町(郊外)	上川町(郊外)	美深町(郊外)	名寄市(市街地)	岩見沢市(市街地)
刈高計測・管理	刈高管理 (施工管理基準)	10cm以下	10cm以下	10cm以下	10cm以下	10cm以下
	各社の品質基準値	8cm以下	8cm以下	5cm以下	8cm	5cm以下
	刈高計測の頻度 (基準値:200m毎)	1kmで1箇所	1堤防あたり1箇所 (約2～7kmで1箇所)	1スパン2,3箇所 ※1スパン:600m～7km	200mおきに1箇所	200mおきに1箇所
	刈高の計測方法	10cm定規	ロッド	専用のボード使用	専用のボード使用	専用のボード使用
		 ロッド(上川町)				
		 専用ボード(美深町、名寄市、岩見沢市)				
施工面積の算出	写真撮影頻度 (基準値:1km毎)	1堤防あたり1箇所 (約4kmで1箇所)	1堤防あたり1箇所 (約2～7kmで1箇所)	1kmで1箇所	1kmで1箇所	1kmで1箇所
	撮影方法	デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ	デジタルカメラ
	施工面積の計測方法	1. 横断測量 ・基本断面200mに1箇所の測点を設け横断法長を計測。 ・河川構造物、著しい横断変化等はプラス杭を設ける。 2. 面積計算書 ・横断図を基に平均断面法による面積計算。				
面積算出に要する人員	面積算出に要する人員	・現地測量は改修工事等で堤防形状が変更された場合に実施 (10測点の測量に要する人員は2～3名で3～4時間程度)。				
		・面積計算書の作成は1～2時間程度(10測点)。				

④出来高計測作業の確認

出来高管理計測作業に関する施工実態

項目	考察	必要となる技術・機器・条件
出来高管理計測作業	《刈高も計測》 ◆ 刈高の計測頻度は現場によって様々であり、200m～7km毎に1箇所実施。 ◆ 写真撮影頻度は現場によって様々であり、1km～7km毎に1箇所実施。 ◆ 1堤防あたりの延長が長い現場では、3～4人体制で出来高管理計測作業を実施。 《施工面積の計測》 ◆ 200m毎に横断測量を実施し、横断図を基に平均断面法による面積計算している。 ◆ 10測点測量の場合、人員は2～3人体制で実施し、測量時間は3～4時間程度、その後の面積計算書の作成に1～2時間を要する。 ◆ 面積算出に要する人員は、現地の条件（法長・勾配・延長等）により、相当な違い生じる。 ➢ 1つの堤防の延長が長く、3～4人体制で出来高管理計測作業を実施している現場も存在するため、大型遠隔草刈機による出来高管理システムを搭載させることにより、省人化や作業員の負担軽減のメリットがある。	➢ 出来高管理システム 出来高算出方法 ● 2次元正方メッシュ 除草済みの判定 ● 除草装置がメッシュの中心位置を通過したこととする。除草済範囲は、通過したメッシュを塗りつぶして表示。  法面に対応した出来高（面積）＝Σ 計測に関する事項 ● 刈高計測は自動計測の対象外である。（高さ管理項目省略検討中のため） ● 施工写真はWEBカメラの静止画にて除草作業状況の記録可能である。  除草作業状況(前方静止画) 除草作業状況(後方静止画)

2) 確認事項

- ①除草機械自動化システムの検討内容について
- ②自動化機器実装確認試験内容について

事業振興部 機械課

①除草機械自動化システムの検討内容について【諸条件①】

1. 概要 除草機械自動化及び出来高計測システムの諸条件等を下記に示す。

2. 諸条件

2-1 現場条件

- ・ 法面勾配 0～30度程度（R4の実証試験は丘陵堤区間とする）
- ・ 雑草繁茂状況 最大草丈高さ 260cm程度、雑草密度 100株/m²（主にイタドリ）
- ・ 衛星測位状況 FIX解であることが望ましい。（事前に検証が必要）
- ・ 適用現場条件 人や車両等の移動障害物が少ない地域かつ、河川構造物や樹木や石・岩などの固定障害物が少ない地形が望ましい。

2-2 自動運転システム条件

- ・ 除草走行方向 河川縦断方向
- ・ 除草ラップ幅 200～500mm程度（任意設定可能とする）
- ・ 除草速度 0～6.0km/h程度（任意設定可能とする） ※草刈機仕様と整合
- ・ 旋回方法 スイッチバック及びαターン（選択設定）
- ・ 自動運転制御方式 倣い制御及びプログラム制御
- ・ 障害物登録機能 河川構造物等の障害物を回避するため、登録機能を有する事。
- ・ 周辺探知方向（距離） 移動障害物は全周20～50m程度（任意設定可能とする）
固定障害物は前後方向5～10m程度（任意設定可能とする）
- ・ 障害物検知後動作 移動障害物は走行及び刈機停止、エリア外確認後自動運転復帰。
固定障害物は回避運動後、自動運転に復帰。
- ・ 障害物通知機能 遠隔操作端末（タブレット）に警告表示及び音声出力で通知。

①除草機械自動化システムの検討内容について【諸条件②】

- ・ 緊急停止機能

下記条件において緊急停止機能を有すること。

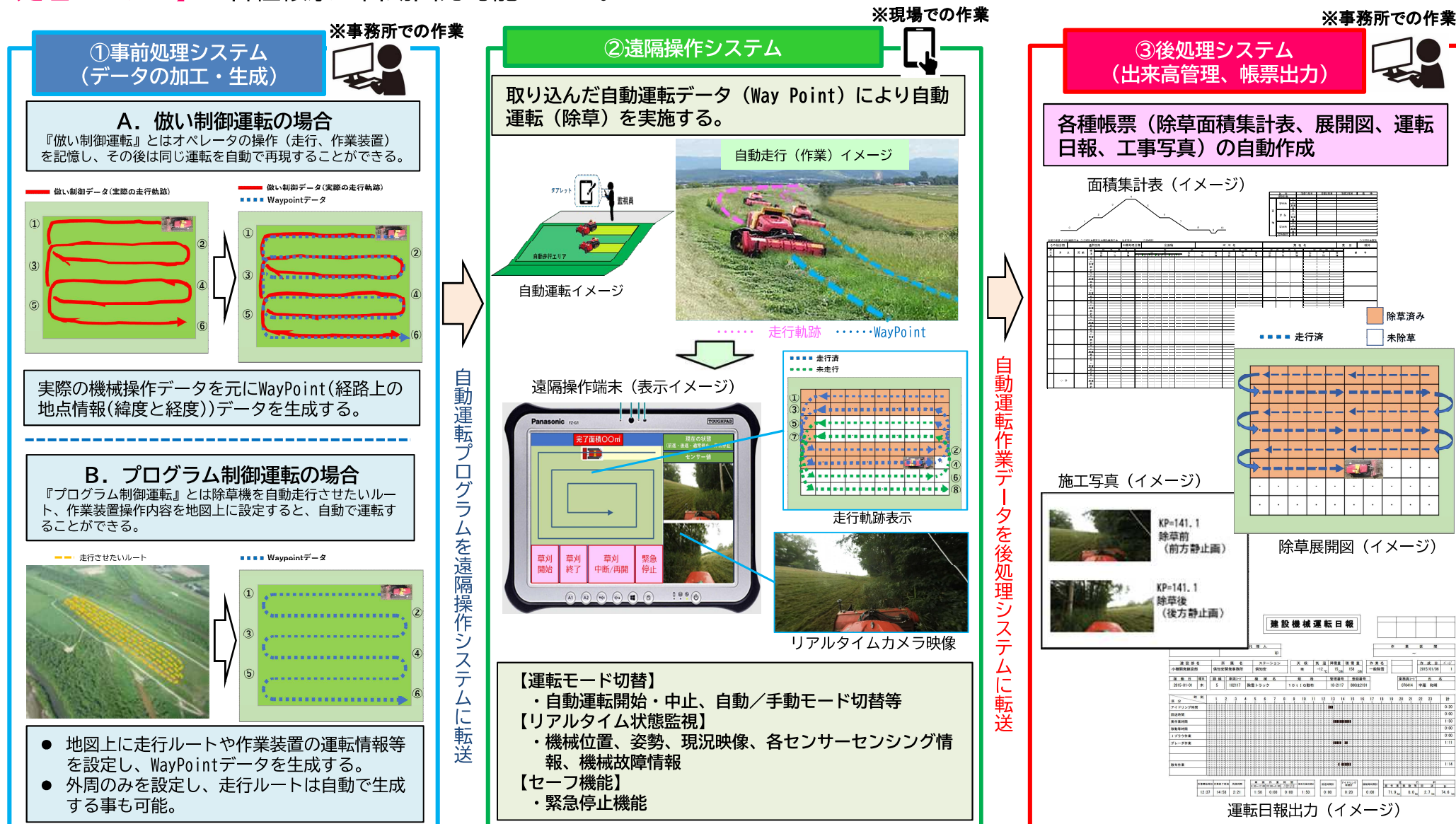
- ①通信回線（W i - F i、L T E、5 G）切断時の自動停止
- ②新設タブレット端末からの緊急停止信号発信
- ③既設アナログ無線機からの緊急停止信号発信
- ④既設アナログ無線切断時の自動停止
- ⑤草刈機本体エラー発生時（機器異常）の自動停止
- ⑥自動運転設定エリア逸脱による自動停止
- ⑦接触式障害物検知センサーによる停止
- ⑧サウンドセンサー（接触音）による停止

2－3 出来高計測システム条件

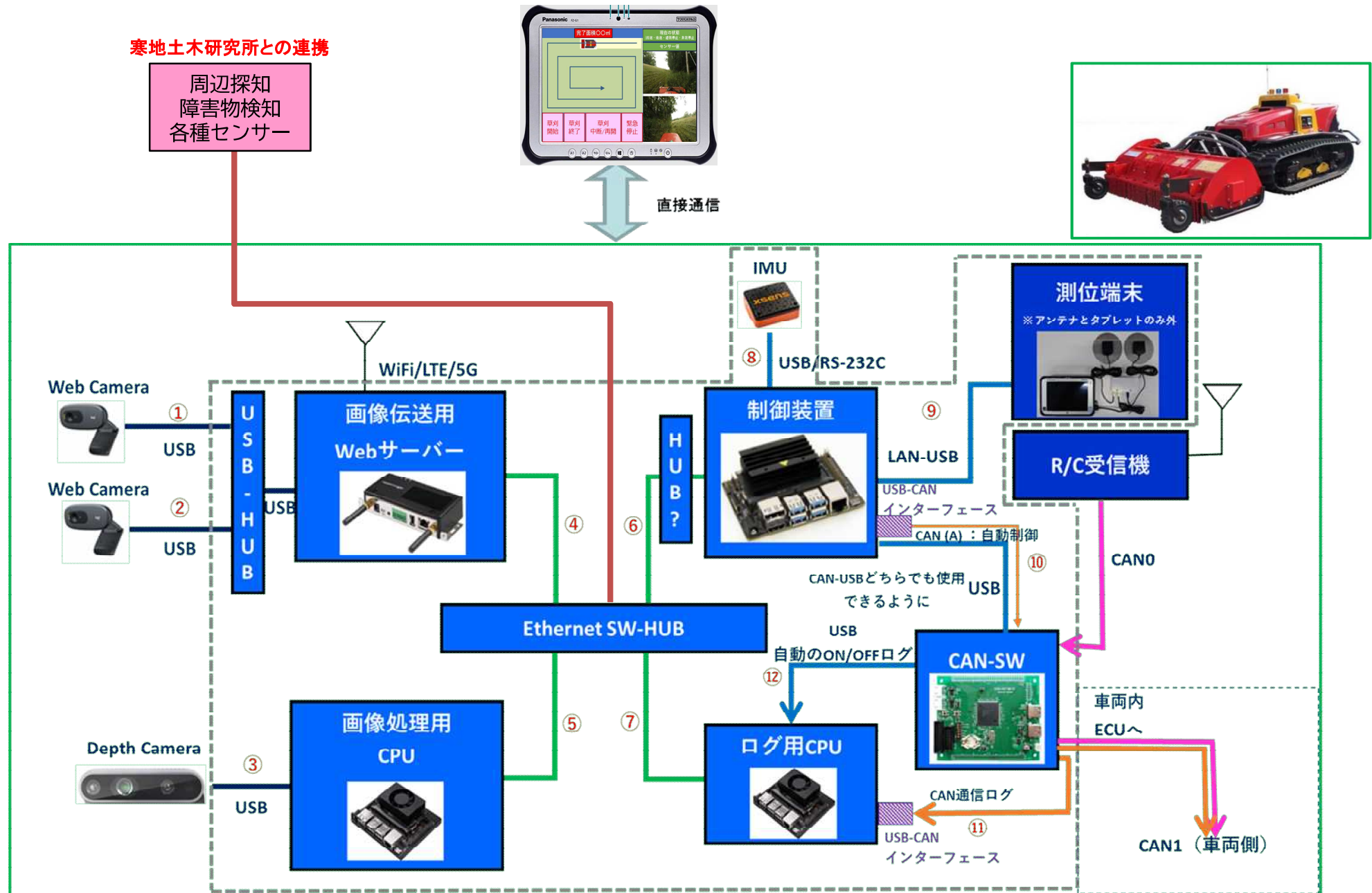
- ・ 取得データ G N S Sデータ（車両の高精度衛星測位システムより）
- ・ 面積計測方法 除草機械走行軌跡を2次元正方メッシュに記録し、面積を計測する。
- ・ メッシュ寸法 20～50cm×20～50cm程度（任意設定可能とする）
- ・ 施工記録機能 草刈機前後に設置したwebカメラを用いて施工前、後の動画及び制止画像を記録する。

①除草機械自動化システムの検討内容について【自動化システム概要】

自動化システムは事務所の【①事前処理システム】で生成した自動運転プログラムを現場の【②遠隔操作システム】に転送し自動で除草を行うものである。除草作業完了後は【②遠隔操作システム】に記録された作業データを事務所の【③後処理システム】で各種帳票が自動出力可能となる。



①除草機械自動化システムの検討内容について【全体システム構成】



①除草機械自動化システムの検討内容について【遠隔操作端末】

遠隔操作端末は走行軌跡、完了面積、現在の状態、センサー値、現況映像、草刈開始・終了・中断・再開・緊急停止ボタンの構成となるような想定をしている。

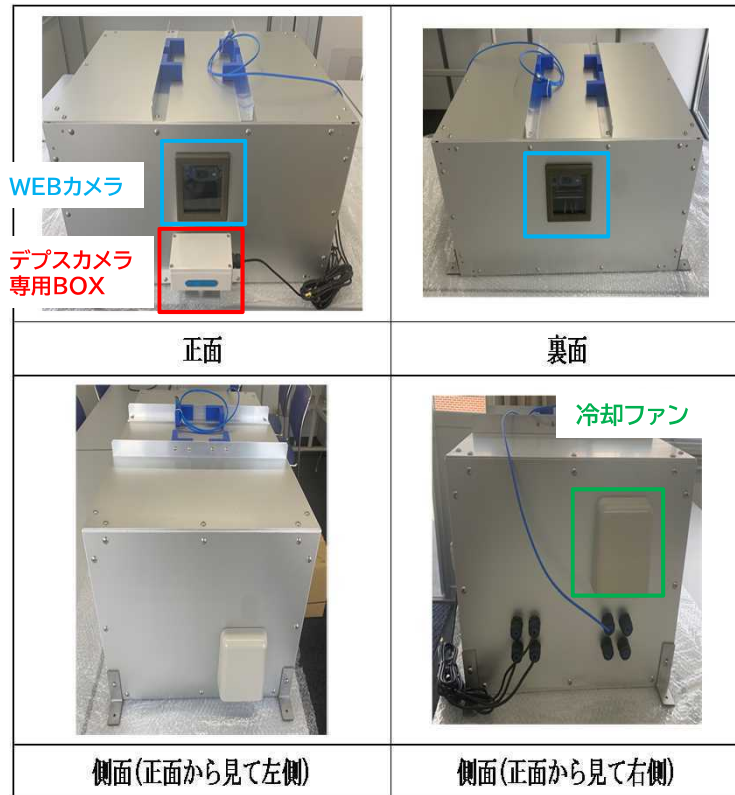
なお、現況映像についてはR4年度から追加予定である。



遠隔操作端末のイメージ

①除草機械自動化システムの検討内容について【自動化機器実装イメージ】

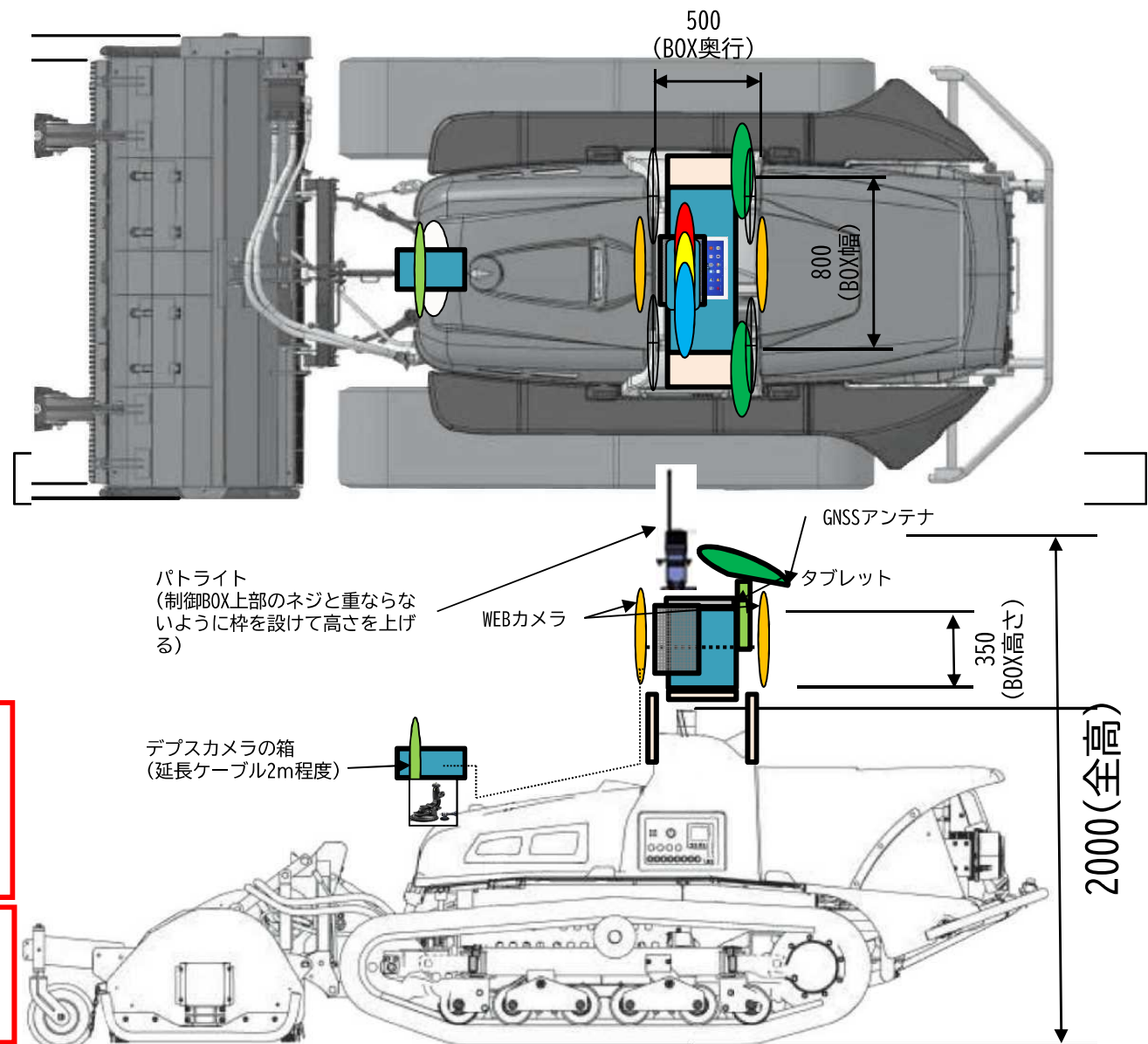
制御BOXと取付架台のイメージを示す。



制御システムBOXの外観

制御BOXサイズ
W(幅) 750×D(奥行) 500×H(高さ) 350
+デプスカメ専用BOX(防水加工)
+GNSSアンテナ
+パトライト
+冷却ファン

- GNSSアンテナは棒に設置し、パトライトの高さまで上げる。
- パトライトは制御BOXの蓋が開けられるようにBOXの上部のネジと重ならないように枠を設けて高さ上げる。



①除草機械自動化システムの検討内容について【実装工程】

今年度実施する自動化機器実装工程を以下に示す。



11/23 ローバー試験

作業項目		10月		11月			12月			1月			備考
自動化機器実装	大型除草刈機の輸送		■	■							■		
	大型遠隔草刈機の改造				■	■	■	■					CAN通信対の改造・車両の改造・架台取付
	除草機械の制御システム開発	■	■	■	■	■	■	■					タブレット間I/Fの作成・DepthカメラI/Fの作成・CAN切り替え器のS/W作成・実機制御用S/W作成・FTPサーバー、ログ収集環境構築
	除草機械の制御BOX等製作	■	■	■									制御ユニットとそれに付随するケーブルの手配 アルミフレーム部材、冷却ファンを設置
	除草機自動化システム	■	■	■	■	■	■	■					データの加工・生成システム(前処理システム) 遠隔操作システム 出来高管理システム(後処理システム)
	確認試験							■	■				精度検証：指定走行ルートと実際の走行ルートの比較 比較検証：従来のラジコン操縦と自動操縦（自動走行）の比較 出来高計測（面積）の検証(従来施工との比較検証(精度や時間)) その他：その他必要な項目一式
	機器類取り外し等								■	■			

②自動化機器実装確認試験内容について(1/6)

2. 確認試験

2.1. 試験場所・実施時期

確認試験は久留米・うきは工業団地のキャニオン工場内で実施する。

前提条件として、試験エリアは平坦地、四角(100m×50m)、障害物なしとする。

実施時期は令和3年12月中旬～令和4年1月中旬の間で5日間(準備:2日、試験:2日、予備:1日)を予定する。



写真 2.1 確認試験実施場所

2.2. 試験条件

2.2.1. 走行条件

従来施工および自動化技術を搭載した実機は、直進と旋回 1 パターン (1 本飛ばし) で運転を実施する。

実現場において、大型遠隔操作式草刈機の旋回動作はスイッチバックやαターンで実施しているが、スイッチバックやαターンは前進だけでなく、後進も加わり、動作が複雑になってくるため、本試験では、自動走行の実現性が最も高い 1 本飛ばしを実施し、自動走行に必要な基礎データの収集を行う。

なお、自動化技術を搭載した実機の走行は、Waypoint を設定し、微い制御運転にて実施する。



図 2.1 本試験における走行ルートのイメージ(直進と旋回方法 1 パターン)

2.2.2. 操作方法

自動化技術を搭載した実機の操作は、開始ポイントまでの移動はラジコン機で実施し、施工エリア内ではタブレットを用いて自動走行の開始、停止を実施する。

自動化技術を搭載した実機とタブレットの通信は Wi-Fi にて行う。

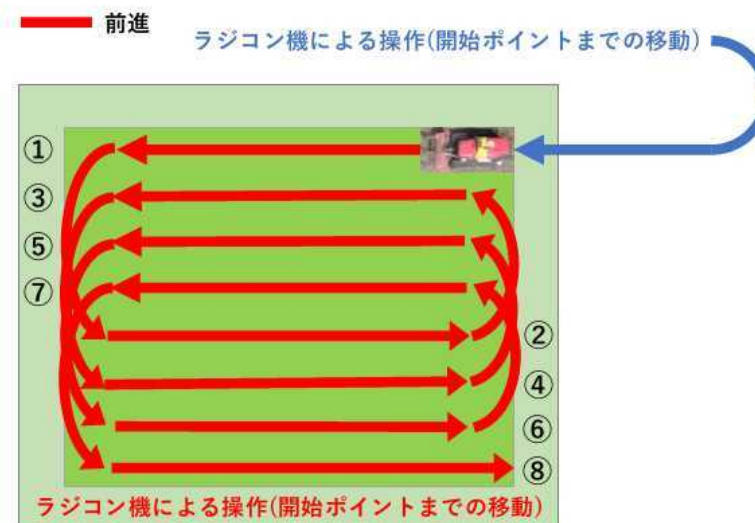


図 2.2 操作方法

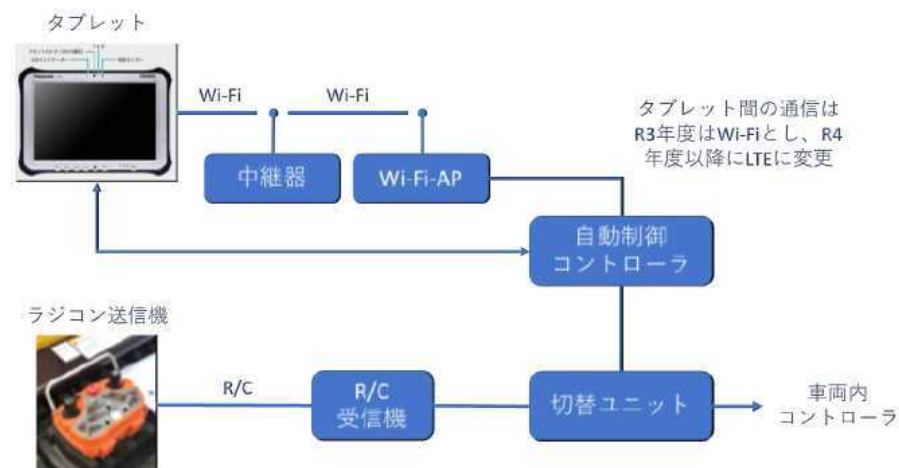


図 2.3 遠隔草刈機とタブレットの通信方法

②自動化機器実装確認試験内容について(2/6)

2.3. 検証内容

確認試験で検証する内容を以下に示す。

なお、検証項目は従来施工との比較検証が行える内容とする。

- ①精度検証：指定走行ルートと実際の走行ルートの比較
- ②比較検証：従来のラジコン操縦と自動操縦（自動走行）の比較
- ③出来高計測（面積）の検証（従来施工との比較検証（精度や時間））
- ④その他：その他必要な項目一式

表 2.1 検証項目

検証項目	検証内容
直進性、旋回の 精度検証	平地での指定走行ルート走行 【① 精度検証：指定走行ルートと実際の走行ルートの比較】
作業速度の 可変による検証	従来と同等の速度と速度を上げた1パターン実施 【② 比較検証：従来のラジコン操縦と自動操縦（自動走行）の比較】
出来高計測の検証	一定間隔のウェイポイントを草刈機で1回通過時に面積算出 【③ 出来高計測（面積）の検証（従来施工との比較検証）】
自動化の精度・ 安定性の検証	繰り返し走行試験（10回/1条件毎） 【④ その他：その他必要な項目一式】
出来高計測の 高度化・安定性の検証	繰り返し走行試験（10回/1条件毎） 【④ その他：その他必要な項目一式】
安全性の検証	自動走行時における非常停止 【④ その他：その他必要な項目一式】
自動化した遠隔操縦 草刈機の運用の検証	ハンドガイドで遠隔操縦草刈機の後を追従 【④ その他：その他必要な項目一式】

ビデオカメラやドローンによる撮影やライン引きを取り付ける方法が困難な場合は、GNSS受信機から得られた走行軌跡のログデータから指定走行ルート（Waypoint データ）と実際の走行ルートのズレを確認・記録する（図 2.6 参照）。

本検証における走行ルートのズレの許容値（目標値）については、図 2.7 に示すとおり、現場では刈り残し防止のため、ラップ幅は 500 mm 程度を確保していることから、0～±250 mm の範囲内とする。

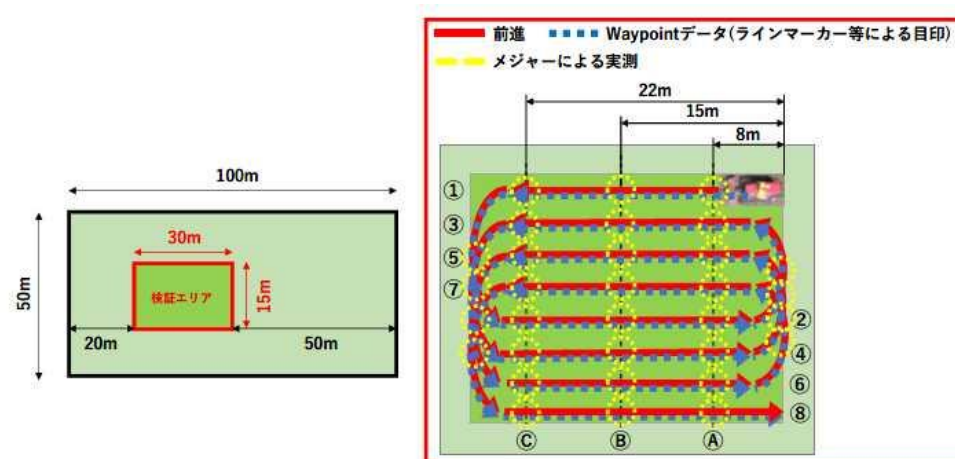


図 2.4 検証エリアと直進性、旋回の精度の確認方法



写真 2.2 ビデオカメラ（左写真）・ドローン（右写真）による記録

2.3.1. 直進性、旋回の精度検証

平地における指定走行ルート（Waypoint データ）と実際の走行ルートの精度比較を行う。

直進性、旋回の精度の確認方法は、設定した指定走行ルート（Waypoint データ）上にラインマーカーやロープ等で目印を設け、実際の走行ルートが目印上を走行したか否かについては、ビデオカメラやドローンによる撮影（写真 2.2 参照）または、大型遠隔操作草刈機にライン引きを取り付ける方法（図 2.5 参照）などで確認し、メジャーによる実測で指定走行ルート（Waypoint データ）と実際の走行ルートのズレを記録する。

②自動化機器実装確認試験内容について(3/6)

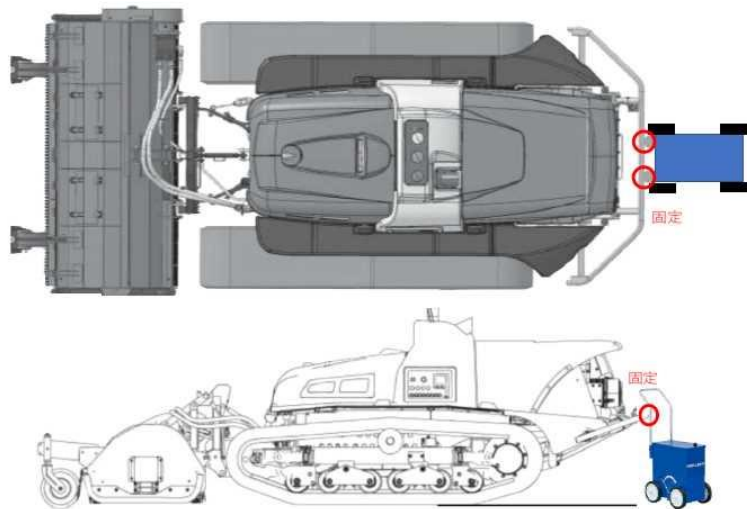


図 2.5 ライン引きの取り付け

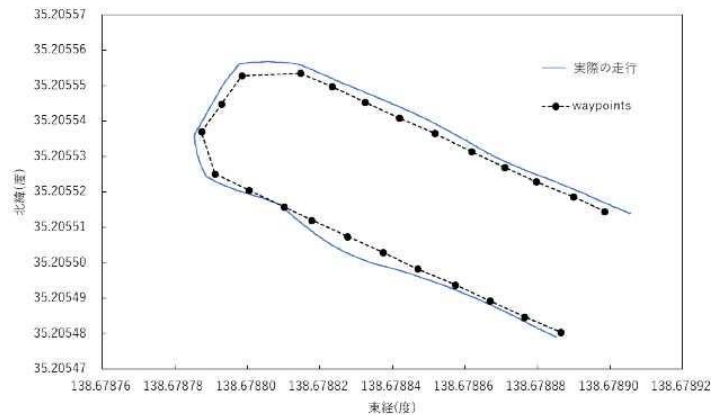


図 2.6 GNSS 受信機による走行軌跡のログデータ(イメージ)

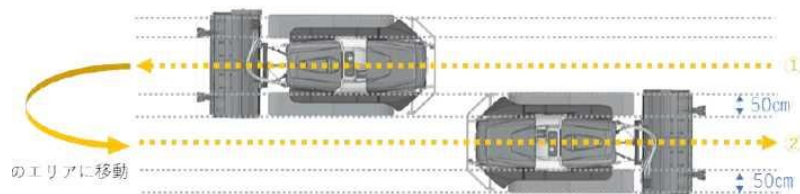


図 2.7 ラップ幅の確保(500 mm)

表 2.2 精度検証記録表 (抜粋)

巡回パターン	作業速度	行程	測定点	各位置におけるズレ量(m)									
				1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
①			(A)	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
			(B)	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
			(C)	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
			カーブ点	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
②			(C)	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
			(B)	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m

2.3.2. 作業速度の可変による検証

施工実態調査において、並走監視における従来のラジコン操縦は歩行速度と同等の 3.5km/h で実施していたことから、本検証では、直線部分を 3.5km/h と速度を上げた 6km/h の 2 パターンで実施し、それぞれのサイクルタイムを比較する。

なお旋回時の速度は安全を考慮し 1.0km/h を基準とし、状況に応じて作業装置を徐々に可変する。

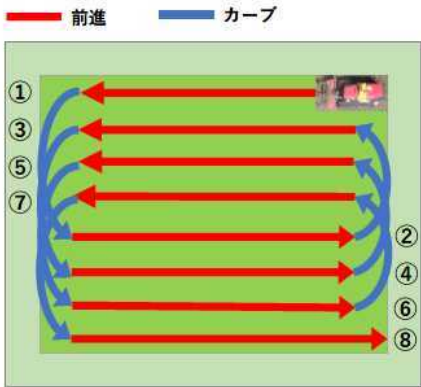


図 2.8 作業速度の可変による検証

表 2.3 作業速度の可変による検証記録表

巡回パターン	作業速度	行程	各工程毎の経過時間(秒)										平均値
			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
①		直進	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
		カーブ	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
②		直進	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
		カーブ	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
③		直進	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
		カーブ	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
④		直進	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
		カーブ	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒

②自動化機器実装確認試験内容について(4/6)

2.3.3. 出来高計測の検証

出来高管理計測システムの面積算出については、予め作成した Waypoint データにメッシュ座標データを重ね合わせ、Waypoint に沿って自動走行した草刈機がメッシュの中心位置を通過したことによって、除草済範囲を塗りつぶして表示し、施工エリアの面積算出するシステムとなっている。

本検証では、出来高管理計測システムを用いて算出された施工完了後の面積とメジャーによる実測で算出された施工完了後の面積を比較検証し、測定誤差を確認する。

なお、メッシュの大きさは、TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領の管理ブロックサイズの設定においてタイヤローラーと振動ローラーの基準値とされる 50 cm とブルドーザーと同等の 20 cm の 2 パターンを想定する。

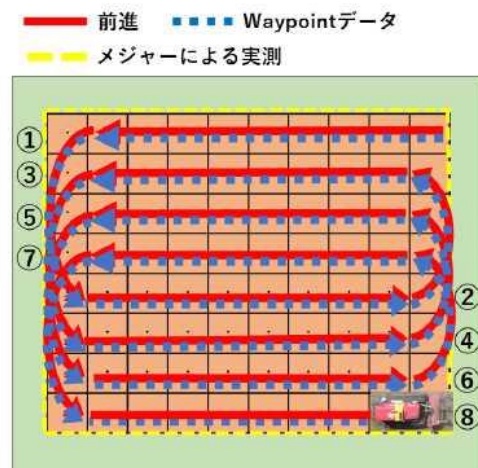


図 2.9 出来高計測の検証イメージ

表 2.4 管理ブロックサイズの基準値 (TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領から抜粋)

作業機械	管理ブロックサイズ
ブルドーザー ¹⁾	0.25m
タイヤローラー	0.50m
振動ローラー	0.50m
ロードローラー、 タンピングローラー等の 上記に準ずる機械	0.25mまたは0.50mサイズより 締固め幅等を考慮して決定

1) : ブルドーザーの場合は履帯間の接地しない領域を考慮している。

表 2.5 出来高計測の検証記録表

旋回パターン	作業速度	測定方法	除草済面積										平均値
			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目	
1本飛ばし	3.5km/h	メジャーによる実測	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
		システム 算出面積	20cmメッシュ	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
			50cmメッシュ	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
		測定誤差	メジャーによる実測 20cmメッシュ	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
			メジャーによる実測 50cmメッシュ	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	6.0km/h	メジャーによる実測	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
		システム 算出面積	20cmメッシュ	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
			50cmメッシュ	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
		測定誤差	メジャーによる実測 20cmメッシュ	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
			メジャーによる実測 50cmメッシュ	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

2.3.4. 自動化の精度・安定性および出来高計測の高度化・安定性の検証

【2.3.1 直進性、旋回の精度検証】、【2.3.2 作業速度の可変による検証】、【2.3.3 出来高計測の検証】については、精度や安定性の確認のため、繰り返し走行試験 (10 回/1 条件毎) を実施する。

表 2.6 繰り返し走行条件

条件	旋回パターン	作業速度	走行回数	メッシュ
①	1 本飛ばし	3.5km/h	10 回	20 cm
②	1 本飛ばし	3.5km/h	10 回	50 cm
③	1 本飛ばし	6km/h	10 回	20 cm
④	1 本飛ばし	6km/h	10 回	50 cm

②自動化機器実装確認試験内容について(5/6)

2.3.5. 安全性の検証

自動走行時における非常停止を実施する。

非常停止はラジコン送信機に搭載されている非常停止ボタンおよび遠隔監視端末(タブレット)からの非常停止ボタンを押し、ボタンを押してから停止時間と停止距離をビデオカメラやドローンを用いて記録する。

試験条件は時速 3.5km/h と時速 6.0km/h の 2 パターン実施する。

なお、非常停止ボタンを押してから草刈機が停止するまでの時間においては約 1 秒程度に停止することを目標とする(図 2.11 参照)。

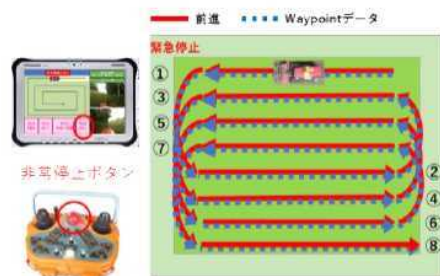


図 2.10 ラジコンからの緊急停止ボタンによる非常停止

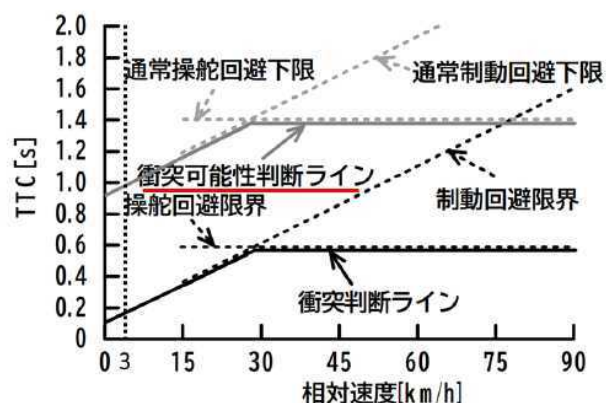


図 2.11 自動制動の作動タイミング
(衝突被害軽減ブレーキシステムの評価に関する研究より抜粋)

表 2.7 安全性の検証記録表

巡回パターン	速度	計測項目	目標値	計測値
1本飛ばし	3.5km/h	停止時間	1秒程度	秒
	6.0km/h			秒
	3.5km/h	停止距離	1m以内	m
	6.0km/h			m

2.3.6. 自動化した遠隔操縦草刈機の運用の検証

令和3年8月に実施した施工実態調査において、自動化した遠隔操縦草刈機に異常があった際、すぐに対応出来るようにハンドガイドで遠隔操縦草刈機の後を追うように作業したいという意見があった。

現場は定点監視や並走監視で除草作業を実施しているが、オペレータの負担が大きいため、ハンドガイドで遠隔操縦草刈機の後を追うように作業できるようになると、オペレータの負担が軽減するメリットがあるため、本試験においても図 2.11 に示す方法を実施し、オペレータに対して使用感や要望等についてヒアリング調査を実施する。

なお、ハンドガイドの操作は株式会社キャニコムが実施する。

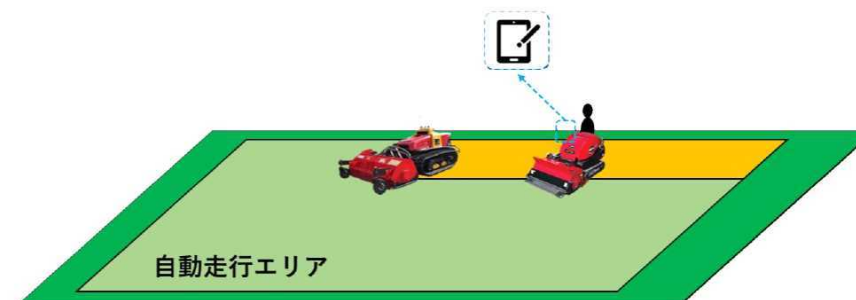


図 2.11 自動化した草刈機の運用方法

5) その他

- ・今後の検討スケジュールについて
- ・次回WGの開催について

事業振興部 技術管理課

堤防などインフラの品質確保と適切な機能維持のため、**インフラメンテナンスにかかる作業の省人化、効率化、費用の縮減が喫緊の課題**となっています。これまで堤防除草に関しては、機械導入、処分費用の抑制などにより作業の効率化、コスト縮減の取組が行われてきましたが、更なる**堤防除草の生産性向上のため、ICT（情報通信技術）を活用した除草作業の自動化について試験地で現地試験を行いながら取組を進める**ものです。

背景

- ・北海道は全国よりも10年先行して人口減少や高齢化が進行しており、河川維持管理に従事する労働者不足が懸念されている
- ・近年激甚化・多様化する災害に対し、堤防などインフラの品質確保と適切な機能維持が不可欠
- ・インフラメンテナンスにかかる作業の省人化、効率化、費用の縮減が必要

目的

- ・河川堤防の維持管理の生産性向上のため、**ICT（情報通信技術）を活用した堤防除草作業の自動化**の取組を進める
 - ・この取組を通じて**建設現場における生産性向上に資する技術の開発や実用化**を進める
- ①大型除草機による除草自動化（丘陵堤※）
→ 遠隔式大型除草機を活用した除草自動化
- ②急勾配・狭隘箇所における小型除草機による除草自動化

除草自動化検討ワーキング ～ SMART-Grass ～

アドバイザー 北海道大学大学院 農学研究院 野口 伸 教授
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

構成員 北海道開発局 事業振興部 技術管理課・機械課
建設部 河川管理課
開発建設部
各種要素技術開発企業



大型除草機による除草自動化のイメージ



小型自動除草機



参考；近畿地方整備局マッチング技術資料より

現在行われている堤防除草



※丘陵堤とは...

石狩川や十勝川の下流域は、泥炭層が広く分布し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）を整備し、安全性を高めています。

石狩川丘陵堤（たっぱ大橋下流付近）の除草幅



SMART-Grass 試験地 (丘陵堤 たつぷ大橋下流左岸)



実施内容

- R2 丘陵堤において自動走行農機の試験走行と、除草自動化に向けた要素技術調査選定・概略検討を実施
- R3 企業と連携した試験用実機の改造と、運用基準の検討

試験地平面写真



ロボットトラクタ試験走行状況



検討スケジュール

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
検討 ワーキング	ワーキング設置	ワーキング開催	ワーキング開催	ワーキング開催	ワーキング開催	ワーキング開催
自動 除草 機 開発	● 試験地選定 <試験地> 石狩川丘陵堤 120m × 2km	● ロボットトラクタ試験走行 ● 除草自動化技術検討 ・自動化における課題の抽出整理 ・既存最新技術・要素技術動向調査 ・自動化技術の概略検討 ● 出来高自動計測技術検討 ・出来高確認用展開図作成技術検討	● 自動化技術の詳細検討 ・試験用実機の改造	● フィールドでの実証試験、評価	● フィールドでの実証試験、評価 ・自動化のための仕様作成	
		ロボットトラクタ 	遠隔式大型除草機 	● 出来高管理基準策定	● 出来高管理基準策定	
実装				● 運用基準等の検討 ・運用基準・安全管理基準検討	● 運用基準・安全管理基準策定	● 一部運用開始 ● 適用拡大