

# 令和4年度 除草自動化検討ワーキング（第1回）

～ SMART-Grass ～

日時 令和4年10月5日(水) 14:00～  
場所 石狩川 たっぷ大橋下流左岸  
北村地区河川防災ステーション2F会議室

## 現地視察

実証試験の概要・視察

## 次 第

1. 挨拶 北海道開発局事業振興部技術管理課長
2. 議 事
  - 1) 実証試験結果の速報報告
  - 2) 周辺探知技術の報告
  - 3) その他
    - ・今後の予定

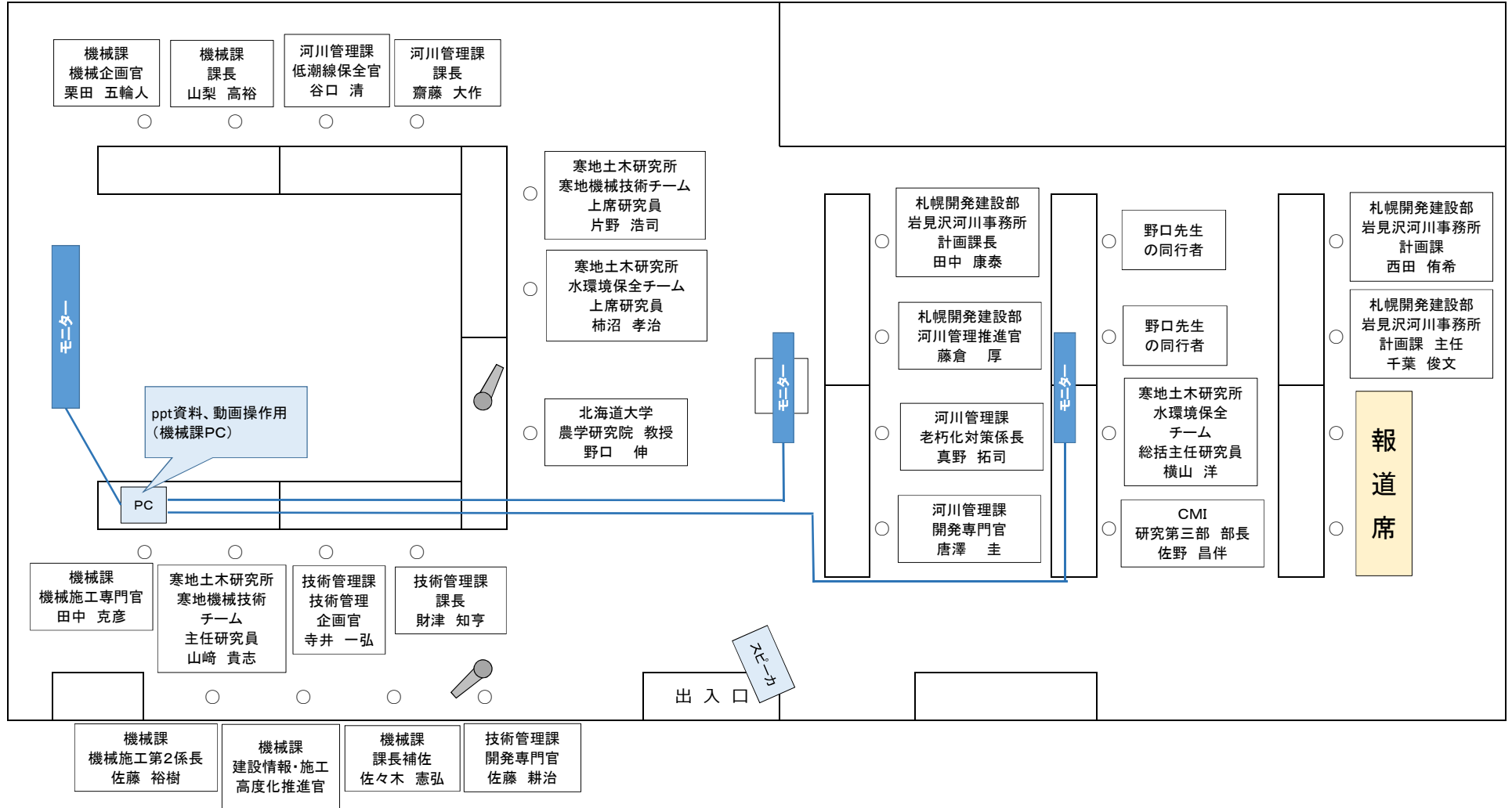
※一部資料は非公表のため、ページに欠番あり。

令和4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	備考
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 技術開発調整監付 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	柿沼 孝治	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	
		寺井 一弘	技術管理企画官	
		佐藤 耕治	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	機械企画官	
		合田 彰文	建設情報・施工高度化推進官	
		佐々木 憲弘	課長補佐	
		田中 克彦	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	齋藤 大作	課長	
		谷口 清	低潮線保全官	
		唐澤 圭	開発専門官	
		真野 拓司	老朽化対策係長	
	北海道開発局 札幌開発建設部	藤倉 厚	河川管理推進官	
		田中 康泰	岩見沢河川事務所 計画課長	
		千葉 俊文	岩見沢河川事務所 計画課主任	
西田 侑希		岩見沢河川事務所 計画課		
	一般社団法人 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 技術開発調整監付 寒地機械技術チーム	山崎 貴志	主任研究員	
	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	横山 洋	総括主任研究員	

# 令和4年度 除草自動化検討ワーキング（第1回） 座席表

令和4年10月5日  
 岩見沢市北村河川防災ステーション





# 令和4年度 除草自動化検討ワーキング（第1回） ～ SMART-Grass～

## 現地視察資料

令和4年10月5日（水）14:00～

石狩川 たっぴ大橋下流左岸  
岩見沢市北村地区河川水防センター2F会議室

※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。



## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 1. 実証試験の概要

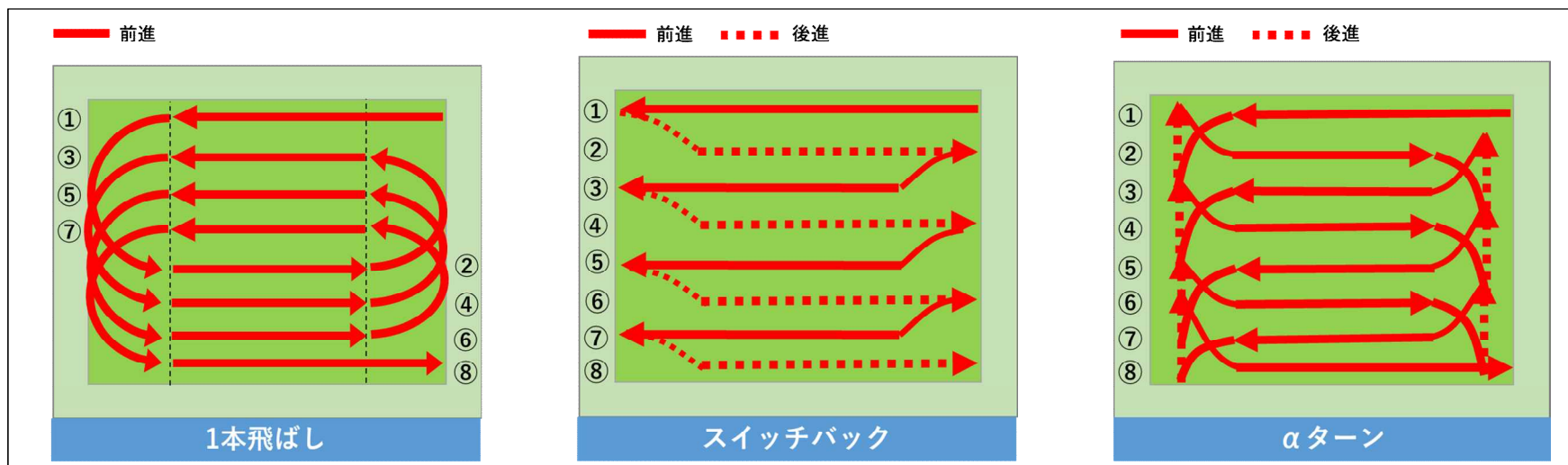
#### 1-1. R4実証試験条件

- (1) 試験条件 5割勾配(1:5)及び10割勾配(1:10)において  
**試験機1台**による自動走行除草の試験施工
- (2) 走行パターン 3パターン (1本飛ばし、スイッチバック、 $\alpha$ ターン)
- (3) 作業速度 4.0km/h、6.0km/h (一部旋回速度を3km/h)
- (4) 走行条件及び繰り返し回数 自動4回又は6回、手動各1回
- (5) 検証項目
  - ・自動走行における直進性、旋回の精度
  - ・作業速度の可変 (サイクルタイム比較等)
  - ・出来形計測の精度
  - ・自動走行及び出来形計測の安定性
  - ・非常停止及び緊急停止機能

【R4実証試験条件一覧表】

条件	走行条件	旋回パターン	作業速度	旋回速度	繰り返し走行回数
①	自動	1本飛ばし	4.0km/h	4.0km/h	3回
②		1本飛ばし	4.0km/h	3.0km/h	1回
③		1本飛ばし	6.0km/h	6.0km/h	3回
④		1本飛ばし	6.0km/h	3.0km/h	1回
⑤		スイッチバック	4.0km/h	4.0km/h	4回
⑥		スイッチバック	6.0km/h	6.0km/h	4回
⑦		$\alpha$ ターン	4.0km/h	4.0km/h	4回
⑧		$\alpha$ ターン	4.0km/h	3.0km/h	2回
⑨		$\alpha$ ターン	6.0km/h	6.0km/h	4回
⑩		$\alpha$ ターン	6.0km/h	3.0km/h	2回
⑪	手動	1本飛ばし	4.0km/h	-	2回
⑫		1本飛ばし	6.0km/h	-	2回
⑬		スイッチバック	4.0km/h	-	2回
⑭		スイッチバック	6.0km/h	-	2回
⑮		$\alpha$ ターン	4.0km/h	-	2回
⑯		$\alpha$ ターン	6.0km/h	-	2回

【R4実証試験 走行パターンイメージ図】

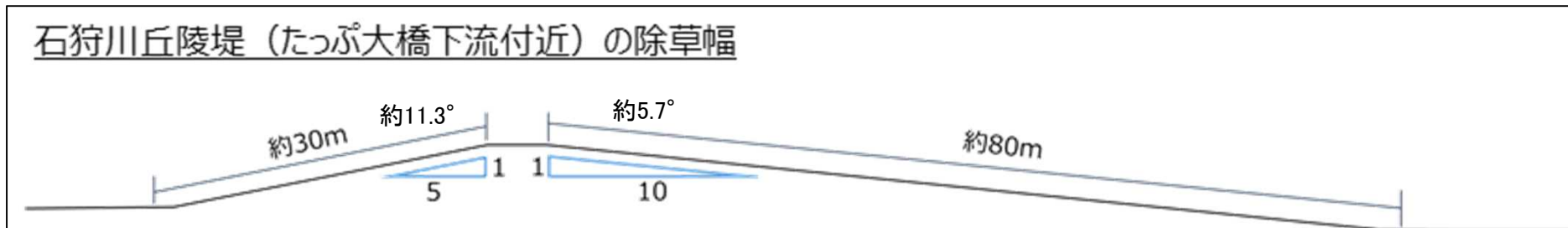




## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 1-2. 実証試験場所の概要

【R4実証試験 断面イメージ図】



【R4実証試験 試験エリア区分図】

WG先生説明用  
報道公開用

動画撮影用

試験エリア  
1条件15m×50m(未施工)  
法肩から2.5~5.0m離す

試験時間  
20分程度/1エリアあたり

調整・安全検証用  
30m×50m



## 令和4年度 除草自動化検討WG（第1回）

### 1-3. R4WG（第1回）における実証試験条件

- ・10割勾配において試験機1台による自動走行除草の試験施工。
- ・自動走行による除草施工試験である6パターンを全て実施。

走行条件 : 自動走行

旋回パターン : 1本飛ばし、スイッチバック、 $\alpha$ ターン

作業速度 : 4km/h、6km/h

作業回数 : 各1回

条件	走行条件	旋回パターン	作業速度	旋回速度	繰り返し走行回数
①	自動	1本飛ばし	4.0km/h	4.0km/h	3回
②		1本飛ばし	4.0km/h	3.0km/h	1回
③		1本飛ばし	6.0km/h	6.0km/h	3回
④		1本飛ばし	6.0km/h	3.0km/h	1回
⑤		スイッチバック	4.0km/h	4.0km/h	4回
⑥		スイッチバック	6.0km/h	6.0km/h	4回
⑦		$\alpha$ ターン	4.0km/h	4.0km/h	4回
⑧		$\alpha$ ターン	4.0km/h	3.0km/h	2回
⑨		$\alpha$ ターン	6.0km/h	6.0km/h	4回
⑩		$\alpha$ ターン	6.0km/h	3.0km/h	2回



### ※注意事項

- ・草刈機械のエンジンが掛かっている時は、試験エリア内、機械の法面下側、自動走行ルート前後に立ち入らないでください。
- ・草刈装置回転時は、飛び石の可能性があるので機械の前方に立ち入らないでください。



## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 1-4. 実証試験で使用する試験機

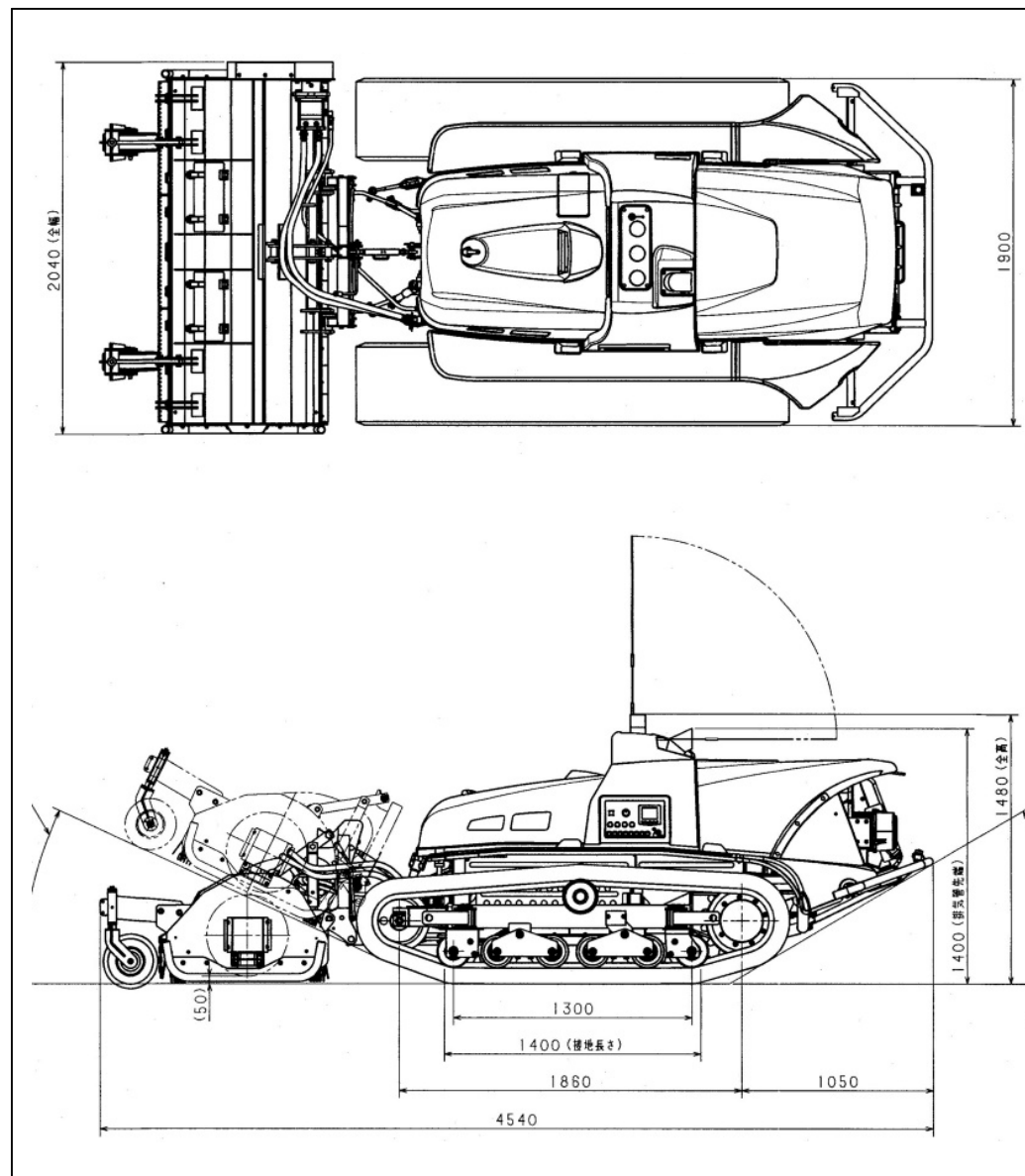
- ベースマシン : 大型遠隔操縦草刈機 (30-4151)  
旭川開発建設部 旭川河川事務所配置

メーカー	(株) 筑水キャニコム
型式	大型遠隔操縦式 CG750
全長×全幅	4,540mm×2,040mm
刈幅	1,850mm
質量	3,000kg
走行速度	0~6.0km/h
最大除草法面勾配	40度
刈高さ	30、50、80mm (80mm以上はポジションコントロール)

【ベースマシン写真】



【ベースマシン図面】

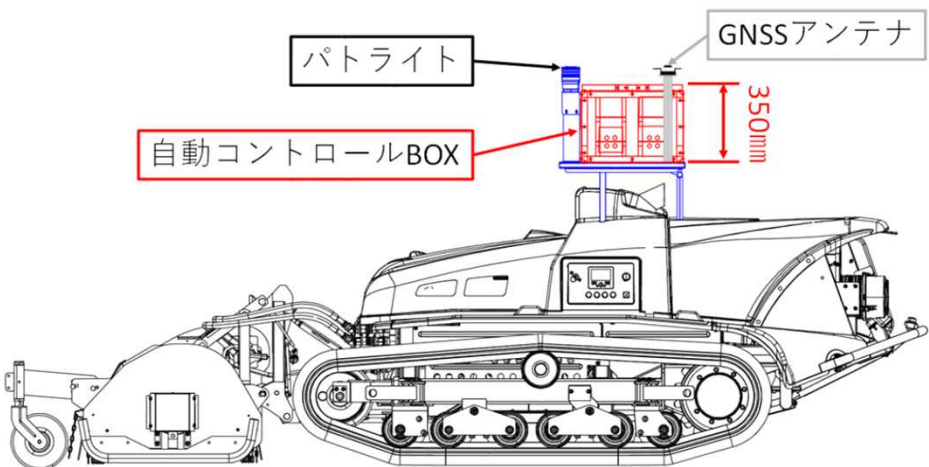
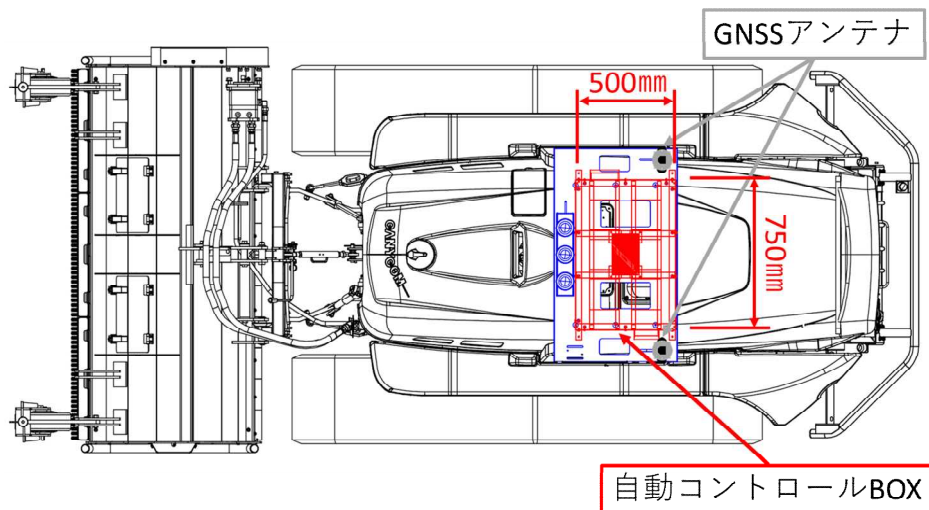




## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 1-4. 実証試験で使用する試験機

- 草刈機本体へ自動制御システム搭載状況



資料 1



# 令和4年度 除草自動化検討ワーキング（第1回） ～ SMART-Grass～

## 会議室資料

令和4年10月5日（水）14:00～

石狩川 たっぴ大橋下流左岸  
岩見沢市北村地区河川水防センター2F会議室

※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。



## 令和4年度 除草自動化検討WG（第1回）

### 1. R4年度検討項目（令和3年度 WG（第2回）資料より）

検討項目	目的	検討内容
傾斜地対応技術の調査検討 （第1回WG指摘事項）	傾斜地での自車位置測位補正や直進走行補正、 その他必要な技術を搭載し、傾斜地における 作業を可能とするため	詳細検討及び実機への実装 ・斜地対応技術（8月末までに実装） ・緊急停止技術（2月末までに実装）
緊急停止技術の調査検討	障害物接触検知時の停止技術又は同等技術を 搭載し、安全性を確保するため	
協調運転技術の検討	次年度に自動化大型遠隔操縦式草刈機2台体 制での実証試験を実施するため	詳細検討を実施。 ※協調運転技術はR5に実装予定
警告表示・通知方法の検討 （第1回WG指摘事項）	遠隔監視するオペレータが必要とする機械状 態監視項目、緊急時の警告内容・方法を検討 し、適正な運用管理を可能とするため	・機械状態監視項目の検討 ・緊急時警告内容・方法の検討 ・遠隔操作端末上での視認性等を確認
通信方法の変更に伴う通信速度の検 証確認（R3確認試験結果より）	広範囲で自動化を行うため、Wi-Fi以外の通 信方法が必要となるため	・非常停止及び緊急停止機能の応答速度確認 ・遠隔監視の遅延影響確認
時速4.0km/hの直進性及び、旋回性の 向上（R3確認試験結果より）	施工性向上を確保するため	・Way point間隔検討、走行パラメータ見直し、 システムの改良と走行テストを実施
手動操作の自動化パターン拡大	スイッチバックやαターンを可能とし、様々 な現場での適応性を拡大するため	
出来形計測技術評価 （R3確認試験結果より）	出来形計測技術の精度を確認し、現場での適 用を可能とするため	実作業除草面積とメッシュ幅を可変した自動計 測結果の比較を行い、現場条件に適した計測シ ステムに調整する。
出来形計測帳票出力システム検討 （R3確認試験結果より）	工事書類の自動作成機能を構築し、帳票作成 作業の省力化を実現するため	帳票の自動作成機能検討及び実装を行い、従来 手法との効率化検証する。（測量作業比、出来 形書類作成、各種日報作成作業と比検証）



## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 2. R4試験機の変更点

#### 2-1. 自動制御システム

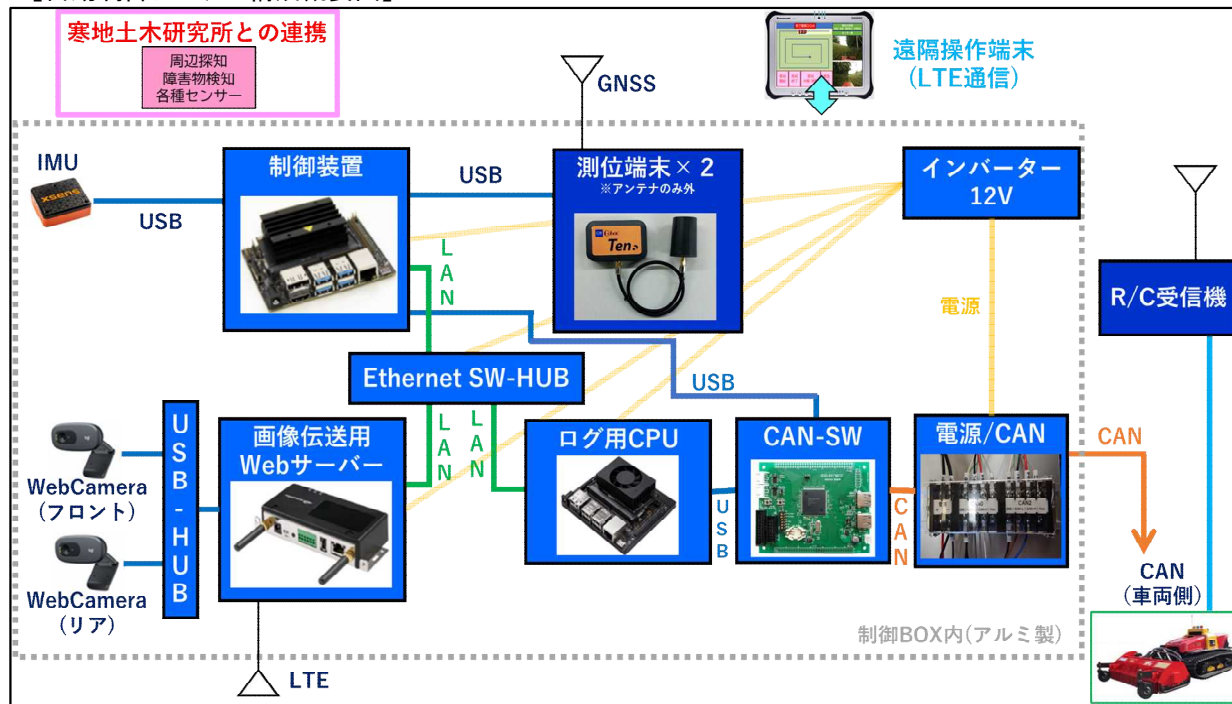
< R3からの主な変更点 >

- 1) 自動走行用プログラムの改造 (自動走行ルートの変更)
- 2) 傾斜地対応技術として、以下を搭載 (表1にて比較検討)

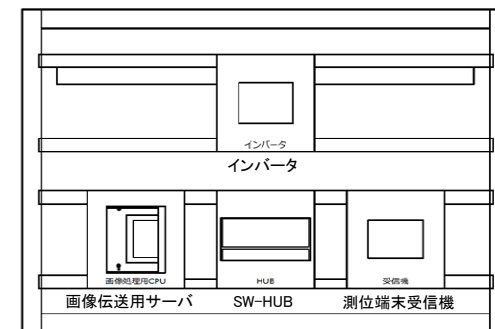
Xsens (イクセンス社) 製 IMU (9軸)

- ・ 型式 : MTi 600-series
- ・ 計測レンジ : 角速度400~2000deg/s、加速度±10G
- ・ 分解能 : 角速度0.001deg/s、加速度0.004~0.006mG

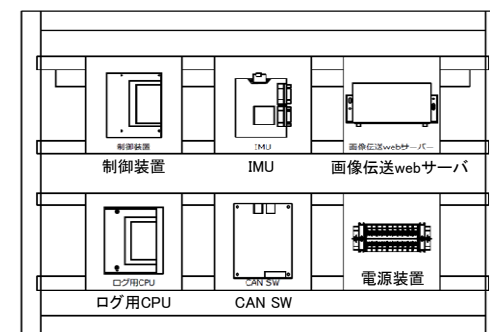
【自動制御システム構成概要図】



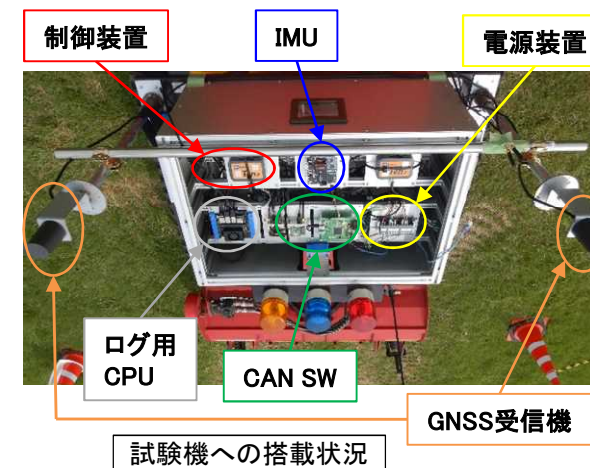
【自動制御システムBOX概要図】



下段



上段

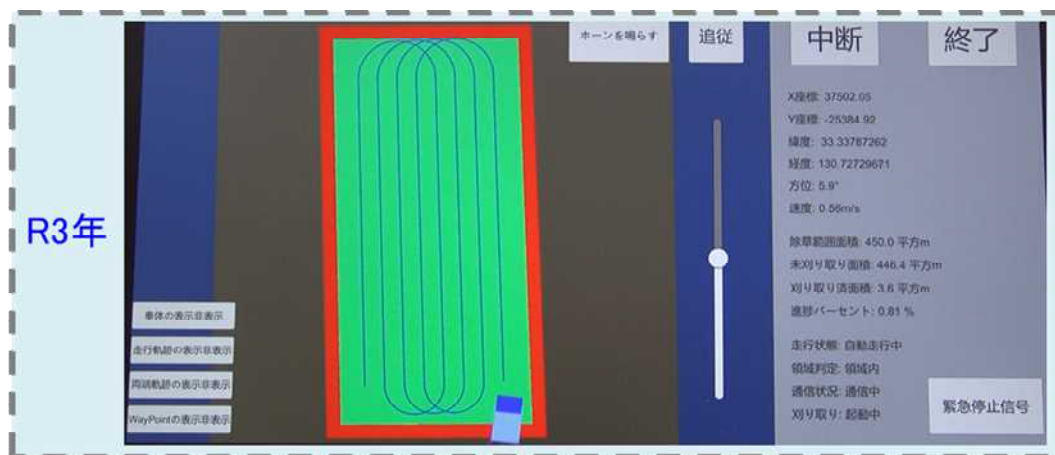




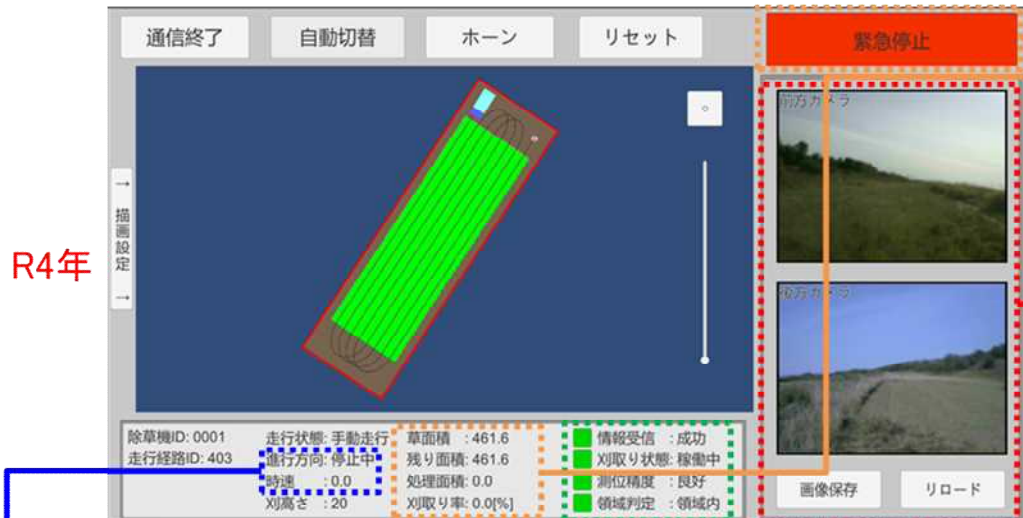
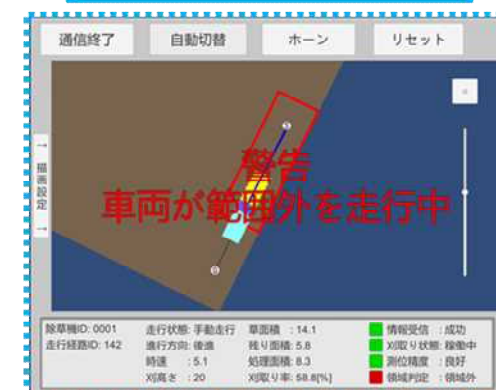
## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 2. R4試験機の変更点

#### 2-2. 遠隔操作端末 (タブレット) の改良



#### 警告表示及び音声出力



緊急停止ボタン・出来形表記を見やすく表示

WEBカメラ映像と画像保存機能の追加

速度をm/sからkm/hに変更  
進行方向の表示(停止中 or 前進 or 後進)

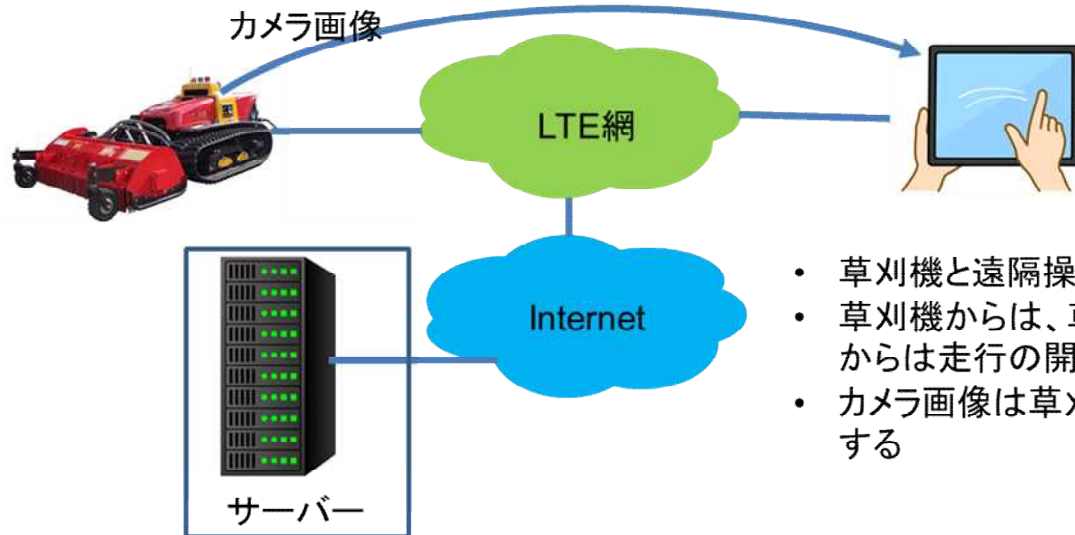
・遠隔操作端末とサーバ間の情報受信 (成功 or 失敗)  
・刈取り状態の表示(停止中 or 稼働中)  
・測位精度の表示(良好 or 不良)

## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 2. R4試験機の変更点

#### 2-3. 草刈機と遠隔操作端末 (タブレット) の通信方法

- 情報のやり取り(ステータス及び経路情報)については、サーバを経由して行う
- 走行経路の情報 (Navigation Pointの情報) は、ファイルとしてサーバにアップロードし、遠隔操作端末からはそのファイルの情報を取得する



- 草刈機と遠隔操作端末間でLTE回線を用いて通信を行う
- 草刈機からは、草刈機のステータスとカメラ画像、遠隔操作端末からは走行の開始/停止、走行経路の設定が行われる
- カメラ画像は草刈機と遠隔操作端末間で直接通信を行って、取得する

草刈機 → サーバ → 遠隔操作端末

- ・ID
- ・時刻
- ・緯度
- ・経度
- (100msec周期)
- ・方位
- ・速度
- ・ステータス
- ・走行経路情報

遠隔操作端末 → サーバ → 草刈機

- ・自動走行開始/停止
- ・ホーンON
- ・走行経路指示
- (100msec周期)

ステータス: 自動/手動、作業機回転ON/OFF、刈り高さ、エラー等

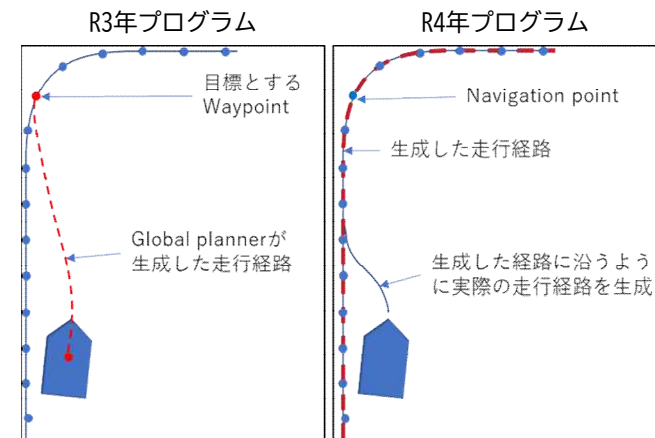
## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 3. R4年度試験結果 (速報)

#### 3-1. 機能確認試験の結果

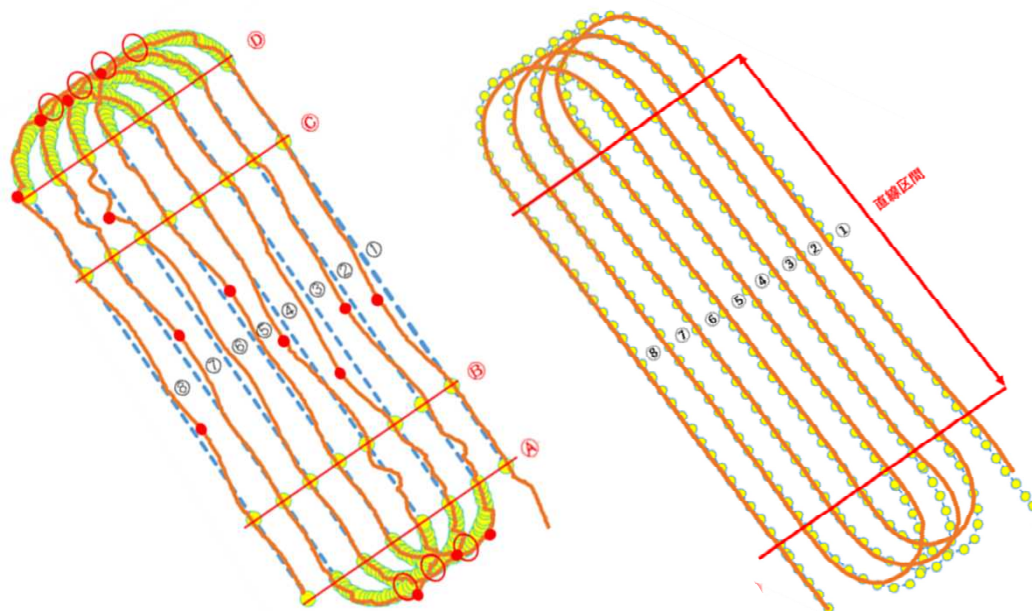
##### (1) R3からR4自動走行プログラムの変更点

- R3年は、遠隔操作端末(タブレット)より取得した経路情報の各通過点をWaypointとしてそのポイントに向けて走行し、Waypointが近づく度に目標のWaypointを更新していくことで、経路に従って走行する方式としていた。
- R4年はサーバより取得した経路情報から、走行経路を作成するプログラムを開発した。
- プログラムがNavigation pointに沿うように実際の走行経路を走行する。



(単位: mm)

#### 【R3とR4の自動走行比較 (1本飛ばしの例)】



R3年 1本飛ばし(4.0km/h)

R4年 1本飛ばし(6.0km/h)

行程	測定点	R3年		R4年	
		平均ズレ量		最大ズレ量	
①	直線区間	166	70	432	160
	カーブ	167	135	457	270
②	直線区間	149	90	369	130
	カーブ	150	162	446	230
③	直線区間	168	68	394	100
	カーブ	145	96	470	190
④	直線区間	196	53	527	70
	カーブ	122	220	356	330
⑤	直線区間	243	88	671	140
	カーブ	167	120	393	190
⑥	直線区間	145	68	417	110
	カーブ	208	200	443	260
⑦	直線区間	160	75	461	90
	カーブ	165	148	359	190
⑧	直線	178	88	387	120
全体平均	直線区間	176	75	457	115
	カーブ	161	154	418	237
R4年のズレ量改善率	直線区間	57%		75%	
	カーブ	4%		43%	

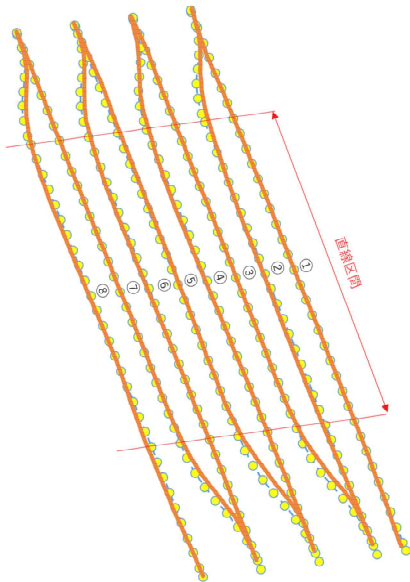
注) □ は許容値(目標値±250mm)超過を示す。

## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 3-1. 機能確認試験の結果

#### (2) 自動走行におけるプログラム経路と実走行のズレ

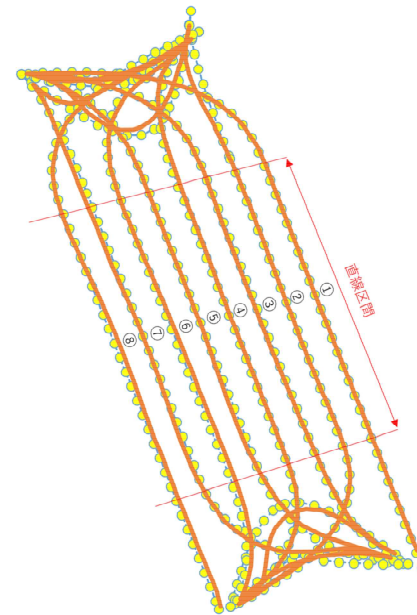
【下記はスイッチバック6km/hとαターン6km/hの例】



6.0km/hにおける平均・最大ズレ量  
(単位: mm)

行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量
①	直線区間	62	130
	カーブ	87	150
②	直線区間	122	160
	カーブ	92	170
③	直線区間	72	120
	カーブ	101	150
④	直線区間	89	140
	カーブ	120	310
⑤	直線区間	118	160
	カーブ	116	170
⑥	直線区間	93	150
	カーブ	67	190
⑦	直線区間	83	170
	カーブ	76	140
⑧	直線	110	140

注)   は許容値 (目標値±250mm) 超過を示す。



6.0km/hにおける平均・最大ズレ量  
(単位: mm)

行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量
①	直線区間	59	100
	カーブ	107	220
②	直線区間	55	90
	カーブ	100	190
③	直線区間	93	120
	カーブ	104	210
④	直線区間	91	130
	カーブ	129	220
⑤	直線区間	108	180
	カーブ	107	210
⑥	直線区間	140	190
	カーブ	163	270
⑦	直線区間	149	190
	カーブ	145	270
⑧	直線	141	200

注)   は許容値 (目標値±250mm) 超過を示す。

#### ◆平均ズレ量

- 全ての走行パターンともに、直線部及びカーブ区間において許容値(目標値: ±250mm)の範囲内であった。

#### ◆最大ズレ量

- 旋回部分では全ての走行パターンともに許容値(目標値: ±250mm)を超える箇所があった。要因としては旋回時における走行パラメータ(最大旋回加速度・最大旋回速度・目標地点への到達判断など)の設定値による影響が考えられる。



## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

- 3. R4年度試験結果 (速報)
- 3-2. 実証試験の結果速報
- (1) 実証試験の繁茂状況

- ススキなど多種多様な雑草が密集している箇所において、自動走行及び手動走行による時速6.0km/hの除草は、草による抵抗や負荷が作業機にかかり、草刈機のエンジンが停止する事が確認された。
- 時速4.0km/hでは、ススキなど多種多様な雑草が密集している箇所でも問題なく除草する事が可能であったため、草丈や草の密度によって施工速度を使い分ける必要がある。



草丈65cm程度のヒメシバ(イネ科) 6km/hでの除草可能



草丈65～200cm程度のススキ等多種多様 6km/hでの除草不可

## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 3-2. 実証試験の結果速報

#### (2) 作業速度可変による比較検討 (サイクルタイム)

- ・ 試験速度 4.0km/h及び6.0km/h
- ・ 50m×15mの施工エリアにおける各種走行パターンのサイクルタイムを比較検証する

#### ◆サイクルタイム

- ・ 各種走行パターンともに、6.0km/hの方が4.0km/hよりも2分程度早い結果となった。
- ・ 最もサイクルタイムが早い走行パターンはスイッチバックであり、旋回時における法面への損傷も少なかった。

作業速度の可変による検証	速度		1本飛ばし	スイッチバック	αターン
	直進	旋回			
	4.0km/h	3.0km/h	06:38	-	09:20
	4.0km/h	4.0km/h	06:16	05:46	07:52
	6.0km/h	3.0km/h	05:18	-	07:24
	6.0km/h	6.0km/h	04:15	03:57	05:36



1本飛ばし(直線・旋回 4.0km/h)



αターン(直線・旋回 4.0km/h)



スイッチバック(直線・旋回 4.0km/h)



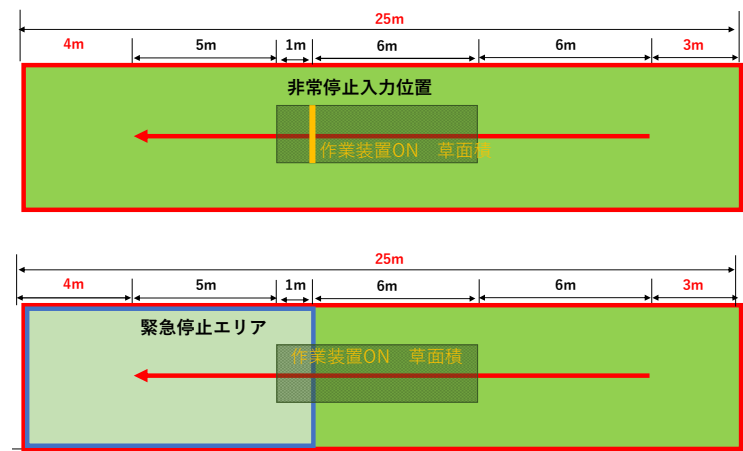
## 令和4年度 除草自動化検討WG (第1回)

### 3-2. 実証試験の結果速報

#### (3) 安全性の検証 (非常停止、緊急停止)

- ・試験速度 2.0km/h、4.0km/h、6.0km/h
- ・検証方法 非常停止及び緊急停止動作の停止時間及び距離 (参考) を確認し、安全性を検証する。

- ◆非常停止機能 (監視端末の停止操作機能)
  - ・ 遠隔監視端末の非常停止ボタンを操作し、停止までの時間と距離を確認。
  - ・ 目標停止時間の1秒以内を満たす結果となった。
- ◆緊急停止機能 (エリア逸脱時の自動停止機能)
  - ・ 施工エリア逸脱時の緊急停止を再現し、施工エリアを逸脱から停止までの時間と距離を確認。
  - ・ 停止時間は目標値の1秒以内を満たす結果となった。





非常停止入力位置

前進 後進

非常停止ボタンを押してから停止するまで(時速4.0km/h)

非常停止ボタンを押してから停止するまでの時間・距離

速度	試験回数	停止時間	停止距離
2.0km/h	前進	0.36秒	20cm
	後進	0.54秒	30cm
4.0km/h	前進	0.54秒	60cm
	後進	0.63秒	70cm
6.0km/h	前進	0.72秒	120cm
	後進	0.48秒	80cm



緊急停止エリア

前進 後進

緊急停止距離(時速.0km/h)

施工エリア逸脱による緊急停止

速度	試験回数	停止時間	停止距離
2.0km/h	前進	0.72秒	40cm
	後進	0.36秒	20cm
4.0km/h	前進	0.99秒	110cm
	後進	0.90秒	100cm
6.0km/h	前進	0.84秒	140cm
	後進	0.84秒	140cm

## 令和4年度 除草自動化検討WG（第1回）

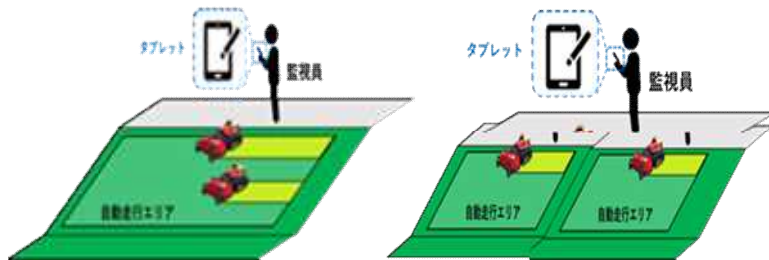
### 4-2. 今後の検討予定

#### (1) 緊急停止技術（接触時の自動停止機能）の調査検討

- 感圧式センサーを搭載したバンパーセンサ等を比較検討しており、歪みゲージを用いて実証試験場所のイタドリ等に対して実測した荷重データに基づき技術の選定を行う。  
（比較検討中の緊急停止技術は、表2のとおり）

#### (2) 協調運転技術の検討

- 同じエリアでの2台雁行運転、別エリアでの2台運転を検討及び詳細設計

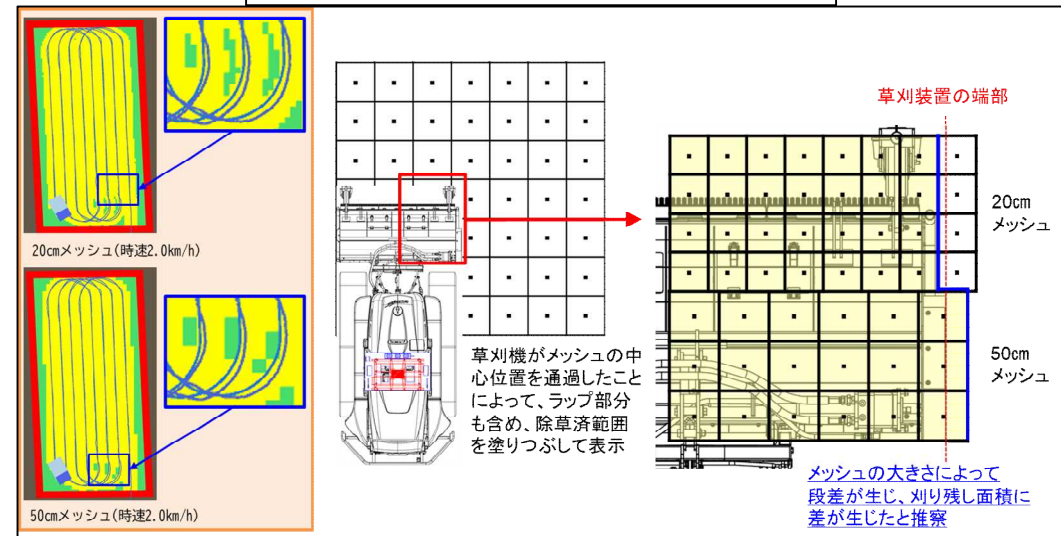


令和3年度 第2回WG資料より再掲載  
（左：雁行運転、右：別エリア運転）

#### (3) 出来形計測技術の評価、帳票出力システムの検討

- 実証実験データを用いて20cm・50cmメッシュの出来形精度を検証・評価すると共に、帳票出力システムの詳細設計、試作を行う。

令和3年度 第2回WG資料より再掲載  
（出来形計測技術のイメージ）



### 4-3. 令和4年度 第2回WGの予定

- (1) R5. 2. 下旬に開催予定
- (2) 実証試験結果の取りまとめ・解析及び要素技術の検討・設計の結果を審議いただきたい。