

令和４年度 除草自動化検討ワーキング（第２回）

～ SMART-Grass ～

日時 令和５年３月７日(火) 15:00～

場所 札幌第１合同庁舎 10F1,2 号会議室

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）実証試験結果の報告

２）周辺探知技術の報告

３）その他

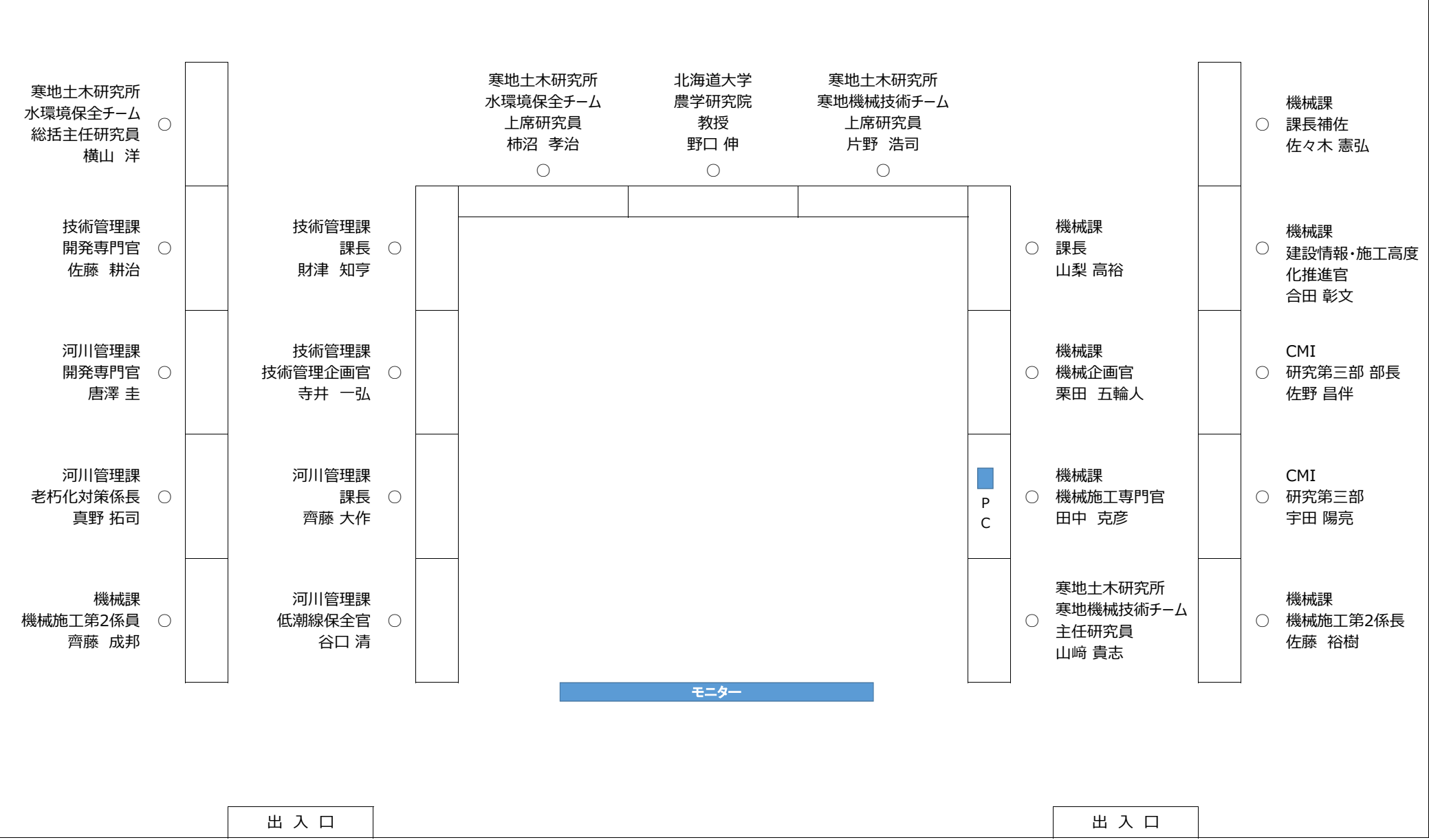
・今後の予定

令和4年度 除草自動化検討ワーキング(第2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	
		齊藤 成邦	機械施工第2係員	
	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	
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	
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		宇田 陽亮		
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2回） 座席表

令和5年3月7日（火）
札幌第1合同庁舎 10階1号・2号会議室





令和4年度 除草自動化検討ワーキング（第2回） ～ SMART-Grass～

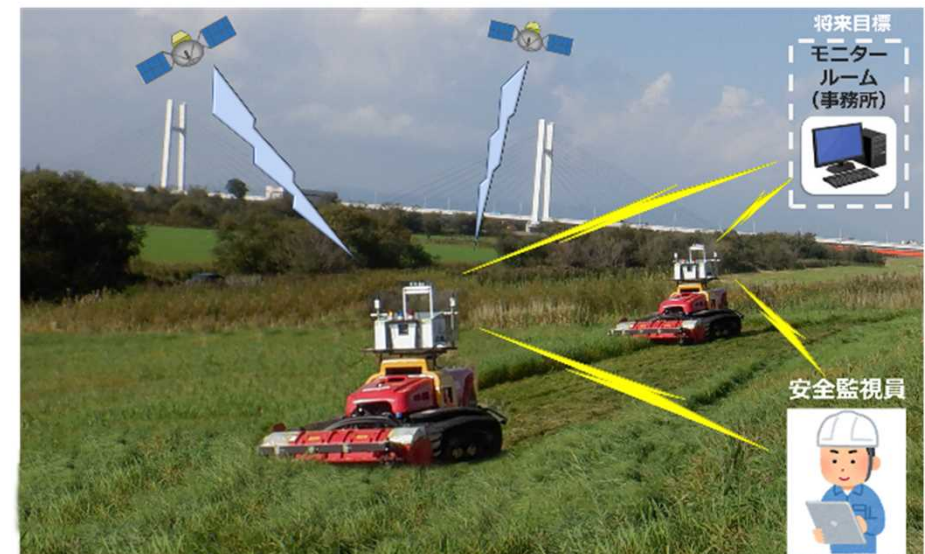
令和5年3月7日（火）15:00～

札幌第1合同庁舎 10階1・2号会議室

※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。



1. 実証試験結果の報告

【目次】

- 0) SMART-Grass P R用動画
- 1) 第1回WGにおける指摘事項の検討結果
- 2) 実証試験の自動走行試験結果
- 3) 緊急停止技術の機能確認結果
- 4) 協調運転設計結果
- 5) 出来形計測試験結果、出来形帳票出力技術の検討結果

1) 第1回WGの指摘事項の検討結果

- (1) 自動走行中における走行の不安定
- (2) エンスト防止対策

1. 指摘事項

第1回WGにて指摘があった項目について、確認された症状と考えられる要因を示す。

自動走行中における走行の不安定については、①IMUの蓄積データによる悪影響、②車体からの振動によるIMUやGNSS受信機、GNSSアンテナの悪影響、③外気からの熱による自動制御機器の悪影響の4つの要因のいずれかまたは、複合的に影響していると考えられる。

エンスト防止対策は、時速6.0km/hによる自動走行及び手動走行で草刈機のエンジン停止が確認されたため、その方法と今後の方針について取りまとめた。

第1回WG指摘事項

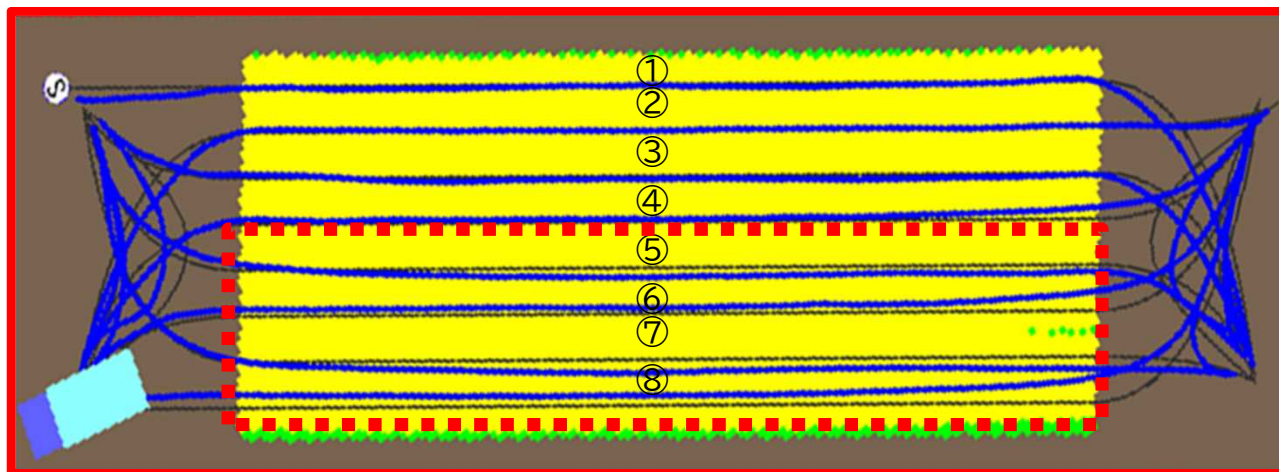
No.	指摘事項	確認された症状	考えられる要因	備考
(1)	自動走行中における走行の不安定	自動走行中の中盤以降においてNavigation pointに沿わず直線区間でズレ量が大きくなることを確認。	① IMUの蓄積データによる悪影響 ②-1 車体からの振動によるIMUやGNSS受信機、GNSSアンテナの悪影響	1.1、1.2で記載
		自動走行中にGNSS測位が不良になり、蛇行走行することを確認。	②-2 マルチパスによる影響 ③ 外気からの熱による自動制御機器の悪影響	
(2)	エンスト防止対策	ススキなど多種多様な雑草が密集している箇所での除草において、時速6.0km/hによる自動走行及び手動走行で草刈機のエンジン停止を確認。	● 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。	1.3で記載

1) 第1回WGの指摘事項の検討結果

1.1 「(1) 自動走行中における走行の不安定」に関して確認された症状

1.1.1 自動走行中における直線区間のズレの現象

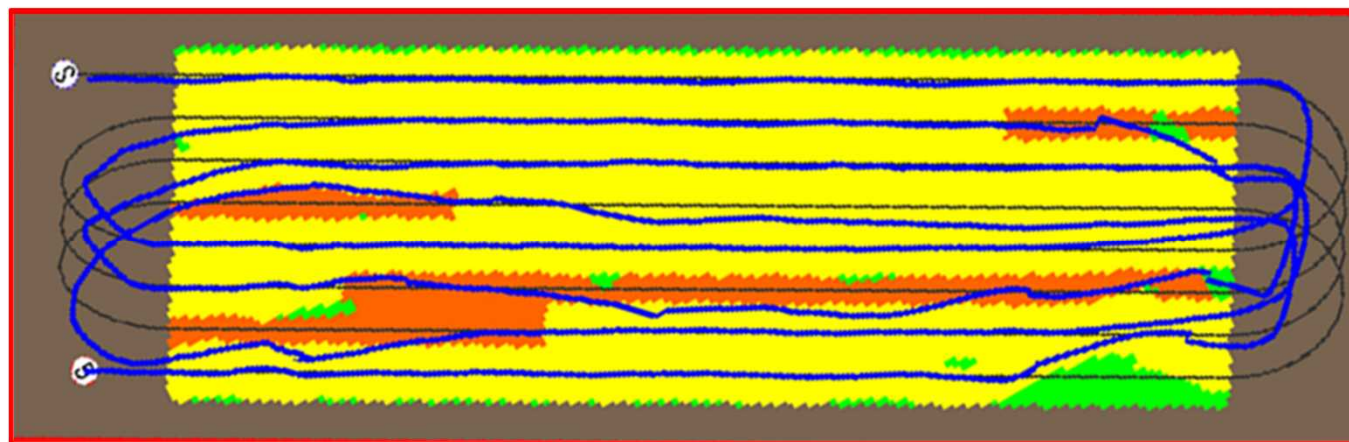
自動走行中の中盤以降(⑤～⑧)においてNavigation pointに沿わず直線区間でズレ量が大きくなることが確認された。



行程	測定点	最大誤差	最小誤差
①	直線	90	30
	カーブ	250	30
②	直線	50	0
	カーブ	220	10
③	直線	130	20
	カーブ	280	20
④	直線	140	80
	カーブ	220	10
⑤	直線	270	20
	カーブ	270	10
⑥	直線	260	190
	カーブ	220	10
⑦	直線	370	40
	カーブ	290	20
⑧	直線	370	170

1.1.2 自車位置測位の悪影響による蛇行

自動走行中に自車位置測位が不良になり、走行が安定しないことがあった。



行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量
①	直線	73	110
	カーブ	273	740
②	直線	31	50
	カーブ	409	870
③	直線	69	120
	カーブ	486	1180
④	直線	126	330
	カーブ	253	600
⑤	直線	70	100
	カーブ	248	650
⑥	直線	50	90
	カーブ	327	850
⑦	直線	301	510
	カーブ	610	1200
⑧	直線	31	50

注) はGNSS測位不良箇所を示す。

注) は許容値(目標値)超過を示す。

1.2 「(1) 自動走行中における走行の不安定」の考えられる要因

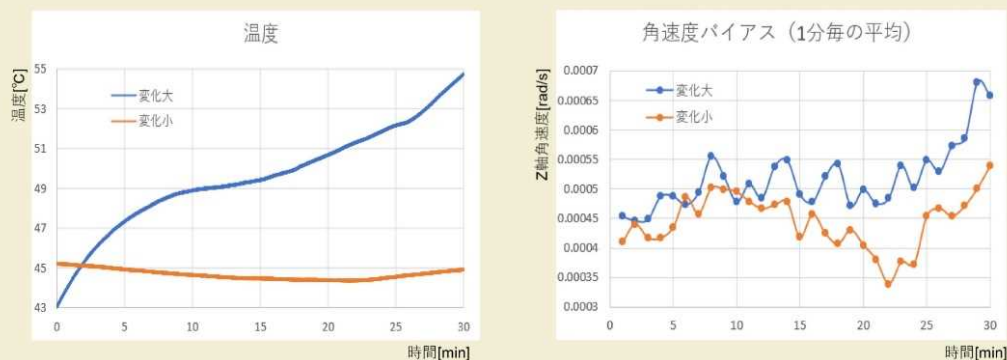
①IMUの蓄積データによる悪影響

<確認事項>

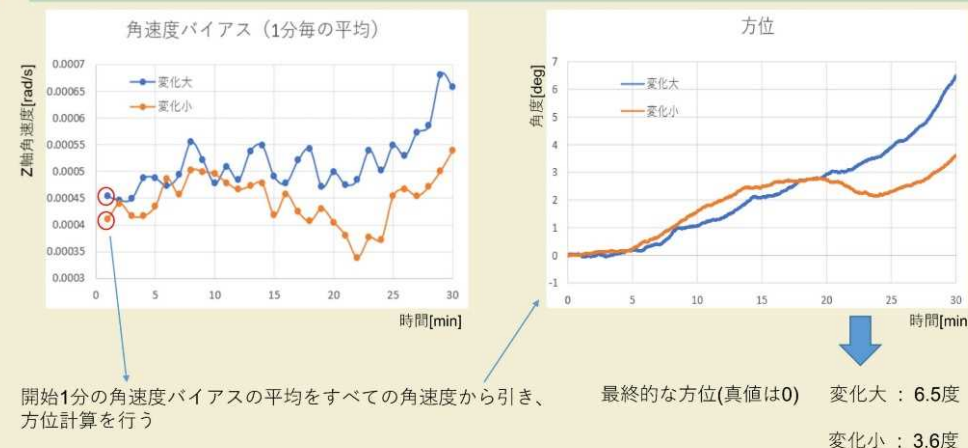
- 一般的に、IMUの誤差源の1つにバイアス誤差がある。
バイアス誤差は、回転や直線加速がない場合にIMUが生成する残留信号であり、使用するデバイスごとに固有し、多くの場合、温度に応じて変化する（下図の文献資料参照）。
- 令和4年9月に実施した実証試験において、繰り返し自動走行（10回程度）を実施した際に、直線区間で大きなズレが発生する現象が発生することがあった。
- IMUのデータが蓄積していたのか調査するため設定ファイルの確認を行ったが、試験継続のためシステム再起動したことから、データ蓄積（残留信号など）があったか確認できなかった。

→データ等を確認できなかったが、バイアス誤差が発生していたと想定する。

3. IMUの温度特性



3. IMUの温度特性



参考文献：『IMUの温度特性と方位計測精度の向上手法について』より抜粋

1.2 「(1) 自動走行中における走行の不安定」の考えられる要因

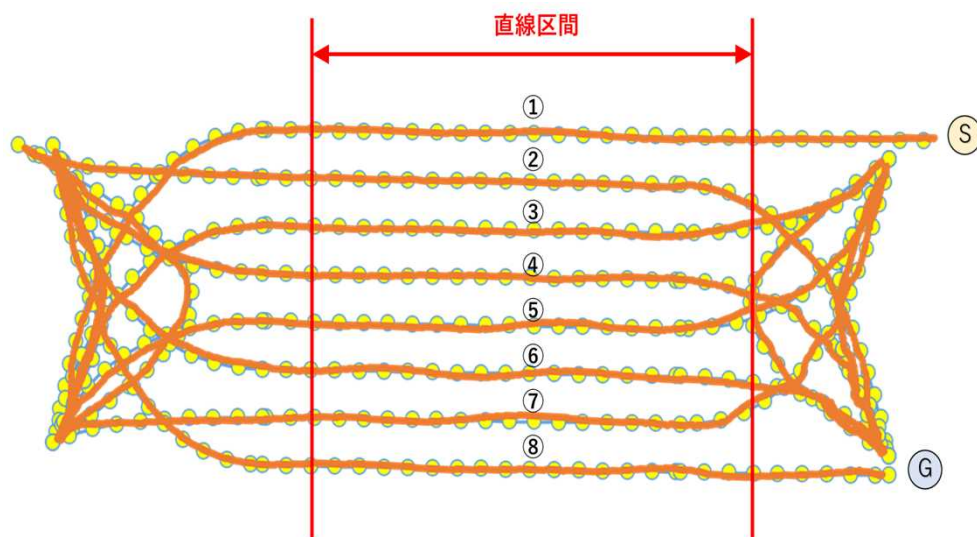
①IMUの蓄積データによる悪影響

<令和4年度の対応>

- 令和5年1月下旬に、自動草刈機の試験機第2号（大型遠隔操縦式草刈機R01-4151）（以降、2号機と記載）の自動走行機能確認と合わせて、IMUのデータが蓄積しないようにプログラム設定し、繰り返し走行(10回程度連続)を行った。
- 試験の結果、Navigation pointに沿って自動走行したことを確認した。

<令和5年度の対応予定>

- 令和4年9月に使用したIMUを新品に交換。
- 実証試験にて熱対策(遮熱板等)を用いて対策を行い、温度変化によるデータ蓄積の解消やデータ蓄積の解消状況を確認する。



R 5. 1 2号機試験時の自動走行軌跡の例

4.0km/hにおける平均・最大ズレ量

行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量
①	直線区間	61	110
	カーブ	97	210
②	直線区間	52	110
	カーブ	122	200
③	直線区間	90	160
	カーブ	76	130
④	直線区間	108	140
	カーブ	134	230
⑤	直線区間	42	90
	カーブ	96	200
⑥	直線区間	88	140
	カーブ	120	250
⑦	直線区間	60	80
	カーブ	115	210
⑧	直線	138	200



2号機の自動制御システム搭載

1.2 「(1) 自動走行中における走行の不安定」の考えられる要因

②-1 車体からの振動によるIMUやGNSS受信機、GNSSアンテナの悪影響

<確認事項>

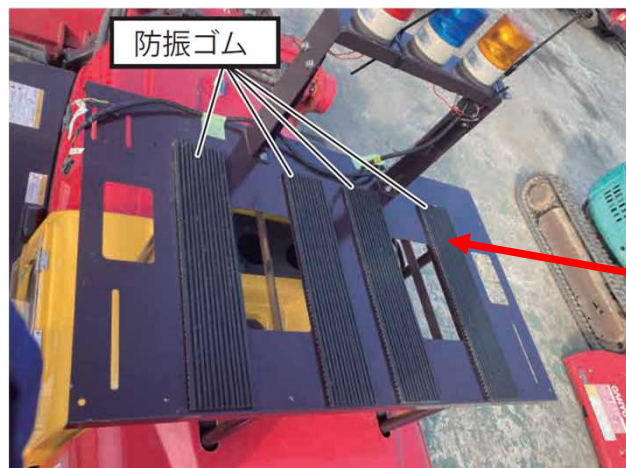
- 自動走行中に自車位置が測位不良となり、走行が安定しないことがあった。
- その要因として車体からの振動が考えられるが、IMUやGNSS受信機・GNSSアンテナにどの程度の振動が加わっていたのかを確認できる機器を搭載しておらず把握できていない。そのため、どの程度振動が悪影響を及ぼしていたかは不明であるが、機器を保護する目的も含めて以下の対応を行った。

<令和4年度の対応>

- 令和5年1月下旬に実施した2号機の自動走行機能確認にてGNSSアンテナの振動軽減のため、アンテナを制御BOXに直接設置し、BOXと架台の間に市販で販売されている防振ゴムを用いて走行を行った。
- 機能確認の結果、稀に不安定な走行が確認されたが、GNSSアンテナを直接制御BOXへ設置したため、マルチパスの影響が懸念される(②-2へ) また、市販の防振ゴムでは性能不足であった可能性がある。

<令和5年度の対応予定>

- 令和5年9月実施予定の実証試験では、制御BOXの振動抑制のため、BOXと架台の間に衝撃吸収性の高い防振材(ノンブレンシート等)を設置する。また、その試験結果に基づき防振性の向上を検討し、制御BOX、架台等の修正設計を行う。



防振ゴムの設置(令和5年1月)



防振材(ノンブレンシート)の外観
(令和5年9月使用予定)

1.2 「(1) 自動走行中における走行の不安定」の考えられる要因

②-2 マルチパスによる影響

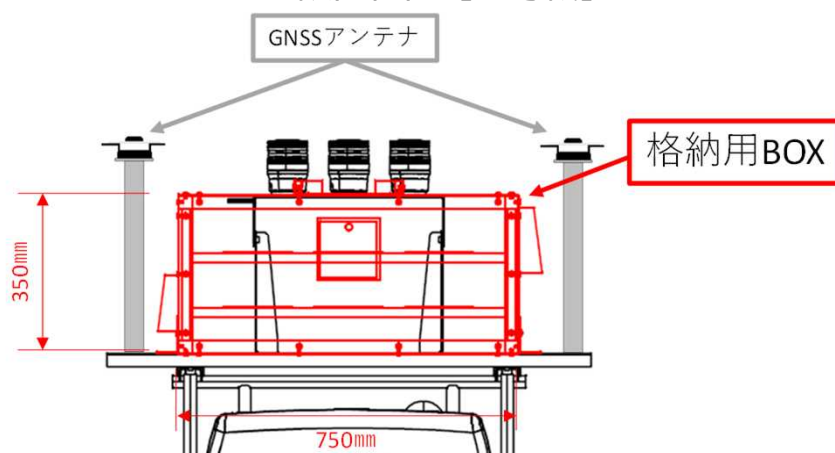
<確認事項>

- 1号機(30-4151)は、GNSSアンテナの設置方法等から車体の振動による影響が大きいと考え、2号機ではGNSSアンテナの振動軽減のためGNSSアンテナを制御BOXに直接設置し、令和5年1月下旬に自動走行機能確認を行った。
- 機能確認の結果、自動走行が不安定な状態が稀に確認されたため、GNSSアンテナと制御BOXの距離が近くなったことによるBOXからのマルチパスの影響が考えられる。

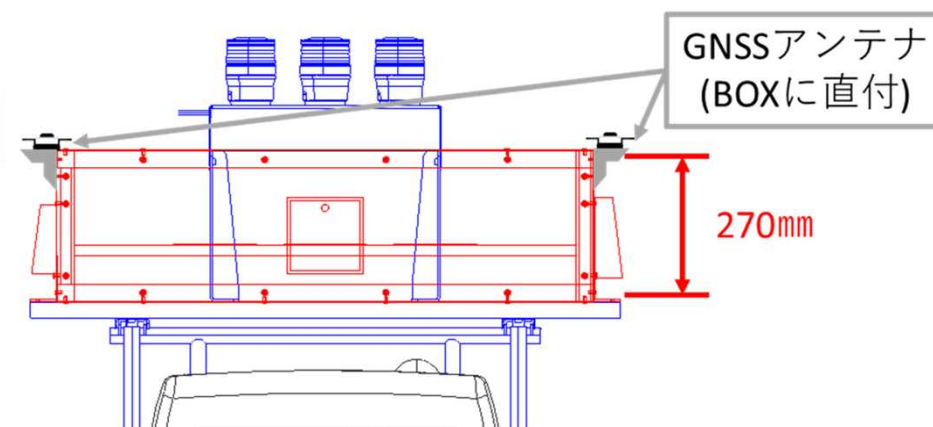
<令和5年度の対応予定>

- 令和5年9月実施予定の実証実験では、車体からの振動と制御BOXによるマルチパスの影響の両方を抑制するため、GNSSアンテナをパトライト程度の高さまで上げ、前述の振動対策も実施する。

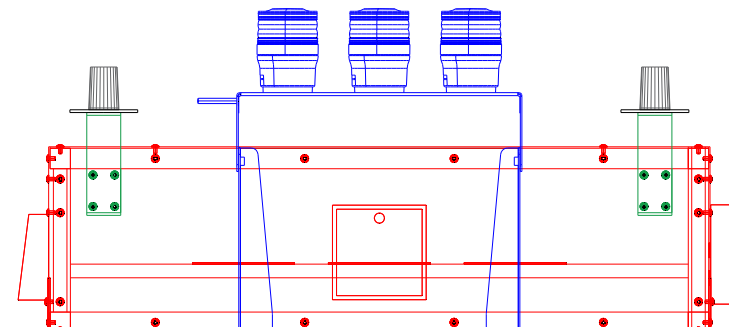
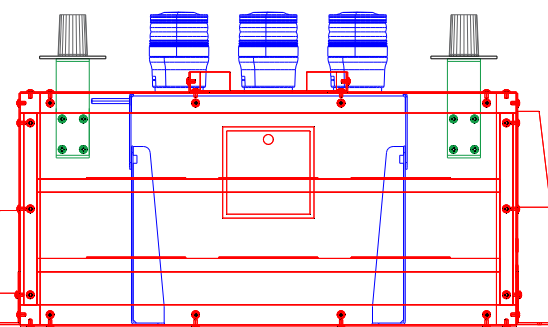
GNSSアンテナの設置位置【1号機】



GNSSアンテナの設置位置【2号機】



R 5年度
の予定



1.2 「(1) 自動走行中における走行の不安定」の考えられる要因

③外気からの熱による自動制御機器の悪影響

<確認事項>

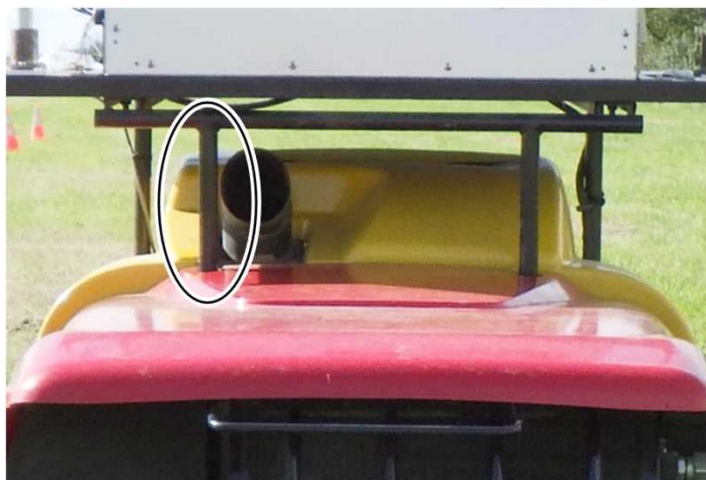
- 外気温や制御BOXの内部温度、自動制御機器の温度計測を行っていなかったため、温度による影響を確認できなかった。熱電対や非接触型温度計を用いて温度計測するべきであったと考えられる。

<令和4年度の対応>

- 実証実験時は制御BOXを載せる架台の柱に排気ガスが当たり、架台が高温になっていたため、令和5年1月下旬に実施した2号機の架台の柱に排気ガスが当たらないように排気管の向きを内側へ向けた。

<令和5年度の対応予定>

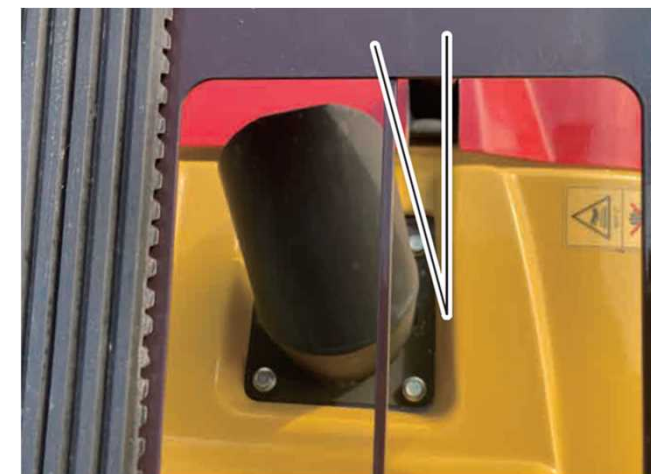
- 令和5年9月実施予定の実証実験では、架台または制御BOXもしくはその両方に遮熱板等の熱対策を検討する必要があると考えられる。その検討結果を元に草刈機に搭載する自動制御機器を保護するため、遮熱版等の熱対策性能向上を検討し、制御BOX、架台等の修正設計及び仕様の作成する。



実証実験時(令和4年9月) 1号機 (30-4151)



機能確認試験時(令和5年1月) 2号機 (R01-4151)



2号機の排気管の向きを内側へ調整

1.3 エンスト防止対策

<実証実験で確認した事項>

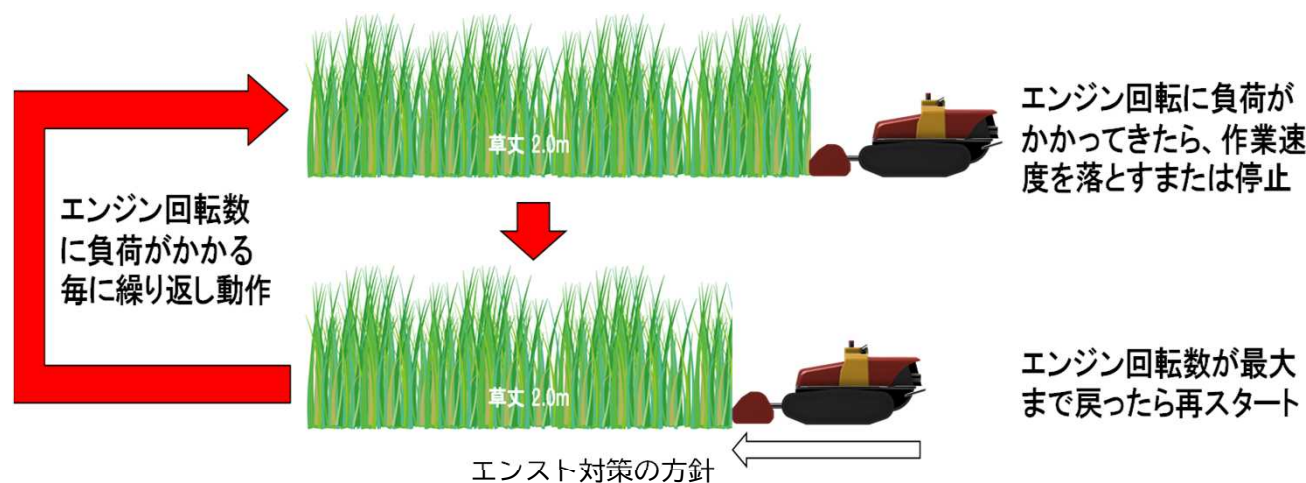
- ススキなど多種多様な雑草が密集している箇所において、自動走行及び手動走行による時速6.0km/hの除草は、草による抵抗や負荷が作業機にかかり、草刈機のエンジンが停止する事が確認された。
- 時速4.0km/hの前進では、ススキなど多種多様な雑草が密集している箇所でも問題なく除草する事が可能であったが、後進での除草はエンストしたため、草丈や草の密度、走行パターンによって施工速度を使い分ける必要がある。
- エンジン回転数のデータについては、取得していなかったため、ログデータから確認できなかった。

<対応方針>

- 現時点のシステムは、エンジン回転数のデータ出力が可能な仕組みになっていなかった。
- 手動走行の場合は、エンジンの回転数が下がったら大型遠隔操縦式草刈機の作業速度を落とすまたは、停止し、エンジンの回転数が戻ったと判断されるエンジン音となった場合に再度走行させる操作を行っているため、自動走行もエンストを防止する仕組みをシステムに入れる必要がある。
- 大型遠隔操縦式草刈機のエンジン回転数をCANデータで制御プログラムに送ることが可能であるため、エンジン回転数のデータを自動化システムへデータ送信することで、施工速度の減速または停止の制御を組み込む。

<令和5年度の対応予定>

- 実装にあたっては、施工速度・走行方向（前後）による負荷とエンジン回転数を調査するため、草丈2.0m程度に繁茂している試験箇所におけるエンスト対策の検証を今後実施する必要がある。



2) 実証試験の自動走行試験結果

(1) 自動走行の精度

(2) 自動走行のサイクルタイム

(3) 自動施工における植生への対応 → 1. 3と同じのため資料省略

(4) 堤防への損傷等の影響

2.1 自動走行の精度

2.1.1 自動走行プログラムによる直進性・旋回の精度検証

走行パターン3種類（1本飛ばし、スイッチバック、 α ターン）、走行速度4.0km/hと6.0km/hにおいて、河川堤防において実際に自動走行で除草する試験を複数回実施した。

自動走行の精度検証は、直線区間（＝除草施工区間）と旋回区間に分け、各測定位置（ルート：①～⑧、測定区間：直線区間及び旋回区間）において、設定した自動走行ルートと実走行データとズレ量（自動走行ルートに対する鉛直方向のずれ、誤差）の平均値と最大値が許容値（目標値： $\pm 250\text{mm}$ ）を満足していたか検証した。

但し、前述の自動走行中における不安定な現象のデータは解析対象外とした。

【検証結果】

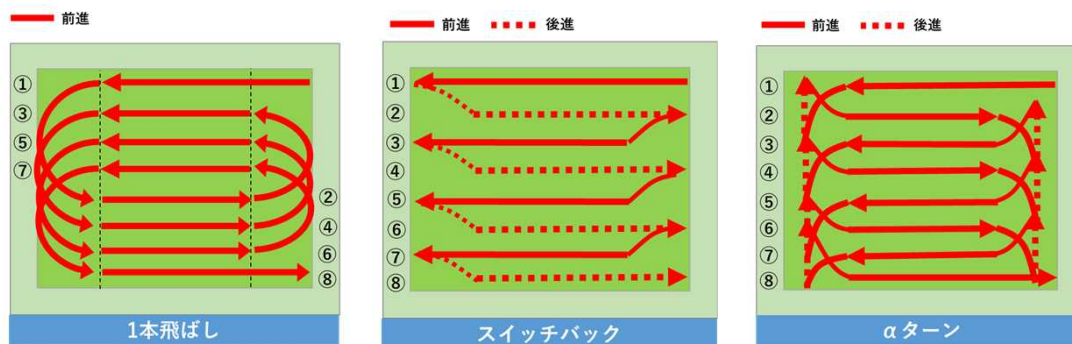
◆平均ズレ量

- 直線区間：全ての走行パターン、走行速度において許容値の範囲内であった。
- 旋回区間：「スイッチバック」及び「 α ターン」は、全ての走行パターン、走行速度において許容値の範囲内であった。
「1本飛ばし」は、多くの区間で許容値を超えることがあった。

◆最大ズレ量

- 直線区間：「スイッチバック」と「 α ターン」の一部で許容値を超えることがあった。
- 旋回区間：「1本飛ばし」は、全ての区間で許容値を超えることがあった。

【R4実証試験 走行パターンイメージ図（下図）と試験条件（右表）】



※試験エリアは、1回当たり全て15m×50m設定

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		α ターン	4.0km/h	4.0km/h	4回
⑧		α ターン	4.0km/h	3.0km/h	2回
⑨		α ターン	6.0km/h	6.0km/h	4回
⑩		α ターン	6.0km/h	3.0km/h	2回

2) 実証試験の自動走行試験結果

2.1.1 自動走行プログラムによる直進性・旋回の精度

2.1.1.1 「1本飛ばし」の精度

時速4.0km/hにおける自動走行を合計5回、時速6.0km/hは合計4回実施し、各測定位置(ルート：①～⑧、測定区間：直線区間及び旋回区間)でのNavigation point座標データと実走行データとズレ量の比較検証

◆平均ズレ量

- 直線区間は許容値(目標値：±250mm)の範囲内であったが、旋回区間で許容値(目標値：±250mm)を超えることが確認された。

◆最大ズレ量

- 旋回区間で許容値(目標値：±250mm)を超えることが確認された。



直線区間における全データの比較(R3年度確認試験～R4年度実証実験)

動作	測定点	平均ズレ量				最大ズレ量			
		R3年 確認試験	R4年 構内試験	R4年 実証実験		R3年 確認試験	R4年 構内試験	R4年 実証実験	
		時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h
直線	①	166	70	67	62	432	160	93	75
	②	149	90	69	56	369	130	103	70
	③	168	68	68	76	394	100	98	90
	④	196	53	64	63	527	70	93	80
	⑤	243	88	71	115	671	140	103	125
	⑥	145	68	89	84	417	110	125	95
	⑦	160	75	79	132	461	90	120	140
	⑧	178	88	91	76	387	120	128	85
全体平均		176	75	75	83	457	115	108	95

注) 黄色は許容値(目標値)超過を示す。

旋回区間における全データの比較(R3年度確認試験～R4年度実証実験)

動作	測定点	平均ズレ量				最大ズレ量			
		R3年 確認試験	R4年 構内試験	R4年 実証実験		R3年 確認試験	R4年 構内試験	R4年 実証実験	
		時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h
旋回	①	167	135	228	327	457	270	613	410
	②	150	162	486	580	446	230	1028	685
	③	145	96	204	344	470	190	548	415
	④	122	220	343	478	356	330	758	555
	⑤	167	120	226	318	393	190	605	390
	⑥	208	200	292	324	443	260	728	390
	⑦	165	148	429	578	359	190	960	690
	全体平均	161	154	315	421	418	237	749	505

注) 黄色は許容値(目標値)超過を示す。

2) 実証試験の自動走行試験結果

2.1.1 自動走行プログラムによる直進性・旋回の精度

2.1.1.2 「スイッチバック」の精度

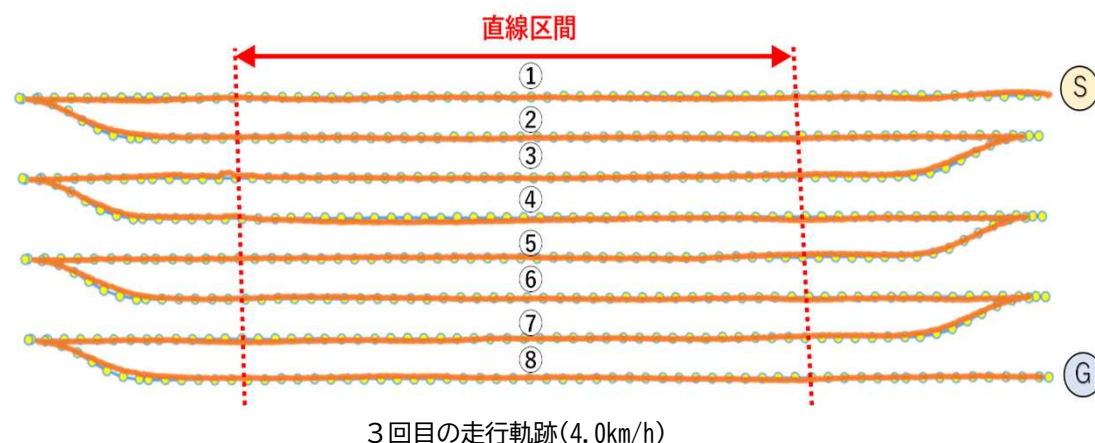
時速4.0km/hにおける自動走行を合計3回、時速6.0km/hは合計2回実施し、各測定位置(ルート：①～⑧、測定区間：直線区間及び旋回区間)でのNavigation point座標データと実走行データとズレ量の比較検証

◆平均ズレ量

- 両速度ともに、直線区間及び旋回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

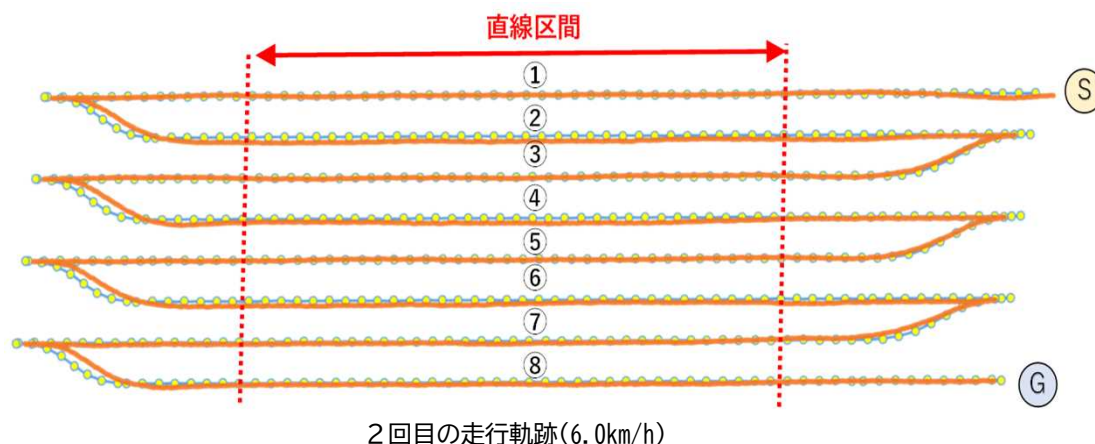
- 直線区間は許容値(目標値：±250mm)の範囲内であったが、旋回区間で一部、許容値(目標値：±250mm)を超えることが確認された。



直線区間における全データの比較(R4年度構内試験～R4年度実証実験)

動作	測定点	平均ズレ量				最大ズレ量			
		R4年 構内試験		R4年 実証実験		R4年 構内試験		R4年 実証実験	
		時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h
直線	①	46	79	57	85	70	155	43	51
	②	96	125	90	135	140	165	65	100
	③	82	99	77	125	130	140	50	86
	④	80	90	123	135	110	150	92	98
	⑤	96	128	87	115	130	165	68	88
	⑥	91	97	133	145	140	165	109	103
	⑦	83	113	103	140	130	175	84	99
	⑧	69	104	120	130	110	140	99	86
全体 平均		80	104	76	89	120	157	99	126

注) 黄色は許容値(目標値)超過を示す。



旋回区間における全データの比較(R4年度構内試験～R4年度実証実験)

動作	測定点	平均ズレ量				最大ズレ量			
		R4年 構内試験		R4年 実証実験		R4年 構内試験		R4年 実証実験	
		時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h
旋回	①	105	89	73	78	200	150	103	190
	②	107	104	46	67	250	220	63	115
	③	99	93	69	84	150	150	113	210
	④	88	105	74	64	160	260	103	100
	⑤	86	117	79	111	160	175	137	235
	⑥	101	95	101	95	190	205	123	150
	⑦	97	96	97	133	180	160	150	285
全体 平均		98	100	77	90	184	189	113	184

注) 黄色は許容値(目標値)超過を示す。

2) 実証試験の自動走行試験結果

2.1.1 自動走行プログラムによる直進性・旋回の精度

2.1.1.3 「 α ターン」の精度

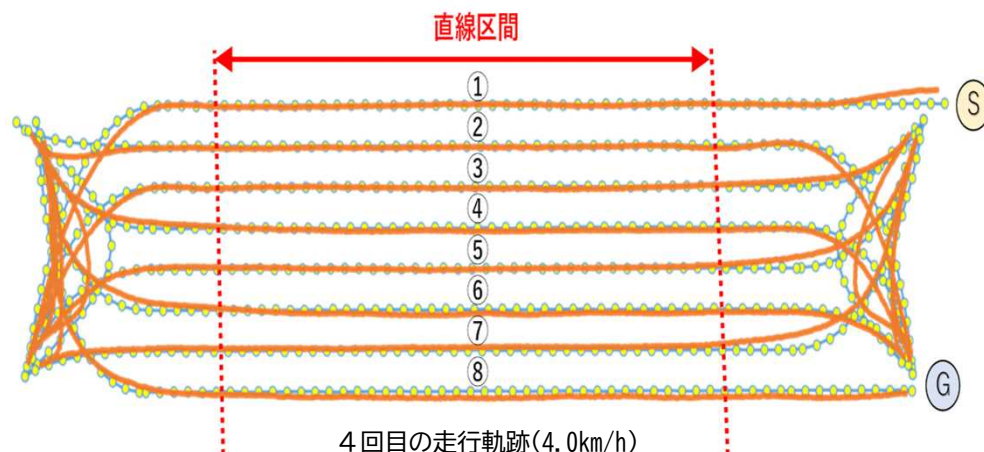
時速4.0km/hにおける自動走行を合計4回、時速6.0km/hは合計4回実施し、各測定位置(ルート：①～⑧、測定区間：直線区間及び旋回区間)でのNavigation point座標データと実走行データとズレ量の比較検証

◆平均ズレ量

- 両速度ともに、直線区間及び旋回区間において許容値(目標値： $\pm 250\text{mm}$)の範囲内であった。

◆最大ズレ量

- 直線区間は許容値(目標値： $\pm 250\text{mm}$)の範囲内であったが、時速4.0km/hの旋回区間で一部、許容値(目標値： $\pm 250\text{mm}$)を超えることが確認された。



直線区間における全データの比較(R4年度構内試験～R4年度実証実験)

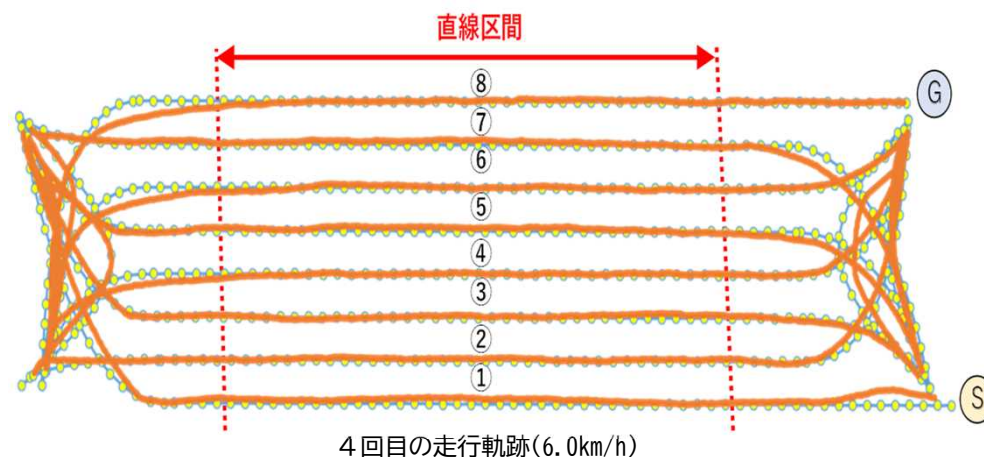
動作	測定点	平均ズレ量				最大ズレ量			
		R4年 構内試験		R4年 実証実験		R4年 構内試験		R4年 実証実験	
		時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h
直線	①	78	72	49	83	145	120	77	115
	②	90	83	111	54	140	120	143	75
	③	108	121	60	120	160	147	90	170
	④	99	89	124	79	150	127	157	110
	⑤	90	122	61	139	130	173	103	210
	⑥	94	133	122	121	160	187	163	160
	⑦	102	147	88	139	130	187	127	200
	⑧	118	146	138	96	170	207	187	125
全体 平均		97	114	94	104	148	158	131	146

注) 黄色は許容値(目標値)超過を示す。

旋回区間における全データの比較(R4年度構内試験～R4年度実証実験)

動作	測定点	平均ズレ量				最大ズレ量			
		R4年 構内試験		R4年 実証実験		R4年 構内試験		R4年 実証実験	
		時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h	時速 4.0km/h	時速 6.0km/h
旋回	①	94	110	140	102	180	207	303	250
	②	119	127	134	123	235	227	280	250
	③	80	101	89	102	140	200	230	240
	④	112	124	120	108	220	227	263	240
	⑤	106	117	84	97	190	217	187	205
	⑥	122	142	107	100	235	257	220	245
	⑦	116	142	86	107	195	263	190	210
	全体 平均	107	123	109	106	199	228	239	234

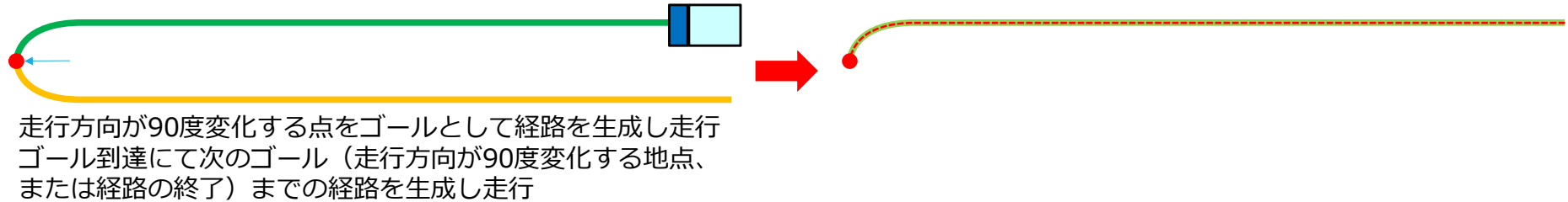
注) 黄色は許容値(目標値)超過を示す。



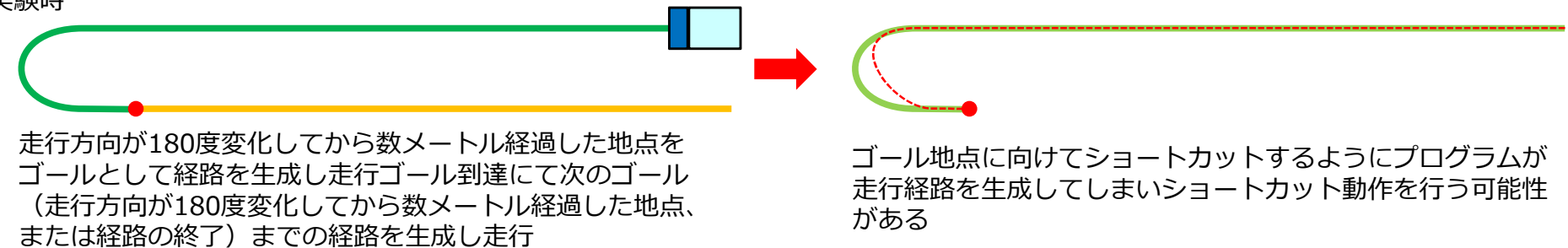
2.1.2 旋回時におけるショートカット動作

- 1本飛ばし及び α ターンによる自動走行で、旋回時にショートカットする動作が確認された。
- この要因として、旋回時における走行経路のプログラム設定が構内試験時と異なっていた可能性がある。

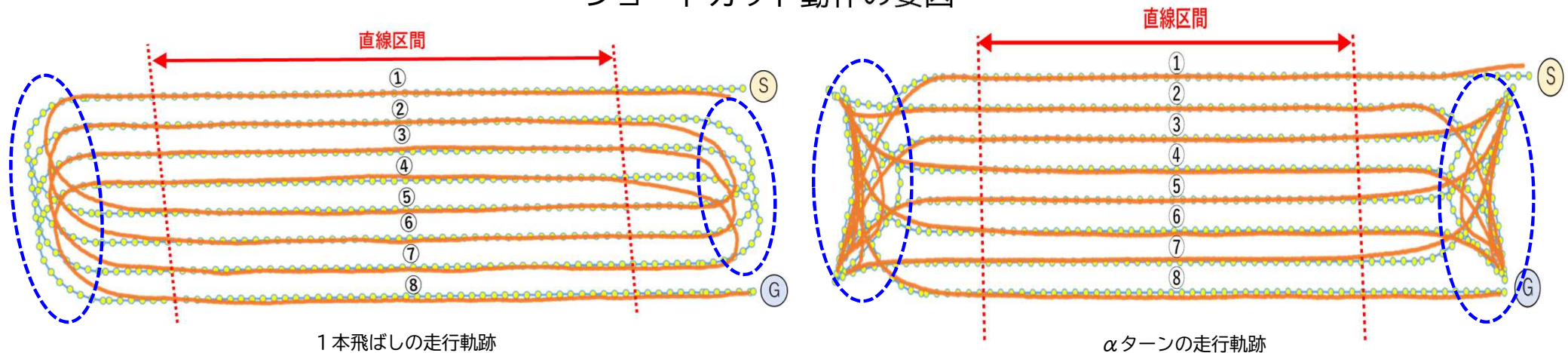
構内試験時



実証実験時



ショートカット動作の要因



2.1.3 旋回時におけるショートカット動作の改善 (2号機への実装及び改善対応)

2.1.3.1 2号機への要素技術実装

- 次年度の協調運転に向け2号機への自動走行技術等を実装すると共に、実証試験で発生した旋回区間のショートカット動作を解消するためのプログラム設定値変更を行った。

【 SMART-Grass試験機 2号機の要素技術搭載 概要 】

- ・対象機械 : 大型遠隔操縦式草刈機 R01-4151 (旭川開発建設部 旭川河川事務所)
筑水キャニコム製 型式 CG750
- ・確認試験期間 : R5. 1. 23 ~ 1. 27
- ・確認試験場所 : 福岡県うきは市吉井町 筑水キャニコム工場敷地内 (傾斜の無い平坦な試験フィールド)
- ・搭載要素技術 : ①自動走行技術 (傾斜地対応技術、ショートカット動作解消対策を含む)
②緊急停止技術
(遠隔操作停止機能、エリア逸脱自動停止機能、接触自動停止機能 (前方のみ))
③出来形計測技術
※接触自動停止機能を除き、1号機 (30-4151 (9月実証試験で使用)) と同じ機能を有する

2号機 自動化技術搭載状況



接触自動停止機能(バンパーセンサー)



試験状況(九州地整が視察)



2.1.3.2 2号機による自動走行機能確認

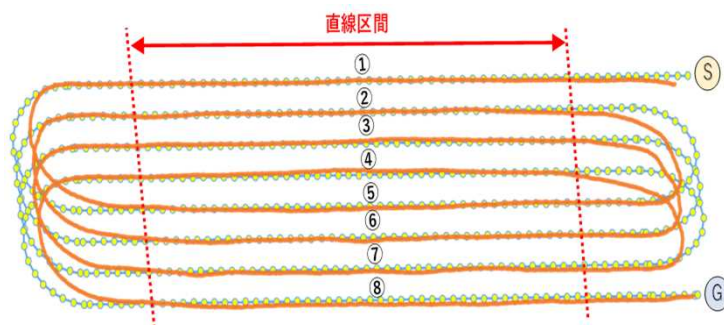
<確認事項>

- 令和5年1月下旬に2号機の自動化技術の搭載とその動作確認をするとともに令和4年9月に実施した実証試験から抽出されたショートカット動作の改善状況を確認するための確認試験を実施。

<検証結果>

- 走行プログラムを修正した結果、ショートカット動作しないことを確認した。
- 全て走行パターン(1本飛ばし、スイッチバック、 α ターン)の时速4.0km/h、6.0km/hともに、直線区間は指定した走行ルートに近い自動走行が出来た。
- 1本飛ばしの②レーンの旋回区間で降水降雪の影響で地面が掘れてしまい、ズレ量が他の旋回区間よりも大きかったが、平均ズレ量および最大ズレ量ともに許容値(目標値: $\pm 250\text{mm}$)の以内であった。
→次年度以降に傾斜地での検証が必要であるが、自動走行に係るプログラム上の課題(=誤差)は解消したと考える。

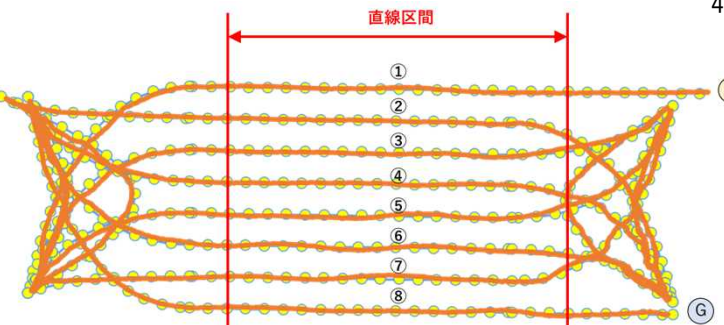
4.0km/hにおける平均・最大ズレ量



R4年 30-4151の自動走行軌跡

注) □ は許容値(目標値)超過を示す。

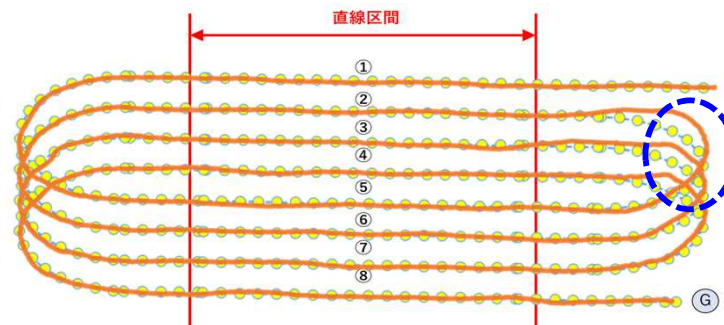
4.0km/hにおける平均・最大ズレ量



R4年 30-4151の自動走行軌跡

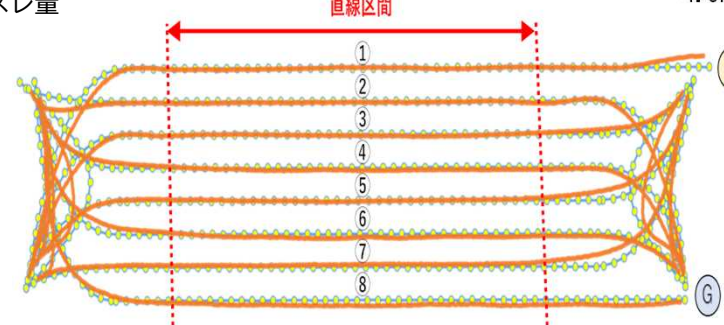
注) □ は許容値(目標値)超過を示す。

4.0km/hにおける平均・最大ズレ量



R5年 R01-4151の自動走行軌跡

4.0km/hにおける平均・最大ズレ量



R5年 R01-4151の自動走行軌跡

2.2 作業速度可変による比較検証(サイクルタイム)

直線部分を時速4.0km/h、6.0km/hの2パターンで実施し、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した。

なお、旋回時の速度は直線区間と同じ速度と、安全を考慮し3.0km/hに速度を落とした条件で実施した。

◆サイクルタイム

- 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となり、次に1本飛ばし、 α ターンの順になった。特に α ターンは旋回時に、次の直線区間に移動するまでに時間を要してしまうことが確認された。
- 計算上のサイクルタイムと実際のサイクルタイムを比較した結果、実際のサイクルタイムは計算上のサイクルタイムよりも1.12倍～1.25倍の時間がかかることが確認された。
→走行パターン毎のサイクルタイム延長率が近いことから、これらは草の負荷による速度低下であり、自動走行のシステム計算処理時間は同程度であると考え（全ての走行パターンを自動走行に採用可能）。

実際のサイクルタイム計測結果

速度条件		1本飛ばし			スイッチバック			α ターン		
直進	旋回	直線	旋回	サイクルタイム	直線	旋回	サイクルタイム	直線	旋回	サイクルタイム
4.0km/h	3.0km/h	05:04	01:34	06:38	-	-	-	04:16	05:04	09:20
4.0km/h	4.0km/h		01:12	06:16	04:16	01:30	05:46		03:36	07:52
6.0km/h	3.0km/h	03:20	01:58	05:18	-	-	-	02:48	04:36	07:24
6.0km/h	6.0km/h		00:55	04:15	02:48	01:09	03:57		02:48	05:36

計算上と実測のサイクルタイムの比較

速度条件		1本飛ばし		スイッチバック		α ターン	
直進	旋回	計算上の サイクルタイム	サイクルタイム (実測)	計算上の サイクルタイム	サイクルタイム (実測)	計算上の サイクルタイム	サイクルタイム (実測)
4.0km/h	3.0km/h	5:48	06:38 (1.14倍)	-	-	7:57	09:20 (1.17倍)
4.0km/h	4.0km/h	5:31	06:16 (1.14倍)	5:09	05:46 (1.12倍)	6:58	07:52 (1.13倍)
6.0km/h	3.0km/h	4:15	05:18 (1.25倍)	-	-	6:36	07:24 (1.12倍)
6.0km/h	6.0km/h	3:41	04:15 (1.15倍)	3:27	03:57 (1.14倍)	4:39	05:36 (1.20倍)

2.3 堤防への損傷等の影響

◆速度毎、走行条件毎による旋回時の法面への損傷

- ・ 旋回時の速度を4.0km/h、6.0km/hで実施した際の法面の損傷について確認を行った。
- ・ 各速度条件で法面の損傷に差は確認されず、表面の草が一部剥がれる程度の損傷であった。
- ・ 各走行パターンにおいては、スイッチバックが最も旋回時において法面への損傷が少ない結果となり、次に1本飛ばし、最も損傷が大きいのは α ターンであった。

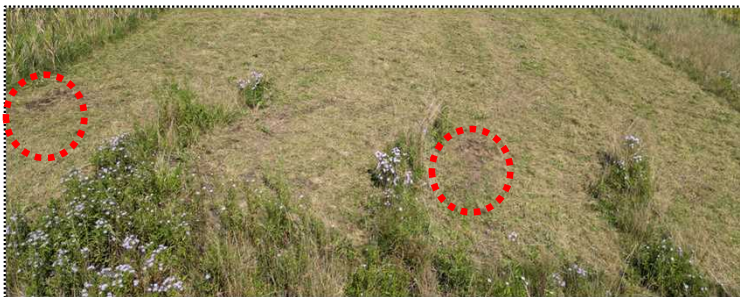
→自動走行における走行パターンは現場条件を考慮し、スイッチバック→1本飛ばし→ α ターンの順番で選択することが望ましい。



1本飛ばし(直線・旋回 4.0km/h)



1本飛ばし(直線・旋回 6.0km/h)



スイッチバック(直線・旋回 4.0km/h)



スイッチバック(直線・旋回 6.0km/h)



α ターン(直線・旋回 4.0km/h)



α ターン(直線・旋回 6.0km/h)



堤防の損傷状態

2.4 自動走行試験のまとめ

◆走行パターン毎の適用性比較表

協調運転方法		別エリア運転		
走行パターン		1本飛ばし	スイッチバック	αターン
イメージ図				
適用可能な 現場条件	延長	・旋回動作による作業効率の低下はほぼない ・延長の長短どちらでも適用可能 ・遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能	・旋回動作による作業効率の低下はない ・延長の長短どちらでも適用可能 ・遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能	・延長が短いほど旋回動作により作業効率が大幅に低下するため、長い方が適する ・遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能
		○	◎	△
	法長	・法長が15m未満である場合は旋回半径が小さくなり信地旋回となるため、法面を損傷させる可能性があることから15m以上でなければ使用に向かない	・旋回動作によって法面を損傷させる可能性が低く、作業効率の低下ないため、法長の制限は無い	・旋回動作に時間を要する観点から、法長が短い堤防で有効 ・施工する法長が変わることによって、法面を損傷させない最適な旋回位置や走行経路を見出す必要があるため、旋回動作のルールが複雑になる。
		△	◎	○
	草丈	草丈100cm以上：時速4.0km/hで可 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可	草丈100cm以上：背走の際に草を踏み倒し、刈り残しが発生し易いため未推奨 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可	草丈100cm以上：時速4.0km/hで可 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可
		◎	△	◎

3) 緊急停止技術の機能確認結果

(1) 遠隔操作停止機能 (第1回WGでは「非常停止機能」と記載)

(2) エリア逸脱自動停止機能 (第1回WGでは「緊急停止機能」と記載)

→ (1) と (2) は、第1回WGにて報告済み

(3) 接触自動停止機能

3) 緊急停止技術の機能確認結果

再掲：第1回WG報告済

3.1 緊急停止技術

- 試験速度 2.0km/h、4.0km/h、6.0km/h
- 検証方法 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。

3.1.1 遠隔操作停止機能

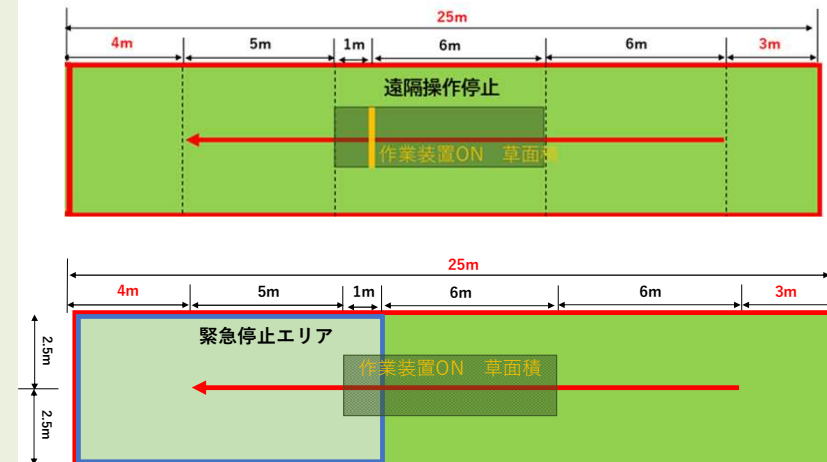
- 遠隔監視端末の緊急停止ボタンを操作し、停止までの時間と距離を確認。
- 目標停止時間の1秒以内を満たす結果となった。

→目標とした機能を確認できた。

3.1.2 エリア逸脱自動停止機能

- 施工エリア逸脱時の自動停止を再現し、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。

→目標とした機能を確認できた。



緊急ボタンを押してから停止するまで(時速4.0km/h)

緊急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



緊急停止距離(時速6.0km/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

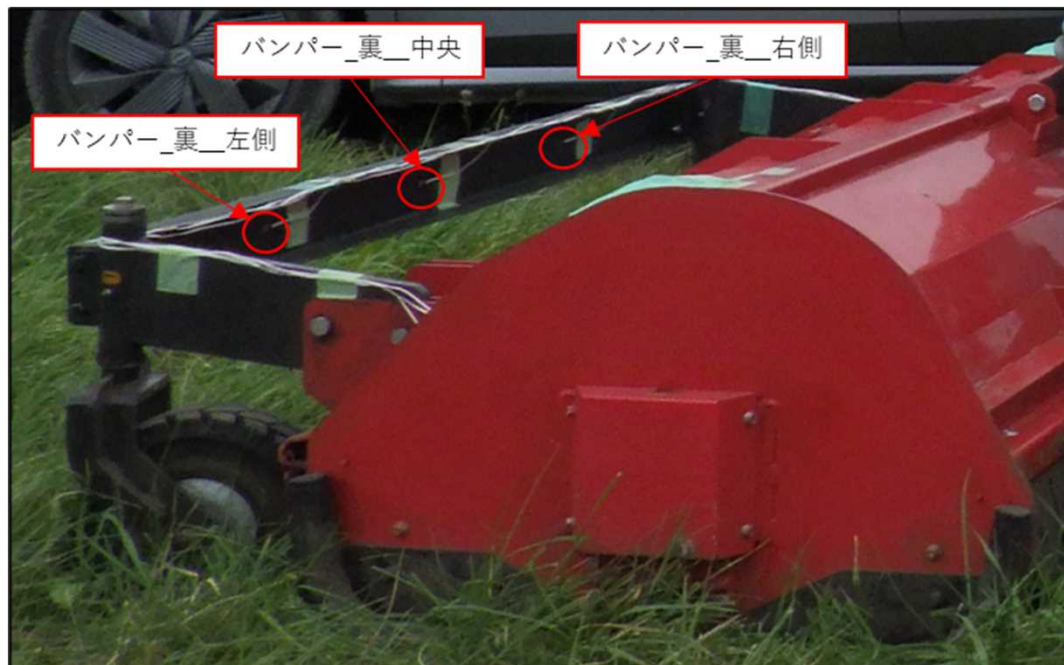
3.2 接触自動停止機能

3.2.1 バンパーセンサについて

- ・ バンパーセンサを取り付ける目的として、今後取り入れる予定である周辺探知技術で確認できない固定障害物(岩、倒木、不法投棄物など)と衝突した際に大型遠隔操縦式草刈機が緊急停止し、機械を故障させないことが第一目標である。
- ・ バンパーセンサを選定するにあたり、施工性を確保するため、繁茂した草と接触した際に、頻繁に大型遠隔操縦式草刈機が緊急停止しないようにする必要がある。
- ・ 繁茂した草と接触した際の応力や荷重に関する調査データがないことから、現場試験において調査を行った。

3.2.2 応力計測の実施

- ・ 実証実験にて、大型遠隔操縦式草刈機にバンパーセンサを模擬したアングルを取り付け、アングルの裏側にひずみゲージを左右中央の計3箇所貼付し、草がバンパーに接触した際に発生する応力を計測した。
- ・ 試験場所については、草丈1.5m~2.0mの草が繁茂した箇所では応力測定を実施し、茎径は最大で10mm程度であった。



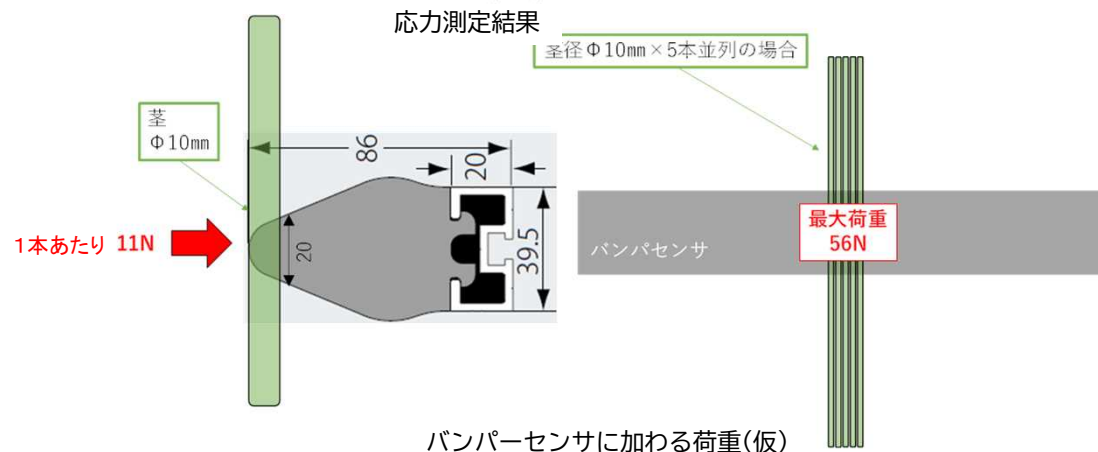
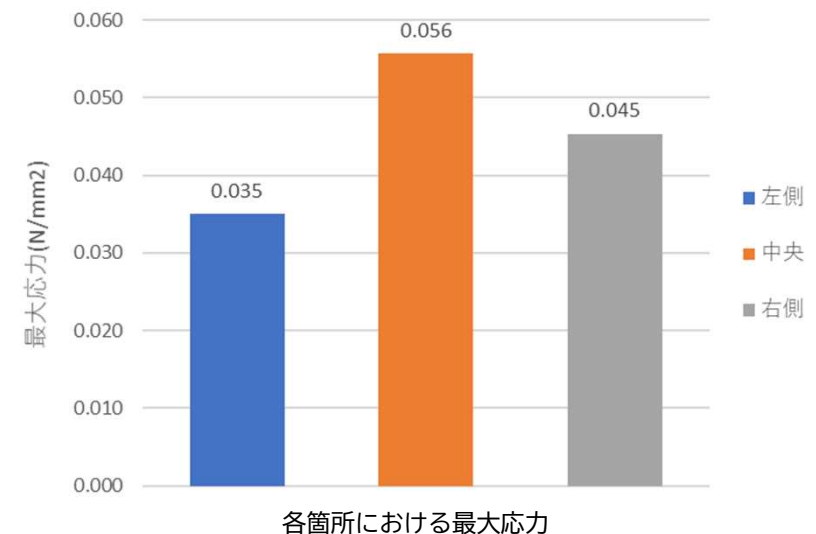
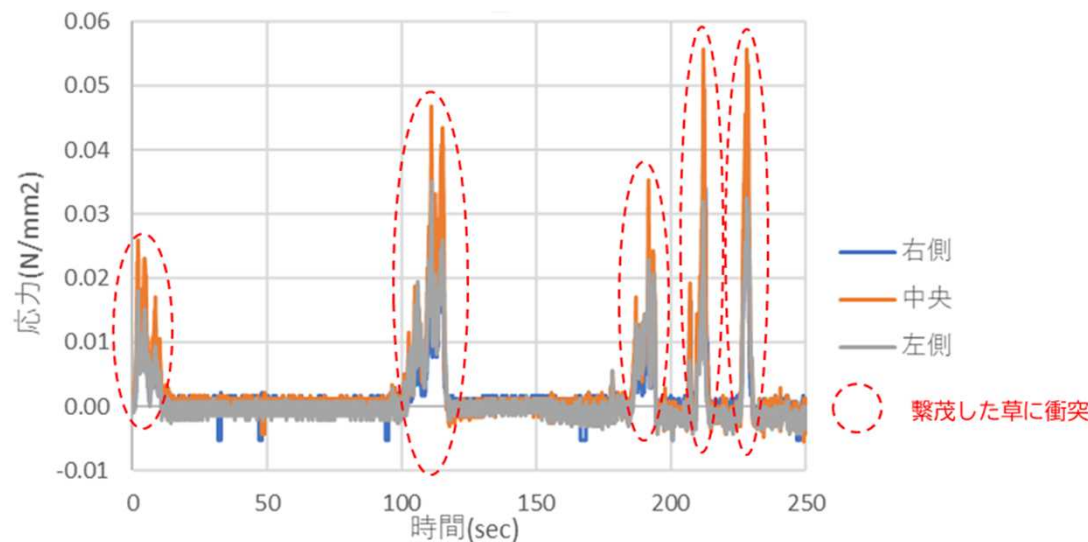
ひずみゲージの貼付箇所



実証実験地の雑草状況 最大茎径1cm程度

3.2.3 応力測定結果

- 時速4.0km/hで走行し、雑草が繁茂した箇所にバンパーを衝突させた場合、バンパーの裏側中央の箇所で最大0.056N/mm²の応力が確認された。
- 現場の最大茎径が10mm程度であったことから、バンパーセンサに加わる荷重は1本あたり約11Nとなり、仮に、並列に密集した5本と接触した場合を想定して試算すると荷重は約56Nである。
- 現場によっては草の繁茂状況や草の種類が異なるため、バンパーセンサに加わる荷重が変動する可能性があるが、今回の応力測定結果を踏まえ、0～56Nの範囲では動作しないバンパーセンサを選定することとした。



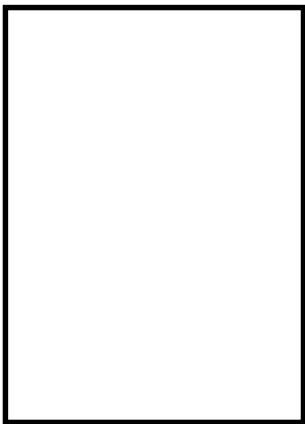
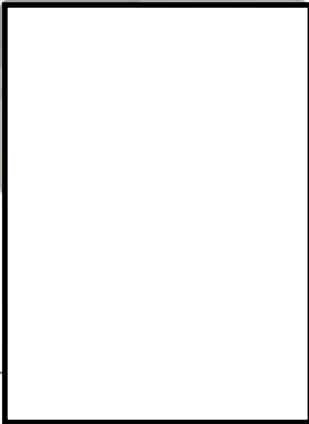
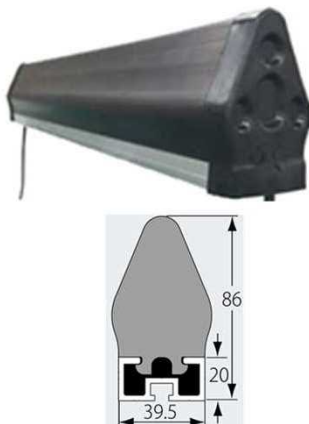
現場状況

3.2.4 バンパーセンサの選定

- バンパーセンサとして用いられる製品はテープスイッチ、バンパースイッチ、エッジスイッチの3種類があり、動作荷重の範囲、使用温度の範囲、外被強度の高いゴム材、防水性、価格の総合評価からエッジスイッチを選定した。

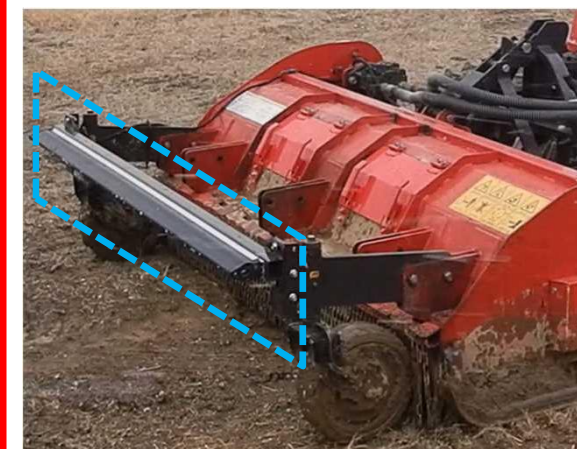
→次年度以降に実際の繁茂した草での動作状況を確認する。

バンパーセンサの種類(赤枠選定)

名称	テープスイッチ	バンパースイッチ	エッジスイッチ
外観			
動作荷重	15N～ ×	40N～ △	60N～ ○
推奨使用温度	0～50℃ ○	記載なし ×	-10～50℃ ○
外被材質	ポリ塩化ビニル（軟質） △	ビニルレザー ×	エチレン・プロピレングム ○
防水性	JIS C 0920 : 2003 保護等級7※ ○	防滴・屋外未対応 ×	JIS C 0920 : 2003 保護等級7※ ○
概算製品価格			
総合評価 (○=3、△=2、×=1)	12	6	14



選定したエッジスイッチの動作荷重



大型遠隔操縦式草刈機(R01-4151)への搭載

4) 協調運転技術の設計結果

4) 協調運転設計結果

4.1 協調運転設計方針

4.1.1 雁行運転と別エリア運転

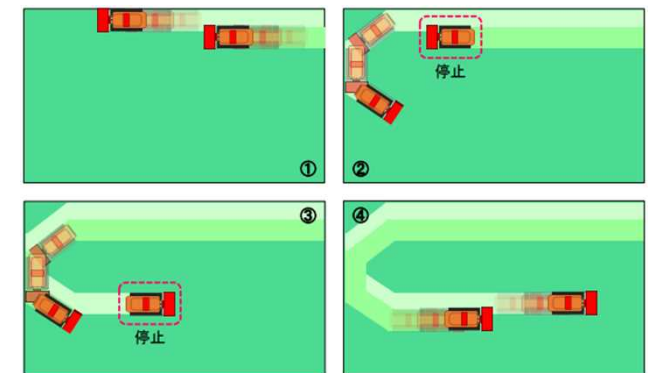
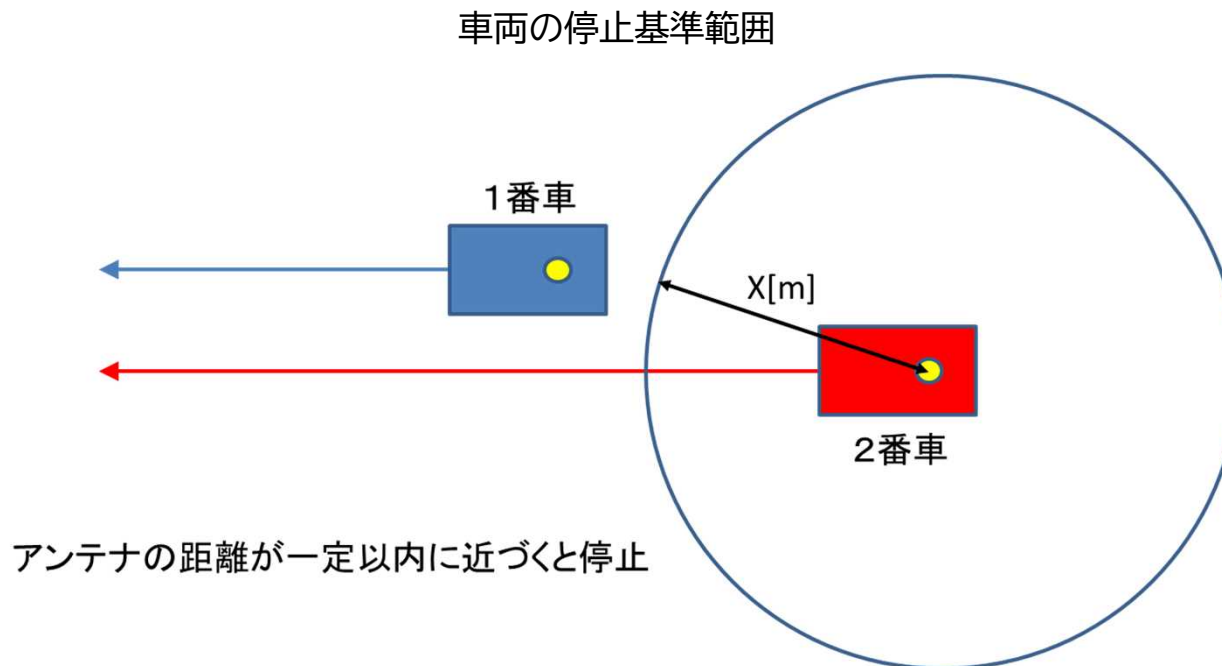
- ・ 協調運転の方法としては、【雁行運転】と【別エリア運転】が想定される。
- ・ 雁行運転は遠方監視のし易さや画面の見やすさ、メンテナンス性に優れている。
- ・ 別エリア運転は、施工効率が良いことと、車両同士の衝突の危険性がない。

協調運転方法		雁行運転	別エリア運転
イメージ図			
施工性		・ 旋回時に停止をする必要があるため、施工効率が低下する	・ 協調車両の干渉による施工効率の低下はない
操作性	遠方監視	・ 遠隔操作端末の情報(WEBカメラの映像表示はタブで切り替え)に加え、遠方目視による監視が容易に行える	・ 別エリアで作業を行うため、遠隔目視による監視が困難であり、遠隔操作端末(WEBカメラの映像表示はタブで切り替え)による監視となる
	操作方法	・ 両機を1画面で表示させるため、走行状態や出来形計測状況を視認し易い	・ 画面が2分割になり各表示が小さくなるため、走行状態や出来形計測状態を視認しにくい
	安全関係	・ 2台の接近判定を常に行い、接近した場合は緊急停止信号を送り停止する ・ 緊急停止ボタンを押した場合、両機とも停止するため、作業が停止する	・ 両機が接近することはないため、車両同士の接触の可能性は限りなく低い ・ 緊急停止ボタンでは、押した方の車両のみ停止するため、停止していない車両は作業を行うことが可能である
メンテナンス性		・ 同エリアで作業を行うため、監視が容易であり、トラブルが発生した場合に対応がしやすい ・ 協調車両が近くにあるため、メンテナンス対応中でも監視が容易である	・ 作業エリアが離れている場合は監視が困難であり、トラブルの発生に対応しにくい ・ メンテナンス対応中は監視が困難になるため、安全のため協調車両も作業を停止させる必要がある
適用現場		・ 監視が容易なため、草丈が長く見通しの悪い現場に適する ・ 監視が容易なため、延長や法長が長い現場に適する	・ 監視が困難なため、草丈が低く見通しの良い現場に適する ・ 施工効率の低下がないため、延長や法長が短い現場に適する

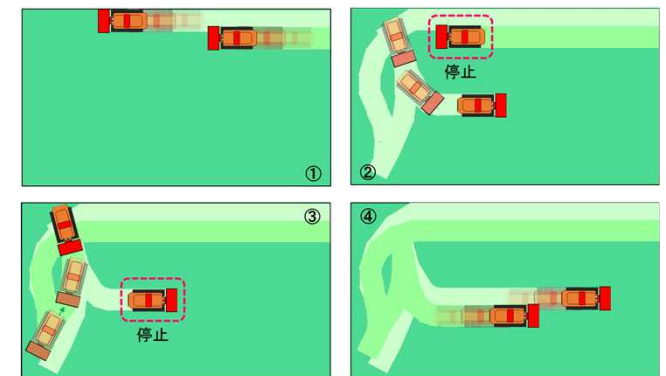
4.1 協調運転設計方針

4.1.2 雁行運転に適用可能な走行パターン

- 直線走行時は、協調車両の位置情報をもとに、車両間の直線距離が一定範囲に収まるよう速度調整を行うことで、車両同士の接触を防ぐことが可能である。また、協調車両が以下の停止基準範囲内に侵入した場合や、協調車両の位置情報を取得できない場合は停止する。
- 1本飛ばしやスイッチバックの旋回動作時は、1番車の旋回動作時に2番車が停止をすることで、車両同士の接触を回避することが可能である。
- α ターンは、1本飛ばしやスイッチバックより旋回動作に時間を要するため、作業効率の低下が予想される。また、法面を損傷させない最適な旋回位置や走行経路を見出す必要があり、旋回動作のルールが複雑になることから、雁行運転には適していない。



雁行運転(1本飛ばし)の例



雁行運転(α ターン)の例

4.2 設計結果

4.2.1 雁行運転における協調運転

- ・ 詳細な検討・設計を行い、協調運転技術の複数案の比較資料を作成した。
- ・ 検討の結果、同エリアでの雁行運転は機械トラブルへの対応や監視が容易な雁行運転が有用であると考えられる。また、 α ターンについては、旋回動作のルールが複雑になることから実装は困難である。

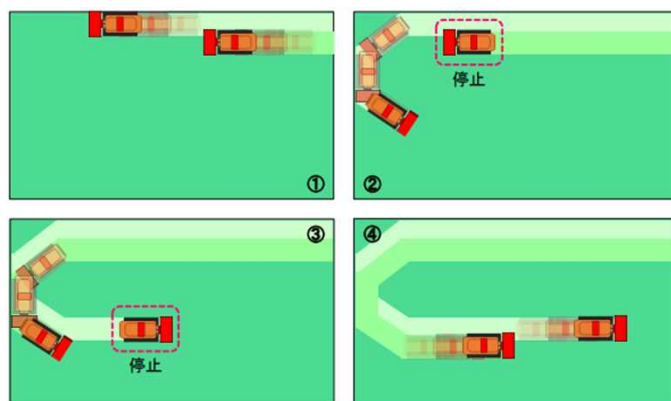
協調運転方法		雁行運転					
走行パターン		1本飛ばし		スイッチバック		α ターン	
イメージ図							
適用可能な現場条件	延長	・ 旋回動作により作業効率が低下するため、延長は長い方が適する ・ 遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能	・ 旋回動作による作業効率の低下はない ・ 延長の長短どちらでも適用可能 ・ 遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能	・ 旋回動作により作業効率が少し低下するが、延長の長短どちらでも適用可能 ・ 遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能	・ 旋回動作による作業効率の低下はない ・ 延長の長短どちらでも適用可能 ・ 遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能	・ 旋回動作により作業効率が大幅に低下するため、延長は長い方が適する ・ 遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能	・ 旋回動作による作業効率の低下はほぼない ・ 延長の長短どちらでも適用可能 ・ 遠隔操作端末(タブレット)と大型遠隔操縦式草刈機とのLTE通信が届く範囲まで可能
	法長	○	◎	◎	◎	△	◎
	草丈	・ 法長が15m未満である場合は旋回半径が小さくなり信地旋回となるため、法面を損傷させる可能性があることから15m以上でなければ使用に向かない	・ 旋回動作によって法面を損傷させる可能性が低く、作業効率の低下ないため、法長の制限は無い	・ 旋回動作によって法面を損傷させる可能性が低く、作業効率の低下ないため、法長の制限は無い	・ 旋回動作によって法面を損傷させる可能性が低く、作業効率の低下ないため、法長の制限は無い	・ 旋回動作に時間を要する観点から、法長が短い堤防で有効 ・ 施工する法長が変わることによって、法面を損傷させない最適な旋回位置や走行経路を見出す必要があるため、旋回動作のルールが複雑になる。	・ 旋回動作に時間を要する観点から、法長が短い堤防で有効 ・ 施工する法長が変わることによって、法面を損傷させない最適な旋回位置や走行経路を見出す必要があるため、旋回動作のルールが複雑になる。
	草丈	草丈100cm以上：時速4.0km/hで可 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可	草丈100cm以上：時速4.0km/hで可 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可	草丈100cm以上：時速4.0km/hで可 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可	草丈100cm以上：時速4.0km/hで可 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可	草丈100cm以上：時速4.0km/hで可 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可	草丈100cm以上：時速4.0km/hで可 草丈65～100cm：時速4.0km/hで可 草丈10～65cm：時速4.0～6.0km/hで可
操作性	操作方法	両機を1画面で表示させるため、走行状態や出来形計測状況を視認し易い					
	遠方監視	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	安全関係	2台の接近判定を常に行い、接近した場合は緊急停止信号により停止 緊急停止ボタンは両機とも停止	常に走行しているため、接近判定が複雑になり、接触の危険がある 緊急停止ボタンは、両機とも停止	2台の接近判定を常に行い、接近した場合は緊急停止信号により停止 緊急停止ボタンは両機とも停止	常に走行しているため、接近判定が複雑になり、接触の危険がある 緊急停止ボタンは、両機とも停止	2台の接近判定を常に行い、接近した場合は緊急停止信号を送ることは可能であるが、旋回動作のルールが複雑であるため、 実装が困難	2台の接近判定を常に行い、接近した場合は緊急停止信号を送ることは可能であるが、旋回動作のルールが複雑であるため、 実装が困難
	メンテナンス性	◎	△	◎	△	×	×
総合評価		同エリアで作業を行うため監視が容易であり、トラブルが発生した場合に対応がしやすい 協調車両が近くにあるため、メンテナンス対応中でも監視が容易	同エリアで作業を行うため監視が比較的容易であり、トラブルが発生した場合に対応がしやすい 協調車両が近くにあるため、メンテナンス対応中でも監視が容易	同エリアで作業を行うため監視が容易であり、トラブルが発生した場合に対応がしやすい 協調車両が近くにあるため、メンテナンス対応中でも監視が容易	同エリアで作業を行うため監視が比較的容易であり、トラブルが発生した場合に対応がしやすい 協調車両が近くにあるため、メンテナンス対応中でも監視が容易	同エリアで作業を行うため監視が容易であり、トラブルが発生した場合に対応がしやすい 協調車両が近くにあるため、メンテナンス対応中でも監視が容易	同エリアで作業を行うため監視が比較的容易であり、トラブルが発生した場合に対応がしやすい 協調車両が近くにあるため、メンテナンス対応中でも監視が容易
総合評価		◎=4 ○=3 △=2 ×=1	◎=4 ○=3 △=2 ×=1	◎=4 ○=3 △=2 ×=1	◎=4 ○=3 △=2 ×=1	◎=4 ○=3 △=2 ×=1	◎=4 ○=3 △=2 ×=1
総合評価		24	21	25	21	21	21

4.2 設計結果

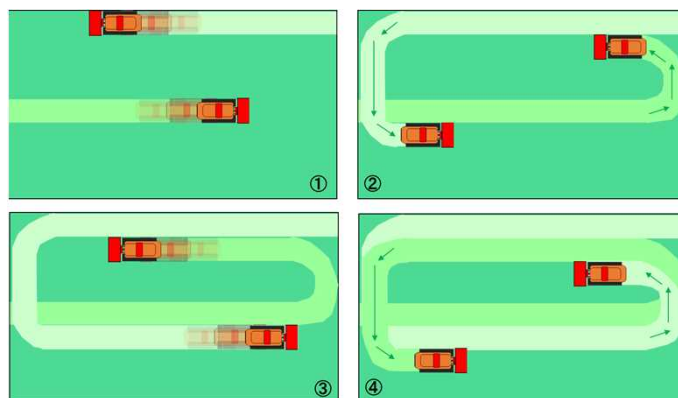
- 前ページのイメージ図拡大（上段が採用予定の巡回イメージ（ α ターンを除く））

1本飛ばし
雁行の巡回イメージ

(案1)

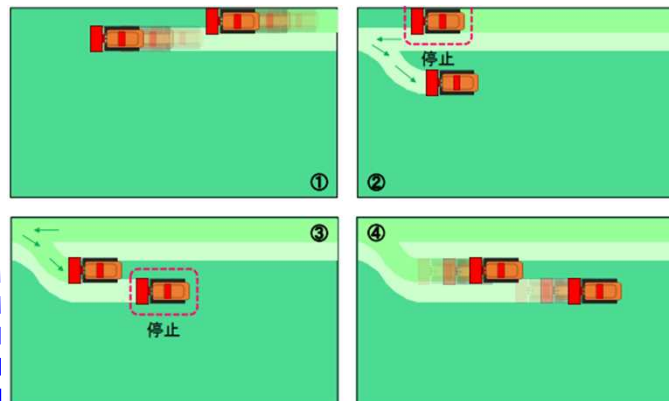


(案2)

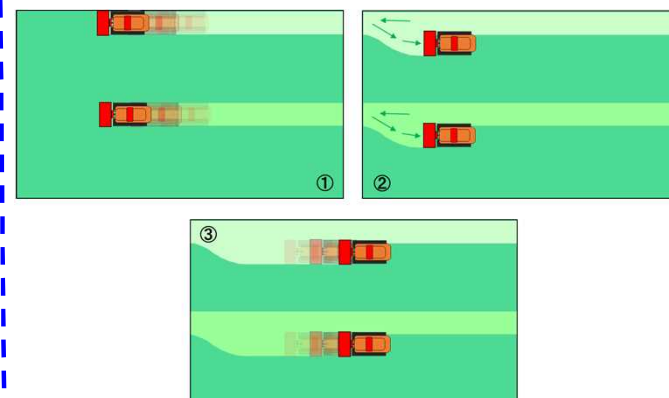


スイッチバック
雁行の巡回イメージ

(案1)

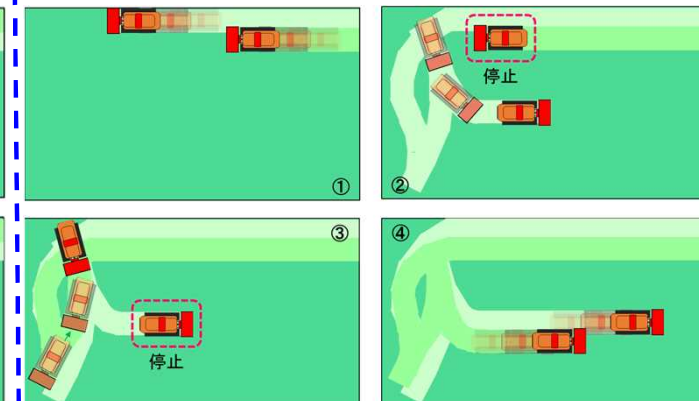


(案2)

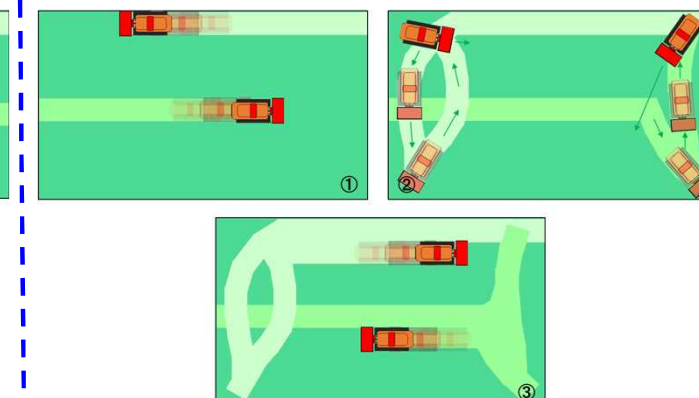


α ターン
雁行の巡回イメージ

(案1)



(案2)

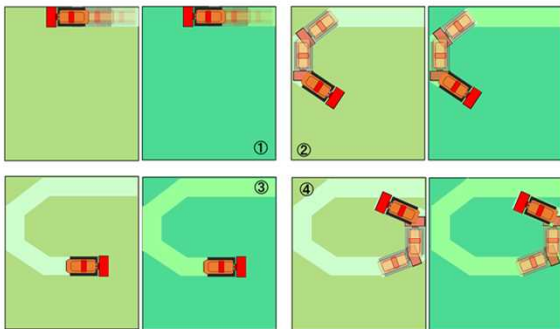
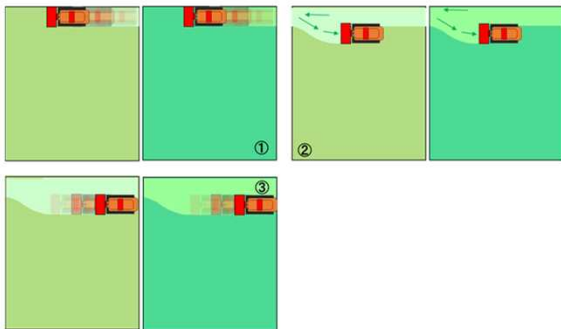
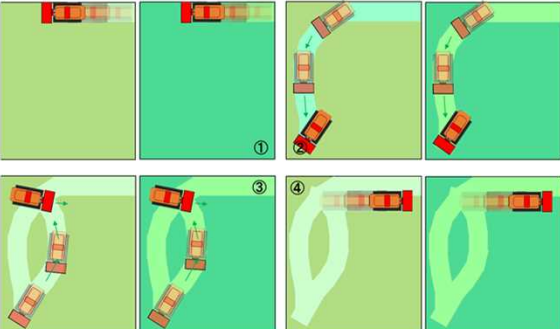


4) 協調運転設計結果

4.2 設計結果

4.2.2 別エリア運転における協調運転

- 詳細な検討・設計を行い、協調運転技術の複数案の比較資料を作成した。
- 別エリア運転は走行パターンによる制限がなく、現場条件により有用な走行パターンを選択するのが良いと考えられる。

協調運転方法		別エリア運転		
走行パターン		1本飛ばし	スイッチバック	αターン
イメージ図				
操作性	操作方法	画面が2分割になり各表示が小さくなるため、走行状態や出来形計測状態を視認し難い		
	遠方監視	別エリアで作業を行うため、遠隔目視による同時監視が困難であり、遠隔操作端末からの情報(WEBカメラの映像表示はタブで切り替え)による監視となる		
	安全関係	両機が接近することはないため、車両同士の接触の可能性は限りなく低い 緊急停止ボタンでは、押した方の車両のみ停止するため、停止していない車両は作業を行うことが可能		
メンテナンス性		作業エリアが離れている場合では監視が困難であり、トラブルの発生に対応し難い メンテナンス対応中は監視が困難になるため、安全のため協調車両も作業を停止させる必要がある		

5) 出来形計測試験結果、出来形帳票出力技術 の検討結果

5.1 メッシュサイズの可変結果

- スイッチバックによる施工を行い、最後の2レーンのみ作業装置を稼働させず施工を行い、刈り残し面積結果から出来形計測システムから算出された20cmと50cmメッシュの比較をした。なお、施工設定エリア面積は299.6m²である。
- メジャーを用いて算出した実施工面積297.3m²に対して、20cmメッシュは298.8m²、50cmメッシュは298.7m²と実施工面積との差が+1.4~+1.5m²と近い値となったことから、出来形計測システムは実態に近いものとなった。
- 20cmと50cmのメッシュサイズによる出来形計測結果の差は、0.1m²と大きな差は確認されなかった。

5.2 メッシュ作成について

- メッシュの作成にあたって、施工エリアの角度を考慮しておらず、直交座標のx, yでの一定間隔となっている。これは施工エリアが複雑な形になった場合、角度が意味を持たないため、縦横一定間隔の設計である。
- 面積判定の際に、20cmメッシュと50cmメッシュでは処理面積に若干の差が生じるが、誤差は平均化されるためほぼ実施工面積の値となることが期待される。

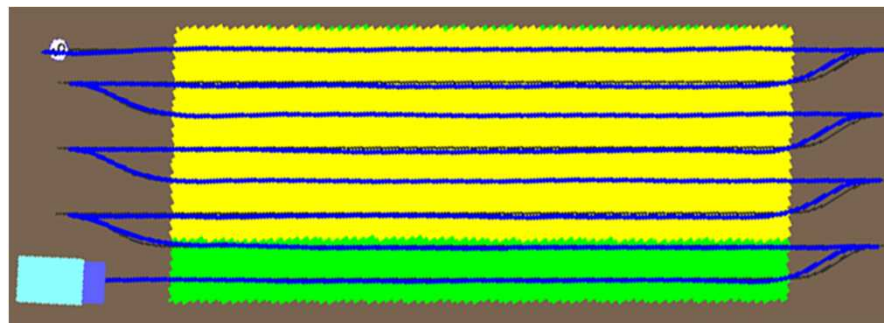


メジャーによる実施工面積の算出

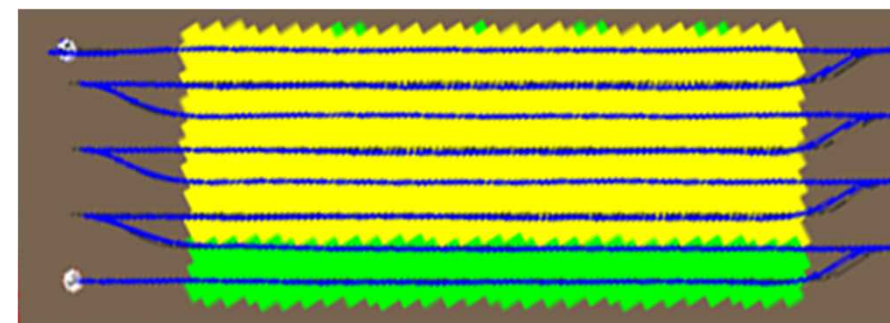


作業装置の
未稼働レーン

スイッチバックによる実施工(実施工面積：297.3m²)



20cmメッシュの結果(処理面積：298.8m²)



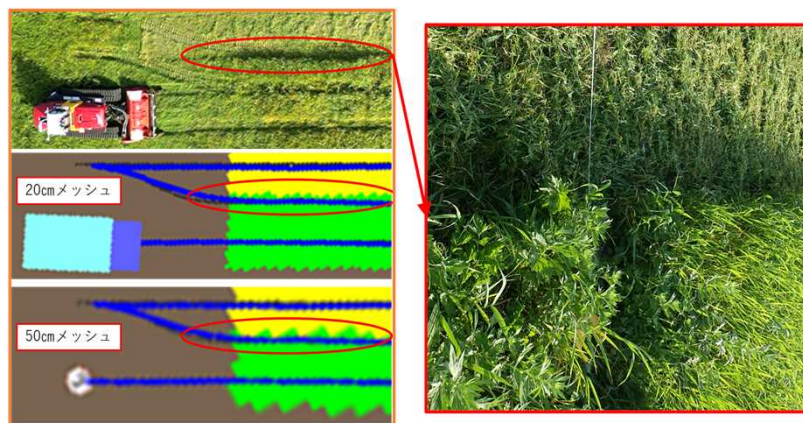
50cmメッシュの結果(処理面積：298.7m²)

5.3 実施工と20cmメッシュ、50cmメッシュの比較

- 1本飛ばし、スイッチバック、 α ターンの各条件においても、20cmメッシュと50cmメッシュで大きな差がなく、刈取り率も98%以上と高い数値であったことから出来形の管理として20cmメッシュと50cmメッシュのどちらを用いても問題ないと考えられるが、20cmメッシュの方が、実際の施工と近い形状であることが確認された。

出来形計測結果

走行パターン	速度 (km/h)	メッシュサイズ (cm)	設定施工エリア面積 (㎡)	実施工面積 (㎡)	システム処理面積 (㎡)	システム処理面積/実施工面積 (%)
1本飛ばし	4.0	20	461.7	463.6	457.0	98.6
		50			456.4	98.4
	6.0	20			457.1	98.6
		50			457.1	98.6
スイッチバック	4.0	20	388.7	384.0	386.2	100.6
		50			385.9	100.6
	6.0	20			376.9	98.2
		50			377.1	98.2
αターン	4.0	20	388.7	384.0	384.6	100.2
		50			384.8	100.2
	6.0	20			381.3	99.3
		50			381.8	99.3
20cmメッシュ全平均						99.2
50cmメッシュ全平均						99.2

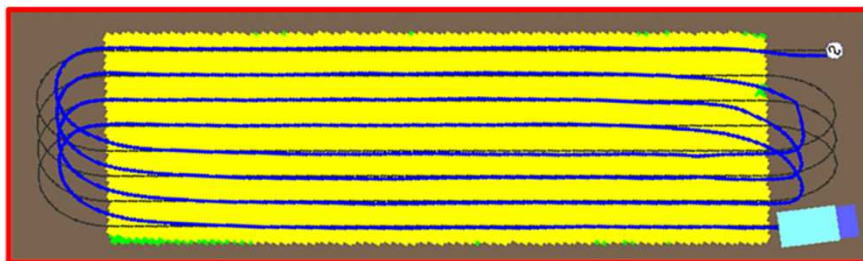


実施工と20cmメッシュ、50cmメッシュの外観比較

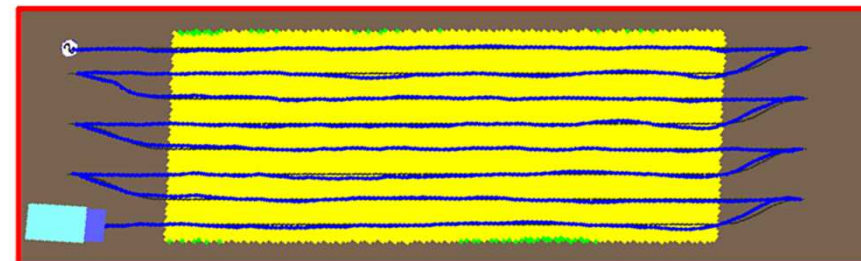
設定施工エリア面積：自動走行ルート設定時に施工対象とした範囲の面積
 実施工面積：メジャーで人力計測した面積
 システム処理面積：出来形計測技術において走行軌跡とメッシュから算出した面積

5) 出来形計測試験結果、出来形帳票出力技術の検討結果

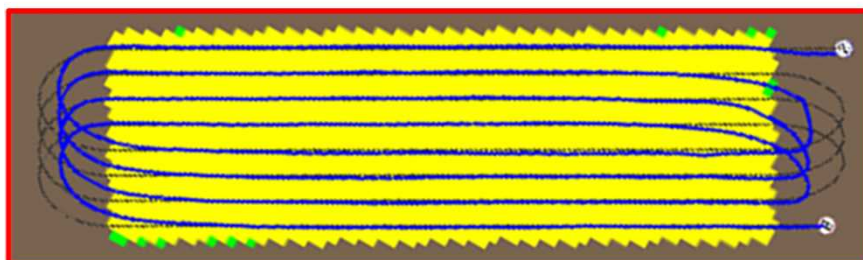
20cm
メッシュ



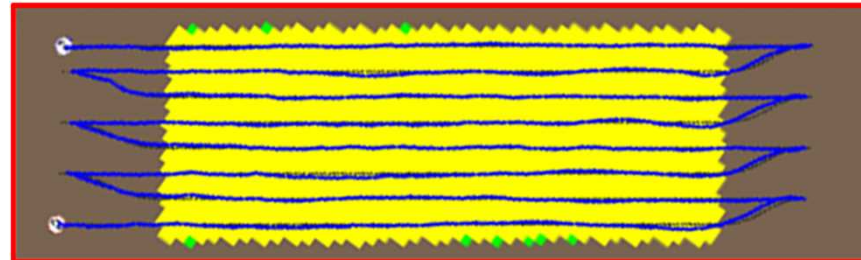
20cm
メッシュ



50cm
メッシュ



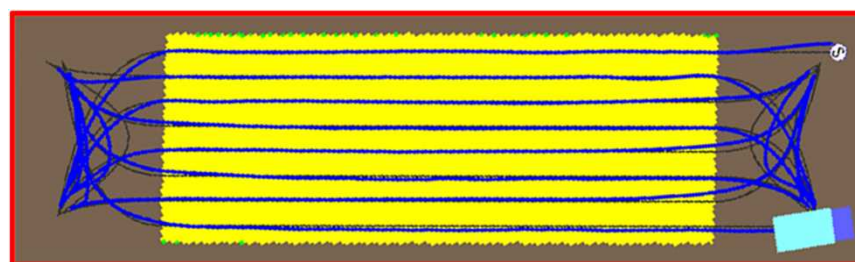
50cm
メッシュ



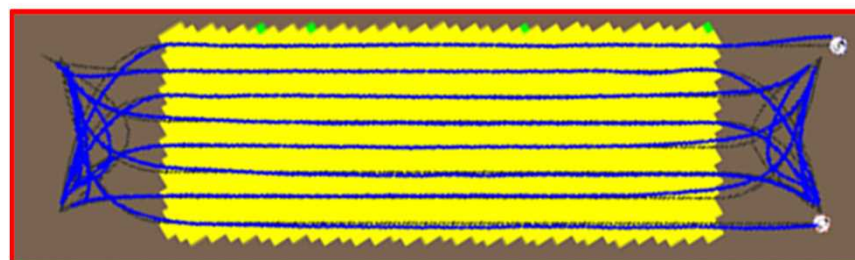
1本飛ばし

スイッチバック

20cm
メッシュ



50cm
メッシュ



α ターン

5.4 出来形帳票出力機能

出来形帳票の自動出力を実装する際の事前準備として、エリアの位置情報などをまとめたデータと点群からオルソ画像も生成する必要がある。

集計表・施工エリア図・数量調書・写真をExcelファイルで自動作成する。

Windows環境でアプリケーションを使用し、事前処理システムのデータベースと、施工後に生成されるログデータなどを元に調書が作成される。

岩見沢_1

エリア名	経路情報	起点SP	終点SP	起点緯度経度	法長	延長	起点角度	反転	勾配etc...
条件1_1本飛ばし	001	0	200	33.00, 124.00	30	200	250	True	1/10
条件2_1本飛ばし	002	0	200	33.01, 124.01	30	200	250	False	1/15
条件3_スイッチバック	003	200	400	33.02, 124.02	30	200	240	True	1/10

001.csv(経路情報)

緯度	経度	速度	方位	刈り判定	刈り高
33.00	124.00	1.11	123	0	20
33.01	124.01	1.11	123	1	1000

オルソ画像(座標を持った画像)



必要となるデータ

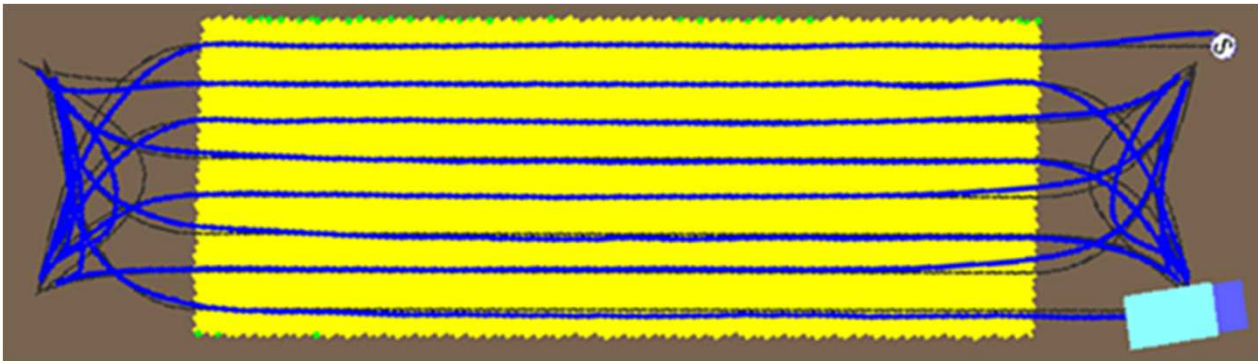
5.4 出来形帳票出力機能

以下に数量調書出力イメージを示す。

事前準備データと施工後にアプリケーションが出力するログデータを用いて帳票を自動作成。

図面には草の範囲と経路のイメージが表示させる。

施工したエリアの枚数分作成され、以降、岩見沢1/1 SP50～SP100 数量調書 No. 3-2と続くように自動出力される。

		No. 3-1
岩見沢(1/1)SP1～SP50 数量調書		
延長  法長		
費目別 除草対象面積		
維持	延長L=38m、法長L=12.15m、勾配10°	A=461.7㎡
改修	延長L=0m、法長L=0m、勾配0	A=0㎡
除草 対象面積合計		A=461.7㎡
費目別 除草実施面積		
維持	延長L=38m、法長L=12.15m、勾配10°、刈高=80mm	A=461.7㎡
改修	延長L=0m、法長L=0m、勾配0、刈高=0mm	A=0㎡
除草 実施面積合計		A=461.7㎡

3. その他

- ・ 今後の予定

【 令和5年度の検討予定 】

1) 協調運転技術

- ・ 令和4年度の設計に基づき、制御プログラムを作成
- ・ 協調運転機能を試験機2台へ実装し、河川堤防における2台同時運転の実証試験

2) 自動走行におけるR4実証試験の課題対応

- ・ 自動走行の不安定への対策（IMU蓄積データリセット、振動帽子ゴム、熱対策）の実証試験、対策の評価
- ・ エンスト防止対策機能の実装、実証試験

3) 導入に向けたシステム向上

- ・ 耐熱性、防水性、機器振動への対策によるシステムの信頼性向上に向けた制御ボックス等の再設計
- ・ 事前処理及び施工管理（旧 遠隔操作）システム（自動走行ルート作成、自動走行遠隔指示機能）に関する操作性容易化の検討（河川維持工事受注者が使用し易いシステムの構築）
- ・ 河川維持工事受注者等による試験操作及び試験施工、改善点の抽出

4) 安全対策

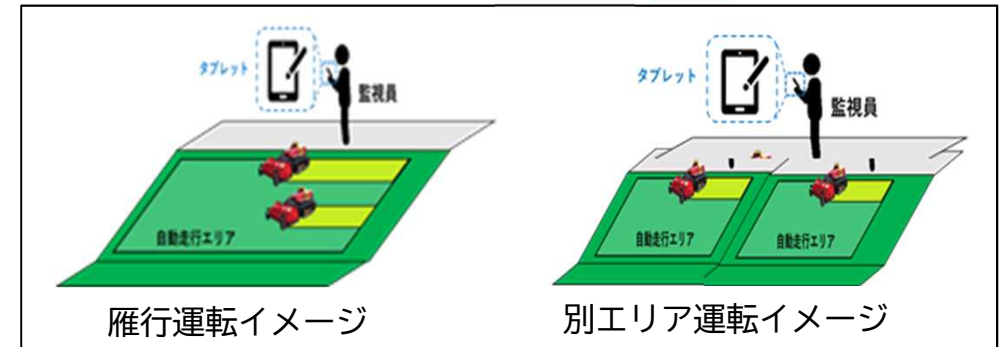
- ・ 接触自動停止機能の実証試験、機能評価
- ・ 周辺探知技術の実装、機能確認試験、自動走行プログラムへの取り込み

5) 出来形自動計測技術（後処理システム）

- ・ 出来形自動計測機能及び工事用帳票出力機能の実証試験、河川維持工事受注者へのアンケート調査等

6) 技術資料の整備

- ・ 自動化技術購入仕様書（案）の修正
- ・ 安全ガイドライン（案）等の技術資料の試行、修正



【 令和5年度の予定 】

1) 令和5年度 実証試験

- ・ 場 所 : (令和4年度 第1回WGと同じ)
札幌開発建設部 岩見沢河川事務所管内
岩見沢市北村 石狩川 たっぷ大橋下流左岸
KP43～44を予定
- ・ 試験期間 : R 5. 9. 中旬～10. 上旬



2) 令和5年度 WG

- ・ 令和5年度WGもこれまでと同様に2回／年を計画したい。
- ・ 第1回WGは、令和4年度と同様に、実証試験の視察及び河川水防センターでのWGを予定しており、開催予定時期は10月上旬としたい。
- ・ 第2回WGは、R 6. 2. 下旬を予定

令和4年度 除草自動化検討ワーキング（第2回）
2023. 3. 7



寒地土木研究所の取組概要

堤防草刈機の運転自動化 支援技術の開発

- 周囲監視

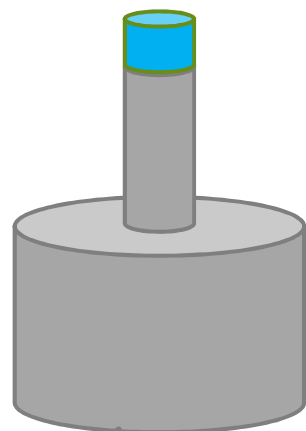
草刈機周囲の人や車を監視し、
安全監視員へ注意喚起を行う。

- 障害物探知

草刈機進行方向の障害物を探知し、
草刈機との衝突を防ぐ。

装置の位置づけ

周囲監視・障害物探知装置
(寒地土研)



電源
(AC100V)

映像出力
(USB)

SMART-Grass
(北海道開発局)

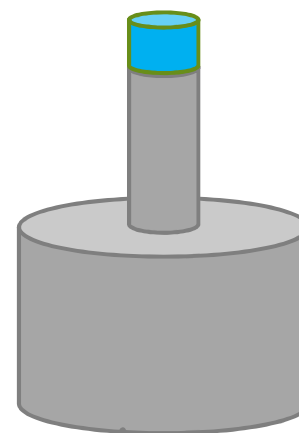


装置構成



パッケージ化

3Dプリンタ
等による
ケース製作



電源
(AC100V)

映像出力
(USB)

- ・ 通電による自動起動
(BIOS設定、実行ファイルをスタートアップへ)
- ・ 通電断による自動シャットダウン
(プログラム処理 or バッテリー管理設定)
- ・ 単純な映像出力
(webカメラと同様に扱える)
- ・ 検知プログラム更新作業の簡易化
(実行ファイルを指定箇所に保存するのみ)

映像トリミング処理



※ 後方も同様に処理

前方障害物探知用映像



前方周囲監視用映像

タブレットPCの傾きにより映像を回転 → 映像の水平を維持



作成映像



検知方法

A I 検知と色相検知のハイブリッド検知

- A I 検知

物体認識用の学習データ（カスケード分類器）を用いた検知

- 色相検知

画像から同系色を多い順に排除して行き、残った色を物体として検知（2種の色空間で試行検討）

R G B

（減色処理後）



H S V

（減色処理後）



処理負荷軽減策

(処理の高速化、必要機材のコスト軽減)

処理間隔時間拡大

フルフレーム処理（30枚／秒）の間引きを行い、
両検知に係る計算量を軽減

処理用画像サイズ縮小

検知処理用の画像サイズを縮小し、両検知に係る
計算量を軽減（表示画面は元の画像サイズ）

減色処理

画像の24ビットカラー（1677万色）を減色（ポスタ
リゼーション）し、色相検知に係る計算量を軽減

