

# 令和7年度 除草自動化検討ワーキング

～ SMART-Grass ～ 

日時: 令和8年1月28日(水)

場所: 北海道開発局研修センター 2階第2・3教室

国土交通省北海道開発局

# 1 除草自動化の運用検討について

- 北海道開発局が管理する河川堤防は、延長約1,850kmに達し、堤防を覆う芝の除草面積は広大である。
- 一方、堤防除草を担う建設業界は、就業者の高齢化、担い手不足が進行しており、堤防除草の生産性の向上が課題となっている。
- 北海道開発局では、この課題解決のため、令和2年度より堤防除草の自動化に向けた検証に取り組んでおり、令和7年度は、テストランとして試行的な工事を実施し、受注者の協力を得て、経済性・安全性・品質について検証を行った。

## 検証項目

### 【経済性】

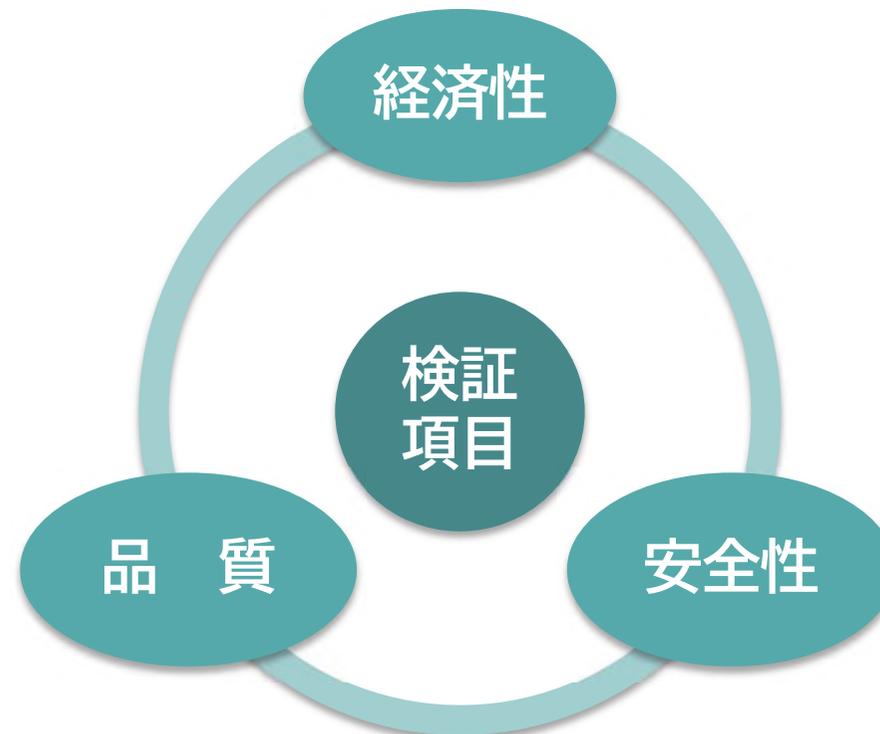
- ✓ 従来工法と比較し、省人化及びコスト削減の効果を定量的に評価

### 【安全性】

- ✓ 自動化にともなう新たなリスクに対する安全性を評価

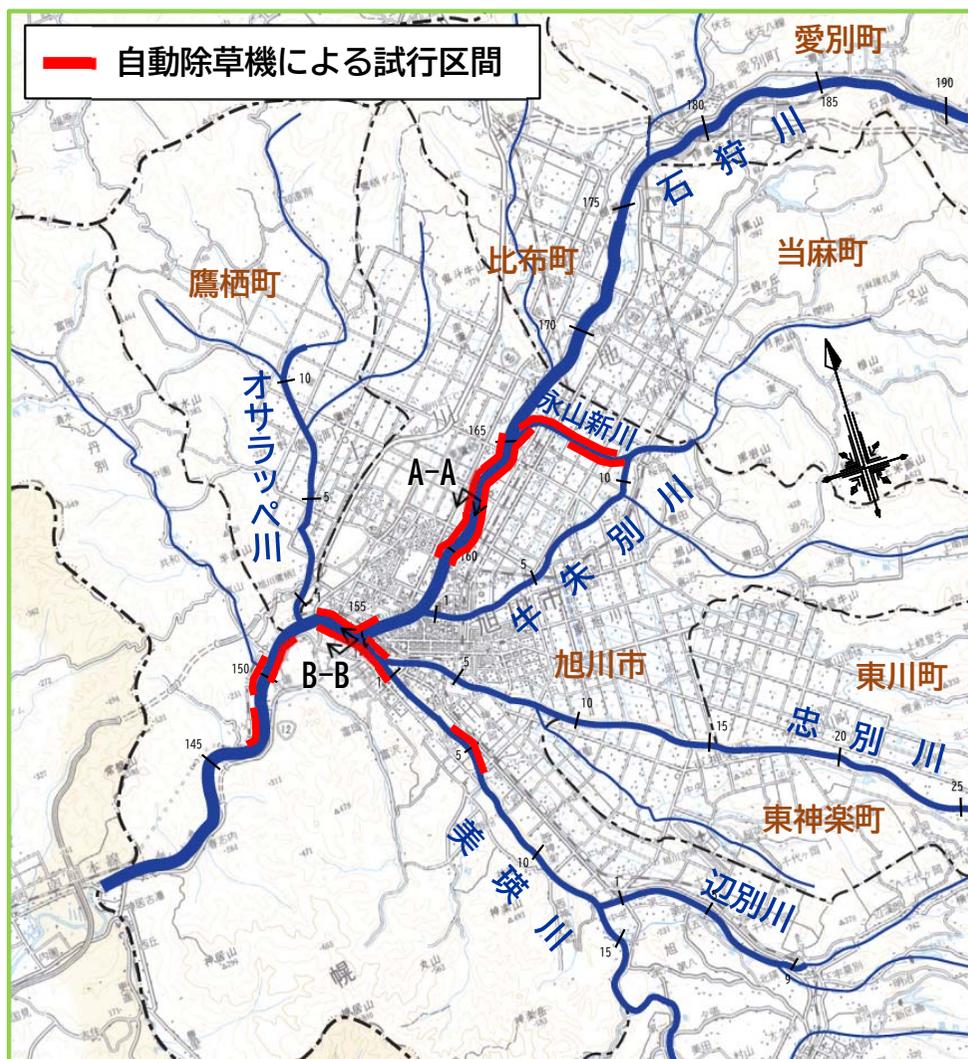
### 【品質】

- ✓ 従来工法と比較し、刈り高・刈り残し等の出来型を評価



# R7 試行工事（テストラン）の概要

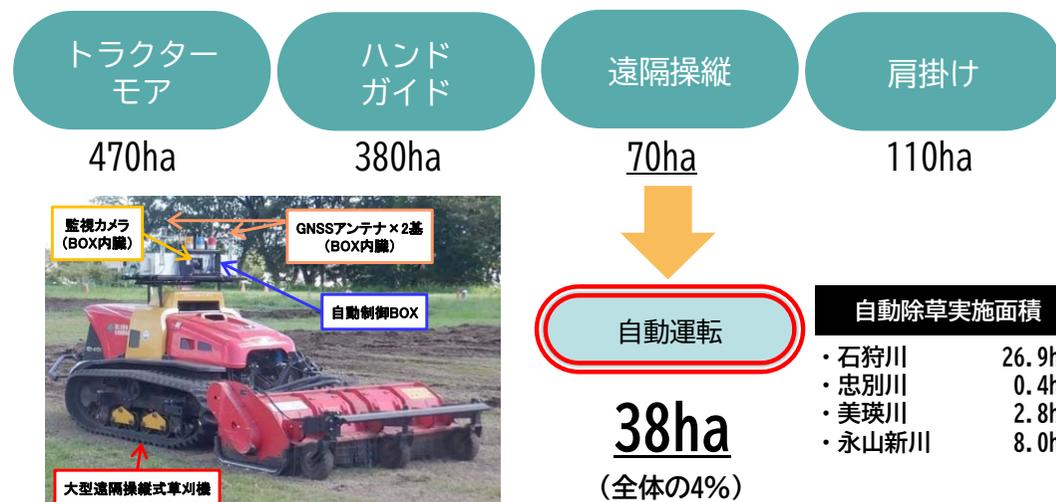
- 自動除草による試行工事を旭川河川事務所管内で実施した。
- 実施した施工業者は2社。旭川河川事務所が所有する2台の大型遠隔操縦式草刈機を協調運転で実施したため、除草時期はそれぞれ異なる。
- 実施場所は、初めての自動除草となることから、これまで遠隔操縦（ラジコン操作）により除草を行っていた箇所とした。



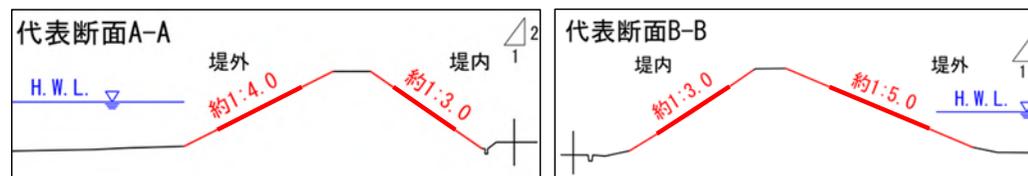
【場所】石狩川、忠別川、美瑛川、永山新川

【時期】令和7年6月～令和7年9月

【旭川河川事務所管内全体の除草面積】

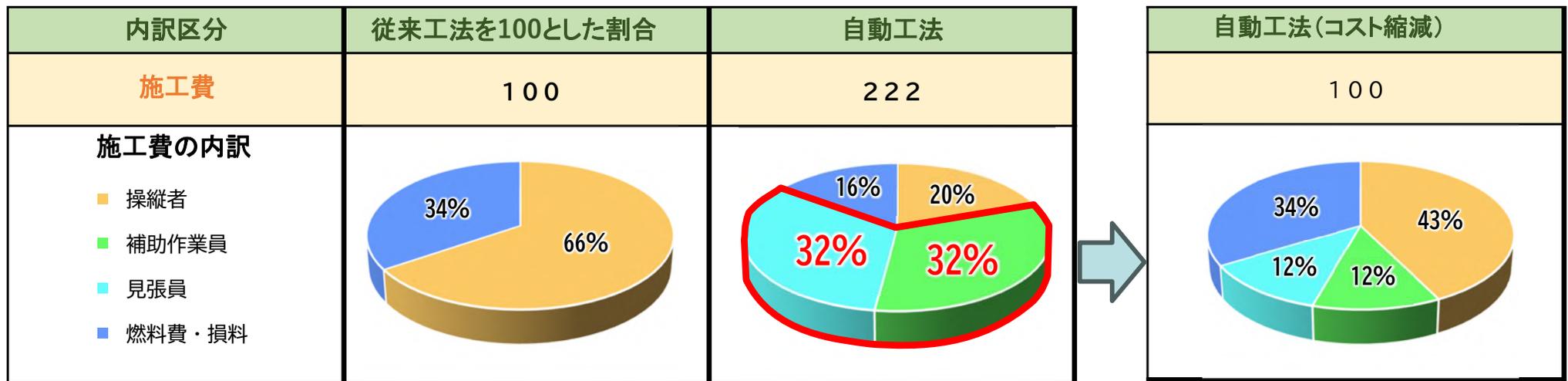


■石狩川の代表断面



# 経済性の評価結果 (1 / 2)

- 従来工法（遠隔操縦除草）に比べ、コストが増加する結果となった。
- 増額の要因は、見張員と補助作業員を新たに配置したためであるが、施工業者へのヒアリングによると安全性への不安があったとのことである。
- 安全性への信頼を高めることにより、見張員と補助作業員を減らすことが可能であり、十分コストの縮減が可能である。





- 操縦者 (=監視者) が停止して操縦する場合、機体から離れてしまうため、人やモノの発見が遅れるという新たなリスクが生じた。
- 見張員と補助作業員を必要な場面でのみ配置となるような技術的な検討や施工方法の工夫を検討する必要がある。

## 》 (新たなリスクと解決)

### 人やモノの発見が遅れる

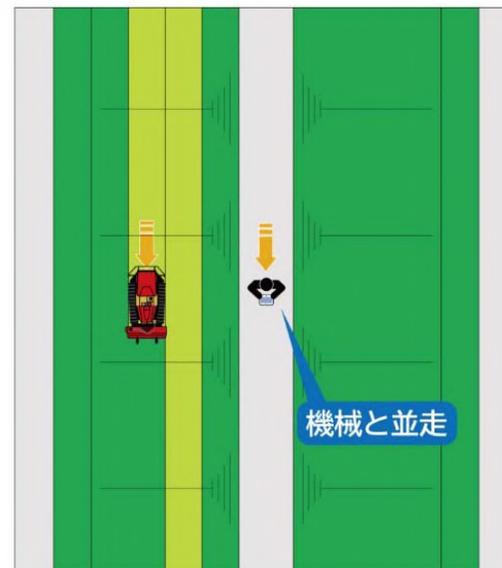
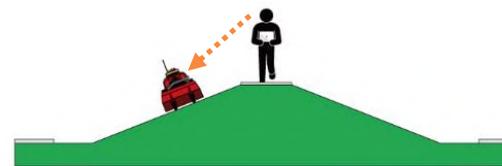
※ 従来は操作員が第三者及び障害物の接近時に停止していた

#### 解決策

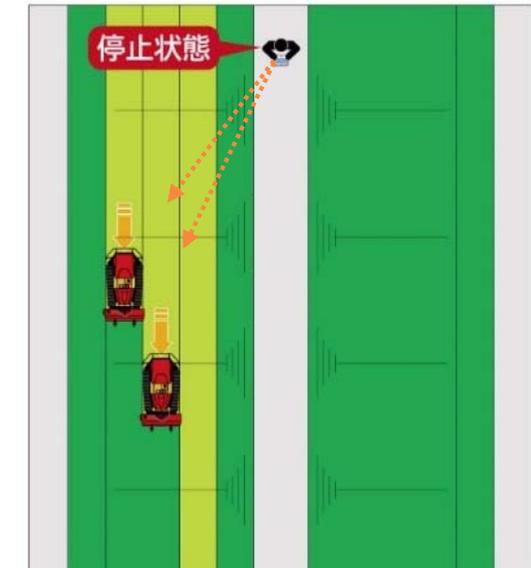
- ・ 周辺探知機能
- ・ 接触自動停止装置



### 従来工法 (ラジコン操作)



### 自動化



## 自動除草機械に搭載されたカメラからの視認性



- (刈り残し) **ほぼ無し**

※ 勾配が2割に近い堤防では、後退時に機体が滑ることがあり、自動ルート補正により刈り残しが発生することがあったが、品質上問題になるような状態ではなかった。

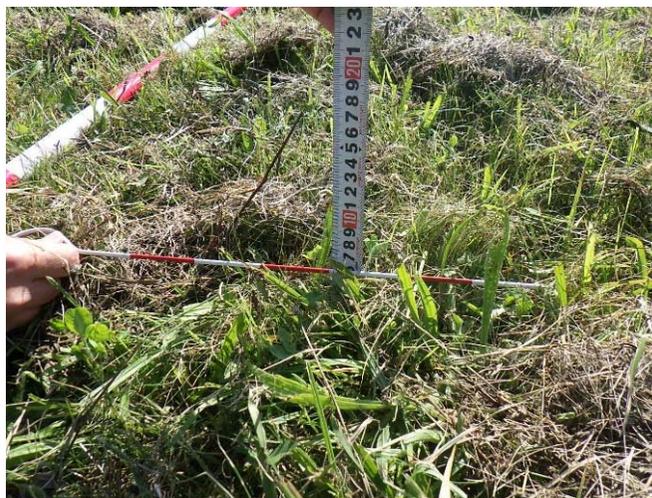
- (刈り高) **ほぼ10cm以下で施工され仕様を満足**

※ バック施工時のダウンカットではうまく刈れないことがあり、なぎ倒された状態で残ってしまう場合があったが、品質上問題になるような状態ではなかった。

- 機体が法肩の寺勾配での滑りを補正しようとした結果、一部キャタピラ痕が残る場合があったが、管理上支障となる堤防の損傷ではなかった。



刈り残しの状況



刈り高の状況



履帯（キャタピラ）痕の状況

## 施工性（技術的課題）

- 遠隔操縦（ラジコン操作）に比べ、円滑な作業を妨げるような事象があったが、改善の検討を進めた。

### 頻繁にとまる

衛星ロストが起こると、作業が中断されるとともに、プログラムの再設定が必要となる

**改善策** RTKによる補完

### 遠隔操作が手間

次のエリアを除草するために、スタート地点までラジコン操作が必要となる

**改善策** プログラムの改良

### 操作性

タブレットとラジコンコントローラーが別々のため、補助作業員が必要となった

**改善策** タブレットとラジコンコントローラーの一体化



## 安全性（見張員と補助作業員の縮減）

- 見張員を必要な場面でのみ配置し、安全に自動除草が可能となる施工方法を検討する必要がある。

### 従来工法（遠隔操縦除草）

大型除草機械1台に対してラジコン操縦機を持った操縦者1名で作業を行っている

### 自動除草

今年度の試行工事（テストラン）では、大型除草機械2台に対してタブレットを持った操縦者1名と緊急停止を行うためのラジコン操縦機を持った補助作業員1名、さらに見張員2名で作業を行った

### 解決策

今年度はテストランという位置づけであったため、見張員と補助作業員を常時配置したが、一定の安全性は確認できたため、本格的な運用の際はある程度、削減できると思われる

一方で、操作員だけでは、人やモノを十分に確認できない場面もあったため、安全に自動除草が可能となるような施工方法を検討する必要がある



## 施工方法の工夫 | 直線区間

### 「機体と並走」パターン

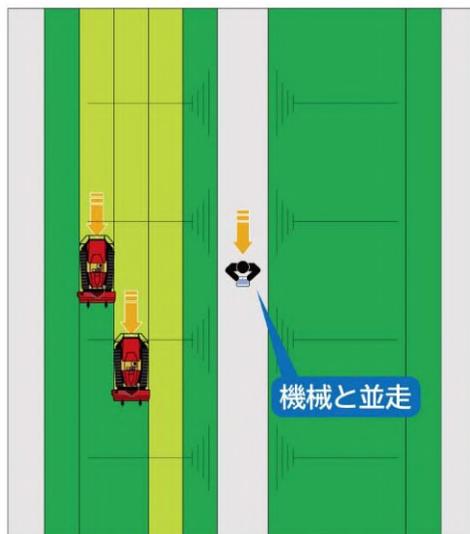
①従来工法  
(ラジコン操作)

機械目視状況：○



②自動化  
(雁行運転)

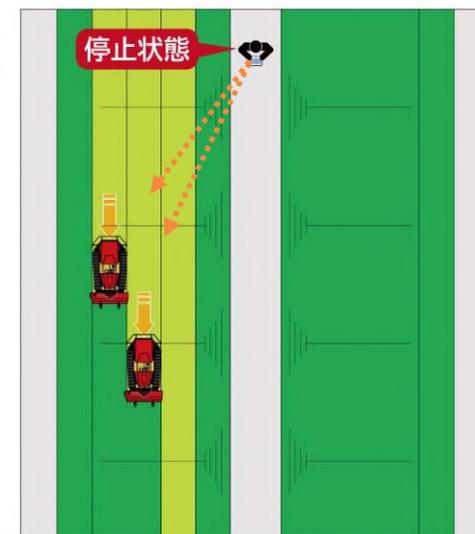
機械目視状況：○



### 「停止」パターン

③自動化  
(雁行運転)

機械目視状況：△  
施工範囲に限界あり



(離れすぎると機体が見えない)

## 施工方法の工夫 | 直線区間

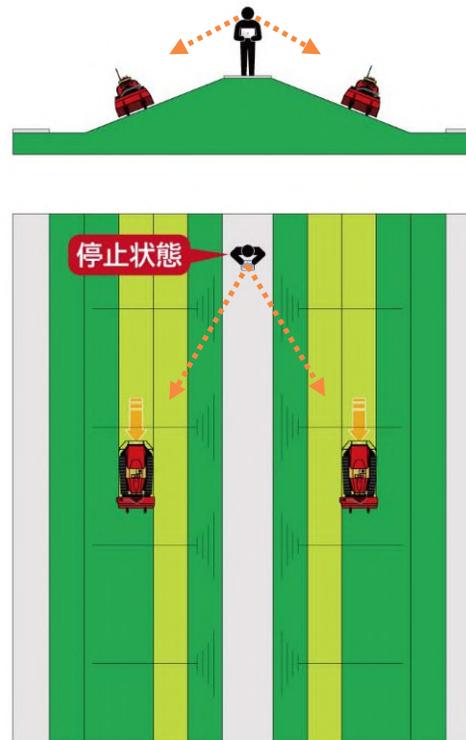
「機体と並走」パターン

- ④自動化  
(堤内外並走運転)  
機械目視状況：○



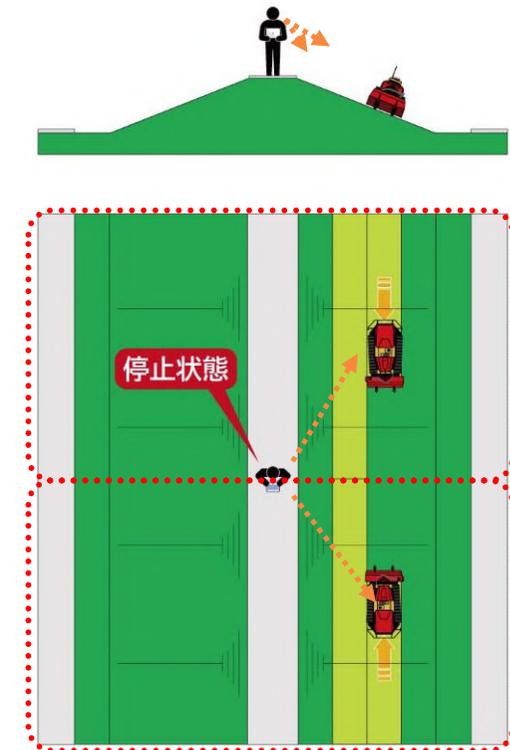
「停止」パターン

- ⑤自動化  
(堤内外並走運転)  
機械目視状況：△  
施行範囲に限界あり



(離れすぎると機体が見えない)

- ⑥自動化  
(別エリア運転)  
機械目視状況：△  
施工範囲に限界あり



(離れすぎると機体が見えない)

## 施工方法の工夫 | 湾曲区間

### 「機体と並走」パターン

#### ⑦自動化 （雁行運転）

機械目視状況：○



### 「停止」パターン

#### ⑧自動化 （雁行運転）

機械目視状況：△  
施工範囲に限界あり



（離れすぎると機体が見えない）

## 施工方法の工夫 | 湾曲区間

### 「停止」パターン

⑧自動化  
(雁行運転)

機械目視状況：△  
施工範囲に限界あり



(離れすぎると機体が見えない)

⑨自動化  
(堤内外並走運転)

機械目視状況：×



堤防が死角となり目視できない



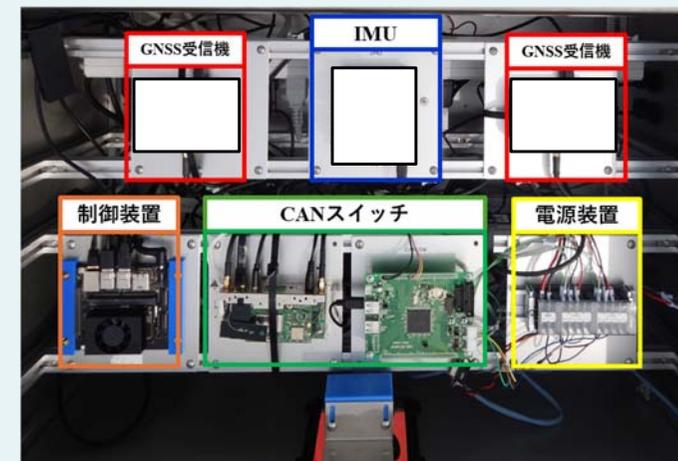
草丈が高く目視できない



## 事故における責任の所在

- 現時点で自動施工機械については、労働安全衛生法等の法律による規定がなされておらず、除草作業に限っては、肩掛け式の除草機械のみが、安全衛生教育を実施することが規定されている。
- 自動除草中の事故における責任の所在については、発注者と受注者の相互間において確認しておく必要がある。

	責 任 (案)
発注者	<ul style="list-style-type: none"><li>■ プログラムの貸与<ul style="list-style-type: none"><li>・ 自動制御装置の不備 (誤操作など)</li><li>・ リモコン送信器の不備 (緊急停止無作動など)</li></ul></li><li>■ 大型遠隔操縦式草刈機の貸与<ul style="list-style-type: none"><li>・ 受注者の過失によらない故障 (機械の老朽化、初期不良など) については発注者が修理を行う</li></ul></li></ul>
受注者	<ul style="list-style-type: none"><li>■ プログラム・大型遠隔操縦式草刈機の貸与<ul style="list-style-type: none"><li>・ 貸付期間中の機械故障は受注者が行う</li></ul></li><li>■ ガイドライン (案) に記載された内容を怠った場合</li></ul>



## 施行性・安全性の向上検討

- 引き続き旭川河川事務所管内での試行工事を行い、施工性・安全性の向上検討を行う。

### ①衛星ロスト対応

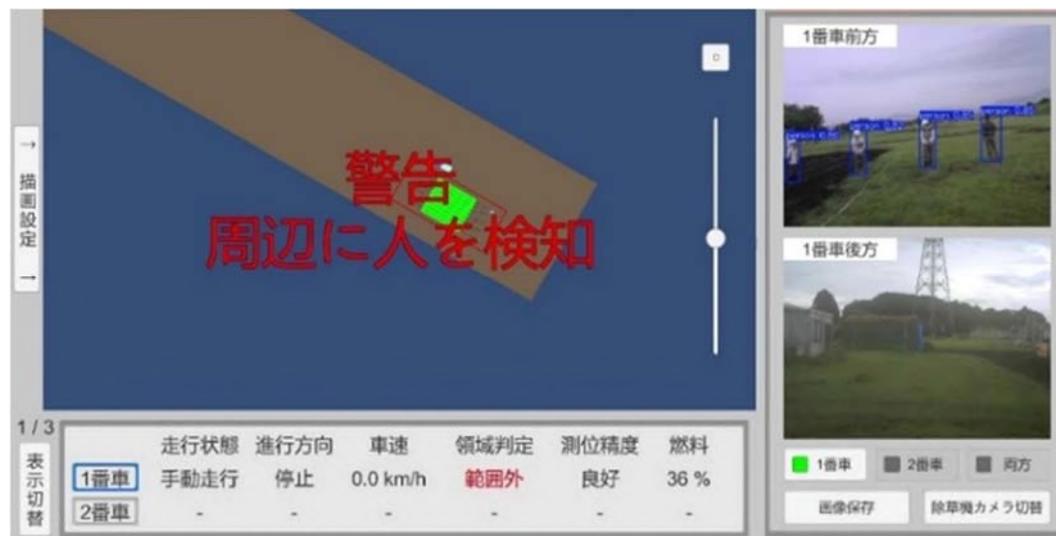
全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System) の通信障害を補完する目的で「RTK (Real Time Kinematic)」を導入し、試験施工を行う。

### ②周辺探知機能対応

人やモノをAI検知して衝突を防ぐ周辺探知機能の実装に向け検討を進める。  
現在は、機体周囲10~50m以内の人やモノを検知し、タブレットへ通知できるところまで可能であるが、草丈によって探知できない場合もあるため、今後検討を進めることも確認した。

### ③施工方法の違いによる安全性検証

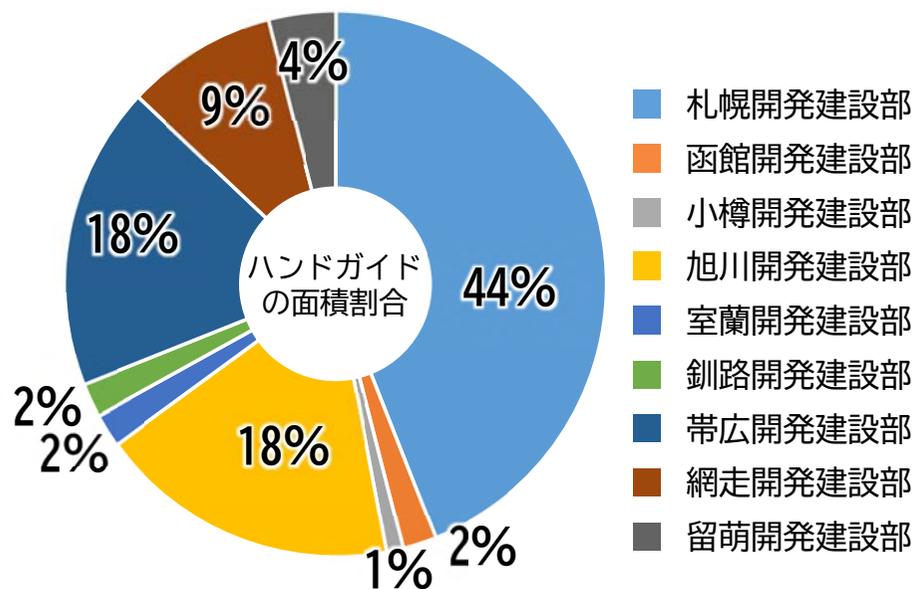
安全の信頼性を確保するため、当面、自動草刈機2台に並走して監視者を置くことが現実的である。  
実作業において、2台同時に監視することが可能かを検証する。



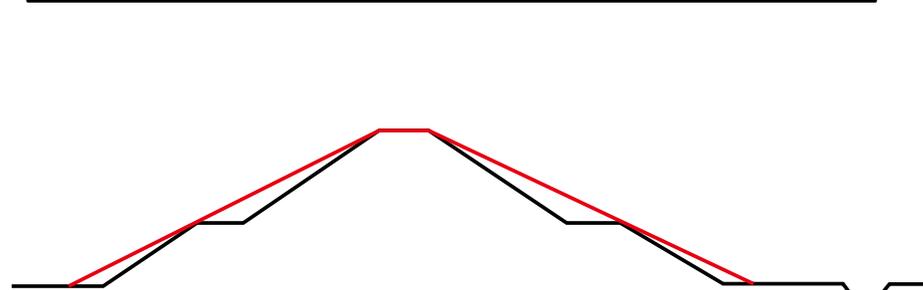
## 施工箇所 の 拡大

- 安全対策の課題はあるものの現地状況に応じた課題を新たに抽出するため、施工箇所の拡大を行う。
- 自動除草が可能な大型遠隔操縦式草刈機の導入については、ハンドガイドによる除草面積の割合が高い河川を優先的に行う。
- また、自動化の施工可能箇所の拡大のため、堤防の緩勾配化（一枚法化）を推進する。

項目	概要	R5	R6	R7	R8	R9	R10
SMART-Grass	ICTを活用した堤防除草の自動化	現地実証試験 2台協調運転 (平坦地)	現地実証試験 2台協調運転 (堤防)	試行	試行 (実施河川の拡大)	試行(実施河川の拡大) 試行実施後の河川から本格運用	



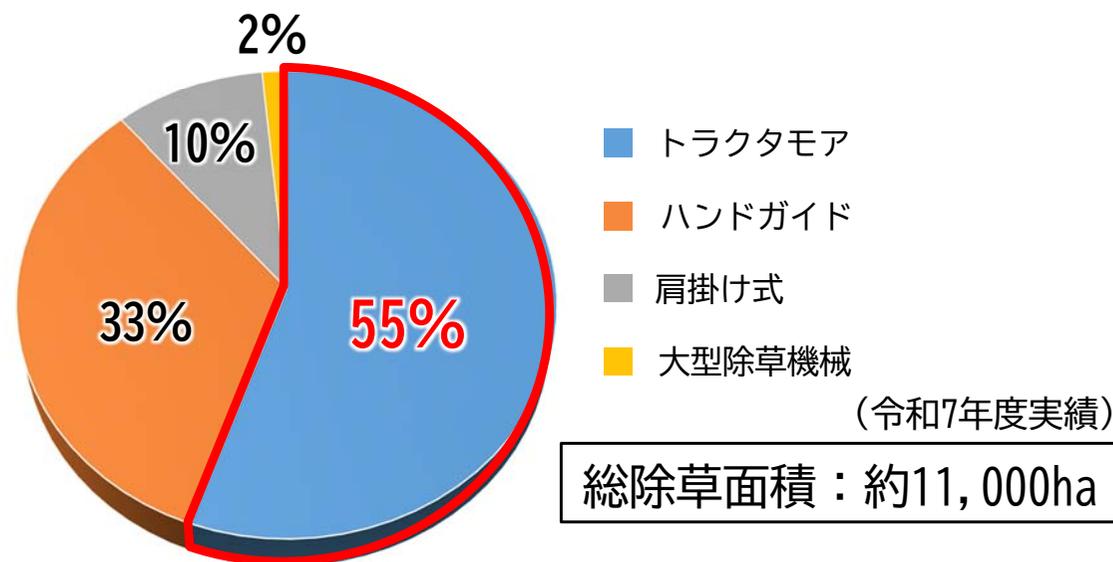
基本イメージ（道内使用の除草機種）



## トラクターモアへの適用検討

- トラクターモアによる除草は、総除草面積の55%を占めており、その効果は大きい。
- 除草の効率化を図るため、官主導による大型除草機械を導入した経緯から大型除草機械の自動化の検証を重ねてきたが、トラクターモアへの自動化の適用については、令和3年度での適用検討で、その実証性は確認されている。
- 今後、さらに大型除草機械の自動化にともなう安全への信頼が高まれば、すでに市場にて汎用されているトラクターについても、自動化に向け検討を行う。

令和3年度の試験の様子



## 2 除草自動化の技術検討について

## 1. 第1回実証試験・第2回実証試験概要

### ① 目的

機械除草自動化システムの操作性向上の検討を進めるため、自動運転の実証試験を実施  
実証試験の検証結果を解析し、課題改善方法の検討、システム修正等を実施

#### 実証試験内容

検証項目	検証時期
1. 自動走行エリア内からの自動走行開始条件	第1回・第2回実証試験
2. 測位方式の自動切替	第1回・第2回実証試験
3. 接触自動停止技術	第2回実証試験
4. 周辺探知機能	第1回実証試験
5. 構成機器等の簡素化・実用化（複数の方位検出方法）	第1回・第2回実証試験
6. 構成機器等の簡素化・実用化（最終仕様候補での安定性確認）	第2回実証試験

### ② 実施時期

第1回実証試験：令和7年7月14日(月)～8月1日(金)

第2回実証試験：令和7年9月29日(月)～10月10日(金)

### ③ 実施場所

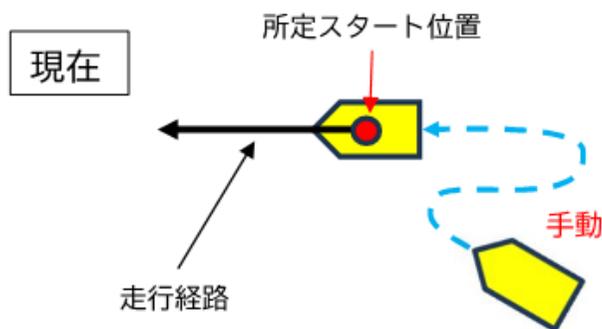
第1回実証試験：石狩川 伊納築堤の一部（勾配 1:3～1:4程度、合計面積 約14,732㎡）

第2回実証試験：石狩川 忠和築堤の一部（勾配 1:2～1:4程度、合計面積 約45,935㎡）

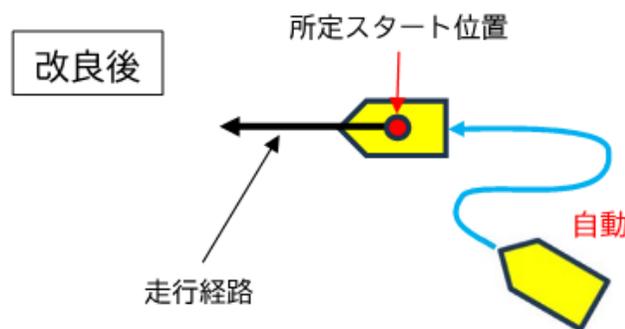
## 1-1. 自動走行エリア内からの自動走行開始

### 【検討・検証内容】

- 現在、手動で車両をスタート位置に配置後、自動走行を開始。スタート位置に正確に車両を配置するのに手間と時間を要している。
- 作業エリア内の任意の位置に配置後、スタート位置に草刈機が自動で移動し、施工を開始するように改良し、動作確認を行った。
- 単独運転、2台協調運転において、自動走行開始条件（配置条件、運転動作等）を変更し検証した。



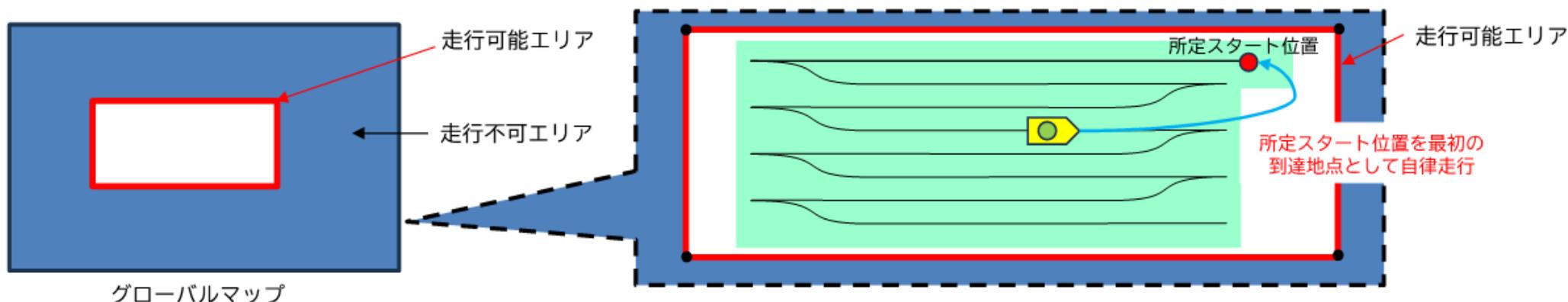
手動でスタート位置に車両を設置してから自動走行開始



スタート位置まで自律移動して作業を開始する

### 【プログラム改良】

- 「走行可能エリア」を設定、このエリア外はグローバルマップにて走行不可とし、所定スタート位置までの移動を制限した。
- 任意の位置から所定スタート位置までの経路は、「走行可能エリア」の範囲内においてローカルプランナーにて自動生成した。

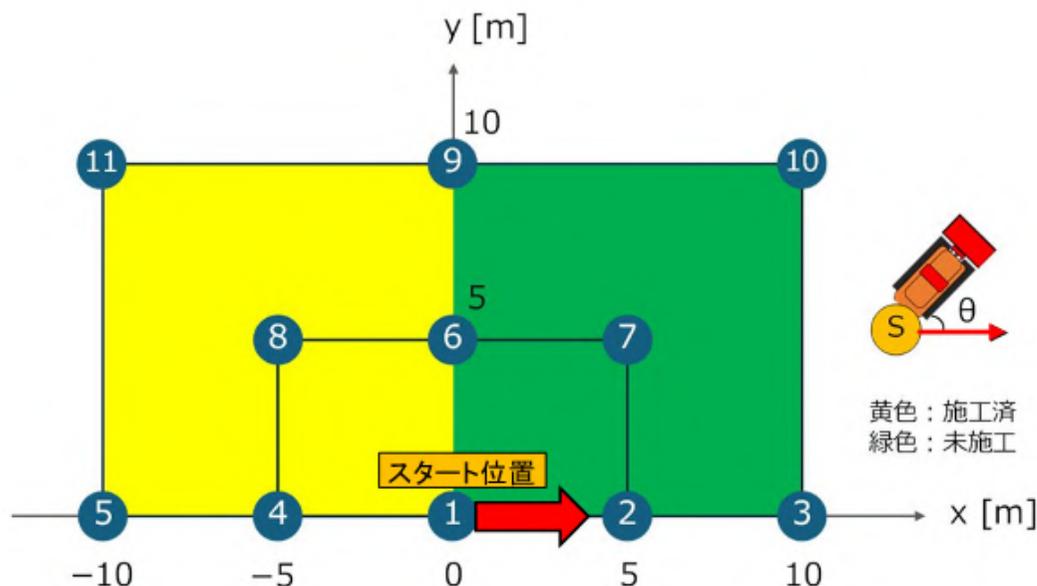


走行可能エリアの設定

## 1-1. 自動走行エリア内からの自動走行開始

### (1) 単独運転 (矩形)

- スタート位置までの距離(x, y)およびスタート位置に対する車両角度 $\theta$ を変化させて検証した。



エリア逸脱線

イメージ図

自動走行開始地点【距離】

番号 (x,y)[m]

① (0,0)

② (5,0)

③ (10,0)

④ (-5,0)

⑤ (-10,0)

⑥ (0,5)

⑦ (5,5)

⑧ (-5,5)

⑨ (0,10)

⑩ (10,10)

⑪ (-10,10)

自動走行開始地点【角度】

$\theta$ [°]

0

45

90

135

180

225

270

315

# 3. 第1回実証試験ならびに第2回実証試験

## 1-1. 自動走行エリア内からの自動走行開始

### (2) 実証試験結果まとめ

#### 【単独運転】

- 走行エリアが矩形の場合、すべてのスタート地点で自動走行開始が可能であることが確認できた。但し、 $\Theta=135, 180, 225^\circ$  で走行可能エリアから逸脱し停止することがあった。
- 走行エリアが矩形以外でスタート位置が狭いエリアにある場合、エリア逸脱により草刈機が途中停止するため、自動走行開始は難しい。
- 4つの施工エリアが隣接している場所で、前のエリアのゴール地点から次の施工エリアのスタート地点へ、連続して自動走行開始を行った結果、自動走行開始が可能であると確認できた。
- 天端からの自動走行開始は可能であったが、通行する人や車両等の回避、寺勾配の回避などの課題が多い。

#### 【2台協調運転】

- 別エリア運転（縦断）および別エリア運転（堤内・堤外）については、問題なく自動走行開始が可能であると確認できた。
- 別エリア運転（横断）では、1番車と2番車のスタート位置が近いと、スタート位置まで移動する際に草刈機同士の接近により途中停止する場面があったものの、自動走行開始は可能であると確認できた。
- 雁行運転については、自動走行開始時の配置条件により自動走行開始の可否が分かれる結果であった。自動走行開始の失敗は、走行可能エリアからの逸脱もしくは草刈機同士の接近によるものであった。

試験結果一覧

	単独運転		
	矩形のエリア	矩形以外のエリア	天端からの自動走行
判定	○(82箇所・ $\Theta$ ) ○●(3箇所・ $\Theta$ ) ○▲(3箇所・ $\Theta$ )	●	○

	単独運転・隣接したエリアへの自動走行			
	1回目	2回目	3回目	4回目
判定	○	○	○	○

○:自動走行開始可能 ●:自動走行開始失敗  
▲:自動走行を開始できたが、開始するまでに時間がかかった

	別エリア運転		
	横断	縦断	堤内・堤外
判定	●○	○○	○○

	雁行運転	
	配置条件	判定
判定	2番車を1番車の後ろに配置する場合	○○
	2台とも進行方向と逆向きに配置した場合	●○
	1番車を2番車の後ろに配置する場合	●
	2台を任意の場所に配置した場合	●○
	施工開始位置の前方に配置した場合	●

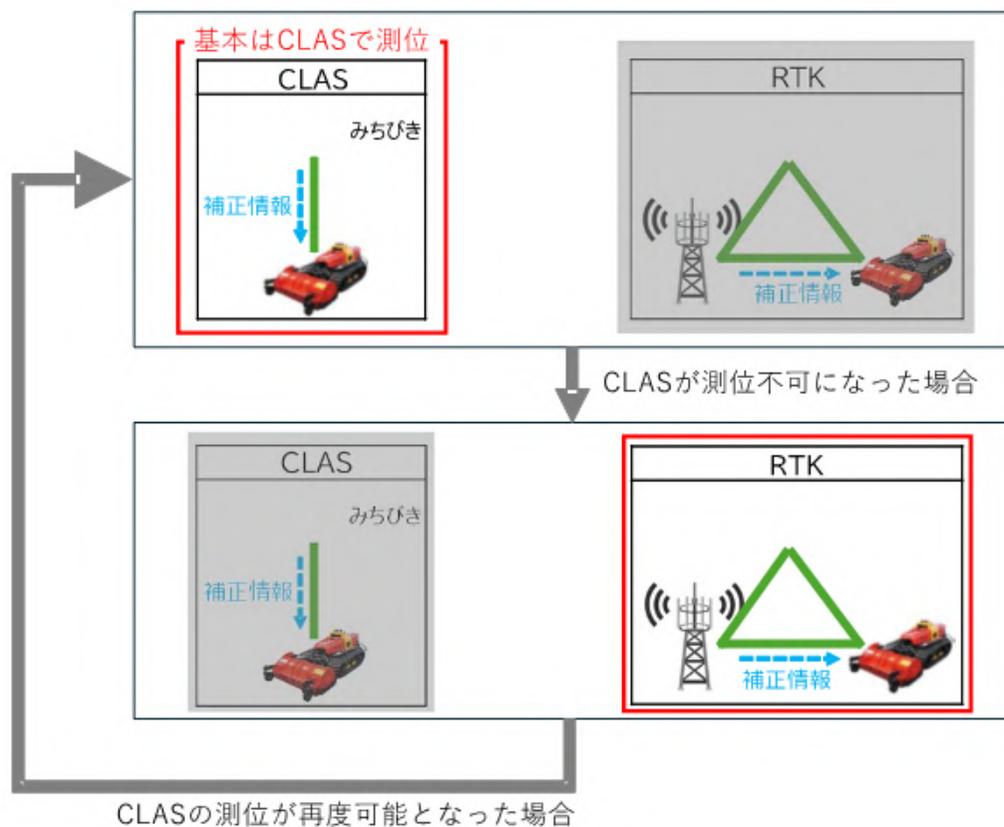
## 1-2. 測位方式の自動切替

### 【検討・検証内容】

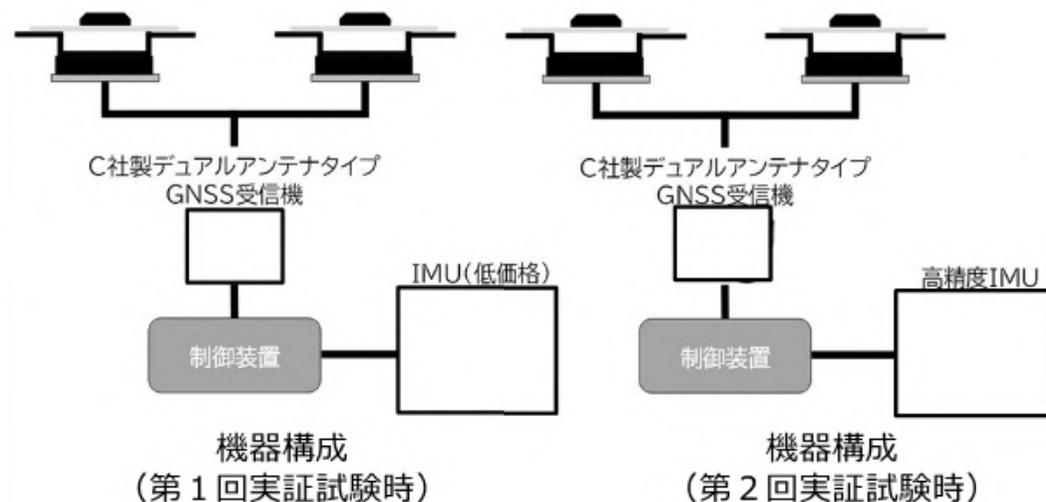
- 自動運転中にセンチメートル級測位補強サービス（以下、CLAS）による位置情報が取得不可になった際にリアルタイムキネマティック（以下、RTK）への自動切替を検討した。
- 使用機器は、CLAS⇄RTKの自動切替に対応しているC社デュアルアンテナタイプのGNSS受信機とした。

検証内容は以下の2つを実施した。

- ✓ (1) CLAS測位、RTK測位、CLAS⇄RTK自動切替の3通りの測位方式で自動走行精度を確認した。
- ✓ (2) CLASからRTKに切り替わる際のログデータ出力結果より、自動切替が正常に行われていることを確認した。



自動切替のイメージ図



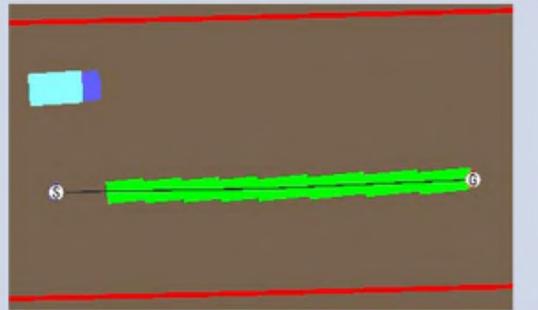
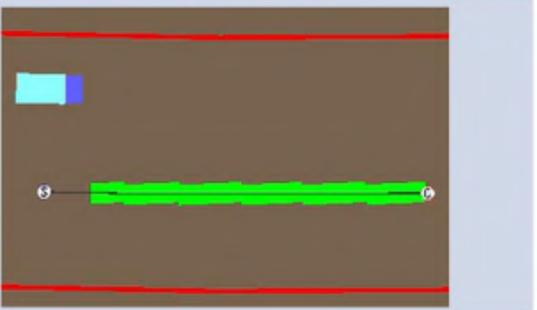
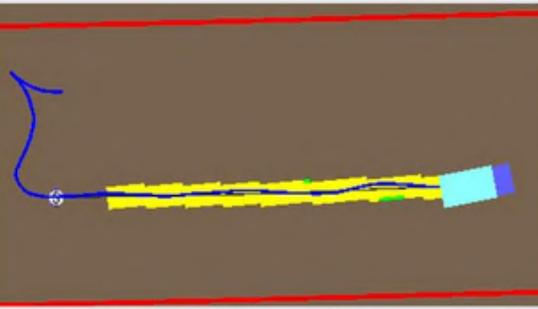
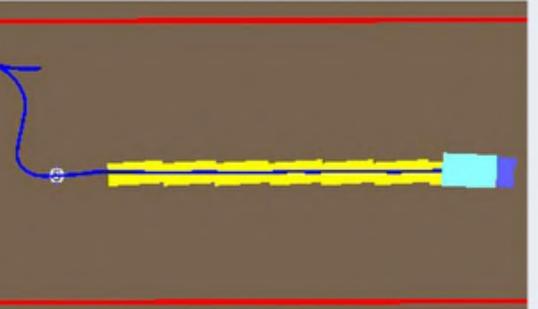
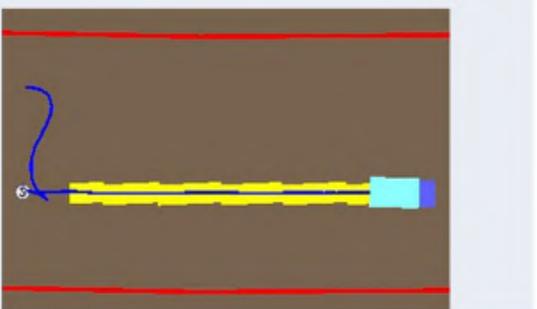
第1回、第2回実証試験でIMUが違うのは、別試験の都合によるもの

# 1. 令和7年度実証試験

## (1) 測位方式の自動切替 (自動走行精度の確認)

### 【実証試験結果】

- CLAS測位、RTK測位、CLAS⇔RTK自動切替の3通りの測位方式で自動走行精度の確認を行い、いずれの測位方式においても良好な走行精度であった。

測位方式	CLAS	RTK	CLAS⇔RTK																								
自動走行前																											
自動走行後																											
走行精度	<table border="1"> <thead> <tr> <th>行程</th> <th>測定点</th> <th>平均ズレ量</th> <th>最大ズレ量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①</td> <td>直線</td> <td>139</td> <td>330</td> </tr> </tbody> </table>	行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量	①	直線	139	330	<table border="1"> <thead> <tr> <th>行程</th> <th>測定点</th> <th>平均ズレ量</th> <th>最大ズレ量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①</td> <td>直線</td> <td>85</td> <td>240</td> </tr> </tbody> </table>	行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量	①	直線	85	240	<table border="1"> <thead> <tr> <th>行程</th> <th>測定点</th> <th>平均ズレ量</th> <th>最大ズレ量</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>①</td> <td>直線</td> <td>99</td> <td>270</td> </tr> </tbody> </table>	行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量	①	直線	99	270
行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量																								
①	直線	139	330																								
行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量																								
①	直線	85	240																								
行程	測定点	平均ズレ量	最大ズレ量																								
①	直線	99	270																								

単位【mm】

単位【mm】

単位【mm】

 は許容値±250mm超過を示す

# 1. 令和7年度実証試験

## (2) 測位方式の自動切替 (自動切替の動作確認)

### 【実証試験結果】

- 測位状況に応じて、CLAS⇔RTKの自動切替が正常に行われていることが確認できた。

1:RTK測位  
2:CLAS測位

1: SINGLE 4: FIX  
2: DGPS/SBAS 5: FLOAT  
3: PPP

時刻	測位解出力元	緯度	北緯or南緯	経度	東経or西経	位置品質	測位使用衛星数
51800.4	2	4347.17131	N	14218.11735	E	4	12
51800.5	2	4347.171298	N	14218.11727	E	4	12
51800.6	2	4347.17129	N	14218.1172	E	4	12
51800.7	2	4347.171286	N	14218.11713	E	4	12
51800.8	2	4347.171279	N	14218.11706	E	4	12
51800.9	2	4347.171269	N	14218.11699	E	4	12
51801	2	4347.171261	N	14218.11692	E	4	12
51801.1	2	4347.171254	N	14218.11686	E	4	12
51801.2	2	4347.171246	N	14218.11679	E	4	12
51801.3	2	4347.171241	N	14218.11672	E	4	12
51801.4	2	4347.171232	N	14218.11666	E	4	12
51801.5	2	4347.171229	N	14218.11658	E	4	12
51801.6	2	4347.171201	N	14218.11648	E	2	12
51801.7	2	4347.171191	N	14218.1164	E	2	12
51801.8	2	4347.171181	N	14218.11632	E	2	12

～中略～

51804.9	2	4347.170843	N	14218.11398	E	2	12
51805	2	4347.170834	N	14218.11389	E	2	12
51805	1	4347.170847	N	14218.11395	E	5	15
51805.1	1	4347.17084	N	14218.11389	E	5	15
51805.2	1	4347.170836	N	14218.11385	E	5	15
51805.3	1	4347.170831	N	14218.11382	E	5	15
51805.4	1	4347.170829	N	14218.11381	E	5	15
51805.5	1	4347.170828	N	14218.1138	E	5	15
51805.6	1	4347.17083	N	14218.11381	E	5	15
51805.7	1	4347.170829	N	14218.11381	E	5	15
51805.8	1	4347.170828	N	14218.11381	E	5	15
51805.9	1	4347.170829	N	14218.11381	E	4	15
51806	1	4347.170829	N	14218.11381	E	4	15
51806.1	1	4347.170829	N	14218.11381	E	4	15

～中略～

CLASで  
FIX

CLASで  
DGPS/SBAS

RTKで  
FLOAT

RTKで  
FIX

1:RTK測位  
2:CLAS測位

1: SINGLE 4: FIX  
2: DGPS/SBAS 5: FLOAT  
3: PPP

時刻	測位解出力元	緯度	北緯or南緯	経度	東経or西経	位置品質	測位使用衛星数
51838.3	1	4347.168454	N	14218.09329	E	4	15
51838.4	1	4347.168445	N	14218.09322	E	4	15
51838.5	1	4347.168437	N	14218.09317	E	4	15
51838.6	1	4347.168432	N	14218.09312	E	4	15
51838.7	1	4347.168424	N	14218.09305	E	4	15
51838.8	1	4347.168414	N	14218.09298	E	4	15
51838.9	1	4347.168408	N	14218.09293	E	4	15
51839	1	4347.168403	N	14218.09287	E	4	15
51839.1	2	4347.168383	N	14218.0928	E	4	12
51839.2	2	4347.168372	N	14218.09273	E	4	12
51839.3	2	4347.168364	N	14218.09266	E	4	12
51839.4	2	4347.168355	N	14218.09258	E	4	12
51839.5	2	4347.16834	N	14218.09251	E	4	12
51839.6	2	4347.168329	N	14218.09242	E	4	12
51839.7	2	4347.168318	N	14218.09234	E	4	12
51839.8	2	4347.168309	N	14218.09226	E	4	12
51839.9	2	4347.168301	N	14218.09218	E	4	12

～中略～

RTKで  
FIX

CLASで  
FIX

### <参考>

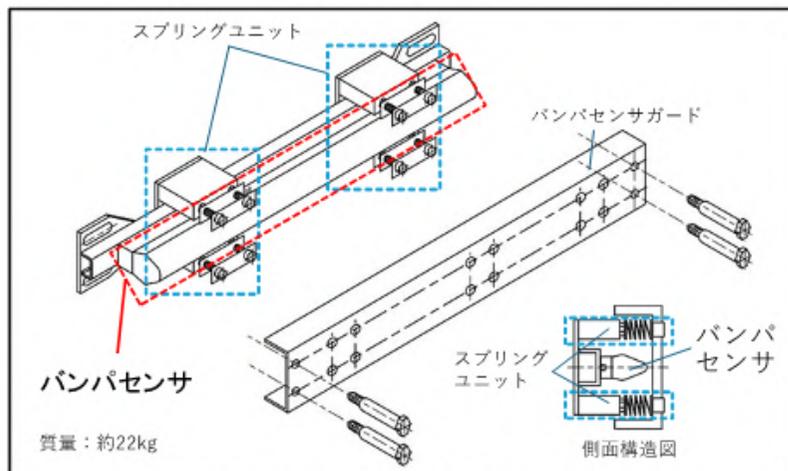
- ・ SINGLE  
→ 単独測位解 (精度: 数m~数十m)
- ・ DGPS/SBAS  
→ SBASの補強情報をデシムオーダの測位解 (精度: 数十cm~数m)
- ・ PPP  
→ MADOCAを用いたPPP測位解 (本取り組みではMADOCA信号は未使用)
- ・ FIX  
→ RTK測位/CLAS測位で補正情報を用いたcmオーダの測位解 (精度: 数cm)
- ・ FLOAT  
→ RTK測位/CLAS測位で補正情報は使用しているが、Fixしていない測位解 (精度: 数十cm~数m)

ログデータの出力結果 (csv出力したログデータを加工・抜粋)

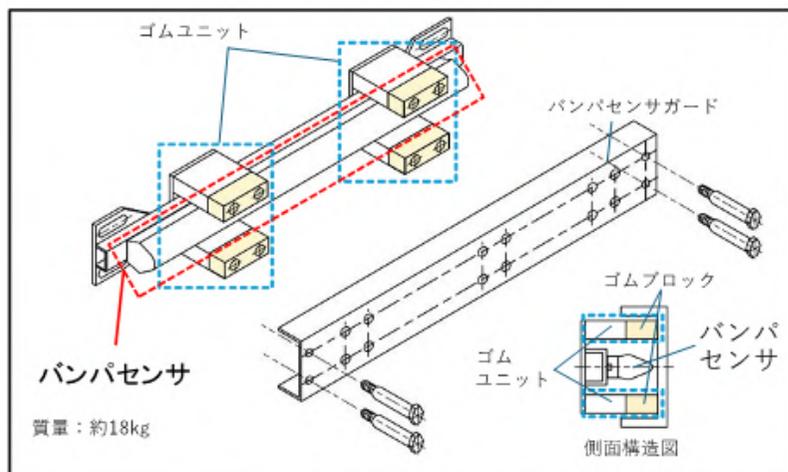
## 1-3. 接触自動停止技術

### 【検討・検証内容】

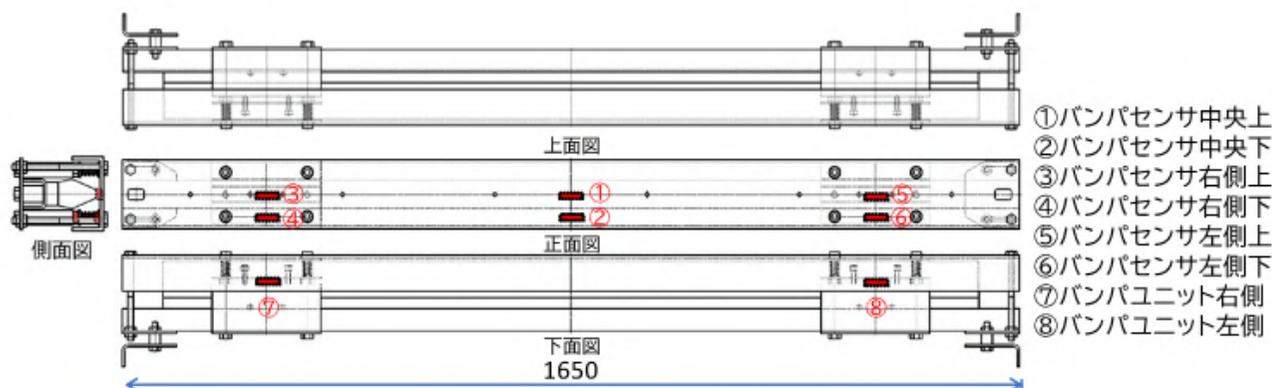
- パンパーセンサがイタドリ等の繁茂した草で作動せず、固定障害物等で作動（停止）することを目標とする。
- パンパセンサは物体と接触してから0.5秒後に停止する（0.5秒以上の荷重保持が条件）。
- ひずみゲージを用いて固定障害物等に接触した際の荷重を計測した。
- スプリングユニットパンパセンサ、ゴムユニットパンパセンサで動作確認をした。



バンパセンサ (スプリングユニット)

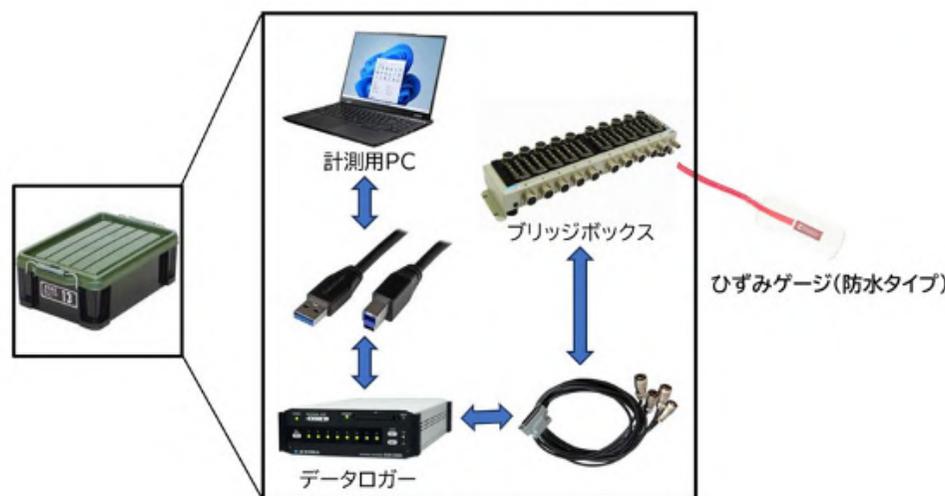


バンパセンサ (ゴムユニット)



- ①バンパセンサ中央上
- ②バンパセンサ中央下
- ③バンパセンサ右側上
- ④バンパセンサ右側下
- ⑤バンパセンサ左側上
- ⑥バンパセンサ左側下
- ⑦バンパユニット右側
- ⑧バンパユニット左側

ひずみゲージ貼付位置図



コンテナ内に格納(雨天考慮)  
荷重測定機器構成

# 1. 令和7年度実証試験

## 【実証試験結果】

- 草刈機を停止させ、人力でバンパセンサガードを押した時の『静的荷重』、時速4.0km/hで走行させ、バンパセンサガードに発生した『動的荷重』の2種類を測定
- ✓ 『静的荷重』計測では、バンパーセンサー中央で1,000N以上、端部で150N以上の荷重を0.5秒保持すると動作することが確認できた。
- ✓ 『動的荷重』計測では、ばね定数6N/mmを用いることにより、イタドリ等繁茂で不動作、固定障害物（筋交入り杭）で動作（停止）することが確認できた。



人力での荷重測定(静的荷重)



イタドリ等での測定(動的荷重)  
茎径:2~3cm 高さ:2m以上



固定地物を想定した筋交入り杭  
(動的荷重)

試験条件			静的荷重				動的荷重						
			人力		イタドリ等		杭(測量杭を模擬)		固定障害物(筋交入り杭)				
			バンパ中央	バンパ端部	バンパ中央	バンパ端部	バンパ中央	バンパ端部	バンパ中央	バンパ端部			
バンパ不動作荷重計測					最大荷重112N	最大荷重278N	最大荷重3,496N	最大荷重854N					
ばね定数・ゴム硬度条件			バンパセンサが『動作』する荷重確認				バンパセンサが『不動作』の方が良い		バンパセンサが『動作』する方が良い		バンパセンサが『動作』する方が良い		
ばね定数	強度	↑ 低 ↓ 高	2N/mm	動作 (0.5秒以上荷重保持) 最大荷重1,227N	動作 (0.5秒以上荷重保持) 最大荷重211N	動作 (頻繁に停止) 最大荷重594N	動作 (頻繁に停止) 最大荷重397N	— (イタドリ等で動作したため)		— (イタドリ等で動作したため)			
			3N/mm	動作 (0.5秒以上荷重保持) 最大荷重1,319N	動作 (0.5秒以上荷重保持) 最大荷重497N	動作 (繁茂した箇所で停止) 最大荷重505N	動作 (繁茂した箇所で停止) 最大荷重232N	— (イタドリ等で動作したため)		— (イタドリ等で動作したため)			
			6N/mm	不動作 (荷重保持が困難) 最大荷重626N	動作 (0.5秒以上荷重保持) 最大荷重177N	不動作 (0.5秒以内に荷重が落ちる) 最大荷重635N	不動作 (0.5秒以内に荷重が落ちる) 最大荷重262N	不動作 (杭が倒れる) 最大荷重1,921N	不動作 (杭が倒れる) 最大荷重719N	動作 (0.5秒以上荷重保持) 最大荷重13,267N	動作 (0.5秒以上荷重保持) 最大荷重460N		
			8N/mm	ばね定数6N/mmの条件が最適であるため未実施									
ゴム硬度	硬度	↑ 柔 ↓ 硬	ショアA33	不動作 (ゴムが変形しない) 最大荷重906N	不動作 (ゴムが変形しない) 最大荷重142N	不動作 (0.5秒以内に荷重が落ちる) 最大荷重845N	不動作 (0.5秒以内に荷重が落ちる) 最大荷重221N	不動作 (杭が倒れる) 最大荷重697N	不動作 (杭が倒れる) 最大荷重203N	不動作 (杭が折れる) 最大荷重8,239N	不動作 (杭が折れる) 最大荷重397N		
			ショアA50	ショアA33より高硬度になるため未実施									
			ショアA65	ショアA33より高硬度になるため未実施									

# 1. 令和7年度実証試験

## 1-4. 周辺探知技術

### 【使用機器の比較検討】

- 周辺探知技術で検知する物体（人、自転車、車両等）との距離が検出可能となる機器について、比較検討した。
- 維持業者とのヒアリングにおいて、第三者の人や車両が接近する場合、どの程度の距離で作業の一時中止等を行うかという問いに対して『（飛び石の危険があるため）20mは必要』との回答が多数だった。
- 上記の結果より、距離検出が20m程度確保できる技術、その他の要素（距離検出開発難易度など）も踏まえ、総合的に判断し、本検証ではステレオカメラおよびミリ波レーダを対象機器とした。

NO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
技術	ステレオカメラ	ミリ波レーダー	TOFカメラ	フラッシュLiDAR	3D-LiDAR	2D-LiDAR
<b>検出距離</b> ◎:15m以上 ○:10~14m ×:10m以下	~37m	~17m	~8m	~14m	~300m	~250m
<b>検出範囲</b> ◎:空間(広範囲) ○:空間(中範囲) ×:平面	立体 水平:90~130°程度 垂直:60~105°程度	立体 水平:80°程度 垂直:110°程度	立体 水平:75°程度 垂直:60°程度	立体 水平:70°程度 垂直:50°程度	立体 水平:180~360°程度 垂直:7.5~30°程度	平面 水平:180~360°程度 垂直:なし
<b>雨・日光などの影響</b> ◎:無し ○:SW側で誤検出軽減可能 ×:誤検出の可能性有り	SW側で誤検出軽減可能	無し	誤検出の可能性有り ※特に外乱光による干渉	SW側で誤検出軽減可能	SW側で誤検出軽減可能	SW側で誤検出軽減可能
<b>距離検出開発難易度</b> ◎:高 ×:低	低	低	低	低	高 (点群情報のため物体識別困難)	高 (点群情報のため物体識別困難)
<b>購入価格(1個あたり)</b> ◎:数万円~数十万円 ○:数万円~数百万円 ×:数十万円~数百万円	数万円~数百万円	数万円~数十万円	数万円~数十万円	数十万円	数十万円~数百万円	数万円~数百万円
<b>入手性</b> ◎:市場での取扱あり ×:国内での代理店なし	市場での取扱あり	市場での取扱あり	市場での取扱あり	国内での代理店なし	市場での取扱あり	市場での取扱あり
<b>総合評価</b> (◎:5 ○:3 ×:1)	26	28	20	20	20	18
<b>総評・コメント</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・物体(人、自転車、車両等)の検知や距離検出は可能である。</li> <li>・草むらの中にある物体(人、自転車、車両等)を検知することが可能なかを調査する必要がある。</li> <li>・検証に用いる機器について、評価機の借用が可能。</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・検出距離が短く、雨や日光の影響を受けやすいため、選定しない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・国内での代理店がなく、入手が困難であるため、選定しない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・点群情報のみのため、物体識別(人、車両、草など)ができないため、選定しない。</li> </ul>	

## 1-4. 周辺探知技術

### 【実施試験結果】

- ステレオカメラ・ミリ波レーダーともに距離検出は可能であった。
- 今回用いたステレオカメラは、草がない状態では、歩行者や自転車に搭乗した人物は37mまで検知可能であるが、草の繁茂状況次第では検知が出来なかった。
- 今回用いたステレオカメラは、人のみの検知であるため、車両を検知するためにはプログラム開発が必要であり、開発費とステレオカメラの購入費が発生するため、ミリ波レーダーよりもコストは高くなる。
- 今回用いたミリ波レーダーは、草がない状態では12mまで、草がある状態では5mまで検知可能であるが、検出距離が短い。
- 草がある状態においては、センサの設置場所の検討が必要であると考えられる。
- なお、従来方式のWEBカメラによる周辺探知は、過年度の成果より、草の中でも上半身が見えていれば、20mまで人物検知可能、草がない状態でも40mまでは人物や車両の検知が可能であり、今回の試行工事においても維持業者から好評であったため、今後はWEBカメラのみを使用した距離検出方法についても検討を進めていきたい。

草がある状態でのセンサと物体の距離検出の可否一覧

センサと物体の距離		37m	35m	30m	25m	20m	15m	10m	9m	8m	7m	6m	5m	4m	3m
ステレオカメラ	検知物														
	人	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1
	自転車	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1	○※1
	車両	×	×	×	×	×	×	○※2	○※2	○※2	○※2	○※2	○※2	○※2	○※2
ミリ波レーダー	検知物														
	人	—	—	—	—	—	×	○※3	○※3	○※3	○※3	○※3	○	○	○
	自転車	—	—	—	—	—	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4
	車両	—	—	—	—	—	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4	○※4

○※1：上半身が草で隠れた場合は検知しにくい、または検知不可

○※2：草で隠れたり、フロントガラスの反射状況によっては検知しにくい、または検知不可

○※3：無風状態や電波反射強度は高いものを所持している場合は検知できる可能性あり(検知しにく、または検知不可)

○※4：自転車や車両は電波反射強度が人よりも高いため検知可能と想定

×：検知不可

—：仕様範囲外

# 1. 令和7年度実証試験

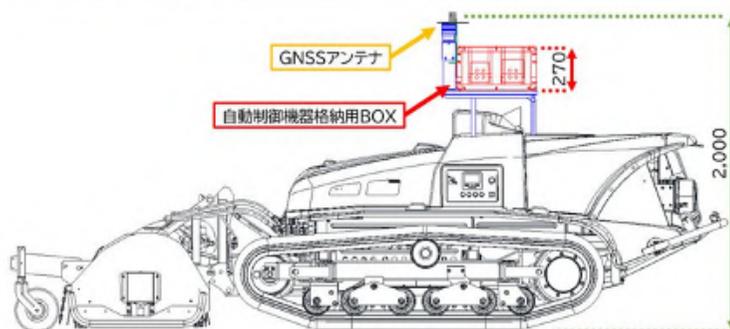
## 1-5. 構成機器等の簡素化・実用化（複数の方位検出方法）

### 【R6年度の検討・検証結果】

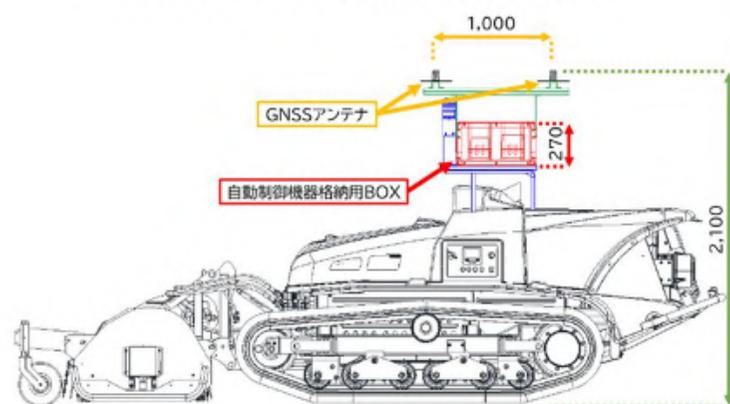
- 自動制御機器等の簡素化や廉価化(ランクを下げた機器の採用等)を目的に検証を行い、平地での走行精度の確認実施。

### 【R7年度の検討・検証内容】

- 過年度検討した結果から、右表の(1)~(6)について、傾斜地での走行精度を確認した。
- アンテナ位置について、機軸直角方向と機軸方向による走行精度も確認した。



GNSSアンテナ機軸直角方向(現状)



GNSSアンテナ機軸方向

### 方位検出の検証パターン

(1)現状	(2)
C社のシングルアンテナシステムの受信機2つ + 高精度IMU	C社のシングルアンテナシステムの受信機2つ + 低価格IMU
(3)	(4)
B社のデュアルアンテナシステムの受信機 (内蔵センサ使用)	C社のデュアルアンテナシステムの受信機 + 高精度IMU
(5)	(6)
C社のデュアルアンテナシステムの受信機 + 低価格IMU	A社のデュアルアンテナシステムの受信機 + 高精度IMU

# 1. 令和7年度実証試験

## 1-5. 構成機器等の簡素化・実用化（複数の方位検出方法）

### ② 実証試験結果（複数の方位検出方法）

廉価・簡素化候補

CLAS(メイン)⇔RTK(サブ)での有力候補

現状

#### 【実証試験結果】

- ① GNSS受信機+GNSSアンテナ毎の比較
  - 平均値では全て走行精度を満たしている。
  - 走行精度が高い順にデュアル(B社)→シングル×2(C社)→デュアル(C社)→デュアル(A社)となった。
- ② GNSSアンテナにおける機軸直角方向と機軸方向の比較
  - 機軸方向と機軸直角方向に差はない結果となった。
- ③ 自動制御機器類の簡素化・廉価を考慮
  - デュアル(B社)の内蔵IMUが良いと考えられる。
- ④ 測位方式の自動切替が可能な機器
  - デュアル(C社)×高精度IMUの組合せを用いる。

GNSS受信機+アンテナ	デュアル(B社)		デュアル(A社)		シングル×2(C社)		デュアル(C社)		デュアル(C社)		シングル×2(C社)	
	IMUまたはセンサ	測位方式	旋回	速度	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
測位方式	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS	CLAS
旋回	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック
速度	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h	4km/h
ズレ量 (mm)	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
直進①	90	210	166	240	88	190	92	210	90	490	87	310
直進②	68	210	104	230	69	200	79	170	91	160	102	210
直進③	83	140	98	300	74	140	88	160	62	170	67	240
直進④	64	160	106	410	63	230	74	150	91	250	82	210
直進⑤	75	160	103	290	74	200	89	200	61	150	75	130
直進⑥	74	180	104	260	65	210	75	170	90	200	85	260
直進⑦	80	190	79	190	77	160	77	180	62	180	71	180
直進⑧	76	160	100	250	66	150					104	310
直進⑨	82	150	97	190	73	190					68	240
直進⑩	70	160			67	150						
直進⑪	84	160			55	180						
直進⑫	60	140										
平均	75	168	106	262	70	182	82	177	78	229	82	232
各パターンの平均 (数値が低いほど高精度) ◎:~125 (ラップ幅の半分以下かつズレ量の超過がない) ○:125~250 (ラップ幅以下かつズレ量の超過がない) △:125~250 (ラップ幅以下だが部分的にズレ量の超過がある) ×:251~ (ラップ幅以上)	122	184	126	130	153	157						
廉価(概算価格)※ ◎:~105万円(従来の半額以下) ○:106~209万円(従来以下) △:210万円~315万円(従来の1.5倍以内) ×:従来の1.5倍額以上	◎	△	○	○	△	△						
簡素化 ◎:従来よりも更に簡素化 ○:従来よりも簡素化 △:従来と同等 ×:従来よりも増加	◎	○	△	○	○	△						
総合評価 ◎:5点 ○:3点 △:1点 ×:0点	15	7	7	6	5	3						

※概算価格は、草刈機1台あたりの機器費(GNSS受信機・GNSSアンテナ・IMU)、RTKを利用するための機器費・通信費(RTK通信(6ヶ月分)・LTEルーター)、機器の取付設置費、諸経費を示す

は許容値±250mm超過を示す

# 1. 令和7年度実証試験

## 1-6. 構成機器等の簡素化・実用化（最終仕様候補での安定性確認）

### (1) 走行ルートの子レ及び刈取率、測位不良の頻度の確認

#### 【検討・検証内容】

- 最終仕様候補（デュアルB社、デュアルC社）のGNSS受信機・IMU、GNSSアンテナを使用して、繰り返し走行を実施した。
- 走行ルートの子レおよび刈取率、測位不良の頻度の確認を行った。

#### 【実証試験結果】

- デュアル(B社)は安定した自動走行が確認され、刈取率は100%であった。また、総走行回数18回の内、測位不良は6%であり、測位不良時間も1~5秒と短い結果となった。
- デュアル(C社)のCLASとRTKによる自動走行は走行精度と刈取率に差は確認されなかった。ただし、測位不良の頻度に関しては、CLASで14%、RTKで0%であった。
- 安定性の確認結果より、自動走行はデュアル(B社)、デュアル(C社)でも安定した走行が可能であると考えられる。
- より測位不良を少なくする場合はRTKを活用するのが良いと考える。

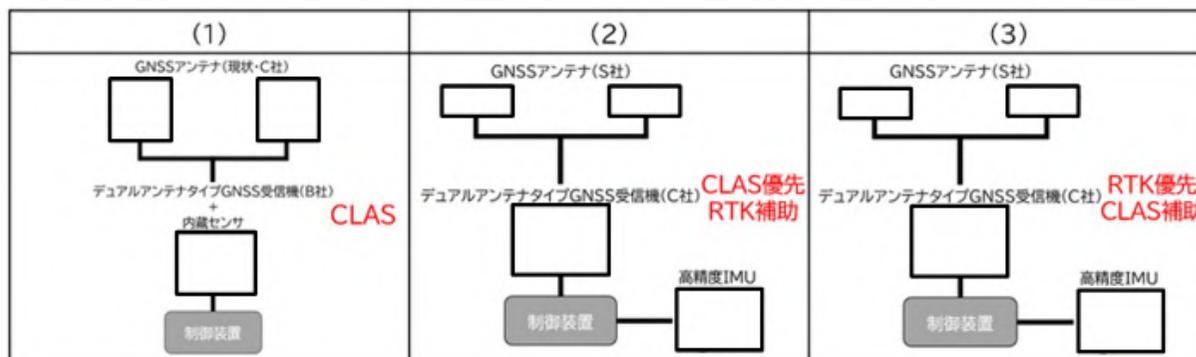
測位不良頻度・測位不良最大時間の一覧

	GNSS受信機	IMUセンサ	GNSSアンテナ	測位方式	総走行回数	測位不良頻度	測位不良最大時間
(1)	デュアル(B社)	内蔵	C社(付属)	CLAS	18回	6%	1~5秒程度
(2)	デュアル(C社)	高精度	S社	CLAS優先 RTK補助	7回	14%	20秒程度 (RTKへの切替に 時間がかかる)
(3)	デュアル(C社)	高精度	S社	RTK優先 CLAS補助	9回	0%	

走行精度一覧

	(1)		(2)		(3)	
	GNSS受信機	デュアル(B社)	デュアル(C社)	デュアル(C社)	デュアル(C社)	デュアル(C社)
アンテナ	C社(付属)	S社	S社			
IMU・センサ	内蔵	高精度	高精度			
速度	4km/h	4km/h	4km/h			
測位方式	CLAS	CLAS	RTK			
旋回	スイッチバック	スイッチバック	スイッチバック			
ズレ量(mm)	平均	最大	平均	最大	平均	最大
直線①	170	240	122	240	89	350
直線②	97	200	90	180	94	200
直線③	74	200	71	150	73	140
直線④	96	200	89	160	88	220
直線⑤	77	170	88	230	78	180
直線⑥	97	200	86	170	87	160
直線⑦	72	160	78	200	70	190
直線⑧	93	200	100	290	88	200
直線⑨	73	220	73	150	80	200
平均	94	199	89	197	83	204
全平均	147		143		144	
刈取率	100%		99.8%		99.8%	

は許容値±250mm超過を示す



# 1. 令和7年度実証試験

## 1-6. 構成機器等の簡素化・実用化（最終仕様候補での安定性確認）

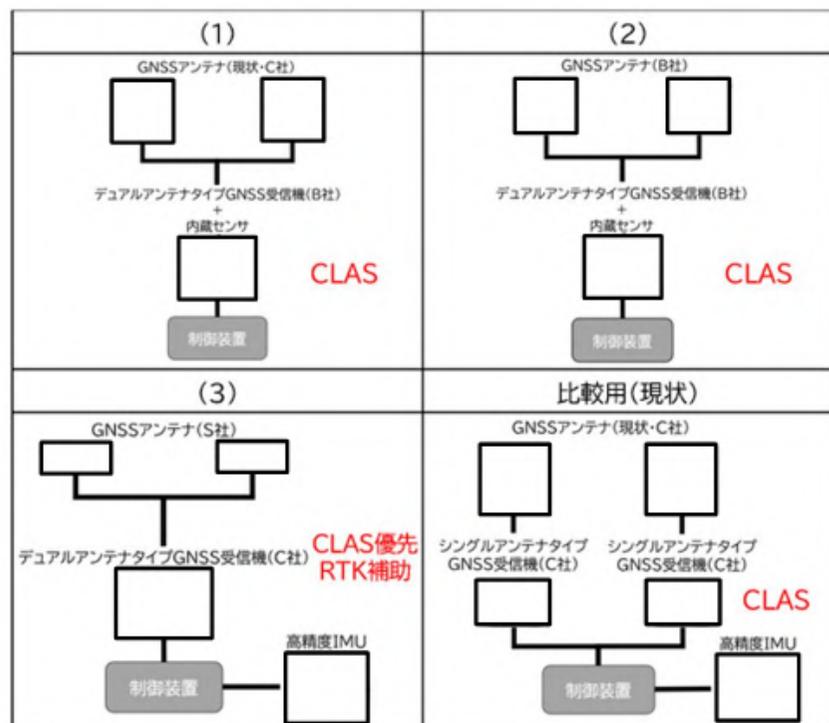
### (2)使用衛星数・DOP値

#### 【検討・検証内容】

- 最終仕様候補（デュアルB社、デュアルC社）のGNSS受信機・IMU、GNSSアンテナを使用して、繰り返し走行を実施した。
- GNSSアンテナを変えて、使用衛星数・DOP値の比較を行った。

#### 【実証試験結果】

- デュアル(B社)は使用衛星数が12、DOP値は0.81と安定した数値を出力していた。
- デュアル(B社)のGNSSアンテナをB社製にすることによって、測位精度が向上することが確認された。
- デュアル(C社)とシングル(C社)の使用衛星数とDOP値に差はなく、両者とも精度にばらつきが生じていた。
- 使用衛星数・DOP値の観点から考察するとデュアル(B社)が最も安定性があると考えられる。



使用衛星数・DOP値一覧

	GNSS受信機	IMU・センサ	GNSSアンテナ	測位方式	使用衛星数	DOP値
(1)	デュアル(B社)	内蔵	C社(付属)	CLAS	12	0.81
(2)	デュアル(B社)	内蔵	B社	CLAS	12	0.54~0.58
(3)	デュアル(C社)	高精度	S社	CLAS優先RTK補助	10~13	0.8~1.3
(4)	シングル(C社)	高精度	C社(付属)	CLAS	10~13	0.8~1.3

# 2. 令和8年度の取り組み

## 1. 検証項目概要

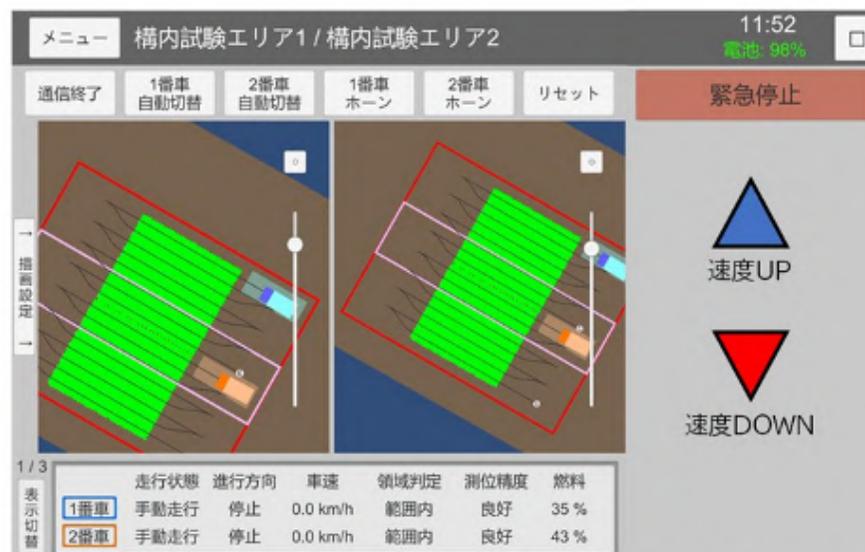
### (1) システム・除草自動化技術改修の検討

- 過年度の試行工事・実証試験において、確認された課題を改善するため、以下のシステム及び除草自動化技術の改修を検討し、実装、動作及び有効性確認を行う。

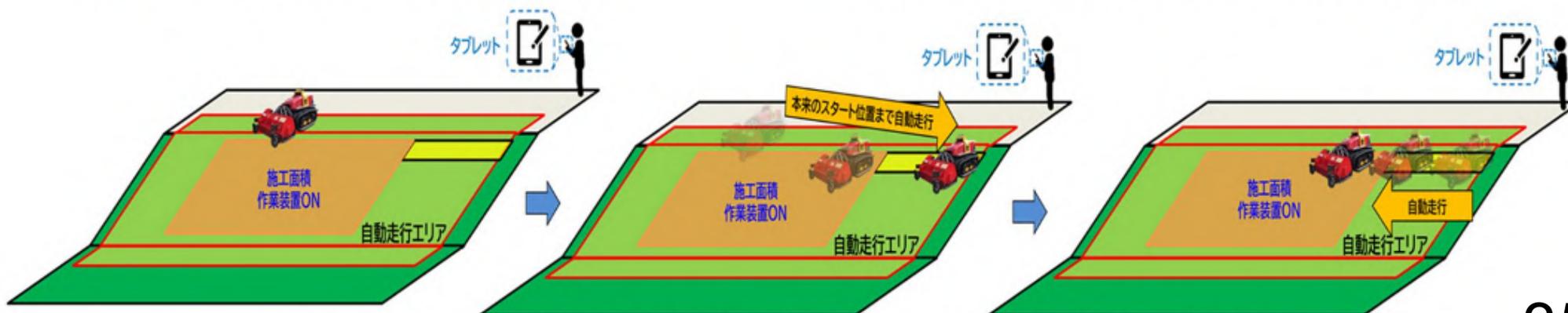
- ① 遠隔操作端末へのエラー表示・記録機能
- ② 自動施工中における遠隔操作での作業速度調整機能
- ③ 本来のスタート位置から離れた場所でも自動走行が可能となるシステムの操作性向上



① 遠隔操作端末へのエラー表示・記録機能



② 自動施工中における遠隔操作での作業速度調整機能



③ 本来のスタート位置から離れた場所でも自動走行が可能となるシステムの操作性向上

# 2. 令和8年度の取り組み

## 1. 検証項目概要

### (2) 接触停止技術の検討

- 過年度に製作した自動運転中の草刈機が障害物へ接触した際の草刈機本体の故障防止を目的とした接触自動停止機能について、適切なばね定数、ゴム硬度の選定のため、実装、動作及び有効性確認を行う。

#### 過年度実証試験



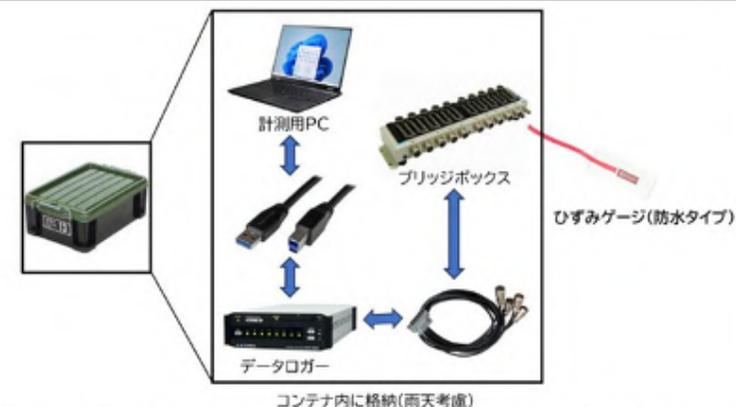
イタドリによる動作確認



測量杭を模擬した動作確認

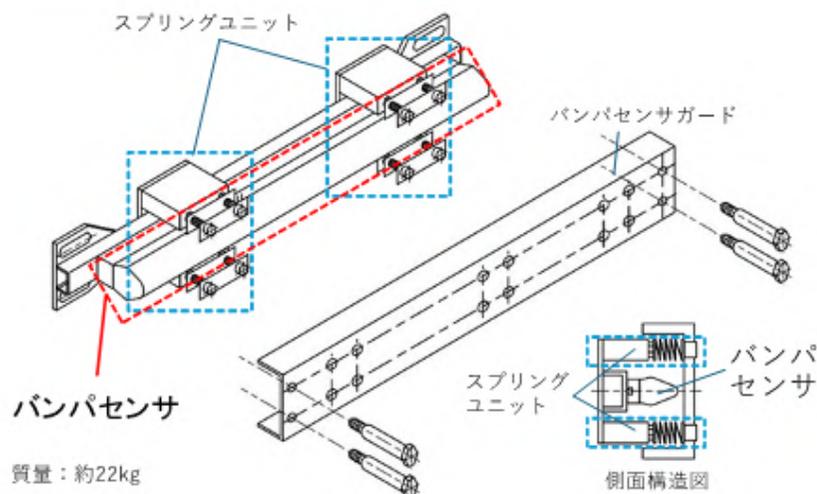


固定地物を想定した動作確認

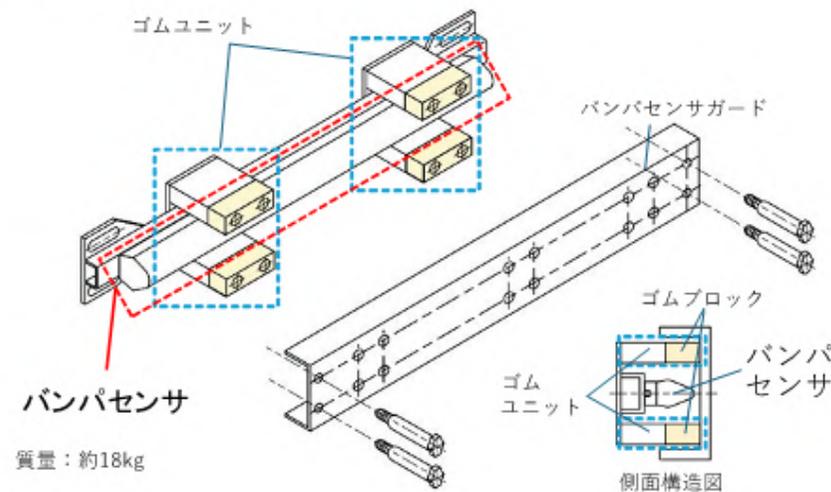


ひずみゲージを用いた荷重計測の機器構成

#### スプリング式



#### ゴム式

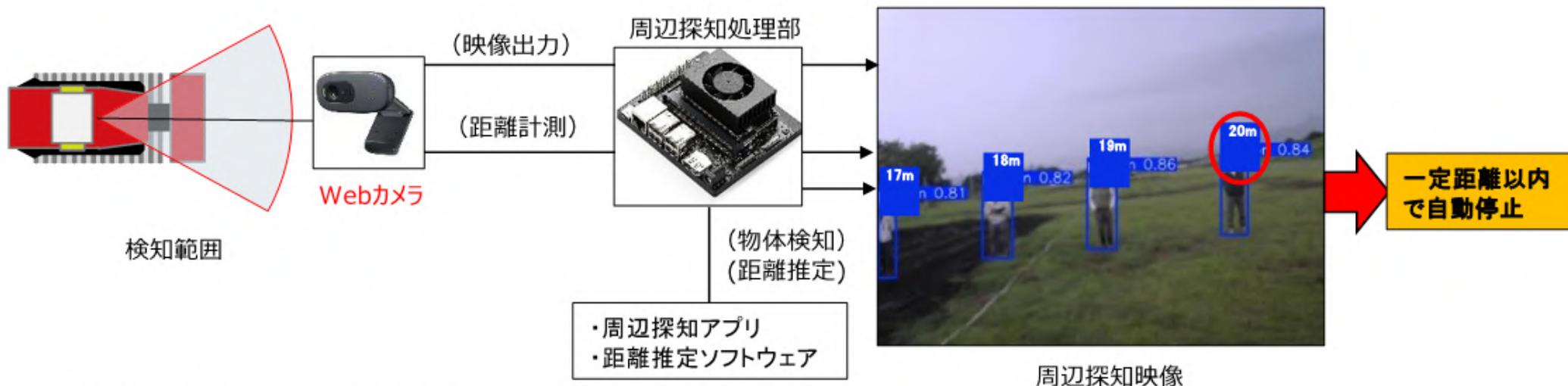


# 2. 令和8年度の取り組み

## 1. 検証項目概要

### (3) 周辺探知機能の検討

- 過年度構築した周辺探知機能について、検知した物体（人や車両など）との距離が一定以内で自動停止する機能を実装し、動作及び有効性確認を行う。



### (4) 走行経路自動生成システムの検討

- 過年度仕様検討した走行経路自動生成システムについて、システムを構築、実装し、動作及び有効性確認を行う。



# 2. 令和8年度の取り組み

## 2. 令和8年度の取り組み概要

### (6) 試行・実証試験 (案)

#### <第1回試行(工事)>

- 試験場所：石狩川維持工事の内 忠別川堤防維持工事
- 実施時期：令和8年6月上旬～7月中旬

#### <第2回試行(工事)>

- 試験場所：石狩川維持工事の内 石狩川堤防維持工事
- 実施時期：令和8年8月上旬～9月中旬

#### <第1回実証試験>

- 試験場所(希望):勾配約1:2、法長15～30m程度
- 実施時期:令和8年6月上旬以降に3日間程度

#### <第2回実証試験>

- 試験場所(希望):勾配約1:2、法長15～30m程度
- 実施時期:令和8年7月中旬以降に10日間程度

#### <第3回実証試験>

- 試験場所(希望):勾配約1:2、法長15～30m程度
- 実施時期:令和8年9月中旬以降に10日間程度

試行・実証試験の実施時期

検討項目		R8年度				
		5月	6月	7月	8月	9月
3	除草自動化技術の試行及び実証試験					
(1)	第1回試行		現場試行			
(2)	第2回試行				現場試行	
(3)	実証試験					
①	第1回		3日間程度			
②	第2回			10日間程度		
③	第3回					10日間程度