

令和4年度北いわてスマート農業サロン
自動操舵分科会

自動操舵分科会の取組と実証成果 について

岩手県農業研究センター
県北農業研究所 作物研究室

データ、写真等の無断転載、引用は禁止します

本日のお話

○試験研究の概要

○試験研究の結果

- ・試験結果（R 2 ～R 4）
- ・現地実証

○当研究所のRTK-GNSS基地局について

試験研究の概要

- 令和3年度からの研究課題として、**雑穀・野菜**向けの**高精度な播種・機械除草技術**について検討

課題名 県北地域における自動操舵農機を活用した
高精度播種・機械除草技術の確立
研究期間 令和3～5年度

- 併せて、**農業者等からの要望**に応じ、各種作業を**現地で実証・実演**

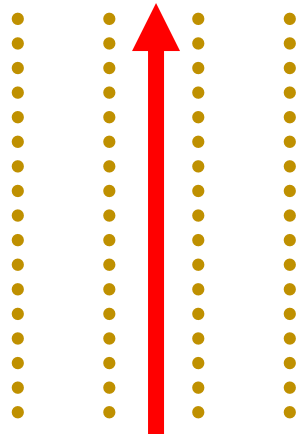
試験研究の概要　－具体的な研究内容－

雑穀（あわ）の高精度直播栽培の確立

- ・**傾斜地等**での自動操舵作業の精度・作業能率の把握
 - 自動操舵による**播種**（真空播種機）と
除草（レーキ式除草機）
 - 測位方式が異なる場合の比較
- ・**現地ほ場**における自動操舵作業の適応性検討

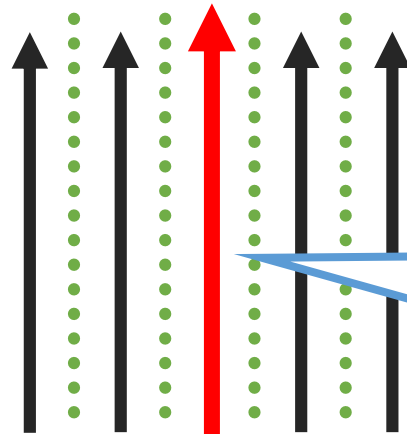
試験研究の概要 —高精度直播栽培—

播種（自動）



誰でも、簡単に、
まっすぐ播種可能！

除草（自動）



播種時の
作業軌跡
データ利用

除草機をかけるのも
簡単！スピーディー！

- 播種・除草時の
直進精度が高い
 - 除草時の**ダメージ小**
 - しっかり**除草**できる
 - **多条化**できる
- 作業の効率化**も可能
- オペレーターの
心理的負担を軽減

試験研究の概要 ー県北農業研究所の設備ー

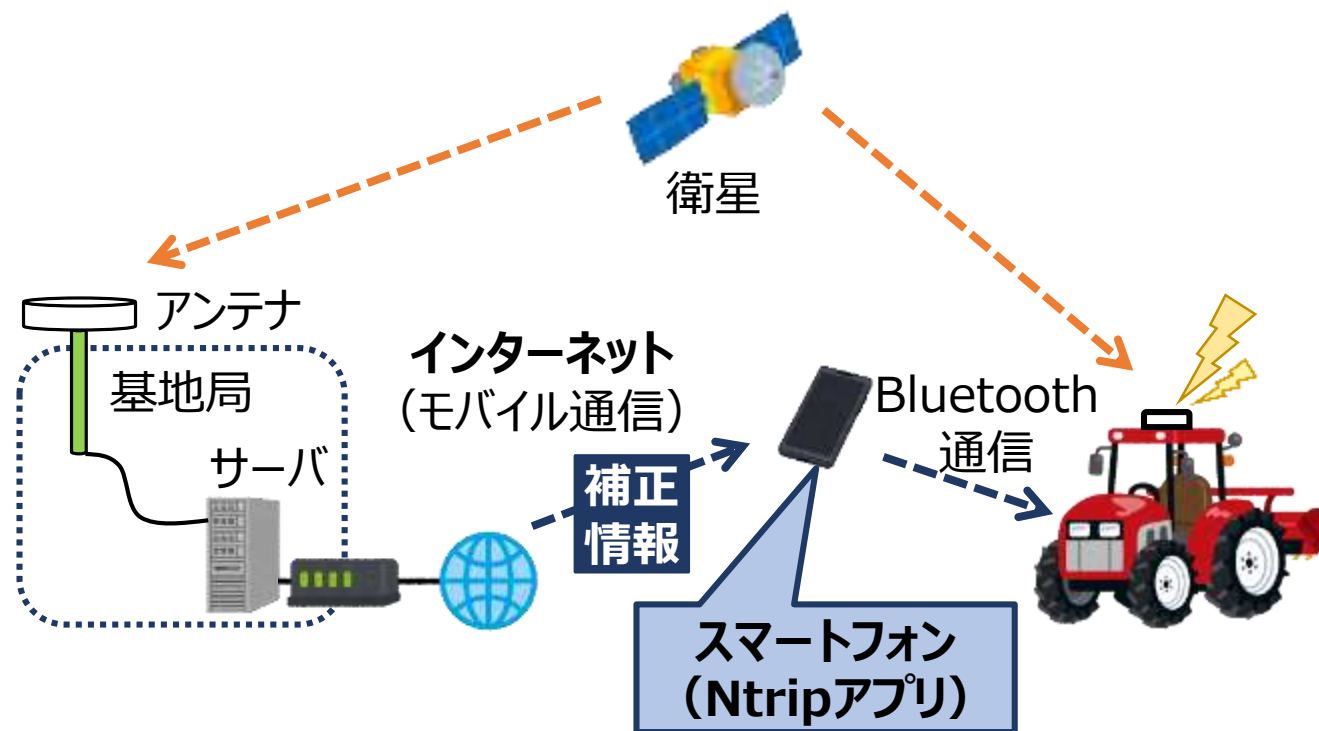
高精度測位のための補正情報を配信する
R T K 基地局（Ntrip方式） を設置



アンテナ
(本館屋上)



サーバ
(本館3階)



試験研究の概要 ー県北農業研究所の設備ー

○単独測位と補正情報

- ・**単独測位**：衛星の信号のみを受信して現在位置を把握
環境により**数十cm～数m誤差**が生じる

- ・**補正情報**：衛星信号の**誤差を補正**するための情報

DGNSS：GNSS衛星以外の衛星信号利用

RTK：地上に設置した**基地局**からの情報利用

VRS：国土地理院の電子基準点からの情報利用(**基地局不要**)



試験研究の概要 ー 県北農業研究所の設備 ー

	DGNSS	RTK	VRS
誤差	15～30cm程度	2 ～ 3 cm	2 ～ 3 cm
活用例	代かき、施肥、防除、 牧草刈取・反転	播種・移植、畦立て・マルチ 防除、掘り取り、中耕・除草	
基本装備 以外の準備	—	※補正情報の 送受信方式 による	補正情報受信契約、 モバイル通信機器
経費	—	導入：数百万円 維持：年数十万円 基地局設置、 ライセンス、モバイル通信	導入：50万円程度 維持：年30万円程度 受信契約、 モバイル通信

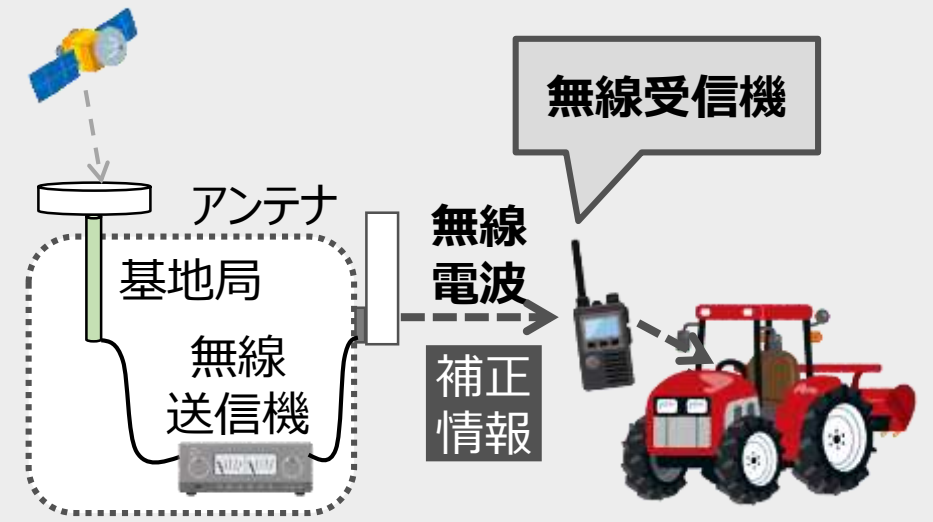
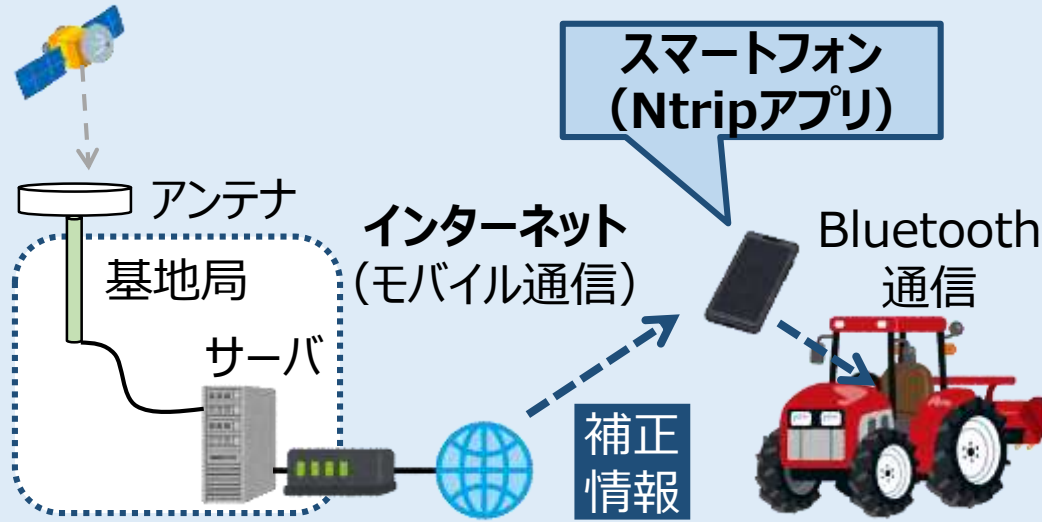
詳細は次ページ

試験研究の概要　ー県北農業研究所の設備ー

インターネット（Ntrip）方式

デジタル無線方式

受信方法
必要機器



利用可能
エリア

- ・インターネット（モバイル通信）の通信可能エリア
- ・基地局から半径20km程度が目安
- ・無線電波の届くエリア（基地局から半径5km程度）
- ・可搬型の基地局もあり

試験研究の概要 ー県北農業研究所の設備ー

トリンブル製の**自動操舵機器**を
既存のトラクタ（三菱 GXK511）に装着
→**耕起・播種作業**に使用



GNSS受信機
(IMU搭載)



自動操舵用
ハンドル



コンソール

試験研究の概要 ー県北農業研究所の設備ー

トリンブル製の**自動操舵機器**を装着した**ハイクリアランス仕様**
トラクタ（ヤンマー YT232HXU）を導入
→**除草・中耕・培土**作業に使用



試験研究の概要 ー県北農業研究所の設備ー

高精度な播種・除草作業のための機械を導入
→自動操舵を活かして多条化



真空播種機（4条）



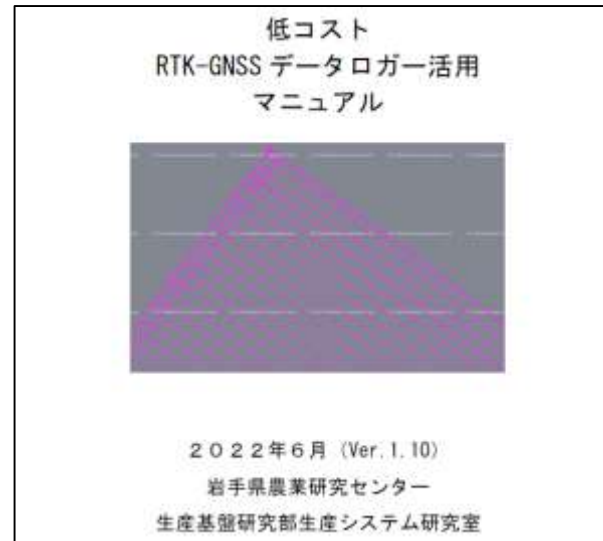
レーキ式除草機（4条）

試験研究の概要　－測位データの取得方法－

○専用の端末を使用して測位情報を取得

自作のRTKデータロガー受信機を利用し、データを記録

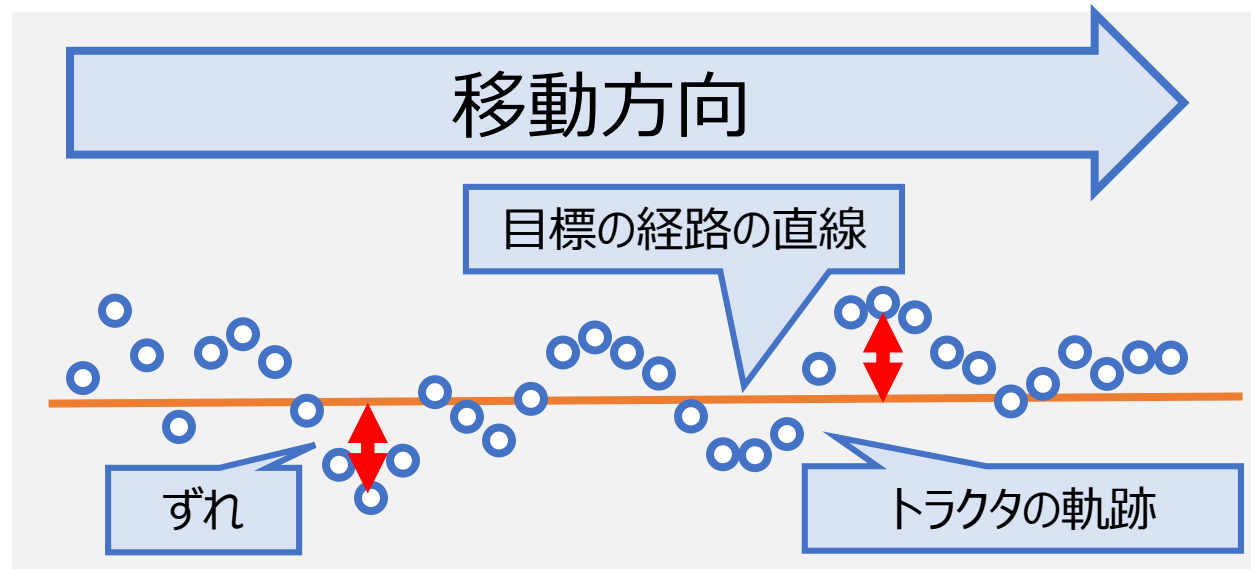
→**作業機の移動軌跡**を解析



岩手県農業研究センターHPで
「低コストRTK-GNSSデータロガー
活用マニュアル」を公開中。

試験研究の概要 ―測位データの利用方法―

○移動軌跡の直進精度の評価方法



- ①トラクタを走行させながら
測位データを取得
- ②データ（点の座標）を解析し、
目標とする経路の直線
（一次回帰式）を算出
- ③**直線と点の距離（ずれ）**を
算出

調査精度の表し方

・二乗平均平方根(**RMS**) ● cm

RMS : 大 → ずれが大きい **RMS : 小 → ずれが小さい**

本日のお話

○試験研究の概要

○試験研究の結果

- ・試験結果（R 2 ～R 4）
- ・現地実証

○当研究所のRTK-GNSS基地局について

試験結果 操舵方法と作業軌跡(R 2)

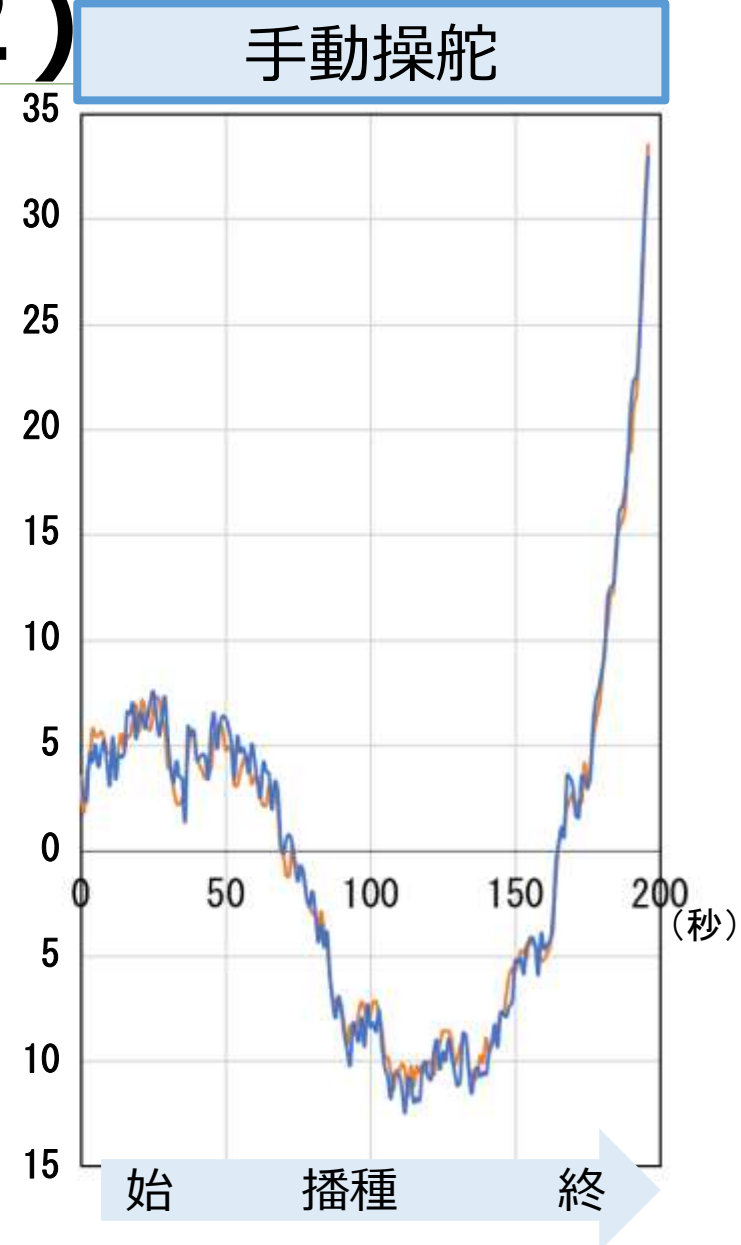
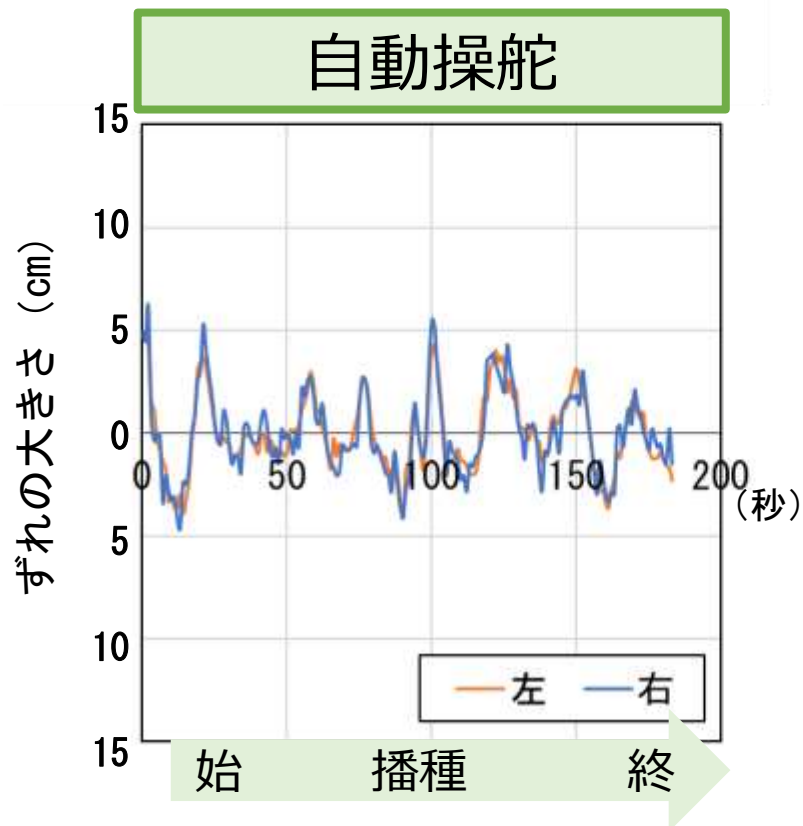
○播種作業（1工程、80m）

自動操舵

ずれは小さく小刻み
（概ね5cm以内）

手動操舵

ずれは大きく緩やか



試験結果 自動操舵時のオペレータの動作(R2)

○播種作業（1工程、80m）

前方確認時間 減

作業機確認時間 増

○オペレータ感想：動作確認に集中

操舵方法	前方確認	作業機確認			コンソール確認		作業速度
	時間 (秒)	回数 (回)	時間 (秒)	平均時間 (秒/回)	回数 (回)	時間 (秒)	
自動	86.9	4	69.7	17.4	1	26.7	1.6
手動	179.1	4	15.3	3.8	-	-	1.5

試験結果 自動操舵時のオペレータの動作(R2)

○オペレータの操舵時の視線の動き



試験結果 測位環境と測位精度(R2)

○一定時間停車したトラクタの
位置情報を解析

地点 番号	基地局との 距離 (m)	ずれ (m)	誤差程度(%)		
			1cm 未満	1 cm以上 2 cm未満	2 cm 以上
①	44	0.01	67.2	32.8	0
②	157	0.01	86.1	13.9	0
③	267	0.00	100	0	0
④	126	0.00	100	0	0
⑤	257	0.01	97.7	2.3	0
⑥	341	0.00	100	0	0
⑦	388	0.00	100	0	0
⑧	424	0.01	80.1	19.9	0
⑨	297	0.00	100	0	0

※ずれの大きさ = RMS

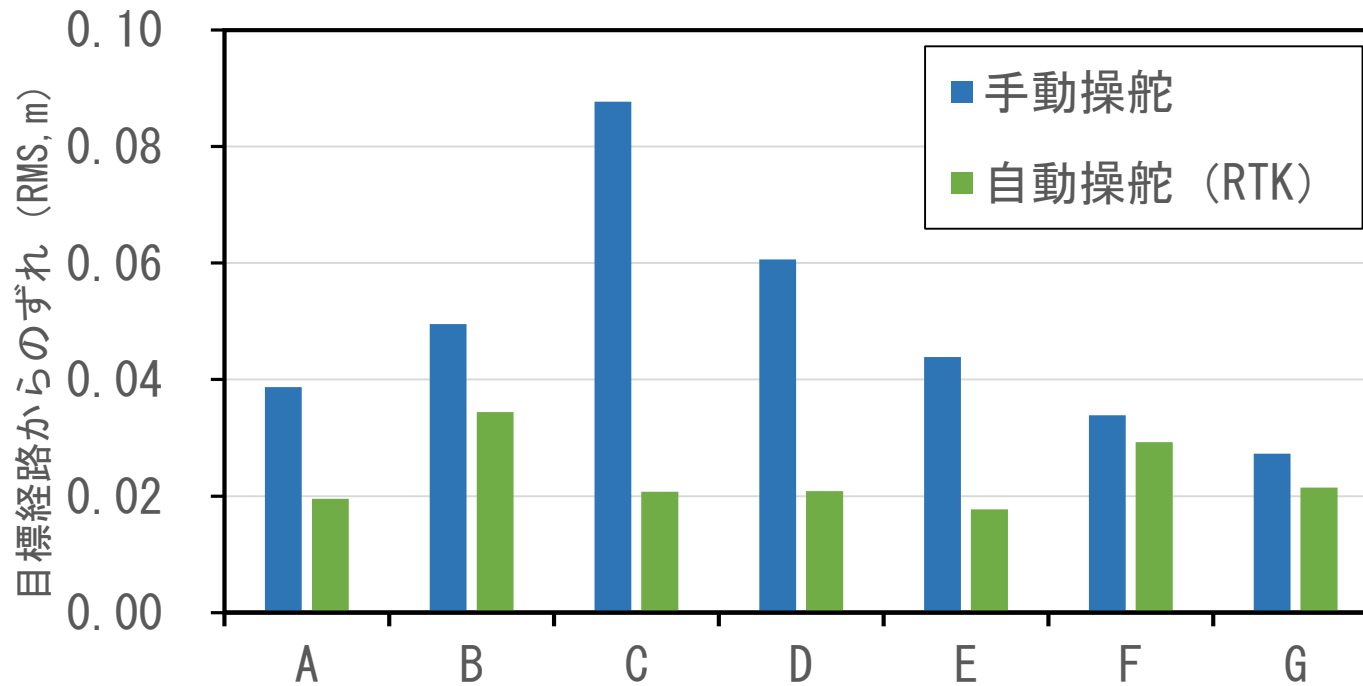


○いずれの地点でも誤差 2 cm未満

・①②⑧は周囲に障害物あり

試験結果 オペレータ技能の平準化(R3)

○手動及び自動操舵でトラクタを走行させた時のずれ



調査方法

- ・県北農業研究所職員 7 名が手動・自動でトラクタを操縦
- ・畑に立てた旗を目標に約30m直進
- ・自動操舵機器から測位データを取得し目標経路からのずれを解析

ずれの大きさは**自動操舵**で、**全員同レベル**に

試験結果 自動操舵による軽労化(R3)

○作業時のオペレータの負担感

操舵 方法	作業時 の向き	作業	
		播種	除草
手動	平坦	5	4
	上り	5	4
	下り	5	4
	傾斜に直交	8	7
自動	平坦	2	1
	上り	2	1
	下り	2	1
	傾斜に直交	4	3

調査方法

- ・各作業を行った県北研職員に聞き取り
- ・各作業時の心理的・肉体的な負担感について1～10（10で負担最大）で評価

◎ 全体的に負担感が低減

試験結果まとめ（R2～3）

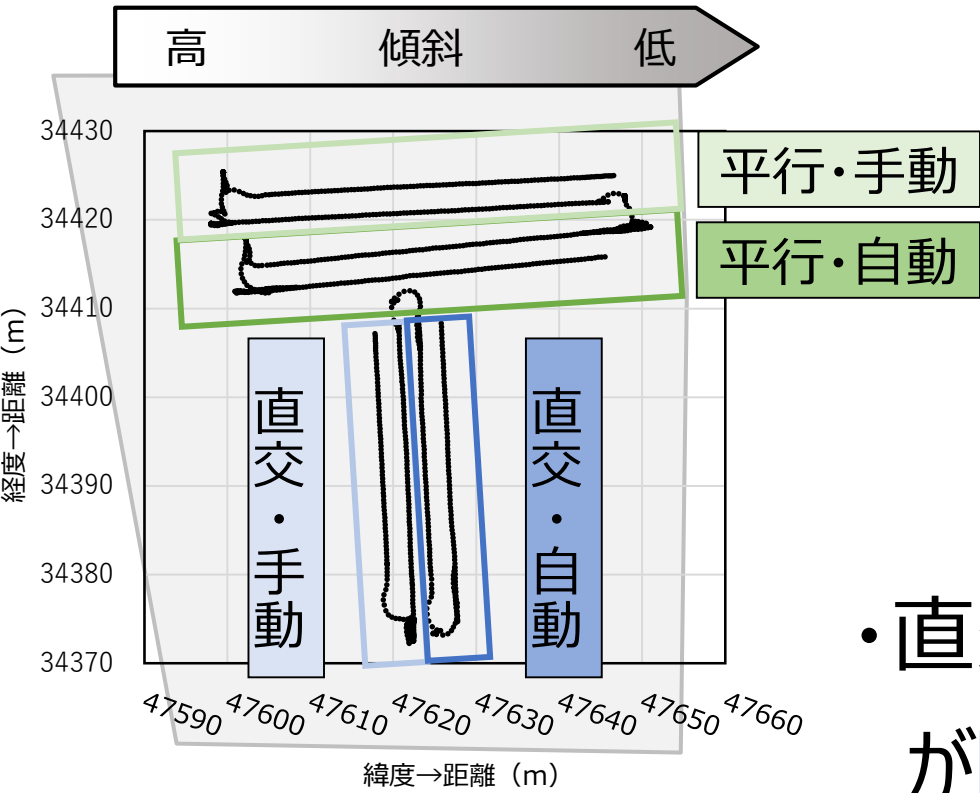
○自動操舵の基本的な特性・精度を把握

- ・自動操舵によるトラクタ・作業機の挙動を把握。
- ・**後方の作業機の状態を確認する余裕**が生まれる。
- ・障害物の周辺では、作業時に直進精度が劣る可能性がある。
- ・**誰でも一定の直進精度が保たれ、心理的な負担は小さくなる。**

試験結果 傾斜地における直進精度と除草体系(R3～4)

○傾斜ほ場(4°)における播種作業時の直進精度

※作業機の移動軌跡



対傾斜	操舵	作業速度		ずれの大きさ		作業時間(%/10a)	
		(km/h)	平均	(m)	平均	播種	旋回・移動
平行	上り	1.2	1.3	0.02	0.02	58.7	41.3
	下り	1.5		0.02			
	上り	1.5	1.5	0.02	0.02	45.0	55.0
	下り	1.5		0.02			
直交	-	1.4	-	0.03	-	52.4	47.6
交	-	1.5	-	0.04	-	58.8	41.2

※作業速度、ずれの大きさ(=RMS)はR3～4年の2カ年の平均値
作業時間はR4年の2工程の値から算出

・直交方向では平行方向に比べて直進精度が同等～わずかに劣る傾向

試験結果 傾斜地における直進精度と除草体系(R 3 ～ 4)

○傾斜ほ場(4°)における除草作業時の直進・除草精度

※作業機の移動軌跡

直交
播種後の様子
手動
自動



		作業速度 (km/h)		ずれの大きさ (m)		株損失率 (%)		除草率 (%)		収量比 (%)
		平均		平均		平均		平均		
平行	上り	1.2	1.3	0.04	0.03	20.2	16.7	53.9	55.5	100
	下り	1.4		0.02		13.3		56.5		
	上り	1.6	1.6	0.02	0.02	12.4	11.5	41.7	47.5	210
	下り	1.7		0.02		10.5		53.6		
直交	-	1.4	-	0.04	-	18.0	-	49.3	-	100
	-	1.4	-	0.03	-	15.9	-	51.0	-	196

※ずれの大きさ = RMS
※除草率、収量比はR 4 年単年の調査結果

・傾斜の方向に関わらず、自動操舵は概ね誤差 2 ～ 3 cm程度の精度で除草可能。

試験結果 現地ほ場における直進精度(R 3 ～ 4)



使用機器	県北研所有	現地農家所有
トラクタ	三菱 GXK511	三菱 GM331
自動操舵機器	トリンブル GFX-750	SE-NAVI
補正情報	県北研基地局	可搬式基地局



試験結果 現地ほ場における直進精度(R 3 ～ 4)

○播種作業時の直進精度

※作業機の移動軌跡

※R 3 年とR 4 年は別ほ場
※R 4 年は 3 工程の平均値、
R 3 年は 1 工程の値
※ずれ(の大きさ) = RMS

		R4(基地局から約 6 km)						R3(基地局から約 1 km)		
		傾斜	速度	ずれ	作業時間(%/10a)			傾斜	速度	ずれ
		(°)	(km/h)	(m)	播種	旋回・移動等		(°)	(km/h)	(m)
現地農家	上り	3.1	1.5	0.02	-	-		4.2	1.5	0.03
	下り	3.1	1.6	0.03	-	-		4.1	1.6	0.04
	平均	3.1	1.5	0.03	81.2	18.8		4.1	1.5	0.04
県北研	上り	3.1	1.5	0.06	-	-		5.2	1.4	0.02
	下り	3.0	1.5	0.03	-	-		4.8	1.1	0.05
	平均	3.0	1.5	0.04	46.6	53.4		5.0	1.3	0.04

- ・県北研区では誤差が大きい時間あり(R4 ; 3 工程中 1 工程、約10秒(約3m))
- ・使用機器間で直進精度は概ね同等

試験結果 異なる測位方式の利用(R3～4)

○作業時の直進精度

※作業機の移動軌跡

- ・**RTK** 安定して**高精度**
- ・**VRS** **高精度**(一時的に精度低下)
- ・**DGNSS** 播種作業には**精度不足**

※RTKの除草時RMSはR3～4年の2カ年計5回の値の平均値、

VRSの除草時RMSはR3～4年の2カ年計5回の値の平均値、

DGNSSの除草時RMSはR4年単年の3回の値の平均値

※ずれの大きさ = RMS

※あわ損失率、除草率、最終残草重量比、収量比はいずれの区もR4年単年調査の平均値

補正 情報	ずれの大きさ (m)		あわ 損失率	除草率	最終 残草 重量比	収量比
	播種	除草	(%)	(%)	(%)	(%)
RTK	0.02	0.01	20.2	54.3	82.0	118
VRS	0.02	0.02	15.0	49.8	92.8	111
DGNSS	0.07	0.04	22.7	54.7	100	100

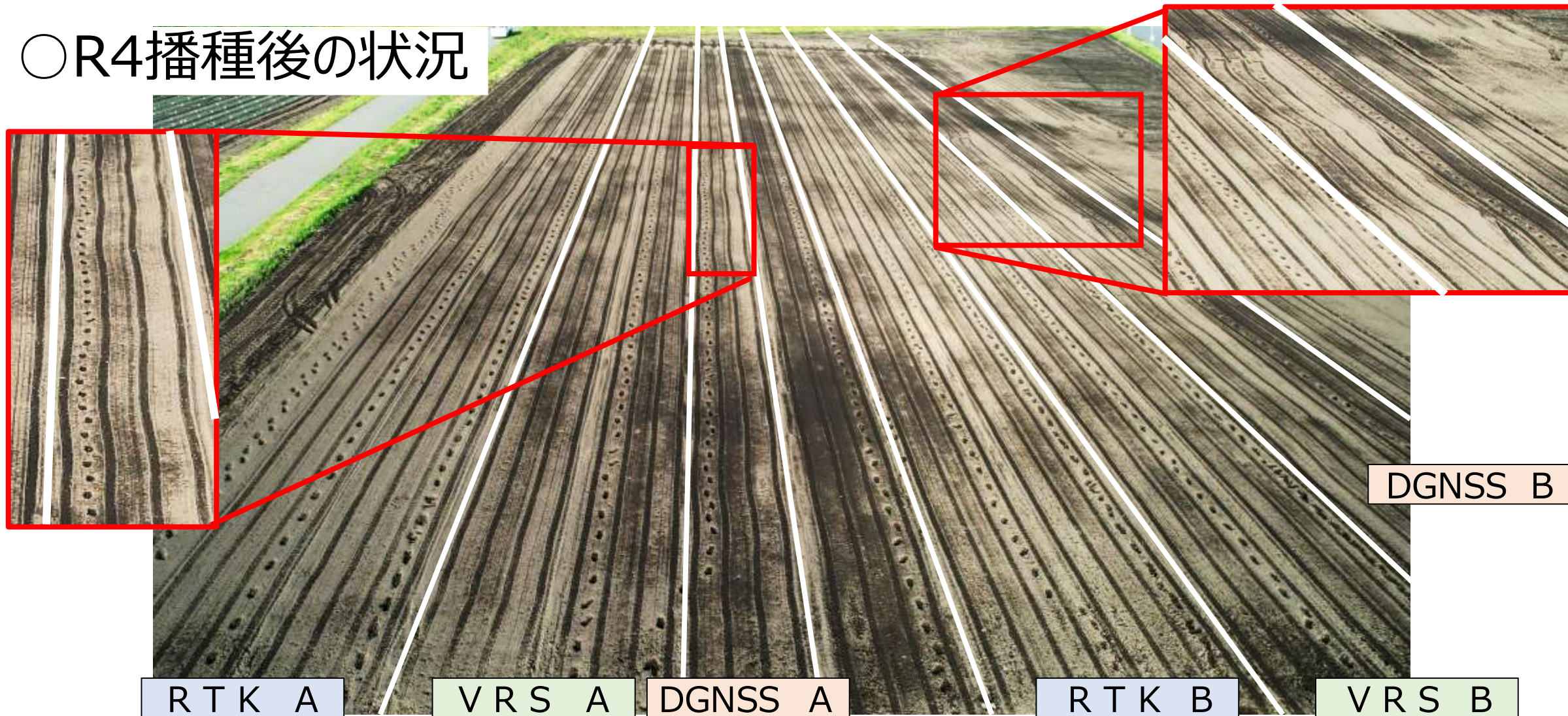
・あわ損失率
3 m間の除草前後のあわ株数から算出

・除草率
15×30cm枠内の除草前後の雑草個体数から算出

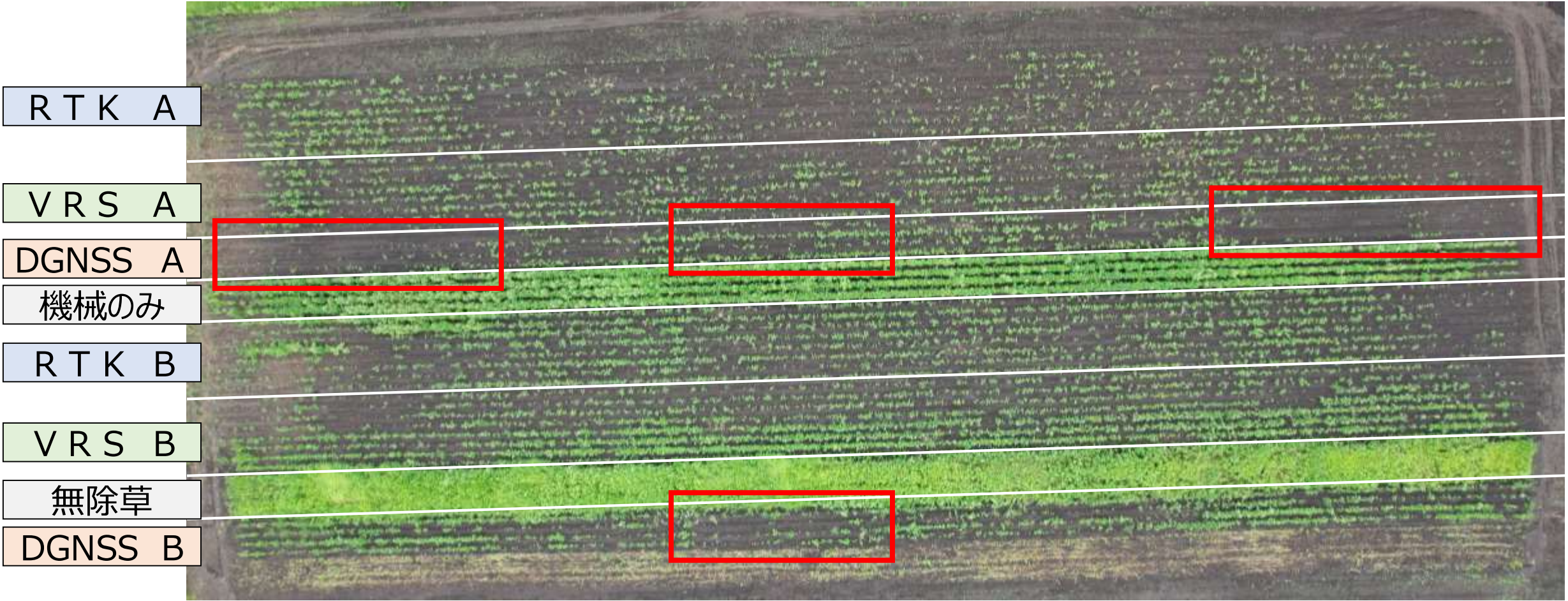
・最終残草重量比
最後の機械除草実施後に3 m間の残草個体を抜き取り、乾燥後計測した重量を、DGNSS区を100とした場合の比で算出

試験結果 異なる測位方式の利用(R3～4)

○R4播種後の状況



試験結果 異なる測位方式の利用(R3～4)



※機械のみ及び無除草以外は手取り除草 1 回実施済み

試験結果 まとめ

○自動操舵の基本的な精度の把握、播種～除草の体系化を検討

- ・誰でも一定の直進精度が保たれ、心理的な負担は小さくなる。
- ・傾斜畑での直交方向の作業でも誤差 5 cm以内の高精度な作業が可能。
- ・RTKレベルの測位同士であれば、機器の違いによる差は小さい。
- ・高精度作業を行う場合、
 - RTK 高精度、安定した測位が可能
 - VRS 高精度(測位が不安定になることも)

} 播種、除草作業
に活用可能

課題

- **株間の雑草、生長した雑草の除去が困難**

- 播種方式の変更

- 点播の株間間隔の短縮、または条播

- **あわの初期生育が雑草と競合**

- **あわ以外の雑穀品目**での適応性検討

- R5 タカキビ、アマランサスで試験予定

- **さらなる省力化に向けて**

- R 5 県北地域における**ロボットトラクタ**の適応性検討

試験結果 傾斜地適応設定の探索（ R4 参考）

○傾斜地ほ場(4 °)で感度設定を変更して直進精度を比較



Trimble Ag ユーザーサポートサイト(2021.12.10版)より
https://annex.nikon-trimble.co.jp/agri/user/pdf/setting_11.24/08.pdf

ステアリングPゲイン

ハンドルの動作感度を調整
通常は12～19の間で設定

車両追従性

Pゲインの変更後に100を基準に調整

試験結果 傾斜地適応設定の探索（ R4 参考）



・場内標準設定と比べ、ハンドル感度を下げ、車両追従性を上げると、ずれ(RMS)が小さくなり、直進性が改善(県北研オペレータも評価)

Pゲイン	追従性	反復	RMS (m)	4 反復平均
17	100	①	0.088	0.037
		②	0.035	
		③	0.009	
		④	0.018	
5	100	①	0.030	0.035
		②	0.030	
		③	0.055	
		④	0.024	
17	150	①	0.051	0.036
		②	0.026	
		③	0.027	
		④	0.039	
5	150	①	0.024	0.026
		②	0.025	
		③	0.030	
		④	0.024	

レーキ式除草機の組み合わせ（参考）

○播種 1 週間後

Vレーキ Cレーキ 碎土輪



- ・出芽後間もない“あわ”に当たらない程度にレーキの開度を調整

レーキ式除草機の組み合わせ（参考）

○播種 2 週間後

Aレーキ

碎土輪

Cレーキ

カルチ



・“あわ”に当たらない程度にレーキの開度やカルチ幅を調整

レーキ式除草機の組み合わせ（参考）

○播種 3 週間後

Aレーキ Hレーキ

Cレーキ

碎土輪



- ・レーキの開度を狭めに調整
- ・深く作用するよう、除草機のタイヤを上げた

レーキ式除草機の組み合わせ（参考）

○播種 4 週間後

Aレーキ

Hレーキ

Cレーキ

碎土輪



- ・レーキを交差させるよう調整
- ・草丈50～60cmの広葉雑草は残草

レーキ式除草機の組み合わせ（参考）

○播種 5 週間後

Aレーキ Bレーキ
培土板 Cレーキ

碎土輪



- ・レーキをさらに交差
- ・上記の動画は手取り除草後の状況

現地実証(R4)

○位置補正情報活用実証

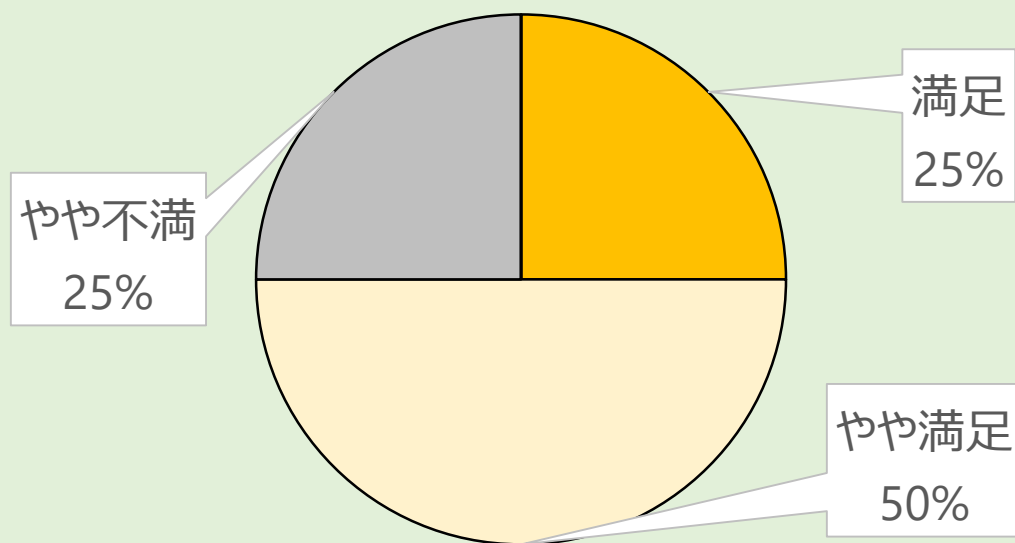
- ・県北研基地局を利用した場合の作業の精度・課題を把握するため、地域の希望する農業者に補正情報を提供
- ・**4 経営体**が実証に参加
- ・大豆や園芸品目(ニンジン、ニンニク、ゴボウ等)の耕起、畝立て、播種、収穫作業で活用



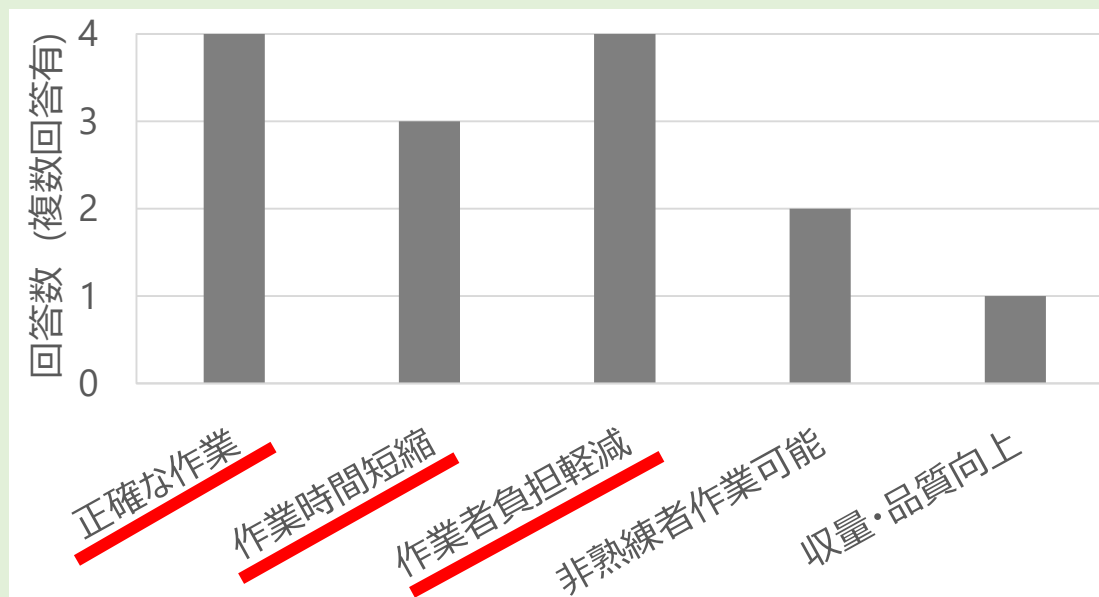
現地実証(R4)

○自動操舵を活用してみて（実証参加者4名の報告より）

・県北研基地局の位置補正情報に対する満足度



・自動操舵技術の導入効果



現地実証(R4)

○自動操舵を活用してみて（実証参加者 4 名の聞取結果より）

- ◎ 直進精度満足
- ◎ 作業にあたり精神的な負担が軽くなった
- ◎ 自分以外に任せても均一な作業を期待できる
- ◎ 作業のイメージ（畝本数等）が画面上で分かる
- ◎ 作業受託ほ場の面積が明確に

△導入コストが高価

△利用に向かないほ場(木立の影、電線の下)もある

本日のお話

○試験研究の概要

○試験研究の結果

- ・試験結果（R 2 ～R 4）
- ・現地実証

○当研究所のRTK-GNSS基地局について

当研究所のRTK-GNSS基地局について

○R4年度内について

- ・試験期間終了につき、現在基地局は停止中
- ・R5年3月までの期間に再度利用を希望する場合、連絡を

○R5年度以降について

- ・基地局の継続稼働に向けて、調整中
- ・3月以降、確定次第、R5年度実証参加希望者に連絡

終わりに



自動操舵をはじめとした機械技術のさらなる普及・活用



北いわて地域農業の軽労化、省力化



例えば...

○水稻

代かき、田植え

○土地利用型作物

耕起、播種、畝立て(葉菜類)、溝切・収穫(根菜類)

○飼料作物

施肥、播種、草地管理