

ローカル5G活用型スマート農業モデル実証

(有) 西谷内農場ほか (北海道岩見沢市)

背景及び取組概要

<経営概要 生産者A 51.46ha うち実証面積 45.71ha、生産者B 24.25ha うち実証面積 22.25ha、生産者C 43.31ha うち実証面積 16.77ha >

日本の農業の長期にわたる就業人口の減少と高齢化、労働力不足を解消するため、スマート農機の遠隔監視制御による労働時間の削減を実現し、スマート農機の普及促進をめざす

	実証項目①: スマート農機の遠隔監視制御に関する技術実証	実証項目②: スマート農機の地域実装を促進するための環境形成
目的	ローカル5G等を用いた遠隔監視制御の実証を行い 収穫・残渣処理・耕起等の労働時間と人件費の削減効果 を評価するとともに、 安全性確立に向けた知見収集 を行う	遠隔監視制御機能を用いた新たな作業委託体制の実現が 生産費削減、利益向上に寄与するか を評価する
概要	<ul style="list-style-type: none"> 同一ほ場内での最大3台のスマート農機の遠隔監視制御 2つのほ場に配置するスマート農機の遠隔監視制御 ほ場間移動走行を行うスマート農機の遠隔監視制御 	<ul style="list-style-type: none"> 同一ほ場で通常は複数日に跨り連続する作業の同日作業による全体作業日程の短縮(作業順序スケジュール最適化ツール) 作業スケジュールの適正化(作業適期スケジュール最適化ツール) ビジネスモデルの検討

導入技術

②作業適期スケジュール最適化ツール

②土壌水分センサの随時参照

栽培管理により作業時期を判断

同時期に実施可能な作業を見極め

②作業順序スケジュール最適化ツール

最短期間の作業スケジュールを生成

自動運転アシストコンバインで収穫した後、ロボットトラクタで耕起・残渣処理などを実施

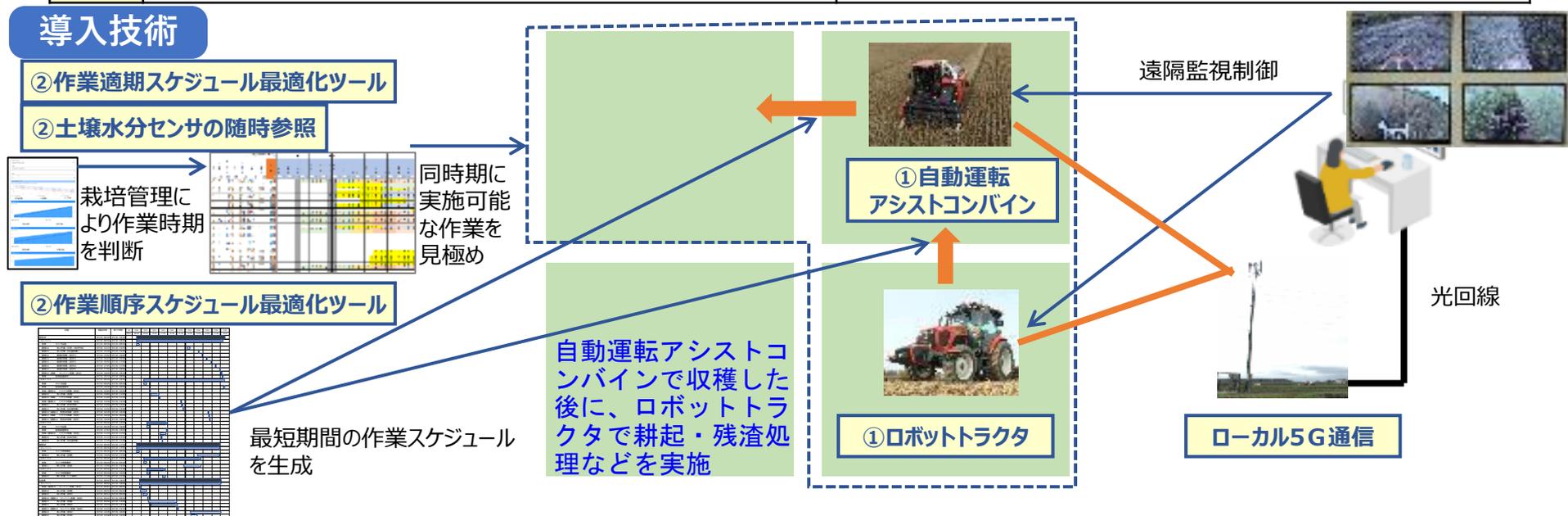
①自動運転アシストコンバイン

①ロボットトラクタ

遠隔監視制御

光回線

ローカル5G通信



実証課題の達成目標と達成状況

実証① スマート農機の遠隔監視制御に関する技術実証

実証② スマート農機の地域実装を促進するための環境形成

		達成目標		達成状況	
実証①	ロボットトラクタ対象作業労働時間	70%削減	69%削減	• ほぼ目標達成	
	自動運転アシストコンバイン作業における人件費	50%削減	44%削減	• 自動運転アシストコンバインでの作業について、遠隔監視で無人作業ができるように改良を行うことで搭乗オペレータの人件費は0となり作業労働時間は44%を削減し、目標をほぼ達成	
実証②	機械共用による農家生産コスト	15%削減	8.2%削減	• 機械共用により8.2%まで削減	
	農家利益改善効果	20%改善	55.2%改善	• スマート農機を個人導入した場合を比較対象とし、ローカル5G関係費用は自治体負担とした場合においては目標を達成	

①-1 スマート農機の遠隔監視制御に関する技術実証（作業効率）

取組概要

○サービス事業者を想定した現地オペレータ1名・遠隔監視者1名による、複数台のスマート農機を用いた連続かつ同時作業による労働時間削減効果の実測、夜間作業を実施。

(実証人員) ・現地オペレータ 1名：現地有人作業（農機移動、マップ作成、外周作業、排出作業）
 ・遠隔監視者 1名：遠隔監視センター作業(映像による監視、無人走行開始と終了操作)

- (実証内容) ①-a：同一ほ場内での最大3台のスマート農機の遠隔監視制御
 ①-b：2つのほ場に配置するスマート農機の遠隔監視制御（生産者A最大3台 生産者B1台）
 ①-c：ほ場間移動走行（基幹農道、一般道）を行うスマート農機の遠隔監視制御
 ①-d：4台同時監視、夜間作業実施、安全性評価等上記以外の実証

○使用スマート農機
 全台遠隔監視カスタマイズあり

名称	機能	タイプ	馬力
トラクタ1	ロボットトラクタ	パワクロ	100
トラクタ2		ホイール	100
トラクタ3		パワクロ	100
コンバイン	普通型自動運転アシストコンバイン	刈幅2.6m	120

表 遠隔監視及び慣行作業 実施一覧

○実証風景

遠隔監視作業							慣行作業					実証内容
実証No.	作物	面積(a)	圃場No	通信	作業内容	作業機	作物	圃場No	面積(a)	作業内容	作業機	
1	秋まき小麦	45 138 135	10 11 12	L5G/C5G	収穫 残渣処理 心土破碎	コンバイン チョッパー サブソイラ	秋まき小麦	4, 5, 6, 9	617	収穫 残渣処理 心土破碎	コンバイン チョッパー サブソイラ	①-a
11	なたね	178 160	2 3	LTE	残渣処理	チョッパー	なたね	1	167	残渣処理	チョッパー	①-d (効率性評価)
10	大豆	128 182 168	27 28 29	LTE	収穫 耕起	コンバイン スタブルカルチ	大豆	13, 15, 21~ 23, 30~32	1093	収穫	コンバイン	①-d (4台同時)
5	水稲移植	93 101	21 22	LTE	耕起	ロータリー	水稲直播 (大豆)	10, 16~ 20, 25, 26	872	耕起	ロータリー	①-b、①-d (4台同時)
							水稲移植	2	129	耕起	ロータリー	
							水稲移植	1	131	耕起	ロータリー	
6	コーン (大豆)	132 129 143	33 34 35	L5G/C5G	残渣処理 心土破碎	チョッパー サブソイラ	大豆	13, 15, 21~ 23, 30~32	※ No10 に同じ	残渣処理 心土破碎	チョッパー サブソイラ	①-b、①-c、①-d (4台同時、安全性)
2, 7	秋まき小麦	100 100	12 13	LTE	耕起	ロータリー ロータリー	秋まき小麦	1~9, 11, 14	858	耕起	ロータリー	①-b、①-d (4台同時)



複数台同時実証風景



複数台同時監視風景



監視コンソール画面



夜間実証風景

①-1 スマート農機の遠隔監視制御に関する技術実証（作業効率）

実証結果

- 結果（10a当たりの平均値）
コンバイン作業：44%削減 トラクタ作業：69%削減
- 成果が伸びなかった理由
 - ・コンバイン：自動運転アシストコンバインを遠隔制御可能にカスタマイズした初の小麦収穫検証のため作業前調整に23分を要した。この時間は2回目以降必要とならず、この時間を除くと労働削減率は56%。
 - ・ロボットトラクタ：作業ほ場の面積が狭く、外周の有人走行部分が4周であったことから無人走行面積が少なくなった。
- 遠隔監視
 - ・ほ場側と遠隔監視者間で映像を用いたコミュニケーション（Web会議システム等）により、現場との意思疎通を間違いなく行えた。

表 実証ごとの労働時間削減率

実証番号	作物	面積 (a)	圃場番号	通信	作業内容	作業機	慣行と比べた現地有人作業時間削減率 (10aあたり)	参考：慣行と比べた作業時間削減率(遠隔監視稼働含)※ (10aあたり)	備考
1	秋まき小麦	45	10	L5G/C5G	収穫	コンバイン	44%	29%	3台同時作業
		138	11		残渣処理	チョッパー	66%	44%	
		135	12		心土破碎	サブソイラ	77%	51%	
11	なたね	338	2, 3	LTE	残渣処理	チョッパー	76%	0%	1台作業
10	大豆	182	28	LTE	耕起	スタブルカルチ	59%	44%	4台同時作業
		168	29						
5	水稲移植	93	21	LTE	耕起	ロータリー	63%	47%	4台同時作業
		101	22						
6	コーン(大豆)	132	33	L5G/C5G	残渣処理	チョッパー	80%	60%	4台同時作業
2,7	秋まき小麦	100	12	LTE	耕起	ロータリー	64%	48%	
		100	13			ロータリー			
ロボトラ平均値							69%		

※遠隔監視者の稼働も含めた作業時間削減率。有人時間削減率を3台同時監視の場合削減率2/3、4台同時監視の場合3/4にしたもの。

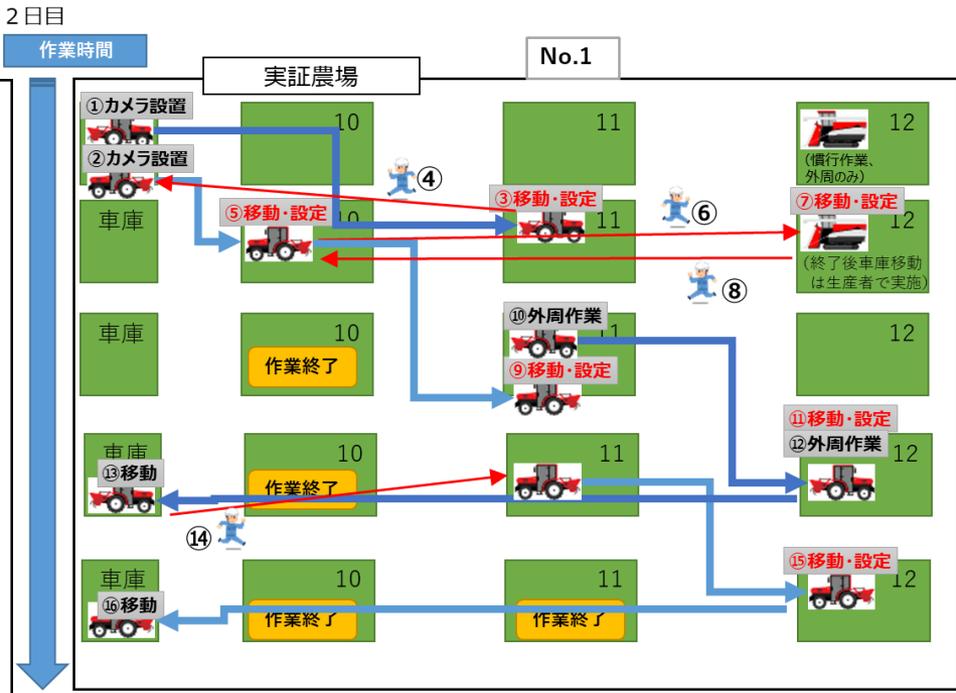
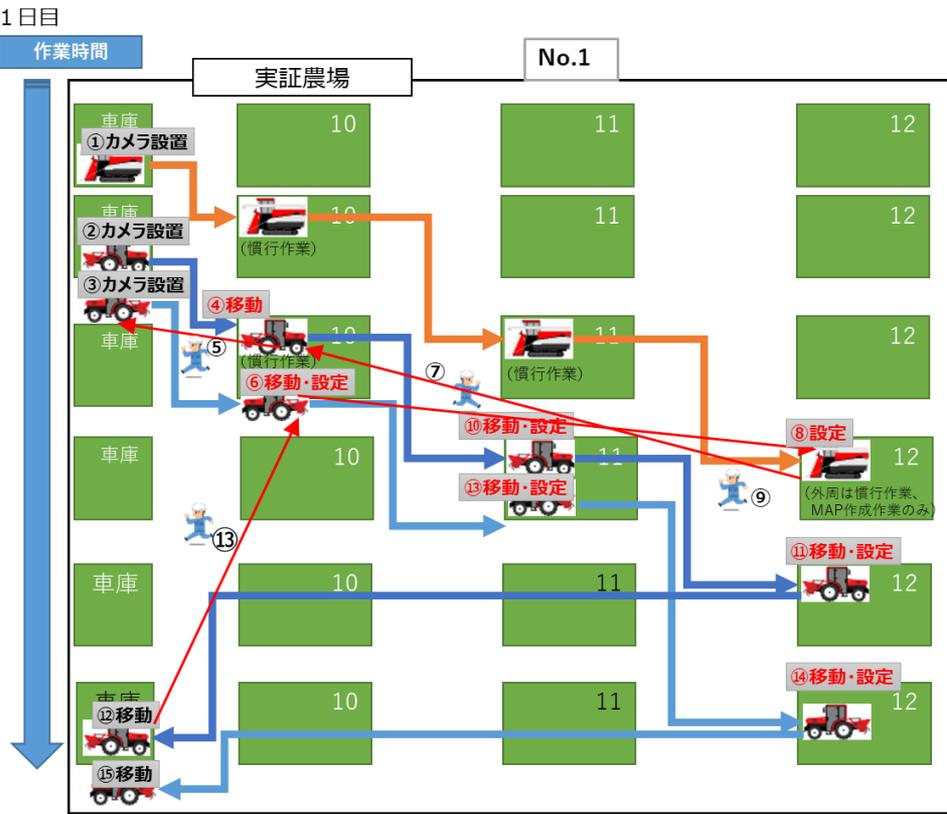
- 夜間作業
 - ・夜間カメラ性能の事前評価は必須。遠隔監視画面では昼間に比べて様子わかりづらく、作業機の正常動作確認、周囲の安全確認、故障等の発見に影響あり。
 - ・ほ場環境に合わせ、周囲への危険に注意する必要あり。ほ場に不慣れな作業員による、暗い環境やロボットトラクタ照明が逆光等の環境では、障害物やトラクタ後側から出てくる人は発見しづらい。
 - ・翌日明るくなってからの生産者確認の実施が必要。作業結果の確認は困難と感じられた。

今後の課題（と対応）

- ほ場の大区画化、外周有人作業を2周程度に減らす、作業機に最適な設定を増やすことで、労働時間削減効率は向上。（チョッパー、サブソイラの設定にロータリー作業設定を流用、エンジン回転数や走行速度等を慣行と同じ条件に設定できず）
- 現地オペレーターには作業機の設定、生産者との対応にある程度熟練したスキルが求められる。作業機の高さ設定が低すぎ、耕起した土が作業機側にたまり停止する事象が発生し、ほ場補修作業を含め46分を要した。

①-1 スマート農機の遠隔監視制御に関する技術実証（作業効率）

図 No1実証におけるスマート農機と現地オペレーターの動き



凡例

- 圃場間移動（現地オペレーターは車両搭乗）
 - 収穫（コンバイン）
 - 残渣処理（トラクタ）
 - 心土破碎（トラクタ）
- ① 現地オペレーターの圃場間移動（徒歩）
矢印は移動経路
- ①XXXXXX 現地オペレーターの作業内容（圃場内等）

※丸数字は現地オペレーターが実施した作業・移動の順番を表す。
赤字・赤線は、ほ場間移動遠隔制御技術が実現すると不要になる作業、黒字は必須の作業を表す

①-2 スマート農機の遠隔監視制御に関する技術実証（安全性）

取組概要

- ほ場内監視から遠隔監視に変化した際の課題等を整理
- ローカル5Gを用いた遠隔監視の安全性を評価



実証結果

画像処理技術や農機でのセンシング等多層的な安全確保の実装が複数台監視の前提になることが明らかになった。

場面	現状の対応	遠隔化の課題	課題解決策	実証内容・結果	
ほ場内	作業の監視	ほ場内監視者が肉眼で検知	確認する映像の品質(画質、伝送遅延)によっては検知が遅れる可能性がある。	遠隔監視に最低限必要な映像品質を規定する。	遅延評価 ・ローカル5G利用により、目標としていた映像伝送遅延400msを下回る、映像伝送遅延平均145msでの遠隔監視制御が行えることを確認
		現地で1台のみの監視のため、危険の見落としの可能性は低い	複数台監視となるため、危険が生じた場面に気づくのが遅れる可能性がある。	監視員1人あたりが監視可能な農機数を規定する。	映像解像度評価 ・危険検知にはFHD画質での監視が望ましい。安全確保にはセンサやAIなど、人による映像監視以外の手段も必須
	リモート操作	ほ場内で電磁的妨害、農機と監視者の離れすぎがなければ、機器異常がない限り制御可能	ネットワーク状況によっては突然制御不可能になる可能性がある。	通信断を農機が検知したら、走行を停止させ、暴走を防ぐ。	複数台監視評価 ・8台監視だけでなく4台監視でも危険の見逃しが発生。センサやAIによる人物検知補助を加えることで見逃しリスクを下げられる可能性を確認
ほ場外	ほ場間移動	-	ほ場間移動の評価 ・方向転換時に設定ルートと走行経路の差が大きくなり、ほ場出入りや急旋回時のアルゴリズムの修正が必要であると知見を得た。また、運動モデルから適切な経路を作り、再現性をいかにもたらすかがほ場出入口での安全な走行に重要な点であると明らかにした。 ・遠隔監視映像からはほ場出入口の高低差がわかりづらいため、ほ場入出の手前で速度を落とし、早期のリスク察知に努める必要がある。 ・ほ場出入口の鉄板等は位置が変化するため事前の現地確認が必須となる。	通信不安定状況での自動走行評価 ・左記課題解決策の実装により、自動走行中に通信断となった場合に農機を自動停止可能なことを確認	

今後の課題（と対応）

本実証で得た実証結果について、農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドラインの検討組織へ提言を行い、ガイドラインの早期確立を促す。

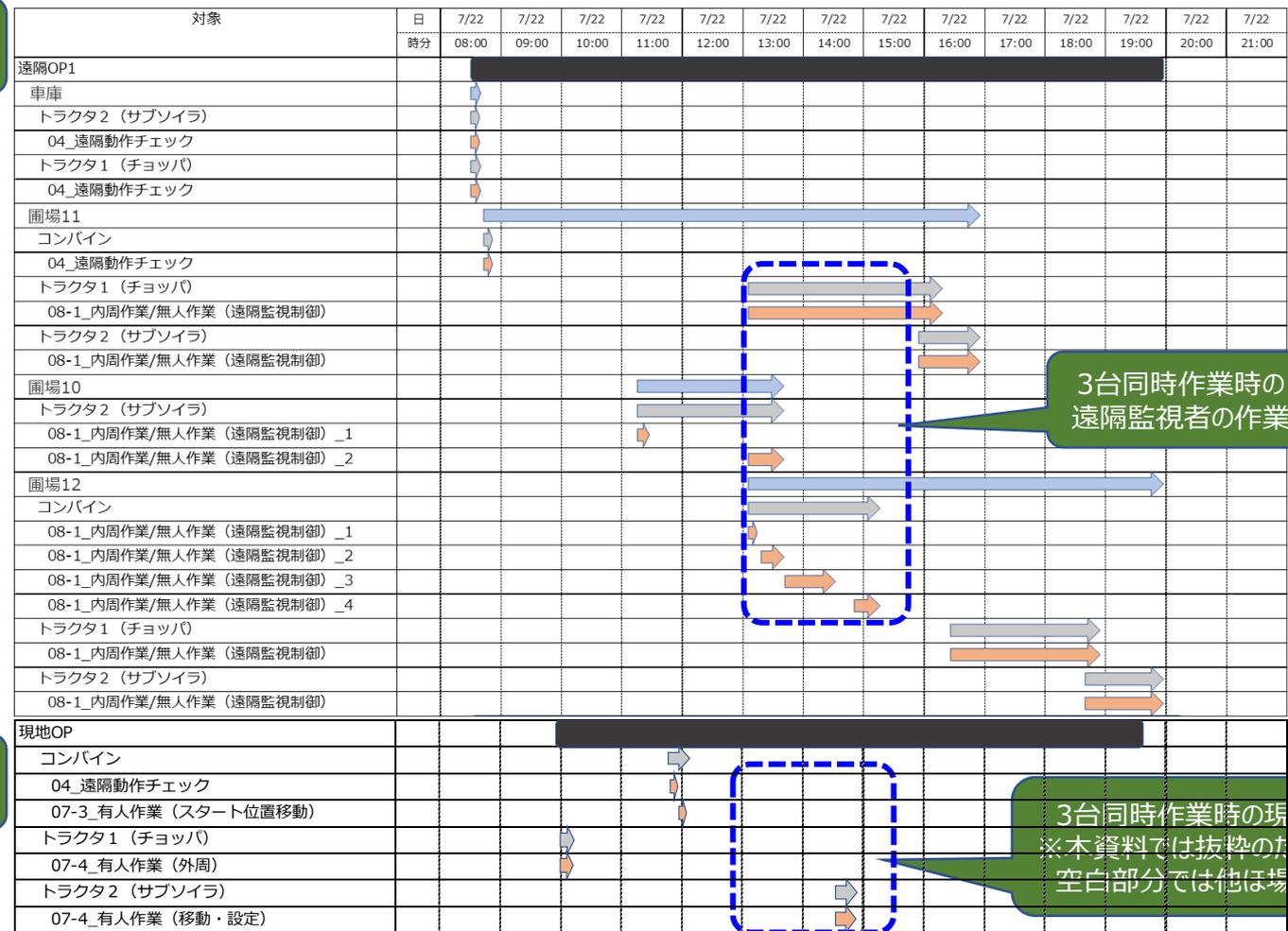
②-1 スマート農機の地域実装を促進するための環境形成 (作業日数短縮効果)

取組概要

- 通常は複数日かけて行う収穫・残渣処理・心土破碎の各作業を、スマート農機を利用して同日作業した場合の、全体農家作業時間（作業機取付等の準備～作業終了後の車庫格納まで）を計測
- 慣行作業は生産者1名、遠隔監視作業は現地オペレータ1名（作業委託）と遠隔監視者1名（作業委託）による作業を前提
- 事前に作業順序スケジュール最適化ツールをサービス事業者で活用し、試算した見込時間と実績時間を比較

図 作業順序スケジュール最適化ツールを活用して作成したスケジュール例（実証No1）

遠隔監視者の作業（抜粋）



作業員の労働期間
 ほ場単位の作業期間
 農機の使用期間
 個別作業時間

3台同時作業時の遠隔監視者の作業

3台同時作業時の現地オペレータの作業
※本資料では抜粋のため記載していないが、空白部分では他ほ場作業や移動を実施

現地オペレータ作業（抜粋）

②-1 スマート農機の地域実装を促進するための環境形成 (作業日数短縮効果)

実証結果

全体農家作業期間の軽減効果：**実績平均 9.6% (見込13.0%) 削減**

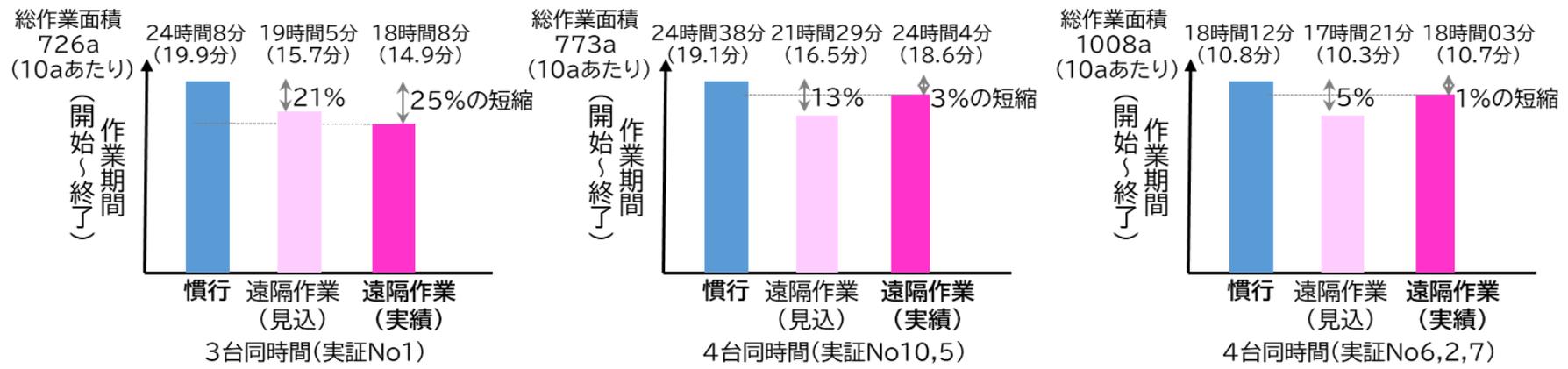


図 実証ごとの全体作業期間削減率

- 日単位の短縮までの大きな効果はなかったが、慣行よりも短い時間で作業を完了。
4台同時実証では作業ほ場の面積が狭く、外周の有人走行部分が4周であることから無人走行面積が少なくなり短縮率が低くなったと考えられる。
- 計画と実績が異なった理由は、主にトラブル対応時間。(実証5, 6：2時間34分53秒、実証2, 7：35分31秒)
具体的には、熱影響による通信機器不具合対応、リモコン電波エラーによる停止に対する、駆けつけおよび対応時間が主となる。
- 作業短縮による他の作業への影響 (No1実証時の生産者ヒアリング結果)
 - ・例年ならば3工程 (収穫、耕起、整地) を一人で行い、3日以上要していた作業が、半日以上は短縮できた。
例年は水稻収穫後 (9月) は秋雨となりほ場に立ち入ることができないため、非常に有効なものとする。
 - ・本年度については、好天が続き、秋まき小麦準備が10日以上早まっている中、初期生育も進み、かつ心土破碎を行え雪腐れ対策にもつながり大きな効果となった。従来は作業期間が少ないため、秋まき小麦の栽培面積を絞らなければならなかったが、作業時間が短縮できることから、栽培面積を拡大でき、次年度以降作付け計画の選択肢を増やせる。小麦の面積を増やしたい水稻作の生産者にとっては効果的な作業方法だったと考える。

今後の課題 (と対応)

- 雨となったため当日朝に作業計画を変更し、マップ作成のみで作業を行えなかったケースや、同一ほ場で2台同時作業となってしまったケースがあった。作業順序計画時に同様なケースを考慮するとともに、突発的な事象も想定した天候等の情報把握、生産者との連絡手段確保、作業計画を考慮したオペレーション変更判断体制が、実装時には必要とされる。
- 遠隔監視に伴うトラブル対処は、作業現場への駆け付け時間もかかることで作業効率への影響が大きい。通信機器の熱対策等が有人介入頻度の削減につながる。

②-2 スマート農機の地域実装を促進するための環境形成 (作業適期スケジュール最適化ツール)

取組概要

- 播種日、および過去5年間の平均気温（有効積算気温）から生育ステージを予測し、複数作業同時実施可能時期を選定。
- 作業適期結果を作業日誌（実績）と比較
- ツールは、生産者および作業委託される側の作業計画検討に使用すると想定。概要は次ページを参照。

実証結果

- 7月および10月の複数作業同時実施の候補日決定、作業時間の正確な見積りに寄与できた。
- 作業適期結果を作業日誌と比較したところ、31作業が生育ステージの範囲内、6作業が前倒し、2作業が後ろ倒しであった。本年度は干ばつの影響もあり、実際の状態を判断した前倒しが多かったと考えられる。

今後の課題（と対応）

- 作業適期スケジュール最適化ツールの複数ほ場および作物毎の作業適期を確認できる機能はシェアリング機会出に大きく寄与できると考えられる。
- 農機・作業機・有人作業者の予定登録機能、スケジュールデータ参照・取得する仕組みの追加、有人作業者（生産者）、乾燥機の使用予定、土壤水分データや灌漑設備による調整と連動できる機能等があれば作業調整の幅がより広くなると考えられる。

表 作業適期結果と実績の比較

作物	作業	生産者A	生産者B	生産者C	備考
水稻移植	収穫	-	なし	なし	
水稻移植	耕起	-	なし	なし	
水稻直播	耕起	2日早く実施	-	なし	
水稻直播	碎土	なし	-	-	
水稻直播	収穫	7日早く実施	-	なし	
秋播小麦	収穫	1日遅く実施	8日早く実施	5日早く実施	実証実施に合わせた遅れ
秋播小麦	残渣処理	なし	なし	なし	
秋播小麦	心土破碎	なし	なし	なし	
秋播小麦	耕起	なし	なし	なし	
春播小麦	耕起	なし	-	-	
春播小麦	碎土	なし	-	-	
春播小麦	収穫	なし	-	-	
春播小麦	残渣処理	なし	-	-	
春播小麦	心土破碎	なし	-	-	
大豆	耕起	4日早く実施	-	-	
大豆	碎土	なし	-	-	
大豆	収穫	なし	-	-	
大豆	耕起	なし	-	-	
なたね	収穫	1日遅く実施	-	-	
なたね	耕起	なし	-	-	
なたね	心土破碎	なし	-	-	
デントコーン	心土破碎	なし	-	-	
デントコーン	残渣処理	25日遅く実施	-	-	意図的な作業時期
てん菜	心土破碎	なし	-	-	
てん菜	耕起	なし	-	-	
てん菜	収穫	13日早く実施	-	-	早出し出荷のため
夏白菜	耕起	-	なし	-	
夏白菜	心土破碎	-	なし	-	
そば	収穫	-	-	6日早く実施	

②-3 スマート農機の地域実装を促進するための環境形成 (土壌水分センサの随時参照)

取組概要

・ほ場水分量・地温を収集するセンサを用いて収穫期を判断し、作業適期スケジュール最適化ツールへ反映する。利用者間の作業状況と合わせて農機をシェアリングする仕組みを作業順序スケジュール最適化ツールにて検討し、評価する。



図 土壌センサ構成



各ポイントでは、10,20,50cmの深さで土壌水分センサ、テンシオメータを設置。

- 電源ボックス・ソーラーパネル
- 土壌水分センサ WD-3-WT-5Y
- テンシオメータ HD001

図 土壌センサ設置位置

実証結果

- ・生育期間中において、土壌センサ設置箇所とこれ以外のは場において、センサ情報(テンシオメータ法、誘電率水分計法による土壌水分量)を基に地下灌水制御を用いた水管理時期の変更を行なった結果、開花時期を1週間遅らせることが可能となった。
- ・収量については差が無いことから、積算気温のみによるスケジュールリング以外に、現地での栽培情報に基づいた管理により、作業時期を意図せずらし、他は場作物との作業時期を調整可能であることが明らかとなった。
- ・土壌センサ設置箇所においては、テンシオメータによってpF値も得られることから、水分特性曲線における生育阻害水分点とならない土壌水分の範囲内の管理が可能であった。そのため、他のほ場に比べ、灌水を少なくすることができ、水管理の作業においても労働力削減につながるとの意見を得た。

今後の課題 (と対応)

・全箇所において土壌水分センサ、テンシオメータの同時設置は高額となることから、安価な土壌水分センサのみの設置を行いたい意思が生産者にあり、これには p F 値を取得し、水分特性曲線求める試験を別途する必要がある。

②-4 スマート農機の地域実装を促進するための環境形成 (ビジネスモデル評価)

取組概要

- ・遠隔監視を外部事業者への作業委託として農家が利用した場合の農家経営の変化を評価
- ・遠隔監視の実証における単位面積当たりの作業時間をもとにサービス事業者が年間作業可能な面積を算出、実証に要した費用から事業者の年間費用を算出し、上記からサービス事業者が事業を継続できる10aあたりの委託費を算出
- ・実証で実施した作業(耕起、残渣処理、収穫)を委託したとして農家経営変化を評価

実証結果

表 遠隔監視による作業委託導入効果(10aあたり)

	慣行比		慣行(スマート農機を個人導入した場合)比	
	生産コスト削減率	農家利益改善率	生産コスト削減率	農家利益改善率
①ローカル5G費用を自治体などが負担の場合	-6.0%	-10.9%	8.2%	55.2%
②ローカル5G費用を事業者にて負担の場合	-19.1%	-36.5%	-3.1%	-4.3%

- 事業者が作業委託を受ける面積：3ha~(複数圃場での同時作業実施のため)
- 事業者年間作業可能面積：3,121ha (トラクタ3台、コンバイン1台)
- 事業者年間経費(①の場合)：約86百万円
- 事業者年間経費(②の場合)：約200百万円
- 委託費(①の場合)：耕起、残渣処理 2,530円 収穫 5,290円
- 委託費(②の場合)：耕起、残渣処理 6,178円 収穫 8,938円

・ローカル5G関係費用を事業者負担とすると、委託費がローカル5G関係費用を事業者以外(自治体など)が負担とした場合よりも大きくなることから、慣行と比べ生産コストは増加、利益は減少する結果となった。

・ローカル5G関係費用を事業者以外負担とした場合、実証農家は農機が減価償却済みであったため、委託化による機械費削減効果が小さく、実際の慣行の経営データに対する評価では十分な効果が得られなかった。

・スマート農機を個人導入した場合(慣行でロボットトラクタ、自動運転アシストコンバインを農家が個人導入したとして、各減価償却費を機械費に計上、作業自動化により労働時間を一部削減)と比較すると、外部事業者への作業委託を利用する場合機械費が抑えられ、利益向上では作物別評価結果の平均値で目標値(利益20%向上)を達成した

今後の課題 (と対応)

- ・国によるローカル5G費用負担組織への補助の充実が必要と考える。
- ・自動走行技術高度化、ガイドライン整備により公道走行自動化が実現できれば現場人員コスト削減につながる。
- ・自動化に対応する作業を徐々に拡大して適応作業を増やし、作業委託の適用が可能な場面を増やせると委託費の削減にもつながる。

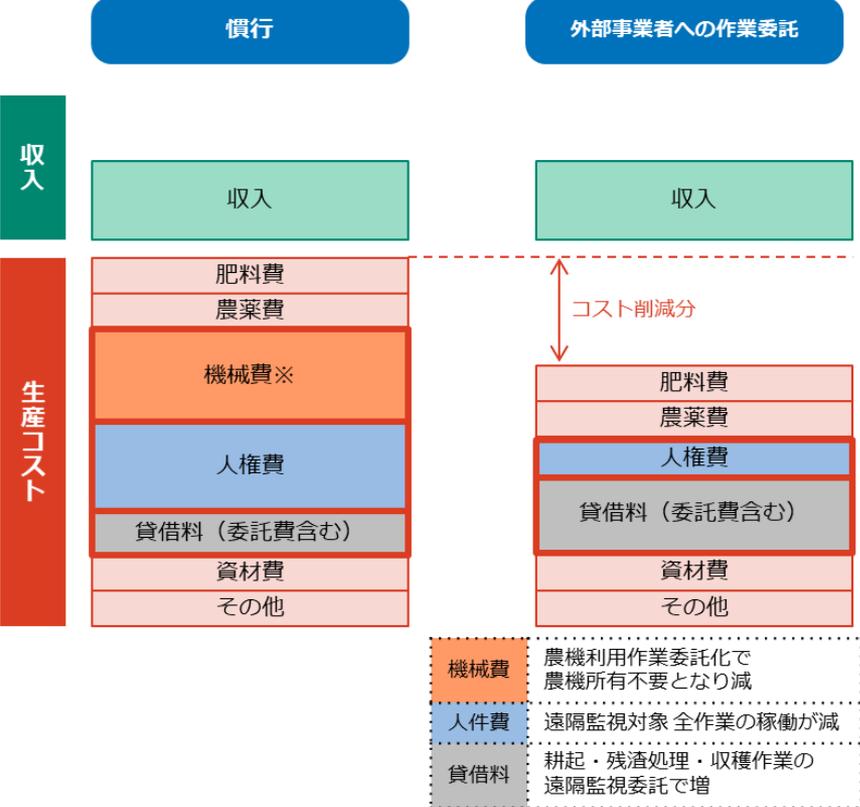


図 遠隔監視による作業委託導入による農家経営変化イメージ

実証を通じて生じた課題

1. 今回の実証で導入したスマート農業機械・技術

作業内容	機械・技術名	技術的な課題
耕起 心土破碎 残渣処理	ロボットトラクタ（遠隔監視無人作業可能のように改良） （MR1000AQMAXWUPC3-A） （MR1000AQMAXWUR2-A） （パワクロ/ホイール）	<ul style="list-style-type: none">無人作業で利用できる作業機の拡張と、それに応じた走行/巡回ルートの生成人や障害物、粉塵や雑草等を正確に判別できる安全センサの高度化（誤検出防止、信頼性向上等）ローカル5G通信やリモコン通信等、無線通信の安定性（通信切断対策等）
収穫	自動運転アシストコンバイン（遠隔監視無人作業可能のように改良） （WRH1200A-2.6W）	<ul style="list-style-type: none">センサ搭載による無人化対応（遠隔監視可能に改良したが、元々無人走行用のセンサを搭載した農機ではないためロボトラと同様に高度化したセンサ搭載による無人化対応が必要）
作業適期判断	土壌水分計 作業適期・順序スケジュール最適化ツール	<ul style="list-style-type: none">センサ設置場所拡大にむけたLPWA等のデータ通信ネットワークの整備随時の最適化スケジュールと関連情報の反映、参照、活用を可能とするためのクラウドツール化

2. その他

複数台のロボットトラクタを使用して無人作業を行う場合、無人走行マップ作成を車両ごとに行うのではなく、複数車両間で共有できる機能があれば作業工程の短縮が可能となる。

- **東日本電信電話株式会社 北海道事業部 ビジネスイノベーション部**
(Email : iwa-agri-l5g-ml@east.ntt.co.jp)

本実証課題は、農林水産省「スマート農業実証プロジェクト」（事業主体：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構）の支援により実施されました。

農研機構スマート農業実証プロジェクトホームページ
<https://www.naro.go.jp/smart-nogyo/>