

柑橘類の超省力・早期成園化実証を通じた持続的中山間農業構築モデル事業 (株) 土佐北川農園 (高知県北川村)

背景及び取組概要

<経営概要 7ha(ユズ) うち実証面積 1.4ha(ユズ) >

- 我が国の果樹農業が抱える課題である労働生産性の向上と高品質果実に対する供給不足の解消を目指し、既存のスマート農業技術などを一貫体系として実証する。
 1. 労働生産性の向上については、果樹の栽培面積の43%を占める中山間における作業省力化に向け、ドローン、索道、運搬台車による防除、収穫物等運搬、鳥獣害予防の効果を実証する。
 2. 供給不足の解消については、苗木・幼木の管理を省力化かつ早期育成する根域制限栽培技術を実証するとともに、家庭用の選果機を導入し、人手をかけずに輸出向けも含めた需要に応じた販売の推進を実証する。
 3. ベテラン農業者の行動や圃場環境情報を収集し、経営効率の評価や技術伝承手法を実証する。

導入技術

ドローン
・防除作業の効率化



ロボットアーム
・摘果、収穫作業の効率化



林道用索道システム
・防除、運搬作業の効率化



屋外運搬台車
・防除、運搬作業の効率化



根域制限栽培
・幼木管理の効率化



安全見守りシステム
・作業の安全化



5面選果システム
・選果の効率化



熟練作業者の
技術伝承ツール



省力・労働負荷軽減

安全管理・経営
解析データ管理

効率的選
果・青果率
向上

センシング・技術
伝承

(実証項目別成果) 目標に対する達成状況等

実証課題の達成目標

- 労働生産性の向上
先端技術の導入による成園管理労働時間:25%減、176時間/10a(現状:235時間/10a)
労働生産性の向上、労働安全の向上、労働負荷の低減
- 高品質果実に対する供給不足の解消
苗木幼木管理労働時間:50%減、青果出荷比率:60%(現状:49.2%)
輸出用果実出荷割合の向上
新規就労者ができるだけ早く効率的生産を実現できる教育ツールの整備

目標に対する達成状況

- 技術区分;平坦地(A区)、傾斜地(B区)、条件不利地(急傾斜地、C区)を設けた。
- 労働生産性の向上(成園管理労働時間25%減)では、ドローンを用いた農薬散布作業では平均農薬散布労働時間の10~15%減、ならびに選果機を用いた選果作業では約25%が削減された。しかしモバイルムーバー(屋外搬送台車、MM)での運搬、除草、ロボットアームでの摘果・収穫、鳥獣害防除・見回り工数削減については、これらの管理作業を含めた年間成園管理労働時間としてはおよそ6%の削減(235時間→221時間)であった。
- 労働安全の向上、労働負荷の低減では、労働安全性の向上そのものの実証には至らなかったが、安全見守りのシステムが構築され、作業状況や労働負荷ならびに危険リスク等の把握が可能となり、また作業内容の記録時間削減を実現して一定の目標は達成された。
- 高品質果実に対する供給不足の解消では、苗木幼木管理労働時間削減、ならびに青果出荷比率や輸出果実出荷割合の向上の実証まで至らなかった。
- 教育ツールの整備では、センシング画像で樹体の葉数、果実数の推定ができ、収穫量、葉果比の推定が可能となった。また摘果のための葉果比把握および剪定技術向上のための教育ツールを作成し、概ね目標は達成された。

(令和3年度成果1-(1)) 平坦地 (A区) での超省力化

取組概要

実証面積 970 m²

◎A区 (平坦地) において屋外輸送台車、ロボットアームによる省力化・労働負荷軽減、鳥獣害防止と見回り工数削減効果を検証する。

○屋外搬送台車(モバイルムーバー、MM)

(薬剤散布)

4~8月: 散布ノズル整備、リモコン操作で散布実証実施

(雑草防除)

6、11月: 送風試験実施、風量足りず改良検討も実証に至らず

(運搬)

11月: 運搬アタッチメントによる実証試験実施

○遠隔操作ロボットアーム: 摘果、収穫

8月: 摘果、収穫のための試運転

11月: LiDARによる果実認識機構のデモ実施(実証に至らず)

12月: 高所果実収穫アームによる収穫検証(実証に至らず)

○鳥獣害防止技術(R3設計書内容を変更)

8月: 定点カメラ連動型音威嚇センサを設置、検証

1月: 定点カメラデータ解析で鳥獣の映り込み確認



屋外輸送台車薬剤散布

ロボットアーム

実証結果

○屋外搬送台車、遠隔操作ロボットアーム: モバイルムーバーを使用した農薬散布試験では一定の省力効果はみられた。

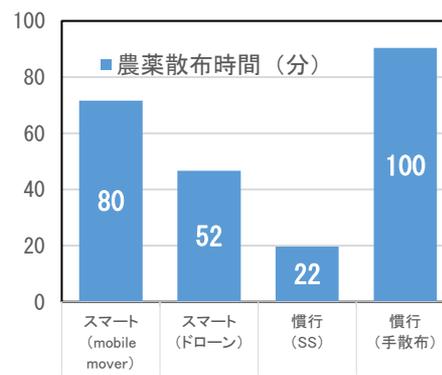


図1 一回当たり散布時間 (83本植/10a, グラフ中の数値は相対値)

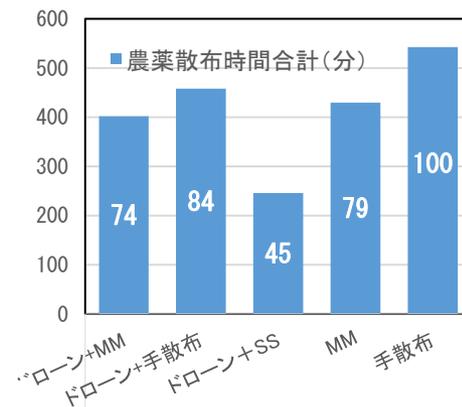


図2 年間防除における散布時間 (83本植/10a)

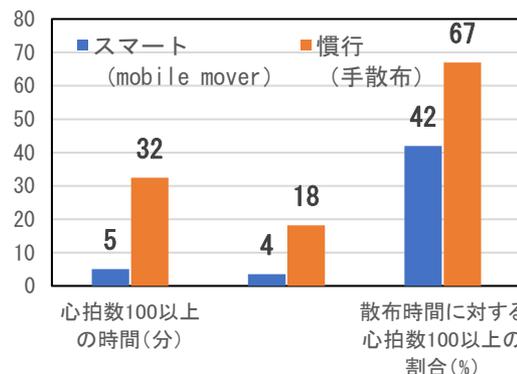


図3 散布作業時の労働負荷

* ストレス値極高値: 心拍数低周波部分(LF)と高周波部分(HF)の比。(LF/HF)が5.0以上が要注意領域

今後の課題(と対応)

モバイルムーバー: 既存品ではないために散布ノズル設置などは自分で設計、組立てが必要で、実際の農薬散布利用にはハードルが高い。運搬など圃場走行での安定性などが十分ではないなど汎用性に課題。

ロボットアーム: アームと果実採取部分の連携システム、果実認識性、遠隔操作性、圃場での移動性、部品が脱落するなど堅牢性等、根本的な設計、改良が必要。

(令和3年度成果1-(2)) 傾斜地 (B区) での超省力化

取組概要

実証面積 480 m²

◎B区 (傾斜地) において索道システム、ドローンによる省力化・労働負荷軽減、鳥獣害防止と見回り工数削減効果を検証する。

○ドローンおよび索道システム(タイプ I)、
(薬剤散布)

4月: 索道ワイヤー敷設、索道散布ノズル整備

5月~: ドローンおよび索道での散布実証実施

(運搬・索道システム)

11月: 索道のモジュールを運搬仕様に改良し、実証実施
慣行のクローラ型運搬車と比較

○鳥獣害防止技術(R3設計書内容を変更)

8月: 定点カメラ連動型音威嚇センサを設置

1月: 定点カメラデータ解析で鳥獣の映り込み確認



B区索道システム(タイプ I)

実証結果

○索道システム(タイプ I): 一回当たり散布時間および年間防除時間は慣行比で半分程度となった(図1, 2)。手散布に比べてほとんど農薬を浴びることがない。労働負荷も低減した(図3)。

○ドローン: 一回当たり散布時間および索道と組み合わせた年間防除時間は慣行比約45%減となった(図1, 2)。

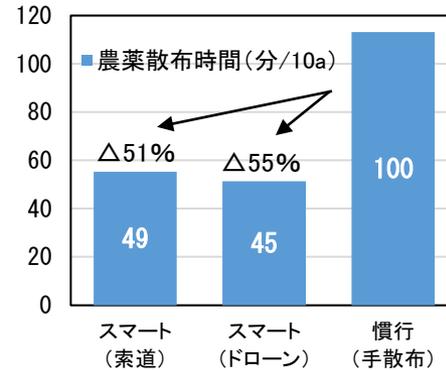


図1 一回当たり散布時間 (83本植/10a)

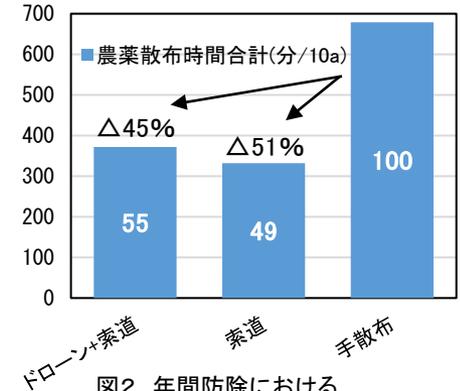


図2 年間防除における散布時間 (83本植/10a)

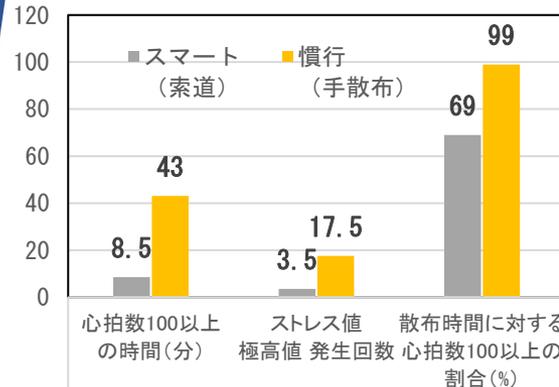


図3 散布作業時の労働負荷

今後の課題(と対応)

索道システムタイプ I :
鉄骨支柱を利用しているため、コスト、設置や移動労力を要する。

鳥獣害被害防止:
モニタリングの精度向上やそれと連動した威嚇システムの構築をどのように行うか、根本からの検討、改良が必要。

(令和3年度成果1-(3)) 条件不利地 (急傾斜地) での超省力化

取組概要

実証面積 4500 m²

◎C区 (条件不利地・急傾斜地) での索道システム、ドローンによる省力化・労働負荷軽減、鳥獣害防止と見回り工数削減効果を検証する。

○ドローンおよび索道システム (タイプⅡ)
(薬剤散布)

6月: 昨年の実証ルートでは効果的に散布できず、高所からワイヤー作業ができる場所に新たに敷設
6月~: ドローンおよび索道(8月)での散布実証実施

(運搬・索道システム)

11月: 運搬に最適なルートで新たに敷設
運搬効果の検証は実施、慣行は手による運搬

○鳥獣害防止技術 (R3設計書内容を変更)

8月: 定点カメラ連動型音威嚇センサを設置、検証
1月: 定点カメラデータ解析で鳥獣の映り込み確認



C区索道システム (タイプⅡ) 薬散仕様



ドローンによる 薬剤散布



C区索道システム (タイプⅡ) 運搬仕様

実証結果

○索道システム(タイプⅡ): 薬剤散布の省力効果はみられなかった(図1)。索道配置を階段園の水平方向にしたことが一因と考えられる。
○ドローン: 一回当たり平均散布時間では慣行より約40%の削減効果がみられた(図1)。年間防除時間(ドローン+手散布)は約10%削減できる可能性がある(図2)。

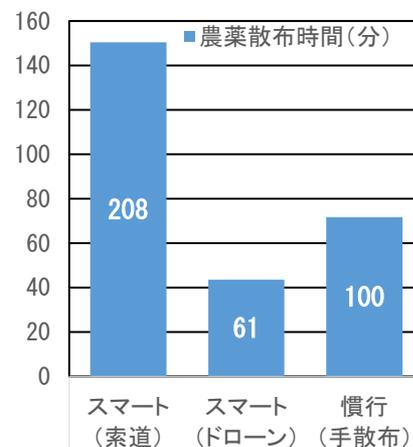


図1 一回当たり散布時間 (83本植/10a)

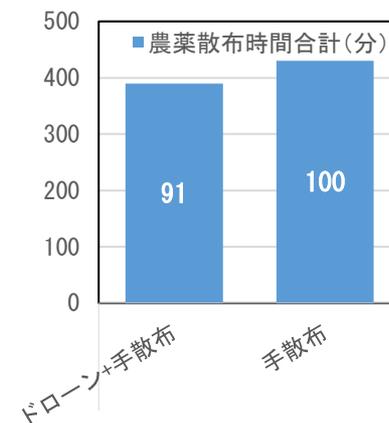


図2 年間防除における 散布時間 (83本植/10a)

今後の課題(と対応)

索道システムタイプⅡ:

設置では傾斜地の条件(段畑園、山成園、列植)に応じた配置方法などを考慮する必要がある。

ドローン:

キャリブレーション等の準備に時間がかかるため、1回あたりの散布面積を増やしたり、シェアリングなどで散布面積を拡大する必要がある。

ドローン自体へのSIMカード挿入で固定局設置が不要となり、また5G環境の構築によって遠隔運転など効率化促進も可能となる。

ジマンダイセン等は登録されている濃度が濃く、他の薬剤と混合できないため、混合可能な農薬の登録など、農薬メーカーに働きかける必要がある。

取組概要

- 家庭用プレ選果機による選果の省力化と青果率の向上を目指して、同一果実を①全量選果機、②粗選別後選果機、③全選果機後全手選別、④全手選別(慣行)の4つのパターンで選別にかかる時間と青果の検出精度を計測。

(使用機器) 家庭用プレ選果機(5面選果機)
手載せ式、排出口は3つ(等級1、2、3)



実証結果

- 慣行と比べ方法①で22%、方法②で25%の労働時間の省力化が認められた(表1)。
- 青果検出精度では、目視による方法④が最も等級1及び2の割合が低く、方法②、方法③、方法①の順に割合が高くなった。方法①では等級1の割合が高いが、明らかな等級2および3が混在しており、青果検出精度は高いとは言えなかった。
- 用いた5面選果機は果実表面の75%しか、傷などの検出ができないことを考えると、出荷先によって青果として許容できる程度は異なるが、方法2や3程度の精度は必要である。出荷先の基準に応じて選果法を使い分けることが重要。

表1 選果作業時間 単位:分秒/人・1,000果実

選果方法	選果機	手選別	計	慣行比(%)
① 全量選果機	15'02"	0'00"	15'02"	78
② 粗選別後選果機	2'48"	11'42"	14'30"	75
③ 全選果機後全手選別	15'02"	15'14"	30'16"	157
④ 全手選別(慣行)	0'00"	19'15"	19'15"	100

今後の課題 (と対応)

- 5面選果機では選果時間の削減と青果精度の確保の両面からみれば、方法2(粗選別後選果機)の利用が最も効率的と考えられる。
- 自動投入機能やセンサーを6面に改良することで、更なる省力化が見込まれるとともに、シェアリングにより導入コスト低減が可能。

(令和3年度成果2) 苗木、幼木の省力的栽培と早期成園化

取組概要

◎幼木管理作業省力化とともに、根域制限栽培による生育促進効果、着花量、早期着果(未収益期間の短縮)効果を評価(早期成園化)

4月: 気温の異なる高標高エリアや根域拡大が可能な土量での育成試験を追加

5月: 開花調査、新梢生育調査実施

8月: 土壌調査、生育調査実施

11月: 最終調査(生育調査、土壌調査、根域調査)実施

12月: 土壌化学性調査、生物性調査実施



実証2年目(宗ノ上地区)



高標高地検証(島地区)



根域拡大検証(西谷地区)



表1 着花状況調査
(R3 5月6日)

区	着花樹数	着花数計
根域制限	3 / 3 2 樹	6
慣行	1 / 1 8 樹	1

実証結果

○早期成園化: 二年目樹の一部に着花した(表1)が、結実に至らず未収益期間の短縮については両区とも着果に至らず実証期間内での評価が難しく、今後の検証が必要である。

根域制限栽培区では1年目から2年目の夏季までの伸長が大きかったが、2年目冬の段階でほぼ同等の生育となった(図1)。

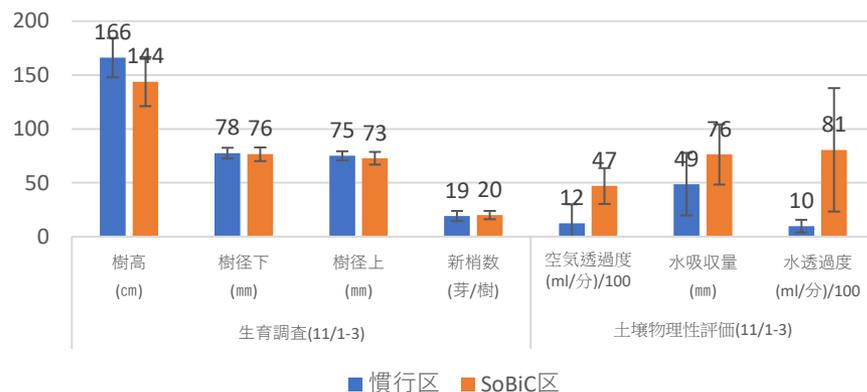


図1 幼木成長比較(2年目、11月3日)

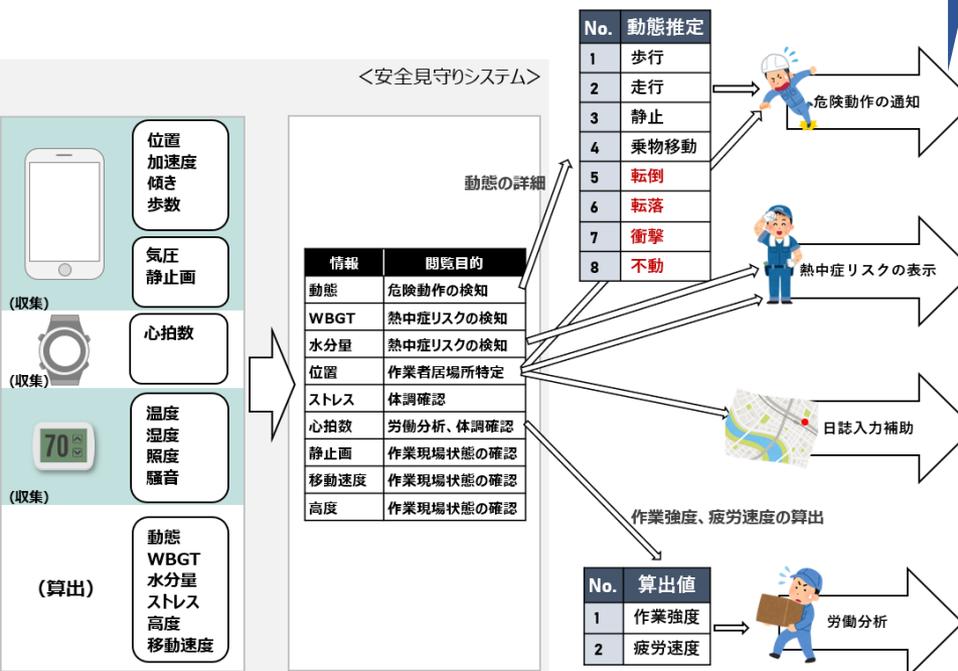
今後の課題 (と対応)

- 根域制限栽培による生育促進効果は、限定的であった。これは土壌の体積によるものと考えられ、生育を早めるにはもっと体積の大きなポットが必要と考えられる。
- 結実性を継続して検証する。

(令和3年度成果3-(1)) 労務把握ツールを用いたデータ取得と経営解析

取組概要

- ① 作業者の安全管理を行うため、安全見守りシステムを導入し、ウェアラブルデバイスからの情報で、作業者の位置や歩行・転倒・転落・不動などの行動を算出し記録すると共に、休憩室の管理画面への通知と危険動作時にはシステム利用者全員へ通知を行う。
- ② 安全見守りシステムと経営管理ソフトの連携による農業者の入力時間の削減を図る。
- ③ 安全見守りシステムのデータから作業強度、危険度等の分析を実施する。
- ④ 衝撃、転倒、転落の誤検知を防ぐため、農業の実態に合わせた検知感度のパラメータ設定の検証を実施する。



実証結果

- ① 安全見守りシステムから取得したデータを、作業者の安全管理と作業ログの取得に活用するために、期間を通じてシステムの稼働停止を発生させることなく、安定稼働させた。
- ② 手動で日誌を記録した場合と、安全見守りシステムで取得できるデータを元に自動で記録した場合を比較し、入力時間を88%削減した(図1)。
- ③ 安全見守りシステムのデータから作業疲労度の分析を実施し、スマート農法と慣行法の作業者負荷の違いを客観的に評価できるよう数値化し、効果を検証した(図2)。
- ④ 大きな転倒等の未検知を増やすことなく、衝撃の誤検知は90%減、転倒の誤検知を50%減するパラメータチューニングを実施した。

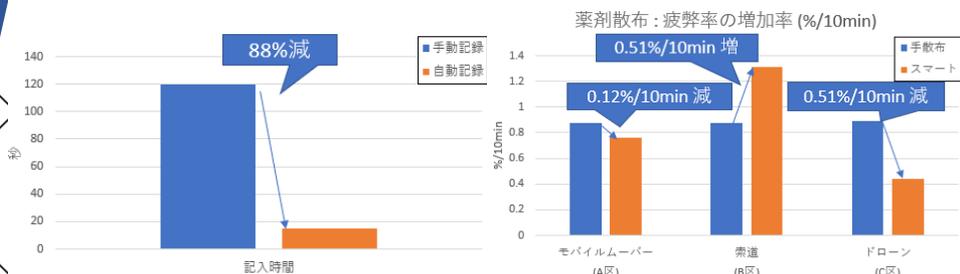


図1 手動記録と自動記録の記録時間(秒)

図2 農薬散布時の疲労速度の違い (%/10min)

今後の課題 (と対応)

- ・作業者の安全を地域で見守っていける体制を検討する。
- ・作業疲労の分析結果を作業効率の向上や、労災防止などに繋げる具体的な仕組みを検討する。
- ・作業認識画像AIによる更なる労務管理にかかる入力時間を軽減する。
- ・作業支援などに活用するリアルタイムなコミュニケーションが実現するための、ローカル5Gなどの安定した通信網を導入する。

取組概要

○樹体当りの収量予測

収穫105日前に当たる7月に樹上で計測した果実数と2020年の平均果実重(124.9 g)から推定した収穫量と実際の収穫量とは高い相関があった($r = 0.96$, $N = 10$, $P < 0.01$, $RMSE = 4.5$)。果実数が分かれば、収穫量を十分推定できることが明らかとなった。

○樹体葉果比の推定

・葉数推定:

バックパック型LiDARで得られる点群データから葉数実測値を推定した。歩行速度の影響を受ける点群数ではなく、ボクセルに変換したボクセル数との対数変化後の相関を求め、決定係数0.979というモデルを得た。

・果実数推定:

深層学習モデルYoloV4を用いた学習画像(2304x1728画素の画像1280枚)を用いて学習させた結果、F値0.86を得た。目視により検出果実のうち対象樹体以外の果実を取り除き、8方位から撮果実数と実測値の回帰直線を求め、高い決定係数 R^2 0.980を得た(図1)。

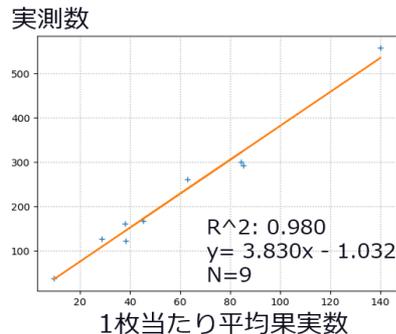


図1 撮影画像による検出果実数と実測数の関係(決定係数0.980)

実証結果

○生育予測:画像解析により果実数と葉数が精度よく推定でき、樹体当りの収量が予測できる。果実肥大が進むに従って、予測の精度が向上する。

○教育ツールの作成: 樹体当りの葉数、果実数計測から、異なる葉果比の樹体モデル画像を作成し、葉果比から摘果の要否が判断できる初心者向けのツールを作成した(図2)。

また、熟練者の剪定作業を撮影、録音、編集して、剪定する枝が分かりやすい解説付き動画を作成した(図3)。



図2 摘果に関する教育ツールの画面例



図3 栽培初心者向けの剪定に関する教育ツールの画面例

今後の課題 (と対応)

○画像解析と収量予測について、より精度を上げるためデータ数を増やすとともに、リアルタイムで判別できるよう5G環境での実証が必要。

○地域においてこれらのツールを利用するシステム構築が必要。

(終了時成果(全体)) 実証を通じて生じた課題 (1)

実証を通じて生じた課題

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
農薬散布	屋外搬送台車 (モバイルムーバー)	継続利用 年間作業での汎用性が低い。 ユズ枝のトゲでタイヤがパンクするために、ノーパンクタイヤにする必要がある。市販の農薬散布装置がないため散布装置の設計、材料購入から組み立てを行い、台車に取り付ける必要がある。
運搬		慣行で利用している運搬車(クローラ式歩行型)に比べ、一度に運べるコンテナ数が少なく、運搬効率がよくない。圃場や道路が不均一な場合は転倒の可能性があり、走行安定性がよくない。
除草・乗用		送風の除草(抑草)をめざしたが、送風では除草(抑草)できない。 圃場や園内道の不均一さなどから、乗用は危険であり、移動の効率化も期待できない。
摘果・収穫	遠隔操作ロボットアーム	摘果や収穫で果実採取ができる切断装置の強度が必要である。遠隔操作性や果実認識機能、圃場での堅牢性など多くの課題があり、設計の根本から見直す必要がある。
園地センシング	撮影用ドローン	継続利用 操作習熟(者)が必要である。目的とする園地情報に応じたカメラが必要である。農薬散布用ドローン利用時の樹列記録に用いる場合は樹列位置認識ソフトなどが必要となる。 鳥獣害威嚇のために飛ばす場合は昼間に限られ、鳥獣害センサーと連動した自動無人飛行は現状では困難である。
園地センシング	定点カメラ	継続利用 膨大なデータが得られるが、目的を定めて利用することが必要である。

(終了時成果(全体)) 実証を通じて生じた課題 (2)

作業内容	機械・技術名	技術的な課題
農薬散布	索道システム	設置には十分に安定させる工事が必要となる(タイプ I)。移動も可能だが時間や労力を要する。農薬散布では、園地の傾斜度、樹列配置、樹列幅などの条件に応じた配置設計や設置をしないと機能しないこともあり効果に安定性がない。農薬飛散を受けられる可能性もある。
運搬		索道に吊り下げる形態(収穫袋、コンテナ)や運搬距離などを十分に考慮して設計、設置しないと運搬の効率化には機能しない。
農薬散布	農薬散布用ドローン	継続利用 操作習熟(者)が必要である。散布前の準備にかなりの時間を要する。園内の樹列配置などをあらかじめ把握、記録しておく必要がある。
選果	選果機	継続利用 5面選果機では選果精度が75%であり、精度よい等級区別には限界がある。
幼木養成	根域制限栽培装置	継続利用(着果検証) 植え付け2年目になると根域がいっぱいになり、樹冠拡大に影響する可能性がある。
作業安全管理・労働記録	安全見守りシステム 経営解析外部アプリ	継続利用 作業の内容・動作による誤検知発生程度が異なることや、ウェアラブルデバイスの確実な装着などに関して、検討、改善が必要である。
園地センシング	気象センサー	膨大なデータが得られるが、目的を定めて利用することが必要である。

(実証成果 (全体)) 実証課題で取り組んだスマート農業技術を普及するための今後の取組・考え方

○ 実証課題で取り組んだスマート農業技術を普及するための今後の取組・考え方

- ① 一定の成果が見られたドローンや選果機、安全管理システムを主体として、地元ユズ農家、地域の普及組織、自治体、JAと協力して普及を進める。
- ② ドローン、選果機の導入コスト面の対応として、これらのシェアリングも視野に入れた利用、普及を進めていく。
- ③ 葉果比などのセンシングシステムや教育ツールについて地域での活用を検討していく。

○ 問い合わせ連絡先

- ・氏名 高縄健一
- ・所属 一般社団法人 北川村振興公社
- ・電話番号 0887-30-1954
- ・メールアドレス kitagawa.kousha@gmail.com

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/>