

令和7年度（2025年度）試験研究成果

課題番号：R7-02

課題名：果樹管理サポートシステム及びロボット技術による労働負担軽減技術の開発

研究期間：令和2年度～令和7年度（2020～2025年度）

研究担当：農業技術研究室

1 研究の目的

（1）背景・目的

本県の主要品目であるナシでは、生産者の高齢化や後継者不足が進展しているため、省力化・軽労化に寄与するスマート機器等を開発する。

また、近年の気候変動により生育が前進化し、霜害リスクが高まっているため、より細やかな気温予測を可能にする。

（2）到達目標

- ・農業用スマート運搬ロボットを開発する。
- ・スマート農機の導入が容易となる果樹棚を開発する。
- ・アメダス地点から離れている果樹園地においても気温予測ができるよう気温推定モデルを作成するとともに、スマホ等で利用可能にする。

2 成果の概要

（1）整枝法毎のスマート農機の導入と運用

1) スマート農機の検証

ア 追従型運搬ロボット

- ・工場用の半自動追従型運搬ロボットを基に開発を開始し、改良と走行試験を重ねて（図1、表1）ワイヤー1本を引けば人に付いて走行し、果樹園で誰もが簡単に重量物を運べる運搬ロボットを産学公の連携により開発した。
- ・平地での最大積載量120kg、登坂能力、様々な路面での走破性、段差乗り越え等、果樹園の重量物運搬走行に必要な仕様をクリアした。
- ・下り坂では人が真っすぐ走行していても蛇行する傾向にあったが、制御プログラムの改善によりこれを抑制した（図2）。

イ ロボット草刈機

- ・ロボット草刈機の稼働中に起こるトラブルを把握し、対処法を整理した（表2）。

2) スマート農機の運用

ア 追従型運搬ロボット

- ・収穫したナシの運搬による人への負担については、心拍数により一輪車と比較して運搬ロボットにより軽減されることが確認された（図3）
- ・使用上の注意点及び活用事例について動画作成した（図4）。

イ ロボット草刈機

- ・段差や障害物がないほ場では、エリアワイヤーからの距離が半径100m以内に充電ステーションを設置すれば信号を受信できるため、充電ステーションの設置方法を工夫することで、50aのナシ園をロボット草刈機1台で除草する事ができる。
- ・ナシ園においては、導入することにより、年間の除草作業時間が大幅に削減される（表3）。
- ・費用対効果については、園地面積が50aの場合、耐用年数以内に効果が費用を上回る（表4）。
- ・ロボット草刈機を利用する上での留意事項を確認し、「果樹園におけるロボット草刈機導入マニュアル」を作成した。

(2) スマート農機に適した栽培方法の改善

- ・スマート農機（ロボット草刈機・GPS機器）がスムーズに稼働することが可能な、直線状で、支柱が少なくアンカーもないナシV字棚を開発した。
- ・3.5mの位置に設置した被覆ネットはGPS機器へ影響しないことを明らかにした（表5）。
- ・独立した支柱の構造では十分な強度が得られないが、隣の樹列の棚と連結した構造にすることで強度の確保ができた（図5、表6）
- ・資材費は、従来の改良むかで整枝の棚と比較すると8割程度に抑えられる。

(3) 果樹管理サポートシステムの開発

- ・平山台果樹生産団地（萩市田万川町）をモデル産地とし、気温推定に必要な気温観測（20地点）を2023年～2024年に行った。
- ・気温推定で用いる地点間温位差^{*1}の推定に必要なTesc及びTsscの推定モデルを作成するとともに（図6、表7）、50mメッシュ気温を推定した（図7）。
- ・50mメッシュ気温データ推定モデルを農地環境推定システム（農研機構、(株)ビジョンテック開発）に取り込み、指定地点における推定気温及び予測推定気温（スマートフォンで2日先、PC7日先）の取得を可能にした（図8）。

- ・ 指定地点における気温の推定誤差 (RMSE^{※2}) は、平均気温は問題ない (RMSE=0.9) が、最高気温 (RMSE=2.5) と最低気温 (RMSE=2.1) の誤差が大きくなった。

※1 地点間温位差は推定地点と基準地点の温位差で、立地条件を反映した推定地点要素 (T_{sc}) と基準地点要素 (T_{ssc}) の合計

$$\text{※2 RMSE (2乗平均平方根誤差)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T - T_a)^2}$$

n: サンプル数、T: 推定気温、T_a: 観測気温

3 成果の活用

- (1) 農業用スマート運搬ロボットを活用すれば、収穫物・肥料等の運搬や農薬散布等の管理作業の省力化・負担軽減になる。
- (2) 「果樹園におけるロボット草刈機導入マニュアル」を活用すれば円滑にロボット草刈機を導入できる。
- (3) 新たに開発した果樹棚を活用すれば、ロボット草刈機等のスマート農機の導入が容易となる。
- (4) 果樹管理サポートシステムについては、霜害予測での活用を想定していたが、最低気温の推定誤差が大きいため、生産者が活用するのは難しいと思われる。

4 主なデータ



図1 追従型運搬ロボットの開発過程

表 1 追従型運搬ロボットの改良

試作機	問題点	改良点
1号機 ↓ 2号機 ↓	始動時にテザーの引出し長さを認識させるのに慣れが必要 テザーの引っ張りエラーが多発 旋回が速すぎて荷崩れ発生 バック機能が必要 スピードが遅い 地面が濡れていたり軟らかいとスリップ 荷台が上がればコンテナを軽トラに積む際に便利 生産者の期待する価格が低い	荷台・車輪の大型化 段差乗り越え能力の強化 (2cm→10cm) 揺動制御機能の追加 登坂能力の強化 (最大傾斜9° →23°) 走破性の強化 (砂利、石が混じった地面) 最短テザー長の短縮 (40cm→20cm) 3号機で改善
3号機 ↓	下り坂等では機体が蛇行 収穫コンテナを運ぶにはあおりが必要 防水性能が必要	制御プログラムの改善 バック機能の追加 バック走行のスピードアップ、4号機で改善 4号機で追加
4号機		アルミフレームをスチール化 テザーの長さの自由設定をなくして固定化 4号機で改善 4号機で追加 前進ボタン及び後進ボタンを追加 速度・旋回応答調節つまみを追加 制御プログラムの改善 あおりをオプションで追加 昇降機能をオプションで追加

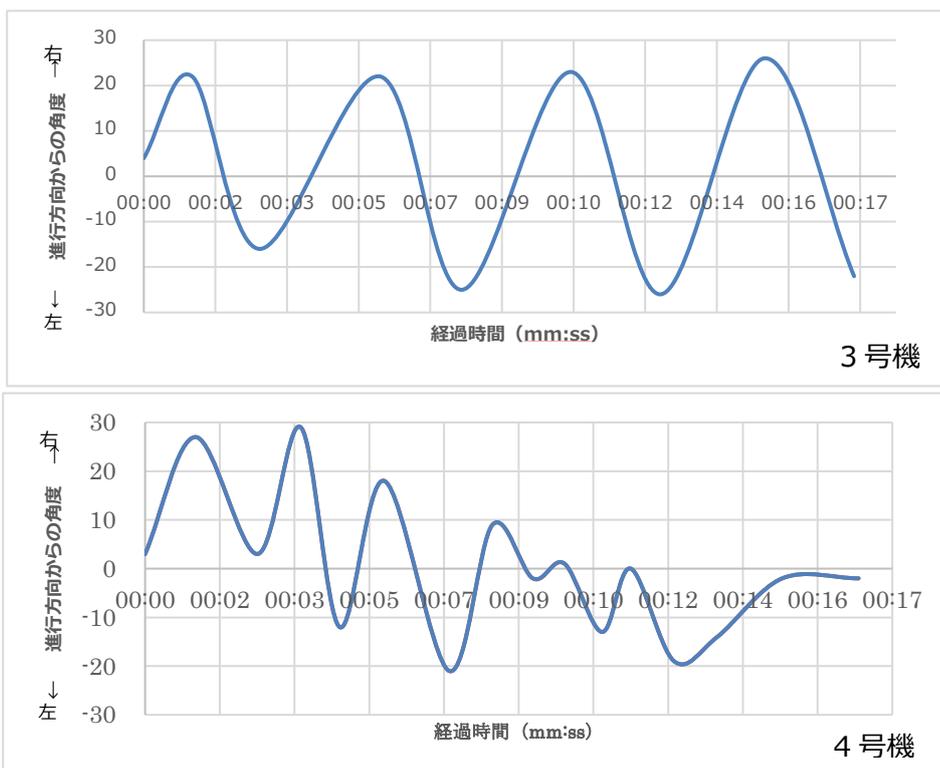


図 2 試作 3 号機と 4 号機の蛇行の比較

表2 ロボット草刈機の使用上のトラブル及び対処法

トラブル	対処法
大きい石に乗り上げて停止	柵やブロックの設置
樹と支柱の間等狭い所での立ち往生	
果樹棚の支柱やアンカーに引っ掛かり停止	
果樹棚の斜め支柱に上って停止	
紐や刈草、ワラが刃に絡んで停止	除去、敷ワラの細断
獣害によるエリアワイヤーの断線	埋設又は塩ビパイプによる保護
障害物にぶつかり停止または反転・横転	障害物の除去、柵設置
穴にはまって停止・横転	穴の埋め戻し
夏季高温による充電能力の低下	バッテリーの日除け

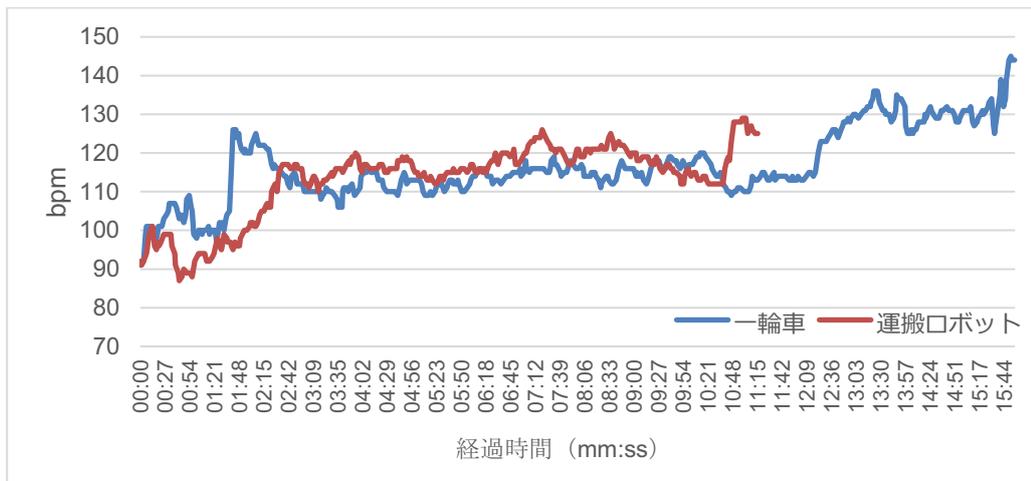


図3 ナシの運搬時における心拍数の変化



図4 使用上の注意と活用事例の動画例

表3 ロボット草刈機の導入により削減される除草時間

<平棚栽培/10a ※幼木園>

作業	時間	回数	年間作業時間
トラクター除草	60分	9回	9時間
刈払機	50分	9回	7時間30分
合計			16時間30分

<V字ジョイント棚栽培/10a ※幼木園>

作業	時間	回数	年間作業時間
トラクター除草	86分	9回	13時間
刈払機	120分	9回	18時間
合計			31時間

表4 ロボット草刈機の費用対効果(50aの)

年間除草作業時間	16.5hr/10a
時給	1,043円/hr
作業可能面積	50a
耐用年数	7年
効果	602,333円
費用(1セット販売額)	583,000円

表5 被覆ネットにおけるGPSトラクター走行試験結果

被覆ネット資材	棚線資材	GPS走行
4mmネット	25mm鋼管	可
	鋼線	可
	プラスチック樹脂線	可
40mmネット	25mm鋼管	可
	鋼線	可
	プラスチック樹脂線	可

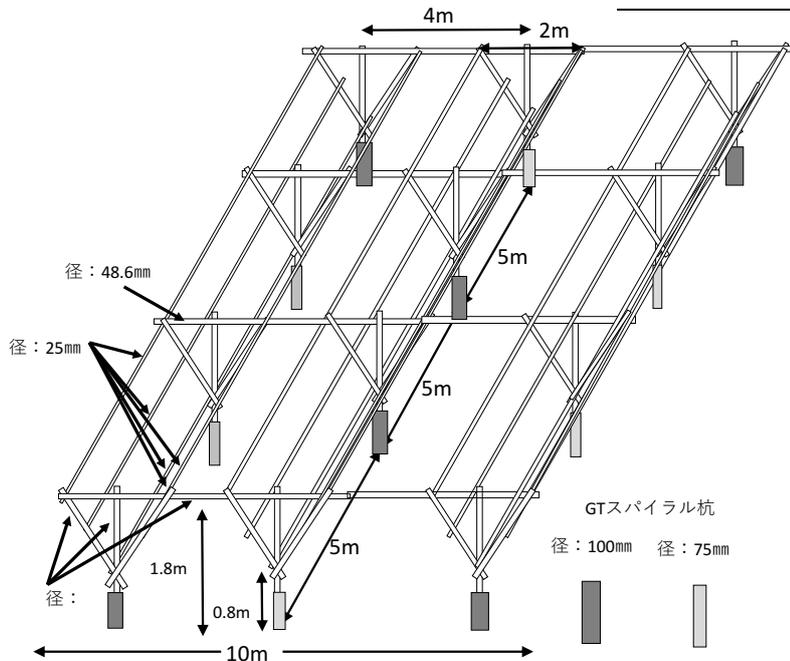


図5 棚設計図

表6 独立した支柱および隣と隣接した支柱の強度の違い

棚の構造	引き抜き (kg)	引っ張り (kg)			
		縦		横	
径 100mm	単独	3°	145.5	3°	38.5
		5°	341.5	5°	76.5
	連結	3°	123.0	2.8° ※2	444.5
		5°	283.0		
径 75mm	単独	3°	175.0	3°	88.0
		5°	253.5	5°	136.5
	連結	3°	168.5	3°	114.0
		5°	276.0	5°	238.0

※1 460kg以上の力をかけることが出来なかったため

※2 3°に到達する前に500kgまで力がかかったため

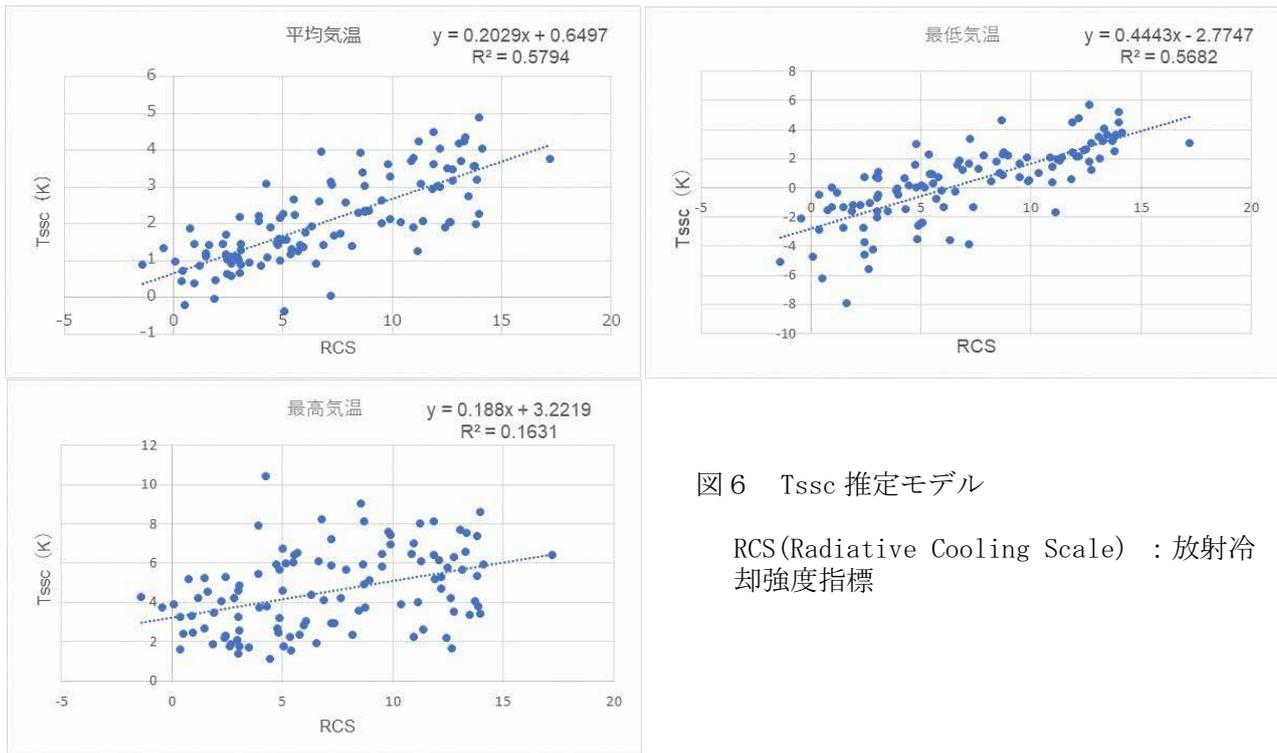


図6 Tssc 推定モデル

RCS(Radiative Cooling Scale) : 放射冷却強度指標

表7 Tesc推定モデル

気温	グループ	推定モデル
平均	RCS<=0	$Tesc = -0.03285 \times DH4 - 0.0001911 \times VA21 + 2.939$
	$0 < RCS \leq 7$	$Tesc = -0.028140 \times DH3 + 1.430770 \times OPD56 - 0.504323$
	$7 < RCS \leq 10$	$Tesc = -0.061734 \times DH3 + 0.008674 \times H - 1.419165$
	$10 < RCS$	$Tesc = -0.069337 \times DH4 + 0.018319 \times AH46 - 2.829631$
最低	RCS<=0	$Tesc = -0.09121 \times DH4 + 0.49665 \times SL59 + 0.49622$
	$0 < RCS \leq 7$	$Tesc = -0.049771 \times DH4 + 0.022685 \times AH58 + 2.994468 \times OPD35 - 0.010186 \times H - 3.581575$
	$7 < RCS \leq 10$	$Tesc = -0.014719 \times AH17 + 4.395440 \times OPE2 - 0.193784 \times SL14 - 6.494317$
	$10 < RCS$	$Tesc = 0.04072 \times AH58 - 0.35292 \times SL15 + 5.81092 \times OPE2 - 12.70187$
最高	RCS<=0	$Tesc = 0.8601 \times SL51 - 1.4549$
	$0 < RCS \leq 7$	$Tesc = -0.0003907 \times VA22 + 5.4475452$
	$7 < RCS \leq 10$	$Tesc = -0.0005758 \times VA22 + 8.0265022$
	$10 < RCS$	$Tesc = -0.0006376 \times VA22 + 8.8891841$

以下の説明変数を用いてステップワイズ重回帰分析した結果

(説明変数) 標高:H、緯度:Y、経度:X、平均標高:AH、標高差:DH、平均傾斜:SL、傾斜の通過頻度:VA、開放度(対象地点より-30~+30m以上高くない周辺メッシュの割合):OPA(-30m)、OPB(-20m)、OPC(-10m)、OPD(0m)、OPE(+10m)、OPF(+20m)、OPG(+30m)、海岸距離:SD

説明変数記号の後の数字は計算に含める周辺メッシュ数

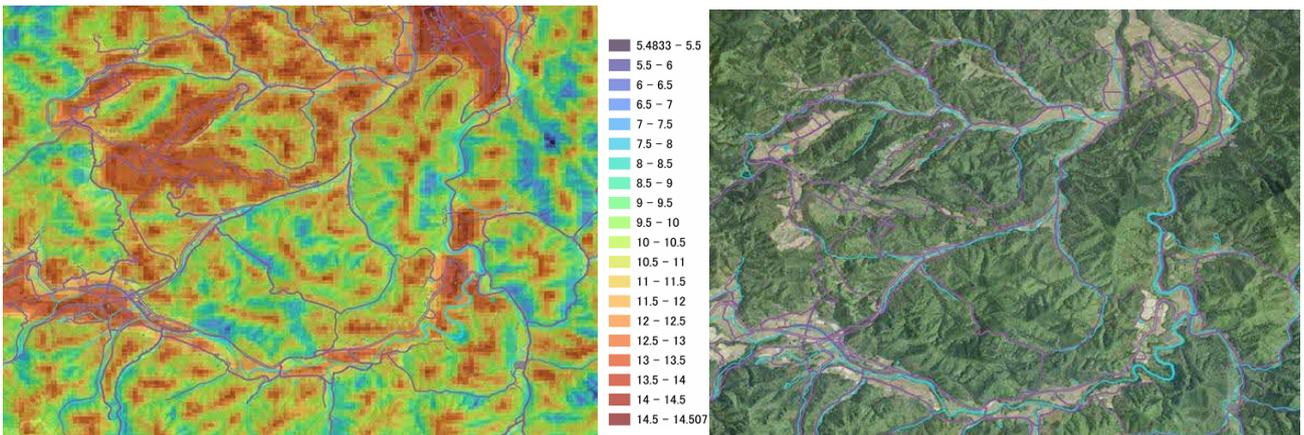


図7 推定モデルにより作成した平均気温 (3/20~4/30) の50mメッシュデータ (萩市小川地域)

日値・積算値	11/25	11/26	11/27	11/28
平均気温(°C)	13.3	11.5	9.9	9.1
最高気温(°C)	22.2	17.7	21.9	19.9
最低気温(°C)	6.5	6.2	3.1	2.7
相対湿度(%)	63.4	69.9	62.6	64.2
日射量(MJ/m ²)	6.1			
降水量(mm)	11.0			
蒸発散量(mm)	1.1			
天気予報				
風速(m/s)	2.5	9.3	0.9	

図8 スマホ画面 (左図) 及びPC画面 (右図)

農業用スマート運搬ロボット



収穫物運搬の
軽労化



農薬散布の省力化

スマート農機に対応した果樹棚

支柱やアンカーが少ない



ロボット草刈機がスムーズに走行



作業の
サポート

果樹栽培の負担を軽減

新規就農しやすく、高齢者でも続けられる栽培

管理の
サポート

果樹管理サポートシステム
アメダスポイントから離れた
果樹園の気温を推定
↓
果樹の霜害予測

うちの園地
何℃まで下
がる？



令和2年度（2020年度）研究推進計画書

6

(変更年：R~~4~~年度)

1 課題分類	未来を担う人材や中核経営体の確保・育成 需要に的確にこたえる生産力の増強		
2 課題名	果樹管理サポートシステム及びロボット技術による労働負担軽減技術 の開発（旧：スマート農機実装によるナシの効率・軽労生産） （希望事業名：スマート農林漁業「匠の技」創出事業）		
3 研究期間	R2～R6 7 （2020-202 5 ）	4 希望予算区分	単県
5 担当研究室 協力研究室 共同研究機関	園芸作物研究室 果樹栽培グループ 山口東京理科大学 SEEDs ロボティクス （株）やまびこ 東京戸張株式会社	6 要望提出機関	園芸作物研究室

7 研究の背景及び目的

(1) 背景

県内外で評価の高い秋芳梨や豊北梨など、県の主要品目であるナシでは生産者の高齢化や後継者不足が進んでおり、園地継承を円滑に行う体制整備が課題となっている。また、気候変動に伴う生育時期の前進化や、霜害、降雹害も頻発してきている。

このような状況の中、近年は生産者の荷重負担を軽減するスマート農機の開発や製品化が進むとともに、AI等の発展による気象の予測精度の上昇やより細やかで高度な気温等の予測が可能となりつつある。

(2) 既往の成果

ア ジョイントV字樹形において、追従型自動走行車を想定した収穫模擬試験では、慣行法より35%作業時間が短縮され、体への負担も軽減された（神奈川農技セ 2019）。

イ 工場用として製品化されている半自動追従型運搬車の機構を活用し、既存のナシ園で活用可能な果樹用追従型運搬ロボットの試作機を製作（山口農総技セ 2021）。

ウ 気温の経過から開花期を予測するモデルを構築した（杉浦 1997）。

エ 50mメッシュの精密気象データの作成方法を開発した（農研機構 2019）。

(3) 残された問題点

製作した追従型運搬ロボットの試作機について、効果的な運用方法を確立できていない。

山口県では50mメッシュの精密気象データが作成されておらず、局地的な気温の予測ができていない。

(4) 目的

追従型運搬ロボット等スマート農機を活用した労働負荷軽減技術を開発するとともに、効率的な気象災害対策や作業効率を上げるための開花予測等を行う果樹管理サポートシステムの開発を行い、ナシ生産者の経営安定に資する。

(5) 農林水産部の施策方向

R2～3は「次世代を切り拓くスマート農林業研究事業」、R4～「スマート農林漁業「匠の技」創出事業」に位置付けられており、山口県果樹農業振興計画においても、果樹経営の体質強化として、省力化のための効率的な機械導入を推進することとしている。

8 共同研究をする必要性

追従型運搬ロボットの改良あたっては、専門的知識と機械の改良を行う業者の協力が不可欠となるため、山口東京理科大学、T B グローバルテクノロジーズ株式会社と共同研究契約を締結している。

G P S 機器対応果樹棚については、独立した果樹棚の作成のため、支柱不要な防風ネットを開発した、東京戸張株式会社の協力を得ている。

9 研究計画の内容

(1) 概要

ア スマート農機の運用方法の検討

追従型運搬ロボット、自動草刈り機の運用方法を確立する。

イ スマート農機に適した栽培方法の改善

今後果樹園でも普及性が見込める、自動操舵システム等G P S 電波を使用した機器の導入を想定し棚の形状を改良する。

ウ 果樹管理サポートシステムの開発

50mメッシュ気象予測を活用し、霜害の発生予測や開花期の予測を行うシステムを確立する。

(2) 課題構成、達成目標及び研究年次

中課題	小課題	試験項目	達成目標	研究年次
整枝法毎のスマート農機の導入と運用	スマート農機の検証	場内及び現地果樹園で機械を使用し、整枝法園地条件、機械の動作を確認	スマート農機運用上の問題点把握	(R2~R3)
	スマート農機の運用	運用上の問題点に対する改善策の検証 つらい作業の改善	最適な作業体系及び運用方法の提示	(R3~R5)
		スマート農機を活用した際の費用、作業時間、体への負担を確認	スマート農機導入の費用対効果の把握 マニュアル作成	(R3~ R6) R7
スマート農機に適した栽培方法の改善	G P S 機器の導入を想定した「むかで整枝」用果樹棚の改良	果樹棚の構造の違いによるG P S 機器への適正を確認	果樹園へのG P S 機器導入 (防除、除草の自動化)	(R2~R4)
		果樹棚の構造の違いによる棚の強度、作業性の確認	棚の栽培への適正把握	(R3~R6)
果樹管理サポートシステムの開発	50mメッシュ気象予測	1か所20地点3か月以上の気温計測、他データの収集	50mメッシュ気象データ作成	(R4~R5)
		50mメッシュ精密気象データと気象予測の連動	50mメッシュ気象予測の開始	(R5~ R6) R7
	果樹管理サポートシステムの開発	50mメッシュ気象予測と実測の比較	園地ごとの降霜、開花期予測	(R5~ R6) R7
		予測のシステム作成	システムの確立	(R6)R7

(3) 主要な利用施設・備品

追従型運搬ロボット、自動草刈り機、GPS機器対応果樹棚、気温観測装置

10 研究のポイント

追従型運搬ロボット等スマート農機を活用するとともに、果樹管理サポートシステムを開発することにより、労働負担を軽減し、作業効率を向上させることで、新規就農者が取り組み易くするとともに、既存生産者の規模拡大を可能とする。

11 普及に向けたスキーム

- ・生産者等に対して、現地実証ほを活用してスマート農業関連技術の紹介、実演等を実施する。
- ・スマート農機の運用方法や費用対効果については、スマート農機導入の手引き等マニュアルとして整理する。
- ・霜害予測、開花予測等を行う果樹管理サポートシステムを開発し、生産者に情報提供する。