

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	現場ニーズ対応型研究のうちドローン等を活用した農地・作物情報の広域収集・可視化及び利活用技術の開発			担当開発官等名	研究統括官(生産技術)室
				連携する行政部局	大臣官房政策課技術政策室 大臣官房統計部統計企画管理官 経営局農地政策課 経営局保険監理官 農村振興局整備部防災課 農産局穀物課経営安定対策室
研究期間	H30～R4（5年間）			総事業費（億円）	1.5億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		
					
研究課題の概要					
農業行政に関わる様々な業務において、目視や人手による現地確認業務、事務的な資料作成業務に膨大な時間が費やされており、これら業務の大幅な効率化が求められている。このため、広域の農地・作物情報をドローン等で得られた画像データやAIによる解析技術等を活用することで、農業行政に関わる（A）作付作物・農地状況確認、（B）災害時の作物・農地被害状況調査に必要な業務を支援する技術を開発し、作業時間の大幅な削減を図り、迅速な災害復旧等にも貢献する。					
1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標					
収集データをもとに構築したAI等解析技術を活用して、農業行政に関わる（A）作付作物・農地状況確認、（B）被災時の減収調査や災害査定調査に係る作業時間を1/2以下に削減するシステムを開発する。					
2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R9年）					
農業行政に関わる現地での目視確認や人手による調査等では膨大な時間を要しているが、近年の人手不足により業務の継続性が困難になりつつある。 本研究課題において作業時間を1/2以下に削減するシステムを開発することにより、人手を要する農業行政業務の継続的な維持が可能となる。					

【項目別評価】	
1. 研究成果の意義	ランク：A
（研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性について記載） ・研究成果の科学的・技術的な意義 各種農業行政に係る業務の省力・迅速化を支援する技術の開発を行うために、AIやドローン技術等を活用するものであり、研究成果の科学的・技術的な意義は大きい。 一般的に知られているAIは、学習データの多様性が高いほど望ましい結果を出力するとされている。本プロジェクトの成果となるAIも、教師データの追加によって精度が向上するという結果が示されており、農業分野での応用例としてAIの科学的・技術的な知見を積み上げたといえる。 ・社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性 土地利用型の生産現場では、各種補助金の交付等に必要な作付確認や農地の集約化に伴う圃場境界調査（※1）の効率化が求められている。また、台風などの災害時に早期の営農再開に向けた迅速な作物や農地の被害状況の把握等が求められており、社会・経済等に及ぼす効果は大きく、重要性は高い。 また、食料・農業・農村基本計画（2020年3月）では、農業DXの推進が盛り込まれ、農業・食関連産業のDX推進のための羅針盤として農業DX構想（2021年3月）が取りまとめられたが、本プロジェ	

クトは、農業DXの実現に向けたプロジェクトの一つとして位置付けられており、行政手続の変革を図るためには重要な技術である。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

（最終の到達目標に対する達成度、今後の達成可能性とその具体的な根拠について記載）

・最終の到達目標に対する達成度

（A）水稻・大豆・麦等の作物の識別を画像のAI解析により99%程度の精度で達成し、画像取得には長時間飛行を可能とする固定翼型ドローンを活用し、圃場での作付確認時間の約65%削減を達成した。さらに、技術依存度が低く、山間部を含めた全国の農地を広範囲で撮影することができるドローン（垂直離着陸機）を検討した。また、RTK-GPS（※2）機器を活用して、±5cm程度の誤差で圃場境界を認識できる手法を確立し、スマートフォンを活用して、圃場境界の位置を十分な精度で容易に復元する手法を確立した。（B）農作物の被害状況調査については、複数のAIエンジンによる収量分析手法を検討し、被災圃場の収量の精度において、誤差±20%程度で推定している。また、農地の被災確認では、簡易的な被災面積や被害額を算定するソフトウェアを製作し、スマートフォンを利用したデータ収集を検討するとともに、査定写真撮影については、仮想画像で置き換えることで、全体工数の約20%の削減効果を明らかにした。更に、被災復旧業務全体の課題を明らかにし、改善フローに基づいた災害復旧事務システムのプロトタイプの開発に着手した。

以上のように、AI画像等による対象の検出精度は概ね達成しており、作付作物確認業務では既に65%の作業時間を削減し、農地の被災確認では査定写真を仮想画像で置き換えるだけで20%の作業時間を削減し、更に災害復旧業務全体での効率化を検討し、大幅な作業時間の削減効果が見込まれていることから、最終目標に対して順調に進捗している。

・今後の達成可能性とその具体的な根拠

個々の技術開発は順調に進捗しており、引き続きデータの収集・蓄積、AIアルゴリズム（※3）の構築により、さらなる省力化と精度の向上を図るとともに、最終目標に向けた実証試験やマニュアルの整備を行うことから、最終目標の達成は十分に可能である。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性

ランク：A

（アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠、研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性、他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度について記載）

・アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

本研究課題によって開発した画像解析技術等を用いることで、各農家から申告される作付情報を現地で目視確認する作付確認調査や被災時の目視調査、実測調査などに係る作業時間が大幅に削減される。それぞれの課題を抱える自治体とも連携して、実際の現場において実証試験、意見収集、改良を行い現場ニーズに即した開発を行っていることから、膨大な作業時間により継続が困難になりつつあったこれらの調査業務において、一連の作業時間を1/2以下に削減することで、各種補助金の交付や農業共済制度などの業務を継続的に維持することが可能である。

・研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

研究コンソーシアムに技術の利用が想定される県、市、土地改良事業団体連合会、農業共済組合が参画して開発段階から連携し、データ収集や技術開発、実証試験を行っているほか、農林水産省によるドローンの補助者なし目視外飛行実証プロジェクトへの参画や、ドローンによる作付確認業務のマニュアル作成に係わる受託業務等、早期の実用化や実際の業務への適用に向けた活動を行政と連携して積極的に行っており、普及・実用化に向けた取組は妥当である。

・他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

森林や河川、海岸等の被災状況の迅速な把握といった農地以外への横展開の可能性がある。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

（研究計画（的確な見直しが行われてきたか等）、研究推進体制、予算配分（研究の進捗状況を踏まえた重点配分等）の妥当性について記載）

・研究計画（的確な見直しが行われてきたか等）の妥当性

毎年度開催される運営委員会、随時行うコンソーシアム参画機関が参加する定例研究会議等において、進捗状況の確認や研究計画の確認を行っている。圃場境界の記録・復元では、コストや導入容易性などの面から、ドローンではなくスマートフォンを活用して圃場境界の位置を十分な精度で容易に復元する手法を検討しており、また農地の被災確認では、全体の業務フローの検討を踏まえ、ドローン空撮画像だけではなくスマートフォンなどのデバイスによる3次元データの活用を検討するなど、進捗状況に応じて適切な計画見直しを行っている。

・研究推進体制の妥当性

外部有識者及び関連行政部局で構成する運営委員会にて、進捗状況及び次年度の研究計画の確認、研究推進上の問題点や行政ニーズの把握等を行うとともに、農業共済組合等関係各所からの協力を受け、着実に研究成果が得られるよう進捗管理を行っている。また、迅速かつ確実な社会実装に向け、地方公共団体、農業再生協議会、農業共済組合、土地改良事業団体連合会等の実際の実需者とAI等の技術開発実績のある民間企業でコンソーシアムが構成されており、研究推進体制は妥当である。

・予算配分（研究の進捗状況を踏まえた重点配分等）の妥当性

各課題ともに順調に進捗しており、適正な予算配分となっている。今後は、個々の技術を行政のニーズに見合う精度まで向上させ、実証試験による効果検証を含めた技術開発と、事務的な資料作成支援のための技術開発を重点的に進める予定である。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・ドローン等で得られた画像データ、AIによる解析技術等を活用し、作付作物・農地状況を確認するとともに、災害時の被害状況の把握に利活用する非常に重要な研究課題である。
- ・ドローンとAIによる解析で画像が活用できるという項目を一定の精度で明らかにし、撮影画像に置き換えるだけで、想定以上の作業時間を短縮できることが見込まれており、最終目標の達成も十分可能と確認できる。
- ・行政への利活用に向けて、着実に研究課題が進捗している。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・研究資源の投入に対する効果等について、より成果の意義を明確にアピールできることを期待したい。

[研究課題名]

現場ニーズ対応型研究のうち

ドローン等を活用した農地・作物情報の広域収集・可視化及び利活用技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
圃場境界調査	農地の集積・集約化を図る際に地権者が所有する農地の境界を測量する作業。	1
RTK-GPS	位置が分かっている基準局と位置を求めようとする観測点で同時にGPS観測を行い、基準局で観測したデータを無線等で観測点へリアルタイムに送信し、基準局の位置成果に基づいて観測点の位置をリアルタイムで求めるもの。	2
AIアルゴリズム	AI（人工知能）が様々なデータから機械学習をするための計算手順を示したもの。	3

⑦ ドローン等を活用した農地・作物情報の広域収集・可視化及び利活用技術の開発 【継続】

- 農業行政に関わる作付け確認、合筆時のほ場境界測量、農業共済査定、被災確認といった様々な業務において、**目視や人手による現地確認業務、事務的な資料作成業務に膨大な時間が費やされている。**
- ドローン等で得られた画像とAIによる解析技術等を活用して、広域の農地・作物情報を分析し、**①作付作物、面積の調査、②ほ場境界の測量、③作物・農地被害状況の調査などに必要な資料作成を支援するソフトウェア等を開発。**
- 上記の調査などに必要な現地確認・測量にかかる作業、および資料作成の時間を1 / 2 以下に削減。

生産現場の課題

農業行政に関わる様々な業務において、目視や人手による現地確認業務、事務的な資料作成業務に膨大な時間が費やされている。



<イメージ>

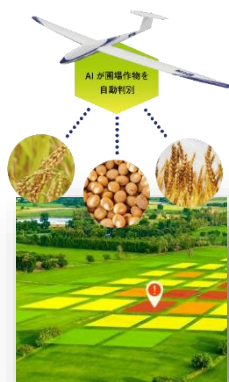


生産現場の課題解決に資する研究内容

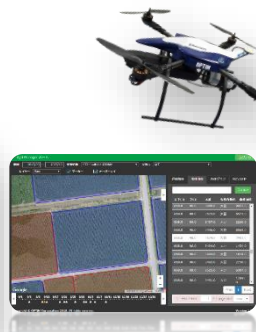
ドローンによる画像データとAI画像解析エンジンを活用し、
①作付作物の自動判別や②ほ場境界の自動判別・測量、
③病虫害や自然災害等による作物・農地被害状況を調査する技術を開発し、事務的な資料作成を支援するソフトウェアを開発する。

<イメージ>

【作付作物調査】



【ほ場境界調査】



【作物被害状況調査】



社会実装の進め方と期待される効果

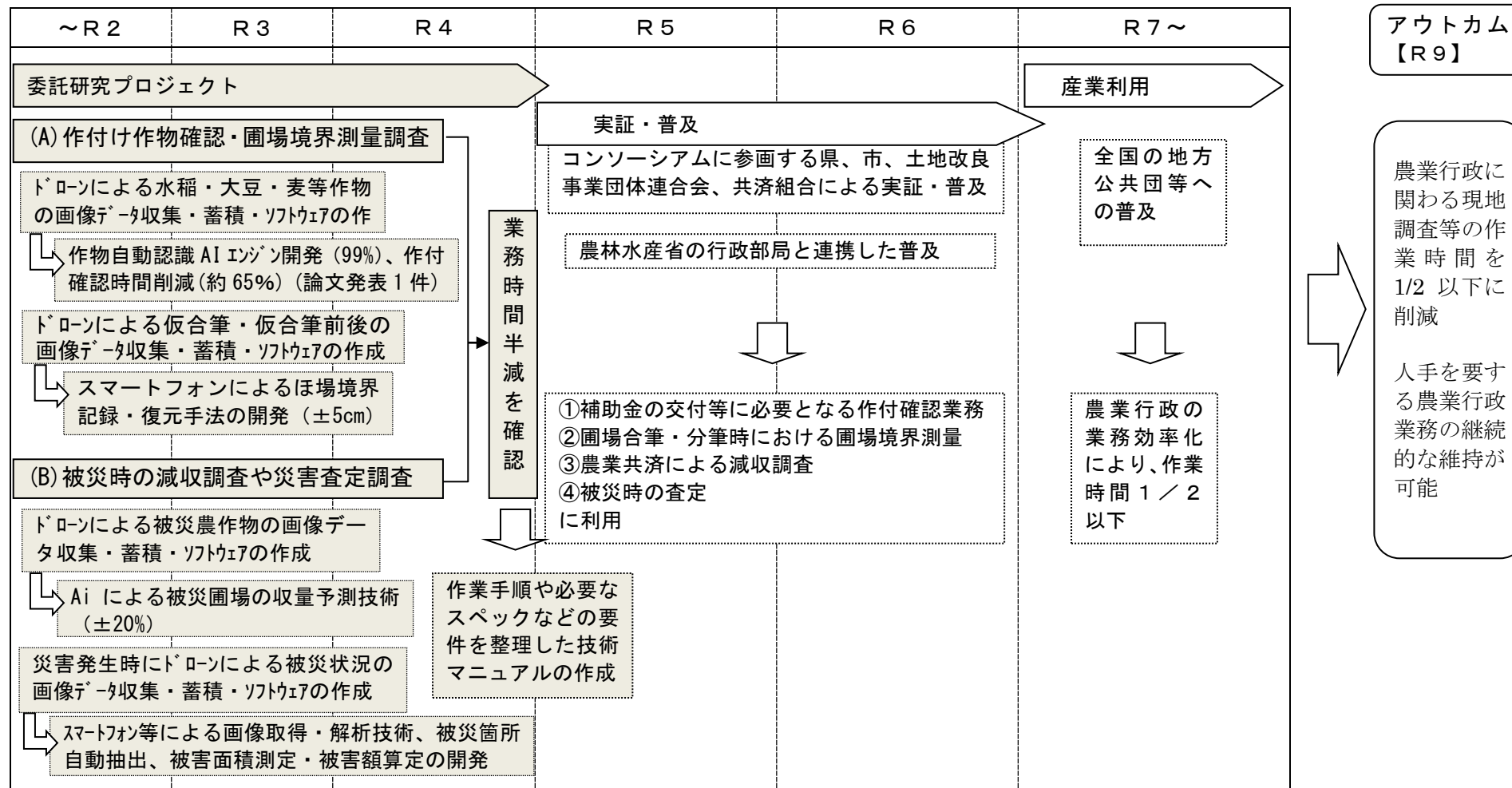
システム利用が想定される地方自治体や団体（農業共済、農地中間管理機構、農業再生協議会、土地改良事業団体連合会等）を通じて社会実装を推進。

- ・調査などに必要な現地確認・測量、資料作成にかかる作業時間を1 / 2 以下に削減。
- ・作付状況等を見える化して農業行政を支援、さらに円滑な農地集約や迅速な災害復旧等にも貢献。



【ロードマップ（終了時評価段階）】

ドローン等を活用した農地・作物情報の広域収集・可視化及び利活用技術の開発



ドローン等を活用した農地・作物情報の広域収集・可視化 及び利活用技術の開発

研究概要

広域の農地・作物情報をドローン等で得られた画像データやAIによる解析技術等を活用することで、農業行政に関わる、(A) 作付作物・農地状況確認、(B) 災害時の作物・農地被害状況調査に必要な業務を支援する技術を開発。

主要成果

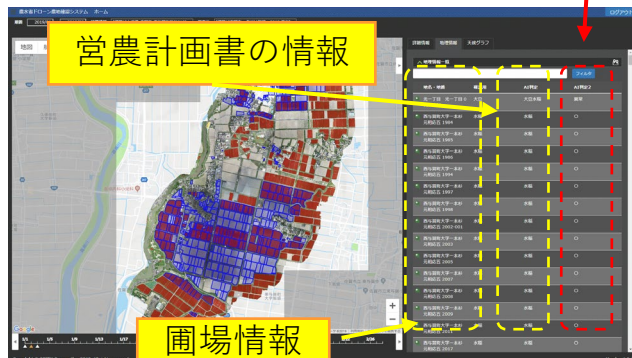
■ 稲・麦・大豆の作付け状況をドローン画像から自動判別



【固定翼型ドローン】
広域農地の画像データ
を効率的に採取

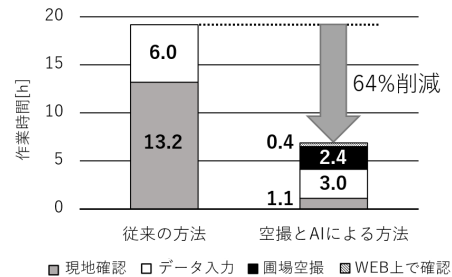
AI判定結果

精度99.5%で作付作物を自動判別
(人と同レベル)



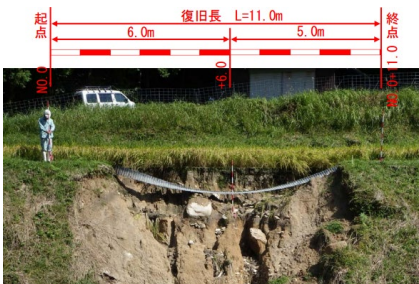
現地実証試験

約65%の省力化を実現

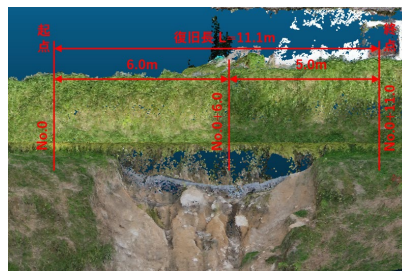


補助金の交付等に必要な作付確認業務への利用

■ 現地査定用写真の3D化

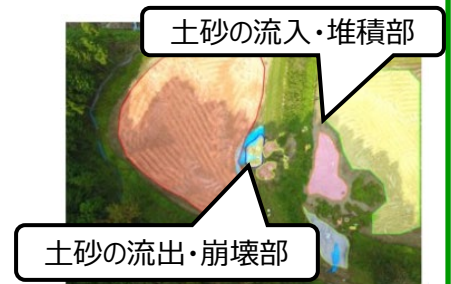


査定書類で求められた実写真



点群データによる仮想画像

■ 被災額の自動算定



AIによる被災領域の判定

代替画像による業務上の
リスクや負担の軽減

農地及び農業用施設の災害復旧業務への利用

今後の方針

- データの収集・蓄積、AIアルゴリズムの構築により、さらなる省力化と精度の向上、適用業務の拡大を図る
- ドローンやAI解析により、農業行政関わる現地での目視確認や人手による測量などの作業時間を50%以上削減
- 地方自治体や土地改良事業団体連合会、共済組合等と連携し、全国展開

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	現場ニーズ対応型研究のうちドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング技術を活用した栽培管理効率化・安定生産技術の開発			担当開発官等名	農産局園芸作物課 農産局果樹・茶グループ
				連携する行政部局	消費・安全局植物防疫課
研究期間	H30～R4（5年間）			総事業費（億円）	2.2億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		

研究課題の概要

①「センシング技術を活用したレタス・こんにゃくの栽培管理効率化・安定生産技術の開発」（土地利用型園芸作物・工芸作物）

土地利用型園芸作物における栽培管理の効率化ならびにニーズに対応した安定供給生産技術の開発を目的に、ドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング（※1.1）技術を活用した生育または病害発生状況予測手法、栽培管理手法をレタス、こんにゃくにおいて開発する。レタスでは、供給と経営の安定化のため、ドローン空撮画像からレタスの生育状況を推定し、収穫日や収量の予測を行い、さらに生育診断から安定生産を行うための研究を実施する。こんにゃくにおいては、ほ場可視光画像情報を用いた立毛状況推定手法および病害発生状況推定手法を開発し、大規模分散圃経営を含む生産現場において実証を行う。

②「ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病虫害防除管理効率化技術の開発」（果樹）

カンキツやカキの急傾斜地果樹園における薬剤防除作業の省力・軽労化を目的として、ドローンによる病虫害発生に係る状況の把握と予測技術ならびに急傾斜地果樹園での農薬散布技術を開発する。具体的には、以下の4つの課題に取り組む。カンキツ、カキの病虫害発生に係る状況の把握と予測に必要なセンシングデータの仕様を決定するとともに、センシングデータと病虫害発生との関連を解明する。急傾斜地果樹園を飛行し、三次元地形データに沿って一定高度を維持する機能を実装したドローンとこれに搭載して果樹への濃厚少量散布に最適化された農薬散布機を開発する。また、ドローンから濃厚少量散布することにより十分に防除効果が上がる薬剤を選抜する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

①土地利用型園芸作物・工芸作物

- ・農研機構が開発済みのレタス生育モデル（※1.2）を淡路島におけるレタス主要6品種へ適用拡大する。
- ・AIによるドローン空撮画像の認識によりレタスの葉齢（※1.3）判定精度を90%以上確保する。
- ・遅くとも収穫2週間前に予測した収穫開始日より7日以内に収穫されたレタスほ場の割合を、80%以上にする。
- ・ドローン等による空撮画像を利用したこんにゃく根腐病（※1.4）等発生状況等を推定する手法を開発する。
- ・ほ場モニタリングデータを活用したこんにゃく栽培管理支援技術の有効性を現地実証する。

②果樹

- ・カンキツ、カキの病虫害各1種類以上でセンシングデータと病虫害発生との関連から発生状況を把握若しくは予測する技術を開発する。
- ・濃厚少量農薬散布機を架装した急傾斜地果樹園用ドローン試作機により、慣行比で約4割の防除作業時間削減が可能となることを実証する。
- ・濃厚少量散布用として選抜した農薬に係る薬害・防除効果等の情報を農薬メーカーと関係機関に開示して農薬登録を促す。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R7～9年）	
①土地利用型園芸作物・工芸作物	レタス生育予測モデルを活用した出荷調整技術が、実証地域のレタス109haへ普及し、異常気象時に適切な栽培管理や出荷調整を行い、収量減少割合を5%（通常20%）にとどめることで、年間8,300万円の経済効果が生じる。（R7年目標） こんにゃくの生産において、根腐病等の発生状況推定手法および発生状況に応じた適切なほ場利用の実施をこんにゃく栽培面積の2.5%へ普及し、病害等発生による収穫ロス（減収率（※1.5））を10%（現状20%）にとどめることで、年間3,000万円の経済効果が生じる。（R7年目標）
②果樹	急傾斜地果樹園用自動航行ドローンと、これに実装可能な病虫害発生診断システムおよび濃厚少量農薬散布機が開発され、カンキツ園等向けに2億円規模（200万円×100機、ウンシュウミカン生産者の0.2%が購入すると試算）の市場が形成される。 ドローンによる病虫害防除がカンキツ生産面積の5%に普及することにより防除に要する時間が約4割削減され、時給1,000円換算で2億円程度の省力化が達成される。（R9年目標）

【項目別評価】

1. 研究成果の意義	ランク：A
（研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性について記載） ①土地利用型園芸作物・工芸作物 土地利用型園芸作物・工芸作物の生産現場においては、高齢化による離農に伴い労働力の確保が困難となる中、栽培管理の効率化が求められている。更に、加工・業務用需要の拡大、近年多発する極端な気象等による不作、作期の乱れがもたらす出荷減による価格高騰や出荷集中による価格暴落が発生している。このような背景から、栽培管理の効率化や安定生産を目的とした生育または病害発生予測技術、栽培管理技術の開発が求められており、本研究はそのような生産現場のニーズを的確に反映している。 ②果樹 わが国の国土は斜度8度以上の傾斜地が71%を占めており、特に急傾斜地は主に果樹園と放牧地に利用されてきた。急傾斜地における果樹栽培は国土を有効活用できるのみでなく、斜面の向きを選ぶことで良好な日当たりや適度な水分ストレス付与により高品質で高単価の果実が生産できることから、戦後の高度経済成長の中でウンシュウミカンを中心に果樹栽培面積が急増した。その後、ウンシュウミカンは価格下落等の影響もあり1975年の生産面積16.1万h aをピークに栽培面積が漸減したものの、今日までわが国の果樹産業と地域経済を支えているものである。 しかし、ウンシュウミカンをはじめとした果実の販売単価が持ち直した近年でもなお栽培面積減少に歯止めがかからず、地域経済が崩壊するおそれが日増しに高まっている。これは急傾斜地での果樹栽培に係る労働強度が平地に比べて著しく高いことから、近年急速に進む担い手の高齢化により担い手が営農を継続できず生産者の離農が加速したことに起因する。特に急傾斜地果樹園での病虫害防除では、病虫害発生状況の把握のためにくまなく行う園地の昇降・巡回のほか、動力噴霧器（※2.1）による過酷な手散布作業が必須となる。このような背景は、研究開始時から現在まで変わらず、果樹栽培を将来にわたって継続するには、防除にかかる労働負荷の低減に資する技術の開発が不可欠である。 本課題は、急傾斜地果樹園における病虫害発生状況の把握と病虫害防除をドローンとAIを活用してリモートで実施する技術を開発するものであり、省力化を求める生産現場のニーズを的確に反映し、かつ、革新性、先導性、実用性に優れる。	
2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性	ランク：A
（最終の到達目標に対する達成度、今後の達成可能性とその具体的な根拠について記載） ①土地利用型園芸作物・工芸作物 レタスについては、葉齢増加モデルの主要6品種への対応拡大を終えているほか、AIでの画像認識による葉齢判定精度を90%確保し、神戸大学、農研機構、兵庫県の3者で特許出願済み（2019年11月）で	

ある。収穫期予測を行うための葉齢増加モデルを開発し、予測収穫日と実収穫日の誤差については農家ほ場で概ね誤差3日以内と十分な予測精度を確認している。さらに、画像認識による葉齢推定と生育モデル、メッシュ農業気象データを組み合わせ、スマートフォンを使って簡単に収穫日を予測できるアプリケーションソフトウェア（以下「アプリ」という。）を開発している。

レタスの生育モデルについては、結球重の実測値と推定値の誤差が少なく、推定精度の高い物質生産モデルを開発している。また、葉齢推定については、誤差1枚の範囲で評価画像の判別率が88%と十分に高い精度を得ている。現地試験の結果を踏まえてさらに推定精度向上を図る予定であることから、研究目標についてはいずれも概ね達成している。

こんにゃくについては、ほ場のドローン空撮画像からの倒伏率（※1.6）推定により、根腐病発生程度の推定指標を作成した。また、遠隔地ほ場のセンシング情報を取得して土壤消毒などの作業可否を判断できるほ場管理支援方法を開発した。さらに、技術普及のためのマニュアルを作成している。

こんにゃくでは、9月10日以前の倒伏率が根腐病発生程度ならびにほ場の減収率と高い相関を持つことを明らかにしたことから、今後、生育時期別に現地ほ場で検証を行って病害による減収率の推定手法を高度化することで、目標は十分に達成可能である。また、栽培管理支援技術については、気象ロボットを用いた計測によって過去の土壤水分データと気象条件の関係を解析し、土壤水分の推移を推定する手法を開発した。今後、土壤水分推定に基づく作業可否判定支援手法の検証を進めることで、目標の達成は十分に可能である。

②果樹

本課題では、農研機構のほか農薬散布機メーカー、農薬メーカー、国内主要産地の公設試験研究機関と生産者が連携し、ドローンからの病虫害発生モニタリング技術と薬剤散布技術の開発を行うことで目標達成への可能性を高めている。これまでに、ドローンからの病虫害発生モニタリング技術の開発では、カンキツとカキの病虫害について空撮した病斑・食害痕の画像にラベル付けして作成した教師データをAIに学習させて学習モデルを構築した。さらに学習過程では未使用の病斑・食害痕の空撮画像データに対するAI診断（※2.2）に本モデルを供試し、その精度を評価した。その結果、カンキツかいよう病（※2.3）ならびにカキ果実におけるカメムシ吸汁痕について空撮動画からでもAI診断が可能と示唆された。そこで、5年かけて蓄積した画像データを基にあらためて学習モデルを構築し、精度及び速度の両面から検証を重ねて実用的なセンシングデータと病虫害発生との関連から発生状況を把握及び予測する技術が開発できる見込みである。

また、濃厚農薬少量散布機搭載ドローンの開発では、令和2年度後半からコンソーシアムに加入したヤマハ発動機（株）が、農薬散布ヘリコプター開発で培った数値標高モデル（※2.4）データに基づく3次元飛行技術をドローン開発に導入して傾斜13度の果樹園において試作機体の試験航行を行い、DEMデータに沿った傾斜地自動飛行が可能であることを実証するなど、短期間で顕著な成果を挙げている。ヤマハ発動機（株）は浜松市に所在するため、今後の試験では主に同じくコンソーシアムに属する静岡県の実証カンキツ園を利用する。そのため、天候の変化にも臨機応変に対応した試験日程が可能となり円滑に機体の開発が進むとともに、登録薬剤によるシーズンを通したドローン防除も容易となつて、最終目標である「慣行比で約4割の防除作業時間削減」が可能であることの実証も円滑に進むと見込む。

ドローン散布が望まれる農薬のうち、合計80種類の殺虫剤及び殺菌剤からカンキツとカキに対して薬害や果実残留リスクの低い薬剤を選抜するとともに、ドローンからの濃厚少量散布により合計15種類のカンキツとカキ病虫害に対して有意な防除効果を確認した。ドローンからの濃厚少量散布が可能な農薬の選抜においても、プロジェクト開始時には5剤しか登録がなかったところ、本プロジェクトにおいて2剤を「無人航空機による散布」で適用拡大登録（2021年1月4日時点でさらに2剤が申請準備中）するなど概ね順調に進捗している。

以上のことから、ドローンによる病虫害発生に係る状況の把握と予測と、傾斜地果樹園でのドローンによる農薬散布の両技術の開発という目標は十分達成可能である。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性と その実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性	ランク：A
--	--------------

（アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠、研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性、他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度について記載）

①土地利用型園芸作物・工芸作物

レタスでは、実証地域であるＪＡあわじ島管内の先進的生産者200戸（109ha）が生育予測システムの導入による適切な栽培管理、出荷調整を行うことで、異常気象時の収量減少割合が20％から5％に低減すると想定し、レタスの単位収量を22,000kg/ha、販売単価を230円/kgとして8,300万円/年の経済効果、その後さらに全国5箇所以上の産地（約500ha）でシステムを普及させることで、約4億円/年の経済効果が生じることとした。

生育予測に必要なドローンによるレタスほ場全筆の空撮画像の撮影体制については、現在南あわじ市が行っているドローン産業育成事業と連携しながら、継続的に撮影できる仕組み作りを行っている。また、ＪＡあわじ島は管内のレタス生産者のうちスマートフォンやタブレット端末による栽培情報の入力に対応できる意欲ある生産者数を200戸程度と見込み、本事業で開発する手法を活用したシステム化を進めるための補助事業の活用を検討しているほか、生産現場で使いやすいシステム構築に向けて、研究開始時から広く生産者の意見を取り入れてシステムの改善を図っている。

AIによる葉齢推定システムは、レタスの他、キャベツ、ハクサイなどの結球性野菜に応用可能で、生育モデルと組み合わせることで生育診断及び出荷予測に貢献できる。このような汎用性の高い栽培管理技術の開発のため、研究代表者らが取り組んでいるキャベツの生育予測に関する技術（別事業での特許出願中）を活用していく予定である。

こんにゃくでは、現地試験地である群馬県松義台地の生産面積（約100ha）で、根腐病の発生状況に応じたほ場利用指標に基づき病害対策として適正な土壌消毒や輪作等のほ場管理を実施することで、病害等発生による収穫ロスが現状の20％から10％に低減すると想定し、こんにゃくの単位収量を24,000kg/ha、販売単価を125円/kgとして、3,000万円/年の経済効果が生じることとした。

普及・実用化に向けて生産者及び普及機関がコンソーシアムに参画しており、今後、技術交流会など活用しながら、成果のスムーズな普及を進める。また、遠隔ほ場の土壌水分推定に基づく作業可否判定支援手法は、露地野菜を含めた畑作物全般に適用可能である。

②果樹

カンキツ生産者（約50,000戸）のうち100戸が自動航行ドローン等（200万円/機）を導入すると想定し、2億円規模の市場が形成されること、また、カンキツ生産面積（ウンシュウミカン約44,000ha、その他カンキツ類約17,000ha）の5％にドローンを用いた病虫害防除が普及すると想定し、傾斜地での防除に要する時間（15時間/10a）の4割が削減されることで、時給1,000円として約2億円/年の経済効果が生じるとした。また、カキでの濃厚少量散布が可能な農薬の登録が進むことで、カキ園等向けの市場形成も期待される。

ドローン散布の普及に当たり隘路となる「無人航空機による散布」が可能な果樹病虫害防除用農薬の登録数が令和元年の18件から令和3年には31件と増加し、特にウンシュウミカン成木で問題となる病虫害に対して効果を示す農薬が揃いつつあることから、目標は十分達成できると見込まれる。

研究コンソーシアムには、普及・実用化に向けてドローンメーカー、農薬散布機メーカー、農薬メーカーに加え、国内主要産地の公設試験研究機関と生産者が参画している。また、すでにコンソーシアムから2つの薬剤について「無人航空機による散布」で適用拡大登録するなど普及に移行可能な成果を創出しているが、今後さらに普及への取り組みが見込める。さらに、学会、刊行物、新聞記事、シンポジウム等で15件の発表を行うなど、本プロジェクトで開発する技術の広報を実施しており、今後も研究成果の円滑な普及を見据えた、技術の受け手への情報提供を積極的に取り組む。以上より、目標達成に向けた具体的な取組内容は妥当である。

本課題の成果のうち、急傾斜地果樹園を自動航行できるドローン機体については、林業分野等へ横展開できる可能性がある。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

（研究計画（的確な見直しが行われてきたか等）、研究推進体制、予算配分（研究の進捗状況を踏まえた重点配分等）の妥当性について記載）

①土地利用型園芸作物・工芸作物

7名の外部専門家と、関係する行政部局で構成する運営委員会を設置し、行政ニーズや各課題の進捗状況を踏まえて実施計画の見直し等の適切な進行管理を行っている。こうした進行管理により、研究計画が改善され、目標の達成可能性を高めている。

レタスに係る課題の研究計画について、AIによる病害判別法に関しては比較的高い判別率となる結果が得られたことから、本年は、より現場ニーズの高い収穫日や収量を予測する技術とそれによる収穫日予測アプリの開発に、重点化を図った。

研究体制については、試験研究機関や生産団体に加えて、AI研究者やドローン事業者など要素技術開発に必要なかつ十分な体制が組まれている。

予算配分については、本研究の基礎となるドローンの運用に関する経費と、システム化されたときの中心となるAIによる葉齢推定に重点配分されている。また、研究後期に現地実証への重点化を意識した妥当な配分となっている。なお、事業着手前の検討では、JAあわじ島における実用的生育予測システムの構築も想定されていたが、その必要予算が大きいことと、当該実用システムはJAあわじ島に特化したものになってしまうことから、本事業では試作機開発までの取り組みとし、社会実装にあたってはJAあわじ島が各種事業の活用も含めて主体的に実用システムを構築することとした。実用システム構築については、コンソーシアムのレタス関係課題担当者が継続してサポートする予定である。

こんにゃく課題の研究計画については、収量減への影響が大きい根腐病の発生程度を推定する手法開発に重点化を図った。また、栽培管理技術の開発に関しては、「土壌水分推定に基づく作業可否判定支援手法の開発」に課題を明確化し、研究資源の集中を図るなど必要な見直しを行った。

研究体制については、ドローンに関わる業務の外部委託、解析については群馬県産業技術センターの助言を得るなど必要な取組を行っている。

予算配分については、ドローンによる空撮回数が最小限になるような飛行高度の検討など適切な重点化と見直しを行い、適切である。

また、運営委員会のほか、兵庫県淡路島（レタス）、群馬県（こんにゃく）とも、それぞれの地域で、生産者及び普及関係者も交えた定期的な打合せを行っている。

②果樹

6名の外部専門家と、関係する行政部局で構成する運営委員会を設置し、行政ニーズや各課題の進捗状況を踏まえて実施計画の見直し等の適切な進行管理を行っている。こうした進行管理により、研究計画が改善され、目標の達成可能性を高めている。

これまでに年度初めと年度末に計画と成績を各々検討する推進会議を毎年2回開催し、研究プロジェクトの進捗状況に応じて研究実施計画や課題構成を逐次見直すなど、適切な推進体制としてきた。また、適宜オンラインや対面での小会議（令和2年と3年にそれぞれ3回と4回）を催し、濃厚農薬少量散布機搭載ドローン試作機の運用についてコンソーシアムで調整するなど散布方法の検討や航空散布用候補農薬の防除効果試験を効率的な実施に努めた。このほか、現地検討会を令和元年と令和2年に各2回、濃厚農薬少量散布機搭載ドローン試作機運用のための操縦講習会を令和2年に1回開催した。予算については、課題2の傾斜地果樹園航行用ドローン開発において令和2年度に担当参画機関がヤマハ発動機（株）に交代したため、急遽、新たに必要となった試作改造用ドローン機体購入費や飛行制御プログラム改修経費など、当該参画機関へ配分を集中して当初目標達成までの期間短縮を図った。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・栽培管理効率化や安定生産技術の確立に向けて、ドローンや圃場気象データ活用のニーズは高く、重要な研究課題である。
- ・特許出願、アプリ開発など、技術の普及・実用化を意識した研究であり高く評価する。
- ・最終目標を達成できることが確認でき、社会実装に向けた取組も着実に実施されており、成果の普及・活用が期待できる。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・製品化に向けて、コスト・精度面で現場にとって使いやすいものとなることを期待する。
- ・今後、アウトリーチ活動の積極的な実施に期待したい。

〔研究課題名〕 「ドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング技術を活用した栽培管理効率化・安定生産技術の開発」のうち

①センシング技術を活用したレタス・こんにゃくの栽培管理効率化・安定生産技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
センシング	センサーを使って光や温度等を計測すること。	1. 1
生育モデル	その植物にとって生長可能な温度、光条件、土壌水分などの範囲で生育した場合の生育ステージや生育量の増加量を数式化し、一般化したもの。レタスであれば品種毎に生育モデルは異なる。	1. 2
葉齢	発芽後の子葉を除く、本葉の展開葉数と結球葉数を足したもの。	1. 3
根腐病（こんにゃく）	Pythium属糸状菌を病原菌とする土壌伝染性病害。対策として、種イモ消毒、排水改善、土壌消毒、輪作が上げられる。ただ、大規模・専作化が進む現行こんにゃく産地では、他作物の輪作は容易ではない。発病程度に応じて、輪作も含めた対応策が必要であるが、現時点では、その明確な基準はない。	1. 4
減収率	ある圃場において想定される収量と比較して実際の収量が減少した割合。こんにゃくでは、倒伏した株でも収穫皆無とは限らないため、倒伏率＝減収率とはならず、倒伏時期により減収率は異なる。	1. 5
倒伏率	こんにゃくにおいて倒伏とは、葉がしおれて黄化し、倒れること。倒伏率は、圃場における倒伏した部分の面積割合。晩秋期には自然に倒伏するが、土壌伝染性病害が発生すると、より早期に倒伏する。	1. 6

〔研究課題名〕 「ドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング技術を活用した栽培管理効率化・安定生産技術の開発」のうち

②ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病虫害防除管理効率化技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
動力噴霧器	ガソリンエンジン等で稼働する噴霧器。農薬タンクとともに軽トラック等運搬車に搭載する。停車した果樹園直近の農道からホースを伸ばして手で保持した散布竿から農薬散布を行う。	2.1
AI診断	人工知能による病虫害自動同定技術。画像情報から単位面積当たりの被害程度の定量も可能。	2.2
カンキツかいよう病	細菌による病害。感染すると果実、葉、枝などにかいよう状の病斑が生じる。被害果実の商品価値が低下するほか、多発すると落葉や枝枯れにより樹勢の著しい低下を招く。	2.3
数値標高モデル	数値標高モデル（DEM; Digital Elevation Model）は地表面の地形（標高）を数値化して表現したモデルを指す。本課題では、小型ドローンを用いた航空写真測量により当該データを取得する。	2.4

⑧ ドローンやほ場設置型気象データセンサー等 センシング技術を活用した栽培管理効率化・安定生産技術の開発

- 生産現場では、高齢化による離農等に伴い労働力の確保が困難となる中、ほ場・園地管理の効率化が求められている。また、近年拡大する加工・業務用需要や、大雨などの極端な気象や病害虫に起因する不作による価格高騰に対応する安定生産技術の開発が求められている。
- そこで、**ドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング技術を活用し、ほ場や生育状態を把握する技術、病害虫管理を効率化する技術を開発**する。
- これらの技術により、気象の変化や需要に対応した生育判断・出荷予測、病害の早期発見による生産安定化・薬剤散布労力の削減が図られる。

生産現場の課題

- ・労働力が不足する中、より効率的なほ場管理技術が必要。
- ・加工・業務用需要に応えるため、安定生産技術が必要。
- ・気象の変化や病害虫による不作を回避したい。
- ・傾斜地ほ場では、病害虫発生確認のための見回りや薬剤散布の負担が大きい。

<イメージ>



分散ほ場の見回り労力

傾斜地ほ場での
見回り・薬剤散布労力

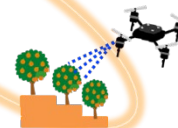
生産現場の課題解決に資する研究内容

- ・土地利用型野菜及びこんにゃくにおいて効率的、安定的生産の達成のために必要なセンシングデータの種類・性質を解明する。
- ・精度の高い生育予測や生育状況把握技術を生産現場において実証する。
- ・主要果樹の病害虫2種類以上（害虫1種類以上、病害1種類以上）について、発生を把握・予測するために必要なセンシングデータの仕様を決定し、センシングデータと病害虫の発生との関連を解明する。
- ・傾斜地果樹園において、ドローンによる薬剤防除技術を開発・実証する。

<イメージ>



スピードスプレヤーによる防除が困難な急傾斜園地に対応



社会実装の進め方と期待される効果

- ・既存の農地情報データベースと連携したウェブアプリとして公表。営農組織と連携した普及計画を実施。
- ・他品目展開を可能とする知見を公表し組織等に波及させる。
- ・ドローンによる農薬散布についての情報を提供し、農薬登録を加速化させる。

- ・ドローンによる薬剤散布により、薬剤散布に係る時間を4割削減可能とする防除技術を開発。
- ・気候変動や需要に対応した生育判断・出荷予測を実現し、減収を5割軽減。

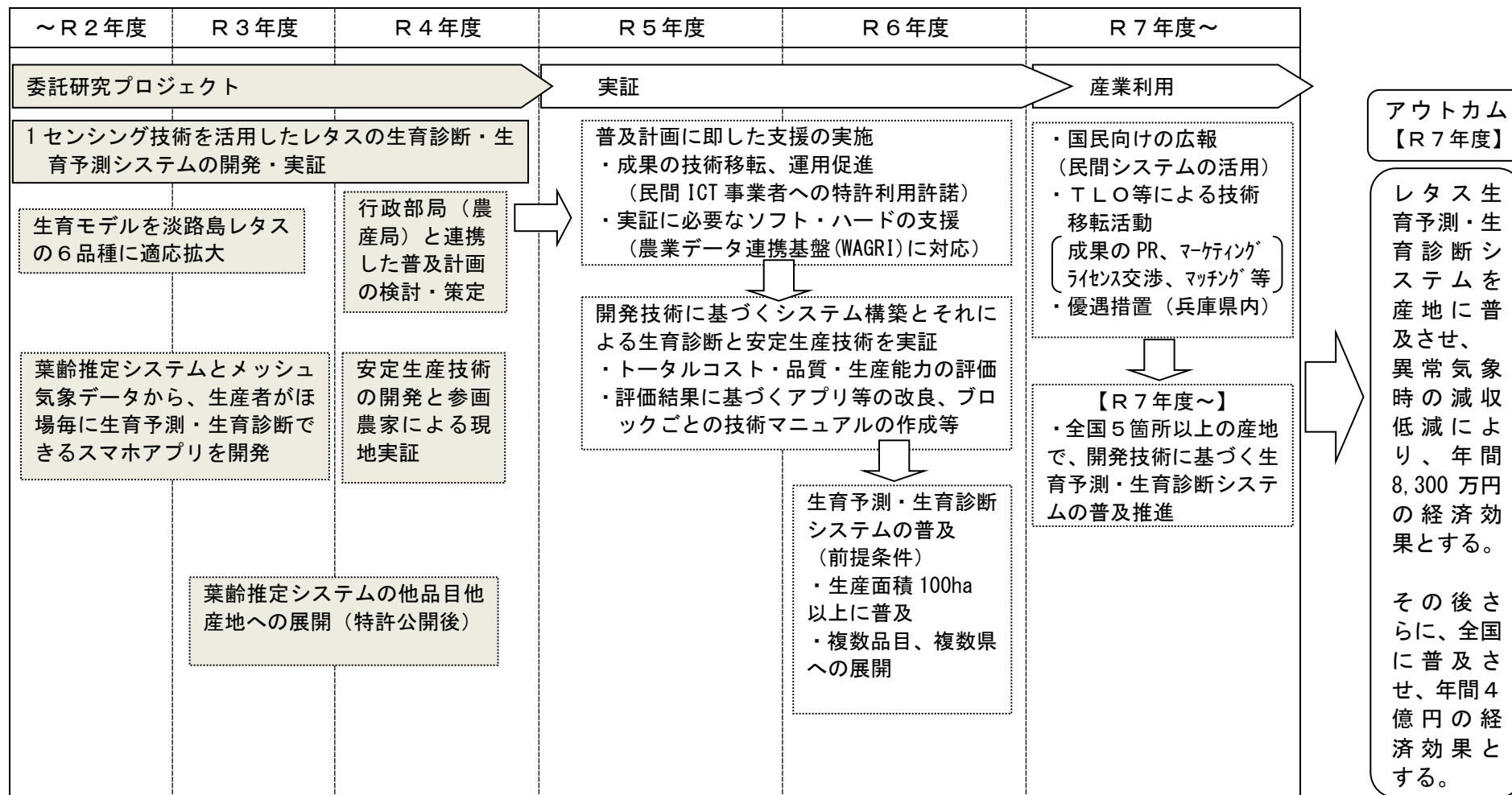


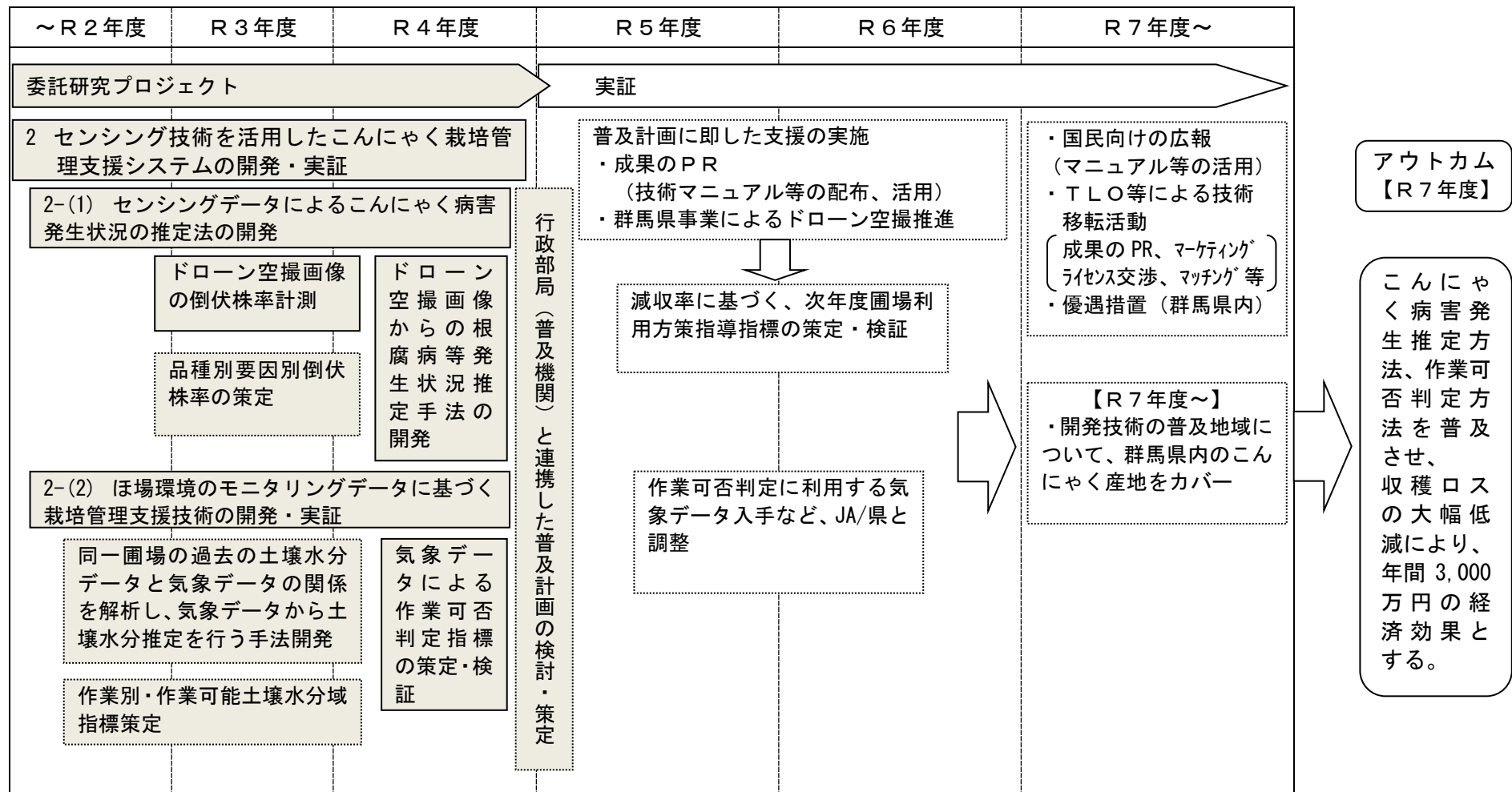
ドローンによる薬剤散布

【ロードマップ（終了時評価段階）】

「ドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング技術を活用した栽培管理効率化・安定生産技術の開発」のうち

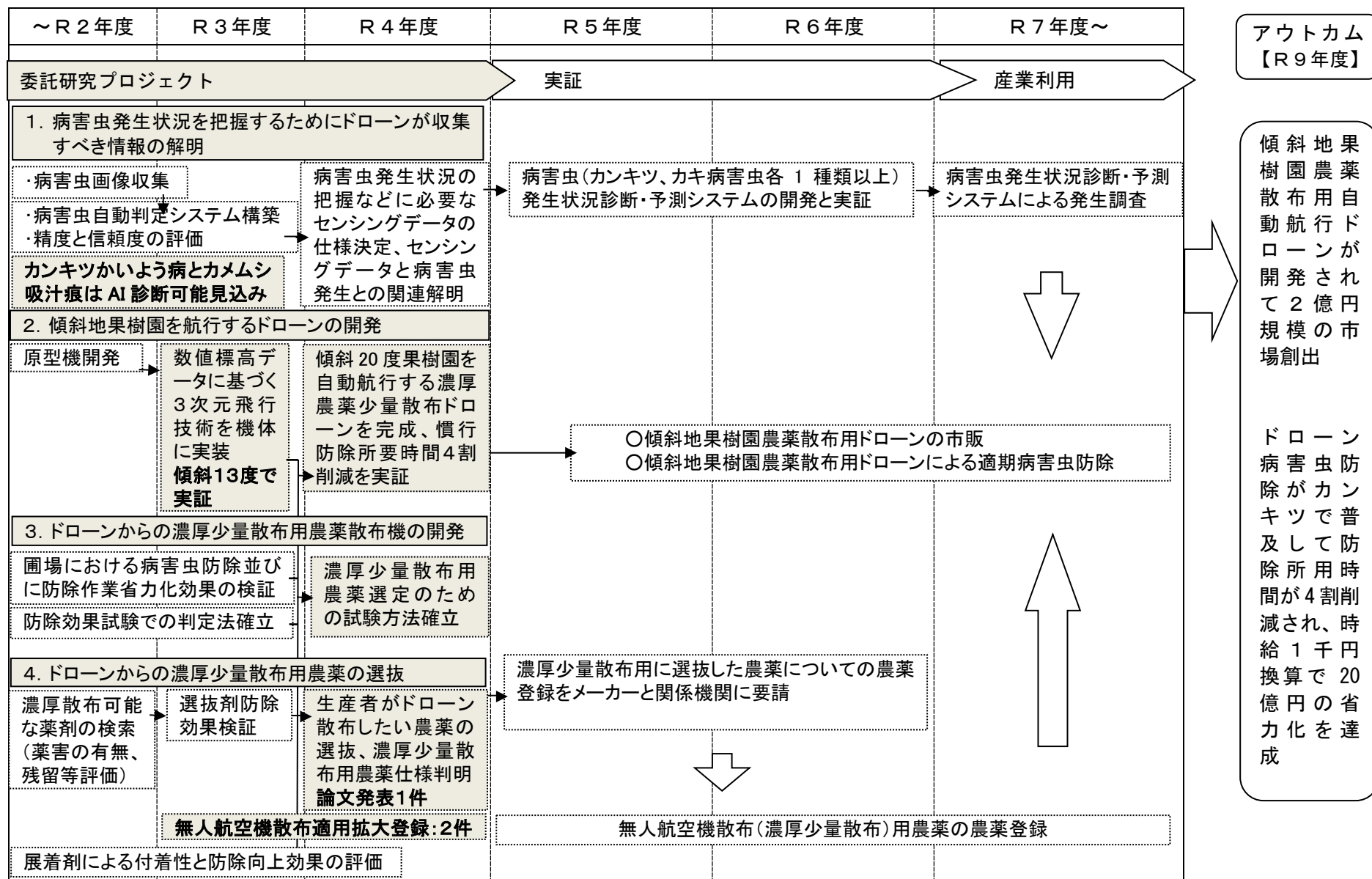
①センシング技術を活用したレタス・こんにゃくの栽培管理効率化・安定生産技術の開発





「ドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング技術を活用した栽培管理効率化・安定生産技術の開発」のうち

②ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病虫害防除管理効率化技術の開発



「ドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング技術を活用した栽培管理効率化・安定生産技術の開発」のうち

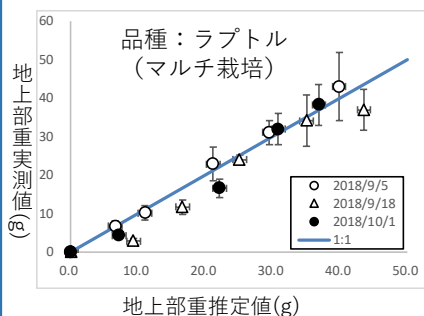
①ドローンやセンシング技術を活用した、土地利用型園芸作物等の栽培管理効率化・安定生産技術の開発

研究概要

ドローン等による画像データ・圃場設置型センサデータによるレタス生育診断・生育予測技術、こんにゃく立毛状況・病害発生状況推定技術を開発し、生産現場で実用性を実証する。

センシング技術を活用したレタスの生育診断・生育予測システムの開発・実証

淡路島レタスの6品種に農研機構作成の生育モデルを適応拡大

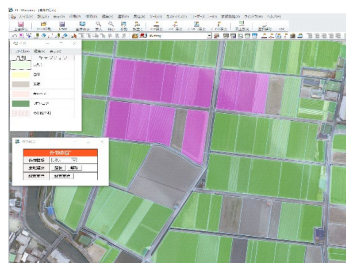


レタスの葉齢、地上部重、結球重について、推定精度の高い生育モデルを開発

AIを利用した画像認識によるレタスの葉齢推定システムの開発



ドローン画像とGISによる作付面積の把握



ドローンで空撮した画像を地図上にオーバーレイ表示し、レタスの作付面積を推定
(JAあわじ島阿万支所、1300筆、図中の紫色部分)

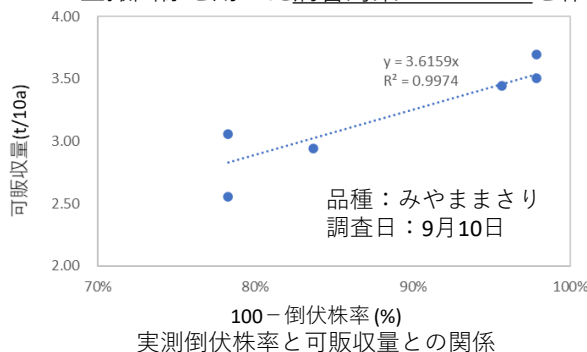
レタス収穫日予測アプリの開発



画像認識による葉齢推定と生育モデルを組み合わせ、スマートフォンを使って簡単に収穫日を予測できるアプリを開発

センシング技術を活用したこんにゃく栽培管理支援システムの開発・実証

- 9月10日以前では倒伏部分の多くが根腐病であったことを生産圃場レベルで確認。圃場の倒伏率から、根腐病発生程度の推定が可能。
- 9月10日前後の倒伏率は減収率と相関が高いことを確認。この時期に圃場のドローン空撮を行えば、画像から減収率の推定が可能。
- 空撮画像を用いた病害対策マニュアルを作成。



推定倒伏率 5.5%
撮影日 7月29日



49.7%
8月12日



55.6%
8月31日



78.9%
9月22日

同一圃場の時系列空撮画像（根腐病多発圃場の例）

②ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病虫害防除管理効率化技術の開発 ＜課題1：病虫害発生状況を把握するためにドローンが収集すべき情報の解明＞

研究概要：カンキツ、カキの病虫害発生状況の把握と予測に必要なセンシングデータの仕様を決定するとともに、センシングデータと病虫害発生との関連を解明する。

AIでの診断対象とした病虫害

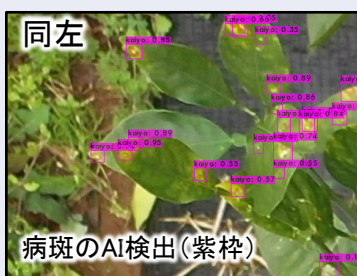
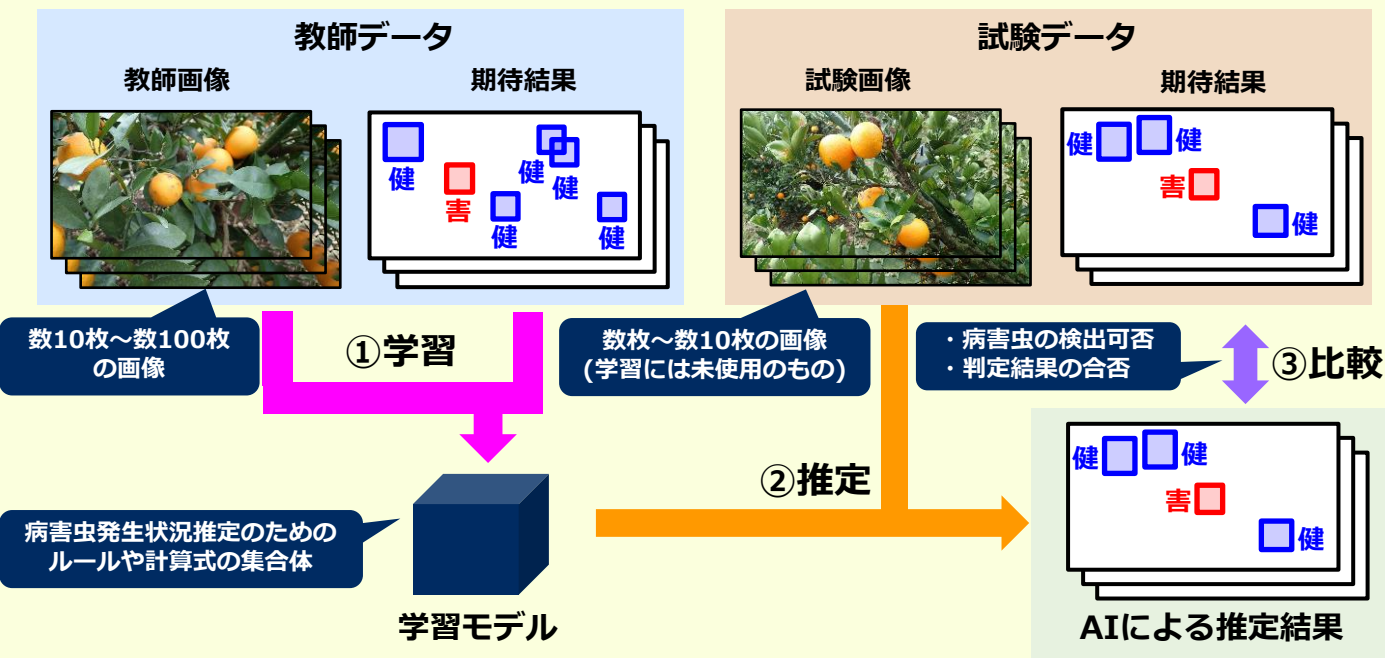
カンキツ:かいよう病、赤衣病、そうか病、ミカンハモグリガ、
カキ:炭疽病、円星落葉病、イラガ早期食害痕、カメムシ吸汁痕

検証の流れ

教師画像：学習を行うための画像

試験画像：学習結果の妥当性をテストするための画像

- ① 教師画像とそれに対応する期待結果のセットを学習し、学習モデルを構築する
- ② 試験画像を学習モデルに適用し、AIによる病虫害発生状況の推定結果を得る
- ③ 試験画像に対応する期待結果と②の結果とを比較し、AIによる推定の精度を測る



カンキツかいよう病とカメムシ吸汁痕は空撮画像からAI診断が可能と見込む。



ミカンハモグリガ食害痕のように複雑なパターンを機械学習させるためには極く多数の食害葉画像と対照とする健全葉画像が必要と見込まれた。

②ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病害虫防除管理効率化技術の開発 ＜課題2：傾斜地果樹園を航行するドローンの開発＞

研究概要：傾斜地果樹園を飛行し、高精度マッピング機能が実装されたドローンを開発する。

傾斜地果樹園を自動航行する農薬散布ドローン開発のベース機体の選定

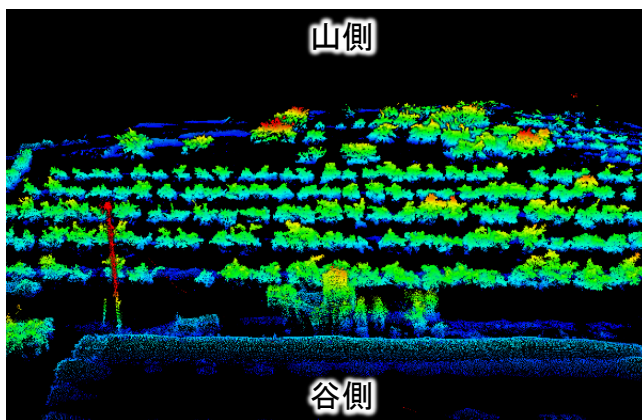


ヤマハ発動機（株）製ドローン YMR-08APは強いダウンウォッシュを発生する上下二重反転ローターと最適配置された散布ノズルを装備し、同社製**無人ヘリに匹敵する散布品質を示す**ことから**傾斜地果樹園を自動航行する農薬散布ドローンのベース機体として選定した。**

DEM（Digital Elevation Model）データを用いた傾斜地飛行の実現



▲ ドローン散布試験の流れ



▲ 傾斜地カンキツ園の高精度3次元地図情報

- 令和元年までの研究で、機体周囲の障害物を検知しながら自立飛行することは困難と判明したため、**あらかじめ、小型ドローンで別途、空撮測量して生成したDEM（数値標高モデル）データに沿ってプログラムした経路を飛行する機能**を採用した（本機能はすでに同社製無人ヘリで実績あり）。
- **YMR-08APの制御ソフトウェアをDEMデータに沿って3次元飛行するソフトウェアに書き換え、傾斜13度の傾斜地果樹園で計画通りの飛行を実証。**
- 今後、異なる斜度の傾斜地果樹園において当該試作機を供試して、樹から2 m程度の上空から自動飛行による散布試験を重ねて、安全性と薬剤防除能力を最大化する飛行パラメーターに調整し、プロトタイプ機へと発展させる。

②ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病害虫防除管理効率化技術の開発 <課題3：ドローンからの濃厚少量散布用農薬散布機の開発>

研究概要：ドローンから果樹への濃厚少量散布に最適化された農薬散布機を開発する。

ドローン搭載 散布装置開発

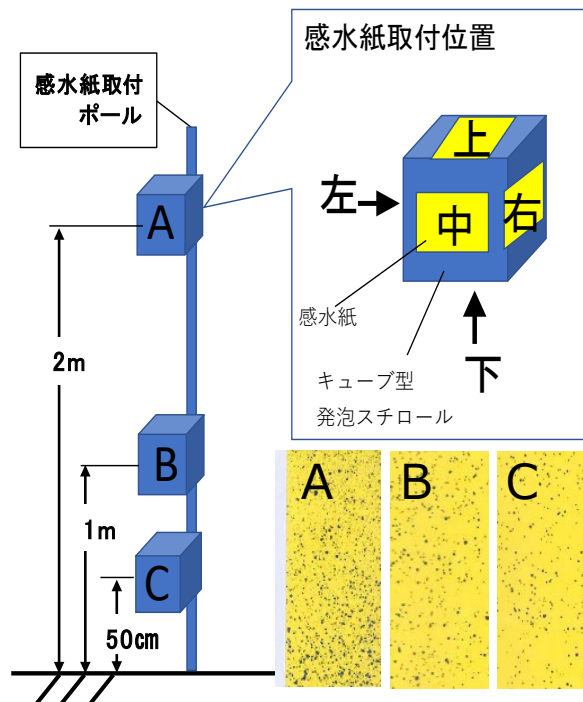


YMR-08APに装着された
噴霧器ポンプ

- 送信機からON/OFFと吐出を制御
- **吐出能力0.87～1.33L/分が最大2.0L/分に向**
- **散布幅5mが2mに縮小**

↓
防除効率を最大化する散布幅を検証・確定

濃厚少量散布効果試験の判定法の開発



ドローンから果樹園に散布された薬液の付着量と付着形状を異なる高さの全方位で判定可能な観測用ポールを開発

↓
 本装置で検出された薬滴の被覆面積率と防除効果が相関すると確認

↓
濃厚少量散布の効果試験判定法と確定

カンキツ園での濃厚少量ドローン散布で効率的な散布方法の開発

経路	A			B			C		
被覆面積率グラフ									
	上	側面	下	上	側面	下	上	側面	下
最大値 最小値	25.76～ 17.27%	2.90～ 0.11%	0.21～ 0.01%	20.30～ 5.86%	4.01～ 0.21%	0.03～ 0.01%	9.79～ 5.08%	7.15～ 0.18%	0.46～ 0.14%

A: 樹上を片道のみ通過する散布航路

B: 樹上を往復する散布行路

C: 樹上とその樹間を通る1.5往復の航行経路

Cが最も全面的に付着程度が大きい散布経路と判明

②ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病害虫防除管理効率化技術の開発 <課題4：ドローンからの濃厚少量散布用農薬の選抜>

研究概要：ドローンからの濃厚少量散布用農薬として十分に防除効果が上がる薬剤を選抜する。

ドローンからの濃厚少量散布で防除効果を評価した薬剤と病害虫

	殺菌剤	防除効果が認められた病害*2
カンキツ	デランFL、ジマンダイセン水和剤*1、 トップジンMゾル*、ベンレート水和剤、 ベフトップジンFL、マネージDF、ストロビー DF、ナティーボFL*1、ペフラン液剤25	そうか病、灰色かび病、黒点病、 青かび病、緑かび病
カキ	スコア顆粒水和剤	円星落葉病、角斑落葉病
	殺虫剤	防除効果が認められた害虫*2
カンキツ	ロディー乳剤、テルスターFL、 モスピラン顆粒水和剤、アドマイヤーFL*1、訪花昆虫、ゴマダラカミキリ、 ダントツ水溶剤 *1、アルバリン顆粒水和剤、ミカンハダニ、ミカンサビダニ、 ダニゲッターFL、 アグリメック *1、ナミアゲハ、チャノキイロアザミウマ、 ダニコングFL、エクシレルSE、スピノエース、チャバネアオカメムシ アクセルフロアブル	
カキ	アルバリン顆粒水和剤、 スタークルメイト液剤10	チャバネアオカメムシ



登録適用拡大申請に本課題の試験データを用いた剤

ダントツ水和剤

ミカンハモグリガ、コアオハナムグリ、アザミウマ類、アブラムシ類、ケシキスイ類、ツノロウムシ、コナカイガラムシ類、ゴマダラカミキリ、カメムシ類、アゲハ類、アカマルカイガラムシ、ナシマルカイガラムシ、ミカンバエ、ミカンキジラミ、コナジラミ類、アオブゴロモ、カネタタキ

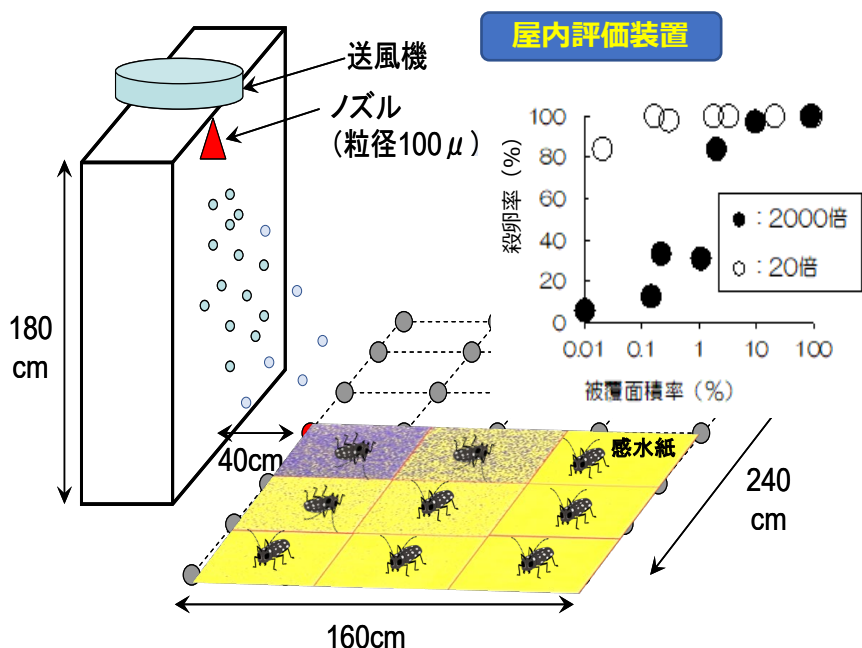
アグリメック

ミカンハモグリガ、チャノホコリダニ、ミカンサビダニ、アザミウマ類

*12021年12月時点で「無人航空機による散布」で農薬登録がある剤

*2元々登録のある左記の剤を濃厚少量散布して防除効果を認めた病害虫

ドローン散布を模した屋内モデル試験で防除効果を推定

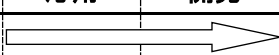


- ・ノズルから100μの粒滴を噴霧するとともに送風機から下降流を送りドローン散布を模倣
- ・ノズル直下から40cm離して奥行き160cm、幅240cmの範囲に任意の間隔で感水紙を設置
- ・感水紙上に対象害虫を配置し、被覆面積率（感水紙）と殺虫（卵）の有無を同時に把握。

➤ 本装置で被覆面積率100～0.01%の設定が可能

➤ 高濃度少量散布で被覆面積率0.1%でも殺卵効果を示す特定の殺虫剤とダニ類の組み合わせが見出された。

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	現場ニーズ対応型研究のうち茶葉の低温保管システムの開発と作期拡大を可能とする新品種の育成			担当開発官等名	農産局果樹・茶グループ
				連携する行政部局	－
研究期間	H30～R 4（５年間）			総事業費（億円）	2.8億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		
					

研究課題の概要

茶は摘採当日に茶工場（※1）で一次加工する必要がある上、収穫期のピークは約2週間と非常に短期間である。そこに近年の従事者の減少に伴う過密な製造スケジュールが加わって、労働条件の悪化、作業遅れによる荒茶製品の品質低下が課題となっており、既存茶工場の効率的利用・年間の稼働率の向上が求められている。

このため、保管環境の適切な設定等により品質の低下を防ぎ、冷凍を用いた保管技術等従来よりも長い期間保管する技術の開発を目指す。さらに、現在栽培されている品種と異なる作期をもつ晩生系統の選抜や、被覆（※2）適性をもつ品種金谷33号の育成・導入により、作期の拡大を目指す。これらにより、既存茶工場の効率的利用・年間稼働率の向上を図り、労働力不足の改善を図る。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ① 茶工場稼働時間の延長を可能とする技術として、茶葉の低温保管システムを3種類開発する。
- ② 摘採期間の延長を目的として新品種を育成するとともに、晩生品種の選抜を行う。
これらの技術を組み合わせることにより、1工場あたりの茶葉処理量2割増加を目指す。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R9年）

- ① 低温保管技術の確立により、低温保管庫の設置で2億円規模の市場（低温保管庫2,000万円×10台で試算）が形成されるとともに、1工場あたりの茶葉処理量が増加することで、毎年2億円の市場（1工場あたり1億円の売上と仮定して、10工場で2億円の販売拡大と試算）が形成される。
- ② 金谷33号の品種登録により、年間40億円（普及面積1,000ha）規模の市場が形成される。

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

茶の生産と加工の現場では、従事者の高齢化や減少に伴い経営の統合と拡大が進んでいる。しかしながら、既存茶工場での受け入れ量には限界があり、過密な製造スケジュールによる労働条件の悪化と作業遅れに起因する茶製品の品質低下が課題となっている。このため、製造スケジュールの平準化や茶工場の茶葉処理量を増加させるための技術開発が望まれている。研究開始より4年経過した現在も作業の過密状況は変わっておらず、また解決される技術は生まれていない。低温保管技術はてん茶（※3）や発酵茶の品質を向上させることが可能であり、茶の輸出が年々増加している中で、本技術はより重要性を増したと考えられる。茶の価格が低迷する一方で付加価値が重要視され、早生に傾倒する傾向が弱まって来ていることから、晩成品種に対する要望についても研究開始時よりも強くなっている。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

複数の茶工場に低温保管システムの試作機を設置し、茶葉の温度変化や荒茶製品の品質等の実証データを取得するとともに、最適な保管設定条件を策定した。得られた事象データを基に1工場あたりの受

け入れ量の増加割合が12%との試算が得られており、茶葉処理量2割増加の目処が立った。実証試験では試算値を上回る20～50%の受け入れ量増加を達成し、またその製品については国内外のコンクールにおいて19回入賞と高い評価を得た。冷凍試験については、技術開発に必要となる冷凍・解凍に係る基礎的データを取得し終え、学会誌に論文として投稿中である。低温保管システムについては、規模等の異なる2種類の試作機を作成しそれらを市販可能なレベルで完成して、高品質な製品を製造できる運転条件を明らかにするとともに、コスト及び導入時の効果についてのシミュレートも完了したため、最終目標を達成した。冷凍技術については基礎データの取得を完了し、実証規模での試験を残すのみとなっており、次年度目標の達成が見込まれる。以上より、冷蔵保管技術として密閉型及び開放型の2つに冷凍保管技術を加えた3つの技術開発の完了が見込まれる。

作期拡大への寄与が期待される中生系統金谷33号については、令和元年度に「かなえまる」として品種登録出願を行い、令和2年度に品種登録出願公表された。実証試験地においても栽培は順調に経過し、初期生育にかかるデータを収集した。金谷33号の加工特性・被覆適性及び被覆後の生育についても明らかにした。栽培・被覆特性については新規の試験はほぼ完了し、年次間差などを得るための反復データの取得を残すのみとなっていることから、こちらについて達成の見込みは高い。現地実証試験についても苗が順調に生育しており、計画の達成が見込まれる。金谷33号の被覆により最大7日まで摘採適期の延長が可能であり、他品種の摘採がない時期に、摘採適期をずらすことで受け入れ量の21%増加が可能であることが明らかになる見込みである。低温保管技術による受け入れ量の増加と併用することで、1工場あたりの茶葉処理量2割増加を達成した。晩成品種育成を目指した交雑・選抜も計画通り進捗している。本交雑については2年間の交雑及びその後の挿し床検定試験を経て、その中から10個体を系統として選抜し、計画通り系統比較試験を開始した。

以上より、最終の到達目標の達成は十分に可能である。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性

ランク：A

研究コンソーシアム内に、開発した低温保管システムを販売する茶業機械メーカー、茶の主要産地である鹿児島県、静岡県等の試験研究機関が参画している。開発した技術情報については、作成した技術導入支援マニュアルを活用し、コロナ禍の様子を窺いつつ、販売代理店や、技術指導する普及指導センターによる講習会や研究会などにおいて、アウトリーチ活動（イベントを活用したPR活動等）を行う予定である。また、産地向けの技術指導や成果伝達会を開催する。普及にあたっては、農産局と連携し、政策・農政方針と一致した普及を目指す。品種登録出願公表された金谷33号については、育成者である農研機構が主体となり、状況を見ながら広報及び普及を進めて行く。具体的には、成果のプレスリリース、茶生産者・消費者向けのイベントでのPR活動、広報用パンフレットの作成などを行う。また、今後は金谷33号の栽培試験の範囲を拡大し、栽培については生産者、実際の製品に対しては消費者の評価から普及対象の最適化を図る予定である。晩成品種育成を目指して得られた系統については、令和8年に系適試験として他地域でも検証を行い、病虫害抵抗性や多収性等の優良な形質をもつ晩生系統の品種登録出願を目指す。こうした活動により、アウトカム目標の達成を見込む。

アウトカム目標の設定の具体的な根拠は以下の通りである。

低温保管技術の確立により、低温保管庫（2,000万円）が10台導入され、2億円規模の市場が形成されるとともに、1工場あたり茶葉処理量が2割増加することで、10工場（1工場あたり売上1億円と仮定）で毎年2億円の販売拡大を想定。また、全国の茶栽培（40,600ha）のうち、約1,200haで栽培されている晩生の主力品種「おくみどり」と同程度の1,000haで金谷33号が普及すると想定し、10aあたり収量をH30全国平均と同程度の223kg/10a、かぶせ茶の平均単価1,652円/kgから試算し、年間40億円の市場が形成されることをアウトカム目標として設定した。

※他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度については該当しない

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

開発した試作システムは、数多くの問題点が試験の経過とともに洗い出され、フィードバックした情報より最適な保管条件を満たすための改良が速やかに行われた。長期保管及び冷凍試験においては機械トラブルに起因する単年度計画における遅延が見られたが、代替として翌年の計画が前倒しで行われたため最終目標への影響はない。晩成品種についても気象による遅延は翌年に交配数を増やすなどして対応し、全体的に柔軟性の高い対応により全体の研究期間を見通した的確な修正が行われており、研究計画の妥当性は高い。

コロナ禍で参集が厳しい中、年度毎に設計・推進会議ともにそれぞれ1回ずつ開催(オンラインも含む)し、課題関係者間で進捗状況の把握と情報共有に努めた。実証試験地においては調査以外にも年に2回以上の打ち合わせを行い、順調な計画の遂行に努めた。

本研究課題では、4年目まで得られたデータをフィードバックした的確な試作機の改良が、実証試験において行われてきた。金谷33号については年次を経るにつれ実証試験地への重点的な配分を行っており、また、状況を踏まえた予算の傾斜化を行っており、予算配分の妥当性は高い。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・揉捻機の老朽化と相まって茶工場の閉鎖が散見される一方、中小茶農家の離農、大規模茶農家のさらなる規模拡大の流れの中で、製造スケジュールの平準化や茶工場の茶葉処理量の増加に資する本研究成果の意義は高い。
- ・国内外のコンクールで高い評価を得ており、金谷33号を「かなえまる」として品種登録するなど、十分な実績を評価する。
- ・低温保管庫の導入、晩成品種の販売により、一定の市場規模が形成されるまでの道筋が明確化されており、アウトリーチ活動も多数実施されていることから、研究成果の普及・実用化の道筋は妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・成果の普及に向けた一層の取組を期待したい。

[研究課題名] 茶葉の低温保管システムの開発と作期拡大を可能とする新品種の育成

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
茶工場	茶では多くの場合、収穫した葉を農家が一次加工まで行う。この一次加工を行う工場を茶工場と呼ぶ。一次加工された茶は問屋や小売業者によって選別、焙煎等の二次加工が行われて製品となり、消費者に販売される。	1
被覆	茶ではよく使われる栽培技術の一つで、収穫する前に光を遮ることで緑色を濃くし、独特の風味をだす。光を遮る期間は作る茶の種類によって異なる。	2
てん茶	抹茶原料の茶葉であり、石臼で挽く前のもの。	3

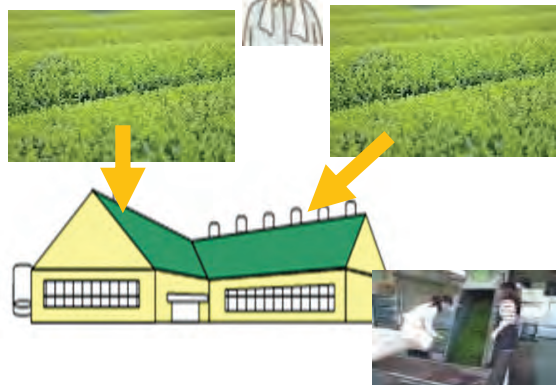
⑨ 茶葉の低温保管システムと晩生品種の開発

- 茶生産現場では、従事者の高齢化や減少に伴い、経営の統合と拡大が進んでいるが、既存茶工場での受け入れ量には限界があることから、過密製造スケジュールによる労働条件の悪化が問題となっており、茶工場の効率的な利用と稼働率の向上が求められている。
- そこで、**茶葉の低温保管システムを開発し、これを利用した効率的な荒茶生産システムの開発と、栽培技術と合わせて作期拡大を可能とする新品種の育成**により、製茶作業ピークの平準化と茶工場の稼働期間の延長を目指す。
- これらの技術により、1茶工場あたりにおける茶葉処理量の2割増加を実現し、茶生産現場における過密製造スケジュールを改善する。

生産現場の課題

- ・ 摘採直後に荒茶加工が必要だが、茶工場の受け入れ量は限界。
- ・ 摘採期間が限られるため、茶工場の稼働率が低く利用効率が悪い。

<イメージ>



経営統合等により新たな生葉原料を受け入れる必要があっても、既存茶工場の受け入れに限界

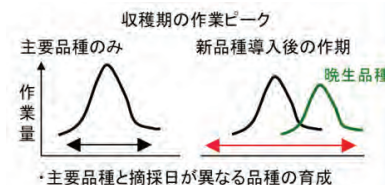
生産現場の課題解決に資する研究内容

- ・ 低温保管により、従来よりも生葉を長い期間保管する技術を開発するとともに、低温保管した場合の荒茶品質について明らかにする。
- ・ 荒茶製造工程途中の原料を冷凍保管する技術を開発する。
- ・ 作期拡大を可能とする新品種を育成する。

<イメージ>



茶葉の低温保管システム



晩生品種の選抜

社会実装の進め方と期待される効果

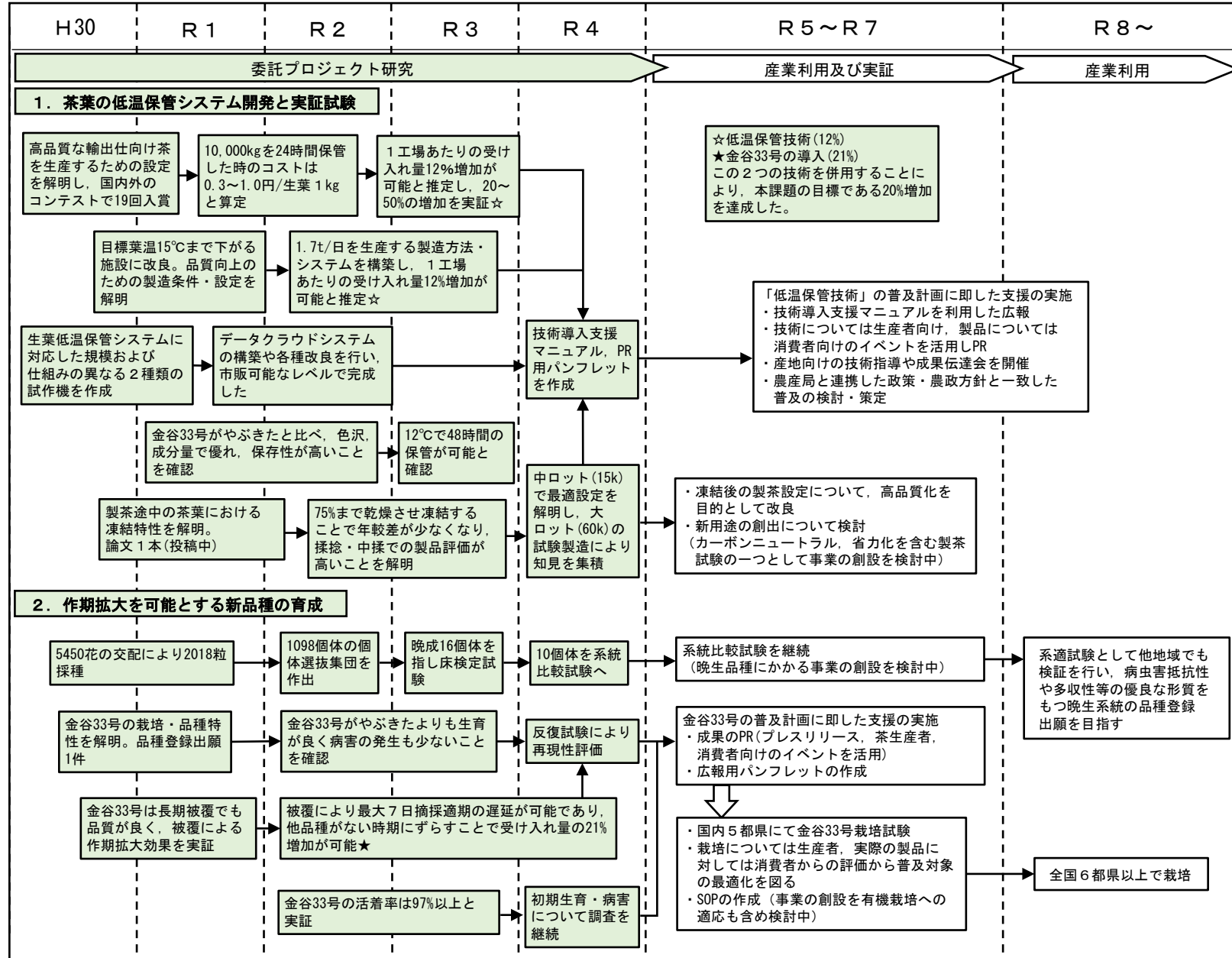
- ・ 既存の茶工場への試験導入により効果を確認し、産地に波及させる。
- ・ 実証試験の結果を基に各公設試験場において事例紹介等を行い、技術の普及を促進する。
- ・ 農研機構が主導して新品種の広報活動を行い普及に努める。

1つの茶工場あたりの茶葉処理量を2割以上増加。



【ロードマップ（終了時評価段階）】

茶葉の低温保管システム開発と作期拡大を可能とする新品種の育成



アウトカム
【R 9 年度】

低温保管技術及び品種導入により作期拡大が図られ、生産者の作業集中が緩和

1工場あたりの受け入れ量が増加することにより製品品質が向上

晩生品種によりさらなる作期拡大が可能

低温保管庫の設置により2億円規模の市場形成

新品種金谷33号の普及により、栽培面積1,000ha、年間40億円規模の市場形成

茶葉の低温保管システムの開発と作期拡大を可能とする新品種の育成

研究概要

茶は摘採期の短期間に大量の製茶加工を要する点が安定生産の障害となっていることから、茶工場の製造スケジュールの平準化と稼働期間の拡大のため新たな技術を開発する

研究目標

- ①茶葉の低温保管システムの開発(冷蔵2つ、冷凍1つ)と実証
- ②作期拡大を可能とする新品種の育成
 - ①の3つそれぞれの技術と②で10%の1工場あたりの生葉受け入れ量増加を目標とし、①のいずれかの技術と②の技術を併用することにより20%増加を目指す

①茶葉の低温保管システムの開発と実証試験

生葉低温保管を利用した輸出仕向け茶の生産技術開発(課題1-1)

閉鎖型の冷蔵保管システムを利用して輸出仕向け茶を生産し、受け入れ量10%増加とともに、高品質な製品の生産を目指す

経営面積の10%増加に伴う低温保管システム導入効果試算

	経営面積 [ha]	生葉受け入れ量 [t/年]	販売額 [百万円/年]	コスト [百万円/年]	増益 [百万円/年]
面積増加前	30	673.2	137.2		
保管システム無	33	729.3(+8%)	144.6		7.4
保管システム有	33	754.8(+12%)	158.4	8.6	12.6

※コストには低温保管システムの運用、減価償却、その他加工経費を含む

- ・経営面積が10%増加した時、冷蔵保管システムでは高品質な複数茶種を生産可能なため**生葉受け入れ量は12%増加**し、年あたり5.2百万円相当の増益が見込まれると試算した

- ・実証試験では高品質な製品の生産を維持しつつ面積をさらに拡大し、**20~50%の生葉受け入れ量を増加させることが可能**であることを明らかにした

生葉受け入れ量実証試験結果 [%]

	平成30年比	令和元年	2年	3年
一番茶		119	137	145
年間		120	120	150

生葉低温保管を利用した香り緑茶の生産技術開発(課題1-2)

開放型の冷蔵保管システムを利用した香り緑茶の生産により受け入れ量10%増加と高品質な製品の生産を目指す

- ・生葉1kgあたりのコストは0.6~4.4円と推定された。処理量が増える程コストは下がり、推定コストに近づく

生葉限界処理量[kg/日]と推定コスト[円/kg]

	限界処理量	推定コスト	実証値
一番茶	1,700	0.6	1.5
二番茶	1,700	4.4	9.7

- ・冷蔵保管システムの導入により高品質な香り緑茶の生産が可能となり、茶期前後に製造及び茶葉の受入拡大した場合は3%の増加となり、さらに雨天時製造や一日の製造時間を延長した場合は最大71.4tの処理ができ、**12%の生葉受け入れ量増加が可能**と試算した

増加する生葉処理量の推定 [t]

	茶期前後 受入拡大	雨天時 製造	時間 延長	合計
一番茶	2.8	7.0	9.8	19.6
二番茶	2.2	5.5	7.7	15.4
三番茶	2.4			2.4
秋冬番	8.5		25.5	34.0
合計	15.9 (+3%)			71.4 (+12%)

生葉低温低温保管システムの構築(課題1-3)

摘採した茶葉の長時間常温保管は、呼吸による葉温の上昇と酵素反応を引き起こし品質が低下する。そこで低温保管を行い、品質の低下を防ぎ、輸出仕向け茶や香り緑茶として生産できるシステムを構築する

閉鎖型低温保管システム

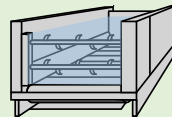
生葉コンテナ全体を断熱材で覆うタイプ。温度管理はしやすいが、設営コストが高い



イメージ図と実証試験地の低温保管試作機内部の写真(見える壁と屋根は断熱材)

開放型低温保管システム

生葉コンテナを覆うことなく下または側面からの送風する。設営コストは抑えられるが、温度管理が難しい



イメージ図と実証試験地の試作機(左:側面に設置したスポットクーラー、右:生葉コンテナ内部で周囲は工場の壁)の写真

- ・両システムにおいて**設定温度への制御が可能**となるようにした
- ・データクラウドシステムの構築や衛生面での改良を行い、**市販可能なレベルで完成した**

冷凍保管技術を利用した製茶技術開発（課題1-5）

荒茶製造工程中の原料を冷凍保存し閑散期に製茶を行う技術を開発し、受け入れ量10%増加を目指す

試験製品の官能審査結果

	100%	75%	未冷凍
香気	2.0	1.9	2.2
水色	1.9	1.3	2.9
滋味	1.8	1.8	2.6

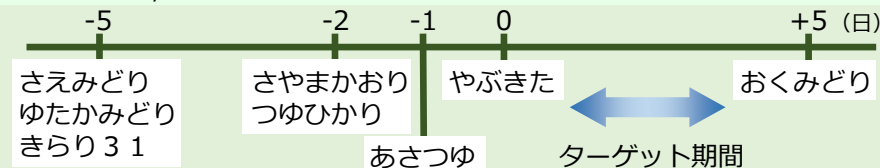
- ・これまで知見のない製造工程途中の茶葉に対する凍結特性を明らかにした
- ・含水率が異なる条件で冷凍した茶葉について中規模ロットで試験製造を行い、官能審査などにより製品としての評価を行い香気の変化が少ないことを明らかにした

左表脚注）75%,100%は各乾量基準含水率で冷凍した後、後日以降の製茶を行った茶葉を示す。
最も良いものを3点とした

②作期拡大を可能とする新品種の育成

作期拡大に資する品種の登録（課題1-4,2-2,3,4,5,6）

普通煎茶向けの主要・新品種の摘採適期は「やぶきた」から「おくみどり」が空白期間となっており、この期間に適する品種を速やかに登録することで受け入れ量10%増加を目指す



令和2年度定植園における秋期生育調査の結果

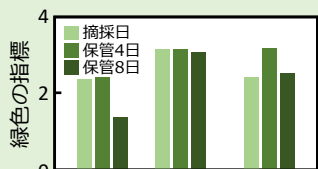
	樹高[cm]	株張[cm]	生育	炭疽病
金谷33号	93.3	104.0	7	2
やぶきた	104.0	82.7	5	5
さえみどり	94.3	88.5	5	2
おくみどり	82.6	90.7	6	3

生育良否は9段階、炭疽病発生程度は5段階評価

被覆栽培時の一番茶における生葉収量 [kg/10a]

被覆日数	無	10	15	20	25
金谷33号	509	442	685	734	812
やぶきた	350	351	503	654	649

- ・金谷33号を「かなえまる」として国内外に品種登録出願した
- ・金谷33号は各種病害抵抗性をもち、初期生育において樹高はやや低いが、株張りが良く生育良否において他品種より優れた

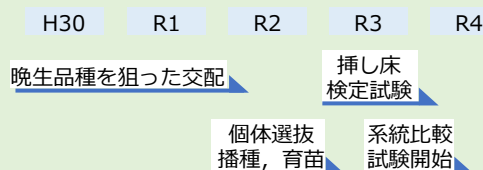


二番茶における緑色の指標の変化

- ・金谷33号は摘採適期は「やぶきた」同様だが収量性に優れており、被覆しても収量性が高く被覆適性が高い。被覆により摘採時期を7日まで延長することが可能であり、**最大で21%の生葉受け入れ量の増加**が推定される

- ・低温保管中の品質についても金谷33号は緑色の指標が高く維持され、保管適性も高いことが明らかとなった

作期拡大に資する晩生品種の育成（課題2-1）



晩生品種を用いて作期を拡大し、受け入れ量10%増加を目指す

- ・晩生品種の選抜を目的として5450花の交配より、2018粒の種子を得て、1098個体を選抜した
- ・**有望な晩成16個体について挿し床検定試験を開始し、順調に育成が進んでいる**



- ・3つの低温保管技術を確認するとともに、12%の受け入れ量増加を明らかにした
 - ・金谷33号に改植することで、21%の受け入れ量増加を推定
- 以上より各技術において10%、合計20%以上増加可能な技術体系を構築見込み**

今後の方針とアウトカム目標

- ・技術導入支援マニュアルの作成と産地向けの成果伝達会の開催
- ・品種普及に向けプレスリリースの実施



低温保管庫の設置で2億円規模、金谷33号の普及により年40億円（面積1,000ha）規模の市場形成を目指す

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	現場ニーズ対応型研究のうち総合的な悪臭低減、臭気拡散防止技術の開発			担当開発官等名	農林水産技術会議事務局研究企画課 畜産局畜産振興課
				連携する行政部局	畜産局畜産振興課（環境保全班）
研究期間	H30～R4（5年間）			総事業費（億円）	1.9億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		
研究課題の概要					
畜産農家周辺にも一般住居が進出する中、畜産経営由来に対する苦情の過半を悪臭関係が占める状況にあるなど、今後とも持続的に畜産業を経営していくためには、悪臭問題に適切に対応していく必要がある。そこで、本課題では、悪臭の発生源となりやすいふん尿処理施設・畜舎等の施設からの悪臭発生を低減させるため、農場内の悪臭を見える化し、臭気物質の農場外への拡散を減少させることで農場全体から悪臭の拡散を防止する総合的な悪臭対策技術を開発する。具体的には以下の通り。 〈Ⅰ 農場内悪臭のモニタリング技術の開発〉 臭気と連動し測定可能な粉塵等の臭気媒介物質（※1）の探索や気象条件を加味した悪臭拡散モデルを開発すると共に、都市近郊型畜産集中地帯において悪臭モニタリング手法や臭気対策技術の実証を行い、臭気拡散抑制効果や経済性について検証を行う。 〈Ⅱ 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発〉 臭気発生源となりやすい堆肥化施設等について、畜産経営にすでに導入・利用されている設備等を活かしつつ容易に導入できる臭気対策技術を開発する。					
1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標					
・農場の敷地境界において、臭気強度（※2）3.0以下（臭気指数（※3）14～16に相当）とする総合的な臭気対策技術を開発し、その効果を生産現場で実証。 ・開発した技術を含めて生産現場での総合的な臭気低減のための生産者向け利用マニュアルを作成。					
2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R10年）					
悪臭対策に苦慮している自治体への導入指導や、作成した生産者向け利用マニュアルの周知による迅速な現場普及により、現状の畜産悪臭関連の苦情発生戸数（令和元年度908戸）を3割程度低減することが期待できる。					

【項目別評価】	
1. 研究成果の意義	ランク：A
近年の畜産経営体においては、一戸当たりの飼養頭数の増加による大規模化が進んでおり、これに伴い農場内の臭気対策が重要な課題となっている。また、住宅地の郊外への進出を背景に、畜産農家と住宅地の混在化が進んでいること等から、畜産由来の苦情発生件数のうち「悪臭」に対する苦情が過半を占めている。持続的な畜産業を経営していくためには、農場内での臭気発生を大きく低減させる技術および農場外への臭気拡散を防止する技術の開発が強く求められている。 令和2年3月策定にされた「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」においては、「臭気に係る環境規制への更なる対応、混住化の進展等による周辺住民の苦情の深刻化に対応するため、処理高度化施設を整備することが重要である。技術開発の促進では、臭気発生源ごとに脱臭装置等臭気低減の各手法を選択し、組み合わせる最適管理手法の開発等。」と明記されたところ。 また、環境省の定める悪臭防止法では、特定悪臭物質（22種類）濃度により規制を行ってきたが、複合臭や未規制物質にも対応するために臭気指数による規制導入に向けて、平成7年に同法の一部改訂が	

なされ、平成13年には規制の本格導入のための「臭気指数規制ガイドライン」が策定された。これを用いて、臭気指数による規制方法を採用する自治体の割合は増加傾向にあり、令和元年度末時点で全国470市区町村となっている。臭気指数を指標とした規制に対応していくためには、これまで以上に高度な臭気対策技術が必要となるため、引き続き、臭気対策技術向上に係る研究開発を国が推進する必要性がある。

以上のことから、臭気対策が強く求められている状況は研究開始当時と変わっておらず、悪臭のモニタリングに基づいた実用的で容易に導入できる臭気対策の技術開発の意義は非常に大きい。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

①最終の到達目標に対する達成度

本研究課題の最終到達目標として、敷地境界における臭気強度を3.0以下（臭気指数14～16に相当）とする総合的な臭気対策技術を開発し、マニュアル等を作成して提示することを目指しており、これまでに以下の具体的成果が得られている。

〈Ⅰ 農場内悪臭のモニタリング技術の開発〉

- ・臭気の強弱の分布を可視化できる臭気マッピング手法（※4）の高度化では、粉塵等の臭気媒介物質の農場地図上へのマッピング技術と臭気の広域拡散を防止する悪臭モニタリング技術を開発するために、養鶏農家と養豚農家で設置式のニオイセンサなどを用いて臭気指数を調査し、悪臭モニタリング可能なことを実証するとともに、悪臭発生源とされた乾燥ハウスの側面に消臭メッシュシートを施し、3割程度の悪臭低減効果があることを確認したが、気象条件などの環境要因により低減効果は変動した。今後、悪臭のセンシング結果による効率的な臭気制御が可能かを検証し、効果が得られた事例については臭気対策事例集としてとりまとめ、公表する予定である。
- ・農場周囲の気象条件を加味した悪臭拡散モデルの開発では、日本のような複雑な地形に対応するために、CFDシミュレーション（※5）を用いた解析を行い、約80%の高い精度で臭気拡散状況が把握できるシステムを開発した。今後、複数の農家における測定データとシミュレーションデータを突合させ、精度の検証を行い、悪臭拡散モデルを提示する予定である。

〈Ⅱ 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発〉

- ・新たな畜舎換気制御手法の開発では、悪臭物質であるアンモニアを40%削減すること（臭気指数30以下相当）を目指しており、アンモニアセンサを新たになに組み込んだ換気制御を行うことで、畜舎からアンモニアを22%削減できたが、引き続き除塵フィルターを併用することにより、さらなる削減を行う予定である。
- ・新たな畜舎用臭気除去装置の開発と基本管理の効果検証では、畜舎から発生する臭気を50%削減すること（臭気指数30以下相当）を目指しており、既存畜舎に設置可能な装置（ルーフファン設置型）を開発し、排気を装置に通すことにより臭気を40%以上削減できたが、引き続きさらなる臭気低減に向けた改良を進める予定である。また、飼養管理方法の違い等による臭気低減効果の検証を行い、ミスト噴霧中は臭気を40～50%程度低減できること等を明らかにした。
- ・堆肥化・メタン発酵複合処理からの新たな臭気低減技術の開発では、乳牛ふん尿をスクリュープレス（※6）で固液分離した固形分を堆肥化することにより、元のふん尿をそのまま堆肥化する場合に比べてアンモニア揮散を55%削減でき、さらに固形分に重量割合3%の廃食用油を添加して堆肥化することで、元のふん尿の堆肥化に比べてアンモニア揮散を約80%削減できることを明らかにした。また、メタン発酵処理後に排出される消化液を肥料として散布する装置の開発では、消化液の圃場散布時の周辺環境が臭気指数16以下となる低コスト（250万円以下）な装置開発を目指しており、走行速度に応じて散布量を制御する部分を独自に開発し散布装置に組み込むことにより、目標値以下の230万円程度で開発できることを明らかにした。
- ・密閉縦型堆肥化装置の臭気低減技術の開発では、生産される堆肥の臭気物質を30%低減することを目指しており、通気量の最適化による発酵促進と乾燥処理を行うことで、40%程度臭気が低減されることを明らかにした。

- ・新たな生物脱臭装置の開発では、アンモニア除去率8割（臭気指数15以下相当）を目指しており、脱臭資材に竹チップを使用することにより、アンモニア除去率が9割以上になることを明らかにした。
- ・堆肥舎の出入り口に液体を噴霧できる流体カーテンによる悪臭拡散制御技術の開発では、堆肥舎での繰り返し作業に伴うエアロゾル（※7）の拡散が9割以上抑制されること（臭気指数20相当）を目指しており、流体カーテンシステムを堆肥舎に導入することにより、エアロゾルの拡散が5～9割低減され、農場の敷地境界での臭気指数が流体カーテン作動なし時の27から作動時の17まで低減されることを明らかにした。

上記の臭気対策技術の成果を基に、論文掲載2件、学会発表6件、シンポジウム1件、アウトリーチ活動10件、新聞掲載1件が行われており、着実な成果が得られている。

②最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠

農場内悪臭のモニタリング技術の開発では、順調に開発が進んでおり、最終年度までに悪臭拡散モデルを提示できる見込みとなっている。また、畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発では、個別課題の数値目標に対して概ね80%以上達成しており、研究計画に基づいた進捗状況となっている。

今後、農場でのデータの蓄積による農場内悪臭モニタリング技術の精度向上に加えて、農場の臭気分布状況に基づいた臭気対策の効果の検証を複数農家で進めていくことで、各農家に適した臭気対策技術を提供できる態勢が整うため、最終到達目標である農場の敷地境界において臭気強度3.0以下（臭気指数14～16に相当）となる臭気対策技術の開発は達成可能である。また、これらの実証試験を通して、様々な農場や畜種において臭気対策事例を蓄積することで、生産者向けの悪臭対策マニュアルや臭気対策事例集の作成が可能である。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性	ランク：A
--	-------

① アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

本研究課題で開発された農場内外の臭気分布・拡散予測モデルおよび臭気低減技術は、既存の畜舎や広く農家に導入実績のある堆肥化施設等に対して、容易かつ効果の高い脱臭機能を追加できるものとなっている。この技術は、悪臭対策が喫緊の課題となっている多くの畜産農家に広く導入が可能であるため、生産者に向けたマニュアルや、開発技術の製品化、また技術指導を通して公知化されることで、全国の悪臭対策に苦慮する自治体・生産者に迅速に普及し、活用されることにより、現状の畜産悪臭関連の苦情発生戸数（令和元年度908戸）を令和10年度には3割程度低減することが期待できる。

以上の研究開発状況から、アウトカム目標は十分達成できると見込まれる。

② アウトカム目標達成に向け研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

研究成果を現場に普及しやすいものとするため、県の農林水産事務所、養鶏・養豚・養牛農家等との連携体制を構築し、年に10回程度の意見交換を行うとともに、畜産農家で構成される組織を対象とした勉強会の実施などを通して現場における問題把握を行いながら、研究を推進していることから、普及・実用化に向けた取り組みは妥当である。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

研究で開発された技術は、畜産農家由来の悪臭低減に対する活用だけでなく、工場等から排出される臭気が問題となっている他分野での活用や、悪臭と共に家畜排せつ物処理過程において問題となっている温室効果ガスの発生の低減といった他の研究分野への貢献も期待できる。

4. 研究推進方法の妥当性	ランク：A
① 研究計画（的確な見直しが行われてきたか等）の妥当性 本課題の研究目標は、農場内からの臭気発生の低減と拡散防止技術の開発であり、その達成に向けて農場内の効率的な臭気対策を可能とする臭気の「見える化」や拡散予測、畜舎や堆肥化施設から発生する臭気的大幅な低減技術開発を研究計画に沿って推進しているところ。また、畜舎換気制御技術の開発を加速化するために信州大学を、消化液散布装置の精度向上及び低コスト化を図るために東京大学を新たにコンソーシアムに加えるなどの計画の見直しを随時行っており、研究計画は妥当と考えられる。 ② 研究推進体制の妥当性 外部専門家や関係行政部局で構成される運営委員会（5回実施）で進捗状況について、指導・助言・検討等を行うとともに、県の農林水産事務所、養鶏・養豚・養牛農家等を交えた定期的な意見交換を行うなど、研究推進体制は妥当である。 ③ 研究の進捗状況を踏まえた重点配分等、予算配分の妥当性 畜舎の新たな換気制御技術の開発では、鶏舎での悪臭低減効果を集中的に検証する必要があるため、信州大学をコンソーシアムに加えて重点的な予算配分を行っている。他の課題についても計画通りに研究が進捗しており、予算配分は妥当である。	

【総括評価】	ランク：A
1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見 ・畜産業は臭気発生が問題になりやすく、社会的にも非常に重要な研究課題である。 ・近隣住民との悪臭問題は畜産に限らず、他の農産物、事業でも抱えている問題であり、成果の波及効果は非常に高く、研究に対する期待は大きい。 ・悪臭のモニタリング技術や、ふん尿を処理過程での臭気対策技術と共に、悪臭の低減のための施策を示しており、生産者向けのマニュアル作成を整備するなど、最終目標の達成が確実である。 ・アウトリーチ活動が非常に多く実施されている点も、高く評価する。 2. 今後検討を要する事項に関する所見 ・コスト削減の観点だけではなく、農家と周辺住民の関係改善を後押しする技術として農家のメリットをアピールするなど、様々な観点からの研究成果の普及に努めていただきたい。 ・開発された脱臭剤、フィルターなどの新素材が、新たな環境負荷に繋がらないよう技術の安定性、持続性について配慮いただきたい。	

[研究課題名] 現場ニーズ対応型研究のうち総合的な悪臭対策、臭気拡散防止技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
臭気媒介物質	粉塵やエアロゾルなど、臭気物質をその表面に付着させて移動する物質。ガス態の臭気物質が移動中に希釈されて臭気強度が低下するのに対し、臭気媒介物質は移動により希釈されず、衣類や鼻腔内に付着することで、悪臭発生源から遠く離れた場所でも不快臭が感知される場合がある。	1
臭気強度	臭気の強度を定量的に表す尺度。わが国では6段階臭気強度が使われており、臭気強度2（何のにおいか分かる弱いにおい）、臭気強度3（らくに感知できるにおい）、臭気強度4（強いにおい）と規定されており、悪臭防止法では臭気強度2.5から3.5間で規制基準が決定される。	2
臭気指数	臭気物質を含む気体を空気で希釈し、臭気が感知できなくなるまで希釈した場合の希釈倍数（臭気濃度）の対数に10を乗じた値。畜産における臭気強度3に対応する臭気指数は、14～16に相当。	3
臭気マッピング手法	畜環研式ニオイセンサとGPSロガーを同時に携帯し、農場内を移動しながら、臭気指数（相当値）と位置情報を自動的に記録。パソコン上で当該農家の地図データ上にプロットすることで臭気の強弱の分布を可視化する手法。農場内の臭気分布の傾向を把握することが可能となる。	4
CFDシミュレーション	Computational Fluid Dynamicsの略。計算流体力学。地形や気象を考慮して大気中の乱流や物質拡散等を計算すること。	5
スクリュープレス	スクリュープレスは、円筒形のスクリーンとスクリュウ羽根で構成された脱水機である。材料をスクリュウとスクリーンの間に供給し、スクリュウを回転し材料を移動させることで、重力ろ過、スクリュウによる圧搾力、回転によるせん断力により連続的に脱水が行われる。	6
エアロゾル	気体とその気体中に浮遊する固体もしくは液体の粒子。	7

⑩ 総合的な悪臭低減、臭気拡散防止技術の開発

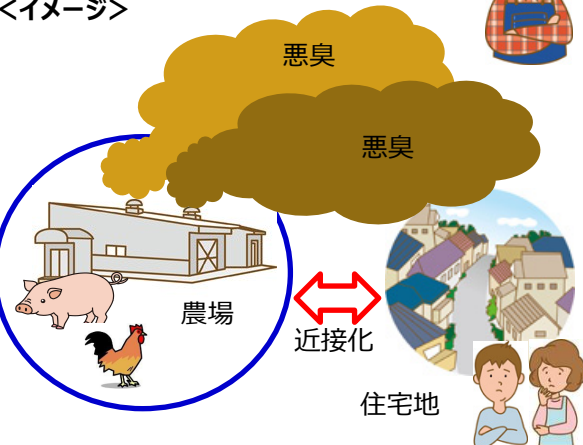
- 農家あたりの飼養規模の拡大や地域における住宅地と畜産生産基盤の混在化の進行などによって、畜産経営に起因する苦情発生件数の過半を悪臭関係が占める状況となっており、畜産業の健全な発展のためには、悪臭問題を可能な限り減少させていく必要がある。
- そこで、**農場全体の臭気発生状況、拡散状況を把握し、臭気を「見える化」する技術を開発するとともに、発生源となる個々の施設（畜舎、堆肥舎など）に対する悪臭発生・拡散防止手法や技術を開発する。**
- これらの技術を組み合わせることで、農場内の悪臭発生の低減や、農場外への拡散を防止する。

生産現場の課題

- ・ 畜産地域への住宅地の進出等により、農場と住宅の混在化が進んでいる。農場からの臭気に関する苦情が多く困る。
- ・ 臭気対策には労力やコストがかかる。効率的に対策する方法はないか。



<イメージ>



生産現場の課題解決に資する研究内容

- ・ 農場内外の悪臭をセンサとGPSロガーを用いて「見える化」する技術を高度化。
- ・ 悪臭の原因となる対象施設（ふん尿処理施設・畜舎など）からの悪臭発生と拡散を低減する技術を開発。
- ・ 農場の立地・気候条件を加味した上で、これらの技術を効果的に組合せ、農場全体からの臭気拡散を防止する総合的な臭気対策技術を開発。

<イメージ>



農場全体の臭気の状態を把握



臭気の発生源となる施設に対する防止手法・技術を開発

農場全体を対象とする総合的臭気対策技術を開発

社会実装の進め方と期待される効果

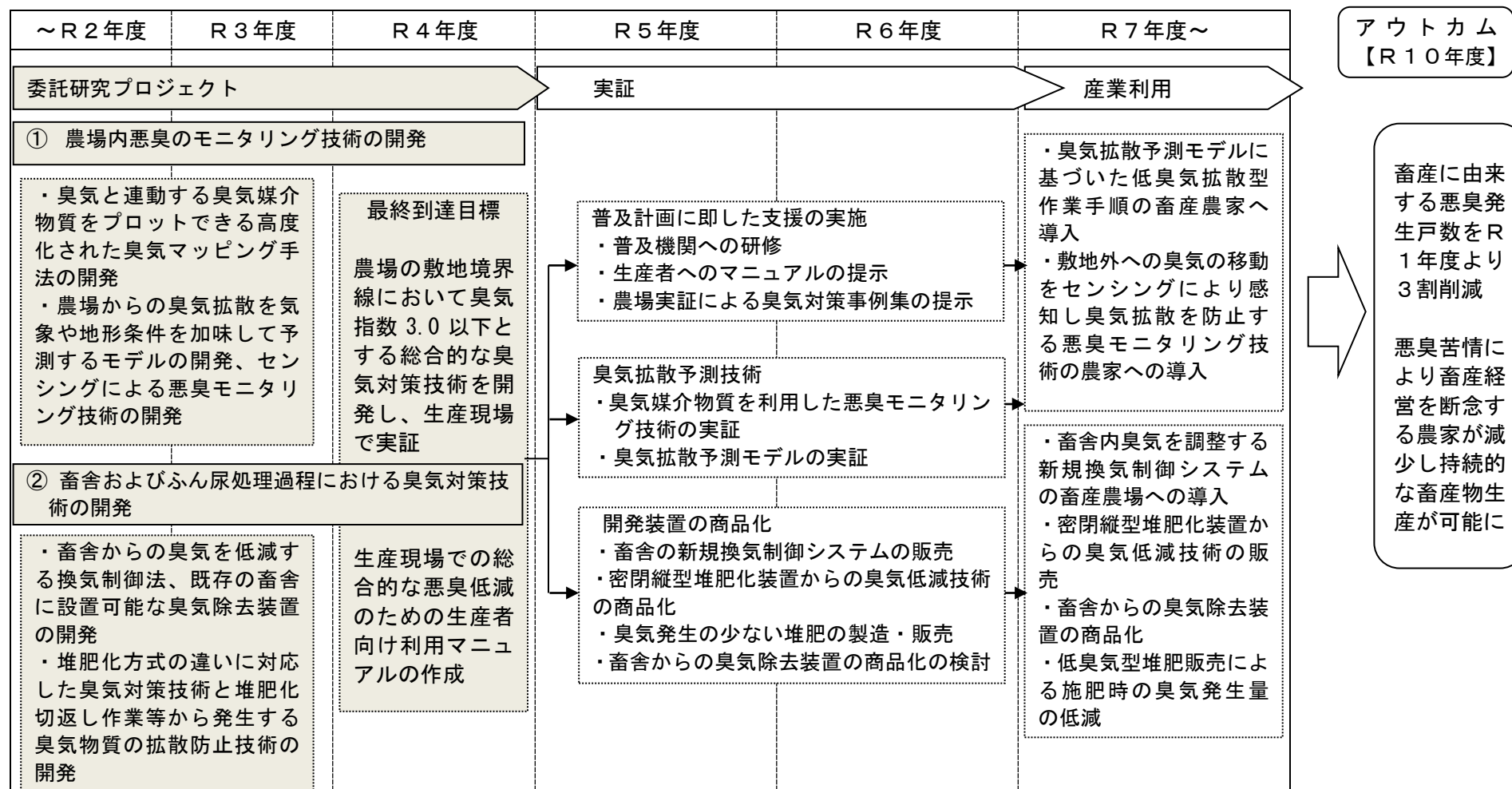
開発した技術について現場実証を行い、生産者向けのマニュアルを作成し、畜産農家に普及。

- ・ 敷地境界における臭気強度3.0以下（臭気指数14～16）に低減。
- ・ 畜産臭気が減少し、畜産業の健全な発展を実現。



【ロードマップ（終了時評価段階）】

総合的な悪臭低減、臭気拡散防止技術の開発

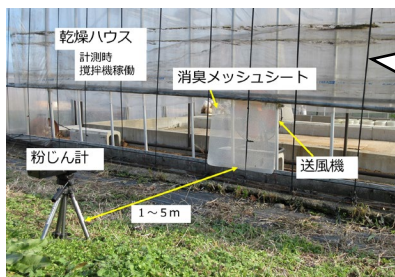


課題名：総合的な悪臭低減、臭気拡散防止技術の開発

研究概要

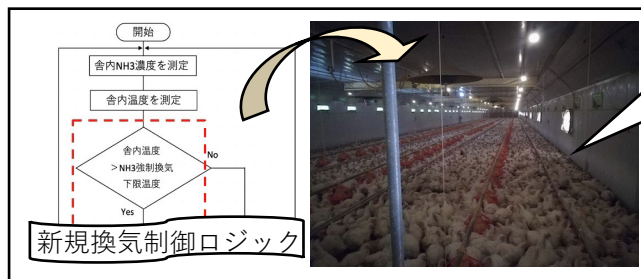
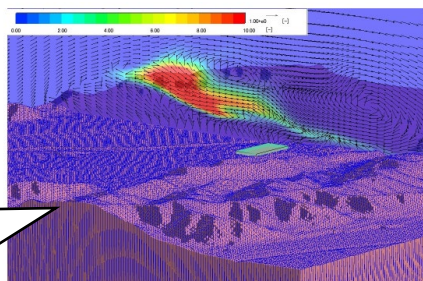
高度な悪臭モニタリングや臭気発生源からの拡散低減等により、敷地境界における臭気強度を3.0以下とする総合的な臭気対策技術を開発する。

主要成果



乾燥ハウスの側面に消臭メッシュシートを施すことで3割程度悪臭低減。

農場発生臭気が近辺地域にどのように拡散するのかを地形や気象条件から8割の高精度で予測。



畜舎内の換気を制御する新規ロジックを開発し舍内アンモニア濃度を22%低減。

既存畜舎に設置可能な臭気除去装置を開発。臭気を40%低減。



メタン発酵消化液の臭気低減技術の開発では、均一施肥が可能な低コスト散布装置を開発。



密閉縦型堆肥化装置では通気量の最適化による発酵促進と乾燥処理を行うことで40%程度臭気を低減。

生物脱臭資材に竹チップを利用することにより、アンモニアを9割除去。



堆肥化切返し時のダスト拡散を抑える流体カーテンシステムを開発。エアロゾル拡散を9割抑制。

今後の方針

- 高度化された臭気マッピング手法のマニュアル化と実証事例集の作成。
- 気象条件等から臭気拡散を予測して対策技術と連動させるシステムの開発。
- 開発した臭気低減技術の既存装置への付加等による製品化。

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	現場ニーズ対応型研究のうち青果用かんしょの省力機械移植栽培体系の確立	担当開発官等名	農林水産技術会議事務局研究企画課 農産局地域作物課
		連携する行政部局	農産局穀物課
研究期間	2018～2022（5年間）	総事業費（億円）	1.1億円（見込）
研究開発の段階	基礎		
	応用		
	開発		

研究課題の概要

<委託プロジェクト研究課題全体>

南九州及び四国地域の青果用かんしょ（※1）産地をターゲットとして、育苗から移植（※2）までの労働時間を慣行栽培と比較して20%～30%削減する青果用かんしょの機械移植栽培体系（※3）を開発し、実証する。また、機械移植に適した苗を生産する育苗技術の開発とこれによって生産された苗を効率的に移植する本圃機械移植技術を開発するための研究を実施する。

<課題①：機械移植に適した挿し苗・種いも育苗技術および移植機の開発（2018～2022年度）>

「鳴門金時」「べにはるか」「安納いも」について機械移植に適した苗の生産技術を確立する。移植機（※4）は現行挿苗機の問題点を明らかとし改良型移植機を開発する。また、小苗移植機の青果用かんしょへの適応性検討と改良対策を行う。

<課題②：開発技術の現地実証（2020～2022年度）>

機械移植に適した省力的育苗技術により得られた苗を用い、改良型移植機を用いた栽培を行い慣行栽培並の収量・品質が得られる栽培体系を確立し、現地実証を行う。

<課題③：開発技術のマニュアル化（2022年度）>

機械移植を前提とした育苗から移植までの技術をわかりやすいマニュアルにまとめる。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ① 育苗から移植までの労働時間を、慣行栽培と比較して20%～30%削減する。
- ② 青果用かんしょの省力機械移植栽培体系を開発し実証する。
- ③ 農業者が利用しやすいマニュアルを作成する。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R7年）

青果用かんしょの省力機械移植栽培体系の確立により、普及性の高い新育苗法と併せて取りまとめたマニュアルを作成し全国に普及することで、令和7年度までに青果用かんしょの生産面積の3%（450ha、市場規模18億円）へ普及する。

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

青果用かんしょの栽培においては、収穫などの基幹作業の機械化が進む中で、採苗作業（※5）と挿苗作業（※6）はほぼ人力作業で行われている。このため、高齢化による人手不足が深刻化する生産現場からは軽労化と労働時間の低減ができる技術の開発が強く望まれている。移植機についてはこれまでに数機種が開発されてきたが、機械移植に適した苗の生産技術が未確立であったことなどから普及定着していない。本研究では機械移植に適した育苗技術と効率的に移植する本圃機械移植技術の両面から取り組み、育苗を含む機械化移植技術としての普及を目指す。

これにより高齢化が進んだ生産現場での人手不足が改善するだけでなく、経営面積の拡大を望む意欲ある農家の更なる機械化、省力化要望に答えることが可能となる。また、本技術開発は、移植機の改良のみでなく、移植機に適する苗形状の解明や省力的な大量育苗法、本圃栽培管理まで含めた技術開発で

あり、全国のサツマイモ栽培の省力化技術として貢献でき、社会ニーズを的確に反映している。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

育苗技術としては、かんしょ品種や各地の作型に対して「鳴門金時」の高設育苗方式（※7）・「べにはるか」の縦伏せ込み一斉採苗方式（※8）・「安納いも」の省力的地床育苗方式（※9）を開発し各品種で移植精度の高い苗の育苗方法が概ね確立している。移植機については苗挟持ブラシの改善をはじめ7項目について改良を行い植え付け精度が向上した。本圃機械化移植作業において灌水の有無による活着促進効果、葉身切除が収量に与える影響を検討することで本圃管理技術の最適化を図っている。現地実証では95%以上の高い植え付け精度を示し作業時間も慣行の4.9時間/10aと比べて2.2時間/10aと目標を上回り、順調に開発が進んでいる。

以上のことから、本研究は順調に進捗しており最終目標の達成は可能である。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性

ランク：A

研究コンソーシアムには、普及・実用化に向けて国内主要生産地の公設試験研究機関、機械メーカー、生産者が参画し研究開発を進めている。

開発された移植機は現地実証において95%以上の高い植え付け精度を示し作業時間も2.2時間/10aと目標を上回る性能を示している。移植精度の高い苗の育苗方式も各品種、作型ごとにおおむね完成している。今後は現地実証での知見を集積したマニュアルを作成することとしており、公設試験研究機関や普及支援組織と連携し生産者への普及活動を行うことが予定されている。これにより、令和7年度までに青果用かんしょの生産面積の3%（450ha、市場規模18億円）へ普及するとしたアウトカム目標との達成は可能である。なお、べにはるかでは鹿児島県内（344ha）の3割、なると金時では徳島県内（992ha）の3割、安納いもでは鹿児島県内（574ha）の1割に本機械移植栽培体系が普及すると想定し、アウトカムの目標を設定した。

本研究は、他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度について該当しない。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

担当者、かんしょ栽培や農業機械の有識者から構成される外部運営委員、地域作物課・技術会議事務局担当者を参集し、毎年、設計会議、中間検討、成績設計会議を実施している。会議では研究プロジェクトの進捗状況を管理しつつ、研究実施計画の見直し等を行っている。また、現地試験実施時に関連課題や分野ごとに、機械開発の確認や情報共有、情報交換に努めるなど、適切な推進体制としている。

予算は当初、機械開発・改良に重点配分し開発を進め、3年目以降は開発が進んだことから栽培、現地試験の課題に重点配分を行っており、予算配分の妥当性は高い。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・ほぼ人力で行われているかんしょの採苗と挿苗作業に着目し、軽労化や時短に資する本研究課題は、農家の高齢化対策にとどまらず、規模拡大に意欲的な担い手のニーズにも適合しており、研究の意義は非常に高い。
- ・機械移植に対応した育苗技術や移植機の改善などによって省力化を進めつつ、植え付け精度も担保できており、順調に計画が進行していることから最終目標の達成も十分見込める。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・現段階まで十分なアウトリーチ活動が行われていないが、開発された栽培技術のマニュアルが作成された段階で、アウトリーチ活動が活発化し、成果のアウトプットが増えることを期待したい。
- ・技術普及の鍵として、初期コスト或いはランニングコストの問題があることに加えて、マニュアルの整備も重要な要素である。持続可能な技術となるように配慮いただきたい。

〔研究課題名〕 現場ニーズ対応型研究のうち青果用かんしょの省力機械移植栽培体系の確立

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
青果用かんしょ	国内で生産されるかんしょ（さつまいも）は、用途別に青果用、アルコール原料用、でん粉原料用、加工食品用に分類される。青果用は市場を通して消費され、かんしょ生産量の約4割を占める。	1
移植	かんしょを本圃へ人力で植え付ける作業は「挿苗」と表記される場合が多いが、ここでは機械化によるかんしょの本圃植え付けを「移植」と標記した。	2
機械移植栽培体系	慣行では主に手作業で行われるかんしょ苗の畝への移植作業を、圃場作業機械である移植機で行うことで省力化をねらった体系であり、機械移植に適した育苗作業、採苗作業、機械移植作業などで組み立てた栽培体系のこと。作業時間の省力化が図れる特長がある。	3
移植機	慣行のかんしょ生産では、全長30～40cm程度の苗を畝に手作業で挿して（挿苗）植え付ける。移植機とはこの挿苗作業を機械的に行う圃場作業機械である。作業の省力・軽作業化を図れる特長がある。	4
採苗作業	かんしょ生産では苗を畑に植え付け栽培をする。苗床で生育された苗を畑に植えるための、全長30～40cm程度の長さで切り取る作業のこと。	5
挿苗作業	かんしょ生産では全長30～40cm程度の苗を畝に挿して植え付ける。野菜用の苗を畝に植え付ける作業は一般的に移植作業と呼ぶが、かんしょではこの作業を挿苗作業と呼ぶことも多い。	6
高設育苗方式	ハウス内に高設ベッドを設置し育苗する方式。軽作業化をねらえる特長がある。	7
一斉採苗方式	苗床から苗を採る際に、慣行では適した苗を手作業で選択的に採苗するのに対し、機械的に一斉に刈り取って採苗する方式を一斉採苗方式と呼ぶ。高温になりやすいハウス内での採苗時間を短縮できる特長がある。	8
地床育苗方式	ハウス内の土壌に苗床を造成し、苗を育苗する方式。	9

⑪ 青果用かんしょの省力機械移植栽培体系の確立

- 青果用かんしょは、国内のかんしょ需要量の4割以上を占め、また、輸血量も伸びている状況にあるものの、生産面では移植作業を人手に頼っており、生産現場からは軽労化と労働時間の低減ができる技術の開発が望まれている。
- そこで、**青果用かんしょの高性能移植機の開発**や**機械移植に適した苗の生産技術等を開発**し、**省力機械移植栽培体系を確立**する。
- 開発した省力化技術により規模拡大等を可能にし、青果用かんしょの生産性の向上と輸出の拡大に貢献する。

生産現場の課題

- ・ 青果用かんしょ生産では育苗から移植まで手作業が中心。
- ・ 既存の移植機は、調整不足により移植精度が低い。
- ・ 機械移植に適した苗の生産技術が確立していない。



<イメージ>



人力による移植作業



機械移植に適した苗作りが必要

生産現場の課題解決に資する研究内容

- ・ 機械移植に適した苗を生産する技術を開発。
- ・ 既存の移植機の問題点を整理し、青果用かんしょの品質確保に最適な移植機を開発。
- ・ 機械移植栽培に最適な栽培管理方法を開発。

<イメージ>

機械移植に適した苗の生産技術の開発



軽労・効率的に苗を生産するための育苗法の開発



苗を加工・修正する技術の開発



苗の貯蔵技術の開発

高性能移植機の開発



高性能移植機

栽培管理法の開発



最適な植付姿勢、深度、栽植密度、施肥法等を検討

社会実装の進め方と期待される効果

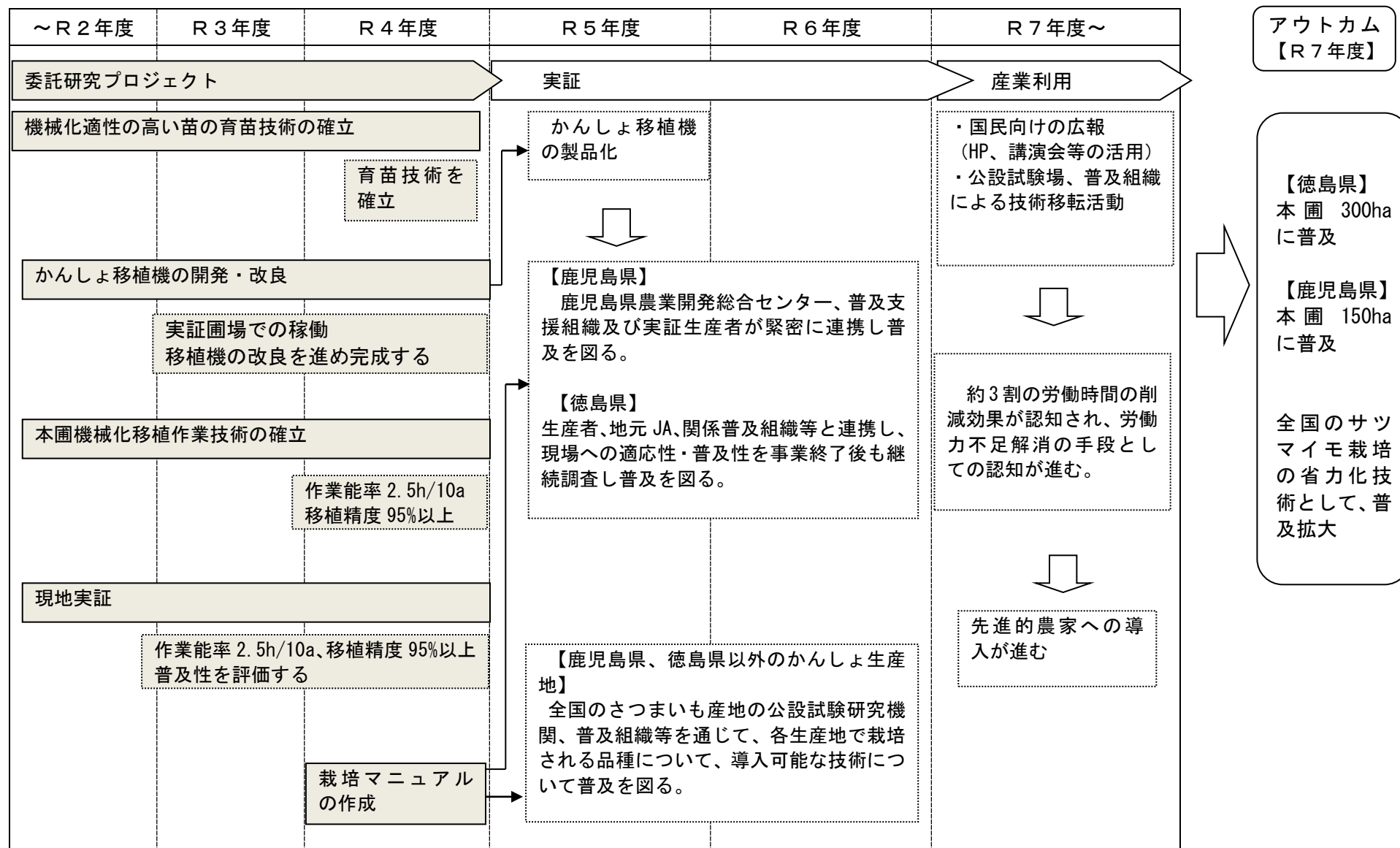
- ・ 開発技術を現場で実証し、より普及性の高い技術に改善、体系化を進める。
- ・ 普及性の高い新育苗法と機械移植栽培体系を取りまとめたマニュアルを作成し全国に普及。

- ・ 慣行栽培と比較して育苗から移植までの労働時間を2割以上削減。
- ・ 規模拡大等が可能となることで、青果用かんしょの生産性向上と輸出拡大に貢献。



【ロードマップ（終了時評価段階）】

青果用かんしょ機械移植栽培体系に必要な技術の開発



現場ニーズ対応型研究 「青果用かんしょの省力機械移植栽培体系の確立」

研究の概要

かんしょ栽培では採苗、移植作業は機械化が進まずほぼ人力作業であり、高齢化・人手不足の中、移植の機械化が強く望まれる。そこで機械移植に適した育苗技術と効率的に移植する本圃機械移植技術の両面から技術開発を行う。

主要成果

機械移植に適した育苗技術の開発



鳴門金時の高設育苗



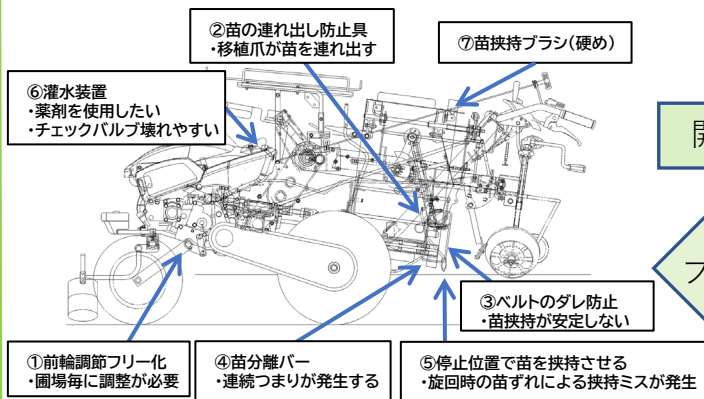
べにはるかの一斉採苗方式



苗の取り置き、葉柄切除の検討

栽培地・品種に合わせ曲がりの少ない苗の生産技術を開発。
採苗後の取り置きや葉柄の切除により移植精度がさらに向上。

移植機の開発・改良



移植機の改良ポイント

開発・改良

フィードバック



現地圃場での作業

従来の移植機の問題を洗い出し、改造を加え現地試験で改良項目を評価
作業時間3h/10a、移植精度90%以上の目標を達成

今後の方針

- ・育苗から移植までの労働時間を、慣行栽培と比較して20%以上削減する
「青果用かんしょの機械移植栽培体系」を完成させる。
- ・農業者が利用しやすいマニュアルを完成させる。

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	現場ニーズ対応型研究のうち成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発			担当開発官等名	研究開発官(基礎・基盤、環境)
				連携する行政部局	林野庁森林整備部研究指導課 林野庁森林整備部整備課 林野庁林政部木材産業課 林野庁国有林野部業務課
研究期間	H30～R4（5年間）			総事業費（億円）	3.7億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		
研究課題の概要					
我が国の人工林の約5割は主伐（※1）可能な時期に達しているものの、林業採算性悪化のために主伐と再造林（※2）が進まない状況にある。このため、豊富な人工林資源の循環利用促進が重要な政策的課題となっており、林業の収益性向上を図る技術開発が急務である。 「森林の間伐等の実施の促進に関する特別措置法」に基づき、エリートツリー（※3）等成長に優れた樹木が特定母樹（※4）として指定され、苗木生産の基盤となる採種園、採穂園（※5）の整備が進められている。また、「森林・林業基本計画」（令和3年6月閣議決定）では、成長に優れた苗木の活用、低密度での植栽等による低コスト造林技術の開発・実証を進めるとともに、早生樹（※6）等の実証的な植栽等に取り組むこととしている。 これらの背景を踏まえ、本課題では、林業経営体の収益を向上させ、山村を活性化し、林業の成長産業化を推進する新たな人工林施業（※7）体系の構築に向け、エリートツリーや早生樹等の最適な植栽密度（※8）の解明、ICTを活用した植栽木生育状況の情報収集・解析、省力・低コストな保育技術（※9）の開発を行い、成長に優れた苗木を活用した低コストで高収益な施業モデルの開発行う。					
1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標					
成長に優れた苗木を活用し、育林（※10）コストを30%削減する施業モデルを開発する。					
2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R9年）					
成長に優れた苗木を活用した施業モデルの普及により、日本全体で育林コストを47億円（※根拠は下記参照）程度削減する（令和9年度） （※根拠）現在の造林経費が約155万円/haとすると、30%削減分は47万円/haとなる。将来毎年1万haの造林地にこれが適応できれば47億になる。人工林の主伐地は毎年3-4万haと予想されるが、立地の良い場所（ここでは1万ha）だけでも効率化できれば47億、さらに適応できればプラスαとなる。					

【項目別評価】	
1. 研究成果の意義	ランク：A
我が国において主伐可能な50年生以上の人工林は約5割に達しているものの、木材価格の低迷、人件費等のコストの上昇による林業採算性悪化のために林業経営体の意欲は減退し、主伐と再造林が進まない状況にある。このため、作業コストの低減等を通して林業経営の収益を改善させることで人工林資源の循環利用を促進し、木材の供給力を増大させて林業の成長産業化を図ることが重要な政策的課題となり、成長が早く下刈り（※11）のコストの低減等が可能なエリートツリー等を活用することで林業の生産性や収益性の向上を図る技術開発が求められている。このことは研究開始以降さらに重要性が高まっており、「森林・林業基本計画」（令和3年6月閣議決定）にも「新しい林業」として記載された。 エリートツリー等成長に優れた樹木による森林施業は、造林・保育の低コスト化の実現のために必要であるが、森林の施業モデルに係る研究開発については、育林コスト低減効果が発現するまでに長期間を要すること、地域特性が高いこと等から民間が行うのは困難である。本プロジェクトでは研究機関によって、育種技術・育苗技術・立地把握技術・成長予測技術・成長確認技術を組み合わせた最先端の施	

業モデルが展開できることに意義が高い。本モデルはパラメータを各地域で調整することにより全国に普及できるものであり、今後のエリートツリーの利用に際し、実用性も高いものであると考えられる。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

本課題では、（１）エリートツリー等の生育特性の解明と併せて、（２）山で速やかに伸びる苗の育苗技術の開発、（３）性能を最大限に発揮できる立地条件の評価、（４）植栽密度等コスト削減につながる造林技術の開発、（５）現場に応じた下刈り要否の判断基準の開発、（６）育林的手法による獣害対策技術の開発を行い、これらの成果を統合して優良苗の施業モデル作成ツール（I-Forests）を構築し、成長に優れた苗の特性を最大限に発揮させ、育林コストを30%以上削減できる施業モデルを提示することを最終の到達目標としている。

（１）については、30カ所近隣の植栽試験地での調査を引き続き行うことで、施業モデルの基盤となる生育特性のデータを拡充した。（２）については、施肥や苗サイズ等と植栽後の成長との関係の調査・解析が進み、スギコンテナ苗（※12）の成長により施肥時期や出荷サイズ規格の範囲を明らかにした。また、グルタチオン（※13）施肥により出荷基準を満たす苗の割合が向上することを明らかにした。

（３）については、試験地スケールで解析したスギの樹高成長を、GIS（地理情報システム）の活用により面的な評価を行うため、標高メッシュデータ（※14）やTWI（※15）と成長データの整備を進めた。（４）については、エリートツリー等の本数密度と成長特性との関係の解析を行い、グイマツ雑種F1（※16）人工林について植栽密度と胸高直径（※17）との関係を明らかにした。（５）については、80カ所の幼齢造林地での多点調査から下刈り要否判断基準の核となる雑草木のタイプ分けを行い、下刈り回数による雑草木の成長変化とスギへの被圧影響を評価した。さらに、スギと雑草木との競合関係をUAV（※18）空撮から面的に評価する革新的な技術開発を進めている。（６）については、雑草木を通常より高い位置で刈払う「高下刈」という手法の開発に取り組み、これにより、シカによる造林木の食害の軽減効果や下刈りの作業効率の向上効果を明らかにした。

（１）～（６）の成果を統合した、優良苗の施業モデル作成ツール（I-Forests）については、樹高曲線を2齢級（※19）までの期間とそれ以降に分離してQGIS（※20）上で展開するシステムを開発し、2齢級以降については、樹高成長を補正可能な収穫・経費予測システムを完成させた。現在のところ、地方公設試験場などによる使用評価を行っており、暫定結果ではあるが、下刈り回数を1回は削減できることが確実となり、従来に比べ15%～20%の育林コスト削減効果が試算され、苗の生長が良い立地条件等では、さらにもう1回削減されることで30%の達成となる。

以上のように、研究は順調に進捗しており、成果が得られている。最終年度には、エリートツリー等の成長に優れた苗と、立地、植栽密度、下刈手法とを組み合わせた施業方法についてI-Forestsに実装することで、省力・低コストな施業モデルの開発が完了すると考えられることから、最終到達目標は達成可能と考えられる。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性

ランク：A

① アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

本課題のアウトカム目標としては47億円の保育コスト削減効果（下刈りを3年以下で終了、かつ新植地の半分で適用することで達成）を掲げている。保育コストの多くを占める下刈りについては、これまでの優れた成長特性を持つエリートツリー等と、育苗技術と立地評価、下刈り要否の判断基準を組み合わせることで、これまで5～6年間は毎年実施されてきた下刈りを3年間以下で終了可能とする保育方法が可能となる見込みである。また、「林業イノベーション現場実装推進プログラム」（令和元年12月策定）では、令和5年度までに、造林面積全体の44%以上を低コスト造林とすることを目標としており、本プロジェクトのアウトカム目標を設定している令和9年度には、新植地の半分以上で低コスト造林が導入されると予想され、本研究で開発された技術が導入されると予想されることからアウトカム目標の達成可能性は高い。

さらに、本課題では、下刈回数の削減に加えて、省力でかつシカ食害対策となる下刈方法や、苗木代や植え付け、間伐に関わる経費を削減できる低密度植栽の技術開発も同時に進めている。これらの成果を組み合わせることで、アウトカム目標を超える効果が得られるものと考えられる。

② アウトカム目標達成に向け研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

アウトカム目標達成のためには、本プロジェクトの研究成果が行政施策に速やかに反映されるとともに、施策を支える新たな技術が林業現場に速やかに受け入れられる体制作りが必要となる。このため、林野庁森林整備部整備課と研究代表機関である森林総合研究所との連絡調整会議において、本プロジェクトに関して情報提供が行われるとともに、それを受けた担当者レベルでの打ち合わせも進められている。また、約20件の地方の行政、苗木生産者、林業事業体（※21）等の関係者が参加する協議会や講習会、森林管理署（※22）が主催する現地検討会において、本プロジェクトでの取り組みを広く周知しているほか、I-Forestsの林業現場での活用に向けて、試験的な導入を想定している林業事業体との協議にも着手・一部でI-Forestsのサンプル評価を開始している。このようにアウトカム目標達成に向けた以上のような取り組みは妥当である。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

- ・気候変動影響を想定した省力的な生態系モニタリングへの応用

国内の様々な生態系では、気候変動影響が危惧されており、影響の早期検出を目的としたモニタリングの重要性が指摘されている。しかし、生態系モニタリングは、作業コストが高く、専門的な知識を必要とするため、継続的な運用体制が課題となっている。本課題で開発するUAVと画像認識技術は、対象生物群の面積変化や個体数密度等の情報の省力的なモニタリング手法の開発に貢献すると想定される。

- ・採種園・採穂園等の整備への応用

本課題で採用している近赤外光による充実種子の選別技術により、充実した種子であっても発芽勢に大きな差があり、その後の成長にも影響を及ぼすこと、また同じ採種園の同じ系統の大木から得た種子であっても、充実種子の品質が大きく異なることが明らかとなってきた。この技術は、今後造成される優良苗木の採種園・採穂園の生産性の評価に貢献すると想定される。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

① 研究計画（的確な見直しが行われているか等）の妥当性

2名の外部専門家と、関係する行政部局で構成する運営委員会を設置し、行政ニーズや各課題の進捗状況を踏まえて、実施計画の見直し等の適切な進行管理を行っている。

② 研究推進体制の妥当性

上記の運営委員会を年2回開催し、進捗状況の確認、研究計画・推進体制の見直し、研究成果の共有と公表等について、助言指導等を行っている。また、研究コンソーシアムの自主的な推進体制として、中間検討会や推進会議（コロナ禍においてはWebによる会議）を随時開催し、コンソーシアム内の情報共有や意見交換、推進体制の検討等を行っていることから、研究推進体制は妥当である。

③ 研究課題の妥当性（以後実施する研究課題構成が適切か等）

本研究では、（1）エリートツリー等の生育特性の解明、（2）山で速やかに伸びる苗の育苗技術の開発、（3）性能を最大限に発揮できる立地条件の評価、（4）植栽密度等コスト削減につながる造林技術の開発、（5）現場に応じた下刈要否の判断基準の開発、（6）育林的手法による獣害対策技術の開発の各課題で得られた成果を、優良苗の施業モデル作成ツール（I-Forests）に組み込む課題構成としている。苗木と植栽、植栽後の保育といった育林過程の要素技術を各課題が連携して取り組み、それらを統合して施業モデルの開発につなげるという課題構成は妥当である。

④ 研究の進捗状況を踏まえた重点配分等、予算配分の妥当性

各課題の進捗状況や研究成果の有用性を踏まえた予算配分の重点化を行っている。それぞれの中課題は計画通り進捗しており、特に今年度までは、I-Forestsに組み込むデータセット取得に集中的な配分を行ってきた。最終年度は、I-Forestsの評価にも予算配分を増やし、最終目標の達成を目指すことから、予算配分は妥当である。

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・林業の採算性向上に加えて、国土保全に関わる重要な研究課題であり、災害の多発化が進む中で研究の重要性が非常に高まっている。
- ・エリートツリーや早生樹、成長に優れた苗木を活用した、低コストの施業モデルの開発の各項目で成果が確認されるとともに、林業支援ツールの統合的な管理についても成果が認められており、目標達成は十分可能である。
- ・下草刈り回数の削減やその他の省力化技術の開発によって、アウトカム目標達成への道筋も確認できており、アウトリーチ活動の回数の多さからも普及に向けた取組が十分確認できている。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・林業生産技術に留まらず、生態系モニタリングや鳥獣害管理といった、様々な分野、事業との連携が可能な研究課題と思われるため、今後、他分野との連携、適用について検討いただきたい。
- ・この研究課題において、省力化、コスト削減が最も目に見える成果となるが、林業は国土保全という重要な役割を担っていることから、そのような視点からも有用性、効果を把握いただきたい。

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	現場ニーズ対応型研究のうちクロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発の開発			担当開発官等名	研究開発官(基礎・基盤、環境)室
				連携する行政部局	水産庁増殖推進部研究指導課 水産庁増殖推進部栽培養殖課
研究期間	H30～R4（5年間）			総事業費（億円）	3.7億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		
研究課題の概要					
現行のクロマグロ人工種苗では採卵の時期が初夏に限定されているため、稚魚のサイズが小さいまま冬季を迎えることにより稚魚の生残率が低い。このことが生産コストを高め、人工種苗（※1）の普及の障害になっている。また、安全な養殖生産物を安定供給するためには漁場環境への配慮が必要であるが、大量の餌を必要とするクロマグロ養殖の環境負荷対策は十分とはいえない。漁場環境や天然資源への負担が少ないクロマグロ養殖を確立するため、クロマグロの成熟・産卵を人工的に制御した早期採卵・人工種苗育成技術を開発することによりクロマグロ養殖用の人工種苗の供給を拡大させるとともに、給餌量管理及び魚病対策により環境負荷の少ない養殖技術を開発し、令和8年度を目途に天然種苗由来クロマグロの30%以上相当分を人工種苗由来にすることを目指す。					
1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標					
- 天然種苗と同等の大きさの人工種苗の作出と、その人工種苗が1歳魚に至るまでの冬季の生存率（30～40%）を2倍に向上。 - 疾病対策及び環境負荷低減対策により生産コストの10%削減。					
2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R8年）					
令和8年度を目処に商業生産として天然種苗由来クロマグロの30%以上相当分を人工種苗由来にする。					

【項目別評価】	
1. 研究成果の意義	ランク：A
・日本周辺を中心に北太平洋に広く分布しているクロマグロの近年の資源状態は歴史的最低水準にある。こうした状況に基づき、地域漁業管理機関である中西部太平洋まぐろ類委員会（WCPFC）での国際合意のもと、我が国ではクロマグロの漁獲量半減措置を実施し管理を強化している。この厳しい資源管理により、近年本種の資源量に回復基調が認められたとして、令和3年12月に開催されたWCPFC年次会合において大型魚の漁獲量増枠は合意されたものの、30kg未満の小型魚については半減措置が継続されており、引き続き資源管理に予断を許さない状況にある。 ・今後、クロマグロの資源量を適正に管理していくためには、養殖種苗等に用いられる小型魚の漁獲を抑制する必要があるが、令和元年における養殖出荷量では、天然種苗由来が17,389トンに対して人工種苗由来が2,199トンであり、未だ本種の養殖は天然種苗に大きく依存(89%)している状況である。 ・また国際的には、MELジャパン、MSC・ASC認証（※2）などの規格に沿った安全・安心かつ持続可能性に配慮した水産物への社会的需要が高まりつつある。その需要を満たすには、健全な漁場及び資源管理を推進することが必要であり、給餌量管理、魚病対策など環境に配慮した持続的な養殖技術を開発することが必要である。 ・農林水産省は、令和3年に策定した「みどりの食料システム戦略」の中で、天然資源に負荷をかけない持続的な養殖システムの構築に向けて2050年までに本種養殖の人工種苗使用比率を100%にする目標を掲げている。 このようなことから、我が国の水産業の発展及び国民の食生活のニーズの観点から本研究の重要性は高い。	

①最終の到達目標に対する達成度

本研究課題の最終到達目標として、「天然種苗と同等の大きさの人工種苗の作出と、その養殖用原魚が1歳魚に至るまでの冬季の生残率（30～40％）を2倍に向上」（小課題1）及び「環境負荷低減対策及び疾病対策により生産コストの10％削減」（小課題2及び3）を目指しており、令和3年度までに以下の具体的成果が得られている。

（小課題1：クロマグロにおける早期人工種苗供給システムの開発）

水温と日照を人工的に制御した新たな飼育環境プログラムのもとクロマグロ親魚を育成することで、目標である早期（4月）の産卵誘導に成功した。また、早期受精卵より生産した人工種苗を従来よりも2ヶ月早い5～6月に養殖海面（※3）、すなわち従来よりも低い水温環境下で飼育できることを実験水槽及び海面生簀を用いた飼育実験により明らかにした。さらに、早期人工種苗が冬季までに天然種苗と同程度である体重2kgまで成長し、1歳魚に至るまでの冬季の生存率が2倍（87％）に向上することを確認した。一方で、飼育環境プログラムを改良することで、早期産卵誘導に必要な約1年間の環境制御をわずか約3ヶ月間に短縮できる新たな方法を見出し、早期産卵誘導の大幅な低コスト化に成功した。

（小課題2：低環境負荷型クロマグロ給餌手法の開発）

クロマグロ稚魚における配合飼料の胃内滞留時間や消化酵素の分泌動態等を解明するとともに、その基礎情報をふまえて設定した異なる給餌頻度がクロマグロ稚魚の成長や生残に及ぼす影響を調査することで、稚魚期の最適給餌頻度を明らかにした。また、画像データより給餌開始直後から終了までの稚魚の遊泳行動を数値化し、リアルタイムで出力できる行動評価システムを開発し、給餌終了の判断を支援する給餌支援システムを開発した。最適給餌頻度に基づく給餌開始のタイミングと行動評価に基づく給餌終了のタイミングを組み合わせた自動給餌システムを構築し、陸上水槽における飼育期間中に、その有効性を調査した。その結果、従来の人による手撒き給餌と比較して、自動給餌システムを使用した場合では同等の生残及び成長を示した一方、試験期間中の給餌量を約3割、餌料費や人件費を含めた生産コストを約6割削減できることが明らかになった。クロマグロ稚魚は成長に伴って陸上水槽から海面生簀に移行して飼育を継続することから、養殖海面でも遊泳行動を指標化できるシステムへの改良を行い、予備検討において改良した自動給餌システムが正常に稼働することを確認した。

（小課題3：クロマグロの種苗期に発生する疾病の防除手法の開発）

疾病対策については、クロマグロのレンサ球菌及びイリドウイルス（※4）の感染試験手法を開発し、他魚種用に市販されているワクチン等のクロマグロ稚魚に対する効果を検証した。その結果、レンサ球菌については市販ワクチンが有効であること、イリドウイルスについては市販ワクチンの有効性は認められなかったものの、改良したワクチンでは有効性が認められることを明らかにした。

住血吸虫（※5）対策については、魚体内に寄生した虫体の卵が鰓血管を閉塞することにより宿主の死亡を引き起こすため、国内で特に多くの魚病被害をもたらしている*Cardicola orientalis*及び*C. opisthorchis*（※5）における魚体侵入から成熟・産卵までの期間等の生態的特性を解明し、それに基づいて最適な投薬間隔を明らかにした。また、生簀周辺のロープ等の清掃により住血吸虫の中間宿主（ゴカイ等）を駆除することによる駆虫剤に頼らない新たな寄生予防法を確立した。

以上のように、研究は順調に進捗しており、成果が得られている。

②最終の到達目標に対する今後の達成可能性とその具体的な根拠

開発した環境制御プログラムにより目標とする早期（4月）の産卵誘導に複数年にわたって成功しており、得られた早期種苗を使用することで冬季の生残率を従来の人工種苗の2倍に向上できることを明らかにした。また、飼育環境プログラムの改良による早期産卵の低コスト化に成功し、想定以上の成果が得られている。既に最終の到達目標である「人工種苗が1歳魚に至るまでの冬季の生存率（30～40％）を2倍に向上」を達成しており、引き続き最終年度には低コスト化に向けた飼育環境プログラムの

最適化に取り組む。

また、開発した自動給餌システムを用いることで、陸上飼育期間中の生産コストを従来の人による手撒き給餌と比較して大幅に低減できることを明らかにし、本システムの海面生簀での応用に向けても良好な結果が得られつつある。最終年度には、本システムの海面生簀での性能評価試験を実施し、冬季までの飼育期間を通じての生産コストの削減効果を試算する。さらに、市販ワクチン及び改良型ワクチンの有効性を確認し、寄生虫の効果的な駆除方法を既に確立している。以上のことから、最終到達目標である「生産コスト10%削減」は達成可能と考えられる。

**3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性と
その実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性**

ランク：A

・令和元年における養殖出荷量では天然種苗由来が17,389トンに対して、人工種苗由来が2,199トンと天然種苗に大きく依存（89%）しているが、養殖当初の活け込み（※6）尾数は天然種苗と人工種苗ではほぼ同じである。開発した技術を用いて1歳魚に至るまでの冬季の生存率（現在30～40%）を2倍に向上させれば、1歳魚までの人工種苗の割合を最大40%程度まで向上させることができ、天然種苗由来クロマグロの30%相当分を人工種苗由来にするとしたアウトカム目標の達成は可能である。

・社会実装を速やかに進めるために、得られた早期卵を利用した民間養殖業者による実環境下での出荷魚までの育成を行う取組を研究計画に追加し、令和3年度から協力機関である民間養殖業者に配布を開始した。また、研究成果については、学会発表、論文等の学術活動のアウトリーチ活動によって、当該成果の広報や普及活動に努めている。特に、平成30年11月に全国クロマグロ養殖連絡協議会傘下に技術部会を発足させ、公設試験研究機関、民間養殖業者、流通業者等のステークホルダーに対して、技術シーズを始め、最新の技術や基盤技術の動向等を紹介することで、産官学連携下での情報・意見交換やニーズの汲み上げを積極的に推進している。これらの取組は、本成果の利用拡大と定着化を促進し、社会実装を加速化するうえで極めて重要であり、いずれも妥当である。

・摂餌特性に応じた至適給餌方法の開発より得られた知見や技術は、養殖産業の成長産業化に必須であるAIやRPA（※7）による養殖管理システムのスマート化を効率的に推進していくうえで大きく貢献する。

・魚病対策については、前述の学術活動のほかマニュアルを作成し普及に努めるとともに、有効性が認められたワクチンについては、得られた成果を基礎データとして製薬会社に提供し、速やかな承認申請及び市販化を目指す。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

・当初の研究目標に対して、予定していた研究推進方法に沿って研究を行うとともに、以下のような検討・見直しを行って多くの成果を得ることができたことから、研究推進方法は妥当である。

・最終目標の達成に向けて、外部専門家及び関係する行政部局で構成される運営委員会、研究コンソーシアムが自主的に開催する研究推進会議並びに小課題毎の研究打ち合わせ等で、研究内容や進捗状況を確認し、適切に年度計画や実施体制の見直しを行った。特に、至適給餌方法の開発における稚魚の遊泳行動の指標化においては、新たに群れの強度に着目した行動評価システムを取り入れることとし、研究チームの構成を見直した。

・社会実装を速やかに進めるため、生産者や県の公設試験場を含む協力機関を対象とした打ち合わせを年1回開催し、研究成果の普及に向けた意見交換を行った。加えて、得られた早期卵を利用した民間養殖業者による実環境下での出荷魚までの育成を行う取組を追加し、改良型ワクチンについては、その承認申請を速やかに進めるため製薬会社を協力機関として参画頂くよう進めている。

・研究成果の普及・実証に直結する早期人工種苗供給システムの開発や種苗期に発生する疾病の防除手法の開発には重点的に予算を配分した。その他、課題の推進に必要な予算を精査することで、成果の最大化を図るための予算配分を行った。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

・貴重な水産資源であるクロマグロの安定生産を目指した重要な研究課題であり、早期人工種苗供給システム、低環境負荷型給餌方法の開発、疾病の防除手法の開発のすべての課題において当初の目標に対して具体的な成果を上げている。

・普及に向けて様々なステークホルダーのニーズを踏まえた活動も積極的に実施し、報道件数なども

非常に顕著であり、アウトカム目標達成の道筋も非常に明確で大変すばらしい成果である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・特許の取得や研究成果の論文化を通じて、技術の権利化を確実に進めるための取組をさらに推進していただきたい。
- ・民間への技術移転が確実に実施されるよう、マニュアル作成等の取組もしっかり進めていただきたい。

〔研究課題名〕 現場ニーズ対応型研究のうちクロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
人工種苗	魚類養殖における種苗とは、養殖に用いる稚魚や幼魚のこと。人工種苗とは、自然水域で採捕した天然種苗とは異なり、水槽・生け簀等の人工的に隔離された環境下において繁殖させたり、人工授精したりすることによって生まれた種苗のこと。	1
MELジャパン、MSC・ASC認証	生態系や資源の持続性に配慮して漁獲された水産物であることを認証する機関。国内の水産関係団体によるMELジャパン（マリン・エコラベル・ジャパン）や国際機関MSC（海洋管理協議会）がある。また、天然ではなく養殖による水産物を認証する機関としてASC（水産養殖管理協議会）がある。	2
養殖海面	養殖を行っている海面のこと。	3
レンサ球菌及びイリドウイルス	クロマグロの代表的な疾病を引き起こす病原体。 レンサ球菌に感染すると、心外膜炎や尾柄部の壊死、眼球の突出や白濁などの症状が現れる。 イリドウイルスに感染すると、運動が不活発となり、極度の貧血症状、鰓の点状出血、脾臓の肥大などが現れる。	4
住血吸虫	寄生虫の一種。成虫は心臓や血管に寄生し、虫卵が鰓血管に蓄積することで血流を阻害して宿主は酸欠で死亡する。国内では3種類の住血吸虫（ <i>C. orientalis</i> 、 <i>C. opisthorchis</i> 、 <i>C. forsteri</i> ）が報告されている。	5
活け込み	養殖生け簀に種苗を移し入れること。	7
RPA	ロボティック・プロセス・オートメーション。事業プロセスの自動化技術の一種で、ソフトウェアロボットのこと。	8

⑬ クロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための 早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発

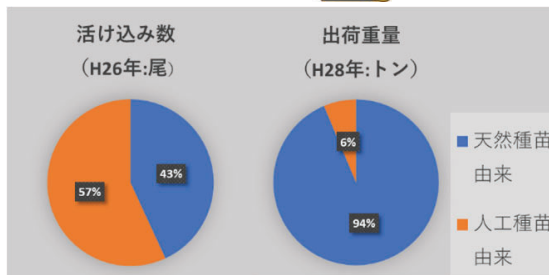
- クロマグロ養殖は、天然資源の保全に配慮した安定的な生産のため、天然種苗から人工種苗への転換が求められている。しかしながら、人工種苗の産卵時期は天然種苗に比べて遅いため、冬季における幼魚サイズが小さく、生残率や生産性が低いことから、養殖現場における転換が進んでいない状況。
- そこで、**クロマグロ人工種苗の採卵を天然種苗と同等の時期に行うための早期採卵・人工種苗育成技術、クロマグロの摂餌行動に基づく給餌量管理や魚病対策など環境に配慮した養殖技術を開発**する。
- これらの技術を用いて、天然種苗への依存度を低減し、競争力の高いクロマグロ養殖を実現する。

生産現場の課題

- ・ 人工種苗は、天然種苗に比べて産卵の時期が遅いためサイズが小さい。
- ・ 冬季の生残率や成長が悪く、生産性が低い。



<イメージ>

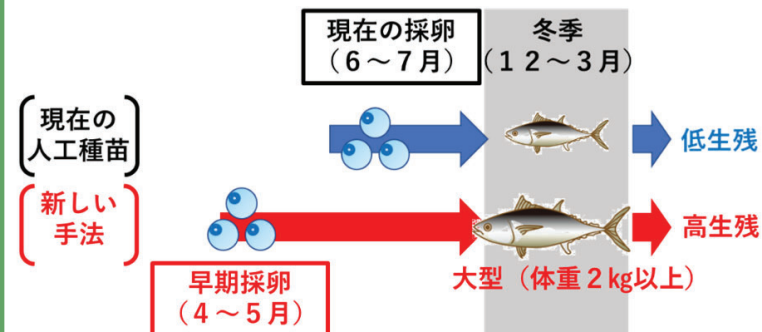


クロマグロ養殖実績
(活け込みから出荷まで2年と仮定)

生産現場の課題解決に資する研究内容

- ・ 天然種苗と遜色のない人工種苗として、低コストで高生残な早期採卵・人工種苗育成技術の開発。
- ・ 適切な資源管理に基づいた養殖クロマグロブランド創出に向けた給餌量管理や魚病対策など環境に配慮した養殖技術の開発。

<イメージ>



社会実装の進め方と 期待される効果

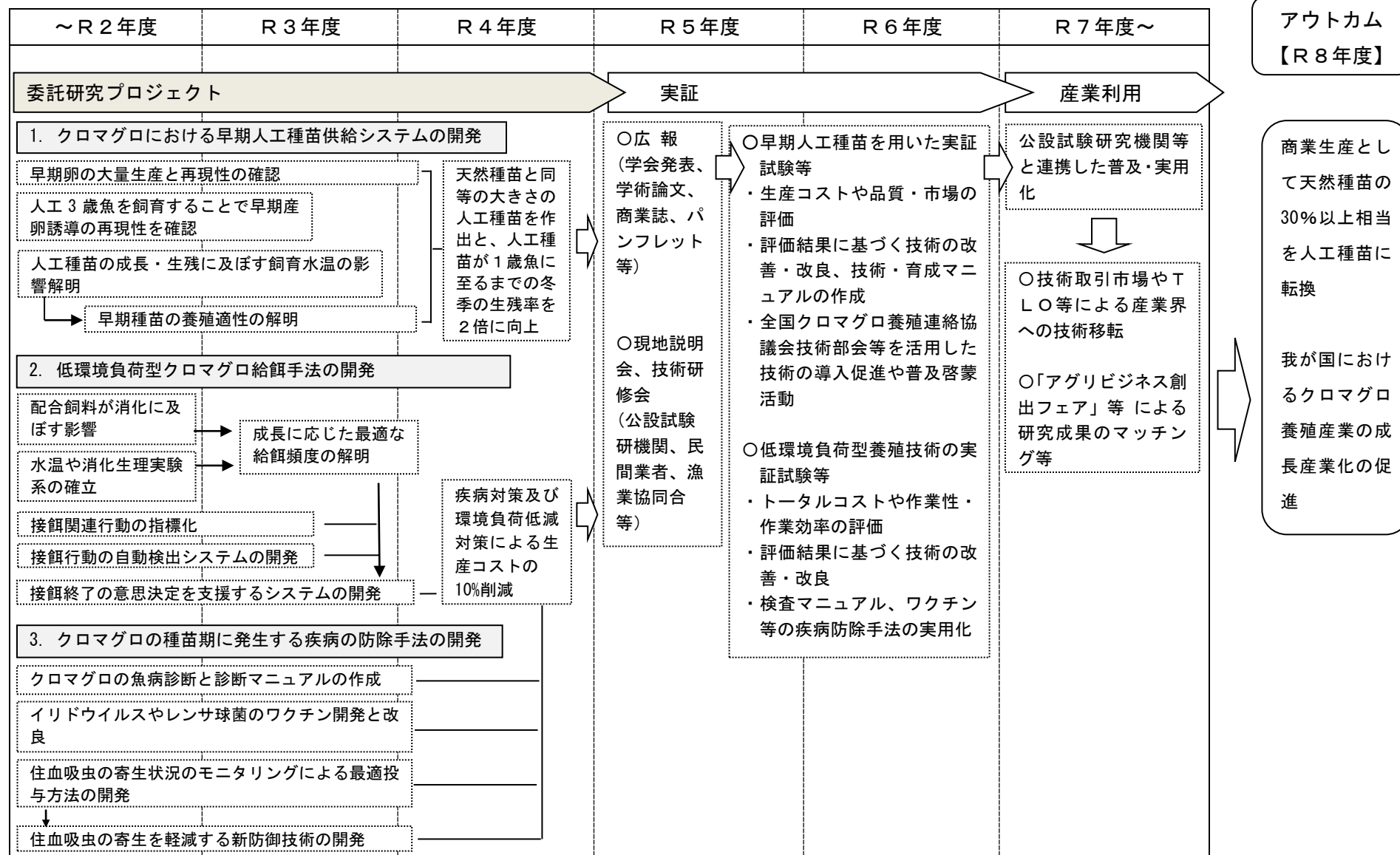
全国クロマグロ養殖連絡協議会等を利用して養殖生産者等と技術に関する意見交換、普及方策を検討の上、公設試験研究機関等と連携して普及・実用化を推進。

- ・ 人工種苗の冬季の生残率を2倍に向上、生産コストを10%削減。
- ・ 天然種苗への依存度が低減し、競争力の高いクロマグロ養殖が実現。



【ロードマップのイメージ（終了時評価段階）】

クロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発



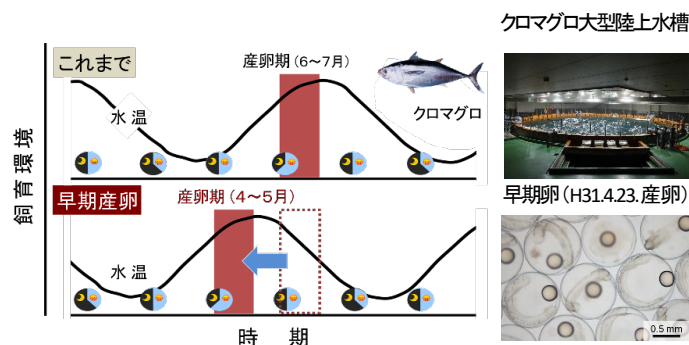
クロマグロ養殖の人工種苗への転換促進のための早期採卵・人工種苗育成技術や低環境負荷養殖技術の開発

研究概要

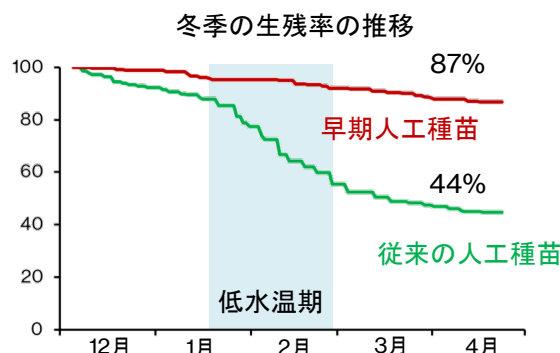
クロマグロ養殖における人工種苗の生産性向上と転換促進のために、従来よりも2ヶ月早い時期(4~5月)にクロマグロの産卵を誘導し、天然種苗と同等の大きさの人工種苗を作出するとともに、その養殖用原魚が1歳魚に至るまでの冬季の生残率(30~40%)を2倍に向上させる。また、環境負荷低減対策及び疾病対策によって、その生産コストを10%削減させる。

主要成果

早期人工種苗供給システムの開発



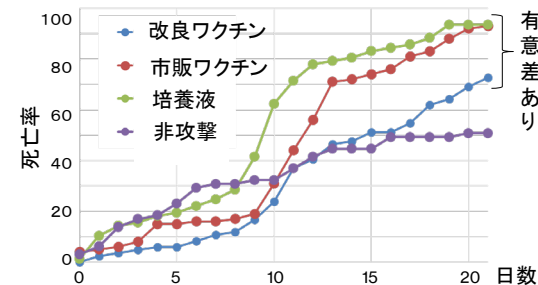
✓ 水温と日照を人工的に制御した飼育環境プログラムで親魚を育成することで、早期(4月)の産卵誘導に成功



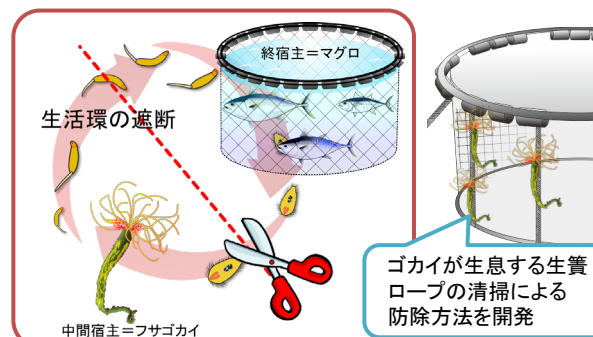
✓ 早期人工種苗は天然種苗と同等の大きさまで成長
✓ 従来の人工種苗と比較して、冬季の生残率が2倍

種苗期に発生する疾病の防除手法の開発

改良イリドウィルスワクチンの有効性試験

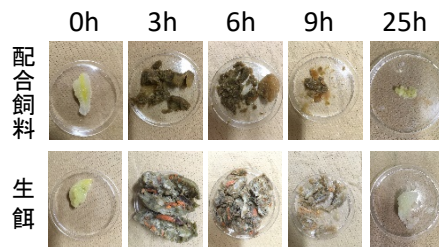


✓ 市販レンサ球菌ワクチン及びイリドウィルス改良型ワクチンの有効性を確認

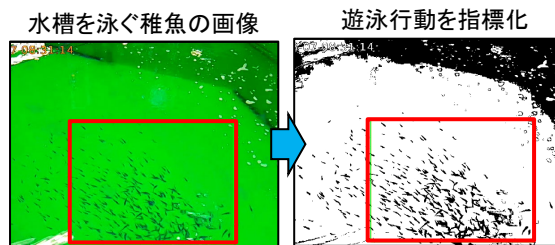


✓ 虫体の生態的特性に基づく最適な投薬法を開発
✓ ロープ等の清掃による駆虫剤に頼らない防除方法を開発

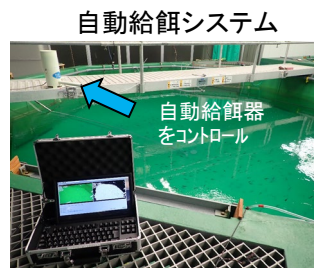
低環境負荷型給餌手法の開発



✓ 配合飼料の消化吸収特性に基づき、稚魚期の最適給餌頻度を解明



✓ 給餌開始から終了までの稚魚の遊泳行動を定量的に検出
✓ 自動給餌システムを構築し、餌料費・人件費を含む生産コストを大幅削減



成果の社会実装に向けた方針

○ 早期卵の配布による早期人工種苗の普及、低環境負荷を実現する自動給餌システム及び疾病防除に有効な改良型ワクチンの市販化に向けた実証試験を推進し、クロマグロ養殖における人工種苗への転換促進を加速化させる。

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	革新的環境研究のうち国際連携による農業分野における温室効果ガス削減技術の開発			担当開発官等名	国際研究官
				連携する行政部局	
研究期間	H30～R4（5年間）			総事業費（億円）	1.1億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		

研究課題の概要

<委託プロジェクト研究課題全体>

地球規模の課題である温室効果ガス(GHG)削減を推進するため、国際共同研究を通じ、アジア地域におけるGHG削減技術の導入に向けた研究を実施。

<課題①：水田におけるGHG削減等に関する総合的栽培管理技術の開発（平成30～令和4年度）>

GHG削減と土壤保全・安定生産を実現する総合的栽培管理技術の開発のため、（１）現地観測に基づくGHG排出削減技術の開発と評価、（２）土壤炭素の物理的・化学的特性の解明、（３）GHG排出と土壤炭素貯留の予測モデルの開発を実施。

<課題②：農産廃棄物を有効活用したGHG削減技術に関する影響評価手法の開発（平成30～令和4年度）>

持続的利用が可能な農産廃棄物を利用したバイオエネルギー生産技術を明らかにするために、（１）バイオエネルギー生産技術の社会・経済・環境的影響評価手法の開発、（２）栽培データに基づくサトウキビ品種の食品及びバイオエネルギーとしての資源特性の評価、（３）農産廃棄物のエネルギー利用によるGHG削減効果の評価手法の開発を実施。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

① 水田作農家のインセンティブとなる土壤保全と安定生産を伴う、GHG排出量を3割削減可能な総合的栽培管理技術を開発

② 農産廃棄物を有効活用したGHG削減技術に関する影響評価手法を一つ以上開発し、当該手法を活用し二つ以上の既存技術について影響評価を実施

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R9年）

① 3か国で開発したGHG削減に関する総合的栽培管理技術が普及され、年間1,300万トン強の二酸化炭素に相当するGHG排出を削減する（現在、実証試験を行っている3か国において、総合的栽培管理技術を適用可能なかんがい水田は2,000万haと推計され、その50%に当該技術が導入されることにより、我が国の全水田から排出されるメタン（年間1,300万トン強の二酸化炭素排出に相当）に匹敵するGHG排出削減が見込まれる。）。

② 開発した影響評価手法を用いて、農産廃棄物のバイオ燃料等への有効活用技術が2か国で導入され、現行のバイオ燃料生産に比べGHG排出量を約15%削減する。

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：S

（研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性について記載）

気候変動のリスクにさらされる人口を抑制するため、パリ協定（※1）に参加する各国は気温の上昇を1.5℃以内に止めることを共通の目標としている（1.5℃目標）。しかし、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書（※2）によると、今後数十年の間にGHGの排出が大幅に減少しない限り、21世紀中に地球の平均気温の上昇は1.5℃又は2℃を超えるとされる。早急なGHG削減が喫緊の課題である中、2021年、国連気候変動枠組条約第26回締約国会議（COP26）において、「グローバル・メタ

ン・プレッジ (GMP) 」 (※3) や「気候のための農業イノベーション・ミッション (AIM for Climate) 」 (※4) といった国際的なイニシアチブが立ち上げられ、我が国を含む多くの国が取組を開始している。

このような現状に至る過程で、我が国は既に農業分野からのGHG削減に取り組んでおり、研究者は有用な知見を持つ。本課題は、そのような我が国の知見を活用し、農業と土地利用が主要なGHG排出源の一つとなっているアジア地域において、実用的なGHG削減技術の導入に向けた国際共同研究を行っている。これにより、世界が共有する喫緊の課題としてのGHG削減を進めるとともに、科学技術を通じた国際貢献を行い、我が国のプレゼンス向上につなげる。

2. 研究目標 (アウトプット目標) の達成度及び今後の達成可能性

ランク : A

(最終の到達目標に対する達成度、今後の達成可能性とその具体的な根拠について記載)

<課題①>

達成度 : (1) については、各試験地における栽培管理技術候補 (水管理、肥培管理等) を試験し、収量を維持又は増加させつつ、GHG排出を3割削減できる結果が得られている。(2) については、複数の長期連用水田は場の過去及び現在の土壌の、物理分画及び化学分析を行い、長期水田管理下にある土壌有機炭素・窒素の存在形態及びその分解に対する安定性を明らかにした。(3) については、水田メタン排出モデルDNDC-Riceを改良し、現地収量とGHG排出を精度良く予測可能とした。また、土壌炭素動態モデルRothCを水田環境に合わせて改良し、現地は場実験に基づく作物残さ残存率推定値を適用することで、現地土壌の炭素量の推移を精度良く予測可能とした。

今後の達成可能性 : (1) については目標を達成しており、成果を取りまとめて国際学術誌に3報の投稿を計画している。(2) については得られた結果を整理することで、熱帯の長期水田管理環境下における土壌有機物の量及び質に及ぼす影響を評価可能である。(3) についても、水田メタン排出・土壌炭素量推移を予測するための手法の開発を完了しており、設定シナリオ上で将来予測を可能としている。以上から、長期的に土壌保全と安定生産を維持しながらGHG排出を慣行比3割削減可能とする技術の開発を、本プロジェクト期間内に完了し、提示できる可能性は極めて高い。

<課題②>

達成度 : (1) については、東南アジアにおいてパーム及びサトウキビの収穫残さ及び農産廃棄物の発生量が多く、エネルギー利用時の効率も高いことから、有用な資源であることを明らかにした。また、バイオエネルギー生産の持続可能性をめぐる国際的な議論の動向を調査し、改正EU再生可能エネルギー指令 (※5) 等において、持続可能性の評価には認証制度が使われることを確認した。パーム油生産の代表的な認証制度であるRSPOやMSP0 (※6) を分析したところ、農産廃棄物や収穫残さの処分・活用が考慮されておらず、評価方法として不十分であることが判明した。(2) については、繊維分が多い多用途型サトウキビ品種の特性を明らかにし、バイオマスエネルギー資源としての優位性を明らかにした。(3) では、サトウキビ栽培と農産廃棄物のバイオマス利用を行う製糖工場を対象とし、GHG排出量をLCA (※7) で推計するモデルを開発し、多用途型サトウキビ活用のGHG削減効果等を評価した。

今後の達成可能性 : 既に分析したパーム油生産に加え、最終年度はサトウキビの認証制度に関して調査し、サトウキビの収穫残さ及びバガス (※8) 等の農産廃棄物のバイオマス利用における問題点を抽出する。その結果を踏まえ、パーム油及び砂糖生産の認証制度の改善策を提言することにより、それらのプロセスに対する認証制度を応用した影響評価手法を確立し、目標を達成できる見込みである。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果 (アウトカム) の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋 (ロードマップ) の妥当性

ランク : A

(アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠、研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性、他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度について記載)

<課題①>

達成可能性 : 本課題の研究コンソーシアムにはフィリピン、インドネシア及びベトナムの国立研究機関が参画しており、そこでの成果は普及組織を通して農業者に伝えられる仕組みとなっている。総合的栽培管理技術の導入により、GHG削減に加え、収量増加も期待できることから、既に普及機関等の高い評

価を得ており、普及の見込みがある。また、「みどりの食料システム戦略」（※9）の下、アジアモンスーン地域で、生産性及び持続性を両立する農業技術の活用を目指す「みどりの食料システム基盤農業技術のアジアモンスーン地域応用促進事業」等で、本課題の研究成果を活用することを予定している。これらを通して、実証試験を行っている3か国において、課題実施機関が現地の行政・普及組織と連携し、我が国も普及活動に協力して技術導入を促進することから、アウトカム目標の達成可能性は高い。

道筋の妥当性：本課題は国際共同研究として実施しており、参画する国立研究機関が普及にも積極的である。また、本課題の成果は学術雑誌で公表されるだけでなく、「農業温室効果ガスに関するグローバルリサーチアライアンス（GRA）」（※10）等で定期的に報告されている。さらに、関係者は積極的に情報発信を行っており、最近では2021年12月にAPEC Webinar（※11）で報告を行った。これらのことより、成果の情報は広く伝わっており、普及に向けた道筋は妥当である。

他分野への貢献：水田はアジアに多く分布するものの、北米、南米及びアフリカ等の、アジア以外の多くの地域にも存在する。各地の気候や環境に応じた調整が必要なものの、本課題で開発された総合的栽培技術は、他の地域でも応用され、各地での水田からのGHG削減に貢献すると考えられる。

<課題②>

達成可能性：評価対象として想定される多用途型サトウキビ品種（TPJ04-768）を用いた製糖工場等でのバイオエタノール生産技術は、タイで導入された場合、現行品種を使用する場合に比べGHG排出量が約15%削減されると試算されている。この品種は、タイの製糖工場が商業利用するために増殖を始めており、また、奨励品種化に向けた手続きや本品種よりも優れた品種の選抜も進めている。パーム油生産における農産廃棄物等のバイオマス利用に関しては、マレーシアにおけるSATREPS（※12）プロジェクトと連携し、技術開発と評価を進めている。こうしたことからアウトカム目標の達成可能性は高い。

道筋の妥当性：研究成果の普及・実用化に向けて、研究段階からタイ農業局コンケン畑作研究センターと連携し、本事業の成果をどのようにバイオマス政策に反映するかの検討を行っている。また、本課題はタイの農業者とも連携しており、現地の実情に即したデータ収集等が行えていると同時に、再生可能エネルギー利用や政策に関する知見を有する国際再生可能エネルギー機関（IRENA）（※13）が研究連携機関として参画しており、普及・導入のための助言を受けている。認証制度における問題点の改善策は、バイオマス関連のシンポジウムやIRENAの報告書等で発表し、また、各国政府の政策に反映されるよう提案していく。以上のように、連携体制は整備されており、アウトカム目標の達成に向けた取組内容は妥当である。

他分野への貢献：本プロジェクトはアジアの開発途上地域を対象としているが、本プロジェクトで取りまとめたバイオエネルギー生産の持続可能性をめぐる国際的な議論の動向から、日本国内において農産廃棄物からバイオエネルギーを生産する場合、認証制度がないことが今後大きな問題となっていくことが予想される。本課題の成果資料は、我が国における認証制度の在り方を検討する際に、情報源として有用である。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

（研究計画（的確な見直しが行われてきたか等）、研究推進体制、予算配分（研究の進捗状況を踏まえた重点配分等）の妥当性について記載）

研究計画の妥当性：各課題において、外部有識者と関係部局の行政官で構成する運営委員会を開催し、研究者から研究計画と進捗について説明を受けている。そして研究計画の妥当性について検討を行い、必要と判断すれば、研究者に修正を求めている。これにより、研究計画の妥当性は保たれる。

推進体制の妥当性：研究者は推進会議を開催し、研究成果の検証や、研究の方向性に関する議論を行っている。その議論の結果が、前述の運営委員会で紹介される。この体制により、研究の進捗が定期的に確認されることから、適切な推進体制である。

予算配分の妥当性：推進会議等で研究者が必要と判断した場合、決められた会計上の手続きを踏んで予算配分の変更を実施している。具体例としては、課題①で利用するベトナムの分析機が故障した時、新型コロナウイルス感染の拡大に伴って不可能となった出張の旅費を再配分し、ベトナムの研究機関から日本の研究機関への試料の輸送と、その試料を日本の研究機関で分析するための分析装置の増強に充てる変更を行い、研究の停滞を回避した。

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・COP26において、メタンの排出量削減や農業での取組のイニシアティブが発足するなど、農業分野での温室効果ガス削減技術の開発に対する注目はますます高まっており、国としての国際的なプレゼンスの向上の観点において非常に重要な研究課題である。
- ・水田における温室効果ガス削減技術、農業廃棄物の有効活用の影響評価手法の開発において、最終の研究目標の達成に向けた取組が明確であり、目標の達成が十分に見込める。
- ・SATREPSなどの他のプロジェクトと連携することで、社会実装を加速化させるという取組はオールジャパンで進める国際連携のモデルケースとしても高く評価でき、プロジェクト終了後の進展を期待したい。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・国際論文、学術誌への発表はIPCCなどへの学術的な貢献として重要であるため、今後のアウトプットの更なる加速化に期待したい。
- ・農業現場での残渣の活用については、フードチェーンを考慮した技術や林地との関係も含め、ライフサイクル的な視点を取り込んだ、大きな技術体系になり得るものだと考えられる。耕畜連携や廃棄物チェーンの確立といった広範な広がり期待したい。
- ・農産廃棄物では、国際認証制度の活用等が非常に大きな課題になっており、そういった観点から、本研究課題で得られた評価手法については、国際機関などと連携をしつつ国際標準化を目指して取り組んでいただきたい。

〔研究課題名〕 脱炭素・環境対応研究のうち国際連携による農業分野における温室効果ガス削減技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
パリ協定	国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）（2015年）で採択され、2016年に発効した協定。世界共通の長期目標や、GHG削減の国際ルール等を定める。	1
気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書	気候変動に関する最新の科学的知見を取りまとめて評価し、各国政府に助言と勧告を提供することを目的とした政府間機構であるIPCCが発表する、第6次評価報告書は、3部で構成される。そのうちの第1部（気候変動－自然科学的根拠）は、2021年8月に公表された。第2部（気候変動－影響・適応・脆弱性）と第3部（気候変動－気候変動の緩和）は2022年に公表される予定。	2
グローバル・メタン・プレッジ（GMP）	米国とEUの呼びかけで2021年に発足した国際イニシアチブ。国内対策や国際協力を通じ、強い温室効果ガスであるメタンの排出を、世界全体で2030年までに2020年比30%削減することを目指す。パリ協定等とは異なり、国ごとの削減目標は設定されない。メタン排出削減は、早急なGHG削減のための効率的手段と考えられている。	3
気候のための農業イノベーション・ミッション（AIM for Climate）	米国とアラブ首長国連邦の呼びかけで2021年に発足した国際イニシアチブ。農業及び食料システムの分野で気候変動への対応を強化するため、イノベーションや研究開発を加速することを目指す。	4
改正EU再生可能エネルギー指令	EUの再生可能エネルギー指令（Renewable Energy Directive）は、再生可能エネルギーのプラントが満たすべき基準を定める。2021年に施行された改正指令では、化石燃料比で70%以上のGHG削減を求める等、設置の基準が強化された。	5
RSPOやMSP0	ともにパーム油生産の認証制度。RSPOは世界自然保護基金（WWF）等の7団体が共同で考案した（Roundtable on Sustainable Palm Oil Certification）。MSP0はマレーシア政府が考案した（Malaysian Sustainable Palm Oil Certification）。	6
LCA	ライフサイクルアセスメント。製品の製造から利用、そして廃棄に至るすべてのプロセスを対象に、環境負荷を推計する手法。	7
バガス	サトウキビ搾汁後の繊維性の残さ。	8
みどりの食料システム戦略	2021年に農林水産省が策定した戦略。食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現することを目的に、2050年までの政策目標を掲げる。	9
農業温室効果ガスに関するグローバルリサーチアライアンス（GRA）	農業分野の温室効果ガス排出削減等に関する研究ネットワーク。ニュージーランドの呼びかけにより、2009年から活動。2021年12月現在、65か国から研究者や行政官等が参加。水田研究、農地研究、畜産研究、統合研究の四つのグループを内包し、国際共同研究プロジェクトの設立や成果の普及等の活動を実施。	10
APEC Webinar	アジア太平洋地域の21の国と地域が参加する経済協力の枠組み「APEC」のメンバーに向け、各国・地域が実施するウェブセミナー。	11
SATREPS	「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）」の略。国立研究開発法人科学技術振興機構、国立研究開発法人日本医療研究開発機構及び独立行政法人国際協力機構が共同で実施している、我が国の研究機関と開発途上国の研究機関とが、地球規模の課題解決のために共同で研究を行う3～5年間の研究プログラム。	12
国際再生可能エネルギー機関（IRENA）	再生可能エネルギーの普及及び持続可能な利用の促進を目的として設立された国際機関。再生可能エネルギー利用の分析・把握・体系化、政策上の助言の提供、加盟国の能力開発支援等を実施。	13

① 国際連携による農業分野における温室効果ガス削減技術の開発 【継続】

背景と目的

- 温室効果ガス（GHG）排出削減のための新たな国際的な枠組み「パリ協定」が2016年11月に発効。同協定を踏まえ、「農林水産省地球温暖化対策計画」が2017年3月に決定。我が国の農林水産分野の脱炭素研究の知見を生かしつつ、国際社会と連携して気候変動問題の解決のための取組を強化する必要。
- 地球規模課題の気候変動緩和対策に資するため、国際共同研究を通じて、**アジアの水田におけるGHG排出削減のための総合的栽培管理技術の開発及び農産廃棄物を有効利用したGHG削減技術に関する影響評価手法を開発。**

研究内容

1. 水田におけるGHG削減等に関する総合的栽培管理技術の開発

我が国の栽培管理技術（水・肥培・有機物）を融合させ、水田から生じるGHG排出量を3割以上削減し、**地球温暖化の進行を抑制するとともに、土壤保全と生産性の安定を実現する総合的栽培管理技術を開発。**

2. 農産廃棄物を有効活用したGHG削減に関する影響評価手法の開発

農産廃棄物の有効活用によるGHG排出削減に関する社会・経済・環境の影響評価手法を確立するとともに、**当該手法を活用した既存技術における影響評価を実施。**

到達目標

- ・ 水田作農家のインセンティブとなる土壤保全と安定生産を伴う、総合的栽培管理技術の開発。（GHG排出量を3割削減）
- ・ 農産廃棄物を有効利用したGHG削減技術に関する影響評価手法の開発及び評価の実施。（評価手法を1つ以上開発、当該手法を活用し2つ以上の技術について影響を評価）

期待される効果

- ・ アジアの稲作地域へのGHG削減技術の普及や適切なGHG削減技術の導入により地球規模課題の解決に貢献。

1. 総合的管理技術の開発

総合的栽培管理技術



農家への
インセンティブ

- 節水
- 土壤保全（肥沃度向上）
- 安定生産（持続性向上）

2. GHG削減技術に関する影響評価手法の開発

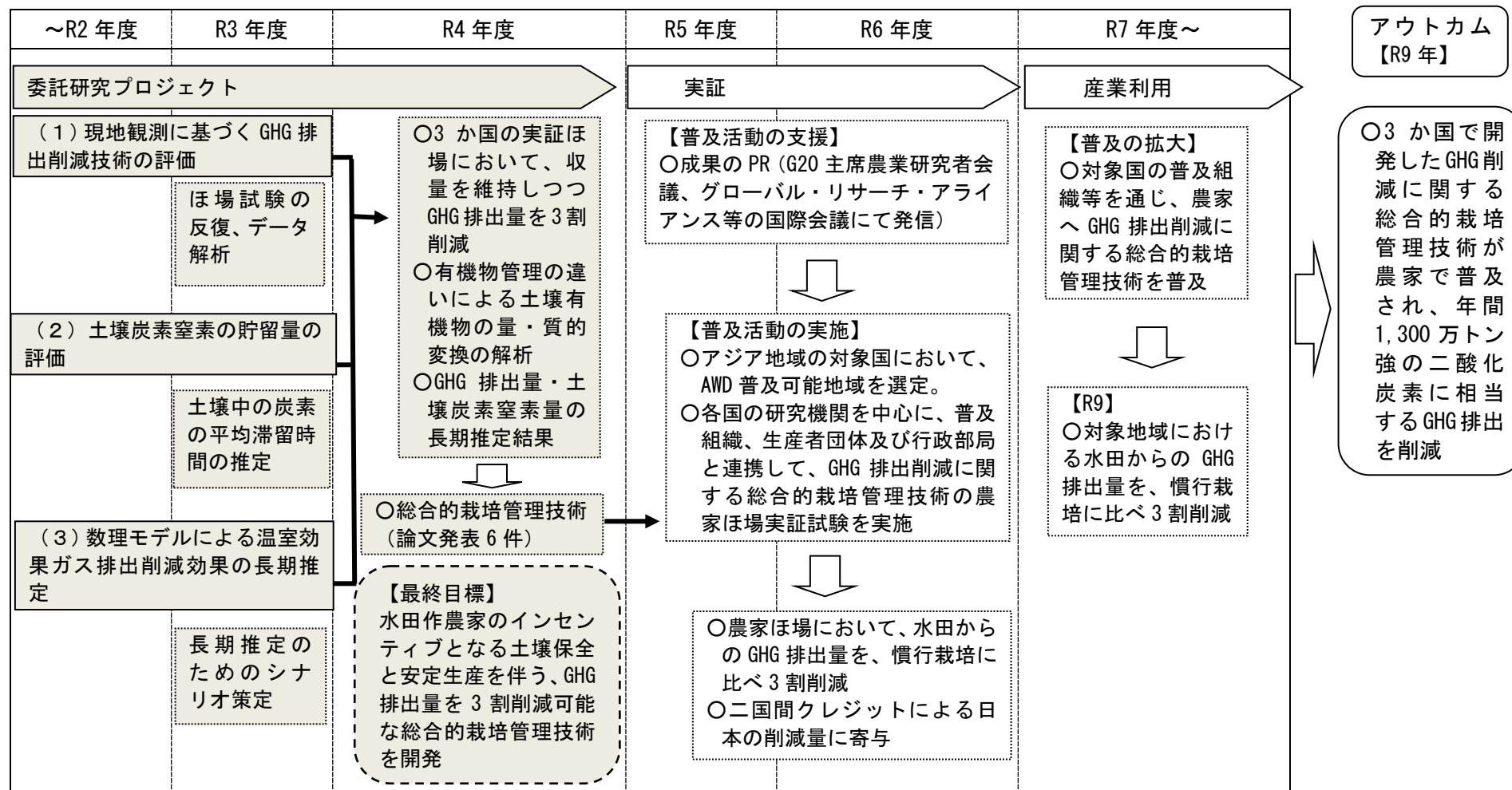
農産廃棄物を有効活用したGHG削減技術



社会・経済・環境への影響評価手法を開発し、GHG削減技術を評価

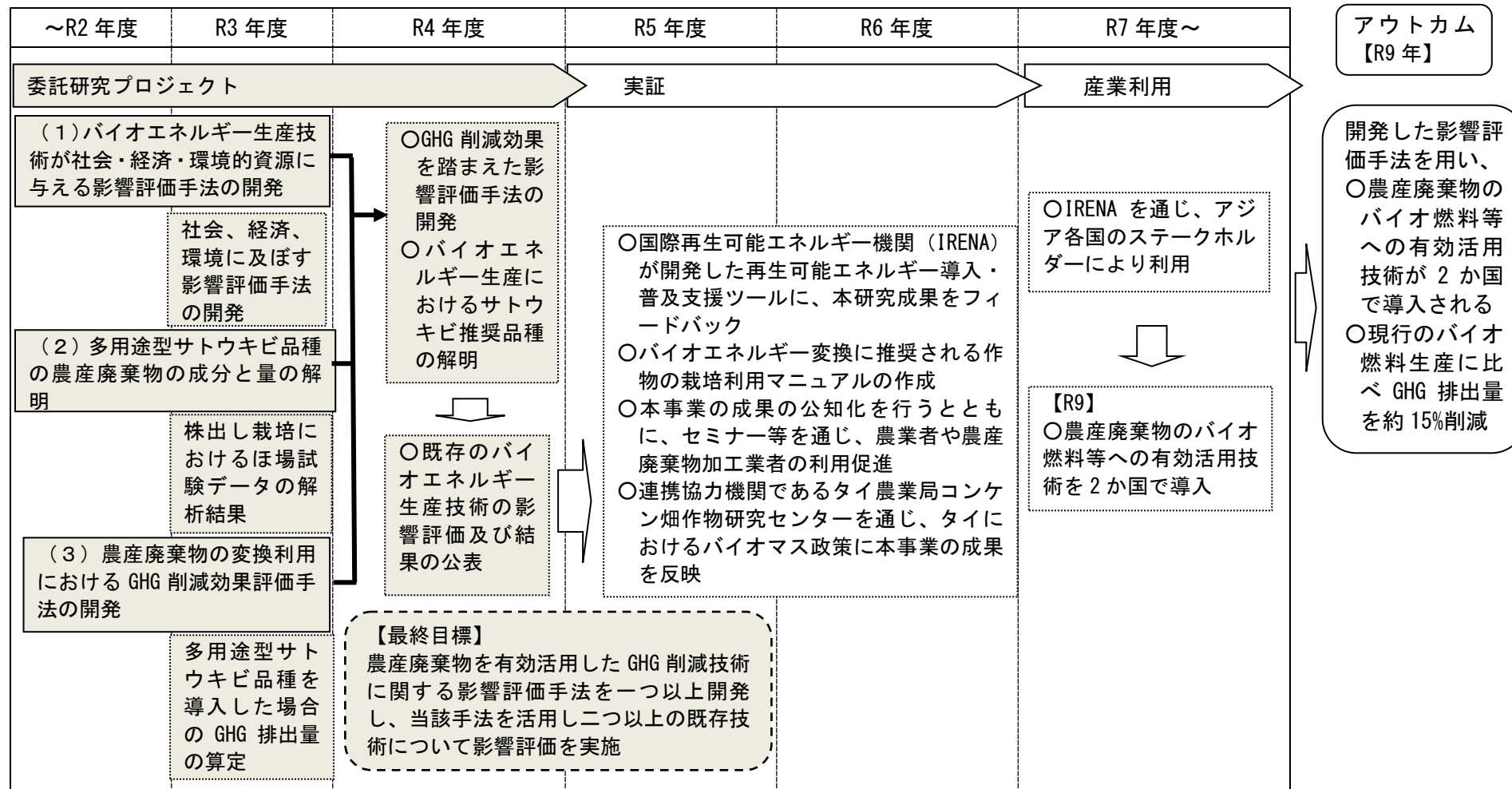
【ロードマップ（終了時評価段階）】

国際連携による農業分野における温室効果ガス削減技術の開発（水田における GHG 削減等に関する総合的栽培管理技術の開発）



【ロードマップ（終了時評価段階）】

国際連携による農業分野における温室効果ガス削減技術の開発
（農産廃棄物を有効活用した GHG 削減技術に関する影響評価手法の開発）



アジア地域の水田におけるGHG 削減等に関する 総合的栽培管理技術の開発

研究開発の達成目標

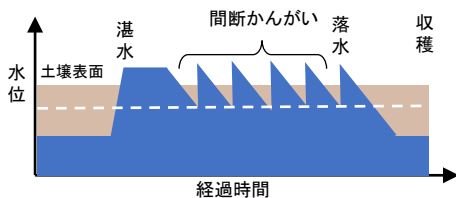
水田作農家のインセンティブとなる土壌保全と安定生産を伴う、GHG排出量を3割削減可能な総合的栽培管理技術を開発

主な成果

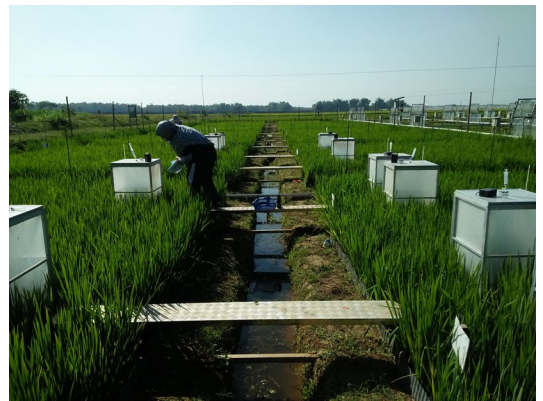
フィリピン、インドネシア、ベトナムの海外4機関及び国内2機関による共同研究を実施

(1) 現地観測に基づく温室効果ガス排出削減技術の評価

各試験地における管理技術候補
(水管理、肥培管理等)を試験
→ 収量を維持もしくは増加させつつ、
GHG排出を3割削減



水管理手法の例: AWD (Alternate Wetting and Drying)
節水を目的とする間断かんがい技術の一つ。



水田からのGHGのサンプリング

(2) 土壌炭素窒素の貯留量および動態の評価

複数の長期連用水田ほ場の過去及び現在の土壌の、
物理分画及び化学分析を実施
→ 長期水田管理下にある土壌有機炭素・窒素の
存在形態及びその分解に対する安定性を解明



国際稲研究所 (IRRI) の
アーカイブ土壌庫

(3) 数理モデルによる温室効果ガス排出削減効果の長期推定

水田メタン排出モデルDNDC-Riceを改良
→ 現地収量とGHG排出を精度良く予測可能に

土壌炭素動態モデルRothCのオリジナル及びその水田用改良版の併用と、
現地ほ場実験に基づく作物残さ残存率推定値の適用
→ 現地土壌の炭素量の推移を精度良く予測可能に

今後の方針

成果の取りまとめとモデル
による将来予想を実施

アウトカム目標

3か国で開発したGHG削減に関する総合的栽培
管理技術が普及され、年間1,300万トン強の二酸
化炭素に相当するGHG排出を削減する

農産廃棄物を有効活用したGHG削減技術に関する 影響評価手法の開発

研究開発の達成目標

農産廃棄物を有効活用したGHG削減技術に関する影響評価手法を一つ以上開発し、当該手法を活用し二つ以上の既存技術について影響評価を実施

主な成果

国際農研及び東北大学が、国際再生可能エネルギー機関(IRENA)と連携

(1) バイオエネルギー生産技術が社会・経済・環境的資源に与える影響評価手法の開発

- 実用化を目指すべきバイオエネルギーの原料を決定
(パームとサトウキビの収穫残さおよび農産廃棄物)
- バイオエネルギー生産の持続可能性をめぐる国際的な議論の動向を把握
- 影響評価の観点から認証制度の改善策を提言見込み

パーム油生産における既存の認証制度
RSPO(NGOや民間企業が中心となり作られた認証制度)、
MSPO(マレーシア政府による認証制度)など



農産廃棄物や収穫残さを認証制度に含めることで実態に即した制度に

- ・ 農産廃棄物
EFB(Empty Fruits Bunch、パームやしの実を取り出して残った繊維状の房)
PKS(Palm Kernel Shells、実から油を絞り出したパームやし殻)など
- ・ 収穫残さであるパームトランク

(2) 多用途型サトウキビ品種の農産廃棄物の成分と量の解明

- 国際農研が開発した多用途型サトウキビ品種は、繊維含量が多く、バガス産出量が多いため、バイオマス利用に有用であることが判明

(3) 農産廃棄物の変換利用におけるGHG削減効果評価手法の開発

- LCA*における農産廃棄物の評価モデルを開発
- LCAによる評価
→ 製糖工場の農産廃棄物のバイオマス利用において、
繊維含量が多い多用途型サトウキビの優位性を示した

*LCA(Life Cycle Assessment、ある製品・サービスのライフサイクル全体又はその特定段階における環境負荷を定量的に評価する手法)

今後の方針

成果の取りまとめと
関連機関への提言
を実施

アウトカム目標

開発した影響評価手法を用いて、農産廃棄物のバイオ燃料等への有効活用技術が2か国で導入
現行のバイオ燃料生産に比べGHG排出量を約15%削減

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	人工知能未来農業創造研究のうちAIを活用した食品における効率的な生産流通に向けた研究開発			担当開発官等名	研究統括官(生産技術)室
				連携する行政部局	大臣官房政策課技術政策室 農産局園芸作物課 新事業・食品産業部外食・食文化課
研究期間	H30～R4（5年間）			総事業費（億円）	2億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		

研究課題の概要

人工知能（AI（※1））やICT（※2）等の先導的で高度な最新技術を農業分野に導入し、農業の競争力強化、農業の成長産業化を推進するための研究開発を実施する。

本研究開発では、食品における効率的な生産・流通の実現に向けて、AI、IoT（※3）技術により、生産に関する情報を的確に把握し、生産者間及び需要者間を繋ぐネットワークを構築、情報を共有することによって、需給マッチングを実現する。具体的には、施設栽培において、作物の生育予測モデル等による高精度な収量予測技術を基に、契約量よりも余剰に生産された農産物を早期に把握し、それらの情報を生産者、需要者間で共有することにより適正価格での販売を可能とする技術を開発する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

①生育画像データやAIを用いて1週間後の出荷予想量を80%以上の適合率で予測し、生産者と需要者間で情報共有することが可能な需給支援システムを構築する。

②現地実証試験において、本システムの導入経費以上の収益を得るため、契約未定数量の20%以上を適正価格で販売可能であることを実証する。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題としてのアウトカム目標（R9年）

施設園芸経営体に生育・環境モニタリング装置と需給支援システムが導入されることで、過剰に生産される契約未定数量を事前に把握し、適正な価格で販売可能となることで、経営体の収益増への貢献が可能となる。これらの技術が、環境制御型の施設（約650ha）に導入されることで、その経済効果は年間約8.5億円を見込む。

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

（研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性について記載）

葉菜類は、生育途中での環境条件の影響による生育不良や規格外品の発生を見込んで、確実に契約数量を生産するために、契約数量よりも多く栽培することが慣例的である。特に本研究で対象としているほうれんそうは、生産量の16%が契約未定数量（=生産量-契約数量、平成28年度実績）と多く、その水準は現在も同様であり（令和2年度実績15%）、食品ロスが発生や生産コストの増加につながっている。本課題を解決するため、作物の生育状態を収穫の一定期間前に予測し、契約数量を超える農産物について追加の契約につなげるシステムの構築が重要である。本課題は養液栽培のハウレンソウを対象としているが、アウトカム目標の対象としている環境制御型の施設は研究開始当初650haだった普及面積が1134haまで増加しており、今後もさらに技術の適用範囲は拡大していくと考えられる。

・研究成果の科学的・技術的な意義

本課題では、ほうれんそうの養液栽培において植物生理に基づいた生育モデルを構築するとともに、ハウス内環境によるほうれんそうの生育状況のムラにも対応するため、AIを用いた画像解析技術による

生育予測の補正技術を開発するものである。これまで利用されてきたほうれんそうの収量予測は温度のみを使用する簡便なモデルであり、研究開始時から現在まで、本研究目標のように流通を前提として高い精度で収量を予測するモデルは国際的にも未開拓の領域である。また、本課題では、環境データと画像データを統合してより高精度な収量予測につなげることを目標としていることから、生産現場のニーズに対応するだけでなく、革新性、先導性の高い課題である。

・社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性

研究開始時からフードロス削減については、研究開始時から我が国の重要な課題であったが、2021年5月に農林水産省で策定した、「みどりの食料システム戦略」において、ムリ・ムダのない持続可能な流通・加工システムの確立のため、出荷予測に基づくマッチングによる食品ロスの削減が具体的な取り組みとして示されている。これに対して、本課題では、収量予測モデルに基づいて1週間後の出荷量をスーパーなどの実需者に提供することで契約未定数量の20%を適正価格での販売につなげるシステムの構築と実証を行っており、我が国におけるフードロス削減にも貢献することができる。また、本プロジェクトの成果はフードチェーン（※4）の効率化による農業DXの推進（2021年3月、農業DX構想）にも寄与するものである。

2. 研究目標（アウトプット目標）の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

（最終の到達目標に対する達成度、今後の達成可能性とその具体的な根拠について記載）

1）全国10カ所の農場から養液栽培のほうれんそうサンプル約240セットを採取し、複数の品種について、環境データを変数としたモデルを確立し、全長、乾物量ともに適合率87%の精度で予測可能であることを明らかにした。この予測精度を向上させるため、AIを用いた画像解析により草冠高（※5）から全長を測定するアルゴリズム（※6）を開発するとともに、葉数および葉面積をWatershed法（※7）により推定するアルゴリズムを構築した。さらに、農場の設備に対応し、開発した生育モデルを導入したアプリを3種類開発した。今後、アプリ実装場面での検証が残されているものの、すでに個別の予測モデルについては当初の目標精度を達成しており、最終目標は十分到達する見込みである。

2）1）で開発した予測モデルを導入し、そこから収量を一定期間前に予測するシステムを活用した需給支援システムを構築するとともに、協力機関である2つの農場へ導入し、生産者及び実需者のニーズに合わせて、品種や情報共有先選択機能の追加などの改良を行った。また、農業法人へのヒアリングにより、収量予測システムにより契約未定数量を9～20%削減し、需給支援システムにより契約未定数量の4～15%の販売につながる効果が推定された。さらに、実際の生産現場では最大で生産量の50%程度の余剰が発生することが明らかになり、さらなる契約未定数量の販売について、国内で新規の実需者を開拓する以外にも、輸出の場合も考慮し、香港やマレーシアでの輸出適応性についての調査を行った。以上より、実際に現場レベルで需給マッチングを行う環境が整い、収量予測システムと需給支援システムの導入により、導入経費以上の収益を得るための契約未定数量の削減、販売についての道筋が示されたことから、最終目標は十分到達する見込みである。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム）の目標の今後の達成可能性とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の妥当性

ランク：A

（アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠、研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性、他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度について記載）

・アウトカム目標の今後の達成の可能性とその具体的な根拠

本プロジェクトで対象としているほうれんそうなどの葉菜類は、世界的に生産量が増えている一方、国内の生産においては、契約数量を確保する観点から契約数量以上の作付けを行っていることから、収量の高精度の把握と、適正な販売の支援についての技術的なニーズは高い。本プロジェクトでは、養液栽培のほうれんそうにおいて生育環境データにより適合率87%の精度で、画像解析を組み合わせることでさらに高精度に生育を予測できることを明らかにするとともに、これらの生育モデルを組み込んだア

プリを3種類開発し、開発したシステムの利用により契約未定数量にかかるフードロスが13～35%削減できると推定された。以上より、生産者の環境や所有する設備に対応して技術導入できる状況が整いつつあり、その導入効果についても道筋が示されている。本コンソーシアムは、大学や国立研究開発法人の他、施設園芸設備の販売を手掛ける企業、流通業務を行う企業や、協力機関として大規模生産者など10社の生産者が参画して研究開発を進めており、商業的な生産現場での運用の観点から研究成果の実証をおこなっていることから、生産者・実需者のニーズを随時フィードバックさせながら推進的できる体制である。また、需給支援システムの実証を行っている協力機関の2農場はいずれも栽培面積1ha以上の大規模農場であることから、アウトカム目標で対象としている環境制御型の施設に対して、開発した成果の生産者のメリットの提示が可能であり、アウトカム目標の達成が可能と考えている。

- ・研究成果の活用のために実施した具体的な取組内容の妥当性

アウトカム目標達成に向け、展示会、シンポジウム、園芸学会や農業食料工学会などでプロジェクトの概要を紹介して成果を周知している。その他、国、県、市町村などの自治体および生産者を対象とした技術成果説明会を4年間で15回、延べ100名以上の参加者を対象に開催し、研究成果の実装に近い対象に対しても成果の周知を行っていることから、技術開発後にアウトカム目標を達成できる可能性が高い。

- ・他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

本プロジェクトでは養液栽培のほうれんそうを対象に技術開発を行ってきたが、本研究で開発した収量予測システムや画像解析アルゴリズムなどの成果は土耕栽培のほうれんそうや、他の葉菜類への展開が期待できる。また、本プロジェクトで開発した葉数および葉面積の計測アルゴリズムは、収量予測に葉面積指数を用いるようなトマト等の果菜類への展開も期待できる。葉菜類、果菜類は施設園芸での栽培面積も多く、同じく本プロジェクトで開発した需給支援システムのインターフェイスをそのまま活用することが可能である。また、NEDOプロジェクトにおいて消費者の需要予測に基づく成果の需給マッチングシステムを開発している研究コンソーシアム(代表:産業技術総合研究所)と情報交換を行い、お互いの技術を連携できることを確認しており、成果の展開も期待できる。

本プロジェクト成果の具体的な活用については、第2期内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)では、農産物の輸出実証として流通経路における鮮度保証のためのブロックチェーン(※8)を活用したトレーサビリティ技術を開発しており、そこでの研究目標の設定において、本プロジェクトで収集した実需者のニーズが活用され、大いに貢献している。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

(研究計画(的確な見直しが行われてきたか等)、研究推進体制、予算配分(研究の進捗状況を踏まえた重点配分等)の妥当性について記載)

- ・研究計画(的確な見直しが行われてきたか等)の妥当性

毎年度開催される運営委員会、研究推進会議、現地検討会、随時行う全参画機関が参加する定例研究会議等において、進捗状況の確認や研究計画の確認を行うとともに、研究推進会議等に外部有識者を招聘し意見を伺っている。これらの会議等で得られた内容は適宜研究開発へも反映しており、一部試験は前倒して実施することや、対象作物を絞るなど課題の再編による重点化を図るなど計画の見直しを行っている。

- ・研究推進体制の妥当性

外部有識者及び関連行政部局で構成する運営委員会にて、進捗状況及び次年度の研究計画の確認、研究推進上の問題点や行政ニーズの把握等を行い、着実に研究成果が得られるよう進捗管理を行っている。

また、栽培生理研究、作業技術研究、AI研究、各分野の研究実績のある公的研究機関、迅速な社会実装に不可欠な複数の民間企業および協力機関として生産者10社が参画してコンソーシアムが構成されており、研究推進体制は妥当である。

- ・予算配分(研究の進捗状況を踏まえた重点配分等)の妥当性

各課題ともに順調に進捗しており、適正な予算配分となっている。コンソーシアム構成員のパナソニックが担当していたAIを用いた画像解析による収量予測技術については当初目標を達成したことから今年度で終了とし、今後は、技術の社会実装に向けた取り組みに重点化を図る予定である。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・AIを活用したフードサプライチェーンの構築のための重要な研究課題である。また、生産段階での収穫後のロスが世界的に大きな課題となっており、契約量と出荷量のアンバランスの課題解決に繋がる非常に重要な研究である。
- ・生育予測モデルの構築、需給確認の支援システムの開発については共に予定通りの進捗が確認でき、今後アプリ実装面の継承などが残っているものの、目標達成は十分可能である。
- ・アウトカム目標の達成に向けて、技術説明会等のアウトリーチ活動が非常に充実していることなど、目標達成に向けた取組を高く評価する。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・成果の普及について、全国への展開、他品目への拡大を目指していただきたい。
- ・アウトカム目標の達成や、研究成果の社会実装に向けた課題を整理するとともに、研究成果のインパクトが十分に伝わるような普及活動に取り組んでいただきたい。

〔研究課題名〕 人工知能未来農業創造研究のうち AI を活用した食品における効率的な生産流通に向けた研究開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
AI（エーアイ）	人工知能。Artificial Intelligence の略。	1
ICT（アイシーティー）	情報通信技術。Information and Communication Technology の略。	2
IoT（アイオーティー）	モノのインターネット。Internet of Things の略。コンピュータなどの通信機器だけでなく、様々なモノに通信機能を持たせ、インターネットに接続したり相互に通信したりすることによって、自動認識や遠隔計測等を行うこと。 例：果樹園に設置した日射、温度、湿度等を通信機能のある計測機器で自動的に集め、分析結果を栽培に活用する等。	3
フードチェーン	個々の事業者の役割分担にかかわらず、原料の生産段階から製品・サービスが消費者の手に届くまでの全プロセスが連鎖した一連のシステム。 例：量販店で販売される野菜の場合、畑での栽培、収穫・集荷、調製・加工（カット、パッケージング等）、輸送・配送、店舗販売のつながり。	4
草冠高	自然状態における床面から草の最高部までの垂直距離。	5
アルゴリズム	ある特定の問題を解いたり、課題を解決したりするための計算手順や処理手順のこと。アルゴリズムをソフトウェアとしてコンピュータに実装したものを、コンピュータープログラムと呼ぶ。	6
Watershed法	領域分割アルゴリズムの一つ。画像中の接触している物体の境界を分離して、認識することができる手法。	7
ブロックチェーン	取引履歴（ブロック）が暗号技術によって分散的に処理・記録され、鎖のように連結してデータを保管するデータベース技術。取引に関するデータの破壊や・改ざんが難しく、データの完全性を保証することができる。	8

③ AIを活用した食品における効率的な生産流通に向けた研究開発 【継続】

背景と目的

- 施設園芸において、葉菜類の契約栽培を行う生産者の多くは契約先へ安定供給するために、規格外品や生育不良の発生を見込んで、余裕をみた作付けをしている。しかし、経験や勘による栽培計画の場合、この余裕分については収穫直前の契約となることで販売価格の低下を招いている。
- そこで、**栽培計画を最適化すると共に、契約未定数量の販売先を事前に調整することで、適正価格での販売を支援するためのシステム等を開発**する。

研究内容

- ・ **環境データの管理や作物のセンシング技術を用いた高精度な作物の生育予測モデルを構築**する
- ・ さらに、**気象予測データや人工知能を加えた収量予測から想定される契約未定数量を早期に把握**する
- ・ 事前に把握された契約未定数量を契約栽培価格と同等の価格でスーパーやレストランに販売するための**需給支援システムを構築**し、その効果を実証する

到達目標

施設園芸における収穫予定日の1週間程度前に収量を予測することで、契約未定数量の20%以上を適正価格で販売できることを実証

【生育予測モデルの構築】



人工知能等を用いて、
契約未定数量を早期に
把握

【契約未定数量の需給支援システム構築】

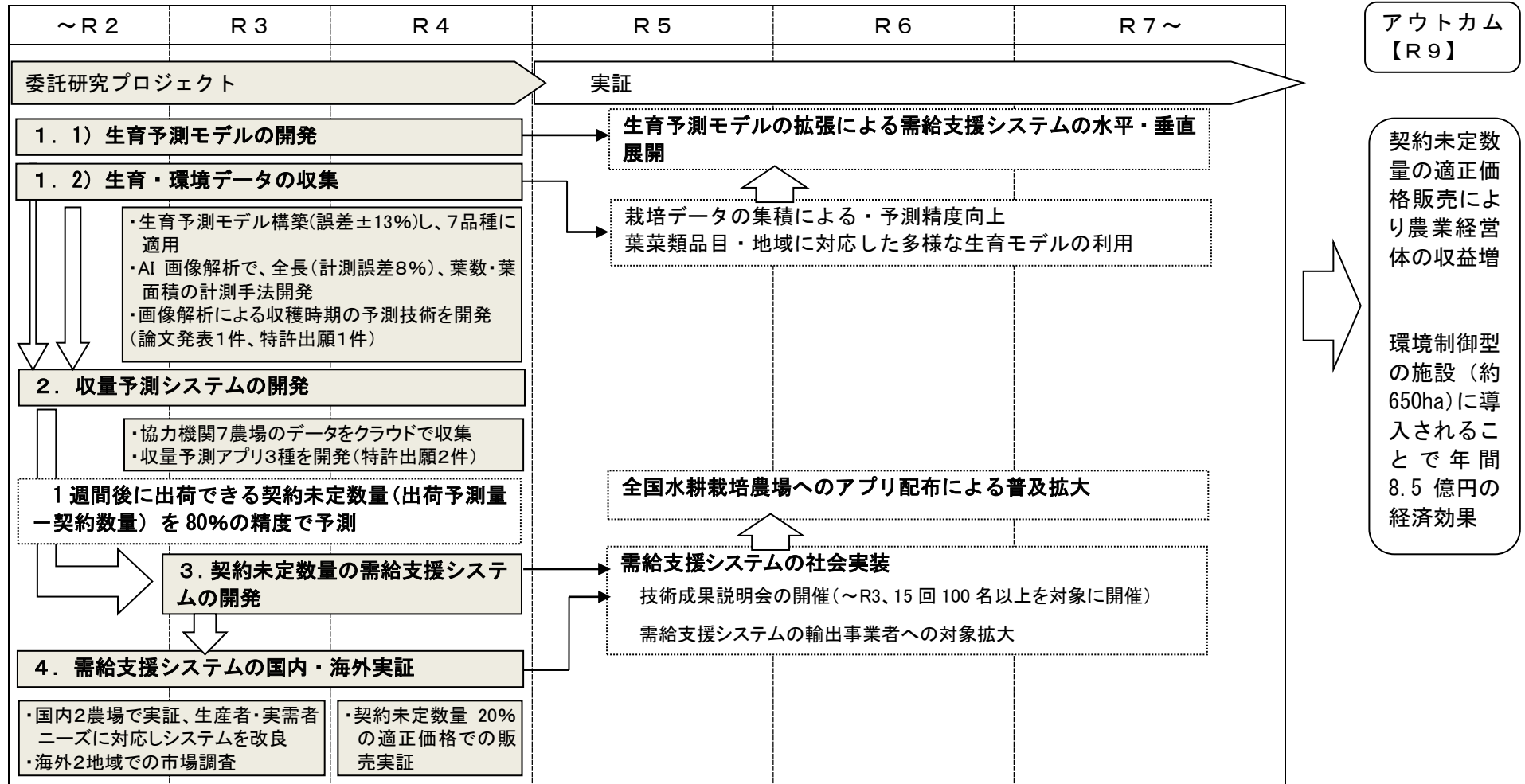


期待される効果

消費者や実需者ニーズを踏まえたマーケットイン型の農業システムの構築が実現される

【ロードマップ（終了時評価段階）】

A I を活用した食品における効率的な生産流通に向けた研究開発



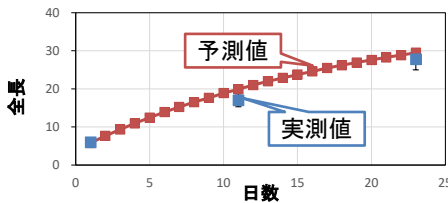
AIを活用した食品における効率的な生産流通に向けた研究開発

研究概要

施設園芸において、作物の生育予測モデル等による高精度な収量予測技術を基に、早期に出荷予測量および余剰生産物を生産者、需要者間で共有可能とし、適正価格で販売できることによって収益の向上を可能とする技術を開発する。

生育予測モデルの構築

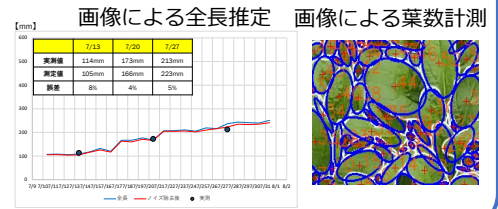
- **ホウレンソウの全長・乾物重を日射、気温、水温、日数から予測するモデルを構築(予測適合率87%以上)**



生育予測モデルの組み込み

生育・環境データの収集

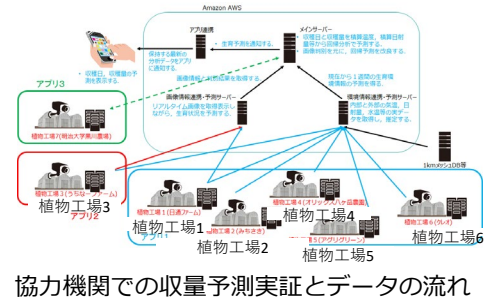
- **AIにより画像から全長や葉数・葉面積を計測するアルゴリズムを構築**



収量予測値の補正用データ

収量予測システムの開発

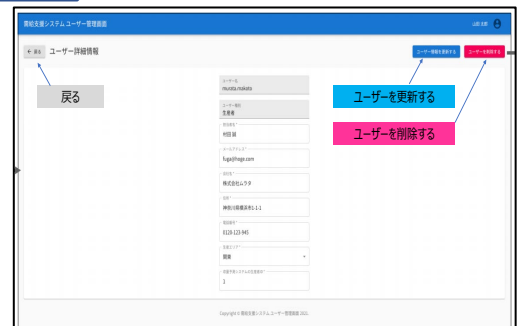
- **生育予測モデルと気象予測により 1週間後の収量予測を行うシステムを開発**
- **AIを用いた画像判別により生育環境や収穫予測時期を推定する技術を開発**
- **開発された生育予測モデル等を組み込み、農場設備の設置状況によって対応できる収量予測アプリを3種開発し、協力機関において実証試験を実施**



収量予測システムの組み込み

需給支援システムの開発と実証

- **1週間後の収量予測結果を生産者に通知し、契約未定数量を実需者へ提示できるシステムを開発**
- **協力機関における実証で70%の予測精度を確認**
- **生産者、実需者双方からヒアリングを行い、システムを改良**
- **需給マッチングによる輸出事業の検討も実施**
- **現地実証試験において、契約未定数量の20%以上を適正価格での販売を実証**



アウトカム目標

- ・ 契約未定数量を適正価格で販売できることによる、経営体の収益増への貢献
- ・ 環境制御型の施設（約650ha）において、適正価格（契約外取引価格との差額130万円/ha※）で販売可能となることにより、約8.5億円の経済効果を見込む
（※本課題中の契約外取引数量・価格の調査事例より、契約未定数量の20%を適正価格で販売するとして算出）