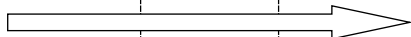


委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	脱炭素・環境対応プロジェクトのうち畜産分野における気候変動緩和技術の開発			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	大臣官房政策課技術政策室 大臣官房政策課環境政策室 生産局畜産部畜産振興課
研究期間	H 2 9～R 3 （5年間）			総事業費（億円）	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

農林水産分野から排出される温室効果ガス（GHG）（※1）の約1/3を占める畜産分野からの排出を削減するため、飼養管理技術の改善による畜産分野からのGHG排出削減技術の開発や、牛の生体・個体差に基づく硝化管内発酵由来メタン削減技術の開発、畜産システム（※2）毎のGHG削減方策に関する研究開発を実施する。具体的には以下の通り。

〈Ⅰ 飼養管理技術の改善による畜産分野からのGHG排出削減技術の開発〉

乳用牛、肉用牛、採卵鶏におけるふん尿処理起源のGHGの排出を削減するため、生産性を損なわずに窒素排せつ量を低減するアミノ酸バランス改善飼料（バランス飼料）を開発し、GHG排出削減型飼料を確立する。

〈Ⅱ 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発〉

農林水産分野から排出されるGHGの約15%を占める牛の消化管内発酵由来メタンを削減するため、メタン産生に及ぼす影響を環境要因と遺伝要因の両者から解明し、メタン産出量削減に向けた牛の育種方策を確立する。

〈Ⅲ 畜産システム毎のGHG削減方策の提示〉

経営体からのGHGの排出量を20%削減可能な技術を確認するため、污水浄化処理からのGHG削減技術を実証すると共に、畜産経営体からのGHG排出量評価モデルを開発し、新規に開発されるGHG緩和技術を畜産システムに組み込んだ場合のGHG削減効果を定量的に評価する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

1 経営体からのGHG排出量を20%削減可能な技術を開発（2013年排出量をベースとして）

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（R 8年）

約半数の畜産農家に普及した場合、畜産分野からのGHG排出量の1割以上を削減(2013年排出量をベースとして)

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

①農林水産業・食品産業、国民生活の具体的なニーズ等から見た研究の重要性

温暖化による地球規模の環境の変化は、気象災害の増加・激化等により人々の生活に被害を与えるとともに、動植物の生態系に深刻な影響を及ぼしている。特に自然環境との関わりが深い農林水産業にとっては、温暖化は極めて重大な影響をもたらす要因となる。

平成28年（2016年）5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」（※3）では、GHGを2013年度比で2030年度までに26%減、2050年までに80%減とする大幅な排出削減目標を掲げ、抜本的排出削減を可能とする革新的技術の開発・普及などを最大限に追求するとされた。これを受けて農林水産省が、平成29年（2017年）3月に策定した「農林水産省地球温暖化対策計画」（※4）では、実用的な排出削減技術が確立していない削減効果の高い分野を中心に革新的な緩和技術の開発等を推進するとされ、推進すべき技術開発として「家畜の消化管内発酵や排せつ物からの排出など温室効果ガス排出量が大きく、

現時点で実用的な技術が確立していない畜産分野における排出削減技術」を掲げている。

また、2020年10月には、総理が2050年までにGHGの排出を実質ゼロとする目標を明言し、達成に向けての取組が指示されたところ。

一方で、牛肉の自給率は35%、牛乳・乳製品の自給率は59%であり、国内需要に応じるためには牛の増頭が必要とされているほか、2030年に農林水産物・食品の輸出を5兆円とする目標を達成するために、輸出の大きな割合を占めている牛肉の生産拡大が求められている。

以上のことから、生産性を損なわずにGHGの抜本的排出削減を可能とする革新的技術の開発を目指した本研究の意義は非常に大きく、具体的なニーズに対応した重要な研究である。

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

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「1経営体からのGHGの排出量を20%削減可能な技術の開発」を目指しており、これまで以下の具体的成果が得られている。

〈Ⅰ 飼養管理技術の改善による畜産分野からのGHG排出削減技術の開発〉

- ・家畜排せつ物処理起源のGHG排出を削減するため、慣行飼料と比較して粗タンパク質（CP）含量を2～3ポイント低く押さえる代わりに、必要なアミノ酸を添加したバランス飼料を開発した。生産性を損なうことなく、乳用牛、肉用牛、採卵鶏において1割以上の窒素排せつ量の低減を確認、GHG排出削減効果を解明した（乳用牛のふん尿貯留では30%、肉用牛の堆肥化では50%、採卵鶏の堆肥化では13%の削減ポテンシャル）。
- ・豚ふん及び肥育牛の堆肥化処理時に亜硝酸酸化細菌を添加する「亜硝酸酸化細菌添加技術」（※5）により、N₂Oの発生量を2割以上削減（年間31万トン二酸化炭素等量）できることを明らかにした。
- ・臭気対策施設のアンモニア脱臭資材にアナモックス細菌（※6）を定着させ培養することにより、アンモニアを窒素ガスに変換させて除去し、N₂Oの発生割合を1/4まで低減できることを明らかにした。

〈Ⅱ 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発〉

- ・乳用牛については、搾乳ロボットを活用したメタン産生量測定システムの開発・基本技術を確立するとともに、搾乳牛のべ約500頭のメタン産生量を測定し、個体別メタン産生量データを蓄積した。収集データをもとに、乳用牛の余剰メタン産生量の遺伝率が0.1～0.2であることを確認した。
- ・肉用牛については、開発したメタン産生量推定式を用いて、メタン関連形質の遺伝率を推定し、黒毛和種集団のメタン産生関連形質の遺伝率が高いことを確認した。
- ・メタン関連形質と経済形質（枝肉形質や産乳形質等）との遺伝相関について、メタン関連形質の多寡は経済形質の悪化の要因にはならないことを明らかにした（育種上プラスとなりうる可能性については、3. ③参照）。
- ・乾物摂取量当たりのメタン産生量が少ない牛の第一胃に特徴的な2種類の細菌（特定細菌）の検出・定量系を作成し、当該特定細菌の一つである新規細菌の分離に成功した。

〈Ⅲ 畜産システム毎のGHG削減方策の提示〉

- ・尿汚水浄化処理において炭素繊維担体の導入により効率よく脱窒を行うことでN₂Oが削減される実規模の炭素繊維リアクター（※7）を開発し、N₂O排出量が約80%削減（年間約70万トン二酸化炭素等量）できることを明らかにした。
- ・家畜排せつ物の処理方法の違いによるGHG排出・吸収データを整備し、家畜排せつ物の利用方法としては、堆肥として草地飼料畑に還元することが最もGHG削減につながることを明らかにした。
- ・各畜種の経営体から排出されるGHGの削減量を見える化するための畜産環境評価モデルを開発。緩和技術の組み合わせによりGHGをどれだけ削減できるかを定量的に評価し、1経営体からのGHG排出を20%削減するシステムが構築可能であることを明らかにした。

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

開発したバランス飼料については、3畜種において農家実証試験を開始済み。肥育豚に続き生産性を損なわないGHG排出削減型飼料として確立出来る見込み。

メタン産生量の少ない牛（低メタン産生牛）の作出については、多頭数の実測値をもとに牛のメタン産生量に関わる遺伝的要因を解明し、育種方策を確立すべく、データを収集中。順調に低メタン産生牛の微生物学的・生理学的特性を解明しており、メタン産生削減技術を論文等により順次公表中。

新たに開発した削減技術と既存の削減技術の組み合わせによるGHG削減効果を定量的に評価することで、最終の到達目標である「畜産システムとして1経営体からのGHG排出量を20%削減可能な技術の開発」が十分に達成できると考えられる。

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

バランス飼料については、すでに乳用牛、肉用牛、採卵鶏の全てにおいて農家実証段階での試験を実施中。なお、先行して実用化された肥育豚のバランス飼料に関しては、養豚経営における普及が確認されている（論文化、公表済み）。バランス飼料の約半数の畜産農家への普及によるGHG削減ポテンシャルは年間100万トン（CO2換算）と推計。

「炭素繊維リアクター」については、既存の污水浄化施設へ容易に導入するための設計が終了し、浄化処理会社と販売規格について検討している段階。

「亜硝酸酸化細菌添加技術」については、国内の主要なふん尿処理方法である堆肥化処理と污水浄化処理のそれぞれの過程において既に完成済み。

育種による低メタン産生牛の作出については、メタン測定技術の生産現場での実証、家畜改良関連団体による育種事業化により、肉用牛では世代更新間隔を5～10年と仮定すると、今後4～7%（平均5.5%）の削減、乳用牛についても同程度のGHGの削減が可能。

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

アウトカム目標の達成のために、研究コンソーシアムの普及・実用化支援組織の一員として畜産関係企業、飼料製造販売会社、全国各地の自治体の試験研究機関等を組み込んで実用化に向けた以下のような取組を実施。

- ・生産性に直結するバランス飼料の開発・実証に当たって、研究開発の初期段階から、バランス飼料に求められる特性や確認すべき飼養成績の項目等について意見交換を行い研究内容に反映。
- ・開発されるバランス飼料が畜産農家の生産性や効率性に対するニーズ等にも十分対応できるようにするため、各自治体の試験研究機関と連携して実証試験を実施。
- ・飼料に求められる重要な条件の一つである「持続的かつ安定的な供給」を満たすため、飼料製造販売会社から各種飼料原料の利用状況についての情報収集を行うほか、国内外のアミノ酸利用技術に関わる情報を入手し研究内容に反映。

得られた研究成果については、学術論文、国内・国際学会等発表、一般市民向けの講演会等を通じた積極的な情報発信を実施中。令和2年12月には、参加者数150名を超えるリモートでの研究発表会を開催し、研究の中間発表として、これまで得られた1経営体あたりのGHG排出を20%削減することが可能となる技術の組み合わせを畜種別に公開し、達成度をステークホルダー向けに説明、社会実装への課題を整理した。

これらの取組内容は、本研究課題の成果を早期実装化するために必要不可欠であり妥当である。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

牛のルーメン発酵過程で牛のエネルギーが生成され、副産物として代謝性水素が発生するが、この代謝性水素からはメタンもしくはプロピオン酸が産生される。プロピオン酸は牛にとって効率の良いエネルギー源であるため、メタンの産生量を抑えプロピオン酸の産出量が高めることは乳・肉生産性の向上を図る上で重要である。したがって、低メタン牛の育種方策を確立することは、生産性に係る育種改良

の加速化にも貢献できる。

また、バランス飼料をはじめとした本研究の成果については、特に近年家畜頭数が著しく増加しているアジア諸国に向けて情報発信することにより、日本のみならず世界のGHG排出削減に貢献できる。

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

研究推進会議を年2回以上実施。研究の進捗を点検するとともに課題の確認を行い次年度の研究計画を作成した。研究計画は進捗状況等に応じて調整しており、妥当である。

②研究推進体制の妥当性

行政部局と外部専門家を含む運営委員会を設置し、研究実施計画、研究資源、推進体制等について検証し、研究の進捗を管理。当初の予定どおり研究を進めることができた。さらに、研究コンソーシアム主催の各種検討会を開催することで、課題の共有に努めつつ効果的に研究を推進することができた。

以上のことから、効率的・効果的に研究が推進されるように調整が図られており、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

「農林水産分野における気候変動・環境対応プロジェクト」全体で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積極的な選択と集中を行っている。計画どおり進捗しており、最終目標の達成も十分見込まれることから、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

- ・温室効果ガスの削減は2050年カーボンニュートラルの実現に向けて喫緊の課題であり、本研究の必要性、重要性はますます高まっている。
- ・本研究では、経営体ごとの温室効果ガスの削減に向けた飼養管理、遺伝解析、排泄物管理などを総合的に組み合わせた開発が順調に進んでおり、研究目標の達成度は高いと判断する。このまましっかりと進めていただきたい。
- ・本研究で開発した温室効果ガスの削減技術は、生産性を下げずに削減効果を高めるという非常に優れた技術であり、高く評価できる。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・普及に向けた取組として、生産者目線を心掛けた研究成果の周知、広報の仕組みの構築などを積極的に進めていただきたい。特に、普及につながるコストの見通しや、先進的な生産者が既に取り組んでいる事例も併せて研究成果のPRをするなど、参画する生産者を増やしていく取組を検討いただきたい。
- ・N₂Oの削減技術は、学術的、あるいは環境面での効果はもちろんのこと、実用面での事例、効果も確認されていることから、経営効率の面でも成果を生かしていただきたい。
- ・世界的にカーボンニュートラルに対する重要性が高まっている背景からも、農水省としてこの取組を対外的にアピールすべきである。
- ・過去にJIRCASが海外で調査した事例などを参考にしつつ、今後は海外展開についても積極的に検討いただきたい。

[研究課題名] 脱炭素・環境対応プロジェクトのうち
畜産分野における気候変動緩和技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
温室効果ガス (GHG)	GHG=greenhouse gasの略。日射により暖められた地表面は赤外線を放出するが、温室効果ガスはこの赤外線を吸収し、熱が大気圏外に逃げることを防ぐことによって地球表面を保温する働きを有している。このため、温室効果ガスの増加が地球温暖化の原因となっている。農林水産分野については、二酸化炭素 (CO ₂)、メタン (CH ₄)、一酸化二窒素 (N ₂ O) の3種類の温室効果ガスの排出量を削減することが、喫緊の課題となっている。なお、温室効果は、二酸化炭素に比べメタンは25倍、一酸化窒素は298倍となる。	1
畜産システム	当研究課題において定義。範囲としては各畜種の一つの経営体であり、これを対象として、GHG削減策を組み合わせる導入した際の削減率をライフサイクルアセスメント(LCA)により評価する。ただし、購入飼料等の資材生産時に経営外で排出されるGHGが削減策により変化する場合は、その差分もGHG排出量の計算に含めており、これによりGHGの排出される場所が変わっただけということを防ぐなどLCAの考え方を担保している。	2
「地球温暖化対策計画」	COP21で採択されたパリ協定や「日本の約束草案」を踏まえ、我が国の地球温暖化対策を総合的かつ計画的に推進するための計画として、平成28年5月13日に閣議決定された。計画では、2030年度に2013年度比で26%削減するとの中期目標について、各主体が取り組むべき対策や国の施策を明らかにし、削減目標達成への道筋を目指すことを位置付けている。平成27年11月に閣議決定された「気候変動の影響への適応計画」と併せて一体的に推進することとしている。 なお、これを受け、農林水産省では平成29年3月に「農林水産省地球温暖化対策計画」を策定している。	3
「農林水産省地球温暖化対策計画」	「地球温暖化対策計画」が閣議決定されたことなどを踏まえ、農林水産分野における緩和策を総合的かつ計画的に推進するため、平成29年3月に策定。農林水産省では、平成27年8月に策定された「農林水産省気候変動適応計画」とあわせて一体的に推進することとしている。	4
「亜硝酸酸化細菌添加技術」	堆肥化処理の過程で、亜硝酸酸化細菌を含む完熟堆肥を添加することにより強力な温室効果ガスである一酸化二窒素の排出を効果的に抑制する技術。窒素が豊富な資材である家畜ふん尿では、窒素の硝化に係わる微生物のひとつである亜硝酸酸化細菌の不足が一酸化二窒素の排出原因であり、人為的に添加を行うことで効果的な抑制が可能となる。本委託プロジェクトにおいて、豚ふん及び肥育牛ふんにも適応する添加方法を開発、その効果を実証した。	5
アナモックス細菌	アナモックス反応 (anaerobic ammonium oxidation: 嫌気性アンモニア酸化の略) を起こす微生物。無機態窒素 (アンモニアと亜硝酸) の反応で汚水中の窒素をガス (N ₂) として除去できる。独立栄養細菌であり、増殖の倍加時間が常温で 9~11 日と極端に長い。比較的最近発見され、原理的に一酸化二窒素の発生を伴わないため、畜産排水への応用が期待されている。	6
炭素繊維リアクター	炭素繊維 (炭素率9割以上で耐熱・耐薬、軽量で広く建築物や車両や機体に用いられている素材) を用いて、浄化処理を担う微生物を固定するための住処として開発した装置。嫌気性の微生物固定に優れ、汚水中の硝化反応と脱窒反応をバランス良く進行させることを可能とすることで、強力な温室効果ガスである一酸化二窒素の排出削減に大きな効果がある。本委託プロジェクトで養豚汚水の浄化処理施設の適応装置を開発、その効果を実証した。	7

○畜産分野における気候変動緩和技術の開発

背景・目的

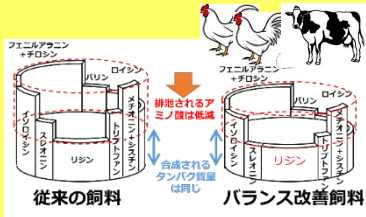
- ◎「地球温暖化対策計画」（平成28年（2016年）5月閣議決定）において、地球温暖化対策と経済成長を両立させながら、温室効果ガス（GHG）排出量を2030年度までに26%減、2050年までに80%減とすることが目標とされている（2013年度比）。
- ◎この目標達成のためには、農林水産分野から排出されるGHGの約1/3を占める畜産分野において、既存対策の延長ではないGHGの抜本的排出削減を可能とする革新的技術の開発が急務となっている。

研究概要

畜産分野からのGHGは家畜生産段階の全てで発生

I. 飼養管理技術の改善によるGHG排出削減技術の開発

乳・肉用牛、採卵鶏におけるふん尿処理起源GHG（一酸化二窒素）を削減するため、生産性を損なわずに窒素排泄量を低減するアミノ酸バランス改善飼料を開発・実証



↓

バランス飼料給与によるGHG排出削減技術の確立

バランス飼料
不足するアミノ酸を添加し、必要量を充足した上で余分な蛋白質を除外

II. 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発

新規メタン産生測定システムを開発し、遺伝率等解析に必要なデータを収集



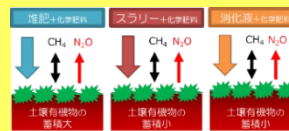
↓

搾乳ロボットやドアフィーダでのガス採取

低メタン産生牛作出に向けた育種方策を確立

III. 畜産システム毎のGHG削減方策の提示

草地飼料畑管理（土壌炭素蓄積を含む）と新規・既存のGHG排出削減技術の評価



↓

主要畜種ごとの家畜生産システムGHG削減評価モデルの開発

↓

1経営体からのGHG排出量20%削減可能な技術体系の確立・提示



炭素繊維リアクタ

達成目標（2021年）

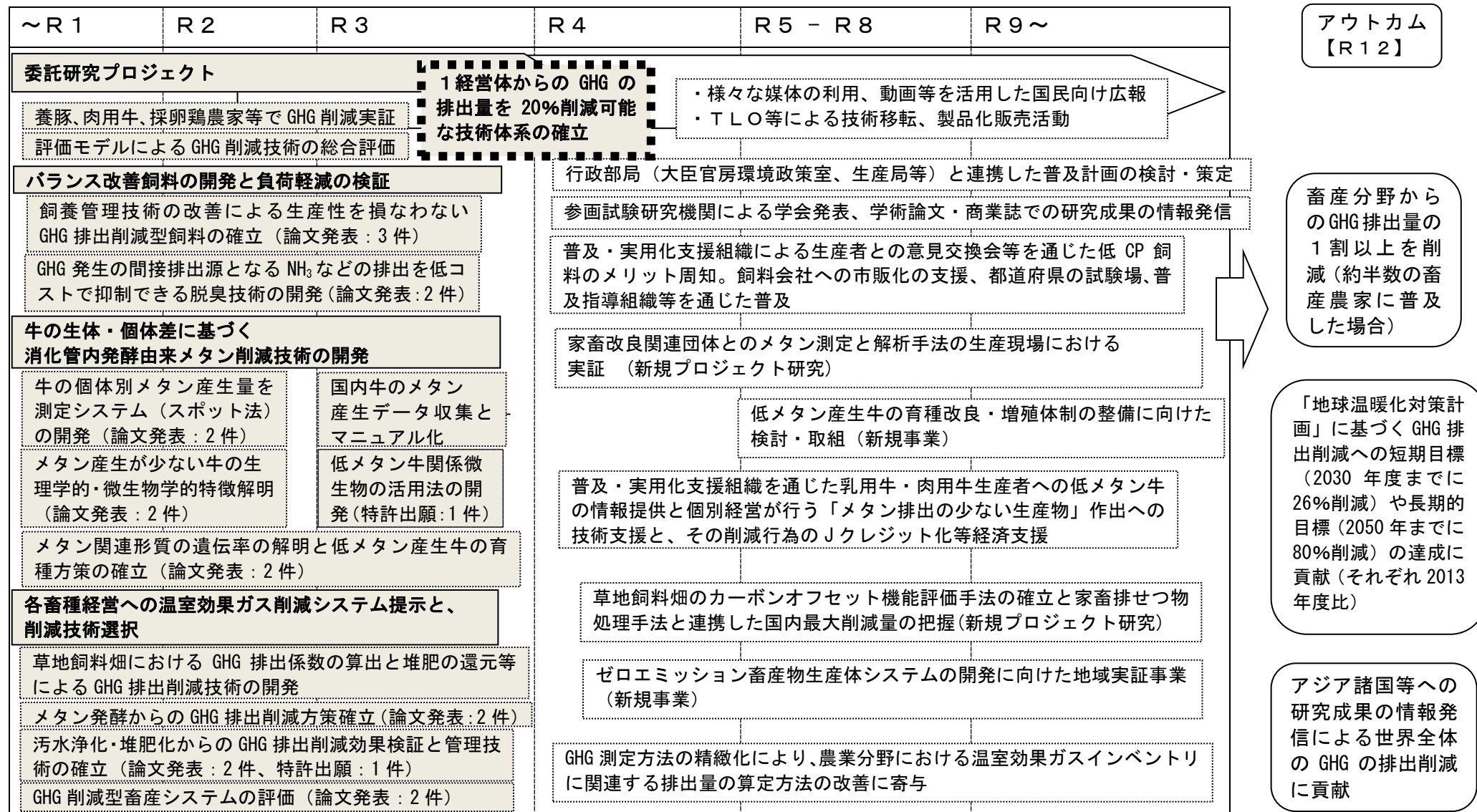
- 1 経営体からのGHG排出量を20%削減可能な技術を開発（2013年排出量ベース）

期待される効果

- 畜産分野からの温室効果ガスの排出削減に貢献
- 温室効果ガスインベントリ排出量の算定方法の改善

【ロードマップ（終了時評価段階）】

畜産分野における気候変動緩和技術の開発



I. 飼養管理技術の改善による畜産分野からの温室効果ガスの排出削減技術の開発

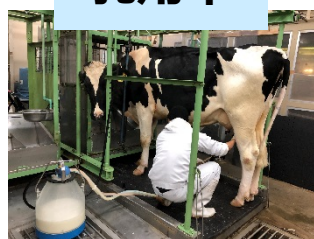
研究概要

乳用牛、肉用牛、採卵鶏におけるふん尿処理起源の温室効果ガス（GHG）の排出を削減するため、生産性を損なわずに窒素排せつ量を低減するアミノ酸バランス改善飼料（バランス飼料）を開発し、GHG排出削減型飼料を確立する。

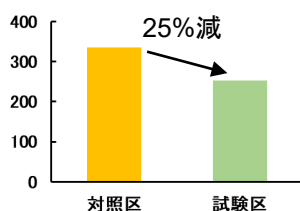
主要成果

■ バランス飼料の開発とGHG排出削減効果の解明

乳用牛



泌乳中後期における
窒素排せつ量(g/日/頭)

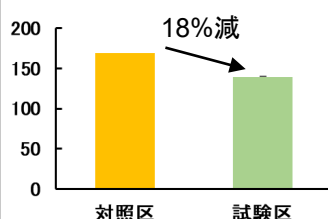


肉用牛

(ホル雄)



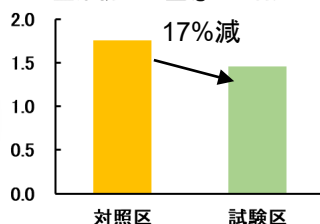
肥育全期間における
窒素排せつ量(g/日/頭)



採卵鶏



採卵前・中後期を通した
窒素排せつ量(g/日/羽)

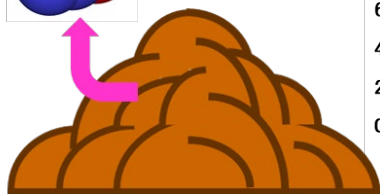
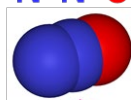


慣行飼料と比較して粗タンパク質（CP）含量が2-3%ポイント低いバランス飼料給与により、乳用牛、肉用牛と採卵鶏で、生産性を損なうことなく、窒素排せつ量を17~25%低減が可能なことを飼養試験で確認。

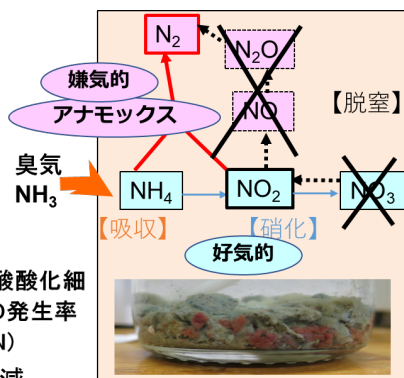
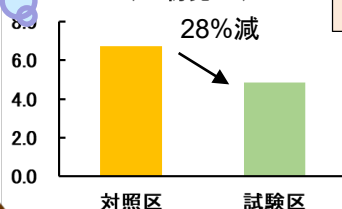
これら排せつ物への窒素排出低減により、乳用牛の貯留で30%、肉用牛の堆肥化では50%、採卵鶏の堆肥化では13%の温室効果ガス排出削減ポテンシャル（主に一酸化二窒素）があることも、一連の処理試験において確認。

堆肥化処理時の亜硝酸の蓄積を微生物の添加により解消
→ 一酸化二窒素（ N_2O ）の発生量を2割以上削減

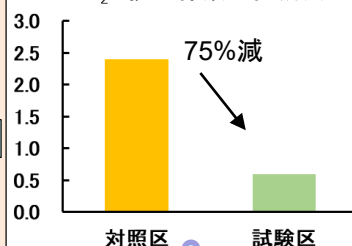
N-N-O



堆肥化時の亜硝酸酸化細菌添加による N_2O 発生率
(N%初発TN)



アナモックス反応導入による N_2O 排出係数の低減(%)



アンモニア脱臭資材とアナモックス細菌の混合培養
→ 窒素除去量に対する N_2O 発生割合を4分の1まで低減

Ⅱ. 牛の生体・個体差に基づく消化管内発酵由来メタン削減技術の開発

研究概要

農林水産分野から排出される温室効果ガスの約15%（CO₂換算）を占める牛の消化管内発酵由来メタンを削減するため、メタン產生に及ぼす影響を環境要因（第一胃内微生物相と生理的な特性の違い）と遺伝要因の両者から解析し、メタン產生量削減に向けた牛の育種方策を確立する。

主要成果

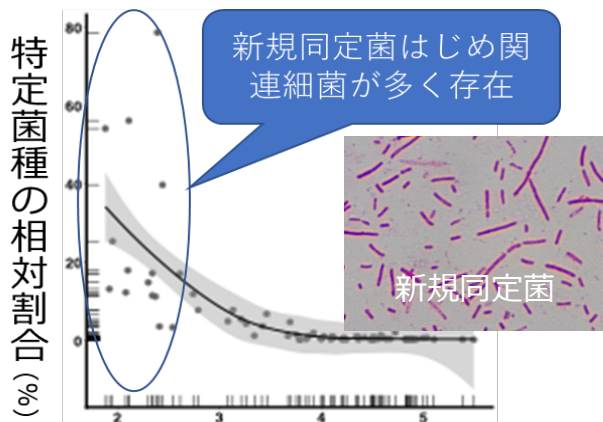
■ 育種現場で使える新規メタン產生測定システムを開発

- ・搾乳ロボットを利用（乳用牛）
- ・搾乳中の呼気のメタン/炭酸ガス比を測定
- ・乳用牛用および肉用牛用測定システムを開発

■ 育種現場での多頭数の個体別メタン產生データの測定・蓄積を開始



■ メタン產生量の少ない個体の微生物学的特性を解明



メタン產生量と相関が高いレーメン内で產生される短鎖脂肪酸の割合
※X軸は（酢酸＋酪酸）/プロピオン酸比

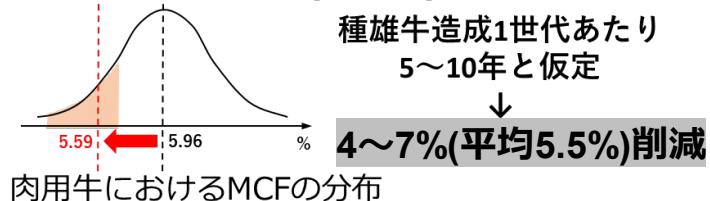
■ メタン產生量推定方法を開発

- ・飼養成績に基づく肉用牛のメタン產生量推定式を開発
- ・乳脂肪酸組成を活用した乳用牛のメタン產生量推定式を開発中

■ 低メタン產生牛の作出に向けた育種改良の可能性を評価

- ・収集データをもとに、乳用牛の余剰メタン產生量の遺伝率が0.1～0.2であることを確認
- ・間接検定データにより、黒毛和種集団のメタン產生関連形質の遺伝率が高いことを確認
- ・経済形質（枝肉形質や産乳形質等）との遺伝相関に問題のないことを確認

メタン產生効率（MCF）の改善による削減効果（肉用牛）



本成果である育種による削減と生産性向上により1経営体からのメタン排出量10～20%の削減効果が見込まれる。

Ⅲ. 畜産システム毎の温室効果ガス削減方策の提示

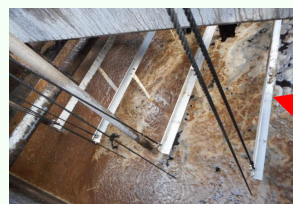
研究概要

1 経営体からの温室効果ガス (GHG)の排出量を20%削減可能な技術を確認するため、汚水浄化処理からのGHG削減技術を実証すると共に、畜産経営体からのGHG排出量評価モデルを開発し、新規に開発されるGHG緩和技術を各畜産システムに組み込んだ場合のGHG削減効果を定量的に評価する。

主要成果

■ 汚水浄化処理からのGHG排出量を大幅に削減

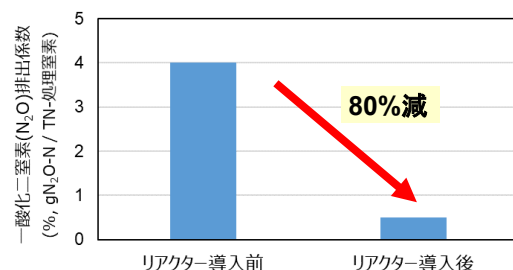
- ・ 尿汚水浄化処理において、炭素繊維担体の導入により効率よく脱窒を行うことで一酸化二窒素 (N_2O) を削減する実規模の炭素繊維リアクターを開発し、養豚生産現場での実証試験を行った
- ・ 炭素繊維リアクタ導入前と比較して、導入後は N_2O 排出量が約80%削減された



曝気槽内の炭素繊維リアクター

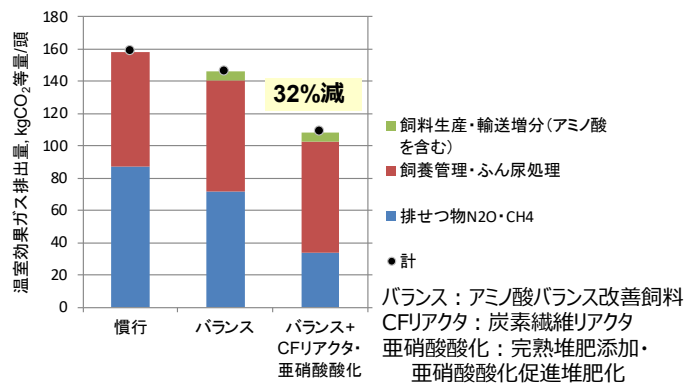
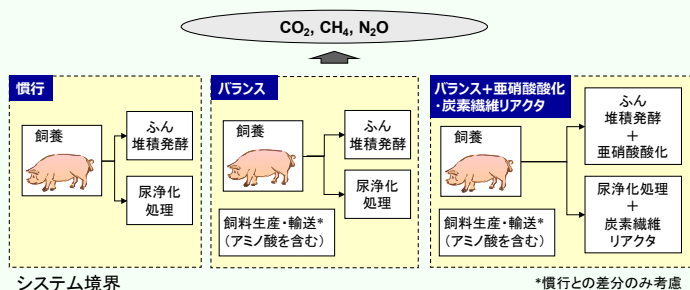


炭素繊維担体



炭素繊維リアクター導入時の一酸化二窒素排出量

■ 開発した畜産環境評価モデルで緩和技術導入効果を評価



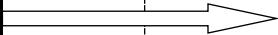
(例) GHG緩和技術を組み合わせて導入した養豚システムとその評価結果

- ・ 各畜種の経営体から排出されるGHGの削減量を見える化する畜産環境評価モデルを開発

- ・ 開発したモデルを用いて、緩和技術を組み合わせて導入した各畜産システムの評価を行い、GHGを20%削減するシステムを提案

- ・ 草地土壌への家畜排せつ物由来有機物の施用量が増えるほどGHG削減に寄与することを解明、処理法の違いによるGHG排出/吸収データを整備

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	脱炭素・環境対応プロジェクトのうち農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発			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	大臣官房政策課環境政策室 生産局園芸作物課 生産局農業環境対策課
研究期間	H 2 9 ～ R 3 （5年間）			総事業費（億円）	5．2億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発		
					

研究課題の概要

＜委託プロジェクト研究課題全体＞

平成28年４月のG 7 新潟農業大臣会合において、全ての農業は持続可能であるべきと宣言されたように、環境に配慮した農業生産への一層の転換が求められている。一方で、平成27年にIPBES（生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム）（※１）から公表された「送粉者と食料生産に関するアセスメント報告書」では、近年の気候変動等を背景とした、送粉者の活動をはじめとする生態系サービス（※２）の損失が明示されている。そのため、地域環境や生物多様性を保全すると同時に、その機能を活用した持続可能な農業生産を実現するための研究・技術開発に取り組む必要がある。そこで、以下の課題を実施する。

＜農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発（平成29～令和３年度）＞

生態系の劣化や気候の変動等を背景とした野生の送粉昆虫等の減少が指摘されているため、我が国の農業生産に関与する送粉昆虫相の実態を把握するとともに、農作物生産への貢献を明らかにする。また、得られた知見に基づいて、これらの送粉昆虫による生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発を行う。成果は農作物の生産安定化・高品質化に寄与する。

１．委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ・農作物３種において、送粉昆虫の種構成や訪花頻度の調査方法の確立、マニュアル作成
- ・生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発

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（R 8 年）

野生の送粉昆虫の積極的利用技術の開発により、農産物の生産安定化・高品質化に寄与（国内で約3, 300億円（H25年度）と見積もられる野生送粉昆虫による農産物生産への貢献を維持）

【項目別評価】

１．研究成果の意義

ランク：A

①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

多くの作物の結実には受粉が必要であり、金額に換算すると送粉昆虫が国内の農業にもたらす利益は約4, 700億円にものぼる。そのうち７割は野生の送粉昆虫の貢献によるものであるが、土地利用の変化や気候変動等の要因によって送粉昆虫が減少し、農産物の生産に多大な影響が生じることが懸念されている。また、気象等の影響により、交配用ミツバチが不足することもある。このような状況は研究開始時から好転していない。これまで見落とされてきた受粉に有効な野生の送粉昆虫を明らかにした上で、それらを有効活用できる技術の開発が依然として求められている。

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

①最終の到達目標に対する達成度

最終到達目標として、「農作物３種において、送粉昆虫の種構成や訪花頻度の調査方法の確立、マニュアル作成」（小課題１）及び「生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発」（小課題２）を目指しており、令和２年度までに以下の成果が得られている。

（小課題１：花粉媒介ポテンシャルを評価する指標と調査手法の開発）送粉サービスが生産性に強く影響する果樹（リンゴ・ナシ・ウメ・カキ）及び果菜（カボチャ・ニガウリ）の栽培地において、重要送粉昆虫群を選定した。これらの昆虫群は形態観察に加えて遺伝子情報（DNAバーコード（※３））等も参照しつつ種同定を行うと同時に、体表面に付着した花粉を分析することで花粉媒介能力も推定した。さらにいくつかの作目においては、それらが１回訪花した後で作物の花の柱頭に付着した花粉を計数し、花粉媒介への貢献度が高い種を明らかにした。その一例として、これまで我が国においてミツバチ以外の訪花者がほとんど知られていなかったカキでは、多くの地域で野生のコマルハナバチが送粉に貢献していることを見出した。

上記調査手法の開発と並行して、送粉昆虫の種構成や訪花頻度を調査する手法も開発した。対象作物や地域に適した標準的かつ省力的な昆虫捕獲装置（粘着板トラップ等）の他、目視による観察が最適と判断した昆虫種群については具体的方法を取りまとめた。これまでに得た知見を体系化し、公設試等を対象とする「花粉媒介昆虫調査マニュアル（ベータ版）」を作成した。

（小課題２：花粉媒介サービス有効活用技術の開発）小課題１で選定した重要送粉昆虫種群の増殖やそれらの定着を促す植物（強化植物）を利用して野生昆虫による花粉媒介サービスを活性化させる技術を開発するために、令和２年度までに2,400個体以上の昆虫の訪花行動を記録するとともに、200種以上の植物種の色や香りを分析し、送粉昆虫の誘引に寄与する要因を解析した。この解析を通して、昆虫種群ごとの花の色や香りに対する選好性を解明した。例として、ヒメハナバチ類は黄色、コハナバチ類やミツバチ類は白色の花を好むことが判明した。これらの知見を応用し、強化植物として有望な特性を有する種を生産ほ場に植栽し、送粉昆虫に対する誘引効果を検証した。具体的成果例として、カボチャほ場にゴマを、ウメ園地にナバナを強化植物としてそれぞれ植栽した結果、いずれにおいても対照区と比較して強化植物植栽区において対象作物への訪花頻度が増加した。

また、外来生物法で使用が制限されているセイヨウオオマルハナバチ（特定外来生物（※４））の代替種については、土着のマルハナバチ類10種の授粉能力と人工飼育の可否を検討した。これらのうち累代飼育が可能で授粉能力に優れたエゾオオマルハナバチに焦点を絞り、より大規模な増殖手法や至適飼育環境の見極めおよびコロニーの健全性を確認するための遺伝子診断法等を確立した。商品化に向けて巣箱の温度管理技術も開発し、令和２年度には北海道のトマト農家にサンプル巣箱を提供して実証試験を実施した。その結果、エゾオオマルハナバチはセイヨウオオマルハナバチと遜色なく利用できることが確認され、農家の反応も良好であった。なお、逃去防止技術と遺伝子汚染リスク評価についても必要な技術開発や調査を完了した。

その他、開花時期（２月）の低温により不十分になることが多いウメの授粉を改善するため、既存花粉媒介昆虫の低温条件下における利用技術を開発した。カフェインを添加した餌の投与によりセイヨウミツバチの出巣を促進するとともに、女王フェロモンを設置することでワーカーをウメ園地に誘引することに成功した。また、巣箱の設置場所を工夫することで簡便に出巣を促進できることも示された。

以上の成果が得られたことから、令和２年度末時点で小課題１は最終の到着目標に対して90%、小課題２は80%が達成されたと考えられる。

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

（小課題１：花粉媒介ポテンシャルを評価する指標と調査手法の開発）「農作物３種において、送粉昆虫の種構成や訪花頻度の調査方法の確立、マニュアル作成」という研究目標に対して、すでに農作物６種について送粉昆虫の種構成を明らかにした。訪花頻度の調査方法もほぼ確立しており、最終年度に試行して修正を加える予定である。また、調査マニュアルも令和２年度末にはベータ版を作成し、最終年度に各地域で試行した際の問題点をフィードバックし改良することで、令和３年度末には生産者も利用可能なマニュアルを完成させる予定である。

（小課題２：花粉媒介サービス有効活用技術の開発）「生態系サービスを有効活用する技術基盤」として、「送粉昆虫の誘引に寄与する要因解明」と「強化植物植栽による作物の花への訪花頻度向上」、「既存花粉媒介昆虫の低温条件下での利用技術の開発」を達成した。これらの成果は令和３年度までに小冊子やリーフレットとしてまとめる予定である。一方、エゾオオマルハナバチの実用化については順調に進捗しているものの、令和２年度に発生した寄生蜂の影響により、市販化を見据えた大量増殖計画に遅れが生じた。令和３年度は小課題内の研究エフォートの配分を調整し、エゾオオマルハナバチの商品化へ向けた優良系統選抜とコロニー数拡充に注力する。

現在の進捗状況から判断すると、いずれもの小課題も引き続き研究開発を推進することで最終到達目標を達成できるものと考えられる。

**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、野生の送粉昆虫の積極的利用技術の開発により、農産物の生産安定化・高品質化に寄与することを目指している。本課題では、農産物の中でも特に野生送粉昆虫の影響を受けやすい作目（リンゴ・ナシ・カキ・ウメ・ウリ科果菜）を対象に、送粉昆虫の調査技術を開発している。我が国では地域や作目によって人工授粉が行われているが、農業者の高齢化や労働力不足により作業が困難になりつつある。また、授粉に利用される飼養セイヨウミツバチ等の価格も高騰傾向にある。そのため、本調査方法の利用によって授粉の省力化が達成された場合は、現場への貢献は大きいと考えられる。また、本研究で開発する野生送粉昆虫の利用技術は、商品やマニュアル、講習会等を通して生産者やJA等の農業団体に普及する予定であり、授粉作業の効率化や農業生産の安定化・高品質化が見込まれる。さらに、農業生産における花粉媒介昆虫の活動をはじめとする生態系サービスの重要性の理解が促され、持続可能な農業生産の実現にも貢献できる。したがって、アウトカム目標の達成は十分に可能と考えられる。

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

研究成果の普及・実用化のために、研究コンソーシアムに民間企業を加え、商品化を見据えた野生の土着送粉昆虫（エゾオオマルハナバチ）の増殖技術を開発している。特定外来生物であるセイヨウオオマルハナバチの飼養基準が厳格化されるなか、アウトカム目標である「農産物の生産安定化・高品質化」を達成するためには、代替種となるエゾオオマルハナバチの資材化は必要不可欠である。令和2年度には商品サンプルをトマト農家に提供し、現場の意見や行政部局の要望等をフィードバックして利用技術を改善してきた。侵略的外来種の管理に関する行政施策に対応する技術開発であり、プロジェクト終了後には商品としての普及が見込まれるため、アウトカム目標の達成に向けた取組として妥当と考えられる。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

花粉媒介は生物多様性がもたらす生態系サービスの典型である。そのため、本課題の推進はアウトカム目標である「農産物の生産安定化・高品質化」だけでなく、農業生産における生物多様性の機能解明にも貢献することが期待される。

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きたか等）の妥当性

花粉媒介ポテンシャルを評価する指標と調査手法の開発（小課題1）においては、当初は最終年度にマニュアルの作成を予定していたが、計画を一年前倒して令和2年度末にベータ版を作成した。最終年度に試行を行い、問題点をフィードバックすることにより令和3年度末には実用性の高いマニュアルとして改良できる見込みである。

花粉媒介サービス有効活用技術の開発（小課題2）においては、令和2年度にエゾオオマルハナバチのコロニーのサンプルを北海道で試用し農家からは高い評価を得た。しかし、増殖系統における寄生蜂の発生により開発計画に遅れが生じた。そこで、本小課題で一定の成果を挙げた実行課題については令和2年度末で完了・縮小し、研究リソースをエゾオオマルハナバチの課題に集中することとした。プロジェクト全体での成果を最大化するための妥当な見直しと考えられる。

②研究推進体制の妥当性

外部有識者や技術会議事務局・生産局担当者が参集する運営委員会を年2回実施した。この他に、研究コンソーシアム主催の計画検討会、中間検討会、成績検討会や現地視察、小課題単位の検討会を開催した。これらの委員会・検討会において、成果の普及先である民間事業者や行政関係者等の助言を研究に反映させた。したがって、アウトカム目標の達成に有効な体制で研究を推進することができたと考えられる。

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

毎年漸減する予算を有効活用するために課題の見直しを行った。最終年度には行政ニーズの高い課題（エゾオオマルハナバチの大量増殖）に予算や人員を重点的に分配する。この他にも、毎年、各実施課題に必要な予算を精査しており、予算配分は妥当と言える。

【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

- ・土地利用の変化に伴う生態系の劣化や気候変動が農業生産に影響を及ぼしている中、花粉媒介昆虫を積極的に利活用する技術の開発を目指すプロジェクトの意義、成果の重要性は非常に高い。
- ・多くの成果がしっかりと出されており、目標の達成は十分可能と評価する。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・エゾオオマルハナバチという北海道限定の技術であるが、確立された技術としては非常に有用性が高い。次のステップとして、ほかの地域でも適用できるような汎用性の高い技術、幅広い技術開発への展開を目指していただきたい。
- ・生態系サービスの有効活用技術として、実用化に向けて、農業生産サイドからの開発だけではなく、農業生態系全体の生物多様性の保全、例えば送粉昆虫の生息地や、生息環境の保全を含めた取組も同時に行う必要性がある。オンファーム、オフファーム両方からのアプローチをセットで推進していくことを強く希望する。

[研究課題名] 脱炭素・環境対応プロジェクトのうち
農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
IPBES (生物多 様性及び生態 系サービスに 関する政府間 科学政策プラ ットフォーム)	生物多様性や生態系サービスの現状や変化を科学的に評価し、それを的確に政策に反映させていくことを目的として設立された、世界中の研究成果を基に科学的な見地から政策提言を行う政府間組織。	1
生態系サービ ス	生物・生態系に由来し、人類の利益になる機能（サービス）のこと。	2
DNAバーコー ド	DNA配列から種を特定する短い遺伝子領域。	3
特定外来生物	海外起源の外来種であって、生態系、人の生命・身体、農林水産業へ被害を及ぼすもの、又は及ぼすおそれがあるものの中から、外来生物法で指定された生物。	4

④ 農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発 【継続】

背景と目的

- 平成27年に、IPBES（生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム）から、食料生産に重要な役割を果たす花粉媒介生物に関する報告書が発表された。
- 国内では、花粉媒介昆虫が農業にもたらす利益は約4,700億円にのぼり、そのうち、約7割が野生の花粉媒介昆虫の貢献によるものと試算されている（平成25年度）。
- しかし、土地利用の変化や気候変動等によって国内外の花粉媒介昆虫が減少し、農産物の生産に多大な影響が生じることが懸念されている。
- このため、**野生の送粉昆虫種を有効活用して農産物の生産安定化・高品質化を実現する技術開発**が求められている。

研究内容

I. 農作物の花粉媒介に貢献する野生の昆虫種の解明

- ・ 在来の効率的な花粉媒介昆虫の探索
- ・ 花粉媒介昆虫による貢献度の調査マニュアルの作成



未活用の野生花粉媒介昆虫の利用



安定的な結果・結実

II. 生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発

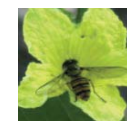
- ・ 花粉媒介昆虫が好む植物やその特性等の解析
- ・ 新たな花粉媒介昆虫の利用・増殖技術の開発



例）周辺に花を植えることで園地に花粉媒介昆虫を呼び込み、果実の安定生産・高品質化

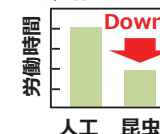


人工受粉



媒介昆虫

例）花粉媒介昆虫を活用することで労働時間を短縮



到達目標

- ・ 農作物3種以上において、花粉媒介昆虫の種構成や訪花頻度の調査手法を確立
- ・ 結果・結実が不安定な農作物における収量の極端な落ち込みを防止するための基盤技術を開発

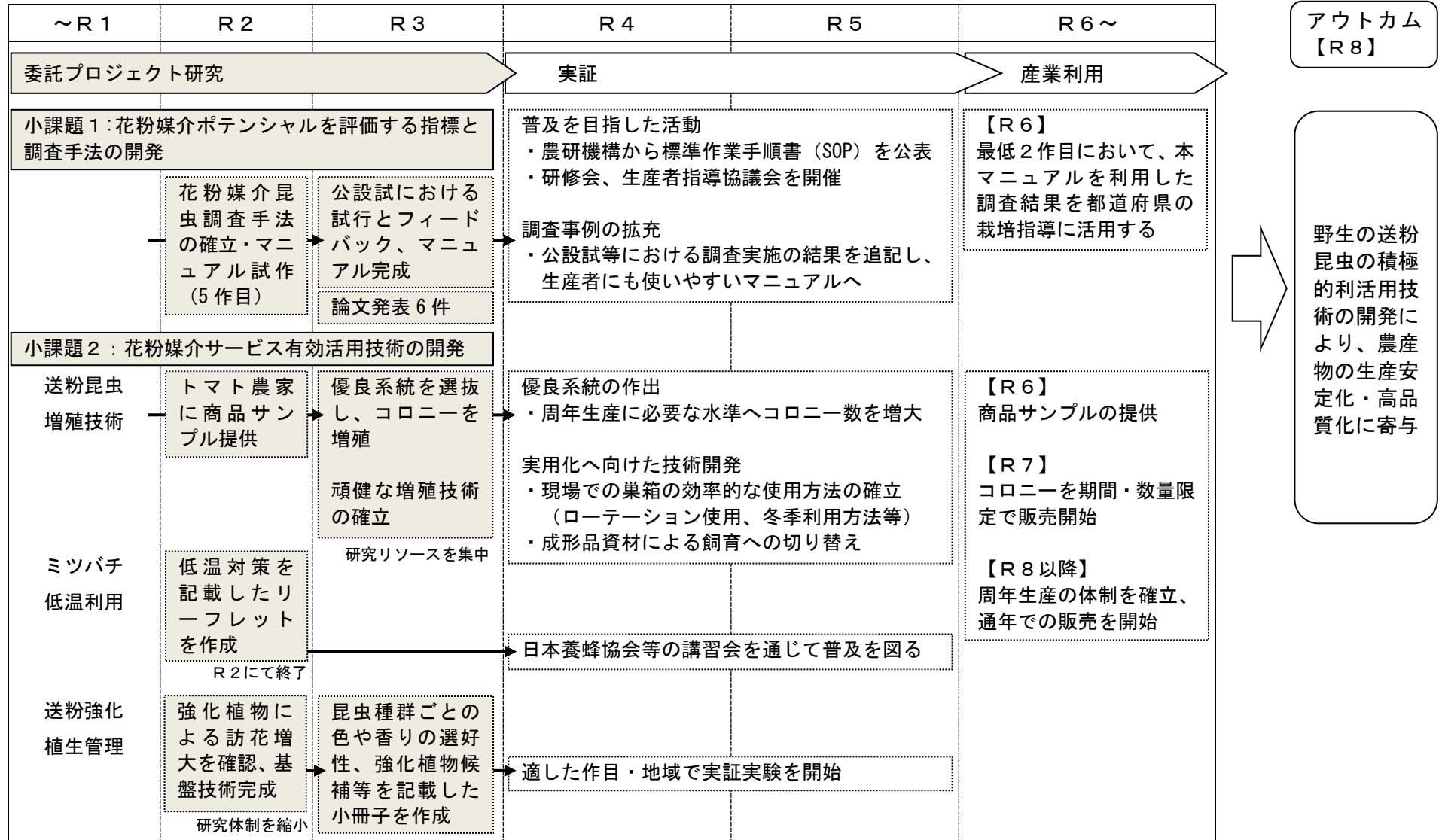
期待される効果

- ・ 各地域試験場等を通じて花粉媒介昆虫の調査マニュアルや利用技術が普及し、農産物の生産安定化・高品質化に寄与
- ・ 野生の花粉媒介昆虫を活用することで、受粉に要する労働時間を削減
- ・ 国内で約3,300億円（平成25年度）と見積もられる野生の花粉媒介昆虫による農産物生産への貢献・経済効果を維持

【お問い合わせ先】 農林水産技術会議事務局研究開発官室（03-3502-0536）

【ロードマップ（終了時評価段階）】

脱炭素・環境対応プロジェクトのうち、農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発



農林水産分野における気候変動・環境対応プロジェクトのうち、「農業における花粉媒介昆虫等の積極的利活用技術の開発」の主な成果

花粉媒介ポテンシャルを評価する指標と評価手法の開発

① 評価手法の確立

作目ごとに重要な訪花昆虫種群が異なることが判明 → 作目別に検討

例) ナシにおける調査方法

訪花昆虫種群	調査方法
ハナバチ類、 ハナバエ類	粘着版トラップ
ハナアブ類、 ミツバチ類	目視

ナシの他、
・リンゴ
・ウメ
・カキ
・カボチャ
・ニガウリ
全6作目で
手法を確立

粘着版トラップ

② マニュアル案の作成

りんご Apple

パナソニックの果樹。さまざまな品種が栽培されており、8月中旬～11月にかけて収穫。自家不結性の品種が多く、結実には他品種の花が必要。

■ 花の特徴：白～薄紅の花弁をもつ5弁花からなる花序を形成。中心の花が最初に開花し、2～3日後に周辺の花が開花。1つの花の受粉能力範囲は開花後約5日間。開花中は開花期間中は約10日間。

■ 開花時期：4月下旬～5月中旬

■ 受粉後の管理：日本では、一般的に結実。果形のよい中心花由来の果実のみを育てて収穫。樹花からなる果実は摘果。

★ リンゴの重要な花粉媒介昆虫たち
いろいろな昆虫が訪花するが、そのなかでも、特に以下のような昆虫が多いとよく花蜜を吸って行っている。[雄蜂や雌蜂は訪花によって花蜜を吸う。]

ハナバチ類、ハナバエ類

ハナアブ類、ミツバチ類

★ リンゴの花の花粉媒介昆虫を調べる
どんな花蜜を吸うか、どのくらい蜜を吸っているかを調べるためには、次の2つの手法を使用します。

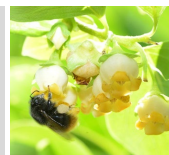
開花時の様子

粘着版トラップ

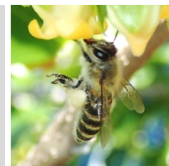
R3年度に公設試等へ配布・試行、
同年度末に完成

③ 本調査で解明した事例（カキ）

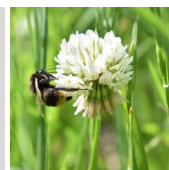
我が国でカキの野生送粉者についてはあまり知られていなかったが、コマルハナバチが主要な送粉者であることがわかった Appl. Entomol. Zool. 2019



カキ園に導入されたセイヨウミツバチを有効活用するには園地周辺の植生や他の訪花昆虫を把握することが必要であろう Appl. Entomol. Zool. 2020



下草のシロツメクサはカキ開花までコマルハナバチの訪花を受けるため、カキ開花まで本種を支える花資源の役割が期待できる Entomol. Sci. 2020



授粉の最適化やカキ園の管理に活用可能

植生管理による花粉媒介サービスの強化技術の開発

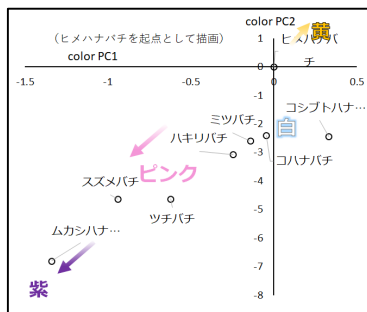
① 訪花昆虫と花のデータを蓄積、メカニズム解析



訪花昆虫（2200以上）植物種（240以上）のデータ

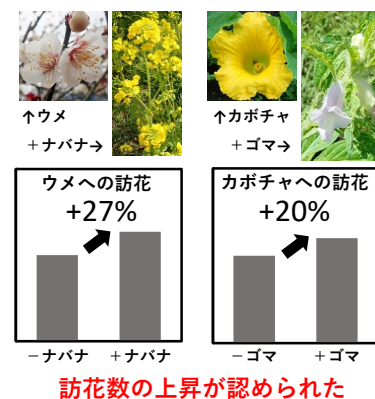
- ・強化植物候補の選定
- ・栽培特性、適合性の検討

→ 作目・地域に合わせた強化植物の選定が可能に



訪花昆虫と花の関係の解析例
ヒメハナバチは黄色、コマルハナバチ・ミツバチは白色の花を好む

② 強化植物の効果



花粉媒介昆虫大量増殖技術および授粉利用技術の開発

① 大量増殖技術



- ✓ 累代飼育技術開発（概ね達成）
- ・多産系統の作出
- 残された課題、R3年度に対応

② エゾオオマルハナバチの授粉能力と実用性

昆虫種	大玉トマトの品質		
	秀	優	良
セイヨウオオマルハナバチ	44.0%	32.0%	24.0%
エゾオオマルハナバチ	47.0%	30.0%	23.0%

- トマトの花の授粉状態◎
- 散乱光フィルムへの対応◎
- 巣門を開けてから飛び出す時間◎
- 天候不順時の訪花行動○



← 現地試験での試用感◎

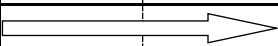
③ コロニーの健全性



④ 遺伝子汚染対策



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	次世代育種・健康増進プロジェクトのうち蚕業革命による新産業創出プロジェクト			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	生産局地域対策官
研究期間	H29～R3（5年間）			総事業費（億円）	6.6億円（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> 中山間・離島地域を中心に基幹産業たる農林水産業の弱体化が深刻化する中で、近年、遺伝子組換えカイコ（※1）を利用した新たな機能性シルク素材やバイオ医薬品（※2）等の産業化に取り組もうとする地方自治体や民間企業が現れている。このような地方の取組を研究開発からさらに支援することで、地域の生物資源（桑、カイコ）を活かした新たな市場を創出し、地域の産業・雇用に貢献できる可能性がある。 本プロジェクト研究では、日本の独自技術である遺伝子組換えカイコの産業利用の用途をさらに医薬品等成分（タンパク質）の生産用途に拡大し、これら地方創生の取組を加速化・支援するため、カイコの物質生産能力を飛躍的に高める技術、ICT（※3）等を活用したスマート養蚕システム（※4）の開発等を進める。 <課題①：組換えタンパク質の生産効率向上技術の開発（平成29～令和3年度）> ・カイコに医薬品等成分を効率的に生産させるため、組換えタンパク質の生産性をプロジェクト開始時の3倍以上に向上させる技術を開発する。 <課題②：糖鎖制御による有効性・安全性向上技術の開発（平成29～令和3年度）> ・薬効が高く免疫原性の低い医薬品をカイコに生産させるため、組換えタンパク質に哺乳類型の糖鎖を付加する技術（※5）を開発する。 <課題③：スマート養蚕システムの開発（平成29～令和3年度）> ・カイコに医薬品等成分を生産するために必要となるカルタヘナ法（※6）や薬機法（※7）等の規制対応を図りつつ、省力かつ安定的に飼育するためのICT等を活用したスマート養蚕システムを開発し、モデル地域3ヵ所において、省力化かつ安定的な生産が可能であることを実証する。					
1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標					
<課題①> 医薬品等成分の生産効率をプロジェクト開始時の3倍以上に向上させる。					
<課題②> 医薬品等成分の有効性・安全性を向上する技術を確立し、糖鎖修飾制御型医薬品を3種類作出する。					
<課題③> カルタヘナ法や薬機法に対応しつつ、カイコを効率的に生産する技術体系(スマート養蚕システム)の確立とモデル地域3ヵ所で実証する。					
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（R8年）					
遺伝子組換えカイコを利用した医薬品等の供給量（需要量）が高まり、医薬品等成分や原料（カイコや繭）を供給する中山間地域の数が5ヶ所以上、開発された医薬品等の市場規模を約90億円獲得。					

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

① 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

研究成果の科学的・技術的な意義としては、遺伝子組換えカイコによる有用タンパク質の生産性が、プロジェクト開始時に比べて3～4倍に向上したことが重要である。また、ゲノムの狙った位置に外来遺伝子を導入する遺伝子ノックイン技術は、カイコではまだ効率が低かったが、本研究によってカイコで効率的に遺伝子ノックインができるようになったことは特筆すべきである。さらに、糖鎖修飾技術が劇的に向上し、これまで不可能であった2分岐シアル酸の付加に成功するとともに、疾患で機能を喪失した酵素活性を、カイコで生産した糖鎖付加酵素で回復させることができた。これらの技術開発は、遺伝子組換えカイコを用いた医薬品原薬の生産につながる成果であり、生産拠点の整備と併せ、重要な成果である。

社会・経済に及ぼす効果としては、地域拠点として新潟県、熊本県、鹿児島県の3ヶ所で遺伝子組換えカイコ飼育体制を整備した。具体的には、熊本県山鹿市、新潟県上越市では、中山間地の耕作放棄地や休耕田を桑園に整備し、カイコが飼育できるようになるとともに、雇用を創出した。また鹿児島県奄美市でも離島（奄美大島）にて桑園を整備し、遺伝子組換えカイコの飼育を実施した。さらに、研究開始後に、コンソーシアム外の沖縄県と茨城県の2ヶ所での生産拠点整備が開始されたため、本研究で開発された技術をそれらの拠点へ移転することで生産拠点が整備され、地方創生・地域振興に貢献できた。生産性向上技術および糖鎖改変技術に関しては企業3社に利用されており、今後の製品化に利用されるため、経済に及ぼす効果は大きいと期待される。

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：S

①最終の到達目標に対する達成度

＜課題①＞

「医薬品等成分の生産効率をプロジェクト開始時の3倍以上にする」という目標（アウトプット）を掲げた。プロジェクト期間中に、ヒト型コラーゲン（化粧品原料）で繭1個当たりの生産量が2mgから7.8mgへ（3.9倍）、抗イヌCD20抗体（リツキシマブ、イヌ用抗ガン剤）で繭1個当たり0.4mgから1.8mgへ（4.5倍）向上し、目標を達成した。

＜課題②＞

「医薬等成分の有効性、安全性を向上する技術を開発し、糖鎖修飾医薬品を3種類作出する」という目標を掲げた。プロジェクト期間中に、2分岐シアル酸の糖鎖付加に成功する等、有効性を向上させる技術を開発し、抗イヌCD20抗体、GM-CSF、イズロニダーゼ等10種類以上の糖鎖修飾医薬品原薬を作出し、目標を達成した。

＜課題③＞

中課題3では「スマート養蚕システムの確立とモデル地域3ヶ所での実証」を目標に掲げた。大量飼育装置を用いての大量飼育実証試験を実施するとともに、AIを活用した成育センシングシステムを開発し、スマート養蚕システムの原型を確立した。また新潟県、熊本県、鹿児島県をモデル地域とし、遺伝子組換えカイコの飼育ができるように産業二種申請をして大臣確認を受けた。熊本県、鹿児島県では既に遺伝子組換えカイコの飼育を行っており、新潟県でも来年度に遺伝子組換えカイコ飼育を実施する予定であり、目標達成は確実である。

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

上記の通り、当初掲げた目標は、＜課題①＞と＜課題②＞で既に達成済みである。＜課題③＞においても、新潟県での遺伝子組換えカイコ飼育は、既に今年度大臣確認を受けており、来年度の前半に飼育を実施する計画となっており、目標達成は確実である。

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

測定可能なアウトカム目標として、当初「令和8年までに医薬品等成分や原料（カイコや繭）を供給する中山間地域の数が5ヶ所以上、開発された医薬品等の市場規模が約90億円」としていた。市場規模は、カイコが得意とする血液検査薬市場を対象に、（株）富士経済が調査を行った2019年市場調査結果の380億円という数字を元に再検討し、3年後（R5年）にその10分の1の約40億円を獲得し、5年後（R8年）にその2倍強の90億円に成長できると試算し、変更不要と判断した。

アウトカム目標を達成するため、本研究ではコンソーシアム外の地域2ヶ所への技術移転を前倒して進め、生産拠点5ヶ所の整備は来年にも達成見込みである。市場獲得に関しては、医薬品等成分の原料供給と製品化を行う企業計3社（コンソーシアム外2社）への技術移転を進めており、今後、製品生産への利用が見込まれる。タンパク質生産性のさらなる向上（低コスト化）が民間投資を呼び込むという聞き取り調査結果に基づき、本プロジェクト研究実施後も引き続き生産性向上を目指した研究体制を構築する。

生産拠点の拡大と投資の呼び込みにより、遺伝子組換えカイコを利用した医薬品等の供給量と需要量を高めていくことで、アウトカム目標は達成できる可能性は高いと判断している。

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

本研究成果を普及・実用化するため、参画企業が生産及び販売を迅速に事業化するように推奨している。また、遺伝子組換えカイコの需要拡大を見据え、地方公共団体、民間事業者等を参集し、遺伝子組換えカイコの飼育に必要な条件整備や産業化について、情報提供を行うと共に現場からのニーズを把握するため、遺伝子組換えカイコの利用に関する勉強会、シンポジウムや報道による情報発信を積極的に行っている（2020年度の実績報告（未確定）より、学術論文31件、学会発表等32件、報道件数34件、シンポジウム等9件、アウトリーチ活動39件）。また既に、本研究で開発された技術をコンソーシアム以外の企業に対しても技術移転を開始しており、遺伝子改変技術に関して企業1社、タンパク質生産に関して企業2社（さらに2社へ技術移転中）、遺伝子組換えカイコの飼育に関して企業2社に技術移転を進めている。

内閣府プロジェクトSIP2（H30～R2）とも連携し、動物用医薬品やヒト用医薬品の実用化に必要な医薬品等成分の品質管理や安全性確保に必要な情報を収集するとともに、各種規制対応を担当する行政部局との相談・連携を進めている。これまでも製薬企業への個別訪問やマッチングを行ってきたが、今後も粘り強く連携強化の試みを行っていく。タンパク質生産を希望する企業と生産者（製造元）の橋渡しも随時進めている。

このように、研究成果の活用のための取組は妥当である。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

本プロジェクト研究で開発する基盤技術（遺伝子改変技術等）や効率的に養蚕する技術体系をベースとして、新たなデータ駆動型研究（各種遺伝子発現データ等を駆使した遺伝子ネットワークの構築と改変）と組み合わせることで現在のカイコの生産能力等の限界を超える「スーパーカイコ」の創出と、カイコによるものづくり技術の社会実装の加速化を、内閣府のプロジェクト（SIP2）で実施した（H30～R2）。SIP2では、検査薬や医薬品等の開発による医療分野へ貢献に加え、魚病診断キットや病原菌防除フィルターの開発による水産分野への貢献、ウェアラブルシルクデバイスの開発による工学分野への貢献、環境負荷低減生産法の確立による環境分野への貢献等、他分野の技術確立に広く利用可能なものである。更に、ライフサイクルコストアセスメント（LCA）による診断薬製造時の二酸化炭素排出量の評価において、カイコによるタンパク質生産系は、CHO細胞などの動物培養細胞による生産系に比べ、二酸化炭素排出量を90%削減できるという結果が出ている。このようにカイコ生産系は、SDGs実現にも貢献するものである。

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

外部有識者5名と関連する行政部局及び参画する研究代表者により構成する「委託プロジェクト研究運営委員会」を設置し、最終年度の研究目標を達成するために必要な研究開発のマイルストーンを小課

題毎に細かく設定し、運営委員らが各マイルストーンの達成度を評価した。行政ニーズや各小課題の進捗状況を踏まえ、実施計画の見直し等も検討し、的確な進行管理に努めた。その結果、人工飼料製造に関する実行課題1つ（熊本大）を廃止するとともに、実行課題1つ（ユウグレナ）の計画の見直しを行った。また、原料タンパク質生産や家畜（ウシ）での乳房炎治療薬の効果を検証するために、群馬県公設試（2機関）を新たにコンソーシアムに加え、研究を加速した。

本プロジェクト研究の課題は、計画通り進捗しており、最終目的の達成も見込まれることから、研究計画は妥当である。

② 研究推進体制の妥当性

本プロジェクト研究の実施に当たっては、委託プロジェクト研究運営委員会を年に2回（6～8月頃と1～3月頃）開催し、推進状況の確認、研究計画・推進体制の見直し、研究成果の共有と知財戦略等について、助言等を行っている。令和2年度はコロナウイルス感染拡大の影響もあり、上半期の運営委員会は9月にウェブ会議の形式で開催された。また、研究コンソーシアムの自主的な推進体制として、カイコに関するコア技術とリソースをもつ農研機構が大課題・中課題のリーダーとなって研究を強力に推進し、推進会議を随時開催し、コンソーシアム内の情報共有や意見交換、推進体制の検討などを行っていることから、研究推進体制は妥当である。

③ 研究の進捗状況を踏まえた重点配分等、予算配分の妥当性

委託プロ全体で課題の進捗状況、研究成果の有効性や緊急性等を踏まえ、予算配分の重点化を行っている。令和2年度は、参画機関同士の連携を強化するための計画変更があり、9月の運営委員会での了承後に、予算変更のための契約変更手続きを行って、研究を推進した。本プロジェクト研究の課題は、計画通り進捗しており、最終目的の達成も見込まれることから、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

- ・カイコの活用によって新たな地域産業や雇用の創出を生み出す研究であり、あわせて農山漁村の活性化という観点からも非常に意義のある取組として、研究の重要性は非常に高い。
- ・研究の進捗については、バイオ医薬品などの効率的な生産、スマート養蚕システムの両方の目標において、技術開発に加えて、具体的な実証化の見通しも立っていることから、目標達成の可能性は高い。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・産業利用のステップに移行する段階では、出口戦略が重要になってくる。出口戦略を考える上では、地域への貢献だけではなく、全国、あるいはグローバルスケールでの市場開拓のような、より広範囲での取組も今後十分検討していただきたい。
- ・アウトカムについては、企業による技術開発や雇用創出が、地域振興を後押しする目標として強調されているが、耕作放棄地の復元、カイコの生産システムの整備など、環境保全、地域資源の活用といった取組も含めたアウトカムの総合的ビジョンを示していただきたい。

[研究課題名] 次世代育種・健康増進プロジェクトのうち
蚕業革命による新産業創出プロジェクト

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
遺伝子組換え カイコ	ある生物から取り出した有用遺伝子をチョウ目カイコガ科に属する昆虫の一種であるカイコのゲノムに導入し、新たな特性を付与したカイコ。	1
バイオ医薬品	大腸菌や培養細胞などの生物から作り出される医薬品を指す。主にタンパク質の医薬品のこと。	2
ICT	情報通信技術のことであり、Information and Communications Technologyの略。	3
スマート養蚕 システム	ICT技術等を活用して、省スペース、省エネルギーかつ高い歩留りで生産できる次世代の養蚕システムを指す。スマートとは「賢い」という意味。	4
糖鎖を付加する 技術	糖鎖とは、グルコース、ガラクトース、マンノース等の糖が複雑に連なったものを指し、タンパク質に結合した糖鎖の構造を酵素の働きによって改変させる技術。糖鎖の種類によって薬の有効性や分解性に違いが出ると言われている。	5
カルタヘナ法	「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」の通称。	6
薬機法	「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」の通称。	7

次世代バイオ農業創造プロジェクト 蚕業革命による新産業創出プロジェクト

背景と目的

- 最近、日本の独自技術である遺伝子組換えカイコを利用した**新たな機能性素材や医薬品等の生産が開始**されつつあり、その技術開発・普及を加速化することにより、地域の生物資源（桑・カイコ）を活かした新たな市場を創出し、**農山漁村地域の産業・雇用の創出に貢献**できる可能性がある。
- 遺伝子組換えカイコを活用して**新たな地域産業・雇用を創出**するため、バイオ医薬品等に必要な**有用物質を効率的に生産する基盤技術**や**ICTを導入した新たな養蚕システム**を開発する。

1. 新シルク素材

- ・蛍光シルク
- ・強靱シルク
- （クモ糸シルク）



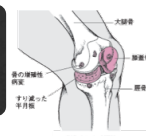
2. 医薬品

- ・診断検査薬
- ・化粧品（ヒトコラーゲン）
- ・ヒト医薬品（フィブリノゲン等）



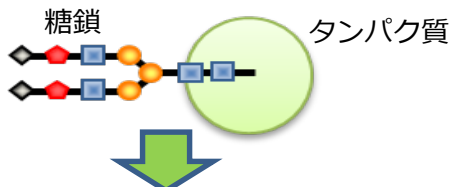
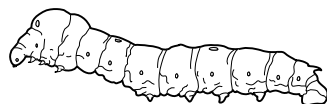
3. 医療用素材

- ・軟骨再生スポンジ
- ・不織布透明シート（絆創膏）
- ・人工血管



研究内容

- **バイオ医薬品等を効率的に生産する技術**
 - ・付加価値の高い**バイオ医薬品等を効率的に生産する基盤技術を開発**



医薬品等の成分（タンパク質）が
3～4倍に向上

機能性かつ安全な糖鎖が付加されることで、アレルギーが解消され、薬効も格段に向上

- **スマート養蚕システム**

- ・**医薬品医療機器等法（薬機法）やカルタヘナ法に対応しつつ、遺伝子組換えカイコを効率的・安定的に飼育する技術（スマート養蚕システム）を確立**

桑園



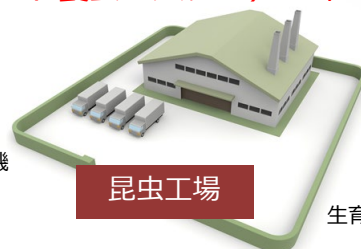
桑刈機



農業生産法人が研究参考



収繭・毛羽取り機



昆虫工場



画像による
生育状況判断システム

安定した品質の有用物質を効率的に生産

期待される効果

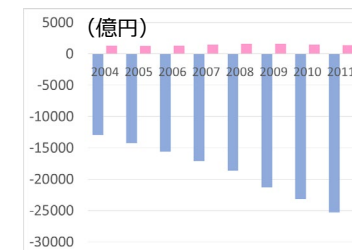
- 医薬品業界と連携して、**農山漁村地域に新たなバイオ産業・雇用を創出**



- 桑を活用して地域の**耕作放棄地等を復元・保全**



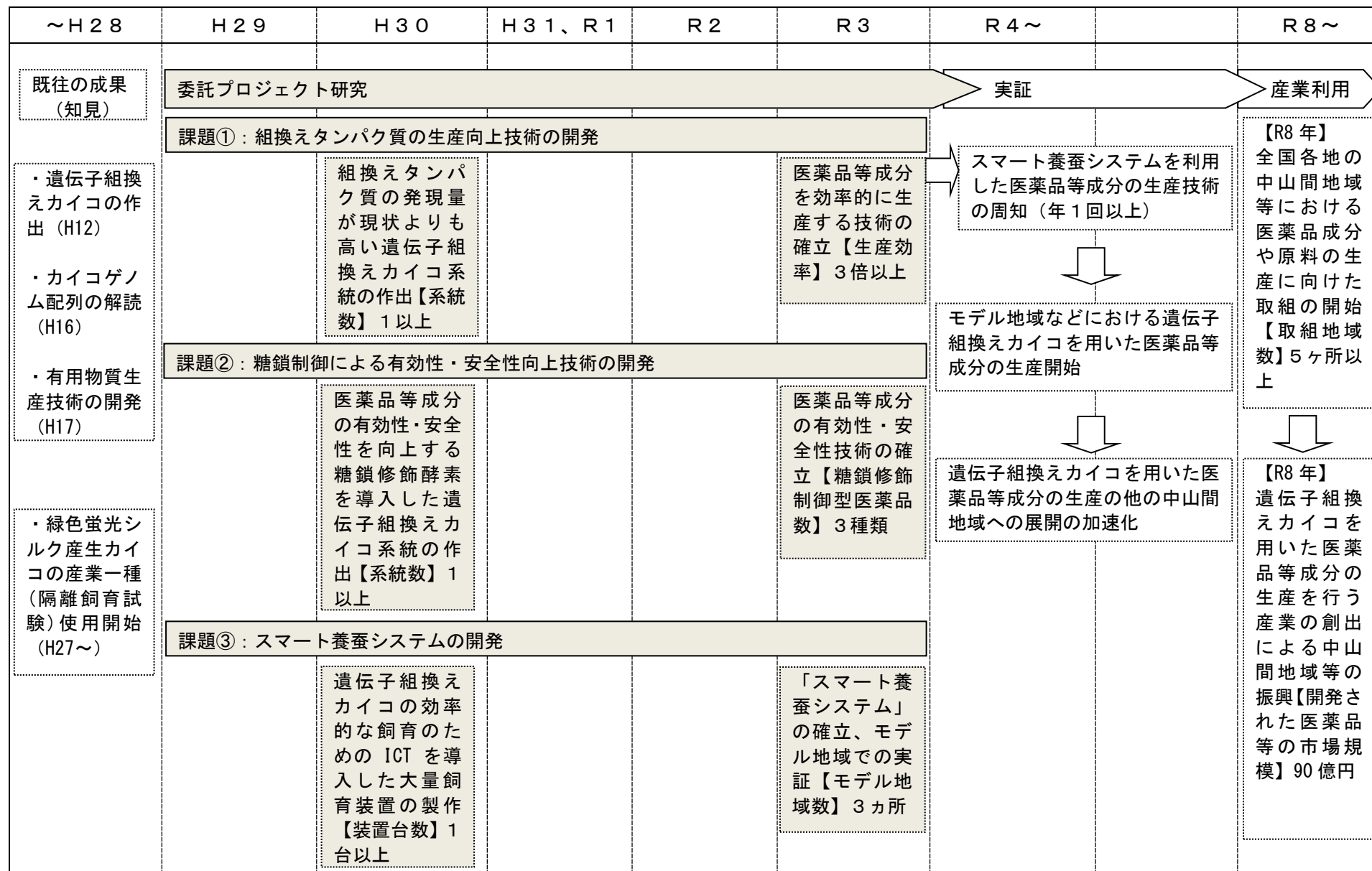
- バイオ医薬品の国内供給力を高め、現在、**海外に流出する医療費を地域経済に還元**



平成23年には約2.4兆円の輸入超過を記録。

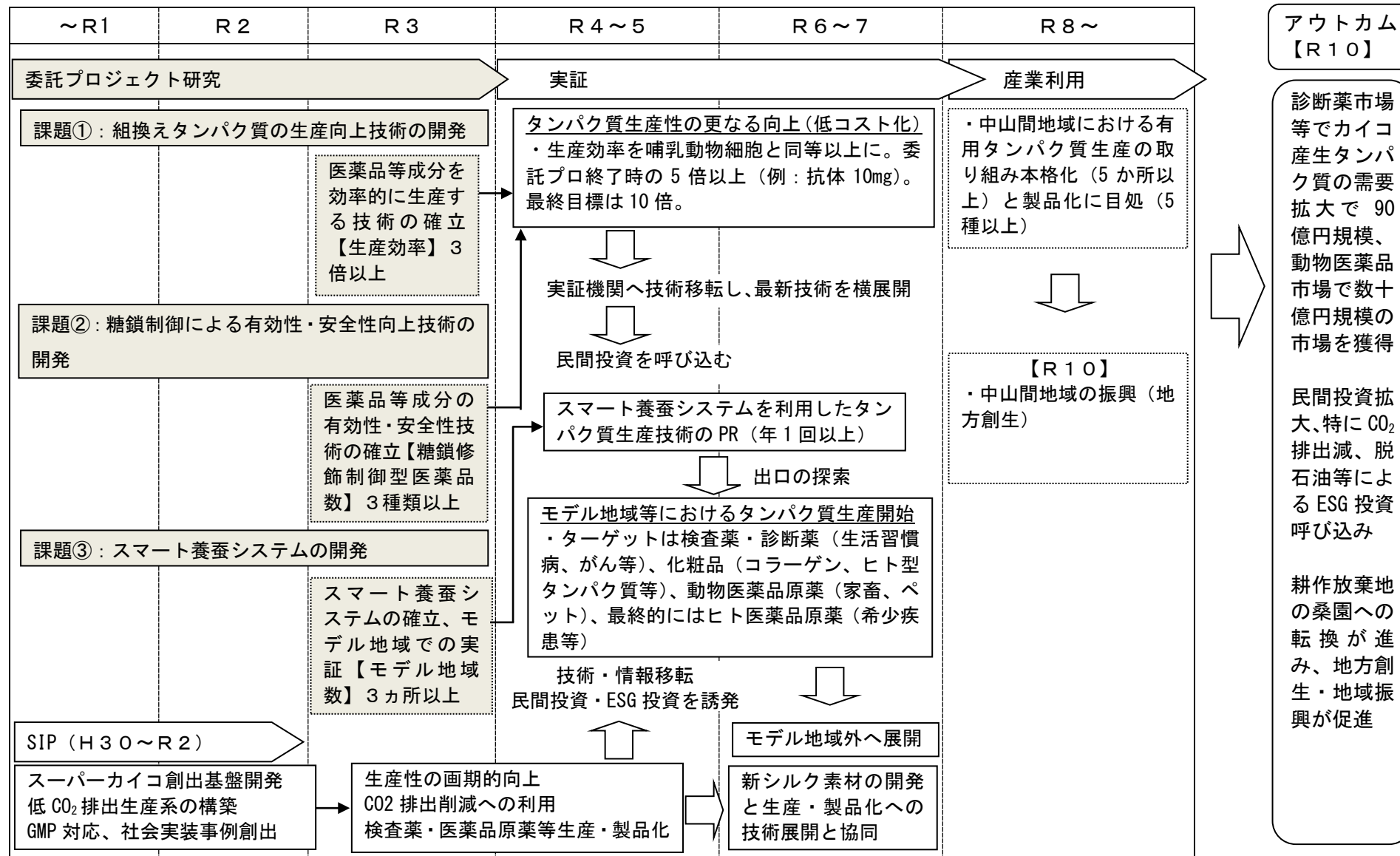
【ロードマップ（中間評価段階）】

次世代バイオ農業創造プロジェクトのうち、蚕業革命による新産業創出プロジェクト



【ロードマップ（終了時評価段階）】

蚕業革命による新産業創出プロジェクト



中課題1 組換えタンパク質の生産効率向上技術の開発

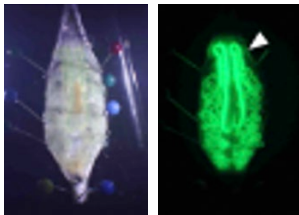
研究の概要

新たな遺伝子改変技術や組換えタンパク質発現系等を用い、遺伝子組換えカイコが産出する医薬品等成分の生産効率を向上する技術を開発する。

主要成果

シルク遺伝子等への遺伝子ノックイン技術の確立

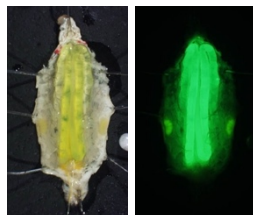
フィブロインL鎖



可視光

絹糸腺でのEGFP発現

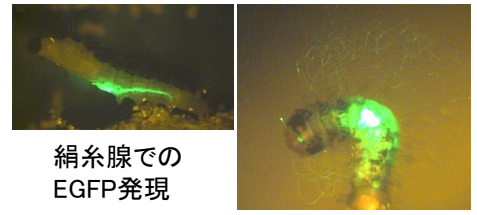
セリシン1



可視光

絹糸腺でのEGFP発現

フィブロインH鎖



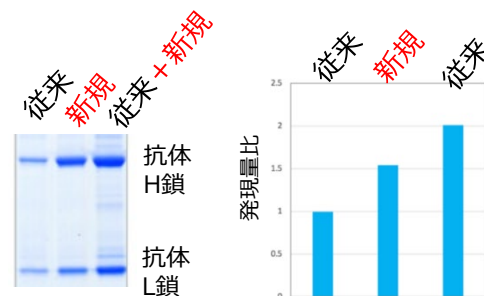
絹糸腺でのEGFP発現

足場糸でのEGFP発現

シルク遺伝子(フィブロインL鎖、フィブロインH鎖、セリシン1)領域へのノックイン技術を初めて確立、蛍光タンパク質が強く発現・分泌することを確認

組換えタンパク質の生産効率向上技術の開発

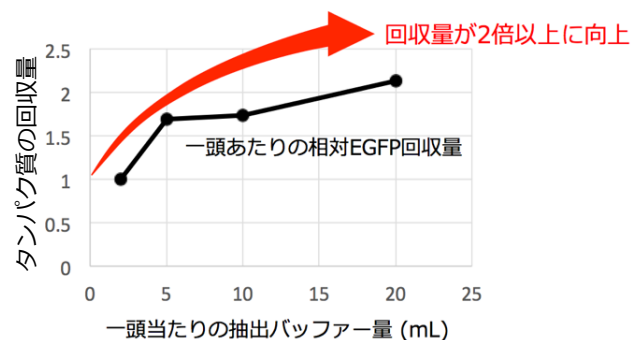
新規の後部絹糸腺発現系の利用



従来：中部絹糸腺発現系（セリシン層へ分泌）

新規：後部絹糸腺発現系（フィブロイン層へ分泌）

抽出バッファーの変更



新規発現系の利用で発現量が2倍に向上

タンパク質回収量が2倍に向上

今後の方針

- ・開発した生産効率向上技術を組み合わせ、現行の3～4倍に向上したので（例：抗体 従来約0.5mg→1.5～2mg）、今後は企業へ技術を移転する（現在、企業3社へ技術移転済）。将来的には、哺乳動物細胞と同等以上の生産効率（例：抗体 現在2mg→10mg）を達成し、製品・市場拡大へ。

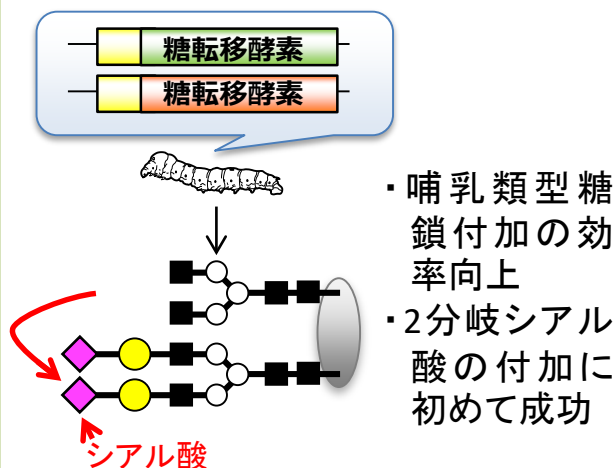
中課題2 糖鎖制御による有効性・安全性向上技術の開発

研究の概要

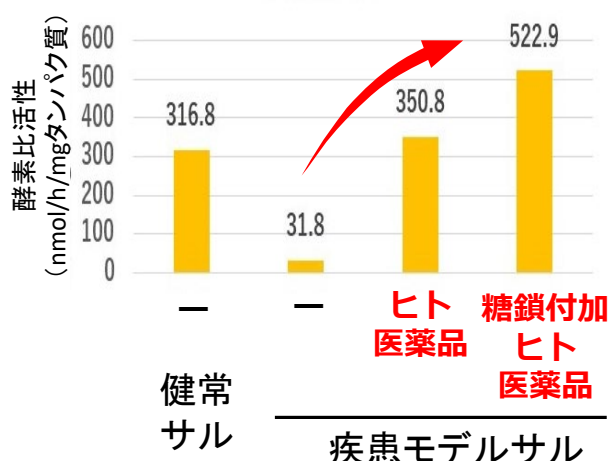
医薬品等成分の安定性、活性、免疫原性等に大きな影響を与える糖鎖について、遺伝子組換えカイコを用いて哺乳類型の糖鎖修飾が可能な技術を開発し、生物学的特性に対する影響を検証する。

主要成果

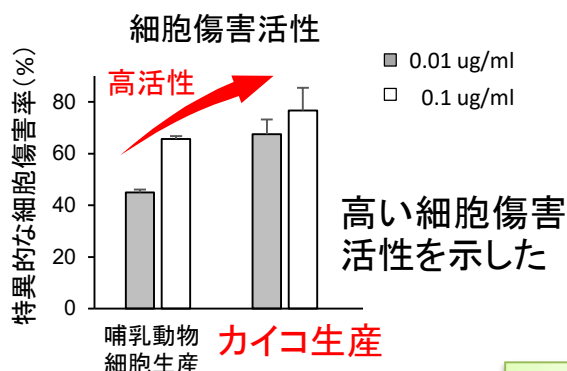
哺乳類型糖鎖修飾技術の向上



カイコで生産したヒト用医薬品成分の機能評価



カイコで生産したペット用医薬品成分の評価



カイコで生産したヒト用医薬品が、疾患モデルサル由来の培養細胞に取り込まれ、酵素活性が回復した

今後の方針

- ・モデル地域や他の中山間地域等における、高機能な医薬品等成分の生産に向けて、企業への技術移転(現在、企業2社に技術移転済)、GMPに対応した飼育態勢の整備(SIP2でGMP対応に目処をつけた)、医学関係者・製薬企業・ベンチャー等とのマッチングを行う。

中課題3 スマート養蚕システムの開発

研究の概要

遺伝子組換えカイコを省力かつ安定的に飼育するためのICT等を活用したスマート養蚕システムを開発し、モデル地域において省力かつ安定的に生産が可能であるかを実証する。

主要成果

成育センシングシステムの開発



成長具合を判断し、停食のタイミングをアシストする成育センシングシステムの開発(特許出願済)

地域拠点における遺伝子組換えカイコの大臣確認

	アーダン (鹿児島県)	エムエーシー (新潟県)	あつまるHD (熊本県)
提出先	経済産業省	経済産業省	農林水産省
申請 系統	蛍光シルク (2種類) 細胞接着性シルク	ペプチドホル モン含有シル ク	蛍光シルク (2種類) 高染色性シルク
申請 内容	化粧品用 全齢飼育	蚕種製造 継代飼育 工業原料生産 全齢飼育	糸繭生産 全齢飼育

低コスト人工飼料プレミックスの開発

食品用大豆たんぱく質
食品用セルロース
デンプン

高価格！



切り替え



家畜飼料用大豆粕、トウモロコシ

低価格！

4～5齢のカイコを育てるためには、高価な成分を添加する必要は無いことがわかった。

価格を5分の1以下に！

今後の方針

- ・大量飼育装置および付随する機械(収繭毛羽取り機、繭切開機)の販売(一部特許出願済み)と、将来的には、飼育自動化技術の開発につなげる。
- ・地域拠点における遺伝子組換えカイコの大量飼育と原料生産の実施(現在モデル地域2ヶ所で試験済)と、他拠点へ技術を移転する(沖縄県、茨城県の拠点到技術移転済)。

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プロジェクトのうちAIを活用した病虫害早期診断技術の開発			担当開発官等名	研究統括官（生産技術） 研究開発官（基礎・基盤、環境）
				連携する行政部局	大臣官房政策課技術政策室 消費・安全局植物防疫課 生産局技術普及課
研究期間	H 2 9 ～ R 3 （ 5 年間）			総事業費（億円）	9.8億円（見込）
研究開発の 段階	基礎	応用	開発		
研究課題の概要					
<委託プロジェクト研究課題全体> 我が国の農業現場における農業従事者の高齢化や減少の進行に伴う人手不足や、生産性の伸び悩み等の課題を解決し、農業の競争力強化、農業の成長産業化を推進するため、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、農産物の生産性の飛躍的な向上および高付加価値化を図るために、「スマート農業（※3）の実現に向けた研究会」において示された「AI、IoT（※4）によるスマート農業の加速化」に即した研究開発を実施する。 ここでは、以下の2つの課題を実施し、農業生産における病虫害管理や土壌消毒に関するコストを削減し、農産物の安定生産に貢献することを目指す。 <課題①：AIを活用した病虫害診断技術の開発（平成29～令和3年度）> 農業生産に大きな損害を与える恐れのある病虫害を、AIを活用して早期に診断し、対策を支援する技術を開発する。 <課題②：AIを活用した土壌病害診断技術の開発（平成29～令和3年度）> 土壌微生物による発病リスクを栽培前に診断する技術を開発し、輪作の導入、抵抗性品種の利用や土壌消毒剤の使用等の適切な対策を講じることにより、土壌病害の発生を未然に防ぎ被害を最小化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：AIを活用した病虫害診断技術の開発> 生物種7,000種以上の画像・遺伝子情報を基にしたAI病虫害診断技術の開発 [70個以上の識別器を搭載した病虫害診断アプリの開発] <②：AIを活用した土壌病害診断技術の開発> 5種類以上の主要な土壌病害を対象に、AIを活用した土壌病害診断技術の開発、及び、診断結果・対策情報等を提供するシステムの構築。					
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）					
AIを活用した病虫害早期診断技術が社会実装されることにより、対象の病虫害管理や土壌消毒に係るコストが1割以上削減されるとともに、農産物の生産性の維持・向上が図られる。					

【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**

農業従事者の減少・高齢化の進行とともに、経営規模の拡大による圃場数の増加、分散・広域化によって十分な生産管理を行うことが難しくなっている。生産現場での病害虫の発生は、農業生産に大きな損害を与えるおそれがあることから、農産物の安定的な生産のためには、適期に的確な防除をおこない、まん延を防止する必要がある。

また、地球規模での気候変動や物流増加等を背景として、新興の病害虫による農業被害リスクが世界中で増大しており、国連でも、病害虫管理の意識啓発等を目的に、2020年を国際植物防疫年とすることが表明されている。そのため、病害虫管理のための技術開発を目的とした本課題の重要性は研究開始以降も年々高まっていると言える。

このような現状をふまえ、本課題は、AIを活用した病害虫の迅速かつ的確な診断や最適な管理を支援する技術を開発するものであり、農業者等のニーズを的確に反映し、かつ、革新性、先導性、実用性の高い課題である。

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****① 最終の到達目標に対する達成度**

<課題①：AIを活用した病害虫診断技術の開発（平成29～令和3年度）>

見直し前の目標については、R2年度時点で7100種以上の画像・遺伝子情報を取得済みであり、終了時までこれを基としたAI病害虫診断技術の開発は達成できる見込みとなった。そのうえで、研究目標を営農者等が自ら利用する病害虫診断アプリに搭載する識別器（識別可能な部位および病害）に変更することで、病害虫早期診断技術の社会実装への貢献をより直接的に評価することとした。

令和2年度までに、トマト、キュウリ、イチゴ、ナスで発生する病害虫について、それぞれ14個、13、16個、12個の合計58個の識別器を開発し、テスト運用中の病害虫診断アプリに搭載済みである。以上より、目標達成に向け順調に進捗している。

<課題②：AIを活用した土壌病害診断技術の開発（平成29～令和3年度）>

対象とした5種類の土壌病害について、現地圃場の土壌の理化学性、当該年の栽培作物の発病程度、耕種履歴概要、肥料・農薬使用履歴、生産者の圃場管理、および土壌DNAに基づく生物性情報等の各種情報を土壌サンプル毎に収集・整理した。これにより、令和2年度までに約5,200土壌サンプル分の情報を取得し、AI開発における機械学習のための教師データおよび学習用データとして活用することで、圃場の発病ポテンシャルを予測するモデル（予測器）および最適な発病ポテンシャルの予測器を選択するモデル（判別器）からなるAIを開発した。さらに、開発されたAIを実装したアプリ（AIアプリ）を開発した。

これらの成果から、終了時時の目標は十分に達成される見込みである。

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

＜課題①：AIを活用した病害虫診断技術の開発（平成29～令和3年度）＞

最終到達目標として、「70個以上の識別器を搭載した病害虫診断アプリの開発」を目指しており、以下の具体的成果が得られている。

現在までに病害虫画像50万枚以上を撮影し、うち30万枚以上を深層学習（※5）に用いて58個の識別器を構築した。識別器の開発にあたっては、学習用のデータと評価用データを、異なる府県から得られた画像を用いることや、病害虫識別にあたり2種類の人工知能を組み合わせる等の改良を加えることで、開発段階の評価で平均85%以上の精度を持つ識別器を構築した。これら識別器について、R2年度に実圃場での診断精度を検証したところ、平均で75%程度の正答率を示した。精度検証にあたっては、開発済みの診断アプリを用いるとともに、スマートフォン等で撮影した大量の画像を一括して検証するためのツールを開発して効率化をはかった。また、成果の速やかな社会実装にむけ、診断アプリの対応するOSを増やした。

今後も病害虫の被害画像は継続して蓄積する予定であり、これらを整備して現在対応していない作物の部位や病害虫に対応することで、70個以上の識別器の開発が可能である。さらに、これら画像をAIの学習に活用するとともに、現地検証において正答が得られなかった画像を検証することで、識別率の向上と頑健性の高い識別器の構築が可能である。また、これらの技術を用いた行政用、民生用アプリケーションについても、プロトタイプ之作製が完了しており、70個以上の識別器を搭載した病害虫診断アプリの開発という目標の達成は可能である。

＜課題②：AIを活用した土壌病害診断技術の開発（平成29～令和3年度）＞

最終到達目標として、「5種類以上の主要な土壌病害を対象に、AIを活用した土壌病害診断技術の開発、及び、診断結果・対策情報等を提供するシステムの構築」を目指しており、以下の具体的成果が得られている。

現在までに、対象としている5種類の土壌病害それぞれについて、圃場の発病ポテンシャルを予測する予測器が圃場条件ごとに複数ずつ開発されるとともに、それらのアルゴリズムの調整等により、各予測器の精度の向上が図られた。さらに、診断対象圃場の条件に応じて、開発された複数の予測器の中から最適な発病ポテンシャルの予測器を選択するモデル（判別器）が開発された。土壌病害ごとに判別器と複数の予測器からなるAIが構築されたことにより、任意の圃場における土壌病害の発病ポテンシャル評価が可能となった。また、AIを生産者に利用してもらうために、現地生産者や指導者などからのヒアリングに基づき、対象病害ごとに発病ポテンシャル診断に要する情報を簡便な操作で伝えられる視認性を備えたAIアプリが開発された。今後は、現地圃場でのAIアプリを用いた土壌病害管理の有効性の検証や、モニターによる操作性、視認性の評価を踏まえたAIアプリの改良、さらにはAIアプリを用いた土壌病害診断・対策支援システムに最適なビジネスモデルを構築する計画である。

こうした現状から、引き続き研究開発を推進すれば、十分に最終到達目標を達成できると考えられる。

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

＜課題①：AIを活用した病害虫診断技術の開発（平成29～令和3年度）＞

新規就農者や病害虫診断の非習熟者を対象として、スマートフォン等で簡便に活用できるAIを用いた病害虫診断アプリや、地域の植物防疫担当者が病害虫発生状況等を把握できる行政用システムを開発し、実用化する予定である。これらの技術の基盤機能は無償で使えるツールとして提供される。開発したAIは他の作物の病害虫診断への応用も可能である。さらに、診断に基づいた病害虫対策メニュー（登録農薬等）をアプリ上に表示し、その利用を促すビジネスモデルを検討している。結果として、AIを活用した病害虫管理技術の普及が進み、農薬散布等にかかるコストの削減につながると考えられる。

＜課題②：AIを活用した土壌病害診断技術の開発（平成29～令和3年度）＞

土壌病害管理における土壌消毒に係る費用や労力の削減および薬剤の使用低減に伴う農地の持続的利用による生産性維持向上、経営の安定化を図るために、これまでにヘソディム（※6）と呼ばれる病害管理法の実践によって土壌消毒に係るコストが削減できることが明らかになっている。しかし既存のヘソディムマニュアルは指導者向けに作成されており、対象地域も限定されている。

そこで本研究では、対象地域を広げるとともに生産者自身がヘソディムを実践できるようにAIアプリ

を開発しているが、現在までに既存のマニュアルによる管理法と同程度の有効性を示すAIアプリが予定通り開発されている。AIアプリを活用することで、これまでマニュアルが整備されていない地域においても生産者自身によりヘソディムの実践ができるようになることから、従来よりも広域における土壌消毒に係るコストの削減および生産性の維持向上が期待できる。

また、本提供システムはB（システムのライセンサー） to B（ライセンサー） to C（生産者等）型のビジネスモデルによって運用することを想定しているが、啓蒙活動によってライセンサーとなる候補企業等を増やすとともに、ライセンサー候補企業等からの意見聴取を行い、開発されるAIアプリを使った事業化に望ましいビジネスモデルの選定を進めることにより、現在3社がAIアプリを将来のビジネスとして取り組むことを検討しているなど、研究課題終了後の社会実装に向けた取組みが進んでいる。

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

＜課題①：AIを活用した病虫害診断技術の開発（平成29～令和3年度）＞

1）研究成果の普及・実用化のために、研究コンソーシアムに民間企業を加え、商品化を見据えた技術開発を実施した。このことにより、研究成果をスマートフォンで誰でも利用できるアプリ等として実装可能である。

2）研究コンソーシアムに24府県の地方公設試験場を加え、農業現場で特に問題となっているニーズの高い病虫害種を対象に選定した。これらの公設試験場は研究成果の普及も担っているため、スムーズな社会実装を見込むことができる。

3）本課題で得られたビッグデータの一部はデータマネジメント戦略に則って社会に還元する予定であり、公開を前提としたデータベースの基盤を構築した。

4）開発中の技術に関して、展示会や一般市民、農業者向けの講演会、行政機関での講義等で広く情報提供を行っている。

＜課題②：AIを活用した土壌病害診断技術の開発（平成29～令和3年度）＞

1）AI開発担当機関がデータ収集担当者らと各収集データの内容についての検討を綿密に積み重ねることでデータのクレンジング（※7）を行い、AIの性能向上を図るとともに、生産者ニーズを踏まえたAIアプリを開発した。

2）AIアプリを用いた土壌病害管理の実証を行ってもらい生産者や企業等をこれまでに4件選定し、うち1件については令和2年度から現地圃場での実証を行うことで、従来のマニュアルによる管理法と同程度の有効性があることを確認した。

3）計44回の現地の営農指導者、生産者や企業関係者からのヒアリングや意見交換を通じ、ユーザー目線に立った診断・対策支援サービスの内容・料金等についての検討を行い、事業終了後のAIアプリ販売のための3つのビジネスモデルを選定した。

4）生産者、指導者、企業等を対象に、AIを活用した土壌病害管理の意義や生産者ニーズ等について理解を深めるための勉強会や講演、宣伝活動を計13回行い、受託する関連企業の参加を促進した。

これらの取組は、本課題の成果を広く社会に浸透させ、早期実装を可能にする上で必要不可欠であり、いずれも妥当である。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

得られたデータの一部はデータベース化し、農業データ連携基盤等を通して将来的な農業技術開発に役立てられるように整備している。また、人工知能による病虫害診断のアルゴリズムについても公開するため、他の作物における病虫害診断技術の開発等に活用することができる。

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 課題①・課題②ともに、年2回以上の研究推進会議等を実施して各課題の進捗状況を確認し、次年度の研究計画の点検を行った。課題①ではAI学習用の画像収集を効率的に行うためにデータ登録システムの改良を行う等の研究計画の見直しを実施した。課題②では研究進捗状況をふまえて現地実証試験計画を改廃し、実証試験地の変更やそのための研究資源の重点化を実施した。 このように、研究計画は各研究課題の進捗状況に応じて毎年改正されており、妥当である。 ②研究推進体制の妥当性 課題①・課題②は、行政部局と外部専門家を含む「プロジェクト研究運営委員会（運営委員会）」を合同で設置し、行政ニーズと研究側のシーズの両面から、研究実施計画、投入される研究資源、研究推進体制、課題構成等について検証しつつ、研究の進行管理を行った。また、運営委員会において各実施課題の研究の進捗状況等を精査し、一部の実施課題を前倒しで終了して研究資源の重点化を図る等、研究計画の効率的な達成に努めた。こうした進行管理により、研究計画は当初の予定どおり進捗した。さらに、研究コンソーシアム主催の計画検討会、中間検討会、成績検討会や現地視察、小課題単位の検討会を開催し、課題の進行上で生じる問題を洗い出しながら、柔軟に研究を推進した。研究実施期間を通じて、推進リーダーが各チームリーダーと共にマネージメントを進め、各個別研究課題の遂行に支障が生じた際には、個別的な研究指導、あるいはチーム単位の研修会等を実施して問題解決に努めた。 以上のように、本課題の研究推進体制は効率的かつ効果的に成果を得られるように調整されており、最終研究目標の達成を目指す今後の研究を展開する上で妥当性が高い構成である。 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 課題①・課題②ともに、毎年漸減する予算を有効活用するため、課題間の分担の見直しや資源の共有等を行った。課題①では画像情報のデータベース化とAIの開発でリソースを共有し、サーバを集約した。課題②では土壌サンプル分析を外部委託してコストを削減し、その分の予算をAIおよびアプリ開発に充当するとともに、AIアプリによる病害管理の有効性の現地実証の加速化のために民間企業に新たに課題参画してもらい、成果の社会実装に向けた取組みの強化も図った。 このように重点化すべき研究課題を精査し、各実施課題に必要な予算を再計算して分配しており、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 ・人工知能を活用した病虫害や土壌病害の診断技術の開発は、農業現場の課題を解決する上で重要性が非常に高まっている。加えて、こうした技術開発は農業就労人口の減少に対する対策としても重要であり、研究の意義は非常に大きい。 ・研究は順調に進んでおり、目標の達成は十分可能と判断する。 ・実用化に向けて極めて具体的な道筋がしっかりと検討されており、実現可能性が非常に高い出口となっている点は高く評価できる。 2. 今後検討を要する事項に関する所見 ・技術の公開、非公開の整理が、十分にされていないのではとの懸念がある。慎重にしっかりと検討する必要があるのではないかと。 ・データの流通やアプリケーションのオープン・クローズポリシー、関連するガイドラインを最終年度にしっかりと設定して、普及に向けた基盤を作っていただきたい。	

[事業名] 人工知能未来農業創造プロジェクトのうち
A I を活用した病害虫早期診断技術の開発

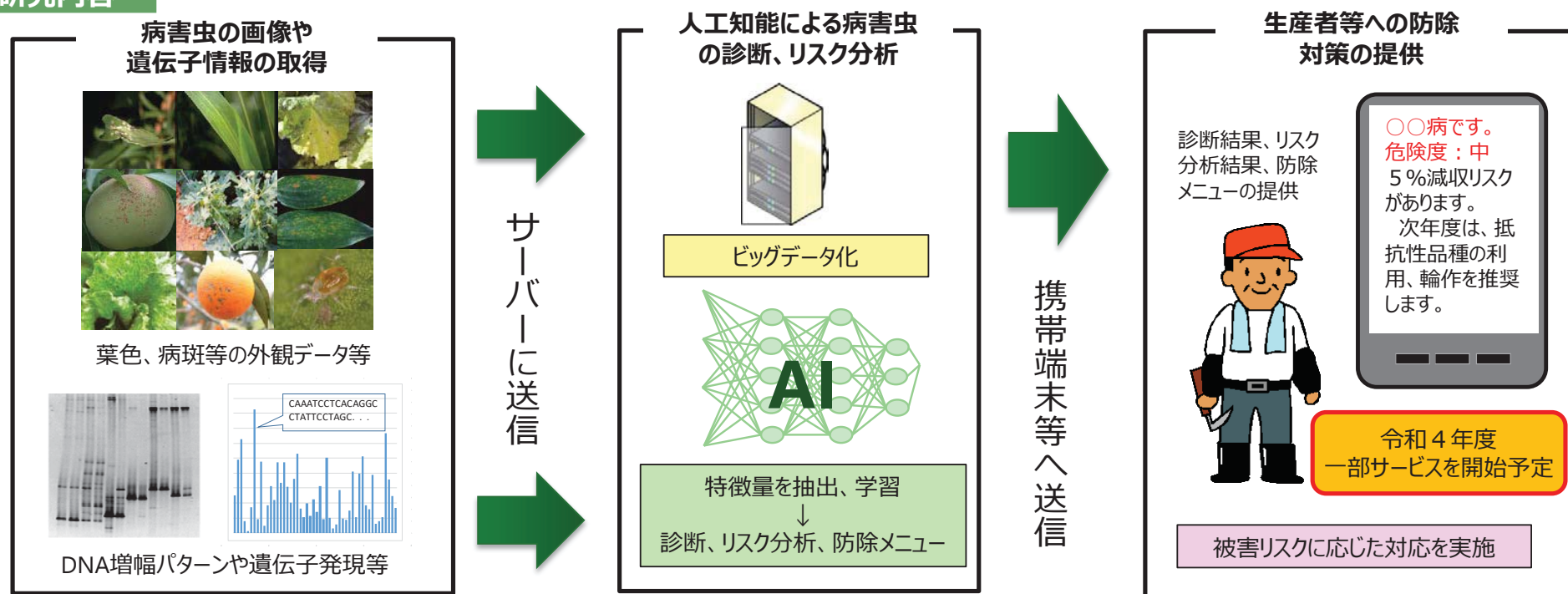
用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
AI	人工知能。Artificial Intelligence の略。	1
ICT	情報通信技術。Information and Communication Technology の略。	2
スマート農業	ロボット技術やICT(Information and Communication Technology:情報や通信に関連する科学技術)を活用して、農作業の超省力（手間や労働力を省く）化や高品質の農産物生産を実現する新たな農業。	3
IoT	モノのインターネット。Internet of Things の略。コンピュータなどの通信機器だけでなく、様々なモノに通信機能を持たせ、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。	4
深層学習	人工知能の一種。データを学習し、自動的に識別や、分類を行うようになる。汎用性、識別性能が高いが、大量のデータが必要となる。	5
ヘソディム	栽培前に圃場の発病ポテンシャルを予め診断・評価し、評価結果に応じて対策を講じる土壌病害管理法。健康診断の発想に基づく土壌病害管理（HeSoDiM: Health checkup based Soil-borne Disease Management）。	6
クレンジング	機械学習の性能を下げってしまうような異常値や外れ値などのデータを取り除くこと。	7

① AIを活用した病害虫早期診断技術の開発 【継続】

背景と目的

- 病害虫による減収リスクを回避するため、発生予察、農薬散布等により農業生産の安定を確保。
- 病害虫の発生や遺伝子情報等から、AIを活用して早期診断、リスク分析を行い、生産者に適切な防除対策情報を提供することで被害を最小化。さらに、農薬使用量を低減し、低コスト化、軽労化に貢献。

研究内容



到達目標

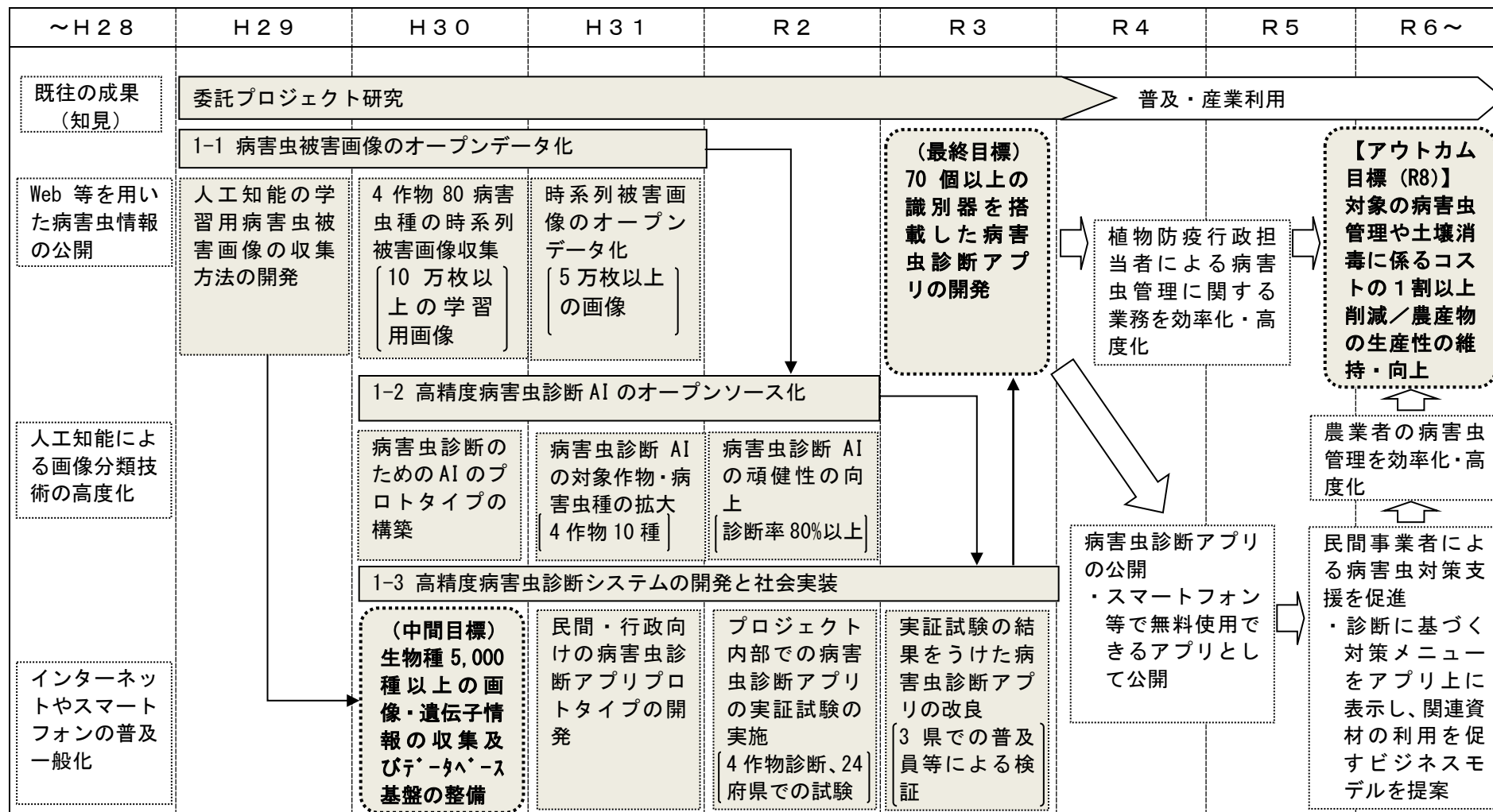
病害虫の管理コストの1割削減に資するシステムの構築

期待される効果

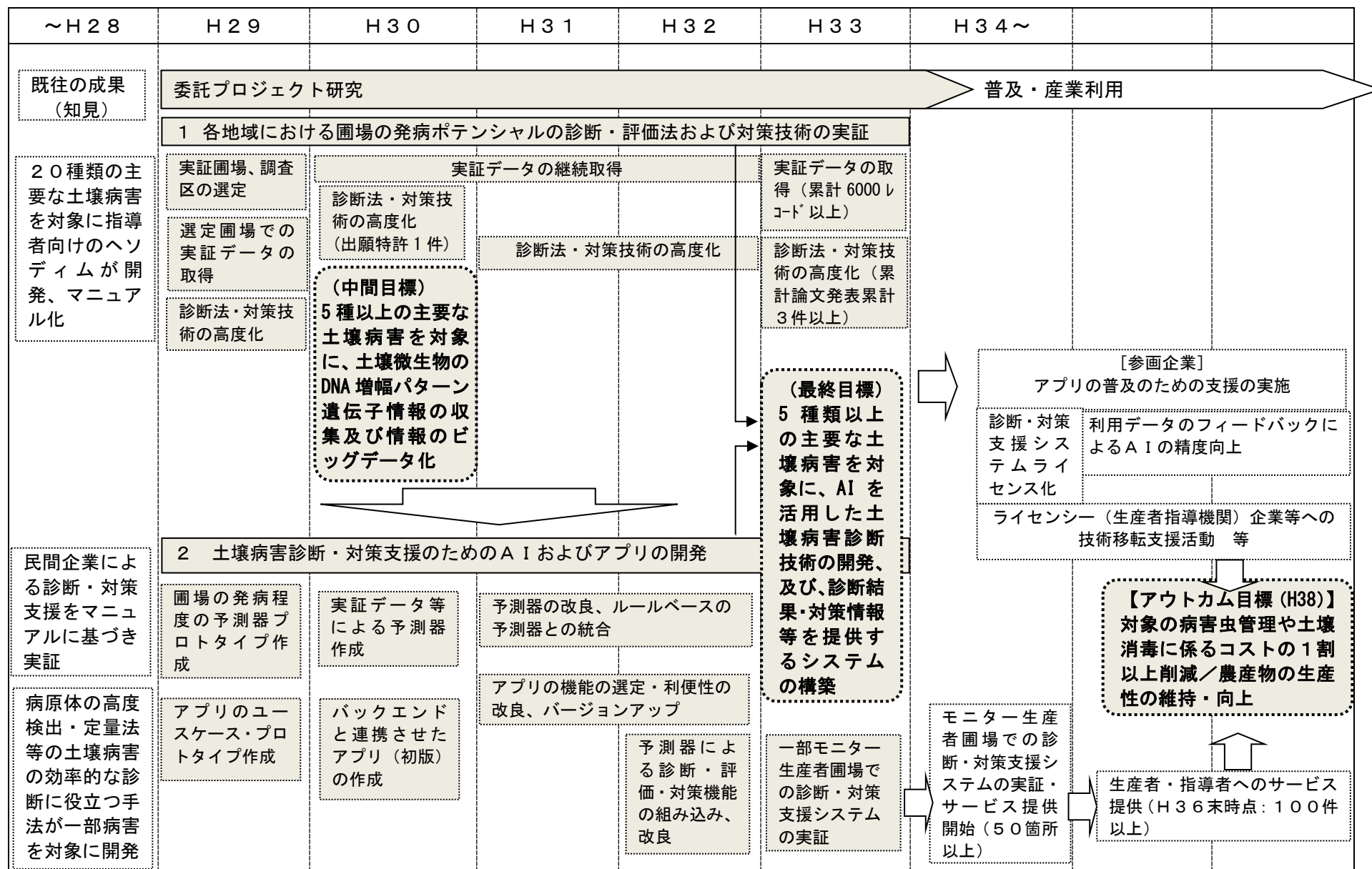
被害リスクをAI診断し、発生状況に応じた適時防除に転換

【ロードマップ（終了時評価段階）】

＜課題①：AI を活用した病虫害診断技術の開発＞



<課題②：AI を活用した土壌病害診断技術の開発>

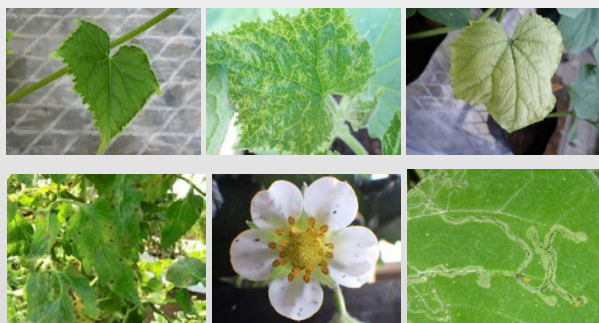


【人工知能未来農業創造プロジェクト】AIを活用した病害虫早期診断技術の開発

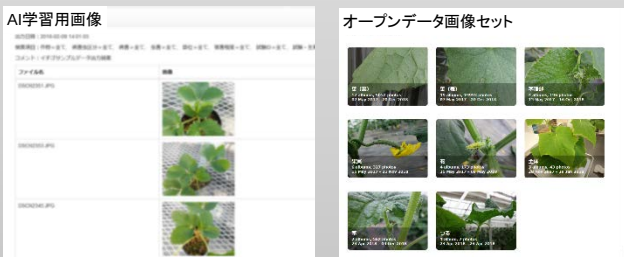
<課題①: AIを活用した病害虫診断技術の開発> これまでの主な成果

(研究概要) 新規農業者等の病害虫管理を支援するために、スマホ等で撮影した被害写真から病害虫種を自動診断するアプリを開発した

病害虫被害画像のオープンデータ化



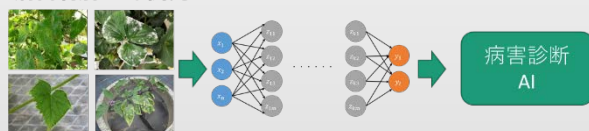
トマト、イチゴ、キュウリ、ナスを対象に約80種の
病虫画像を50万枚以上収集



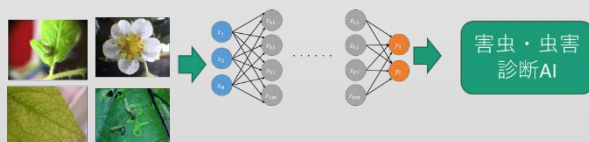
収集した画像のうち、約20万枚をAI学習用画像として
データベースに登録し、オープンデータとして公開
主要病害虫を含む5047種の生物の画像や遺伝子情報
等を収集し、カタログデータベースの基盤を整備

高精度病害虫診断AI のオープンソース化

病害判別AIの開発



害虫・虫害判別AIの開発



病害と害虫・虫害について、それぞれ80%以上の識別
精度をもつ人工知能を開発、現地実証にて精度を検証



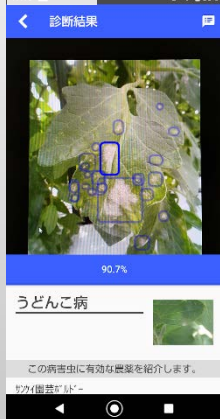
被害画像(左)から葉の領域をAIにより抽出(中央)、診断することで、識別精度の向上をはかる。
また、診断時に注目した箇所を可視化し(右)、AIの頑健性を評価する

収集した画像データを活用するとともに、新規の識別
手法を開発し、より高精度かつ頑健性の高い人工知能
へと改良

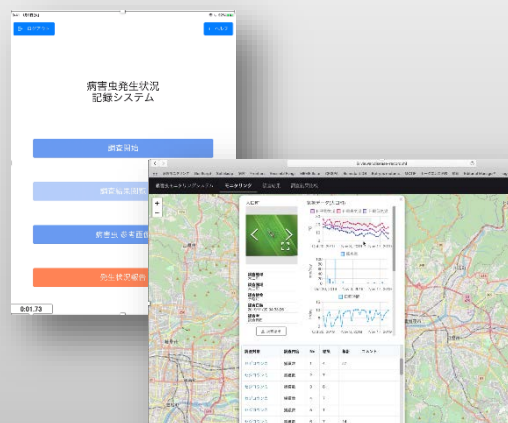
行政・民間向けアプリの開発

アプリはiOS(上)と
Android(下)で動作する

識別結果例



ユーザーが簡便に、信頼して利用できるスマホアプリを開
発、現地試験による精度検証を実施



多様な植物防疫に係わる情報を収集・管理す
るアプリケーションを開発

(今後の方針) 収集した画像データを用いて、AIの学習・高度化を進めるとともに、現地実証を進めることで現
場での精度80%を実現し、ユーザーが使いやすいアプリとして実装する

【人工知能未来農業創造プロジェクト】AIを活用した病害虫早期診断技術の開発

<課題②: AIを活用した土壌病害診断技術の開発> これまでの主な成果

研究概要

AIを活用して、土壌診断や圃場の履歴等の情報に基づき、土壌病害の発病ポテンシャルを栽培前に診断する技術を開発するとともに、発病ポテンシャルに応じて適切な対策を講じるための支援システムを構築する。

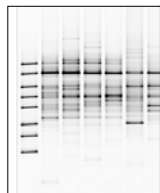
主要成果

土壌病害の発病ポテンシャルを診断するAIおよびAIアプリを開発

全国の約5,200の農耕地土壌サンプルのデータ（理化学性、病害発生程度、耕種概要、肥料・農薬履歴、土壌DNAに基づく生物性情報等）を収集・整理



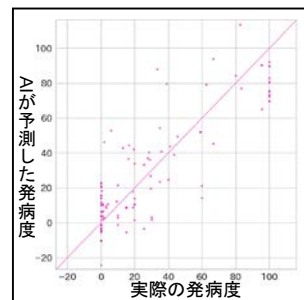
土壌DNAに基づく生物性情報



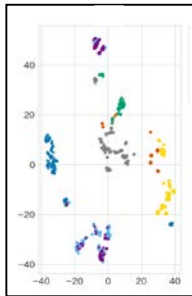
機械学習

病害毎に圃場の発病ポテンシャルを予測する予測器と、圃場に適した予測器を選択できる判別器を開発

作成された予測器の性能の評価例



判別器で類別されるキャベツ圃場の分布



検証

AIによる診断をアプリ化

ニーズ把握



土壌病害診断・対策支援サービス事業化の成功に向け、多くの生産者・指導者からのニーズ等のヒヤリングを実施

試用

圃場登録



発病ポテンシャル診断結果



診断結果に応じた対策技術



生産者等のニーズを踏まえて設計された土壌病害診断・対策支援のためのAI搭載アプリを開発

今後の方針

- ・圃場での実証等によりAIアプリをバージョンアップ。
- ・ユーザーニーズに対応した利用者が使いやすい商用版AIアプリを完成。

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プロジェクトのうちAIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発			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 生産局園芸作物課 生産局技術普及課
研究期間	H 2 9 ～ R 3 （ 5 年間）			総事業費（億円）	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

我が国の農業現場における農業従事者の高齢化や減少の進行に伴う人手不足や生産性向上の伸び悩み等の課題を解決し、農業の競争力強化、農業の成長産業化を推進するため、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、農畜産物の生産性の飛躍的な向上及び高付加価値化を図るために、「スマート農業（※３）の実現に向けた研究会」において示された「AI、IoT（※４）によるスマート農業の加速化」等に即した研究開発を実施する。

大規模施設園芸の経営を効率化するためには、人的資源を最大限に活用可能な労務管理を行うことが不可欠であることから、本プロジェクトでは、AIを活用した栽培・労務管理システムを開発することにより、経営の効率化に寄与する。

施設園芸において、植物の生育状態から栽培管理作業量を予測する技術等を利用することで、生育制御や、作業者の最適配置等により労働時間の平準化と短縮を可能とする効率的な農場管理技術を開発する。また、施設園芸におけるオープンイノベーションを支援し、AIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発を加速化するため、AIの学習に利用できる栽培管理及び労務管理のオープンデータセットを構築するとともに、栽培の最適化のほか、労働時間の平準化や短縮に資するAIを活用した個別技術を開発する。なお、本研究課題では、個別農場管理技術を活用できるオープンプラットフォーム（※５）として、農業データ連携基盤（※６）を想定している。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ・栽培・労務管理に関連するデータを５年以上整備した上で、データを公開して新たな技術やサービス開発に利用できるようにする。
- ・栽培・労務管理最適化により雇用労働費１割以上削減を可能にするAI技術を３種以上開発する。また、それら技術は、農業データ連携基盤上で活用できるようにする。

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（R 8 年）

栽培・労務管理に関連するデータを５年以上整備し、オープンデータとして利用できるようにすることによってシステムベンダー（※７）等がAIソフトウェアを開発することが可能となる。大規模（１ha以上）経営体に、本事業で開発されるAI技術またはそれを元にした労務管理ソフトウェア等の栽培・労務管理最適化技術が導入され、単位生産量あたりの雇用労働費の１割以上が削減される。なお、開発技術が園芸施設約1,000haに普及することにより、経済効果として、これまで適切な人員配置ができずに生じていた収穫ロス削減等による収量向上効果、および最適配置による雇用労働費削減効果を合わせた収益向上効果として年間44億円を見込む。

（組織経営における雇用労働費を3,000万円、haあたりの収量を300t/ha、収穫ロス削減等により５％の収量向上とした際、収穫ロス減等による収量増：300t/ha×1.05=315t/ha、最適配置による10%の労働費削減：3,000万円×0.9=2,700万円、

最適配置の場合の1tあたりの労働費：2,700万円/315t=8.6万円/t、

最適配置ではない場合の1tあたりの労働費：3,000万円/300t=10万円/t、

最適配置をすることによる労働費削減（増益） 10-8.6=1.4万円/t、

315t/haの収量とすると、315t/ha×1.4万円/t=441万円/haの増益、複合環境制御を備えた園芸施設1,000haに普及すると、441万円/ha×1,000ha=44億円）

【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**

農業従事者の減少・高齢化の進行とともに、経営規模の拡大により重要な生産管理を行うことが難しくなっている。施設園芸の経営を効率化するためには、人的資材を最大限に活用可能な労務管理を行うことが不可欠である。特に、大規模経営では雇用労働力に依存しているが、作物の生育状況に応じた必要労務量の予測が不十分なため、効率的な労務管理が困難となることも多く、大規模化による生産性向上が阻害されている場合もみられる。

このため本課題では、経営の効率を飛躍的に向上させるため、AIやICTを活用して栽培管理と労務管理を行い農場全体の適切な管理を支援する技術を開発するものであり、農業者等のニーズを的確に反映し、かつ、革新性、先導性、実用性の高い課題である。

また、研究開始時以来、データ利用に関する環境整備は喫緊の課題となっており、「2025年までに農業の担い手のほぼすべてがデータを活用した農業を実践」との政府目標が未来投資戦略（2018）で示されている。これに対して農業データ連携基盤（WAGRI）の利用が期待されており、水稻作などの土地利用型農業においては、データの利用環境が整備され、生育予測システム、圃場管理システムなどの機能が利用されつつあるが、施設園芸に対して利用可能な情報や機能は依然として少ない。そのため、施設園芸で活用するデータ利用環境の整備は国が率先して取り組むべき重要な課題であり、本プロジェクトがその基盤構築を担うとの認識でオープンプラットフォームの構築により力を入れて進めてきている。

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****① 最終の到達目標に対する達成度**

1) 栽培・労務管理に関連するデータを5年以上整備した上で、データを公開して新たな技術やサービス開発に利用できるようにする、との目標に対しては、3カ所の大規模生産法人において植物の生育と栽培環境、作業に関する週次の情報をこれまでに4年間蓄積しており、目標達成に向けて順調に進捗している。また、AIの開発等に利用しやすい形式とするためのデータ標準フォーマットを策定し、蓄積データを農業データ連携基盤（WAGRI）で公開する準備を進めた。

データの収集・蓄積技術においては、効率的農場管理に必要な栽培・労務管理技術に不可欠な植物生育計測について、これまで生産現場で光合成測定をする場合、植物の葉の限られた範囲の光合成量しか計測できなかったが、リアルタイムで植物個体全体の光合成を測定できる光合成計測チャンバ（※8）を開発し、市販化している。また、広範囲の植物の光合成活性の程度を診断できるクロロフィル蛍光画像計測装置（※9）については、本プロジェクトにて日単位の生育を把握できる茎伸長計測機能を追加するとともに、普及性を考慮し完全自動計測が可能となつり下げ型画像計測ロボットを開発し、市販化に向けた改良を進めている。作業量計測については、RFID（※10）等を利用して作業データを半自動で収集するための基本システムを開発し、さらに環境・生育データと統合可能なシステムを開発した。また、作業量・作業時間を見える化するためのユーザーインターフェース（※11）を開発するとともに、植物の生体情報と作業者の労務実態に基づく最適配置ツールを開発した。本技術により、作業者の能力を踏まえて作業者の最適配置をした結果、対前年同期比で全作業時間約4.2%削減を実証した。

蓄積するデータについては、AI開発の教師データとして各種データを統一的に扱えるようにするために、標準データ項目を制定し、その利用のためのガイドラインを策定し、また欠落したデータを自動で補完するデータクレンジングプログラムを開発し、施設園芸におけるデータ収集環境を整えた。さらに、蓄積したデータや開発したAI技術を開発するための、WAGRIに連携可能な施設園芸オープンプラットフォームを構築し、データ公開のための準備を進めた。

2) 栽培・労務管理最適化により雇用労働費1割以上削減を可能にするAI技術を3種以上開発し、それら技術は、農業データ連携基盤上で活用できるようにする、との目標に対しては、トマト着果モニタリングシステム、病害予測システム、の2つのAI技術を開発した。現在、作業量を予測する作業管理AI技術、非破壊かつ高速に葉面積を計測するAIを用いた葉面積センシング技術を開発しており、これらのAI技術についてもWAGRI上で利用可能となるように、施設園芸オープンプラットフォームの構築を進めており、目標達成に向けて順調に進捗している。開発した技術については、着花・着果（※12）の状況を自動でモニタリングするシステムの開発のために深層学習（※13）を利用した果実検出モデルを開発した。果実の検出精度は約94%まで向上しており、実用化に十分な精度を達成している。また、病害発生に

より生じる薬剤散布等の管理作業を予測可能にするため、特に施設でのトマト生産において影響の大きい灰色かび病（※14）の発生を予測するAI技術を、生産現場での実運用に対応できる精度（現在92%の正解率）に精緻化し、実証試験を行った。

以上、最終の目標に対して、開発技術の実証と公開に向けた環境整備を進めている段階であり、到達度は高く目標を達成できる見込みである。

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

AIの開発に利用可能な栽培・労務管理に関連するデータについては、これまでに3カ所の施設園芸生産現場において、地域の普及センター、JAの協力を得て、データの収集方法について検討を重ねながら4年分のデータを収集してきており、残りの1年間で5年分のデータを蓄積できる見込みである。蓄積したデータと開発したAI技術を用いて、前年1年間の収量、日射量等のデータから翌月の作業時間を予測可能であることを実証しており、データの信頼性も確保できている。さらに、今後の各現場におけるデータ収集の継続に向けては、植物の生体計測技術や作業量の計装技術等を開発し、取得されるデータについては、様々な生産現場で収集している各種データをまとめて一元管理し、利用者が共通の形式で引き出せるようにするための施設園芸用標準データ項目ガイドラインを策定し、各方面からの意見を収集している段階である。

AI技術についてはこれまでに2つのAI技術を開発しており、現在開発中の作業管理AI技術、葉面積センシング技術は、現在、予測精度向上に向けた改良を行い次年度公開可能となるように進めており、当初の目標を上回る4種の技術を開発できる見込みである。また、これらに対して、取得データとAI技術の利用を可能とするAPI（※15）、及び施設園芸オープンプラットフォームでの公開を準備しているところである。さらには、計測可能となった光合成量を用いて収量予測の精度を向上させるAIモデルの開発にも新たに着手している。以上のことから、最終到達目標は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

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

アウトカム目標である、雇用労働費の1割削減に対して、現在、削減効果を確認するため、開発要素技術を組み合わせたユースケースでの実証試験を進めている。具体的には、これまでの実証結果では、①作業者に得意な作業を割り当てる、作業最適配置ツールにより4.2%の削減を確認している。また、②トマトの3大作業「収穫」「葉かき」「つり下ろし」作業のうち、「つり下ろし」について生体生育情報による予測に基づいて作業を実施することにより、4.3%の削減を確認している。②の生体生育情報に基づく作業の実施について、他の「収穫」「葉かき」に対しても、今後、生体生育情報による予測に応じて作業を行うことで、「つり下ろし」と合わせても、少なくとも6%以上の削減が可能と予測している。これに加え、①作業最適配置ツールによる削減と合わせて1割以上の削減がみこまれ、次年度実証する予定であることから、アウトカム目標達成の可能性は高い。

各要素技術について、担い手農業者が広く活用する技術とするためには、誰でも利用しやすい、運用の労力が少ない、費用対効果が明確である、等のメリットが求められており、研究開始当初より、これらの要素を満たすサービス提供を想定して開発を行っている。近年ではスマート農業技術のリース方式での利用が増加しているが、植物生育計測については平成30年度より、本課題の成果である光合成計測チャンバーのリース方式での普及を進めており、これまでに35台以上の導入実績がある。つり下げ型ロボットについても市販化に向けた改良を進めるとともに、製造者責任を担えるパートナー企業とマッチング行っている。また、作業計測ツールについては作業管理者等にヒアリングを重ね、使いやすく、普及性の高いシステムに改良を進めており、普及に向けて利用者のメリットを追及した取り組みを進めている。

コンソーシアムには次世代施設園芸拠点や大規模生産者が参画して研究開発を進めており、商業的生産現場での実運用の観点を含めた実証と実際の労務・栽培管理者及び現場作業者のユーザビリティの観点でのフィードバックを随時得られる体制で進めている。

以上のことから、個別技術の普及を見据えた技術開発と、それらのユースケース実証による生産者へのメリットの提示を通じて、アウトカム目標の達成が可能と考えている。

なお、雇用労働費の1割削減については、精度の良い生育予測技術等により、最適配置による単位生産量あたりの労働時間を削減、収穫ロスの削減等による収量の向上、削減した労力を他の作業に振り向

けることが可能になること、労働ピークを平準化して通年で安定した雇用環境とすることなどにより、収益の向上を図るものである。

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に向け、各種展示会、シンポジウム（日本農業情報システム協会(JAISA)「スマートアグリシンポジウム2018」、AG/SUM 2018、農業環境工学関連5学会2018年合同大会シンポジウム、国際農業資材EXPO 農業ワールド、日本学術会議公開シンポジウムイノベーション創出研究強化事業セミナー、植物工場先端技術セミナー、日本生物環境工学会第30回シンポジウム等）においてプロジェクト概要を紹介し、研究成果を周知している。

なお、これまでに30社程度の大規模法人から参画機関へ問い合わせがあり早期の実用化・導入要望が寄せられている。特に収量予測技術やデータセットの利用については、民間企業より数十件の問い合わせがあり、AI技術開発への関心の高さが窺え、データ公開後の施設園芸オープンプラットフォームの利用や機能の拡充が見込まれることから、技術開発後にアウトカム目標が達成できる可能性が高い。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

生体情報計測技術については、育種分野におけるフェノタイピング技術（※16）として注目されており、民間・公的機関を問わず、高精度植物生体情報計測技術としての活用が期待される。また、労務管理技術及びAI技術は、トマト以外の野菜や果樹、花きを対象とした、施設園芸生産現場で省力化作業管理のために利用できる。特に開発する生育モデルや生育予測技術は、現在実施のAI流通プロにおける、需給支援システムに適用可能であり、流通分野を含めたコスト低減やフードロス削減に貢献可能である。

開発技術の他の研究等への利用については、光合成チャンバーについては、これまでに愛知県「知の拠点あいち重点研究プロジェクト」ではキュウリ栽培で、NEDO「人工知能技術適用によるスマート社会の実現」では人工光植物工場での葉菜類のモニタリングで、スマート農業実証プロジェクト（2課題）ではキュウリやスプレーギクで実証データの収集に利用されている。さらに、海外への展開を目指して、オランダでの実証データの収集も実施しており、国際的な技術開発、技術協力に大きく貢献している。

取得データの標準化においては、スマート農業実証プロジェクトにおいて、WAGRIで利用できるデータセットとしてデータ収集が開始されており、今後のデータ収集の基盤構築に貢献している。

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

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。これらの会議体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、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。

②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から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。

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

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、WAGRIへの接続対応及び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。

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

- ・農業分野でのA I、I C T活用は、世界的に投資が加速している分野であり、日本の農業への投資の呼び水の観点でも非常に意義がある研究課題である。
- ・労務管理の観点で、法人化した農業経営での活用など、技術特性とユーザーが非常にマッチしている点が評価できる。特に、A Iの活用に向けて、A P Iの準備など実用化に向けしっかりと取組まれている点を高く評価する。
- ・研究目標に対して、データ連携基盤の利用、ロボット開発、計測技術、システムの構築など、非常に優れた成果が順調に出されていることから、最終目標の達成は十分可能と判断する。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・オープン・クローズポリシー、ガイドラインについて、最終年度にしっかりと設定していただきたい。
- ・労務管理に関して、様々なデータが蓄積されていることから、他分野での十分な波及効果が期待できる。他分野への活用については是非検討していただきたい。
- ・普及、実用化に向けたロードマップも十分検討されている。産業利用の段階であっても、様々な状況の変化に対応して、修正、方針転換ができるようなフィードバックの仕組みをしっかりと構築していただきたい。
- ・A Iの技術が活用されるためには継続的な保守とアップデートが不可欠である。例えばW A G R Iの協議会や、D S A（データ社会推進協議会）といった組織との連携を強める取組を進めた上で、今後につなげていく基盤を最終年度でしっかりと構築していただきたい。

[研究課題名] 人工知能未来農業創造プロジェクトのうち
A I を活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発

用 語	用 語 の 意 味	※ 番号
AI	人工知能。Artificial Intelligence の略。	1
ICT	情報通信技術。Information and Communication Technology の略。	2
スマート農業	ロボット技術やICT(Information and Communication Technology:情報や通信に関連する科学技術)を活用して、農作業の超省力（手間や労働力を省く）化や高品質の農産物生産を実現する新たな農業。	3
IoT	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。	4
オープンプラットフォーム	ハードウェアやソフトウェアなどにおいて、技術仕様やプログラムのソースコードなどを公開したプラットフォームのこと。このような形式での技術開発を行うことで、後発者も関連技術の開発に参画することができるだけでなく、参画者間で分業しながら開発・協業が行え、新たな技術開発や製品の普及促進が期待される。他方、ユーザー視点からも、技術導入の際に特定の開発会社（メーカー）に縛られることなく、様々な製品を組み合わせるシステムを構築できる利点がある。	5
農業データ連携基盤	農業ICTの抱える課題を解決し、農業の担い手がデータを使って生産性向上や経営改善に挑戦できる環境を生み出すために農林水産省が開発を推進するデータ連携・共有・提供機能を有するデータプラットフォーム（略称：WAGRI）	6
システムベンダー	ソフトウェア製品のメーカー、または販売会社。基本的には、ユーザーへ製品を提供している会社を指し、開発のみに携わる会社はベンダーとはいわない。	7
光合成計測チャンバ	本委託プロジェクトで開発された作物個体を対象として開放型同化箱法により光合成速度と蒸散速度を5分間隔で計測する装置のこと。具体的には、トマト2個体を透明な被覆材に内包（この構造をチャンバと呼ぶ。チャンバ底部は温室内空気に対して開いている）し、チャンバ上部のファンを用いて一定速度でチャンバ内空気を排気する。このとき、排気される空気とチャンバ底部からチャンバ内に流入する空気のCO ₂ （H ₂ O）濃度の差を計測し、これに排気速度を乗じることで光合成速度と蒸散速度を算出する。	8
クロロフィル蛍光画像計測装置	植物が葉緑素（クロロフィル）で光を吸収し光合成を行う際、使えなかった光の一部を赤い光（クロロフィル蛍光）に変換して発光する。光合成反応の状態によってクロロフィル蛍光の強さが変化することを利用し、光合成活性の程度を測定することができる。本装置はこの原理を利用して植物の生育状態の診断を行うもので、光源・カメラ・制御装置を有し、青色LEDを照射した際のクロロフィル蛍光画像を取得する。	9
RFID	電波を用いて非接触でデータ読み書きする技術で、身近な事例では交通系ICカード等に使用されている技術。ここではICカードとスマートフォンを用いて、実施する作業内容、作業時間を手軽に記録するために使用する。	10
ユーザーインターフェース	機械やコンピュータと使用者との間で情報をやり取りする機器や、アプリケーションの表示画面、デザイン。レイアウト等、情報のやり取りをスムーズにして快適に使用できるようにするもの。	11
着花・着果	着花は野菜などの花が株上で形成されている状態のこと。同様に着果は果実が形成されている状態。トマトの場合は、花と果実が複数混在した生育状態で長期間、選択的に収穫することから花数、果実数の計測が収量の予測に有効である。	12
深層学習	ディープラーニングの直訳であり、人工知能のうちの1つの技術である。大量のデータから規則性や関連性を見つけ出し、判断や予測を行う手法である。予め複数画像で対象物を人間が指示し、コンピュータに学習（解析）させると、別の画像で自動的にその対象物を検出することが可能になる。	13

トマト灰色かび病	トマトの茎葉や果実に灰色のカビが発生する植物の病気。ハウス内が発生しやすい環境になると大量の胞子がハウス内に飛散、まん延し、広がる。果実に生じると出荷できなくなり、茎葉に生じると生育を悪化させ、株を衰弱、枯死させることもある。	14
API	Application Programing Interfaceの略。アプリケーションソフトやウェブアプリケーションが、自ら持つ機能の一部を外部のアプリケーションソフトやウェブサービスから簡単に接続し、利用できるようにするインターフェース。ここでのインターフェースとは、機能の呼び出し手順や記述方法などを定めた仕様。農業データ連携基盤に準拠したAPIを公開することで開発者以外がAPIを利用して新しいアプリケーションを開発できる。開発コスト、時間を大幅に削減できるメリットがある。	15
フェノタイプ ング技術	遺伝子型（ジェノタイプ）が植物の形態、構造、生理的性質などの外部から計測可能な特徴として現れたものをフェノタイプ（表現型）と呼び、これらを計測することをフェノタイピングと呼ぶ。本委託プロジェクトでは、開発された各種計測装置を用いて計測される光合成（蒸散）速度や茎伸長速度等の動的な植物生体情報を新しいフェノタイプと定義（2018年12月19日に豊橋技術科学大学で開催された日本学術会議公開シンポジウム「先端的フェノタイピング技術の農作物生産への実装」において検討済）している。	16

② AIを活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発 【継続】

背景と目的

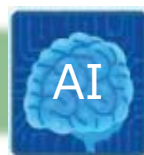
- 農家数が減少する中、大規模施設（1 ha以上）のシェアは増加傾向。大規模経営では雇用労働費の負担が大きい。
- 労働時間の平準化と短縮に向け、AIを活用し植物の生育状況から栽培管理作業量を予測する技術や、オープンイノベーションを支援し、**AI技術開発を加速化するためのオープンデータセットを構築**することにより、雇用労働力を活用した効率的な農場管理を実現。

研究内容

- ① 植物の生育状況と栽培管理作業量のビッグデータ構築
- ② 人工知能による栽培・労務管理状況の診断と対策支援

植物の生育データ・環境データ
栽培管理作業量データの収集

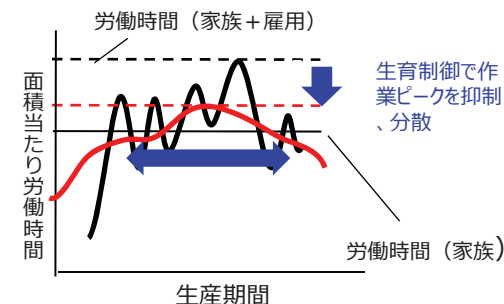
ビッグデータ化

AIによる栽培・労務管理支
援システム開発

農場管理者



作業計画と最適配置で雇用活用の効率化



到達目標

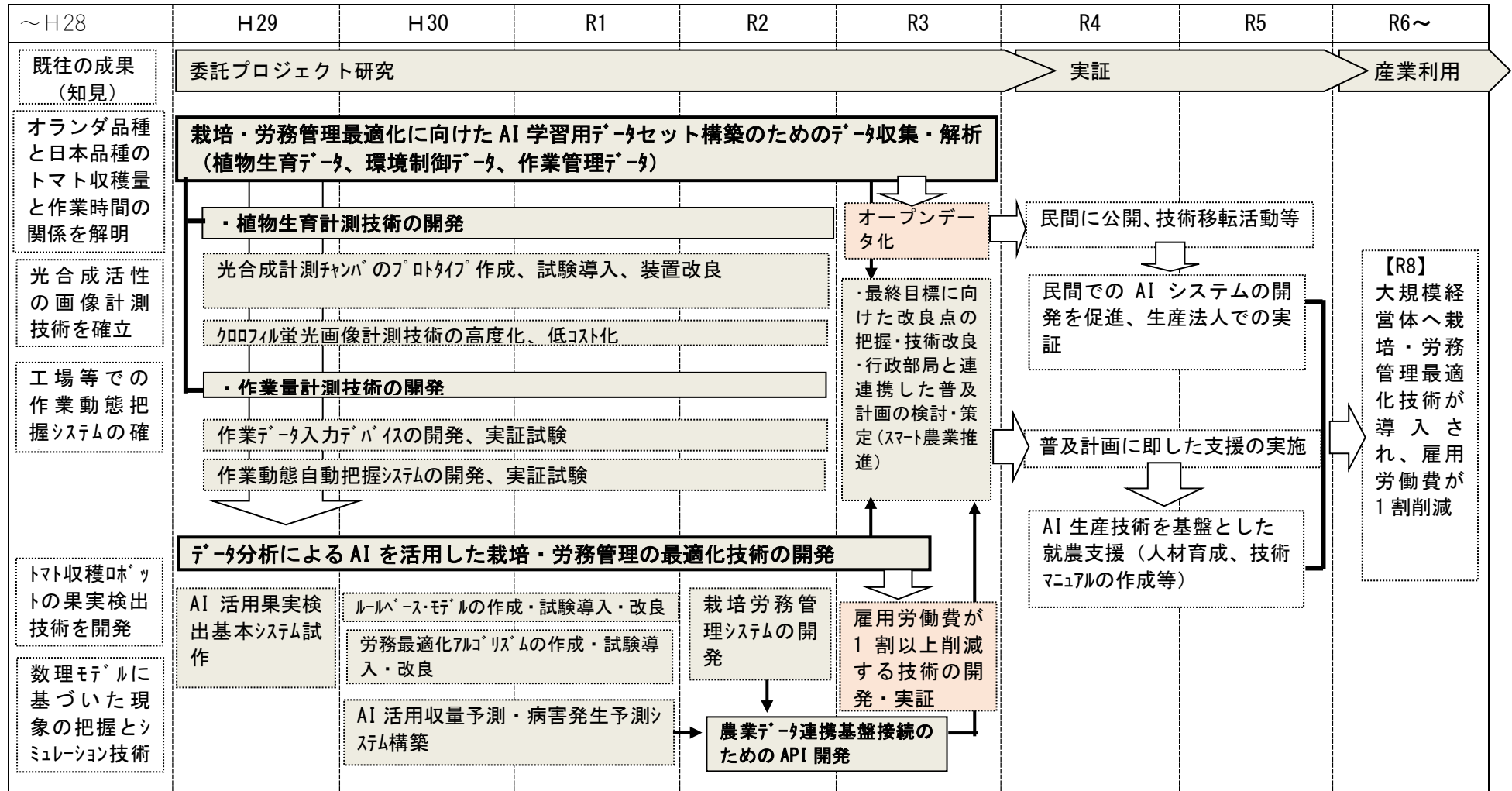
- ・ 労働時間の平準化や短縮に資する、AIを活用した各種計測・予測技術に基づく効率的な農場管理技術により雇用労働費を10%削減
- ・ AI技術開発を加速化するためのオープンデータセットの構築

期待される効果

- ・ 栽培・労務管理最適化技術が導入され大規模経営体において効率的な農場管理が実現される。
- ・ システムベンダー等による、栽培・労務管理支援AIソフトウェア開発が進む。

【ロードマップ（終了時評価段階）】

AI を活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発



- ・収集したデータをオープンデータとして利用できるようにすることでシステムベンダー等によるAIソフトウェア開発が可能となる。
- ・大規模経営体に栽培・労務管理最適化技術が導入され、雇用労働費の1割が削減される。