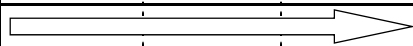


委託プロジェクト研究課題評価個票（中間評価）

研究課題名	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	H29～H33（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	関連する研究基本計画の重点目標	重点目標 32
					

研究課題の概要

<委託プロジェクト研究課題全体>

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）（※1）第5次評価報告書（平成26年11月公表）においては、気候システムの温暖化は疑う余地はないとされており、地球温暖化は世界中の自然と社会に深刻な影響を与え、我が国農林水産物の生産にも重大な影響を及ぼすことが懸念されている。

また、国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）（※2）で採択された「パリ協定」（※3）や「日本の約束草案」（※4）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月に「地球温暖化対策計画」（※5）が閣議決定された。計画では、温室効果ガス（GHG）（※6）の排出量を、2030年度に2013年度比で26%削減するとの中期目標とともに、長期的目標として2050年までに80%のGHGの排出削減を目指すこととしており、GHGの抜本的排出削減を可能とする革新的技術の開発の必要性が明記されている。

さらに、これを受けて、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」（※7）を策定した。

これらの計画による取組を推進し、農業分野におけるGHG排出源のうち、多くを占める畜産分野からのGHG（メタン、一酸化二窒素等）の排出を削減するため、GHGを低減する飼養管理技術（家畜排せつ物管理を含む）の開発や、GHGの発生が少ない牛の生体・個体差等に関する研究開発、畜産システムとしてのGHG削減方策に関する研究開発を実施する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

中間時（2年度目末）の目標	最終の到達目標
<ul style="list-style-type: none"> ・家畜から排出されるGHGに関する飼料、排せつ物等の飼養管理等に関連する基礎データの収集を達成 ・家畜から排出されるGHGに関する生体の個体間差異等に関する基礎データの収集を達成 	1 経営体からのGHGの排出量を20%削減可能な技術を開発

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題全体としてのアウトカム目標（H38年）

将来、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割以上を削減する。

【項目別評価】

1. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性

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

地球温暖化・気候変動は、我が国を含む地球上の環境や生態系に深刻な影響を及ぼすとともに、気象災害の増加・激化により、我が国の農林水産業や農村地域の生活に甚大な被害をもたらしている。

平成27年12月の「パリ協定」を受けて、平成28年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」では、2030年度に2013年度比で26%削減するとの中期目標に加えて、長期的目標として2050年までに80%のGHGの大幅な排出削減を掲げ、このために、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している。農林水産分野においても、革新的技術の開発・普及により、更なるGHGの排出削減を実現することが重要である。

農林水産分野におけるGHG排出源のうち、畜産分野が多くを占める（約1/3）。現在、畜産分野からのGHG（メタン、一酸化二窒素等）排出を大幅に削減するための実用的な対策が存在しないことから、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は重要である。

②引き続き国が関与して研究を推進する必要性

気候変動に関する研究開発は、我が国農林水産業の持続的発展という経済・社会ニーズに対応するための公共性の高い研究開発であり、かつ、中長期的視点に立って取り組む必要があることから、国が主導して推進する必要がある。また、基盤技術を応用に結びつける研究開発のため、国立研究開発法人、大学、民間など幅広い研究勢力を結集して総合的に推進する必要がある。

さらに、下記の国の施策・計画を実行するために不可欠なものであるため、引き続き国が関与して研究を推進する必要がある。

○「食料・農業・農村基本計画」（平成27年3月閣議決定）

本計画の第3「食料、農業及び農村に関し総合的かつ計画的に講ずべき施策」の2、「農業の持続的な発展に関する施策」の（8）「気候変動への対応等の環境政策の推進」の一つとして、気候変動に対する緩和・適応策の推進が明記されている。

○「農林水産研究基本計画」（平成27年3月農林水産技術会議決定）

本計画では、重点目標32として、今後、温暖化の進行に伴う異常気象の頻発等により、農作物の生産条件が悪化すると予測されている中で、気候変動の緩和及び適応といった地球規模課題に対応した研究を推進することとしている。

○「地球温暖化対策計画」（平成28年5月閣議決定）

本計画では、家畜排せつ物由来のメタン排出削減対策や地球温暖化対策技術の開発と社会実装の推進が明記されている。

○「農林水産省地球温暖化対策計画」（平成29年3月農林水産省地球温暖化対策本部決定）

本計画では、家畜の消化管内発酵や排せつ物からのGHG排出など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GHG排出削減技術の開発・普及の推進が明記されている。

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中間時の目標に対する達成度

・ふん尿処理起源の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）含量が2～3ポイント低いアミノ酸バランス改善飼料（低蛋白質飼料）を開発し、生産性を損なうことなく、乳用牛、肉用牛、採卵鶏の中後期において1割以上の窒素排せつ量低減を確認、GHG排出削減効果を解明した。

・搾乳ロボットを活用したルーメンメタン産生量測定システム（スポット法）の開発・基本技術を確立するとともに、搾乳牛計約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。

・乾物摂取量当たりのメタン産生量が少ない牛に特徴的な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。黒毛和種集団のメタン関連形質は、これまでに報告されてきた遺伝率よりも高い遺伝率を持つ可能性が示唆された。

以上のことから、中間目標は達成している。

これらに加え、以下の進捗が見られた。

・草地飼料畑において、堆肥施用により温暖化ポテンシャルが抑制される可能性が示唆された。

・開発した畜産経営評価モデルを用いて低蛋白質飼料の導入によるGHG削減効果が確認された。

②最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

今後、開発した低蛋白質飼料については、農家実証試験に取り組み、生産性を損なわないGHG排出削減型飼料として確立する。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、育種方策を確立する。低メタン産生牛の微生物学的・生理学的特性を解明し、育種方策を最大限に発揮するメタン産生削減技術の構築等を進める。

新たに開発した削減技術と既存の削減技術を組み合わせ、GHG削減効果を定量的に評価することで、畜産システムとしての1経営体からのGHGの排出量を20%削減可能な技術を開発できる見込みである。

以上のことから、最終目標を達成する可能性は高い。

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

本研究課題では、1経営体からのGHGの排出量を20%削減可能な技術を開発し、将来、約半数の畜産農家に普及することで、畜産分野からのGHG排出量の1割以上削減に取り組むことをアウトカム目標としている。

この目標達成に向けて、研究コンソーシアムの普及・実用化組織の一員として、畜産会社、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み、例えば、生産性に直結する低蛋白質飼料の

開発・実証に当たっては、研究開発の初期段階から、低蛋白質飼料に求められる特性や確認すべき飼養成績の項目について意見交換し、研究内容に反映している。また、今後は農家が求める低蛋白質飼料の開発に資するため、各自治体の試験研究機関により実証試験のための畜産農家が選定されるとともに、飼料製造販売会社が提供する各種飼料原料の利用状況や国内外のアミノ酸利用技術に関わる情報を踏まえ、持続的に安定して供給可能な低蛋白質飼料の開発に取り組むこととしている。他の技術についても同様の普及が見込まれる。

以上のことから、アウトカム目標の達成の可能性は高い。

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

例えば、低蛋白質飼料の開発に当たっては、低蛋白質飼料に求められる特性や確認すべき飼養成績の項目について、研究コンソーシアムメンバーの畜産会社と研究初年度の初期開発段階から意見交換し、研究内容に反映した。

得られた研究成果については、学術論文・商業誌、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行った。

以上のことから、アウトカム目標に向けた研究成果の活用のために実施した取組内容は妥当である。

③他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

低メタン産生牛の育種方策を確立することで、将来の育種改良の加速化に貢献する可能性がある。また、研究成果については、特に近年家畜生産の増大が著しいアジア諸国に向けて情報発信することで、本研究成果を基礎とした、現地の家畜飼養・管理実態を踏まえたGHGの排出削減技術の開発・普及が期待され、世界のGHG排出削減に貢献する可能性がある。

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いるか等）の妥当性

外部有識者と関係行政部局で構成する「委託プロジェクト研究運営委員会」を組織し、研究の進捗管理、行政ニーズや課題の進捗状況を踏まえた次年度の研究実施計画案の作成等を行っており、計画の見直し等の適切な進行管理を行っていることから、研究計画は妥当である。

②研究推進体制の妥当性

上述の「委託プロジェクト研究運営委員会」を、年2、3回程度開催し、研究の進捗管理、次年度の研究実施計画案の策定に加え、専門的知識や行政面からの助言指導を行っている。また、研究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。

また、国内畜産経営の実情に即した社会実装が可能な技術とするため、研究開始後、共同研究機関として大学、普及・実用化支援組織として民間企業を随時追加し、研究推進体制の強化を図っており、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）

各課題ともに順調に進捗しており、また、本研究課題では、各課題で新たに開発するGHG削減技術と既存削減技術を総合化し、畜種ごとのGHG削減量の評価モデルを使ってアウトプットの達成を図るため、研究課題の構成は妥当である。

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

「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。全ての課題で概ね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の継続の適否に関する所見

・中間時の目標は達成しており順調に進捗していることから、本研究を継続することは妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

・農家への導入に当たっては、家畜の個体差、給餌の時期・量などを明確にする必要がある。また、農家が導入した場合の経済的なメリットを示すことを検討されたい。
・研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）が単なるスケジュールのようになっているため、作り方を改善されたい。

[研究課題名] 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
気候変動に関する政府間パネル（IPCC）	IPCCは、Intergovernmental Panel on Climate Changeの略。気候変動に関する最新の科学的知見をとりまとめて評価し、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。	1
国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）	平成27年11月30日から12月11日まで、フランス・パリで開催された。1992年に大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを目標とする「国連気候変動枠組条約」が採択され、地球温暖化対策に世界全体で取り組んでいくことに合意した。この条約に基づき、国連気候変動枠組条約締約国会議（COP）が1995年から毎年開催されている。	2
パリ協定	京都議定書に代わる新しい地球温暖化対策の国際ルール。2015年12月に採択、16年11月に発効。産業革命前からの気温上昇を2度より十分低く抑えることが目標。すべての国が削減目標を作り、目標達成義務はないが達成に向けた国内対策を取る必要がある。	3
日本の約束草案	国連気候変動枠組条約第19回締約国会議（COP19）決定により、2020年以降の温室効果ガス削減目標を含む約束草案について、平成28年11月30日から12月13日に開催された国連気候変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）に十分に先立って提出することが各国に求められていたことから、平成27年7月17日に地球温暖化対策推進本部で決定され、国連気候変動枠組条約事務局に提出された。国内の排出削減・吸収量の確保により、2030年度に2013年度比26.0%減（2005年度比25.4%減）の水準（約10億4,200万t-CO ₂ ）にすることなどが盛り込まれている。本約束草案は、エネルギーミックスと整合的なものとなるよう、技術的制約、コスト面の課題などを十分に考慮した裏付けのある対策・施策や技術の積み上げによる実現可能な削減目標とされている。	4
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もの。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。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。	5
温室効果ガス（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。	6
農林水産省地球温暖化対策計画	平成28年5月に、温室効果ガスの排出抑制及び吸収（緩和策）の目標等を内容とする「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「農林水産省地球温暖化対策計画」を策定。農林水産省では、平成27年8月に「農林水産省気候変動適応計画」を策定しており、今般の緩和策にかかる計画とあわせて一体的に推進。なお、政府全体でも、平成27年11月に「気候変動の影響への適応計画」を閣議決定しており、「地球温暖化対策計画」と一体的に推進することとしている。	7

農業分野における気候変動緩和技術の開発

背景・目的

- ◎ パリ協定を受け、平成28年5月に閣議決定された「地球温暖化対策計画」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年度に2013年度比で26%削減するとの中長期目標とともに、長期的目標として2050年までに80%のGHGの排出削減を目指すこととされた。
- ◎ この目標達成のためには、農業分野におけるGHG排出源のうち、多く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

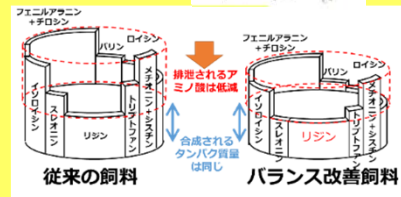
畜産分野からのGHGは家畜生産段階の全てで発生

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せつ量を低減するアミノ酸バランス改善飼料を開発・実証



↓
バランス改善飼料給与によるGHG排出削減技術の確立



バランス改善飼料
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

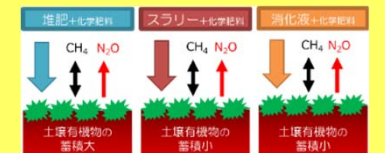
↓
低メタン産生牛作出に向けた育種方策を確立

III. 畜産システムとしての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排出量を20%削減可能な技術体系の確立・提示



土壌におけるGHG収支



炭素繊維リアクタ

達成目標（H33）

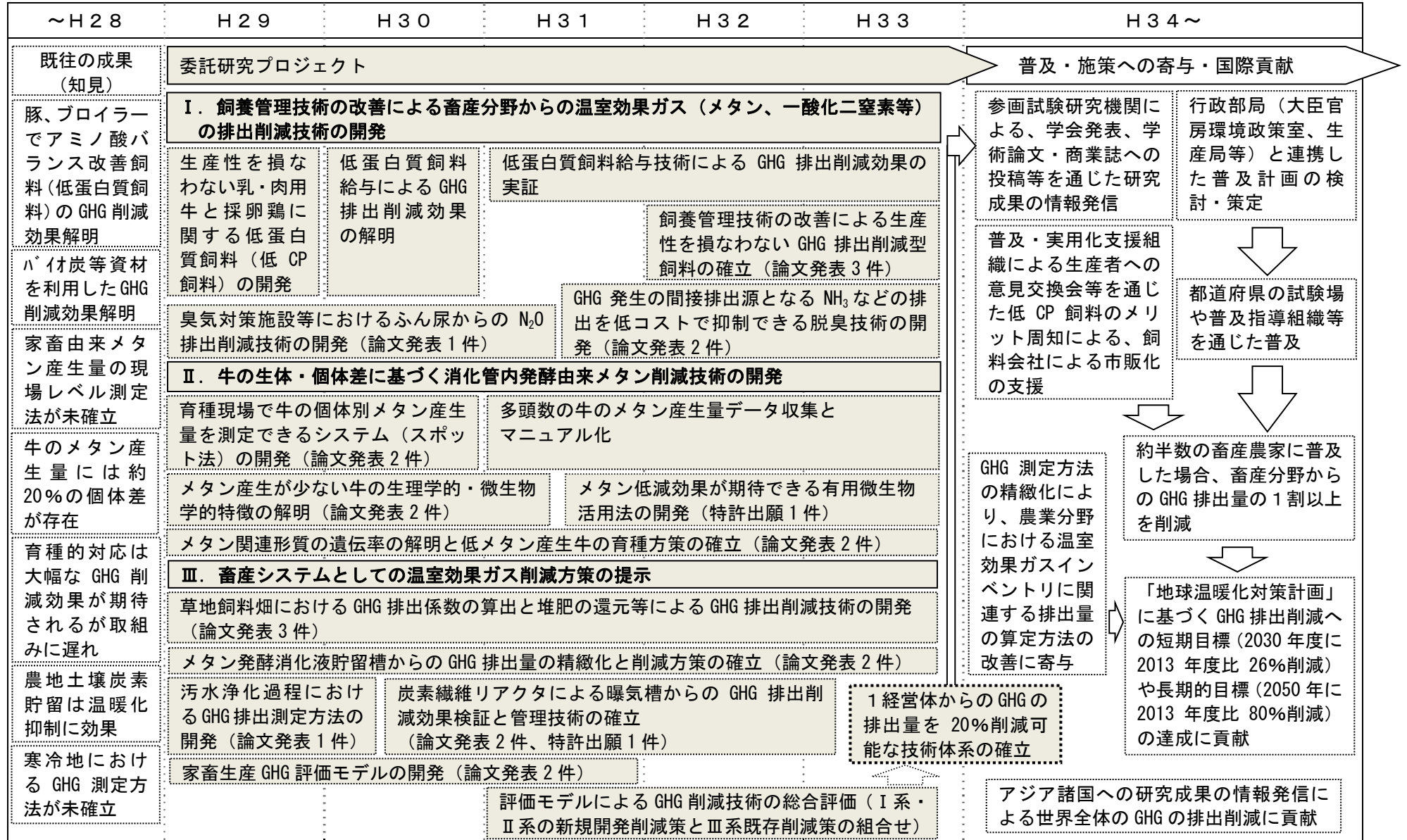
1 経営体からの温室効果ガスの排出量を20%削減可能な技術を開発

期待される効果

- 農業分野で多くを占める畜産分野からの温室効果ガス（メタン、一酸化二窒素等）の排出削減に貢献
- 農業分野における温室効果ガスインベントリに関連する排出量の算定方法の改善に寄与

【ロードマップ（中間評価段階）】

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（低蛋白質飼料）を開発し、GHG排出削減型飼料を確立する。

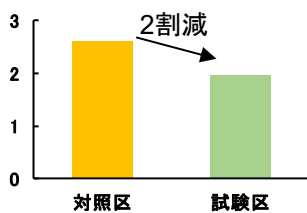
主要成果

■ 低蛋白質飼料（低CP飼料）の開発とGHG排出削減効果の解明

乳用牛



ふん尿N排せつ量
(gN/W^{0.75}/日/頭)

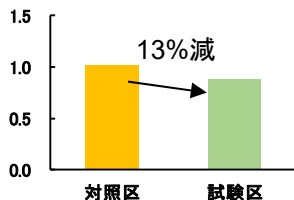


泌乳中後期で飼料CP含量を3ポイント低減した混合飼料を給与
→ 乳生産性に差は無く窒素排せつ量を2割以上低減

肥育前期・後期ともに飼料CP含量を2ポイント低減した濃厚飼料を給与
→ 日増体量や枝肉重量、ばらの厚さとBMS No. (※) に差は無く、窒素排せつ量を1割低減

産卵中期・後期に飼料CP含量を2ポイント低減した飼料を給与
→ 産卵率や卵重に差は無く、卵1個あたりの窒素排せつ量を12%、堆肥からのアンモニア発生量を13%低減

卵1個あたりの生産に係る
アンモニア排出量(g)



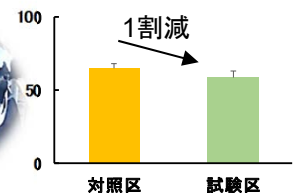
採卵鶏



肉用牛 (ホル雄)



肥育全期間における
N排せつ量(kgN/頭)



(※) BMS No. (Beef Marbling Standard)
牛肉の脂肪交雑の程度を示すもの。

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10%以上低減が可能なことを飼養試験で確認。

今後の方針

- バランス改善飼料給与による農家実証試験に取り組み、生産性を損なわないGHG排出削減型飼料として確立する。
- Jクレジット方法論の確立している豚、ブロイラーに加え、速やかに畜産農家へ導入するための方策を検討する。

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

研究概要

農業分野から排出される温室効果ガスの約2割（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**
- **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**



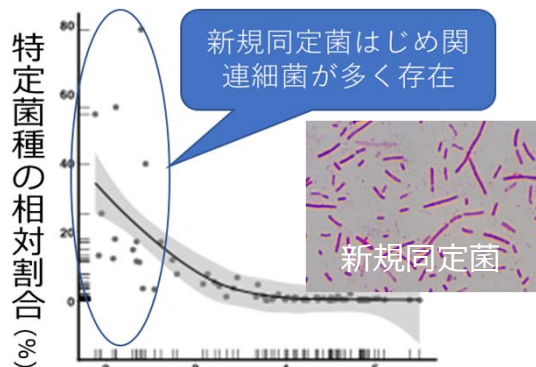
- ・搾乳ロボットを利用
- ・搾乳中の呼気のメタン/炭酸ガス比を測定
- ・乳牛用測定システムを開発



- ・3研究機関の共同で延べ約500頭/年の乳牛のデータ収集体制を整備



- **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ルーメン内で産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

- **メタン產生量の少ない個体の生理的特性を解明**

- ・メタン產生量が多い牛は乳中の炭素数8~12の脂肪酸が増加



- **低メタン產生牛の作出に向けた選抜・育種の可能性を評価**

- ・我が国の肉用牛におけるメタン產生量推定式を開発
- ・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
- ・経済形質との良好な遺伝相関（枝肉重量など）についても確認

今後の方針

- 多頭数の実測値をもとに牛のメタン產生量に関わる遺伝的要因を解明し、メタン產生量の少ない牛の育種方策を確立する。
- メタン產生量の少ない牛の微生物学的、生理学的特性を解明し、育種効果を最大限に発揮するメタン產生削減技術を構築する。

Ⅲ. 畜産システムとして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立するため、畜産経営体からのGHG排出量を精緻化及び評価モデルを開発し、畜産システムに新規に開発されるGHG削減技術と既存のGHG削減技術を組み込んだ場合のGHG削減効果を定量的に評価する。

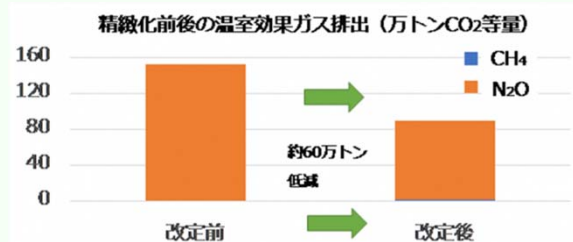
主要成果

■ GHG排出量を精緻化（尿汚水の浄化処理由来）

- ・養豚ふん尿を主体とする污水浄化処理時に発生するGHG排出量は、現行の排出係数を用いた推定値と比べて、年間60万トン（41%減少）減少することを明示（2018年に日本国温室効果ガスインベントリ報告書に反映）
- ・メタン発酵消化液貯留槽から発生するGHG排出量の実測システムを開発
- ・GHG排出の少ない、尿污水浄化システム（炭素繊維リアクター）の特許登録

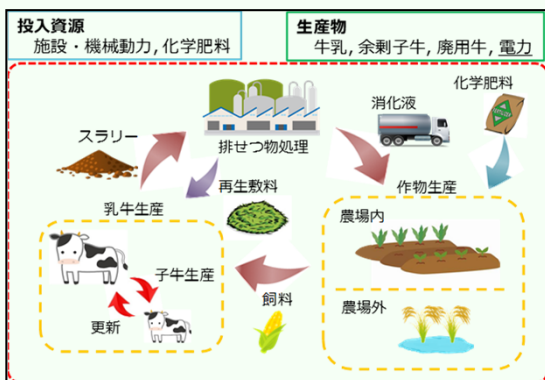


浄化処理施設の温室効果ガス測定システム



排出係数改定による温室効果ガス排出量

■ 酪農生産環境評価ベースモデルを構築



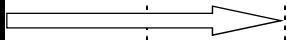
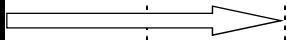
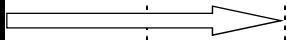
バイオガスプラントを導入した酪農生産システムベースモデルのバウンダリー

- ・酪農経営体から排出されるGHGの削減量を見える化する酪農生産環境評価ベースモデルを構築
- ・草地土壌への家畜排せつ物還元施用法の違いによるGHG排出・吸収に関する知見が集積、LCAによる解析基本データを整備

今後の方針

- 草地飼料畑・消化液貯留槽から発生するGHGの測定を継続し、GHGの排出削減ポテンシャルを評価し、インベントリーデータとして提示する。
- 畜産システムに新規に開発されるGHG削減技術と既存のGHG削減技術を組み込んだ場合のGHG削減効果を定量的に評価し、GHG20%削減方策を確立・提示する。

委託プロジェクト研究課題評価個票（中間評価）

研究課題名	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	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	H29～H33（5年間）	総事業費（億円）	5.2億円（見込）						
研究開発の段階	<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">基礎</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">応用</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">開発</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>	基礎	応用	開発				関連する研究基本計画の重点目標	重点目標 32
	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G7新潟農業大臣会合において、全ての形態の農業は持続可能であるべきと宣言されているように、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、近年の環境変動を背景とした、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29～33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

中間時（2年度目末）の目標	最終の到達目標
<ul style="list-style-type: none"> ・対象作物の花粉媒介に貢献する昆虫相の解明 ・その中で重要な役割を果たす種を選定 [その中で重要な役割を果たす種群を選定] 	<ul style="list-style-type: none"> ・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全体としてのアウトカム目標（H38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. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性

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

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4,700億円にもものぼる。そのうち7割は養蜂ではない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効率的な働きをする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 引き続き国が関与して研究を推進する必要性

国連サミットで採択された2016年から2030年までの国際目標（持続可能な開発目標：SDGs（※3））において、花粉媒介機能に代表される生態系サービス及びそれを担う生物多様性の保全が重要な柱と位置付けられている。また、「農林水産研究基本計画」では、生物多様性等と関連した生態系サービスの解明・評価を計画的に進めることとしている。これらの課題は民間主体で実施することが困難であるた

め、本研究開発は国が関与して取り組む必要がある。

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 中間時の目標に対する達成度

中間時の目標は、事前評価時は「対象作目の花粉媒介に貢献する昆虫相の解明およびその中で重要な役割を果たす種を選定」としていたが、以下に記すように、多くの作目において、主要花粉媒介者は単一の種では無いことが判明しつつあるため、重要な役割を果たす「種群」を選定することとした。

平成30年度までに、本課題で対象とした5作目（リンゴ、ナシ、ウメ、カキ、ウリ科果菜）11地域において、訪花する昆虫を2年間にわたって調査し、合計で20,000頭以上の訪花昆虫を収集した。また、これらの昆虫が保持する花粉を確認した上で50種以上を同定し、対象作目の花粉媒介に貢献する主要な昆虫相を明らかにした。

花粉の付着量や訪花頻度、農地内における個体数等を総合的に評価した結果、リンゴとナシではミツバチ類・ヒメハナバチ類・コハナバチ類・ハナアブ類・オドリバエ類・ハナバエ類等、ウメではミツバチ類、カキではマルハナバチ類・ミツバチ類等、ウリ科果菜ではミツバチ類・マルハナバチ類・コハナバチ類等の昆虫が、それぞれ重要種群として選定された。また、地域によって重要な役割を担う種群が異なる場合があることが明らかになった。

これらの知見から、中間時の目標は十分に達成された。

② 最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

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」及び「生態系サービスを有効活用する技術基盤の開発」を目指しており、平成30年度までに以下の具体的成果が得られている。

（中課題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（ウリ類）の栽培地において、送粉昆虫の種構成や訪花頻度を調査するための手法の開発を進めている。これまでに省力的で標準化が可能な昆虫捕獲装置（トラップ）の色や形状等を検討し、対象作目や地域に適したトラップの形状等を明らかにした。平成31年度以降にさらなる検証を実施して成果を体系化し、送粉昆虫相調査マニュアルを作成する予定である。

これらの調査手法も活用し、各作目・各地域から重要送粉昆虫の候補を収集した。これらの昆虫は遺伝子情報（DNAバーコード（※4））等も参照しつつ同定を行うと同時に、体表面に付着する花粉を分析して花粉媒介能力も推定した。さらに、採集された個体数も考慮して花粉媒介ポテンシャルを算出し、各作目・各地域において花粉媒介に対する貢献度の高い種を選定することができた。平成31年度以降も調査を継続するとともに、以下に記す中課題2において、これらの野生昆虫を有効活用するためのほ場管理技術等を開発する予定である。

（中課題2：花粉媒介サービス有効活用技術の開発）中課題1で選定した重要送粉昆虫種群の増殖や定着を促す植物（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の開発を目的として、平成30年度までに145種以上の植物を文献調査や栽培試験、野生植物調査からリスト化した。また、これらの植物の匂いや色などを分析し、送粉昆虫の誘引に寄与する要因解析を進めている。今後は、強化植物を実際の生産ほ場に混植し、送粉昆虫への影響を検証する。

さらに、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（※5））の代替となり得る、土着のマルハナバチ類10種の授粉能力及び人工飼育の可否を検討した。このうち、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を開発し、実用技術化する予定である。

こうした現状から、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、送粉サービスの活性化を促す技

術を開発しており、前述の通り、その一部は実用化される予定である。我が国では人工授粉が行われている地域や作目もあるが、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。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、個別の生産者や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・高品質化につながると見込むことができる。また、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必然的に促されるため、持続可能な農業生産の実現に大きく貢献できる。したがって、アウトカム目標の達成は十分に期待できると考えられる。

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）の増殖技術開発を実施している。特定外来生物であるセイヨウオオマルハナバチの使用規制が進められているため、アウトカム目標である「農産物の生産安定化・高品質化」のためには、その代替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。本研究実施期間内に商品サンプルの提供を開始し、現場からの意見や行政部局からの要望等をフィードバックして利用技術の改善や生産コストの低減を図る。外来種管理に関する行政施策に応える技術開発であり、プロジェクト終了後には商品としての普及が見込めるため、アウトカム目標達成に向けた取組として妥当である。

③ 他の研究や他分野の技術の確立への具体的貢献度

花粉媒介は生物多様性がもたらす典型的な生態系サービスのひとつである。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大きく貢献すると期待される。

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いるか等）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（中課題1）においては、研究の進展により、作目毎に送粉昆虫相が異なり、一部の作目ではその多様性が高く多くの種が受粉に関与していること、またトラップによる捕獲効率が送粉昆虫の種群毎に異なることが明らかとなった。そこで、汎用的なトラップではなく、各送粉昆虫種群の特性に対応したトラップを開発するように研究計画の見直し・改善を行った。また、花粉媒介サービス有効活用技術の開発（中課題2）においては、外部有識者等の指摘をふまえ、成果をスムーズに普及させるために、当初予定にはなかった大規模実証試験にJA等と協力して取り組むように計画を変更した。

② 研究推進体制の妥当性

外部有識者や技術会議事務局・生産局担当者を参集した運営委員会を年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を目指す上で、妥当性の高い体制で研究を推進していると考えられる。

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）

対象とした農作物（リンゴ、ナシ、ウメ、カキ、カボチャ）を栽培する11地域において、花粉媒介に重要な役割を担う昆虫相の解明を計画通りに進めている。今後はこれらの候補種を有効活用する技術（強化植物の利用等）の開発、実証、マニュアル化等を行う予定であり、この研究課題の構成は最終到達目標の達成を目指す上で妥当と言える。

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

毎年漸減する予算を有効活用するため、課題の見直し（植生管理課題における景観解析についてドローン等を用いたデータ収集により省力化する等）を行った。また、技術の普及につながる大規模現地実証試験には重点的に予算を配分する。この他にも、各実施課題に必要な予算を精査して毎年再計算しており、予算配分は妥当と言える。

1. 委託プロジェクト研究課題の継続の適否に関する所見

- ・ 中間時の目標は達成しており順調に進捗していることから、本研究を継続することは妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・ 現場への普及を図るためのアウトリーチ活動を進める必要がある。また、農家が導入した場合の経済的なメリットを示すことを検討されたい。
- ・ 花粉媒介昆虫等の現場での利用に当たっては、蜂が外部に漏れることもあるため、生態系への影響にも配慮して進める必要がある。

[研究課題名] 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

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
SDGs (持続可能な開発目標)	持続可能な開発のための国連の開発目標で、2015年9月の国連総会で採択された。貧困に終止符を打ち、地球を保護し、すべての人が平和と豊かさを享受できるようにすることを目指す普遍的な行動を呼びかけるもので、2030年までに達成すべき17の分野別の目標と、169項目のターゲット (達成基準) が盛り込まれている。	3
DNAバーコード	DNA配列から種を特定する短い遺伝子領域。	4
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。	5

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であると試算されている（H25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

○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

○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
- ・これらを通して、**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**

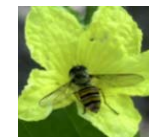


- ・昆虫が好む花の化学的特性の分析
- ・昆虫を誘引・定着させる花の選抜 等

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**

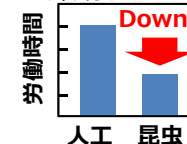


人工受粉



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**

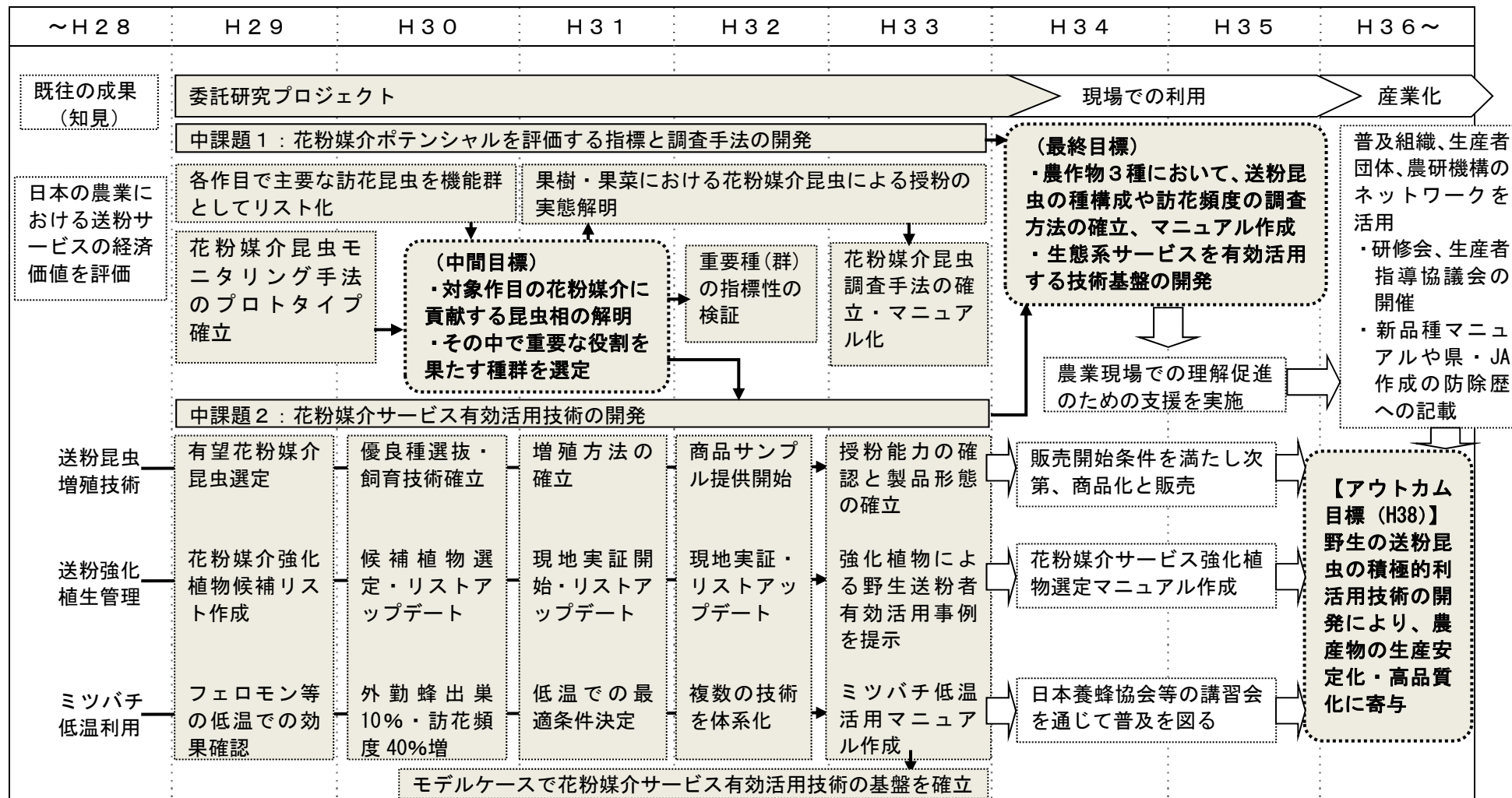


期待される効果

- 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（H25年度）と見積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**

【ロードマップ（中間評価段階）】

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



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これまでの主な成果

花粉媒介に貢献する昆虫相の解明・重要種群の選定

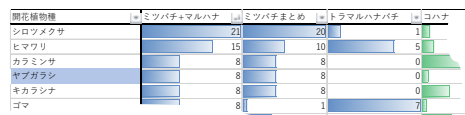
- 5作目11地域において合計20,000頭以上の訪花昆虫を収集
- 花粉媒介に貢献し得る50種以上の昆虫を同定
- 花粉保持量と個体数（観察頻度）から重要種群を選定



作物	重要種候補
リンゴ	ヒメハナバチ・コハナバチ類
	オドリバエ・ハナバエ・ハナアブ類
ナシ	ヒメハナバチ・コハナバチ類
	オドリバエ・ハナバエ・ハナアブ類
ウメ	ミツバチ類
	ハナアブ・クロバエ類
カキ	マルハナバチ類
	コハナバチ類
	ミツバチ類
カボチャ ニガウリ	ミツバチ類
	マルハナバチ類
	コハナバチ・ヒメハナバチ類
	ツチバチ類

植生管理による花粉媒介サービスの強化技術の開発

①強化植物候補のリストを作成

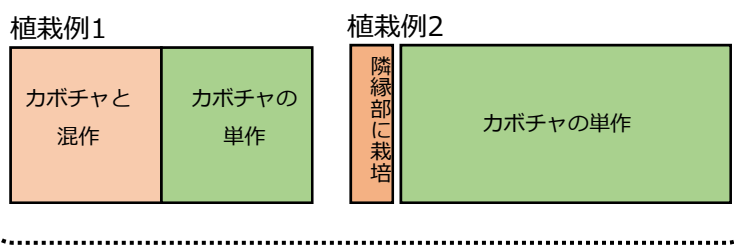


栽培特性・適合性の検討
地域に合わせた強化植物の選定

②カボチャにおける強化植物候補の選定



③栽培ほ場での実証試験（次年度以降）



昆虫を呼び込み、カボチャの花粉媒介を強化する技術の開発へ

花粉媒介昆虫大量増殖技術および授粉利用技術の開発

トマト授粉による品質の比較結果

ポリネーター	大玉トマトの品質		
	秀	優	良
エゾオオマルハナバチ	47.0%	30.0%	23.0%
セイヨウオオマルハナバチ	44.0%	32.0%	24.0%
クロマルハナバチ	48.5%	27.7%	23.8%



コロニー形成に成功したエゾオオマルハナバチとトマトハウスでの授粉行動

トマト授粉能力の高い在来種の選抜。エゾオオマルハナバチはセイヨウオオマルハナバチと同等の授粉能力があり得ることを確認

セイヨウオオマルハナバチを代替するマルハナバチ商品化に向け累代飼育技術を開発

○ その他の成果

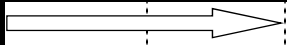
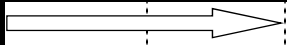
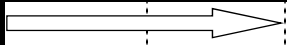
- 果樹・果菜の主要な訪花昆虫から花粉媒介に貢献する重要種(群)をモニタリングする手法のプロトタイプを開発
- 各種フェロモン等の処理による低温でのセイヨウミツバチの訪花促進効果を確認



新女王バチ生産能数の高いコロニーから生殖虫（新女王バチと雄バチ）を取り出し、交配させる。

累代飼育技術の確立と選抜交配による多産系統の作出（次年度以降）

委託プロジェクト研究課題評価個票(中間評価)

研究課題名	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	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～H33(5年間)	総事業費(億円)	6.6億円(見込)						
研究開発の段階	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;">基礎</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">応用</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">開発</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">  </td> </tr> </table>	基礎	応用	開発				関連する研究基本計画の重点目標	重点目標 25
	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、これら地域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～平成33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現行の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～平成33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～平成33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カ所において、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

中間時(2年度目末)の目標	最終の到達目標
<課題①> 組換えタンパク質の発現量が現状よりも高い遺伝子組換えカイコ1系統以上を獲得する。	<課題①> 医薬品等成分の生産効率を現行の3倍以上に向上する。
<課題②> 医薬品等成分の有効性・安全性を向上する糖鎖修飾酵素を導入した遺伝子組換えカイコ1系統以上を獲得する。	<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> 遺伝子組換えカイコの効率的な飼育のためのICTを導入した大量飼育装置を1台製作する。	<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カ所で実証する。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題全体としてのアウトカム目標(H38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. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性****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**

中山間地域等の農山漁村の振興が社会的な課題となっており、中山間地域の自治体等から地域資源の活用による産業・雇用の創出についての要望が寄せられている。本プロジェクト研究は、我が国独自の技術である遺伝子組換えカイコを活用することにより、農山村地域に新たな産業・雇道を創出し、農山村地域の振興を図ることを目的としている。近年、このような新たな養蚕への取組に対して、農山村地域の関心が高まっており、既に群馬県、鹿児島県、熊本県などで高付加価値のシルクや化粧品等の生産が開始され、地域振興への関心・期待が示されている。また、本プロジェクト研究は、農業者や民間事業者、学識経験者等のヒアリングに基づいて企画・立案しており、国民や社会のニーズを反映したプロジェクト研究となっている。

抗がん剤等のバイオ医薬品の需要が世界的に伸びている中、今後も高齢化の進展により国内需要も伸びると予想され、現状では我が国はそのほとんどを海外から輸入している。日本独自技術である遺伝子組換えカイコを医薬品製造等の分野に応用することは、バイオ医薬品市場の開拓に向けた国内製薬企業の事業活動の支援、医薬品産業の国際競争力の強化に資するほか、多様なバイオ医薬品の供給等を通じた国民生活の向上にもつながる重要な取組である。

② 引き続き国が関与して研究を推進する必要性

科学技術基本計画（平成 28 年 1 月閣議決定）において、「ICT やロボット技術を活用した低コスト・大規模生産等を可能とする農業のスマート化（中略）を推進し、収益性を高め、新たなビジネスモデルを構築して農林水産業を魅力あるものにする」とされている。また、統合イノベーション戦略（平成 30 年 6 月 15 日閣議決定）においても、「生物機能（中略）を利用した有用な物質・素材の生産技術の開発」、バイオ戦略検討ワーキンググループの中間とりまとめ（平成 30 年 6 月 13 日）においても、実現を目指す経済社会像として、「地域の生物資源を活用した高付加価値品生産により、農山村地域などに産業・雇道を創出」等が謳われ、「スマート養蚕施設」や「革新的バイオ製品」が例示されている。さらに、農林水産研究基本計画（平成 27 年 3 月 31 日）において、農山漁村に新たな産業や雇道を生み出すため、地域資源を活用した新産業創出のための技術開発として、「中山間地域や離島の利点を活かし、医薬品や機能性素材等を植物やカイコ等に作らせる技術の開発」を進めるとされている。

このように、本プロジェクト研究は、日本が関連知財をほぼ独占する状況にある遺伝子組換えカイコ技術を利用して、医薬品等成分を効率的に生産する技術等を開発し、原料（カイコや繭）を供給する農林水産業・農山漁村地域と医薬品業界とが連携して地域に新産業を創出しようとする取組を技術的に支援するものであり、科学技術政策および農業政策上、国が主導する意義・必要性及び優先度は極めて高い。

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 中間時の目標に対する達成度**

<課題①>

ゲノム編集技術（※8）を用い、カイコで高発現しているシルク遺伝子（フィブロインL鎖及びセリシン1遺伝子）に、蛍光タンパク質遺伝子を導入（ノックイン）すること成功し、蛍光タンパク質が高発現することを確認した。また、ゲノム編集を行う条件の最適化に成功した。生産性向上については、組換えタンパク質を発現する新たな手法（新規発現系）を用いることで、医薬品等成分となるタンパク質5種の生産量が1.5倍以上向上した。さらに、抽出バッファーを改良することで、タンパク質の回収率が約2倍向上する等、各課題が順調に進捗しており、目標の達成度は十分以上である。

<課題②>

哺乳類型糖鎖修飾を可能にするための糖転移酵素遺伝子等を選定し、8種の遺伝子組換えカイコ（糖鎖機能改変カイコ）を作出した。これら糖鎖機能改変カイコの一部について糖鎖修飾の状態を解析した結果、哺乳類型糖鎖で見られる糖鎖修飾の増加を確認した。また、カイコで生産したペット用医薬品成分は、哺乳動物細胞で生産した成分より高い効果（活性）を示した。さらに、カイコで生産したヒト用医薬品成分を、ヒト疾患モデルマウスに投与した結果、治療効果が確認された。その他、ウシ用治療薬の糖鎖構造と活性の確認、医薬品等成分の糖鎖構造解析等を行い、各課題が予想より順調に進捗しており、目標の達成度は十分以上である。

<課題③>

遺伝子組換えカイコの効率的な飼育のための大量飼育装置を1台製作し、生育センシングシステムを

構築するとともに、2万頭の遺伝子組換えカイコを飼育することに成功した。また、医薬品等成分を生産する遺伝子組換えカイコの飼育に必要なカイコ人工飼料の開発では、茶葉刈り取り機を利用することで、10アールあたりの桑収穫の作業時間を300分から20分に短縮し、また、収穫した桑葉の粉末を用いた人工飼料を作製した。その他、モデル地域1カ所（鹿児島県）では、カルタヘナ法に対応した遺伝子組換えカイコの大量飼育開始に成功する等、各課題が予想より順調に進捗しており、目標達成度は十分以上である。

② 最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

<課題①>

これまでに、ゲノム編集技術を用いた効率的な遺伝子導入技術、組換えタンパク質の生産量を現行の1.5倍以上に向上する技術や抽出効率を現行の約2倍に向上する技術等を開発した。今後は、カイコで高発現する遺伝子領域に目的遺伝子をゲノム編集技術等で導入、各要素技術を組み合わせることにより、組換えタンパク質を現状の3倍以上に向上する技術を開発することは可能である。

<課題②>

哺乳類型糖鎖修飾を可能にする遺伝子を導入した遺伝子組換えカイコ（糖鎖機能改変カイコ）を作出するとともに、糖鎖構造を解析する技術を開発した。今後は、糖鎖機能改変カイコに医薬品等を産出させることで、哺乳類型糖鎖が付加された医薬品が生産されることから、医薬品等の有効性・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種類作出することは可能である。

<課題③>

カイコ大量飼育装置や生育センシングシステムの開発、遺伝子組換えカイコを飼育するための人工飼料の開発も順調に進んでいる。また、モデル地域1カ所では遺伝子組換えカイコの大量飼育を開始し、カイコを効率的に生産する技術体系の確立とモデル地域3カ所で実証は可能であり、薬機法への対応についても、規制対応を担当する行政部局と相談を開始したことから、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

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、平成38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90億円としている。アウトカム目標を達成するため、研究課題の最終目標（アウトプット）以降の実証過程で必要な要素を洗い出し、達成プロセスに必要な全体の流れを明確にすることで、本プロジェクト研究実施後に証拠に基づきより効果的な事業へと見直すことができる体制を構築している。

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、アウトカム目標は達成できる可能性は高い。

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、地域公共団体、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（学術論文・学会発表等27件、報道件数30件、シンポジウム等5件、アウトリーチ活動29件）。すでに、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、ゲノム編集技術に関して企業1社、タンパク質生産に関して企業6社、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。

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・連携を進めており、今後は製薬企業への個別訪問やマッチングを強化していく。企業と生産者（製造元）の橋渡しも随時進めており、必要に応じて、製品化を担う企業のコンソーシアムへの新規参画を検討している。

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（ゲノム編集技術等）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」や様々なニーズに応えられる「オーダーメイドカイコ」の創出と、社会実装の加速化を内閣府のプロジェクトで実施している。内閣府のプロジェクトでは、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。

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

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各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ている。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ている。

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、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。また、研究コンソーシアムの自主的な推進体制として、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。来年度から、新たに遺伝子組換えカイコの大量飼育を行う機関を加え、社会実装に向けた研究推進体制を強化している。

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）

本プロジェクト研究は、国産技術である遺伝子組換えカイコを用いた組換えタンパク質生産系の開発と普及を進めてきた国立研究開発法人を中心に、基礎研究を担う大学と実用化を担う企業等が連携したオールジャパン体制で、遺伝子組換えカイコの基盤技術の開発からスマート養蚕システムの開発を一貫通貫して実施している。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、研究課題は妥当である。

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

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。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の継続の適否に関する所見

・中間時の目標は達成しており順調に進捗していることから、本研究を継続することは妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

・カイコの利用だけではなく、餌となる桑の栽培方法やカイコの品種、耕作放棄地対策、利用後のカイコ残渣の活用等、川上から川下まで、全体を通した最適化を考え研究を進めることを期待する。
・アウトカム目標である90億円の市場規模の獲得について、医薬品は法規制などクリアすべきステップも含めて研究を進める必要がある。
・また、製品化を進める際には、特許の扱いも考慮して進めることが重要である。
・研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の表記が不適切であるため、しっかり再検討いただきたい。

[研究課題名] 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

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に導入し、新たな特性を付与したカイコ。	1
バイオ医薬品	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。スマートとは「賢い」という意味。	4
糖鎖を付加する技術	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。	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
ゲノム編集技術	人工ヌクレアーゼ（DNAの特定の配列を狙って切断する酵素）等を用いて、特定の遺伝子を狙って変異させる技術。目的の性質を持つ品種を効率的に、短期間で作ることができる。	8

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）



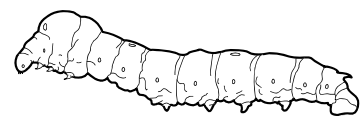
3. 医療用素材

- ・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**

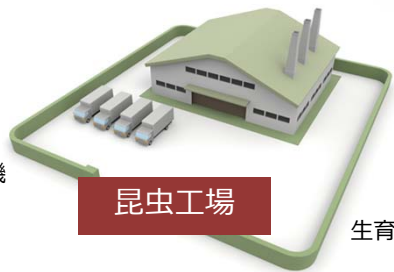


医薬品等の成分（タンパク質）が
3～4倍に向上

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**



農業生産法人が研究参画

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

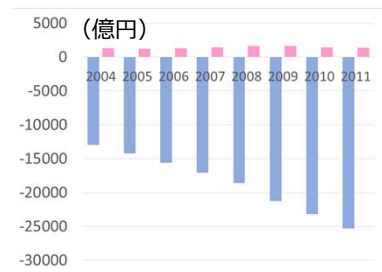
- 医薬品業界と連携して、**農山漁村地域に新たなバイオ産業・雇用を創出**



- 桑を活用して地域の**耕作放棄地等を復元・保全**



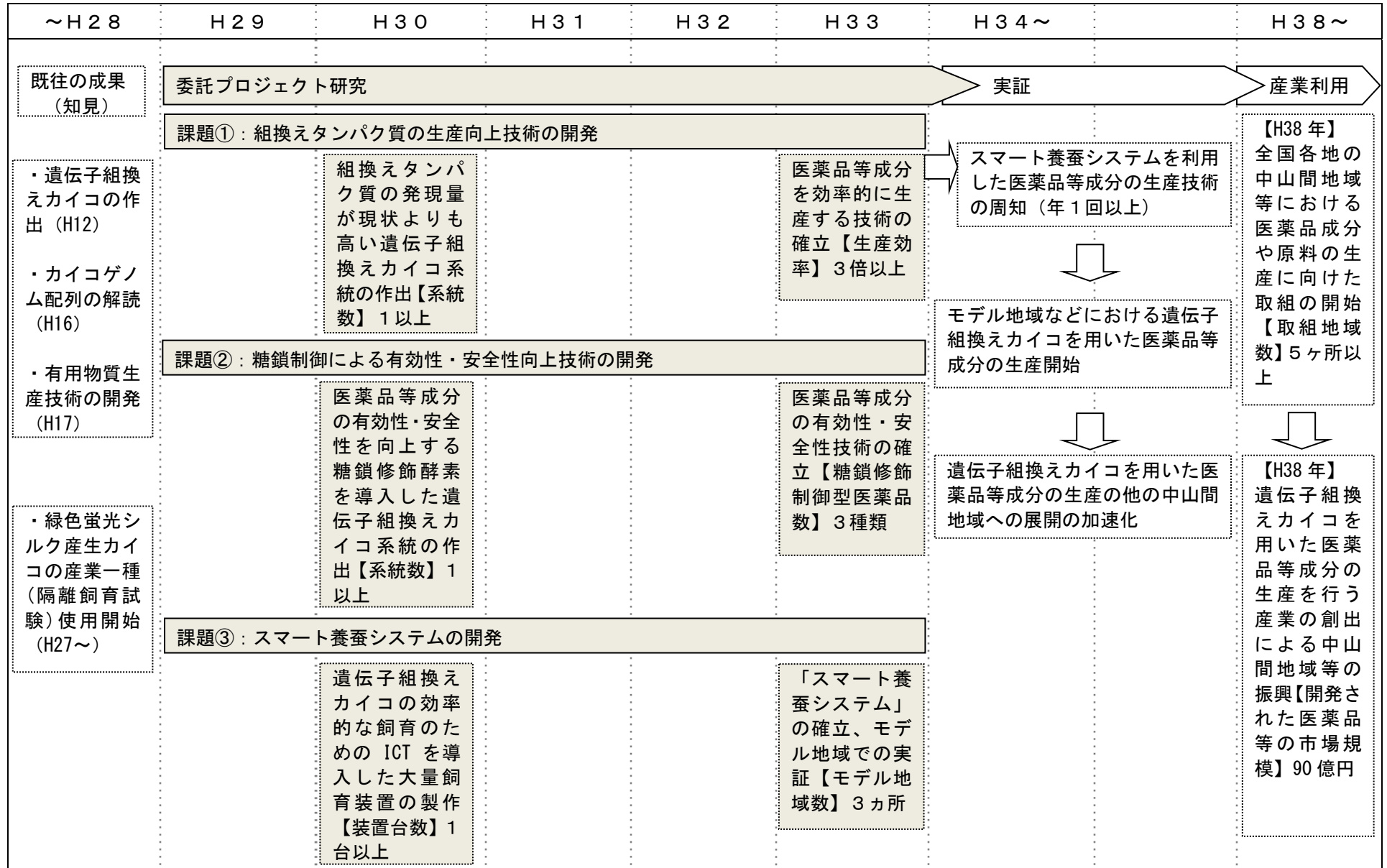
- バイオ医薬品の国内供給力を高め、現在、**海外に流出する医療費を地域経済に還元**



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



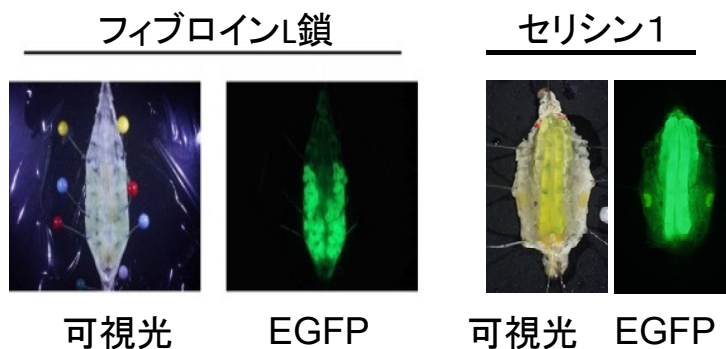
中課題1 組換えタンパク質の生産効率向上技術の開発

研究の概要

ゲノム編集技術等を用い、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

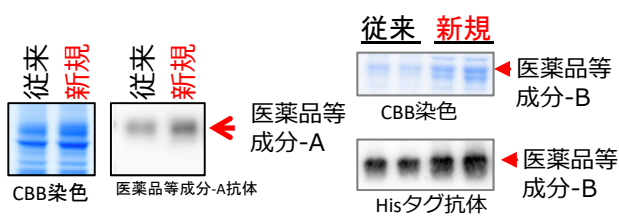
ゲノム編集技術による蛍光タンパク質遺伝子の導入技術の開発



ゲノム編集技術により、シルク遺伝子(フィブロインL鎖、セリシン1)領域への蛍光タンパク質遺伝子の導入に成功し、蛍光タンパク質が強く発現することを確認

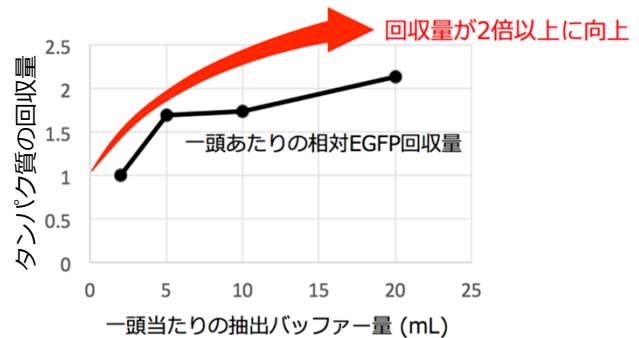
組換えタンパク質の生産性向上技術の開発

新規発現系の利用



新規発現系で1.5倍以上の生産性向上

抽出バッファーの変更



タンパク質回収量が2倍以上に向上

今後の方針

- 効率的なゲノム編集技術等を利用し、医薬品等成分を現行の3倍以上に向上 (例: 抗体 従来約0.5mg→1.5mg以上)

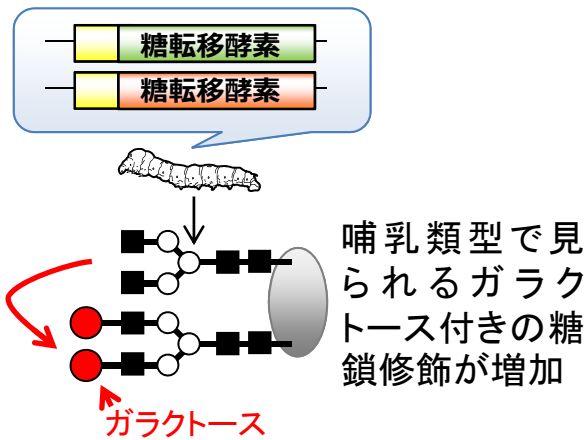
中課題2 糖鎖制御による有効性・安全性向上技術の開発

研究の概要

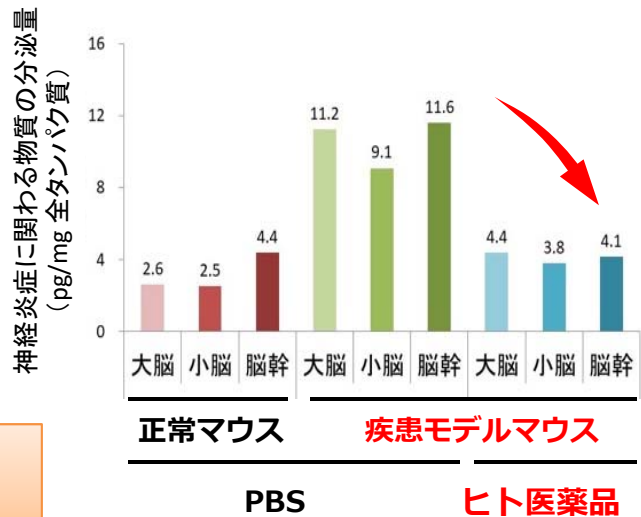
医薬品等成分の安定性、活性、免疫原性等に大きな影響を与える糖鎖について、遺伝子組換えカイコを用いて哺乳類型の糖鎖修飾が可能な技術を開発し、生物学的特性に対する影響を検証する。

主要成果

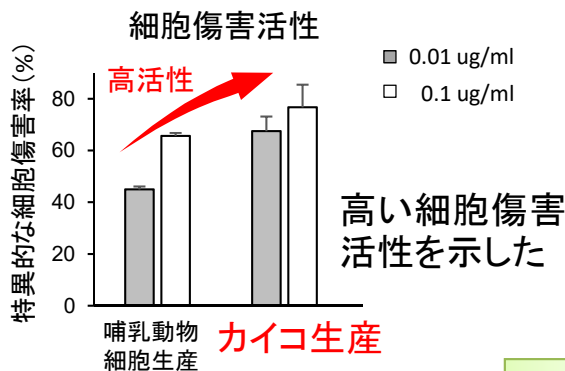
哺乳類型糖鎖修飾技術の向上



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



神経炎症に関わる物質の分泌が抑制され、治療効果が確認された

今後の方針

- ・遺伝子組換えカイコで哺乳類型の糖鎖修飾を付加する技術の開発
- ・カイコで生産した医薬品等成分の安定性や活性等の生物学的特性を評価

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

大量飼育装置の導入



大量飼育装置で2万頭の遺伝子組換えカイコを飼育することに成功

地域拠点における遺伝子組換えカイコ飼育開始



モデル地域1カ所(鹿児島県)での遺伝子組換えカイコ(化粧品原料)の飼育実証開始

茶葉刈り取り機の使用による桑収穫の省力化



茶葉刈り取り機の利用により、10アールあたりの作業時間が300分→20分に短縮



刈り取った葉を乾燥粉末にして人工飼料に

今後の方針

- ・カイコを効率的に飼育するスマート養蚕システムの開発
- ・遺伝子組換えカイコの大量飼育が可能な拠点を3カ所以上構築

委託プロジェクト研究課題評価個票（中間評価）

研究課題名	食品安全・動物衛生対応プロジェクトのうち、薬剤耐性問題（※1）に対応した家畜疾病防除技術の開発	担当開発官等名	消費・安全局食品安全政策課 研究開発官（基礎・基盤・環境）						
		連携する行政部局	消費・安全局畜水産安全管理課 消費・安全局動物衛生課						
研究期間	H29～H33（5年間）	総事業費（億円）	5.8億円（見込）						
研究開発の段階	<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">基礎</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">応用</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">開発</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"> </td> </tr> </table>	基礎	応用	開発				関連する研究基本計画の重点目標	重点目標 22
	基礎	応用	開発						

研究課題の概要

政府の「薬剤耐性対策アクションプラン」（※2）に基づく抗菌剤（※3）の使用量低減などの社会的要請に応えながらも、畜産・酪農の生産性阻害要因となる常在疾病（※4）の防除を強化するため、次の課題に取り組む。

<課題①：動物用抗菌剤の使用によるリスクを低減するための研究（平成29～33年度）>

- （1）薬剤耐性の発生・伝播機序及び危害要因の特定に関する研究
- （2）家畜生産現場で活用可能な薬剤耐性菌やその遺伝子の迅速検出法の研究開発
- （3）抗菌剤の使用中止による耐性率の変化に関する研究

<課題②：抗菌剤に頼らない常在疾病防除技術の開発（平成29～33年度）>

- （1）様々な家畜種の常在疾病に対する発病抑制・治療・予防のためのワクチンを含む免疫誘導技術の開発
- （2）地方病性牛白血病の感染・発症・伝播リスクの高い家畜を摘発する技術の開発

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

中間時（2年度目末）の目標	最終の到達目標
<p><課題①：動物用抗菌剤の使用によるリスクを低減するための研究></p> <ul style="list-style-type: none"> ・薬剤耐性の発生・伝播試験等によるデータの蓄積 ・疾病情報等の収集・分析 ・抗菌剤の使用中止による耐性率の短期的な変化の解析 	<p><課題①：動物用抗菌剤の使用によるリスクを低減するための研究></p> <ul style="list-style-type: none"> ・薬剤耐性の発生・伝播機序の解明及び危害要因の特定 ・薬剤耐性の有無を迅速に判別可能な検査法の開発 ・実用化 <ul style="list-style-type: none"> ・耐性率変化のモデル等の構築 以上に基づき、10以上の養豚農場において調査・分析・評価を実施し、従来法より迅速な薬剤耐性菌や耐性遺伝子の検出法を3つ以上開発し、3種以上の抗菌剤について使用中止に伴う薬剤耐性の変化に関するリスク評価に活用可能な知見を整備する。
<p><課題②：抗菌剤に頼らない常在疾病防除技術の開発></p> <ul style="list-style-type: none"> ・サルモネラ、難治性乳房炎等についてワクチン等の候補物質の検索 ・地方病性牛白血病について感染・発症・伝播しやすい家畜を識別するバイオマーカー候補の検索 	<p><課題②：抗菌剤に頼らない常在疾病防除技術の開発></p> <ul style="list-style-type: none"> ・各種常在疾病の免疫増強効果の実証と、対象動物を用いたワクチンシーズの実用性評価 ・地方病性牛白血病の感染や感染から発症への移行を制御する機能の解明と、それを利用した疾病制御技術の開発 以上を通して感染防御、排菌抑制または発病抑制効果の高いワクチンもしくは分子薬のシーズを5つ以上開発し、疾病摘発技術のための病態評価の指標となるバイオマーカーを2個以上同定する。

2. 事後に測定可能な委託プロジェクト研究課題全体としてのアウトカム目標（H36年）

<課題①>

本研究課題の成果を活用して、消費・安全局が「動物用抗菌剤の使用マニュアル」の策定や「家畜防疫対策要綱」等の防疫マニュアルを改訂し、対策を実施する。

<課題②>

開発したワクチン等を防疫対策に活用することによって、常在疾病による被害が低減し家畜生産基盤の強化が見込まれる。

【常在疾病による年間被害】

牛乳房炎：約800億円、ヨーネ病：80億円以上、下痢：牛の死廃頭数の16%、
牛白血病：陽性率30～40%

【項目別評価】

1. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性

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

先進国におけるヒトの主な死因が非感染性疾患へと変化する中で、新しい抗菌剤の開発は減少している。そのため、ヒトの重症感染症治療に使用できる抗菌薬がなくなる懸念が指摘されている。2015年には世界保健機構（WHO）で薬剤耐性に関するグローバルアクションプランが採択され、さらに2019年1月にはWHOが新たな5か年の戦略計画を公表するにあたり、「地球規模の保健に対する10の脅威」の一つとして薬剤耐性問題を取り上げている。

上記のグローバルアクションプランに対応して2016年4月に公表された我が国の「薬剤耐性対策アクションプラン」では、抗菌剤の使用量を継続的に監視し、One Healthの観点から医療、畜水産の分野における抗微生物剤の適正な使用を推進することが求められている。そのためには、薬剤耐性の研究開発を推進することの必要性が提示され、その成果として、畜産分野においては、大腸菌のテトラサイクリン耐性率を2014年の45%から2020年には33%へ低減することといった具体的な数値目標も掲げられている。

一方、抗菌剤そのものは畜産業にとって必須の生産資材である。家畜生産現場において、抗菌剤の使用を必要以上に削減ないし中止すれば、それまで抗菌剤で制御してきた疾病、あるいはそういった疾病を制御してきたことによって間接的に発生が抑えられてきた疾病がまん延し、家畜生産性が低下するリスクがある。そのため、畜産現場における抗菌剤使用の削減を推進にあたっては、同時に低コストかつ生産現場が受け入れ可能な代替防除技術を開発・実用化することも重要となる。このことは「科学技術イノベーション総合戦略2016」における、家畜疾病対策等による低コスト生産技術を開発することと連動した課題となっている。

以上のことから、我が国の畜産業ならびに健康な国民生活の維持・向上にとって、家畜の薬剤耐性対策及びそれに関連する家畜の常在性疾病対策についての研究開発の推進は、引き続き重要である。

②引き続き国が関与して研究を推進する必要性

上記のとおり畜産における薬剤耐性率の低減を期限付きの数値目標とともに国が示しており、また家畜の常在疾病による被害を低減するための対策の実行に必要な研究開発は、抗菌剤の使用規制等に関する国の施策とも連動する。そのため、本課題は国の委託プロジェクト研究としてわが国の研究勢力を結集して、総合的・体系的に実施する必要がある。

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中間時の目標に対する達成度

<課題①>

中間時目標のうち、「薬剤耐性の発生・伝播試験等によるデータの蓄積」については、以下のことを達成した。まず、抗菌剤使用量のモニタリングシステム「PigINFO Bio」を開発し、養豚場における抗菌剤使用量を農場ごとに効率的に把握することを可能にした。現在まで120～140戸／年の農場を対象に使用量の把握と各農場への情報還元を行うとともに、我が国における農場の豚1頭当たりの各抗菌剤の単位使用量やそのばらつき等を推定した。さらにこれらの農場の中で、生産性指標のデータも得られている約60農場については、抗菌剤の使用量と生産性指標の関連性の評価を開始している（別紙主要成果①-1）。一方、養豚場8戸を対象として、農場で購入した抗菌剤と豚舎排水及び豚舎内空気中の薬剤耐性菌汚染実態を調査したところ、一部の抗菌剤で、使用量の多い農場の薬剤耐性率が高い傾向にあることを明らかにした。さらにそのうち2農場においては、養豚業で用量が多い抗菌

剤の一つである「テトラサイクリン」の使用中止による大腸菌の耐性率への影響評価をするための試験を開始した。

以上のとおり、中間時の目標としていたデータの蓄積は順調に経過している。

「疾病情報等の収集・分析」については、以下のことを達成した。今年度までに収集した豚に下痢を引き起こす大腸菌「下痢原性大腸菌」を約1600株、国内の主要な牛マイコプラズマ病の病原種である「マイコプラズマ・ボビス (MB)」を約200株、およびみつばち疾病である腐蛆病についてはヨーロッパ腐蛆病菌およびアメリカ腐蛆病菌合わせて約180株について、薬剤耐性状況、病原因子、遺伝情報等を分析した。下痢原性大腸菌については、1990年代以降の主要株の変遷を明らかにするとともに、21種の抗菌剤に対する各株の耐性リスクを明らかにした。MBについては、遺伝的な関連情報と合わせて16種の抗菌剤の有効性の経年変化を明らかにした。さらに5系統の抗菌剤についてMBが耐性を獲得する可能性を示唆する遺伝子の変化を特定し、その動態についても明らかにした（別紙主要成果①-2）。腐蛆病菌について、アメリカ腐蛆病菌については、国内で利用が許可されている抗菌剤への耐性が認められないことを確認した。一方、ヨーロッパ腐蛆病菌については「ミロサマイシン」への耐性を確認し、さらに耐性株を生み出す機序についても既に解明することができた。

以上のとおり、中間時の目標である情報の収集・分析はいずれの課題も順調に進捗している他、一部については、耐性機序の解明など次年度以降に計画していた内容を前倒しで進めている。

「抗菌剤の使用中止による耐性率の短期的な変化の解析」については、以下のことを達成した。2018年に飼料添加剤としての国内使用が禁止された抗菌剤「コリスチン」については、実験豚舎で飼育する豚において、55日齢（子豚期）に本剤の使用を中止したことによる大腸菌の耐性の変化を明らかにした（別紙主要成果①-3）。さらに一般農場で飼育されている豚の薬剤使用中止にともなう腸内細菌の種類や数のバランスの変化の評価について、8農場における薬剤耐性状況等に関する予備調査のもと、詳細な解析を実施していく1農場を選抜した。また、肉用鶏においても、コリスチンの使用中中止に対する影響を評価するための基礎データを得ることができた。

以上から、中間時の目標としていた耐性率の短期的な変化の解析は順調に進捗している。

<課題②>

「サルモネラ、難治性乳房炎等についてワクチン等の候補物質の検索」については、それぞれ以下のことを達成した。サルモネラについては、ワクチン開発のために必要なタンパク質の候補を同定し、マウスにけるその感染防御への有効性を確認した。このタンパク質については、2018年に特許を出願したところである（別紙主要成果②-1）。難治性乳房炎については、その原因菌の一つである「レンサ球菌ウベリス」の国内発生株を収集し、ワクチンのシーズとなる2つのタンパク質の候補を作製するとともに、その効果検証に用いる本菌の乳房炎病態モデルを作出した（別紙主要成果②-2）。鶏に様々な病態によって被害を起こす「トリアデノウイルス」の新規ワクチンシーズの開発については、ワクチン抗原として用いる本ウイルスのうち高病原性を示す「血清型4」に関連するタンパク質を同定し、本ウイルスの外殻構造のうち、3種の構成部位の作製に成功し、さらにこれらを検出するための抗体検査法を開発した（別紙主要成果②-3）。弱毒化により豚への安全性が確認されている「豚丹毒菌」を活用した新たなワクチン開発については、これまで細菌性疾患1種、ウイルス性疾患2種のワクチン抗原となるタンパク質を内包する豚丹毒菌の作製が完了した。近年国内各地で大きな被害をもたらした「豚流行性下痢ウイルス」の病原性を制御するための基盤技術の開発については、これまで、約60代の継代を続けることにより、本ウイルスの増殖に際して抑制的に働くある種のタンパク質を分解する酵素を培養系に加えることなく増殖可能な株の作出ができた。またその株の遺伝子を解析して本ウイルスの弱毒化に関わる可能性のある変化を確認した。牛の法定伝染病で撲滅対象疾病になっている「ヨーネ病」の原因菌（ヨーネ菌）については、感染牛における免疫制御因子の動態解析を終了した。

以上のとおり、中間時の目標としていた各種感染症のワクチン等に関する候補物質の検索は順調に進捗しており、一部においては特許出願にいたるなど、予定を上回る成果も得ている。

「地方病性牛白血病について感染・発症・伝播しやすい家畜を識別するバイオマーカー候補の検索」については、以下のことを達成した。牛の監視伝染病のうち最も摘発数が多い「地方病性牛白血病 (EBL)」とその原因ウイルスである「牛白血病ウイルス (BLV)」について、収集したBLVの全ゲノム解析、若齢発症牛の感染ウイルスの性状解析、また乳汁中の白血球から分泌される小胞（エクソソーム）の分離方法を検討した。これまで収集したウイルス株が感染した際の感染ウイルス量とそのウイルスが持つ遺伝子情報（ゲノム）の変異状況（一塩基多型：SNP）（別紙主要成果②-4）、BLV

の胎盤感染に関連する牛側の因子の候補、発症に関する生体側の免疫関連因子の候補を同定するとともに、エクソソームについてはその効率的な分離・精製方法を確立し、そこに含まれる複数のバイオマーカー候補を同定した。

以上のとおり、中間時の目標としていたバイオマーカーの検索は順調に進捗している。

②最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

<課題①>

・薬剤耐性の発生・伝播機序の解明及び危害要因の特定

日本養豚開業獣医師協会（JASV）と連携し、薬剤耐性率等のデータを継続的に解析しており、最終年度までにはさらなる参加農場数の増加が見込まれる。抗菌剤の使用量の多い農場に対して、データの解析に基づきJASVの農場管理獣医師介在のもと戦略的に抗菌剤の使用削減を進め、薬剤耐性率等に及ぼす影響をについて疫学解析により定量化することとしているが、既に順調なスタートができていることから、到達目標は十分達成可能である。

また、今後PigINFO Bioへ実装する情報については、今後も海外調査を進め、日本の実情を踏まえた抗菌剤使用量の測定方法を確立してその高度化を図る。一方、衛生管理実態と使用量の関連の解明については、現在のデータ収集状況を踏まえると一部の要因との関連の解明にとどまる見込みである。

環境中の抗菌剤の動態や耐性菌の分布状況、さらに抗菌剤使用中止に伴う影響評価は、これまでの取り組みで農場におけるサンプリングや試験方法を確立することができており、今後事例を増やしていくことについても常にJASVと協議を進めている。

以上から、当初目標の10農場以上での評価は十分可能である。

・薬剤耐性の有無を迅速に判別可能な検査法の開発・実用化

下痢原性大腸菌についてはこれまで質・量ともに十分な基礎データの収集が完了した。今後それらを基に類似のグループを迅速に判別する検査法の開発にシフトするが、すでに基盤技術は保有していることから、当初目標を十分達成できる。

MBについては今後1年で耐性化リスクを持つ株の迅速判別技術を来年度中にほぼ確立できる見込みで、その有用性を残りの二年で評価することとしており、余裕をもった目標の達成が可能である。

腐蛆病菌については、上記のとおり前倒しで研究が進捗しており、今後2年間で腐蛆病菌への耐性遺伝子の供給源となりうるハチミツ中の腐蛆病菌以外の薬剤耐性菌について調査を行い、その情報を利用して、最終年度に予防薬使用の必要性と耐性菌発生リスクの評価ができる検査系の開発をすることは十分可能である。

以上から、当初目標の3つ以上の新たな検査法の確立は可能と判断できる。

・耐性率変化のモデル等の構築

テトラサイクリンの中止による影響評価の課題については、上記のとおり目標とする数の対象農場からの協力を取り付けつつあり、順次評価を進めていくことによって課題としての目標達成は可能である。

コリスチンの使用中止による影響評価については、すでに一般農場での短期的な評価のデータを得ている。今後もモニタリングを継続することによって目標としている長期的な影響評価も可能である。さらに同様の手法によって、ほかの抗菌剤に関する予備データの収集を開始した。したがって、残りの3年間で当初の目標を達成することは可能である。

ブロイラーを対象にした課題については、これまでに予定していた試験自体は終了していることから、取りまとめを速やかに進めることと並行して、中期的影響に関する試験を続けていく。

以上から、当初目標の3つ以上の抗菌剤についての使用中止による影響評価は達成可能である。

<課題②>

・各種常在疾病の免疫増強効果の実証と、対象動物を用いたワクチンシーズの実用性評価

サルモネラワクチンシーズ開発については特許出願に至る成果を得ており、今後計画に沿って他の型のサルモネラにおける防御試験の実施および免疫応答の解析を行い、鶏、豚を用いた臨床試験へ研究を展開して、目標である細胞性免疫を誘導可能なサルモネラワクチンシーズの開発を完了できる。

難治性乳房炎のワクチンシーズ開発については、計画通りに複数のワクチン抗原の作製およびワクチン効果を検証する病態モデルの作出に成功している。ワクチン効果を持続させる物質（アジュバント）の評価系の作出も計画通り進めていることから、有効なワクチンシーズの開発は達成できる。

トリアデノウイルスのワクチンシーズ開発については、血清型4の抗原タンパク質を得ることに成功している。鶏を用いた攻撃試験を行う道筋はついており、ワクチンシーズの開発は達成できる。

豚丹毒菌を活用した新規ワクチンシーズ開発については、すでに3種の豚感染症について、ワクチン抗原分子上での発現を確認しており、豚を用いた有効性評価試験の準備も整っていることから、目

標である経口投与型ワクチンの開発は達成できる。

ヨーネ菌感染牛における排菌抑制機構の検証について、関連する生理活性物質を試験管内試験で見出したところである。残りの期間は牛を用いた宿主免疫の応答の検証に充てることとしており、当初の目標達成可能である。

豚流行性下痢ウイルスの病原性を制御するための基盤技術の確立については、当該ウイルスの弱毒化に関わる可能性のある遺伝子領域を見出している。次年度以降、豚を用いた病原性確認と遺伝子解析によって目標は達成できる。

以上から、当初目標である5つ以上のワクチンもしくは分子薬のシーズ開発は事業期間中に完了できる。

・地方病性牛白血病の感染や感染から発症への移行を制御する機能の解明と、それを利用した疾病制御技術の開発

牛白血病のバイオマーカー開発については、その候補となる遺伝子、タンパク質、生理活性物質等をすでに見出しており、今後もそれらの解析を継続し、同時により簡便な検出法の開発を並行して進めていくこととしており、当初目標の2つ以上の新規バイオマーカーの同定は達成可能である。

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
--	--------------

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において確立した抗菌剤使用量を把握するためのモニタリングシステムPigINFOBioを養豚場の管理獣医師へ普及し、農場単位での抗菌剤の慎重／適正使用の指導に活用することによって、抗菌剤使用量のより戦略的な低減が可能になる。また、抗菌剤使用による生産農場内外の環境中の薬剤耐性菌分布率に及ぼす影響、残留または環境中へ放出される抗菌剤や重金属の濃度といった情報、また抗菌剤の使用中止による生産性等の各種影響評価、さらに薬剤耐性菌の迅速検出法といった成果物については、行政部局による「動物用抗菌剤の使用マニュアル」策定のための基礎データとして活用していくこととしている。迅速検出法についてはそれぞれ開発が完了次第、手順書に取りまとめ、家畜保健衛生所等での活用を図る。

課題②において、プロジェクト完了時にサルモネラ、豚丹毒ベクターに含める疾病、難治性乳房炎、トリアデノウイルスについては有望な試作ワクチンが提示できることから、必要な特許を申請して民間企業に技術移転し製品化を目指す。この中にはすでに興味を示すメーカーとの検討を始めているものもある。牛ヨーネ病の免疫制御因子と豚流行性下痢の低病原性化技術は基盤的な知見となることから、プロジェクト完了後は民間との共同研究も想定しながら研究開発を推進する。地方病性牛白血病の感染・発症・伝播リスクの高い家畜を摘発する技術については、牛白血病の病態に関連する有望なバイオマーカーを見出していることから、家畜保健衛生所や家畜診療所と協力して検証を進め、牛白血病清浄化の技術体系に組み込んでいくこととしている。以上で確立した技術について実用化ができたものについては「家畜防疫対策要綱」等の防疫マニュアルの改訂内容として活用する。

以上から、本研究課題の成果を活用して、消費・安全局が各種マニュアルを整備または改訂し、対策を実施すること、また開発した技術による防疫対策を実施することで、アウトカム目標である「薬剤耐性菌及び常在疾病による被害が低減し家畜生産基盤の強化」は達成可能である。

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

これまで国内に存在しなかった抗菌剤使用量のモニタリングシステムPigINFO Bioは既に実用化を見据えた運用が開始されている。またシステムの構築にあたって得られた予備知見は、薬剤耐性問題を所掌する消費・安全局畜水産安全管理課が平成31年度に実施予定の薬剤耐性関連事業にも参考情報として活用された。

また、現時点で特許出願済みで実用化の可能性が極めて高いサルモネラのワクチン開発の実行課題については、これまでの成果を広く周知する目的で、アグリビジネス創出フェアにおける消費・安全局食品安全技術室のブースでポスター展示を行い企業等とのマッチングを後押しした。このように社会還元が可能な成果が得られた、ないし得られる見込みが立つ実行課題については普及・実用化を見据えた活動へ展開しつつあり、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

該当しない。

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

これまで本課題の事務運営を担当する消費・安全局食品安全政策課食品安全技術室のプロジェクトオフィサー（PO）ならびに研究専門官が各実施課題の進捗状況を把握しており、それらの情報を薬剤耐性問題及び動物衛生を所掌する行政側のリスクマネージャー（畜水産安全管理課及び動物衛生課）へ提供してきた。それらの情報を省内で蓄積した上で、これまで3回開催された受託者主催の研究推進会議には消費・安全局関連3課が必ず出席し、行政活用の観点から成果の妥当性を検討してきた。また、続いて開催される消費・安全局主催の運営委員会においては、注力すべき点や修正すべき点を指摘すること等を通して計画の策定と課題の適正な推進を後押ししている。その結果、中間時の目標はほぼ達成することができている。以上から、研究計画は妥当である。

②研究推進体制の妥当性

これまで各年2回の運営委員会を開催してきた。当該委員会はリスクマネージャーである担当2課および農水省の検査機関（動物医薬品検査所）に加え、薬剤耐性、ワクチン開発、畜産現場の衛生対策といった専門の異なる3名の大学教授（外部委員）等によって構成されており、常に行政ニーズを満たす出口戦略のもとに各課題が推進されているか確認し、必要に応じて助言を行ってきた。またそのフォローアップとして、助言が適切に課題推進と成果に反映されているかの確認を食品安全技術室が担ってきており、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）

いずれの実行課題についても行政あるいは畜産の現場ニーズに即したものであり、全体を通して、これまでリスクマネージャーが想定した成果がほぼ得られていることから、以後実施する研究課題構成は適切である。

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

初年度の成果に鑑み、小課題①については野外で実施すべき調査研究内容は明確になっており、必要な成果を得るためには協力農場との調整業務が重要となっていた。そこで2年目である今年度はワクチン抗原候補を確実に確保するための各種実験が必要となる小課題②へ重点配分を行った。いずれの小課題も今年度の2年目に目標とする成果を得ることができたため、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の継続の適否に関する所見

・中間時の目標は達成しており順調に進捗していることから、本研究を継続することは妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・データベースが乱立することのないよう、既に運用されている、例えば「WAGRI」に一本化するような方策を検討されたい。
- ・また、データベースの運用に当たっては、データ入力の手間が煩雑にならないようにするなど、利用する生産者に配慮して進める必要がある。さらに、入力した生産者の不利益にならないように検討されたい。
- ・動物用抗菌剤が成長促進剤として使われている側面もあると聞いている。このため、その利用を削減・停止した場合の家畜への影響も考慮して進めることが重要である。

[研究課題名] 食品安全・動物衛生対応プロジェクトのうち、薬剤耐性問題に対応した家畜疾病防除技術の開発

用語	用語の意味	※ 番号
薬剤耐性問題	薬剤耐性とは、細菌、真菌、寄生虫などの微生物による感染症に対して抗菌剤（下記）の効果が無効もしくは減弱する現象を指す。薬剤耐性問題とは、抗菌剤の不適切な使用等によって抗菌剤に耐性を持つ微生物が世界的に増えている現象を指す。	1
薬剤耐性対策 アクションプラン	「国際的に脅威となる感染症対策関係閣僚会議」において2016年4月5日に決定された、薬剤耐性問題に関するわが国の行動計画（対象期間：2016～2020年）。ヒトと動物の垣根を越えた取組（ワンヘルス・アプローチ）によって、薬剤耐性の発生を遅らせ、拡大を防ぐため、「1. 普及啓発・教育、2. 動向調査・監視、3. 感染予防・管理、4. 抗微生物剤の適正使用、5. 研究開発・創薬、6. 国際協力」の各分野について目標が掲げられた。本研究課題に特にかかわる部分としては、薬剤耐性及び抗菌剤の使用量を継続的に監視し、薬剤耐性の変化や拡大の予兆を適確に把握（2）し、医療、畜水産の分野における抗微生物剤の適正な使用を推進（4）するための手段として、薬剤耐性の研究や薬剤耐性微生物に対する予防・診断・治療手段を確保するための研究開発を推進（5）することが挙げられる。	2
抗菌剤	細菌の増殖を抑制したり、殺したりする働きのある化学物質。抗菌剤には、微生物が産生した抗生物質と、人工合成した化学物質が含まれる。	3
常在疾病	環境中に持続的に定着している病原体よる疾病。本研究課題では、これらの疾病のうち、特に現在我が国で問題となっている各種サルモネラ症、難治性乳房炎、豚の大腸菌症（浮腫病）、高い病原性を示すトリアデノウイルス、豚流行性下痢、地方病勢牛白血病等へ対応することとしている。	4

背景と目的

- 2016年4月に政府がとりまとめた「薬剤耐性対策アクションプラン」において、薬剤耐性の発生・伝播機序の解明や、新たな予防・診断・治療法等の開発に資する研究を推進するとされた。
- 経営体や県からは、常在疾病に対するワクチンや検査技術の開発要望。
- 一方、以下のような課題が存在
 - ・家畜生産現場における抗菌剤の不適切な使用により、耐性菌が増加し、治療効果が得られなくなる可能性
 - ・ただし、抗菌剤の使用を過度に抑制すれば、常在疾病がまん延し家畜の生産性が低下
 - ・このため、抗菌剤の使用を適正に削減し、かつ常在疾病も制御するための技術開発が必要

研究内容

【1】動物用抗菌剤の使用によるリスクを低減するための研究

- ・薬剤耐性の発生・伝播機序及び危害要因の特定
- ・薬剤耐性菌の迅速検出技術の開発
- ・抗菌剤の使用中止による耐性率の変化の解明

【2】抗菌剤に頼らない常在疾病防除技術の開発

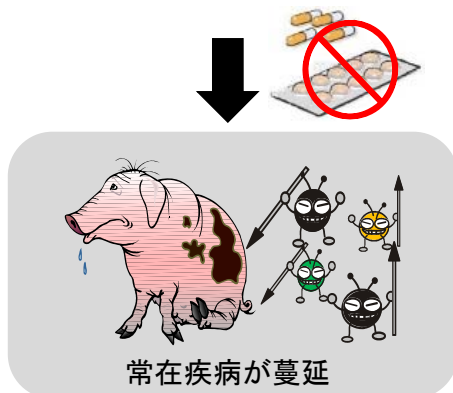
- ・細菌病に限らない国内常在疾病の発病抑制・治療・予防のための免疫誘導技術の開発
- ・発症・伝播リスクの高い感染家畜を摘発する技術の開発

研究目標

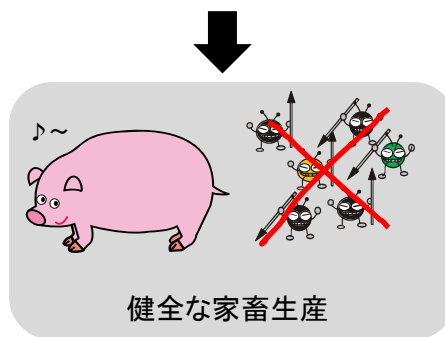
薬剤耐性対策の目標※を達成しつつ、
常在疾病による家畜生産性の低下を
抑制するための技術開発を実施

※大腸菌のテトラサイクリン耐性率を
2020年に33%以下、セファロスポリン
とフルオロキノロン耐性率を2020年に
G7各国の数値と同水準

極端な抗菌剤使用抑制



抗菌剤の使用を適切に削減
しつつ常在疾病防除

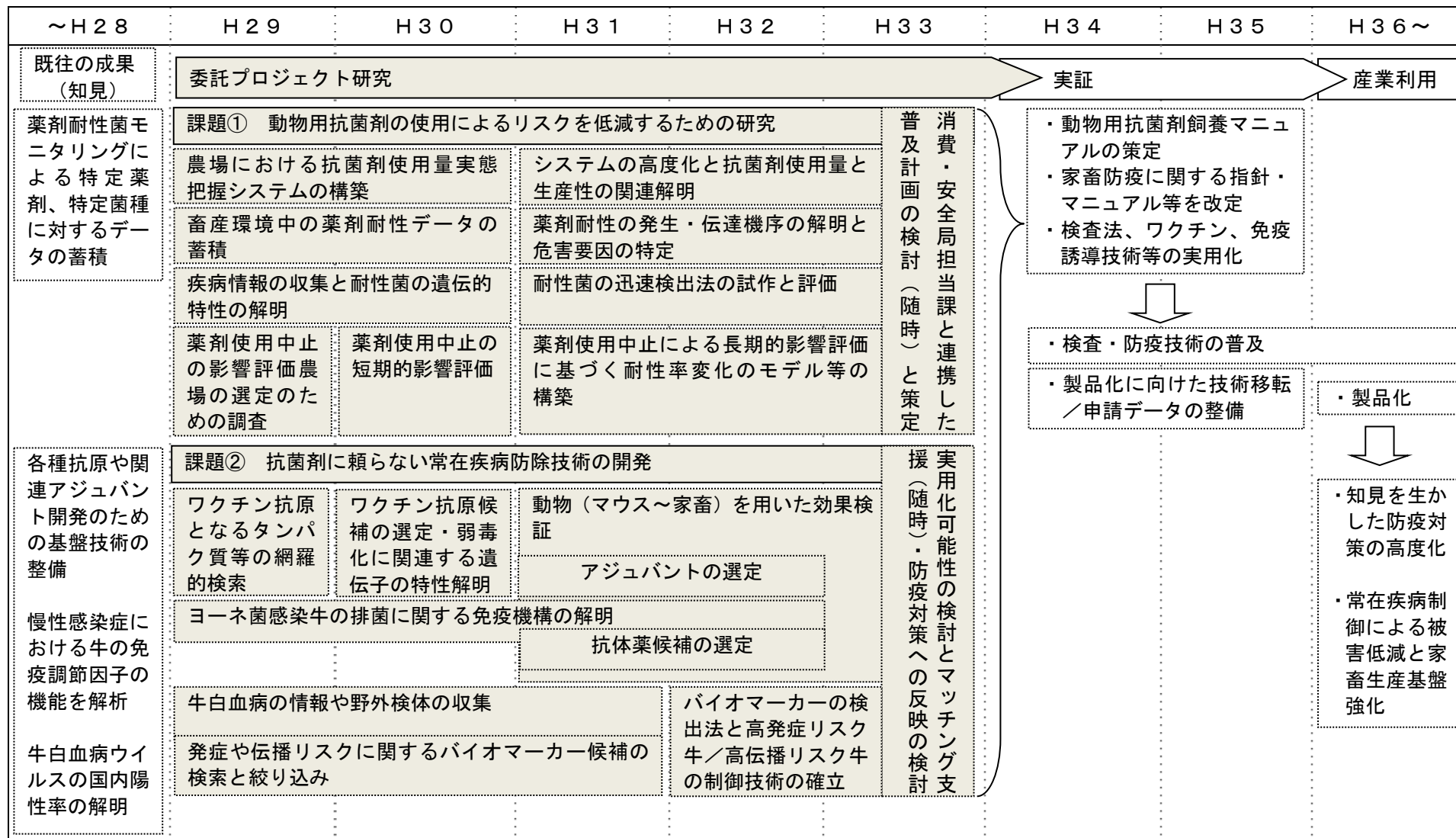


期待される効果

- ・抗菌剤の慎重使用に関するガイドラインや、家畜伝染病防疫対策の見直し
- ・常在疾病による被害を低減し、家畜生産基盤を強化

【ロードマップ（中間評価段階）】

食品安全・動物衛生対応プロジェクトのうち、薬剤耐性問題に対応した家畜疾病防除技術の開発



(課題①-1) 養豚場における抗菌剤使用の実態評価システムの構築 及び生産性への影響解明

研究概要

養豚農場における抗菌剤使用実態をモニタリングするシステム(PigINFO Bio)を構築し、養豚場の生産性評価システム(PigINFO)と連携させることによって、生産性を損ねない戦略的な抗菌剤使用量の削減手法を確立する。

主要成果

PigINFO Bioの構築



今後の研究推進方向

- ① システムの効率化のため、抗菌剤使用量を治療日数単位に換算した指標で比較する機能や、抗菌剤等の自動入力機能をPigINFO Bioに追加
- ② 特定の抗菌剤使用を中止したことによる耐性率の変化への影響を解明

(課題①-2) マイコプラズマの特性解明と簡易迅速な薬剤耐性判別技術の開発

研究概要

マイコプラズマの薬剤耐性を検出するための検査は臨床現場での活用が難しい。その理由として、検査の迅速性と簡便性の低さが挙げられる。そこで、これまで国内で分離された菌株について耐性化の傾向を明らかにするとともに、従来法の短所を克服した新たな検査技術を開発し、有用性を評価する。

主要成果

「マイコプラズマ・ボビス」の薬剤耐性獲得につながりうる遺伝子変異を特定し分離株の変遷を解明

我が国の牛疾病由来のマイコプラズマ・ボビス(n=202)で特定した薬剤耐性獲得につながりうる変異

変異した遺伝子等	変異内容と箇所	影響を受ける薬剤(の系統)
16SリボゾームRNA	A 965 th , A 967 th	テトラサイクリン系
	C 1192 nd	スペクチノマイシン
23SリボゾームRNA	G 748 th	16員環マクロライド系
	A 2059 th	マクロライド系、リンコサミド系
gyrAとparCの変異の共存	セリン83 rd (gyrA)、 セリン80 th (parC)	フルオロキノロン系



本菌のまん延予防の基礎的知見となるとともに薬剤の適正使用にもつながる

今後の研究推進方向

- ① これまで特定した変異を検出する簡易迅速な検査法の確立
- ② マイコプラズマ・ボビス感染症の治療技術の高度化

(課題①-3) 豚農場における抗生物質使用中止による豚由来大腸菌耐性率への影響評価

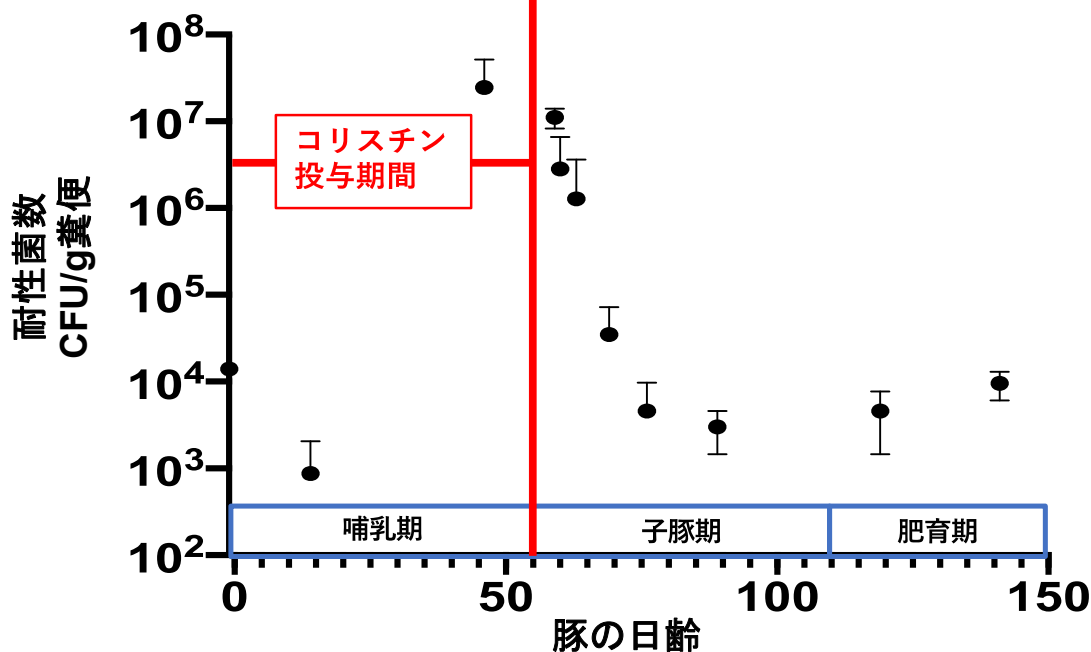
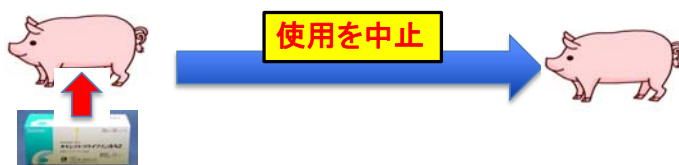
研究概要

飼料添加物としてのコリスチンについては、平成30年に使用が禁止された。そこで、豚への使用中止前後の大腸菌の耐性率への影響を明らかにするとともに、他の抗菌剤についても同様の評価を行い、抗菌剤の適正使用のための基礎情報として活用する。

主要成果

コリスチン使用中止すると豚由来大腸菌の耐性は下がる

大学の試験農場にて豚群を150日齢まで飼養し、分離される大腸菌のコリスチン耐性等の性状を解析
コリスチンの投与は55日目に中止



豚生体でのコリスチン使用による大腸菌の耐性上昇と、中止による耐性低減をともに実証

今後の研究推進方向

- ① 一般の養豚農場における、農場全体のコリスチン耐性率の変動の検証
- ② 他の抗菌剤についても同様に評価し、それらの慎重使用および適正使用についての基礎情報として活用

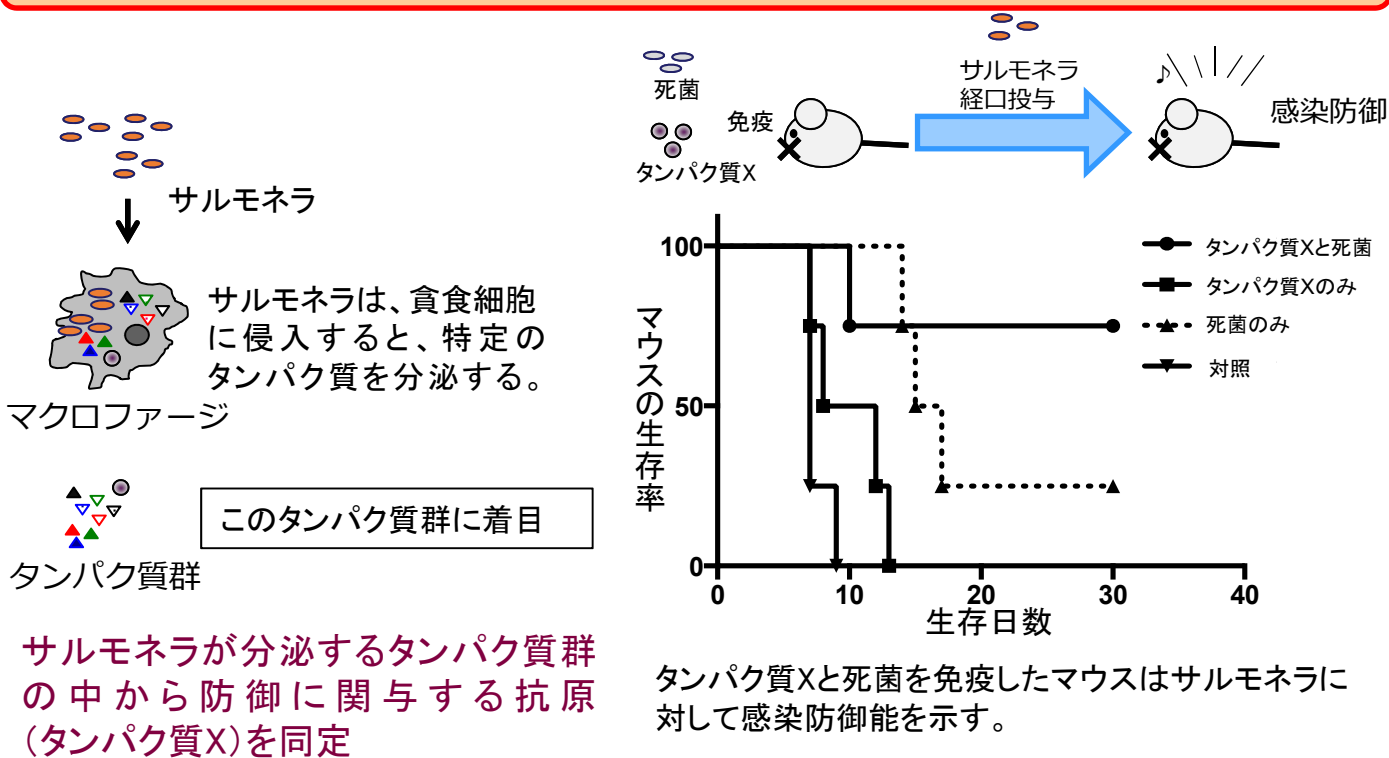
(課題②-1)細胞性免疫を誘導可能なサルモネラワクチンの研究開発

研究概要

家畜・家きんのサルモネラ症制圧のため、家畜・家きんへの感染予防が可能な新規のワクチンを開発する。

主要成果

マウスを用いてサルモネラ感染防御に関与するタンパク質を同定



同定したタンパク質(ワクチン抗原)は、家畜全般に対する安全で高機能な新規の「成分ワクチン」のシーズとして活用が期待できる(特許出願済)

今後の研究推進方向

- ① 異なる種類のサルモネラに対する感染防御能を検証
- ② 順次家畜・家きんにおける臨床試験を実施

(課題②-2) 難治性乳房炎に対する発症制御法の開発

研究概要

酪農場において乳房炎対策に用いられる抗生物質の使用量と頻度を低減するため、難治性乳房炎の発症を制御するタンパク質(ワクチン抗原)とその効果を持続させる物質(アジュバント)を開発し、その適切な使用方法を確立する。

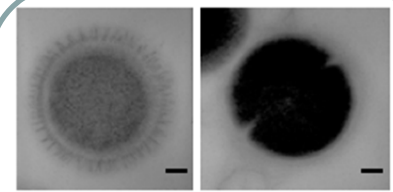
主要成果

「レンサ球菌ウベリス」による乳房炎に有望なタンパク質を作製

臨床型乳房炎由来の分離株の遺伝子型および性状解析に基づき、ワクチン抗原となる2種類のタンパク質を選定・作製



1. 菌体表面の細胞接着因子2成分を含む「キメラタンパク質」の模式図と精製品の電気泳誘像



荚膜保有株 無荚膜株

2. 菌体表面に多種の病原因子が露出した無荚膜株の死菌体

これらのワクチン抗原候補のタンパク質について:

- 1、2ともに牛に抗原性があること
 - 細胞接着阻止(1)と食菌促進(2)に働く抗体を誘導することを確認
- 菌体表面の膜(荚膜)の型によらず効果が期待できる

今後の研究推進方向

- ① 抗原の内容と組み合わせを決定するための感染試験
- ② アジュバントの選定・開発
- ③ 乳牛において、組み合わせた抗原と最適なアジュバントの組み合わせを決定するための検証

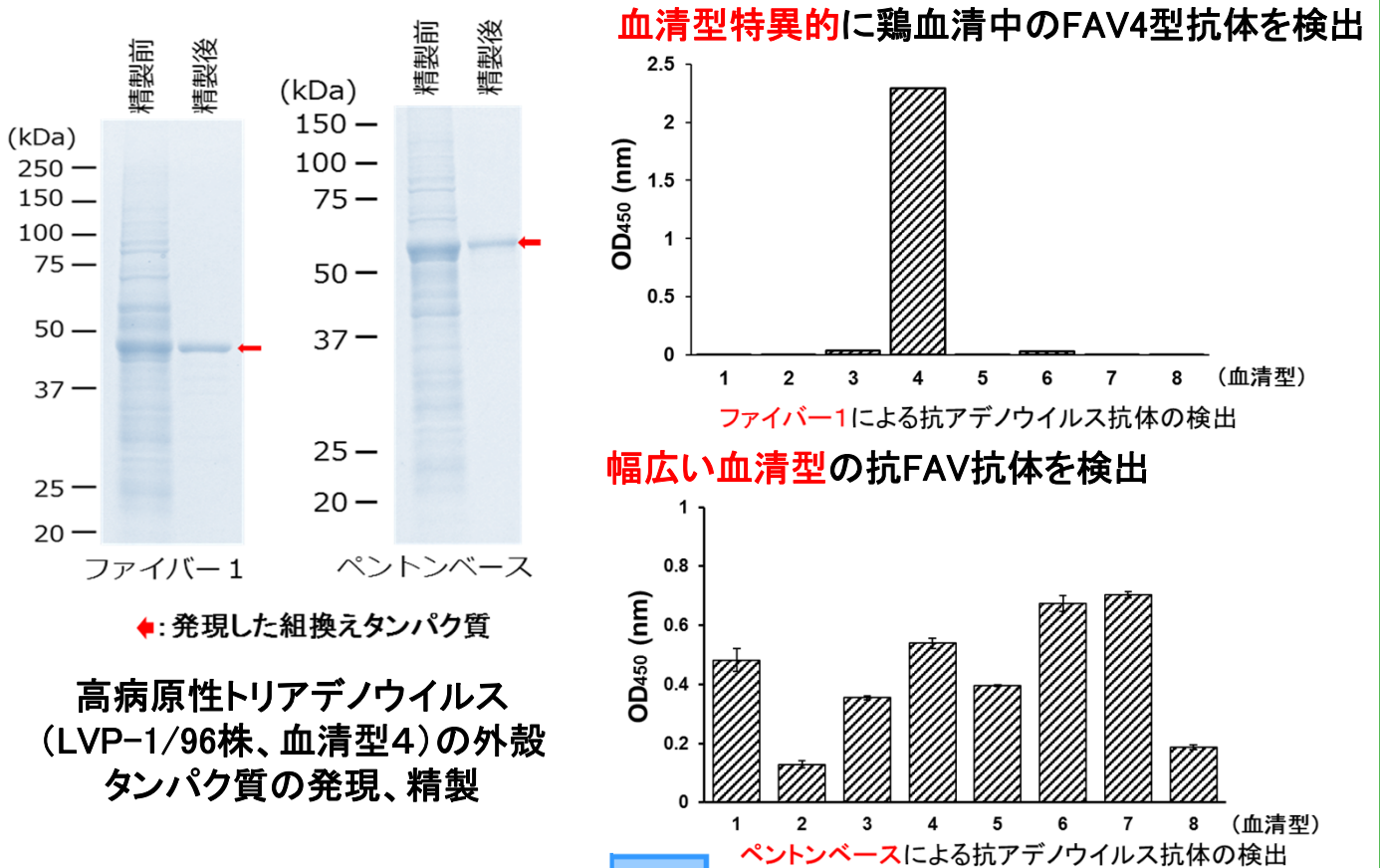
(課題②-3) ウイルス様粒子作成技術を応用した トリアデノウイルスワクチンの開発

研究概要

我が国でもしばしば発生があるトリアデノウイルス(FAV)は鶏に様々な疾病を引き起こす。それらによる養鶏場の損耗低減のため、ウイルス様粒子作製技術を活用してFAVの検出法とワクチン候補株を作出する。

主要成果

抗FAV抗体を検出するための抗体検査法を構築



ワクチン候補株の作出に先立ち、血清型共通、および高病原性株を含む血清型4に特異的な迅速抗体検査法(ELISA法)をそれぞれ確立。FAVの野外浸潤の実態解明により、ワクチンを必要とする鶏群の判別が容易となった。

今後の研究推進方向

- ① 今回得られたワクチン抗原候補となるタンパク質について、鶏における発症防御能を解析
- ② 異なる血清型のウイルスへの防御能も解析し、ワクチン抗原としての汎用性を評価

(課題②-4) 地方病性牛白血病の発症・伝播リスク牛の摘発技術の開発

研究概要

牛の監視伝染病で摘発数が最多の地方病性牛白血病(EBL)の発生低減のため、その原因である牛白血病ウイルス(BLV)感染牛のEBL発症やBLVの伝播に関連するバイオマーカーを同定するとともに、それらを利用した高発症リスク牛あるいは高伝播リスク牛の早期摘発手法を確立する。

主要成果

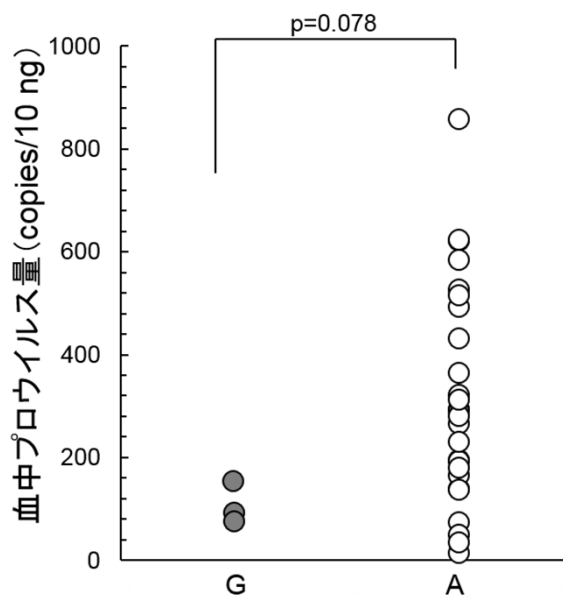
BLV感染牛の保有ウイルス量に関連するウイルスの遺伝子情報(ゲノム)の特異的変異(SNP)を確認

感染牛(n=30)由来のウイルス株の全ゲノムを解析

保有ウイルス量との
関連が示唆されるSNPの位置

ゲノム上の位置	対応するタンパク質
37	LTR
794	GAG
1902	PRO
3071	POL
3761	POL
4299	POL
6427	なし
6853	なし
7053	R3
7532	TAX, REX
7838	TAX, REX
8226	LTR

保有ウイルス量
との関連を評価



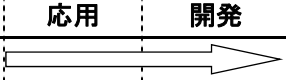
6427番目の遺伝子の核酸が“G”のBLVに感染した牛は、血中プロウイルス量が相対的に低かった

短期間での全感染牛の更新が困難な高度汚染農場においては、BLVの型別(SNP解析)を通して更新する牛の優先順位付けができる可能性

今後の研究推進方向

- ① 高い感染量と関連するSNPの同定とその有用性を検証
- ② その他の遺伝子やタンパク質の網羅的解析を通して、更に有望なバイオマーカー候補を探索

委託プロジェクト研究課題評価個票（中間評価）

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	H29～H33（5年間）			総事業費（億円）	11.2億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発	関連する研究基本計画の重点目標	重点目標 1、28
					

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29～33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29～33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

中間時（2年度目末）の目標	最終の到達目標
<課題①：AIを活用した病虫害診断技術の開発> 生物種5,000種以上の画像・遺伝子情報の収集及びデータベース基盤の整備	<課題②：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
<課題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、土壌微生物のDNA増幅パターンや遺伝子情報の収集及び情報のビッグデータ化	<課題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全体としてのアウトカム目標（H38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. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性

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

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。生産現場での病虫害の発生は、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、適期的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 引き続き国が関与して研究を推進する必要性

統合イノベーション戦略（平成30年6月15日閣議決定）では、Society5.0（※5）の実現に向けて、AIの農業分野への展開を推進することによって、2025年までにほぼすべての担い手がデータを活用し、スマート農業技術関連の産業が1,000億円以上の市場に発展することを主要目標に掲げている。

本課題は、AIを活用した病害虫管理技術を農業者に提供するものであり、まさにこの戦略に即した研究開発事業である。また、病害虫管理に携わる行政担当者や普及指導員は減少傾向にあるが、その業務の効率化・体系化に資する成果が期待できるため、植物防疫行政ニーズにも応える課題である。総じて、国内の農業現場に共通の課題解決に貢献する公益性の高い研究開発であり、その成果は幅広く普及・利用できると見込めるため、国自ら取り組む必要がある。

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 中間時の目標に対する達成度

<課題①>

平成30年度までに、トマト、キュウリ、イチゴ、ナスに被害をもたらす病害虫を24府県で調査し、主要な病害虫種についてそれぞれ約10万枚、8万枚、8万枚、7万5千枚の画像を収集した。また、これらのデータを、被害の程度や発生部位等の付帯情報と合わせてデータベース化し、AIによる機械学習を実施できる基盤を整えた。さらに、主要病害虫を含む合計5,047種の生物の標本コードや画像、遺伝子配列等の情報を収集し、カタログデータベース基盤の整備を完了した。

<課題②>

対象とした5種類の土壌病害を対象に、平成30年度までに計1,500点以上の各土壌サンプルに関する土壌微生物のDNA増幅パターンや遺伝子情報に加え、土壌理化学性、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、生産者の圃場管理等の各種情報を収集・整理し、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した。

また、これらのデータに基づき、AI開発に最適なデータの前処理方法を確立し、機械学習アルゴリズムとしてランダムフォレスト（※6）を利用して根こぶ病の圃場の発病程度の予測器を開発し、予測に重要な変数を絞り込んだ。さらに、根こぶ病を対象としてスマートフォン上で利用できるアプリケーション（初版）を開発するとともに、生産者らのニーズ等を踏まえたアプリデザインを設計した。

これらの成果から、中間時の目標は十分に達成された。

② 最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

<課題①>

最終到達目標として、「生物種7,000種以上の画像・遺伝子情報を基にしたAI病害虫診断技術の開発」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AI診断の基盤となる生物種情報について5,000種以上の情報を収集するとともに、AI学習用の病害虫画像30万枚以上を撮影し、うち7万枚以上をデータベースに登録した。また、これらの画像を用いてAIによる深層学習（※7）を行い、病害および虫害にそれぞれ対応した識別器を構築した。これまでに収集済みの画像を用いて学習を行ったところ、対象作物、種数は限られているものの、病害・虫害ともに80%以上の精度で評価用データを診断することができた。さらに、学習・評価用データとは全く異なる条件で撮影した画像に対する識別率も着実に向上していることを確認した。病害虫の被害画像は今後も継続して蓄積する予定であり、これらを整備してAIの学習に活用することで、識別率をさらに向上させることができる。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、プロトタイプの前製が完了しており、社会実装を見据えた研究開発を進めている。

<課題②>

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、根こぶ病を対象にデータの前処理方法を確立するとともにランダムフォレストによる予測器を開発した。これらは、今後他の4病害に対するAI開発の水平展開を図るためのキーテクノロジーであり、その開発が予定どおり行われたことから、今後3年間で、引き続き取得される現地圃場での実証データを用いることで、根こぶ病の予測器の精度向上と、他の4種類の病害の発病予測器の開発が可能となる。これらを通じ、AIによる各圃場に適した発病ポテンシャル（病害の発生しやすさ）の予測器および対策技術の提案機能を開発していく予定である。また、ユーザーインターフェース開発において、現地生産者および指導者らからの多数のヒアリング情報を踏まえ、バックエンドとなるサーバと連動したアプリケーションの基本骨格を開発した。今後は、引き続き現地生産者および指導者らへのヒアリングを行い、アプリが備えるべき機能を選定するとともに、ユーザーフレンドリーな土壌病害診断・対策支援システムの開発を行う計画である。

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>

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>

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は、人間における予防医学の概念に基づいた、ヘソディム（※8）と呼ばれる病害管理法の推進が有効である。本研究で開発予定のシステムは、多くの生産者に対しヘソディムの実践を支援するシステムと位置付けられる。本システムを通じたヘソディムの普及を推進することで、土壌消毒に係るコストの削減および生産性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、ライセンサーの企業等を増やすための啓蒙活動を行う等、研究課題終了後の社会実装を見据えた取組みも前広に行っている。

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>

- 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害虫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ー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、展示会等で広く情報提供を行っている。

<課題②>

- 1) 研究課題終了後に研究成果を迅速に活用してもらうために、ソリューションモデルの観点で、計

20箇所の現地の営農指導者や生産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アプリのデザイン・構成および診断・対策支援サービスの内容・料金等についての検討を行った。

- 2) 研究成果の生産現場での効果的な活用・普及を図るためには、最初の実践成功事例を作ることが重要であるという視点から、持続的農業生産を志向し、開発中のアプリを用いた土壌病害管理の実証に参加してもらえる生産者を実証試験地区の中から4名選定した。
- 3) 研究課題終了後に土壌病害診断・対策支援サービスを受託する関連企業の新規参入促進のために、AIを活用した土壌病害管理法の理解増進、生産者の現場ニーズに対する理解増進等に関する勉強会や講演を、計10回行った。

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、人工知能による病害虫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害虫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いるか等）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 研究課題の妥当性（以後実施する研究課題構成が適切か等）

課題①・課題②ともに、運営委員会での指摘事項を反映した上で計画通りに研究を進め、病害虫被害画像情報や土壌微生物情報等を収集するとともに、病害虫診断AIの開発を推進している。今後は、収集した情報を基にAIの学習を進め、その結果をフィードバックしつつ情報を追加収集する予定である。

このような研究課題の構成は最終到達目標の達成を目指す上で妥当である。

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

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した。

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。

1. 委託プロジェクト研究課題の継続の適否に関する所見

- ・中間時の目標は達成しており順調に進捗していることから、本研究を継続することは妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

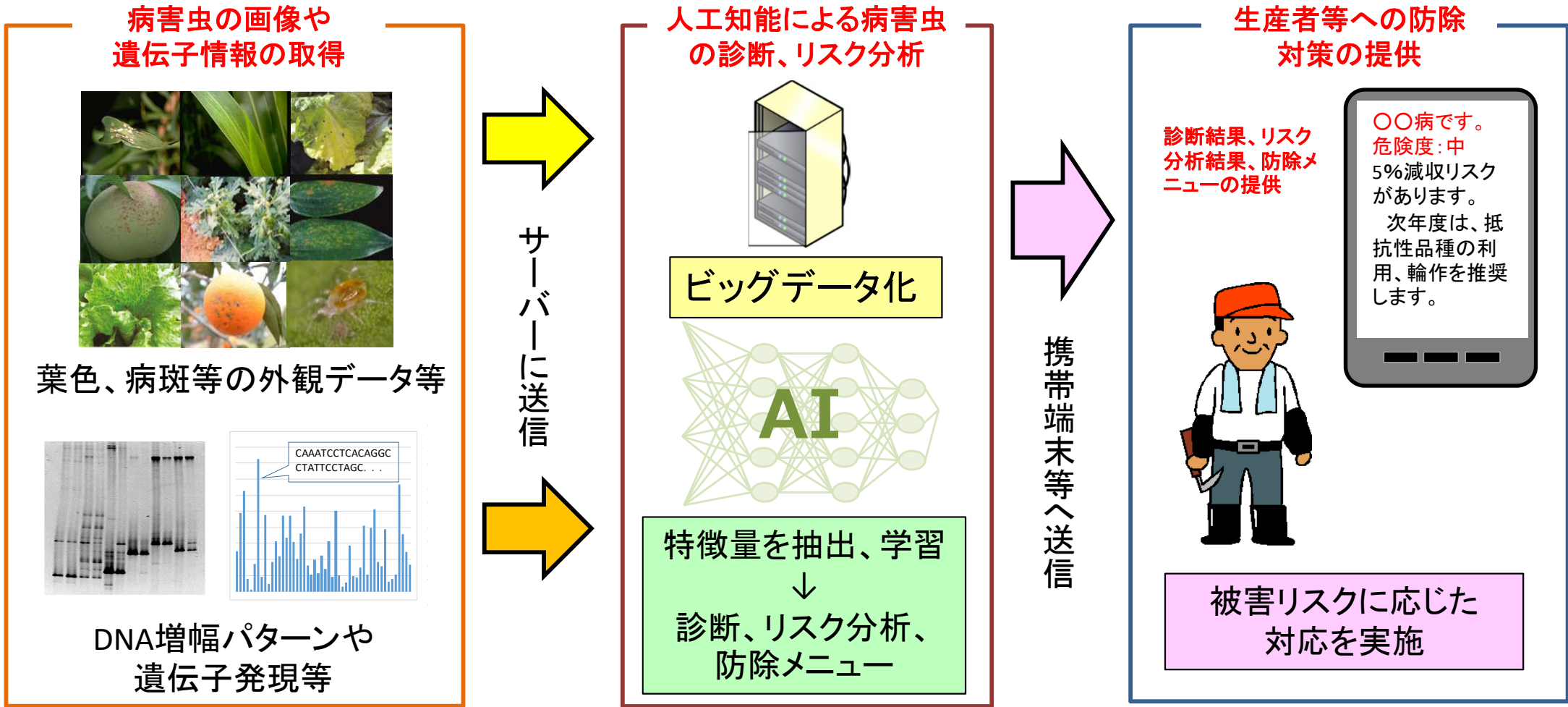
- ・病害虫が出たのかという診断だけではなく、その広がり把握できるような方策を検討されたい。
- ・現場への導入を進めるに当たっては、まずは地域の指導的な立場の方に利用していただくなど、普及しやすいような方策を検討されたい。また、農家が導入した場合の経済的なメリットを示すことを検討されたい。
- ・アウトカム目標について、もう少し挑戦的な目標とすることを期待する。
- ・今後、AIを活用し病害虫の発生前に予測する病害虫発生予察の技術開発など、次のステップについて検討することを期待する。

[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。	4
Society5.0	サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）。狩猟社会（Society 1.0）、農耕社会（Society 2.0）、工業社会（Society 3.0）、情報社会（Society 4.0）に続く、新たな社会を指すもので、第5期科学技術基本計画において我が国が目指すべき未来社会の姿として初めて提唱された。	5
ランダムフォレスト	機械学習のアルゴリズムのひとつで、分類、回帰、クラスタリング等に用いられる。ランダムサンプリングされたトレーニングデータによって学習した多数の決定木（予測モデル）を使用する。	6
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。	7
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）。	8
過学習	深層学習を行う際に問題となる現象。学習用データに過剰に適合することにより、その他のデータについての精度が極端に低下する。	9

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

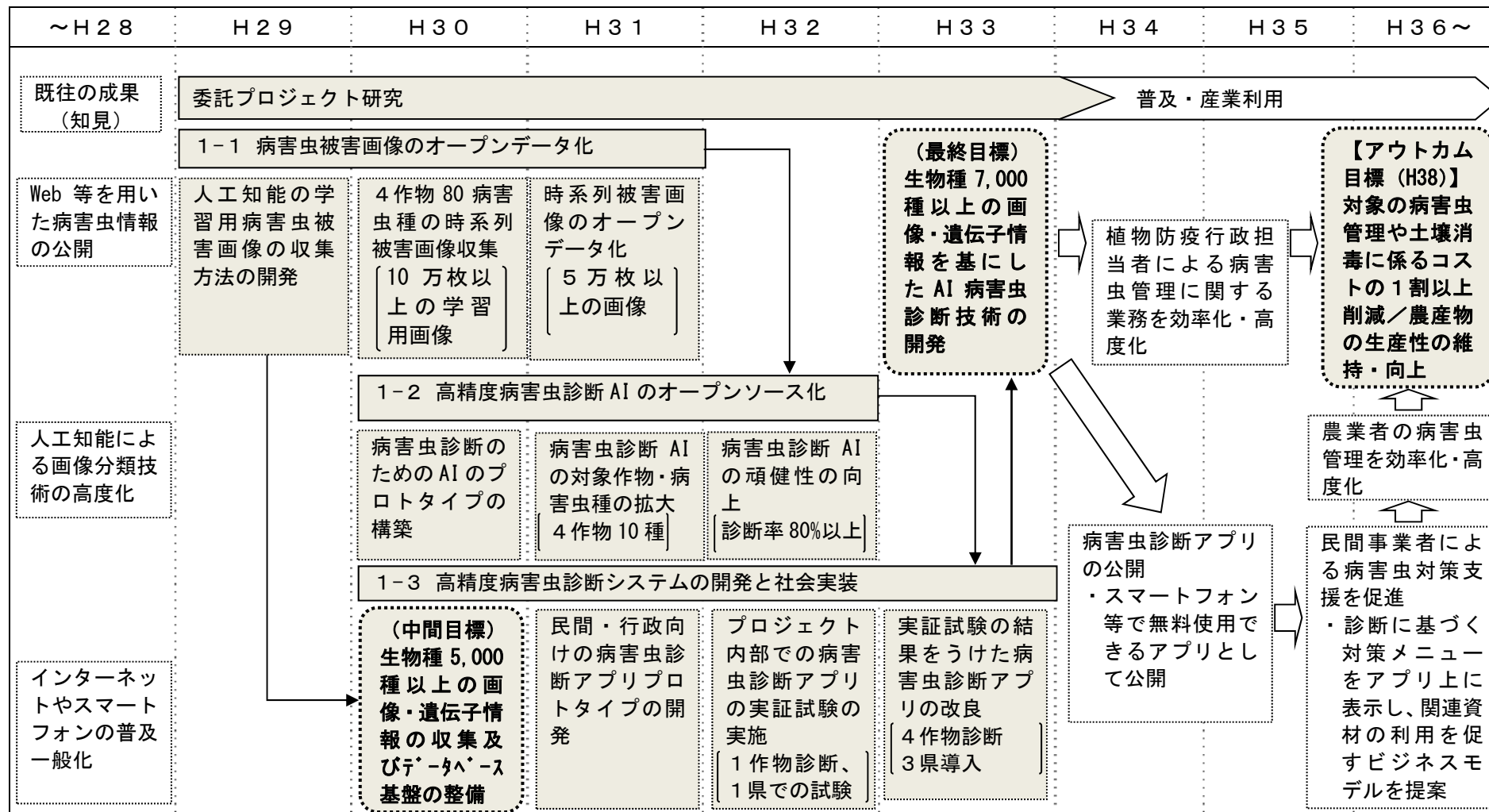
- 病害虫による減収リスクを回避するため、発生予察、農薬散布等により農業生産の安定を確保。
- 病害虫の発生や遺伝子情報等から、AIを活用して**早期診断**、**リスク分析**を行い、生産者に適切な防除対策情報を提供することで**被害を最小化**。さらに、農薬使用量を低減し、低コスト化、軽労化に貢献。



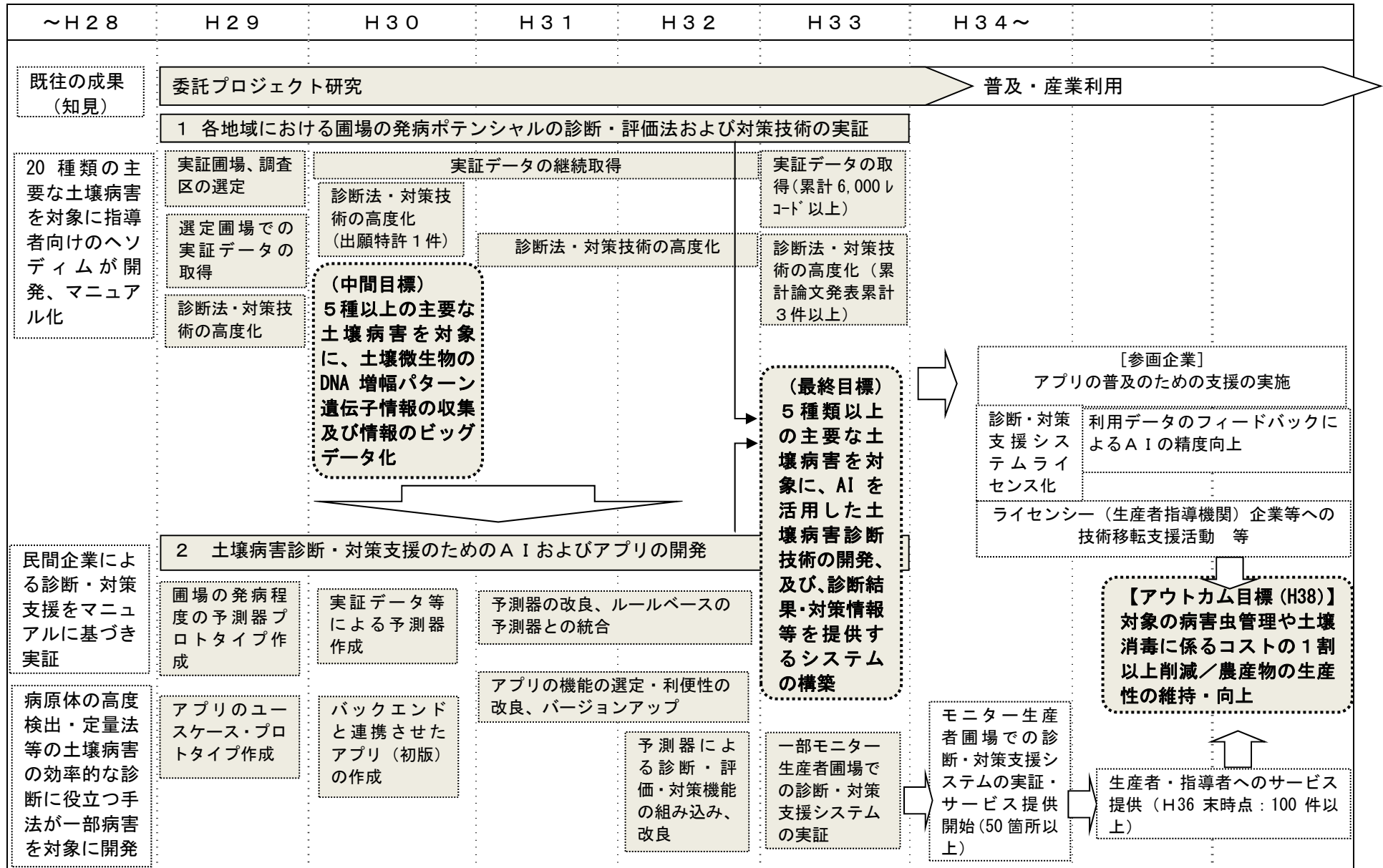
被害リスクをAI診断し、早期の対応を可能として病害虫被害の最小化を達成

【ロードマップ（中間評価段階）】

＜課題①：AI を活用した病害虫診断技術の開発＞



<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のうち、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



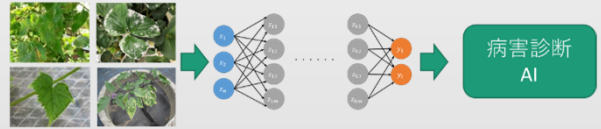
トマト、イチゴ、キュウリ、ナスを対象に約80種の病虫画像を30万枚以上収集



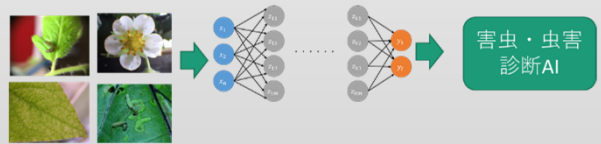
収集した画像のうち、約7万枚をAI学習用画像としてデータベースに登録
 また、主要病害虫を含む5047種の生物の画像や遺伝子情報等を収集し、カタログデータベースの基盤を整備

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のプロトタイプを開発

	事業初期の識別率* (単独施設、約8,000枚) (評価用データの識別精度約80%)	現在の識別率 (複数施設、約48,000枚) (評価用データの識別精度約90%)
べと病	38	49
褐斑病	18	50
うどんこ病	9	70
CCVY	62	61
MYSV	14	34
健全	66	66

モデルの改良
 多様かつ大量のデータ

着実な識別率の向上

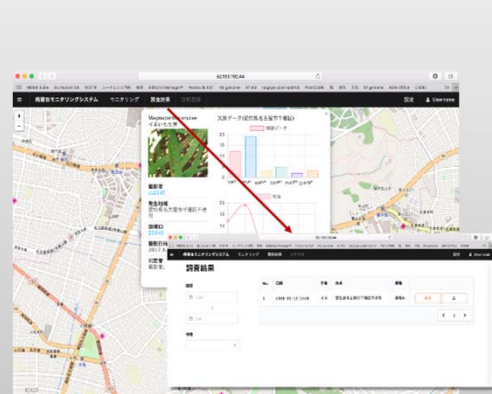
*学習・評価用データとは全く異なる環境で撮影された画像の識別正答率

収集した画像データを活用し、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



ユーザーが簡単に、信頼して利用できるスマホアプリのプロトタイプを開発



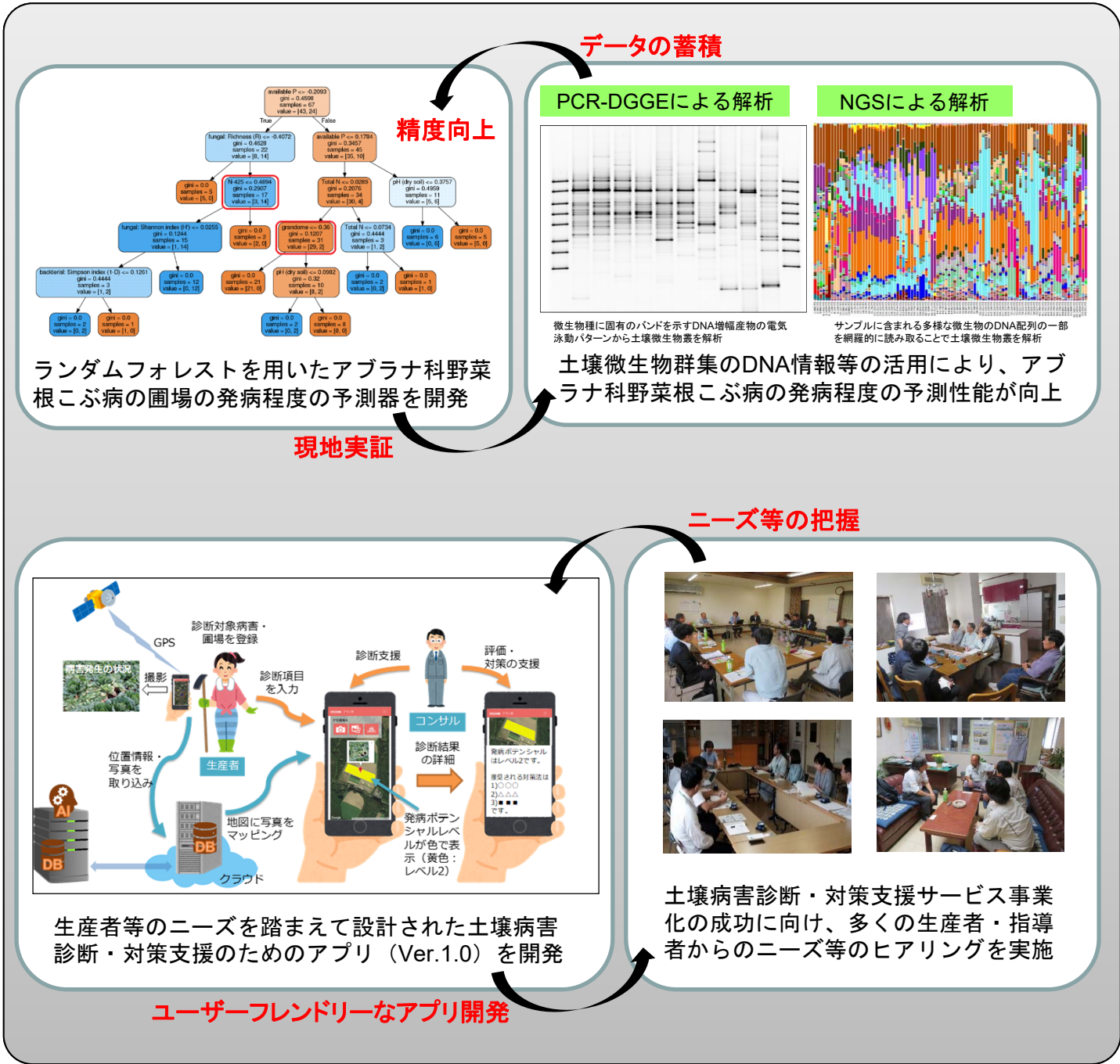
多様な植物防疫に係わる情報を収集・管理するアプリケーションを開発

(今後の方針) さらに画像データを収集し、AIの学習を進め、診断精度を向上させるとともに、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のうち、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) 土壌病害を未然に防ぎ、土壌消毒等にかかる労力・コストを削減するため、土壌診断や圃場の履歴等の情報に基づき、AIを活用して土壌病害の発病リスクを栽培前に診断する技術を開発するとともに、発病リスク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。

アブラナ科野菜根こぶ病の発病程度の予測器および 土壌病害診断対策支援のためのアプリ (Ver.1) を開発



(今後の方針) さらに土壌データを収集し、他の土壌病害に対応した予測器を開発するとともに、AIによる診断精度を向上させる。最終的に、5種類以上の主要な土壌病害を対象に、土壌病害診断技術を開発し、ユーザーのニーズを踏まえた診断・対策支援システムを構築する。

委託プロジェクト研究課題評価個票（中間評価）

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（継続）			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	H29～H33（5年間）			総事業費（億円）	11億円（見込）
研究開発の段階	基礎	応用	開発	関連する研究基本計画の重点目標	重点目標 7、28

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

中間時（2年度目末）の目標	最終の到達目標
<ul style="list-style-type: none"> ・既存技術を使用し、AIに活用し得る栽培・労務管理に関連する各農場のデータを2年以上整備する。 ・各種データ収集のため、植物生育計測のための機器のプロトタイプ（※7）及び、作業量計測のための基本システムを開発する。 ・収集されるデータを活用して、栽培・労務管理の平準化や労働費削減に結びつくAI技術を1種類以上開発する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・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全体としてのアウトカム目標（H38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（※8）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技術またはそれを基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、雇用労働費の1割が削減される。アウトカム目標の実現には、技術移転機関（TLO）等を含めた産学官連携と、技術移転活動が不可欠である。また、次世代施設園芸拠点等大規模生産法人の協力も必要である。

【項目別評価】**1. 社会・経済の諸情勢の変化を踏まえた研究の必要性****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**

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おり、このことが大規模化による生産性向上を阻害する要因の一つとなっている。

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。

② 引き続き国が関与して研究を推進する必要性

科学技術基本計画、科学技術イノベーション総合戦略2017等においてSociety5.0（※9）の実現に向けて、AIやIoT等の農業分野への活用、研究開発の推進が明記されている。

本プロジェクトでは、上記の戦略等に基づき、AIやIoT等を活用した生産性や品質の向上に取り組んでいる。国内の農業現場の共通的な課題の解決に資する公益性の高い研究開発であり、その成果を幅広く普及・利用するものであることから、国自ら取り組む必要がある。

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 中間時の目標に対する達成度**

全国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2年以上記録している。

効率的農場管理に必要となる栽培・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、本プロジェクトにて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（※10）を開発し、すでにプロトタイプによる実証試験を開始している。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（※11）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（自動充電を含む）が可能となり下げ型画像計測ロボットとして試作が完了している。作業量計測については、作業データをバーコード、QRコードを利用して半自動で収集するための基本システムを2機種（バーコード型、スマホ型）試作・開発し、実験施設や大規模生産法人で実証し、問題点を把握するとともに利用性を向上する改良を行っている。

また、栽培・労務管理を最適化するAI技術については、収量予測や病害発生予測による労務管理平準化を目的に、各種農場データを活用して2種のシステムを開発した。具体的には、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試作し約90%の精度で果実を検出できており、現時点で必要と考えられる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、実証を開始した。

以上、中間時の目標に対して、順調に進捗している。

② 最終の到達目標の今後の達成可能性とその具体的な根拠

蓄積データをオープンデータとして利用可能にするため、次世代施設園芸拠点を始めとする協力大規模生産法人から、植物生育、栽培環境及び作業データを収集できる環境を整備した。

植物生育計測については計画どおり又は開発の加速化による当初計画よりも早い進捗を見せており、最終の到達目標の達成可能性の見通しは高い。作業量計測についても、作業データ入力デバイスや、作業動態自動把握システムの開発が進んでいる。また、AI技術開発についても、当初計画を上回る2種の技術が実証段階に入っているなど順調に進捗しており、最終の到達目標の達成可能性の見通しは高い。なお、個々の開発要素単体の導入でも数%の雇用労働費の削減が可能と示唆され、研究目標への貢献が見込まれる。また、それら開発技術を農業データ連携基盤上で利用するための中間ソフトウェア（API（※15））化も計画どおり進んでいる。

以上のことから、最終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

オープンデータとしての農場データの蓄積や、オープンプラットフォーム上で開発技術を利用可能な状態にすることで、多くのIoT関連企業やシステムベンダー等がAIソフトウェアを開発可能になると考えている。アウトカムとして開発されるAIソフトウェアについては、今年度までのデータによりAIによるトマト灰色かび病発生予測を機能限定版としてすでに実用化し、導入農家の8割において防除回数の減少を確認しており、今後実証試験を重ね省力・省資源効果を提示していくこととしている。

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、等の要素が必要であると考えられるため、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。植物生育計測については平成30年度より、本課題の成果の一部である光合成計測チャンバのプロトタイプを5県・2大学のは場等に試験導入し、長期計測を開始しており、社会実装に向け取組を進めている。コンソーシアム参画機関として次世代施設園芸拠点や大規模生産者が参画しており、データ収集、技術開発及び実証が緊密に連携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にある。

以上のことから、アウトカムの達成が可能と考えている。

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

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。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。また5社程度のシステムベンダーからの取組内容に対する問い合わせ、データ活用の要望が寄せられるなど、技術開発後にアウトカム目標が達成できる可能性は極めて高いと考えている。

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。

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

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、一部試験を前倒して実施す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 研究課題の妥当性（以後実施する研究課題構成が適切か等）

公的研究機関が生体情報計測技術・作業計測技術を開発し、これらの機器が収集するデータを活用して民間企業とともに労務管理システムを開発することとなっている。また、公的研究機関が中心となり次世代施設園芸拠点等施設園芸の栽培・作業データを収集してきており、これらを基に公的研究機関及び民間企業がそれぞれAIプログラムを開発している。現状の課題構成は、最終目標達成と社会実装に向けて妥当である。

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、基本技術開発部分を縮小し、実証試験による技術開発、農業共通データ連携基盤への対応、社会実装につながるAIプログラム開発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の継続の適否に関する所見

・中間時の目標は達成しており順調に進捗していることから、本研究を継続することは妥当である。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

- ・アウトカム目標について、金額で示すとともに、もう少し高めの目標とすることを期待する。
- ・AIを活用した栽培・労務管理の最適化に合わせた、品種開発を進めることを検討されたい。
- ・AIの活用は重要であるが、働く人の問題などAIを使ったアルゴリズムだけでは解決できない課題もあるため、現場に十分配慮し、導入時には慎重な対応を期待する。

[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

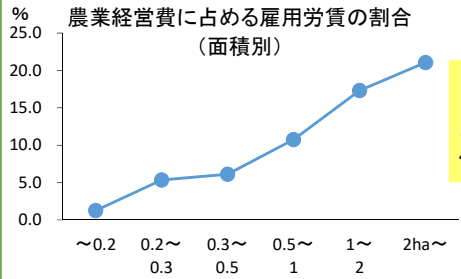
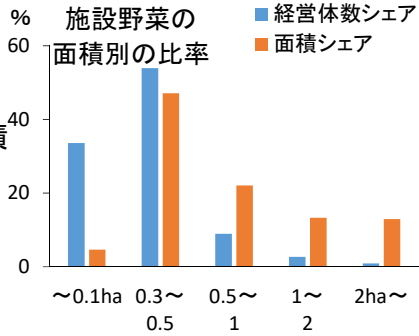
用語	用語の意味	※番号
AI	人工知能。Artificial Intelligence の略。	1
ICT	情報通信技術。Information and Communication Technology の略。	2
スマート農業	ロボット技術やICT(Information and Communication Technology:情報や通信に関連する科学技術)を活用して、農作業の超省力(手間や労働力を省く)化や高品質の農産物生産を実現する新たな農業。	3
IoT	モノのインターネット。Internet of Things の略。コンピュータなどの通信機器だけでなく、様々なモノに通信機能を持たせ、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ことで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
プロトタイプ	デモンストレーション目的や新技術・新機構の検証、試験、量産前での問題点の洗い出しのために設計・仮組み・製造された原型機・原型回路・コンピュータプログラムのこと。	7
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。	8
Society5.0	サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会(Society)。狩猟社会(Society 1.0)、農耕社会(Society 2.0)、工業社会(Society 3.0)、情報社会(Society 4.0)に続く、新たな社会を指すもので、第5期科学技術基本計画において我が国が目指すべき未来社会の姿として初めて提唱された。	9
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。	10
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	11

	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。	
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プングと呼ぶ。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「先端的フェノタイプ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

背景と目的

規模拡大の遅れ

一戸あたり施設面積
(施設園芸)
2000年 20a
↓
2015年 21a



大規模経営での
雇用労賃の負担大

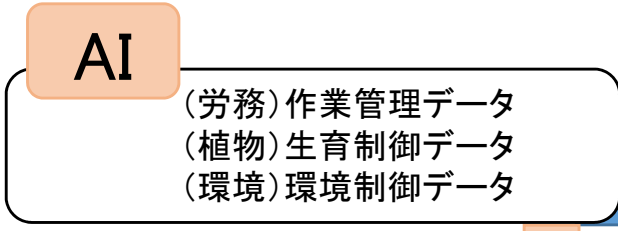
将来像

雇用労働力を活用した効率的な農場管理を行う大規模施設園芸

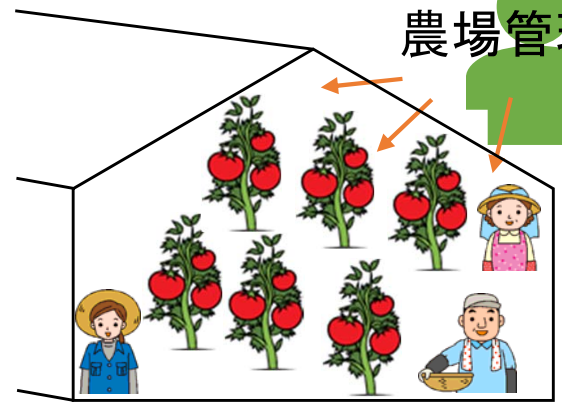
1ha以上、10数名雇用

研究内容

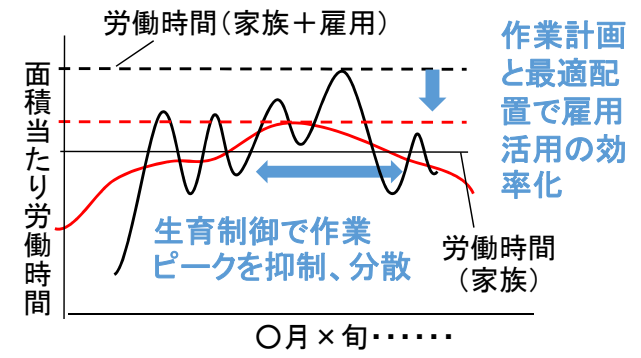
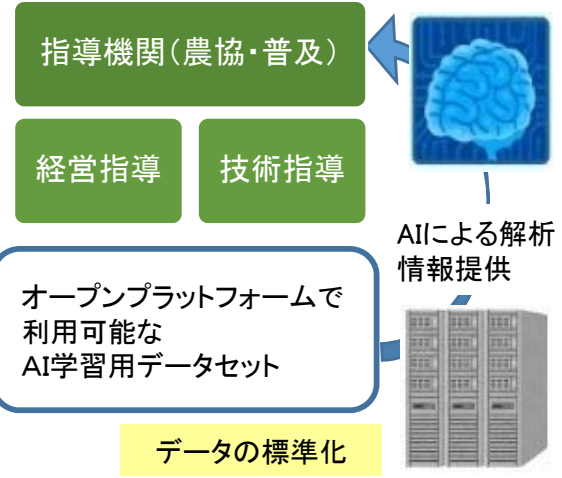
●栽培・労務管理の最適化



農場管理者



●技術開発の加速化



期待される効果

AIを活用した栽培管理と労務管理に基づく効率的な農場管理技術により、**雇用労働時間を10%削減、オープンプラットフォーム・データセットの整備**

【ロードマップ（中間評価段階）】

AI を活用した栽培・労務管理の最適化技術の開発

