

# ムーンショット 目標 5

『2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出』



# 目次

- (1) 背景
- (2) プログラムの状況
- (3) 外部評価結果
- (4) 今後の方向性
- (5) 参考



# (1) 背景

(2) プログラムの状況

(3) 外部評価結果

(4) 今後の方向性

(5) 参考

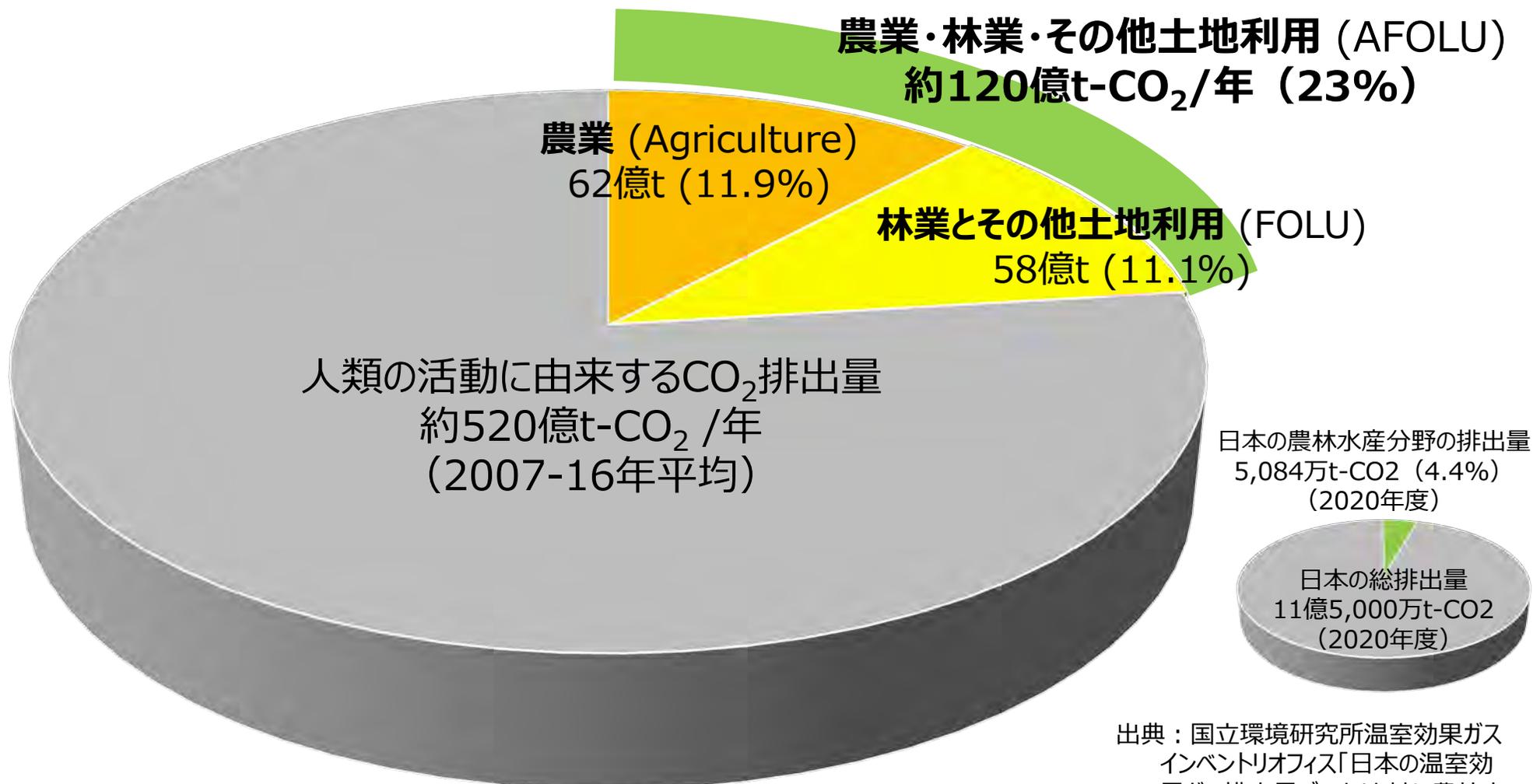




# 食料供給産業は 温室効果ガス排出・土壌劣化要因の一つ

世界的に**環境破壊**と**食料争奪戦**が加速している

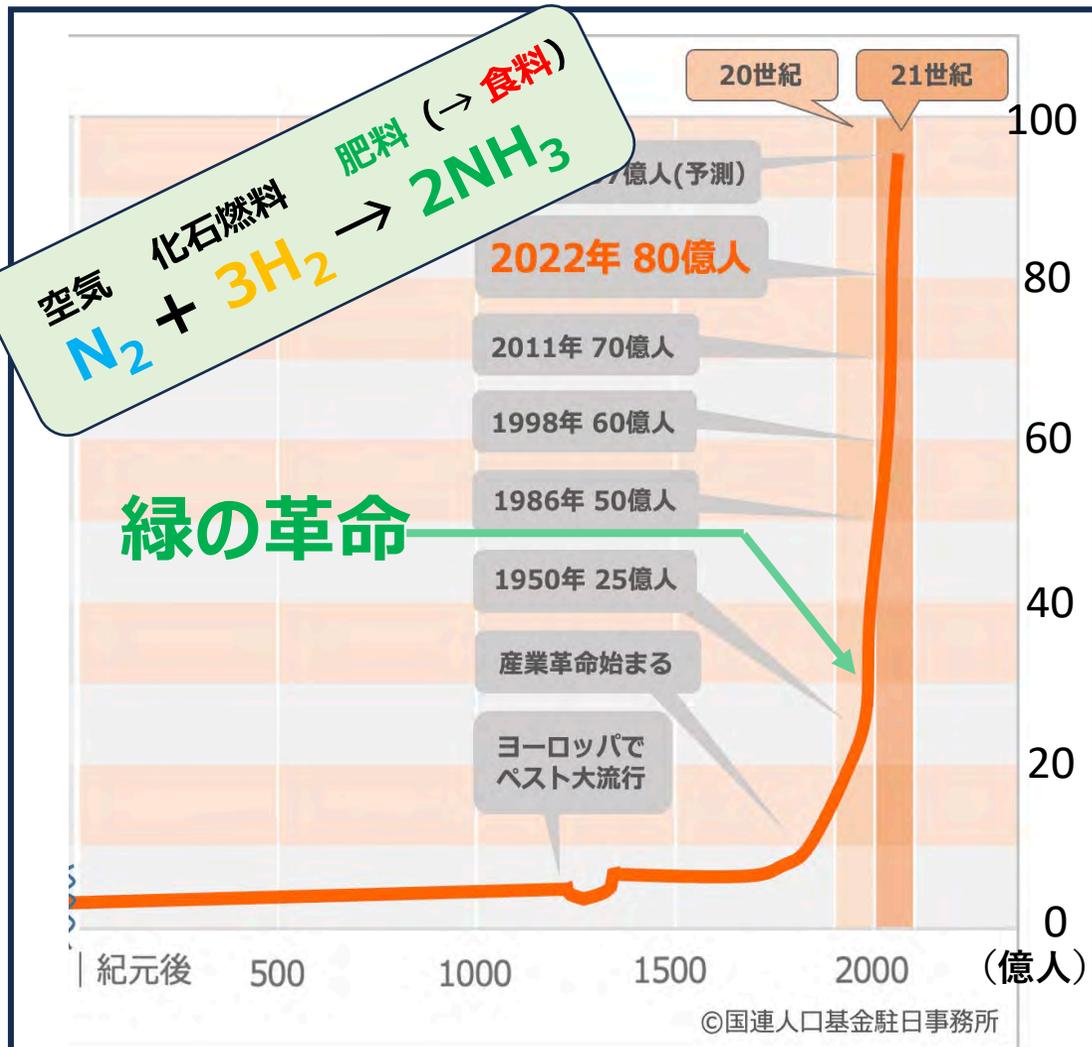
# 農林業由来の温室効果ガス排出量(CO<sub>2</sub>換算)



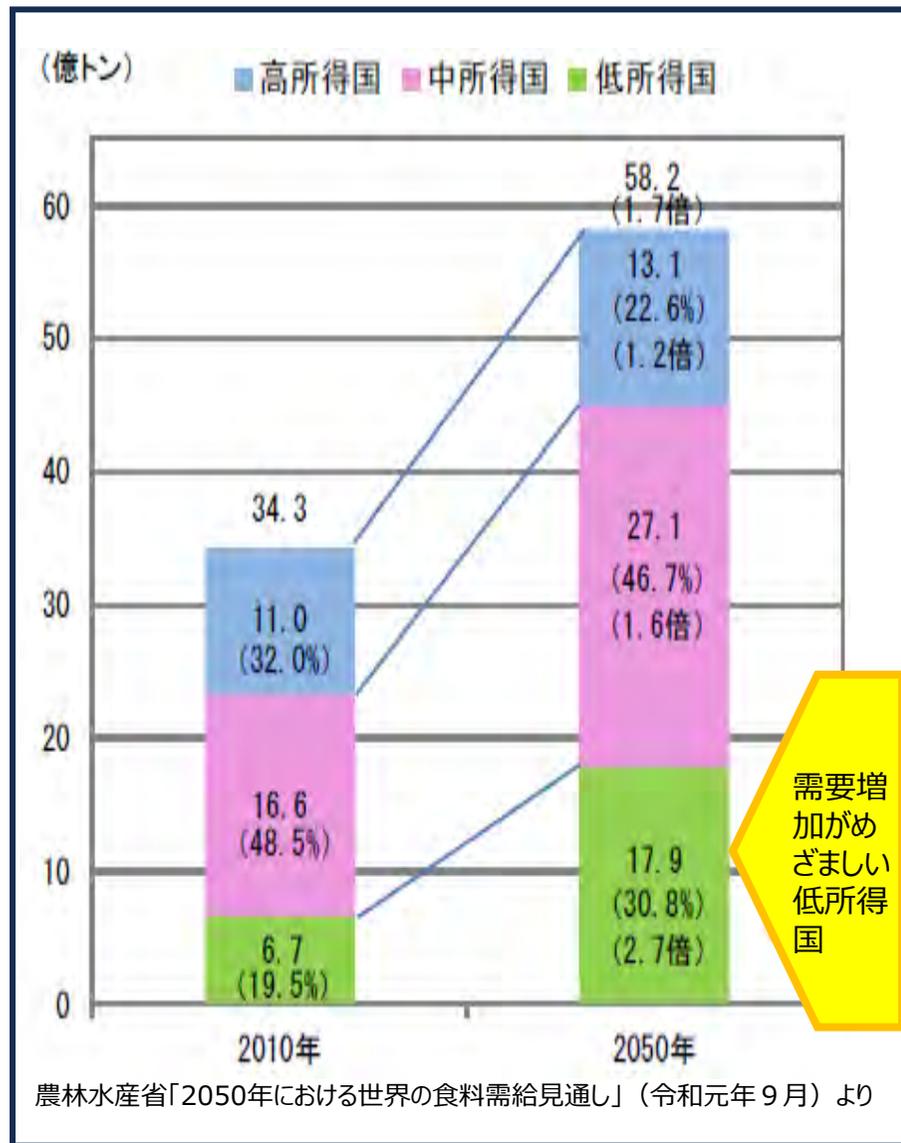
単位：億t-CO<sub>2</sub>換算（2007-16年平均）  
出典：IPCC 土地関係特別報告書（2019年）

出典：国立環境研究所温室効果ガス  
インベントリオフィス「日本の温室効  
果ガス排出量データ」を基に農林水  
産省作成

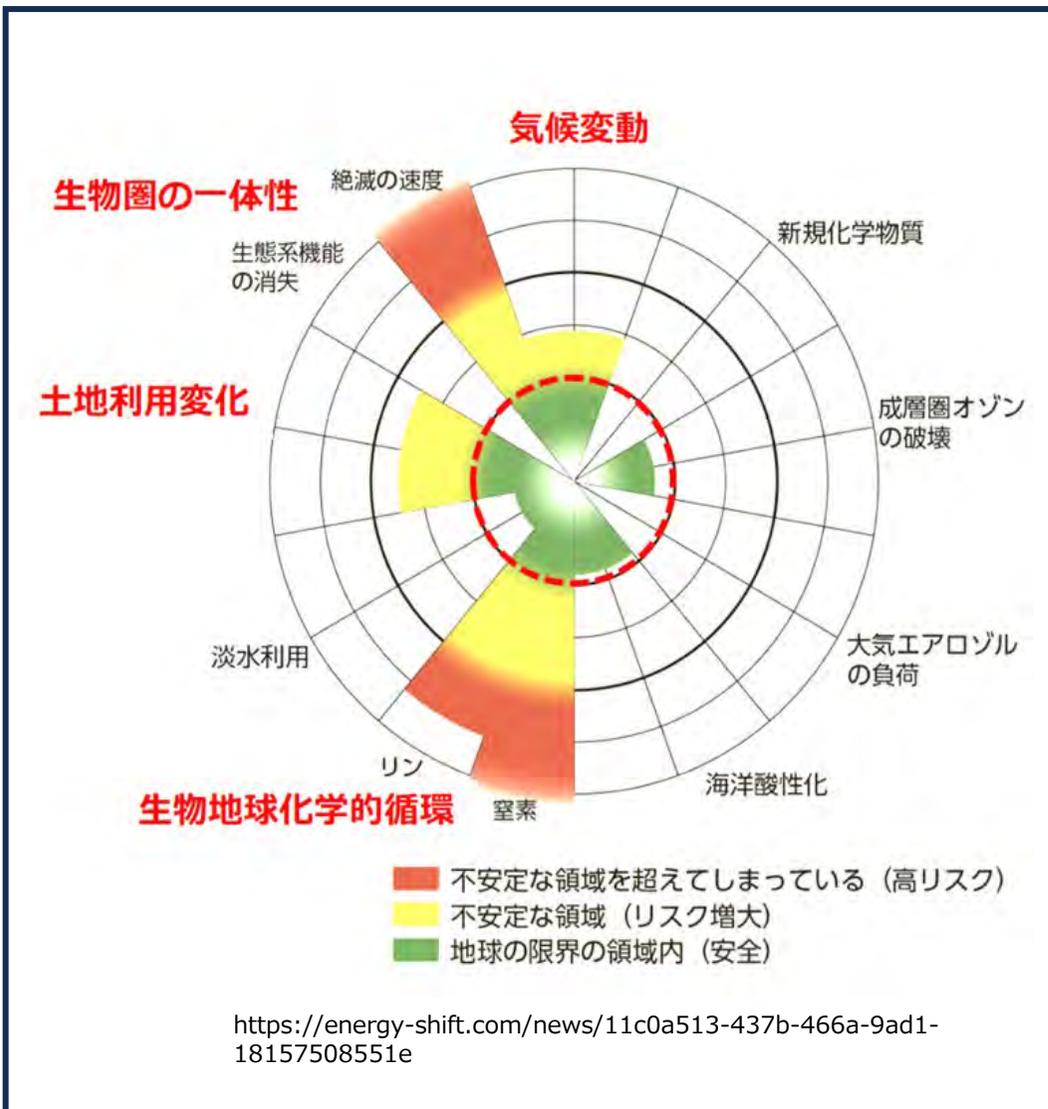
# 人類は 100年前、「化石燃料」を使って大量の「食料」を入手 2050年の食料需要は2010年の1.7倍



出展：国連人口基金駐日事務所HPを基に作成



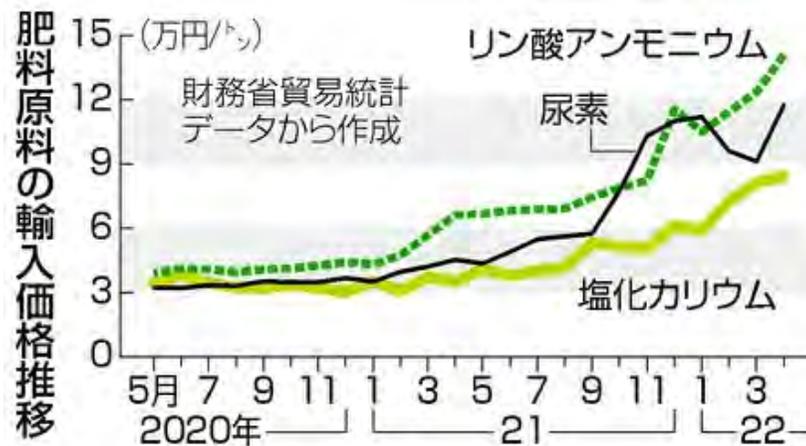
# 地球は「限界」を超えてしまった



## ● 温室効果ガスの急速な増加

(二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素)

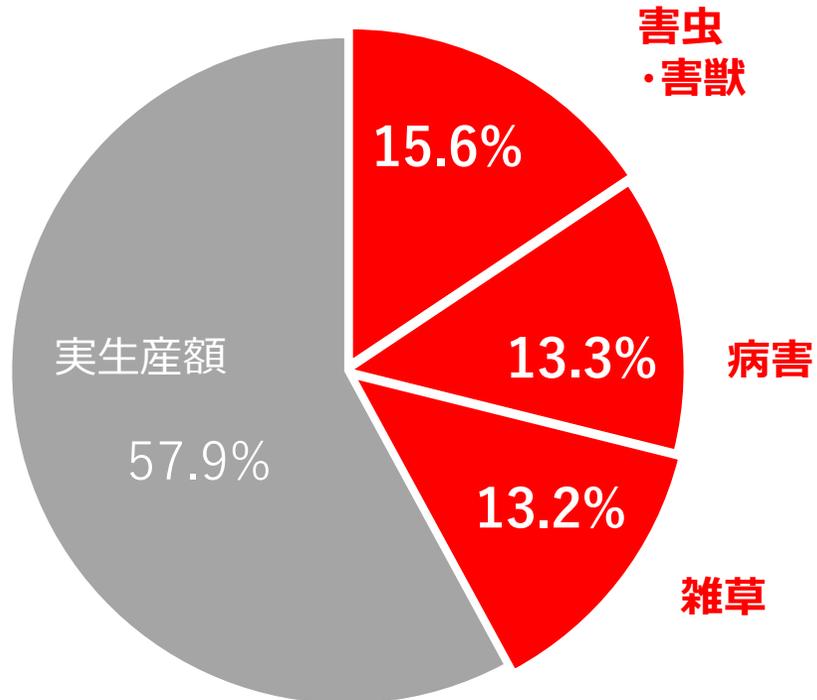
## ● 過剰な窒素肥料の使用、不足するリン肥料



<https://www.jiji.com/jc/article?k=2022060100971&g=eco>

# 膨大なロス

作物生産の**42%**は 害虫や病害等で消失



100%=世界の可能作物生産額(≒165兆円)

Sharma et al. (2017)

「食料ロス・食料廃棄」と「農地での廃棄」を合わせて  
年間 **約25億トン**がムダに捨てられている

- 食料ロス・食料廃棄は、世界全体で人の消費向けに生産された**食料の約1/3**、量にして年間 **約13億トン**

出典：FAO 2011 Global Food Losses and Food Waste



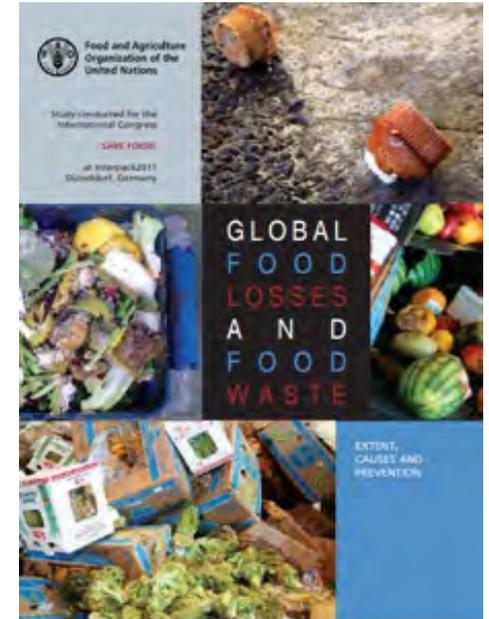
© H. GRABER

French fries production in The Netherlands



©FAO / G. DIANA

Rickshaws transporting milk in Bangladesh



(1) 背景

**(2) プログラムの状況**

(3) 外部評価結果

(4) 今後の方向性

(5) 参考



# (2-1) 目指す社会像 (グローバルな課題)

## 人と地球にやさしい食の供給・ムダのない消費



### 食料安全保障の強化

海外依存の生産量追求型からの脱却  
高付加価値食品の輸出拡大

### 社会保障費を大幅削減

防災減災・疾病予防・環境対策

### 事業・産業としての自立化

事業の成立を要素技術波及の駆動力に



### 全ての人を支える「食」を

フードロス(※)を適正にアップサイクル  
無理のある生産法の回避

### 持続できる食料供給技術と 社会システムの構築

環境破壊型からの脱却  
フードマイレージ削減

### 土・水・大気の価値の適正化

目指す重要機能に正当な資金を還流

温室効果ガス (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) を  
土壌・海洋に貯留

※ 関連用語として、食品ロス、食料ロス、フードウェイスト、食品廃棄物、フードロス&ウェイストなどがあり、人により、また扱う課題により、対象が異なっている。以下、本資料では、単に捨てられた食料のみならず、農場から持ち出されなかった農作物なども含めて、『生産されたが食べられなかった農産物や食品』を広くフードロスと捉え、削減すべき対象としている。

# (2-2) ポートフォリオ

## 90億人がおいしく食べ続けられる社会を創る

### 生産性と再生可能な農業

化学農業に依存しない害虫防除

京都大学 日本 教授

デジタル作物デザイン技術で強靱な作物を迅速に開発

東京大学 藤原 教授

### 減化学肥料

農業

土壌微生物機能の解明・発揮

早稲田大学 竹山 教授

生物的窒素固定



### タンパク質供給源の多様化

お茶の水女子大学 由良 教授

食品残渣等を利用した昆虫の食料化、飼料化

循環型細胞培養による培養肉生産

東京女子医科大学 清水 教授

### フードロス削減

余剰・規格外食品廃棄物

凍結粉碎含水ゲル粉末

山形大学 古川 教授

### 人と地球の健康に向けた食と栄養



AI Nutritionによる健康志向の未来型食品

東京大学 高橋 教授

未利用木材

難利用性有機廃棄物

畜・水産業

### 自然環境の修復

牛のゲップメタン削減

北海道大学 小池 教授



# (2-2) 目指す社会像 (課題対策の具体化)

## 2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出

生産性と持続性の両立



藤原PM



環境変化に強い農作物



減化学肥料  
農業に依存しない害虫防除

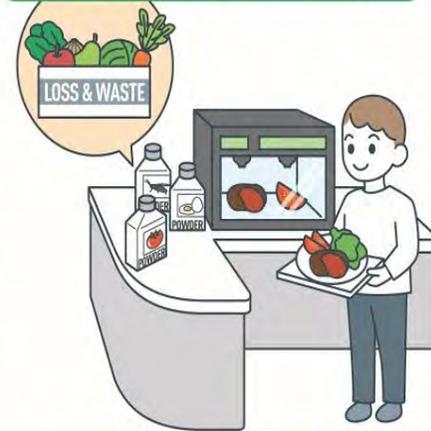


竹山PM



90億人がおいしく  
食べ続けられる社会

人と地球にやさしい食と栄養



余剰農産物や未利用食材の徹底利用と  
食材の長期保存



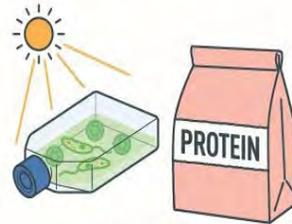
千葉PD



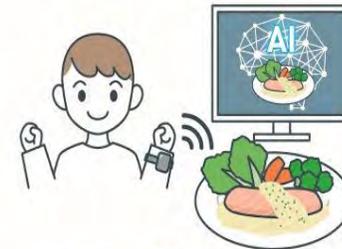
由良PM



牛のゲップメタン削減



藻類を用いた  
新たなタンパク源生産システム



食から健康



古川PM



日本PM



小池PM

全8 PMs (2024.1)



清水PM



高橋PM12

# (参考) これまでの経緯



- ※ 1 「2年目評価」の結果を踏まえ、FS的採択を行った6課題のうち1課題を廃止、1課題を統合
- ※ 2 「3年目評価」ではステージゲート評価を行い、その結果を踏まえ1課題を中止、再公募

# (2-3) 目標達成に向けたプログラム構成



## ○ 2050年（目標5の達成）：

**地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出する。**（令和2年3月 農林水産省）より一部抜粋

ムーンショット目標5 研究開発構想

（令和2年3月 農林水産省）より一部抜粋

## ○ 2030ターゲット：



### <食料供給の拡大と地球環境保全を両立する食料生産システム>

⇒ 「**生物機能をフル活用した完全資源循環型の食料生産システム**」のプロトタイプを開発・実証する。

【藤原PM】サイバー空間で設計・実装 ⇒ **劣悪な環境でも育つ強靱化作物を迅速に作出する**

【竹山PM】微生物個別情報から完全解析 ⇒ **土壌の生産性と元素循環機能を最大化する**

【清水PM】家畜・穀物不要の革新的生産システム ⇒ **太陽光で駆動する循環型培養食料製造法を開発**

【日本PM】化学農薬に依存しない害虫防除の革新 ⇒ **レーザー照射で飛翔害虫を打ち落とすなど**

【小池PM】畜産業の振興と牧草地の健全化を推進 ⇒ **個別遠隔情報管理で低メタン排出牛を普及させる**

### <食品ロス・ゼロを実現する食料消費システム>

⇒ 「**健康・環境に配慮した合理的な食料消費を促す解決法**」のプロトタイプを開発・実証する。

【由良PM】フードロスを優れた食料に再生 ⇒ **昆虫を食品や飼料として高機能化・高生産化する**

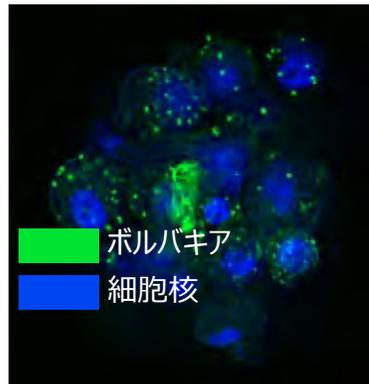
【高橋PM】栄養成分情報のAI解析 ⇒ **地球の持続を第一とした「食と健康」に新機軸をもたらす**

【古川PM】革新的長期保存システムの開発 ⇒ **食材の粉末化と冷排熱の活用でフードロスを削減**

# (2-4) 目標達成に向けた革新的成果（食料生産）

## 農薬に依存しない害虫防除

### 害虫密度低下技術



【本年度の成果】  
共生微生物の培養技術を完成、害虫への高効率な感染に成功

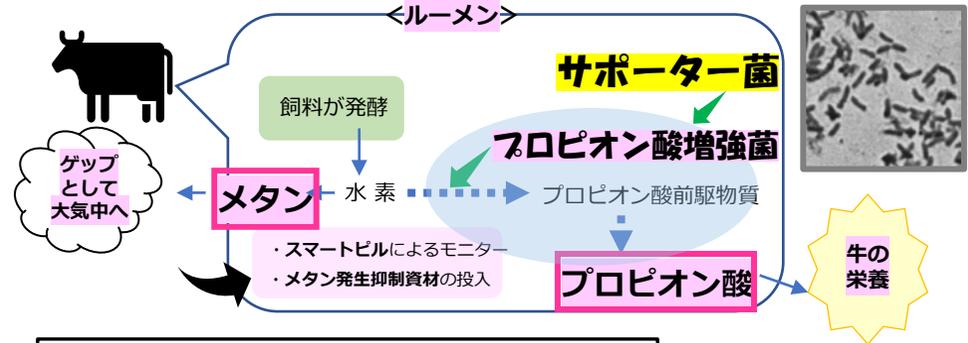
### 圃場侵入阻止技術



【本年度の成果】  
飛翔する害虫を追尾し、自動でレーザー狙撃する技術を開発（デモ機を開発中）

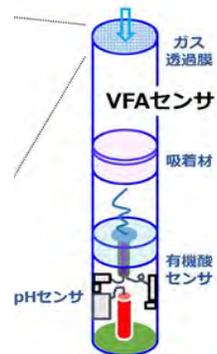
## 牛のげっぷメタン削減

### ルーメン（第1胃）細菌叢のコントロール



【本年度の成果】  
サポーター菌の分離培養に成功

### スマートピルの開発

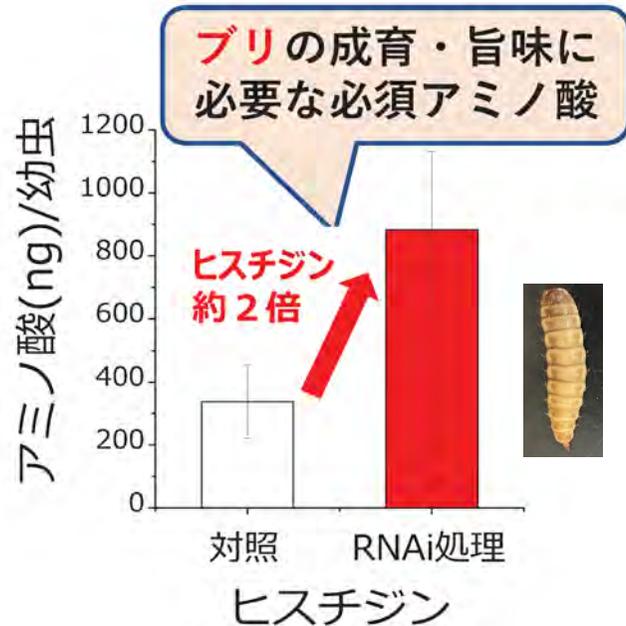


【本年度の成果】  
センサモジュールを搭載した試作品がルーメン液中で連続動作することを確認

# (2-4) 目標達成に向けた革新的成果 (食料消費)

## 余剰農産物や未利用食材の徹底利用

## 食から健康



【本年度の成果】

ブリの必須アミノ酸の量を倍増させたミズアブ系統を作出



ヘテロ欠損同士の間交配により**ホモ欠損体**を作出

特許出願済

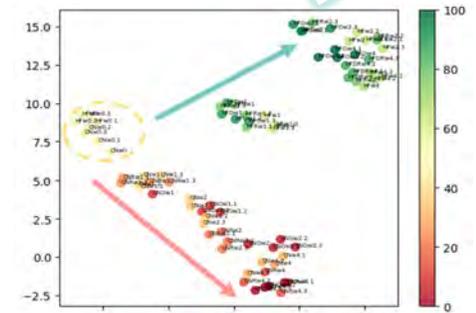


⇒**ヒトに近い条件**で血中メタボロームと老化の関係を評価可能に

【本年度の成果】

老化加速モデル (老化抑制遺伝子欠損) ピッグを作出  
血液由来の分光スペクトルから個体の健康状態を推定することに成功

分光分析  
×数理解析



⇒**経時的にモニター可能なウェアブルデバイスの開発へ**

# (2-5) プログラム推進体制の強化（開発戦略RT）

## ○ 事業化の専門家を入れた『開発戦略ラウンドテーブル(RT)』を設置

### 目的

- ・起業や事業化による**開発の加速スキーム**を描く
- ・民間等からの**資金提供**、事業開発を進める**体制の構築**
- ・**国際ベンチマークの明確化**

### 開発戦略と対話

Business

社会への波及  
知的価値の拡張

Science

科学的根拠  
新概念・新機軸

\* 社会実装に向けた  
研究と事業の融合

### 開発戦略ラウンドテーブル (RT)

#### RT委員

江戸川 泰路：江戸川公認会計士事務所  
代表パートナー

奥谷 雅子：佐藤総合法律事務所  
弁理士

千葉PD

### 対話



### プログラスマネージャー (PM)

<各プロジェクトとの対話の例>

- ・社会実装（起業、事業会社へのスピノフ等）の策定
- ・幅広い投資家を呼び込むための明確なビジョンの策定
- ・ビジョンを実行するための事業戦略・知財戦略の策定
- ・社会実装手段を踏まえた開発計画の策定

シンクタンク機能

<国際ベンチマーク比較>  
類似研究、知財分析  
競合ベンチャー調査

社会との接点

<社会実装に向けて>  
ビジネスプラン作成  
外部発信

# (2-6) プログラムマネージメント (海外調査・事業化)

## ○ 事業化構想の具体化

- 目標5の達成に向けて、研究開発の推進に加え、**社会実装に向けた取組を展開し、そこで得られた知見を研究開発にフィードバック**する取組を展開。
- 具体的には、「**開発戦略ラウンドテーブル (RT)**」を設置し、
  - ① 海外の動向や市場規模の予測、国際レベルでの論文や知財の調査などの**国際ベンチマーク調査**、
  - ② 国際ベンチマーク調査の結果を踏まえた、**各PMとの対話** (事業コンセプトや事業パートナーの明確化)、
  - ③ 対話を通じて得た**事業ビジョン実行のための「グローバルな事業戦略」の策定支援**、
  - ④ プロジェクトの認知度向上、社会実装に向けた連携や投資を呼びかけるための**外部発信**など、**戦略的に展開**。
- 本年度は、**一部のプロジェクトで具体的な事業化構想を策定**するとともに、その構想をテーマとした**産学連携フォーラムを開催**、グローバルな事業化促進に向けた**大規模経営者とのマッチング**や、**外部機関との連携を強化**。

### 【国際ベンチマーク調査】 (19ページ)

- ・ 海外動向や市場規模の予測
- ・ 国際レベルでの論文や知財の調査
- ・ 技術ライフサイクル分析・技術分野マップ

### 【各プロジェクトPMと対話】 (20ページ)

⇒ **【社会実装 (事業パートナーとの連携、起業化) 後押し】**

- (対話例) 研究動向 (進捗) を踏まえた事業コンセプトの策定
- 幅広い投資家を呼び込むための明確なビジョンの策定
- ビジョン実行のための事業戦略・知財戦略の策定
- 社会実装手段を踏まえた開発計画の策定 等

【外部発信】 (22ページ) プロジェクト認知度の向上、企業との接点の拡大

#### 産学連携フォーラムの開催

グローバルな事業化促進に向け、大規模経営者とマッチング  
社会実装に向けた連携や投資を呼びかけ (2024.1~)



#### 京都大学イノベーションキャピタル (株) との連携

企業候補者とのマッチング機会を提供



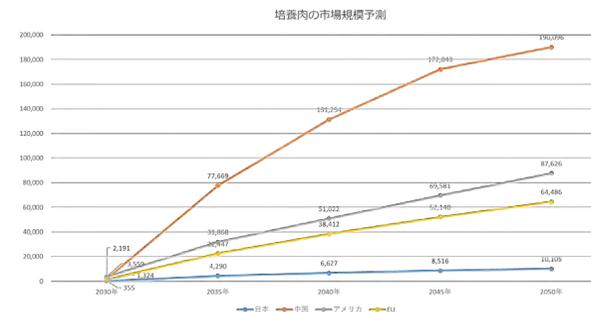
海外の先行スタートアップ事例

# (2-6) プログラムマネージメント (海外調査・事業化)

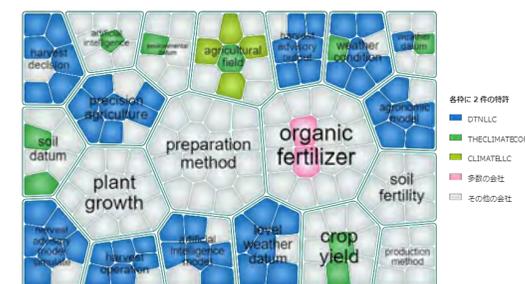
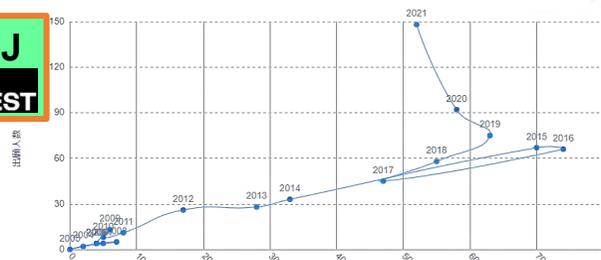
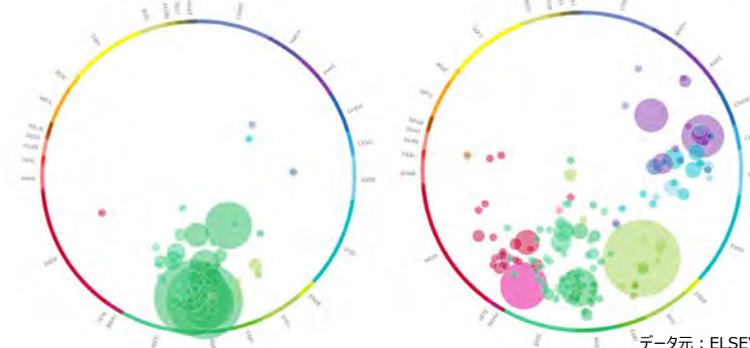
## 海外調査 競合調査

- 海外動向や市場規模の予測
- 国際レベルでの論文や知財の調査

→ 結果を踏まえ、PMと社会実装を戦略化



市場規模予測 (上)・論文分析 (下)



# (2-6) プログラムマネージメント (知財・事業化)

## PMとの対話

○ 調査結果を踏まえ、PMとの対話を行い、社会実装（事業パートナー連携、起業化）をプッシュ

研究との融合：研究ビジョン、戦略の見直し

共通  
認識

食料生産システム  
食料消費システム  
現状と課題

フードバリューチェーン  
(食品ロス含む)  
における位置づけ

2022年度

前提  
調査

推定市場規模調査  
(国内、国外)

特許等知財調査  
論文調査  
(国内、海外)

競合（類似）研究  
先行ビジネス調査

課題認識

2023年度

PM  
対話

想定事業パートナー等  
ヒアリング  
(条件確認)

研究動向（進捗）を  
踏まえた  
事業コンセプト仮説

産学連携フォーラム

京都iCAPとの連携

# (2-6) 事業化構想の明確化・見直し (清水PJの例)

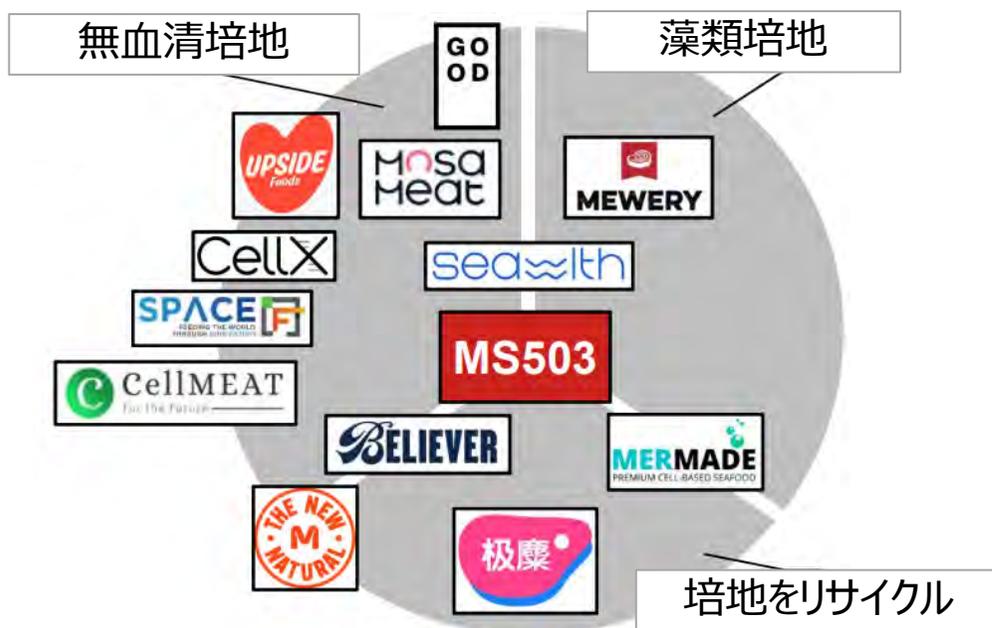
培養肉の生産に藻類を用いる技術は、

- ・**コスト・環境負荷低減の観点優位**で、国内外において**競争が少ない** 一方、
- ・**培養肉製造は世界に競争が乱立**していることを踏まえ、

従来の事業計画、「**培地製造・販売**」と「**培養肉製造システムをライセンス**」を、

「**培地製造・販売**」と「**培養で発生する廃液をリサイクルする循環システムの販売とメンテナンス**」の2本柱に見直し

## 【競合企業の使用培地分類】



## 【SWOT分析】

強み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・藻類を用いて培地をリサイクルする技術 (特許出願は3件、うち藻類を培養するための組成物および藻類の培養方法には国内登録済 2023年11月27日現在)</li> <li>・培養肉製造のコスト(3千円/kg)削減</li> </ul>
機会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・藻類培地は、国内外競争先が未だ少ない</li> <li>・環境や持続可能性が重視されている</li> <li>・競争リサイクル<b>透析技術は莫大なコスト</b></li> </ul>
弱み	<ul style="list-style-type: none"> <li>・培養肉最終製品は、<b>地産地消型</b></li> <li>・水分を含んだ培地は輸送コスト高</li> </ul>
脅威	<ul style="list-style-type: none"> <li>・培養肉の製造に係る企業が<b>乱立</b></li> <li>・海外で培養肉大規模工場の建設着工</li> <li>・海外で培養肉の安全認証が前進、一般販売開始</li> </ul>

## 事業化のための マッチング

- 社会実装していく上で必要な **プロジェクト認知度の向上、企業（経営陣）との接点の拡大**



ビジネスモデルを踏まえた企業の役割の明確化

起業を志向するビジネスパーソンとの接点拡大

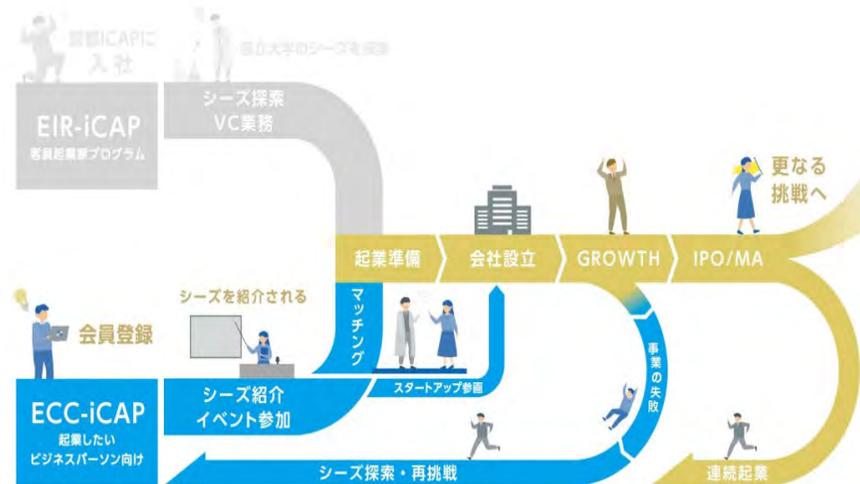
## 産学連携フォーラム (企業経営者とのマッチング)



第1回 産学連携フォーラム (1/29)  
(MS5のプログラム紹介、事業化に向けた連携の呼びかけ)

事業構想が出来たプロジェクトから 順次  
『**事業化推進タスクフォース**』にて個別協議

## 京都 iCAP との連携 (企業候補者とのマッチング)



京都大学を起点として拡大

## 国際共同研究契約を締結

国際共同研究を進める上で必要な契約締結上の課題（他国予算使用上の課題、研究成果の権利関係等）を整理し、双方と調整すべく、法律相談や国際連携希望調査などの個別対応を展開。その結果、目標5としては初めて**外国機関がコンソーシアムに参画する形での国際共同研究契約の締結**（細胞農業プロジェクトにおけるヘルシンキ大との共同研究（R5年度内予定））や、CPSプロジェクトにおける海外実証試験地の調整などが進展。（詳細は参考3）



<b>CPS</b> (藤原PM)	○ 国際イネ研究所（IRRI）、国際熱帯農業センター（CIAT、コロンビア）、ボリビア国サンアンドレス大・PROINPA財団と <b>実証試験について協議中</b>
<b>土壌</b> (竹山PM)	○ EU Horizon Europeのフレームワークでの連携等 ○ 独ライプニッツ農業景観研究センターとの連携研究 ○ 豪州クイーンズランド大と国際連携
<b>細胞農業</b> (清水PM)	○ <b>培養肉生産のLCAのためフィンランド・ヘルシンキ大との共同研究契約をR5年度内に締結</b>
<b>IPM</b> (日本PM)	○ 植物・昆虫・共生微生物相互作用研究の国際ネットワーク（PISINet）における防除戦略の構築
<b>低メタン牛</b> (小池PM)	○ 豪州連邦科学産業研究機構（CSIRO）、豪州クイーンズランド州政府との連携及び米国ウイスコンシン大との連携について交渉開始



### 包括共同研究覚書(MOU) を締結

2023年6月、**プログラムレベルとしては初となる包括共同研究覚書（MOU）**を豪州クイーンズランド大と締結。BRAINは研究推進法人として、**覚書案を提案するなど積極的にサポート**。この取組は、豪州側からの「持続可能な油糧作物の安定生産」の提案に発展、現在、エネルギー分野の関係者との連携など、**MSの枠を超えて展開**。  
(詳細は参考4)

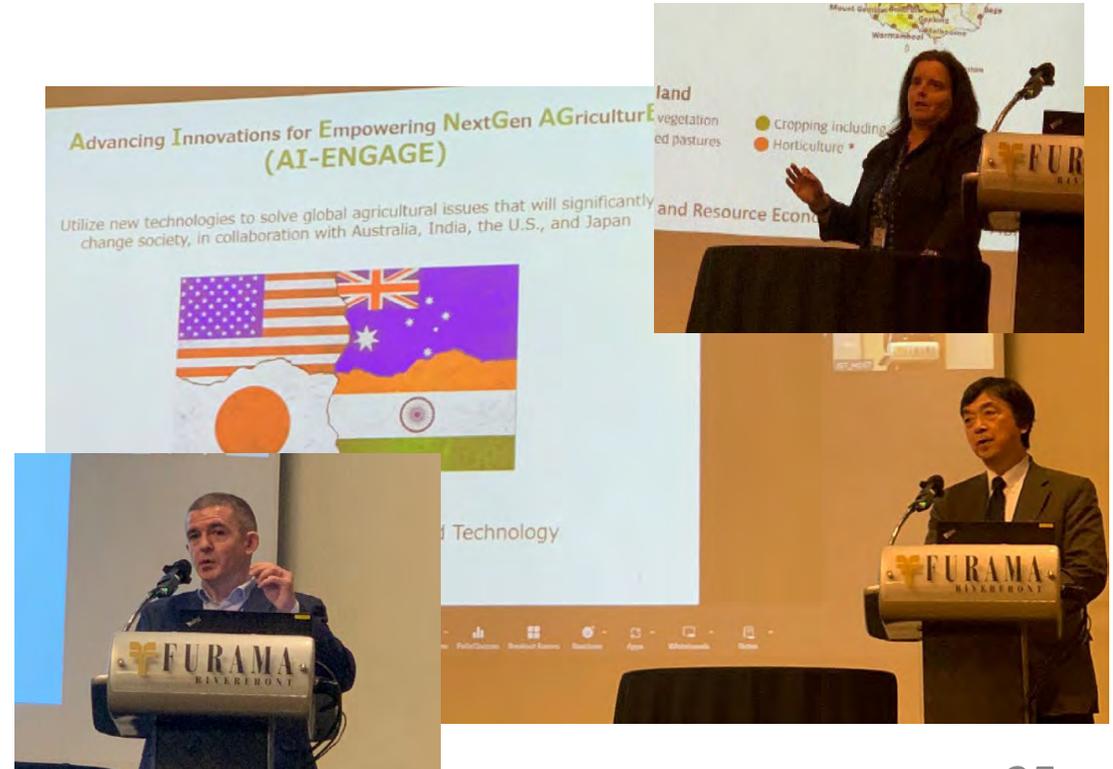
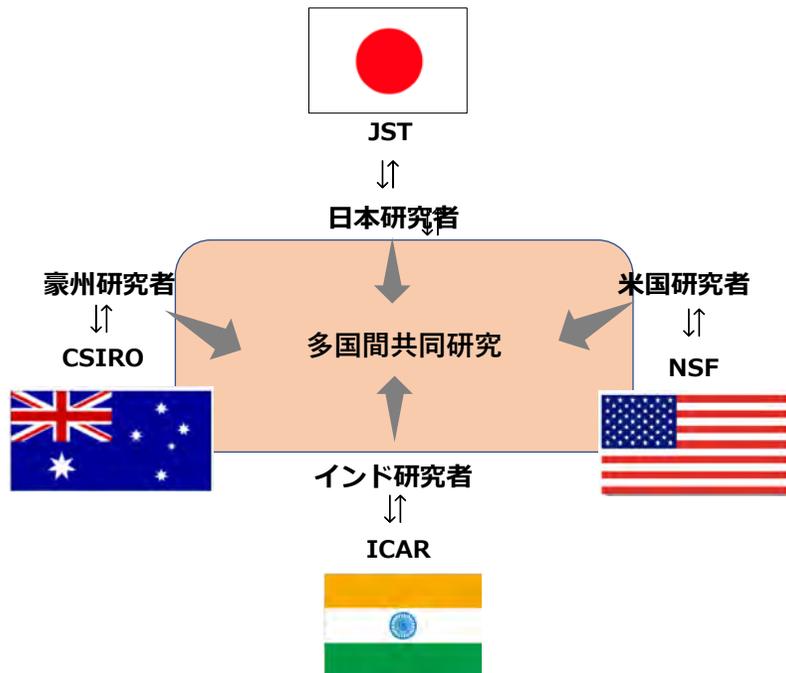


#### <MOUで結んだ主な協力事項>

- ① 各々の研究施設を活用し、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業の創出、持続可能な油糧作物の安定生産に向けた基盤技術を開発
- ② 日豪企業等を加えた油糧作物の大規模生産実証実験の推進
- ③ 油糧作物の安定生産のための、持続可能な土地利用及び農畜林業に関する技術開発・実証実験の実施

## QUAD(日米豪印) の科学技術での取組支援

2023年5月のQUAD首脳会合を機に実施することとなった「農業イノベーションに向けた日米豪印4か国共同研究」において、**MS目標5の千葉PDがTechnical Lead (TL) に就任**。当センターは、推進担当機関となったJSTと連携して**千葉TLをサポート**、ネットワーキングのために**本年2月にシンガポールで開催された国際ワークショップの参加呼びかけ、運営支援**など、共同研究開始に向け貢献。（詳細は参考5）



## 「サイエンスアゴラ2023」への参加

2023年10月、JSTが主催する社会交流イベント「サイエンスアゴラ2023」に参画、2プロジェクト（低メタン牛、IPM）のPMが話題提供。**アントレプレナーを目指す若手等との対話**を通し、**地球環境と食料供給問題を解決する事業をどのようにして進めるべきかを議論**。



当日参加 : 170名  
アーカイブ配信 : 288名  
(R5.12.18時点)

### 話題提供

- ①「牛メタン80%削減事業」の構想について（小池PM）
- ②「害虫被害ゼロ事業」の構想について（日本PM）

(参加者からの意見)

多くの者から「期待する」との意見。一方、「コストが妥当な水準である必要」「牛メタン削減80%達成の現実性や他の手法との優位性を明確にする必要」「農家ニーズとコストが釣り合うのか」等の意見。



**サイエンスアゴラ2023**  
未来の「食と農」を目指した事業化を語り合おう

URL: <https://www.jst.go.jp/ais/somogens/2023/online/index.html>

2023年10月27日(金) 19:00~20:30

オンライン開催 参加費無料

【事務局】  
生物系統定産繁殖研究センター (BRAIN)  
E-mail: [agora@moonshot5.com](mailto:agora@moonshot5.com) / [affix\\_20.jp](mailto:affix_20.jp)  
センターHP: [http://www.nrcn.affix.jp/Saboratory/brain/moon\\_shot/index.html](http://www.nrcn.affix.jp/Saboratory/brain/moon_shot/index.html)

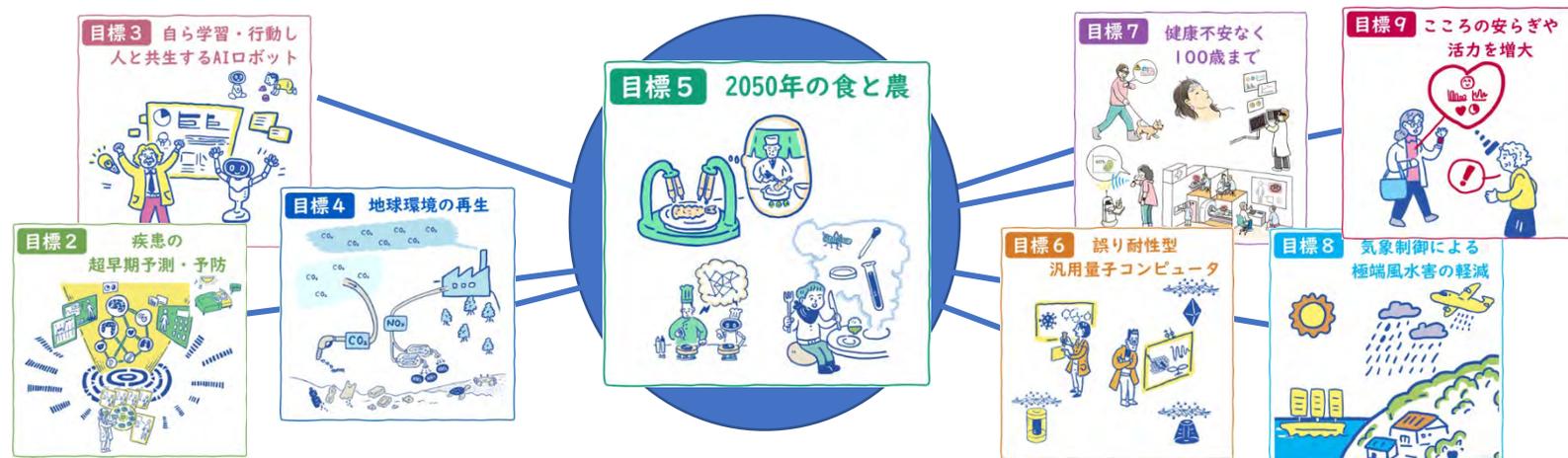
MOONSHOT  
Moonshot & Innovation Mission  
ムーンショット型研究開発制度は、国の大型研究プログラムです。

# (2-6) プログラムマネージメント（目標間連携）

## ○ MS目標間連携の推進

### ● PD間で直接交流

- 目標 4（地球環境の再生） 山地PD（2021.2.25）
- 目標 8（気象制御による極端風水害の軽減） 三好PD（2023.5.15）
- 目標 9（こころの安らぎや活力を増大） 熊谷PD（2023.5.15）
- 目標 6（誤り耐性型汎用量子コンピュータ） 北川PD（2023.5.17）
- 目標 2（疾患の超早期予測・予防） 祖父江PD（2023.5.17）
- 目標 3（自ら学習・行動し人と共生するAIロボット） 福田PD（2023.5.18）
- 目標 6（誤り耐性型汎用量子コンピュータ） 北川PD（2023.8.25） – 2回目



### ● PM間で直接交流

- 目標 7（健康不安なく100歳まで） 中西PM－高橋PM（2023.10.21）

# (2-6) プログラムマネージメント（広報・取材対応）

## ○ イベント・広報

- ◎ 千葉PDによる目標5の紹介動画をHP掲載（2023.3）
- ◎ 目標5のHP上の各PM・PJ 紹介文を随時更新（2023.4～）
- ◎ MS合同シンポジウムで目標5をアピール（2023.8.25 東京ビッグサイト）
- ◎ アグリビジネス創出フェア（2023.11.20-22 東京ビッグサイト。展示・セミナー **3年連続**）



## ○ TV・ラジオ報道例

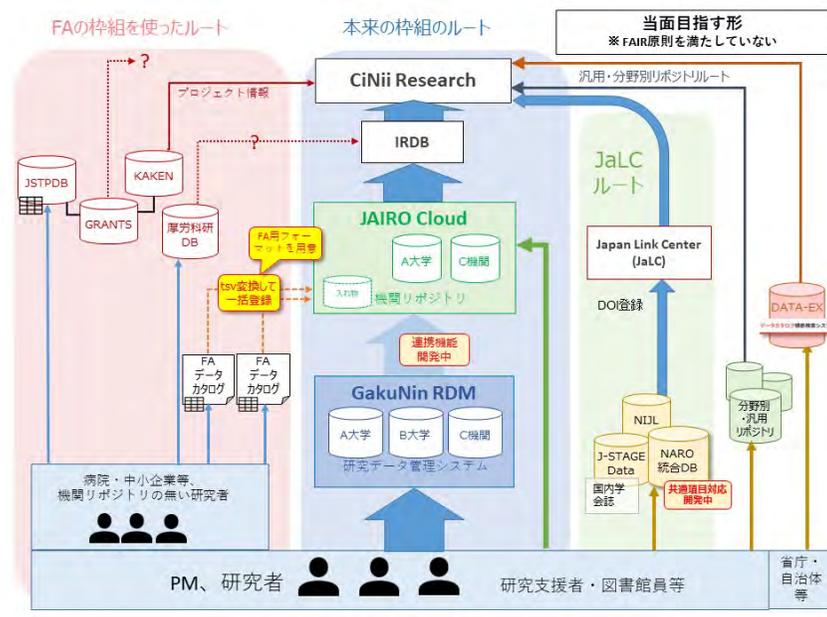
- ◎ **TV朝日（2023.1.26）**  
【日本PM】レーザー光で害虫を“狙い撃ち”！農薬を使わず駆除
- ◎ **日本テレビ 真相報道バンキシャ（2023.8.20）**  
【小池PM】牛のげっふ博士 最先端の研究で地球を救う～
- ◎ **TOKYO FM Solution in my life（2023.9.4）**  
【日本PM】レーザー光で害虫を撃ち落とす新技術
- ◎ **NHKクローズアップ現代+（2023.11.1）**  
【古川PM】卵も肉もまるでも本物！“フードテック食品”で食卓は変わる？



# (2-6) プログラムマネージメント (データマネージメント)

## ○ 先進的データマネージメントの推進

- 「生研支援センタームーンショット型研究開発事業におけるデータマネージメントに係る基本方針」や内閣府・NII推奨スキームなどをプロジェクトと共有。
- 各プロジェクトは、**データマネージメントプラン (DMP)** と**メタデータ (データカタログ)** を作成。各研究者と所属機関の責任者は、「**管理対象データ**」を適切に保管、管理。
- 目標5のメタデータ件数：158件 (2021年度) → 209件 (2022年度)  
→ **225件\*(2023.9)** (\*内訳：公開62、共有153、非公開・非共有10)
- 「**メタデータ説明書 (第3版; 2023.3.31)**」を受け、NIIシステム等へ登録したメタデータの内容更新及びFAへのファイル提出を全プロジェクトに依頼。「**管理対象データ**」の確実な保管・管理等を依頼。
- データマネージメント状況、**中止プロジェクトのデータ継承状況等**を**知財委員会**で確認 (2023.10)。
- メタデータの入力作業軽減のため、**e-Radデータ転用を推奨**。希望の有無を内閣府・NIIへ通知。
- e-Rad 配分機関の**登録名称変更を申請** (NARO → BRAIN、2023.9)



**取得データの着実な登録・管理を推進**

## ○ 数理科学共同研究の推進

3テーマを FS研究から 令和5年度より**本格的な研究にステップアップ**

【サイバーフィジカルシステムを利用した作物強靱化による食料リスクゼロの実現】

### ○ 植物の器官を対象にした画像解析技術の高度化 (藤原PM)

・**概要**： 撮影した画像より、葉など器官を三次元的に精度よく定量化する数理手法開発にチャレンジ。



・**期待**： 植物器官各部位の効率的な定量化を実現、新しい育種法の効能評価を迅速化。

### ○ 植物の表現型に影響を与える遺伝子等の検出 (藤原PM)

・**概要**： 決定木分析による機械学習を応用した関連解析システムの構築にチャレンジ。



・**期待**： 植物表現型に影響を与える遺伝子等要因解析を効率化。データの収集・利用範囲を拡大。

【土壌微生物叢アトラスに基づいた環境制御による循環型協生農業プラットフォーム構築】

### ○ 土壌環境-マイクロバイーム深層相互関係の解析 (竹山PM)

・**概要**： 多種類の計測データを用いて、土壌環境-マイクロバイーム深層相互関係解析にチャレンジ。



・**期待**： 土壌環境のレジリエンス評価を高度化し、土壌中の環境と微生物群集との複雑な関係解明に貢献。



**学際的な展開を推進**

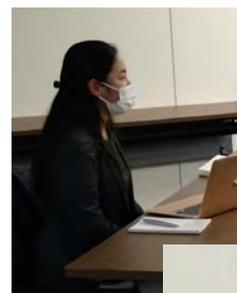
## ○ ELSI勉強会により目標5のELSIを共有

ムーンショット目標5の各プロジェクトが関わる **ELSI (Ethics, Legal, Social Issues)** について、専門家にご講演いただき、今後の推進に向け、プロジェクト関係者間で意見交換。

### 1) 松尾 真紀子 先生 (東京大学 公共政策大学院 特任准教授)

#### 「研究開発とELSIを両輪で進めるために」 2023.1.26

- ・ELSIって何？
- ・なぜELSI/RRIが必要か
- ・研究開発におけるELSIの位置づけの強化
- ・バイオ分野におけるELSI/RRIにかかわる具体的な活動事例



### 2) 地頭所 里紗 先生 (龍谷大学 政策学部 講師)

#### 「フード・ネオフォビア研究の最前線」 2023.1.26

- ・フード・ネオフォビアとは
- ・学術的、実務的な背景、先行研究
- ・欧州、米国での研究潮流
- ・代替タンパク質に関する研究潮流、など



### 3) 山口 富子 先生 (国際基督教大学 教養学部 教授)

#### 「遺伝子改変技術に係るELSIとは？」 2023.2.7

- ・ELSI/RRIとは何か？
- ・ELSIを考えることがなぜ必要なのか？
- ・遺伝子改変技術に関わるELSIの活動・論点
  - －海外の取組、分子ロボットのELSI、ゲノム編集技術、など



@AP東京八重洲&オンライン (ハイブリッド)



**各プロジェクト内で検討・対策を推進**

(1) 背景

(2) プログラムの状況

**(3) 外部評価結果**

(4) 今後の方向性

(5) 参考



# (3-1) 目標5の評議委員（外部有識者）

## プロジェクト評価、プログラム評価を行う外部委員

(2024年1月時点) (敬称略)

赤澤 智宏	順天堂大学 大学院医学研究科 教授
石黒 信夫	イノチオアグリ 株式会社 代表取締役
石田 典子	水産研究・教育機構 水産技術研究所 研究員
井出 留美	株式会社 office3.11 代表取締役
尾西 祥平	三浦法律事務所 弁護士
川越 義則	日本大学 生物資源科学部 准教授
川島 知之	宮崎大学 農学部 教授
久留主 泰朗	茨城大学 理事・副学長
齋藤 雅典	東北大学 名誉教授
佐藤 繁	岩手大学 名誉教授
榊 佳之	東京大学 名誉教授
竹本 彰吾	有限会社 たけもと農場 代表取締役
中野 栄子	日本経済新聞社 メディアビジネス Nブランドスタジオ シニア・メディア・プロデューサー
中村 保一	国立遺伝学研究所 教授
西出 香	TNO [オランダ応用科学研究機構] Business Development Manager
沼田 英治	京都大学 人と社会の未来研究院 特定教授
波多野 隆介	北海道大学 名誉教授
早川 典重	株式会社 羽神の森 代表取締役
宮澤 陽夫	東北大学 未来科学技術共同研究センター 教授
百瀬 則子	ワタミ 株式会社 執行役員・SDGs推進本部 本部長
山本 雅之	東北大学 東北メディカル・メガバンク機構 機構長・教授

## プロジェクト評価を行う委員

千葉 一裕 東京農工大学 学長

## プロジェクト評価の妥当性の評価、プログラム評価を行う外部委員

小野 正人	玉川大学 学術研究所 所長・教授
紺野 和成	公益社団法人 日本農業法人協会 専務理事
成田 正人	株式会社 NTTデータ経営研究所 常務取締役

※ プロジェクト評価の妥当性の評価を行う外部委員は、プロジェクト評価は行わない。

## (3-2) 外部評価の結果 (プログラム評価)

	評価項目	評価コメント
目標	1-1. MS目標達成等に向けたポートフォリオの妥当性 (①)	食料生産システムと食料消費システムに係るプロジェクトが、適切に選出されている。プロジェクトの進捗が継続的に吟味・検討され、機動的に検証・修正されている。 <b>ポートフォリオはバランスよく組まれている。</b>
	1-2. プログラムの目標に向けた研究開発進捗状況 (②)	PDは巨視的な観点からプログラム全体を見渡し、数々の学術的な研究成果の発出を評価しつつも、それらの中から社会実装につながる視点を重視。 <b>メリハリのある運営がなされている。</b>
連携・対話・発信	3-1. 産業界との連携・橋渡しの状況 (民間資金の獲得状況 (マッチング) スピナウトを含む (⑤))	RTを設置し、外部専門家の助言を積極的に受け入れる体制を構築したことは <b>評価できる</b> 。研究成果の社会実装という側面からは、 <b>食料関連事業者との協働をより一層促進するよう期待</b> 。
	3-2. 国際連携による効果的かつ効率的な推進 (⑥)	食料確保における地球への負担軽減には、国際連携が不可欠。その点、PDの意識は明確であり、BRAINと協働して <b>海外の情報収集に注力</b> している。しっかりとした関係を構築できる <b>友好国との連携を意識し、事業に取り組むことを期待</b> 。
	3-3. 国民との科学・技術対話に関する取組み (⑨)	インタラクティブな市民イベントへの <b>PDの積極的な参画は高く評価</b> 。社会実装は生活の中に食い込む自分事であるという <b>消費者目線にたった施策</b> を、BRAINと協働してさらに強化していくことを期待。
	3-4. 研究推進法人のPD/PM等の活動に対する支援 (⑩)	多くの属性の関係者が参画するプログラム運営の中で、PDの総括を助け、目標5に対して関係者の意識が共有していける環境を整える上で、BRAINは <b>極めて重要な機能を果たしている</b> 。

## (3-2) 外部評価の結果（プログラム評価） 続き

2-1. プログラムの目標に向けた今後の見通し (③)	<p><b>社会実装を重視する方向へと移行</b>しつつある。RTや多様な属性の専門家等を交えた議論の場の設定、市場動向の調査に着手し、当初目標の達成に向け、<b>時宜を得た試みがなされている</b>。</p>
2-2. PDのプログラムマネジメントの状況 (④)	<p><b>PDの社会実装を目指す意識は高く</b>、国際的な競争力や市場分析などにも取り組みながらプログラムを差配している。PDの研究者、教育者、起業経験者としての多様で豊富な知見が、マネジメントの随所に生かされており、<b>高く評価できる</b>。</p>
2-3. 大胆な発想に基づく挑戦的かつ革新的な取り組み (⑦)	<p>大胆かつ斬新な施策が込められたプロジェクトを内包するプログラムであり期待が寄せられるが、それらが大胆で斬新な内容であればあるほど、<b>国民の共感を得て生活に浸透させるための取り組みにも十分配慮</b>していく必要がある。</p>
2-4. 研究資金の効果的・効率的な活用（官民の役割分担及びステージゲートを含む） (⑧)	<p>4年経過を機に、研究成果の社会実装に資する調査に<b>追加資金を投じたのは評価できる</b>。プロジェクトの再編など研究資金の効率的な活用に努力してきたことも認められる。<b>広く民間企業の参画を募るとともに、さらなる資金の確保を進める</b>必要がある。</p>
2-5. プロジェクト評価の妥当性 (⑪)	<p>評議委員による評価は、「運用・評価指針」に沿って行われており、評価実施要領も適切な構成や内容になっている。<b>今回の各プロジェクトの評価の妥当性は高い</b>と判断でき、目標5のプログラム全体の評価についても、妥当性は担保されていると判断される。</p>

※ ( ) 内の①~⑪は、「ムーンショット型農林水産研究開発事業令和5年度評価実施要領」別紙1の2.プログラム評価の番号。

①~⑩は、「ムーンショット型研究開発制度の運用・評価指針」の「評価の視点」の項目と同一。

## (3-2) 外部評価の結果 (プロジェクト評価)

PM名	評価コメント
藤原PM (CPS)	基盤研究プロジェクトとしての研究が <b>着実に進められている</b> 一方で、本研究分野は、基盤技術開発や知財戦略による権利確保について激しい競争下にあるため、科学・技術としての独創性、優位性も常に明確にする必要がある。多くの委員からコメントがあった通り、 <b>社会実装を見据えた検討が不十分</b> であり、本プロジェクトで提唱する <b>サイバーフィジカルシステムが実際に有効に機能し、サイバー空間で創出された機能が、現実にフィジカル空間で開発された新たな作物において発揮されるまでの道筋が明確に示されている</b> とは言い難い。この成否については厳格に検証されるべきである。したがって、それに係る研究に <b>資金や人員等の資源を集中して取り組むべき</b> である。
竹山PM (土壌)	化学肥料と農薬を減らし、土壌機能の解明最適化を軸に栽培システムを構築する目標は、ムーンショット目標に合致し非常に重要な位置づけとなっている。これまでの成果を基盤に、データが急速に増えることが期待され、 <b>我が国の科学的プレゼンスを高めることができると評価</b> できる。ただし、本プロジェクトに掲げる <b>「土壌微生物アトラス」、「土壌健康度評価」</b> は、プロジェクト開始時から社会的に波及することが重要であるとの議論がなされてきたが、 <b>研究4年目に至っても、その道筋の描かれ方が不十分であり、社会実装までの時間軸も含めて疑問が大いに残る</b> 。複雑なテーマであるからこそ、国民の理解を得る説明努力が求められるが、本研究により実現される社会へのインパクト・効果がわかりやすく示せているとは言い難い。「土壌微生物アトラス」、「土壌健康度評価」に係る適用範囲、市場、現場のニーズ等を勘案し、どのように社会実装に結びつけるかについて、 <b>焦点を絞り、より具体化する必要がある</b> 。欧米等との連携についても戦略的かつ意欲的に推進し、日本が本課題に対し大きな発言力を持つことができるように進展することが望まれる。

## (3-2) 外部評価の結果（プロジェクト評価）（続き）

PM名	評価コメント
清水PM (細胞農業)	環境保全と食料生産を持続的な形で実現する <b>革新的なプロジェクトとして順調に進展</b> している。スタートアップ創出にも意欲的に取り組んでおり、 <b>波及力の点でも期待できる</b> 。ただし、本課題は世界的にも競争の激しい分野であり、類似の概念や知財獲得において競争的な環境にある。従って、国際ベンチマークを適正に解析した上で、本プロジェクトの強み、果たすべき役割を明確にしなければ、社会実装が困難になる可能性がある。早期に部分的にでも強みを活かした事業アクションを取り、社会的にインパクトを与えリーダーシップを発揮する必要がある。そのためにも、 <b>時間軸を見定めた上でのアクションプランをより明確化する必要がある</b> 。
日本PM (IPM)	基礎的な面で <b>インパクトのある研究成果</b> が生まれ、社会実装に向けた <b>取り組みも加速</b> しており、技術的な進展について <b>高く評価できる</b> 。研究成果の情報発信も積極的に行い、国民の理解・関心を得る努力をしている点も評価できる。今後、当該技術を社会に波及させるには対象顧客の具体化、コストメリット、生産現場への導入方法等、明確な事業実施計画を構想し、 <b>加速化する必要がある</b> 。 <b>市場参入の仕方、競合の差別化、マーケティング等を研究と合わせて検討し、事業に繋げることが望まれる</b> 。また、ゲノム編集天敵に対する <b>環境リスク評価</b> とその技術や社会的な波及に対する <b>国民の受容性に関する評価は重要</b> であり、革新技術の波及を直面する社会課題として取り組んでいただきたい。
小池PM (低メタン牛)	各サブ課題も含め、 <b>研究開発の進捗は順調</b> である。特に、特定の植物油の添加効果や重要な機能を果たす微生物を見出すなど、 <b>世界初の技術も開発</b> されており、さらに <b>具体的な研究成果を積極的に国民に情報発信している</b> 。今後の発展のためには海外競合との日本/現研究のポジションングを把握して、戦略を立てることが不可欠である。すなわちここから始まる <b>事業モデル、社会実装構想についてはしっかりした体制のもとで精力的に推進する必要がある</b> 。当該技術はカーボンクレジットに絡んだ巨大な市場が想定されるため、すでに多くの競合技術、競合事業が動き出している点をしっかり認識したうえで、民間企業とのさらなる連携も含め <b>取組を加速すべき</b> である。

## (3-2) 外部評価の結果（プロジェクト評価）（続き）

PM名	評価コメント
由良PM (昆虫)	基礎研究の成果とともに、 <b>ミズアブの飼育について研究成果の社会実装への道が示されつつあることは高く評価</b> できる。一方、取り組み内容が多岐に及ぶため、 <b>重点化すべき項目を絞り込み</b> 、波及力が想定される強みを基盤とした <b>成功モデルを示す事</b> が必要である。また、世界の人口増加に対応するタンパク質の供給という大きな理念と共に高い目標を達成するためには、一定規模のスケールでの実証、事業実施による検証が大きな意義をもつ。これらを踏まえた取り組みを、 <b>時間軸を定めて推進すること</b> が望まれる。また、 <b>昆虫食に対する社会の受容の道をどのように開いて行くか</b> は新しい概念の食開発に共通する課題でもあり、社会科学的な観点を含めてこの問題と向き合って取り組んでいただきたい。
高橋PM (AI Nutrition)	壮大で野心的な目標を掲げており、 <b>ムーンショットらしいプロジェクト</b> である。栄養成分情報から健康状態に直結させ、人類が健康を獲得することによる経済効果は極めて大きく、その価値の社会への波及が鍵となる。研究自体は計画どおりの進捗といえるが、プロジェクトの根幹にある <b>「自然資本主義社会」が抽象的な理想論で終わらないように</b> するには、本プロジェクトでの成果を定量的に示すとともに、社会の共感を得て産業界を巻き込むための取組をどのように進めるのかを明確にする必要がある。本研究開発で提案する内容を限られた予算の中で一定期間内に社会に浸透させるためには、社会保障費の低減など具体的な数値、経済効果を時間軸と共に示す、あるいは事業性を明確化し産業としての発展を促す必要がある。これらについて、 <b>目標設定と共に、そこに至る道筋、求められる技術、人材、予算などを明確化・重点化すること</b> が求められる。

## (3-2) 外部評価の結果（プロジェクト評価）（続き）

	PM名	評価コメント
食料生産・食料消費システム	プロジェクト共通	<ul style="list-style-type: none"><li>・研究開発については、各PMが優れたリーダーシップを発揮し、コンソーシアム内の研究者、研究計画を的確にまとめて牽引し、高いパフォーマンスを発揮、<b>研究開発における独創性、先進性について優れた部分を数多く確認。</b></li><li>・ただし、国際ベンチマークの観点からの<b>学術上の競合相手や優位性については未だ明確に判断できない部分</b>もあり、これらについては、国際的なトップジャーナルへの発表や、世界的な特許マップの検証など、<b>エビデンスと共に信頼度の高い評価、解析が必要。</b></li><li>・全般的に「あるべき姿」に向けた<b>事業モデルの構想、その実現に向けた計画が不十分</b>な部分が見受けられ、ムーンショットが目指す、革新技術に基づく持続可能な食料供給を実現するための産業の創成が波及力を持って実現できるよう、事業開発に関する総合的な取り組みが不可欠。</li><li>・他機関、専門人材との連携を広げ、<b>多角的な視点や事業推進資金の獲得</b>も含めた戦略的活動が必須。</li></ul>

- (1) 背景
- (2) プログラムの状況
- (3) 外部評価結果
- (4) 今後の方向性**
- (5) 参考



## (4) 今後の方向性

### 令和6年度（5年目）

国際ベンチマークを適正に評価し**自らの強みを的確に押さえ、それに係る研究に資金や人員等の資源を集中して取り組む**ことにより、社会実装の確度を十分に高める。

令和6年度中のこれらの見直し・取り組み状況について、**その後のプロジェクト継続に対する評価・判断基準とする。**

前半5年の最終年度であることから、成果のとりまとめ・発信を積極的に行うとともに、CSTI5年目評価、後半5年の準備等に適切に対応する。

## (4) 今後の方向性（続き）

MSとしての位置づけで活動することを基本に、予算額に係わらず、目標の達成に加速的に近づく方策を挑戦的に進めることを基本とする。

**限られた予算**の中でいかにして目標を達成するか、事業資金（投資）を確保して自立的に実行することを前提に運営する。

**一定の期間内（例えば2年間）に自立すること又は自立した体制の見通しを立てることを条件にプロジェクト運営**を行う。

- (1) 背景
- (2) プログラムの状況
- (3) 外部評価結果
- (4) 今後の方向性
- (5) 参考**



# (参考1) 目標5のプロジェクト一覧

2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出



Program director **ムーンショット目標5のPD(プログラムディレクター)**  
**千葉 一裕 国立大学法人 東京農工大学 学長**

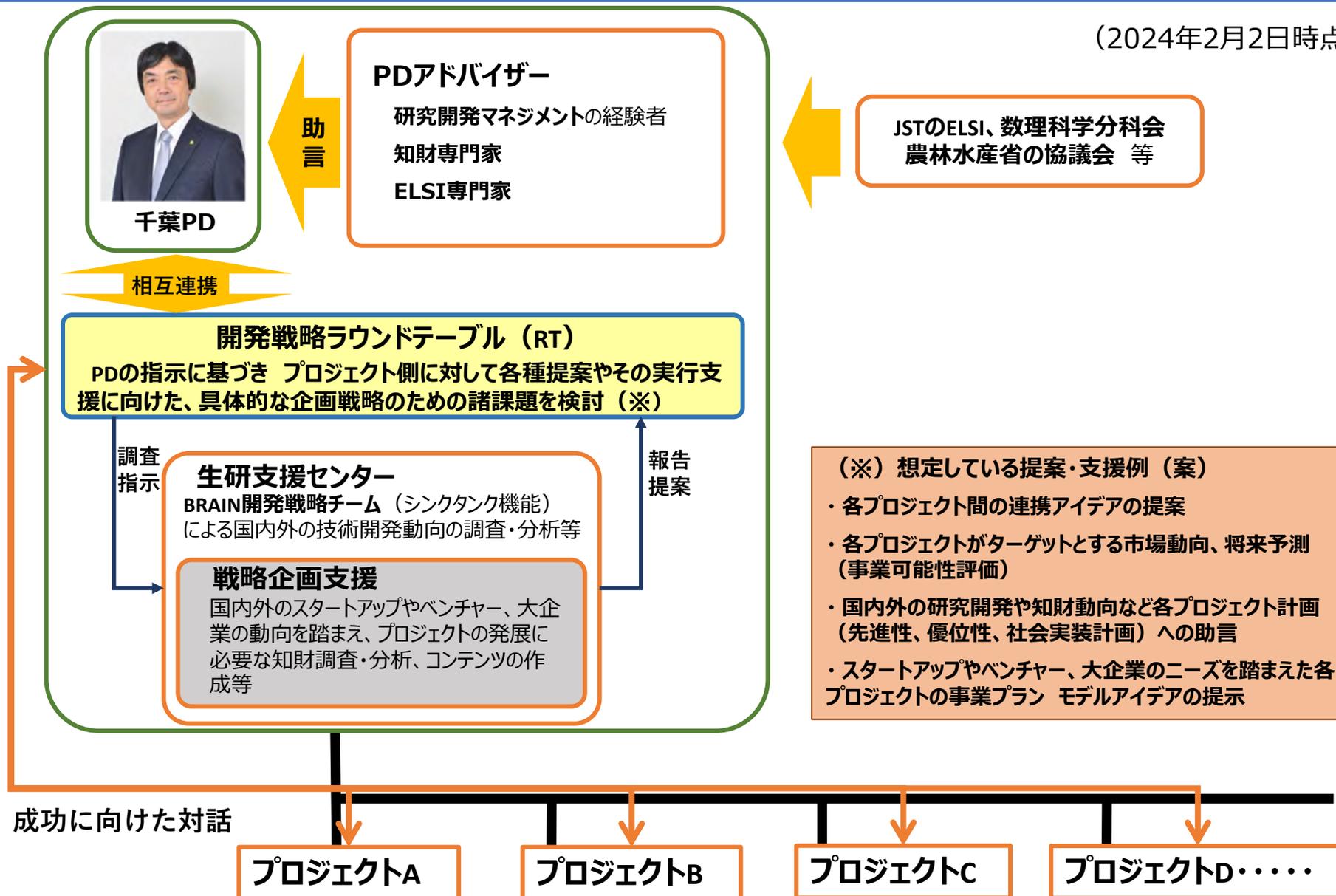
## 研究開発プロジェクト

**PM**  
 (プロジェクトマネージャ)

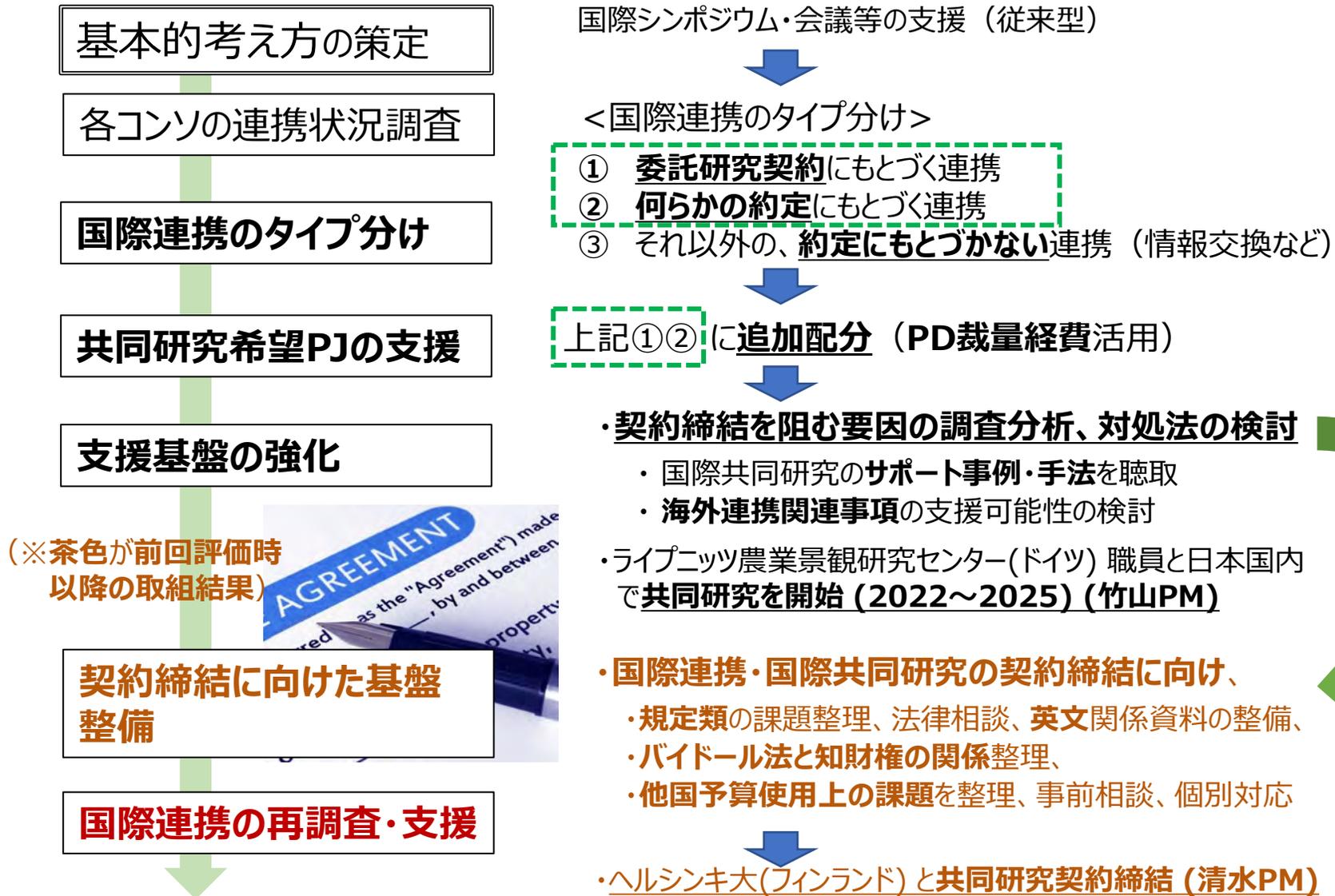
食料生産	 サイバーフィジカルシステムを利用した作物強靱化による食料リスクゼロの実現	<b>藤原 徹</b> 教授 (東京大)
	 土壌微生物叢アトラスに基づいた環境制御による循環型協生農業プラットフォーム構築	<b>竹山 春子</b> 教授 (早稲田大)
	 藻類と動物細胞を用いたサーキュラーセルカルチャーによるバイオエコノミカルな培養食料生産システム	<b>清水 達也</b> 教授 (東京女子医科大)
	 先端的な物理手法と未利用の生物機能を駆使した害虫被害ゼロ農業の実現	<b>日本 典秀</b> 教授 (京大)
	 牛ルーメンマイクロバイオーム完全制御によるメタン80%削減に向けた新たな家畜生産システムの実現	<b>小池 聡</b> 教授 (北海道大)
食料消費	 地球規模の食料問題の解決と人類の宇宙進出に向けた昆虫が支える循環型食料生産システムの開発	<b>由良 敬</b> 教授 (お茶の水女子大)
	 自然資本主義社会を基盤とする次世代型食料供給産業の創出	<b>高橋 伸一郎</b> 教授 (東京大)
	 低温凍結粉碎含水ゲル粉末による食品の革新的長期保存技術の開発 (R5年度 新規採択)	<b>古川 英光</b> 教授 (山形大)

# (参考2) PD支援体制図

(2024年2月2日時点)



# (参考3) 国際共同研究の締結



# (参考4) 豪州クイーンズランド大学との包括共同研究覚書(MOU)締結

- 大学等の個々の機関ではなく「プログラム」として海外研究機関とMOUを締結する初のケース
- 千葉PDのイニシアチブにより MS5プロジェクトの「現行の取り組みを超えた」協力の推進
- 「MS5プロジェクト群」のリソースを最大限活用してインパクトが大きなグローバル 이슈に直接チャレンジ
- 以下の協力事項を明示



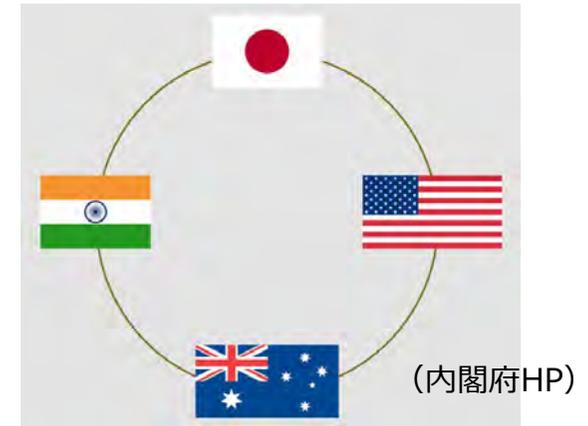
Deborah Terry副学長と千葉PD

- i. 甲の各コンソーシアム構成員及び乙に所属する研究者、甲の各コンソーシアム構成員及び乙が所有する研究施設を活用した地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業の創出、持続可能な油糧作物の安定生産に向けた基盤技術開発
- ii. 日豪企業等を加えた油糧作物の大規模生産実証実験
- iii. 持続可能な油糧作物の安定生産に関して、持続可能な土地利用及び農畜林業に関する技術開発・実証実験
- iv. その他、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業の創出、持続可能な油糧作物の安定供給体制構築に向けた研究開発に必要な事項

	<p><b>SAF</b>  <b>1.5billion USD</b>                      ※100% SAF                      10billion USD</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investment: 1.5billion USD</li> <li>• SAF 10% mix (Japan Government objective)</li> <li>• Japanese aviation fuel consumption 10million kl (2019)</li> <li>• QL and Japanese Joint venture</li> </ul>
	<p><b>Carbon Farming</b>  <b>5.2billion USD</b>                      ※Global 110billion USD</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investment: 0.5 billion USD</li> <li>• QL and Moonshot project's Joint business.</li> <li>• Collaboration with CAS, QL startup</li> <li>• Sustainable carbon farming in QL and other Australian farmland and grassland.</li> </ul>
	<p><b>Cow methane Credit</b>  <b>1.4billion USD</b>                      ※Global 22.2billion USD</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investment: 0.5 billion USD</li> <li>• Moonshot project and Aussie beef in QL collaboration business.</li> <li>• Cow methane reduction and carbon farming in grassland.</li> </ul>

◎各プロジェクトと海外研究機関の共同研究・社会実装を後押しする同様のMOUの締結を今後拡大

QUAD首脳会合での共同声明 (2023.5.20)  
「新興技術を通じて農業におけるイノベーションを  
推進するための共同研究を支持」



- 社会大きく変えるグローバル課題（食糧問題等）の解決を目指す4か国の共同研究（**AI-ENGAGE\***）の実施が決定。日本は**ムーンショット制度**の枠組みを適用（担当FA：JST、2023.11）
  - \* **A**dvancing **I**nnovation to **E**mpower **N**ext**G**en **A**gricultur**E**
- AI-ENGAGEの日本側の**Technical Lead**に**千葉PD**が就任、**専門家として技術面でのサポート**を開始。
  - **国際ワークショップ**（2024.2.14-15、シンガポール）の参加呼びかけ、運営支援
  - 引続き、AI-ENGAGEへの日本からの積極的な参画を呼び掛け



◎MS事業（目標5）の研究成果や国際連携の経験を活かし、QUADの共同研究を支援

# (参考6) プロジェクト4年目の進捗・成果 (藤原PJ)

従来、圃場で数年～数十年かかる品種改良をサイバー空間でデザインし1年で育成可能に

5年目 (2024年度) のKPI

開発中の**本システムのプロトタイプ**を用いて環境適応能を高めた強靱化イネ系統を**作出**する。

進捗・成果

イネ版CPS1回目で**干ばつ耐性に関与する遺伝子を選抜、調査**。

CPS2回目では1回目で得られた変異株などを用いたデータを利用し、相互にネットワークを形成する遺伝子群から、**種子の重さと発現量が相関する乾燥応答遺伝子を多数見出した**。この中には、既知の乾燥応答遺伝子も確認。

## データ取得(CPS1回目)

既存の発現情報で遺伝子ネットワーク解析し、候補遺伝子を選定、ゲノム編集系統を作製

ゲノム編集系統の評価



ゲノム編集系統栽培の様子

【前回の進捗報告】

ゲノム編集により候補遺伝子を破壊した系統群から、**干ばつ耐性**がみられた

## データ解析(CPS2回目)

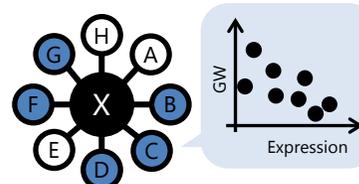
【大規模オミクスデータ】  
12系統×2処理×3反復×13時点の  
遺伝子発現データ+表現型+環境値

【共発現解析】  
遺伝子間の関係を推定

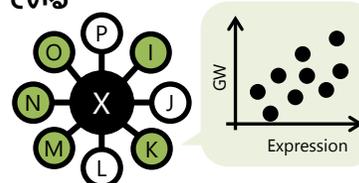
【変動遺伝子抽出】  
乾燥応答を評価

【相関解析】  
種子重との関連性を評価

## 候補絞り込み(CPS2回目)



遺伝子Xは、「種子重と発現量が負に相関する遺伝子」と、たくさん結びついている



遺伝子Xは、「種子重と発現量が正に相関する遺伝子」と、たくさん結びついている

乾燥処理に応答し、発現量と種子重が相関する遺伝子Xを絞り込み

## その他の主要成果

- ・野生種より乾燥・塩類・貧栄養の**耐性遺伝子**を21同定
- ・狙った場所に複数変異を導入可能なゲノム編集技術を開発
- ・ストレス耐性遺伝子の**エンサイクロペディア化**

学術論文37、特許出願等8  
(研究開始～2023.12.6現在)

# (参考6) プロジェクト4年目の進捗・成果 (竹山PJ)

## 土壌微生物の力で作物を生産

5年目 (2024年度) のKPI

各種土壌で**微生物叢アトラスを完成**させるとともに、土壌微生物、作物、環境の相互作用を解明し、環境負荷低減と作物増産の両立の指標となる**「土壌健康度」**の概念を科学的に**明確化**する。さらに、これらのデータをもとに、**「循環型協生農業プラットフォーム」**の概念も**構築**する。また、**「農業環境エンジニアリングシステム」**の**プロトタイプを完成**する。

## 進捗・成果

- 環境条件や作物生育条件の異なる各種土壌での微生物コミュニティ解析に基づく『微生物叢アトラス』β版を近日中に限定付き公開予定。→ 生物因子を主体とした『土壌の健康度』を評価する手法を構築中。
- 作物生育モデルと土壌モデル等を結合し『農業環境エンジニアリングシステム(AEES)』プロトタイプを構築。



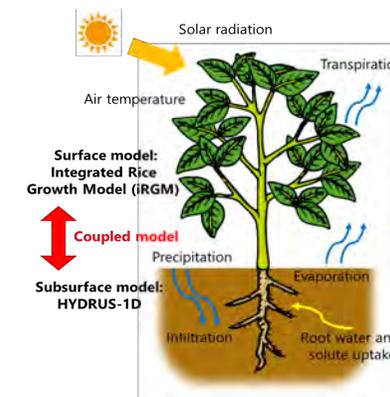
### ①生物性データ

- 土壌に生息する細菌叢 (16S rRNA遺伝子解析)
- 根表面/根圏で機能している**微生物の遺伝子**(シングルセルゲノム・メタゲノム解析)や**代謝産物**(シングルセルメタボローム解析)
- 有用な放線菌、窒素固定菌、リン溶解菌等の**カルチャーコレクション**
- 栽培中の作物における**遺伝子発現**プロファイル

### ②物理性・化学性データ

- DB化した『微生物叢アトラス』β版を近日中に限定付き公開予定。
- 微生物ゲノム情報を基に選抜した**微生物コンソーシアムの播種**により、**根粒の着生数・乾燥重量が増加**。減化学肥料の実現に道筋。

- 農業をサイバー空間でシミュレートするため、全国の6モデル圃場のサイズの**統合オミクス解析**を実施
- 作物生育モデルや土壌モデル等を結合し『**AEESプロトタイプ**』を構築



- AI機械学習を加えAEEFの収量予測精度が向上。
- R6年度から**社会実装のユーザーテスト**開始予定。

学会発表68、学術論文15、特許出願等2  
(研究開始～2023.11.9現在)

# (参考6) プロジェクト4年目の進捗・成果 (清水PJ)

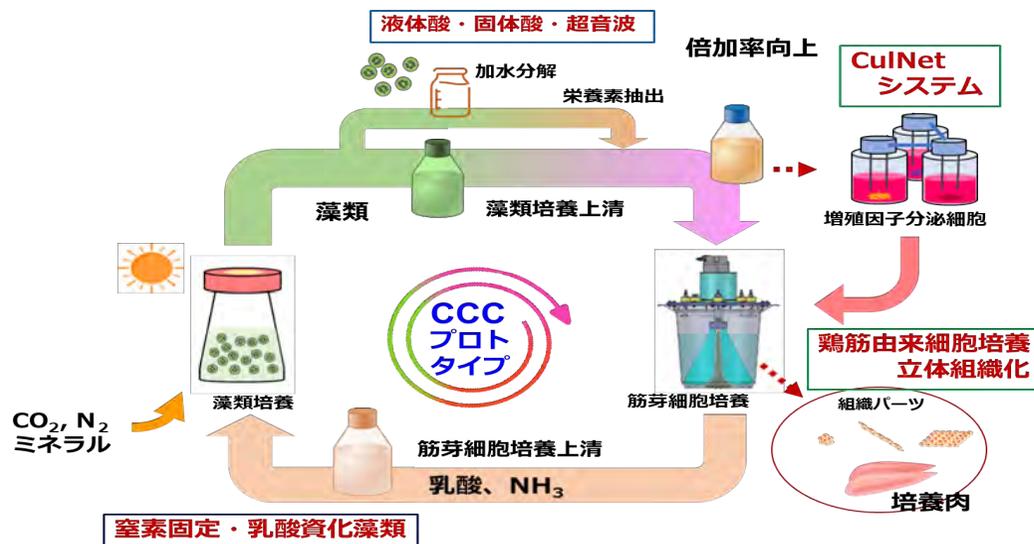
## 資源循環型培養食料生産技術による食料生産の効率化

5年目 (2024年度) のKPI

**藻類分解率 80%**、鶏胚由来筋細胞の**倍加時間36 時間未満**、**培養廃液アップサイクル率 80%**を達成するとともに、それぞれのプロセスを連結させた**サーキュラーセルシステムのプロトタイプを完成**し、**30 日間で鶏胚由来筋細胞 100g ( $10^4 \rightarrow 10^{10}$ 個に増幅) の生産**を達成する。増幅した筋細胞を用いて **10×10×1 cm (縦×横×厚み) の培養チキン**を作製する。

進捗・成果

**培養食料を生産、培養廃液を再利用するCCCサイクルの短時間化、高効率化目標を達成し、CCCプロトタイプ完成に向けて順調に進化。**



### I. サークュラーセルカルチャー (CCC) の要素技術開発

- ① 藻類分解率目標70%を複数の藻類で達成
- ② 鶏筋細胞の倍加時間目標<48 hは、広塩性藻類を用いたCCCを達成。窒素固定藻類で高効率CCCを検証中
- ③ 廃液アップサイクル率目標>70%は、乳酸資化藻類を用い達成。また窒素固定藻類の乳酸資化で高効率化を検討

### II. 攪拌浮遊培養装置を用いた大量培養システムを構築中

### III. 培養肉の立体組織化、食感・呈味評価法を検討

- ④ 攪拌浮遊培養を用い、 $1 \times 10^9$  個を超える鶏胚由来細胞の増幅を可能とし、また複数の立体組織化技術を確立

## 青色レーザー光など全く新しい害虫防除技術

5年目 (2024年度) のKPI

物理的手法として、**施設野菜における常設型の害虫検知・追尾・レーザー殺虫技術を開発**する。また、生物的手法として、作出した**オールマイティ天敵の施設栽培での防除効果を実証**するとともに、**共生微生物による不和合虫放飼の害虫密度低減効果を室内試験で実証**する。

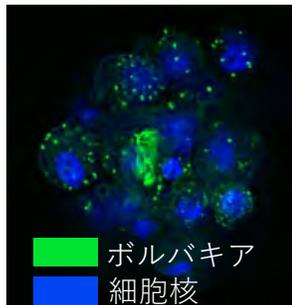
## 進捗・成果 青色レーザー光による殺虫技術、天敵有用系統作出技術、共生微生物培養技術を開発

広域での密度抑制

圃場への侵入阻止

侵入した生き残りや微小害虫の殺虫

### ① 共生微生物



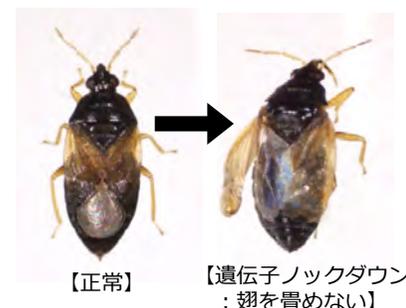
培養細胞を用いた共生微生物の培養技術を完成し、**共生微生物のストックの拡充**や、**害虫への高効率な感染**に成功

### ② レーザー狙撃



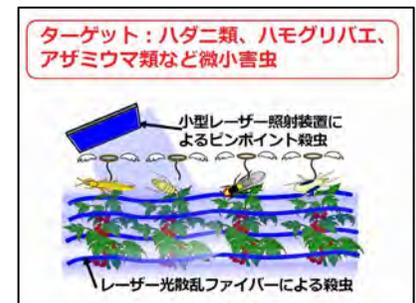
**自由飛行**する害虫を検知・追尾し自動で**レーザー狙撃**する技術を開発 (現在、**実機を開発中**)

### ③ 有用天敵



RNAi法やゲノム編集 (DIPA-CRISPR法) により**飛行能力を欠損させた有用天敵系統の作出**に成功

### ④ レーザー面照射



微小害虫に対する**青色レーザーを面照射する機器を試作**

# (参考6) プロジェクト4年目の進捗・成果 (小池PJ)

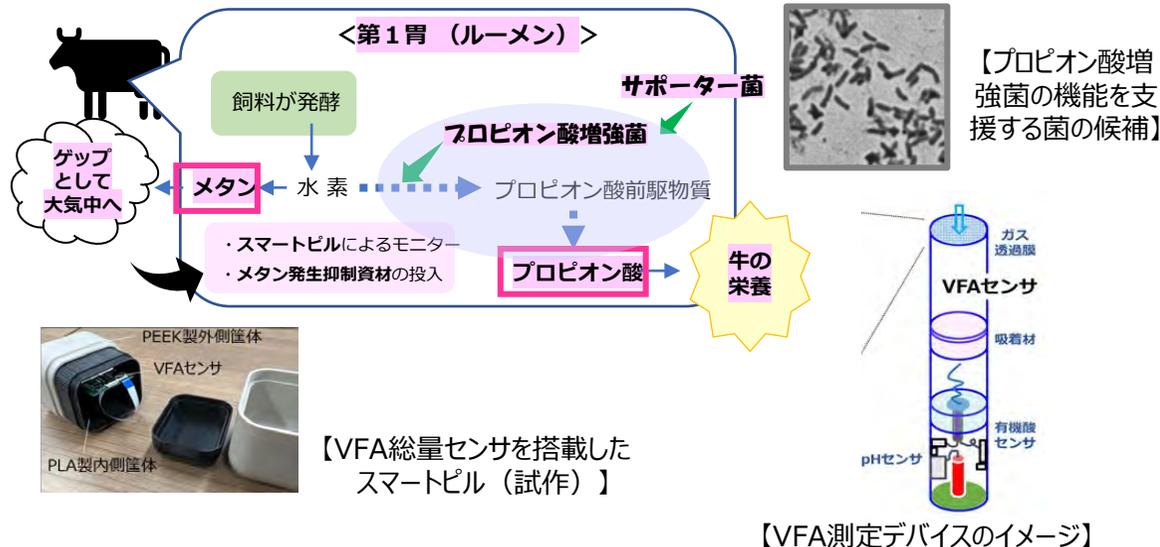
## 牛ルーメンの細菌叢をコントロールし、げっぷメタンの削減と生産性向上を両立

5年目 (2024年度) のKPI

ゲノム解析に基づいた**プレバイオティクス素材の探索**及び**代謝性水素の動態の見える化**を図る。また、VFA 総量センサを搭載した**スマートピルプロトタイプを試作**する。さらにメタン25%削減が可能な**メタン抑制候補資材を提示**するとともに野外データを収集することにより、生産現場への**普及指針 (初版) を策定**する。

### 進捗・成果

## げっぷに含まれるメタンを減らす菌 (=プロピオン酸増強菌) の機能を強化するサポーター菌の分離・培養に成功し、その特性を解明



- ✓ プロピオン酸前駆物質の1つである乳酸から、**プロピオン酸を合成するサポーター菌を同定し、特許出願**
- ✓ **第1胃内のメタン生成状況をモニタするスマートピルを試作し、ルーメン液中での連続動作を確認**
- ✓ 新たなメタン抑制資材候補から、**実験室レベルで約4割のメタン排出抑制効果を持つ素材を同定**

# (参考6) プロジェクト4年目の進捗・成果 (由良PJ)

## 優良形質をもつ昆虫品種を作出、家畜化する

5年目 (2024年度) のKPI

コオロギの食品産業での利用を拡大するため、ゲノム編集や官能評価を行い、**大型 (体重20%増) 系統**、**黒色から淡色に変化した系統**、および**良食味の系統を作出**するとともに、家畜化に資する**飼養標準(初版)の案を完成**させる。また、難利用有機性廃棄物を利用した**ミズアブ飼育システムと養魚・畜産用飼料としての利用方法を提示**する。さらにシロアリについては、**家畜飼料としての機能性を実証**し、付加価値の向上を図るとともに、**未利用木材活用の経済的、社会的意義を明示**する。

進捗・成果

### コオロギの体色 (白色化) やミズアブの品質 (必須アミノ酸の含有量を増大、魚粉、魚油の完全代替) を改良、昆虫の食用・飼料用家畜化に道筋

【体色の改良 (食用)】

WT(野生種)



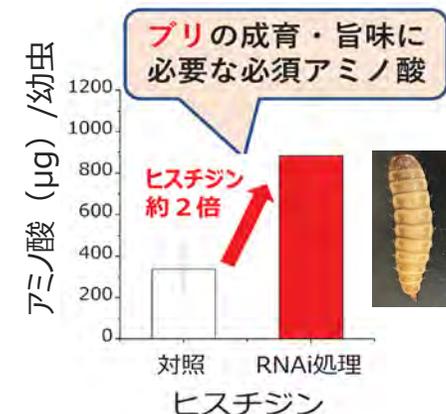
改良種



白色色素合成酵素遺伝子のノックインにより、**コオロギ白色系統の作出に成功**

【品質の改良 (飼料用)】

アミノ酸排泄系遺伝子のノックダウンにより、**必須アミノ酸の量を倍増させたミズアブを作出。**



- ✓ 飼料用ミズアブのヒスチジン量を約2倍に、メチオニン量を約2.5倍に増大
- ✓ ミズアブと微細藻類(オランチオトリウム)でマダイ飼料中の魚粉と魚油を完全代替に成功

# (参考6) プロジェクト4年目の進捗・成果 (高橋PJ)

## 採血せずに健康状態を把握し、最適な食を通して健康寿命を延伸する

5年目 (2024年度) のKPI

疾患を誘発/健康を維持する**血中メタボロームを解明**し、未来型食品の**最適な栄養成分比率を提案**する。また、**老化加速ピッグの表現型を解析**し、**老化の進行度を定量的に評価**する。

進捗・成果

### 老化加速モデルピッグを作出、脂肪肝等の発症を血中アミノ酸プロファイルの改変で抑制

[ゲノム編集により**老化加速モデル (老化抑制遺伝子欠損)ピッグ**を作出]



ヘテロ欠損同士の兄妹交配により**ホモ欠損体**を作出

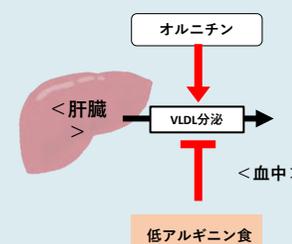
⇒**ヒトに近い条件**で血中メタボロームと老化の関係を評価可能に!

特許出願済



[高脂肪食による脂肪肝等の発症を血中アミノ酸プロファイルを改変することで抑制]

⇒大規模コフォート研究によるヒトでの検証に向けて準備中!



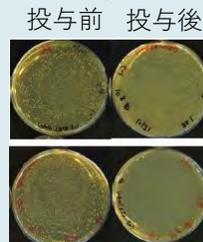
米国仮特許出願済

オルニチン添加で中性脂肪の血中への分泌を促進し、肝臓への蓄積を抑制

[溶菌ファージによるマウス腸内細菌中からの肥満細菌除去に成功]

⇒溶菌ファージによるヒト腸内細菌叢制御技術の開発へ!

ファージ非投与  
ファージ投与



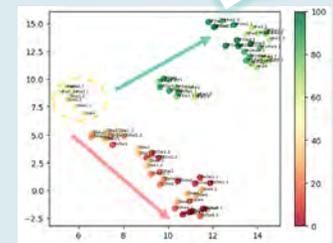
### 「AI Nutrition」に基づく食から健康の実現



[血液由来の分光スペクトルから個体の健康状態を推定することに成功]

⇒先制医療の実現に向けて、経時的にモニター可能なウェアブルデバイスの開発へ!

分光分析 × 数理解析



# (参考7) プロジェクト概要 (藤原PJ)



## Achieving zero food risk by improving crop robustness through cyber-physical systems サイバーフィジカルシステムを利用した 作物強靱化による食料リスクゼロの実現



Project manager プロジェクトマネージャー **Dr. FUJIWARA Toru 藤原 徹**  
Professor, The University of Tokyo 東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授

### Moonshot ムーンショット

Breeding, which conventionally would take several years to decades in the field, can be designed in cyberspace and grown in one year.

従来、圃場で数年~数十年かかる品種改良を**サイバー空間でデザイン**し**1年で育成可能に**



#### 【MS目標】

イネ・ムギ・ダイズを中心に気候変動適応型作物を開発し、貧栄養土壌、厳しい干ばつや塩害でも安定した食料供給を可能とする

#### 【社会問題の解決】

温暖化の進行する中、2030年までに「デジタル作物デザインセンター」を始動し、強靱化システムのリリースを行い、2050年までに生物機能をフル活用し、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料増産を実現

# (参考7) プロジェクト概要 (竹山PJ)



Building a platform for sustainable farming through environmental control based on a soil microbe atlas

## 土壌微生物叢アトラスに基づいた環境制御による循環型協生農業プラットフォーム構築



Project manager プロジェクトマネージャー **Dr. TAKEYAMA Haruko 竹山 春子**  
Professor, Waseda University 早稲田大学 理工学術院 教授

### Moonshot ムーンショット

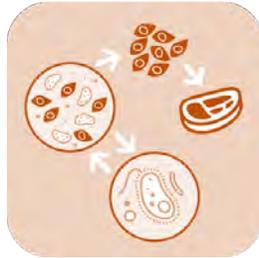
Crop production with the power of soil microorganisms

## 土壌微生物の力で作物を生産

ターゲット作物: ダイズ  
土壌・植物・環境の理解と制御



# (参考7) プロジェクト概要 (清水PJ)



Bio-economical food production system using circular cell culture of algae and animal cells  
 藻類と動物細胞を用いたサーキュラーセルカルチャー (CCC) によるバイオエコノミカルな培養食料生産システム

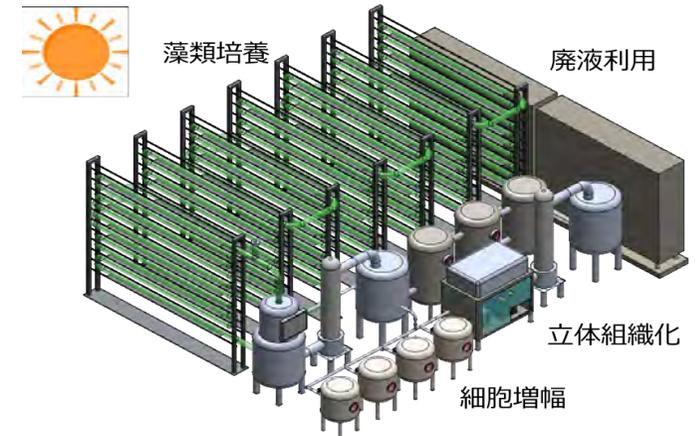
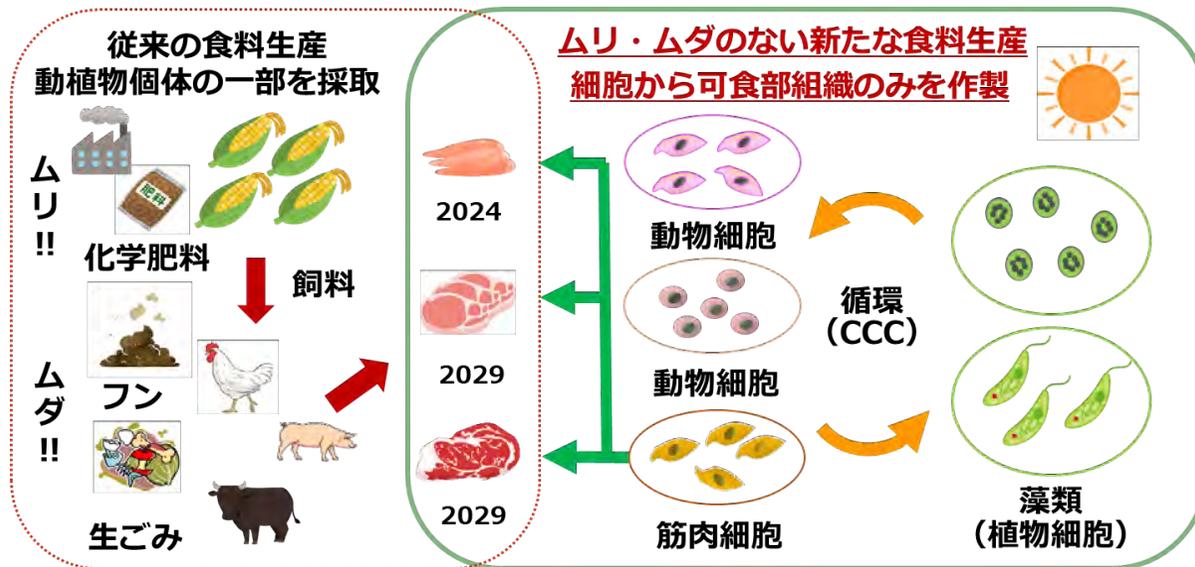


Project manager プロジェクトマネージャー **Dr. SHIMIZU Tatsuya 清水 達也**  
 Professor, Tokyo Women's Medical University 東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 教授

## Moonshot ムーンショット

Improving the efficiency of food production using resource-recycling cultured technology

# 資源循環型培養食料生産技術による食料生産の効率化



バイオエコノミカルな培養食料生産システム (2030)

# (参考7) プロジェクト概要 (日本PJ)



Realization of zero pest damage agriculture by fully utilizing advanced physical methods and unused biological functions  
先端的な物理手法と未利用の生物機能を駆使した  
害虫被害ゼロ農業の実現

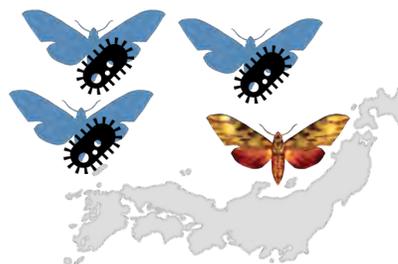


Project manager プロジェクトマネージャー **Dr. HINOMOTO Norihide** 日本 典秀  
Professor, Graduate School of Agriculture, Kyoto University 京都大学大学院 農学研究科 教授

## Moonshot ムーンショット

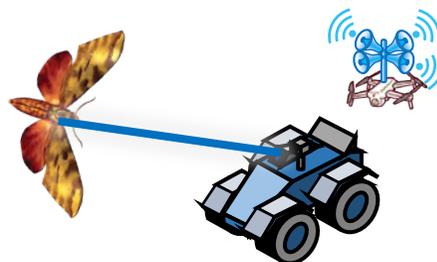
Pest control systems that do not rely on chemical pesticides

青色レーザー光など全く新しい**害虫防除技術**



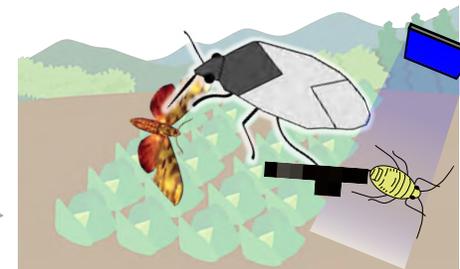
Pest density control by symbiotic microorganisms  
共生微生物による広域での害虫密度低下・無毒化

Area-wide control  
広域での密度抑制



Interception by shooting with blue laser, ultrasonic and vibration  
青色レーザーによる迎撃  
音波、振動による侵入阻止

Interception against invasion into fields  
圃場への侵入阻止



Predation by versatile biocontrol agents  
オールマイティ天敵による  
撃ち漏らした害虫の捕食

Extermination of invaded pests  
侵入した生き残りや微小害虫の殺虫

Extermination of minute pests by blue laser  
青色レーザー照射による  
微小害虫の殺虫

# (参考7) プロジェクト概要 (小池PJ)



Realization of a new livestock production system to reduce methane by 80% through complete control of the bovine rumen microbiome  
 牛ルーメンマイクロバイオーム完全制御によるメタン80%削減に向けた新たな家畜生産システムの実現

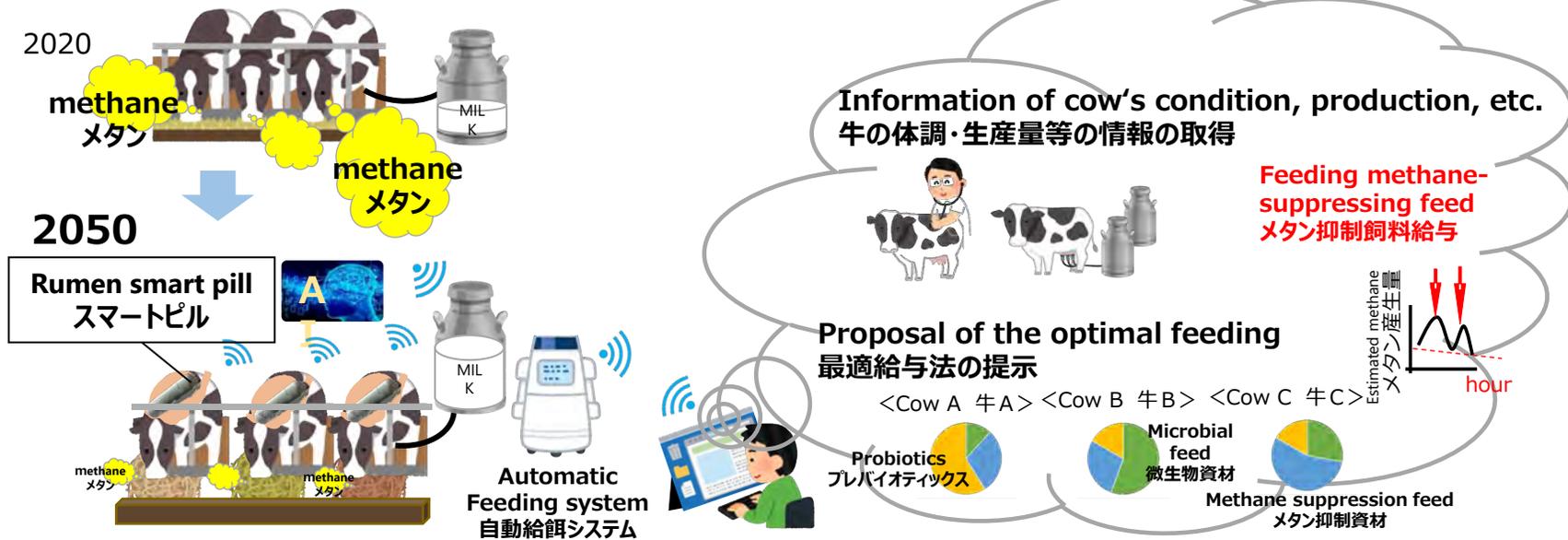


Project manager プロジェクトマネージャー Dr. KOIKE Satoshi 小池 聡  
 Professor, Hokkaido University 北海道大学大学院 農学研究院 教授

## Moonshot ムーンショット

Reducing Methane from Cows Will Save the Planet and Solve the Food Crisis

牛のルーメン（第一胃）の細菌叢(さいきんそう)をコントロールし、  
 げっぷメタンの削減と生産性向上を両立



# (参考7) プロジェクト概要 (由良PJ)



## Development of Insect-Based Sustainable Food Production Systems for Global Food Security and Human Space Exploration 地球規模の食料問題の解決と人類の宇宙進出に向けた 昆虫が支える循環型食料生産システムの開発



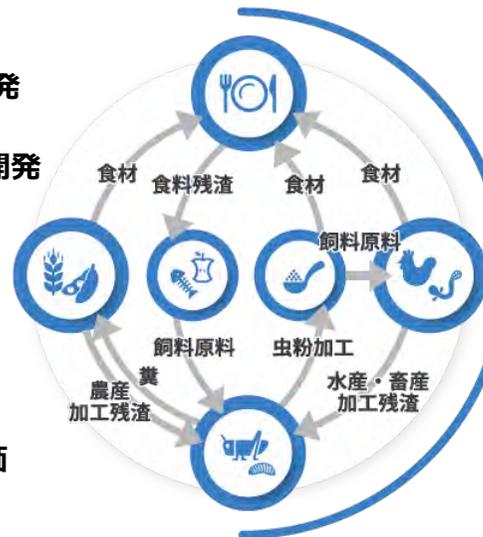
Project manager プロジェクトマネージャー **Dr. YURA Kei 由良 敬**  
Professor, Ochanomizu University お茶の水女子大学基幹研究院 教授

### Moonshot ムーンショット

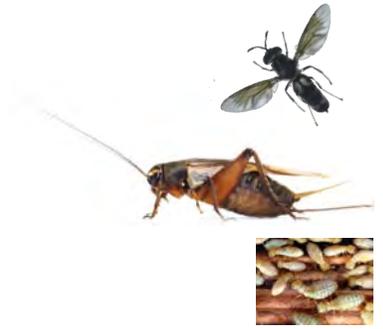
Creating and domesticating insect varieties with superior traits

**優良形質をもつ昆虫品種**を作出、**家畜化**する

- ① **昆虫ゲノム育種**  
高品質・安全な昆虫の開発
- ② **環境保全型昆虫生産システム開発**  
安定生産・環境保全型の昆虫生産システムの開発
- ③ **昆虫由来水産・畜産飼料開発**  
魚粉を代替する次世代水産・畜産飼料原料として昆虫の活用
- ④ **コオロギ由来食料開発**  
安全・高機能食材としてコオロギの活用
- ⑥ **シロアリ大量増殖技術開発**  
家畜飼料としてのシロアリ増殖方法の開発と評価



- ⑤ **宇宙進出要素技術開発**  
宇宙での食を支えるコオロギ生産システムの開発



- ⑦ **社会実装**  
社会に受け入れられる新規産業の創出

# (参考7) プロジェクト概要 (高橋PJ)



Creation of Next-Generation Food Supply Industry for a Natural Capitalism Society

## 自然資本主義社会モデルを基盤とする 次世代型食料供給産業の創出



Project manager プロジェクトマネージャー Dr. TAKAHASHI Shin-ichiro 高橋 伸一郎

Professor, Graduate School of Agricultural and Life Science, The University of Tokyo 東京大学 大学院農学生命科学研究科 教授

Moonshot ムーンショット

Extending Healthy Lifespan through Optimized Nutrition for Personal Well-being

採血せずに**健康状態を把握し、最適な食を通して健康寿命を延伸する**

未利用生物資源の  
食品・飼料への加工

ウェアラブルデバイスで  
自分の健康状態をモニタリング

AI Nutritionによる個人の健康  
寿命延伸に資する食のデザイン

地球の未来を守りながら最適  
な食を供給できる社会の形成



# (参考7) プロジェクト概要 (古川PJ)



Development of innovative long-term food preservation technology using cryogenically frozen and crushed hydrogel powder

## 低温凍結粉碎含水ゲル粉末による食品の革新的長期保存技術の開発



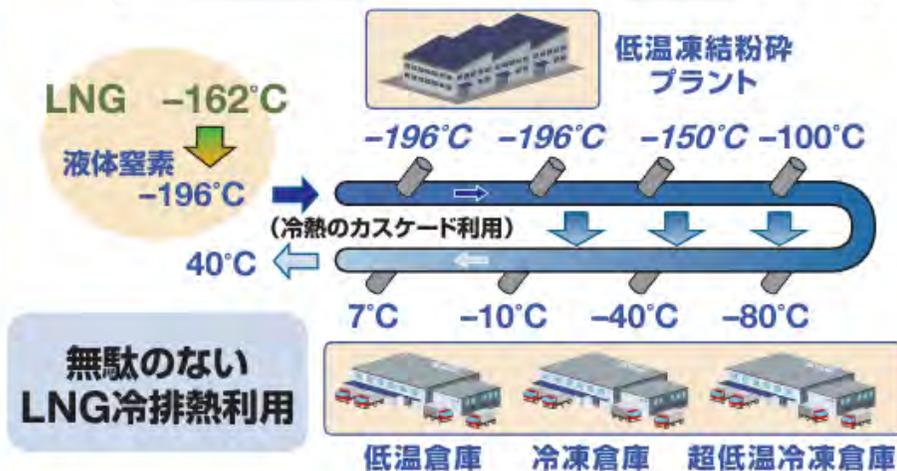
Project manager プロジェクトマネージャー Dr. FURUKAWA Hidemitsu 古川 英光

Professor, Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University 山形大学 大学院理工学系研究科 教授

### 研究概要

- ・液化天然ガス (LNG) の冷排熱を活用した余剰農水産物の低温凍結粉碎と長期保存技術の開発
- ・含水ゲル粉末を活用したエシカルな社会システムの構築

### 低温凍結粉碎による長期保存



### エシカルな社会システムの構築

含水ゲル粉末の製造・保管のみならず、原料の集積から利用までをムリ・ムダなく実現する社会システムを構築



「含水ゲル粉末」を活用したコールドフードチェーンの実現