



**NTT DATA**  
Trusted Global Innovator

# 令和4年度 農林水産省 農林水産技術会議事務局 研究開発動向等調査委託事業 報告書

令和5年3月17日

株式会社 NTTデータ経営研究所

# 目次

<b>I 全体概要</b>	<b>3</b>
I- 1. 本調査の目的	4
I- 2. 調査の進め方	5
I- 3. 調査の方向性	6
<b>II みどりの食料システムのKPIに係る技術の国内外の最新動向調査</b>	<b>7</b>
<b>概要調査結果</b>	
II- 1. 世界的な取組背景・動向	8
II- 2. 研究内容に関する調査	21
a. 温室効果ガス削減	21
b. 化学農薬使用量の低減	96
c. 化学肥料使用量の低減	154
d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大	179
e. 食品産業	194
f. 林業分野	205
g. 水産分野	214
II- 3. 研究開発手法に関する調査	220
a. スタートアップの育成	220
b. 研究開発分野へのESG投資、環境ファイナンス	229
c. 異分野におけるデータプラットフォーム	241
<b>III 詳細調査 Foresight分析</b>	<b>247</b>
III- 1. 植物工場・温室	248
III- 2. 畜産メタン削減	258
III- 3. バイオスティミュラント	265
<b>Appendix ヒアリング調査一覧</b>	<b>273</b>

# I

## 全体概要

# I - 1. 本調査の目的

## みどりの食料システム戦略のイノベーション創出に向けた検討

- 農業の環境負荷低減を目指す「みどりの食料システム法」が本年5月に交付、7月1日から施行。
- また6月21日には、みどりの食料システム戦略に示された2050年目標に加え、2030年目標を公表。2030年目標として示された化学農薬使用量（リスク換算）10%低減、化学肥料使用量20%低減などを実現するためには、環境負荷低減に取り組む生産者等への支援のほかに、新技術の開発、普及策、導入支援施策などの検討が必要であるため、本事業では14のKPIに関する、国内外における技術開発動向や我が国の戦略検討に向けた調査を実施。

### みどりの食料システム戦略

持続可能な食料システムの構築に向け、「みどりの食料システム戦略」を策定し、中長期的な観点から、調達、生産、加工・流通、消費の各段階の取組とカーボンニュートラル等の環境負荷軽減のイノベーションを推進

**目指す姿と取組方向**

2050年までに目指す姿

- 農林水産業のCO2ゼロエミッション化の実現
- 低リスク農業への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬等の開発により化学農薬の使用量（リスク換算）を50%低減
- 輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減
- 耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を25%(100万ha)に拡大
- 2030年までに食品製造業の労働生産性を最低3割向上
- 2030年までに食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現を目指す
- エリートツリー等を林業用苗木の9割以上に拡大
- 二ホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現

**戦略的な取組方向**

2040年までに革新的な技術・生産体系を順次開発（技術開発目標）  
2050年までに革新的な技術・生産体系の開発を踏まえ、今後、「政策手法のグリーン化」を推進し、その社会実装を実現（社会実装目標）

※政策手法のグリーン化：2030年までに施策の支援対象を持続可能な食料・農林水産業を行う者に集中。2040年までに技術開発の状況を踏まえつつ、補助事業についてカーボンニュートラルに対応することを目指す。補助金拡充、環境負荷軽減メニューの充実とセットでクロスコンプライアンス要件を充実。

※革新的技術・生産体系の社会実装や、持続可能な取組を後押しする観点から、その時点において必要な規制を見直し。地産地消型エネルギーシステムの構築に向けて必要な規制を見直し。

出典：農林水産省「みどりの食料システム戦略」

<KPI>	現在	2030年	2040年	2050年
温室効果ガス削減	①農林水産業のCO <sub>2</sub> ゼロエミッション化（2050） ②農林業機械・漁船の電化・水素化等技術の確立（2040） ③化石燃料を使用しない園芸施設への完全移行（2050） ④我が国の再エネ導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再エネの導入（2050）	新技術の開発 (燃料電池、代替燃料、蓄熱・放熱効率化等)		新技術の普及
		既存技術の普及 (ヒートポンプ、再エネ導入等)		
農業	⑤化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減（2050） ⑥化学肥料使用量の30%低減（2050） ⑦耕地面積に占める有機農業の割合を25%に拡大（2050）	新技術の開発 (スマート施肥、除草ロボット、低リスク農業、総合的病害虫管理の高度化等)		新技術の普及
		既存技術の普及 (土づくり、総合的病害虫管理、堆肥の広域流通、栽培種の見直し等)		
食品産業	⑧事業系食品ロスを2000年度比で半減（2030） ⑨食品製造業の労働生産性を3割以上向上（2030） ⑩飲食料品卸売業の売上高に占める経費の割合を10%に縮減（2030） ⑪食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現（2030）	業界ガイドライン、投融资・助成措置等で推進 (前倒見直し、フードバンク、ICT・自動化、共同物流、原料調達の見直し等)		引き続き食品ロス削減等を推進
林業	⑫林業用苗木のうちエリートツリー等が占める割合を3割9割以上（2050）に拡大 ⑬高層木造の技術の確立・木材による炭素貯蔵の最大化（2040）	森林法令等個別法で対応 (エリートツリーの増産拡大、木材利用の促進 等)		
水産	⑭漁獲量を2010年と同程度（444万トン）まで回復（2030） ⑮二ホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現（2050） ⑯養魚飼料の全量を配合飼料給餌に転換（2050）	水産法令等個別法で対応 (資源管理ロードマップに基づく推進、人工種苗・配合飼料等の開発 等)		

出典：農林水産省みどりの食料システム戦略本部第8回資料



## I - 2. 調査の進め方

### KPIに関連する国内外の研究開発・制度・社会実装に向けた動向を調査

- 本事業では日本のポジショニング検討や今後の戦略検討に資する情報を収集するため、国内外における技術開発動向や社会実装促進に向けた調査を実施。

#### 調査の流れ

STEP  
①

##### 最先端の情報について概要調査

- 「みどりの食料システム戦略」のKPIに関連する技術の開発動向等について、国内外の文献、WEB情報等をもとにした概要調査を実施します。

STEP  
②

##### アドバイザリーボード・専門家ヒアリング

- 調査内容について、アドバイザリーボード委員から助言を頂き、調査に反映します。
- 特に専門家ヒアリングは、概要調査と同時並行で進めていきます。

STEP  
③

##### 海外専門家ヒアリング

- WEB調査、当該機関への電話・メール等によるヒアリング調査のほか、必要に応じて海外調査会社を通じた現地ヒアリング等も実施します。

STEP  
④

##### 報告書のとりまとめ

- アドバイザリーボードからの助言や調査結果等を反映させた上で報告書を最終化します。
- 国内外の制度の比較など、整理・分析を行います。


#### 実施スケジュール

時期	アドバイザリーボード	調査
8月		概要調査
9月	第1回 調査の方向性への助言 (調査の深堀り等の助言)	↓ 詳細調査
10月		↓
11月	第2回 概要調査報告、詳細調査内容確認	↓
12月		↓
1月		分析・とりまとめ
2月		
3月	第3回 報告書案の提示、検討	

# I - 3. 調査の方向性

● 本事業では各KPIに関する、国内外における技術開発動向や我が国の戦略検討に向けた調査を実施。

みどり戦略KPI 関連技術		研究開発手法	
技術戦略	● 農林水産・食品分野での技術戦略の策定状況	a.スタートアップ育成	● 海外のSBIR制度等の成功要因
a.温室効果ガス削減	①農林水産業ゼロエミッション化 ②農林業機械・漁船の電化・水素化 ③化石燃料を使用しない園芸施設への完全移行 ④我が国の再エネ導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再エネの導入 ⑤牛のメタンガス削減技術 ⑥ブルーカーボン ⑦バイオ炭	b.ESG投資	● 研究開発分野へのESG投資、環境ファイナンスの規模
b.化学農薬使用量（リスク換算）50%低減	⑧AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察、土壌病害の発病可能性診断、バイオスティミュラント、RNA農薬、土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術等	c.プラットフォーム	● 異分野において成功しているデータプラットフォーム
c.化学肥料使用量30%低減	⑨土壌診断・生育診断による適正施肥、局所施肥、ペレット堆肥、資源循環（下水からのリン回収等）、土壌微生物・緑肥の活用、少肥適用品種等		
d.有機農業（耕地面積の）25%に拡大	⑩除草ロボット、品種開発（特にダイズ）、センシング・データ活用（センサー、画像認識、フェノタイピング、地中のリアルタイムセンシング）、循環型生産システム等		
e.食品産業	⑪事業系食品ロスを2000年度比で半減 ⑫食品製造業の労働生産性を3割以上向上 ⑬飲食料品卸売業の売上高に占める経費の割合を10%に縮減 ⑭食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現		
f.林業分野	⑮林業用苗木のうちエリートツリー等が占める割合を3割に拡大・高層木造の技術の確立・木材による炭素貯蔵の最大化		
g.水産分野	⑯漁獲量を2010年と同程度まで回復 ⑰ニホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現・養魚飼料の全量を配合飼料給餌に転換		

 黄色枠は重点調査テーマ

# II

## みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査 概要調査結果

# II

## みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査 概要調査結果

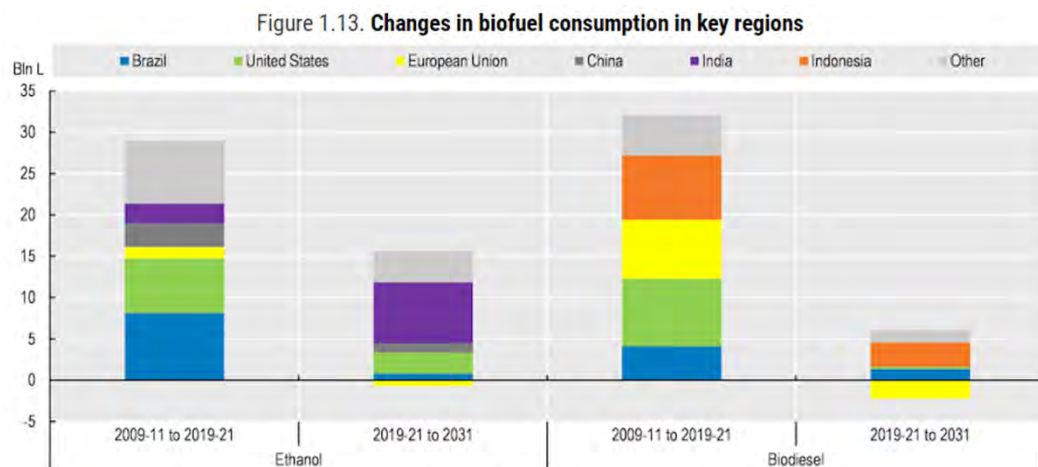
### II- 1. 世界的な取組背景・動向



## a. OECD-FAO農業見通し2022-2031 GHG増加分の9割が畜産との予想

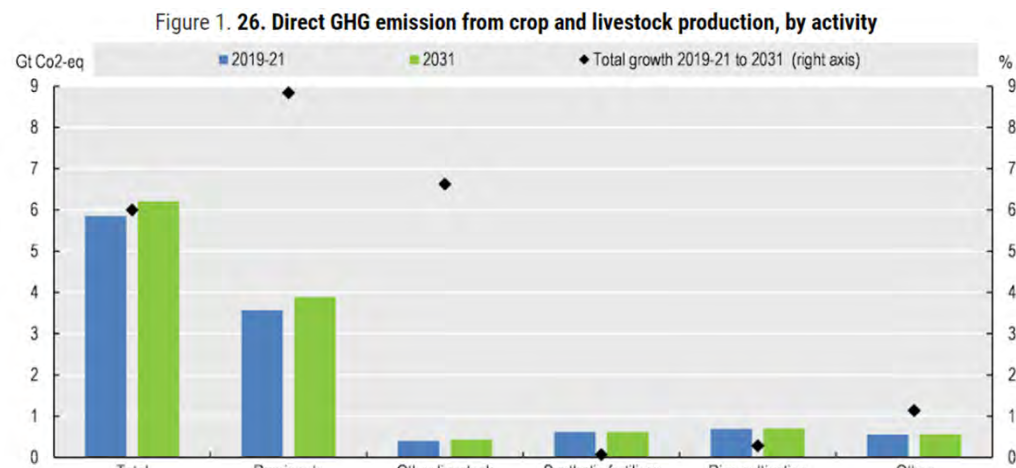
- 国際連合食糧農業機関（FAO）と経済協力開発機構（OECD）は、2022-2031の農業見通しを発表（2022/6/29）。
- バイオ燃料の利用が増加するのは主にインドであり、EUでは燃料の使用量が減少するために、需要も減少すると予測。
- 農業からの直接的な温室効果ガス(GHG)排出量は、今後10年間で6%の増加が予測されており、増加分の90%は畜産と予想。

### バイオ燃料の今後の増加予測



Source: OECD/FAO (2022), "OECD-FAO Agricultural Outlook", OECD Agriculture statistics (database), <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.

### 農業関連のGHG排出量の予測



Note: Estimates are based on historical time series from the FAOSTAT Emissions Agriculture databases which are extended with the *Outlook* database. Emission types that are not related to any *Outlook* variable (organic soil cultivation and burning Savannahs) are kept constant at their latest available value. The category "other" includes direct GHG emissions from burning crop residues, burning savannah, crop residues, and cultivation of organic soils.

Source: FAO (2022). FAOSTAT Emissions-Agriculture Database, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GT>; OECD/FAO (2022), "OECD-FAO Agricultural Outlook", OECD Agriculture statistics (database), <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.

## b. EC Carbon Farming

### カーボンファームングメカニズムの設定と技術ガイダンスハンドブック

- ECは2年間の調査を経て、技術ガイダンスハンドブックを発行（2021/2/16）。
- 技術ガイダンスハンドブックや、EU が資金提供するプロジェクトやイベントからの情報に基づき、ECは 2021年にカーボン ファーミングイニシアチブを開始。
- 土壌中に除去・貯留できる炭素をEUレベルで測定・監視・検証する枠組を整えるため、欧州委員会は2022年11月に土壌における炭素除去の認証システム等に関する「炭素除去の認証枠組の導入に関する規則案」を発表。

#### 技術ガイダンスハンドブック



- EU におけるカーボンファームングの結果に対する支払いスキームの開発を支援することを目的としたハンドブック。
- カーボンファームングイニシアチブの5つのケーススタディを基に作成。泥炭地の回復と再湿潤、アグロフォレストリー、草原での土壌有機炭素の管理、畜産農場の炭素管理など

#### EU における結果ベースのカーボン ファームング メカニズムの設定と実施



- 炭素農業に取り組む農場に対する支払いには、行動ベースと結果ベース、ハイブリッドの3種類がある。
- **行動ベース**では、土地管理者が気候変動に配慮した農法を実施した場合に報酬が支払われる。
- **結果ベース**の方式では、土地管理者への支払いは、土地管理者が提供する気候変動への恩恵の測定可能な指標に直接リンクされる。

出典: 欧州委員会、気候行動総局 WEBサイト  
Radley, G., Keenleyside, C., Freluh-Larsen, A., 他, EU における結果ベースの炭素農業メカニズムの設定と実施: 技術ガイダンス ハンドブック, 出版局欧州連合事務局, 2021年, <https://data.europa.eu/doi/10.2834/056153>

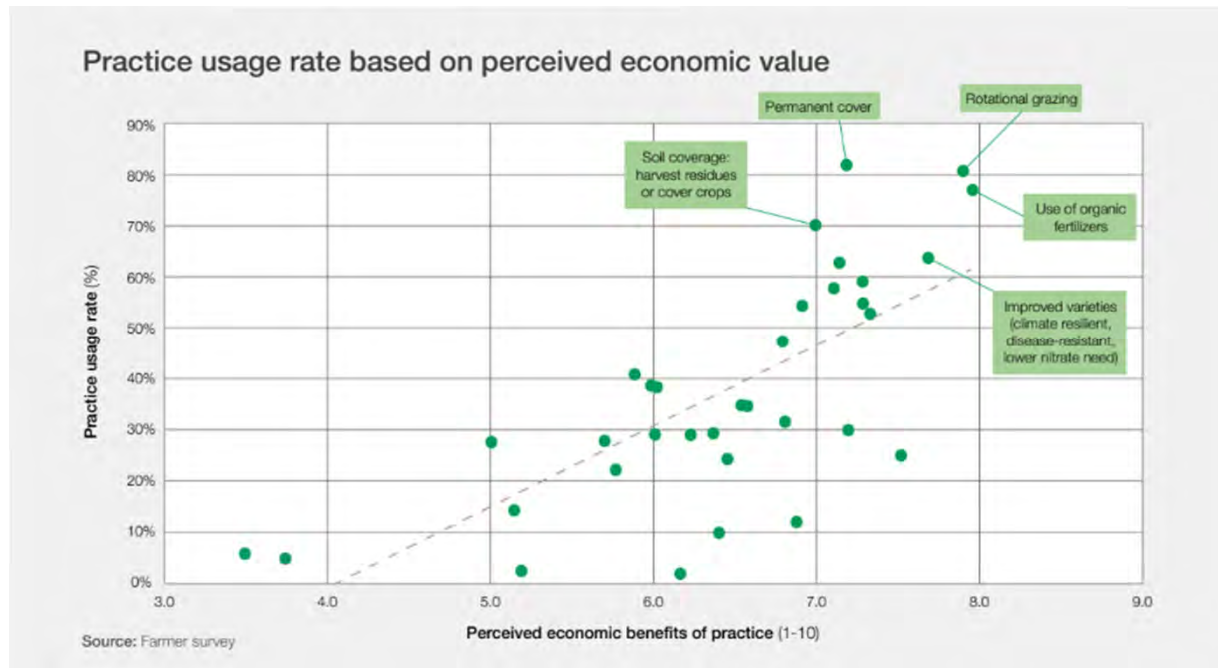
出典: 欧州委員会、気候行動総局 WEBサイト  
Radley, G., Keenleyside, C., Freluh-Larsen, A., 他, テクニカルガイダンスハンドブック: EUにおける結果ベースのカーボンファームングメカニズムの設定と実施: エグゼクティブ概要, 欧州連合出版局, 2021年, <https://data.europa.eu/doi/10.2834/12087>

### c. EU Carbon+ Farming Coalition

## バイエル等が主導するカーボンファームの取組

- 世界経済フォーラムには、EU Carbon+ Farming Coalitionが設立されており、Transforming Food Systems with Farmers: A Pathway for the EU（農民における食料システムの変革）というレポートを発表。（2022/4）
- 農業における気候変動対策を行うためのパイロットプログラムを実施していくことを表明。

### 経済的な価値に対するカーボンファームの導入率



### 今後のパイロットプログラム

- 農家のためのナレッジ共有の強化
- 気候変動に配慮した調達ガイドラインの開発
- 革新的なリスク分散と資金調達メカニズムの設計
- 信頼できる炭素市場の構築に資する、コスト効率の高い測定・報告・検証（MRV）ソリューションの特定
- 特定の作物部門でのリジェネラティブ農業※の導入

※リジェネラティブ農業：土壌の回復を通じて生物多様性やGHGの排出削減、高品質な農産物の生産等に取り組む農法

出典:世界経済フォーラム European Carbon + Farming Coalition WEBサイト  
<https://weforum.ent.box.com/s/kmdm5ehvldxlzpoo0uovcyvf4b86vba>



## d. グローバル・メタン・プレッジ

### メタン排出量削減に向けたイニシアチブ

- 2021年9月17日に開催された主要国経済フォーラム（MEF）において、バイデン大統領が言及。
- 世界のメタンの排出量を2030年までに2020年比30%削減することを目指し、米国と欧州連合が主導するイニシアチブで、日本を含め、120を超える国と地域が参加を表明。
- 各国に個別の目標やセクター別のコミットメントを求めるものではなく、世界全体での削減目標を設定するものである。
- 日本は既にメタン排出削減に成功している先進国として、ノウハウの共有等に期待。

### 農業分野の技術支援リスト

#### 農業部門

##### 一般的なガイドラインとツール

- [NDCの強化: 農業](#), WRI, Oxfamにおける機会
- [嫌気性消化装置プロジェクトスクリーニングツール](#), 米国 EPA, GMI

##### 家畜と肥料の管理

- [グローバル家畜環境評価モデル \(GLEAM\)](#), FAO
- [食糧安全保障と生計を改善するための腸溶性メタンの削減](#), FAO
- [バイオガスツールキット](#), 米国 EPA
- [肥料知識キオスク](#), GRA
- [家畜からのメタン排出を削減するための新たな飼料添加物の評価](#), CGIAR
- [家畜活動データガイダンス \(L-ADG\)](#) × FAO, GRA
- [ケニアの国家決定貢献 \(NDC\)](#), CCACにおける酪農部門からのメタン緩和
- [コスタリカの国が決定する貢献 \(NDC\)の目標を畜産部門](#), CCACを通じて強化する

##### 米の生産

- [コメの温室効果ガス削減 - Information Kiosk](#), IIRI
- [測定、レポート、検証ツールボックス](#), IIRI

出典: Climate & Clean Air Coalition WEBサイト  
<https://www.ccacoalition.org/en/content/methane-technical-assistance>

### 第3回 エネルギーと気候に関する主要経済国フォーラム

● 米国と欧州連合は、初期加盟国のアルゼンチン、カナダ、エジプト、ドイツ、イタリア、日本、メキシコ、ナイジェリア、ノルウェーとともに、新しいグローバル・メタン・プレッジ・エネルギーパスウェイを発表。

● 米国、欧州委員会、ノルウェー、ドイツ、オランダは COP27において、肥料不足と食糧不安に対処するための肥料効率と土壌健康プログラムとして1億3500万ドルを調達したことを発表。食料安全保障を強化し、農業の排出量を削減することを目指す**グローバル肥料チャレンジ**※への支持を表明。

※このイニシアチブは、肥料と天然ガスの供給に対する圧力を緩和し、亜酸化窒素の排出を削減し、肥料の利用可能性と農業生産性を高め、肥料の使用量と損失が多い国が効率的な栄養管理と代替肥料と作付システムを採用していくことを支援することにより、世界的に食糧不安を軽減することが目的。

出典: THE WHITE HOUSE <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/06/18/chairs-summary-of-the-major-economies-forum-on-energy-and-climate-held-by-president-joe-biden/>

© 2023 NTT DATA INSTITUTE OF MANAGEMENT CONSULTING, Inc.



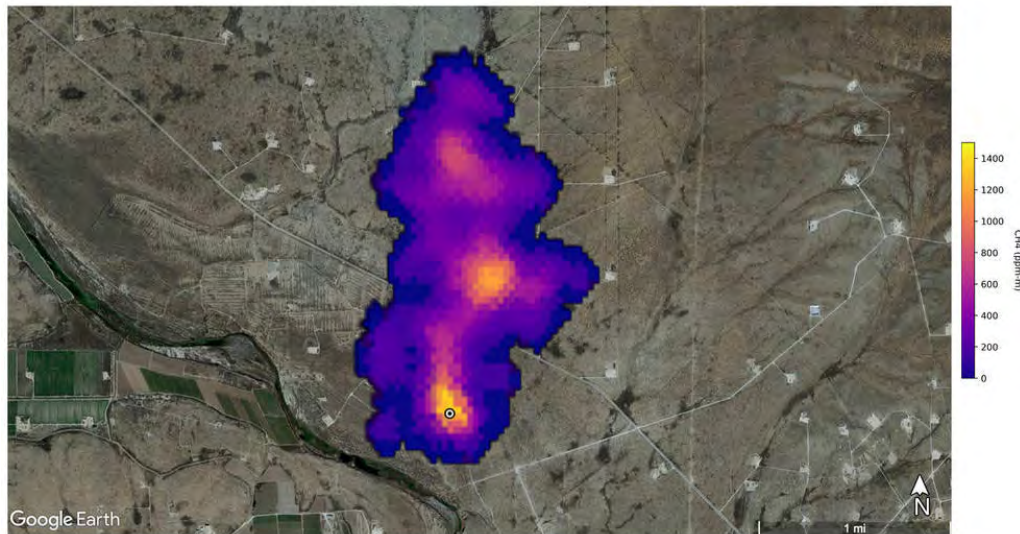
## e. メタン・スーパーエミッター

### 地球上のメタン排出源50カ所以上を特定：NASA（米国）

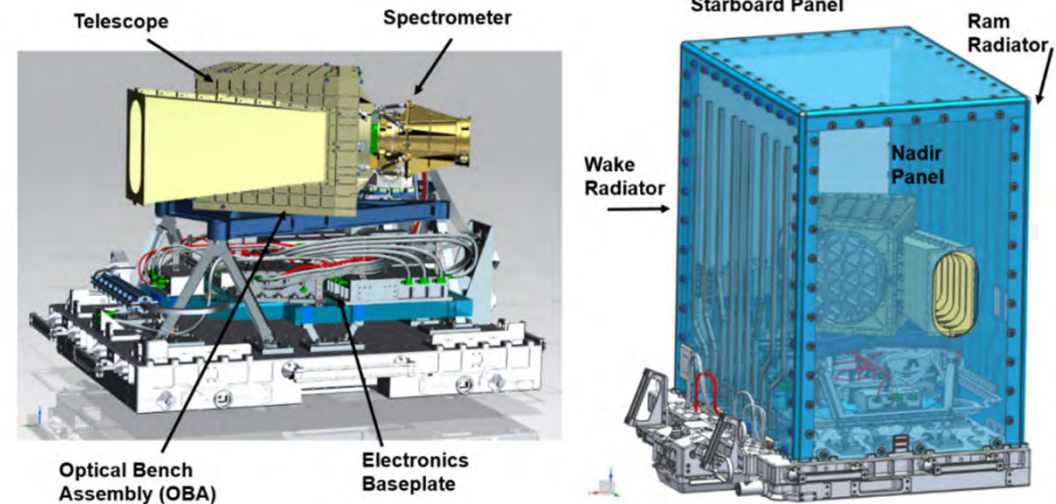
- 米国NASAは、中央アジア、中東及び米国南西部で50以上の「スーパーエミッター」を特定。
- スーパーエミッターとは、化石燃料、廃棄物又は農業部門で、メタンを大量に放出する施設、機器及びその他のインフラ等。

#### 検出されたメタンブルームの例

#### ニューメキシコ州カールスバッドの南東



#### 衛星に搭載された地表鉱物粉塵源調査（EMIT）装置

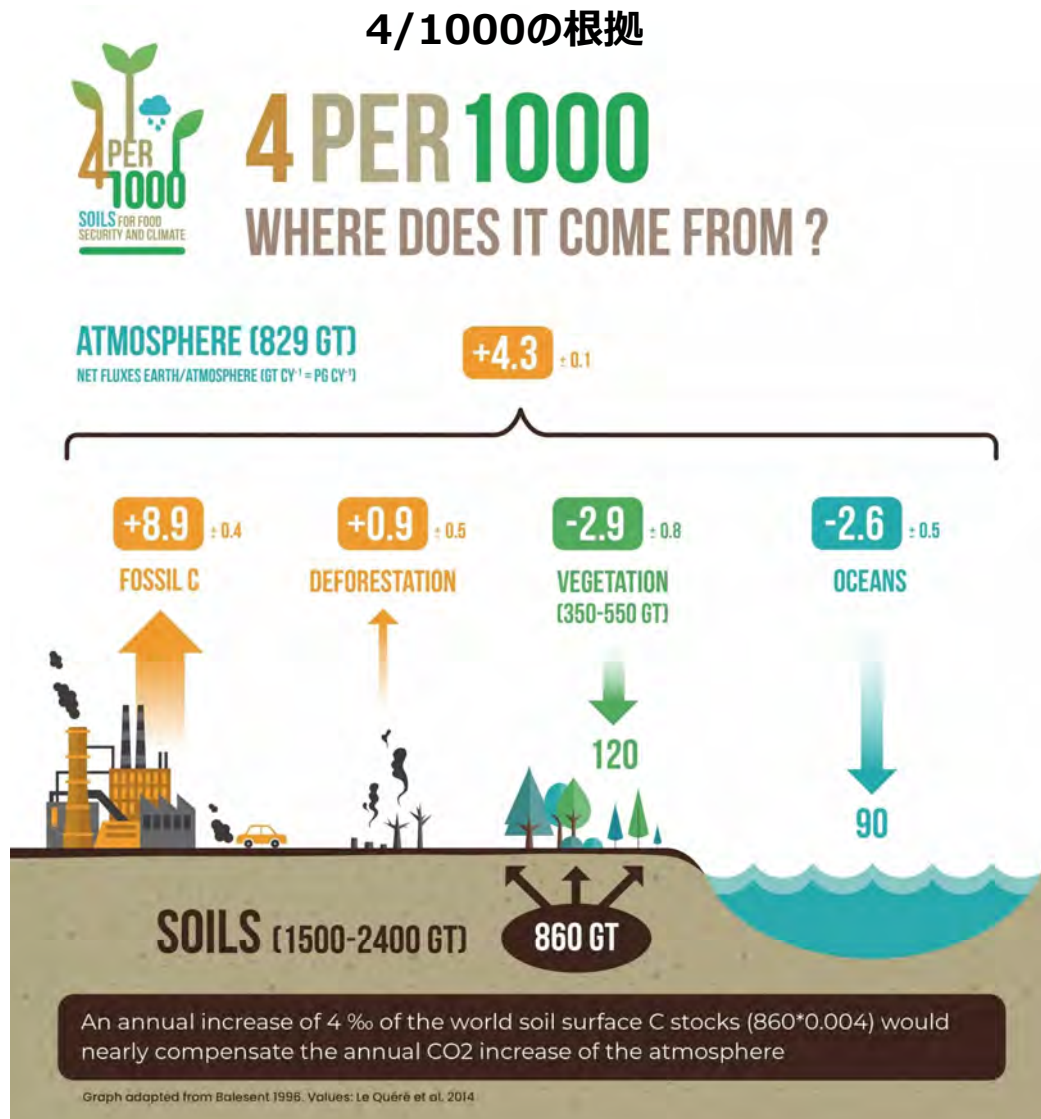


出典：NASAプレスリリース WEBサイト  
<https://www.nasa.gov/feature/jpl/methane-super-emitters-mapped-by-nasa-s-new-earth-space-mission>

出典：NASAプレスリリース WEBサイト  
<https://d2pn8kiwq2w21t.cloudfront.net/documents/EMIT-factsheet.pdf>

## f. 4パーミルイニシアチブ メタン排出量削減に向けたイニシアチブ

- 全世界の土壌中に存在する炭素の量を毎年4/1000増やすことができれば、将来の大気CO<sub>2</sub>の増加量をゼロに抑えることができるという計算に基づき、2015年のCOP21で、フランス主導で始まった土壌管理技術などによる土壌炭素を増やす活動を推進する取組。



## ビジョン2050

- 気候変動に対処し、飢餓をなくすために、世界中に健康で炭素の豊富な土壌を提供することが目標。
- 104か国より739の会員・パートナー、67の生産者団体が参加。
- 日本からは、14名の科学者からなる科学技術委員会のメンバーとして活動。

出典:4per1000イニシアチブ WEBサイト  
<https://4p1000.org/discover/>

## g. 各技術の状況分析

# 持続可能なフードシステムに関する技術レベル (TRL)

- 学術誌Agricultureによる技術レベル (TRL\*) に関するシステムティックレビュー (Nawab Khanら、2021)。

フードシステム技術	研究開始	実験的証明	プロトタイプ	実装済み
食用の微細藻類とシアノバクテリア				H
革新的な養殖飼料				H
微生物タンパク質				H
食用昆虫				H
食用海苔				H
耐病害虫性				FPS
栄養強化作物				FPS
垂直農業				I
乾燥・安定化方法				I
ドローン			O	
電池技術			O	
家畜の追跡および閉じ込め技術			DA	
3Dプリント			DA	
気候予測の改善			DA	
トレーサビリティ技術			DA	
農場から農場への仮想市場			DA	
ロボティクス			DA	
病気・害虫の早期警戒			DA	
微生物			H	
マイクロ灌漑/ファーターゲーション			H	
家畜用食品添加物			H	
土壌添加剤			H	
微生物			H	
サーキュラーエコノミー			H	
水産養殖用オメガ3製品			H	
灌漑の拡大			I	
油糧作物			GT	
ゲノム選択			GT	
ゲノム編集			FPS	
持続可能な加工技術			FPS	
生分解性コーティング			FPS	
食品安全技術			FPS	
RNAi遺伝子サイレンシング			FPS	
植物フェノミクス			FPS	
ビッグデータ			DA	
スマホ食品診断			DA	
インテリジェントな食品包装			DA	
モノのインターネット			DA	
土壌センサー			DA	
高度なセンサー			DA	

フードシステム技術	研究開始	実験的証明	プロトタイプ	実装済み
ホロバイオミクス		H		
植物薬		H		
雑草に強い作物		GT		
GMによる家畜化		GT		
ナノエンハンサー		H		
効率性を高める肥料		H		
パーソナライズされた食品		H		
オミックデータの利用		DA		
データ統合		DA		
出生前の性別判定		DA		
現場用ロボット		DA		
人工フェノミクス		DA		
SERSセンサーデバイス		DA		
補助外骨格		DA		
害虫駆除ロボット工学		DA		
全ゲノムシーケンス		I		
微生物コーティング		I		
ナノコンポジット		I		
エレクトロカルチャー		I		
人工肉・人工魚		CA		
分子プリンティング		CA		
ゲノムワイドセレクション		FPS		
復活植物		FPS		
アポミクシス		FPS		
ナノドローン		DA		
ナノテクノロジー		DA		
ナノ農業		H		
人工物		CA		
ナノ肥料		RE		
生態学的生物防除		O		
光合成の再構成		GT		
新しい多年草		GT		
新規窒素固定作物		GT		
合成生物学		GT		

注：デジタル農業 (DA)、細胞農業 (CA)、食品加工と安全性 (FPS)、遺伝子技術 (GT)、健康 (H)、インプット (I)、強化 (In)、その他 (O)、代替食品とフィード (RFF)、資源使用効率 (RE)。

\* TRL (Technology Readiness Level) : 技術成熟度

出典：MDPI, Agriculture 2021, 11(10)984 WEBサイト  
<https://www.mdpi.com/2077-0472/11/10/984/htm>

## h. 各国の戦略（1）中国

### 「第14次5カ年計画」における農業のデジタル化を一層推進するための実施計画（中国）

- 中国では、第14次5カ年計画(2021-2025)に基づく農村のデジタル化を推進する実施計画を公表（2022/1）。
- 36Kr（中国最大のベンチャーメディア）によると、政府による農業DXに特化した予算が3兆元（約57兆6500億円）を超えるとの推計。

#### デジタルビレッジ開発アクションプラン（2022-2025）※一部抜粋

項目	概要
(1) デジタルインフラの高度化	<ul style="list-style-type: none"><li>● 農村地域で 4G 基地局の建設、ニーズに応じた5G等ネットワークの拡充</li><li>● 「農業、農村、農民」の特性に適合した情報端末、技術製品、モバイルアプリの開発を奨励</li></ul>
(2) スマート農業の革新と発展	<ul style="list-style-type: none"><li>● 農業及び農村の基本データベースの構築を加速し、国家農業及び農村データリソースの「1つのマップ」を構築</li><li>● 穀物、綿花、油、果物、野菜、茶、砂糖、豚、乳牛、水産物などの重要な農産物に焦点を当て、<b>産業チェーン全体のビッグデータの構築</b>を促進</li><li>● 宇宙と地上の農業観測ネットワークを構築。衛星データの活用とともに、UAVの飛行制御、管理データ高速処理により、地域の高精度観測、緊急対応能力の向上等に寄与</li><li>● 農業生産Dx。多くのスマート農場、スマート牧草地、スマート漁業を構築し、画像解析、データ分析、自動制御技術と設備の統合を促進。<b>無人農場のパイロットプロジェクト</b>を推進し、遠隔制御、半自動制御、または自律制御を通じて、農場運営の全プロセスのインテリジェントで無人の操作を実現。</li><li>● <b>デジタル育種技術</b>の応用を強力に推進し、デジタル育種サービスプラットフォームを構築し、「体験育種」から「精密育種」への転換を加速し、徐々にデザイン育種を展開。</li><li>● 動植物の生育情報取得、生産制御機構モデルなどの重点共通技術研究を強化し、多様な使用環境に適応したスマート農業機械設備の研究開発を重点的に推進し、農業の総合研究とシステム実証を推進。農業機械設備の技術革新を強化し、<b>200馬力の無人トラクター、大型油圧傾斜プラウ、精密播種機械、複合操作ツール</b>等を開発</li></ul>



## h. 各国の戦略（1）中国

### 「第14次5カ年計画」農業グリーン開発計画（中国）

- 農業農村部などの中国政府6部門は、2021年8月に「『第14次5カ年計画』農業グリーン開発計画」を公表。
- 生態改善の促進、農村振興の全面的な促進に向けて、重点分野における2025年までの数値目標を掲げ、科学技術及び政策の支援を強化。

「第14次5カ年計画」農業グリーン開発計画における主要指標

カテゴリ	主要指標	2020年実績	2025年目標	属性
農業資源	全国耕地品質等級（等級）	4.76 *1	4.58	予期性
	農業用水の有効利用係数	0.56	0.57	予期性
産地環境	主要作物の肥料使用率（%）	40.2	43	予期性
	主要作物の農薬使用率（%）	40.6	43	予期性
	藁の総合利用率（%）	86	>86	予期性
	家畜・家禽の糞の総合利用率	75.9	80	予期性
	廃プラスチックフィルムの回収率	80	85	予期性
農業生態	荒廃農地処理区の新設面積（万亩*2）	-	1,400	予期性
	東北部黒土地帯の新規保護利用面積（億畝）	-	1	拘束性
供給	グリーン、有機、産地表示農産物の認定数	50,000	60,000	予期性
	農産物の品質と安全性に関する定期モニタリングの合格率（%）	97.8	98	予期性

\*1: 2019年のデータ、\*2: 1畝 = 1/15ha

## h. 各国の戦略（1）中国

### 「第14次5カ年計画」エコロジカル・ファーム建設促進指導意見（中国）

- 農業農村部は、エコロジカル・ファームの建設を加速し、グリーン農業を促進する低炭素農業への転換のために文書を公開（2022/1/28）。
- 2025年までに、科学的評価、追跡・監視指導サービスを通じて、全国で1000ヶ所の国家版エコ農場を建設し、各省で1万ヶ所の地方版エコ農場を建設し、現代的で効率の良いエコ農業市場の担い手を多数選定・育成し、エコ農業建設技術モデルを普及させることが記載。

#### エコロジカル・ファーム建設促進指導意見

項目	概要
(1) エコロジー農業の市場プレイヤーを多数育成	<ul style="list-style-type: none"><li>● 有力企業、協同組合、家族経営の農場などが自発的な宣言を行い、専門家の評価、現場の評価などを通じて総合的な評価を受けて、エコ農業市場のプレイヤーとして登録。グリーン・エコブランドの育成</li></ul>
(2) エコロジー農業技術モデルを推進	<ul style="list-style-type: none"><li>● エコロジカル・ファームを主体として、農地の品質保護と改善、汚染回復、<b>化学肥料と農薬の削減、有機肥料への転換、生物防除などの技術、エコロジカル・コリドー</b> 稲藁、家畜・鶏糞、廃プラスチックフィルム等の農業廃棄物資源利用技術、農産物のクリーン加工、省エネ貯蔵、低炭素輸送等のグリーン貯蔵・輸送技術など、エコ農場をめぐる一連の技術市場を向上させモデルを形成</li></ul>
(3) エコロジー農業支援策を検討	<ul style="list-style-type: none"><li>● エコロジカル・ファームを主体として、<b>藁活用、有機肥料の施用、土壌再生、化学農薬の削減と効率化、家畜・鶏糞の削減と汚染軽減、水田のメタン、農地の亜酸化窒素、動物の腸からのメタン、家畜・鶏糞管理のメタン、亜酸化窒素排出の軽減</b>を中心とした低炭素補助等を検討</li></ul>
(4) エコロジー農業のモニタリングシステムを構築	<ul style="list-style-type: none"><li>● 生態農場に生産と運営の全過程を正確に記録する台帳の整備を促進</li><li>● 化学肥料と殺虫剤の削減、わらの综合利用、家畜と鶏糞の資源利用、エコロジカル・ファームにおけるプラスチックフィルムのリサイクルの状況をタイムリーに確認。農業のインプットとアウトプットの収支を分析し、エコ農場の追跡と評価を強化</li></ul>

出典:「エコロジカル・ファーム建設促進指導意見」を基に仮訳・まとめ  
[http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/10/content\\_5672847.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-02/10/content_5672847.htm)

## h. 各国の戦略（２）シンガポール 30×30計画

- シンガポールは国内の食料自給率を現在の10%から、2030年までに30%に引き上げる「30×30計画」を表明（2019）。
- リム・チュ・カン地域をハイテク農業食品ゾーンとして設計しモデル地域としていく計画や、南部の水域を養殖場に開放する計画、フードテックのスタートアップ育成支援等を実施。

### ハイテク農業食品ゾーン計画



再開発された Lim Chu Kang エリアがどのように見えるかの例。(クレジット: Ching Wai Lum、 Temasek Polytechnic、 School of Design)

出典:シンガポール政府 WEBサイト  
<https://www.ourfoodfuture.gov.sg/master-planning-lck/ourvision>

## h. 各国の戦略（3）イギリス

### 持続可能な農林業への転換促進支援政策（イギリス）

- イギリスでは、環境・食料・農村地域省が持続可能な農林業を営む農林家への新たな助成金制度を導入し、農家への農法転換を促進。
- ビジネス・エネルギー・産業戦略省は、CO<sub>2</sub>排出量削減のためのAI活用を支援する新たなイノベーション・プログラム「脱炭素のためのAIプログラム」を開始。農業分野での排出量削減を可能にするAI活用等も拠出分野。

#### イギリスにおける持続可能な農林業関連政策

担当省庁	項目	概要
環境・食料・農村地域省	持続可能な農業奨励金（SFI）	<ul style="list-style-type: none"> <li>排水改善、生物多様性、二酸化炭素排出量削減、動物福祉等を、持続可能な農業と定め、農家に助成。</li> <li>助成支給は、申請参加が前提。今後助成金額を1ha当たり20ポンド、年間最大1,000ポンド（約16万円）まで増額させる方針。</li> <li>現状の助成金額。（下記各レベルの金額はいずれも1ha当たり） <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 園芸農業地：初級レベル 22ポンド、中級レベル 40ポンド</li> <li>✓ 草地：初級レベル 28ポンド、中級レベル 58ポンド</li> <li>✓ 酸性土壌荒地：初級レベル 10.30ポンド、年間で追加で265ポンド</li> </ul> </li> </ul>
	カントリーサイド・スチュワードシップ（CS）	<ul style="list-style-type: none"> <li>イングランド地方の農家向け環境改善に活用可能な助成金で、大気汚染対策や水質改善、生物多様性保全等に3年間の設備投資に活用可能。</li> <li>SFI適用外の農地でも申請が可能。</li> </ul>
	プロテクション&インフラストラクチャー助成金	<ul style="list-style-type: none"> <li>10年間の森林計画策定で英国林業規格（UKFS）に準拠すると助成金を獲得可能。</li> </ul>
ビジネス・エネルギー・産業戦略省	脱炭素のためのAIプログラム	<ul style="list-style-type: none"> <li>政府の「ネットゼロ・イノベーション・ポートフォリオ」予算10億ポンドから、150万ポンドを振り分け。</li> <li>2段階構成で、2025年3月までにAIとカーボンニュートラルに関して最大50万ポンドを拠出。次に、最大100万ポンドをカーボンニュートラル支援AI技術開発プロジェクトに提供。</li> </ul>

出典:Sustainable Japanを基にNTTデータ経営研究所作成

<https://sustainablejapan.jp/2023/01/09/uk-sustainable-farming/80768>



# II

## みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査 概要調査結果

### II- 2. 研究内容に関する調査

#### a. 温室効果ガス削減

## a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化（1）SAF ①技術概要

### SAFの国際動向と技術概要

- 持続可能な航空燃料「SAF（Sustainable Aviation Fuel）」は、既存のガソリン・ディーゼルなどの内燃機関でも使用可能。
- 電動化が特に難しい航空機に対し、ジェット燃料の代替品として注目。
- 航空機向けは要求される品質規格が厳しく、従来のバイオ燃料では対応不可能であったが、近年では国際規格に対応するSAFが複数製造可能。

#### 技術概要

- 2022年時点で商業的に稼働している方法は動植物油を原料としたHEFA。他の製造方法は基礎～実用研究、量産準備段階。
- HEFAは安定・安価な原料油脂の確保が課題。

ASTM D7566	製造技術	従来の燃料との混合上限	原料
Annex1	Fischer-Tropsch 法により精製される合成パラフィンケロシン(FT-SPK)	50%	有機物全般
Annex2	植物油等の水素処理により精製される合成パラフィンケロシン(Bio-SPK 又は HEFA)	50%	生物系油脂
Annex3	発酵水素化処理糖類由来のイソ・パラフィン(SIP)	10%	バイオマス糖
Annex4	非化石資源由来の芳香族をアルキル化した合成ケロシン(SP/A)	50%	有機物全般
Annex5	アルコール・ジェット由来の合成パラフィンケロシン(ATJ-SPK)	50%	バイオマス糖 紙ごみ
Annex 6	Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ)	50%	生物系油脂
Annex 7	Hydrocarbon-HEFA (HC-HEFA)	10%	微細藻類

#### 市場動向

- 世界のSAFの市場規模は2021年の約2億ドルから、2030年までに約157億ドルに成長する推算。
- 廃食油を原料とするHEFAを始めとして、FT合成（固形廃棄物）、アルコールを原料に触媒反応を通じて燃料を製造するAtJ、大気中のCO<sub>2</sub>と再生可能エネルギーによる電力や水素を使って燃料を製造するPtLなどの技術開発が進み、2050年までには低コスト化が進む見込み。ただし2050年時点でも、燃料1トンあたりの製造コストはどの製法においても従来の燃料を下回るのは困難との予測。

出典:国土交通省 航空機運航分野におけるCO<sub>2</sub>削減に関する検討会資料  
 出典:国土交通省航空局 WEBサイト  
<https://www.mlit.go.jp/common/001395880.pdf>  
[https://www.pecj.or.jp/wp-2022/04/JPEC\\_report\\_No.220401.pdf](https://www.pecj.or.jp/wp-2022/04/JPEC_report_No.220401.pdf)

出典:SPEEDA トレンド「クリーン燃料」

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化（1）SAF ①技術概要

## SAFの国際動向と技術概要

- 民間航空会社からなる業界団体IATA（国際航空運送協会）や、各国政府によって構成される国際機関ICAO（国際民間航空機関）では、SAFの導入拡大に向けた取組を加速。各国が研究開発や、優遇策、義務化などの各種施策を実施。
- SAFの製造技術は動植物の油脂やバイオマス糖、微細藻類などを原料とする場合が多いが、国内での原料調達が課題。

● IATAとICAOの動向

団体	動向概要
IATA	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 航空カーボンオフセット取引のプラットフォーム、Aviation Carbon Exchange（ACE）を立上げ。ここでは航空会社やその他の航空関係者がCO<sub>2</sub>排出削減量を取引が可能</li> <li>● 各国政府に対してSAF開発の支援を呼びかけ</li> </ul>
ICAO	<p><u>目標</u>：燃料効率を毎年2%改善、2020年以降総排出量を増加させない</p> <p><u>手段</u>：新技術の導入、運航方式の改善、持続可能航空燃料の活用、市場メカニズムの活用</p>

● 各国の主な関連政策

地域	政策名	概要
EU	ReFuelEU Aviation	燃料供給者、EU域内の空港、エアラインに対する義務を課すことを提案。税金の見直しによる導入インセンティブ付与
米国	Sustainable Aviation Fuel Act	目標：国際線、国内線を含め2035年までに2005年比で▲35%、2050年までにGHG排出をネットゼロ
	FACT SHEET	バイデン大統領が21年9月に発表。SAFの税制控除や研究開発への助成金等を発表
	Aviation Climate Action Plan	SAFの原料や技術の品目拡大によるコスト削減、土地利用の少ない原料作物開発等と言及

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (1) SAF ①技術概要

**SAFの主要プレーヤー**

- SAFの参入企業は石油系企業も多いが、フィンランド森林企業のUPMや、微細藻類の製品に強みを持つスタートアップのユーグレナなど、今まで燃料事業は行っていなかった企業が参入するケースや、ベンチャー企業の参入も増加。
- ENEOSやUPMのように原料の有限性を考え、複数の製法でプロジェクトを行う企業も存在。先行は欧州企業で日本はやや遅れているが、面積に対する生産量の効率の良い藻類などでの参入が目立つ。

**主なSAF参入企業**

種類	参入企業	種類	参入企業
HEFA (食用油)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NESTE</li> <li>• WORLD ENERGY</li> <li>• Total Energies</li> <li>• REPSOL</li> <li>• Eni</li> <li>• COLABIT</li> <li>• SKYNRG</li> <li>• JGC</li> <li>• ENEOS</li> <li>• COSMO</li> </ul>	AtJ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LanzaTech</li> <li>• SKYNRG</li> </ul>
		藻類培養	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ユーグレナ</li> <li>• IHI</li> <li>• Jpower</li> <li>• CHITOSE Laboratory</li> </ul>
FT合成	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fulcrum BIOENERGY</li> <li>• UPM BIOFORE</li> <li>• VELOCYS</li> <li>• MITSUBISHI POWER</li> </ul>	PtL	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Synkero</li> <li>• ENEOS</li> <li>• Engie</li> </ul>

出典:SPEEDA トレンド「クリーン燃料」より作成



a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化（1）SAF ①技術概要

米国におけるバイオ燃料製造実証プロジェクト（1）

- 米国のエネルギー省は、2021年9月に発表したSAF製造実証プロジェクト22件に対して6,400万ドル以上の資金を提供。

企業名	概要	予算	製造コスト等
Alder Energy	再生農業バイオマスのCO <sub>2</sub> ネガティブなSAFの製造	\$ 4,000,000	1日0.5トンのバイオマスを変換し、2.75ドル/ガロン以下のSAFを生産
Gas Technology Institute	新規の電気改質装置による廃棄CO <sub>2</sub> ・バイオガスからのドロップイン燃料製造	\$ 3,994,252	2.75ドル/ガロン以下
Gas Technology Institute	バイオ燃料用のR-GAS高度ガス化Preパイロット実証	\$ 3,999,898	2.75ドル/ガロン未満
Global Algae Innovations	DACによる藻類バイオマスの培養	\$ 4,000,000	2.50ドル/ガロン
Lanza Tech	廃棄物CO <sub>2</sub> 由来の低コストSAFの製造	\$ 3,994,307	-
MicroBio Engineering Inc.	排水からの純水・SAF・再生可能なディーゼル燃料の生産	\$ 3,999,596	<\$2.50/ガロン

出典：一般財団法人運輸総合研究所「我が国におけるSAFの普及促進に向けた課題・解決策」に一部追記  
 出典：米国バイオエネルギー技術室 <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/us-department-energy-announces-more-64-million-biofuels-research-reduce>  
 出典：一般財団法人 運輸総合研究所 [https://www.jttri.or.jp/pdf/aviation\\_portal-10.pdf](https://www.jttri.or.jp/pdf/aviation_portal-10.pdf)

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化（1）SAF ①技術概要  
**米国におけるバイオ燃料製造実証プロジェクト（2）**

企業名	概要	予算	製造コスト等
Texas A&M AgriLife Research/Texas A&M University	経済的なSAFの生産を可能にする生分解性プラスチック製品のスケールアップ	\$ 3,923,620	～2.5ドル/kg
University of Maryland: College Park	バイオ燃料の液化と抽出のための近臨界流体処理	\$ 3,101,362	-
D3Max LLC	脱アセチル化・機械精製技術によるコーンストーバーからのSAF生産	\$ 499,988	-
SkyNRG Americas Inc.	埋立地ガスからの超低炭素集約度のSAF製造	\$ 1,000,000	-
T2C-Energy	再生可能燃料へのバイオガスに関する化学プロセス技術の適用	\$ 533,619	-
AVAPOCO	AVAP技術を利用して低コストのセルロース系バイオマスの糖化を通じてSAFを製造する技術実証	\$ 2,800,000	0.20ドル/ポンド未満
Quasar Energy Group	ISPRシステムを用いて食品廃棄物から揮発性の油脂を抽出しSAF製造	\$ 3,500,000	-
Archer Daniels Midland	廃棄された豆類のデンプンからイソブタノールを生成し、SAFを製造	\$ 3,466,844	-

出典：一般財団法人運輸総合研究所WEBサイト「我が国におけるSAFの普及促進に向けた課題・解決策」に一部追記

出典：米国バイオエネルギー技術室 WEBサイト <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/articles/us-department-energy-announces-more-64-million-biofuels-research-reduce>

出典：日本財団 WEBサイト [https://www.jttri.or.jp/pdf/aviation\\_portal-10.pdf](https://www.jttri.or.jp/pdf/aviation_portal-10.pdf)

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (1) SAF ①技術概要

EUにおけるバイオ燃料製造実証プロジェクト (1)

- 欧州ではHorizon Europeの中で、SAFに関連するプロジェクトを多数支援。

プロジェクト名	全体予算 (千€)	EU負担額 (千€)	製造コスト等
代替航空燃料開発に関する評価	2,600	2,600	-
廃棄物バイオマスからのフレキシブルなSAFの製造	15,033	10,000	-
航空向けの先進バイオ燃料の製造	16,861	10,003	-
パルプミルに統合された効率的な水熱処理プロセスの適用による黒液からのSAF製造	5,000	5,000	0.90 €/l
水と空気由来のCO <sub>2</sub> 分解、合成ガス生成、FT合成による再生可能エネルギーを供給源とするSAFの生産	4,952	4,952	-
合成ガス発酵からの航空及び海上輸送用バイオ燃料生産	4,999	4,999	-
エタノールからの低炭素統合技術による燃料製造	55,902	20,000	-
CO <sub>2</sub> と水素からの再生可能な合成航空燃料の生産	5,341	4,999	-

出典：一般財団法人運輸総合研究所「我が国におけるSAFの普及促進に向けた課題・解決策」に一部追記

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (1) SAF ①技術概要  
EUにおけるバイオ燃料製造実証プロジェクト (2)

プロジェクト名	全体予算 (千€)	EU負担額 (千€)	製造コスト等
航空燃料技術のための空気中の炭素リサイクル	2,897	2,240	-
グリセロールリサイクルによる航空及び海洋製品への適用	4,993	4,993	
共イオン性膜反応器におけるCO <sub>2</sub> の化学エネルギー担体への直接電極触媒変換	4,448	3,950	
INERATEC社モジュラープラントの再生可能化学製品適用	3,492	2,444	-
バイオ燃料の持続生産のためのケミカルループによるガス化	4,994	4,994	0.7 €/l

出典: 一般財団法人運輸総合研究所「我が国におけるSAFの普及促進に向けた課題・解決策」に一部追記



a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (1) SAF ①技術概要

微細藻類を用いたSAFのコスト見通し

- NEDOでは原料に微細藻類を用いたSAFのコスト低減に向けた研究として下表の項目を実施。微細藻類の純バイオジェット燃料のコスト目標は、藻油生産効率向上により、300~400円/リットル以下（残渣を水産養殖飼料として売却した想定売却益100~150円/リットルを得た場合、200~350円/リットル以下）。一方、微細藻類と廃食油等を混合したバイオジェット燃料の製造コスト目標は100円/リットルで、実証を通じて販売価格150円/リットルの見通し。
- なおジェット燃料の価格は100円/リットル程度であるのに対し、ユーグレナの決算資料によると、2022年10~12月のSAF（廃食油と微細藻類が9:1の割合）の価格は350円/リットル。

NEDO事業における微細藻類のコストダウンに向けた各種研究（2020~2024）

実施者	事業名	概要
(株)ユーグレナ／(株)デンソー／三菱ケミカル(株)／伊藤忠商事(株)	微細藻バイオマスのカスケード利用に基づくバイオジェット燃料次世代事業モデルの実証研究	培養から藻油抽出に至るまでの各生産工程の技術開発で生産物である藻油生産の効率向上及び残渣飼料の商品価値向上が目標。
電源開発(株)	海洋ケイ藻のオープン・クローズ型ハイブリッド培養技術の開発	オープン型とクローズ型を組み合わせたハイブリッド培養システムで培養試験を実施するほか、藻体収量、オイル蓄積率の向上等に向けた研究を実施。
(株)ちとせ研究所	熱帯気候の屋外環境下における、発電所排気ガス及びフレキシブルプラスチックフィルム型フォトバイリアクター技術を応用した大規模微細藻類培養システムの構築及び長期大規模実証に関わる研究開発	微細藻種の選定と、商業規模生産時の1ユニット単位となる規模での比較検証等の実証を通じて安定大量培養技術を確立。
(社)日本微細藻類技術協会	微細藻類由来バイオジェット燃料生産の産業化とCO <sub>2</sub> 利用効率の向上に資する研究拠点及び基盤技術の整備・開発	国内の微細藻類研究拠点整備や微細藻類の生産における標準手法・標準条件整備と、手法・条件を用いや標準参照値の取得等を推進。

出典:NEDO「バイオジェット燃料生産技術開発事業(中間評価)プロジェクトの概要」を基にNTTデータ経営研究所作成

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (1) SAF ①技術概要  
**各種原料によるSAF(HEFA燃料)の製造コスト**

● SAFのうち商業ベースでの生産が可能な「水素化処理エステル・脂肪酸 (HEFA)」の製造コストは下表の通り。

**HEFAの製造コスト**

原料	原産地	製造コスト <sup>*1</sup>	前提(想定製造規模) <sup>*2</sup>	出所
大豆油	不明	111 円/L	5万 kL/年 (4万4千 t/年)	skyNRG「Green Horizons」
	不明	87 円/L	—	NREL「Review of Biojet Fuel Conversion Technologies」
微細藻類	米国	355 円/L	2.6万 kL/年	NREL「Review of Biojet Fuel Conversion Technologies」
	米国	741 円/L	2.6万 kL/年	
	豪州	1,027 円/L	6万 kL/年	Christopher D Turner「Technoeconomic analysis of renewable aviation fuel from microalgae, Pongamia pinnata, and sugarcane」
廃食油	欧州	143 円/L	36万 kL/年 (30万 t/年)	S de Jong「The feasibility of short-term production strategies for renewable jet fuels – a comprehensive techno-economic comparison」
	米国	121 円/L	17万 kL/年 (14万 t/年)	Lin Tao「Techno-economic and resource analysis of hydroprocessed renewable jet fuel」
ポンガミア	豪州	279 円/L	6.1万 kL/年	NREL「Review of Biojet Fuel Conversion Technologies」
カメリナ	米国	76 円/L	7.6万 kL/年	
		米国	300 円/L	20万 kL/年
木質バイオマス	米国	113 円/L	原料を乾燥重量で2,000t/日	NREL「Review of Biojet Fuel Conversion Technologies」
ジャトロファ	米国	93 円/L	20万 kL/年	Lin Tao「Techno-economic and resource analysis of hydroprocessed renewable jet fuel」
ゲンバイナズナ	米国	170 円/L		
ヒマシ油	米国	260 円/L		

出典:NEDO「バイオジェット燃料生産技術開発事業(中間評価)プロジェクトの概要」より抜粋 (2020年10月21日)

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (1) SAF ①技術概要

各種SAF原料の経済的優位性の比較

- SAFの原料のうち、油含有量の高さ等が優れたカメリナ、カリナータ、ジャトロファについて、経済的な優位性や実現可能性等を検討した調査によると、原料価格や他副産物の販売価格等の影響でカメリナの投資対効果が最も有望と結論。なお、SAF自体から得られる収益よりも食用タンパクといった副産物から得られる収益割合が高い。
- 同様の手法によるディーゼル生産の調査結果では、総収益はSAFよりディーゼル生産の方が収益性が高い。

各原料の最大ディーゼル生産量と最大ジェット燃料生産量及び副産物による収益分析 ※各種論文からの経済分析結果

		最大ジェット燃料生産量 (HRJ)			最大ディーゼル生産量 (HRD)		
		カメリナ	カリナータ	ジャトロファ	カメリナ	カリナータ	ジャトロファ
原料種子価格		323 USドル/t	356 USドル/t	254 USドル/t	323 USドル/t	356 USドル/t	254 USドル/t
油脂含有量		35%	44%	33%	35%	44%	33%
モデル施設における総収益 (副産物の販売等含む)		3.76億 USドル	3.11億 USドル	2.06億 USドル	4.47億 USドル	3.83億 USドル	2.94億 USドル
総収益における各種産物の寄与度	ジェット燃料	19%	23%	47%	4%	4%	6%
	ディーゼル	12%	14%	17%	49%	57%	74%
	LPG	5%	5%	8%	3%	3%	4%
	ナフサ	11%	15%	9%	1%	2%	2%
	食用タンパク	54%	44%	- ※毒性有	43%	34%	- ※毒性有
	バイオ炭	-	-	6%	-	-	4%
	殻の炭	-	-	14%	-	-	10%
設備投資費 (モデル施設の仮定)		4.22億USドル	4.22億USドル	4.22億USドル	2.53億 USドル	2.53億 USドル	2.53億 USドル
運営費 (モデル施設の仮定)		3.72億USドル	3.29億USドル	3.13億USドル	3.58億 USドル	3.16億 USドル	3億 USドル

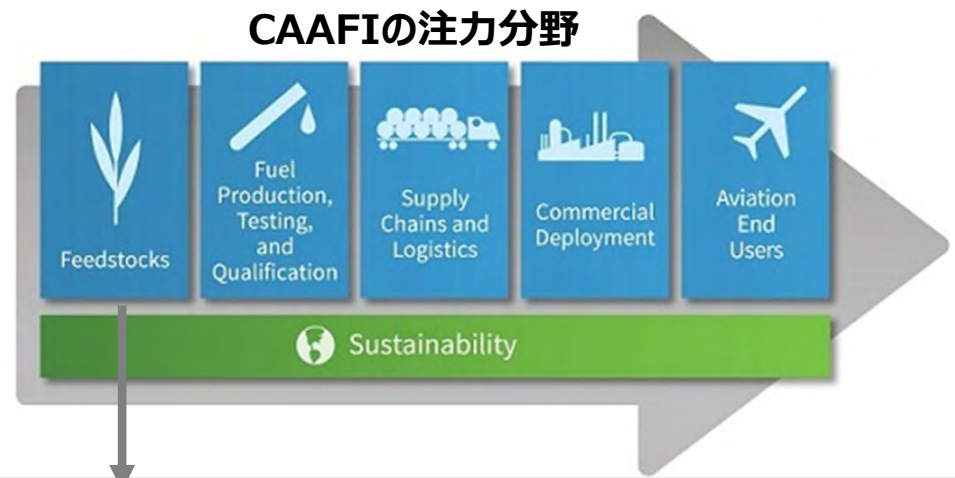
※プラントの寿命を20年、燃料39トン/時間を生み出すことを想定し、モデル施設の各種条件を設定  
 ※USドルは2017年時点の計算



a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (1) SAF ②事例

**SAF研究開発、社会実装に向けた動き：民間航空代替燃料イニシアティブ「CAAFI」：米国**

- 米国政府はSAFに関する行動計画「Aviation Climate Action Plan」として、「SAFに関する研究、開発、実証、原料システムの展開、変換、試験、分析、調整に関する重要な米国政府プログラムを、産業界と直接、又はCAAFIを通じて支援する」と明示。



- 目標 1:**作物収量 (トン/ヘクタール)、水と栄養素の使用効率や、害虫と病気への抵抗力を高め、原料転換特性を改善。
- 目標 2:**最小限の投入で環境負荷耐性が高く、環境への影響を抑える持続可能な原料生産システムを開発。
- 目標 3:**物理的バイオマスの収穫、収集、貯蔵、高密度化、前処理及び変換施設への輸送を改善。
- 目標 4:**都市固形廃棄物の収集、保管、高密度化、前処理及び変換施設への輸送を改善。

- CAAFI は、航空会社、航空機及びエンジン メーカー、エネルギー生産者、研究者、国際的な参加者及び米国政府機関で構成。
- CAAFI は参加者が資金を提供しなくても、運営資金は CAAFI スポンサーである連邦航空局、環境エネルギー局、エアライン業界、空港業界などが運営資金を拠出。

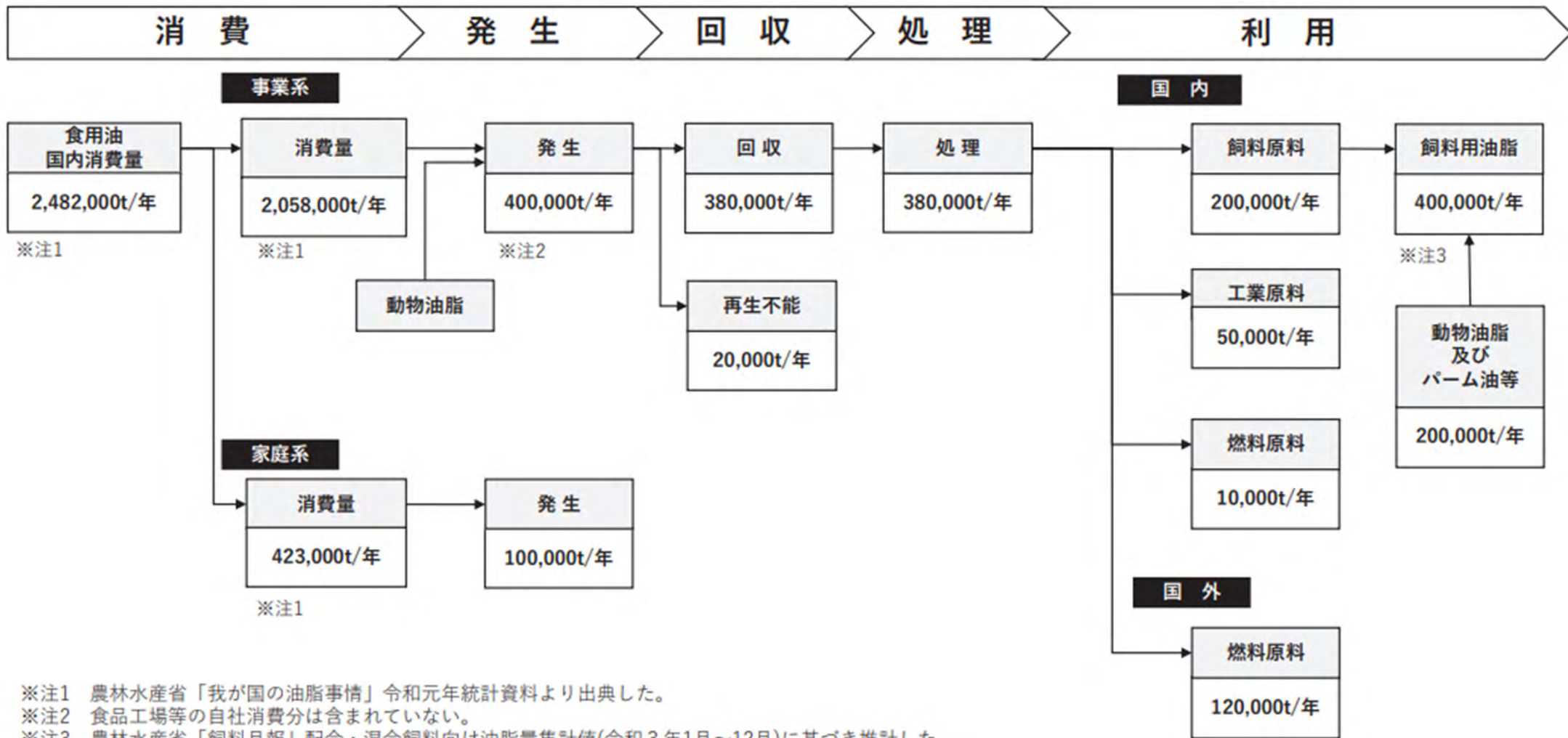
出典:CAAFI WEBサイト <https://www.caafi.org/caafi.org/>



## a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (2) バイオ燃料 ①技術概要

### 次世代バイオ液体燃料の原料になる油脂と油脂製品の流れ

- 廃食油（UCO）はバイオ燃料の原料としてコスト的メリットがあるが、大半が飼料として利用され、燃料用への活用が限定的。
- 事業用UCOは日本からニーズの高い欧州が輸入しており、国内に残る量が少ない。
- 動物油脂も燃料用の原料に使用可能だが、低温流動性が悪いため、改質しない限り夏場使用限定。



※注1 農林水産省「我が国の油脂事情」令和元年統計資料より出典した。

※注2 食品工場等の自社消費分は含まれていない。

※注3 農林水産省「飼料月報」配合・混合飼料向け油脂量集計値(令和3年1月～12月)に基づき推計した。

※その他の数値については、当連合会による実態調査等情報収集による総合的判断に基づき推計した。

出典:全国油脂事業協同組合連合会「UCオイルのリサイクルの流れ図(令和3年度版)」

[https://zenyuren.or.jp/document/220407\\_ucorecycleflow\\_r3.pdf](https://zenyuren.or.jp/document/220407_ucorecycleflow_r3.pdf)

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (2) バイオ燃料 ①技術概要

現行及び次世代バイオ液体燃料の製造パス①

- 次世代バイオ液体燃料の製造パスのうち、セルロース系では原材料コストの低減、製造の大規模化が製造コスト低減のポイント。

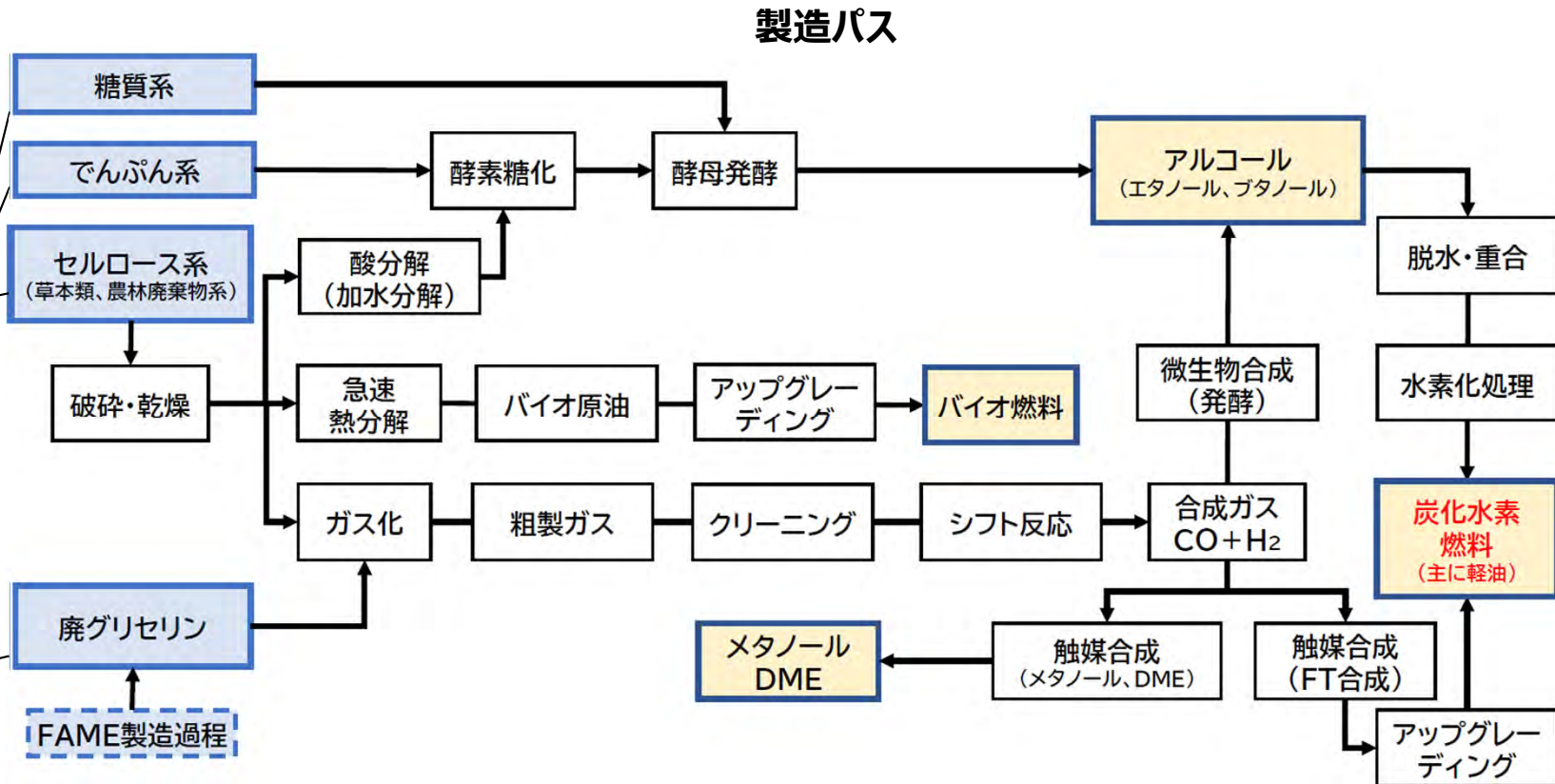
コスト低減に向けたポイント

セルロース系バイオマス

- ジャトロファを原料とした場合、燃料価格は76円/L程度。
- 廃パルプ・廃菌床・コーヒー粕等を原料としたモデルでは年産3万kLで展開できれば、エタノール製造コスト70円/L未滿を達成可能との試算。

廃食油・油脂系

- 次ページに記載



出典:滋賀県立大 山根浩二教授 ヒアリング資料「バイオディーゼルの現状と今後の展開」に JST「TSC foresight」を参考にNTTデータ経営研究所追記

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (2) バイオ燃料 ①技術概要

現行及び次世代バイオ液体燃料の製造パス②

- 製造パスのうち、廃食用油・油脂原料の場合は原材料の低コストでの確保が課題。
- 微細藻類は藻類自体の生産力向上・大規模化がポイント。

製造パス

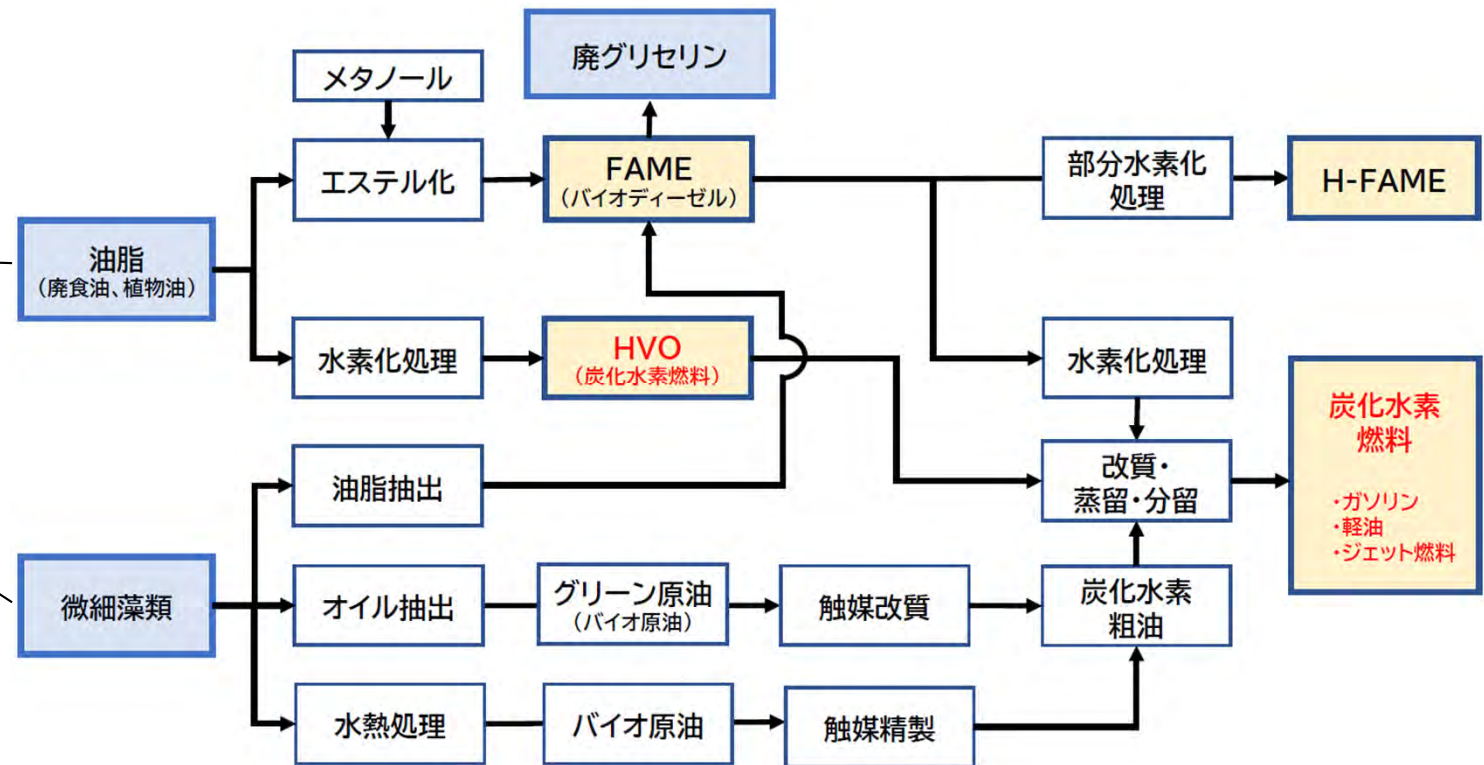
コスト低減に向けたポイント

廃食用油・油脂系

- すでに商用段階にあり、原材料コスト低減が最大のポイント

微細藻類

- 生産能力の高い藻類の開発、大量養殖技術の確立、広大な土地の確保等がポイント



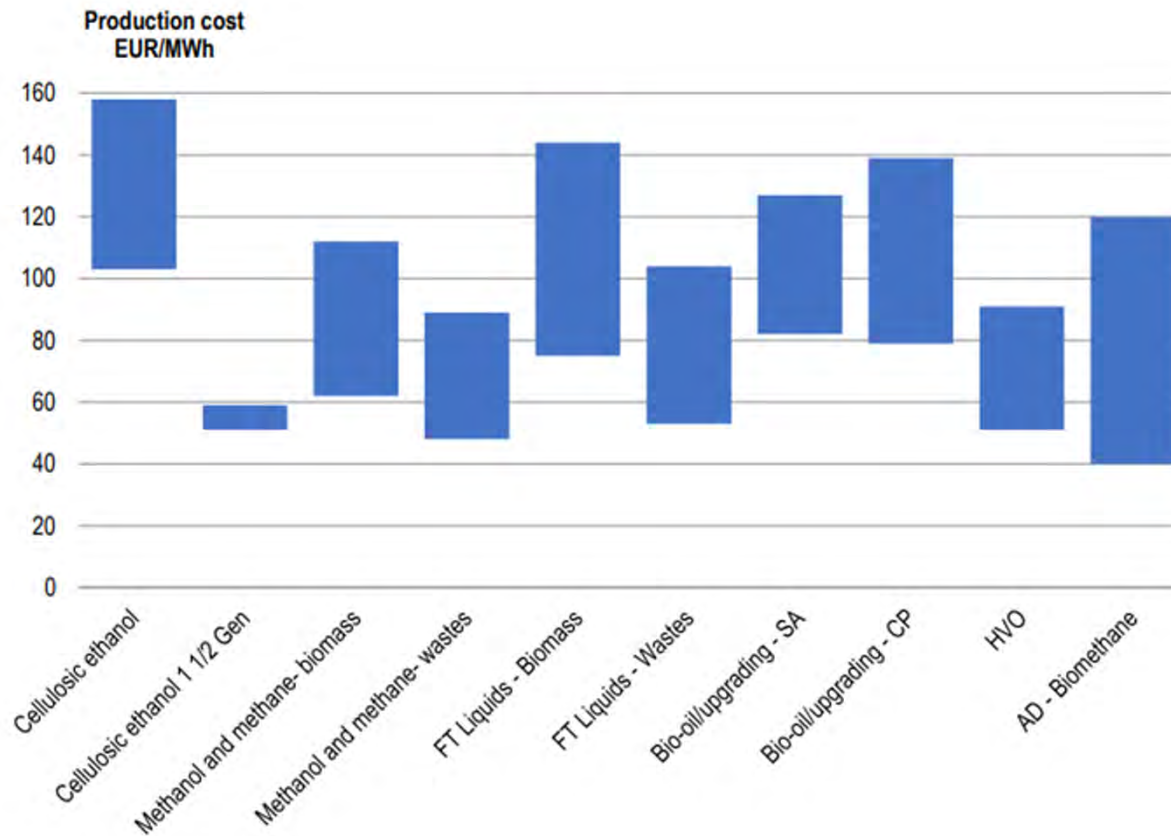
出典:滋賀県立大 山根浩二教授 ヒアリング資料「バイオディーゼルの現状と今後の展開」に JST「TSC foresight」を参考にNTTデータ経営研究所追記

## a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (2) バイオ燃料 ①技術概要

### 燃料タイプごとのコスト比較

- IEAの試算では製造コストの視点から、現状で最もコストのハードルが高いのはセルロース系エタノール製造。

### 現在の各バイオ燃料のコストレンジ



出典: IEA "Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction" WEBサイト  
[https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41\\_CostReductionBiofuels-11\\_02\\_19-final.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf)

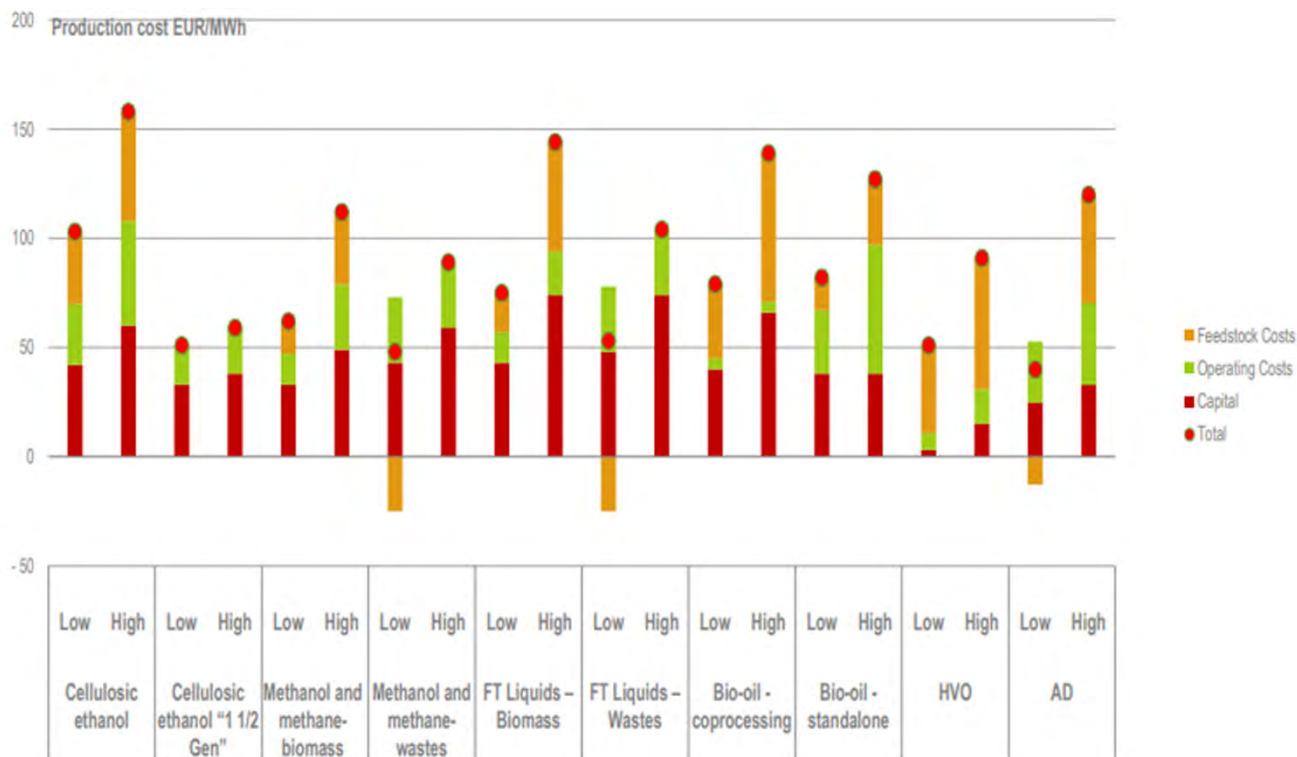


a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (2) バイオ燃料 ①技術概要

燃料タイプごとのコスト内訳

- IEAの試算で、他のバイオ燃料と比較し、設備投資が少なく製造コストが低いのは炭化水素燃料の製造。

現在のコストレンジと内訳



出典:IEA "Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction" WEBサイト  
[https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41\\_CostReductionBiofuels-11\\_02\\_19-final.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf)

a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (2) バイオ燃料 ②事例

次世代バイオ液体燃料の原料になる油脂の回収に関する企業動向

- SAFの原料となる廃食油 (UCO) を国内で回収するために、日揮やローソンなどの大手企業が回収を開始。

企業名	概要	想定回収量
日揮HD・三菱地所	<ul style="list-style-type: none"><li>日揮HDは以前より、レボインターナショナル、コスモ石油株式会社と共同で国内での廃食用油の収集からSAFの製造・輸送・供給に至るまでのサプライチェーン構築に向けて事業化を検討。</li><li>UCOの回収拡大に向け、2022年11月に三菱地所と協力に向けた合意書を締結。三菱地所のテナントから出たUCOを回収予定。</li></ul>	年間約150t (対象物件23棟、2019年度、一部物件は想定量)
ローソン・ENEOS	<ul style="list-style-type: none"><li>ローソンは、親会社の三菱商事がENEOSと連携し、国内でSAFの原料調達から製造、流通までの供給網づくりに取り組んでいることから、店舗から出るUCOの提供を検討中。</li></ul>	不明

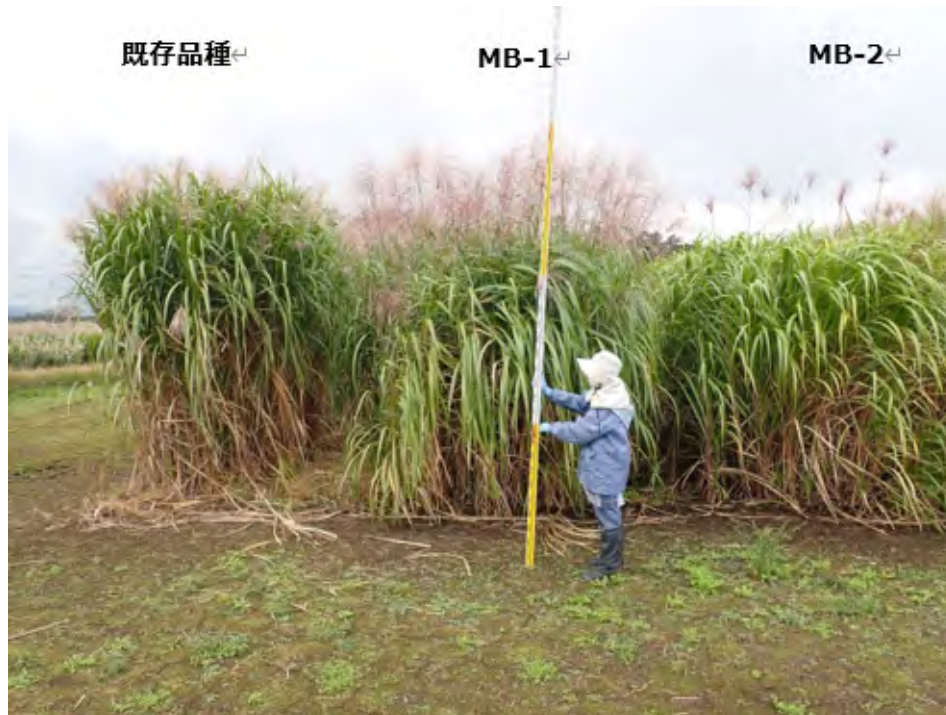
出典:日揮ホールディングス株式会社プレスリリース  
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000114.000065135.html>

## a. 温室効果ガス削減 1. CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化 (2) バイオ燃料 ②事例

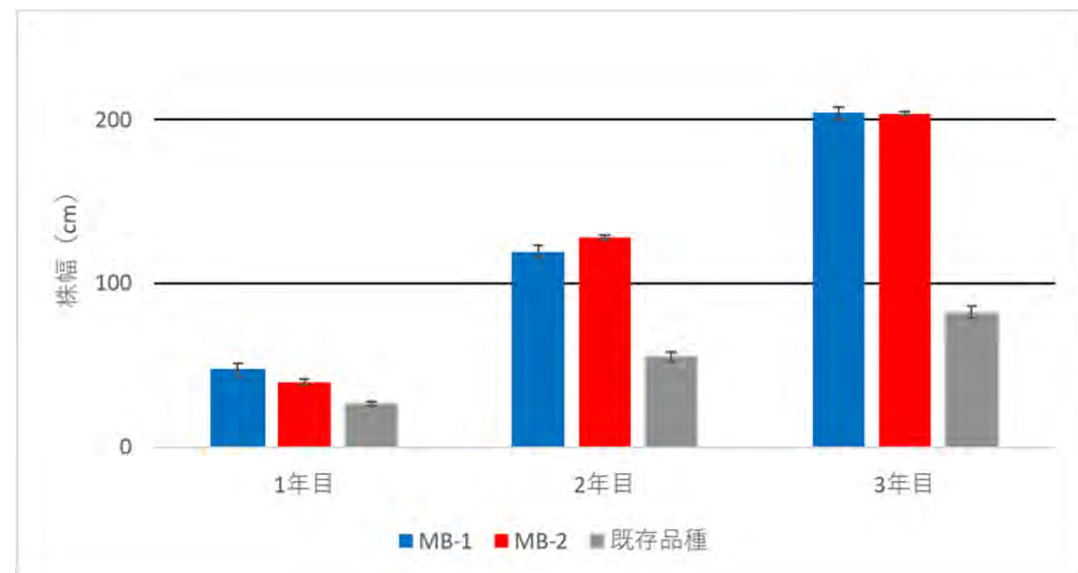
### バイオマス燃料植物オギススキ新品種の開発：農研機構（日本）

- オギススキは日本に自生している植物であり、海外ではジャイアントミスカンサスと呼ばれ、バイオマス植物としてボイラーの燃焼材等に使用。
- オギススキは種子を作らないため、栄養繁殖により多数の株を増殖して移植するという過程が必要である点が課題であったが、農研機構は内閣府SIP事業にて、バイオマス植物として有用なオギススキの新品種を開発。既存品種より株が広がりやすく、かつ多収。株の広がりが速いため、移植する苗数を通常の1/4まで削減。
- 多年生植物であるため、一度草地ができると毎年の耕起・鎮圧・播種・除草剤散布などが不要で、施肥と収穫作業だけで生産が可能。

#### 新品種「MB-1」「MB-2」及び既存品種の移植2年目の草勢



#### 1年目～3年目までの株幅比較



出典：農研機構 プレスリリース  
[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/tarc/151373.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/tarc/151373.html)

## a. 温室効果ガス削減 2. 農林業機械の電化・水素化等技術

### 水素を燃料とする燃料電池トラクター：クボタ、井関農機（日本）

- クボタは2025年にも水素燃料電池のトラクターを世界で初めて商用化予定。50～100馬力の中大型トラクターを開発予定。ディーゼルエンジンの同種の主力機種が1台800万～1100万円のところ、現行機種よりも4割ほど高くなるとみられる。前段階として2023年に試作機を開発する方針。
- 井関農機も2024年度までに水素を燃料とする小型トラクターの試作機を作り、商品化や大型化を目指す。同社は2012年に愛媛大と共同で電動トラクターの実証実験を実施。水素燃料の噴射制御など専門技術を持つ国内メーカーと組んで開発を進める方針。

クボタが2020年に公開した  
電動トラクター（右）と電動建機



- クボタ、井関農機は、トヨタ自動車やヤンマーHDも参画する「水素バリューチェーン推進協議会」の一員で、同協議会では農機の水素の需要ポテンシャルは2050年に312万トンと推計。

出典:クボタプレス「2050年の「脱炭素」社会の実現に向けて世界とともに私たちが取り組むカーボンニュートラルとは」  
<https://www.kubota.co.jp/kubotapress/life/carbon-neutral.html>  
出典:朝日新聞 WEBサイト <https://digital.asahi.com/articles/ASQ6H6F28Q6BPLFA00M.html>



## a. 温室効果ガス削減 2. 農林業機械の電化・水素化等技術

## 世界初のバイオメタンと電力のハイブリッドトラクター：Auga M1（リトアニア）

- リトアニアに本社を置く有機食品メーカーのAuga groupは、世界初のバイオメタンと電力のハイブリッドトラクター「Auga M1」を開発（2021年10月）。
- 通常の農作業を行えるだけのパワーを出力するために、バイオメタンガスを活用するほか、バッテリーとの組合せで約12時間の稼働が可能。

バイオメタンと電力のハイブリッドトラクター  
「Auga M1」

- Auga M1は長さ 6 メートル、高さ 4 メートルで、900/60R 42 タイヤで走行。1400馬力のディーゼルパワートラクターと同様の作業が可能。
- 高出力を必要としない通常の状態で作動する場合、トラクターは生成されたエネルギーをバッテリーに蓄える仕組み。バイオメタンガスは大型カートリッジを用いており、同社が交換サービスも提供。
- Auga groupはヨーロッパ最大の垂直統合型有機食品メーカーで、39,000haの有機穀物、根菜類、野菜、3,400頭の大規模酪農場を経営。

出典:Auga group WEBサイト <https://auga.lt/en/about-us/>  
<https://www.ivtinternational.com/news/hybrid-electric-vehicles/world-first-hybrid-biomethane-electric-tractor-developed-by-auga-food-group.html>



## a. 温室効果ガス削減 2. 農林業機械の電化・水素化等技術

### 完全自律型トラクター：ジョンディア（米国）

- 米国のジョンディア社は同社初の完全自律型トラクターを販売する予定（2022年2月発表）。6セットのカメラによる360度の障害物検出で、稼働の判断を行う。判断にはディープニューラルネットワークを活用。
- 自律型トラクターは、ジオフェンスに対する位置を継続的にチェックし、想定どおりの場所で動作していること、精度が1インチ未満であることを確認可能。

#### ジョンディアの完全自律型トラクター



- ジョンディア社のトラクター「8R」をベースに、TruSet対応のチゼルプラウ、GPSガイダンスシステム、360度の障害物検知と距離計算を可能にする6対のステレオカメラなどの先進技術を搭載した自律走行型の新製品。
- カメラで撮影された画像はディープニューラルネットワークに送られ、約100ミリ秒で各ピクセルが分類され、障害物の有無によってマシンが動き続けるか停止するかを決定。同じニューラルネットワークが「雑草」と「作物」をその場で区別し、特定の植物を選んで除去が可能。
- 約50万ドルで販売されるトラクターに機能追加される予定。

出典:ジョンディア WEBサイト  
<https://www.deere.com/en/news/all-news/autonomous-tractor-reveal>

## a. 温室効果ガス削減 2. 農林業機械の電化・水素化等技術

### 世界初の水素を燃料とするハイブリッド外洋漁船：Loran（ノルウェー）

- ノルウェーの海運会社Loran は、世界初の水素を動力源に加えたハイブリッド型の外洋漁船を開発（2021年11月）。化石燃料の使用を40%以上削減可能と試算。
- 従来のディーゼルエンジンに加えて、水素のコンテナベースの貯蔵、185 kWの燃料電池2つ及び2000 kWhのバッテリーの両方を搭載。

#### 化石燃料の使用を 40% 以上削減する漁船



出典: skipsteknisk WEBサイト

- エネルギー効率、熱回収及び水素を使用する設計となっており、将来的にはゼロエミッション運用が目標。
- はえ縄を引っ張っている時や、有事への対応を可能とするために、格納式のプロペラも備えている。
- ノルウェー政府は2030年までに船舶による排出量を半減することが目標。
- ノルウェーの気候環境省が所管する研究開発投資機関Enovaより9250万ユーロを助成。



a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (1) 技術概要

植物工場の科学技術研究に関する現状と課題の国際比較

- 日本は基礎研究、応用研究・開発ともに世界的に研究が進展していたが、2017年ごろから米国、中国、欧州などで大規模な研究開発や建設が相次いだことなどで、トレンドは低調。
- 米国は農地が潤沢であり、また南半球からの野菜の輸入があることも影響し、施設園芸は限定的。

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	→	BNI 研究を主導 (BNI 国際コンソーシアム会議)。東京大学農学部を中心に、植物栄養のシグナルネットワークの解明に多大な貢献あり。
	応用研究・開発	○	→	遺伝子組換え植物の圃場試験が非常に難しく、応用研究、実装研究が極めて弱い。また、BNI 現象の解明を進める国際農研には育種部門が無く BNI 強化作物のプロトタイプの実出は直接出来ない。
米国	基礎研究	◎	↗	長年、植物栄養のシグナルネットワークの解明に注力してきた。また、BNI 作物の基礎研究にも投資している。
	応用研究・開発	○	↗	植物栄養のシグナルネットワークの解明から得られた知見は、社会実装にはまだ遠い。コムギ、トウモロコシ、ソルガムの大産地であり、BNI の育種による導入を検討中。
欧州	基礎研究	◎	↗	植物栄養のシグナルネットワーク研究者の層が厚く、基礎研究が充実している。圃場生態系における物質循環などマクロスケールの研究も充実している。民間財団、Novo Norden Foundation による新たなプロジェクトにより BNI 基礎研究が加速している。
	応用研究・開発	○	↗	民間企業 (BASF 社、モンデリーズ社) の関与による応用研究が進む。
中国	基礎研究	○	↗	植物栄養シグナルネットワークに関する研究を進める研究者層が厚い。また、BNI 強化イネの研究例はあるが、還元状態の水田では効果が発揮しにくい。
	応用研究・開発	△	→	コムギ、トウモロコシ、ソルガムの大産地であるが、応用研究の例はあまりない。
韓国	基礎研究	△	→	植物栄養の研究分野はあまり注目されていない。
	応用研究・開発	△	→	植物栄養の研究分野はあまり注目されていない。
カナダ	基礎研究	△	→	コムギ、オオムギに関しての基礎研究の実施が検討されている。
	応用研究・開発	○	↗	1CW (日本向け春小麦品種群) への BNI 能 (Lr#N-SA) 導入がプロジェクト化されており、施肥の 30% 削減を目標としている。
ニュージーランド	基礎研究	○	↗	合成硝化抑制剤 DCD の使用が禁止されたため、牧草地における N <sub>2</sub> O 排出削減の切り札としての BNI 研究への期待が高い。
	応用研究・開発	○	↗	CIAT と組んだ温帯牧草の BNI 能スクリーニングなどを実施している。

(註1) フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発 (プロトタイプの実出含む) の範囲

(註2) 現状 ※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

○：顕著な活動・成果が見えている

△：顕著な活動・成果が見えていない

×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド ※ここ1~2年の研究開発水準の変化

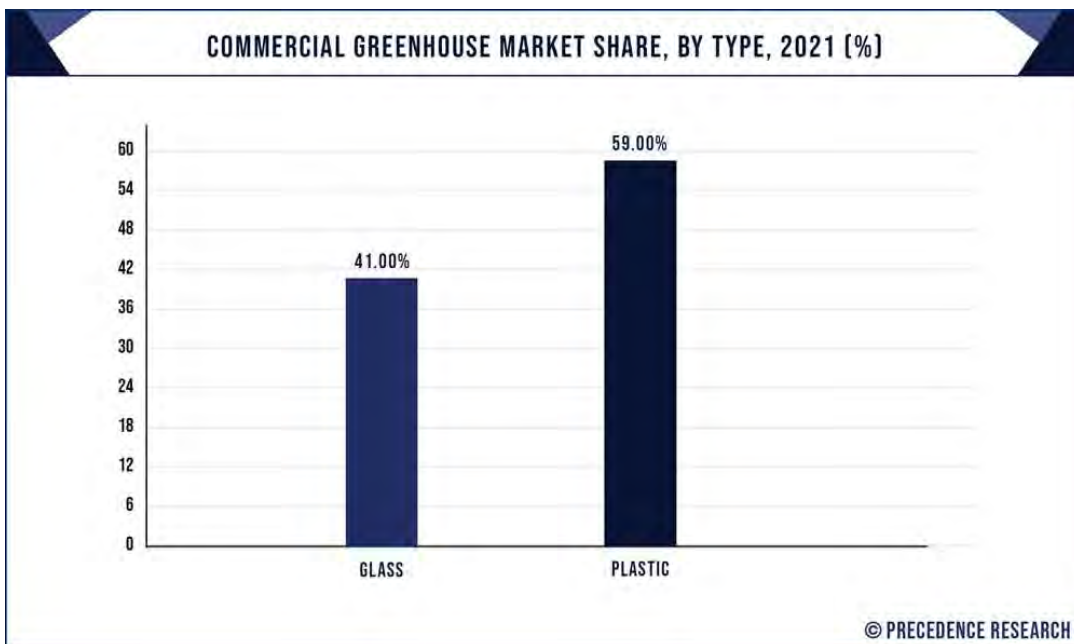
↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (1) 技術概要

**温室栽培のタイプ (ガラス製、プラスチック製) と地域別シェア**

- 温室のタイプごとのシェアでは、プラスチック製がガラス製を上回っており、成長割合も大きいと予測。特に素材の改良により耐久性や機能性が向上することでシェア拡大の見通し。
- 地域ごとのシェアでは、北米とヨーロッパが大きいですが、人口の増加と耕作地の縮小が予測される中国とインドを含むアジア太平洋地域も急速に成長。

**温室のタイプごとのシェア  
(ガラス素材性 vs ビニールハウス等プラスチック製)**



**商業用温室市場シェア**

地域	2021 年の収益シェア (%)
北米	32.8%
アジア太平洋地域	24.4%
ヨーロッパ	29%
ラテンアメリカ	9%
中東・アフリカ	4.8%

出典:PRECEDENCE RESEARCH

"Commercial Greenhouse - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2022-2030"  
<https://www.precedenceresearch.com/commercial-greenhouse-market>



a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（1）技術概要  
**慣行、温室、垂直農場での使用電力と生産量への影響**

- 植物工場では通年での栽培が可能になることに加え、輸送距離を減らし、鮮度の高い野菜を供給することも可能。

出典: SPEEDA記事「垂直農法」をもとにNTTデータ経営研究所作成

## 米国における施設園芸の位置づけと研究プログラム (1)

- 米国では露地栽培が主流で農地も潤沢であること、南米からの野菜の輸入より年間を通じた流通体制があること等から施設園芸の割合は限定的。
- USDAでは施設園芸に特化した研究プログラムは組んでおらず、生産方法は限定せずにSpecialty Crop (特殊作物) と呼ばれる果物や野菜等の作物生産に関する研究プログラムが USDA の国立食糧農業研究所 (NIFA) が管理する特殊作物研究イニシアチブ (CRI) で実施されている。

### SCRIにおける重点分野 (施設園芸分野でのプログラム応募が可能と考えられる項目を青字で表記)

#### 1. 植物育種、遺伝学、ゲノム学及び作物の特性を改善するその他の方法に関する研究

以下のような作物の特性を改善するための研究。

- a. 製品、味、品質、外観。
- b. 多年生作物用のサイズ調整可能な (接ぎ木の) 台木。
- c. 気候適応、環境対応、耐性。
- d. 栄養管理 (植物の栄養吸収効率を含む)
- e. 害虫及び病害の管理。害虫及び病害に対する抵抗性により、施用を削減する管理戦略を含む。
- f. 植物性栄養素の含有量の向上。

#### 2. 害虫と病気による有害性を特定し、それに対処するための取組

- a. 特殊作物の受粉媒介者に対する有害なリスク。
- b. 新興種及び侵入種。
- c. 既存の天敵複合体に対するより効果的な理解と利用。

a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (1) 技術概要  
**米国における施設園芸の位置づけと研究プログラム (2)**

SCRIにおける重点分野 (施設園芸分野でのプログラム応募が可能と考えられる項目を青字で表記)

**3. 研究時に留意すべき項目**

- a. 生産効率、取扱・加工、生産性、貿易における競争力、長期的な収益性を向上させるための取組 (特殊作物政策とマーケティングを含む)。
- b. 以下についての理解を深めるための努力。
  - i. 土壌根圏マイクロバイオーム。
  - ii. 農薬散布システム及び認証されたドリフト低減技術。
  - iii. 特殊作物の貯蔵期間を改善・延長するシステム。

**4. 新しいイノベーション、人工知能を利用したデータ駆動型の予測ツール。**

- a. 生産・加工における労働集約的な作業の機械化・自動化。
- b. 熟成を遅らせたり抑制したりする技術。
- c. フェノロジーと環境要因に基づく意思決定支援システム。
- d. 農業害虫のモニタリングシステムの改善。
- e. 検疫病害虫のプレハーベスト及びポストハーベスト管理のための効果的なシステム。

**5. 生鮮食品を含む特殊作物の生産・加工における潜在的な食品安全上の危害を防止、検出、監視、管理、対応する方法。**

## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (1) 技術概要

### 欧米を中心にヒートポンプを活用した脱炭素政策が拡大

- ヒートポンプはGHG削減ポテンシャルが高く評価され、2050年には暖房需要の半分を賅うシナリオも想定。
- 特に欧米を中心にヒートポンプ導入政策が施行されており、新設支援や関連雇用増加に向けた投資が拡大。

#### ヒートポンプの海外政策動向

##### 米国

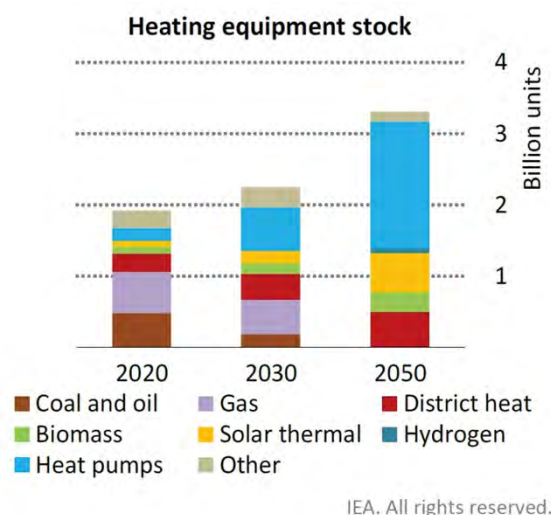
- 2021年3月に雇用創出や国家インフラ再建などに向けた投資計画「米国雇用計画 (The American Jobs Plan)」を発表。
- 同計画では、雇用促進のためにも、**電力の脱炭素化と電化への投資**を謳い、ヒートポンプは、電気自動車や充電設備と並んで必要性を提示。

##### 英国

- 2021年10月、住宅暖房などの低炭素化を目指す「Heat and Buildings Strategy」を発表。
- 同戦略では、ガスボイラーの新設を廃止し、**既設ボイラーからヒートポンプへの更新を支援**することを記載。

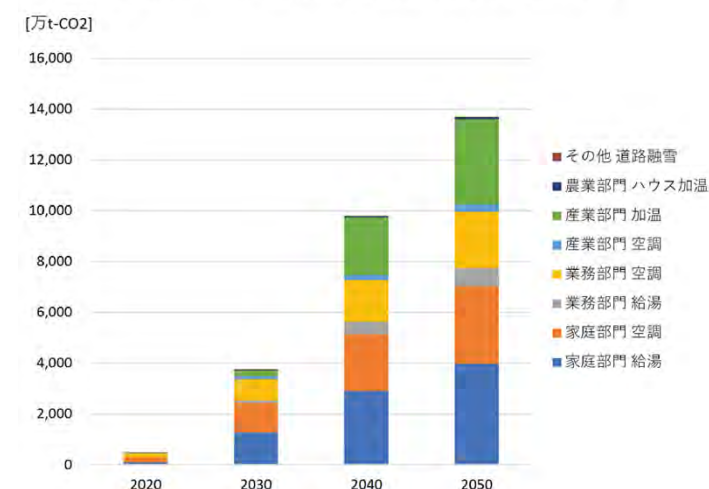
#### GHG排出削減に向けたポテンシャル

- 日本機械学会はヒートポンプのGHG排出削減効果は中位ケースで2050年には1億3699万t CO<sub>2</sub>となり、2020の温室効果ガス排出量速報値11億4900万tCO<sub>2</sub>の約12%に匹敵すると予測。
- 産業別・用途別の削減効果は、農業部門ハウス加温は最小。



出典:IEA WEBサイト  
[https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector\\_CORR.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf)  
 出典:日本機械学会 WEBサイト  
<https://www.jsme.or.jp/kaisi/1240-28/>

業種別・用途別削減効果の内訳 (中位ケース)



出典:日本機械学会誌 WEBサイト  
<https://www.jsme.or.jp/kaisi/1240-28/>



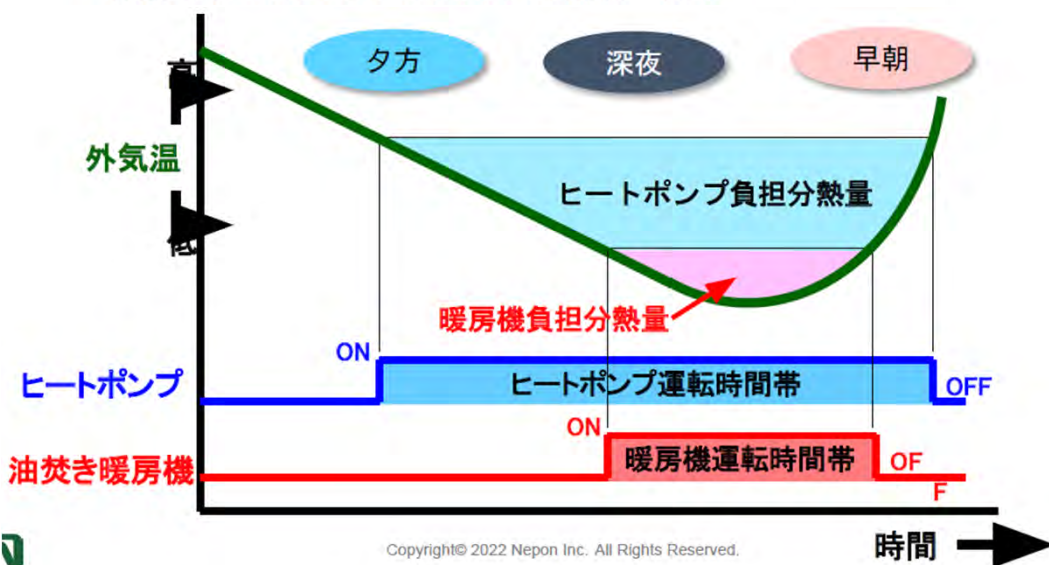
a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (1) 技術概要

# ヒートポンプの利用改善の方向性：植物工場研究会 丸尾達氏 ヒアリング

- ヒートポンプを他の暖房機器とハイブリッド利用する場合、温かい日中はヒートポンプのみとし、深夜などさらに加温が必要な時間帯に暖房機器の稼働を追加すると効率的に利用可能。
- 保温カーテンを複数層にすると、暖房器具使用によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果が向上。

## ハイブリッド暖房の運転方法と効果

- ・ 外気温が高く、暖房負荷が小さいうちはヒートポンプだけで暖房
- ・ 暖房負荷が大きくなったら油焚き暖房機も併用



出典：NPO植物工場研究会 丸尾達氏ヒアリング資料  
 NPO植物工場研究会 第150回記念勉強会 2022.9.8  
 『施設園芸のCO<sub>2</sub>などのゼロエミッション化に向けて』  
 ネポン株式会社 野々下知泰  
 「現有技術による施設園芸ゼロエミッション化への道筋」講演資料より

## 年間CO<sub>2</sub>排出量に及ぼす暖房方法と保温カーテンの効果

### I. 保温カーテン1層の場合 (放熱係数 3.9 W・deg<sup>-1</sup>・m<sup>-2</sup>, 最大暖房負荷156kW, 年間暖房負荷142MWh)

暖房方法	暖房費(千円/年)		CO <sub>2</sub> 排出量(t/年)		暖房機	
	合計燃料代	電気代	合計	暖房機	ヒートポンプ	
慣行法1(油だき暖房機のみ使用)	1,249	1,216	33	42.2	42.2	-
慣行法2(ハイブリッド,油0.7+HP0.3)	1,388	874	514	36.5	28.8	7.7
改善案1(油0.3+HP0.7負荷率改善)	1,238	375	863	25.2	12.4	12.8
改善案2(油0.3+HP0.7半量昼間)	997	375	622	24.3	12.4	11.9
改善案3(油0.2+HP0.8半量昼間)	958	250	708	21.8	8.2	13.6

### II. 保温カーテン2層の場合 (放熱係数 2.6 W・deg<sup>-1</sup>・m<sup>-2</sup>, 最大暖房負荷104kW, 年間暖房負荷95MWh)

暖房方法	暖房費(千円/年)		CO <sub>2</sub> 排出量(t/年)		暖房機	
	合計	燃料代	電気代	合計	暖房機	ヒートポンプ
慣行法(油だき暖房機のみ使用)	833	811	22	28.0	28.0	-
慣行法2(ハイブリッド,油0.7+HP0.3)	920	575	345	24.4	19.2	5.2
改善案1(油0.3+HP0.7負荷率改善)	829	257	572	16.8	8.2	8.6
改善案2(油0.3+HP0.7半量昼間)	668	257	411	16.1	8.2	7.9
改善案3(油0.2+HP0.8半量昼間)	643	171	472	14.6	5.5	9.1

場所:千葉県柏市 暖房設定温度15℃ 設計外気温-5℃,プラスチックハウス10a  
 A重油 80円/ℓ 電気基本料金 1,101.6円/kW 電気使用料金 15.51円/kWh

出典：NPO植物工場研究会 丸尾達氏ヒアリング資料  
 NPO植物工場研究会 第150回記念勉強会 2022.9.8  
 『施設園芸のCO<sub>2</sub>などのゼロエミッション化に向けて』  
 NPO植物工場研究会 関山哲夫  
 「ヒートポンプの効果的な利用などによる暖房費とCO<sub>2</sub>排出量の削減」講演資料より

## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

**日本の高級イチゴを米国において垂直農法で栽培：Oishii Farm（米国）**

- 日本品種の高級イチゴ「Omakase Berries」を栽培。日本の栽培技術と垂直農法の技術を用いており、ミツバチによる独自の受粉技術や水耕栽培システムも採用。
- ニューヨーク、ロサンゼルス、ニュージャージーの3か所の垂直農園を運営。メロンやトマトなどの栽培にも取り組む予定。
- 当初イチゴ8～11粒入りのパックを50ドルで販売していたが、スケール拡大に伴い20ドルに値下げ（2022年6月時点）。Whole Foods Marketなどの食品スーパーで販売中。

**【管理項目】**

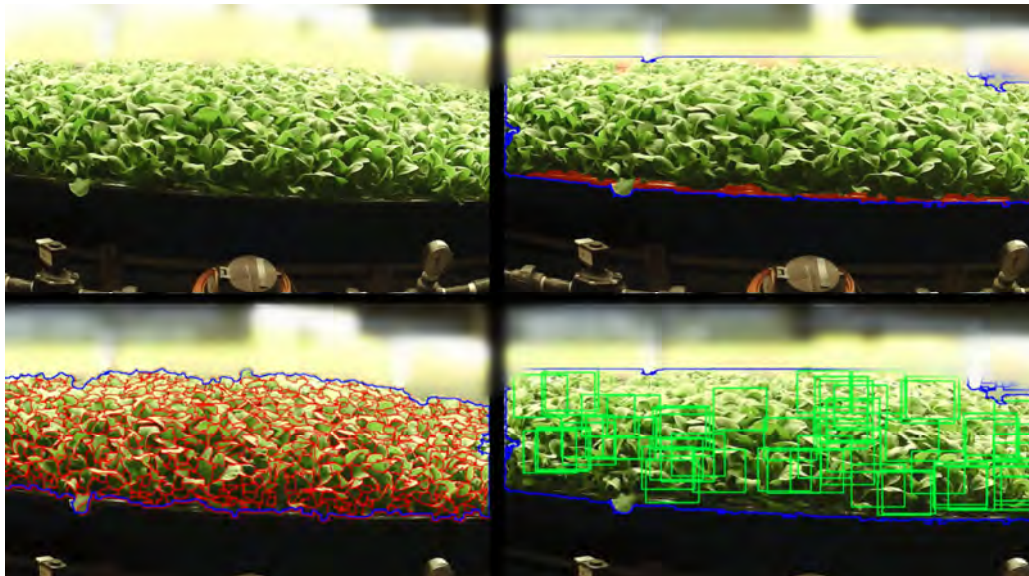
- 工場ごとにロボットが毎日数百万枚の写真を撮影し、成長状況などのデータを分析
- 温度、湿度、CO<sub>2</sub>、風速、光を計測し、日本のいちごの品種栽培に適した環境を再現

a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (2) 事例

**垂直農業型植物工場：Aero Farms (米国)**

- AeroFarmsは、高度なカスタム照明アレイ、自動栄養供給システム、空調管理システム等を導入した独自の植物工場システムを構築。ニューヨーク州イサカ、ニュージャージー州ニューアークに続き、バージニア州ダンビルに150,000平方フィートの新しい農場を設置予定。研究開発 (R+D) ファームも設置。
- Nokia Bell Labs との提携により、AIを用いて葉のサイズ、茎の長さ、色、曲率、斑点、裂け目など、植物に関する膨大な情報を収集、解析して、農業サプライチェーンの課題解決に向けた実証を実施 (2021/8/5)。

**AeroFarms と Nokia の提携による  
次世代の AI 対応プラント ビジョン テクノロジー**



**植物工場の効率等**

収量	約390倍増加
水使用量	約95%減少 露地栽培との比較
培地	葉物野菜の種まき、発芽、生育、収穫のための特許取得済みの生育布培地を開発
農薬	不使用 殺虫剤、除草剤、殺菌剤を一切使用しない

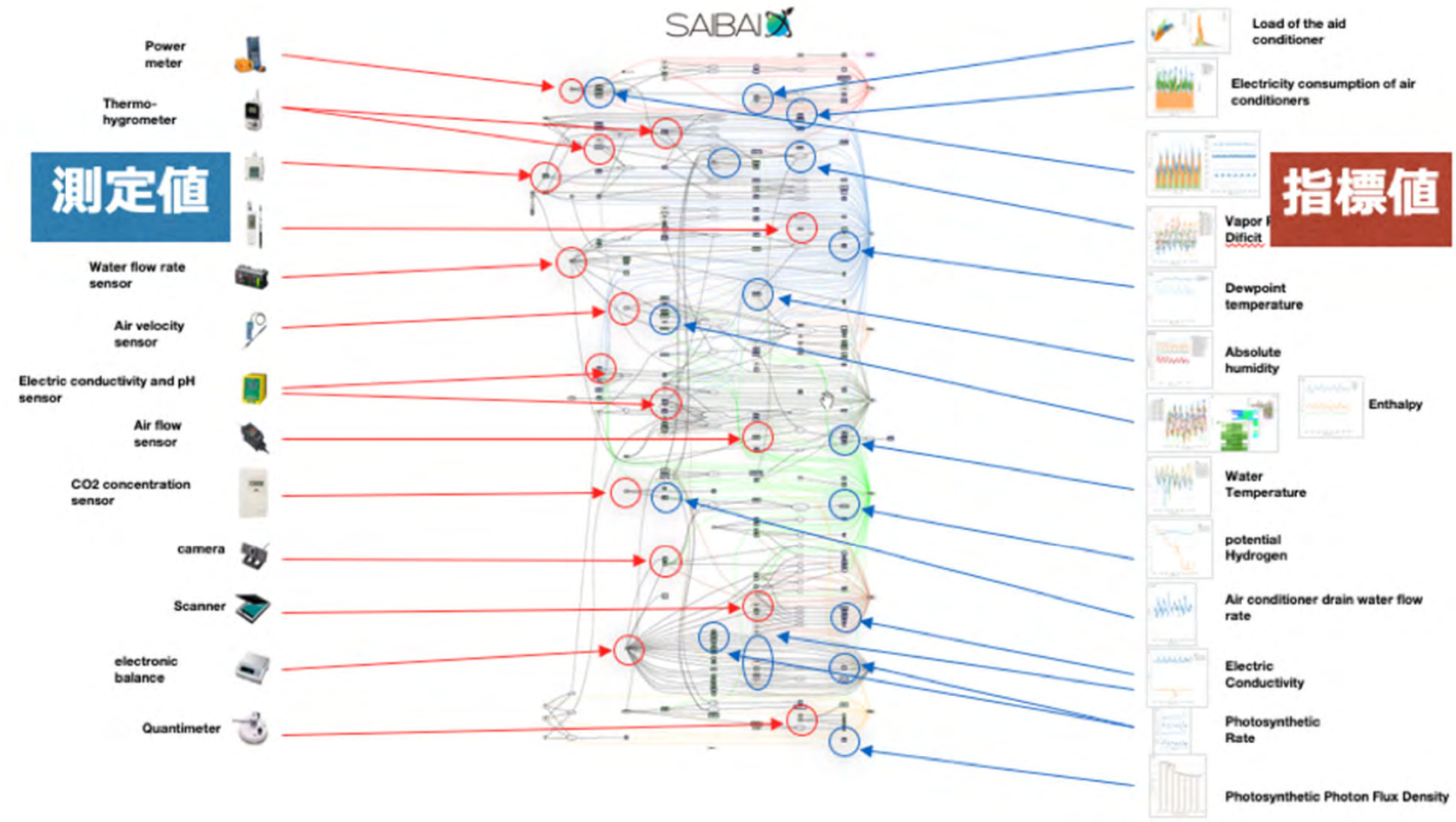
出典:Aero Farm WEBサイト <https://www.aerofarms.com/about-us/>



### a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (2) 事例 完全閉鎖型の植物工場：PLANTEX (日本)

- PLANTEXでは棚ごと密閉された完全閉鎖型の植物工場を世界で初めて実現。
- 装置全体を断熱材で密閉することによって、光・空気・水の環境が装置ごとに完全独立していることに加え、LED照明、養液循環装置、エアコン、加湿器など、植物の栽培に必要な各種制御機器が内蔵されており、緻密な環境条件の制御が可能。

#### 成長管理に用いるパラメーターの測定値と指標値の連鎖



出典:PLANTEX WEBサイト  
<https://www.plantx.co.jp/software/>



## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

## 自動化率70%の植物工場：スプレッド Techno Farm（日本）

- 京都で植物工場を運営するスプレッドでは『Techno Farm™』として、植物生産システムを構築。
- 植物工場内の運搬、環境制御等の自動化により、栽培工程の約70%を自動化。
- シリーズAラウンドで総額40億円の資金調達を実現。新規技術や商品の開発投資等に充当予定。

## 生産自動化システム



## 将来展望



## 植物工場の効率等

栽培工程	約70%自動化 テクノファームけいはんなでの実績
省人化	約50% 従来型植物工場とテクノファームけいはんなの比較
水資源リサイクル	約90% テクノファームけいはんなにおける、栽培に使用する水の再利用の実績

出典：スプレッド WEBサイト  
<https://spread.co.jp/business>

- 「テクノファームけいはんな」における生産量は3トン/日（葉菜類）
- 「テクノファーム袋井」における生産量は10トン/日の予定（葉菜類）

出典：スプレッド ニュースリリース [https://spread.co.jp/news-release\\_20220802/](https://spread.co.jp/news-release_20220802/)  
[https://spread.co.jp/news-release\\_20220802/](https://spread.co.jp/news-release_20220802/)  
 出典：大塚商会 <https://project.nikkeibp.co.jp/onestep/coolproduct/00016/>  
 出典：Foovo <https://foodtech-japan.com/2022/08/06/spread>

## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

**アクアポニックス型垂直農業：FARM66（香港）**

- 生鮮食品自給率が低い香港において、地域内での生産を行うことを目的に設立されたスタートアップ企業。
- 「多層垂直栽培（MVP）構造」、「無土壌水耕栽培（SHF）技術」、「屋内アクアポニックス農業エコシステム（IAFE）」、「エネルギー効率の高いLED波長栽培」、「クラウドベース農業パラメータ（CFP）モニタリング」などの特許を所有。

**生産管理システム**

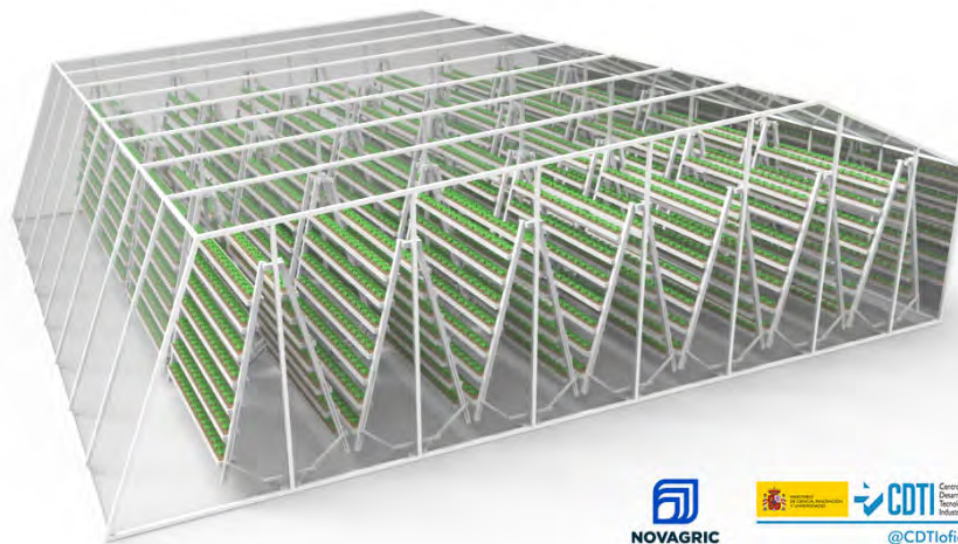
- 約2000平方メートルの屋内農場の管理にIoTセンサーやロボットを使用
- 月間生産量は7トン（野菜）

## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

## 都市部での垂直農法による省エネ生産の研究開発：NOVAGRIC（スペイン）

- スペインの施設園芸企業「NOVAGRIC社」が、都市近郊でCO<sub>2</sub>排出を大幅に削減した食料生産モデル実現に向けた垂直農法を研究中（2020年～22年）。
- 人工照明を使用せず、日射の配分を効率化し、植物に均一に光を届ける施設設計等を、スペインのCDTI（産業技術開発センター）と科学技術庁の助成によるプロジェクトとして研究中。

## 垂直農法施設のイメージ



- 植物への日射の取り込みと配分を最適化する建築的解決策
- 利用可能な容積を最大限に活用する高さの新しい構造設計
- インテリジェントな光と水の管理戦略
- 環境光条件によって形成されるモバイルラックのデザイン
- エネルギー消費を抑えた工場内のマイクロローカライズされた気候制御システムの設計
- 通常のリーフやミニリーフ以外の新しい垂直農法作物用の新しいラックシステムの設計

出典:NOVAGRIC WEBサイト  
‘Vertical Sunning’ R&D Project developed by NOVAGRIC  
<https://www.novagric.com/es/blog/noticias/vertical-sunning-nuevo-proyecto-i-d-para-la-produccion-de-alimentos-en-vertical-sin-iluminacion-artificial-en-zonas-urbanas>

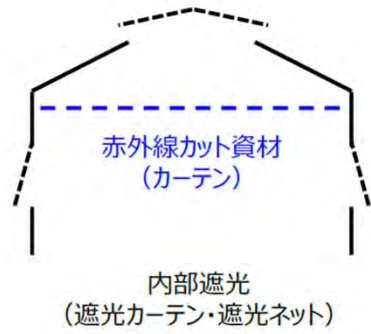
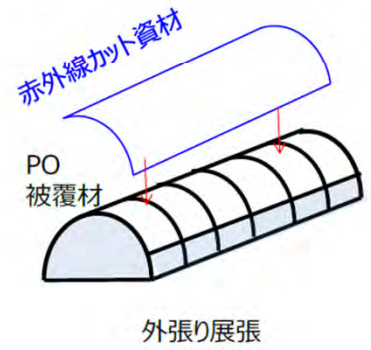
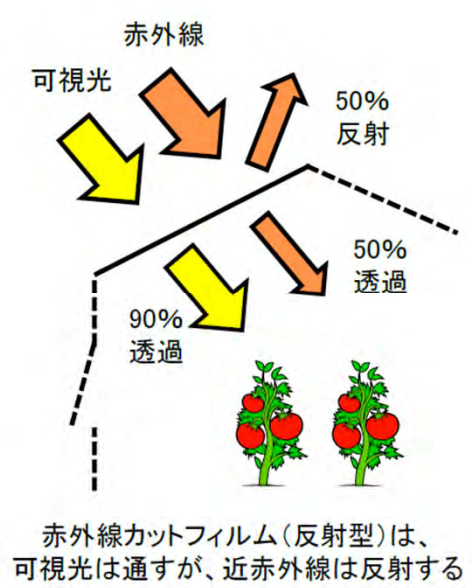


a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (2) 事例

## 高性能被覆資材とHPを用いた夏場の冷房負荷軽減：帝人、千葉大学（日本）

- 千葉大学の研究グループが開発した赤外線カットフィルムとヒートポンプ（HP）の組合せにより、温室での冷房負荷の軽減を実現。
- 研究に加わった大手繊維メーカー帝人のフィルム技術（現在は特許は東洋紡に移動）により、数百nmの薄いフィルムを約300層に重ねており、耐久性やハンドリング、柔らかさ等から、農業用では国際的にも優位性が高い。

### 赤外線カット資材の特徴と使用法



- 赤外線カットフィルムは、従来の吸収型とは異なり、赤外線の約50%をカットし、高温期の昇温を抑制。
- 光合成有効放射は約90%透過するため、従来の遮光資材（約50～60%）に比べて光合成が促進。
- 農業では他産業と比較して資材の使用面積が少ないため、効率的な生産が見込めず、フィルムは製品化されていない。

出典:千葉大学大学院園芸学研究科・園芸学部 後藤英司教授 ヒアリング資料

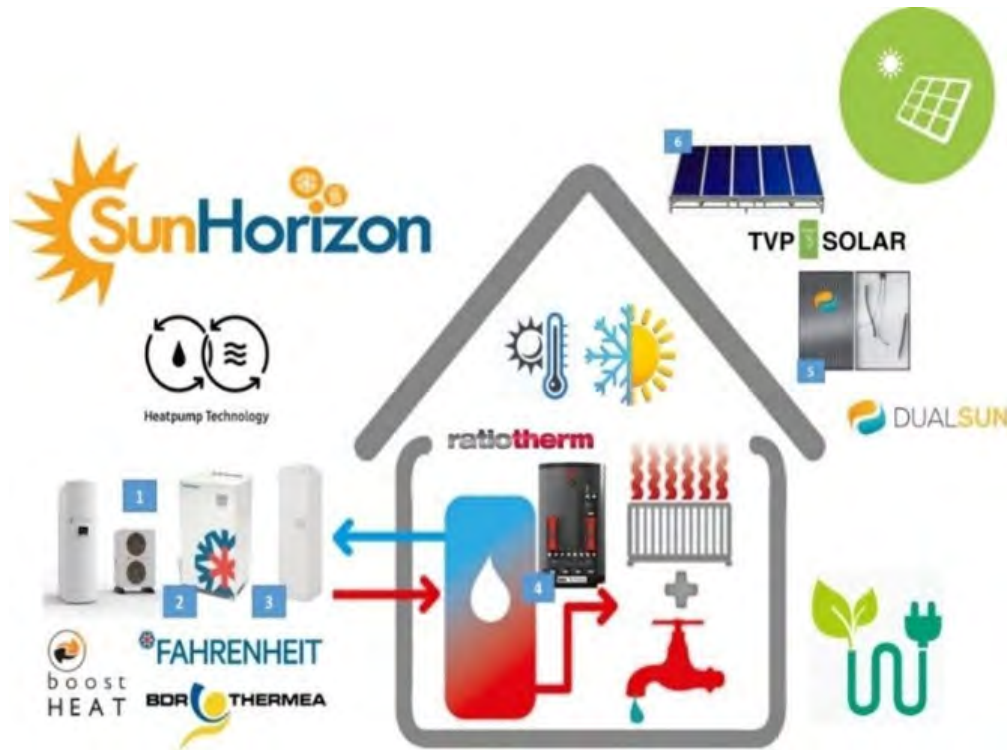


## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

## 太陽光発電とヒートポンプによる冷暖房技術：「RINA CONSULTING SPA等（イタリア）」

- イタリアのエネルギー関連企業「RINA CONSULTING SPA」を代表に、HORIZON2020として、太陽光発電とヒートポンプを組み合わせた冷暖房技術に関する研究開発プロジェクト「SunHorizon」が進行中（2018～2023年）。
- ヒートポンプと太陽光を適切に連携・管理し、エネルギーコストや化石燃料使用量を低減。

## 研究プロジェクトの構造イメージ図



- 最適化された設計と商業的な革新的太陽光技術とヒートポンプの組合せに基づく、使いやすく費用対効果の高いソリューションの可能性を引き出すことが目的。EUの気候（ドイツ、スペイン、ベルギー、ラトビア）と建物の種類（小規模、大規模の住宅と3次産業ビル）に合わせて、4種類の太陽光発電システムを開発し、実証中。
- 実証の一環としてクラウドベースの機能監視プラットフォームを導入。太陽光利用の最大化に向けた管理の最適化や、メーカーに対して部品の設計強化のための情報を提供。
- 全体の予算額は11,604,927ユーロ、うちEU予算は8,999,815ユーロ。

出典:SunHorizon WEBサイト <https://sunhorizon-project.eu/technologies/>

## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

## 植物工場の研究推進グループの設立：ワーヘニンゲン大（オランダ）

- オランダのワーヘニンゲン大では食糧生産の増大に向け、光合成効率高等研究所（IASPE）の設置に向けた調整を進めている（2022年3月発表）。
- 10年以内に食用作物の光合成効率を2倍にする目標を掲げ、立上げに際して6,200万ユーロを民間企業や大学が拠出。

## 光合成研究のイメージ



- 今後数年内にIASPEは、30人の博士課程研究者と60人のポスドクを排出する予定。
- 資金提供者である民間企業等（Egbert van der Pol、Menno Witteveen、Maarten Koopman）は、研究の科学的独立性担保のために、設立後は金銭的利害関係は無し。
- 資金は、民間企業 € 5,000 万、ワーヘニンゲン大 € 1,200 万（主に人件費の負担と実験室の利用費用の割引で捻出）を拠出予定。

出典:ワーヘニンゲン大 WEBサイト  
<https://www.wur.nl/en/newsarticle/over-60-million-euros-for-research-on-more-efficient-photosynthesis.htm>



### a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

## 蓄電池やマネジメントシステムを用いた植物工場稼働の研究：電力中央研究所（日本）

- 電力中央研究所では、連携機関と植物工場野菜の付加価値や採算性の向上に関する研究を60年以上実施。
- 2022年現在、植物工場向け生育維持システムの基礎技術開発と植物工場用エネルギーマネジメントシステムを開発中。

### 「植物工場向けDR・生育維持システムの基礎技術開発（期間2021～22年度）」



- NEDOからの委託事業。
- 宮古島に再生可能エネルギーで稼働する植物工場を設置し、植物工場内の環境変化や植物への影響についての基礎データを取得・評価。蓄電池を活用した低電力運転時の環境制御や停電時のLED微弱光照射など植物工場側での対策技術を開発中。

### 植物工場用エネルギーマネジメントシステム



緑QD

緑LED



赤QD

赤LED

- 電力系統の需給バランスの維持に貢献するため、野菜の成長への影響を最小化しながら植物工場内の空調・照明等の稼働、負荷を調整する植物工場用エネルギーマネジメントシステムを開発。
- 需給調整力をもった小規模植物工場の離島モデルを構築予定。

出典：電力中央研究所 WEBサイト 電気新聞 テクノロジー&トレンド「食の脱炭素」へ 電中研の挑戦  
[https://urldefense.com/v3/\\_\\_\\_https://www.denkishimbun.com/sp/212657\\_\\_!!GCTRfqYYOYGmgK\\_z!4ikDGQqNhA1LYdPhfbpEnpwRi3d3XaH676oGmmqzbNPZfS4hdYxYsJmKYcJKJDSb-ZqgdFDjimBhXIeX\\_zxU7Rpk-2t0-o7O-Y\\$](https://urldefense.com/v3/___https://www.denkishimbun.com/sp/212657__!!GCTRfqYYOYGmgK_z!4ikDGQqNhA1LYdPhfbpEnpwRi3d3XaH676oGmmqzbNPZfS4hdYxYsJmKYcJKJDSb-ZqgdFDjimBhXIeX_zxU7Rpk-2t0-o7O-Y$)

a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (2) 事例

ワーヘニンゲン大のクライメートニュートラルな温室栽培に関する研究群 (1)

- オランダでは温室栽培業界と政府間協定に基づき、セクターのCO<sub>2</sub>排出枠を6.2Mトンから4.6Mトンに低減。ワーヘニンゲン大では新たな排出枠内での生産量維持・拡大に向け、エネルギー削減に資する研究を複数実施。特に光の効率性に関する研究が多い。
- いずれのプロジェクトもオランダ政府の農業・自然・食品安全省が予算を拠出。

プロジェクト名	概要	期間
夏季の温室効果ガスの回収	夏季の熱を帯水層に蓄えることで、温室を温めるためのガス使用量を削減する研究	20/11/1~22/12/31
脱化石燃料・サステナブルデモ温室2021	4種の作物を栽培する化石燃料を使用しない、約350m <sup>2</sup> の温室において、化石燃料を使用しない温室システムの総合テストを実施する研究	21/1/1~22/12/31
アルストロメリアにとっての最適な光スペクトルの開発	最高の収量と葉の品質の維持・向上を実現するための最適なLED光のスペクトルを明らかにするための研究	19/1/1~22/12/31
キュウリにとっての最適な光スペクトルの開発	LED照明の導入を促進するために、キュウリに最適な光スペクトルを開発し、LED照明が養分吸収と作物の健康に及ぼす影響を調査する研究	20/5/1~22/12/31
緑色光が成長と生産に与える影響	遠赤色光や緑色光など、他の色の光を利用することで、作物の形態や光の利用、同化作用の分布を変化させ、自然光やランプ光の利用を向上させる研究	21/1/1~22/12/31
アンズリウム栽培におけるエネルギー効率向上に向けた研究	温室でのアンズリウム栽培において、ヒートポンプやCO <sub>2</sub> の注入を改善し、効率化することでGHG削減につなげるための研究	20/11/1~22/12/31



a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (2) 事例

ワーヘニンゲン大のクライメートニュートラルな温室栽培に関する研究群 (2)

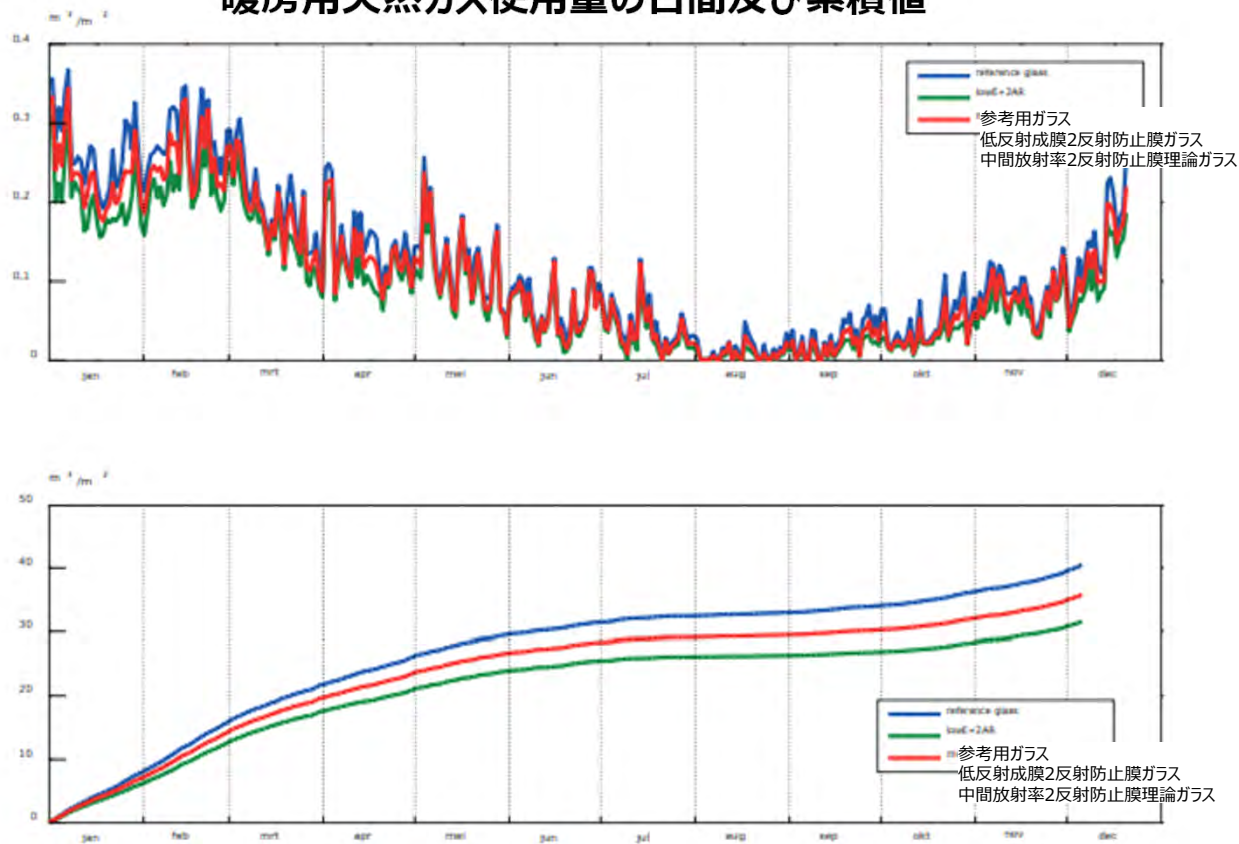
プロジェクト名	概要	期間
アンズリウム栽培で最適な光スペクトラム	温室でのアンズリウム（ポタンズリウム）栽培において、LED照明のスペクトラム構成を改善する研究	21/1/1~22/12/31
昼光型温室の再設計 - エネルギー生成型スクリーン	世界のあらゆる気候地域の太陽光を、作物が必要とする量、スペクトル、幾何学的分布に変換し、栄養、収量、おいしさを実現するための素材の研究	19/1/1~22/12/31
LEDによる温室キュウリの間引き栽培：栽培の改善方法について	LED照明を用いて栽培するキュウリについて、さまざまなパラメータに影響を与えることで、栽培が大幅に改善されるかどうかを検証する研究	20/9/1~22/12/31
拡張するKaskieswijzer	温室の新築やガラス交換の際に日光利用を決定するためのツールKaskieswijzerを拡張し、省エネへの変換等を検証する研究	20/1/1~22/12/31
サステナブルに育てられるパーフェクトローズ	LED照明でバラを生産することでGHG排出量を削減するための研究	21/1/1~22/12/31
ストレスの管理：どのような場合に役に立つか	植物にとって光量や温度の状況を与えるストレスが必ずしも悪影響を与えない可能性を検証し、換気量を減少してCO <sub>2</sub> 削減につなげるための研究	21/1/1~22/12/31

a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (2) 事例

温室栽培におけるエネルギー損失の少ない施設づくりに向けた研究:ワーヘニンゲン大 (オランダ)

- ワーヘニンゲン大では高い断熱性と同時に断熱性も確保する温室を開発。温室の素材に活用するガラスやコーティングの改善により、2021年時点でエネルギー消費量を17%削減することに成功。
- 2021年からは実用化に向けて、ガラスの低放射率と半透過率の実現に向けた研究が進められ、従来技術の温室と新たに開発中の技術を用いた温室でそれぞれトマト栽培を行い、効果を検証中。

省エネスクリーン未使用時のシミュレーションにおける  
暖房用天然ガス使用量の日間及び累積値



- 温室内の温度を維持するために、光透過性と断熱性の両立を目指した研究。反射防止と放射防止の2つの機能を1つのコーティングにまとめ、省エネルギーを実現。
- 2つの機能を合わせる際には透明導電性酸化物 (TOC) を用いている。
- 省エネスクリーンの1枚、2枚の有無に関わらず、低放射成膜2反射防止膜ガラスで最大の省エネ効果が得られ、次いで中間放射率2反射防止膜理論ガラス、参考用の基準2反射防止膜ガラスという結果。寒冷期にはこの差が拡大。
- オランダ政府の農業・自然・食品安全省が予算を拠出。

出典:ワーヘニンゲン大 "With Low Emission to High Transmission" に一部追記

## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

帯水層での蓄熱を活用した温室栽培CO<sub>2</sub>ゼロエミ実現にむけた研究:ワーヘニンゲン大（オランダ）

- ワーヘニンゲン大の、夏に集熱器で集めた太陽熱を帯水層に蓄える研究。
- 冬場の加温にはヒートポンプを組み込む仕組みを研究しており、帯水層を20～30℃程度に高めておくことで、通常の地下水の温度（9～13℃）から加温するよりエネルギー消費効率が高い。

## 集熱器の外観



出典:ワーヘニンゲン大「Warmtepomp niet te missen bij kas zonder gas」  
<https://edepot.wur.nl/533216>

- オランダ国内のチューリップの球根を生産する施設で実施した実証では、日射量や気温条件が整った年は、帯水層に40℃を超える熱を蓄えることができ、熱は球根の乾燥と貯蔵に活用。
- 球根段階から、チューリップの育成段階でも帯水層の蓄熱を利用するためにはさらに多くの水、温度を確保する必要があり、改善に向けた研究が進行中。
- 効率的なヒートポンプの活用方法も研究されており、チューリップが倒伏する時期だけ除湿や換気をする仕組みも検討されている。
- オランダ政府の農業・自然・食品安全省が予算を拠出。



## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

## 韓国地下高速道路から熱回収し、温室の加温に用いる研究：ケネソー州立大（米国）

- 温室栽培の運用コスト削減やGHG排出削減に向け、米国の研究グループが韓国の地下高速道路インターチェンジ（IC）やジャンクション（JCT）に近接する温室で実証し、新たな地熱エネルギー供給モデルを開発（2020年）。
- 実証では地中熱利用ヒートポンプシステムを温室に設置し、効率評価や他の燃料燃焼システムとの比較を行い、結果として高い利益を出し、投資に見合う可能性を示唆。

## 地中熱ヒートポンプシステムのテスト施設



(a)

(b)

(c)

(a) テストベッド（床面積：90 m<sup>2</sup>）敷地内の航空写真，(b) 室内空調ユニット，(c) 空気と水の分配管。

- 9つの高速道路ルート上の24のICとJCTで複数のシナリオでシミュレーションを行い、供給モデルのスケールアップによる有益性を検討。
- 投資回収期間は、AC/ボイラーシステムと比較して2年未満と算出。
- 韓国の京畿道にある1棟のビニールトンネル温室で実証。この形式は韓国で最も一般的な構造で、暖房にはディーゼルボイラー、冷房には電気式ACユニットを使用。

出典:Youngguk Seo, Un-Jong Seo,  
Ground source heat pump (GSHP) systems for horticulture greenhouses  
adjacent to highway interchanges: A case study in South Korea,  
Renewable and Sustainable Energy Reviews,  
Volume 135,2021,110194,ISSN 1364-0321,  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110194>.

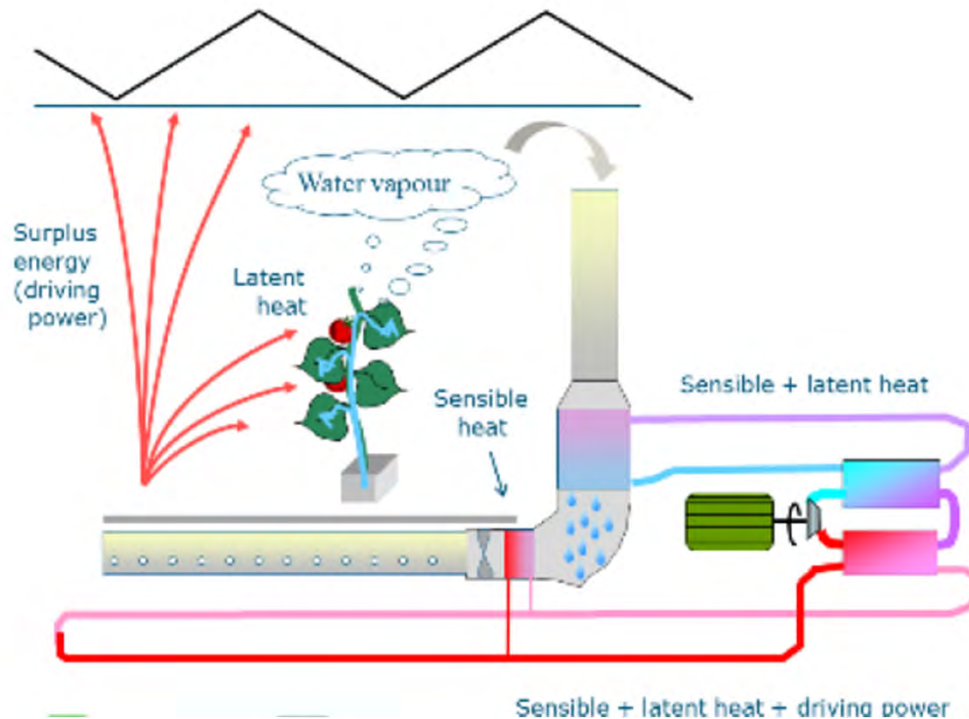


## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（2）事例

## 施設園芸の脱化石燃料コンサルティングサービス：デルフィー（オランダ）

- 施設園芸に関するコンサルティングを世界中で展開しているオランダのデルフィー社では、本部のあるオランダに研究施設（インブループメントセンター）があり、近接するワーヘニンゲン大学やオランダ政府と、化石燃料を使用しないトマトや菊の周年栽培研究を体系的に実施。
- 脱炭素燃料化に向けたステップとして、①投入エネルギー量の削減で無駄を徹底的に減らす、②持続可能な資源からのエネルギー供給への切替え、③どうしても補えない分を化石燃料で補う、という流れを提言。

## ヒートポンプを利用した積極的な除湿方法



出典：NPO植物工場研究会 丸尾達氏 ヒアリング資料

- 冬の光量を補うために、従来の高圧ナトリウムランプではなく緑や青のLEDに切り替えることで、光の効率を2倍に向上。
- 投入エネルギーやCO<sub>2</sub>の効率的な活用のため、ハウスの気密性向上スクリーンを設置。
- 気密性が高くなる分、除湿が課題。湿気をヒートポンプの熱交換器で冷却し、水に変え、更に温水にすることで暖房に使用。除湿に必要な化石エネルギーの90%削減に成功。

## a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (2) 事例

**HORIZON EUROPEにおける関連研究公募テーマ：EU**

- 2022年度のHORIZON EUROPEの枠組として公募されたプログラムのうち、クラスター6「食、バイオエコノミー、自然資源、農業と環境」では、予算総額が10億6345万ユーロ。

**研究プログラムと予算の例**

プログラムパッケージタイトル	2022年度予算（億ユーロ）
HORIZON-CL6-2021-BIODIV-02：地球上の生命を守るために生物多様性を救うヨーロッパのパートナーシップ	0.2
HORIZON-CL6-2022-BIODIV-01：生物多様性と生態系サービス	0.95
HORIZON-CL6-2022-BIODIV-02-twostage：極限環境の探索 バイオベースイノベーションのための分子レベルでの新しい適応戦略	0.46
HORIZON-CL6-2022-FARM2FORK-01：一次生産から消費に至るまで、公正で健康的、かつ環境に優しいフードシステム	1.64
HORIZON-CL6-2022-FARM2FORK-02- two-stage：一次生産から消費に至るまで、公正で健康的、かつ環境に優しいフードシステム	0.665
HORIZON-CL6-2022-CIRCBIO-01：持続可能なバイオベースシステムとバイオエコノミーの革新	0.66
HORIZON-CL6-2022-CIRCBIO-02-twostage：持続可能なバイオベースシステムとバイオエコノミーの革新	0.76
HORIZON-CL6-2022- ZEROPOLLUTION-01：クリーンな環境とゼロエミッション	0.51

a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (2) 事例

ロボティクス人工気象室：農研機構（日本）

- 農研機構は栽培環境を精密に制御する人工気象室機能を持つと同時に、作物の環境応答を精密に解析できるロボティクス人工気象室を構築。
- スーパーコンピューター「紫峰」と連動し、作物の栽培環境データ及び画像等の形質データをAI解析することにより、様々な環境における作物の性能（収穫時期、収量、品質等）を精密に推定することで、適切な栽培方法や育種に関する情報を収集。

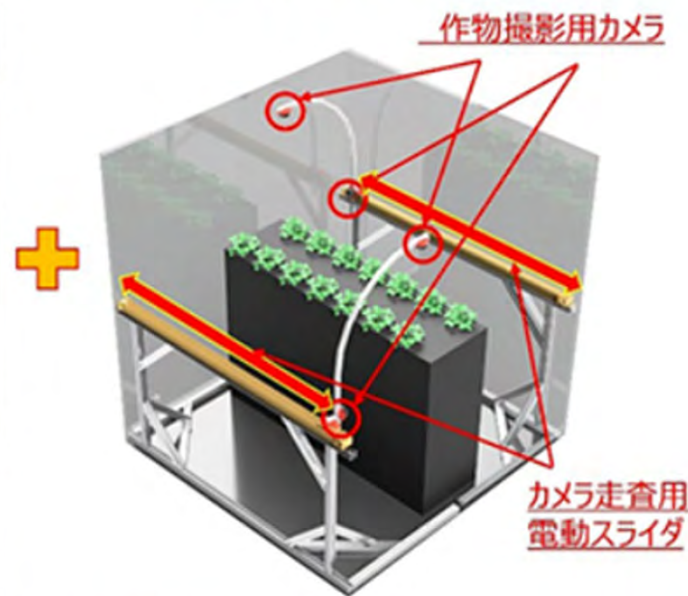
様々な環境条件を再現・実現する  
「栽培環境エミュレータ」



主な特徴

- ・ 様々な環境を再現
- ・ 計測装置を格納できるウォークイン型

作物形質を連続的に計測する  
「ロボット計測装置」



主な特徴

- ・ 複数個体を複数カメラで計測
- ・ 人工気象室を開閉せずに連続的に形質を測定

出典：農研機構 プレスリリース資料

[https://www.naro.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/rcait/154498.html](https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/rcait/154498.html)



a. 温室効果ガス削減 4. 農山漁村における再エネの導入

地域の特徴を生かしたエネルギー創出と活用モデルの確立：シンエナジー（日本）

- 地域分散型エネルギー社会に向け、地域固有の自然資源を再生可能エネルギーとして利用し、域外へのエネルギーコスト流出低減を目指す、エネルギー管理やエンジニアリング事業を行う企業「シンエナジー」では、日本各地でバイオマス、地熱、風力、水力等を掛け合わせたエネルギー創出・活用プロジェクトを実施、支援。
- 規模拡大に向けては、地域で生産したエネルギーを外部に出すグリッド接続の制限が課題の一つ。

シンエナジーのエネルギー活用構想イメージ



出典:シンエナジー株式会社ヒアリング資料



a. 温室効果ガス削減 4. 農山漁村の再エネの導入

宮崎県串間市におけるバイオマス循環圏：シンエナジー（日本）

- シンエナジー社が主導した宮崎県串間市におけるバイオマス循環圏の確立を目指した大生黒潮発電所では、地域の林業活性化や脱炭素化にも効果。
- 発電所の効率を向上させるため、ペレット工場を併設し、発電で生じた熱を工場稼働に利用するとともに、地域の市民病院や温浴施設で利用。
- 年間計約1,070トン程度のCO<sub>2</sub>排出削減効果。さらに発電所で生じるチャーは、肥料として畑に散布し活用。

宮崎県串間市のバイオマス循環圏



2023年には副産物のチャーと畜産業で生じりたい肥等を組み合わせ、有機資材をつくる工場も建設予定。

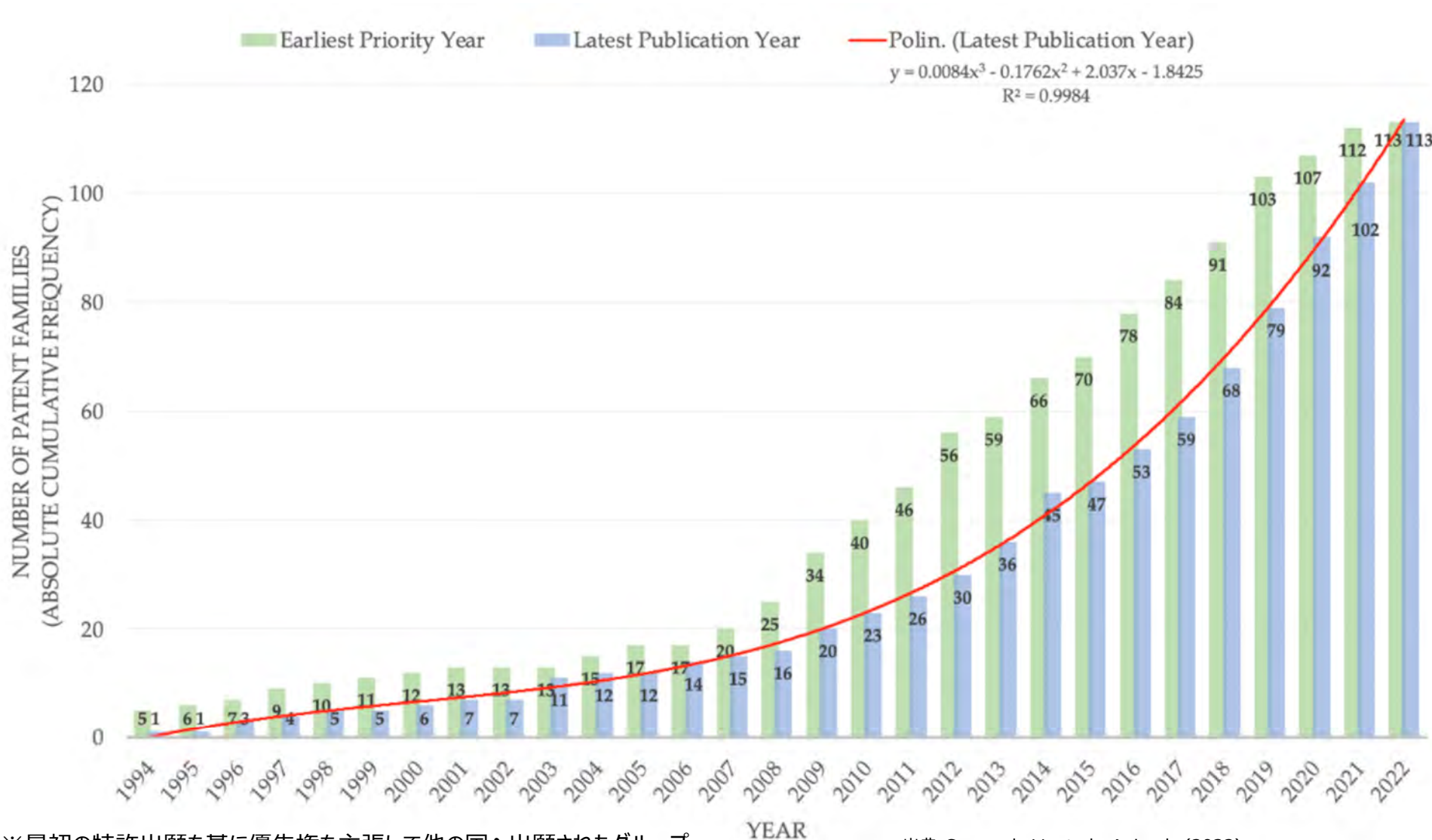
出典:シンエナジー株式会社ヒアリング資料

a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (1) 技術概要

畜産における飼料添加物特許出願数

- メタン削減に効果的な飼料添加物の特許ファミリー数※は、2008年以降急速に拡大。

メタン削減に効果的な飼料添加物の特許ファミリー数 (1994年-2022年)



※最初の特許出願を基に優先権を主張して他の国へ出願されたグループ

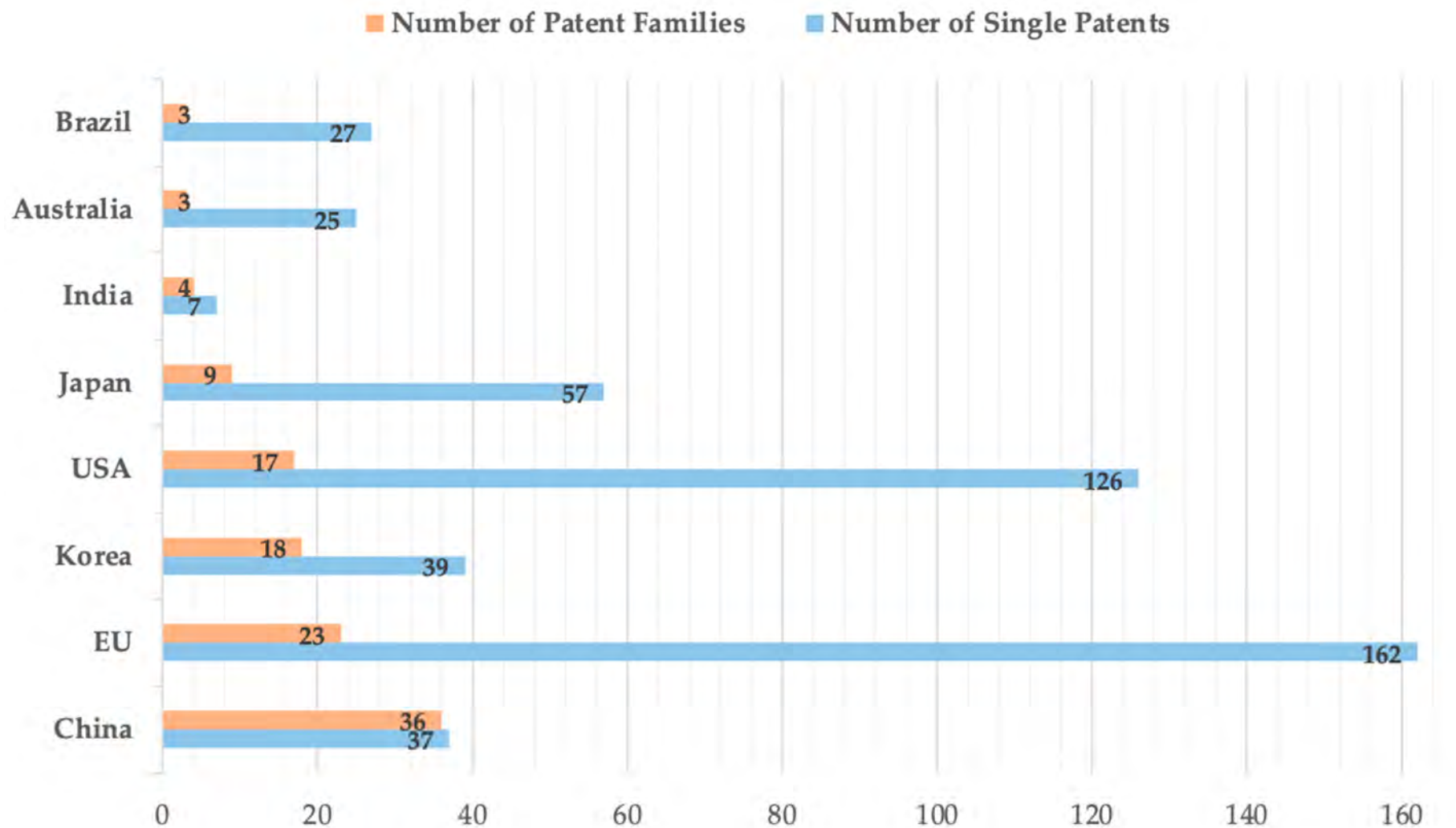
出典:Caprarulo V, et al., Animals (2022)  
出典:MDPI <https://www.mdpi.com/2076-2615/12/20/2760>

a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (1) 技術概要

## 国別の畜産における飼料添加物特許出願数

- パテントファミリー数上位4か国が発明の83% を所有 (中国、EU、韓国、米国) 。次いで日本は5位。

### メタン削減に効果的な特許ファミリーの平均経過年数とファミリーごとの平均特許数



出典: Caprarulo V, et al., Animals (2022)

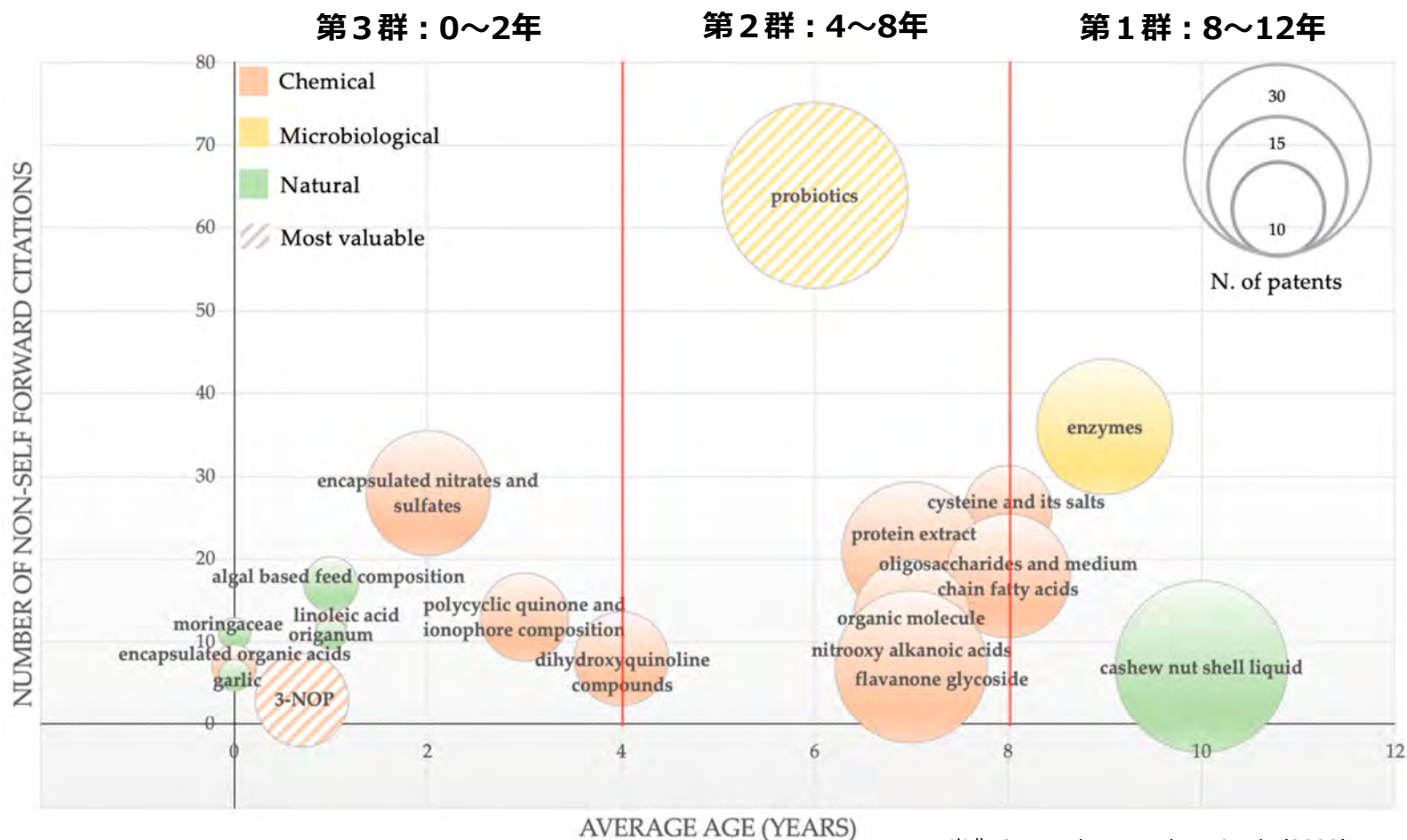
出典: MDPI <https://www.mdpi.com/2076-2615/12/20/2760>

a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (1) 技術概要

畜産における飼料添加物：主な技術群

- 第1群は、酵素、カシューナッツの殻等を原料とした技術。
- 第2群は、プロバイオティクスに関する技術が突出。多くの引用回数と特許数あり。
- 第3群は、藻類、植物エキス、3-NOP等を原料とした技術。今後の技術発展の大きな可能性が期待。

メタン削減に関する技術分類、特許取得数、特許取得期間の特徴



出典:Caprarulo V, et al., Animals (2022)

出典:MDPI <https://www.mdpi.com/2076-2615/12/20/2760>

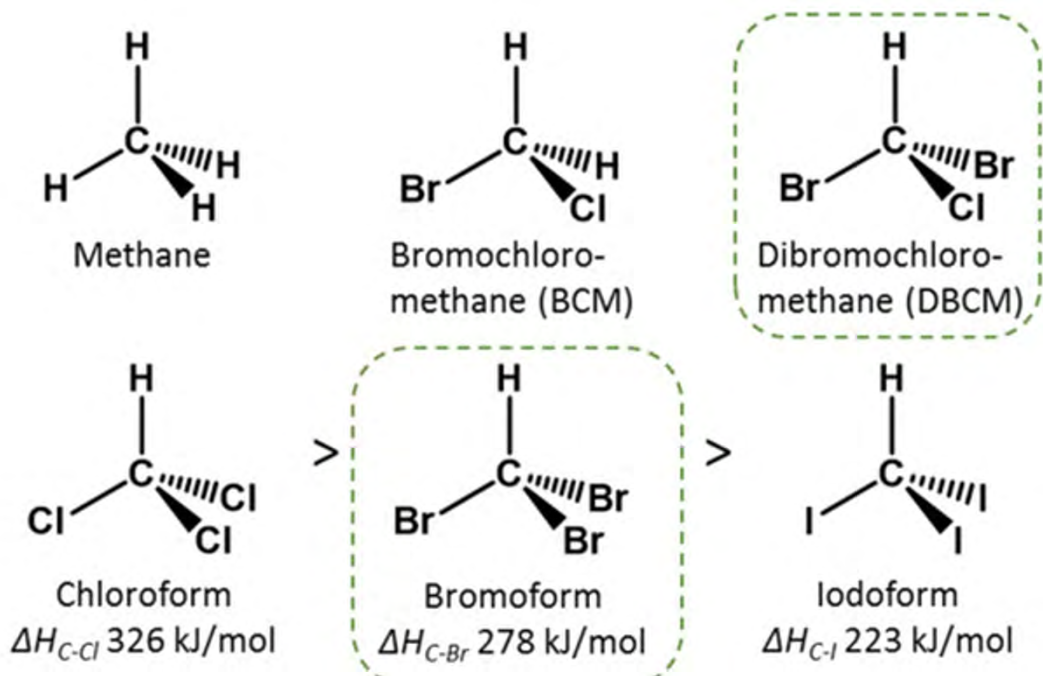


a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (1) 技術概要

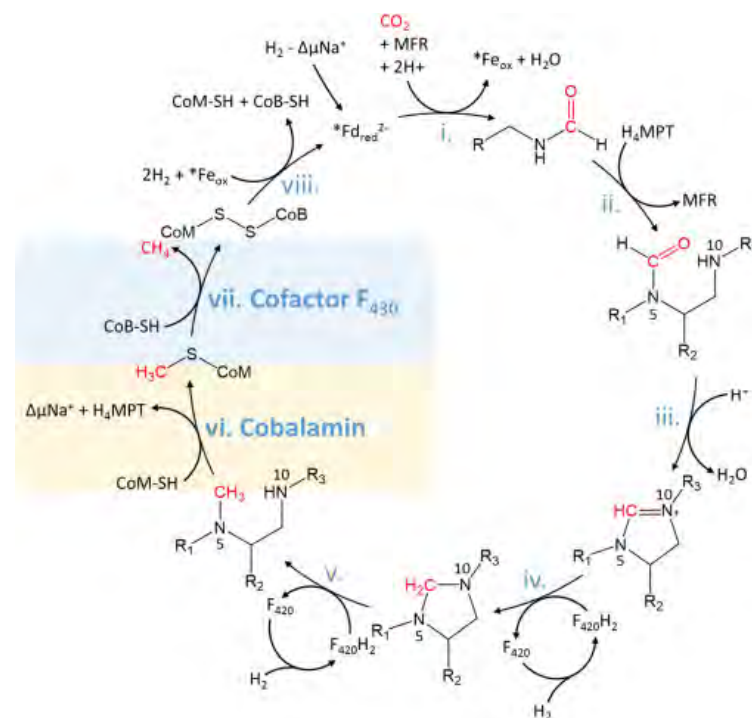
**紅海藻 (*Asparagopsis*) のメタン削減成分**

- Christopherらは、*Asparagopsis*のハロゲン化メタン類似体(HMA)がメタン削減効果に関連しており、メタン生成に  
関与する重要なステップを阻害することを実証。
- ブロモホルムとジブロモクロロメタンは*Asparagopsis*に含まれるが、ブロモホルムはジブロモクロロメタンよりも桁違いに  
豊富に含まれており、他のHMAと比較して同等の抗メタン生成活性がある。
- ブロモホルムの大気中での存続期間が短い(24日)ため、ジブロモクロロメタンと比較してオゾン層への影響は低い。

***Asparagopsis*に含まれるハロゲン化メタン類似体(HMA)成分**



**メタン生成古細菌におけるウルフ回路**



出典:Glasson, Christopher RK, et al., Algal Research(2022)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211926422000443>

a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (1) 技術概要

事例一覧：1/2

飼料添加物の技術群と関連する取組比較

飼料添加物 技術群	実施団体・研究者	概要	メタン削減技術・原料	実験方法	削減率
第3群	CH4 Global (米国)	カギケリ属 <i>Asparagopsis</i> を原料とした飼料添加物の販売	<i>Asparagopsis armata/taxiformis</i>	飼料添加 0.5%	最大90%
第3群	California Sea Grant(米国)	反芻家畜からのメタンガス発生を抑制する藻類の同定と培養	<i>Asparagopsis armata/taxiformis</i>	飼料添加 1~2%	最大90%
第3群	Breanna M. Roque 他	紅海藻 ( <i>Asparagopsis taxiformis</i> ) のメタン削減効果	<i>Asparagopsis taxiformis</i>	飼料添加 0.25%、 0.5%	80%以上
第3群	SeaSolutions Project(欧州)	海藻を原料とした飼料添加物によるメタン抑制	<i>Asparagopsis armata</i>	飼料添加	11-20%
第3群	京都大学 (日本)	畜産でのメタン削減に向けた取組	脂肪酸カルシウム 製剤 + シリカゲル	in vitro 飼料添加	50% 15-18%
第3群	EU	メタン削減効果のある飼料添加剤を承認	3 - NOP	飼料添加 54~61mg	20-35%
第3群	Adham A Al- Sagheer 他 Yanza 他 Thiwakorn Ampapon 他	植物由来の低減素材	グアバ、 インディアンミント、 ランブータン	in vitro	25-30%

a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (1) 技術概要

事例一覧：2/2

飼料添加物 技術群	実施団体・研究者	概要	メタン削減技術・ 原料	実験方法	削減率
第2群	Bezoar社 (米国)	「 <i>Paenibacillus fortis</i> 」と硝酸塩を 組み合わせた飼料添加物	<i>Paenibacillus fortis</i> + 硝酸塩	飼料添加	最大50%
第2群	北海道大学 (日本)	反芻動物によるメタン排出削減技術 メタン生成に関連するルーメン菌群の 解明	<i>Prevotella</i>	in vitro	—
第2群	北海道大学 (日本)	反芻動物によるメタン排出削減技術 ムーンショットプロジェクト	<i>Prevotella</i>	—	80% 削減目標
第1群	北海道大学 (日本)	反芻動物によるメタン排出削減技術 メタン低減素材の選定	カシューナッツ	飼料添加	20-30%

## a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術（2）事例

**HORIZON EUROPEにおける関連研究公募テーマ：EU**

- 2022年度のHORIZON EUROPEの枠組として公募されたプログラムのうち、畜産に関する予算は1,200万ユーロ。

## 研究プログラムと予算の例

プログラムパッケージタイトル	2022年度予算（万ユーロ）
HORIZON-CL6-2021-CLIMATE-01-06:気候変動下におけるレジリエントな畜産システム	1,200



## a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

カギケリ属 *Asparagopsis* を原料とした飼料添加物の販売 : CH4 Global社 (米国)

- 米国スタートアップCH4 Global社は、*Asparagopsis armata/taxformis*を原料とした飼料添加物の商用販売・供給を発表 (2022年6月15日)。
- 2022年8月25日には、ニュージーランドに*Asparagopsis*飼料添加物の大規模な商業生産を可能とする養殖場を含めた統合施設の建設を発表 (オーストラリアでは2022年に建設を開始)。

## エコパークのイメージ

An artist's impression of the building housing the CH4 Global EcoPark



- *Asparagopsis armata*は、オーストラリア・ニュージーランド原産の海藻で、オーストラリア・ニュージーランドの気候に適応した冷水品種。*Asparagopsis taxformis*は、オーストラリアでも育つ温水種。
- 牛1頭あたり 50~100g/日の使用を推奨。
- 海藻に含まれるブロモホルム(CHBr3)は、消化中に廃棄物としてメタンガスを生成する腸内微生物の酵素を破壊。メタン排出を最大90%削減。

DCVC Bioより資金調達 (2021年10月6日)  
1,300 万米ドル

出典:CH4 Global WEBサイト  
<https://www.ch4global.com/resources>

## a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術（2）事例

### 反芻家畜からのメタンガス発生を抑制する藻類の同定と培養：California Sea Grant（米国）

- カリフォルニア州では、2030年までにGHG排出量40%削減を目標とする「カリフォルニア地球温暖化解決策法」を2006年に制定。
- 20種の在来海藻を牛の飼料に加えた場合の総ガス発生量と消化率への影響を調査。

#### カギケリ



- カギケリの成長とメタンを減少させる化学物質であるプロモホルムの生産を最適化する条件を抽出、2つの有望な海藻種を絞り込み。
- *Asparagopsis armata*は西部地中海沿岸の在来海藻で乳牛に、*Asparagopsis taxiformis*はカリフォルニア州の在来海藻で肉牛に適した種。
- 飼料添加量1～2%で、メタン発生最大90%低減が可能。
- カリフォルニア海洋保護協議会及び米国海洋大気庁がCalifornia Sea Grantとして予算額を拠出。

研究期間：2019年7月1日～2021年10月31日

出典:California Sea Grant WEBサイト  
<https://caseagrants.ucsd.edu/news/gassy-cows-are-warming-planet-and-scientists-are-turning-sea-answers>

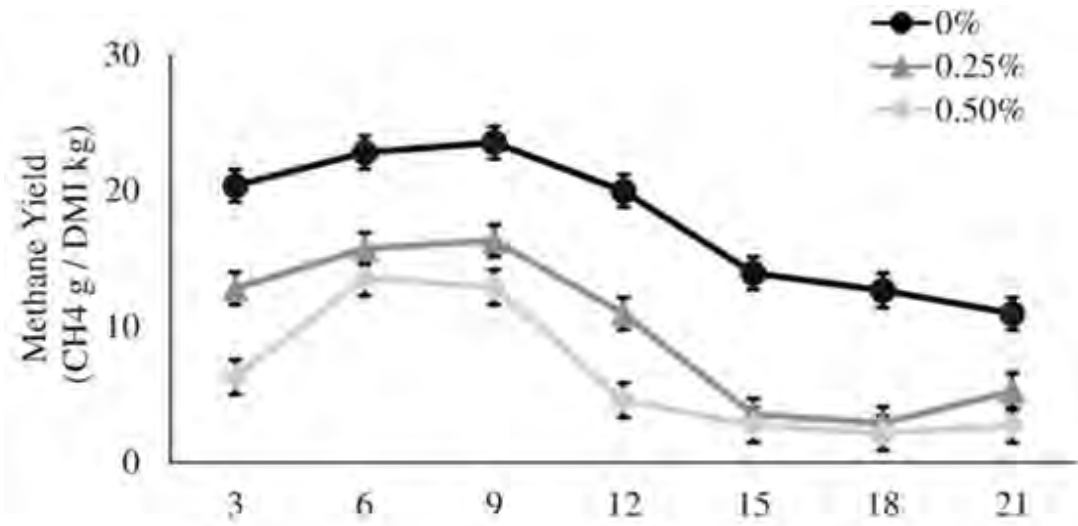
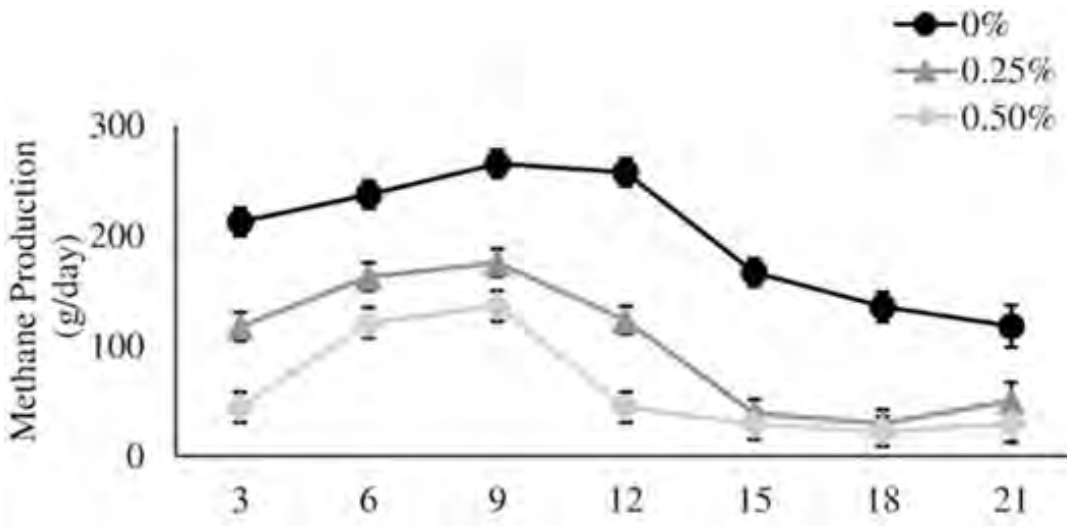
a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

**紅海藻 (*Asparagopsis taxiformis*) のメタン削減効果 : 米国**

- Breannaらは、*Asparagopsis taxiformis*を基本混合飼料の 0%、0.25%、0.5% で添加した肉牛のメタン生成量を測定。*Asparagopsis taxiformis* を飼料に配合することで、典型的な肥育スタイルの牛の腸内メタン産生が80%以上減少することを実証 (2021年3月17日)。

肉牛のメタン生成量  
[g CH<sub>4</sub>/日]

肉牛のメタン収量  
[g CH<sub>4</sub>/kg DMI (乾物摂取量)]



出典:Breanna M. Roque, et al., PLOS ONE (2021)  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0247820>

## a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

**海藻を原料とした飼料添加物によるメタン抑制 : SeaSolutions Project (欧州)**

- アイルランド、英国、ドイツ、スウェーデン、ノルウェー、カナダにある10の研究機関等で構成されたコンソーシアム。
- *Asparagopsis taxiformis*はヨーロッパで養殖できないため、*Asparagopsis armata*の有効性を検証。
- *Asparagopsis armata*を利用した飼料添加物の給餌により、11~20%のメタン低減効果があると試算。

**海藻成分のスクリーニング検査**

- 欧州の沿岸環境に豊富に存在する海藻を持続的に収穫。  
可能な場合は養殖によって成長した海藻を使用。

資金支援 :

アイルランド農業食糧海洋省 (DAFM)助成金 (2019年)  
300,844 ユーロ (約4272万円)

2022年3月現在、助成金事業継続中

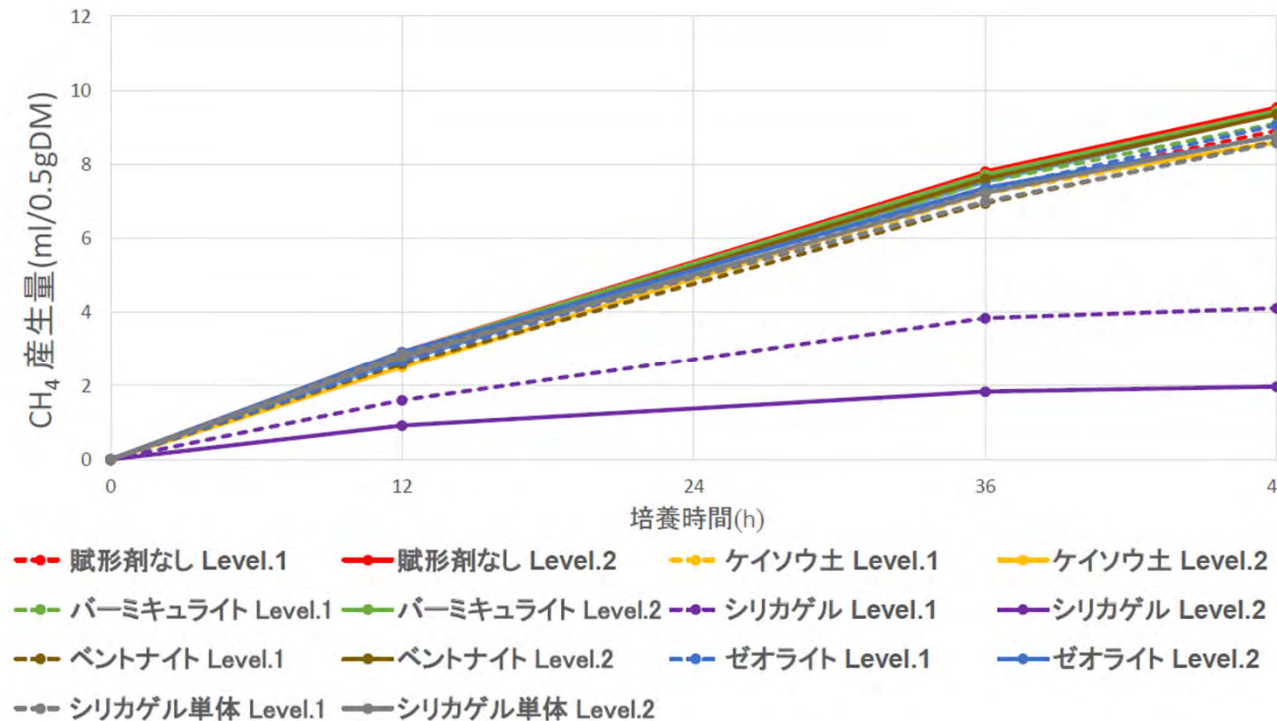
出典:seasolutions WEBサイト  
<https://seasolutions.ie/sustainability/>



## a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例 畜産でのメタン削減に向けた取組：京都大学 (日本)

- 京都大学では、肉牛に対して、賦形剤（シリカゲル）を添加して脂肪酸のモル比を高めたアマニ油脂肪酸カルシウム製剤を補給することでメタン生成を低減させる研究を実施。
- in vitro試験（第一胃を模した条件で試験管内にて培養）では、50%ほどの低減効果。
- 肥育牛を対象とした飼養試験では、飼料摂取量を低下させることはなく、15～18%の低減効果。

### in vitro試験でのメタン産生量への効果 (ml/0.5gDM)



試験区	製剤添加レベル*	製剤添加量(mg)	脂肪酸量(mg)	賦形剤量(mg)	脂肪酸/Ca
賦形剤なし	1	10.0	7.6	0	2.1
	2	20.0	15.2	0	
ケイソウ土	1	19.5	7.6	9.7	2.8
	2	39.0	15.2	19.5	
パーミキュライト	1	19.5	7.6	9.7	2.8
	2	39.0	15.2	19.5	
シリカゲル	1	13.4	7.6	3.7	2.8
	2	26.8	15.2	7.3	
ベントナイト	1	28.9	7.6	19.3	2.8
	2	57.8	15.2	38.6	
ゼオライト	1	28.9	7.6	19.3	2.8
	2	57.8	15.2	38.6	
シリカゲル単体**	1	3.7	-	3.7	-
	2	7.3	-	7.3	

\*賦形剤なしの試験区と同等量のアマニ油脂肪酸を添加 1, 10.0mg; 2, 20.0mg  
 \*\*シリカゲル区と同等量のシリカゲルを添加 1, 3.7mg; 2, 7.3mg

出典:2022年10月24日(月) 京都大学大学院農学研究科 熊谷元准教授 ヒアリング資料  
 以下の原著論文の5ページTABLE3を改編して引用  
 Animal Science Journal 2022; 93:e13707

a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

**EUに承認された飼料添加剤：3-NOP (3-Nitrooxypropanol)**

- EUは、3-NOPを利用した飼料添加剤を2022年2月の欧州委員会で承認。
- 乳牛において、3-NOPの添加は、乳脂肪量、乳タンパク質量の差異及び遺伝毒性はなく、一定の使用条件下で、腸内メタン生成の抑制に有効である可能性があると結論。
- 3-NOPを利用した飼料添加物は、乳牛のメタン排出量を20～35%削減すると推定。

**長期研究におけるメタン排出量に対する  
3-NOP 飼料添加剤の効果**

Study	mg 3-NOP/kg TMR DM intake	g CH <sub>4</sub> /day	g CH <sub>4</sub> /kg DM intake	g CH <sub>4</sub> /kg EC milk	g H <sub>2</sub> /day
1 WUR	0 (control)	423 (464)	22.4 (25.0)	17.1 (18.6)	ND
	54	332* (480)	17.7* (25.5)	12.9* (18.7)	ND
2 UK	0 (control)	449 (406)	20.3 (16.9)	12.3 (10.4)	2.6 (2.7)
	57	292* (400)	13.5* (16.7)	8.4* (10.1)	10.6* (2.4)
3 PSU	0 (control)	410 (369)	16.7 (15.0)	11.2 (10.0)	0.5 (0.5)
	61	308* (403)	12.1* (14.9)	8.2* (9.7)	2.6* (0.4)

**長期試験における乳組成に対する3-NOP 飼料添加剤の効果**

Study	mg 3-NOP/kg TMR DM intake	Milk fat (g/kg)	Milk protein (g/kg)	kg EC milk/kg DMI
1 WUR	0 (control)	43.2	35.7	1.30
	54	43.4	36.3*	1.36*
2 UK	0 (control)	41.7	32.8	1.59
	57	39.9*	33.4	1.53
3 PSU	0 (control)	38.3	31.0	1.49
	61	40.2*	31.5	1.47

<注釈>

TMR：混合飼料 DM：乾物

出典: esfa (European Food Safety Authority)  
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2021.6905>

## a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

## 植物由来のメタンガス低減素材：北海道大学 小林泰男特任教授 ヒアリング

- グアバ※1 (葉)、インディアンミント※2 (葉)、ランブータン※3 (果皮) 等の植物が畜産メタン低減に効果。
- 熱帯・亜熱帯地域で育つ植物が、病原菌の感染から守るために生成する抗菌性物質が有効成分。
- 飼料添加物として利用することで、25～30%のメタン低減効果。

※1グアバ (葉) : Al-Sagheer et al. Environ.Sci.Pollut.Res.Int. (2018)

※2インディアンミント : Yanza et al. Journal of Animal Science (2018)

※3ランブータン : Ampapon & Wanapat, Trop. Anim. Health Prod. (2019)

グアバ



インディアンミント



ランブータン



出典:2022年10月17日(月) 北海道大学 大学院 農学研究院 小林泰男特任教授 ヒアリング資料



## a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

### 「*Paenibacillus fortis*」と硝酸塩を組み合わせた飼料添加物：Bezoar社 (米国)

- Bezoar社 (ベゾアール社) は、2017年に研究開発会社として設立。
- 「*Paenibacillus fortis*」 (パエニバチルス・フォルティス) は牛のルーメンから分離し、亜硝酸塩還元能力を強化するために選定した脱窒性芽胞形成細菌で、特許出願中の牛用プロバイオティクス製品。
- 硝酸塩の組合せで、牛からのメタン排出50%減少、牛の亜硝酸中毒の防止、生産者のコスト削減を実現。

- 投与した硝酸塩のメタン低減能の向上、ルーメンの亜硝酸塩無毒化の促進等を確認。
- 2021年から2022年内に生産レベルのパイロット試験を実施し、飼料効率、罹患率、死亡率、肉の品質と量、マイクロバイオームの変化等のデータを取得予定。

資金支援：SBIR フェーズII  
通常で100万ドル以下 (2年間)

研究期間：2021年4月1日～2023年11月30日

出典：パエニバチルスコロニーの形態 -サイエンティオ、ベリタス (inscientioveritas.org)  
出典：IN SCIENTIO, VERITAS WEBサイト  
<https://www.inscientioveritas.org/paenibacillus-small/>

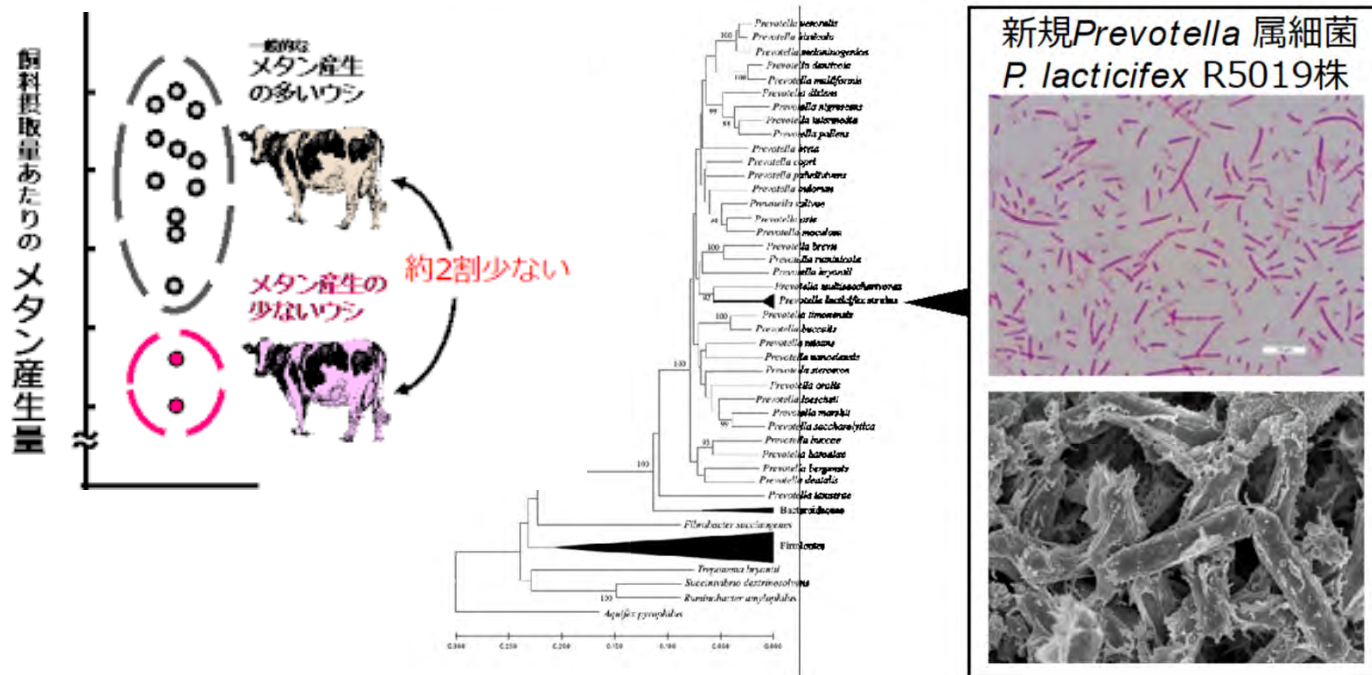


a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

反芻動物によるメタン排出削減技術 メタン生成に細菌の発見・システムの実現：農研機構等(日本)

- 農研機構ではメタン産生の少ない乳用牛の胃液から、プロピオン酸前駆物質を多く産生する特徴的な嫌気性細菌群(新規*Prevotella*)を発見。プロピオン酸産生が増加するとメタン産生が抑制されるため、新規*Prevotella*の活用により、牛のメタン産生を抑制できる可能性。

メタン産生抑制に関連する嫌気性細菌群



- 牛は胃に共生する微生物の作用により、飼料を分解、発酵し、その過程で生じるプロピオン酸などの短鎖脂肪酸を主要なエネルギー源として利用。
- 低メタン産生牛から分離され、新種として登録した*Prevotella lactificifex* はコハク酸、リンゴ酸、乳酸などのプロピオン酸前駆物質を多く産生する特徴を持つ一方、他の*Prevotella*属細菌よりも水素発生を伴う酢酸の産生は減少。

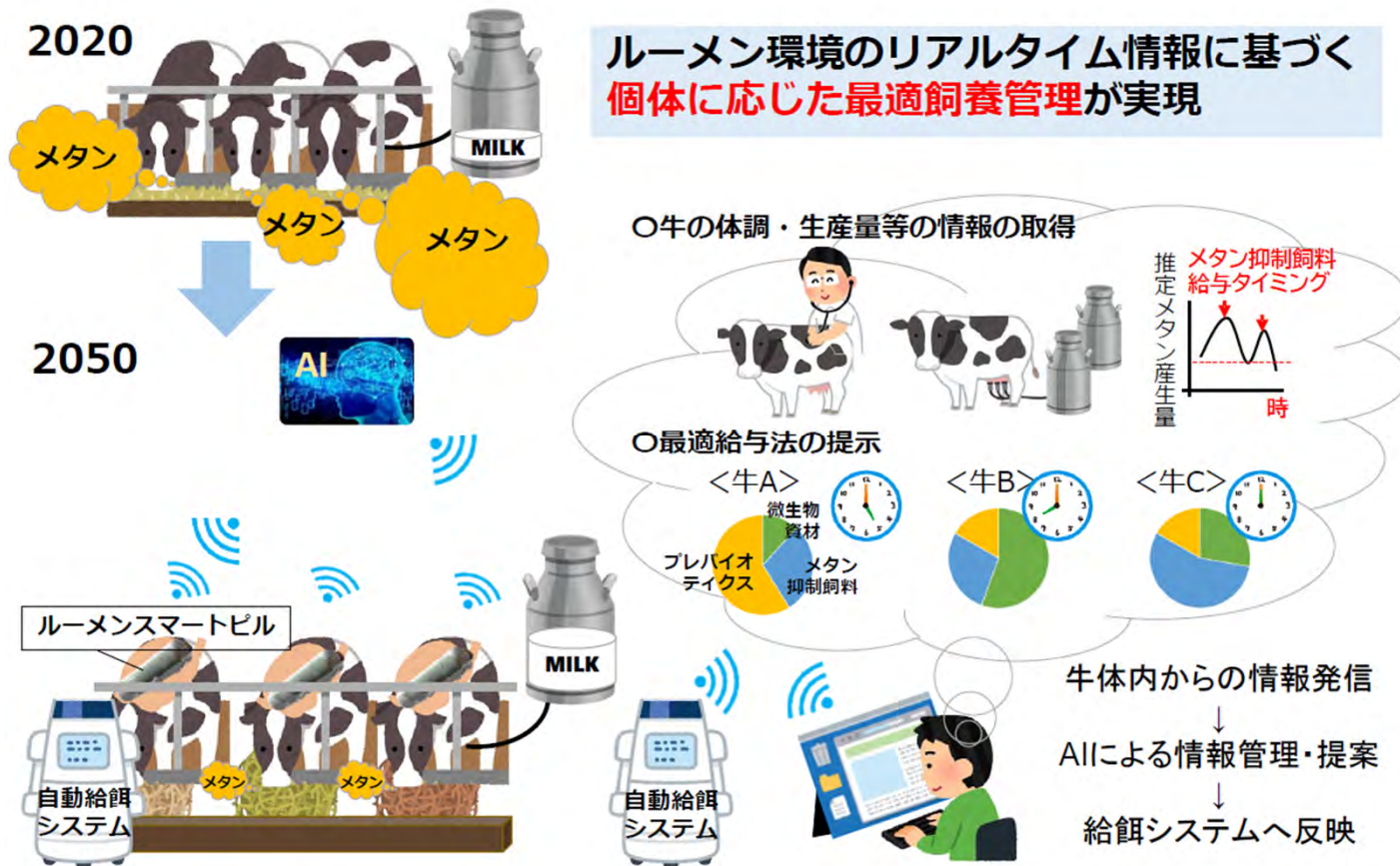
出典:農研機構資料  
[https://www.naro.go.jp/project/results/research\\_prize/files/prize2022\\_3.pdf](https://www.naro.go.jp/project/results/research_prize/files/prize2022_3.pdf)

a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

反芻動物によるメタン排出削減技術：北海道大学(日本)

- 北海道大学では、MS (ムーンショット) プロジェクトとして、ルーメンマイクロバイ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を研究中。

2050年に目標とする家畜生産の姿



- 牛の餌 (メタン抑制飼料、微生物資材、プレバイオティクス) の開発、低メタン牛の選抜、牛の体内のルーメンに電子機器を留置させ、発酵状況をモニタリングする機器の開発、メタン削減の最適給与法の提示・個別給与、生産農家設備 (自動給餌システム、畜舎) のイノベーションに関する研究を実施。
- メタンガス80%削減分の飼料エネルギーを乳生産に向けることで生産性の10%改善が目標。
- ルーメン環境のリアルタイム情報に基づく個体に応じた最適飼養管理が2050年目標。

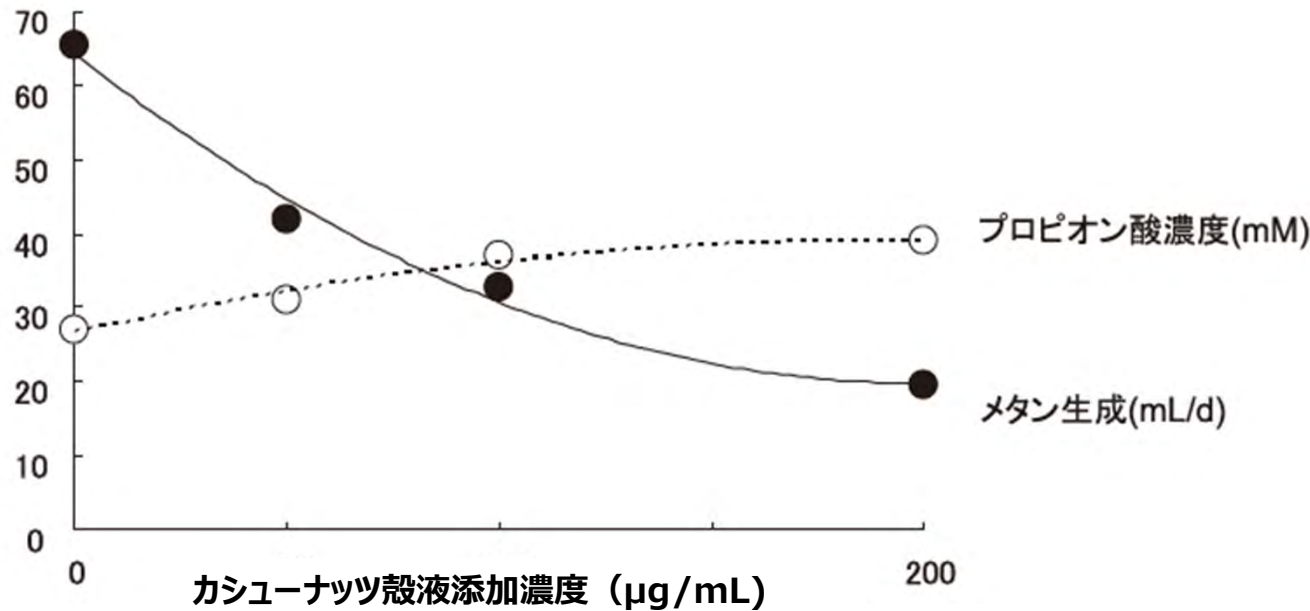
出典:2022年10月17日(月) 北海道大学 大学院 農学研究院 小林泰男特任教授 ヒアリング資料

a. 温室効果ガス削減 5. 牛のメタンガス削減技術 (2) 事例

反芻動物によるメタン排出削減技術 メタン低減素材の選定：北海道大学(日本)

- 北海道大学では、早期対応の取組としてメタン低減素材を選定。
- カシューナッツの副産物を使用したメタン低減飼料を2011年に商品化。メタン排出を20～30%削減(飼料添加)。

人工ルーメン内のメタン生成



商品化したメタン低減飼料



- 2006年から出光興産と共同開発を進め、カシューナッツ殻液に牛のげっぷを抑制する効果があることを発見。
- 2008年、日本畜産学会で発表。
- カシューナッツ生産大国であるベトナムでカシューナッツ殻液飼料の開発・製造を開始。

出典:2022年10月17日(月) 北海道大学 大学院 農学研究院 小林泰男特任教授ヒアリング資料  
出典:NIKKO COMPANY WEBサイト <https://www.table-source.jp/interview/idemitsu-rumi/>



a. 温室効果ガス削減 7. ブルーカーボン (1) 技術概要

EUにおける持続可能な海藻セクターに向けて：EU

- 欧州委員会は藻類に関連する多くのイニシアチブを設立。  
例：EU4Algae プロジェクト (藻類部門の利害関係者のヨーロッパ共同プラットフォームの作成)、Horizon 2020、Horizon Europe、Biocircular Europe Joint Undertaking、海藻投資等、欧州海事・漁業基金と欧州地域開発基金、ブルーエコノミーに関連するビジネス支援スキーム (ブルーインベスト、養殖支援メカニズム)。
- これらの活動をより推進していくために、欧州委員会は海藻の需要に対応するための行動指針を発表。23項目の行動を発表。(2022.11)

海藻及び海藻製品に対するヨーロッパの需要



EUの需要は2030年に90億ユーロに到達する可能性 (最大3,000%増加)



EUは海藻製品の世界有数の輸入国  
2016年5億5400万ユーロ



クロレラ市場は2025年まで CAGR6.4%で成長

スピルリナ市場は2025年まで CAGR8.7%で成長



ヨーロッパではビーガン、ベジタリアン人口が7,500万人  
高齢者人口が増加  
健康志向の消費者が増加

23項目の行動指針 (一部抜粋)

項目	概要
ガバナンス	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 海藻養殖に最適な場所を特定し、海洋空間管理計画に海藻養殖と海洋空間の多目的利用を含めるために、加盟国と協力</li> <li>● 2026 年末までに、欧州標準化委員会 (CEN) と共同で、成分試験等の標準手法を開発</li> </ul>
ビジネス環境の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2024 年末までに、魚の飼料を海藻ベースの飼料への置換促進を目的としたガイドラインを設定</li> <li>● 2025 年末までに、海藻がもたらす気候変動緩和の効果、ブルーカーボンの吸収源としての役割についての洞察を得ることを目的とした研究を実施</li> </ul>
イノベーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Horizon Europe やその他の EU 研究プログラムを通じて、バイオリファイナリー、精密発酵、無細胞システムなどの開発や、生産システムの開発を支援</li> </ul>
市場受容性	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2023 年から、EU4Ocean プラットフォーム、加盟国等と連携し、意識向上活動を促進</li> </ul>

出典: 欧州委員会 WEBサイト より仮訳  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0592&from=EN>



## a. 温室効果ガス削減 7. ブルーカーボン (2) 事例

**HORIZON EUROPEにおける関連研究公募テーマ：EU**

- 2022年度のHORIZON EUROPEの枠組として公募されたプログラムのうち、海洋炭素循環に関する予算は1,500万ユーロ。

## 研究プログラムと予算の例

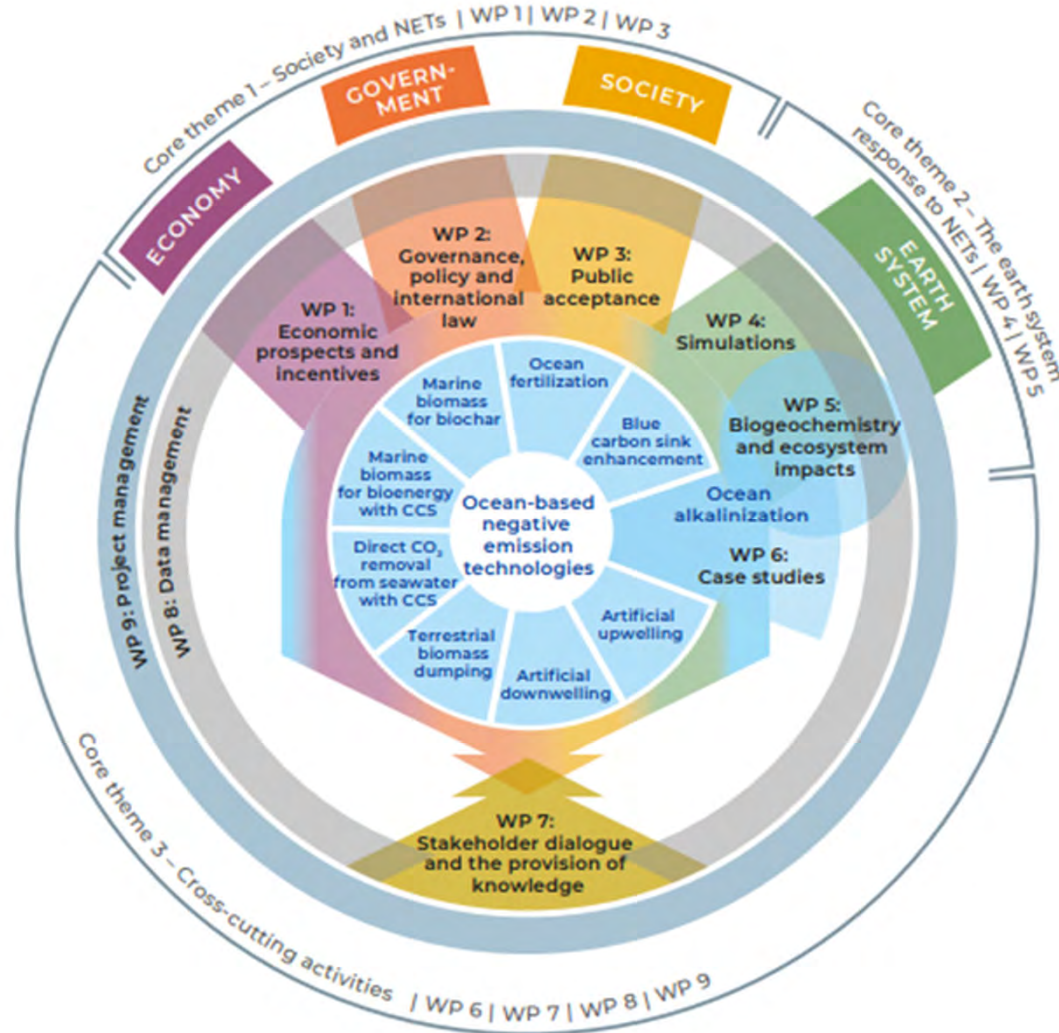
プログラムパッケージタイトル	2022年度予算（万ユーロ）
HORIZON-CL6-2022-CLIMATE-01-02：海洋炭素循環の理解	1,500

## a. 温室効果ガス削減 7. ブルーカーボン (2) 事例

## 海洋ベース・マイナス・エミッション技術 (NET) の実現可能性分析 : OceanNETs (欧州)

- OceanNETsは、欧州を中心とした大学、海洋研究所等14機関で構成されたコンソーシアム。
- 海洋を利用したCO<sub>2</sub>排出削減技術の大規模な展開が、パリ協定で定められた目標の現実的かつ効果的な達成、環境影響、リスク、便益、コスト効果、政治・社会の受容性に関して、最も可能性のある方法を特定し優先順位付けすることが目的。

## OceanNETの構成



- NETとしては、主に左図の中心（水色）にある9つの技術があるが、商用利用可能な技術はまだ存在しない。
- 9つの技術に関して、経済、政治、社会、地球環境の観点で、ワーキングペーパー（WP）を公開。

事業期間

2020年7月1日～2025年6月30日

HORIZON2020 助成金

7,310,895 ユーロ

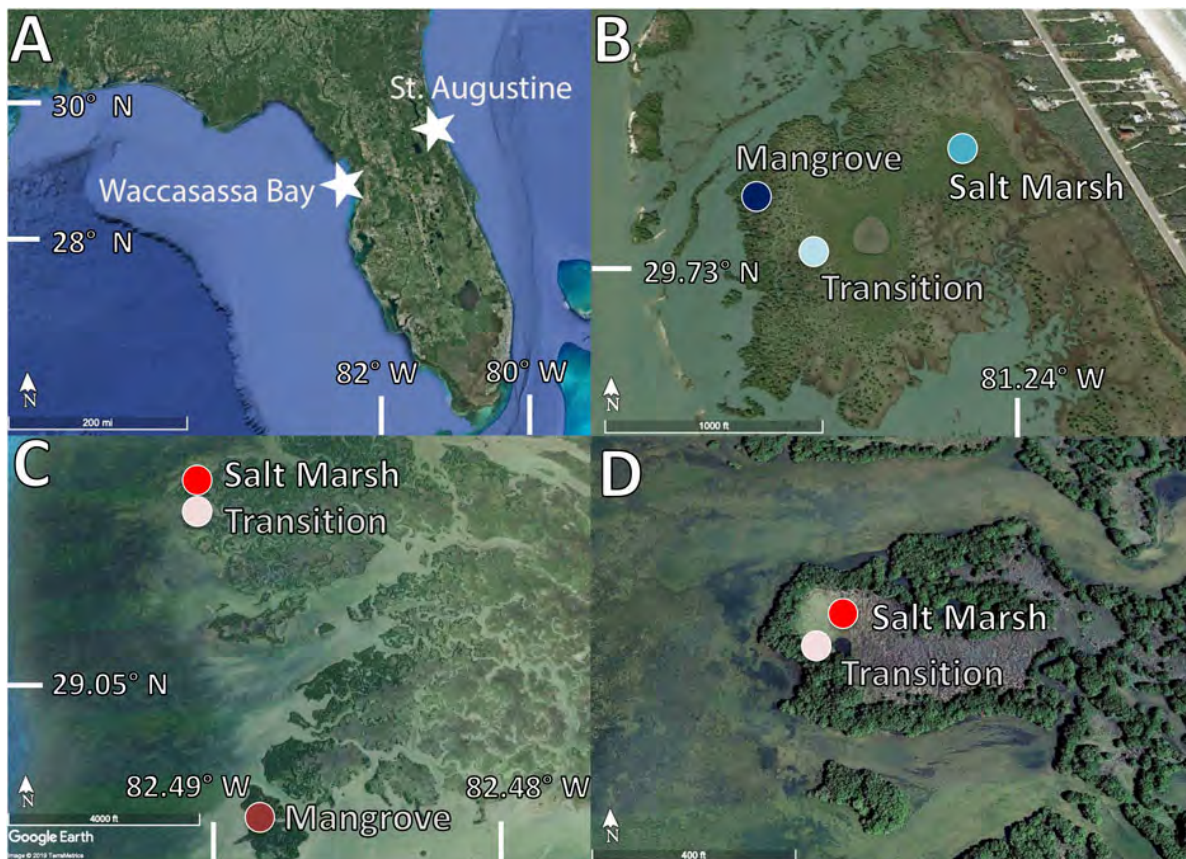
出典:Rita Erven, GEOMAR  
[https://www.oceannets.eu/contents/uploads/2022/10/OceanNETs\\_poster\\_withWPs\\_A0\\_221005web.pdf](https://www.oceannets.eu/contents/uploads/2022/10/OceanNETs_poster_withWPs_A0_221005web.pdf)

## a. 温室効果ガス削減 7. ブルーカーボン (2) 事例

### フロリダ州北部湿地帯におけるブルーカーボン土壌ストックの蓄積：フロリダ大学 (米国)

- マングローブや塩性湿地などのブルーカーボン生息地は、炭素埋没ホットスポットとして認識され、その量の推計方法を確立していくことが重要。
- フロリダ州北部の大西洋岸及びメキシコ湾岸の湿地帯におけるブルーカーボン蓄積量を分析、ブルーカーボンの生育地域における炭素蓄積量が深いケースがあるため、岩盤部分までの炭素蓄積評価が必要。

#### 調査フィールド



A : フロリダの地図  
 B : セント・オーガスティンのマングローブ植生帯(濃い赤)、塩性湿地植生帯 (中程度の赤)、遷移帯 (明るい青)  
 C : Waccasassa Bay のマングローブ植生帯 (濃い赤)、塩性湿地植生帯 (中程度の赤)  
 D : Waccasassa Bay の塩性湿地植生帯 (中程度の赤)、遷移帯 (薄い赤)

- 大西洋岸の湿地は、航行のための浚渫や土地利用開発のような侵食性の高い人為的活動が増加すると、最上部1メートル以下の炭素が露出する可能性大。
- 湿地でのボートの利用が増加すると、ボートの航跡によって、塩性湿地が砂の平坦地になり、乱されていない植生の塩性湿地と比較して著しく大きな浸食率に直面し、土壌露出の深度が増加。

資金支援：地質科学の寄付講座

出典:地球科学、2021年2月8日  
<https://doi.org/10.3389/feart.2021.552721>  
 出典:フロンティアメディアSA WEBサイト  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2021.552721/full>



a. 温室効果ガス削減 8. バイオ炭 (1) 技術概要

## バイオ炭の製造技術

- バイオ炭は、非晶質・芳香族物質であり、高い疎水性、アルカリ性、栄養塩保持能力、低い熱伝導性、高いエネルギー含有量、外部の有機・無機化合物と相互作用できる高い表面空隙率などの特性があるが、これらの特性は、原料の種類やバイオ炭の製造条件に大きく依存。

### バイオ炭製造技術と収量の特徴

製造技術	温度 (°C)	滞留時間(分)	圧力 (atm)	その他の条件	バイオ炭収量 (%)
①-1 低速熱分解	300-800	>60	1	No oxygen; Moisture content < 15-20%; Heating rate < 10 °C/min	30-55
①-2 高速熱分解	450-600	~0.02	1	No oxygen; Moisture content < 15-20%; Heating rate ≥ 200 °C/min	10-25
②ガス化	750-1000	0.2-0.4	1-3	Limited oxygen supply Moisture content 10-20%; Heating rate ~1000 °C/min	14-25
③乾留	200-300	15-60	1	No oxygen; Moisture content < 10%; Heating rate < 50 °C/min	70-80
④水熱炭化(HTC)	180-300	5-240	1-200	Moisture content 75-90%	50-80

出典: Bruno Garcia, et al., MDPI (2022)



a. 温室効果ガス削減 8. バイオ炭（2）事例

**HORIZON EUROPEにおける関連研究公募テーマ：EU**

- 2022年度のHORIZON EUROPEの枠組として公募されたプログラムのうち、土壌炭素に関する予算は2,300万ユーロ。

**研究プログラムと予算の例**

プログラムパッケージタイトル	2022年度予算（万ユーロ）
HORIZON-CL6-2021-CLIMATE-01-07：（農業）土壌炭素に関する国際研究コンソーシアム	300
HORIZON-CL6-2022-CLIMATE-01-03:気候変動に対応した農業の実証ネットワーク - アドバイザリーサービスの役割の強化	2,000

a. 温室効果ガス削減 8. バイオ炭 (2) 事例

## バイオ炭の分類 : International Biochar Initiative (IBI)

- バイオ炭の物理化学的特性 (①炭素貯蔵度、②P、K、S、Mgに基づく肥料適正度、③石灰含有度、④粒度) に基づきグレードを分類。
- 特性の1つである「炭素貯蔵度」では、少なくとも今後100年間土壌に残ると推定される有機炭素量 (sBC<sub>+100</sub> ; stock BioChar) によって、5つのグレードに分類。

### 炭素貯蔵度に関する5つのグレード

<b>Carbon storage classes</b>	5	$sBC_{+100} \geq 600g\ kg^{-1}$
	4	$500g\ kg^{-1} \leq sBC_{+100} < 600g\ kg^{-1}$
	3	$400g\ kg^{-1} \leq sBC_{+100} < 500g\ kg^{-1}$
	2	$300g\ kg^{-1} \leq sBC_{+100} < 400g\ kg^{-1}$
	1	$sBC_{+100} < 300g\ kg^{-1}$

※sBC+100の単位：100年間土壌に残ると推定される  
バイオ炭1kg当たりの有機炭素貯蔵量 (g)

出典:International Biochar Initiative WEBサイト  
<https://biochar-international.org/resources/biochar-classification-tool/>

# II みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査

## II- 2. 研究内容に関する調査 b. 化学農薬使用量の低減

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (1) 技術概要

## 米国における総合的病害虫管理 (IPM) の助成プログラム

- 米国NIFAは、州、地域、国レベルでのIPM戦略を利用した、昆虫・線虫・病原体・雑草管理に関する問題に対処するため研究開発を支援。
- 2021年は、作物保護及び害虫管理 (CPPM) 関連の73プログラムに対して合計1,560万ドルの支援。2022年は24のプログラムを採択、合計900万ドルの支援。2023年のCPPMプログラムの予算は約490万ドル。

### 2022年度に採択された研究プログラム

機関	タイトル
ハンボルト州立大学	ワイン用ブドウ園におけるげっ歯類駆除のためのメンフクロウ巣箱の利用の最適化
カリフォルニア大学デービス校	野菜作物における雑草と病害防除のためのバンドスチームの適用
コロラド州立大学	古いウイルス、新しい宿主:米国西部の麻の新興ベクター媒介ウイルスであるビートカーリートップウイルスの疫学と管理
フロリダ大学ゲインズビル校	AIマシビジョンとジオリファレンス雑草マッピングを用いた除草剤削減のためのトマトの統合雑草管理プログラム
フロリダ大学ゲインズビル校	ウリ科植物感染性ウイルスのフィールド検出のためのリコンビナーゼポリメラーゼ増幅ツール
アイオワ州立大学	米国大豆生産における除草剤耐性ブタクサ管理のための生態学的戦術としての粃殻ライニングの統合
ルイジアナ州立大学	米国中南部の溝灌漑稲作における昆虫管理の持続可能性の向上
メリーランド大学	野菜生産におけるIPMツールとしてのリビングマルチによる節減耕起の評価
ミシガン州立大学	クロルピリホス喪失後の核果におけるホウキムシの代替管理戦略の開発
ニューハンプシャー大学	無土壌培地における業界の課題への対応:木材基材における病気の脅威とバイオ殺菌剤の有効性評価

出典:NIFA WEBサイト

<https://www.nifa.usda.gov/about-nifa/announcements/nifa-invests-9m-crop-protection-pest-management>



b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (1) 技術概要

## 米国における総合的病害虫管理 (IPM) の助成プログラム

### 2022年度に採択された研究プログラム (続き)

機関	タイトル
コーネル大学	アオドウガネのスカウトアプリの有用性をより多くの人に広めるために
ノースカロライナ州立大学ローリー校	ベと病原菌に対する殺菌剤使用を最適化する意思決定支援ツールの開発
オレゴン州立大学	ホップにおけるフザリウムの脅威の軽減
ペンシルベニア州立大学	食用キノコの真菌病原菌・害虫防除のための植物化合物
テネシー州立大学	米国南部の野菜生産における節足動物害虫管理のためのインセクタリープランツの統合強化
テネシー大学	牛のマダニ検出のためのコンピュータイメージングの開発・検証・評価
テキサスA&M大学	持続的トウモロコシ生産における統合病害管理のための野生近縁種の在来抵抗性の活用
バージニア工科大学	銅、PGR-S、植物活性剤、抗バイオフィルム酵素を用いた火傷病、花茎枯病の次世代防除
ワシントン州立大学	X病管理の最適化のためのベクターと病原体のフェノロジーの統合
ワシントン州立大学	統合的害虫管理アプローチとしてのミツバチコロニーの屋内保存のための意思決定支援ツールの情報提供と開発

出典:NIFA WEBサイト

<https://www.nifa.usda.gov/about-nifa/announcements/nifa-invests-9m-crop-protection-pest-management>

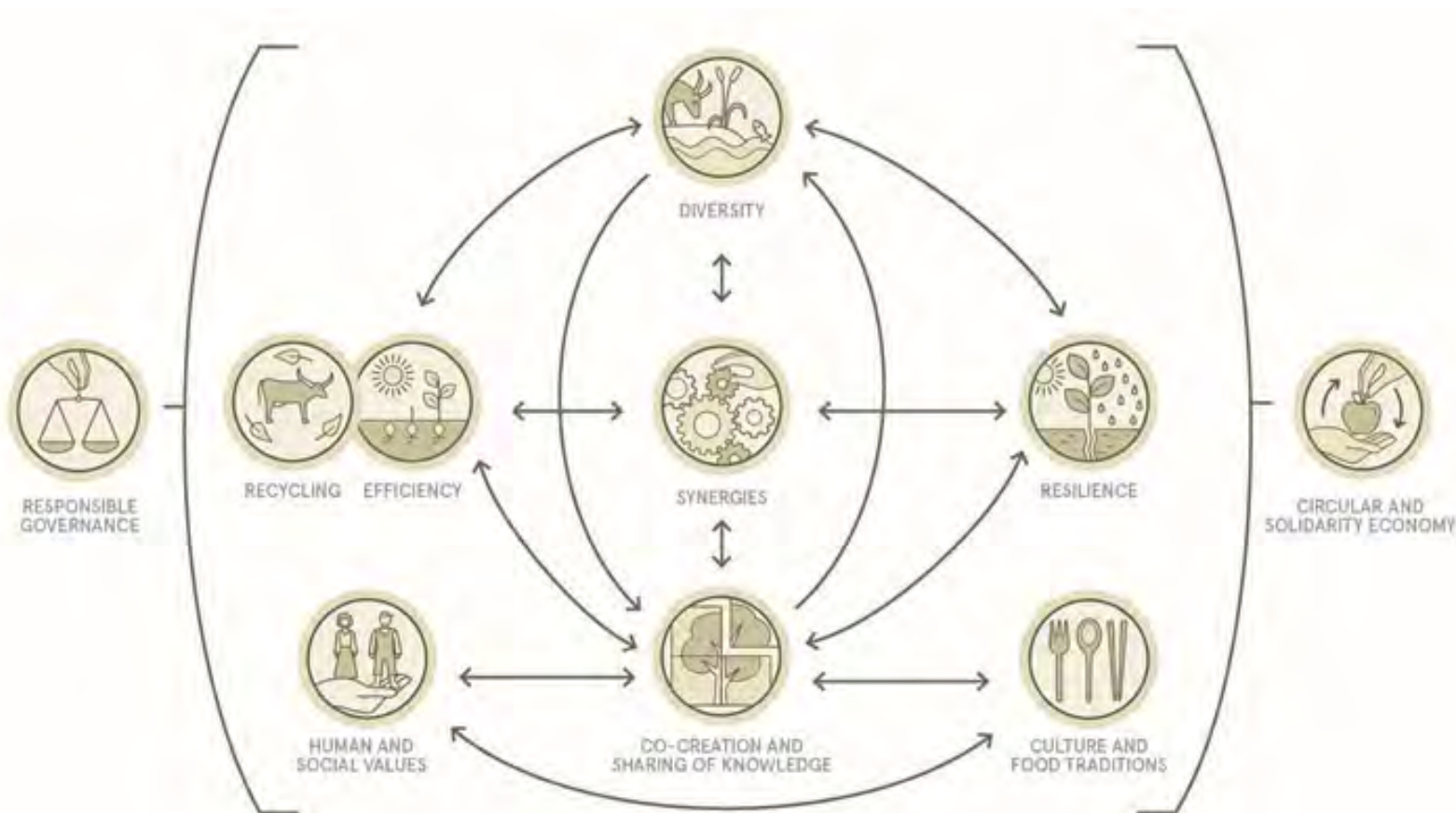
## b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (1) 技術概要

### 農業生態学の10の要素：FAO

- IPMは、生態学を基礎とする総合的防除技術。農業生態学は、生物多様性を管理することにより、受粉や害虫・病害防除に対する生物学的調節に寄与。
- FAOは、農業生態学のフレームワークの10要素を2018年に発表。環境的、社会的、経済的に持続可能な農業及び食料システムの変革に向けたガイダンスを提供。

#### 農業生態学の10要素の相互作用

(<https://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf>)



#### 農業生態学の10の要素

1. 多様性
2. 共創と知識の共有
3. 相乗効果
4. 効率性
5. リサイクル
6. レジリエンス
7. 人間的・社会的価値
8. 文化と食の伝統
9. 責任ある統治
10. 循環連帯経済

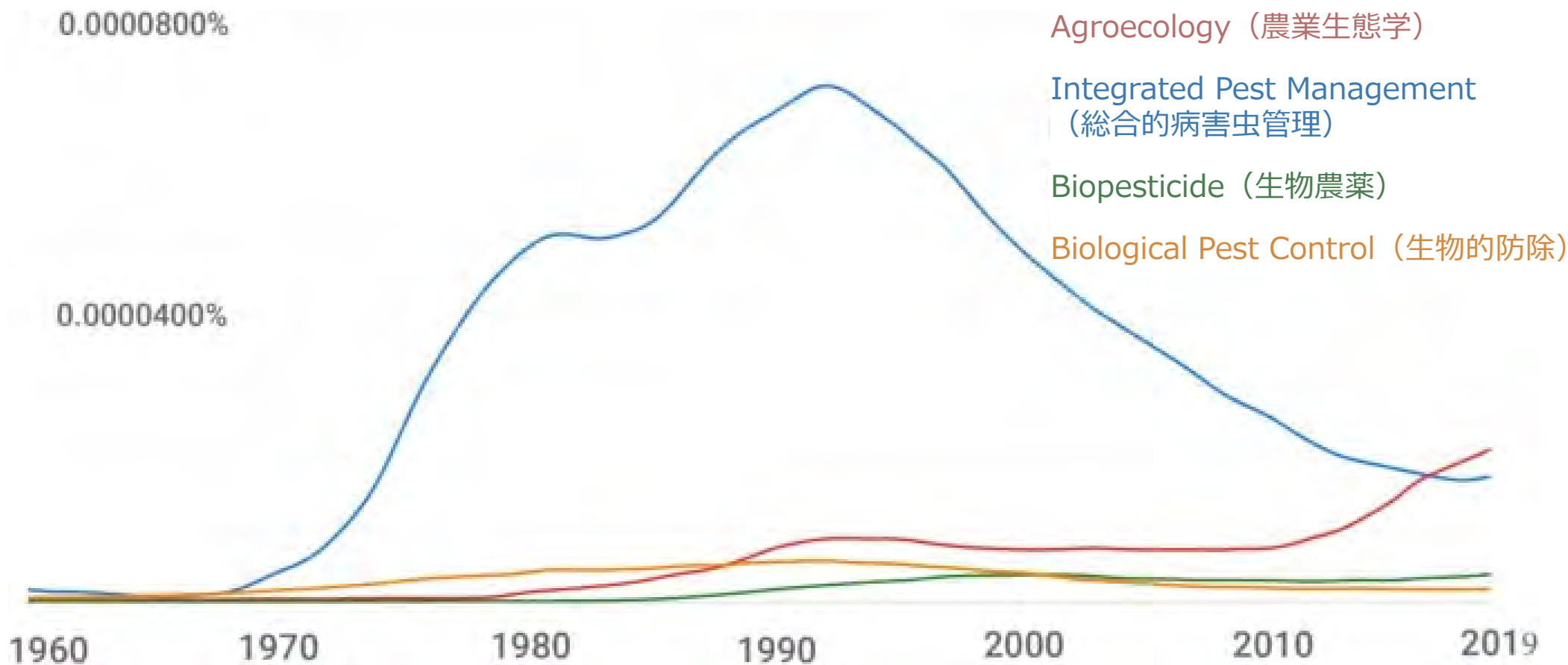
出典:FAO WEBサイト  
<https://www.fao.org/agroecology/overview/overview10elements/en/>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (1) 技術概要

## 農業生態学的作物保護の概念提案：フランス農業開発研究国際協力センターCIRAD

- CIRADのDeguineらは、IPMの中で生物多様性と土壌の健康の維持改善に焦点を当て、これにより作物保護を目指す農業生態学的作物保護（ACP）の概念を提案。
- 同論文ではGoogle用語出現頻度において、1990年代半ば以降はIPMが減少、2000年代初頭以降はアグロエコロジー（農業生態学）が増加していることから、ACPが拡大し、パラダイムシフトが起こっていると推察。

各用語の出現頻度の推移（Google Books Ngram Viewer）



出典: Deguine JP, et al. Agron.Sustain.Dev. (2021)  
出典: シュアリンガーネイチャースイスAG WEBサイト  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-021-00689-w>

## b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

## National IPM Database

- 南部IPMセンター（米国）がUSDA-NIFA助成金を受けて全国IPMデータベースを開発、2018年に公開。
- 作物プロフィール（CP: Crop Profile）と害虫管理戦略計画（PMSP: Pest Management Strategic Plan）を作成、検索するためのオンラインプラットフォームを提供。
- 各地域（カナダ、北中部、北東部、南部、米国、西部）における約1,000のCP、PMSP資料を掲載。

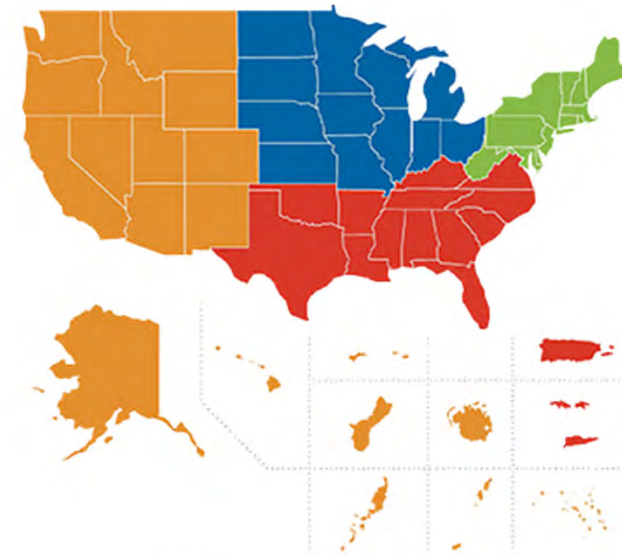
## National IPM Databaseウェブサイト

The screenshot shows the search interface of the National IPM Database website. The header includes the logo 'IPMdata' and navigation links: Home, Documents, Reports, Resources, IPM Centers, Contact Us, Login, and Search. The search area contains several input fields and checkboxes:

- Title:** A text input field.
- Keyword (PDF documents only):** A text input field.
- Document Source Type(s):** Checkboxes for Crop Profile, Element, Pest Management Strategic Plan, Priority, and Timeline.
- Region(s):** Checkboxes for North Central, Northeastern, Southern, United States, and Western.
- State(s):** A text input field.
- Crop(s)/Commodity(ies):** A text input field.
- Active Ingredient(s) by Name, PC Code, or CAS Number:** A text input field.
- Product(s)/Brand Name(s):** A text input field.
- Pest(s) by Scientific Name or Common Name:** A text input field.
- Year:** Two dropdown menus for selecting a range of years.
- Document Version:** A dropdown menu with 'All' selected.

At the bottom, there is a footer with logos for the Southern IPM Center and the USDA National Institute of Food and Agriculture, along with contact information and funding details.

## 4地域のIPM促進センター



- 西部IPMセンター
- 北中部IPMセンター
- 北東部IPMセンター
- 南部IPMセンター

出典: National IPM Database, Southern IPM Center WEBサイト

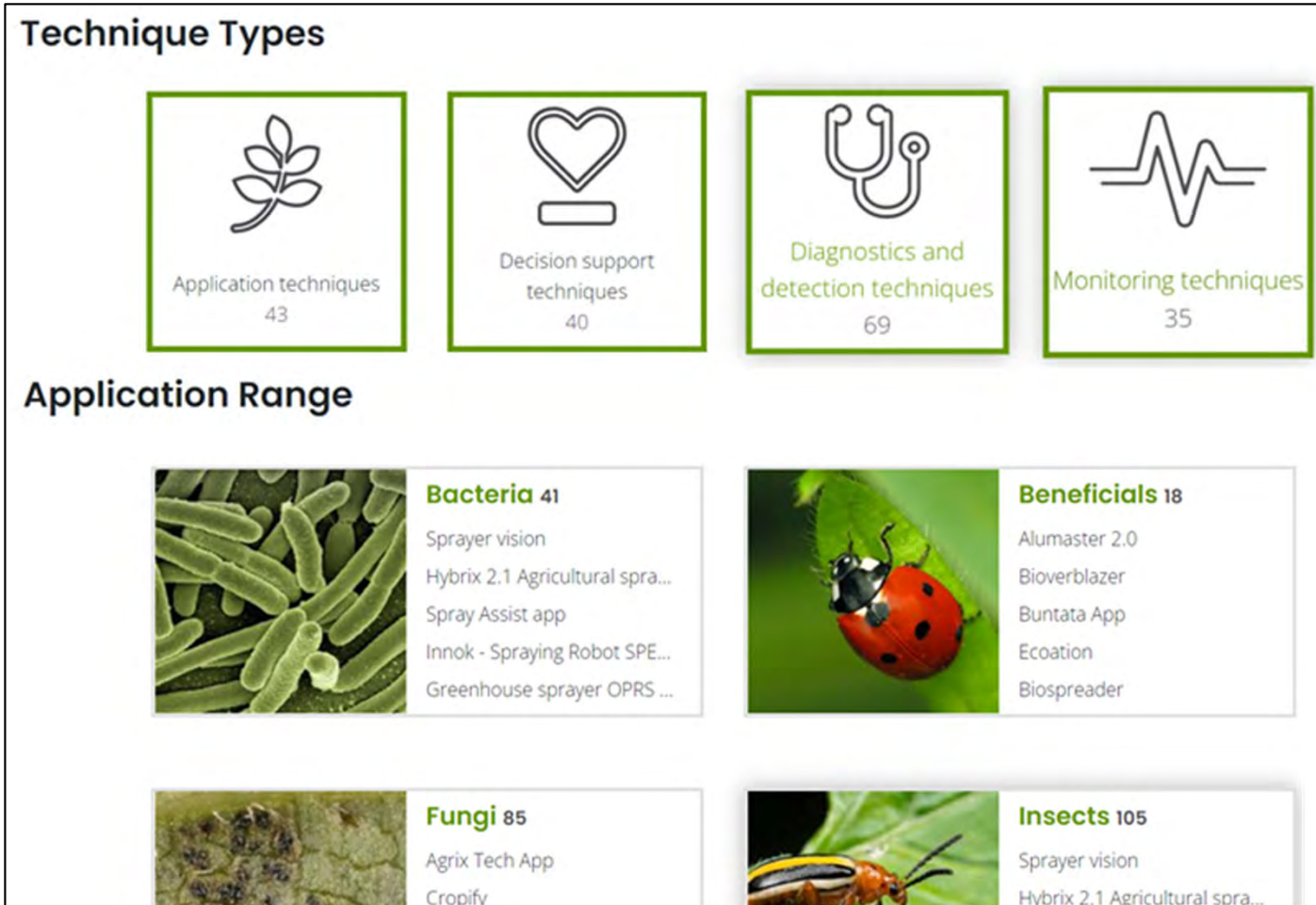


b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

IPMソリューションのプラットフォーム

- SMARTPROTECTプロジェクト (ベルギー) でIPMに関するナレッジを収集、電子共有するプラットフォーム開発。
- EU、National Rural NetworksやEIP-AGRIなどの国や地域のイニシアチブと連携して、オンラインプラットフォームを通じて提供。

SmartProtectウェブサイト



- オープンフィールドと温室生産システム向けのIPM技術とメソッドを見つけることが可能。
- 技術タイプ(アプリケーション技術、意思決定支援技術、診断及び検出技術、モニタリング技術)と、適用範囲からアクセス可能。

予算規模2百万ユーロ  
/ EU負担2百万ユーロ  
Horizon 2020  
(2020年1月-2023年6月)

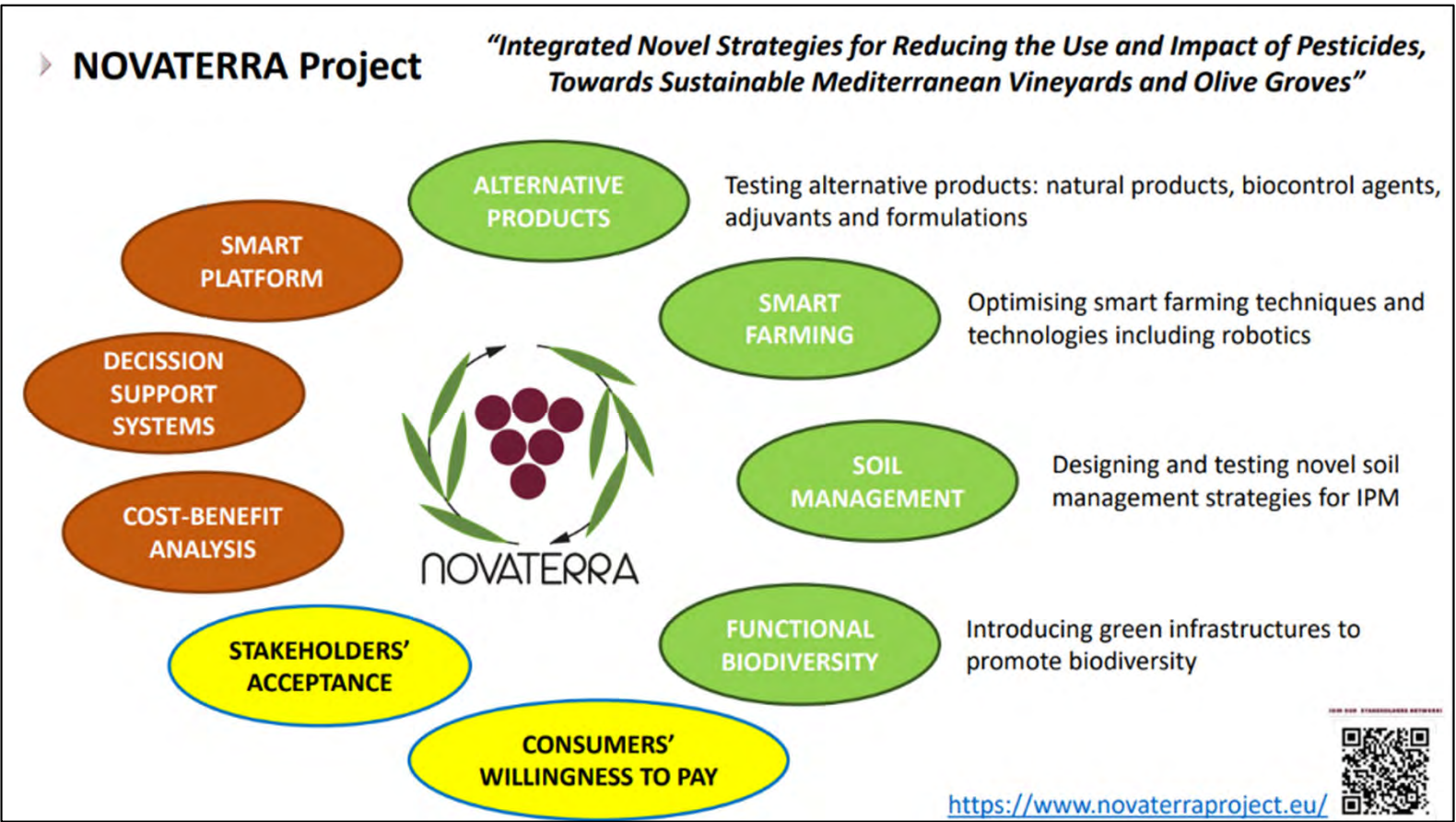
出典:スマートプロテクト H2020 - IPMテーマ別ネットワーク (smartprotect-h2020.eu)  
<https://platform.smartprotect-h2020.eu/>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

ブドウとオリーブの持続可能な害虫管理

- NOVATERRAプロジェクト (スペイン) でブドウとオリーブに対するIPMのデータベースを作成。
- 化学農薬削減のための代替技術 (天然由来の抵抗性誘導剤、フェロモン、ロボット、カバークロープ等) の有効性検証の他、農家の受容性についても分析。

NOVATERRAプロジェクト概要



- 分析階層プロセス(AHP)を用いて、4つのケーススタディにおけるブドウ・オリーブ農家で新技術が採用された主な要因を特定し、分類。

予算規模550万ユーロ  
 /EU負担490万ユーロ  
 Horizon 2020  
 (2020年10月-2024年9月)

出典:NOVATERRA WEBサイト  
 The NOVATERRA project has received funding from the European Commission's Horizon 2020 grant agreement number 101000554.

## b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

**ミツバチを用いた製剤送達システム**

- Bee Vectoring Technologies社 (カナダ) がミツバチを使用してバイオ農薬やバイオスティミュラントを対象作物へ送達するシステムを提供。
- 微量の製剤を直接花に送達するため、従来の散布方法よりも使用量を削減することが可能。

**ディスペンサーシステム**

天然素材由来Vectorite粉末と有効成分の混合物

- Vectorite粉末はミツバチに付着することで、添加された有効成分を運搬。
- ブルーベリー、イチゴなどの花や果実に生じる真菌病や害虫が標的。
- 従来のスプレー方式では農薬 2 kgと数百リットルの水が必要であるのに対し、BVTシステムでは5 gの農薬のみで水を必要としない。

出典: Bee Vectoring Technologies WEBサイト

<https://www.beevt.com/>

出展: worldfoodinnovations WEBサイト

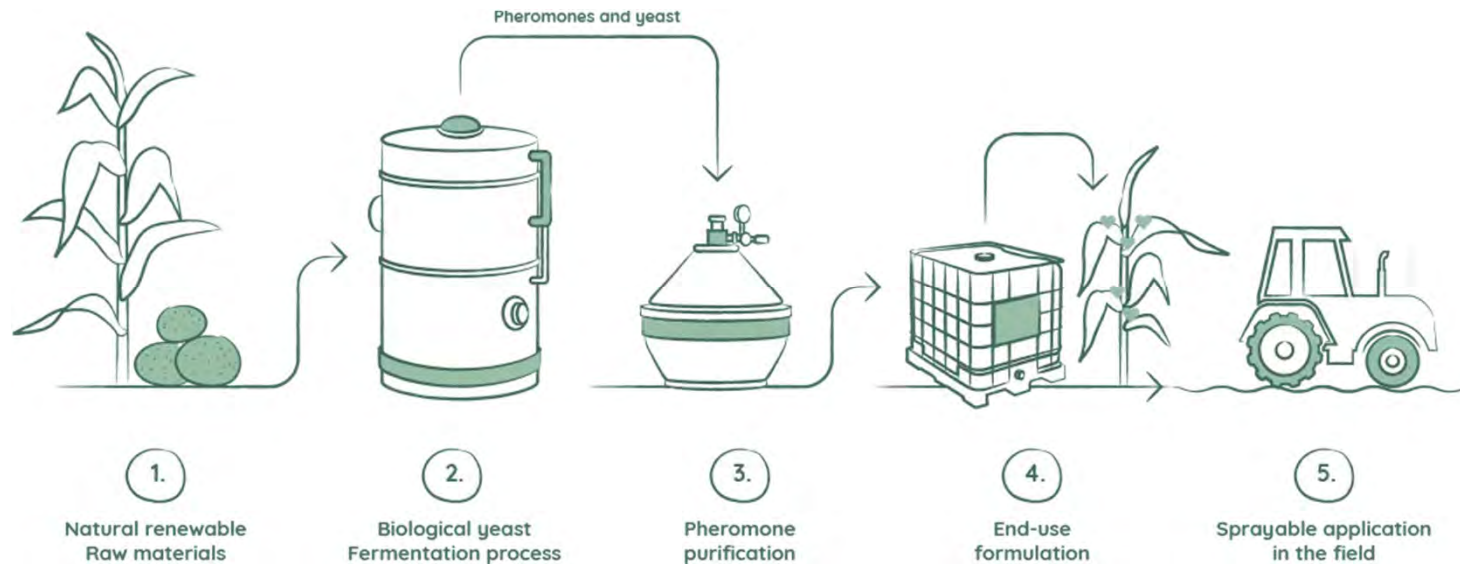
<https://www.worldfoodinnovations.com/innovation/bee>

b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

発酵技術を用いたフェロモンベース農薬の大量生産

- BioPhero社 (デンマーク) は、フェロモン製剤を低価格で量産化できる発酵技術を開発。

製造プロセス



- フェロモンはこれまで化学合成により生産されてきたが、複雑でコストのかかるプロセスであったため、大規模農場での使用に適さなかった。
- 植物由来のグリセロールから、酵母を用いて発酵生産を行う。フェロモンを精製した後、製剤化。
- オオタバコガ、コナガ、ニカメイチュウ、ツマジロクサヨトウを対象としたフェロモンを提供。

予算規模850万ユーロ  
 /EU負担640万ユーロ  
 Horizon 2020  
 (2020年3月-2023年8月)

出典: BioPhero WEBサイト <https://biophero.com>



## b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例 蛾の監視システムと自律小型ドローンによる駆除

- PATS社（オランダ）は、害虫のリアルタイム監視システムのPATS-Cと、自律小型ドローンPATS-Xからなる駆除システムを開発。
- 温室内で飛んでいる蛾を検知すると、カメラに導かれた小型自律型ドローンを使用して、ローターブレードを使用して蛾を殺す。IPMプロセスの一部を自動化し、農作物被害リスクの軽減に寄与。

### 監視システムPAT-Cと小型ドローンPATS-X



- IPMのモニタリングや防虫作業にかかるコストを低減。
- 現在対象としている蛾は、
- Tomato looper (*Chrysodeixis chalcites*)
- European pepper moth (*Duponchelia fovealis*)
- Banana moth (*Opogona sacchari*)
- Tomato leafminer (*Tuta absoluta*)

出典:PATS WEBサイト <https://pats-drones.com/>

## b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例 害虫監視ロボットトラップ：PestNu（ギリシャ）

- AIロボットトラップにより、リアルタイムの害虫監視を行う。Copernicusのデータを用いて、土壌及び植物の栄養素と害虫のついた植物をマッピング。すべてのデータは農場管理システムのクラウドに相互接続。

### オープンフィールド及びアクアポニックスの実証実験



- 殺虫剤と肥料の使用と栄養素の損失を減らすために、デジタル及び宇宙ベースの技術（DST）を用いて、オープンフィールドとアクアポニックスの2種類の実証実験を実施
- リアルタイムでの害虫監視のための AIロボットトラップ及び農薬の監視と3Dスポット散布用の自律移動ロボットを活用
- コペルニクス（Copernicus）のデータを使用し、土壌/植物の栄養素と害虫植物の入力をマッピングするための Agroradar AIアルゴリズムを使用

予算規模740万ユーロ  
／EU負担600万ユーロ

Horizon 2020

（2021年10月-2024年9月）

出典:PestNu WEBサイト <https://pestnu.eu/mission/>



b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

**保全的生物的防除で用いるSecondary plants**※ ※主要作物と一緒に栽培する植物

- 保全的生物的防除には、天敵の働きを妨げる要因の除去（保護）と、天敵の働きを高めること（強化）が必要。
- インセクタリープランツは天敵の成虫の寿命を延ばす効果、バンカー植物は、植物上で天敵の個体群を維持する役割を果たす効果を所有。これらに厳密な区別はなく、まとめて天敵温存植物と呼ぶことが多い。

保全的生物的防除の分類と主な効果

	作物	害虫				天敵		
	栄養・化学的防御	撃退	捕獲	早期発見	作物から誘引	誘引	成虫への給餌	個体群の維持
コンパニオンプランツ (companion plant)	○	△	△			△		
忌避植物 (repellent plant)	○							
障壁植物 (barrier plant)			○					
指標植物 (indicator plant)			△	○				
おとり植物 (trap plant)			△	△	○		△	
インセクタリープランツ (insectary plant)						△	○	
バンカー植物 (banker plant)						△	△	○

天敵温存植物

○	主機能
△	副次的

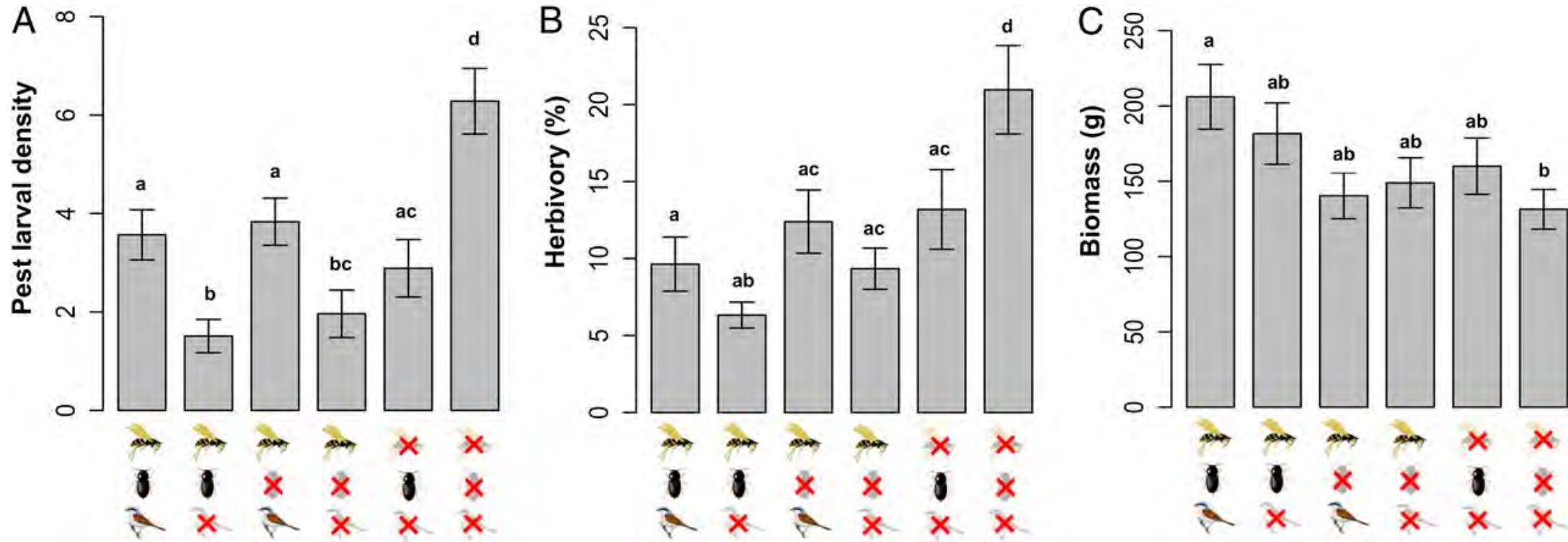
b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

天敵の多様性と害虫防除効果

- 保全的生物的防除には、天敵の働きを妨げる要因の除去（保護）と天敵の働きを高めること（強化）が必要。
- ヴェルツブルク大学（ドイツ）のMartinらは、野外実験において、3つの天敵（鳥、飛翔昆虫、地上節足動物）を排除し、天敵間の生物学的害虫防除に対する相互作用を検証。
- 生物多様性が高いほど、害虫防除効果が高いことを示した。生態系バランスの維持が、農業生産の持続可能性を高めるために重要であることを示唆。

天敵排除による防除効果の影響

(A)害虫幼虫密度、(B)植物の被食率(%）、(C)植物のバイオマス(g)



出典:Martin et al. PNAS (2013)  
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1215725110>



b. 化学農薬使用量の低減 1. 総合的病害虫管理 (2) 事例

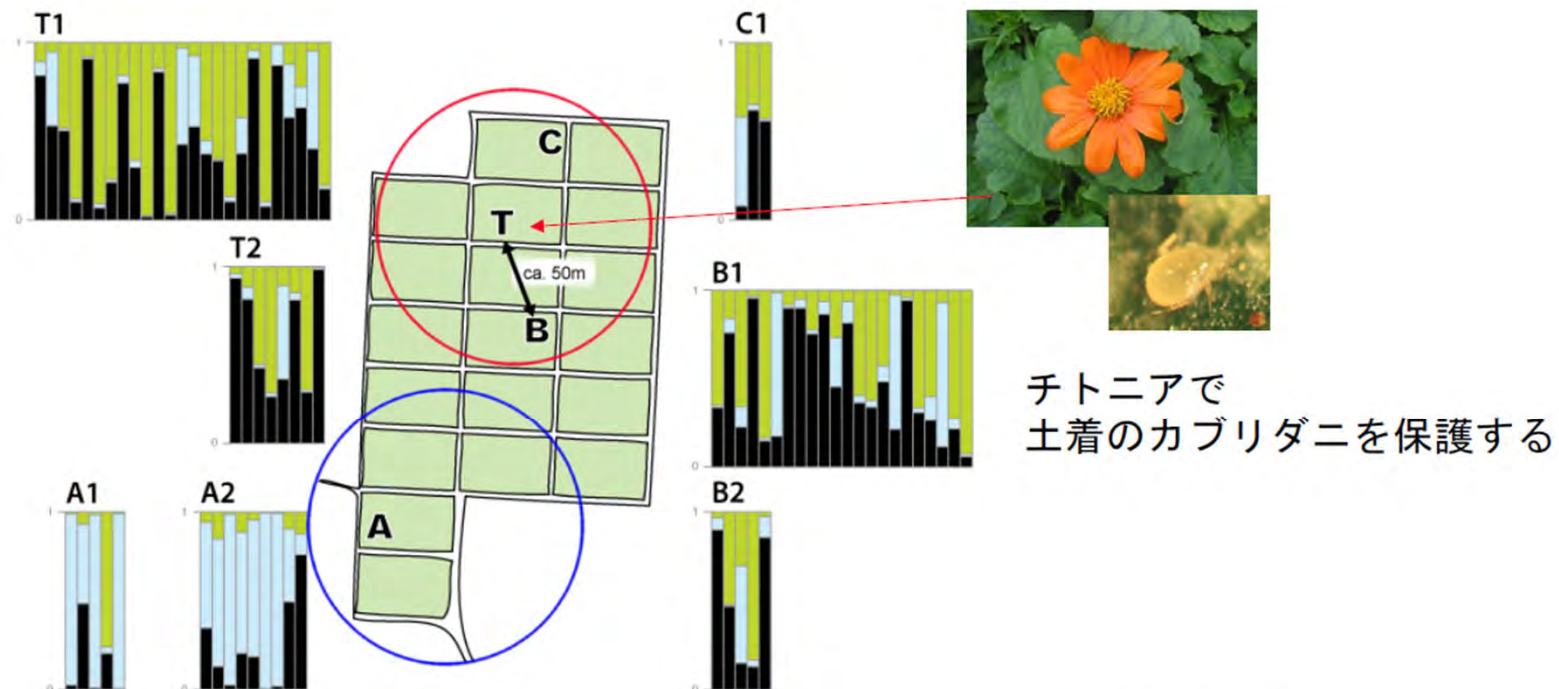
**DNAマーカーによる天敵の移動分散評価**

- 京都大学の日本典秀教授は、圃場内の効率的な天敵温存植物の密度を決定するため、チャ園でのケナガカブリダニ 個体群構造を評価。
- 半径約50m内のケナガカブリダニの遺伝子構成は似ていたが、約100m離れた場所のケナガカブリダニの遺伝子構成は似ていなかったことから、植生管理は半径50m程度の範囲を単位に考えると、効率よく土着カブリダニを保全することが可能になると期待。

**天敵の移動分散評価の例**

チャ園では100m程度の範囲でケナガカブリダニが土着する

モニタリング・保護の単位は100m Management Units

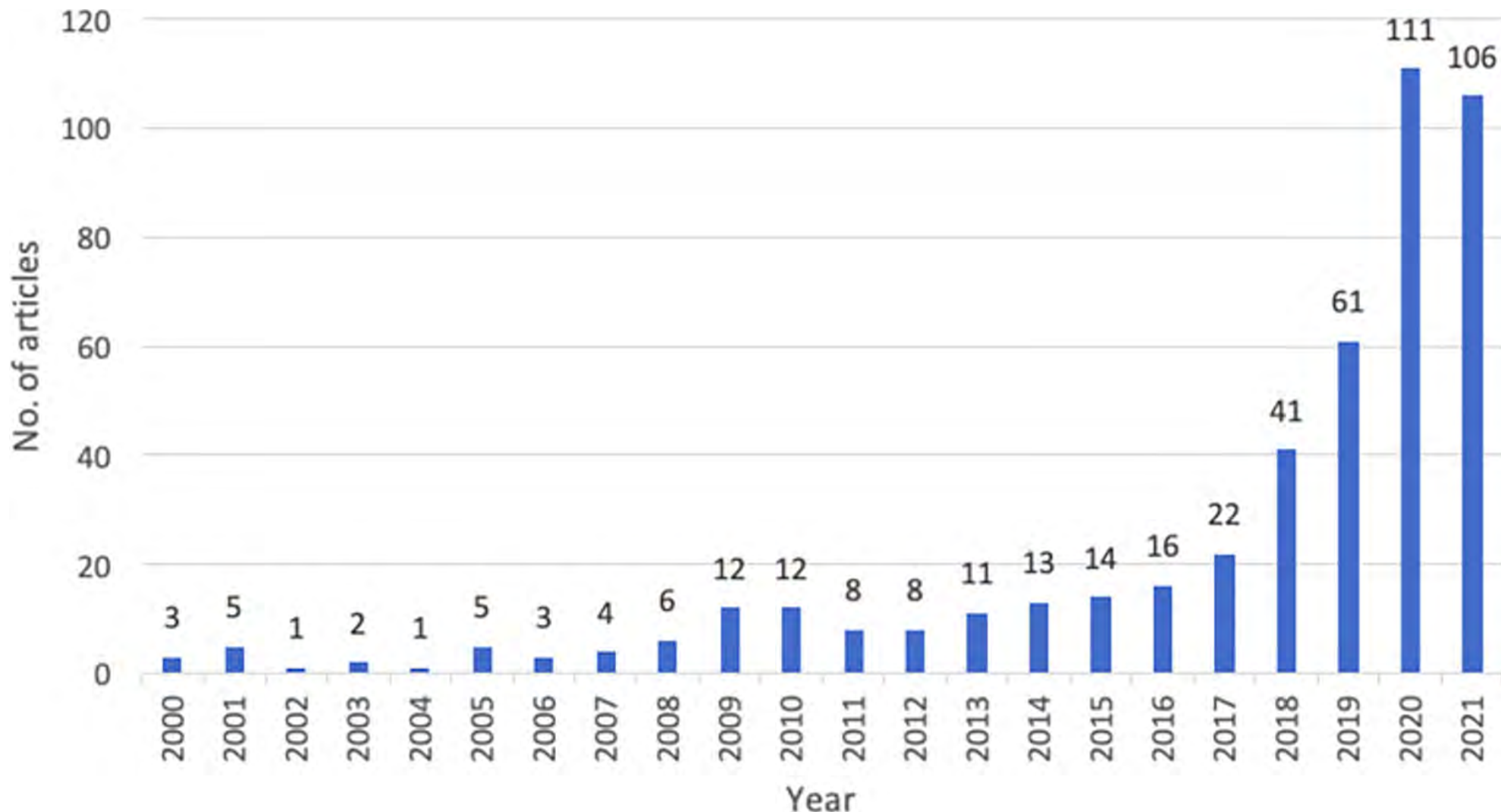


## b. 化学農薬使用量の低減 2. AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察（1）技術概要

### 農業におけるAI活用に関する研究開発は、近年急速に拡大

- 持続可能な農業を可能にする上でのAIの役割の分野で発表された学術研究の数は、2018年から大幅に増加。
- 論文の約54.8%が中国であり、次いで米国、インド、イラン、フランス。日本は20位以内でない。

持続可能な農業におけるAIの使用に関する論文数（2000年-2021年）

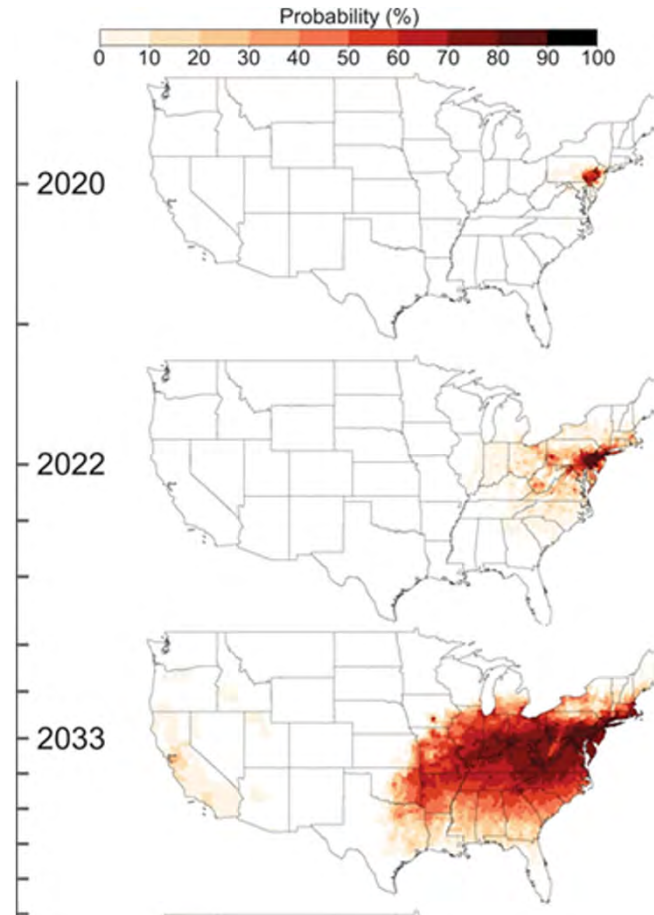
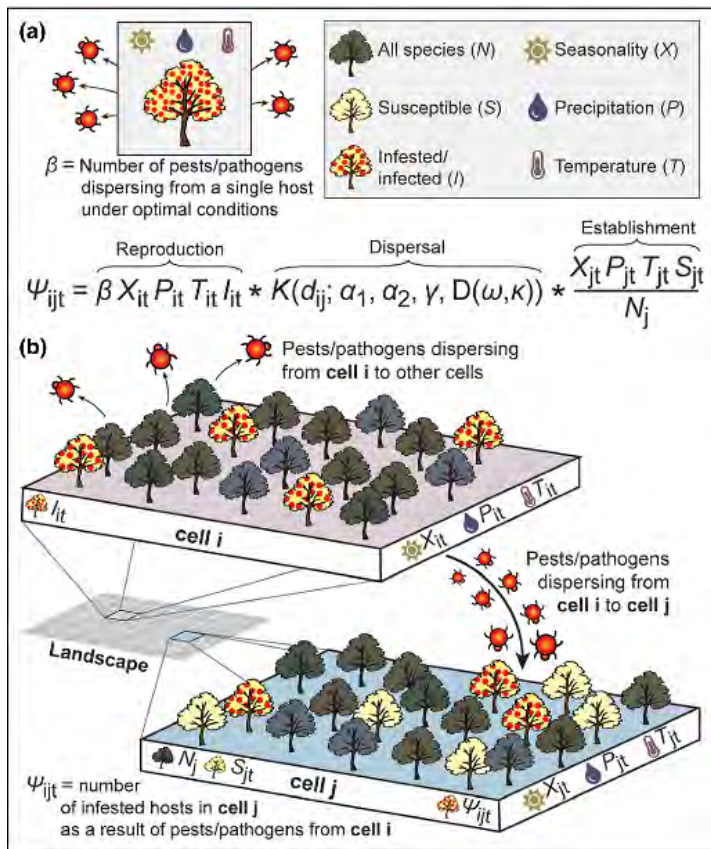


出典: Bhagat PR, et al., PLoS ONE (2022)  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0268989>

## b. 化学農薬使用量の低減 2. AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察（2）事例 オープンビッグデータや機械学習を活用した害虫拡散予測

- ノースカロライナ州立大学（米国）は、米国USDAと共同で、害虫や病原体の蔓延を予測するシステムPoPSを開発。ユーザーフレンドリーなインターフェースとあらゆる種に使用できる柔軟な拡散モデルを提供。

### Spotted lanternflyのモデル構造及び 予防管理しない場合の時間経過に伴う拡散確率



- プロジェクト内容は以下の4点

  1. 果物やナッツ類に対する主要な害虫の脅威を特定
  2. 宿主種のマップとモデル予測の反復開発及び検証
  3. ユーザーフレンドリーな予測プラットフォーム及び意思決定支援ツールPoPSの共同開発
  4. 予測とシミュレーションを作物保護のための実用的な予察に変換するアラートシステムの追加

AFRI競合助成金65万ドル  
(2022年1月-2027年1月)

出典: Jones C, et al., Commun Biol. (2022) 改変  
<https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fee.2357>  
 出典: PoPS WEBサイト <https://popsmoel.org/>  
 出典: nature briefing WEBサイト  
<https://eecoecommunity.nature.com/posts/forecasting-the-arrival-of-an-insect-pest>



## b. 化学農薬使用量の低減 2. AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察（2）事例

### 5G・AIを活用したリアルタイムでの害虫検出

- ファーウェイ社（中国）は農業用ドローンの活用に向けた取組を進めており、2021年からDronetech社（オーストリア）と協業。これまでも5Gを活用してデータ伝送して画像解析などを実施。
- 2022年からはファーウェイ社が5Gを活用したクラウドサービスを提供し、クラウドサービス上にAIを搭載することで、リアルタイムの分析を実現。

#### 5G スマート ファーミング



- 農場における小さな昆虫の検出、作物の状態の監視、等を行うことにより、水、化学薬品、殺虫剤の使用を正確に最適化。
- ドローンのシェアリングにも取り組み、農業分野だけではなく、様々な分野のユーザーが、ソーラーパネルの検査、交通管理、電力線の摩耗検出など、幅広い用途にドローンとそのAIソリューションを活用できるサービスを構築。

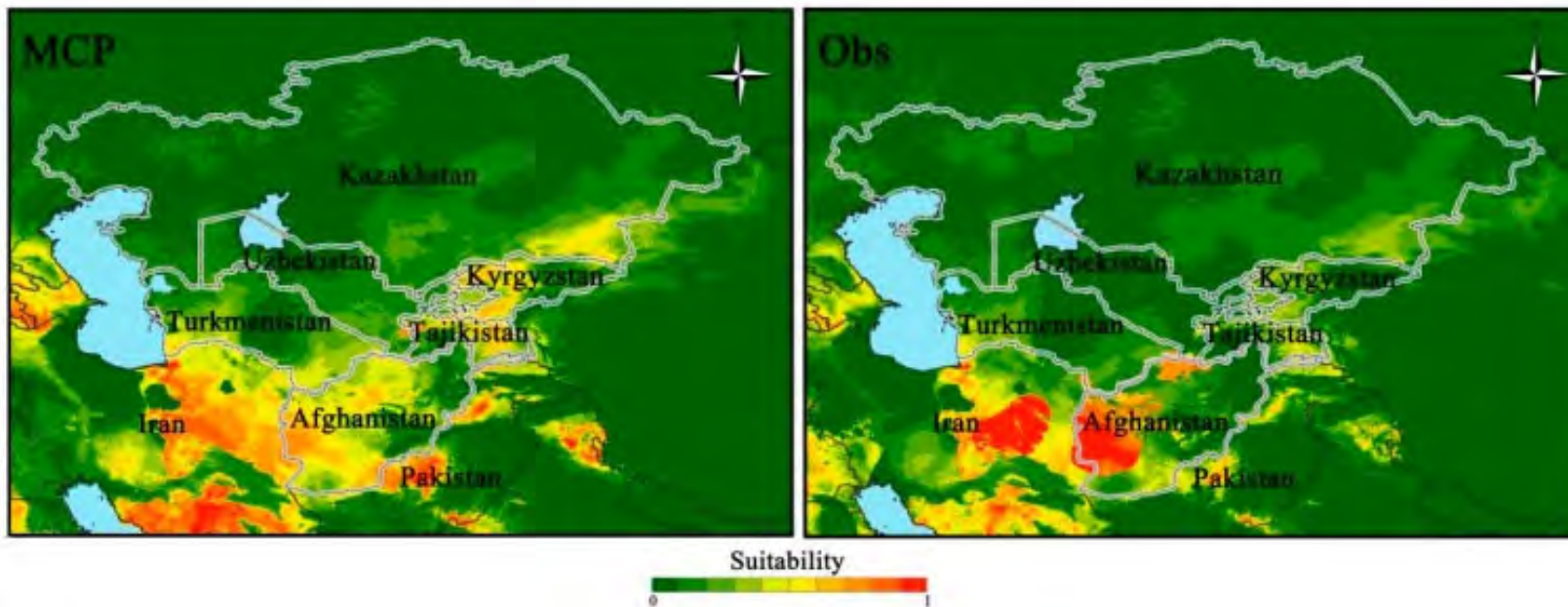
出典：ファーウェイ ニュースリリース  
<https://www.huawei.com/en/news/2022/10/5g-smart-farming-austria-dronetech>  
出典：日経BP WEBサイト <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/13933/>



## b. 化学農薬使用量の低減 2. AI・ICT技術を活用した病害虫発生予察（2）事例 フロリダ州とカリブ海の潜在的な侵入性害虫予測

- フロリダ州立大学（米国）は、機械学習等を用いて害虫の経路、拡大の特定や、気候変動予測から害虫の分布予測を実証中。本プロジェクトの目標は、栽培者、産業、消費者を支援するために、特殊作物の重要性を持つ潜在的な侵襲性害虫昆虫に関するWebサイトを開発。

### （先行研究） 2つの予測モデルを用いた 中央アジアのツマジロクサヨトウの潜在的分布予測



- ブドウ、オリーブ、クリ、ブルーベリー、トマト、ピーマン、キャベツ、マンゴー、アボカド、イチゴなどが対象。
- 鞘翅目、半翅目、鱗翅目、双翅目の15の潜在的な侵入性害虫について、トラップ、自動真空吸引機などを用いて監視。

USDA-NIFA助成金50万ドル  
(2022年5月-2025年5月)

出典: Baloch MN, et al., Insects.(2020)

出典: IMDPI WEBサイト <https://www.mdpi.com/2075-4450/11/3/172>

## b. 化学農薬使用量の低減 3. 農薬に頼らない防除技術（光や音、振動など）

### イチゴのUV-C/暗所処理ロボットを用いた真菌病及び病害虫防除

- TRIC Robotics社（米国）は、USDA農業研究センターと共同で、深紫外線（UV-C）ライトを搭載した自律型フィールドロボットを用いてイチゴ畑における真菌病及び病害虫防除の実証を実施。
- 1台のロボットで約2haをカバーし、年間約15,000ドル/haの費用がかかると予想。
- 一方、慣行の農薬では年間約6,200ドル/haといわれ、現状ではUV処理の方が高コストであるが、有機栽培の高付加価値化と収量増による収益増加の可能性。

#### オウトウショウジョウバエに対する UV-C照射の効果検証（先行研究）

ラボスケールでオウトウショウジョウバエ（SWD）出現20日後のイチゴ果実に対して24時間照射した結果、有意な殺虫効果。

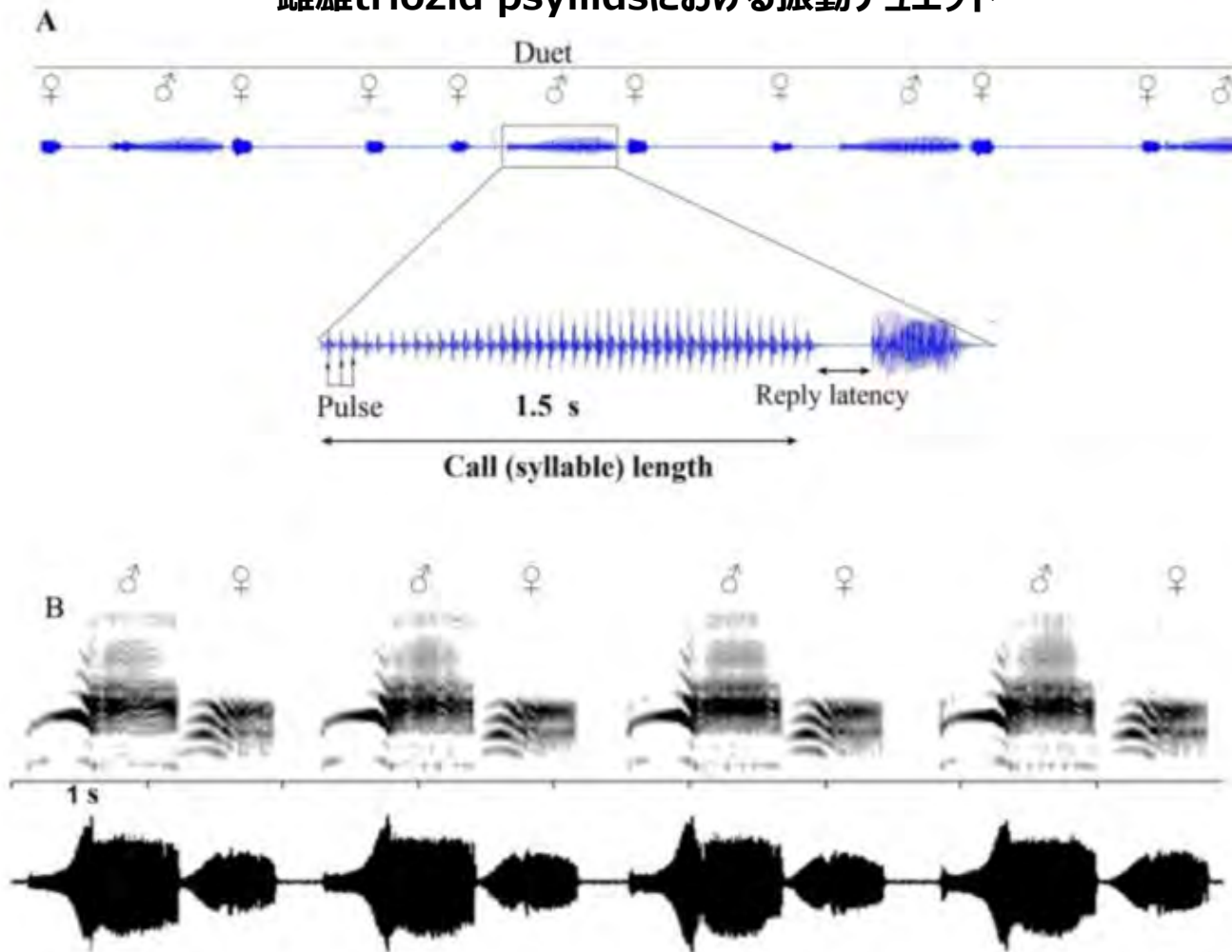
出典:Takeda F, et al., Acta Horticulturae (2021)  
出典:TRICロボティクス WEBサイト <https://www.tricrobotics.com/>

b. 化学農薬使用量の低減 3. 農薬に頼らない防除技術（光や音、振動など）

**振動コミュニケーションを利用した交配妨害と害虫管理：ワシントン州立大学（米国）**

- 振動信号によって、ナシの害虫であるキジラミ(*Cacopsylla pyricola*)の交配を妨害する技術に関する研究。
- 音節の長さ、パルス数、応答待ち時間などの信号特性は、種や性別認識に利用。
- 多くの昆虫が振動によるコミュニケーションをとっているため、他の害虫にも効果が期待。

雌雄triozid psyllidsにおける振動デュエット



- プロジェクト内容は以下の3点
  1. 実験室条件下での振動再生方法を用いて、さまざまな温度での交配妨害シグナルの有効性を検証。
  2. 温室で再生実験を行い、音響を使った交配妨害の有効性を小規模で評価。
  3. 商業果樹園条件下での破壊試験を実施し、キジラミ個体群への影響を大規模に評価。

AFRI競合的助成金18万ドル  
(2021年6月-2024年6月)

出典:Lubanga UK, et al., A Synthesis. Insects.(2014)  
出典:PMC WEBサイト  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4592587/>

## b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (1) 技術概要

### バイオスティミュラント市場の急成長に伴い、規制枠組の整理が急がれる

- 米国調査会社MarketsandMarkets社は、バイオスティミュラント（BS）の市場規模は、2021年に32億米ドルと評価。CAGRは12.1%で成長し、2026年までに56億米ドルに達すると予想。
- 現在、BSは、世界標準の定義は無い。

#### セグメント別の市場

- アミノ酸セグメントが最大の市場シェアを占め、次いで海藻抽出物、フミン酸、微生物製剤が多くのシェアを占めると推定。
- 主な適用範囲は、葉面塗布、土壌処理、種子処理であり、そのうち葉面塗布が最大のシェアを占める。
- 作物の種類別では、果物と野菜のサブセグメントが最大の市場シェアを占めると推定。

#### 各国の規制状況

国・地域	規制等
EU	新肥料法（2022年7月施行）にBSを定義。養分の利用効率向上、非生物的ストレスへの耐性向上、品質・形質向上、根圏での利用困難な養分の取込み向上が含まれる。
米国	USDAにより、BSの成分、効能について熟知し、積極的に利用していくことを勧奨。環境保護庁（US-EPA）は、これまでの農薬取締法で登録されていたもの以外をBSとして認めるべく、ラベル表示などについて、ガイドラインの整理を予定。
日本	日本BS協議会は2022年3月現在、業界の自主基準を作成中。

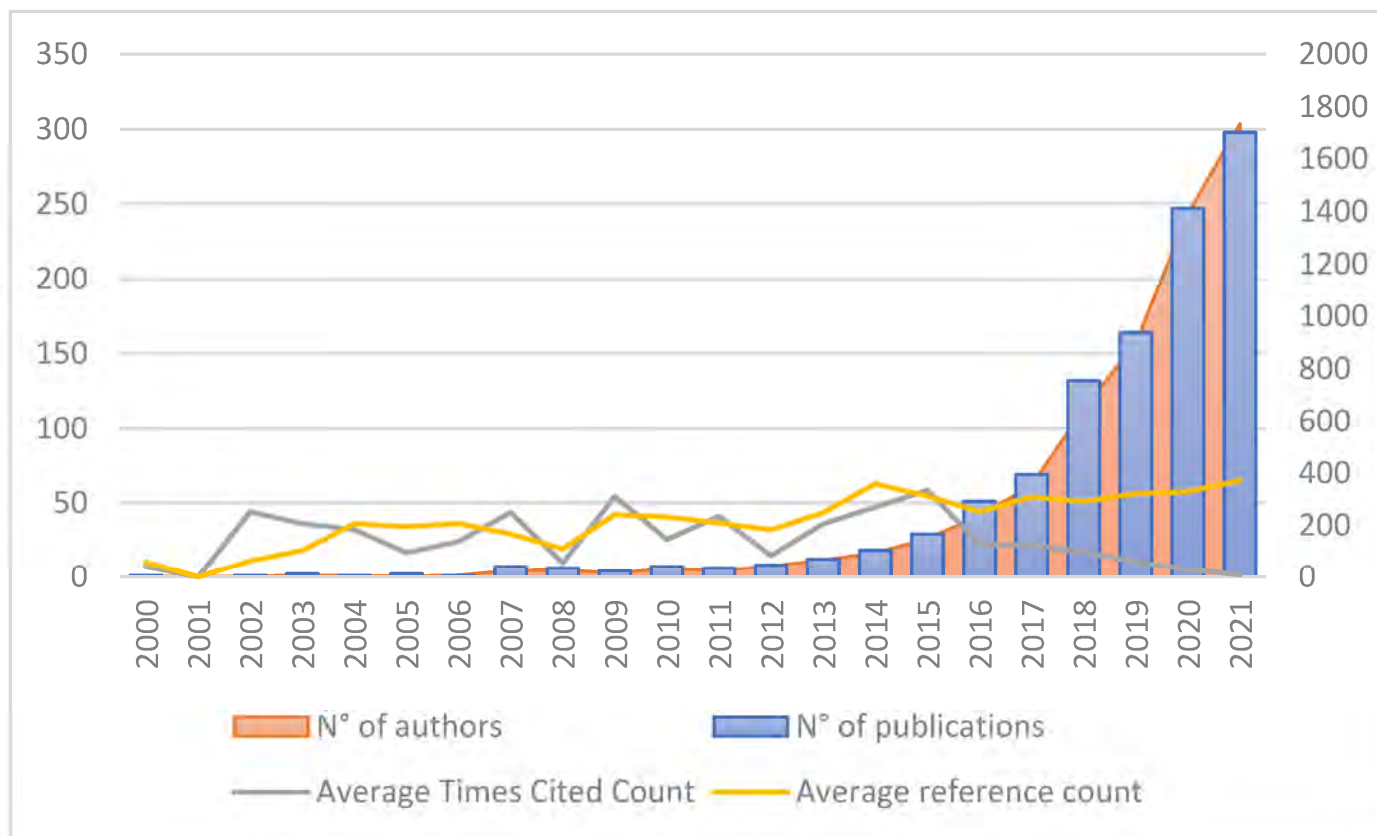


b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (1) 技術概要

**BSの研究開発動向**

- 最初のBS研究は1980年代。2007年及び2015年以降急速に発展。

**BS関連論文数の推移  
(2000年～2021年)**



**BS関連論文数の上位15カ国**

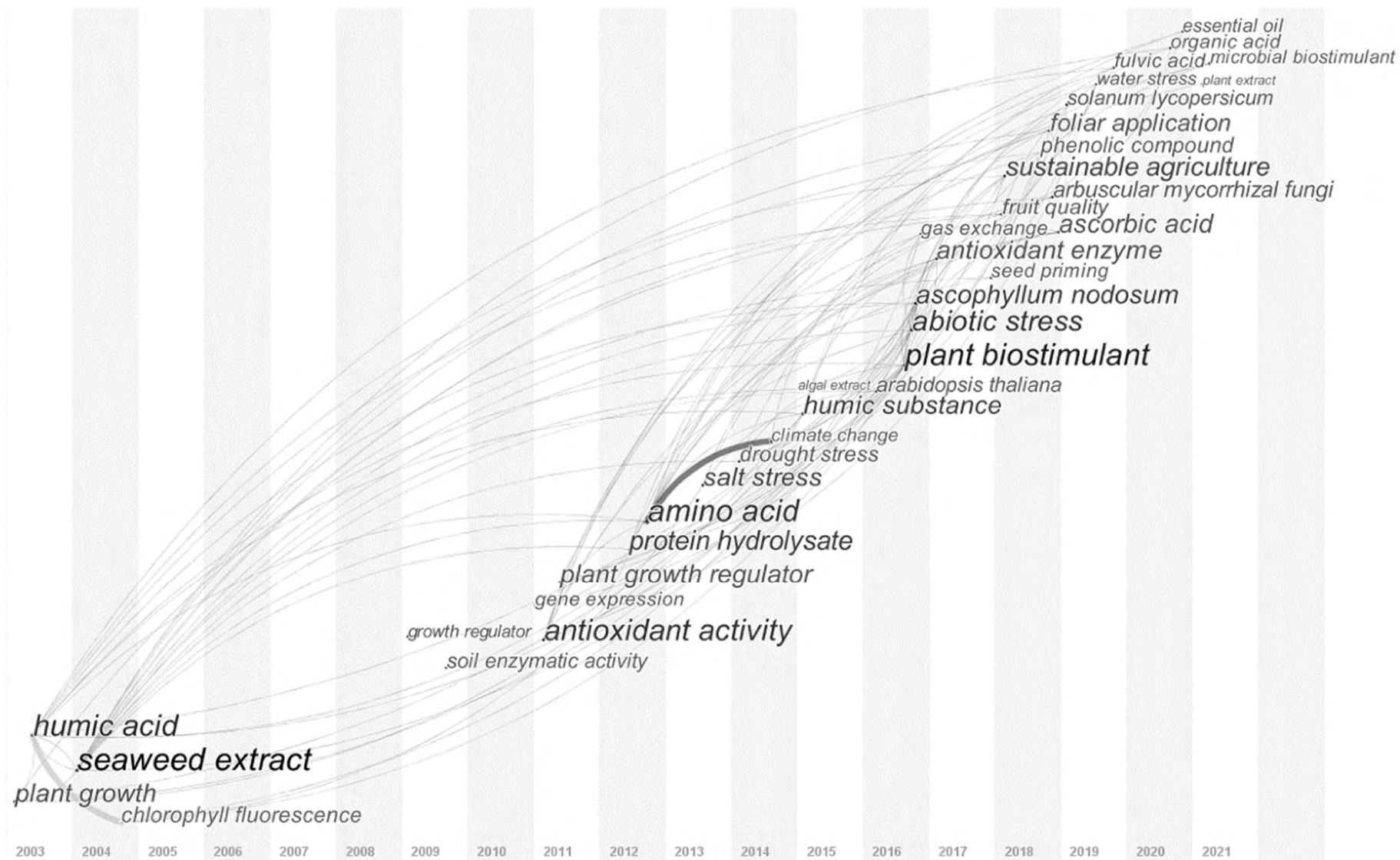
国	論文数	割合
イタリア	197	18%
ポーランド	144	13%
ブラジル	84	8%
スペイン	76	7%
米国	64	6%
インド	44	4%
エジプト	41	4%
中国	40	4%
メキシコ	27	2%
南アフリカ	25	2%
イラン	21	2%
フランス	19	2%
カナダ	17	2%
ポルトガル	16	1%
モロッコ	14	1%

出典:Corsi S, et al., Agronomy (2022)  
出典:MDPI WEBサイト <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/6/1257/htm>

## b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (1) 技術概要

### BS研究で使用されるキーワードの推移 (2000年~2021年)

- 初期の頃は、植物の成長、収量の増加、フミン酸や海藻抽出物などのカテゴリに焦点。
- 2013年から、アミノ酸やタンパク質加水分解物などのカテゴリの出現により、さまざまな種類のストレスに対する品質と耐性に関連するトピックに移行。



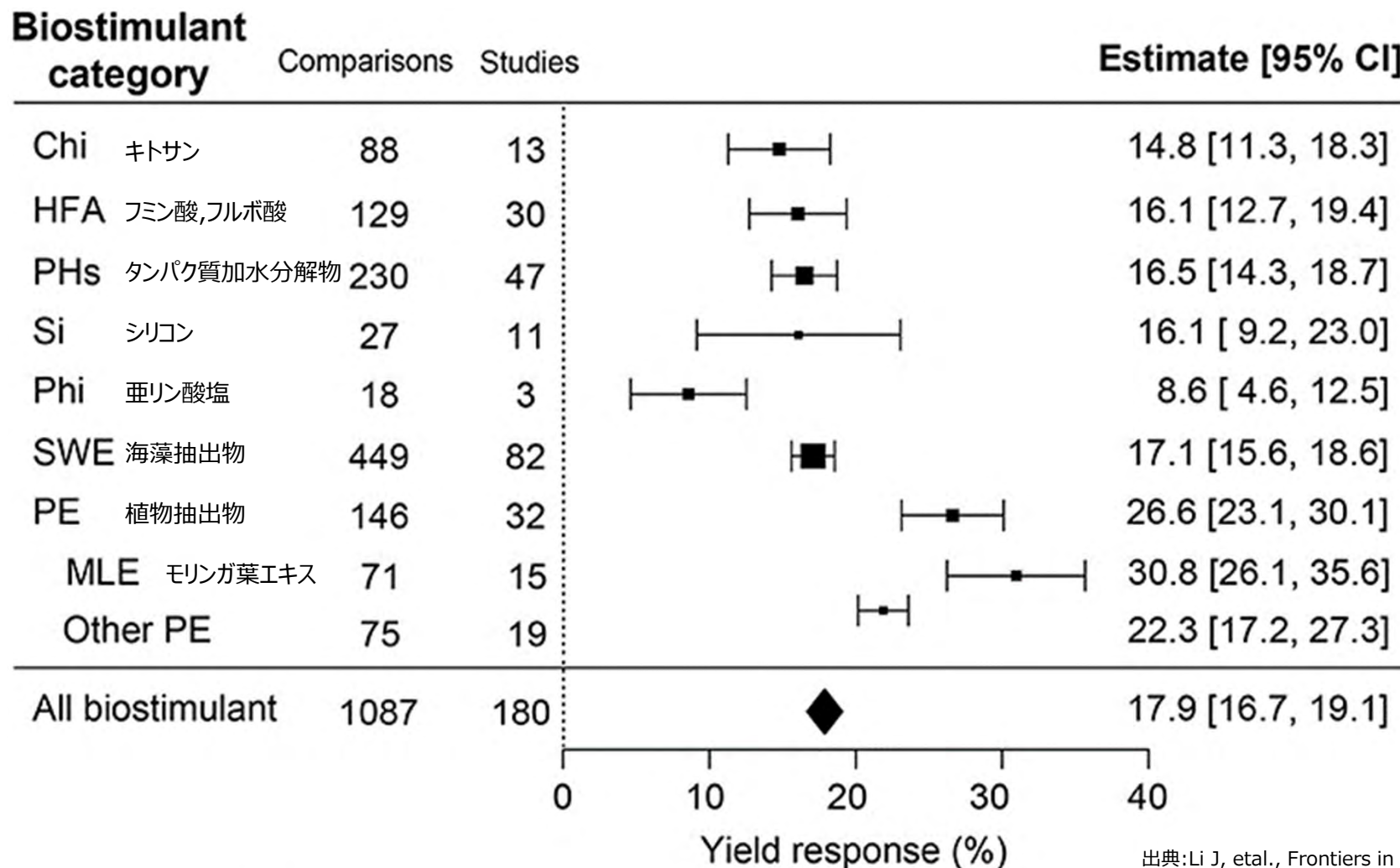
出典:Corsi S, et al., Agronomy 2022

出典:MDPI WEBサイト <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/6/1257/htm>

b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (1) 技術概要

露地栽培における収量増加効果のメタアナリシス

- ゲント大学 (ベルギー) は、合計180の研究結果を分析し、BSの収量増加効果をカテゴリ・施用方法・作物種・気候条件・土壌特性などのパラメータで比較。
- 全カテゴリの平均収量増加率は17.9%。
- 7種のBSカテゴリの内、植物抽出物で収量増加率が最大で、土壌処理による効果が最も高い可能性。



RE Model (Q = 57985631.10, df = 1086, p = 0.00; I<sup>2</sup> = 100.0%)

出典: Li J, et al., Frontiers in plant science.(2022)  
 出典: フロンティアメディアSA  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.836702/full#B24>

## b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (1) 技術概要

### カテゴリ別レビュー及び土壌健康指標との関係

- イリノイ大学（米国）は、海藻エキス、フミン酸、フルボ酸、リン溶解菌、アーバスキュラー菌根菌、酵素などの効果とメカニズムをレビュー。
- BSによる栄養取込み向上は、土壌及び根圏微生物への影響を介して効果を発揮。
- 土壌の健全性（土壌酵素活性、土壌微生物バイオマス等）の評価により、新たなメカニズム解明につながる可能性。

カテゴリ	既知のメカニズム（主に土壌及び根圏微生物に対する効果）
海藻エキス	活性酸素種除去による細胞損傷の緩和。植物ホルモン、ポリアミン、ベタイン等による、植物成長やストレス耐性調節
フミン酸とフルボ酸	動植物の死骸が微生物分解で変化した有機物。 土壌微生物への炭素供給
窒素固定細菌	植物及び土壌微生物へのN供給
リン溶解菌	無機リン酸塩を溶解することにより植物が利用可能なリン供給
アーバスキュラー菌根菌	リン溶解菌同様のリン可溶化作用。菌糸伸長により植物の根圏外の水、リン、窒素吸収促進
酵素	ホスファターゼによる土壌微生物に利用可能なリン供給、セルラーゼによる微生物の分解性向上等

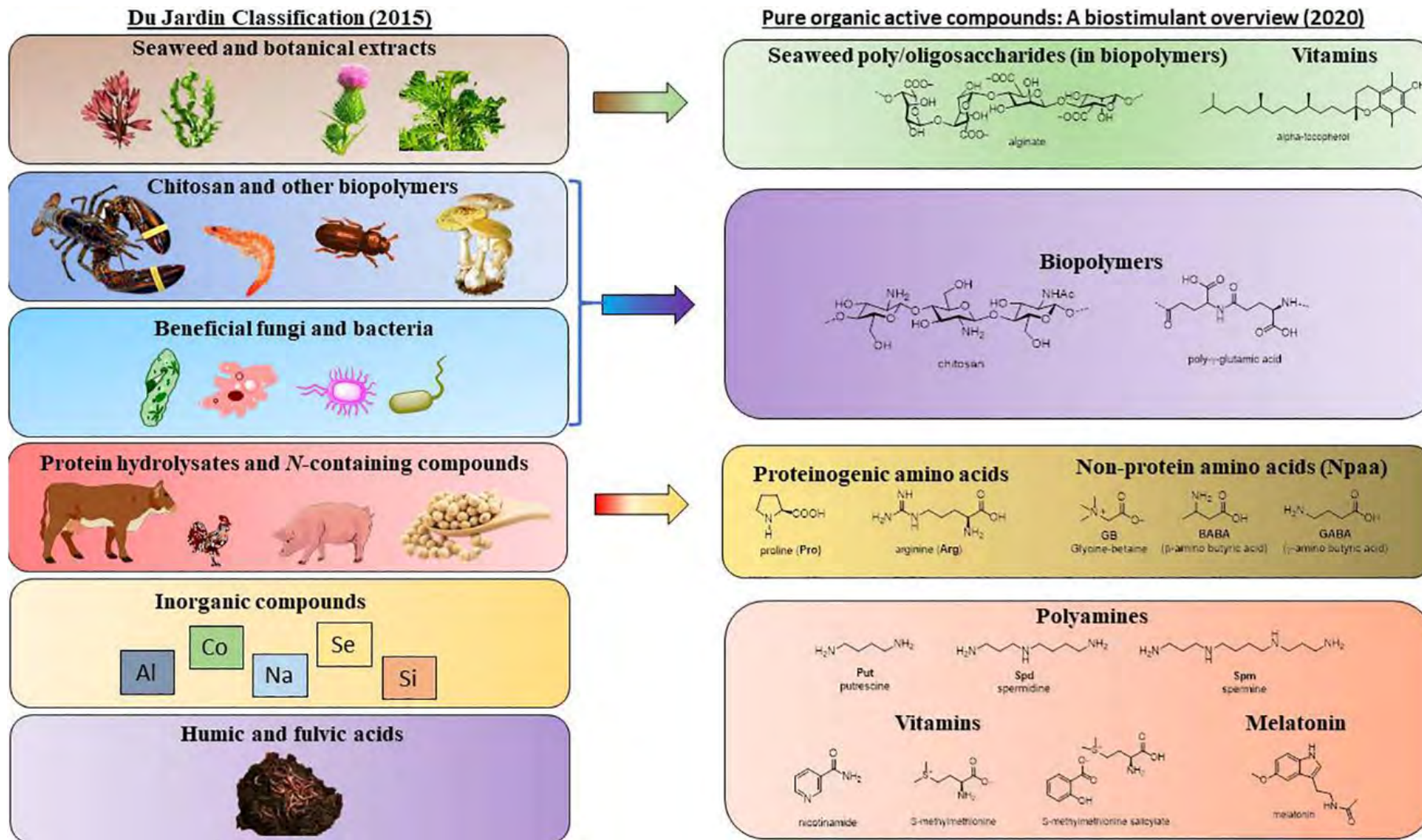
出典:Sible CN, et al., Agronomy.(2021)



b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (1) 技術概要

純粋な有機活性化合物に関するレビュー

- 多くのBS資材は、植物や海藻の抽出物、タンパク質加水分解物などの複雑な混合物。
- 天然物・農業生物学研究所IPNA (スペイン) は、純粋な活性有機化合物 (アミノ酸及びその他のN含有化合物、非タンパク質アミノ酸、ポリアミン、生体高分子、ビタミン、メラトニンなど) の効果とメカニズムをレビュー。



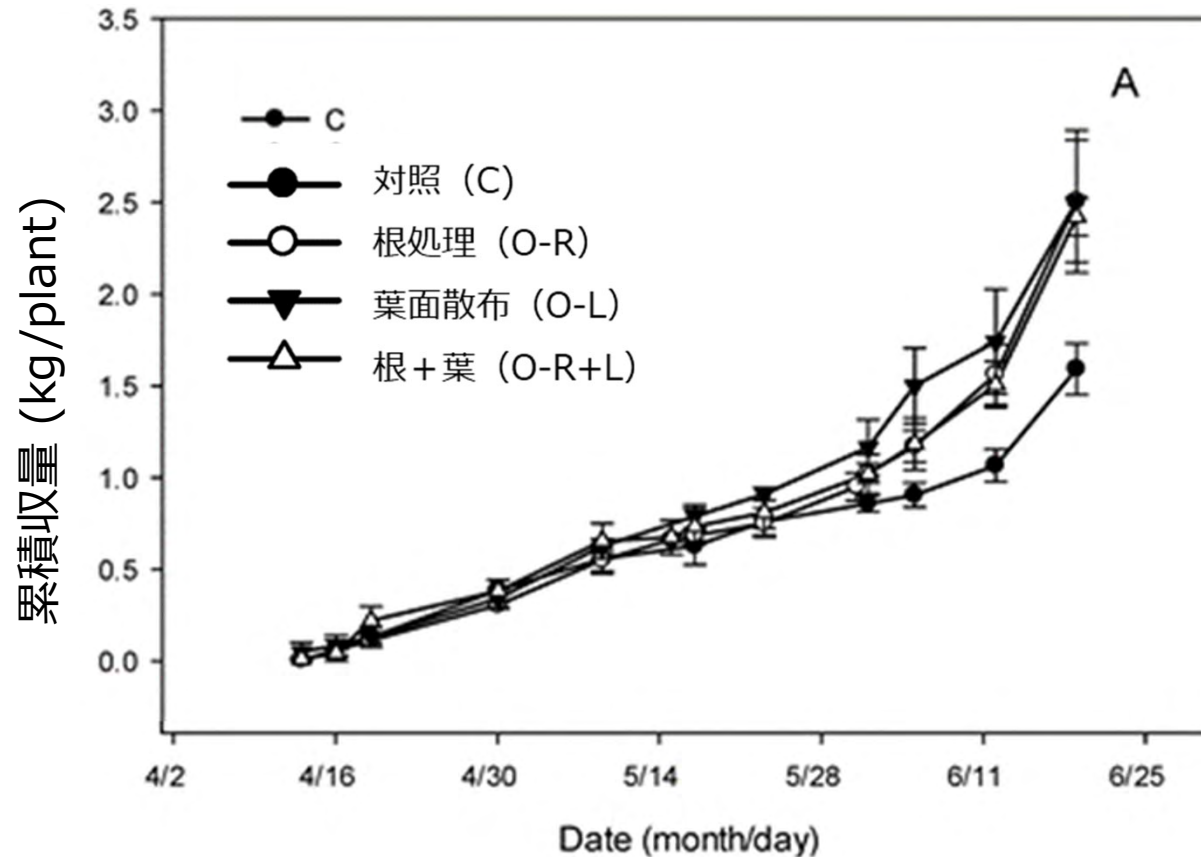
出典:García-García AL, et al., Frontiers in plant science.(2020)  
 出典:フロンティアメディアSA WEBサイト <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.575829/full>

b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (2) 事例

単一シグナル分子に基づく葉面散布BS

- Fyteko社 (ベルギー) は、乾燥、高温に対するストレス耐性に効果を示すNurspray® (主成分：オリゴサッカリン) を開発。
- 本プロジェクトでは処方改善、スケールアップ、EU8か国での実証実験を実施。2023年に欧州市場投入が目標。

Nurspayによるトマトの高温ストレス耐性効果検証  
 温度ストレスが低い条件で、収量の増加が顕著であった。



- 特定の植物代謝プロセスに着目し、その活性化化合物を合成、有効性検証することで新たなBSを開発。
- Nursprayのラインナップは、大豆・エンドウ豆用途とトマト・ピーマン用途がある。
- 2022年4月にはヤンセンPMPとNURSPRAYの提携契約を発表。

予算規模280万ユーロ  
 /EU負担190万ユーロ  
 Horizon 2020  
 (2020年5月-2022年12月)

出典:Hernández V, et al., Agronomy (2022)  
 出典:MDPI WEBサイト <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/4/802/htm>

## b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (2) 事例

## ナノ硫黄粒子のBSへの利用

- コネチカット農業試験場 (米国) は、金属錯体に代わる製剤としてナノ硫黄粒子の有効性を検証。
- 重金属汚染を防ぐほか、硫黄供給による植物の生産性向上と病気の制御を期待。

## 硫黄ナノ粒子(SNP)の葉面散布及び種子処理

トマト及びダイズの芽及び根における酸化ストレス、根原形質膜の損傷及び茎における病原体の増殖はすべて、SNPによって有意に減少。

- 温室及び野外条件下で、*Fusarium*及び*Xanthomonas*による病害に対するナノスケール硫黄の有効性を評価。

AFRI競争的助成金 5 万ドル  
(2020年9月-2023年8月)

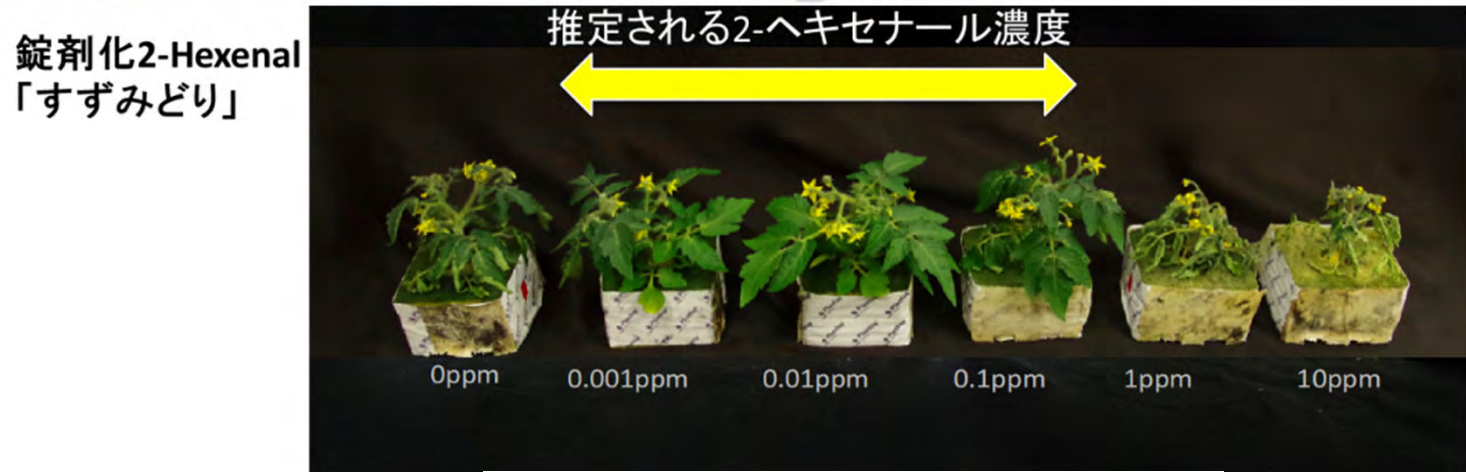
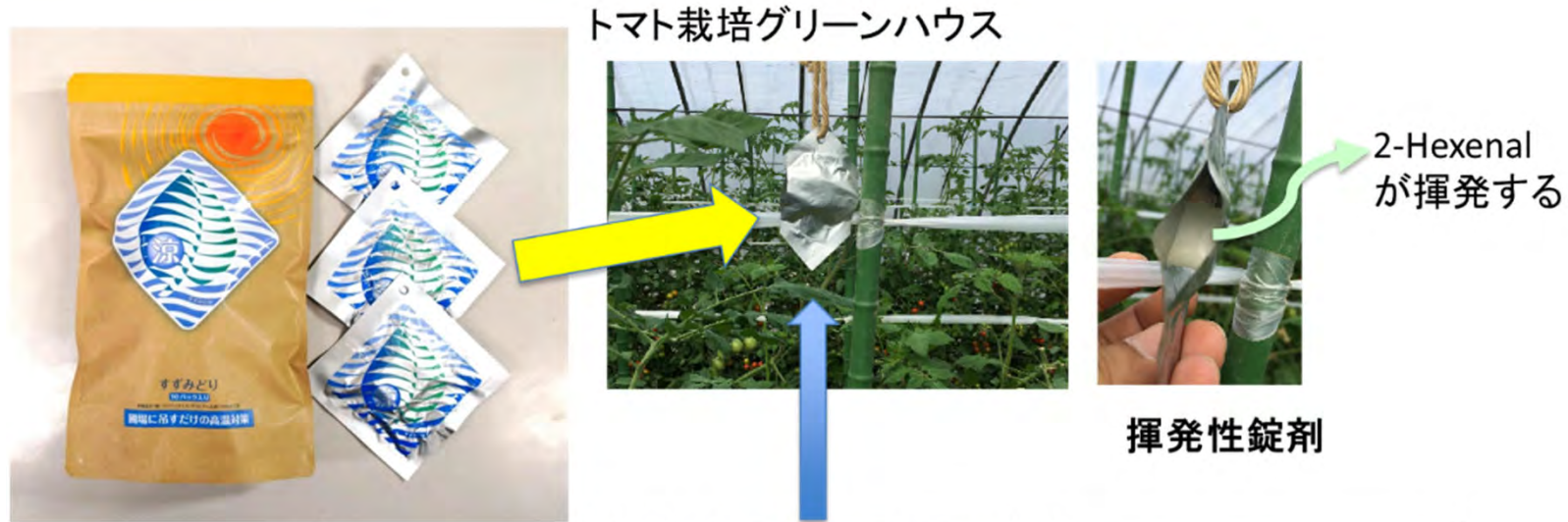
出典:Cao X, et al., ACS Nano (2021)  
出典:ACS Publications WEBサイト  
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsnano.1c02917>



b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (2) 事例

高温耐性付与資材「すずみどり」：神戸大学 山内靖雄准教授

- 葉の傷害後に発生する香りの一つである2-ヘキセナールで処理した葉は、高温や紫外線ストレスと同様の遺伝子応答を示した。予め処理することにより高温耐性を誘導することに成功。
- 2-ヘキセナールを錠剤化した高温耐性付与資材「すずみどり」販売。実証実験でイネ、キュウリ、トマトなどへの効果を確認。



トマトにおける高温耐性検証試験

出典: 神戸大学 山内靖雄准教授 ヒアリング資料



b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (2) 事例

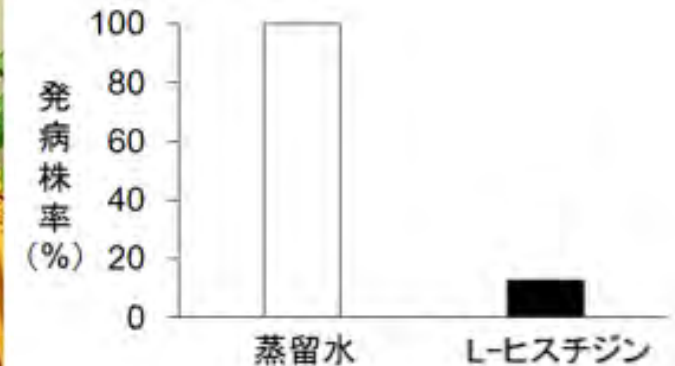
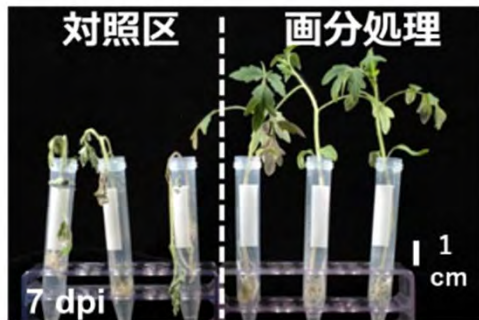
生物検定に基づく生理活性物質の精製①：農研機構 瀬尾茂美氏

- 青枯病の発病抑制効果を示す酵母抽出液より分画し、L-ヒスチジンを活性成分として同定。予め根部に処理したトマトは、青枯病の発病が抑制されることを確認。

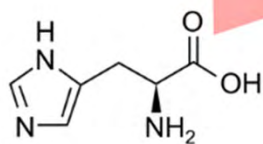
トマトの幼植物を用いた青枯病抵抗性検定

L-Hisの青枯病発病抑制効果

L-His水溶液 (5 mM) に根部を2日間浸漬後、青枯病菌を断根接種し、7日後の発病株率を比較。



発病抑制物質  
の単離・同定



L-Histidine

出典:農研機構 瀬尾氏 ヒアリング資料

出典:農研機構 WEBサイト

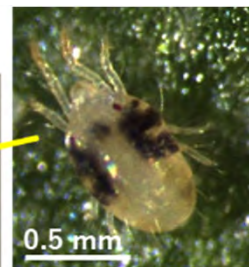
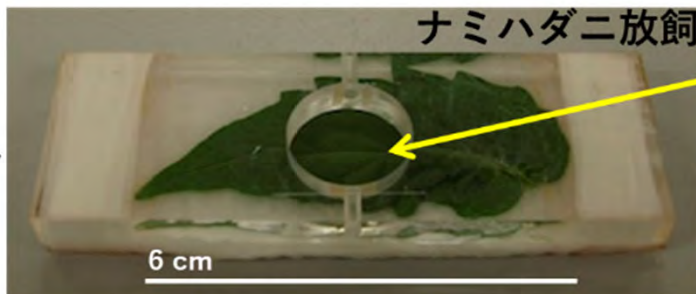
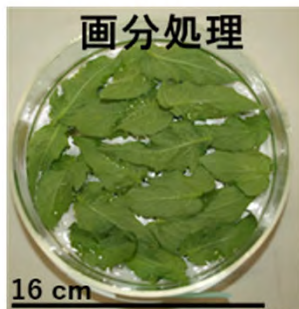
[https://www.naro.go.jp/project/results/4th\\_laboratory/nias/2016/nias16\\_s21.html](https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/nias/2016/nias16_s21.html)

b. 化学農薬使用量の低減 4. バイオスティミュラント (2) 事例

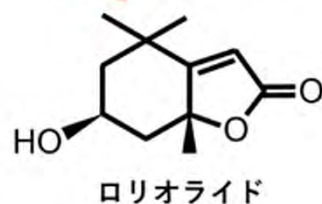
生物検定に基づく生理活性物質の精製②：農研機構 瀬尾茂美氏

- 害虫抵抗性遺伝子の発現が増強されたタバコ葉から、活性成分としてロリオライドを同定。
- ロリオライドは、既知抵抗性誘導剤とは異なる未知経路によって害虫抵抗性を示す可能性。

トマトを用いた害虫抵抗性検定

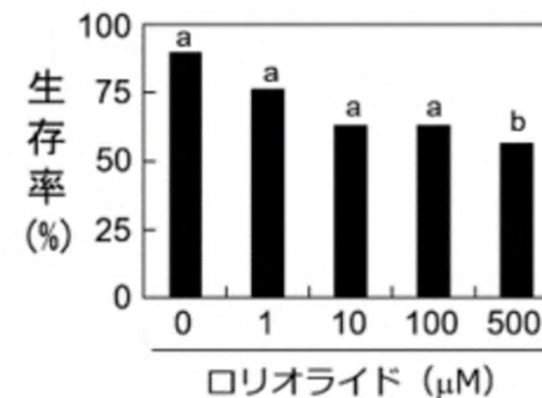
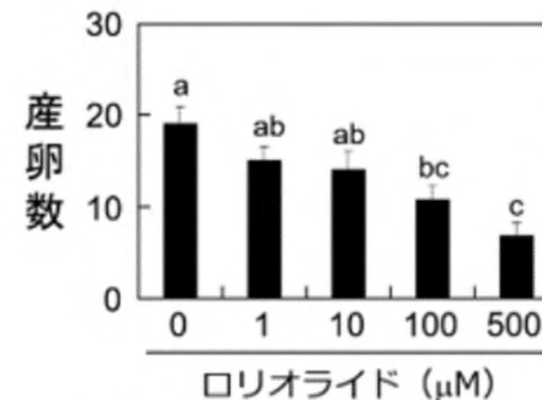


生存抑制物質の単離・同定



ナミハダニ雌の産卵数と生存率に対するロリオライドの効果

ロリオライド溶液中に24時間浸漬処理したトマト葉でナミハダニ雌成虫を5日間飼育



出典：農研機構 瀬尾氏 ヒアリング資料

出典：農研機構 WEBサイト

[https://www.naro.go.jp/project/results/4th\\_laboratory/nias/2017/nias17\\_s26.html](https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/nias/2017/nias17_s26.html)

## b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術 (1) 技術概要

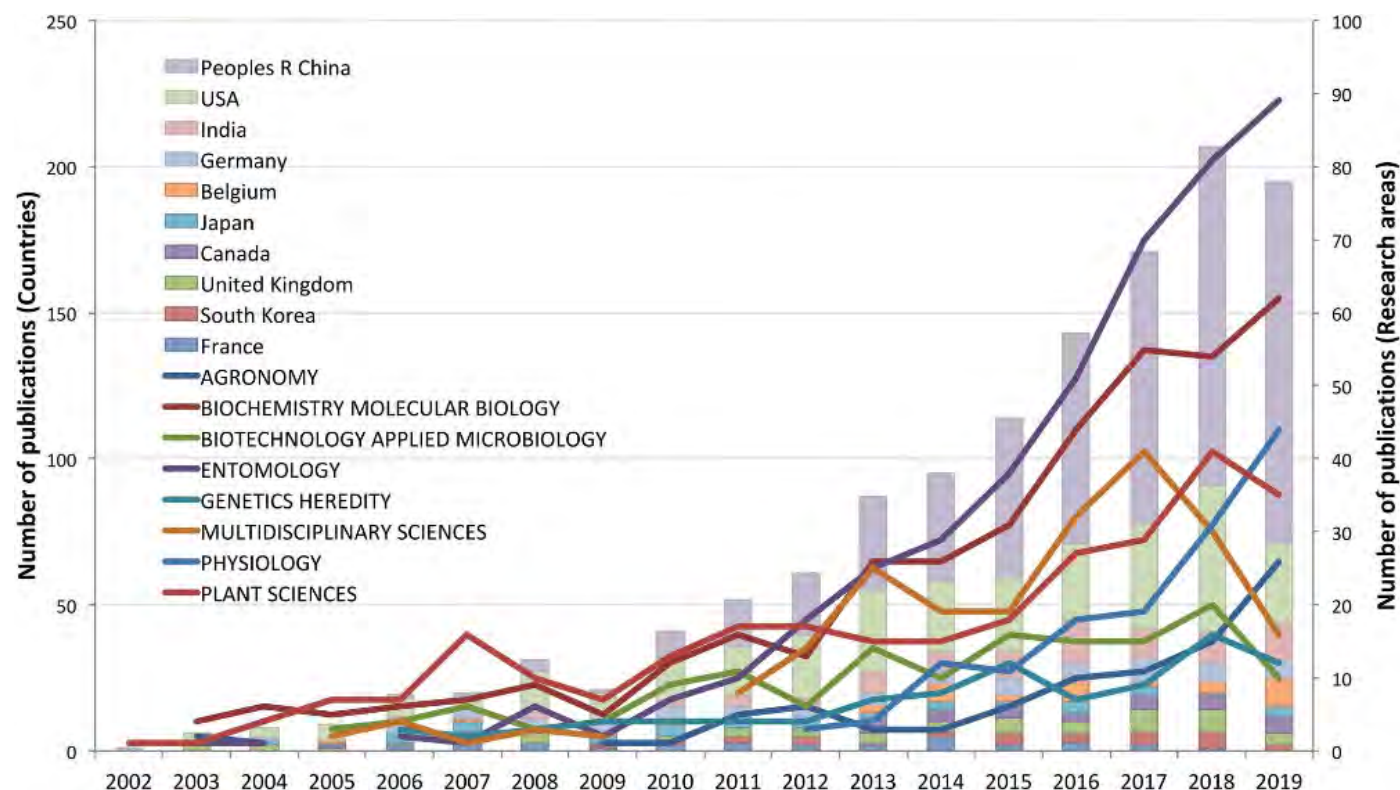
### 農業分野におけるRNA干渉技術の利用

- RNA干渉 (RNAi) を基にした生物的防除は、活性成分の二本鎖RNA(dsRNA)が害虫や病原微生物の生存に不可欠な遺伝子発現を阻害することで、それらを防除し作物を保護する技術。
- RNAiベースのGM作物が先行して開発されてきたが、近年はGMフリーで使用できるdsRNA製剤 (RNA農薬) に大きな関心。

#### RNAiベース防除技術の概要

製品	製剤 (RNA農薬) GM作物
対象	害虫、微生物、ウイルス
標的遺伝子 (昆虫)	致死、抵抗性・免疫関連、 成長・発生関連、産卵関連、嗅覚
製剤適用	葉面散布、根、種子処理

#### 農業分野のRNAi研究論文数上位10カ国 (2002~2019)



出典: Mezzetti B, et al., J Pest Sci (2020)

出典: Springer LINK <https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-020-01238-2>



b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術 (1) 技術概要

## RNA干渉ベース防除技術に関する規制

- RNAiベースGM作物は、既存の規制枠組を使用して評価されている一方、RNA農薬の安全性評価や承認プロセスは不明確。
- 国際的には2019年にOECDによりRNA農薬実用化のガイドライン策定会議が開催。

### 各国のRNA農薬に対する規制

国・地域	RNA農薬に対する規制対応状況
米国	<u>バイオ農薬に分類</u> 、EPAの登録が必要となる。RNAiベース農薬に関する特定のデータ要件は不明だが、従来の農薬の要件に追加してリスク評価データが必要となる場合がある。
オーストラリア	<u>化学農薬に分類</u> 。現在、登録のためのデータ要件に関する特定のガイドラインはないが、ヒト・作物・環境へのリスクに関するデータ等が必要となる。
EU	<u>化学農薬に分類</u> 。活性化合物はEFSAにより評価されて欧州委員会で承認され、活性化合物を含む製剤の承認は各国で行われる。既存の規制の中でRNAiベース製剤の特定のデータ要件は指定されていない。

### RNAiベース製品のリスク評価

- OECD会議の作業部会は、2020年9月に「散布又は外部適用ds-RNA系農薬の適用に関する環境リスク評価のための考慮事項に関する作業文書(第104号)」を公表。

#### dsRNAベースの製品のリスク評価の考慮事項

- RNAの分子構造、化学修飾、アッセイ方法、生産、処方
- dsRNAベースの最終製品の種類と適用方法
- RNAiベース殺虫剤曝露による非標的生物への影響
- 環境中RNAiベース殺虫剤からのdsRNAの残留性と分布
- 生態毒性リスク評価
- 曝露推定の不確実性と非標的生物への影響の不確実性

出典:K De Schutter, et al., Frontiers in Insect Science(2022)  
 出典:シュプリンガーネイチャースイスAG  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-020-01238-2>



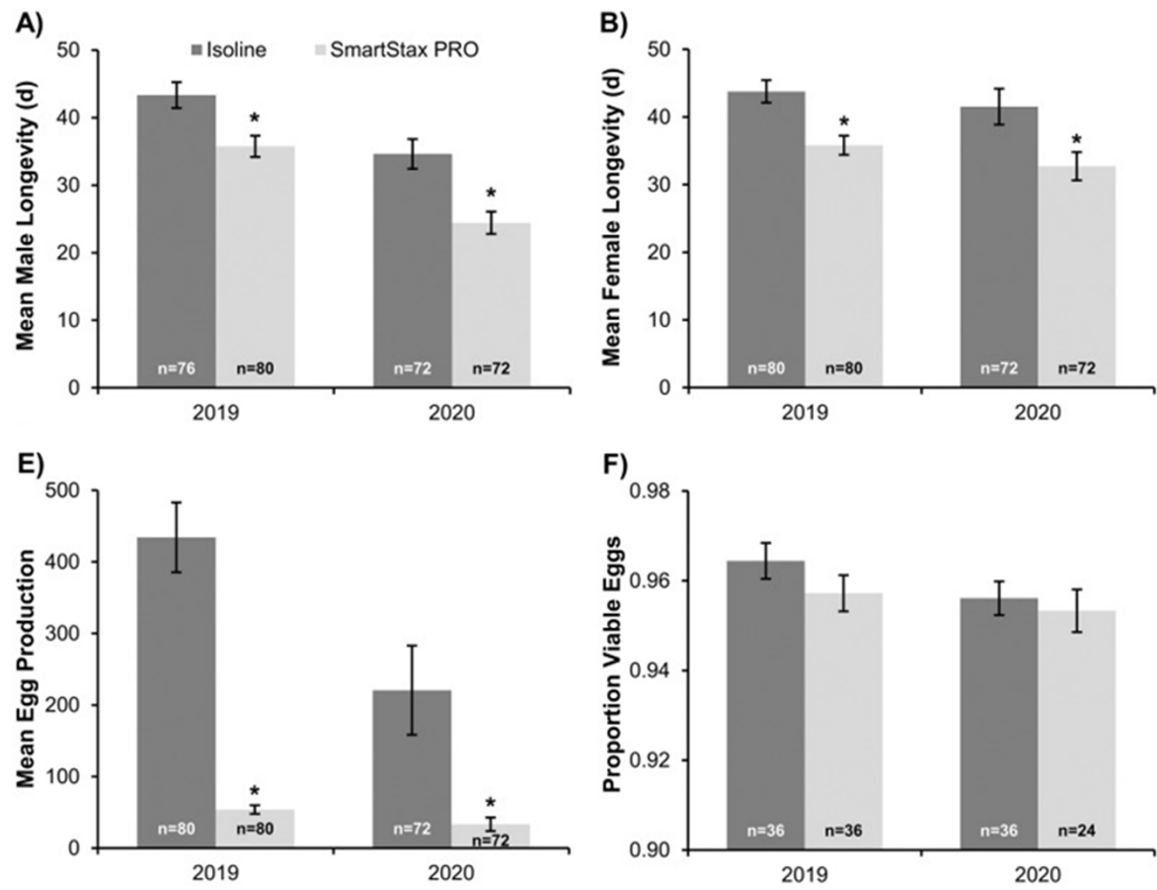
## b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術-遺伝子組換え作物- (2) 事例 RNAi技術を使った遺伝子組換えトウモロコシ

● バイエル社 (旧モンサント社) (米国) は、RNAi技術を用いた「SmartStax Pro」トウモロコシ(Mon87411)を開発し、2017年に米国、2021年に中国規制当局が承認。同製品は、2022年に米国\*、2023年にカナダで上市予定。

\*2023年2月現在、販売実態は不明

### ネキリハムシ (WCR) 成虫に対するSmartStax Proの有効性評価

SmartStax Proを摂取したWCR雌雄成虫は、対照と比較して寿命が有意に低下 (図A,B)、卵産生数は顕著に減少 (図E)。



- バチルス・チューリンゲンシス (Bt)Cry3Bt1毒素、グリホサート抵抗性及びWCRの*Snf7*遺伝子を標的とするdsRNA発現を組み合わせた製品。
- *Sn7*遺伝子は細胞内輸送に関与する必須タンパク質をコード。

出典:Reinders JD, et al., PLoS One. (2022)  
 出典:PMC WEBサイト  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9132300/>

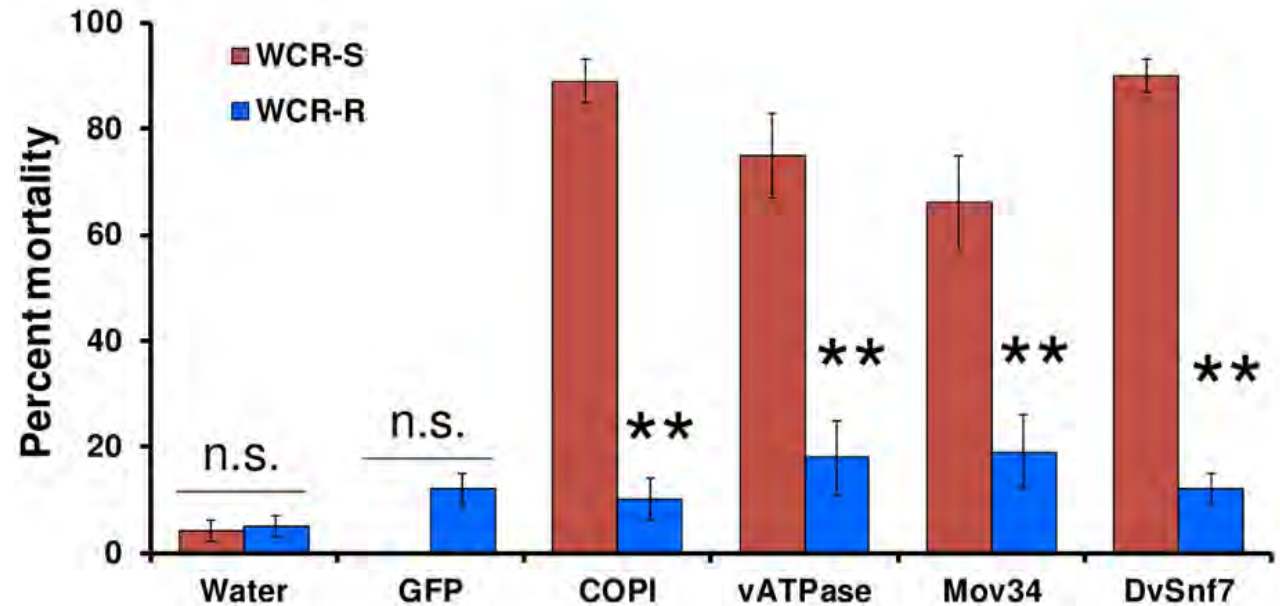
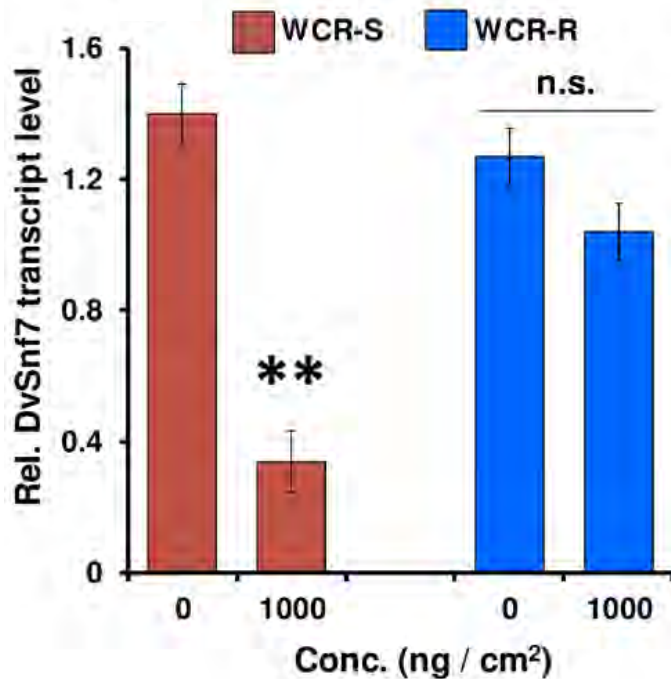
b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術-遺伝子組換え作物- (2) 事例  
**RNAiに対する抵抗性の獲得：バイエル社（旧モンサント社）（米国）**

- *DvSnf7* dsRNAを発現する組換えトウモロコシに対して生存した個体を10世代にわたって選抜した集団では、*DvSnf7*以外の標的遺伝子*vATPase*、*COPI β*、*Mov34*のdsRNAを投与しても抵抗性を示し、RNAi自体が効きにくくなった。これは細胞内へのRNAの取込み効率に関わっていると考えられる。

ネキリハムシの感受性集団（WCR-S）と抵抗性集団（WCR-R）の比較検証

*DvSnf7* dsRNA投与時の *DvSnf7*転写レベル

各標的遺伝子dsRNAの殺虫効果



出典:Khajuria C, et al., PloS One. (2018)  
 出典:PLOS WEBサイト  
<https://Journal.plos.org/plosone/article?d=10.1371/journal.pone.0197059>

## b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術-RNA農薬- (2) 事例 効果的なRNA設計と微生物による生産

- 2019年1月に米国カンザスシティのベンチャーTechAccel社とセントルイスのドナルド・ダンフォース植物科学センターと提携して、噴霧可能なRNAi昆虫防除の開発を目的としたRNAiSANCE AG社（米国）を設立。  
製剤1グラムあたり1～2ドル未満でdsRNAを製造。
- これまでのRNAi農薬では効果的でなかった鱗翅目の害虫タバコホーンワームに対して、独自のRNAi設計により有効性を改善することに成功。現在は早期のフィールド実証を進行中。

### 鱗翅目標的RNA農薬の作用機序

dsRNAを摂取した昆虫の中腸細胞において特定のタンパク質発現を妨げる。  
その結果、昆虫は腸内細菌バランスを制御できなくなり死に至る。

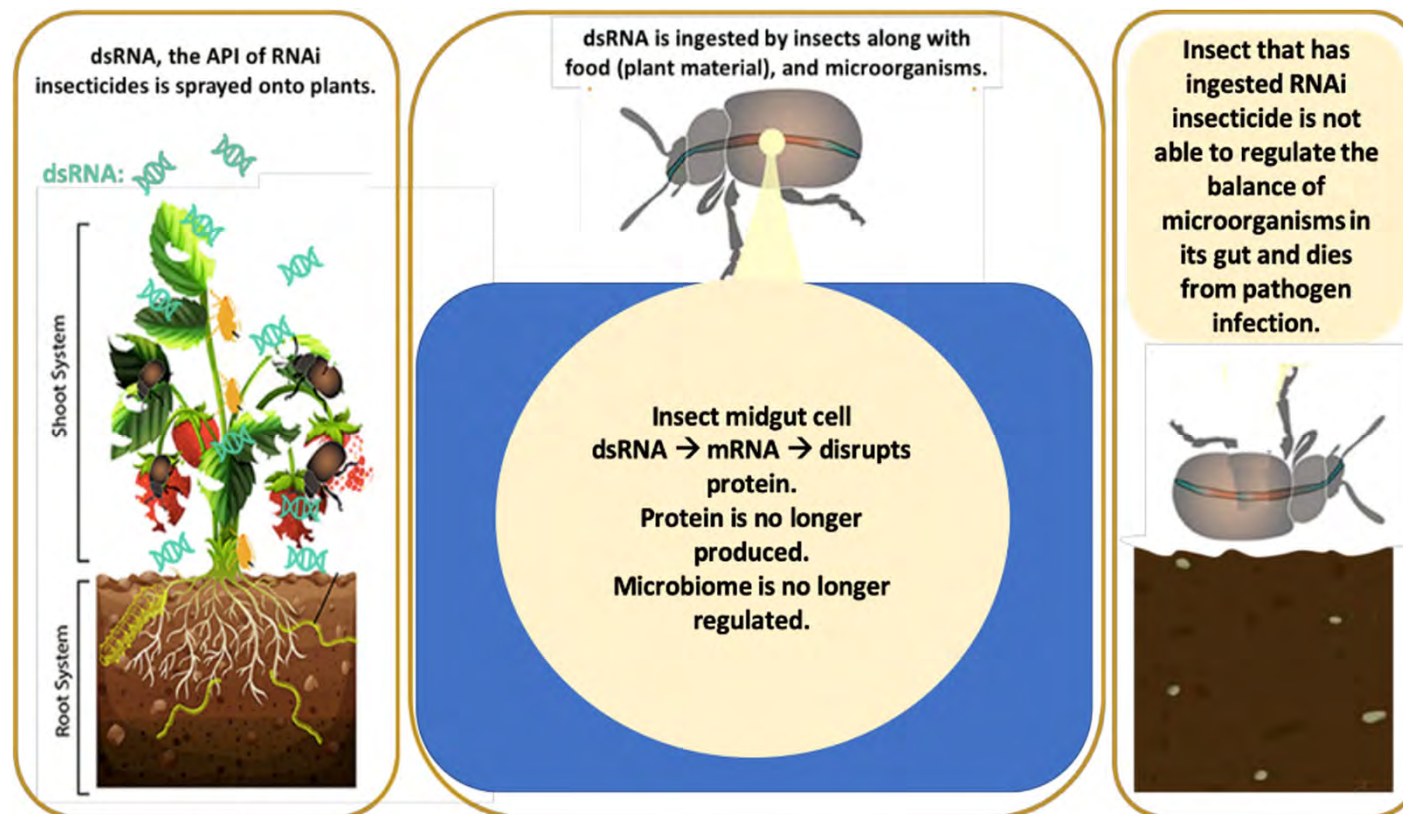


Figure modified from: *Frontiers in Physiology* 7 (2016): 553

出典: RNAiSANCE AG WEBサイト  
<https://www.rnaissanceag.net/solutions/>

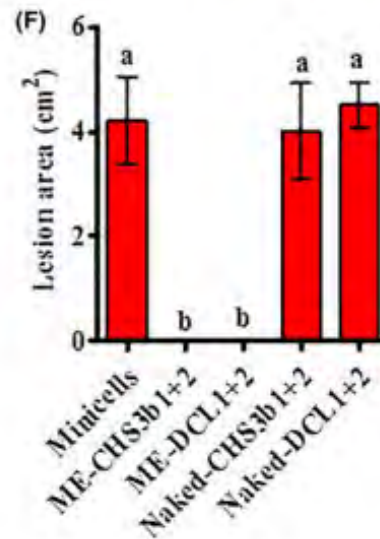
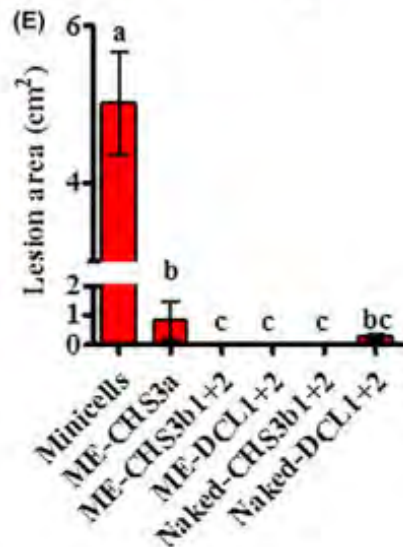
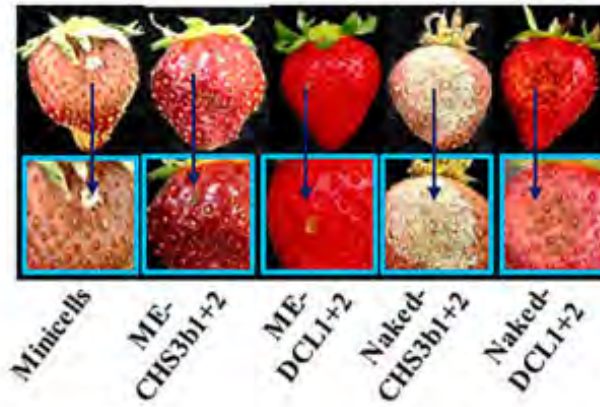


b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術-RNA農薬- (2) 事例

ミニセル封入RNA農薬による環境リスク低減：バージニア工科大学 (米国)

- 2022年9月に、ミニセル封入RNAi農薬の環境への影響を検証するプロジェクトを開始。
- 2021年の先行研究では、大腸菌由来の無核ミニセル封入dsRNA(ME-dsRNA)がRNaseによる分解から保護されることで、イチゴ表面上で安定化してdsRNAの持続性を向上させることを確認。

ミニセルのdsRNA持続性向上効果 (先行研究)



- 検証項目は以下の3つである。
  1. 水・土壌・葉・果実中における生分解性速度を評価
  2. 頻回適用\*した後の土壌微生物叢を評価 \*具体的な回数は不明
  3. RNA農薬が有益な微生物及び昆虫に悪影響を及ぼさないことを実証

NIFA助成金プログラム

494.6万ドル

(2022年9月-2025年8月)

出典: Islam MT, et al. Microb Biotechnol. (2021)

出典: PMC WEBサイト

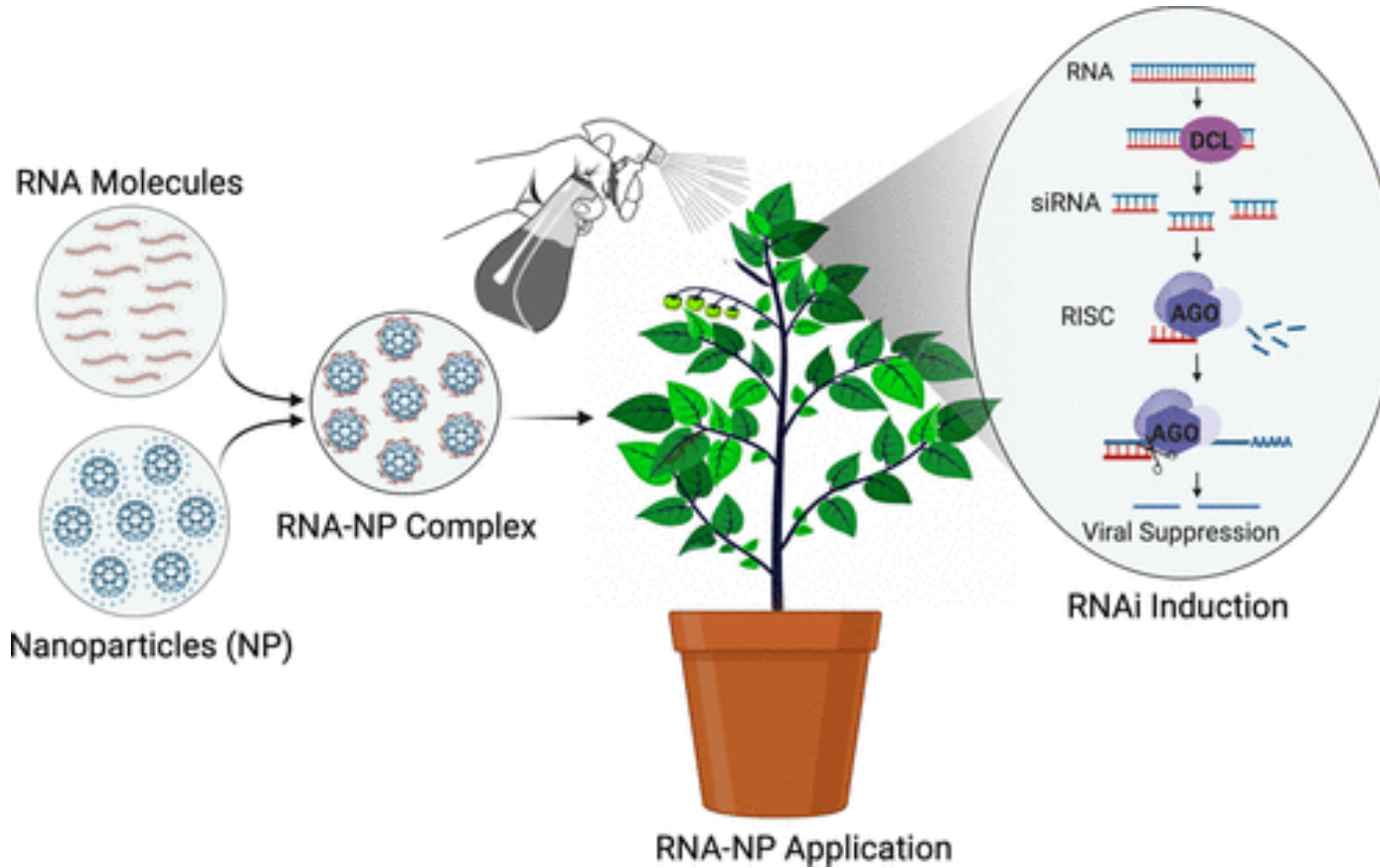
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8313293/>



b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術-RNA農薬- (2) 事例  
**植物ウイルス防除のためのdsRNAナノ粒子送達システム**

- コネチカット農業試験場（米国）は、2022年1月、さまざまなウイルス及び作物に応用できるナノ粒子を用いたdsRNA送達技術開発を目指すプロジェクトを開始。
- 3種のナノ粒子（キトサン、シリカ、カーボンドット）を合成し、ジャガイモ植物組織へのdsRNA分子の安定的かつ持続的な送達能力を比較検証中。

**ナノ粒子-dsRNA複合体 (RNA-NP)**



- 局所的にスプレーされるdsRNAは、紫外線による損傷や、RNaseによる分解のため、その有効性は5日間以内と非常に短い。
- dsRNAの効果的かつ長期間の供給を可能にするための新規で持続可能なナノ粒子を開発することを目標とする。

AFRI競争的助成金  
 636.6万ドル  
 (2022年1月-2024年12月)

出典:T Shidore, et al., ACS Appl. Nano Mater. 2021)  
 出典:NationalLibrary of Medicine  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8313293/>

## b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術-RNA農薬- (2) 事例 dsRNAのセルフリー生産 : GreenLight Biosciences (米国)

- プラスミドと酵素を用いたセルフリー生産によりdsRNA1グラムあたり1ドルで製造可能。
- 様々な病害虫、病原菌のRNA農薬について開発フェーズを示しており、コロラドハムシに対するRNA農薬は最速で2023年に承認される見通し。

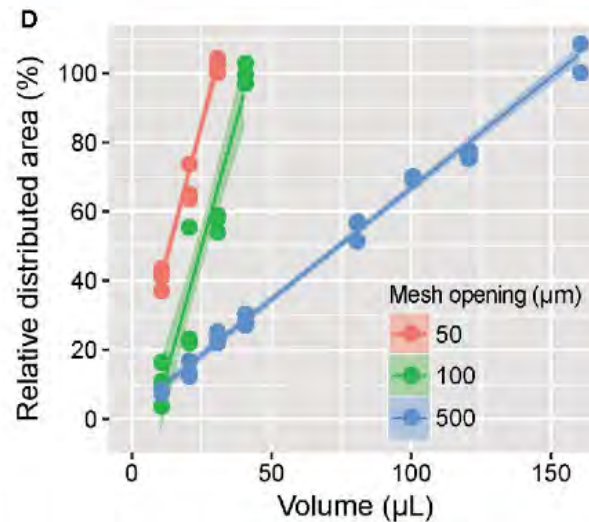
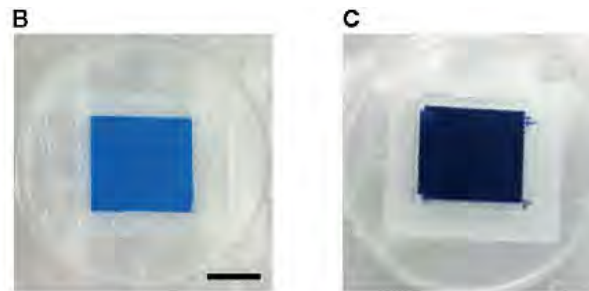
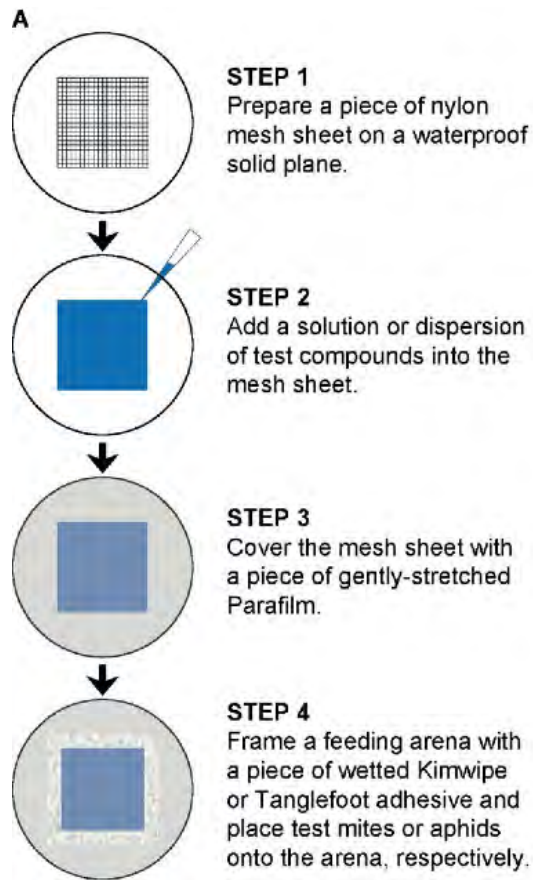
対象	上市予定	TAM (\$ M)
Colorado Potato Beetle	2023	\$ 350
Varroa Mite	2024	\$ 290
Botrytis	2025	\$ 1200
Powdery Mildew	2025	\$ 1400
Diamondback Moth	2026	\$ 890
Fusarium	2026	\$ 950
Two Spotted Spider Mite	2026	\$ 1100
Fall armyworm	2027	\$ 1900
Pollen beetle	2028	\$ 185

出典 : GreenLight Biosciences WEBサイトより作成  
<https://www.greenlightbiosciences.com/plant-and-animal-health/>

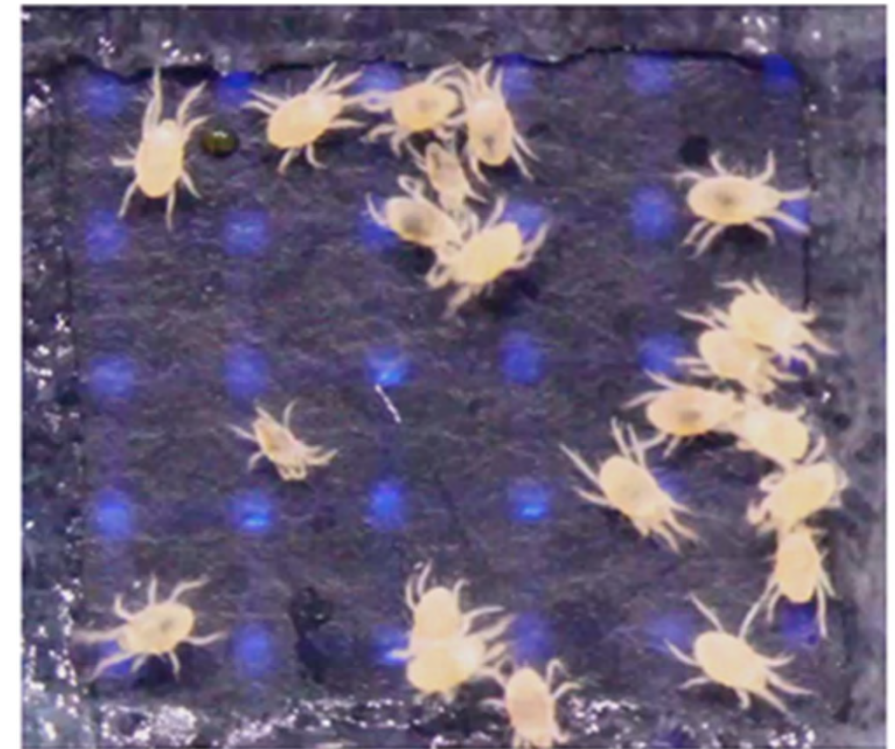
## b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術-RNA農薬- (2) 事例 薄膜シートを用いた経口投与系：東京農工大学 鈴木丈詞准教授

- 葉を模したシートにdsRNA溶液を染み込ませることで、吸汁性害虫であるハダニに対して効率良く経口投与させることに成功。
- 実際の葉よりも比表面積が大きいいため、より少量のdsRNA溶液で試験が可能。加えて、多数のハダニを載せられるため、スクリーニングを効率化。

### メッシュシート給餌装置の調製



### ハダニに対するシートを用いた経口投与



出典:東京農工大学 鈴木丈詞准教授 ヒアリング資料  
 Ghazy NA, et al. Frontiers in Plant Science. (2020)  
 出典:フロンティアメディアSA WEBサイト  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.01218/full>



## b. 化学農薬使用量の低減 5. RNA干渉を利用した防除技術-RNA農薬- (2) 事例 複数遺伝子を標的としたRNAi効率化：農研機構 田中良明氏

- 外来のdsRNAは植物体内のアポプラストを經由して全身に移行。これを利用して、キュウリの葉表面に傷をつけて害虫の遺伝子を標的としたdsRNAを塗布した結果、葉全体で食害を抑制。
- RNAiに関する複数遺伝子を標的としたdsRNAを追加することで、dsRNAの取込み効率が向上し、防除効果が増強。

### アザミウマに対する防除効果検証



アザミウマによる食害（白い部分）が葉全体で抑えられた



## 化学農薬の使用とリスクに関する規制動向

- 欧州委員会は、2022年6月、植物保護製品の持続可能な使用に関する規則（2021/2115）の改正提案（2022/0196）を採択。2030年までに化学農薬の使用とリスク及びより危険な農薬の使用を50%削減するというEUの目標を定め、加盟国がEU全体の目標を達成するために拘束力のある目標設定を規定。
- 米国の一部では、化学農薬のリスク分類を見直し、低リスク農薬選択のためのガイドラインを策定する動き。

### EUにおける持続可能な農薬の利用

- EUの植物保護製品の持続可能な使用に関する規則（2021/2115）の改正提案（2022/0196）
- この中で、「環境にやさしい害虫駆除:新しい措置は、すべての農家と他の農薬使用者が総合的病害虫管理(IPM)を実践することを確実化。これは、害虫予防に焦点を当て、害虫駆除代替方法を優先する環境に優しい害虫駆除システムであり、化学農薬は最後の手段としてのみ使用される。」と記載。

### 米国における農薬リスク分類に対する動き

- オレゴン州立大学はランセットにおいて、2020年2月、人間と環境の健康リスクを減らすための農薬の選択:グローバルガイドラインと最小農薬リストを公開。
- 659の農薬を、ヒトの健康に対する急性及び慢性のリスク(呼吸器及び発癌性の影響など)、生物濃縮、大気中のオゾン層破壊、水生生物・陸上野生生物・花粉媒介者へのリスクを含む環境リスクによって分類。
- WHO/FAOに対し、毒性の高い農薬HHP分類へのアプローチ及び最小農薬リストを検討するよう要求。

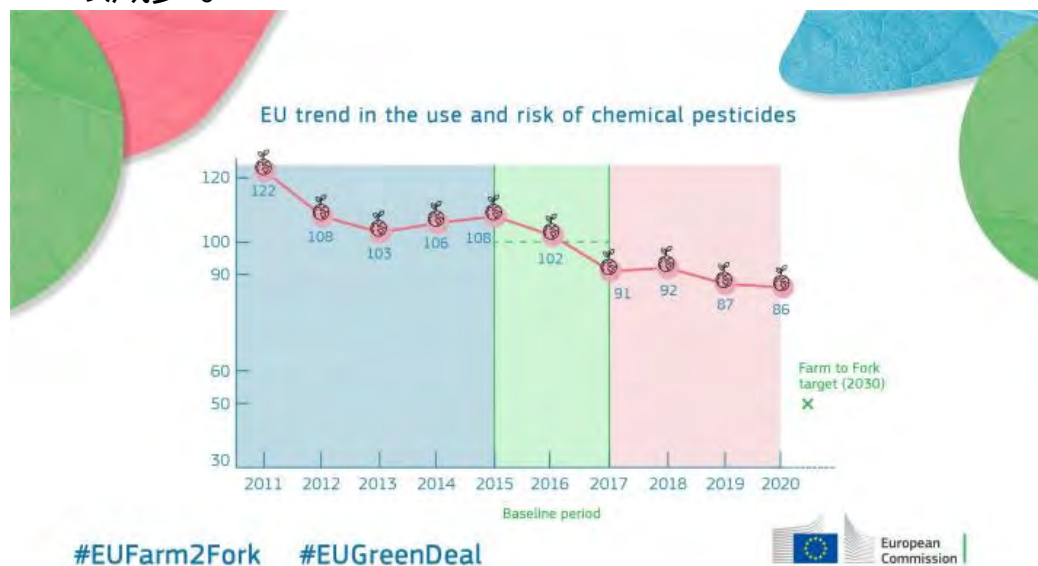
## b. 化学農薬使用量の低減 6. 低リスク農薬 (1) 技術概要

### EUの化学農薬の使用とリスクは、2015-2017年のベースライン期間から14%減少

- Farm to Fork戦略と生物多様性戦略は、農薬に関する2つの目標を設定。
  - 目標1:2030年までに化学農薬の使用とリスクを50%削減
  - 目標2:2030年までに、より危険な農薬の使用を50%削減
- 欧州委員会は、2022年6月15日、2011年から2020年までの期間のFarm to Fork農薬削減目標に向けた最新の進捗状況を発表。

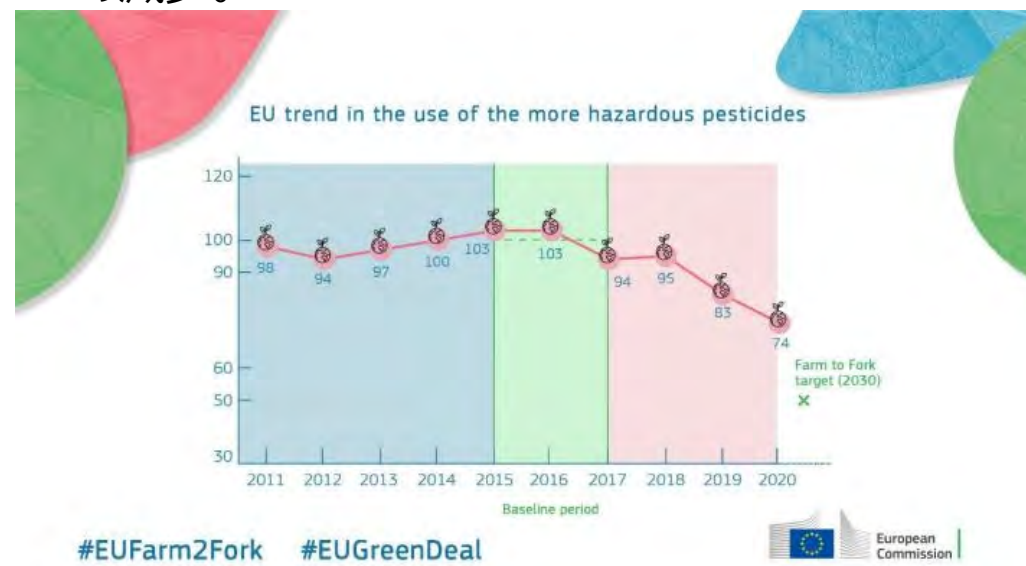
#### 化学農薬の使用とリスク

- 化学農薬の使用とリスクは、2015-2017年のベースライン期間から14%減少し、2019年と比較して1%の減少。



#### より危険な農薬の使用

- より危険な農薬の使用は、2015-2017年のベースライン期間から26%減少し、2019年と比較して9%の減少。



出典:欧州委員会 WEBサイト  
[https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/farm-fork-targets-progress/eu-trends\\_en](https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/farm-fork-targets-progress/eu-trends_en)

## b. 化学農薬使用量の低減 6. 低リスク農薬 (2) 事例

**処理花粉を用いた雑草防除技術：WeedOUT（イスラエル）**

- 正常な種子形成ができない独自花粉を人工受粉することで、耐性雑草を防除する方法を開発。
- 生産方法は、天然の花粉の採取とUV照射等による不稔化の2つのステップのみ。
- 処理花粉は、作物ではなく抵抗性雑草を標的とするように設計された新たなバイオ除草剤であり、既存の雑草管理手法に加えて容易に適用可能。

**WeedOUT花粉を受粉したオオホナガアオゲイトウの種子**

- WeedOUTの花粉による人工受粉によって得られた種子は、発芽能力を完全に失った。
- 対照の平均発芽率72%に対し、WeedOUTの花粉による人工受粉後に得られた種子はいずれも発芽しなかった。

予算規模7.1万ユーロ  
／EU負担5万ユーロ  
Horizon 2020  
(2019年3月-2019年6月)

出典:WeedOUT WEBサイト  
<https://www.weedout-ibs.com/our-solution>

## b. 化学農薬使用量の低減 6. 低リスク農薬 (2) 事例

### オリーブとアーモンド栽培のためのバイオ農薬

- BIOVEXOプロジェクト（オーストリア）では、オリーブとアーモンドの病気の原因となる、植物病原性*Xylella*細菌とその伝染性ツバメバチ媒介生物を標的とする生物由来農薬を研究。
- 6つの有望な生物的防除ソリューション候補が存在し、細菌株2種、微生物代謝産物、植物抽出物2種及び昆虫病原菌の生物農薬が候補。

- ヨーロッパの2つの主要なキシレラ発生地域（イタリアのプーリア州とスペインのマヨルカ島）で実証。
- 伝統的なオリーブ果樹園と新しく植えられたオリーブ果樹園での実証を行うとともに、スペイン本土とマヨルカ島のアーモンドの木で追加の試験を行う予定。

予算規模800万ユーロ  
／EU負担700万ユーロ  
Horizon 2020  
(2020年5月-2025年4月)

出典: BIOVEXO WEBサイト <https://biovexo.eu/>

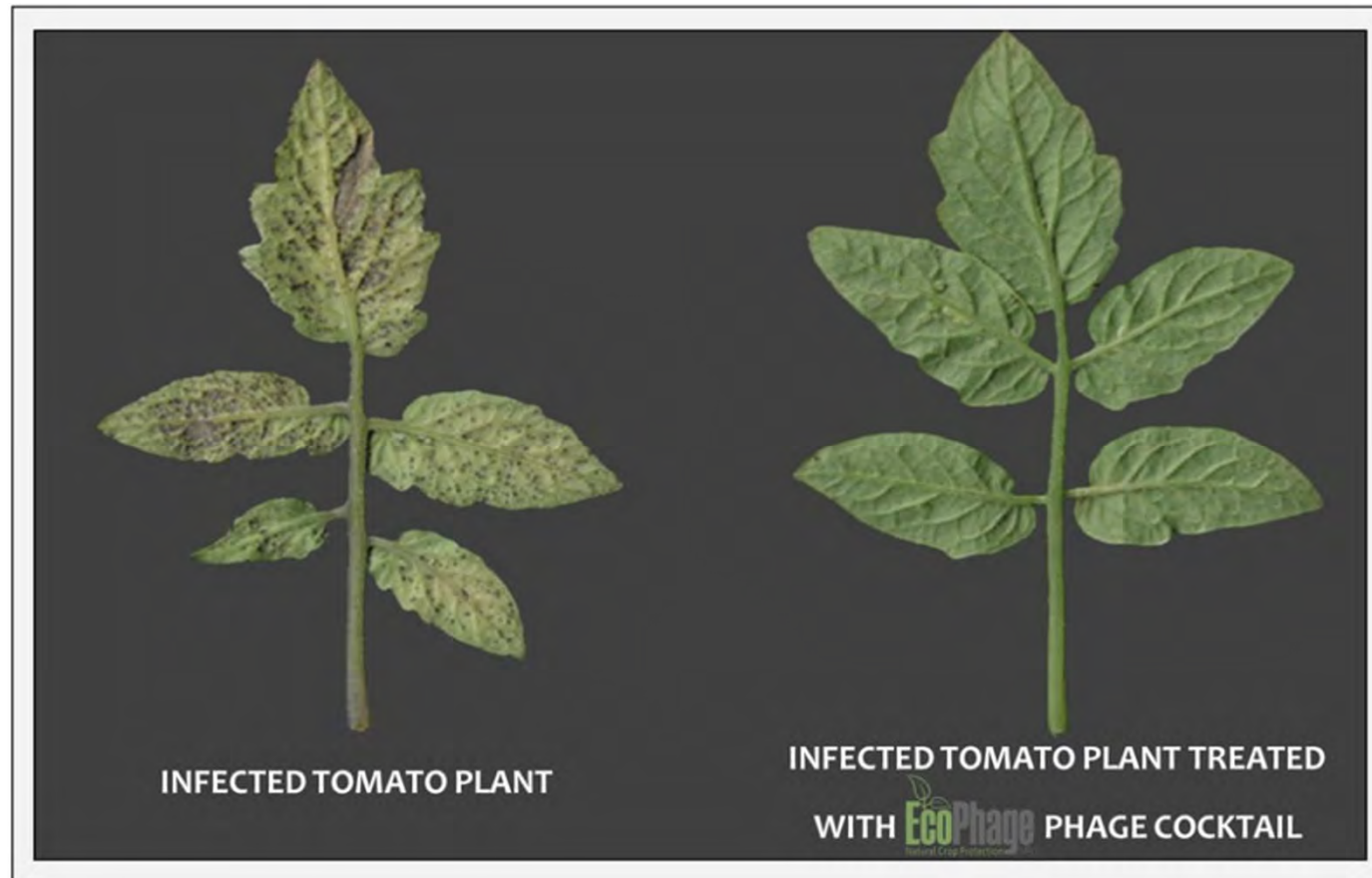


## b. 化学農薬使用量の低減 6. 低リスク農薬 (2) 事例

## 細菌性植物病害に対抗するバイオ農薬 (ウイルス)

- イスラエルの科学技術研究機関ワイツマン研究所が開発した技術ライセンスを受けたアグリバイオテクノロジー企業 EcoPhage社は、ファージコレクションのスクリーニングと特徴を登録したバイオデータプラットフォームを構築。
- 細菌性植物病害の病原菌に感染して細菌を死滅させるバクテリオファージを選定し、最も効果的なファージカクテルを創出。
- バクテリオファージは、細菌を標的とする自然発生のウイルスであり、人間、動物、植物に対して安全。

## バクテリオファージカクテル適用したトマトの細菌性病害保護効果



出典: EcoPhage WEBサイト <https://ecophage.com/>

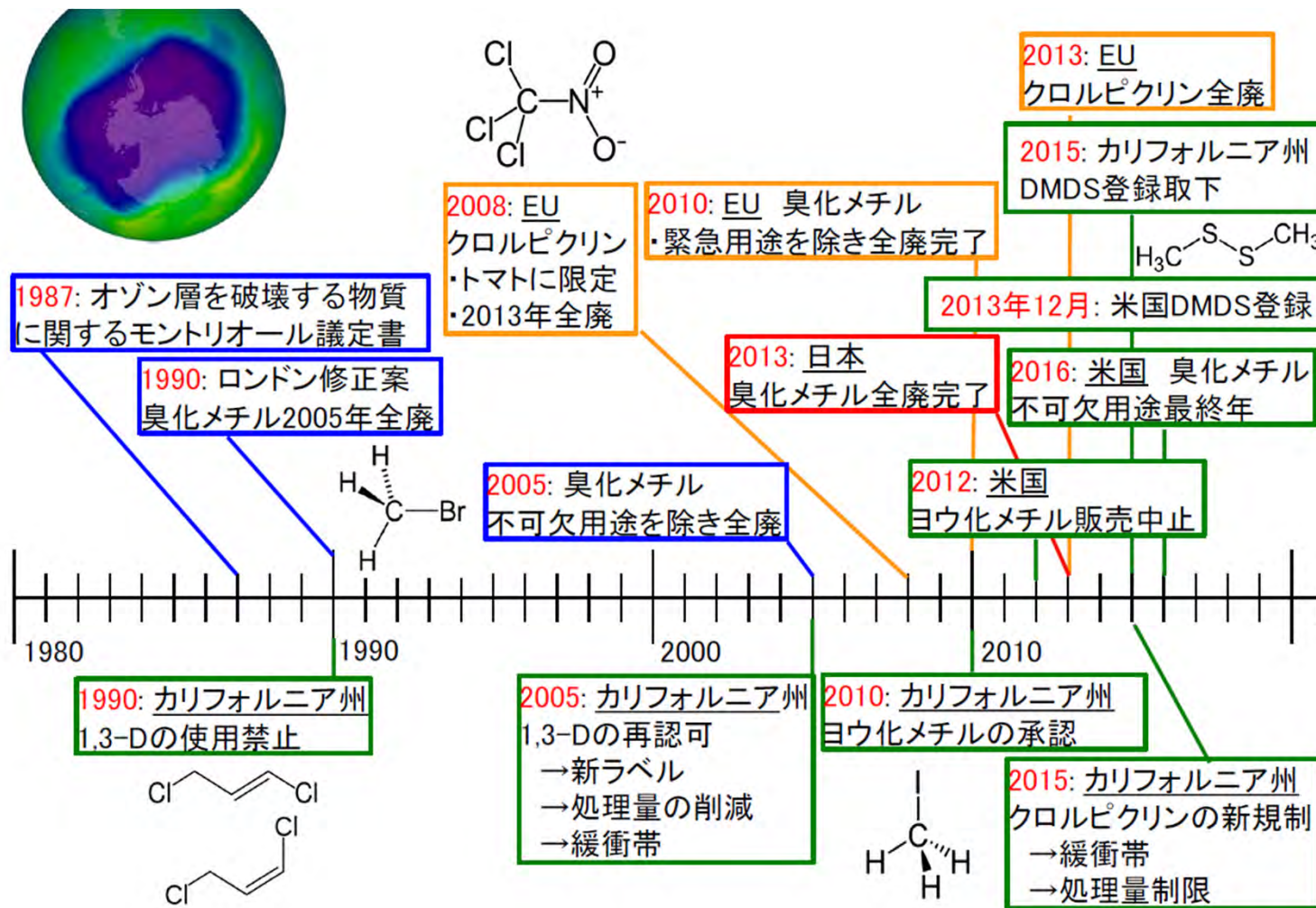
※アクセスできないため、図は以下から

trendlines WEBサイト <https://www.trendlines.com/portfolio/ecophage/>

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要

土壌くん蒸剤の規制概要

- 臭化メチルはオゾン層破壊の問題から、先進国では2005年、途上国では2015年に不可欠用途を除き全廃。
- 新規代替くん蒸剤は、これまでもいくつか開発されているが、毒性や臭い等の問題があり、数年で販売中止。この状況を打破するために化学的手法によらない土壌消毒技術が求められている。

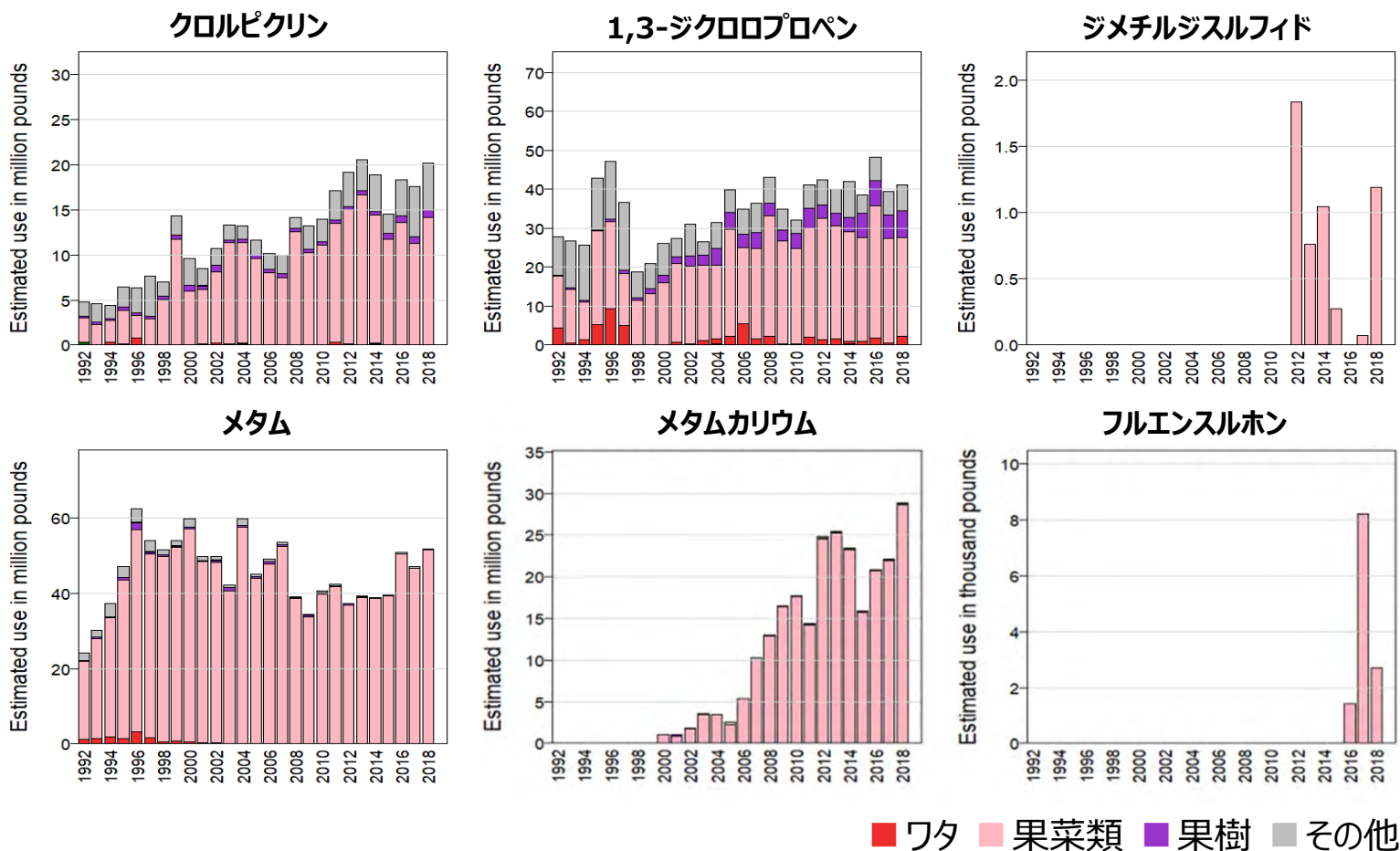


出典:農研機構 小原氏 ヒアリング資料

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要  
**米国の土壌くん蒸剤利用は2018年時点で6.5万トンに達すると推定**

● 米国における土壌くん蒸剤の1992年-2018年の利用動向は以下の通り。

**1992-2018年の米国における  
作物別推定使用量の動向（低い推定値）**



**米国における化合物別  
推定使用量（低い推定値）**

化合物	2018年 推定使用量 (トン)
クロルピクリン	9,154
1,3-ジクロロプロペン	18,671
メタム	23,444
メタムカリウム	13,092
ジメチルジスルフィド	539
フルエンズルホン	1.2

出典: Pesticide National Synthesis Project WEBサイト  
[https://water.usgs.gov/nawqa/pnsp/usage/maps/compound\\_listing.php](https://water.usgs.gov/nawqa/pnsp/usage/maps/compound_listing.php)

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要

**中国では臭化メチルの段階的廃止に伴い、土壌くん蒸剤の研究開発が急速に発展**

- 臭化メチルは、先進国では2005年に廃止、発展途上国では2015年に段階的に廃止。
- 中国では、2008年に農業産業に段階的廃止を開始。この代替品の台頭に伴い、土壌くん蒸剤に関する研究開発は急速に発展。
- 土壌くん蒸面積は急速に増加しており、2022年には、中国の野菜の作付面積2,000万haの約1%である20万haにおいて土壌くん蒸剤を利用。

**作物別土壌くん蒸面積予測結果 (ha)**

作物	2007	2012	2017	2022
イチゴ	5,752	15,037	58,955	71,157
温室作物	3,274	13,386	39,438	112,804
タバコ苗床	360	360	180	180
ニンジン	112	560	840	1,120
ショウガ	1,200	4,800	8,640	12,480
合計	10,698	34,143	108,053	197,741
中国の野菜の作付面積 (千ha)	17,557	18,497	19,981	21,485*
土壌くん蒸面積割合	0.06%	0.18%	0.54%	0.92%*

\* 2020年の中国の野菜の作付面積の数値を使用

出典:中国統計年鑑2021及びWebサイトを基にNTTデータ経営研究所作成  
<https://wenku.baidu.com/view/b4ab752619e8b8f67c1cb9fe?aggId=b4ab752619e8b8f67c1cb9fe&fr=catalogMain>

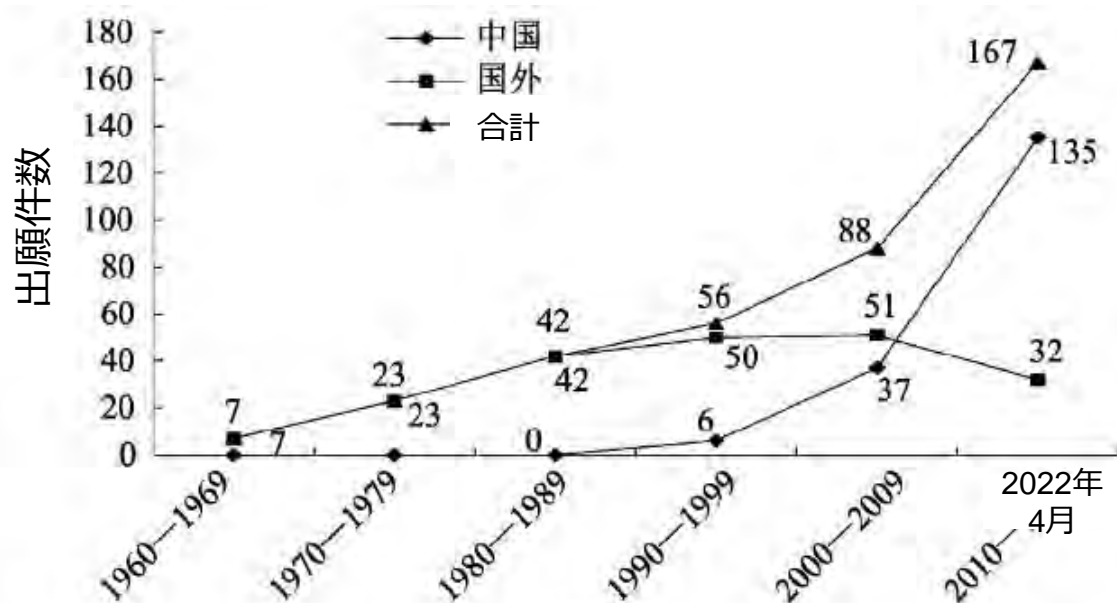


b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要

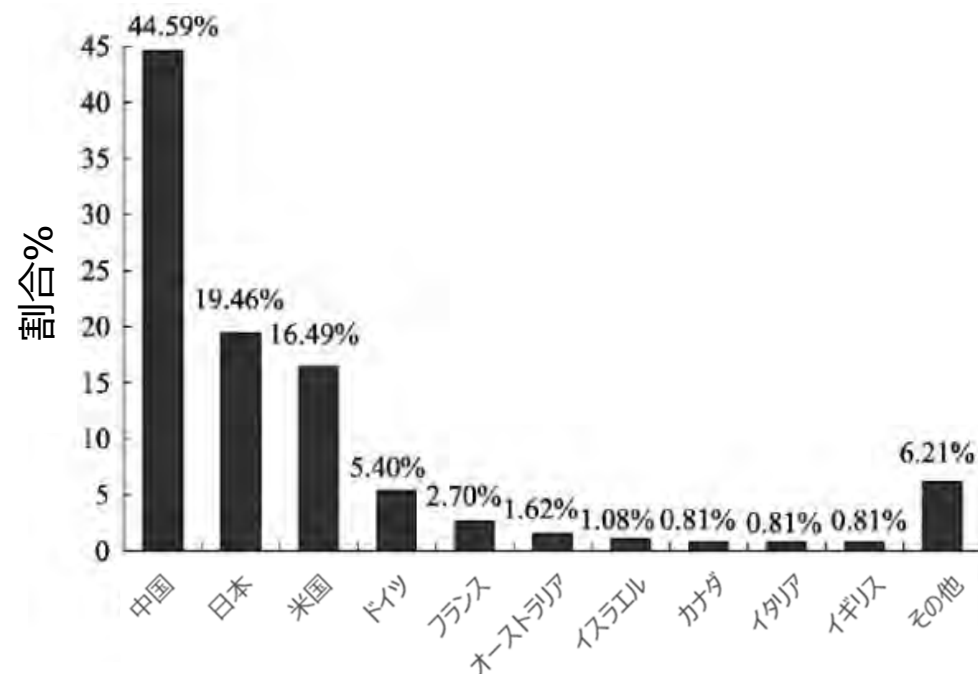
**中国では臭化メチルの段階的廃止に伴い、土壌くん蒸剤の研究開発が急速に発展**

- 中国における土壌くん蒸剤の特許出願数は、1990年代から急速に増加し、2010年から2022年4月までで135件。
- 国別の特許出願数では、中国が約44.6%を占め1位であり、次いで日本、米国、ドイツ、フランス、オーストラリア、イスラエル、カナダ、イタリア、イギリス。
- 中国国内外の出願は、既存くん蒸剤の配合、剤形変化などの研究に集中し、新しいくん蒸剤の開発は少ない。

**土壌くん蒸剤の特許出願数の推移と、国別の出願割合 (1960-2022)**



中国国内外の土壌くん蒸剤特許出願数



土壌くん蒸剤の特許出願人国籍の割合

出典: 陈翠翠, et al. 现代农药 (2022) 和訳・改変  
<http://www.jsppa.com.cn/news/yanfa/7580.html>

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (1) 技術概要

**土壌くん蒸における国内外の利用動向**

- 日本では農家自身が土壌くん蒸を実施可能である一方、米国ではライセンスをもつ業者のみが実施。

国・地域	利用動向
日本	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 農家自身が実施。くん蒸剤、処理方法に関する知識の程度は不明</li> <li>● 緩衝帯（バッファゾーン）の規制なし</li> </ul>
米国	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ライセンスを取得した土壌くん蒸請負業者のみ実施可</li> <li>● 農家（研究機関・研究者含む）自身は実施不可</li> <li>● 違反者に対する罰則は厳しい</li> <li>● 緩衝帯の義務付け（通常：300feet=90.9m、ダゾメット：500feet=151.5m） ※緩衝帯の緩和措置有</li> <li>● カリフォルニアでは、D-DをCAP制により総量規制 20,936kg/93.2km<sup>2</sup> (90,250pound/36mil<sup>2</sup>)township</li> </ul>
欧州	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2012年12月31日クロルピクリン全廃（代替技術がない場合は作物、生産者、地域等を限定して使用）</li> <li>● 他の土壌くん蒸剤についても全廃</li> </ul>
中国	<ul style="list-style-type: none"> <li>● クロルピクリン：請負業者のみに許可されていたが、2022年使用禁止</li> <li>● D-D：登録無</li> </ul>
韓国	<ul style="list-style-type: none"> <li>● クロルピクリン、D-Dともに登録無（使用禁止）</li> </ul>
台湾	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ダゾメットのみ登録有</li> </ul>

## b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

## BEST 4 SOILプロジェクト (オランダ)

- 土壌媒介性病害防除のための4つのベストプラクティス (堆肥/有機改変、緑肥/被覆作物、嫌気性土壌消毒 (ASD)、バイオソラリゼーション) に関する情報をオープンアクセスデータベース (Youtube、データベース、ファクトシート) で公開。
- 全ての情報は欧州22か国の公用語で利用可能。

Best4Soil データベース  
(<https://www.best4soil.eu/database>)

Country: United Kingdom

Soil Type: clay soil

Description: Description name

CREATE SCHEME

多数の線虫及び土壌媒介病原体について、宿主状態や感受性に関する情報を提供。

様々な作物栽培の最適な順序を決定するための支援ツール。

Crops (de)select all minimize all

- ⊕ Crop selection 10
- ⊕ Field crops 0/20
- ⊖ Vegetables 10/29
  - (de)select all
  - Asparagus
  - Basil
  - Beans
  - Black calif...

Nematodes (de)select all minimize all

- ⊖ Cyst nematodes 9/9
  - (de)select all
  - Globodera rostochiensis / G. pallida
  - Heterodera avenae
  - Heterodera betae
  - Heterodera carotae
  - Heterodera cruciferae
  - Heterodera glycines
  - Heterodera goettingiana

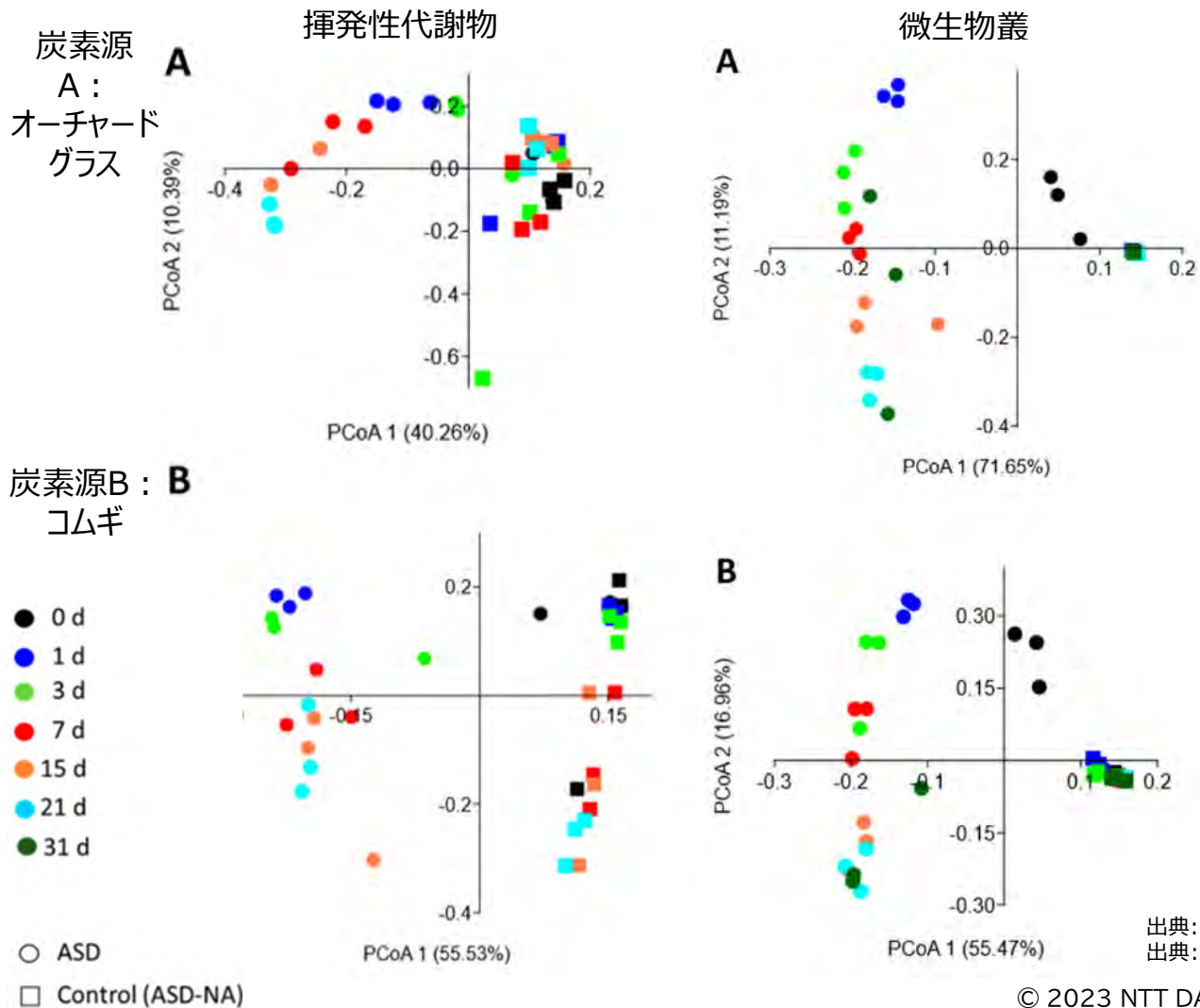
予算規模200万ユーロ  
/EU負担200万ユーロ  
Horizon 2020  
(2018年8月-2022年3月)

b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

イチゴ生産における病害管理のための嫌気性土壌消毒、輪作、品種の統合：UCSC (米国)

- 嫌気性土壌消毒 (ASD) は、オーチャードグラス、コムギ、米ぬか等の有機物を土壌に混入・冠水後、フィルムで覆い密閉する手法。酸素が急激に消費されて植物病原菌が消毒される安全性の高い手法として注目。
- UCSCを中心に、アブラナ科植物の土壌還元や輪作が行われ、地域農家に普及させるプロジェクトを実施。

嫌気性土壌消毒 (ASD) の炭素源が  
土壌メタボローム及びマイクロバイオームに及ぼす影響



- 異なる炭素源を土壌に混和、灌水後、酸素不透過性フィルムで覆い、21日間インキュベート、その後10日間の好気条件への回復。
- ASDにより揮発性代謝物プロファイル、微生物叢が経時的変化。

USDA-NIFA助成金  
2,513,000ドル  
(2017年8月-2023年8月)

出典:Hewavitharana SS, et al., Microorganisms (2021)改変  
出典:MDPI WEBサイト <https://www.mdpi.com/2076-2607/9/8/1638/htm>



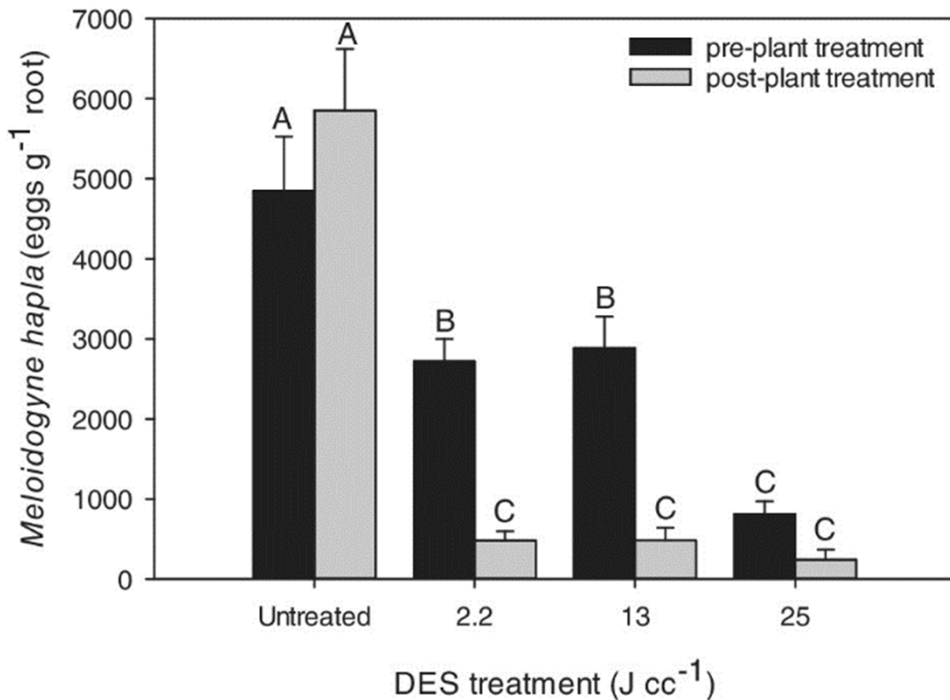
b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

パルス電界とオーム加熱を用いた害虫駆除：オレゴン州立大学 (米国)

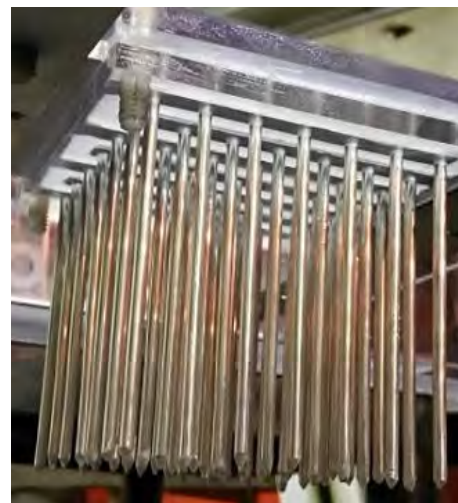
- 苗木の苗床における、パルス電界及びオーム加熱を使用した土壌燻蒸の代替アプローチを検証。
- 線虫、真菌及び雑草を防除するためにパルス電界及びオーム加熱の有効性を比較し、土壌深度の影響や、作物の品質、経済性等を評価。

植物寄生性線虫に対する電気パルスの効果検証

トマトの植え付け前または後に指向性エネルギーシステム (DES) 処理した結果、*M. hapla* (キタネコブセンチュウ) 卵密度が有意に減少した。



DESの電極ピン



- パルス電界及びオーム加熱は、いずれも広範囲の害虫に対する有効性を実証済み。
- これらのツールの有効性を向上させるために、実際の耕作地において実証実験中。

USDA-NIFA助成金

44.2万ドル

(2022年9月-2025年8月)

出典:Riga E, et al. Pest Manag Sci.(2020)

出典:John Wiley & Sons, Inc.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ps.5745>

## b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

## 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒方法の開発：農研機構

- 低濃度エタノールによる土壌病害虫の発生抑制は、土壌中の酸素濃度の低下によって生育環境が大きく変化することによるもので、エタノールの直接の殺菌効果によるものではない。
- 本法で用いるエタノールは、農薬取締法上の農薬には該当しないと判断されており、「土壌還元消毒用資材」として扱われる。

## 土壌病害虫防除方法の効果と資材費用の比較

防除方法	ウイルス	細菌	糸状菌	線虫	土壌害虫	雑草	使用量 /10a	資材費用 /10a
低濃度エタノール	—	○	○	○	○	○	1kL	60,000 円 *2
太陽熱消毒	×	○	○	○	○	△	—	—
熱水・蒸気消毒	△~×	○	○	○	○	○~△	150kL(蒸気)	80,000 円(灯油)
抵抗性品種(台木)*1	(○)	(○)	(○)	(○)	×	×	—	—
対抗植物	×	×	×	△	×	×	—	—
ダゾメット剤	×	○	○	○	○	○	30kg	30,000 円
カーバム Na 剤	×	○	○	○	○	○	40 ~ 60L	21,000 ~ 31,500 円
D-D 剤	×	×	×	○	○	×	30L	10,000 円
クロルピクリン剤	×	○	○	○	○	△	30L	30,000 円
臭化メチル	○	○	○	○	○	○	30L	65,000 円

○：効果がある、△：やや効果がある、×：効果なし

\*1 一部作物(品種)に限られる。また、全てに有効でない。

\*2 原料アルコールの輸入価格(平成18年通関統計実績)、副生アルコールの利用によって資材費用の削減が可能

出典:農研機構 小原氏ヒアリング資料

農環研ニュース(2008)

<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/publish/niaesnews/079/news07903.pdf>



b. 化学農薬使用量の低減 7. 土壌くん蒸剤の利用動向・代替技術 (2) 事例

ガスバリアー性フィルムによる土壌くん蒸効率の改善：農研機構

- 徳島県里浦地区の特に水捌けの悪い低地で立枯病が発生。
- ガスバリアー性フィルムの使用により、土壌くん蒸剤の漏洩を防ぎ、慣行の農業用ポリエチレンフィルムに比べて病害・収穫量ともに大幅な改善。
- 土壌くん蒸剤、フィルム、消毒機及び施用方法の改善により、施用量の低減化に期待。

慣行フィルムとガスバリアー性フィルム被覆によるクロールピクリン処理の効果比較

	農ポリ (P E) 0.03mm厚使用区	ガスバリアー性フィルム 0.02mm厚使用区
		
10a当り収量(kg)	1400	2466
秀品率 (%)	10.6	74.6
病害発生率 (%)	80.9	1.4
10a当たりの概算収入	1,400kgX300円=420,000円	2,466kgX300円=739,800円

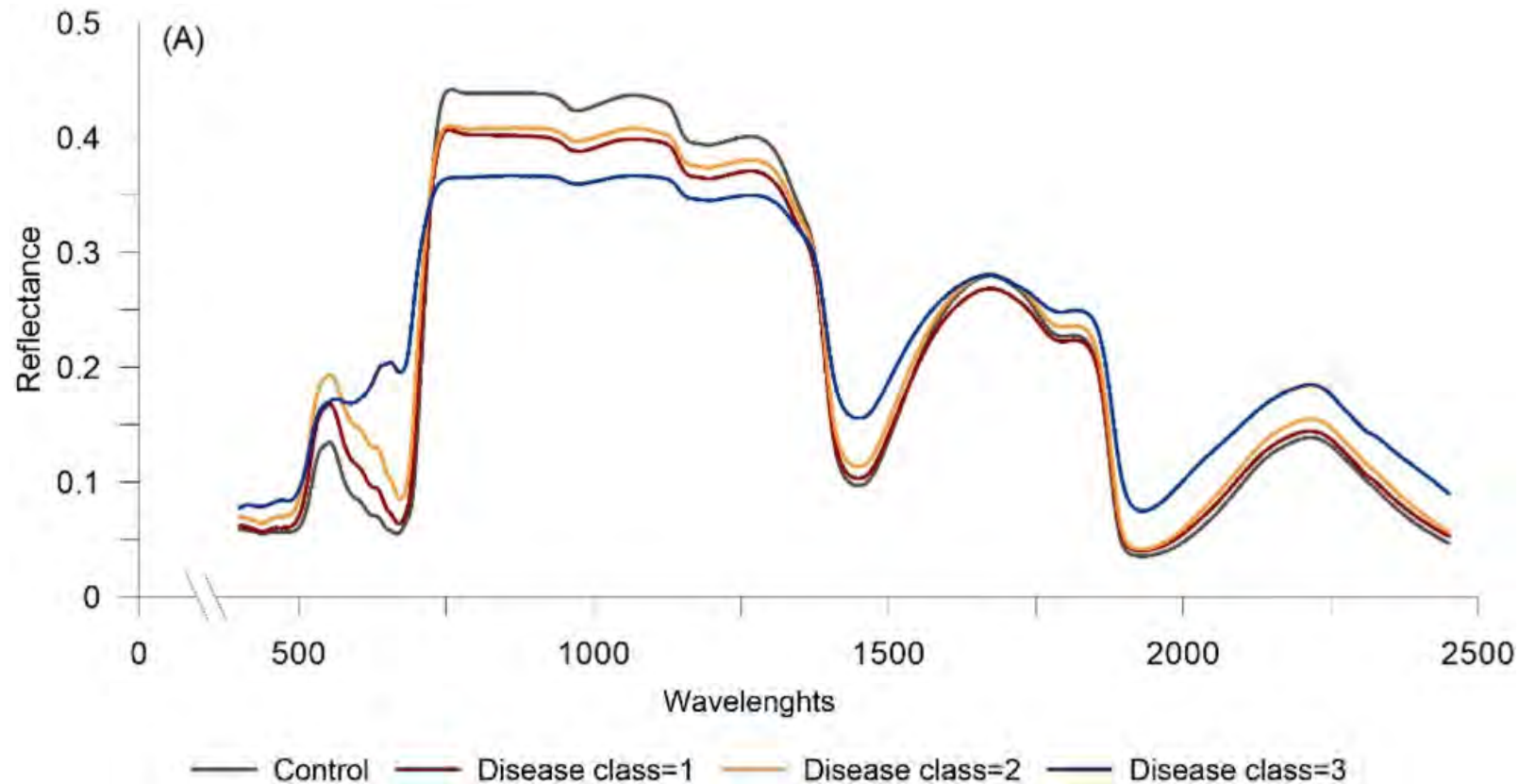
※両区画共に、クロールピクリン30L/10aを使用

出典：農研機構 小原氏 ヒアリング資料

## b. 化学農薬使用量の低減 8. 土壌病害の発病可能性診断 (2) 事例

## 高解像度ハイパースペクトルを用いた土壌病害診断：CREA（イタリア）

- これまでにハイパースペクトルセンサーを用いた作物の健康状態の評価を検証中。
- 本研究の目的は、機械学習により環境要因の影響を排除して判別できる波長の選択と、実用化のためのハイスループット評価への移行性の評価。
- 高解像度ハイパースペクトル(350～2500 nm)から、ワイルドロケットの病害進行予測に寄与する波長を抽出。

4段階の疾患重症度レベルでリゾクトニア・ソラニ菌(RhS-D) を接種した  
ワイルドロケットの350～2500nmスペクトル反射率

出典:Galieni A, et al. Sci Rep. (2022)

出典:nature briefing WEBサイト <https://www.nature.com/articles/s41598-022-08969-5>



# II みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査

## II- 2. 研究内容に関する調査 c. 化学肥料使用量の低減

c. 化学肥料使用量の低減 1. ペレット堆肥 (1) 技術概要

## 有機肥料市場の今後の見通し

- 2019年の有機肥料市場の収益は、45億1,210万ドル。P&S Intelligenceでは、今後2020～2030年の間に14.1%のCAGRで成長すると予測。
- 2019年の有機肥料市場では、液体肥料よりも粒状肥料の方が使い勝手が良いことから、**固形肥料がトップ**。固形肥料は長期間保持できる可能性が高いため、市場で急速な拡大を示しており、P&S Intelligence社では、この状況は今後数年間も変わらないと推定。

### 有機肥料市場の見通し



### 有機肥料市場の主要プレイヤー (抜粋)

Scotts Miracle-Gro Company (米国)	Israel Chemical Limited (イスラエル)
Coromandel International Limited (インド)	AggreCare Canada Inc. (カナダ)
Fertikel NV (オランダ)	Sustane Natural Fertilizer Inc. (米国)
Fertoz Limited (オーストラリア)	Nature Safe (米国)
Italpolina Spa (イタリア)	True Organic Products (米国)
Midwestern BioAg (米国)	Hendrikus Organics (米国)
Multiplex Group (インド)	Jaipur Bio Fertilizers (インド)
Perfect Blend LLC (米国)	Huby GmbH (ドイツ)
Walts Organic Fertilizer Co. (米国)	Aryan Crop Protection Pvt. Ltd. (インド)

出典:P&S Intelligence WEBサイト  
<https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/organic-fertilizers-market-report>

### c. 化学肥料使用量の低減 1. ペレット堆肥 (1) 技術概要

## 肥料に関する低炭素化、有機肥料の使用を促進する政策文書 (EU)

- 窒素肥料や、リン酸塩、生産に必要な天然ガス等が、ウクライナ危機により大きな影響を受けていることから、EUは肥料に関するアクションを発表 (2022/11/9)。

### 持続可能な肥料生産のためのアクション

天然ガスの優先供給	天然ガスの不足によりガス配給の調整等が必要になった場合でも、国家緊急計画において、肥料生産者が継続的かつ中断なく天然ガスを使用できるよう優先対応を実施。
財政支援	国家補助に関する暫定危機対応枠組により、農家や肥料生産者に特定の支援を提供。2023年度4.5億ユーロ相当の農業準備金を農家に充当することを検討。
肥料市場観測所設置	生産、使用、価格及び取引に関するデータを共有するために、2023年に肥料の市場観測所を設置。
持続可能な農業推進	土壌栄養管理計画、土壌の健康改善、 <b>精密農業、有機農業、輪作スキームにおける緑肥 (マメ科作物) の使用</b> などが農家に浸透するよう支援。
有機肥料促進	<b>有機肥料等の推進</b> を実施。 Horizon Europeにおいては栄養 (肥料) 予算の最適化、代替肥料製品、栄養管理のための自然ベースのソリューションに関するプロジェクトに 1.8億ユーロを投資。 2023年に総合栄養 (肥料) 管理行動計画を採択予定。
エネルギーの移行	アンモニア生産のためのエネルギーを天然ガスからグリーンエネルギーに移行するため、グリーン水素やバイオメタンへの投資を支援するよう奨励。
貿易の多様化	ベラルーシとロシアからの代替となる調達先を支援。 窒素肥料の生産に使用されるアンモニアと尿素の貿易関税を一時停止。

出典:欧州委員会 WebサイトよりNTTデータ経営研究所作成  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_22\\_6564](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_6564)

## c. 化学肥料使用量の低減 1. ペレット堆肥 (1) 技術概要

### ペレット堆肥の製造技術

- 牛などの糞尿は、ペレット化と呼ばれるプロセスで、顆粒、ペレット、又はアグロメレートと呼ばれる乾燥製品に凝集。
- 造粒の方法としては、一般的にはパン型造粒システムと、ミキサー・ドライヤー・システムの2つ。

#### パン型造粒システム

##### 【最適な用途】堆肥、鶏糞、肉牛堆肥など

- 含水率が低く、細かく粉砕された飼料の場合、パン型造粒システムが有効。
- 敷料のような粗い繊維がこの材料に混合されることがあるため、粒子径が重要。そのため、材料を混合する前に粉砕工程を実施。



出典: FEECO International, Inc Webサイト  
<https://feeco.com/raw-manure-dry-granules>

#### ミキサー・ドライヤー・システム

##### 【最適な用途】乳牛堆肥、都市下水道廃棄物、鶏糞など

- 汚泥やスラリーなど、水分の多い原料には、ミキサー乾燥機による糞尿造粒システムが有効。75～80%以上の水分を含む原料は機械的な分離が必要。



出典: FEECO International, Inc Webサイト  
<https://feeco.com/raw-manure-dry-granules/>



## c. 化学肥料使用量の低減 1. ペレット堆肥 (2) 事例

**馬糞を利用したペレット堆肥の製造：Farma Brezany社（スロバキア）**

- Farma Brezany社（スロバキア）では、欧州委員会のRural Development Program (RDP) の支援を利用し、有機肥料や再生可能エネルギー源として使用できる馬糞ペレット（アグレペレット）を生産。
- 1日あたり 600 kg の馬の糞尿を処理し、約300 kg のペレットを生成。

- アグロペレットは、アグロペレットと木材用の熱風複合ボイラーからの熱風で加熱する2台の乾燥機、混合粉碎機、スクルーコンベア、ペレットプレス、ペレットの冷却・選別・包装のシステムから成るラインで製造。

総予算：190,719ユーロ（約2,700万円）

2017年～2020年

EAFRD※ 70,089.3ユーロ（約990万円）

※農村開発のための欧州農業基金

国/地域 23,363.1ユーロ（約330万円）

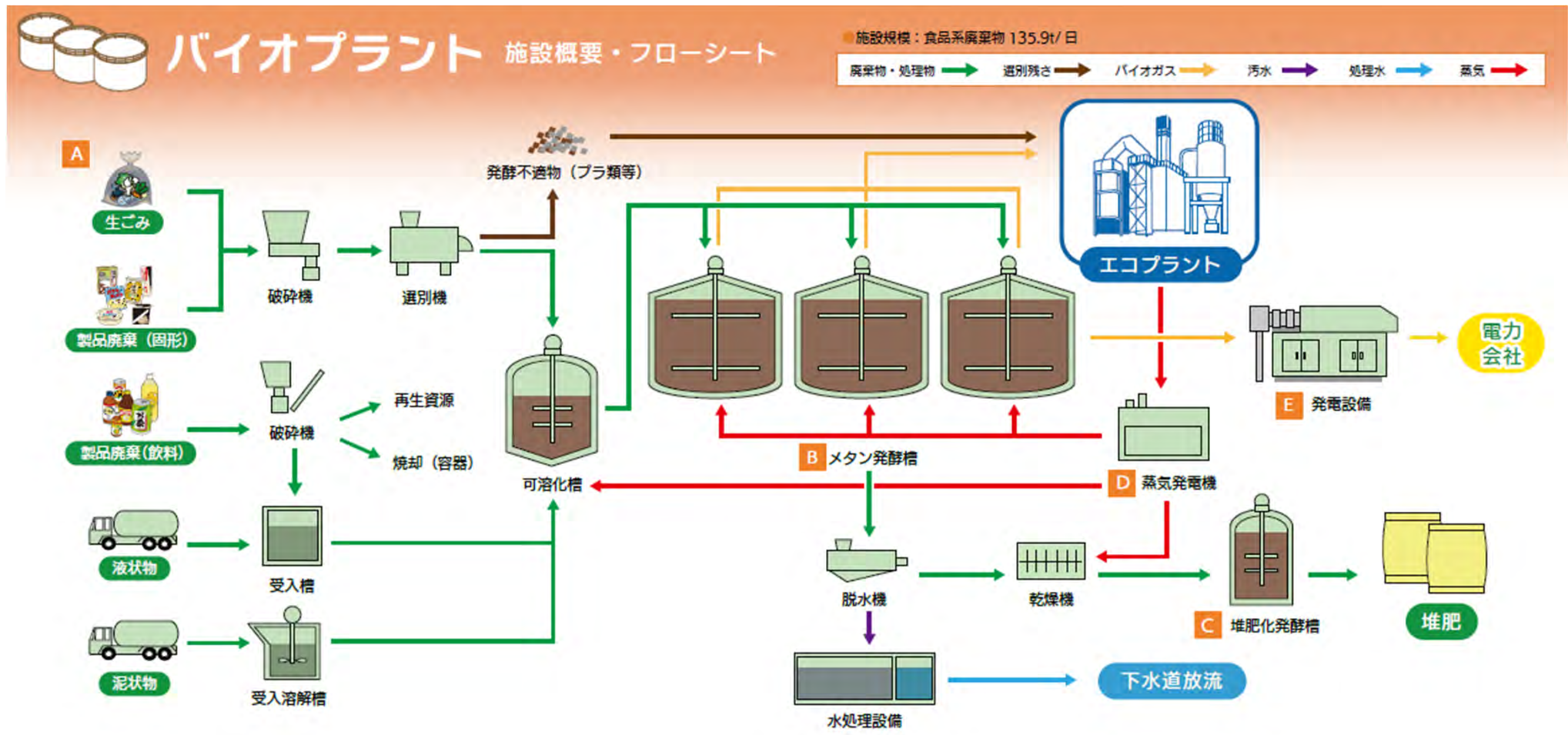
民間 97,266.6ユーロ（約1,400万円）

出典:Farma Brezany Webサイト  
<https://www.farmabrezany.sk/hijohumus/>

c. 化学肥料使用量の低減 1. ペレット堆肥 (2) 事例

リサイクルセンターでのペレット堆肥製造：日立セメント社（日本）

- バイオプラントで食品製造残渣や製品廃棄物等を原料として、ペレット堆肥とバイオガスを製造。(2012年開始)
- 約100トン/日の廃棄物類を処理し、約2、3トン/日、約1000トン/年のペレット堆肥を製造。
- エコプラント(産業廃棄物焼却施設)で発生する蒸気は、メタン発酵処理や汚泥乾燥の熱源として利用。



出典：2022年11月8日(火) 日立セメント株式会社 飯久保励氏 ヒアリング資料

c. 化学肥料使用量の低減 2. 資源循環 (1) 技術概要

## 欧州におけるリン回収の動き

- EUは、経済的重要性と供給リスクの面で、リン鉱石、黄リンを重要資源と位置付け。
- ドイツでは下水汚泥令を改正(2017.10)。下水汚泥回収制度を導入(スイスも同様、オーストリアは検討中)。
- オランダ、ベルギーでは、下水汚泥の直接農業利用を禁止。

### ドイツ下水汚泥令の改正 (2017.10)

	下水処理量 5万～10万人	下水処理量 10万人以上	備考
現在	直接農業利用可		5万人以下(全体の約1/3)は今後も直接農業利用可
2023年	リン回収計画策定		
2029年～	—	リン回収*義務化 直接農業利用禁止	
2032年～	リン回収*義務化 直接農業利用禁止		

#### <ドイツ：リン回収の基準>

- ① 下水汚泥から回収する場合、回収率50%以上、又は残渣中の濃度20mg/g(乾燥重量)未満
- ② 汚泥焼却灰から回収する場合、回収率80%以上、③ 汚泥焼却灰の一時保管(10年間)

出典:2022年11月9日(水) 株式会社クボタヒアリング資料  
[http://www.pido.or.jp/Sympo2019\\_PDF/11\\_Hosho.pdf](http://www.pido.or.jp/Sympo2019_PDF/11_Hosho.pdf)

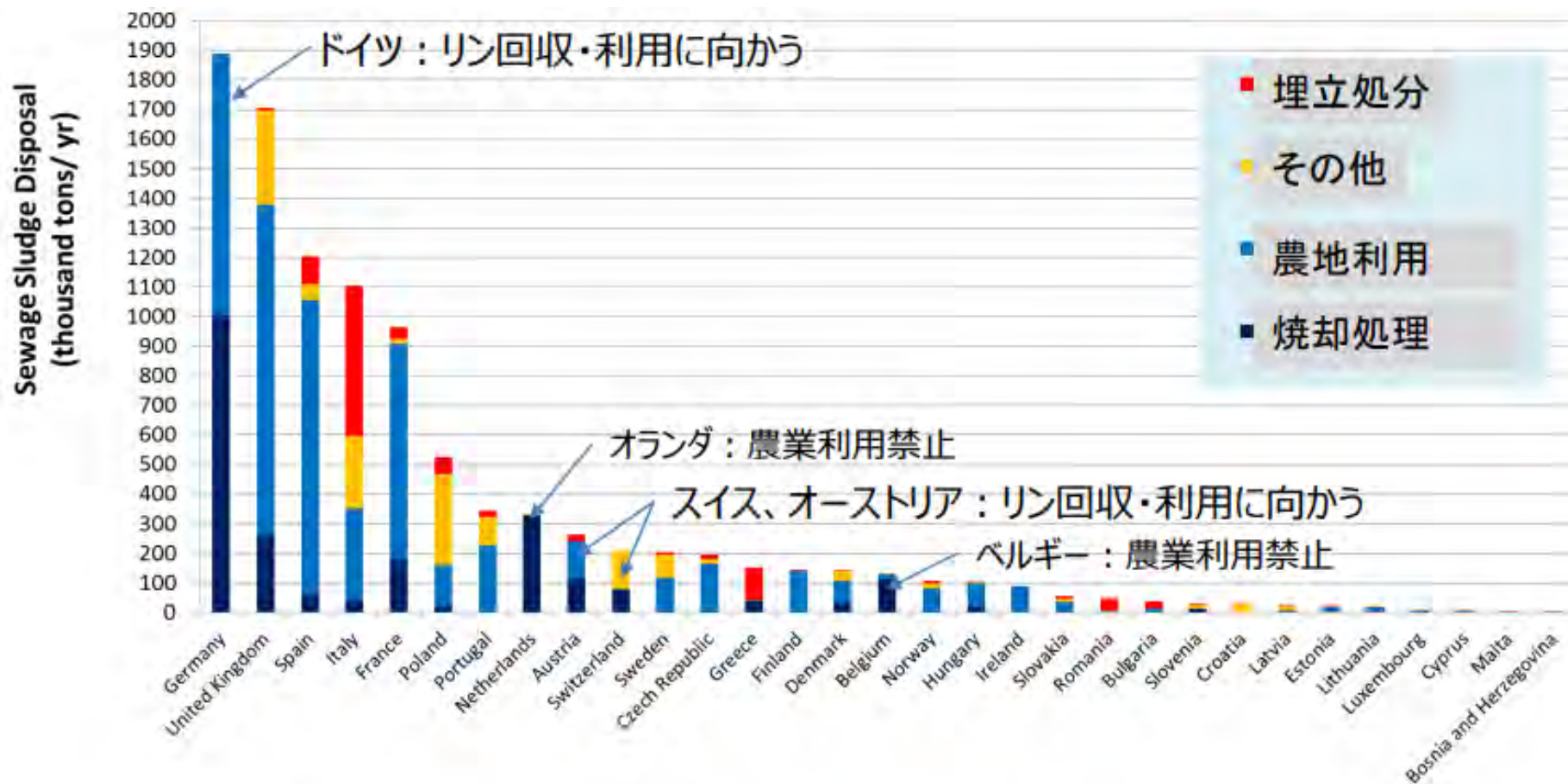


c. 化学肥料使用量の低減 2. 資源循環（1）技術概要

## 欧州の下水汚泥処理状況

- 欧州の年間汚泥発生量は約1000万トン。内訳は農業利用53%、焼却処理23%、埋立処分10%。
- 多くの国で農業利用が行われている。特にドイツでは、リン回収・利用を進めている段階。
- 10か国以上で焼却処理が導入され、特にドイツ、オランダ、ベルギー、スイスなどで主流。
- イタリア、ギリシャなどは埋立処分が多い。

欧州の下水汚泥処理状況



出典：株式会社クボタ 第4回持続的リン利用シンポジウム講演資料 2019年11月26日  
 原典：<http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>  
[http://www.pido.or.jp/Sympo2019\\_PDF/11\\_Hosho.pdf](http://www.pido.or.jp/Sympo2019_PDF/11_Hosho.pdf)



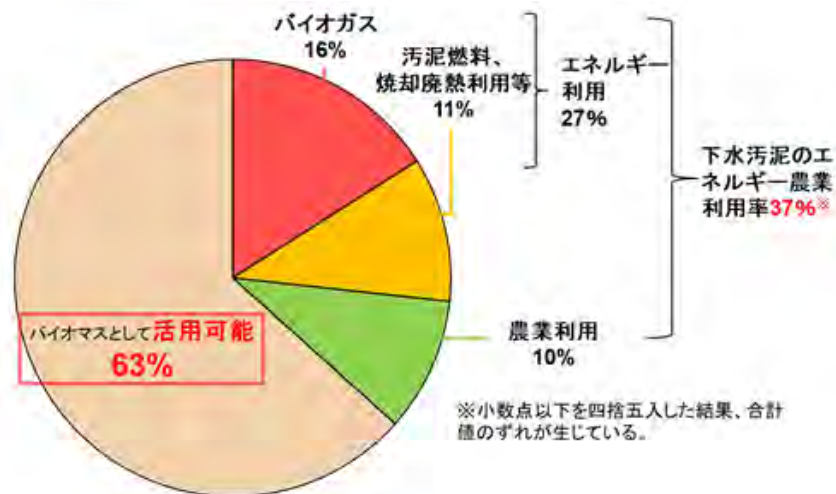
## c. 化学肥料使用量の低減 2. 資源循環 (1) 技術概要

### 国内の下水道分野における資源利用のポテンシャル

- 下水道では、約5万tのリンが下水汚泥に含まれている。リンの年間需要量（約30万t）の約2割に相当。
- 国土交通省は、下水道が有するポテンシャルを最大活用し、下水道を拠点とした新たな社会・産業モデルを創出するなど、脱炭素・循環型への転換を先導する「グリーンイノベーション下水道」を開始。（2018年）

#### 下水汚泥中のバイオマス利用

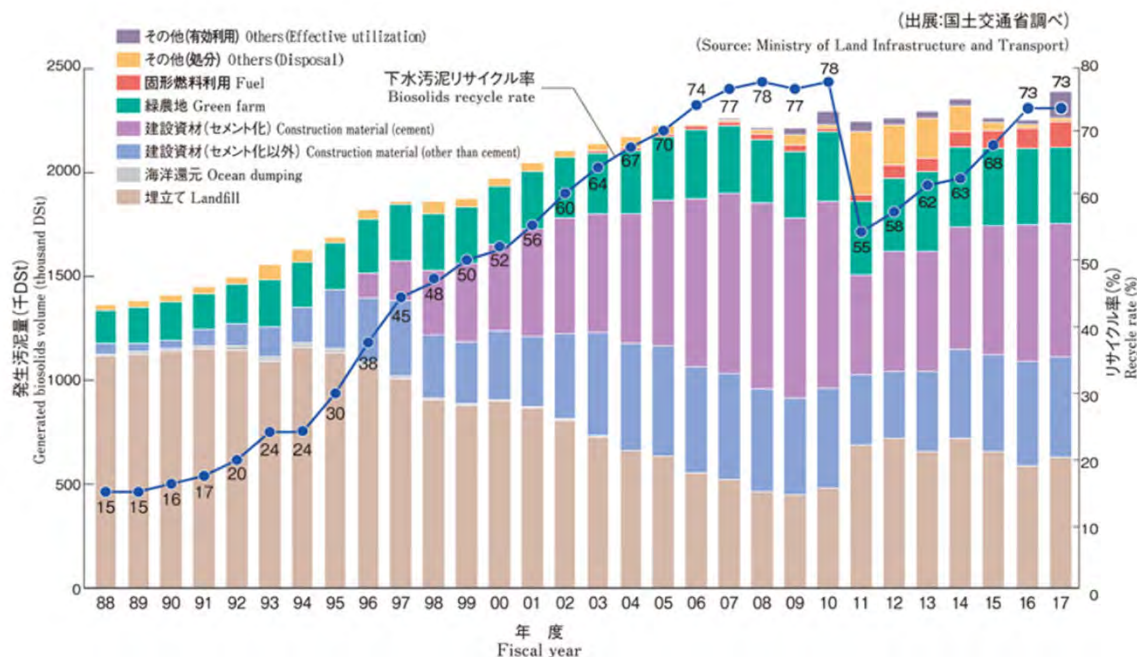
- 平成27年5月に下水道法改正。
- 下水道管理者は発生汚泥の処理の当たっては、脱水、焼却等によりその減量に努めるとともに、発生汚泥が燃料又は肥料としてを再生利用に努めることが必須。



出典:国土交通省 WEBサイト  
[https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd\\_sewerage\\_tk\\_000124.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html)

#### 下水汚泥発生量（固形物）とリサイクル率の推移

- 農業利用（緑農地でのリサイクル）率は10年以上停滞。



出典:国土交通省 WEBサイト  
[https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd\\_sewerage\\_tk\\_000124.html](https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html)  
 出典:公益社団法人日本下水道協会 WEBサイト  
<https://www.jswa.jp/recycle/data/>

## c. 化学肥料使用量の低減 2. 資源循環 (2) 事例

## ストルバイト沈殿によるリン回収：suez (スエズ) 社 (デンマーク)

- デンマークのスエズ社では、ストルバイト沈殿によって廃水からリンを回収。農業などで肥料として直接使用できるストルバイトペレットを生産中。
- ストルバイトの総生産量は 1 日あたり 650 ~ 800 kgで、農業用肥料として市場で販売。

ストルバイト



- Phosphogreenは、沈殿結晶化反応によるリン回収プロセス。
- Phosphogreenでは、塩化マグネシウムを注入してストルバイトを沈殿結晶化。
- 廃水処理プラントの側流からリンを回収。入ってくる廃水からリンの40~50%を回収。
- ストルバイトは、粒の大きさ1~3mmであり、リン12.5%、窒素5.5%、マグネシウム10%を含む肥料として販売。

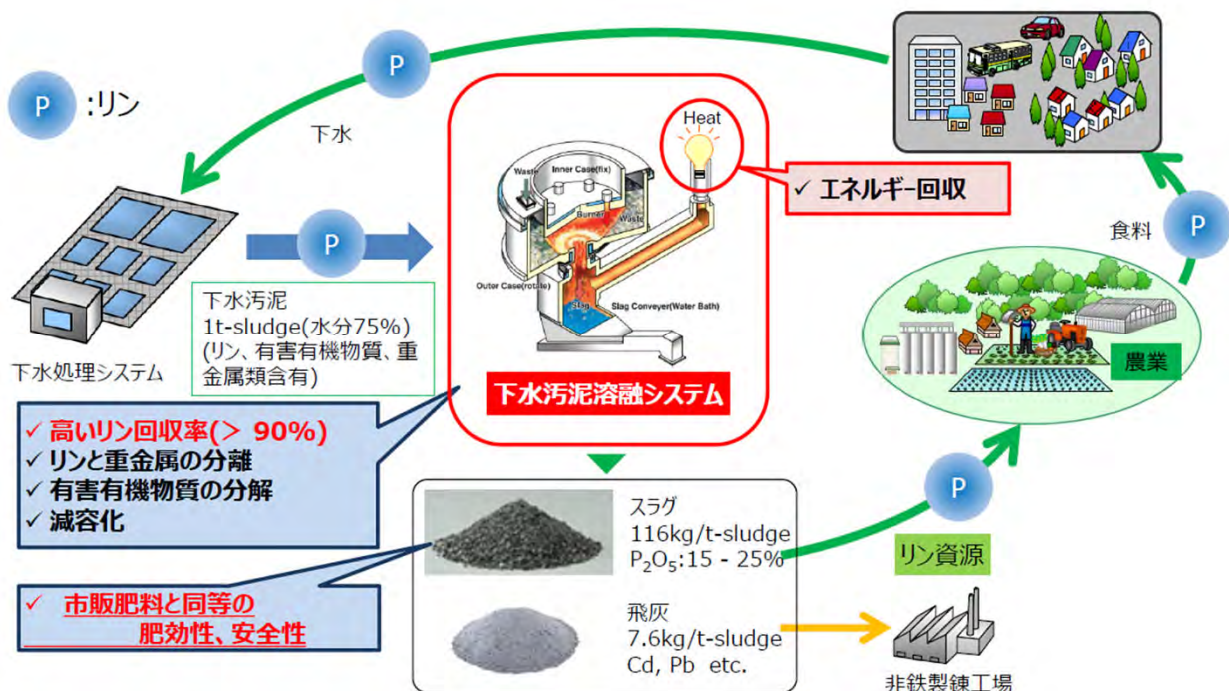
出典:SUEZ / Aleksandra Bien  
<https://www.suez.com/en/Denmark>  
<https://www.suez.com/en/denmark/references/creating-a-valuable-fertilizer-at-marselisborg-plant-in-aarhus>

c. 化学肥料使用量の低減 2. 資源循環 (2) 事例

未利用資源からの高度肥料成分回収技術：クボタ社（日本）

- クボタは、下水汚泥溶融システムにより下水汚泥から重金属類を分離し、リンをスラグとして効率良く回収する技術を開発中。
- 下水汚泥溶融システムで製造したスラグを、肥料会社が肥料原料として買い取り、肥料製造・販売を行うスキームを検討中。

下水汚泥溶融システム概要



- 下水汚泥溶融システムでは、リンと重金属の分離、有害有機物質の分解、減容化により、スラグと非灰を回収。
- 回収されたスラグはリン資源として利用し、飛灰は非鉄精錬工場で利用。
- 下水汚泥溶融システムにおけるリンの回収率は90%以上。

中期経営計画2025で想定していた4,000億円の研究開発予算に加え、2025年までに1,000億円を追加投入することを決定 (クボタグループ統合報告書2022)

出典: 2022年11月9日(水) 株式会社クボタヒアリング資料  
<https://agriculture.kubota.co.jp/agriinfo/items/0-20-2-0060-01.pdf>  
[http://www.pido.or.jp/Sympo2019\\_PDF/11\\_Hosho.pdf](http://www.pido.or.jp/Sympo2019_PDF/11_Hosho.pdf)

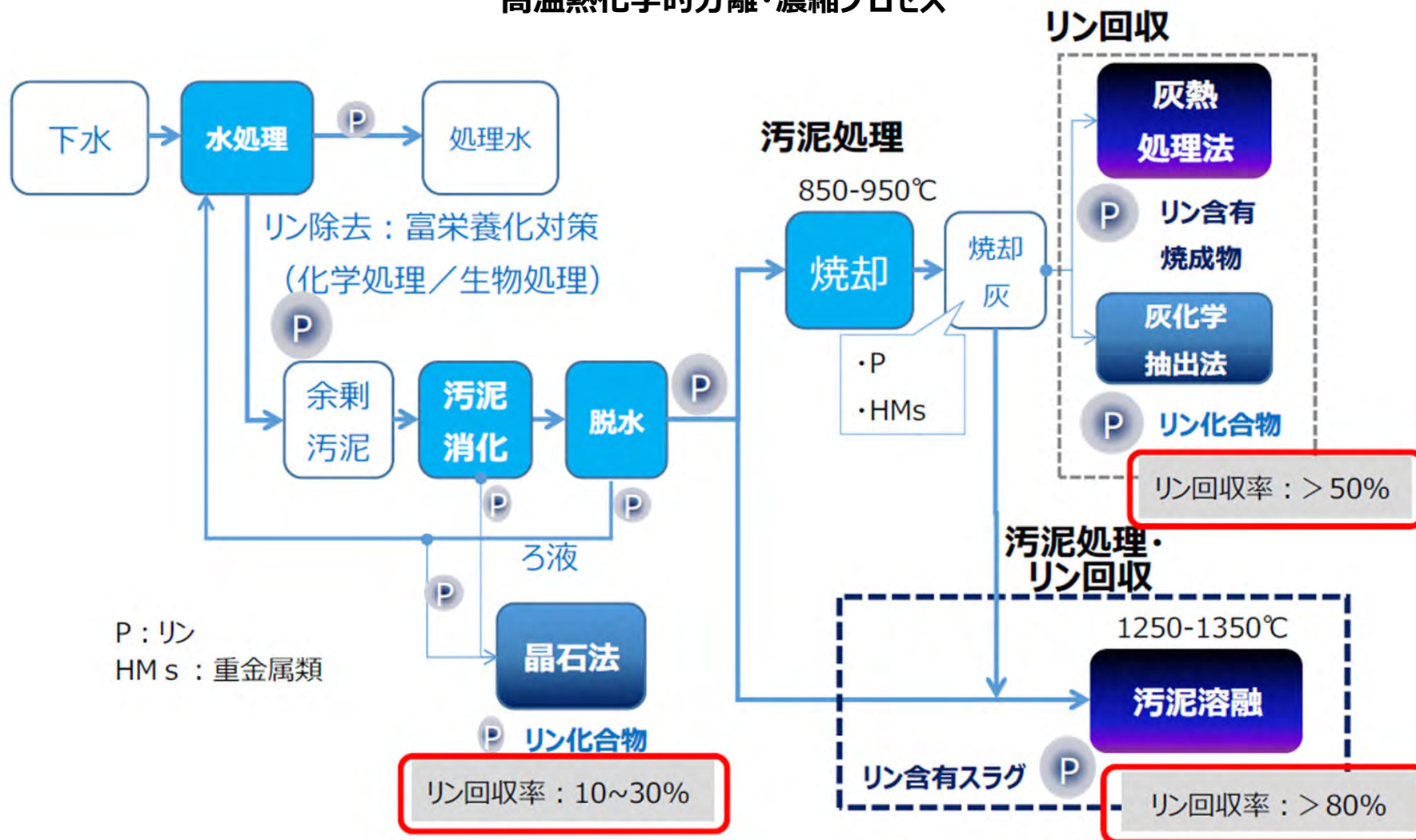


c. 化学肥料使用量の低減 2. 資源循環 (2) 事例

下水処理システムからのリン回収技術：クボタ社（日本）

- 溶融技術である高温熱化学的分離・濃縮プロセスを適用。
- 下水汚泥中のリンを、植物生育に有効なリン資源として活用するための技術課題は、主に「微量有機有害物質の分解・除去」、「重金属類の分離」、「高いリン回収率、かつ植物に有効な形態で回収」の3つ。

高温熱化学的分離・濃縮プロセス



出典：2022年11月9日(水) 株式会社クボタヒアリング資料

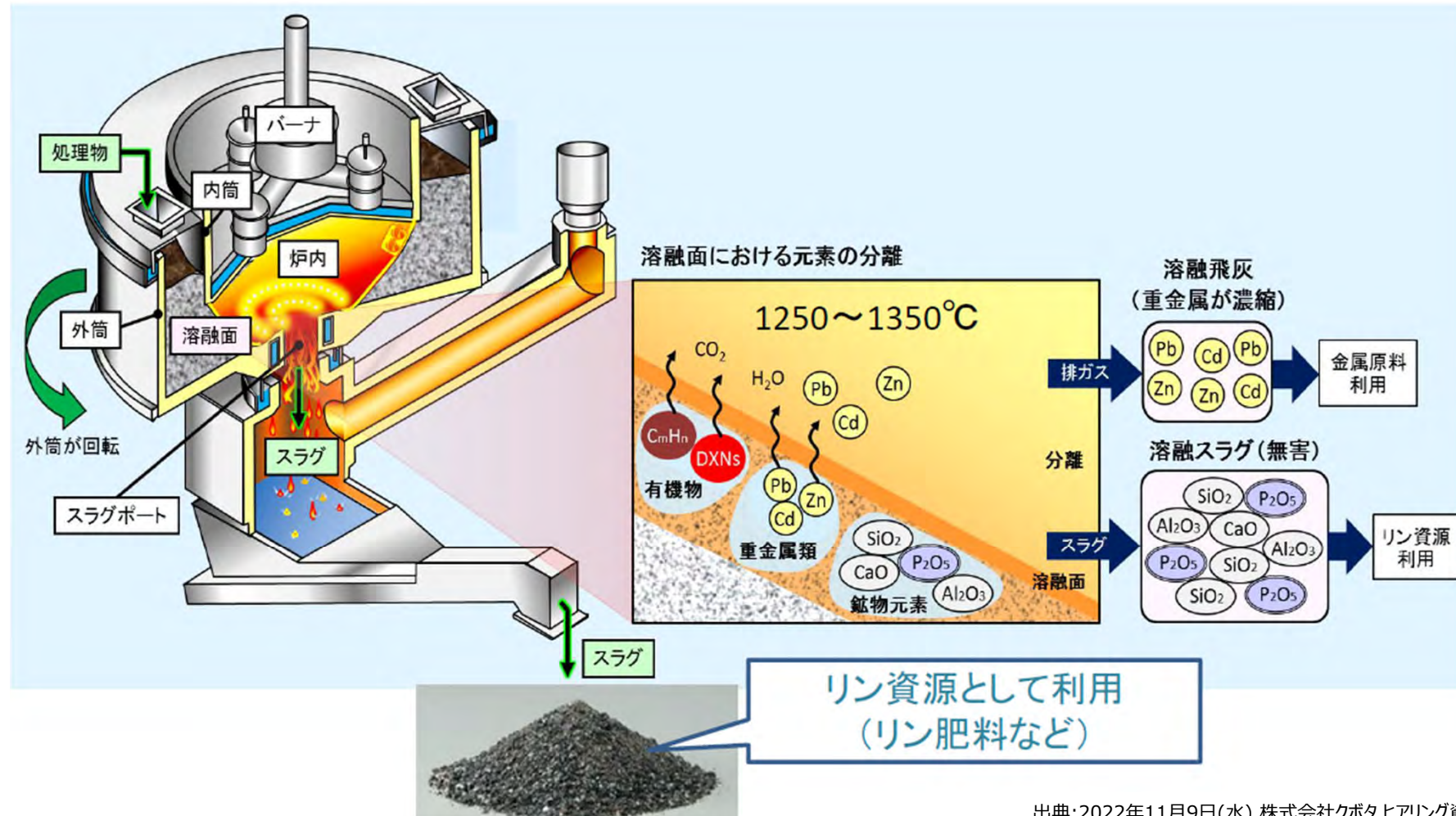


c. 化学肥料使用量の低減 2. 資源循環 (2) 事例

下水汚泥溶融技術 (炉の構造) : クボタ社 (日本)

- 溶融炉は、二重の円筒構造。内筒と外筒の間に汚泥・焼却灰を投入。
- 化石燃料で炉内を1300℃まで上昇。その後、汚泥が燃焼することで熱量を保持した汚泥が1,300℃の状態を維持。
- 炉を回転させて、下に張った水にスラグが落下。
- リンをスラグ中、重金属類を飛灰中に分離・濃縮するためには、汚泥近傍の還元雰囲気制御が重要であり、燃烧空気の吹込み方法によって、汚泥近傍の雰囲気制御が可能。

炉構造と炉内反応



出典:2022年11月9日(水) 株式会社クボタ ヒアリング資料

## c. 化学肥料使用量の低減 3. 土壌微生物・緑肥の活用 (1) 技術概要

### 土壌微生物による植物への窒素・リン酸供給

- マメ科植物と根粒菌は、大気中の窒素固定に関する植物と土壌細菌共生関係の1つ。
- メタオミクス解析※により、植物微生物叢の構成やその集団が持つ推定機能が少しずつ判明。
- 1例として、アブラナ科植物に菌糸を介してリン酸を供給する内生糸状菌等が存在。

※生命現象における微量元素（特に金属）の機能と役割を統合的に解明する解析手法

#### 根粒菌におけるマメ科植物との共生能の獲得

- 根粒菌におけるマメ科植物との共生能の獲得には、**共生に関連する遺伝子の水平伝播**が寄与。遺伝子の多くは根粒菌ゲノム上で隣接して分布し、**共生アイランド**と呼ばれるゲノミックアイランドを形成。
- 共生アイランドが**非共生性の細菌に水平伝播**することで、**今まで共生能を持たなかった細菌が共生能を獲得**。

#### アブラナ科植物にリン酸を供給する内生糸状菌

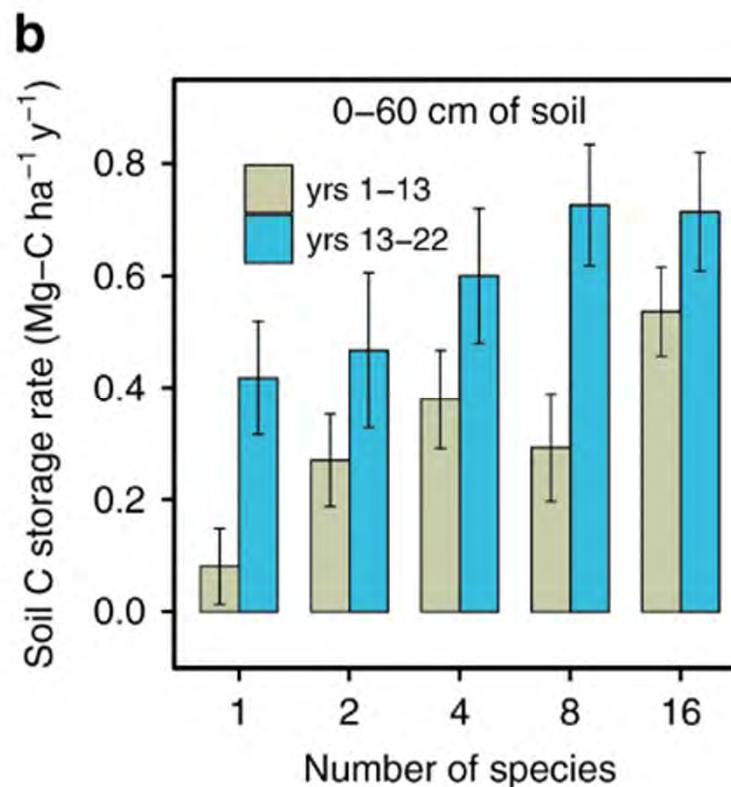
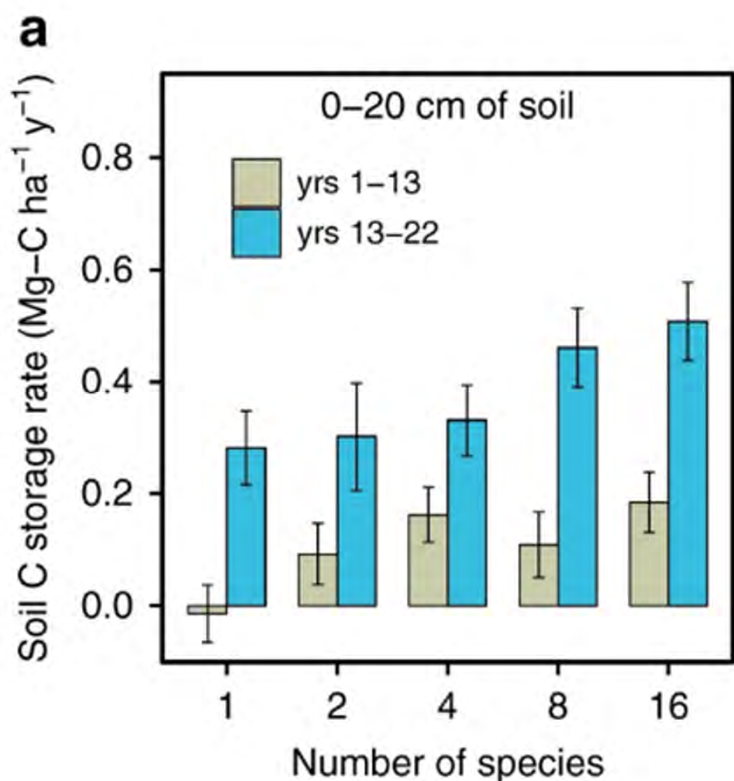
- メタオミクス解析により、糸状菌 (*Colletotrichum tofieldiae*) は、スペインの土壌環境で自生する複数の異なるシロイヌナズナ集団の中で、広く分布していることが示唆され、リン酸が枯渇した環境下では自身の菌糸を介してリンを植物に共有して植物成長を促すことが判明。

出典: バイオスティミュラントハンドブック ～植物の生理活性プロセスから資材開発、適用事例まで～

c. 化学肥料使用量の低減 3. 土壌微生物・緑肥の活用 (1) 技術概要  
**草原の生物多様性の回復による土壌炭素貯留の促進**

- Yi Yangらは、植物の多様性における草地での年間炭素蓄積量・蓄積速度を測定。
- 草地多様性の回復により、年間炭素蓄積量の増大・蓄積速度が向上。
- 植物多様性を回復させることで、劣化した農地や放棄された農地での炭素蓄積量・蓄積率を大きく向上させることを示唆。

植物の多様性における草地での年間炭素蓄積量



- 炭素蓄積速度は、実験第1期 (1~13年) よりも第2期 (13~22年) で大 (a, b)
- 根のバイオマス量の多さ、複数の種 (特にイネ科、マメ科植物の存在) により、植物多様性を回復。

出典: Yi Yang, et al., Nature communications (2019)  
 出典: naturebriiefing <https://www.nature.com/articles/s41467-019-08636-w>

c. 化学肥料使用量の低減 3. 土壌微生物・緑肥の活用 (1) 技術概要

**不耕起栽培とマルチング併用による土壌有機炭素量の増加**

- カナダのFarhatらは、農業の炭素フットプリントに関するシステマティックレビューを行い、農業によるGHG排出量抑制の可能性を調査。
- 10年間のコムギと綿、コムギとトウモロコシの輪作による土壌深部炭素量の推移を検証する実証 (Li et al. 2016) では、藁を利用したマルチング併用の不耕起栽培で、土壌有機炭素量は平均14%増加していることに注目。

トウモロコシ作付けにおける土壌有機炭素蓄量(t/ha)

Soil depth (cm)	Before study	After study			
		T <sup>-</sup> M <sup>-</sup>	T <sup>-</sup> M <sup>+</sup>	T <sup>+</sup> M <sup>-</sup>	T <sup>+</sup> M <sup>+</sup>
0-15	11.5	14.5	19.4	12.3	13.4
15-30	10.3	11.5	12.9	11.7	13.6
30-45	10.8	10.9	11.0	10.7	10.2
0-60	32.6	37.0	43.3	34.7	37.2

T<sup>+</sup> : 慣行耕起      T<sup>-</sup> : 不耕起  
M<sup>+</sup> : マルチング      M<sup>-</sup> : マルチングなし  
赤囲み : 不耕起・マルチング

出典:Farhat Abbas , et al., Journal of Environmental Management (2020)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720302541>



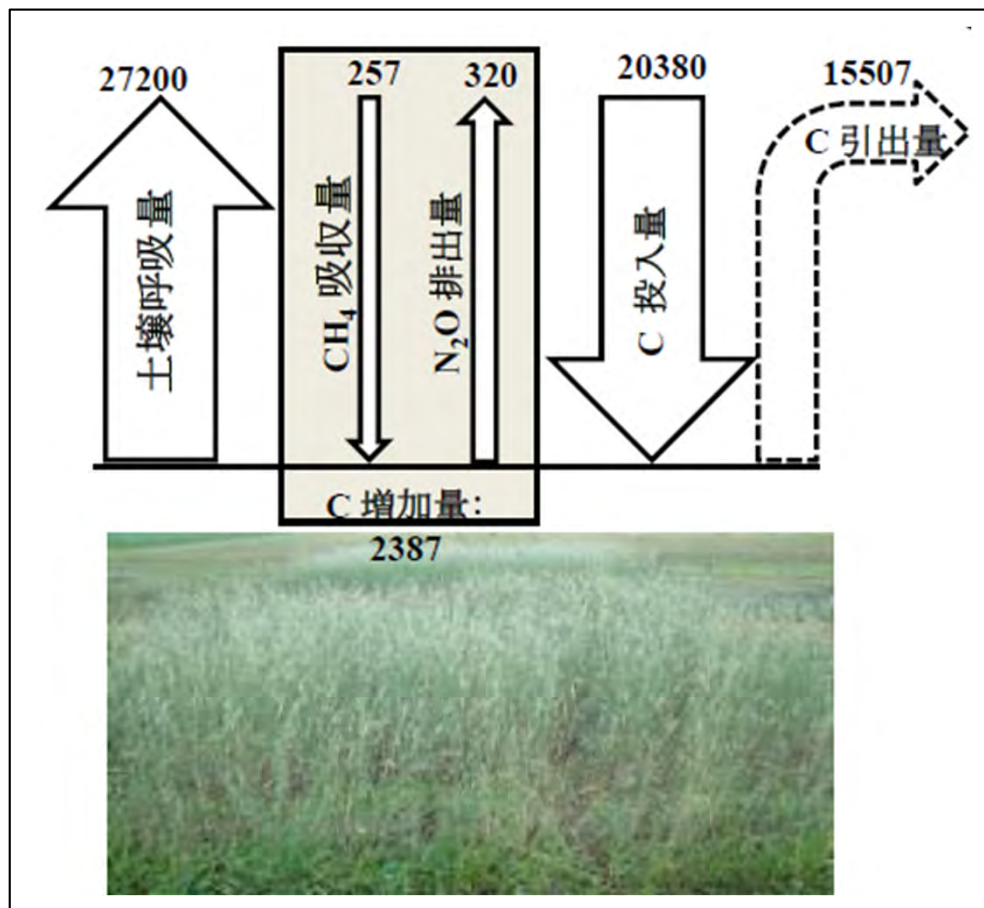
c. 化学肥料使用量の低減 3. 土壌微生物・緑肥の活用 (2) 事例

カバークロップ利用と不耕起有機農法：茨城大学 (日本)

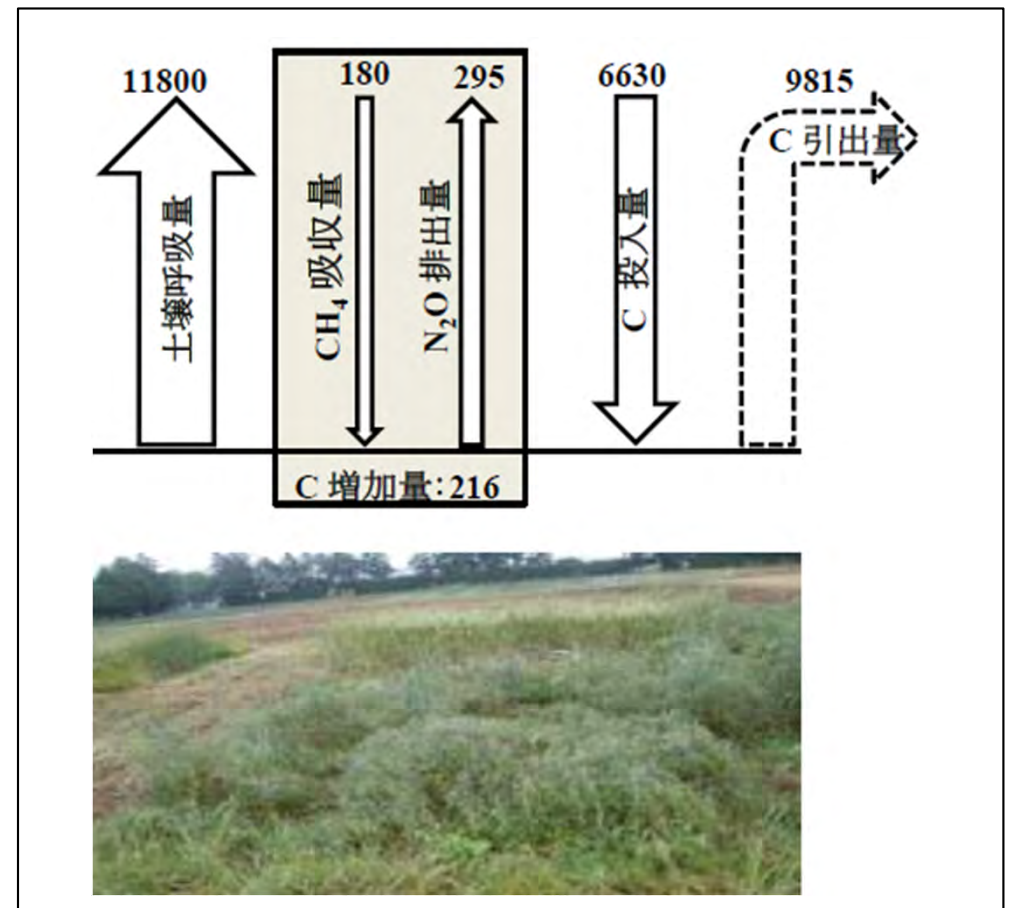
- 茨城大学では、カバークロップ利用と不耕起有機農法による生産の有効性を検証。
- カバークロップは、土壌への炭素貯留効果、窒素成分流出防止効果、土壌の健全性確保を促進。
- 不耕起栽培は、土壌有機物分解促進による土壌流出防止、微生物量増大による団粒化を促進。

不耕起有機農法・カバークロップと、慣行農法の比較

不耕起+ ライムギ



プラウ耕+ 裸地



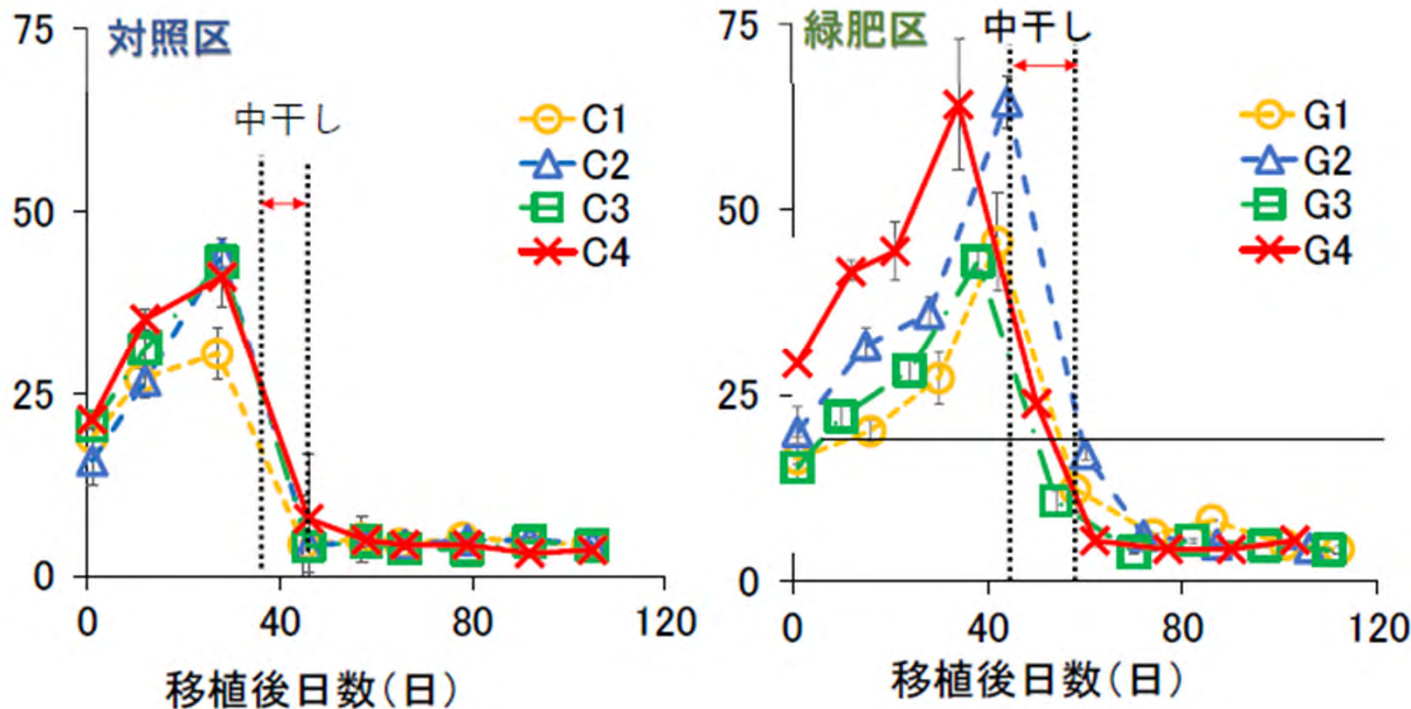
出典:2022年8月22日(月) 茨城大学農学部 国際フィールド農学センター 小松崎将一教授 ヒアリング資料

### c. 化学肥料使用量の低減 3. 土壌微生物・緑肥の活用 (2) 事例

## 水田での緑肥作物の利用：愛媛大学（日本）

- 愛媛大学では、水田での緑肥栽培後、無肥料無農薬で稲作をするプロジェクトを実施。
- 緑肥としてシロクローバーを利用。愛媛大学農学部附属農場の水田（2.5ha）で、15年以上栽培を実施し、500kg/10aを収穫。

土壌アンモニア態窒素量



- 土壌肥沃度向上効果のある緑肥と、草生栽培（リビングマルチ、コンパニオンプランツ）を組合せ、カバークロープを使用。
- マメ科植物は、難溶性リン酸を可給態リン酸にして、体内に蓄えることが可能。
- 緑肥と雑草の組合せでは、イネの成長時にアンモニア態窒素を供給。効率的な管理が可能。
- 休閑期には、雑草が鉄を吸収し地上部に蓄え、表層20cmまでの土壌に鉄を供給。

出典:2022年10月20日(木) 愛媛大学大学院 農学研究科 上野秀人教授 ヒアリング資料



## c. 化学肥料使用量の低減 3. 土壌微生物・緑肥の活用 (2) 事例

## デジタルツインによるリジェネラティブ農業の推進：NTT西日本社他（日本）

- 温州ミカンを対象に、日本全国の有機栽培、特別栽培、慣行栽培の農場からデータを収集し、果樹の農業生態系の各層（土壌及び微生物叢、作物）のデジタルデータ化及びマルチオミクス解析に取り組む。
- 評価した土壌で栽培された作物については、収量、糖度、酸度、香り成分など品質を多角的に評価し、高品質な作物が栽培される土壌条件を解明する予定。



出典：NTT西日本 WEBサイト (NTT西日本、理化学研究所、福島大学、北海道大学、東京大学、前川総合研究所、大阪府立環境農林水産総合研究所、筑波大学 プレスリリース)

<https://www.ntt-west.co.jp/news/2202/220221a.html>

出典：DIGITAL X WEBサイト <https://dcross.impress.co.jp/docs/news/003169.html>

## c. 化学肥料使用量の低減 3. 土壌微生物・緑肥の活用 (2) 事例

**スベリンによる炭素固定強化：ソーク生物学研究所（米国）**

- ソーク生物学研究所の惑星規模炭素除去 (CRoPS) プロジェクトでは、CO<sub>2</sub>固定力の高い植物を開発。
- 特に、根から放出されるスベリンの固定力に注目。コムギ、イネ、トウモロコシ、その他の作物の根の質量、深さ、スベリン含有量を増やすことで、炭素貯蔵力を向上。

出典:ソーク生物学研究所 WEBサイト

<https://www.salk.edu/harnessing-plants-initiative/>

出典:Energy Future Initiative

[https://energyfuturesinitiative.org/wp-](https://energyfuturesinitiative.org/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/CDRFrontiers_Presentation_December2020-compressed.pdf)

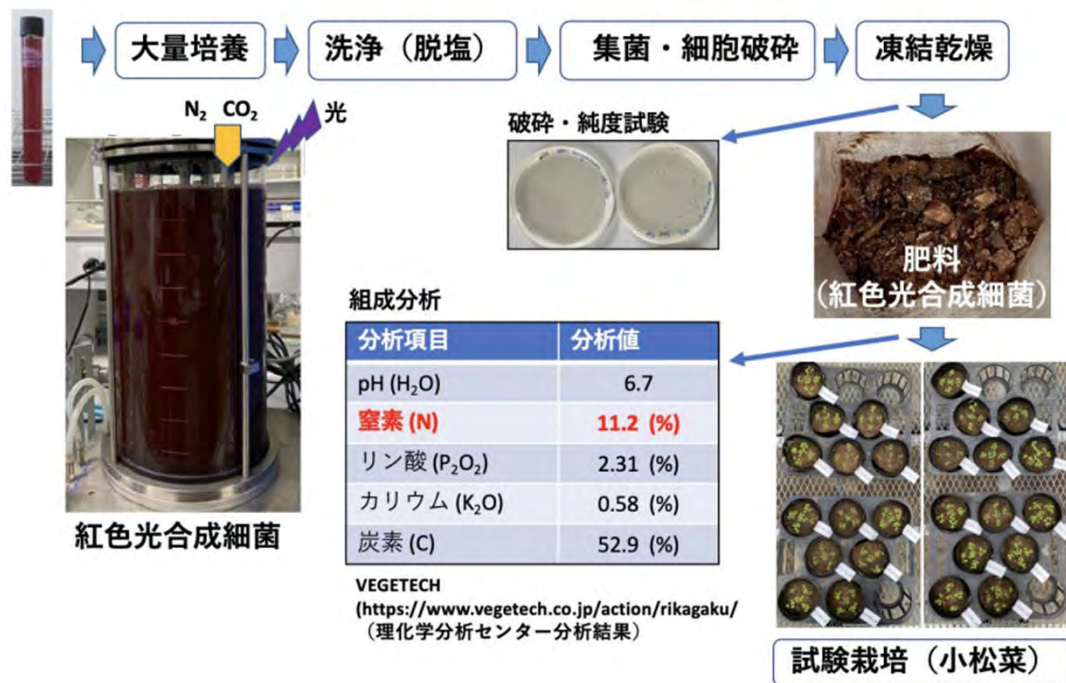
[content/uploads/sites/2/2022/03/CDRFrontiers\\_Presentation\\_December2020-compressed.pdf](https://energyfuturesinitiative.org/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/CDRFrontiers_Presentation_December2020-compressed.pdf)



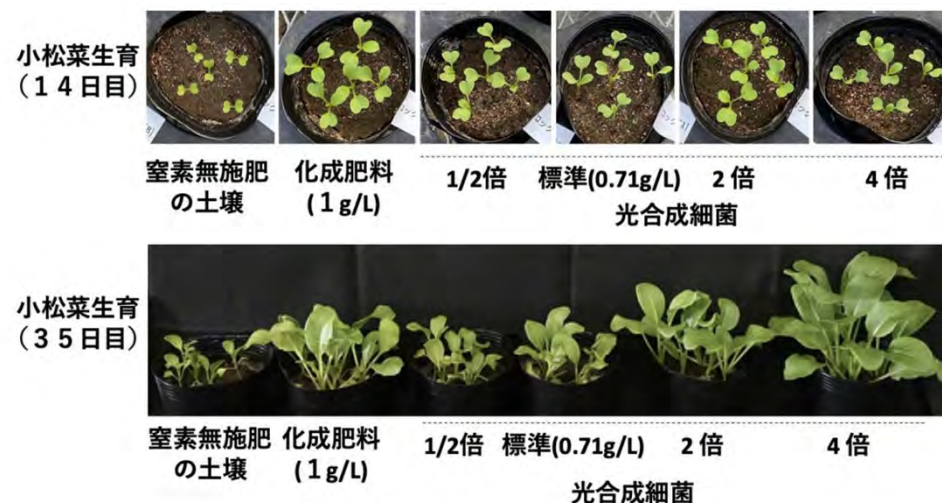
### c. 化学肥料使用量の低減 3. 土壌微生物・緑肥の活用 (2) 事例 **紅色細菌によるゼロカーボン肥料：京都大学（日本）**

- 京都大学とSymbiobe社（シンビオブ社）の研究グループは、紅色光合成細菌を使って農業肥料を生成。
- 海洋性の紅色光合成細菌を効率良く培養する方法を確立し、独自のプロセスにて試作肥料を調製したところ、植物の生育に充分と言われる 10%以上の窒素を含有することが確認され、生育試験もクリア。
- 大気中の二酸化炭素と窒素を直接固定し増殖しているため、ゼロカーボン窒素肥料。

#### 光合成細菌からの窒素肥料の生成



#### 光合成細菌肥料を与えた小松菜の生育比較



出典:京都大学研究成果 プレスリリース  
[https://www.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/topics/20220526\\_1](https://www.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/topics/20220526_1)

## c. 化学肥料使用量の低減 4. 少肥適用品種

**少量の肥料で育つ遺伝子組換えでないトウモロコシの品種開発：Mandaamin Institute社  
(米国)**

- 米国の非営利研究所であるMandaamin Institute社（マンダミン研究所）では、2011年より、窒素やその他の栄養素を土壌から効率的に摂取し、共生している内生菌により空気中の窒素を固定することができるトウモロコシの品種を開発。
- このトウモロコシに関するデータは、特許を取得せず、Webサイトで公開。
  - 現代のトウモロコシの品種は、ジアゾ栄養細菌と共生し、高い窒素効率を実現する能力に差異あり。これは、種子由来のエンドファイト(植物共生細菌) 群集などに依存。
  - 古代種のトウモロコシは、在来のジアゾ栄養細菌に富み、多様な根圏・エンドファイト群集を保有。
  - メキシコや南米の複数の土地柄との交配に由来する育種系統は成長が早い。これらの株の一部で、窒素固定が行われている可能性あり。

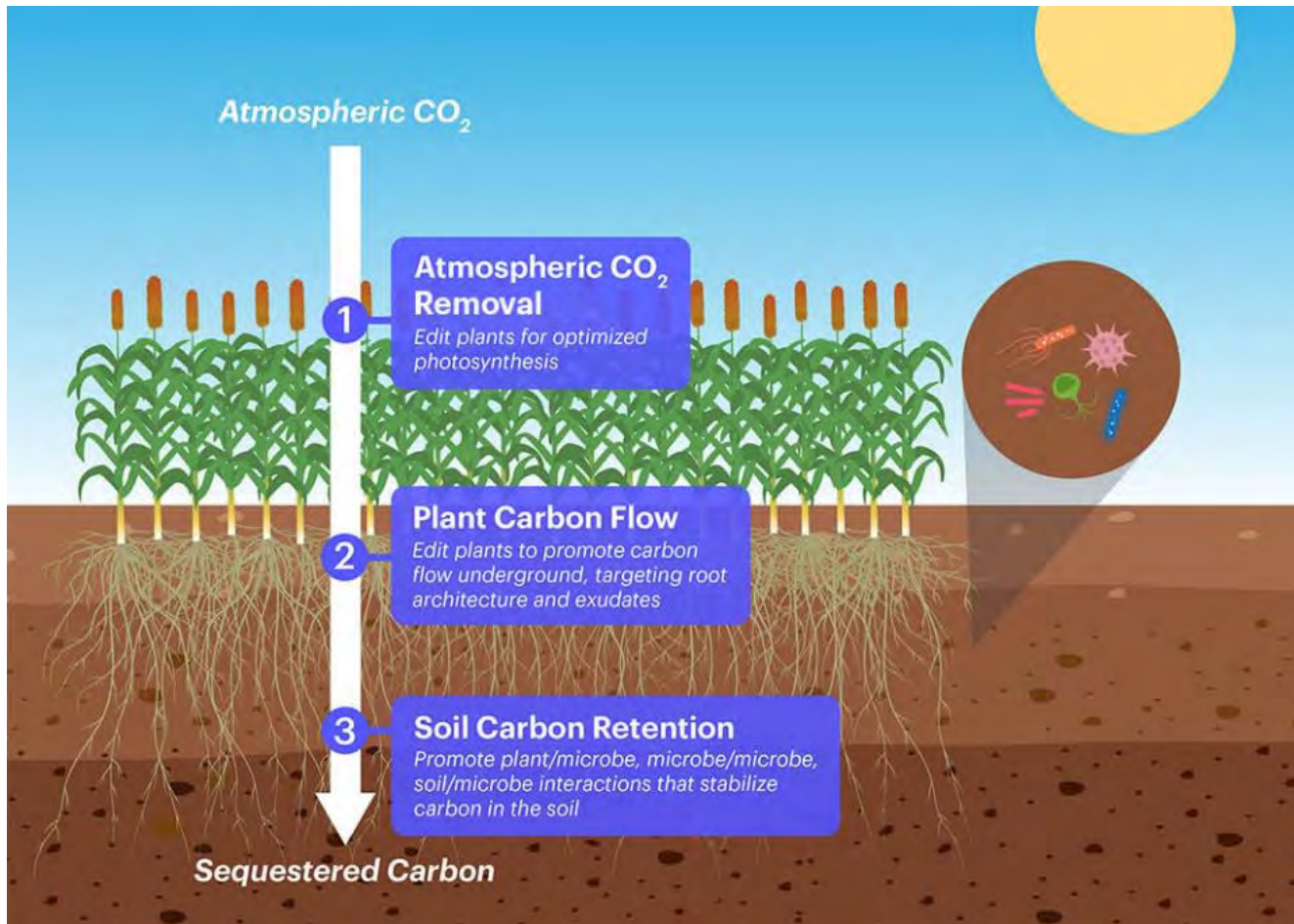
国立食品農業研究所 (NIFA)  
\$1,498,705 (約2.2億円)

出典:Mandaamin Institute Inc. WEBサイト

## c. 化学肥料使用量の低減 4. 少肥適用品種

CO<sub>2</sub>固定強化ゲノム編集作物の開発：Innovative Genomics Institute(IGI)社（米国）

- CRISPR-Cas9でノーベル賞受賞したジェニファー・ダウドナ博士が率いるInnovative Genomics Institute (IGI)（カリフォルニア大学バークレー校、同デービス校に設置）は、ローレンス リバモア国立研究所の研究者とともに、ゲノム編集技術を使用して植物と土壌微生物の炭素吸収力・固定力の促進に関する研究を実施。
- 光合成効率を向上させたイネの品種開発、バイオマス作物であるモロコシの炭素固定力強化等に取り組む。



Chan Zuckerberg Initiative (CZI)  
による 1,100 万ドル（約15億円）の  
研究資金

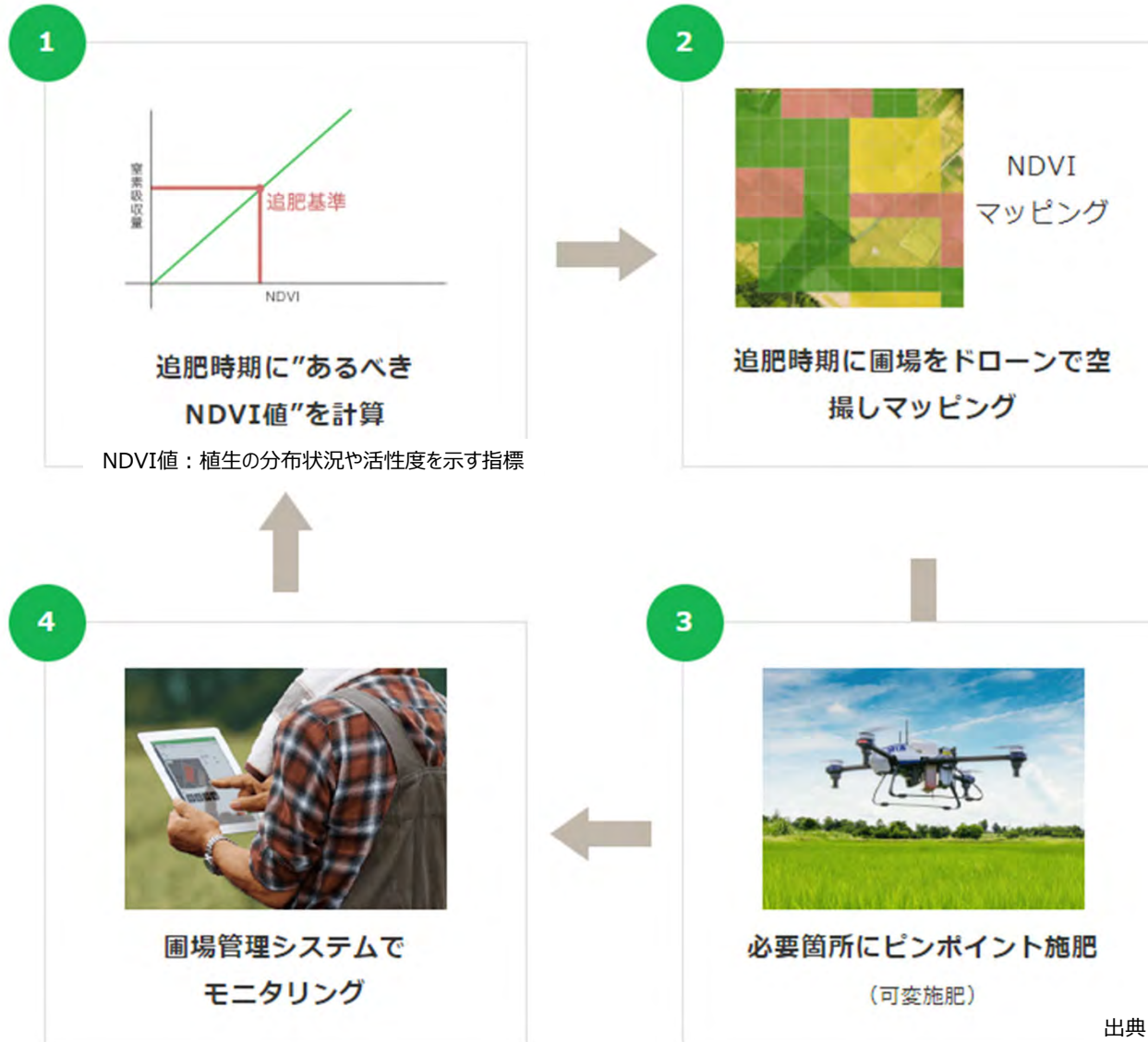


c. 化学肥料使用量の低減 5. 土壌診断・生育診断による適正施肥、局所施肥

ピンポイント施肥による品質向上・稲作コスト削減：オプティム社（日本）

- NDVI値(正規化植生指数)をドローンセンシングによりマッピングする事で、追肥の要否や量を正確に算出。
- ドローンでピンポイントに追肥することで、イネの生育の均一化、肥料コスト50%削減を実現。

ピンポイント追肥の運用フロー



- 米の食味として、「タンパク質含有率」は重要な要素。
- ドローンで生育ムラを測定。必要な箇所に必要な量だけ追肥を実施。
- 実証では、「玄米タンパク含有率」6.0%以下を実現。

出典:オプティム WEBサイト  
<https://www.optim.co.jp/agriculture/rd/pinpoint-fertilizer-spraying>



### c. 化学肥料使用量の低減 5. 土壌診断・生育診断による適正施肥、局所施肥 土壌中の成分を現場で分析：MobiLab社（オーストリア）

- MobiLab社は、土壌中の窒素(硝酸塩)を数分で測定できるセンサーを開発。

#### iMETOS MobiLab Lab-on-a-Chip®

- MobiLabの表示分解能は0.5ppm。
- MobiLabにより、ヨーロッパの農家が使用する肥料を最大35%節約、EUレベルで年間合計で最大60億ユーロの潜在的な節約につながると推定。
- MobiLabでの測定結果は、USBハブを介してMobiLabソフトウェアと通信。

EU HORIZON助成金プログラム  
全予算 百万ユーロ/EU負担 百万ユーロ  
研究期間：2017年6月～2020年2月



# Ⅱ みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査

## Ⅱ- 2. 研究内容に関する調査

### d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大

d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 1. 研究プログラム・予算

**HORIZON EUROPEにおける関連研究公募テーマ：EU**

- 2022年度のHORIZON EUROPEの枠組として公募されたプログラムのうち、有機農業の拡大に関する予算は600万ユーロ。

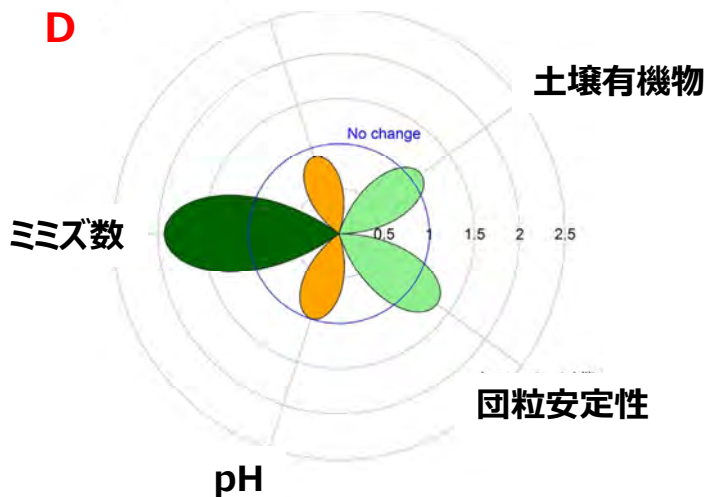
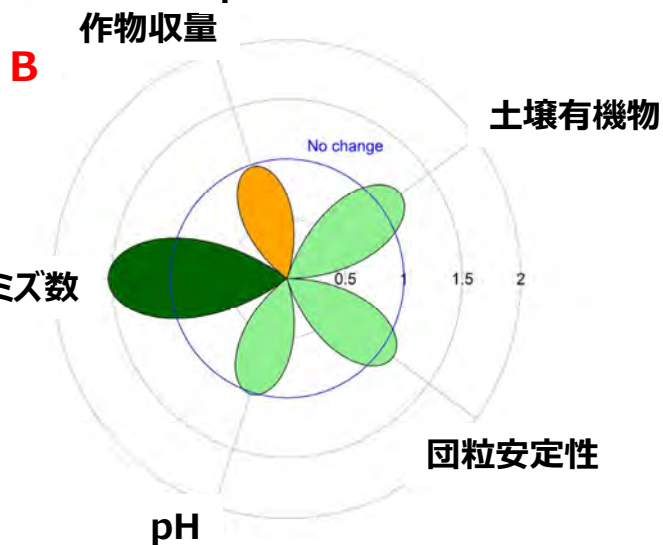
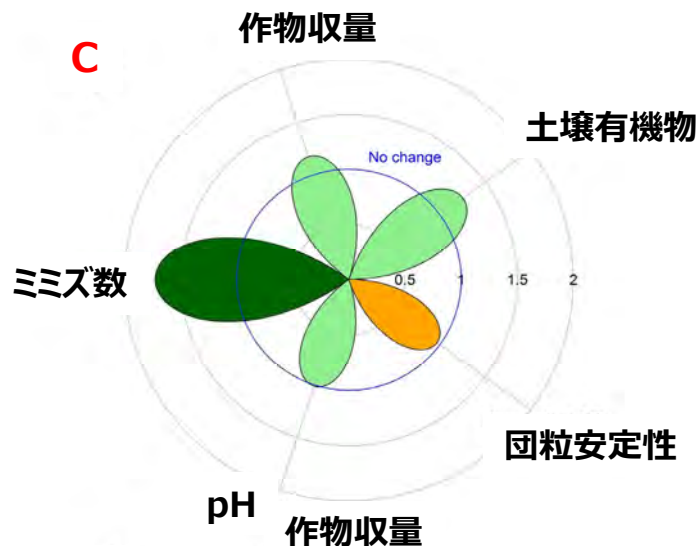
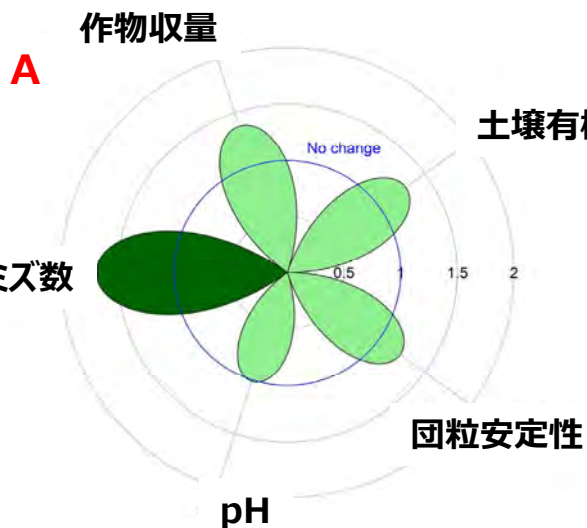
**研究プログラムと予算の例**

プログラムパッケージタイトル	2022年度予算（万ユーロ）
HORIZON-CL6-2021-FARM2FORK-01-01：農場からフォークまでの目標に到達する。欧州における有機農業と有機養殖を促進するためのR&Iシナリオ	400
HORIZON-CL6-2021-FARM2FORK-01-03:アグロエコロジー農法を実現するためのデジタル化	200

d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 2. 慣行農法との比較

農業手法が土壌の質に及ぼす影響：中国・欧州の長期農業実験データ分析

- オランダのZhanguoらは、A～Dの農業手法と慣行手法について、5つの土壌品質指標を用いて比較。
- 有機物の添加は、土壌品質向上に効果あり。



比較パターン	実証手法	慣行手法 (1とする)
A	有機物添加	有機物無添加
B	不耕起	慣行耕起
C	輪作	単作
D	有機農業	慣行農業

<利用データ>

- 欧州・中国の長期実験データ72件 + 文献掲載データ402件を利用

出典:Zhanguo Bai , et al., Agricultural Ecosystem & Environment (2018)  
 BAI, Zhanguo, et al. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. Agriculture, ecosystems & environment, 2018, 265: 1-7.



#### d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 3. 多年生作物の選抜

### 多年生作物 Kernza : The Land Institute (米国)

- 多年生作物は、土壌浸食・硝酸塩浸出の防止及び炭素貯留の効果があり、持続可能な食料候補として有力。
- 多年生植物であるIWG（中間ウィートグラス）の育種は、選抜世代ごとに2～5年が必要であったが、2017年からゲノム選抜（GS）が開始され、1年あたり1サイクルで完結させることが可能。
- 選抜個体の1つに、既に商品化されているKernza（カーンザ）があり、多年生作物の有力候補として期待。

- Kernzaは、1年草の冬期デュラムコムギとIWGの交配種。
- Kernzaの優良系統は、1年生コムギ品種の約50～70%の穀粒を生産。
- 9年以上生存している株も存在。

出典:Jared Crain, et al., The Plant Genome(2021)

出典:The Land Institute WEBサイト <https://landinstitute.org/>

出典:Heaps WEBサイト 2017.2.23 INTERVIEW <https://heapsmag.com/patagonia-and-HUB-the-process-of-the-creating-great-beer-longroot-ale-the-story-of-how-it-was-born-interview>

#### d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 3. 多年生作物の選抜

### 多年生作物 タンパク質含有量の多い牧草：BioRefine Denmark社（デンマーク）

- デンマークの大手農業企業であるDLGやDanish Agro、種苗会社DLFによって設立されたBioRefine Denmark社は、輸入大豆の代替品として、牧草からのタンパク質抽出の研究に着手。
- 有機栽培の牧草地に隣接した工場を建設し、生産を開始。
- 牧草は多年生であるため、一年生の大豆よりも作業性に優れる上、耕起の回数を減らせるので、炭素固定にも貢献。大豆は種子を利用するのに対し、牧草は植物体全体を利用するので、コストベネフィットも期待。

単位面積当たりの収量比較

作物	収量 t/ha	タンパク質 t/ha	リジン kg/ha	メチオニン kg/ha
菜種	5	1.0	60	20
エンドウ豆	6	1.3	92	13
コムギ	9	1.0	30	16
クローバー	13	1.5	120	52
レッドクローバー	12	2.6	200	90
牧草 (eng græs)	3	0.3	25	12

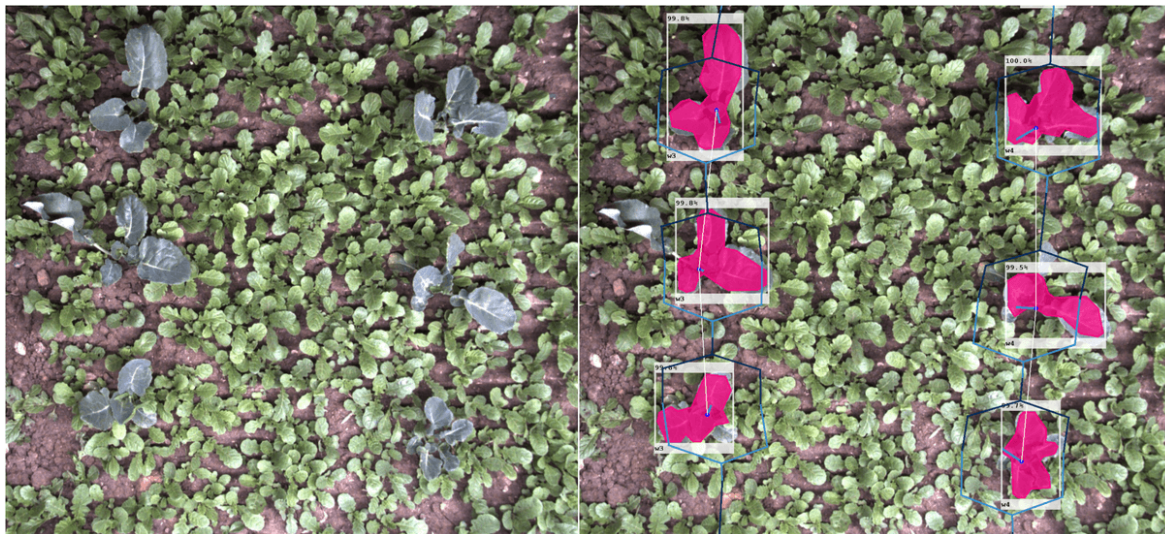
出典: BioRefine WEBサイト より仮訳  
[https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/dansk\\_biomasse\\_til\\_bioenergi\\_og\\_bioraffinering.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/dansk_biomasse_til_bioenergi_og_bioraffinering.pdf)  
<https://biorefine.dk/p/den-groenne-loesning>

## d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 4. 雑草管理

## 自動運転除草ロボット：FarmWise社（米国）

- FarmWise システムは、1インチ未満の精度で個々の雑草を機械的に（ブレードにより）除去。
- 15,000 時間の駆動により、個々の作物の4億5,000万以上のスキャン画像で植物データベースを構築。葉物野菜、カリフラワー、ブロッコリー等、多様な作物に対応。
- 雑誌BRIDGEによると、米国の野菜栽培大手25社のうち18社が採用。2016年設立のスタートアップであるが、2022年6月にシリーズBラウンドで、4,500万ドルを調達。時価総額は1億～5億米ドル。
- SXSW 2022 Innovation Awards の「Robotics & Hardware」部門で最優秀賞。
- RAAS(Robot as a Service)で除草サービスを約500ドル/haで提供。

## 作物のみを認識

自動運転、雑草除去の  
TITAN

出典：ファームワイズ WEBサイト <https://farmwise.io/services>

出典：THE BRIDGE, Inc.WEBサイト

<https://thebridge.jp/2022/09/farmwise-develops-autonomous-weeding-robot>

## d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 4. 雑草管理

## 雑草管理における除草技術と栽培方法ごとの環境保全効果：キューホー社（日本）

- 針金を利用して雑草のみを倒す簡易耕起型の除草機を開発。
- 紙マルチによる有機栽培では慣行栽培よりもCO<sub>2</sub>排出量が多いが、簡易耕起により排出量を抑制可能。

針金を利用した除草機

栽培法によるCO<sub>2</sub>排出量の比較

栽培法	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> /10a)	エネルギー消費量 (MJ/10a)
有機（簡易耕起）栽培	92.5	1360.6
有機（紙マルチ）栽培	121.4	1785.7
慣行	90.5	1331.2

出典:2022年9月28日(水) 宇都宮大学 雑草管理教育研究センター長 小林 浩幸教授 ヒアリング資料



## d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 5. 除草ロボット

**電圧式雑草防除装置雑草防除装置：Zasso社（スイス）**

- 「非選択的電気物理的作用機序」をベースとした独自特許技術により、高電圧を利用した雑草防除ソリューション「Zasso」を提供。
- 作物の新芽と雑草の新芽を自動的に見分け、通電により根まで作用するため、雑草抑制効果が持続。
- 第30回ドイツ雑草生物学及び雑草防除会議において、テンサイ発芽後の条間雑草防除の有効性を報告（2022年2月23日）。

**【作用機序】**

- 高電圧の電気は、トラクター又は代替電源の機械的エネルギーから局所的に生成。
- 高電圧は特許取得済みのパワーモジュールで変調され、安定した通電を実施。
- 対象植物と高電圧電極との物理的接触時に、電流を流し、雑草を内側から枯死。

**【有効性】**

- 2020年、「University of Applied Sciences Süd Westfalen」と共同で、テンサイの畝間除草における化学的、機械的、電氣的除草方法の効果を比較するフィールド実験を実施。
- XPower電気除草技術は、化学的・機械的除草方法と同等以上の効率を達成（最大95%の除草効率）。
- テンサイ生産では、最大75%の除草剤削減が可能。

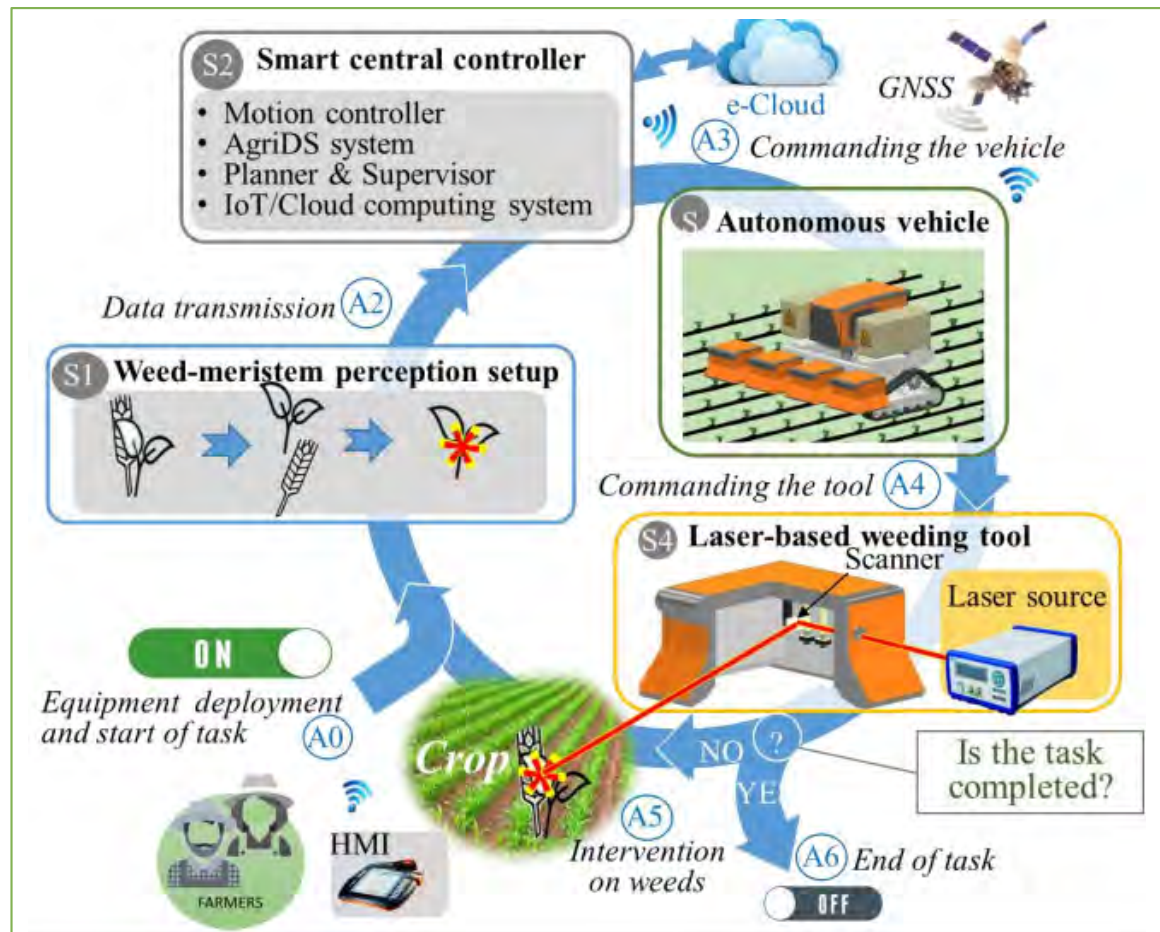
出典:ZASSO WEBサイト  
<https://zasso.com/demonstrated-xpower-efficacy-of-inter-row-post-emergence-weed-control/>  
<https://zasso.com/technology/>

d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 5. 除草ロボット

レーザー照射で雑草の成長を抑制するロボット：Laser Center Hannover社等(ドイツ)

- レーザー光と生体物質との相互作用を応用し、レーザー照射によって雑草の成長を抑制する除草手法を開発。
- この技術をもとに、自律走行型のレーザー照射ロボットのプロトタイプ(WeLASER) を2023年までに開発予定。

WeLASERソリューションの技術プロセス



- カメラとオブジェクト認識ソフトウェアを使用して作物と雑草を区別する画像処理システムを開発
- レーザーをプログラミングして、雑草の成長点にレーザーを照射して雑草を破壊する。レーザーは農作物や土壌には影響を及ぼさず、土壌の質を保持したまま、雑草だけが枯死

出典:Laser Center Hannover プレスリリース (2021年3月25日)  
プロジェクト名: WeLASEWR, H2020

## d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 6. 品種開発 大豆品種の選抜：ノースカロライナ州立大学（米国）

- 世界中から20,000のダイズ系統を収集した、USDA soybean germplasm collection（栽培品種）の中から、収量の改善、品質向上（栄養及び付加価値特性）、干ばつ等非生物的ストレスに対する耐性を持つ品種を選び出し、産業化することが目的。

### North Carolina Soybean Production Guide

NC STATE EXTENSION NC State Extension Publications

Log In Search Search Print

North Carolina Soybean Production Guide

**Table of Contents**

- The Soybean Plant
- Soybean Production and Marketing in North Carolina
- Rotational Considerations
- Variety Selection
- Planting Decisions
- Fertilization and Nutrient Management
- Weed Management
- Disease and Nematode Management
- Insect Management
- Key Management Strategies to Increase North Carolina Soybean Yield: What We Have Learned From 877 Soybean Yield Contest Entries
- Harvesting, Drying, and Storage
- Soybean Facts

**RELATED PUBLICATIONS**

- Southern Blight of Soybean
- Soybean Deer Damage
- Planting Rate Recommendations for Organic Soybean Producers
- Chapter 5: Crop Production Management - Organic Soybeans
- Variety Selection
- Soybean Vein Necrosis Virus

**Introduction**

The purpose of this publication is to provide information on soybean production in North Carolina. This information is intended to help producers make better decisions and increase yields and profits.

- 大豆は米国で最も多様性の低い作物の一つ。
- 従来の育種技術と、量的形質遺伝子座（QTL）分析、近同質遺伝子系統の開発及び最新のゲノクス手法を組み合わせた技術を利用。

研究期間：2020年10月～2025年9月

出典:NC State University. WEBサイト  
<https://content.ces.ncsu.edu/north-carolina-soybean-production-guide>



## d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 6. 品種開発

## 有機生産に適した豆の育種：Clemson大学（米国）

- タンパク質の品質、消化率、色、食感、風味が高く、有機生産に適したエンドウ豆とレンズ豆の育種を研究。

Clemson大学  
Agricultural and Environmental  
Science Department



**GOING ORGANIC:**  
*Breeding Biofortified Pulse & Grains*

- 非有機生産用に育種された品種の多くは有機生産に不適。
- ゲノム情報とタンパク質形質マッピングを組み合わせ、最良の遺伝子型から表現型へのマッピングが可能。
- Clemson大学のGoing Organic portal、Carolina Farm Stewardship Association、Good Food Institute及び e-Organic プラットフォームを使用して、農場での教育及び普及活動を展開。

援助額123万ドル（約1.8億円）

研究期間：2021年9月～2025年8月

出典：Clemson大学 WEBサイト

<https://www.clemson.edu/cafls/organic-breeding/orei/index.html>



## d. 耕地面積に占める有機農業の割合拡大 7. センシング・データ活用

**有機肥料のばらつきを施肥中にセンシング：アイオワ大豆協会（米国）**

- 動物排せつ物由来肥料は、成分品質が安定せず養分の過不足が問題。
- 近赤外線肥料含有量センシング（MCS）システムが施肥中に液体肥料の養分レベルをリアルタイムで測定し、肥料養分を施用する方法を研究中。

**アイオワ大豆協会 施肥機械**

- 多数の試験フィールドにおいて糞尿のサンプルの試験を実施しセンサーの評価を行うとともに、3年間にわたる9回の農場での再現試験によってMCSの精度を評価。
- またMCSが窒素収支に与える影響を理解するために9カ所のプラント分析も実施し、最後に収穫量を評価。

援助額58万ドル（約8,400万円）

研究期間：2022年8月～2025年7月

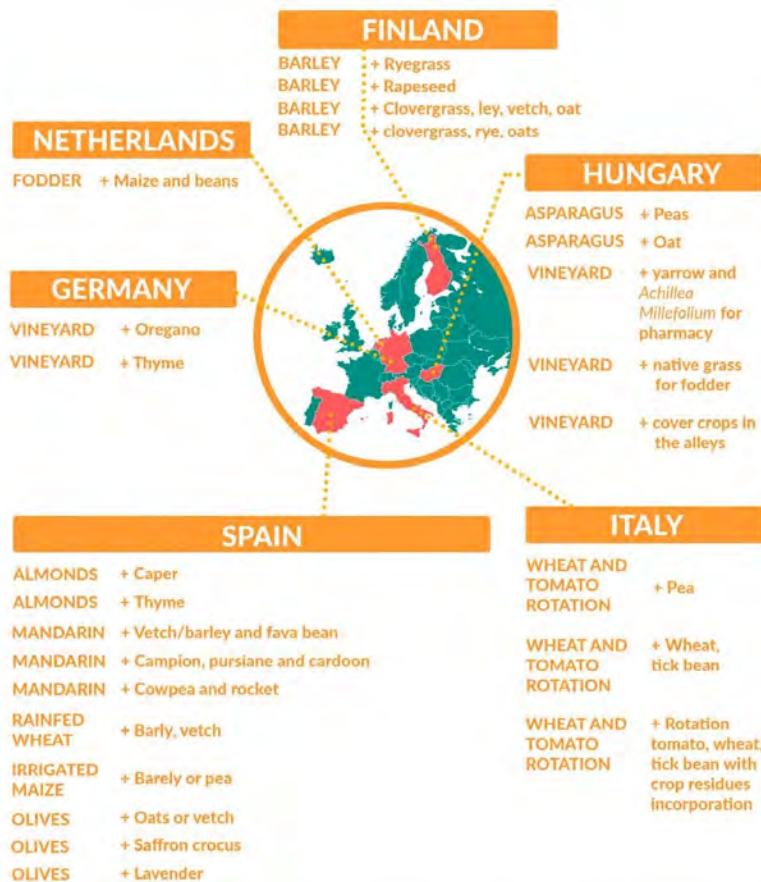
出典:アイオワ大豆協会 WEBサイト  
<https://www.iasoybeans.com/newsroom/article/manure-shows-value-as-a-commercial-fertilizer-replacement>

d.有機農業（耕地面積の）25%に拡大 8. オーガニック3.0

ヨーロッパ全土の作物の多様化と低投入農業：Diverfarmingコンソーシアム（欧州）

- 土地の生産性と作物の品質を高め、機械、肥料、殺虫剤、エネルギー、水の使用を減らすことが目的。
- 農家から消費者まで、技術的、社会的、文化的、経済的な観点から、新しい生産モデルに適応した新しい組織構造を提案する。

Diverfarmingの研究エリア



- 欧州の気候や土壌条件を踏まえ、各地域に合わせた農薬、肥料、重機の使用を減らした低投入農業を研究
- 農家が最も適した作付システムと持続可能な農法を選択するためのツール開発を実施、土壌からバリューチェーンに至る様々なデータを集約・活用できるよう整備
- i)多様な作付けシステムの影響、ii)生物多様性、iii)土壌の質、iv)土壌侵食、v)炭素隔離と温室効果ガスの排出、vi)粗利益、を多面的に評価

EU HORIZON助成金プログラム  
予算規模1千万ユーロ／EU負担1千万ユーロ

研究期間：2017年5月～2022年10月

出典:コーデイス  
[https://cordis.europa.eu/docs/results/h2020/728/728003\\_PS/diverfarming-combinations.jpg](https://cordis.europa.eu/docs/results/h2020/728/728003_PS/diverfarming-combinations.jpg)

d.有機農業（耕地面積の）25%に拡大 8. オーガニック3.0

## 気候に配慮した持続可能な農業用土壌管理：EJP SOILコンソーシアム（欧州）

- 気候変動への適応と緩和、持続可能な農業生産、生態系サービスの提供、土地と土壌の劣化の防止と回復などの主要な社会的課題に対する、農地土壌の貢献を高めるための環境作りを実施。
- 社会的、科学的、政策的、及び運用上の課題に対応。

### EJP SOILのプロジェクト

- 欧州の全参加国の土壌データ所有規制の分析を実施。  
気候に配慮した持続可能な土壌管理に関連する  
主要な課題や土壌研究の内容を共有
- 土壌管理による気候変動の緩和や適応、持続可能な農業生産と  
環境への影響の理解を促進、気候変動への緩和や適応に資する  
土壌管理方法の共有・普及
- 地域及び状況に固有の施肥方法 を開発し、各地域で実証

EU HORIZON助成金プログラム

予算規模

80百万ユーロ／EU負担40百万ユーロ

研究期間：2020年2月～2025年1月

出典：EJP SOIL WEBサイト  
<https://ejpsoil.eu/about-ejp-soil/structure-work-packages>

## EU：共通農業政策（CAP）における有機農業推進策

- EUでは、有機農家になる/転換する人や、有機農業を維持する人を対象とした有機農業推進策をCAPにより定めている。
- 有機農家への資金援助は、有機農業への転換と、有機農業の維持の両方が対象。

### 有機農場への転換

- 有機生産を希望する農場は、CAPに基づく「転換」と呼ばれる手続きが必要。

#### <転換期間>

- 多年生の果樹園：3年間。
- 豚・鶏の放牧：12ヶ月。
- 放牧する陸生反芻動物：2年間。
- 転換期間中に栽培される作物は、全て有機栽培の種子から作ることが必要。

### 有機農家への資金援助

- CAPの「直接支払い」制度は、有機農家への経済的支援策の1つ。
- 持続可能な土地利用（緑化）を行っている農家への支払い（グリーンング支払い）は、直接支払額の30%を割当て。
- 持続可能な土地利用（緑化）
  - ✓ 農家は、環境（特に土壌と生物多様性）に有益な以下の3つの必須事項を順守すれば、グリーン直接支払いを受け取ることが可能。
  - ◆ 作物の多様化：2作物以上  
主な作物で、土地の75%以上利用不可。
  - ◆ 永久草原の維持  
永久草地を耕起・転用は不可。
  - ◆ 耕作可能な土地の5%が生物多様性に有益な地域。  
15ha超の農場：少なくとも5%の土地が生態系重点地域（EFA）





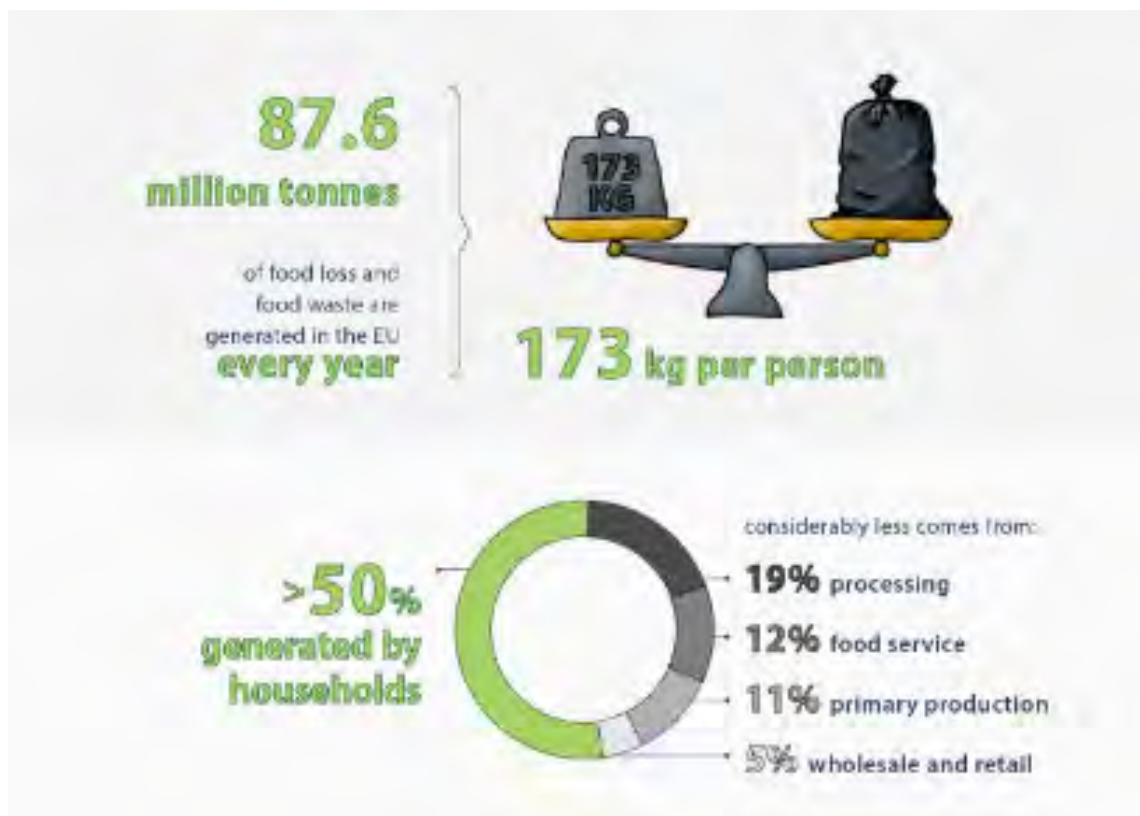
# Ⅱ みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査

## Ⅱ- 2. 研究内容に関する調査 e. 食品産業

e. 食品産業 1. 事業系食品ロスの削減  
**食品ロスについての議会結論：EU**

- 2016年6月にEU理事会は食品ロスと食品廃棄に関する結論を採択。その際、勧告された内容を定期的に進捗を評価されるべきであると言及。2018年、2020年に進捗状況进行评估。
- 「賞味期限」表示を免除する食品のリストの拡大、食品の寄付の奨励、廃棄物分類に関する新しい規則の導入など、廃棄物を削減するために国レベルで講じられる措置について記載。
- 加盟国の廃棄物管理ヒエラルキー（防止、再利用、リサイクル、回収）の採用と実施も監視。

**食品廃棄：防止、再利用、リサイクルの模式図**



出典:EU理事会および欧州理事会 WEBサイト  
<https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/food-loss-and-food-waste/>

## 2023年農業法案での食品ロス削減機会：米国

- 2023年の農業法案（2023 Farm Bill）に向けて、米国議会が食品廃棄物削減を目的とした循環型食品システムを採択するよう22の推奨事項を概説。
- 食品廃棄物の防止、食品回収の促進、堆肥化又は嫌気性消化による生ゴミのリサイクル及び食品廃棄物削減の取組への支援を議会へ提唱予定。
  - 具体的な推奨事項として、一貫性のない規制の明確化、食品廃棄物のリサイクルに対するインセンティブの提供、消費者教育キャンペーンの開始が含まれる。
  - これを実施することで、年間730億ドルの純経済的利益を生み出し、食料不足の個人のために40億食相当を回収、4兆ガロンの水を節約し、年間7,500万トンの温室効果ガス排出を回避する可能性があると記載。

出典:Harvard Law School Food Law and Policy Clinic, NRDC, ReFED, World Wildlife Fund Inc. <https://chlpi.org/wp-content/uploads/2022/04/2023-Farm-Bill-Food-Waste.pdf>

## e. 食品産業 1. 事業系食品ロスの削減

**植物由来コーティング剤による食品保存期間延長技術：Akorn Technology（米国）**

- 米国の非GMOトウモロコシ副産物を使用した、植物タンパク質ベースの食品用コーティング剤。
- 水分損失抑制、酸素交換の制御、光沢付与、硬さ・質感維持、食味改善、栄養改善、微生物増殖抑制等に対する効果。
- モモ、リンゴ、ナシ、トマト、キュウリ、ナッツ類など幅広い作物の収穫後のロス削減が可能。

**Akornコーティング処理されるマンゴー****コーティング処理・未処理のナシの比較**出典: Akorn Tech. WEBサイト <https://akorn.tech/>, Youtube



## e. 食品産業 2. 食品製造業の自動化等による労働生産性の向上

### グripperやビジョンセンサ技術の進歩と協働ロボットの導入が成長を促進

- 一次食品加工で扱う食材は様々な形状とサイズがあり、ロボット導入の障害。
- 人の手の動きを模したグripper技術の進歩により、一次食品加工でのロボット使用が増加。
- ソフトグリップにより繊細な食材にも利用可能。真空グリップは、食品との直接接触を最小限に抑え、様々な形状やサイズの食材に対応。ロボットに内蔵されたビジョンセンサやスキャン機能により、製品の形状の違いをより高い精度で判別可能。

#### e. 食品産業 3. 食品製造業の経費削減(1) 技術概要

### スマートパッケージングによる品質・安全性の担保、製品の追跡

- スマートパッケージングは、製品保護に有益な包装手法で、アクティブ包装と、インテリジェント包装に大別。
- アクティブ包装は、脱酸素剤、防腐剤、抗菌パッケージ等により保存期間を延長。
- インテリジェント包装は、賞味期限の延長や鮮度管理を行うセンサや、製品の品質、温度、pH値、水分量などを表示する電子ディスプレイなどのこと。代表的な例として、無線周波数識別（RFID）タグによる荷物追跡、盗難防止、サプライチェーン管理。

## e. 食品産業 3. 食品製造業の経費削減（1）技術概要

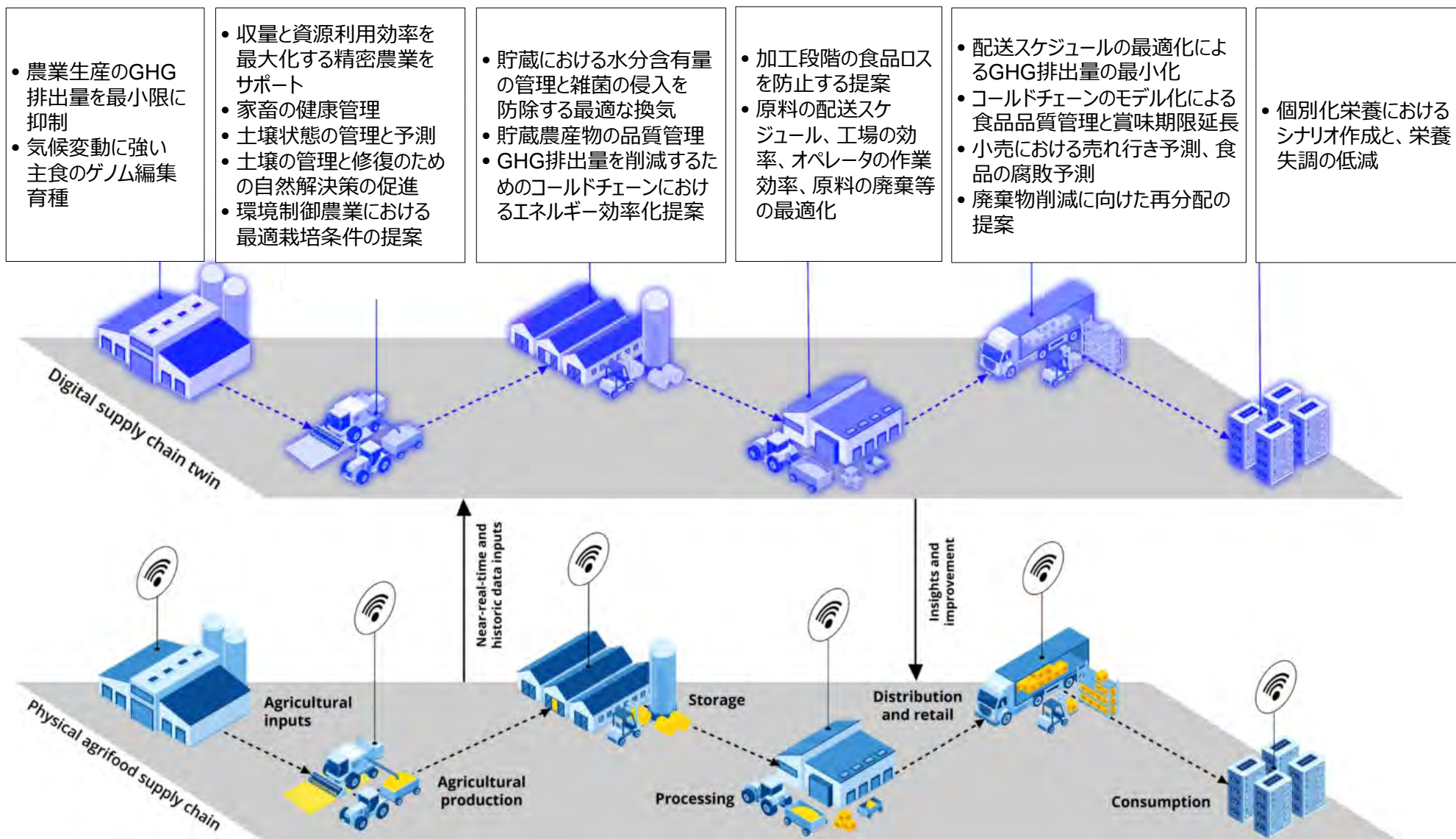
### 物流領域での主要課題と変化

- 各種ロボットの導入により物流のスマート化が進行。
- 情報の活用により、ピッキング自動化や、配送・倉庫手配のマッチングによる稼働改善などの動きが出てきている。

### e. 食品産業 3. 食品製造業の経費削減（2）事例

## 農業食品サプライチェーンにおけるデジタルツインの利点と課題（英国）

- 英国ケンブリッジ大学アサフらは、農業食品サプライチェーンデジタルツイン事例において、温室効果ガスの排出、食品廃棄物の抑制などが、目的化されていないことを指摘。実現に向けたタスクを整理。



出典:npj食の化学,6,47,2022

出典:Springer Nature Limited WEBサイト <https://www.nature.com/articles/s41538-022-00162-2#Fig1>



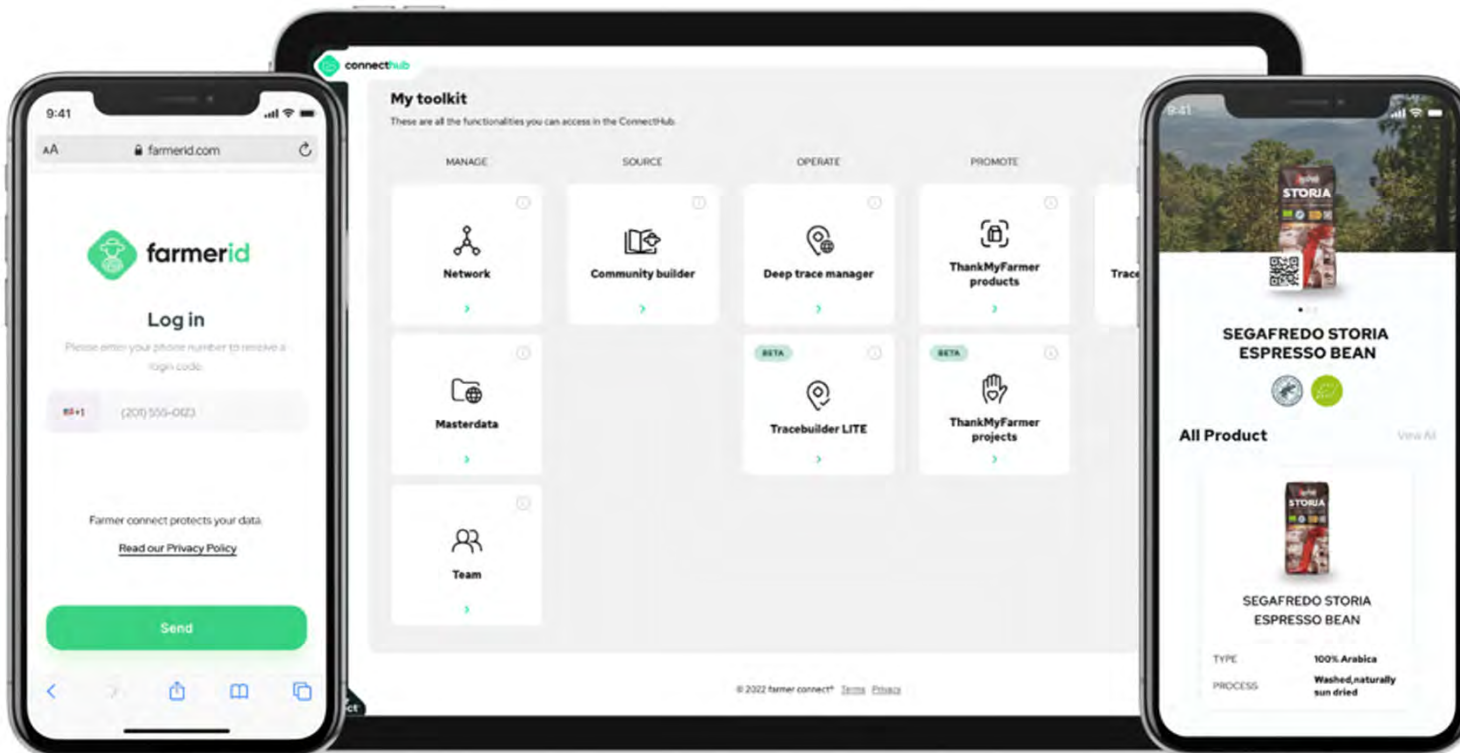
## e. 食品産業 4. 持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現

## ブロックチェーンを活用したコーヒー豆のトレーサビリティシステム：Farmer Connect（スイス）

- ブロックチェーンにより原材料の生産・加工・流通・販売までを記録するトレーサビリティシステムに注目。
- 「Farmer Connect」は、2019年創業したスタートアップ。コロンビアのコーヒー生産者連盟（FNC）において、Farmer Connectのトレーサビリティシステムを活用した認証商品を開発。
- Farmer Connectには、IBMブロックチェーンを採用。

## Farmer Connectのトレーサビリティプラットフォーム

- コロンビア産コーヒー豆100%の商品には、パッケージに記載されたQRコードから、コーヒー豆が生産された農場、焙煎工場などの確認が可能。
- 生産地認証された商品を消費者が適正価格で購入することは、現地の生産者が正当な報酬を得るためのフェアトレードにも有用。
- シリーズAの資金調達ラウンドで900万ドルの調達（2021/3）

出典:Farmer Connect WEBサイト <https://www.farmerconnect.com/>

## e. 食品産業 4. 持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現

## ブロックチェーンを活用したトレーサビリティシステム：SBIトレーサビリティ（日本）

- 「SHIMENAWA（しめなわ）」は、産地、加工、流通についてトレースした情報を提供するサービス。
- コンビニ大手ローソンが、上海の店舗で販売するおにぎりに使用される米の生産地情報を証明する取組の中で、SHIMENAWAを利用（2021年12月）。
- 米国のR3社が開発したブロックチェーン「Corda（コルダ）」を採用。

## SHIMENAWA



- ブロックチェーン基盤のCordaと、NFC/RFID技術とのデジタルペアリングなどで共有される情報の真正性を担保するシステムで、信頼性の高いエンド・ツー・エンドのトレーサビリティを実現。
- 「日本産の食品（加工品を含む農畜水産物）」に着目し、「日本ブランド」や「SDGsへの貢献」について証明するソリューションを提供。
- 「農畜水産業所得の向上、事業の拡大」や「地方創生」が目標。

出典:SBIトレーサビリティ WEBサイト <https://www.sbitraceability.co.jp/service/>

e. 食品産業 4. 持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現

サプライチェーンでの持続可能性向上に向けた取組：TESCO（イギリス）

- イギリス小売大手TESCOとWWFはイギリスの食糧安全保障を支えるサプライチェーン上のサステナビリティ向上のため、アクセラレータープログラムを実施。受賞企業には15万ポンドの資金援助。
- またTESCOでは同社サプライチェーン上の全てのイギリスの青果物生産者に対する環境認証「LEAF Marque」取得を推進し、完了。次のステップとして、全世界の生産者全てでの認証取得を目指し、取組を開始。

アクセラレータープログラム「イノベーション・コネクションズ」の最終選考選出者

環境認証「LEAF Marque」取得

応募者名	概要
AgriSound & AM Fresh	生体音響で農場の受粉媒介者や害虫のレベルをモニタリング。農家の生物多様性保護と農産物収量増加を支援する技術を開発
Aurea & Adrian Scripps	果樹の健康状態と実の付き具合を個別に管理し、肥料等の投入量を最小限に抑え、収量改善が可能な技術を開発
ai & Hilton	科学的根拠に基づく生物多様性指標として、鳥のさえずりを活用する牧草地農業のモニタリングシステムを開発
CCm, Andermatt, FCT & Branston	低炭素肥料によるジャガイモ生産の二酸化炭素排出量削減の実証
FCT & ProduceWorld	園芸での二酸化炭素排出量分析・削減を行い、農地の炭素固定量の増加、コスト削減と効率性モニタリング可能なソフトウェア開発
Future by Insects & Hilton	生ごみから微細藻類を育て、魚の餌とするサーキュラーエコミー型魚餌の生産
Harbro & Muller	酪農場の栄養効率の精密測定を行う技術の開発
InsPro & Prepworld	昆虫で生ごみを鶏の飼料に転換し、鶏卵サプライチェーンでの大豆飼料の使用量を削減する携帯型バイオコンバージョン機器の製造

認証概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 持続可能な農業推進 Linking Environment and Farmingの略称。</li> <li>● 自然、気候変動、社会、経済の多岐にわたり、遵守基準を設定。</li> <li>● 進捗状況をモニタリングしつつ、改善にコミットすることで取得可能。</li> </ul>
取得状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>● イギリス国内の青果物生産者の48%が認証取得済み。</li> <li>● TESCOの取引先であるイギリス国内の成果物生産者は100%取得済み。今後はTESCOの全世界の生産者（8,000以上）でも取得予定。</li> </ul>



# Ⅱ みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査

## Ⅱ- 2. 研究内容に関する調査 f. 林業分野



## 超厚合板 (MPP) : 米国

- Mass Plywood Panel (MPP) は、従来の建築材料の代替材料として使用され、市場が大幅に拡大。
- Cross-Laminated timber (CLT) と同様に耐荷重目的で使用。薄い層を何枚も張り合わせた合板で、厚みを増すことで強度と性能が向上。
- 日本に持ち込むためには、新たな技術開発、基準整備などが必要。米国の超厚合板の単板構成や、縦継ぎなどは、日本のJASで定められていないため、性能試験や規格を整備することが必要。
  - ベニヤを原材料として使用することで、MPPは20%少ない木材でクロス ラミネート ティンバー (CLT) パネルと同じ構造的特徴を実現可能。
  - MPPは比較的軽量であるため、建設現場への輸送及び物流コストを削減可能。
  - 米国ではMPPの需要が高く、2020年は寡占状態。

### <世界でMPPを展開している企業>

- Freres Lumber Co. Inc. (米国)
- CENTURYPLY (インド)
- Boise Cascade (米国)
- DIXIE PLYWOOD AND LUMBER COMPANY (米国)
- BlueLinx (米国)

## f. 林業分野 1. エリートツリー、高層木造技術、木材の炭素貯蔵海外動向（2）事例

**超厚合板（MPP）：Freres Lumber社（米国）**

- 同社のMASS PLY PRODUCTSは、特許取得済みの単板ベースの複合木材製品。Freres Structural Composite Lumber (SCL)で構成。
- 認定している製品はMass Ply Panels、Mass Ply Lams、Mass Ply Industrial。
  - 各マスプライ製品の構成要素は、密度が段階的に変化するダグラスファー単板の複数の層で構成されるフレール構造複合材（SCL）。
  - ベニアは、さまざまな組合せと向きで接着及びプレスされ、最終的に結合されて1インチの層（ラメラと呼ばれる）が作成。

出典: reres Engineered Wood.WEBサイト  
<https://frereswood.com/products-and-services/mass-ply-products/>

## f. 林業分野 1. エリートツリー、高層木造技術、木材の炭素貯蔵海外動向 (2) 事例 超厚合板 (MPP) : オレゴンの大学等による共同研究 (米国)

- オレゴン大学 (University of Oregon) とオレゴン州立大学 (Oregon State University) が TallWood Design Institute (TDI) を通じて協働し、木造建設物の経年劣化、熱効率の悪さ、非耐震性等の課題に対して、Mass Plywood Panel (MPP) の研究開発中。

### MPPを使用したモデル建造物



- 2022年2月現在、HomeWork の Jessy Ledesma 氏と協力して、「手頃な価格でレジリエントなネットゼロハウジングのためのシステムとテクノロジーの新しい組合せ」を開発中 (Energy Trust of Oregon. Net Zero Fellowship 2021)。
- パネル化されたシステムの開発をテスト中、生産プロセスをスピードアップし、コストを削減するためにデジタル化された壁パネルを製造予定。

## f. 林業分野 1. エリートツリー、高層木造技術、木材の炭素貯蔵海外動向 (2) 事例

## 高層木造建築：ノルウェー

- 2019年3月に竣工した、ノルウェー（ブルムンドダール（Brumunddal））の18階建て木造建築物。

## 高層木造建築の外観写真



- 世界で最も高い木造建築物として承認。
- 地元の資源、地元のサプライヤー（木造建築材料を納入したMoelven LimtreAS社）、持続可能な木材を使用して高層ビルを建設(2019年3月竣工)。
- オフィス、集合住宅、ホテル、レストランとして使用。

出典:Business Norway WEBサイト  
<https://www.theexplorer.no/ja-jp/stories/architecture-and-construction/norway-is-home-to-the-worlds-tallest-timber-building/>



## f. 林業分野 1. エリートツリー、高層木造技術、木材の炭素貯蔵海外動向（2）事例

## 高層木造建築：オーストラリア

●オーストラリアにて2026年開業予定の、木造ハイブリッド構造として世界で最も高い「アトランティック・セントラル」。

- 地上39階、高さ182m
- 構造：RC造（地下～7階）、鉄骨とCLTを採用した木造ハイブリッド構造（7階以上）
- 用途は高層部が事務所、低層部が宿泊・店舗施設。
- 大林組がオーストラリアのBuilt Pty Ltdと共同企業体として工事を受注。

工期2022年8月～2026年

f. 林業分野 1. エリートツリー、高層木造技術、木材の炭素貯蔵海外動向 (2) 事例

## 生物多様性モニタリング：EUROPABON（欧州）

- EUの2030年生物多様性戦略を含む欧州グリーンディール政策に沿い、ヨーロッパ各国の生物多様性モニタリング活動を調整する機関。
- 生物多様性と生態系サービスを監視するための新しい構造を設計し、様々なレポート・データを統合するために必要な変数をモデル化。
  - モデルを通じて現場データとリモートセンシングデータを統合し、より完全で偏りの少ない生物多様性情報を提供。
  - 一般的な必須生物多様性変数 (EBV) と必須生態系サービス変数 (EESV) 及びそれらの特性 (空間的、時間的、生物学的実体、範囲、解像度) を適用。

全予算3百万ユーロ／EU負担3百万ユーロ

EU助成金プログラム 2020年12月～

2023年11月

EU HORIZON プロジェクト助成金

出典:europabon.org WEBサイト [https://europabon.org/?page\\_id=1858](https://europabon.org/?page_id=1858)

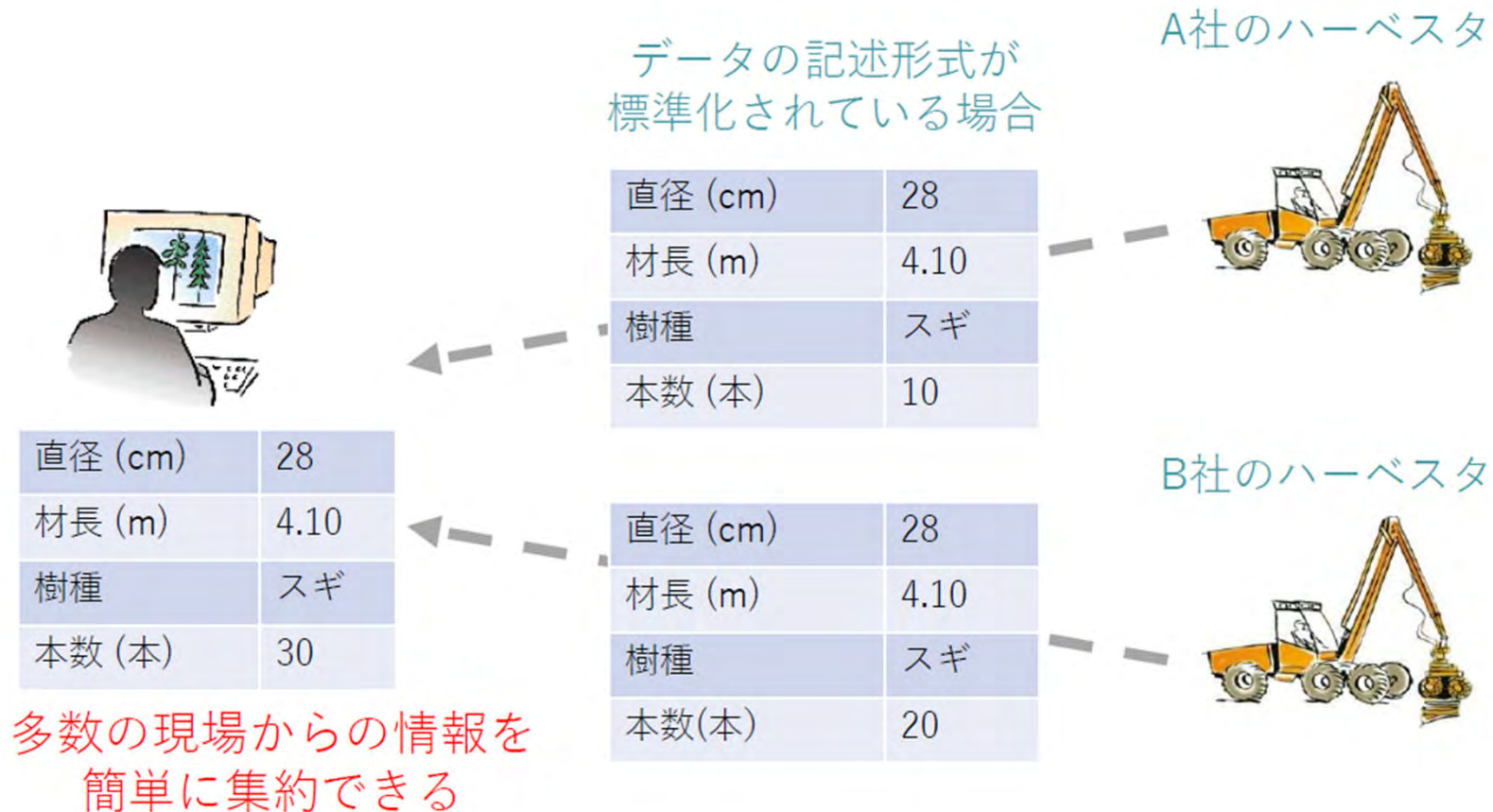
出典:コーディス WEBサイト <https://cordis.europa.eu/article/id/436289-europe-s-fragmented-biodiversity-data-landscape-under-the-microscope>

<https://cordis.europa.eu/project/id/101003553>

f. 林業分野 2. スマート林業 (1) 技術概要

林業機械における情報連携のためのデータ規格：StanForD

- StanForD(Standard for Forest machine Data communication)は、生産管理者と現場の林業機械との間でやり取りする情報の記述形式を定めたデータ規格。
- スウェーデンで定められ、欧州、北米、オーストラリア、ニュージーランドで活用。
- 日本ではR3年度までの林野庁事業で日本版StanForDを作成。

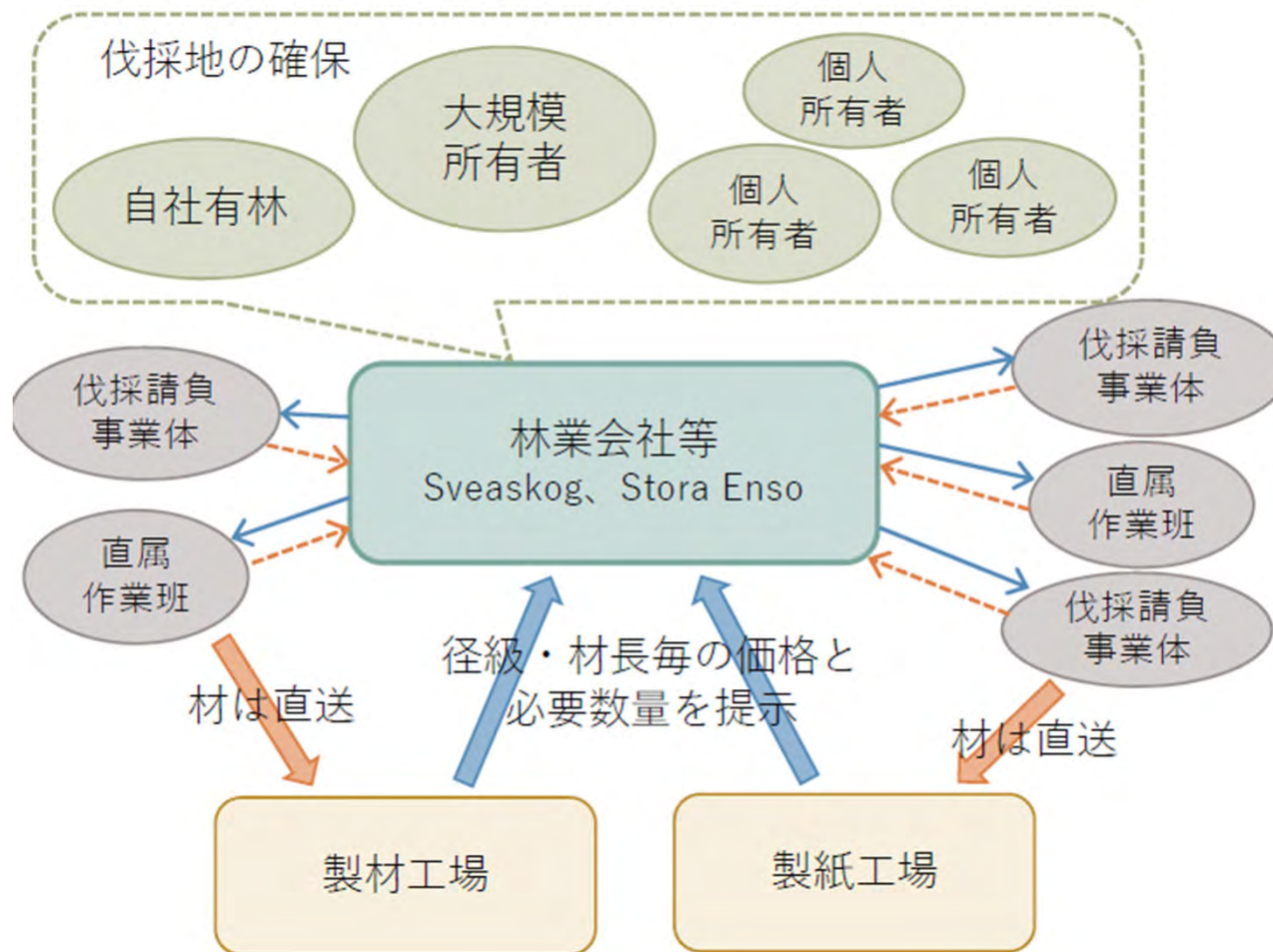


出典:2022年10月17日(月) 森林総研 林業工学研究領域 収穫システム研究室 室長 中澤昌彦氏 ヒアリング資料

f. 林業分野 2. スマート林業 (2) 事例

StanForDを利用した原木流通：スウェーデン

- 仕組みの構築は2000年頃から開始、2010年より実用化。
- 林業会社は伐採地を確保し、地理条件や資源量等から、どの現場でどの工場向けの原木を生産するかを調整、作業を指示。
- 日本で実現する場合、森林内での通信確保が課題。



→ 作業指示  
伐採現場の地図等の情報や、樹種・径級・材長別の生産量や価格表等のデータが、林業会社のWebサイトやメール経由、あるいはハーベスタに直接送られる。



インターネット StanForD (共通のデータ形式)

----- 生産報告  
ハーベスタで収集される樹種・径級・材長毎の本数・材積等の生産状況のデータは、ほぼリアルタイムで林業会社に報告され、納入先への効率的な運搬計画が立てられる。



\* 製材工場での原木検収は独立企業により行われている。





# II みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査

## II- 2. 研究内容に関する調査 g. 水産分野

## g. 水産分野 1. 養殖魚の人工種苗、飼料海外動向

**代替タンパク養殖飼料：より持続可能で競争力のあるEU水産養殖戦略的ガイドライン（EU）**

- Strategic guidelines for a more sustainable and competitive EU aquaculture for the period 2021 to 2030（より持続可能で競争力のあるEU水産養殖戦略的ガイドライン2021-2030）の中で、代替タンパク養殖飼料について言及。
- 文中では「2.2.1 水産養殖飼料を、魚粉や魚油から藻類や昆虫、他の産業の廃棄物などの代替タンパク質成分を利用したものへ。水産遺伝資源の維持・向上と養殖資源の品種改良の利用を支援する。」と記載。

**持続可能な水産養殖イメージ**

- Farm to Fork 戦略に呼応する、持続可能な水産養殖を目指すガイドラインを2021年5月に公表。

出典: 欧州委員会 WEBサイト  
[https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/news/blue-farming-new-strategic-vision-sustainable-aquaculture-now-available-all-eu-languages-2022-02-04\\_en](https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/news/blue-farming-new-strategic-vision-sustainable-aquaculture-now-available-all-eu-languages-2022-02-04_en)

## g. 水産分野 1. 養殖魚の人工種苗、飼料海外動向

## 大西洋における持続可能で収益性の高い水産養殖：ASTRALプロジェクト（EU、ノルウェイ）

- EU が資金提供する ASTRAL プロジェクトでは、大西洋市場向け統合多栄養水産養殖（IMTA）生産チェーンの開発が進行中。
- 異なる栄養レベルの複数の水生種と一緒に養殖されるIMTAにおいて、種間の栄養サイクルを用いて、単一養殖のベースライン水産養殖と比較して循環性を50～60%程度高め、養殖生産者の収益の多様化を促進。

アイルランドのバートラフボーイ湾の  
IMTAオープンオフショアシステム

- 統合多栄養水産養殖（IMTA）生産のための、持続可能で、収益性が高く、弾力性のある新しいバリューチェーンを開発。
- 地域の課題に基づく観点から、4つの費用対効果の高いIMTAプロセスを検証するために既存技術と新技術の組み合わせを行う。例えば、二枚貝バイオセンサーやUV-IS蛍光分光計、リアルタイム監視システムなど。
- 北及び南大西洋地域（アイルランド、南アフリカ、スコットランド、ブラジル）の潜在的な環境及び気候リスクを特定し、リスクを最小化する。
- 全予算8百万ユーロ／EU負担8百万ユーロ。

出典:the Marine Institute Ireland

## g. 水産分野 1. 養殖魚の人工種苗、飼料海外動向

**養殖魚のゲノム編集技術及び精密処方への給餌の研究：AquaIMPACTプロジェクト（EU）**

- Horizon Europeの一環で、養殖の高度化に向けた様々な研究を実施するプロジェクト。
- 企業の養殖魚のゲノム編集支援のため、形質記録と遺伝子型決定のための表現型、遺伝子型、魚のサンプリング設計のコスト効率の改善に取り組む。
- 養殖魚のためのプレシジョン栄養学を用いた給餌をするため、持続可能な原材料で魚に適した栄養・給餌戦略を実証。

- AquaIMPACTでは大西洋サケ、ニジマス、金目鯛、ヨーロッパシーバスの養殖をターゲットに、高い競争力と食品と栄養の安全を確保するための研究・実証を実施。
- 水産養殖育種産業向けのゲノム選択に基づいて新しい成分、必須栄養素、適切な添加物を組み込み、繁殖プログラムで改良した魚に合わせて、新しい給餌を行うシステムを開発。
- 魚種繁殖プログラムから得られた優れた遺伝子型に特に適合した、調整された飼料・サプリメントを処方し、給餌戦略を実証。
- 全予算7百万ユーロ／EU負担6百万ユーロ。

出典:AquaIMPACT WEBサイト  
<https://projects.luke.fi/aquaimpact/partners/>

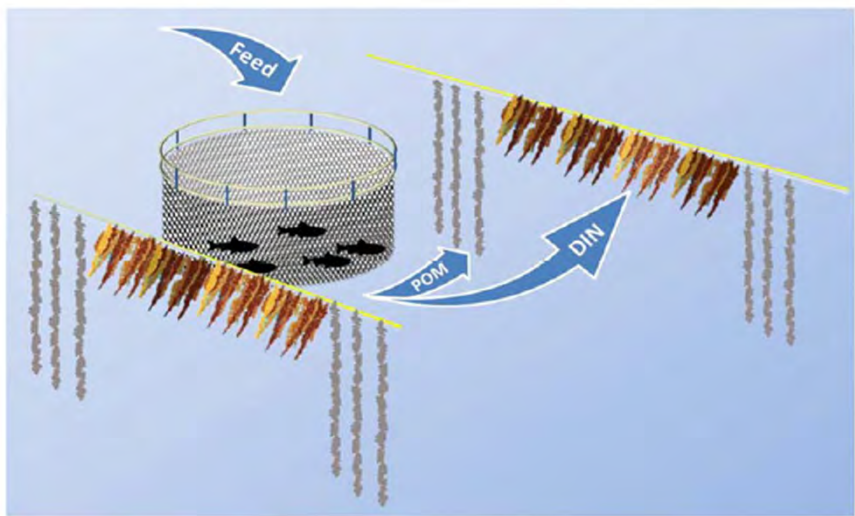


g. 水産分野 1. 養殖魚の人工種苗、飼料海外動向

複合養殖による海藻、貝類、魚類の生育：NOAA（米国）、中国

- 米国NOAAでは海藻と魚を同じ場所で養殖し、栄養供給する研究を実施。魚の糞が海藻に養分として取り込まれるため、複合養殖が海藻の成長に寄与。海藻は、バイオ燃料の原料として活用。
- 中国では、牡蠣と海藻を複合養殖した場合、CO<sub>2</sub>の排出量よりも吸収量がプラスになったという成果が論文発表された。特にカキと海藻のバランスが、重量比4:1以上だと良いと指摘。

生態系を活用した海藻養殖 (NOAA)



牡蠣と海藻の複合養殖 (中国)

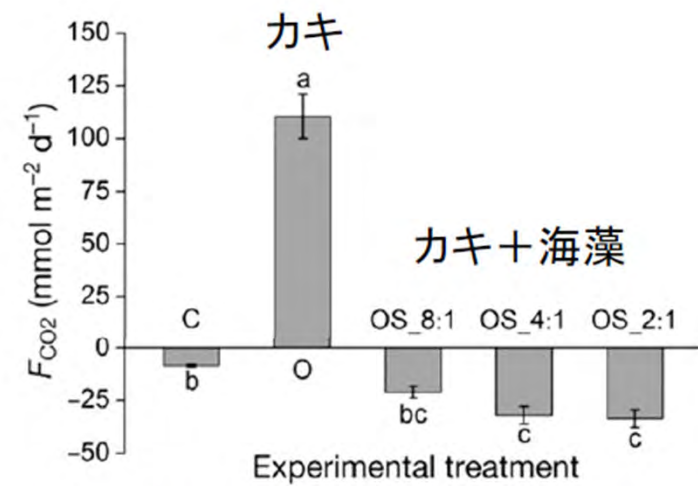


Fig. 6. Variations in air-sea CO<sub>2</sub> flux ( $F_{CO_2}$ ) among different experimental mesocosms. C: control; O: oyster only; OS\_8:1, OS\_4:1, and OS\_2:1: oyster co-cultured with seaweed at ratios of 8:1, 4:1, and 2:1, respectively. Bars with different lowercase letters are significantly different (ANOVA,  $p < 0.05$ )

出典: An Ecosystem Approach to the Culture of Seaweed  
 出典: NOAA <https://spo.nmfs.noaa.gov/sites/default/files/TMSPO195.pdf>

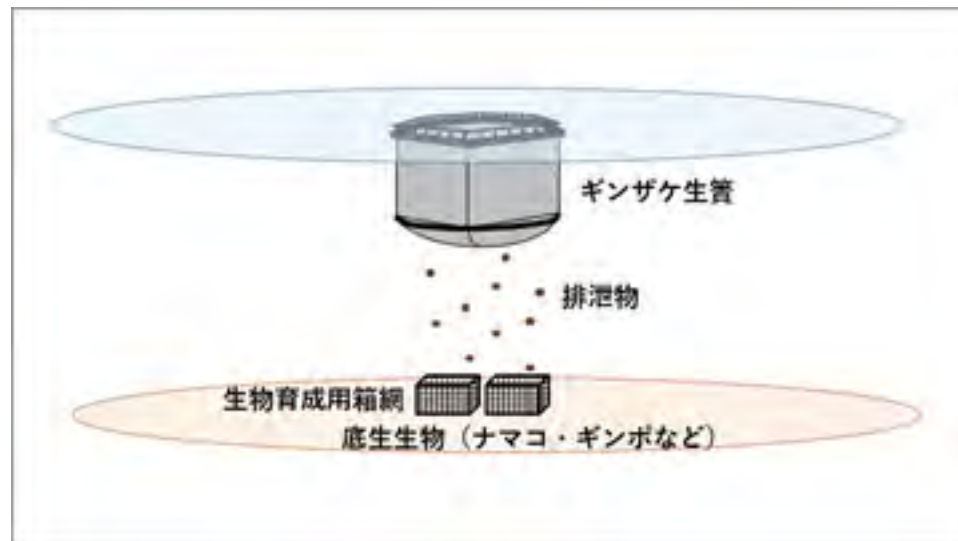
出典: Aquacult Environ Interact, Han et al, 2017  
<https://www.int-res.com/articles/aei2017/9/q009p469.pdf>

g. 水産分野 1. 養殖魚の人工種苗、飼料海外動向

養殖海域の底生生物による環境負荷低減効果に関する研究：東京海洋大（日本）

- 東京海洋大学では、東京大学との共同研究で養殖海域の環境保全のため養殖海域の底生生物による環境負荷低減効果を調査（2021年度～）。
- 養殖場は自家汚染が生産性を低下させる可能性があることから、養殖場の底生生物（ナマコなど）によって養殖魚の排泄物を吸収させることによって、沿岸養殖場の環境負荷を低減し生産性の低下リスクを抑制する効果を検討。

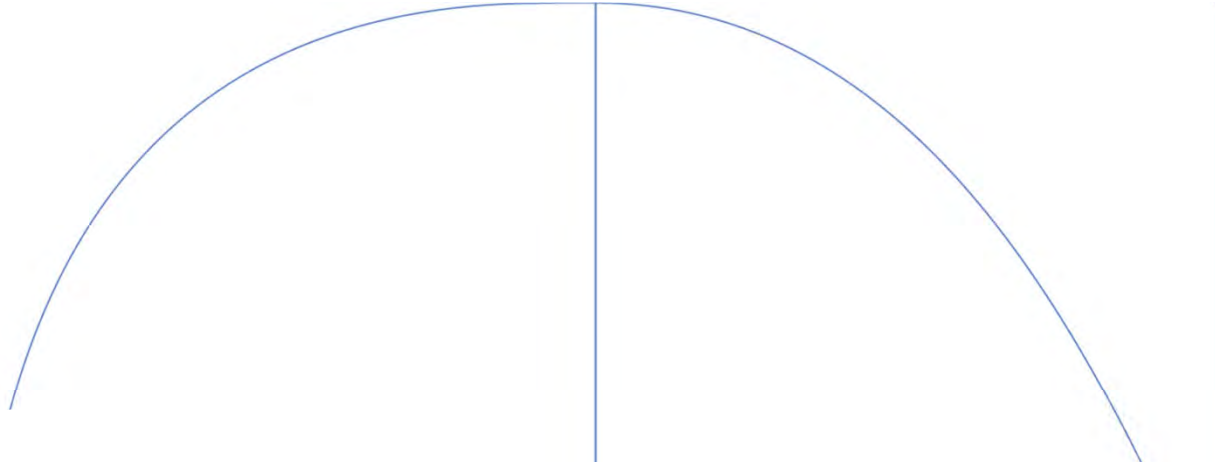
複合養殖のイメージ



底生生物の生育用箱網



出典:公益財団法人国際エメックスセンター WEBサイト  
<https://www.emecs.or.jp/topics/edu2021>



# II

## みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査 概要調査結果

### II- 3. 研究開発手法に関する調査

#### a. スタートアップの育成



a. スタートアップの育成 1. SBIR制度等スタートアップを育成する効果的な手法等

シリコンバレーでの支援動向（米国）

- シリコンバレー界隈でのスタートアップ支援として民間を中心に規模や役割の異なるプラットフォーム／プログラムを提供。
- 特にコロナ前は積極的に交流イベントを開催していた「The Mixing Bowl」というプラットフォームには多くの日本の食品メーカーなども参加。

シリコンバレーを中心に展開されている支援プラットフォーム／プログラム

<p style="text-align: center;"><b>AgFunder</b> AgFoodTechスタートアップ向けの インベストメント・プラットフォーム</p>  <p style="text-align: center;"><a href="https://agfunder.com/">https://agfunder.com/</a></p>	<p style="text-align: center;"><b>The Mixing Bowl</b> 世界中のAgFoodTech、ITの関係者をつなぐ ネットワーキング・プラットフォーム</p>  <p style="text-align: center;"><a href="https://mixingbowlhub.com/">https://mixingbowlhub.com/</a></p>
<p style="text-align: center;"><b>Startup Monterey Bay</b> 農業地帯の玄関口のモンレー界隈のAgFoodTech 関連のベンチャーを多く含むプロジェクト</p>  <p style="text-align: center;"><a href="https://www.startupmontereybay.com/">https://www.startupmontereybay.com/</a></p>	<p style="text-align: center;"><b>Plug and Play Tech Center:</b> <b>Food &amp; Beverage vertical</b> 大手アクセラレータのAgFoodTech関連の プログラム</p>  <p style="text-align: center;"><a href="https://www.plugandplaytechcenter.com/food/">https://www.plugandplaytechcenter.com/food/</a></p>



a. スタートアップの育成 1. SBIR制度等スタートアップを育成する効果的な手法等

## The Israel Innovation Authority (IIA) (イスラエル)

- IAAはイスラエル国内のスタートアップ企業を育成する役割を担う省庁。設立前、設立直後のものから規模の大きなものまで一貫して支援。支援対象は農林水産業のスタートアップ企業に限らない。
- VCとともにIIAがスタートアップ企業に投資をし、投資先の成長に従ってVCがIIA出資分を回収する形態で積極的な支援を実施。デューデリジェンスを厳しくした上で、政府がリスクを負って支援をしていることが、国内VCの増加やスタートアップ企業の増加を促進している成功要因。

### IIAが行う支援施策の例

施策名	概要	詳細リンク
MNC(R&D Collaboration with Multinational Corporations Program)	革新的なスタートアップと多国籍企業をつなぐVC。投資資金はIIAとイスラエル企業が提供。 多国籍企業はスタートアップに対して、技術指導や人材・設備提供（研究所の利用）、ソフトウェアの割引や無償ライセンスの提供まで、資金提供だけでなく、サービスも提供。	<a href="https://www.innovationisrael.org.il/en/program/rd-collaboration-multinational-corporations-program-mnc">https://www.innovationisrael.org.il/en/program/rd-collaboration-multinational-corporations-program-mnc</a>
The Incubators Program	プロジェクトのリスク軽減、資金調達のマイルストーン達成のための支援策。開発の初期段階にある技術アイデアをもつ起業家が民間資金を調達できない場合などに利用。	<a href="https://www.innovationisrael.org.il/en/program/incubators-incentive-program">https://www.innovationisrael.org.il/en/program/incubators-incentive-program</a>
Ideation Thufa Incentive Program	インキュベータの枠組みでスタートアップを設立することに関心がある個人事業主向けの資金提供プログラム。2年間で最大20万イスラエルシェケル（日本円で700万から800万）の資金が提供。	<a href="https://innovationisrael.org.il/en/program/ideation-tnufa-incentive-program#:~:text=The%20Ideation%20%28Tnufa%29%20Incentive%20Program%20is%20designed%20for,concept%20and%20business%20feasibility%20of%20early%20stage%20projects.">https://innovationisrael.org.il/en/program/ideation-tnufa-incentive-program#:~:text=The%20Ideation%20%28Tnufa%29%20Incentive%20Program%20is%20designed%20for,concept%20and%20business%20feasibility%20of%20early%20stage%20projects.</a>

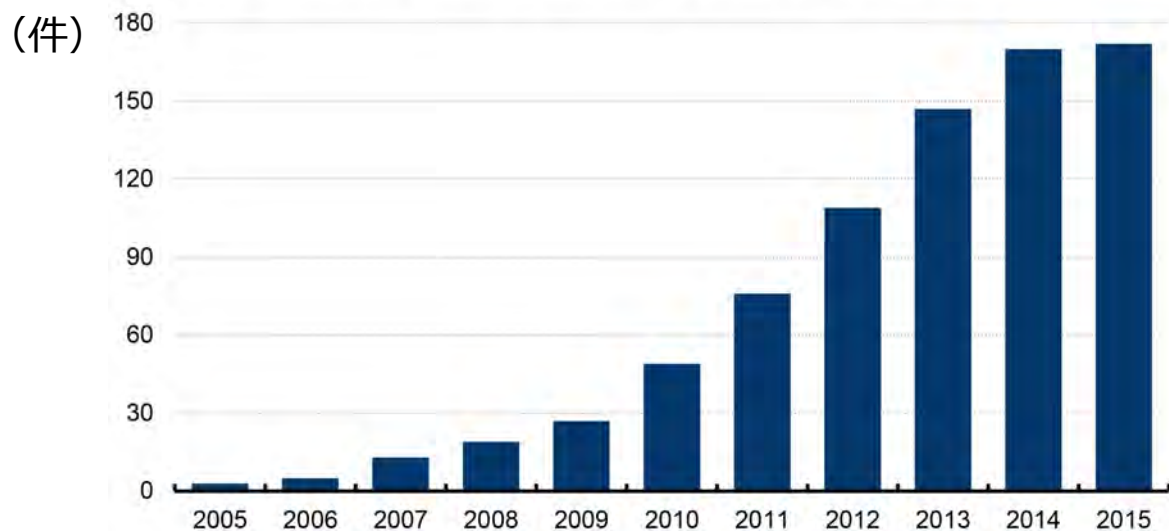
a. スタートアップの育成 1. SBIR制度等スタートアップを育成する効果的な手法等

## 「スタートアップ・アメリカ」イニシアティブ：米国中小企業局(SBA) (米国)

- 2011年米国のホワイトハウスは、経済成長と雇用創出を目的に起業家や投資家向けの政策イニシアティブを公表。
- 目玉政策として、インパクト投資と初期段階のシード資金調達のためにそれぞれ10億ドルを拠出。

### 米国のスタートアップアクセラレータプログラムの推移

#### United States accelerator pool by year



**B** Metropolitan Policy Program  
at BROOKINGS

- 10億ドルのインパクト投資は、十分なサービスを受けていないコミュニティにある企業に成長資本を投資するファンドに対する拠出を実施。クリーンエネルギーなどの新興セクターの企業へも投資。
- 10億ドルの初期段階シード資金調達は、スタートアップ企業の「死の谷」と呼ばれる融資ギャップに直面した企業に投資するシードファンドに対する拠出。
- これ以外に、特定の中小企業株式へのキャピタル・ゲイン課税廃止を恒久化し投資家を支援。

出典: The Brookings Institution WEBサイト  
<https://www.brookings.edu/research/accelerating-growth-startup-accelerator-programs-in-the-united-states/>

a. スタートアップの育成 1. SBIR制度等スタートアップを育成する効果的な手法等

## 中小企業技術革新(SBIR)及び中小企業技術移転(STTR) プログラム：SBA（米国）

- SBIR及びSTTRプログラムは、米国中小企業局が実施する中小企業向け競争力強化プログラム。
- 適格な中小企業を国の研究開発投資分野に参加させることで、ハイテクイノベーションを促進するとともに、起業家精神も育成。

- SBIRプログラムでは、毎年1億ドルを超える外部資金を持っている連邦研究機関（USDA関連機関等）が、この学外資金の3.2%をSBIRに充てることとしており、現在11機関が参加。
- STTRプログラムでは、毎年10億ドルを超える外部資金をもつ機関が、その予算の0.45%を充てることとしており、現在5機関が参加。
- 予算は2019年時点でSBIR32億ドル、STTR4.5億ドル。

a. スタートアップの育成 1. SBIR制度等スタートアップを育成する効果的な手法等

## TABA (Technical and Business Assistance) : SBA (米国)

- TABAは、米国でSBIR/STTRプログラムに参加している中小企業がその技術を商品化するために、製品販売、知的財産保護、市場調査、市場検証、規制計画及び製造計画の策定に関する支援等のサポートを受けることができる制度。
- 金銭的にも、実現可能性が判断されるフェーズ1で最大6,500ドル、ビジネス可能性を判断されるフェーズ2で最大5万ドルを受け取れる。事業化支援サービスを提供する事業者とプログラム参加の中小企業をつなぎ、支援された技術開発の事業化を促進することが狙い。

### 各機関からのTABAの支援額

Institute/Agency	Phase I	Phase II
National Institutes of Health	\$6,500	\$50,000
National Science Foundation	\$0	\$50,000
Department of Energy	\$6,500	\$50,000
Environmental Protection Agency	\$6,500	\$10,000
Department of Homeland Security	\$6,500	\$50,000
NASA	\$6,500	\$50,000
Department of Transportation	\$6,500	\$13,000
National Institute of Standards and Technology	\$6,500	\$50,000
U.S. Department of Agriculture	\$6,500	\$50,000
Department of Education	\$6,500	\$50,000
Department of Defense (varies by agency)	Up to \$6,500	Up to \$50,000

出典:アピオイノベーショントランスファー WEBサイト <https://apioix.com/tabta>



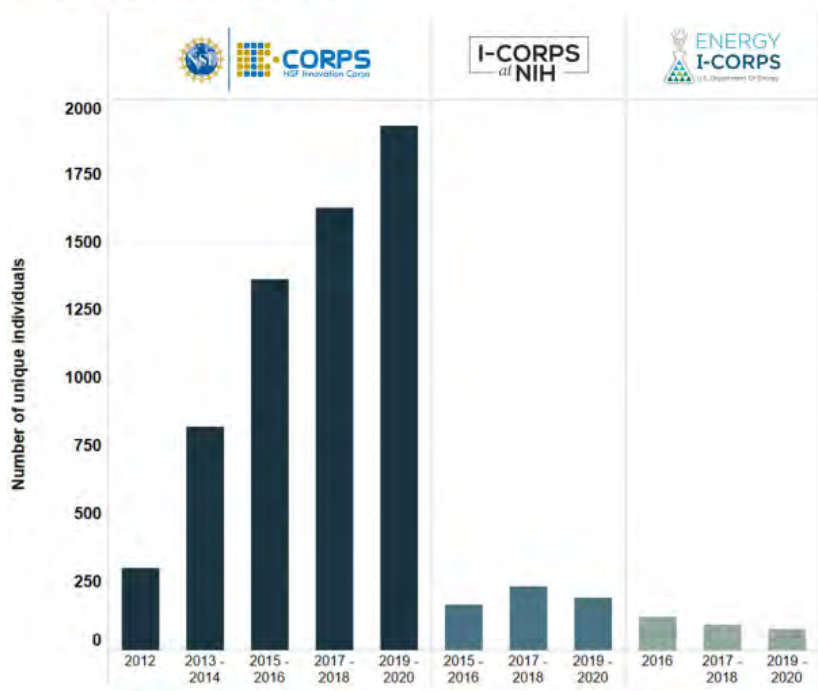
## a. スタートアップの育成 1. SBIR制度等スタートアップを育成する効果的な手法等

### Innovation Corps (I-Corps) : 米国国立科学財団(NSF) ほか (米国)

- 米国国立科学財団(NSF)は、SBIRと連携して、技術をビジネスへと転換させる方法を教え、起業家をトレーニングするためのI-Corpsプログラムを開始。現在は他の省庁もI-Corpsプログラムを提供中。
- プログラムは「スタートアップ・アメリカ」イニシアティブの中の「研究室から市場へ」の施策として実施。

#### I-Corpsプログラムへの参加者数の推移 (NSF、NIH国立衛生研究所、DOEエネルギー省)

Individuals participating in I-Corps  
Number of distinct I-Corps participants



(以下はNSFのI-Corpsについて)

- 学会と産業界の連携を強化し米国の経済競争力を高めるために、最先端技術の事業化を促進するプログラムを推進。
- 「I-Corps チーム」は、科学者とエンジニアのチームをサポートし、起業家トレーニングプログラムを通じて、大学の研究所で開発された技術の商業的可能性を探る。
- 「I-Corps ハブ」は別地域の高等教育機関を連携させ、技術を商業化する可能性を探るカリキュラム。
- NSFが他の連邦政府機関と連携することで、各機関が研究者に情報提供し、研究の商業化を促進。
- 公的資金と民間資金で累計7億6,000万ドル以上を調達 (2020年度まで)。

出典: NSF WEBサイト  
<https://nsf.gov-resources.nsf.gov/2022-06/NSFI-Corps2021BiennialReport.pdf>

a. スタートアップの育成 1. SBIR制度等スタートアップを育成する効果的な手法等

**イノベーションセンター：マルガリト・スタートアップシティー・ガリル（イスラエル）**

- イスラエルのVCエルサレム・ベンチャー・パートナーズは、投資家、多国籍企業、開発者、起業家、学術研究者が協力して、次の大きなフードテック及びアグリテックのスタートアップを創出するイノベーションハブを開設。
- マルガリトは世界に複数のスタートアップインキュベーション施設を設置しており、AI-ニューメディア、AI-FINTECH、デジタルヘルス等様々なテーマ特化型の施設を設置(2021/9)。

**マルガリト・スタートアップシティー・ガリル**

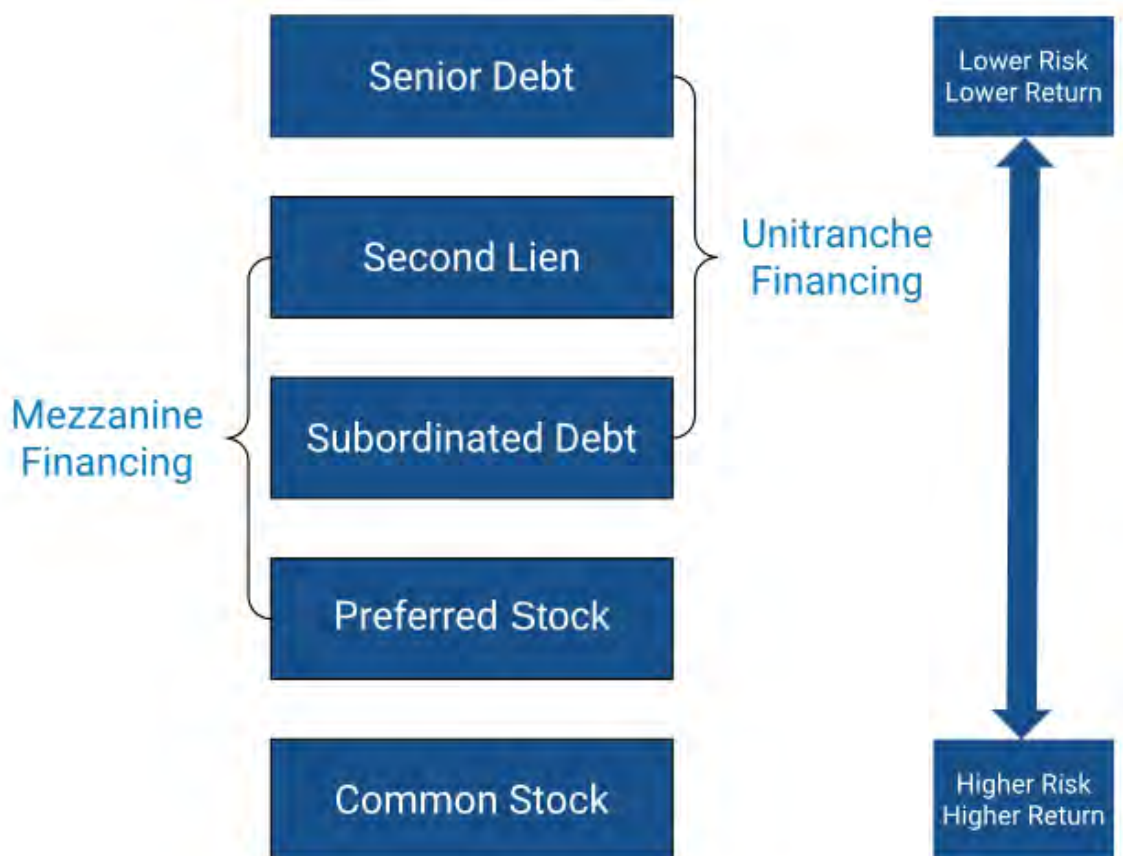
- Margalit の最新の拠点として、ニューヨークに気候技術グローバルセンターが設置。

出典:マルガリト・スタートアップシティー・ガリル WEBサイト <https://www.margalitsc.com/>

## a. スタートアップの育成 1. SBIR制度等スタートアップを育成する効果的な手法等

### メザンファイナンスによる資金調達（米国）

- 米国では負債と株式のハイブリッドであるメザンファイナンスによるスタートアップの資金調達が実施可能。資本構成において優先負債よりも低く、普通株式よりも上位にランク付けられ、DDSと類似した仕組みとなっている。
- メザンファイナンスは、固定金利の劣後債という形で資金調達。比較的高リスクであるが無担保で資金調達をしやすいことから、安定した利益を上げている成長後期のスタートアップの利用が適する。
- ローンの支払い期間が終了するまで、利息のみの支払いが必要になる場合が多く、スタートアップの成長に資金を充てることが可能。



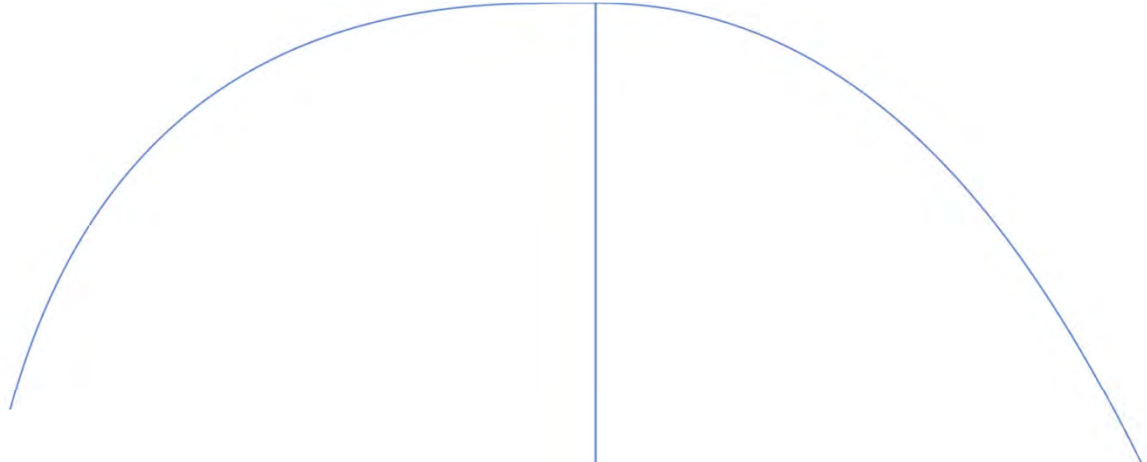
#### メリット：

- 銀行ローンより柔軟性が高い
- 安価で株式の希薄化が少ない
- 高い収益率
- 長期の融資を得られる
- 貸し手から戦略的アドバイスを得られる

#### デメリット：

- 高金利
- 借り手に対する制限（他の資金調達など）

出典:Find Venture Debt LLC WEBサイト  
<https://www.findventuredebt.com/types-of-venture-debt/mezzanine-financing#Mezz-debt-and-sub-debt-difference>



# I みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査 概要調査結果

## II- 3. 研究開発手法に関する調査 b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス



b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

## NIFA持続可能な農業システムプログラム：米国国立食糧農業研究所（米国）

- 植物と動物の生産と持続可能性及び人間と環境の健康を改善することが目的である、「農業及び食品研究イニシアチブ(AFRI)」の一環として、国立食糧農業研究所(NIFA)は、気候に配慮し食糧と農業システムの改善を目的とした持続可能な農業研究プログラムを実施。
- プロジェクトは農務省 (USDA)が拠出する競争的資金で、毎年公募。

### NIFA持続可能な農業システムプログラムの公募情報

Title	Description
<b>Program Code:</b>	A9201
<b>Program Code Name:</b>	Sustainable Agricultural Systems
<b>CFDA Number</b>	10.310
<b>Project Type:</b>	Integrated Projects <u>only</u> (must include Research, Education, and Extension components within project)
<b>Grant Type:</b>	Coordinated Agricultural Project and FASE (Strengthening Coordinated Agricultural Project) Grants <u>only</u>
<b>Letter of Intent Deadline</b>	Thursday, April 27, 2022
<b>Application Deadline</b>	Thursday, July 28, 2022
<b>Grant Duration:</b>	Up to 60 Months
<b>Anticipated # of Awards:</b>	8
<b>Maximum Award Amount:</b>	\$10,000,000

- AFRIは農業科学のための米国内有数かつ最大の競争力のある助成金プログラム。
- 労働問題への対処や土地管理の促進から、農業における気候変動の影響や食料と栄養における重要なニーズの是正まで、幅広い研究に焦点。
- 2022年の公募では、1件あたり最大1,000万ドル、総額8,000万ドルを助成。

出典: USDA WEBサイト  
<https://www.nifa.usda.gov/sites/default/files/2022-04/FY22-AFRI-SAS-RFA-508-F.pdf>

## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### 資金提供者組織の持続可能な農業システム構築支援事業：SAFSF（米国）

- SAFSFは、個人投資家や企業、民間団体などの資金提供者を集めて組織化した団体で、持続可能な農業・食料システムの構築が目的。
- 資金提供者が実施している、持続可能な農業システム構築のプログラム開発を支援。

#### SAFSF活動状況

- 持続可能な農業システム構築のために資金提供を行いたい、慈善活動を行いたい投資家のために、資金提供のスキルと戦略を共有するネットワーク。投資家と資金提供パートナー、潜在的な助成対象者とをつなぐ。
- SAFSFに加入すれば、資金提供プログラムに対するアイデアや具体的な提供方法、プログラムを広く告知する方法などを教えてもらうことができ、プログラム開発が可能。
- 2019年時点で資金提供者が2億ドルを提供。

出典:SAFSF WEBサイト  
<https://www.agandfoodfunders.org/wp-content/uploads/2020/09/SAFSF-2019-Year-In-Review-FINAL.pdf>

## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### 計200団体以上が加盟する資金提供財団コミュニティ：EGA（米国）

- EGAは、人・場所・地球をサポートする取組に資金を提供・助成する財団のコミュニティ団体であり、加盟団体は200超。
- EGAからスピノフして新たな「グローバル経済の変革に関する資金提供者ネットワーク」も設立。

- EGAは1987年に環境資金提供者のコミュニティを組織化して設立。
- 公正で持続可能なコミュニティ、経済及びシステムを備えた健全な世界へのコミットメントを、資金提供だけではなく助成機関としての活動を行うメンバーで構成。
- 助成金提供者が、より戦略的かつ効果的に提供先パートナーを選ぶためのデータベースを構築。
- EGAはPisces及びGeorge B. Storer Foundations と提携してBlue Sky Funders Forumを設立。非営利団体や政府のリーダーと協力し財団や企業を結びつけ、環境教育プログラムを提供。
- 2018年時点で助成金提供者による18億ドル以上の資金提供。

出典:Environmental Grantmakers Association WEBサイト  
<https://ega.org/connect/ttf>

## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### 農地を有機に転換する民間投資ファンド：Farmland LP（米国）

- 米国の民間投資ファンドであるFarmland LPは、農家から農地を取得、有機栽培へと転換し、農家に土地をリースする事業を実施。
  - 2009年の立上げ以降、北カリフォルニア、ワシントン州、オレゴン州に約6,000haの土地を所有及び管理しており、総資産額は2億ドル近く。
- 
- Farmland LPは、従来の農地を農家から取得し、有機事業に転換して、農家に土地をリース。従来の管理手法であった農地が、USDAにより有機認定されるまでには3年間の移行期間が必要となるが、これを同社が実施。
  - 既存の小規模農場を失業から守ること、単一商品作物を栽培する大規模農場の状況を改善することを目的とし、リジェネラティブ農業を推進。
  - 再生農業により、高品質の作物を多く生産し収益性を上げ、農家とFarmland LP のファンドを支援する投資家の両方が潤う仕組み。

出典:Farmland LP WEBサイト  
<https://www.farmlandlp.com/impact/#.Y1IUk3ZBy3A>



## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### 再生農業に投資するプライベート・エクイティ・インパクト・ファンドのプロジェクト：アクサなど

- 2022年にアクサグループ、ユニリーバ、ティケハウ キャピタルの3社で、リジェネラティブ農業への移行を支援するプロジェクトの実施と、企業への投資に特化したプライベート・エクイティ・インパクト・ファンドの設立を発表。
- 3社それぞれ1億ユーロを投資する予定であり、一般投資家にも開放され目標投資額は10億ユーロ。

#### ファンドを設立した3社



- 世界的な保険及び資産管理会社のアクサグループ、世界的な消費財会社のユニリーバ、世界的なオルタナティブ資産管理グループのティケハウ キャピタルの持つ専門知識を元にこの事業に貢献。
- リジェネラティブ農業への移行を加速するのに役立つ投資ツールの理論を確立するために、2022年11月以降、6か月のデューデリジェンス プロセスを実施予定。
- ファンドの主要対応分野は以下3点
  - ① 生物多様性の強化、水資源の保全、気候変動との戦いのための土壌の健全性の保護
  - ② 世界的な人口増加と持続可能な製品に対する消費者のニーズに応えるため、再生可能な原材料の将来的な供給を確保
  - ③ 技術に基づくソリューションの実現支援

出典: COSMETICOB'S WEBサイト  
<https://cosmeticobs.com/fr/articles/filiere-49/unilever-veut-soutenir-lagriculture-regeneratrice-6557>

## 再生型食品システム移行支援計画：ネスレ（スイス）

- 食品世界大手であるスイスのネスレは、農家50万世帯とサプライヤー15万社の協力のもと再生農業の促進に向け、今後5年間で12億スイスフラン（約1,420億円）を投じると発表（2021/9）。

### ネスレ社の主要原材料の再生農法による調達目標 （2025年までに20%、2030年までに50%）

20%

of our key ingredients will be sourced through regenerative agricultural methods by 2025

50%

of our key ingredients will be sourced through regenerative agricultural methods by 2030 (14 million tonnes)

- 環境を保護及び回復し、農家の生活を改善し、農業コミュニティの福利を向上させることを目的とした、再生型食品システムへの移行を支援及び加速する計画。
- 以下3つの手段で支援を実施。
  - ①最先端の科学と技術を適用し、技術支援を提供
  - ②農家やパイロットプロジェクトへの投資資金提供
  - ③リジネラティブ農業商品によって生産された原材料を優先購入

## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### 植物由来食品への政府系投資ファンド：Plantefonden（デンマーク）

- デンマーク政府は気候変動にやさしい植物性食品を普及させるため、新たな「Plantefonden」（プラントファンド）に2030年までに6億7,500万デンマーククローネ(1億米ドル)を投資すると発表（2022/4）。
- 製品開発、販売、輸出、教育を支援する方針。

#### Danish Plantbased Business Associationのメンバー



- オーガニックブランドを含むビーガンブランドの拡大を含め、デンマークにおける植物性食品ビジネスが拡大していることを受け、デンマーク農業庁の主導により、植物性食品促進のための投資を実施。
- 植物性食品の促進により、気候変動への対策、食糧安全保障への効果を期待。

出典:Plantebranchen WEBサイト <https://www.plantebranchen.dk/>

## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### アグリテック・フードテック分野のファンド設立：AgFunder SIJ Impact Fund（アジア地域）

- 「AgFunder SIJ Impact Fund」は、日本を含むアジアにおける、アグリテック・フードテック分野のスタートアップへ投資するファンド。
- 明治ホールディングスとアサヒグループホールディングスがファーストクローズに総額で10億円を出資。

#### ファンドを共同で立ち上げた2社



- 日本を拠点に投資ファンド設立やESG投資に関するアドバイザリーなどを行う「SDGインパクトジャパン」と、アグリテック分野のメディアも運営する米国のベンチャーキャピタル「AgFunder」のシンガポール拠点が共同で同社を設立。
- 日本を含むアジアのスタートアップ企業を中心に、最大で50億円規模の投資を見込む。日本を含むアジア太平洋地域にフォーカスしたアグリテック・フードテックファンドでは最大規模。
- このファンドには明治ホールディングスとアサヒグループホールディングスが総額10億円を出資。

出典:esgnews.jp WEBサイト <https://esgnews.jp/domestic-news/1351/>

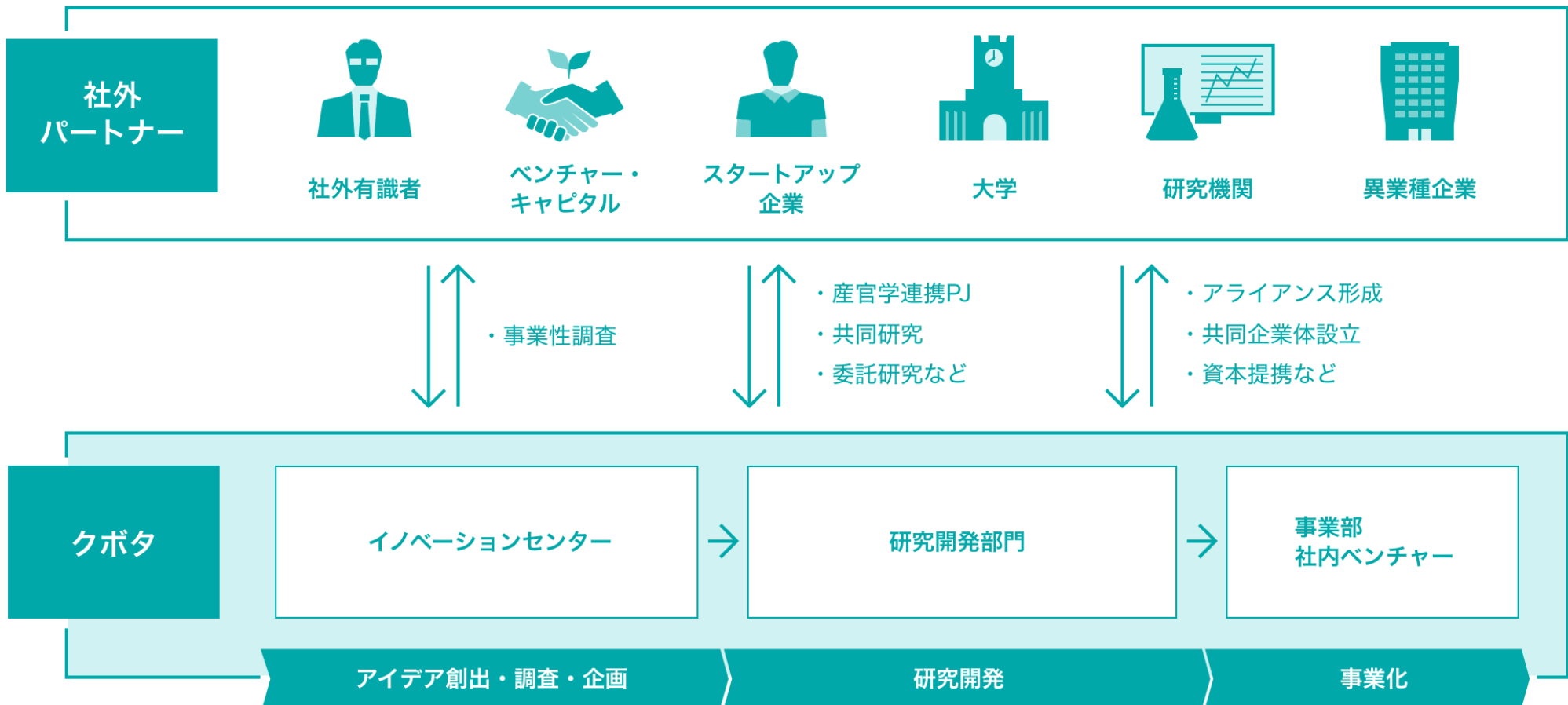


## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### 国内農機メーカーによるイスラエルのアグリテック企業への出資：クボタ（日本）

- 農業用機械メーカーとして国内首位のクボタは、2020年にドローンを活用した果樹の健康診断サービスを手掛ける「シーツリーシステムズ(SeeTree)」、2021年にはドローンによる果樹収穫サービスを手掛ける「テヴェル・エアロボティクス・テクノロジーズ(Tevel Aerobotics Technologies)」へ出資を実施。
- 同社はオープンイノベーションを推進するためにイノベーションセンターを設立、スタートアップ企業への出資などを通じ、農業分野でのソリューション事業の開発を加速。

#### クボタがめざすオープンイノベーションの姿



出典:株式会社クボタ WEBサイト

<https://www.kubota.co.jp/innovation/open-innovation/index.html>

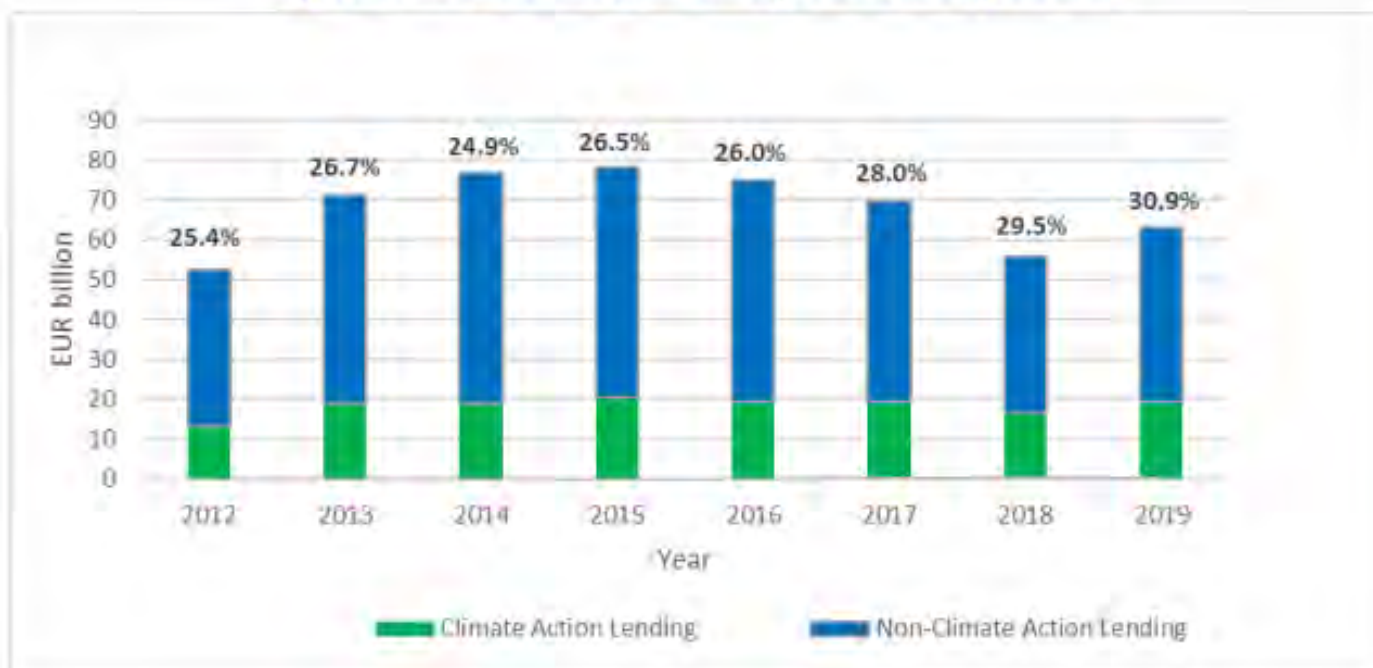
## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### 気候変動対策分野への投資支援：欧州投資銀行（EU）

- EUの政策金融機関であるEIBは、グリーンディール政策を元にヨーロッパをカーボンニュートラルにするという目標のため、「EIB Group Climate Bank ロードマップ 2021-2025」を策定。
- 気候変動対策、環境の持続可能性に特化した投資支援割合を増やしていく方針。

#### EIB資金調達支援総額に占める気候変動のためのアクションの比率

Figure 2.1 – EIB Total Climate Action Share of Total EIB Lending 2012-2019



- EIBは、2021年から2030年までの10年間で、気候変動対策と環境の持続可能性に対する1兆ユーロの投資を支援することを公表。  
気候変動対策と環境の持続可能性に特化した資金調達支援の割合を徐々に増やし、2025年には事業の50%を超える予定。  
EIBはすべての資金調達支援をパリ協定の原則と目標に合致させる方針で進めており、2019年にはEIBによる気候変動対策支援は195億ユーロに達し、世界中で400以上のプロジェクトをサポート。
- 2021～2030年に資金調達支援総額1兆ユーロを目指す。

## b. 研究開発分野への投資、環境ファイナンス

### フランス農業スタートアップへの投資：Sencrop社（フランス）

- フランスのスタートアップ「センクロップ社」が1,800万ドルの資金調達(ラウンドB)を実施。この投資は、イスラエルのベンチャーキャピタルであるエルサレム・ベンチャー・パートナーズ(JVP)がリード。
- EUが支援する食糧関連技術インキュベーターのEITフード等の他、フランスの政府投資機関であるBPIフランスをはじめとした既存投資家が参加。

- センクロップは、気象状況や病虫害リスク、灌漑需要などの情報をアプリで精密に把握することを可能にする技術を保有。2016年創業のスタートアップ企業であり、フランス本社のほかにオランダ、英国、ドイツ、スペイン、イタリアに拠点を有し、20カ国で展開。
- この資金調達により、イスラエル北部ガリラヤ地方に設立されている農業関連技術開発拠点「マルガリト・スタートアップシティー・ガリル」に新たに拠点を設け、精密農業分野で技術開発を行う  
イスラエルスタートアップに対して、自社のプラットフォームを活用したグローバル市場への進出機会を提供。

出典:Sencrop WEBサイト <https://sencrop.com/fr/notre-histoire/>

# II

## みどりの食料システムのKPIに係る 技術の国内外の最新動向調査 概要調査結果

### II- 3. 研究開発手法に関する調査 c. 異分野におけるデータプラットフォーム



## c. 異分野におけるデータプラットフォーム

**自動車業界におけるデータ連携：Catena-X（ドイツ）**

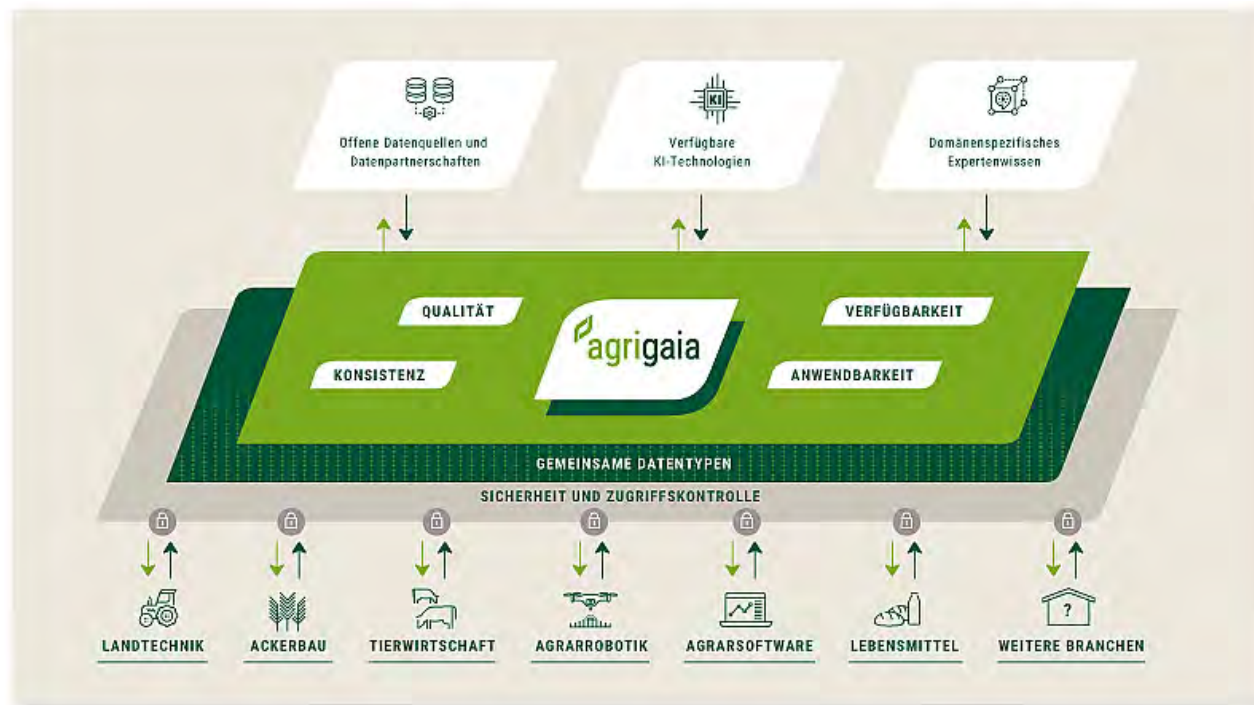
- Catena-Xは、カーボンニュートラルに向けてEV化の動きが加速するEUの状況において、自動車のバリューチェーン全体で安全にデータを共有するための仕組みであり、大手自動車メーカーや関連する企業が参加。
- 各国のデータ主権を守りつつ、データをつなぐことでサプライチェーンにおける品質管理やCO<sub>2</sub>削減対策効果などを確認可能。現在は、ドイツが中心となってGaia-Xの取組に進化。
  - 欧州のグリーン・ディール及びFit for 55 政策パッケージを受けて、内燃機関からEVへのシフトが加速、さらに生産プロセスの環境対応を進めるために、サプライチェーン全体でデータ共有をすすめるためのプラットフォームの構築を推進。
  - 主なユースケースは、CO<sub>2</sub>モニタリング、トレーサビリティ、サーキュラーエコノミー、取引先データ管理、MaaSなど10種類。
  - 現在は自動車業界だけでなく、ファイナンスやエネルギー、ヘルスケアなど多くの分野でも共有プラットフォームを構築すべく、ドイツが中心となってGaia-Xの取組に進化。
  - ドイツ政府が2022年までに1.36億ユーロを拠出。

## c. 異分野におけるデータプラットフォーム

## ドイツ政府予算拠出の農食業界向けプラットフォーム：Agri-Gaia（ドイツ）

- Agri-Gaiaは、データ主権保護のGaia-Xに準拠したドイツの農業食品業界向けのオープンAIエコシステム。
- メーカーに依存しないインフラとネットワーク標準を提供、AIプロバイダーの予測システムなどをエコシステムに提供し、農業分野におけるAI活用を促進させるためのプラットフォーム。

## Agri-Gaiaのエコシステムイメージ



- ドイツ政府予算により、B2Bマーケットプレイスにより農業関連データとAIアルゴリズムの提供を行うプラットフォームを構築。
- AI開発者に開発用の農業関連データを提供するだけでなく、AI開発者が開発した予測システムなどを農業従事者が享受可能。
- ドローンで取得した土壌や作物の画像データから植物の状態や位置の数値化、農業機械の運用計画の自動作成等のユースケースが存在。

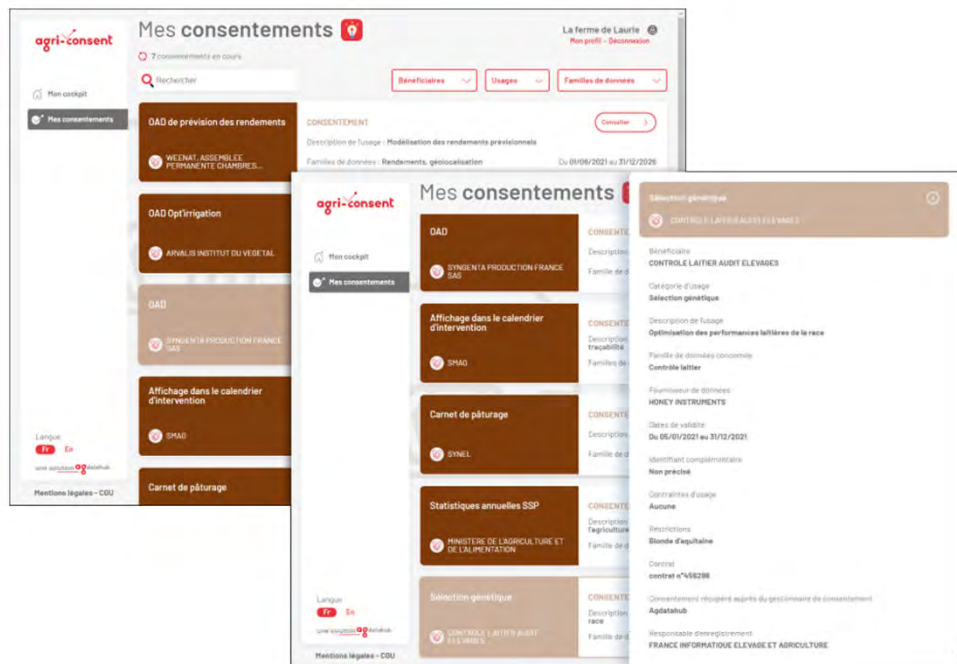
出典: Project Agri-Gaia WEBサイト  
<https://www.agri-gaia.de/agri-gaia/das-oekosystem/>

## c. 異分野におけるデータプラットフォーム

## 健康的で追跡可能で環境に優しい食品生産のためのデータ共有：AgDatahub（フランス）

- AgDatahubはGaia-Xの農業分野における最初のユースケースであり、フランス政府から320万ユーロの公的資金を受けAgDatahub社を設立、健康的で追跡可能で環境に優しい食品生産のためのデータ共有を推進。
- 農業事業者へのアドバイスツールを提供し農業のサプライチェーン全体に寄与。2023年9月にEU全体に拡大予定。

## AgDatahubのWeb画面



- フランス政府系投資銀行Bpifranceが、Future Investments Program (PIA)の一環として実施するプロジェクトであり、データ主権を保護するデータ基盤であるGaia-Xのユースケースでもある。
- Farm to Fork戦略にもとづき持続可能な農業の実現のために、農業に関する専門データをプラットフォームを通じて公開、農業従事者はフランスの農業系研究機関や企業のデータやサービスにアクセス。
- データやIDの保護、同意の取得をプラットフォームで保証しており、農業従事者でも容易にアクセスできるインターフェースを具備しており、無料～月400ユーロまでのプランを用意。

出典:Agdatahub WEBサイト <https://agdatahub.eu/en/>

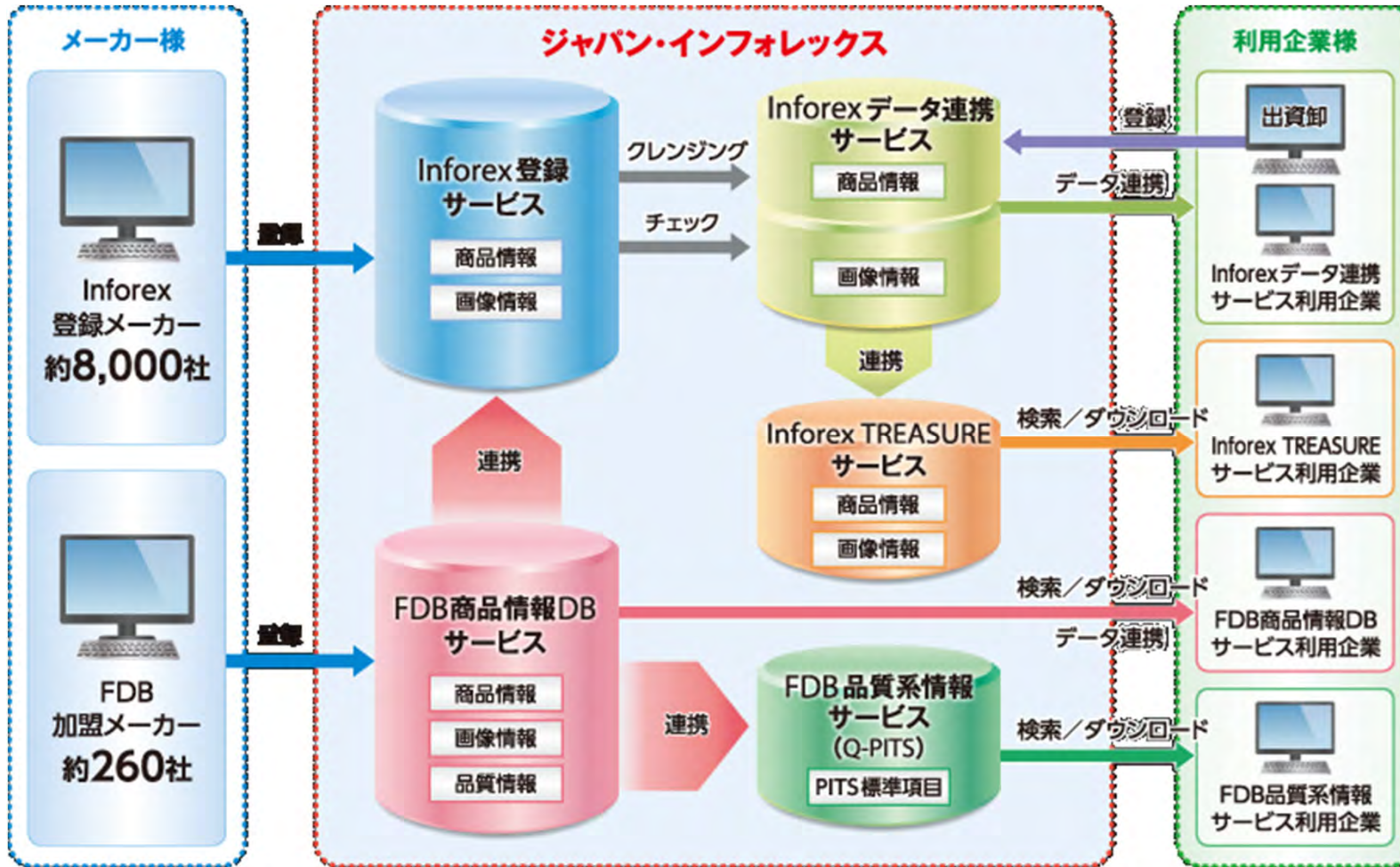


c. 異分野におけるデータプラットフォーム

食品データベースInforex：株式会社ジャパン・インフォレックス（日本）

- ジャパン・インフォレックス(JII)は食品業界のメーカーと卸売り等の取引先の間にとって、240万件を超える商品マスターを業界標準に基づき一元管理して提供する食品業界最大のデータベースセンターを提供。

Inforexのプラットフォームイメージ



- 8,000社超のメーカーが直接登録するデータと260社の大手食品卸が代行登録する共有データで構成されており、日本加工食品卸協会とPITSの業界標準に基づく約250項目で構成
- 加盟する大手卸が利用している240万件を超える商品マスターを保有
- 商品マスターは商品名、容量等の基本情報とデータ処理用の属性をあらかじめ登録した商品台帳であり、データのクレンジングやチェックなどはJIIが実施、同一JAN商品の名寄せなども実施

出典:Inforex WEBサイト <https://jii-inforex.co.jp/>

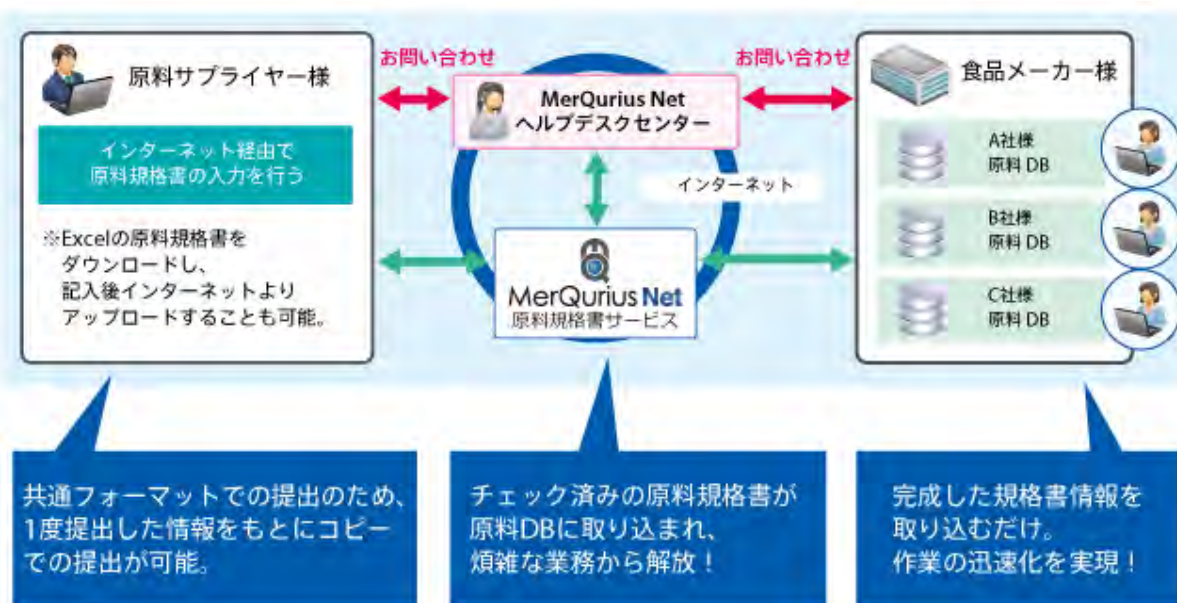


c. 異分野におけるデータプラットフォーム

# MerQurius（メルクリウス）：JFEシステムズ株式会社（日本）

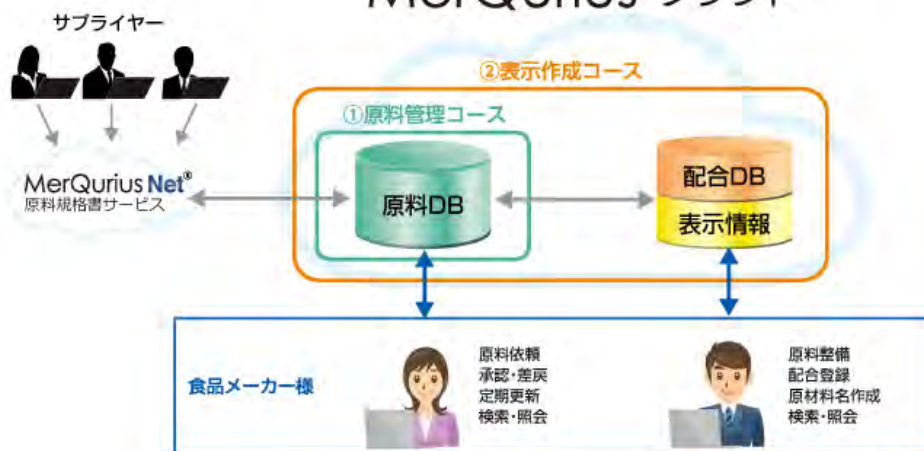
- 原材料サプライヤーの原料規格書を食品メーカーが短期間かつ効率的に授受できる業界標準の食品業界向け品質情報管理の共通基盤。
- 販売先へのデータ提供も可能。

## MerQuriusのプラットフォームイメージ



- 原料サプライヤからの提出される原料規格書を収集し、会員である食品メーカー等に提供するプラットフォーム
- PF管理者がデータを確認し、原料データベースに登録を行う。添加物やアレルギー、GMOなどの情報も原料規格書に基づき収集される
- 食品メーカーごとに異なっていたフォーマットをプラットフォーム上で統一することで、原料サプライヤーの規格書作成や食品メーカーの配合情報等の表示作成の手間削減を実現

## MerQurius®クラウド



出典:JFE Systems,Inc.WEBサイト  
<https://www.merqurius.jp/index.html>

# III

詳細調査

Foresight分析



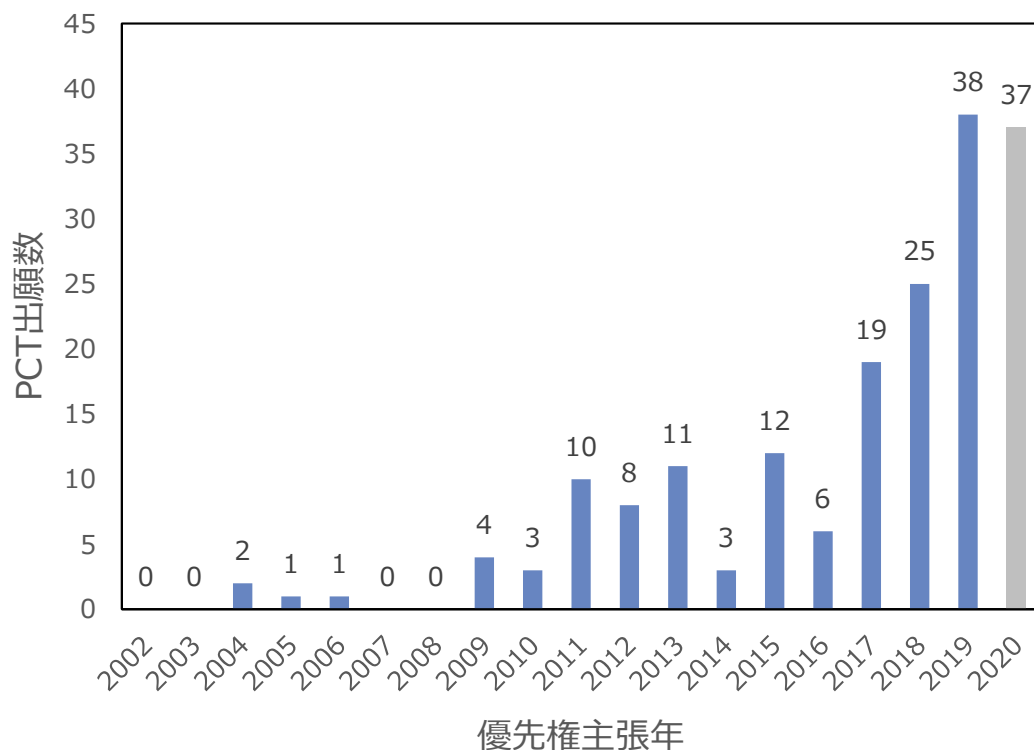
# Ⅲ 詳細調査 Foresight分析

## Ⅲ- 1. 植物工場・温室

## Ⅲ- 1. 植物工場・温室

- 植物工場、温室ともに出願数は増加傾向。
- 出願人の国籍で1位、2位のSINO SCIENCE（福建省中科生物股份有限公司）はライフサイエンス企業で、垂直農法に関連する機器等の研究開発、販売を実施。

植物工場に関する特許出願数の推移



注) 2020年はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。

出典: Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

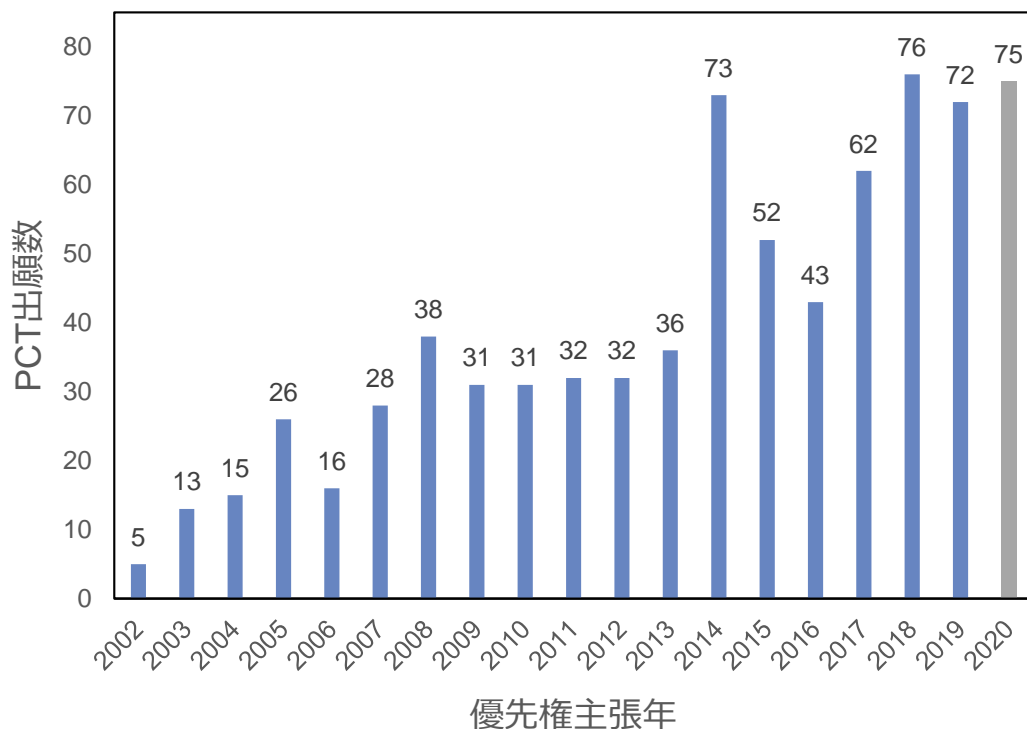
#	植物工場関連特許の上位出願人 (国籍)
1	FUJIAN PROVINCE SINO SCIENCE BIOLOGICAL CO LTD (中国)
2	FUJIAN SANAN SINO SCIENCE PHOTOBIOTECH CO LTD (中国)
3	KUMIAI CHEMICAL INDUSTRY CO (日本)
4	MJNN LLC (米国)
5	SHARP KK (日本)
6	TRAVAGLINI S P A (イタリア)
7	YUYANG D & U CO LTD (韓国)
8	YUYANG DNU CO LTD (韓国)
9	80 ACRES URBAN AGRICULTURE INC (米国)
10	G FLAS LIFE SCIENCES (韓国)
11	NITTO DENKO CORP (日本)
12	ONEPOINTONE INC (米国)
13	YUHKI TAKAYUKI (日本)



# Ⅲ- 1. 植物工場・温室

- 植物工場、温室ともに出願数は増加傾向。
- 上位の出願人のうち、12位に日本のパナソニックの関連会社が挙がっている。
- 1位のSHENZHEN QIANHAI HONGJIA TECH CO LTD（深圳前海弘稼科技有限公司）は先進施設型農業技術の研究、栽培を実施する企業。

温室に関する特許出願数の推移



注) 2020年はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。

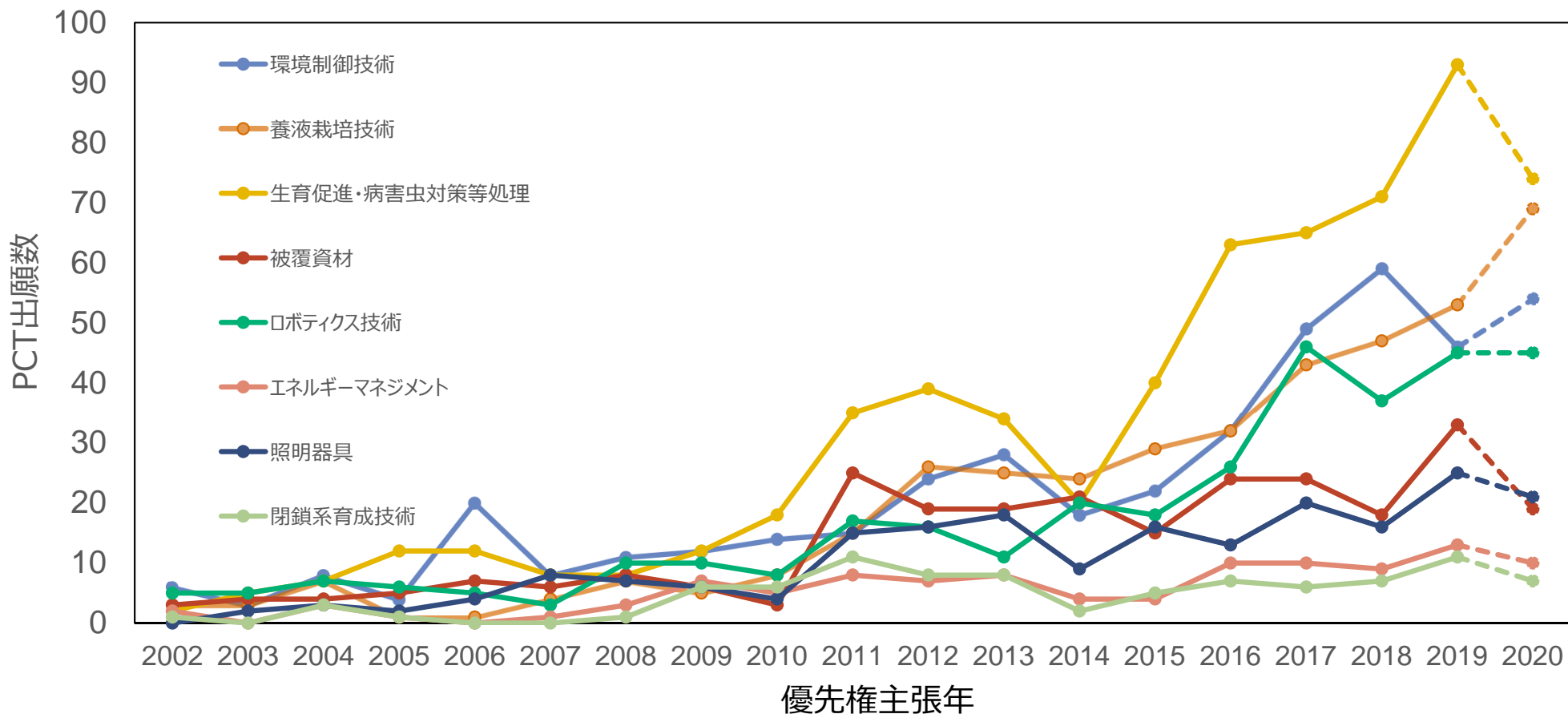
出典: Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

#	温室関連特許の上位出願人 (国籍)
1	SHENZHEN QIANHAI HONGJIA TECH CO LTD (中国)
2	PAIRWISE PLANTS SERVICES INC (米国)
3	SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES BV (米国)
4	MERCK PATENT GMBH (ドイツ)
5	KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV (オランダ)
6	SABIC INNOVATIVE PLASTICS IP (米国)
7	SVENSSON LUDVIG AB (スウェーデン)
8	UNIV JIANGSU (中国)
9	PHILIPS LIGHTING HOLDING BV (オランダ)
10	SIGNIFY HOLDING BV (オランダ)
11	KONINKL PHILIPS NV (米国)
12	PANASONIC IP MAN CO LTD (日本)
13	UNIV NANJING AGRICULTURAL (中国)
14	VALOYA OY (フィンランド)

# Ⅲ- 1. 植物工場・温室

- 個別の技術要素では、2010年頃から生育促進・病害虫対策等処理や養液栽培技術、環境制御技術といった項目が増加傾向。

分野、技術要素別の出願件数の推移



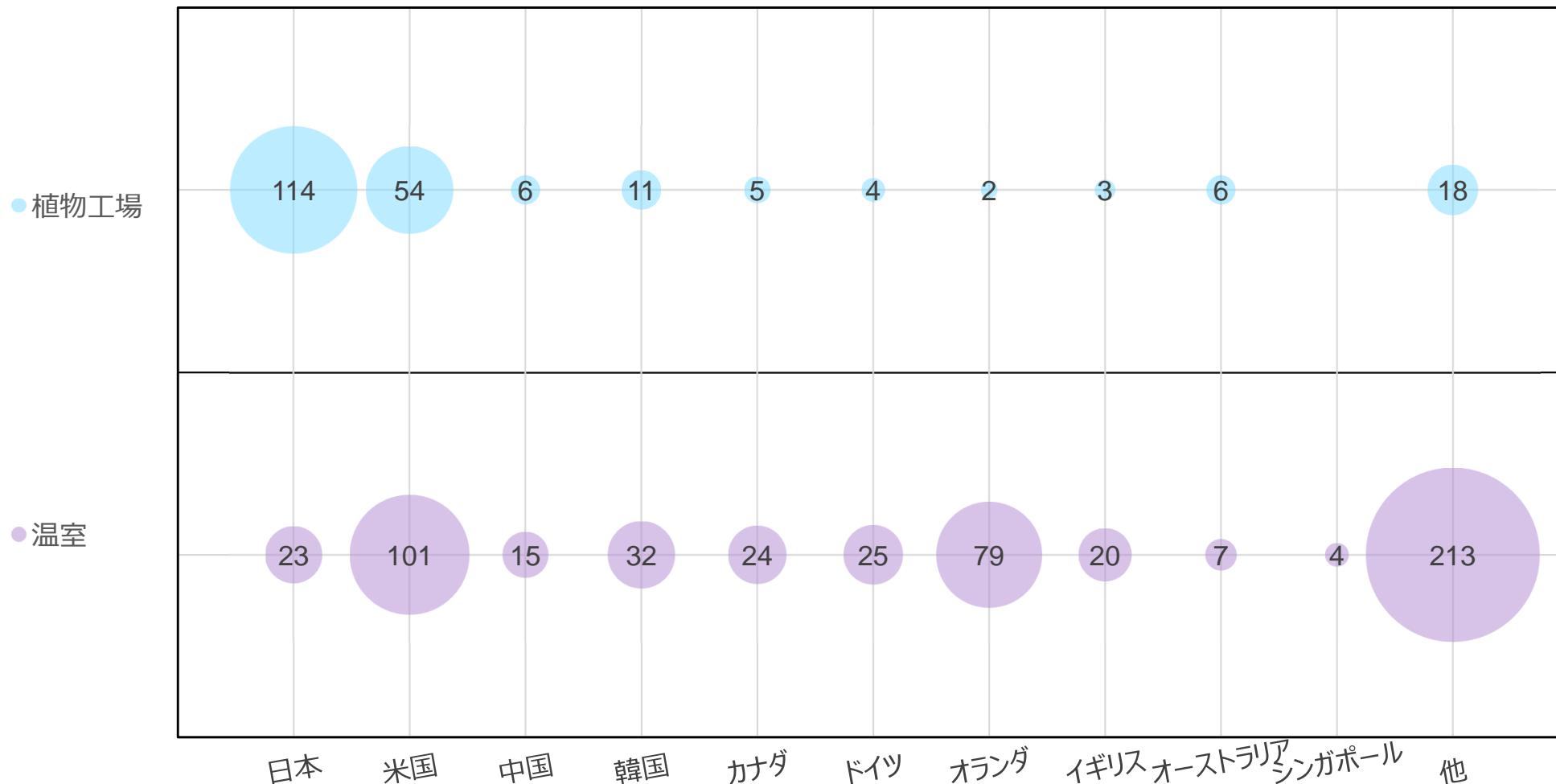
注) 2020年はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。

出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

### Ⅲ- 1. 植物工場・温室

- 植物工場に関する出願国籍は日本が最多で、2002～11年期間では他国の倍以上。
- 温室は上位国以外にも出願件数が多く、上位国以外をまとめた「他」の出願数が最多。

植物工場・温室に関する技術分野と出願人国籍の出願分布（2002-2011）



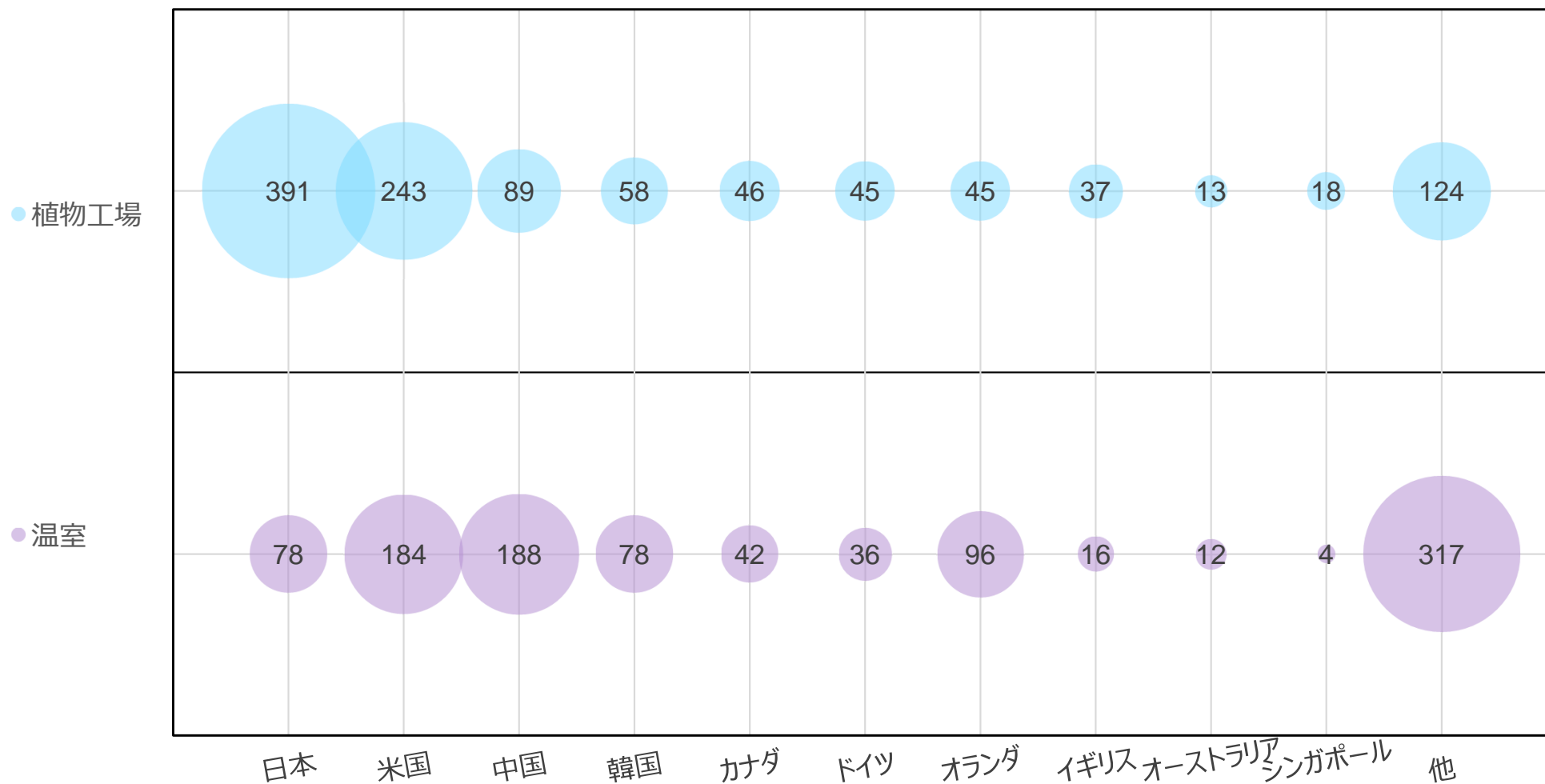
出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

注) 温室の検索ではノイズ除去を目的として絞り込み強度を強めているため、植物工場と温室の間での件数比較は不可。  
複数出願人を含む場合、出願人毎に国籍を計上。

### Ⅲ- 1. 植物工場・温室

- 植物工場は2012～21年間に米国や中国の出願が増加するものの、依然日本が最多。
- 温室は中国の出願数が12倍以上となり、最多に上昇。

植物工場・温室に関する技術分野と出願人国籍の出願分布（2012-2021）



出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

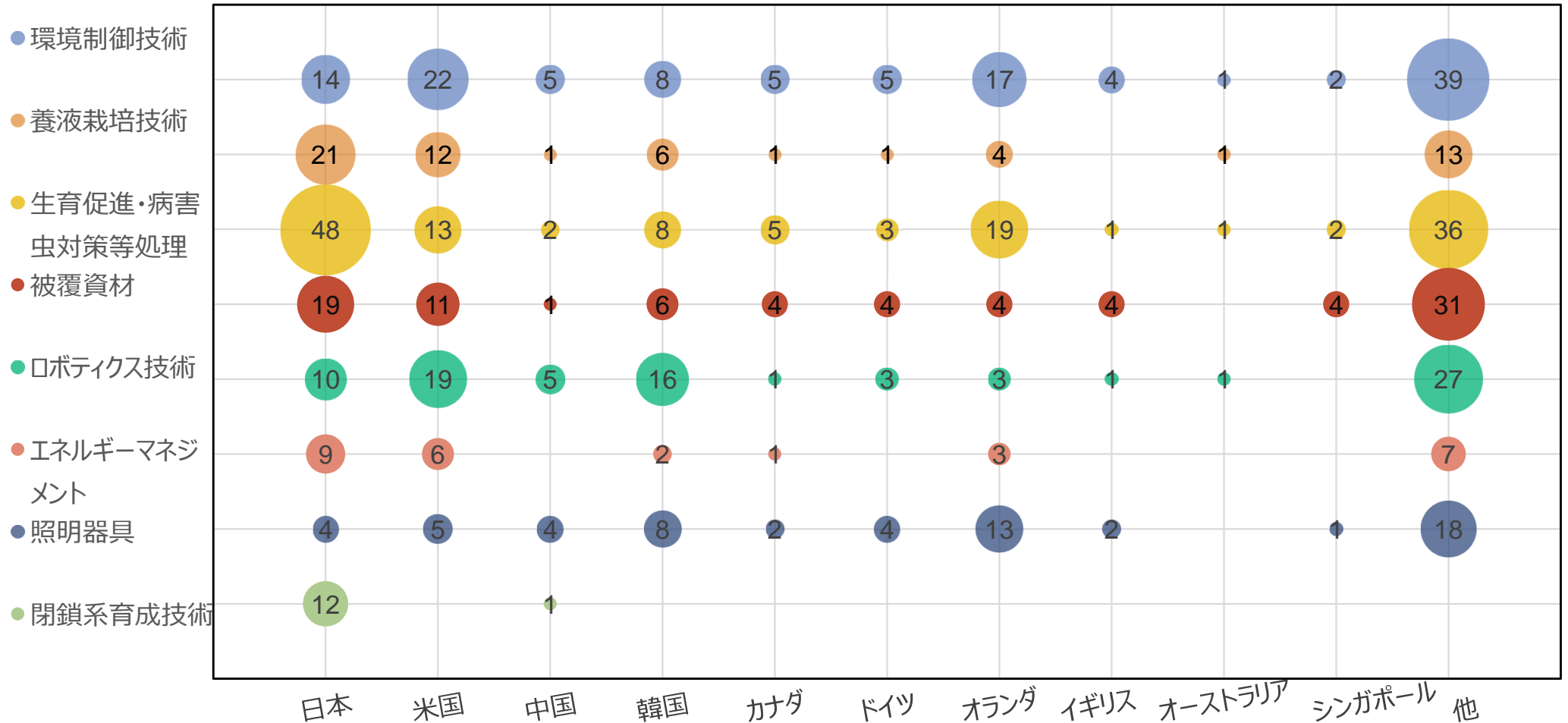
注) 温室の検索ではノイズ除去を目的として絞り込み強度を強めているため、植物工場と温室の間での件数比較は不可。  
 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。  
 複数出願人を含む場合、出願人毎に国籍を計上。



# Ⅲ- 1. 植物工場・温室

- 各国の要素技術の出願状況では、日本は特に成長促進、腐朽防止等のためのガス・電気等による処理や病害虫等から植物を保護する駆除装置といった技術に関する分類「生育促進・病害虫等処理」の出願数が最多。

植物工場・温室に関する技術分野と出願人国籍の出願分布（2002-2011）



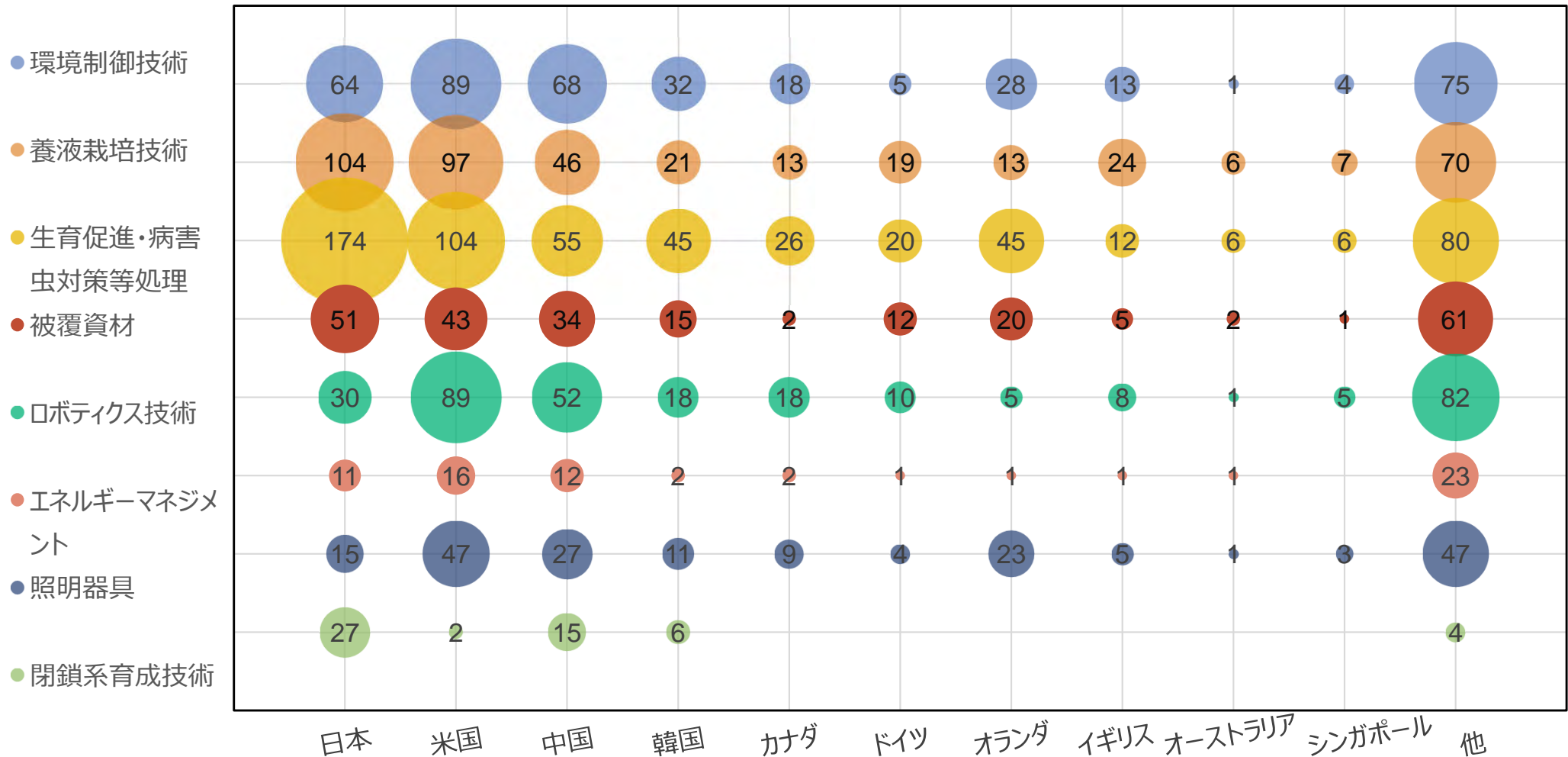
注) 各要素技術間では内容に応じて重複が生じている場合もある。  
複数出願人を含む場合、出願人毎に国籍を計上。

出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

# Ⅲ- 1. 植物工場・温室

- 植物工場のうち閉鎖環境での育成技術に関する特許出願（閉鎖系育成技術）は取組国数自体が少ない中、日本の出願数が最多であり、2012年以降倍増。

植物工場・温室に関する技術分野と出願人国籍の出願分布（2012-2021）

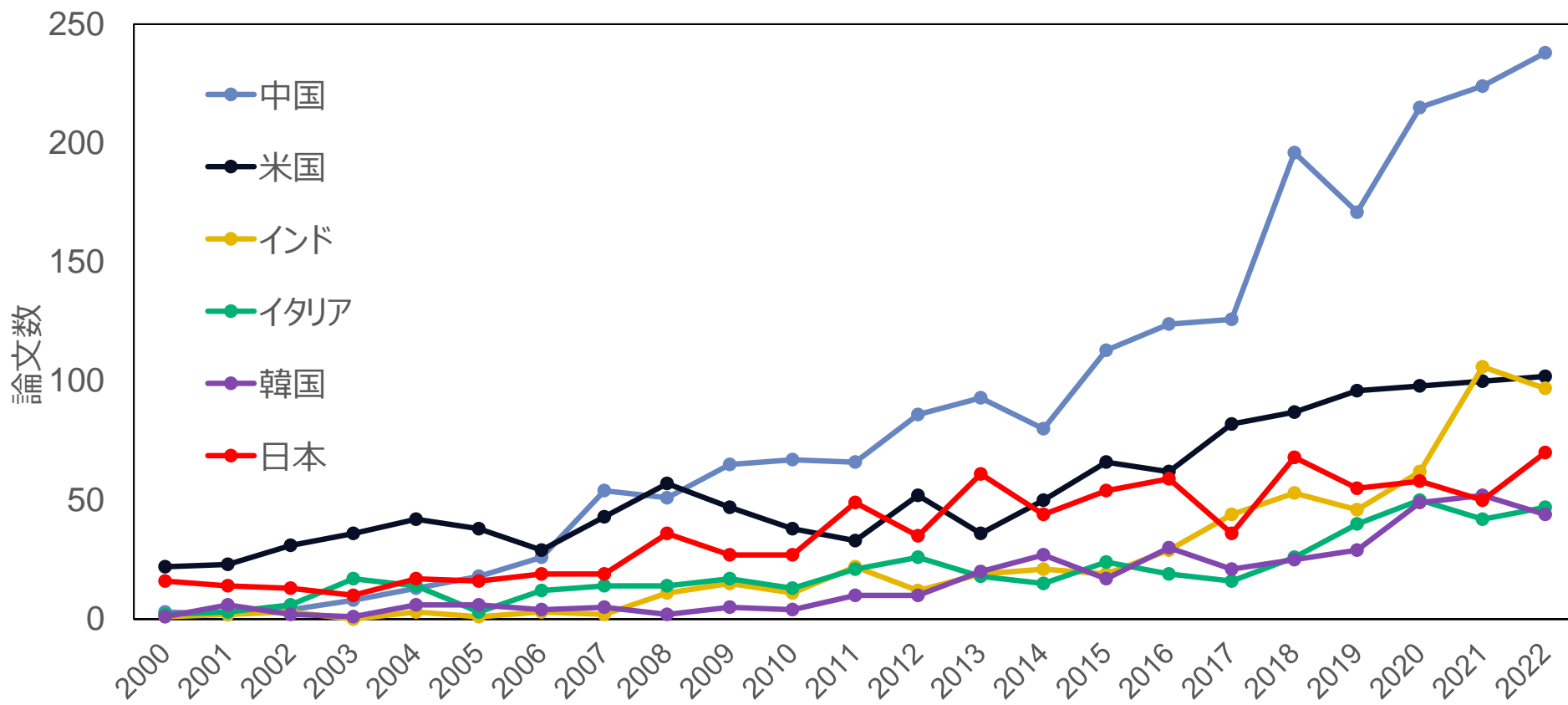


注) 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。  
 各要素技術間では内容に応じて重複が生じている場合もある。  
 複数出願人を含む場合、出願人毎に国籍を計上。

### Ⅲ- 1. 植物工場・温室

- Scopusを用いて2000年から2022年の植物工場関連論文の動向を調査（JST/CRDS作成）。
- 国別の論文数は中国が2位以下に倍以上の差をつけてトップとなっており、特に2014年以降の増加率が大きい。
- 特許では上位ではないインドが3位、特許では1位の日本は、論文数では4位。

植物工場に関する国別の論文数推移



出典: Scopus (JST/CRDS作成)

使用データベース: Scopus (エグゼビア社)  
以下の3条件のいずれかを含む論文群から国と出版年を分析  
「plant factory」「Hydroponics」「vertical farming」「greenhouse technology」

# Ⅲ- 1. (参考) 植物工場・温室 調査概要

- 調査対象特許文献：PCT出願
- 調査対象年範囲：2002年～2021年（優先権主張年ベース）
- 使用データベース：Espacenet
- 調査方法：国際特許分類及びキーワードで検索し、母集団文献#1、#2を抽出。各技術抽出用検索式を作成し、母集団#1、#2と掛け合わせた検索結果を#3～に利用。一部技術用の式に、詳細化用の検索式を追加。

#	内容	検索式
1	植物工場	(nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops")
2	温室	(ctxt = "greenhouse*" NOT ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*")) AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops")
3	#1、 #2の内 環境制御技術	((ctxt = "greenhouse*" NOT ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*")) OR (nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*")) AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops") AND (ctxt = "temperature*" OR ctxt = "humidity*" OR ctxt = "CO2" OR ctxt = "carbon dioxide*" OR ctxt = "ion") AND (ctxt = "control*" OR ctxt = "sens*" OR ctxt = "suppl*" OR ctxt = "appl*" OR ctxt = "adjust*")
4	#1、 #2の内 養液栽培技術	((ctxt = "greenhouse*" OR nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops")) NOT ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*") ※上記式からIPCメイングループA01G31を抽出
5	#1、 #2の内 生育促進・病害 虫対策等処理	((ctxt = "greenhouse*" OR nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops")) NOT ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*") ※上記式からIPCメイングループA01G7及びA01G13を抽出
6	#1、 #2の内 被覆資材	①((ctxt = "greenhouse*" NOT ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*")) OR (nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*")) AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops") AND (ctxt = "film*" AND (ctxt = "heat*" OR ctxt = "ray*" OR ctxt = "light*" OR ctxt = "transm*")) ②((ctxt = "greenhouse*" OR nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops")) NOT (ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*") OR (ctxt = "LED" OR ctxt = "spectr*") OR (ctxt = "control*" OR ctxt = "sens*") OR ((ctxt = "hydroponic*" OR ctxt = "terraponic*" OR ctxt = "aeroponic*" OR ctxt = "aquaponic*") AND ctxt = "system*") AND ctxt = "system*") OR (ctxt = "heat*" prox/distance<3 "pump*") OR ctxt = ("heat*" prox/distance<3 "collect*") OR ctxt = ("solar*" prox/distance<3 "collect*") OR (ctxt = "film*" AND (ctxt = "heat*" OR ctxt = "ray*")) OR ((ctxt = "robot*" OR ctxt = "automat*") AND (ctxt = "harvest*" OR ctxt = "transport*")) OR ((ctxt = "solar*" OR ctxt = "wind*" OR ctxt = "geotherm*" OR ctxt = "photovolt*") AND (ctxt = "power*" OR ctxt = "electric*") AND ctxt = "photovolt*")) ※上記式からIPCメイングループC08J5を抽出
7	#1、 #2の内 ロボティクス	①((ctxt = "greenhouse*" NOT ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*")) OR (nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*")) AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops") AND (ctxt = "robot*" OR ctxt = "automat*") ②((ctxt = "greenhouse*" OR nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops")) NOT (ctxt = ("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*") OR (ctxt = "LED" OR ctxt = "spectr*") OR (ctxt = "control*" OR ctxt = "sens*") OR ((ctxt = "hydroponic*" OR ctxt = "terraponic*" OR ctxt = "aeroponic*" OR ctxt = "aquaponic*") AND ctxt = "system*") OR (ctxt = "heat*" prox/distance<3 "pump*") OR ctxt = ("heat*" prox/distance<3 "collect*") OR (ctxt = "solar*" prox/distance<3 "collect*") OR (ctxt = "film*" AND (ctxt = "heat*" OR ctxt = "ray*")) OR ((ctxt = "robot*" OR ctxt = "automat*") AND (ctxt = "harvest*" OR ctxt = "transport*")) OR ((ctxt = "solar*" OR ctxt = "wind*" OR ctxt = "geotherm*" OR ctxt = "photovolt*") AND (ctxt = "power*" OR ctxt = "electric*") AND ctxt = "photovolt*")) ※上記式からIPCメイングループG06Q50を抽出
8	#1、 #2の内 エネルギーマネジ メント	①((ctxt = "greenhouse*" NOT ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*")) OR (nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*")) AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops") AND (ctxt = "solar*" OR ctxt = "wind*" OR ctxt = "geotherm*" OR ctxt = "photovolt*") AND (ctxt = "power*" OR ctxt = "electric*") AND ctxt = "photovolt*") ②((ctxt = "greenhouse*" OR nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops")) NOT (ctxt = ("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*") OR (ctxt = "LED" OR ctxt = "spectr*") OR (ctxt = "control*" OR ctxt = "sens*") OR ((ctxt = "hydroponic*" OR ctxt = "terraponic*" OR ctxt = "aeroponic*" OR ctxt = "aquaponic*") AND ctxt = "system*") OR (ctxt = "heat*" prox/distance<3 "pump*") OR ctxt = ("heat*" prox/distance<3 "collect*") OR ctxt = ("solar*" prox/distance<3 "collect*") OR (ctxt = "film*" AND (ctxt = "heat*" OR ctxt = "ray*")) OR ((ctxt = "robot*" OR ctxt = "automat*") AND (ctxt = "harvest*" OR ctxt = "transport*")) OR ((ctxt = "solar*" OR ctxt = "wind*" OR ctxt = "geotherm*" OR ctxt = "photovolt*") AND (ctxt = "power*" OR ctxt = "electric*") AND ctxt = "photovolt*")) ※上記式からIPCメイングループH01L31を抽出
9	#1、 #2の内 照明器具	((ctxt = "greenhouse*" NOT ctxt=("greenhouse*" prox/distance<3 "gas*")) OR (ctxt = "vertical farm*" OR ctxt = "indoor farm*" OR ctxt = "plant factor*")) AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops") AND (ctxt = "LED" OR ctxt = "spectr*" OR (ctxt = "lighting system*" OR ctxt = "lighting equipment*" OR ctxt = "lighting module*" OR ctxt = "dimming system*"))
10	#1、 #2の内 閉鎖系育成技術	(nftxt = "vertical farm*" OR nftxt = "indoor farm*" OR nftxt = "plant factor*" OR nftxt = "cultivation device*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops") AND (((ctxt = "sealed" OR ctxt = "closed") AND (ctxt = "box*" OR ctxt = "vessel*")) OR ctxt = "cultivation container")

nftxt : 全文検索、ctxt : タイトル、要約、請求項、ta : タイトル、cl : CPC及びIPC分類  
 = : 完全一致、prox/distance<3 : 3単語近傍検索  
 \*は任意の長さの任意の文字を指示するワイルドカード



# Ⅲ 詳細調査 Foresight分析

## Ⅲ- 2. 畜産メタン削減

## Ⅲ- 2. 畜産メタン削減

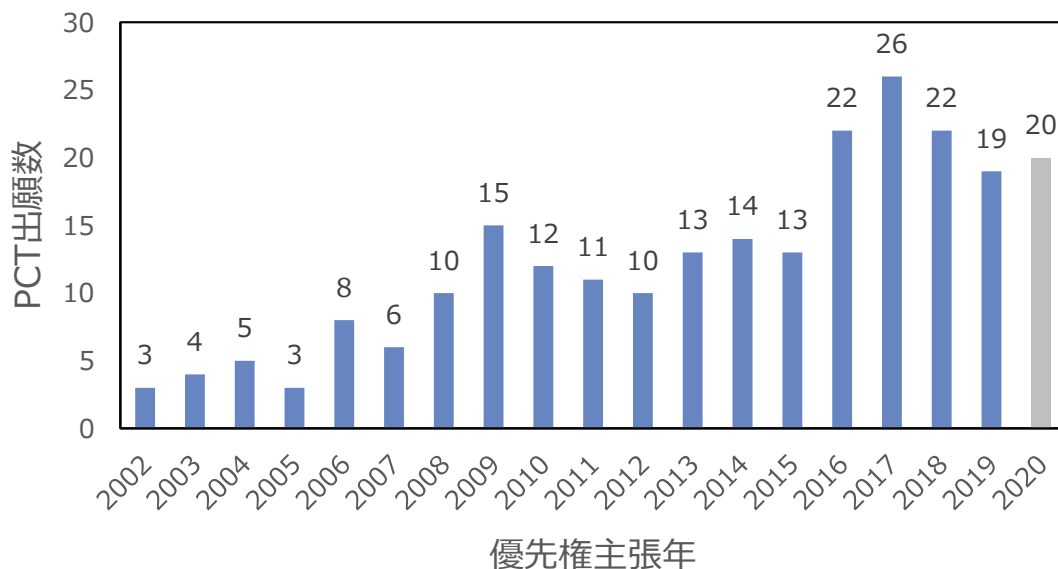
- 畜産メタン削減に関するPCT出願件数は増加傾向。
- 出願人の上位は、化学メーカー、バイオ関連メーカー等。

### <畜産メタン削減技術関連の市場規模予測>

- メタン抑制飼料の世界市場は、2030年までに10億～20億ユーロ（11億8000万～23億7000万ドル）に達する可能性がある。

出典：Reuters SEPTEMBER 18, 2020 :  
Burps to burgers: food companies wrangle climate-warming cattle emissions

### 畜産メタン削減に関する出願の推移



注) 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。

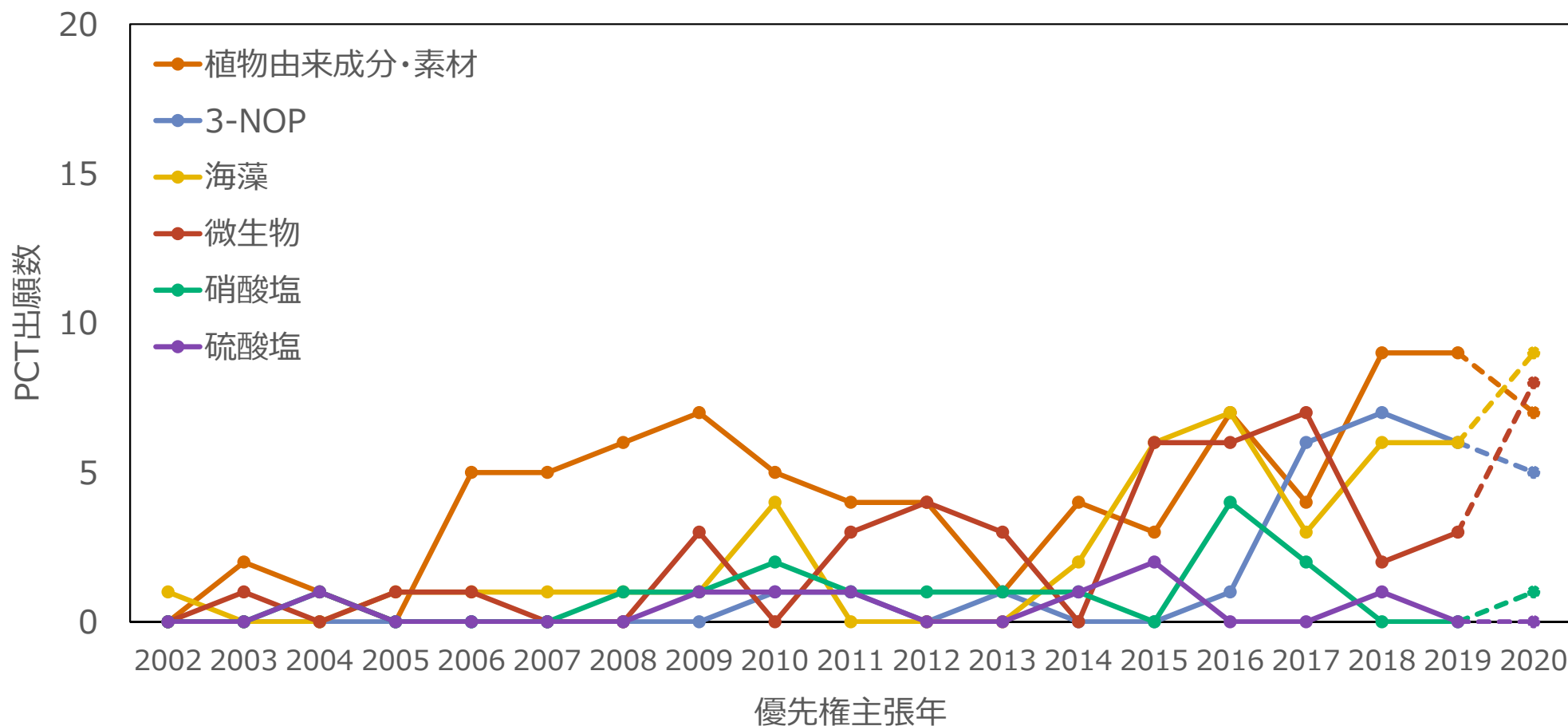
#	畜産メタン関連特許の上位出願人（国籍）
1	DSM IP ASSETS BV（オランダ）
2	NATIVE MICROBIALS INC（米国）
3	ASCUS BIOSCIENCES INC（米国）
4	BENEMILK OY（フィンランド）
5	DUPONT NUTRITION BIOSCI APS（デンマーク）
6	DUVAL STEPHANE（フランス）
7	IDEMITSU KOSAN CO（日本）
8	LOCUS IP CO LLC（米国）
9	AVOCET INFINITE PLC（イギリス）
10	AVOCET IP LTD（英国）

出典:Espacenet（NTTデータ経営研究所作成）

## Ⅲ- 2. 畜産メタン削減

- 特許文献データベースEspacenetを用い、過去20年間におけるメタン関連の出願動向について簡易調査を実施。
- 植物由来成分・素材には、フラボノイド、タンニン、サポニン等の抗菌作用をもつ成分を含む。

資材別の出願件数の推移



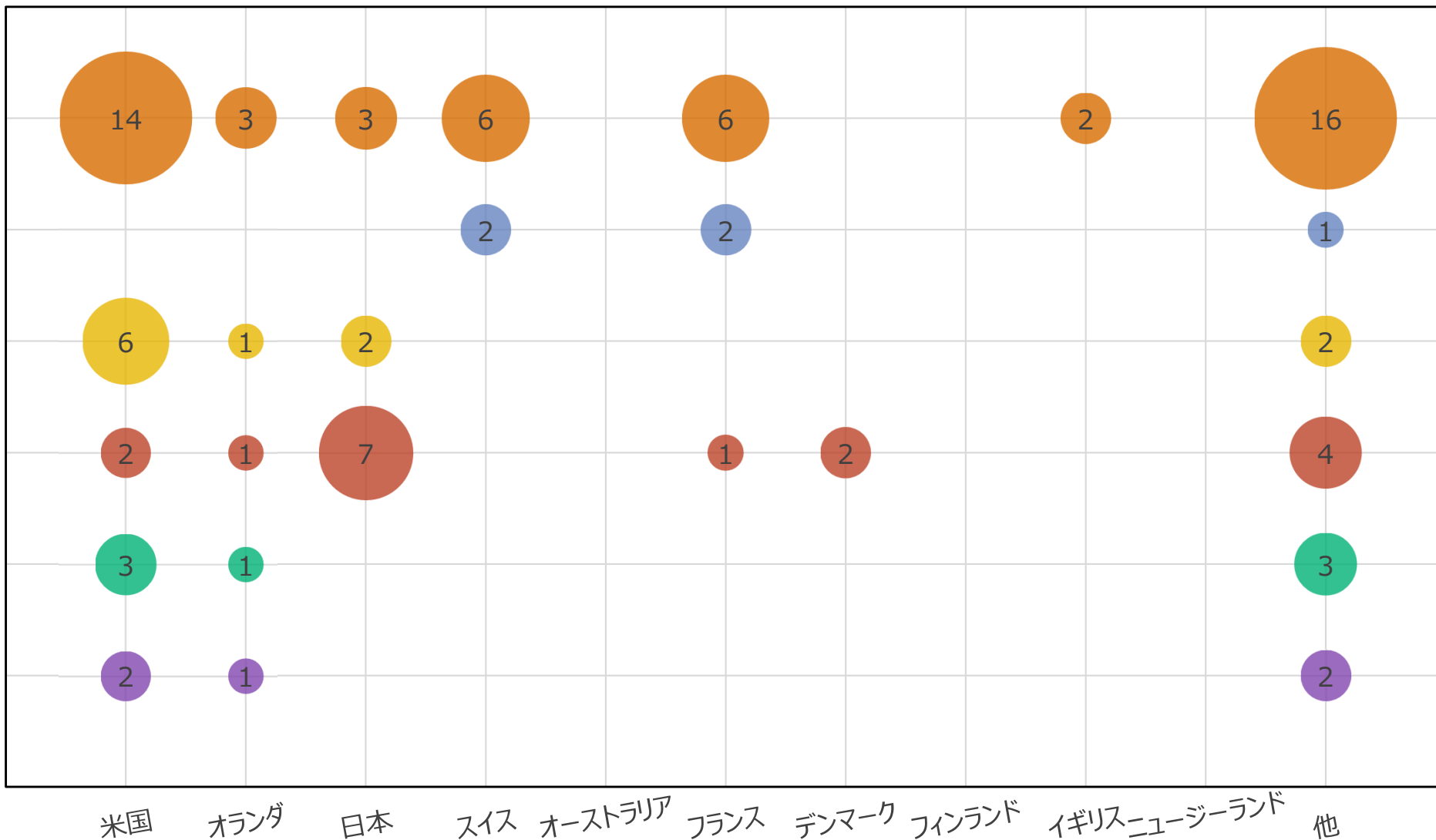
注) 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。

出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

## Ⅲ- 2. 畜産メタン削減

- 過去20年間における出願国別の資材別出願動向を簡易調査。
- 2011年以前は植物由来素材を含む出願が最多。

メタン削減に関する技術分野と出願人国籍の出願分布（2002-2011）



注) 複数出願人を含む場合、出願人毎に国籍を計上。

出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)



## Ⅲ- 2. 畜産メタン削減

- 過去20年間における出願国別の資材別出願動向を簡易調査。
- 2012年以降、海藻、3-NOP、微生物に関する出願が増加。
- 米国は海藻、微生物に関する出願、オランダは3-NOPに関する出願が多い。

メタン削減に関する技術分野と出願人国籍の出願分布（2012-2021）



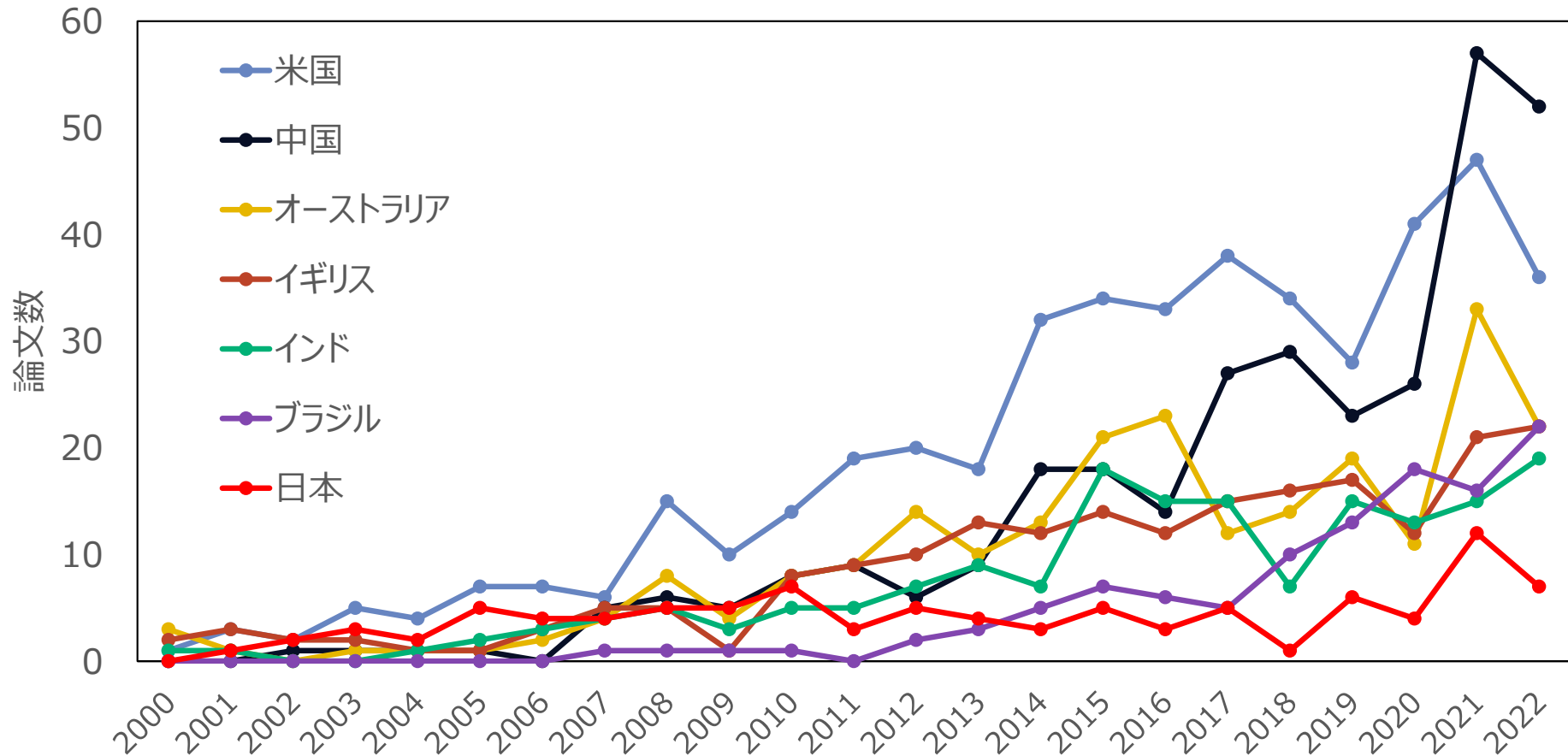
注) 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。  
複数出願人を含む場合、出願人毎に国籍を計上。

出典: Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

## Ⅲ- 2. 畜産メタン削減

- Scopusを用いて2000年から2022年の畜産メタン削減に関する論文数を調査（JST/CRDS作成）。
- 近年では、特に中国、米国、オーストラリアにおける研究が増加。

畜産メタンに関する国別の論文数推移



使用データベース：Scopus（エグゼビア社）  
 以下の条件を含む論文群から国と出版年を分析  
 「livestock + methane」

出典:Scopus (JST/CRDS作成)

## Ⅲ- 2. (参考) 畜産メタン削減 調査概要

- 調査対象特許文献：PCT出願
- 調査対象年範囲：2002年～2021年（優先権主張年ベース）
- 使用データベース：Espacenet（検索日：2023年3月17日）
- 調査方法：国際特許分類及びキーワードを用いて検索を行い、母集団文献#1を抽出。各資材に該当する文献を抽出するための検索式を作成し、母集団#1と掛け合わせた検索。検索結果から目検にてノイズ除去し、資材別動向分析に利用。

#	内容	備考	検索式
1	反芻動物×メタン	A23K50/10（反芻動物用飼料）	cl = "A23K50/10" AND nftxt = "methane"
2	#1の内 植物由来を含む		cl = "A23K50/10" AND nftxt = "methane" AND nftxt = "plant*"
3	#1の内 3-NOPを含む		cl = "A23K50/10" AND nftxt = "methane" AND nftxt = "3-Nitrooxypropanol*"
4	#1の内 海藻を含む		cl = "A23K50/10" AND nftxt = "methane" AND (nftxt = "seaweed*" OR nftxt = "algae*" OR nftxt = "algal*" OR nftxt = "asparagopsis*")
5	#1の内 微生物を含む		cl = "A23K" AND nftxt = "methane" AND (ctxt = "probiotic*" OR ctxt = "lactobacillus*" OR ctxt = "enterococcus*" OR ctxt = "propionibacterium*" OR ctxt = "proteiniphilum*" OR ctxt = "acetatigenes*" OR ctxt=("microbi*" prox/distance<3 "composition*") OR ctxt=("microbi*" prox/distance<3 "agent*"))
6	#1の内 硝酸塩を含む		cl = "A23K50/10" AND nftxt = "methane" AND nftxt = "nitrates*"
7	#1の内 硫酸塩を含む		cl = "A23K50/10" AND nftxt = "methane" AND nftxt = "sulfates*"

ftxt：全文検索、ctxt：タイトル、要約、請求項、ta：タイトル、cl：CPC及びIPC分類  
 =：完全一致、prox/distance<3：3単語近傍検索、prox/unit=sentence：同一文章中検索  
 \*は任意の長さの任意の文字を指示するワイルドカード

# Ⅲ 詳細調査 Foresight分析

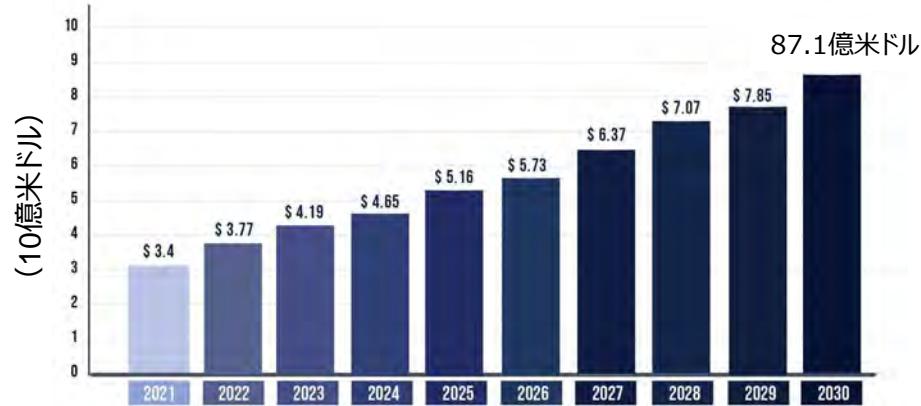
## Ⅲ- 3. バイオスティミュラント



### Ⅲ- 3. バイオスティミュラント

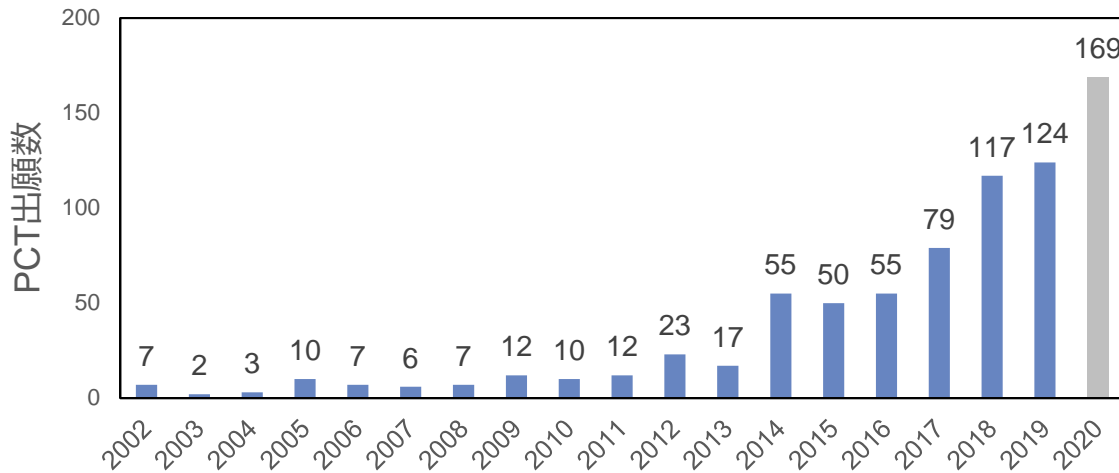
- Precedence Research社は、世界のバイオスティミュラント（BS）市場規模は、2030年までに11.02%のCAGRで成長し、87.1億米ドルに達すると予想。
- BSに関するPCT出願件数は、2010年以降急激に増加。出願人の上位は、欧米の農薬・肥料メーカー。

世界のBS市場規模予測（2021-2030年）



出典：Precedence Research（2022）Biostimulants Market Size, Growth, Trends, Report 2022-2030

BSに関する出願の推移



優先権主張年

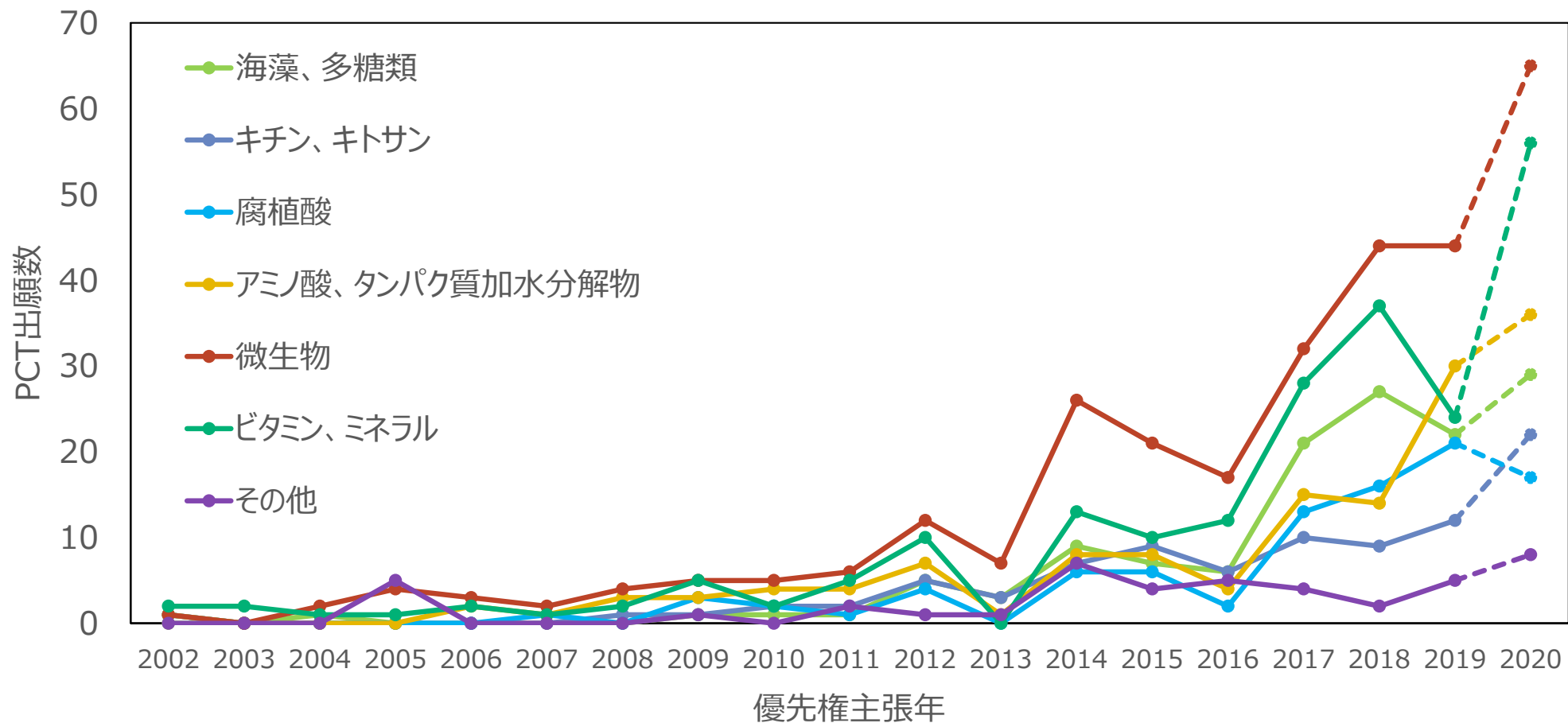
注) 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。

#	BS関連特許の上位出願人（国籍）
1	NOVOZYMES BIOAG AS（デンマーク）
2	BAYER AG（ドイツ）
3	SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES BV（オランダ）
4	BASF SE（ドイツ）
5	HELIAE DEV LLC（米国）
6	MONSANTO TECHNOLOGY LLC（米国）
7	RHODIA OPERATIONS（フランス）
8	ISAGRO SPA（イタリア）
9	ADAMA MAKHTESHIM LTD（イスラエル）
10	SYNGENTA PARTICIPATIONS AG（スイス）
11	FMC CORP（米国）
12	OMS INVESTMENTS INC（米国）
13	AGRINOS AS（ノルウェー）
14	FERTINAGRO BIOTECH SL（スペイン）
15	LOCUS IP CO LLC（米国）

### Ⅲ- 3. バイオスティミュラント

- 特許文献データベースEspacenetを用い、過去20年間におけるBS関連の出願動向について簡易調査を実施。
- 各資材に関する動向はいずれも増加傾向にあり、BS全体の同様の推移。

資材別の出願件数の推移



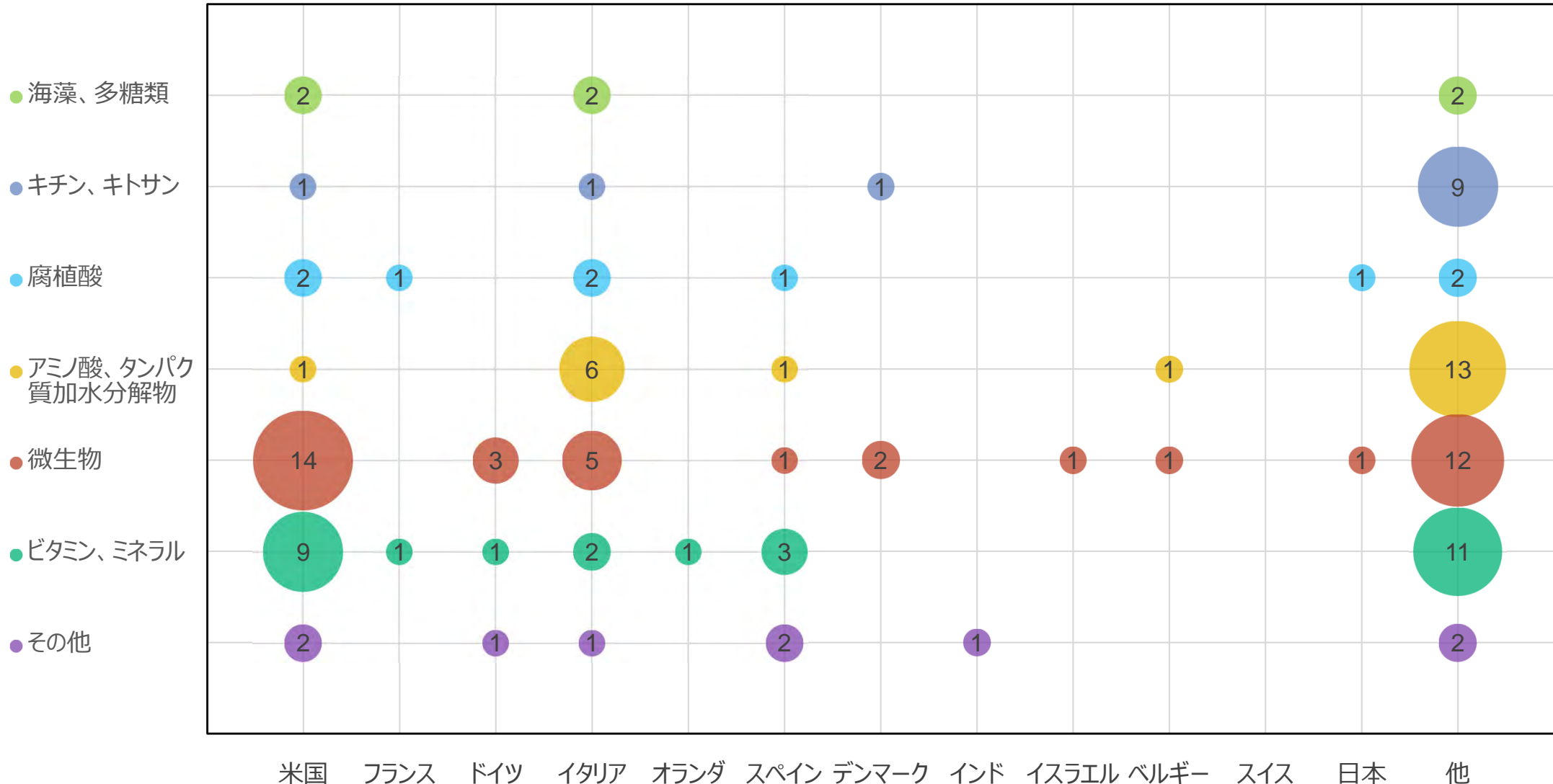
注) 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。

出典: Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

### Ⅲ- 3. バイオスティミュラント

- 優先権主張年を2002年～2011年（下図）及び2012年～2021年（次頁）に区切り、出願国別の資材別出願動向を簡易調査。2012年まではBS関連の出願は少数だが、米国やイタリアにおいてアミノ酸・タンパク質加水分解物及び微生物関連を中心に数件出願。

BS関連資材と出願人国籍のPCT出願分布（優先権主張年2002-2011）



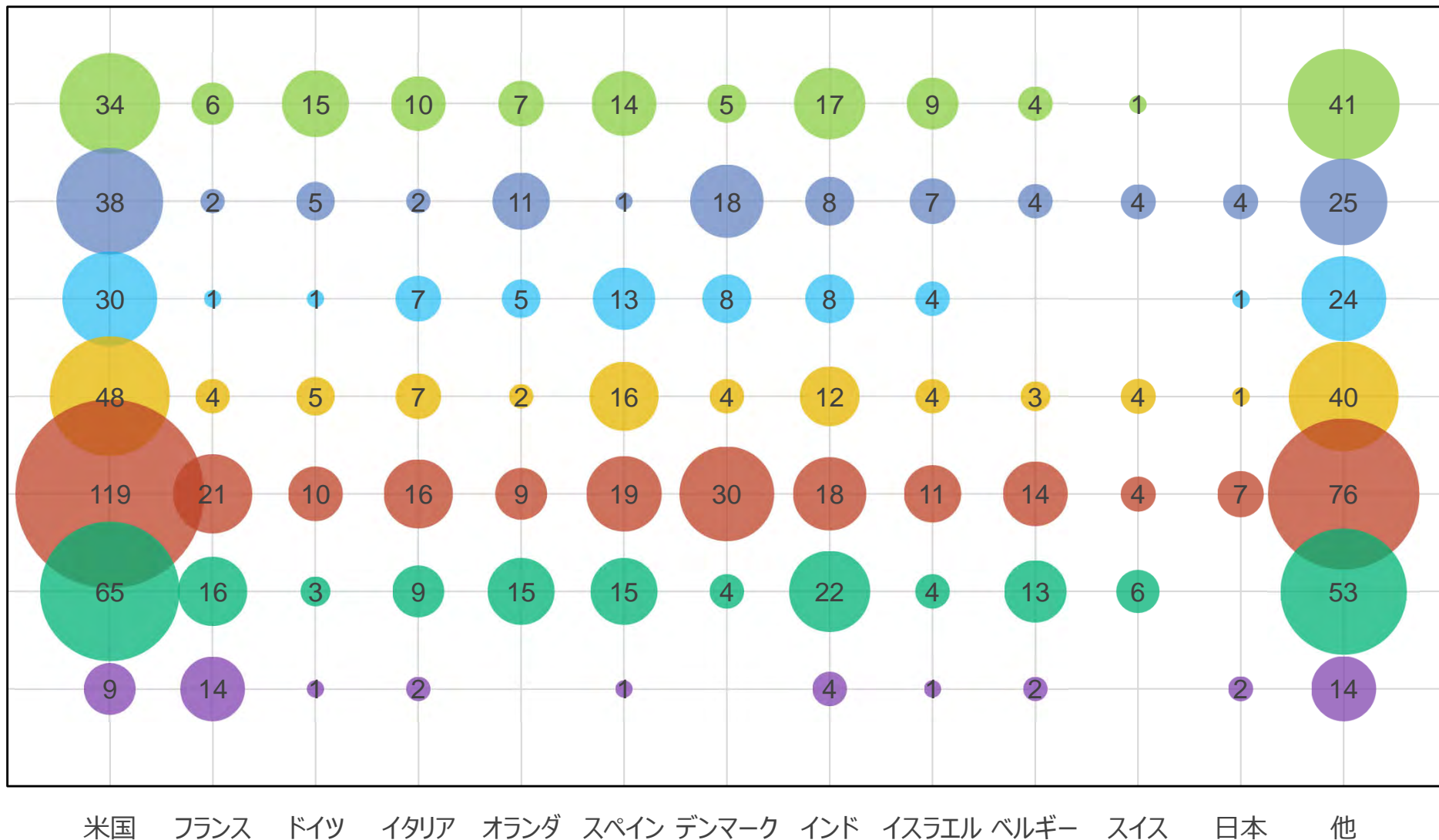
注) 複数出願人を含む場合、出願人毎に国籍を計上。

出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

### Ⅲ- 3. バイオスティミュラント

- 2012年～2021年ではBS関連の出願が急増。出願人国籍は、いずれの資材分類においても米国が最多。
- 各国において微生物関連の特許出願が多い。

BS関連資材と出願人国籍のPCT出願分布（優先権主張年2012-2021）



注) 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。  
複数出願人を含む場合、出願人毎に国籍を計上。

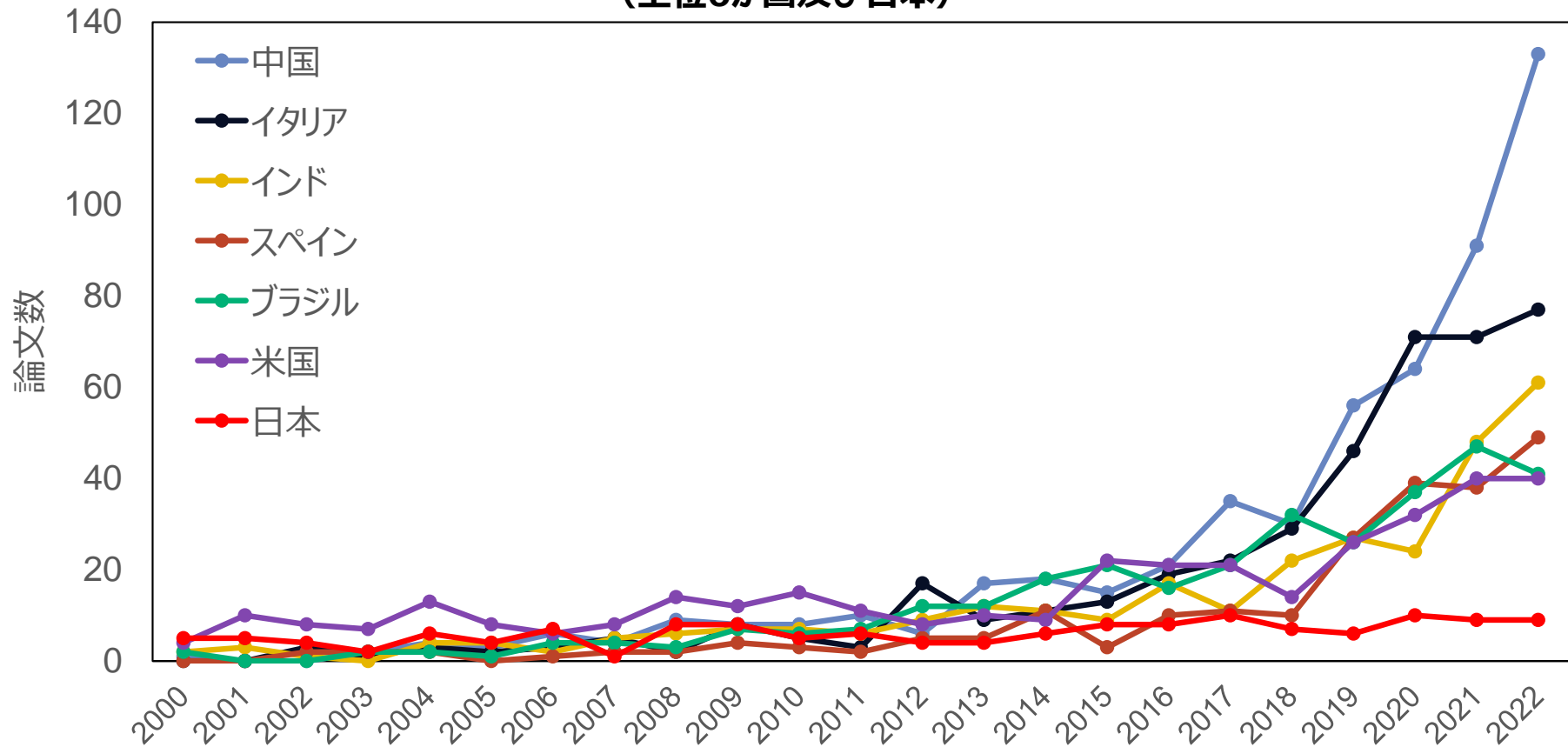
出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)



### Ⅲ- 3. バイオスティミュラント

- Scopusを用いて2000年から2022年のBS関連論文の動向を調査（JST/CRDS作成）。
- 中国における研究が急激に増加。2022年時点での論文数において、日本は23位。

バイオスティミュラントに関する国別の論文数推移  
(上位6か国及び日本)



使用データベース：Scopus（エグゼビア社）

出典:Scopus (JST/CRDS作成)

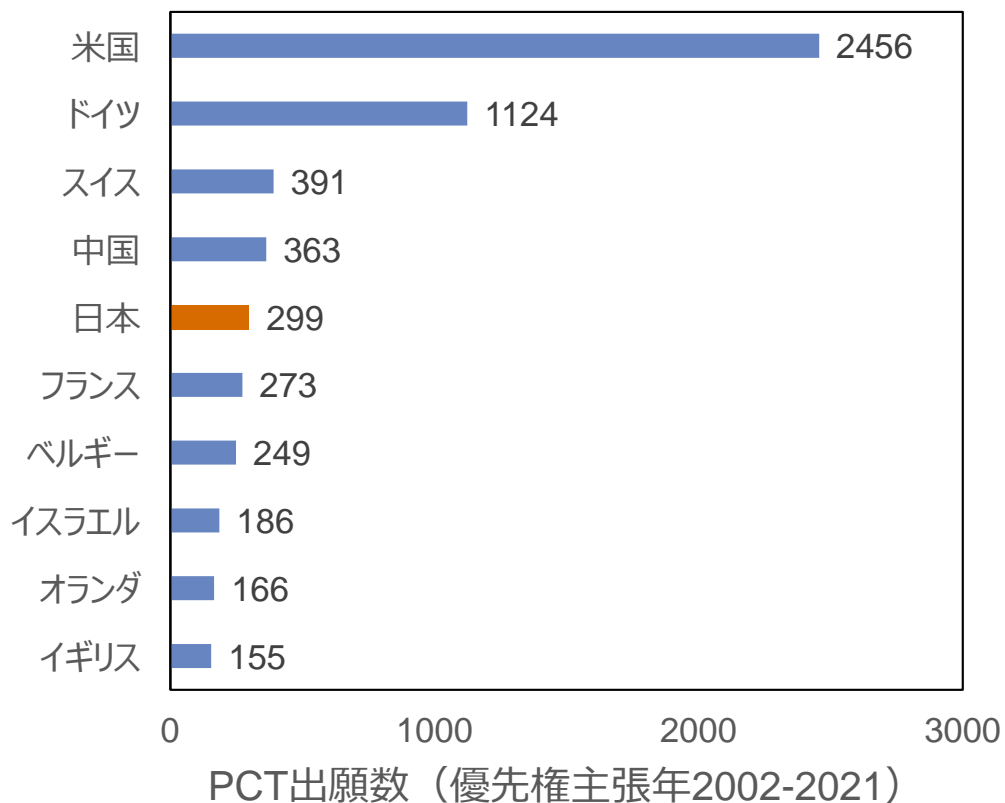
以下の3条件のいずれかを含む論文群から国と出版年を分析

「biostimulant\*」「(Plant + environment\* + torelance) + substance\*」「Plant + immun\*+ substance / medical 以外の分野を指定」

### Ⅲ- 3. バイオスティミュラント

- BSに限らず、「“非生物・環境ストレス抵抗性”と、“収量・品質・生長改善”に関する技術」を含む特許出願\*では、中国や日本が上位。  
\*BS以外の農薬・肥料等も含む。
- 一方で、BSを含む日本国籍の出願は少数。国内の農薬・肥料メーカーにおいてBSの用語が十分に浸透していない可能性。
- 農薬でも肥料でもない新たな資材としてのBSが定義されることを鑑みると、BSを権利範囲に含む出願戦略も必要となる可能性。

「非生物ストレス」「収量改善」に関する技術の出願  
人国籍別のPCT出願動向



注) 2020年以降はデータベース収録の遅れ等で全出願を反映していない可能性がある。

出典:Espacenet (NTTデータ経営研究所作成)

#	Applicants
1	BAYER CROPSCIENCE AG (ドイツ)
2	PIONEER HI BRED INT (米国)
3	BASF SE (ドイツ)
4	SYNGENTA PARTICIPATIONS AG (スイス)
5	MONSANTO TECHNOLOGY LLC (米国)
6	BASF PLANT SCIENCE GMBH (ドイツ)
7	DU PONT (米国)
8	BASF PLANT SCIENCE CO GMBH (ドイツ)
9	BAYER AG (ドイツ)
10	BAYER IP GMBH (ドイツ)
11	SYNGENTA CROP PROTECTION AG (スイス)
12	BASF CHINA CO LTD (中国)
13	SUMITOMO CHEMICAL CO (日本)
14	UNIV CALIFORNIA (米国)
15	FMC CORP (米国)

### Ⅲ- 3. (参考) バイオスティミュラント 調査概要

- 調査対象特許文献：PCT出願
- 調査対象年範囲：2002年～2021年（優先権主張年ベース）
- 使用データベース：Espacenet（検索日：2023年2月3日）
- 調査方法：国際特許分類及びキーワードを用いて検索を行い、母集団文献#1を抽出。各資材に該当する文献を抽出するための検索式を作成し、母集団#1と掛け合わせた検索結果を資材別動向分析に利用。

#	内容	備考	検索式
1	バイオスティミュラント×農・作物・植物	A61（医学または獣医学；衛生学）、C02（水，廃水，下水又は汚泥の処理）を含まない	((nftxt = "biostimula*" OR nftxt = "bio-stimula*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants")) NOT (cl = "A61" OR cl = "C02")
2	#1の内 海藻、多糖類（アルギン酸・フコイダン・カラギーナン）を含む		((nftxt = "biostimula*" OR nftxt = "bio-stimula*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants") AND ((ctxt = "seaweed*" OR ctxt = "sea weed*" OR ctxt = "algae") OR (ctxt = "alginate*" OR ctxt = "alginic*" OR ctxt = "fucoidan*" OR ctxt = "carrageenan*"))) NOT (cl = "A61" OR cl = "C02")
3	#1の内 キチン、キトサンを含む		((nftxt = "biostimula*" OR nftxt = "bio-stimula*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants") AND (ctxt = "chitin*" OR ctxt = "chitosan*")) NOT (cl = "A61" OR cl = "C02")
4	#1の内 腐植酸を含む		((nftxt = "biostimula*" OR nftxt = "bio-stimula*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants") AND (ctxt = "humic*" OR ctxt = "fulvic*")) NOT (cl = "A61" OR cl = "C02")
5	#1の内 アミノ酸、ペプチド、タンパク質加水分解物を含む		((nftxt = "biostimula*" OR nftxt = "bio-stimula*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants") AND (ctxt = "amino acid*" OR ctxt = "peptide*" OR ctxt = "protein hydrolysate*")) NOT (cl = "A61" OR cl = "C02")
6	#1の内 微生物を含む	殺菌剤、抗菌剤を含まない	((nftxt = "biostimula*" OR nftxt = "bio-stimula*") AND (nftxt = "agri*" OR nftxt = "crop" OR nftxt = "crops" OR nftxt = "plant" OR nftxt = "plants") AND ((ctxt = "bacteri*" OR ctxt = "fungi*" OR ctxt = "microorganism*" OR ctxt = "micro organism*" OR ctxt = "microb*" OR ctxt = "fungal*") AND (ctxt = "species*" OR ctxt = "strain*" OR ctxt = "family*" OR ctxt = "group*" OR ctxt = "genus*"))) NOT (cl = "A61" OR cl = "C02" OR (ta=("fungicid*" prox/distance<3 "activit*") OR ta=("fungicid*" prox/distance<3 "component*") OR ta=("fungicid*" prox/distance<3 "material*") OR ta=("fungicid*" prox/distance<3 "agent*") OR ta=("fungicid*" prox/distance<3 "composition*") OR ti = "nematocid*"))

nftxt：全文検索、ctxt：タイトル、要約、請求項、ta：タイトル、cl：CPC及びIPC分類  
 =：完全一致、prox/distance<3：3単語近傍検索  
 \*は任意の長さの任意の文字を指示するワイルドカード

# A ppendix

## ヒアリング調査一覧



# ヒアリング実績

## ヒアリング対象者 ※敬称略

### a. 温室効果ガス削減

KPI	関連技術	氏名	所属	ご専門	ヒアリング日時
① 農林水産業のCO <sub>2</sub> ゼロエミッション化	バイオ燃料	山根 浩二	滋賀県立大学 教授	・バイオディーゼル、内燃機関等が専門	2022/10/12
	バイオ燃料	尾立 維博、太田 晴久	株式会社ユーグレナ 執行役員 エネルギーカンパニー長、バイオ燃料事業部	・ミドリムシの研究・生産を行うバイオベンチャー企業 ・藻類から油脂を取り出し、家庭廃油と混合させたSAFの製造を推進	2022/11/7
	カーボンファーム	Augusto Gibernau Torres	NTT DATA EMEAL ディレクター	・EUにおける産学官体制でのカーボンファーム推進イニシアチブ「EU Carbon+ Farming Coalition」を立ち上げから現在まで支援	2022/12/15
② 農林業機械・漁船の電化・水素化等技術の確立	農機の電化・水素化	佐藤 大輔	株式会社クボタ	・国内で電動農業機械の開発を先進的に推進。 ・みどりの食料システム戦略に合わせた技術紹介カタログブックを作成	2022/9/27
③ 化石燃料を使用しない園芸施設への完全移行	ハイブリッド型・ゼロエミッション型施設園芸	後藤 一寿	NARO開発戦略センター 研究管理役	・農研機構の欧州拠点（オランダのワーヘニンゲン大学内）に駐在し、欧州の動向を把握	2022/10/5
	ハイブリッド型・ゼロエミッション型施設園芸	丸尾 達	（公財）園芸植物育種研究所 理事長 / （株）リーフ・ラボ 代表取締役	・千葉大学園芸学部にて、溶液栽培、植物工場に関する研究を実施。現在は野菜の育種を行う研究所の理事長や、大学発スタートアップの代表 ・エネルギーの視点から次世代植物工場のあるべき姿についての講演実施	2022/11/1
	ハイブリッド型・ゼロエミッション型施設園芸	久保田 智恵利	オハイオ州立大学	・米国における施設園芸・人工光型植物工場の動向 ・オハイオ州環境制御農業センター所長 ・特定非営利活動法人植物工場研究会理事	2022/11/25

# ヒアリング実績

## a. 温室効果ガス削減

KPI	関連技術	氏名	所属	ご専門	ヒアリング日
③化石燃料を使用しない園芸施設への完全移行	被覆資材等の新規環境制御資材	後藤 英司	千葉大学大学院園芸学研究科	・光選択性被覆材の応用及び新機能被覆資材の開発 ・特定非営利活動法人植物工場研究会理事	2022/10/18
	ヒートポンプ	恒川 幹朗	一般財団法人ヒートポンプ蓄熱センター	ヒートポンプに関する企業、学術関係者が作る組織。IEAへのヒートポンプ技術協力、補助事業なども実施	2022/10/31
④我が国の再エネ導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再エネの導入	再エネ	植松 則和	シン・エナジー(株)取締役	・木質バイオマス、地熱、水力、太陽光等の再エネエンジニアリングに携わり、エネルギーによる地域経済圏の確立に向け各地域で事業展開	2022/10/24
⑤メタンガス削減技術	メタンガス削減	熊谷 元	京都大学大学院農学研究科 応用生物科学専攻 動物機能開発学講座 准教授	・未利用資源の飼料化、熱帯地域における反芻家畜及び飼料の生産技術開発 ・畜産メタンの削減についての検討	2022/10/24
	メタンガス削減	小林 泰男	北海道大学 大学院農学研究院 特任教授	ルーメン微生物の機能・生態及び飼料効率やメタン削減技術の研究開発	2022/10/17
	メタンガス削減	福本 泰之	農研機構畜産研究部門 高度飼養技術研究領域 スマート畜産施設グループ 長	・排泄物処理工程からのメタン排出削減技術の研究を実施	2022/10/28
⑦バイオ炭	炭素貯留	古賀 伸久	農研機構 九州沖縄農業研究センター	農地土壌起源の温室効果ガス削減技術やバイオ炭等による農地炭素貯留技術の開発・普及	2022/11/4

# ヒアリング実績

## b.化学農薬使用量の低減

KPI	関連技術	氏名	所属	ご専門	ヒアリング日
⑧化学農薬 使用量（リスク 換算）の 50%低減 スマート育種	カバークロープ・ 不耕起栽培	<b>小松崎 将一</b>	茨木大学農学部附属 国際フィールド農学セン ター教授	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境保全型農業について幅広い知見</li> <li>窒素と炭素の変動と農作業技術との関連等を研究</li> <li>日本農作業学会会長、政策研の技術アドバイザーなどを歴任</li> </ul>	2022/8/22
	バイオスティミュ ラント	<b>山内 靖雄</b>	神戸大学大学院農学 研究科 准教授	<ul style="list-style-type: none"> <li>植物生理学生化学について幅広い知見</li> <li>みどりの香り成分が植物の高温耐性を促進することを発見し、バイオスティミュラント「すずみどり」の商品名で実用化</li> <li>バイオスティミュラントハンドブック監修</li> </ul>	2022/10/7
		<b>須藤 修</b>	日本バイオスティミュラ ント協議会 事務局長	<ul style="list-style-type: none"> <li>バイオスティミュラントの国内外動向について調査</li> <li>アリストライフサイエンス株式会社で同資材のマーケティングの仕事を行いながら、設立から現在まで日本バイオスティミュラント協議会事務局長</li> </ul>	2022/11/9
	土壌くん蒸剤 代替	<b>小原 裕三</b>	農研機構, 農業環境 研究部門, 上級研究 員	<ul style="list-style-type: none"> <li>大気を媒介した農薬の環境動態研究を行っており、土壌くん蒸剤のリスク低減と管理技術について幅広い知見</li> <li>土壌くん蒸剤の代替技術として新規土壌還元消毒技術の開発・普及</li> </ul>	2022/11/10
	病害虫管理・ RNA農薬	<b>田中 良明</b>	農研機構 生物機能利 用研究部門 昆虫制御 技術グループ長	<ul style="list-style-type: none"> <li>昆虫の発育制御機構の知見から害虫の遺伝子を標的とした防除法について研究</li> <li>RNA干渉を利用した害虫だけに効く農薬や、微生物や植物などの機能を利用した"環境にやさしい"害虫制御技術の研究開発</li> </ul>	2022/11/7
		<b>鈴木 丈詞</b>	東京農工大学 准教 授	<ul style="list-style-type: none"> <li>ダニのRNA農薬開発を目指した国際コンソーシアムに所属</li> </ul>	2022/11/8
	総合防除	<b>日本 典秀</b>	京都大学大学院農学 研究科 教授	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外学会での発表も多く、病害虫全般における幅広い知見</li> </ul>	2022/10/20

# ヒアリング実績

## c.化学肥料使用量の低減、d.有機農業拡大

KPI	関連技術	氏名	所属	ご専門	ヒアリング日
⑨化学肥料使用量の30%低減	土壌微生物・緑肥の活用	上野 秀人	愛媛大学大学院農学研究科 教授	・水田における緑肥投入による生育、土壌中の養分動態、土壌微生物への影響を研究	2022/10/20
	ペレット堆肥	飯久保 励	日立セメント株式会社	・食品残渣由来メタン発酵残渣のペレット化	2022/11/8
		久保寺 秀夫	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境研究部門 土壌環境管理研究領域 領域長	・ペドロジー（基礎土壌学）をベースとした、農耕地土壌の評価、診断、管理等に関する研究	2022/11/10
	資源循環（下水からのリン回収等）	原 博之	株式会社クボタ カーボンニュートラル推進部 SIPチーム 兼 研究開発統括部 開発統括チーム	・下水汚泥溶融システムによるリン回収・肥料製造	2022/11/9
⑦耕地面積に占める有機農業の割合を25%に拡大	循環型生産システム	河原林 孝由基	農林中金総合研究所 主席研究員	・再生可能エネルギー、バイオマス利活用、有機・循環型農業等が専門 ・論文に「気候変動を巡る情勢と脱炭素化に向けた政策動向：温室効果ガス実質ゼロ宣言のインパクト」等	2022/11/18
	雑草管理技術	小林 浩幸	宇都宮大学、雑草管理教育研究センター長	・植物保護科学、作物生産科学が専門 ・雑草生態学、栽培学を基盤として、環境保全の本当の意味を考え、持続可能な栽培・雑草管理技術を開発	2022/9/28
⑩耕地面積に占める有機農業の割合を25%に拡大	環境保全型農業	小松崎 将一	茨城大学農学部附属 国際フィールド農学センター 教授	・環境保全型農業について幅広い知見 ・窒素と炭素の変動と農作業技術との関連等を研究 ・日本農作業学会会長、政策研の技術アドバイザーなどを歴任	2022/8/22



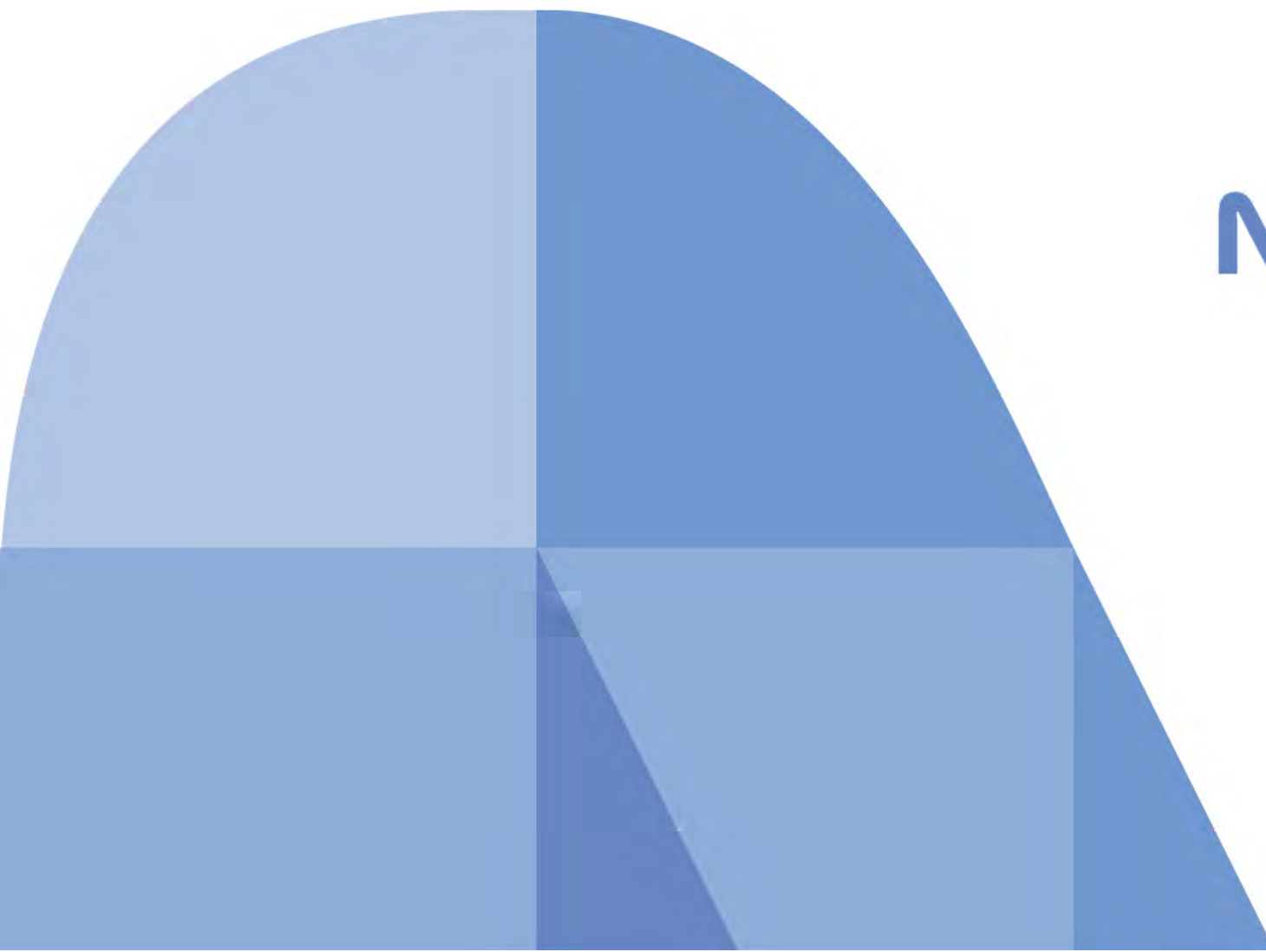
# ヒアリング実績

## f. 林業分野

KPI	関連技術	氏名	所属	ご専門	ヒアリング日
⑮ 林業用苗木のうちエリートツリー等が占める割合を3割に拡大・高層木造の技術の確立・木材による炭素貯蔵の最大化	木質バイオマス	宮藤 久士	京都府立大学 教授	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CO2削減のエコシステム・プロジェクト リーダー</li> <li>・木質バイオマス（セルロース、リグニン、バイオエタノール等）の研究</li> </ul>	2022/11/1
	スマート林業 林業機械	中澤 昌彦	森林総研 林業工学研究領域 収穫システム研究室 室長	<ul style="list-style-type: none"> <li>・効率的な木材生産技術及び先導的な林業生産システムの開発</li> <li>・ICT技術やロボット技術を活用した高度木材生産機械の開発</li> <li>・作業道の情報化施工に関する実証研究</li> <li>・積極的長伐期林業を目指した大径材生産技術の開発</li> </ul>	2022/10/17

## その他

関連技術	氏名	所属	ご専門	ヒアリング日
スタートアップ	関山泰司  潮 尚之	大阪公立大学 URAセンター 認定リサーチアドミニストレーター  大阪公立大学 アドバイザー	・米国等外国におけるスタートアップの動向	2023/1/12



**NTT DATA**  
Trusted Global Innovator