

## スマート農業シンポジウム「みどり戦略とカーボンニュートラル農業」 第Ⅰ部 持続可能な農業を支えるイノベーション

農業の担い手の確保、耕作放棄地の活用、さらなる農業総産出額の増加、国際競争力の強化などの課題を抱える農業分野において、政府は持続的な農業・食料生産を図るため、スマート農業の普及、スマートフードチェーンの導入を進めているところです。持続可能な農業の実現を図るためには、政府による規制緩和・法整備、産官によるイノベーションの創出、農業と多様な分野との連携によるスマート農業サービスの展開、事業インフラの整備など、従来の農業の枠を超えた幅広い取り組みが必要であると考えられます。当財団では、2020年度から農業の持続的生産とスマート農業研究会（座長：生源寺眞一 福島大学農学群 教授・食農学類長）を立ち上げて、変貌していく農業について研究を進めています。

スマート農業への期待として、生産性の向上と省力化が挙げられますが、2022年6月のみどりの食料システム法の施行により、農業分野におけるカーボンニュートラル実現に向けた役割が新たに追加されました。そこで、農林水産省東海農政局、農研機構中日本農業研究センターとの共催により、スマート農業シンポジウム「みどり戦略とカーボンニュートラル農業」を開催しました。第Ⅰ部では農業分野におけるカーボンニュートラル実現のために、イノベーション開発の最前線について専門家による情報提供と議論を行いましたので、その内容について報告いたします。（事務局文責）

日時：2022年11月28日（月） 10：00～12：30（第Ⅰ部）

会場：名古屋国際会議場 222・223会議室（ONLINE配信）

主催：農林水産省東海農政局、農研機構中日本農業研究センター  
公益財団法人中部圏社会経済研究所

後援：東海地域デジタル化推進フォーラム、  
一般社団法人中部経済連合会



### ■開会挨拶

農林水産省東海農政局長  
小林 勝利 氏



本日は「スマート農業シンポジウム」に多数ご参加いただきありがとうございます。

さて、我が国の食料・農林水産業は、地球温暖化等によって大雨が増加し、それに伴う自然災害等により農地に多大なる被害が生じております。また、地球温暖化によって農業生産にも、大きな影響が生じております。一方、生産者の減少によって生産基盤の脆弱化が言われています。このような、たくさんの課題を抱えている中で、将来にわ

たつての食料の安定供給を図っていくためには、災害や温暖化にも対応しつつ、生産者の減少にも対応できる力強い農林水産業を作っていく必要があるかと思えます。

このため、農林水産省（以下、「農水省」）では、昨年5月に食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立、これをイノベーションで実現するために「みどりの食料システム戦略」を策定しました。この中でも、「スマート農業」は省力化や環境負荷低減の実現に有望な技術であると位置づけられています。

本日のスマート農業シンポジウムでは、このような情勢を踏まえつつ、第1部で、持続可能な食料生産を支えるイノベーションについて考えていきたいと思えます。第2部では、スマート農業

の社会実装に向け、スマート農業による生産力向上と持続性の両立およびこれまでに取り組まれたスマート農業実証プロジェクトの成果について事例を交えてご紹介いたします。

本日のシンポジウムにより、ご参加の皆さまが、スマート農業に一層のご関心を持ち、スマート農業の社会実装に向けご尽力を賜れば幸いに存じます。

本日はどうぞよろしくお願いいたします。

## ■ 基調講演

### 農林水産分野におけるゼロエミッション実現に向けた取り組み

#### NEDO技術戦略研究センター

#### 新領域・融合ユニット（農水）ユニット長

櫻谷 満一 氏



1989年 愛媛大学農学部卒業  
 1990年 農林水産省入省  
 科学技術庁国際協力官  
 農林水産技術会議事務局研究専門  
 生産局生産専門官  
 東北農政局企画調整室長  
 生産局生産推進室長等を歴任  
 東京工業大学大学院特任准教授  
 2017年 農研機構ビジネスコーディネーター  
 等を歴任

ご紹介いただきました、NEDO技術戦略センター（以下、「TSC」）新領域・融合ユニットでユニット長をしています櫻谷です。本日はスマート農業シンポジウムの開催にあたり、貴重な講演の機会をいただき誠にありがとうございます。

私からは現在NEDOで進めています、農林水産分野におけるゼロエミッション実現に向けた取り組みについてお話いたします。初めに自己紹介します。私は農水省の行政部局の出身ですが、昨年4月に現在のNEDOに出向しています。農水省では主に農作物の生産対策、産地化支援、研究開発の企画等を担当してきました。2017年から、つくばにある農研機構で農業、食品産業分野での

産学官連携、特に企業との共同研究の組成、管理といったことを担当してきました。NEDOでは、農林水産分野におけるエネルギー・環境領域を中心として、調査、分析、さらに戦略策定を担当しております。この間、行政の仕事をしなが、大学で農業分野における研究開発マネジメントや、知財戦略について研究してきました。

東京理科大学、一橋大学、高知工科大学などで直接農業に関係のない専攻に所属していたり、農研機構時代には同じく経済産業省（以下、「経産省」）の産業技術総合研究所（以下、「産総研」）への併任をしたり、現在はNEDOという経産省の組織に所属したりとか、外の世界から農業を見る機会に恵まれてきたと思っています。

本日の話題です。まず経産省のNEDOでどうしてこのような農業分野におけるゼロエミッションに関わる仕事をしているのかということについて簡単に紹介します。次にNEDOが描く農林水産業のゼロエミッション実現に向けた将来像、我々はゼロエミッション実現に向けて、自律分散型エネルギーシステムの導入を考えていますが、この動向や技術的課題、あるいは技術開発の方向性についてご紹介いたします。最後に、農林水産分野におけるゼロエミッションに関連するNEDO事業について、昨年何本か実施していますのでご紹介したいと思います。

#### NEDOについて



#### イノベーション・アクセラレーターとしてのNEDOの役割

技術戦略の策定、プロジェクトの企画・立案を行い、プロジェクトマネジメントとして、産学官の強みを結集した体制構築や運営、評価、資金配分等を通して技術開発を推進し、成果の社会実装を促進することで、社会課題の解決を目指します。



©2022 NEDO, All Rights Reserved.

図1. イノベーション・アクセラレーターとしてのNEDO

はじめに、NEDOはエネルギーと産業技術の

二本の柱を軸として事業を展開しています。1つは、本でご紹介するエネルギー・地球環境問題の解決に資する技術開発、例えば再生可能エネルギー（以下、「再エネ」）、新エネルギー、省エネルギーなどです。もう1つの柱は産業技術分野で、ロボット、マテリアル、IoTなどの開発を行なっております。

NEDOは研究開発法人ではありますが、自ら研究開発しているわけではなく、図1に示したように、技術戦略を策定したり、研究開発プロジェクトの企画立案を行ない、研究開発体制の構築、運営、評価する、あるいは資金配分を行うといった、研究開発のマネジメントを行う機関です。農業分野では農研機構にも生研支援センターというところがありますが、同じファンディングエージェンシーになります。

私がいま所属しているTSCは、新しいプロジェクトの立案につなげていくための前段階として、技術戦略の策定を担当している部署になります。

画・立案を担当する部署になります。国内外の研究開発の動向を、特許や論文、ヒアリング等により把握するのですが、技術面だけではなく国内外の市場動向、各プレイヤーの動向などの調査・分析も行って、将来の技術開発の方向性などをまとめた新しいプロジェクトの提案につながる技術戦略を策定しています。

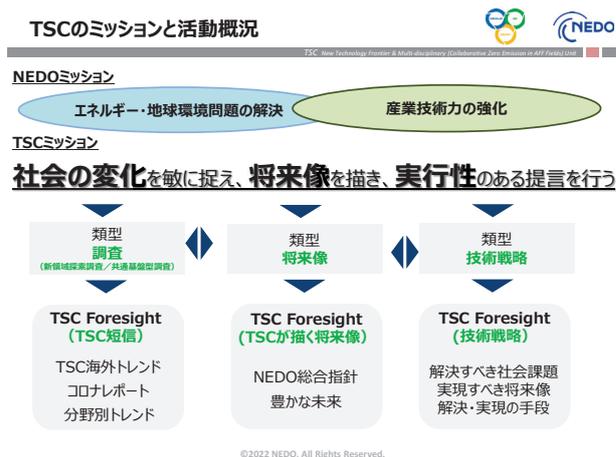


図3. TSCのミッションと活動概況

図3にTSCのミッションを示していますが、近年は、社会の変化を敏に捉え、将来像を描き、実効性のある提言を行うということに注力しています。

技術戦略を策定すれば終わりではなくて、技術戦略を施策に反映させる、新しいプロジェクトの組成につなげていくといった、出口を重視した活動に注力しているところです。

NEDOについて



機構概要

- 名称 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization)
- 設立 2003年10月1日 (前身の特殊法人は1980年10月1日設立)
- 職員数 1,412名 (2022年4月1日現在)
- 予算 約1568億円 (2022年度)  
※上記の他、基金事業を実施
- 役員  
理事長 石塚 博昭  
副理事長 及川 洋  
理事 小山 和久・久木田 正次・弓取 修二・西村 知泰・和田 泰  
監事 中野 秀昭・江上 美芽  
(2022年4月1日現在)

©2022 NEDO, All Rights Reserved.

図2. 機構概要

図2に概要を示しましたが、職員数は約1,400名、予算額は約1,568億円、これに加えてグリーンイノベーション基金などの資金管理団体にもなっています。

それからNEDOはそれぞれの開発領域で、例えば新エネルギー部、環境部、省エネルギー部といった、技術分野ごとに研究開発のマネジメントをしている、推進部と言われる部署がありますが、私が所属しているTSCは新しいプロジェクトの企

技術戦略研究センター (TSC) の体制

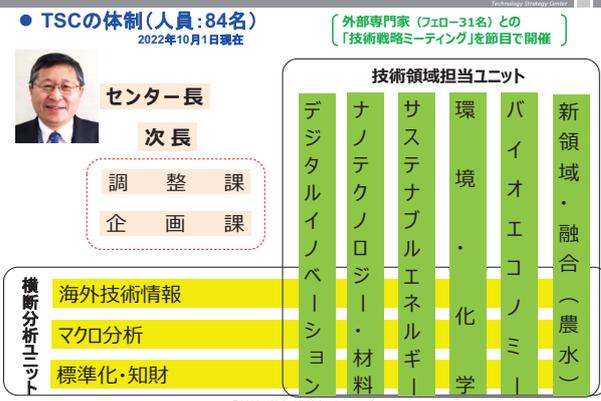


図4. TSCの体制

活動成果の公表・発信 ~TSC Foresight の発行~



- TSCの活動成果については、「TSC Foresight」として公表・発信。
- また、随時、「TSC Foresightセミナー」や「ワークショップ」を開催し、産学官のステークホルダーとの対話を実施。 ※赤字は2021年度以降公表



● 将来像  
● 技術戦略策定分野  
● 短信

2022年10月現在

● 持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 (NEDO総合指針)

● イノベーションの先を目指すべき「豊かな未来」→ 大切にすべき価値軸 / 実現すべき社会像とは→

サステナブルエネルギー分野	デジタルイノベーション分野
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 水素                     <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 超伝導</li> <li>■ 車載用蓄電池</li> <li>■ 地熱発電</li> <li>■ 太陽光発電</li> <li>■ 風力発電</li> <li>■ 次世代バイオ燃料</li> </ul> </li> <li>■ 電力貯蔵</li> <li>■ 超分散エネルギーシステム</li> <li>■ 海洋エネルギー</li> <li>■ 次世代バイオ燃料 (バイオジェット燃料)</li> <li>■ 再生可能エネルギー-熱利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ コンピューティング / 物性・電子デバイス</li> <li>■ パワーエレクトロニクス</li> <li>■ 無人航空機(UAV)システム</li> <li>■ AIを活用したシステムデザイン</li> <li>■ IoTソフトウェア</li> <li>■ ロボット (2.0領域)</li> <li>■ 人工知能を支えるハードウェア</li> <li>■ 人工知能</li> <li>■ 人工知能×食品</li> <li>■ 人工知能×ロボット</li> <li>■ 人工知能 (意味理解)</li> <li>■ 自律分散システム</li> <li>■ スマートテレオポニー</li> <li>■ 人間情報応用</li> <li>■ パワーエレクトロニクス</li> </ul>
環境・化学分野	ナノテクノロジー・材料分野
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 地球環境対策 (フロン)</li> <li>■ メタリサイクル</li> <li>■ 化学品製造プロセス</li> <li>■ 機能性化学品製造プロセス</li> <li>■ バイオマスからの化学品製造</li> <li>■ 資源循環 (プラ、アルミ)</li> <li>■ 熱エネルギー</li> <li>■ CCUS/カーボンリサイクル分野</li> <li>■ 基礎化学品の原料多様化分野</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ナノカーボン材料</li> <li>■ 機能性材料</li> <li>■ 自己組織化応用プロセス</li> <li>■ 次世代の IoT 社会に向けた ナノテクノロジー・材料</li> <li>■ 構造材料</li> <li>■ 計測分析技術</li> <li>■ 金属積層成形プロセス</li> <li>■ 温室効果ガスN2Oの抑制</li> <li>■ 電子部品用アインセラミックス</li> </ul>
バイオエコノミー分野	海外トレンド
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 生物機能を利用したデバイス</li> <li>■ 微生物群の利用及び制御</li> <li>■ 生物機能を利用した物質生産</li> <li>■ バイオプラスチック</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 海外トレンド: コロナ危機を受けた海外の動向</li> <li>■ 海外トレンド: バイデン次期大統領で変わる米国の技術イノベーション/気候変動政策</li> <li>■ 海外トレンド: 新たな環境市場を創出する欧州グリーンディール</li> <li>■ 海外トレンド: グローバルな半導体競争</li> <li>■ 海外トレンド: COP26に向けたカーボンニュートラルに関する海外主要国 (米・中・EU・英) の動向</li> <li>■ 海外トレンド: 再生可能エネルギー時代における資源獲得競争</li> <li>■ 海外トレンド: COP27に向けたカーボンニュートラルに関する海外主要国 (米・中・EU・英・独・インドネシア・エジプト・インド) の動向</li> </ul>

● コロナ禍後の社会変化と期待されるイノベーション像

● ウルビーイング社会の実現に貢献するマテリアル技術

● 環境・エネルギー分野へ貢献するバイオ産業

● 次世代に期待される情報通信技術

● ものづくり分野におけるDX

● 研究開発初期段階のCCU技術に対するLCCO2評価のガイドライン策定に向けて (「簡易LCCO2評価ガイドライン」7/29公表)

● ウクライナ・ロシアレポート

● デジタル技術の活用によるマテリアル産業競争力強化に向けて

図 5. TSCの活動成果

図 4 はTSCの体制図です。現在84名が所属しています。黄色の帯で示した横断分析ユニットが3ユニットあり、それとは別に緑の帯で示した、エネルギー、環境、材料、バイオといった技術分野を担当するユニットが6ユニット、合計9ユニットで活動しています。私が所属しているのは、緑の一番右、新領域・融合 (農水)、通称「農水連携ユニット」と呼ばれています。今から3年前の2019年に、エネルギー・環境分野において経産省と農水省の連携を強化することを目的として新しく設置をされたユニットです。

設置以降、本日のテーマとも関係があります、農林水産業のゼロエミッションに向けた活動を展開しています。具体的には、NEDOの先導研究プログラムというスキームを使って、農山漁村における再エネの活用や、エネルギーマネジメントシステムの開発、あるいは農業機械の電化、林業用ロボットの開発、畜産バイオガスの有効活用などについて推進部と一体となって開発、実証を進めています。

また、先ほどTSCは、将来の技術開発の方向性や新しいプロジェクトの提案につながる技術戦略の策定が業務と説明しましたが、これまで約80の技術戦略を策定してきました。また、我々のミッ

ションとして実効性のある提言を行うと説明した通り、これまで策定した技術戦略をもとにして、110のプロジェクトの組成につなげてきました。図 5 に示した通り、各技術分野で策定した技術戦略が、TSC Foresightという形で戦略の一部を公表しています。技術戦略そのものは非公開になっており、全てを閲覧することはできませんが、公表可能な範囲を再編してTSC Foresightとして公表しています。今年10月末に、農水連携ユニットで、本日のテーマとも関係がある、「農山漁村における自律分散型エネルギーシステム分野の技術戦略」を策定し、NEDOのWebサイトで

背景～農林水産分野におけるゼロエミッション化を巡る動向～

- 2020年10月、日本は『2050年カーボンニュートラル』を宣言。2021年4月には、2013年度からの温室効果ガス46%削減を目指すとともに、さらに、50%の高みに向け挑戦を続けていくことを表明。
- 削減目標達成に向けて、2030年度におけるエネルギー需給の見通しとして、再生可能エネルギー (以下、「再エネ」) の割合を36～38%と見込んでいる。(第6次エネルギー基本計画、2021年10月)
- 2021年5月に策定された「みどりの食料システム戦略」(農林水産省)において、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立を実現すべく、革新的な技術・生産体系の段階的な開発、社会実装を推進することとしている。
- 2021年6月に策定された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、食料・農林水産業が重要分野の一つに位置付けられた。



農山漁村特有の課題克服と持続的な農作物のサプライチェーンの構築を統合的に推進し、農山漁村におけるカーボンニュートラルの実現に資する技術開発の方向性を検討

※ここでは、再エネ利用の面で高いポテンシャルが期待される農業・農山村を対象とする。 reserved.

図 6. 農林水産分野におけるゼロエミッション化を巡る動向

公表しております。本日はこのTSC Foresightに沿ってお話いたします。

まず、このテーマに取り組んだ政策的な背景ですが、先に述べた通り2020年、当時の菅首相が、2050年カーボンニュートラルを宣言しました(図6)。翌2021年に温室効果ガス46%削減へ、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けていくことを表明しております。さらに農水省では、みどりの食料システム戦略が策定され、生産性向上と持続性の両立を実現するための技術について取りまとめられ、2050年までの農林水産業のCO<sub>2</sub>ゼロエミッションが示されたところです。また、同年、2021年6月には、政府において2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略が策定され、この中で食料、農林水産業も重要分野の一つに位置付けられました。カーボンニュートラル、ゼロエミッションに向けて、農林水産分野での取り組みも非常に期待されているところと認識しております。

また、同年作成された第6次エネルギー基本計画では、削減目標達成に向けて2030年度時点でのエネルギー需給の見通しが示されています。この中で、再エネの割合が現在の18%からおよそ倍に拡大すると見込まれているところです。このような政策的な背景を受け、我々でも、図6の下枠

背景～食料・農林水産業が直面する課題～



- ④ 農林水産業における温室効果ガス (GHG) 排出
- 世界の人為起源のGHG年間排出量 (約520億t-CO<sub>2</sub>) のうち、農業・林業・その他土地利用 (AFOLU※) が約23% (約120億t-CO<sub>2</sub>) を占める。
  - 日本国内では、2020年度時点のGHG総排出量 (11億5,000万t-CO<sub>2</sub>) のうち、農林水産分野が約4.4% (約5,048 t-CO<sub>2</sub>) を占める。
  - **世界規模で削減に向けた取り組みが急務。**

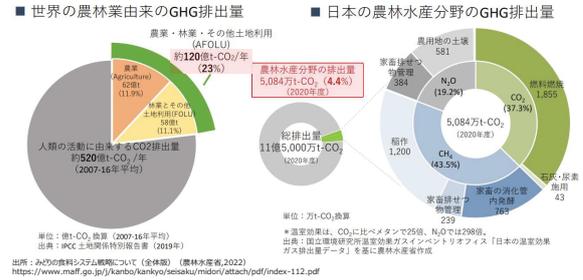


図7. 食料・農林水産業が直面する課題

のとおり、農山漁村特有の課題克服と持続的な農作物のサプライチェーンの構築を統合的に推進して、農山漁村におけるカーボンニュートラルの実現に資する技術開発の方向性を検討しています。

続いて農林水産業における課題です(図7)。農林水産業はCO<sub>2</sub>の吸収源であるとともに、排出源でもあります。排出に着目すると、左は世界全体のGHG排出量ですが、人間の活動に伴う年間GHG排出量のうち、農業および林業・その他土地利用に由来する、いわゆる農林業由来のGHGは23%と、全体の1/4を占めており、世界規模で削減に向けた取り組みが急務であると認識して

背景～食料・農林水産業が直面する課題～



■ 農林水産分野におけるGHG排出量を削減する対策

<p><b>農地や森林、海洋によるCO<sub>2</sub>吸収</b></p> <p>【技術開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>海藻類の増殖技術等、<b>ブルーカーボンの創出</b></li> <li><b>バイオ炭</b>の農地投入や早生樹・エリートツリーの開発・普及等</li> <li>高層建築物等の木造化や改質リグニンを始めとしたバイオマス素材の低コスト製造・量産技術の開発・普及</li> </ul>	<p>■ 目標コスト</p> <p>■ CO<sub>2</sub>吸収量</p> <p>産業持続可能なコスト</p> <p>119億トン/年*</p>	<p>【施策】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>バイオ技術による要素技術の高度化</li> <li>先導的研究から実用化、実証までの一貫実施</li> </ul>	<p>吸収源対策</p>
<p><b>農畜産業からのメタン・N<sub>2</sub>O排出削減</b></p> <p>【技術開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>メタン発生</b>の少ないイネや家畜の育種、N<sub>2</sub>Oの発生削減資材の開発</li> <li>メタン・N<sub>2</sub>Oの排出を削減する<b>農地、家畜の管理技術</b>の開発</li> <li>メタン・N<sub>2</sub>Oの削減量を可視化するシステムの開発</li> </ul>	<p>■ 目標コスト</p> <p>■ CO<sub>2</sub>潜在削減量</p> <p>既存生産プロセスと同等価格</p> <p>17億トン/年**</p>	<p>【施策】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>産学官による研究体制の構築</li> </ul>	<p>排出源対策</p>
<p><b>再エネの活用&amp;スマート農林水産業</b></p> <p>【技術開発】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>農山漁村に適した<b>地産地消型エネルギーシステムの構築</b></li> <li>作業最適化等による燃料や資材の削減</li> <li><b>農林業機械や漁船の電化、水素燃料電池化等</b></li> </ul>	<p>■ 目標コスト</p> <p>■ CO<sub>2</sub>潜在削減量</p> <p>エネルギー生産コストの大幅削減</p> <p>16億トン/年**</p>	<p>【施策】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>産学官による研究体制の構築</li> </ul>	

\*削減量・吸収量は世界全体における数値をNEDO等において試算。 \*\*潜在削減量は世界全体における数値を農林水産省において試算。  
 出所: みどりの食料システム戦略(参考資料) (全体版) (農林水産省) を基にNEDO技術戦略研究センターにて作成  
<https://www.maif.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/team1-153.pdf>

図8. 食料・農林水産業が直面する課題

います。

農水省で公表しているみどりの食料システム戦略の中では、農林水産分野について、GHGの吸収源対策と排出源対策として整備されています(図8)。吸収源対策としては、農地や森林、海洋におけるCO<sub>2</sub>吸収促進があり、これについてはNEDOのグリーンイノベーション基金(GI基金)2兆円の中で、土壤中の炭素を貯留する高機能バイオ炭の開発、林業分野では、木材利用を拡大して、植林から管理、伐採までのサイクルを回していくための高層建築用の大断面部材の開発、水産分野ではブルーカーボンと言われる炭素貯留機能が期待できる海藻類の増殖技術の開発を課題化して、先日までNEDOホームページで公募をしていたところです。さらに、農畜産業からのメタン・CO<sub>2</sub>の排出削減について、現在は内閣府のムーンショット事業等で国立研究開発法人(以下、「国研」)や、大学、企業等が取り組んでいると承知しています。

こうした中で、我々は、図8の表の3段目にある再エネの活用とスマート農林水産業に着目しています。特に農山漁村に適した地産地消型エネルギーシステムの構築、農林業機械の電動化といった分野について、経産省と農水省の連携領域ということで注目しているところです。

特に地産地消型エネルギーシステムの構築については、電力網や電力の制御を所管する経産省、再エネ資源を豊富に有する農山漁村を所管する農

水省の連携領域があると考えています。また、農林業機械の電動化については、後ほど吉永氏からご報告あるかと思いますが、農作業に適した高密度のバッテリー開発、低速で高トルクなモータ開発といった部分で、経産省と農水省の連携が可能ではないかと考えています。

次に、課題として農林水産業における化石燃料依存からの脱却が挙げられます。現在、9割以上を化石燃料に依存している状況で、昨今のウクライナ情勢を見ても、地政学上のリスクや、国際的な市場の影響等も考えると、持続的な農業経営の観点からも再エネ利用等、持続可能なエネルギー調達により化石燃料からの脱却が不可欠であると認識しています(図9)。

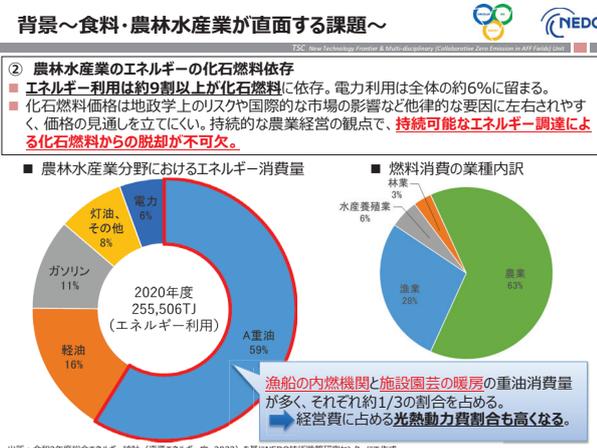


図9. 農林水産業のエネルギー

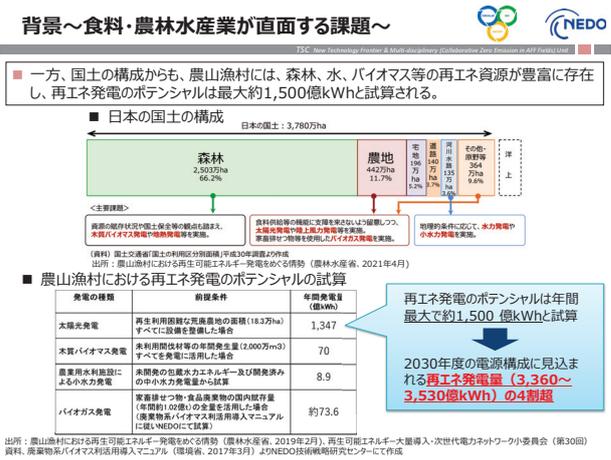


図10. 農山漁村における再エネ発電のポテンシャル

一方で、農山漁村には森林、水、バイオマス等の再エネ資源が豊富に点在をしていて、この再エネ資源のポテンシャルが最大1,500億kWhと試算されています(図10)。例えば、再生利用が困難な荒廃農地に太陽光発電施設を設置した場合、約1,300億kWhのポテンシャルがあると試算されます。また、家畜排せつ物や食品廃棄物の国内賦存量の全量をバイオガス発電で利用した場合の発電量は74億kWhと試算されます。この1,500億kWhは、第6次エネルギー基本計画で、2030年度の電源構成に見込まれる再エネ発電量の約4割に相当しており、農山漁村における再エネ資源の有効活用は重要な課題だと認識しています。

また、農山漁村に特有の社会課題としては、人口減、高齢化に伴う農業の担い手確保難、さらには農地などの資源、地域コミュニティの維持などが急務となっています。

また、近年頻発する気象災害へのレジリエンス強化も課題であると認識しています。

農林水産業のゼロエミッション実現に向けた将来像

- 食料・農林水産業が直面する課題を受け、課題解決と地域社会・経済の活性化、レジリエンス強化につながる、目指すべき地域循環の姿を「**自律分散型エネルギーシステム**」と定義。
- 農山漁村において「**エネルギー・チェーン**」「**サプライ・チェーン**」「**バリュー・チェーン**」の3つの要素が相互連携の上、全体で生じる有機的機能を最大化し、電力等のエネルギー資源、農業の生産資源、農作物等の流通、地域経済等の地域資源の好循環を生み出す仕組み。
- 農山漁村における自律分散型エネルギーシステムのイメージ

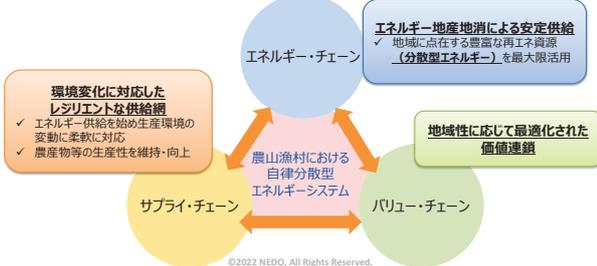


図11. 農林水産業のゼロエミッション実現に向けた将来像

以上の食料・農林水産業が直面する課題の解決と地域社会経済の活性化、レジリエンス強化につながる仕組みとして、図11に示した、エネルギーチェーン、サプライチェーン、バリューチェーンの3つの要素に整理しています。エネルギーチェーンについては、農山漁村に点在する豊富な再エネ資源、分散型エネルギーの最大限の活用によるエネルギーの地産地消、サプライチェーンについては、生産環境の変化、再エネ利用下においても農業の生産性を低下させずに、維持・向上を図っていくレジリエントな供給を行っていくこと、バリューチェーンについては、従来の域外からエネルギーを購入し、お金が域外に出て行くのではなく、地産地消と共に余ったエネルギーを域外に供給して域外から域内にお金を呼び込む仕組みを構築し、地域の活性化につながる好循環を生み出すことが重要と考えています。

3つの要素の中央に示した農山漁村の自律分散型エネルギーシステムは、これら3つの要素を相互に連携させるものと位置づけています。

次に自律分散型エネルギーシステムについて説

自律分散型エネルギーシステムを取り巻く動向

図12. 自律分散型エネルギーシステムを取り巻く動向

明します(図12)。上のコラムに自律分散型エネルギーシステムの実現に向けて、再エネ資源と分散型エネルギーの速やかな地域導入、適切なマネジメントシステムの構築が重要と示しています。分散型エネルギーとは、従来のエネルギーシステムというのは大規模集中型だったわけですが、それに対して、地域に点在する再エネ資源とか、未利用熱など比較的小規模かつ地域に分散したエネルギーを分散型エネルギーと呼んでいます。こうした分散型エネルギーを、一定規模のエリアで面的に利用するシステムを自律分散型エネルギーシステムと呼んでいます。こうした分散型エネルギーですが、地域の特徴を踏まえた多様な再エネ資源の組み合わせを最適に活用するといったことがポイントになります。図12の右の表に示したように、その意義としては、エネルギー供給のリスク分散や、エネルギーの効率的利用などに加えて、地域資源の有効活用とか、地域のエネルギー関連産業の発展などを通じて、地域経済の活性化へ貢献するなどの意義があるとされています。こうした地域の分散型エネルギーの利用を促進する主体として地域新電力が挙げられます。地域新電力は地域の再エネを活用して電気を地域に供給し、得られた利益を地域に還元する事業者で、現在703事業者が登録されています。このうち自治体の出資を受けているものは自治体新電力と呼ばれ、地域新電力を介した再エネの活用事例が各地で蓄積されつつあるところではあります。

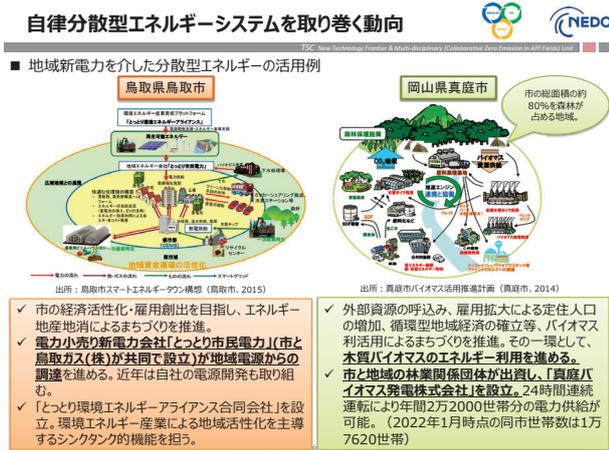


図13. 鳥取市・真庭市の事例

例えば、鳥取市と岡山県真庭市では、市が出資した新電力会社が地域に電力や熱を供給する取り組みを行っています(図13)。今後はこのような事例の蓄積と合わせて、既知の再エネ資源のみではなく、地域の未利用資源を含めて資源ポテンシャルとして地域で把握し活用していくといったことや、そのための地域ごとの再エネ資源の賦存量や需給パターンの把握、地域の特性に合わせたモデルの構築などが重要になると考えています。これについては後で詳説します。

**自律分散型エネルギーシステムを取り巻く動向**

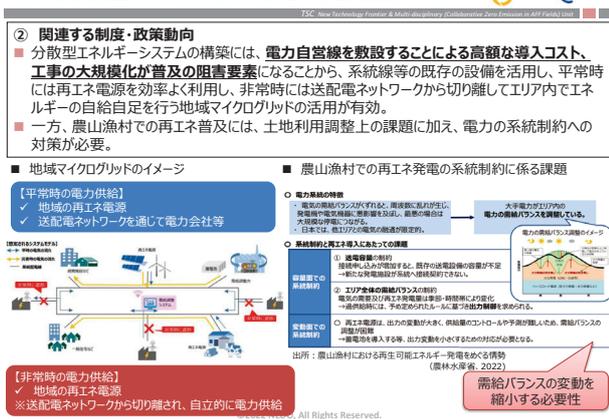


図14. 関連する制度・政策の動向

関連する制度としては、地域マイクログリッドがあります(図14)。再エネ資源は、これまで電力を使うだけだった地域から太陽光発電などで発電されて余った電力を電力網に流せるようになっており、制御の信号や情報が相互にやりとりする

ようになっていますが、こうした電力や情報の双方のやりとりをICTで制御するシステム、技術がスマートグリッドになります。従来、スマートグリッドの対象は大規模な電力網でしたが、対象エリアを町や地域の電力網にしたものが地域マイクログリッドになります。地域マイクログリッドを活用することで、高額なコストをかけて電力自営線を敷設するのではなく、既存の系統線を活用して、平常時には再エネを効率よく利用して、非常時には送配電ネットワークから切り離してエリア内でエネルギーの自給自足を行うことが可能になります。一方で、農山漁村には電力の系統制御に係る課題もあると認識しています。容量面での制約に加えて、供給量のコントロールや予測が難しく、需給バランスの調整が難しいといった課題もあり、いかに需給バランスの変動を最小限に抑えるかが重要な課題になると認識しています。こうした分散型電源のネットワーク形成に向け、電気事業法も改正をされています。2020年の改正では、分散型電源の導入促進に向け、電力会社と需要家の間で需給のバランスを調整する事業者を、アグリゲーターとして位置づけ、このアグリゲーターが太陽光発電や自家発電等の分散型エネルギーの取りまとめを行ない、電力会社との間で需給バランスを調整することで再エネ分散型電源の導入促進が期待されています。

**自律分散型エネルギーシステムを取り巻く動向**

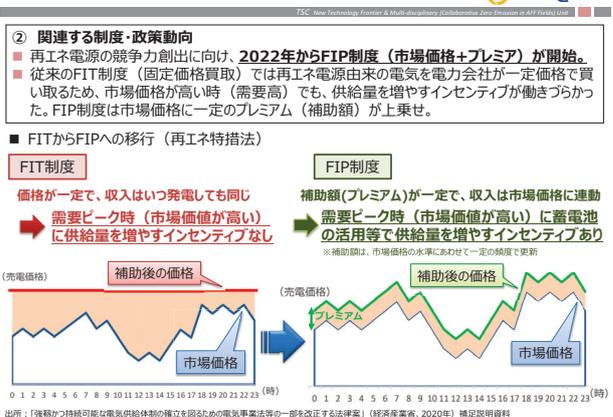


図15. FITからFIPへの移行

また、2022年からは従来のFITと呼ばれる固定

価格買取制度からFIP制度に移行しています（図15）。需給と供給のバランスを取り、市場価格に連動したプレミアムが上乘せられることで、例えば需要ピーク時に再エネ発電事業者が供給量を増やすインセンティブが働くことが期待されているところです。

農山漁村における自律分散型エネルギーシステム構築に向けた技術的課題 (NEDO)

- 点在する複数の再エネ資源を統合制御し、活用するノウハウ・手法等の確立が必要。
- 地域資源の活用と経済循環を共に高めるため、**エネルギー・マネジメントシステム (EMS※)**の構築と経済循環を生む**再エネの地産地消型モデルの構築**が必要。
- 「自律分散型エネルギーシステム」の実現へ向けて、「**農山漁村に適したEMSの構築**」「**再エネ活用下の農業生産性の維持・向上**」「**地域循環モデルの構築・発展**」の3点を一体的に取り組むことが重要。

※Energy Management System：ここでは、利用可能な複数のエネルギー資源間の融通(シフト)と取引性効果的に調整し、電力システムの信頼性、安全性、効率的運用のために様々な状況下で経済的に負荷に電力を供給することを意味する。

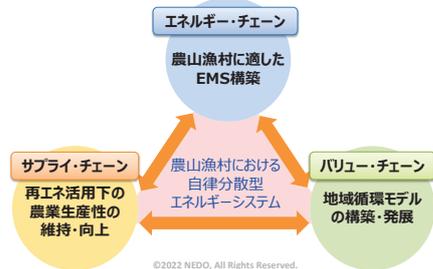


図16. 農山漁村におけるエネルギーシステムの構築の課題

以上、自律分散型エネルギーシステムを取り巻く動向ですが、これらを農山漁村に適用するためのフレームとして、将来像に合わせて整理をしたのが図16になります。エネルギーチェーンについては、農山漁村に適したエネルギー・マネジメントシステム（以下、「EMS」）の構築、サプライチェーンについては再エネ活用下での農業生産性の維持・向上、バリューチェーンについては、地域循環モデルの構築、この3点を一体的に取り組むことで

農山漁村における自律分散型エネルギーシステム構築に向けた技術的課題 (NEDO)

EMS (エネルギー・マネジメント・システム) とは何か

EMSの従来の定義

- ICTを用いて、変電や発電所、店舗、工場などの空調、照明、動力などのエネルギー(電圧・ガス等)の使用状況を見える化し、最適化するシステム。
- 主に省エネによるエネルギーコスト削減を目的とする。管理範囲によってEMSとも呼ぶ(HEMS、BEMS、FEMS、CEMS等)

近年の制御対象の動向

- 再生可能エネルギーの変動性
- 分散リソース(蓄電池システム、燃料電池、蓄熱機)の調整能力
- 電気自動車の充放電の不確実性
- 電力価格(市場)に反応する負荷

EMSの新しい定義

- 利用可能な複数のエネルギー資源間の融通(シフト)と取引性を効果的に調整し、電力システムの信頼性、安全性、効率的運用のために様々な状況下で経済的に負荷に電力を供給する。
- 目的は、経済性を中心として、技術的解決(システムの性能向上、電力品質の改善、寿命の向上、メンテナンスとダウンタイムの削減)を含む。

EMSの意義

DERMS<sup>+</sup>へと進化

- 電力システムにおける新たな電源や革新的な負荷の潜在的な能力を最大限に活用

※ DERMS: Distributed Energy Resource Management System  
分散型エネルギー資源マネジメントシステム

出所：(国研)産業技術総合研究所提供資料

図17. EMSとは

地域資源の活用と経済循環を共に高めていくことが重要と考えています。

ここで、EMSですが、これまで説明してきたマイクログリッドも包含した広い概念になります(図17)。一般的にはICTを使ってエネルギーの使用状況を見える化・最適化するためのシステムであり、かつ複数のエネルギー源を調整し、電力システムの安全性や効率的な運用に資するものと定義をされています。EMSは、管理する範囲、対象とするエリアが、家庭(Home)であればHome energy Management System、HEMSと呼ばれ、建物(Building)ならBEMS、街・地域(Community)であればCEMSと呼ばれ、実証、導入が進められているところです。これを農山漁村(Village)に適用しようとしているのが、Village Energy Management System、つまりVEMSになります。

近年、このEMSの制御対象が、これまでの事業所や店舗、工場などの空調・照明等の使用状況の見える化・最適化といったものから、再エネの変動性、あるいは分散リソースの調整力といったところに研究対象が広がってきています。EMSの研究者からも、農山漁村における需要と供給の変動、調整能力の制御に注目が集まっています。

開発要素としては予測技術、シミュレーション技術等ですが、例えば、いつ、どのぐらいの農作物、米とか野菜が収穫できて、集出荷施設、乾燥施設等の稼働による電力や熱の消費量を予測して、シミュレーションする場合、収量・収穫時期の予測が非常に重要なデータになってきます。収量予測技術については、農研機構を中心に開発が進められていますが、集出荷時期のコントロールだけではなく、EMSにとって非常に重要なデータになると考えています。

また、農山漁村を対象エリアとする場合は、農林水産業に特有の集出荷施設や乾燥施設の需要側における電気や熱の消費の変動や、太陽光など供給側の変動を把握して予測し、需給バランスを調整することも重要になってきます。

そこで、農山漁村に適したEMSとして、VEMSの構築を提案しています。農山漁村は、水田、畜産、施設園芸といった営農類型の違いによって需要のピークに違いがあり、また、木質バイオマスが豊富な山村、バイオガスの資源が豊富な畜産地帯といったように地域によっても供給側のポテンシャルが異なっています。それぞれの地域に応じた、供給側の複数のエネルギー源と、それに対する営農類型ごとのエネルギー需要とを調整するということがVEMSの基本概念になります。例えば、水田・畑作地帯では太陽光や小水力等の発電ポテンシャルがありますが、一方で農業に紐づく電力需要は少ないことから、余剰電力の発生したときは地域外に供給するか、あるいは地域連携で活用することで、エネルギーの安定供給への貢献ができるのではないかと考えています。

従来、個別の再エネ施設、例えば耕作放棄地への太陽光パネル設置や、畜産バイオマス施設等に対する個別の政策支援はありました。こうした個別の再エネ施設の高性能化や効率化ということも重要ですが、さらなる拡大のためには、需要側と供給側を制御し最適なエネルギー管理をするEMSの構築が農山漁村でも非常に重要だと考えています。

このためには、供給可能な再エネと農業生産における電力需要、熱需要量を地域全体で計測し可視化して、さらには予測し最適な制御をするマネジメント技術の開発が重要になると考えています。



図18. VEMSのイメージ図

ここに、電力および電力の制御を所管する経産省と、再エネ資源を豊富に有する農山漁村を所管する農水省の連携領域があると考えています。

図18はVEMSのイメージ図になります。こちらは現在、農研機構を中心に開発を進めています。制御対象とする供給源としては、太陽光、小水力そして熱です。熱も非常に重要な要素になると考えています。



図19. 再エネ活用下の農業生産性の維持・向上

次に、再エネ活用下においても、農業生産性を低下させることなく維持・向上させていくことが非常に重要だと考えています(図19)。先ほど、スマートグリッドに少し触れましたが、電力や情報の双方のやり取りをICTで制御するというのがスマートグリッドですが、これを農山漁村に適用する場合に、生産流通現場で得られたいろいろなデータとEMSを連携することで、エネルギーの最適化だけでなく経営の効率化や生産性の向上につなげていくといった視点が重要と考えています。収量予測との連携であるとか、図19に示した、施設園芸の高度環境制御との連携、再エネ電源を使って電動農機を動かす場合の電動農機との連携の実証も重要だと考えています。また個別の開発要素として、ほ場に設置した太陽光パネルの下で営農を行う、営農型太陽光発電の取り組みが始まっていますが、こうした再エネ活用と営農を両立させる技術確立が重要と考えています。特に営農型太陽光発電については農地利用の面で課題があるこ

とは承知していますが、生産性を低下させない作物選定、栽培方法の工夫など、研究の余地があると認識しています。

農山漁村における自律分散型エネルギーシステム構築に向けた技術的課題



図20. 地域循環モデルの構築・発展

最後の課題は、地域循環モデルの構築・発展になります(図20)。分散型エネルギーシステムの構築は、エネルギーの安定供給や、再エネ、未利用熱の利用によるエネルギーの効率的な利用、系統負荷の軽減といった意義に加え、地域経済の活性化に貢献するなどの意義もあると言われています。農山漁村においても、生産から流通までのエネルギーロス削減や、発電利益、売電利益の活用による、従来の域外からエネルギーを購入して、お金が域外に出て行くといった流れではなく、地産地消しながら余剰電力を域外に売る、利益を地域の活性化や6次化に生かす等の、地域に利益を呼び込む視点が重要と考えています。先にも述べた、自治体新電力による再エネ活用による地域活性化の事例も蓄積されてきており、さらなる事例の蓄積、その分析ということが重要だと思っています。

東海地区では岐阜県恵那市に自治体新電力が設立されており、今年から再エネ利用以外の社会的、経済的な価値の見える化に、岐阜大学と共同研究をスタートするという報道を目にしました。このような事例の蓄積と分析が重要と考えます。

次に、関連技術分野の特許動向、市場動向についてお話しします(図21)。分散型エネルギーシ

関連技術分野の特許動向(スマートグリッド、スマート農業)

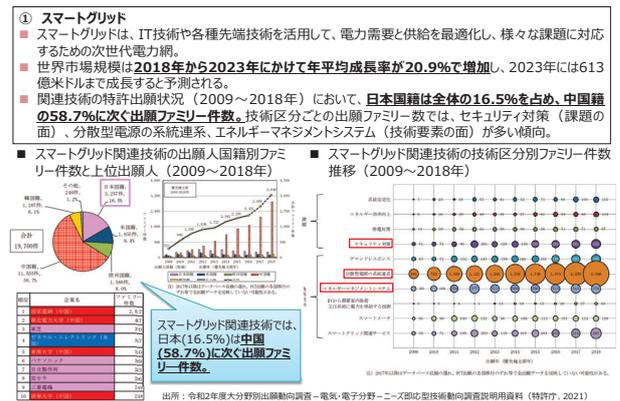


図21. 関連技術分野の特許動向

ステムで重要な技術要素となるのがスマートグリッドになりますが、この分野の世界の市場規模は、2018年から2023年にかけて20%増加するとの報告があります。関連技術の特許出願を見ると、日本が16.5%で、中国に次いでいる状況になっています。プレーヤーを見ると、1位、2位は中国メーカーですが、3位に東芝、6位にパナソニック、7位に日立製作所が入っています。

技術分野では、セキュリティ対策、分散型電源の系統連系、EMSといったところが多い傾向にあります。VEMSについては、将来的には日本の気候や営農形態が似ているアジア地域への展開が期待されるのではと考えています。

現在、全国で実証が進められているスマート農業、本シンポジウムのテーマでもありますが、スマート農業の世界の市場の規模については、2019年の132億ドルから2025年には220億ドルまで成長するという報告も出ています。スマート農業関連技術の特許出願では、日本は15%を占めており、中国に次ぐ出願件数になっています。プレーヤーで見ると、1位が株式会社クボタ、2位が井関農機株式会社、5位がヤンマーホールディングス株式会社ということで、日本の競争力の優位性が示唆される分野だと考えています。またこの分野は再エネ資源を活用した電動農機との相性がいいと考えています。電動化によって、その高い制御性能による精密管理とか、農業機械の知能化とか、これに伴っていろいろなデータが取れるといった

メリットがあると思っています。

また、日本は30馬力前後の小型トラクタに強みがあると認識しており、電動化された無人小型トラクタによる複数台協調作業などの分野は日本の強みだと思っています。そもそも、世界人口の増加に伴う食料需要の増加を受け、農業機械の市場規模は拡大が見込まれる分野になっていますが、一方で、近年のモビリティ分野におけるさまざまな規制や脱炭素化の流れもあり、今後は、電動化も含めた炭素化に向けた研究開発が急務になっていると認識しています。

技術開発の方向性

- 「自律分散型エネルギーシステム」の実現へ向けて、「農山漁村に適したEMSの構築」「再エネ活用下の農業生産性の維持・向上」「地域循環モデルの構築・発展」の3点を一体的に取り組むことが重要。
- 導入地域の地域特性（地形・気象・農業形態等）の調査、地域に適したEMSプラットフォームの構築、個別要素技術の適合による包括的な地域循環モデルの構築が必要。さらに、システムの全体最適化に向けて、事例の検証・分析を蓄積することが求められる。

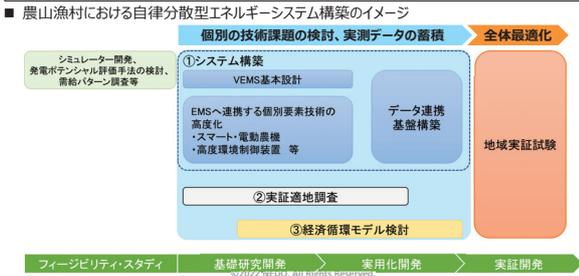


図22. 農山漁村における自律分散型エネルギーシステム構築

最後に技術開発の方向性ですが、農山漁村に適したEMSの構築、再エネ活用下での農業生産性の維持・向上、地域循環モデルの構築といったことを一体的に取り組むことが重要だと思っています（図22）。

現在、フィージビリティスタディー（以下、「FS」）の段階ですが、シミュレーターの開発、発電ポテンシャルの評価手法の検討、農山漁村特有の需給パターンの調査などを実施しているところです。次のフェーズとしては、具体的なシステムの構築とか、実証の適地調査とか、地域に応じた循環モデルの検討などを行って、データを蓄積し、実証開発のフェーズにつなげていきたいと考えています。また、基礎段階では電動農機とか、環境制御システムとEMSの連携が重要な開発要素になってくると考えています。

ここまでNEDOで考える農山漁村におけるゼロエミッション実現に向けた戦略についてご説明してきましたが、ここからは、こうした戦略を踏まえて、現在NEDOでどのような取り組みを行っているのか、ご紹介したいと思います。

農林水産分野のゼロエミッションに関連するNEDO事業のご紹介

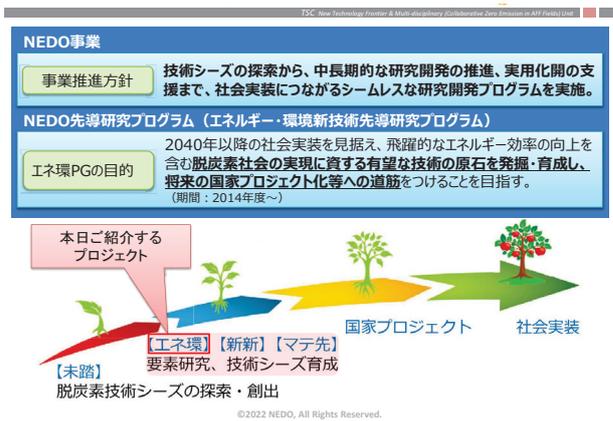


図23. 農林水産分野のゼロエミッションに関連するNEDO事業

NEDOでは、国家プロジェクトにつなげる前の段階として、技術シーズを発掘してFSを行う先導研究プログラムというスキームがあります。これは有望な技術の原石を発掘・育成し、将来の国家プロジェクト等への道筋をつけることを目的としたものです。図23に示した通り、国家プロジェクトにつなげるための前段階、このスキームを使って、農林水産分野のゼロエミッションに関連する実証研究をいくつか実施中です。

その一つが前出のVEMSの開発です。農山漁村地域の再エネ資源は変動が大きく広域に点在しているため、低コストかつ効率的に利用する技術の開発が求められています。それを背景として農山漁村地域のRE100を実現するため、地域内の電力・熱といったエネルギー供給量と需要量の予測および制御により、需給バランスを調整するVEMSを開発しています。この実証事業は農研機構を代表機関とし、産総研、三菱電機株式会社、早稲田大学、東京大学など9組織が分担して取り組んでいる課題になります。

具体的には、水田作、畜産、施設園芸、さらに漁村も一部モデルに含むのですが、データを収集

して、VEMSの要件定義やエネルギー需給パターンの分析、太陽光・小水力等の再エネ資源のポテンシャル評価手法の開発に取り組んでいます。

農林水産分野のゼロエミッションに関連するNEDO事業のご紹介 NEDO

**畜産系バイオガスのメタノール・ギ酸変換技術の開発**

**<研究開発の目的と内容>**  
 家畜ふん尿等のメタン発酵により生成するバイオガスは、売電用途で利用されている。電力系統容量の制限等により売電事業が困難となっていること、またその利用において貯蔵・運輸の面で課題があるなど、**売電以外のエネルギー等利活用が求められており、液体有用ケミカル生産を目指す。**  
 革新的な光酸化技術により、バイオガスに含まれるメタンから**常温・常圧でメタノールとギ酸を直接製造するプロセスの開発**を行う。また、本製造プラントを核とする**地域エネルギー資源の利活用を目的としたカーボンニュートラル地産地消システム構築に向けた要素検討**を行う。

**<研究開発項目>**  
 ① バイオガスの光酸化反応の開発  
 ② 光酸化反応パイロットプラント構築  
 ③ 経済性と環境性を高める排液リサイクル技術の開発

**<実施体制>**  
 エア・ウォーター北海道株式会社  
 国立大学法人 大阪大学

**<カーボンニュートラル循環型酪農システムの構想図>**

図24. 畜産系バイオガスのメタノール・ギ酸変換技術の開発

図24は畜産系バイオガスのメタノール・ギ酸変換技術の開発です。これまで北海道の酪農地帯などでは、家畜ふん尿をメタン発酵させ、電力や熱に変えて利用する取り組みがなされてきましたが、電力系統の制限で売電事業が困難になっているとか、また原料の家畜ふん尿の貯蔵や運搬にも課題があるということで、売電以外の活用方法として、家畜ふん尿由来のメタンから常温常圧でメタノールとギ酸を製造するプロセス開発に取り組んでいます。原理は大阪大学が開発したものです。最終的に、メタノールは工業原料として、ギ酸は家畜飼料の添加剤に利用することを想定しています。実施機関はエア・ウォーター北海道株式会社と大阪大学です。現在、北海道興部町にパイロットプラントを設置して実証試験を行っております。将来的には地域エネルギー資源の利活用を目的としたカーボンニュートラルな循環型酪農システムを目指して取り組んでいます。

次に、植物工場向けデマンドレスポンス(Demand Response: 以下、「DR」) 生育維持システムの基盤技術開発になります。電気は作り過ぎても足りなくても良くなくて、需給バランスをとることが重要になりますが、その仕組みの一つがDRです(図25)。DRは、需要側の電力消費量

農林水産分野のゼロエミッションに関連するNEDO事業のご紹介 NEDO

**植物工場向けDR・生育維持システムの基礎技術開発**

**<研究開発の目的と内容>**  
 再エネ導入時の出力変動(供給量の変化)に対応するため、システムの柔軟性(需給バランスを柔軟に調整できる)が重要。特に、**離島では、エネルギー需要量と供給量が小さく、再エネ導入の不安定性の問題が想定される。**  
 離島において生鮮野菜の安定供給に適する人工光型植物工場を対象に、**生産性を維持しつつ、デマンド・レスポンス(DR※)の調整力として活用**するため、DR対応植物工場の設計、生長影響評価・生育維持技術、DR応答システムの開発・評価等を行う。  
 ※需要家が電力消費量を制御することで、電力需要パターンを変化させること。

**<研究開発項目>**  
 ① 再エネで稼働可能な植物工場の設計・設置  
 ② 環境変化が植物栽培に及ぼす影響調査  
 ③ DR発動に応じた成長維持技術の開発  
 ④ 植物工場用エネルギーマネジメントシステム(PEMS)の開発  
 ⑤ 電力系統の調整力リソースとしての植物工場のポテンシャル評価

**<実施体制>**  
 一般財団法人 電力中央研究所  
 株式会社 ネクステムズ  
 国立大学法人 佐賀大学

**<プロジェクトイメージ図>**

図25. 植物工場向けDR・生産維持システムの基礎技術開発

を制御することで、電力の需給バランスを取る仕組みですが、これを太陽光発電を使った完全閉鎖型植物工場を対象に実証しているものになります。将来、植物工場をDRの調整力として活用することを想定して取り組んでいます。実証地は宮古島で、実施機関は電力中央研究所、株式会社ネクステムズ、佐賀大学です。具体的には、DR発動時に応じた植物の成長への影響や、成長維持に向けた技術開発を行っています。

具体的には電力需給がひっ迫した際、需要側、即ち植物工場の機器の出力を落としたり、あるいは止めたりして植物工場の中の溶液の循環、空調等を停止したり、LED照明を落とした場合、工場内の農作物への影響について調査しています。最終的には、電力系統の調整力リソースとしての植物工場のポテンシャルを評価するものです。

農林水産分野のゼロエミッションに関連するNEDO事業のご紹介 NEDO

**機械負荷制御導入による電動農機・農業ロボットの最適エネルギー・作業管理技術の開発**

**<研究開発の目的と内容>**  
 農業機械の電動化に必須となる**各種の機械負荷制御技術**を構築し、電動農機の社会実装を促すとともに、**急峻斜面地でも安定自律走行可能な走行ユニットの開発を企画設計と一体的に推進**する。  
**最適エネルギー管理と作業管理を両立**することで、農業機械の安全性や作業精度を常に監視できる技術として、ロボット農業システムや電動農業機械の社会実装を目指す。

**<研究開発項目>**  
 ① 機械負荷感知による制御方法の構築  
 ② 急峻斜面地向け自律走行ロボットの機械負荷制御とロボット高適応性圃場設計の検討

**<実施体制>**  
 国立大学法人 愛媛大学  
 井間農機株式会社  
 愛媛県農林水産研究所

**電動化の技術課題に取り組む農業機械のタイプ**

- Type 1: 高トルク農機  
電動乗用モーターのエネルギー消費削減技術の構築
- Type 2: 低トルク農機  
電動乗用管理機の最適制御システムの構築
- Type 3: トルク分散農機  
コンバイン風通部分の電動化による作業精度検知技術の構築
- Type 4: 小型農機ロボット  
急峻斜面地向け自律走行ロボット開発とロボット高適応性圃場設計

**<プロジェクトイメージ図>**

図26. 電動農機・農業ロボットに関する技術の開発

最後に紹介するのが電動農機に関する技術開発です（図26）。実施機関は愛媛大学、井関農機株式会社、愛媛県農林水産研究所です。電動農機については高い制御性による精密管理や、農業機械の知能化、これに伴ってさまざまなデータが取れるといったメリットがあると申し上げましたが、一方で、トラクタでは高負荷な連続作業を行うため、農作業に適した高容量のバッテリーが必要になるといったことや、低速で高トルクの走破性が求められる農作業に適したモータが求められるといった課題もあります。本研究では、農機を高トルク農機、低トルク農機、コンバイン等のトルク分散型農機、運搬用の小型農業ロボットにタイプ分けして、機械負荷感知による制御方法の開発、急傾斜農地向けの自律走行ロボットの開発に取り組んでいます。自立走行ロボットは傾斜地の果樹園を対象に取り組んでいるもので、ロボットの走行に適したほ場設計の検討も行っているのも特徴的なところです。

以上、NEDOの先導研究で実施中の課題を紹介しましたが、紹介した事例以外にも、施設園芸で活用が期待されている、波長選択型の有機薄膜型の太陽光電池の開発、森林管理用のロボットの開発なども行っています。これらはいずれもFSの段階ですので、今後は、成果を次のプロジェクトに着実につなげ、社会実装を目指すのが重要と考えています。

本日の内容をまとめると、1つは農山漁村に広く点在する再エネ資源を効率的に利用するために、太陽光等の個々の再エネ源の施設・機器の性能向上も重要ですが、エネルギーの効率的な利用の面から自律分散型エネルギーシステムの構築や、そのためのマイクログリッドの活用が有効だと考えています。そのためには、農山漁村の電力、熱の需要と供給を調整するためのEMS構築が必要と考えています。

2つめは、農山漁村に適したEMSの構築には再エネ資源の活用下においても生産性の維持向上を図るための研究開発が重要と考えています。3つめが再生資源の活用を地域活性化につなげてい

くための循環モデルの構築が重要だということです。また、必要な開発要素としては、需要予測の精緻化やその基となる収量予測などのデータ取得、そして農山漁村の特徴を踏まえたシミュレーター開発、電動農機などとEMSの連携などが挙げられます。

最後に、本日の話題は10月末にWebで公開したTSC Foresight「農山漁村における自律分散型エネルギーシステム分野の技術戦略策定に向けて」に詳細をまとめていますので、ご関心のある方は是非ご覧ください。

我々NEDOは、引き続きエネルギー環境分野での経産省、農水省の連携を推し進めていく予定ですが、その際には農業生産の川上から消費・加工・流通に至るフードバリューチェーン全体でのGHG削減という視点も重要と考えています。また、持続可能な食料供給システムを考えると、生産力と持続性の両立も重要な視点ですので、本日もご紹介した地産地消型エネルギーシステム、農業機械の電動化などに加えて、生産加工の自動化、ロボット化、センシングなどの分野で農水省、経産省の連携、農工連携が期待されている領域がまだまだあると考えており、こうした活動についても皆様から色々ご意見を聞かせていただきたいと思えます。課題は農業分野にあるが、課題解決の技術シーズや制度は経産省が所管しているといった分野は多いのではと思っているので、いろいろご提案いただければありがたいと思っています。以上となります。どうもありがとうございました。

## ■パネリストスピーチ①

### 半閉鎖型温室の環境制御への産業由来CO<sub>2</sub>の活用

豊橋技術科学大学大学院

機械工学計測システム教授

先端農業・バイオリサーチセンター長

愛媛大学大学院農学研究科

植物工場システム学教授

高山 弘太郎 氏



1974年 鹿児島県生まれ  
 2004年 東京大学大学院修了  
 愛媛大学農学部 助手  
 2017年 愛媛大学大学院農学研究科教授  
 (現職)  
 2018年 豊橋技術科学大学先端農業・  
 バイオリサーチセンター特任教授  
 2021年 豊橋技術科学大学大学院教授  
 2022年 豊橋技術科学大学先端農業・  
 バイオリサーチセンター長

それでは、豊橋技術科学大学の高山から半閉鎖型温室の環境制御への産業由来CO<sub>2</sub> (二酸化炭素)の活用というタイトルで話題提供します。先ほどの基調講演では、地域におけるエネルギーマネジメントが必要だとお話がありました。さらに、私の専門とする施設園芸においてすごく重要な材料・原料となる、CO<sub>2</sub>を有効活用する施設園芸の新しいあり方、そこで必要とされる新しい計測技術についてご紹介します。

## 最新施設園芸の高度な環境制御



図27. 最新施設園芸の高度な環境制御

先導的な温室として、セミクローズド (Semi-Closed) 温室というものがあります (図27)。外気の導入の速度、外気と内気の入れ替え、いわゆる循環と換気を完全に制御するタイプのシステムができています。換気を完全に制御することによって、マイルドな環境を作ることができるし、人為的に外からCO<sub>2</sub>を購入して投入することで、高いCO<sub>2</sub>濃度を維持することもできるようになります。

なぜCO<sub>2</sub>濃度を高く維持するのかというと、CO<sub>2</sub>を使って、植物は光合成を行っており、光エネルギーがたくさんあっても、CO<sub>2</sub>が不足すると光合成速度は律速されます。

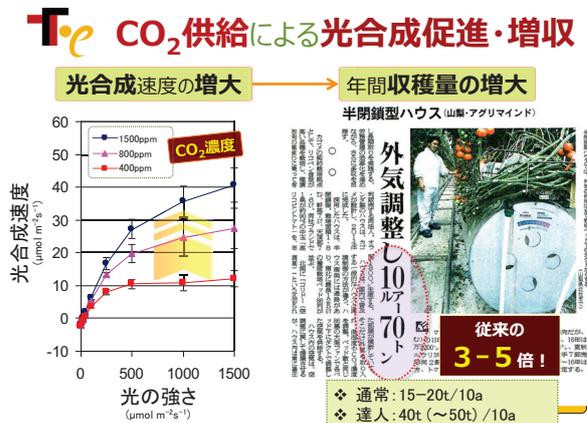


図28. CO<sub>2</sub>供給による光合成促進・増収

図28に示したグラフは、光を強くした時に、縦軸に示した光合成速度ですが、赤のラインで示しているのが大気中のCO<sub>2</sub>濃度が、400ppmの時、ピンクのラインが800ppm、青のラインが1,500ppmの時で、このようにほんの少しCO<sub>2</sub>を増やすだけで光合成速度が二倍三倍に増えます。閉鎖性を高め、温室内のCO<sub>2</sub>濃度を高めることで、生産性を飛躍的に伸ばすというのが最近の最先端の施設園芸の技術ということになります。これまでは、暖かい部屋だから「温室」でしたが、現在は密閉性を高めてガスをコントロールをすることにより、生産性を高めているということです。

施設園芸の世界最先端はオランダです (図29)。国家レベルでCO<sub>2</sub>を活用する仕組みを整えています。ロッテルダム周辺のロイヤルダッチシェルで



図29. オランダのCO<sub>2</sub>ガス供給パイプライン

生成しているオイルの傍らでCO<sub>2</sub>が発生しているのですが、これを国土100kmにわたりパイプラインを通して、沿線にある施設園芸の生産者に使えるようにして、インフラとして整備しています。これが世界レベルの施設園芸の状況ということです。



図30. CO<sub>2</sub>供給パイプライン@東三河

図30ですが、似たような整備を、地域のEMSの中に加えて、地域レベルでのCO<sub>2</sub>供給パイプラインが構築できるのではと、日本はオランダのように平坦な国土ではないので、100kmとはいかないと思いますが、例えば3km四方で、できれば熱も、熱は難しくてもCO<sub>2</sub>があれば施設園芸が劇的に変わります。地域で発生したCO<sub>2</sub>をその地域で有効活用するような仕組みを、施設園芸とセットで取り組んでいただくということです。

私がおります東三河地域は施設園芸がとても盛んな地域であると同時にものづくり産業もあります。ものづくり産業で出たCO<sub>2</sub>を自消する仕組みとして閉鎖型温室というものを作っていきたいと思っています。



図31. CO<sub>2</sub>有効活用のための高度環境制御

図31では、CO<sub>2</sub>濃度が植物に与える影響について、概略をお話しします。植物は閉鎖性を高めるとCO<sub>2</sub>濃度を高めるとCO<sub>2</sub>を吸収しやすくなりますが、同時に光が豊富に当たると暑くなってしまいます。暑くなると今度は乾燥し、それが植物にとってストレスになります。このままだと植物は枯れてしまうので、CO<sub>2</sub>を取り込むために開いていた口、気孔という呼吸する穴ですが、この口を閉じてしまいます。口が開きっぱなしだと植物の体から水分が水蒸気となって出て行ってしまい、最後には枯れてしまうからです。CO<sub>2</sub>濃度を上げるため閉鎖性を高めると、今度は乾燥ストレス、高温ストレスを植物に与えてしまい、植物はそれを嫌がって口を閉じて光合成できなくなるわけです。そこでちょうどいい塩梅を維持しなければいけないということで、植物生体情報に基づいた環境制御が提唱されています。

このコンセプト自体は45年ほど前に提案されていて、スピーキング・プラント・アプローチ、植物と対話しながら環境をコントロールしようというコンセプトです(図32)。私が学生の時分にこの本を読んで、素晴らしいと思い、これを実装し

太陽光利用の施設園芸におけるSPAの必要性  
Agricultural production in large scale greenhouses based on SPA



図32. 太陽光利用の施設園芸におけるSPAの必要性

ようと考えました、しかし当時はセンサーもロボットもなく、インターネットも不十分でした。最近ではこれらがすごく簡単に手に入るようになったので、いよいよ実装できる時代だということで取り組んでいるところです。これまでは施設園芸において環境を計測して制御するといった技術戦略でしたが、実際は環境をコントロールしたいわけではなく、植物の光合成、さらに成長をコントロールしたいわけです。ただそれを安価に計測できなかったから、仕方なく環境を計測し、それを制御したということです。

センサーとロボットシステム、さらにデータを収集して解析するシステムがこれほど安価に入手し活用できるようになってくると、制御の対象である光合成をそのまま計測して最適化するような環境制御をするべきということになります。我々は農水省から今年の3月まで5年間予算を貰って、光合成を農業生産の現場で、個体群レベルで作物の光合成をリアルタイムで計測できるシステムを提案しました。農業生産の単位は植物の個体、それが集まったものを個体群と称しますが、一枚の葉でもなく、個体でもなく、個体群レベルです。

図33ですが、すごくシンプルな仕組みです。植物体を透明なビニール袋で覆い、上部のファンで、内側の空気を外側に吐き出します。下側はオープンになっていて、下から上に向かって空気が流れます。入ってくる空気と出て行く空気のCO<sub>2</sub>濃度差を計測することで、光合成速度を計測します。

個体群レベルでの  
光合成リアルタイムモニタリング

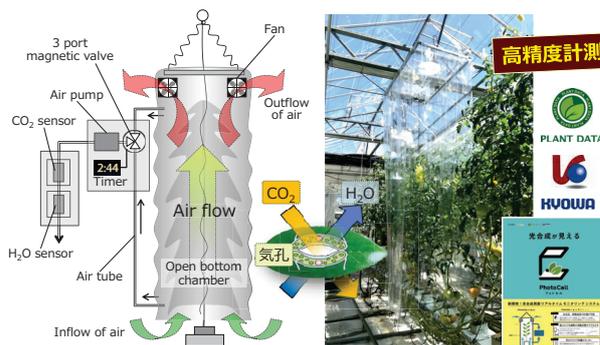


図33. 個体群レベルでの光合成リアルタイムモニタリング

蒸散速度、つまり植物がどれだけ水を吐き出しているかも、水蒸気の量を計測して、リアルタイムで把握するものです。非常にシンプルなシステムで、この分野の研究者であれば誰でも自作できますが、循環する風の流れるある程度のスピードに保とうとすると、どうしても、入ってくる空気と出て行く空気のCO<sub>2</sub>や水蒸気の濃度差が、小さくなってしまいます。それを安価なセンサーで計測し光合成の計測を行うという技術がとても難しく、ここをクリアしたことで、農業生産に導入できる価格で提供しています。

多角的植物生体情報 光合成蒸散リアルタイムモニタリング  
有償サービス化に直結するUIの整備  
光合成チャンパ用のウェブアプリ "Photo[synthesis] Review"

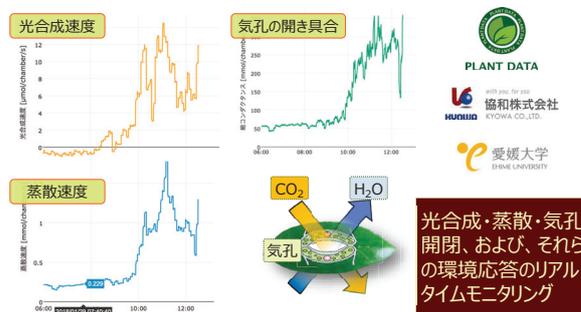


図34. 有償化に直結するUIの整備

農業生産者、および関係者の皆様に使ってもらうためには、Webアプリの整備が必要です(図34)。データロガーで計測して後で解析するというのはなかなか難しいです。iPadやiPhoneなど

でも活用できるようなものを、大学発ベンチャーを通じて提供していて、光合成速度と蒸散速度を5分間隔で見ることができます。さらに、どのタイミングで光合成が損なわれているか、蒸散の具合が悪くなっているかと、いったものもレポートするWebアプリを開発しています。

また技術として、生産性を高めるために、どのタイミングでどれぐらいのCO<sub>2</sub>を与えれば一番経済的かという点について、目の前の植物体を計測して、光合成が環境にどのように応答しているかをモデル化することで、比較的容易に、このタイミングでこれぐらいが経済合理性があるというようなことが言えるようになります。

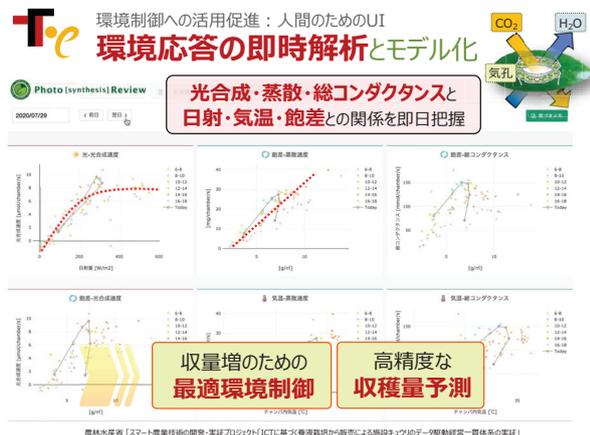


図35. 環境応答の即時解析とモデル化

計測装置を農業の生産現場に置くだけで、その瞬間から環境応答のモデリングが始まります。これもすべてWebアプリに導入されていて、どのタイミングでどれだけCO<sub>2</sub>を、また水を与えるべきか、その投入量を小さくするにはどうしたらいいか、光合成の量を損なわないようにするにはどうしたらいいかというようなことが分かる、このような技術を使っているということです(図35)。

さらに大量のデータがあると、機械学習により、どの環境要因がどのタイミングで、どれぐらいインパクトが大きいかということも理解できるようになります(図36)。

そのアウトプットとして画像計測ロボットで成長も把握できるようにしています(図37)。まだ

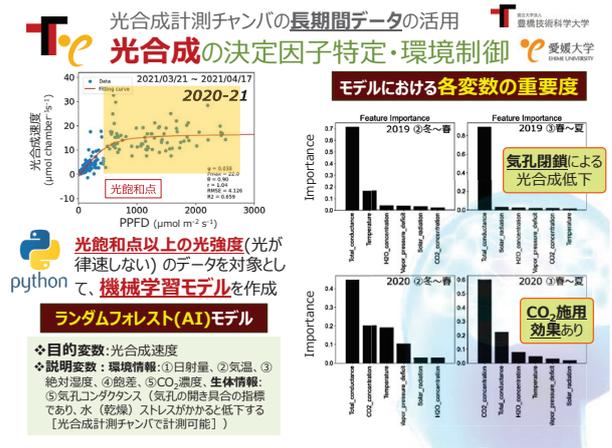


図36. 光合成の決定因子特定・環境制御



図37. 吊り下げ型ロボットを用いた実証試験

まだ技術開発の途中ですが、すでに大学発ベンチャーを通じて今年度から商業的なサービスとして有償で生産現場に導入が始まりました。成長、果実の生育等をモニタリングしてWebアプリで評価して、何日後にどれだけ出荷できそうか、どれぐらいの気温でどれだけ成長しているのか、そういったものを正確に把握するシステムになっています。植物体の大きくなり方、生殖成長といったものです。

この技術をうまく使いこなすことによって、今後、施設園芸において化石燃料の使用を制限するといった社会的ニーズが強くなっています。夜温の設定を下げたらどうか、例えば1℃下げても光合成や成長に影響がないなら、1℃下げられるわけです。夜温の暖房の設定を下げた分だけ化石燃料の使用量を減らすことができます。このように

SDGsにも貢献しながら、高い生産性を維持したまま肥料、水および熱の投入量を最小化して農業生産を行うため、植物の生育状態の精密な計測が必要になると思います。



図38. 引き算・掛け算の生産技術が求められる

これまででは技術を足し合わせていこうといった足し算の技術開発であったものから、何をどれだけ削れるか、削っても生育に影響がない因子は何かを特定して、引き算の技術開発をする（図38）。さらに農業の生産現場だけでカーボンニュートラルを実現するのは難しいので、地域と連携したカーボンニュートラル戦略、前述したように、ものづくり産業のボイラー由来の廃棄CO<sub>2</sub>を丁寧にかつ充分に使うための閉鎖性の高いセミクローズド温室が必要になると思います。

今、愛知県も図39のようなプロジェクトに予算を組んでいます。

図40は「スピーキング・プラント・アプローチ型環境制御のセミクローズド温室開発」ですが、本事業は農水省と環境省のコラボレーションです。技術は上手くいくのだけど、その次に他産業と連携するにあたっては経産省と連携するとうまくいくと思うので、地域との連携について、支援していただければと思います。

以上で半閉鎖型温室の環境制御への産業由来CO<sub>2</sub>の活用の紹介を終わります。

図39. 植物生体情報活用型セミクローズド温室の開発

令和4年度地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業  
**スピーキング・プラント・アプローチ型環境制御**  
 を組み込んだ**セミクローズド・電化パイプハウスの開発**  
 環境省 Ministry of the Environment

図40. セミクローズド・電化パイプハウスの開発

## ■パネリストスピーチ②

### 農研機構のスマート農業技術開発

#### 電動農機開発の意義

#### 農研機構農業機械研究部門

##### 無人化農作業領域

#### 小型電動ロボット技術グループ

##### グループ長補佐

吉永 慶太 氏



1974年 沖縄県出身  
 1999年 千葉大学大学院卒業  
 ネポン株式会社入社  
 2001年 生研機構 評価試験部研究員  
 2004年 農林水産省生産局野菜課  
 2006年 農研機構 主任研究員  
 2018年 農研機構 ユニット長  
 2021年 現職

農研機構農業機械研究部門の吉永です。私から農業機械の電動化に関して、現状と課題について説明します。

### 電動農業機械が求められる背景



#### パリ協定

- ・2020年以降の気候変動問題に関する国際的な枠組み  
 →「世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする」

#### CAFE規制（企業平均燃費規制）

- ・自動車メーカーごとに「1年間に販売した全車両の燃費を計算」し、平均が規制値を満たせなかったメーカーには罰金が課せられる。

#### 自動車分野ではエンジン車の新車販売禁止を検討

- ・ガソリン・ディーゼル(含HV)販売規制開始  
 ノルウェー・オランダ（2025）、ドイツ・スウェーデン・アイルランド（2030）、中国・イギリス・フランス・スペイン（2040）

#### 船舶、航空機も排ガス規制＝電動化が進められている

- ・船舶排ガスのSOx規制強化（2020、NOx、CO2排出規制も強化見込み）
- ・航空機のCO2排出規制、燃費改善（2020、排ガス規制の数値目標を設定見込み）

図41. 電動農業機械が求められる背景

農業機械の電動化が求められる背景ですが、紹介、説明するまでもなく、ご承知の通りパリ協定をはじめ、温室効果ガスに対する非常に厳しい規制がどんどん実現されている状況で、例えば自動車分野では最新のEUの議決で、内燃機関への規

制が非常に厳しくなっています（図41）。これは自動車に限らず、船舶や航空機の排ガス規制も進んでいると聞いています。今のところ農業機械に関する規制は見当たりませんが、他産業における大規模なCO<sub>2</sub>排出規制の流れの中で、農業機械だけ許されるはずもなく、排ガス規制の強化の方向は、いずれ農業機械にも及んでくると考えております。日本においては、農水省が本年度設定したみどりの食料システム戦略のKPIに、2030年の目標に「農業機械の電化」について言及があります。ここでは電動草刈り機など電動のロボットの類ですが、普及率50%を目指すという具体的な数値目標が示されています。

### 電動農業機械が求められる背景



#### 農業機械だけ販売は許される???

社会的要請から排ガス規制は強化＝農業の電動化



John Deere (2020, アメリカ)  
130kWモータ、130~150kWh(バッテリー)



John Deere (2019, アメリカ)  
300kWモータ 有線式



クボタ (2020, 日本)  
スペック不明



SONALIKA TRACTORS (2020, インド)  
11kWモータ、2.5kWh(バッテリー)  
5.99 lakh = 86万円



SOLELECTRAC (2020, アメリカ)  
30kWモータ、28kWh(バッテリー搭載)  
\$ 45,000 = 485万円

大型電動トラクタはコンセプトモデルが一部プレスリリースされる  
 小型電動トラクタは一部市販化が始まる

図42. 農業の電動化

このような状況の中で、世界では電動トラクタについて検討が始まっています。例えば、最大手のジョン・ディア社では百馬力以上の大型トラクタについて、図42にあるように、左上のトラクタは、ボンネットにバッテリーを力技で全部搭載してしまっていたり、上段の真ん中は、電源ケーブルを引きながら農作業をするようなことをやってみたりと、いろいろなコンセプトモデルがプレスリリースされています。

一方、小型の電動トラクタは、一部市販されはじめています。どちらかという農作業をするというより、運搬などに使われていると思います。

トラクタを電動化することによるメリットについて説明します（図43）。内燃機関を利用した現

電動化を通じた新たな農業への展開



今までは考えもなかった**新しい農業の可能性**

- ・モータ駆動で**機械構造設計の自由度が向上**  
→全く新しいデザインの農業機械
- ・高い制御性による**精密管理**  
→応答速度の速い制御で超精密農業の実現
- ・農業機械の**知能化**  
→知能化された作業機側から作業状態を認識してトラクタを制御
- ・部品点数が大幅に削減  
→コスト低減
- ・静音性、低振動性による**労働衛生上の改善**

熟練者による経験と勘に頼った緻密な農作業が、非熟練者やロボットでも可能に

農業・食料分野の「Society5.0」「SDGs」への貢献

図43. 電動化を通じた新たな農業への展開

在のトラクタと比べて、今までは考えもなかったような新しい農業が見出せると考えています。次の点について、熟練者による経験と勘に頼った緻密な農作業が、非熟練者や、ロボットでも作業することが可能になるとか、農業食料分野のSociety 5.0、SDGsへの貢献が期待されるなど、電動化のメリットについて順にご説明します。

電動化の利点：構造の簡素化、自由度向上



全く新しいコンセプトのトラクタの可能性

- ・部品点数が少なくなる
- ・モーターの配置等の自由度が向上する

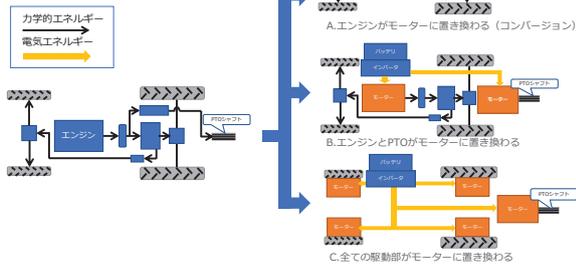


図44. 電動化の利点：構造の簡素化、自由度向上

一つ目は構造の簡素化、自由度の向上です。現在のトラクタは、図44の左側に示した模式図になりますが、エンジンからシャフトとギアを使い、機械的な部品を介して、タイヤや作用機の動力を取り出しています。電動化の方法はいくつかありますが、右下の模式図で説明すると、バッテリー・インバータから電源線、ケーブルを介してモータを回すので、今までとは全く違った新しいコンセ

プト、新しいデザインのトラクタができてくる可能性がありますと考えています。

電動化の利点：高い制御性



今までのトラクタでは困難だった作業が容易に

- ・負荷変動に対して**応答が早いことから**高度な制御が可能

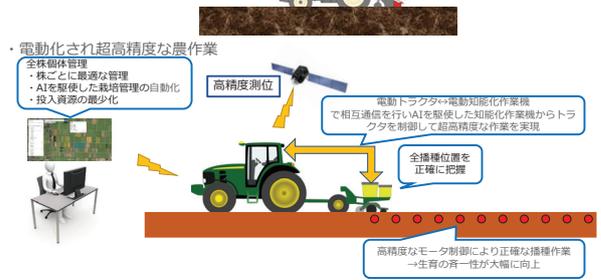


図45. 電動化の利点：高い制御性

二つ目は、基調講演で櫻谷様からも紹介されましたが、電動化によって制御性が向上するので、今までできなかったさまざまなことができるようになると考えています。モータは負荷変動に対して応答が早く、非常に高度な制御が期待できます。例えば耕耘作業において、土の硬さにばらつきがあり、エンジン出力だと回転数が落ちたり、エンストしたりする場面でも、モータなら非常に精度よく、作業精度を一定に保つことが期待できます(図45)。また、種まき作業では機械式よりも非常に正確に種をまくことができると思いますので、ひと株毎の最適な管理が可能となり、投入資源や労力などさまざまな項目を最適化できると考えます。まさに知能化ということへの可能性が広がる

電動化の利点：静音、低振動



作業者の疲労軽減、作業環境の改善

- 特に施設園芸を対象とした小型の電動トラクタはメリットが大きい
- ・静音性に優れる →音のこもる施設内で作業環境改善
- ・排ガスを出さない →換気不十分の場合でも健康への影響がない、作物に二オイが付かない

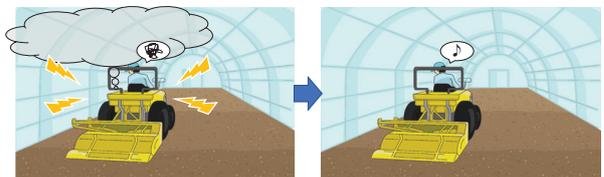


図46. 電動化の利点：静音、低振動

と考えています。

三つ目は、静音と低振動です（図46）。温室など、密閉された空間では、特にメリットが大きいと考えています。エンジンに比べてモータは音がこもる施設内での静音性が優れ、作業環境が改善し、また排ガスを出さないで、換気が不十分な場合でも作業員への健康被害が少なくなり、作物へ排ガスの臭いが付くといったデメリットもなくなるということが期待できます。

ここまでトラクタの電動化のメリットについて説明してきましたが、我々農研機構の農業機械研究部門では電動トラクタの開発に関する非常に多くの要望をいただいています。電気自動車と一般化し、普通に市販車が街中に出回っている状況ですが、現状では農業機械の電動化はなかなか難しいという点をご説明します。

### トラクタとは



トラクタ (Tractor)とは、「けん引するモノ」 ≠ 「乗り物」  
トラクタと自動車の違い

#### 自動車の目的は移動

自動車は、「速く、快適に、小さいエネルギーで移動したい」

#### トラクタの目的は仕事

トラクタは、「大出力（高トルク）で、連続長時間の仕事がしたい」



図47. トラクタとは

そもそも自動車とトラクタは目的が異なります（図47）。自動車の目的は人や物を速く快適に小さなエネルギーで移動させることです。一方農業用トラクタの目的は大出力で連続長時間の仕事をするということです。

例えば、トラクタの後ろにさまざまな作業機、例えば土を反転させるプラウという作業機や、土を細かくする耕運機、種をまく機械、肥料をまく機械、農薬をまく機械、および作物を収穫する機械など、さまざまな作業を長時間行う機械があります。

ここで問題になるのはバッテリーです。バッテリーは化石燃料と比べてエネルギー密度が大変小さいという点です。具体的にはガソリンの質量エネルギー、1 kgあたりのエネルギーが12,000~13,000 Whであるのに対し、市中で使われているリチウムイオンバッテリーはだいたい100~200Whなので、機械効率を考慮しても、百倍程度の差があります。内燃機関と比べるとエネルギー密度が非常に小さいということです。

### 電動化の課題：エネルギー、モータ制御



バッテリーは化石燃料に比べてエネルギー密度が小さい

- ・搭載可能量には制限があるため、結果として連続作業可能時間が短い
- 作業可能時間：Nissan リーフの搭載バッテリー（容量：62kWh（440kg））を用いた場合（効率100%で試算）

作業	播種 (10kW)	ロータリ (50kW)	プラウ (100kW)
連続作業時間	6.2時間	1.2時間	0.6時間
			

#### 課題

- ・高負荷で連続運転の場合は、電源（バッテリー）の容量の確保
- ・土壌状態、収量のばらつき等による負荷変動に対して応答速度の更なる向上
- ・電動化農機のメリットを最大限発揮できる作業機構造、農作業方式、栽培体系等の開発

図48. 電動化の課題：エネルギー、モータ制御

例えば、日産リーフが搭載しているバッテリーは、一番大きいもので62kWh、質量にして440kgと聞いています。これで簡単な農作業をさせた場合どうなるか試算したら、播種など負荷は小さいので6時間くらい作業ができる、土を反転させるプラウ作業では非常に力を要する高負荷の作業だと30分程度しか持たない（図48）。もし5時間の作業をしたいなら、10倍のバッテリーを搭載する必要があります。ちょっと現実的ではないので、ではバッテリーを交換するかというと、4.4tのバッテリーを交換するのも、なかなか難しいですし、充電も非常に時間がかかるということで、なかなか難しいというのが現状です。

電動のトラクタについて整理すると（図49）、現在のエンジン内燃機関を用いた農業機械と比べて、バッテリーの質量が重く機械の質量が大変大きくなります。バッテリーの充電・交換、安全性にもまだ課題があるので能率が落ちてしまう。バッテ

電動トラクタ⇒小型電動農機



電動農機開発の課題の整理

電動の農業機械は（現状の農業機械と比べて）

- 1) 機体質量が大きい (バッテリーが重い)
- 2) 能率が落ちる (バッテリーの充電・交換・安全性に課題)
- 3) 価格が高い (バッテリーが高い・モーター等内製できない)



図49. 電動化の課題整理

りはまだ高価で、農機メーカーではエンジンは作れるがモーターは内製出来ないなので、どうしても価格が高くなってしまった課題があります。

そこで、最近、農研機構を含めてさまざまな業種で開発が進むのが小型電動農業機械、電動農業ロボットです。例えば、牛馬の代わりに開発されたのがトラクタです。今のところバッテリーがネックになって、電動化が難しいですが、図49の右側の低負荷の機械や、手作業していたものを担うロボットなどは現在のバッテリーでも可能ですので、この類の電動農機の開発がどんどん進んでいます。

農業用のロボットについて



農業用ロボットの活用で人手不足を解消、農作業を楽にする



特定の作物、作業、農業現場で人に代わって作業を行うロボット  
農業用の作業ロボット

図50. 農業用ロボットについて

図50に農業用の作業ロボットをいくつか紹介します。左と真ん中は施設用の機械ですが、イチゴとかトマトの収穫ロボットになります。右は、イメージとしては自動掃除機のルンバに近いですが、

自動的に草刈りをしてくれるロボットです。この草刈りロボットはすでに市販化されていて、果樹園などでも運用されています。小型電動ロボットですが、我々が開発したロボットについて紹介します。

農業用追従ロボット「メカロン」の機能と特徴



- ・ 追従走行、リモコン操作、自動走行の3つの走行モード。ボタン一つの**シンプルな操作**
- ・ 一つのセンサ、2台のモータ、一つの操作リモコンの**シンプルな構造**で高い拡張性
- ・ 高トルクモータとクローラで傾斜地、凹凸、ぬかるみなど悪路の走破性が高い
- ・ 農業現場で電力（電機）を利用し、作業者の手作業を軽減。ICT、IoT技術と接続可能

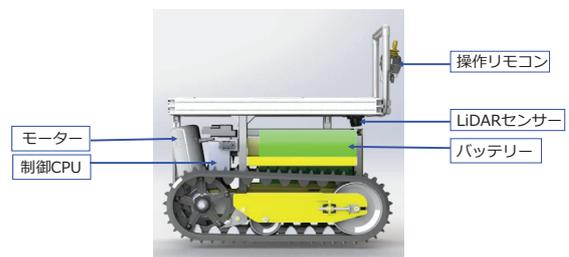


図51. 農業用追従ロボット「メカロン」の機能と特徴

図51は、我々が開発した農業用追従ロボットですが、追従して動くロボットで、作業者の手助けをする、アシストするロボットで、「メカロン」という商品名で販売しています。全ての農業現場で、色々な農作業を年間を通じて、助けてくれる、アシストしてくれるロボットで、非常に操作が簡単で、シンプルな構造になっており、農家に届いた瞬間にすぐ使えるというのが特徴です。例えばリンゴやナシの収穫作業では重たい肩掛けのカゴを下げて作業していますが、ロボットを使うと重たいカゴを背負う必要がなくなります。自律走行モードを用いると、収穫したリンゴやナシを自動的にトラックまで運んでくれるので、非常に農家から好評いただいています。いろいろなロボットが開発されていますので、今後は皆さんも目にするが増えると思います。私からは以上になります。

### ■パネリストスピーチ③

「おいしい」と「サステナビリティ」を両立する  
 土壤微生物培養技術を活用した次世代農業プロジェクト

株式会社TOWING 代表取締役CEO  
 西田 宏平 氏



1993年 滋賀県出身  
 2018年 名古屋大学大学院修了（修士）  
 株式会社デンソー入社  
 2020年 ㈱TOWING設立  
 現職

こんにちは。株式会社TOWINGの西田です。  
 弊社が取り組むバイオ炭の事業について紹介します。



西田 宏平  
 NISHIDA KOHEI

1993 滋賀県で生まれる  
 2008 漫画『宇宙兄弟』との出会い  
 2012 名古屋大学理学部地球惑星科学科に所属  
 2016 農業関連の研究室にてプロジェクト実施  
 2017 学生向け起業家育成講座を受講  
 2018.4 ㈱デンソーに入社  
 2020.2 ㈱TOWINGを副業で立上  
 2020.11 独立

図52. 経歴

最初に自己紹介します（図52）。もともとは名古屋大学理学部地球惑星科学科に居ましたが、大学院は環境学研究科というところに進み、そこでバイオ炭に微生物を培養する技術と出会いました。この技術を社会実装するため、TOWINGという会社を起こしてプロジェクトを実施しています。本日はTOWINGの事業を紹介しながら、少しエンタメチックになりますが、TOWINGの宇宙農業プロジェクトへの挑戦についても、紹介します。



図53. レゴリス×有機肥料で高効率栽培に世界初で成功

はじめにいきなり宇宙のプロジェクトの話から恐縮ですが、現在スターダストプロジェクトという農水省が実施する、月面基地の中で食料生産を目指したプロジェクトに参画し、月の砂で食料生産するという事にトライしています。有機肥料だけで結構大きなサイズまで育てることに世界で初めて成功しました（図53）。この微生物を培養する技術を地球上で社会実装することが我々のミッションです。

既存の農業は化学肥料を使いすぎていて、土壌劣化を起こしている土地が出てきています。最近、化学肥料の高騰のニュースをよく目にします。現状、北海道の大規模法人などで、もちろん愛知にも大規模法人がありますが、徐々に化成肥料を減らして堆肥の利用を増やすところが増えてきていると聞いています。

論文など文献調査による、あらゆる作物の平均値ということになりますが、一般に有機栽培に切り替えると栄養供給が上手に行かなかったり、病虫害の影響があったりで収量が大きく下がると言われています。土作りにも非常に時間がかかり、初年度、特に1、2年目は作物が安定的に取れないということが課題です。

弊社では、デザインされた微生物叢をバイオ炭に培養し土壌に施用することで、土壌改良と炭素固定を行う資材、「宙炭」という名前の高機能バイオ炭を開発しています。弊社は研究農園も持っていて、そこでの栽培試験の結果ですが、「宙炭」を施用した畑と、微生物を培養していない、ただのバイオ炭を施用した畑とを比較し、どれほど収

量に差が出るか確認試験を実施しました。Apple to Appleで窒素の投入量等合わせたのですが、「宙炭」を施用すると収量が大きく上がり、ビタミンCや糖度等も向上していることを確認しました。

農地の良否を、Sランク、Aランク、Bランク、Cランクとクラス分けした場合、弊社の栽培方式の性能、効果ですが、ランクによって差が生じます。もっとも良いSランクの農地をさらに良くするのはなかなか難しいですが、Bランク、Aランクの農地を良くして収量を向上させたりとか、栄養分を向上させたりとか、味や糖度等への効果も期待できることを確認しています。

TOWING式 循環型栽培①

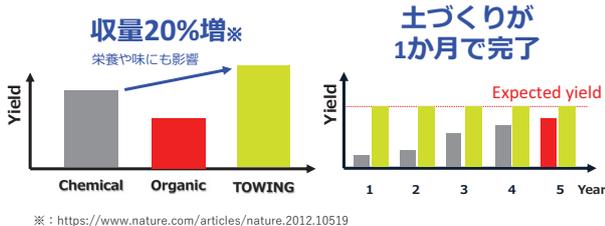


図54. 宙炭

実際に化学肥料を施用した栽培方式よりも収量が増えたという事例も出来てきています(図54)。先ほど土作りに5年かかると説明しましたが、これは微生物の菌叢が上手に整っていないくて有機肥料の分解効率が低いため、それを整えるために5年ぐらいかかるのですが、「宙炭」の施用によって1か月で土づくりができています。その微生物の菌叢の分析とか、有機肥料の分解効率から1か月という数字を割り出しています。

弊社のバイオ炭に微生物を培養する技術は、あらゆる場所で使えるというのが一つの特徴です(図55)。究極は月の月面基地ですが、地球上ですと木の皮とか、もみ殻とか、鶏ふん、魚のアラ、残渣ですが、このようなものも材料になります。例えば、高山先生のお話で施設園芸のトマトのお話がありましたが、せっかくCO<sub>2</sub>を植物に吸収



図55. TOWING式循環型栽培

させても、基本的に実は食べ、茎や葉は農家が燃やしてCO<sub>2</sub>として大気中に放出していたり、あるいは農地にすき込んだり、それでもいずれは土壤中で分解されCO<sub>2</sub>となって大気中に戻っていきます。そのような植物残渣でさえ炭化して農地に投入、バイオ炭として活用すればCO<sub>2</sub>の大気への放出量を減らすことができます。弊社ではすでにトマトの茎等を炭化して、微生物を培養するというようなプロジェクトにも成功しています。このような残渣等は日本中どこでも調達が可能ですし、ゆくゆくは海外でも残渣を調達して、プラントを立ち上げていく、そのようなことを計画しています。

TOWING式 循環型栽培③



図56. 宙炭

図56は本日のテーマ、みどり戦略とカーボンニュートラル農業に関わってくるところですが、バイオ炭を農地に施用すると炭素をそこに固定することができます。後ほど詳説しますが、10aでおおよそ1tのCO<sub>2</sub>を固定できると試算しています。こちらを単純に炭素固定したというだけでなく、しっ

かりクレジットに変えて売買をすることによって、農家の新たな収益源にする、ということも可能になると考えています。

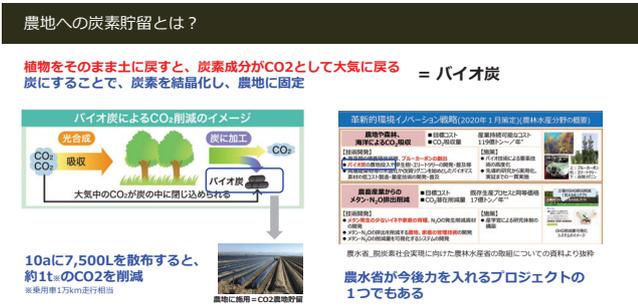


図57. TOWING式循環型栽培

図57は、実際のバイオ炭のCO<sub>2</sub>吸収のイメージです。植物が光合成によって体内に炭素を取り込んでいきます。通常はそれが燃やされたり、土中で分解されたりして大気中にCO<sub>2</sub>として戻っていくのですが、炭にすることで非常に分解され難く、土中の微生物にも分解できないような形状に変わります。炭化することで100年後に65%程度の炭素が残ると試算されていますが、バイオ炭の施用で土の中にどんどん炭素を固定して行く事が可能になっています。農水省でも今かなり力を入れているプロジェクトの1つです。基調講演にもありましたが、2050年までにはカーボンニュートラルを目指すとして計画されていますし、脱炭素に向けたいろんな助成もありますので、こういった支援も活用して、日本の食料生産をサステナブルに変えていきたいと思っています。

「サステナブル消費」にも少しずつニーズが出てきています。弊社の商材を社食で使ってくれる事例や、実際に企業がクレジットを売買する流れも既に始まっています。

このバイオ炭ですが、単純に炭を農地に投入するだけで少し課題があって、黒ボク土、腐植を多く含む黒い土ですが、このような土では影響が出づらいつか、未熟土に入れるとpHが上がり過ぎて、施用量を間違えると減収してしまうケースもあります(図58)。



図58. バイオ炭とは

実際の農地に施用する際にバラつきが生じてしまうというか、農地に均一に5%、10%混合するということがなかなか出来ず、どうしても多いところが出てきてしまい、そういうところで問題が起きてしまうのが現状です。



図59. バイオ炭とは

弊社の「宙炭」は、農研機構の篠原信先生が開発したバイオ炭の高機能化技術を、教え子の我々が独自に研究した技術とうまく掛け合わせて、社会実装に向けて取り組んでいるものです(図59)。

「宙炭」にはいろいろ特徴がありますが、1つはネガティブ効果の抑制です。一般にバイオ炭の施用はpHの過剰な上昇を引き起こしますが、「宙炭」はこれを抑制します。病原菌の増殖も大幅に抑制することができます。加えて、農地散布後に有機肥料の利用効率を向上させることもでき、散布後1か月の硝化効率、有機肥料のアミノ酸やタンパク質を、植物が吸収できる硝酸態窒素に変換する効率が大幅に上がりますし、栄養分を吸着する効果も上げることができます。

これによって、おいしくてたくさん収穫できる農業を目指していて、化学肥料中心から有機への転換、病気に強い土づくりをアシストするプロジェクトを実施して行きたいと思っています。



図60. 展開可能性

実際に弊社が考えているのが、地域で排出されるモミガラや鶏ふんといった有機残渣、大量に排出されて地域で処理しきれないものを弊社の技術で「宙炭」に変えて、農家に使ってもらう。それによって生じるクレジットと作物の販売をお手伝いするといった事業を立ち上げようとしています (図60)。いろいろな会社から、非常に面白いと関心を持っていただいております、来春から北海道や東北、東海などでプロジェクトを計画しています。

「宙炭」は土壌改良材として、農地に混ぜ込んで使うこともできますし、さらにネガティブ効果抑制の特徴を生かして、栽培土壌そのものとして利用することも可能です。弊社ではビニールハウスの中で高効率に作物栽培するユニットの開発も進めています。昨今、苗用の培土が元々輸入に頼っており、日本では全然足りてないという課題がありましたので、現在苗用の培土の開発も進めています。こちら良い成果が出ています。

今、いろいろなところに導入していて、是非やりたいと言っただけの会社が増えてきている状況です。

このように弊社は「次世代の緑の革命を、全ての食卓にサステナブルを」ということをスローガンに取り組んでいます。

次に、少し宇宙の話もさせていただきます。地

球で開発した技術をどのように宇宙で使うかというところですが、今、ispaceという会社がいろいろな会社と月面基地に人を送り込んで住めるようにしようというプロジェクトがあります。実際に2040年頃には月面基地を作る計画です。

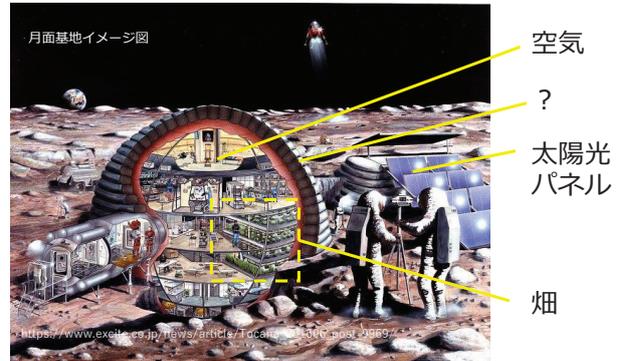


図61. 月面基地イメージ図

図61のイメージ図の様に、空気とか太陽光パネルとか、畑なんかも基地にあります。実際に太陽光から光を作って作物を栽培するとか、放射線を当てないようにするといった研究開発が進んでいます。良く問われるのが水の確保です。月面には氷があると言われており、それを溶かして利用することを検討しています。宇宙でも食料を作るには肥料が要りますので、どうやって肥料を調達するかということが課題としてあり、基本的には宇宙空間に住む人のふん尿等を利活用することが検討されています。

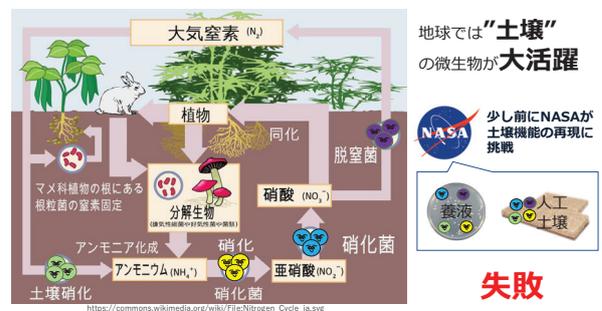


図62. 窒素循環の構築

このとき、微生物環境の窒素循環を構築するのが非常に難しく、NASAやJAXAでも土壌の

微生物技術を開発することができなかったのですが、農研機構の篠原先生がこの技術を開発したということです（図62）。

農業、スマート農業が実現できると思っていますので、宇宙のプロジェクトも実装の場という位置づけで使っています。

以上、TOWINGが今、色々と頑張っていて取り組んでいることを紹介しました（図64）。今後もしもいろいろな企業と連携したいと考えていますので、もし一緒に取り組んでいただける、関心を持っていただける方がいましたら、ご連絡いただければと思います。ありがとうございました。



図63. 地球での実証

実際に月面基地でどの様に構築するかというと、地球ではバイオ炭に微生物を培養しますが、月面基地ではバイオ炭の材料も貴重な資源になるので、月で入手できる月の砂を微生物を培養するベースに使い、食料生産を持続可能にしていくという取り組みを行っています。実際に、砂を活用した栽培試験に成功して、複数の品種の栽培にトライ、実証しているところです（図63）。この宇宙の課題については、SPACE FOODSPHEREの取り組みの中で実施しています。

宇宙の技術開発を地球にも実装していく、逆に地球の食糧生産の技術を宇宙にも導入して行くという、両輪で回すようなプロジェクトということです。高山先生、吉永先生のお話しにもありましたが、技術開発と社会実装、実際に農家に使ってもらおうことの両輪で回していくことで持続可能な

図64. 最後に

## ■パネルディスカッション

モデレーター：福島大学農学群食農学類長

教授 生源寺眞一氏

パネリスト：NEDO技術戦略センター

櫻谷 満一氏

豊橋技術科学大学

高山 弘太郎氏

農研機構農業機械研究部門

吉永 慶太氏

株式会社TOWING

西田 宏平氏

※（ ）内は発言者、敬称は省略

（生源寺）皆様、ご講演ありがとうございました。パネルディスカッションでは、はじめに視聴者からの質問を取り上げたいと思います。

櫻谷様には非常に広範囲の研究、イノベーション、社会実装の課題についてお話いただきました。また、経産省と農水省の連携、産官学の研究体制についても重要な示唆をいただきました。

基本的な問題ですが、太陽光、水力、風力、バイオマスのうち農村地域で拡大が望めるエネルギーはどのようなものでしょうか、という質問が来ています。

（櫻谷）資源エネルギー庁の第六次エネルギー基本計画では、太陽光の拡大が最も大きく、農山漁村でも太陽光は有望と考えます。営農型太陽光発電では、農地の有効利用の観点からも、発電しながら下の農地では作物の生産力を維持するのが大事だと思います。バイオマスについては、原材料の輸入が課題かと思えます。国産材は、切り出してから運搬、加工するまでにコストがかかるので、そこがポイントかと思えます。

（生源寺）続いての質問ですが、みどりの食料システム戦略にはスケジュールが示されています。社会実装に向けてLCAなどによる環境負荷評価と費用対効果を意識した経営評価を行う必要があると思いますが、どのようなスケジュール感で行う必要があるのでしょうかという質問ですが。

（櫻谷）具体的なスケジュール感を示すのは難しいですが、VEMSの技術開発はF S段階ですので、ここから個別の技術課題の検討、実地データの蓄積、実証試験という流れになると考えています。費用対効果も含めたコスト分析は実証の中で取り組むことになると考えていますので、技術戦略の段階ではコスト分析までは出来ていないというのが現状です。

（生源寺）高山先生は愛媛大学にも勤務されているということですね。スピーキング・プラント・アプローチ、非常に刺激的な表現で、私も感銘いたしました。

高山先生への質問ですが、東三河地域で産業から排出されるCO<sub>2</sub>を施設園芸で活用するとすれば、何割ぐらい可能かという質問です。

（高山）興味深い質問で、今ネットで検索して大雑把に計算しました。

2016年度の豊橋市に限ってのお話になりますが、豊橋市の製造業からのCO<sub>2</sub>排出量がおよそ100万tです。温室のCO<sub>2</sub>濃度を通常400ppmのところ、600ppmに保ったとき、過去の実績では、m<sup>2</sup>当たり30kgのトマト収量が60～70kg採れるようになることから、m<sup>2</sup>当たり30～40kg増収すると試算されます。トマトは約5%の炭水化物を含むので、炭水化物をCO<sub>2</sub>換算して、同じ質量数（mol）を吸収したとすると、1haあたり22tのCO<sub>2</sub>を吸収していると言えます。

豊橋市と田原市のビニールハウスおよびガラス温室が1,600haあるので、全ての施設でCO<sub>2</sub>を利用したと仮定するとおよそ3.5万tのCO<sub>2</sub>が利用できます。

こうなると、製造業が排出するCO<sub>2</sub>、100万tの3.5%になりますので、無視できない量かと思えます。

（生源寺）高山先生にもう1つ質問です。モニタリング装置を導入する場合、どの程度の生産規模の農家が採算性のある規模になりますか。例えば販売金額、生産面積などではどうか、という質問です。農業に実際に取り組む立場からの質問かと思えます。

(高山) どのような方に導入のメリットがあるかという質問ですね。農水省のプロジェクトで1ha超の大規模生産者をターゲットにして開発しました。金額はというと、1haあたりの労務管理費が約3,000万円/年ですので、生育をモニタリングにより最適化して労務管理費の10%減を目標に実施しました。大規模施設園芸は大勢の雇用者がおります。トマトの生育を計測し、収穫に何人、除葉に何人と、作業を最適化して労務管理費を10%以上削減できることを証明しました。

つまり、このシステムを導入すれば年間300万円のコストが削減できますので、導入費用は300万円以下でなければということになります。また、栽培管理に活用して生産性を上げれば、収益はより向上します。

生産規模が半分だと、労務管理費も半分の1,500万円/年だとすると、150万円程度の計測が導入できる勘定になります。これに見合った精度、装置といったシステムのデザインは、ある程度想定できると思います。

(生源寺) 高山先生、ありがとうございます。農業工学がご専門かもしれませんが、農業経営学がご専門であるかのように即座に計算をされ、判断を示していただきました。

今回の試算が施設園芸で1haの規模で実施されたとのこと、それなりの規模だと思いますので、参考にしていただければと思います。

次に、吉永さんからは電動農機の利点、そして課題についてお話しいただきました。

吉永さんへのご質問ですが、電動トラクタが市販されるのはいつ頃になりますかという問いです。これも電動トラクタを活用したいと考えていらっしゃる方からのご質問でしょうか。吉永さん、よろしくをお願いします。

(吉永) 電動トラクタの市販される時期ですが、現時点で最大のボトルネックはエネルギー、内燃機関のガソリンや軽油に代わるエネルギーはリチウムイオンバッテリーということになりますが、これが難しいと考えています。NEDOの櫻谷さんをご専門かと思いますが、バッテリー開発は日進月

歩で進んでおり、2020年時点のエネルギー容量が10年後に5倍になるかと言えば、それ程の技術革新の速さではないと聞いています。

バッテリーに関して、容量が50倍になるといった劇的なブレイクスルーがあれば現実味を帯びてくると思います。あと燃料電池ですね、これに関してはバスなど大型車両に採用して実証されているので、こちらのほうが実現に近いかなと考えています。いつ頃というのは、これからの技術革新次第という風に考えています。

(生源寺) 続いて吉永さんへの質問ですが、少し面白い発想かと思いますが、トラクタの動力だけではなく、作業機器を電動化することもできるとの観点から、エンジン走行しながら発電し、モーターで肥料を撒いたり、収穫したりといったハイブリッド農機は可能でしょうかとの質問です。吉永さん、よろしくをお願いします。

(吉永) トラクタと作業機のハイブリッドですね、これは充分あり得ると思います。モーターを使うと、機械式動力機構と違い、すごく精密な動作ができますので、例えば種まき機や苗の移植機等、非常に精度よく植えることができます。実際、田植え機では電動のツメで非常に精密に植えて、植えた位置の情報も記録して一株管理などという考え方もあり、実際取り組んでいる人もいます。

遠隔操作草刈機、草刈機ロボットなどというものがあるのですが、法面など人手で草刈りが難しい斜面などで力を発揮する、ラジコン草刈機があります。これは一部ハイブリッド化されていて、刃を回転するところはエンジンで、駆動系はラジコンを使うバッテリーで、というようなハイブリッド農機というものがすでに使われています。

(生源寺) ありがとうございます。これも関連の質問を吉永さんにとということで、水素ガスによる動力開発の可能性はありますかということですが、いかがでしょうか。

(吉永) 燃料電池ではなく、内燃機関の燃料としてということでしょうか、これは実際できると思います。自動車メーカーでは水素エンジンを使ってレースに出たりしていますので、十分に可能性が

あると思います。

(生源寺) 西田さんは今、28歳で、若手の方からのお話でした。次世代の緑の革命と表現されましたけれども、月面での食料生産につながっていくというお話で、非常に興味深く伺いました。

西田さんへの質問ですが、高機能ソイルはどこで買えますかという問いですが、いかがでしょうか。

(西田) ありがとうございます。実はまだ販売できていません。今は限定で実証を希望する農家にお配りしている段階で、弊社のホームページの問い合わせフォームにてご相談いただければと思います。

来春から、本格的に実証試験を日本各地で立ち上げる計画ですので、そのタイミングで供給できるようにしたいと思っておりますが、現時点では応談ということになります。ご関心いただけましたら是非直接ご連絡ください。

(生源寺) 次も西田さんへの質問で、バイオ炭を畑に施用する際、堆肥と同じまき方、すき込み方でしょうか。特別なやり方がありますかというご質問ですが、いかがでしょうか。

(西田) 堆肥と同じです。マニアスプレッダーやブロードキャスターとかを使っていただいて、あと軽トラから上手にまいていただくとかです。堆肥と同じように扱っていただけますが、堆肥より軽いので風が強い時などは風で飛んでしまいます。水でちょっと濡らすなど、状況に応じてまき方も工夫していただきたいと思っております。

(生源寺) 西田さんへの3つめの質問になりますが、有機物を炭化する時の熱エネルギーは何に由来するかとの質問ですが、いかがでしょうか。

(西田) 2つありまして、大量にバイオ炭を作る場合は、外から高熱で炭化するのがいいのですが、化石燃料を使用するので、本当に脱炭素化と言われると、その効果は薄まってしまいます。各炭化炉メーカーでは、元々バイオマス自体が持つ熱量を熱源に使う方式の炭化炉を開発していて、着火時以外は化石燃料を必要とせず、自燃して炭化するというものです。今、結構よい炭化炉が複数の

メーカーから販売されていて、弊社もそういった会社と協力して、高機能バイオ炭のプラントの立ち上げを計画しているところです。

(生源寺) ありがとうございます。続いて、パネラーのみなさんで相互にご質問があればお受けしたいと思っておりますが、いかがでしょうか。ご自身のプレゼンに付け加えたいコメント、補足とかでも結構です。

(西田) 高山先生にご質問です。我々もビニールハウスの中で栽培試験を行っており、化石燃料を炊いてCO<sub>2</sub>を施用しています。課題として夏場に使いづらい、換気しながらCO<sub>2</sub>を施用するのは難しいと認識していますが、例えばオランダで、あるいは豊橋で将来どのように使われるか、教えてください。

(高山) 燃焼式のCO<sub>2</sub>発生器だと熱や水が出てしまうのでいくつかの問題があると思っております。CO<sub>2</sub>が欲しいだけなのに湿度や温度まで変わるので、その要因を取り除く仕組みが必要です。オランダでは温水の貯留槽を大きくして熱を貯めておくといった対処をしているところもあります。日本でも外気と熱交換して、熱を取ったうえでCO<sub>2</sub>を供給するというものもあるにはあります。でも、上手に処理できればいいですが、今後光合成促進のために新たにCO<sub>2</sub>を生み出すのもいかなものかと思うので、他産業からCO<sub>2</sub>を、熱を取った状態で貰ってくるというようにアレンジが出来ればいいと思います。

(西田) それでも、夏場は温室を締め切ると温度が上がってしまいます。CO<sub>2</sub>濃度を上げるため締め切った方がいいか、温室を開放してもCO<sub>2</sub>濃度を制御する方法があるか、そもそも栽培をあきらめるか、そのあたりについても教えてください。

(高山) もらったCO<sub>2</sub>をどうやって閉じ込めるの、という話ですね。

1つは、グリーンエネルギーの使用を前提としてヒートポンプで冷房し、密閉性を高めておくことです。

もう1つは、植物は高温よりも乾燥を嫌うので、しっかり湿度を上げるということです。植物が嫌っ

ているのが熱ストレスなのか乾燥ストレスなのかを正確に把握して、それが乾燥ストレスなら、もしかしたら気温が40℃でも湿度が80%だったら1時間ぐらい耐えられるかもしれない。今までリスクだから農家はやらなかったけれども、計測に基づいて1時間攻めることが出来るぞとなれば、1時間晴天日のCO<sub>2</sub>濃度+200ppmって、ものすごい光合成量になります。

このようにリアルタイムに近いレベルで環境制御できれば、攻めるCO<sub>2</sub>施用、なるべくCO<sub>2</sub>を漏らさずに使う、このようなことが可能になると思います。

(生源寺) 櫻谷さんに質問が来ています。地域新電力の取り組みですが、中心になるのはどのような人、または組織ですかという質問です。

(櫻谷) 地域新電力の取り組みですが、自治体が出資をして地域新電力を立ち上げてる事例も、あちこちで出てきていますが、中心は企業です。そこに自治体に関わったり、施設を管理している土地改良区に関わったりしている事例も現れています。

農山漁村の中でEMSを構築して運営するとすると、エネルギーのマネジメントだけでなく、地域の活性化につなげていくという視点も重要かと思えます。そうすると企業、行政に加えて、土地改良区やJAといったところと連携して取り組むのが重要になると思えます。

(生源寺) ありがとうございます。土地改良区という組織の名前が出ましたが、農業関係者ならよくご存じですけども、農業の外側におられる方は恐らく、あまりご存じないかと思えます。

(櫻谷) 農業用の水利施設の管理をしている組織です。例えば、ため池ですとか、農業用ダムですとか、用排水路などの管理をしています。農村地域の電力消費を見ていると、用排水に係る電力消費量が非常に多く、最近は電気代も上がっていますので、皆さんご苦労されているという話を聞きます。再エネ導入と合わせて、EMSによる需要と供給のバランスを取っていくことが求められていると思います。

(生源寺) 次に、バイオマスを集めてくるのが大変かなと思いますが、収集の仕組みをうまく構築する研究などは行なわれていますかという質問です。

(櫻谷) 研究というよりはマネジメントの問題かと思うのですが、1か所集中型はどうしてもコストがかかるので、バイオマスが発生する場所で処理するのが一番かと思えます。

私から西田さんへの質問になるのですが、バイオ炭を作る時、原料を運んでくるコストはどう考えられているのでしょうか。

(西田) 我々の場合は、すでに集まっているところに導入するのが、正しいかなと思っています。年間500 t以上のバイオマスがないと、なかなかペイしない、炭化炉の値段も入れてですが、そのくらいの規模になります。

逆に500 tのバイオマスがどこで発生しているのかというと、例えば養鶏場です。1か所にたくさん鶏がいて、日本の養鶏場の大体16%ぐらいが10万羽以上の規模です。10万羽だと、ざっくり3,000 tぐらいのバイオマスが出てきます。こんなところを基本的には狙い撃ちして、プラントを立ち上げていければと思っています。

一方、分散的にバイオマスが出ているところに、新たなロジスティックを組んで集約していくのは難しいので、既存のルートをうまく活用するのがいいのではと思っています。

(生源寺) はい、ありがとうございます。櫻谷さんにもう1つ、NEDOの支援を受けるためには、どのようにしたらいいでしょうか。JAや自治体が窓口になりますかという質問です。

(櫻谷) NEDOは研究開発のマネジメント機関ですので、自ら研究開発を行っているわけではありません。研究開発について公募で募集しますので、それに応募していただくことになります。審査を経て採択されると、定額あるいは補助で資金を提供する形になります。

JAや自治体が窓口になりますか、とのことですが、一般的な補助金とはスキームが違いますので、そこはご理解いただければと思います。

(生源寺) ありがとうございます。今日の基調講演、パネリストのスピーチでは、取り組みの中身に触れるだけでなく、それぞれの組織のあり方についてかなり言及していただきました。こういった情報も農業界はある程度知っているかもしれませんが、そのほかの領域の方にも共有していただくことが非常に大事じゃないかなと感じました。

(吉永) この場をかりて、バッテリーの開発動向について、NEDOの櫻谷さんに、開発の進捗状況について、お伺いできればと思います。

(櫻谷) NEDOでは以前からリチウムイオン電池の高密度化に向けた技術開発の支援に取り組んでいます。また、車載用蓄電池の開発にも取り組んでいます。トラクタは自動車と違って、走るだけでなく、作業をするための機械ですので、高トルク高出力が求められます。リチウムイオン電池でこれを解消しようとする、おそらくまだ先になるだろうと思います。

一方で農機メーカーは、国内に限らず海外のメーカーも含めて、必ずしも電動化一本ではなく、小型の草刈り機や運搬機など、小型の農機は電動化が進んでいて、市販されているものもありますが、トラクタについては、水素、合成燃料、バイオ燃料などの選択も視野に入れて既存の内燃機関をどこまで引っ張るか検討されていると思います。

(生源寺) ありがとうございます。以上でパネルディスカッションについては閉じたいと思います。

私から一言だけ申し上げます。門外漢としてのコメントですが、実は現在、食料・農業・農村基本法の見直しの動きが具体化しております。本法は1999年にできたわけですが、農業と環境の関係についても、条文によって言及しているところがありますが、当時は農業はどちらかというと、環境に対してフレンドリーという感覚がベースにあったと思います。

カーボンニュートラルという話は、当時は一切なかったということもあって、おそらく今回改正されるとすれば、今日議論していただいた辺りを、食料・農業・農村政策の、あるいは憲法的な基本法にも織り込むことが必要になってくるかなと思

ております。それも漠然とした話ではなく、まさに今日の4人の皆さんがお話されたように、具体的な構想に裏付けられた形の条文が望まれるのかなという感じが致しました。

以上を持ちまして、持続可能な食料生産を支える農業イノベーションを終了したいと思います。皆さんご協力ありがとうございました。