

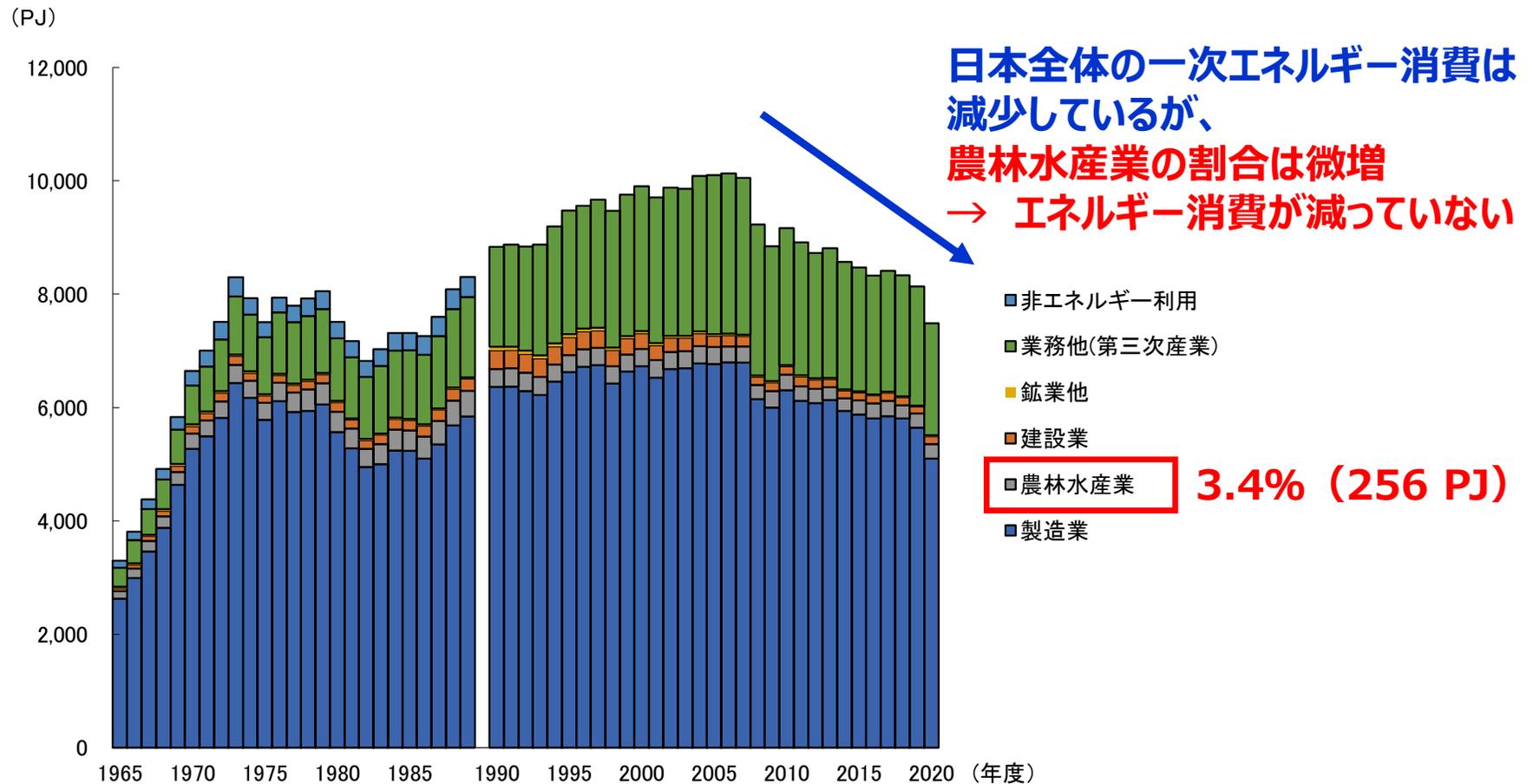
日時 2023年11月27日(月)

令和5年度 第8回関東農政局みどりの食料システム戦略勉強会
- 11月のテーマ **ゼロエミッション型施設園芸を目指して** -

施設園芸におけるCO₂ゼロエミッションを実現するためのヒートポンプおよびゼロエネルギーグリーンハウス (ZEG) の開発

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 (農研機構)
農村工学研究部門 資源利用研究領域地域資源利用・管理グループ
グループ長
石井雅久

日本の企業・事業所他部門のエネルギー消費の動向



企業・事業所他部門のエネルギー消費の動向

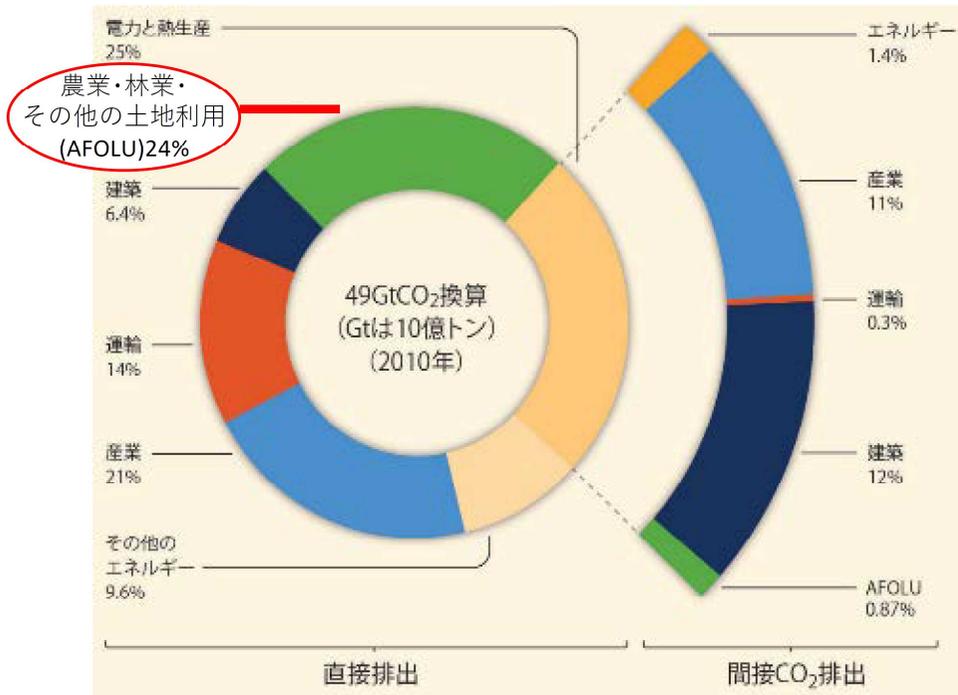
出典：令和3年度エネルギー白書（経済産業省資源エネルギー庁）

- 日本の企業・事業所他部門のエネルギー消費約7483 PJの内、**農林水産業は約3.4%を占める。**
- 農林水産業で消費される**主なエネルギー**は、**重油、灯油、軽油、ガソリン、電力**等であるが、この中で**漁船の内燃機関と施設園芸の暖房**で消費されるが**重油**が最も多い。

世界全体と日本の農業由来の温室効果ガス（GHG）の排出

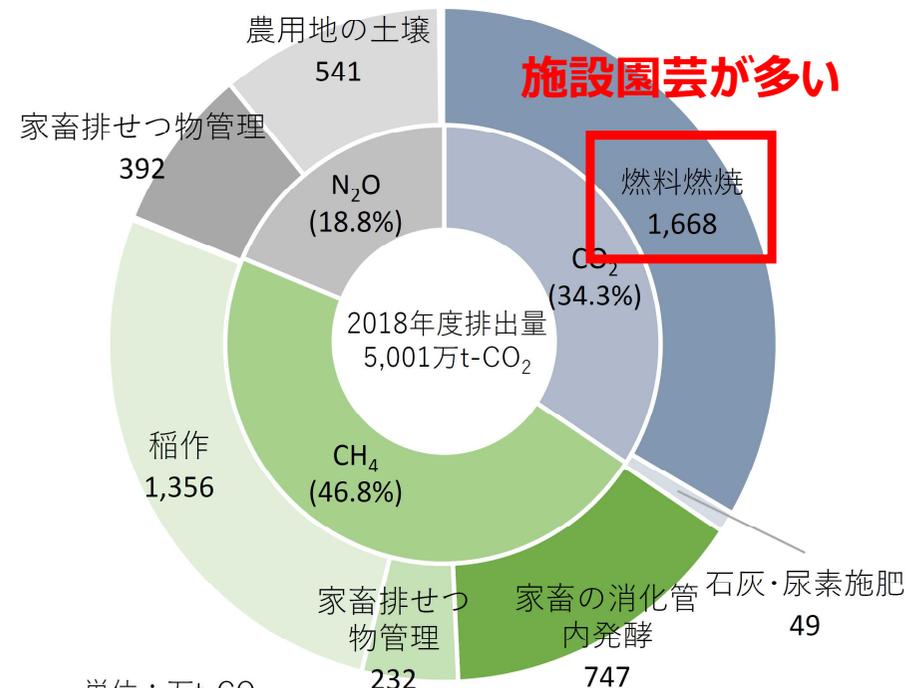
- 世界のGHG排出量は、490億トン（CO₂換算）。このうち、農業・林業・その他土地利用の排出は世界の排出全体の1/4。
- 日本の排出量は12.4億トン。このうち、農林水産分野は約5,001万トン（2018年度、約4.0%）。
- 農業分野からの排出について、水田、家畜の消化管内発酵、家畜排せつ物管理等によるメタンの排出や、農用地の土壌や家畜排せつ物管理等によるN₂Oの排出がIPCCにより定められている。
 - * 温室効果は、CO₂に比べメタンで25倍、N₂Oでは298倍。
- エネルギー起源のCO₂排出量は世界比約3.4%（第5位、2017年（出典：EDMC/エネルギー経済統計要覧））。
- 日本の吸収量は約5,590万トン。このうち森林4,700万トン、農地・牧草地750万トン（2018年度）。

■ 世界の経済部門別のGHG排出量



出典：IPCC AR5 第3作業部会報告書 図 SPM.2

■ 日本の農林水産分野のGHG排出量



単位：万t-CO₂

データ出典：温室効果ガスインベントリオフィス (GIO)

出典：気候変動に対する農林水産省の取組（農林水産省、2021）



- 日本の**施設園芸面積40,615 ha**のうち、**加温設備**を備えた**園芸用施設は16,936 ha (41.7%)**この内、**90%がA重油による燃烧式暖房装置**（温風暖房、温水暖房）を利用している。
- **再生可能エネルギー利用**として、**バイオマス燃料（木質ペレット・チップ、もみがら等）**や**自然エネルギー利用（地中熱・太陽熱利用）**が推進されているが、普及は進まない。
- **バイオマス燃料が普及しない背景**として、**単位熱量当たりの価格が燃油よりも高いこと**や、**適正な価格で安定供給されるサプライチェーンが未成熟**なことがある。
- 燃油価格の高騰以降、暖房費削減目的で**ヒートポンプ**が導入されたが、**空気熱源方式**は室外の熱交換器で**着霜**するという問題があり、普及が進まない。**導入コストも高い**ことも課題。

みどりの食料システム戦略（概要）

～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～

Measures for achievement of Decarbonization and Resilience with Innovation (MeaDRI)

令和3年5月
農林水産省

現状と今後の課題

- 生産者の減少・高齢化、地域コミュニティの衰退
- 温暖化、大規模自然災害
- コロナを契機としたサプライチェーン混乱、内食拡大
- SDGsや環境への対応強化
- 国際ルールメイキングへの参画



「Farm to Fork戦略」(20.5)
2030年までに化学農薬の使用及びリスクを50%減、有機農業を25%に拡大



「農業イノベーションアジェンダ」(20.2)
2050年までに農業生産量40%増加と環境フットプリント半減

**農林水産業や地域の将来も
見据えた持続可能な
食料システムの構築が急務**

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**
- 低リスク農薬への転換、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
- 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



ゼロエミッション
持続的発展



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。

期待される効果

経済

持続的な産業基盤の構築

- ・輸入から国内生産への転換（肥料・飼料・原料調達）
- ・国産品の評価向上による輸出拡大
- ・新技術を活かした多様な働き方、生産者のすそ野の拡大

社会

国民の豊かな食生活 地域の雇用・所得増大

- ・生産者・消費者が連携した健康的な日本型食生活
- ・地域資源を活かした地域経済循環
- ・多様な人々が共生する地域社会

環境

将来にわたり安心して 暮らせる地球環境の継承

- ・環境と調和した食料・農林水産業
- ・化石燃料からの切替によるカーボンニュートラルへの貢献
- ・化学農薬・化学肥料の抑制によるコスト低減

アジアモンスーン地域の持続的な食料システムのモデルとして打ち出し、国際ルールメイキングに参画（国連食料システムサミット（2021年9月）など）

再生可能エネルギー

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、農林漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可能エネルギーの導入を目指す。

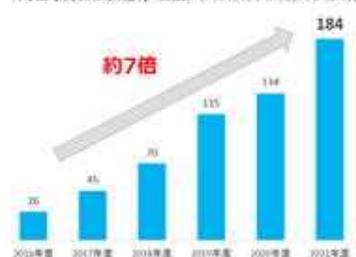
2030年目標の設定の考え方

- 2030年は、社会情勢の変化を踏まえつつ、**2050年カーボンニュートラルの実現**に向けて、農林漁業の健全な発展に資する形で、我が国の再生可能エネルギーの導入拡大に歩調を合わせた、農山漁村における再生可能エネルギーの導入を目指す目標を設定。
- 2030年までは、「**農山漁村の地域に合わせたエネルギーマネジメントシステム（Village Energy Management System（VEMS））**」の普及等を推進することで、目標達成を目指す。
- 2030年以降は、水素・アンモニア等の導入拡大や蓄電池の導入支援に歩調を合わせて、農山漁村における再生可能エネルギーの導入を加速していく。

現状と課題

- 第6次エネルギー基本計画において、2030年度のエネルギーミックスの再エネ電源比率について36%～38%を目指すとされた。
- 急速に導入された太陽光発電設備については、近年増加する災害に起因した被害に対する安全面の不安、景観や環境への影響等をめぐる地元との調整における課題、太陽光パネルの廃棄対策等、問題が顕在化。
- このため、自治体では再エネ発電設備の設置に抑制的な条例の制定が全国的に増加。
- 農山漁村が有する重要な機能の発揮に支障を来すことがないように、調和のとれた再エネ発電設備導入の取組が必要。

再エネ条例は近年増加（再エネ条例制定自治体数）



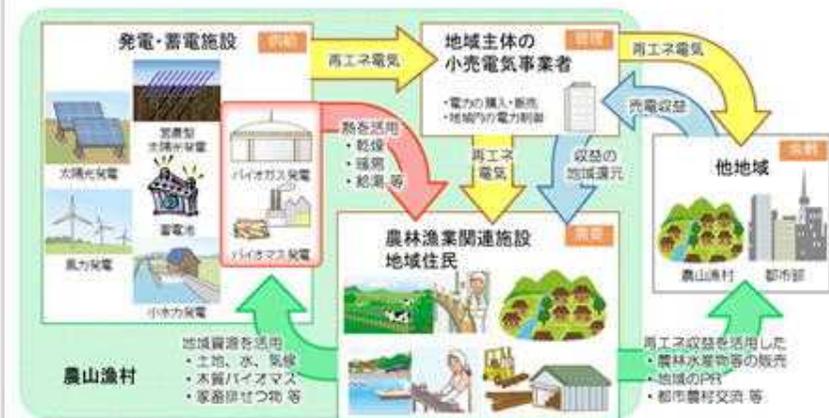
○ 設備整備計画の認定数の推移（累計）

（令和3年3月末現在、農林水産省調べ）

年度	平成26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	令和元年度	令和2年度
認定数	3	15	38	55	67	80	95

当面の対応

- 既設置済の相談窓口を活用し、VEMSの普及等を推進。
- 農山漁村再生可能エネルギー法の下、農林漁村の健全な発展と調和のとれた再エネ発電を促進。
- 令和4（2022）年度は、上記の取組に加え、地域資源活用展開支援事業、バイオマス地産地消対策、地域循環型エネルギーシステム構築等の熱利用を含めたグリーン化施策を実施。



※VEMSのイメージ

地域資源を活用した再生可能エネルギーにより、農林漁業のコスト削減や、地域経済の活性化を図る仕組み。

園芸施設

2050年までに化石燃料を使用しない施設への完全移行を目指す。

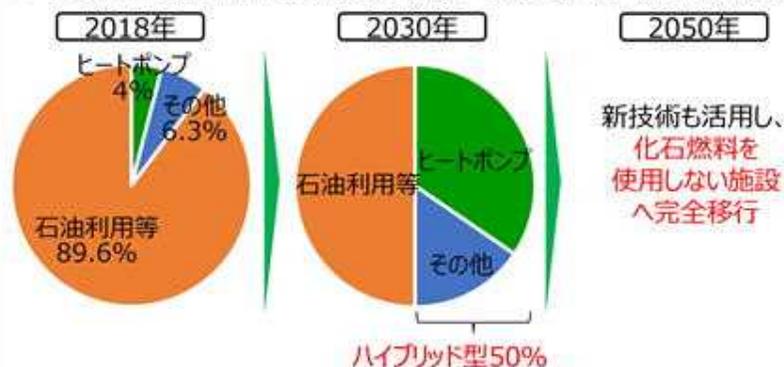
2030年目標の設定の考え方

- 地球温暖化対策計画（2021年10月閣議決定）における施設園芸の省エネルギー対策による2030年のCO₂排出削減見込量（155万t-CO₂）を踏まえ、化石燃料のみに依存しない施設（ハイブリッド型園芸施設等）の面積を推計し、中間目標を設定。
- 2030年までは、ヒートポンプと燃油暖房機のハイブリッド運転等、既存技術を活用したハイブリッド型園芸施設への転換を支援するとともに、この頃までに、高性能ヒートポンプや高効率蓄熱・移送技術など、ゼロエミッション型園芸施設の実現に向けた研究開発を進め、目標達成を目指す。
- 2030年以降は、新たに開発された技術の実証・普及により、2050年の意欲的な目標に向けて取組を加速していく。

現状と課題

- 園芸施設のうち加温設備のある施設の設置面積（2018年）は17,388haであり、その約9割（15,656ha）が重油等の化石燃料を主に使用。
- 2050年までに化石燃料を使用しない施設への完全移行に向けては、加温設備の転換を図っていく必要があるが、ヒートポンプ、木質バイオマス暖房機等の既存技術には、低温時の加温性能や導入コストなどの課題が存在。
- このため、これら課題を解決する技術開発を進めるとともに、CO₂排出量の削減に向け、施設園芸の省エネルギー対策を強力に推進していく必要。

■ 2050年の化石燃料を使用しない施設への完全移行達成に向けた道筋



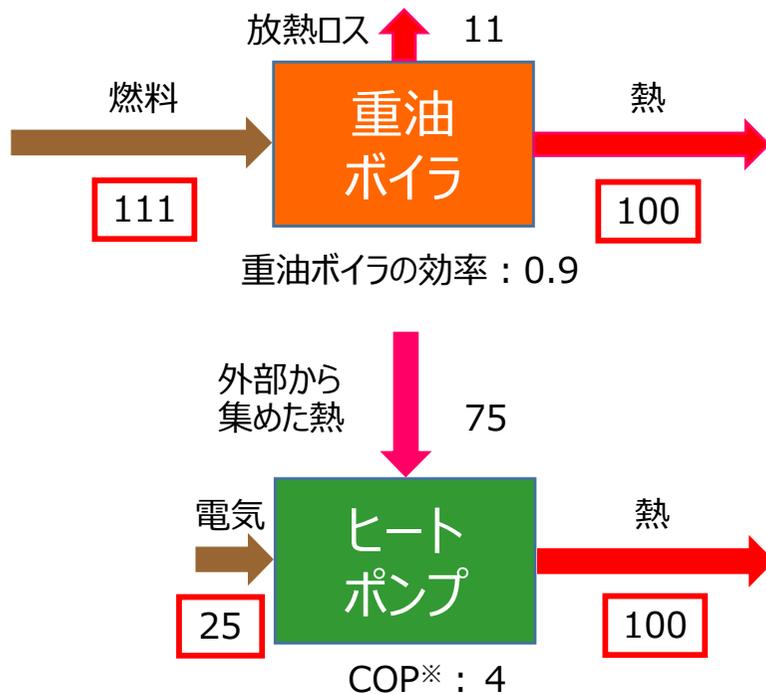
当面の対応

- 2030年に向けて、ヒートポンプと燃油暖房機のハイブリッド運転や環境センサ取得データを利用した適温管理による無駄の削減等、既存技術を活用したハイブリッド型園芸施設への転換を支援するとともに、ゼロエミッション型園芸施設の実現に向けた研究開発を推進。
- 令和4（2022）年度は、産地生産基盤パワーアップ事業、強い農業づくり総合支援交付金等により、省エネ機器等の導入を支援するとともに、みどりの食料システム戦略推進交付金のうちSDGs対応型施設園芸確立により、モデル産地を育成し、今後のハイブリッド型園芸施設の導入拡大につなげる。



ヒートポンプと燃油暖房機のハイブリッド運転

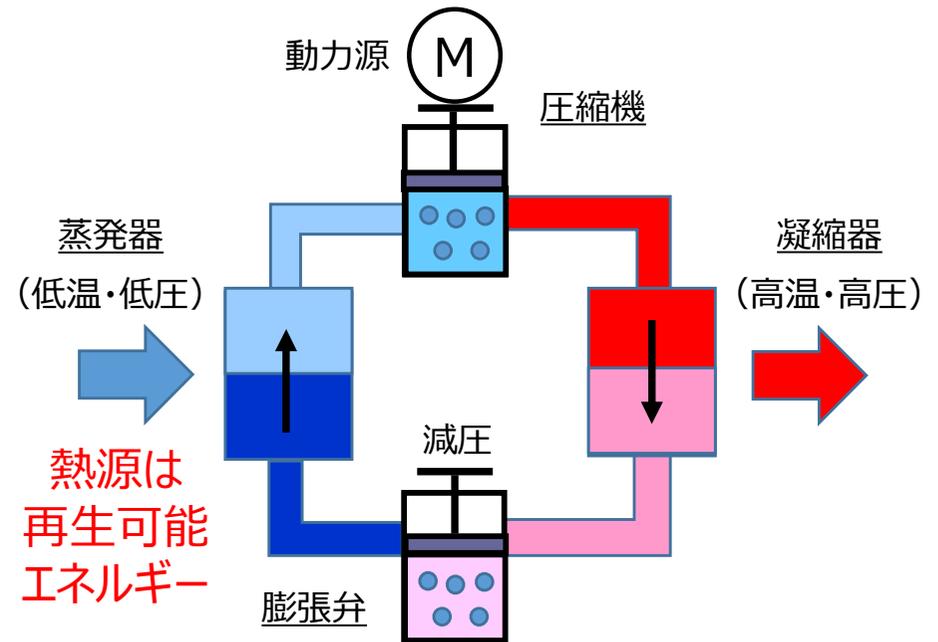
ヒートポンプによる省エネルギー効果の試算例



※COP (Coefficient of Performance、成績係数)
: 投入する電気から何倍の熱を利用できるか示す値

ヒートポンプは
投入エネルギー以上の熱エネルギーを得られる

ヒートポンプの原理



ヒートポンプ原理

ヒートポンプは
燃焼によらず発熱・放熱できる

**農林水産研究推進事業
委託プロジェクト（令和3～7年度）**

脱炭素型農業実現のための パイロット研究プロジェクト

**代表機関：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
（農村工学研究部門、農業環境変動研究センター、畜産研究部門、
中日本農業研究センター、北海道農業研究センター）**

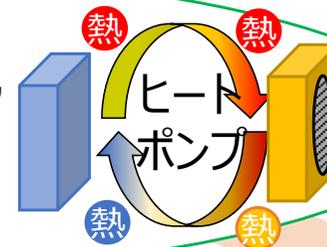
**共同研究機関：栃木県農業試験場、同 いちご研究所
地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 十勝農業試験場
国立研究開発法人 産業技術総合研究所
学校法人 慶應義塾大学理工学部
学校法人 早稲田大学創造理工学術院
ネポン株式会社
ホルトプラン合同会社**

農村・経営



- 脱炭素技術の農村地域展開によるGHG削減効果
- 農業面の経営改善効果や環境改善効果、影響度の解明
- 農村のグリーンインフラとしての役割の創出

- 再エネ活用型ヒートポンプでGHG排出削減
- 最新園芸省エネ技術で化石燃料削減



園芸



酪農・畑作

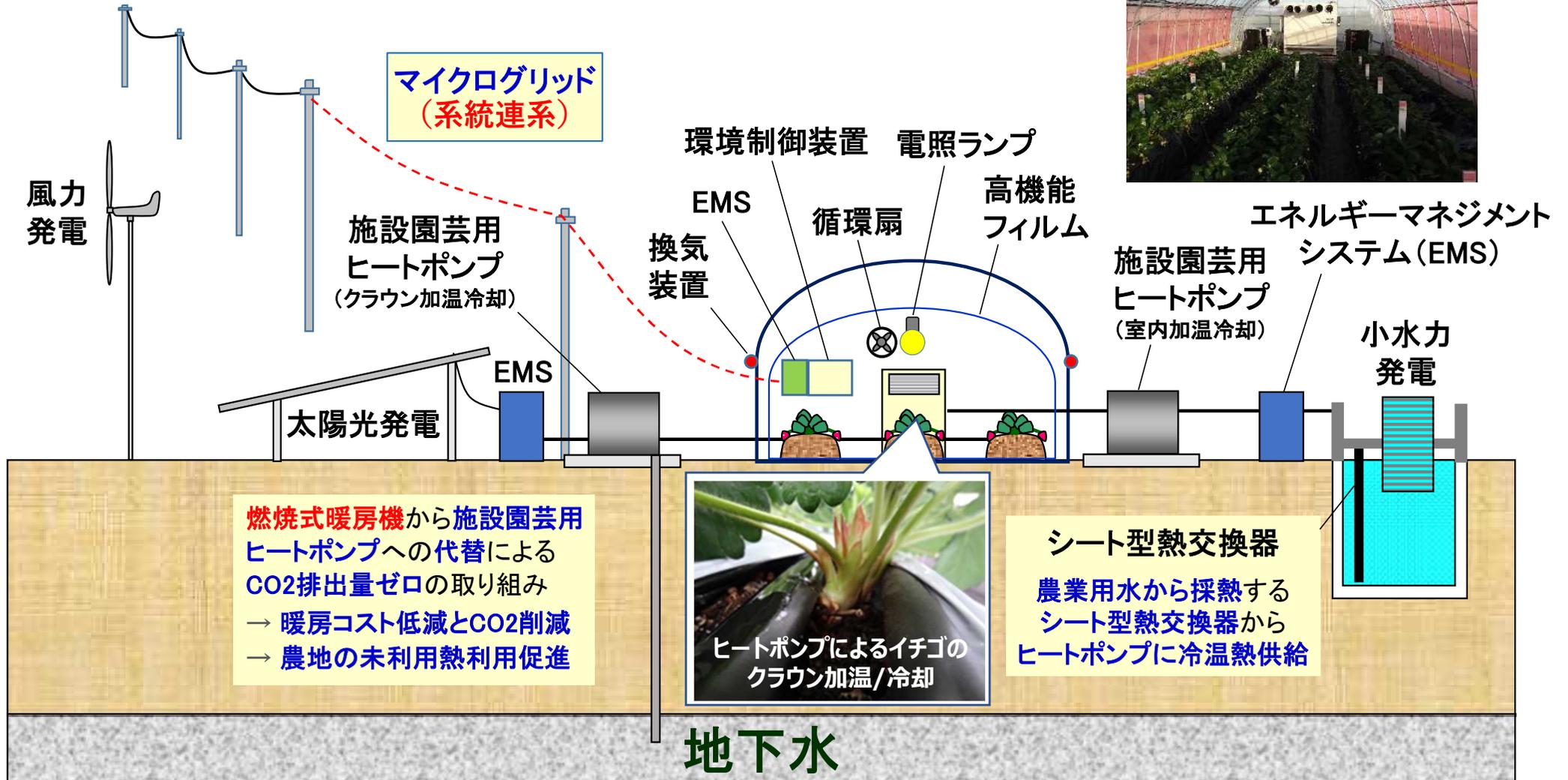
- バイオガス発電由来の有機性資源利用
- 施肥代替・炭素貯留によるGHG排出削減

- 脱炭素対策と生物生息の両立
- 有機性資材利用と水環境保全

地球環境にやさしい農業を目指して

小課題2 地域資源を活用した園芸施設におけるGHG排出削減と生産性向上技術の開発

- (1) 園芸施設における再エネ活用型環境制御システムの開発
- (2) 園芸施設における再エネ活用と周年栽培システムの開発



- ・ヒートポンプ+被覆素材→燃油使用量50%削減
- ・再エネ利用で系統電力使用量20%削減

- ・再エネ活用による周年栽培システムの開発で収益性向上

- ヒートポンプの熱源には、**空気、地中、地下水**などがあるが、**施設園芸で導入されるのは空気熱源方式が殆ど。**
- **空気熱源方式**は、**室外機の熱交換器に着霜が生じると空気との熱交換が阻害**されるため、**除霜運転（デフロスト）**をしなければならず、**この間は暖房運転が停止し、電力のみが消費**される。
- **施設園芸では暖房負荷が深夜から明け方にかけて最大**となるため、**空気熱源方式は設計通りの暖房性能を得にくく、ヒートポンプの普及は進んでいない。**
- **ヒートポンプの導入費用が高額**であることも、普及が進まない要因の一つ。



室外機



室内機

ヒートポンプの現状と課題 - 2

- 農研機構農村工学研究部門では、温室に導入するヒートポンプに関わる研究を推進し、**農地、地下水、農業用水**などから**効率的に採熱**できることを見いだしてきた。
- **地中熱源ヒートポンプ**は、**温度変化が少ない地中や地下水が熱源となる**ため、空気熱源方式のように熱交換器でデフロストを行う必要はなく、**安定的に採熱**できる。
- 熱交換器を埋設するための**掘削、ボーリング、埋設のための工事コストが高い**ことや、**土質や地下水の状況によって工事コストが異なる**ことが、**設備投資を検討する上でのマイナス要因**となり、**技術普及、社会実装には至っていない**。

地中熱源ヒートポンプ（オープンループ型）



地下水熱交換タンク（340L）



地下水熱交換タンク

地中熱源ヒートポンプ（クローズドループ型）



ボアホール掘削（深さ40m）



シート型熱交換器設置（深さ1m）



室内機



室外機



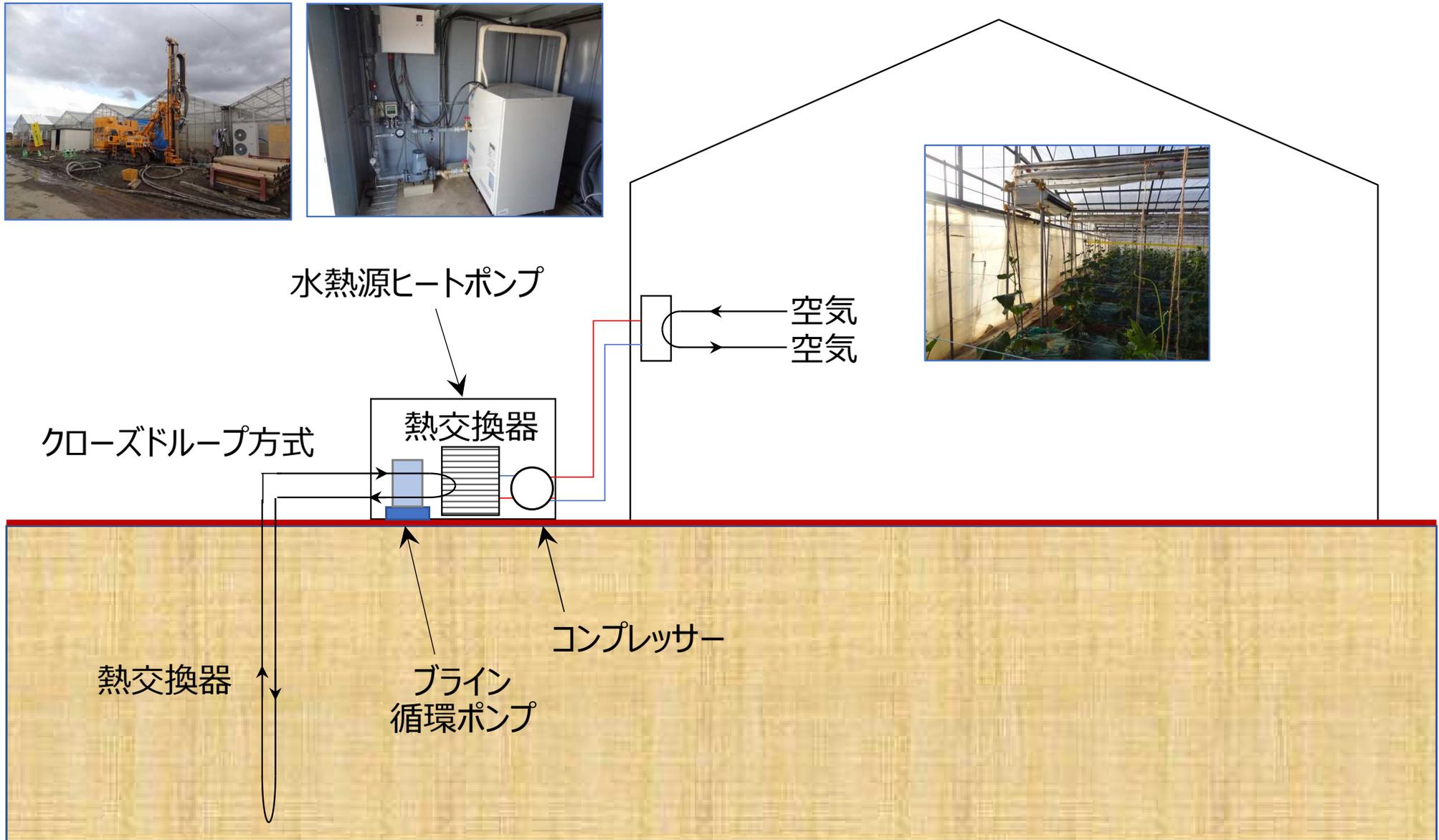
室内機



室外機

既存技術（地中熱源ヒートポンプ） - 1

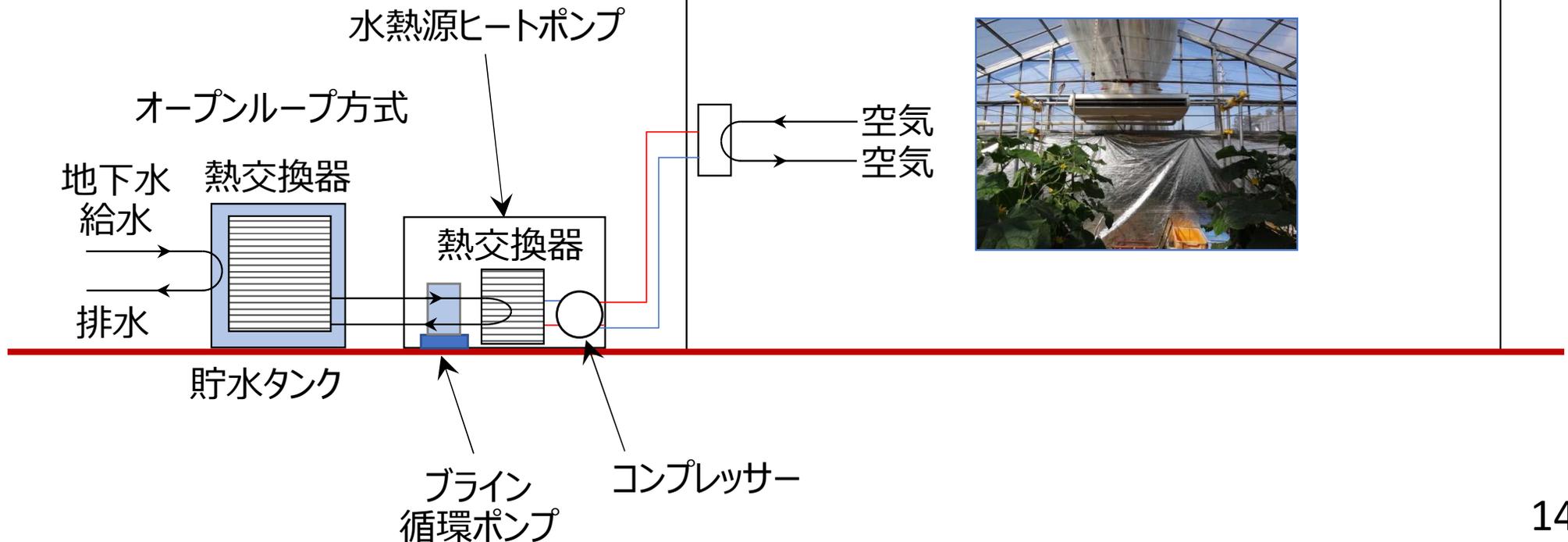
地中熱源ヒートポンプ（クローズドループ方式ブライン循環式）



既存技術（地中熱源ヒートポンプ） - 2

地下水熱源ヒートポンプ（オープンループ方式ブライン循環式）

- 地中熱源ヒートポンプは**熱交換箇所が2カ所**あり**全体の熱交換効率が低くなる**。
- 熱交換のために**ブライン循環ポンプ**を運転させるため、**エネルギー消費量が大きくなる**。



施設園芸用ヒートポンプの設置費用比較

表1 施設園芸用ヒートポンプ（10馬力、熱量28kW）の設置費用比較 単位：万円

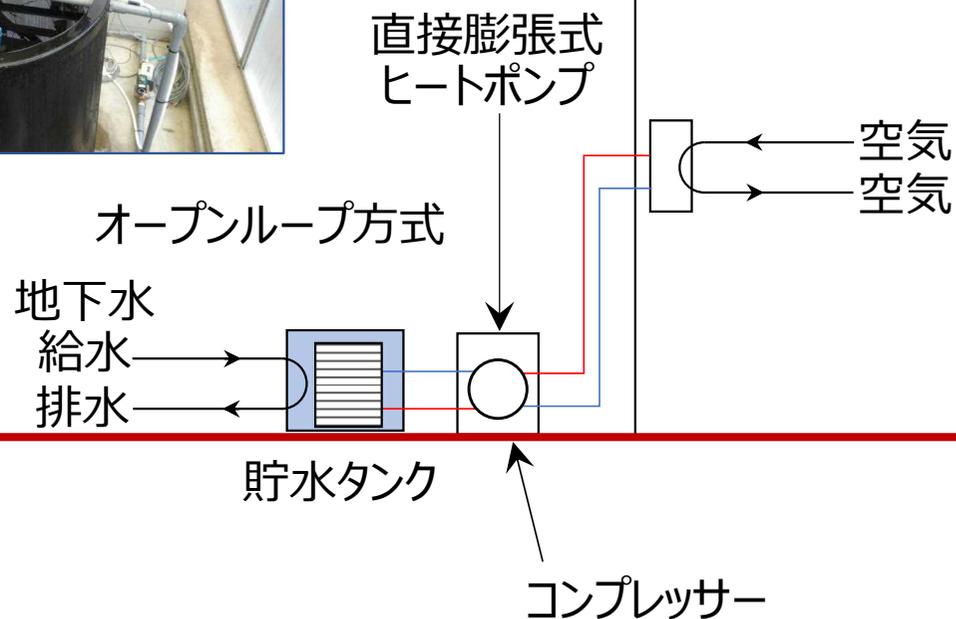
	空気熱源 	地中熱源* (縦孔、深さ100m×6本) 	地中熱源* (浅層スlinky、深さ1.5m×360m) 	地下水熱源** (シート型熱交換) 
掘削費	—	900	135	—
熱交換器、配管 資材等	—	135	215	250
掘削労務費	—	35	45	—
不凍液	—	80	50	5
ヒートポンプ 設置費	40	40	40	50
ヒートポンプ	180	280	280	135
不凍液循環ポン プ	—	5	5	5
電気工事費、諸 経費等	30	60	60	45
合計(税抜き)	250	1535	915	490

*:「ハウス暖冷房に地中熱ヒートポンプの導入をお考えの皆様へ」より引用

**：先端プロ展開事業での工事コストより算出

地中熱源ヒートポンプ（オープンループ型直接膨張式）

- 地中熱源ヒートポンプを**オープンループ方式直接膨張式に改良**して、**熱交換箇所 1カ所にし、熱交換効率の低下を減らした。**
- 貯水タンクとヒートポンプ本体の**ブライン循環系を削除**し、エネルギー消費を削減した。



- 直接膨張式ヒートポンプは外気温が氷点下の条件でも、室内気温の変動は少なく、安定的な暖房運転が可能であることが示された。
- 直接膨張式ヒートポンプは既存の空気熱源ヒートポンプの熱交換器部分の冷媒経路のみの改良により製造可能で、地下水利用に特化した熱交換器の利用により、優れたCOP性能を引き出せることが明らかとなった。
- 初期は試作機（1馬力、暖房能力2.8kW）で研究開発を進めたが、現在、本技術を適用し、市販化を想定した実証試験機（3馬力、暖房能力8.4kW、5馬力、暖房能力14kW、10馬力、暖房能力28kW）の開発に取り組んでいる。



実証温室 (室外)



実証温室 (室内)



ヒートポンプ室内機



地下水用熱交換器



実証ハウス（室外）



実証ハウス（室外）

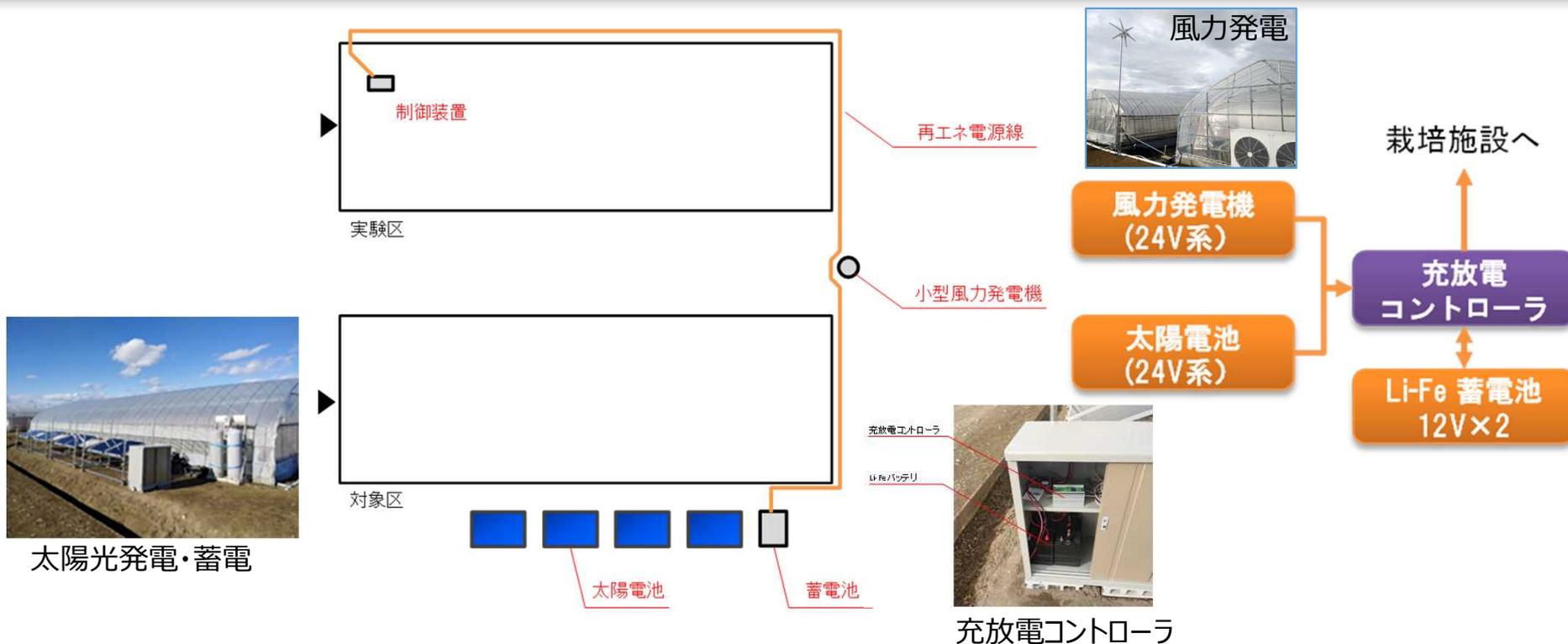


地下水熱源ヒートポンプ（室内制御用）



地下水熱源ヒートポンプ（クラウン制御用）

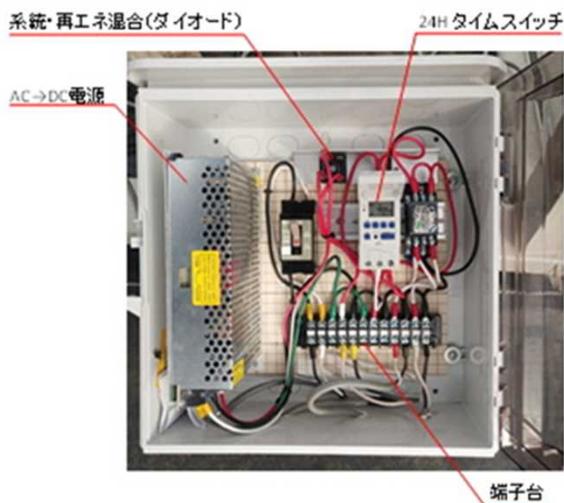
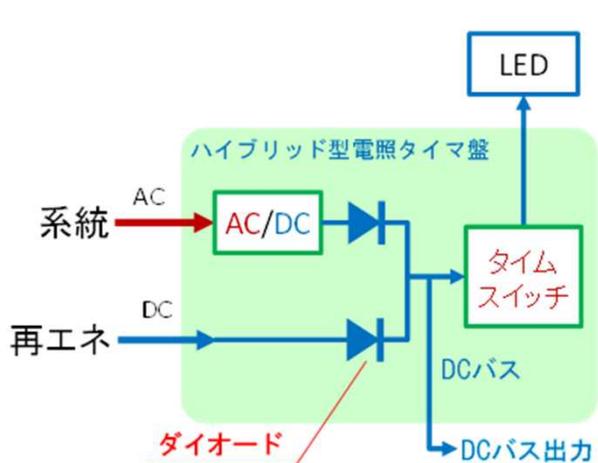
栃木県農業試験場いちご研究所での実証試験



太陽光発電・蓄電



充放電コントローラ



再生エネルギー蓄電によるLED電照の状況

**(環境省) 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 (二次公募)**

「施設園芸の脱炭素化に資するゼロエネルギーグリーンハウス (ZEG) の開発・実証」について

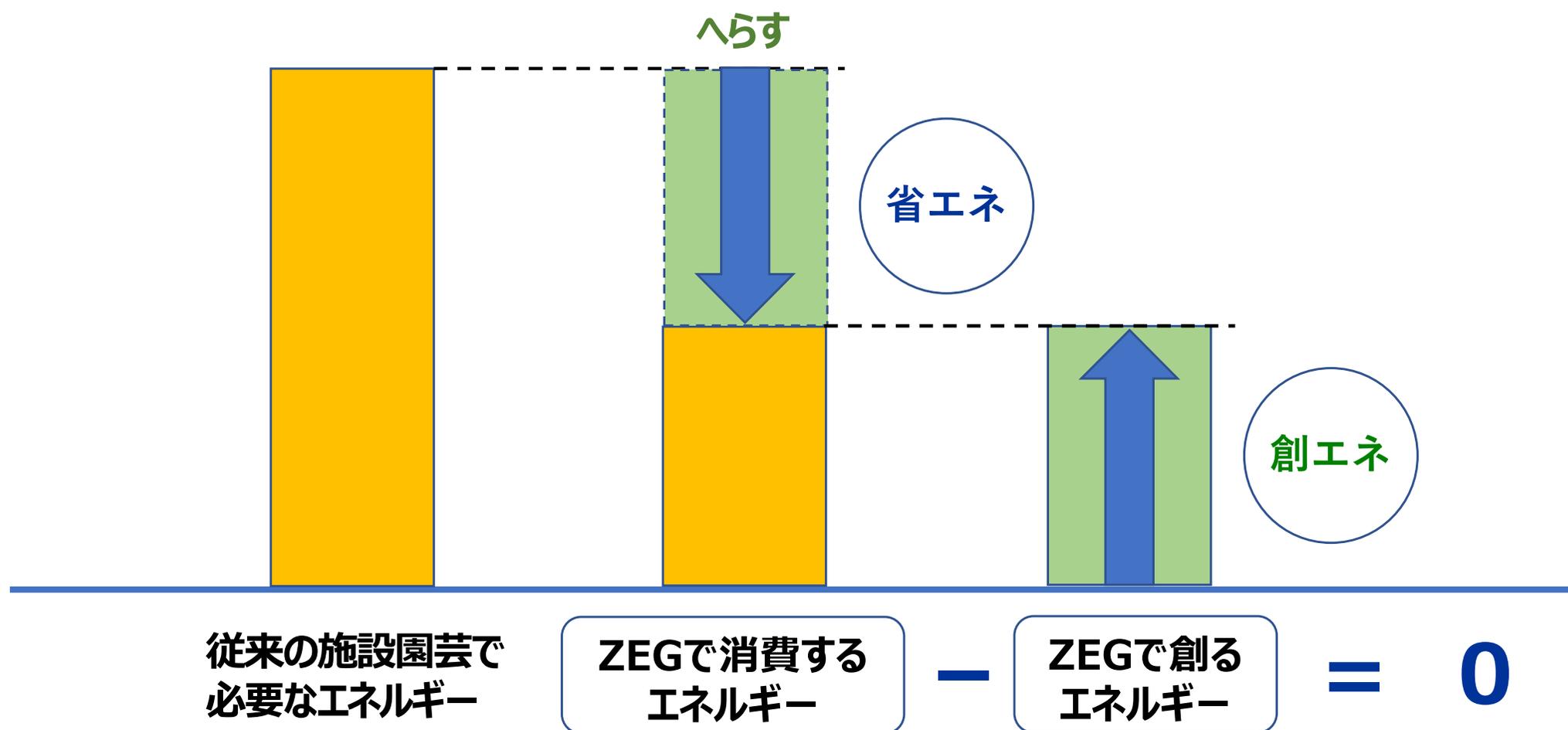
代表研究機関：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

**共同研究機関：東洋紡株式会社
イノチオアグリ株式会社
ホルトプラン合同会社
早稲田大学理工学術院創造理工学部
慶應義塾大学理工学部
千葉大学大学院園芸学研究院
埼玉県農業技術研究センター
有限会社国分寺洋蘭園**

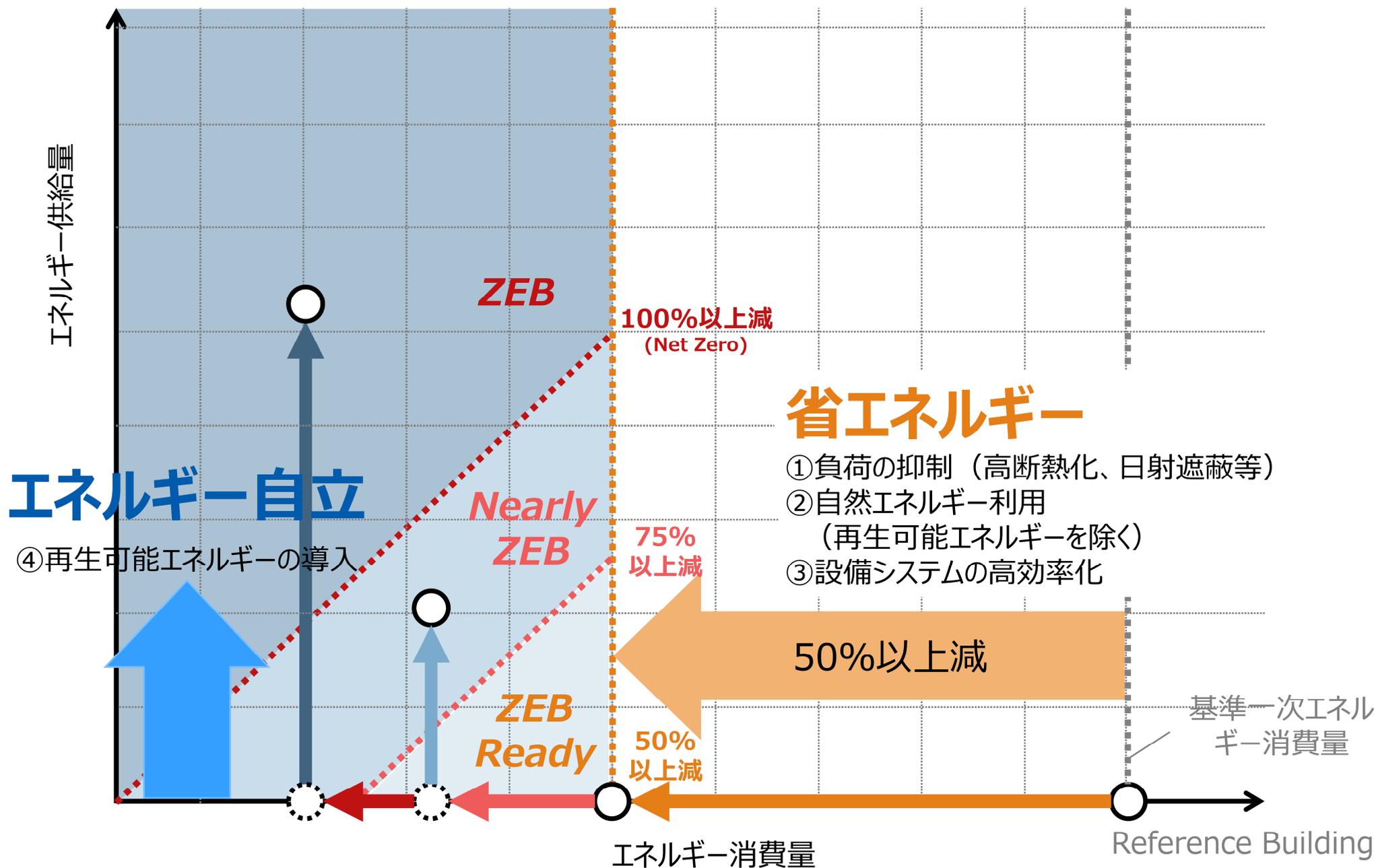
事業担当：環境省 地球環境局 地球温暖化対策課 地球温暖化対策事業室

ゼロエネルギーグリーンハウス（ZEG）とは

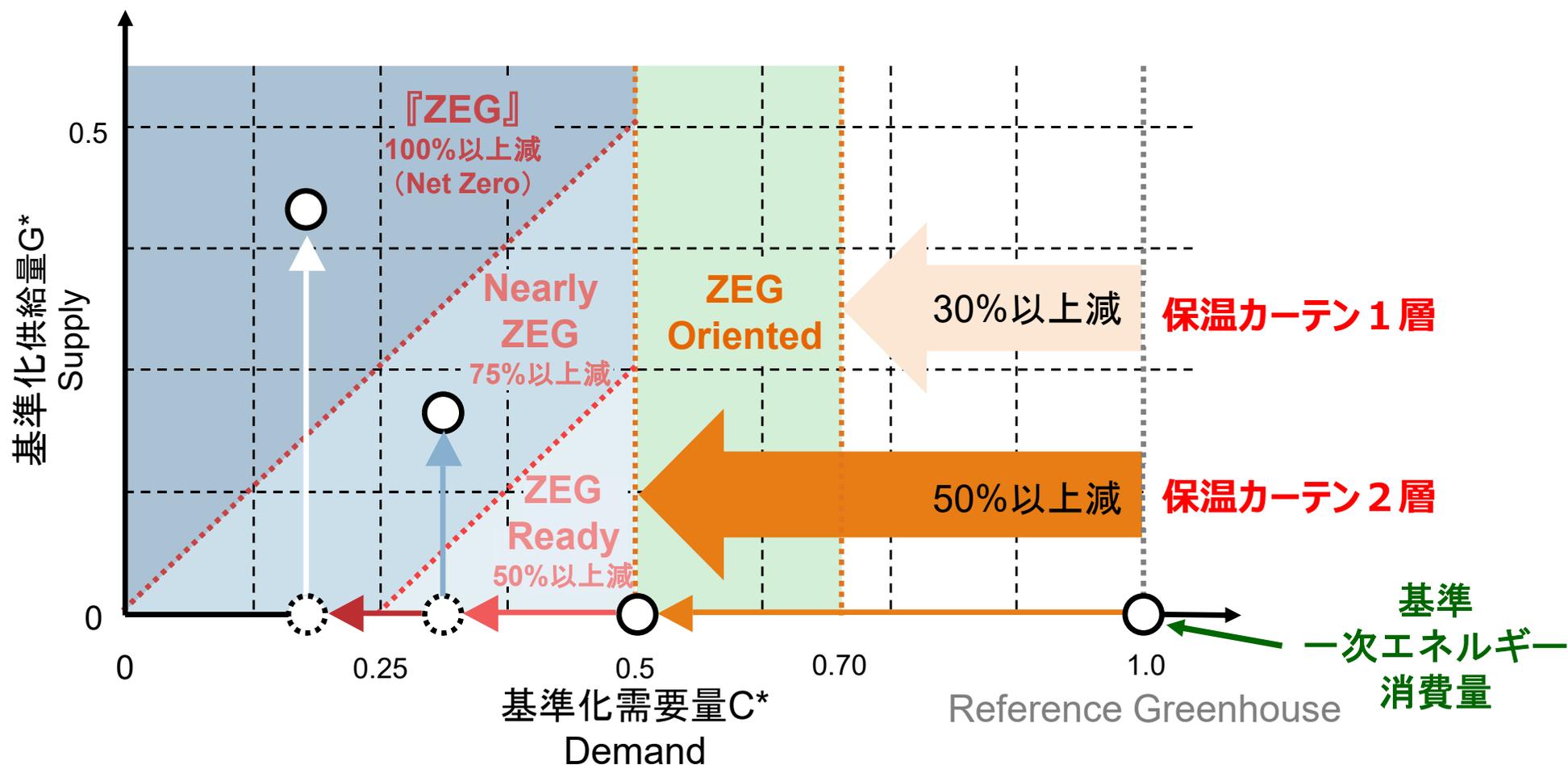
- net Zero Energy Greenhouse（ネット・ゼロ・エネルギー・グリーンハウス）の略称で、「ゼグ」と呼称
- 高効率な園芸生産および快適な室内環境を実現しながら、温室（グリーンハウス）で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロにすることを旨とする



ZEB（ゼロエネルギービル）の定義・評価方法（例）



ZEG（ゼロエネルギーグリーンハウス）の定義・評価方法



G* : 標準化供給量 = 評価対象温室の生成エネルギー / レファレンス温室の消費エネルギー

C* : 標準化需要量 = 評価対象温室の消費エネルギー / レファレンス温室の消費エネルギー

ZEG（ネット・ゼロ・エネルギー・グリーンハウス）の段階的評価

「施設園芸の脱炭素化に資するゼロエネルギーグリーンハウス (ZEG) の開発・実証」

研究代表機関：農研機構（農村工学研究部門、農機研）

参画機関：東洋紡、イノチオアグリ、ホルトプラン、早稲田大学、慶應義塾大学、千葉大学、埼玉県農業技術研究センター、国分寺洋蘭園

【実証技術の概要】

【技術要素①】

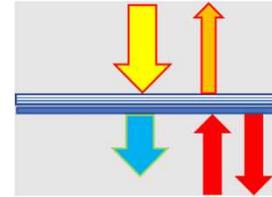
施設園芸用
ヒートポンプ



地下水熱源ヒートポンプ

【技術要素②】

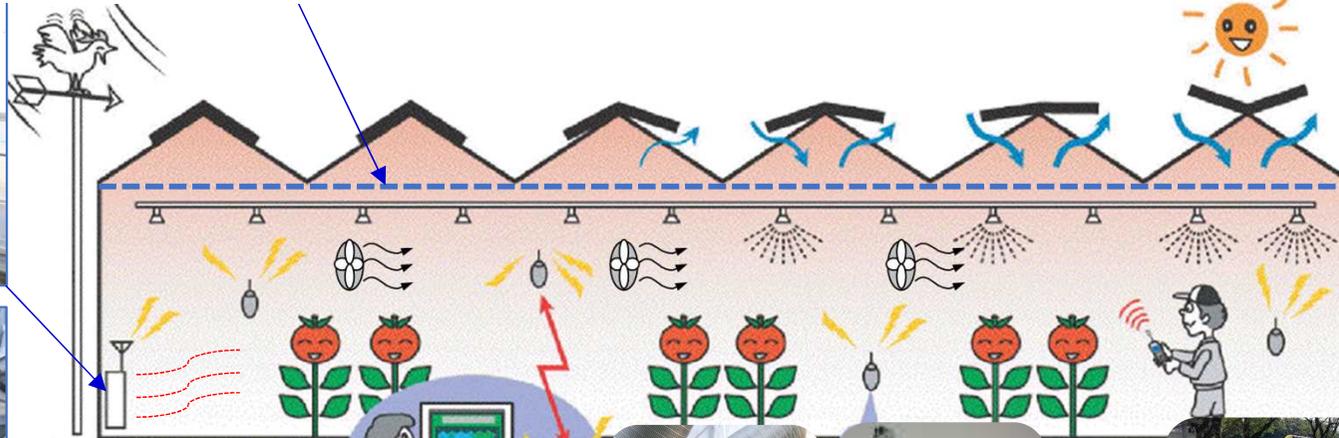
波長選択積層フィルムを適用した
新カーテン資材（保温/遮熱併用）



・光合成に有効な400～700nm
の波長を選択的に透過
・近赤・赤外光の反射を制御



波長選択積層フィルム



【技術要素④】

ZEG体系化

エネルギーNet Zero
生産性・収益向上

【技術要素③】

高精度環境計測・制御装置
/GEMS/センサーネットワーク



センサーネットワーク 環境計測センサ



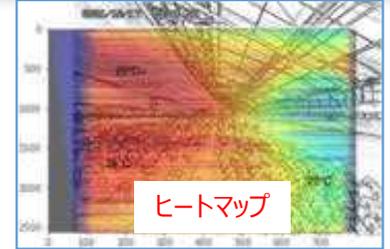
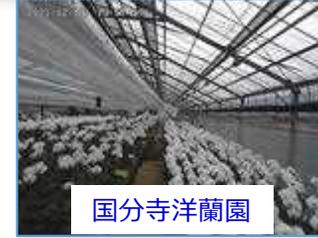
自動運搬台車

- ① 農業地域の再エネ電力と未利用熱を利活用する高効率な施設園芸用ヒートポンプの開発による燃焼式暖房機からの脱却
- ② 作物光合成の最大化とエネルギーロスを最小化し、作物にとって明るい波長選択積層フィルムを適用した新カーテン資材の開発
- ③ ヒートポンプと新資材カーテンの効果を引き出すセンサーネットワークと高精度環境計測・制御装置/GEMSの開発
- ④ ①施設園芸用ヒートポンプ、②新素材カーテン、③高精度環境計測・制御システムを組み合わせたZEG仕様温室生産システム

【実証技術の概要】



試作・開発中の施設園芸用ヒートポンプ（10馬力機）と改良（農研機構）

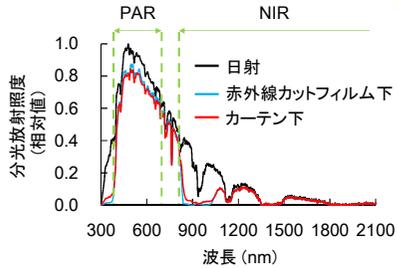
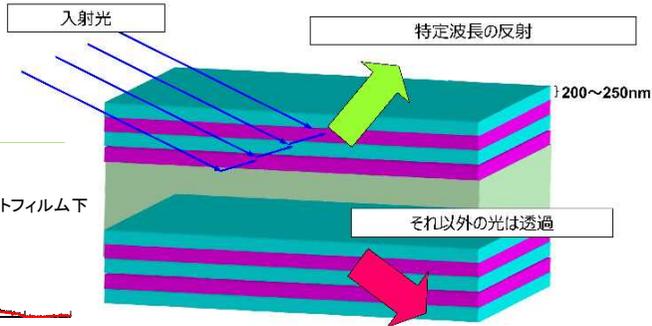


高精度環境計測・制御装置/センサーネットワーク（慶應義塾大学、ホルトプラン、農研機構）

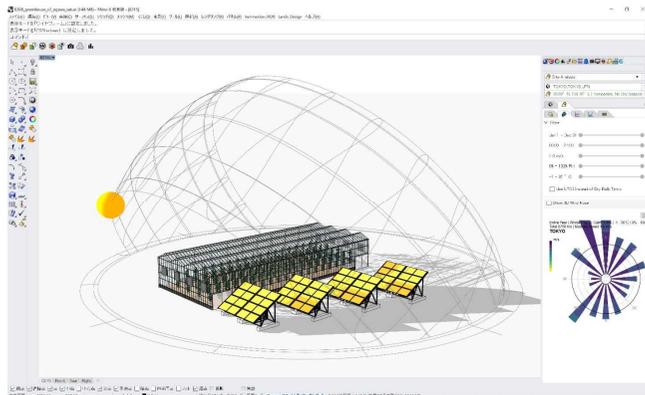


各層の光路差干渉（屈折率×厚み）による特定波長の多重反射を利用

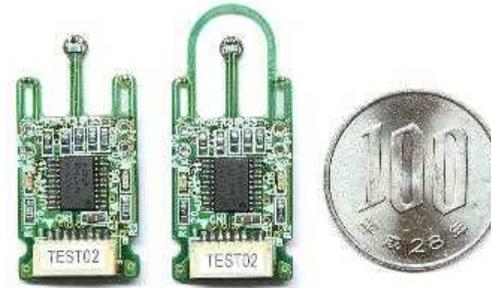
1層の厚さが光の波長の1/4の場合に特異的に現れる現象



開発中の積層高機能性フィルムの原理と特徴（東洋紡）



開発中のZEGシミュレーター（早稲田大学、農研機構）



新開発の小型環境計測センサモジュール（ホルトプラン、農研機構）



自律走行が可能な小型電動ロボット（農研機構）



ZEG仕様温室の建設と現地実証（イノチオアグリ、国分寺洋蘭園、千葉大学、埼玉県）

農林水産業でのゼロエミッションの取り組みを見える化するための仕組みが必要

農林水産業に関わる生産情報の見える化と製品・商品へのタグ付け（付加価値化）

農林水産物の生産・流通に関わるGHG削減量を定量的に見える化
 → GHG削減食品認証制度（JAS）
 農水省、環境省、経産省、国交省等の連携

デジタル田園都市国家構想を推進

みどりの食料システム戦略を推進

データ管理

データ収集

データ利活用

情報発信
異常通報

情報通信プラットフォーム

温度・出荷情報
など

電力・燃油
情報
など

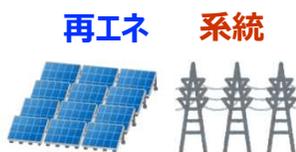
位置・温度
情報
など

販売情報
など



- 稼働状況の見える化
- DR、VPP
- 系統/再エネ制御
- データの分析
- GHG削減量定量化

- 情報発信
- コンサル
- 異常通報
- BCP対応



生産

エネルギー

流通

小売

GHG削減食品

この成果の一部は、

1. 農林水産省委託プロジェクト研究「脱炭素型農業実現のためのパイロット研究プロジェクト」JPJ009819
2. 環境省令和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(二次公募)「施設園芸の脱炭素化に資するゼロエネルギーグリーンハウス(ZEG)の開発・実証」
3. 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)の委託業務「2020年度NEDO先導研究プログラム/エネルギー・環境新技術先導研究プログラム(エネ環)/農山漁村に適した地産地消型エネルギーシステム技術開発、農林業機械・漁船等の電動化及びその普及に資する技術等の開発/農山漁村地域のRE100に資するVEMSの開発(P14004)」

により得られました。記して謝意を表します。

※ 本資料の取扱いについて

掲載された講演資料の中には著作権があるもや、未発表のものも含まれておりますので、複製・転載・引用に当たっては、必ず講演者の了解を得てください。