

日時 2023年2月28日(火)  
場所 ザ・プリンスさくらタワー東京

(農林水産省) SDGs対応型施設園芸事例普及事業シンポジウム  
**農業×SDGs 施設園芸の未来**

## SDGsと施設園芸

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  
グループ長補佐

石井雅久

### SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



## GHG (Greenhouse Gas)



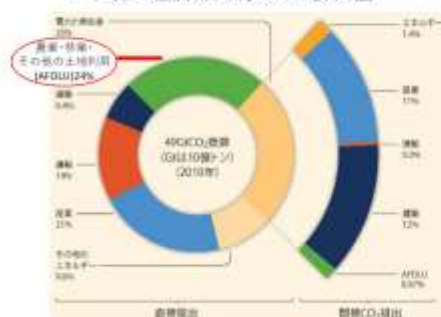
- 月面（昼は110℃、夜は-170℃）
- 地球の平均気温は15～19℃
- 地球の平均気温がマイナスにならないのは大気があるから
- 温室効果（Greenhouse Effect）→ ×  
地球を取り巻く大気は**温室のガラスのような役目をしており**、波長の短い太陽光はほとんど透過するが、いったん地表で吸収されて、波長が長くなった放射は大気を透過しにくい。そのため地球の気温が上昇する。
- 大気効果（Atmospheric Effect）→ ○  
地球の表面から発せられる**放射（赤外線の一部）が大気圏外に届く前に一部が大気中の物質（オゾン、CO<sub>2</sub>、メタン、水蒸気など）に吸収**されることで、そのエネルギーが大気圏よりも内側に滞留するため、結果として**大気圏内部の気温が上昇**する。

2

## 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（CO<sub>2</sub>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N<sub>2</sub>Oの排出がIPCCにより定められている。  
\* 温室効果は、CO<sub>2</sub>に比べメタンで25倍、N<sub>2</sub>Oでは298倍。
- エネルギー起源のCO<sub>2</sub>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

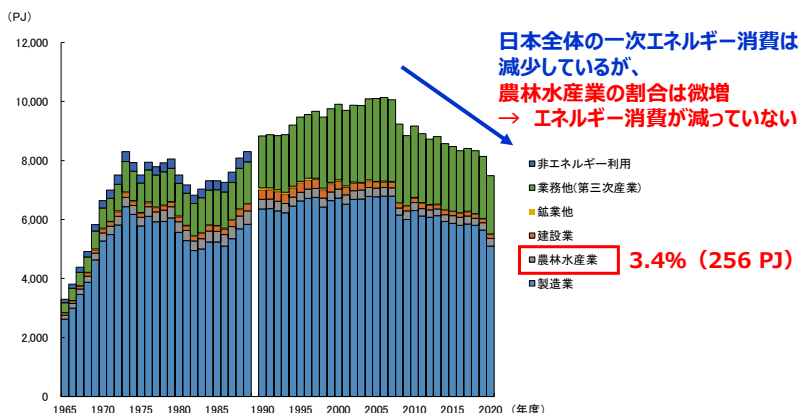


■ 日本の農林水産分野のGHG排出量



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

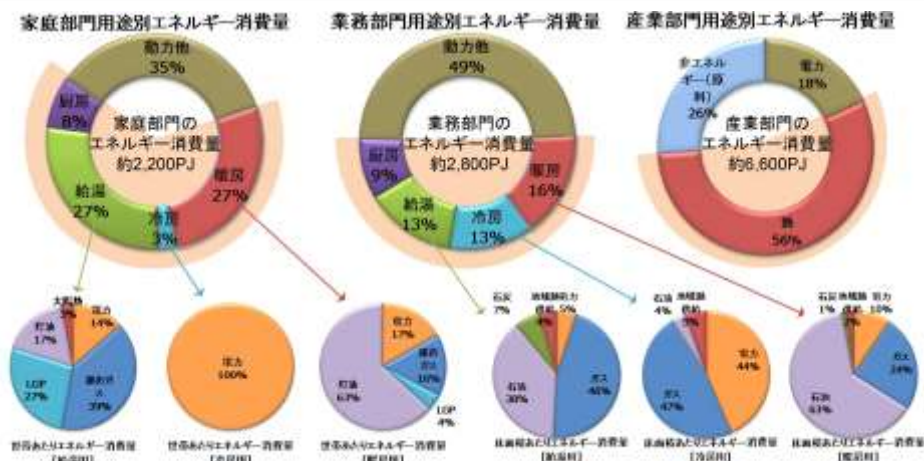


企業・事業所他部門のエネルギー消費の動向  
出典：令和3年度エネルギー白書（経済産業省資源エネルギー庁）

- ▶ 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**A重油**が最も多い。

4

## 家庭部門、業務部門、産業部門のエネルギー消費量



出典：(財)日本エネルギー経済研究所「エネルギー—経済統計要覧2013」、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計2010年度速報」をもとに作成

- ▶ 家庭部門、業務部門、産業部門の全てにおいて、**消費されるエネルギーは熱エネルギーが半分以上。**
- ▶ 家庭部門、業務部門、産業部門で**消費されるエネルギーの大半は石油やガスなどの化石燃料**が多く、GHG削減の肝は**一次エネルギーの省エネ化と再エネ利用の推進が脱炭素化の一丁目一番地。**

5

## 施設園芸の加温設備の動向と課題

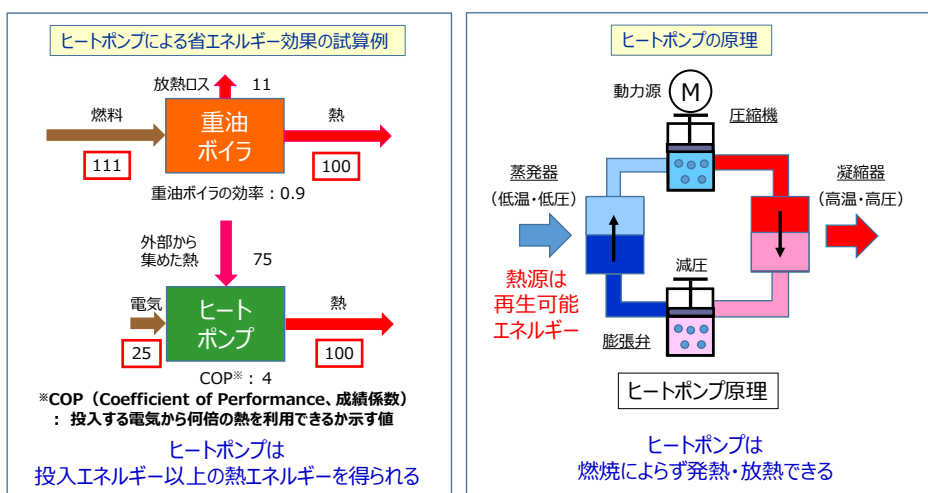


## 一般的な園芸用施設と加温設備

- 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重油による燃焼式暖房装置（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、もみ殻など）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。
- 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ている。しかし、空気熱源方式のヒートポンプは、室外の熱交換器で着霜が頻発するという問題があり、その普及が進んでいない。導入コストも高いことも普及の課題。

6

## 燃焼式暖房機からヒートポンプへ



7

## ヒートポンプの特徴（利点）



- ◆特徴1 消費電力量の3～5倍の熱量が利用できる  
(重油暖房より割安になり得る)
- ◆特徴2 暖房、冷房（除湿）の多目的に利用できる
- ◆特徴3 油焚暖房機よりは、CO2排出量が少ない
- ◆特徴4 電気は安定供給
- ◆特徴5 故障が少ない、自動運転が可能



(林、2015)

8

## 冷房（夜間）



同時に除湿もされるので「冷房除湿」運転

- ◆バラの夜冷 ⇒ 増えている 愛知県西尾市（大須賀慶一、2007）

表-5 収支結果 (単位：円/3.3㎡)

	科目	夜間冷房区	無処理区
収入	販売額	13,564.5	8,853
支出	電気代	271.7	—
	クーラー償却費	784.1	—
	小計	1,056	—
差引額	合計	12,509	8,853



夜冷により（日格差の効果？）

- ・ 8、9月の採花本数が多い。
- ・ 花にボリュームがある。
  - ・ 茎径が長く、茎が太い。
  - ・ 花が大きい。
- ・ 秋口の収量低下を抑制

- ◆キクの夜冷 ⇒ 奇形花の減少

展望：昼間や夜間の高温による収量低下を打消す一手段として期待  
(林、2015)

9

## 除湿・湿度制御（病害防除）



同時に冷房もされるので「除湿冷房」運転

- ・梅雨時の除湿（相対湿度を下げたい）
- ・冬期夜間の除湿

施設内湿度と発生病害（石井、1983）

作物名	乾燥下で多発生	多湿下で多発生
キュウリ	うどんこ病	べと病、炭そ病、黒星病、灰色かび病、菌核病、つる枯病、褐斑病、斑点細菌病など
メロン	うどんこ病	べと病、つる枯病など
トマト	うどんこ病	葉かび病、斑点病、疫病、灰色かび病、輪紋病など
ピーマン	うどんこ病	灰色かび病など
ナス	うどんこ病	褐紋病、黒枯病、灰色かび病、菌核病、すすかび病など
イチゴ	うどんこ病	灰色かび病、菌核病など

・バラの病害

灰色かび病・ボトリチス減少。うどんこ病発生しやすい？

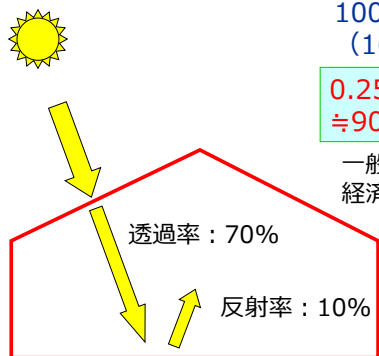
◆課題：病害抑制だけでなく成育促進のための利用の検討

(林、2015) 10

## 冷房（昼間）



屋外日射量を800W/m<sup>2</sup>と想定すると



約500W/m<sup>2</sup>の熱が地面に吸収され、その50%が地表面で顕熱化すると約250W/m<sup>2</sup>の熱となる。

1000m<sup>2</sup>の温室で吸収した熱を、10畳（16m<sup>2</sup>）用エアコン（2.8kW）取り除くには？

$$0.25 \text{ (kW/m}^2\text{)} \times 1000 \text{ (m}^2\text{)} \div 2.8 \text{ (kW)} \approx 90 \text{ (台)}$$

一般の作物栽培においては、ヒートポンプによる冷房は、経済的生産が難しい。

昼間の冷房は日射負荷が大きく、収益性の低い作物では経済的に難しい。

夜間の冷房は日射負荷がないため、ある程度付加価値の高い作物では、経済的に見合う場合がある。

## ヒートポンプの現状と課題



- 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ほとんど**。
- **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が進まない**。
- **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

12

## 温室利用に適するヒートポンプの研究開発



- 農研機構農村工学研究部門では、温室利用に最適なヒートポンプの研究・開発を推進し、**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、厳寒な中でも地中や地下水から効率的に採熱**できるが、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（クローズドループ方式）



ポアホール掘削（深さ40m）



シート型熱交換器設置（深さ1m）

地中熱源ヒートポンプ（オープンループ方式）



地下水熱交換タンク（340L）



地下水熱交換タンク



室内機



室外機



室内機



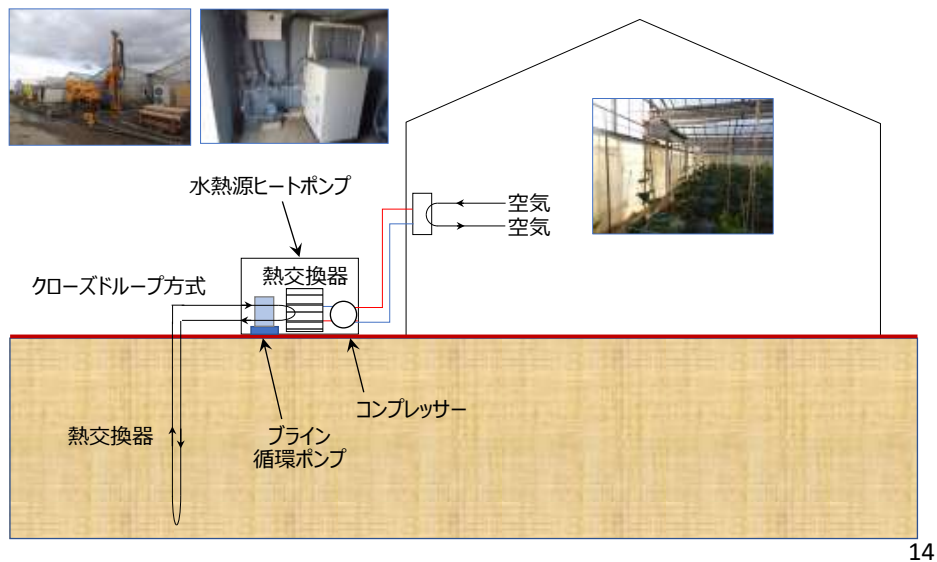
室外機

13

## 既存技術（地中熱源ヒートポンプ）



### 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）

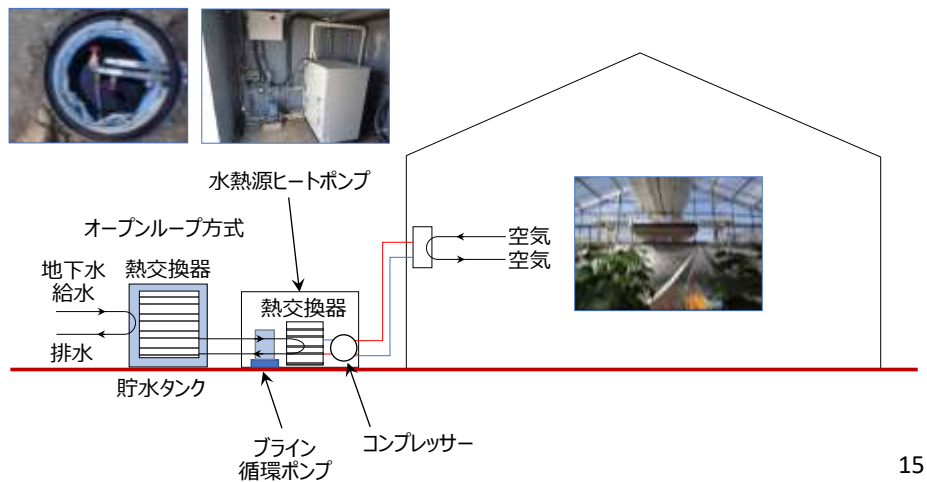


## 既存技術（地中熱源ヒートポンプ）



- 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。**

### 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）





## 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+ (掘孔、深さ100m×4本)	地中熱源+ (浅層スリッサー、深さ1.5m×380m)	地下水熱源** (シート地熱交換)
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

\*\*：先端プロ農研事業での工事コストより算出

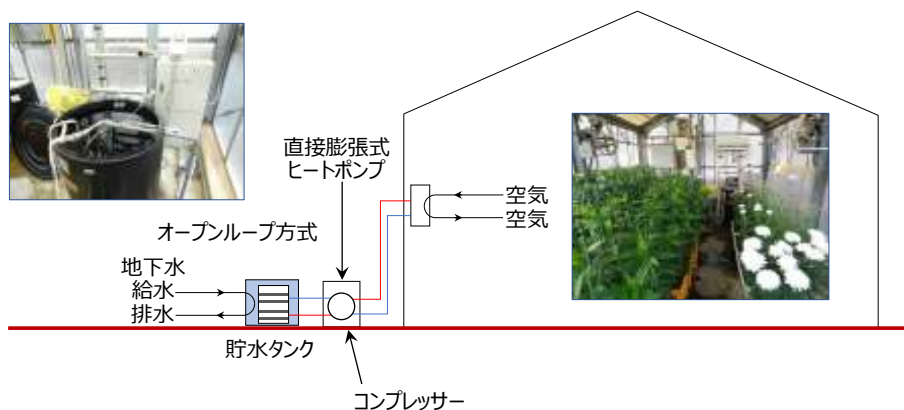
16

## 研究開発中の新型ヒートポンプ



- ▶ 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。

## 地中熱源ヒートポンプ（オープンループ型直接膨張式）



17

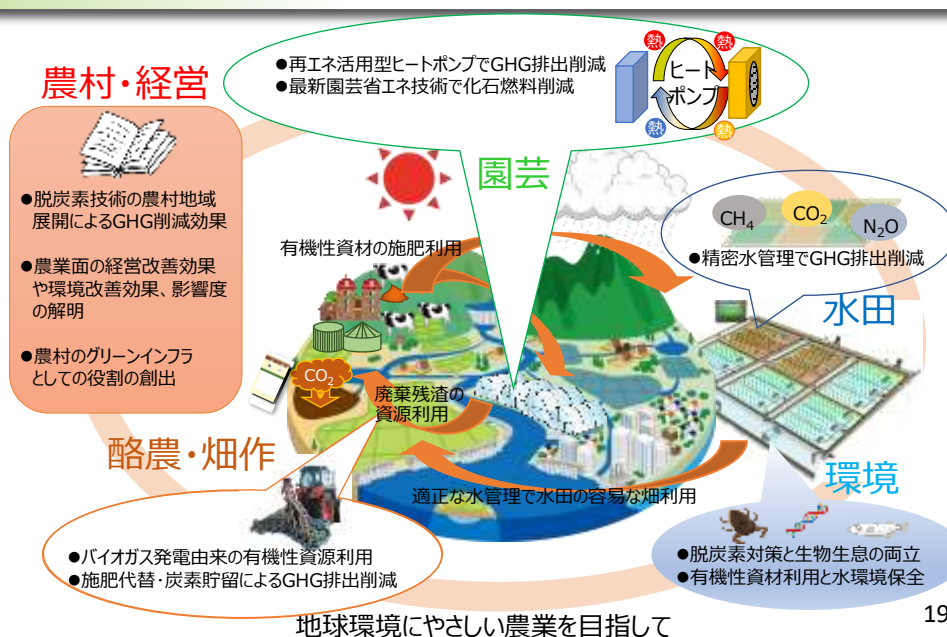
令和4年度 農林水産研究推進事業  
 委託プロジェクト

## 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  
 ネボン株式会社  
 ホルトプラン合同会社

### 研究成果イメージ



令和4年度 農林水産研究推進事業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」



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



20



「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

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：三菱電機株式会社開発本部  
千葉エコ・エネルギー株式会社  
ジオシステム株式会社  
ホルトプラン合同会社  
国立研究開発法人産業技術総合研究所  
慶應義塾大学理工学部  
早稲田大学理工学術院  
東京大学生産技術研究所  
京都大学工学研究科

事業担当：NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部

## 農山漁村地域の再生可能エネルギー供給群



- 農山漁村地域には太陽光、水力、風力、波力、地熱、地中熱、そしてバイオマスなど多様な再生可能エネルギー供給群があるが、現在は固定価格買取制度（FIT）で発電者側に有利なインセンティブがあるため、海外と比べて地産地消の取り組みが遅れている
- FIT終了後も再生可能エネルギーによる発電が継続できるビジネスモデルが必要



太陽光発電



営農型太陽光発電



小水力発電



風力発電



バイオマス（木質）発電



バイオマス（畜産/集落排水）発電



バイオマス（食品残差）発電

22

## 農山漁村地域内のエネルギー需要群



- 農山漁村地域には、畜舎、乾燥・貯蔵施設、加工・流通施設、事務所、住宅等の電力や冷熱/温熱を必要とする様々な需要家群がある



温室



燃焼式暖房機（温風）



燃焼式暖房機（温湯）



ヒートポンプ（空気熱源）



畜舎



食品加工



コメ乾燥・貯蔵



事務所



水産加工



冷凍庫



冷凍機



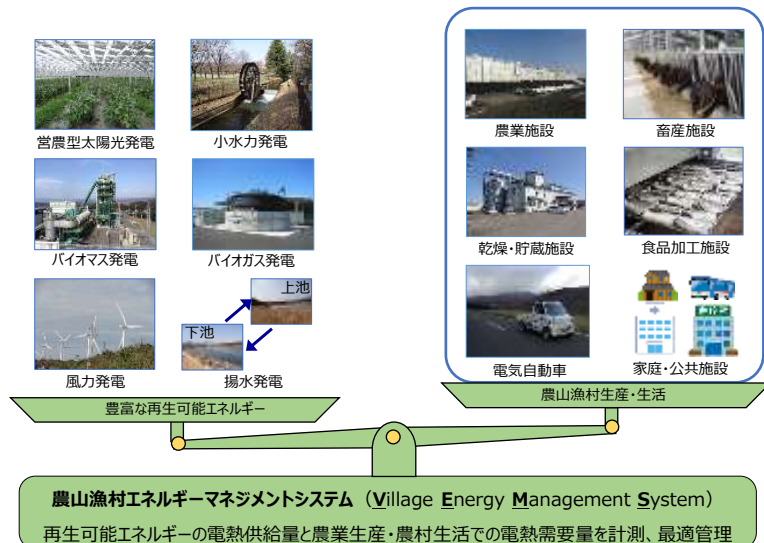
クーリングタワー

23

## 農山漁村エネルギーマネジメントシステム (VEMS)



➢ 農山漁村地域で供給可能な再生可能エネルギーと農業生産・農村生活での電熱需要量を地域全体で計測、最適管理するシステム



24

## 農林水産業でのエネルギー利用見える化によるメリット

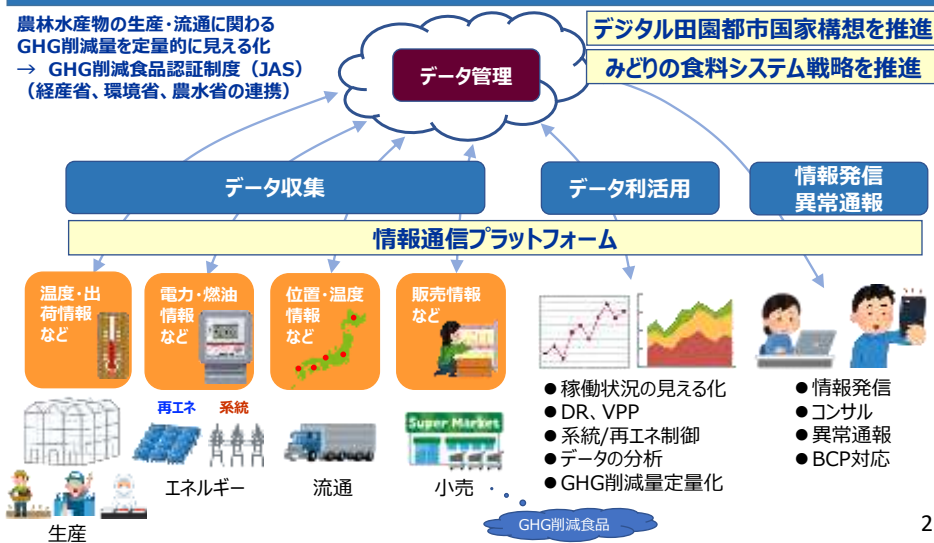


農林水産業に関わる生産情報の見える化と製品・商品へのタグ付け (付加価値化)

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)  
(経産省、環境省、農水省の連携)

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



25

## VEMSによる農山漁村地域のエネルギーレジリエンス強靱化



### エネルギーレジリエンス（経済産業省）

■ 平時には需要者を含む社会に対して所要のエネルギーを安定的に供給するとともに、有事には自然・人為的災害等によるエネルギー供給支障（エネルギーの供給の途絶）が、人命・資産や経済活動及び社会にもたらす影響を低減するための、災害等の発生前後における、ハード・ソフト面での安全性・堅牢性及び迅速な停止復旧能力である。



海水温上昇による台風の大型化



2019年台風15号による停電被害  
出典：経済産業省HP



農山漁村地域は再生エネルギーが大きい、エネルギーレジリエンス能力が高い

26

## 農山漁村エネルギーマネジメントシステム (VEMS) のイメージ図



- 農山漁村地域の太陽光発電、小水力発電、風力発電、バイオマス発電等の設備や農地/農業用水などのインフラ基盤からの電熱供給量と電熱需要量を地域全体で管理するシステム



27

(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

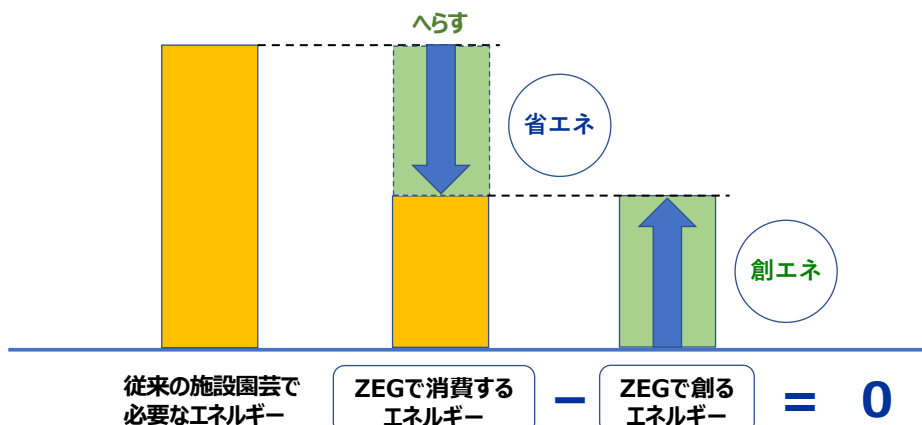
代表研究機関：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

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

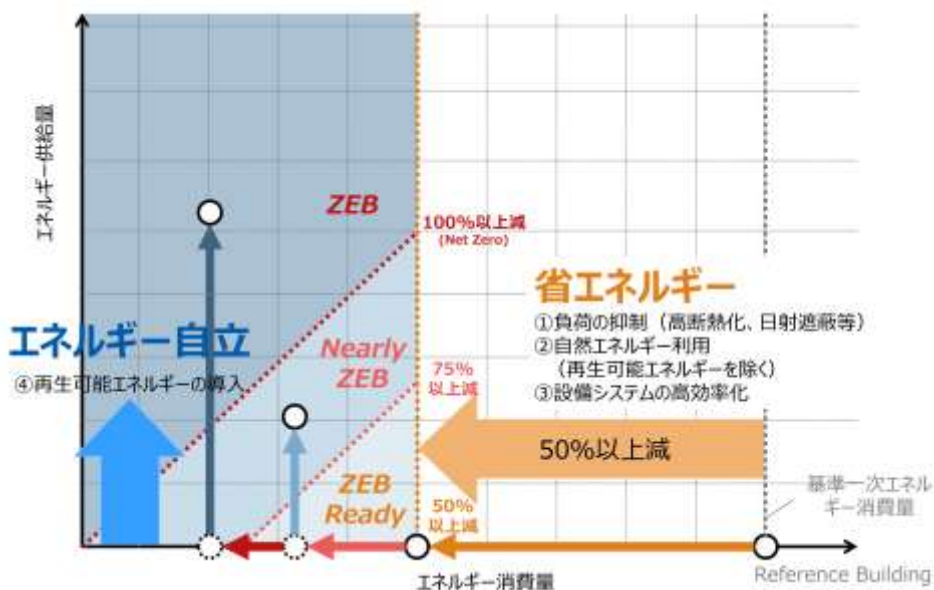
## ゼロエネルギーグリーンハウス (ZEG) とは

- 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を目指す



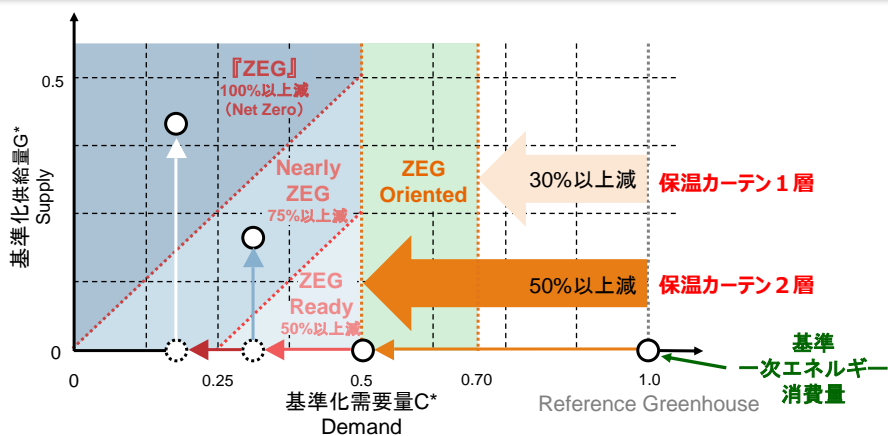
出典：NEDO先導研究「農山漁村地域のRE100に資するVEMSの開発」資料より抜粋 (2022年)

## ZEB（ゼロエネルギービル）の定義・評価方法（例）



出典：経済産業省資源エネルギー庁「平成30年度ZEBロードマップフォローアップ委員会とりまとめ」（平成31年3月）

## ZEG（ゼロエネルギーグリーンハウス）の定義・評価方法



G\*：基準化供給量＝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\*：基準化需要量＝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

出典：NEDO先導研究「農山漁村地域のRE100に資するVEMSの開発」資料より抜粋（2022年）

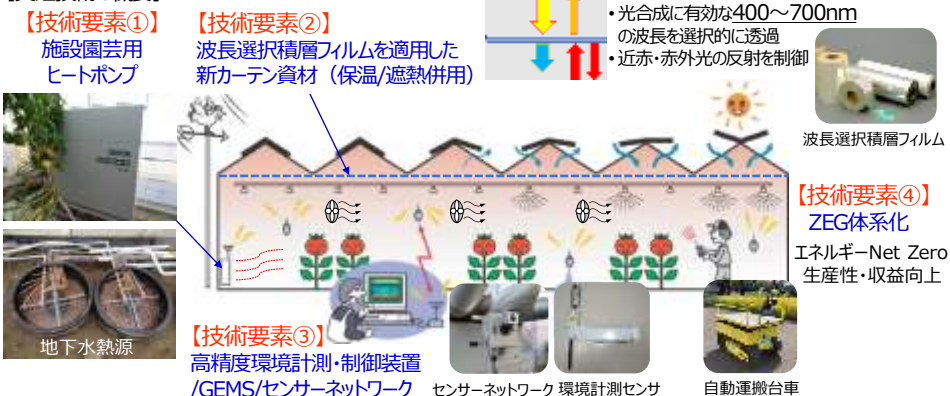


(環境省)令和4年度地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル技術開発・実証事業(二次公募) **農研機構 NARO**  
**「施設園芸の脱炭素化に資するゼロエネルギーグリーンハウス (ZEG) の開発・実証」**

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】



- ① 農業地域の再生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

32

謝辞



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. 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）」
3. 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「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」

により得られました。記して謝意を表します。

33