

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出作は直接出来ない。
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 ₂ 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（プロトタイプの開発含む）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

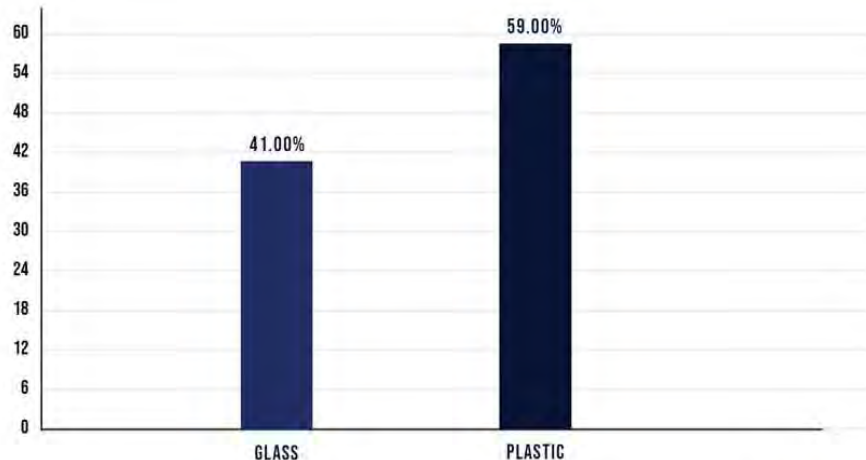
a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行（1）技術概要

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）

COMMERCIAL GREENHOUSE MARKET SHARE, BY TYPE, 2021 [%]



© PRECEDENCE RESEARCH

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賄うシナリオも想定。
- 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

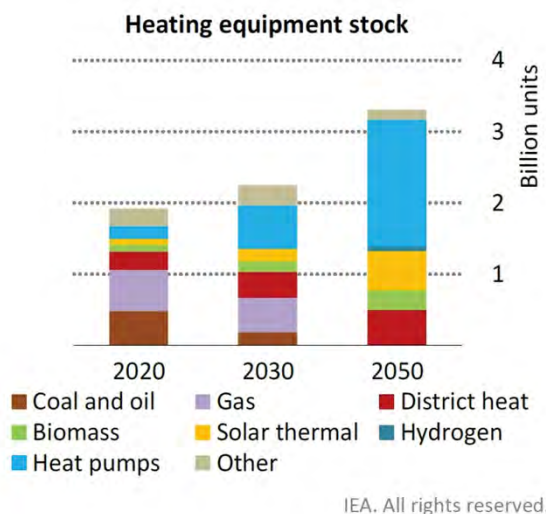
- 2021年3月に雇用創出や国家インフラ再建などに向けた投資計画「米国雇用計画 (The American Jobs Plan)」を発表。
- 同計画では、雇用促進のためにも、**電力の脱炭素化と電化への投資**を謳い、ヒートポンプは、電気自動車や充電設備と並んで必要性を提示。

英国

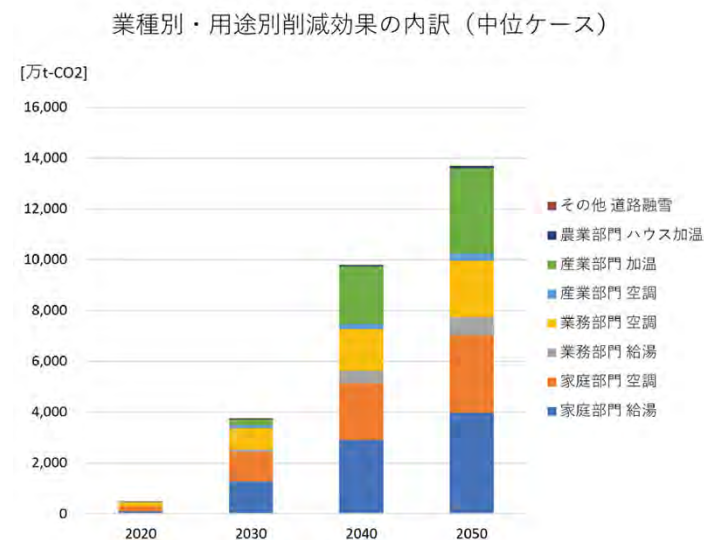
- 2021年10月、住宅暖房などの低炭素化を目指す「Heat and Buildings Strategy」を発表。
- 同戦略では、ガスボイラーの新設を廃止し、**既設ボイラーからヒートポンプへの更新を支援**することを記載。

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 CO₂となり、2020の温室効果ガス排出量速報値11億4900万tCO₂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
出典:日本機械学会 WEBサイト
<https://www.jsme.or.jp/kaisi/1240-28/>



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

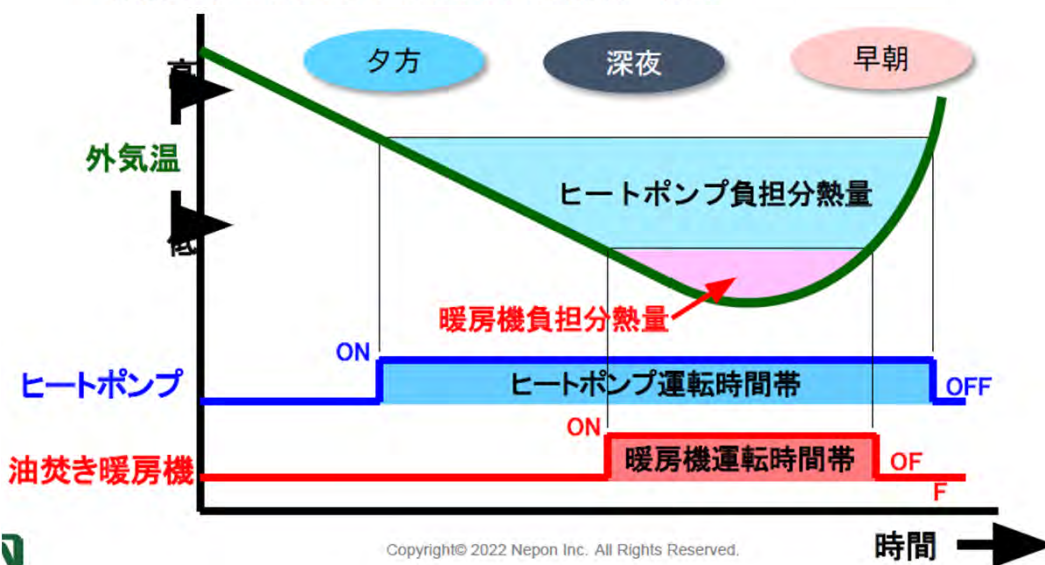
a. 温室効果ガス削減 3. 化石燃料を使用しない園芸施設への移行 (1) 技術概要

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CO₂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CO₂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CO₂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⁻¹・m⁻², 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 ₂ 排出量(t/年)		暖房機	ヒートポンプ
	合計燃料代	電気代	合計	合計		
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⁻¹・m⁻², 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 ₂ 排出量(t/年)		暖房機	ヒートポンプ
	合計燃料代	電気代	合計	合計		
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CO₂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CO₂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】

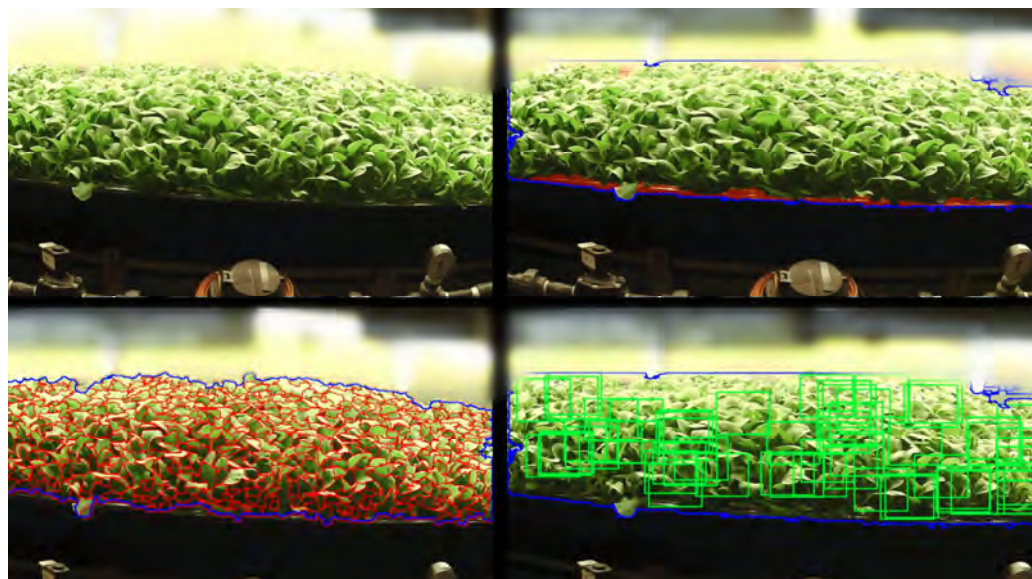
- 工場ごとにロボットが毎日数百万枚の写真を撮影し、成長状況などのデータを分析
- 温度、湿度、CO₂、風速、光を計測し、日本のいちごの品種栽培に適した環境を再現

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

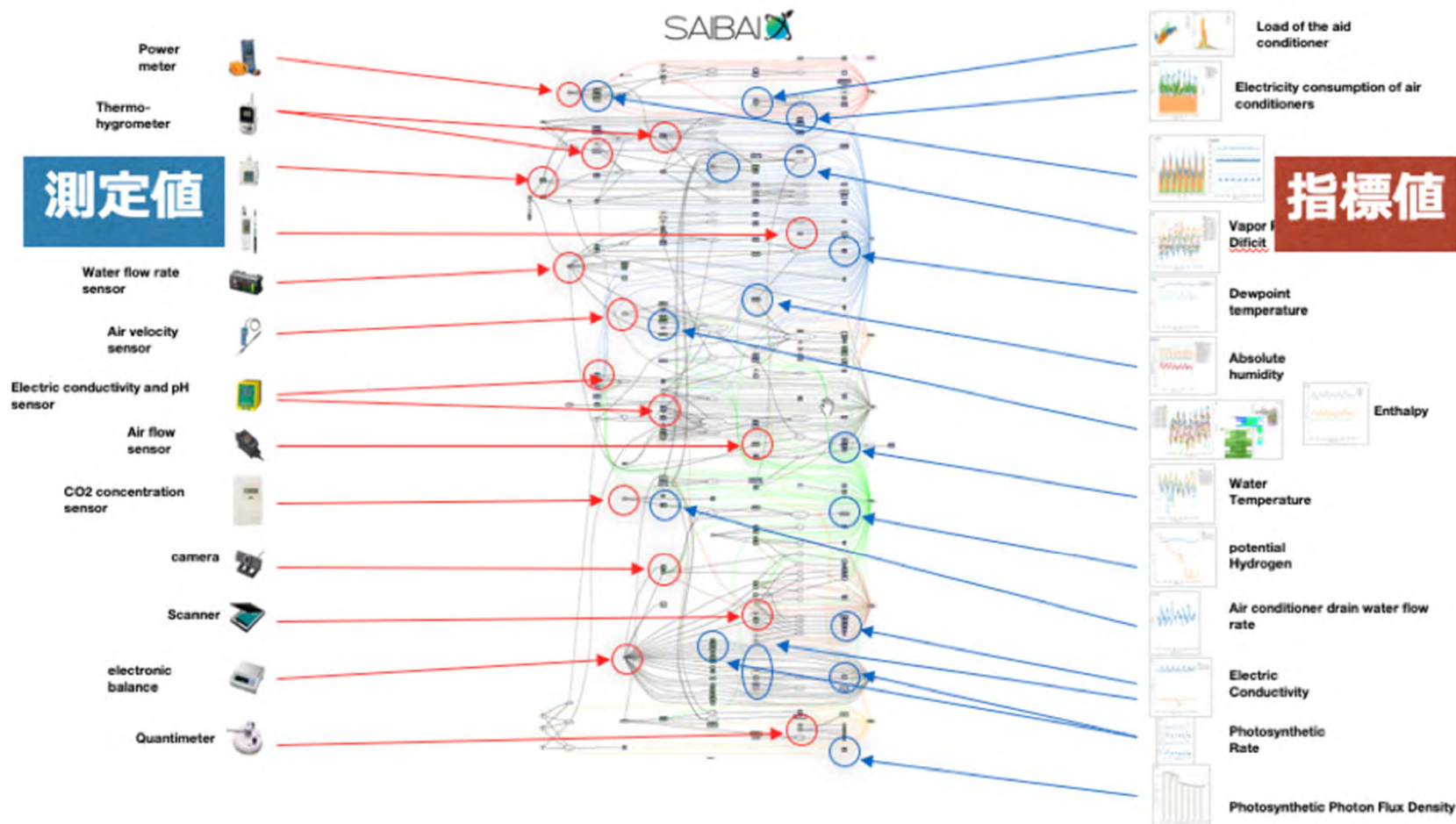
出典:Aero Farm WEBサイト <https://www.aerofarms.com/about-us/>

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/
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）

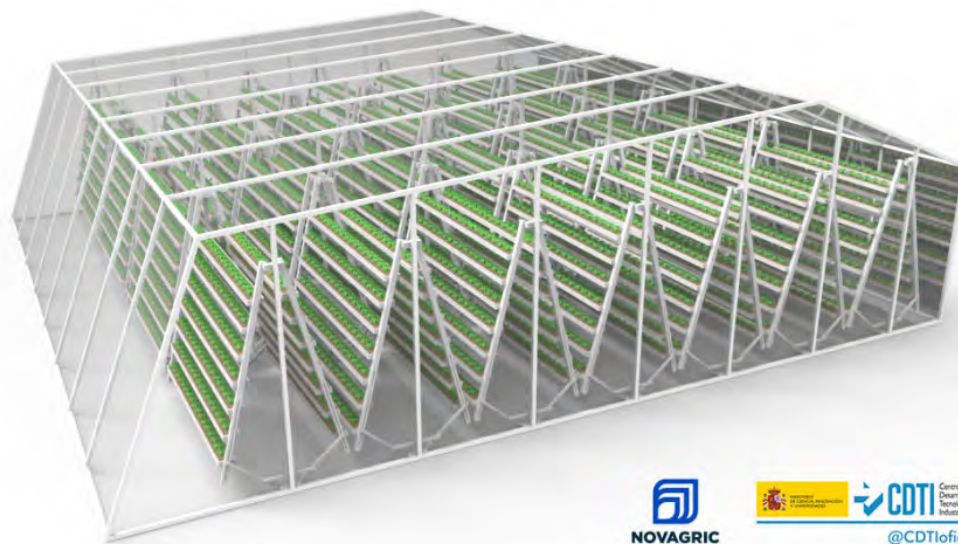
出典:FARM66 WEBサイト <https://www.farm66.com/en/home/>

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CO₂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

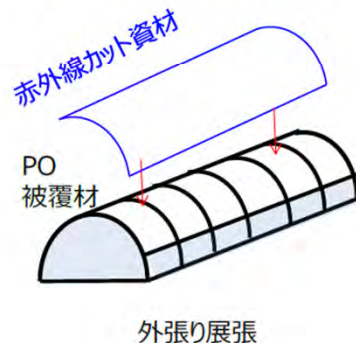
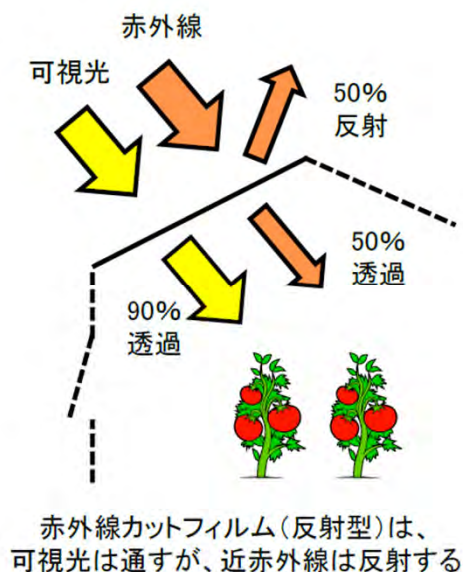
出典：NOVAGRIC WEBサイト
'Vertical Sunning' R&D Project developed by NOVAGRIC
<https://www.novagric.com/es/blog/noticias/vertical-sunning-nuevo-proyecto-i-d-para-la-produccion-de-alimentos-en-vertical-sin-iluminacion-artificial-en-zonas-urbanas>

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

- 電力システム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__;!!GCTRfqqYYOYGmgK_z!4ikDGQqNhA1LYdPhfbpEnpwRi3d3XaH676oGmmqzbNPZfS4hdYxYsJJmKYcJKJDSb-ZqgdFdJimBhXIeX_zxU7Rpk-2t0-o7O-Y\\$](https://urldefense.com/v3/__https://www.denkishimbun.com/sp/212657__;!!GCTRfqqYYOYGmgK_z!4ikDGQqNhA1LYdPhfbpEnpwRi3d3XaH676oGmmqzbNPZfS4hdYxYsJJmKYcJKJDSb-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CO₂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 ² 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 ₂ 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

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）

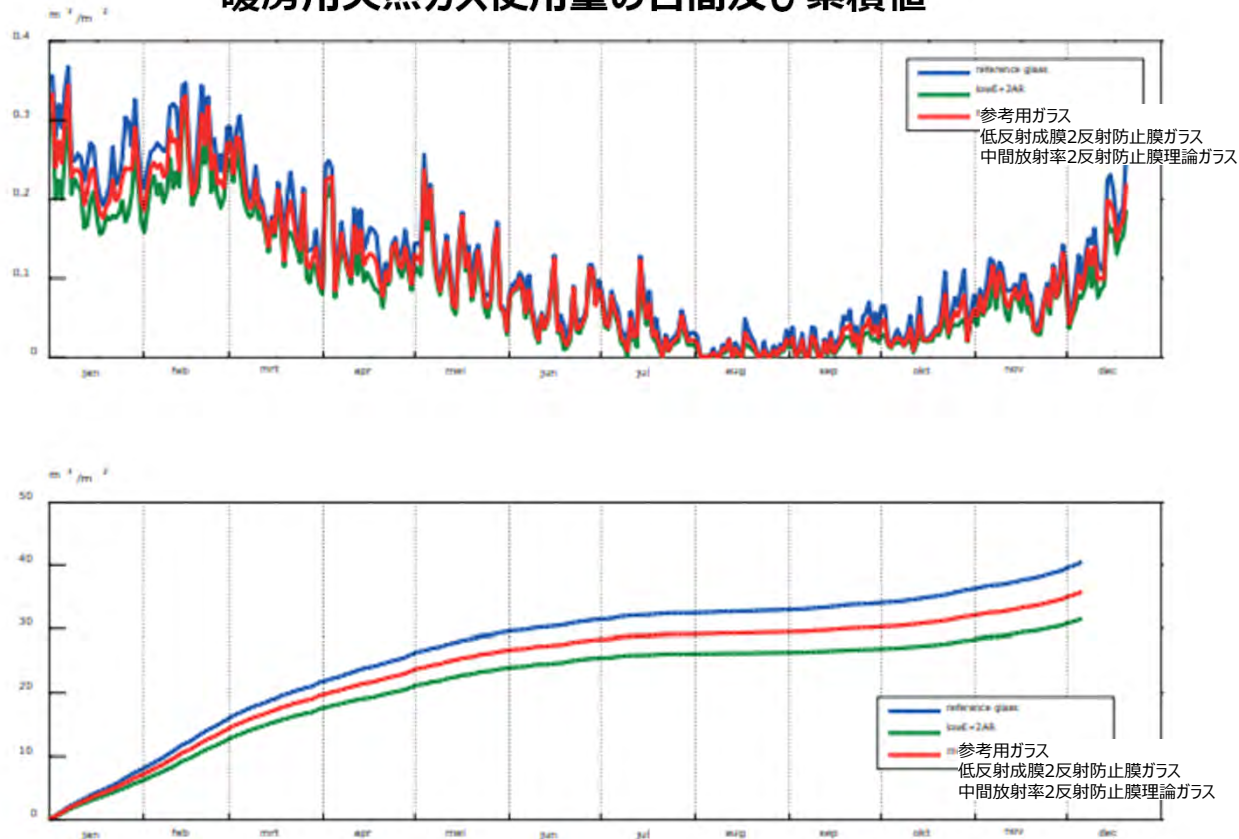
プロジェクト名	概要	期間
アンスリウム栽培で最適な光スペクトラム	温室でのアンスリウム（ポタンスリウム）栽培において、LED照明のスペクトラム構成を改善する研究	21/1/1~22/12/31
昼光型温室の再設計 - エネルギー生成型スクリーン	世界のあらゆる気候地域の太陽光を、作物が必要とする量、スペクトル、幾何学的分布に変換し、栄養、収量、おいしさを実現するための素材の研究	19/1/1~22/12/31
LEDによる温室キュウリの間引き栽培：栽培の改善方法について	LED照明を用いて栽培するキュウリについて、さまざまなパラメータに影響を与えることで、栽培が大幅に改善されるかどうかを検証する研究	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が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 ₂ 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CO₂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 m²）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。

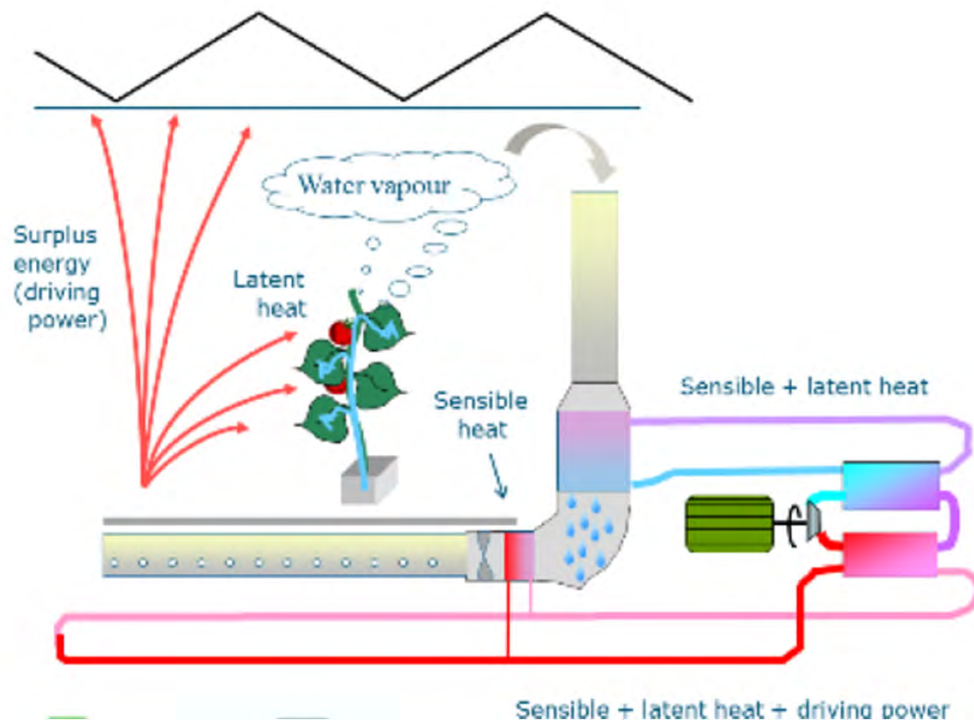
出典:Youngguk Seo, Un-Jong Seo,
Ground source heat pump (GSHP) systems for horticulture greenhouses
adjacent to highway interchanges: A case study in South Korea,
Renewable and Sustainable Energy Reviews,
Volume 135,2021,110194,ISSN 1364-0321,
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110194>.

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サステナブル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



- 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CO₂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。

出典:NPO植物工場研究会 丸尾達氏 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

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

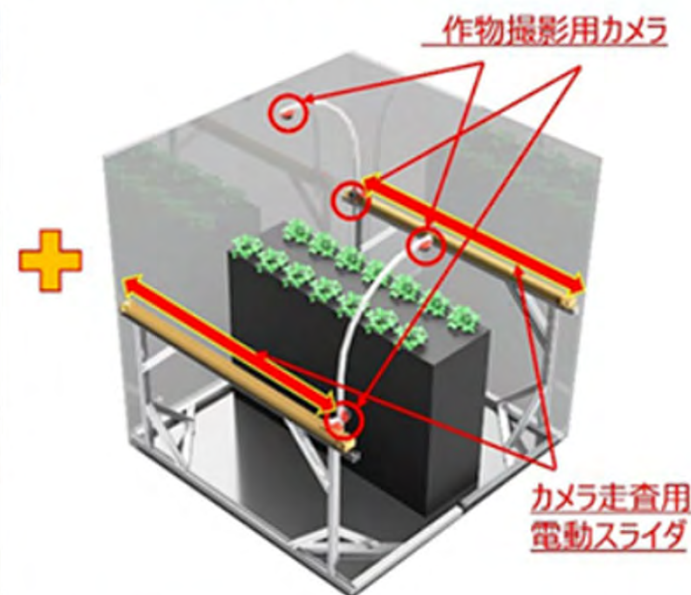
ロボティクス人工気象室：農研機構（日本）

- 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