

論壇

植物工場の今と未来

—持続可能な植物工場の社会的・文化的な普及に向けて—

NPO 法人植物工場研究会理事長

林 絵理

はじめに

地球や社会における様々な問題が深刻化するなかで、持続可能な新たな農業の一つとして、植物工場に対する世界的な関心が高まっている。植物工場の特徴や動向、そして現在の課題を俯瞰し、植物工場技術の将来を踏まえ、NPO 法人植物工場研究会の活動を紹介した上で、植物工場の未来について考えてみたい。

植物工場の特徴

人工光型植物工場（以下、植物工場）は、断熱性・気密性が高い栽培施設内で環境を制御し、場所や地域にかかわらず天候による影響を受けることなく年間を通して安定的、計画的、かつ効率的に高品質な植物の生産を可能にするシステムで、気候変動、水など様々な天然資源の枯渇化、農業人口の減少や高齢化など、地球規模の諸問題が各地で深刻化するなかで、持続可能な新たな農業の一つとして世界的な関心が高まってきている。植物工場には、食料・農業、環境・生態系、エネルギー・資源、社会・経済・人々の健康や生活の質における世界的な課題を同時並行的に解決する可能性がある。

図1に植物工場の主な構成要素と特長を示す。密閉性と断熱性が高い植物工場では、センサーを活用した高精度な時系列計測・データ収集、そして信頼性の高い時系列データセットを用いた時系列分析や生産計画などに係る予測などが植物生産と同時に容易に実施でき、時間当たり・単位資源投入量当たりの生産性や金額換算生産性の推移分析も栽培しながら誰でも行うことが可能になる。つまり、植物生産と同時に分析・研究を行うことが理論的には可能で、なおかつその時系列データセットを異なる専門分野の観点から分析・解析し、そして再現性の高い生産、多様な実験・栽培を高速で連続的に行うこともできる。今後は人工知能（AI）技術の最適な活用により、資源自律・進化型の植物工場の実現が期待されている。

なお、人工光型植物工場（Plant Factory with Artificial Lighting : PFAL）が主に欧米など諸外国では Vertical Farm（垂直農場）、Indoor Farm（屋内農場）、または Indoor Vertical

Farm などと呼ばれることが多いが、海外でも植物工場という用語を用いるケースが一定数増えている。

■ 植物工場の主な構成要素

- 断熱・気密性が高い施設で栽培環境を制御
- 光源としてLED照明など人工光源を使用（太陽光の代わり）
- 照明、空調（温湿度、気流）、CO2施用、養液栽培、環境管理
- 目的に応じて環境条件を設定・制御

■ 植物工場の主な特長

- 天候に影響されず、場所を問わず安定して高品質な植物を計画的・効率的に生産
- 現時点では初期費用がかかるが、栽培期間の短縮や栽培空間当たりの高生産性が可能
- 省スペース化や立体栽培により生産性が向上（露地農業の100倍以上）
- 高品質で均一、衛生的な植物を周年安定生産できる
- 機能性成分含有量を増加させることが可能

<環境への影響と生産性>

- 水、CO2、肥料などの資源の利用効率が高い（投入資源当たりの生産性が高い）
- 例：
 - ・空調機を介したドレン水を用いた水の再利用で栽培用の水量を90%以上削減
 - ・肥料の使用量も削減可能
- 農薬不要（外部からの病虫害侵入防止）
- 洗わなくても食べられる衛生的な野菜
- 廃棄ロスが少なく、可食部の割合が大きい
- 都市近郊での生産により輸送コストや環境負荷を削減

<技術面の大きな利点>

- 断熱・気密性が高い施設で栽培環境の制御が可能
- 高精度な時系列計測とデータ収集が可能
- 時系列分析や生産計画の予測が容易
- 資源投入効率や生産性の推移分析が栽培しながら実施可能



植物「生産」と「時系列計測・解析」を同時に実施

図 1 植物工場の主な構成要素と特長

出所：林（2025）を基に作成（写真出所：NPO 法人植物工場研究会）

植物工場の動向と課題

主に 1950 年代から海外で、そして 1960 年代から国内にて植物環境調節施設ファイトロンを用いた植物の環境応答などに関する研究が開始され、国内では、特に商業化を念頭に置いた植物工場の研究開発が 1960 年代以降、継続的に実施されてきた。日本国内では、1980 年代から光源に高圧ナトリウムを用いた商業用の植物工場、そして 1990 年代以降は蛍光灯、そして特に 2010 年代以降は主に LED 照明を利用し葉菜類の商業生産を行う植物工場が稼働している。とりわけ 2015 年以降は白色 LED（赤・緑・青色光を含むブロードバンド LED）光源を用いる工場が増えた。

国内には現在、大中小合わせ約 200 の商業用の植物工場が稼働している。近年は 1 日当たり 1~5 トン規模のレタス類を生産・出荷する大規模工場が増えてきており、また 2024 年にはレタス日産 10 トン規模の工場が稼働を開始している。工場の大規模化に伴い、一部の工程を除き自動化・機械化が進展している。国内の大半の工場が主にレタス類などの葉菜類、その他バジルなどのハーブ類、さらに一部の工場ではイチゴを生産・出荷している。また、根

菜類、イモ類、穀類の栽培実証やワサビ生産の研究開発のほか、遺伝子組み換え技術を活用した医薬品原料の研究ならびに一部実用化が実現している。なお、米国ではチェリートマトなどを商業生産する工場や、太陽光発電を利用し日本のイチゴを量産する工場が稼働している。また、北米やヨーロッパ諸国、タイなどアジア諸国で、医療用ないし一部の地域では嗜好用の大麻草 (*Cannabis sativa* L.) の栽培や研究・開発が増えている。日本国内でも「大麻取締法及び大麻及び向精神薬取締法の一部を改正する法律」が成立、公布され、今後は、大麻草採取栽培や研究栽培が、栽培計画と管理体制のもと実施されていくと期待されている。

現状の植物工場は開発余地が大いにある。気密性および断熱性が高い空間で植物を栽培する植物工場には、再現性、予測可能性、可観測性、追跡性そして可制御性が高いという利点があるが、その利点を活用し得ていないという大きな課題がある。さらに、システムの拡張性にも課題がある。また、今後の重要な研究課題として、植物特性（表現型）と栽培環境や栽培管理との相互作用の解明も挙げられる。拡張性のある栽培システムの構築に加え、より精緻な環境測定とその方法の標準化、植物工場の栽培環境下で活用可能な非破壊・非接触の時系列表現型計測（植物フェノタイピング）技術の確立が必要である。

植物工場技術の将来

今後は、AI 技術を最適に活用した植物の生長過程における非破壊・連続的な植物フェノタイピング、そして植物個体の周辺も含む微環境や栽培管理と植物の表現型の相互作用の解明、さらにビジネス要因も考慮した環境制御への応用、そして表現型の制御の実現が期待される（図 2）。図 2 の通り、デジタルツインによるサイバー空間のシミュレーターを活用することで、栽培空間のシミュレーションや自動化システム・ロボットなどの開発や研究などを加速させ、研修による教育の充実化、さらには植物を基軸としたエンターテインメントが可能になる。サイバーフィジカルシステムの活用により、エネルギーなど資源自律・循環型かつ進化型の植物工場がインターネット上で繋がる分散型システムが実装されると、より多様で高品質な再現性の高い植物生産と研究を高速で同時に実施し、なおかつ、それらのデータの共有化を促進し得る。また、植物の生産をしながら選抜・育種を行うことも可能になる。

そして、植物工場が環境・資源・エネルギー分野も踏まえた生物、化学、物理学や工学などを考慮した総合学習ツールとしても最適な役割を果たすだろう。さらに、植物コホート研究の一環として、植物工場および植物工場で栽培された植物の人々の心身の健康および環境への影響に関する研究・分析も重要になる。植物の生育過程の栽培環境も含めた追跡性を有する植物工場は、医学などの分野との融合も促進し得る。

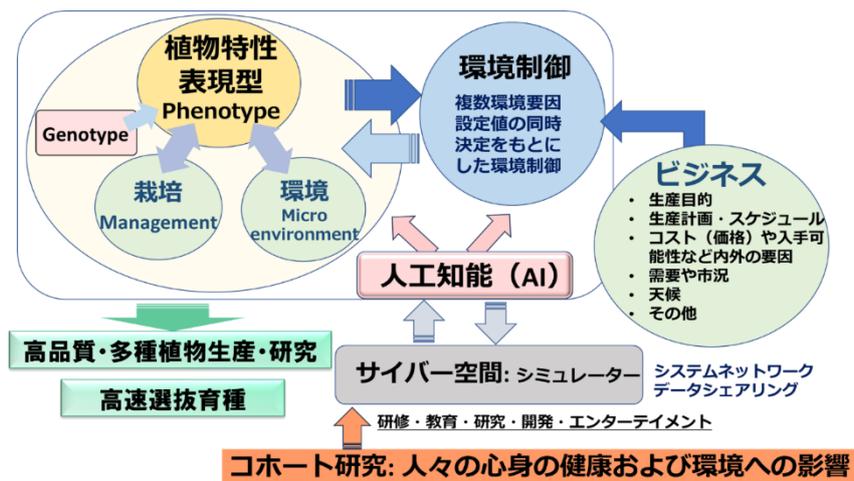


図 2 植物表現型制御、表現型計測値をもとにビジネス要因も考慮した環境制御
 そして人々の健康および環境への影響に関するコホート研究
 出所：林（2025）に加筆

NPO 法人植物工場研究会の活動と植物工場の未来

特定非営利活動法人植物工場研究会（Japan Plant Factory Association：JPFA）は、技術・経済的に持続可能な植物工場システムの研究・開発・実証・普及を通して、地球生態系の一員としてわたしたちが直面している食料・環境・エネルギー・資源問題の同時並行的な解決、そして生物・人・社会・地球にやさしい持続可能な未来における人々の心身の健康と生活の質の向上への貢献を目指している。環境制御技術を活用した植物生産における「学術と産業、市民の経済および社会活動の融合」と「研究と普及の促進」を、多分野の方々と共に創しながら、柏の葉スマートシティにある千葉大学柏の葉キャンパスにて推し進めている。国内外の 200 以上の会員を有し、研究機関や企業グループとの連携による研究・開発、技術およびビジネス支援、植物工場の専門家を養成する人材育成プログラムの企画・運営、千葉大学施設の見学の受け入れ、広報活動も含む国際事業など多岐にわたる活動を行い、植物工場の研究と普及の強化・発展を進めている。地球規模の諸問題が深刻化するなか、社会課題の同時並行的な解決に貢献し、市民や従業員、そして植物工場にかかわる人々の生きがいの創出を目指す組織として、植物工場と共にある持続可能な社会に向けて、より多くの方々と共に多面的に活動を広げていきたいと願っている。

2023 年 9 月には、NPO 法人植物工場研究会が第 1 回 JPFA 植物工場国際シンポジウム（JPFA ISPF2023）を「住むだけで健康」を目指す柏の葉スマートシティにて、千葉大学園芸学研究院附属宇宙園芸研究センター／千葉大学環境健康フィールド科学センターとの共催で開催した。2025 年 9 月に第 2 回 JPFA ISPF2025、さらに 2026 年に第 3 回目の開催を予定している。持続可能な未来に向け、多様な目的や用途を有する植物工場の活用方法・役割・技術課題と方向性、地球生態系の一員として植物工場を用いた社会活動、多様で柔軟な食料・植物生産システムの可能性についてオープンディスカッション・国際共創を目指すことを目的としている。

今後、資源自律・循環型かつ進化型の植物工場が実装化され、植物工場で栽培される植物や植物工場技術の用途の多様化が進み、超スマート社会における社会インフラの一つとして植物工場が役割を果たすと考えられる。この技術の利用者は一部の商業生産者や研究者などに留まらず、市民が市民科学の一環として植物工場を楽しく活用し、サイバーとフィジカルの両面における宇宙・地球・地域間のコミュニティ形成が盛んになると期待される。AI技術を最適活用した植物工場が多面的に普及していくと、「植物をどのように育てるか」に加え、「どのような植物をデザインするか」という観点もより重視されていくだろう。また、多分野の要素技術から成る植物工場は、総合学習ツールとして最適だけでなく、スポーツ、デザイン、芸術との親和性も大きい。社会に植物工場が普及していくには、“刈り取る”を語源とするといわれる「芸」ではなく、“種子を植える”が原意といわれる「藝」術的な思考を取り入れ、人間に希望を与える美しい植物工場を創造する必要がある。未来の植物工場は、学術と産業のみならず、市民の経済および社会活動の融合における重要な手段となり得る。複数の社会的な課題を同時並行的に解決できるソーシャルビジネスなど新たなビジネスモデルも求められる。将来的には、人間（ヒューマン）のサイバーフィジカルシステムとの融合も考慮することになるだろう。世界の貧困・食料・人々の心身の健康問題などの解決のみならず、人間の豊かさを踏まえたコミュニティや地域計画の一環としても資源自律・循環型の美しい植物工場が社会的に貢献し得ると期待できる。

参考文献

- 林 絵理 (2025) 現在および未来の植物工場. アグリバイオ (in press)
- 古在豊樹・林絵理 (2023) 人工光型植物工場の過去、現在および今後の課題と展望. 施設と園芸. 201号(春). 27-34.
- 中岡宏子・林絵理 大麻をめぐる法改正と今後の展望 (submitted)
- Kozai, T. and Hayashi, E. (eds.) (2023) *Advances in Plant Factories: New technologies in indoor vertical farming*, Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 496 pages.
- 古在豊樹 (2009) 農を基盤とした文化・学術. 農業および園芸. 84(2). 225-232.
- 今道友信 (1973) 美について. 講談社現代新書. 247 pages.
- 槇 文彦・松本 洋訳 (1968) コミュニタス: 理想社会への思索と方法. 彰国社. 253 pages.
- Goodman, P. and Goodman, P. (1966) *Communitas: Means of livelihood and ways of life*. Random House Inc.