

[植物と情報処理] <カテゴリ② 植物学を加速する情報処理技術>

2.3 植物の生産力を最大化する 情報処理技術(植物工場)

応
般

福田弘和 大阪府立大学 植物工場研究センター



究極の ICT 活用型農業

空調や植物搬送装置などの機械装置と情報処理技術を駆使し、人工光で野菜を生産する植物工場は、究極の ICT 活用型農業として注目されている¹⁾。植物工場の野菜は、GLOBALG.A.P.^{☆1}や HACCP^{☆2}、JAS^{☆3}など品質に対する規格・基準の整備が進むことで衛生面・安全面が一層強化され、消費者にとって身近な存在になってきている。また、植物工場は薬用植物や遺伝子組換え技術を利用した植物によるバイオ医薬品生産の研究開発や、その生産に用いられている。さらには、月面農業や都市農業を実現する手段としても注目されている²⁾。都市農業は、人口が集中する都市部で「地産地消」を実現し、これには販売時点情報管理 (POS) データによるデマンド予測と植物工場内の生育・収量予測モデルが貢献する。

現在、植物工場の社会実装が急速に進んでおり、利益率向上のための大規模化と高密度化が進められている。大規模化の実現には、作業の能率化と環境の均一化が課題とされている。前者の解決には機械ロボット技術、後者には照明・空調等の環境技術が必要になる。ロボット化は、まずは比較的単純な作

業である播種や苗の移植が対象とされ、続いて複雑な判断と動作が必要な収穫が最近の対象となっている。また、高密度化によって、植物が受ける光の量や空気の流れが植物の成長とともに大きく変化するため、栽培状況を逐次モニタリングし、AIにより照明・空調をフィードバック制御またはフィードフォワード制御する必要がある。このように植物工場では、利益向上のための大規模化・高密度化に伴い、ICTとロボットによる自動化がますます重要になっている。

生産力を最大化する情報処理技術

植物工場は、植物の生育環境を“シーケンス制御”により最適に調整するシステムである。植物に与えられるさまざまな環境入力、その順番とタイミングが大事であり、膨大な組合せの中から最適な環境入力パターンを絞り込む必要がある。したがって、生育や概日時計などの自律的な変動と環境応答との複合モデルを基礎とした生育モデルの構築が重要である。また、個体差ならびに生理代謝における内部ノイズの影響を低減するために、生育診断に基づくフィードバック制御またはフィードフォワード制御も必要となる。

図-1は、レタスを毎日6,000株生産する植物工場(大阪府立大学植物工場研究センター)における成長予測技術の一例である。播種・緑化工程、育苗

☆1 GLOBALG.A.P.: 適正農業規範 (Good Agricultural Practices) に関する国際標準

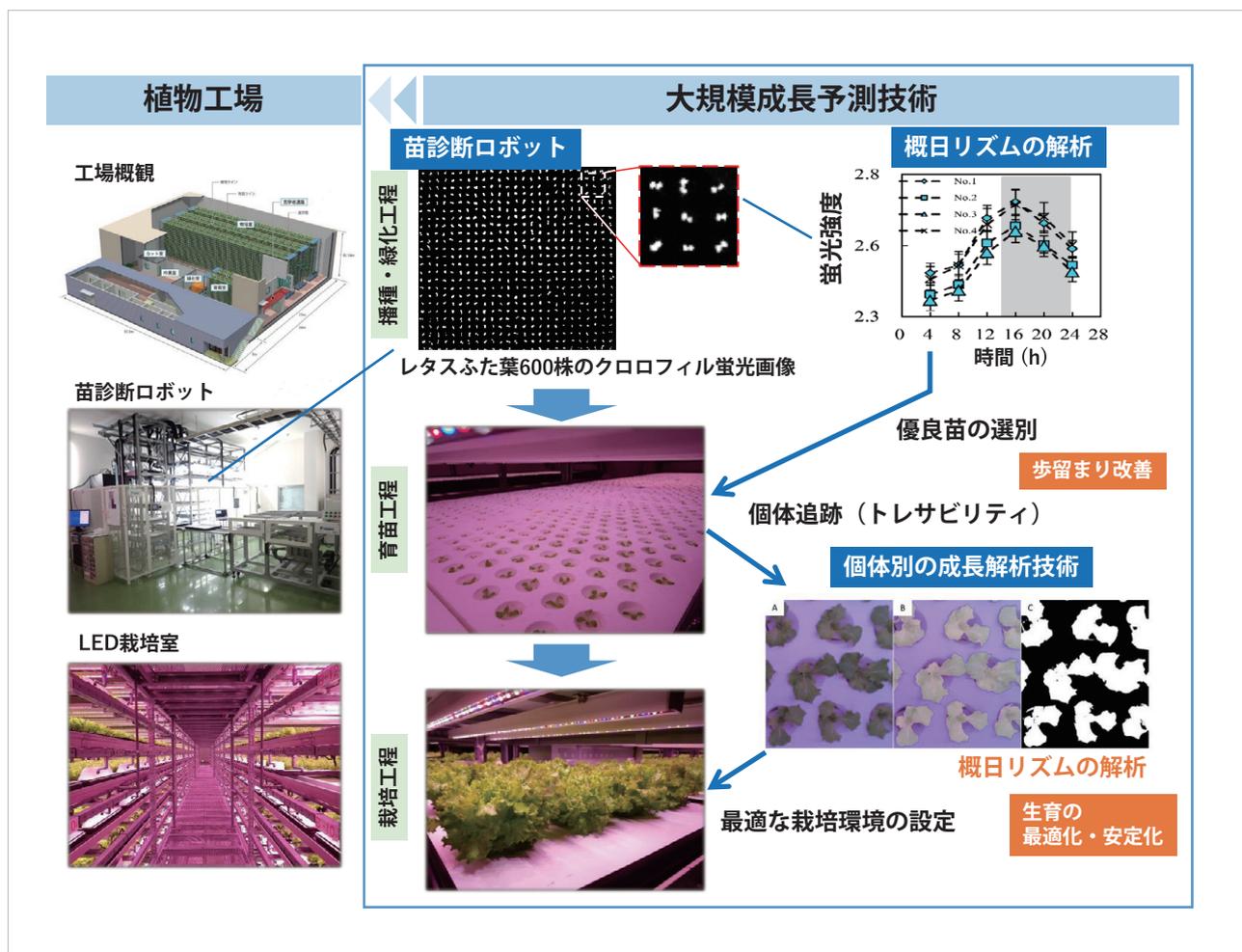
☆2 HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Point

☆3 JAS: Japanese Agricultural Standards, 日本農林規格

特集
Special Feature

工程、栽培工程の3つの工程から成り、それぞれにおいて生育が最大になるように環境が最適化されている。また、播種・緑化工程では、ふた葉苗の光合成活性リズムをクロロフィル蛍光により解析し、生育診断に用いている。蛍光画像を4時間ごとに計6回撮影し、蛍光リズムの位相情報などから、将来大きく成長すると予想される優良な苗を自動選別し、優良な苗だけを移植ロボットで植え替えている。さらに、育苗工程では、天井の梁に備え付けられた定点カメラにより苗の成長を動画撮影し、葉の広がる様子を画素単位のベクトル場として解析し、そのデータを利用した生育予測技術を開発している。このような植物個体ごとの生育予測技術は、植物

の生育に大きな個体差があるため重要である。同一の環境下で栽培しても、変動係数で20%程度の生育のばらつきが生じる。サイズの小さい個体は商品価値が大幅に下がるため、生育のばらつきは大きな経済的ロスに繋がる。したがって、植物の状態（形状や生育度合い）を判断しながら作業を行う画像認識が必要となる。また、高密度化による生育のばらつきを排除するために、栽培状況を逐次モニタリングし、照明や空調を最適に制御する必要がある。このような情報処理技術の導入によって収量を最大化・安定化することで、生産力（利益）の最大化が図られている。



■図-1 植物工場における成長予測技術

機械と生物の情報融合技術

植物工場は、植物の集団だけでなく、照明・空調・養液等の環境調節機械群，作業ロボット群，作業者集団といったそれぞれが自律動作する動的なサブシステムの集団で構成されている。したがって、植物工場システムの全体を最適化するには、これらを情報的に統合・融合しながら最適化する必要がある。環境調節や作業ロボットの動作には、固有の時間遅れや位相差があるため、トータルとしての情報融合技術は生産工程全体の最適化において必要となる。

最近の技術開発の指針として、「SPA 技術」が再注目されている。SPA とは、Speaking Plant Approach の略であり、“植物の状態”を常時把握し最適化するという植物生産工学の基礎として知られる。1980年代に初期の農業 AI 研究やシステム制御研究において、重視された開発指針である。SPA 化は、AI 栽培ロボットに作業の効率化だけでなく生物との情報融合を求める (図-2)。生体計測能と生体制御能の座標空間上で、優良苗選別や最適パターンでの定植，生育の加速・減速，有用成分量の調節による植物の高機能化などの技術がマッピン

グされる。これにより、技術同士の関連性が可視化される。このようなマッピングは、農家が暗黙知に行っている農作業を体系化して考える上でも有用となる。

植物工場は、植物を本来の生きる場所（大地）から切り離し，光も土壌もすべて人工物に作り変えた機械設備である。栽培設備としては，社会実装に耐えられるまでの性能を獲得した。これからは，植物が備えるさまざまな防御機構（代謝コストのかかるストレス応答や，生育のリミッターなど）を環境刺激やロボットによる機械刺激で解除し機能を最大化するといった「植物の生産力を最大化する機械設備」としての期待が高まる。

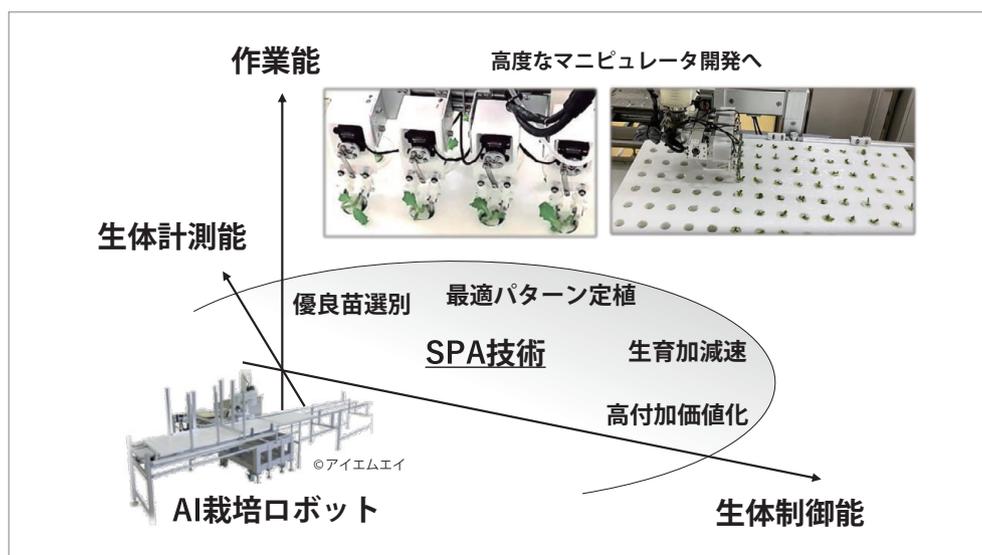
参考文献

- 1) JST CRDS：研究開発の俯瞰報告書（ライフサイエンス・臨床医学分野）2.2.5 植物工場，pp.334-342 (2021).
- 2) 北宅善昭，遠藤良輔：宇宙ビジネス，第7章第2節「長期有人宇宙活動のための物質循環型植物工場」，技術情報協会 (2020).

(2021年8月11日受付)

■福田弘和 fukuda@me.osakafu-u.ac.jp

2018年より大阪府立大学・機械工学分野教授。現在，植物工場研究センター副センター長を兼任。生物時計ならびに植物工場の研究に従事。



■図-2 AI栽培ロボットにおけるSPA技術