

Title	「生産場」か、「実験場」か：「植物工場」の意味を再考・整理する
Author(s)	妹尾，堅一郎；伊藤，宏比古；川村，兼司
Citation	年次学術大会講演要旨集，29：507-510
Issue Date	2014-10-18
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/12498
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

「生産場」か、「実験場」か ～ 「植物工場」の意味を再考・整理する ～

○妹尾堅一郎、伊藤宏比古（特定非営利活動法人 産学連携推進機構）、川村兼司（帝人株式会社）

昨年度の報告において、「植物工場（閉鎖系／準閉鎖系）」では、センサとコンピュータにより育成環境の制御を行うことが重要であり、その構造は一種の「ロボット化した機械」として見ることもできるということを指摘した。

本報告では、昨年度の報告および植物工場を運営する複数組織へのインタビュー調査を踏まえ、「準開放系・高度施設園芸型植物工場」、「閉鎖系・完全密閉型植物工場」、そして従来型の「開放系・圃場」の三者の関係性を議論する。特に、「生産場」と「実験場」として閉鎖系植物工場の意味を再考する。また、近時盛んになりつつある「IT化」や「AI化」を、この文脈の中で位置づける。これらに基づき、植物工場のビジネスモデルを議論する。

Keyword：農林水産業、閉鎖系植物工場、ビジネスモデル、インタビュー調査

1. 植物工場＝「ロボット」

近年、製造業をはじめとして多くの非・食品系業種の企業も様々な形で植物工場の運営を開始している。植物工場で生産した野菜の国内市場規模は2020年度に640億円と2009年の4.6倍に拡大する見通しであり、2011年の東日本大震災からの復興関連として建設関連企業が植物工場に参入する事例が増えている[1]。また、鉄道業界や繊維業界など非・食品系業種が自社の空きスペースを活用して植物工場に参入の事例も出てきている[2][3]など、多くの企業が植物工場への参入を実施している。

植物の生産場は、その生育環境を「閉鎖系・完全密閉型植物工場」、「準開放系・高度施設園芸型植物工場」、「開放系・圃場」の3つのタイプに分類する[4]、[5]。

「閉鎖系・完全密閉型植物工場」は、ビルなどの屋内を活用してLEDや蛍光灯を用いて植物の生産場を指す。温度・湿度・照明・CO₂等のほぼすべての生育環境を制御することが可能であり、生産する植物の特性に合わせた条件調整を行うことで圃場生産よりも早いサイクルで植物が育てられることや、完全無農薬による生産が可能で、天候や場所に左右されずに狭い土地で大量生産が出来ることなどがメリットとされている[6]。他方、その環境制御のための設備コストに加えて電力代が太陽光利用型の植物工場よりも格段にかかることから、採算に乗せるのが難しいことが問題として指摘されている。そのため、一般に果菜類より歩留まりの良い葉菜類の生産に向いているとされる。

「準開放系・高度施設園芸型植物工場」は太陽光利用型植物工場とも呼ばれ、「閉鎖系・完全密閉型植物工場」よりも実用化が進んでいる。「閉鎖系・完全密閉型植物工場」のように湿度・CO₂・（温度）等の環境制御を行うが、照明（と温度）は太陽光を利用することが特徴である。大規模にしても「閉鎖系・完全密閉型植物工場」よりは低コストのために、歩留まりが葉菜類より劣る果菜類の生産にも適応できる。しかし温度管理上、夏場に天窗や側窓をあける必要があり無農薬栽培が難しい。また、日本の夏場は高温多湿であることから、温度を中心とした環境統制が難しく、生産が安定しないという問題もある[7]。

「開放系・圃場」は、栽培空間と周囲空間の間に物質とエネルギーの交換を抑制する構造物がないタイプとしてとらえられ、一般的な農場がこれにあたる。統制出来る環境は他の種類の植物工場より限られるため、安定的な生産を行うためには篤農家の知見が必須となる。近年は「IT化」や「AI化」により温度や湿度等のセンサ類を設置し、圃場の環境情報を可視化するサービスも数多く出て来ている。

これらの植物生産場はどの型においても「ロボット」化の方向に向かっているとと言える。ここで「ロボット」とは、単にヒューマノイド型のものを指すわけではない。ここでは、人間の手足といった「駆動系」を外在化したアクチュエータ、頭脳といった計算・記憶系を外在化したコンピュータ、目耳等といった感覚系を外在化したセンサの三つの基本機能を“三位一体”化し、自律的に動作する機械のことを指す。この観点に立てば、新幹線や飛行機は既にロボットであり、東京・秋葉原電気街で売られている電気製品の大半もロボットである。電気自動車もこれまたロボットと呼ぶのである[8]。

2. オランダにおける「ロボット」化事例

ロボット化した植物工場の具体例として、オランダのレボプラント社とプリバ社を取り上げる。

オランダのレボプラント社(LEVOPLANT)はラン栽培の最新式植物生産工場を運営している。数百個のポットを載せたアルミ製のコンテナは自動搬送され、ポットへの苗木の植え込み、支柱の差し込みと機械選別後の最終点検を除き、工場全体がロボット化されている。200種類あるランの配送の組合せと梱包は、顧客からのインターネット注文と直接連動しており、注文の受領から商品発送までの作業が効率化されている。つまり、環境制御装置に花卉栽培のノウハウを組み込むことで、人手による作業も従来から大きく減らしているのである。

たしかに、工業生産と異なり植物工場では、材料である種子や種苗の個体品質が均一ではないため、製品である野菜の品質も容易には一定にはならない。そのため、生産工程中に製品品質を一定にするための人手による「調整」作業を含む。ただし、そうではあるものの、搬送ロボットという運搬部分のロボット化を含み、生産プロセスの大部分が「センサ、コンピュータ、アクチュエータ」の相互連携による「ロボット化」がなされている「工場」といえよう。

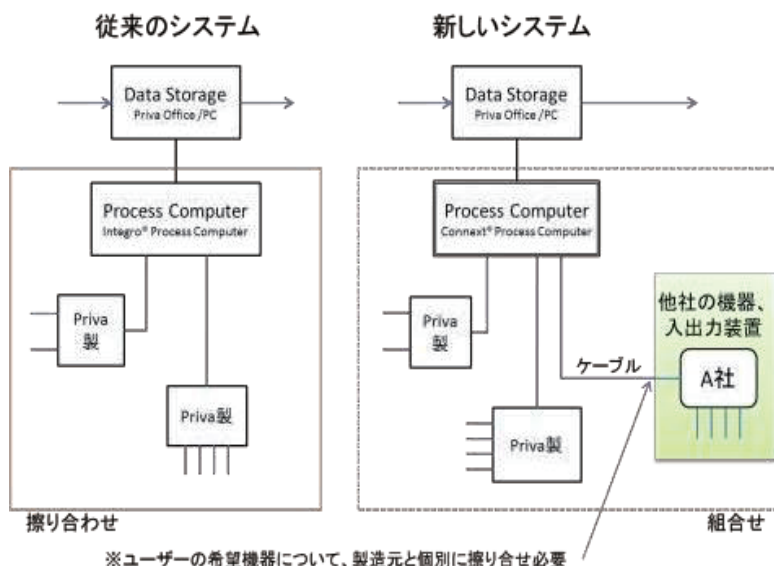
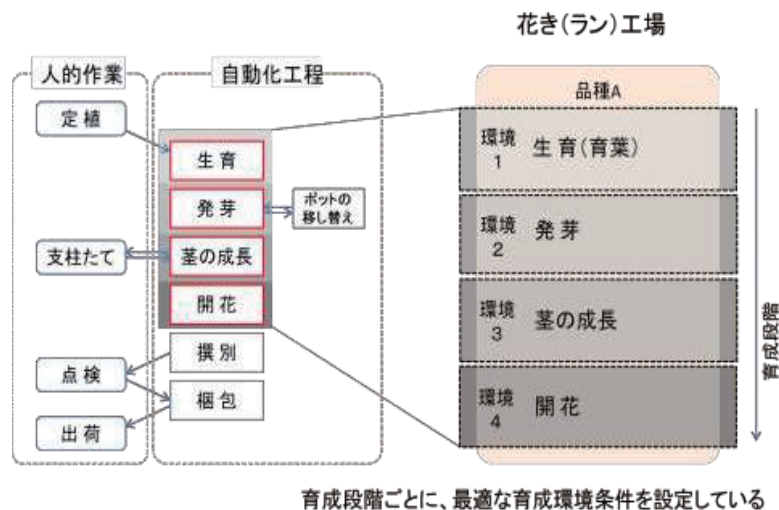
他方、オランダが世界第2位の農産物輸出大国になった原動力の一つである、トマトをはじめとした食物生産を担う高度施設園芸用植物工場の最大手プリバ社も、ロボット化を進展させている。もとはハウス栽培におけるストーブ生産から始まったハードウェアメーカだったプリバ社は、近年、自社を「ソフトウェア企業」とすると再定義している。プリバ社において特筆すべきは、2012年から市場導入を図っている自動環境制御システム「コネクスト(Connex®)」におけるオープン戦略である。

本システムは、従来のフルセット垂直統合的なクローズ志向の生産設備管理システムである「インテグロ(Integro®)」から一気に「オープン化」を進めたものである。

ビジネスモデル的に、これをどうみるか。オープン化によって、自社の価値形成を行う部分の「ブラックボックス」に集中した「クローズ化」を行い、(センサも含めた)他社品・システム等を接続可能にして「オープン化」した。これによって市場形成の加速化を進める意図だと思われる。ただし、もちろんこの

場合、制御系のソフトウェアに集中することは「クローズ領域からオープン領域を紐付ける」ことに他ならない。つまり、ソフトウェアによって市場の主導権を握るように仕組んでいるのである。プリバ社は、コネクストの販売を通して、他社の植物工場をさらに「ロボット化」し、その制御を握るわけである。なお、このソフトウェアは適宜バージョンアップされ、それを購入する必要がある。これは、パソコンのWindows OSにおいてマイクロソフトが確立したビジネスモデルと同型であることは言うまでもない。

このように、植物工場の「ロボット化」といっても、自社で運営する工場を「ロボット化」する場合もあれば、他社工場を「ロボット化」してその中核を握ろうとする企業も存在することに注目する。



3. セコム工業と産総研北海道センター：「閉鎖系・完全密閉型植物工場」事例

一般に、「閉鎖系・完全密閉型植物工場」の問題は、その設備費や運営費であると言われているが、それは「閉鎖系・完全密閉型植物工場」を生産場として見ていることに起因する。

「閉鎖系・完全密閉型植物工場」は生産する植物を育成する最適なパラメータを同定するための「実験場」として捉えることも出来る。その事例として、セコム工業と独立行政法人産業技術総合研究所北海道センター（以下産総研）をとり挙げる。

防犯機器製造販売をしているセコム工業では、1989 年からハイプラント事業として植物工場ではハーブの生産を始め、現在は 16 種類のフレッシュハーブを生産し、「かおり」ブランドで販売している。東京築地場や仙台市場で知られている同社のフレッシュハーブであるが、現在は完全閉鎖型植物工場以外に、太陽光利用型植物工場、太陽光利用型土耕栽培工場で栽培している[9]。同社はハーブの栽培事業を進めるにあたって、環境制御しやすく植物生産が確実な完全閉鎖型から始め、生産ノウハウを蓄積した後に、準閉鎖系の太陽光利用型植物工場へと展開し、その後土耕栽培（すなわち圃場生産）へと生産場の並列化を進めている。異業種から参入した同社は、完全閉鎖型によって栽培管理では何をどう制御すれば良いのかを徹底的に解明し、それを通じて生産品の品質や納期管理をしやすくすることで、事業化の成功確度を高めた。これは、あらかじめ生産管理の面から品質や生産量を含め制御しやすい方法を選択することで、計画的生産を可能としたことを意味するばかりではない。この閉鎖型での経験から得られた生産ノウハウを活かして準閉鎖型で生産拡大を進めるということを行った。完全閉鎖系を一種の「実験室」としてとらえ、それからスタートして、次第に「閉鎖度合い」を開放形に移行させ、それによって「生産場」を拡大したととらえることができよう。

産総研北海道センターの完全密閉型植物工場では、完全密閉空間において、多様かつ膨大な数のセンサによるモニタリングを行っている。このモニタリングが可能な汎用設備を整え、一部では自然環境を超える範囲の栽培環境条件まで設定できるようにしている。それによって、どのような品目の植物でも最適な栽培環境を同定出来る。つまり、仮に品目を特定すれば、それに応じて条件を選択できるわけである。このように作物の最適栽培に必要な栽培環境条件や必要な設備を同定する事ができるようになっている、すなわち「実験室」として設定しているのだが、それに留まらず、「生産場」としての機能運用等についての研究開発も試みている。その一つの試行事例として、遺伝子組換え作物を栽培し、同じ建物内で動物用医薬品にまで加工できるようにしている。ただし、「生産場」としては、従来の農業産品ではなく、遺伝子組み換え植物による機能性成分の生産を行っている。これは、農作物の収穫個数の増加や重量増、または外観形状の良質化ではなく、目的成分の生産量の増大に着目しているといえよう。植物全体の収量が減っても、植物体中における目的成分の含有濃度が増大し、全体として目的機能性成分の生産量が増えるのであれば、成分抽出工程で処理量が減らすことができ、効率化の点で好ましい。これは、植物を機能性成分の「製造装置」と見做していると言えよう。この点において、遺伝子組み換え体による機能性成分生産は、従来の農産品生産とは根本的に異なるが、それは「完全閉鎖系」のコストを考えると、それに見合った生産品を扱うことの試行であるとも言えよう。

「全環境制御型“実験”植物工場」において、対象とする農作物の最適生産条件を見極めることを目的とし、完全に自然環境を再現できる条件等を同定する。センサを経由して得られたログ情報を集め、分析・解析・整理することで、必要最小限の機能と性能を持った専用化植物工場を設計すること、その意味は何か。それは、そこで得られた品目別・品種別の植物生産の技術が、大規模高度園芸的生産に展開できるということである。実際、現在、品目別の植物工場において、それぞれで試行錯誤による条件出しが行われている。要するに、メタレベルで汎用系の試行工場が展開できれば、実は「急がば廻れ」的な効果を持つということである。

4. 「閉鎖系・完全密閉型植物工場」は生産場か実験場か

植物工場は、「生産場」か、「実験室」か。もちろん、両者である側面を持っている。ただし、完全閉鎖系の場合、生産場としては、そのコスト構造から言って基本的に高付加価値製品を扱う必要がある。他方、実験場としては、閉鎖系で得た知見を順次、準開放型（高度大規模施設園芸）から開放型（圃場）へと展開していく意味を持つ。ただし、ここで、高付加価値製品は国によって異なることを指摘しておきたい。例えば、日本における薬物野菜を完全閉鎖系で作ることは採算上相当の工夫が必要である。しかしながら、ロシアやモンゴルなどの寒冷地において薬物は高付加価値品である。

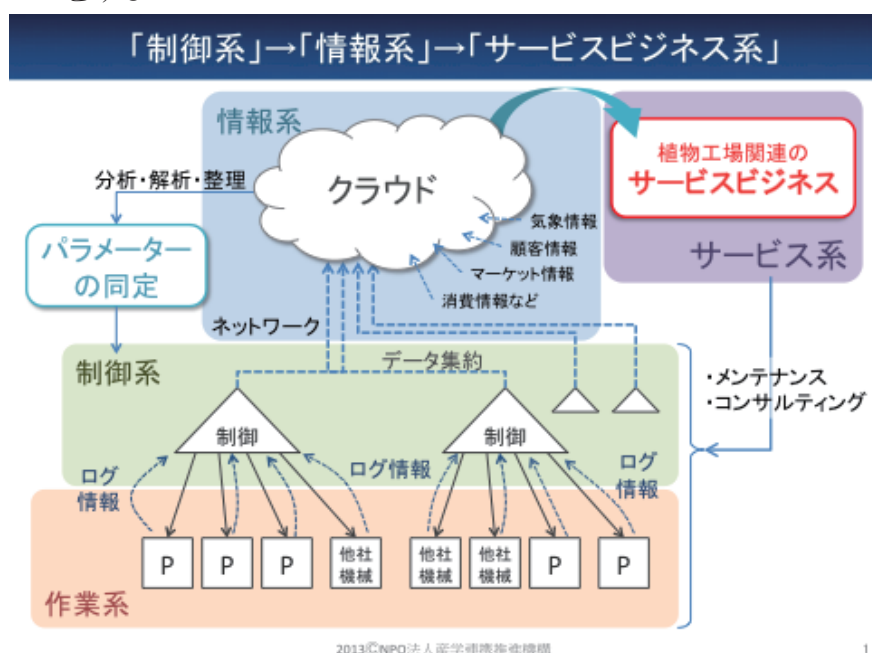
さて、ここで、植物工場化のアプローチは3タイプに分類できる。

＜モデル1＞開放系圃場を準閉鎖系に持ち込むアプローチ（篤農家の知見起点）：これは、従来の農業起点発想であり、篤農家の知見を取り込む考え方である。この観点に立てば、いわゆる「AI農業（アグリインフォマティクス）」等の活用が発想される。すなわち、かつてのエキスパートシステムのように、あたかも全身センサといえる篤農家の知見をできるだけAIに取り込もうというものである。

＜モデル2＞はじめから大規模生産施設内でつくり込むアプローチ（施設園芸大規模高度化型）：これは、現在最も主流となっている植物工場ビジネスへの参入の仕方である。試行錯誤を繰り返し、適正制御条件を見出していく。最近では、定番品（葉菜のレタス、果菜のトマトやイチゴ）のノウハウが普及しつつあり、あるレベルから始めることが出来るようになった。ただし、適切なコンサルタントがない場合等などにより撤退例を聞くことも少なくない。

＜モデル3＞植物実験室の知見に基づく植物生産の工業化アプローチ（実験室の知見起点）：これは、科学工学からの発想である。つまり、実験室で得られた知見を重視するものである。実験室において品種の各種パラメータを同定し、その成果を準閉鎖系において大規模生産化ができるように展開していく。喩えて言えば、100のパラメータを調べ、その内もっとも生産にとって効果的・効率的な10に絞り、それを重点的に制御管理していく、というものである。

5. むすび



「制御系→情報系→サービス系」を制したものが、コモディティ化する作業系を押さえ、産業上優位に立つ」というのは、筆者達が提唱する、工業系におけるメタレベルの基本原則である。これと同様に、植物工場も「制御系」をまず押さえることが極めて重要である。

そのためにも、閉鎖系植物工場を実験場としてとらえ、その研究を意識的に進めるべきではなかろうか。つまり、科学工学的観点から「植物の工業的生産」を図るためにも、その研究開発について政策的支援をさらに進めるべきではなかろうか。それをむすびの問題提起としたい。

【参考文献】

- [1] “建設関連企業の動向 参入相次ぐ植物工場ビジネス：復興需要と市場拡大をにらむ（追跡 震災復興 建設産業が挑む農業再生：農地復旧や植物工場で被災地支援）,” 日経コンストラクション, no. 561, pp. 68-69, Feb. 2013.
- [2] 日本経済団体連合会, “農林漁業等の活性化に向けた取り組みに関する事例集 ～‘元気なふるさと創り’に向けた経団連会員企業・団体等の取り組み～,” 2013.
- [3] スーパーホルトプロジェクト協議会, “平成 24 年度産地収益力向上支援事業（全国推進事業） 高度環境制御施設普及・拡大事業のうち環境整備・人材育成事業,” 2012.
- [4] 古在豊樹, 人工光型植物工場. オーム社, 2012.
- [5] 社会開発研究センター, 植物工場のビジネス戦略および商用化に向けた最新事例. 情報機構, 2012.
- [6] 高辻正基, 完全制御型植物工場. オーム社, 2007.
- [7] 高辻正基, 図解 よくわかる植物工場. 2010.
- [8] 妹尾堅一郎「ロボット機械としての電気自動車～機械世代論から見た次世代自動車の価値形成」 in 渡部俊也編『東京大学知的資産経営総括寄附講座シリーズ』第1巻、白桃書房、2011年
- [9] 妹尾堅一郎, 「閉鎖系から開放系へ 逆転発想の植物工場」、新ビジネス発想塾(第80回)、週刊東洋経済, pp. 98-99, 2013年12月14日号.