



Innoplex
Technology & Social innovation

「植物工場ビジネス」調査研究レポート

野菜や果物を工場で栽培する。一般の消費者にとっては奇妙な話かもしれない。植物工場とは、野菜や苗な
5 どの作物を施設内で光、温度・湿度、CO₂濃度、培養液(水耕栽培)などの環境条件を人工的に制御し、栽
培作物の成長にあった最適環境を実現するシステムである。

植物工場は「太陽光利用型」と、蛍光灯やLED(発光ダイオード)などの人工の光を使用する「完全閉鎖型」の
主に2つに分類される。太陽光利用型は太陽光を利用し、従来のハウス栽培に様々なテクノロジーを導入する
ことで、栽培環境を数値として把握できる形にしなが、作物の成長に最適な環境を実現していこうとするもの
10 である。ハウス(ビニルハウス・ガラスハウス)などの施設内には、室内温度やCO₂濃度を自動的にコントロール
する制御機器や感知センサーが導入され、あらゆる情報を数値データとしてパソコンに保存することもできる。

高品質(味・形・色などが良い)な作物を安定的に栽培することは、一般的な従来型農業では非常に難しい。
例えばビニルハウスなどの室内栽培の場合、太陽光が強い日に1℃でも温度調節を間違えば、たった一日だ
15 けの温度管理ミスによって作物の品質に多大な影響を与えてしまう。特に、発芽時期の作物は注意が必要と
なる。毎日の細かい温度変化や日射量をコントロールしなければならないからである。(コントロールを間違えば、
発芽日数の遅延、病害虫に弱い作物になる等、その後の成長に様々な障害を及ぼす可能性がある)

こうした作業を人間の感覚だけで行おうとするには長年の経験や勘、ノウハウが必要となる。たしかに農業初心
20 者でも、イビツな形で味にバラツキのある作物であれば栽培可能であり、自身で消費するだけの農業であれば
十分だろう。しかし、ビジネスとして作物を販売する場合、顧客のニーズにあった商品を提供する必要がある。

こうした長年の経験・勘・ノウハウを少しでも補うための方法としてテクノロジーの活用という道がある。様々なエ
レクトロニクスやIT技術を活用したハイテク農業である。温度・湿度・CO₂濃度を計測するセンサー機器や空
25 調機器は全てネットワーク化されており、栽培環境情報がPCや携帯等の端末にリアルタイム送信され、端末
から室内環境をコントロールすることもできる。

また、ベテランの方がどのような環境で栽培されているかを数値化することで、素人でもプロと同じような栽培
環境を実現することも可能である。

こうしたハイテク農業に参入する大手企業やベンチャー企業が増えており、定年退職したサラリーマンが退職

本レポートは2009年3月末に発行した調査レポートに最新データ(2011年2月末時点)を追加して改変したものである。植物工場の
技術や経営課題の概要を把握する目的に作成しており、本レポートを利用することで発生したトラブルや損害に関して、当法人は一切
の責任を負いません。

金の一部を利用して栽培するケースもある。ハイテク機器を一般の方が活用するケースはまだ少ないものの、無線やラジオが趣味の団塊世代がハイテク農業にチャレンジする姿も見られる。

5 太陽光利用型の植物工場では現在、トマトやイチゴ、ピーマンや花(バラ・菊・カーネーション)などが栽培されているが、太陽光を利用する場合は作物の栽培環境を完全にコントロールすることができない。自然の光は絶えず変動するものであり、雨や曇りの場合には補光装置(照明)を設置する必要もある。さらにハウスでは冬は暖かいが、真夏は異常に気温が上がり空調コストがかかることも問題の一つである(ハウスは夏でも比較的涼しい地域での栽培には適している)。

10 ただし、強い光が必要な作物には太陽光利用型の植物工場が適している。トマトやイチゴ、ピーマンといった果実類が成長するためには強い光が必要となる。技術的・コスト的な面から、こうした果実類の多くが太陽光利用型で栽培されている。しかし、レタスなどの葉菜類は、弱い光でも栽培が可能であるため、完全閉鎖型の植物工場(蛍光灯などの人工の光)でも採算性の合うビジネスとして栽培されている。

15 完全閉鎖型の場合、蛍光灯やLEDなどの人工の光源を使用するので照射には莫大な電気代がかかる。よって、コスト削減のために日中より電気代が安い夜間電力を使用している植物工場も多い。また、こうした電力コストを抑えるためには、光が効率よく作物に照射されなければならない。そのために各企業は、蛍光灯やLEDなどの光源と栽培作物をできるかぎり近づけ(近接照明)、漏れた光も反射板などを使用して
20 て全ての光が作物に当たるように設計している。植物工場(特に、完全閉鎖型)において、こうした設計ノウハウも必要不可欠な要素技術である。

しかし、トマトやイチゴ、ピーマンなどのツルがある丈の長い作物は、様々な方向から立体的に光を照射する必要があるので、上部からの一方向的な近接照明だけでは、うまく成長してくれない。

25 おまけに葉菜類よりも何倍もの強い光が必要となれば、研究レベルでは完全閉鎖型の植物工場でも、トマトやイチゴ、ピーマンや稲などの栽培に成功しているものの、採算性の合うビジネスとしては難しいのが現状である。(太陽光利用型の植物工場では、果実類の作物も採算性の合うビジネスとして栽培されている¹⁾)

30

¹ 例えば、カゴメでは太陽光を利用した植物工場(様々なハイテク機器を導入したハウス栽培)を運営し、大規模なトマト栽培を行っている。同社の大規模ハイテク農園の一つである加太菜園株式会社(カゴメ70%、オリックス30%が出資)では、オランダの栽培技術を導入し、温度・湿度や水量を自動的にコントロールできる養液栽培(水耕)を採用。一つの温室栽培施設が5.2haもあり、6mもの高さトマトが吊るされ、天井から誘導フックでつるしていることから、収穫の際など自由にフックを移動させることが可能。総事業費が約47億円。カゴメブランドの生鮮トマトを栽培し、収穫されたトマトはカゴメだけでなく、地場のスーパーに直接、販売している。

「完全閉鎖型」の植物工場

完全閉鎖型の植物工場では、外界から遮断された無菌のクリーンルームで栽培される。室内に入るためにはエアシャワーやオゾンで殺菌してから入る必要があり、チリやホコリが極端に少ない半導体工場や液晶パネル工場のようなものである。以下では、概要を把握してもらうために主な特徴を示した。

- 外界と遮断した無菌(クリーン)ルームで栽培しているので、無農薬が可能であり、野菜は水で洗浄せずにそのまま食べられるので、非常に調理が楽になる。
- 野菜への付着菌数が極端に少ないので、新鮮なまま、長持ちする。
- 室内は、温度・湿度・CO2濃度・栄養素(土ではなく、水耕栽培)・光の照射量などを、あらゆるセンサーで検知し、それらの環境情報をリアルタイムに処理し、野菜が一番育ちやすい環境を実現。まさに、「植物版の箱入り娘」状態で育てられている。
- 「箱入り娘」で栽培された作物は、通常の露地やハウス物より、栄養価が高く、成長も早い。
- 建物(ビル)の地下室でも栽培でき、温暖化・気候変動の影響を受けず、年中安定して供給できる。(天災・害虫などの自然環境リスクもない)
- 蛍光灯やLEDなど、人工の光を一日中使用するので、電気代がかかり、野菜の価格が高くなる。
- 上に積み上げた多段式で栽培できるので、露地やハウスよりも、多くの野菜を栽培できる。

5

完全閉鎖型の植物工場では、水耕栽培を採用し²、安全・安心(無農薬)で栄養価の高い作物が栽培できる(太陽光利用型の植物工場もほとんどが水耕栽培を採用している)。

植物の成長には、炭素・酸素・水素・窒素・硫黄・リン・カリウム・カルシウム・マグネシウム・鉄などの栄養素が主に必要(その他、ごく微量な元素も必要)であり、こうした栄養素を水に流すことで、栽培している全ての作物

10 に対して均一に栄養が行き届くことが可能となる。

露地・土壌の場合、いくら均等に肥料を蒔いても100m先の土壌環境(例えばリンや窒素の量)が全く同じになることはあり得ない。つまり水耕栽培は、均質な作物を安定的に栽培でき(要は不良品が少ない)、作物の成長にとって最適な栄養素を与えることで、成長速度や栄養価を高めることが可能になる。

15

水耕栽培には、もちろんデメリットもある。栄養を根に直接与えることにより、効果が現れるのが非常に早い。よって最適な量を誤ると、すぐに生育障害がおきる。また土壌の微生物が存在せず、病原菌などの有害物質に

² 丸紅(株)は提携ベンチャー企業である(株)ヴェルデでの土壌栽培技術、自社で保有している有害な細菌を抑える微生物剤、作業時のスチール棚の移動や照明操作はオートメーション設備大手の(株)ダイフクの技術を利用しながら「土壌栽培が可能な完全閉鎖型・植物工場」を開発。葉野菜だけでなく、根菜類の栽培も可能である。

対して非常に弱い為、厳重な管理が必要となる。こうしたリスクを回避するためにも、ある程度の設備機器を導入する必要があり、一般的な土壌栽培に比べ、水耕栽培の場合は設備コストがかかることも考えなければならない。

5 しかし、土を耕し肥料を蒔き、継続的に土を管理していくのは非常に重労働な作業である。土壌栽培の場合、土を耕すことで土壌のCO₂が大気中に放出され、雨などで化学肥料が土壌の中に浸透することが問題になっているが、水耕栽培ではこのような弊害がない。

(最近ではCO₂をできるだけ排出しないように、土壌栽培においても、土を耕さない不耕起栽培が増えている)

10 土壌栽培では、毎年同じ場所で栽培を繰り返すことで土壌の老朽化が進み収量が減少するが、水耕栽培では、こうした連作に関する心配は不要である。植物工場で栽培される作物は成長速度が早く、年間に10数回は栽培できるのだが、連作障害がないことは非常に都合がよい。

また、水耕栽培では流れるプールのように水を循環させており、土壌栽培よりも飛躍的に水の使用量が減ることもメリットの一つである。土壌栽培よりも10分の1、ハウス栽培よりも半分以上にまで使用量を削減できる³。

15

蛍光灯などの人工の光を利用し、地下施設内で栽培される農業。水耕栽培という水に必要な栄養素を含ませた溶液で栽培される農業。太陽や土のない農業は“自然や大地の恵み”という言葉からは非常にかけ離れている。このような人工的な作物に対して、様々な不安を抱くと思われるが、以下では植物工場で栽培された

20 リーフレタスの栄養データを示す。

	露地物レタス	植物工場レタス
総カロテン[mg/100g]	0.13	1.79
ビタミンA効力[IU/100g]	70	990
総ビタミンC[mg/100g]	6	11
総ビタミンE[mg/100g]	0.3	1.3

25

上記の表は、コスモプラント社(現在は倒産している)のLED植物工場(完全閉鎖型)で栽培したリーフレタス(商品名:コスモリーフ)の栄養分析結果である(調査機関:日本食品分析センター)。

露地物と比較して、非常に栄養価が高いことがわかる。この工場は全面に赤色LEDを採用しており、一般の蛍光灯を使用した植物工場に比べて高い栄養価を示している。

30

ここで示したいことは、採算性を考えずに赤色・青色LEDを多用し、植物に最適な光量を調整してあげれば、ビタミンやカロテン、ポリフェノールなどの栄養価をある程度、自由にコントロールできる、ということである(もちろん、光だけでなく、養液や温度・湿度などの栽培環境も重要なファクターである)。

³ 三菱化学(株)、フェアリーエンジェル(株)関係者からの情報。ただし、正確な数値データは公表していない。

2010年3月末現在、市場に流通している商品のうち、全てLEDのみで栽培されている植物工場野菜はない（実験的な工場は複数、存在する）。その理由は導入コストの高さであるが、最近の傾向は、価格が安い蛍光灯の一部、赤色LEDを採用した植物工場が多い。補光用として赤色LEDを照射することで、成長や栄養価を高めることが可能となる。

5

植物工場で栽培した野菜の栄養価については各企業のWEBサイトでも情報公開されているので、各自で調べて頂きたい。例えば、建設機器のレンタル・リース事業が主軸である(株)ニシケンが販売する「ベジクイーン(野菜のブランド名)」でもβカロテンを高めたグリーンリーフ等を栽培している⁴。

また、徳寿工業(株)が栽培する野菜は、糖質やビタミン含有量を従来の3～6倍、野菜に含まれる硝酸性窒素の含有量を20ppm以下(通常の露地栽培野菜の5%以下)のものが生産可能である⁵。

10

植物工場は栄養価だけでなく、成長速度も速い。以下の表は、最適な栽培環境でリーフレタスを栽培したケースである。完全閉鎖型の植物工場内で、リーフレタスを10段の多段式で栽培した場合での栽培回数と株数を示したものである(光源は蛍光灯で近接照明を行っている)⁶。

15

栽培方法	栽培回数(回/年)	1回当たりの栽培株数(株/回)	段数	年間栽培株数(万株/年)
露地栽培	2	5000	1	1
ハウス栽培	5	5000	1	2.5
植物工場	13	5000	10	65

上記のデータでは、1回当たりの栽培株数を同じにした場合、近接照射によって10段の多段式栽培を行うことで、露地栽培の65倍もの生産性が理論上は実現できることになる。空間があれば何段でも上に栽培できることから、農業の問題点である土地の制約性から、ある程度解放されることになる。

20

しかし、現在は人間の手で収穫しているため、あまり高く積み上げることはできない。将来的には何十段にも積み上げ、収穫ロボットを利用する工場も現れるかもしれない。参入企業へのヒアリングの際にも、光源技術(蛍光灯やLED)だけでなく、「大規模生産・自動化・収穫ロボットの導入」などが今後の課題に挙げられていた⁷。

⁴ (株)ニシケンでは、2006年10月に植物工場「すいさい園」(佐賀県)が完成。4段の多段式栽培であり、日産は2万株ほど(投資額は未公開)。人工光と太陽光を併用する植物工場であり、グリーンリーフなどの葉野菜類・4種類を生産。安全で良質な地下天然水を利用して栽培している。

植物工場野菜の専用HPにも栄養価に関する情報が掲載されている(<http://www.suisaien.com/>)。

⁵ 企業による独自調査であり、どういった露地野菜を比較対象にしているのかは不明である。詳細な実験データが取得できなかったため、あくまで参考程度にして頂きたい。

⁶ 日経エレクトロニクス2008.2.11の記事を参考にした。

⁷ ナスやトマトなどの収穫ロボットは既に試験的に利用されている。例えば、生研センターとエスアイ精工(株)は共同でイチゴ収穫ロボットの開発を進めている。高性能カメラで撮られたイチゴを画像処理にかけ、色合いで完熟度を判別し収穫する。収穫にはソフトタッチを可能とするフィンガー部位を搭載。イチゴは傷つきやすい作物であるため、生卵を握っても割れないハンド型ロボット並みのソフトタッチ技術が要求されるだろう。