

# 進化する施設栽培

## 大規模施設から植物工場まで



# 目 次

1. 園芸作物生産における施設栽培の発展	1
<コラム① オランダと中国、海外の施設生産>	3
<コラム② 新しい構造の栽培施設>	4
2. 大規模施設と植物工場の実用化事例	4
(1) 導入が進む大規模施設	4
(2) 実用化された植物工場	6
<コラム③ 植物工場で生産された野菜の栄養や味は？>	7
(3) 高品質な苗を生産する閉鎖型苗生産施設	7
<コラム④ 都心の植物工場>	8
<コラム⑤ 苗テラス（閉鎖型環境）で苗を生産する利点>	9
3. 施設栽培を支える技術開発	10
(1) 施設の構造や素材の開発	10
(2) 安定生産のための環境制御技術	10
(3) 養水分の供給技術	12
(4) 栽培管理システム	12
<コラム⑥ ロボットによる収穫と選果>	14
(5) 太陽光に換わる人工光	14
4. 今後の課題と展望	16
(1) 快適な施設内作業	16
(2) 省エネルギー化	17
(3) 植物工場の今後	17
1) 植物工場の利点	17
2) 植物工場の生産コスト	18
(4) 今後の施設園芸研究	18
<コラム⑦ 将来は家庭にも植物工場？>	19

写真左上：太陽光・補光併用型の植物工場における野菜生産（J社）

写真右上：苗テラス（閉鎖型環境）における苗生産（岐阜大学 嶋津光鑑氏）

写真下：大規模施設における野菜生産（KGファーム）

# 1. 園芸作物生産における施設栽培の発展

施設園芸の範疇は広く、露地のべたかけ栽培から、人工光による植物工場までが含まれます。施設栽培は、野菜、花き、果樹等の生産において、安定生産を支える重要な技術であり、高い収益性も得られることから、農業生産の発展に貢献してきました。我が国で施設園芸の言葉が使われ始めたのは、農業用ビニールが実用化された昭和30年代からといわれています。昭和40年代に入ると、施設の設置面積は急激に増加しましたが、近年は農業者の高齢化や輸入野菜の増加等の要因もあり、5万ha付近で微減傾向にあります（図1）。施設の種類では、塩化ビニルなどのハウスを中心に、ガラス温室や簡易な雨よけ施設も同様に増えてきました。ハウスの栽培では、野菜が圧倒的に多いのですが、ガラス室では花き、雨よけ栽培では果樹が多く栽培されていま

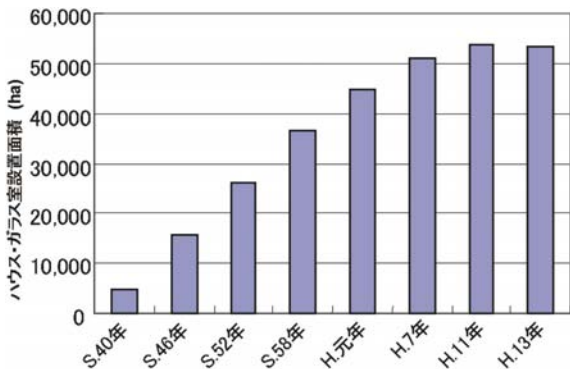


図1 園芸用施設の設置面積の推移  
ハウス等の施設面積は昭和40年代以降急速に増加しました。  
((社)日本施設園芸協会<http://www.jgha.com/shisetu2/p2/p2.htm>より改変)

す。花きでは施設栽培の占める割合が大きく、平成7年以降は露地よりも施設の比率が多くなっています。特に、鉢もの類は84%、花壇用苗もの類は76%と、そのほとんどが施設で生産されています。

近年では、施設園芸の経営規模が拡大する傾向が見られ、大型の栽培施設の導入事例が増加しています。個人経営では1棟の面積が0.2~0.3haのハウスの導入が増えています。さらに、大規模な法人経営では0.5~数haの規模の施設が新たに導入され、全国各地で稼働し始めています。それらの多くは、オランダで開発されたフェンロー型温室であり（写真1、2）、軒高が年々高くなる傾向にあります。現在、軒高の最も高いもので5.0mにもなっています。

施設園芸の経営規模が拡大化する一方で、1990年代からは、植物工場と呼ばれる施設の稼働も始まりました。植物工場とは、「環境制御や自動化などハイテクを利用した植物の周年生産システム」と定義されています。それは、施設内の温度、光、炭酸ガス、培養液等の環境条件を最適化させる自動制御



写真2 フェンロー型施設内部  
奥行きが約100mもあり、巨大な空間が作られています。



写真1 フェンロー型の大規模施設（面積約1.6ha）  
幅が3.2mの棟を連続して並べてあり、軒高は4.5mです。



装置と、播種、移植、収穫、出荷調整等の作業工程の自動化とを組み合わせ、植物を天候に左右されずに省力的かつ安定に生産するシステムであり、高度に機械化された施設です。最近の大規模温室もコンピュータ制御による自動化が図られており、工場のような施設なのですが、太陽光のみを利用すること、温度の上昇抑制には窓を開けて換気すること等の理由で、植物工場の範疇には含まれません。このように、施設栽培と植物工場との境界は曖昧で、植物工場も施設栽培のひとつの形といえます。

植物工場の起源は、1957年のデンマークのクリステンセン農場とされています。それは、光源に太陽光と人工光源を補光として併用する方法で、クレスの播種から収穫までの一貫自動生産を行った世界初の事例です。1970年代には、アメリカで人工光型の植物工場が開発されましたが、コストの高さが問題となり、ほとんどの開発が中止されました。現在、実用レベルでは、オランダで人工光を補光に利用した花き生産等が行われています。

日本では、全国で20カ所以上の植物工場が稼働しています(図2)。これらは、利用する光源の種類によって、太陽光を利用する太陽光利用型(補光併用型を含む)、人工光源のみの完全制御型に分けられます。特に完全制御型の中でも、施設内を遮光断熱壁で覆い、システム内外

の空気、水、熱などの交換を著しく制限し、内部の環境を人為的に制御できる植物工場は、「閉鎖型植物生産施設」と定義されています。

太陽光と補光併用型の植物工場は、高度な環境制御システムや作業の自動化・省力化が進んだ園芸施設といえます。設置面積の平均は0.3haと従来の施設とほぼ同じ規模ですが、1ha近い規模の施設も作られています。補光の光源には高圧ナトリウムランプが使用されています。これに対して、完全制御型の植物工場の規模は平均0.07haと太陽光利用型と比べ小規模です。使用されている光源が高圧ナトリウムランプであることは太陽光利用型と同じですが、一部には蛍光灯を光源とする施設もあります。

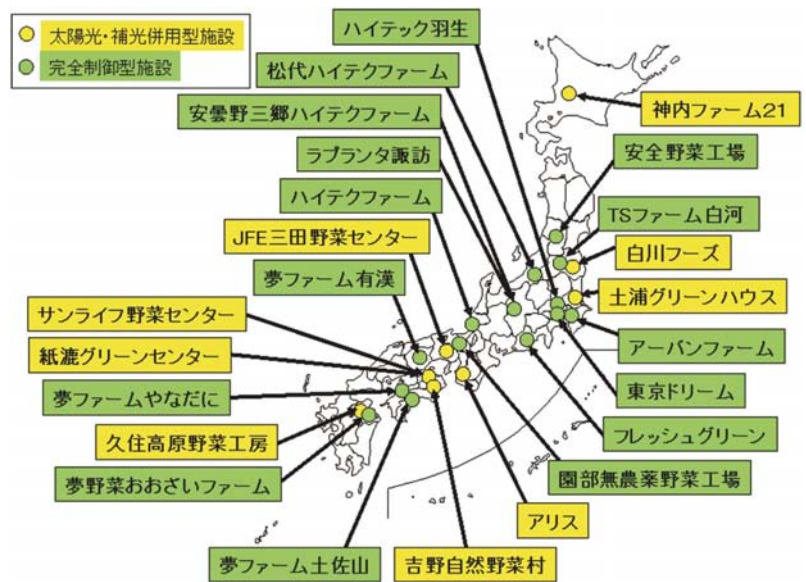


図2 国内で稼働中の植物工場マップ  
全国で20を超える植物工場が稼働中です。

表1 完全制御型と太陽光併用型との比較

設置コストは完全性制御型の方が高いのですが、運転コストは季節により、補光型の方が高くなる場合もあります。

項目	完全制御型	太陽光併用型
建屋	外観は工場、倉庫同様の断熱建屋	フェンロー型温室が主流
光源	660W以上の高圧ナトリウムランプが主流、蛍光灯の施設も存在	360W以上の高圧ナトリウムランプが主流、高光量タイプも存在
空調	室内温度を18~25℃に保つよう特殊空調設備	温風や温湯での暖房とクールセルの冷房が増加中
環境制御	外環境と隔離により環境制御は比較的容易	季節、気温の影響を受けやすい環境制御は複雑
栽培	空間の有効活用が可能立体的な栽培	栽培効率向上のためスペーシングを行う
栽培技術	環境の安定により容易	栽培管理は完全制御型より難しい
生産性	周年安定生産が可能	周年生産は可能だが、季節の影響を受ける
運転費	光源の電気代が高い 光源2：空調1の割合	夏場の冷房費用は完全制御型よりも多く必要

現在、植物工場はサラダナやレタスなどの葉菜類の栽培に多く利用され、北は北海道から南は九州まで幅広い地域に設置されています（表1）。なお、キノコ栽培の施設も、太陽光から遮断され、高度に温度・湿度等が制御されており、完全制御型の植物工場といえますが、本レポートからは割愛しました。

最近では、青色LED（light emitting diode：発光ダイオード）などの最新技術の導入、苗の生産、都市内での農業生産、付加価値の高い植物の生産など、植物工場を含めた施設栽培の利用範囲は広がりつつあります。そのため、施設栽培の現状と今後の課題について紹介します。

## コラム①

### オランダと中国、海外の施設生産

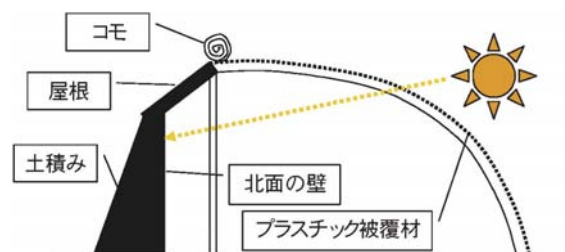
施設先進国のオランダの施設園芸ガラス室の設置面積は1万haあり、野菜と花きが半分ずつの割合です。野菜では主としてトマト、キュウリ、パプリカが栽培されています。

先進のトマトの栽培では、

- ・1～2 ha規模の高軒高フェンロー型大型ガラス室
- ・ロックウール培地を用いた養液栽培
- ・栽培ベットをつり下げて床から離れたハンギングガター（ハイガター）方式
- ・3.5mの高さにワイヤーを張り、その高さまで誘引整枝するハイワイヤー方式
- ・通路には高所作業台車、収穫用台車が走行するためのレールを兼ねた暖房用の温湯管

等の技術が導入されています。多収性品種の導入とも合わせて、平均収量は約50 t / 10 aにもなります。これらの技術は、日本の大規模施設にも導入され始めています。

中国では、1980年代からの急激な経済発展に伴い、1980年には約7,000haであった施設面積が、2000年には160万haに増加しています。農村部にある1億5000万人もの労働力を施設生産に向ける考えもあり、中国農業における施設生産はますます重要性を増すと思われます。中国独特の施設として日光温室が挙げられます。その基本構造は下図のように、北壁および東西両妻面の壁は、土やコンクリートで作られています。特に北面の壁は南から差し込む日光からの熱を蓄積する効果があります。南側面と屋根面はプラスチックフィルムで被覆され、夜間は放熱を防ぐために、麦わらなどのコモで全面が覆われます。翌朝のコモの巻き上げも含め、作業は人力で行われています。日光温室の主な目的は寒さの回避で、中国大陸の厳しい寒気により、外気が0度に達する場合でも、晴天であれば施設内は25℃程度に保つことが可能です。



日光温室の模式図、北側の壁に昼間の太陽熱を蓄積させます。夜間はコモを降ろし、保温を図ります。

## 新しい構造の栽培施設

施設栽培にはいろいろな構造のハウスが開発され、使われています。

温度抑制や換気は作物の安定生産にとって重要であることから、様々な構造・方法が開発されています。フェンロータイプの施設等では、屋根の一部が開閉して換気する構造ですが、写真Aのように屋根の頂部全体が開くタイプ、または写真Bのように片側の軒部を支点にして丸屋根全体が大きく開くタイプ等も考案されています。遮光カーテンは高温対策技術の一つとして一般的ですが、今までは施設内の装備、または室外の屋根に沿った形での設置でした。写真Cは最近開発された外部に水平に展張する方式のハウスで、大型施設における高温対策技術の1つとして期待されています。

中山間地の傾斜地では、ハウスの設置や栽培が困難でしたが、最近、写真Dのような傾斜地に対応して設置可能な平張り傾斜ハウスが開発されています。

A



B



C



D



A：屋根開放型ガラス室（棟から開くタイプ、石井、2002）、B：丸屋根式の屋根開放型ハウス（片側軒から開く、屋根は2重空気膜、石井、2002）、C：外部遮光装置を備えたフェンロー型ガラス室（水平（奥行）方向に4m毎に遮光カーテンをたため）、D：平張り傾斜ハウス（P0系フィルム被覆、地形に沿って斜めの屋根になっている）

## 2. 大規模施設と植物工場の実用化事例

### (1) 導入が進む大規模施設

**S 菜園の大規模施設：**S 菜園は広島県にあり、3.2haの大型施設によってトマトを生産している農業法人です。施設はフェンロー型高軒高温室で軒高は5m、温室内部は全面コンクリート舗装されています。栽培ベッドは、吊り下げ式（ハンギングガター）

を採用しており、通常のベッド位置よりも高いため、収穫や管理作業では、立ち姿勢で作業ができるよう改善されています。また、栽培ベッド間の通路には暖房用パイプを兼ねたレールが敷設されており、レール走行式の高所作業台車（最高2.7mまで上昇）が利用されています（写真3）。従業員は約50名と、多いため、労務管理システムが不可欠となっており、独自にマニュアルを作成し、運営しています。また、



経験と勘の農業ではなく、現場で使える技術を理論的に活用し生産性向上につなげることに重点をおいて生産を行っているそうです。

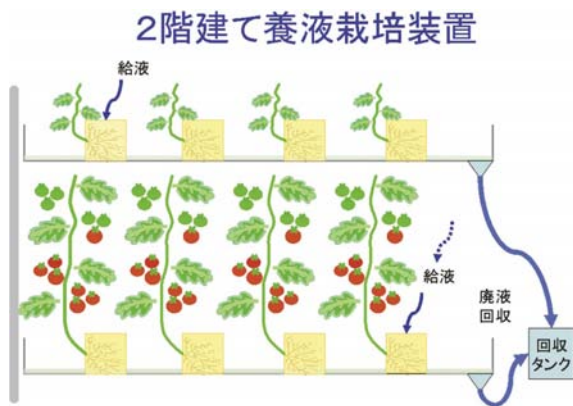


**写真3 高所作業台車による作業風景**  
 トマトを3.5mの高さにまで誘引するため、高所作業台車は必須です。

**立体栽培のKファーム：**Kファームは、栃木県にあり、施設の面積は0.92haあります。本施設の特徴はその栽培形態にあり、ベットを上下2段に配置して栽培面積を有効に利用するシステムです（図3）。栽培はトマト1株の果房を4段に抑え、効率的に更新させることにより、日産1.6tを可能にしています。施設内には上下2段の栽培ベットがあり、

下段でトマトを収穫し、上段では、定植から収穫が始まるまでの育成中のトマトが栽培されています。下段のトマトの栽培が終わるとすぐに、上段のトマトを栽培ベットごと下段に降ろし、収穫が始まります。そして上段には新たに苗を定植します。このように効率よく、常に収穫できることが特徴です。大型施設で採用されている長段栽培は、新規就農者には技術的に難しい面もあるため、4段で摘心する本栽培法は、たとえ途中で失敗しても、ある程度取り返しのつく栽培法でもあります。なお、本施設は、生産物の95%をレストラン等の外食産業に出荷しています。

**個人経営のSファーム：**Sファームは、千葉県にあり、生産者が農業法人を組織し運営するサラダナとトマトの大型生産施設です。1989年から、トマト専業農家4人により水耕サラダナの大型施設4棟、2haを導入して始まりました。サラダナ栽培は栽培パネルの温湯消毒等の改良で生産が安定したそうです。平成11年には水耕トマトの大型施設4棟、2.2haが新たに加わっています。トマト栽培では、8段摘心栽培の年2.5作で、20t/10aを生産しています。トマトの選果・箱詰め・出荷はJAの共同選果場を利用しています。経営と培養液管理は雇用主が行い、栽培管理全般は周年雇用の女性パートが担って運用されています。法人組織とはいえ、個人経営で1ha以上の経営実績は、経営規模拡大の事例として注目されています。



**図3 Kファームの栽培方法**  
 2段の栽培ベットがあり、下段のトマトの栽培が終わるとすぐに、上段のトマトが収穫できる効率の良さが特徴です。

## (2) 実用化された植物工場

**完全制御型の植物工場：**A社はTSファームタイプの完全制御型植物工場です。TSとは三角パネル (Triangle Panel) と噴霧水耕栽培 (Spray Culture) それぞれの頭文字をとって名付けられています。植物は生育パネルと呼ばれる長方形の板に開いた穴に支持材とともに埋め込まれ、そのパネルを使い、二等辺三角形を作るよう立てかけます (写真4)。床とパネルで形成された三角形の中にはパイプが通っており、そこから霧状の培養液または水が一定間隔で放出され、植物の根はそれを吸収して成長します。光源には高圧ナトリウムランプを用いており、光合成効率を高めるためのCO<sub>2</sub>施用も行われています。その結果、TSファームの植物は露地栽培に比べ、約2倍の成長速度が達成されています。

本システムの特徴として、

- ・栽培がマニュアル化されているため農業の経験が無くても栽培ができる
  - ・完全無農薬栽培が可能であるため、洗わなくても食べられる
  - ・露地栽培に比べ細菌数が低レベルである
  - ・商品になる率が高く安定生産が可能である
- ことなどが挙げられます。ビタミンなどの栄養成分については、露地の野菜とほぼ同等の品質が得られています (コラム③)。

**太陽光・補光併用型の植物工場：**茨城県にあるJ社の施設は、太陽光・補光併用型の植物工場として、平成16年から稼働しています。この施設は、0.53ha



**写真4 噴霧耕の植物工場内部**  
噴霧耕という、根部に固形物を用いない独自の養液栽培技術が採用されています。播種、育苗、定植、収穫まで30~35日で行われています。

あり、41m×4m×21基の高設プール (S/P方式) においてレタス及びサラダナを養液栽培し、周年生産しています (写真5)。これらの野菜は、あらかじめ発芽させた苗を発泡スチロール製のパネルの穴に定植し、このパネルを一定の温度に保った栽培養液を循環させているプールに浮かべ、太陽光及び高圧ナトリウムランプ (補光) を照射して栽培されます。パネルは、生育状況に応じて、順次、プールの端 (定植直後の位置) から端 (収穫する位置) へ移動されます。気温の制御は、パットアンドファン方式の冷却装置 (昇温抑制) 及びボイラー (加温) で行われています。なお、播種から収穫まで、およそ40日間を要します。また、この施設は、露地栽培よりも快適な環境と少ない作業負担で、一年中、毎日、安定的に野菜を生産することが可能です。生産された商品 (レタス、サラダナ) は、大手百貨店、量販店及び外食産業等と契約し、天候に左右される



**写真5 太陽光・補光併用型の植物工場**  
左：高設プールの栽培養液に浮かぶ発泡スチロール製のパネル。補光として高圧ナトリウムランプ (黄色光) で照射されている。  
右：高設プール (1基41m×4m) に移動され、収穫される。



## 植物工場で生産された野菜の栄養や味は？

植物工場で生産された野菜は、露地で生産された野菜に比べ、味がなくか水っぽいのではないかとこの印象をお持ちでないでしょうか。植物工場で生産されたリーフレタスとサラダナの成分を標準分析表の値と比較しました（下記表）。統計的な議論がなされてはいませんが、いずれの成分もわずかな違いとなっています。この結果を見る限り、植物工場の野菜の味や成分は通常の栽培方法に比べて大きく異なることはないといえます。植物工場は半閉鎖系で栽培が行われるため、害虫や病原菌の侵入阻止が容易で、無農薬での栽培が可能です。一方で、温度、光や水分などの環境で野菜の品質は大きく変わることも明らかです。植物工場は、これらの環境を自在に制御できることから、栽培条件と成分との関係を明らかにする研究の進展によっては、味や栄養を高めた農産物の生産が期待されます。

### 植物工場で生産した野菜と5訂標準成分表との成分比較

野菜の成分は、植物工場で生産しても従来の野菜の成分とほとんど変わりません。

	リーフレタス		サラダナ	
	食品標準成分表	植物工場	食品標準成分表	植物工場
タンパク質(g)	1.4	1.3	1.5	1.4
脂質(g)	0.1	0.3	0.2	0.1
カルシウム(mg)	60	34.6	50	35.7
ナトリウム(mg)	6.0	4.5	5.0	3.8
カリウム(mg)	490	420	370	457
ビタミンA (IU)	1300	910	780	1170
ビタミンB1 (mg)	0.1	0.03	0.05	0.03
ビタミンC (mg)	21	15	13	10

ことなく、一年を通して安定した価格及び量で出荷されています。

### (3) 高品質な苗を生産する閉鎖型苗生産施設

農業には「苗半作」また「苗七部作」という言葉があります。それほど農業生産においては高品質な苗を作ることは重要なテーマです。大規模生産に対応して、均質な苗を大量に生産するためには、日時や天候に大きく左右される自然光は光源として適していないことが指摘されています。それは、光強度の植物成長に与える影響が、幼植物で特に大きくなるためです。

そこで千葉大学の古在豊樹教授らは、閉鎖型苗生産システム概念を構築しました。これに基づいて、製品化された閉鎖型苗生産施設がT社の「苗テラス」です（コラム⑤）。その基本的な構成は、プレハブ庫内に断熱壁による閉鎖系を作り、空調のための家庭用エアコン、省エネ・少スペース・軽量化が可能

なHF蛍光灯による照明、液肥施用および灌水を自動で行う装置を備えた施設です。施設は閉鎖系であるために、病虫害の侵入をうけないことから、農薬散布の必要はありません。そのため、低コストでの苗生産が可能で、2週間の育苗期間で1本当たり1円程度の苗作りが可能です。苗テラスで育成した苗は、胚軸が太く葉肉が厚くなり、がっしりした苗になる傾向があります（表2）。現在、様々な種類の苗について生育試験が行われています。実際に本システムによりトマト生産を行っている企業では、育苗日数の削減効果などの有効性が証明されています（表3）。

閉鎖型苗生産施設が普及するためには、施設の稼働効率を高める必要性があります。ハウレンソウ、サラダナ、ハネギなどのように周年にわたり栽培される苗の生産では、育苗施設の高い稼働率が見込めます。しかしながら、多くの作物の苗の需要は一般に定植時期である春と秋に集中するため、施設が稼

## 都心の植物工場

2005年1月9日の朝日新聞に“都心ビル地下金庫跡で「野菜工場」、転職会社が就農支援”という記事がでました。光源や室温等の栽培環境をコンピュータで制御し、無農薬でトマトやレタスを生産する植物工場を都会の真ん中に導入したという内容です。転職支援会社が都市に多い無職の若者や失業中の中高年の就農支援のために農業研修の場として、交通の便の良い都心にこの工場を設置しました（写真）。

この会社が、大瀧村での就農研修に送った中高年サラリーマンやフリーター数は2003年から総勢約100人にのぼるそうです。また、平成17年2月24日には、小泉首相が同施設を見学したことで話題を呼びました。



左：P社の植物工場がある東京駅近くのビル  
 右：棚田をイメージしたという植物工場内でのイネの栽培  
 試行的な施設ですが、都心の農業として話題になりました。

表2 閉鎖型施設と慣行（ハウス）におけるコマツナの苗生育状況等の比較

苗の胚軸は閉鎖型施設産の方が短く、太い傾向があり、がっしりした苗といえます。

育苗法	セルトレイ 穴数	下胚軸長 (mm)	下胚軸径 (mm)	本葉数	葉長 (mm)	葉幅 (mm)	地上部FW (g/3株)
閉鎖型	144穴	18	1.50	2.1	28	21	1.1
	288穴	19	1.33	1.8	28	20	0.8
慣行 ハウス	144穴	26	1.29	1.5	23	15	0.7
	288穴	40	1.14	1.1	20	13	0.6

人工光・閉鎖型苗生産装置《苗テラス》(太洋興業(株)農業開発部 土屋 和)より改変

働かない時期が生じます。育苗の端境期の対策として、葉菜の生産を行う方法が考えられています。大規模苗生産を行う場合には良い対策ですが、閉鎖型苗生産施設の普及対象が大規模苗生産業者に限定さ

れてしまいます。

閉鎖型苗生産施設には、小型予冷库レベル（10㎡規模）の施設も市販化されています。これは、産地の生産団体自身が苗を生産することを想定してい



表3 閉鎖型施設と慣行（ハウス）におけるトマト接木苗の所要育苗日数の比較

閉鎖型施設での苗の生育期間は周年安定し、ハウスよりも短くなっています。

	育苗時期	播種から接ぎ木までに必要な日数	接ぎ木後養生日数	育苗日数計
閉鎖型	周年	12～13日	3日	15～16日
ハウス	7月	20～26日	3日	23～29日
	8～9月	17～26日	3日	20～29日
	10～2月	23～31日	3日	26～34日
	3～4月	21～30日	3日	24～33日
	5～6月	20～29日	3日	23～32日

JA 全農幼苗接ぎ木苗生産システムマニュアルより改変

## コラム⑤

### 苗テラス（閉鎖型環境）で苗を生産する利点

閉鎖型環境で苗を生産する利点として、以下の点があげられます。

#### ① 栽培環境制御が容易

- ・施設内の光環境（光合成有効光量子束密度、照明時間、波長組成、照射方向）、温度、湿度、気流、CO<sub>2</sub>濃度を自由に制御できるので苗の品質管理が容易になります。そのため、苗生産技術の標準化も容易になります。
- ・害虫や病原性微生物の侵入を防止することが容易であり、無農薬での栽培が可能です。
- ・化学肥料の使用量を最小限に抑えることが可能で、外部への流出も防げます。

#### ② 低コスト化が可能

- ・苗育成棚を多段にすることにより、施設の敷地面積よりも苗の育成面積を大きくすることが可能です。
- ・苗生産の場合、光強度は100～400  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と比較的低くても充分（果菜類では500～1,000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ は必要）です。そのため、照明エネルギーが少なくすむことに加え、発熱による空調エネルギーも低く抑えることが可能です。
- ・エアコンの冷却コイルにより、苗が蒸散した水を回収し、再び利用できることで水消費量を低減できます。
- ・太陽利用型植物工場と異なり、光源や空調も市販の蛍光灯や家庭用エアコンで対応できるので、初期投資を低く抑えることが可能です。



苗テラスにより栽培されている様々な苗  
コマツナやルッコラなど主に葉菜類の苗が見えます。

ます。この場合、産地において作期の異なる多種多様な作物や品種の苗の需要があると効率的な施設の稼働が期待できます。小規模で多様な作物を担う農家の多い中山間地の利用にも適した施設といえます。

### 3. 施設栽培を支える技術開発

#### (1) 施設の構造や素材の開発

**高軒高化と空間利用：**最近の施設の軒高が年々高くなる傾向にあります。フェンロー型温室の軒高は、20年ほど前には2.5m程度でしたが、現在は4.5～5.0mになっています。

高軒高施設の利点には

- ・高温期の昇温を緩和する効果
- ・トマト等の果菜類では上方から誘引できるので光を利用できる空間が大きく確保できる
- ・作業姿勢が改善される
- ・保温カーテン、遮光カーテン、補光ランプなど、室内の上部空間に装備される環境制御設備のためのスペースの確保が容易になる
- ・空間の容積の増大により、環境の急激な変化が緩和される

等が挙げられます。

大型施設での換気は、天窓からの換気の影響が大きいため、高軒高施設と施設内気象との関係の研究が進められています。気象環境以外にも、施設構造の変化に伴い、作物の整枝方法、作業方法などについて、多面的に栽培技術を合理化していく必要があります。

**被覆資材の耐久性：**施設の被覆資材では、ガラス板が最も耐久性が高く、約30年使用することができます。近年ではプラスチックフィルムの耐久性が向上し、最近開発されたフッ素樹脂フィルム（厚さ0.1mm）では20年以上の長期展張が可能と、非常に優れた耐久性を持っています。硬質フィルムには、施設の構造部材が軽量ですむこと、台風や地震などの災害時の危険が少ないことなどの利点がありますので、従来のガラスに替わって、今後もさらに需要が伸びると見込まれています。

**施設の低コスト化：**大型施設導入は設置コスト単価の引き下げが期待できます。同一メーカーでの0.3ha規模の施設と2haの施設との設置コストの比

較では、1㎡当たり約20%のコスト削減効果があるとの試算があります。いずれにせよ、栽培施設の初期設置コストは経営的に大きな負担であることは変わりありません。そこで、耐候性がある周年栽培が可能なもので、かつ低コストとなるハウスを開発する動きが盛んです。部材や構造の規格化、標準化などによる施設建設の低コスト化に加えて、部材の製造から現場施工までの工程を抜本的に合理化する研究が開始されています。施設の初期設置コストの大幅な低減は、国際競争力のある生産体制を作るのに必須です。

#### (2) 安定生産のための環境制御技術

**温度制御：**近年では施設栽培の収益性向上のため、作期拡大等による施設の周年栽培が図られつつあります。しかしながら、高温期の施設内温度は植物の生育適正温度を遙かに上回ることから、温度上昇を抑制する技術が必要になります。基本的な方法としては換気、遮光、冷房があります。空調機（エアコン）による冷房は膨大なエネルギーを必要とすることから、植物工場や一部の花き生産に使われているにすぎません。一方、水の蒸発による冷却メカニズムを利用した簡易冷房技術は、運転コストが安いことから、比較的導入が進んでいます。簡易冷房の代表的なものに、パッドアンドファン法と細霧冷房があります。

パッドアンドファン法は、ハウス片側壁面に、水で濡らした格子状のパネル（パッド）を設置して、逆側から換気扇（ファン）で吸引することにより、外気を取り入れる際に空気を加湿して、その気化熱がうばわれることにより冷却する方法です（図4）。この方法は、温度低下の効果がパッドの近くでは大きいのですが、パッドから離れると小さくなり、施設内の温度勾配ができてしまいます。そのため、パッドと換気扇との距離は40～50mが限界とされており、それ以上の大規模施設には使えません。この方法は育苗や花き鉢物栽培など集約的な周年生産栽培に適しています。

細霧冷房は、噴水ノズルをハウス内上部に多数配置し、水を細かい霧状に噴霧して空気を冷却する方法です。細霧噴霧により湿度が上昇することから、換気は欠かせません。また、噴霧時間が長ければ温度抑制効果も高いのですが、その分湿度もより高く



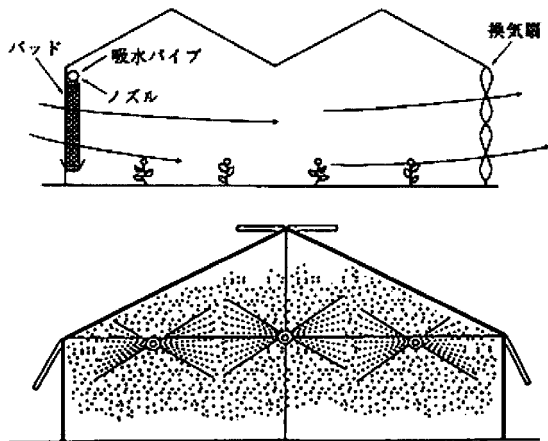


図4 パッドアンドファン方式(上)と細霧冷房方式(下)の概念図  
 どちらも蒸発潜熱を利用した温度抑制技術です。  
 (5訂施設園芸ハンドブック(日本施設園芸協会、2003)より)

なりますので、効果的な噴霧を行う条件の設定方法に技術開発の必要性があります。細霧用装置を冷房用だけではなく、薬剤散布などの用途にも利用できる、多目的利用細霧システムが多く導入されています。設備が有効に利用できることから、設置面積は1,000haを超えています。

完全閉鎖型植物工場では、人工光源からの発熱が大きく、暖房よりも冷房にエネルギーを費やしていました。LEDなど、発熱量の少ない光源が普及すれば冷房費用の削減が可能になります。植物工場の冷房には、一般に高価な冷凍機(ヒートポンプ)が使われてきましたが、現在は安価な家庭用エアコンが普及してきたため、苗生産については十分採算が取れるようになりました。太陽光併用型植物工場の壁面は透明なガラスやフィルムであり、断熱性は高くありません。そのため、冬季の暖房、夏季の高温抑制は完全閉鎖型植物工場より機能の高いものが必要となります。

**湿度制御:** 空気中の湿度は、植物の生長だけでなく、病害の発生にも影響を与えます。例えば、病害には乾燥条件で発生しやすいウドンコ病や、逆に過湿状態で発生しやすい灰色カビ病などがあります。そのため、どちらかに偏り過ぎないような湿度の制御がもとめられ、一般に70~80%が好適な湿度とされています。

**気流制御:** 施設内で植物を栽培するとき、換気等で施設内空気を動かさない限り、温度、湿度やCO<sub>2</sub>濃度にばらつきが生じます。例えば、葉面の近くで

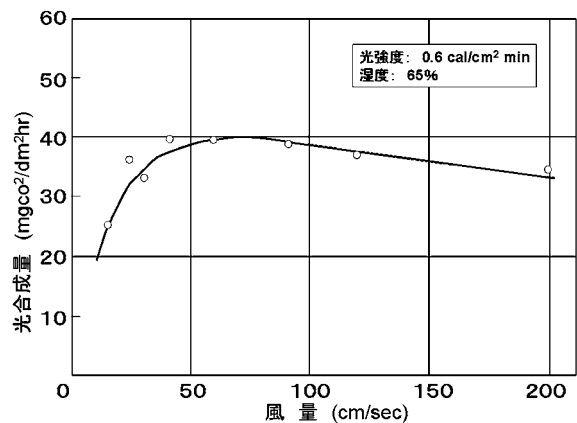


図5 光合成と気流との関係  
 光合成速度は風量とともに増加しますが、強すぎる風は逆に光合成を低下させます。  
 (矢吹、宮川、農業気象(1970)26:137-141より)

はCO<sub>2</sub>濃度の低下した状態(葉面境界層)が生じ、光合成速度の低下につながります。葉面境界層を送風により破壊するだけで、光合成を一定の水準まで促進することが知られています(図5)。一方では過度の送風は植物のストレスや蒸散が促進されることによる、萎れの原因にもつながります。植物工場では、細やかな気流制御が可能であるため、植物の生産速度を最適化することが可能となります。

**CO<sub>2</sub>ガス利用:** 植物の光合成速度は空気中のCO<sub>2</sub>濃度を高めることにより促進されます。しかし、一定以上の濃度になると効果が小さくなるため、実際は700~1,500ppmの範囲で制御されています。CO<sub>2</sub>はLPG(液化石油ガス)やプロパンガスを燃焼させて発生させる場合が多く、コストとの兼ね合いから主に大規模な施設で普及しています。また、ガス発電システムを利用したトリジェネレーションシステムは、発電機で発生する電力、熱、そしてCO<sub>2</sub>と、3つ(tri)の要素を有効利用するシステムであり、エネルギーを無駄なく使い、環境に優しい技術として注目されています。

**病害虫管理技術:** 施設栽培では、生物学的に極めて単純化された生態系となり、アザミウマ、アブラムシ、コナジラミ、ダニ等の特定微小害虫の多発する傾向にあります。近年の環境負荷軽減を求める世論の高まりや、農薬の効かない病害虫の出現(薬剤抵抗性の発達)などにより、農薬に替わる新たな病害虫防除技術の開発が進められています。天敵昆虫等の生物機能を利用した病害虫防除法(生物的防除法)は、そのための重要な手段に位置づけられています。平成17年7月現在、昆虫・ダニ17種類、線

虫2種類、微生物・ウイルス16種類が生物農薬として登録され、その約半数は施設栽培の野菜類用として登録されています。

施設園芸農業の盛んな高知県内のあるピーマン産地では、ほぼ全戸の農家で天敵昆虫が導入されています。農作業に従事する人たちにとって、空間的に閉ざされた施設内での農薬の散布作業は極めて過酷で不健康な作業でした。しかし、天敵昆虫は、自らが移動して害虫を探し出し補食しますので、農薬を散布する手間を省力化できます。防除作業の省力化は天敵を用いた病虫害防除の大きなメリットです。

生物的防除法だけですべての病虫害を防除することは現実的には不可能です。天敵とそれを補完する他の防除方法を上手く組み合わせて病虫害を効率的に制御する技術（IPM：総合的病虫害管理技術）が必要です。それには、天敵に悪影響のない選択的薬剤、施設内への害虫の侵入を防ぐ防虫網や紫外線除去フィルムの利用、熱水・土壌消毒、病害抵抗性品種の導入などが挙げられます。

### (3) 養水分の供給技術

**養液栽培：**我が国の養液栽培は、第2次世界大戦後の1946年に清浄野菜の生産のために駐留米軍基地で始められたのが最初とされています。現在、養液栽培面積は1,000haを超え、施設生産面積5万haの2%を占めています。養液栽培を、固形培地の有無などで分類すると図6のようになります。水耕の中では湛液水耕が長年トップですが、近年、培養液を深さ5～10mmの浅い流れとして植物根に与えるNFT（Nutrient Film Technique）も比率が増加しています。一方、固形培地を用いる養液栽培は、礫耕に端を発しますが、現在ではロックウール耕が最も多くなっています。しかし、近年、ロックウールの使用後の処理問題から、処理が簡易で低コストである有機培地耕の導入も検討されています。有機培地耕では、連用により性質が変わるなど、耐久性に問題があり、工場的な生産に対応するためにはさらなる研究が必要とされています。植物工場による生産は、土などの固形培地を用いることはまれで、水耕と噴霧耕がそのほとんどを占めています。

**施肥量管理：**植物への養分の与え方では、従来の培養液の濃度を一定にする濃度管理法から、1日に植物体が必要とする量の肥料を施用する量的管理法

への改良の取り組みがされています。この手法は、特に果菜類の栽培における過繁茂を抑制し、余剰の培養液を最小限に抑え、環境汚染を防ぐ狙いがあります。

**培養液消毒：**ロックウール等の固形培地を使用するとき、培養液の約20%は余剰廃液として排出されます。環境への負荷低減、培養液のコスト削減の意味から、余剰養液は循環再利用されるようになりました。しかしながら、培養液に病原菌などの有害微生物が混入すると急速に伝搬するため、培養液の微生物管理も重要な技術になります。微生物を通さない濾過膜の導入や培養液のUV殺菌技術、加熱殺菌技術などが実用化されています（写真6）。

### (4) 栽培管理システム

施設栽培には、これまで述べてきた培地、温度、湿度それぞれを制御するとともに、それら全体を統合した栽培管理システムの構築が必要です。そのためには、エネルギー消費を最小限にする環境制御技術、システムの運用に必要な高い信頼度のデータ集積システム、トラブルに対して堅牢、かつ迅速に対応、復旧可能なシステムが必要です。

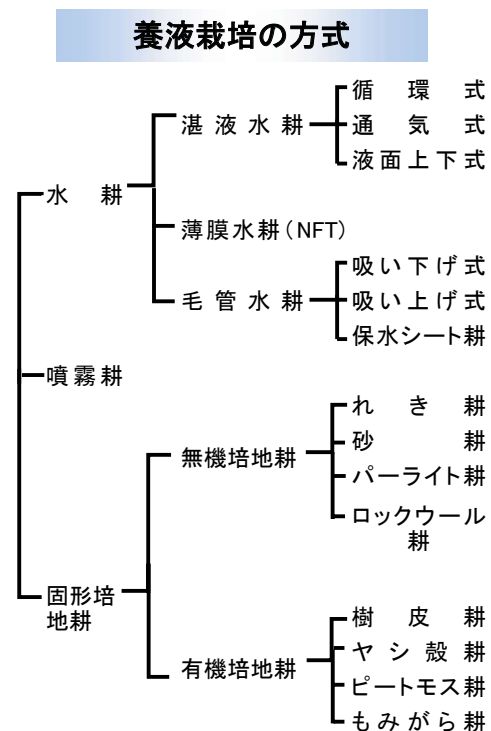


図6 養液栽培の方式の分類  
養液栽培は、培地及び培養液の給与方法の種類により、分類されます。湛液水耕は主要な栽培方法でしたが、近年、低コストなヤシ殻などを用いた有機培地耕も盛んです。





写真6 培養液殺菌装置

左：紫外線（UV）殺菌装置、右：熱処理殺菌装置  
培養液を循環して利用する養液栽培では殺菌装置は必須です。

**自律分散型制御：**施設内の環境制御システムとして「自律分散型制御に基づく環境制御」があります。このシステムは、暖房機、天窓モーター、保温カーテンなど、施設で使用される各種制御機器にマイクロコンピュータチップを埋め込み、それらが独立して周辺の機器類の状況を判断して協調動作を行うシステムです。従来の施設では、集中管理により、施設内全体を均一になるよう管理していましたが、実際には多大なエネルギーを消費しても局所的な環境のばらつきは避けられませんでした。また、近年は同一施設内で複数の作物を栽培することも多く、集中管理型での環境制御では対応が困難です。自律分散型制御では、超小型低コストのコンピュータを装備した植物苗のセルトレイそれぞれを単位としたシステムが考えられています。このシステムでは、各セクションに装備されたコンピュータが各セルトレ

イの植物の状態や周辺環境を計測し、かつ生育目標や履歴を記憶します。そして、移動装置との通信により、そのセルトレイ個々の植物群に適した環境に「自発的」に移動させて常に植物の生育を最適化することが可能となります。この方法は、従来の集中管理型の環境制御方式と比較して、セルトレイ単位などのきめ細かな栽培管理を可能にする点で独創的であり、今後の進展が注目されています。

**遠隔管理：**施設環境の遠隔制御は、設置費用等、高コストの技術でしたが、近年のIT技術の普及によってコスト削減が可能となり、普及も進んでいます。施設内のセンサーなどを携帯電話のデータ通信網に接続し、インターネット経由で情報の取得が可能なシステムが開発されています（写真7）。S社ではIP網に接続するOpenPLANETという独自技術が開発されています。これは家庭や工場などあらゆる

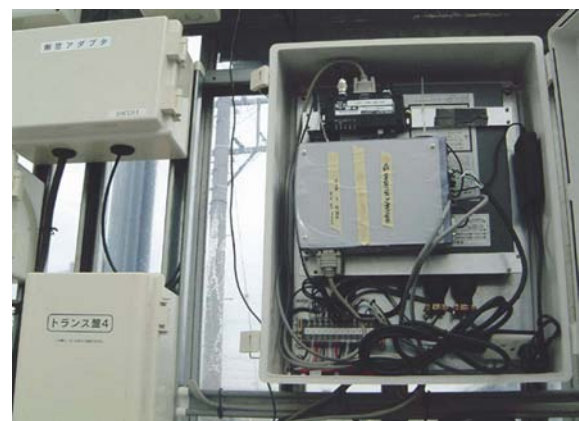


写真7 温室内の情報を収集し送信するグリーンナビシステム

左：日照や気温などを収集するセンサー部分。  
右：携帯電話のポケット通信によりデータが送信され、情報はインターネットで見ることができます。

る電気機器をインターネットで遠隔監視、制御できるシステムですが、温室内のセンサーや機器にも応用され、温度や湿度などのデータの監視、暖房の運転、窓の開閉など、様々な機器の運転状況の通知や設定の改変などが遠隔地からでも可能となっています。

**空間制御：**苗を定植したときの狭い間隔のままでは植物を育てると、生育に従い、葉同士が重なり合っ

ていくので、通常の栽培に比べ1.5～2倍近い生産性の向上が見込めます。

その他、自動で、収穫、搬送、さらには選果まで行う省力化栽培システムの構築に向けた研究が行われています。(コラム⑥)

### (5) 太陽光に換わる人工光

人工光による植物栽培は、季節、天候等に左右されず、常に一定の光条件が再現できる利点があります。このため、多くの人工光源に関する研究や人工気象室における植物生理に関する研究が行われてきました。しかし、一般に、人工光の光量は太陽光に

## コラム⑥

### ロボットによる収穫と選果

イチゴ、ナスなどの果菜類のロボット収穫技術の開発が進められています。収穫適期の果実のみを選択収穫するには、果実ごとの収穫適期の判断や果実位置の検出、果実を傷つけずに採果する技術など人間のような高度な機能が要求されます。

イチゴでは、近年増加している高設栽培を対象とした収穫ロボットの開発が行われています(写真左)。果実に接近し果実の大きさや収穫適期を判別し、果柄をハサミで切断してコンテナに収容するまでの操作を自動で行います。イチゴの収穫適期は短く、収穫最盛期の生産者の収穫作業は過酷ですが、夜間にロボットが収穫するようになれば、流通面、労働面でも大きな改善が期待できます。また、イチゴは傷みやすいため、収穫・調整時の取り扱いに注意を要します。選果機においても果実に触れずに果実の柄の部分を挟む方式がとられています(写真右)。精度向上や低コスト化等、収穫・選果ロボットを実用化するために解決すべき課題は多いですが、将来有望な技術です。ナスにおいても、施設内を移動しながら収穫を行える収穫ロボットのプロトタイプが完成しています。



**イチゴの自動収穫ロボット** ((独) 農業・生物系特定産業技術研究機構生物系特定産業技術研究支援センター、エスアイ精工株式会社)



**イチゴの選果機** (栃木県農業試験場、日本協同企画株式会社)

自動収穫ロボットはイチゴの高設栽培の普及と相まって技術開発が進んでいます。果実を自動的に認識して収穫します。選果機は、なるべく果実に触れないように果柄をはさんで並べられます。



比べて少ないため、植物が徒長する等の問題があります。太陽光と同等の光量を人工光で得るためには、植物体を至近距離まで光源に近づけなければなりません。ランプからの熱線の発生が大きいので、葉焼けなどの障害を引き起こすおそれがあります。また、ランプの光量を強くした場合、熱の発生が大きくなることから、温度上昇を抑えるための空調コストが高くなる問題も生じます。このため、近年はLEDやライトパイプなど、新しい光源に対する技術開発が活発に行われています。現在、施設栽培に利用されている光源の効率比較を表4にまとめました。このうち、植物工場に最も多く使われているのは高圧ナトリウムランプです。価格は高いのですが、ランプの効率、光合成の効率が高く、寿命が長いこと等、補光光源に適した特徴を持っています。

**LED光源の特性：**自然光の波長は300～3,000nmの範囲に分布し、そのうち、光合成に必要な波長は約400～700nmの範囲です。特に、植物の持つ葉緑体の吸収スペクトルは青色（450nm付近）と赤色（660nm付近）にピークがあるので、その波長の光を効率的に供給できる光源が望まれます（図7）。可視発光ダイオードは、蛍光灯などに比べて狭い領域の特定波長のピークを持っています。青色LEDや赤色LEDの波長は、葉緑体の吸収波長とほぼ一致しているので、植物による光の吸収効率（全光量に対して植物が吸収する光量の割合）が高まり、比較的弱い光でも健全に生育させることができます（図8）。

また、LEDは、比較的小型で低電圧による発光が可能であり、電気エネルギーが光に変換される発光効率は、蛍光灯の20～24%に比べてLEDは80～95%と高く、さらに、パルス（間欠）照射が可能

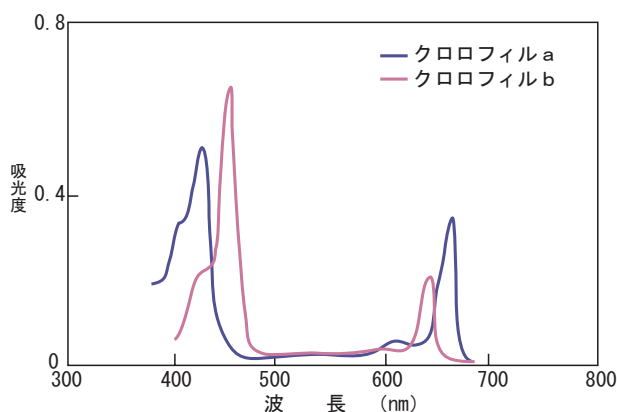
**表4 施設栽培に利用される光源の比較**

高圧ナトリウムランプの価格は高いのですが、光変換効率及び光合成効率のよさ、長寿命であることから広く使われています。

光源種類	効率 (lm/w)	光合成効率 [相対値]	価格 (千円)	寿命 (kh)	コスト (千円/kw・10kh)	垂直投影面積 (m <sup>2</sup> /kw)
白熱電球(300w)	5.2	1.0	1.3	2	21.7	0.048
蛍光灯						
40w 一般型(白色)	55	5.8	0.6	10	14.5	3.73
40w 植物用	17	4.7	1.5	10	37.5	3.73
高圧水銀ランプ						
400w 反射型	33.0	3.9	6.9	12	14.3	0.064
メタルハライドランプ						
400w 反射型	24	3.6	15.4	6	35.2	0.057
高圧ナトリウムランプ						
400w 反射型	68	7.8	24.8	12	51.7	0.054

5訂施設園芸ハンドブック（日本施設園芸協会、2003）より改変

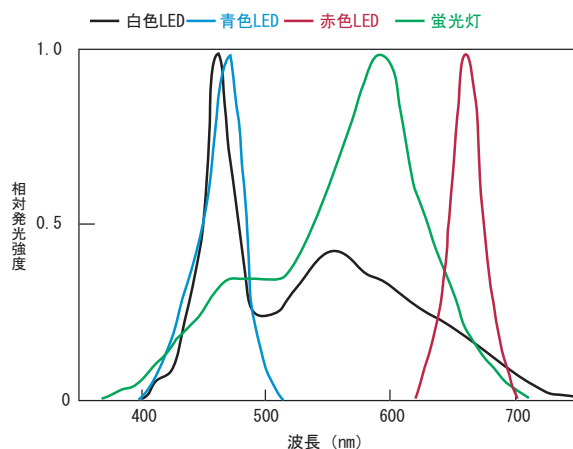
となり、消費電力の節約が可能となるなどの利点もあります。実際に、赤色LEDのみを光源にして、リーフレタスの生育が可能です。ただし、赤色光のみで栽培した場合、植物の種類によっては健全な形態形成ができないため、栽培可能な作物が、サニーレタス、コマツナ、ルッコラ等、一部の葉菜類に限定されます。このため、他の作物を栽培するには、植物の正常な形態形成や光合成促進を可能にする青色LEDの併用が必要になります。青色LEDは赤色LEDに比べて価格が高いため、導入が遅れていましたが、最近、酸化亜鉛を利用した青色LEDの開発が成功したことにより、価格が低下してきており、植物工場への利用が進むと思われます。



**図7 光合成に必要な波長（光合成吸収スペクトル）**

（植物工場研究所 <http://www.sasrc.jp/chlorophyll.htm> より改変）

葉緑体の中のクロロフィルは450nm付近と660nm付近に高い吸収を持っており、その波長の光を利用しています。



**図8 光合成に必要な波長に対応する人工光の波長**

（植物工場研究所 [http://www.sasrc.jp/kougen\\_spectra.htm](http://www.sasrc.jp/kougen_spectra.htm) より改変）

蛍光灯は広い範囲の波長を持つのに対し、LEDの波長は限定されており、クロロフィルの吸収特性と一致しています。



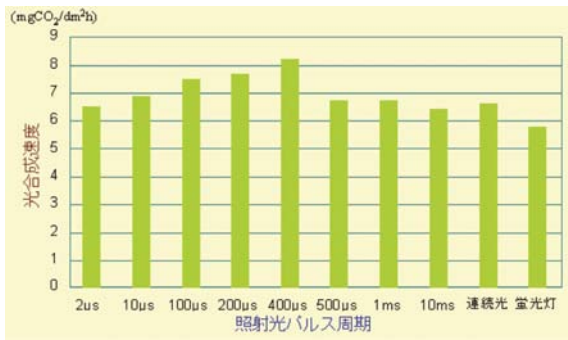


図9 照射光のパルス周期が光合成速度に与える影響

(植物工場研究所 <http://www.c-living.ne.jp/pfl/pulse.htm>より)  
パルス周期を400 μs にすることにより光合成速度が最大になります。

**新たな照射技術：**太陽光利用を含め、人工光の植物工場でも、光は連続して植物体に照射されています。植物の生育にとって、連続した光照射が最も効率的であるかは、これまで明らかにされていませんでした。そこで、高辻らは、連続光照射と間欠照射を比較し、LD (Laser diode: 半導体レーザーダイオード) の照射光パルス周期を400 μs (0.0004秒) にすることにより、単位光量当たりの光合成及び成長の速度が連続光に比べて20~25%増大することを明らかにしました(図9)。リーフレタスやサラダナの成長は、蛍光灯の2倍程度になったという事例もあります。このことは同じ光エネルギーであっても生産効率を高めることが可能であることを意味し、植物工場のように電力コストが問題となるシステムでの応用が期待される結果で、未来の植物工場にとって重要な技術になると考えられています。また、光の照射周期を最適化する技術はLEDにおいても応用可能な技術です。

**プリズムライトガイド：**照明分野における新しい技術のひとつに、プリズムライトガイドがあります(図10)。これはプリズムによる光の反射の原理を応用したもので、パイプが光ることから、ライトパイプと呼ばれます。光源からの光はプリズムライトガイドを通して植物体に届きます。そのため、光源と発光部分を分離できる、光源から離れた場所への照明や照射方向の変更が可能、一つの光源で広範囲の照明が可能、等の利点があります。また、ライトパイプの光源はマイクロ波により発光する新しいタイプの無電極放電ランプです。このランプは、フィラメントや電極を持たないため、従来の光源に

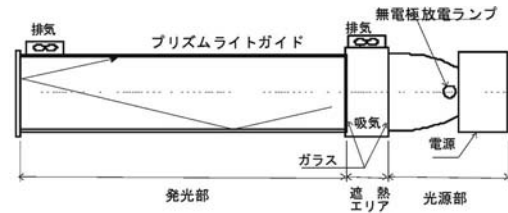


図 プリズムライトガイドと無電極放電ランプを用いた照射システム

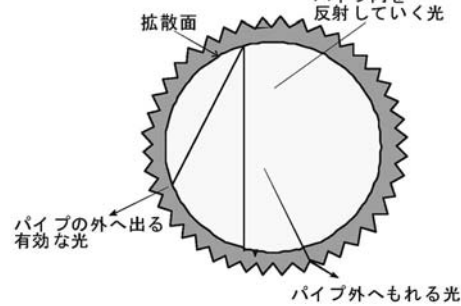


図10 プリズムライトガイドと無電極放電ランプを用いた照射システム

光源を栽培装置の外に設定できる新しい技術です。

比べて極めて長い寿命を持っています。近年、ライトパイプを利用した植物育成用のグロースチャンバが開発されました。光源は装置の外に設置してあり、光源からの発熱を考慮して装置内の温度調節をする必要がないことから、冷却コスト削減による省エネルギー化が期待されています。

## 4. 今後の課題と展望

### (1) 快適な施設内作業

大規模施設の導入には、家族経営でもパート作業者を雇用する必要があります。安定してパート雇用を確保するには、作業場所が安全であることは基本ですが、さらに快適・衛生的であることが望まれます。軒高の低いハウスと比べて、作業空間が高さ方向に広くとれる高軒高ハウスでは、作業姿勢の改善、見た目の開放感の増加、通気性や温湿度環境の向上などの効果が期待できます。

施設栽培における作業者の快適性や作業能率については、

- ・気象環境 (温度、光、気流など)
- ・作業条件 (作業姿勢や安定性、作業高さ、作業強度など)
- ・視覚的条件 (色、開放感)
- ・嗅覚的条件 (薬剤、油脂類、有機物の腐敗臭など)

- ・聴覚的なもの（機械・装置の作動音、快適な音楽など）
- ・その他（トマトやイチゴの花粉、土埃などの刺激・アレルギー反応など）

に係わっています。さらに、作業内容・時間の構成の仕方、さらには人間関係など、労務管理について考慮すべき事項は多岐にわたります。施設生産における作業安全性・快適性に関する研究はまだ始まったばかりですが、適切な労務管理指針の策定のため、さらなる研究の発展が望まれます。

## （２）省エネルギー化

施設園芸はフィルムなど多くの石油由来の資材を用い、暖房にも直接石油資源を消費する等、化石エネルギー消費型の農業です。ハウス栽培における投入エネルギーのなかで、暖房消費が極めて大きな比重を占めています。地球環境温暖化防止の観点から、二酸化炭素発生の抑制が求められていることに加え、経営的にコスト削減につながる省エネルギー化技術を開発する必要があります。

省エネルギータイプの施設として、二層三重空気膜構造ハウスが開発されています。その施設は、透明な3枚のプラスチックフィルムから構成され、その上層空間は加圧空気により構造的な強度を支える役割を果たし、下層の密着した隙間の流水によって太陽熱の集熱を行う構造です（図11）。屋根面で集熱され温められた水は、地下埋設パイプを通して、地中に蓄熱されます。夜間の暖房は、昼間集熱した20℃程度の水を再び空気膜の下層を循環させて行われます。現在の暖房能力は、外気温+10℃程度

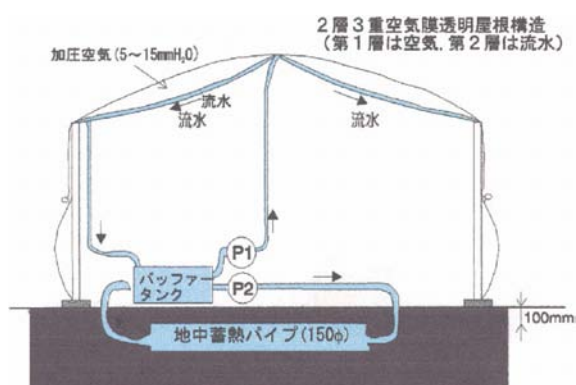


図11 二層三重空気膜構造ハウスの構造  
 (http://www.affrc.go.jp/ja/db/seika/data\_nivot/h07/nivot95005-1.gifより)  
 屋根面で吸収された熱を、水を介して地中に蓄熱し、夜間の保温に使う構造です。

ですが、補助暖房を追加すればわずかな暖房能力で昇温可能となります。地域や気象条件、栽培作物の種類にもよりますが、暖房時の省エネ率はおおよそ100~60%になると試算されています。

## （３）植物工場の今後

### 1) 植物工場の利点

植物工場の利点を挙げると、

- ・天候の影響を受けることなく安定な生産が可能
- ・季節にかかわらず周年生産が可能
- ・単位面積あたりの高い生産性
- ・無農薬栽培が可能
- ・生産物の洗浄を省略できる
- ・施設の立地条件を選ばない
- ・省力化、自動化が容易
- ・土壌を用いず、連作障害がない
- ・培養液の循環利用により環境への負荷が少ない
- ・快適な労働環境
- ・作業・労働量の平滑化が図れる
- ・計画的な生産が可能

等があります。しかしながら、このような利点が、消費者に広く知れ渡っているわけではありません。

現在、完全制御型植物工場で生産されている植物は、栽培期間が短く施設の高稼働率が得られるサラダナなどの軽量葉菜類にほぼ限定されています。今後、拡大が期待できる対象作物としては、①光が弱くてもよく育つ、②商品としての付加価値が高い、③収穫までの回転効率が高い、などの特徴を有する必要があります。苗生産はこれらの条件を備えた対象のひとつといえ、普及が期待されます。

岐阜大学では、①と②の条件に合った植物として、ワサビの苗やワサビ漬け用の葉茎を植物工場で供給するシステムの研究が進められています（写真8）。その他、薬草類も比較的早期に実現可能な植物として期待されています。

ハウス栽培や養液栽培が普及し始めた頃、消費者から、「季節感がない」、「温室育ちや養液栽培の作物は軟弱」、「土から離れた農業は論外」などの拒否反応がありました。同様に植物工場の場合も、特に完全閉鎖型植物工場では、農業からさらに「太陽」をも追放するというイメージが一部の消費者にはあるかもしれません。これらのイメージを改善していくことは植物工場を普及する上で不可欠と思われるま



写真8 蛍光灯を使用したワサビの水耕栽培

ワサビは光の要求度が低く、蛍光灯でも十分生育するため、閉鎖型施設での栽培に適しています。

す。上記のような植物工場の利点を有効に使い、消費者へのアピールを行うことで、植物工場も農業生産の一形態として受け入れられると考えます。

また、植物工場の技術はインテリアなどとして、小さな施設そのものを身近な場所に導入する試みがなされています（コラム⑦）。いつの間にか生活に密着した技術となっているかもしれません。

## 2) 植物工場の生産コスト

植物工場は1990年代に相次いで建設されましたが、2000年以降の建設はごくわずかにとどまっています。その要因として、建設費とランニングコストの高さが上げられます（表5）。さらに、近年の野菜価格の低迷や、廉価な輸入野菜の増加も、生産コストの高い植物工場にとっては不利な要因です。また、税制上の問題として、植物工場は「工場」並みに扱われ、「農業生産施設」としての優遇措置が

確立されていないことも要因といえます。リーフレタスを生産する植物工場の例では、施設償却費用等の割合が25%と高く、ランニングコストでは電気料金は18%、人件費も常勤非常勤を併せて26%と大きくなっています。また、物流や包材費も14%を占めるため、より効率的な流通および廉価な包装資材の技術開発が必要です。

植物工場の建設費では、通常の大規模園芸施設に比べて17倍必要で、ランニングコスト（光熱費）に至っては47倍もの経費が掛かり（表6）、建設費及び光熱費の削減に対する取り組みが重要であることは明らかです。現在、施設栽培においては低コスト耐候性ハウスの普及等を通して設置コストの削減が図られており、植物工場のコスト削減につながる技術として期待されています。植物工場に限らず、施設栽培全般において、コスト削減は常に求められている課題です。

## (4) 今後の施設園芸研究

植物工場は、施設園芸の一部であるところから、植物工場の技術開発に向けた研究により、広い意味での施設園芸の各研究分野に対して、技術開発を促進する知見が得られると考えます。また、研究の進んでいる施設園芸全般の技術についても、植物工場の技術に適用できるものも多くあります。生産現場

表5 植物工場でのコスト高の要因

コスト高となる要因は施設費、ランニングコストの両方にあります。

要因	事項	内容
施設費（インシヤルコスト）が高い	施設依存型で重装備	周年高効率生産を維持するため、環境制御や搬送装置の導入など、施設依存度が高い
	事例が少なく規格が統一されていない	年間の導入数が少なく、規模がばらばらで、システムの標準化が難しい
	償却費の負担	施設費が高いため、償却費の占める割合が高くなる
ランニングコストが高い	電気代が多くなる	電気に依存した生産施設であり、生産費に占める割合が高い
	栽培資材のコスト高 人件費	栽培容器等が独自の規格であり、コストがかかる 搬送装置の導入等、省力化されているように見えるが、人手がかかっている部分が多い

5訂施設園芸ハンドブック（日本施設園芸協会、2003）より改変

表6 植物工場と施設生産のコスト比較（10a当たり）

植物工場の建設費、維持費は従来の施設に比べてはるかに高額です。

	植物工場1) (A)	施設生産2) (B)	A/B
設置コスト	3.1億円	1,800万円	17
ランニングコスト(光熱費)	1,860万円	40万円	47

1) 植物工場は、K社TSファームタイプ（720㎡）の完全制御型施設の値に基づく

2) 施設生産は、ビニールハウスでホウレンソウ等の養液栽培を行うM農園（858㎡）の値に基づく



## 将来は家庭にも植物工場？

インテリアとしての利用：植物工場に利用されてきた技術は、他の分野でも注目を集めています。植物は食べ物として利用されるだけでなく、盆栽に代表されるように観賞用として利用されてきました。都市生活者が増加する中であって、いわゆる癒しを求めるために様々な生物が活用されていますが、都市のモダンな内装に合う現代版の盆栽もLED光源などの新規の技術と融合することにより新たな製品となりつつあります。園芸療法 (Horticultural Therapy) など植物を育てる行為により精神的な安定が期待できることも、最近では研究の対象となってきています。観賞用植物は、植物の少ない都会に生活する現代人にアピールするアイテムのひとつとなりつつあります。作品は長岡造形大学産業デザイン学科の土田知也教授の研究室で試作された作品です。



### インテリアとしての植物工場技術の利用

観賞用の植物は強い光を必要としないためLEDの集積度もそれほど高くする必要がありません。優れたデザインの容器を用いることにより、インテリアとしての価値が出ます。雰囲気醸す照明器具としても使用できます。

に近い施設園芸技術と、最先端の植物工場の技術の融合で新たな技術開発が期待されます。

植物工場を含めたわが国の施設園芸が、今後発展していくためには、経営者、作業労働者、産地・地域生活者、消費者から支持される必要があります。そのためには、環境負荷をより低減し、高品質・安全、低コスト生産を実現できる低コスト施設生産システムを確立することが必要です。その上で、収益性を大幅に向上させることも求められています。

このような施設生産の目的を達成するためには、開発のターゲットを明確にし、施設—作物—管理—

経営を統括した技術体系、総合的な施設生産研究に取り組む必要があります。具体的には、低コスト施設の開発、環境制御の高度化、施設生産における大幅な労働時間の短縮が可能な栽培管理技術の開発、施設生産における低コスト・高品質・安全・環境負荷低減型生産技術の開発、施設における生産計画・経営支援システムの開発等を、産官学の連携の下、実施する必要があります。このような技術開発を通して、植物工場を含めた施設園芸生産システムは、進化し続けると考えています。

(執筆担当：寺島一男、中野明正、井原史雄)

## 『農林水産研究開発レポート』既刊リスト

- No. 1 (2001.10) 麦の高品質化を目指して
- No. 2 (2002. 1) イネゲノム情報を読む
- No. 3 (2002. 5) 循環する資源としての家畜排せつ物
- No. 4 (2002. 9) 機能性食品の開発
- No. 5 (2002.12) バイオマスエネルギー利用技術の開発
- No. 6 (2003. 3) 新たな用途をめざした稲の研究開発
- No. 7 (2003. 5) 昆虫テクノロジー研究
- No. 8 (2003. 9) 地球温暖化の防止に関わる森林の機能
- No. 9 (2004. 2) 海洋生態系と水産資源－持続的水産資源管理の高度化を目指して－
- No.10 (2004.11) 食品の品質保証のための研究開発
- No.11 (2004.12) 食料・環境問題の解決を目指した国際農林水産業研究
- No.12 (2005. 3) 病害虫の総合的管理技術－化学農薬だけに依存しない病害虫防除－
- No.13 (2005. 7) 大豆の安定・多収を目指して

### 本レポートについてのご意見・ご感想を募集します

今後のレポート作成の参考とさせていただくため、皆様からのご意見・ご感想をE-mail、FAX、郵便などによりうけたまわっておりますので、下記宛までお寄せ下さい。

宛先：〒 100-8950 東京都千代田区霞が関 1-2-1  
農林水産省 農林水産技術会議事務局 技術政策課 技術情報室調査班  
(担当) 児玉、岩崎  
TEL 03-3501-9886  
FAX 03-3507-8794  
E-Mail：www@s.affrc.go.jp

## インターネットをご利用される方へ

- 1 本レポートは、次の URL でご覧いただけます。

<URL> <http://www.s.affrc.go.jp/docs/report/report.htm>

- 2 前年度までに発行した本レポートのビデオ版「食と農の未来を拓く研究開発」は、次の URL でご覧いただけます。

<URL> <http://rms2.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/other/MediaDB/mediadb.html>

なお、ビデオ版DVD「食と農の未来を拓く研究開発」は、公立図書館等でもご覧になれます。詳細については、最寄りの施設へお問い合わせ下さい。

- 3 この他、農林水産研究成果等に興味をお持ちの方は、以下の URL をご覧下さい。

農林水産省農林水産技術会議

<URL> <http://www.s.affrc.go.jp/>

研究成果情報データベース

<URL> <http://www.s.affrc.go.jp/docs/seika.htm>

農学情報資源システム AGROPEDIA

<URL> [http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/menu\\_ja.html](http://rms1.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/menu_ja.html)

農林水産研究成果ライブラリー

<URL> <http://rms2.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/index.html>

プロジェクト研究成果シリーズ

<URL> <http://rms2.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/contents/JASI/seika.html>

農林水産研究開発レポート No. 14

「進化する施設栽培—大規模施設から植物工場まで—」

2005年11月24日

監 修 農林水産省 農林水産技術会議

編集・発行 農林水産省 農林水産技術会議事務局

〒100-8950 東京都千代田区霞が関1-2-1

TEL 03-3502-8111 (代表)

FAX 03-3507-8794

<http://www.s.affrc.go.jp>

印 刷 所 株式会社 丸井工文社



