

群馬県農業の課題解決の一方策として 『植物工場』導入の可能性

- 「植物工場」を新産業として展開するための提言
～セル型完全制御方式植物育成システムの導入～

調 査 研 究 報 告 書

平成 23 年 1 月

社団法人 中小企業診断協会 群馬県支部

は じ め に

(社) 中小企業診断協会群馬県支部では、これまで農業に関する調査研究事業（マスターセンター補助事業）として、平成 19 年度に「県内農業経営の担い手の現状と課題」、平成 20 年度に「農業・観光等の地域資源を活用した中山間地の活性化の可能性」のテーマで調査・研究を行い報告書を作成し、診断協会、各県支部他、関係機関に配布しました。以上 2 回に亘るマスターセンター補助事業において群馬県農業の優位性ととも課題が浮かび上がって来ました。

群馬県は、農産物生産高が全国 5 位以内のものが 23 品目に達する農業立県で、東京から 100 Km、高速道路で 1 時間以内に立地、10 m～1400 m の標高差を活用した多彩な農業を展開しています。しかし群馬県の野菜生産における現状農法は露地栽培が中心で、トマトやイチゴの促成栽培用としてビニールハウスや温室等の施設栽培が行われています。どちらの農法も労働作業工数が多くかかり、農業の担い手の高齢化に伴う遊休農地や、耕作放棄地の増加によって、群馬県の農業生産額は昭和 58 年をピークに減少し続け、現在はピーク時の 70% まで減少しています。又、最近の燃料や肥料のコスト高により農業生産収入の減少という課題を抱えており、特に積雪の多い中山間地区や施設栽培農家にそれが顕著に現れています。日本全体の農業の課題としては、食糧自給率の向上や安全・安心な食料の確保、そして化石燃料に頼った農業の課題として CO2 の削減があります。これらの群馬県及び日本の農業の課題解決の一方策として「植物工場」に注目し、平成 22 年度の群馬県支部の調査研究テーマとして首記の調査を取り上げ、マスターセンター補助事業に申請したところ採択されました。

今回の調査研究は、群馬県支部「食と農の研究会」のメンバーが中心となり、中小企業診断士 11 名で平成 22 年 5 月にスタートしました。植物工場に関するセミナーや展示会に出席、又、既に「植物工場」を導入・活用している先進農業法人の調査や視察を実施しました。これらの調査データを基に、農・商・工連携の観点から、農業生産者側や農産物流通販売業者側からの現状の「植物工場」の課題を明確にし、その課題解決の一方策として「セル型完全制御方式植物育成システム」を提言し、その可能性について農業経営面からの分析や検討結果を纏めたものです。群馬県農業の現状の課題解決とこれからの群馬県農業の指針策定の一助となれば幸いです。

おわりに、多忙な折にも拘わらず多大な協力を賜った(社) 日本施設園芸協会、(株) 三菱総合研究所、群馬県園芸協会並びに園芸農家の皆様方に衷心より感謝申し上げます。

平成 23 年 1 月

社団法人 中小企業診断協会群馬県支部

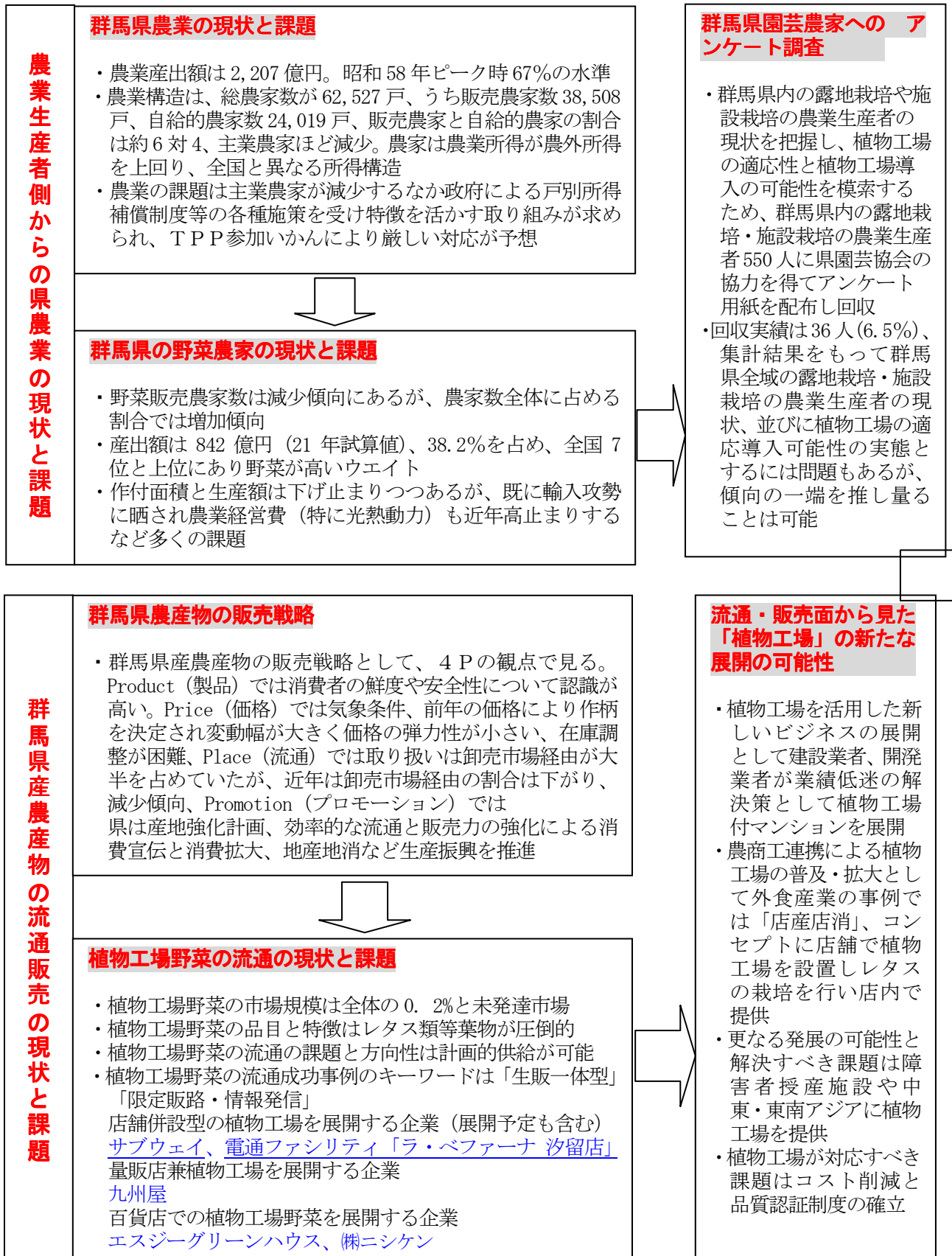
支部長 丸橋 正幸

目 次	頁
はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
サマリー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
第1章 調査研究の概要・・・・・・・・・・・・・・・・	6
第2章 農業生産者側からの群馬県農業の現状と課題・・・・・・・・	7
1. 群馬県農業の現状と課題・・・・・・・・	8
2. 群馬県の野菜生産農家の現状と課題・・・・・・・・	11
第3章 群馬県産農産物の流通販売の現状と課題・・・・・・・・	18
1. 群馬県産農産物の販売戦略・・・・・・・・	19
2. 植物工場野菜の流通について・・・・・・・・	25
3. 流通販売面から見た「植物工場」の新たな展開の可能性・・・・・・・・	31
第4章 「植物工場」の現状と課題・・・・・・・・	38
1. 今なぜ「植物工場」が必要なのか・・・・・・・・	39
2. 「植物工場」の定義と種類・・・・・・・・	40
3. 「植物工場」の経済性、生産性指標と経営収支の試算・・・・・・・・	44
第5章 群馬県農業の課題解決策としての	
「セル型完全制御方式植物育成システム」の可能性・・・・・・・・	48
1. セル型完全制御方式植物育成システムの概要・・・・・・・・	49
2. セル型完全制御方式植物育成システムのコンセプトと実現具体策・・・・・・・・	50
3. セル型完全制御方式植物育成システムの詳細・・・・・・・・	51
4. 本システムを適用した営農モデルでの経営収支の試算例・・・・・・・・	55

第6章 本システムを新産業として展開する

群馬版SHPの設立と推進の提言	57
1. 群馬県版SHP協議会の設立推進の提言	57
2. SHP (Super Hort Project) とは	59
[参 考 資 料]	61
1. 群馬県園芸農家への「植物工場」に関するアンケート調査結果	62
2. 農林水産省と経済産業省編 平成21年11月版 「植物工場の事例集」の抜粋	73
3. 「植物工場」まめ辞典	83
おわりに	107

サマリー



群馬県農業の課題解決の一方策として「植物工場」導入の可能性

植物工場の現状と課題

1. 今なぜ「植物工場」が必要なのか

- ・日本農業の生産性は他の先進国と比べて決して高いとは言えないがオランダの施設生産の発展には目を見張るものがある。栽培技術が経験と勘でなくデータと科学的理論に基づいていること輸出産業であることが主な要因
- ・群馬県農業の課題解決には生産性の高い儲かる農業を実現する必要がある。そのためには「安定生産」、「定量計画生産」とともに消費者の「安全安心」の要求にこたえるため限りなく農薬を減らした栽培が必要であり「植物工場」期待の根拠

2. 「植物工場」の定義と種類

- ・植物工場とは「施設内で植物の生産環境、光、温度、湿度、CO2濃度、養分、水分等制御して栽培を行うことで野菜等の植物の周年・計画生産が可能な栽培施設
- ・植物工場の種類には完全人工光型(完全制御型)植物工場と太陽光・人工光併用型/太陽光利用型植物工場の二種類
- ・在来農法と比較した利点、特徴
- ・植物工場の課題と今後の対応

3. 「植物工場」の経済性、生産指標と経営収支の試算

- ・農業経営の経済性や生産性を示す指標として、耕作面積、農業従事者、投下資本の3つの観点より土地生産性、労働生産性、資本生産性を定義
- ・現状の水耕栽培と低コスト植物工場栽培の経済性・生産性の比較(経営収支の試算)
- ・サラダ菜の周年栽培モデルでの経営収支の試算例、標収量を32t/10a、売単価は、1kgあたり490円で試算

提 言

セル型完全制御方式 植物育成システムの可能性

1. システムの概要

- ・セルBOXと3段重ねした移動式のセル台車、そしてセル台車を多数並べたセル型完全制御方式植物工場の鳥瞰構想図及び適用事例

2. システムのコンセプトと実現具体例

- ・セル型完全制御方式植物育成システムのコンセプト及び具体的実現策を現状の「植物工場」の課題の解決策として提示

3. システムの詳細

- ・セルBOXの構造や、応用編の本システムでの営農モデル、加工作業&計測モデル、流通・販売モデルを図解で提示

4. 本システムを適用した営農モデルでの経営収支の試算例

- ・セルBOX300第(=栽培面積10a)を夫婦2人で営農するサラダ菜の周年栽培の試算例提示

本システムを新産業として展開するための群馬県版SHPの設立と推進

1. 群馬県版SHPの設立と推進の提言

- ・計画生産、コスト管理により儲かる農業を実現するためオール群馬により推進

2. S H P (Super Hort Project) とは

- ・農産物の生産から販売までを一つのシステムとして捉え、システム全体とそれを構成する施設、環境制御、品種、栽培技術等について異業種を含むオールジャパンの取り組みで農業の飛躍的な合理化・高度化を図る事を目指した取組

第1章 調査研究の概要

1. 調査研究内容

(社) 中小企業診断協会群馬県支部では、平成22年度のマスターセンター補助事業として、群馬県農業の課題解決の一方策として「植物工場」の可能性に関する調査・研究事業を実施することにした。

2. 調査研究方法

本調査・研究事業は、群馬県支部の「食と農の研究会」のメンバー11人が中心となり、昨年5月からスタートした。メンバー11人を農・商・工の3チームに分けて、「農チーム」は群馬県農業の現状と課題を、「商チーム」は群馬県産農産物の流通・販売の現状と課題を、「工チーム」は、植物工場の先進事例を調査研究した。又、「植物工場」は群馬県内では、ほとんど普及していないので、調査研究作業は、植物工場に関する文献や、東京でのセミナーや展示会での情報収集、及び県外の先進事例の調査が中心となった。以下に調査研究した文献、セミナー、及び見学先を掲載する。

<参考データ>

- ①平成19年度、20年度の群馬県支部マスターセンター補助事業の調査研究報告書
- ②(社)日本施設園芸協会編統計データ 平成18年度版「地域産野菜の生産状況」
- ③同上統計データ 平成21年度版「園芸用のガラス室・ハウス等の施設状況」
- ⑤(社)日本施設園芸協会編の「施設園芸・植物工場展2010」のテキスト
- ⑥(社)日本施設園芸協会編の「低コスト植物工場導入マニュアル」
- ⑦農林水産省、産業経済省共編の「植物工場の事例集」(平成21年11月版)
- ⑧(株)メガセミナー・サービス主催の「小型植物工場ビジネス2010セミナー」のテキスト
- ⑨古在豊樹 著、オーム社出版の書籍「太陽光型植物工場」
- ⑩高辻正基 著、オーム社出版の書籍「完全制御型植物工場」
- ⑪高辻正基 著、日本工業新聞社出版の書籍「図解 よくわかる植物工場」

<調査訪問先企業>

- ① (社)日本施設園芸協会 (平成22年10月15日 東京都中央区日本橋 事務局を訪問)
- ② 三菱総合研究所 (平成22年10月27日 東京都千代田区永田町 研究本部を訪問)
- ③ キーストーンテクノロジー(株)(平成22年11月9日 神奈川県横浜市馬車道 本社を見学)
- ④ 群馬県園芸協会 (平成22年11月1日 群馬県前橋市亀里町 JAビルを訪問)
- ⑤ メビオール(株) (平成22年9月27日 神奈川県平塚市 本社を訪問)
- ⑥ (財)電力中央研究所赤城試験センター (平成22年10月5日

群馬県前橋市苗ヶ島町 赤城試験センターを見学)

第2章 農業生産者側からの群馬県農業の現状と課題

◆第2章のまとめ

1. 群馬県農業の現状と課題（骨子）

- (1) 本県農業の特徴は、①耕地が標高 10～1,400mの間に分布する、②首都圏に位置し有利な立地条件にある、③野菜や畜産（豚、生乳）の生産が中心であり、米の生産は少ない。
- (2) 本県の農業産出額は2,207億円。昭和58年ピーク時3,281億円の67%の水準にあり、全国で13位にある。
- (3) 本県の主要農産物（上位品目）は、豚、生乳、米、キャベツ、きゅうり、肉用牛、こんにゃく、いも、鶏卵、ほうれんそう、トマトの順となっている。全国でも上位にある野菜と畜産物で農業産出額の全体の約8割を占める。
- (4) 本県の農業構造は、総農家数が62,527戸、うち販売農家数38,508戸、自給的農家数24,019戸、販売農家と自給的農家の割合は約6対4となり、主業農家ほど減少している。また、本県農家は農業所得が農外所得を上回り、全国と異なる所得構造にある。さらに、耕作放棄地率は20.9%(H17年)であり、中山間地域では深刻な状況にある。
- (5) 本県農業の課題は主業農家が減少するなかで、政府による戸別所得補償制度や6次産業化を中心とする各種施策を受けて、本県農業の特徴を活かした取り組みが求められており、

2. 群馬県の野菜生産農家の現状と課題（骨子）

- (1) 本県野菜販売農家数は減少傾向にあるが、農家数全体に占める割合では増加傾向にある。
- (2) 本県野菜の産出額は842億円（21年試算値）、農業産出額の38.2%を占め、全国7位と上位にあり、本県農業にとって野菜は高いウエイトを占めている。
- (3) 本県主要野菜の価格では、東京都中央卸売市場の群馬県産価格を掲載した。
- (4) 本県主要野菜の特徴では、本県主要野菜の栽培内容を掲載した。
- (5) 本県施設野菜農家の経営で現在政府が検討しているTPPへの参加如何によって、更に厳しい対応が予想される。は、関東農政局群馬農政事務所発行の『農業経営統計調査結果からみた「野菜を中心とした平成17年群馬県農業の動き」』（平成19年3月発行）からデータを掲載した。
- (6) 本県の野菜生産は、県や農業団体等の生産・販売への取組強化等もあり、作付面積と生産額は下げ止まりつつあるが、既に輸入攻勢に晒されており、農業経営費（特に光熱動力）も近年高止まりするなど、多くの課題を抱えている。
- (7) 群馬県県園芸協会の協力を得て、群馬県の野菜生産農家へのアンケート調査を実施した。回収率が低かったが参考データとして集計・分析をした。（集計結果は「参考資料」に添付）

1. 群馬県農業の現状と課題

(1) 本県農業の特徴

- ・耕地が標高 10～1,400mの間に分布する。
- ・首都圏に位置し有利な立地条件にある。
- ・野菜や畜産（豚、生乳）の生産が中心であり、米の生産は少ない。
- ・本県の食料自給率は 32%（H19 年度カロリーベース）と低い水準にある。これは、カロリーの高い米の生産が少ないこと、カロリーの少ない野菜や計算上のカロリーが低い畜産（飼料の大半が輸入）が盛んであること、海が無く水産物が少ないこと等による。

図表 2-1 本県農業の主要指標と全国的地位

（単位：ha・戸・人・億円）

区 分	全 国	群馬県	割合 (%)	全国 順位	1つ上位の県	
耕地面積（H21）	4,609,000	76,300	1.7	19	兵庫	76,800
┌ 田面積	2,506,000	28,400	1.1	32	島根	31,000
└ 畑面積	2,103,000	47,800	2.3	8	千葉	54,000
販売農家数（H17）	1,963,424	38,508	2.0	24	三重	39,851
農家人口	8,370,489	162,141	1.9	22	三重	173,385
農業就業人口	3,352,590	71,696	2.1	21	岡山	79,528
農業産出額（H20）	86,503	2,244	2.6	14	静岡	2,281
┌ 野菜	21,105	786	3.7	7	埼玉	931
└ 畜産（養蚕含む）	27,105	937	3.5	7	千葉	1,053
└ 米	19,308	191	1.0	34	京都	198

資料：農林水産省「耕地面積（7月15日現在）」「農林業センサス」
「生産農業所得統計」

(2) 本県の農業産出額

群馬県農政部試算「平成 21 年農業産出額」によれば、平成 21 年の本県農業算出額は 2,207 億円となり、野菜や生乳の算出額は増加したものの、豚やこんにゃくいも、鶏卵の販売単価の低下等が影響し、前年対比で僅かに減少している。都道府県別農業産出額では 13 位（農林水産統計 21 年農業産出額）となるが、ピーク時（昭和 58 年 3,281 億円）に対し 67%の水準である。

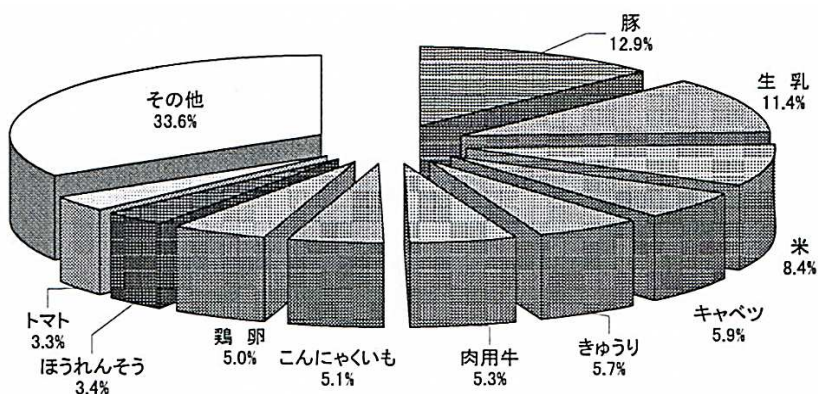
(3) 本県の主要農産物

本県の農業産出額（H21 年群馬県農政部試算）の上位品目は、豚、生乳、米、キャベツ、きゅうり、肉用牛、こんにゃくいも、鶏卵、ほうれんそう、トマトの順となっている。全国

でも上位にある野菜と畜産物で農業産出額の全体の約8割を占める。

生産量の全国上位品目（平成20年）は、1位にこんにゃくいも、きゅうり、蒔。2位にキャベツ、ふき、生しいたけ、うめ。3位にほうれんそう、ちんげんさい、エリンギがある。さらに、4位にしゅんぎく他7品目、5位になめこ他5品目があり、5位以内に24品目が入っている。

図表 2-2 本県の個別農産物構成比(平成20年農業産出額)



出典 群馬県農政部農政課 22年度群馬の農業

図表 2-3 本県農産物の生産量全国順位（平成20年）

順位	品 目
1位	こんにゃくいも、きゅうり、蒔
2位	キャベツ、ふき、生しいたけ、うめ
3位	ほうれんそう、ちんげんさい、エリンギ
4位	しゅんぎく、にら、まいたけ、なす、レタス、小麦、生乳、豚
5位	なめこ、えだまめ、ねぎ、スイートコーン、やまのいも、はくさい

出典 「群馬県農政部農政課 22年度群馬の農業」を加工

(4) 本県の農業構造

① 農業の担い手

平成17年農林水産省「農業センサス」によれば、本県の総農家数は62,527戸。内販売農家数38,508戸、自給的農家数24,019戸、販売農家と自給的農家の割合は約6対4となり、販売農家は主業農家ほど大きく減少している。

又、農業就業人口は71,696人で、5年間で約16,000人減少し、農業就業者の中核である昭和一桁世代の引退が進んでいる様子窺える。

図表 2-4 本県年齢別農業就業人口(販売農家)の推移

区分 年	実数（人）					構成比（％）				
	15 ～ 29歳	30 ～ 59歳	60～64歳	65歳～	計	15 ～ 29歳	30 ～ 59歳	60～64歳	65歳～	
H 2	5,068	54,131	21,461	38,294	118,954	4.3	45.5	18.0	32.2	
7	3,427	35,350	15,913	43,406	98,096	3.5	36.0	16.2	44.2	
12	3,907	25,905	10,645	47,163	87,620	4.5	29.6	12.1	53.8	
16	3,310	20,680	7,630	48,270	79,900	4.1	25.9	9.5	60.4	
17	3,169	19,242	7,500	41,785	71,696	4.4	26.8	10.5	58.3	

資料：農林水産省「農林業センサス」「農業構造動態調査」

② 農家所得

本県の農家所得は、平成12年以前とその後で統計方法が変わり単純に比較出来ないで、平成17年から19年の推移を見なければならぬ。本県においては3年間の農業所得、農家所得ともほぼ横ばいだが、農業所得では全国水準を大きく上回るものの、農家所得は全国に比べて低い水準にあることが分かる。農家所得に対する農業所得の割合は本県が約60%と、全国の38%に比べて高い水準にあり、このことは農業依存度と農業所得率で全国を大きく上回ることからも裏付けられる。このため、全国の農家では農外所得が農業所得を上回るのに対して、本県農家は農業所得が農外所得を上回る状況にある。

図表 2-5 本県における農家所得(全国比)の推移

年 区分		群 馬						全 国		H17～19平均 群馬/全国 (%)
		H 2	7	12	17	18	19	19	20	
農 家 所 得	農 業 所 得	6,282	6,777	6,056	2,659	2,697	2,526	3,135	2,945	79.9
	粗 収 益	1,570	1,630	1,652	1,603	1,658	1,568	1,195	1,082	132.0
	経 営 費	4,113	4,794	4,658	4,509	4,697	4,796	4,130	4,379	115.2
	農業生産関連事業所得	2,543	3,165	3,006	2,906	3,039	3,228	2,935	3,297	107.9
	農 外 所 得	—	—	—	0	1	0	4	5	—
	年金・被贈等の収入	4,712	5,148	4,404	1,056	1,038	958	1,936	1,858	49.2
	総 所 得	1,565	2,105	1,617	1,536	1,600	1,562	1,701	1,712	94.2
租 税 公 課 ・ 諸 負 担	7,846	8,882	7,673	4,195	4,297	4,088	4,836	4,657	84.7	
可 処 分 所 得	1,290	1,368	1,403	428	620	569	743	711	72.2	
(推 計) 家 計 費	6,556	7,515	6,271	3,767	3,677	3,519	4,093	3,946	86.9	
農 家 経 済 余 剰	5,581	6,599	5,175	3,570	4,715	4,429	3,987	4,162	109.3	
農 業 依 存 度 (%)	975	916	1,096	197	-1,038	-910	104	—	—	
農 業 所 得 率 (%)	25.0	24.0	27.3	60.3	61.5	62.1	38.1	36.7	165.2	
	38.2	34.0	35.5	35.6	35.3	32.7	28.9	24.7	114.7	

資料：農林水産省「農業経営統計調査」、群馬農政事務所統計部

※ 平成12年以前は農業非関与者の収支を含む。

※ 平成20年より都道府県別統計の公表なし。

③ 農地

農林水産省「耕地及び作付面積統計」「耕地面積」によれば、本県の耕地面積は76,300ha(平成21年)。田28,400ha、畑47,800haである。平成17年頃迄は、年間約1,000haのペースで減少してきたが、近年は緩やかな減少となっている。

減少の主な理由は、宅地等への転用や耕作放棄によるものである。耕作放棄地

13,799ha(H17年)、耕作放棄地率は20.9%(H17年)であり、中山間地域では深刻な状況にある。

(5) 本県農業の課題

本県農業は我が国農業と同質の課題を有しており、輸入農産物の増大等の影響による農産物価格の低迷や農業所得の減少、担い手不足の深刻化や農地の減少による生産構造の脆弱化等、大きな課題を抱えている。政府による戸別所得補償制度や6次産業化を中心とする各種施策等への政策転換を受けて、本県農業の特徴を活かした取り組みが求められている。

又、政府が検討しているTTPへの対応によっては、更に難しい対応も予想される。

2. 群馬県の野菜生産農家の現状と課題

本調査研究事業のテーマである「植物工場」では野菜を中心に生産しているため、本県の主要な野菜生産全般と施設野菜の生産動向について現状と課題をまとめた。

(1) 本県野菜販売農家数の推移

農産物販売金額で野菜の販売が第1位となる農家数は、施設野菜農家・露地野菜農家数とも減少傾向にあるが、農家数全体に占める割合では増加傾向にある。

図表 2-6 本県における農産物販売金額第1位(野菜)の農家数

	施設野菜		露地野菜		その他		(単位：戸) 合計	
	農家数	比率	農家数	比率	農家数	比率	農家数	比率
平成2年	5,075	8.6%	7,922	13.5%	45,694	77.9%	58,691	100.0
平成7年	4,949	9.9%	8,411	16.8%	36,813	73.4%	50,173	100.0
平成12年	4,804	11.4%	8,487	20.2%	28,773	68.4%	42,064	100.0
平成17年	4,200	12.5%	7,807	23.3%	21,474	64.1%	33,481	100.0

出典：農林業センサス

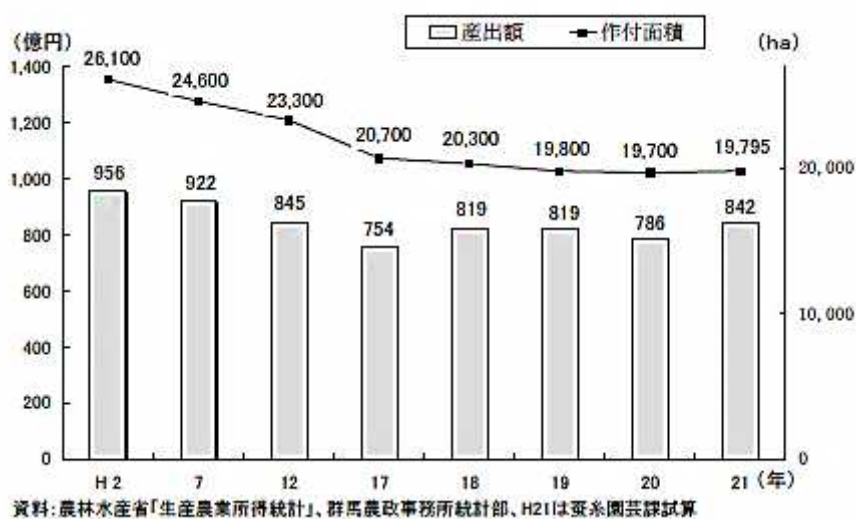
(2) 本県野菜の作付面積と産出額の推移

標高差のある耕地と首都圏に位置しているなどの立地条件を活かし、嬬恋村や昭和村を中心とした高原野菜や平坦地域の施設・露地野菜など、多彩な野菜が年間を通じて栽培・出荷され、全国有数の野菜産地となっている。

野菜の作付面積は19,795ha(H21 群馬県蚕糸園芸課試算)、産出額が842億円(同)となり、作付面積、産出額とも下げ止まりつつある。本県農業産出額合計に占める野菜産出額の割合は38.2%となり、品目別の産出額ではキャベツ、きゅうりが100億円、ほうれんそう、トマト、なすが50億円を超えている。

都道府県別の野菜産出額順位で本県は7位(農林水産統計21年農業産出額)にあり、農業産出額合計の13位(同)に対して高く、本県農業にとって野菜が高いウエイトを占めていることが分かる。

図表 2-7 本県野菜の作付面積・産出額の推移



図表 2-8 本県農業産出額の推移

(単位：億円・%)

区分	年	S 58 (過去最高)	H 2	7	12	17	20		21		対前年比
							額	構成比	額	構成比	
合計		3,281	2,955	2,551	2,289	2,200	2,244	100.0	2,207	100.0	98.4
耕種計		1,621	1,693	1,611	1,419	1,260	1,305	58.2	1,335	60.5	102.3
米		317	293	332	217	194	191	8.5	185	8.4	96.9
麦類		131	104	86	66	54	21	0.9	22	1.0	104.8
雑穀・豆類		11	9	9	9	6	5	0.2	5	0.2	100.0
いも類		29	25	22	18	12	13	0.6	12	0.5	92.3
園芸計		897	1,092	1,066	1,012	909	938	41.8	991	44.9	105.7
野菜		808	956	922	845	754	786	35.0	842	38.2	107.1
果実		49	73	84	99	97	96	4.3	95	4.3	99.0
花き		40	63	60	68	58	56	2.5	54	2.4	96.4
工芸農産物		202	155	85	90	80	132	5.9	114	5.2	86.4
その他		34	15	11	7	6	6	0.3	6	0.3	100.0
養蚕		337	130	30	8	5	3	0.1	3	0.1	100.0
畜産計		1,315	1,131	909	860	933	934	41.6	867	39.3	92.8
肉用牛		204	184	122	113	129	126	5.6	117	5.3	92.9
乳用牛		364	381	285	268	282	268	11.9	281	12.7	104.9
豚		528	351	308	278	307	340	15.2	285	12.9	83.8
鶏		208	208	185	189	202	188	8.4	172	7.8	91.5
その他		11	7	8	11	13	13	0.6	12	0.5	92.3
加工農産物		7	1	1	2	2	2	0.1	2	0.1	100.0

資料：農林水産省「生産農業所得統計」、農政部試算「平成21年農業産出額」(群馬県)

(3) 本県主要野菜の生産と価格の推移

群馬県農政部では、『ぐんま「野菜王国」推進計画(仮称)』を策定する計画であるが、重点推進品目として8品目(きゅうり、トマト、なす、いちご、キャベツ、ほうれんそう、ねぎ、レタス)を定め、戦略的、総合的に推進することが予定されている。このため、これら主要品目を中心に生産動向と東京都中央卸売市場における群馬県産野菜価格の推移を掲載した。

図表 2-9 本県主要野菜の生産動向

年		H 2	7	12	17	20	21
品目							
キャベツ	作付面積 (ha)	3,330	3,440	3,450	3,400	3,390	3,492
	収穫量 (t)	198,900	190,000	199,900	213,100	231,800	238,745
きゅうり	作付面積 (ha)	1,450	1,280	1,180	1,070	998	1,043
	収穫量 (t)	79,400	75,500	74,300	66,900	60,000	59,702
ほうれんそう	作付面積 (ha)	2,610	2,320	2,250	2,100	1,890	2,250
	収穫量 (t)	35,400	26,900	24,800	24,400	22,100	23,916
トマト	作付面積 (ha)	444	479	466	405	338	357
	収穫量 (t)	35,400	38,900	40,300	33,900	28,200	27,056
うち ミニトマト	作付面積 (ha)	—	50	34	32	—	—
	収穫量 (t)	—	4,390	3,250	2,590	—	—
なす	作付面積 (ha)	840	710	683	609	585	600
	収穫量 (t)	27,800	25,000	26,400	24,400	23,300	21,717
ねぎ	作付面積 (ha)	1,020	1,140	1,200	1,130	1,140	1,495
	収穫量 (t)	24,000	22,000	25,200	24,600	24,700	29,445
いちご	作付面積 (ha)	218	177	174	145	138	136
	収穫量 (t)	4,190	3,900	4,250	3,860	3,560	3,184
レタス	作付面積 (ha)	470	692	796	1,010	1,040	1,132
	収穫量 (t)	10,100	17,600	24,100	32,100	34,400	37,451

出典：農林水産省統計、平成 21 年は群馬県農政部蚕糸園芸課推計値。図表は抜粋したもの。

図表 2-10 本県主要野菜価格の推移（東京都中央卸売市場の群馬県産価格）

年		H 2	7	12	17	20	21
品目							
野菜計		218	211	189	178	191	186
キャベツ		84	70	65	63	67	78
きゅうり		335	261	273	246	289	263
ほうれんそう		393	392	405	436	414	414
トマト		273	293	244	259	257	305
ミニトマト		634	597	506	542	556	560
なす		269	347	244	260	292	309
ねぎ		153	165	166	197	216	207
いちご	(いちご類)	890	1,274	926	984	905	917
レタス		111	124	116	74	96	97
だいこん		80	67	74	90	118	121
えだまめ		696	695	662	644	825	858
やまいも		737	511	574	282	533	595
ごぼう		184	254	195	200	266	259
にら		468	392	421	515	505	456
とうもろこし		162	191	162	178	167	226
こしだま		279	312	229	254	274	262
しゅんぎく		529	429	401	441	436	421
はくさい		56	82	38	63	63	60
ばれいしょ		85	147	66	68	73	137
ブロッコリー		335	266	210	323	226	184
ちんげん菜		285	239	226	207	213	200
アスパラガス		1,690	1,270	1,301	1,313	1,330	1,339
たまねぎ		96	97	49	71	69	87
オクラ		—	546	502	472	566	575
ふき		216	226	203	221	205	234
さといも		—	211	125	—	162	123
にら		—	—	—	312	236	271

資料：東京青果物情報センター「青果物流通年報」

※ 野菜計に「いちご」「こだますいか」は含まれない。

(4) 本県主要野菜の特徴

本県における主要野菜 8 品目について、群馬県農政部蚕糸園芸課野菜係（群馬県HP）の資料を基に生産や栽培に伴う特徴を纏めた。

図表 2-11 本県主要野菜の栽培内

品目	栽培時期	主な生産地	その他の特徴
きゅうり	・1月～6月までの促成栽培と9月～11月までの抑制裁培の2作型の組み合わせが主体	・板倉町、館林市、前橋市 で本県収穫量の半分以上を占める	・作付面積の約9割が施設栽培である
キャベツ	・7月～10月に出荷される夏秋キャベツが年間出荷量の9割以上を占める	・嬬恋村や長野原町、昭和村等の北部地域	・夏秋キャベツでは全国一の生産量を誇る
ほうれんそう	・生産の中心は、秋から春に出荷される露地やトンネル栽培で、栽培面積は全体の8割を占める	・太田市、伊勢崎市等の平坦地 ・赤城山南麓の前橋市、渋川市 ・夏期では昭和村など	・各生産地の標高差を活かした栽培や雨よけハウスの利用により、年間を通じて出荷される
トマト	・1月～6月の間は平坦地で栽培され、7月～10月では夏の冷涼な気候を活かして北部地区で栽培される	・みどり市、伊勢崎市、藤岡市、沼田市、昭和村、渋川市、片品村	・高糖度トマトや加工向けの契約栽培など、特徴のあるトマト生産も行われている
なす	・無加温ハウスを利用した半促成栽培(3～6月出荷)、露地栽培(6～11月出荷)の組み合わせで長期にわたり出荷される	・冬から春には伊勢崎市、みどり市 ・夏には館林市、富岡市、藤岡市、前橋市など	・全国1、2位を争う作付面積を誇る ・新規栽培者が取り組みやすい品目として生産新興が図られている
ねぎ	・10月～3月に出荷される秋冬ねぎが年間出荷量の8割を占める	・太田市(年間出荷の主産地)、伊勢崎市、前橋市、富岡市、藤岡市	・西部地区の下仁田ねぎは全国的にも有名
いちご	・平坦地～中山間地まで作付 ・標高差利用して11月～7月まで収穫される	・藤岡市、前橋市、富岡市、太田市、館林市、昭和村、渋川市、	・県育成品種「やよいひめ」 ・この他に「とちおとめ」「章姫」「尾瀬はるか」
レタス	・5月～10月に出荷される夏秋レタスが中心 ・契約販売も行われている	・赤城山西麓の昭和村、沼田市、長野原町など北部地域	・栽培管理の機械化やセル苗により大規模化が図られている

(5) 本県施設野菜農家の経営

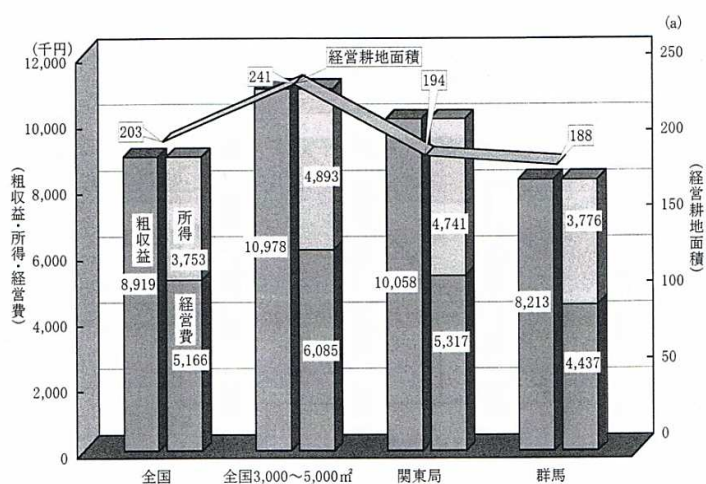
本調査研究事業のテーマである「植物工場」では、農業経営におけるデータの蓄積が重要となることから、植物工場の経営と関連性の高い施設野菜農家の経営内容を掲載した。

図表の出典は、全て関東農政局群馬農政事務所発行の『農業経営統計調査結果からみた「野菜を中心とした平成17年群馬県農業の動き」』（平成19年3月発行）である。

① 1戸当たり経営収支

本県における1戸当たりの粗収益は8,213千円であり、全国に比べて706千円少ない。又、全国3,000～5,000㎡階層に比べて2,765千円、関東局に比べても1,845千円少ない。

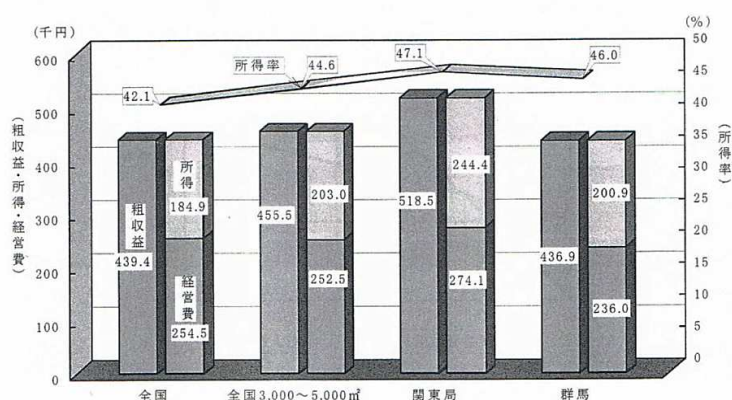
図表 2-12 本県施設野菜作の経営収支（1戸当たり）



② 1,000㎡当たり経営収支

本県の1,000㎡当たり所得は201千円であり、全国に比べて16千円多いが、全国3,000～5,000㎡階層に比べて2千円少なく、関東局に比べても44千円少ない。

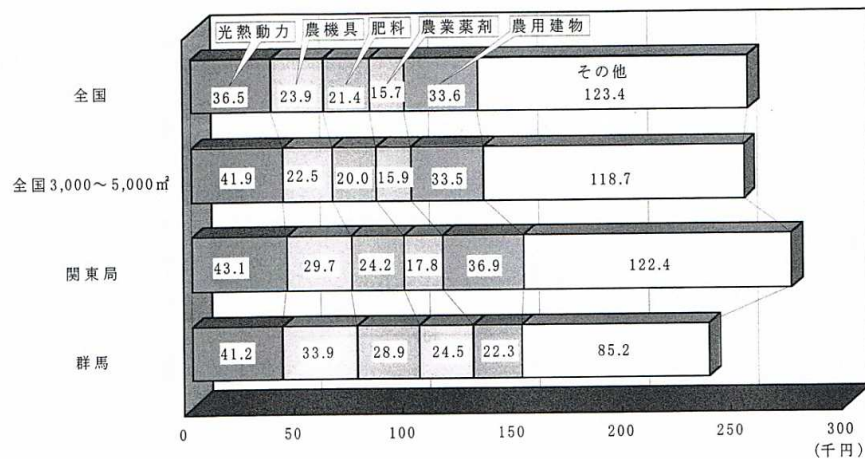
図表 2-13 施設野菜作の経営収支(1,000㎡当たり)



② 1,000 m²当たり農業経営費

本県の農業経営費は236千円であり、全国に比べて19千円少ない。又、全国3,000～5,000 m²階層に比べて17千円少なく、関東局に比べても38千円少ない。農業経営費の内訳では、地区や規模に関係なく「光熱動力」の占める割合が最も高く、本県では41%となっている。

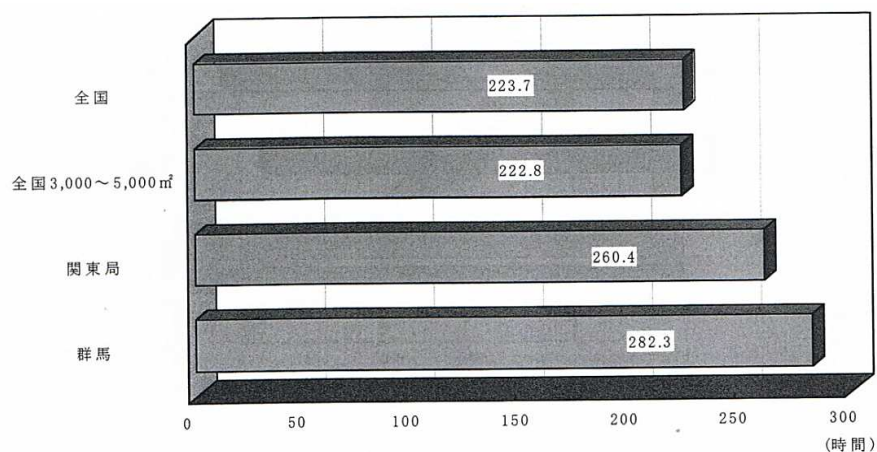
図表 2-14 施設野菜作の農業経営費



③ 1,000 m²当たり家族労働時間

本県の家族労働時間は282.3時間であり、全国に比べて58.6時間多い。又、全国3,000～5,000 m²階層に比べて59.5時間多く、関東局に比べても21.9時間多い。

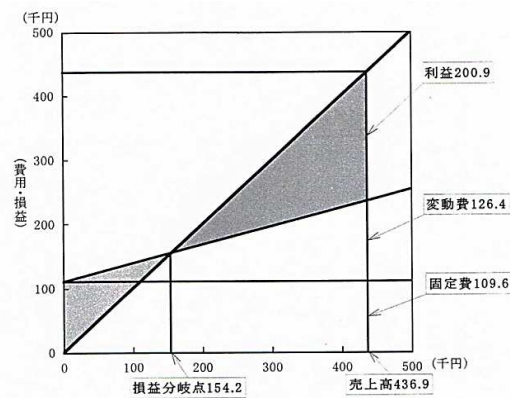
図表 2-15 施設野菜作の家族労働時間



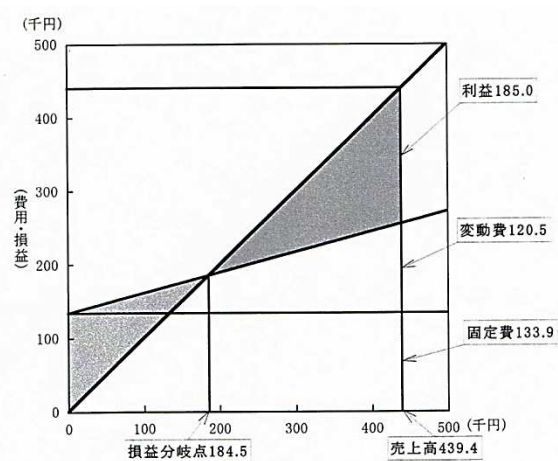
④ 1,000 m²当たり損益分岐点

本県の損益分岐点は154千円、利益は201千円となる。本県の損益分岐点は全国に比べて低い位置にあるため、利益は全国平均に比べて16千円高くなっている。

図表 2-16 1,000 m²当たり損益分岐点（群馬）



図表 2-17 1,000 m²当たり損益分岐点（全国）



(6) 本県野菜生産農家の課題

本県の野菜生産は畜産と並ぶ産出額であり、本県農業の2本柱の一つとして県農政部や農業団体等も生産・販売に重点を置いており、野菜の作付面積と生産額は下げ止まりつつある。しかし、収穫量は天候により左右され、収益は市場により変動するうえに、主要8品目の野菜の関税率（5%前後）は既に低い水準にあり、海外からの輸入攻勢に晒されている。

施設野菜の経営収支は、1戸当たり粗収益、1,000 m²当たり所得とも全国を下回る水準にあり、更に、農業経営費の内訳で最も高い割合を占める光熱動力は、近年高止まりしており、厳しい経営環境にある。

(7) 群馬県の野菜生産農家へのアンケート調査

群馬県内の露地栽培や施設栽培の農業生産者の現状を把握し、植物工場の適応性と植物工場導入の可能性を模索するため、群馬県内の露地栽培・施設栽培の農業生産者550人に群馬県園芸協会の協力を得てアンケート用紙を配布し、回答をご返送して頂く方法で回収した。

しかし、回収実績は36人（6.5%）で回収率が芳しくなかったため、この集計結果をもって群馬県全域の露地栽培・施設栽培の農業生産者の現状、並びに植物工場についての適応と導入可能性の実態とするには聊か問題もあるが、傾向の一端を推し量ることは可能と考え、「参考資料」（1.植物工場に関するアンケート調査結果）として添付する。

第3章 群馬県産農産物の流通販売の現状と課題

◆第3章のまとめ

1. 群馬県産農産物の販売戦略

群馬県産農産物の販売戦略として、4P（Product（製品）、Price（価格）、Placement（流通）、Promotion（プロモーション））の観点から見てみる。

- （1）Product（製品）の観点： i）群馬県産農産物について消費者は、鮮度や安全性について認識が高い、ii）野菜について外食産業は、新鮮さを求め生産者と直接取引を増やすことを望んでいる。iii）野菜の消費量は全国的に減少傾向にあり、若年層ほど野菜の摂取量は少ない。
- （2）Price（価格）の観点： i）野菜は価格の変動幅が大きく、この原因としては、気象条件、前年の価格により作柄を決定、価格の弾力性が小さい、在庫調整が難しい、などが挙げられる。ii）群馬県はブランド化を目指し、Gブランドを立ち上げているが、一層の取組強化が求められる。
- （3）Place（流通）の観点： 野菜の取り扱い卸売市場経由が大半を占めていたが、近年は卸売市場経由の割合は下がってきており、減少傾向にある。
- （4）Promotion（プロモーション）の観点： 群馬県は、産地強化計画、効率的な流通と販売力の強化として消費宣伝と消費拡大、地産地消などを需要に応じた生産振興として挙げている。

2. 植物工場野菜の流通について

- （1）植物工場で生産される野菜の市場規模： 全体の0.2%と未発達市場
- （2）植物工場で生産される野菜の品目と特徴： レタス類等葉物が圧倒的に多い
- （3）植物工場で生産される野菜の流通における課題と方向性： 計画的な供給が可能
- （4）植物工場野菜の流通成功事例： キーワードは「生販一体型」「限定販路・情報発信」

3. 流通販売面から見た「植物工場」の新たな展開と可能性

- （1）植物工場を活用した新しいビジネスの展開： 建設業者・開発業者の事例として、業績が低迷する解決策の方策として、植物工場事業に参入し、植物工場付マンションの開発も検討している。
- （2）農商工連携による植物工場の普及・拡大： 外食産業の事例として、「店産店消」コンセプトに店舗で植物工場を設置しレタスの栽培を行い店内で提供。
- （3）更なる発展の可能性と解決すべき課題： 障害者授産施に、又、中東・東南アジアに植物工場を提供する。
- （4）植物工場が対応すべき課題： 植物工場のコスト削減と品質認証制度の確立。

1. 群馬県産農産物の販売戦略

群馬県産農産物の販売戦略として、4 P (Product (製品)、Price (価格)、Placement (流通)、Promotion (プロモーション)) の観点から見てみる。

(1) Product (製品)

群馬県産農産物と言っても多種多様である。ただ、流通構造が大きく変化している農業に於いても、製品は消費者のニーズに対応する必要がある。その前提として、消費者ニーズがどこにあるかを把握する必要がある。

群馬県産の野菜の販売に当たり、身近な消費者である、群馬県内での消費者のアンケート結果から、その販売戦略を考える。

① 群馬県の消費者ニーズについてのアンケート結果

1) 群馬県内での消費者へのアンケート

(別紙添付アンケートは群馬県農業局企画発行の県産農産物の販売戦略から)

・群馬県産農産物の安全性の印象

→群馬県産農産物に対しての評価は「全く心配ない」「あまり心配ない」と思う消費者で 68% を占めており、安全性は高いと感じている。他の国産野菜の上記割合 (全く心配ない)「あまり心配ない」の割合) は 57%、輸入農産物の同割合は 9% となっている。

・群馬県産農産物の印象

→1 位 イメージがいい

2 位 品質・食味が良い

3 位 魅力がある

・消費者が県産農産物を購入する理由

→1 位 安全性

2 位 美味しさ

3 位 鮮度

・上記より、群馬県産農産物の安全性が高いと感じており、それが購入する際の理由になっていることが伺える。

2) 30 代以上の群馬県内女性消費者の意識調査

・野菜・果物の購入場所

→1 位 スーパー 40%

2 位 農産物直売所 23%

3位 生協 14%

・野菜購入の際の重視するポイント

→1位 鮮度 28%

2位 価格 26%

3位 安全性 13%

・県産農産物の購入頻度

→多い33%、やや多い40%、普通24%

・群馬県産農産物を購入する理由

→1位 新鮮だから 32%

2位 県産だから 19%

3位 価格が安いから 18%

・群馬県産農産物を購入しない理由

→1位 特に理由はない 24%

2位 美味しくない 14%

3位 情報が少ない 14%

4位 取扱い店舗が少ない 12%

上記 1)、2)のアンケートより、群馬県産農産物の安全性を感じている割合は高いものの、実際の消費者像としての30代主婦は、スーパー等で、鮮度(見た目)・価格でまず判断しており、安全性はその後の話となる。群馬県産の農産物を購入する理由も、鮮度が第一であり、実際の購入の段階では、安全性が購入理由のトップに入っていない。つまり、30代主婦という消費者像は、群馬県産農産物の安全性は高く魅力があると感じているものの、実際の購入段階では、鮮度・見た目で判断する消費者の割合が高く、群馬県産農産物の安全性という強みが活かされていないといえる。又、群馬県産農産物を購入しない理由から、群馬県産農産物の販売促進が上手く伝わっていない様子が見えてくる。

3)群馬県内の外食産業のアンケート

・国産での購入先のうち、群馬県内産の野菜の使用割合は？

10-30%・・・32%

30-50%・・・22%

50-70%・・・18%

・群馬県産農産物の購入場所

→1位 商社・小売店 29%

2位 卸売市場 16%

3位 生産者 9%

・農産物購入の際に重視する点

→1位 新鮮さ 30%

2位 価格 26%

3位 美味しさ 17%

・今後増やしたい購入先

→1位 生産者 24%

2位 生産者グループ 14%

3位 直売所 9%

・今後、契約栽培による農産物の購入量をどうしたいか？

→増やしたい 41%

・契約栽培により農産物を購入する場合の課題

→1位 数量が安定しない 34%

2位 価格が高い 25%

3位 規格の統一 8%

・群馬県産農産物の購入量を増加するための条件

→1位 価格 25%

2位 新鮮さ 16%

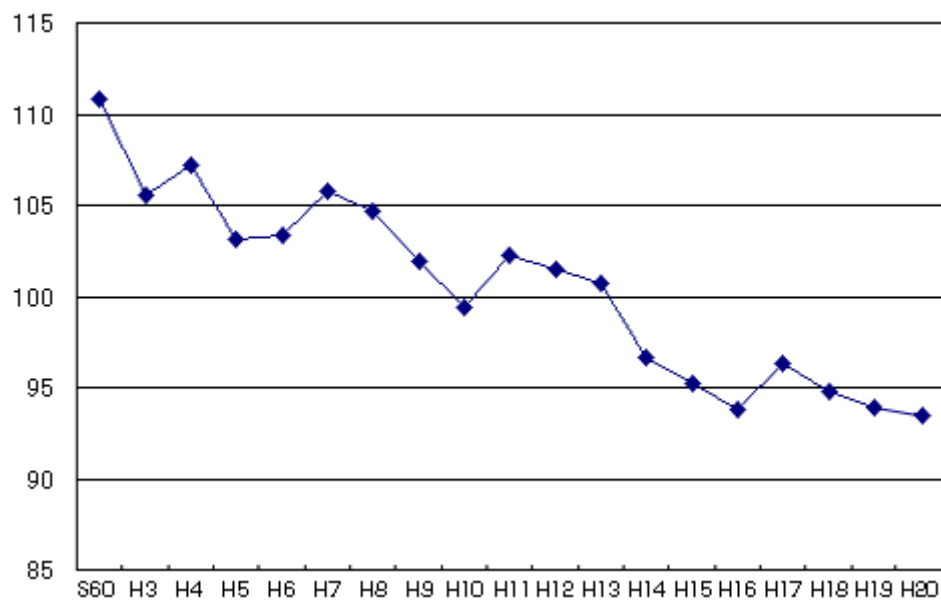
3位 品質 12%

上記の外食産業でのアンケートから、外食産業では今後、生産者との直接取引を増やすことを望んでおり、その前提条件として、数量の安定・納得出来る価格・統一された規格や品質が必要条件であると言える。味がいくら良いものであっても、企業対企業の取引である場合、数量・価格が安定しないものは、取引が難しい。自信を持って安定供給が出来る状態の安全・安心・美味しい野菜が求められている。

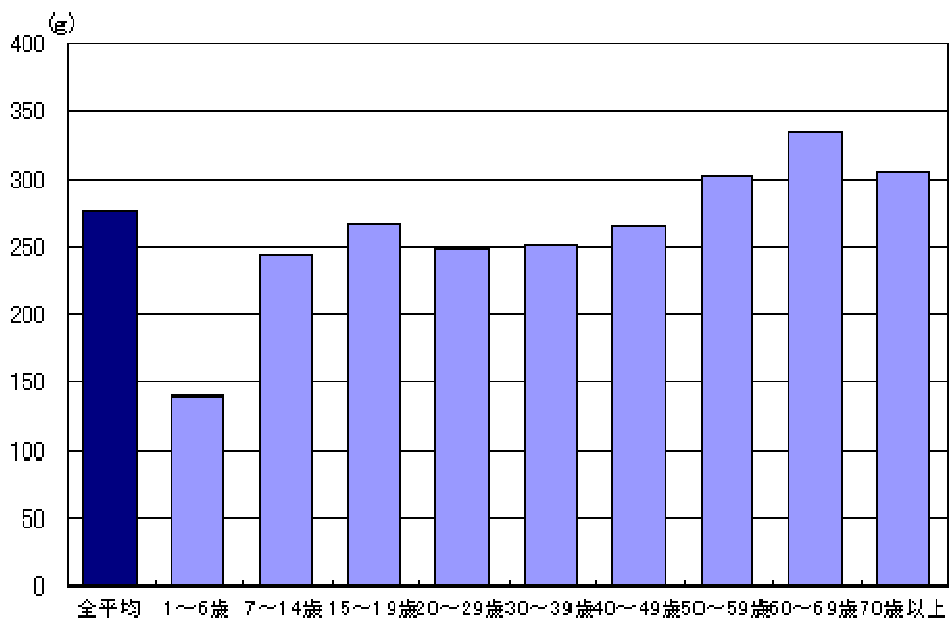
② 全国的な野菜の消費について

全国的に、野菜の消費量は減少傾向にあり、それは群馬県内でも同様と思われる。年代別野菜摂取量は年が若いほど摂取量が少なくなる傾向があり、今後も、今の若い人達が現状の食事状況が続くようであれば、摂取量も減少していくと思われる。

図表 3-1 野菜消費量の推移（1人1年当たり[消費量 kg/年・人]



図表 3-2 世代別にみた野菜摂取量（1人1日あたり）[g(グラム)]



(出展 http://www.v350f200.com/kenzen/jittai_a.html)

(2) Price (価格)

農産物、特に野菜については価格の変動幅が大きい。ただ、価格の変動幅が大きい理由は、①気象条件による作柄変動が大きい、②生産者が前年の価格に対応して当年の作柄等を決めることが多いことで、生産量が安定していない、③価格の弾力性が小さい、④鮮度の要求が強く、在庫調整等による供給調整が出来ない、などが挙げられる。そのほか、輸入量や、栽培技術の進歩等によるところも大きい。価格については、需要と供給で決まるが、季節変動が大きい。平成 22 年は猛暑のため、葉物等野菜は出来高が少なく、群馬県産農産物は比較的、生育が順調であったため、その分、価格は高めであった。

野菜の単価については、平均単価が葉菜類はほぼ横ばいであるが、全体としては 10%低下している。(群馬県のHPより) 価格を引き上げる方法として、群馬県では、ブランド化(G, ブランド事業)を行っている。付加価値の高い、競争力のある農産物を作るための、品質向上と安定供給を目指したものである。しかし、Gブランド化事業は産地育成や市場対策等で一定の役割を果たしてきたが、①消費者の認知度が低い、②農産物や加工品が対象外であること、③他産地との差別化が不十分であること、などが課題であった。そのため品目を限定し、テレビ、ラジオ等で展開されたが、群馬県ブランドでなく、個人でブランド化を進めている所もあり、群馬全体としてブランド化が難しいのが現状である。

日常的に消費され、自然環境等に品質が左右される農産物は、差別化が困難でその違いを認知して貰うのが難しいと言える。差別化のためには、生産者と販売者が一体となって行う必要もあり、スーパー、加工業等との連携も必要となる。

ブランド化により価格の引き上げを狙うには、ターゲットの明確化、契約取引、新たな販売ルートの開拓などが必要となる。

(3) Placement (流通)

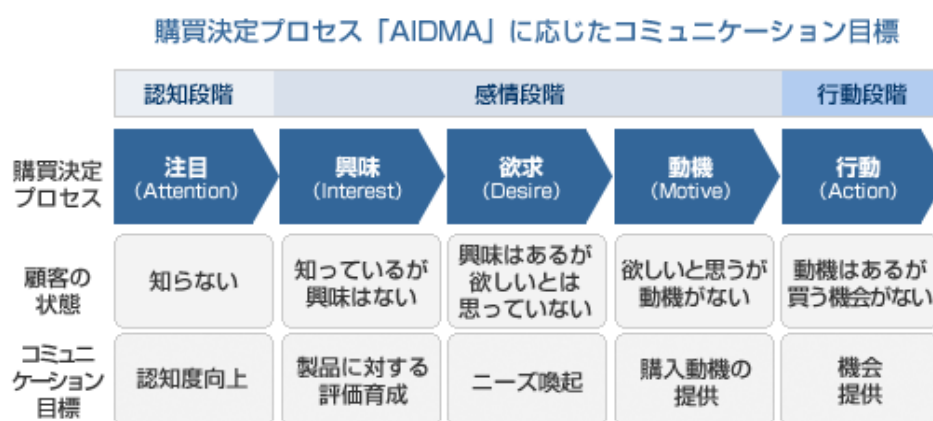
野菜の流通においては、卸売市場経由が一般的であるが、この割合は近年徐々に下がりつつある。平成 19 年においては、卸売市場経由は 87%まで下がっている(資料 農林水産省「青果物卸売市場調査報告」より)。群馬県においても、市場流通は、10 年間で 12%減少し、特に葉菜類では 35%減少している。(群馬県のHPより) 要因は、輸入野菜や加工品需要の増加や、直売所や、産地と販売者での直契約など、流通経路の多様化があると言える。実際に、生産者の規模が大きくなる程、卸売市場を通さずに独自の流通経路と持っている傾向があるといえる。流通での手数料等は物流費込みで 20%弱が一般的であり、今後についても、市場外取引や直契約が増加すると思われる。直契約で販売が増加する場合の課題は、欠品を出さないために、必要作付量の 2~3 割程度大目に対応する必要があるので、余剰が生じた場合の対応である。それに比較すると野菜工場の場合、計画的な販売量を生産できる点は優れているといえる。

群馬県においては、東京という大市場に近い交通網を持っている利便性を活かし、「鮮度」で売り出しており、又、消費地に近いことで、運送に関するコストは低く抑えられている。

(4) Promotion (プロモーション)

一般に消費者の購入決定プロセスは下記のようなになる。

図表 3-3 購買プロセス「AIDMA」に応じたコミュニケーション目標



まず、その製品の存在を知り（Attention）、興味をもち（Interest）、欲しいと思うようになり（Desire）、動機を求め（Motive）、最終的に購買行動に至る（Action）という購買決定プロセスを経る。群馬の野菜の場合、第二段階の、興味を持っている消費者が大部分であると言える。そこから、欲しいという欲求を起こさせるようなPRが出来ていないのが現状である。

群馬県の方針としては、「多様化するニーズに的確に対応し、野菜の安定供給を図る観点から、方向性を明確にした産地の戦略的な生産振興を推進する」と挙げている。（群馬県のHPより）その中で、需要に応じた生産振興として、産地強化計画や、効率的な流通と販売力の強化として消費宣伝と消費拡大、地産地消などを挙げている。しかし、群馬県産野菜のマーケティングという観点からは、上記のようなPR活動の一層の取組強化が求められる。群馬県は農産物の生産量が多いが、全国的な知名度が低く、ブランド力も弱いために、消費者に対して、欲しいという欲求を起こさせること、また購入という決断をさせることが上手く出来ていないといえる。

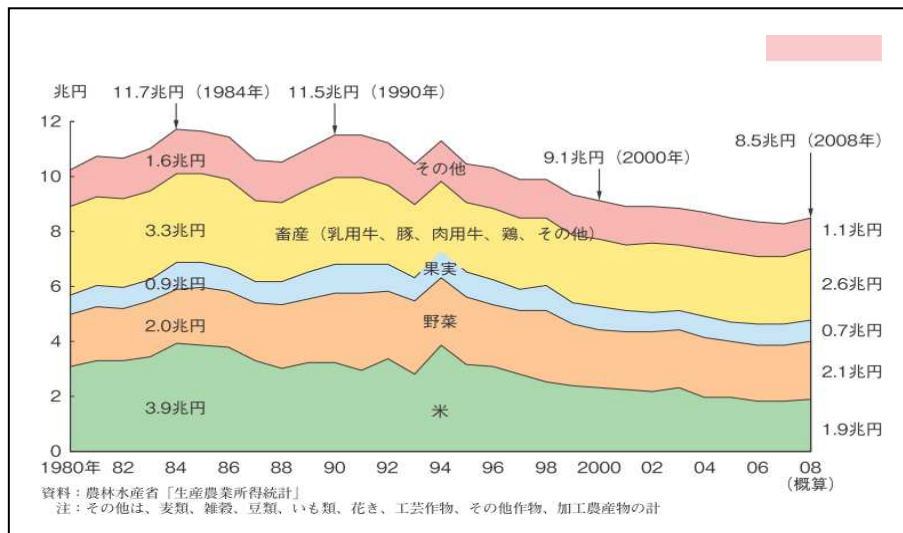
2. 植物工場野菜の流通について

本稿では、植物工場で生産される野菜の品種、生産額、販路等の現状を踏まえて植物工場で生産される野菜の流通における課題とその克服事例をもとに、課題解決の一方策について考察する。

(1) 植物工場で生産される野菜の市場規模

我が国の農業総産出額は、生産量の減少や価格の低下等により、昭和 59 年（1984 年）の 11 兆 7 千億円をピークとして、平成 2 年（1990 年）には 11 兆 5 千億円、平成 12 年（2000 年）には 9 兆 1 千億円と減少を続け、平成 20 年（2008 年）には 8 兆 5 千億円となった。平成 20 年の農業総産出額は品目別にみると、畜産 2.6 兆円（農業総産出額に占める割合 30.5%）、野菜 2.1 兆円（同 24.9%）、米 1.9 兆円（同 22.4%）、果実 0.7 兆円（同 8.7%）の順となっている。

図表 3-4 農業総産出額の推移



次に植物工場の生産額を見てみる。矢野経済研究所の発表によると植物工場で生産された作物の出荷実績は、平成 20 年度 27 億 8 千 8 百万円であった。平成 21 年度の市場規模は 42 億 4 千 2 百万円と、大幅な伸びが見込まれている。

よって、野菜の市場規模 2.1 兆円のうち、42 億 4 千 210 万円となり、全体の 0.2%と未発達市場である。但し、未発達市場であるが故に今後の伸長の可能性も秘めている。

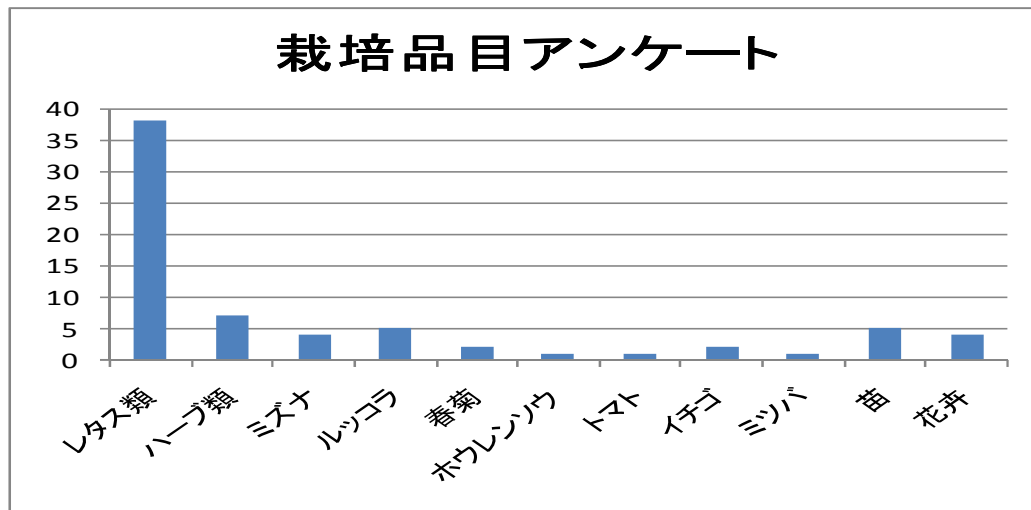
(2) 植物工場で生産される野菜の品目と特徴

① 栽培品目

現在植物工場で生産されている野菜は多岐に亘るが、農林水産省が実施した栽培品目アンケート（複数回答）によると、レタス類が中心で、その他ではハーブ等や野菜苗等がみられ、事

業的に生産可能な品目に限られているのが現状である。又、根菜、穀物、薬草、樹木由来の果実の栽培は見受けられない。

図表 3-5 栽培品目アンケート



出典：農林水産省「植物工場事例集」より加工・転載

② 栽培される野菜の特徴及び販路

植物工場で栽培される野菜は、露地物やハウス栽培等の野菜と比較すると以下の強み・弱みがある。

1) 強み及び長所

- ・製造業の計画的な生産、品質管理手法、異業種のノウハウ、技術が広く農業に活用できる。
- ・完全人工光型の植物工場で作られる野菜は、虫や異物の混入が少ない。
- ・歩留まりが高く、加工・業務用向けの食材としても需要が拡大し、工場直売・店産店消が可能である。
- ・栄養価・機能性成分が豊富である。

図表 3-6 植物工場生産品栄養価区分表

	公表値	ヤマネ式農法分析値	比較倍率値
エネルギー	12	15	1.25
水分	95.9	94.3	0.98
タンパク質	0.6	1.9	3.17
脂肪	0.1	0.2	2.0

灰分	0.5	1.2	2.4
ビタミンA効力	240	1,310	5.46
ビタミンB1	0.05	0.04	0.8
ビタミンB2	0.03	0.12	4
ビタミンC	5	6	1.2
ナトリウム	2	36.8	18.4
カリウム	200	330	1.65
リン	22	98.5	4.48
鉄	0.3	2.4	8
マグネシウム	8	29.4	3.68
カルシウム	19	115	6.05

出典：(株)アグリポピュレーションジャパン

- ・季節や天候に左右されない生産が可能であり、周年安定供給出来る。
- ・土地の高度利用、空間的利用が可能となり単位面積当たりの高い生産性が実現出来る。
- ・肥料及び農薬の使用量の低減により、生育や品質のコントロールが可能である。
- ・洗わずに使用でき、雑菌が少なく日持ちする（特に完全人工光型）。
- ・定時・定量・定価・定品質での安定的・計画的な供給が可能である。
- ・トレーサビリティが簡単に出来る。
- ・完全閉鎖型植物工場であれば、無農薬栽培が可能である。
- ・野菜をカットして加工する際、野菜に付着している土や虫を取り除くための洗浄工程が不要となり、コストが削減出来る。

2) 弱み及び短所

- ・露地物及びハウス栽培価格が野菜の価格の主流であり、市場価格は露地物の1.5倍～2倍する。
- ・消費者は「太陽・土」を利用しないことへの心理的抵抗感があり、積極的な購買動機を見出せない。
- ・自然環境と無関係に生産出来るために「旬」を楽しむ感性に欠ける。
- ・情報量・流通量が少なく、認知度が低い。
- ・地域ブランド等の確立が困難である。
- ・栽培品目が限定されていて、葉物が中心になっている。
- ・植物工場はあらゆる制御が可能故に差別化が困難である（どこでも同じものが出来る）。

- ・植物工場間での差別化が困難故に価格競争に陥る可能性が高い。
- ・損益分岐点比率が高い。
- ・補助金なしの経営は見通しがついていない。
- ・理解不足故に従来の流通網に乗りにくい。
- ・販路が選択的（直売又は自家消費）になっており、開放的な流通網の構築が不十分である。

（３）植物工場で生産される野菜の流通における課題と方向性

上記の通り、現状の野菜流通市場は量販店・外食店・直売店・ネット通販ともに 99%以上が露地物・ハウス栽培物で占めており、植物工場で生産された野菜の流通規模は全体の 0.2%でしかない。

植物工場野菜の流通の現状を把握し問題点が明確になると、以下の課題と方向性が浮かび上がってくる。

① 経営戦略における植物工場野菜の位置づけの明確化

- ・植物工場経営に取り組む意義の明確化（宣伝広報、販路設定、原料供給の多様化、遊休施設の活用等）

② ビジネスモデルの構築

- ・戦略に応じた販路・生産規模、品目、用途（家計消費用・加工・業務用）の明確化
- ・差別化を図る方策
- ・露地栽培では実現しにくい付加価値の創出

③ 消費者の声を反映させる仕組み

- ・マーケットインの生産計画（需要者の要求に対応出来る生産体制）
- ・通常の端境期にも対応した安定生産経営

④ コスト削減を継続する仕組み

- ・認知度が高まる中で値頃感と商品価値を訴求

⑤植物工場産野菜等の良さをどう伝えるか？ブランド化への取組

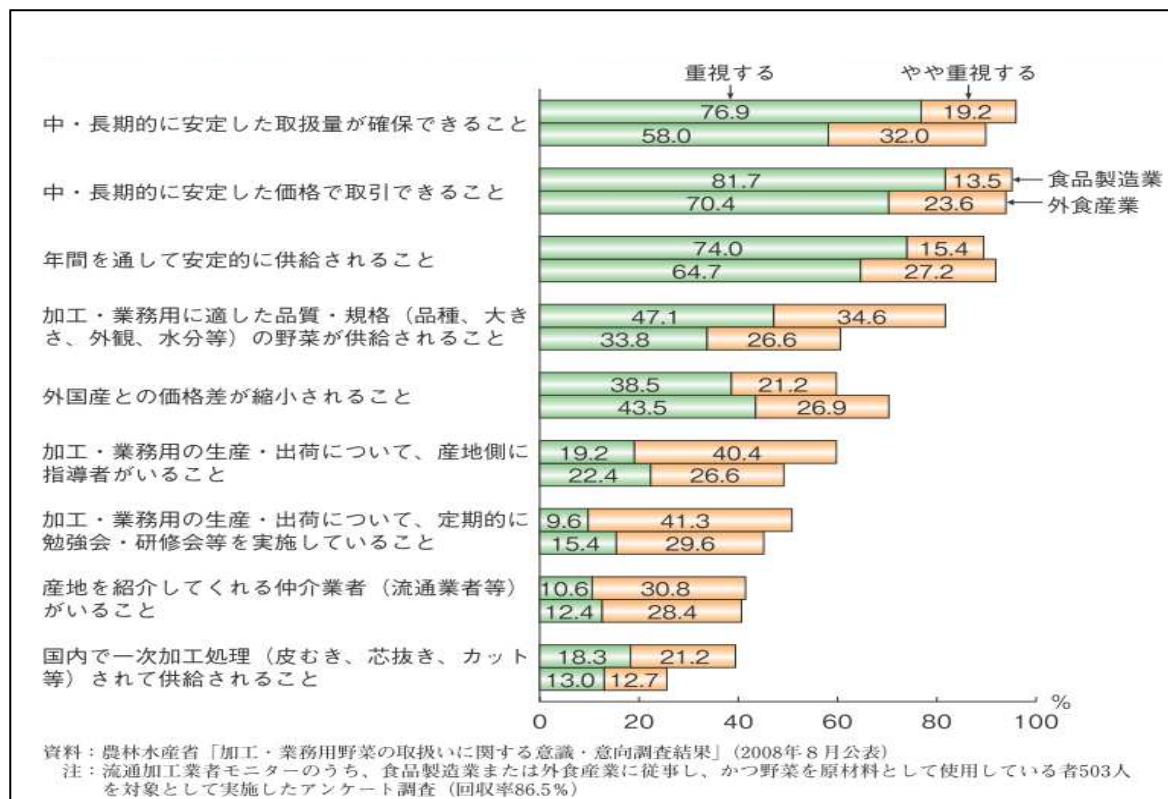
- ・消費者向けのメリット：栄養価や機能性成分が豊富、アクが少ない、農薬使用量の低減、環境負荷の軽減（水分・養分の効率的利用）

→品質（栄養成分等）の表示・認証、カーボンフットプリントの活用

上記の課題を解決するには強みと長所をどのようにアピールし、機会をどのように捉えるかによって克服方法が見えてくる。

食品製造業や外食産業の意向をみると、「外国産との価格差が縮小されること」よりも、「中長期的に安定した取扱量が確保出来ること」、「中・長期的に安定した価格で取引出来ること」、「年間を通して安定的に供給されること」等が重視されている。

図表 3-7 加工・業務用野菜の取扱についての食品製造業・外食産業の意向



企業としては仕入れ価格の平準化と品質の安定化を最優先にしているために、露地物・ハウス栽培での供給だけでは不安である。特に平成22年の猛暑による野菜不足と品質低下により、天候の影響を受けない「植物工場」野菜の有用性が見直された。

（4）植物工場野菜の流通成功事例

① 外食産業における植物工場参入 キーワードは「生販一体型」

飲食店内での「植物工場」で作った採れたて野菜を食材として提供する「店産店消」の動きが広がってきている。抜群の新鮮さに加え、来店客にとっては生育過程が見える安心感もあり、店側も天候に左右されず、水や光量、温度、栄養分などを管理して安定して収穫できる。ずらりと並ぶレタスなど緑色の葉物野菜をガラス越しに眺めながらの食事は、ちょっとした異空間を味わえ、癒やしの効果もあるようだ。

無農薬で消費者に安心感を強調できるほか、露地野菜のように虫食いなどで捨てる部分が殆どなく、包装材も不要なため廃棄物処理費用が減り、天候不順で野菜価格が急騰するリスクを抑えられる利点もある。

但し各企業が、どのような顧客をターゲットに展開していくのかは、自社に於ける経営資源やビジネスノウハウにより異なってくる。勿論、外食産業以外にも、運輸・倉庫業や不動産業や建設業といった分野からの参入もあれば、福祉・教育分野からのアプローチも可能である。

図表 3-8 店舗併設型の植物工場を展開する企業（展開予定も含む）

店舗併設型の植物工場を展開する企業（展開予定も含む）	
<u>サブウェイ</u>	サンドイッチ・チェーン。東京・丸の内ビルディング地下1階に「サブウェイ野菜ラボ丸ビル店」を2010年7月にオープンさせた。店内は約20坪（植物工場面積含む）／20席。店内中央の植物工場を見学しながら食事をするができる
<u>電通ファシリティ</u> ／「 <u>ラ・ベファ</u> <u>ナ 汐留店</u> 」	<u>電通ファシリティマネジメント</u> が販売する栽培システムを導入した「 <u>ラ・ベファ</u> 汐留店」（店舗運営：ジャックポットプランニング）にも店舗併設型の植物工場を稼働させている
<u>メープルハウス</u>	2011年4月上旬に金沢市高柳町のルネスかなざわ跡地で、同社初となるパン店を開業予定。店内には植物工場を導入し、栽培した野菜をサンドイッチなどに使用する計画であり、年間2万株を収穫できる規模の植物工場を導入予定
<u>庄屋フードシステム</u>	九州・山口などで「マルゲリータ」のほか「庄屋」など約100店を展開。今回は「マルゲリータ」の店舗に約10平方メートルの植物工場を、レストランの駐車場に約620万円かけて設置。今後は郊外店を中心に野菜工場を増やし、店で使う野菜の8割を「工場産」でまかなうことを目指している
<u>ECO CAFE</u> <u>KUNIYOSHI (エコカ)</u> <u>フェクニヨシ)</u>	2009年7月に愛知県・名古屋にてオープンした自然食レストラン。店内の植物工場（完全閉鎖・人工光）と併設した水耕・ハウス栽培など、合計50坪ほどのスペースにて、アイスプラント、レッドマスタード、レッドファイヤー、巨木トマト、ミニセロリなど通常の流通には乗りにくい希少な野菜を自家栽培している
<u>めぐみの郷</u>	「業務スーパー」などをフランチャイズ展開する <u>G-7ホールディングス</u> の子会社である同社では、2010年10月7日に野菜工場を併設したレストランを新設した。当初はレタス、ホウレンソウなど5種類の葉物野菜を農産物直売所と同市北区のレストラン「めぐみ」で取り扱う計画

出典：Innoplex

② 量販店による植物工場参入 キーワードは「生販一体型」

図表 3-9

量販店兼植物工場を展開する企業	
九州屋	全国に 62 店を展開する青果専門量販店。岩手県住田町にある植物工場を買収し、店頭販売を 2010 年 1 月から開始した。「安心・安全」を前面に打ち出し、取扱品目も増やしている。

③ ブランド化を模索する企業 キーワードは「限定販路・情報発信」

図表 3-10

百貨店での植物工場野菜を展開する企業	
エスジーグリーン ハウス	<u>西部ガス（株）</u> の 100%子会社として設立。現在の栽培規模は日産 6,000 株、「うるおい野菜」ブランドとして、現在はフリルアイス、ピュアヴェール、グリーンマリーゴールドの 3 種類を販売している。販路は、北九州と福岡の都市圏が主要マーケットであり、現在はピエトロ（レストラン）などの飲食店・レストラン、ホテル、スーパーや百貨店に納めている。
株ニシケン	建設機器のレンタルやリースといった事業を行っていたが、現在では、福祉・環境・アグリなどの事業も行っている。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。同社の「ベジクイーン」ブランド商品の <u>専用サイト</u> では、様々な情報を提供している。外部の専門機関による農薬や栄養価に関する検査データの公開など数値的データも提供している。機能性（栄養価）の方では、βカロチンが豊富であることを全面に打ち出している。

出典：Innoplex

3. 流通販売面から見た「植物工場」の新たな展開の可能性

植物工場は、農業分野が抱える課題解決策の一つとして、期待されている。その一方で、植物工場が持つ、安定供給、高い安全性、高速生産、土地の高度利用などのメリットは、長引く景気の低迷により、活路を見い出せないでいる既存産業からも、課題解決や付加価値向上の 1 つの方策として、熱い視線が注がれている。農業分野以外と異分野との連携も始まり、植物工場ビジネスによる雇用や新産業の創出も大いに期待されている。植物工場設置の動きを見ながら、植物工場の新たな展開の可能性について考えてみたい。

(1) 植物工場を活用した新しいビジネスの展開

現在、植物工場は第3次ブームの中にあるという。第1次ブームは、筑波科学万博の回転式レタス生産工場が現れた1980年代中頃から後半にかけてであり、第2次ブームは、キューピーが工場野菜を販売し始め、農水省の補助金が導入された1990年代前半から後半にかけてであると言われている。そして、植物工場の普及・拡大が国家プロジェクトとなった、平成21年以降が第3次ブームである。

平成21年、経産省と農水省を横断するプロジェクトチームを編成し、植物工場の普及・拡大を図っている。「平成23年度末までに生産コストの3割削減と植物工場数を3倍に拡大すること」を目標に、植物工場の設置を強力にサポートしている。平成21年度の補正予算で経産省と農水省合わせて約150億円の予算措置が取られ、政権交代後もこの路線は継承されている。このプロジェクトのもと、全国で設置された植物工場や注目事例、植物工場周辺ビジネスの新しい流れについて検討してみる。

(2) 農商工連携による植物工場の普及・拡大

① 植物工場と工業・商業の連携

植物工場の第3次ブームが、ブームで終わるのか、新たな潮流となれるかは、植物工場関連の農商工連携の成功如何が大きく影響するだろう。その中で、建設業やマンション開発業者、外食産業による植物関連ビジネスの事例を見てみる。

1) 建設業・開発業者

公共事業・民間受注が共に縮小している建設業界では、雇用維持の観点からも植物工場ビジネスに参入する事例が増えている。

横浜の建設業者である奈良建設は、植物栽培装置を開発・製造しているキーストーンテクノロジー（神奈川県横浜市）と連携し、植物工場システムの栽培事業に参入するために新会社を設立し、建設受注の減少を補う事業の柱とするため、自社で野菜の栽培・販売に乗り出している。奈良建設は、土地開発等に際して、「植物工場つきマンション」を提案し、受注に結び付けたいとしており、植物工場のショールームを本社内に開設している。販売の主力商品は、レタスの場合、月4800個生産出来るセル型植物装置で、価格は約200万円である。マンション販売時の付加価値を上げると共に、生産機能の移転や集約で建物だけが残っている工場に対しても提案をしていく方針だ。

総合商社の丸紅も、植物工場を併設したマンションの開発を進めており、今後手掛ける3～4人用の住宅に関しては、基本的に植物工場を併設していく予定である。平成23年春に、世田谷で分譲されるマンションが最初の植物工場設置型マンションで、屋内共用部分に約4平方メートルのスペースを設け、設置される装置は約200万円、販売後は、マンション管理組合が

植物工場を管理することになる。植物工場で出来た野菜は住人に提供されるが、マンション内の緑化や住民同士のコミュニケーションの場としても有効と考えており、競争の激しい住宅販売や開発事業の中で、付加価値を高めたいとしている。

これ迄、大手建設業者は、植物工場の建設を受注してきた実績があるが、今後は、受注建設のみならず、システムの開発・販売や新規参入へのコンサルティング、自社での栽培へと範囲が広がっている。大学や研究所と連携しながら、一般の薬物野菜などから、漢方などで利用する薬草などを栽培し、付加価値の高い生産物の栽培を目指している建設業者もあり、注目分野である「食」との連携で新しい展開を模索している。

2) 外食産業

日本サブウェイは、「店産店消」をコンセプトに、東京都千代田区の丸ビル地下1階の店舗中央に植物工場を設置、水耕栽培で無農薬のレタスを栽培している。レタスの生育には約3週間を要し、店内消費の約1割程度が植物工場産のレタスとなっている。品質・鮮度の高い野菜の提供や、輸送コストの削減、無駄を最小限にする歩留りの向上など、様々なメリットがあるとしている。ビジネス街にありながら、カウンターでは、子供連れや高齢者のご夫婦などが、珍しそうに、年内で栽培されているレタスを見ながら食事をしており、安心・安全で、ヘルシーな食事を提供したいとする、企業の姿勢をアピールする場ともなっている。



「ラ・ベファーナ汐留」の植物工場

又、東京・カレッタ汐留にあるレストラン「ラ・ベファーナ汐留」では、テラスの一面に植物工場が設置され、4種類の薬物野菜が栽培されている。ベルトコンベアー式の装置の中で、野菜が成長していく過程が楽しめ、ランチタイムはビジネスマンが、植物工場の脇で商談をしながら食事をとっていた。設置費用は800万円、メンテナンスに1日約1時間かかるが、全国から、業種を問わず訪れる視察者の多さに店側も驚いている様子だ。ここは、植物工場を取り扱う電通ワークスのショールームの役割を果たしており、受注に繋げたい考えだ。

その他、外食チェーン店の大戸屋は、自社で大型の植物工場を建設するなど、外食産業での植物工場導入の動きが広がっている。

② 植物工場と地域活性化

1) 障害者授産施設での活用事例

植物工場のメリットの一つとして、「労務の負担軽減」が挙げられる。栽培技術を標準化することができ、農業知識が乏しい人でも作業が可能になるうえ、労働環境が苛酷ではないので、高齢者や障害者による作業が可能になる。社会福祉法人ピクト・フェア（北海道岩見沢市）は、重度の障害者授産施設であるが、「障害があっても仕事ができる仕組み」「車椅子で出来る農業」を目指し、植物工場「コスモファーム岩見沢」を運営している。この工場では、菌の含有レベルに関する厳しい基準をクリアして、市内の学校給食に生野菜サラダ用のレタスを提供している。現在、1日に約100キロのリーフレタスを生産しているが、葉物の価格が高騰する冬場に市内のスーパーに出荷しているほか、札幌ビール園などにも出荷するなど、販路も確保されており、授産事業の新たなモデルケースとなっている。

中小企業診断協会群馬県支部においても、障害者施設の授産施設運営に関する診断やコンサルティングを行ってきているが、安価で、単純な作業の受託作業が多く、現場では、より単価の高い、多様な作業が求められている。天候に左右されることなく、屋内で仕事出来ることも障害を持つ人々の労働環境にとって大きなメリットと言えるだろう。

社会福祉法人が障害者の要望から設立した事例のほか、障害者を雇用している企業が設置した事例もある。ハートランド株式会社（大阪府泉南市）は、コクヨ株式会社の特例子会社として「障害者が主役となって働ける場として農業が最適である」との判断から、2006年に設立した農業生産法人である。植物工場に置いて、無農薬栽培された水耕栽培されたサラダ、ほうれん草は、大手スーパーや百貨店、生協で販売される他、地産地消を推進する京都市内の高級ホテルやイタリア料理店にも出荷されている。ハートランドには、企業や福祉施設、マスコミ等の見学者が頻繁に訪れ、障害者雇用の新たなモデルケースとして注目を集めているが、その背景には、障害者雇用納付金制度の改正がある。2009（平成21）年4月より障害者雇用納付金制度の適用対象の範囲が拡大し、常用労働者数201人以上（従来は301人以上）の中小企業まで引き下げられた。この法改正により、雇用障害者数が法定雇用率（1.8%）を下回る場合、納付金を納めることが義務付けられるようになり、対象企業にとっては障害者雇用が新たな経営課題としてきた。コクヨの障害者雇用の歴史は古く、戦前に遡るが、植物工場を導入し、法定雇用率達成（1.9%超）ばかりでなく、障害を持つ人々と共に、社会が抱える農業や食の安全の問題を解決したいという、コクヨ及びハートランドの姿勢は大きな注目を浴びている。

2) 植物工場設置による余剰空間の活用

植物工場は、生産物が農産物でありながら、工場という特異性を持ち合わせ、工業団地や商店街の空き店舗にも設置が可能であるため、スペースの有効利用という観点からも有効である。立

命館大の研究グループが、大学の研究を地域活性化に生かそうと商店街に着目。ＪＲ草津駅前の空き店舗に有機栽培のイチゴの植物工場のショールームを設置し、栽培したイチゴを販売する構想を市産業振興部に提案した。草津市は人口の増加が著しく大型ショッピングモールの開業が相次ぐ一方、市中心部の５つの商店街は、約１割が空き店舗となっている。市は、不況で目立ちつつある空き店舗にイチゴを实らせ、商工会議所などと連携して“イチゴのまち草津”をブランド化に期待を寄せる

小松市中心商店街の空き店舗には、床面積１６平方メートル、高さ２メートル程度の植物工場を空き店舗内に設置され、大根やレタス、太キュウリなどの野菜、イチゴなどの果物を栽培。収穫した農産物は商店街の朝市などで販売している。この事業の運営は、まちづくり会社（ＴＭＯ）の、こまつ賑わいセンターが、各商店街振興組合などと組織する協議会が行う。商店街には、八百屋がなく、店主たちからも、無農薬の安心、安全な野菜類を栽培、販売するこの事業は、「究極の産地直送」と呼ばれている。

ＪＲ小松駅前の四商店街の店舗数は現在約８５店。この２５年程の間に３分の１まで減少してしまった。こまつ賑わいセンターは「植物工場は業態転換や雇用促進にもなる。商店街の新たな目玉とし、活性化のモデルケースにしたい」としている。

この他、高松市丸亀町商店街などでも、期間限定で植物工場が設置されるなど、街中で野菜作りをする取り組みが紹介され、市民の注目を集めた。

商店街空き店舗対策の他、空きビル、空き倉庫、空き工場など植物工場の設置で余剰空間を有効活用し、収益を上げることも可能である。

山梨通運（山梨県山梨市）は２０１０年４月、不況の影響で受注が減少し、使わなくなった倉庫を利用して、リーフレタスの栽培を始めた。幅６メートル、奥行き６０センチの栽培棚を５段重ね、蛍光灯の明かりで水耕栽培している。１日に６０株、１年間で約２万株以上を収穫でき、栽培能力は広さ１千平方メートルの畑に匹敵するという。現在は地元のホテルなどに納入している。

余剰倉庫を活用した事例は、未だ県内では見られないものの、太陽運輸（群馬県前橋市）が、社有地でキノコ栽培を開始している。栽培しているキノコは、タモギダケという品種で、珍しさも手伝って、市内の飲食店のほか、東京からの引き合いもある。太陽運輸は、キノコ以外にも、赤城山南面の契約農家と共同で野菜を東京市場に出荷しており、荷物の配送のみを受注するトラック運送業から、生産者として消費者に直接生産物を届け、「食」をキーワードに、川上から川下迄を担う新事業の展開を視野に入れている。

電気設備会社の「林田電機システム」は、自動制御盤の設計や据え付けなどを請け負っているが、その大半がトヨタ自動車関連である。平成２０年秋の「トヨタショック」以降、受注が激減したのを機に、農業分野への参入を決定し、敷地内に「２０フィート型海上コンテナ」を設置して、ハーブを栽培。イタリア料理店など３店に出荷し、生産が追い付かない状況という。

コンパクトな植物工場は、新事業展開を考える中小企業にとっても、1つの選択肢になる。この他、入居が決まらないテナントビルでの植物工場設置や、開発された俣、なかなか埋まらない工業団地への植物工場誘致も有効と考えられている。

電気・空調設備の徳寿工業（高松市）は、植物工場を今後の成長分野と位置づける。現在約6億円の農業関連設備の売上高を植物工場プラント建設などで3年以内に10億円にまで拡大したいとしている。

（3）更なる発展の可能性と解決すべき課題

植物工場には、国内に於ける拡大・普及に加え、日本の持つ技術を活かした新産業として、更なる発展の可能性も秘めている。しかし、同時に、多くの課題も残されており、これらの課題への対応が求められている。

① 輸出産業への発展の可能性

立地場所を選ばないので、商店街の空き店舗や遊休工場の有効利用方法の他、砂漠や寒冷地などでの農業システムとして注目されている。近年、中東・東南アジア地域で、生鮮野菜の需要が高まっており、水資源を有効活用できる完全人工型植物工場をプラントとして海外輸出することも想定される。又、中国においても生鮮野菜の需要が高まっており、現在、園芸施設が急速に普及していることから、太陽光利用型施設に関しても海外輸出が期待出来るだろう。実際、訪問したキーストーンテクノロジー社へは南極探検隊関係者の視察も訪れ、新鮮な野菜を摂取することが出来ない環境を改善するために、植物工場を船舶に積み込むことが検討されている。又、この他、中国を始め、諸外国からの問い合わせも多数入っているといい、植物工場自体を輸出する動きがでていく。

三菱化学は、植物工場のシステムをコンテナにパッケージ化した「コンテナ野菜工場」を開発し、販売を開始する。第1号機を、カタールに納入した。三菱化学の「コンテナ野菜工場」は、断熱仕様の断熱コンテナに、多棚式の水耕栽培システムを始め、水を循環濾過して再利用する水処理設備や空調設備、照明設備など、農作物の生産に必要な設備を完備している。1日当たりの収穫量は、レタスや小松菜などの葉物野菜で約50株。環境に配慮した、省エネ型の電源システムを三洋電池が提供しているが、今後は、太陽光発電のみで稼働する「コンテナ野菜工場」の開発も行っていく。

安全で新鮮な食糧確保を望む途上国からの需要増加も考えられ、国内での農産物生産施設の枠を超え、植物工場の輸出は一層拡大する可能性を秘めている。

(4) 植物工場が対応すべき課題

多くの可能性を秘めている植物工場であるが、普及・拡大していく前提として、対応していかなくてはならない課題は少なくない。

① 初期投資コストおよび運転コストの削減

植物工場の本格的な普及のため最大の課題は、初期投資コスト及び運転コストの削減である。植物工場は、温度や湿度を始め、様々な環境制御や搬送装置の導入など、施設依存度が非常に高い。加えて、設置後も電気代、栽培資材なども高額となる。コストの増加は、収益の低下、生産物の価格に反映されるため、コスト削減は最大の課題となっている。

1) 需要喚起と需要拡大～プロダクトアウトからマーケットインの発想へ

需要あつての植物工場ビジネスである。生産性は高いがコストも高いと言われている植物工場ゆえ、確かな需要に基づいた、安定的な販路の確保が事業化の重要なポイントである。

・植物工場に対する消費者意識への対応

平成21年に株式会社日本政策金融公庫が、植物工場に対する消費者の意識調査を行っている。これによれば、消費者の約7割が植物工場を知っている。しかし、通常の野菜と比較して、「見た目」、「安全」で優位に立つものの、「美味しさ」、「栄養面」で劣っているのではないかという意識を持っている。また、約6割の消費者が通常の野菜より安くなければ、植物工場の野菜を購入しないとしており、植物工場拡大には、野菜を低価格で提供出来るようにコストの削減に取り組むことが必要となる。その一方で、一般野菜との差別化のために、抗酸化力などの機能性が高い野菜を生産すること、つまり、植物工場ならではの付加価値のついた野菜を生産することで、価格以外の面で競争でき、収益性の高い農産物の生産も求められている。

・生産物のマーケティングの必要性

植物工場での生産や販売は、関連分野が多岐に亘るため、植物工場ビジネスに関する専門的な知識を持つ人材育成が必要とされる。特に、マーケティングのノウハウは必須であり、直接消費者に提供する以外に、どのような需要があるのか、潜在需要の掘り起こしも含め、中小企業診断士やコンサルタントなどを活用した幅広い支援が求められるだろう。

2) 栽培可能な植物の開発と品質認証制度

現在の植物工場での野菜の生産では、葉物野菜が中心であるが、栽培可能な植物の品目数を増加させる必要もある。花卉、果実など栽培品目が増えると、流通量も増加し、植物工場産の生産物の認知度向上に繋がるものと考えられる。又、将来的には、品質認証制度の確立も望まれている。高度な生産管理により、トレーサビリティも可能な植物工場産の野菜に対して、制度が確立出来れば、残留農薬に不安を抱え、安心・安全な野菜を求める消費者に大きくアピールすることも期待出来るであろう。

第4章 「植物工場の」の現状と課題

◆第4章のまとめ

1. 今なぜ「植物工場」が必要なのか

日本の農業の生産性は、他の先進国と比べて決して高いとは言えない。一方、オランダの施設生産の発展には目を見張るものがある。これらは栽培技術が経験と勘でなく、データと科学的理論に基づいているということである。オランダの農業は輸出産業であり、特に栽培施設は高度に発達した「植物工場」である。

群馬県農業の課題を解決するためには、生産性の高い儲かる農業を実現する必要があり、最も必要とされる課題解決策は「安定生産」であり、可能ならば「定量計画生産」である。更に消費者からの「安全・安心」の要求に応えるには、農薬を限りなく減らした栽培が必要であり、これからの日本農業の生産性向上を図る一方策として、水耕を中心とする「植物工場」への取り組みが期待される。

2. 「植物工場」の定義と種類

(1) 植物工場の定義

(2) 「植物工場」の種類

- ① 完全人工光型（完全制御型）植物工場：閉鎖環境下で、太陽光を使わず環境を制御して周年・計画生産を行う栽培施設。
- ② 太陽光・人工光併用型／太陽光利用型植物工場：温室等の半閉鎖環境で、太陽光の利用を基本として、雨天や曇天時の補光や夏季の高温制御技術等により、周年・計画生産を行う施設栽培。

(3) 在来農法と比較しての「植物工場」の利点、特徴

(4) 「植物工場」課題と今後の対応方向

3. 「植物工場」の経済性、生産性指標と経営収支の試算

(1) 経済性・生産性指標の定義

農業経営の経済性や生産性を示す指標として、耕作面積、農業従事者、投下資本の3つの観点より、土地生産性、労働生産性、資本生産性を定義する。

(2) 現状の水耕栽培と低コスト植物工場栽培の経済性・生産性の比較（経営収支の試算）

サラダ菜の周年栽培モデルでの経営収支の試算例を示す。

1. なぜ「植物工場」が必要なのか

日本の工業は実質的に明治時代から始って歴史は 100 年程度であるが、製品の品質や生産性で現在世界のトップを走っている。しかし日本の農業は 1000 年以上の歴史がありながら、日本の農業の生産性は、他の先進国と比べて決して高いとは言えない。

一方オランダの施設生産の発展には目を見張るものがある。単位面積当たりのトマトの果実収量は、この 30 年間で 3 倍に増加し、今も増加を続けている。そして生産性の向上だけでなく栽培や環境管理面やエネルギー管理面などで、次々と新しい成果が生まれている。又、持続的で環境に優しく、無農薬栽培に最も近いと言われるものになっている。これらは栽培技術が経験と勘でなく、データと科学的理論に基づいているということである。オランダの農業は輸出産業であり、特に栽培施設は高度に発達した「植物工場」である。そこでは、コンピューターを駆使して安定、定量生産と収量増加を常に追求してきた。そして生産性が極めて高いオランダの施設園芸は、土から離れた養液栽培である。これは機械化、省力化が容易な水耕栽培のデータを蓄積し、科学的理論に立った栽培技術確立した結果である。

これらに対して、日本の農業は天候に左右され易い露地栽培や、ビニールハウス等、簡易施設栽培が中心で、豊作、不作を繰り返しており、生産性の向上がなかなか図られない。又、日本の農業はこれまで長く“土づくり”に重点を置いてきた。又、日本の農業生産者も消費者も自然の中で土耕での有機栽培で生産した農産物は、栄養価が高く、味も美味しいという固定概念が定着している。その為、土づくりや除草作業等高齢者には重労働な作業が増え、生産性が上がっていない。又近年、土耕での露地栽培においても大規模化や法人化による生産性の向上も図られているが、農産物出荷額の低下や耕作放棄地の増加に歯止めが掛かっていない

日本の農業及び群馬県農業の課題を解決するためには、生産性の高い儲かる農業を実現する必要がある、作物生産をビジネスとして考えるなら最も必要とされる課題解決策は「安定生産」であり、可能ならば「定量計画生産」である。日本のように夏季の高温や、冬季の低温など作物栽培に不都合な気象条件がある上に、台風や長雨、降雪など気象災害がかなりの頻度で起こりうる。このような場合「安定生産」を実現するためには、気象変化の影響を受けにくい環境下での栽培が必要になる。

さらにビジネスとして作物生産するには、従来の気温のみ強く意識したいわゆる“温室”ではなく植物の生産環境として必要な湿度や光強度、二酸化炭素（CO₂）濃度、風速などを管理した高い生産性を実現出来る栽培施設（＝「植物工場」）が求められる。これを実現したオランダの施設トマト栽培では、1970 年代は 10 アール当たり 20 トンであった年間収量を 2008 年には 100 トンを超えるまでに短期間で高めることが出来た。このように極めて短期間に数倍という収量増加を実現するには、日本で行われてきた土耕を中心とした在来農法では不可能で、サイエンスに基づいた新しい考え方が必要になる。又、別の観点から見ると日本では農業分野

の高齢化や就農者の減少が急速に進んでいるため、栽培のシステムや軽労働化のための自動化、搬送システムの導入などを早急に進める必要がある。さらに消費者からの「安全・安心」の要求に応えるには、農薬を限りなく減らした栽培が必要で、こうした意味からも「植物工場」は期待される。従って本調査研究事業では、生産性が極めて高いオランダの養液栽培を基本とする「植物工場」を調査研究し、これからの群馬県の新しい農法として、又新産業として捉えて普及・拡大して行く事を提言する。

2. 「植物工場」の定義と種類

(1) 植物工場の定義

施設内で植物の生産環境（光、温度、湿度、CO₂濃度、養分、水分等）を制御して栽培を行う施設園芸の内、環境及び生育のモニタリングを基礎として、高度な環境制御と育成予測を行うことにより、野菜等の植物の周年・計画生産が可能な栽培施設。

(2) 「植物工場」の種類

前述の「植物工場」の定義に適合する「植物工場」としては下記の2種類がある。

- ① 完全人工光型（完全制御型）植物工場：閉鎖環境下で、太陽光を使わず環境を制御して周年・計画生産を行う栽培施設。
- ② 太陽光・人工光併用型／太陽光利用型植物工場：温室等の半閉鎖環境で、太陽光の利用を基本として、雨天や曇天時の補光や夏季の高温制御技術等により、周年・計画生産を行う施設栽培。

現在日本国内で稼働している「植物工場」は50施設あり、内完全人工光型は34施設、太陽光併用型は16施設である。これら50施設の一覧表及び事例集は平成21年11月に農林水産省と経済産業省連携の調査報告書として「植物工場の事例集」が発行されており、又、一覧表とアンケート調査結果並びに首都圏及び北関東周辺での「植物工場」の事例10例を巻末に掲載したので参照されたい。

(3) 在来農法と比較しての「植物工場」の利点、特徴

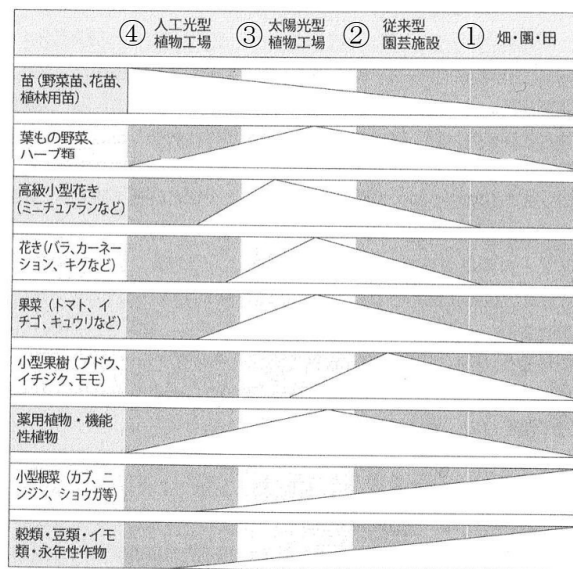
生産技術	・養液栽培で作物生産を行うために、軽労働が中心となる。 ・土を用いないために、連作障害を回避出来る。 ・多段栽培やベンチ移動、植物体移動栽培が可能。 ・地上部・地下部の環境制御をすることで、生育や品質を調整出来る。 ・環境と作物生育のモニタリング、生育予測などに基づいて計画的・安定的に生産出来る。 ・肥料や水分の高い利用効率を実現でき、農薬の使用量をかなり低減出来る。 ・栄養成分や機能成分を強化作物質出来る。 ・栽培施設内は清潔で、快適環境を形成出来る。 ・環境負荷をなくした持続的農業生産が出来る。
販 売	・年間を通じて、また台風等の気象災害時にも安定生産が可能で、更に生産量や出荷量のある程度正確に把握・調節出来るので、有利な販売を実現出来る。 ・加工用・業務用として、歩留まりが高く、廃棄物の少ない生産を実現出来る。 ・虫や異物の混入が少ないので、洗浄や調整作業を省け、コストの縮減が可能
立地・建築	・立地場所を選ばず、非農地、栽培不適地での農業生産が可能 ・空き店舗、空きオフィス、空き工場、空き倉庫などへの設置も可能（完全人工光型） ・多段化による高度な空間利用（完全人工光型）

植物生産システムとして在来農法である開放型システムの①露地栽培（畑、田、園、山地）、半閉鎖型システムとしての②従来型施設園芸栽培（トンネル、ハウス、温室等）および③太陽光型植物工場（太陽光利用型、太陽光・人工光費用併用型等）と閉鎖型システムとしての④人工光型植物工場に大別される。

システムの閉鎖の程度と環境制御の精度は①、②、③、④の順で高くなる。他方、①の生態系としての複雑さの程度を1,000とすると②、③、④の植物生産システムの複雑さの程度はそれぞれ100、10、1程度である。上記4タイプの植物生産システムのそれぞれに適すると考えられる植物の種類及び生産特性をそれぞれ図表4-1、図表4-2に示した。

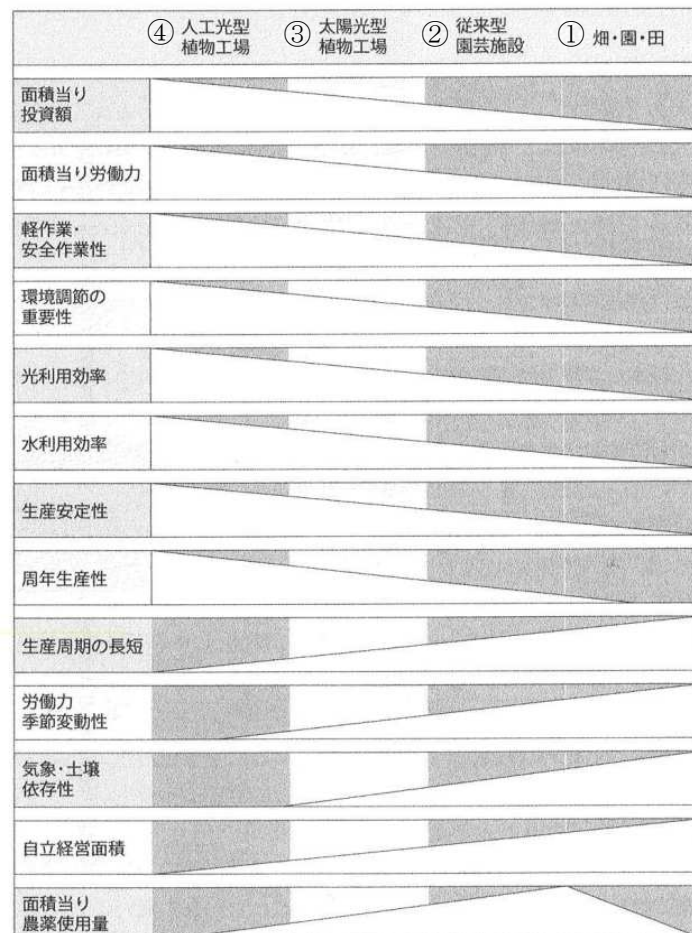
今後十数年は③の太陽光型植物工場で生産される植物の種類と量が増大すると予想される。又、今後LEDや有機EL等の研究開発が進み、より省エネで、安価なものが入手出来るようになると、④の人工光型植物工場で生産される植物も採算ラインに載り、急速な普及が考えられる。

図表 4-1 植物生産システムの種類とそれぞれに適した植物の種類



注）各三角形の高さは、筆者の直観的な概略推測値（2020年頃）。

図表 4-2 植物生産システムの種類とその生産特性



注）各三角形の高さは、筆者の直観的な概略推測値（2020年頃）。

(4)「植物工場」課題と今後の対応方向

3の(3)で述べた様に在来農法と比較して「植物工場」の利点を記述したが、まだビジネスとして自立しているものは少なく課題を多く抱えているのが現状である。下表に現状の「植物工場」が抱えている課題と今後の対応方向をまとめた。

生産技術	・生産コストの縮減（生産性の更なる向上、施設の設置コスト、運営コストの縮減） ・経済栽培可能な品目の拡大（特に完全人工光型）※現在、植物工場の取り扱い作物は、比較的栽培が容易で収量が安定なレタス等の葉菜類が多いが、低価格化や需給変動に対応するためにも果菜類や根菜類等の他品目栽培ノウハウの獲得が必要。 ・更なる品質の向上・安定化。
人 材	・経営面、技術面で植物工場の運営を担う人材の育成・確保 ※消費者ニーズに合った農産物を安定的に生産するためにはマーケティング・施設管理・人材管理等の経営面の資質に加え、農産物栽培技術に精通した人材の育成が必要。
販 売	・安定的な販売先、単価の確保 ・消費者イメージの向上 ※植物工場で生産された農産物の特徴を販売先・消費者に分かり易く伝え、購買行動に結びつけるためには栄養成分や機能性成分を分析し、植物工場農産物の高めていくことが必要。
立地・建築	・植物工場は日本標準産業分類上においては「農業」と定義されるが、農地を使わずに農産物を生産する事が可能な「農業」であるため一般に「農業」であるとの理解が定着しておらず、一般的な農業者（農業生産法人含む）向けの支援制度が受けられないケースがある。又、「農業」を行う「工業」あること（特に完全人工光型）から自治体が企業誘致や建築確認にあたって対応に迷う場合がある。

3. 「植物工場」の経済性、生産性指標と経営収支の試算

日本の農業の生産性は、他の先進国と比べて決して高いとは言えない。他国を例にとれば、オランダの施設の発展には目を見張るものがある。単位面積当たりのトマトの果実収量は、この30年間で3倍にも増加し、今なお増加を続け、栽培や環境管理、エネルギー管理などに次々と新しい成果が生まれている。日本においても、栽培技術が経験と勘ではなく、データと科学的理論に基づく管理方法を構築しなければならない。

(1) 経済性・生産性指標の定義

様々な問題点や課題を抱えている現在の農業において、経済性・生産性の向上は極めて重要である。農業ビジネスの収益性を高めるためには、目標を高く掲げ、生産性を高める必要があり、そのための農業経営の経済性や生産性を示す指標として、耕作面積、農業従事者、投下資本の3つの観点より、土地生産性、労働生産性、資本生産性として以下のとおり定義する。①

土地生産性： 土地生産性は、収量あるいは収入をそれに要した土地面積で割って求める。

$$\text{土地生産性} = \text{収量} \cdot \text{収入} \div \text{土地面積}$$

これを向上させるには収量、または収入を増加させるか、土地面積を減らすことである。土地生産性の向上に有効な手段として、以下の方法が考えられる。

- i) 面積当たりの植物体数増加、ii) 年間の植え付け回数増加、iii) 収穫期間の延長
- iv) 立地的栽培、v) 施設の高度利用

② 労働生産性： 労働生産性は、収量あるいは収入をそれに要した労働時間で割って求める。

$$\text{労働生産性} = \text{収量} \cdot \text{収入} \div \text{労働時間}$$

これを向上させるには、収量あるいは収入を増加させるか、労働時間を減らす必要がある。労働生産性の向上に有効な手段として、以下の方法が考えられる。

- i) システム化・自動化、ii) 分業化（作業の外部委託）、iii) 労働環境改善と労働負荷の軽減

③ 資本生産性： 資本生産性は、収量あるいは収入をそれに要した投資資本で割って求める。

$$\text{資本生産性} = \text{収量} \cdot \text{収入} \div \text{資本}$$

これを向上させるには、収量あるいは収入を増加させるか、投資資本を減らす必要がある。資本生産性の向上に有効な手段として、以下の方法が考えられる。

- i) 低コスト施設の導入、ii) 資本の効率的利用、

(2) 現状の水耕栽培と低コスト植物工場栽培の経済性・生産性の比較

既存の植物工場では、高い収量性や大型施設を利用した省力・自動化を導入する必要があるが、これらは初期設置コストが高く、減価償却費が大きくなる問題がある。低コスト植物工場を目指す場合には、設置コストとランニングコストを低減出来る技術を導入することが基本となる。栽培施設の低コスト化には、超低コストハウスが市販されている。環境制御システムで

は、高機能低コスト化のために、汎用性・互換性の高い自律分散型のユビキタス環境制御システム（UECS）があり、今後、複数のメーカーから市販され、低コスト化が進むことが期待される。ランニングコストは、燃油価格や肥料代が上昇しており、ヒートポンプの利用が期待されている。一方、収入を増加させるには、収量増加が必要であり、作物の状態を考慮した複合環境制御システムにより、上物収量割合の増加と収量安定が期待出来る。

① 試算の方法

現状の水耕栽培の試算では、生産者の家族に少数のパート雇用者で経営する栽培面積 40a の養液栽培について算出した。低コスト植物工場モデルの経営試算では、現状と同様に、家族とパート雇用の経営形態を基本として、栽培施設面積を 1 ヘクタール（100 a）にした場合を想定して試算した。各作物の植物工場モデルの目標収量については、最新生産施設・装置を導入したとして、安定して達成できそうな収量レベルを提示したものである。販売単価については、高い契約販売ではなく市場出荷を想定した価格設定とし、植物工場モデルでは、単価を少し下げて算出し、出荷経費は、出荷先・方法によって大きく異なるため、販売価格×収量の約 2 割に設定した。

② 経営収支の試算例

サラダ菜の周年栽培モデルでの経営収支の試算例を図表 4-3 に示す。目標収量を 32t/10a とした。販売単価については、販売方法や品質によって大きな違いがあり、1kg 当たり 400 円前半から 750 円で販売される。ここでは 490 円で試算した。年間の作付け回数も品種や目標株重で変わってくる。販売先では 1 株 150g くらいの大きな株のニーズが高い。作付け回数は年間 10～12 回で、種苗コストが多くかかる。水槽にパネルを浮かべて、生育に応じて移動させる方式では、栽培株数の増加と作業位置の合理化が図られる。光熱費は高くなっているが、これには培養液の加温・冷却が含まれている。

サラダ菜の周年栽培の経営費を見ると、収益性向上のためには、減価償却費を低減すると共に、労務管理を合理化して、雇用労力を減らす工夫が必要である。

収益を増やすために販売額を上げるのは、中々困難なため、生産にかかる費用を減らすことが重要な課題となる。農業ビジネスにも通常のビジネスと同様に初期投資（コスト）とランニングコストがかかる。初期投資には設備や土地など農業に必要なインフラを用意するコストがあり、ランニングコストには施設内の電気代や水、肥料代など栽培にかかるコストの他、輸送や販売に掛かるコストなどもある。低コスト植物工場の経営には、①生産物のロス削減、②品質管理と工程管理、③作業記録（トレーサビリティ対応）、④工程管理で無駄の削減などが重要である。

図表 1-3 現状及び低コスト植物工場の経営収支の試算（サラダナの周年栽培モデルでの試算例）

	現状	(説明)	植物工場(目標)	(説明)	
経営概要	施設面積(a)	40	NFT 栽培(年 11 回)	100	NFT 栽培(年 11 回)
収入	販売単価(円/kg)	495		490	
	収穫量(kg/10a)	26,000		32,000	
	収入計(円/10a)	12,870,000		15,680,000	
支出	自家労賃(円/10a) (年間労働時間)	936,000 (780 時間/10a)	時給 1200 円	468,000 (390 時間/10a)	時給 1200 円
	雇用労賃(円/10a) (年間労働時間)	2,600,000 (3250 時間/10a) 時給 800 円	21.5% 5 時間×5 日×52 週×10 人(40a)	2,392,000 (2990 時間/10a) 時給 800 円	18.6% 5 時間×5 日×52 週×23 人(1ha)
	種苗	750,000		900,000	
	肥料	230,000		280,000	
	薬剤	80,000		70,000	
	諸資材	1,200,000		1,250,000	
	光熱動力費	900,000		880,000	
	農機具	450,000		420,000	
	施設減価償却	2,350,000		3,021,429	
	修繕費	300,000		30,000	
	賃借料、その他	0		0	
	出荷経費	2,574,000		3,136,000	
	支出計(円/10a)	12,100,000	100.0%	12,847,429	100.0%
純利益	(円/10a)	770,000		2,832,571	
	収穫量当たりの生産コスト(円/kg)	465		401	
	事業収益(万円)	308		2,833	
	事業収益(万円) (含む自家労賃)	682		3,301	
	利益率(%)	6.0%		18.1%	
	利益率(%) (含む自家労賃)	13.3%		21.0%	

施設の減価償却計算表

現状	価格(万円/10a)	耐用年数	減価償却(万円/年)
ハウス、付帯設備、環境 制御装置	1,750	14	125
養液栽培装置	550	7	79
暖房設備	220	7	31
計	2,520		235

植物工場目標	価格(万円/10a)	耐用年数	減価償却(万円/年)
ハウス(自動カーテン、環境 制御装置)	2,150	14	154
循環扇(湿度調節付)	80	7	11
ヒートポンプ	260	7	37
養液栽培装置	480	7	69
培養液殺菌装置	35	7	5
計	3,065		302

第5章 群馬県農業の課題解決策としての

「セル型完全制御方式植物育成システム」の可能性

◆第5章のまとめ

1. セル型完全制御方式植物育成システムの概要

セル BOX と、それを3段重ねた移動式のセル台車、そしてセル台車を多数並べたセル完全制御方式植物工場の鳥瞰構想図及び適用事例を示す。

2. セル型完全制御方式植物育成システムのコンセプトと実現具体策

セル型完全制御方式植物育成システムのコンセプト及び具体的実現策を、前章の3で示し現状の「植物工場」の課題の解決策として提示する。

- (1) 「生産技術面での課題」 解決具体策
- (2) 「人材面での課題」 解決具体策
- (3) 「販売面での課題」 解決具体策
- (4) 「立地・建築面での課題」 解決具体策

3. セル型完全制御方式植物育成システムの詳細

本節ではセル BOX の構造や、応用編の本システムでの営農モデル、加工作業&計測モデル、流通・販売モデルを図解で示す。

- (1) セル BOX の構造
- (2) 本システムでの営農モデル
- (3) 作業&計測セル及び加工セルモデル
- (4) 流通・販売モデル

4. 本システム適用した営農モデルでの経営収支の試算例

セルBOX300台（＝栽培面積10a）を夫婦2人で営農するサラダ菜の周年栽培での試算例を提示する。

「セル型完全制御方式植物育成システム」は、筆者が考案したシステムで、第4章の3で記述したタイプ④の完全閉鎖型システムの人工光型植物工場の1種である。

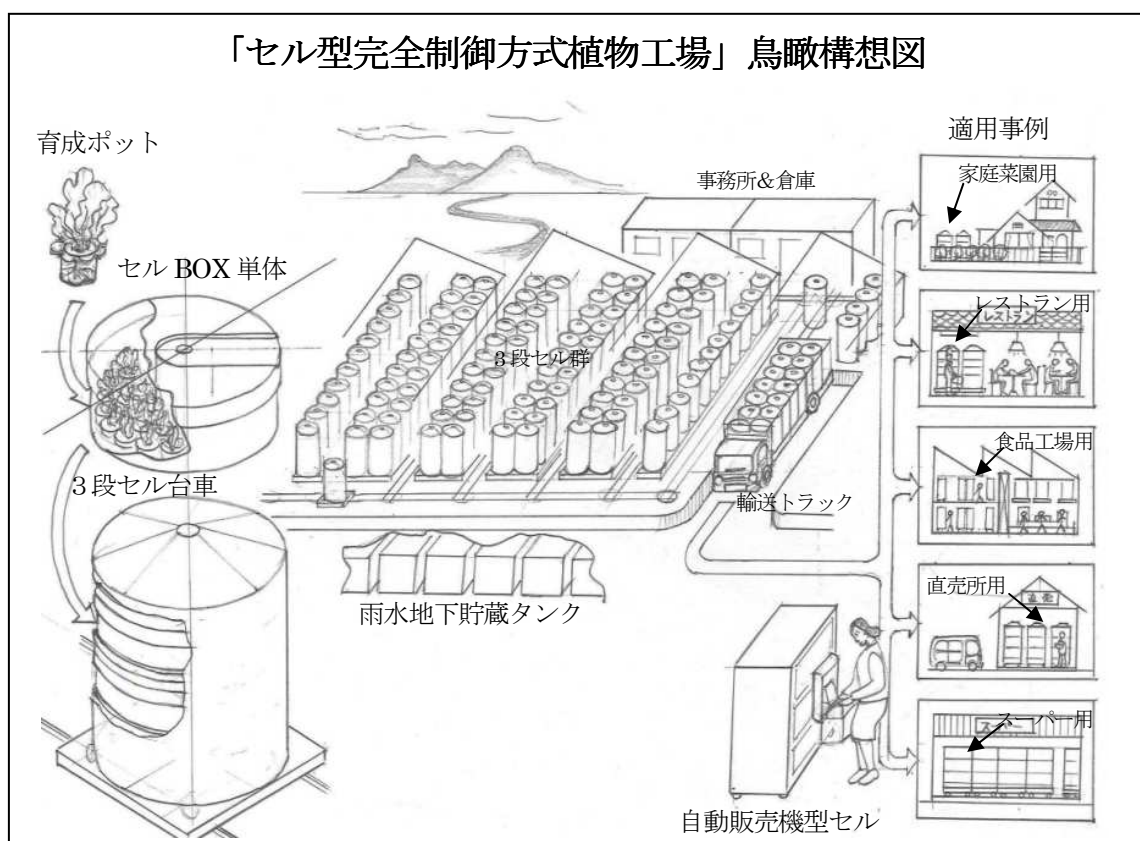
以下、本章では、本システムの概要、及びコンセプトや仕組み・構造の詳細を説明し、本システムを適用した営農モデルでの経営収支の試算結果を示して、本システムが群馬県農業の課題解決の一方策となる可能性を証明する。

1. セル型完全制御方式植物育成システムの概要

図表 5-1 に「セル型完全制御方式植物育成システム」の最小育成単位の育成ポット、その育成ポットを 75～100 箇所を収納・育成するセル BOX と、それを 3 段重ねた移動式のセル台車、そしてセル台車を多数並べたセル型完全制御方式植物工場の鳥瞰構想図を示す。又セル型育成システムの適用可能な事例として、家庭菜園用、レストラン用、食品加工用、直売所用、スーパー＆コンビニ用の構想を図示した。

本システムの基本コンセプトは、必要な時に、必要な物を、必要なだけ栽培し、販売する省エネ、省資源の持続可能な農業の展開である。従って、今回提案する植物工場は、大規模で、莫大な初期投資とランニングコストがかかる既存の完全人工光植物工場ではなく、栽培面積 3.3 m²のセル型の完全人工光植物工場で、1 セルが 20 万円以下のものである。従って必要に応じてステップバイステップでの投資が可能、又ランニングコストも制御が必要なエリアを最小にすることにより、大規模な温室全体を制御する既存の植物工場に比べ桁小さくなる。

図表 5-1 「セル型完全制御方式植物工場鳥瞰構想図



2. セル型完全制御方式植物育成システムのコンセプトと実現具体策

セル型完全制御方式植物育成システムのコンセプト及び具体的実現策を、前章の3で示した現状の「植物工場」の課題の解決策として、以下提示する。

- (1) 現状の「植物工場」の「生産技術面での課題」として、施設の初期コストやランニングコストが、露地栽培やハウス栽培に比べて高く、経済採算性にのる作物が少ないという点である。この解決策として下記の具体策を提言する。

生産技術面の課題	具体的課題解決策
施設コストの最小化 (初期コスト)	1セル BOX (=3.3m ²) の施設初期コストを家庭用の大型冷蔵庫並みの1台 20万円のセル BOX を開発する。
省エネ・省資源化によりランニングコストの最小化	自律分散の完全循環方式のセルにより1セル BOX での生産額の3分の1のランニングコストを実現する。
品質の向上、安全・安心、安定、及び効率生産化	完全閉鎖型の全自動最適制御方式の生産システム（オールインワン型）を開発し、完全無農薬栽培を実現する。

- (2) 次に「人材面での課題」は、やはり農業生産者の高齢化による生産者の減少及び、耕地の放棄や有休化であり、本提案では下記の具体策を提示する。

人材面の課題	具体的課題解決策
高齢者でも出来る農業生産方式	1セル BOX でも採算のとれる低コスト全自動方式のセルを開発する。
いつでも、どこでも、何でも出来る農業生産方式	セル BOX は小型・軽量なので、台車に乗せて移動可能従ってセル BOX を使用すれば、農産物がいつでも、どこでも、何でも出来るようになる。

- (3) 「販売面での課題」は、生産者の顔が見え、生産の来歴や産地がはっきり見える事、又無農薬や金属片、髪の毛の混入防止し、安全・安心をさらに高めることであり、本提案では下記具体策を提示する。

販売面の課題	具体的課題解決策
農産物のトレーサビリティの更なる向上	RFIDや2次元バーコード付きの個別ポットによる販売単位での育成、流通、販売を実現し、トレーサビリティの更なる向上を図る。

流通コストの最小化	個別ポットによる育成、流通、販売で野菜の洗浄／仕分／袋詰め等の出荷作業が省略でき、又、袋や段ボール箱等の資材が不要になり、流通コストの削減が図れる。
新鮮さの維持	販売の直前まで農産物を育成しているので消費者はいつでも採れたてを摂取出来る。

(4)「立地・建築面での課題」は、植物工場の施設は構築物として税金や建築確認等が必要になることで、本提案では下記の具体策を提示する。

立地・建築面での課題	具体的課題解決策
建築物とならない、又建築確認が不要な植物工場	セル BOX は小型・軽量で移動式なので、構造物でなくトラクターや自動車のように設備扱いになる。当然建築確認は不要になる。
いつでも、どこでも、何でも出来る。	本セル BOX は農地はもちろん山林の中でも、又駐車場やビルの中、家庭菜園でも規模に合わせて導入可能。

・本生産方式は農業試験場等での実験や研究開発に使用するセル BOX と生産者が農産物を栽培（量産）する時のそれと同じものを使用し、その生産規模に合わせてセル数を増加させていけば、量産化がスムーズになる。又新品種の農産物の開発から農家で量産、市場に出荷する迄のリードタイムが短縮出来る等のメリットが見込まれる。

・「植物工場」は、世界のトップクラスの品質や生産性を誇る、日本の工業の生産管理や経営管理ノウハウを、農業に注入し、日本の農業の生産性、及び品質を世界のトップクラスに持ち上げて、自給率の向上、国際競争力の向上を図るものである。特に今回、本章で提案する自立分散の「セル型完全制御方式植物育成システム」は、極力無駄を省き、必要な時に、必要なものを、必要なだけ生産する、トヨタ生産方式の一つであるセル生産やJIT生産の管理ノウハウを農業の生産システムに適用を試みたものである。そして本システムを、オール群馬で試作・開発し、群馬県内に適用拡大を図る事により、群馬県農業の課題解決を図るものであり、本章では、以下、その可能性を証明する。

3. セル型完全制御方式植物育成システムの詳細

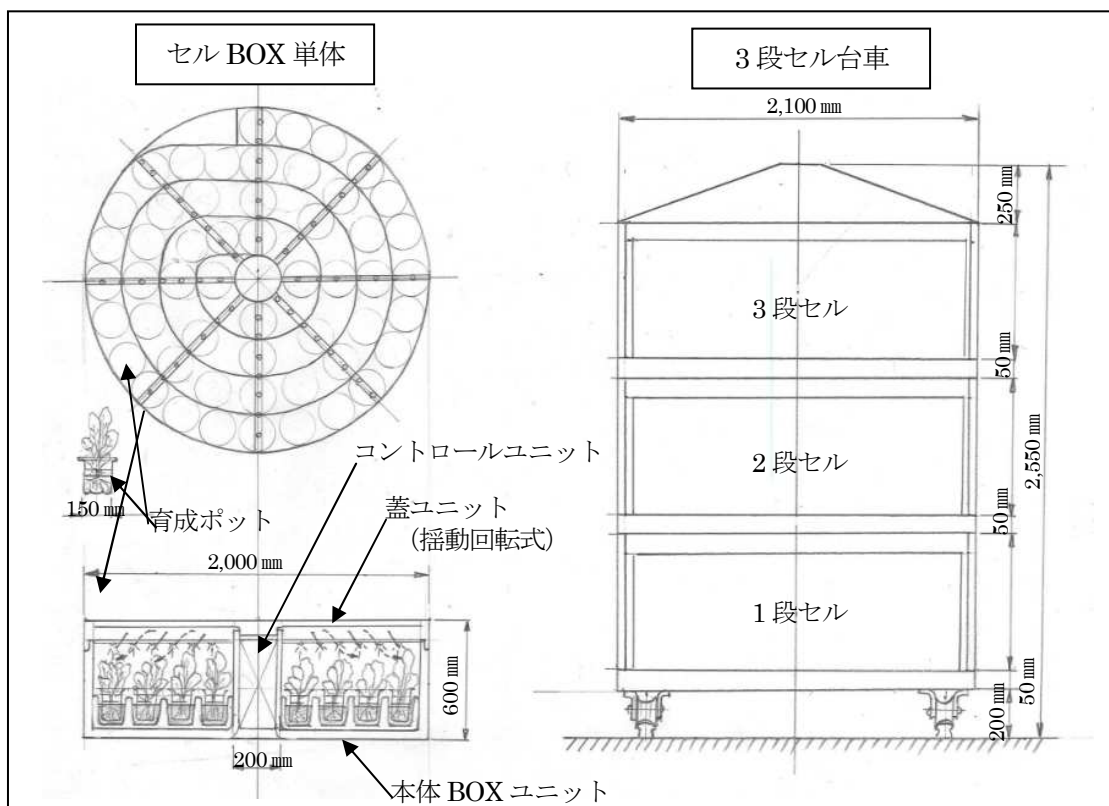
1 節のセル型完全制御方式植物育成システムの概要のところ、セル型完全制御方式植物工場の鳥瞰図を示したが、本節ではセル BOX の構造や、応用編の本システムでの営農モデル、加工作業&計測モデル、流通・販売モデルを図解で示す。

(1) セル BOX の構造

図表 5-2 に示すように、最小単位のセル BOX の平面積は丁度 3.3 平方メートル (= 1 坪) で、それを 3 段重ねて台車に搭載したものがセル台車であり、本セル台車の合計栽培面積は 10 平方メートルである。本事例のセル BOX は直径約 2 メータ、高さ 0.6 メータのものを示した。従ってそのセルを 3 段重ねたセル台車の高さは 2.5 メータである。

セル BOX の構造は、①本体 BOX ユニットと②揺動回転する蓋ユニット、そしてセル BOX 全体を制御する③コントロールユニットからなる。①の本体 BOX は、液肥浴槽を持ち、その中に直径 10~15 センチメートルの栽培ポットを約 100 個~75 個収納し、同時育成することが出来る。②の蓋ユニットは、本体 BOX に対し揺動回転し、照明器具や風を送り込むファン、そして各種センサーを内蔵する。③のコントロールユニットは、本体 BOX の中央に位置し、直径 20 センチメートル、高さ 50 センチメートルの円筒状セル内に、ヒートポンプ、液肥タンク、水タンク、CO₂ ポンベそして温度、湿度、CO₂ 濃度、光強度、液肥濃度、風等を制御するオールインタイプのコントローラを内蔵する。従ってセル BOX は、定期的に水、液肥、CO₂ ポンベを供給し、100 ボルトの電源に繋ぐだけで、24 時間 365 日稼働が可能なシステムである。

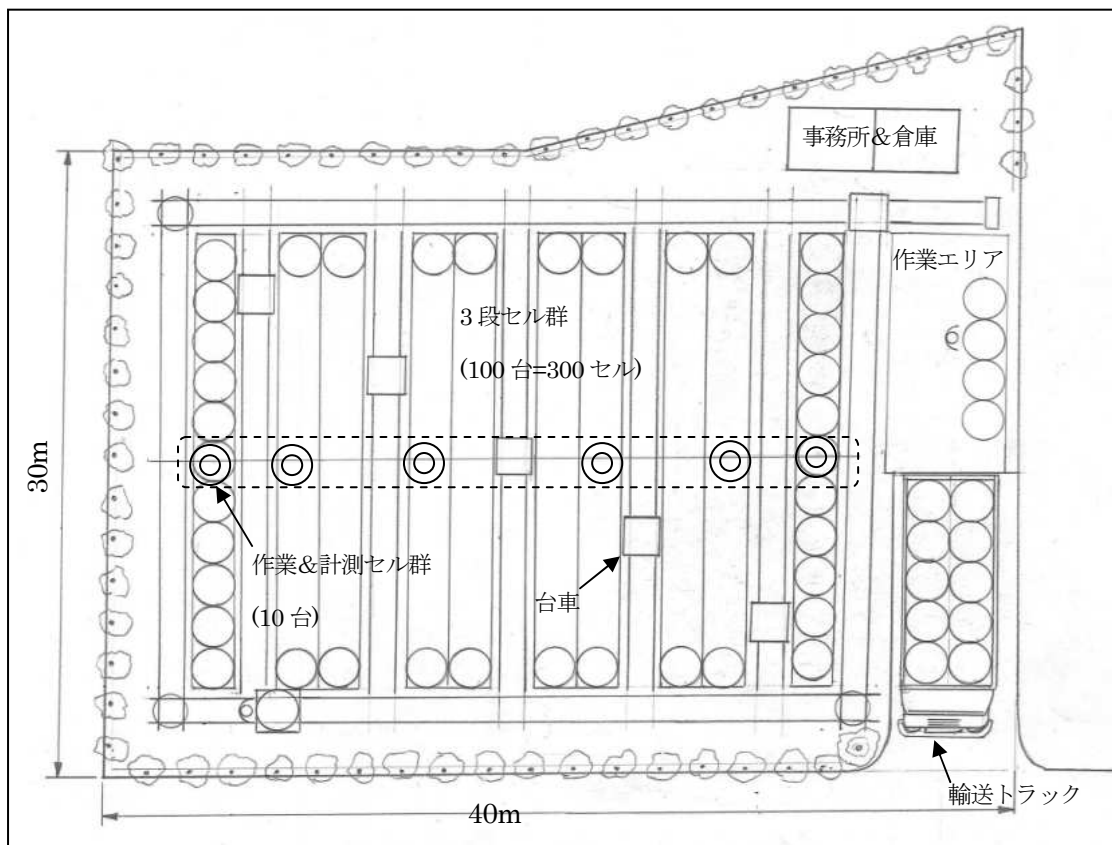
図表 5-2 セル BOX 構造図



(2) 本システムでの営農モデル

図表 5-3 は、前記したセル型完全制御方式植物工場の鳥瞰図を平面図で描いたものである。本図に示す 14 アールの農地は、筆者が親から引き継いだ農地で、現在耕作放棄地となっている農地を想定したもので、そこにセル型完全制御方式植物工場を建設し、操業した場合の営農モデルを示したものである。14 アールの農地内にセル台車 100 台 (=300 セル BOX) の他、作業場、トラックヤード、倉庫、管理棟を配置している。300 セル BOX の合計栽培面積は 10 アールになる。本営農モデルでの経営シミュレーション結果は、本章の 4 節に記述したので、参照のこと。

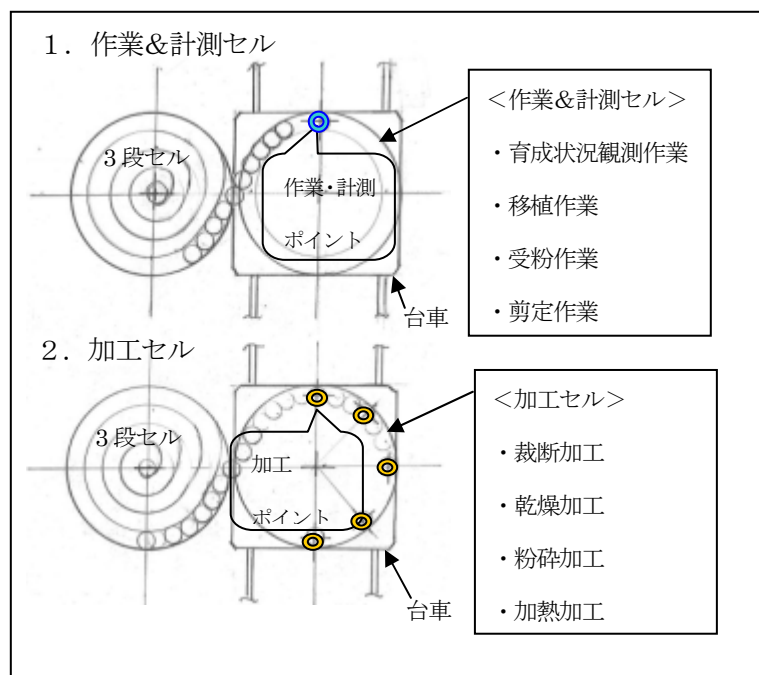
図表 5-3 セル型完全制御方式植物工場平面図



(3) 作業&計測セル及び加工セルモデル

図表 5-4 に作業&計測セルと加工セルの平面図と機能を示す。作業&計測セルは定期的にセル BOX が設置してある場所へ移動し、作業&計測対象のセル BOX とドッキングして栽培ポット毎に作業・計測する。又加工セルは作業場に設置し、セル台車に搭載されたセル BOX を台車毎移動して加工セルにドッキングして、栽培ポットで育成した作物を加工する。

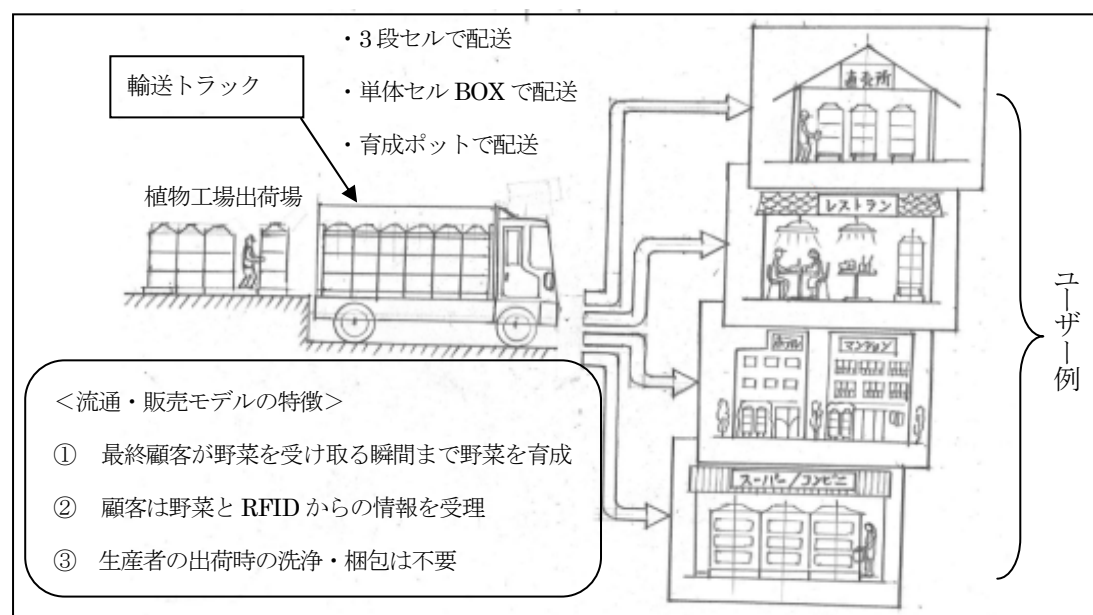
図表 5-4 作業&計測セルおよび加工セルモデル図



(4) 流通・販売モデル

図表 5-5 は、本システムでの流通・販売モデルを示す。図は農場のトラックヤードからセル型完全制御方式植物育成システムで栽培した作物を出荷しているところと、流通・販売先での形態を表したものである。トラックでの作物の輸送は、栽培ポット毎やセル BOX 毎、又セル台車毎で、販売先の要求に応じて実施する。

図表 5-5 流通・販売モデル図



4. 本システムを適用した営農モデルでの経営収支の試算例

図表 5-6 は、本章 3 節の (2) で示したセル型完全制御方式植物育成システムの営農モデルでの経営シミュレーション結果を示したものである。対象農産物はサラダ菜の周年栽培で、販売単価は、従来農法での平均単価 490 円/Kg、収穫回数は従来農法での約倍の 24 回/年に設定した。栽培面積は 10a でセル BOX 300 台分。支出の面では本営農モデルでは、夫婦 2 人での運営を前提としているので、労務費は、自家労賃のみを計上している。本システムは完全閉鎖型の全自動システムなので、防虫のための農薬散布や雑草取り作業を不要、又育成ポットやセル BOX 毎の出荷なので、収穫・選別・洗浄・梱包等の出荷作業も必要がないので、従来の農法と比較して、労務費の割合が小さい。したがって、本システムでは、高齢の夫婦 2 人で十分営農可能である。セル BOX の目標単価は育成ポット 100 個分含んで、20 万円/セルに設定。これを 300 セル (=栽培面積 10a) を一度に準備し、その他インフラ費用を含めると、初期投資は 8,000 万円必要となるが、セルはレンタル使用も可能、又分割投資で、少しずつ増やしていく事も出来る。

本営農モデルでの経営収支の試算では、収入合計は 35,280,000 円、支出合計は 28,850,000 円、そして純利益は 6,430,000 円となり、第 4 章の 4 節 (2) で試算した、現状の水耕栽培と低コスト植物工場栽培 (サラダ菜の周年栽培モデル) の経営収支の試算例でのそれぞれの純利益計は、770,000 円と 2,882,571 円と比較しても、十分採算性あるという試算結果になった。

従って次章の第 6 章では、「本システム」をこれからの新農法として開発・普及・定着させていくために、①今回提案した「本システム」の試作・開発、②「本システム」で栽培するのに適した品種の開発&改良、③生産性の向上を図るプロセスの改善・開発、④「本システム」をハード面、ソフト面から支える人材の教育・育成、⑤「本システム」で栽培した植物のブランド化や流通・販売方法の開拓、⑥農業経営手法に工場管理手法を導入し、計画生産、コスト管理を浸透させ、儲かる農業、持続可能な農業の確立等を、オール群馬で推進する事を提言する。具体的には、群馬県版 SHP を設立し、推進する事を提言する。

図表 5-6 セル型完全制御方式植物育成システムの営農モデルでの経営収支の試算例

分 類	収支・費用 項目	費 用 (他)	備 考
経営概要	施設面積 (a)	(10)	・ N T F 栽培で年 24 回収穫
収 入	販売単価 (円/10a・年)	490	・ 49 円/100 g
	収穫量 (kg/10a・年)	72,000	・ 100p/セル×100g/p×24 回/年×300 セル
	収入計 (円/10a・年)	35,280,000	・ 100p/セル×49 円/p×24 回/年×300 セル
支 出	自家労賃 (円/10a・年)	5,000,000	・ 1,200 円/hr×8hr×52 週×2 人 (夫婦)
	雇用労賃 (円/10a・年)	0	
	種苗費 (円/10a・年)	900,000	
	肥料費 (円/10a・年)	3,600,000	・ 1,000 円/セル×12 カ月/年×300 セル
	薬剤費 (円/10a・年)	0	
	諸資材費 (円/10a・年)	1,250,000	
	光熱動力費 (円/10a・年)	6,300,000	・ 21,000 円/セル×300 セル
	農機具費 (円/10a・年)	0	
	減価償却費 (円/10a・年)	8,000,000	
	修繕費 (円/10a・年)	600,000	・ 図表○の施設減価償却計算表を参照
	賃借料 (円/10a・年)	0	
	出荷経費 (円/10a・年)	3,200,000	
	支出計 (円/10a・年)	28,850,000	
純利益	純利益計 (円/10a・年)	6,430,000	
	生産コスト (円/10a)	400	
	事業収益① (円)	6,430,000	・ 自家労賃含まない
	事業収益② (円)	11,430,000	・ 自家労賃含む
	利益率① (%)	(18.2)	・ 自家労賃含まない
	利益率② (%)	(32.4)	・ 自家労賃含む

・ 施設の原価償却計算表

分 類	対象設備	費 用	備 考
施設費	セル購入費 (円/10a)	60,000,000	・ 200,000 円/セル×300 セル
	インフラ費 (円/10a)	20,000,000	・ 棚、レーン、電気設備、水セ t 設備他
	施設費計 (円/10a・年)	80,000,000	
償却費	償却費計 (円/10a・年)	8,000,000	・ 10 年定額償却

第6章 本システムを新産業として展開する

群馬県版 SHP 協議会の設立と推進の提言

◆第6章のまとめ

1. 群馬県版SHP協議会の設立推進の提言

①「本システム」等のハード面の開発だけでなく、②「本システム」で栽培するのに適した品種の開発&改良、③さらなる生産性の向上を図るプロセスの改善・開発、④「本システム」の開発、普及を支える人材の教育・育成、⑤「本システム」で栽培した植物のブランド化や流通・販売方法の開拓、⑥農業経営手法に工場管理手法を導入し、計画生産、コスト管理を浸透させ、持続可能な、儲かる農業をオール群馬で実現する手段として「群馬県版SHP協議会（G-SHP）」の設立と推進を提言する。

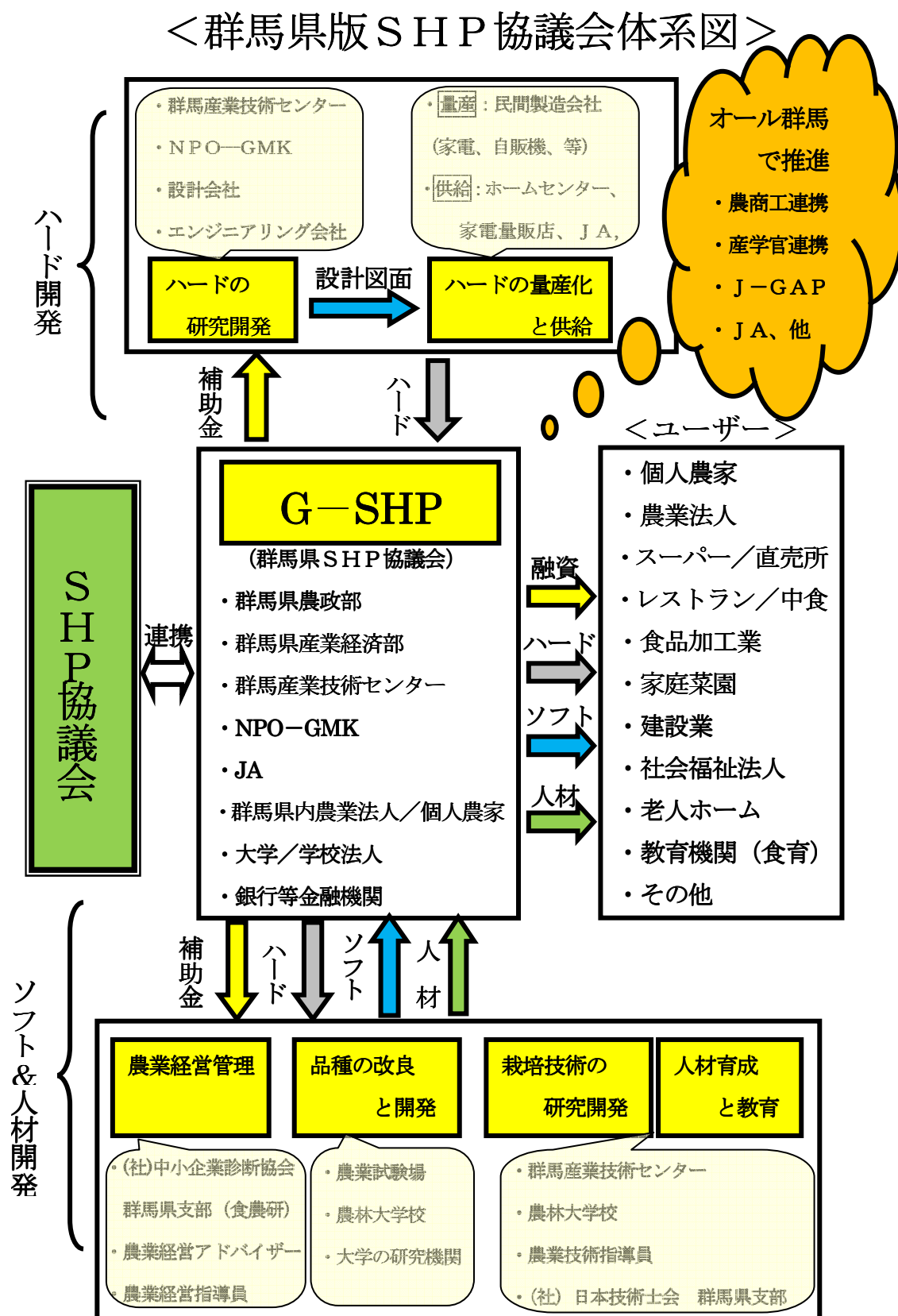
2. SHP（Super Hort Project）とは

農産物の生産から販売までを一つのシステムとして捉え、システム全体とそれを構成する施設、環境制御、品種、栽培技術等について異業種を含むオールジャパンの取り組みによるイノベーションによって日本の農業の飛躍的な合理化・高度化を図る事を目指した取り組みをSHP（Super Hort Project）と言う。

1. 群馬県版SHP協議会の設立推進の提言

前章で提言した「自律分散のセル型完全制御方式植物育成システム」は日本の農業及び群馬県の農業の課題解決の一方策となりうる事を、又採算性がある事をシミュレーションで示したが、「本システム」は、まだ机上案で実績がない。「本システム」をこれからの新農法として開発・普及・定着させていくためには、①今回提案した「本システム」等のハード面の開発だけでなく、②「本システム」で栽培するのに適した品種の開発&改良、③さらなる生産性の向上を図るプロセスの改善・開発、④「本システム」をハード面、ソフト面から支える人材の教育・育成、⑤「本システム」で栽培した植物のブランド化や流通・販売方法の開拓、⑥農業経営手法に工場管理手法を導入し、計画生産、コスト管理を浸透させ、儲かる農業を実現する必要がある、それを産学官連携や、農商工連携等、オール群馬によって推進する事を提言する。具体的には、図表 6-1 の体系図に示す群馬県版SHP協議会（G-SHP）を設立し、図表 6-2 の「本システム」及び「群馬県版SHP協議会」立ち上げスケジュールに従って推進する事を提言する。

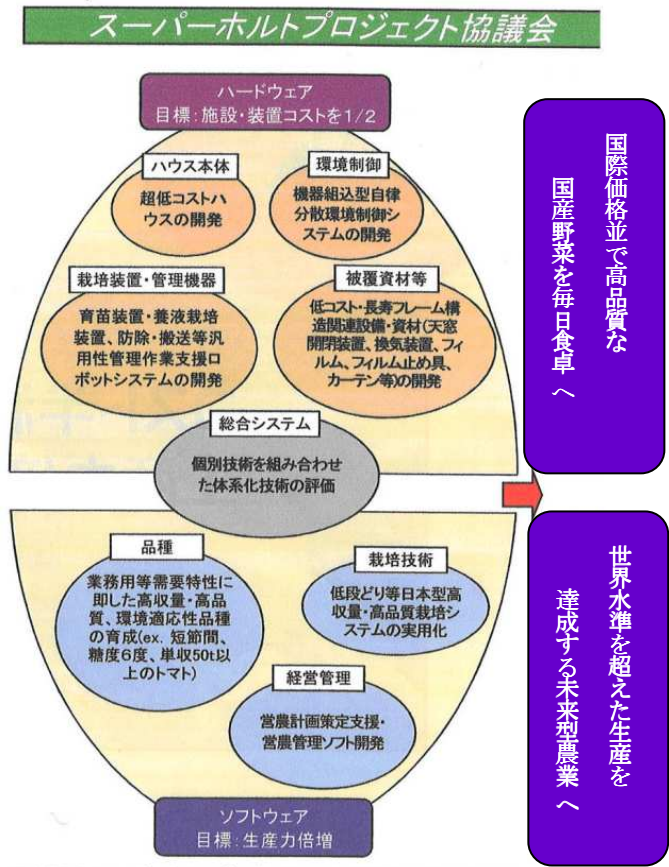
図表 6-1 「群馬県版SHP協議会」体系図



＜「セル型植物育成システム」&「G-SHP協議会」の立ち上げ推進スケジュール

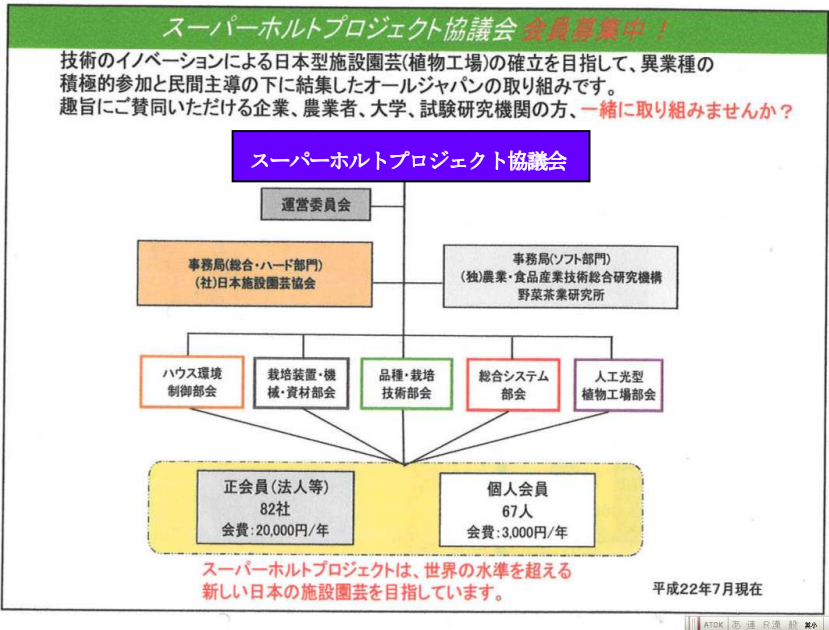


図表 6-1 SHP 協議会の技術開発の体系図



※上記は、スーパーホルトプロジェクトにおける技術開発の体系図

図表 6-2 同協議会の組織図



[参 考 資 料]

◆参考資料まとめ

1. 群馬県園芸農家へのアンケート調査資料

- ・ 群馬県内の露地栽培や施設栽培の農業生産者の現状を把握し、植物工場の適応性と植物場導入の可能性を模索するため、群馬県内の露地栽培・施設栽培の農業生産者 550 人に群馬県園芸協会の協力を得てアンケート用紙を配布し、回答をご返送して頂く方法で回収した。その集計結果を、アンケート調査趣意書、並びにアンケート用紙と共に、参考資料として掲載する。

2. 農林水産省と経済産業省編 平成 21 年 11 月版 「植物工場の事例集」の抜粋

- ・ 現在日本国内で稼働している「植物工場」は 50 施設あり、内完全人工光型は 34 施設、太陽光併用型は 16 施設である。これら 50 施設の一覧表及び事例集は平成 21 年 11 月に農林水産省と経済産業省連携の調査報告書として「植物工場の事例集」が農林水産省のホームページ<http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/plant_factory/pdf/zirei.pdf>に掲載されている。今回は、この事例集の「植物工場」一覧表とアンケート調査結果、「植物工場」分布図のみを抜粋し、参考資料として掲載する。

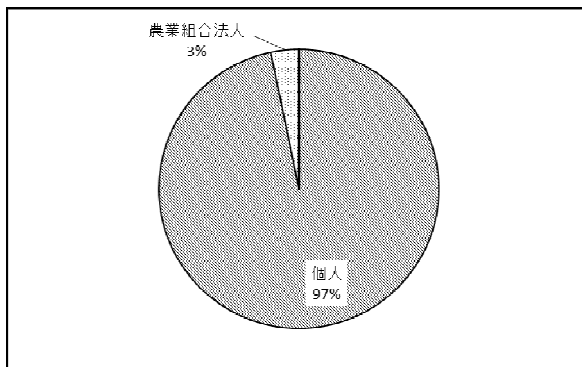
3・「植物工場」まめ辞典

- ・ 今回の調査研究事業のテーマの「植物工場」に関する情報や知識は、本調査研究スタート時にチームメンバーの大半が持っておらず、「植物工場」に関するセミナーに参加したり、書籍を購入し輪読して、情報収集した。その時に収集した「植物工場」に関する情報・知識を「植物工場まめ辞典」として掲載する。

植物工場に関するアンケート調査結果

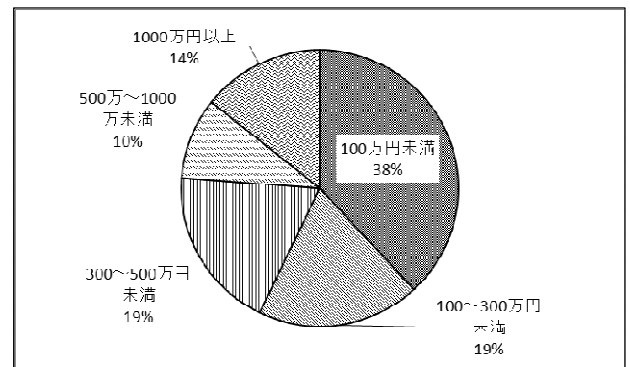
群馬県の野菜生産農家に対して実施した、「植物工場に関するアンケート調査結果」を以下に纏めた。但し、第2章の「2. 群馬県の野菜生産農家の現状と課題の(7)」で説明したとおり、回収率が極めて低いことから、この集計結果をもって野菜生産農家の実態を分析するには一定の限界があると考え、参考資料として掲載したことを申し添える。

1. 経営形態



- ・回答者の大部分は「個人経営者」である。

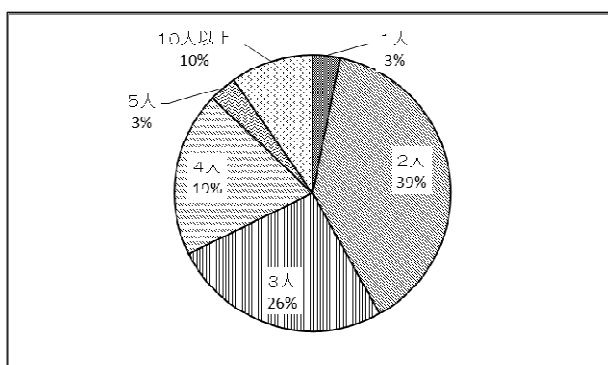
2. 資本金額



- ・38%が100万円未満。全体の76%が500万円未満の小資本であり、残りの24%が500万円以上である。

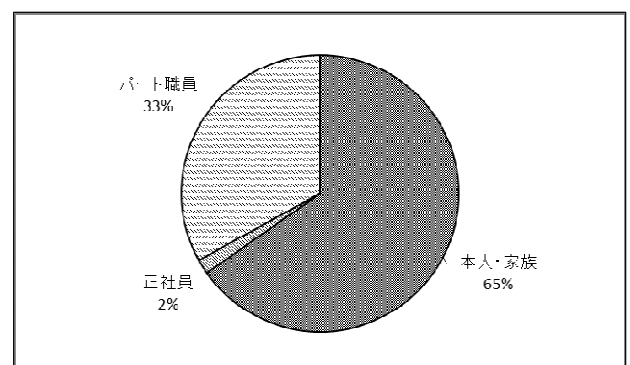
3. 従業員数（経営者本人を含む）

(1) 就業者数



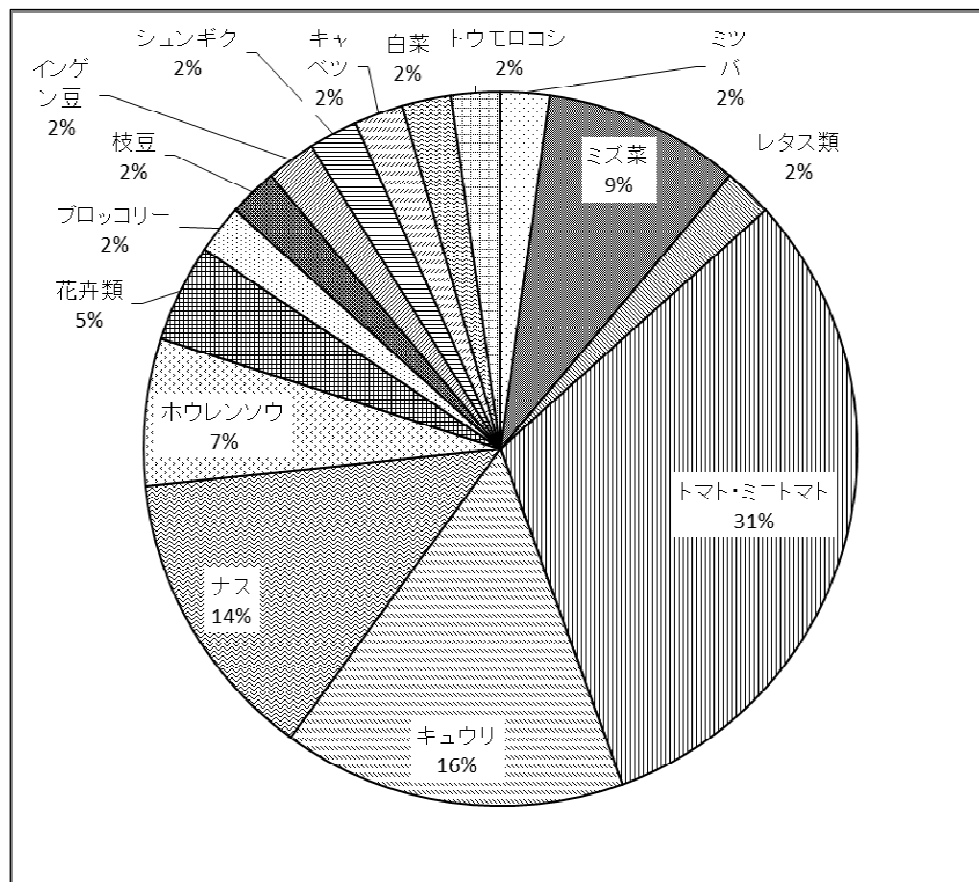
- ・「5人以下」（実質的には2~4人）90%、「10人以上」10%となった。

(2) 就業者形態



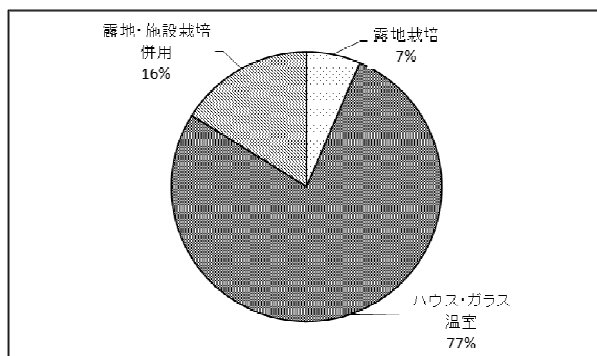
- ・3.(1)の就業者形態別の割合を示す。
- ・65%が「本人・家族」、家族以外の正職員は1名であった。
- ・パート職員33%は、3.(1)で「10人以上」の回答者である。

4. 生産物（複数回答）



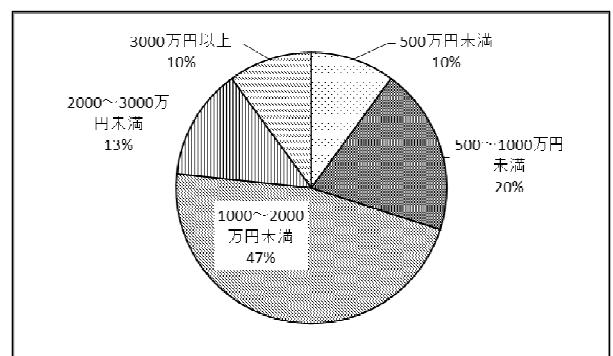
- ・「トマト・ミニトマト」「キュウリ」「ナス」の合計で61%を占める。
- ・「ミズ菜」「ホウレンソウ」葉菜類の回答件数は少なかった。（2%のものは回答件数は1件）

5. 栽培方法（複数回答）



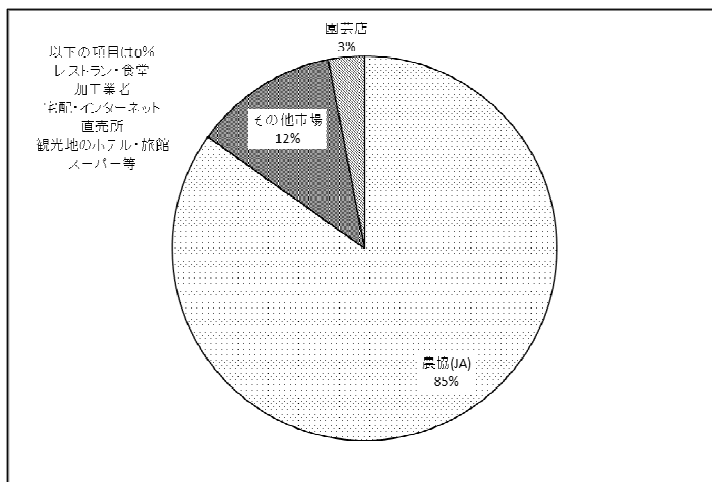
- ・ハウス・ガラス温室による施設野菜農家が77%を占めた。

6. 売上規模



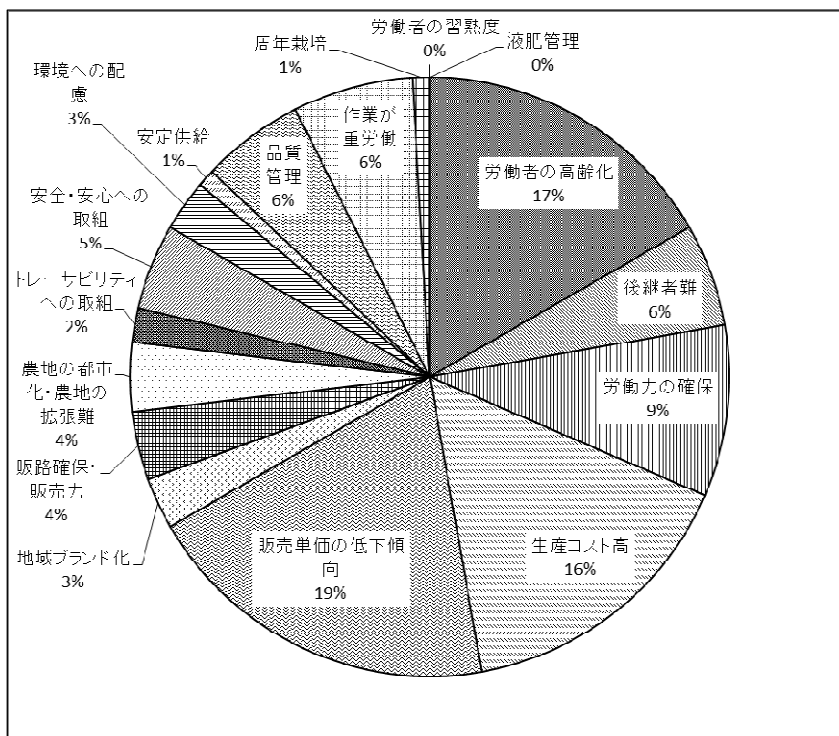
- ・1,000 万円未満が 30%、最も多いのは「1000～2000 万円未満」47%、「2,000 万円以上」が 23%と、就業者数は少ないが施設野菜農家の売上規模が大きいことが分かる。

7. 主な販売先（複数回答）



- ・売上規模が大きいこともあり、農協出荷 85%、その（市場）12%となった。
- ・加工業者やレストラン等への契約栽培（販売）が考えられる回答はゼロであった。
- ・「園芸店」3%は花卉生産者である。

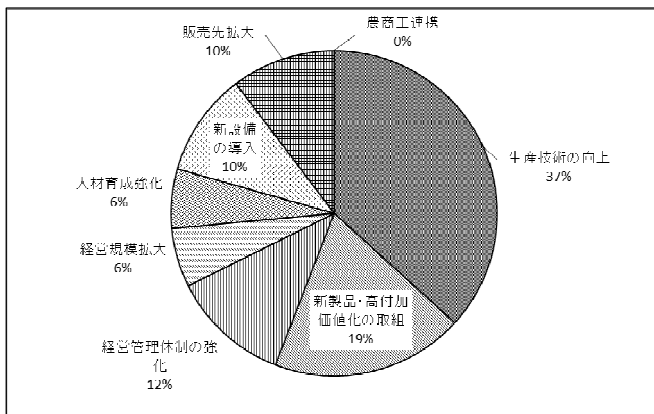
8. 農業経営の課題（複数回答）



- ・「販売単価の低下」と「生産コスト高」の合計で 35%となり、近年の肥料の高騰や販売価格の低迷等により経営が圧迫されている様子が窺える。
- ・「労働者の高齢化」17%、「作業が重労働」6%等からは、農業者の高齢化の進展がうかがえる。また、「後継者難」6%、「労働力の確保」9%等からは農業の担い手不足等も窺うことができる。

- ・「販路確保・販売力」が4%と低いですが、質問7で「農協出荷」85%に関連していることが考えられる。
- ・「労働者の習熟度」「液肥管理」に対する回答はゼロであった。

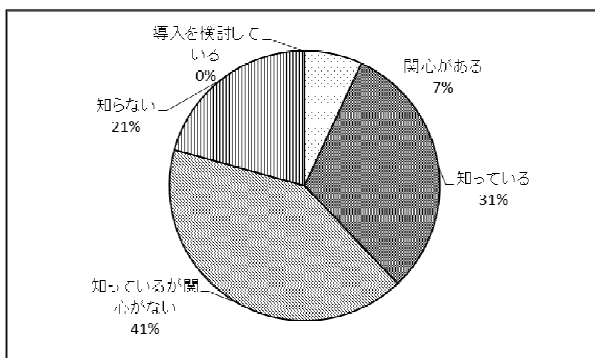
9. 今後の経営の方向性（3 つまで回答）



- ・「生産技術の向上」37%と「新製品・高付加価値化の取組」19%から、施設野菜農家が生産性の向上や市場ニーズへの対応に積極的であることが分かる。
- ・「新設備の導入」10%、「販売先拡大」10%、「経営規模拡大」6%から、施設野菜農家の生産意欲の高い様子が窺える。

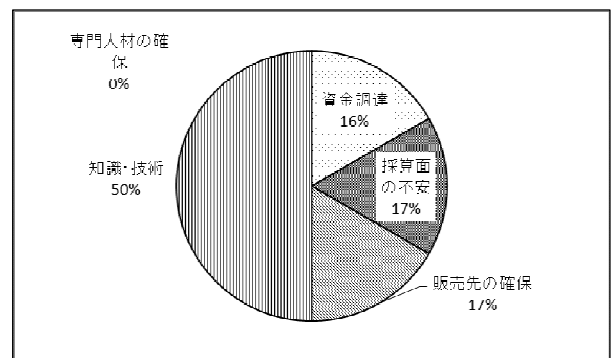
・施設野菜農家の経営規模が比較的大きいため、「経営管理体制の強化」12%や「人材育成強化」6%に対する回答も見られた。

10. 植物工場の認知度



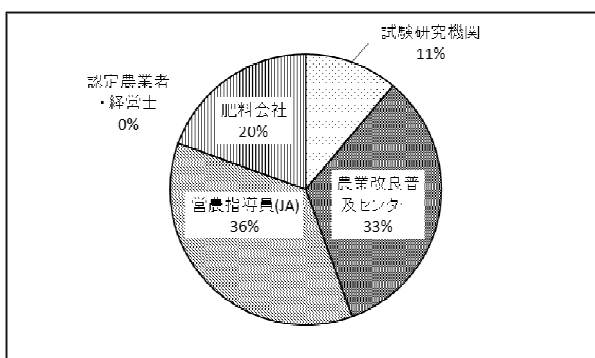
- ・「知っているが関心がない」41%、「知らない」21%で認知度・関心は低い。
- ・「導入を検討」の回答はゼロである。

11. 植物工場導入の課題



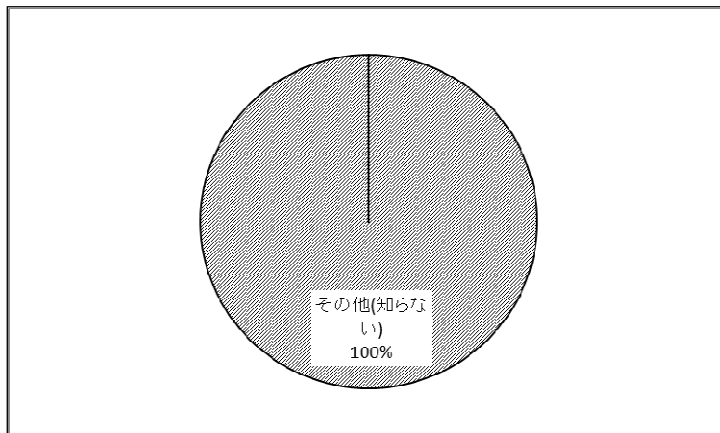
- ・質問11のデータは、質問10「導入を検討している」回答者に対する質問であるが、回答ゼロのため質問要件を満たしていない。（参考）

12. 水耕・液肥栽培についての相談相手



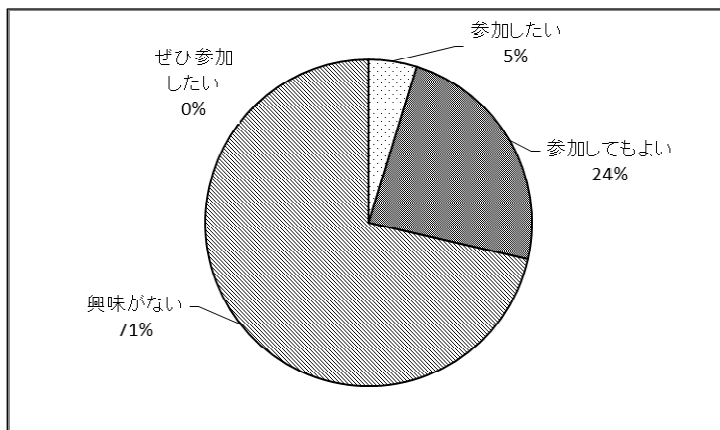
- ・「営農指導員（JA）」36%、「農業改良普及センター（県職）」33%の信頼度が高い。
- ・水耕・液肥の製造や開発を行う「肥料会社」20%や「試験研究機関」11%の回答も見られた。

1 3. 植物工場支援策の認知度



- ・回答はすべて「知らない」であった。
- ・政府等が実施する支援策に対して、極めて関心の低いことが窺える。

1 4. 植物工場セミナーへの参加希望

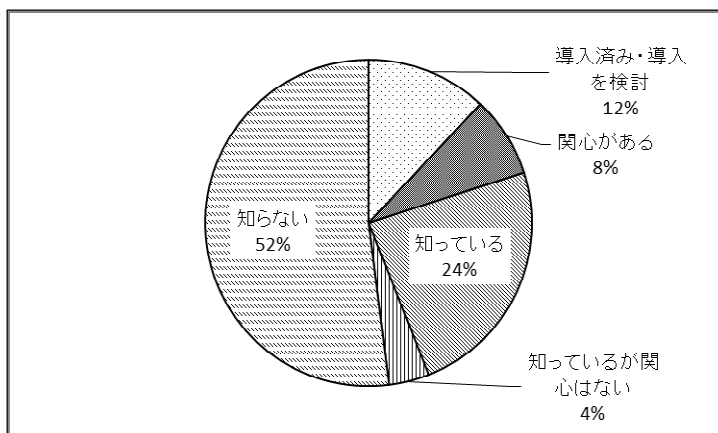


- ・「興味がない」71%と、質問 13 を裏付ける形になったが、「参加しても良い」24%、「参加したい」5%を合わせて約 3 割は今後関心を持つ可能性もある。

1 5. 植物工場についてのご意見

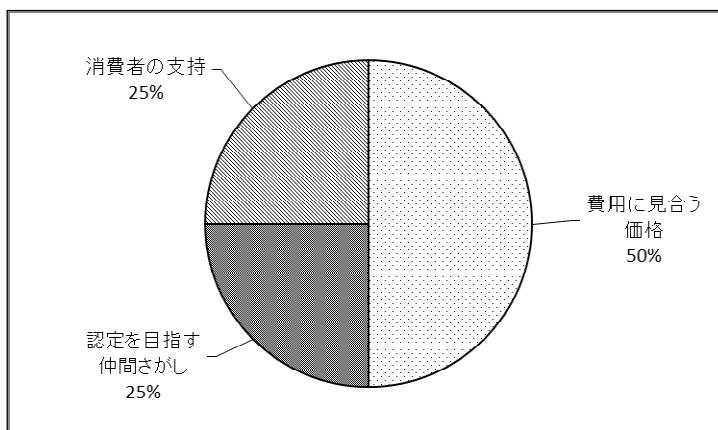
- ・現段階では、コスト面や販路について道数が多いと思う。
- ・企業的な感覚でスタートするのは危険が未だ未だ大きいのではないかな。
- ・私は過去 12 年間、大手の企業養豚の経験があり、企業養豚の厳しさを見ているので、植物工場については、様々準備が必要だと思います。
- ・将来有望なのですか。
- ・ハウスきゅうりなので関心がない。
- ・コストが大きい。
- ・個人に対して支援があれば良いと思う。

16. JGAPの認知度



- ・「知らない」52%、「知っているが関心がない」4%であるが、「導入済み・導入を検討」「関心がある」を合わせると約2割が前向きにとらえている。

17. JGAP導入の課題



- ・「費用に見合う価格」50%（回答2件）。
- ・「認定を目指す仲間さがし」25%（回答1件）。
- ・「消費者の支持」25%（回答1件）。

「植物工場」に関するアンケート調査 趣意書

平成22年11月 8日

(社) 中小企業診断協会群馬県支部

支部長 丸橋 正幸

群馬県園芸協会

会長 星野巳喜雄

1. アンケート調査への協力依頼

(社) 中小企業診断協会群馬県支部では平成22年度の支部マスターセンター補助事業(経済産業省主管)のテーマとして「群馬県農業の課題解決の一方策として『植物工場』導入の可能性について」が調査研究事業として採択されました。その調査研究事業の一環として、農業経営面における現状と課題及び植物工場の展望を見出すことを目的にアンケート調査を実施することとしました。また、今回のアンケート調査は、群馬県園芸協会のご協力をいただき、調査票の配布並びに回答票の回収事務をお願い致しましたので、よろしくお願い申し上げます。

なお、調査結果は統計的に処理し、個票のまま公表することはありませんので、ありのままお答え願えれば幸いです。

2. アンケート調査の背景

群馬県は、生産高が全国5位以内の農産物が23品目に達する農業立県で、東京から100Km・1時間の立地にあり、10m～1500mの標高差を活用した多彩な農業を展開しています。

一方、我が国の農業を取り巻く環境は、農業の担い手の高齢化、遊休農地や耕作放棄地の増加等により、農業生産額は昭和58年をピークに減少し続け、現在ピーク時の70%まで減少しております。又最近の燃料や肥料等のコスト高により、農業生産所得の減少という経営課題に直面しています。さらに食糧自給率の向上や安全・安心な食糧の確保、CO2の削減等、国家的課題も抱えています。

こうした課題認識をもとに調査研究テーマに取り組んでまいります。

3. アンケート調査の結果報告について

今回のアンケート調査で回答頂きましたデーターや御意見は、分析・整理して平成23年2月を目処に報告書として取りまとめます。報告書は、ご協力いただきました群馬県園芸協会をはじめ、(社) 中小企業診断協会本部・各都道府県支部、農業関係行政、並びに調査研究事業にご協力いただきました機関に配布いたします。又、本報告書を基にして(社)中小企業診断協会群馬県支部主催のセミナーで報告会を開催いたします。

植物工場に関するアンケート

1. 経営形態は何ですか。あてはまるものに○をつけてください。

- ① 個人 ② 農業組合法人 ③ 有限事業責任組合 ④ 合同会社 ⑤ 株式会社
⑥ その他 ()

2. 資本金はどのくらいですか。あてはまるものに○をつけてください。

- ① 100 万円未満 ② 100～300 万円未満 ③ 300～500 万円未満 ④ 500～1000 万円未満
⑤ 1000 万円以上

3. 従業員は何人ですか。あてはまる番号に○をつけてください。

- ① 本人・家族 () 名 ② 雇用 (正社員) () 名 ③ パート () 名
合計 () 名

4. 生産物は何ですか。あてはまるもの全てに○をつけてください。

- ① ミツバ ② サラダ菜 ③ ミズ菜 ④ 細ネギ ⑤ サンチュ ⑥ レタス類
⑦ その他 ()

5. 栽培方法は何ですか。あてはまるものに○をつけてください。

- ① 露地栽培 ② ハウス温室 ・ ガラス温室 ③ 露地・施設栽培併用
④ その他 ()

6. 売上高はどのくらいですか。あてはまるものに○をつけてください。

- ① 500 万円未満 ② 500～1000 万円未満 ③ 1000～2000 万円未満
④ 2000～3000 万円未満 ⑤ 3000 万円以上

7. 生産物の主な販売先はどちらですか。あてはまるものに○をつけてください。

- ① 農協 (J A) ② 直売所 ③ 宅配・インターネット ④ スーパー等
⑤ 観光地のホテル・旅館 ⑥ 加工業者 ⑦ レストラン、食堂 ⑧ その他 ()

8. 農業を経営する上で感じている課題は何ですか。全てに○をつけてください。

- ① 労働者の高齢化 ② 後継者難 ③ 労働力の確保 ④ 生産コスト高 ⑤ 販売単価の低下傾向
⑥ 地域ブランド化 ⑦ 販路確保・販売力 ⑧ 農地の都市化・農地の拡張難 ⑨ トレーサビリティーへの取り組み ⑩ 安全・安心への取り組み ⑪ 環境への配慮 ⑫ 安定供給 ⑬ 品質管理
⑭ 作業が重労働 ⑮ 周年栽培 ⑯ 労働者の習熟度 ⑰ 液肥管理 ⑱ その他 ()

9. 今後どのように農業を進めていきたいと考えていますか。3つまで○をつけてください。

- ① 生産技術の向上 ② 新製品・高付加価値化の取り組み ③ 経営管理体制の強化
④ 経営規模拡大 ⑤ 人材育成強化 ⑥ 新設備の導入 ⑦ 販売先拡大 ⑧ 農商工連携
⑨ その他 ()

10. 植物工場(説明資料を参照下さい)を知っていますか。あてはまるものに○をつけてください。

①導入を検討している ②関心がある ③知っている ④知っているが関心はない

11. 前問で①とお答えの方にお尋ねします。導入にあたって最大の課題は何ですか。あてはまるものに○をつけてください。

①資金の調達 ②採算面の不安 ③販売先の確保 ④知識・技術 ⑤専門人材の確保

⑥栽培作物の選定 ⑦消費者の嗜好・理解 ⑧建設用地の確保 ⑨その他（ ）

12. 水耕栽培や液肥について誰に相談しますか、又はしたいと思いますか。あてはまるものに○をつけてください。

①試験研究機関 ②農業改良普及センター ③営農指導員（JA） ④認定農業者・経営士⑤肥料会社 ⑥その他（ ）

13. 植物工場に関する支援事業で知っていますか。あてはまるものに○をつけてください。

①モデルハウス型植物工場実証・展示研修事業 ②植物工場普及・拡大支援事業

③植物工場リース支援事業 ④産地収益力向上支援事業 ⑤環境整備・人材育成事業

⑥その他（ ）

14. 植物工場のセミナーがあれば参加しますか。あてはまるものに○をつけてください。

①ぜひ参加したい ②参加したい ③参加してもよい ④興味がない

15. 植物工場についてのご意見等、自由にご記入下さい。

--

16. JGAP(ジェイギャップは、農場や農協(JA)等の生産者団体が活用する農場管理の基準です。農林水産省が導入を推奨する農業生産工程管理手法の1つです。)について知っていますか。あてはまるものに○をつけてください。

①導入済み・導入を検討 ②関心がある ③知っている ④知っているが関心はない ⑤知らない

17. 前問で①とお答えの方にお尋ねします。導入にあたって最大の課題は何ですか。あてはまるものに○をつけてください。

①認定取得、継続の費用 ②費用に見合う価格 ③認証制度の知名度 ④知識・技術

⑤専門人材の確保 ⑥認定を目指す仲間探し ⑦消費者の支持 ⑧その他（ ）

アンケートご協力ありがとうございました

植物工場とは何か

植物工場とは、「野菜や苗を中心とした作物を、環境及び生育のモニタリングを基礎として、施設内の光、温湿度、二酸化炭素濃度、培養液など環境条件を人工的に制御（環境制御）し、季節や場所にあまりとらわれずに自動的に連続生産するシステム」により運営される施設のことで

す。

植物工場には、生産性の増大、無農薬あるいは低農薬栽培、夏期・冬期でも計画的に一定の品質での生産が可能なこと、作業の省力化など様々なメリットがあります。一方で、設備に多額の資金が必要なことや電力料金などのランニングコストが高いこと、露地栽培などと比較して消費者の心理的抵抗がある事などが課題となっています。

つまりは「高度な施設栽培」であり、植物の周年栽培が可能な栽培施設を指します。



環境制御の仕組み

植物工場は、太陽の光を利用するか否かで、太陽光の利用を基本とし人工光による補光や夏季の高温抑制技術などを用いて栽培するローコスト型の「太陽光利用型」（人工光併用型ふくむ）と閉鎖環境で太陽光を用いずに栽培する高機能型の「完全制御型（人工光利用型）」に大別されます。



太陽光利用型植物工場



完全制御型植物工場

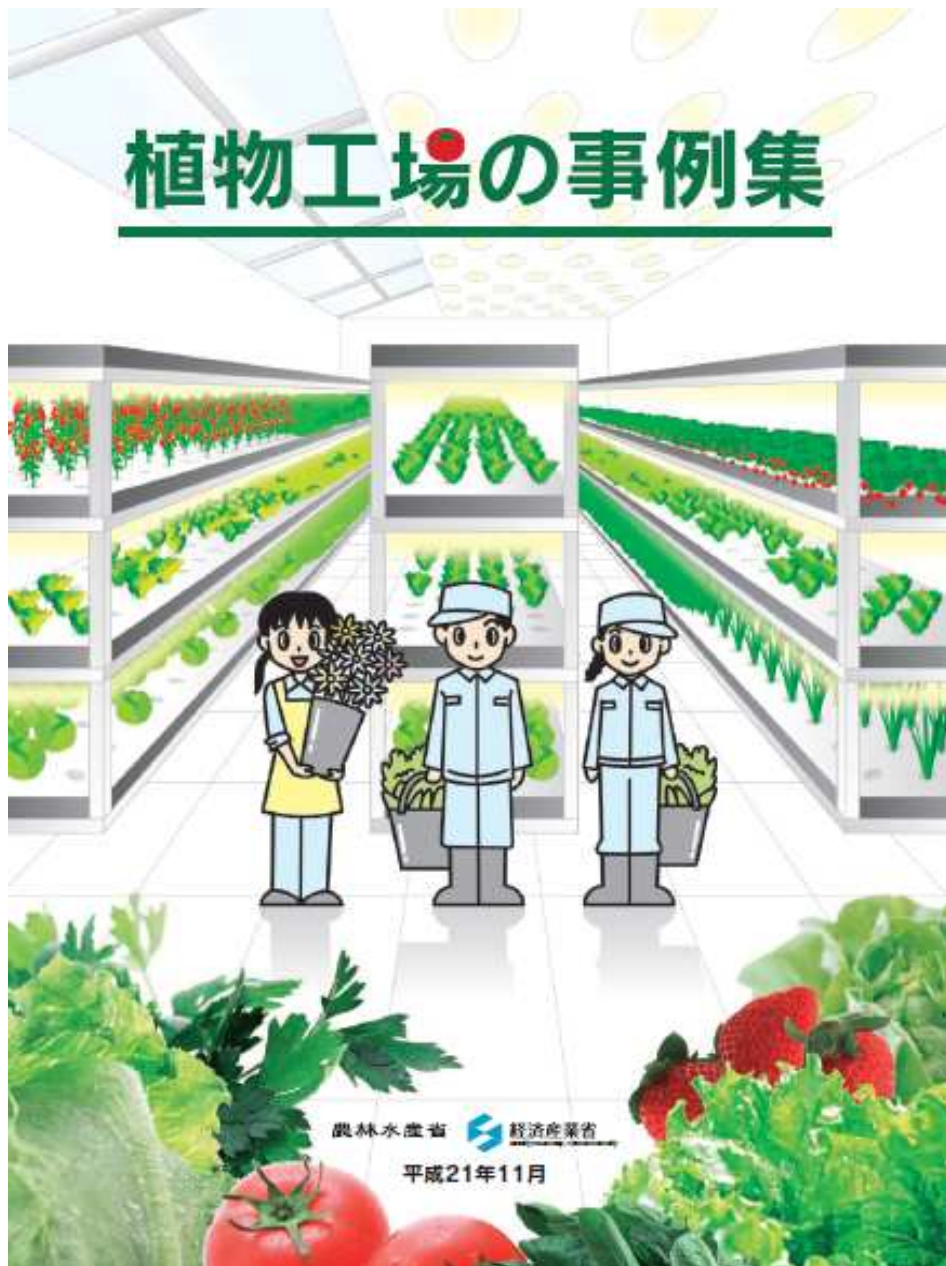
近隣県における植物工場の事例

名称	場所	設置した事業者名	主な生産品目・品種
T Sファーム白河	福島県白河市	キューピー(株)	サラダ菜、リーフレタス
全農とちぎ種苗センター	栃木県宇都宮市	JA 全農とちぎ	トマト苗
ハイテック羽生	埼玉県羽生市	農事組合法人 ハイテック羽生	サラダ菜、リーフレタス
野菜工房	埼玉県秩父市	(株)野菜工房	レタス
角田浜農場	新潟県新潟市	(有)グリーンズプ ラント巻	ミツバ、ベビーリーフ、ル ッコラ等
えちご魚沼	新潟県南魚沼市	(農) えちご魚沼	ハウレンソウ
こもろ布引いちご園	長野県小諸市	農事組合法人 布引施設園芸組合	イチゴ、イチゴ苗
土浦グリーンハウス	茨城県土浦市	JFE ライフ(株)	サラダ菜、レタス
アーバンファーム	千葉県柏市	(有)アーバンファ ーム	レタス、各種ハーブ類
東京ドリーム	東京都小平市	(有)東京ドリーム	リーフレタス、フリルアイ ス、ロロロッサ、サラダ菜 等

※出典：農林水産省・経済産業省、平成 21 年 11 月 植物工場の事例集より抜粋

2. 農林水産省と経済産業省編 平成 21 年 11 月版 「植物工場の事例集」の抜粋

現在日本国内で稼働している「植物工場」は 50 施設あり、内完全人工光型は 34 施設、太陽光併用型は 16 施設である。これら 50 施設の一覧表及び事例集は平成 21 年 11 月に農林水産省と経済産業省連携の調査報告書として「植物工場の事例集」が農林水産省のホームページ<http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/plant_factory/pdf/zirei.pdf>に掲載されている。今回は、この事例集の「植物工場」一覧表とアンケート調査結果、「植物工場」分布図のみを抜粋し、参考資料として掲載する。植物工場事例の詳細については、上記ホームページを参照の事。



(1)「植物工場」一覧表と定期アンケート調査の集計結果

I はじめに

1 植物工場とは

植物工場は、施設内で植物の生育環境（光、温度、湿度、二酸化炭素濃度、養分、水分等）を制御して栽培を行う施設園芸のうち、環境及び生育のモニタリングを基礎として、高度な環境制御と生育予測を行うことにより、野菜等の植物の周年・計画生産が可能な栽培施設である。

植物工場には、

- (1) 閉鎖環境で太陽光を使わずに環境を制御して周年・計画生産を行う「完全人工光型」
- (2) 温室等の半閉鎖環境で太陽光の利用を基本として、雨天・曇天時の補光や夏季の高湿抑制技術等により周年・計画生産を行う「太陽光利用型」（太陽光利用型のうち、特に人工光を利用するものについては「太陽光・人工光併用型」という）

の2つがある。



完全人工光型植物工場



太陽光利用型植物工場

2 調査方法

本事例集作成のため、以下の表の通り調査を実施した。

調査期間	平成20年12月から平成21年3月まで
調査対象	1で定義された「完全人工光型」及び「太陽光利用型」の植物工場のうち、平成21年3月現在において、国内で販売を目的として運営されている施設 ※「太陽光利用型」については調査の簡素化を図る観点から「太陽光・人工光併用型」を対象とした。
調査施設数	50施設（完全人工光型 34施設 太陽光・人工光併用型 16施設）
調査方法	新聞、雑誌、インターネット等で情報収集後、訪問、電話、郵送等により取材

※P22、23の加太菜園、香濃菜園は太陽光のみを利用しているタイプのため、本書では調査施設数、調査結果（概要）、データ編からは除外している。

Ⅱ 調査結果（概要）

1

植物工場一覧

完全人工光型植物工場

	名称	場所	設置した事業者名	主な生産品目・品種	ストーリー リーダ	ページ 数
①	コスモファーム宮見沢	北海道宮見沢市	社説株式会社 クビド・フェア	リーフレタス	P10	P26
②	宮崎県産直野菜工場	宮崎県南市	宮崎県（津元産直野菜 工場（産直施設））	ベビーリーフ、トマト苗		P27
③	住田野菜工場	宮城県住田町	株式会社	レタス、グリーンリーフ、 サンチュ等		P28
④	セコムハイプラント	宮城県白石市	株式会社	ハーブ		P28
⑤	安全野菜工場	山形県米沢市	株式会社	チマ・サンチュ		P28
⑥	IT日ファーム白河	福島県白河市	キコービー株式会社	サラダ菜、リーフレタス		P29
⑦	全農とちぎ種苗センター	栃木県宇都宮市	JA全農とちぎ	トマト苗		
⑧	ハイテック羽生	埼玉県羽生市	株式会社 ハイテック羽生	サラダ菜、リーフレタス		P29
⑨	野菜工場	埼玉県秩父市	株式会社	レタス	P12	P30
⑩	グリーンフレーバー 五箇店	千葉県松戸市	株式会社	レタス、サンチュ、 グリーンリーフ、 ミズナ、ルッコラ、パセリ	P14	P30
⑪	アーバンファーム	千葉県柏市	株式会社	レタス、各種ハーブ類		P31
⑫	東京ドリーム	東京都小平市	株式会社	リーフレタス、フリルアイス、 ロロロッサ、サラダ菜等	P16	P31
⑬	小津産直	東京都府中市	小津産直株式会社	リーフレタス		P32
⑭	松代ハイテックファーム	新潟県十日町市	株式会社	レタス、サラダ菜		P32
⑮	スマイルリーフスピカ	富山県富山市	スマイルリーフスピカ株式会社	リーフレタス、ハーブ		P32
⑯	エンジェルファーム藤井	埼玉県藤井町	株式会社 エンジェル	グリーンウェーブ、 グリーンリーフ、ロメイン、 サンチュ、フリルアイス、ミズナ、 ルッコラ、茗草、小松菜	P18	P33
⑰	ハイテックファーム 武生工場	埼玉県越前市	株式会社 ハイテックファーム	サラダ菜、リーフレタス、 フリルレタス		P33
⑱	大戸屋グリーンルーム	山梨県山梨市	株式会社	レタス、グリーンリーフ、 サンチュ等		P34
⑲	ラブランタ園芸	長野県岡谷市	株式会社	リバーグリーン、 フリンジグリーン、ノーチップ	P20	P34
⑳	安曇野三郷 ハイテックファーム	長野県安曇野市	株式会社 安曇野三郷ハイテック ファーム	サラダ菜、リーフレタス、フリル アイスレタス、わかび菜、ルビー クイン、ベビーリーフミックス		P35
㉑	フレッシュグリーン	静岡県藤枝市	株式会社	サラダ菜、レタス		P35
㉒	Mama's ファーム	滋賀県日野町	日本アドバンストアグリ株式会社	フリルアイス、ロロロッサ、 ベビーリーフ		P36
㉓	エンジェルファーム北山	京都府京都市	株式会社	レタス、ミズナ、茗草等		P36
㉔	ハイテックファーム 園芸工場	京都府南丹市	株式会社 ハイテックファーム	サラダ菜、リーフレタス、 フリルレタス		P37
㉕	亀岡プラント	京都府亀岡市	株式会社	フリルレタス、モコレタス、 ロメインレタス、サンチュ、 ミズナ、ルッコラ、デトロイト		P37

	名称	場所	設置した事業者名	主な生産品目・品種	ストーリー リーダ	データ 基
⑥	みらくるグリーン	大阪府岸和田市	株式会社みらくるグリーン	ベビーリーフ、ハーブ		P38
⑦	日産牧場	兵庫県尼崎市	日産牧場株式会社	グリーンリーフ、フリルレタス、ピッコロ		P38
⑧	夢ファーム右漢	岡山県高梁市	株式会社夢ファーム右漢 (岡山県農業振興公社の委託)	フリルアイス、リーフレタス		P39
⑨	徳島シーードリング	徳島県板野町	株式会社徳島シーードリング	トマト苗		P39
⑩	グリーンタックファーム	愛媛県今治市	株式会社グリーンタックファーム	サニーレタス、ベビーリーフ、ルッコラ		P39
⑪	ベルグアース	愛媛県宇和島市	株式会社ベルグアース	トマト苗		P40
⑫	夢ファームやなだに	愛媛県久万高原町	株式会社やなだに農業開発公社	サラダ菜、リーフレタス、フリルアイス		P40
⑬	夢ファーム土佐山	高知県高知市	株式会社夢ファーム土佐山 (高知県農業振興公社の委託)	サラダ菜、リーフレタス		P41
⑭	夢野実おおいファーム	大分県大分市	株式会社夢野実おおいファーム	グリーンリーフ、フリルアイス、サラダ菜		P41

太陽光・人工光併用型植物工場

	名称	場所	設置した事業者名	主な生産品目・品種	ストーリー リーダ	データ 基
①	プラントファクトリー	北海道浦臼町	農業生産法人 株式会社ファーム21	サンチュ、サラダ菜、リーフレタス、イチゴ、トマト		P42
②	トヨタフロリーナック	高知県大川村	株式会社トヨタフロリーナック	ミニパテ、ポインセチア、カランコエ		P42
③	熊谷農園	山形県鮎川村	株式会社熊谷農園	パテ		P43
④	土井グリーンハウス	茨城県土浦市	JFEライフ株式会社	サラダ菜、レタス		P43
⑤	西田農業園	新潟県新潟市	西田グリーンズプラント株式会社	ミニパテ、ベビーリーフ、ルッコラ等		P44
⑥	えちご魚沼	新潟県魚沼市	(株)えちご魚沼	ホウレンソウ		
⑦	花プラン	新潟県新潟市	株式会社花プラン	パテ		P44
⑧	こもろぶらいちご園	長野県小諸市	農事組合法人市川園芸農事組合	イチゴ、イチゴ苗		P45
⑨	ホト・アグリ	静岡県浜松市	株式会社ホト・アグリ	リッチリーフ		P45
⑩	備後パテ園	広島県三田市	備後パテ園株式会社	パテ		P46
⑪	三田グリーンハウス	兵庫県三田市	JFEライフ株式会社	サラダ菜、レタス		P46
⑫	アリス	和歌山県和歌山市	農事組合法人アリス	レタス		P47
⑬	サンライフ野菜センター	香川県三豊市	株式会社サンライフ野菜センター	平崎球レタス		P47
⑭	エスターグリーンハウス	福岡県北九州市	エスターグリーンハウス株式会社	レタス		
⑮	アユルくんのすいさい園	佐賀県みやき町	株式会社アユル	グリーンリーフ、サラダ菜		P48
⑯	久住西野野菜工場	大分県竹田市	株式会社ウェーブニックス久住	パセリ、パセリ苗等	P24	P48

(注)

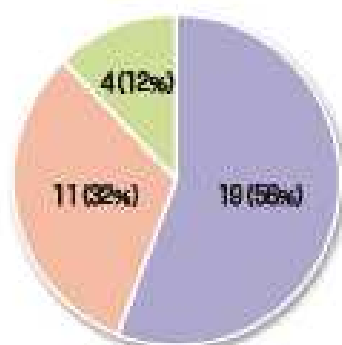
- 本リストは、経済産業省の委託を受けて株式会社農研機構が実施した「植物工場実態調査」に基づき、ホームページ等の公開情報をもとに作成したものである。
- 本調査では、「植物工場ワーキンググループ」の報告書で定義された「完全人工光型」又は「太陽光・人工光併用型」の植物工場のうち、平成21年3月現在において、国内で販売を目的として運営されている施設を対象としている。
- 公開情報をもとに調査を実施したため、必ずしも全件を把握しているとは限らない。

2

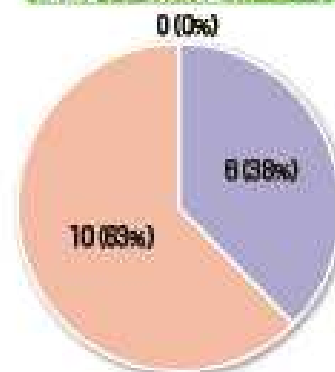
植物工場事業者の属性

- 完全人工光型では66%が企業、32%が農業生産法人等であるが、太陽光・人工光併用型では69%が農業生産法人等で、31%が企業と、企業中心の完全人工光型と、農家中心の太陽光・人工光併用型に分かれている。
- 特設的なものとして、完全人工光型には、社会福祉法人が運営するものがある。

完全人工光型(n=34)



太陽光・人工光併用型(n=18)



注：グラフ内の数字は「実数(割合%)」。割合は小数点以下を四捨五入しているため、合計が100にならない場合がある。以下同し。

3

立地場所

- 完全人工光型の植物工場は工業団地等の工業用地のほか、宅地や耕種地など様々な土地に立地しており、立地に当たって農地転用している例もある。
- 太陽光・人工光併用型は多くが農地に立地しているが、大手企業が経営するものの中には、農地以外（準工業地域）に立地している例もある。

■代表的な植物工場の立地場所

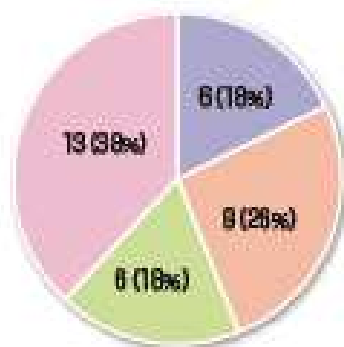
形態	施設名	地目
完全人工光型	コスモファーム岩見沢（北海道）	工業用地
	亀岡プラント（京都府）	宅地
	ラブランタ露助（長野県）	耕種地
	アーバンファーム（千葉県）	耕種地
太陽光・人工光併用型	プラントファクトリー（北海道）	農地
	角田浜農場（新潟県）	農地
	三田グリーンハウス（兵庫県）	工業用地
	久住高野野菜工房（大分県）	農地

4

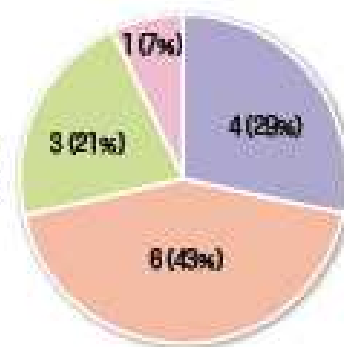
設置年

- 太陽光・人工光併用型は2000年以前に設置されたものが72%を占めている。
- 完全人工光型は、最近3年以内に設置された施設が38%あり、新しい施設が多い。

完全人工光型 (n=24)



太陽光・人工光併用型 (n=14)



■～1995年
 ■1996年～2000年
 ■2001年～2005年
 ■2006年～

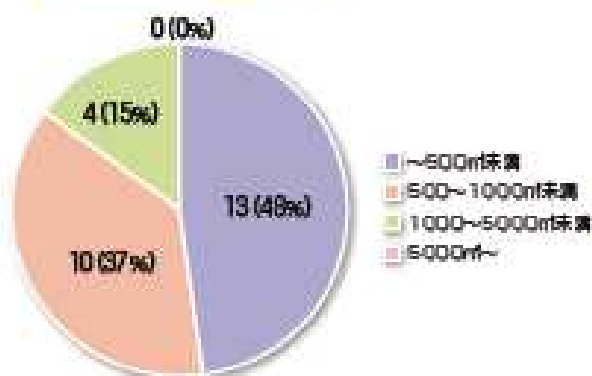
5

施設規模

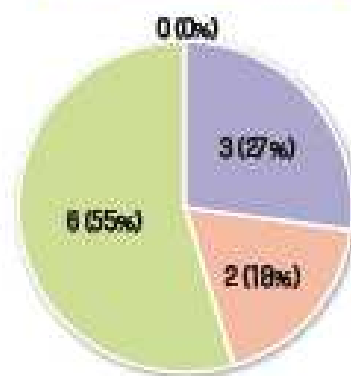
- 完全人工光型の設置実面積は1,000㎡未満のものが85%である一方、栽培実面積が1,000㎡を超えるものが38%を占める。これは多段で栽培することにより、建物の面積あたりの生産効率をあげているためである。
- 太陽光・人工光併用型の設置実面積は6,000㎡以上が66%あり、完全人工光型に比べて大規模な施設が多い。

設置実面積：栽培工場の建物の面積

完全人工光型 (n=27)

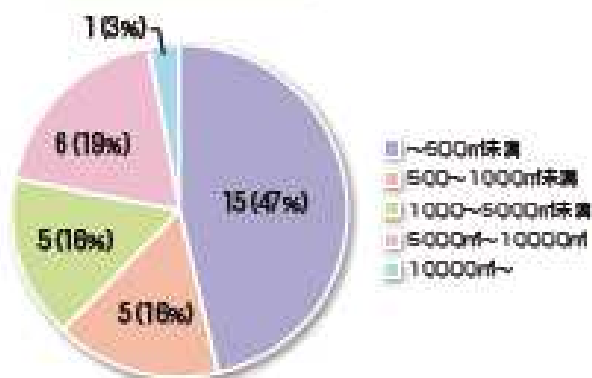


太陽光・人工光併用型 (n=11)

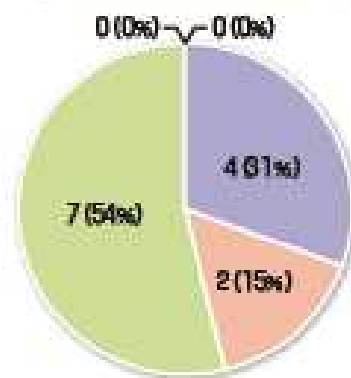


栽培実面積：栽培工場の建物のうち、野菜等を栽培している部分の面積

完全人工光型 (n=22)



太陽光・人工光併用型 (n=13)

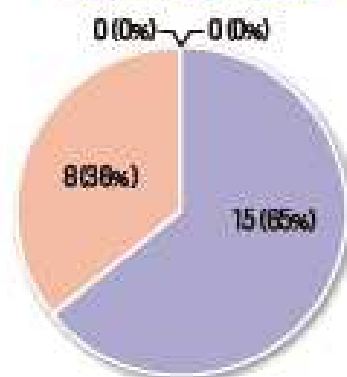


6

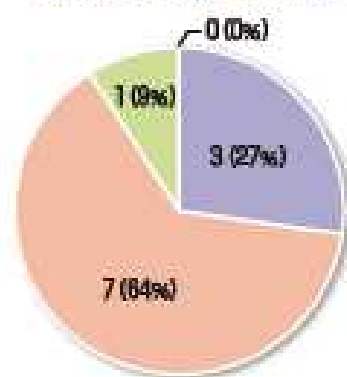
従業員規模

- 完全人工光型の従業員規模は全て50人以下で、10人以下が65%である。
- 太陽光・人工光併用型は11人以上が64%を占め、大規模雇用施設が多い。

完全人工光型(n=23)

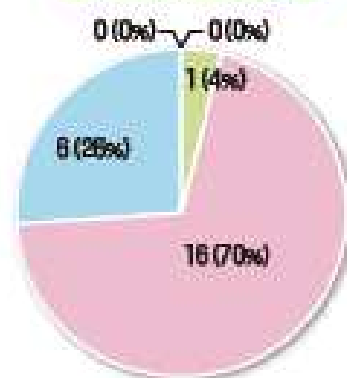


太陽光・人工光併用型(n=11)

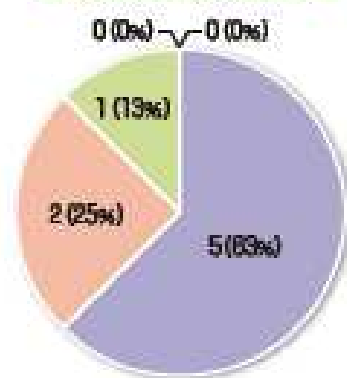


- 設置面積当たりの従業員数は、完全人工光型は10~20人未満が70%を占めるが、太陽光・人工光併用型は回答施設が全て10人未満となっており、太陽光・人工光併用型の方が比較的少人数で生産しており、省力化している。

完全人工光型(n=23)



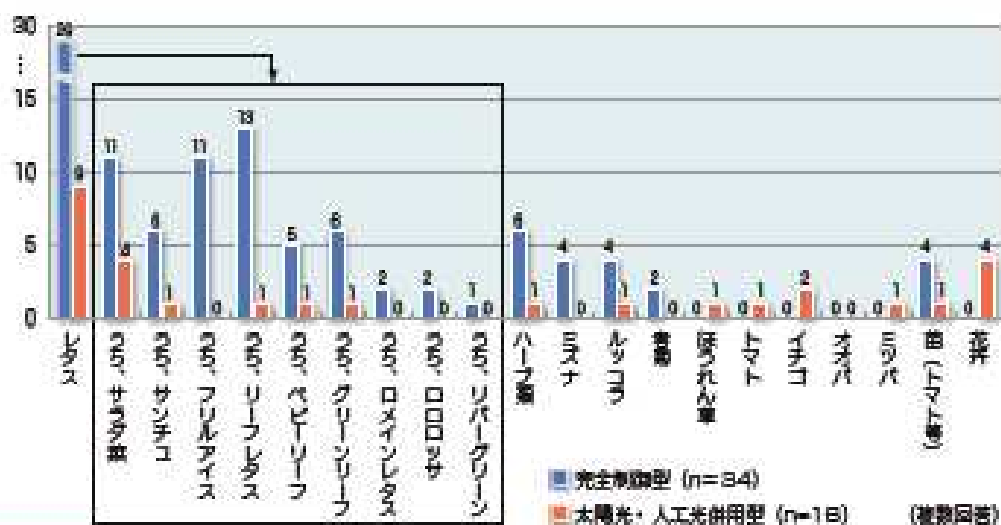
太陽光・人工光併用型(n=8)



7

栽培品目

●栽培品目は、リーフレタスやサラダ菜、フリルレタスなどのレタス類が中心で、その他ではハーブ等や野菜苗等がみられる。事業的に生産可能な品目が限られている。



8

使用光源

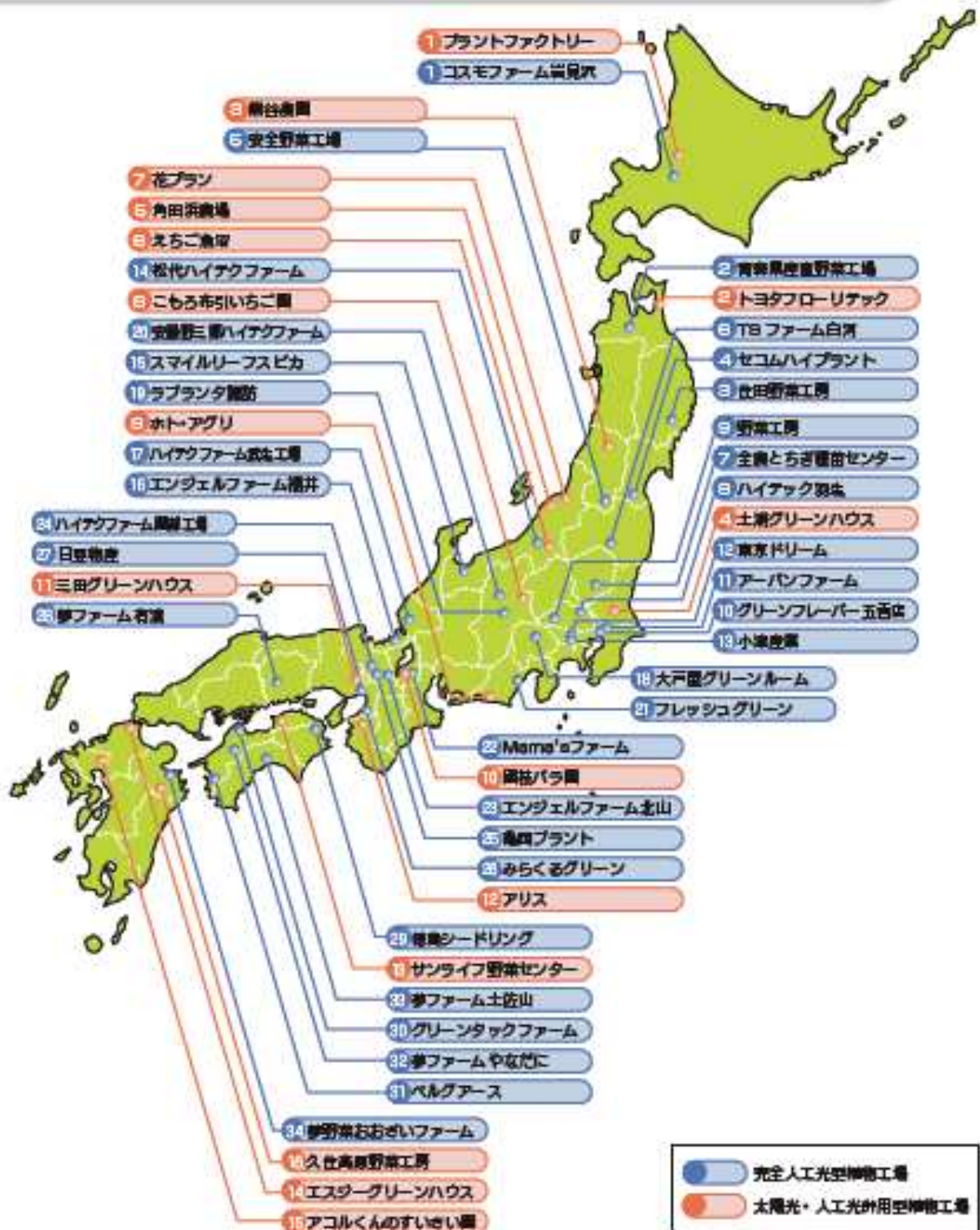
- 完全人工光型では、蛍光灯の利用割合が高く、LEDの利用割合が低い。
- 太陽光・人工光併用型の多くでは高圧ナトリウムランプが使われている。



注意：試験栽培等のための部分的な使用も含む

(2) 全国の「植物工場」分布図

V 全国植物工場 分布図 (「1 植物工場一覧 (P2~P3)」参照)



3・「植物工場」まとめ辞典

・今回の調査研究事業のテーマの「植物工場」に関する情報や知識は、本調査研究スタート時にチームメンバーの大半が持っておらず、「植物工場」に関するセミナーに参加したり、書籍を購入し輪読して、情報収集した。その時に収集した「植物工場」に関する情報・知識を「植物工場まとめ辞典」として掲載する。

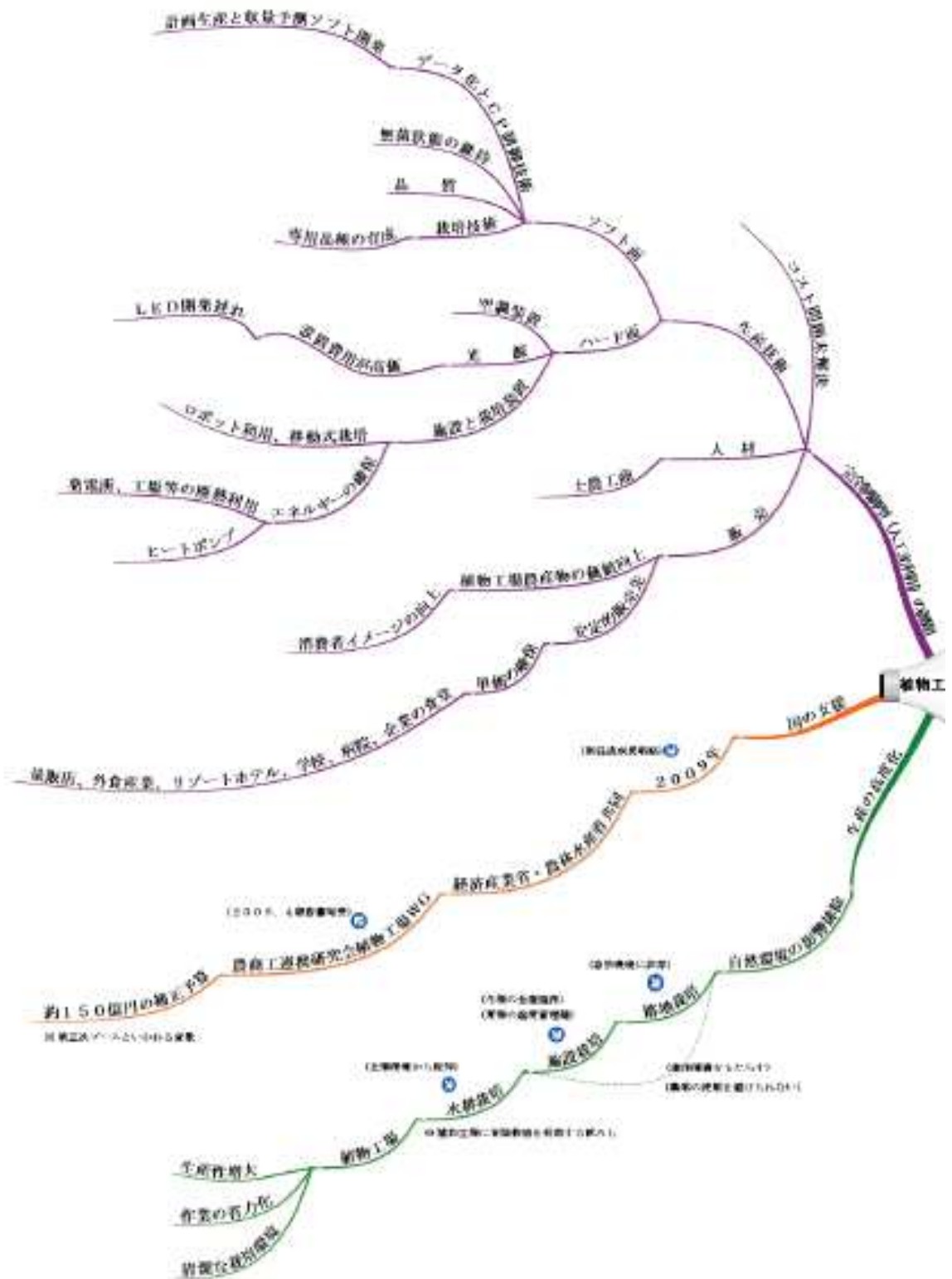
「植物工場」まとめ辞典

(1) 「植物工場」の樹枝図

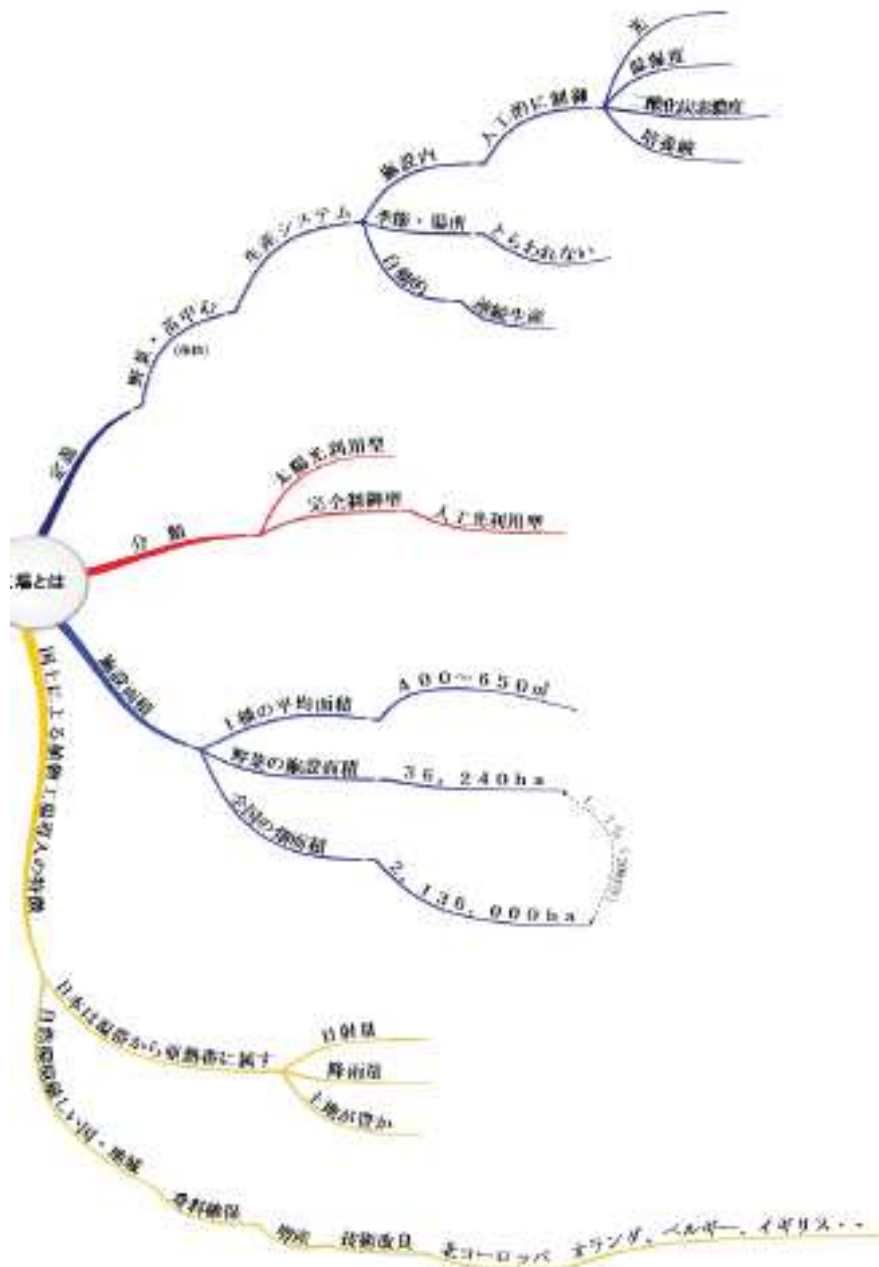
(2) 「植物工場」関連用語集

(3) 参考文献、引用文献

(1) 「植物工場」の樹枝図



- ・コメントを入れる←福島さんに依頼中（印刷はコメント付きの福島さんオリジナル原稿を使用）



(2) 植物工場関連用語の定義集

■ 植物工場とは

<農商工連携研究会 植物工場ワーキンググループ報告書より>

植物工場は、施設内で植物の生育環境（光、温度、湿度、二酸化炭素濃度、養分、水分等）を制御して栽培を行う施設園芸のうち、環境及び生育のモニタリングを基礎として、高度な環境制御と生育予測を行うことにより、野菜等の植物の周年・計画生産が可能な栽培施設である。この概念にあてはまる栽培施設として、大きく分けると、閉鎖環境で太陽光を使わずに環境を制御して周年・計画生産を行う「完全人工光型」と、温室等の半閉鎖環境で太陽光の利用を基本として、雨天・曇天時の補光や夏季の高温抑制技術等により周年・計画生産を行う「太陽光利用型」の2類型がある。（以下、太陽光利用型のうち、特に人工光を利用するものについては「太陽光・人工光併用型」とする。）

<千葉大学大学院園芸学研究科 丸尾 達 による定義>

①完全人工光型植物工場（又は完全制御型植物工場）

光に不透明な断熱材に囲まれ、換気を最小にした倉庫状の建物内で人工光による照明のみで行う植物栽培システム。（光源は現在は蛍光灯が主流、多段栽培が主流）

②太陽光併用型植物工場

光に透明・半透明の資材で被覆され、ある程度の換気を~~行~~う園芸施設（温室・プラスチックハウス）内で、人工光による補光システムを有する植物栽培システム。（太陽光を入れるため換気が必要。光源としてはHPSが主流。多くは平面栽培）

③太陽光利用型溶液栽培システム

光に透明な資材で被覆され、十分な換気を行う園芸施設（温室・プラスチックハウス）内で、育苗以外に人工光を使用せず自然光のみを利用する植物栽培システム。

<図解よくわかる植物工場（日刊工業新聞社）より>

「植物工場」の定義は、「野菜や苗を中心とした作物を施設内で光、温湿度、二酸化炭素濃度、培養液などの環境条件を人工的に制御し、季節や場所に余り捉われずに自動的に連続生産するシステム」ということになります。植物工場には「太陽光利用型」と人工光のみによる「完全制御型」とがあって、後述するように若干の相違はありますが定義としては共通しています。農業生産は、出来るだけ自然環境の影響を排除していこうとする工夫にしたがって、全く自然環境に依存する「露地栽培」から、冬場を中心に生産を確保しようとする「施設南芸（ハウス

栽培)」、土壌環境から脱却する「水耕栽培」、そして最後に自然環境の影響から出来るだけ逃れて安定生産を目指す「植物工場」の順に高度化していきます。植物工場の中で育てられた作物は無農薬あるいは低農薬で、新鮮、清潔、付加価値が高いなどの特徴を持ちます。農業の主流は勿論露地栽培ですが、天候や土壌などの自然環境の影響をもろに受けるので生産が不安定になり、季節性が避けられません。近年の施設園芸の発展は野菜や花の端境期をなくし、周年的な供給を可能にしてくれました。しかし、未だ幾つかの問題があります。帯地栽培にせよ施設園芸にせよ、一般には農薬の使用が避けられないので、生産者と消費者双方にとって安全・安心とはとても言えません。また施設園芸ではハウスを使用するので、その内では貢場の温度管理が難しく、多くは夏場に休んでいます。更に冬場の日照不足などの原因によって生産物の味や栄養価の問題が問われます。

殆どの植物工場では、培養液条件を制御しやすい何らかの水耕栽培を使います。土壌栽培では、いや地現象、すなわち連作障害をもたらしますが、水耕栽培にはこれがありません。更に生産性の増大、作業の省力化、清潔な栽培環境といった長所があり、植物工場にはぴったりなのです。しかし最近、植物工場に有機栽培を利用する試みも出てきました。

■ 植物生産システム

人間が介在して、ある目的の下に、植物を生産するシステムは、①開放型システムとしての、畑・田・園・山地、半閉鎖型システムとしての、②従来型園芸施設（トンネル、ハウス、温室など）および③太陽光型植物工場、④閉鎖型システムとしての人工光型植物工場、に大別される。システムの閉鎖の程度と環境制御の精度は、①、②、③、④の順に高くなる。他方、①の生態系としての複雑さの程度を1,000とすると、②、③、④の植物生産システムの複雑さの程度は、それぞれ、およそ、100、10、1程度であろう。農商工連携研究会植物工場ワーキンググループ報告書（2009）によれば、③は、環境と植物生育の計測に基づき、②よりも高度な環境制御と生育予測を行い、周年の計画生産が可能なものとされる。

■ 植物の生長に影響する要因

植物生産システムにおいて、植物の生長に影響を及ぼす要因は、環境要因、植物／生物要因、人間要因、に大別できる。人間要因、及び植物／生物要因のうちの生物要因（微生物・昆虫・ウイルスなどを含む）は物理化学的表現がしにくい。

他方、物理環境要因とその植物への生理生態学的影响、及び物理環境制御によるエネルギー・物質資源の収支、さらには生産物の数量と商業価値創造の大半はほぼ定量的に把握し得る。そこで、本節では、主に物理環境制御に限定して、統合環境制御の課題と展望について述べる。但し、今後の研究課題としては、生体情報（クロロフィル蛍光、水ポテンシャル、植物体温な

ど)を環境制御機器の運転にどのように反映させるかが重要になるので、情報技術、環境技術、生物技術に跨る領域横断的な考察の必要性が増してくる。

<植物工場において植物生長に影響する要因>

○環境要因とその時空分布

- ・光強度とそのスペクトル
- ・赤外、近赤外、遠赤外及び紫外放射
- ・CO₂濃度
- ・空気の水蒸気飽差及び根圏の水ポテンシャル
- ・植物地上部、根圏及びガラス壁・構造材の温度
- ・植物群落内外空気及び根圏における拡散係数
- ・CO₂ガス及び水蒸気の拡散
- ・根圏における水、酸素ガス、養分などの拡散
- ・O₂濃度と根圏におけるその濃度

○植物・生物要因

- ・植物群落構造とその光学特性
- ・葉面積とその時空分布
- ・葉及び植物群落の放射反射率、吸収率及び透過率

○生理要因

- ・気孔抵抗及び葉肉抵抗
- ・気孔及び根の水ポテンシャル
- ・光合成産物の転流にかかわるシンクの強さ
- ・光合成に関わる酵素ルビスコの活性
- ・その他の酵素、ホルモン、生化学物質の濃度と特性
- ・害虫及び天敵昆虫
- ・病原菌・微生物・ウイルス・小動物

○人間要因及びその他の要因

■ 光エネルギー利用効率

利用効率とは、投入した資源（エネルギー、物質、金銭、労働など）の量が生産物価値（生産額×品質×係数）または生産過程で得られる価値に変換される割合を示すもので、通常、最大で100%、最低で0%の値をとる。光エネルギー利用効率（Light Energy Utilization Efficiency、LUE）の定義は次のとおり。植物工場における資源投下量当りの収量向上努力の第一段階は、植物の光合成活動による光エネルギーから炭水化物の化学エネルギーへの変換効

率、即ち光エネルギー利用効率を高めることである。そして、光エネルギー強度またはその時間積算値を光合成産物（一次代謝物質である炭水化物）生産速度の唯一の制限因子とすることにある。この光エネルギー利用効率を最大にするために、CO₂ 濃度、気流速度、気温、空気飽差、施肥・灌水、病虫害、草姿などを省資源・環境保全・省力的に制御し、間接的に蒸散速度、光合成速度、呼吸速度、養分吸収速度などを制御するのである。なお、光エネルギー利用効率の理論的最大値は光量子収率（Photon Yield または Light quantum Yield）の逆数であり、光強度、 $I = 0$ のときの勾配 b に相当する。

太陽光型植物及び人工光型植物工場におけるエネルギー利用効率を高め、また投入資源量あたりの価値創出量を高めるには、環境制御及び栽培システムへの初期投資および運転経費が必要になる。そのための投入資源量に見合った以上の光エネルギー利用効率及び価値創出を可能にするのが、環境制御、栽培システム、栽培管理及び品種選択（品種育成）の直接的な目的である。環境制御、栽培システム、栽培管理、品種選択を統合的に行うことにより、人工光型植物工場における光エネルギー利用効率は現状の 2 倍以上に高められると推定される。わが国における太陽光型植物工場におけるそれも、2 倍以上に縮められると期待される。

$$LUE = c d \times DW / PLE$$

$c d$: 単位乾物質量が含む科学エネルギー量 (20 MJ / kg DW)

DW : 生産物の乾物質量 (単位: kg / m²)

PLE : 光合成有効放射エネルギー (波長 400 ~ 700 nm)

(単位: J / m² or Wh / m²)

(人工光で補光されている場合は、その PLE も含む)

■ 統合環境制御 (Integrative Environmental Control)

統合環境制御の意味は二重である。第一は、①植物の生育環境、②植物工場作業者の労働環境、そして、③植物工場周辺の地域環境および地球環境、の統合である。この 3 種の環境をより高い次元で統合して制御することが求められる。第二は、植物の生育環境に関わる数多くの環境要因を、より高い次元から統合的に制御することである。以下では、第 2 の意味での統合環境制御を考える。植物の正味光合成速度あるいは栄養成長に影響を及ぼす主な物理環境要因は、光強度、CO₂ 濃度、気流速度、気温 (植物体温)、葉面または空気水蒸気飽差 (相対湿度)、培地・植物体内の水ポテンシャル、無機養分濃度である。前述の各種利用効率を統合的に向上させるには、関連する利用効率を変数とした変数とした目標関数を基盤として、各環境要因をバランスよく制御する、統合環境制御が必要である。但し、時々刻々における目標関数の最

大化が、或る期間内の積算値最大化を達成させるわけでは必ずしもないので、実際には、正味光合成速度・生長の時間積分を含めた予測式に基づいて環境制御を行うことになる。統合環境制御によって植物の光合成／生長を促進するための具体的環境制御の方法例、統合環境制御に基づく各環境要因の制御例

- ・ 補光をした方がよいと判断された場合の照射強度と時間帯を最適化する
- ・ CO₂ 濃度を 800～1・500ppm（換気窓閉時）または外気のそれと同じに維持する
- ・ ファンを運転して気流速度を 30～100cm/s に増大する
- ・ 植物体温度および気温を最適化する
- ・ 空気の水蒸気飽差を最適化する
- ・ 根圏における水及び養分の供給速度を最適化する
- ・ 有害な微生物及び昆虫の生長・増殖を最小化する

■ 最適葉面積指数

床面積当りの正味光合成速度 P_n は、生長初期には葉面積の増大とともに増大する。しかし、葉面積指数 LAI（＝葉面積／床面積、Leaf Area Index）が 1 を超えて、葉の重なりが生じ始めると、 P_n の増大は LAI に比例せず、頭打ちになる。LAI が更に大になると、 P_n は減少に転じ、ついには、総光合成速度より呼吸速度が大となり、マイナス値になる。 P_n を最大にする LAI を最適葉面積指数（最適 LAI）という。果菜類の生殖生長時における栽培管稚では、最適 LAI を維持しつつ、光合成産物が葉面積を増大するのではなく、果実へ転流するように環境制御および栽培管理する必要がある。同様に、花卉類では、花卉に転流ようにする。生殖生長と栄養生長が同時進行する場合においても、最適 LAI の概念は重要である。

■ ヒートポンプ

ヒートポンプ（Heat Pump）は、蒸発機（Evaporator, 吸熱機）で集めた熱エネルギーを凝縮機（Condenser, 放熱機）まで冷媒の移動により運搬する熱ポンプである（図 4. 1）。蒸発機・凝縮機でなく蒸発器・凝縮器と書かれることが多いが、本書では、送風ファンなどの構成部品を含めて蒸発機凝縮機と記述する。ヒートポンプは、一般社会では、エアコン、冷蔵庫、冷凍庫、製氷機、低温貯蔵庫、除湿機、飲料自動販売機などと用途に基づく名称で呼ばれることが多い。最近では、ヒートポンプを利用した洗濯物乾燥機、給湯機、食器洗浄機、浴室乾燥機などが普及し始めている。通常は、低温側の蒸発機で吸熱して、高温側の凝縮機で放熱する（植物工場では、後述のように、逆の場合がある）。低温側から高温側への熱エネルギーの汲み上げには圧縮機（Compressor）を用いる。

暖房時においては、室外機が蒸発機として機能し、室内機が凝縮機として機能する（冷房時に

おいては逆である)。低温低压の気体冷媒を圧縮機で圧力をかけて高温高压し、凝縮熱を発生させる。高温高压の気体冷媒は、凝縮機で外気と熱交換して放熱し、中温高压の液体冷媒になる。この冷媒が膨張弁またはキャピラリーチューブを通過する際に圧力が急減し、液体冷媒の一部が気化し、低温低压の気体・液体が混合した冷媒となる。液体の冷媒は蒸発機において熱交換し吸熱し、低温低压の気体冷媒となり、圧縮機に至り、サイクルを一巡する。蒸発機・凝縮機に設置された送風ファンは、上述の際の熱交換を促進させるためである。但し、室内機では室内空気分布の適正化・均一化の役割も担っている。冷房時においては、冷媒の移動方向を逆にして、室外機を凝縮機、室内機を蒸発機として機能させる。冷媒の移動方向の切り替えは、四方弁でなされる。ヒートポンプの蒸発機と凝縮機を結ぶ冷媒管の距離は、通常、十数メートル以下が適切で、距離が短い程効率良く熱エネルギーを運搬出来る。冷媒には、「フロン（フロン、フルオロカーボン）」のような化学合成された合成冷媒と、CO₂、水、アンモニア、空気、プロパン、ブタンなどのように自然界に元来存在する自然冷媒に分けられる。分子中に塩素を含む合成冷媒 CFC-12 はオゾン層破壊の原因となることが 1970 年代から知られ始め、1995 年に製造中止となっている。合成冷媒 HCFC-22 は補充用を除き 2010 年に生産全廃となる。塩素を含まないのでオゾン層破壊や地球温暖化の原因とならない混合合成冷媒として、最近では、R410A、R407C が用いられている。自然冷媒の利用も増えている。

■ 施用 CO₂ 源

植物工場における光合成促進のために CO₂ 施用は必須である。他方、CO₂ 施用にはコストがかかり、また、温室外への排出量は地球温暖化抑制とコスト軽減の観点から最小にしなければならない。CO₂ 施用に際しての全体的目標は、植物が吸収する CO₂ 量が、植物生産に必要な資源を生産する過程における CO₂ 排出量を上回ることである。

施用する CO₂ としては、液化ガスを用いる場合と、灯油、LP ガス、LNG ガス、プロパンガスなどを燃焼させて CO₂ ガスを得る場合がある。燃料単価を、灯油 60 円/J、プロパンガス 120 円/kg、液化 CO₂ ガス 100 円/kg とすると、現状では、CO₂ ガスを 1kg を得るには灯油では約 25 円、プロパンガスでは 40 円となり、灯油を用いるのがもっとも安価である。但し、いずれも価格変動と購入方法による価格の違いがあるので注意が必要である。他方、CO₂ は換気窓を閉じた状態で施用するのが原則であるので、密閉性の高い植物工場での灯油やガスの不完全燃焼は CO（一酸化炭素）を発生させ人命にかかわる。このことから、CO₂ 施用装置の運転は、CO センサー、CO₂ センサーと連動させ、更に、換気装置・送風装置などの運転とも連動させる必要がある。他方、0. 2ppm 程度の亜硫酸ガス濃度で生育障害を起こす植物種・品種があることも注意しなければならない。

灯油やプロパンガスを用いた CO₂ 施用の現状における問題点は、燃焼に伴う発熱の利用が不

十分なことである。CO₂ の必要施用量は、昼間でしかも日射の強いときに大となる。他方、その時は暖房が必要でないことが多いので、CO₂ 発生にともなう燃焼熱を無駄にしている場合が多い。換気窓を開けて燃焼熱を室外に逃がせば、CO₂ ガスも室外に逃げてしまうことになる。今後は、燃焼熱が不要な場合は蓄熱するか、或るいは温水を得て他の用途に使用するなどの工夫が必要である。

■ 閉鎖型生産システム

閉鎖型生産システムは①物質とエネルギーの出入りが統合的に制御され、②投入資源物質(原材料)の全てが生産物に変換され、結果的に、③環境汚染物質は環境に排出されず、また④システム外への熱排出量は最小にされる、と定義される。このシステムの実現は困難であるが、ほぼ実現したとすると、それはサステナブルな生産システムの要件の多くを満たすと考えられる。なお、「閉鎖型」は、投入資源と生産物以外に物質の出入りがなく閉鎖されていることを意味している。

<閉鎖型植物生産システムの特徴>

閉鎖型植物生産システムは次のような要件を満たすものである。

・省資源性

植物・培地からの蒸発散水の約 95%をヒートポンプ冷房時に回収して灌水に利用することで、水使用量が 1/40~1/50 になる。施用 CO₂ 量の約 85%が光合成で吸収され、利用効率は約 2 倍である。植物が呼吸で放出して室内に暗期に蓄積された CO₂ は明期後に植物が光合成により自主回収する。

・省スペース・省力性、生産立地

必要な床面積が 1/10 以下であり建物容積が 1/30 (建物の高さが 1/3) 以下なので、省空間・省力、初期設備の節減になる。閉鎖型なので陽当り、土壌肥沃度、気象、立地に生産性が依存しない。

・環境保全性(肥料・農薬)

肥料を含んだ水を外部に排出せず、システム内部で循環利用するので、肥料の使用量が最小となり、且つ環境保全的で安全である。又、原則として無農薬である。

・投入資源利用効率

室内環境が気象・外乱に影響されないので、投入資源としての光エネルギーの利用効率を最大とする環境制御が可能である。全ての投入資源物質の利用効率を 100%とするのが目標である。

- ・リサイクル性

蛍光灯、エアコン、断熱材、棚材などの主要構成部品は大量生産工業製品であり、寿命が尽きた時のリサイクルシステムが社会的に確立されている。その他の使用済み物質も殆どがリサイクル可能である。

- ・安全性・安定性

光に不透明な断熱壁で換気口や隙間がないので、害虫・病原菌・危険物質の侵入、建物破壊・盗難をほぼ防げる。従って、気象災害、病虫害などのリスクが小さく、又、安全・安定な計画生産が可能である。

- ・高品質

閉鎖型なので、光、温度、湿度、CO₂濃度、気流速度などの環境要因を安定的に制御出来るので、生産物が高品質になりやすい。又、植物の受精・着花・開花・結実の時期などの発育段階を調節出来る。

- ・作業快適性

屋外や温室内と異なり、栽培空間は、常に、気温 20～25℃、相対湿度 60～70℃、気流速度 0.5m/s、床面照度数千ルクス程度なので、作業環境として快適である。植物の生長を実感しやすいので作業が楽しい。

- ・進化性

環境と植物生長や植物の機能性成分との関係が比較的単純で、効果的環境制御法を見出しやすく、又、実現しやすいので、栽培システムを継続的に進化させることができる。この特徴は人間の仕事意欲を高め、作業を楽しくさせる。

■ 光源

人工光型植物工場の実用化開発は 1970 年代前半に始められ、1980 年代に商用化が開始されている。商用化当初の光源は高圧ナトリウムランプを主体とするものが多かった。この場合、ランプ表面温度が 100℃を超え、又、植物栽培面での光強度を比較的均一にするために、ランプと栽培面の距離を 2m 程度離さざるを得なかったので、結果的に 1 段の栽培面を水平面または斜面にしていた。その後、蛍光ランプの光出力及び電気→光エネルギー変換効率が改善され、蛍光ランプの使用が主力になった。蛍光管の表面温度は 40℃前後であるので、近接照明が可能になり、多段栽培が主流になっている。

2000 年以降、光出力が大きい LED の技術革新が進み、価格性能比も低下している。商用の植物工場に導入され始めているが本格的普及は今後の課題である。LED は蛍光灯にない特徴を幾つも有しているので、今後の展開が楽しみな光源である。その他、冷陰極管光源などもある。

<栽培光源としての LED の特徴>

- ・照射光の波長制御と光量調節が可能

植物の様々な光応答反応を利用して特定の波長の光を効率良く植物に照射することで、開花や結実時期の調節、植物の形態や栄養成分のコントロールが可能となる。

植物の成長には、可視光に含まれる全ての波長が必要なわけではなく、特定の波長の光を取り入れて成長する。例えば光合成反応では、クロロフィルの吸収ピークがある 660nm 近辺 (650～700nm) の赤色光が最も強く影響し、花芽形成や光屈性では、クリプトクロームやフォトロピンの吸収ピークがある 450nm 近辺 (380nm～450nm) の青色光が影響を与えている。

又、発芽や節間伸長に作用しているフィトクロームと言われる光受容体は、660nm 近辺の赤色光が反応を誘導する一方で、730nm を中心にした遠赤色光 (700～750nm) がその効果を打ち消す性質 (赤・遠赤色光可逆反応性) を持っている。つまり、赤色光が強い発芽誘導作用を示し、遠赤色光が強い抑制作用を示すというように、可逆的にスイッチングする仕組みである。このように、植物の様々な光応答反応を利用して栽培する際、LED を用いれば特定の波長の光を効率良く植物に照射することが可能である。また将来的には、開花や結実時期の調節、植物の形態や栄養成分のコントロールをすることも可能になる。

- ・小型軽量・低消費電力・熱放射が少ない

植物栽培に利用する可視領域の LED 光は赤外領域のエネルギー放射が少ない。そのため光源を栽培植物に近づけて設置することができる。つまり、栽培する植物の高さに合わせて光源を設置し、近接照明することによって植物に無駄なく光を照射することが可能である。又、小型の栽培装置をビル状に何層も積み重ねて栽培することでスペースの有効利用もできる。従来の完全制御型構物工場では、生産コストに占める電力代の割合が大きい。LED を採用すれば照明熱を取り去るために従来必要だった空調電力代を大幅に節約する効果が期待できる。加えて LED は小型軽量で加工も容易なため、場所をとらない、コンパクトな照明装置を作ることにも可能である。

- ・長寿命

従来光源である高圧ナトリウムランプ (1 万 2 千時間) やメタルハライドランプ (1 万時間)、蛍光灯 (6 千から 1 万 3 千時間) と比較して長寿命である。植物栽培で最も重要な赤色 LED の寿命は 10 万時間、白色 LED でも 6 万時間と長寿命でランプ交換が不要。

- ・光合成に有効なパルス照射が可能

従来光源でのパルス照射は、照明ランプに対する負荷が大きく短命になるのに対して、LED は素子の冷却効率が上がり長寿命化する。植物の光合成反応は、常に光を要求している訳ではないため間欠照射を行い単位光量当りの光合成速度を増大させる事が可能。(例、光合成明反応系の律速因子であり光化学系 II の反応中心である P680 の還元時間は 200 μ S)

■ 光形態形成

野菜炒めやラーメンなど料理材料として広く用いられている“もやし”はマメの品種であるダイズやヤエナリの種子を暗所で発芽させたものである。もやしは光の下で育った正常な幼植物と違い、緑色とならず、黄白色でひょろひょろと長く、莖も発達しない。このように植物の生長・分化は環境要因、特に光の影響を顕著に受ける。光による生長・分化即ち形態形成の変化を光形態形成と呼ぶ。

光形態形成を引き起こす光のエネルギーは、光合成に利用されるエネルギーの大きさと比べて極めて小さい。植物の形態形成を支配する低エネルギーの光には、赤色と青色がある。赤色の光を受け取るのは赤色光受容体とよばれ、分子量が 125000 のフィトクロームと名付けられているタンパク質である。青色の光を受け取るのは青色光受容体と呼ばれるが、その内訳は分子量が 75,000 のクリプトクロム、120,000 のフォトトロピンという二つのタンパク質とカロチノイドの一種ゼアキサンチンである。

■ 光 合 成

高等植物は葉面に分布している気孔を通じ大気中の二酸化炭素を吸収し、根から水を吸収する。これらは葉肉細胞の葉緑体に送り込まれ、植物はクロロフィルが捕らえた日光のエネルギーを利用し、糖、デンプンなどの炭水化物を合成する。これが光合成であり、地球上において無機エネルギーが有機エネルギーに転化される最初の反応で、炭酸同化作用とも言う。

細胞を構成しているタンパク質、核酸、脂質、細胞壁、貯蔵物質などは、すべて光合成産物と根から吸収された無機化合物を原料として合成される。このように光合成の結果、初めに生成された炭水化物は、新しい細胞の構築原料となると共に生長のためのエネルギー源となる。地球上の光合成総量は1年間に固定される炭素の量として約 15×10^{10} 乗トンといわれている。

■ 太陽エネルギーと光合成

光合成によって糖を生成する時、化学エネルギーに変換されるのは葉に注がれる光エネルギーの僅か1%に過ぎない。1年間に地球に注がれる太陽エネルギー 5×10^{20} 乗 kcal のうち、約 1.5×10^{18} 乗 kcal (0.3%) だけが光合成に利用される。この約 1.5×10^{18} 乗 kcal のエネルギーが約 15×10^{10} 乗トンの炭素を固定して化学エネルギーとして蓄えられる。葉内の二酸化炭素濃度はおよそ一定で、大気中 (0.04%) の半分程度である。

■ 高機能性植物

高機能性植物とは、ビタミン含量が高い、アレルギー含量が低いなどの成分を調整した食品、カフェイン含量が低いコーヒーなどの嗜好品、医薬品を始めとする有用物質を生産する「バイ

オリアクター」植物、青いバラなどの園芸植物、環境汚染を浄化する植物など、本来その植物自身を持っている性質を改変して高めたり、他生物の遺伝子を導入することにより新たな機能を付与した植物である。

■ 養液栽培

英語では **Soilessculture** 或いは **Hydroponics** と表現される栽培法で、土壌を培地として用いないで、固形培地を全く使用しない（水耕法）か、或いは砂や砂利、ロックウールなどの無機質な固形培地、更にはピートモスやヤシガラ、モミガラなどの有機質固形培地を用いて、化学肥料を水に溶かした液肥（培養液）を与えながら栽培する方法。

■ 低コスト植物工場

従来のプラスチックハウスを利用した栽培であるが、基本的には毒液栽培を用いて、安定生産や計画生産が可能のように、光強度、気温（葉温あるいは植物体温）や地温（根温）、湿度、CO₂ 濃度、空気の流れ、培養液の濃度や無機要素の組成・濃度、pH、給液の量や頻度、排水量などを確実に計測でき、それらの要素についてコンピューターを利用して任意に管理出来るもの。

■ サイエンス農業

経験と勘だけに頼らず、上記のような環境要素データを用いて、科学的理論に基づいて栽培や環境の管理を行うもの。植物工場技術の基本となる。

■ ビジネス農業

数字を基にして考えることを基本とし、投入コストと販売収入を常に意識した経営を行うもの。基本は生産したものを売のではなく、売れるものを生産することにある。

■ ユビキタス環境制御システム

自律分散型環境制御システムとも言われ、栽培施設の天窓や側窓、保温・遮光カーテン、暖房機、給液装置等々のそれぞれが独自に小規模コンピューターを有し、別個に管理出来ると同時に、実際にはそれらをLANで統合したホストコンピューターを持つ統合環境制御システム。

■ ロックウール（RW=RockWool）

玄武岩や鉄鉱石スラグに石灰などを混ぜて高温溶解して綿飴状の繊維を作り、それを積み重ねて造る人工の鉱物繊維。建築物の断熱材などとして利用されるものと同じものであるが、栽

培用培地は密度も高く、吸水性を持たせている点に違いがある。「石綿」とは全くの別物。

■ LCA（ライフ・サイクル・アセスメント）

ライフ・サイクル・アセスメントとは、個別製品の製造から廃棄、或いは再利用までの各段階における環境負荷を明らかにし、環境負荷を軽減する改善策を検討していくことである。農業資材にも寿命があるので、古くなった資材は廃棄することになる。又、栽培や輸送、販売など、あらゆる段階で廃棄物が発生する。日常的に作物の残渣（ざんさ：かす・廃棄物のこと）は随所で発生する。植物工場が「工場」と言われるようになるためには、LCAの観点からの対応を考える必要もある。

■ 農業の生産性

農業の生産性には次の土地生産性、労働生産性、資本生産性という3つの概念がある。

（1）土地生産性＝収量・収入／生産に要した土地面積

土地生産性は収量或いは収入をそれに要した土地面積で割って求められるので、これを向上させるには、分子である収量あるいは収入を増加させるか、分母である生産のために要する土地面積を減らすことが必要となる。

①面積当たりの植物体数増加：栽枢密度は多くの場合、作業通路の面積をも含んだ形で考えられる、従って、移動ベンチや自動栽培システムの導入など、作業通路が減らせる、あるいはなくなるような栽培システムの導入によって、土地生産性の向上が図られる。

②年間の植え付け回数増加：栽培品種や栽培法、装置、環境の改善などによって生育速度を速められるなら、年間の作付け回数が増加し、土地生産性は向上することになる。水耕装置の導入による葉菜類の生産などは、この良い例である。

③収穫期間の延長：果菜類などの果実収穫期間を延長出来れば、年間の収量を増加させることが可能となる。イチゴの果実収穫を4月で止めるか5～6月まで継続するか悩む生産者は多い。暖かくなると収量は増加するが単価は下がるので、生産意欲は低下するかもしれないが、ヒートポンプなどの利用で高品質な果実を生産出来るなら、収穫量を増加出来て面白いチャレンジをする可能性は高い。

④立体的栽培・外部から施設の中に入ってくる太陽光の量は限られている。これを利用するのにこの平面での栽植密度を可能な限り高くするのはよいが、立体的な栽培にすると、下位の植物は受光量が上位の植物より減少することになって、面積当たりの株数を増加させた割には収量は増加しない。立体的な栽培で土地生産性を向上出来るのは、人工光型の植物工場である。

⑤施設の高度利用：高価な栽培施設は通年利用したいものである。野菜や花卉では、一つの作物を施設内で周年収穫し続けられる可能性はあるが、他の作物では施設は1年間のある時期しか利用出来ない場合も多い。この最も顕著な例が果樹の施設栽培である。多くの場合は、早春から加温を開始して収穫が済む迄の間の利用で、その後は施設下で栽培される必要はないものの、その仮施設下で、あるいは被覆材を破ったり、取り除いたりして栽培が続けられる。これは植物も施設も移動出来ないために生ずる現象で、もしどちらかが移動出来れば、施設下の作物を次々と変えることで、施設の利用効率は大幅に増加する。

(2) 労働生産性＝収量・収入／生産に要した労働時間

労働生産性は、収量或いは収入を、それに要した労働時間で割って求められるので、これを向上させるには、分子である収量あるいは収入を増加させるか、分母である生産のために要する労働時間を減らすことが必要となる。労働時間を減らすには、作業の体系化やシステム化、機械の導入による自動化などを進める必要がある。施設生産は、植付け前の耕起から始まって、定植、灌水、施肥、作物・環境管理、収穫等々、多くの項目から成り立っている。これらの作業をシステム化或いは自動化することで、労働時間も精神的な負担も大幅に軽減できる。

①システム化・自動化・施設内の環境管理のための天窓や側窓の開閉は、最も自動化を進めやすい項目である。又、近年、毒液土耕技術などの導入によって、土耕でも灌水や施肥などの管理は自動化が進みつつある。その他、果菜類の栽培において必要であった受粉或いはホルモン処理も、交配用のハチャ単為結果性品種の導入などによって、省力化が進みつつある。今後、管理作業や収穫作業のシステム化・自動化を急ぐことが、施設園芸の大きな課題である。

②分業化（作業の外部委託）：農家の経営は、栽培作物の決定から、作付面積・栽培法・栽培時期などの決定、そしてその後始まる栽培準備から播種、育苗、定植、誘引、灌水、追肥、農薬散布、温度管理などの日常的な環境管理、そして収穫、調整、出荷、後片付けと、休む暇なく様々な思考と判断が要求される。特に肥培管理や病虫害対策は、収量や品質に大きく影響するので、生産者にとっては常に重要な問題である。その他、規模を拡大すれば労働力の確保、そしてその管理まで考慮する必要がある。これらの全てを経営者一人が行うのは非常に困難であり、そのために環境対策などは見過ごされやすくなる。既に、苗生産が独立した産業となってきたように、栽培管理についても可能な限り外部委託を進める必要があろう。即ち、施肥管理のための栄養診断や、病気や害虫の判定と対策法などを専門家や専門的な機関に委託することである。そうすることで、水や肥料の効率的な利用や、農薬の使用量の削減が可能となるだけでなく、生産者の精神的・肉体的負担を軽減できることにもなる。

③労働環境改善と労働負荷の軽減・施設生産では、労働環境の改善と労働負荷の軽減も重要な課題となっている。これ迄、日本で主流となってきた蒲鉾型のビニールハウスは、天井も低く、規模も小さいので、狭い通路を横向きになって移動したり、屈んで作業する場面が多かった。冬は結露した水滴が上から落ちて作業服や髪をぬらしたり、夏は汗で汚れたり、作業者は不良環境の中での労働を強いられてきた。しかし、軒高が4メートルを超えるような最近の新しい施設では、圧迫感の少ない、明るい作業環境を実現している。又、最近のオランダに見られるトマトのハイガター栽培や、日本で主流になりつつあるイチゴの高設ベンチ栽培は、腰を曲げる作業をなくして労働を軽減することが出来た実例である。これらの技術を今後さらに普及させることによって、労働生産性の向上も達成されることになる。

(3) 資本生産性＝収量・収入／生産に要した資本

資本生産性は、収量或いは収入をそれに要した投入資本で割って求められるので、これを向上させるには、分子である収量或いは収入を増加させるか、分母である投入資本を減らすことが必要となる。

①低コスト施設の導入：日本では、園芸用施設（ガラス室、プラスチックハウス）の設置コストや資材価格が諸外国に比べて割高になっていることや、施設や装置の仕様が地域或いはメーカーなどによって異なり、互換性がないことなどが要因となって、施設の高度化が進まない状況にあった。これについては、2004～2006年に、農水省の研究プロジェクトで「低コストハウス」が開発された。今後このような施設が普及することが期待される。

②資本の効率的利用：農家の中には時々、資本の効率をあまり考えない人がいる例えば冬季の暖房について、燃油価格が高騰したから暖房をしないと判断する人が居るが、トマトなどの高温性作物を栽培しようとするなら、或る程度の気温を維持しないと高い果実収量は期待できない。暖房を全く行わずに植物体が枯死しない程度を維持する、あるいは暖房が必要な時期には栽培を行わないなどの例があるが、ある程度の暖房をして果実の収量を得ることと、どちらが効率的かデータを基に判断すべきである。燃料費を掛けてもそれに見合った収量増加が期待出来るなら、暖房をすべきであろう。

又、別な例では、施設や装置には出来るだけ金を掛けないことが重要と判断して、極めて簡単な施設で、環境調節も全て手動で行い、栽培装置も自家製の簡単なものを使用している。この場合には、天窓や側窓の開閉も手で行うために、環境管理が不十分になって病害虫を発生させたり、休みも取れなかったりする可能性がある。施設や装置にどれだけの資金を投入するかは判断が難しいところではあるが、少なくとも、「金を掛けないことが最も重要である」との判断は、いつも正しいわけではないと言える。

■ 農業法人の形態

農業法人とは、法人形態によって農業を営むものの総称である。農業法人には、制度の面から「農事組合法人（組合の形態をとるもの）」と「会社法人（会社の形態をとるもの）」の2つのタイプがある。「会社法人」は、営利を目的とする法人で、株式会社などが代表例である。これに対し、「農事組合法人」は、農業経営などを法人化するために農業独特のものとして設けられたもので、協同組織的性格を有している。農業法人は、農地を利用するか否かによって、「農業生産法人」と「その他の農業法人」とに大別される。農業生産法人は農地法で規定されたもので、農地を利用して農業経営を行うことの出来る法人である。農業生産法人になるためには、農事組合法人（農業経営を行うもの）、合同会社、合名会社、合資会社又は株式会社（株式の譲渡制限を定めるもの）として、農地法に規定された一定の要件（事業要件、構成員要件、業務執行役員要件）を満たす必要がある。いわゆる植物工場でのレタスやトマト生産、ガラス室での花井栽培などで、農地を利用しない場合は、農業生産法人の要件を満たしている必要はない。

■ 養液栽培装置

養液栽培装置は一般に栽培ベッド、給排液システム、植物体システム等から構成されている。
<栽培ヘッド>

栽培ベッドの構造は作物によって、かなり異なる。固定式ベッドや移動式ベッド、地面に設置するものからテーブルのような高設型のものなどがそれらである。固定式ベッドでは、通路がベッドの両側にあり、畝間の役割をしている。それに対して移動式ベッドは、ベッドが移動するので、作業通路は1つあればよいことになり、土地生産性は通路を無くする分だけ固定式ベッドよりも向上する。ベッドを地表面に置くか、高設にするかは考える必要がある。地表面に置けば、ベッドの温度は地温とほぼ同じで比較的安定する。それに対して、高設にするとベッドの温度は気温の影響を受けやすい。作業性の面から評価すると、ベッドが地表面にあると腰を曲げて作業する必要性が生ずるが、高設ベッドでは腰を曲げた作業は殆んど不要になる。他方、ベッドを設置する際には水を流すために、ある程度の傾斜をつける必要があるが、ベッドの傾斜をとるには高設の方が地表面に設置するよりもやりやすい。NFTのような栽培方式では、株当たり、時間当たりの培養液施用量がかなり少ない場合が多い。そのような条件下で平均して安定した培養液の流れを確保するためには、ベッド底面のわずかな凹凸が問題となりやすい。そのため、流路に沿って溝を作ったり、底面に吸水性の布やマットを敷いたり、場合によっては1畝毎に分離したりするなどの工夫がとられている。いずれにせよ、植物体のすべてに等量の液肥を供給する必要がある。又、固形培地を使う場合でも、培地素材によって水分保持力やpH、陽イオン交換容量（CEC：Cation Exchange Capacity）などの理化学性が異

なるために、それらを考慮したベッド構造や培養液管理の考え方が必要になる。栽培中には、根圏の温度やベッド内培養液の pH、EC（電気伝導度）、無機要素組成などの管理に注意が必要である。

<給排水システム>

栽培装置と組み合わせて、様々なものが市販されている。培養液の作成から作物の根に与えられる迄の各行程における管理項目としては、まず水に肥料を溶かして培養液を作る。以前は大きなタンクに入れた水に、必要量の肥料をその都度計量して溶かして作っていた。しかし最近では、高濃度貯蔵液を作成しておき、希釈機あるいは混合機を用いて機械的に培養液を調整するが多い。出来上がった培養液は、ポンプで栽培ベッドに供給される。水耕の場合には一般に、培養液はベッドから調整タンクに回収して再利用されるが、固形培地を利用する栽培では、ベッドからの排水を回収しない栽培方式と、水耕のように回収して再利用する方式とがある。

<高濃度貯蔵液>

多くの場合、培養液は初めに高濃度液として、実際に利用する際の 100 倍程度の濃度を持つものを作成し、2 つのタンクに貯蔵しておく。培養液の作成に使用される塩類は、カルシウムを含む塩類と、リン酸或いは硫酸根を含む塩類は必ず分けて貯蔵しなければならない。そうしないと、これらはタンクの中で反応して、硫酸カルシウム（石膏）或いはリン酸カルシウムといった非常に難溶性の化合物を形成し、沈澱してしまつて植物には利用されないことになる。一方、目的によっては、酸性リン酸マグネシウムを基本として全要素を含む貯蔵液を作成し、貯蔵タンクを 1 つで済ます方法もある。

<希釈・混合および濃度調整>

高濃度貯蔵液は用水で希釈或いは混合されるが、その方式は調整タンクがある場合とない場合では異なる。調整タンクがある場合には、水と高濃度液とを別々にタンクの中に入れて混合するが、その制御法には水位によるもの、定量ポンプによるもの、伝導度計によるものなどがある。定量ポンプを使用した場合には、2 種類の高濃度液にそれぞれポンプを付けることになるが、使用途中で両者の比率に差が生ずると出来上がった培養液の組成が変わってしまうので、定期的にポンプや高濃度貯蔵液タンクの残液量をチェックする必要がある。又、伝導度計も、電極の汚れが感度を鈍くしたり、誤差を生ずる原因となつたりするので、定期的な電極の清掃を怠ってはならない。一方、特別な調整タンクを持たず、水道管の中へ高濃度液を直接吸入あるいは注入する方式には、ベンチエリー管によるものや定量ポンプによるものなどがある。この場合には、流量に関係なく正確な混合比率が維持されることと、培養液として作物の根圏に届く迄に、用水と 2 種類の高濃度培養液が充分混合されることの 2 つの条件が満たされる必要がある。いずれにしても、ベッドに供給される培養液を定期的に分析して、装置が順調に作動

し、培養液が設定濃度を維持していることを確認することが大切である。

<PH 調整>

培養液の pH 調整は、手で行う場合と、機械的に自動調整する場合とがある。前者の場合は、定期的なチェックの後に酸或いはアルカリを加えて調整することになるが、加えた酸あるいはアルカリが培養液に十分混合して一定の pH になるには、かなりの時間がかかる。高濃度のカセイソーダなどを一時に多量使用すると、培養液中の金属元素が沈澱を起こすことがあるので注意しなければならない。又、後者の場合には、通常 pH が一定の範囲を超えて上昇或いは低下したときに、それを補正するための機構が働くようになっているが、機械的なミスが発生した場合には過剰な酸あるいはアルカリ液を添加してしまうような致命的な障害を被る恐れがある。いずれにしても、定期的に電極を掃除し、標準液で pH メーターの動作を確認する必要がある。

この他に、用水がアルカリ性で、出来上がった培養液の pH が常に高くなってしまうような場合には、希釈倍率を考慮して、高濃度液に予め酸を加えておくこともできる。

<給液>

栽培方式やベッド構造などとの関係で、作物への培養液施用法には様々な形態のものがあり、又、そのための制御法も異なる。これ迄日本で、主に使われてきた湛液型の水耕システム (DFT) では、特別な空気混入装置、或いは循環系を考えたものが多く、給液は主にタイマーで制御されていた。しかし固形培地を使った栽培法では、マイクロチューブやインナードリッパーの付いた灌水チューブを使ってドリップ（点滴）給液する場合が多く、給液の制御もタイマーの他に、植物の水分吸収が日射量と強い相関があることを利用した日射（量）比例式、培地の湿度を感知する湿度センサー式、液面の変化を感知する方式、培地の重量の変化を感知する方式など、様々な方式が採用されている。給液の量や頻度、給液系の目詰まりなどにも注意が必要である。

<排液>

一旦、栽培ベッドから出た培養液は、回収されて再利用される場合（循環型）と、回収されずにその廃棄される場合（非循環型）とがある。前者の方式をとるものとしては、水耕法やれき耕法、噴霧耕、一部の固形培地耕などがある。この場合、ある程度の時間使用していると培養液の組成は初めのものと大きく異なってしまうことが多いので、管理に注意しなければならない。作物の生育が思わしくないと感じたときには、培養液を更新してみるのも対策の一つになる。培養液を循環して使用する際の問題点の一つに病害の伝播と生育阻害物質の蓄積があるが、病害については殺菌装置が利用出来れば問題は余り起こらない。又、生育阻害物質については、活性炭などで軽減出来ることが報告されている。

後者の方式をとるものとしては、固形培地を使った栽培法があるが、この場合には排液の多

少が培地の栄養条件や水分条件に大きく関係してくることになる。排液はその俣畑や河川に流されることがあるが、土壌や地下水を汚染しないようにするためには、排液の量を出来るだけ少なくすることと、排液を貯蔵して液肥として土耕に利用することなどを考慮すると良い。

<培養液殺菌装置>

栽培ベッドからの排液を回収して再利用する場合には、根腐れ病などの問題を回避するために、培養液を殺菌する装置が導入されるようになってきた。殺菌装置としては、紫外線（UV）処理、オゾン処理、熱処理などがあるが、熱処理以外はいずれもキレート化合物を分解したり、マンガン（Mn）を酸化物として沈殿させたりして、培養液の無機要素組成に変化を与える可能性があるため、注意しなければならない。又、紫外線処理では、培養液に紫外線を照射して殺菌するために、紫外線ランプを培養液に漬ける場合があるが、そのような場合にはランプの周辺に藻が繁殖してランプの光透過を阻害するので、定期的にランプの掃除が必要になる。

<給液制御法>

培養液の施用システムは様々である。いずれにしても、同質の培養液を各植物体に等量施用出来る必要がある。点滴法で与える場合に用いる給液チューブの中には、チューブが長くなると圧力が均等にならず、ポンプに近いところは多く出るが、遠くなると給液量が少なくなるものがある。又、その制御法は、タイムスイッチを使用しただけの簡単なものから、日射量や温度を関数としてコンピューターを利用して自動制御する精密な物までである。

水耕装置では、栽培ベッドに培養液を供給する際に、溶存酸素濃度を高める工夫がいろいろとなされている。DFT の栽培装置では、給液系の先端に空気混入装置を付けているものがある。NFT の栽培装置では一般にはそのような特別な仕掛けはないが、流路の各々に少量ずつ給液できるようにになっている。固形培地を使用する栽培法では、マイクロチューブを利用して各植物体の株元にそれぞれ施用するものや、培地の上にチューブを配管してインナードリッパーから噴出施用するものなど様々である。根圏の環境条件としては、水分、養分、酸素、温度、pH などが好適に管理されねばならない。一方、作物はその種類や生育段階、季節や日々の天気、日夜の条件などによって吸収する着水分の量が大きく異なる。従って、根圏環境を好適状態に維持するためには、それぞれの条件に応じた給液管理が必要になる。

<タイムスイッチを利用した制御>

培養液をポンプで施用する際には、ポンプの稼働時間を制御出来れば培養液の施用量を調節出来ることになる。親タイマーと子タイマーを組み合わせたタイムスイッチは簡単で便利なものである。これはポンプの稼働開始時刻を親タイマーでセットし、その時の稼働時間を子タイマーでセットするものである。例えば、親タイマーの針を 2 時間ごとにセットし、子タイマーの時間を 5 分にセットすると、ポンプは 2 時間ごとに 5 分間稼働する。圃場全体に必要な培養液量がわかれば、ポンプの 1 分間当たりの吐出量からポンプの稼働必要時間が算出できる。

この方式は、日夜の給液量の調節は可能であるが、日々の天気に合わせて細かい給液量の管理には不便である。なぜならば、培養液吸収量の多い晴天日に合わせた時間設定をすると、培養液吸収量の少ない曇、雨天の日には過剰に給液することになってしまう。それでも慣れた農家では、ベッドからの排液量を見ながらこまめに調節して、この装置で良好な栽培をしている。培養液を循環式で管理するなら、この方式でも余り問題なく管理できる。

<日射比例制御>

作物の蒸散量は、気温や日射量に比例する。一方吸水量は蒸散量に近似するので、日射計で日射量を測定し、一定の日射量になったらポンプを一定時間だけ稼働させて給液しようとする方式が日射比例制御である。この方法では、晴天や曇、雨天といった短時間の気象条件の変化に対応させた給液制御は出来るが、作物の種類や生育段階についての対応は別途考慮しなければならない。

■ GAP (Good Agricultural Practice=適正農業規範)

これは、農産物生産の各段階で食品危害を最小限にするために生産者が守るべき生産工程の管理マニュアルとその実践基準を示したもので、農産物の安全、・環境への配慮、作業者の安全と福祉などの視点から、適切な農場管理のあり方についてまとめられており、農業生産者が守るべき農場管理基準として世界的に注目を集めているものである。EU に輸出するその他の国の農産物にも要求されるようになって、事実上の世界標準と言われている。わが国でも、EUREPGAP の認証を受けたものとして JGAP がある。GAP には、生産者の社会的責任を重視した規範も多く盛り込まれており、品質管理基準、栽培管理基準、農場管理基準が示され、トレーサビリティ、土、水、肥料、農薬などの食品安全に関する管理項目が含まれている。生産者がこの認証を受けることは、外国へ農産物を輸出するような場合には非常に有利になるだけでなく、国内の消費者にも理解を得やすくなると言える。

■ IPM (Integrated Pest Management=総合的病虫害・雑草管理)

どのような作物を栽培するにしても、農薬の使用量は極力減らしたいものである。そのような意味では IPM の手法がある。これは、従来は「総合病虫害防除」と言われたものであるが、新しい考えでは以下に示すように、雑草管理まで含めたものとして、「総合的病虫害・雑草管理」と言われるものである。即ち、化学農薬等の使用を含む利用可能な全ての防除技術を経済性を考慮しつつ慎重に検討し、病虫害・雑草の発生増加を抑えるための適切な手段を総合的に講じるものであり、農水省消費・安全局において指針が示されている。この管理法を実践することは、生産者にとっては安全で消費者に信頼される農作物の安定した生産を確保できるというメリットが、又、消費者にとっては人の健康に対するリスクと環境への負荷を軽減あるいは

最小の水準に止めるものとしてのメリットがある。更に、生産者による IPM の実践により、農作物の農薬使用履歴等の栽培管理状況に関する情報が記録されることになり、生産者は消費者にアピール出来、消費者はその情報を知る機会を得るというメリットもある。

具体的に生産者がすぐに対処出来るのは、害虫の侵入を防止するためのネットの使用や誘蛾灯・防虫灯の設置などの物理的方法である。その他、施設内に進入した害虫に対しては、天敵やホルモン剤の使用、粘着テープによる掃殺などの方法がある。その他、季節ごとに発生しやすい害虫をあらかじめ予測して（発生予察）、早めに対処することで、被害や農薬使用量を最小限にすることも行われている。

病害については、抵抗性品種を採用したり、環境管理を旨くすることで、発生をかなりの程度防止出来る。特に湿度管理は重要で、適切な植物体密度管理や湿度管理ができる施設では、病害を殆ど発生させない例が多く見られる。

■ NFT (Nutrient Film Technique)

NFT は薄膜水耕栽培という栽培方法。この栽培は、程度の穏やかな傾斜を持つ平面上に、養液を薄く（少量ずつ）流下させる水耕栽培で、常に流れる水の中で栽培する方法。

NFT の大きな利点は、水深が浅く、根への酸素供給が容易であること。根からたっぷり空気を吸うことが出来るので、栽培される野菜は健康で綺麗な根を張る事が出来る。もう一つの利点は、培養液を循環させているので、全ての野菜たちに栄養が均等に与えられる事である。土での栽培だとどうしても、養分の偏りや、根への酸素供給もばらつきが起こる。水耕栽培の一番の特徴は、同じ時期に植えた野菜の高さ育成状況が全て揃っていることである。

■ フィルム栽培

早稲田大学も出資するベンチャー企業で、特殊フィルム上に種を蒔く「フィルム栽培」を提唱している。早稲田大学の客員教授でもある森有一社長は長年、医療・医学業界で基礎研究に携わってきた。この技術は農業にも生かせると考え独立。約 4 年かけて開発したフィルムは、保水能力が高い「ハイドロゲル」が素材で、厚さは僅か 0.06 mm で、水と養分は通すが、ウイルスやばい菌は通さない。

トマトやメロン、イチゴなどは、フィルム表面に細い根を広げる。根はフィルムを突き破らずフィルムが“濾過”した水を吸収するので、病気にも罹りにくい。水の滅菌作業などを省け、栽培コストは従来の 4 分の 1 以下、又体内に糖分をためるので、甘みも栄養価も高い。

(3) 参考文献、引用文献

- ① 平成 19 年度、20 年度の群馬県支部マスターセンター補助事業の調査研究報告書
- ② 群馬県農政部農政課編集・発行「平成 22 年度 群馬の農業」
- ③ 関東農政局群馬農政事務所『農業経営統計調査結果からみた「野菜を中心とした平成 17 年群馬県農業の動き」』（平成 19 年 3 月発行）
- ④ 群馬県農政部蚕糸園芸課野菜係公表「群馬県の野菜生産」
- ⑤ (社)日本施設園芸協会編統計データ 平成 18 年度版「地域産野菜の生産状況」
- ⑥ 同上統計データ 平成 21 年度版「園芸用のガラス室・ハウス等の施設状況」
- ⑦ (社)日本施設園芸協会編の「施設園芸・植物工場展 2010」のテキスト
- ⑧ (社)日本施設園芸協会編の「低コスト植物工場導入マニュアル」
- ⑨ 農林水産省、産業経済省共編の「植物工場の事例集」（平成 21 年 11 月版）
- ⑩ ㈱メガセミナー・サービス主催の「小型植物工場ビジネス 2010 セミナー」のテキスト
- ⑪ 古在豊樹 著、オーム社出版の書籍「太陽光型植物工場」
- ⑫ 高辻正基 著、オーム社出版の書籍「完全制御型植物工場」
- ⑬ 高辻正基 著、日本工業新聞社出版の書籍「図解 よくわかる植物工場」
- ⑭ 池田英男 著、日本経済新聞出版社出版の書籍「植物工場ビジネス」

お わ り に

本調査研究事業を担当したメンバーは、(社)中小企業診断協会 群馬県支部「食と農の研究会」のメンバーの中で、「植物工場」に関心を持つ10人により平成22年5月に発足した。

「植物工場」を調査研究のテーマに選定した理由は、新聞やテレビで盛んにこのテーマが取り上げられていたこと、群馬県農業が抱える様々な課題解決の一つの方向性として今後の可能性を感じたこと、「植物工場」栽培システムの製造に群馬県内の中小製造業が参加できないか、このシステムを使った野菜等の栽培、販売が建設業者などの新規分野進出に繋がられないかという問題意識からであった。

調査研究活動の最初の取組は、「植物工場」システムについて、この部門の専門知識と技術士資格を持つ加藤洋をリーダーに、全員参加の勉強会から出発し、「植物工場」について文献で調べるとともに、実際の植物工場システムや栽培している野菜を視察するために、財団法人電力中央研究所赤城事業所（前橋市宮城町）の活動の様子と栽培現場を訪問した。また、東京ビックサイトで開催されていた「植物工場展示会」に出席し、講演会と各展示ブースを回りながら資料収集や名刺交換を行った。

さらに、機械振興会館で三日間行われた植物工場セミナーにも1部のメンバーが参加し、学習と講師との名刺交換を行った。ここでは植物工場の立地選定、関連法や栽培作物、採算性、完全制御型システムなどについて理論や実際の運用事例を把握することが出来た。これらの視察やセミナーへの参加者は、その都度調査研究会で報告を行い、参加できなかったメンバーとの情報の共有化に心掛けた。

おわりに、本調査研究と提言が「植物工場」に関心を持ち、ビジネスをお考えの企業や農業法人の方々にとって一助となれることを願っております。

平成23年1月

社団法人 中小企業診断協会群馬県支部

調査研究員 加藤 洋

調査研究員 阿久澤 豊

調査研究員 土屋万壽夫

調査研究員 福島 久

調査研究員 木暮 昌弘

調査研究員 菅田 洋之

調査研究員 田子 宏美

調査研究員 田中 英輔

調査研究員 三牧 文雄

調査研究員 吉川まゆみ

調査研究員 渡辺 英男