

千葉工業大学

博士学位論文

新規水耕栽培ビジネスのエコシステム戦略研究

大社 一樹

令和2年3月

新規水耕栽培ビジネスのエコシステム戦略研究

A Study on the Ecosystem Strategies of New
Hydroponics Businesses

大社 一樹

Kazuki OKOSO

令和2年3月

March 2020

要旨

日本の農業は、就労者の減少と高齢化、および荒廃農地の増加が顕著である。これらの問題の主たる原因は、少子高齢化と、低生産性、特に低収益性にあるものと推測される。その解決には、新規就農者でも容易に生産でき、且つ高生産性と低コストを実現できる新規農業方式の開発が必要である。一方、製造業においては、既にアーキテクチャの「モジュラー化とオープン化」(藤本ら, 2001)が進展し、目覚ましい生産性の向上と低コスト化を遂げている。本研究の第一の動機は、このアーキテクチャを農業システムに応用し、前記の問題の解決を図ることである。しかし、それだけでは、日本の電機産業のように持続的イノベーション創出に困難が予想される。そこで持続的イノベーション創出の仕組みを採り入れた「エコシステム戦略」に着目し、農業分野への応用を試みる。それが本研究の第二の動機である。

エコシステム戦略を初めて体系化したのは Iansiti et al. (2004)である。彼らは豊富なデータに基づいて、エコシステム戦略(またはキーストーン戦略)の KPI(Key Performance Indicators)を、生産性、堅牢性、ニッチの創出、の三つとした。垣本ら(2018)はさらに、P2M(Project & Program Management)を基盤とする五項目のキーストーン戦略構築フレームワーク(FW)を提案している。しかし、これらのエコシステム戦略研究はすべて、モジュール化されている第二次および第三次産業に限定されている。

以上に述べた研究の背景と先行研究調査の結果に基づいて、本研究の目的を、「生産性が高い新規水耕栽培(EZ 水耕)ビジネスのエコシステム戦略構築」と定めた。

本研究のアプローチは、以下の通りである。まず第1ステージ(スキームモデル)では、垣本らの五項目のFWを用い、EZ 水耕ビジネスのエコシステム戦略を構想する。次の第2ステージ(システムモデル)では、本戦略に基づくEZ 水耕栽培システムを開発する。第3ステージ(サービスモデル)では、実証試験を兼ねたEZ 水耕栽培事業を展開する。本エコシステム戦略の妥当性は、これら三つのステージで確認するとともに、エコシステム戦略の三つの KPI(生産性、堅牢性、ニッチの創出)に基づき確認することとした。

以下、本論文の構成(第1～7章)に沿って、その概要を述べる。

第1章の序論では、前述の日本の農業問題と先行研究の要点を述べ、社会的背景に基づいて問題点を整理するとともに解決策を提示した。次いで、その問題解決に繋がる本研究の目的を設定するとともに、その研究アプローチと本論文の構成を提示した。

第2章では、エコシステム戦略論と水耕栽培技術の先行研究結果を述べた。前者の要点は、前述のとおりである。後者については、本研究で開発した非養液型露地水耕栽培の先行研究は存在せず、その新規性が確認された。

第3章では、前記五項目の FW に基づき、EZ 水耕栽培システムの開発スタートアップを KS とする EZ 水耕ビジネスのエコシステム戦略(スキームモデル)を構想した。第1の FW では P2M の 6 つの統合マネジメントの下、3 ステージモデルに基づくエコシステム戦略プログラムの全体像をデザインした。第2の FW ではシステム論に基づき、本ビジネスの階層構造を分析した。そのうえで、KS 企業を水耕資材とノウハウパッケージのプラットフォームとして位置づけた。さらに上流の材料サプライヤや、下流の農業従事者、食品加工会社、物流・販売業者等は、ニッチプレイヤーの位置づけである。第3のアーキテクチャ分析の FW では、顧客(農業事業者)の要求機能と、EZ 水耕システム構造の対応関係を明らかにした。その結果に基づいて、種々の資材(苗、緩効性肥料、培地、水耕パネル、水耕鉢等)とノウハウをパッケージ化した「EZ 水耕キット」を開発することとした。本キットは KS 企業の「すり合わせ」技術を封じ込めたブラックボックスであると同時に、顧客にとっては簡便かつ高生産性で自社技術とも組み合わせ容易なモジュラー型のハブである。第4の FW では、このハブ技術を用いた標準化戦略を立案した。第5の FW では、階層型 Abernathy-Utterback モデルに基づき、EZ 水耕ビジネス・エコシステムの将来戦略を立案した。

第4章では、前章で構想したエコシステム戦略プログラムにしたがって開発した EZ 水耕のシステムモデルについて述べた。

第5章では、EZ 水耕の実証試験を兼ねた事業展開(サービスモデル)について述べた。国内 10 カ所で本システムを用いた野菜生産を行い、そこで得られたデータに基づくフィードバック情報をエコシステムの改善につなげた。さらに、将来戦略の一つとして、EZ 水耕ソーラーシェアリングの実証実験結果について述べた。

第6章では、第3～5章で構築した EZ 水耕ビジネス・エコシステムの有効性を、エコシステム戦略の三つの KPI により確認した。第一の「生産性」は、EZ 水耕キットによる多期作実現や作物収量増加、コスト低減、収益性向上、労働負荷低減、環境負荷低減により向上した。第二の「堅牢性」は、エコシステムの 1)構造持続性、2)予測可能性、3)陳腐化回避の観点から確認された。第三の「ニッチの創出」は、ハブを中心にニッチプレイヤーが相乗効果を発揮しイノベーションの創出が続くことが示唆された。以上により本エコシステム戦略の妥当性が確認された。

第7章の結論では、本研究の目的である「生産性が高い新規水耕栽培ビジネスのエコシステム戦略」が五項目の FW を用いて構想され、その有効性が実証事業により確認されるとともに、その妥当性は三つの KPI により確認されたことを述べた。

本研究で提案された EZ 水耕ビジネスのエコシステム戦略は、日本の農業の生産性の向上や荒廃農地増加の抑制に寄与することが強く期待される。主要な今後の課題は、本エコシステムを、ライフサイクル・マネジメントの観点から、更に発展させ、改善していくことである。

Abstract

In recent times, Japan has witnessed a remarkable increase in the number of desolated farmlands. It can be concluded that this is because of the decrease in the number of labor forces, aging population problems, low-production, and low benefits. To solve this problem, it is necessary to enable new agriculture workers to produce easily; thus, developments in new agriculture systems are necessary for enabling them to achieve effective and low-cost production. On the other hand, in the manufacturing industry, the progression of the “modularizing and opening” process (Fujimoto, 2001) for architecture has managed to successfully improve productivity and lower costs. The main reason underlying this research is to implement the architecture into the agricultural system and solve the above-mentioned problems. However, it is predicted that this implementation will not be sufficient for successfully sustaining the persistence of innovation—an endeavor in which the electronics industry failed. Thus, the research paid attention to “Ecosystem Strategy,” which has adopted the system in order to be continuously innovative, and it aims to be structured into agriculture. This is the second rationale for this research.

In 2004, Iansiti codified its ecosystem strategy for the first time. They set productivity, robustness, and the creation of a niche as a Key Performance Indicator (KPI) for ecosystem strategy based on numerous data. In addition, Kakimoto (2018) has suggested P2M (Project & Program Management), which has five KS strategy Frameworks (FWs), as its fundamental. However, these researches on ecosystem strategies have been limited to secondary and tertiary industries.

Using the results of backgrounds of the research and the previous study of the research, this research aimed to examine the “construction of ecosystems for new hydroponics businesses with productivity and profitability.”

This research used the following approach. A new hydroponics business ecosystem was envisioned by using the five FWs suggested by Kakimoto for the first stage (Scheme Model). On the second stage (System Model), a strategy-based new hydroponics system was developed. On the third stage (Service Model), the new hydroponics business was introduced in order to verify the system. Thus, the validity of this ecosystem strategy was certified by using the three stages and the KPIs (productivity, robustness, and the creation of a niche) of an ecosystem strategy.

The following is the summary along with the structure of this report (Chapters 1~7).

The introduction, provided in Chapter One, discusses the main problems in Japanese agriculture (as mentioned above) and the main points of previous research along with the aim of the current research, its approach toward solving these problems, and the structure of the report.

The second chapter discusses ecosystem strategy-related theory and the results of previous researches on hydroponics technology. The main points of ecosystem strategy theory have already been mentioned above, and the result states the novelty because prior experimentation in open field hydroponics without nutrient solutions has never been conducted before.

The third chapter, an ecosystem strategy for EZ hydroponics (scheme model), which has KS as its development startup, was envisioned based on the five FWs mentioned above. An overall picture of the ecosystem strategy program, which was based on the three-stage model, was designed under six uniformed management of P2M in the first FW. In the second FW, the hierarchal structure of the business was analyzed based on the system theory. Moreover, the KS company was placed as a platformer for hydroponics resources and know-how packages. In addition, source suppliers of upstream, employees around downstream, and food processing companies and transportation • distributors were placed as niche players. Chapter Three, which analyzed the architecture, clarified the correspondence between the demanding function of costumers (agriculture owners) and the structure of EZ hydroponics. It was decided to develop an “EZ hydroponics kit,” which would contain seed supplies (seedlings, slow-acting fertilizers, culture medium, hydroponics panel, slit pot, etc.) and know-how packages. This kit is a black box containing the precise techniques of the KS company and hub; these are easy to use (especially for customers), highly productive, and easy modules, which is a combination of technology of our company at the same time. In the fourth FW, it was suggested that use of this hub technology should be standardized. In the fifth FW, future strategies for developing the EZ hydroponics business ecosystem were suggested; these were based on the hierarchical Abernathy-Utterback Model.

Chapter Four provided discussions regarding the system model for EZ hydroponics; this followed the ecosystem strategy program that was envisioned in the previous chapter.

Chapter Five discussed a business development (service model), which contained a demonstration of EZ hydroponics. The system was used for vegetable production in eight different locations around the country, and improvements were made in the ecosystem with feedback information based on the data obtained. Furthermore, the results of the demonstration experiment for the EZ hydroponics solar sharing were discussed as a part of future strategies.

In Chapter Six, the effectiveness of the ecosystem for the EZ hydroponics, the construction of which was detailed in Chapters Three through Five, was confirmed based on the three KPIs of ecosystem strategies. “Productivity” was improved by accomplishing multi-period cropping and an increase in the amount of harvest due to use of EZ hydroponics kits, the lowering of costs, improvements in profitability, the lowering of labor pressure, and decreasing environmental effects. “Robustness” was confirmed using these three perspectives: 1) persistence of structure, 2) predicting possibility, and 3) avoidance of obsolete. The creation of the niche was suggested so that it would continue to create innovation through niche players, who demonstrate the synergy of having a hub in the center. The validity of the ecosystem strategy was confirmed using the above-mentioned factors.

Chapter Seven’s conclusion envisions a “highly productive and profitable new ecosystem strategy for hydroponics business” by using five FWs; furthermore, the effectiveness was confirmed through the demonstration business. It mentioned that its validity was confirmed using the three KPIs.

The ecosystem strategy for the EZ hydroponics business discussed in this research can improve productivity and profitability and thus mitigate the increase in the number of desolate farmlands. The issue that requires the most attention is improving and developing the ecosystem from the perspective of life-cycle management.

目次

第1章 序論	1
1.1. 社会的背景	2
1.1.1. 食と農業.....	2
1.1.2. 農業の現状と課題	3
1.1.2.a. 農家の属性と将来の担い手不足.....	3
1.1.2.b. 耕作放棄地の現状	4
1.1.2.c. 農業・農村の多面的機能.....	8
1.1.3. 農業の環境への影響	9
1.1.4. 農業の経営戦略.....	10
1.2. 問題点の整理および解決策.....	11
1.2.1. 農業における問題点とその原因	11
1.2.2. 問題点の解決策.....	12
1.3. 本研究の目的および意義	12
1.4. 本研究の遂行方法	12
1.5. 本論文の構成	13
第2章 先行研究調査	17
2.1. はじめに.....	18
2.2. 水耕栽培の先行研究.....	19
2.2.1. 水耕栽培の変遷.....	19
2.2.2. 植物工場と人工光源	20
2.2.3. 水耕栽培における栽培槽の要件	21
2.2.4. 3Kを代表とした就農に関する問題点	22
2.3. エコシステム戦略の先行研究	23
2.3.1. エコシステム概念の黎明	23
2.3.2. キーストーン戦略の概念	24
2.3.3. エコシステム戦略の KPI	25
2.3.4. 久保らによるキーストーン戦略構築法	26

2.3.5. 五項目のフレームワーク	26
2.4. 小括	31
第3章 EZ水耕ビジネスのエコシステム戦略の構築	33
3.1. はじめに	34
3.2. P2Mの3Sモデル準拠の戦略構築フロー	34
3.3. 外部・内部環境分析とビジネス構造	35
3.3.1. 外部環境分析	35
3.3.2. 内部環境分析	36
3.4. アーキテクチャの分析	39
3.5. 標準化戦略	40
3.6. 階層型 ABERNATHY-UTTERBACK モデルを用いた将来戦略	44
3.7. EZ水耕のビジネスモデルとそのマネジメント	47
3.7.1. 消耗品収益モデル	47
3.7.2. EZ水耕のビジネスモデル	47
3.7.3. プラットフォームマネジメントの意義	49
3.7.4. ニッチプレイヤーの増加施策	49
3.7.5. EZ水耕における知識のマネジメント	50
3.8. 小括	51
第4章 EZ水耕栽培システムの開発	53
4.1. はじめに	54
4.2. EZ水耕栽培システムの基本コンセプト	55
4.2.1. 施肥方法の検討	55
4.2.2. 緩効性肥料の活用	56
4.2.3. 緩効性肥料を用いた水耕栽培の概要	57
4.3. EZ水耕栽培システムの要素技術開発	59
4.3.1. 最適な緩効性肥料の選定	59
4.3.2. 水耕パネルの開発	62
4.3.2.a. 形状の検討	62
4.3.2.b. 穴の検討	64
4.3.2.c. 強度の検討	70

4.3.2.d. 水耕パネルの連結方法の検討	71
4.3.3. 水耕鉢の開発	72
4.3.3.a. 形状の検討	72
4.3.3.b. 素材の検討	73
4.3.4. EZ 水耕に適した苗の開発	73
4.3.4.a. 育苗方法の検討	74
4.3.4.b. 育苗培地の検討	74
4.3.4.c. 育苗時の灌水	75
4.3.5. 樋を用いた栽培実証	75
4.3.6. プールを用いた栽培実証	77
4.4. EZ 水耕の実用化検証	78
4.4.1. 栽培可能な環境(土地, 水, 光)	78
4.4.2. 水田を用いた試験栽培	79
4.4.3. 栽培可能な作物	81
4.4.4. EZ 水耕での収益性	83
4.4.5. EZ 水耕で収穫した野菜の品質に関する評価	87
4.4.5.a. 栄養価の分析	87
4.4.5.b. 栄養価の分析に関する考察	91
4.4.5.c. 残留農薬分析	91
4.4.5.d. 微生物検査	92
4.5. 考察	93
4.6. 小括	94
第 5 章 EZ 水耕ビジネスの実証試験	97
5.1. はじめに	98
5.2. 運用可能性の実証の概要	99
5.3. 実証結果	99
5.3.1. 愛知県豊川市	99
5.3.2. 熊本県菊池市	101
5.3.3. 熊本県八千代市	102
5.3.4. 栃木県佐野市	103
5.3.5. 島根県松江市	104

5.3.6. 香川県三豊市	105
5.3.7. 静岡県焼津市	106
5.3.8. 岐阜県飛騨市	107
5.4. 水田での EZ 水耕の収益性	107
5.5. 将来戦略としてのソーラーシェアリング	109
5.5.1. ソーラーシェアリングの概要	109
5.5.2. 方法	110
5.5.3. 結果	115
5.6. 考察	115
5.6.1. 基本的な EZ 水耕の有効性の確認	115
5.6.2. ニッチプレイヤーの新規参画	116
5.6.3. 農業の人的資源の健全性	116
5.7. 小括	116
第 6 章 考察	119
6.1. はじめに	120
6.2. 生産性	120
6.3. 堅牢性	121
6.4. ニッチの創出	121
6.5. 小括	121
第 7 章 結論	123
7.1. 本論文の結論	124
7.2. 問題点及び今後の課題	126
7.2.1. ライフサイクル・マネジメントでの活用	126
7.2.2. EZ 水耕の機械化と自動化	127
7.2.3. 環境負荷の低減	127
7.2.4. 生産品種の拡充	127
7.2.5. 機能的野菜の開発	127
7.2.6. 自然災害、獣害等のリスク対策	128
7.2.7. 事業性の正確な検証	128
参考文献	130

付録.....	136
謝辞.....	146

図目次

図 1-1 農業総産出額の低下(出典: 農林水産省「生産農業所得統計」より引用).....	2
図 1-2 就農者人口と高齢化割合(出典: 農林水産省「農林業センサス」より引用)	3
図 1-3 荒廃農地と耕作放棄地(出典: 農林水産省 Web Site より引用).....	5
図 1-4 耕作放棄地の面積の推移(出典: 農林水産省「農林業センサス」より引用)[農水省 2017]	5
図 1-5 耕作放棄地の発生原因(2014 年)[農水省 2016]	6
図 1-6 荒廃農地の発生原因(2002 年)[隅田 2008]	7
図 1-7 本論文の構成	15
図 2-1 植物の光反応の作用スペクトル [高辻 2007](出典: 文科省 Web Site より引用)	21
図 2-2 P2M 統合マネジメントに基づき FW2~5 を用いて KS 戦略を立てる手順[久保 2019]	27
図 2-3 システム論に基づく階層的ビジネス構造[久保 2019].....	28
図 2-4 インテグラル型の製品アーキテクチャ[久保 2019].....	29
図 2-5 モジュラー型の製品アーキテクチャ[久保 2019].....	29
図 2-6 モジュラー／インテグラル及びオープン／クローズ領域のアーキテクチャ検討結果に 基づく標準化戦略[久保 2019].....	30
図 2-7 ビジネスの階層システム全体に拡張した A-U モデルに基づく将来戦略の概念図[久 保 2019]	31
図 3-1 EZ 水耕ビジネスの価値連鎖	35
図 3-2 肥料入り EZ 水耕用苗	38
図 3-3 水田での栽培(サニーレタス, サラダ菜, グリーンリーフ)	38
図 3-4 EZ 水耕システム構造と顧客価値の間のアーキテクチャ分析結果	39
図 3-5 「内インテグラル／外インテグラル型」の従来型農業から, 「内インテグラル／外モジ ュラー型」の EZ 水耕ビジネスへのアーキテクチャシフト	40
図 3-6 畑に設置した単純型プールにおける EZ 水耕の例	41
図 3-7 EZ 水耕タワーを用いたアクアポニックスの例	42
図 3-8 太陽光発電, EZ 水耕栽培及び魚養殖の三つを組み合わせた「農魚電一石三鳥シ ステム」による各システム問題同時解決の可能性.....	43

図 3-9 アーキテクチャとオープン化と結びついた EZ 水耕ビジネス・エコシステムの標準化戦略.....	43
図 3-10 ドローン及び IoT を用いた EZ 水耕栽培の自動データ収集及び解析	46
図 3-11 EZ 水耕におけるドローン及び IoT の活用	46
図 3-12 消耗品収益モデルの陥穽メカニズム[藤原 2013]	48
図 4-1 従来の循環系を有する養液水耕栽培の仕組み	54
図 4-2 被覆肥料の溶出メカニズム(出典: 農林水産省 Web から引用).....	57
図 4-3 淡水かけ流し方式の EZ 水耕の仕組み	58
図 4-4 EZ 水耕栽培システムの資材と, 1)育苗から 2)~4)定植, 5)収穫までのプロセス.....	58
図 4-5 EZ 水耕鉢.....	59
図 4-6 実験で使用した肥料	60
図 4-7 定植されたリーフレタスの苗	61
図 4-8 2)910mm 四方の水耕パネルの図面.....	63
図 4-9 水耕パネルの図面	64
図 4-10 開発した水耕パネル.....	65
図 4-11 81 穴パネルの図面	66
図 4-12 25 穴利用した状態(リーフレタス).....	66
図 4-13 41 穴で使用する際の穴	67
図 4-14 41 穴利用した状態(コマツナ)	67
図 4-15 81 穴利用した状態(クレソン).....	68
図 4-16 25 穴と 41 穴でのレタスの重量の比較.....	69
図 4-17 25 穴と 41 穴での収穫したリーフレタスの比較(左が 25 穴, 右が 41 穴).....	69
図 4-18 25 穴と 41 穴での収穫したリーフレタスを出荷袋に入れた状態で比較(左が 25 穴, 右が 41 穴).....	70
図 4-19 実験に使用した連結パーツの図面.....	71
図 4-20 開発した水耕鉢の図面の一部.....	73
図 4-21 樋の断面図.....	75
図 4-22 ソーラーパネルの下に設置された水耕棚.....	76
図 4-23 樋を用いた EZ 水耕	76
図 4-24 収穫苗のレタス(定植から 28 日後).....	77
図 4-25 セルトレイを利用した育苗	80
図 4-26 栽培した作物 I.....	81

図 4-27 栽培した作物 II	82
図 4-28 栽培した作物 III	82
図 4-29 栽培した作物 IV	83
図 4-30 収穫後,リーフレタスの重量を計測している様子	84
図 4-31 分析結果報告書(グリーンリーフレタス)(出典: 株式会社メディカル青果物研究所の データを転載)	89
図 4-32 分析結果報告書(サニーレタス)(出典: 株式会社メディカル青果物研究所のデー タを転載)	90
図 4-33 付着菌の検査結果(出典: 株式会社メディカル青果物研究所のデータを転載)	93
図 5-1 EZ 水耕栽培方式を用いた各種作物及び花卉の多期作可能期間	98
図 5-2 愛知県豊川市での実証	100
図 5-3 熊本県菊池市での実証	101
図 5-4 熊本県八代市での実証	102
図 5-5 栃木県佐野市での実証	103
図 5-6 島根県松江市での実証	104
図 5-7 香川県三豊市での実証	105
図 5-8 静岡県焼津市での実証	106
図 5-9 岐阜県飛騨市での実証	107
図 5-10 水耕パネルを浮かべた水田	108
図 5-11 EZ 水耕 SS システムの基本構造	110
図 5-12 低コスト太陽光自動追尾機構	111
図 5-13 午前中に東を向いている様子	112
図 5-14 午後に西を向いている様子	112
図 5-15 EZ 水耕 SS の鳥瞰図	112
図 5-16 低コスト太陽光自動追尾機構を備えた EZ 水耕実験装置	113
図 5-17 苗の入った水耕鉢	114
図 5-18 通信機能を備えた温度と相対湿度のセンサー	114
図 5-19 収穫前の野菜 (Boston lettuce, Red-leaf lettuce)	114
図 7-1 本研究の各章の関係及び論文の位置づけ	126

表目次

表 3-1 EZ 水耕に用いる資材と栽培工程.....	37
表 3-2 EZ 水耕ビジネス・エコシステムにおける階層型 A-U モデル.....	45
表 3-3 プラットフォームマネジメント(PfM)の実践機能一覧[小原 2001].....	49
表 4-1 実験で使用した緩効性肥料の成分	60
表 4-2 栽培したレタスの重量.....	61
表 4-3 パネル形状の比較実験結果.....	63
表 4-4 発泡倍率と使用用途(出典: 松原産業株式会社 Web サイトより一部改変して転載)	71
表 4-5 収穫した生産物のデータ	85
表 4-6 残留農薬検査(出典: 株式会社食環境衛生研究所のデータを転載).....	92
表 5-1 栽培方法ごとの収益比較.....	108
表 6-1 五項目のフレームワークを用いて立案した EZ 水耕ビジネス・エコシステムの三項目 の KPI の評価結果.....	122

第1章 序論

本章は本論文の主題である、新規水耕栽培のビジネス・エコシステム戦略に関する背景、意義、方法を述べる。以下、1.1 では本研究の背景として、日本の社会問題となっている農業の現状と課題、農業による環境への影響、農業の経営戦略について述べる。それを踏まえて1.2では問題点の整理および解決策について俯瞰する。1.3 では本研究の目的と意義について示し、1.4 では本研究の遂行方法について述べる。1.5 にて本論文の構成を示す。

1. 1. 社会的背景

1. 1. 1. 食と農業

人類の誕生以降、野生の動植物の狩猟や採集を生活の基盤のひとつとしてきており、旧石器時代までは全ての人類がその狩猟採集社会を形成していたと考えられている。世界的には新石器時代(紀元前 8 世紀頃から紀元前 5 世紀頃)になると狩猟の一部が牧畜、採集の一部が農耕に移行し、日本では弥生時代の始期頃(紀元前 10 世紀頃)に水稲栽培が始まったとされている。水田稲作は畑稲に比較して高品質・高収穫量そして連作障害に強いという特徴があり、降雨量が比較的が多い日本では稲作初期から水田が用いられたとされている。しかし、太平洋戦争終戦後の急激な欧米化によって米食が減少するとともに稲作農家の後継問題などの要因が重なり、休耕田は急激に増加している。他方ではやはり食事の欧米化などにより野菜の消費量が増加するとともに日本では馴染みの薄かった外来の野菜、特に葉物野菜品種の需要も増加している。

このような歴史の中で、日本の農業は、農業総産出額の減少(図 1-1)、農業就労者の高齢化と減少、耕作放棄地の増加という大きな問題を抱えており、それに伴う食料自給率の低下や農村の持続性確保も懸念されている。

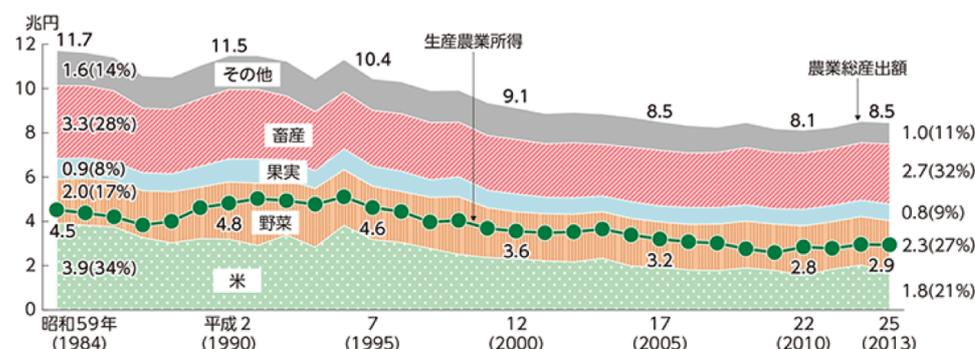


図 1-1 農業総産出額の低下 (出典: 農林水産省「生産農業所得統計」より引用)

これらの最も大きな要因は農業所得の低下であり、問題の根本的解決には農業所得の向上が不可欠である。

1. 1. 2. 農業の現状と課題

1. 1. 2. a. 農家の属性と将来の担い手不足

太平洋戦争の終結後、日本は急速な戦後復興の時期を迎えた。振り返ってみれば 1956 年発行のいわゆる経済白書[経企庁 1956]による、「もはや《戦後》ではない」という戦後復興の終了宣言と成長路線への拍車、そして 1961 年の池田勇人内閣による所得倍増計画が開始されて第二次産業の急速な発展に支えられた高度経済成長の幕開けとなった。他方ではそれと引き換えとして第一次産業をそれまで支えてきた就労人口の大量流出が起こった。バブル景気崩壊後においても産業構造の中心は IT(Information Technology) / ICT(Information and Communication Technology)に支えられた第三次産業に就労人口の中心がシフトするだけであり、依然、第一次産業人口は減少の一途である。

そのような過程を経て日本の農業就業構造は基本的には農業就業人口の絶対的減少、60 歳以上の農業従事者の相対的増大の二つの基調を保ちながら推移してきた(図 1-2)。農業従事者の高齢化による離農と、地方での人口減少や産業間での労働力確保の競争が激しくなり、農業の将来の担い手不足が一層深刻になることが想定される。「将来の担い手不足」とは地域農業を支えるべき農業労働力が全般的に脆弱化し、とりわけ土地利用型農業における中核的担い手が不在、もしくは育っていないことである[平井 2006]。

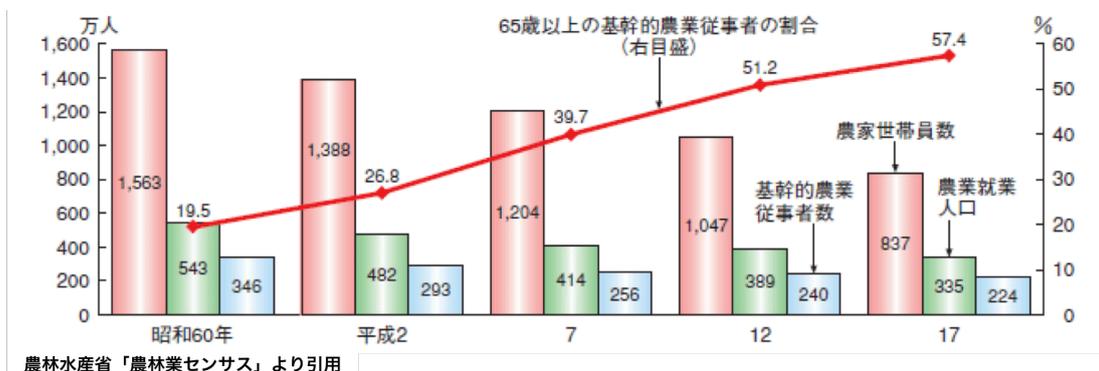


図 1-2 就農者人口と高齢化割合 (出典: 農林水産省「農林業センサス」より引用)

こうした中で新規就農者の確保がますます重要となってきた。借地型大規模稲作農家は数字の上では増加してきたが、全国的に見ればまだ「点」としての存在に過ぎず、地域全体の生産力を「面」として維持するには不十分である。

農業の担い手不足、具体的には農家の本来の跡継ぎの農業からの離脱の要因としてあげられるのはいわゆる「汚い、きつい、危険」の3Kの特に前二者に加えて、「儲からない」ということに集約されるものと考えられる。これらの問題が解消されない限り日本の農業の発展はますます困難となるものと考えられる。なぜなら世界中のほとんどの人間は裕福な生活をしたいという欲求を持っており、わざわざ低所得な環境で生活をしようという人はほとんどいないからである。日本の農家の大部分が農業のみに依存しては生活が成り立たず、兼業により深く依存しなければならなくなっている事実がある。

また技術的な観点でも、新規就農者を増やすためには、人手に依存するきつい作業が多く、技術習得に時間を要する現状も改善が必要である。農業はマニュアル化が困難なノウハウ的な技術が多く、多数の作物では年に1度しか経験できないので、「水やり10年」のように新規就農者が熟練農業者のようにノウハウを身につけるのに長期間を要している。さらには土・泥にまみれるという汚いイメージは若者の離農において主要因であるとも考えられる。こうした状況を改善する新たな技術が求められている。

1. 1. 2. b. 耕作放棄地の現状

次に、日本の農業における最も大きな問題の一つである荒廃農地と耕作放棄地の現状について整理する。

「荒廃農地」と「耕作放棄地」は、どちらも耕作されていない農地に関わる用語ではあるが、正確には定義が異なる。荒廃農地は「荒廃農地の発生・解消状況に関する調査」にて定義されている用語で、耕作放棄地は「農林業センサス」で定義されている用語である。「荒廃農地」と「耕作放棄地」の違いは、図 1-3 の部分に現れている。

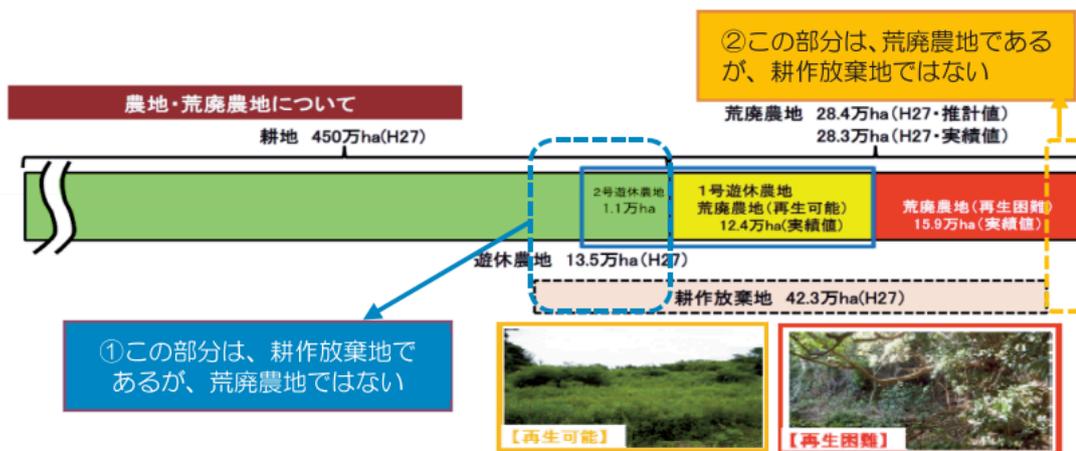


図 1-3 荒廃農地と耕作放棄地(出典: 農林水産省 Web Site より引用)

1) 荒廃農地は調査員が状態を見て判断し(客観ベース), 耕作放棄地は農家等の耕作の意思で判断する(主観ベース). このため, 荒廃農地ではなく耕作できる状態で管理されている農地でも農家等が耕作する意思がない場合は耕作放棄地にカウントされる.

2) 農林業センサスでは5a 未満の農地を所有する世帯の農地は集計対象ではないため, 耕作放棄地には5a 未満の農地を所有する世帯の耕作放棄された農地は含まれていない.

国内の耕作放棄地の面積は, 1985 年までは, およそ 13 万 ha で横ばいであったが, 1990 年以降増加に転じ(図 1-4), 2015 年には 42 万 ha まで増加しており, 40 年で 3 倍以上の急増である[農水省 2017]. これは, 富山県の総面積とほぼ同じである.

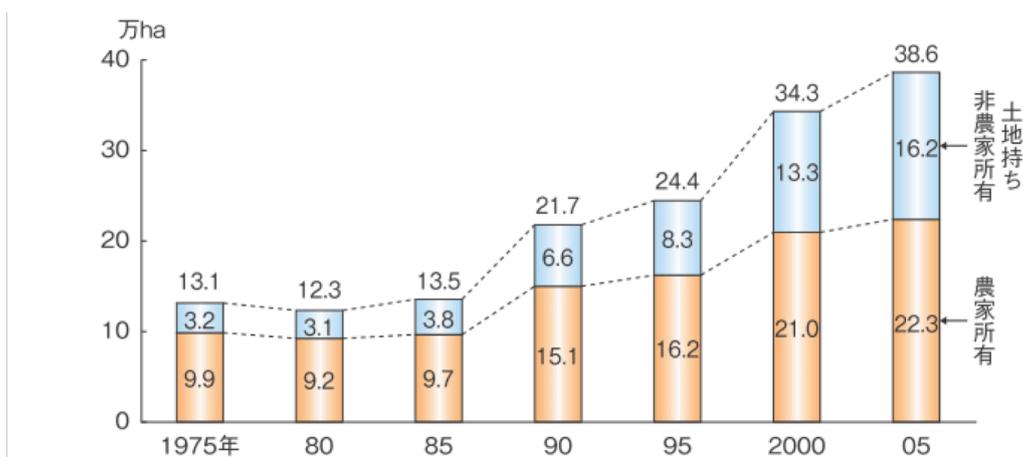


図 1-4 耕作放棄地の面積の推移(出典: 農林水産省「農林業センサス」より引用) [農水省 2017]

図 1-5 は、地域ごとに耕作放棄の要因を示したものである。2014 年の調査によれば荒廃農地の発生原因は、すべての農業地域で「高齢化、労働力不足」が最も多く、次いで「土地持ち非農家の増加」が多い。地域間では、多少の差はあるが、地域に共通する主な原因がある。その最も大きな原因は高齢化による労働力不足であり、その他の原因としては農地の受け手がいないことや、農作物価格の低迷が挙げられる。ただし、山間農業地域では鳥獣害被害が他地域よりも大きいことが分かる。荒廃農地の発生原因の割合「農作物価格の低迷」と「収益の上がる作物がない」を合わせると全体の 2 割にのぼる。

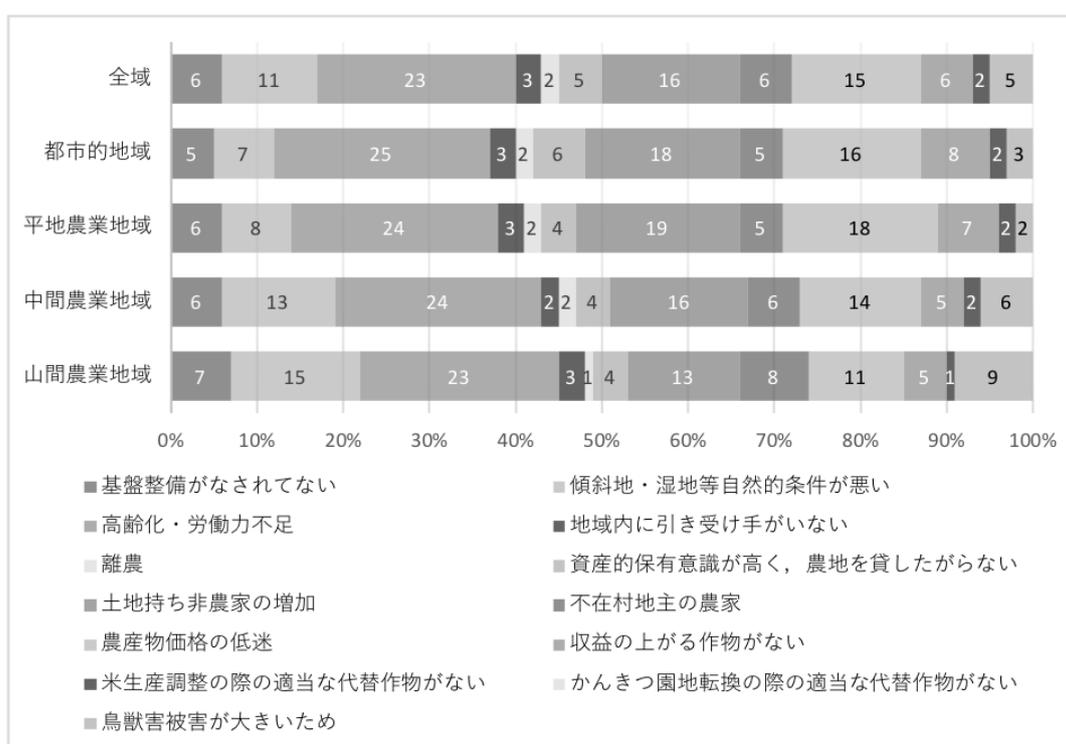


図 1-5 耕作放棄地の発生原因(2014 年)[農水省 2016]

図 1-6 は 2002 年に行った調査の結果を示したものである。2002 年においても、「高齢化・労働力不足」、「農産物価格の低迷」、「農地の受け手がいない」が主な原因としてあげられており、荒廃農地の発生原因に大きな変化はみられない[農水省 2016].

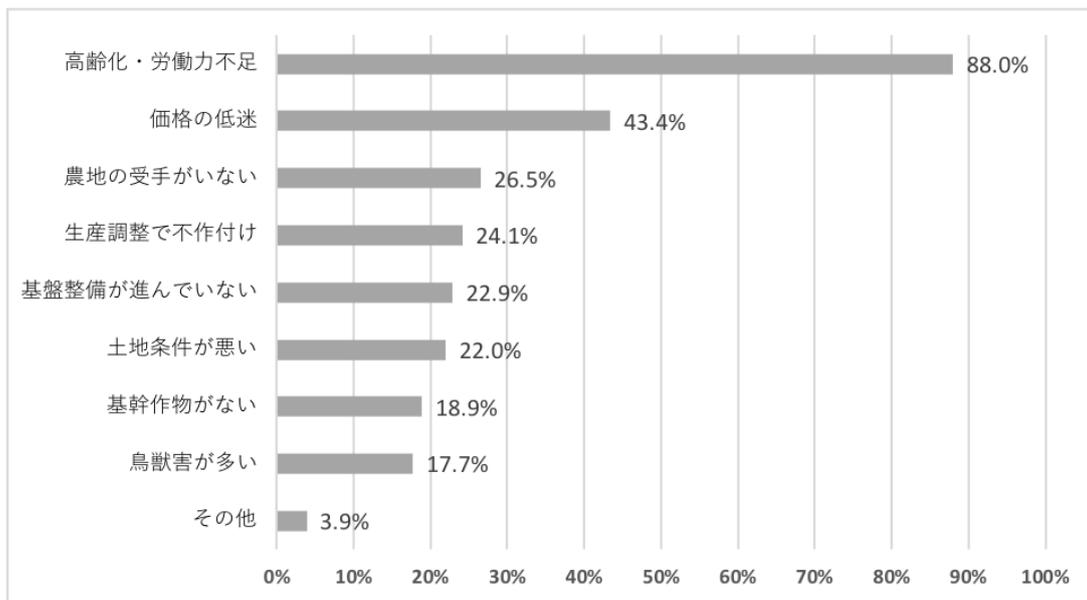


図 1-6 荒廃農地の発生原因(2002 年)[隅田 2008]

長年解決されないままであるこれらの問題を解決するには、現状の農家が離農する以上の速度で新規就農者を増加させるか、または現在生産を行っている企業や農業生産法人がさらに規模を拡大し生産面積を増やし、新たな雇用を創出するなど、離農者を上回る新たな就農者の参入が必要である。

耕作放棄地が増加することによって、農業生産を低下させるばかりでなく、農業に大きな被害をもたらすイノシシ等の野生動物の住処や移動の場所となり、獣害の頻発により農業や農村の維持すら危うくなることや、農地の多面的機能の低下によって自然災害が増加することなど、社会にとって大きな問題となっている[小山 2006]。

一方で、米の一人あたりの年間消費量は 1962 年の 118kg をピークに一貫して減少傾向にあり、2016 年には 54kg まで低下している[農水省 2017]。需給バランスが大幅に変化したことで、農業生産物の中でも特に米の販売価格が長期的に低下傾向であり、政府は米の自給率維持や水田の活用を維持するため、米農家の収入減少影響緩和対策として米の直接支払交付金制度を設けていたが、それも 2017 年で廃止された[農水省 2017]。水田作 1ha 未満の農業者の「家族労働 1 時間」あたり農業所得はマイナスであり、2ha 未満でも 403 円に過ぎない[隅田 2008]。農地を集約した集落営農組織でも 82%で、「主たる従事者 1 人あたりの年間所得」が 200 万円未満であり、ワーキングプア的水準にある[農水省 2018]。就農者の平均年齢は 66.6 歳であるから、今後も補助金に頼らない方法はなく、産業として無理があることは瞭然である[農水省 2018b]。就

農者 1 人あたりの所得を他産業なみに高め、産業として成り立たせるためには、これまでの交付金をあてにした農業ではなく、技術の向上を追求し、より少数の就農者が大規模に耕作する体制に転換することなど、競争力を持った、補助金に依存しない自律的経営が求められる。

1. 1. 2. c. 農業・農村の多面的機能

耕作されている農地には多面的機能があり、前述した耕作放棄地の増加によりその便益の一部が失われつつある。日本における多面的機能の定義としては、食農基本法¹における定義と、2001 年の学術会議答申[日本学術会議 2001]における定義の 2 つがある。食農基本法では、農家による農業生産活動を中心に考えているのに対して、学術会議答申では、農家のみならず多様な主体によって行われるあらゆる農業生産活動をすべて「農業本来の機能」として、より広範な枠組みで捉えている。具体的には、食農基本法では「国土の保全、水源のかん養、自然環境の保全、良好な景観の形成、文化の伝承等農村で農業生産活動が行われることにより生ずる食料その他の農産物の供給の機能以外の多面にわたる機能[農水省 2010]」としている。他方の学術会議答申では、「農業生産活動(農地に対する生物生産のための働きかけ)をすべて農業本来の(内部的な)機能と捉えて、『これら農業生産活動に直接係わらないが、それによって発現するその他の機能』[日本学術会議 2001]」としている。

どちらにしても多面的機能は経済学でいう外部経済にあたり、対価を支払わなくとも便益を享受することができるために、我々はそれら便益を十分に理解しないままに享受することが多い。保水力による洪水抑止機能に限定しても、経済的な視点からみると 1980 年当時、年間 6,000 万円ものダム建設費を節約している計算であり、全国の水田で整備が完了すればその有効貯水率の上昇で年あたり 1 兆円近いダム建設費(1980 年価格換算)を節約することが可能である[高辻 2010]。その他、土砂崩壊防止機能や土壌侵食(流出)防止機能等を含め農業の多面的機能を貨幣評価すると年間 8 兆円以上の価値があるといわれている。この便益を将来にわたって維持・発揮させるためには、多面的機能に対する理解を深め、持続可能な農業を行うことが重要である[國井 2016]。

¹ 食料・農業・農村基本法，平成 11 年 7 月 16 日法律第 106 号

1. 1. 3. 農業の環境への影響

2015年9月の国連サミットで、150を超える加盟国首脳に参加の下、全会一致で採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」(The 2030 Agenda for Sustainable Development)に、「持続可能な開発目標」(Sustainable Development Goals: SDGs)が掲げられた[UN2015].

このSDGsは2016年から2030年までの国際的な目標であり、「誰も置き去りにしない」(leaving no one left behind)ことを標語として掲げている。SDGsは、先進国・途上国すべての国を対象に、経済・社会・環境の三つの側面のバランスがとれた社会を目指す世界共通の目標として、以下に示した17のゴールとその課題ごとに設定された169のターゲット(達成基準)から構成される。当該国連サミットの冒頭ではローマ教皇がステートメントを行い、サミット中に安倍晋三首相もステートメントを行い、「日本はアジェンダ実施に最大限努力していく」旨を述べている。

- 1)あらゆる場所で、あらゆる形態の貧困に終止符を打つ(No Poverty)
- 2)飢餓をゼロに(Zero Hunger)
- 3)あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を推進する(Good Health and Well-being)
- 4)すべての人々に包摂的かつ公平で質の高い教育を提供し、生涯学習の機会を促進する(Quality Education)
- 5)ジェンダーの平等を達成し、すべての女性と女児のエンパワーメントを図る(Gender Equality)
- 6)すべての人々に水と衛生へのアクセスを確保する(Clean Water and Sanitation)
- 7)手ごろで信頼でき、持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する(Affordable and Clean Energy)
- 8)すべての人々のための包摂的かつ持続可能な経済成長、雇用およびディーセント・ワークを推進する(Decent Work and Economic Growth)
- 9)レジリエントなインフラを整備し、持続可能な産業化を推進するとともに、イノベーションの拡大を図る(Industry, Innovation, and Infrastructure)
- 10)国内および国家間の不平等を是正する(Reducing Inequality)
- 11)都市を包摂的、安全、レジリエントかつ持続可能にする(Sustainable Cities and Communities)
- 12)持続可能な消費と生産のパターンを確保する(Responsible Consumption and Production)
- 13)気候変動とその影響に立ち向かうため、緊急対策を取る(Climate Action)
- 14)海洋と海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する(Life Below Water)

15)森林の持続可能な管理, 砂漠化への対処, 土地劣化の阻止および逆転, ならびに生物多様性損失の阻止を図る(Life On Land)

16)公正, 平和かつ包摂的な社会を推進する(Peace, Justice, and Strong Institutions)

17)持続可能な開発に向けてグローバル・パートナーシップを活性化する(Partnerships for the Goals)

(邦訳は国際連合広報センターによる)

17 の目標のうち, いくつかの目標では農業に大きく結びついている. 例えば, 過剰に投与された化学肥料の流出を減らすことで 2)飢餓をゼロに, 7)エネルギーをみんなにそしてクリーンに, 15)陸の豊かさも守ろうなどへの貢献が可能だと考えられる.

農業に起因する環境問題の一つとして, 肥料の三要素の一つのリン酸の原料であるリン鉱石の枯渇が挙げられる. リン酸の年間生産量は約 4,000 万トンであり[USGS2004], Van Kauwenberg(2010)は, リン鉱石からのリン酸肥料の年間製造速度が続くとすると, 300~400 年間はリン酸肥料の製造が可能であると試算した[Kauwenbergh2010]. ただし, 地球全体で人口が増加を続ける中, 必要とされる食料の量も増加し, また単収を増大させるために化学肥料の使用量も急激に増加しており, 実際にはこれよりも早くリン鉱石が枯渇すると考えられる. 実際の農業の現場では, 農地へ投入された肥料のうち, 最大 44%が植物に吸収されずに流出しており, [田淵 1975], 無駄な肥料投入を抑えた, 肥料効率の良い農業が求められている. 同じく圃場からの肥料の流出が原因となって, 窒素の流出に伴う硝酸による井戸水の汚染, 河川・湖沼の富栄養化なども問題になっている. これらの観点からも肥料効率の良い農業が求められている.

1.1.4. 農業の経営戦略

2009 年の農地法²の改正により, 企業や法人が農業に参入できるようになったことから, 他産業との連携や, 異業種からの新規参入による活性化に向けた動きが広がりつつある. ただ, 農業は他産業と比較するとまだまだ政策的かつ閉鎖的で, 自由な参入やイノベーションが起こりにくい. 農地法の問題や, 補助金への依存体質, 複雑な産業構造などが原因である. これまでの農

² 昭和 27 年 7 月 15 日法律第 229 号

業では、農林水産省を筆頭に政府をあげて6次産業化³を目指した垂直統合を推進しているが、他業種を巻き込みイノベーションを生むためには、水平分業型のオープンイノベーション(open innovation)が必須である[Henry2003]。IoT(Internet of Things)やAI(Artificial Intelligence)技術が発展する中で、農家自身がそれらを開発することにメリットが多いとは考えられない。他産業を巻き込みそれぞれの得意分野で相互に協力しあうビジネスモデルが時代に即しており、農業にもそのようなビジネスモデルの構築が求められている。

1.2. 問題点の整理および解決策

前節での社会的背景に基づいて、本節では問題点の整理および解決策について整理する。

1.2.1. 農業における問題点とその原因

日本の農業における根本的で最も大きな問題点は、前節で述べた通り、就農者の減少と高齢化、耕作放棄地や荒廃農地の増加による農地の減少である。農地の減少によって、1.1.2.b, 1.1.2.c で述べた通り、多面的機能が失われることや、周辺農業環境への悪循環を及ぼすことなど、様々な問題が引き起こされている。

これらの問題の原因と考えられることに、農業の生産性の低さと、農業の3K問題が挙げられる。ここでの生産性とは、投下資本利益率としており、一定の資源(労働・資本など)からどれだけ多くの付加価値を産み出せるか、もしくは一定の付加価値をどれだけ少ない資源で産み出せるか、という意味である。収益性が低いことや、農業の暗黙知の多さからくる就農コストの高さなども含め、農業の生産性は高いとは言えないのが現状である。

これらの理由から、新規就農者が増加しない、農家を継がないといった就農者減少の問題が発生している。さらに、農業は「キツイ」、「汚い」、「危険」の3Kと考えられている。それぞれの要因として、一点目は身体的負担の大きさ、いわゆる重労働や農薬被曝からくる「キツイ」であり、土の作業や、堆肥などの有機肥料によって泥だらけになることからくる「汚い」、トラクターなどの重

³ 農業や水産業などの第一次産業が食品加工・流通販売にも業務展開している経営形態を表す。今村奈良臣が提唱した造語。このような経営の多角化を6次産業化と呼ぶ。

機を操縦しないとならないことから「危険」である。これら 3K は、どれも田畑で土や肥料、農薬を使った耕作方法に起因する問題であると考えられる。

また、農林水産省・農業の「働き方改革」検討会[農水相 2019]において、農業の課題として、収益性の低さが指摘されている。

1.2.2. 問題点の解決策

前項の農業問題の原因を解決する方法として、生産性の向上した新規農業方式の開発が求められる。生産性向上は具体的には、収益性を上げること、暗黙知を形式知化し、誰でも作業ができるようにすることで就農コストを下げることである。また 3K 問題に対しては、就農者が土や肥料、農薬を触らなくても農業ができる新規農業方式の開発によって解決を図る。本研究では、土を使わない農業である水耕栽培をもとにして新規農業方式の開発を行う。水耕栽培の技術については第 2・3・4 章にて詳述する。さらに、新規水耕栽培システムのビジネス展開として、継続的なイノベーション創出の仕組みを採り入れたエコシステム戦略に着目し、農業分野への応用を試みる。

1.3. 本研究の目的および意義

前節で導出された問題点およびその解決策に基づいて、本研究での主たる目的を、次のように定める。すなわち、「生産性が高い新規水耕栽培(EZ 水耕)ビジネスのエコシステム戦略構築」である。さらには、従来、モジュール化された第二次および第三次産業でのみ有効性が確認されていた KS 戦略構築法が、第一次産業である農業分野における有効性を検証する、という目的も併せ持つ。

本研究の新規水耕栽培ビジネスのエコシステム戦略は、日本の農業の生産性の向上や荒廃農地増加の抑制に寄与するものと考えられる。

1.4. 本研究の遂行方法

P2M 理論の考え方によると、企業の経営活動は、定常活動と特命業務活動を組み合わせ、継続的に企業価値を高めている。その中の特命業務活動(以下、プログラム(program)と表記す

る)は、スキームモデル(scheme model)、システムモデル(system model)、サービスモデル(service model)の三つ(3S モデル)で構成される。

さらにこれらを連続的にマネジメントするために、3S 全体を統括する統合マネジメントが存在する。統合マネジメントは、プロファイリングマネジメント(profiling management)、プログラム戦略マネジメント、アーキテクチャマネジメント(architecture management)、プラットフォームマネジメント(platform management)、ライフサイクルマネジメント(lifecycle management)、価値指標マネジメントの六つの管理知識にまとめられる[吉田 2014]。

本研究では、スキーム、システム、サービスからなる 3S モデルに対応した三つのフェーズに従って遂行する。

第一フェーズであるスキームの設計では、スキームモデルで作成された方針や目標を、どのように実行するかを決め、特別な組織を構築して実行する。この特別な組織は、日々繰り返す業務とは異なり、目標を実現するための期間と資源「ヒト・モノ・カネ」が限定された特別な業務、いわゆるプロジェクト業務を行う。具体的には、垣本[垣本 2018]によって提案されたキーストーン戦略構築法の五項目のフレームワークを用いて新規水耕栽培ビジネス・エコシステム戦略を構築する。

第二フェーズであるシステム開発では、本戦略に基づく新規水耕栽培システムの開発を行う。具体的には、まず本システムの基本コンセプトを定める。次に、本システムの構成要素として、肥料の選定、水耕パネルの開発、水耕鉢の開発、苗の開発、などを行う。さらに、本システムの実用化検証として、水田を用いた試験栽培や、生産物の質と価格に関する評価を行う。

第三フェーズであるサービスモデルは、システムモデルで作られた成果(ビジネスモデルや製品など色々な形態がある)を利用して、組織の運営方針(ミッション)に合致した付加価値を創出するための施策を実行する。具体的には、実証試験を兼ねた新規水耕栽培事業を展開する。

以上の三項目のフェーズの後、新規水耕栽培ビジネス・エコシステムの有効性を、エコシステム戦略の三つの KPI(Key Performance Indicators [Parmenter2007])(生産性・堅牢性・ニッチの創出)により確認する。

1.5. 本論文の構成

本論文は 7 章から構成される。具体的には以下の通りである(図 1-7)。

第 1 章は本論文の主題である、新規水耕栽培のビジネス・エコシステム戦略に関する背景、意義、方法を述べた。以下、1.1 では本研究の背景として、日本の社会問題となっている農業の現状と課題、農業による環境への影響、農業の経営戦略について述べた。それを踏まえて 1.2 では問題点の整理および解決策について俯瞰した。1.3 では本研究の目的と意義について示し、1.4 では本研究の遂行方法について述べた。1.5 にて本論文の構成を示す。

第 1 章の序論の後、第 2 章では、新規水耕栽培ビジネスのエコシステム戦略構築を行う本研究に対して、関連する先行研究等を調査することによって本研究の学術上の位置付けを明らかにする。2.1 では、本章の意義について俯瞰する。2.2 では、本事業の基盤となる農業、特に水耕栽培に関する先行研究等を調査する。まず 2.2.1 で水耕栽培の変遷について整理し、2.2.2 で植物工場と人工光源において調査する。2.2.3 では水耕栽培における栽培槽の要件について明らかにする。2.3 は、本研究でのビジネス設計の指針を与える先行研究である。2.3.1 では、ビジネス・エコシステム戦略に関する調査としてその黎明から最新の話まで調査する。2.3.2 では、キーストーン戦略の概念を示す。2.3.3 では、エコシステム戦略における KPI を整理する。2.3.4 では、ビジネス・エコシステムの中心を担うキーストーンの戦略の構築方法について調査する。2.3.5 ではキーストーン戦略構築法の五項目のフレームワークについて記す。2.4 では本章の内容を総括する。

スキーム段階である第 3 章では、P2M を用いたキーストーン戦略構築の五項目フレームワークに基づき、EZ 水耕ビジネスのエコシステム戦略を構築する。このケーススタディにおける KS 企業は、EZ 水耕栽培技術を開発したスタートアップ企業とする。3.1 で本章の背景について述べ、3.2 以下の節にて、ビジネス・エコシステム戦略構築フレームワークに沿って、EZ 水耕ビジネス・エコシステム戦略を構築する。3.2 では P2M の 3S モデル準拠の戦略構築フローを組み立てる。3.3 では外部・内部環境分析とビジネス構造について述べる。3.4 ではアーキテクチャの分析を行う。3.5 では標準化戦略について述べる。3.6 では階層型 Abernathy-Utterback モデルを用いた将来戦略を構築する。3.7 では EZ 水耕のビジネスモデルとそのマネジメントについて示し、3.8 で本章の内容を総括する。

システム段階である第 4 章では、植物の生育構造と水耕栽培の仕組みについて分析し、緩効性肥料を用いた水耕栽培システムを開発する。4.1 で本章の背景について述べ、4.2 にて、EZ 水耕の基本コンセプトについて検討を行う。まずは施肥方法について検討し、その具体的な活用方法と、それを応用した水耕栽培の概要を整理する。基本コンセプトを定めた後、4.3 にて EZ 水耕の要素技術開発を行う。前項にて定められたコンセプトに倣い、様々な環境で EZ 水耕の実

証試験を行い、ハードウェアを開発する。4.4ではEZ水耕の実用化検証として事業者とともにEZ水耕での栽培を行い、野菜の品質試験とその分析を行う。4.5で本章の考察を行い、4.6で本章の内容を総括する。

サービス段階である第5章では、EZ水耕ビジネスの実証試験を行う。5.1で本章の前提について述べ、5.2では本章で行う実証の概要を述べる。5.3で実際に事業者と共に実証試験を行う。ここでは、栃木県、静岡県、愛知県、岐阜県、島根県、香川県、熊本県の実証試験について取り上げる。5.4では水田でのEZ水耕の収益性について確認し、5.5ではEZ水耕の将来戦略として水耕ソーラーシェアリングについて検討し、5.6で本章の考察を行い、5.7にて本章の小括を行う。

第6章では、それまでに開発したEZ水耕ビジネス・エコシステム戦略が正しく機能しているかの妥当性について、健全性を示す三つの価値指標「生産性」、「堅牢性」、「ニッチの創出」に基づいて確認を行う。6.1で本章の概要について述べ、6.2にて生産性、6.3にて堅牢性、6.4にてニッチの創出について考察する。6.5にて本章の結論を述べる

第7章では、結論として本研究の成果をまとめる。7.1では本論文の結論を述べ、7.2では問題点と今後の課題について示す。

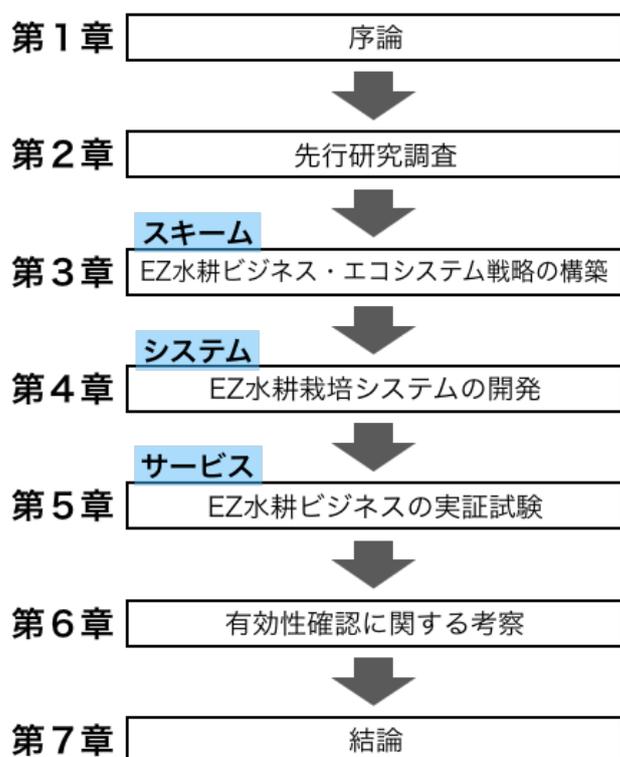


図 1-7 本論文の構成

第2章 先行研究調査

本章では、新規水耕栽培ビジネスのエコシステム戦略構築を行う本研究に対して、関連する先行研究等を調査することによって本研究の学術上の位置付けを明らかにする。2.1 では、本章の意義について俯瞰する。2.2 では、本事業の基盤となる農業、特に水耕栽培に関する先行研究等を調査する。まず 2.2.1 で水耕栽培の変遷について整理し、2.2.2 で植物工場と人工光源において調査する。2.2.3 では水耕栽培における栽培槽の要件について明らかにする。2.3 は、本研究でのビジネス設計の指針を与える先行研究である。2.3.1 では、ビジネス・エコシステム戦略に関する調査としてその黎明から最新の話題まで調査する。2.3.2 では、キーストーン戦略の概念を示す。2.3.3 では、エコシステム戦略における KPI を整理する。2.3.4 では、ビジネス・エコシステムの中心を担うキーストーンの戦略の構築方法について調査する。2.3.5 ではキーストーン戦略構築法の五項目のフレームワークについて記す。2.4 では本章の内容を総括する。

2.1. はじめに

水耕栽培を葉物野菜に適用する場合、従来は建屋あるいはハウス内の人工光源と還流水路の環境による方式がほとんどであった。そのためには専用の土地と建物が必要であり、そのためには一定水準以上の資金力と労働力を必須とし、個人での新規参入は容易ではない。食の欧米化が進行し、米食の減少とそれによる減反政策、米農家の後継問題、などは一気に休耕田、荒廃田を増加させている。そこでの地目の「田」から宅地への転換も必ずしも容易ではない。米農家の後継の農家離れを阻止し、また、U ターンあるいは I/J ターンを促進するためには、農業のイメージである、汚い、きつい、危険といった 3K の払拭に加えて収入の増加が実現されなくてはならない。農業は、このように日本のみならず世界の双方において解決すべき重要な経済的及び社会的問題を抱えていると考えられる。それらの問題を解決するためには、生産性が高く、環境負荷が小さい新規農業方式の開発が重要である。

そのために本論文では休耕田などの有効利用と農業の第二次産業化を意図した水耕栽培ビジネスを提案するものである。そこでは農業の基礎技術、水耕栽培のシステム化、そして持続可能な経営が提供される必要がある。

そこで本章では、農業から水耕栽培への歴史的経緯とそこでの技術進展、ビジネスとして成立させるためのビジネス・エコシステム、特に本研究の直接の基盤となるキーストーン戦略の設計手法に関する既往の研究および関連資料等を調査する。それによって本研究の学術的な位置付けと意義を明確にする。

2. 2. 水耕栽培の先行研究

2. 2. 1. 水耕栽培の変遷

水耕栽培とは固形培地を必要としない養液栽培のことをいい、土壌を必要としないため肥培管理が容易であり、多くの農業生産や園芸で利用されている技術である。

19世紀に Saussure によって、植物は水と土と空気から得た無機物と化学物質によって構成されていることが明らかにされ[Saussure1804]、植物の生育に不可欠な 9 種類の元素が特定された。その後 Von Sachs et al.によって水に溶けて植物を生育させることができる養分液の標準的な処方が発見された[Sachs1868]。これが「養液栽培法」の起源である。

今日、植物一般の生育における必須の栄養素(元素)としては、植物での要求量が大い多量要素(macronutrient)と、小さい微量元素(micronutrient)に大別されている。植物の生育における必須元素として、窒素(N)、りん(P)、カリウム(K)、酸素(O)、水素(H)、炭素(C)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、硫黄(S)の多量要素としての 9 元素、そして鉄(Fe)、マンガン(Mn)、ほう素(B)、亜鉛(Zn)、モリブデン(Mo)、銅(Cu)、塩素(Cl)の微量元素である 7 元素の合計16元素が知られている。植物が成長する際にはこれらが空気・水として供給される H・O・C の他の元素は、本来は土壌から消費されて減少することからそれを外部から補給する必要がある。なお、これらの必須元素とその量は植物種により異なるため、同一の種類を同一の土壌で続けて栽培すると特定の元素に偏って土壌から消費され、これが連作障害を引き起こす主要因である。なお、水耕栽培の場合では肥料供給を制御できるためにこの連作障害は容易に防止することが可能である。

以上のような発見と研究の進展によって、1920 年までに水耕栽培の実験室レベルでの準備段階は完了し、実用化への方法の標準化が行われるに至った。そして 1925 年頃から、温室産業がこれに興味を示しはじめた。温室の土壌は、土の組成や肥沃さや有害動物といった問題のために、頻繁に入れ替えなければならなかった。そこで、従来の土壌栽培法から養液栽培法に切り替えれば、そのような問題が解決されるのではないか、ということに着目されるようになっていった。

1920 年代後半から 30 年代前半にかけて、Gericke によって、実験室の実験から、大規模な商業ベースで養液栽培する試みを始められた[Gericke1933]。そのとき、この方法を水耕栽培(Hydroponics)と呼称したのである。その後現在に至るまで、個別技術の開発は進んだが、システムとしてのモジュール化は実現されていない。

2.2.2. 植物工場と人工光源

国内では 1970 年代より、温室を利用した水耕栽培から、さらに温度、光、二酸化炭素濃度などの環境条件を自動制御装置で最適な状態に保ち、作物の播種、移植、収穫、出荷調整まで周年計画的に一貫して行う植物工場という生産システムが研究されるようになった[古在 2012]。植物工場の施設内での生産であることから、天候に左右されることなく作物を周期的に安定供給でき、病虫害の被害を受けずにすみ標準化が可能となる。さらには、高齢者や障害者の雇用にもつながるなどの意義がある。

植物工場野菜の特徴としては無農薬、洗わずにそのまま食べられる、長持ちする、えぐみや苦味が少なく食べやすい、ロスが少ない、などが挙げられる。最近の消費者の安全・安心への志向、健康志向に合致する[高辻 2010]。

これらの多くの利点がある植物工場にも、初期導入コストと生産コストが莫大となるという欠点が存在する。これまで栽培光源として高圧ナトリウムランプや蛍光灯、発光ダイオード(LED)などが使用されてきた。従前は発光効率の高さから高圧ナトリウムランプが主流であったが、植物に必要な赤色と青色の比率が少ないことと、大量の熱線(赤外線)を放射するため植物との距離を十分にとる必要があり、多段栽培に向いておらず、面積効率が悪いという欠点がある。蛍光灯は発光に大量の熱線を伴わないので近接照明することができるため多くの植物工場で利用されているが、植物に必要な赤色(波長 660nm 付近)の成分が少ないために、生産物に甘みが欠け品質的に劣る傾向がある[高辻 2010]。

LED の発光波長は、図 2-1 に示すとおり赤色はクロロフィルの吸収ピークに、青色(波長 460nm 付近)は光形態形成の強光反応の作用スペクトルのピークにほぼ一致しており[農水省 2010]、植物による光の吸収効率が高くなり、比較的弱い光でも健全に生育させることができる。しかし設備費用が蛍光灯などに比較して高価となること、電力消費量が大きいため栽培光源としては最適なものではないこと、また高温になると出力が低下するため効率的な冷却対策を要することなどの欠点もある[Panasonic2009]。

太陽光を利用してほとんど照明コストがかからない温室内の水耕栽培と比較すると、人工光源の利用は莫大なコストを要する。そして生産する完全制御型植物工場産の野菜には、単純な野菜の生産だけではなく、ブランド化や機能性を高めて高付加価値化をし、消費者や小売業者、流通事業者や外食事業社に向けて情報を創造し、それを発信するマーケティングの努力が必要となる。

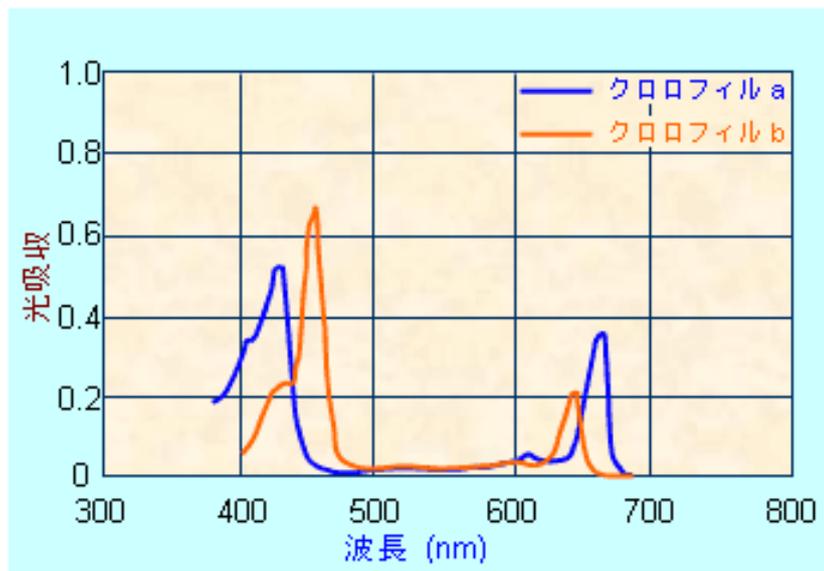


図 2-1 植物の光反応の作用スペクトル [高辻 2007](出典: 文科省 Web Site より引用)

2. 2. 3. 水耕栽培における栽培槽の要件

水耕栽培では本来は成長に必要な成分要素を水溶した培養液を蓄え、そこに張った根から水と成分を吸収させる媒体となる。栽培槽内の培養液は静止させたままでは成分の偏りなどの原因となるとともに、細菌の蔓延の原因ともなるため、循環させることが一般的である。培養液の循環を行う場合、土壌病害の蔓延の危険性から、紫外線、オゾンや熱などによる培養液の殺菌装置の導入が好ましい[木下 2012].

また、木下によれば、養液循環方式では培養液の組成の変化が生育障害を引き起こすために二通りの方法が用いられる[木下 2012]. 第一には、定期的に培養液の無機成分濃度を測定して補正する方法が考えられるが、そのための測定器の導入のコストを考慮する必要がある。第二には、定期的に培養液を更新する方式が考えられるが、培養液の更新によって大量の排液が廃棄され、さらには農薬の残留も想定されることから環境保全の観点からは問題視される。このように栽培槽での培養液の維持には解決すべき問題点が少なくない。

また、水耕栽培が温室内で行われる理由としては温度、照度等の環境を制御するという理由のほか、降雨時に雨水が栽培槽に流入することで養液の濃度変化が生じ、その都度適正な溶液濃度に調整する必要が生じるためである[松尾 1993]. そのため、栽培槽は基本的に温室内に設置することが望まれているが、それはイニシャルコストの増大に直結する。一般的には、水耕栽培システムのイニシャルコストの大半が温室建築と、測定器および制御機器などの養液管理システムに起因する。さらに、温室内での水耕栽培においてポンプ等を用いて養液を循環させる

場合、一旦、養液または栽培植物が細菌・ウイルスなどに汚染されると循環系全体にそれらが蔓延するリスクがある[松尾 1993]。一般に培養液中の病原菌は孢子、菌糸、遊走子の形で培養液中を伝播し、根から侵入して栽培植物に感染する[松尾 1993]。

土耕栽培では植物を病気や害虫から防除する農薬には使用方法が定められているが、水耕栽培では一度養液に農薬が溶け込むと循環システムを通して成分が濃縮されることや、成分が栽培槽全体に広がった場合に特定の成分のみを除去することは極めて困難である[松尾 1993]。そのため、土耕栽培と同様に農薬を使用することはできない。

2.2.4. 3K を代表とした就農に関する問題点

現代の日本の農業は多くの社会的問題を抱えている。石塚は、日本の農業において農業者の高齢化、離農、担い手・新規就農者の不足が喫緊の課題となっていることを指摘している[石塚 2019]。

農林水産省・農業の「働き方改革」検討会で高校生が感じている職業としての農業の魅力や課題の把握を目的として、農業科系高校生に対して実施した聞き取り調査によれば、「ある程度お給料がいい/経営がしっかりしている/少しでもいいのでお休みがとれるところ/収入の安定/3K」の「キツイ・汚い・危険」を「稼げる・効率化・簡略化」の新しい「3K」に近づける/ビジネス視点も大切/自分が給料を支払えるかという視点に立つことも必要」という意見がみられている[農水相 2019]。さらには、同委員会の委員からは、「農業経営体が障害者雇用に力を入れることで、業務の見直しが行われ一般企業のノウハウをシェアできる。」という指摘もされている。

上述した高校生の意見にもみられるように、農家の後継ぎ問題、新規就農者参入を阻んでいる原因として 3K、すなわち、「汚い・きつい・危険」という言葉に集約される農業のマイナスイメージが定着していることは無視できない。

「汚い」というイメージの大元は土によるものであろう。土耕栽培においては耕運、雑草取り、収穫まで土にまみれて作業することは当然であり、そのようなイメージとして象徴的である。さらには、農業は全体的に肉体労働の要素が無視できず、休暇がとりにくい、早朝から働く、など「きつい」という要素は若者にとって重要な視点であろう。

田村は「危険」すなわち農作業における事故に関する実態をまとめている[田村 2018]。事故の内訳として、転倒転落による骨折や打撲、草刈機の接触による裂傷などを挙げ、その後者の増加傾向を指摘している。そして、草刈時の接触事故が増加傾向にあること、重機を使用した作業が重大事故に繋がること、を指摘している。その上で田村は、高齢農家のリタイア、就業人口

の減少の進行により、日本の農業の持続性と安定性を著しく損なうことになりかねない、と指摘している。

2. 3. エコシステム戦略の先行研究

2. 3. 1. エコシステム概念の黎明

エコシステム(ecosystem)とは生態学における生態系を意味する用語であって、今日の経営学上の重要概念であるビジネス・エコシステムはそのアナロジー概念である。このアナロジーを、生態学を基礎としたメタファーとして使用することを最初に提起したのはMooreであるとされている。Moore は、生物と社会システムの研究から産業界に生じる競争に対し、産業における企業を独立した個の要素としてではなく、業界を横断する生態系、すなわちビジネス・エコシステムの一員としてみなす、というメタファーを提唱した[Moore1993][Moore1996]。ビジネス・エコシステムにおいては、それに属する企業群は新しいイノベーションを中心に共に進化(共進化: Co-evolution)し、新商品をサポートし、顧客の需要を満たすために協力的かつ競争的に取り組むこととなる。大規模なビジネス環境では、複数のエコシステムが生存と支配をめぐる争う可能性があり、実際、今日の産業変革を促進しているのは、個々の企業ではなく、ビジネス・エコシステム間の競争であると指摘している。そして、企業経営者は、新しいエコシステムの誕生や、既存のエコシステム間の競争を無視する余裕はないと警告している[Moore1993]。また、文献[Moore1996]では、さまざまなステークホルダー、すなわち組織・制度・個人がビジネス・エコシステムに含められるように拡張された。ただ、Moore によるこれら最初のビジネス・エコシステムでは、エコシステム、すなわち生態系の範囲と定義は明確にされていない。

しかしながら、Moore による、ビジネス・エコシステムという概念の導入によって、単一産業ではなく複数産業を捉える視点の重要性が提起され、また、企業間の競争や協調という相互作用を通じて企業が相互に共進化していくという視点が提起された。この Moore のビジネス・エコシステムの考え方は現実の社会システムにおける企業集合体の振る舞いをアナロジーとして表現するのに都合がよく、後の企業システム論、経営論の発展に大きく寄与している。

一方、Gawer et al.は、プラットフォーム・リーダーシップ概念について論じている[Gawer2002]。そこでは、プラットフォーム概念を用いた商品が支配的な産業の企業が直面する戦略的問題に焦点を当てて論じている。ハイテク業界では企業がモジュール製品の開発を競争的に行うことを推奨しており、それによってより多くのプレイヤーの製品の革新能力を高めることができると指摘

している。例えば、自動車、ラジオ、冷蔵庫、オーディオシステムなど、相互依存する要素とサブシステムというモジュールで構成される複雑な製品を生産できる。

急速に成長するこれらの産業の重要な環境は、製品のさまざまな部品モジュールごとに相互依存する生産者のネットワークであると分析した。具体例としてインテル社、マイクロソフト社などを取り上げており、そこでのプラットフォーム・リーダーシップ概念の重要性を説明するためにビジネス・エコシステムを用いている。プラットフォーム・リーダーシップを巧みに発揮した企業としてインテル社で、特に、学問としてではなく実務の現場でのビジネス・エコシステム概念の使用実態が紹介されている。すなわち、Moore et al.が企業間の競争あるいはイノベーションの構造を説明するためのメタファーとして使用したのに対して、Gawer et al.は実体的な概念としてビジネス・エコシステムを援用に用いており鍵概念としては用いていない。

2.3.2. キーストーン戦略の概念

キーストーン(Keystone)およびキーストーン戦略とは、自然界の生態系を対象とする生態学でのキーストーン種の役割とのアナロジーによって、ビジネス・エコシステムにおけるキーストーン企業の振る舞いを考察する戦略である。キーストーン種とは、西川[西川 2010]によれば、生態系において比較的少ない生物量でありながらも、生態系へ大きな影響を与える生物種を指す生態学用語である。

Iansiti et al.[Iansiti2004]も、Moore et al.と同様にビジネス・エコシステム概念のメタファーとしての有効性を示しつつ、それを実体的に取り扱う中でキーストーン企業について論じている。ここでは、マイクロソフト社、ウォルマート社といったその産業界での中核的企業を中心とした企業間システムを分析対象として、ビジネス・エコシステムの健全性を維持している中核的企業を表現するために、生態学の用語、キーストーン種というメタファーを提起するとともに、キーストーン企業の振る舞いとそこでのマネジメントが考察されている[Iansiti2004]。

キーストーン概念が導入されたビジネス・エコシステム戦略がそこでの生産性と堅牢性を高めることができ、そしてニッチなプレイヤーによる連続したイノベーション創出の促進がキーストーン戦略によって維持されると主張している。

従来の経営戦略論が産業構造や市場などの外部環境に対して論じられてきたのに対して、キーストーン戦略はビジネス・エコシステムというフレームワークから戦略パターンが提示されている。この提示は動的に構造変化する産業や市場の境界線をどう捉え、どのように企業戦略を展開していくのかという論点に関して大きな示唆を与えるものである。しかしながら、実際の様々な

事業分野でのビジネスに普遍的に応用可能なキーストーン戦略を組みあげるための具体的なフレームワークは示していない。

2.3.3. エコシステム戦略の KPI

Iansiti et al.はさらに、キーストーン概念の導入に際して、ネットワークにおける主な企業をその役割(role)に応じて、以下の四種類に分類している[Iansiti2004].

- ・ キーストーン

生態系におけるハブ機能を果たす。生態系全体の健全性を促進するよう努め、その結果として自社の持続的なパフォーマンスも高める。キーストーン企業は、生態系の参加者が利用できるプラットフォームやサービスを構築して、生態系内の企業間の協業を促進するところにある。また、生態系での価値創出を促す一方、そこで生まれた価値を他のメンバーと共有する[野間口 2017].

- ・ 支配者

支配者は垂直的あるいは水平的に生態系の大部分を統合して制御し、価値創出活動の大半を単独で行う。また、生態系内で生まれた価値の大半を自社のみで独占する[野間口 2017].

- ・ ハブの領主

価値創出はネットワークの他のメンバーに依存しているにもかかわらず、価値の大半を自社のみで独占して価値を横奪する[野間口 2017].

- ・ ニッチ・プレイヤー

個々には小規模な存在ではあるが、生態系の構成員数の割合から見ると圧倒的に多い。それぞれが特殊な能力を持ち、ハブ企業に依存しながら生態系の他のメンバーと連携し価値創出を促す[野間口 2017].

支配者は、自社単独でイノベーションを創出し、ネットワークの大半の利益を独占しようとする。すると、支配者は、自社が支配するネットワーク内でニッチプレイヤーを創出できず、そのエコシステムが崩壊する。ハブの領主は、自社ではイノベーションを創出できず、そのエコシステムから収奪するだけである。そのため、ここでもニッチプレイヤーは、そのエコシステムから離脱していく。支配者やハブの領主に比べて、キーストーンは自社でキーとなるコア技術を確保しながら、ニッチプレイヤーと利益を分け合おうとする。また、キーストーンは明快なインタフェースを設計することにより、ビジネス・エコシステム圏内でのニッチプレイヤーによるイノベーション創出を促進する。それによって、キーストーンはビジネス・エコシステム全体の生産性を高め、持続性を確保することができる。キーストーン企業は、優れたニッチプレイヤーが自社のビジネス・エコシステムから離

反していかなないように、ビジネス・エコシステム全体の魅力を高めていく必要がある。Iansiti et al. は、そのための重要業績指標(Key Performance Indicators: KPI[Parmenter2007])として、生産性(Productivity)、堅牢性(Robustness)、ニッチの創出(Niche Creation)、の三項目を挙げている[Iansiti2004]。生産性は、ビジネス・エコシステムの健全性と、それを利用する者にとっての便益を評価するための指標である。例えば、1)要素生産性、2)時系列での生産性の変化、3)イノベーションの伝達、である。堅牢性は、環境変化に対して生き残るための指標である。例えば、1)生存率、2)ビジネス・エコシステム構造の持続性、3)予測可能性、4)陳腐化の回避、などである。三つめの KPI は、ニッチの創出である。その具体的な指標には、1)企業の多様性の増大、2)製品及び技術の多様性の増大、がある。

2.3.4. 久保らによるキーストーン戦略構築法

Iansiti et al.の研究[Iansiti2004]では、実際のビジネスでのキーストーン戦略を組みあげるための具体的なフレームワークは示されていない。久保ら[久保 2019]は、キーストーン戦略を構築するためのフレームワークを提案している。従前のキーストーン戦略論ではそのあるべき姿は提示されていたが、戦略の具体的構築方法は示されていない。久保らはそれに対するフレームワークを提案しており、以下には文献[久保 2019]を要約する形でそこで提案されている五項目のフレームワークを提示する。なお、それらのフレームワークは、今後さらに複雑化していく Society 5.0 においても強靱なビジネス・エコシステムを構築する際の有効性と普遍性が高いと主張されている。

2.3.5. 五項目のフレームワーク

第一は、FW1(Framework 1)で、プロファイリングマネジメント、すなわち P2M 統合マネジメントを用いたキーストーン戦略の全体像の構築手順である(図 2-2)。ここでは、P2M の理論体系を基盤として、キーストーン戦略構築のための具体的な手順の全体構成を示している。P2M プロファイリングとは「現状の複雑現象から見抜いた問題を明確に規定するプロセス」のことで、プロファイリングマネジメントはミッションの内容を深く理解し、目的・目標の連鎖を創り、関係性分析で全体と部分の意味、協力関係、利害関係をシナリオに展開する初期段階の総合管理である[PM 導入開発調査委員会 2002]。

その基本的な流れは、i)企画立案(Scheme Model)、ii)実行(System Model)、iii)事業展開(Service Model)の3段階から構成され、3S モデルと呼ばれる。この3Sモデルを、連続的かつ確

実に遂行するための六項目の知識すなわち統合マネジメントが、i)プロファイリングマネジメント (Profiling Management), ii)プログラム戦略マネジメント(Program Strategic Management), iii)アーキテクチャマネジメント(Architecture Management), iv)プラットフォームマネジメント(Platform Management), v)ライフサイクルマネジメント(Life Cycle Management), vi)価値指標マネジメント (Value Index Management), である。その上で、エコシステムにとっての顧客(Customer), 自社並びにエコシステムからみた競合者(Competitor), 自社のケイパビリティなど(Company), エコシステムを形成する協力者(Collaborators), エコシステムの必要性や形成の背景など(Context), の5C[Schultz1993]をキーストーン戦略構築のための入力情報とし、六項目の統合マネジメントを、FW1 の手順に従って適用することによりキーストーン戦略を出力する。

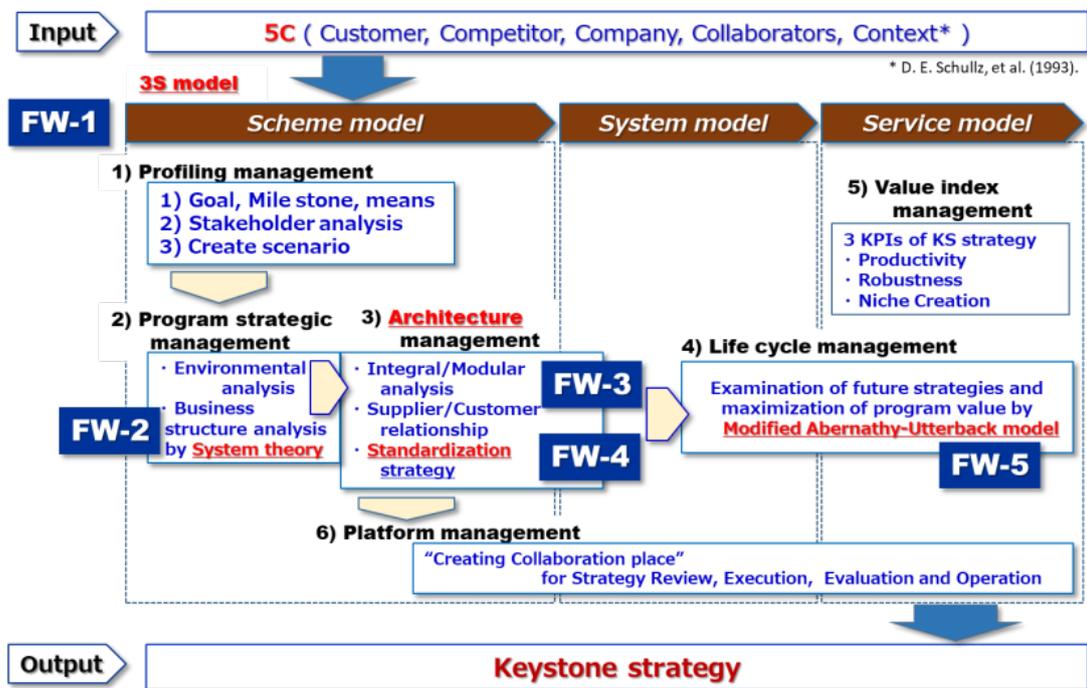


図 2-2 P2M 統合マネジメントに基づき FW2～5 を用いて KS 戦略を立てる手順[久保 2019]

第二は、FW2(Framework 2)で、システム論の準分解性[Simon1996]を用いたビジネス構造の階層化である(図 2-3)。ここでは、キーストーン戦略構築の最初の段階で、事業の階層構造を明らかにすることを目的として、アーキテクチャマネジメントにより、複数プロジェクトの関係の明確化と詳細化がなされる。

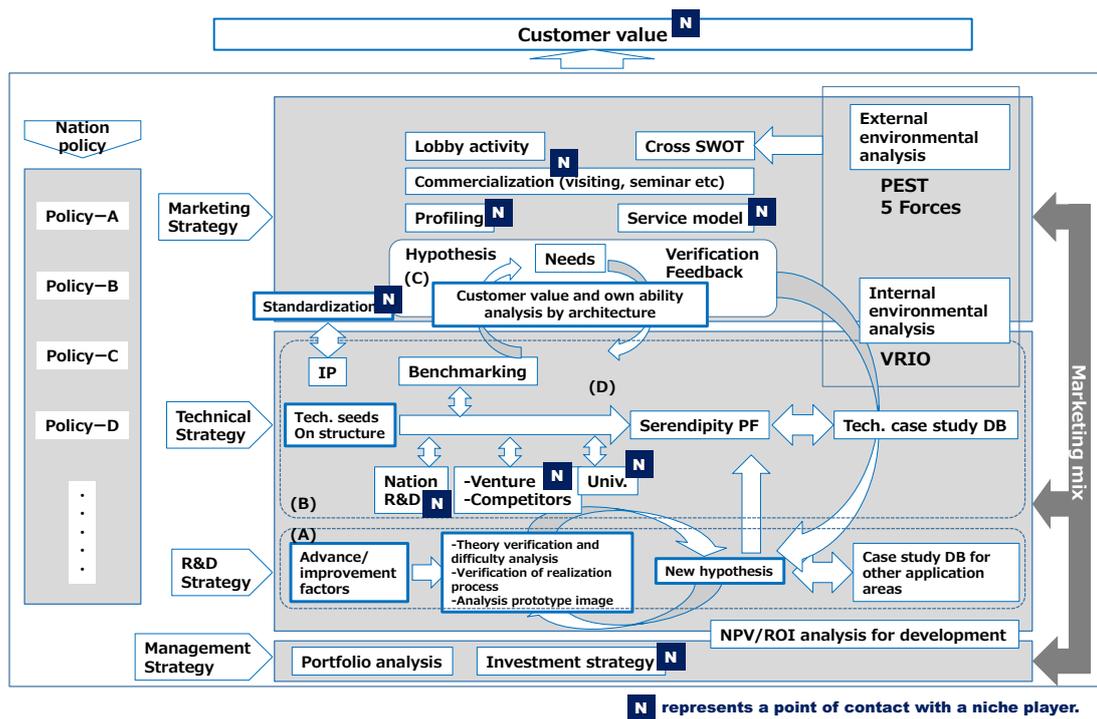


図 2-3 システム論に基づく階層的ビジネス構造[久保 2019]

第三は、FW3(Framework 3)で、アーキテクチャ設計思想[藤本 2004]ベースのエコシステム構築フレームワークである(図 2-4, 図 2-5)。ここでは、まず製品またはサービスに要求される機能とこれを実現する部品構造の関係に着目する。そして、各機能と部品の関係が多対多であればインテグラル型、1 対 1 の場合はモジュラー型、として分類される。モジュラー型では、それに包含される機能は部品を適切に組み合わせることにより実現される。そのため、モジュラー型では機能別に部品を開発できるという特徴を持つ反面、そのモジュールを第三者が容易に入手、模倣されるリスクを伴う。なお、久保らは機能と部品の関係において、部分的に多対多あるいは一対多の場合には言及していないが、このような場合でも限定されたモジュール化が可能であり、本論文で提案する事業モデルではこれを採用している。

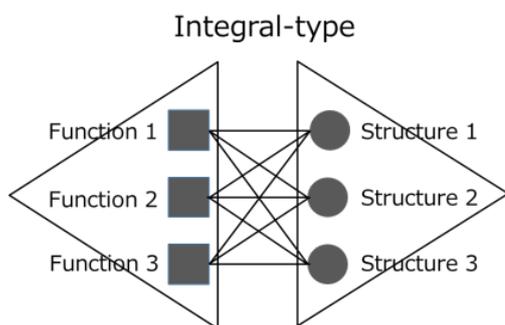


図 2-4 インテグラル型の製品アーキテクチャ[久保 2019]

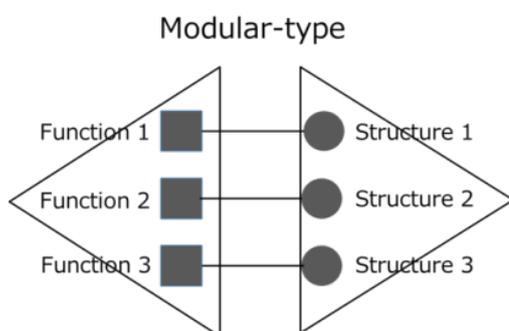


図 2-5 モジュラー型の製品アーキテクチャ[久保 2019]

第四は、FW4(Framework 4)、アーキテクチャ・ベースの標準化戦略[原田 2008]の構築法である(図 2-6)。ここでは、アーキテクチャ・マトリクスを用いた標準化のフレームワークによりビジネス・エコシステム全体を俯瞰した有効な標準化戦略を立案可能である。ここでの標準化戦略とは、供給側エコシステム内部におけるインテグラル型とモジュラー型の選択、顧客側との関係性におけるインテグラル型とモジュラー型の選択、そしてエコシステム内でモジュールでのクローズ化とオープン化の選択、が想定される。この設計により、ビジネス・エコシステム全体の生産性の向上と、堅牢性の維持、ニッチすなわちイノベーションの創出を実現できると主張している。

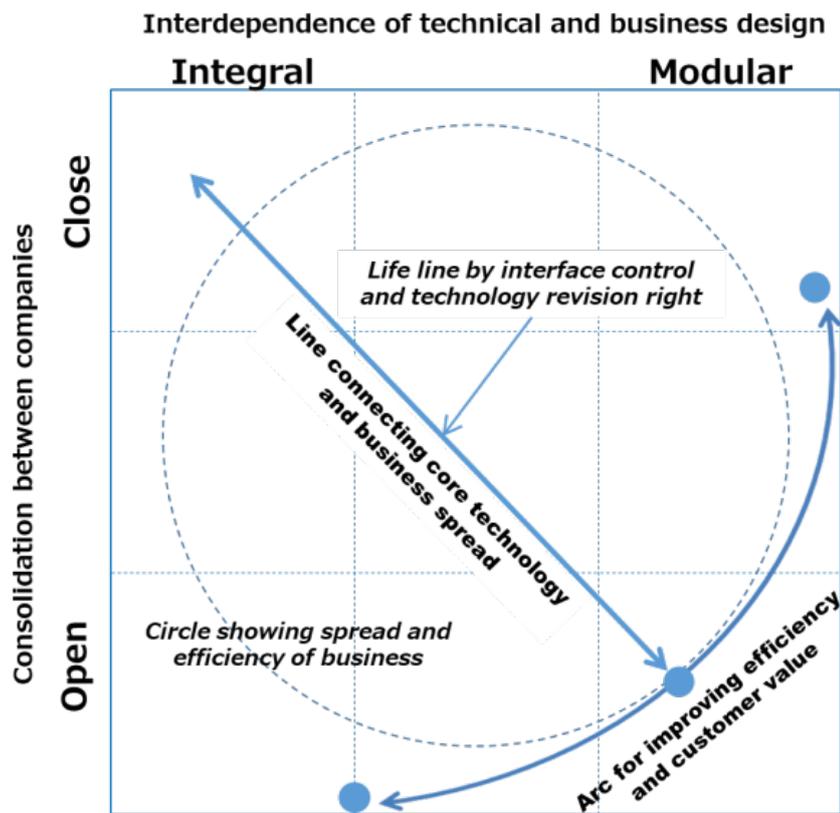


図 2-6 モジュラー／インテグラル及びオープン／クローズ領域のアーキテクチャ検討結果に基づく標準化戦略[久保 2019]

第五は、FW5(Framework 5), 垣本ら[垣本 2018]によって提案された階層型 Abernathy-Utterback モデル(階層型 A-U モデル)によるビジネス階層別の将来戦略を構築するフレームワークである(図 2-7).

ここでは、ビジネス・エコシステムの堅牢性(高生産性とイノベーション創出の維持)の確保を目的として、ビジネスの階層構造に立脚した将来戦略を描くため、Abernathy-Utterback(A-U)モデル[Utterback1994][Utterback1975][秋池 2012]に対して上層と下層に拡張した階層型 A-U モデルのフレームワークを提案している。階層型 A-U モデルの採用により、当該ビジネス・エコシステムに将来起こりうるイノベーションの予測とそれに基づく将来戦略を立案できると主張している。

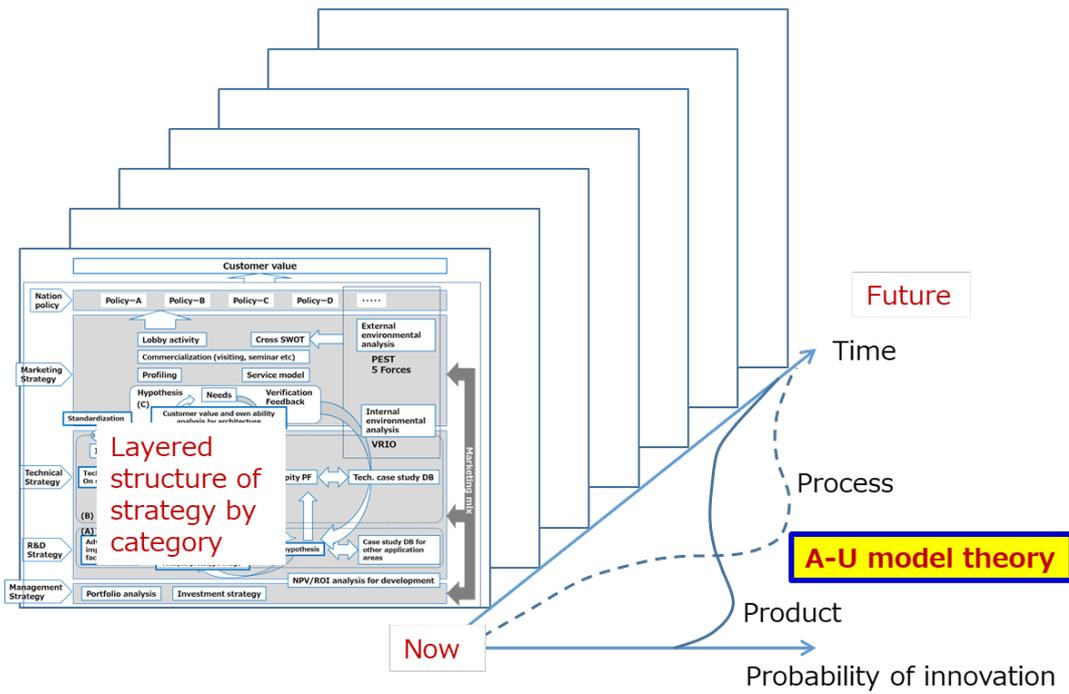


図 2-7 ビジネスの階層システム全体に拡張した A-U モデルに基づく将来戦略の概念図 [久保 2019]

2. 4. 小括

本章では本研究の学術的な立ち位置の明確化を意図して関連する先行研究等を調査した。

その結果、農業においては水耕栽培の技術は格段に進展している。しかしながら日本では食の欧米化により米の消費量は減少しており、減反政策のみならず農家の後継問題などに起因する休耕田や荒廃農地の増加という社会問題を引き起こしている。休耕田あるいは荒廃農地を利用して薬物野菜の効率的な栽培が可能となり 3K あるいは収入問題が解決できれば、農村の持続性の問題を解決でき、若者の農業への U/I/J ターンを促進できる可能性も生まれる。そのような目的を実現できるビジネスモデルの構築は非常に意義深いものとなると考えられる。3K 問題を要因として、特に若者の離農、新規就農の減少が進行し、U/I/J ターンの促進が喫緊の課題である。一方、土を使わない農業生産方式として 3K 問題が軽減された従来型の水耕栽培においては、その代償としてコスト増大の問題が顕在化した。一般的には、水耕栽培システムのインシヤルコストの大半が温室建築と、測定器および制御機器などの養液管理システムに起因する。

さて、本章の後半で提示したビジネス・エコシステムによれば、前述のような農業を対象としたビジネスの創生が期待される。事業戦略の具体化とその遂行のプロセスを示した P2M 理論を基

盤とした、ビジネス・エコシステム戦略の構築方法が提案された[久保 2019]. そのビジネスの中核となる水耕栽培システム提供を担うキーストーン企業を中心としたビジネス・エコシステムをフレームワーク分析により設計、創出することが可能であると考えられる. 従来では、エコシステム戦略研究の対象の全てはモジュール化された第二次および第三次産業に限られていた. そこで、農業・林業・水産業を含む、モジュール化されていない第一次産業に対してビジネス・エコシステム、特に農業分野におけるキーストーン戦略の適用可能性を検証することが必要である.

これらの、農業と、効率的な経営戦略双方の問題点を解決できる一方法として、新規農業方式である水耕栽培と、そのビジネス・エコシステムの考え方をを用いた戦略の立案が有効であると考えられる. 水耕栽培が開発されてから現在に至るまで、システムとしてのモジュール化は実現されていない.

本研究で提案する葉物野菜の水耕栽培システムはそれらの先行研究に支えられて設計するものである. また本研究は久保らによって提案されているキーストーン戦略構築のためのフレームワーク[久保 2019]の有効性の検証フェーズという位置付けでもある.

第3章 EZ 水耕ビジネスのエコシステム戦略の構築

スキーム段階である本章では、P2M を用いたキーストーン戦略構築の五項目フレームワークに基づき、EZ 水耕ビジネスのエコシステム戦略を構築する。このケーススタディにおける KS 企業は、EZ 水耕栽培技術を開発したスタートアップ企業とする。3.1 で本章の背景について述べ、3.2 以下の節にて、ビジネス・エコシステム戦略構築フレームワークに沿って、EZ 水耕ビジネス・エコシステム戦略を構築する。3.2 では P2M の 3S モデル準拠の戦略構築フローを組み立てる。3.3 では外部・内部環境分析とビジネス構造について述べる。3.4 ではアーキテクチャの分析を行う。3.5 では標準化戦略について述べる。3.6 では階層型 Abernathy-Utterback モデルを用いた将来戦略を構築する。3.7 では EZ 水耕のビジネスモデルとそのマネジメントについて示し、3.8 で本章の内容を総括する。

3.1. はじめに

21 世紀初頭頃よりオフショアリングを含むグローバル化によって、単一産業ではなく複数産業を捉える視点の重要性が更に増している。また、企業間の競争や協調という相互作用を通じて企業が相互に共進化していくという視点も重視されている[Moore1993][Moore1996]。そのような中、農業にもビジネス・エコシステムの考え方を取り入れることが重要であり、本章では新規水耕栽培(以下、EZ 水耕と呼称する)におけるビジネス・エコシステム戦略を立案する。

3.2. P2M の 3S モデル準拠の戦略構築フロー

KS 戦略構築の第1のフレームワークは、P2M の 3S モデル及びプロジェクト統合マネジメント [片倉 2007], [北倉 2006]に準拠したフローである。このモデルにしたがって、EZ 水耕ビジネス・エコシステム戦略の「スキーム(構想)」、「システム(開発)」、「サービス(事業化)」の各モデルが詳細化され、全体像が描かれる。入力情報は、「Customer」、「Competitor」、「Company」、「Collaborator」、「Context」からなる五つの C である[藤原 2013]。これらの入力情報を元に、スキームモデルでは、「プロファイリング」、「プログラム戦略」、「アーキテクチャ」の3つがマネージされる。このうちプロファイリングマネジメントにおいては、1)ゴール、マイルストーン、手段、が決められ、2)ステークホルダーが分析され、3)シナリオが創られる。

例えば、1)の当面のゴールは、日本国内での EZ 水耕栽培ビジネスの普及が考えられる。また、マイルストーンとしては、有力な農業法人顧客の獲得と安定生産の実績作りが重要と考えら

れる。EZ 水耕ビジネス・エコシステム戦略の手段やステークホルダーの例としては、以下の三つが挙げられる。a)産官学共同プロジェクトの実証事例、b)EZ 水耕への IoT と AI の組み合わせによる技術革新の事例、c)リース活用による新規就農者の増加である。

3)の「シナリオ」としては、複数のプロジェクトを束ねた EZ 水耕ビジネス・エコシステム構築プログラムの構想と実行が期待される。

3.3. 外部・内部環境分析とビジネス構造

3.3.1. 外部環境分析

EZ 水耕ビジネス・プログラムのシナリオが明確になったとしても、KS 企業は競合する他のビジネス・エコシステムとの競争に勝ち残らなければならない。そこで、農業ビジネスのネットワークにおける KS 企業の位置づけを明確にするため、本ビジネスのバリューチェーンを図 3-1 に示した。この図は、農業のための資材供給から、生産、製造・加工、流通、消費に至る各段階の付加価値連鎖を示している。EZ 水耕ビジネス・エコシステムでは、同図の左下に位置する資材供給業者が「KS 企業」となりうる。その後に繋がるネットワークのステークホルダーは KS 戦略におけるニッチプレイヤーの位置づけである。

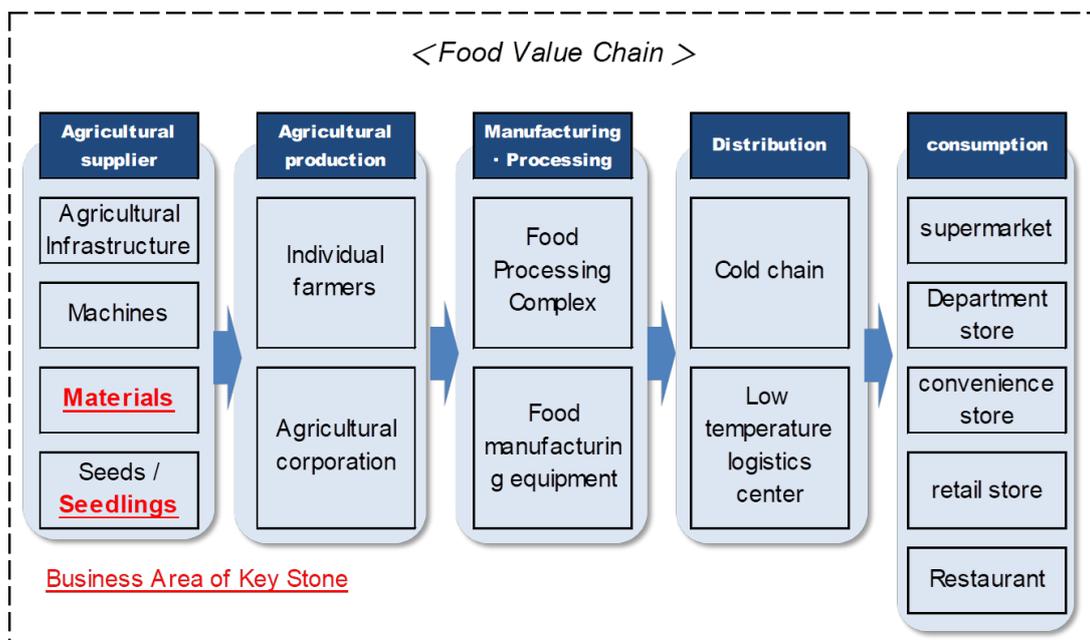


図 3-1 EZ 水耕ビジネスの価値連鎖

3.3.2. 内部環境分析

一方、「内部」である「自社」は、スタートアップ企業であるがゆえ、俊敏ではあるが、組織的にも財政的にも脆弱である。その企業は、その EZ 水耕栽培の知識や特許を有効に活用して、かつエコシステムの三つの KPI、すなわち生産性、堅牢性、ニッチの創出[國井 2016][産業機器研究所 2012]を、最大化できるプログラム戦略を構築する。

EZ 水耕が従来の水耕栽培と技術的に異なる点は、液体肥料を用いず固形肥料を使用して施肥を行う点である。植物は根から水分と養分を吸収し生育することから、栽培槽の水自体は養液ではなく肥料のない淡水でもよく、施肥は植物の成長にあわせゆっくりと溶け出す固形肥料(以下、本論文では緩効性肥料と表記する)を使用することによって行う。これにより、栽培槽で養液を循環させる必要がなくとも、連続的に植物へ肥料を供給することができ、養液管理が不要になる。そのため、雨水による養液の濃度変化等を考慮する必要がなく、従来要求されていた温室などの雨除けが不要になり、露地での水耕栽培が可能となった。また、淡水かけ流しの仕組みは施肥だけでなく、養液循環による細菌やウイルスなどの繁殖の対策にもなる。更には、農薬を使用した場合であっても、養液循環のように成分が濃縮されることや、栽培槽全体に広がることもないため、従来の水耕栽培では困難であった農薬の使用も可能である。

栽培槽は水を保持することができれば場所、大きさ、形状、材料、ともに特段限定されず、EZ 水耕用に準備された栽培槽に限らない。例えば休耕田、使用しなくなった屋外プール、貯水槽、溜池など、別の目的で準備された水溜、または河川や湖、池など水が自然に流れたり溜まったりしている場所を栽培槽として用い、水耕栽培を行うことが可能である。本論文では日本の農業復興や耕作放棄地対策の観点から、特に水田を利用した EZ 水耕について記述している。

水田をそのまま栽培槽として活用することによって、既存の農業用水や井戸水を使用することが可能であり新たな設備の敷設や費用を必要としない。なお、淡水とは養液を植物への施肥を目的として水に含有させる状態を除くことを意図しており、水中に養分が全く入っていない状態のみを意図するものではない。例えば、養液の主要成分、窒素、リン、カリウムの濃度はいずれも 1ppm 以下であってよく、もしくはこれらを含めた全ての溶解物の濃度が 50ppm 以下であってよい。地域によっては農業用水や井戸水に肥料成分や、温泉地や海の付近ではナトリウム、カルシウム、マグネシウム、鉄、ホウ素などが多く含まれる場合もあり、特別な対策が必要となることもある。

EZ 水耕で生育可能な植物は、通常水耕栽培で栽培される植物であれば特段限定されない。各種観賞用花・食用花などの花卉であってよく、観葉植物類であってよく、レタス、トマト、ホウ

レンソウ、ベビーリーフなどの野菜類であってもよい。EZ 水耕は温室内での水耕栽培と比べると栽培面積あたりの初期コスト、生産コストともに低いため、生産する植物は栽培面積あたりの単価が高いものに限る必要はない。

EZ 水耕での生産工程と、使用される資材を表 3-1 にまとめた。ハードウェアでは、従来の農業でも同様に使用されるセルトレイ、育苗箱、播種板などが多数あり、水耕栽培でのみで発生する定植工程では、水耕パネルや水耕鉢などの資材が挙げられる。

EZ 水耕に使用する資材は、植物を支持する部材、そこに配置され植物体の根に養分を供給する固形の緩効性肥料、及び培地を脱着可能に保持することが出来る開口部を有し、水面上に浮遊可能なフロート部材である。植物を支持する部材には培土とポリプロピレン製の水耕鉢(図 3-4)、固形肥料は緩効性肥料、フロート部材は発泡ポリスチレン製水耕パネル(図 3-3)を使用する。培地には必ずしも培土と水耕鉢を使用する必要はなく、従来の水耕栽培のようにロックウールやウレタンスポンジを使用するとそれぞれが単体で植物を支持する部材となり、肥料はそれらに予め格納させるか、接着剤や蝶番などの固定治具で貼り付けることでも使用できる。ただし、コストや収穫後の処分方法、環境に配慮すると培土と水耕鉢の使用が好ましい。

表 3-1 EZ 水耕に用いる資材と栽培工程

工程	播種	発芽	育苗	定植	葉面散布	収穫
ハード	セルトレイ	発芽機		水耕鉢	噴霧器	収穫台
	育苗箱			水耕パネル		
	播種板			連結資材		
	土詰め機			作業台		
	トロ船			定植台		
ソフト	種子		肥料	肥料	肥料	
	培地		灌水	農薬	農薬	
	肥料		農薬			
プロセス	播種方法	環境制御	環境制御	水の制御		
			灌水時期			
			灌水			

貯水槽として水田を利用する場合を例にとりて、具体的なEZ水耕での栽培方法を以下に示す。まず水耕パネルに肥料と苗を入れた水耕鉢をセットし(図 3-2)、水を溜めた水田にその水耕パネルを浮かせ植物を栽培する(図 3-3)。栽培期間は季節、場所などの環境や植物の種類にもよるが、葉菜の場合は苗から定植後、収穫までおよそ3~5週間である。苗は一般的な土耕栽培と同じように育苗培土にてセルトレイ育苗したものを使用し、育苗期間にはおよそ3~6週間を要する。

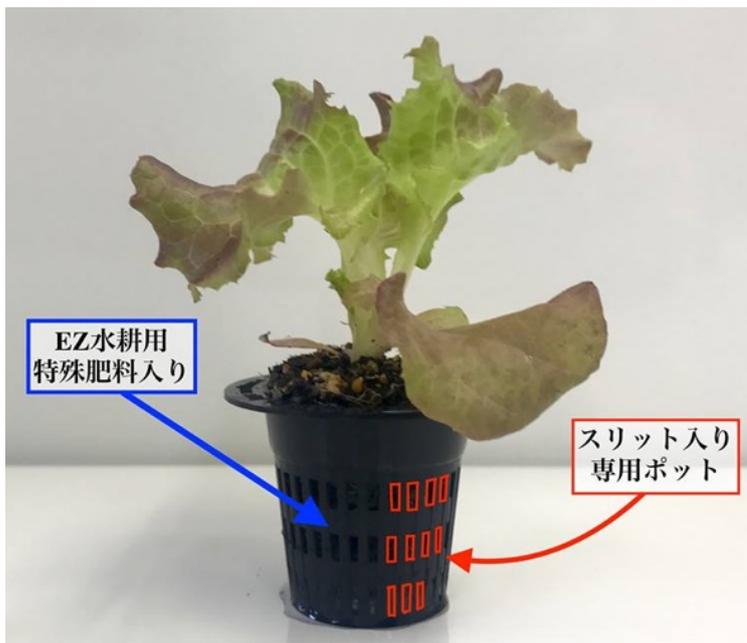


図 3-2 肥料入り EZ 水耕用苗



図 3-3 水田での栽培(サニーレタス, サラダ菜, グリーンリーフ)

3.4. アーキテクチャの分析

前節で EZ 水耕ビジネスの構造が明らかになった。次に、FW3 にしたがって、本ビジネスの顧客である農業従事者の要求機能と、EZ 水耕の各要素(苗、露地栽培キット、インフラ、プロセス)との対応関係、すなわちアーキテクチャを分析する。図 3-4 に、その結果を示す。顧客が EZ 水耕栽培に期待する主要な価値は、同図の左側に示すとおり、高収益、低労働負荷、低環境負荷の三つである。「高収益」は多期作、低イニシャルコスト、低ランニングコスト、によって実現される。これらの中で、低イニシャルコストは、栽培室建屋不要、養液循環および濃度調整不要、によって可能となる。「低労働負荷」は、水耕用資材と方法のモジュラー化、機械化容易、農業従事者の専門知識不要、供給業者の水平分業、によって可能となる。さらに、「低環境負荷」は、パネルと水耕鉢のリユース及びリサイクル、淡水(養液不要)、入れ替え量僅かな湛液方式、によって実現される。

これらに対応する供給側の要素(資材、インフラ、プロセス)は、「EZ 水耕栽培システム」として、同図の右側に示される。苗、水耕パネル、水耕鉢、緩効性肥料、病虫害予防薬、などの資材は、すべて「EZ 水耕キット」としてパッケージ化して供給される。また、播種、育苗、定植、収穫などのプロセス技術は、「プロセスパッケージ」と称するマニュアルにまとめて提供される。その他に、水や土地(水田、畑、ソーラーシェアリング、植物工場、等)などのインフラも、本ビジネスには重要な要素である。

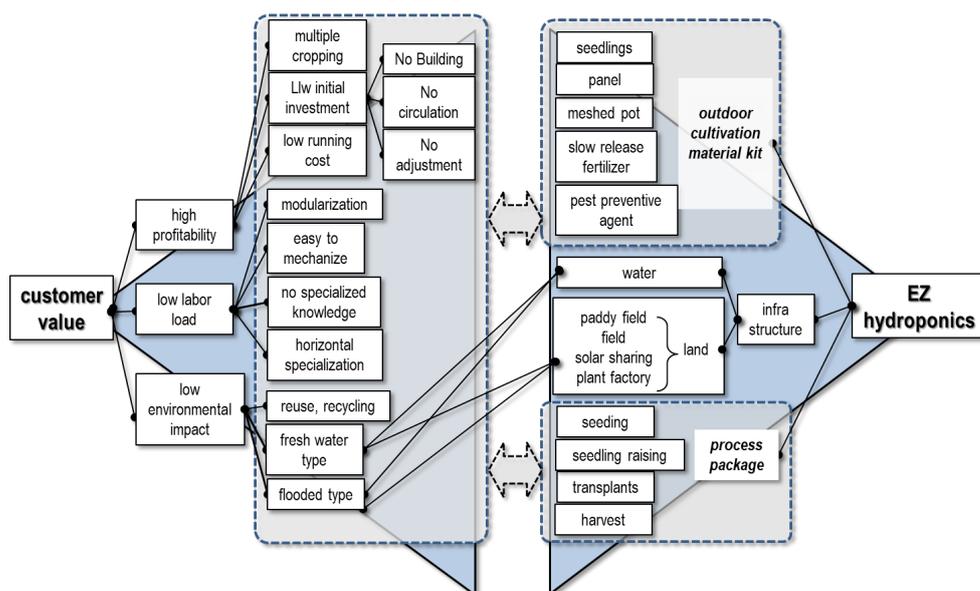


図 3-4 EZ 水耕システム構造と顧客価値の間のアーキテクチャ分析結果

3.5. 標準化戦略

前述の顧客の要求機能の大半は、「EZ 水耕キット」と「プロセスパッケージ」の「モジュラー化」により実現される。したがって、本ビジネスの供給業者と顧客(農業従事者)間の関係は「モジュラー型」である。モジュラー型の特徴は、両者の間でのすり合わせが不要で、手間がかからないことである。その関係を図 3-5 の右上に「EZ 水耕」として示す。同図の縦軸は供給者内部の製品アーキテクチャが、すり合わせが必要な「インテグラル型」と、簡単に組み合わせられる「モジュラー型」のどちらなのかを示している。同図の横軸は、供給業者と顧客との関係が、「インテグラル型」なのか、それとも「モジュラー型」なのか、を表している。従来型の農業が、内部も外部も手間暇がかかり、専門知識も必要となる「内インテグラル/外インテグラル」型であるのに対し、EZ 水耕は「内インテグラル/外モジュラー」型である。すなわち、後者では、供給業者は社内での技術開発に様々な専門知識やすり合わせが必要になるが、供給業者と顧客の間では「すり合わせ」の必要がない。したがって、顧客は比較的容易に EZ 水耕システムを採用することができる。すなわち、新規就農者やあまり経験がない農業従事者でも容易に EZ 水耕を実施できる。そのため、供給業者内は、顧客に対して、モジュラー型の EZ 水耕キットの特徴を生かした様々な用途開拓を促すことができる。すなわち、供給業者と顧客の共創である。

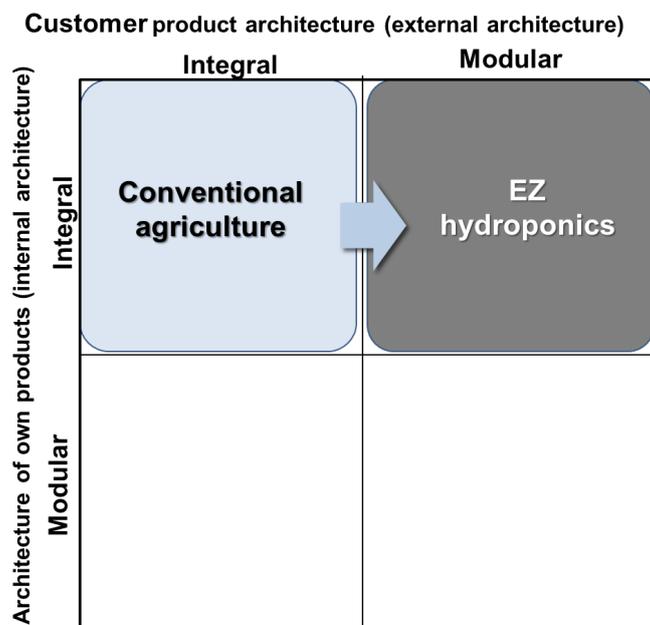


図 3-5 「内インテグラル/外インテグラル型」の従来型農業から、「内インテグラル/外モジュラー型」の EZ 水耕ビジネスへのアーキテクチャシフト

例えば、耕作地としては水田のみならず、畑(図 3-6)でも簡易なプール状の湛水エリアを設け、多期作 EZ 水耕が可能である。



図 3-6 畑に設置した単純型プールにおける EZ 水耕の例

また、シンプルな水耕棚(図 3-7)に EZ 水耕方式を適用することより、EZ 水耕型の植物工場や、レストランや学校、公共施設等、消費地に近接する場所で、展示しながらの栽培も可能になる。

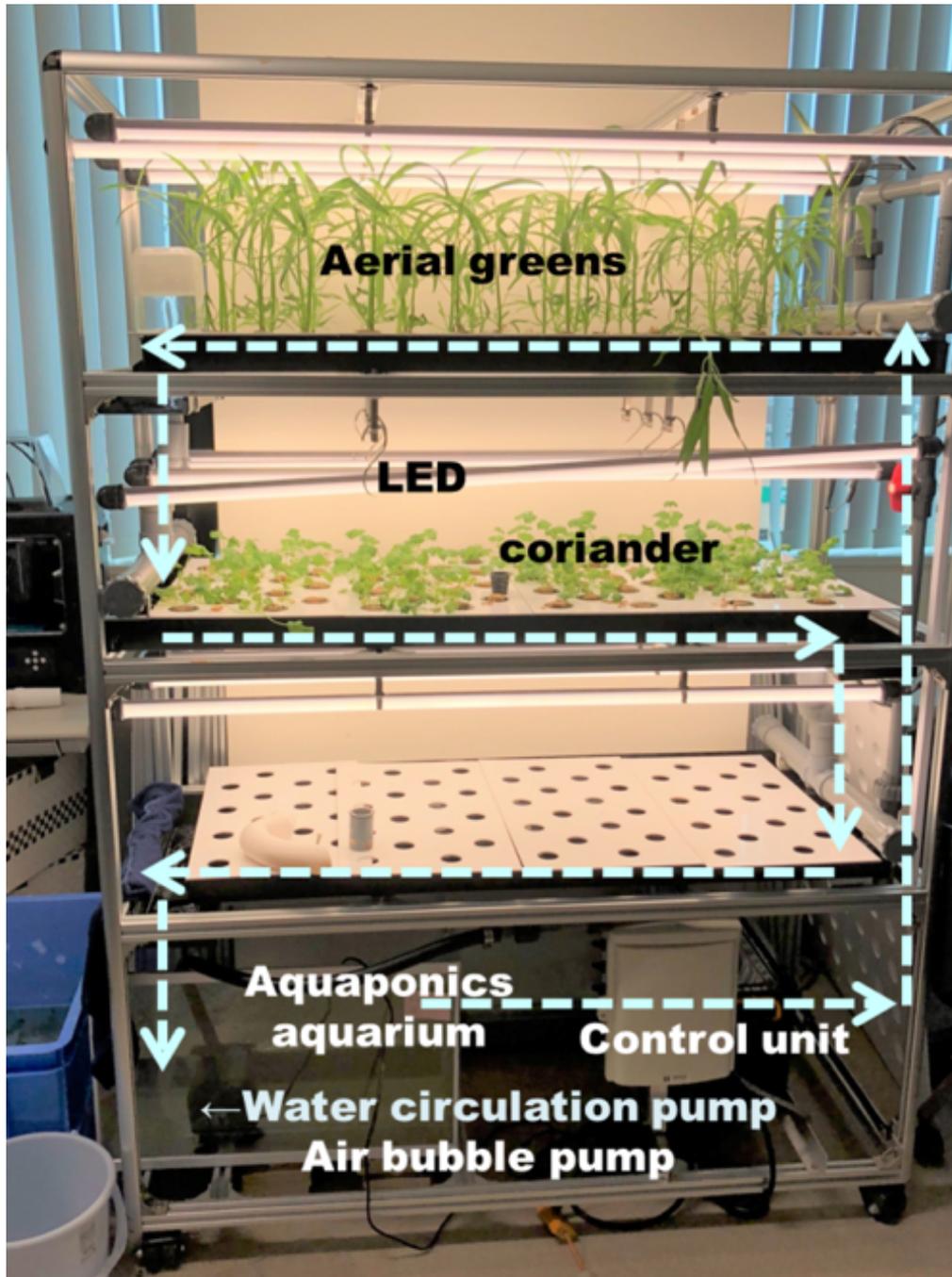


図 3-7 EZ 水耕タワーを用いたアクアポニックスの例

さらに、営農継続発電システムとしての「ソーラーシェアリング」[日本施設園芸協会 2012][隅田 2008](図 3-8)や、魚養殖と農業を同一箇所で行える低環境負荷で高収益化可能な「アクアポニックス」(図 3-7, 図 3-8)も可能である。すなわち、EZ 水耕システムは、そのモジュラリティに起因して、他の資材業者や設備業者のみならず顧客にまで、同じビジネス・エコシステムの「ニッチプレイヤー」として「共創」参加を促す「プラットフォーム」としての機能も果たすものと考えられる。

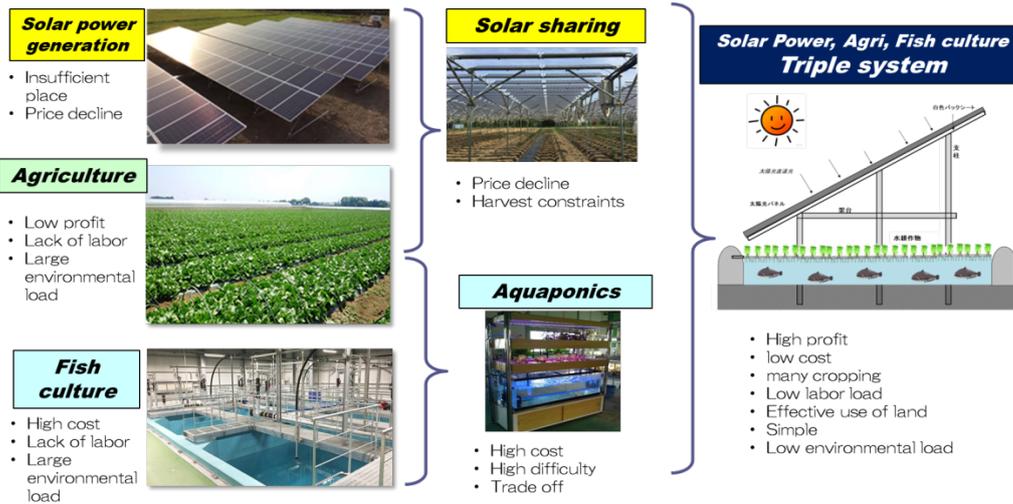


図 3-8 太陽光発電，EZ 水耕栽培及び魚養殖の三つを組み合わせた「農魚電一石三鳥システム」による各システム問題同時解決の可能性

このようなアーキテクチャ上の特徴を生かした標準化戦略を，図 3-9 に示す．同図の縦軸は，エコシステム内の他企業や顧客との関係を「オープン」とするか「クローズド」とするかを示す．同図の横軸は，アーキテクチャのタイプを表す．高生産性の源である「EZ 水耕キット」の技術は，特許とノウハウの塊である．

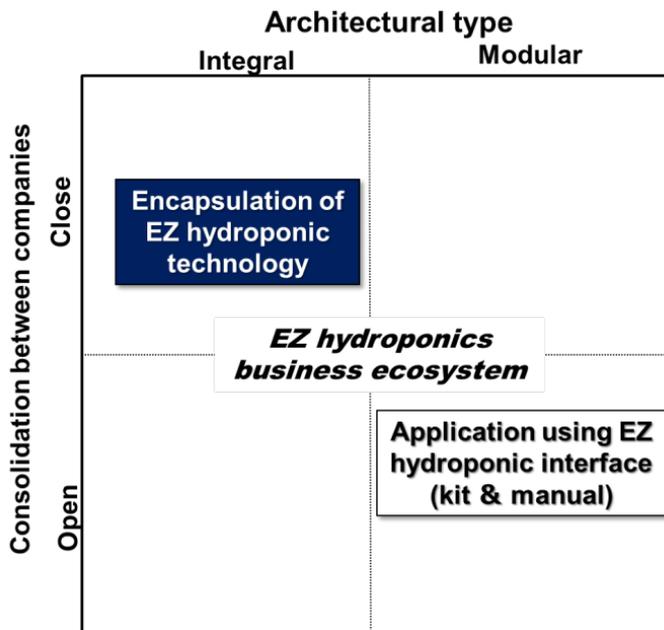


図 3-9 アーキテクチャとオープン化と結びついた EZ 水耕ビジネス・エコシステムの標準化戦略

したがって、EZ 水耕キットにおいては、「クローズド／インテグラル」の戦略が採られ、KS 企業はこれをエコシステムのハブ技術として活用できる。一方、EZ 水耕のアプリケーション技術(例えば、ソーラーシェアリングやアクアポニックス、水耕タワー等)については、「オープン／モジュラー」型の標準化戦略により、共創が促され、継続的なイノベーション創出に繋げられる。これら両方のアーキテクチャを組み合わせた標準化戦略により、堅牢なエコシステムの維持と発展が可能である。

3. 6. 階層型 Abernathy-Utterback モデルを用いた将来戦略

ビジネス・エコシステムが、高生産性とイノベーション創出を維持し続けるためには、堅牢性が重要である。そのため、予想されるイノベーションに基づく将来戦略を描く必要がある。そこで、「階層型 A-U モデル」[垣本 2018]のフレームワークを用いて構想した EZ 水耕ビジネス・エコシステムの将来戦略の概要を表 3-2 に示す。

今後インパクトを与えると予想される主なイノベーションは、表 3-2 の左側に記載した、1)IoT, 2)ビッグデータ(Big Data) & AI, 3)ブロックチェーン(Blockchain), 4)ロボット & ドローン(drone), 5)MaaS(Mobility as a Service), 6)バイオテクノロジーである。これらのドミナントモデルと、それによって誘起されると予想されるイノベーションを表 3-2 の右側に示した。この表から、EZ 水耕エコシステムが、今後の技術革新に歩調を合わせて、その堅牢性を維持しながらイノベーションを創出し続けていく可能性が高いことが分かる。

EZ 水耕パネルが水面上にマトリクス状に浮かべられることは、IoT(図 3-10, 図 3-11), ビッグデータ, AI, ブロックチェーン, ロボット, ドローン(図 3-10 図 3-11), MaaS, バイオテクノロジーを適用する際のアドレス管理に、極めて都合がよい。また、水耕鉢への苗、培地、肥料の仕込み工程や、水耕パネルへの挿入工程、および収穫時のそれらの取り外し作業は、機械化に好適である。したがって、EZ 水耕は農業でありながらも、第二次および第三次産業、ひいては第 6 次産業化への展開が容易であり、生産性の飛躍的向上が期待できる。今後、外部環境や技術の進展を見極めながら、階層的 A-U モデルを活用し、これらのイノベーションを継続的に実現していくことが、EZ 水耕ビジネス・エコシステムの優位性を保ち続けていくうえで重要である。

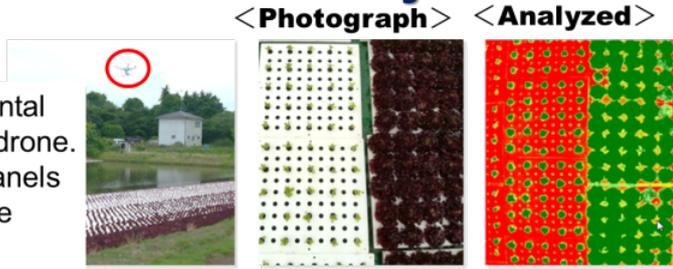
表 3-2 EZ 水耕ビジネス・エコシステムにおける階層型 A-U モデル

主な製品イノベーション(ドミナントモデル)		工程イノベーション(効果)
IoT	作物の生育状況と関連データの 収集／分析／制御 (温湿度, 照度, EC(Electric Conductivity: 電気伝導度), 溶存酸素等)	水量制御, 収穫時期連絡, 環境条件制御
ビッグデータと AI	環境条件, 育成状況, 収量, 品質	種苗種類, 施肥量管理, 定植密度, 収穫時期, 水量等のフィードバック
ブロックチェーン	バリューチェーン全般にわたる 分散台帳技術. (種苗, 播種, 育苗, 定植, 収穫, 選別, 加工, 包装, 流通, 販売)	トレーサビリティ向上. (品質管理, 生産改善, ブランド力)
ロボットとドローン	高精度, 高速, 高機能, 知能付与, 低価格, 長距離, 高速充電.	バリューチェーン全般における支 援および作業. (播種, 育苗, 定植, 収穫, 選別, 流通)
Maas (Mobility as a Service)	高精度, 高速, 高機能, 知能付与, 低価格, 長距離, 広範囲, 柔軟性.	サプライチェーンまたは物流全般 にわたる低価格化, 正確性, 高付加価値化(冷凍, 鮮度等), 短時間化.
バイオテクノロジー	高品質, 高収量, 耐病虫害, 育成期間短縮.	肥料との組み合わせ, 品種・時期・収量の精密制御

Automatic data collection & analysis

Drone

Crop growth and environmental conditions are observed by drone. Matrix-like EZ hydroponic panels are useful for recognizing the correct position.



IoT Internet of Things

Various sensors and radio equipment are used to monitor the EZ hydroponic environment and crop growth conditions.

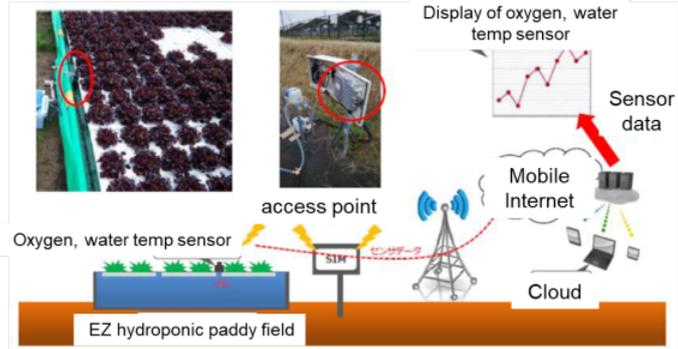


図 3-10 ドローン及び IoT を用いた EZ 水耕栽培の自動データ収集及び解析

Utilization of Drone and IoT for EZ hydroponics

Drone



Observation

Growth situation

Diseases and pests

Physiological disorder

Measures by
early confirmation

Operation

Pesticide spraying

Fertilization

Drone was used for both observations and operations.

IoT



IoT was used for these many kind of data collection.

Weather		Paddy field	Soil	Leaf wet	CO2
Temp.	Humidity	Water temp	Moisture	Wetness	CO2
Illumi.	Rainfall	Water level	Temp.		
		EC			
		DO			
		pH			

➤ **Both were confirmed to work properly.**
➤ **Currently, each data have been collected.**

図 3-11 EZ 水耕におけるドローン及び IoT の活用

3.7. EZ 水耕のビジネスモデルとそのマネジメント

3.7.1. 消耗品収益モデル

消耗品収益モデルとは、ある企業が販売している製品本体をいったん購入すると、顧客はその本体に付随した消耗品を継続的に購入し続けることになる、という一種のビジネスモデルである。よく知られているものではプリンタのビジネスモデルである[生物機能工学研究所 2013]。一般家庭で使われているインクジェットプリンタは、本体価格の割にインクカートリッジが高価なもので、メーカーはこのインクの販売によって継続して売上を上げている。この消耗品収益モデルを採用する企業は、消耗品で利益を得るために、まずは本体価格を低く抑えて自社製品の普及を狙い、他方で消耗品価格を高める価格政策をとる。例えば 2000 年代半ばのキヤノンでは消耗品の粗利益率は 50%を超えていたと推定されており、営業利益の 60%程度が消耗品で占められたとも言われており、非常に収益性の高い事業であった。

さて、このようなコピー機とプリンタという商品においてアーキテクチャ戦略を適用するならば、それらはモジュラー型に分類され[久保 2019]、その主要なモジュールは、i)本体、ii)トナー・インクカートリッジ、iii)紙、の三項目となる。ここでは本体とトナー・インクカートリッジをクローズドとし、紙をオープンとしていることに相当する。この、消耗品であるトナー・インクカートリッジのモジュールに対して模倣不可能なギミックを取り入れることによって他社の参入を防止する必要がある。インクカートリッジの例では初期ではカートリッジの物理的形状の特殊さ、次に IC チップの埋め込みなどが施されたが、インクそのものの補充などとのいわゆるイタチごっこの様相も呈する。このように消耗品収益モデルではモジュール間のインタフェースの秘匿性などの方策を十分に練る必要がある。

3.7.2. EZ 水耕のビジネスモデル

EZ 水耕ビジネスは、まさに前項の消耗品収益モデルである。EZ 水耕においてはまず EZ 水耕キットそのものである水耕パネルを販売し、その後は定期的に苗を販売して継続的に収益を上げる。EZ 水耕システムを導入した生産者(農家や企業)は、システム導入後は継続的に農産物の生産を行い、収益を上げる必要があり、そこで必要になる苗はシステムサプライヤーより継続して購入する必要がある。システムサプライヤーは一度システムを導入した生産者へ苗を販売しつづけることによって、新規にシステムを販売し続けなくとも、苗によって安定的に収益を上げ続けることができる。

しかしこのビジネスモデルが成立する背景には「顧客たる生産者が純正の消耗品を購入し続ける」という前提があり、一般的には消耗品価格を高く設定することで非純正品を扱う企業が参入する余地が生まれるというリスクがある。顧客が非純正品を使用することで、メーカーは消耗品の安定的な収益を失うという大きなリスクである。それに対し、EZ 水耕で使用される苗はEZ 水耕用の水耕鉢に特殊肥料とセル苗が格納されて初めてEZ 水耕システムで生育可能な苗として成立するため、肥料構造を分析できない限り非純正品を製造できないというハードルがある。また、一般家庭のプリンタの場合は非純正インクを使用して本体が故障したとしても、ユーザーは次に投入される安い製品を待てば良いが、EZ 水耕では事業として農業生産を行うため、非純正品によって作物が育たなかった場合の損失が大きく、生産者にとって非純正品の導入には大きなリスクとハードルがある。

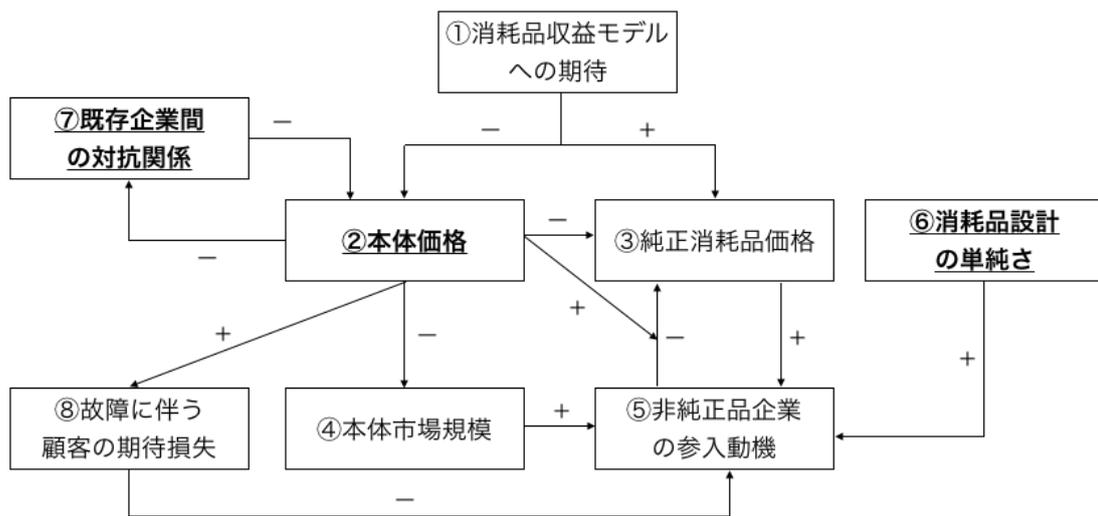


図 3-12 消耗品収益モデルの陥穽メカニズム[藤原 2013]

図 3-12 は一般的な商品における消耗品収益モデルの陥穽メカニズムである。同図中の符号は変数間関係を示している。EZ 水耕では、下線太字で示した 2)本体価格、6)消耗品設計の単純さ、7)既存企業間の対抗関係が解決されている。EZ 水耕は消耗品収益モデルではあるが、は導入後、収益が十分に見込めることから本体価格を無理に引き下げる必要がなく、7)既存企業間の対抗関係が存在しないことから、シェア争いによる本体価格の引き下げも行われない。また、肥料構造のブラックボックス化により 6)消耗品設計の単純さの問題も解決され、非純正品企業の参入への足枷となる。

3.7.3. プラットフォームマネジメントの意義

P2M ガイドブック[小原 2001]によると、プラットフォームとは、「プログラムを推進するために、人間系、情報系、文化系における情報、コミュニケーション、知識獲得のために形成された協働作業のために用意される特定のコミュニティの場である」と定義されている[小原 2001]。小原は P2M プラットフォームとして全体システム構造を下部から支える重要な基盤として、環境インフラ、基本仕様標準、人的交流促進、知的資産蓄積を要素、機能として示し、人間系、情報系、知識系、文化系の四層によるプラットフォームを提案している[小原 2001]。そして、このプラットフォームマネジメント(Platform Management: PfM)の実践機能として表 3-3 が提示されている[小原 2001]。

表 3-3 プラットフォームマネジメント(PfM)の実践機能一覧[小原 2001]

要素／機能	環境インフラ	基本仕様標準	人的交流促進	知的資源蓄積
人間系	人材・組織情報	キャリアデータ	協働規約	知財アクセス
情報系	ネットワーク	セキュリティ	情報提供	知識化と集積
文化系	組織間協定	異文化尊重	場	ドキュメン化
知識系	ナレッジ活用	財務・非財務	ソリューション	ベストプラクティス

新規創出するビジネスが広く普及し、産業創出へ発展するためには、経済的・社会的価値の共有価値化によって社会課題の解決を目指し、この概念を基礎としステークホルダーの共通基盤となるプラットフォームの構築が必要であると考えられる。それにより、プラットフォームを採用した事業が社会へ浸透するために必要な業務や場、手段や戦略を体系的に抜けもれなく抽出することが可能となる。

3.7.4. ニッチプレイヤーの増加施策

ゲーム理論では「競争と協調」が唱えられ、パイを創り出すときには協力し、パイを分け合うときには競争する、という例が提示されている[ネイルバフ 2003]。その好例として、世界中に普及しているインスタントラーメンを開発した、日清食品の創設者である安藤百福もこのビジネス原理を肌で感じ、「一本の杉になるよりも大きな森となるべき」と唱えて 1964 年に日本ラーメン工業会を設立し、業界を育てて互いに特許を尊重し、品質で競争している[吉田 2014]。安藤が表現した「大きな森」とは、まさにビジネス・エコシステムそのものといえる。ラーメン工業会の考え方も、プ

プラットフォームマネジメントにあてはめれば、インスタントラーメンの製造方法に関するノウハウを共有するためのコミュニケーションの場として、また製造方法や材料を定めることにより、安全な食品としての品質を担保するための標準化を目的とするプラットフォームとして機能していると考えられる。この考え方をEZ水耕に適用するならば、アプリケーション技術を「オープン／モジュラー」型にしたことによって、3.7.2項で述べた消耗品ビジネスの形態をとることが可能となる。一例としてEZ水耕用の苗をモジュールとして、水耕鉢の仕様や、それらの持つ機能を共有された育苗事業者は、品種や生産方法に工夫を加えた育苗事業者、すなわちニッチプレイヤーとしてエコシステムへの参入が可能である。プラットフォームマネジメントに基づくことにより、ニッチプレイヤーと共進化することを想定してビジネス・エコシステムを形成することができる。

また、ニッチプレイヤーは育苗事業者や他資材メーカーだけに限らず、顧客たる生産者もニッチプレイヤーとなりうる。第5章にてその具体例をまとめる。

3.7.5. EZ水耕における知識のマネジメント

前項で示したような、ニッチプレイヤーの参入を促すためには、暗黙知からの形式知の生成が必須である。小原は、「第四世代のプロジェクトマネジメントは『企業体の改革推進』をターゲットに、現状打破を実現する『形態』から『枠組』の変革」が求められていると指摘した上で、「幅広い統合マネジメントが必要である」と論じている。そして、その統合は「企業内に暗黙知(Explicit knowledge)として形成されているが、サービス社会や海外で改革を成功させるためには、『ものづくり』の暗黙知を『新仕組みづくり』として形式化、すなわち形式知(Tacit knowledge)として整理しなくてはならない」と論じ、文書化やツールの充実も要請される、と述べている[小原 2013]。

EZ水耕においても、ニッチプレイヤーの参入を促すためには、農業における勘や経験といった暗黙知が不要にならない限り、エコシステムに参入することには大きな障壁が存在する。例えば育苗事業者に対しては、EZ水耕に適した苗の品種や農薬の使用方法を共有する必要があり、生産者に対しては、EZ水耕キットの基本的な使用方法や野菜の収穫方法などをはじめとした多くの知識が必要である。そこで、形式知としてそれぞれのニッチプレイヤーに対するマニュアル作成が必須となる。マニュアルがあることによって、ニッチプレイヤーはそのルールや手順に沿ってエコシステムに参入することが可能になり、またそのルールの中で工夫を凝らしイノベーションを起こすことができる。それによって、ニッチプレイヤーとともにエコシステム全体が共進化していくことが想定される。

3.8. 小括

本章の目的は、世界および日本に共通する農業の問題を解決するためのEZ水耕ビジネス・エコシステム戦略の提案である。EZ水耕は、高生産性、高収益性、低インシヤルコスト、低労働負荷、低環境負荷、専門知識不要などの特徴を有する。本技術を迅速に普及させるため、オープン・アーキテクチャベースのビジネス・エコシステム戦略の構築が有効である。垣本らが提案した「P2Mを基盤とするビジネス・エコシステム戦略構築の五項目のフレームワーク」を基盤とし、本ビジネスのプロファイリング、戦略立案、アーキテクチャ分析、標準化、ライフサイクルを検討した。その結果、モジュラー型のEZ水耕キットとマニュアルをハブとして活用することにより、「内インテグラル／外モジュラー」型のEZ水耕ビジネス・エコシステムを構築し提案した。コアとなるEZ水耕技術はクローズド・インテグラル型で進化させ、普及はオープン・モジュラー型の標準化に基づく共創力で促進させる。

本章では従来、モジュール化された第二次および第三次産業でのみ有効性が確認されていたキーストーン戦略が、モジュール化されていない第一次産業、特に農業においても適用可能であることが確認された。

第4章 EZ 水耕栽培システムの開発

システム段階である本章では、植物の生育構造と水耕栽培の仕組みについて分析し、緩効性肥料を用いた水耕栽培システムを開発する。4.1で本章の背景について述べ、4.2にて、EZ水耕の基本コンセプトについて検討を行う。まずは施肥方法について検討し、その具体的な活用方法と、それを応用した水耕栽培の概要を整理する。基本コンセプトを定めた後、4.3にてEZ水耕の要素技術開発を行う。前項にて定められたコンセプトに倣い、様々な環境でEZ水耕の実証試験を行い、ハードウェアを開発する。4.4ではEZ水耕の実用化検証として事業者とともにEZ水耕での栽培を行い、野菜の品質試験とその分析を行う。4.5で本章の考察を行い、4.6で本章の内容を総括する。

4.1. はじめに

特に日本では、農業の低生産性を代表例とした、解決すべき重要な経済的および社会的問題を抱えている。これらの問題を解決するためには、生産性が高く、環境負荷が小さい新規農業方式の開発が重要である。

その取り組みのひとつとして、水耕栽培システムを用いた植物工場がある。図4-1は、これらの植物工場で用いられている従来型の循環系を有する養液水耕栽培の基本構造を示している。一般的な水耕栽培システムでは、養液の濃度を一定に保ち、循環させる必要があり、そのため設備が複雑である。また、養液の肥料濃度を一定に保つため、雨水の流入などを防ぐために屋内で栽培する必要がある。したがって、設備や建物のイニシャルコストが高額になる。さらに、養液中に一度、有害物質となる成分が混入すると、作物が全滅する可能性が高い。

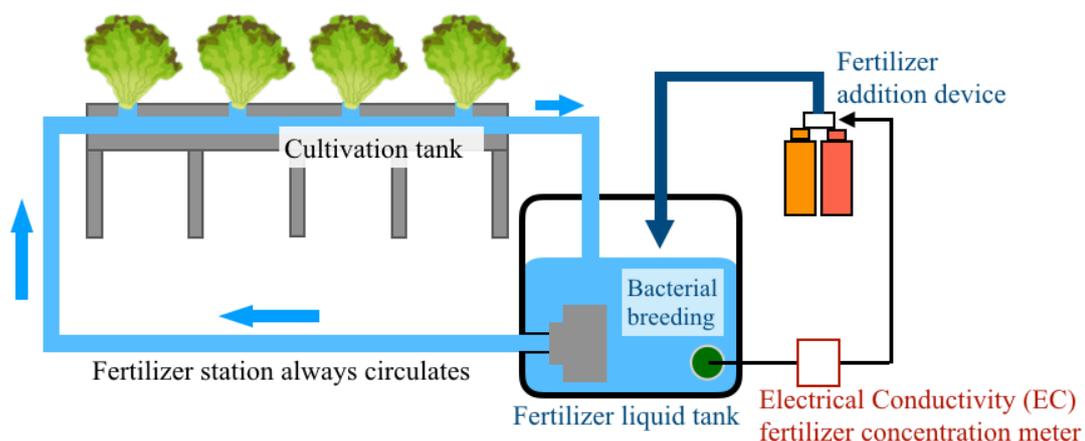


図 4-1 従来の循環系を有する養液水耕栽培の仕組み

水耕栽培を行うコストの大半は温室の建設にかかるものであるが、温室を利用せずに屋外で水耕栽培を行う試みはほとんどされておらず、一部で行われているものは大掛かりで高価な設備を用いるため、実用化には高いハードルがある[生物機能工学研究所 2013][産業機器研究所 2012].

上述した諸問題を解決するために、第三章では EZ 水耕ビジネスの戦略を構築した。それを受けて、本章では EZ 水耕の具体的なシステム開発を行う。実際の開発は、第 3 章のビジネス・エコシステム戦略の立案と並行して行った。

はじめに施肥方法の検討を行い、EZ 水耕が植物栽培技術として成り立つことを確認する。次に、3.4 で示した顧客である農業事業者の要求機能をもとに、EZ 水耕の要素技術である資材や仕様などの開発を行う。また、物理的なものの開発だけではなく、栽培の方法やプロセスの開発を行い、実用可能性の確認のために、収益性や生産物の品質の確認なども行う。

4.2. EZ 水耕栽培システムの基本コンセプト

水耕栽培が発明されてから 200 年以上が経ち、あらゆる工程が管理され自動化された植物工場も存在する。そのような中、肥料分野においては顕著な成長がまだ見られず、未だに養液を循環させ、都度化学肥料を投入し養液の成分を調整するといった水耕栽培が行われている。これまで、水耕栽培の施肥に緩効性肥料を用いた研究も一部存在するが、それらは養液を生成するために用いられており、根に直接的に養分を供給するための施肥ではなかった。

4.2.1. 施肥方法の検討

植物が生育するためには水分および養分が必要である。ほとんどの場合は、根が水分および養分を吸収する役割を担っている。水分の吸収は、根細胞の内外の溶液濃度差で発生した浸透圧により生じる。植物根の細胞膜は半透膜で、正常な場合は、根細胞内のイオンと有機酸などの濃度が外界土壌溶液よりも高いため、土壌よりも低い水ポテンシャルを保持して、浸透圧が発生する。土壌溶液中の水分がその浸透圧により根細胞膜を通過し、根細胞に取り込まれる。

もし、土壌溶液中のイオン濃度が植物の根細胞のそれよりも高い場合には、浸透圧が根の中から外へと逆に働き、根細胞内の水分が外に排出されることとなり、植物が欠水で枯死するといった現象が起こることもある。一度に多量の水溶性肥料を施用した場合には植物が「肥料焼け」というダメージを受けることもこれが原因である。

そこで施肥方法の前提として、植物の根に対して、根細胞よりも低いイオン濃度の養液を与える必要がある。根細胞のイオン濃度が根の周囲の水分および養分のイオン濃度より高ければ、能動的に根に水分および養分が取り込まれ、その水分および養分が浸透圧によって根の中心部へと運ばれる。

液肥を用いた一般的な水耕栽培では、この性質に則って、成長段階ごとに EC 値(Electric Conductivity: 電気伝導率)が 1~3 程度の水溶液を用いて栽培する。

EZ 水耕では、養液の管理を省くために、植物の根周辺の EC 濃度が常に 2 程度を保つような施肥の方法を検討する。水溶液を利用すると、一時的に根の周りの水溶液の EC 値を 2 程度に調節したとしても、植物が成長のために養分を吸収することによって、EC 値は 2 から低下してゆく一方である。そこで、植物が吸収した養分と同程度の養分が自動的に補填される仕組みの施肥方法を考える必要がある。一般的な水耕栽培では、養液濃度を制御するために、自動液肥濃度調整機や循環ポンプを用いることがほとんどであるが、これらのイニシャルコストやメンテナンスも含めたランニングコストを省けることが EZ 水耕の利点である。そこで、新たなシステムの追加をすることなく、根周辺の養液濃度を制御する方法を検討した。

4.2.2. 緩効性肥料の活用

肥料は、作物の生育ステージごとの吸収量に見合う分だけ施用されるのが理想である。また、生育期間の長い作物の場合、安定して肥効が持続することが望ましい。緩効性肥料は、そうした機能を備えた肥料であり、IB⁴、CDU⁵、ホルム窒素、オキサミドなどの肥料がある。中でも被覆肥料は、肥料粒の表面を、水の浸透が遅い被膜で被覆することにより、成分の溶出速度を制御することができる肥料である。被覆肥料は水溶性の粒状肥料を硫黄、ポリオレフィン樹脂、アルキッド樹脂などで表面を被覆し、肥効発現の持続期間を制御できる肥料であり、コーティング肥料とも呼ばれている[農水省 Web]。

⁴ イソブチルアルデヒド縮合尿素

⁵ アセトアルデヒド縮合尿素

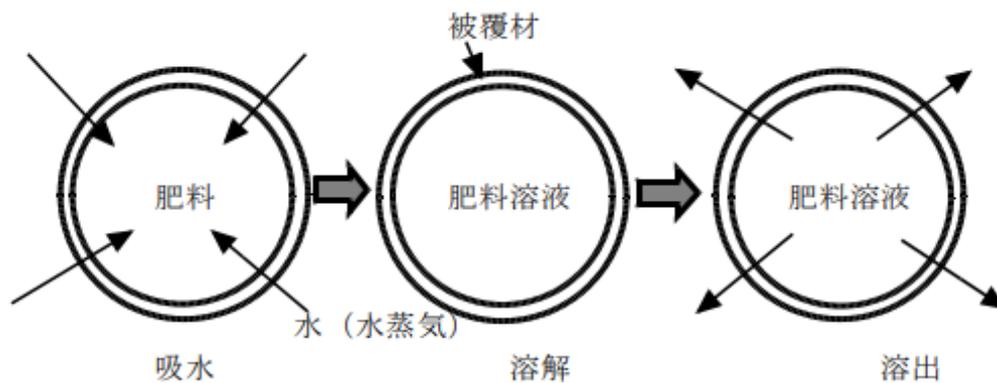


図 4-2 被覆肥料の溶出メカニズム(出典: 農林水産省 Web から引用)

被覆肥料の最大の特徴は、肥効の持続性と溶出制御性である。被覆肥料は肥効が緩やかで、作物の根に接触しても周辺の土壌養液濃度を高めることがない。被覆肥料での肥料溶出は、まず被覆膜内に水分が取り込まれ、内部の肥料を溶かし溶液となったものが外部にしみ出ることによって起こっている。(図 4-2)肥効発現は CDU や IB などの緩効性肥料が水分、pH、熟畑度、粒度など多くの環境条件に影響されるのに対し、被覆肥料では温度、湿度に影響される程度である[農水省 Web]。

緩効性肥料についての研究が数多くなされている中、水耕栽培の施肥方法として緩効性肥料のみを使用した例は僅少である。その中で伊達ら[伊達 2007]はトマトの水耕栽培における糖度の制御等を意図した緩効性肥料の複数回の施肥を伴う使用について報告している。ただ、トマトのようなナス化のつる性果菜では果実の収穫は複数回となることが通例であり、根菜あるいは本論文で対象とする葉物野菜とは定植から収穫までのローテーションは根本的に異なるものである。また、伊達らが緩効性肥料を用いる目的は、直接的に植物に養分を与えるための施肥ではなく、養液の濃度を保つために、水中に養分を溶かすことが目的の施肥であった。

これらを前提に、緩効性肥料を利用して、植物が吸収した養分と同程度の速度で養分を溶出させることによって、根周辺の EC 値を一定に保てる方法があるのではないかと推測した。いくつかの条件で実験を行った結果、育苗時の培土とは別に、緩効性肥料を植物の根元に配置することによって、根の周辺の EC 値を常に 2 程度に保つことができることが明らかになった。

4. 2. 3. 緩効性肥料を用いた水耕栽培の概要

本項では、緩効性肥料を用いた、安価で生産性の高い、独自の湛水式水耕栽培システムである EZ 水耕を提案する。EZ 水耕は、従来の養液循環型(図 4-1)ではなく、淡水通過型(図 4-3)

である。そのため、複雑な循環設備や建物無しでも、多期作栽培が可能である。また、農業従事者は、養液管理に関する特殊な知識を必要としない。

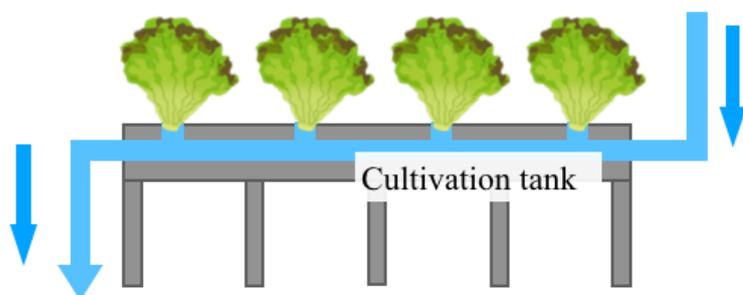


図 4-3 淡水かけ流し方式の EZ 水耕の仕組み

本システムの基本的プロセスは、以下の通り単純である。

- 1) 高品質な苗を育てる。
- 2) 苗と肥料と培地を、水耕鉢(図 4-5)に入れる。
- 3) 水耕パネルの穴に多数装着する。
- 4) 上記 3) の水耕パネルを、多数連結して湛水面に浮かべる。
- 5) 作物が生育後、上記 4) の水耕パネルを回収し、収穫する。

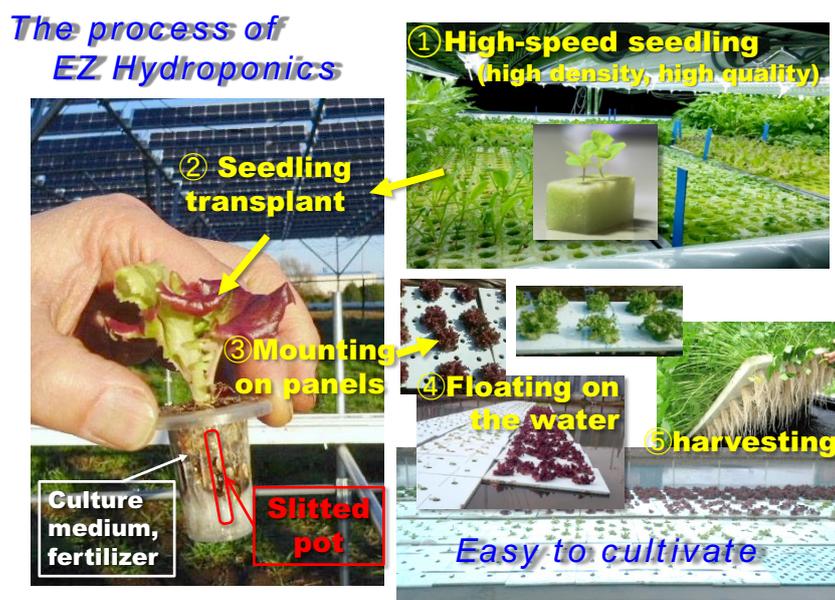


図 4-4 EZ 水耕栽培システムの資材と、1)育苗から 2)~4)定植、5)収穫までのプロセス



図 4-5 EZ 水耕鉢

4. 3. EZ 水耕栽培システムの要素技術開発

本節では, EZ 水耕システムを構成する肥料, 水耕パネル, 水耕鉢, 苗の検討と開発を行い, その後種とプールを用いた栽培実証を行う.

4. 3. 1. 最適な緩効性肥料の選定

EZ 水耕の最適な肥料を選定するため, 温室内に栽培槽を自作し, 栽培比較を行った. 本来, EZ 水耕は屋外での農業生産を目的とした栽培技術であるが, 再現性のあるデータを取得するために本実験は温室内にて行った.

栽培システムは, 温室内に 48.6mm Φ の単管パイプで枠を作り, そこへビニールシートを被せ, 水を溜めた実験用 EZ 水耕栽培槽を自作した. 面積は 1.66 m²で, 株数は 50 株 \times 4 種類である. 栽培作物はリーフレタス(品種: プルナイ, Rijk Zwaan 社, オランダ)を使用した. 使用肥料の重量はそれぞれ 1 株あたり 3g である.

緩効性肥料の溶出メカニズムには 2 種類あり, 緩効性の成分を使用したものと, 表面を被覆したものがある. 緩効性の成分を使用したものには, 無機質のクエン酸可溶性(以下, ク溶性)や不溶性原料, また水溶性原料を混合した肥料などがあり, 使用原料によって持続期間は異なる.

表 4-1 実験で使用した緩効性肥料の成分

fertilizer		A	B	C	D
mechanism of elution		citric acid-soluble	citric acid-soluble	Citric acid-soluble	Coated fertilizer
manufacturer		1	2	1	3
component	N	15%	15%	16%	13%
	P	10%	10%	14%	9%
	K	12%	12%	8%	11%
	Mg	2%	2%	4%	2%
	Mn	0.3%	0.3%	0%	0.1%
	B	0.15%	0.15%	0.3%	0.06%

表 4-1 は、本実験で使用した肥料の配合成分を表している。肥料 A, B, C はク溶性成分を使用した緩効性肥料で、肥料 D は被覆肥料である。肥料 A, B は別メーカー製であるが成分配合は同様のものを用意した。肥料 C はレタスの生育に必要な肥料とは大きく異なるバランスのものを用意した。(図 4-6)

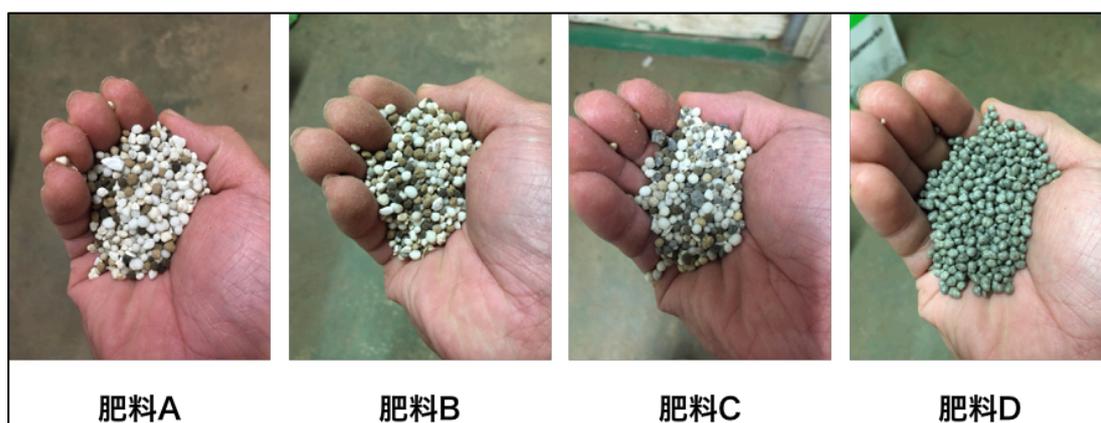


図 4-6 実験で使用した肥料

播種日は2018年7月31日で、使用した培土は無肥料のバーミキュライトである。また、定植日は2018年9月1日(定植時の重量7g)で、定植密度は株間18cm×株間18cm、1株1本立(図4-7)である。本実験期間内の温室内温度は12℃から39℃の範囲内であった。

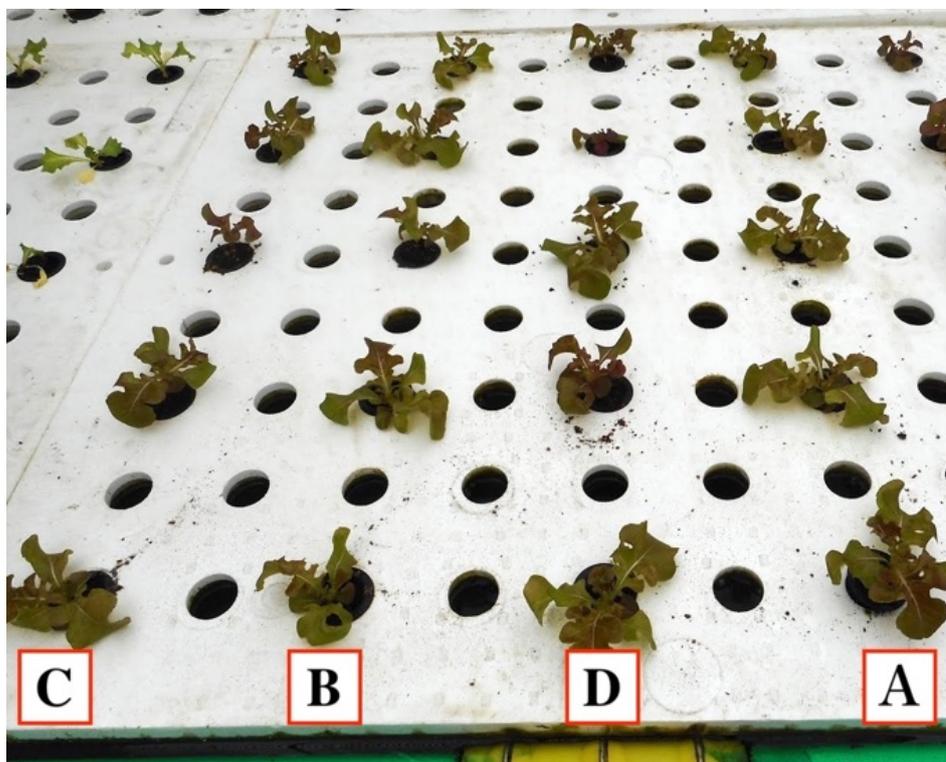


図 4-7 定植されたリーフレタスの苗

収穫日は9月31日(定植から30日後)、10月10日(定植から40日後)で、各種肥料から無作為に10株ずつ抜き取り重量平均値を算出した。

収穫したリーフレタスの重量は表4-2のとおりである。肥料の違いによって大幅に重量が異なる結果となった。

表 4-2 栽培したレタスの重量

Measurement Date	A	B	C	D
September 1st	7 g	7 g	7 g	7 g
September 31th	68 g	33 g	26 g	60 g
October 10th	117 g	87 g	68 g	123 g

本実験でレタスの重量を最も大きく育てた肥料は、定植から 30 日時点では肥料 A であり、その平均重量は 68g であった。40 日時点では肥料 D であり、その平均重量は 123g であった。

肥料 A, B は成分が同様であるにもかかわらず、生育具合は大きく異なる結果となった。溶出メカニズムはどちらもク溶性であり、メーカー以外に異なる点は見受けられない。

肥料 C はレタスの生育に最適な肥料バランスとは大きく異なる肥料配分であるため、生育が遅かったものと考えられる。これらのことから、従来の水耕栽培とは異なる緩効性肥料を用いた施肥方法の EZ 水耕においても、レタスの生育に必要な肥料バランスは大きく変わることはないと考えられる。

ク溶性肥料の A と被覆肥料である D の生育に大きな差異は認められず、緩効性肥料の溶出メカニズムの違いによる有意な違いは認められなかった。

4. 3. 2. 水耕パネルの開発

4. 3. 2. a. 形状の検討

従来の水耕栽培はハウス内で行うため、水耕パネル同士を連結する必要はない。同様に露地でもパネル同士を連結させずに栽培を行ったところ、数日も持たずに風によって水耕パネルがプール外へ吹き飛ばされた。また、大雨時はプールの水量が増し、水耕パネルが流出したこともあった。そこで EZ 水耕では露地での栽培を行うため、耐風性を上げたり、水田からの流出を防いだりするためにパネル同士を連結させて野菜の栽培を行う形をとることとした。

まずは小売で一般的に入手できる発泡スチロールの原反パネル(910mm×1820mm)を購入した。その厚さは、20mm, 25mm, 30mm, 35mm の 4 種類である。それらを 1)そのまま使用, 2)910mm 四方に二等分, 3)約 600mm×910mm に三等分, の三種類のサイズのパネルに切断し、それぞれに水耕鉢を装着するための穴を複数空け栽培を行った。図 4-8 は、その際に使用した 2)910mm 四方の水耕パネルの図面である。

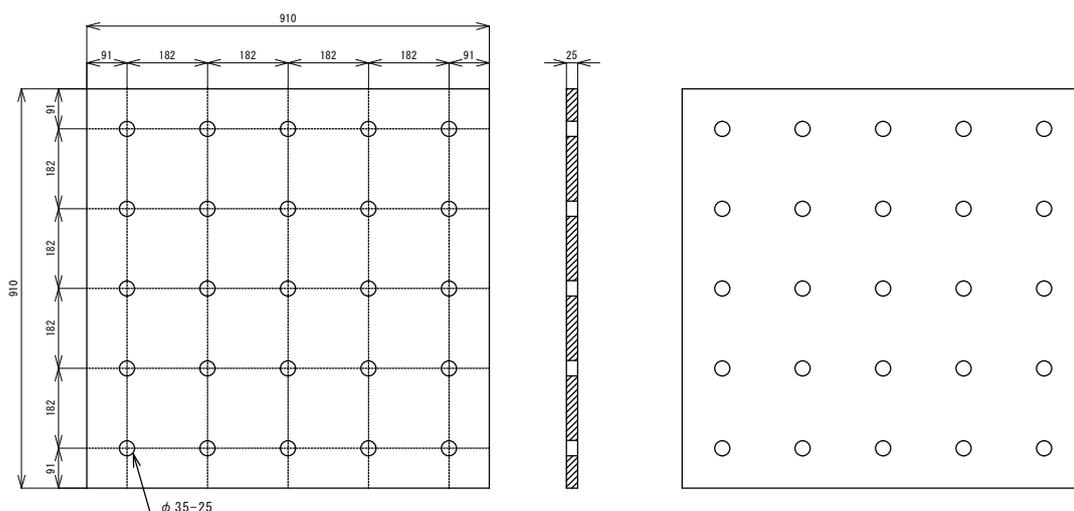


図 4-8 2)910mm 四方の水耕パネルの図面

1)の原反サイズのものは、20mm, 25mm, 30mm においては強度不足で直ちに割れた。35mmの厚みのものは直ちに割れることはなかったが、一人で作業をするには大きく重量もあるため、作業効率が非常に悪かった。2)の 910mm×910mm と3)の 600mm×910mm のパネルはどの厚みでも概ね問題なく定植、収穫ともに作業できた。しかし、どちらのサイズも 20mm と 35mm 厚のパネルは 25mm と 30mm 厚のパネルと比較すると生育スピードが多少劣っていたことから、鉢底が水中に浸る体積によって、生育に何らかの影響があり、生産物の品質にも差が出たと考えられる。その結果から、表 4-3 の通り、水耕パネルの形状は 2)910mm 四方か 3)600mm×910mm かつ、厚みは 25mm または 30mm のものが適しているといえる。

表 4-3 パネル形状の比較実験結果

パネルサイズ\厚み	20mm	25mm	30mm	35mm
1)1820mm×910mm	X	X	X	△
2)910mm×910mm	△	○	○	△
3)600mm×910mm	△	○	○	△

国内の一般的な水耕栽培では 600mm×900mm の水耕パネルを使用して栽培を行うことから、EZ 水耕でもそれに近い 600mm×910mm のパネルを使用しても問題ないが、パネル同士の連結作業の工程に時間を要するため、連結部分が少なくなるようパネルサイズは 910mm 四方で、コスト面から 25mm 厚が最適と考えられる(表 4-3)。

4.3.2.b. 穴の検討

水耕パネルのサイズ、厚みの検討した後、穴の形状について検討した。EZ 水耕では従来の水耕栽培とは異なり、培地に培土と水耕鉢を使用する。そこで、水耕パネルの穴の形状にも検討の余地があるのではないかと考えた。

水耕パネルの穴に関して、従来の水耕栽培と大きく異なる点は、穴に定植する植物の培地である。従来の水耕栽培では、培地はロックウールやポリウレタンなど、無肥料で、かつ穴に直接植物支持体を差し込む仕組みであった。また、肥料は液肥を使用しており、伸びた根はどこからでも肥料を吸収することができる仕組みであった。本システムでは、植物支持体として水耕鉢を使用し、またその中には緩効性肥料と培土が含まれている。そのため、従来の水耕栽培と比較すると、根を伸ばす余地が狭く、また肥料を吸収できる箇所も限られていると考えられる。

そこで、水耕パネルの穴について、発根しやすく、また肥料を吸収しやすい仕組みになるよう検討した。

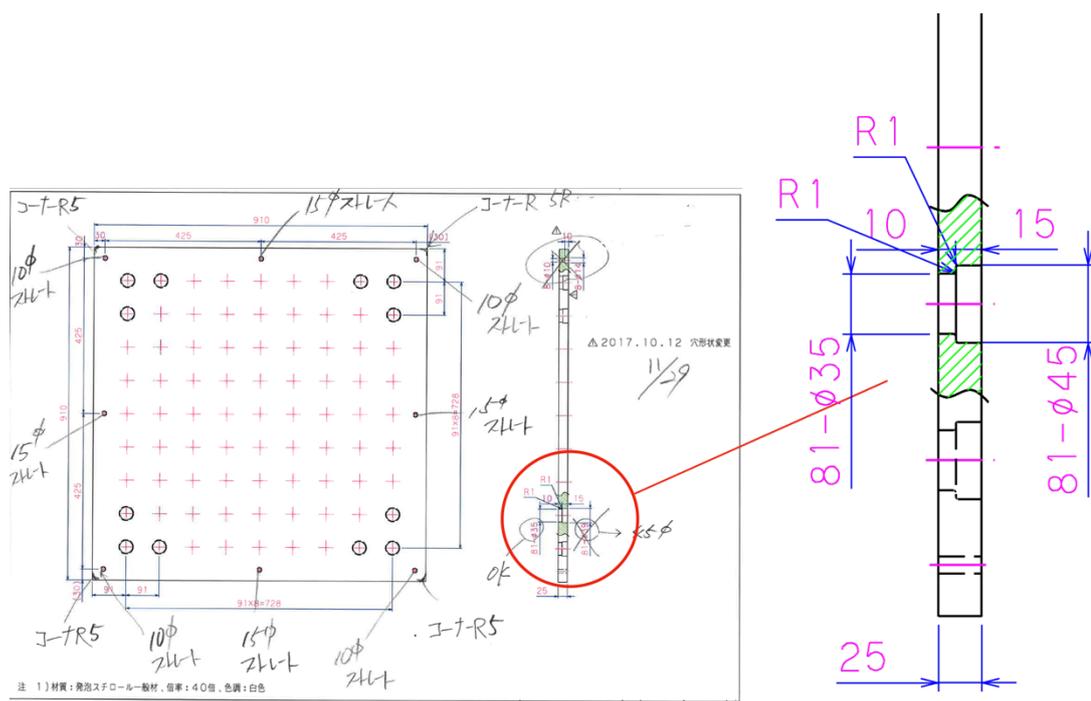


図 4-9 水耕パネルの図面

前目の実験により、EZ 水耕に適した水耕パネルのサイズと厚みが導かれた。次に、その水耕パネル上で栽培可能な株数を検討した。水耕栽培の生産能力を上げるためには、狭小なスペースで多くの株数の生産を行うことが求められる。従来の水耕栽培では、栽培を 2 段階に分け、

まず育苗直後のステージでは隣接株と接触するくらい密植し、生育が進むに従って株間を拡げて栽培する手法が取られることがあった。

同面積で多くの栽培を行うために株間を変更することによって、植え替えの作業が発生することを念頭に置いて検討する必要がある。従来の水耕栽培では温室内で栽培を行う必要があり、温室や水耕栽培設備の償却や、面積あたりのランニングコストと、植替え作業を行う作業員の人工費の兼ね合いで植え替えを行っていると考えられる。

EZ 水耕においては、従来の水耕栽培と比較すると、温室や栽培設備の償却が小さい。したがって、面積効率を極限まで求めて品目や栽培段階ごとに多種の水耕パネルを開発、製造するよりも、汎用性の高い水耕パネルを開発し、同一規格のパネルを大量に製造するほうが結果として低コストに野菜を栽培できると考えられる。

図 4-10 は、実際に EZ 水耕で使用されている 81 穴パネルの画像である。910mm 四方のパネルに 35mm φ の穴が 9 列×9 行の 81 カ所空いているものである。

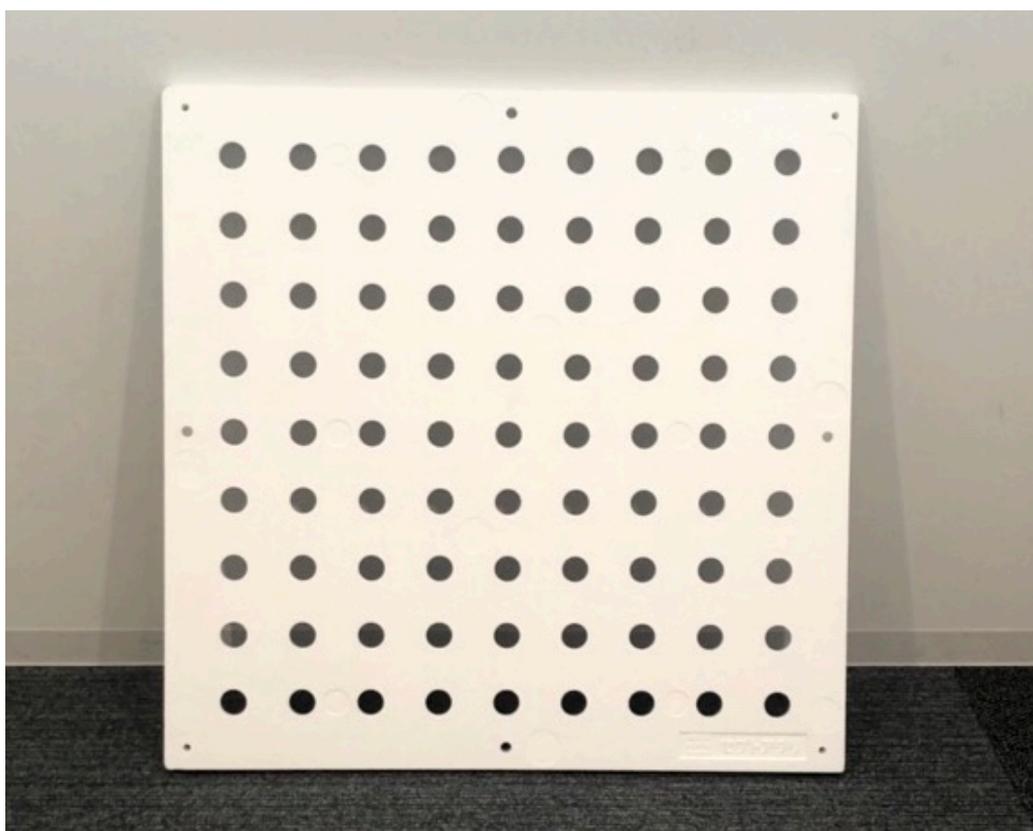


図 4-10 開発した水耕パネル

すべての穴を利用して栽培した場合、株間は 91mm で M サイズでも横幅が 300mm 程度まで達するリーフレタスの栽培には適していない。ただし、81 穴を一つ飛ばしで 25 株定植(図 4-11 右の黒斜線で塗りつぶしてある箇所)すれば株間は 182mm となり、リーフレタスが横幅 300mm まで成長しても隣接する株と接触することがない(図 4-12)。

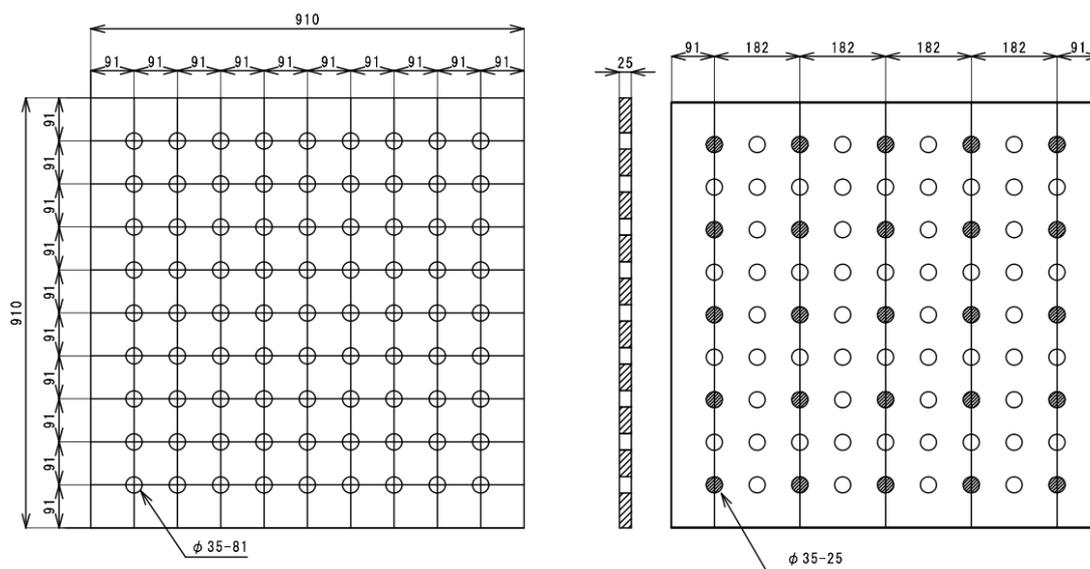


図 4-11 81 穴パネルの図面



図 4-12 25 穴利用した状態(リーフレタス)

また、格子状に 41 穴使用(図 4-13)した場合は、株間は約 130mm となり、S サイズのリーフレタスやコマツナなどの、小面積で育つ作物に対応することが可能である(図 4-14).

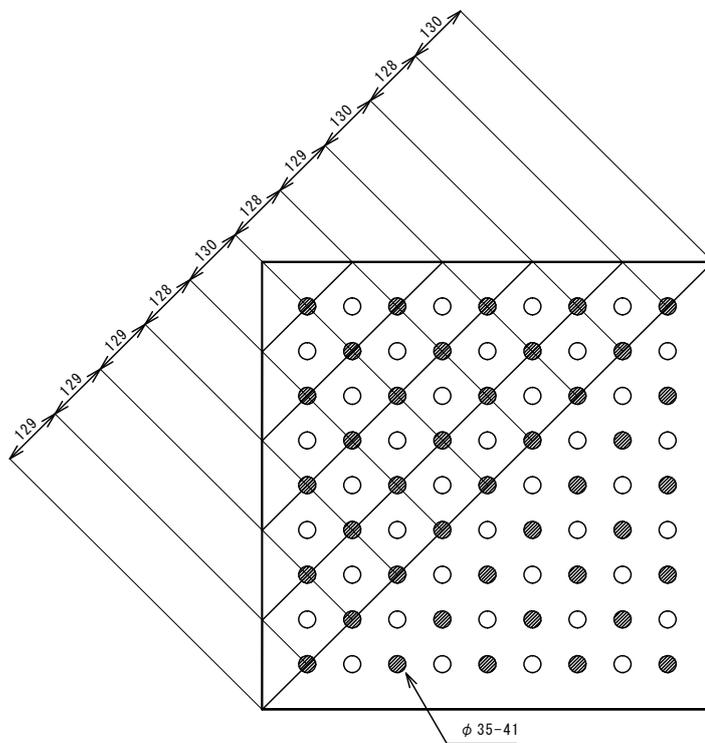


図 4-13 41 穴で使用する際の穴



図 4-14 41 穴利用した状態(コマツナ)

また、更に密植して生産するコネギなどの作物では、81 穴全て使用し、株間 91mm で栽培すれば良い(図 4-15)。この工夫によって、一枚のパネルを株間 182mm の 25 穴、株間 130mm の 41 穴、株間 91mm の 81 穴の 3 種類の株間に対応した水耕パネルとして使用することができ、汎用性が向上した。



図 4-15 81 穴利用した状態(クレソン)

次に、実際にリーフレタスを栽培する場合は上記 3 種類のうち、どの密植度で生産すると良いのか、実証して比較検証した。本実験は茨城県にて、1 パネルあたり 25 穴使用した状態と、1 パネルあたり 41 穴使用した状態で栽培を行いその結果を比較した。播種日は 2018 年 6 月 15 日で、使用した培土は無肥料のバーミキュライトで行った。また、定植日は 2018 年 7 月 18 日(定植時の重量 7g)である。本実験期間内の温室内温度は 11℃から 36℃の範囲内であった。収穫日は 9 月 14 日で、無作為に 10 株ずつ抜き取り重量平均値を算出した。

実験の結果、1 パネルあたり 25 穴使用した状態のリーフレタスの平均重量は 85g、1 パネルあたり 41 穴使用した状態のリーフレタスの平均重量は 93gであった(図 4-16)。目視検査では、25 穴のリーフレタスは横に大きく広がっており高さがなく、41 穴のリーフレタスの横幅は小さいが、高さが大きく育っていることがわかった(図 4-17)。

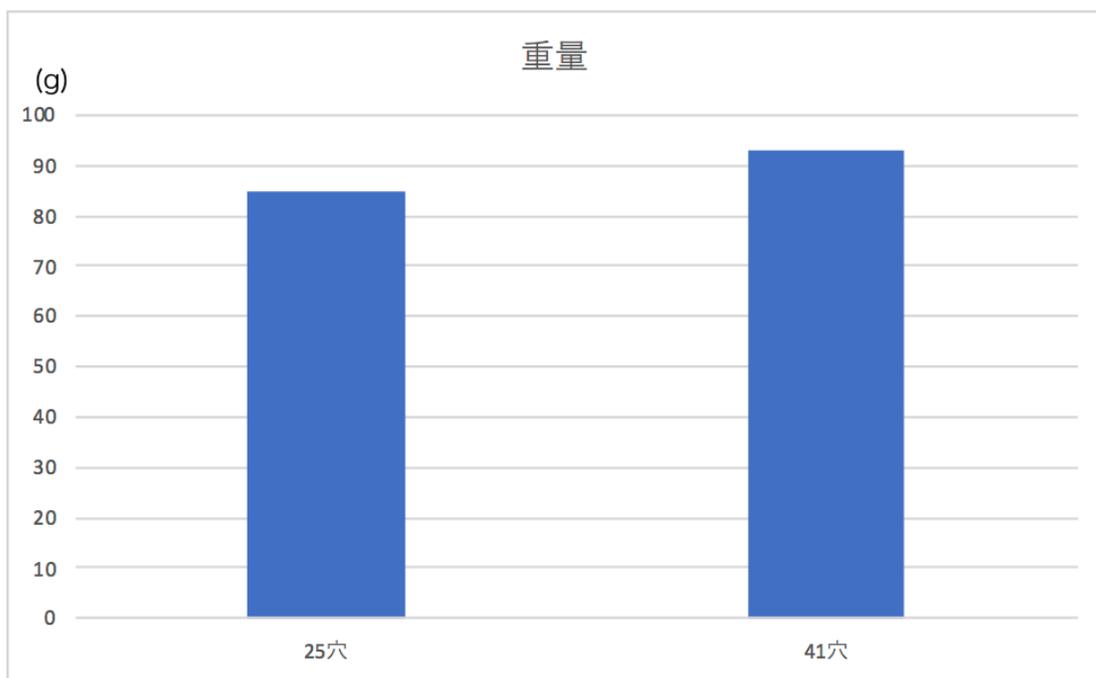


図 4-16 25 穴と 41 穴でのレタスの重量の比較



図 4-17 25 穴と 41 穴での収穫したリーフレタスの比較(左が 25 穴, 右が 41 穴)

それぞれ出荷袋に入れると, 41 穴のリーフレタスのほうが明らかに大きく見え, 購買にも直結すると考えられる(図 4-18).



図 4-18 25 穴と 41 穴での収穫したリーフレタスを出荷袋に入れた状態で比較(左が 25 穴, 右が 41 穴)

EZ 水耕では、株間を大きく開けて1パネルあたり 25 穴で栽培するよりも、株間を狭めて 1 パネルあたり 41 株で栽培したほうが、より大きく成長することがわかった。これは、株間が狭く、隣接する株と葉が接触することや、隣接する株の影によって日照が妨げられることによって、空間や光を求めてより上へ成長するためではないかと考えられる。

4. 3. 2. c. 強度の検討

一般的な水耕パネルの発泡倍率は 40 倍程度であるが、温室内での使用と比べ、過酷な環境の露地で使用することを想定して、一般的なものよりも硬い設計にした。当初は発泡倍率 30 倍のものを使用していたが、更に耐久性を上げるため、発泡倍率を 30 倍から 20 倍に変更した。これによるコスト増は約 27%であったが、耐久性は格段に上昇した。生産を委託した工場によると、この水耕パネルの耐用年数は 3 年程度であると報告された。素材を耐候性のものに変更したり、さらに発泡倍率を下げたりすることで耐用年数を延ばすことも可能であるが、コストやメンテナンス性との兼ね合いで、一般的な素材で、発泡倍率は 20 倍と決定した。

表 4-4 発泡倍率と使用用途(出典: 松原産業株式会社 Web サイトより一部改変して転載)

発泡倍率	ブロックから切り出し	金型成形品
5		
10		特に制度が必要な工業製品用
20		② 高耐久水耕パネル
30		① オリジナル水耕パネル
40	断熱材用	一般的な水耕パネル
50	造形加工用	容器用
60		緩衝材用
70	特に強度を必要としないもの用	
80	または隙間材、パッキン用	
90		

4. 3. 2. d. 水耕パネルの連結方法の検討

露地に定植した水耕パネルが風で移動したり、吹き飛ばされたりすることを防止すること、また定植、収穫時の作業性の向上を目的に、水耕パネルを連結させることにした。連結資材を数種類設計し(図 4-19)、3D プリンターで作成し実用試験を行った。

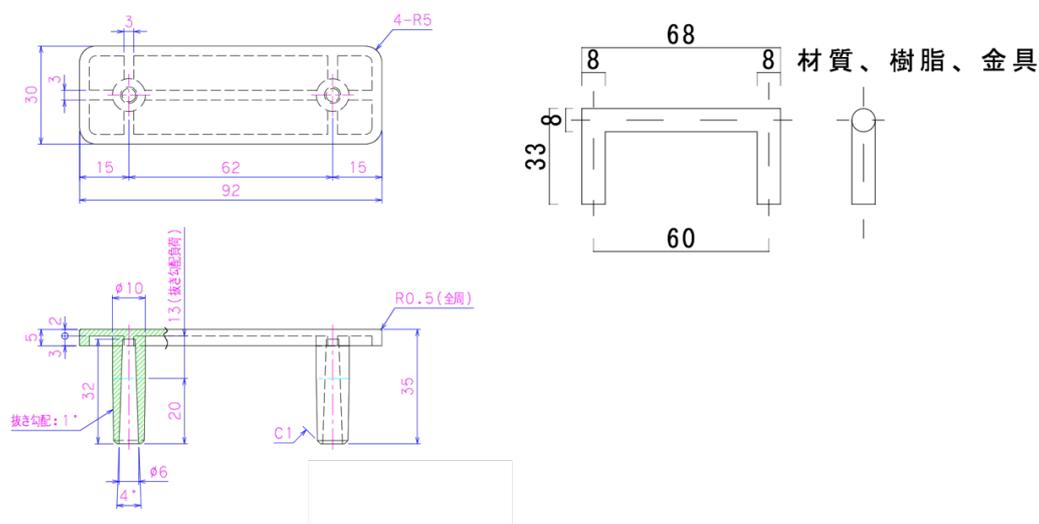


図 4-19 実験に使用した連結パーツの図面

これらの連結資材の価格は、5,000 個単位の注文でも単価 50 円以上となり、パネル 1 枚あたり最低でも 100 円はかかることになる。また、強風でパネルが動くと、連結パーツが外れることがあった。特に、多数回使用した水耕パネルで連結穴が大きく広がっているものは外れやすかった。それらの外れた連結パーツは水田に落ち、回収が非常に困難になった。農地に、分解に 1,000 年以上かかるプラスチックの破片が埋まることは避けなければならない、生分解性プラスチックは更にコスト高となり、実用性にかける。そこで、麻紐であれば、ある程度の風程度では簡単に外れることもなく、万が一ちぎれて水田に落下しても、植物性繊維であるため生分解性に優れており、環境汚染に繋がりにくいと考えた。ただし、連結パーツを使用する場合に比べ、麻紐を結束するには作業時間が余計にかかるが、結束時間にかかる人件費が、連結パーツの製造価格を上回ることはない。樹脂製の着脱可能なバンドを用いるのが最も安価で作業効率も高いと考えられるが、環境への影響を考慮して、ここでは採用しない。

以上の、機能やコスト、環境への影響などを考慮した結果、樹脂を使用した連結資材は使用せず、麻紐で結束する方法をとることにした。

4.3.3. 水耕鉢の開発

本項では、緩効性肥料と苗を格納する水耕鉢を開発する。

4.3.3.a. 形状の検討

EZ 水耕では、水耕鉢の中に 4.3.1 で選定した肥料と苗を挿入し、それを 4.3.2 で開発した水耕パネルの穴にセットして栽培を行う。水耕鉢の形状は、水耕パネルに空けられた直径 35mm の穴にセットできるよう、また収穫の際に根が張った状態でも収穫がしやすいよう、最太部の直径を 33mm に設定した。また、その水耕鉢が穴から落ちることがないように、上面に直径 45mm のリブを設置した。水面に浮遊した水耕パネルに水耕鉢をセットした状態で、鉢底が水中に浸るよう、水耕鉢の高さは 35mm とした。

水耕鉢に挿入した苗が、鉢の外にある水分を吸い上げることができるよう、鉢の底面と側面には多数の穴を配置した。穴の大きさは、植物が成長した際に、根が鉢の外まで伸長することができるよう、植物の根の直径よりも大きな穴を設定する。これにより、植物の根がその穴を通過して水中へ広がり、水分を吸収することが可能となる。ただし、苗の培土や挿入する緩効性肥料が落

下しないよう、それらよりも小さく設定する必要がある。ここでは栽培する植物をレタスと仮定し、一般的な水耕栽培のレタスの根の直径である、最大 2mm 程度の穴を設置した。

実際のサイズの細かな設計は、水耕パネルの厚み、浮力、肥料の溶出速度、成分、施肥量、培土の容量、成分、プールの水流、鉢内に侵入する水の量など、様々な要件を総合的に考慮し設計した。

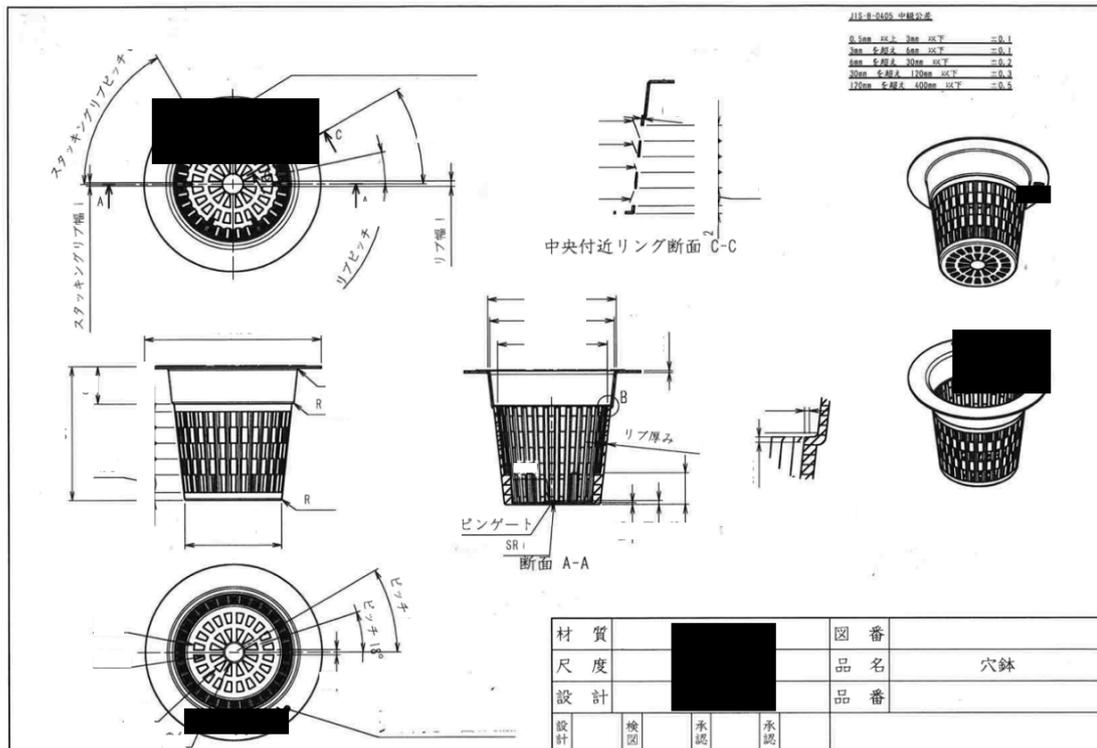


図 4-20 開発した水耕鉢の図面の一部

4.3.3.b. 素材の検討

水耕鉢は収穫後に洗浄した後、再び利用できるよう、耐久性についても検討し、材質はポリプロピレンとした。環境への配慮から、ポリ乳酸などの生分解性樹脂についても検討したが、コストの面からポリプロピレンを採用した。

4.3.4. EZ 水耕に適した苗の開発

野菜を生産する上で育苗は非常に重要な段階である。水稻では「苗半作」という言葉も存在するほどである[農水省 2005]。播種から収穫までの期間は、レタスの場合は約 60~90 日程度で

あるが、育苗期間はそのうち約 20～40 日程度である。EZ 水耕のサプライヤーにとっては、肥料と同様に、育苗のノウハウも「クローズド／インテグラル」な技術一つである。

4.3.4.a. 育苗方法の検討

一般的に野菜は圃場に直接種を蒔いて栽培するのではなく、安定した環境で育苗し、その後本圃へ定植するフローで栽培を行う。水耕栽培も同様に、一般的には温室内で育苗を行い、その後栽培ベッドに定植する。理由はいくつかあるが、大きな理由は栽培環境の安定化と、面積効率を向上させるためである。特に水耕栽培の場合は、面積あたりの投資金額が高いため、株を密集させ育苗を行うことがほとんどである。EZ 水耕でも同様に、温室内で育苗を行い、その苗を本圃の水上へ定植する。育苗の際に使用する資材は、播種工程の効率を上げるために使用する播種板と、セルトレイである。種子の大きさや、一つのセルに播種する種数は作物によって異なるため、それぞれの作物に合わせた播種板を使用する。播種板をさらに高度に自動化した播種機を用いることも可能である。

4.3.4.b. 育苗培地の検討

水耕栽培での培地は、トマトではロックウール、葉菜類ではウレタンフォームやフェノール発泡樹脂、イチゴではピートモスやモミガラ、ヤンガラなどが主に用いられる。葉菜の水耕栽培では、水耕パネルの丸い定植穴に培地自体を押し込んで定植するため、培地素材は柔軟で、栽培期間中は形状を保つ必要がある。そこで、一般的にはウレタンフォームかフェノール発泡樹脂を用いる。EZ 水耕では、植物と緩効性肥料を支持するために水耕鉢を利用するため、培地はウレタンフォームかフェノール発泡樹脂に限る必要はない。そこで、本目では EZ 水耕で用いる培地について検討する。

越智[越智 2012]によると、水耕栽培において培地が異なることによる成長程度に差はない。非分解性培地を用いると、分解性の下葉や根が混在した状態で廃棄処分されていることが問題である。発泡レンガ粒を育苗用培地に用いた「トレイ栽培方式」による水耕栽培も可能であるが、培地を再利用するためには収穫後に培地を分別し、殺菌処理を行う必要があった[越智 2012]。

そこで、EZ 水耕は、収穫後の廃棄の際の作業性を考慮して、そのまま農地に掻き込んでも問題が発生しないよう、一般的な土耕栽培と同様の培地を用いることとした。

4.3.4.c. 育苗時の灌水

EZ 水耕の本圃での栽培段階では、苗が水に浮かんでいる状態で栽培するため、灌水の管理や工夫をする必要がない。ところが、セルトレイを用いた育苗では灌水作業が必須であり、品質の高い苗を栽培するためには、その水質や灌水量、タイミングが重要になる。

4.3.5. 樋を用いた栽培実証

まずは樋を用いて EZ 水耕を行った。農業用の鉄パイプで架台(幅 8.5m×奥行き 1.8m×高さ 1.5m, 上下 2 段)を組み、そこへ樹脂製の樋を設置する。樋に苗のセットされた発泡スチロール製のトレーを挿入し定植する(図 4-21)。苗は、水耕鉢に緩効性肥料とセル苗を入れる。樋には常時少量の井戸水がゴムチューブを通して供給される。この水は、上流側から下流側に向けて僅かに傾けて設置された樋を通じて流れ、排水される。鉢から伸びた苗の根は、この樋を流れる水を吸収する際、鉢内の肥料成分も吸収する。作物育成中の特別の保守管理は不要である。

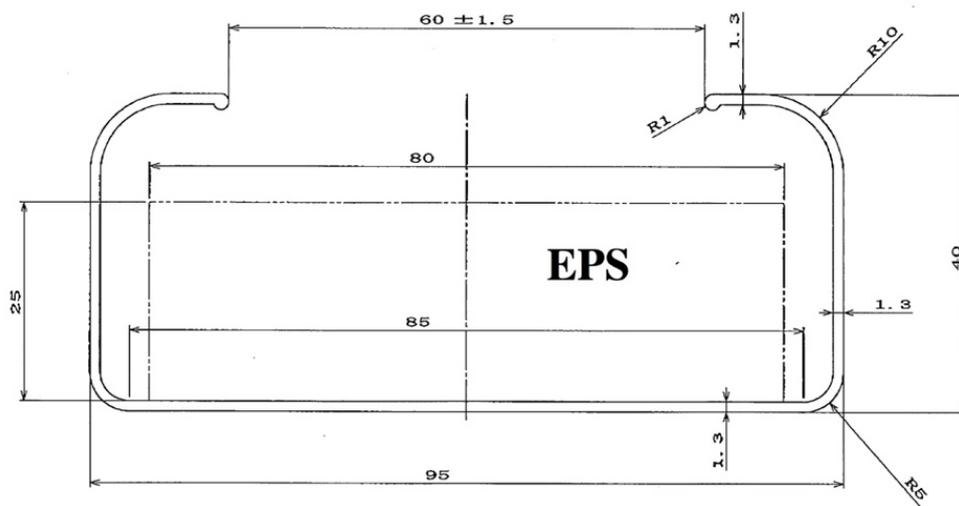


図 4-21 樋の断面図

本設備を用いた栽培実験は、千葉県内で 2016 年 5 月と 7 月の 2 回実施した。育苗期間は約 2 週間、定植後の栽培期間は約 3 週間である。収穫された野菜は、高品質かつ十分な収量が得られた。本実験の結果より、水耕ソーラーシェアリング(SS)では狭幅太陽光パネル下に設置された上下 2 段の水耕棚(図 4-22)であっても、同時に実験された上部に太陽光パネルが設置されていない場合(図 4-23)と比較しても、品質と収量に差はないことが明らかになった。



図 4-22 ソーラーパネルの下に設置された水耕棚



図 4-23 樋を用いたEZ水耕

気温、湿度、照度は、天候と太陽の位置によってかなり変動するが、水温は $28 \pm 5^\circ\text{C}$ の範囲内におさまっており、比較的安定していることが確認できた。

本システム 15.3m^2 あたりの最大定植数は 456 株であり、 1m^2 あたりの定植株数は 29.8 株である。設備費は約 7 万円で、1 株あたり 7.7 円である(耐用年数5年、年間4期作と仮定)。

樋を用いた本実験の詳細は、5.4.1 で詳述する。

4.3.6. プールを用いた栽培実証

次に行った栽培実証は、ビニールシートのプールを用いた EZ 水耕である。本システムは樋を使用せず、ビニールシートを利用し、面積効率をより向上させ、低コストに EZ 水耕を行うシステムである。

畑に溝(幅 19m×奥行き 1.9m×高さ 0.5m)を掘削し、そこへビニールシートをかぶせ水を溜め、プールを作る(図 4-24)。水は常時井戸水をかけ流しにし、水温を安定させる。そこへ910mm 四方で 36 株栽培できる栽培パネルを浮かべる。

本設備を用いた栽培実験は、千葉県内で 2017 年 5 月に実施した。野菜の品種はサニーレタス、グリーンリーフレタスである。いずれも育苗期間は 24 日、定植後の露地栽培期間は 28 日である。生育した野菜は高品質で歩留まりも 97.3%であった。

本システム 36.1m²あたりの最大定植数は 1,440 株であり、1m²あたりの定植株数は 39.9 株である。設備費は約 5 万円で、1 株あたり 2.2 円である(耐用年数5年, 年間4期作と仮定)。



図 4-24 収穫苗のレタス(定植から 28 日後)

樋型以上に、プール型で、高品質かつ十分な収量が 28 日という短期間で得られることが確認できた。プール型は樋型と比べ面積効率は 33.9%上がり、一株あたりの資材費は 77.4%下がった。また栽培期間中の保守管理は一切必要なく、定植時や収穫時の作業負担も削減できた。歩留まり率も 97.3%と高かった。

4. 4. EZ 水耕の実用化検証

4. 4. 1. 栽培可能な環境(土地, 水, 光)

EZ 水耕による農業が可能な環境に関するパラメータは、大きく分けて土地, 水, 光の三項目である。

第一に土地に関しては、最低限、植物が生育した時点の作物が収容できる間隔が必要である。4.3.2 にて開発した水耕パネルを用いた場合は、水耕パネル一枚の大きさが 910mm 四方であるので、それ以上の広さが必要になる。水耕栽培であるため、その土地の土壌については考慮する必要がない。水田をそのまま栽培槽として用いる場合は、土壌成分が水に溶出し、植物の栽培に影響を与える可能性も考えられるが、その場合もビニールシートなどを利用して土壌と水を物理的に遮断することによって、その影響を最小限にすることが可能である。

第二に、水が利用できることである。国内であれば、ほとんどの場合水道水は問題なく使用することができる。水道水でない場合は、井戸水、農業用水、雨水、川の水などが利用できると思われる。ただし、水質には注意が必要であり、植物の成長を妨げる成分や薬品が入っていると、生育に悪影響が発生することが考えられる。例えば、農業用水には除草剤が混じっていることがあり、その用水を利用した場合、植物が枯死したり、生育に悪影響が発生したりする可能性がある。また、井戸水は地域によってはナトリウム、カルシウム、マグネシウム、鉄、ホウ素などが多く含まれていることがある。鉄分が多く含まれると、植物の成長に悪影響を及ぼすことがある。また、海の近くなどでナトリウムが多く含まれた水を利用すると、浸透圧との兼ね合いで、イオン濃度次第では植物が水分も養分も吸収することが出来ず、枯死する可能性が考えられる。

第三に、光合成ができる程度の光があることである。成長に必要な照度は作物ごとに異なるが、いずれにせよ、植物が生育するためには光合成をする必要があり、そのために光が必要不可欠である。植物の光合成において、光の強度が上がると光合成速度が早くなるが、ある強度以上では飽和状態に達し、それ以上早くはならない。逆に、それ以下の光量では育たないという、光合成の下限値の照度のことを光補償点という。植物ごとに日照による成長特性が異なり、直射日光を好み日陰では育たない「陽性植物」と、半日陰から日陰を好み、直射日光が当たりすぎると葉焼けをおこしやすい「陰性植物」、それに中間的な「半陰性植物」がある。例えばレタスの場合は、半陰性植物であり、光飽和点は 30,000~40,000lx 程度、光補償点は 2,000~1,500lx 程度である[農産林業文化協会 2008]。

4.4.2. 水田を用いた試験栽培

日本の西南暖地の水田地帯では、水稻だけの農業経営では農業の継続が不可能であると考えられており、以前から公的機関において水田利用の野菜栽培が検討されていた。淡路のたまねぎ、レタス、徳島のにんじん、ほうれんそう、香川のレタス、ブロッコリー、佐賀のたまねぎ、福岡のキャベツ、大分の根深ねぎ、などが挙げられる。しかし、水田転換畑での野菜生産では、排水対策の問題や土壌病害の問題もあり、通常の畑での野菜生産と比較すると安定出荷を得ることが難しい状況である。排水対策では圃場改良のためにレーザーレベラーやサブソイラ、溝掘機械、超砕土成形ロータリなどの重機を必要とすることが多く、田転換畑への土壌改良はコストも高くつく。

本論文で提案している EZ 水耕では、水田を水田として水をたたえた状態で耕作地として利用する点に大きなメリットが挙げられる。従前の水田利用と同じく水を溜めた状態で耕作するため、排水のための圃場改良をする必要がなく、重機も新規に用意する必要がないため、稲作と同じ設備で野菜生産を開始することが可能である。水田転換畑で頻発する土壌病害の問題も発生しづらい。

本項では、水の溜まった水田を水耕プールとして活用し、EZ 水耕を行う。使用する資材は、前節で開発した水耕パネルと水耕鉢である。

EZ 水耕では、種から苗まで育成させる育苗過程は、一般的な土耕栽培と同様にガラスハウス内でセルトレイを用いて行う(図 4-25)。苗まで育成後、セル苗を水耕鉢に移植し、その水耕鉢を水耕パネルの穴にセットして水田へ移動させる。このとき、収穫時期での直径がおおよそ 9cm 以下の植物は水耕パネルの穴を 81 利用し、9cm～13cm の植物は穴を千鳥状に 41 利用し、13cm～18cm の植物は穴を 1 つ飛ばしに 25 利用することで、栽培の際の面積効率を最大化させる。



図 4-25 セルトレイを利用した育苗

本実験は茨城県内にて 2018 年 2 月 20 日から順次、播種を行い、育苗を開始した。栽培した作物はリーフレタス、サンチュ、ケール、コマツナ、オオバ、パクチー、コモン、クレソン、バジル、である。いずれも育苗期間は約 3～6 週間、水田への定植後の栽培期間は約 3～5 週間である。栽培面積は 400 m²である。

4.4.3. 栽培可能な作物

EZ 水耕は特殊な環境の栽培ではあるが、植物的にはほとんどの作物が栽培可能である。ただし、収益性、可食性の適否は別問題である。収益性、可食性の観点からの適合要件は次の通りである。

- ・水耕鉢と培土で支持可能であること。おおむね高さ 1m 程度まで。
- ・水耕鉢の穴の直径が約 2mm であるため、根の直径がそれを超えないこと。
- ・水耕パネル以下の重量であり、水耕パネル上で生育すること。

これらの要件を満たす作物は、葉物野菜だけでなく、花卉のバラや、バラ科の実もの野菜であるオクラも栽培できることが確認された。

反対に、これらの要件を満たさない作物は根菜や、リンゴなどの果樹などの高木性植物等である。

以下に、2019 年の春から夏にかけて栽培の実証を行った作物を示す。これらの野菜は、適切な時期に収穫して地元の直売所にて販売を行った。

品種名/栽培日程	備考	栽培過程			
オークリーフレタス 播種日：2月20日 定植日：4月10日 収穫日：5月9日	収穫時重量： グリーン系 96g レッド系 56g				
クレソン 播種日：3月19日 定植日：4月27日 収穫日：5月24日	収穫時重量： 30g×53パック 1/パネル(41株)あたり530g				
スイスチャード 播種日：4月20日 定植日：5月22日 収穫日：6月12日	収穫時重量： 60g×29パック 1.74Kg 1/パネル(41株)あたり870g				
オクラ 播種日：4月20日 定植日：5月22日 収穫日： 6月2日、7月19日	収穫時重量： 6/2(1.49kg)				
リーフレタス 播種日：5月11日 定植日：5月30日 収穫日：7月6日	収穫時重量： 13/パネル分18.2kg				

図 4-26 栽培した作物 I

品種名/栽培日程	備考	栽培過程		
コモンタイムトレイ 播種日：3月5日 定植日：4月27日 収穫日：6月12日	収穫時重量： 1パネル(91株)あたり45g 10g×9パック出荷			
サンチュ 播種日：3月5日 定植日：4月10日 収穫日：5月14日	収穫時重量：1株114g			
パクチー 播種日：2月20日 定植日：4月10日 収穫日：5月8日	収穫時重量：1パネル2kg			
バジル 播種日：3月13日 定植日：4月27日 収穫日：5月28日				
グリーンパタビア 播種日：2月20日 定植日：4月10日 収穫日：5月9日	収穫時重量：1株72g~159g			

図 4-27 栽培した作物 II

品種名/栽培日程	備考	栽培過程		
フリルレタス 播種日：2月28日 定植日：4月10日 収穫日：5月9日	収穫時重量：1株78g			
サニーレタス (ロビニオ) 播種日：2月20日 定植日：4月10日 収穫日：5月9日	収穫時重量：1株56g			
サニーレタス (レッドロメイン) 播種日：2月20日 定植日：4月10日 収穫日：5月9日	収穫時重量：1株72g			
サニーレタス (レディーロゼ) 播種日：4月16日 定植日：5月30日 収穫日：6月20日	備考：とう立ちした為、 カットリーフとして収穫 収穫時重量： 1株16g~54g 合計4.06kg			
ロメインレタス 播種日：2月20日 定植日：4月10日 収穫日：5月9日	収穫時重量：1株57g			

図 4-28 栽培した作物 III

品種名／栽培日程	備考	栽培過程			
ディル 播種日：3月13日 定植日：4月27日 収穫日：6月12日	収穫時重量：10g×33パック 330g				
空芯菜(エンツァイ) 播種日：5月30日 定植日：6月20日 収穫日：7月18日、30日、8月10日	収穫時重量：10g×33パック 330g 7.69kg, 6.18kg, 5.05kg				
小松菜(乃木坂) 播種日：4月2日 定植日：4月27日 収穫日：6月1日	収穫時重量：200g×48パック 1パネル(41株)あたり1.6kg				
大葉 播種日：4月2日 定植日：4月27日 収穫日：5月24日、6月6日、12日	収穫時重量：約10枚×67パック、91パック、83パック				
万能小ねぎ 播種日：4月20日 定植日：5月22日 収穫日：6月27日	収穫時重量：70g×27袋				

図 4-29 栽培した作物 IV

4. 4. 4. EZ 水耕での収益性

4.4.2の水田を用いた102日間の栽培実証では、ほとんどの野菜が2回以上収穫できており、収穫された作物は、高品質かつ十分な収量が得られた。実験期間中は病気や害虫の被害も一切発生せず、実験を行ったほとんどの作物で歩留まり率が90%を超えた。収穫した作物のほとんどが市場の出荷基準を満たしており、野菜の安定生産ができたといえる。なお、一部出荷基準を満たさず破棄したのものもあるが、それは作物によらず、収穫時期が不適切であったなど、人為的な問題であった。したがって、収穫時期等を綿密に計画することによって、このリスクは低減されるものと考えられる。

それぞれの野菜は収穫後、販売部分のみにカットして重量を計測した。図 4-30 はリーフレタスの重量を計測している様子である。

収穫した野菜は茨城県内の直売所や首都圏のスーパーで販売した。約 400 m²の水田での実験で栽培した野菜の売上は約 122 万円であった。



図 4-30 収穫後，リーフレタスの重量を計測している様子

表 4-5 収穫した生産物のデータ

date of sowing	Variety	number of sowing	date of planting	number of planting	date of harvesting	number of harvesting
Feb-18	Lettuce_1	128	Apr-18	100	May-18	92
Feb-18	Lettuce_2	128	Apr-18	100	May-18	89
Feb-18	Lettuce_3	128	Apr-18	100	May-18	94
Feb-18	Lettuce_4	128	Apr-18	100	May-18	93
Feb-18	Lettuce_5	128	Apr-18	100	May-18	91
Feb-18	Lettuce_6	128	Apr-18	100	May-18	94
Feb-18	Lettuce_7	128	Apr-18	100	May-18	75
Feb-18	Lettuce_8	128	Apr-18	100	May-18	83
Feb-18	Lettuce_9	128	Apr-18	100	May-18	91
Feb-18	Lettuce_10	128	Apr-18	100	May-18	93
Feb-18	Kale	128	Apr-18	82	May-18	0
Feb-18	Coriander	128	Apr-18	81	May-18	2.2kg
Feb-18	Lettuce_11	896	Apr-18	700	May-18	644
Feb-18	Lettuce_12	1152	Apr-18	675	May-18	609
Feb-18	Lettuce_13	896	Apr-18	675	May-18	639
Feb-18	Lettuce_14	896	Apr-18	700	May-18	649
Mar-18	Lettuce_11	128	Apr-18	100	May-18	85
Mar-18	Lettuce_15	1280	Apr-18	775	May-18	733
Mar-18	Thymus	128	Apr-18	81	Jun-18	0.1kg
Mar-18	Coriander	128	Apr-18	81	May-18	2.0kg
Mar-18	Basil	128	Apr-18	82	May-18	
Mar-18	Watercress	128	Apr-18	82	May-18	1.3kg
Mar-18	Thymus	128	Apr-18	81	Jun-18	0.1kg
Mar-18	Basil	128	Apr-18	82	May-18	
Mar-18	Watercress	128	Apr-18	82	May-18	1.2kg
Mar-18	Lettuce_1	896	Apr-18	725	May-18	648
Mar-18	Lettuce_1	2304	Apr-18	1600	May-18	1465
Mar-18	Lettuce_16	256	Apr-18	200	May-18	177
Mar-18	Watercress	128	Apr-18	82	May-18	1.2kg
Mar-18	Lettuce_16	2304	Apr-18	1458	May-18	1253
Mar-18	Lettuce_16	1152	Apr-18	729	May-18	653
Mar-18	Lettuce_16	1152	May-18	567	May-18	529
Mar-18	Lettuce_11	1152	May-18	738	May-18	706
Mar-18	Lettuce_11	2304	May-18	1353	May-18	1234
Mar-18	Lettuce_11	2304	May-18	1435	May-18	1308
Mar-18	Lettuce_11	2304	May-18	1350	May-18	1253
Mar-18	Lettuce_11	2304	May-18	1800	May-18	1397
Mar-18	Lettuce_16	4608	May-18	3645	May-18	3452
Mar-18	Lettuce_16	2304	May-18	1225		
Apr-18	Komatsuna	256	Apr-18	243	Jun-18	1.6kg
Apr-18	Shiso	256	Apr-18	225	May-18	480枚
Apr-18	Watercress	256	Apr-18	243	May-18	2.1kg
Apr-18	Lettuce_16	4608	May-18	2675		
Apr-18	Lettuce_16	2304	May-18	1300		
Apr-18	Lettuce_16	2304	May-18	1425		
Apr-18	Lettuce_17	1792	Jun-18	1325		
Apr-18	Lettuce_18	320	May-18	225		
Apr-18	Lettuce_18	320	May-18	225		
May-18	Kale	512	May-18	328		
May-18	Lettuce_19	1280	May-18	900		
May-18	Kale	640	May-18	450		

2019年2月20日の播種開始日から同年6月2日までに2回の収穫が成功していることから、一般的に葉物野菜の栽培が困難となる夏季までに少なくともあと1回は収穫が可能であると考えられる。気温が同程度の秋も同じように3回の収穫が可能であると仮定すると、少なくとも年間6回の収穫が可能である。これは年1回収穫の稲作や、一般的な年1~2回収穫の土工での野菜生産と比較して遥かに高効率に野菜を栽培することができたといえる。また、多くの葉物野菜の栽培が困難な夏季であっても、一部の品種においてはむしろ好条件の場合もあり、生産地域や生産者の工夫次第では年間7回以上の収穫も可能であると期待できる。

EZ水耕では、水耕パネルの購入と、水耕鉢のレンタルの合計で1,000㎡あたりのイニシャルコストが400万円である。それに加え、栽培ごとの苗の購入費がランニングコストとなる。苗の費用は品種ごとに異なるが、ここでは一株あたり20円と仮定する。400万円を耐用年数3年と、年間収穫回数の6回で除すると、一作あたりのランニングコストは約22万円である。

本実験では約400㎡で栽培を行ったので、システムの減価償却費は約8.8万円である。定植数はおおよそ23,000株であることから、ランニングコストの苗代金は約46万円である。本実験での売上122万円に対して、要した減価償却費とランニングコストの合計は約55万円であり、売上総利益は約67万円であった。

人件費の計算では、苗を購入した場合は育苗時の人件費は計算する必要がないため、実質の労働時間は定植作業と収穫作業、出荷作業である。本実験での定植作業、収穫作業、出荷作業のべ作業時間は約250人・時間であった。これは、茨城県の最低賃金単価822円によれば、人件費は約20.6万円である。以上のことから、本実験で得られた粗利は約47万円である。

本栽培実証期間、水田約400㎡での粗利は約47万円、見込み年間利益は約141万円である。農家が自身で作業をした場合は人件費を計上せず、1,000㎡あたり約502万円の利益に相当する。就農者一人あたりの耕作可能面積は1,000㎡程度と見込まれ、それを超えると複数の作業員が必要になる。国税庁の民間給与実態統計調査によれば日本の平均給与は441万円である[国税庁2019]。一方、本事業モデルでは、平均給与を上回っており、十分に事業として成立する可能性がある。

4. 4. 5. EZ 水耕で収穫した野菜の品質に関する評価

4. 4. 5. a. 栄養価の分析

生産した成果物の品質を確認するため、外部委託⁶にて成分分析を実施した。

分析項目は、**Brix 糖度**・**ビタミン C 含量**・**抗酸化力(植物ストレス耐性力/DPPH 法)**・**硝酸イオン含量**の四項目である。光合成が適切に行われている野菜では、糖分(炭水化物)の蓄積が十分に行われ糖度が高くなると考えられることから、**Brix 糖度**は光合成の指標となる。ビタミン C は光合成により生成された糖分より合成されているため、糖代謝の指標となる。抗酸化物質は、紫外線等による植物体の酸化ストレスに応答して生成され、植物体を守る働きをするため、窒素代謝(同化)や糖代謝の指標となる。硝酸イオンは野菜にとって大切な窒素源ではあるが、アミノ酸、タンパク質に合成していく過程が阻害されると、植物体内に蓄積される。そのため、硝酸イオンは窒素代謝が正常に行えているかどうかの指標になる。また、人体内に野菜を通して摂取された硝酸イオンは代謝により亜硝酸イオンへと変化する。亜硝酸イオンはメヘモグロビン血症や発ガン性物質である N ニトロソ化合物の生成の原因になり、人体に有害であることがわかっている。また、日本人の硝酸摂取量の約 90%が野菜由来であり、そこで野菜内硝酸イオン濃度の低減に適した栽培環境の解明が求められている[松本 2010]。

供試作物として、茨城県内にて 2019 年 1 月 29 日に播種を行い、育苗を開始した。栽培した作物はグリーンリーフレタス(フレアベル)とサニーレタス(ビバロッソ)である。育苗はハウス内でセル育苗を行い、育苗後はハウス内のプールに定植した。水田を利用した栽培に条件を近づけるため、プールの水の肥料濃度が上昇しないよう、井戸水をかけ流しにして栽培した。

3 月 2 日に、生産したグリーンリーフレタスとサニーレタスそれぞれ無作為に 5 株ずつ収穫し、野菜を即日クール便で発送し、3 月 3 日に外部委託にて成分分析がなされた。その結果、グリーンリーフレタスの **Brix 糖度**は一般的なレタスと比較し約 2.8 倍と非常に高かった。ビタミン C 含有量は一般的なレタスと比較して約 2.3 倍と非常に高かった。抗酸化力は平均値の約 1.4 倍とやや高い傾向がみられた。硝酸イオン含量は検出下限値以下であった(図 4-31)。

サニーレタスの **Brix 糖度**は一般的なレタスと比較し約 1.4 倍と比較的高かった。ビタミン C 含有量は一般的なレタスと比較して約 1.2 倍とやや高かった。抗酸化力は平均値の約 2.3 倍と

⁶ 株式会社メディカル青果物研究所

非常に高い値であった。硝酸イオン含量は平均値の約 1 割以下の非常に低い値であった(図 4-32)。

また、栄養成分以外の観点での評価として、グリーンリーフレタス、サニーレタスとも、官能試験の結果、食味評価が 5 段階中 4 であった。

Brix 糖度、抗酸化力、ビタミン C の数値が高く、硝酸イオンの数値が大変低いものとなったことから、EZ 水耕は従来の土耕栽培による野菜と比較すると、高い栄養価かつ、メトヘモグロビン血症や発ガン性物質である N ニトロソ化合物の生成の原因になる、人体に有害であるとされている硝酸イオンが低減される栽培方法であることが確認された。従来の農法では、栽培ステージに関わらず同一の土壌や養液濃度であることから、収穫直前にも窒素を多く吸収していたと考えられる。他方、EZ 水耕では緩効性肥料が徐々に溶け出すことから、収穫直前ステージでは窒素がほとんど溶け切っており、硝酸イオンの含量が低くなっていたものと推定される。

今回の試験栽培の結果により、グリーンリーフレタスとサニーレタスにおいては、EZ 水耕によって栽培することによって、Brix 糖度、抗酸化力、ビタミン C 含有量の数値は一般的な栽培方法による生産物と比較して高い数値であり、硝酸イオンが低減されることがわかった。



分析結果報告書

分析担当者：宮田
ID：19031000N019-1/3*



サンプル名：グリーンリーフレタス(フレアベル)
サンプル到着日：2019年3月3日

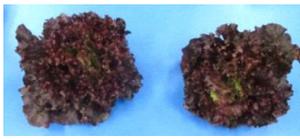
	分析結果	DB平均値 ※1 (グリーンリーフレタス/土耕/ 2008~2018年/ 2~3月)	食品成分表値 ※2	備考
Brix糖度 (%)	8.4	5.5	-	光合成の指標
抗酸化力 《植物ストレス耐性力》 (mg TE /100g)	36.6	26.4	-	DPPH法 窒素代謝(同化)や糖代謝の指標
ビタミンC (mg/100g)	28.8	24.1	21	糖代謝の指標
硝酸イオン (mg/kg)	10.0以下	1,800	2,000	窒素代謝(同化)の指標
食味評価	4 嗜好型(1~5)	甘味:0 旨味:0 青味:0 えぐみ:0 苦味:1 食感:1 分析型(0を基準として-2~+2の五段階評価)		

※1 DBはデリカフーズグループ保有のデータベースを指します。
平均値算出に用いた数：49検体(グリーンリーフレタス/土耕/2008~2018年/2~3月)
※2 日本食品標準成分表 2015年度版(七訂) <リーフレタス/葉、生> 参照



サンプルデータ	品種	フレアベル	データ	圃場名称	-
	栽培区分	水耕栽培		所在地	茨城県つくば市
	作型分類	ハウス		栽培面積	-
	株間	20cm	農業の使用	土質	-
	栽培の特徴	自社栽培システム(EZ水耕)		殺虫剤	アルバリン、育苗中100倍1回灌注
	播種日(定植日)	2018年10月14日(11月14日)		殺菌剤	ピシロックフロアブル1000倍2回散布
	収穫日	2019年3月2日		除草剤	-
納品日 (産地サンプル発送日)	2019年3月3日 (2019年3月2日)	その他	-		
生産者	生産者名	菊池 大	データ	出荷時期	-
	住所	-	流通形態	-	
その他	使用資材	-	出荷量(予測)	-	
	自家製堆肥成分	-			

図 4-31 分析結果報告書(グリーンリーフレタス)(出典：株式会社メディカル青果物研究所のデータを転載)



分析結果報告書

分析担当者：宮田
ID：190310000N019-3/3*



サンプル名：サニーレタス(ビバロッソ)
サンプル到着日：2019年3月3日

	分析結果	DB平均値 ※1 (サニーレタス/土耕/ 2010~2018年/ 2~3月)	食品成分表値 ※2	備考
Brix糖度 (%)	6.5	4.6	-	光合成の指標
抗酸化力 《植物ストレス耐性力》 (mg TE /100g)	82.8	36.1	-	DPPH法 窒素代謝(同化)や糖代謝の指標
ビタミンC (mg/100g)	26.7	21.9	17	糖代謝の指標
硝酸イオン (mg/kg)	15.1	2,220	2,000	窒素代謝(同化)の指標
食味評価	4 嗜好型(1~5)	甘味:0 旨味:1 青味:0 えぐみ:1 苦味:0 食感:0 分析型(0を基準として-2~+2の五段階評価)		

※1 DBはデリカフーズグループ保有のデータベースを指します。
平均値算出に用いた数：46検体(サニーレタス/土耕/2010~2018年/2~3月)
※2 日本食品標準成分表 2015年度版(七訂) 《サニーレタス/葉、生》 参照



サンプルデータ	品種	ビバロッソ(シンジェンタ)	データ 圃場 使用 農業の	圃場名称	-
	栽培区分	水耕栽培		所在地	茨城県つくば市
	作型分類	ハウス		栽培面積	-
	株間	20cm		土質	-
	栽培の特徴	自社栽培システム(EZ水耕)		殺虫剤	アルバリン、育苗中100倍1回灌注
	播種日(定植日)	2018年10月14日(11月14日)		殺菌剤	ピシロックフロアブル1000倍2回散布
	収穫日 納品日 (産地サンプル発送日)	2019年3月2日 2019年3月3日 (2019年3月2日)		除草剤	-
生産者データ	生産者名	菊池 大	データ 購買	出荷時期	-
	住所	-		流通形態	-
その他	使用資材	-		出荷量(予測)	-
	自家製堆肥成分	-			

図 4-32 分析結果報告書(サニーレタス)(出典：株式会社メディカル青果物研究所のデータを転載)

4. 4. 5. b. 栄養価の分析に関する考察

前目で、EZ 水耕で生産したレタスは一般的なレタスと比べて糖度が非常に高いことが明らかとなった。

植物には、低温条件下での凍結回避、吸水制限下での細胞からの脱水防止と細胞内の膨圧維持、高塩濃度条件下での細胞内への塩の侵入防止などのために、浸透圧調節機能が備わっている[幸田 2003][Kitnao2008]。まず根域での低温ストレスによって、根での水の吸収が抑制され、レタスが水分欠乏に陥り、浸透圧ストレスが誘発される。低温による根での吸水抑制は、低温条件下での培養液の粘性の増加および根の細胞膜の流動性の低下とそれに伴うアクアポリンの活性低下が関係していると考えられている。そして水分欠乏によって葉での光合成が抑制され、過剰な光量による光合成の阻害も生じる[Long1994][Melis1999]。植物は光合成によって酸素を発生させるために、細胞内の酸素濃度が高く、光合成系の阻害によって電子伝達系で生じた余剰電力が活性酸素を発生しやすくし、酸化ストレスが誘発される[北野 2008]。根域でのストレス要因によって植物体に誘発される浸透圧ストレスと酸化ストレスに応答して、植物体ではそれぞれ浸透圧調節機能と抗酸化機能が発現する。

成分分析を行ったレタスは2018年10月に定植を行い、2019年3月に収穫を行っており、水上で越冬している。ここから考えられることとして、低温条件下での凍結回避のために浸透圧調節機能が働いており、その過程で根による硝酸の吸収が抑制されたことも、低硝酸のレタスが収穫できた理由の一つであると推定される。

また、植物は低温環境下では、凍結に抵抗するために体液の濃度を上げる。それにより糖度を上昇させる機構が働くと推定されている。同様にEZ水耕で生産した野菜にもこの原理が当てはまり、糖度の高いレタスが収穫できたものと推定される。

4. 4. 5. c. 残留農薬分析

千葉県内で2016年10月31日に収穫したリーフレタスに対して、残留農薬検査を実施した。検査は外部委託⁷によって実施された。

⁷ 株式会社食環境衛生研究所

検査項目は、アセタミプリド(Acetamiprid)、イミダクロプリド(Imidacloprid)、クロチアニジン(Clothianidin)、デノテフラン(Dinotefuran)、チアクロプリド(Thiacloprid)、チアメトキサム(Thiamethoxam)、ニテンピラム(Nitenpyram)、フィプロニル(Fipronil)、フロニカミド(Flonicamid)の九項目とした。

検査結果は表 4-6 残留農薬検査(出典: 株式会社食環境衛生研究所のデータを転載)の通りとなった。ジノテフランのみ検出が認められたが、レタスの基準値 25ppm に対して 0.03ppm に収まり、基準値の 0.12%に留まった。

表 4-6 残留農薬検査(出典: 株式会社食環境衛生研究所のデータを転載)

16103140-2					
【分析結果一覧:9項目】					
No.	項目	項目 (英語)	結果 (ppm)	定量限界値 (ppm)	検出時に限り 基準値を掲載
1	アセタミプリド	ACETAMIPRID	ND	0.01	
2	イミダクロプリド	IMIDACLOPRID	ND	0.01	
3	クロチアニジン	CLOTHIANIDIN	ND	0.01	
4	ジノテフラン	DINOTEFURAN	0.03	0.01	25ppm
5	チアクロプリド	THIACLOPRID	ND	0.01	
6	チアメトキサム	THIAMETHOXAM	ND	0.01	
7	ニテンピラム	NITENPYRAM	ND	0.01	
8	フィプロニル	FIPRONIL	ND	0.01	
9	フロニカミド	FLONICAMID	ND	0.01	

以上の結果から、EZ水耕での生産において、残留農薬に関して問題がないことが明らかとなった。

4.4.5.d. 微生物検査

茨城県内で2019年10月24日に収穫したリーフレタスで、微生物検査を行った。検査は外部委託⁸によって実施された。

検査項目は一般生菌、大腸菌群、黄色ブドウ球菌、E.Coliの四項目とした。

検査結果結果は図 4-33 の通りであった。黄色ブドウ球菌と E.Coli は検出されず、一般生菌数は 2.6×10^5 CFU/g⁹、大腸菌群数は 1.5×10^4 CFU/g 検出された。

⁸ 株式会社メディカル青果物研究所

⁹ Colony Forming Unit(コロニー形成単位)

食品安全委員化によると、市場流通しているレタスの場合、一般生菌数は $10^5 \sim 10^6$ 、大腸菌群数は $10^3 \sim 10^4$ が一般的であるとされており、EZ 水耕で生産したリーフレタスの菌数は、一般的な数値に収まっていることが確認できた[日本食品保蔵科学会 2001].

以上の結果から、EZ 水耕での生産において、菌数において問題がないことが明らかとなった。

分析結果報告書

株式会社メディカル青果物研究所
代表取締役 市野 真理子
〒121-0073 東京都足立区六町 4-12-12
TEL 03-3858-6158
FAX 03-3858-6159

1. 試験サンプル : リーフレタス(リーフ39)※
2. 試験項目 : 一般生菌数、大腸菌群数、黄色ブドウ球菌、*E. Coli*
3. 試験結果

2019年10月26日 弊社に提出された検体について分析試験した結果は次のとおりです。

項目	単位	結果	分析方法
一般生菌数	CFU/g	2.6×10^5	ペトリフィルム培養法
大腸菌群数	CFU/g	1.5×10^4	ペトリフィルム培養法
黄色ブドウ球菌	CFU/0.01g	陰性	ペトリフィルム培養法
<i>E. Coli</i>	CFU/0.01g	陰性	ペトリフィルム培養法

※ 株元を除き試験した。

図 4-33 付着菌の検査結果(出典: 株式会社メディカル青果物研究所のデータを転載)

4.5. 考察

本章での EZ 水耕の開発によって、緩効性肥料を用いることで、養液を利用しない水耕栽培を行うことができた。栄養価分析、残留農薬分析、微生物検査からも特段の問題は見受けられず、水耕栽培方法として成立できると考えられる。また、硝酸イオンの数値が文字通り桁違いに低い

ことや、糖度、抗酸化力、ビタミン C の値も高いことから、EZ 水耕では従来の農法とは異なる、様々なストレスが根にかかっており、それが奏功していると考えられる。北野ら[北野 2008]によれば、極端な生育抑制や不可逆的なストレス障害をひき起こさない程度の環境ストレスを植物体に付与することによって、植物の有する適応機能や馴化機能を活用できると指摘している。EZ 水耕によって生育された野菜は、北野らの指摘した適応機能や馴化機能が奏功し、糖度上昇や硝酸イオン値の低減が引き起こされたものと推定される。

4.6. 小括

本章では、EZ 水耕栽培システムの基本コンセプトの設計、要素技術開発、実用化検証を実施し、システムの基本的な有効性が検証された。基本コンセプトでは、水耕栽培の施肥に緩効性肥料を用いた、安価で生産性の高い EZ 水耕を開発した。要素技術開発では、最適な緩効性肥料の選定を行い、EZ 水耕で用いる資材として、水耕パネルと水耕鉢の開発を行った。水耕パネルは適切な素材と形状、水耕鉢を装着する具体的方法等が決定された。また苗の生産方法の検討や、樋とプールを用いた栽培実証を行った。次に実用化検証として、水田にて EZ 水耕の試験栽培を行い、生産物の品質の分析を行った。分析の結果は、栄養価に関しては一般的な野菜と比較して良好な結果となり、残留農薬分析や微生物検査に関しても一般的な野菜と比較して遜色ない結果となった。さらに、本方式による農業プロセスは簡便であり、労働負荷が少なく済む。また、全プロセスにおいて、機械化しやすく、「農業の工業化」も可能である。したがって、本システムは、労働力不足の問題に対する解決策となりうる。また、基本的に必要な資材は、水耕パネルと水耕鉢、培地、緩効性肥料、苗で構成できる。したがって、本システムでは、建物や複雑で高価な設備が不要であるため、一般的な植物工場と比較して、そのインシャルコストは十分に低いものといえる。このように、本システムでは、低インシャルコスト、安価な資材、少ない労働負荷で、多期作が可能となるため、高収益な農業が可能であると結論付けられる。

EZ 水耕は第 3 章にて設定した内インテグラル／外モジュラーという設計指針に反しない形でシステムを構成した。EZ 水耕のサプライヤー企業によってすり合わせ技術を封じ込められた技術、すなわちブラックボックス化されており、これは内インテグラルに相当する。一方、EZ 水耕キットとして組み合わせられた構成要素とマニュアルをパッケージとして顧客に供給するため、外モジュラーに相当する。したがって、EZ 水耕は内インテグラル／外モジュラーの農業生産方式である。

土を使わない農業生産方式として 3K 問題が軽減された従来型の水耕栽培においては、その代償としてコスト増大の問題が顕在化していたが、EZ 水耕の特徴である、養液を使わず、建屋を必要としない生産方式によって、それらのコストのほとんどが不要となった。

第5章 EZ 水耕ビジネスの実証試験

サービス段階である本章では、EZ 水耕ビジネスの実証試験を行う。5.1 で本章の前提について述べ、5.2 では本章で行う実証の概要を述べる。5.3 で実際に事業者と共に実証試験を行う。ここでは、栃木県、静岡県、愛知県、岐阜県、島根県、香川県、熊本県の実証試験について取り上げる。5.4 では水田での EZ 水耕の収益性について確認し、5.5 では EZ 水耕の将来戦略として水耕ソーラーシェアリングについて検討し、5.6 で本章の考察を行い、5.7 にて本章の小括を行う。

5.1. はじめに

前章では、EZ 水耕の基本的な機能を検証した。それによって、EZ 水耕では、図 5-1 で示すように、年間を通じて様々な野菜や花卉類を、屋外で複数回栽培することが可能であることが確認されている[久保 2017]。本方式を用いた実証実験が既に数千㎡の規模で実施され、その技術的有効性と高い収益性、低い環境負荷が実証されている [大社 2018][大社 2019]。しかし、本方式は、従来の農業システムと比べて、技術的にも経営的にも、数多くの点で異なる。主な相違点は、長期間にわたる水利や土地の確保と管理、作業方式の標準化と教育、様々な農業資材類(苗、肥料、水耕鉢、水耕パネル等)の供給体制、収穫物の流通経路、などである。これらの複雑なビジネス環境を自社単独で担うことは、現実的ではない。他社との競争を前提としながら、同時に協働することも求められている。

Crop type	Seedling unit>	k pieces	period /cycle	Paddy field hydroponics period (January to December)													
				cycles	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Leaf lettuce	21	19	4				1		2				3		4		
basil	25	48	2						1			2					
mint	30	48	3				1		2			3					
Komatsuna	14	61	5			1		2		3		4					
Spinach	14	61	4				1		2		3		4				
Leaf green onion	30	61	4				1		2		3		4				
Miniature	40	48	3				1		2		3						

Conditions: 1000 panels (0.9 × 0.9 m) floated on 1,000 square meters of paddy fields. Yield (75%).

図 5-1 EZ 水耕栽培方式を用いた各種作物及び花卉の多期作可能期間

5.2. 運用可能性の実証の概要

そこで、本章では、前章までに開発した EZ 水耕の、開発拠点以外での実際の農業経営規模での運用の実現性・有効性を見極める実証試験を行う。システムの開発拠点は千葉県と茨城県であったため、国内のその他の地域での生産の実証を行う。

導入した EZ 水耕のイニシャルコストを、農業経営で回収できることが本システムの事業化・普及の目安となる。本システムの耐用年数は 5 年と設定しており、単純投資回収年数の目標をこの範囲内(耐用年数内)で設定している。以下では、運用可能性を見極めるための検討項目を掲げる。

- ・関東地方以外で、EZ 水耕を利用した野菜の生産を検証する。
- ・実際の農業経営規模での EZ 水耕による野菜の生産を検証する。
- ・EZ 水耕による営農が可能かどうか、収益性に関する検証を行う。

さらに、将来戦略である EZ 水耕の発展形として、太陽光発電と農業を同時に行うソーラーシェアリングへの応用も検討した。

5.3. 実証結果

5.3.1. 愛知県豊川市

2018 年 4 月から、愛知県豊川市でサニーレタスの生産実証が行われた。面積は約 2,000 m² で、環境は水田で、水は井戸水を利用した。ここでは詳細については記載しないが、本実証試験への障害者の参加形態として、就労移行支援、就労継続支援 A 型、就労継続支援 B 型、就労定着支援事業が用いられた[厚労省 Web]。その中には、知的障害者、肢体不自由者(特に下肢障害者)であると推測される。

作業者は障害者が中心となっていたため、人件費が大幅に抑えられた。作物は、時期によっては大きくなりきる前に生育が止まる個体も存在した。原因は正確には不明であるが、水田の土壌の問題が指摘できる。収穫した野菜は仲卸業者に出荷を行った。収益性については、事業者との協力関係のため、ここでは割愛する。

導入時期：2018/4
導入面積：2 反
導入条件：露地／水田／井戸
場所：愛知県豊川市
栽培時期／品目：サニーレタス



図 5-2 愛知県豊川市での実証

5.3.2. 熊本県菊池市

2018年3月から、熊本県菊池市でリーフレタス、サニーレタスの生産実証が行われた。面積は約1,000㎡で、環境は水田で、水は井戸水を利用した。ただし水田はコンクリートで固められており、通常の水田とは異なる環境であった。通常のEZ水耕とは異なり、水耕鉢の中の緩効性肥料に加え、水田へ定植後にアミノ酸などの薬品を葉面散布していた。野菜は概ね問題なく生育しており、収穫後は併設された直売所で販売された。収益性については、事業者との協力関係のため、ここでは割愛する。

導入時期：2018/3

導入面積：1反

導入条件：露地／水田／井戸

場所：熊本県菊池市

栽培時期／品目：リーフレタス・サニーレタス



図 5-3 熊本県菊池市での実証

5.3.3. 熊本県八千代市

2018年3月から、熊本県八代市でリーフレタス、サニーレタスの生産実証が行われた。面積は約2,000㎡で、環境は水田で、水は井戸水を利用した。作業者はパートやアルバイト、外国人研修生など多くの人材がいるため、効率よく作業を行っていた。通常のエゾ水耕とは異なり、水耕鉢の中の緩効性肥料に加え、水田の水中に緩効性肥料や高濃度の養液を直接投入するなどの工夫を行っていた。収穫までのサイクルが多少早い傾向があり、これらの工夫の影響であると考えられる。収益性については、事業者との協力関係のため、ここでは割愛する。

導入時期：2018/3

導入面積：2反

導入条件：露地／水田（コンクリート）／井戸

場所：熊本県八代市

栽培時期／品目：夏／リーフレタス・サニーレタス



図 5-4 熊本県八代市での実証

5.3.4. 栃木県佐野市

2018年8月から、栃木県佐野市でリーフレタス、サニーレタス、空芯菜、バジル、葉ネギの生産実証が行われた。面積は約2,000㎡で、環境はビニールシートを用いたプールで、水は井戸水を利用した。収益性については、事業者との協力関係のため、ここでは割愛する。

導入時期：2018/8

導入面積：2反

導入条件：露地／プール／井戸

場所：栃木県佐野市

栽培時期／品目：3～11月／リーフレタス・サニーレタス・空芯菜・バジル・葉ネギ



図 5-5 栃木県佐野市での実証

5.3.5. 島根県松江市

2019年3月から、島根県松江市でリーフレタス、サニーレタス、ホウレンソウの生産実証が行われた。面積は約100㎡で、環境は水田で、水は農業用水を利用した。耕作面積が狭いため、収益性の確認はできていない。

本事業者は元来、一般の農業生産法人として農業事業を営んでおり、周辺の一般農家との関係性も良好である。そのため、本実証によってEZ水耕の事業性が確認できたことから、EZ水耕への参画希望意思が示されている。より具体的には、第三章で提示した、育苗事業者の形態によるニッチプレイヤーとしての参画である。

導入時期：2019/3
導入面積：1畝
導入条件：露地／水田／用水
場所：島根県松江市
栽培時期／品目：通年／リーフレタス・サニーレタス・ほうれん草



図 5-6 島根県松江市での実証

5.3.6. 香川県三豊市

2019年4月から、香川県三豊市でクレソン・イタリアンパセリ・バジル・サニーレタスの生産実証が行われた。面積は約100㎡で、環境はビニールシートを用いたプールで、水は水道水を利用した。耕作面積が狭いため、収益性の確認はできていない。



図 5-7 香川県三豊市での実証

5.3.7. 静岡県焼津市

2019年6月から、静岡県焼津市で葉ネギ、赤からし菜、わさび菜、小松菜、リーフレタス、サニーレタスの生産実証が行われた。面積は約300㎡で、環境はビニールシートを用いたプールで、水は井戸水を利用した。耕作面積が狭いため、収益性の確認はできていない。

導入時期：2019/6

導入面積：3畝

導入条件：露地／プール／井戸

場所：静岡県焼津市

栽培時期／品目：通年／葉ネギ・赤からし菜・わさび菜・小松菜・リーフレタス・サニーレタス



図 5-8 静岡県焼津市での実証

5.3.8. 岐阜県飛騨市

2019年9月から、岐阜県飛騨市でクレソン、リーフレタス、サニーレタスの生産実証が行われた。面積は約100㎡で、環境はビニールシートを用いたプールで、水は農業用水を利用した。耕作面積が狭いため、収益性の確認はできていない。



図 5-9 岐阜県飛騨市での実証

5.4. 水田での EZ 水耕の収益性

ここでは、EZ 水耕での野菜生産の収益性と、水田での EZ 水耕の有効性を検証する。図 5-10 は水田に水耕パネルを浮かべて EZ 水耕を行っている様子である。

EZ 水耕での野菜生産では、関東では少なくとも年間 6 回の収穫が可能であり、1,000 ㎡あたりの年間売上は約 600 万円になると試算されている[アグリア 2019]。表 5-1 にて、EZ 水耕で年間 6 作生産した場合と、土耕栽培、従来の水耕栽培、植物工場との収益性の比較をした。土耕栽培では、一般的に収穫物は単位農協を通して市場へ出荷するために収穫量の計上は重量で行い、また価格も重量あたりで計算され売上金額が算出される。それに対して小売店に販売す

水耕栽培の場合は、パック数量や株数での売買契約がなされることが通例であり、収穫量や販売量は重量ではなく袋数、株数で計算されている。そのため年間販売量の単位には kg と株数が混在しているが、どちらにせよ売上は数量×単価で計算されるため比較される売上金額に影響はない。また、EZ 水耕の種苗費は、EZ 水耕専用苗を 1 株 25 円で購入する前提で計算しており、ここには種苗費、肥料費、農薬費が含まれている。



図 5-10 水耕パネルを浮かべた水田

表 5-1 栽培方法ごとの収益比較

運営体		個人	個人	法人	法人	法人	法人	法人
生産方式	単位	新規露地水耕栽培	土耕栽培	新規露地水耕栽培	土耕栽培	水耕栽培	水耕栽培	光植物工場
面積	-	2反	6反	10反	90反	2反		1,396平米
品目	-	リーフレタスS 年6作	リーフレタスL	リーフレタスS 年6作	結球レタスL	リーフレタス	みつば	リーフレタスSS
年間販売量	株・kg	150,000株	14,400kg	750,000株	360,000kg	232,324株	369,322袋	3,600,000株
販売単価	円	80	265	80	104	100	60	100
売上	千円	12,000	3,816	60,000	37,440	23,232	22,160	360,000
費用	千円	9,796	3,534	46,034	37,715	23,112	24,080	364,458
種苗費	千円	750	38	3,750	3,825	1,430	310	8,000
肥料費	千円	0	255	0	2,480	754	858	10,800
農薬費	千円	0	141	0	2,069	258	258	0
諸材料費	千円	820	171	4,098	1,938	238	238	2,520
光熱費	千円	209	48	1,059	1,007	1,588	1,588	108,000
修繕費	千円	70	81	494	751	646	646	22,500
流通経費	千円	1,725	1,620	8,625	14,623	4,672	4,544	72,000
人件費	千円	3,536	545	13,993	5,774	5,620	7,494	85,138
減価償却費	千円	2,667	413	13,333	3,701	6,450	6,450	37,500
支払利息	千円	0	149	582	744	1,000	1,000	12,000
地代その他	千円	20	72	100	804	456	694	6,000
年間利益	千円	2,204	282	13,966	▲275	120	▲1,920	▲4,458
利益率	%	18.4%	7.4%	23.3%	▲0.7%	0.5%	▲8.7%	▲1.2%

表 5-1 のとおり法人では土耕栽培, 水耕栽培, 植物工場とも赤字になっている. EZ 水耕において生産に係る作業をすべて最低賃金以上で雇用して労働力を賄った場合の利益率は 20% 前後であり, 十分な収益を上げることができている.

5.5. 将来戦略としてのソーラーシェアリング

5.5.1. ソーラーシェアリングの概要

地球温暖化と食糧危機は, 世界の重要な解決すべき問題である. 地球温暖化対策としては, 太陽光発電をはじめとした再生可能エネルギーの普及拡大が, 有力手段のひとつである [Kubo2012a][Kubo2012b][Kubo2013].

再生可能エネルギーに関しては, SDGs のゴールである, 7)手ごろで信頼でき, 持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する, 13)気候変動とその影響に立ち向かうため, 緊急対策を取る, に深く関連している. 日本でも, 2012 年に固定価格買取制度が施行されて以来, 爆発的にその市場が拡大した. その結果, 太陽光発電の設置場所が不足し, 水上への設置も精力的に進められている [Kubo2012c][Kubo2014].

食糧危機に関しては, SDGs のゴールである 2)飢餓をゼロに, 12)持続可能な消費と生産のパターンを確保する, に深く関連している. 日本では自給量の不足と, 就農者の減少と高齢化, 荒廃農地増加の問題が深刻になっている. これらの問題解決を目指して, 植物工場の研究開発と事業化が進められている. その市場規模は, 2013 年の 233 億円から, 2025 年に 1,500 億円に達するものと推定されている [田中 2014]. その一方で, 莫大なイニシャルコストとエネルギー消費量を原因として, 採算性を確保できず, 倒産が相次いでいる.

そこでこれらの問題への対策のひとつとして日本では, 2014 年に SS を可能とする通達¹⁰がなされ [長島 2014], その後の追加通達¹¹によって政府施策が整備された. SS とは, 太陽光を太陽光発電と農業で共有するハイブリッドシステムのことである. このシステムは, 農作物の成育に必要な光量には, 飽和点が存在する特性を利用している. しかし, このシステムにおいても, 太陽光発電収入と農業収入の本質的な取り合い関係は存在する [矢野経済 2013].

¹⁰ 農林水産省農村振興局長通知 平成 25 年 3 月 31 日付け 24 農振第 2657 号

¹¹ 農林水産省農村振興局長通知 平成 30 年 5 月 15 日付け 30 農振第 78 号

5.5.2. 方法

以上の背景から、本項では、太陽光発電と農業の収入を最大化し、かつ省エネルギー化が可能な SS の技術開発を目的として、基礎的検討を行う。具体的には、SS システム用の低コスト太陽光自動追尾機構を開発し、その効果を検証する。また、SS に EZ 水耕を組み合わせて、年間収穫回数の増加と省力化による農業生産性向上の可能性を調査する。

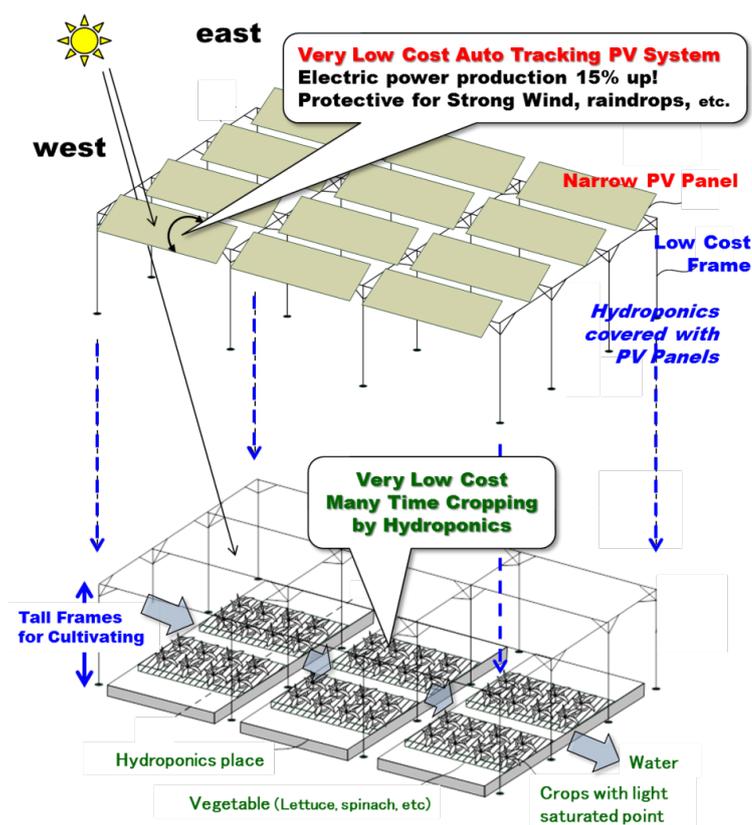


図 5-11 EZ 水耕 SS システムの基本構造

本研究の目的を達成するための EZ 水耕 SS システムを試作した。その基本構造を図 5-11 に示す。農地の上に、長脚の架台付きの狭幅太陽光パネルを被せるという構造は、従来型の SS システム[長島 2012]と同様である。本 SS システムの第一の特徴は、太陽光発電システムに、低コストの一軸型太陽光追尾機構を搭載することである。これにより、日照時間内の太陽光の東から西への動きを追尾でき、その結果、発電量の増加が見込める。本システムの第二の特徴は、EZ 水耕で農業生産を行う点にある。これにより、労働負荷を減少させ、かつ多期作による農作物収入の増加を図る。両者を組み合わせることによって、単位面積あたりの収入を最大化させるために必要な、EZ 水耕 SS の基礎データを収集する。

図 5-12 に、EZ 水耕 SS 実験用に開発した独自の一軸型太陽光自動追尾機構の写真を示す。システムの主な構成要素は、1)シーケンサ、2)安価な小型リニア型ステッピングモーター1台、及び 3) U 字駆動力変換機構である。予めシミュレーションで求めた太陽光の軌道を、1)のシーケンサにプログラム入力しておく。次にその制御信号を、2)のリニア型ステッピングモーターに出力し、これを駆動する。3)の U 字駆動力変換機構は、この直線運動を回転運動に変換し、これに連結された狭幅太陽光パネル(70W/枚)に伝達する。その回転駆動力は、隣接する横方向に結合されたパネルに、そのアルミフレームを通じて伝達される。

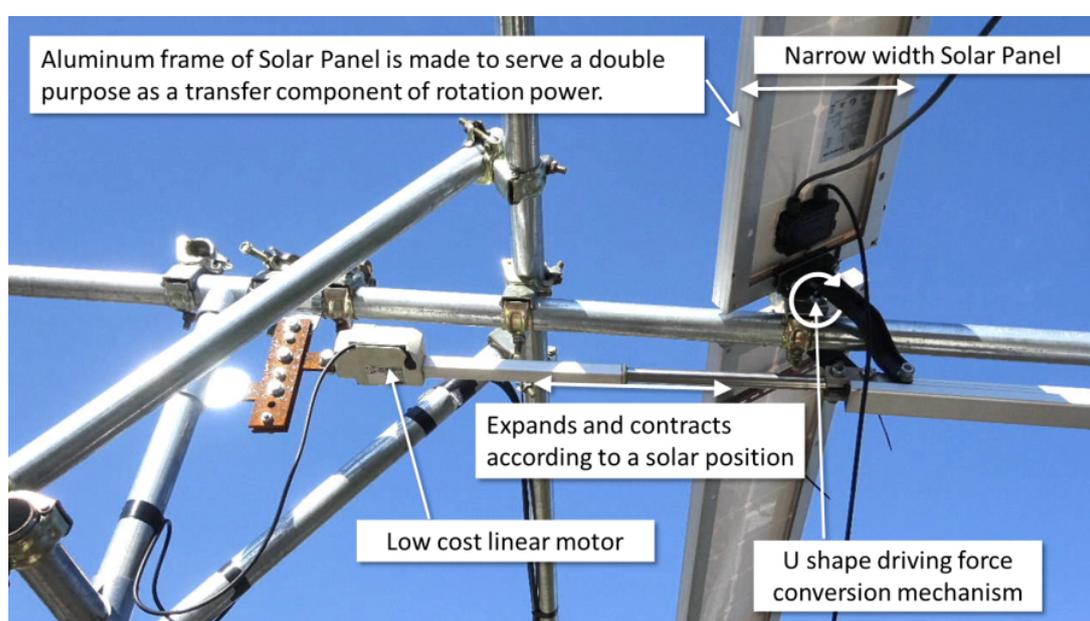


図 5-12 低コスト太陽光自動追尾機構

これにより、パネルが朝は東向き(図 5-13)、夕方は西向き(図 5-14)に、正確に太陽光をトラッキングできた。本設備のパネルは、リニアモーターから見て横方向に 11 枚(北側に 6 枚、南側に 5 枚)、縦(東西)方向に 24 列である。設置場所は千葉市である。計 264 枚のパネルを 1 台の安価なリニアモーター(500 米ドル)1 台で駆動できた(図 5-15)。年間の発電電力量は、南方向への傾斜角 15 度の固定型太陽光発電システム(追尾機構無し)と比べて、11.4%増加した。これにより、本機構の有用性を実証できた。



図 5-13 午前中に東を向いている様子



図 5-14 午後に西を向いている様子



図 5-15 EZ 水耕 SS の鳥瞰図

本システムの第二の特徴であるEZ水耕を図5-16に示す。安価な単管パイプを用いて、樋状の水耕棚(幅 8.5m×奥行き 1.8m×高さ 1.5m, 上下 2 段)を南北方向に、前記太陽光パネルの下に設置した。樋状の棚には作物用の培地、肥料、病虫害予防剤、種子または苗を入れたプラスチック製水耕鉢(図 5-17)を、一定間隔で穴あけ加工した発泡スチロール製トレイに搭載した。苗をセットした各トレイは、水耕棚の上流側から各樋に挿入されることにより、苗の移植を行う。水耕棚の各樋には、少量の地下水が、分岐バルブ経由、各フレキシブルチューブを通して供給される。この水は、北(上流)側から南(下流)側に向けて僅かに傾けて設置された樋を通じて流れ、排

出される。前記水耕鉢から伸びた苗の根は、この樋を流れる水を吸収する際、水耕鉢内の肥料成分も吸収する。作物育成中の特別の保守管理は不要である。水温や作物の環境温湿度データは小型温湿度センサー(図 5-18)で常時自動的に取得される。また作物の育成状況は、テレビカメラで撮像され、インターネット経由で常時遠隔地から監視できる。収穫可能時期も、この画像から判断される。収穫方法は、苗移植時とは逆に、各棚のトレイを上流側から下流側に向けて押し出すことで、効率よく簡単に行える。

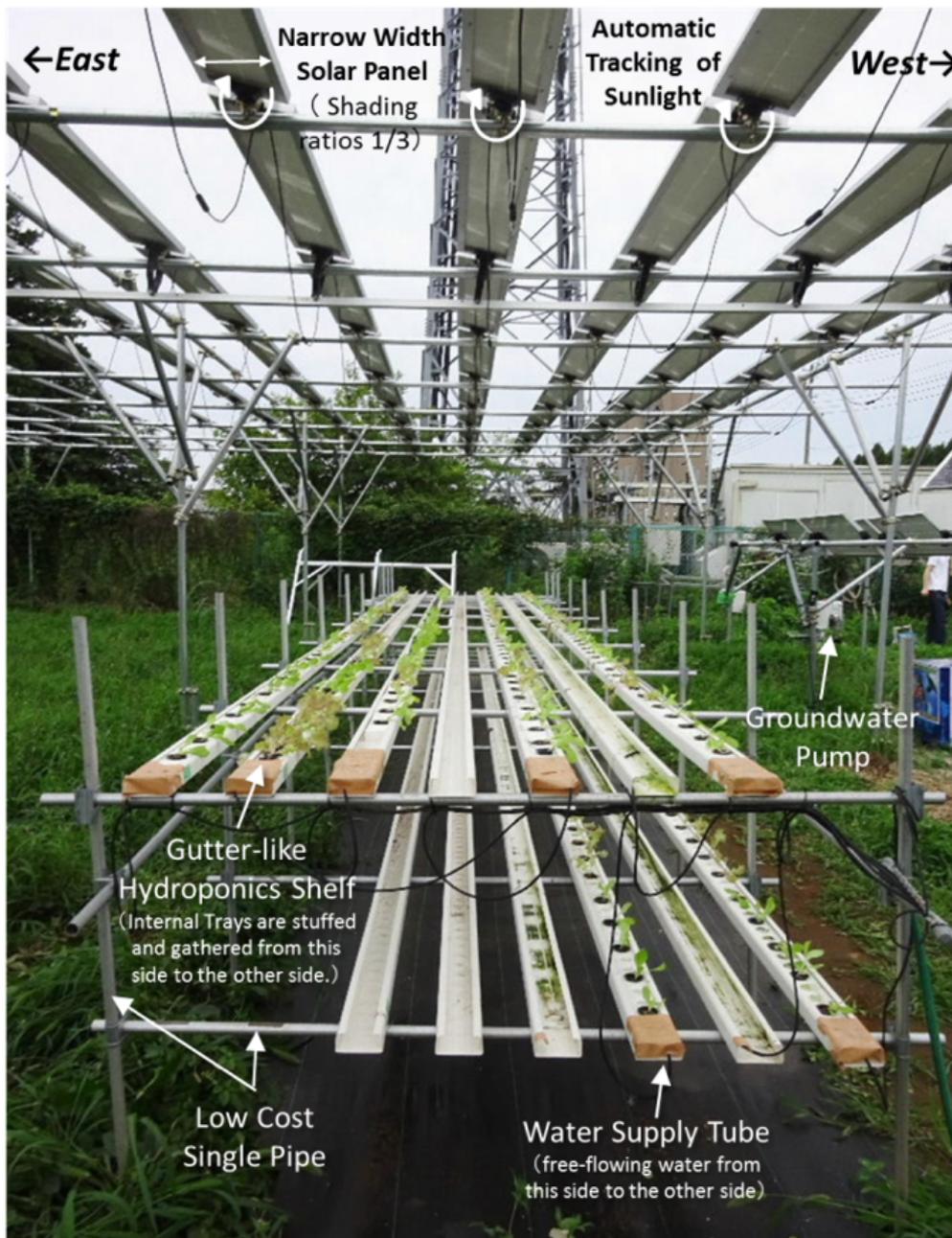


図 5-16 低コスト太陽光自動追尾機構を備えた EZ 水耕実験装置



図 5-17 苗の入った水耕鉢



図 5-18 通信機能を備えた温度と相対湿度のセンサー

本設備を用いた栽培実験は、2016年5月と7月の2回実施した。野菜の品種は、Stem lettuce, Boston Lettuce, Red Leaf Lettuce の3種である。いずれも育苗期間は約2週間、移植後の栽培期間は約3週間である。栽培期間中(7/1～7/11, 9:30～15:00, 晴れと曇りの日に測定)の環境条件は以下の通りであった。気温：26～40℃, 水温：23～32℃, 湿度：28～78%RH, 照度 8～111 lx(下段の方がやや低めとなる確率が高い)であった。



図 5-19 収穫前の野菜 (Boston lettuce, Red-leaf lettuce)

5.5.3. 結果

収穫物された野菜は、図 5-19 に示すとおり、高品質かつ十分な収量が得られた。本実験の結果より、EZ 水耕 SS では狭幅太陽光パネル下に設置された上下 2 段の水耕棚であっても、同時に実験された上部に太陽光パネルが設置されていない場合と比較しても、品質と収量に有意な差は認められなかった。気温、湿度、照度は、天候と太陽の位置によって大きく変動するが、水温は $28 \pm 5^{\circ}\text{C}$ の範囲内に収まっており、比較的安定していることが確認できた。

以上で述べた実験結果から、本実験の目的である太陽光発電と農業の収入の最大化と省エネルギー化に関して、以下のことが導出される。

第一に、SS システム用の低コスト太陽光自動追尾機構を開発し、その効果を 1 年間の発電実験の結果から、11.4%の発電量の増加が得られた。今回の実験で追尾機構の追加に要した設備費と人件費は、3 年以内に回収可能であることから、採算性は十分といえる。

第二に、SS に EZ 水耕を組み合わせた実験結果からは、簡易な水耕設備で、高品質かつ十分な収量が 5 週間という短期間で得られることが確認できた。栽培期間中の保守管理はほとんど必要なく、苗移植時や収穫時の作業負荷も軽減できた。1 年間の最大可能収穫回数は、今回の実験結果から判断することはできない。しかし、仮に 4 月～12 月までの間、栽培可能であるとすれば、最少 5 期作～最大 8 期作が期待できる。

さらに、今回の実験期間中、強い風雨に曝される期間もあったが、設備および野菜にほとんど損傷はなく、安定生産可能であることも確認できた。その僅かな被害としては、野菜に軽微な傷が付く程度であり、大きな問題ではない。さらに、それは EZ 水耕と SS を組み合わせたことに起因する問題ではない。以上の結果から、本実験の目的は、ほぼ達成できたと判断される。

5.6. 考察

5.6.1. 基本的な EZ 水耕の有効性の確認

貯水槽としては、水田、コンクリートで被覆された水田、ビニールシートを用いたプールの三種類において、EZ 水耕が成功した。使用された水として、水道水、井戸水、農業用水のいずれでも成功した。本実証実験の実施地として、東から順に、千葉県、茨城県、栃木県、静岡県、愛知県、岐阜県、島根県、香川県、熊本県において成功している。これは、関東以西での有効性が示されたこととなり、全国展開の可能性も十分に想定できる。

5.6.2. ニッチプレイヤーの新規参画

5.3.5 の実証実験に関わった事業者は、育苗事業者として EZ 水耕ビジネスへの参画希望意を示した。この事業者以外にも、システム販売者として本ビジネス・エコシステムへの参加希望意志を有す事業者も確認されている。

これらは、本ビジネス・エコシステムの形態が社会的に有意義であることが一般事業者からも認められていることの証左である。

5.6.3. 農業の人的資源の健全性

日本の農家では、補助金や最低賃金以下での障害者や外国人研修生の雇用、賃金の発生しない家族労働力の利用などによって成り立っている例が多々存在する。本来の農業における外国人研修生は途上国への技術転移が目的である研修制度¹²であり、低賃金の単純労働者を確保するために利用するというのは本来の趣旨から乖離している。一方、EZ 水耕であれば作業者が全員最低賃金以上の雇用であっても収益性が確保され、これらの問題の解決の一助となりうる。これは社会価値、環境価値だけではなく、経済価値の点でも意義が認められ、日本の農業問題解決のために有効な技術であるといえる。

5.7. 小括

本章では、EZ 水耕での実証試験を目的として、関東以西の 9 県 10 カ所で同方式を稼働させた。その実証試験の結果、各実証期間内では収益が満足に及ばないこともあったが、農産物の品質として問題があることが原因ではなかった。EZ 水耕の基本的なコンセプトは、定植後は収穫まで何も作業を行わないことであるが、一部の生産者は積極的に野菜の生育をさらに良好にするための工夫を行っていた。EZ 水耕の技術自体は問題なく、概ね実用化を念頭においた当初の目的を達成することができたと判断できる。5.1 の、水田での EZ 水耕による収益性の計算では、従来の土耕栽培や水耕栽培と比較して、EZ 水耕の利益率が高いことが確認でき、高収益な農業技術であるといえる。

¹² 外国人の技能実習の適正な実施及び技能実習生の保護に関する法律(平成 28 年法律第 89 号)

また、将来戦略の一つとしてEZ水耕を用いたSSについて検討した。そこでは、低コスト太陽光自動追尾機構をSSシステムに組み込み、その有効性を確認した。その結果、自動追尾システムがない方式と比較して、本方式では年間電力発電量が約11.4%上昇することが確認できた。野菜の生産に関しても、桶型のEZ水耕によって、高品質かつ十分な収量が5週間という短期間で得られることが確認できた。

さらに、5.3.5にてエコシステムへの参画希望意志を示した事業者、すなわちニッチプレイヤーが確認されたため、エコシステム戦略は有効に働いていることが示された。また、実証試験では、農家や農業生産法人ではない、いわば素人同然の他分野事業者においても良好な農作物が収穫された。これによって、EZ水耕が外モジュラー型の設計が奏功したといえる。

第6章 考察

本章では、これまでに開発したEZ水耕ビジネス・エコシステム戦略が正しく機能しているかの妥当性について、健全性を示す三つの価値指標「生産性」、「堅牢性」、「ニッチの創出」に基づいて確認を行う。6.1で本章の概要について述べ、6.2にて生産性、6.3にて堅牢性、6.4にてニッチの創出について考察する。6.5にて本章の結論を述べる

6.1. はじめに

本論文第3章では、五項目のフレームワークを用いてEZ水耕ビジネス・エコシステム戦略を構築した。第3章では戦略立案を行い、第5章ではその実証試験結果について述べた。さて、ビジネスエコシステム戦略の有効性を検証する手法の一つとして、Iansiti et al.は生産性、堅牢性、ニッチの創出、の三項目のKPIを提唱している[Iansiti2004](その詳細は、2.3.3参照)。

そこで本章では、それら三項目のKPIを用いて、EZ水耕ビジネス・エコシステム戦略を検証する。

6.2. 生産性

第一のKPIである「生産性」は、垣本によると、投下資本利益率とされており、一定の資源(労働・資本など)からどれだけ多くの付加価値を産み出せるか、もしくは一定の付加価値をどれだけ少ない資源で産み出せるかということである。

EZ水耕におけるモジュラー型の水耕キットが、多期作、低イニシャルコスト、低ランニングコスト、低労働負荷、専門知識不要を実現した。それと同時に、そのマニュアルが、イノベーションの技術移転を迅速且つ簡便に行うことに有効である。具体的には、従来農法が「内インテグラル／外インテグラル」であったところが、EZ水耕によって「内インテグラル／外モジュラー」が実現され、生産性が向上することとなる。これは、綿密なアーキテクチャ分析の結果に基づくエコシステムの標準化戦略が威力を発揮した結果である。以上により、EZ水耕が従来の農業と比較して生産性が高いことが確認できた。

6.3. 堅牢性

第二の KPI である「堅牢性」は、垣本によると、メンバー生存率とエコシステムの持続性とされている。具体的には、1)エコシステム構造の持続性、2)予測可能性、3)陳腐化の回避、の三項目から構成される。これらから戦略の妥当性を検討する。

1)エコシステム構造の持続性の観点からは、EZ 水耕ビジネスのコア技術は基本的に大きく変わらないが、関連技術は最新の技術を積極的に取り込んでいくため、日々変化していく。しかし、本エコシステム参加者の関係性の変化は抑制され、外部からの強い衝撃を受けずに済む。したがって企業間あるいは技術間の接続の多くは持続する。

2)予測可能性の観点からは、エコシステムの構造のディテイルは変化するものの、「どう機能するか」という本質的变化は漸進的で予測可能である。

3)陳腐化の回避の観点からは、階層的 A-U モデルにより、階層毎にリスクの予測や技術革新への対応が可能であることから、陳腐化を回避することができるといえる。

以上の三項目により、堅牢性が保たれていることが確認できた。

6.4. ニッチの創出

第三の KPI である、「ニッチの創出」は、垣本によると、新規企業登場数による多様性の増大、製品と技術の多様性の増大とされている。EZ 水耕では、ビジネス・エコシステムに関連する多様な製品、技術、企業を受け入れ、それらとの相乗効果を発揮していくことが可能である。好例として、育苗事業者によって、KS 企業では検討が不十分な品種や技術を受け入れることによって、新規ニッチプレイヤーとしての参画が可能である。また、具体例としてドローンによる監視や作業の自動化、SS による他事業とのコラボレーションなどである。これらの実現によって、ニッチの創出の機会が増大する。

6.5. 小括

本章では、KPI すなわち、生産性、堅牢性、ニッチの創出、の三項目の観点から、EZ 水耕ビジネス・エコシステム戦略の検証を行った。その結果、生産性に関しては、本システムにおけるモジュラー型の水耕キットが、多期作、低イニシャルコスト、低ランニングコスト、低労働負荷、専門

知識不要を検証した。次に堅牢性に関しては、エコシステム構造の持続性、予測可能性、陳腐化の回避、の観点から戦略の妥当性を検証した。ニッチの創出に関しては、EZ 水耕ビジネス・エコシステムに関連する多様な製品、技術、企業を受け入れ、それらとの相乗効果を発揮していくことが可能であることが確認された。表 6-1 に、上記三項目の KPI の検討結果をまとめる。

表 6-1 五項目のフレームワークを用いて立案した EZ 水耕ビジネス・エコシステムの三項目の KPI の評価結果

KPI のエコシステム安全指数		EZ 水耕ビジネス・エコシステム戦略の有効性
生産性	イノベーション トランスファー	標準化戦略によって、「内インテグラル／外モジュラー」な EZ 水耕キットを開発した。モジュラー型の EZ 水耕キットによって、多期作、低イニシャルコスト、低ランニングコストと、低労働負荷、専門知識不要を可能にした。同時に、その EZ 水耕キット内のマニュアルが、イノベーションの技術移転を迅速かつ簡便に行うことに有効である。
堅牢性	エコシステムの 継続可能性	FW1のプロファイリングマネジメントや FW2のシステム論に基づいたビジネス階層構造分析を通して、KS 企業(EZ 水耕サプライヤー)とステークホルダー(農家、土地保有者、水利権者、分配者、一般的な消費者など)間の関係が明確になり、エコシステムが持続される。
	予測可能性	FW3、4 の通り、EZ 水耕キットは「すり合わせ」技術を封じ込めたブラックボックスである。このことにより、EZ 水耕技術の真似を防ぐとともに、エコシステムの構造ディテイルが変化しても、「どう機能するか」という本質的变化は漸進的で予測可能である。
	陳腐化の回避	FW5に階層型 A-U 型があることにより、階層ごとに EZ 水耕のリスクや技術革新への対応が可能である。また、それによりスマート農業の動きを予知することができるようになる。
ニッチの 創出	協力における 多様性の増加	FW1のプロファイリングマネジメントにより、「EZ 水耕スマート農業エコシステム」というオープンイノベーションが、ニッチプレイヤーと IoT やビッグデータ、AI、ブロックチェーン、ドローンなどといった他事業テクノロジーとのコラボレーションによって可能である。これによって、ニッチの創出の機会が増大する。

以上のとおり、第 3 章でビジネス・エコシステム戦略構築のための五項目のフレームワークを駆使して構築した EZ 水耕ビジネス・エコシステム戦略は、KS 戦略の三つの KPI を満足することから、有効であると結論付けられる。

第7章 結論

本章では、結論として本研究の成果をまとめる。7.1 では本論文の結論を述べ、7.2 では問題点と今後の課題について示す。

7.1. 本論文の結論

日本では、就農者の減少と高齢化、および荒廃農地の増加が問題視されている。これらの問題の主たる原因は、少子高齢化と、従来型農業の低生産性にあるものと推測される。その解決には、新規就農者でも容易に生産でき、且つ高生産性を実現できる新規農業方式の開発が必要である。一方、製造業においては、既にアーキテクチャの「モジュラー化とオープン化」が進展し、目覚ましい生産性の向上と低コスト化を遂げている。このアーキテクチャを農業システムに応用し、上述の問題の解決を図ることが喫緊の課題である。しかし、それだけでは、持続的イノベーション創出に困難さが予想される。そこでは持続的イノベーション創出の仕組みを採り入れたエコシステム戦略が有効であると考えられる。以上が本研究の着想に至った経緯と動機である。

そこで、本研究の目的を、「生産性が高い新規水耕栽培(EZ 水耕)ビジネスのエコシステム戦略構築」と定めた。

本研究のアプローチは、以下の通りである。まず第1ステージであるスキームモデルでは、垣本らの五項目のFWを用い、新規水耕栽培、すなわちEZ水耕ビジネスのエコシステム戦略を構想した。第2ステージであるシステムモデルでは、本戦略に基づくEZ水耕栽培システムを開発した。第3ステージであるサービスモデルでは、実証試験を兼ねたEZ水耕事業を展開した。本エコシステム戦略の妥当性は、これら三つのステージで確認するとともに、エコシステム戦略の三つのKPI、すなわち生産性、堅牢性、ニッチの創出、に基づき確認した。

前記五項目のFWに基づき、EZ水耕システムの開発スタートアップをKSとするEZ水耕ビジネスのエコシステム戦略、すなわちスキームモデルを構想した。第1のFWではP2Mの六つの統合マネジメントの下、3ステージモデルに基づくエコシステム戦略プログラムの全体像をデザインした。第2のFWではシステム論に基づき、本ビジネスの階層構造を分析した。そのうえで、KS企業を水耕資材とノウハウパッケージのプラットフォームとして位置づけた。さらに上流の材料サプライヤーや、下流の農業従事者、食品加工会社、物流・販売業者等は、ニッチプレイヤーの位置づけとした。第3のアーキテクチャ分析のFWでは、顧客である農業事業者の要求機能と、EZ水耕システム構造の対応関係を明らかにした。その結果に基づいて、種々の資材としての苗、緩効性肥料、培地、水耕パネル、水耕鉢等、とノウハウをパッケージ化したEZ水耕キットを開発し

た。本キットは KS 企業のすり合わせ技術を封じ込めたブラックボックスであると同時に、顧客にとっては簡便かつ高生産性で自社技術とも組み合わせ容易なモジュラー型のハブである。第 4 の FW では、このハブ技術を用いた標準化戦略を立案した。第 5 の FW では、階層型 Abernathy-Utterback モデルに基づき、EZ 水耕ビジネス・エコシステムの将来戦略を立案した。

次に、上記で構想したエコシステム戦略プログラムにしたがって EZ 水耕栽培システムの構成要素である基本コンセプトを定め、要素技術として緩効性肥料、水耕パネル、水耕鉢、苗などの開発を行った。その後、樋とプールを用いた栽培実証によって、EZ 水耕栽培システムの基本的な有効性を確認した。

さらに、EZ 水耕の実証試験を兼ねた事業展開、すなわちサービスモデルについて述べた。国内 9 県 10 地点にて本システムを用いた野菜生産を行い、そこで得られたデータに基づくフィードバック情報をエコシステムの改善につなげた。さらに、将来戦略の一つとして、EZ 水耕ソーラーシェアリングの実証実験を行い、その有効性が確認された。

上述した EZ 水耕ビジネス・エコシステムの有効性を、エコシステム戦略の三つの KPI により確認した。第一の「生産性」は、EZ 水耕キットによる多期作実現や作物収量増加、コスト低減、収益性向上、労働負荷低減、環境負荷低減により向上した。第二の「堅牢性」は、エコシステムの 1) 構造持続性、2) 予測可能性、3) 陳腐化回避の観点から確認された。第三の「ニッチの創出」は、ハブを中心にニッチプレイヤーが相乗効果を発揮しイノベーションの創出が続くことが示唆された。以上により本エコシステム戦略の妥当性が確認された。

以上に示した通り、本研究では、生産性が高い EZ 水耕ビジネスのエコシステム戦略を構築した。EZ 水耕は、高生産性、高収益性、低インシャルコスト、低労働負荷、低環境負荷、専門知識不要などの特徴を有する。

本研究は、工学、特にマネジメント工学と農学との学際研究である。マネジメント工学の観点からは、二項目の新規性が認められる。第一は、従来農法をモジュール分解したことにより、効率的にビジネス展開することが可能であることを示した点である。そこでは単純なモジュール化ではなく、階層型構造を持つモジュール化を実現している。さらに、それによって従来垂直統合が目指されていた農業分野において、水平分業の枠組みの基礎を構成している。第二には、従来、モジュール化されたエレクトロニクス産業等でのみ有効性が確認されていた KS 戦略構築法が、農業分野においても有効であることを初めて示した点である。他方、農学の観点からの新規性としては、養液ではなく緩効性肥料を用いることによって、水田等を利用した露地型水耕栽培を初めて実現した点にある。

以上の研究成果によれば、本研究のEZ水耕ビジネスのエコシステム戦略は、異業種や若者の参入による農業活性化の可能性も認められ、日本の農業の生産性の向上や荒廃農地増加の抑制に寄与するものと考えられ、社会的な意義は大きいものと結論づけられる。



図 7-1 本研究の各章の関係及び論文の位置づけ

7.2. 問題点及び今後の課題

本節では、本研究の遂行の仮定で露呈した問題点、および本研究に直接的に関わる今後の課題について指摘する。

7.2.1. ライフサイクル・マネジメントでの活用

本研究は、3Sモデルに従って構成されているが、実証試験での成果をフィードバックするメカニズムは不十分である。具体的には、実証試験の共同参画者のエコシステムへの取り込み、ドローンやSSなどによるニッチプレイヤーの増加に関しては検討したが、サービスモデルに基づいた、生産性と堅牢性の向上はまだ初期段階であり、不十分である。

今後の課題として、ライフサイクル・マネジメントに基づいて、エコシステムを更に発展させ、改善していくことが必要である。

7.2.2. EZ 水耕の機械化と自動化

現時点では、EZ 水耕の作業のほとんどが人手によって行われており、労働集約型産業であるともいえる。その解決のためには、IoT や AI 等の新技術活用、生産工程の機械化の確立が有効である。これによって、さらに生産者の手間や負担を減少させ、作業効率や収益性を向上させることができるものと期待される。さらに、人に依存しないことによって、人的ミスが原因となる品質低下を防ぎ、品質の向上と均一化に寄与できると考えられる。

7.2.3. 環境負荷の低減

EZ 水耕システムの資材の開発として、素材の検討やリサイクル技術の確立を進めたい。樹脂製の水耕鉢を生分解性の素材に変更することによって、収穫後に鉢と根の分別や、鉢の洗浄、殺菌を行うことなく、そのまま畑に掻き込んで処分することができるようになる。こうすることで、環境負荷をかけることなく、作業効率もさらに向上すると考えられる。

7.2.4. 生產品種の拡充

生産技術に関しては、EZ 水耕で生産できる野菜の品目を増やすとともに、耐寒性の実験や、越冬の検証なども行いたい。それによって、多期作の可能性に加え、多毛作の可能性も期待でき生産者の収益性向上に寄与できると考えられる。

また、本研究では検査しなかった、他の栄養価についても検査してみる価値があり、これらの検証結果が確認されれば、低硝酸野菜や低カリウム野菜、また機能性野菜の開発にもつながるかもしれないと期待する。

7.2.5. 機能性野菜の開発

また、本研究では検査しなかった、他の栄養価についても検査してみる価値があり、これらの検証結果が確認されれば、また機能性野菜の開発にも繋がる可能性が十分に期待できる。例えば、腎臓病患者から求められる低カリウム野菜は機能性野菜の一例である。それらの実現は、緩効性肥料による施肥方式によって、容易に実現可能であると考えられる。それらの検証は、重要な検討課題である。

7.2.6. 自然災害，獣害等のリスク対策

本研究での実証期間中では，不測の事態に見舞われることは殆どなかった。しかしながら，大自然を相手にする場合，不測の事態がいつ訪れるかは予測不可能である。日本では，その代表例として超巨大台風などを含む異常気象，従来の建屋内での水耕栽培では危険性がほとんどなかったイノシシなどによる獣害，などへの対策は未だ不十分な点が多く，今後の対策が望まれる。

7.2.7. 事業性の正確な検証

5.2 で行った運用可能性の実証での問題点として，販売先の顧客と共に実証試験を行ったため，生育に関するデータが正確に採取されていない部分があった点や，生産物の販売について把握しきれなかった点が発生した。これらの事業性の正確な検証は，今後の課題である。

また 5.4 にて，損益計算書をもとに収益性の試算を行ったが，それにとどまらず，貸借対照表，キャッシュフロー計算書による事業性の確認も重要課題である。

参考文献

[欧文文献] (アルファベット順)

[Gericke1933] Gericke, W. F.: “Fertilizing unit for growing plants in water”, U.S. Patent 1,915,884 (Jun. 1933)

[Gawer2002] Gawer, A. and Cusumano, M. A.: “Platform leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco drive industry innovation”, Harvard Business School Press, Boston (2002)

[Iansiti2004] Iansiti, M. and Levien, R.: “The keystone advantage: What the new dynamics of business ecosystems mean for strategy, innovation, and sustainability”, Harvard Business Review Press (2004)

[Kitano2008] Kitano, M., Wajima, T., Hidaka, K., Sago Y., Yasutake, D., Araki, T., Ishikawa, K., Matsuoka, T., Zushi, K. and Matsuzoe, N.: “High quality tomato production by suitable application of concentrated deep seawater”, *Acta Horticulturae* (in press) (2008)

[Kauwenbergh2010] Van Kauwenbergh, J. S.: “World Phosphate Rock Reserves and Resources”, International Fertilizer Development Center, pp.15-15 (2010)

[Kubo2012a] Kubo, H.: “Chinese manufacturing management and Japanese-Taiwanese collaborative strategies in PV module industry”, *The Strategic Alliance of Taiwanese and Japanese Businessmen* (2012)

[Kubo2012b] Kubo, H.: “International Manufacturing Management Strategy of Solar Panel Industry in China”, *The 4th Thailand-Japan Workshop on Photovoltaics* (2012)

[Kubo2012c] Kubo, H.: “A Design of PV Gigafloat Project”, *PVSEC22*, 5-O-8 (2012)

[Kubo2013] Kubo, H.: “A Proposal of International Manufacturing Management Strategy in Photovoltaic Industry in Asia”, *1st ICPM* (2013)

[Kubo2014] Kubo, H.: “A New Proposal of Sustainable PV Gigafloat System”, *Going Green CARE INNOVATION* (2014)

[Long1994] Long, S. P., Humphries, S. and Falkowski, P. G.: “Photoinhibition of photosynthesis in nature”, *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, Vol. 45, pp. 633-662 (1994)

[Moore1993] Moore, J. F.: “Predators and prey: A new ecology of competition”, *Harvard Business Review Press*, Vol. 71, No. 3, pp.75-86 (1993)

- [Moore1996] Moore, J. F.: "The Death of Competition," New York, Harper Business (1996)
- [Melis1999] Melis, A.: "Photosystem II damage and repair cycle in chloroplasts: What modulates the rate of photodamage in vivo?", Trends Plant Science, Vol. 4, pp. 130-135 (1999)
- [Parmenter2007] Parmenter, D.: "Key Performance Indicators", John Wiley & Sons, 2007
- [Simon1996] Simon, A. H.: "The Science of the Artificial, Third edition", The Massachusetts Institute of Technology Press (1996)
- [Saussure1804] Saussure, N. T.: "Recherches chimiques sur la végétation." (1804)
- [Sachs1868] Sachs, V. J.: "Lehrbuch der Botanik" (1868)
- [Schultz1993] Schultz, E. D., Tannenbaum, I. S. and Lauterborn, F. R.: "Integrated Marketing Communications: Putting It Together & Making It Work", McGraw-Hill (1993)
- [UN2015] United Nations Development Programme.: "Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development" (2015)
- [USGS2004] U. S. Geological survey.: "Mineral commodity summaries" (Jan. 2004)
- [Utterback1994] Utterback, M. J.: "Mastering the Dynamics of Innovation: How companies can Seize Opportunities in the Face of Technological Change", Boston: Harvard Business School Press (1994)
- [Utterback1975] Utterback, M. J. and Abernathy, J. W.: "A dynamic model of process and product innovation," Omega, Vol. 3, No. 6, pp.639-656 (1975)

[和文文献] (五十音順)

[秋山 2019] 秋山篤: “A-U モデルの誕生と変遷”, Vol. 11, No. 10, pp.665-680 (2012)

[アグリア 2019] 株式会社アグリア: “EZ 水耕のご紹介”, pp.1-11 (2019)

[石塚 2019] 石塚直樹: “スマート農業の目としてのリモートセンシング技術 (特集 スマート農業)”, 農研機構研究報告, No. 1, pp. 61-66 (2019-04)

[越智 2012] 越智資泰, 岡野仁, 中村幸司, 横山詔常, 橋本晃司, 阿部亨, 古川昇, 今井俊治: “ネギの湛液型水耕栽培における再利用可能な培地とその利用法の検討”, 広島県立総合技術研究所農業技術センター研究報告, Vol. 88, pp.15-20 (2012)

[小原 2001] 小原重信: “P2M 標準ガイドブック”, 上巻 PHP 研究所, pp.95-95 (2001)

[小原 2013] 小原重信: “P2M 視点による次世代ビジネスモデル: 先端的変革を促進する総合商社のクロスインテグレーション効果”, 国際 P2M 学会誌, Vol. 7, No. 2, pp.3-3 (2013)

[片倉 2007] 片倉和人: “農業経営における障害者雇用のマネジメント”, 農林業問題研究, Vol. 116, pp.78-8 (2007)

[北倉 2006] 北倉公彦: “労働力不足の北海道農業を支える『外国人研修・技能実習制度』の限界と今後の対応”, 開発論集, Vol. 77, pp.1-55 (2006)

[北野 2008] 北野雅治, 日高功太, 圖師一文, 荒木卓哉: “養液栽培における根への環境ストレスの応用による野菜の高付加価値化”, 植物環境工学学会, Vol.20, No.4, pp.210-218 (2008)

[木下 2012] 木下貴文: “防根給水ひも栽培に肥効調節型肥料を適用したトマトの省力・環境負荷低減型簡易生産システムの開発”, 岡山大学博士学位論 (2012)

[久保 2019] 久保裕史, 垣本隆司: “P2M を用いたビジネス・エコシステム戦略構築法の提案”, 国際 P2M 学会研究発表大会予稿集 2019.Spring, 一般社団法人国際 P2M 学会, pp.162-18 (2019)

[國井 2016] 國井大輔: “農業・農村の多面的機能と生態系サービスの定義と評価手法に関する整理”, 農林水産政策研究, Vol. 25, pp.35-55 (2016)

[経企庁 1956] 経済企画庁: “経済白書” (1956)

[幸田 2003] 幸田泰則, 桃木芳枝, 三宅博, 大門弘幸: “植物生理学-分子から個体へ”, 三共出版株式会社, pp.1-224 (2003)

[厚労省 Web] 厚生労働省: “障害者の就労支援対策の状況”,

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/shougaihashukushi/service/shurou.html (2020 年 1 月 11 閲覧)

- [国税庁 2019] 国税庁企画課: “平成 30 年分民間給与実態統計調査結果について”, <https://www.nta.go.jp/information/release/kokuzeicho/2019/minkan/index.htm> (2018 年 6 月 10 日閲覧)
- [古在 2012] 古在豊樹: “人工光型植物工場世界に広がる日本の農業革命”, オーム社, pp.83-83 (2012)
- [小山 2006] 小山信明: “耕作放棄地の畜産的利用”, 日本草地学会誌, Vol. 52, No. 2, pp.109-110 (2006)
- [産業機器研究 2012] 株式会社産業機器研究所: “簡易軽量型省エネ露地水耕栽培装置”, 特開 2012-249626 (2012)
- [隅田 2008] 隅田秀作: “耕作放棄地の状況”, 農業農村工学会誌, Vol. 76, No. 7, pp.652-652 (2008)
- [生物機能工学研究所 2013] 株式会社生物機能工学研究所: “露地水耕栽培装置における植物安全生長のための改良”, 特許 5335055 (2013)
- [高辻 2007] 高辻正基: “光資源を活用し, 創造する科学技術の振興—持続可能な「光の世紀」に向けて—” http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu3/toushin/attach/1333537.htm, (2018 年 9 月 24 日閲覧)
- [高辻 2010] 高辻正基: “完全制御型植物工場の現状” 植物環境工学, Vol. 22, No. 1 (2010)
- [伊達 2007] 伊達修一, 寺本豊, 村山乃里子, 寺林敏, 藤目幸擴: “アンモニア態窒素比率の低い緩効性肥料の使用による低投入・低排出型(Low Input and Low Emission; LILE)トマト水耕栽培装置の改良”, 園芸学研究別冊(園芸学会大会研究発表要旨), Vol. 6, No. 1, pp.160-160 (2007)
- [田中 2014] 田中耕太郎: “農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律について”, Journal of Japan Solar Energy Society, Vol. 40, No. 6, pp.5-9 (2014)
- [田淵 1975] 田淵俊雄: “農地排水と水質汚濁-水田肥料の流出” pp.525-529
- [田村 2018] 田村孝浩: “農作業安全と地域農業の持続性”, 農村計画学会誌, Vol. 36, No. 4, pp.516-519 (2018)
- [西川 2010] 西川潮: “河川生態系のキーストーン種～雑食性エンジニアの機能的役割を解明する”, 日本生態学会誌 60, pp.303-317 (2010)

- [日本学術会議 2011] 日本学術会議: “地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について”, <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-19-1-6.pdf> (2018年9月1日閲覧)
- [日本食品保蔵科学会 2001] 泉秀美: “カット野菜の品質特性と微生物的安全性”, 日本食品保蔵科学会誌, Vol. 27, No. 3, pp.145-156 (2001)
- [日本施設園芸協会 2012] 一般社団法人日本施設園芸協会・日本養液栽培研究会: “養液栽培のすべて”, 誠文堂新光 (2012)
- [長島 2012] 長島彬: “栽培しながら畑で発電「ソーラーシェアリング」の可能性 (農村で電気も生産する時代, 到来)”, 現代農業, Vol. 91, No. 9, pp.332-335 (2012)
- [長島 2014] 長島彬: “ソーラーシェアリングの開発経緯とその展望”, J of JSES, Vol. 40. No. 6, pp.11-15 (2014)
- [ネイルバフ 2003] B・J ネイルバフ: “ゲーム理論で勝つ経営 競争と協調のコオペティション戦略”, 日経ビジネス人文庫, pp.466-466 (2003)
- [農産林業文化協会 2008] 農山漁村文化協会: “最新農業技術 野菜 Vol. 1”, (2008)
- [農水省 Web] 農林水産省: “2 緩効性肥料の利用技術(肥効調節型肥料)”, http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/ntuti30.pdf (2018年11月21日閲覧)
- [農水省 2005] 農林水産省農林水産技術会議: “農林水産研究開発レポート”, No. 14 (2005)
- [農水省 2010] 農林水産省: “特集 野菜をめぐる新しい動き 植物工場の可能性(1)”, aff (2010)
- [農水省 2016] 農林水産省: “平成 28 年新規就農者調査,” <http://www.maff.go.jp/j/tokei/sokuhou/sinki/h28/> pp.5-5 (2018年4月18日閲覧)
- [農水省 2017] 農林水産省: “米をめぐる関係資料”, <http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokuryo/171130/attach/pdf/index-6.pdf> (2017年6月8日閲覧)
- [農水省 2019] 農林水産省: “第 2 回農業の「働き方改革」検討会概要”, https://www.maff.go.jp/j/study/work/02_summary.html (2020年1月14日閲覧)
- [野間口 2017] 野間口隆郎, 山崎晃, 林田英樹, 船島洋紀, 高橋雅和: “コンソーシアム型による実用化技術の研究開発プロジェクトに関するネットワーク分析” 年次学術大会講演要旨集, 北陸先端科学技術大学院大学, Vol. 32, pp.380-383 (2017)

- [原田 2008] 原田節雄: “世界市場を制覇する国際標準化戦略: 二十一世紀のビジネススタンダード”, 東京電機大学出版局 (2008)
- [平井 2006] 平井隆一: “日本の農業の実態とこれからの課題”, 経済政策研究, Vol. 2, pp.105-122 (2006)
- [藤原 2013] 藤原雅俊: “消耗品収益モデルの陥穽: ビジネスモデルの社会的作用に関する探索的事例研究”, 組織科学, Vol. 46, No. 4, pp.56-66 (2013)
- [藤本 2004] 藤本隆宏: “日本のもの造り哲学”, 日本経済新聞社 (2004)
- [松本 2010] 松本拓也, 伊藤博通, 白居祐希, 白石齊聖, 宇野雄一: “光質がレタス成長と野菜中硝酸イオン濃度に及ぼす影響”, 植物環境工学, Vol. 22, No. 3, pp.140-147 (2010)
- [矢野経済 2013] 矢野経済: “高機能・高付加価値型「次世代植物工場」の市場展望”, 矢野経済 (2013)
- [吉田 2014] 吉田邦夫: “実践プログラムマネジメント”, 日刊工業新聞, pp.165-165, 2014
- [Panasonic2009] Panasonic: “LED の基礎”,
<https://www2.panasonic.biz/es/lighting/plam/knowledge/pdf/0901.pdf> (2018年9月1日閲覧)
- [PM 導入開発調査委員会 2002] 財団法人エンジニアリング振興協会プロジェクトマネジメント導入開発調査委員会: “プロジェクト&プログラムマネジメント説明事例集”, 特定非営利活動法人PM 資格認定センター, pp.20-20 (2002)

付録

(1) 研究業績一覧

(2) 論文要約

- ・ 研究論文（査読有り）
- ・ 国際会議プロシーディング（査読有り）

(1) 研究業績一覧

著者, 題名, 発行掲載誌名/発表場所・巻号・頁, 発行/発表年月
[研究論文 (査読有り)]
1. 大社一樹, 久保裕史: “P2M を用いた新規露地水耕栽培ビジネス”, 一般社団法人国際 P2M 学会誌, Vol. 13, No. 2, pp.119-138 (2019)
[国際会議プロシーディングス (査読有り)]
1. Hiroshi Kubo, <u>Kazuki Okoso</u> : “Aqua Solar Sharing Ecosystem Strategy Through Program Management” Proceedings of the 13th International Conference on Project Management (ProMAC2019), pp.174-188 (2019)
2. Hiroshi Kubo, <u>Kazuki Okoso</u> : “Business Ecosystem Strategy Using New Hydroponic Culture Method”, PICMET’19 (Portland International Center for Management of Engineering and Technology), pp.1-12 (2019)
3. <u>Kazuki Okoso</u> , Fumihiko Okiura, Takashi Kakimoto, Hiroshi Kubo: “A Study of “Open-Field Hydroponics by using paddy field”, International Conference on Engineering and Natural Science - Summer (ICENS-Summer 2018), pp.7-15 (2018)
4. Fumihiko Okiura, <u>Kazuki Okoso</u> , Takashi Kakimoto, Hiroshi Kubo: “The Study on Critical Points for Social Public Value Creation from Project and Program Management Point of View” International Symposium on Economics and Social Science-Summer (ISESS-Summer 2018), pp.241-264 (2018)
5. <u>Kazuki Okoso</u> , Hiroshi Kubo, Masaki Tanimoto, Shizuo Maeno: “Feasibility of Low-Cost and High-Performance Hydroponic Solar Sharing System”, International Conference on Engineering and Natural Science - Summer (ICENS-Summer 2017), pp.416-422 (2019)
6. Hiroshi Kubo, Shun Murayama, Masaki Tanimoto, <u>Kazuki Okoso</u> , Shizuo Maeno: “A Possibility of Open Zero Energy Plant Factory” Electronics Goes Green 2016+, pp.1-8 (2016)
[国際会議]
1. Hiroshi Kubo, <u>Kazuki Okoso</u> , “Feasibility of hydroponics solar sharing system without liquid fertilizer”, EU PVSEC 2019, Marseille, France (Sep. 2019)
2. <u>Kazuki Okoso</u> , Fumihiko Okiura, Takashi Kakimoto, Hiroshi Kubo, “A Study of “Open-Field Hydroponics by using paddy field”, ICENS-Summer 2018, Tokyo, Japan (Aug. 2018)

3. Fumihiko Okiura, Kazuki Okoso, Takashi Kakimoto, Hiroshi Kubo, “The Study on Critical Points for Social Public Value Creation from Project and Program Management Point of View”, ISESS-Summer 2018, Tokyo, Japan (Aug. 2018)
4. Kazuki Okoso, Hiroshi Kubo, Masaki Tanimoto, Shizuo Maeno, “Feasibility of Low-Cost and High-Performance Hydroponic Solar Sharing System”, ICENS-Summer 2017, Sapporo, Japan (Aug. 2017)
5. Hiroshi Kubo, Shun Murayama, Masaki Tanimoto, Kazuki Okoso, Shizuo Maeno, “A Possibility of Open Zero Energy Plant Factory”, Electronics Goes Green 2016+, Berlin, Germany (Sep. 2016)

[学会発表]

1. 久保裕史, 大社一樹: “P2M を用いた新規露地水耕栽培ビジネス”, 国際 P2M 学会, 東京 (2019 年 10 月)
2. 大社一樹, 久保裕史: “新規露地水耕栽培システムの開発”, 日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会, 島根 (2018 年 11 月)
3. 大社一樹, 久保裕史: “P2M を用いた新規露地水耕栽培ビジネス”, 国際 P2M 学会, 名古屋 (2018 年 11 月)

(2) 論文要約

P2M を用いた新規露地水耕栽培ビジネス

大社一樹, 久保裕史

一般社団法人国際 P2M 学会誌, Vol. 13, No. 2, pp.119-138 (2019)

要旨

日本の農業は、農業就労者の高齢化と減少や、耕作放棄地の増加という大きな問題を抱えており、それに伴う食料自給率の低下や農村の持続性確保も懸念されている。これらの最も大きな要因は農業所得の低下である。問題の根本的解決には農業所得の向上が不可欠であり、本稿ではその方法の一つとして新規露地水耕栽培による農業生産を提案し、その妥当性の検証を行った。また新規露地水耕栽培ビジネス推進のためのプログラム戦略の策定とプラットフォームを設定し、P2M の考え方に沿ってプログラムを組むことで新規露地水耕栽培ビジネスのプログラム提案し、それが有効であることを示した。

Aqua Solar Sharing Ecosystem Strategy Through Program Management

Hiroshi Kubo, Kazuki Okoso

Proceedings of the 13th International Conference on Project Management (ProMAC2019), pp.174-188 (2019)

Abstract

Japan's labor shortage, alongside an aging population, has hit agriculture and fish farming, two sectors that already suffer from low profits, particularly hard. In the renewable energy field, the number of places suitable for solar power generation has declined. To help solve these problems, the authors developed an aqua solar sharing system and confirmed its feasibility. However, this system is complex and involves many related stakeholders. Therefore, it is necessary to build a business ecosystem strategy that actively incorporates open innovation. The authors previously proposed five frameworks for building a business ecosystem strategy through program management, which were applied to the aqua solar sharing system. The resulting business ecosystem strategy's validity was confirmed through three KPIs: productivity, robustness, and the creation of a niche.

Business Ecosystem Strategy Using New Hydroponic Culture Method

Hiroshi Kubo, Kazuki Okoso

PICMET'19 (Portland International Center for Management of Engineering and Technology), pp.1-12 (2019)

Abstract

The current, important global issues include “global warming, ” “population increase, ” and “food shortage.” Japan, however, experiences problems such as “declining birthrate and aging, ” “declining agricultural workers, ” and “increasing abandoned cultivation land.” In this study, we developed a new “EZ hydroponic culture method” to solve these problems. In this unique flooded agriculture system, many permeable pots with one seedling, together with fertilizer and culture medium, are mounted on a foamed polystyrene plate and floated on the surface of the water. Its characteristics are high profitability, low initial investment amount, low labor load, and low environmental load. However, this new hydroponic cultivation method differs considerably from traditional agricultural systems in terms of not only technical aspects but also management. It becomes even more prominent by collecting big data using internet of things (IoT) technology and drones as well as artificial intelligence (AI). Therefore, the construction of a new business ecosystem strategy becomes increasingly important. In this research, we proposed the “EZ hydroponic cultivation business ecosystem strategy” using the “Five Frameworks for Constructing Keystone Strategy” proposed by PICMET 2018. Furthermore, its effectiveness was confirmed based on three key performance indicators (productivity, robustness, and niche creation).

A Study of “Open-Field Hydroponics by using paddy field

Kazuki Okoso, Fumihiko Okiura, Takashi Kakimoto, Hiroshi Kubo

International Conference on Engineering and Natural Science - Summer (ICENS-Summer 2018), pp.7-15 (2018)

Abstract

The Japanese agricultural industry is suffering severe problems as a result of the aging society and a decreasing number of workers, which is connected to an increase in abandoned farmland. This may lead to a decrease in the rate of food self-sufficiency, or a reduced ability to develop small farmland. Recently, the quantity of uncultivated land has been rising, due to a change in consumer demands and a decrease in the price of rice. Since it is very difficult to make a profit, there are few new workers coming into the business. In this paper, we will discuss open-field hydroponics in paddy fields, which will be a major contributor to solving this problem. When producing rice in a 1000 m² field, yearly income is only about \$1,000, but by produce green vegetables instead, yearly income will increase to about \$60,000.

The Study on Critical Points for Social Public Value Creation from Project and Program Management Point of View

Fumihiko Okiura, Kazuki Okoso, Takashi Kakimoto, Hiroshi Kubo

International Symposium on Economics and Social Science-Summer (ISESS-Summer 2018), pp.241-264 (2018)

Abstract

The social and public values, such as poverty alleviation and environmental conservation, are realized within and outside specific regions through the activities by various entities such as private enterprises, governmental bodies and their affiliates, and non-governmental organizations. These values are created through the “collective impact” of several operations and projects. It is essential to interlink such activities by various entities and formulate a kind of “system” or “system of systems” with a hierarchy to create synergistic and sustainable value in society. It means that each element of the “system” would result from the operations and/or projects by private enterprises and governmental organizations and so on. Under the premise that the basic nature and principle of decision-making are different in private and public organizations, including the government, the contents of operations and projects that formulate a “system” should be well coordinated to get an impact that is positive, effective, and sustainable. However, when a government body intends to identify and solve social problems by creating value through the “collective impact,” it is not clear that what are the critical points of consideration to realize the value under such conditions. This study aims to identify these critical points by adapting the project and program management theory framework and comparative study of cases of the Official Development Assistance by Japan International Cooperation Agency in Socialist Republic of Vietnam. It becomes clear that among the elements such as situation of the target that values are created, technical and social aspect of the system, the last element especially the role and virtual authority of the government entity as program owner and manager is critical. And this study shows that this point can be strengthened to certain contents by careful preparation.

Feasibility of Low-Cost and High-Performance Hydroponic Solar Sharing System

Kazuki Okoso, Hiroshi Kubo, Masaki Tanimoto, Shizuo Maeno

International Conference on Engineering and Natural Science - Summer (ICENS-Summer 2017), pp.416-422 (2019)

Abstract

The Japanese agriculture is facing huge problems, such as uncertainty of cultivation, aging society and decrease in the number of farmers, increase in the number of fallow fields, and decrease in food sufficiency. Furthermore, it is difficult to work with farming machines. In addition, solar power energy is being considered as an emerging technology. Since 2014, the Japanese farmers have started to conduct solar sharing alongside farming. In this manuscript, we have first presented the hydroponic solar sharing system without the use of agricultural machines, followed by the hydroponic field cultivating system utilizing low-cost pools that use plastic sheets.

A Possibility of Open Zero Energy Plant Factory

Hiroshi Kubo, Shun Murayama, Masaki Tanimoto, Kazuki Okoso, Shizuo Maeno

Electronics Goes Green 2016+, pp.1-8 (2016)

Abstract

The serious subject of agriculture of Japan is reduction and aging of farmer population. Moreover, the increase in an abandoned cultivated land and decline in a food self-sufficiency ratio are also problems. A plant factory may lead to these problems solving. However, the profitability is not securable in many plant factories. The cause is mainly in a large amount of initial investment and a lot of energy consumed. Then, "Open Zero Energy Plant Factory (OZEPf) system" which combined a photovoltaics panel with a low-cost tracking mechanism and advanced hydroponics equipment is proposed. In this report, the basic composition of an experimental system is shown first. Next, the measurement results of photovoltaics and hydroponics data collected by the small sensors are shown. Based on these results, the optimum allocation of photovoltaics and agriculture are shown and the possibility of OZEPf is suggested.

謝辞

本論文は、筆者が千葉工業大学大学院社会システム科学研究科マネジメント工学専攻博士後期課程での在学中に実施した研究の成果をまとめたものである。

千葉工業大学大学院社会システム科学研究科マネジメント工学専攻教授・久保裕史先生には、筆者の直接の指導教授として三年間、本研究の主題であるビジネス・エコシステムに関する研究指導を頂くとともに、ときには叱咤激励、ときには懇切丁寧に学術研究の進め方のご指導とご助言を賜った。さらにはご多忙中にも関わらず、本学位論文の主査としてご指導・ご助言を賜った。ここに同先生には深淵なる謝意を表す。

同大学院研究科マネジメント工学専攻専攻長教授・下田篤先生、同大学院研究科同専攻教授・遠山正朗先生、同大学院研究科同専攻教授・山崎晃先生、並びに同大学院研究科同専攻教授・鴻巣努先生には、ご多用中にも関わらず、本学位論文の副査として有益なるご指導とご助言を賜った。ここに先生方に深謝する。

同大学院研究科の先生方には、種々の機会においてご指導およびご助言を賜った。ここに深謝する。

東京都市大学都市生活学部教授・沖浦文彦先生、並びに、AnT Labs 代表・垣本隆司博士には、久保研究室での先輩として研究生活を共に送るとともに、本学位論文の一部では共同研究者として綿密なディスカッション、ご助言を頂いた。ここに両先輩に謝意を表す。

久保研究室における博士後期課程の同期生・田中裕子氏には研究生活における苦楽を共にし、同じ悩みを共有したことは筆者の支えとなった。ここに同氏に感謝する。

本研究の実施では、筆者が主宰する株式会社アグリアの取締役・谷本征樹氏、COO・菊池大氏、有限会社エムエスイーの代表取締役・前野静夫氏、の理解と協力なしには成し遂げられなかった。ここに各氏に感謝する。

さらには、個別に氏名等の列挙はしないが、本研究テーマに関連してご助言、資料・データの提供、相談などを頂いた農業従事者の方々、取引会社の方々に感謝する。同様に、千葉工業大学の事務員の方々、久保研究室所属の学生各位、筆者が主宰する会社の関係者の方々によるご理解なしには本研究を遂行することはできなかった。ここに全ての関係者各位に感謝する。

なお、同一項目の列挙については順不同である。