

【産業競争力懇談会 2015年度 プロジェクト 最終報告】

【アグリ・イノベーション・コンプレックスの構築】

2016年3月3日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ】

1. 本プロジェクトの基本的な考え方

平成 25 年度 食料・農業・農村白書によると、世界の人口増加や経済発展に伴った富裕層の大幅な増加によって、世界の食市場は、2009 年の 340 兆円から 2020 年に 680 兆円まで倍増すると推計されている。特にアジアの食市場は、82 兆円から 229 兆円へ 3 倍の市場の拡大が見込まれている。アジア地域では富裕層の増加に伴って、人々の食の関心は量的なものから、美味しさや、健康、安全・安心へと移っており、食文化の大きな変革が始まることが期待される。このような変化の中、我が国は 2020 年の農林水産物の輸出額として 1 兆円、食関連産業（食品製造業・飲食サービス業）の海外売上高として 5 兆円を目標に設定した。

本プロジェクトでは、アジアを中心に海外の有力企業に植物工場及び関連インフラを輸出し日本からサービスを提供するビジネス（以下、海外植物工場ビジネス）を目指す。輸出した植物工場では日持ちや輸送コストの点で日本からの輸出が難しい野菜を、現地の高温多湿環境下において日本と同等品質で栽培できるようにする。我々は 2025 年におけるアジアの植物工場生産品の市場を最大 2 兆円規模、植物工場インフラ市場を 5,000 億円規模、さらに関連食品産業の市場を 18 兆円規模になるものと推定した。

これまでアジアの発展途上地域では農薬の多量使用や、コールドチェーンの未整備などの点から、生鮮野菜の市場は限定されてきた。植物工場の輸出により現地のバリューチェーンの拡大を加速することが可能となる。さらに、政府が決定したインフラシステム輸出戦略の 2020 年における受注額目標 30 兆円の達成を加速する事も可能となる。

2. 検討の視点と範囲

海外に向けた日本の植物工場ビジネスの展開は、オランダやイスラエル等に比べて大きく遅れている。そこで、本プロジェクトでは海外植物工場ビジネスの確立を推進する機関の必要性を検討した。また、美味しさや、健康、安全・安心のブランド化による付加価値の獲得をおこなう仕組みを検討した。

さらに、日本が強みとする要素技術を統合し、システムとしてデザインする力をさらに強化するために、産学官が一体となり、異業種の技術を融合した研究活動を推進し、世界に向けた植物工場のイノベーションを創出する仕組みに付いて詳細な検討をおこなった。

革新的な植物工場システムの社会実装は世界の直面する諸課題の解決、すなわち、①健康の増進、②エネルギー・水資源の効率的活用と環境の保全、③途上国地域の持続的発展、④高効率化、省力化による農業生産性の向上に繋がる。さらに日本が将来直面するであろう農業従事者の大幅不足問題に対しては、海外植物工場ビジネスに向けて構築される高効率化、省力化の技術が有効な解決策に繋がると期待される。

3. 産業競争力強化のための提言及び施策

海外植物工場ビジネスを確立するためには、ビジネス推進機関、付加価値の源泉となるブランド、それらを支える基盤技術、具体的なプロジェクトの形成等が必要である。

海外植物工場ビジネスの確立のための提言と施策を以下に記す。

【提言 1】 海外の植物工場ビジネス推進体制の確立

「アグリ・イノベーション・コンプレックス」（仮称）をビジネスの推進、ブランドの構築、技術開発の推進母体として設置する（図 1）。

(1) 海外における事業展開の基盤確立と事業推進を目的とした協議会（仮称：海外植物工場ビジネス協議会）の創設。協議会の機能を以下に示す。

- ① 情報収集、政策提言、プロジェクトの形成と案件の創出、及び推進
- ② 日本の食文化を広めブランド化を行うため、植物工場の仕様、品質管理技術、生産品の品質に関する認証部門の設置
- ③ 植物工場技術・ビジネス推進人材育成のための組織提案と設立

(2) 国家戦略への植物工場、関連インフラ輸出戦略の組み入れ。

- ① インフラシステム輸出戦略への海外植物工場ビジネスの組み入れ（内閣官房）
- ② 科学技術イノベーション総合戦略への植物工場、関連インフラ技術開発の組み入れ（内閣府）

(3) 協議会の創設と活動に対する政府の支援。

- ① 協議会設立、運営の支援、助成（農林水産省、経済産業省）
- ② ブランド認証部門設立と運営の支援、助成（農林水産省）
- ③ 植物工場技術人材・ビジネス推進人材の育成支援、助成（文部科学省、農林水産省、経済産業省）

【提言 2】 高温多湿地域向け植物工場の研究開発推進

オールジャパンの知を結集し、植物工場に異業種の技術を融合、強化することにより、革新的な植物工場の基盤技術を確立する必要がある。

(1) 産学官連携、農工連携の技術研究組合等による、アジアをターゲットとした高温多湿地域向け植物工場の基盤技術確立と実証設備の検証。

- ① 植物工場基盤技術（ICT 技術を組み合わせた管理システム等）の確立
 - i. 低コスト室温制御技術（省エネルギー冷却、未利用冷熱源活用等）
 - ii. 大規模植物工場管理技術（統合環境制御システム、IoT、ビッグデータ、AI、自動化、ロボット化、センシング等）
 - iii. 耐久性資材（台風対策、錆対策、病虫害対策の気密化等）
 - iv. 高温多湿地域に適した栽培装置（栽培環境を考慮した装置開発、栽培条件最適化等）
 - v. 高温多湿地域に適した栽培方法（栽培レシピ、病虫害リスクの低減等）
 - vi. 現地に最適な品種選定（機能的、安心・安全、味が良い、高度耐病性等）

② 植物工場実証設備の検証

- ・ 亜熱帯地域（たとえば沖縄地区）における、植物工場の実証設備建設と栽培技術の検証
- (2) SIP 次世代農林水産業創造技術テーマとの連携による高品質・多収な栽培技術確立。
- (3) スムーズなグローバル化のための国際標準化（植物工場構成部材、設備、通信規格、ビッグデータ等）。
- (4) 高温多湿地域向け植物工場の基盤技術の確立と実証設備の検証における政府や地方自治体の支援。
 - ①植物工場基盤技術を支える基礎研究における助成（文部科学省、厚生労働省）
 - ②植物工場基盤技術開発における助成（農林水産省、経済産業省）
 - ③植物工場実証設備の検証における助成（農林水産省、経済産業省）
 - ④国際標準化の支援（経済産業省、総務省）
 - ⑤府省連携の推進支援（内閣府）
- (5) 海外向け植物工場の研究開発を加速するための国内法整備と規制緩和。（農地法、建築基準法、工場法、消防法等）。

【提言 3】 海外植物工場ビジネス創出のプロジェクト形成と推進

- (1) 協議会による市場調査から植物工場と関連インフラ輸出の具体的なスキーム形成、植物工場に付随する事業の構築。
- (2) プロジェクト推進における政府の支援。
 - ①関連諸国の情報収集支援と海外事業展開の支援（外務省、農林水産省、経済産業省）

4. 今後の課題と展開

2016年度は本年度の提言を具体化する検討をおこなう。具体的には海外植物工場ビジネス協議会の創設とブランドの認証制度構築に向けた検討の深化、アジア諸国を中心とした有力企業と連携をおこなう具体的なビジネスモデルの深堀、2017年度にプロジェクトを開始するためのビジネススキームの作成などをおこなう（図2）。また、必要に応じて国内の新たな関連企業と連携を深め、ビジネスモデルの拡充をおこなう。

図1 「アグリ・イノベーション・コンプレックス」の全体像

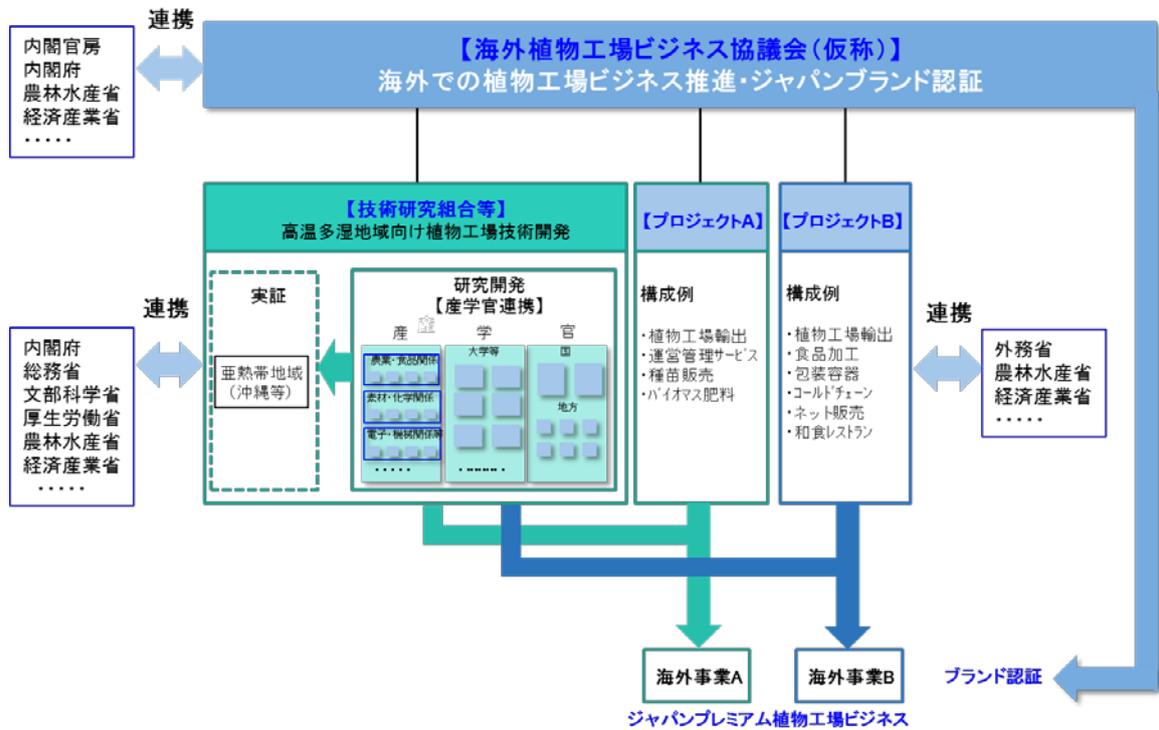


図2 「アグリ・イノベーション・コンプレックス」のスケジュール

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
協議会 海外での植物工場ビジネス推進 ジャパンブランド認証	準備		協議会創設		情報収集、政府提言			
					プロジェクト形成・推進			
技術研究組合等 高温多湿向け植物工場の基盤技術開発 実証設備の検証	準備	技術発足	基盤技術開発					
				実証設備の検証		実証設備の深化、人材育成		
プロジェクト 海外での植物工場ビジネス展開			準備	アジアでのビジネス展開		アジアから世界への拡大		

【目次】

【はじめに】	1
【プロジェクトのメンバー】	2
【本文】	
1. 「アグリ・イノベーション・コンプレックス」の必要性	5
2. 植物工場及び周辺ビジネスの現状	7
2-1. 植物工場の定義	7
2-2. 世界における植物工場の現状	8
2-3. オランダの植物工場の現状	8
2-4. 日本の植物工場の現状	8
2-5. 海外における食のニーズと市場性	9
2-6. バリューチェーン	11
2-7. インフラ輸出の課題	11
2-8. 各国の法規制	14
3. 海外植物工場ビジネスのあるべき姿と課題	15
3-1. 海外植物工場ビジネスのあるべき姿	15
3-2. 植物工場の現状とあるべき姿	16
3-3. ジャパンブランドの認証	18
3-4. 海外での新ビジネス創出	19
3-5. 人材育成	21
4. 高温多湿地域向け植物工場のあるべき姿と課題	22
4-1. 高温多湿地域での植物工場技術課題	22
4-2. 植物工場製品の機能性評価と機能コントロール技術	36
5. 「アグリ・イノベーション・コンプレックス」の構築に向けて	38
5-1. 協議会の創設	38
5-2. 技術研究組合の設立	39
5-3. プロジェクトの推進	39
6. 提言のまとめ	40
6-1. 提言内容	40
6-2. 産官の役割分担	42
【おわりに】	43

【はじめに】

本報告書は、2015年度に活動した「アグリ・イノベーション・コンプレックスの構築」プロジェクトの最終報告書である。

世界人口の増加による需要の増大や、新興国の所得増加などに伴い、世界の食料生産と消費の動態は大きく変化することが予想されている。同時に、地球温暖化による気候変動など、自然環境の悪化に起因する様々なリスクが顕在化し、世界の食料生産のサステナビリティに深刻な危機が及んでいる。このような状況下、環境変化の影響を受けず安定的に食料生産ができる植物工場は、今後ますますその重要性を増していくものと思われる。さらには、日本発の植物工場を起点とした、安全・安心でおいしい農作物の海外バリューチェーンを構築することにより、ユネスコ無形文化遺産にも登録された和食文化の拡大が期待できる。世界的に加速する高齢化の中で、健康的な和食文化の広まりは、健康長寿社会の構築にも貢献し得よう。

本プロジェクトは、食市場の拡大が期待されるアジア地域への進出を狙った植物工場の基盤技術の構築と、海外ビジネス立ち上げの方策を提言するものである。高温多湿のアジア地域に適した低コストの温度・湿度制御手段の開発に加え、光合成等の植物反応も含めて植物工場内の環境を統合制御するため、最新のIoT技術や人工知能の活用を図る。また、ジャパンプランドの魅力が武器として、植物工場を起点とした海外バリューチェーンを構築する方策を提言する。

安倍内閣は「日本再興戦略改訂2015」において「未来投資による生産性革命」を掲げ、「第4次産業革命」とも呼ぶべき「IoT、ビッグデータ、人工知能時代の到来」への挑戦を加速している。農林水産業は「攻めの経営」、「更なる輸出促進」を狙うとともに、今般設置されたTPP（環太平洋パートナーシップ）総合対策本部において、「守る農業から攻めの農業への転換」の政策方針を打ち出した。

日本ならではの高度なものづくり技術をベースとした植物工場に、最新の情報通信技術（ICT）をハイブリッド化し、積極的な海外ビジネス展開を目指す「アグリ・イノベーション・コンプレックス」は、食の現場における革新的なソリューションとして、日本農業の競争力強化に大いに貢献しよう。さらには、本プロジェクトを業態の枠を超えた企業、政府、アカデミアが連携し、オールジャパンの力を結集して推進していくことにより、広範な産業競争力の強化に繋げたい。関係各位の絶大なご支援をお願い申し上げます。

産業競争力懇談会
理事長

小林 喜光

【プロジェクトメンバー】

- リーダー 古在 豊樹 植物工場研究会 (NPO)
- サブリーダー 浦田 尚男 三菱ケミカルホールディングスグループ
- WG 主査・副査
- 植物工場 WG 主査 宮内 俊輔 シャープ株式会社
- バリューチェーンWG主査 野本 良平 CSN 地方創生ネットワーク株式会社
- バリューチェーン WG 副査 砺波 恒介 三菱ケミカルホールディングスグループ
- インフラ輸出 WG 主査 近藤 豊光 三菱ケミカルホールディングスグループ
- メンバー（所属機関名あいうえお順）
- 寺山 勲 井関農機株式会社
- 岡田 英博 井関農機株式会社
- 仁科 弘重 国立大学法人愛媛大学
- 福井 正 鹿島建設株式会社
- 小林 浩志 キューピー株式会社
- 藤代 芳伸 国立研究開発法人産業技術総合研究所
- 堀内 恵 シチズン電子株式会社
- 田島 栄市 シチズン電子株式会社
- 深澤 孝一 シチズン電子株式会社
- 吉田 武史 シチズン電子株式会社
- 渡辺 ゆか シチズン電子株式会社
- 谷川 和行 シャープ株式会社
- 武田 真明 シャープ株式会社
- 瀬川 慎介 シャープ株式会社
- 鈴木 海彦 シャープ株式会社
- 中井 龍資 住友電気工業株式会社
- 高階 誠 住友電気工業株式会社
- 八塩 彰 清水建設株式会社
- 神成 篤司 清水建設株式会社
- 間 冬子 清水建設株式会社
- 入江 清隆 大日本印刷株式会社
- 四十宮 隆俊 大日本印刷株式会社
- 坂元 寿 大日本印刷株式会社

加屋 隆士	タキイ種苗株式会社
畠中 誠	タキイ種苗株式会社
柿坪 俊彦	タキイ種苗株式会社
川島 哲文	株式会社竹中工務店
水谷 敦司	株式会社竹中工務店
丸尾 達	国立大学法人千葉大学
大竹 達也	CSN 地方創生ネットワーク株式会社
重森 亮	CSN 地方創生ネットワーク株式会社
瀧本 久美	CSN 地方創生ネットワーク株式会社
富山 佳昭	東京ガスケミカル株式会社
松尾 誠治	国立大学法人東京大学
吉富 崇	株式会社東芝
野間 毅	株式会社東芝
池田 裕一郎	株式会社東芝
野本 勇太	株式会社東芝
渡邊 勉	合同会社 TFMHY(ティフミィ)研究所
三輪 泰史	株式会社日本総合研究所
坂上 秀和	日本電気株式会社
高津戸 史朗	日本電気株式会社
村川 弘美	日本電気株式会社
関 和彦	日本電気株式会社
服部 美里	日本電気株式会社
加藤 竹彦	日本電気株式会社 (国際社会経済研究所)
中野 明正	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
岩崎 泰永	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
松本 幸則	パナソニック株式会社
山本 義之	パナソニック株式会社
升山 義弘	株式会社日立物流
小平 正芳	株式会社日立物流
若林 毅	富士通株式会社
長瀬 一也	富士電機株式会社
小倉 英之	富士電機株式会社
池田 憲亮	富士フイルム株式会社

鷺谷 公人	富士フイルム株式会社
山川 一義	富士フイルム株式会社
佐野 省吾	富士フイルム株式会社
葛 隆生	国立大学法人北海道大学
三添 英朗	株式会社堀場製作所
浅川 洋平	株式会社堀場製作所
滝口 寿人	株式会社堀場製作所（堀場アドバンスドテクノ）
渡辺 有祐	渡辺パイプ株式会社
西尾 誠哉	渡辺パイプ株式会社
飯泉 康弘	三菱ケミカルホールディングスグループ
江崎 聡	三菱ケミカルホールディングスグループ
折戸 文夫	三菱ケミカルホールディングスグループ
荒井 伸二	三菱ケミカルホールディングスグループ
田代 健	三菱ケミカルホールディングスグループ
飯野 公夫	三菱ケミカルホールディングスグループ
浅井 潤一郎	三菱ケミカルホールディングスグループ
山岸 兼治	三菱ケミカルホールディングスグループ
水戸 和行	三菱ケミカルホールディングスグループ
手島 隆	三菱ケミカルホールディングスグループ

○アドバイザー（所属機関名あいうえお順）

高倉 直	沖縄県農業研究センター
玉城 磨	沖縄県農業研究センター
佐野 泰三	カゴメ株式会社
福井 貞志	TATEYAMA AUTO MACHINE CO.
西尾 健	内閣府 SIP プログラムディレクター
濱川 均	内閣府沖縄総合事務局

○事務局

吉田 重信	三菱ケミカルホールディングスグループ
近藤 豊光	三菱ケミカルホールディングスグループ
熊谷 クミコ	三菱ケミカルホールディングスグループ

○COCN実行委員

田中 栄司	株式会社三菱ケミカルホールディングス
-------	--------------------

○COCN企画小委員

田中 克二	株式会社三菱ケミカルホールディングス
-------	--------------------

五日市 敦	株式会社東芝
-------	--------

○COCN事務局長

中塚 隆雄	一般社団法人産業競争力懇談会
-------	----------------

【本 文】

1. 「アグリ・イノベーション・コンプレックス」の必要性

世界の食市場は、平成 21（2009）年の 340 兆円から平成 32（2020）年には 680 兆円まで倍増すると推計されている。特に中国・インドを含むアジア全体では、富裕層の増加や人口増加等に伴い、82 兆円から 229 兆円まで 3 倍に増加すると推計され、非常に大きな食市場が広がっている。

一方、世界的には減農薬野菜の栽培技術や、コールドチェーンのインフラが整備されている地域は限られており、日本の食文化の一つである新鮮な野菜の市場は限定されている。世界の市場に向けたジャパン品質の野菜供給手段として植物工場がこれらの問題の解決に繋がる。本プロジェクトでは 2025 年のアジア地区における富裕層 4 億人が（図 3）、日本と同等量の生野菜やサラダを食べると想定し、植物工場生産品の市場を最大 2 兆円規模、植物工場の市場を 5000 億円規模、関連食品産業の市場を 18 兆円規模になるものと推定した。

日本の農業を成長産業にするためには、この世界の食市場の成長を取り込むことが不可欠である。ユネスコ無形文化遺産に登録された和食を始め、美味しく、健康で安全・安心な食材の海外展開を加速することがその鍵となる。日本からの輸出が可能な食材は輸出し、日本からの輸送では日持ちしない農産物は、植物工場のインフラを輸出し現地で日本の基準で生産することにより、美味しさ、機能性や安全・安心を担保し、日本から輸出する食材と組み合わせたフードバリューチェーンの構築が可能となる。

美味しく、安全・安心で新鮮な野菜は日本の食文化の一つである。一方、海外では農薬が多量に使用される場合や、コールドチェーンのインフラが整備されていない地域も多く、生食野菜の市場は限定されている。世界の食市場に向けたジャパン品質の野菜供給手段として、植物工場を海外に展開することにより、これらの問題の解決に繋がる。

国内において植物工場の社会実装は進んできたが、海外に向けての事業展開はオランダ等に比べて大きく遅れている。また、日本が開発した植物工場の要素技術は強みを持つものの、統合したシステムとしてデザインする力は十分、強みを活かしきれていない状況である。産学官の研究開発は必ずしも一体感を持っていないため、海外の研究開発体制とは大きな隔りがある。

日本ならではの高度なものづくり技術をベースとした植物工場に、最新の情報通信技術（ICT）をハイブリッド化し、積極的な海外ビジネス展開を目指す必要がある。また、植物工場を中心としたインフラ輸出により、関連食品事業をパッケージ化した植物工場の新ビジネスを創出し、食の現場における革新的なソリューションとして、日本農業の競争力強化に貢献することが必要である。

本プロジェクトでは、日本発の植物工場ビジネスを海外に展開するための技術面、及びビジネス面での実現方策について提言を行う。植物工場ビジネス推進のため産学官連携、産産連携のオープンイノベーションを行う共同体として「アグリ・イノベーション・コンプレックス」（図 1）の構築を行う。オールジャパンの知を結集し、植物工場に異業種の技術を強化、融合することにより新たな植物工場の基盤技術を確立することが可能となる。優れた日本の食文化（ジャパンプラ

ンド)の魅力をも武器として用い、植物工場を中心としたインフラ輸出により、海外における植物工場の新ビジネスを創生、推進するための方策について提言を行う。

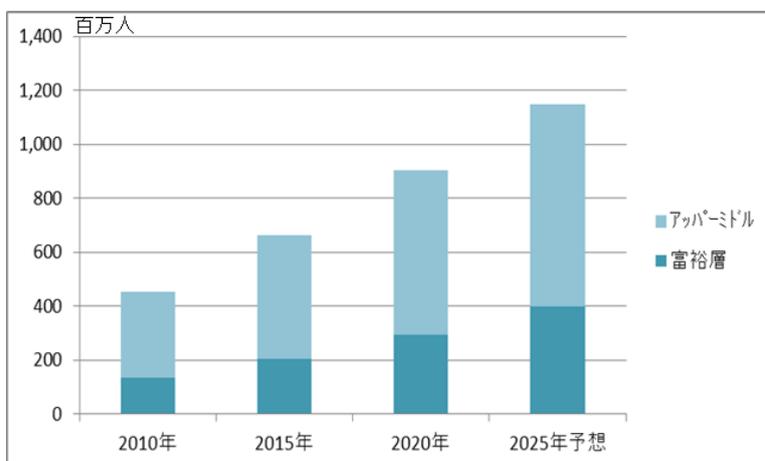
具体的には、海外における植物工場ビジネスの基盤確立を行う推進機関(仮称:海外植物工場ビジネス協議会)の設置を検討する。推進機関では、ジャパブランド(農産物及び要素技術)を保証する仕組みを明確化しブランド認証を行うとともに、植物工場ビジネス拡大のためプロジェクトの取り組みを推進する。また、オールジャパンによる革新的な植物工場基盤技術創出のため、産学官連携、農工連携による技術研究組合等により、高温多湿地域をターゲットとした植物工場の基盤技術確立と、亜熱帯地域での実証検証を推進する。世界の最先端を行く植物工場をコア技術とし、日本の強みとする素材、省エネルギー技術と共に、ロボット、IoTや人工知能(AI)、オミクス解析技術、新育種技術等の次世代技術を融合することにより、世界最高水準の低コストと高付加価値化が可能となるジャパブランドプレミアム植物工場を開発する。さらに、産産連携のプロジェクトにより、植物工場を中心とした関連事業のインフラ輸出により6次産業化を推進し、日本が最先端を行く機能性農産物や食品を、食文化とともに世界へ発信し、ジャパブランドプレミアム植物工場のビジネスを「モジュール化」した新ビジネスを創生することが可能である(図4)。

植物工場の革新的イノベーションは、亜熱帯、熱帯地域においても従来、エネルギー消費面で太陽光型植物工場栽培が不可能であった野菜や果実の栽培が可能になる。また、日本の栽培技術を伝承することにより、無農薬、減農薬による安全、安心な農産物の生産が可能となる。日本のシステムと管理技術を担保することにより「ジャパブランド」として認証し「ジャパブランドプレミアム」を植物工場製品に付与することにより顧客価値の向上が可能である。また、日本の食文化や医食同源の思想を広めることで、高リコピントマトや低カリウムレタス等の機能野菜の市場形成が期待できる。

海外における植物工場の建設は、雇用の促進や人口が増加する途上国の地域農業安定化に寄与するとともに、野菜の積極的な導入は栄養改善にも寄与し地域の振興に大きな効果を期待できる。植物工場は良質の苗供給が可能となり、露地栽培の生産性向上を通して地域農業の活性化に繋がる。植物工場は露地農業等に比べ水消費量、窒素やリン排出の大幅な削減に貢献出来る。さらに、国内に対しては日本の直面する、高齢化にともなう農業生産性の低下、農業のエネルギー依存や地域活性化の低下を改善することが可能となる。

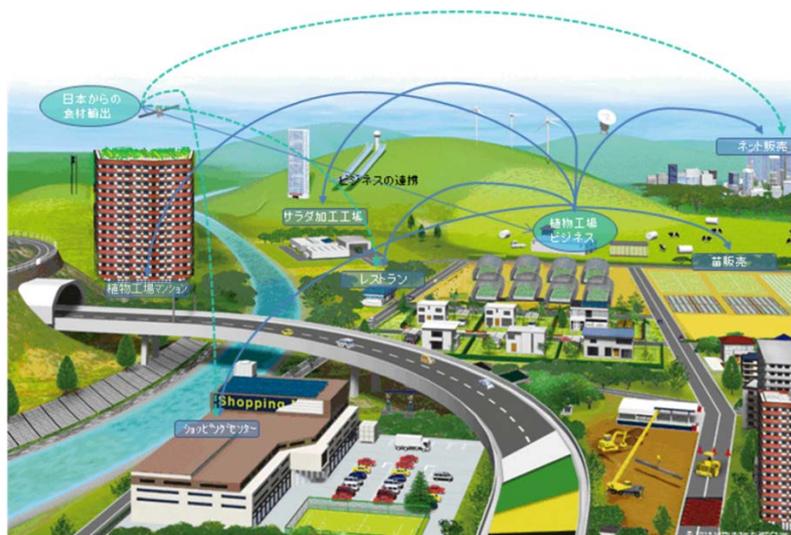
産学官連携、産産連携の共同体により「アグリ・イノベーション・コンプレックス」の構築を行う事は、東南アジアなど高温多湿の地域を対象としたジャパブランドプレミアム植物工場の技術開発と、優れた日本の食文化(ジャパブランド)の魅力をも武器とする海外植物工場ビジネスの起爆剤となる。

図3 アジア富裕層の推定



※通商白書（2013年）より2025年を本プロジェクトで予想

図4 海外植物工場プロジェクト



出典：三菱樹脂カタログ資料に一部加筆（© 2015 MITSUBISHI PLASTICS Inc.）

2. 海外植物工場及び周辺ビジネスの現状

2-1. 植物工場の定義

植物工場とは「光、温湿度などの条件を人工的に制御した環境下で、作物を安定的に生産するシステム」である。植物工場は人工光型植物工場と太陽光型植物工場に大別される。

日本の植物工場、特に人工光型植物工場の技術は世界でもトップレベルにある。完全に閉鎖された環境で蛍光灯やLEDによって栽培された葉菜類が店頭と並んでいる事例は、日本以外にはまず見られない。また太陽光型植物工場では、美味しい作物の生産やきめ細やかな栽培管理において優れた技術を持っているが、こうして生産された農産物や、これら高度な技術を備えた植物工場は国内市場にとどまり、海外への輸出はほとんどないのが現状である。

2-2. 世界における植物工場の現状

一方、世界に目を向ければ、オランダが農産物輸出国として大きな成功を収めている。国土面積が九州程度のオランダは、農産物輸出額でアメリカに次ぐ世界第2位である。オランダは産学官の連携が効果的に栽培技術及び周辺技術の発展に寄与できる仕組みを構築しており、極めて効率的な生産を行っている。また、その生産システムとして太陽光型植物工場（オランダでは施設園芸と捉えられている）の輸出を推進しており、世界中にオランダ式の温室が建設されている。

さらに、アメリカではMITメディアラボが、ICTを利用した植物工場のネットワーク化を進めている。世界の植物工場からビッグデータを収集し、植物工場間の連携を行うビジネスモデルの変革を進めている。今後、人工知能（AI）の進歩により、農業分野においてもICT、ビッグデータを活用した大きな変革が進むものと思われる。

このように植物工場システムの開発において世界で成功するオランダをベンチマークにするとともに、ICT等の技術革新も考慮し日本の植物工場の現状を正しく捉える必要がある。

2-3. オランダの植物工場の現状

オランダの植物工場は栽培品目をトマト、パプリカなどの数種に特化しており、選択と集中の結果、極めて生産効率の良い（トマトでは10a当たりの収量が70tに達する）栽培を実現している。また大規模施設における生産や経営の安定化のためのオペレーションを担う人材、これを支援するコンサルタントの存在が大きく、こうした人材の育成プログラムも一つのビジネスとして成立している。

オランダの植物工場は、ほぼすべてが太陽光型である。北緯50度の冷涼な気候に適したシステムとなっており、コジェネレーションを利用した効率の良い環境制御を特徴としている。

2-4. 日本の植物工場の現状

日本の植物工場は、稼働中の植物工場のうち黒字または収支均衡の割合は、太陽光型で58.9%に対し、人工光型では37.0%に留まる。オランダと比較して経営規模や栽培収量に大きな差がある。稼働中の太陽光型植物工場の経営規模を見た場合、43.5%は1ha未満であり、平均経営規模が25.9ha（2010年）と言われるオランダと比べ1/20以下となっている。また、トマトにおいては品種の違いもあるが、収量などの効率性も大きな差がある。特に、設備費用についても建築基準の違いや設置規模、商流の違いから大きな違いがあり、オランダの植物工場ビジネスを参考にすべきである。

日本では植物工場の主流は人工光型と考えられてきた背景があり、人工光型での技術は世界トップレベルにある。日本施設園芸協会の調査によれば、2015年3月の時点で国内で稼働中の植物工場は人工光型が185箇所、太陽光型が229箇所（うち人工光併用型が33箇所）であり、年々増加傾向にある。一方で近年は太陽光型の伸びが大きくなっており、人工光型の工場数を追い抜いているが、この一因として植物工場のコストの問題が考えられる。

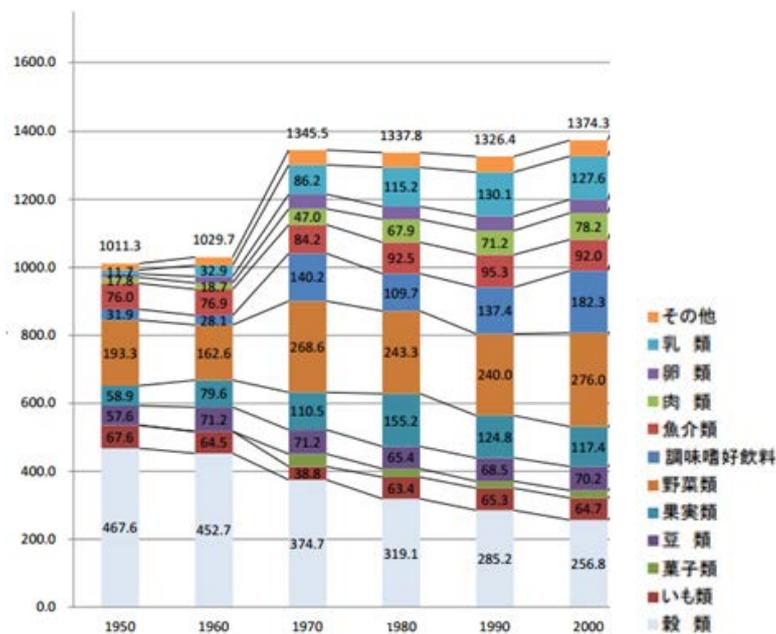
2-5. 海外における食のニーズと市場性

【食の安心、安全、健康志向に関して】

日本における野菜の一人当たり消費量は1960～70年代に急激な増加となった。(図5) 伸びの理由としては所得の増加及び食の洋風化に起因するものが考えられる。食の洋風化によるカロリーや動物性食品の過剰摂取は肥満や心臓疾患のリスクを増加させるが、野菜はこのようなリスクを低減させる重要な機能を有している。海外においても所得の伸びと共に、日本と同等程度に野菜のニーズが拡大するものと推定する。

食の安全については国際基準としてGAPやHACCPがあるが、日本での認証取得は一部の生産者に留まっている。認証の取得は労力、費用が多く掛かるため特に小規模な生産者は認証の取得が出来ていない状況である。輸出の促進には認証取得の支援体制が必要である。また、水耕栽培やロックウール栽培施設園芸により生産された野菜は有機野菜や特別栽培野菜等の対象とはなっていない。施設園芸品の規格を整備し統一ブランドとすることができれば、食の安全・安心としての価値創造が期待できる。植物工場での製品は無農薬、減農薬も大きな差異化ポイントとなる。植物工場農産物としての無農薬・減農薬規格、特定農薬の基準、有機JAS規格、JIS規格、GAP規格の検討と規格・基準整備、認証取得の支援が望まれる。

図5 食品別一人一日当たり摂取量 (g) の推移 (1950-2000年)



(平成23年厚労省、国民栄養・健康調査)

【日本の野菜の強み】

和食はユネスコの無形文化財に登録され、世界的に評価が高まっている。高糖度のトマトのような食品の美味しさに対するニーズや、無農薬野菜のような食の安全に対するニーズも年々高まってきた。さらに健康に対する食品のニーズも高く、緑茶のカテキンのような身体の健康に効果的な成分の研究や、低カリウム野菜のような機能食材の研究が行われている。

高付加価値食材の追求としては植物工場の本格的な運用が始まっている。世界の野菜生産量で最も多いトマトは各種ビタミンの他、リコピンの抗酸化作用が期待されている。日本のトマトは高糖度であるが、オランダの養液栽培収穫量に対し収量に大きな差がある。コストダウンのため多収・高品質をめざす日本型施設園芸の研究が行われている。(食品と容器 2014 VOL. 55 NO. 3)

また、植物工場の新たな活用として、本来付加価値が高かった地方の廃れていく特産植物や、機能を有する食品(栄養機能食品、特定保健食品、サプリメント等)の原材料として機能成分を多く含む植物の生産が大いに期待される。また日本の種苗メーカーの中には機能性に着目した品種改良を行い、美味しさと機能性に着目した野菜のシリーズを充実させており、世界トップクラスの取り組みである。

日本には健康を維持・増進する作用が期待される(健康機能性を持つ)農作物も多くあり、農水省予算で「機能性をもつ農林水産物・食品開発プロジェクト」を実施している。このプロジェクトでは健康で豊かな生活を享受出来る社会の構築を目指して、トマト、タマネギ、ゴーヤ、ニンジン、ケールなどを対象に科学的な機能性の解明(ヒトの介入試験など)に取り組んでいる。

【アジアにおける市場規模の検討】

本プロジェクトでは、海外に建設した植物工場又は日本国内の植物工場において生産した作物が「ジャパンプレミアム野菜」としてアジア各国で受け入れられ、市場を獲得できるかどうかを検討した。なお、「ジャパンプレミアム野菜」とは、日本で生産され現地に輸出された野菜(Made in Japan)及び日本の技術によって現地で生産された野菜(この場合、現地で消費されれば国内品、他国へ輸出されれば輸出品となる。Made by/with Japan)の両方を含む。

検討手段として、本プロジェクトメンバー企業がアジア各国に有する現地法人である関連企業の従業員を対象としたアンケート調査を実施した。回答者としては、日本から派遣されている日本人駐在員及び現地採用のローカル社員の両方を対象とした。

その結果、131名(内訳は日本人駐在59名、ローカル社員72名)から回答を得た。

以下に明らかになった点を述べる。まず、Made by/with Japan野菜に対する期待があり、安全、おいしさ、新鮮さが求められている(131名中117名)。これらについて現地品は不十分であり、不満を持たれていた。これらを満足させ、現地で安心して購入できるバリューチェーンを整えれば商機があると思われる。アッパーミドル層であればMade by/with Japan野菜であっても、安全でおいしく、新鮮であればローカル品の2~5割増しの価格でも受け入れられるのではないかを思われる。また、富裕層であれば2~4倍の価格でも受け入れられるとの意見が多かった。特に経済的に豊かなシンガポール及び香港では許容されやすい感触を得た。一方で、マレーシア、フィリピンでは品質よりも価格が重視されている意見が多く見られた。

アジアは日本と異なり社会格差が大きいために、地域や販売チャネルによって野菜の小売価格は大きく異なってくるので一概には言えないが、輸入品(Made in Japan)の価格はローカル品の3倍またはそれ以上である。富裕層の購入価格については今後の調査が必要である。また、国によっては葉物野菜の品質が劣悪であるとのコメントがあった(インド、インドネシア等)。来年度は所得格差を考慮に入れた、より精密な調査を現地にて行っていく予定である。

上記の知見を基に、2025年の植物工場野菜市場を見積もった。まず2025年のターゲット顧客をASEAN、中国、南西アジアの富裕層（世帯年間可処分所得が35000USドル以上）4億人と仮定した。富裕層が2010年時点の日本人の一人当たり消費量と同じ量を消費したと仮定し、2010年時点の単価で算出した。植物工場生産品の市場を最大2兆円規模、植物工場の市場を5000億円規模、関連食品産業の市場を18兆円規模になるものと推定した。

2-6. バリューチェーン

【日本産農産物の輸出拡大機運と、輸出に係る課題】

日本再興戦略を受け、農林水産省もFBI（Made From/By/In Japan）戦略を立案し、2020年に農林水産物・食品の輸出額目標を1兆円（2012年4500億円）に設定している。現在、輸出先の73%はアジア、また60%が農産物となっている。今後のアジア地域の人口増・経済成長から、日本の農林水産物・食品輸出拡大の余地は大きいとみられる。

日本の農産物はアジア諸国で徐々に需要を拡大している。その背景には、「和食」の世界文化遺産登録もあり世界的に日本食への関心が高まっていること、日本産青果物の高い品質や安心・安全が評価されていること、がある。海外の日本食レストランはアジア中心に5万5000店で着実に増加しているほか、日本政府と複数の日本企業の共同出資で創設されたクールジャパン機構は、ベトナムにおけるコールドチェーン整備のための物流事業、シンガポールでのジャパンフードタウン事業取組み、力の源（博多一風堂）の海外展開や米国での日本茶カフェ事業へ出資するなど食の海外展開の支援を進めている。また、シンガポール・台湾などでは、日本産野菜の輸入が確実に増加しており、他国からの輸入品に比べ高額で取引されている。このような状況の中で、植物工場生産品についても需要があるのか、現地の市場調査を進め、事業性を検証していく。

しかしながら、現在のところ種々の課題が山積みで輸出環境は整っていない。輸送方式、輸送品目に応じたコンテナや付帯装置などが各メーカーから提供されているが、一部の生産者や流通業者の個々の取組に留まっている。市場で求められる品質、事業者連携による効率化など、複数事業者間で情報を共有することが求められている。農産物の輸出においてもコールドチェーン等の技術的な課題の改善だけでなく、新規バリューチェーンの構築が必須と考える。特に日持ちのしない野菜等は現地の植物工場で生産をおこない、日本からの農産物輸出品と組み合わせたバリューチェーンが必要である。

2-7. インフラ輸出の課題

植物工場の輸出先を検討するに当たり、インフラ面で調査すべき具体的課題・項目を表2に取りまとめた。これらの分類項目としては、法規制・税制、国の農業政策機関、環境条件、エネルギー環境、LNG拠点、製品輸送、現地での野菜ニーズ、現地設計オペレーション、人材育成・確保、既参入企業、ビジネスパートナー、事業性検討が挙げられる。

なかでも環境条件面としては、気象、気候等環境など植物工場の設置と耐環境特性把握に必要な条件設定のための情報、植物工場建設のための資材調達、用地確保、建設、エンジニアリング、オペレーションなどの事業インフラ調査、交通事情（道路、鉄道、航路、空路）、環境保護事情、

人材・教育レベル、宗教信仰事情、雇用事情、廃棄物処理体制・コストを調査する必要がある。

表2 植物工場の輸出における具体的課題・調査項目

分類	具体的課題・調査項目
法規制・税制	植物工場野菜生産への規制、植物工場輸出への規制、土地の入手と利用方法・税制、プラント建設に対する法規制(土地、建築基準法)と税制、プラント輸入に対する法規制・税制、雇用に関する法規制(労働、賃金体系)、賃金体系・税制、農業振興、食品(農業)安全対策などの法規制
国の農業政策機関	国の政策担当部門の、農業&食品関係及びエネルギー関係事業の政策担当部門、植物工場建設に対する技術・補助などに関する政策担当部門、生産から流通、加工、販売までをコントロールする政策部門
環境条件	気象、気候等環境など植物工場の設置と耐環境特性把握に必要な条件設定のための情報、植物工場建設のための資材調達、用地確保、建設、エンジニアリング、オペレーションなどの事業インフラ調査、交通事情(道路、鉄道、航路、空路)、環境保護事情、人材・教育レベル、宗教信仰事情、雇用事情、廃棄物処理体制・コスト
エネルギー環境	エネルギーコスト・品質、エネルギーインフラの状況や計画、低コストエネルギーの入手可能性、給排水インフラ
LNG拠点活用	LNG拠点立地、LNG冷熱供給への規制、冷熱供給方式、冷熱供給可能量、冷熱供給規模を踏まえた収益性、マザープラント(沖縄)との特性差、LNG冷熱利用のエネルギーバランス
製品輸送	生産物の現地輸送(温度管理物流)の状況、保冷倉庫の延べ床面積、分布、保冷車の車輛数等
現地での野菜ニーズ	野菜のQCDと消費者や利用者のニーズ・食文化、対象野菜のポテンシャルと利用者の課題、野菜の生産と流通・加工上の現状と課題と有るべき姿のニーズ、消費者の野菜単価、業務用野菜の単価(品種、品質を含む)、食習慣と購入習慣(商習慣を含む)
現地設計・オペレーション	マザープラント(沖縄)との特性差(気候、食の嗜好、流通構造等)設備スペック・オペレーションモデル(特性差によりアジャストすべき要素、規制により導入すべき要素)資材調達及び建設のあり方(輸出採算性を考慮、日本が担う要素/現地化すべき要素)
人材育成・確保	優秀な栽培管理者の育成、必要な人材像の明確化、対象人材の確保
既参入企業(日本国内外)	オランダ等植物工場関係国の現地進出状況とビジネス環境 参入企業の顧客、提携先、国家との関係と評価および事業所などのビジネスインフラ状況
各ステージでのビジネスパートナー	植物工場建設、生産品の流通・加工・販売、植物工場の設置や事業化、植物工場のエンジニアリング・オペレーション、植物工場に関する試験研究機関
事業性	事業性分析(植物工場野菜の市場規模、参入プレイヤー、収益性、植物工場の許容規模・採算性)
長期的な収益確保	オープン化すべき要素/ブラックボックス化すべき要素
その他課題抽出	体制構築への課題、その他課題(既存国内施設の調査、オランダの技術調査、国内施設メーカー調査)

また、エネルギー環境面は、エネルギーコスト・品質、エネルギーインフラの状況や計画、低コストエネルギーの入手可能性、給排水インフラを明確化し、輸出先での植物工場の運営コストを最小化する様な利用エネルギーの組み合わせを検討しておくべきである。その候補としてLNG冷熱の利用が挙げられるが、これらの活用の為の具体的課題・調査項目にはLNG拠点立地(現状と計画)、LNG冷熱供給への規制、冷熱供給方式、冷熱供給可能量、冷熱供給規模を踏まえた収益性、実証設備との特性差、LNG冷熱利用のエネルギーバランスが考えられる。東南アジアにおける現状及び計画中のLNG拠点立地を表3に記す。

表3 東南アジアにおける現状及び計画中のLNG拠点立地

LNG拠点		受入基地(万t)	建設予定(年)
台湾	永安	744	1990
	台中①	300	2009
	台中②	200	2018
	台北	500	2018
タイ	Map Ta Phut,Rayong①	500	2011
	Map Ta Phut,Rayong②	500	2017
マレーシア	Melaka	380	2013
	Pengerang	350	2018
	Lumut	N.A	-
	Lahad Datu	100	-
インドネシア	West Java	300	2012
	Lampung LNG	200-300	2014
	Arun	300	2015
	Central Java1	300	2016
	Central Java2	120	-
フィリピン	Pagbilala	400	2015
	Bataan	350	2018
	Batangas	400	2016-2017
シンガポール	Jurong Island1	350	2013
	Jurong Island2	250	2014
	Jurong Island3	500	2018
ベトナム	Thi Vi	100	2017
	Son My	300	2019-2020

【出典：アジアのエネルギー需給及び流通を取り巻く状況に関する調査報告書等より抜粋】

製品輸送面では、生産物の現地輸送（温度管理物流）の状況、保冷倉庫の延べ床面積・分布、保冷車の車両数等、即ち鮮食品や冷凍食品などを、産地から消費地まで一貫して低温・冷蔵・冷凍の状態を保ったまま流通させる仕組み、所謂「コールドチェーン」の状況を調査する必要がある。

植物工場の輸出候補先である東南アジア各国の現地「コールドチェーン」の状況を、日本を「◎」とした場合の比較表として表4に取りまとめた。各国とも都市部においてはコールドチェーンの整備が進んでいるがフィリピン以外は未だ不十分であり、地方はこれから整備が進む状況である。高品位化、低コスト化、等に向けては程度の差はあるが高度な温度管理、人材育成、効率配車などの多くの課題がある。

本プロジェクトでは調査対象国に関してこれら課題・項目を調査・解析して、マーケット面も含めた総合的な検討・評価により、植物工場の輸出先として最適な国・地域の優先順位付けをしていく計画である。

内閣官房の経協インフラ輸出戦略会議では2010年のインフラ輸出受注額10兆円に対し、2020年の目標を約30兆円としている。この中では、新たなフロンティアとなるインフラ分野への進出支援として、農業・食品分野の輸出推進を施策としている。植物工場のインフラ輸出においてもグローバル・フードバリューチェーン戦略と連携し、早急に輸出戦略を作成する必要がある。

表4 東南アジアにおける現地「コールドチェーン」の状況

	タイ	ベトナム	フィリピン	マレーシア	インドネシア
コールドチェーンの整備状況【都市】	○ 輸入業者や小売業者が自前冷凍・冷蔵車を保有、大手小売業者の流通センター民間業者少ない	△ 交通事情によりバイク利用で温度管理不良の場合あり	◎ 2002年コールドチェーン協会設立、100社加盟高レベルでほぼ整備されている	○ 販売店(卸売業者や飲食店)が独自に整備2011年ヤマト運輸クール宅急便開始	△ 限定業者が限定顧客向けのみ整備渋滞による遅延での品質劣化も有り
コールドチェーンの整備状況【地方】	—	—	△ 整備中、数年後立ち上げ	△ クール宅急便拡張中	同上
冷蔵庫普及状況	—	都市64% 農村29% (2010年)	51%(上位所得70%) (2011年)	—	—
課題	高品位化(高度な温度管理、人材育成等) コストダウン(効率配車等)	交通規制によるトラック制限 温度管理不徹底 冷凍・冷蔵倉庫不足	電力低コスト化(日本に次ぐ高さ) 都市渋滞と大型貨物規制	一部で荷崩れ(梱包の問題)	品質管理(汎用コールドチェーン未成熟)

【出典：JETRO調査レポート（2014年3月）「2013年度主要国・地域におけるコールドチェーン調査」より要約
<https://www.jetro.go.jp/world/reports/2014/07001642.html>】

2-8. 各国の法規制

①排水関連規制

日本では、排水の規制値は水質汚濁防止法及び都道府県の上乗せ基準による排水水質基準と環境条件により決められている。一方、処理方法は、排水の特性、それぞれの立地条件、経済性、操業特性、保全性、拡張性などを加味することが重要であり、最適な処理法を画一的に述べる事ができない。排水処理設備は、プロセスの選択段階で性能、経済性、保全性、運転性などのほぼ全てが決まってしまうので、プロセス、装置の選択に当たっては、代替案を含めた総合的な比較検討を経て決定するのが望ましい。

近年は処理性能の向上、運転費の低減、環境への適合を図るために新しい処理方式が広まっており、その代表的なプロセスが嫌気性処理法であり、嫌気性菌の保持技術の開発により経済的に安定的な処理ができるようになってきている。さらに窒素除去の要求がより厳しくなっているが、脱窒方法も循環式硝化脱窒二段法などのプロセスの開発や、浮遊担体で菌体の保持量を高めることのできるハードの開発によって処理性能が大幅に改善されている。

養液栽培施設は、水質汚濁防止法に基づく対象施設ではないが、河川や地下浸透等、環境への影響が懸念されるので排水の総量削減に努めるとともに、生じた排水を適正に処理することが重要

である。

今後海外の植物工場立地場所を検討し、以下の法規制について調査を実施する必要がある。

- ・排水に関する法規制、規制値（水質汚濁防止法・公害防止法、当該行政の条例など、海外では該当する法令条例など）
- ・設置場所（拠点）の環境条件、経済性、操業特性、保全性、拡張性を考慮した処理設備選定
- ・排水量と最適処理方法の整合性

尚、東南アジア諸国の排水規制基準は総じて日本と同等かそれ以上に厳しいとされている。これは急速な経済発展の一方で上下水道や排水処理設備が十分に整備されない状況で、生活排水や工場排水などの汚染濃度や総量が増加したことによる水質汚染問題の深刻化に対する規制強化の動きである。植物工場の輸出先の排水規制基準を調査し、これらに対応した植物工場の排水要求性能の明確化とその達成を図っていく。

②その他の規制、税制

排水以外の規制や税制としては以下を調査する必要がある。

- ・植物工場野菜生産への規制
- ・植物工場輸出への規制
- ・土地の入手と利用方法・税制
- ・プラント建設に対する法規制（土地、建築基準法）と税制
- ・プラント輸入に対する法規制・税制
- ・雇用に関する法規制（労働、賃金体系）、賃金体系・税制
- ・農業振興、食品（農業）安全対策などの法規制

例えば、タイの土地税制として土地家屋税があるが、土地・家屋の所有者が指定地域にいる場合、毎年、地域開発税法あるいは建物土地税法のいずれかの規定に基づいて課税される。税率は、毎年の想定賃貸料相当額の12.5%。ただし、所有者が自分で住むための土地、家畜用の土地、耕作用の土地は対象外。想定賃貸料は実際の賃貸料もしくは建物が賃貸中の場合は所管の税務署員が見積もる想定賃貸料となる。またインドネシアでは土地・建物税があり、政府発表の土地の標準価格（NJOP）に応じて課税基準額が決まる。NJOPが10億ルピア以下の場合にはNJOPの20%、NJOPが10億ルピア超の場合にはNJOPの40%となり、納税額は課税基準額の0.5%である。これら税制については輸出先の植物工場のオーナーがどのような対象となるかも調査する必要がある。

各国の諸規制について検討を行い、植物工場インフラ輸出のビジネスモデル構築に寄与させる計画である。

3. 海外植物工場ビジネスのあるべき姿と課題

亜熱帯・熱帯地域における高温多湿地域の植物工場のあるべき姿と、現在国内で稼働する植物工場の現状を比較することで、今後取り組んでいかなければならない課題が明らかとなる。

3-1. 海外植物工場ビジネスのあるべき姿

① 事業全体

- ・安定した収益を得られるビジネスモデルを持ち、収量・単価の向上と、国際競争力のある設置

費用と運営費用を実現

- ・人工光型／太陽光型それぞれの長所を活かしたベストミックスの構成
- ・建築や通信の分野でのオープンな仕様による規格共通化と、システム全体のブラックボックス化の両立

②建設・エンジニアリング

- ・海外輸出を志向する国内研究拠点に対する国内法整備や規制緩和
- ・海外拠点における、国を挙げた規制緩和の支援
- ・台風発生地域での大型の台風対策と、そのための材料技術

③栽培技術

- ・幅広い品目から最適な組み合わせで栽培できる栽培技術
- ・病虫害リスク低減と収量の最適化（長段、低段密植）
- ・植物工場に最適化された品種開発
- ・安定した量産プロセス

④運営管理

- ・高温多湿地域でも安定した冷却性能を示す低コスト空調技術
- ・光、温湿度、気圏、根圏、養液の統合制御実現
- ・栽培の自動化（ICT、ビックデータ、AI の活用）

⑤人材

- ・産学官に跨る人材交流を活性化する植物工場研究拠点及び運営組織
- ・植物工場研究拠点を活用した効率的な教育体制の確立
- ・技術を伝えるコンサルタント及びそれを実践するグローワーを確保・育成する体系的教育

⑥生産物の品質・価値向上

- ・高付加価値作物として輸出先での価値が高い品種を栽培。付加できる価値としては健康に寄与する機能性のほか、安心・安全、味がよい（現地の嗜好に合う）などの食材としてのラインナップの充実。
- ・各機能性について評価・検査技術を確立、現場での簡便な検査が可能
- ・機能性を含めた作物のスペックを定義し、認証に基づくジャパンプランドの確立
- ・「食の安全リスクの低減」「労働安全」「環境保全」を目的としたグローバル GAP の取得

⑦販売・流通

- ・現地での調査・マーケティング活動に基づく販路確保
- ・コールドチェーン等現地での流通形態について不足部分を補う技術
- ・新市場に対しては、事前に国内研究拠点にて生産された作物の輸出を行い市場を調査
- ・グローバル GAP による円滑な農産物取引環境の構築と農産物事故の低減

3-2. 植物工場の現状とあるべき姿

現時点ではオランダと日本の太陽光型植物工場の技術には大きな差があると言える。これは、日本国内においてもオランダ式の温室が多数導入されていることから明らかである。しかしなが

ら、導入されたオランダ式温室が期待通りに稼働しない例も多く、この点に日本式植物工場が進出する市場のヒントが隠されていると考えられる。

オランダの植物工場を一言で表すなら「冷涼な気候で最適化された農業システム」であり、寒い地域で加温する施設である。従来のオランダ企業による環境制御は、北緯 50 度の気候を中心に開発されたものであり、そのままの形で日本等に導入しても、オランダ並みの収量を得ることは困難な場合が多い。即ち、日本と気候の似ているアジア地域では、今までに蓄積したオランダ型のデータ・ノウハウの応用が難しく、ゼロから生産システムや管理方法を見直す必要がある。また、オランダ農業の最大の強みの一つでもある、大規模施設での管理運営を実行するオペレーション人材、コンサルティング人材の不在が原因となっていることも考えられる。

さらに、オランダ型植物工場は選択と集中の結果、少ない品目に特化して生産性を向上させてきた歴史があり、栽培品目の多様性や農産物の高付加価値化の点で課題を抱えている。この点で、多様な品目を少量多品種生産し、きめ細やかな栽培管理でおいしい農産物を生産する日本農業及び日本の食文化の利点を生かし、差別化できる余地がある。(表 5)

以上から、オランダの「冷涼な気候で最適化された農業システム」に対し、日本の植物工場は「今後のグローバルニーズの中心地に最適化した農業システム」を目指すべきと考える。つまり、今後経済発展と富裕層の増加が見込まれるアジアの亜熱帯・熱帯地域において、効率的に施設内を冷却し、これまで栽培できなかった作物の栽培を可能にすることで新たな価値と食文化の形成を促す植物工場を開発するべきである。そしてこの亜熱帯・熱帯地域向け植物工場システム及び人材育成プログラム等の周辺ソフトウェアを一括で、フルターンキー型植物工場インフラとして輸出産業化することが日本型植物工場の将来像と考える。(表 6)

表 5 オランダと日本の植物工場

	オランダ	日本
強み	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光型大規模植物工場 ・ 産学官、栽培・工学・食品の連携 ・ 経営規模、収量（大規模栽培での管理運営） ・ 優秀な独立系コンサルタントの存在 ・ 政府による輸出支援 ・ 構造仕様の標準化・規格化 ・ 品種改良 ・ 安価なエネルギー（天然ガス）の利用 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工光型植物工場 ・ おいしい農産物の生産技術 ・ きめ細やかな栽培管理技術 ・ 省エネルギー技術（ヒートポンプ） ・ 工業技術（素材、エネルギー、電子機器、精密機器、ロボット、バイオ）
弱み	<ul style="list-style-type: none"> ・ 生産品価格の低迷 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 産学官連携、農工連携の遅れ ・ 経営規模、収量 ・ 設備の価格 ・ 標準化、規格化の遅れ ・ コンサルティング人材の不足

表 6 植物工場の現状と高温多湿地域向け植物工場のあるべき姿

	タイプ	栽培品目	温度管理	栽培規模	設置費用	運営費用
オランダ	太陽光型	少品種大量 (選択枝・少)	寒い地域で 温める	8ha~40ha	1~1.6億円/ha ^{*1}	50百万円/ha ^{*2}
日本	人工光型	多品種少量 (選択枝・少)	場所問わず	~0.1ha	14~17億円/ha ^{*3}	630百万円/ha ^{*3}
	太陽光型	少品種多量 (選択枝・多)	寒い地域で 温める	1ha~5ha	2.6~3.5億円/ha ^{*3} 3.7~5.8億円/ha ^{*4}	55百万円/ha ^{*3}
あるべき姿	最適組合せ	最適組合せ	暑い地域で 冷やす	5ha~20ha	オランダ同等 ^{*5}	オランダ同等

*1 農商工連携研究会植物工場ワーキンググループ（第1回）配付資料（2009）

*2 Breukers, A. et al.: The power of Dutch greenhouse vegetable horticulture(2008). より算出

*3 株式会社 三菱総合研究所:

「あおり型植物工場ビジネスモデルの構築に向けた調査研究業務報告書」（2012）

*4 次世代施設園芸導入加速化事業の公開資料をプロジェクトで集計

*5 エネルギー等関連インフラを除く建屋、栽培装置のみの費用

3-3. ジャパンブランドの認証

オランダなど植物工場先進国が既に世界中に進出する中で日本の植物工場の優位性を示すにはその生産物が現地で認知され、その生産を現地として要望されることが不可欠である。そのためには生産物の優位性を仕様とそのエビデンスの情報を付して差異を明示する必要がある。しかし農産物は工業品と異なり自然気象に依存し、量、質とも不安定であり、消費段階での品質を仕様とそのエビデンスを明示することは難しいのが現状である。また、食文化の異なる海外の消費者への生産物の提供は、付帯する情報の提供なしには優位性を示すことは困難である。一方、植物工場は従来の露地生産や施設栽培とことなり、人為的にコントロールした環境条件下で生産を行うことが可能であり、ある程度の仕様を明確にする可能性を秘めている。その可能性を元に、仕様を明示し優位性を示すことができれば差異化が可能となると考える。

しかし、単に仕様を明示しただけではオランダなどの植物工場生産品と比して明らかな優位を持つことは困難と考える。明らかな優位性を示すにはブランドなどの文化的な内面での何らかの絶対的な優位性も必要である。和食が世界文化遺産に登録されたこともあり、日本としての食の文化としてのブランドが認知されつつある。これらは日本が培った食文化だけでなく、こだわりある消費者に鍛え上げられた安全や美味しさへの供給側の努力が総体的にもたらすブランドとしての認知である。そこで本プロジェクトの成功の要因として、和食ブランドとしての生産物の認知と、それをつくりこむ植物工場システムとして認知させる事が必要であると考えられる。

現状、日本の生産物は輸出の経験が乏しく、生産物の認知やそれを送り出す輸出インフラは少なく発展途上である。国としては輸出促進策として海外への和食の認知や農産物の輸出に対して戦略目標を掲げて推進しているが鮮度保持や検疫などの課題もあり、植物工場産品の対象となるイチゴやトマトやレタスなどの葉物の輸出は難しいとされている。一方、日本のイチゴなどは富裕層に美味しさや安全性などが好評価により高値で取引されており、現地での生産体制や流通体制が整えばジャパブランドの商品として大きな市場に成る可能性を秘めている。

但し、信教や習慣により食文化が地域ごとに異なるため、現地の食文化を受け入れながら日本の持つ優位性を認知してもらうことも重要となる。また、優位性の明示や維持には何らかの生産物に対して価値保証を与える認証等も必要となる。国際的な生産管理の認証制度であるグローバル-GAPの認証を得ることは農産物の価値向上に繋がる。そのための維持手法や又現地での安全や検疫などの規制に対する対策も不可欠である。

以上を鑑み本プロジェクトにおいては植物工場の輸出を進めるために以下の課題を解決することが必要と考えている。

- ・ 植物工場、及び生産品の海外現地でのブランド認知対策
- ・ 植物工場、及び生産品の拡販推進策（コールドチェーン等の鮮度維持インフラを含め）
- ・ 植物工場、及び生産品の仕様の作成と明示
- ・ 植物工場生産品のブランド明示と維持のための認証の仕組みと認証体制の構築
- ・ 生産品輸出対象国に対する安全や検疫、流通のための政策的規制緩和や連携策

3-4. 海外での新ビジネス創出

日本の農産物輸出額は先進国の中で最も低い水準である。植物工場のインフラを輸出することにより、美味しく、安全・安心な日本の野菜を世界に展開することが可能となる。現地でのレストランや家庭の食事における和食食材のバリエーションが拡大し、食品産業の大きな起爆剤になる。植物工場を中心とした事業展開により食品関連事業、サービス等ビジネスの幅が広がると共に、和食文化の拡大により日本から輸出する鮮魚、肉、果実、根菜類の消費拡大にも繋がる。日本では農林水産物の市場に対し、食品関連産業の市場は約 8 倍となっている。海外においても日本の農産物拡大により大きな食品関連市場の拡大が見込める。また、基盤事業として、LNG 等のエネルギー関連事業、水処理事業、コールドチェーン事業、ICT 事業等、ビジネス創出の可能性がある。

海外進出は 1 社での展開に限界があることから、ビジネス協議会を創設し情報収集、政策提言、プロジェクトの形成と推進を行うことが必要である。海外での農業ビジネスは政府系企業や大手企業を中心である。植物工場インフラ輸出と共に、食品加工、流通、販売等のシステムをパッケージ化したインフラ輸出を政府企業や大手企業へ販売することとなることから、日本の政府とも連携し、海外への展開を行うことが必要である。

また、日本の食文化を広めブランド化を行うため、植物工場の仕様、品質管理技術、生産品の品質について認証機関の設置を行う必要がある。

プロジェクト形成の事例を図 6 に示す。「プロジェクト A」では植物工場のインフラと運営サービス、種苗販売、バイオマス事業の植物工場周辺事業のプロジェクト形成、「プロジェクト B」で

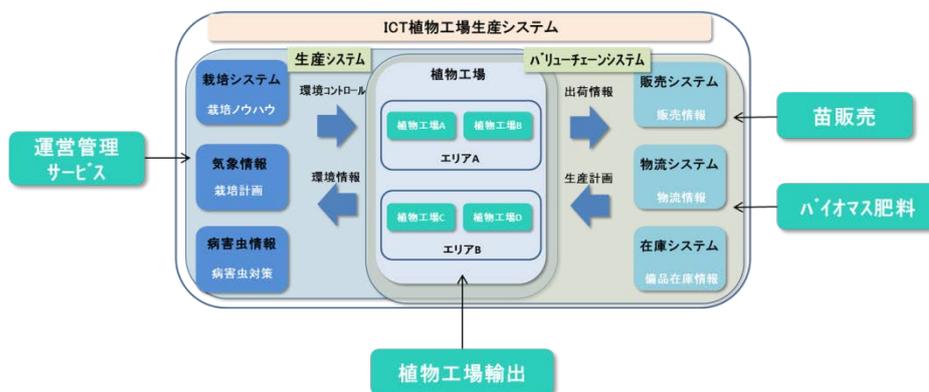
は植物工場のインフラと食品加工設備、包装容器資材、コールドチェーンインフラ、ネット通販事業、和食レストラン等の食品関連事業のプロジェクト形成を行う。各国のニーズを調査し、プロジェクトを形成することが必要である。

ICTを使った植物工場ではサイバー空間を通して日本の栽培条件を再現する事が可能となる(図6)。生産システムとし栽培システムと気象情報、病害虫情報、販売システム、物流システム、在庫システムをパッケージ化した事業展開により日本と同じ品質の野菜を生産、物流コストの削減をおこないコストメリットを最大化したプロジェクトを提案することが可能となる。日本の農家が運営サービスを請け負うことにより農家の収入向上にも繋がると共に、農家が独自性のある野菜の栽培技術を開発することにより、日本の植物工場ビジネスにおいても事業の広がりが期待できる。

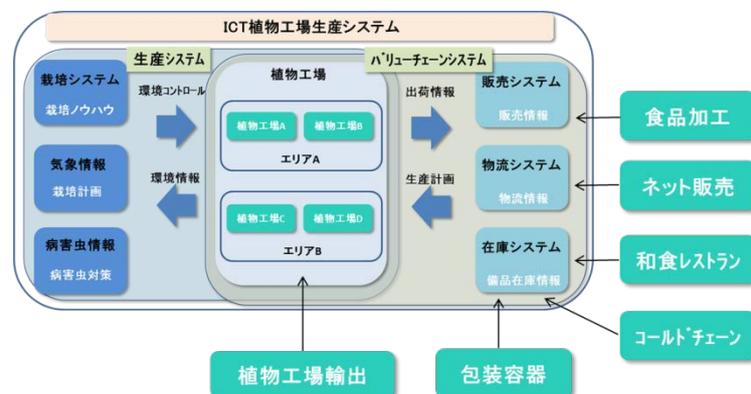
また、植物工場や食品関連事業は現地労働者の所得向上に繋がるばかりではなく、植物工場栽培する苗を露地栽培向けに提供することにより安定した野菜の生産が可能となり、海外の農家の所得向上にも繋がる。

図6 植物工場を中心としたプロジェクトの構成例

プロジェクトA



プロジェクトB



3-5. 人材育成

①人材教育の必要性

【海外の人材育成プログラム】

オランダにおいては、官民双方が植物工場の生産者に対して様々な実務教育を重層的に実施している。具体的には官は職業訓練的教育機関で就業時に求められる知識・技術を教えると共に、インターンシップを実施している。科学教育機関では、就業時を想定したインターンシップやコンサルタント訓練の機会を用意しているほか、実務訓練を代行する民間教育機関も存在する。また、民間メーカーにおいても、生産者への研修機会を設けたり、生産者への情報提供・情報共有の機会を設けている。特に大手植物工場コンサルティング会社のDLV Plant-GreenQは、管理者向け研修プログラムを提供しており、57カ国以上で活動している。

韓国においては公的教育機関であるATECを中心とした人材育成が行われている。韓国の施設園芸を国際的なビジネスとして展開するための内容に注力しており、生産コストを下げ、収量や質を上げるための実践的な内容を教授している。

ジャパンプレミアム植物工場ビジネスにおいては植物工場をインフラとして輸出しようとする新しい取り組みであり、工場インフラの輸出、設置、運用までを行う人材やジャパンプレミアムとしての価値を内外に知らしめ、実際の受注などに結びつけるための人材を育成することも重要である。

【課題】

現地における優秀な管理者の確保は、植物工場を運営する上で極めて重要であり、上述の通りオランダ農業の最大の強みの一つとなっている。日本型植物工場もこれに倣い、体系的教育を実施していくことが求められ、官民一体となった農業教育により、国際的ビジネス展開を視野に入れた管理者の育成を目指していくべきである。

②育成人材のカテゴリー

植物工場ビジネスの拡大には以下の人材教育が必要である。

i. ビジネスコア人材

- ・ ビジネスを成功に導くには事業全体の責任とビジネス遂行の役割を持つビジネスの司令塔となり、植物工場ビジネスの各分野のリーダーとなるべきとなる人材

ii. ビジネスマーケティング人材

- ・ 農業の生産から加工・販売までのフードチェーンを鳥瞰し、現地消費者から植物工場生産にいたるニーズを分析し、フードチェーンを踏まえた戦略を立案出来る人材
- ・ 植物工場を主体として立地から計画、建設、設置、運用が見渡せ、海外メーカーに対向して戦略を立案出来る人材

iii. プロジェクト推進人材

- ・ 植物工場生産品を現地認知から生産、物流、加工、販売までのビジネスフローを構築し、植物工場の生産品のスムーズな販売をコーディネート可能な人材
- ・ 植物工場インフラ輸出を一つのプロジェクトとして立地から計画、建設、設置、運用迄を推進し且つマネージメント出来る人材

iv. 植物工場オペレータ人材

- ・ 植物工場を設置した後、実際の栽培現場で野菜の生産に対する指導と低コスト・高品質、高付加価値、安全をふまえた製品を送り出すことを実現する人材
- ・ 植物工場の建物、設備、栽培プラントなどを一元管理し、工場の省エネ、維持管理と低コストを実現出来る人材

v. 植物工場認証人材

ジャパンプレミアム植物工場は工場本体及び生産品においても対市場に対する優位性を維持管理するために、ジャパンプレミアム植物工場本体と生産品に対して認証制度を設ける。

- ・ 工場本体の認証企画と認証を実施する人材
- ・ 生産品の認証企画と認証を実施する人材

③人材教育の組織

教育をスムーズに実施するには教育の円滑な運営のための組織が必要となる。協議会に教育専門の組織を設置し教育の運営に当たる必要がある。官民の各教育機関のシステムを共有化し、体系的な教育プログラムを構築することが必要である。

また、国内の実証設備で人材教育を行うことが必要である。

4. 高温多湿地域向け植物工場のあるべき姿と課題

4-1. 高温多湿地域での植物工場技術課題

高温多湿地域での植物工場実現に向けて、今後5年間で優先的に取組む全体システムを図7、重点テーマを表7にまとめた。

図7 高温多湿地域向け植物工場の全体システム

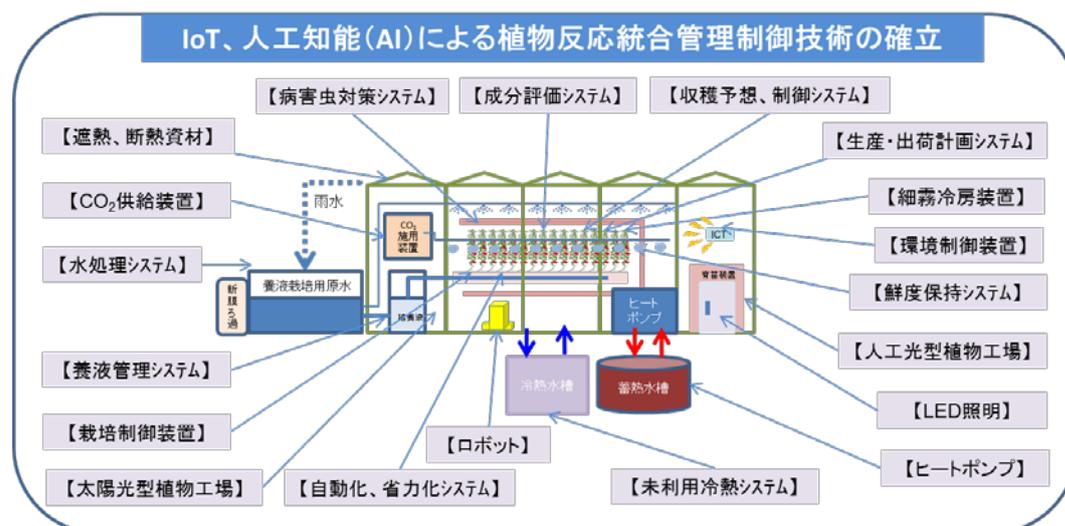


表7 高温多湿地域向け植物工場の重点テーマ

重点テーマ	検討項目	課題
i. 低コスト室温制御技術	省エネルギー冷却 (ヒートポンプ、パッドアンドファン、 細霧冷却、熱線遮断・断熱等エネルギーを消費しない冷房技術)	<ul style="list-style-type: none"> ・冷房能力の向上 ・熱線遮断・断熱 ・安価なエネルギー源の確保 ・適切な設備組み合わせと運転制御
	未利用冷熱源 (LNG 冷熱や海洋深層水等、現状利用が限られている冷熱エネルギー)	<ul style="list-style-type: none"> ・利用手段の開発 ・他の冷房技術との組み合わせ
ii. 大規模植物工場管理技術	高温多湿地域向け統合環境制御システム	<ul style="list-style-type: none"> ・トータルコストを抑えるような環境制御方法 ・キーとなる測定要素の絞り込み ・国内ソフトウェアとの協調 ・ブラックボックス化 (IoT、AI)
	自動化・ロボット化	<ul style="list-style-type: none"> ・部分工程の自動化とその組合せとしてのライン設計 ・人件費比較でのコストメリット ・ロボットを利用した工場内の生育の見える化
	センシング	<ul style="list-style-type: none"> ・無線規格共通化 ・植物工場に適したイオン測定装置の開発
	ビッグデータ、AI	<ul style="list-style-type: none"> ・国際標準化
	病虫害対策	<ul style="list-style-type: none"> ・農薬以外の病虫害対策検討
iii. 耐久性資材開発	台風対策	<ul style="list-style-type: none"> ・建築材料の研究開発 ・台風通過後の対応を考慮した総合的な台風対策システム
	錆対策	<ul style="list-style-type: none"> ・潮風害による錆の発生に対抗する素材の研究開発
	気密性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・病虫害の発生を抑えるための施設の気密性向上
iv. 高温多湿地域に適した栽培装置	栽培環境を考慮した装置開発	<ul style="list-style-type: none"> ・高温多湿地域に適切な栽培方法の選択と、対応した装置の開発
v. 高温多湿地域に適した栽培方法	栽培条件最適化	<ul style="list-style-type: none"> ・高温で水分消費が激しい地域に適した培地と水分・養液管理方法の検討 ・ビッグデータ解析などによる収量増や品質向上 (IoT、AI)
vi. 現地に最適な品種選定	機能性、安心・安全、味が良い、高度耐病性	<ul style="list-style-type: none"> ・栽培する品種の選定
vii. SIP 次世代農林水産業創造技術テーマとの連携	多収高品質野菜栽培技術の実証・普及・展開	<ul style="list-style-type: none"> ・SIP オミクス解析で得られた情報による制御の実証 ・統合環境制御、細霧冷房、CO2 施肥装置などのコア技術導入検討
viii. 国内に建設する輸出向け大規模植物工場における課題	立地、法規制の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・気象条件を考慮した建設地の選択 ・国内研究拠点に対する法規制の改善

重点テーマの現状技術と課題の詳細を以下に示す。

i. 低コスト室温制御技術

【現在使われている空調技術とその効果】

高温地域での施設園芸では、温度上昇の抑制が重要となる。冷房の方法としては、空調機(ヒートポンプ)の他、水の蒸発を利用した冷房技術であるパッドアンドファン法と細霧冷房がある。太陽光型植物工場ではヒートポンプ空調、パッドアンドファン冷房、細霧冷房の採用例が多く、換気には、壁側面ないし天井面への換気窓設置、必要に応じ循環ファンを室内に設置し気流を作るなどの設計が多い。温度上昇抑制には、換気、遮光も有効であり、複数技術を効率よく組み合わせることが必要となる。一方、人工光型植物工場ではパッケージ空調機やエアハンドリングユニットによる中央方式が採用されているが、空調能力のほとんどが照明からの発熱除去と蒸散の除湿に使用されており、生育照明条件との最適化が重要である。また、大規模施設用の空調設備としては、他に地中熱・地下水利用、外気冷房などが有効であるが、上記方式含め、イニシャル・ランニングコストの高コスト構造を回避する本質的な対策、技術は確立されていないのが現状である。

植物工場用環境制御としては、センサーによるモニタリングとあわせた統合環境制御やコージェネによる空調とCO₂の同時利用等、他の設備と関連させるトータルな設計が注目されている。温度制御の他、湿度制御(植物生長・病害発生に影響)、気流制御(生長均一化、葉面境界層の破壊)も考慮したシステムが求められている。

【課題】

省エネルギー冷却技術開発のため、下記要素技術の深化と構成最適化の検討が必要である。

① ヒートポンプ空調

ヒートポンプは冷媒の気化熱・凝縮熱により低温部(蒸発器)から高温部(凝縮器)に熱エネルギーを運搬する熱ポンプである。農業分野では主に暖房に導入されているほか、バラや一部の野菜では、除湿や夜間冷房など多目的に用いられている。日本は世界屈指のヒートポンプ技術を有しており、高いCOP(成績係数)を達している。

高温多湿地域の大規模植物工場の導入を想定するのであれば、冷房・除湿の用途が主であり、かつ、比較的大きな冷熱需要が想定できることから、大規模施設で採用が多い冷却塔を用いた水冷チラー方式を用いる方法を主とするのが、設置コスト・省エネ効果(ランニングコスト)の観点から、最も効率的と考えられる。

冷凍機・ヒートポンプの効率(COP)を向上させる手段については、原則として低温部と高温部の温度差を小さくすることが挙げられる。上記のような冷熱供給を主に考えるのであれば、後述するデシカント空調との併用により、低温部の温度を上昇させることや、LNG冷熱・海洋深層水の冷熱のカスケード利用により高温部の温度を低下させることにより、性能向上が見込まれる。さらに、温熱需要が存在する場合については、冷熱供給時の排熱を温熱側の供給する熱回収利用も有効と考えられる。しかしながら、高温多湿地域の大規模植物工場の導入を想定したこれら熱源システムの検討は事例が無いため、多段制御などヒートポンプ複数台利用の最適制御等を含めて、シミュレーションや実施への導入による実証実験などにより、最適システムの検討が必要であ

る。

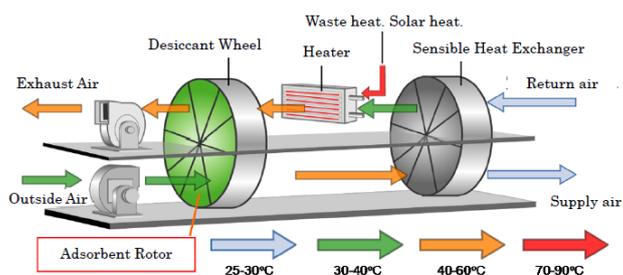
② デシカント空調

一般的な空調を考える場合、高温多湿地域においては、室温を下げるために必要な熱量(顕熱負荷)よりも除湿を行うために必要な熱量(潜熱負荷)の方が大きく、従って、栽培の対象となる植物によっては、植物工場(施設)内の除湿が必要となることも想定される。除湿の方法については、冷凍機により供給される冷水等を用いて冷却除湿する方法も適用可能と考えられるが、この場合、除湿を行うための冷凍機から供給する冷水の温度を下げなければならず、冷凍機の性能向上手段とは相反することとなる。

デシカント空調はロータの再生を行うエネルギーを減らすことができれば、ロータの回転などに必要なわずかなエネルギーで除湿が可能となる(図8)。高温多湿地域においては、太陽熱を利用することや、ヒートポンプ・冷凍機を用いて冷熱を供給する際に発生する排熱を利用することも可能なため、これらを有効活用することで、省エネルギーな除湿システムの構築を実現できる可能性がある。

デシカント空調による除湿(潜熱処理)が可能となれば、潜熱負荷の削減、ヒートポンプ・冷凍機の冷水供給温度上昇による機器の高効率化、細霧冷却との併用などが可能となり、植物工場の調温・調湿に必要なエネルギーを大幅に削減できる可能性を有している。一方で、デシカント空調の高温多湿地域の植物工場への適用についての課題としては、地域の気象を考慮したロータ再生のための温熱供給の方法の確立、細霧冷却との併用が可能な条件の検討及びそれを考慮したシステムの制御方法の確立などが挙げられる。

図8 デシカント空調システム(辻口ら、2015、JSME TED Newsletter、No76:1~7)



③ 遮光・遮熱

ハウス内に入る日射を物理的に制限する遮光、遮熱は熱帯・亜熱帯地域の栽培では必須である。ハウスの内部に展帳する場合(内部遮光)と外部に展帳する場合(外部遮光)がある。

【課題】

・遮光、遮熱フィルム

光合成に有効な波長域(400~700nm)をできる限りカットせず、700nm以上の近赤外部分を選択的にカットする資材やフィルムが望ましい。除去する波長域の光は吸収せずに反射する資材が求められているが、現行の遮光・遮熱資材は吸収するタイプが多い。住宅や自動車用の遮熱フィルムとして開発された資材には、反射型のものがある。また、有機太陽電池を使用する

ことにより遮熱と発電を組み合わせた機能設計も検討されている。しかし、コストが極めて高く、ハウスに展帳する資材としては利用しにくい。現在もっとも一般的に使用されているものは塗布型の遮熱資材である。

遮光、遮熱を行うためには熱負荷と強度、コストそして栽培品目の光合成などの特性に合わせて選択する必要がある。高温多湿地域向け植物工場の開発では、新たな素材開発等を研究する必要がある。

・ウォーターカーテン

ウォーターカーテンは「地中熱」を利用した暖房システムの一形態で、文字通り地下水で水膜を作り、ハウスを保温するシステムである。現在国内でもっとも導入が進んでいる省エネルギー施設であり、2007年で503haの実績がある。低温期の暖房用に使われてきたウォーターカーテンを冷房に利用する試みがなされている。フィルム上に散水された水はハウス内の空気と熱交換する。さらに、フィルムの温度を低下させるので、作物の葉を放射によって冷却する。さらに水は赤外の一部を吸収除去する機能も期待される。

・透明真空断熱材

真空断熱材は、グラスウールやウレタンフォーム、粉末シリカなどをガスバリアフィルムに充填し、真空封止を行うことによって作成する断熱材である。透明ガスバリアフィルムと充填剤の検討により透明真空断熱材の開発が進められている。ペアガラスと比較して軽量・薄型であるという長所がある一方で、製造コストや耐久性に課題を有している。植物工場においては、ガラス代替の他、軽量・薄型であるという特長を生かしたカーテンのような簡易設置による方法も有望である。

④細霧冷房

蒸発（気化）冷房法の一つで、自然換気または強制換気条件下において、細霧（粒径10～50ミクロンの水滴）を散布し、その蒸発によって周囲から気化熱を吸収しハウス内の気温を湿球温度まで低下させる手法である。噴霧量やミストの粒径を適切に選択すれば、ハウス内の均一な冷房が可能であり、また作物のぬれを回避することが可能である。多くの品目によって効果が実証され、すでに多数の導入実績がある。最近では加湿が光合成にプラスの効果を及ぼすことが知られるようになり、湿度の制御にも利用されるようになってきている。原理的に湿度の高い地域では十分な効果が得られないため、熱帯や亜熱帯の地域でどれだけ効果があるかは十分なデータがない。これまで、日本の夏は湿度が高く効果が低いとされてきたが、近年、ドライミストと呼ばれる高圧で粒径の細かいミストを発生させるシステムが市販化されるようになり、関東や東海では4～5℃気温を低下させることができるとされている。他の環境制御と協調した間欠噴霧や適量噴霧、上方噴霧方式を検討する必要がある。

⑤パッドアンドファン

細霧冷房と同様。水の気化冷却によってハウス内の昇温を抑制する。細霧冷房と比べて導入コストは高額であり、ファンを運転するための電力消費量も大きい。パッドからファンにかけて温度勾配が生じること、栽植密度が高く、草丈の高い作物の場合には、通気抵抗が大きくなり冷房効果が低下する懸念がある。一方で、作物のぬれが生じないことや、外気を強力なファンで吸引

するため、CO₂ 濃度を外気程度には維持できることが特徴である。パッドアンドファンの応用あるいは変形として、ミストをファンの組み合わせ（ミストアンドファン、フォグアンドファン）も一部で導入されている。

⑥未利用冷熱利用

・LNG 冷熱

LNG 冷熱は、LNG を蒸発させ常温の天然ガスに戻す際に発生し、理論的には気化に要する蒸発潜熱として約 120kcal/kg、これに-162°Cから 0°Cまでの顕熱を加えると約 220kcal/kg の冷熱が得られる。これらの冷熱は、ドライアイス製造、発電、空気液化分離などそれぞれ目的の温度に応じ効率的な利用が実施されているが、現在国内での LNG 冷熱利用は 20%に留まっており、植物工場向けの冷熱源としての利用が期待される。LNG 冷熱の効率的利用とともに、発生した天然ガスの燃料による利用及び排出する二酸化炭素利用等も考慮した総合的なエネルギー利用の検討が必要となる。

・海洋深層水

海洋深層水の低温特性を利用した冷房は、自然エネルギー活用の一手段として位置づけられ、日本でも温度の低い海洋深層水を空調に利用している既存施設が存在する。一般的な空調システムでは、冷房に供される冷水は 7°C、冷凍機に戻ってくる水温は 12°Cである。取水温度が 10°C程度以下の場合は直接冷熱源として利用する直接利用方式を、取水温度がそれ以上の場合には間接利用方式が採用される。

海洋深層水冷房と一般的空気熱源式ヒートポンプ冷房とを比較すると、電力使用（1/20）、空調システム建設費（1/5）のコストメリットがあることがわかっており、取水可能地域では安価な冷熱源として期待される。

⑦トリジェネレーション

欧州では、発電、温熱供給用ガスタービンエンジンの排気ガスを CO₂ 源とする、農業トリジェネレーションが活用されており、近年ではより高濃度の CO₂ を農業や工業に利用する CCU (CO₂ 回収・利用) 技術も活用されている。LNG を燃料とするガスエンジン発電の効率は 46～48% (http://www.ed.jrl.eng.osaka-u.ac.jp/taiken_gasengine.html) とされ、LNG 1 t 当たりの発電量は 2.28×10^4 MJ である (LNG の発熱量を 41 (MJ/m³)、LNG 1 t=1220m³、発電効率 46%とした場合)。発生した電力によってヒートポンプを運転する場合は、冷熱 6.84×10^4 MJ (COP=3 と仮定) を供給すると同時に、発生する CO₂ (2,700kg) を光合成促進に利用することができる。10ha のハウスで夜間冷房を行う場合に必要な冷熱は $6.0 \times 10^4 \sim 12 \times 10^4$ MJ と試算され (内外気温差 5～10°C、熱貫流率 8 kJ/°C/m²、ハウス表面積 150000m² として、10 時間運転したと仮定)、また光合成促進に必要な CO₂ 施用量は 3000kg (30 g-CO₂/m²/日と仮定) なる。日本でも CO₂ 濃度を 700～1000ppm 程度に上げることで、葉野菜で 25～30%、果物で 20%程度、花きでは 40%程度の収穫増を達成している。

発電、熱源、CO₂ などがバランス良く利用出来てはじめて効率が向上するため、利用負荷を考えたバランスを考慮するとともに、蓄電・蓄熱・蓄 CO₂ の技術開発が求められる。

電力の供給が安定しない地域では LNG を燃料とする発電によって発生させた電力を利用し、ヒー

トポンプを運転することが想定される。

ii. 大規模植物工場管理技術

【栽培環境の統合制御システムの必要性】

従来のオランダ企業による環境制御は、北緯 50 度のオランダを中心に開発されたものであり、そのままの形で日本等に導入しても、オランダ並みの収量を得ることは困難な場合が多い。そのため、日本以上に高温多湿のアジア地域では、今までに蓄積したオランダ型のデータ・ノウハウの応用が難しく、ゼロから生産システムや管理方法を見直す必要がある。特に亜熱帯・熱帯地域での温度・湿度を中心とした環境統制が難しく、生産が安定しないことや年間を通じた育成機関が限られることが考えられる。高温多湿環境向けの新たな環境制御システムを構築していかなければならない。

また従来の植物工場（施設栽培を含む）においては、栽培技術・環境制御技術へのフォーカスが強く、大規模安定生産を 365 日 24 時間遂行する「工場」としてのマネジメントへの取り組みが弱かった。工業における日本企業のこれまでの経験から、製造業現場の「ものづくり」技術・ノウハウが活用できる局面は大きい。まずは、工場型の生産マネジメントシステム活用による「最適な生産工程」の確立と生産性向上・安定生産に向けた継続的な取り組みが必要と思われる。

植物工場の管理すべき環境として、光、温湿度、気圏、根圏、養液が挙げられる。これまで国内で実施されてきた環境制御では、光については一般的な夏期の遮光の他、冬期の補光、また特定波長の補光がある。温度に関しては上述の通り、空調機、保温、換気、遮光などによって管理されている。また湿度に関しては飽差制御が注目されている。気圏については、風速が重要視されるほか、肥料としての CO₂ 施用がある。夏期窓を開放する日本では、外気との CO₂ 濃度差をなくすように制御するゼロ濃度差制御がコスト的に有効と見られている。根圏については、夏場の土壌冷却、特に冷却した養液の供給が提案されている。また、酸素の供給も重要とされ、養液に酸素を混ぜることが行われている。研究例は少ないが、培地による水ストレスについての検討も行われている。養分については、植物の状態によって対処法が研究されている。

こうした環境制御を実現するためには、多様なセンシングが不可欠である。現在国内では、光量子計、温湿度計、CO₂ ガス濃度計などが用いられているほか、養液測定は pH、EC を中心に行われている。ASEAN では米企業の製品がよく用いられている。農業分野で広く使用されており、水耕栽培などでは簡易的な設置型も販売されている。ただしイオン測定には、このような簡易モデルはない。1997 年に EU ではハウレンソウ、レタス、サラダ菜類について硝酸イオン含有量の上限值を定めている。各成分の規制動向や低減化ニーズを把握して商品（野菜）に反映することが有効であり、植物工場に限らず養液や作物自体のイオン測定のニーズが高まっている。しかしながら現状は適切なセンサーがほとんどない特に連続測定が可能なセンサーの開発が必要である。

また、環境のセンシングにおいては、各機器の通信規格が定まっていないことも問題である。多様な通信規格が存在するが、統一されておらず、メーカーや商品ごとに違っているため通信できない。このため、現在でも有線で通信や電源供給しているケースが多く、工場内にケーブルを引き回している状況が見られる。無線規格の標準化が強く求められている。

【課題】

① 高温多湿地域向け統合環境制御システム

高温多湿の自然環境下においてランニングコストを低減させるためには、いかにコストを抑えて冷却を行うかが重要となる。国内でも、光・水・風といった自然の力を利用したパッシブ制御の重要性が唱えられており、これを活用した低コストなシステムが構築され、従来の設備を利用しながら大幅な省人化を実現している。亜熱帯・熱帯地域のように日本以上に厳しい環境条件で低コスト空調を実現するためには、前述の通り、安価な冷熱源の利用と様々な冷却装置の組み合わせが必要となる。複数の冷却手段の中からその時の状況に合わせて、最も低コストな最適手段を選択して、トータルコストを抑えるような環境制御方法が有用であり、低コスト空調実現のためには、このような制御を行うソフトウェアの開発が不可欠である。

コスト低減のためには、どの部分の何をセンシングするのか、測定箇所と測定要素も大きな影響力を持っている。測定箇所においては、施設全体の環境を制御するのではなく、一部のイチゴ栽培でみられるクラウン冷却装置のように栽培に直接影響を与えるポイントを効果的に制御する局所フォーカスの考え方が重要となる。測定要素についても、温度、湿度など必須要素のほか、葉温、気流、クロロフィル、光量や波長など数多くの要素が存在する中、栽培管理のキーとなる測定要素を絞り込むことでコストを抑えつつ効果的なセンシングを行うことが可能となる。

このようにして構築された環境制御システムは、植物工場と一つのパッケージとして輸出されることを前提としており、技術流出を防ぐ手立てが求められる。具体的には内部の設定値やアルゴリズム、演算処理をブラックボックス化しておくことが必要であろう。

また開発に当たっては、既に国内で実績のある制御システム・ソフトウェア群と協調し、基盤技術を応用することも考えられる。参加企業の技術的バックグラウンドを生かし、開発コストを抑えながら完成度の高いシステムの構築が期待できる。

② 自動化・ロボット化

植物工場の自動化については工業製品の取り扱いとは異なり、作物の生育状況に応じた都度の対応も可能なライン設計とする必要があり、工業製品を対象とした自動化概念を持ち込んでも最適解とはならないことに留意すべきである。

大規模施設に必要となってくる自動化としては、播種、定植、移動・整列、収穫、計量梱包、洗浄技術等が挙げられるが、播種から梱包までを連続全自動化したラインはリスクが大きく融通性に欠けるため、部分工程の自動化とその組合せとしてのライン設計が重要である。また、自動化の目的として、省人化や軽作業化のほか、地域特性・事情への配慮や高齢作業員対応なども、次世代植物工場には欠かせないポイントとなる。

人工光型植物工場においては、多段栽培が可能であるため太陽光型に比べスペース効率の追求が可能であり、この点で自動化の効果も大きくなる。人工光型植物工場のランニングコスト構成の一例として、大規模工場である某社のランニングコストは総額 7.7 億/年、人件費率 20% (1.54 億/年) と推定される。その他稼働中の人工光型植物工場のランニングコストに占める人件費割合は平均で 27%となっており、自動化により省人化できればその効果は大きい。現在国内では自動化導入事例として、Sci Tech Farm、大阪府立大、グリーンクロックス、Panasonic などが挙げら

れるが、いずれも部分的な導入であり、その費用対効果は不明である。このような状況から、人工光型植物工場においては、スペース効率の追求によるイニシャルコスト削減（ラックの高層化など）、栽培技術の高度化による1株当たりの重量増、LEDの普及・作業効率の向上（自動化・省力化）などによるランニングコスト低減効果を見極めることが必要となってくるだろう。

一方、太陽光型植物工場ではロボットを利用した自動化の検討が進められている。管理・防除・収穫等のロボット化が検討されているが、未だ実証試験のレベルで商品化には至っていない。この原因は栽培作物が多岐に渡るとともに、植物の成長に合わせて対象が変化するなど同じロボットで各種作物や多種作業に対応することが難しいことが挙げられる。このため国内の事例では、共通のパラメータとして光合成に着目し、トマトやパプリカの光合成機能を測定して工場内の生育の見える化を実現している。国としても日本は製造業における原価低減を目指して、産業用ロボット分野ではロボット大国を維持しているが、農業用ロボット分野は開発が遅れている。平成27年度予算で要求された「農林水産業、食品産業におけるロボット革命の実現」として導入実証事業を支援するなど、ロボットを利用した植物工場の自動化が求められている。

③センシング（規格共通化とイオン測定）

温湿度計はほとんどの圃場、工場で使用されている。以下に市販されている商品での例を示す。

多様な通信規格が存在するが、メーカーや商品によって違っており、別のグループ間では通信することができない。植物工場用センサーの無線規格の標準化を検討する必要がある。

また光量子計、温湿度計、CO₂ガス濃度計などはよく用いられているが、イオン測定に関しては適切なセンサーがないのが現状である。養液や作物自体のイオン測定のニーズが高まっており、現場の要望に合致したイオン計の検討を進める必要がある。

<A 社温湿度計>

- ・ Ethernet (10BASE-T, 100BASE-TX)
- ・ 無線 LAN (規格: IEEE 802.11b)
- ・ 光通信 (独自プロトコル)
- ・ 無線通信 (周波数: 429 MHz 帯)

<B 社温湿度計>

- ・ 無線通信 (920MHz 帯)

④ビッグデータ、AIの活用

【AI、ビッグデータの活用の必要性】

農業技術は長年の経験を基にした技術体系になっており、また、必ずしも体系化したデータになっていないことがある。しかし、植物工場をインフラとして輸出するには、経験の少ない方でも栽培ができ且つ、安定的なシステムでなければならない。その為には生産技術のマニュアル化が必要であり、AIやビッグデータの活用がキーになる。更に、植物工場がビジネス的に成り立つためにはリスクの最小限化が必要である。病害虫発生による生産の低下や、供給過剰による価格の下落を防ぐにはその予測が不可欠であり、センシングによるデータ収集とAIによる解析が有効な手段となりえる。

【課題】

- ・標準化、データベース化

農業は様々なビッグデータがあり、それらを活用することは前述以外にも大きな効用が期待されている。データを活用するには互換性が必要であるが、現状は各メーカーがバラバラの状態にあり、データの有効活用とコスト削減には標準化された共通のプラットフォームを作る必要がある。

- ・センシング技術の開発

農業生産において最も大きなリスクは病害虫による被害である。高温熱帯地域は生物活性が高く、病害虫の影響は大きい。植物工場と雖も病害中の発生するリスクは存在し、その防御を考える必要はある。そのためにも早期発見できるセンシングシステムと防除プロトコルの開発が必要である。

- ・作業行動記録の自動化

作業行動記録は栽培管理、営農管理に有効であるばかりでなく、栽培技術の進化にも大きく寄与する。しかしながら、現状技術での詳細な行動を記録するには作業者の負担が大きく、IoT等の技術を用いて自動的に作業行動が記録できるようなシステムの開発が必要である。

- ・流通情報と生産情報の統合

農産物の価格は需要と供給に大きく影響され、他の商品よりその影響は大きい。流通データ等を基に需要を予測し、生産を調整することは植物工場の経営を安定化させる。そのためにはRFIDタグなど利用した流通データの取得が必要であり、そのデータに基づいた需要予測及び生産調整を行えるシステムの開発が必要である。また、農産物の栽培から流通のトレーサビリティは消費者への安全を訴える上で重要なことであり商品の価値を高める。生産から物流までの可視化できるプラットフォームも必要である。

⑤病虫害対策

世界的な減農薬の流れがある中で、「光を用いた病虫害防除」「匂いを用いた病虫害防除」など、化学農薬を用いない新しい病虫害対策の手法が提案されている。前者に関しては、UV-B光を適度に照射することで植物の免疫力を高める方法や、黄色光を夜間に点灯することで、夜行性害虫の行動を抑制する方法が提案されているほか、青色光、赤色光の照射による防除効果が報告されている。また、後者については、虫による食害を受けた植物が天敵を誘引する特異な匂いを出す性質や、植物間の匂いによるコミュニケーション現象(近傍の虫害を匂いで感知し、自身も誘導防衛反応を起こす)が報告されており、これらの性質をうまく利用することで新しい防虫技術に繋がる可能性がある。

亜熱帯・熱帯地域では日本国内よりも頻繁かつ異質な病虫害の発生が予測される。上述の技術については、日本で実証試験が行われ、一定の効果が確認されているが、今後、亜熱帯・熱帯地域での効果について実証する必要がある。

iii. 耐久性資材開発

【熱帯・熱帯地域に対応した耐久性資材について】

亜熱帯・熱帯地域では日本の沖縄・奄美地方同様、頻繁に大型の台風が到来する地域もあるため、本州地域以上の台風対策も検討が必要となる。また、LNGや海洋深層水に関連する施設は沿岸部

に建設されることが多く、台風による潮風害、平時の潮風などを考慮した錆対策が不可欠である。

【課題】

①台風対策

一般的に台風対策は、台風接近前対策・ハウス本体補強対策・台風通過後対策の3つに大別され、中でもハウス本体補強（鋼材の強度を上げる、タイバー・支柱等の補強を施す）と台風通過後対策（潮風害対策、冠水・浸水対策、停電対策）に技術開発の余地がある。

ハウス本体の強度に関しては、仮に園芸用施設安全構造基準に則った場合、地域とハウス仕様によるが瞬間最大風速 50m/s を満たす必要がある。これを目指した建築材料の研究開発が必要である。

また台風通過後に潮風害が起きた際の除塩設備（露地の場合）、冠水時の排水用ポンプ、停電が起きた際の非常電源（もしくは設備を手動で動かせる仕組み）なども課題として想定される。これらを考慮した上で総合的な台風対策システムとして組み上げることが求められる。

②錆対策

既存の温室材では、計算上沿岸地域 21 年が耐食年限と考えられる。沿岸地域での展開が考えられる亜熱帯・熱帯地域向け植物工場の建築材料としては、平時の潮風及び潮風害による錆の発生に対抗するメッキや塗装が必要と考えられ、これら素材関連の研究開発が求められる。

③気密性向上

既に述べたように、亜熱帯・熱帯地域では日本国内よりも頻繁かつ異質な病害虫の発生が予測される。これを最低限に抑えるためにも、施設の気密性を向上させることが求められる。国内では気密性に関してはあまり検討例が無く、新規に検討施設を用意し、研究開発を進める必要がある。

iv. 亜熱帯・熱帯地域に適した栽培装置

【栽培環境を考慮した装置開発】

上述の通り、制御すべき栽培環境として、光、温湿度、気圏、根圏、養液が挙げられる。これらのうち、根圏や養液の管理においては、栽培装置に依る部分が大きく、装置の設計や構成から見直さなくてはならない。

装置構成の上で大きく影響するのは、養液栽培の手法である。植物工場で用いられる養液栽培手法には培地を用いない水耕と、培地を用いる固形培地耕がある。水耕には NFT (Nutrient Film Technique) と呼ばれる 1cm 程度の培養液高さで栽培されるものや、日本で開発された DFT (Deep Flow Technique) と呼ばれる 5-10cm の培養液高さで栽培されるものがある。また不織布などの毛管力を使って養液を根に供給するものや、霧状の培養液を根に吹きかけるものがある。培養液は循環し、必要に応じて濃度や PH の調整、エアレーション等による酸素濃度向上などが行われる。培養液にはかびやアオコが発生しやすく、また細菌性の病気が培養液を介して蔓延する可能性があるため、殺菌が必要である。水耕は人工光型植物工場等での葉物栽培によく用いられる。

一方、固形培地耕では培地として、礫、砂、ロックウール、パーライト、有機培地（ピートモス、ヤシ殻など）またはこれらの混合したものが用いられる。植物の生育環境は培地の物理的・化学的性質によって大きく変わるので、それぞれの特性にあった栽培が行われているが、一長一短が

ある上、条件設定には経験に頼る部分も多く、給水方法や廃棄方法も含めた今後の改善が期待される。

【課題】

水耕法でも固形培地法でも、高温で水分消費が激しい地域に適した培地と水分・養液管理方法についてのデータがなく、各々の特徴を考慮して実地試験を行いながら、必養分組成・濃度を植物の種類、生育段階、環境によって最適化していく必要がある。

また今後は、リアルタイムでの吸水量の計測、CO2 濃度計測による光合成量の検出や吸収肥料量と環境データを組み合わせたビッグデータ解析などにより、更なる収量増や品質向上が実現できる可能性がある。

v. 高温多湿地域に適した栽培方法

果菜類では、トマトが重要な品目の事例となる。トマト栽培法には栽培期間と収穫果房段位数により、長期多段栽培と低段栽培に分けられる。通常、低段栽培では1段から4段程度の果房を収穫する場合をさし、長期多段栽培に比べて2~5倍程度まで栽植密度を高めて栽培するため低段密植栽培とも呼ばれる。また、この中間に位置するものを中段栽培と呼ぶこともある。どのような栽培方式を選ぶかは栽培者の技術、目標収量・品質に合わせる必要がある。長期多段栽培と低段栽培のメリット・デメリットを示す(表8)。現状では収量性をみると長期多段栽培が有利であるが、ウイルス病の多発地域や高糖度トマトの栽培を行う場合には低段密植栽培が有利である。

葉菜類については短期栽培であるため、耐暑性の高い高機能性の品種を選び、冷房など環境制御技術の検討を行う必要がある。

表8 トマトの長期多段栽培と低段栽培におけるメリットとデメリット

	長期多段栽培	低段栽培
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日常の管理が定型的 ・ 超多収化しやすい ・ 使用する種苗が少ない ・ 定植前に病害虫をリセットできる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 技術を習得しやすい ・ 高糖度化の付加価値を付けやすい ・ ウイルス病・機器トラブル発生時のリスクを分散できる ・ 周年出荷が可能 ・ 施設等の初期投資を抑えられる ・ 日常的な管理や収穫作業などの作業性に優れる ・ 数品種を使い分けることで季節に合った品種を使える ・ 雇用労力を平準化できる
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ ウイルス病・機器トラブル発生時のリスクが大きい ・ 生育制御に経験が必要 ・ 播種・育苗などの技術を習得しにくい ・ 一定期間出荷できない時期を生じる ・ 軒の高い施設・高所作業台車などが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 種苗費が高い ・ 作業が煩雑 ・ 綿密な栽培計画が必要 ・ 育苗期間に無駄なスペースを生じる ・ 閉鎖型苗生産システム等が必要 ・ 栽培が途切れることがないため病害虫を引き継ぐ可能性 ・ 植物残渣が大量に発生

【課題】

高度に環境が制御できることが確実であれば、いわゆるオランダ式の長期多段栽培で多収をねらう手法も考えられる。一方、経営全体を考えた場合、一年一作の体系をいきなり導入するは熱帯での導入事例は少なくリスクが大きいと考えられる。

低段密植栽培であれば、基本的な栽培方法についての知見は日本国内で集積しつつあり、メリッ

トも大きいと思われる。今回の海外展開においては、①日本の高品質トマト生産の実施、②病虫害のリスクを低減させる（栽培期間が短いため発生の場合も被害を少なく抑えられる）、③現地での人材育成（年間で数回の実施が可能）を考えた場合、日本独自の低段密植栽培の導入も合わせて検討を行う必要がある。

vi. 現地に最適な品種選定

日本におけるトマトの品種選定では、長期多段採り及び低段密植養液栽培に適性のある品種が選抜されている（畠中、2015）。長段栽培では、既存品種として草姿の良さ（良採光性）、安定着果、低温期肥大力を総合的に具備する CF 桃太郎はるかの収量が安定しており、その他 TTM-105（黄化葉巻耐性）を始めとするいくつかの育成中の候補 F1 品種が選定されている。低段密植栽培では、CF 桃太郎ヨークを基盤として、高温期には桃太郎グランデや桃太郎 75 などが選定された。農研機構ではオランダ品種 Geronimo と桃太郎 8 を交配して、安濃交 9 号を育成し、高糖度で多収性を示すことが各地で実証されている。日本においても、特に夏季は高温高湿の問題があり、様々な対策が講じられつつある。上述したような適切な品種選択も栽培成功のための鍵となる。

【課題】

亜熱帯、熱帯地域で日本とは異なる高温多湿の環境下で栽培性があり、かつジャパンプレミアム野菜として現地で差別化できる品種が求められる。そのため耐暑性、耐湿性が高く、良食味で機能性が高い品種の選定が必要となる。日本の育種技術は世界的にも評価が高く、SIP の新育種技術などを活用すれば、植物工場に最適な品種の提供は十分期待できる。本テーマで想定している太陽光利用型植物工場では果菜類や葉菜類の高機能野菜のほか、世界的にも育種が進んでいる良食味の大玉トマトや高糖度トマトなども考えられる。このような日本独自の高品質な品種であれば、オランダ系品種とは大きく差別化でき、ジャパンプレミアム野菜としての価値がある。現地で実際にできる植物工場の環境や、栽培方法に則した品種の選定が必要になるが、そのような品種提案は十分可能である。

一方、高品質な野菜を生産しながら、可能な限りの多収も求められ、SIP の成果を導入しながら実際の植物工場での収量をアップさせていくことが課題となる。そのため実際の植物工場での栽培方法で品種の試作を実施し、栽培性、耐暑性、耐湿性及び求めている品質（機能性、食味、糖度など）から品種を選定することが必要となる。

vii. SIP 次世代農林水産業創造技術テーマとの連携

【連携の必要性】

SIP は内閣府による府省を連携した先端的研究開発の取組みである。農業分野での取組みの一つとして農研機構を中心とした「統合オミクス情報を利用したトマトの体系的最適栽培管理技術の開発」を進めている。これまでに高品質で多収な（55kg/m²、糖度 5 度）トマトの栽培技術を目指しており、その成果は国内の次世代施設園芸導入加速化支援事業 10 拠点でも一部導入が検討されている。この国際的にも競争力のある栽培技術を海外に輸出するためには、本提言が進める高温多湿域向け植物工場に SIP 栽培技術との連携が必要である。

【課題】

多収高品質野菜栽培技術の実証・普及・展開を目指し、品種・ソフト・ハードの各面において best of japan のパッケージを用意し、統合制御を図る。品種では養液栽培用多収良食味品種、多収台木品種を選定し、ソフト面では SIP オミクス解析で得られた情報（バイオマーカー、環境制御のタイミング、植物調節剤＋ロボット制御）による制御を行う。ハード面では東南アジア施設園芸を想定し、コア技術として①統合環境制御、②細霧冷房、③CO₂ 施肥装置等の検討も必要である。

viii. 国内に建設する輸出向け大規模植物工場における課題

【立地、法規制の課題】

本提言では、海外への植物工場インフラ輸出を見据え、その実証として国内に大規模な植物工場を建設し、建設から運営、市場開拓に至るまでの技術・ノウハウを蓄積していくことを想定している。輸出のターゲットとなる高温多湿地域は日本国内の多くの場所とは気象条件が大きく異なっており、実証施設の建設地については十分に情報を吟味し適切に選定しなくては、実証の意味を為さない場合もあり得る。

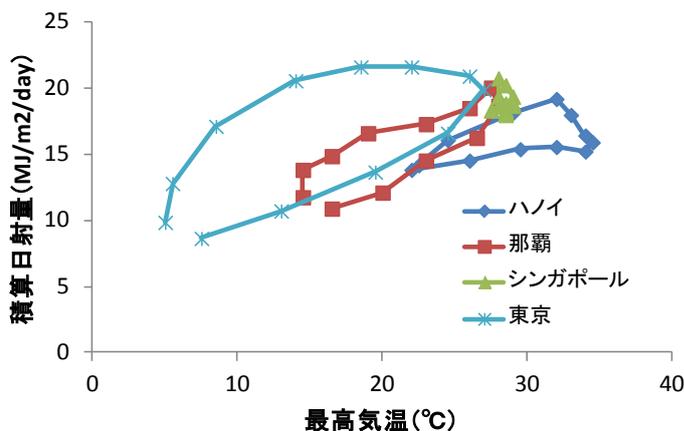
また国内での太陽光型植物工場の立地においては農地法、建築基準法、工場法、消防法等の法規制がある。農地に建設できた場合でも、付随する重油タンク等は消防法の規定を受けるなど、取扱いは複雑である。また植物工場が建築物か否かは、基本的に地方自治体の建築主事ごとに判断が異なる。このように、国内に輸出向け大規模植物工場を建設する場合にはその土地での法令の確認（建築物扱いか否か）が重要となる。国内研究拠点の推進に向けた法整備や規制緩和、優遇措置を制定するなど、植物工場産業の発展を考慮した対応が期待される。

【課題】

東南アジア各地の気象データを調査したところ、最高気温は沖縄（那覇）よりも 2-3℃高く、最低気温は同じかやや高い傾向が見られた（図 9）。夏期の最高気温において 2-3℃の差がどれほどの影響を持つのか、また日中の平均気温が高いまま推移することがどの程度影響するのか、シミュレーション等により評価する必要があるだろう。また、東南アジアにおいては 4-5 月に比較的高温多湿となる地域などもあり、気化冷却の利用を考えた場合には、温度と湿度の両面から調査・検討を進めていかななくてはならないだろう。

こうした東南アジアの各地と比較してみても、沖縄などの日本南西地域の 6-8 月の気象条件は梅雨の影響などで高温多湿となり、極めて厳しい条件となっていることがわかった。高温多湿条件下でも安定的に動作する栽培施設の実証・評価を行う上では好適な環境と言える。今後こうした南西地域を中心に気象条件や法規制等を調査しながら、実証施設の建設地を選定する。

図9 ハノイ、シンガポール、那覇、東京の日積算日射量と最高気温の関係（クライモグラフ）



<http://www.soda-is.com/eng/index.html> のデータより作図

4-2. 植物工場製品の機能性評価と機能コントロール技術（美味しさの追求、機能性の付与）

食品の持つ機能については、1次機能：栄養機能、2次機能：感覚機能（美味しさ・味覚）、3次機能：生体調節機能、と定義されており、単に機能性というと3次機能を指すことが多い。3次機能で代表的なものは乳酸菌による腸内環境調整や、植物ステロールによる脂質吸収阻害、キシリトールによる歯の健康維持などである。3次機能に関してはその作用機序や効果をもたらす成分が明らかになっている場合が多く、その場合は単一の成分に着目して評価することが可能である。しかし、そうでないもの、例えば漢方薬などのように複雑な機序で効果を発揮するものに関しては、食品の摂取により変動する健康状態を定量的に把握するためのバイオマーカー（生体指標）の選定が重要となってくる。このように3次機能を議論する上では、食品のみでなくそれを摂取した人間の観点からも分析することが必要となる。

一方、2次機能である美味しさも、人間の感性によるものであり規格化が難しい。糖度については計測方法が規格化されているが、味は酸味や苦みも合わさったものであり美味しさの定量化は不十分な状況である。美味しさの研究は、食品成分に関する研究や味覚・食感等を如何に生物が認識するかと言った生物学的な研究から、思い込み等の心理学的な研究、更には脳科学の研究にまで至る非常に広範な研究が必要である。これらを総合して短期間で結論を出すことは困難であるが、対象を絞って、段階的に研究を進めることが必要である。

同じ食品であっても、甘味を特徴とする種や酸味を特徴とする種、健康成分、大きさや水分量など、価値を高めるパラメータは様々である。それらの食品に応じて、生産者の訴求したい点を踏まえて定量的に評価することが可能なセンシングシステム開発と、その結果を生産者にフィードバックする仕組みの構築が望まれる。さらに、それらの日本の食材を海外に戦略的に輸出していくためには、輸出先の国の人の好みやその食材の扱い方など、現地に受け入れられる品質であることが重要であり、輸出対象国毎の食の習慣や嗜好性等に関する調査と、その結果を生産品の評価システムに活用する体制も望まれる。

先に述べたように、2次機能・3次機能はそれを摂取する人間に左右されることから、定量化の

可否については未知数であるが、味覚センサーやメタボローム解析、SR(シスマティックレビュー)やヒトでのエビデンス試験の実施など今後どのような研究が必要であるか、と言った視点からの検討が必要であり、産学の連携した取り組みを継続していく必要がある。美味しさや生体調節機能の見える化のモデルケースとして、植物工場製品での実証を推進することは、食材の場合と比べて短期間で大きな成果が見込まれる。従って、産学官の連携によりトマトやイチゴ、茶葉等の成分と試食試験結果との関係を精度よくモデリングする技術開発と、機能性評価に向けた指標作りに関する実証を推進することが必要である。

例えば、お茶(日本茶)は品評会によって明確にランク付けされる特徴的な嗜好品の一つである。これに着目し、お茶の美味しさについて含有アミノ酸の配分によって科学的に美味しさの見える化を行う研究が進められている。既に研究レベルでは茶葉の含有成分と品評会ランキングの関係をモデル化することに成功し、茶葉の成分分析結果より、一般的な嗜好によらないプロの指標による美味しさ評価を予測することに成功している(図10)。

図10 茶葉の評価結果

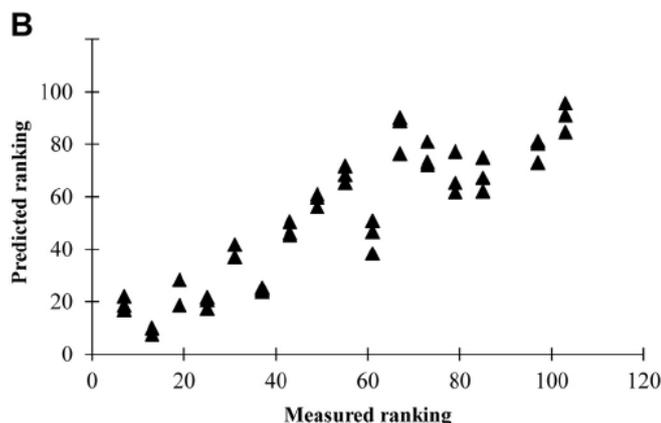


FIG. 1. Relationship between the measured and predicted tea rankings according to the PLS model for the samples (A) including Nos. 1 and 91, and (B) except Nos. 1 and 91.

(Miyachi, S. et al., *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2014, 118 (6), 710-715)

本技術によれば、収穫時の茶葉の成分を分析すればその美味しさを予測することができ、成績の良い茶葉には高付加価値を付与することが可能となる。さらには人工的な条件で栽培した茶葉の含有成分を再現性良く制御する研究も進められており、植物工場を活用した高付加価値茶葉の生産が期待できる。

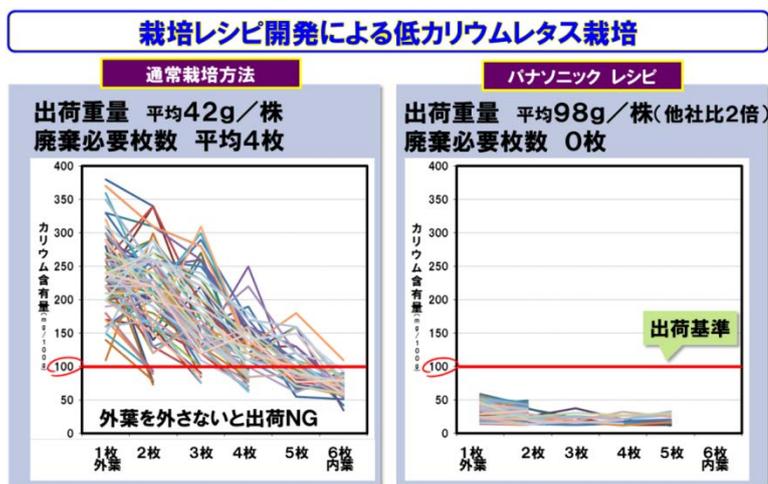
茶葉の例と同様に他の作物においても、美味しさ/機能性(2次機能/3次機能)の予測モデルを構築することができれば、植物工場に生産物評価システムを一体化し、評価結果のフィードバックにより美味しさ/機能性を高める栽培技術(機能コントロール技術)の開発が可能となる。またこの評価結果に基づき、美味しさや機能性の見える化が可能となり、高付加価値化やジャパンブランドの認証による価値創造が期待できる。

機能コントロール技術の開発においては、光、温湿度、気圏、根圏、養液の各条件を制御してい

くことが想定される。例えば光では、光量や光質（波長）を変えることで植物の代謝を変動させ、作物の成分を変化させ、評価結果が高い作物を得る光条件を特定していく。この過程で重要なのは工業的視点で農業技術をデータ化する事であり、様々な栽培環境を同時に栽培実験ができるインキュベータと呼ばれる設備と、実験計画法のノウハウ、そして日本企業が家電製品等の製造で培った統計処理手法を活用することで、短期間で最適の栽培レシピの開発が可能となる。

国内での取組み例として、低カリウムレタスの栽培レシピ開発が挙げられる。機能性野菜の代表的な例である低カリウムレタス栽培の場合、一般的な栽培方法に比べて、上記の栽培レシピ開発手法を適用することで、レシピ開発期間を大幅に短縮しながら、従来に比べ、外葉1枚目からのカリウム含有量を大幅に削減することに成功している（図11）。

図11 低カリウムレタスの栽培レシピ開発例



（安達敏雄：「パナソニック植物工場ソリューション～工業系技術と農業技術が融合した植物工場について～」）

5. 「アグリ・イノベーション・コンプレックス」の構築に向けて

東南アジアなど高温多湿の地域を対象とした植物工場の技術開発と、優れた日本の食文化（ジャパブランド）を世界に発信、普及するとともに、植物工場ビジネスの拡大を単独企業で行う事は不可能である。産学官連携、産産連携により海外における植物工場ビジネスの基盤確立を行う推進機関（仮称：海外植物工場ビジネス協議会）の設置を検討する必要がある。また、推進機関では、ジャパブランド（農産物及び要素技術）を認証する仕組みを明確化しブランド認証を行うとともに、植物工場ビジネス海外展開のためプロジェクトの取り組みを推進する必要がある。「アグリ・イノベーション・コンプレックス」の全体像を図1に示す。また、取り進めのスケジュールを図2に示す。

5-1. 協議会の創設

日本ならではの高度なものづくり技術をベースとした植物工場に、最新の情報通信技術（ICT）をハイブリッド化し、積極的な海外ビジネス展開を目指す必要がある。また、植物工場を中心としたインフラ輸出により、関連食品事業をパッケージ化した植物工場の新ビジネスを創出し、食

の現場における革新的なソリューションとして、日本農業の競争力強化に貢献することが必要である。早期に植物工場ビジネス展開のため、2017年度までに協議会を創設する必要がある。

協議会では海外情報の集約を行うと共に、関連府省との連携をおこない、植物工場ビジネスの推進、政策提言を行う。また、協議会は海外における植物工場ビジネスの基盤確立を行うため、植物工場インフラ輸出の推進と、関連食品事業のプロジェクト形成と案件の創出を行う。

また、優れた日本の食文化を担保しブランド化を推進するため、①植物工場の仕様、②品質管理技術、③生産品の品質を保証する認証機関を設置するための仕組み作りについて検討を行う必要がある。植物工場製品のジャパンブランド認証により、ジャパンプレミアムの価値を付与することが可能となる。

5-2. 技術研究組合の設立

早期技術課題解決に向け、技術研究組合を2016年度中に設立する必要がある。産学官連携、農工連携による技術研究組合等により、高温多湿向け植物工場の基盤技術確立と、亜熱帯地域での実証検証を推進する。世界の最先端に行く植物工場をコア技術とし、日本の強みとする素材、省エネルギー技術と共に、ロボット、IoTや人工知能(AI)等の次世代技術を融合することにより、世界最高水準の低コスト、高機能化植物工場を開発し、国際標準化を行う必要がある。植物工場生産技術の確立のため、遅くとも2017年度より実証検証を開始する必要がある。このためには、幅広い農工商の連携と、各府省との連携した体制づくりが必要である。

5-3. プロジェクトの推進

海外における植物工場ビジネス展開のため、産産連携のプロジェクトを組成・推進し、優れた日本の食文化(ジャパンブランド)の魅力を武器として用い、植物工場の新ビジネスを創出する。植物工場を中心とし、食品加工事業等の第2次産業やレストラン等の第3次産業とともにジャパンプレミアム植物工場ビジネスを中心とした6次産業化を推進し、関連事業をパッケージ化したプロジェクトを推進する必要がある。

植物工場ビジネス推進のためオープンイノベーションを行う共同体(アグリ・イノベーション・コンプレックス)の実装をおこない、優れた日本の食文化(ジャパンブランド)の魅力を武器として用い、IoT、ビッグデータ、AI等を高度に活用した植物工場を核とするサービス事業やライセンス事業をパッケージとした、海外における植物工場の新ビジネスを創生、推進するためのビジネスモデルを構築する必要がある。

ジャパンブランド野菜の世界展開を行う事により、日本の鮮魚、肉、根菜類等の輸出が相乗効果を持って拡大し、日本食文化の飛躍的な拡大に繋がる。農家がICTを通して植物工場栽培ノウハウを提供することにより海外事業への参画が可能となり、所得の向上に繋がる。また、海外で取得されるビックデータの活用により、国内の植物工場ビジネスも大きな成長が期待できる。

図1 「アグリ・イノベーション・コンプレックス」の全体像

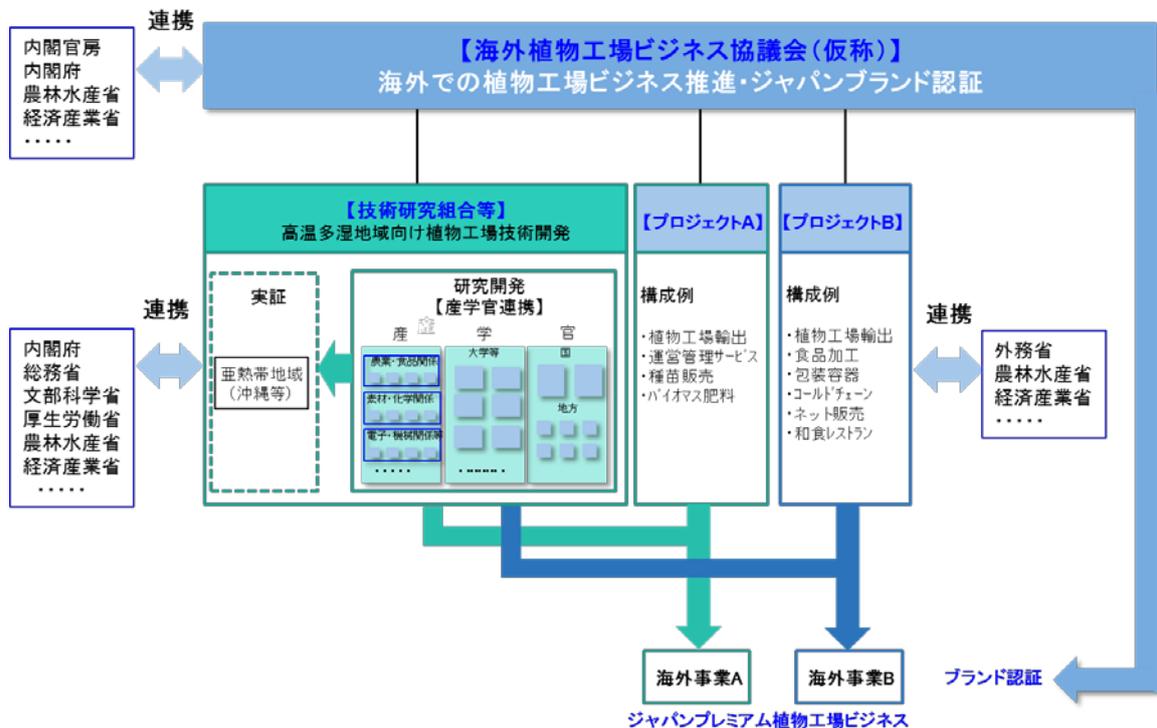


図2 「アグリ・イノベーション・コンプレックス」のスケジュール

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2025	2030
協会 海外での植物工場ビジネス推進 ジャパンブランド認証	準備		協会創設			情報収集、政府提言		
						プロジェクト形成・推進		
技術研究組合等 高温多湿向け植物工場の基盤技術開発 実証設備の検証	準備	技組発足	基盤技術開発					
				実証設備の検証		実証設備の深化、人材育成		
プロジェクト 海外での植物工場ビジネス展開			準備		アジアでのビジネス展開		アジアから世界への拡大	

6. 提言のまとめ

6-1. 提言内容

海外植物工場ビジネスを確立するためには、ビジネス推進機関、付加価値の源泉となるブランド、それらを支える基盤技術、具体的なプロジェクトの形成等が必要である。

海外植物工場ビジネスの確立のための提言と施策を以下に記す。

【提言 1】 海外の植物工場ビジネス推進体制の確立

「アグリ・イノベーション・コンプレックス」（仮称）をビジネスの推進、ブランドの構築、技術開発の推進母体として設置する（図 1）

- (1) 海外における事業展開の基盤確立と事業推進を目的とした協議会の創設。協議会の機能を以下に示す。
 - ① 情報収集、政策提言、プロジェクトの形成と案件の創出、及び推進。
 - ② 日本の食文化を広めブランド化を行うため、植物工場の仕様、品質管理技術、生産品の品質に関する認証部門の設置。
 - ③ 植物工場技術・ビジネス推進人材育成のための組織提案と設立。
- (2) 国家戦略への植物工場、関連インフラ輸出戦略の組み入れ。
 - ① インフラシステム輸出戦略への海外植物工場ビジネスの組み入れ（内閣官房）
 - ② 科学技術イノベーション総合戦略への植物工場、関連インフラ技術開発の組み入れ（内閣府）
- (3) 協議会の創設と活動に対する政府の支援。
 - ① 協議会設立、運営の支援、助成（農林水産省、経済産業省）
 - ② ブランド認証部門設立と運営の支援、助成（農林水産省）
 - ③ 植物工場技術人材・ビジネス推進人材育成の支援、助成（文部科学省、農林水産省、経済産業省）

【提言 2】 高温多湿地域向け植物工場の研究開発推進

オールジャパンの知を結集し、植物工場に異業種の技術を融合、強化することにより、革新的な植物工場の基盤技術を確立する必要がある。

- (1) 産学官連携、農工連携の技術研究組合等による、アジアをターゲットとした高温多湿地域向け植物工場の基盤技術の確立と実証設備の検証。
 - ① 植物工場基盤技術（ICT 技術を組み合わせた管理システム等）の確立
 - i. 低コスト室温制御技術（省エネルギー冷却、未利用冷熱源活用等）
 - ii. 大規模植物工場管理技術（統合環境制御システム、IoT、ビッグデータ、AI、自動化、ロボット化、センシング等）
 - iii. 耐久性資材（台風対策、錆対策、病虫害対策の気密化等）
 - iv. 高温多湿地域に適した栽培装置（栽培環境を考慮した装置開発、栽培条件最適化等）
 - v. 高温多湿地域に適した栽培方法（栽培レシピ、病虫害リスクの低減等）
 - vi. 現地に最適な品種選定（機能性、安心・安全、味が良い、高度耐病性等）
 - ② 植物工場実証設備の検証
 - ・ 亜熱帯地域（たとえば沖縄地区）における、植物工場の実証設備建設と栽培技術の検証。
- (2) SIP 次世代農林水産業創造技術テーマとの連携による高品質・多収な栽培技術確立。
- (3) スムーズなグローバル化のための国際標準化（植物工場構成部材、設備、通信規格、ビッグデータ等）。
- (4) 高温多湿地域向け植物工場の基盤技術の確立と実証設備の検証における政府や地方自治体の

支援。

- ①植物工場基盤技術を支える基礎研究における助成（文部科学省、厚生労働省）
 - ②植物工場基盤技術開発における助成（農林水産省、経済産業省）
 - ③植物工場実証設備の検証における助成（農林水産省、経済産業省）
 - ④国際標準化の支援（経済産業省、総務省）
 - ⑤府省連携の推進支援（内閣府）
- (5) 海外向け植物工場の研究開発を加速するための国内法整備と規制緩和。(農地法、建築基準法、工場法、消防法等)

【提言 3】 海外植物工場ビジネス創出のプロジェクト形成と推進

- (1) 協議会による市場調査から植物工場と関連インフラ輸出の具体的なスキーム形成、植物工場に付随する事業の構築。
- (2) プロジェクト推進における政府の支援。
 - ①関連諸国の情報収集支援と海外事業展開の支援（外務省、農林水産省、経済産業省）

6-2. 産官の役割分担

①産業界の役割

提言の社会実装を行うため海外植物工場ビジネス推進の協議会を設立・運営するとともに、市場創出に向けて要素技術の積極的な普及・展開を図る。また、研究開発の方向性及びロードマップに基づき、技術研究組合を設立、運営し要素技術の開発、実証検証を推進する。

②関連府省への要請

提言したビジネス創出仕組み作りの支援、研究開発に係る研究資金提供並びに技術研究組合実現に向けた府省連携プロジェクトの立ち上げ、開発推進における国内法整備と規制緩和、要素技術の規格・標準化及び適用に向けた制度上の支援などを要請する。

【おわりに】

1年目（2015年度）の「アグリ・イノベーション・コンプレックスの構築」では、ビジネスモデルのコンセプトをまとめ、海外での植物工場ビジネス推進策として、①海外の植物工場ビジネス推進体制の確立、②高温多湿地域向け植物工場の研究開発推進、③海外での植物工場ビジネス創出について提言をまとめた。さらに、高温多湿地域向け植物工場の研究開発では、関係府省等との連携に向け、基盤技術の確立、実証設備の検証プランの作成をおこなった。

2016年度は「アグリ・イノベーション・コンプレックスの実装」に向け、植物工場ビジネスを海外に展開するための方策について検討を行う予定である。植物工場ビジネス推進のためオープンイノベーションを行う共同体（アグリ・イノベーション・コンプレックス）の実装をおこない、優れた日本の食文化（ジャパブランド）の魅力を武器として用い、IoT、ビッグデータ、AI等を高度に活用した植物工場を核とするサービス事業やライセンス事業をパッケージとした、海外における植物工場の新ビジネスを創生、推進するためのビジネスモデルを構築する。

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-2-1

日本プレスセンタービル 4階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄