

公開シンポジウム

人工光型植物工場の技術革新とビジネスモデル

講演資料集

2013年11月9日
日本農学アカデミー・（公財）農学会

後援 東京大学農学生命科学研究科
ワールドウォッチ・ジャパン
協賛 食料新聞、（財）環境文化創造研究所

プログラム

総合司会 梶浦 一郎(日本農学アカデミー監事 元果樹研究所所長)

開会挨拶 日本農学アカデミー会長 三輪 睿太郎

人工光型植物工場の進歩と今後の発展方向 13:05-13:35

日本農学アカデミー理事 千葉大学名誉教授 古在 豊樹

人工光型植物工場とイノベーション 13:35-14:05

大阪府立大学教授 村瀬治比古

人工光下の植物育成と光環境制御(仮題) 14:05-14:35

千葉大学教授 後藤 英司

(休憩)

植物工場によるブルーベリーの周年生産(仮題) 14:50-15:20

東京農工大学農学府長 荻原 勲

大型植物工場の成長戦略 15:20-15:50

(株)スプレッド社長 稲田 信二

収益性の伴う植物工場のビジネスモデル 15:50-16:20

日本総研 創発戦略センター主任研究員 三輪 泰史

総合討論(コーディネーター三輪 睿太郎) 16:25-16:55

閉会挨拶 (公財)農学会 理事 古在 豊樹

講演要旨集

人工光型植物工場の進歩と今後の発展方向

日本農学アカデミー理事、千葉大学名誉教授

古在 豊樹

世界の現況 1) 日本と台湾および韓国で商業的な野菜生産販売が普及段階。2) 中国で大型研究開発投資が進行中。3) シンガポール、ロシア、モンゴル、サウジアラビア諸国等が導入に意欲。4) 米国、カナダが導入と開発に意欲。5) オランダが研究開発。苗生産では普及開始。6) 今後は、コスト・パフォーマンス向上が顕著な LED 光源が主流。7) 世界的には、垂直農業、都市農業、都市再開発の枠組みでの検討が進行中。

日本の現況 1) 2013 年 3 月での植物工場数: 約 130。年増加率約 20%。2) (他に、苗生産専用システムが約 150 カ所で普及) 3) 単年度経営収支: 約 20%が黒字、約 20%が赤字、約 60%が収支およそ均衡。4) 黒字経営比率は毎年上昇中。5) 最大規模でレタス 20,000 株/日程度(黒字化、主流は 1,000~5,000 株/日)。6) 生産コストの内訳: 30-35%が減価償却、20-25%が人件費、20-25%が光熱水料費。他は諸経費。7) 高断熱・高密閉栽培室の消費電力量比率は、照明約 80%、空調約 15%、その他約 5%。8) 新設の植物工場の光源は LED が主流。9) 生食用葉もの野菜以外の用途の生産が拡大中。10) 日本企業の海外進出案件が増加中。契約済もある。11) 技術水準的にはまだ相当の改良余地がある

長所 1) 無農薬、夾雑物ゼロ、殺菌・洗浄不要で加工工程の簡略化可能、2) 高機能性植物の生産が用意(研究開発投資が拡大中)、3) 肥料溶液の循環使用により、排液はほぼなし。肥料使用料節減、3) かん水量は温室の約 1/50。蒸散水を冷房時結露水として回収、4) 冬期の夜間でもランプからの発熱により、暖房不要(冷房必要)、5) 地産地消による輸送の資源・コスト、野菜傷みの節減、6) 周年快適労働。気温 20~25℃の気温。軽作業のみ。安全作業、7) 気象によらず、計画生産、安定収量、安定品質、安定生産コスト、8) 土地面積当たりの年間生産性は露地の 100 倍以上、9) 野菜の品質・機能を環境管理により経年的、体系的に向上し得る、10) 栽培と環境管理のノウハウを気候・地域によらず標準化し得る。11) 外見、栄養、味、食感等を変えることで、事実上の新商品となる。12) 2013 年現在、日本の技術水準、普及数は世界一、13) 商品化率と歩留まり(植物体利用率)が高い。病虫害や枯死による損失がほぼ皆無。14) 単独棚での環境影響実験結果を多段棚の商業的植物工場で見現できる

短所 1) 初期設備のための資源エネルギーおよびコストが多。2) 高機能性植物生産の研究開発は発展途上、3) 諸費者・流通業界の理解が限定的。4) 植物工場に適した植物の品種育成がされていない(現在は、露地栽培・ハウス栽培用品種を流用)。4) 電気エネルギー消費量・電気料金の節減法が未成熟。

人工光型植物工場とイノベーション

大阪府立大学 特認教授 村瀬 治比古

1 はじめに

近年の地球温暖化や東日本大震災後のエネルギー問題に対して CO2 削減環境・エネルギー・食料が今人類が直面する地球規模の 3 大課題である。気象変動の激しさが増す中で今求められているのは、作物生産に関する基盤技術の革命である。紀元前 8000 年頃から面々と続く自然頼りの技術が破綻に向かっている。農薬や農業機械などにより収量増、効率化さらに軽労化は進んだが依然として現在の生産技術は、水資源の浪費、農薬の使用、表土流失、土壌汚染、森林伐採などの問題を益々進行させている。低コストの太陽エネルギーと水を利用して低価格な作物を生産してきた付けが現況をもたらした。

エネルギーや資源を用いて工業製品をつくることと、太陽エネルギーや水資源を用いて作物をつくることとは「ものづくり」という観点ではおなじである。違いは、つくる物が無生物か生物かの違いである。どちらも人類が活動を維持継続するために必要な「ものづくり」である。ただし、生物のものは自然に依存し、しかも、環境負荷を意に介すことなく一次産業としてこれまで進んできた。同じ人類を支える産業でありながら、工業は、最適化や効率化が進み、環境負荷低減の取組なども推進可能なシステムである。しかし、現在の農業は自然を頼るがゆえに最適化や効率化が困難で、環境負荷低減の取組などの推進も困難なシステムである。



図 1 搬送ロボットが設備された無人環境レタス栽培

2 植物工場

我々は太陽エネルギーを作物を介して命に換えている。穀物などのカロリー源となる作物は膨大な光エネルギーを必要とする。レタスのような野菜は比較的弱光で生育する。太陽エネルギーは今も昔もさほど変わりなく地上に降り注いでいる、しかし、大地は劣化している。世界の人口が急増

する中、自然回帰の農業や人類の活動を意図的に抑制することは非現実的である。太陽のみならず全ての利用可能なエネルギーを如何に有効かつ安全に食料に変換できるかが人類生存のための課題である。この変換プロセスを農業と呼ぶならば今こそ真の農業革命が求められる。エネルギーを安全かつ効率的に作物に変換する、しかも、水資源の浪費、農薬の使用、表土流失、土壌汚染、森林伐採などとは無縁、そういう技術を創造することが農業革命である。今、その農業革命の兆しが見え始めた。植物工場である。特に、人工光型植物工場(図1)では、電気を無駄遣いする、設備コストやランニングコストが高額、生産物が限られている、露地物に比べて高価になるなど既存の植物工場の課題は明らかにされている。これまで、植物工場に関する技術開発の多くは民間に委ねられていたために、植物工場に関する総合的基盤技術開発を大々的に推進する機会は極めて限られていた。

衛生管理などが義務付けられた食品工場で生産される製品は安全安心を常に意識した商品となるが、作物についてはそのような商品にはなりえない。また、作物では旬の作物が一番おいしい。このような状況が容認されているのは作物生産は自然任せであり定品質や定価格を要求できるシステムではないことを消費者がなんとなく教え込まれているためである。しかし、植物工場産の作物については「毎日が旬」を実現できる。品質や安全性も確保できる商品となりうる。このようなシステムが存在してこそ「食のもののづくり」を考えることができる。図1は大阪府立大学植物工場研究センターに設置されたレタス生産システムで人工光を用い、無人化された閉鎖型低細菌環境で一日に250株の安全認証付き高品質レタスが生産され、レストランやスーパーへ卸されている。「近未来の食のもののづくり」を例示するシステムである。

3 新世代植物工場

大阪府立大学は、平成23年4月に経済産業省および農林水産省の補助を受け、完全人工光型に特化した植物工場を整備し、植物工場に関する要素技術の研究開発や栽培技術の実証などに取り組んできた。

この成果をもとに、新たに中百舌鳥キャンパス内に、世界初となる時計遺伝子の先進的な研究成果の活用や、LED光源の全面的な採用などの最新設備をもつ「GREEN CLOCKS※ 新世代植物工場の実証・評価イノベーション拠点」を建設・整備する。

同施設では、本格的な量産規模の植物工場の実用化を積極的に推進するとともに、実用性の高い植物工場標準プラントの実証評価事業を戦略的に展開し、市場競争力を発展させる。

4 プロジェクトの概要

4.1 背景（社会的課題・ニーズの解決）

- ・社会的な課題：商工業の力を活かし農商工連携による6次産業化の牽引の役割を担う植物工場の普及拡大、「美味しい」「安全」「新鮮」を消費者に供給できる体制強化、輸出も視野に入れた植物工場ビジネスの推進
- ・社会的ニーズ：被災地の雇用創出・風評被害の払拭。砂漠寒冷地など耕作不適地での作物生産の海外需要。新産業分野を担う人材の育成

4.2 特徴（植物工場研究開発の先端的実用成果の具現化）

完全人工光制御の大阪府立大学植物工場研究センター（PFC）は、平成23年から産学共同で、「高い生産コスト」という課題解決に挑戦。今回の事業は、その成果を新たに2つの柱で実現する画期的なプロジェクトである。

- ① 時計遺伝子の特徴を活用した制御アルゴリズムによる効率的栽培 LED 光源など固体光源を駆使した省エネ実証栽培
- ② ロボット技術活用による省力生産システム
- ③ 衛生管理システム構築による安全野菜作出栽培
- ④ ハイブリッドエコエネルギーシステムによる省 エネ運営
- ⑤ 複数プラント間の遠隔管理情報ネットワークシステムなど

本プロジェクトは、上記 2 つの柱の世界初・新技術の実装及び国内初・生産コスト縮減技術を融合した植物工場における生産コスト 40%縮減技術を実証・評価し、被災地域に展開が始まった植物工場(福島県川内村など)へ早期に低コスト化技術を注入することや、量産型プラントの標準パッケージ「新世代型植物工場」の確立をめざす。

6 「GC 新世代植物工場の実証・評価イノベーション拠点」の概要

■規模等：S 造地上 1F

延床面積約 1,300 m²

(右図は、施設の完成予想図)

■事業費：6 億円

■完 成：平成 26 年 5 月（予定）

■場 所：大阪府立大学中百舌鳥キャンパス

■設 備：

- ・遺伝子診断型苗選別ロボットシステム
- ・栽培過程の完全 LED 光源
- ・量産型規模（日産 5,000 株）における実証・評価設備
- ・量産型規模における実証・評価設備を利用して、レタス等の野菜日産 5,000 株を生産から販売までのビジネス実証を行うため、実証プロジェクト企業を中心に別途、運営販売会社を本年 8 月に実証プロジェクト企業を中心に別途、運営販売会社を本年 8 月に設立する

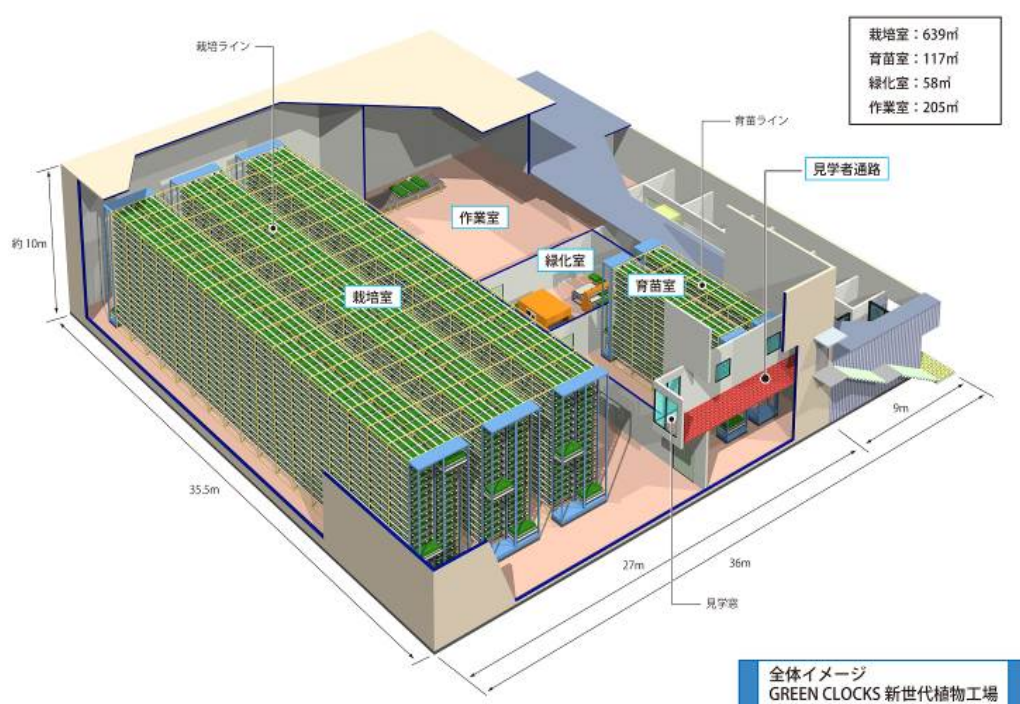


図 2 新施設完成予想図

人工光下の植物育成と光環境制御

千葉大学大学院園芸学研究科) 後藤 英司

本講演では、人工光型植物工場における植物生育の特徴、および植物の能力を活かして高品質の作物を効率的に生産するための光環境制御に関する技術開発・研究トピックスを紹介する。

植物生育に適する光源

植物栽培用の光源は、葉菜類は蛍光灯、果菜類は蛍光灯またはメタルハライドランプ、穀類やマメ類はメタルハライドランプまたは高圧ナトリウムランプを用いることが多い。近年、一般照明における光源は蛍光灯・白熱電球から LED に変わりつつある。LED は植物用照明においても、蛍光灯に替わる有望光源として検討されており、すでに一部の人工光型植物工場で導入されている。しかし、最適な光環境(光質、光強度、明期/暗期)は作物種ごとに異なるため、さらなる研究開発が求められている。

人工光下の光合成

筆者らの研究グループは、作物ごとの最適な生育環境条件を見出すために、各種光源を利用して様々な植物種についての研究を行っている。その結果、各植物を光合成に適する環境条件で栽培する場合、投入光当たりの光合成量は植物種間にあまり差がないことを見出した。植物の光合成に好適な条件で育成できれば、光合成に必要な照明コストおよびそれに比例する空調コストは、植物種や生育ステージによらないと考えてよい。LED は、従来の植物用光源にはない単一ピーク波長を持つ光源で、赤色光、青色光、緑色光をうまく組み合わせれば、白色蛍光灯に比べて光合成の効率を高めることができる。

人工光下の光形態形成・物質合成

人工環境の特徴は、自然界にない環境を創造してユニークな生育制御を行える点である。環境要因には光、温度、湿度、CO₂ 濃度、気流などがあるが、ここでは最も広範囲に活用できる光環境および温度環境を取り上げる。植物の成長に影響を及ぼす光波長域は約 300 nm~800 nm である。そのうち植物が光合成に利用できる光合成有効放射域は 400~700 nm である。紫外線(UV)のうち植物に影響を及ぼすのは UV-A(315~400 nm)と UV-B(280~315 nm)である。近年、これらの光波長の制御による光形態形成・物質合成に関する研究が盛んである。本講演では、実用上有用な下記の生育制御に関して紹介する。

- 1) 茎伸長の制御
- 2) 葉の形態の制御
- 3) 花成の制御
- 4) フェイトケミカルの合成
- 5) 抗酸化能の増加
- 6) 光環境と温度環境の複合制御

植物工場によるブルーベリーの周年生産



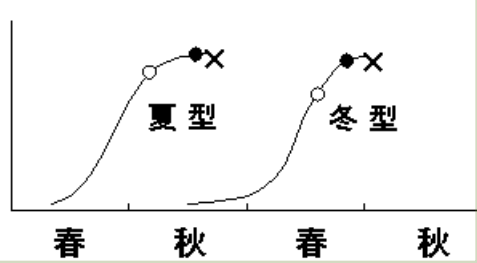
東京農工大学大学院
荻原 勲

講演内容

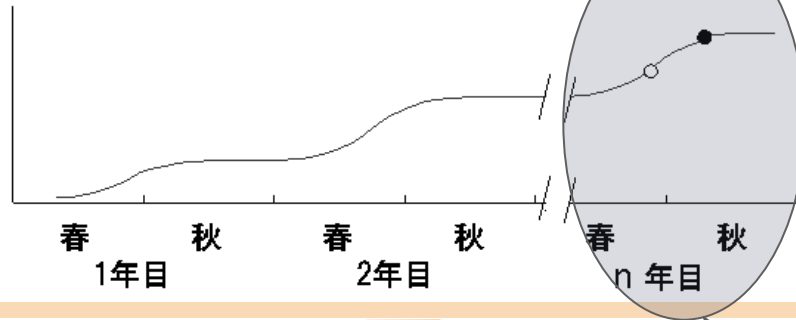
- 1) 植物工場の可能性
- 2) モデル植物の選定; ブルーベリーを選んだ理由
- 3) 東京農工大学「先進植物工場研究施設」の3つの特徴
- 4) 周年出荷して、収量をあげるための2つの方法
 - ① ライフサイクルの短縮化法
 - ② 連続開花結実法
- 5) 閉鎖系植物工場での栽培法の確立
- 6) ブルーベリー以外の果樹栽培の可能性
- 7) ビジネスモデル「テラーメイド果樹苗生産システム」

1 果樹工場の可能性①

1年生草本



多年生木本



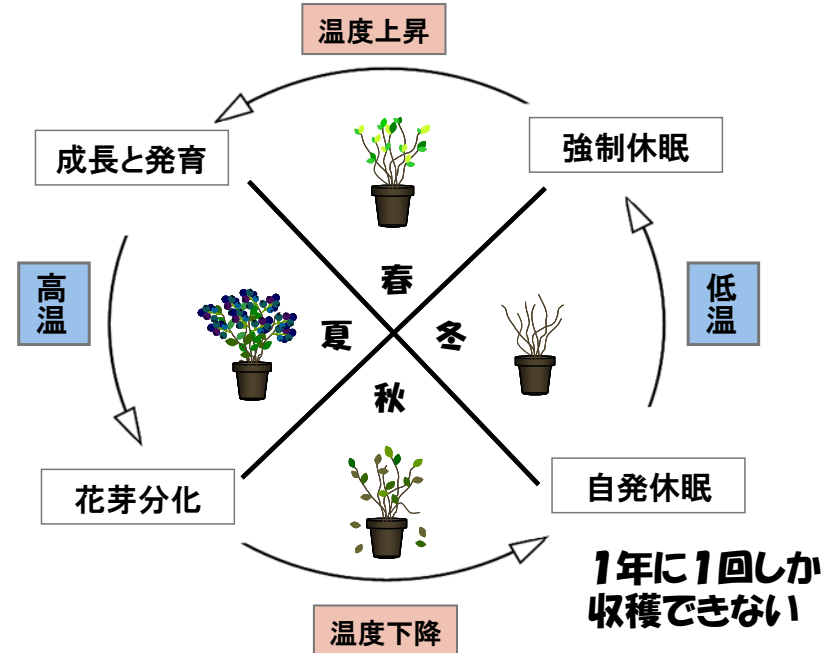
- 開花
- 種子成熟
- × 枯死

	野菜	果樹
生育期間	短い	長い (1年)
環境制御	比較的簡単 (栄養生長のみ)	難しい (休眠・栄養生長・生殖生長)
収量性	密植化により大	少ない

植物工場でレタス
など栽培が進んで
いる

採算が合わない! ?

植物工場への
適用が難しい



1 果樹工場の可能性②

	野菜	果樹
生育期間	短い	長い (1年)
環境制御	比較的簡単 (栄養生長のみ)	難しい (休眠・栄養生長・生殖生長)
収量性	密植化により 大	少ない

ライフサイクルを短くできるか？

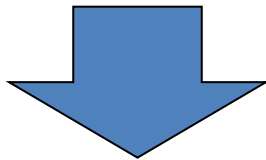
365日を180日にできるか？

植物種, 品種の選定が重要

花芽形成, 休眠の導入, 萌芽が人工気象室内で可能か？

ハウスだけでなく, 低温室などが必要になる. **四季の部屋を作る**

高収量化の実現は可能か？
オフシーズンにも出荷できるか？
定時, 定量, 定価格で出荷できるか？



果樹工場が可能な植物種は？

わい性台木などの利用や, **ポット栽培**により密植化が可能



2 ブルーベリーを選んだ理由

本学の岩垣教授が普及につとめた →これまでの**研究成果が活かせる**

★ 開花から収穫までの期間が短く、**ライフサイクルを短くできる**

★ 休眠の長さに多様性があるので、**ライフサイクルを制御しやすい**

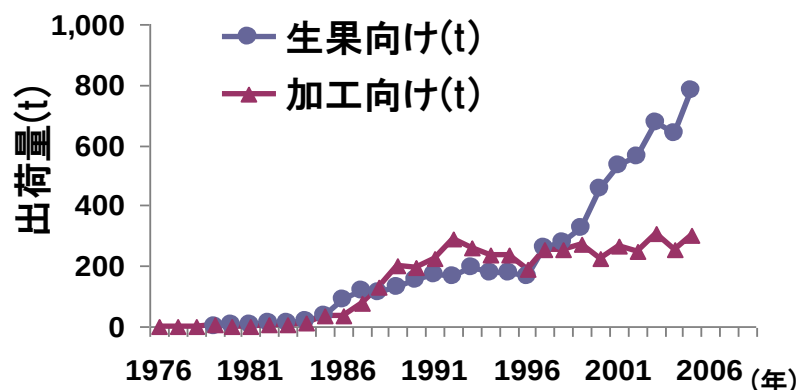
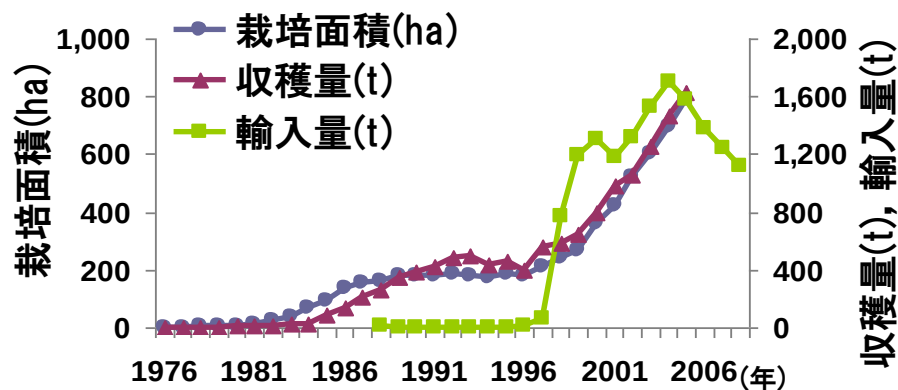
★ 耐暑性、耐乾性の品種があるので、**環境に適応できる品種を選べる**

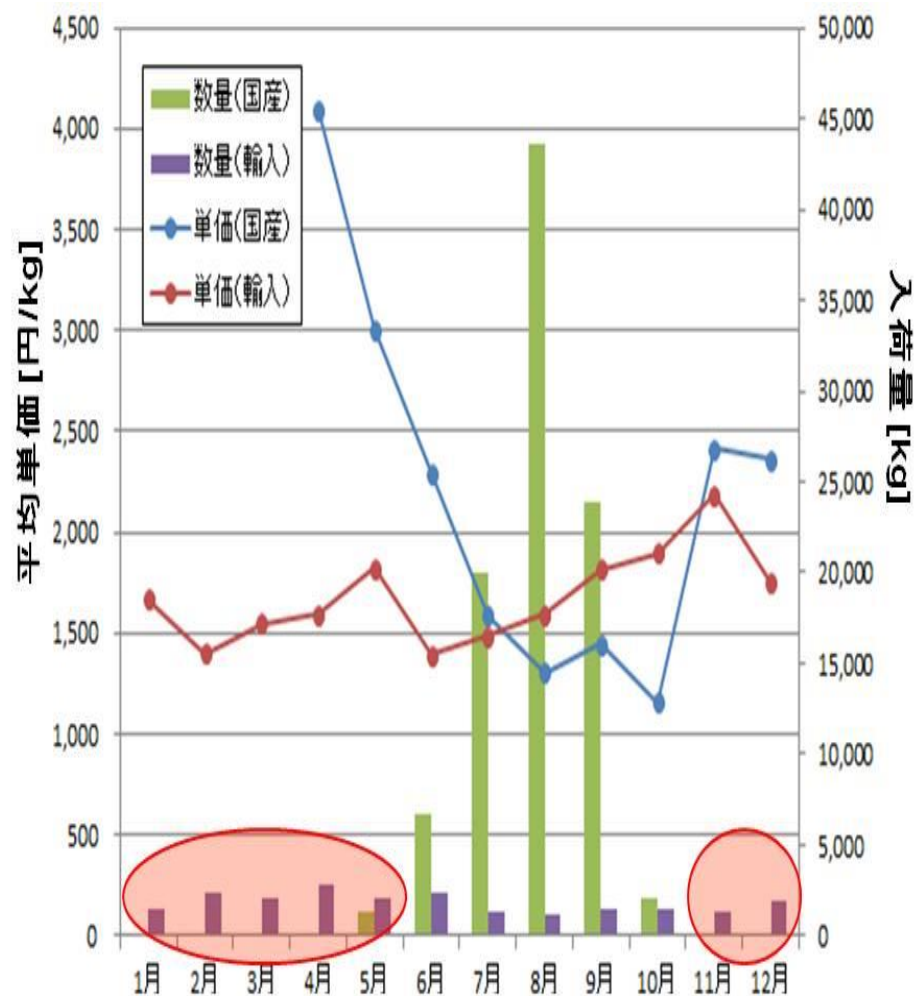
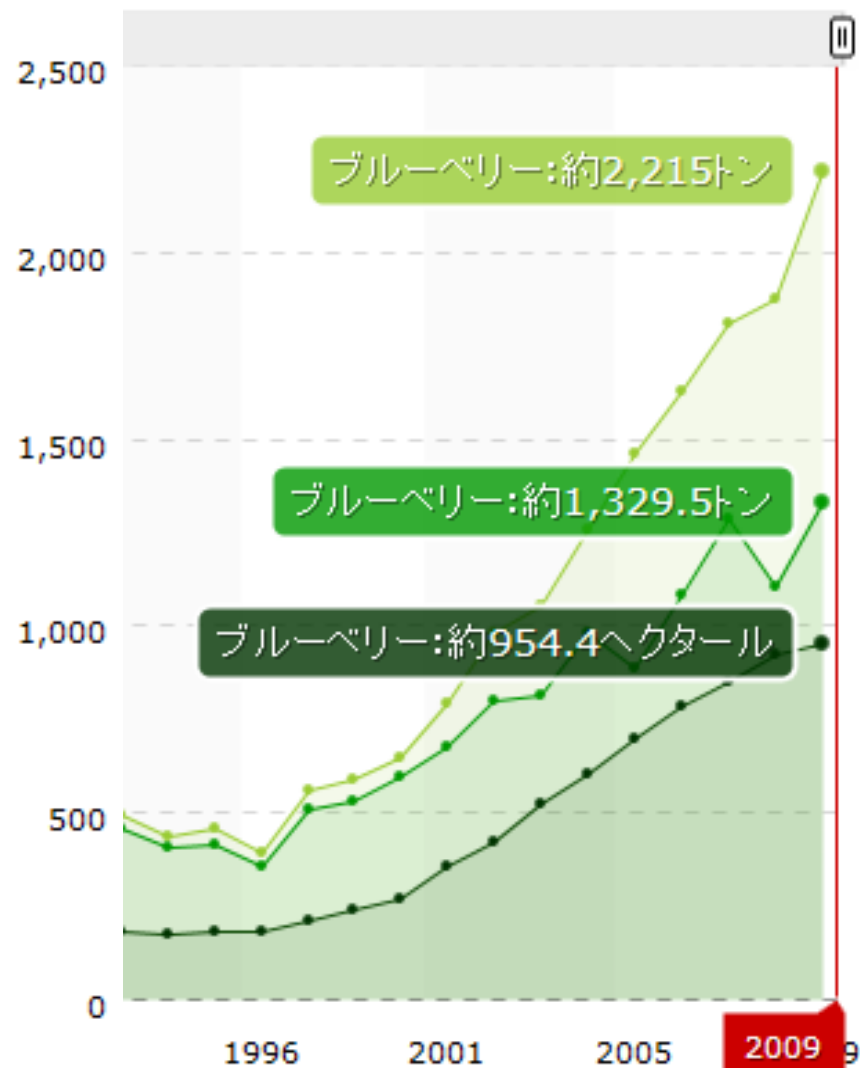
★ 樹高が低く、ポット栽培が可能で、**密植が可能**

安全性(無農薬)の保証、**高機能性**(抗酸化作用)に優れる

単価が高い 将来、消費者の**購買力が低下しない**

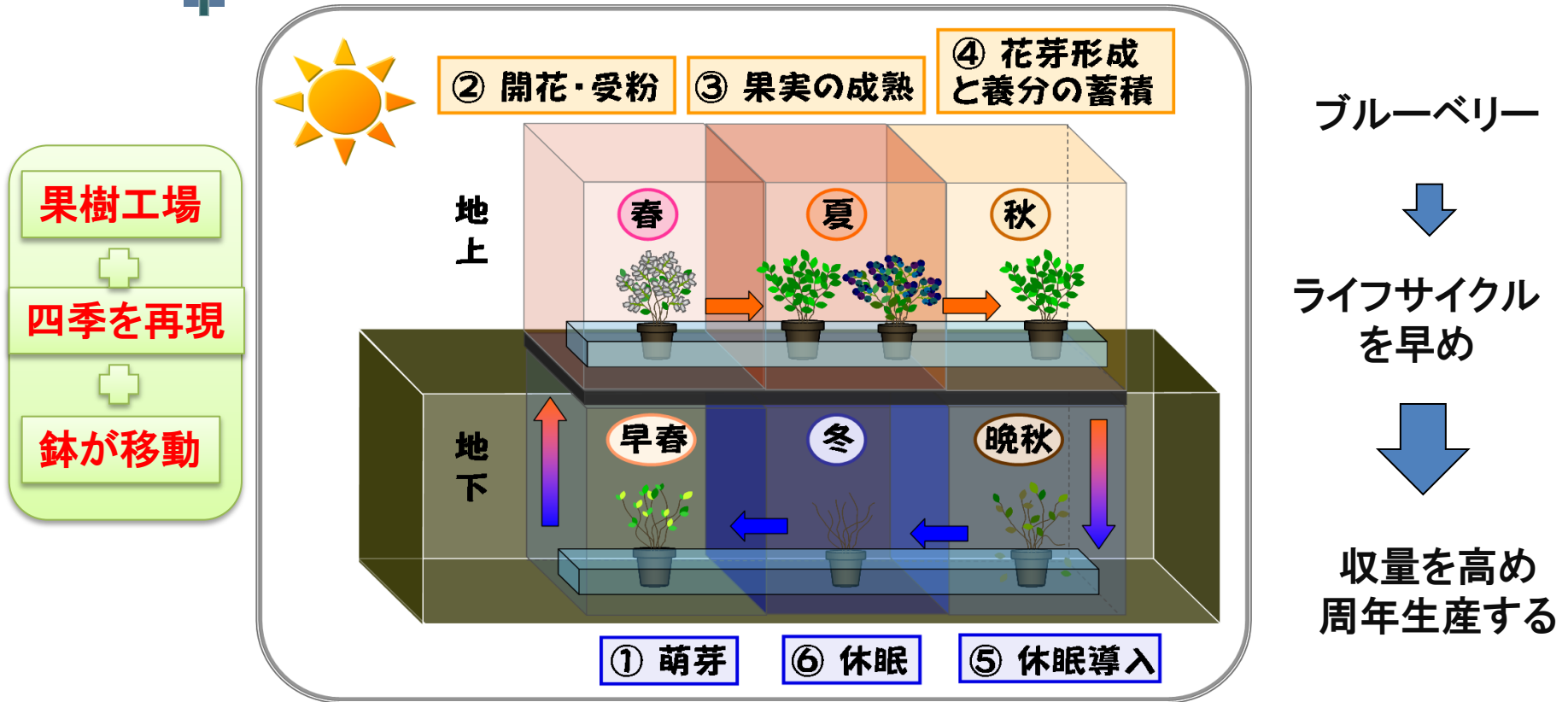
果樹工場のモデル植物
としてふさわしい





東京都中央卸売市場ブルーベリー青果入荷量・平均価格(2011)

3 農工大植物工場の3つの特徴



1. ブルーベリーを対象とした**果樹工場**
2. 地上1階(太陽光)地下1階(人工光)の2階建構造で、6部屋で**四季を再現**
3. 最適な環境条件を設定した部屋を**ブルーベリーの鉢が移動**して、**ライフサイクルを早め**、安全性が高く、高品質の**果実収量**を高め、**周年生産**する。

栽培状況・四季の環境を備えた部屋



春室



夏室



秋室



早春室



各部屋の栽培状況



晩秋室

4 周年出荷して、収量をあげるための2つの方法

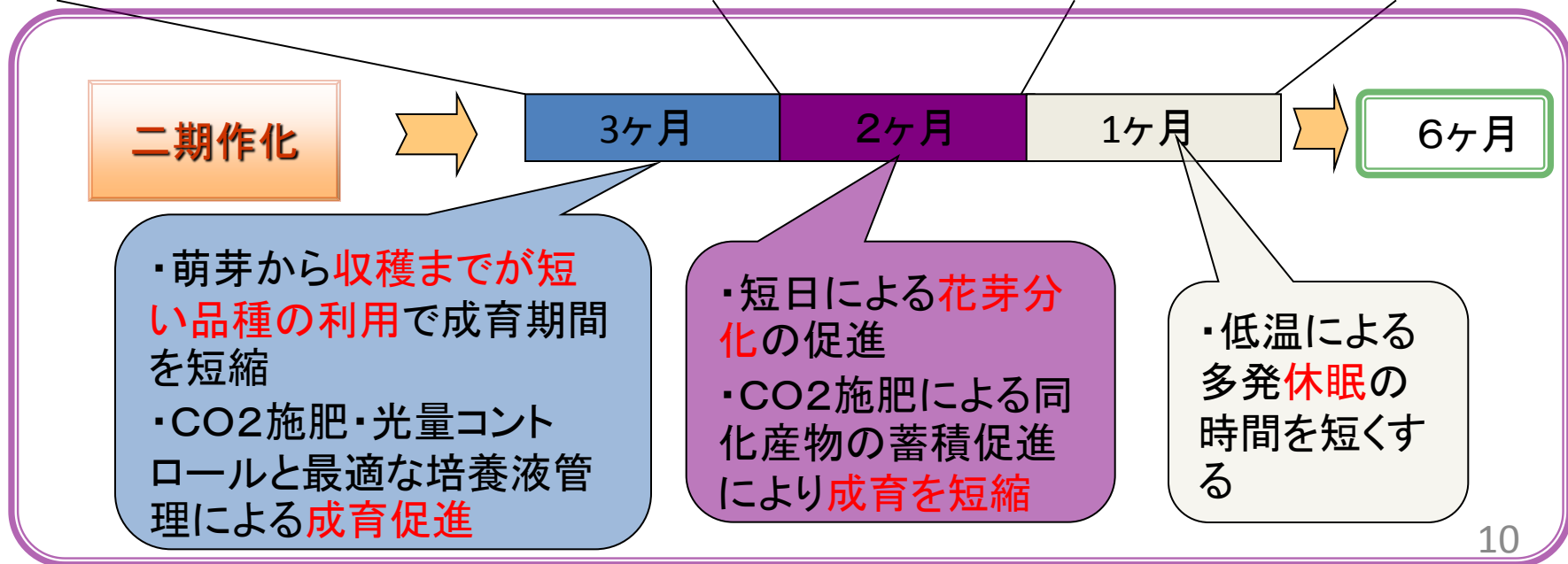
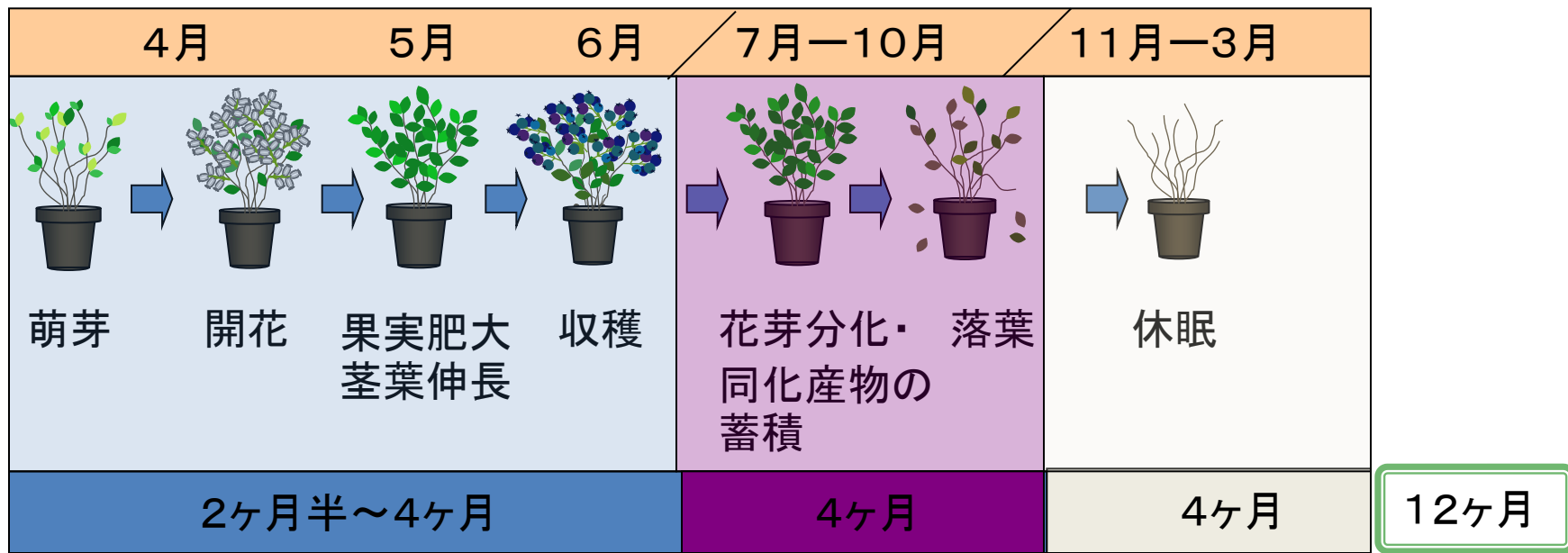
① ライフサイクルの倍速
化による周年生産技術
の確立



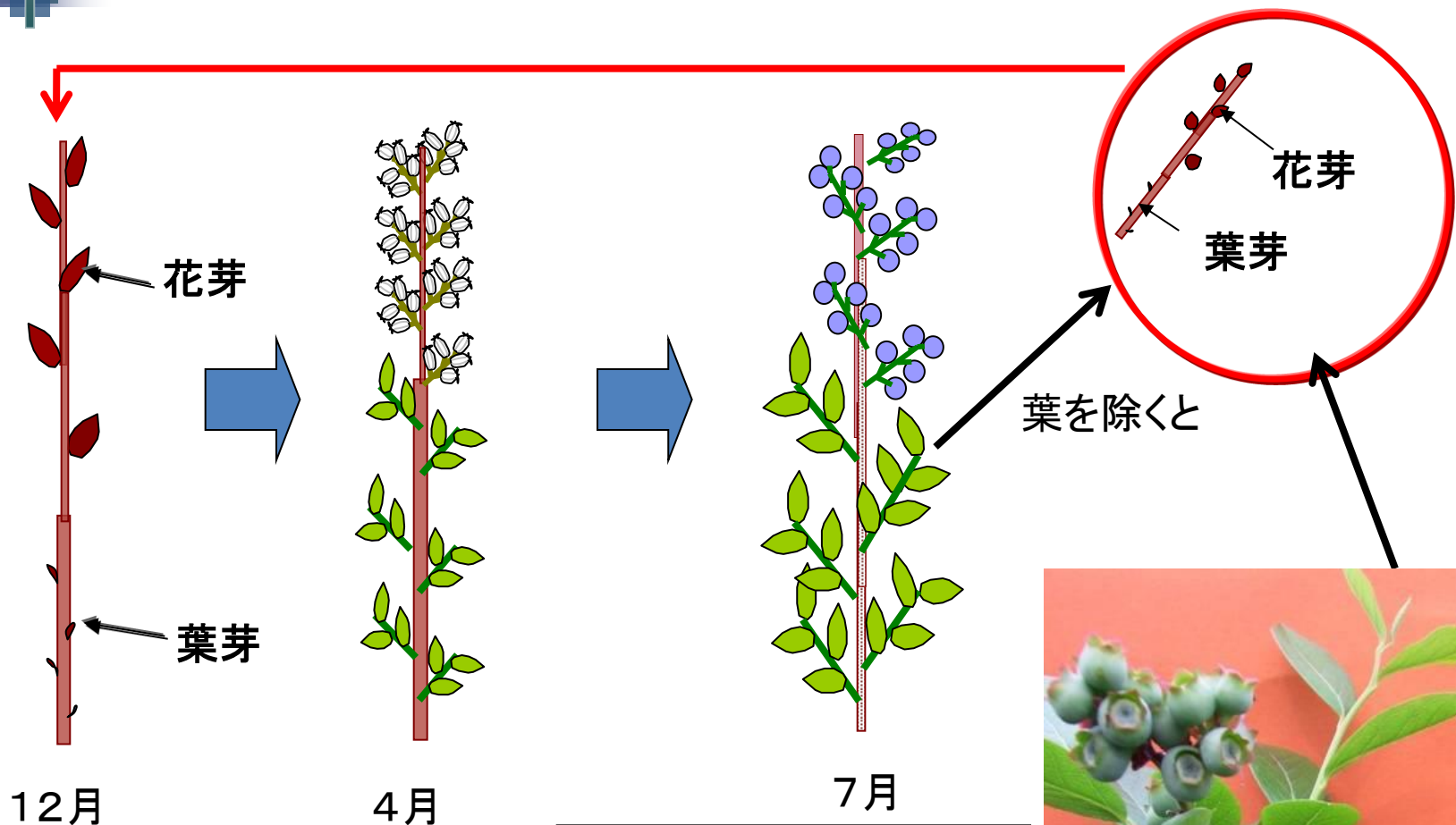
② トマトのように連続開
花結実性を付与させる
方法の確立



① ライフサイクルを短縮する栽培法



結果習性について



新梢の先端部に花芽が、基部に葉芽が形成され、翌年に開花する

果実を収穫するとき、葉の葉えきに花芽が分化始め、その後発育する



①

植物工場の成果 ライフサイクルの短縮化に成功

7月に果実を収穫した個体を処理し、12月には果実が肥大し、一年に2回目の果実が結実した。

(処理開始8/25 撮影12/8)

夏室↓秋室↓冬室↓春室↓秋室↓植物を移動すると100日後には開花が見られたことを示している。



夏



新梢の伸長

夏 秋 冬 春



落葉後に萌芽

夏 秋 春 夏



開花し、結実

夏 秋 冬 春 夏



開花



ライフサイクルの倍速化法（1年に2回、1樹で収穫できる）



果実収穫直後の株を使い、その株を低温処理すると、処理開始4～5か月後から収穫可能

ブルーベリー周年栽培（ライフサイクル倍速型栽培法）												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1年目						収穫						
						人工光植物工場で低温処理						収穫
2年目	収穫											
			人工光植物工場で低温処理						収穫			
3年目						収穫						
						人工光植物工場で低温処理						収穫

二期取りを利用した周年栽培法

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5
萌芽	開花	結実・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----

0.5	0.5	2.5				1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5				1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5				1	0.5	1.5	0.5	0.5			
萌芽	開花	結実・肥大				収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大				収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大				収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花

5	2.5		1	0.5	1.5
花	結実・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5
萌芽	開花	結実・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5
萌芽	開花	結実・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5
萌芽	開花	結実・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5				1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5				1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5				1	0.5	1.5	0.5	0.5	
萌芽	開花	結実・肥大				収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大				収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大				収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5	
萌芽	開花	結実・肥大		収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大		収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大		収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大		収穫

	1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5	0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5	0.5	0.5
収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花	結実・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠	萌芽	開花

2.5	1	0.5	1.5	
結果・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5
萌芽	開花	結果・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5
萌芽	開花	結果・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5
萌芽	開花	結果・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

0.5	0.5	2.5		1	0.5	1.5
萌芽	開花	結果・肥大	収穫	花芽分化	落葉	休眠

4 周年出荷して、収量をあげるための2つの方法

① ライフサイクルの倍速
化による周年生産技術
の確立



② トマトのように連続開
花結実性を付与させる
方法の確立



② 連続開花・結実法による栽培

自然条件



春に一齐開花し1品種の収穫期間は2～3週間



連続開花結実法

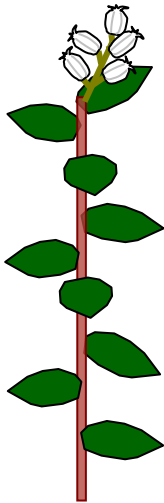
秋に開花し、1品種の収穫期間は
12月から翌年7月まで



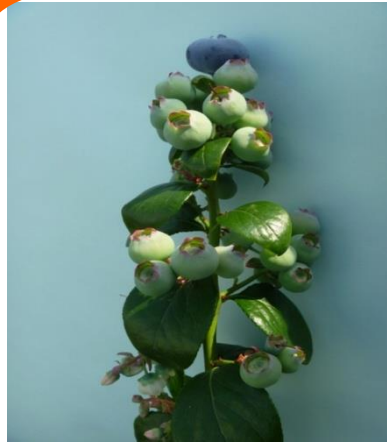
新たな結果習性 → 純正花芽 + 混合花芽



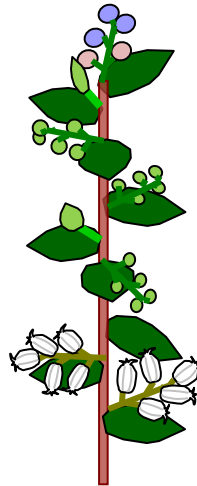
10月～11月



ステップ1



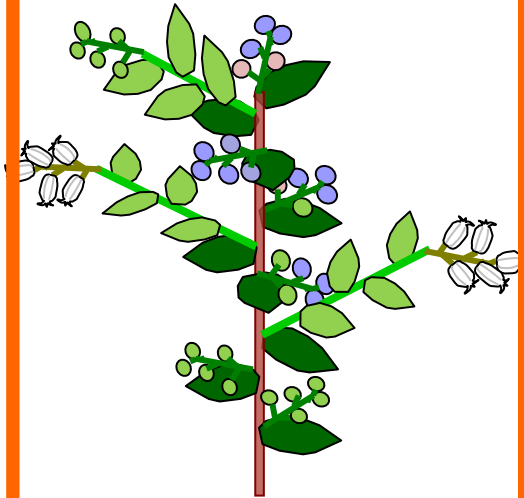
12月～3月



ステップ2



4月～5月

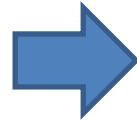


ステップ3

1本の木で大小の果実が着生 → 大果生産が出来る



連続開花結実法(1樹で1年間、連続して収穫できる。四季成り化)



高温処理して、徒長枝に開
花を誘導すると、それ以外
の枝にも開花・結実が順次
見られ、収穫が1年間できる

ブルーベリー周年栽培 (連続開花結実型栽培法)											
1年目						収穫					
							高温処理				収穫
2年目						収穫					
						短日処理				高温処理	収穫
3年目						収穫					
						短日処理				高温処理	収穫

② 連続開花・結実法による栽培

従来

- ・4月開花，収穫は夏期（6月から8月まで）ある．
- ・品種を組み合わせる出荷するので，品質が変動する．
- ・1品種の収穫期間は3週間収穫が集中する．
- ・摘花（摘果）をするので，収穫量が少ない．

新技術

- ・10月に開花，**オフシーズンの収穫**（12月～翌年6月）が可能
- ・1品種（高品質の果実）で**長期収穫が可能**（最大7ヶ月）
- ・徐々に実るので，**労働力が分散**でき，計画出荷が可能
- ・摘花（摘果）をしないので**収量が4倍以上増加**

樹の形態

NHB(Spartan)

自然条件

高温・長日



SHB(Sharpblue)

自然条件

高温・長日



RB(Tifblue)

自然条件

高温・長日

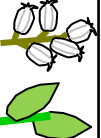
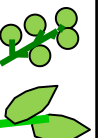
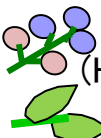
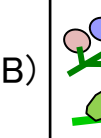
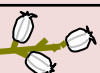
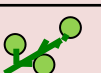
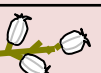
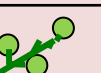
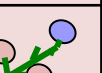
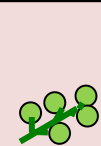
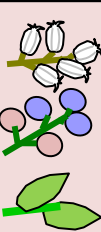
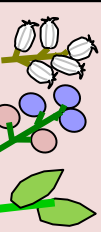
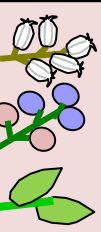
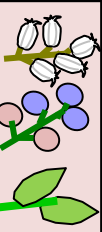
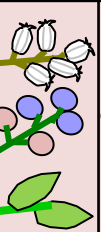
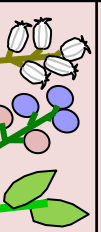
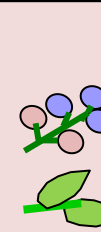
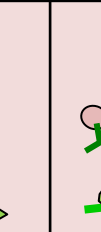
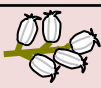
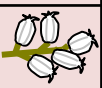
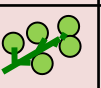
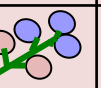
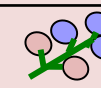


12月

3月

6月

休眠前の高温・長日条件が開花や結実に及ぼす影響

月		10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
自然条件 (露地栽培)												
NHB	Bluecrop											
	Weymouth Spartan											
SHB	Emerald Sharpblue											
	Magnolia											
RB												

- ・夏季以外のオフシーズンにも開花する
- ・品種によっては開花の期間が長くなる
- ・連続して開花・結実が行われる樹では摘果を行わなくても正常に結実し、樹勢も維持された

秋季開花性＋連続開花による長期取り性を具備する品種の特性

秋季開花の特性

10月に開花したのはNHB種とSHB種の一部



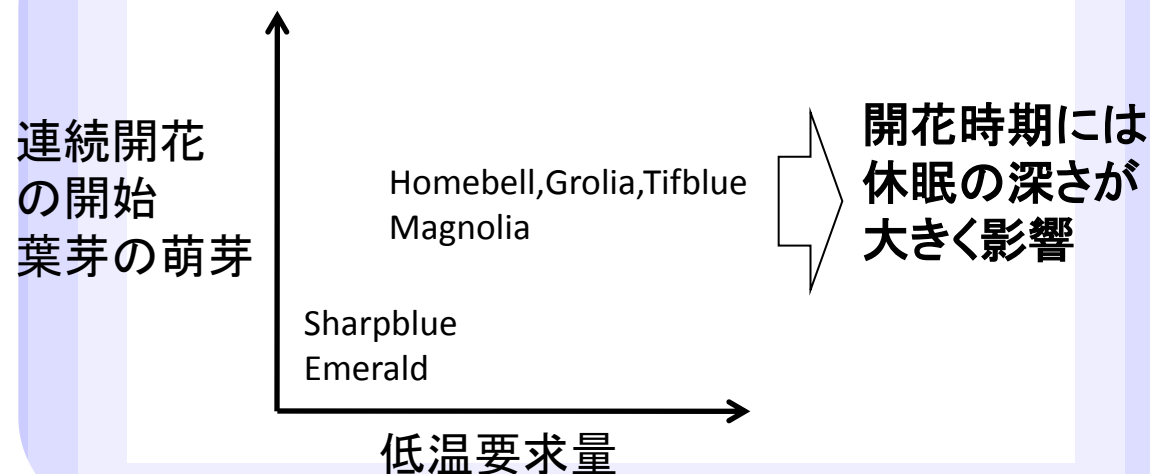
秋季に開花した品種は

・花芽分化時期が早く発育が早い



・花芽分化後の高温により開花が誘導される

開花時期と低温要求量の関係



連続開花と樹勢



Spartan

Emerald

一部開花

連続開花

落葉した
6月に萌芽

落葉・老化×
12月に萌芽

葉の光合成能が持続的に維持

①高温下で頂芽が開花②新梢の葉が落葉せず光合成を長期に維持③休眠が浅い

高収化と周年化技術の確立

ライフサイクルの倍速化法 (1年に2回、1樹で収穫できる)

低温処理
+ 短日

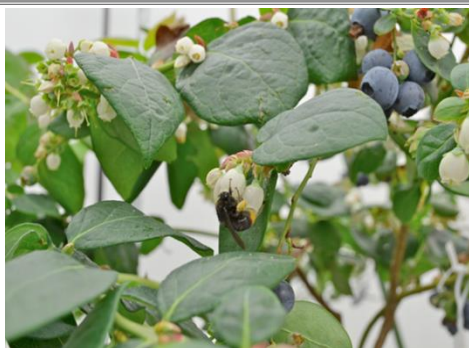
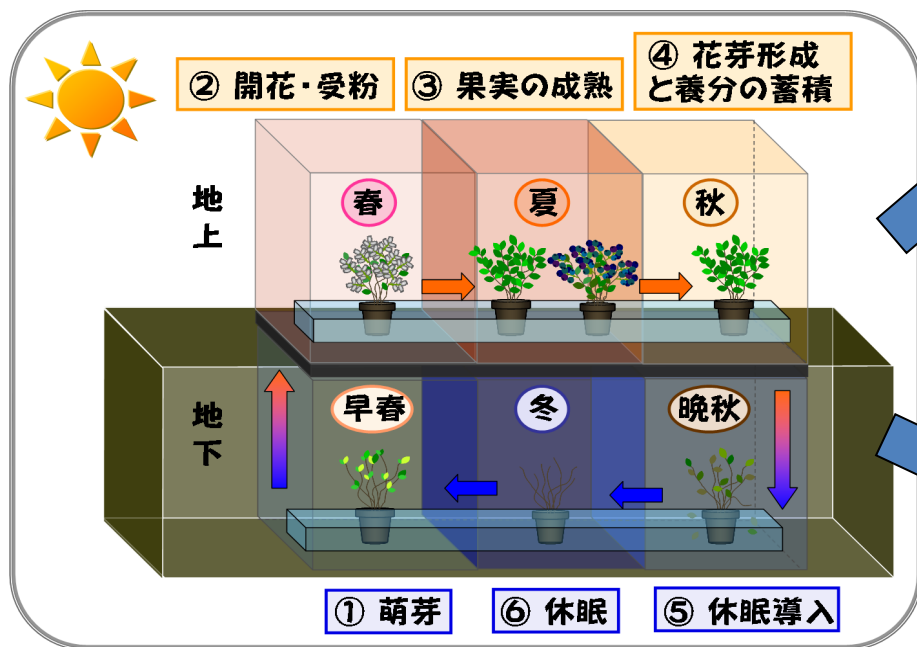


連続開花結実法(1樹で1年間、 連続して収穫できる。四季成り化)

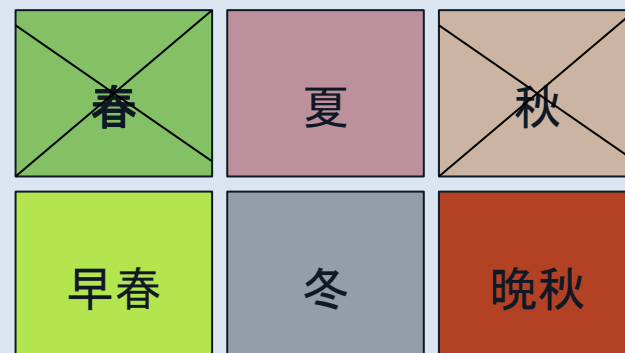
高温処理
+ 長日



5 閉鎖系植物工場での栽培法の確立



夏季における栽培



冬季における栽培



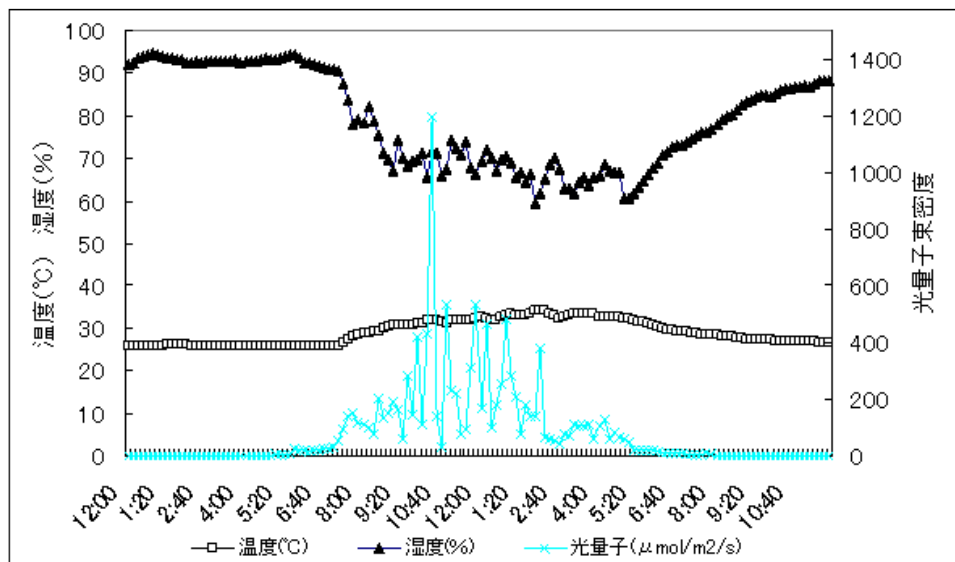
夏季において、開花させ受粉させるには人工光下での栽培が必要

夏部屋(8月5日)

外部遮光(50%)
細霧冷房



温度 28~35℃

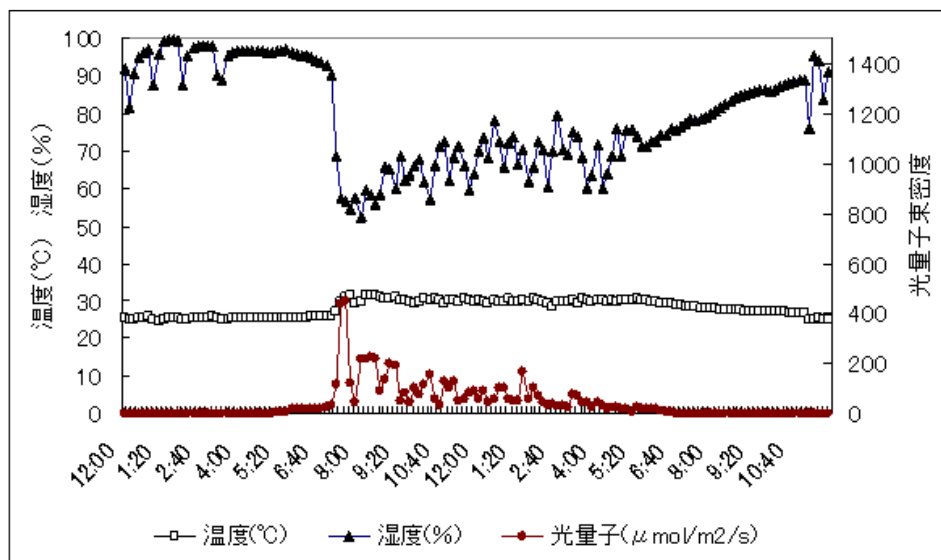


春部屋(8月5日)

外部遮光(50%)
内部遮光(30%)
クーラー
除湿機



温度 25~30℃



葉の光合成速度の特徴

温度と葉の光合成速度

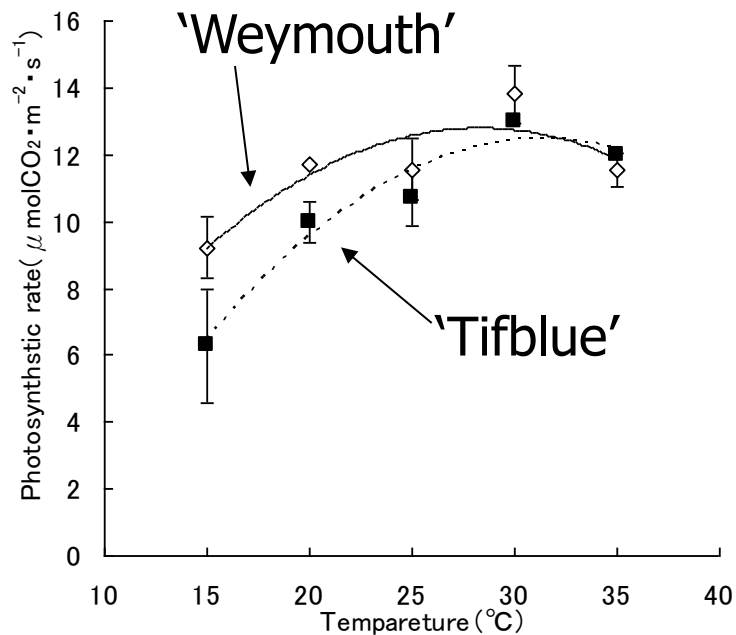


Fig.1. Effect of temperature on photosynthetic rate of 'Weymouth' ($\diamond$) and 'Tifblue' ($\blacksquare$). Vertical bars indicate SD [$n=2$ ('Weymouth' $\cdot$ 20-35°C, 'Tifblue' $\cdot$ 25°C), 3 ('Weymouth' $\cdot$ 15°C, 'Tifblue' $\cdot$ 15-20°C)].

光強度と葉の光合成速度 →

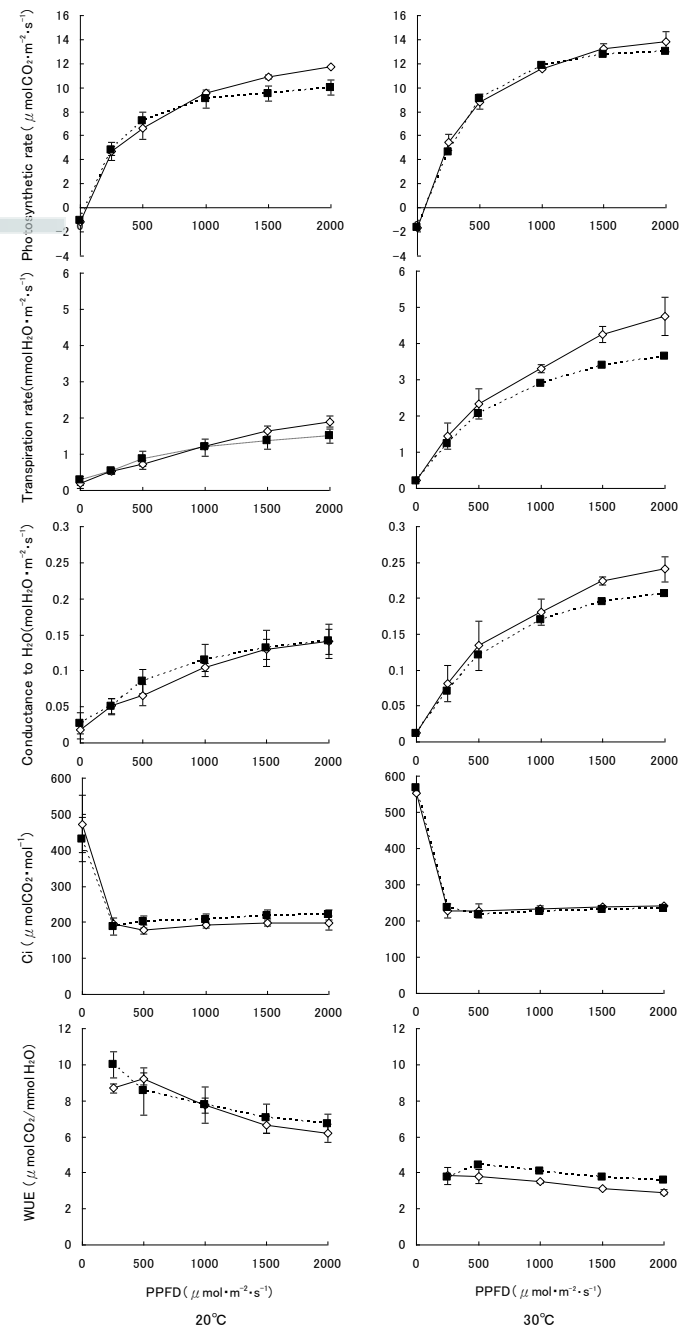


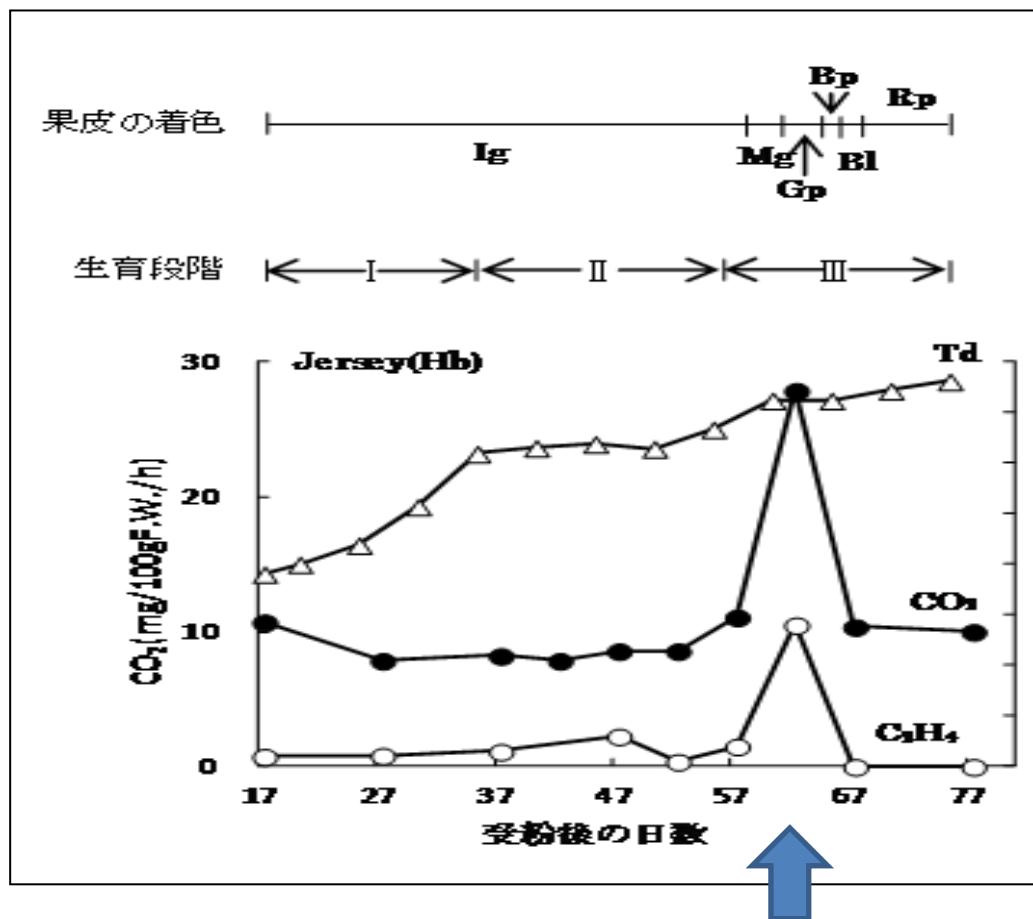
Fig.2. Influence of light intensity on photosynthetic rate, transpiration rate, conductance to H_2O , interstitial CO_2 concentration (Ci) and water use efficiency (WUE) of 'Weymouth' ($\diamond$) and 'Tifblue' ($\blacksquare$) under temperature 20°C and 30°C. Vertical bars indicate SD [$n=2$ ('Weymouth'), 3 (20°C 'Tifblue')].

人工光源下での果実生産



温度は**明期が26℃**，暗期の温度が16℃
湿度は明期が50～70%、夜間は80～90%
照射時間は**14時間**とする。
光強度は500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 程度にすることで
葉の光合成速度が高くなる。

果実の着色するときにエチレンが発生するので除去する必要がある



果実からエチレンが発生することにより果実が成熟する。

エチレン濃度が高くなると他の果実に影響し、果実が肥大が悪くなるので、エチレンを除去する必要がある。

着色開始期

温室(太陽光)および閉鎖系室(人工光) で栽培した樹体の比較2月9日撮影



温室(太陽光)で栽培した樹



閉鎖系(人工光)室で栽培した樹

太陽光で成育させた場合と同じように生育させることができる

電照時間と温度制御による連続生産法



果実の収穫が始まる時に
温度 下げる
電照時間 短くする

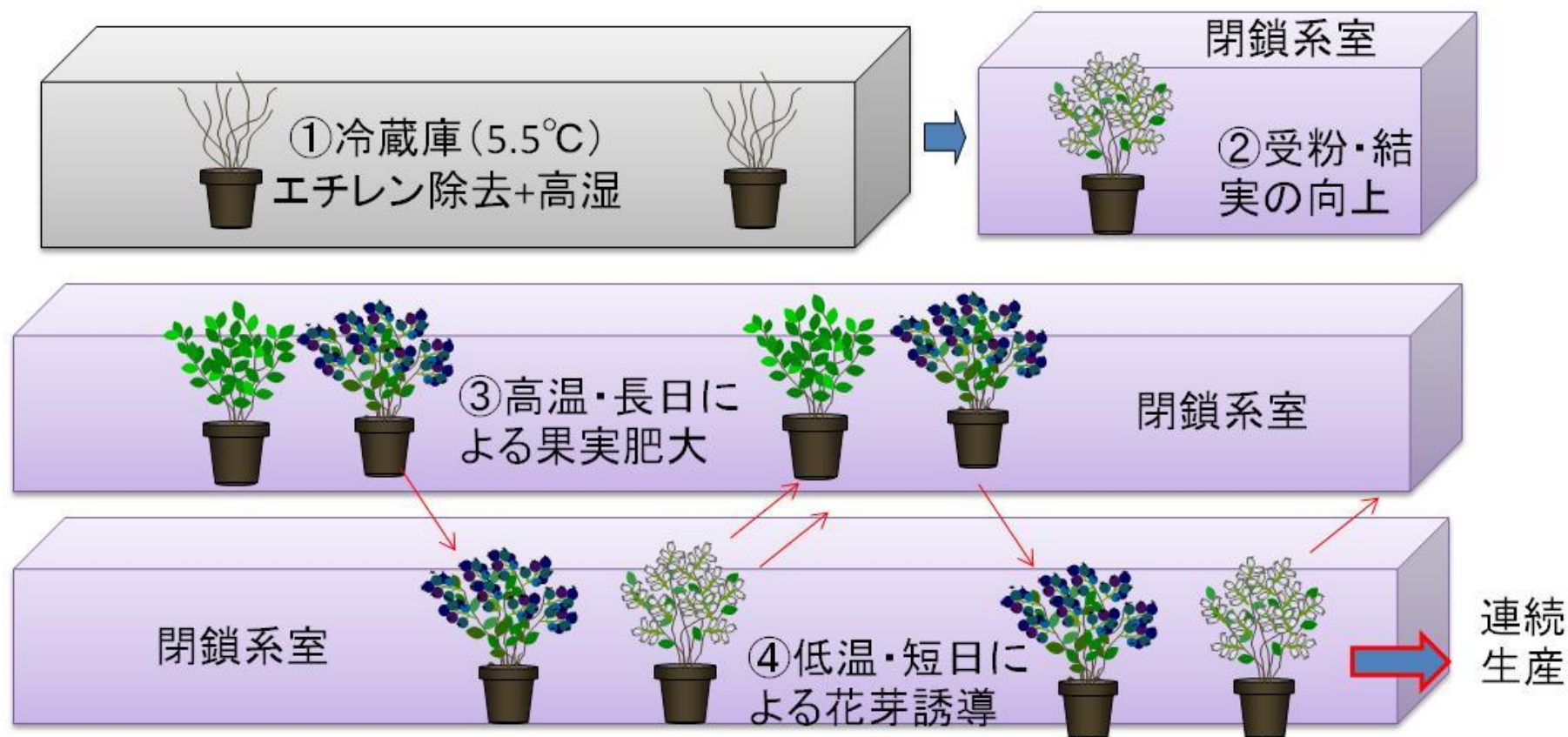


花器の形成

新梢の先端の花芽から
開花が始まる。これに
より連続的な生産が可能になる。

閉鎖系栽培室(人工光利用型植物工場)で
開花, 結実させ, その後の適正な環境制御により,
高品質の果実を連続生産が可能である。

ブルーベリー周年栽培、ビルベリーなどの栽培が可能



果樹工場を利用した樹勢回復法

7月



日長・温度制御

12月



紅葉

蕾

開花

茎葉

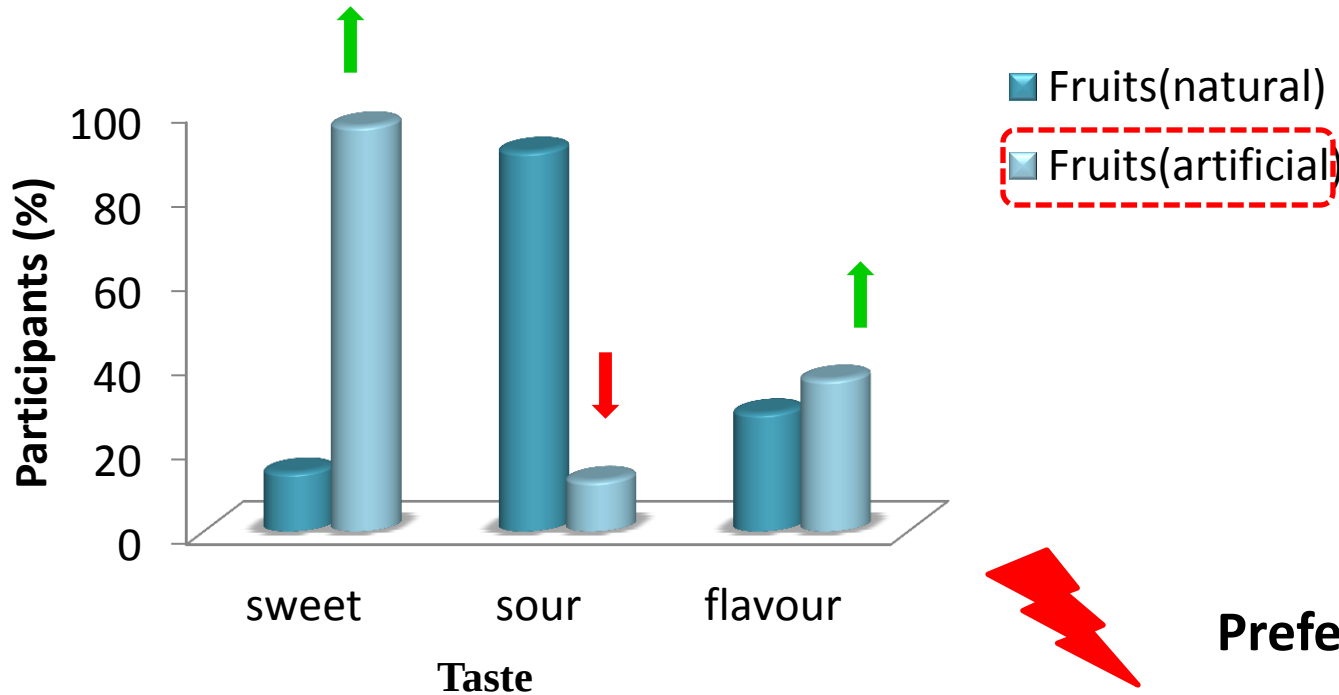
開花+茎葉

四季成り

二季成り

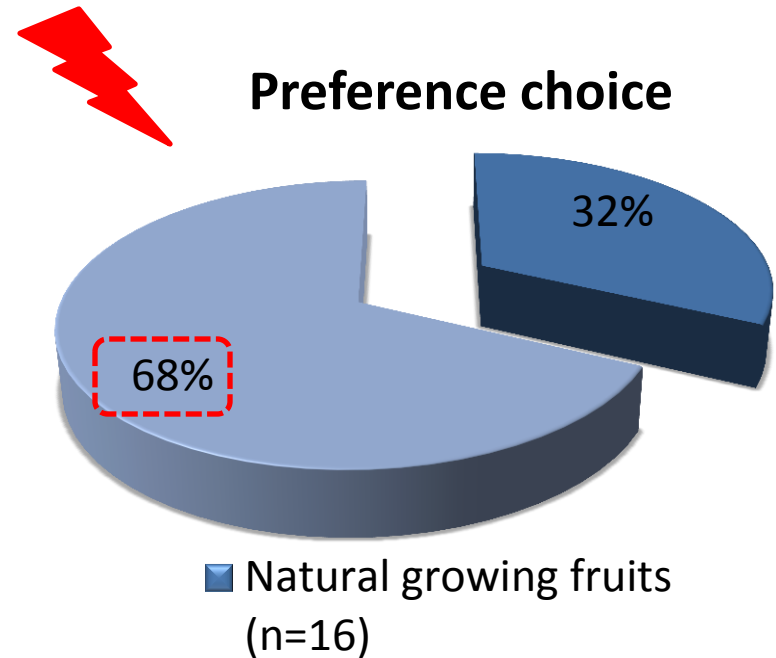


Taste results



人工光で栽培した果実は酸味が少なく、甘く、アントシアニンが多い！！

Preference choice



Results on taste (n=50).

6 フルーベリー以外の果樹栽培の可能性



ブルーベリー
イチゴ
サクランボ
ブドウ
.....

41

7 テーラーメイド果樹苗木生産システム

個々の農家の個性に合わせた最適な苗木の供給拠点

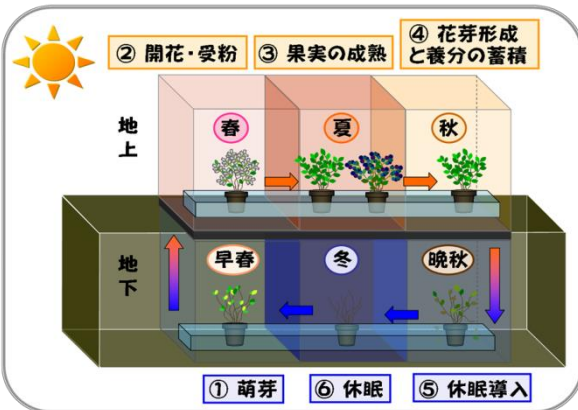
東京農工大の成果

果樹を生産する植物工場研究施設を設置(2011年3月に竣工)



1年に1回しか開花・結実しないブルーベリーを1年に2回開花させる、あるいは四季成りのように開花させる方法を確立

強み（先進植物工場と成果）



四季成り苗がほしい……

生産農家
(さまざまな要望)

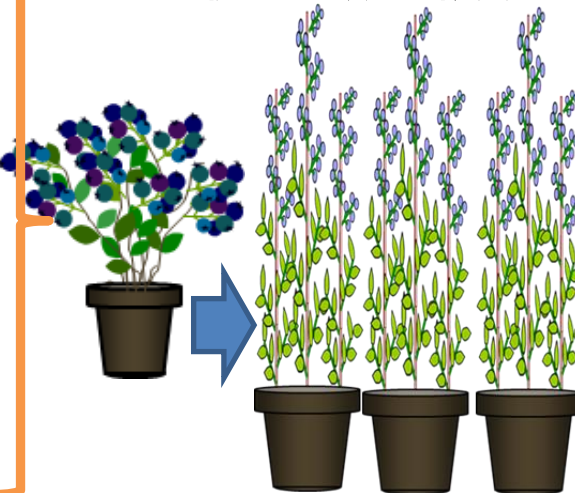


希望している苗を供給……

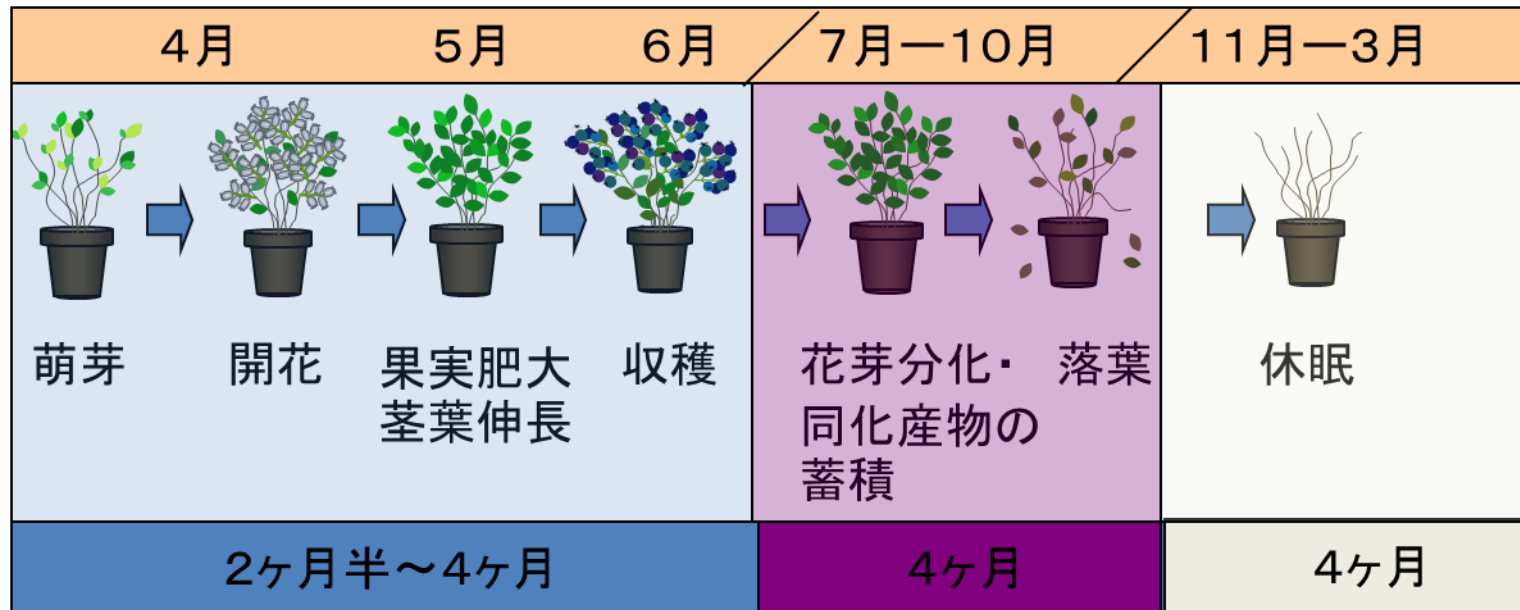


苗木を作る植物工場が
核になり、産地振興

1. 花芽分化制御法を確立
→ 周年生産可能
2. 生産者が希望している苗を供給するテーラーメイドシステムを開発
→ 計画的な苗木生産
3. カラムナー仕立て法の開発による超密植生産法の開発
→ 高収量化



従来の果樹栽培は、大型の樹木で、一年に一回しか収穫できない
 → 規模が拡大できない、周年雇用できない、
 単価が下がると他の品目に変更できない、



ポット化＋二期化＋密植化 → 周年生産、周年雇用、多収量、多品目栽培

大型植物工場の成長戦略

2013年11月9日

株式会社スプレッド

代表取締役社長 稲田信二

【講演レジュメ】

1. トレードグループのご紹介
2. トレードグループの事業戦略
3. 会社概要
4. 亀岡プラント概要
5. 植物工場産レタス『ベジタス』のご紹介
6. 植物工場事業に参入した理由
7. 事業開始からのこれまでの経緯
8. コストバランスの推移
9. 植物工場の課題
10. 植物工場産レタスの事業規模
11. 国内の事業展開
12. 植物工場がターゲットとする野菜市場
13. 植物工場の栽培管理
14. 植物工場運営に必要な要件と技術
15. 次世代植物工場の技術開発
16. 植物工場の可能性
17. 世界のあらゆる地域で可能性が広がる
18. 世界中で動き出した植物工場プロジェクト
19. 世界が注目する、日本の植物工
20. パーティカルファーム
21. Spread Vision
22. 食料インフラとは
23. 国家戦略と食料安全保障

収益の伴う植物工場のビジネスモデル

2013年11月

株式会社日本総合研究所 創発戦略センター
主任研究員 三輪 泰史

＜発表者紹介＞

三輪 泰史 株式会社日本総合研究所 創発戦略センター 主任研究員

＜略歴＞

東京大学農学部国際開発農学専修卒業

東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻修士課程修了

東京大学大学院農学生命科学研究科農学国際専攻博士課程単位取得

＜著書＞

「甦る農業-セミプレミアム農産物と流通改革が農業を救う」(井熊均・三輪泰史:学陽書房)

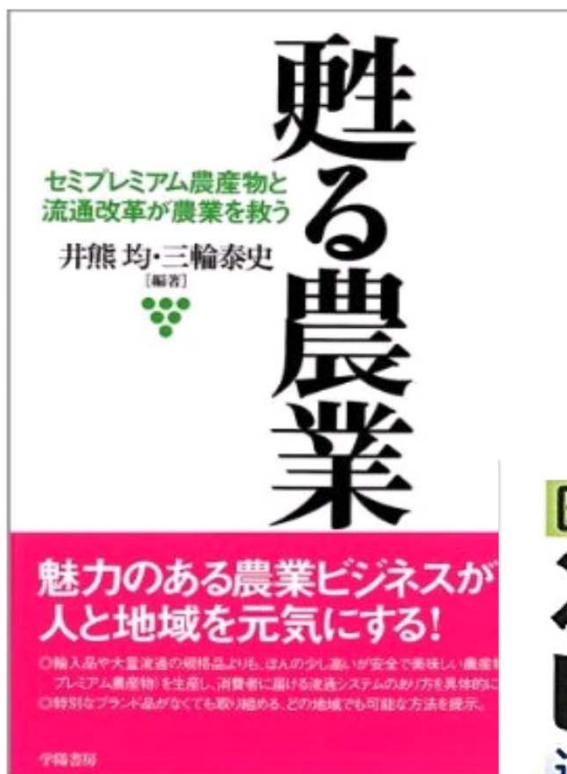
「次世代農業ビジネス」(井熊均・三輪泰史:日刊工業新聞社)

「グローバル農業ビジネス」(井熊均・三輪泰史:日刊工業新聞社) ほか

＜出演＞

スタジオゲスト:「クローズアップ現代(NHK)」、「特報フロンティア(同左)」、「うまいッ!(同左)」、「News Fine(テレビ東京)」、「E-morning(同左)」、「Closing Bell(同左)」など

VTRコメント :「クローズアップ現代(NHK)」、「新報道2001(フジテレビ)」、「めざましテレビ(同左)」、「スーパーJチャンネル(テレビ朝日)」など



NHK「クローズアップ現代」

1-1. 植物工場の方式

- 広義の植物工場として、「自然光型」(狭義では除外)、「太陽光併用型」、「人工光型」の3方式が存在。
- 太陽光併用型と人工光型では栽培可能な品目に違いがあり、前者で葉物類、果菜類が中心、後者では葉物類が中心である。
- 農薬使用の有無、生菌数等についても差異が存在。(品質面)

太陽光併用型植物工場



人工光と太陽光を併用して栽培する植物工場

人工光型植物工場



人工光のみを用い、栽培空間を外気から完全に隔離した植物工場完全閉鎖型工場)

1-2. 植物工場技術比較:①人工光型

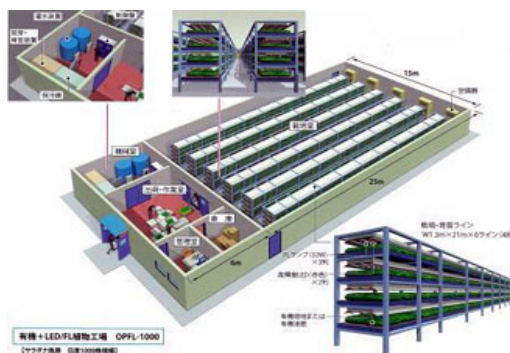
人工光型植物工場の仕組み

<工場、室内>



外壁は、外界の光と熱を完全に遮断するために、断熱性の高い材料で構成され、室内は、無菌状態に保たれている

<環境制御>



必要な日照は栽培用人工照明、大気組成分の調整、温度調整などがセンサーで制御。
生産工程の情報管理も可能

人工光型植物工場の特徴

◎ 安定供給

閉鎖的空間での栽培のため、天候・害虫などの影響を受けずに、一定の量、形や味、栄養素などの品質、そして価格での供給が可能である。

◎ 高い安全性

病原菌や害虫の侵入がないため、農薬の散布が不要。また、無菌状態・養液での生育のため細菌数も少ない。

◎ 高速生産

完全な環境制御により、その植物の生育にとって最適な環境を作り出し、成長を促進させることができる。

◎ 土地の高度利用

植物の大きさにより苗を移動させることにより、最大限の密度での栽培が可能。また、棚状に複数段配置する・斜めに配置する、などによって、土地の利用効率を一層高めることもできる。

× 建設、運営コストが高い

工場設置には、高額の初期投資、また、生産に要する光熱費などのコストもかかる。

1-3. 植物工場技術比較: ②太陽光併用型

- 太陽光併用型植物工場とは、太陽光を主としながら食物を栽培し日照不足分を人工光源による補光ランプで補うシステム。

太陽光併用型植物工場の仕組み

<工場・室内>

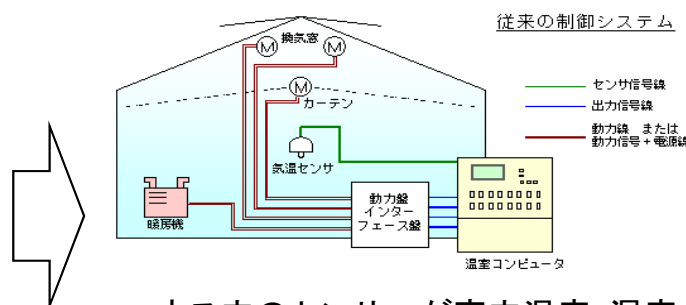


太陽光を使用するためハウスはガラス張りの温室を使用するが多い



一定の照度以下になると補光ランプが点灯させ、日照不足を補う。

<環境制御>



ハウス内のセンサーが室内温度・湿度などの情報を感知し、基幹システムにその情報が送信される。それにより、栽培に適した環境を維持するための環境制御が自動で行われる。

太陽光併用型植物工場の特徴

◎ 生産可能品種幅広い

各種葉菜類に加え、トマトやイチゴ、バラなどの果菜類の生産も可能。完全密閉型植物工場に比べ、生産可能品種の幅が広い。

○ 完全密閉型に比べコスト低

主に太陽光を使用するため、補光にかかるコストが低い。

× 栽培面積の有効性低い

完全密閉型植物工場に比べ植物配置の自由度が低いため広い設置面積を要する。設備の有効利用度も下がる。

× 環境の完全制御が困難

ハウス形態の特性上日照の影響を受ける。特に夏場は温度管理が困難。そのため、植物工場でありながら、夏場の無農薬栽培に困難が伴う。

2-1. 植物工場の特徴

- 植物工場農産物の持つ価値のうち、BtoCにおいて評価されているのは「無農薬」と「鮮度」。
- BtoBにおいては、上記2点に加え、洗浄が不要なことも高く評価。(人工光型)

		植物工場	露地栽培
メリット	供給面	●天候の影響を受けず、安定した品質や価格による供給が可能。 ●●品目によっては、多期作が可能。(レタスでは20期作等が実現)冬季も安定して栽培が可能。	●肥沃な土壌ならではの、品質の高い(おいしい)農産物の生産が可能。 ●初期投資、維持管理コストが比較的低額。 ●バイオマス由来の堆肥や液肥を活用した資源循環型の農業の実践が可能。
	品質面	●病原菌・害虫のリスクを排除し、無農薬での栽培が可能。 ●栽培条件の最適化により栄養価を高めることが可能。 ●細菌等の付着が少ないため、品質が長持ちする。 (●食べる前に洗浄する手間が不要。)	
	経営面	●農地以外の場所での栽培が可能。 ●作業のマニュアル化が比較的容易であり、農業初心者の雇用が可能。 ●高齢者や障害者の就労が期待できる。	
デメリット		●初期投資、維持管理コストが高額。 ●栽培品目が限定的(根菜類は基本的に対象外)。 ●栽培技術が一部未確立。 ●管理者・経営者等の植物工場に精通した人材が不足。	●人手不足、反収が比較的少ない。 ●天候による減産・品質低下リスクが存在。 ●病原菌・害虫リスクが存在。 ●無農薬で生産する場合には手間がかかる。 ●一般的に農作業は重労働。

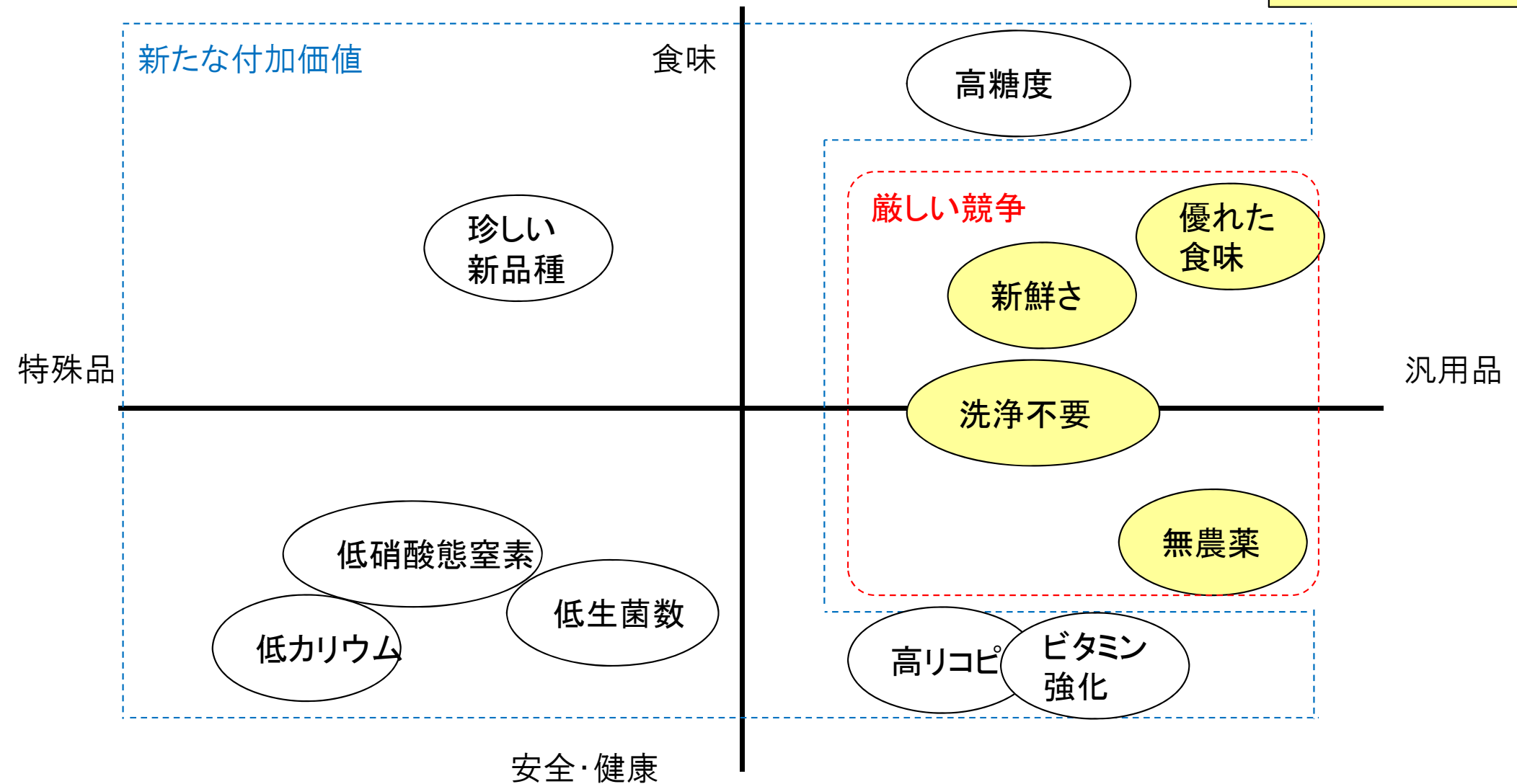
2-2. 植物工場技術の技術特性の整理と技術方式の選定

- 「無農薬」、「賞味期限延長」、「栄養強化」等の独自の価値訴求を行う場合には人工光型植物工場が適するが、一方で生産単価は太陽光併用型よりも高くなるため、価値訴求点の見極めが重要。

	太陽光併用型	人工光
栽培可能品目	◎：葉物野菜に加え、トマトやキュウリ等の幅広い品目が栽培可能	○：一般的には葉物野菜のみ。一部企業では、結球野菜や結実野菜も可能。
初期コスト	◎：人工光より低額	△：照明機器の設備コスト、建屋コストも一般的に高額
運転コスト	◎：人工光より3～4割程度低い	△：電気代、照明機器の維持補修費が高額
稼働の安定性	○：日照や外気温等による影響	◎：完全閉鎖型であり外部環境の影響なし
面積効率	△：多段栽培は不適	◎：10段を超える多段栽培が可能
衛生面	○：半閉鎖環境であり、外部からの完全な遮断は困難	◎：エアーシャワーを備える施設も多く、完全閉鎖環境で栽培可能
メーカーの企業体力	△：農業経営者が母体のメーカーが多い	○：プラントメーカーや電機メーカー等が多い

3. 商品戦略の検討

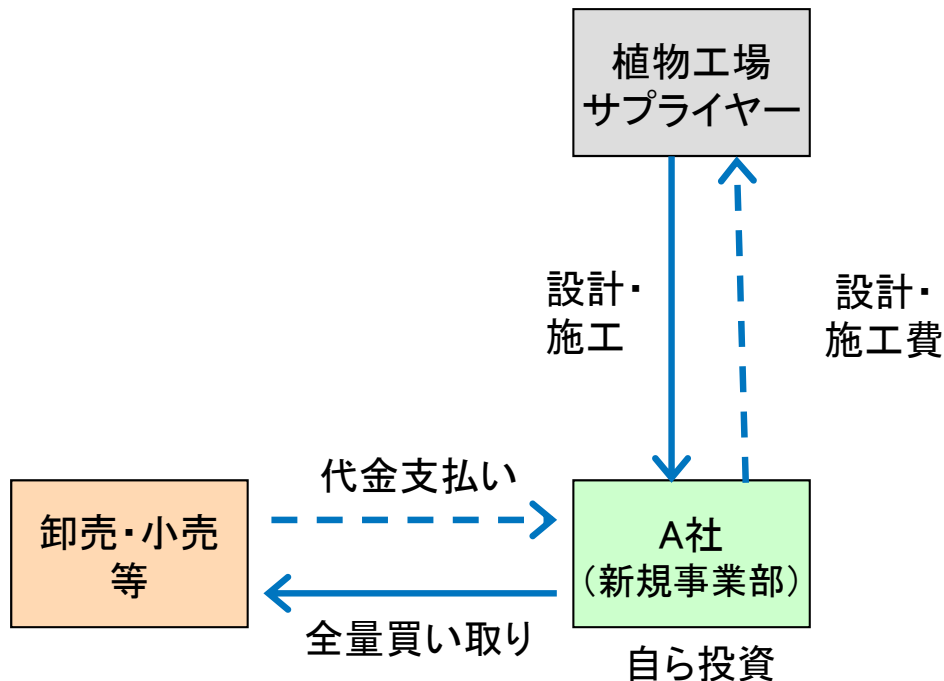
従来の植物工場における価値訴求



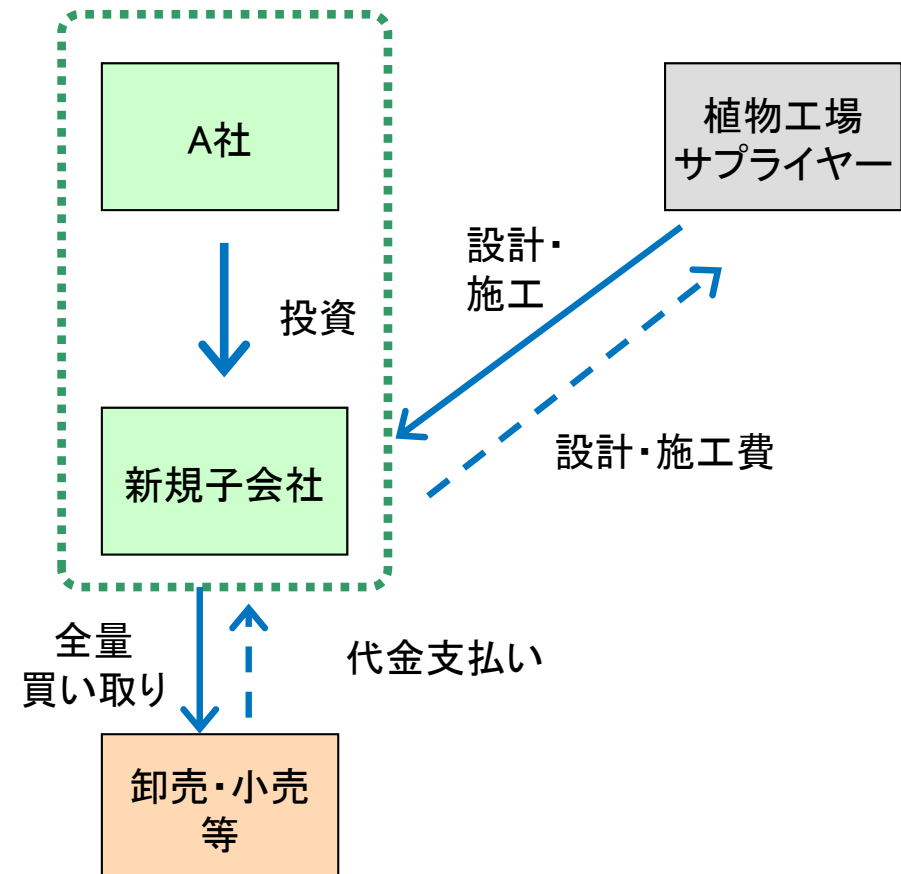
4. 植物工場運営のビジネスモデル

- 植物工場新規事業の立ち上げにおいては、①貴社内に新たな事業部を設けるケース、②植物工場事業を担う100%子会社を設立するケース、③他社と合併企業を設立するケース、の3パターンが中心。

ケースA: 事業部モデル

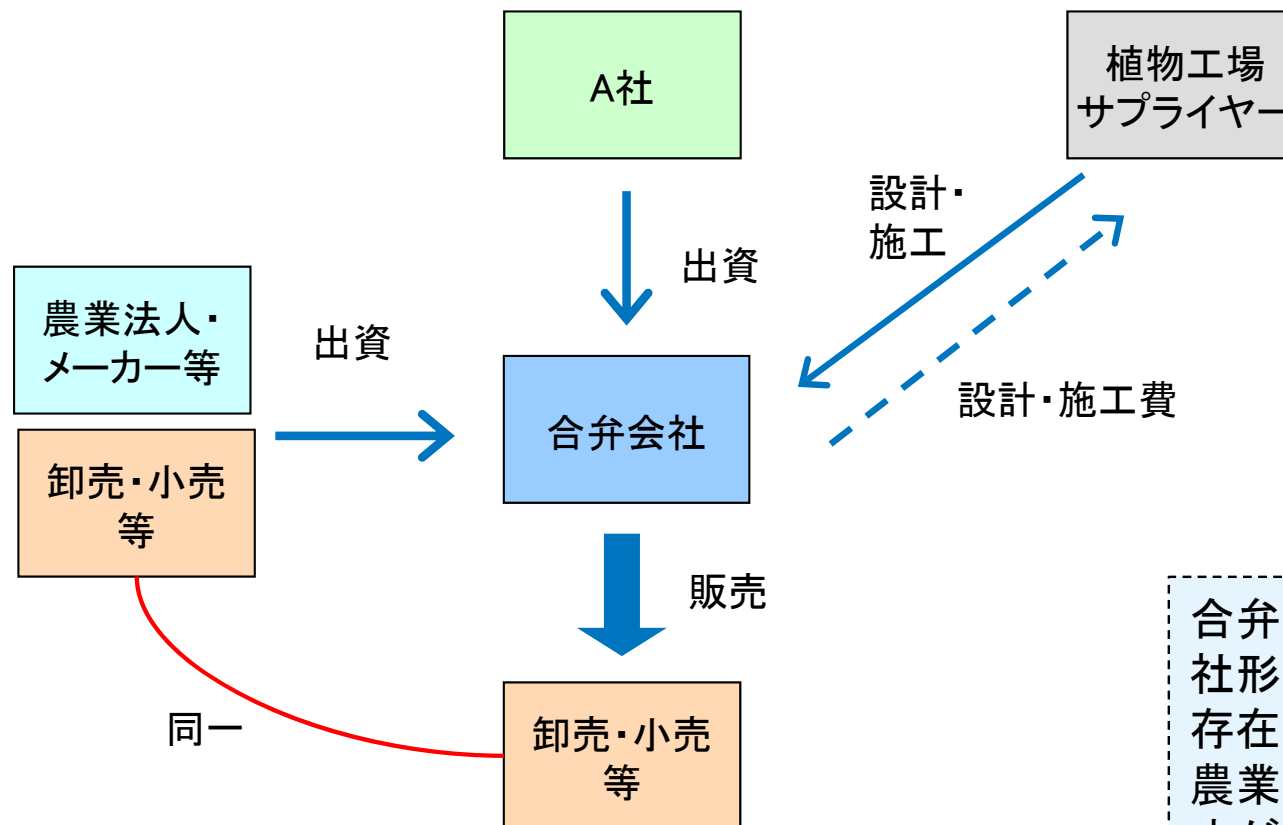


ケースB: 100%子会社モデル



4. 植物工場運営のビジネスモデル

ケースC: 合併会社モデル



合併会社については、一般の株式会社形態と農業法人形態の2パターンが存在。
農業法人形態は土地の取得が可能です、農業従事者の出資比率や人数等の条件が設定。

5. 【ビジネスモデル①】小売店、外食店等への販売

- 植物工場農産物の流通ルートの特徴として、市場外流通が中心である点が挙げられる。
- 卸事業者への販売、もしくは小売店・外食店・食品加工企業への直売が多く、生産者の手取りの割合が高い。

【BtoC】

- 小売店への販売においては、契約栽培方式が増加。事前に価格、量が決定されるため、事業が安定。
- 技術力とビジネスセンスに富む植物工場運営者の中には、将来的なターゲット価格を小売価格ベースで98円に設定しているケースも存在。
⇒一部地域では価格競争が激化。

【BtoB】

- 仕入れコストの変動を嫌うBtoBルート（中食、外食、食品加工への販売）については、大きな伸びが期待。
- 洗わずに加工が可能、賞味期限が長い、といった特徴が食品加工企業のニーズと合致。
- 一方、赤字の植物工場も多い。技術力不足による失敗事例は減ってきたが、販路がないまま見切り発車で事業を開始し、苦しむ事例が散見。

5. 【ビジネスモデル②】特定チャネルへの販売（特殊品）

- 認知度が高まる植物工場農産物だが、一方で末端価格は徐々に低下傾向。新たな付加価値訴求の動きが活発化。

【例①：機内食】

- 生菌数が少ない点を活かし、衛生基準が厳しい機内食向けに販売。

【例②：病院食、給食】

- 腎臓病患者向けの低カリウム農産物が実用化。
- 硝酸態窒素の削減なども。

【例③：栄養強化】

- カロテン、ビタミン、リコピン等の栄養素を増加させた農産物が実用化。

【例④：薬用植物】

- 甘草などの薬用植物を植物工場で栽培。

5. 【ビジネスモデル③】付加価値源泉としての活用

- 植物工場のビジネスモデルとして、葉物野菜の生産・販売という従来型のビジネスモデルとは異なる事業展開を図る事業者も出現。
- 野菜そのものを売るのではなく、植物工場の付加価値を他のサービスの付加価値として活用するモデル。

①レストランでの店産店消モデル

- 外食店の店舗に設置し、取れたてサラダとして提供。話題性により集客力向上。
- 野菜ではなくサラダとして販売することで、単価が向上。

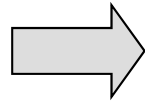
②施設付加価値向上モデル

- ホテルやマンションに設置し、宿泊客・居住者へのエコなサービスを展開。（収穫体験、見学、試食など）
 - アミューズメント施設、リゾート施設、ショッピングモール等の付加価値向上ツールと位置づけ。
-
- 食費者の環境意識、食育への関心等の高まりが追い風に。

5. 【ビジネスモデル④】海外展開

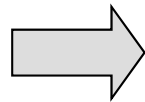
- 植物工場に対する海外からの問い合わせは増加しており、いくつかの受注事例も出現。（後述）
- しかし、地域ごとに植物工場に求める役割は大きく異なり、ニーズとずれた提案は意味をなさない。各地域の代表的なニーズを以下に例示する。（実際には各国内でも地域差あり）

中国



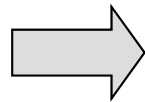
安心・安全、健康、水の節約、水質悪化防止
【三菱樹脂、城南山形、みらい、協和など】

中東、豪州



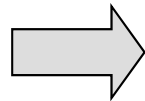
水の節約、高温化での安定栽培、新鮮
【三菱化学、三菱樹脂など】

(東南)アジア



収量向上、安定栽培、害虫対策
【銀座農園等】

ロシア、中国(北部)、
モンゴル

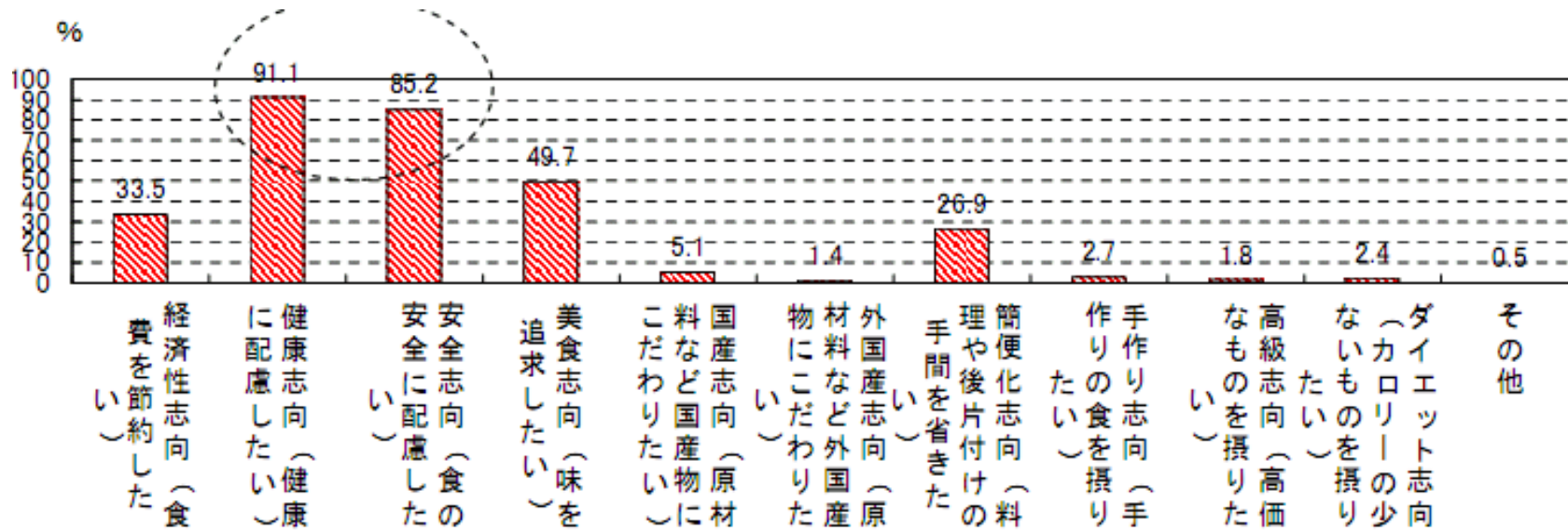


寒冷地での安定栽培、周年供給
【みらい、センコン物流＋エスペック、三菱化学など】

5. 【ビジネスモデル④】海外展開

- 中国や東南アジアの新興国では、経済発展に伴い、農産物に対する消費者ニーズが大きく変化。
- 日常の食品を購入する際に重視する点について、消費者の85%以上が健康志向と安全志向を挙げており、日本と比較すると特に際立った特徴。
- 加えて、食味や簡便化に対するニーズも増加。

グラフ 食品購入時に重視する点(中国)



出所: 日本政策金融公庫

5. 【ビジネスモデル④】海外展開 「日本式農業モデル」

- 限界が見える輸出モデルの次の戦略として、日本農業の技術・ノウハウを活かして新興国で現地生産・現地販売する事業モデルを提唱する。
- 日本の農家・農業企業が積極的に関与した「日本式農産物」としてブランド化し、富裕層・上位中間層マーケットを中心に販売することが期待される。（日本への逆輸入は基本的に想定せず）
- 日本産農産物（輸入）と日本式農産物は補完関係にあり、両者を包含した日本ブランドを構築することが可能である。

図表 農業の海外展開の類型

①輸出モデル

	国内	海外
生産		
市場		

メリット

- ・高品質、直営で適切な管理可能
- ・産地の雇用確保、産業振興

デメリット

- ・生産量に限界
- ・鮮度低下、輸送・関税のコスト高

②現地生産・現地販売モデル

	国内	海外
生産		
市場		

- ・農地面積・資本力の制約が少ない
- ・富裕層を中心とした高い購買意欲

- ・適切な事業パートナーが不可欠
- ・海外特有の事業リスクが存在