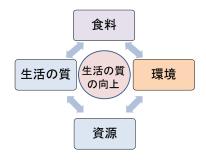
2019年度植物工場研修No.13中規模人工光植物工場の事業計画立案、経営のノウハウ

人工光型植物工場と生産性

2019年12月3日(火) 柏の葉キャンパス 研修室

古在豊樹(NPO植物工場研究会)

人工型植物工場は、食料生産だけでなく、環境・資源・生活の質の 問題の同時並行的解決に貢献するテクノロジーを提供する



A 投入資源量→・システム 光、CO2.水、無機 肥料、種苗、作業 プレート 環境汚染物質(残さ・熱、CO2を含む) 環境

投入資源利用効率(Aに対するBの比)を最大化(環境汚染物質排出量Dと内部残存量Cを最小化)すると、投入資源量とそのコストが最小化される。可能最大なB/A比を実現し得るのが、閉鎖型植物生産システムである。

図1 必須投入資源の利用効率(B/A比)の定義とその意味

内容

- 人工光型植物工場の役割
- 生産性を測る諸要素 資源利用効率、資源生産性、金額生産性
- 成功の主なポイントは
- ・スマート人工光型植物工場の将来

人工光型植物工場開発の基本的考え方

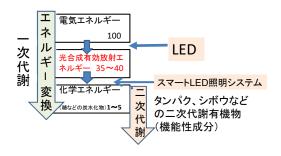
- ・ 文化、都市農業、農耕文化都市全体の中に位置づける
- ライフスタイル変革を伴うマーケットを創造する
- IoT、人工知能、ネットワーク、ビッグデータ・マイニング技術を、地域の文化を創造するという観点で、導入する。
- 設計と経営・作業の約70%をコンピュータ・ソフトウェア化する。
- コスト・パフォーマンスを、2025年までに2倍以上、2030年までに5倍向上させる。

人工光型植物工場と園芸施設における投入資源利用効率 およびその理論的最大値

OOO'O C OF EARTH STANK IN				
投入資源利用効率	人工光型植物工場	園芸施設	理論的 最大値	
水	0.96	0.02-0.03	1.0	
CO ₂	0.88	0.4-0.6	1.0	
肥料	0.80-0.90	0.5-0.7	1.0	
種子	0.90-0.95	0.8-0.9	1.0	
光エネルギー	0.027	0.017	0.1	
電気エネルギー	0.007		0.05	

水、CO2、光、電気に関しては、Ohyama et al. (2002; 2005; 2006); Yokoi et al. (2005)

人工光型植物工場における電気エネルギーから植物の有用部分への化学エネルギーへの変換比率は5%以下->この比率と生産価値の向上が重要

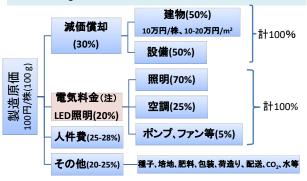


3. エアコンおよび送風ファン 光源からの発熱により 照明時は冬季夜間も冷房

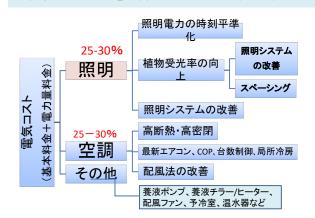
4. CO₂ 施用 装置
5. 養液供給 装置
6. 環境制御 装置
6. 環境制御 装置

図3 人工光型植物工場栽培室の基本6要素と必須投入資源 <mark>必須投入資源</mark>:光、CO2、水、無機肥料、種苗。 運転に電気を必要とする機器:No.2~No.6。 照明用電力使用が特に多い。

生産原価の構成比率とそのおよその内訳の(日本) (リーフレタス 100 g/株当たりが100円の場合)。販売管理費と賃料を含まず。 現状では、100gのレタスの生産に、約1 kWh の電力量を消費している。



栽培室における電力料金の5年以内の節減可能率



断熱性と密閉性

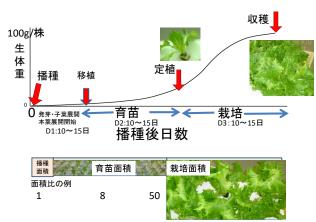
- ・壁・天井および床の熱貫流係数は、0.1(寒地)~ 0.3(暖地)W/m2/°C程度。
- 換気回数(時間当たり換気量/室内空気容積)は、 0.02回/時前後
- 室内の気温が25℃、相対湿度が90%だと、室内 空気の露点は約24℃。冬の最低外気温の時で も、壁内面の温度が24℃以上に維持できて、内 面に結露しないだけの断熱性が必要。

雷力料金

- 日本では、毎月の電気料金(円)は以下の式で定め られる。
- · 電気料金=基本料金+電力量料金(+促進料金)
- 基本料金=基本料金単価(円/kW)・契約電力 (kW)・(185ーカ率)/100
- ・ 電力量料金=月当たりの使用電力量(kWh)・(電力 量料金単価(円/kWh)(土燃料費調整額(円))
- ・ 促進料金=月当たりの使用電力量(kWh)・(再生可能エネルギー発電促進賦課金単価)(円/kWh)+太陽光発電促進付加金単価(円/kWh))
- 基本料金単価と電力量料金単価は電力会社により 異なる。
- ・ 新電力。太陽光発電コストの低下。

人工光型植物工場での生産に適した植物種の特性

特性 | 比較的弱い光強度(200 μmol/m²/s前後)と高いCO2濃度(2000ppm程度)で良く成長する。 | 苗の定植から収穫までの日数が短い(10~30日)(狭いスペースで可能な、播種・育苗には数週間必要でも可)。 | 栽植密度が50~500本/m²と高くても良く成長する。 | 植物体の90%前後が商品になる(商品にする)。 | 植物体の生体重量当たりに商品単価が比較的高い(1000円/kg以上)。 | 草丈が30cm前後で商品になる(刈り取り再生方式でも可)。 | 機能性成分(ビタミン、リコピン、薬効成分等)の濃度を環境調節(光質、気温、水分、気流速度等)によって高めることが出来る。



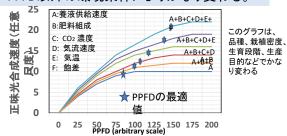
播種から収穫までの植物成長曲線と占有面積の例

植物工場における最適環境条件は変化し続ける

- 品種
- 生育段階
- 栽植密度•葉群構造
- 生産目的(品質・収量・価格)
- ・ 他の環境状況
- 販売物・原材料の市場価格
- 生産施設と人材の特性など

この変化し続ける最適環境条件を生産・販売しながら自動的に学習し、進化する人工光型植物工場を開発しよう!!!

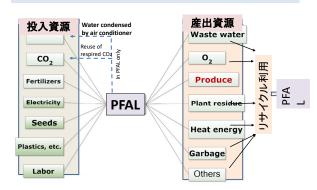
光合成有効光量子束(PPFD)の最適値は、 PPFD以外の環境条件によりかなり変わる。



状態変数制御から速度変数制御へ

		状態変数	速度変数	
	意味	状態を示す変数	或る量の時間変化を表す変数	
	単位の例	$^{\circ}$ C, J (joule), ppm, kg, m, pH, EC	kg/h, J/s (=W), L/s, mol/m²/s	
3	変数名の例	温度、濃度、質量、長さ、酸性度、電気伝導度	正味光合成速度、蒸散速度、呼吸速度、CO2施用速度、給水速度、吸水速度、電力、	
糸	分らわしい例	光合成量、蒸散量、吸水量、成長量		
	正しい表記 の例	或る時点の量(重量、面積など)時間・日・月あたりの量	日あたり光合成量(kgCO ₂ /d)、 時間あたり蒸散量(kg/h)、植物 体あたり生体重増加量	
	制御方法	状態変数値を目標として制 御	速度変数値を目標として他の速 度変数を制御し、状態変数値も 計測制御	

すべての速度変数を計測し、利用効率などの指標値を求める

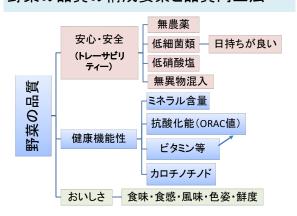


栽培作業項目と(半)自動化可能項目

(自動化・半自動化が可能な作業は赤字)



野菜の品質の構成要素と品質向上法



開発が期待される主な課題

おいしさの向上 ― 食味・食感・色姿・風味・香り・精質・鮮度・テキスチャー 機能性成分向上 ビタミン、抗酸化能、薬効成分、化粧成分等 エネルギー自給 ― 太陽光、風力、パイオマス、熱循環、節電、効率向上 節電·資材有効利用 — 電気·新光源·照明、養液、CO₂、培地、種子 大量データ分析とモデル化に基づく統合環境制御システムのワンチップ化 自動スペーシング ― 植物の成長度合いに応じた栽植密度調節 作業の(半)自動化 ― 播種・移植・定植・パネル移動・洗浄、袋・箱詰め **チップパーン(注)などの生理病対策 ── 環境制御、養液組成、品種改良** トータルデザイン、サービスデザイン、作業性の効率と快適性の向上

昇発が期待される主な課題

(注)葉縁の細胞が破壊され、茶褐色になり、商品価値が損なわれる現象。

限界費用(Marginal Cost) の今後の推移

- ゼロに近づいている。一><mark>情報取得と遺伝子(情報の一種)の特定・検索</mark>(2019年現在、人間の全遺伝子を同定する費用は約50万円。小型DNAシーケンサー/アナライザーの価格は約10万円)
- 原子力・石油に比較して発電コストが低くなり、今後、 益々低くなる。一>自然エネルギ-利用の発電、白色LED、
- 今後、急速に低下する。3Dプリンターによるモノづくり (2019年現在、小型3Dプリンタの価格は5~50万 円)。MOOCによる教育・学習.

限界費用がゼロに近づいている資源を利用し て、省資源・環境保全的な高収量・高品質な 健康食料を生産するシステムの構築を、地域 (ローカル)の文化に適合させて、行なう。



植物工場はその方法の1つ

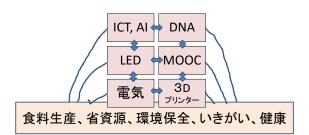
情報技術(IT)に関わるグローバル技術の諸相



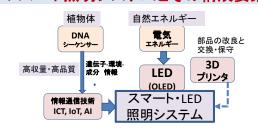
多品種少量個人カスタマイズ

シェアリング(共有)経済

限界費用がゼロに近いツールを組み合わせた 個人学習・個人起業・社会貢献システムの例



グローバル技術のローカル技術への埋め込み による光エネルギー利用効率の2倍化のための スマート照明システムとその構成要素



人工光型植物工場における基幹技術



2025年までのロードマップ

- 基本的考え方
- ・2021年まで
- ・2025年まで

2020年現在,人工光型植物工場に求められる技術(1)

- 電気エネルギー・光エネルギーの利用効率・LED照明システム改善技術
- 光エネルギー利用効率改善のため他の環境要因の 最適化技術
- 植物体の価値の向上と利用部位率の向上技術
- 低環境ストレス、低病虫害ストレス下における育種

2020年現在,人工光型植物工場に求められる技術(2)

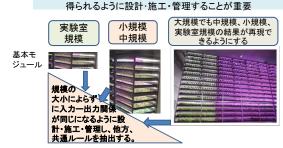
- 速度変数の計測制御:利用効率、コスト・パフォーマンス制御
- 新栽培システム(栽培棚、栽培空間、作業空間、養液槽、 資源輸送管の一体化) 特に、養液栽培槽・栽培棚設計
- 作業性向上。作業自動化、ロボット化、ICT、IoT、ネットワーク 人工知能・ビッグデータ、オープンソース、MOOC
- 機能性成分、健康・機能性食品、機能性植物(薬草)
- DNAシークエシング技術を利用した育種と環境制御
- 拡大可能性(Scalability)が大。
- モジュール化され独立性(independency)が高い。
- 接続性が高く、低雑音で不干渉。

2025年までに達成すべき目標

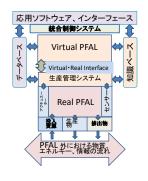
- ・ 初期コストは30%減。
- ・ 収量あたりの消費電力量と作業時間を50%減。
- ・ 生産物重量当たりの経済価値を30%増。
- 市場流通量は10倍。

- ・ゴミ排出量を半減。コスト・パフォーマンスは2倍 その後、毎年10%増 ・ 工場建設に関わるCO2排出量を半減。
- 自然エネルギー利用量は10倍。
- ディバイス同士、人間一機械のインターフェースが高度。
- 進化的適応性が高く、自己学習能力、自動進化能力 がある分散協調知的システム。
- 資源利用効率が高い、分散協調知的システム

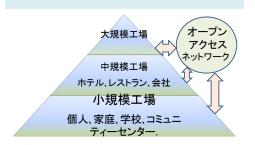
人工光型植物工場の拡大可能性を示す模式図 実験室規模、小規模、大規模のいずれでも同様な結果が



バーチャルとリアルからなる2025年の人工光型植物工場



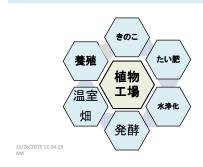
分散 (ユビキタス)・協調・知能化ネットワーク



多様な社会に向けた多層化



多様なシステムとの統合



植物最適環境決定モデルの概要



Fig. 7.13

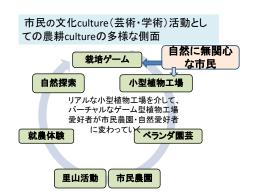
・ 参考文献(1)

- 1) 古在豊樹監修(2014) 図解でよくわかる植物工場のきほん、誠文堂新光社、11月27日発刊
- 2)古在豊樹(1999)閉鎖型苗生産システムの開発と利用ー食料・環境・エネルギ問題の解決を目指して 、養賢堂、191ページ)
- 3) 古在豊樹・板木利隆・岡部勝美・大山克己・最新の 苗生産実用技術 閉鎖型苗生産システムの実用化 が始まった(2005)農業電化協会、150ページ
- 4) 古在豊樹編著(2009)太陽光型植物工場ー先進的植物工場のサステナブル・デザイン、オーム社、186ページ
- ・ 5) 古在豊樹(2012a)人工光型植物工場ー世界に広がる日本の 農業革命ー、オーム社、228ページ

LED光源の特性

- エネルギー変換効率(J/J)
- 光合成有効光量子(フォトン) 変換効率(mol/J)
- 消費電力(W,ワット(=J/s))
- 光合成有効放射束(J/s)(J/J)/W=J/s
- · 光合成有効光量子束(mol/s)
- 分光(スペクトル)分布
- 配光曲線
- ・ チューブ(管)状、面状、点状
- 寿命、発熱処理(ヒートシンク処理)、取り付け、耐水性、

.....



培地面で藻が光合成により増殖する十分条件

- 1)藻が存在する
- 2) 光が当たる。
- 3) 培地面が養液(水+無機養分)で濡れている。

藻の存在をゼロにするのは事実上不可能なので、光、水、無機養分のいずれか1つの供給を断つ。栽培パネル面・培地面、栽培棚とパネルなどの濡れを防止する。養液に光が入射しないようにする。