

人工光型植物工場と生産性

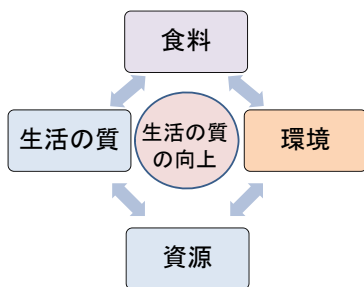
2019年12月3日(火)
 柏の葉キャンパス 研修室

古在豊樹(NPO植物工場研究会)

内容

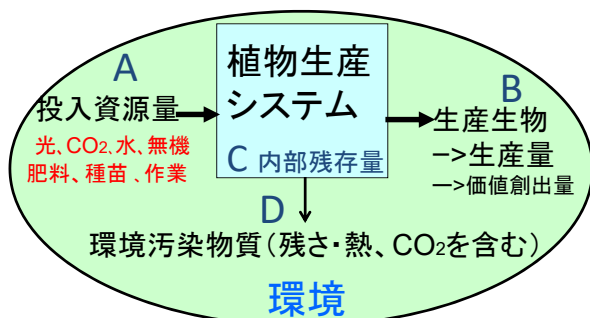
- 人工光型植物工場の役割
- 生産性を測る諸要素
 資源利用効率、資源生産性、金額生産性
- 成功の主なポイントは
- スマート人工光型植物工場の将来

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



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。



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

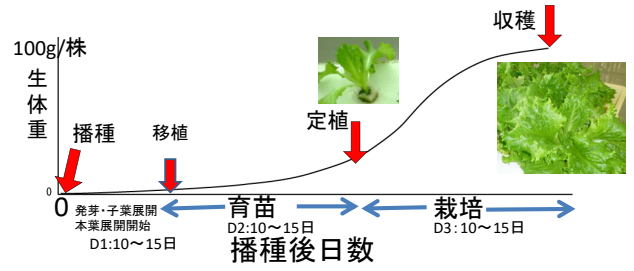
人工光型植物工場と園芸施設における投入資源利用効率およびその理論的的最大値

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)

人工光型植物工場での生産に適した植物種の特性

番号	特性
1	比較的低い光強度 (200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 前後) と高いCO ₂ 濃度 (2000ppm程度) で良く成長する。
2	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)。
3	栽植密度が50~500本/m ² と高くても良く成長する。
4	植物体の90%前後が商品になる (商品にする)。
5	植物体の生体重量あたりに商品単価が比較的高い (1000円/kg以上)。
6	草丈が30cm前後で商品になる (刈り取り再生方式でも可)。
7	機能性成分 (ビタミン、リコピン、葉効成分等) 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。



播種面積	育苗面積	栽培面積
1	8	50

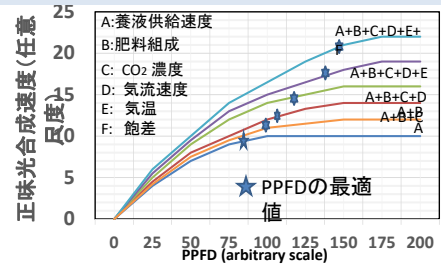
播種から収穫までの植物成長曲線と占有面積の例

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。

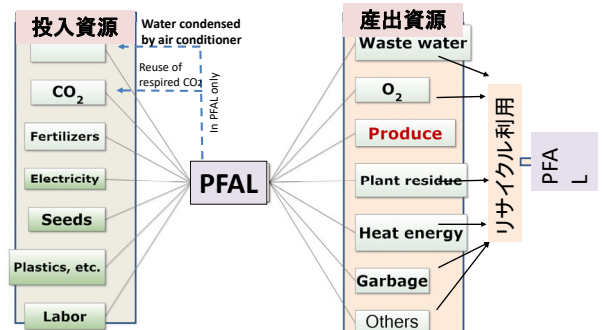


このグラフは、品種、栽植密度、生育段階、生産目的などでかなり変わる

状態変数制御から速度変数制御へ

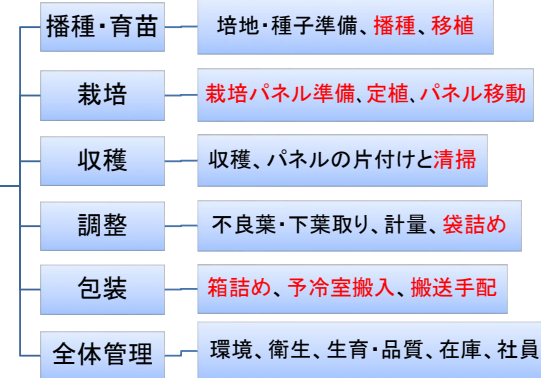
	状態変数	速度変数
意味	状態を示す変数	或る量の時間変化を表す変数
単位の例	°C, J (joule), ppm, kg, m, pH, EC	kg/h, l/s (=W), L/s, mol/m ² /s
変数名の例	温度、濃度、質量、長さ、酸性度、電気伝導度	正味光合成速度、蒸散速度、呼吸速度、CO ₂ 施用速度、給水速度、吸水速度、電力、
紛らわしい例	光合成量、蒸散量、吸水量、成長量	
正しい表記の例	或る時点の量 (重量、面積など) 時間・日・月あたりの量	日あたり光合成量 (kgCO ₂ /d)、時間あたり蒸散量 (kg/h)、植物体あたり生体重量増加量
制御方法	状態変数値を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

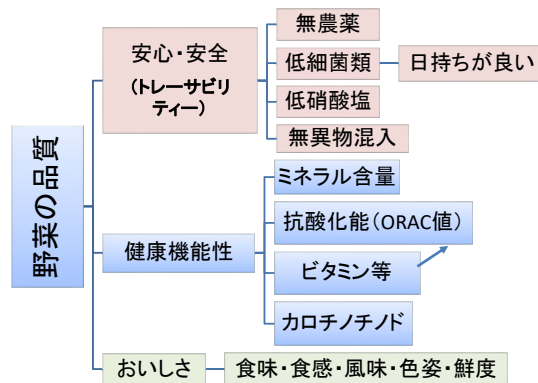


栽培作業項目

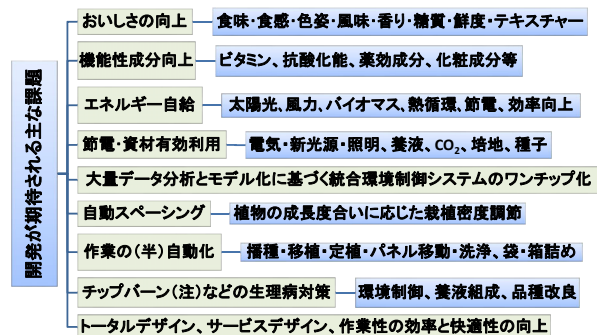
栽培作業項目と(半)自動化可能項目 (自動化・半自動化が可能な作業は赤字)



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



(注)葉緑の細胞が破壊され、茶褐色になり、商品価値が損なわれる現象。

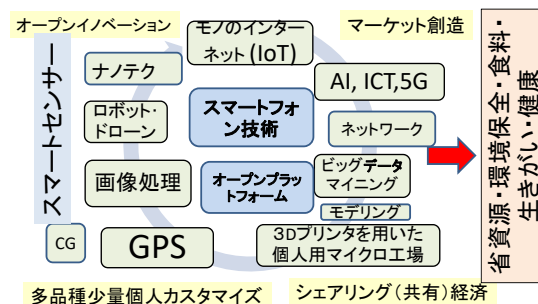
限界費用(Marginal Cost)の今後の推移

- ゼロに近づいている。→ **情報取得と遺伝子(情報の一種)の特定・検索**(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。→ **自然エネルギー利用の発電、白色LED、OLED**
- 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**。

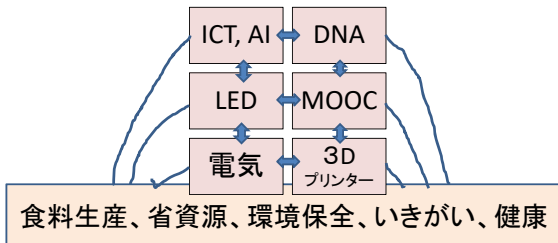
限界費用がゼロに近づいている資源を利用して、省資源・環境保全的な高収量・高品質な健康食料を生産するシステムの構築を、地域(ローカル)の文化に適合させて、行なう。

↓
植物工場はその方法の1つ

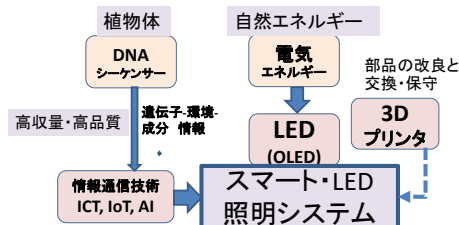
情報技術(IT)に関わるグローバル技術の諸相



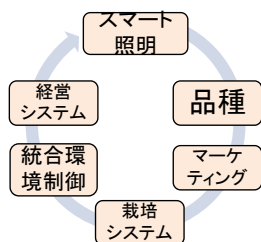
限界費用がゼロに近いツールを組み合わせさせた
個人学習・個人起業・社会貢献システムの例



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(葉草)
- DNAシーケン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、低雑音で不干涉。

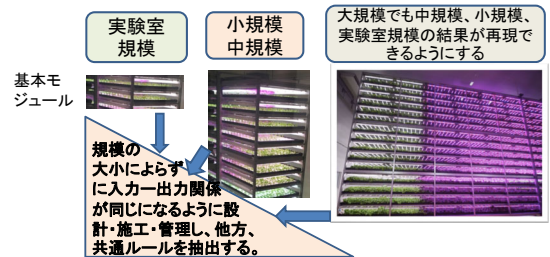
2025年までに達成すべき目標

- 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。 ↓
- **コスト・パフォーマンスは2倍**
- ゴミ排出量を半減。
- 工場建設に関わるCO₂排出量を半減。 **その後、毎年10%増**
- 自然エネルギー利用量は10倍。
- デバイス同士、人間-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

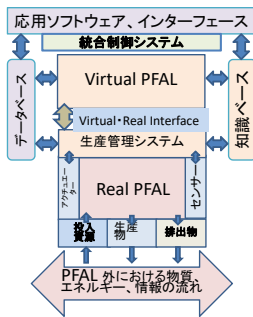
31

人工光型植物工場の拡大可能性を示す模式図

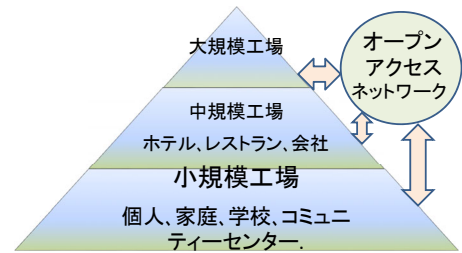
実験室規模、小規模、大規模のいずれでも同様な結果が得られるように設計・施工・管理することが重要



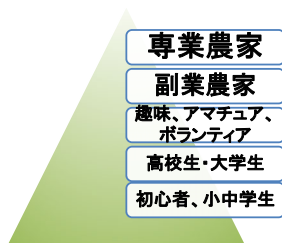
バーチャルとリアルからなる2025年の人工光型植物工場



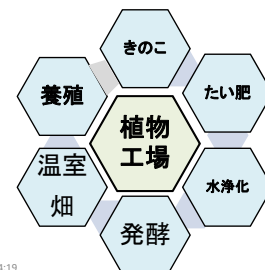
分散(ユビキタス)・協調・知能化ネットワーク



多様な社会に向けた多層化



多様なシステムとの統合



11/26/2019 11:04:19 AM

36

植物最適環境決定モデルの概要

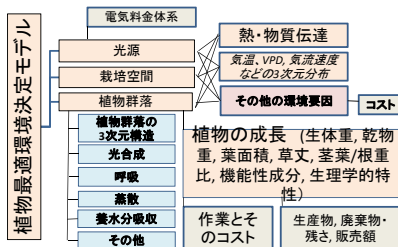
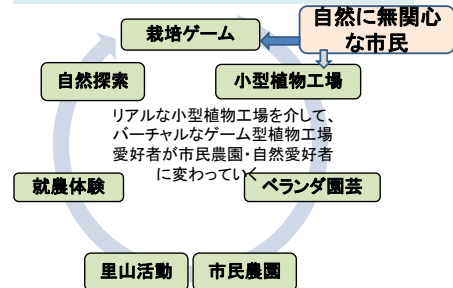


Fig. 7.13

市民の文化culture(芸術・学術)活動としての農耕cultureの多様な側面



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。

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、.....