

3. ガイドライン案（趣旨・概要・項目・具体例など）

人工光型植物工場のガイドラインについて（案）

【当ガイドラインの目的】

人工光型植物工場の持続的な発展のため、新規参入事業者や事業拡大を検討している事業者を対象として、植物工場の経営を安定的に実施可能な企業が、新規参入・事業拡大できるようにするために策定する。

	項目
1	植物工場の意義（新規事業者・既存事業者向け）
2	目指すべき植物工場の姿（新規事業者向け）
3	植物工場の調達・設計（建物等）（新規事業者向け）
4	植物工場の調達・設計（栽培室システム内）（新規事業者向け）
5	植物工場の運営面（新規事業者・ <small>31</small> 既存事業者向け）
6	目指すべき指標

補足：

- 植物工場の定義
- 植物工場事業の関係者（新規事業者向け）
- 参入マップ（新規事業者・既存事業者向け）

- 参入時の留意点・確認ポイントを明確化することで事業リスクを抑制
- 優良事例の水準の提示
- 今後目指すべき方向性の明確化
- 最低限の水準の提示

人工光型植物工場のガイドラインについて（案）

	項目	概要
1	植物工場の意義 (新規事業者・既存事業者向け)	現在の農業における人工光型植物工場の位置づけや意義および問題点等を説明
2	目指すべき植物工場の姿 (新規事業者向け)	「定時・定量・定品質」の野菜を「高効率(の意味を説明)」で生産することが求められる中、参入事業者が、どんな野菜を、どれだけの量作るのか、販路として、小売りを想定するのか業務用、生産物あたりの消費電力およびコストをいかに想定するのか、直売を想定するのか市場を想定するのか等について、メリットデメリット等を説明。また、工業とは異なり生ものを扱うリスク(病気等)、植物成長の不揃いなど、農業の観点から必要な知識についても説明。
3	植物工場の調達・設計(建物等) (新規事業者向け)	植物工場建設に際し、壁面・床面の熱貫流係数、自然換気回数、強制換気回数、栽培室火災時(CO ₂ およびCO等)および室内の植物および資材からの揮発性ガス(エチレン等)濃度の異常上昇時。漏電・接触不良等による火災・停電の防止策。
4	植物工場の調達・設計(栽培室システム内) (新規事業者向け)	①ハード面(光量・温度・湿度・CO ₂ 濃度・耐久性等)、栽培棚・栽培ベッドの設計(環境・植物成長と作業性、初期および運転コストを考慮) ②ソフト面(歩留まり・菌数・生理障がい・収量・トリミング(調整)、野菜の特徴・生産物計量・包装・植物残渣処理等)、出荷。 ③マネジメント面(何人くらい・休憩所・人の導線、配置、衛生管理等)
5	植物工場の運営面 (新規事業者・既存事業者向け)	現在運営している事業者の運営面の課題等を調査し、課題から学べる知見を説明。
6	目指すべき指標	資源利用項目(投入資源利用率)や資源生産性の観点から、植物工場を運営する上で理想とされる推奨数値の指標。

補足：

- 植物工場の定義
- 植物工場事業の関係者(新規事業者向け)：植物工場関係事業者に対し、生産者、システムサプライヤー(LED等の個別パーツも含む)、コンサル会社、関連団体等、どのような関係者によって構成されているのか、またそれぞれの目的(業務販売目的・小売販売目的・研究開発目的・ショールーム目的等)をカオスマップ等を用いて説明。
- 参入マップ(新規事業者・既存事業者向け)：今どこに植物工場があるのか、補助金がどのエリアなら出されているか、等を日本地図にプロットし可視化。

項目3 植物工場の調達・設計（建物等）の内容イメージ（案）

3 植物工場の調達・設計（建物等） （新規事業者向け）

- 壁面・床面の熱貫流係数：東北・北海道では、 $0.1 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ （冬期夜間の内壁面結露予防）
- 自然換気回数：0.05回/時以下（時間当たり換気量/栽培室空気容積）
- 強制換気回数：栽培室火災時（ CO_2 およびCO等）および室内の植物および資材からの揮発性ガス（エチレン等）濃度の異常上昇時
- 漏電・接触不良等による火災・停電の防止策
- 栽培室内・栽培室内の気流速度均一化
- 栽培棚・メンテナンス・運搬通路等以外の不要空間の節減
- 棚の垂直間隔が短い苗生産専用の棚

項目6 目指すべき指標の算出方法と目的

参考

6 目指すべき指標

資源利用項目（投入資源利用率）や資源生産性の観点から、植物工場を運営する上で理想とされる推奨数値の指標。

① 投入資源利用効率：算出方法と指標の目的（なぜ投入資源利用効率が重要なのか、指標を定めることによる効果 等）

- 植物を生産するために植物工場の栽培室に投入した各資源(電気エネルギー、水、CO₂、肥料等)量に関する利用効率で、投入された各資源量の何割が植物体に固定または保持されたかを示すもの。
- 投入資源利用効率 = 生産物に固定または保持された資源量(kgまたはmol(モル))/投入資源量(kgまたはmol)。

例えば、電気利用効率 = 植物体に固定された化学エネルギー/投入電力量、

水利用効率 = 植物に保持された水量/投入水量。その他、CO₂、肥料なども同じように利用効率の計算が可能（次項の表を参照）。

- これらの計算の精度を高く、かつ計算を容易にするためには、栽培室の断熱性と気密性を高くすることが重要。実際には、電気エネルギー量利用効率等は、過去の研究などによる乾物重当たりの化学エネルギー量の実測値をもとに、計算したりもする。
- 植物を生産するために投入した資源量をどれだけ効率的に利用しているかを把握することは、生産性向上、ゼロエミッション、持続可能な食料・植物生産および社会の実現に向け非常に重要。閉鎖・断熱空間である植物工場栽培室だからこそ利用効率の算出がしやすく、また利用効率という指標を継続的に計算・表示することで、生産性の継続的向上が期待される。
- なお、密閉された栽培室では、CO₂施用量 = 植物体の正味光合成量なので、植物体の正味光合成速度を継続的に計測できるだけでなく、正味光合成速度におよぼす環境の影響を連続的に明らかにすることができる。

② 資源生産性：算出方法と指標を出す目的（なぜ資源生産性が重要なのか、指標を定めることによる効果 等）

- 植物を生産するために投入した資源量に対して、どれだけ植物を生産できたか (kg) を示すもの。商業生産における代表的な投入資源には、電気エネルギー (kWh)、水、肥料等の他に、作業時間 (h)、栽培面積 (m²/d) がある。次次項の表が資源別生産性の推定範囲例（収量ではなく商品の重量をベースに算出）。資源生産性に資源量あたりの商業価値と購入コストの比を乗じて、金額生産性も算出可能。
- 資源生産性の指標を示すことで、植物工場における改善効果の定量的評価や工場同士の生産性の定量比較、さらに業界全体の生産性向上につながる。

植物工場および園芸施設における資源利用効率および理論的最大値

植物を生産するために投入した資源量をどれだけ効率的に利用しているかを把握することは、生産性向上、ゼロエミッション、持続可能な食料・植物生産および社会の実現に向け非常に重要。現状は電気エネルギーの利用効率が課題

資源利用効率	理論的最大値	植物工場	園芸施設
光合成有効放射 エネルギー(PARE)	0.11 (最大光量子効率=1/9)	0.027	0.017
電気エネルギー (EE _T)	0.06 (= 0.5*0.11)	0.007	-----
水(かん水)	1.0	0.96	0.02- 0.03
CO ₂ (施用)	1.0	0.88	0.4-0.6
化学肥料	1.0	0.8-0.9	0.5-0.7
種子	1.0	0.95	0.8-0.9

Ohyama et al. (2002; 2005; 2006); Yokoi et al. (2005); Kozai et al. (2012)



日本における植物工場の資源別生産性および金額換算生産性の推定範囲例

- 植物を生産するために投入した資源量に対して、どれだけ植物を生産（商品化）できたか（kg）を示すもの
- 主な投入資源における国内の主要な植物工場で生産された販売品（レタス）の重量と金額生産性の範囲例
- 資源別生産性の指標を示すことで、植物工場における改善効果の定量的評価や工場同士の生産性の定量比較、さらに業界全体の生産性向上につながる

投入資源の種類	資源生産性の範囲例	金額生産性の範囲例 (kg/1000円)	生産コストの範囲例 (円/kg)
① 電気エネルギー	0.11 - 0.14 kg/kWh	7.1 - 8.3	120 - 141
② 作業時間	7.7 - 10.0 kg/h	6.5 - 7.7	130 - 179
③ 栽培面積	0.25 - 0.33 kg/m ² /d	5.3 - 7.1	141 - 189
④ その他の資源	-	6.7 - 9.1	110 - 150
全投入資源	-	1.5 - 2.0	501 - 659

古在豊樹, 浦勇和也, 甲斐剛, 林絵理(2019)人工光型植物工場に関する生産性指標の種類、定義、計算式および注釈. 農業および園芸. Vol. 94 No.8 p661-672

Lettuce productivity per unit of electricity consumption and per unit cultivation area for each B-to-C product type

808 Factoryにおける品種別の生産性指標 ⇒ 品質などをより重視することであえて低い数値となる現実も同時に考慮する必要がある

Variety	Productivity per unit of electric energy consumption	Productivity per unit cultivation area	Average packaging weight in 808 FACTORY
1	0.07-0.08 kg/kWh	0.18 kg/m ² /day	85 g/package
2	0.12-0.14 kg/kWh	0.15 kg/m ² /day	60 g/package
3	0.05-0.06 kg/kWh	0.09 kg/m ² /day	50 g/package
4	0.05-0.06 kg/kWh	0.09 kg/m ² /day	70 g/package
Kozai et al., 2022	0.11-0.14 kg/kWh	0.25-0.33 kg/m ² /day	-

Kai, K. and Okabe, M. (2023) Data-driven operations for a productive and sustainable plant factory. In *Advances in Plant Factories: New technologies in indoor vertical farming*; Kozai, T. and Hayashi, E., Eds., Burleigh and Dodds, UK. pp. 453–465.

植物工場のガイドラインが必要な背景

- 1 植物工場の環境の適正・好適範囲の上下限は、1)植物の種・品種、2)生産物の種類・用途(苗、野菜葉もの、果菜等)、花き、薬用植物等)、3)生産物の需要等によって大きく異なる。
- 2 したがって、植物工場の適正・好適範囲の上下限は、投入資源の利用効率(投入資源量に対する投入資源の生産物への固定量の比、resource use efficiency (RUE))および投入資源の生産性、resource productivity (RP)で定めるのが好ましい。RUEの単位は無次元であり、RPの単位は、(生産量の単位/投入資源量の単位)なので、kg/kWh等である。
- 3 RUEの理論的最大値、および密閉断熱され清浄な栽培室を有する植物工場(PFAL)および環境制御された園芸施設(greenhouse)の実測値の例を以下に示す (Kozai and Hayashi 'eds., 2021)。
- 4 下記のRUE以外にも、商品化率(=生産数/播種数)、販売率(=販売数/生産数)、および、培地(支持材)、栽培面積および作業時間のRUEも算定できる。
- 5)上記の植物工場のRUEの実測例は、研究目的に建設された植物工場の栽培室に関するものなので、商業目的の植物工場のRUEの値とは、やや異なると考えられるが、植物工場研究会で上下限値を提案することができる。
- 6) 生産性は、資源生産性と金額生産性に分けられる。資源生産性の上下限値は、植物工場研究会でまとめた値や商業規模の植物工場での上下限値が公表されている。金額生産性は、投入資材の購入コスト、生産物の購入コスト、および廃棄物の処理コストにより異なるので、数値範囲(メルクマール)を定めることは難しい。
- 7) かん水、CO₂、電気のRUEは、栽培室の密閉性、断熱性および照明ユニットの性質に影響される。したがって、栽培室の換気回数と壁の熱貫流係数は、上記投入資源のRUEのメルクマールになる。水耕ユニットの液肥RUEは水耕ユニットからの排液量に影響される。
- 8) 照明ユニットの光源(lighting unit fixture)の分光分布、PPF(photosynthetic photon flux, mol/s)を表示する。また栽培面のPPFD(photosynthetic photon flux density, mol/m²/s)は、PPF、光源からの位置、栽培面の(仮想)光反射率、栽培棚の上面と側面の光反射率を表示する。
- 9) 栽培室への資源投入量は時間単位で正確に計測可能で、日々の生産物量と廃棄物量は日単位で比較的正確に計測される。

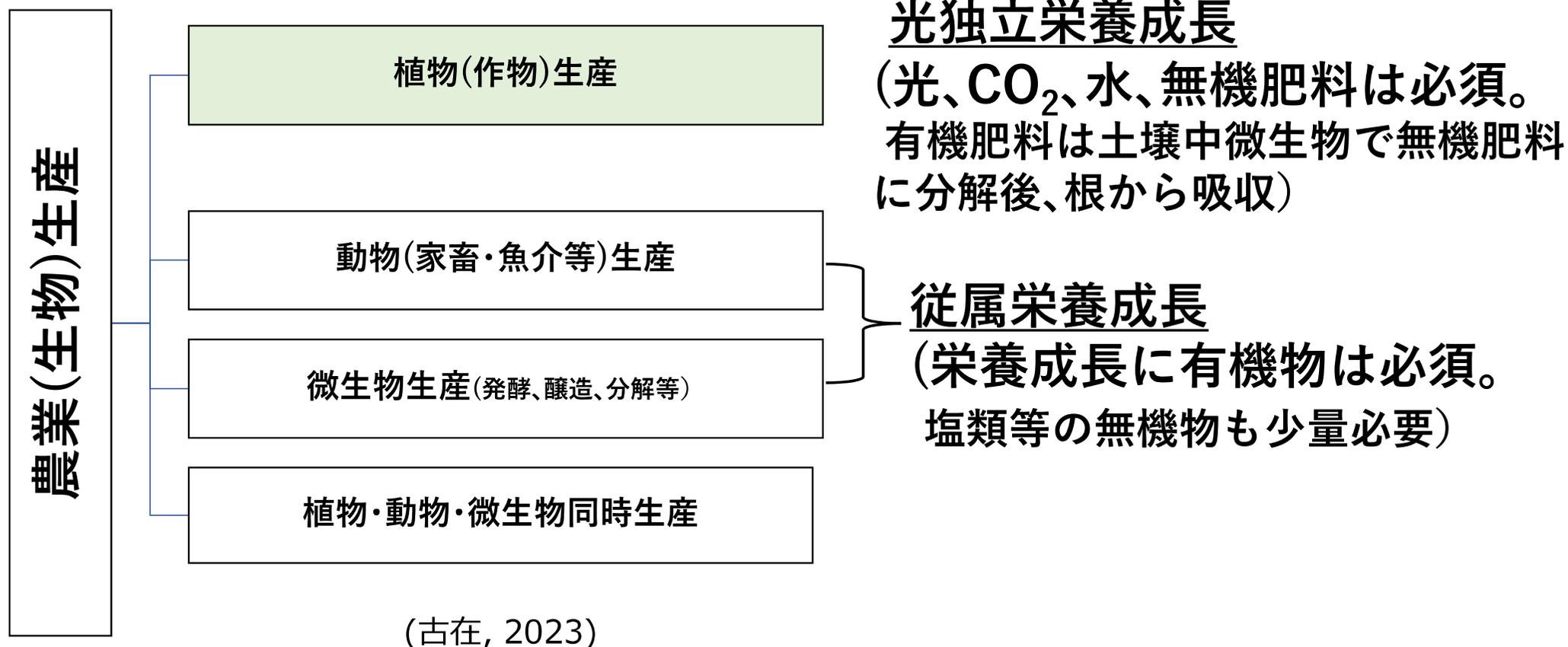
4. 植物工場の名称

「植物工場」名称・定義

- **植物工場 = 人工光型植物工場**の定義が実質的には世界的に浸透している (plant factory, plant factory with artificial lighting)
- 農業（生物）生産のうち、光独立栄養成長の植物（作物）が対象

* **高度に環境を制御している**大規模園芸施設（太陽光型植物工場）は海外ではGreenhouse horticultureなどの用語が一般的には使用されている

農業における生産物の栄養成長方式による分類



5. 認定制度のご提案

認定制度について（御提案）

本ガイドラインの出口戦略として認定制度があると効果的

【実施方法案】

- 植物工場の基本的な考え方や生産・運営に関する指針を定めたガイドラインの理解促進・教育機会の提供のための研修
- ガイドライン理解度を図った認定制度の設置
- 優良な企業を育成・誘致するための大臣認定制度
- 世界標準化をリード