

第43回施設園芸総合セミナー 2022年3月28日-4月18日 Webオンデマンド配信
主催: (社)日本施設園芸協会

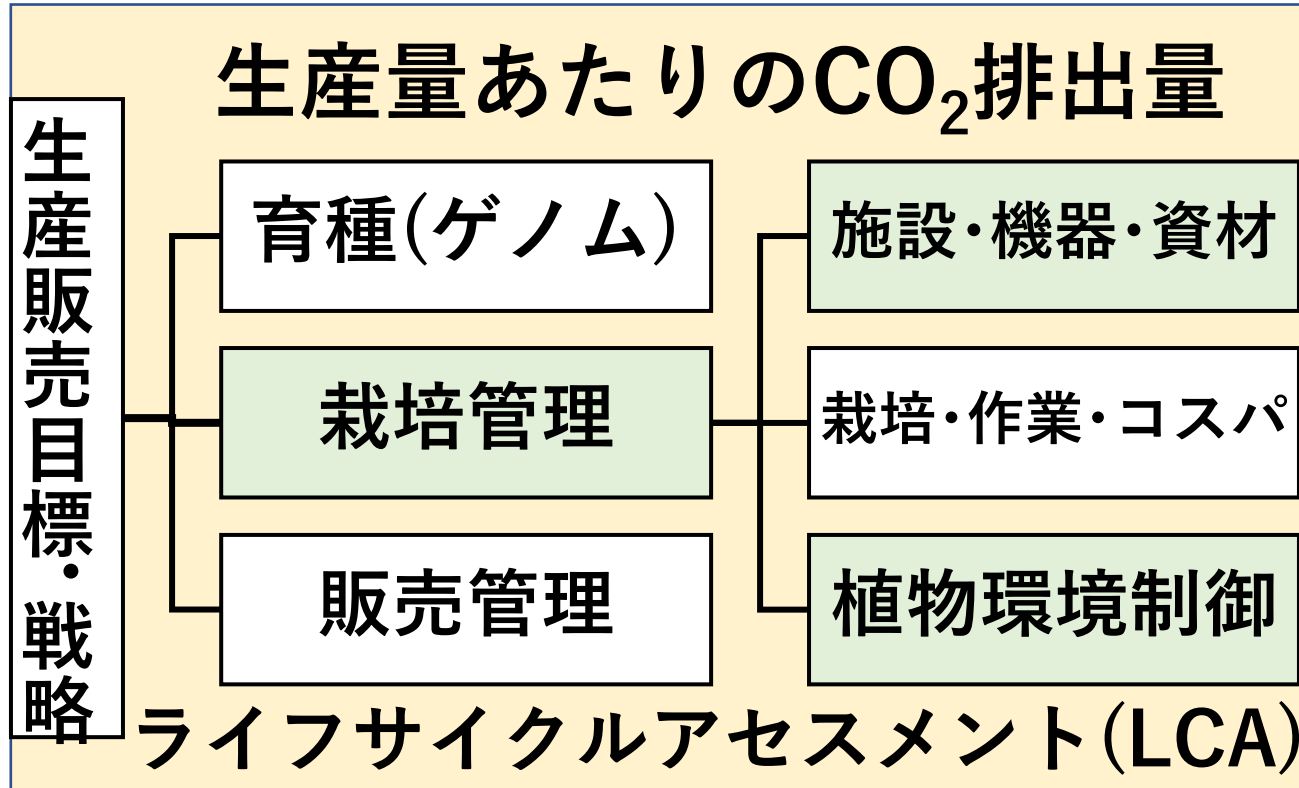
施設園芸のCO₂ゼロエミッション化に必要な技術と考え方

古在豊樹(NPO植物工場研究会)

謝辞：関山哲雄(植物工場研究会)、丸尾達(植物工場研究会)、栗本育三郎(木更津高専)、玉城鉄(元岩谷産業)

施設園芸CO₂ゼロエミッション化に関する本日の検討範囲と背景

- 1) 園芸生産物あたりのCO₂排出量の実態
- 2) CO₂ゼロエミッションのビジョンと方法
- 3) 諸課題の解決方法の具体例と残された課題

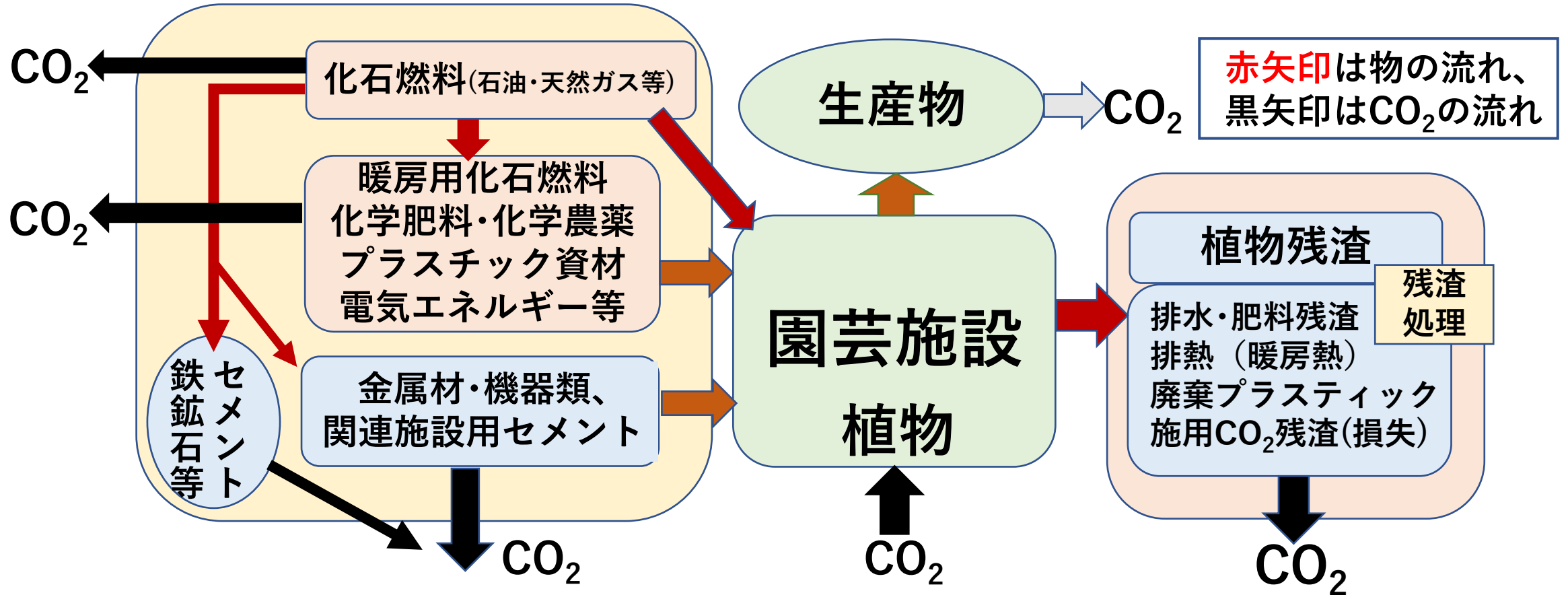


考慮すべき背景

- 1) SDGs、ESGを先導する技術、システム開発、ビジネス、普及の展開。
- 2) 閉鎖型生物生産システム(施設園芸、陸上養殖、露地栽培用苗生産、植林用苗生産)の共通基盤の構築と相互利用
- 3) 快適で楽しくエコな生物生産空間・生活空間の多様な関係者への提供

暖房用重油、石油由来プラスチック製品、および製造時に化石燃料を多消費する金属材の大幅使用削減が求められている

施設園芸においても、CO₂排出量ゼロ化、SDGsおよびESG（環境、社会、会社理念・コンプライアンス）への貢献度が社会・顧客に評価される。価格・品質・安心だけでは評価されない。



日本における主要な施設果菜類のCO₂(GHG)排出量(農林水産省試算)

単位: kgCO₂/kg生産物

	露地(A)	施設(B)	B/A比
トマト	0.3	1.3	4.3
キュウリ	0.5	1.3	2.6
ナス	0.6	1.8	3.0
平均	0.47	1.5	3.1

- 1) 施設園芸では、作物以上に、CO₂を生産(重量基準)している
- 2) CO₂の約65%は暖房時に、約20%は化学肥料利用時に排出されていると推測される。
- 3) 対象資材は、農薬・肥料・エネルギー・プラスチック・残渣のみで、施設と水は含まれていない。
- 4) 主に2010年頃の資料に基づく。

施設建設

物品購入

施設園芸

選別包装

流通販売

残渣処理

ライフサイクルアセスメント (LCA)

https://www.maff.go.jp/j/budget/yosan_kansi/sikkou/tokutei_keihi/seika_h22/kanbou_kankyuu_ippan/pdf/60100007_02.pdf

オランダ施設園芸では、チェリートマト1kg当たりのGHG排出量は0.92kgで、その72%は天然ガス暖房由来である(林、2022)

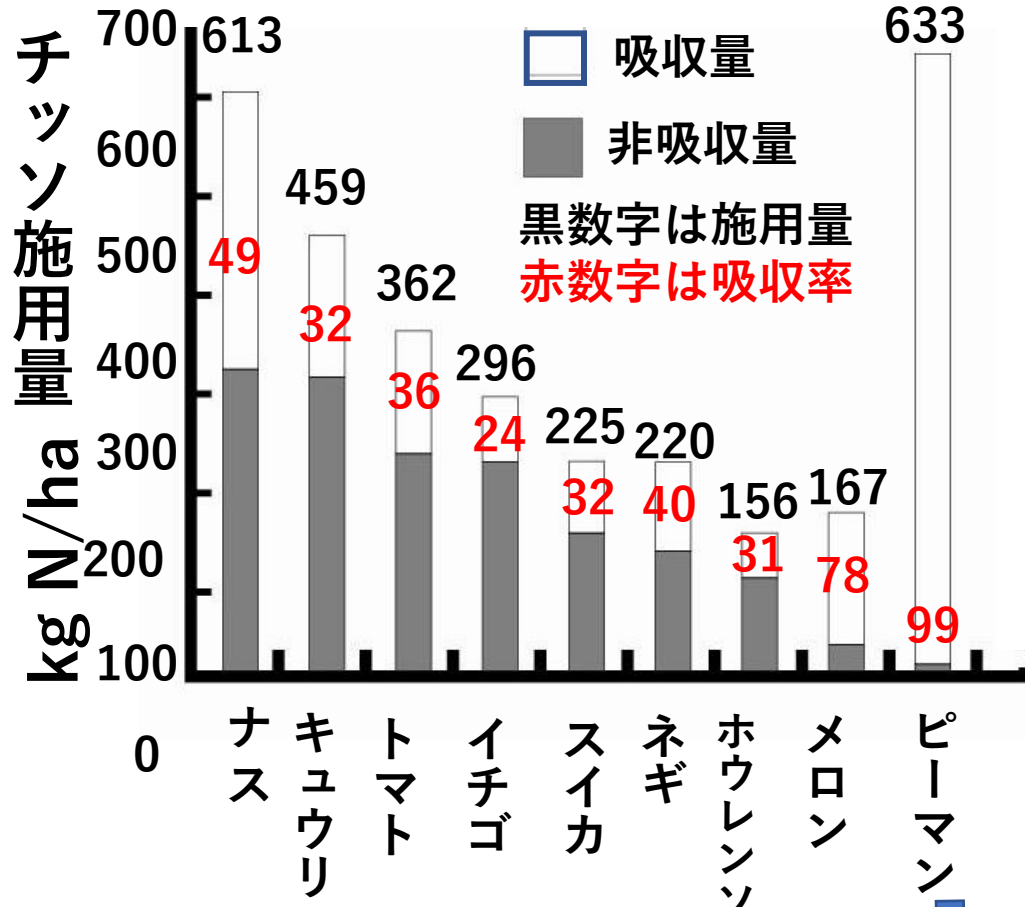
農産物におけるカーボンフットプリント商品（CFP）の例

櫻井清一(2012)野菜の生産・流通におけるカーボンフットプリント商品（CFP）の導入. 調査報告 野菜情報4月号

商品名	ピーマン	コメ (コシヒカリ)	バナナ (フィリッピン産)
CF (kg/kg)	5.76	1.82	2.02
ライフサイクル 原材料調達 <small>(施設等は含まず)</small>	排出量百分率 2.5	排出量百分率 77.1	排出量百分率 39.8
生産	71.8	2.7	32.5
流通	5.3	2.9	27.6
使用・維持管理	19.6	16.6	0.0
廃棄・リサイクル	0.8	0.7	0.1
原単位適用年月	2011年9月	2009年9月	2011年2月
商品詳細	トップバリュー グリーンアイ	特別栽培米・ イオン販売)	自然王国エコ

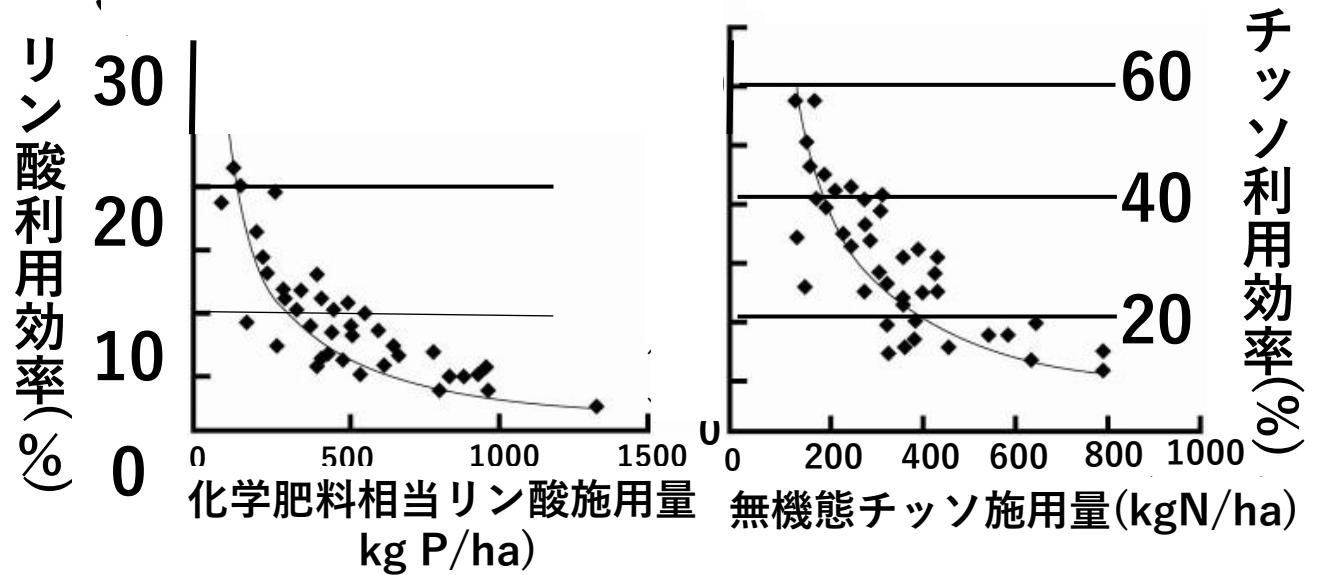
1)施設と長寿命の被覆材などは原材料調達に含まれていない。2)CFP値は公開されている各商品の詳細情報ファイルから作成。3)JA宮崎経済連とイオンはCFP表示付きピーマンの生産と販売をしている。

施設土耕野菜のチッソ施用量 (kg N/ha)と吸収率(全国平均)



西尾道徳 (2005) 農業と環境汚染、農文協. 68.
「農業生産環境調査」にもとづく都道府県別平均をプロット

トマト施設土耕におけるリン酸とチッソの利用効率におよぼす化学肥料相当リン酸施用量と無機態チッソ施用量(kg/ha)の影響



西尾道徳 (2005) 農業と環境汚染、農文協. 68.

現在の養液栽培におけるチッソ、リン酸、カリの利用効率は(学術文献は少ないが)70-80%と推測されるが、今後、90%前後には向上し得る。チッソ肥料の原料となるアンモニア製造には多量の天然ガスを消費する。チッソとリンの流出は環境汚染を引き起こす。リン肥料の原料であるリン鉱石は枯渇資源である。

メロンは**隔離床**。ピーマンの非吸収量が異常に少ない原因は前年に過剰施用か？

みどりの食料システム戦略(2021年5月) 施設園芸関連の要約

■2050年までに目指す姿

- 化石燃料不使用の施設園芸への完全移行。
- 関連機械電化・水素化技術の確立 (2040年まで)
- 化学農薬使用量をリスク換算で50%低減
- 化学肥料の使用量を30%低減
- エリートツリー等を林業用苗木の9割以上 ← 良質苗によるカーボンオフセット
- 有機農業の取組み面積を25%、100万ha ← 植物残渣による有機肥料生産
- ニホンウナギ、クロマグロ等の養殖時の人工種苗比率100% ← 閉鎖型生物生産技術

1) 自然安定性と人工安定性(両方が必要) :

有機農業は土壌の自然安定志向(制御器不要)。養殖は人工安定志向(制御器必須)。

2) グローバル(基盤)技術とローカル技術・パーソナル(個別)技術の関係性

スマホはグローバル技術にローカル/パーソナル技術を搭載し、両者の統合を志向。

当該地の土壌・水・気候・文化と個人的経験に依存する農業はローカル志向。

発想豊かで独自色が強く、自然安定志向だが、標準化・共通化・普及が進みにくい。

CO₂ゼロエミッション化実現への2つのアプローチ

本日の話題は「人工安定性」に基礎を置く

1) **自然安定性と人工安定性**のどちらを志向するか？

- a) 土耕では、緩衝能が高い土壌による有機農業は自然安定志向(人工制御器は不要)
- b) 養液栽培では、薄膜(NFT)式は人工安定志向(制御器が必須)、DFTは自然安定志向

2) **グローバル(基盤)技術とローカル技術・パーソナル(個別)技術**の関係付け

- a) 例えば、スマホはグローバル技術にローカル/パーソナル技術を搭載し、両者の統合、情報交換、技術展開を容易化。
- b) 当該地の土壌・水・気候・文化と個人的の経験の伝承だけに依存したローカル/パーソナル技術。これは進展・普及が限定される。発想豊かで独自色が強い日本の施設園芸技術はこのタイプが比較的多く、標準化・共通化・普及が進みにくい。

CO₂排出量ゼロ化施設園芸実現への道程

二酸化炭素排出量ゼロ化

必要な全電気量の非石油(自然エネルギー)発電

石油由来の化学肥料・化学農薬のゼロ化(有機肥料の無機肥料化)

石油由来資材のゼロ化と金属・セメント資材量の最小化

上記対策用の資材・装置・栽培法・品種・環境管理法開発

CO₂排出量ゼロ化施設園芸施設的设计・利用のためのアプリ開発

植林用樹木の大量生産によるカーボンオフセット・閉鎖型生物生産

化石燃料不使用

断熱被覆による暖房負荷の60%以上の節減

昼間室内余剰熱と地域熱源による夜間暖房

ヒートポンプによる暖冷房・除湿・蓄放熱・送風法

蓄熱量・品種・生育段階・病虫害を考慮した変温管理

上述の変温管理を考慮した栽培法・管理と育種

上述の対策を考慮した資材・方法・装置の開発

上述対策用計測・解析・表示・予測アプリとDBの開発

DB:データベース

環境制御型園芸施設のCO₂ゼロエミッション化に向けての基本方針私案

2030年までに、

- 1) 生産量あたりのCO₂排出量を60%以上減。
- 2) 暖冷房・機器等の運転は自然エネルギー由来の熱・電気のみを使用。
- 3) 生産量あたりの化学農薬使用量と化学肥料使用量を50%減

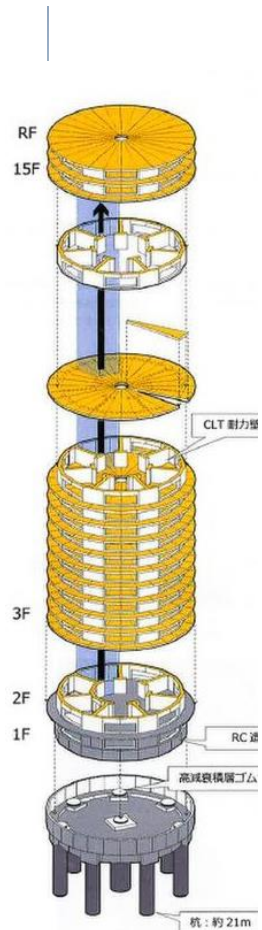
付帯方針

- 1) CO₂に加えて、CH₄、N₂O等の温室効果ガス全般、非生物系資源(水、鉱石原料等)の枯渇、土壌・地下水・雨などの酸化(SO₂)、Pによる富栄養化(PO₄)等の問題も考慮する
- 2) 生産量あたりの暖房必要熱量と石油由来製品使用量を50%減(代替植物原料使用)
- 3) 投入資源コストあたりの生産額(=生産量x単価)を50%増(育種、環境制御、栽培法)
- 4) 気象・社会変動に伴う生産額の変動リスクを最小化
- 5) コスパの高いシステム、その利用法、ソフトウェアおよび人材の開発
- 6) 地熱、温泉水などの地域限定資源の利用は、重要だが、別の機会に論じる
- 7) プラスチック資材使用を50%減、生産物ロスおよび各種残渣ロスを50%減
- 8) IoT、AI、ドローン等は効果的に利用。 9) 植物起源有機物の無機肥料化とその利用促進
- 10) 施設・付帯施設の建設のための土地面積あたり金属資材量・セメント量を30%減
直交集成板パネル(CLT)、多孔コンクリート等の利用

CLTパネル工法を用いた地上15階の高層共同住宅建設プロジェクト

千葉県鎌ヶ谷市に2023年秋完成予定(朝日新聞2021年12月15日朝刊)

木造 地上15階



CLT(cross laminated timber) 直交集成板パネル



CLTの利用でカーボンオフセット促進

多孔コンクリートの例：軽量性、透水性、通気性、保水性



マテラス青梅工業(株)

設計施工：東洋ハウジング

ゼロエミッションに向けての環境制御の課題

解決すべき課題

1. 夏季昼間の高室温

2. 夏季夜間の高室温

3. 夜間・曇雨天時等の高湿度

4. 晴天時昼間の低湿度

5. 晴天時昼間の低CO₂濃度

6. 石油系燃料の使用不可

7. 養液栽培装置・制御の不整備

8. 耐風・耐雪・作業性が高い低コスト施設

苗品質の低下

成長不良

病虫害

生理障害

周年栽培困難

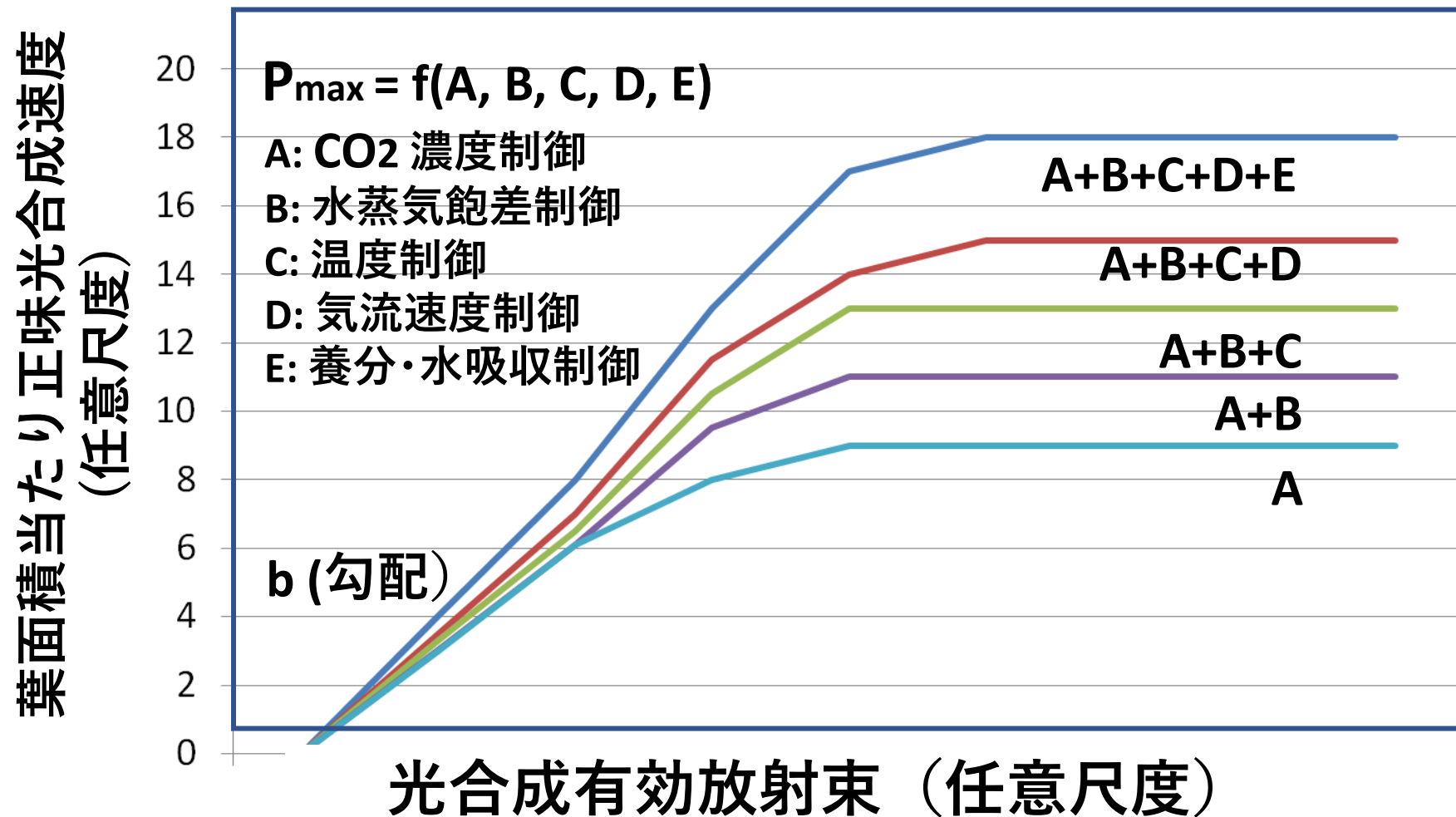
周年雇用困難

作業性低下

諸課題解決の方法例(赤字は次頁の文献番号)

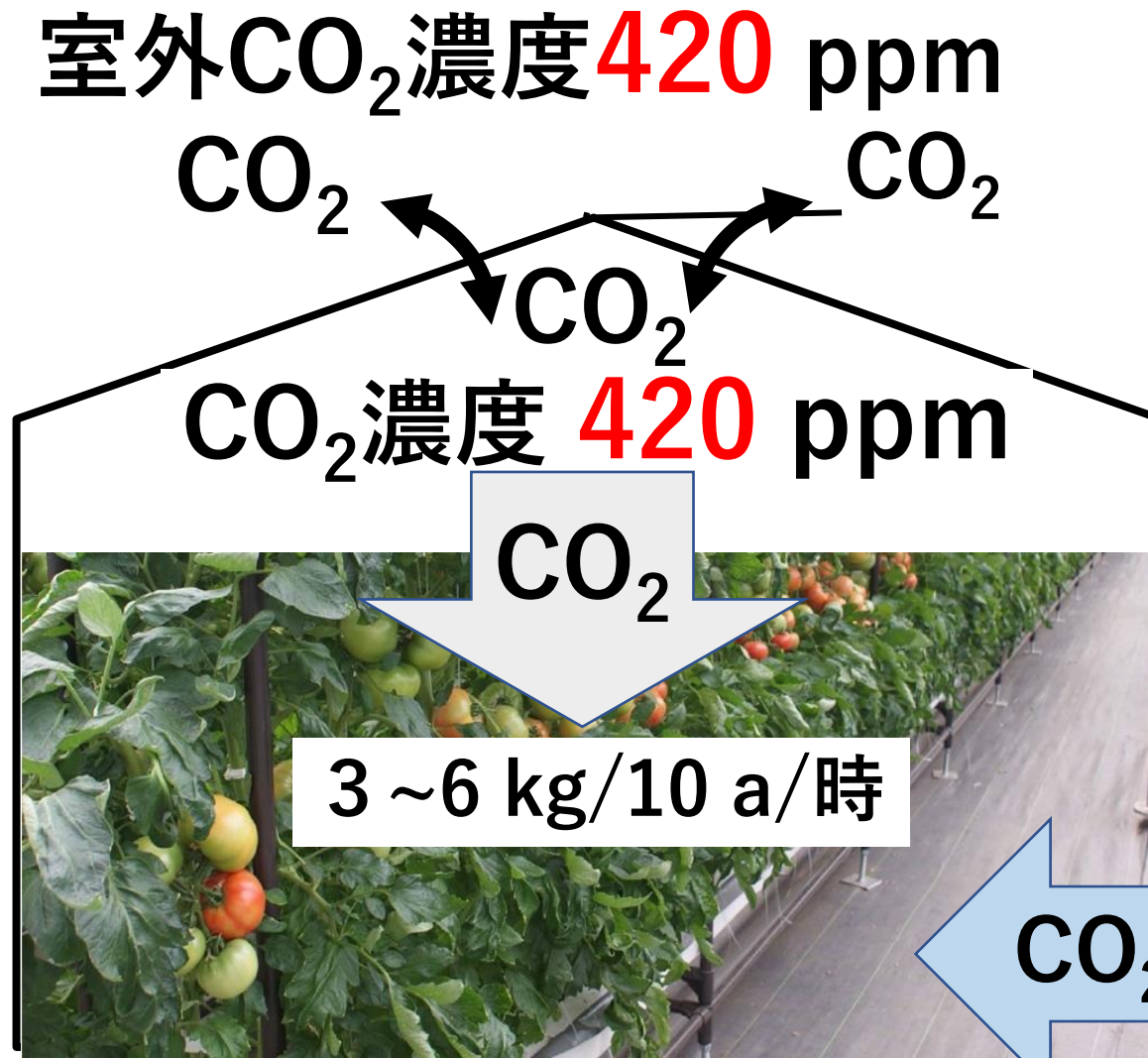
- 1) 換気時におけるゼロ濃度差CO₂施用⑤、⑥
- 2) 閉鎖型人工光苗生産⑨、⑩、⑬
- 3) 細霧発生による飽差(湿度)制御、冷房、夜間農薬散布⑧
- 4) 断熱性向上と変温管理による暖房負荷軽減⑭
- 5) 昼間蓄熱量と夜間放熱量の増大による暖房費削減④
- 6) ヒートポンプ暖冷房、除湿等による収量・品質向上②、⑪、⑫
- 7) 閉鎖型園芸施設③、8) 排液ゼロの養液栽培システムの実用化
- 9) 自然エネルギー発電によるエネルギー自律型園芸施設⑮
- 10) 光質制御による品質向上、病虫害防除、成長促進⑮、⑯
- 11) LED補光、整枝等による群落内の受光体勢・環境全般の改善
- 12) 施設内の陽圧維持による天窓等からの害虫侵入防止

複数の環境要因を統合環境制御した場合の正味光合成速度の段階的増大を示す模式図（リービッツの最小律）



発育速度形態形成には別の要因が影響する

1-1. 換気時におけるゼロ濃度差CO₂施用法



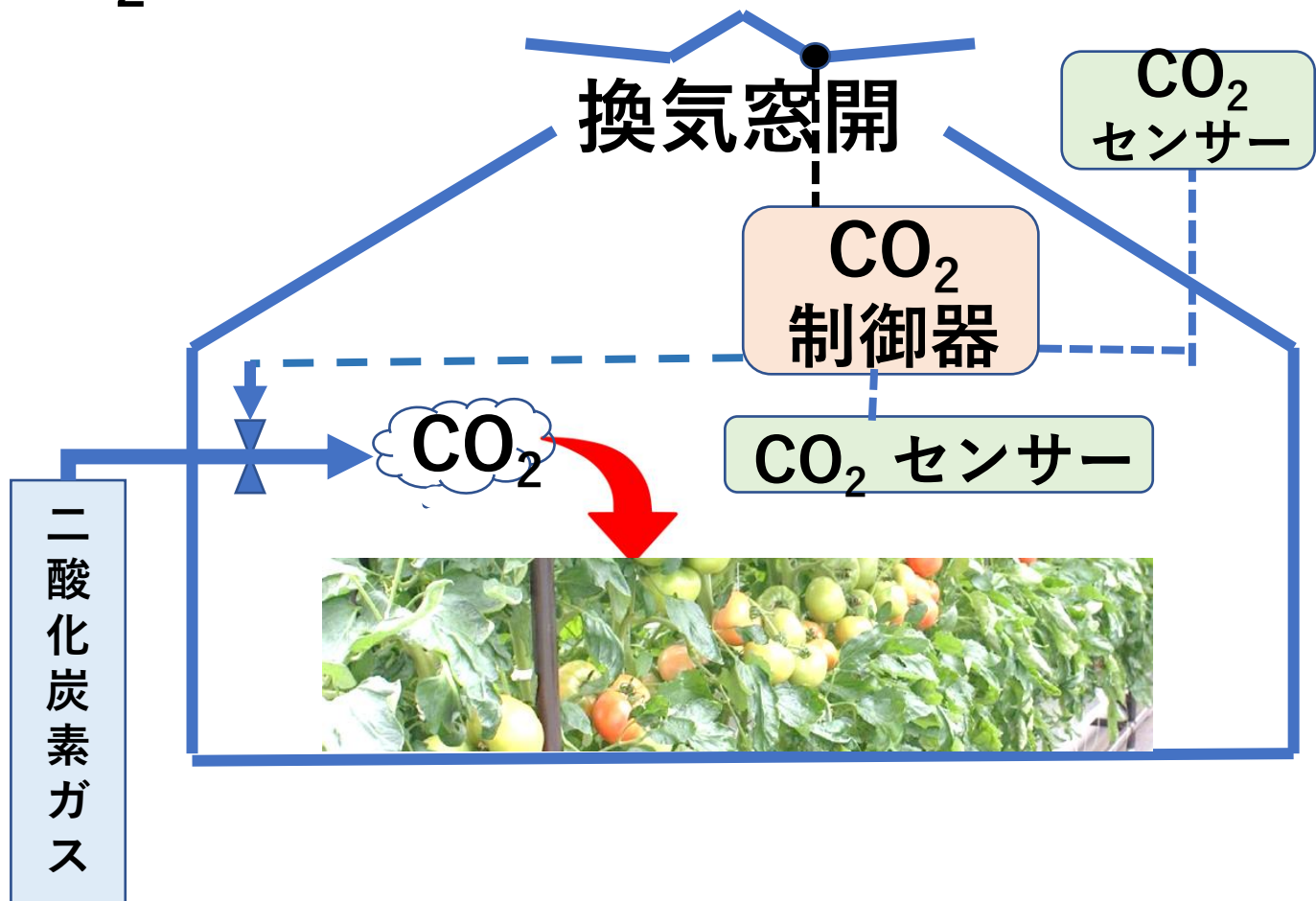
晴天換気時の室内CO₂濃度は300 ppm前後なので、外気420 ppm前後に等しくなるまでCO₂濃度を高める。CO₂濃度の室内外差がゼロだと、換気してもCO₂施用効率100%、CO₂施用速度 = 正味光合成速度。

CO₂ 二酸化炭素ポンプ

施用したCO₂は光合成ですべて植物に吸収される。

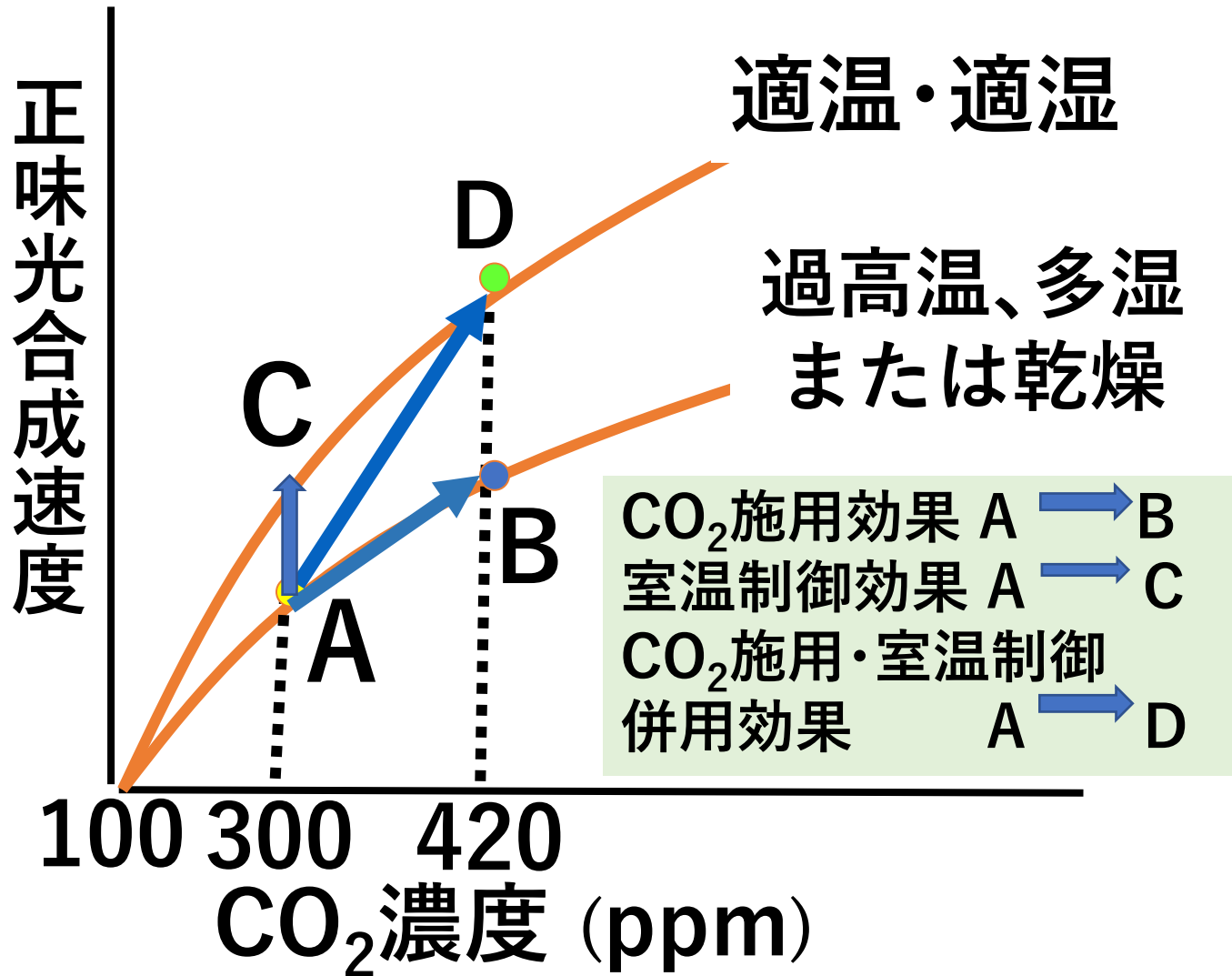
1-2. ゼロ濃度差CO₂施用システム構成例

室内外CO₂濃度差がゼロになるようにCO₂を施用すると、CO₂施用速度がトマト群落の光合成速度と等しくなる



CO₂制御器の例
C.H.Cシステム社
マーベルタイプ

1-3. 細霧による飽差・室温制御とゼロ濃度差CO₂施用の併用により、正味光合成速度はさらに増大



低CO₂濃度施用実施例

- 1) CO₂濃度を375 ppmにしたら、CO₂無施用に比較して、イチゴ収量が30%増大した(吉村ら,1991)。
- 2) CO₂濃度を350 ppmから450 ppmに上昇させたら、トマト収量が16%増大した(Nederhoff and Vegeter, 1994)。
- 3) CO₂濃度を250 ppmから350 ppmに上昇させたら、トマト収量が19%増大した。

2-1. 閉鎖型人工光苗生産システム (例：苗テラス)

吸気ファン



家庭用エアコン



黄線は空気循環方向



CO₂施用ポンベ



播種後15日目 ハウス桃太郎(実生苗)

aph by Do Wu

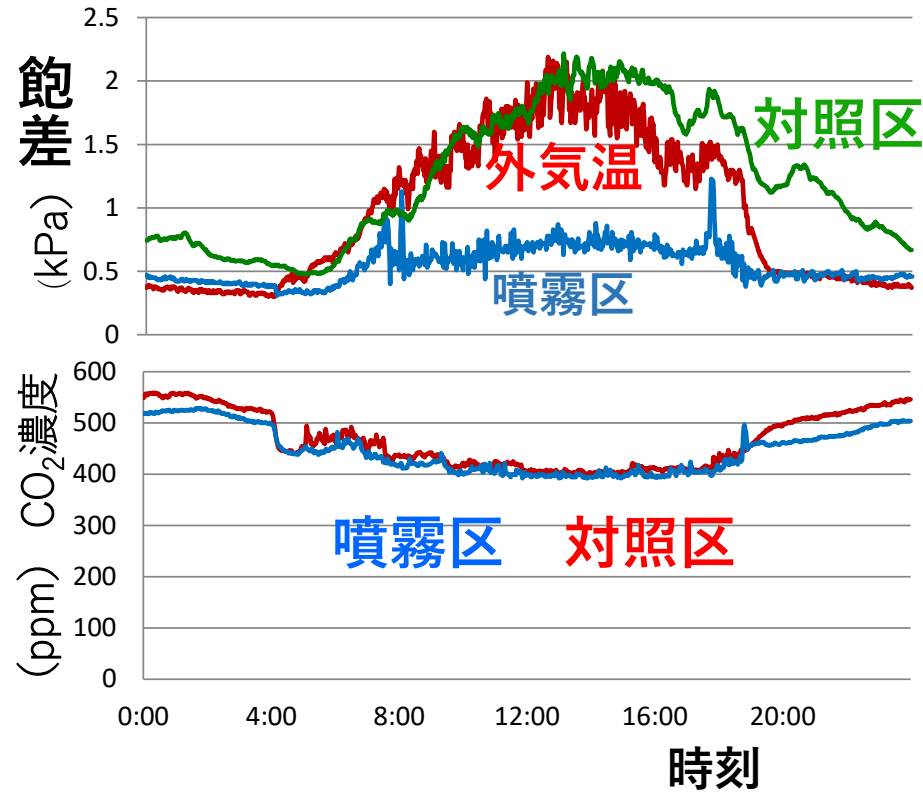
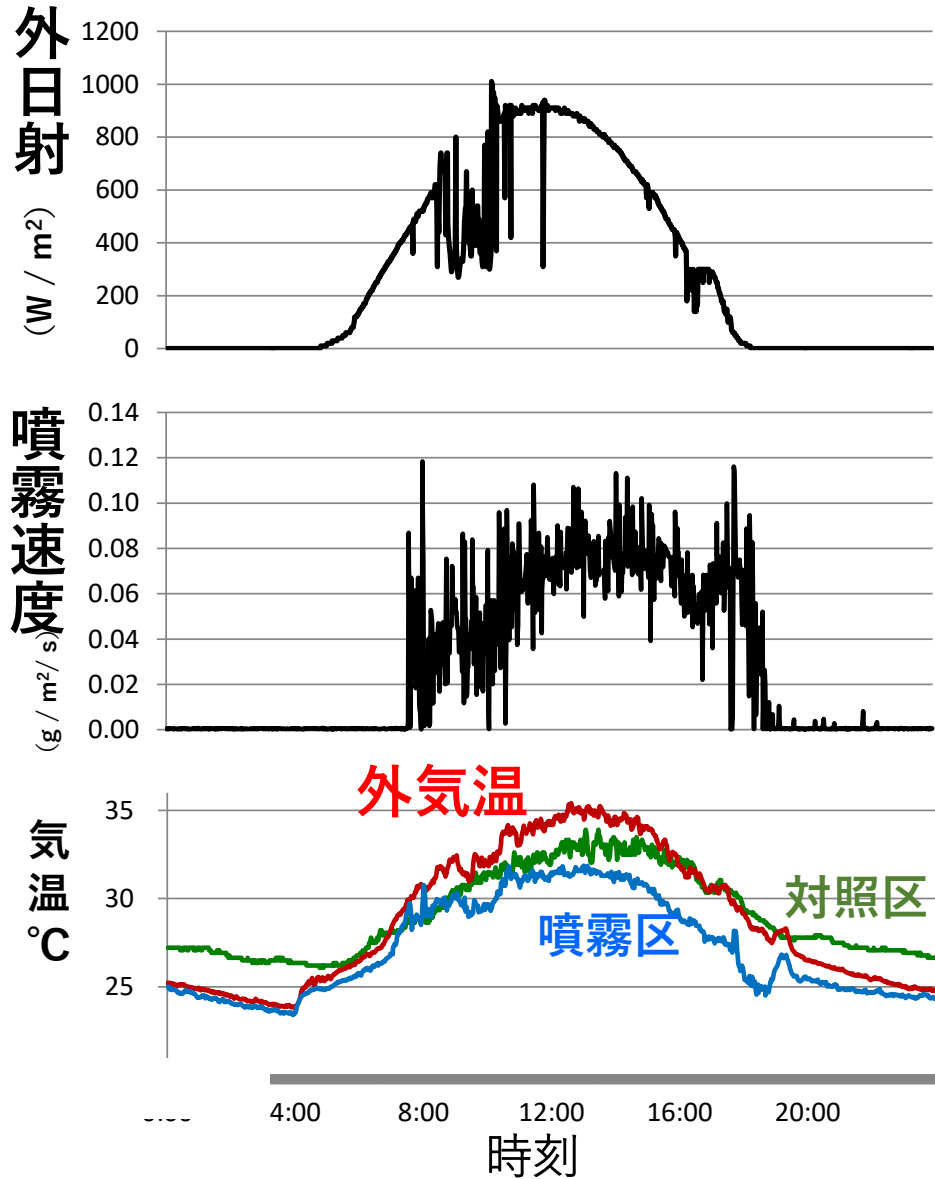
- 1) 群落内外が均一な気流速度、飽差、気温、CO₂濃度 (1,000ppm)、光環境下で、短期間育成
- 2) 出荷まで農薬・害虫フリーの健全苗
- 3) 電気コストは苗生産コストの数%
- 4) 接ぎ木、挿し木、実生の苗生産にも最適
- 5) 作業時間は半減以上、6) 育苗面積は約1/10
- 7) 必要水量は1/20以下

2-1. 人工光苗生産システムの有効利用法

- 葉もの(リーフレタス、ホウレンソウ等)の約10作/年には普及が進行中。
- 年2作前後の果菜類などでは、年間のシステム稼働率が低い。
- 苗を受託生産する場合でも、システム稼働率の年間変動が大きい。
- 苗の発注側と受注側で納期と苗質で期待にずれが生じやすい。

- 苗の発注側が苗の成長をズーム・回転可能なカメラの映像をオンライン観察できるようにする。
- 苗の宅配・出向き受取りを発注側がネットで指定・変更できる。
- 発注側が苗の低温貯蔵を受注側に依頼できる。
- 発注側同士で苗の交換・譲渡・販売が可能で、余剰苗を一般人がネット購入できる。受注側は苗質を特注できる。
- 受注者と複数の発注者のSNS情報交換ができないか。

3-1. 夏季における細霧噴射による飽差制御と室温低下(冷房)



間欠噴霧による
温湿度変動と作物
の濡れを解消

生理障害、病虫害
抑制、光合成・蒸散
促進等による収量
と品質の向上

室温制御優先
も可能

栗本育三郎先生提供(木更津高専)

2014年8月7日計測

千葉大学 植物工場5号棟

日中：換気窓全開、吸気扇稼働

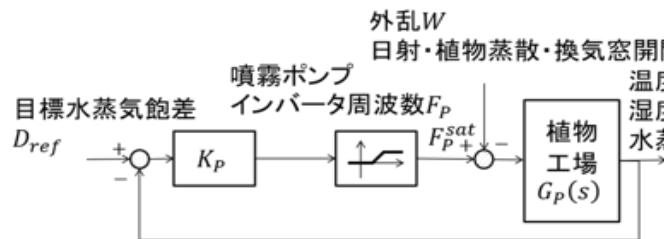
遮光カーテン未使用



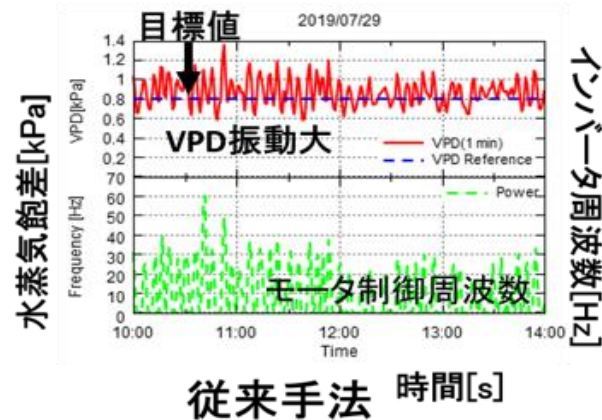
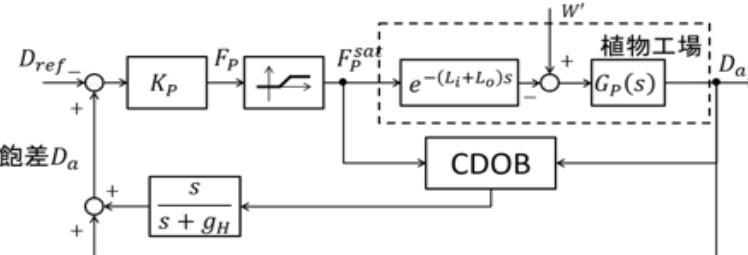
3-2. 水蒸気飽差制御システム(栗本教授らが開発)



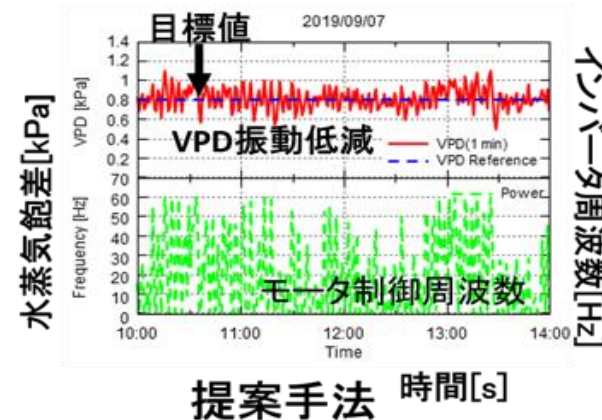
植物工場制御システム



ハイパスフィルタ通信外乱オブザーバを植物工場へ適用



インバータ周波数 [Hz]



インバータ周波数 [Hz]

飽差の振動幅を従来法の1/5にして、フィールド試験、実用化、製品化を計画中

4. 夜間暖房必要熱量(負荷)Q、夜間暖房費HおよびCO₂排出量Eの同時削減

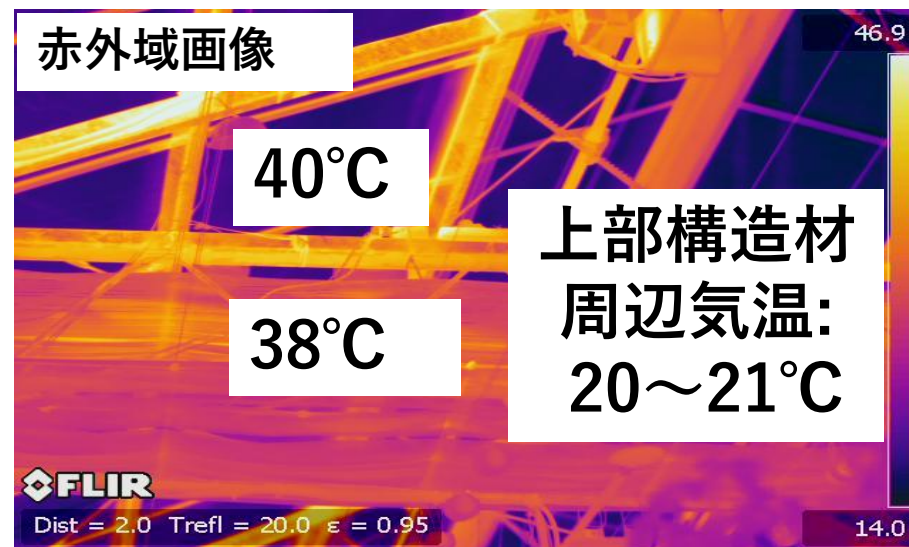
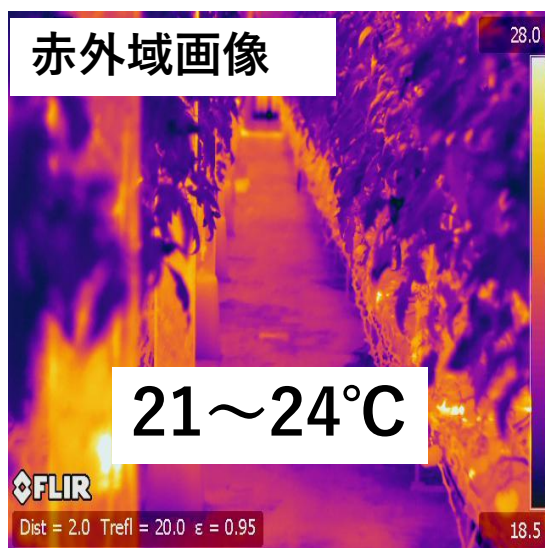
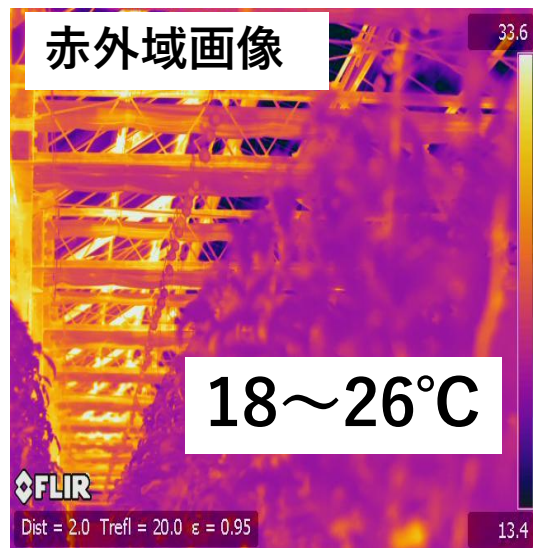
- 1) $Q = \text{壁面(貫流 + 隙間換気)係数} \times \text{壁面積} \times \text{内外気温差} - \text{蓄熱面熱交換量}$
- 2) 夜間の室温維持のためのQは、壁面を通して施設外に捨てられている。
- 3) 現行の壁面(貫流 + 隙間換気)係数は壁面断熱性の向上で半減できる。
- 4) 外気温低下に伴い室温設定値を低下させれば、Qだけでなく暖房機の設備容量(初期投資額)を節減できる(数日間の積算室温は一定に維持)。
- 5) 密閉に伴う多湿は、ヒートポンプ(後述)除湿で、適正に制御可能。
- 6) 冬の晴天昼間に換気で捨てる熱を蓄えれば夜間暖房熱源に利用できる。
- 7) 上記運転に必要な電気エネルギーは当該地の風力・太陽光・水力で発電可能

・以上により、Q、H、Eのいずれも半減以上かつ収量・品質が向上

5-1. ハウス上部構造材(梁)の晴天昼間の温度はトマト茎葉面温度より約14~22°C高く、床面より約16~19°C高い (関山・古在2016)

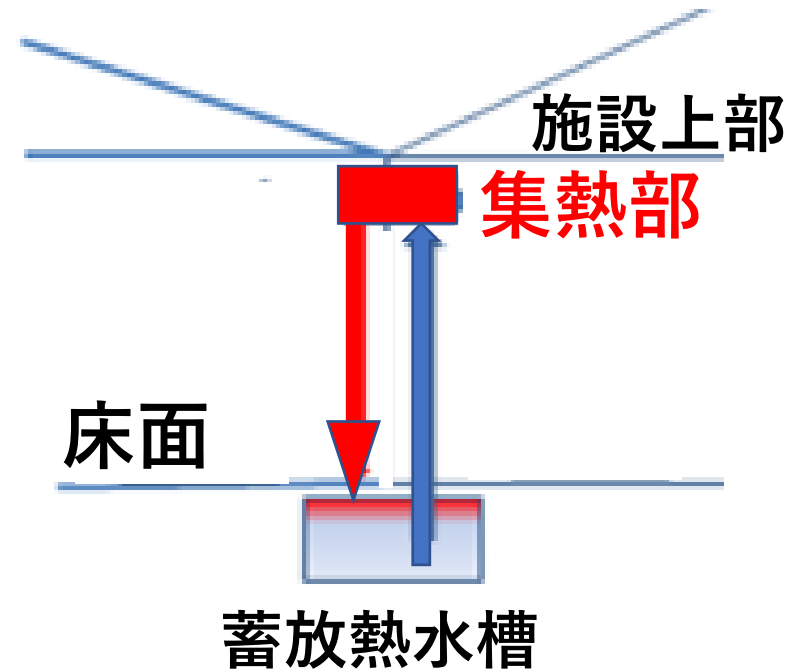


- 1) 2016年3月1日14時24分~30分(快晴)
- 2) 千葉大学柏の葉キャンパス2号棟にて撮影
- 3) 室外日射束密度: 520~540 W/m²
- 4) 床面温度、トマト茎葉部及び表面温度分布はFLIR-Eサーモグラフィーで放射率0.95として測定。構造材の表面温度は貼り付けた熱電対で測定。

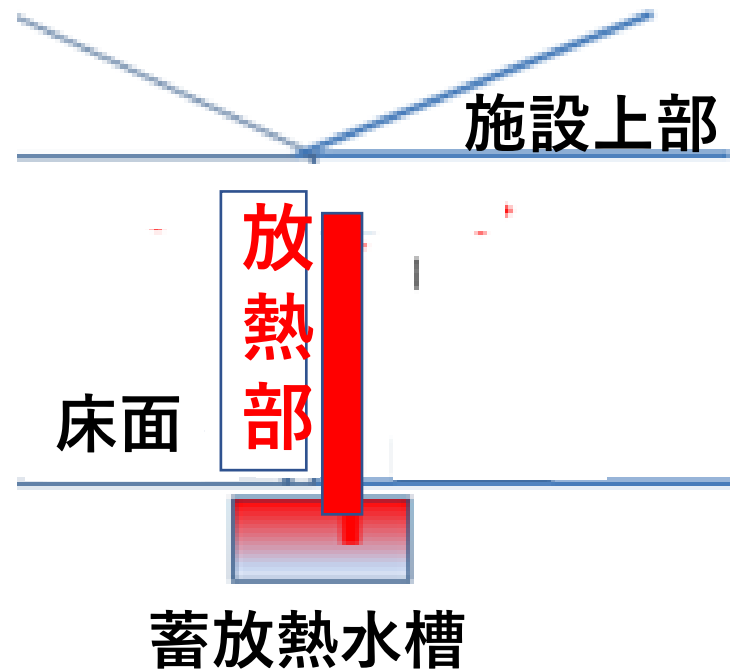


5-2. 昼間はハウス上部の35~40°Cの空気から蓄熱し、夜間はハウス下部で放熱する。蓄放熱にはヒートポンプ利用が効果的

昼間集熱



夜間放熱

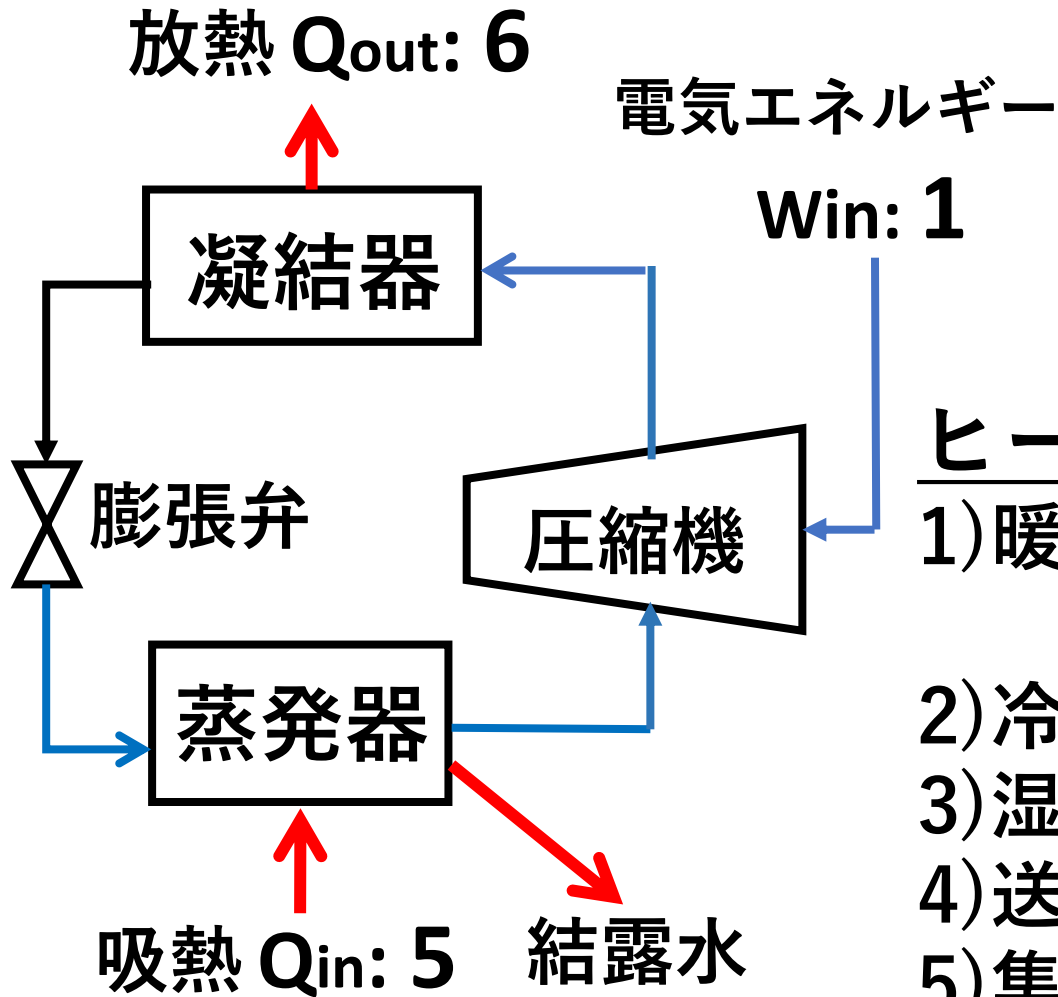


1) 園芸施設内の上部気温が下部気温より高いのは、上部の金属構造材の日射吸収による昇温による。床面や作物が昇温し、その空気が上昇するからではない。

2) 園芸施設上部の高温部分からで集熱すれば、低部での集熱に比較して、集熱量は数倍に増大し得る。

3) 夜間の放熱は室内下部で放熱すべき。

6. ヒートポンプ(heat pump)の構成、成績係数 COP(Coefficient of Performance) および多機能性



例示: 暖房時COP= $Q_{out}/W_{in}=6$

冷房時COP = $Q_{in}/W_{in}=5$

(COPは室内外気温差により、2~15の範囲で変動: 室温25°C、外気温10°Cの時の冷房(集熱)時COPは約10)

ヒートポンプの機能

- 1) 暖房(養液加熱、培地加熱、乾燥)、蒸発機側(冷却、蓄冷)
- 2) 冷房(養液・培地冷却)、放熱器側(加熱、集熱)
- 3) 湿度(水蒸気飽差)制御
- 4) 送風(光合成・蒸散促進、植物体の濡れ軽減)
- 5) 集水(蒸発器における結露水の回収利用)

2009/2/27

7. 閉鎖型園芸施設の利点の一例

冬期昼間にヒートポンプ冷房して、換気窓の閉時間を長く時間帯を長くできる

- 1) CO₂濃度を1,000 ppm前後と、高くできる。
- 2) CO₂濃度が高いと光合成適温が高くなり、換気設定室温を高くできる。
- 3) 正味光合成速度(生長)だけでなく、発育速度(出葉・開花等)も速まる
- 4) 冷房は除湿を伴うので、水蒸気飽差が増大し、蒸散が促進される(加湿による飽差制御が必要な場合がある)。
- 5) 蒸散に伴い、顕熱→潜熱変換が促進。気温・葉温低下、吸水・養分吸収が促進。
- 6) 空気の潜熱割合が増え、少量の換気で多量の全熱量(エンタルピ)排出できる。
- 7) 害虫・病原菌の侵入を抑止できる
- 8) 電力量単価は、HPの多機能性を利用して、安定的に周年利用と低くなる

ヒートポンプと連動する環境制御機器：CO₂施用機、換気装置、送風ファン、遮光カーテン、断熱カーテン、細霧発生装置、養液供給・加熱・冷却装置、蓄熱・蓄冷熱装置他

8. 光質制御による病害虫防除と収量・品質向上 光合成はエネルギー変換過程、形態形成は信号変換過程

生物時計、色素組成・濃度(色、味など)、葉の表面・内部構造(病害虫抵抗性、テクスチャー等)、葉の面積・角度・節間長、花芽形成、その他多数。

- 光信号の4次元制御に必要な消費電力量とCO₂排出量は微少である。
- 葉の光透過率・反射率は波長毎にかなり異なるので、植物群落上と群落内では、光質・光照射強度・光照射3次元分布はかなり異なる(飽差、気流速度、CO₂濃度、気温も異なる)。
- 光質は光形態形成と光合成の両方に作用する(周辺の昆虫・微生物にも作用)。
- 紫外、青、緑、赤、遠赤の光量子束密度の群落内3次元分布の制御が必要
- 上述因子に加えて、明期/暗期サイクル、他の環境因子、遺伝因子が作用
- 多種のカメラ、IoT等を用いた時系列大量データの人工知能処理が必要。
- 今後の大課題だが、問題がとても複雑なので、解決にはチーム力が必要。

まとめ(その1)

	達成目標	主要対策
1	ゼロ CO ₂ エミッション	化石燃料暖房ゼロ化、農薬・化学肥料50%減、プラスチック製品・金属材・セメント30%減、節電30%、再生電気100%利用、作業・時間・面積生産性50%向上
2	化石燃料暖房ゼロ化	高度断熱、昼間蓄熱・夜間放熱・除湿(ヒートポンプ(HP)利用)、施設上部集熱
3	化学肥料50%以上削減	養液栽培導入、養液栽培システムの抜本的改良、植物系有機物の無機液肥化
4	農薬50%以上削減	温湿度制御、天敵・微生物農薬利用、害虫侵入阻止、耐病性品種、栽培管理改良
5	プラスチック製品30%以上減	植物由来資材(ヒモ類、ポット、トレイ、培地、袋、箱)利用、被覆資材寿命20年化
6	金属材・セメント30%以上減	木質系(CLT)資材利用、施設構造改善、強風・積雪時対策、多孔質コンクリート
7	節電30%以上	環境制御・空気循環系、養液栽培系、HPのシステムCOP向上、作業機械、補光
8	節水(主に、環境保全目的)50%	雨水の屋根集水(かん水用)、肥料を含むかん水残液の排液防止、適正施肥
9	再生電気エネルギー100%	太陽エネルギー・風力・(水力バイオマス・地熱)によるオンサイト発電・蓄電
A	最新技術の応用	ソーシャルセンサー(SNS)利用、熱・エネルギー動的収支モデルとCFDモデルの結合、Digital Twinの開発・利用
B	上記ソフト・ハードウェアのDXによる公開・シェアリング。	公費補助金・公的機関による上記情報は定様式でデジタル化し公開を原則として、無料または低価格で提供・シェアリングし、技術の向上・普及を計る。成果物の売り上げだけでなく、データ販売とソフト販売でも利益を得る。

まとめ(その2)

1	冬期夜間の断熱・密閉	暖房必要熱量・暖房費の50%減(除湿・送風が必要。細霧農薬施用も可)
2	通年昼間のCO ₂ 施用	換気時のゼロ濃度差施用による光合成促進(飽差・室温制御併用が効果促進)
3	冬期昼間のCO ₂ 施用	無換気・高密閉時に約1000ppm前後の施用(HP冷房・除湿・送風との併用可)。春夏秋の曇雨天時も施用可。
4	通年昼間の細霧発生	室温低下または飽差制御。光合成・蒸散促進。害虫・病原菌繁殖抑制。作業性向上。
5	通年夜間の農薬散布	無人の密閉室内での自動細霧農薬が長時間浮遊(作業性改善)。補光との併用可。
6	通年昼夜間のHP利用	冷房、暖房、飽差制御、蓄放熱、気流の補助制御、HP室外機の集放熱機能利用。
7	閉鎖型苗人工光生産	年間稼働率の向上が必要。閉鎖型でなければ実現できない苗質が得られる。ハウス育苗と同じ理解では効果が上がらない。気流速度・飽差・光質・CO ₂ 濃度の制御
8	排液ゼロ養液栽培	非循環養液供給。生育段階・品種・生産目的別の表現型連続計測にもとづくイオン別供給速度制御。イオン組成と濃度は食味に影響する。
9	光質・気流速度制御	光質、気流速度および肥料組成の適切な制御で、コスト・CO ₂ 排出量最小で、収量・品質(食味・食感を含む)を大きく改善できが、関係性は複雑でAIの支援が必要。
10	表現型に基づく制御	小型の各種カメラ等による植物の表現型の時系列データ解析に基づく環境制御「
A	コストパフォーマンス	環境制御機の導入コストが高いという不満は、その多機能性の多面的周年利用が不足して、コストパフォーマンスの向上が実現してないことによることが多い。

参考文献(日本語文献は千葉大学附属図書館Repository(Curator)で無料検索可能)

- ① 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、計算式及び注釈. 農業および園芸. 94(8): 661-672.
- ② 関山哲雄・古在豊樹(2018)園芸施設用ヒートポンプの普及・拡大のための課題とその改善策. 特定非営利活動法人植物工場研究会. 農業電化. 71(3): 6-15.
- ③ 古在豊樹・岩崎泰永・後藤英司・関山哲雄・丸尾達・中野明正(2016)閉鎖型温室・閉鎖型太陽光植物工場の可能性と課題. 農業および園芸. 91(12): 1204-1214.
- ④ 関山哲雄・古在豊樹(2016)園芸施設内上部空間の昼間気温が下部空間の気温より高い原因について. 農業電化. 69(4): 16-20.
- ⑤ 古在豊樹・糠谷綱希・渋谷俊彦・丸尾達(2014)施設園芸におけるゼロ濃度差CO₂施用【1】-その原理と実際-.農業および園芸. 89(6) : 643-652.
- ⑥ 古在豊樹, 糠谷綱希, 渋谷俊彦, 丸尾達. 施設園芸におけるゼロ濃度差CO₂施用(2)その原理と実際.(2014) 農業および園芸. 89(7): 749-758.
- ⑦ 古在豊樹(2014)都市における生鮮食料生産の多面的意義. 農業および園芸. 89(10): 994-1006.
- ⑧ 古在豊樹(2011)省資源・環境保全と高収量・高品質を両立させるサステナブル植物工場(知能的太陽光植物工場の新展開(13)). 農業および園芸. 81(1): 41-50.
- ⑨ 古在豊樹・大山克己(2008)園芸施設の周年利用推進のための環境制御と苗生産(1) 農業および園芸. 83(2): 286-291.
- ⑩ 古在豊樹・大山克己(2008)園芸施設の周年利用推進のための環境制御と苗生産(2) 農業および園芸. 83(3): 375-378.
- ⑪ 大山克己・古在豊樹 (2008) 園芸用施設の暖房費およびCO₂排出量削減 [1]一重油温風暖房機の代替としての高性能小型電気ヒートポンプの利用. 農業および園芸. 83(11):1157-1163.
- ⑫ 大山克己・古在豊樹 (2008) 園芸用施設の暖房費および CO₂排出量削減[2]一重油温風暖房機の代替としての高性能小型電気ヒートポンプの利用ー農業および園芸. 83(12): 1257-1264.
- ⑬ 古在豊樹・板木敏隆・岡田勝美・大山克己(2006) 最新の苗生産実用技術、農業電化協会、150ページ
- ⑭ 古在豊樹・後藤英司・富士原和宏 (2008) 最新施設園芸学. 朝倉書店. 235ページ
- ⑮ Kozai, T. (ed.) (2018) Smart Plant Factory, Springer, 456 pages.
- ⑯ Kozai, T., Niu, G. and Masabni, G. (eds.) (2021) Plant Factory Basics, Applications and Advances. Elsevier, 449 pages.
- ⑰ Tewolde, F.T., Lu, N., Shiina, K., Maruo, T., Takagaki, M., Kozai, T., Yamori, W. (2016) Nighttime supplemental LED inter-lighting 640 improves growth and yield of single-truss tomatoes by enhancing photosynthesis in both winter and summer. Front. Plant Sci. 641. 7, 448, doi:10.3389/fpls.2016.00448
- ⑱ Tewolde, F.T., Shiina, K., Maruo, T., Takagaki, M., Kozai, T., Yamori, W. (2018) Supplemental LED inter-lighting compensates for a shortage of light for plant growth and yield under the lack of sunshine. PLoS One. 13, 1–14, doi:10.1371/jour- 583 nal.pone.0206592.

第43回施設園芸総合セミナー（Web開催）目次抜粋

2022年3月28日(月)～4月18日(月) オンデマンド開催

- 浅見 武人: みどりの食料システム戦略における施設園芸の目指す姿
- 高山弘太郎: AIを駆使したスマート・メガスケール植物工場ネットワーク構想
- 佐野 泰三: 木質バイオマス発電を併設した野菜類の生産と販売
- 日本施設園芸協会: 施設園芸におけるデータ共有利用のためのオープンAPI構築の取り組み
- 林 清忠: 施設園芸におけるライフサイクルアセスメント(LCA)
- 石井 雅久: 持続可能な施設園芸に資するヒートポンプの研究開発と展望
- 松尾 崇史: 大規模生産施設における温泉熱の活用と作業効率化
- 宮内 樹代史: 中小規模園芸ハウス向けの省エネ対策
- 阿部 淳一: トマト・パプリカの大規模生産における木質燃料利用のメリットと課題