

共同研究・受託研究名：最適化空調システムの研究
 研究代表者（所属）：木下進一（大阪府大・工学）

植物工場における環境システム解析と生産性向上のための設備検討

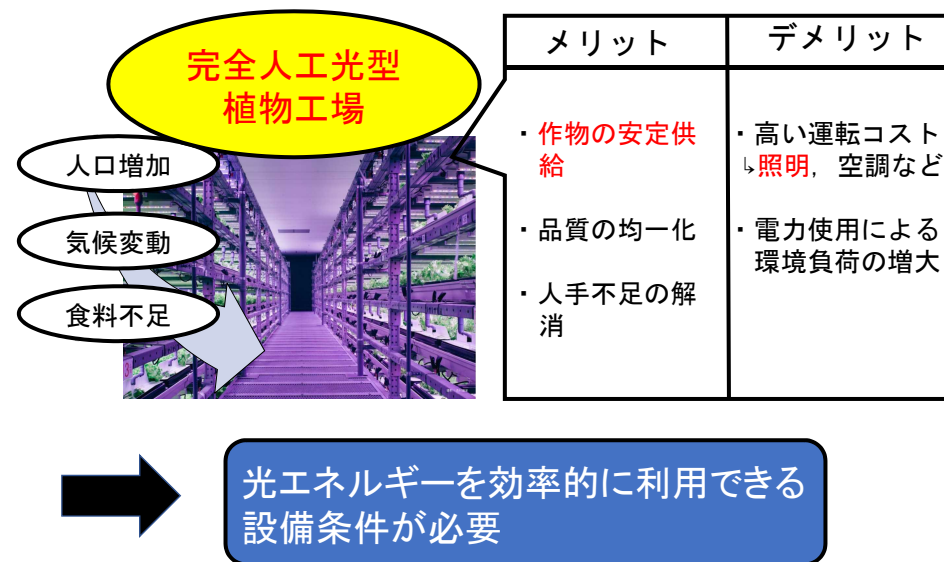
〇渡辺匡1, 木下進一1, 吉田篤正1
 所属： 1 大阪府大・工学

キーワード：植物工場, 人工照明, 空調, 数値解析, レタス, 省エネ

要旨

完全人工光型植物工場は、閉鎖環境で安全に農作物を育成できるという利点がある一方で、運転コストが課題となっている。本研究では完全人工光型植物工場の省電力化、作物の生産性向上のため、エネルギーを効率的に利用できる環境システムを検討する。まず工場環境・植物生育予測モデルを構築し、工場運営における消費電力と生産量を算出する。実際の植物工場と比較して再現性を確認した後、環境条件の変化による消費電力・生産性への影響評価を行い、効率的な制御条件を検討する。また、太陽光発電による再生可能エネルギーを含め、環境負荷を低減する植物工場の運営条件を数値解析に基づいて提案する。

研究背景



研究目的

- 光エネルギーの高効率化
- 作物の生産性向上

人工光型植物工場の環境システム解析

→消費電力の削減と作物生産量の増加を目指す

工場環境・植物生育予測モデル構築

温湿度・CO₂濃度
消費電力
光合成・蒸散速度

消費電力・生産量から最適な制御条件を検討

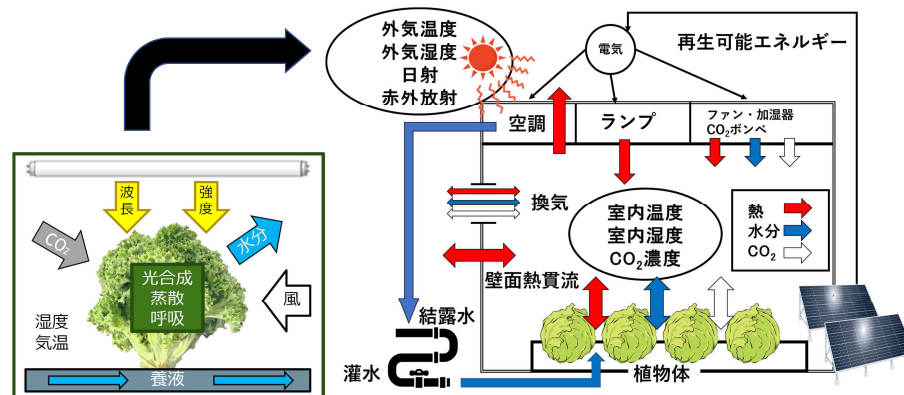
明暗期・温湿度
CO₂濃度の差による違い

環境負荷低減を目標とした工場運営の評価

再生可能エネルギー
廃棄物利用
CO₂排出量

研究内容

植物工場内の [熱 水分 CO₂] 収支式 → 各機器の消費エネルギー導出



気象条件

気象データから日射量を計算

→放射(長波・短波)と対流

壁面の回転角, 傾斜と太陽の高度, 方位で決定する

$$I = I' \cos \theta$$

$$\cos \theta = \sin h \cos W_\beta + \cos h \sin W_\beta \cos(\alpha - W_\alpha)$$

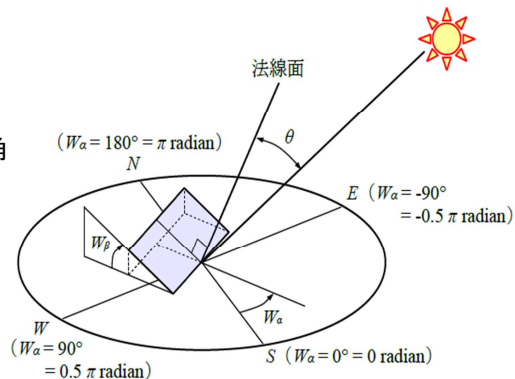
I : 直達日射 [W/m^2]

I' : 法線面直達日射 [W/m^2]

θ : 直達日射入射角

h, α : 太陽の高度, 方位角

W_α, W_β : 壁面の回転角, 傾斜角

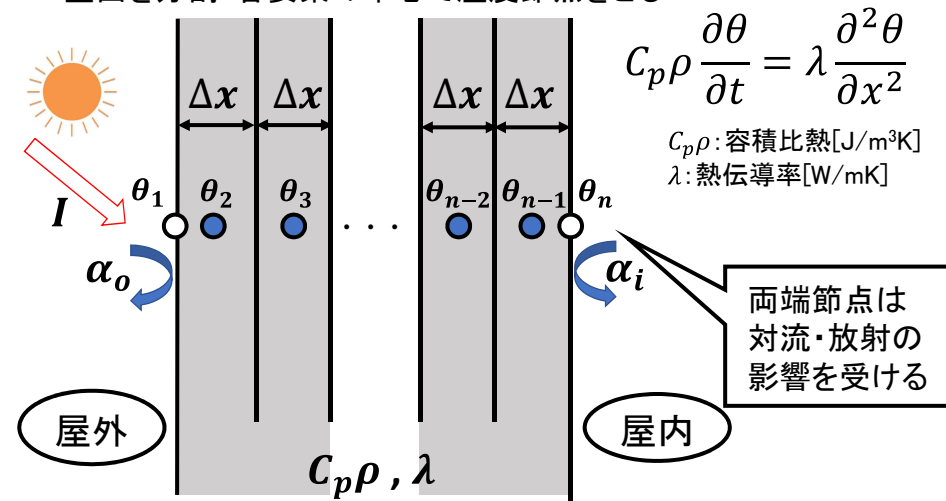


壁面条件

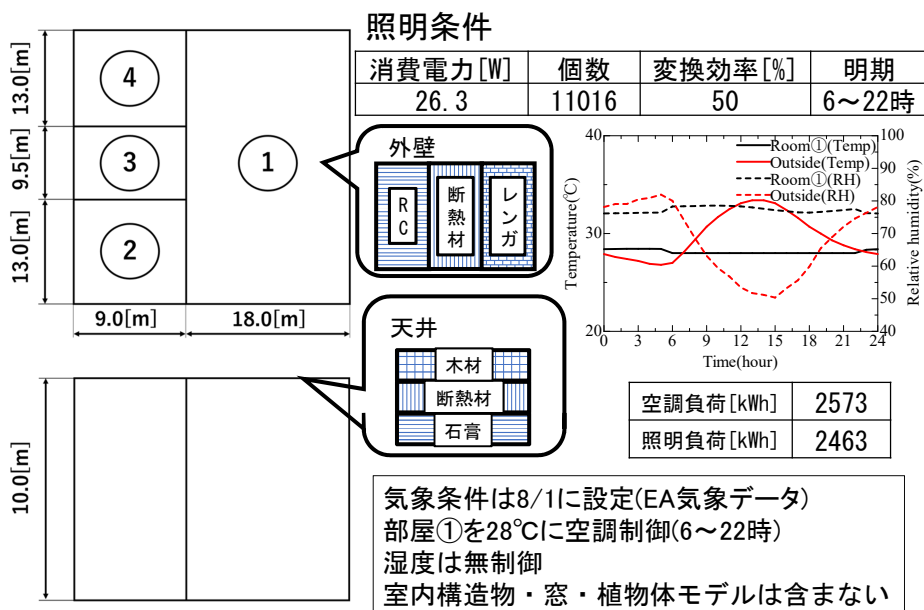
一次元熱伝導方程式

→壁面に垂直な方向の熱流のみを仮定

壁面を分割・各要素の中心で温度節点をとる

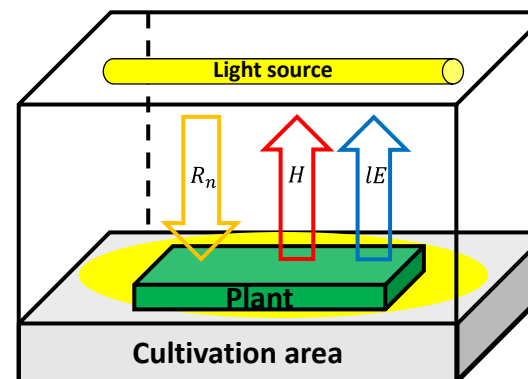


解析例



植物体モデル

- ・植物群落は葉の形状や向きが複雑
 - ・個葉に対する熱交換に注目する
- 群落を一枚の葉として単純化する(ビッグリーフモデル)



植物の熱収支

$$R_n = H + lE$$

R_n : 正味放射 [W/m^2]

H : 顕熱輸送 [W/m^2]

l : 水の蒸発熱 [J/mol]

E : 蒸散量 [$\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]

蒸散モデル

- ・気孔表面は飽和状態のため、潜熱損失の割合が高い
→蒸散の推定モデルが重要

Jarvisモデル

$$E = \frac{g_a g_s}{g_a + g_s} \frac{e_s - e_a}{P}$$

g_a : 葉面境界層コンダクタンス[mol/m²s]

g_s : 気孔コンダクタンス[mol/m²s]

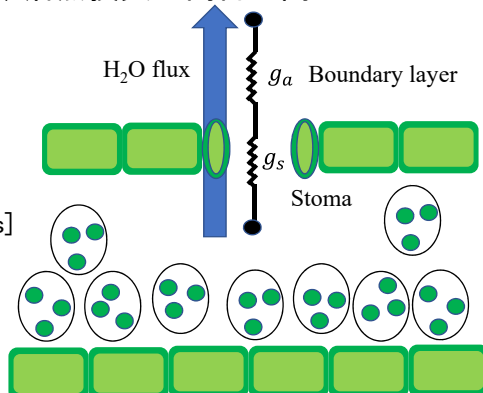
e_s : 気孔内部の飽和水蒸気圧[Pa]

e_a : 周囲空気の水蒸気圧[Pa]

P : 大気圧[Pa]

$$g_s = g_{smax} f_1(PPFD) f_2(D) f_3(T)$$

気孔コンダクタンスは光量子量, 飽差, 葉温の関数から成る
→実験より各関数の同定が必要



今後の課題

- ・解析に適した植物モデルの決定
(蒸散, 光合成)
- ・空調, その他機器モデルを用いた消費エネルギー解析
(成績係数, ドレン水処理)
- ・蒸散量推定に必要なパラメータの同定実験の計画

- ・収穫量を元に消費電力を削減する条件を検討
- ・再生可能エネルギー, 廃棄物利用による環境負荷削減の効果検証