

共同研究・受託研究課題名：最適化空調システムの研究
 研究代表者（所属）：木下進一（大阪公大・工学）

発表タイトル：人工光型植物工場における栽培環境および生育評価とエネルギーシステム解析に基づく予測モデルの検討

○吉田篤正¹，木下進一²，富田晃司¹，渡辺匡¹
 所属： 1 大阪府大・工学， 2 大阪公大・工学

キーワード：人工光型植物工場，栽培環境実測，生育評価，エネルギーシステム，数値解析モデル

要旨

本研究では人工光型植物工場における栽培ライン上の環境測定とレタスの収穫を行い，各環境因子がレタスの生育に及ぼす影響を評価した。結果として，特に栽培パネル上で光強度分布が確認でき，その光強度とレタスの生重量との間に相関が見られた。また照明設備の更新前後の生育量の違いについても評価した。

さらに，人工光型植物工場に対し，栽培室内植物の生理応答を考慮したエネルギーシステム解析モデルを構築し，照明，空調熱負荷評価ならびに生産性評価を行い，実測データとの比較によりその精度について検討した。

研究背景および研究目的

完全人工光型植物工場



長所

- 作物の安定供給
- 無農薬
- 人手不足の解消

短所

- 高い運転コスト
照明，空調など
- 生育の不揃い
- 栽培作物が限定的

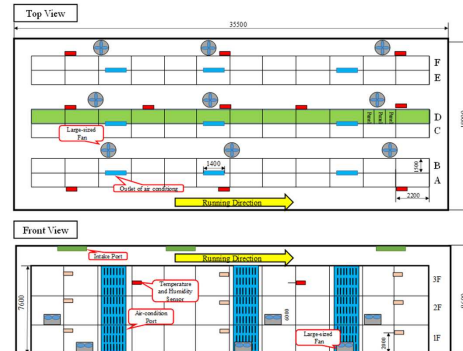
課題

- 生育の不揃いに及ぼす栽培環境因子の特定
- エネルギーを効率的に利用できる設備条件の把握

2

実栽培空間の環境測定と作物の生育評価

- レタスの生育環境の把握
栽培室内の定点測定
栽培ライン上の移動測定
- 収穫されるレタスの生育評価



栽培室概要

- 生産能力：日産6000株
- 栽培棚：上下18段，ライン数：6
- 栽培パネル移動：搬送用ロボットによりライン上を1日2パネル幅ずつ水平移動
- 堅型ダクトからの給気，大型ファンによる循環

3

生育と環境因子との関連の調査

[前回測定時期(2018年)との変更点]

- 栽培ライン上のLEDライトの交換

前回の測定結果と比較

環境設定および定点測定

環境設定

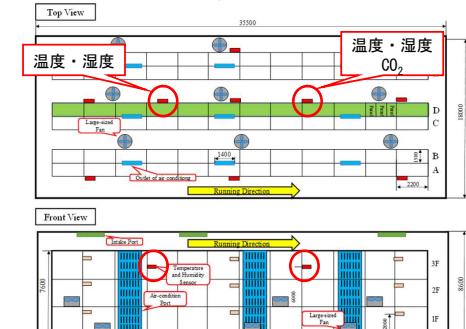
項目	設定条件
温度	明期：24℃ 暗期：18℃
湿度	設定なし(70~100%)
風速	設定なし(0~0.2m/s)
明暗期	明期：4p.m.~6a.m.(14hour) 暗期：6a.m.~4p.m.(10hour)
C02	1400ppm

項目	設定条件
温度	明期：24℃ 暗期：20℃
湿度	設定なし(70~100%)
風速	設定なし(0~0.2m/s)
明暗期	明期：4p.m.~8a.m.(16hour) 暗期：8a.m.~4p.m.(8hour)
C02	1200ppm

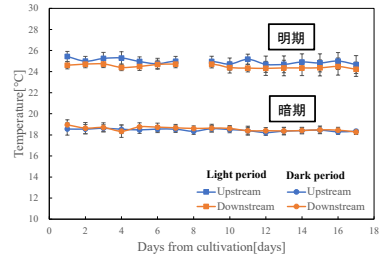
定点測定

測定期間：2021年12月20日~2022年1月28日
 測定項目：栽培ライン脇

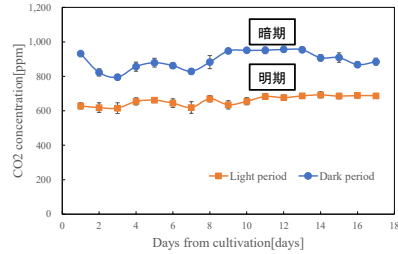
温度・湿度(2カ所)
 二酸化炭素濃度(1カ所)
 壁面温度(2カ所)
 天井温度(1カ所)



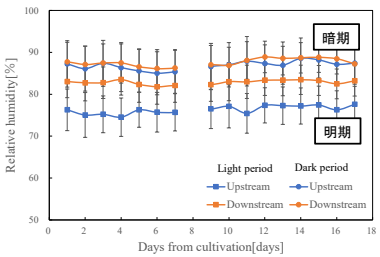
定点測定結果



温度



CO2濃度

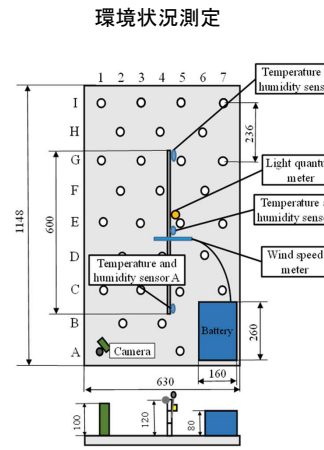


湿度

- 温度：明期・暗期のそれぞれで大きな変化は見られない。測定場所による違いも小さい。
- 相対湿度：明期・暗期のそれぞれで大きな変化は見られないが、明期において測定場所の間で10%ほどの差が見られた。
- CO2濃度：暗期に比べ明期の濃度が低くなった。

5

移動測定



○環境状況測定

- ・ 温湿度 (3か所), 風速, 水温
- ・ 生育状況

温湿度分布を調べる

- 1回目 (レタスあり)
- 2回目 (レタスなし)
- 3回目 (レタスあり)

○光量子分布測定

- ・ PPFD (10点)
- パネル穴32点→3回測定

1~3回目 (レタスなし)

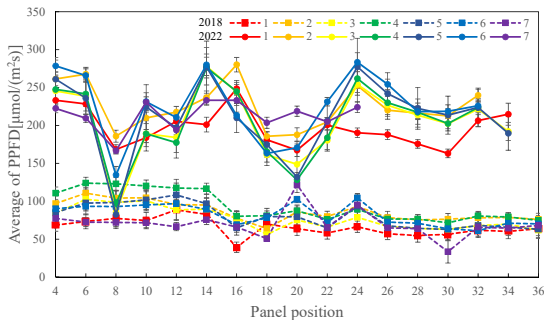
測定期間

	開始日	終了日	測定日数
環境状況測定(1回目)	2021/12/22	2022/01/10	18
2回目	2022/01/11	2022/01/28	17
3回目	2022/01/28	2022/02/10	13
光量子分布測定(1回目)	2021/12/20	2022/01/07	18
2回目	2022/01/07	2022/01/25	18
3回目	2022/01/28	2022/02/10	13

6

移動測定結果 (光強度分布)

各パネル位置での列ごとの平均値



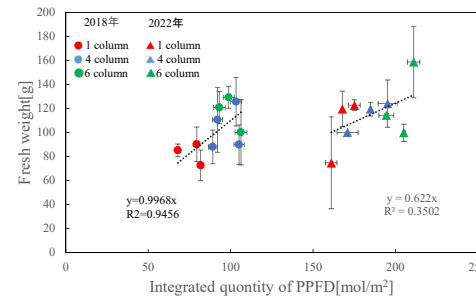
- ・ ライトの交換により各列においてPPFDが増加
- ・ パネル一番端1, 7列目ではPPFDが小さい
- ・ パネル位置8, 20番で光強度が小さい

LEDライトの向きのずれが考えられる

7

光強度とレタスの重量の関係

生重量と積算光量子量の関係



前回の結果の直線状に分布がきていない

- ・ 明暗期の時間の違い
- ・ 光強度による光合成速度の特性

同じ光強度における生重量のばらつき

隣接する株や個体差の影響

間引き栽培により一株当たりの生重量が増加

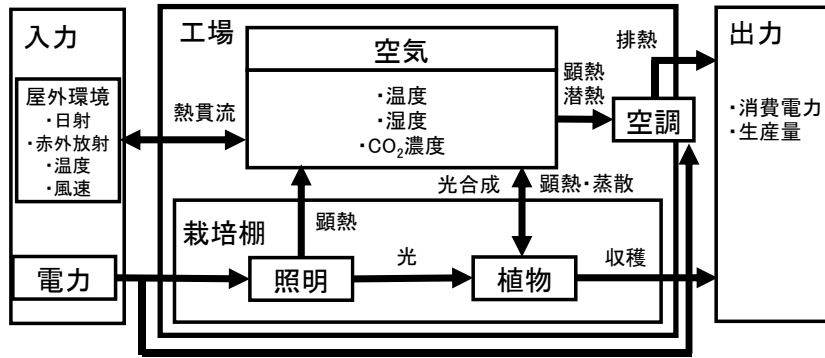
前回測定時

- ・ 生育空間の確保
- ・ 株同士の重なりがなくなったことによる照射光量子量の増加

8

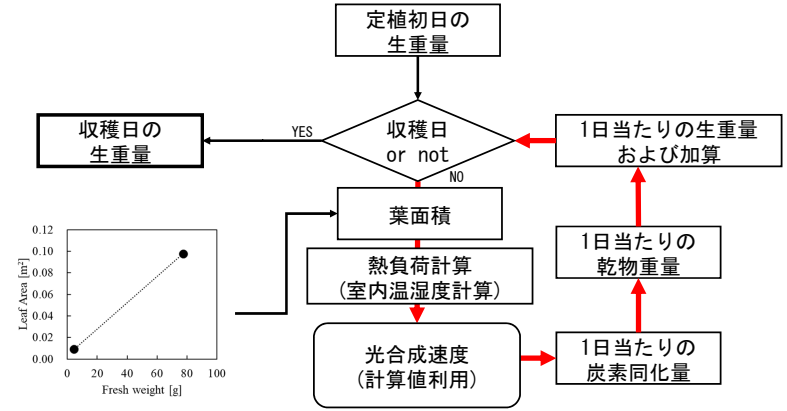
人工光型植物工場のエネルギーシステム解析による生育予測モデル

植物工場内の **熱** 収支式
水分
CO₂ → 室内の温湿度・CO₂濃度の経時変化
 消費電力、壁面・屋上面熱貫流
 生産量
 植物の光合成・蒸散モデル

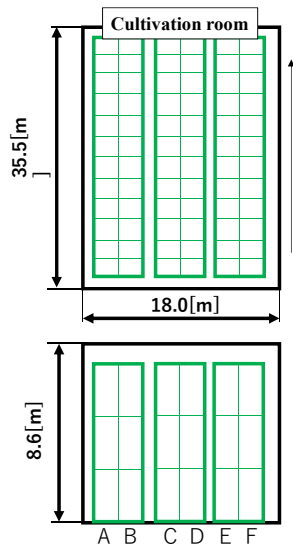


植物の光合成・生育予測モデル

室内温湿度を元に光合成速度を計算
 栽培日数分繰り返すことにより収穫時の生重量を算出



解析対象



栽培環境の設定条件

温度	明期: 24°C 暗期: 18°C
湿度	無制御
風速	0.1m/s
明暗期	明期: 16:00~06:00 (14h) 暗期: 06:00~16:00 (10h)
CO ₂ 濃度	1200ppm
光源	LED: 63W × 11232本

植物設定条件

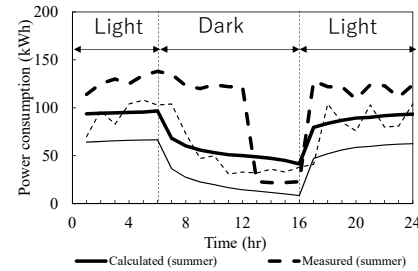
株数	1パネル32株 × 36パネル × 6列 × 18段
植物葉面積	1株あたり9141 [mm ²]

日時設定条件

日時	夏季: 2021/8/8 冬季: 2021/1/9
----	------------------------------

解析結果

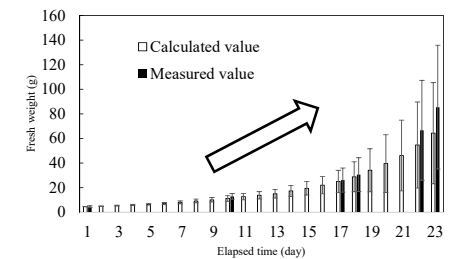
空調消費電力実測値の傾向と解析値



- 空調負荷は空調吹出口と室内の温度差に風量と空気比熱を乗じて算出
- 消費電力は空調負荷を定格COPで割って簡易的に算出

・明期で増加, 暗期で減少する傾向は同様
 ・夏季は明暗期切り替わりで消費電力を維持
 →除湿に対する潜熱負荷が大きい
 ・冬季は明暗期切り替わりで即座に消費電力が減少
 →夏季と比較し, 排熱にける空調負荷が少ない

植物の生育予測比較



実測収穫データ: 定植後10, 18, 19, 22, 23日
 1パネル32株分 7月~10月にかけて栽培, 収穫 (2018年取得データ利用)
 解析データ: 8月1日から23日分計算

・収穫を行っていない日数でも生重量の推移を推定可能
 ・生育後期ほど重量, ばらつきが増加
 →光合成量を過小評価していた