

## 完全人工光型植物工場を対象とした空調方式に関する研究

T O 9 K 7 2 2 A 横田季巳江  
指導教員 赤林伸一教授

### 1 研究目的

近年、高品質・高機能な植物を高密度で生産する方法として植物工場が注目されている。完全人工光型植物工場では太陽光を利用せず、人工照明を使用し閉鎖環境下で植物を栽培する為、気象条件に左右されず無農薬・無菌栽培が可能である。しかし、照明による室内発熱が閉鎖空間内に放出され、植物工場における空調負荷（冷房）の大部分を占めるため、栽培に適した温熱空気環境の形成と空調用エネルギーの削減が課題となっている。

本研究では、まず、市販のコンテナ型植物工場<sup>\*1</sup>を対象とし、数値流体解析（CFD 解析）を用いて空調機の吹出口と吸込口の位置・風量・吹出温度等を変化させて室内温度分布の解析を行い、効率的で均一な温熱環境の制御が可能な空調方式の検討を行う。更に、南魚沼市に新たに建設された植物工場を対象に温熱環境実測を行い、実在植物工場内の空調機の運転状況及び明期・暗期<sup>\*2</sup>における室内温熱環境を把握することを目的とする。

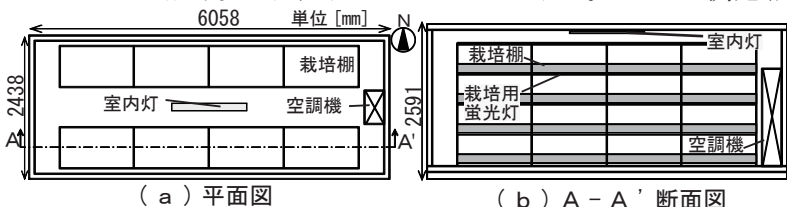


図1 コンテナ型植物工場モデル

表1 コンテナ型植物工場の解析条件

外気条件	外気温 [°C]	case1	case2
空調機条件	設定室温 [°C]	20	20
	吹出温度 [°C]	13.7	16.3
	吹出風量 [m³/h]	1980	3960
室内発熱負荷	栽培用蛍光灯 [W]	4096	
	室内灯 [W]	80	
	計 [W]	4176	
外壁条件	熱貫流率 [W/(m²·K)]	0.586	
	貫流熱量 [W]	807	
	空調負荷合計 [W]	4903	

表2 実在植物工場の稼働状況 (12月18日)

空調機条件	日平均外気温 [°C]	1.1
	設定室温 [°C]	23
室内発熱負荷	LED照明 [W]	1152
	LED電源ユニット [W]	640
	育苗用蛍光灯 [W]	256
	計 [W]	2048
外壁条件	熱貫流率 [W/(m²·K)]	0.68

表3 温度測定点高さ

測定点	高さ [mm]
7	1300
8	1300
9	1300
10	1300
11	1300
12	2800
13	500
14	50

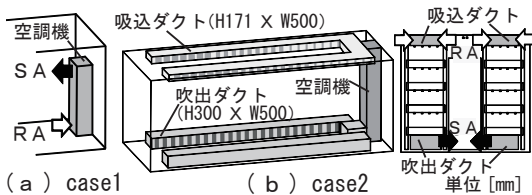


図2 空調機の吹出口と吸込口の概要

### 2 研究概要

2.1 コンテナ型植物工場の解析：図1にコンテナ型植物工場モデル<sup>\*3</sup>を、図2に空調機の吹出口と吸込口の概要を、表1にコンテナ型植物工場の解析条件を示す。

解析には汎用数値流体解析ソフト STREAM Ver.9を用いる。栽培室内には栽培棚と空調機<sup>\*4</sup>を設置し、栽培棚に蛍光灯 (32 W × 128 本) が、栽培室中央に室内灯が (40 W × 2 本) 設置され、室内発熱負荷は 4176 W となる。

case1 では従来の空調方式として空調機の吹出口を上方に、吸込口を下方に設置する。case2 では吸込口を天井付近に、吹出口を下方に配置し、それぞれにダクト<sup>\*5</sup> (側面開口率 50%) を設置する。ダクトにより開口面積を大きくすることで、吹出面風速を遅くし、かつ風量を増加させ吹出温度を高くし、置換空調を意図する。

2.2 実在植物工場の実測：表2に実在植物工場の稼働状況 (12月18日)<sup>\*6</sup>を、図3に実在植物工場の温湿度測定点を、表3に温度測定点高さを示す。栽培室には4段2列の栽培棚と、育苗棚がある。栽培棚はLED (18 W × 64 台)、育苗棚は蛍光灯 (32 W × 8 本) で照明されている。空調機は地中熱を利用するヒートポンプユニット (上) と雪氷熱を利

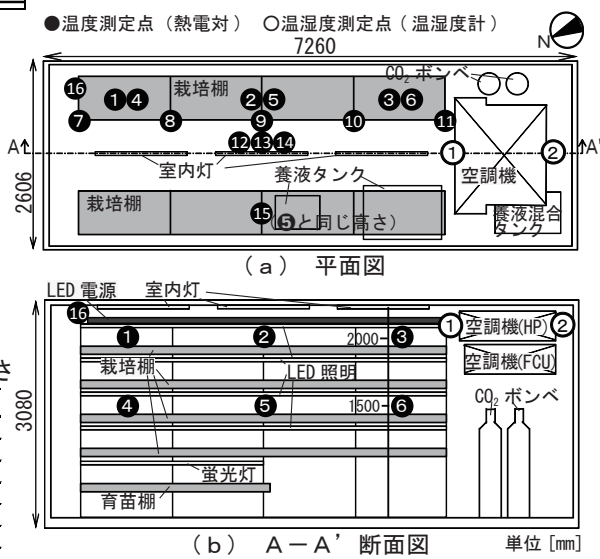


図3 実在植物工場の温湿度測定点

用するファンコイルユニット（下）の2台が設置されている。その他、栽培室内にはLED電源ユニット（10W×64台）、CO<sub>2</sub>ポンペ、室内灯、養液タンク等が設置されている。電気料金の安い夜間電力を利用し、冷房負荷（日射と照明）の時間帯をずらすために、LED照明の点灯時間は午後7時～翌日午前10時（15時間）、育苗用蛍光灯の点灯時間は午後10時～翌日午前8時（10時間）とする。空調機の設定温度は23℃\*7とする。外壁の熱貫流率は0.68 W/(m<sup>2</sup>・K)である。

温湿度の実測にはデータロガー、T型熱電対、温湿度計を用いる。図3に示す測定点①～⑮は工場内15点における各点の室温を、測定点⑯はLED電源ユニットの表面温度の測定点である。図3に示す測定点①・②は温湿度計により空調機の吹出口と吸込口の温度・湿度を測定する。

### 3 解析結果

3.1 数値流体解析結果：図4にコンテナ型植物工場の各caseの温度分布（A-A'断面）を示す。case1では栽培棚内で約3.6℃の温度差が生じているのに対し、case2での温度差は約1.8℃と小さい。これは空調機の風量を増加させ、吹出温度差を小さくした為と考えられる。又、栽培棚上に設置した吸込ダクトにより天井面付

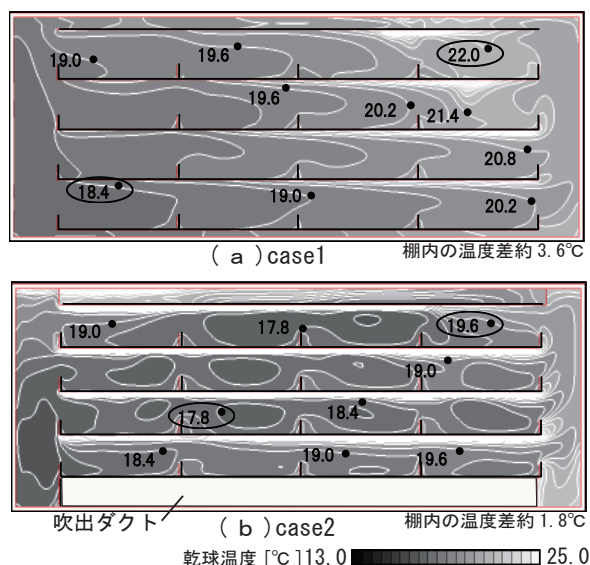


図4 コンテナ型植物工場の各caseの温度分布（A-A'断面）

近に形成される熱溜りを除去し、栽培棚最上段においても比較的均一な温度分布となる。

3.2 実測結果：図5に実在植物工場の室中央における垂直方向の平均温度分布（12月18日）を、図6に実在植物工場における明期（空調時）の各測定点平均温度（12月18日）を、図7に実在植物工場における栽培棚内及び空調機の吹出・吸込温度変化（12月18日）を示す。明期は照明による室内発熱負荷が比較的大きく、断続的に空調機が稼働しており、栽培棚2段目（測定点④～⑥）は21℃～23℃と比較的均一な温度分布となる。又、明期（空調時）の栽培棚内各点（測定点①～⑥）の平均温度の差は1.7℃と比較的小さい。垂直方向の栽培棚高さの温度差は、明期の非空調時が最も大きく4℃程度である。暗期は最も温度差が小さいが、全体的に室温が19℃以下と低く、暖房が必要である。

### 4 まとめ

- ①栽培室内の温度分布は空調機の吹出口と吸込口にダクトを設け、空調機の風量を増やし、吹出温度差を小さくすることで温度分布をより均一にできる。
- ②LED照明を用いた実在植物工場は、冬季では各栽培棚内の温度差が比較的小さい。
- ③今後、南魚沼市の植物工場を対象に継続的に温熱環境実測を行い、CFD解析の妥当性の検討を行う。

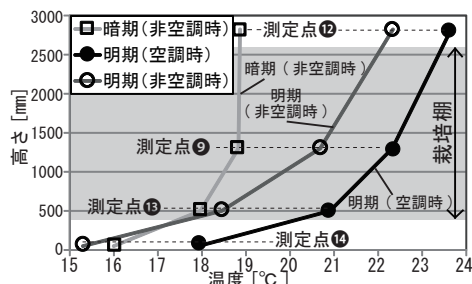


図5 実在植物工場の室中央における垂直方向の平均温度分布（12月18日）

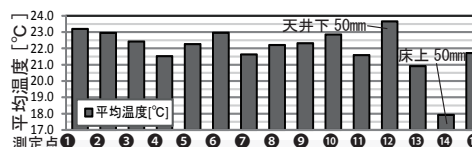


図6 実在植物工場における明期（空調時）の各測定点平均温度（12月18日）

- \* 1 E社製コンテナ型植物工場
- \* 2 明期：植物に光を照射する時間（照明点灯時）  
暗期：植物に光を照射しない時間（照明消灯時）
- \* 3 本研究の解析モデルでは植物と液肥は省略する
- \* 4 ダイキン製ハウス栽培専用ヒートポンプエアコン（品番：SFYP140A）  
吸込口（H635mm×W500mm）  
吹出口（H300mm×W500mm）
- \* 5 ダクトは二股に分かれたものとし、吹出ダクトはコンテナ中央側の側面のみ開口を設け、吸込ダクトは全ての側面に開口を設ける
- \* 6 実測期間は実際に植物を栽培している10月20日～1月26日とし、12月18日を代表日とする
- \* 7 なお、空調機はヒートポンプユニットが稼働している測定点⑦付近の壁に設置された空調機の温度計が24℃を上回ると冷房が稼働し、22℃まで下降すると冷房が停止し送風状態となる

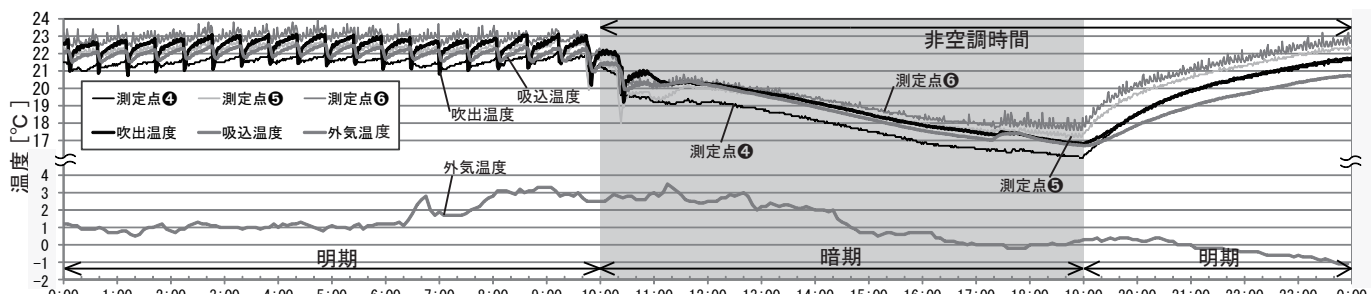


図7 実在植物工場における栽培棚内及び空調機の吹出・吸込温度変化（12月18日）