

完全人工光型植物工場の省エネルギー化に関する研究  
栽培実験及び全国におけるエネルギー消費シミュレーション

T 1 3 K 6 6 7 A 北澤 紫乃  
指導教員 赤林 伸一 教授

1 研究目的

近年、無農薬・無菌で植物を通年計画生産する完全人工光型植物工場が注目され、全国で増加している。植物工場は露地栽培に対して照明・空調用エネルギーが必要であるが、現状の照明・空調・栽培設備は植物工場に特化した製品は少なく、既存の建築・設備技術の流用である場合が多いため、省エネ化に課題がある。

既往の研究<sup>文1)</sup>では植物工場の省エネ化を目的とし、新たに開発した省エネ型栽培設備による年間のエネルギー削減効果を検討している。本研究では、省エネ型栽培設備を導入した完全人工光型植物工場を、全国の外気条件の異なる地域に設置して植物生産を行った場合の工場全体のエネルギー消費量を明らかにすることを目的とし、リーフレタス栽培実験・植物工場全体の電力消費量の実測及び全国における植物工場稼働時の電力消費量の解析を行う。

2 実験概要

栽培実験は実験室に設置したコンテナ式植物工場で行う。コンテナの内法は2.17[m](幅)×4.16[m](長さ)×2.36[m](高さ)とし、熱損失係数は1.9[W/m<sup>2</sup>・K]である。図1に実験室の平面を、図2にコンテナ式植物工場の平

面を示す。実験室には有圧換気扇で外気を給気し外部環境を模擬する<sup>※1</sup>。実験は光源に蛍光灯(FLR40W)を用いた栽培設備①と、赤・青LED点光源(赤10個、青1個)<sup>文2)</sup>を用いた栽培設備②で交互に行う。実験期間中には明期と暗期<sup>※2</sup>を設ける。表1に栽培実験で使用するエアコン<sup>※3</sup>の仕様を示す。空調は測定する栽培棚温度により適宜冷房と暖房を切り替えて運転し、コンテナ室内外温度差<sup>※4</sup>とエアコンの電力消費量の関係を明らかにする。

3 熱負荷計算の概要

表2に解析条件を示す。解析対象は図2に示す完全人工光型コンテナ式植物工場とする。気象条件は日本建築学会拡張アメダス気象データ(標準年)から代表12地点を使用する。尚、コンテナ式植物工場は室内に設置することを前提とし日射は無視する。熱負荷計算<sup>※5</sup>により植物

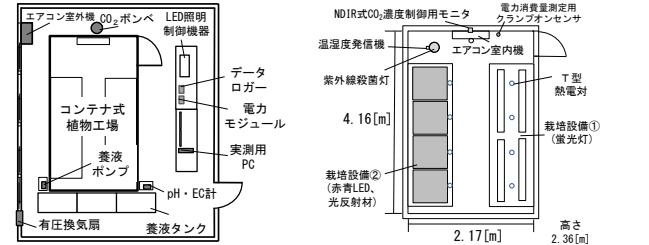


図1 実験室の平面 図2 コンテナ式植物工場の平面

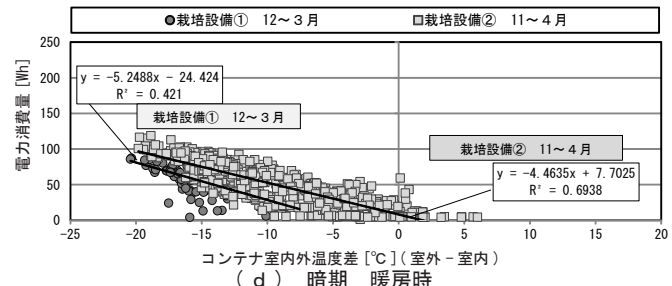
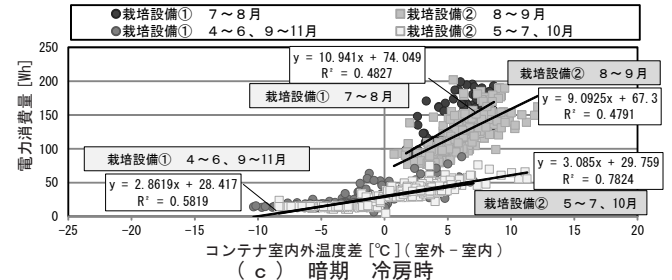
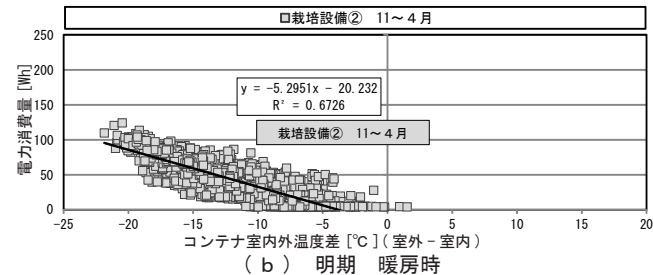
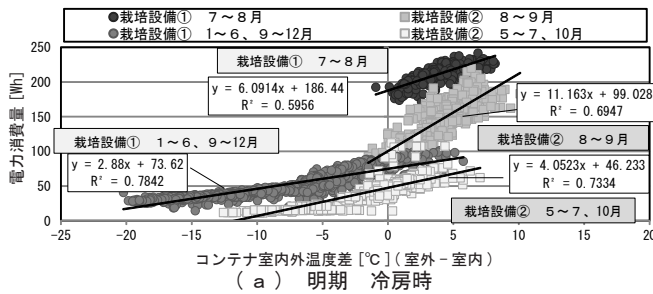


図3 実験期間中の1時間当たりの平均コンテナ室内外温度差とエアコンの電力消費量の関係

工場の暖冷房負荷発生頻度の解析を行い、暖房及び冷房負荷の発生する時刻及び室内外温度差を算出する。

#### 4 栽培実験結果

表3に各栽培設備における年間のエアコン稼働条件を示す。図3に実験期間中の1時間当たりの平均コンテナ室内外温度差とエアコンの電力消費量の関係を示す。全栽培期間の栽培棚の温度は平均21.9[°C]である。エアコンの電力消費量は室内外温度差にほぼ比例して大きくなる。明期冷房時において栽培設備①と栽培設備②を比較すると、栽培設備①に対して栽培設備②のエアコンの電力消費量は、夏季は約67[%]、それ以外の季節では約74[%]となる。暗期では栽培設備①と栽培設備②に殆ど差は見られない。尚、明期・暗期の冷房時では同じ室内外温度差でも夏季とその他の季節によってエアコンの電力消費量の分布が異なっている。これは、両実験期間でエアコンのON-OFF運転の間隔が異なるためと考えられる。

#### 5 植物工場稼働時における電力消費量の数値計算結果

熱負荷計算で得られた暖冷房負荷発生頻度により、暖冷房負荷発生時の各代表地点の外気温と室温からコンテナ室内外温度差を算出し、実験で得られた回帰式(図3)から、エアコンの年積算電力消費量<sup>※6</sup>を算出する。図4に栽培設備①、②における各代表地点のエアコンの年積算電力消費量を示す。冷房時エアコンの電力消費量はどの地点も栽培設備①に比較して栽培設備②の方が少なく約1/3となる。暖房時エアコンの電力消費量はどの地点も栽培設備①に比較して栽培設備②の方が多く、札幌と那覇を除く平均では約7倍となる。札幌以外では、栽培設備①に比較して栽培設備②のエ

表1 栽培実験で使用するエアコン<sup>※3</sup>の仕様

能力	室内ユニット (CS) / 室外ユニット (CU)	
	CS-X403C2 (W) (C)	CU-X403C2
冷房標準能力	4.0 (最小0.5~最大5.4)	
暖房標準能力	5.0 (最小0.4~最大11.6)	
消費電力	冷房標準時	1010 (最小120~最大1720)
	暖房標準時	1025 (最小110~最大3960)

表2 解析条件

外壁の仕様	外壁の材質	厚さ[mm]	熱伝導率[W/(m <sup>2</sup> ·K)]	熱抵抗[m <sup>2</sup> ·K/W]
	壁体の仕様	ラージ合板	9	0.16
スタイロフォームEX		12	0.075	
室内発熱量[W]	蛍光灯			1088
	赤・青LED			318
空調条件	暖房設定温度[°C]			20
	冷房設定温度[°C]			23

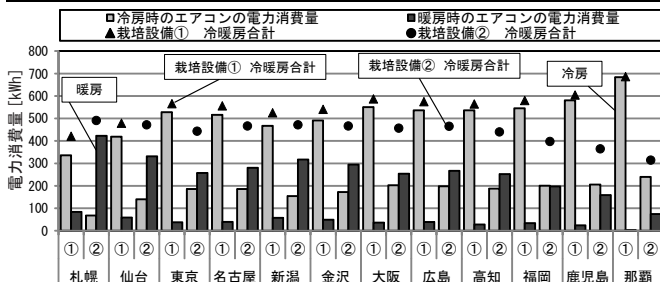


図4 栽培設備①、②における各代表地点のエアコンの年積算電力消費量

アコンの年積算電力消費量が少なく、11地点の平均は約78[%]となる。これは栽培設備①ではエアコンの総電力消費量に対する冷房時の電力消費量の割合が9割以上であり、暖房時の電力消費量の増加に比較して冷房時の電力消費量の減少の方が総電力消費量へ与える影響が相対的に大きいためである。札幌では冬の暖房負荷が大きいため、照明発熱が少なく暖房運転をする期間の長い栽培設備②の方がエアコンの年積算電力消費量が多い。

図5に栽培設備①、②における各代表地点の照明・エアコン・循環用ファンを含めた年積算総電力消費量を示す。どの地点でも栽培設備①に比較して栽培設備②の年積算総電力消費量が少なく、約36[%]となる。年積算総電力消費量におけるエアコンの電力消費量の割合は、栽培設備①で約8[%]、栽培設備②で約18[%]と少なく、栽培設備②による植物工場全体の年積算総電力消費量の削減効果は、照明用電力消費量の減少による影響が大半を占める。

#### 6 まとめ

- ①エアコンの電力消費量はコンテナ室内外温度差に比例して多くなる。
- ②エアコンの年積算電力消費量は、冬の暖房負荷が大きい札幌を除いた11地点で栽培設備②の方が少なくなる。
- ③どの地点でも照明・エアコン・循環用ファンを合計した年積算総電力消費量は栽培設備①に比較して栽培設備②が少なく、約36[%]となる。

※1 給気風量は3,500[m<sup>3</sup>/h]、換気回数は23[回/h]である。栽培実験期間中の外気と実験室の温度差は1.5[°C]以下である。  
 ※2 明期を17時~翌9時(16時間)とし、その他の時間を暗期とする。  
 ※3 P社製家庭用ルームエアコン(品番:CS-403CXR2)  
 ※4 模擬外気温度-コンテナ内温度  
 ※5 解析にはTRNSYS(Transient System Simulation Tool)ver16.0を使用する。エアコンの電力消費量は外部条件の影響を受け変動する値であるが、その他(照明、循環用ファン等)の電力消費量は定格である。よって、エアコンの電力消費量のみをシミュレーションにより算出する。  
 ※6 対象とするコンテナ式植物工場を1年間稼働させ続けた場合の積算値である。  
 文1) 赤林・坂口他「完全人工光型植物工場を対象とした省エネ型植物栽培設備の開発研究その6」日本建築学会大会学術講演梗概集、2016年  
 文2) 赤林・坂口他「完全人工光型植物工場を対象とした省エネ型植物栽培設備の開発研究その5」日本建築学会大会学術講演梗概集、2016年

表3 各栽培設備における年間のエアコン稼働条件

栽培設備	稼働期間	期間		合計期間
		明期	暗期	
栽培設備①	暖房期間	なし	12~3月	なし
	冷房期間	通年	4~11月	12か月間
栽培設備②	暖房期間	明期	11~4月	6か月間
	冷房期間	暗期	5~10月	6か月間

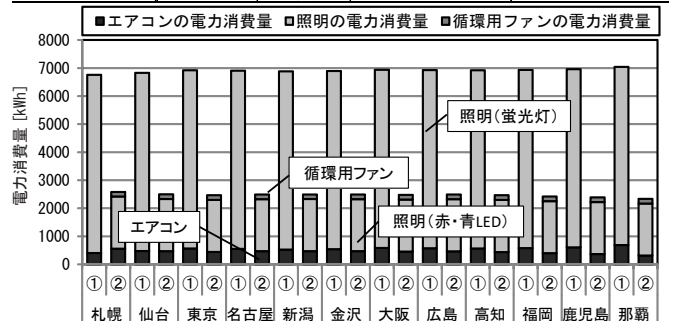


図5 栽培設備①、②における各代表地点の照明・エアコン・循環用ファンを含めた年積算総電力消費量