完全人工光型植物工場の省エネルギー化に関する研究

各種照明器具によるライフサイクルコストの検討

浅利　夏菜子　　指導教員　赤林　伸一　教授

1　研究目的

1.1　研究目的：近年、完全密閉下で光・温熱空気環境を制御し、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ている。しかし完全人工光型植物工場では露地栽培では不要な照明・空調用エネルギー費用が必要であり、植物工場に特化したライフサイクルコスト削減技術の開発が課題となっている。

既往の研究[文1)]では、新たに開発した省エネ型栽培設備によるランニングコスト削減効果を明らかにした。植物工場で生産される野菜の原価の内訳は人件費が約３割、電気代等のランニングコストが約３割、減価償却費が約４割とされている。完全人工光型植物工場で主に用いる LED 光源には高額の初期投資が必要であり、ライフサイクルを含めた照明用コスト削減が課題である。

本研究では、照明用コスト削減を目的とし、様々な照明器具によるリーフレタス栽培実験を行う。

2　栽培実験概要

図１に省エネ型栽培 BOX の外観を、図２に BOX の内部を示す。本実験ではコンテナ式[※1]植物工場を対象とし、栽培 BOX[※2]でリーフレタスの栽培を行う。コンテナは内法幅 2.0[m] ×長さ 4.0[m] ×高さ 2.2[m] とし、熱損失係数は 1.9[W/m^2･K] である。栽培棚[※3]は３段とし、明期と暗期[※4]を設ける。温熱空気環境[※5]の制御には家庭用エアコン[※6]、CO_2 ボンベを用いる。各栽培 BOX の温度は 20 ～ 25[℃] に、明期の CO_2 濃度は約 2,000[ppm] に制御する。

表１に対象とした各照明器具の概要を、図３に各照明の配置を示す。本研究では、case1 ～ case15 の計 15 条件での実験を行う。なお、case1、case11 ～ 15 における赤・青 LED 点光源の点灯個数は赤 10 個・青１個とする。光環境の測定には分光放射照度計[※7]を用い、鉛直上面方向及び５方向[※8]合計の光量子束密度を測定する。光強度は光合成有効光量子束密度を指標とする。各条件で 28 日間のリーフレタス栽培実験を行う。本研究では、市販の LED 電球と特注の LED 点光源との比較を行い、照明用ライフサイクルコストの削減を図る。また、LED 点光源の配置を検討し、列配置することによる照明装置作成の簡易化を図る。

図１　省エネ型栽培 BOX の外観

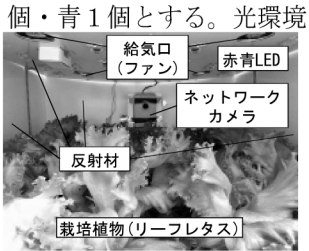


図２　BOX の内部

3　リーフレタス栽培実験結果

図４にリーフレタス収穫重量を、図５に単位照明用電力消費量及び照明用ライフサイクルコスト[※9]当たりの収穫重量と収穫重量の変動係数を示す。なお、照明用ライフサイクルコストは同じ照明器具を用いて 100 回[※10]栽培すると仮定した場合のコストで評価を行う。

3.1　市販の LED 電球の比較 (case2 ～ case5)：case4（LED 電球Ｂ）のリーフレタス平均重量は 72.3[g]、単位照明用電力消費量当たりの収穫重量は 150.6[g/kWh] と最も大きく、収穫重量の変動係数は 20.7[％] と小さい値となる。今回対象とした市販の LED 電球の中では case4 が最も効率良くリーフレタスを栽培することが出来ると考えられる。

3.2　特注の LED 点光源の配置の比較 (case6 ～ case15)：収穫重量の平均は赤・青 LED 点光源 (case11 ～ case15)

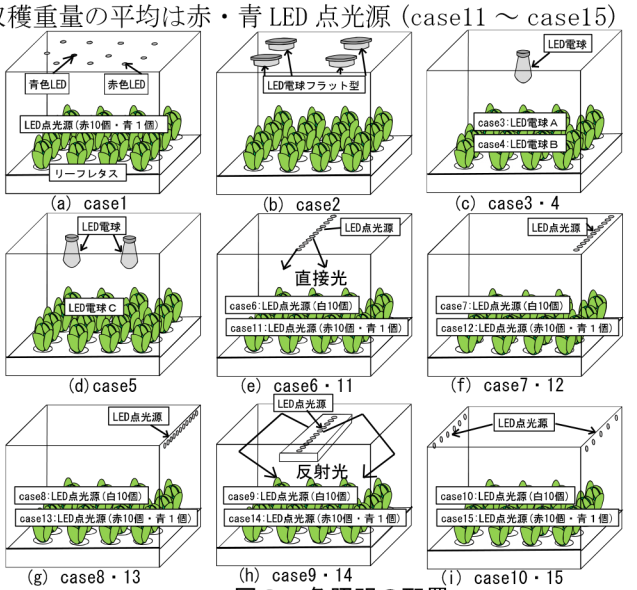


図３　各照明の配置

表１　対象とした各照明器具の概要

実験case		case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	case10	case11	case12	case13	case14	case15
光源	種類	特注の赤・青LED点光源	市販のLEDユニットフラット型（Ｔ社製LEDユニットフラット型 品番：LDF6L）	市販のLED電球Ａ（Ｐ社製LED電球 品番:LDR6DW）	市販のLED電球Ｂ（Ｈ社製LED電球 品番:LDA15DG）	市販のLED電球Ｃ（Ｐ社製LED電球 品番:LDA4DG）	特注の白色LED点光源					特注の赤・青LED点光源				
	配置	天井に点在	天井に４個	天井中央に１個	天井中央に１個	天井に２個	天井中央に１列	天井端に１列	壁上端に１列	天井中央に１列吊り下げる	左右壁上端に半数ずつ	天井中央に１列	天井端に１列	壁上端に１列	天井中央に１列吊り下げる	左右壁上端に半数ずつ
１区画当たりの定格電力消費量[W]		28.5	6.9×4=27.6	6.4	15	4.65×2=9.3	24.3					20.0				
光合成有効光量子束密度［μmol/(㎡・s)］	鉛直上面方向	212.4	228.5	154.6	203.1	124.4	530.4	175.0	210.3	118.8	197.7	602.4	240.8	291.5	174.4	293.7
	５方向合計	889.2	960.2	288.2	336.7	526.2	1367.7	851.9	868.6	537.5	819.7	1596.2	1173.0	1227.3	794.2	1209.8
赤・青色光の比率(R/B比)		10:1	2.7:1	0.2:1	0.3:1	0.4:1	0.6:1	0.7:1	0.7:1	0.8:1	0.8:1	10:1	10:1	9:1	9:1	8:1
照明器具初期費用(円)		27,000	9,300	2,700	2,200	2,000	25,000					27,000				

が 84.8[g/株]となり、白色 LED 点光源(case6～case10)の 60.6[g/株]と比較して約 1.4 倍となる。また単位照明用電力消費量当たりの収穫重量の平均は赤・青 LED 点光源が 132.7[g/kWh]となり、白色 LED 点光源の 78.1[g/kWh]と比較して約 1.7 倍となる。照明の配置を、赤・青 LED 点光源を用いた case11～case15 で比較する。case13(壁上端に 1 列)の単位照明用電力消費量当たりの収穫重量は 152.8[g/kWh]と case11～case15 の中では最も大きいが、収穫重量の変動係数も 40.4[%]と比較的大きい。次に単位照明用電力消費量当たりの収穫重量の大きい case15(左右壁上端に半数ずつ)は 137.0[g/kWh]であり、収穫重量の変動係数は 17.8[%]と比較的小さい値となる。LED 点光源を用いた場合、case15 が最も効率良くリーフレタスを栽培可能であると考えられる。次に case15 と case1(赤・青 LED 点光源、天井に点在)を比較する。case1 の単位照明用電力消費量当たりの収穫重量が 94.0[g/kWh]であるのに対し、case15 が 137.0[g/kWh]と大きい。収穫重量の変動係数は case1 が 32.7[%]であるのに対し case15 は 17.8[%]と小さい。case1 と比較しても case15 が効率良く栽培可能であり、更に照明設置の簡易化により LED 点光源の装置作成に係る費用の削減が可能であると考えられる。

3.3　全 case の比較：表 1 より照明器具の初期費用は、特注の LED 点光源と比較して、市販の LED 電球は約 7 分の 1 である。図 5 より、case4(LED 電球Ｂ)の単位照明用電力消費量当たりの収穫重量が 150.6[g/kWh]と大きく、更に照明用ライフサイクルコスト当たりの収穫重量は 6.49[g/円]と case1(2.28[g/円])と比較して 2.8 倍となり、全 case の中でも最も大きい。case4(LED 電球Ｂ)が最もライフサイクルコストが少なく栽培可能であると考えられる。

4　まとめ

①市販の LED 電球を用いる場合、case4(LED 電球Ｂ)が最も効率良くリーフレタスを栽培可能である。

② LED 点光源を用いる場合、収穫重量の平均は赤・青 LED が白色 LED の 1.4 倍、単位照明用電力消費量当たりの収穫重量の平均は赤・青 LED が白色 LED の 1.7 倍となる。赤・青 LED 点光源の配置で比較すると case15(左右壁上端に半数ずつ)が最も効率良くリーフレタスを栽培可能であり、更に case1(天井に点在)と case15 を比較し、照明装置作成の簡易化により費用の削減が可能であると考えられる。

③ case4(LED 電球Ｂ)は LED 点光源を用いて栽培した場合と比較して同等の単位照明用電力消費量当たりの収穫重量が得られ、また照明用ライフサイクルコスト当たりの収穫重量は全 case の中で最も大きい。

注釈

※1　コンテナは海上輸送用を想定し、内部には栽培棚と温熱空気環境制御用の実測機器を設置する。
※2　栽培 BOX の寸法は内寸幅 580[mm]×奥行 580[mm]×高さ 580[mm]とする。4 株×4=16 株を 1 区画(1BOX)とする。
※3　栽培棚の上・中・下段に 4 セットずつ計 12 セットの栽培 BOX を設置する。
※4　明期：植物に光を照射する時間(照明点灯時)とする。午後 5 時～午前 9 時(16 時間)とし、その他の時間を暗期とする。
※5　温度は栽培 BOX の排気口の中心付近で測定する。CO_2 濃度はエアコン吸込口付近において測定する。
※6　P 社製家庭用ルームエアコン(品番：CS-403CXR2)。
※7　K 社製分光放射照度計(品番：CL500A)。測定範囲は 10°とし、測定点は栽培パネルの中心付近とする。
※8　栽培面を除く壁及び天井の 5 面(内壁面の給気口と排気口を除く全てを H 社及び D 社製超高効率拡散反射材(全反射率 99[%])で覆う)。
※9　ランニングコストは、業務用電気料金単価を 18[円/kWh]と仮定して算出した。
※10　一般的な LED 照明の使用可能時間を 50,000 時間と仮定し、本実験 1 回の明期 448 時間で除すことで、栽培可能回数を算出すると 111 回となるため、ライフサイクルコストを算出する目安として栽培回数を 100 回とした。

参考文献

文 1)赤林、坂口ら「完全人工光型植物工場を対象とした省エネ型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

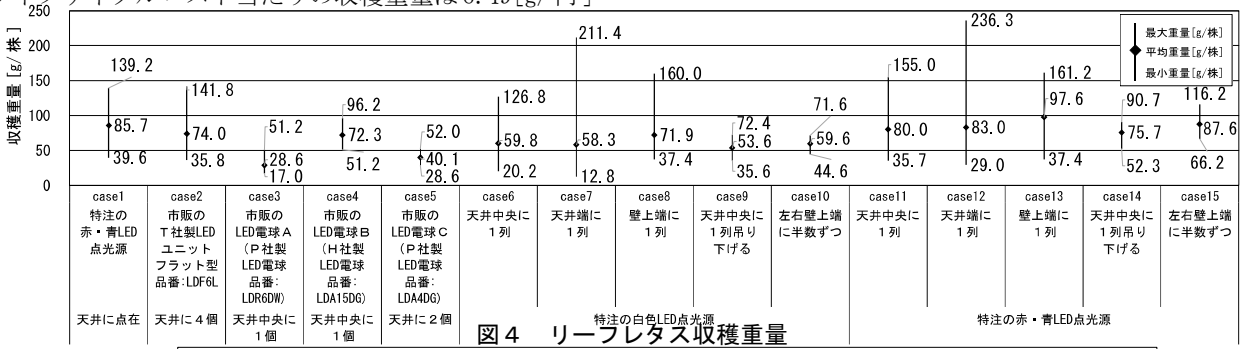
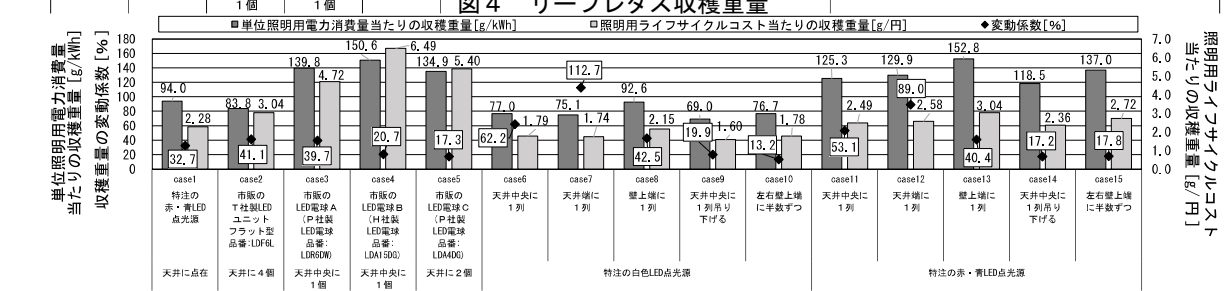


図4　リーフレタス収穫重量



	case1 特注の赤・青LED点光源 天井に点在	case2 市販のT社製LEDユニットフラット型 品番:LDF6L 天井に4個	case3 市販のLED電球A(P社製LED電球 品番:LDR6DW) 天井中央に1個	case4 市販のLED電球B(H社製LED電球 品番:LDA15DG) 天井中央に1個	case5 市販のLED電球C(P社製LED電球 品番:LDA4DG) 天井に2個	特注の白色LED点光源					特注の赤・青LED点光源				
						case6 天井中央に1列	case7 天井端に1列	case8 壁上端に1列	case9 天井中央に1列吊り下げる	case10 左右壁上端に半数ずつ	case11 天井中央に1列	case12 天井端に1列	case13 壁上端に1列	case14 天井中央に1列吊り下げる	case15 左右壁上端に半数ずつ
照明器具初期費用	27,000	9,300	2,700	2,200	2,000	25,000					27,000				
100回栽培した時の照明用総電気代[円]	25,600	24,800	5,800	13,400	8,400	21,800					18,000				
100回栽培した時の照明用総コスト[円]	52,600	34,100	8,500	15,600	10,400	46,800					45,000				
100回栽培した時の総収穫重量[g]	119,928	103,664	40,120	101,244	56,160	83,772	81,432	100,620	74,880	83,304	112,050	116,100	136,800	106,200	122,400

図5　単位照明用電力消費量及び照明用ライフサイクルコスト当たりの収穫重量と収穫重量の変動係数