

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

指導教員

浅利 夏菜子
赤林 伸一 教授

研究目的



図 S社の完全人工光型植物工場

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。

研究目的

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通年のランニングコスト削減効果を明らかにした。

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

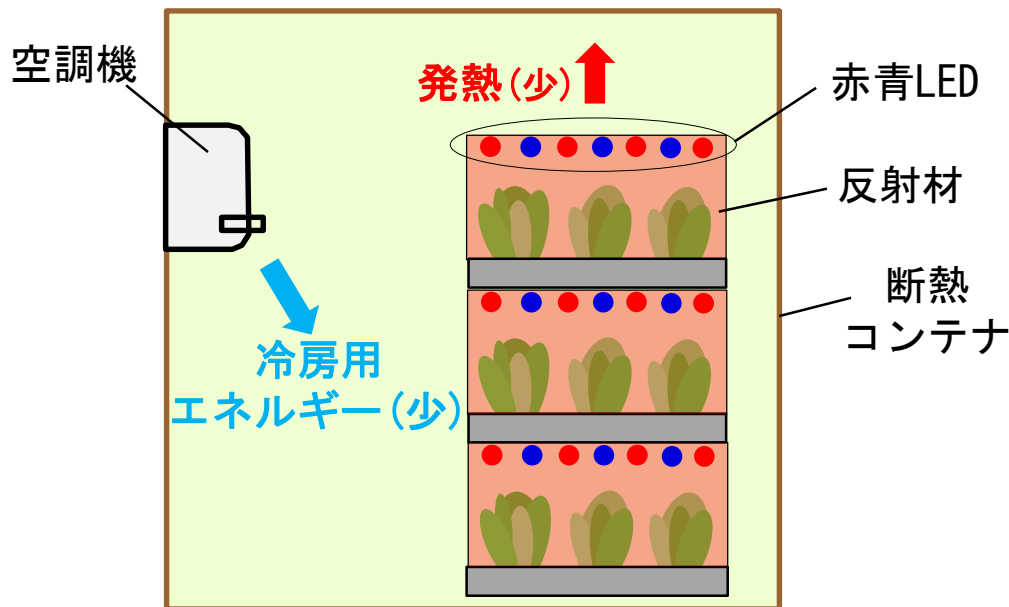


図 省エネ型栽培設備の栽培イメージ



図 省エネ型栽培B0Xの外観

研究目的

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、ランニングコストが約 3 割、設備の減価償却費が約 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。

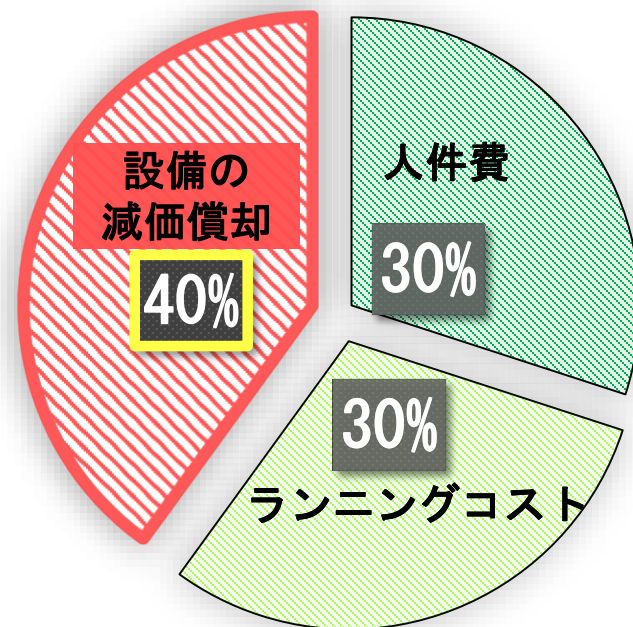


図 植物工場産野菜の原価の内訳



本研究では、設備の中でも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。

栽培実験概要

各栽培設備の概要



図 1 省エネ型栽培BOXの外観

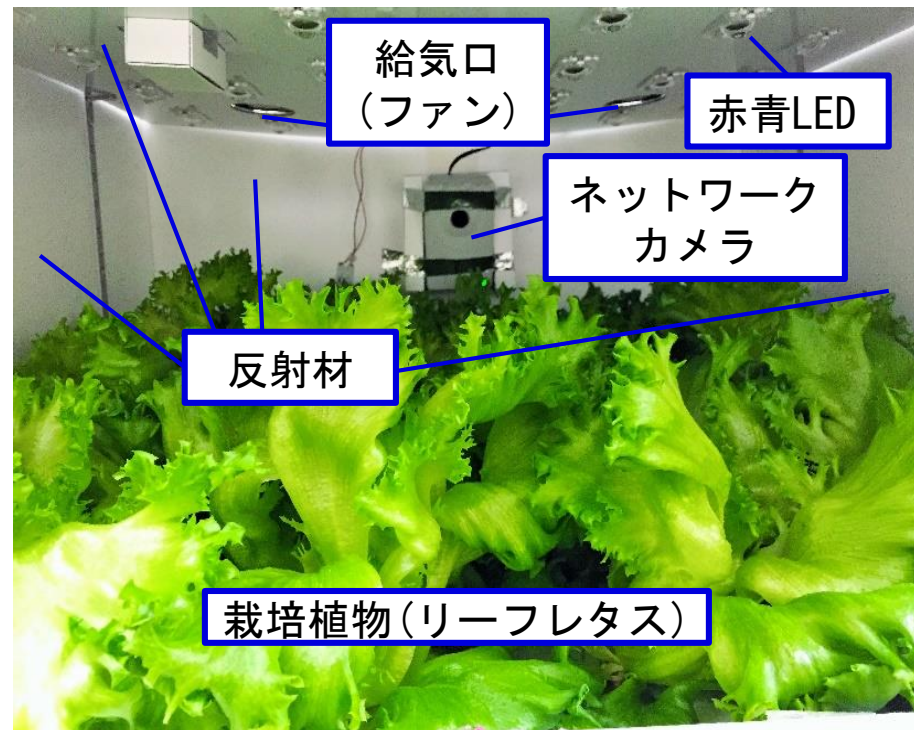


図 2 BOXの内部

栽培実験概要

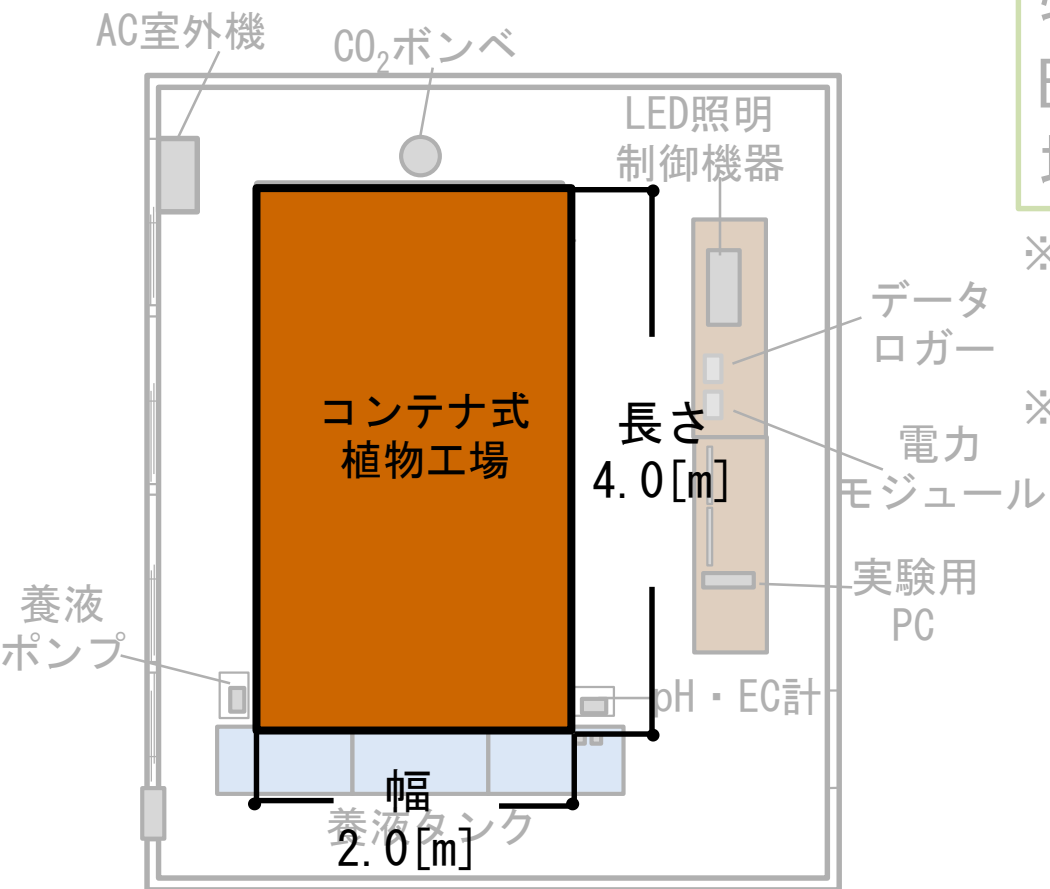


図 実験室の平面

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。

- ※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の実測機器を設置する。
※² 栽培BOXの寸法は内法は幅2.0[m]×長さ4.0[m]×高さ2.2[m]とし、熱損失係数は1.9[W/m²・K]である。



図 コンテナ式植物工場の外観



栽培棚※³は3段とし、明期と暗期※⁴を設ける。

- ※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。

図 栽培棚の外観

栽培実験概要

温熱空気環境※⁵の制御には家庭用エアコン※⁶、CO₂ポンベを用いる。

※5 温度は栽培BOXの排気口の中心付近で測定する。CO₂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)。

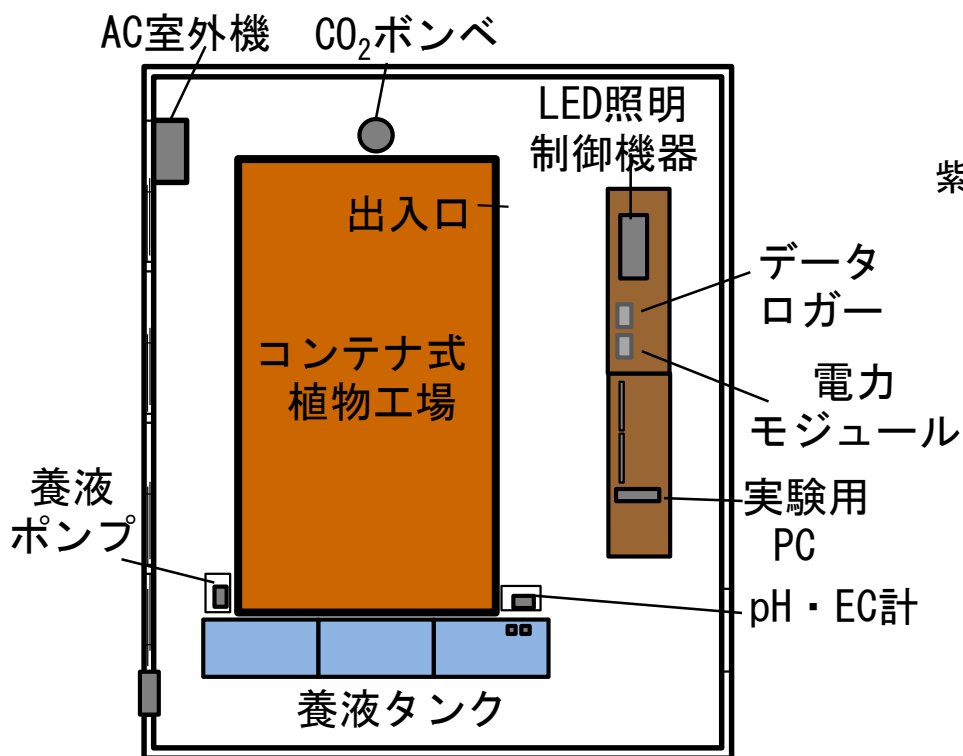


図 実験室の平面

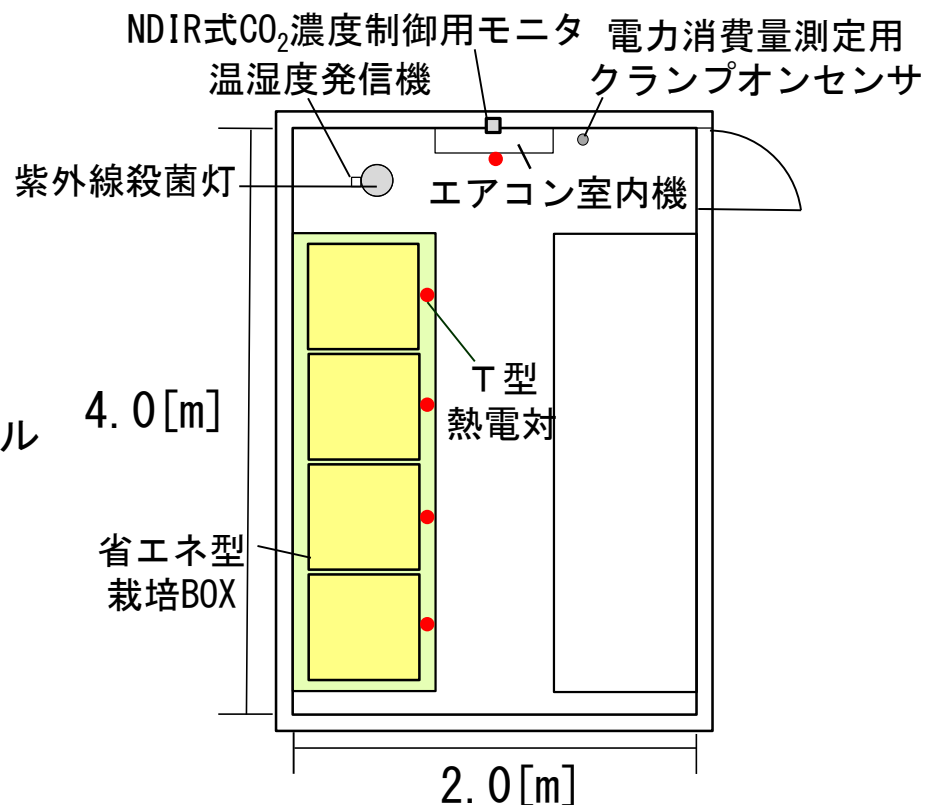


図 コンテナ式植物工場の平面

栽培実験概要

各栽培BOXの温度は20～25[°C]に、明期のCO₂濃度は約2,000[ppm]に制御する。

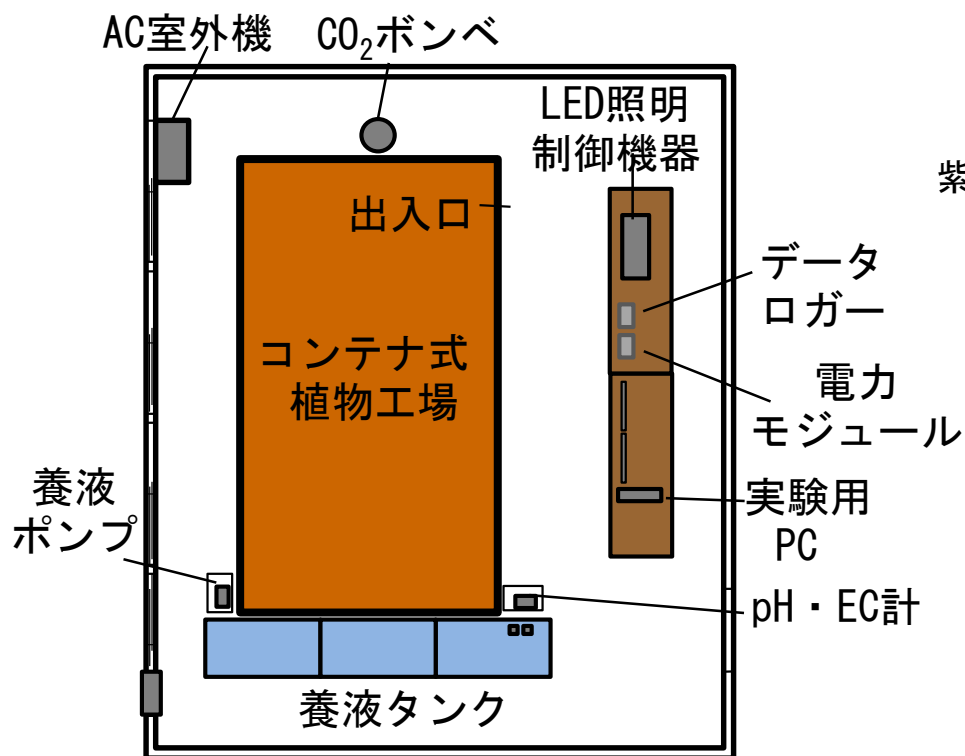


図 実験室の平面

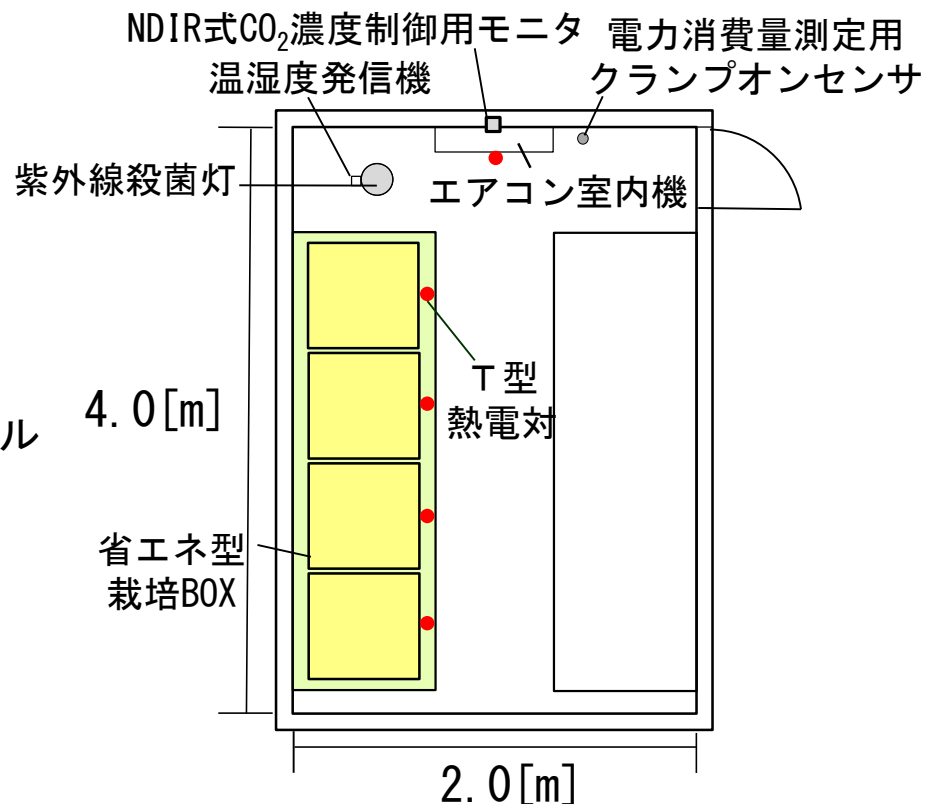


図 コンテナ式植物工場の平面

表 1 対象とした各照明器具の概要

実験case		case1	case2	case3	case4	case5
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)
	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
1 区画当たりの 定格電力消費量[W]		28.5	$6.9 \times 4 = 27.6$	6.4	15	$4.65 \times 2 = 9.3$
光量子束密度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	鉛直上面 方向	212.4	228.5	154.6	203.1	124.4
	5 方向 合計	889.2	960.2	288.2	336.7	526.2
赤・青色光の 比率(R/B比)		10:1	2.7:1	0.2:1	0.3:1	0.4:1
照明器具初期費用(円)		27,000	9,300	2,700	2,200	2,000

表 1 対象とした各照明器具の概要

実験case		case6	case7	case8	case9	case10
光源	種類	特注の 白色LED点光源				
	配置	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]		24.3				
光量子束密度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	鉛直上面 方向	530.4	175.0	210.3	118.8	197.7
	5方向 合計	1367.7	851.9	868.6	537.5	819.7
赤・青色光の 比率(R/B比)		0.6:1	0.7:1	0.7:1	0.8:1	0.8:1
照明器具初期費用(円)		25,000				

表 1 対象とした各照明器具の概要

実験case		case11	case12	case13	case14	case15
光源	種類	特注の 赤・青LED点光源				
	配置	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]		20.0				
光量子束密度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	鉛直上面 方向	602.4	240.8	291.5	174.4	293.7
	5方向 合計	1596.2	1173.0	1227.3	794.2	1209.8
赤・青色光の 比率(R/B比)		10:1	10:1	9:1	9:1	8:1
照明器具初期費用(円)		27,000				

栽培実験概要

本研究では、case1～case15の計15条件での実験を行う。なお、case1・case11～case15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。

表1 対象とした照明器具の概要

実験case	case1	case2	case3	case4	case5
1区画当たりの 定格電力消費量[W]	28.5	$6.9 \times 4 = 27.6$	6.4	15	$4.65 \times 2 = 9.3$
光合成有効 光量子束密度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	889.2	960.2	288.2	336.7	526.2
5方向 合計					
照明器具初期費用(円)	27,000	9,300	2,700	2,200	2,000

case1のLED点光源は**特注品**。
その他は市販の電球。

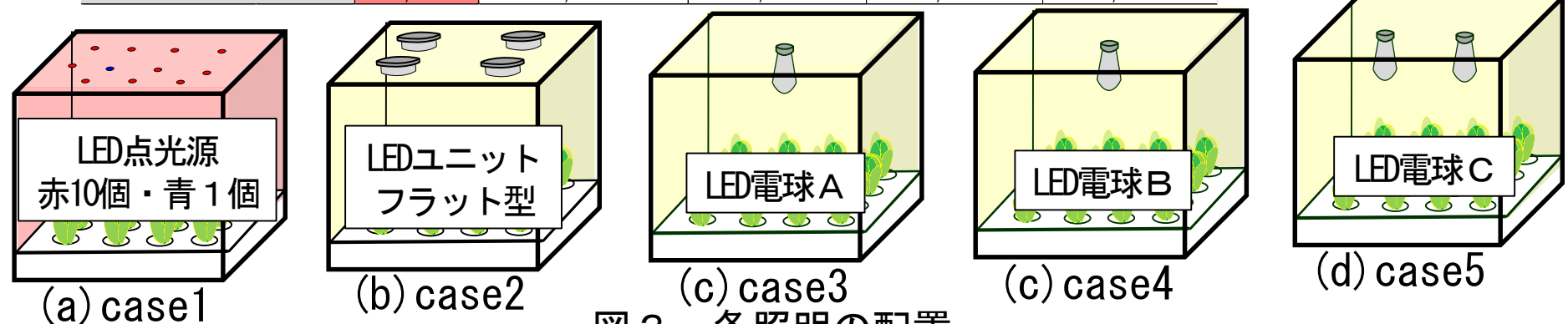


図3 各照明の配置

栽培実験概要

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。

- ※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)。

表1 対象とした照明器具の概要

実験case		case6	case7	case8	case9	case10
1区画当たりの定格電力消費量[W]		24.3				
光合成有効光量子束密度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	5方向合計	1367.7	851.9	868.6	537.5	819.7
照明器具初期費用(円)		25,000				

(case6～case10におけるLED点光源は全て**特注品**)



栽培実験概要

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。

表 1 対象とした照明器具の概要

実験case		case11	case12	case13	case14	case15
1区画当たりの 定格電力消費量[W]		20.0				
光合成有効 光量子束密度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	5方向 合計	1596.2	1173.0	1227.3	794.2	1209.8
照明器具初期費用(円)		27,000				

(case11 ~ case15
におけるLED点光源は全て**特注品**)

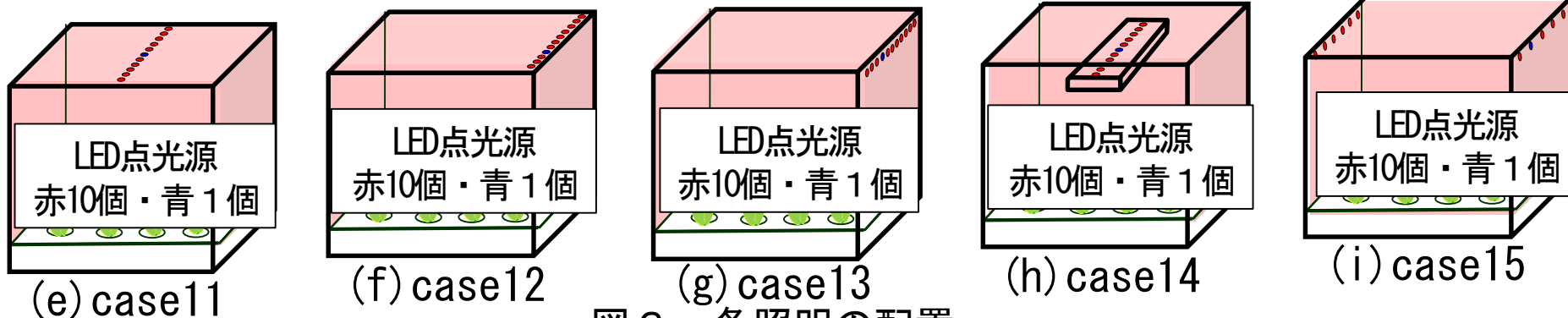


図 3 各照明の配置

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。

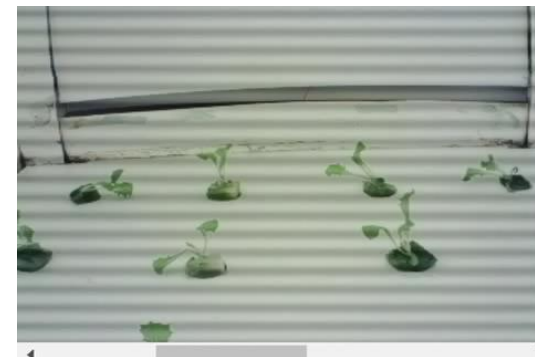
リーフレタス栽培実験結果



case1
特注の赤・青LED点光源
(天井に点在)



case4
市販のLED電球 B
(H社製:LDA15DG)



case8
特注の白色LED点光源
(壁上端に1列)



case10
特注の白色LED点光源
(左右壁上端に半数ずつ)



case13
特注の赤・青LED点光源
(壁上端に1列)



case15
特注の白色LED点光源
(左右壁上端に半数ずつ)

動画 各照明器具による栽培実験の様子

リーフレタス栽培実験結果

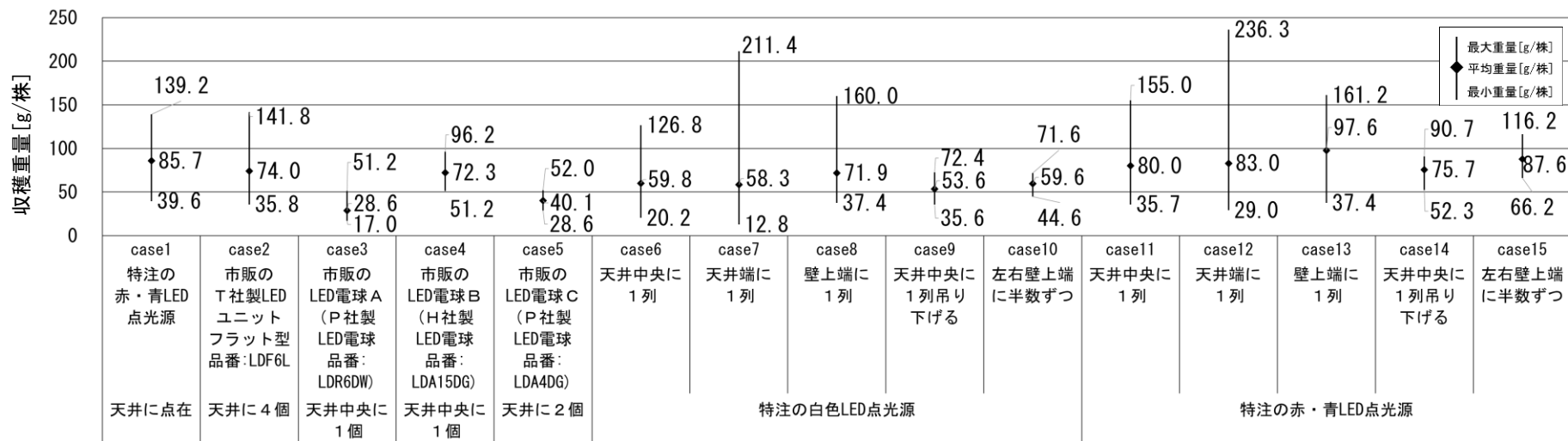


図4 リーフレタス収穫重量

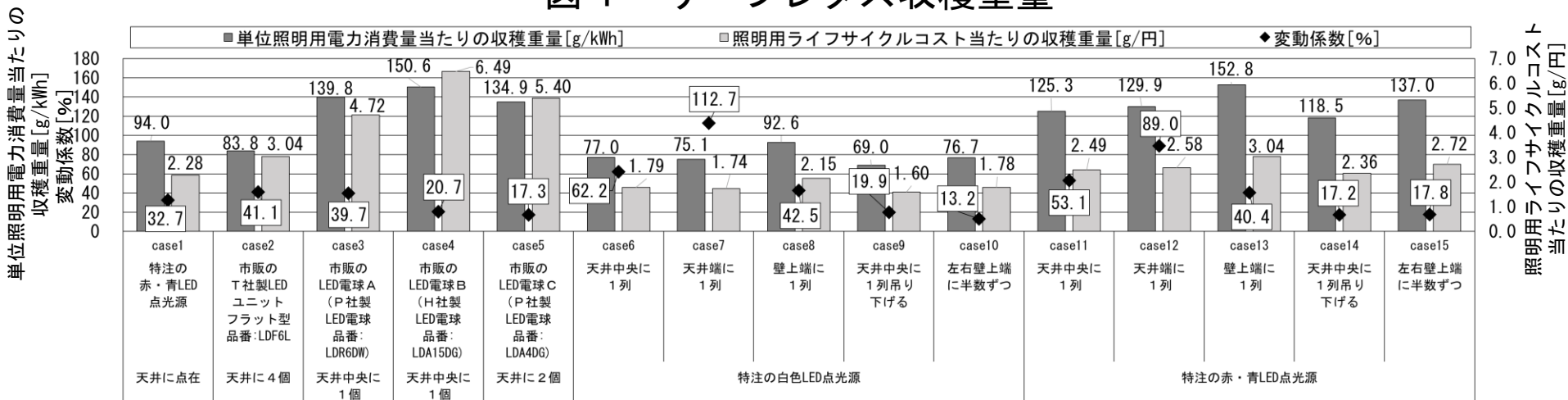


図5 単位照明用電力消費量及び照明用ライフサイクルコスト当たりの収穫重量と収穫重量の変動係数

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。

※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。

リーフレタス栽培実験結果

市販のLED電球の比較 (case2～case5)

リーフレタス栽培実験結果

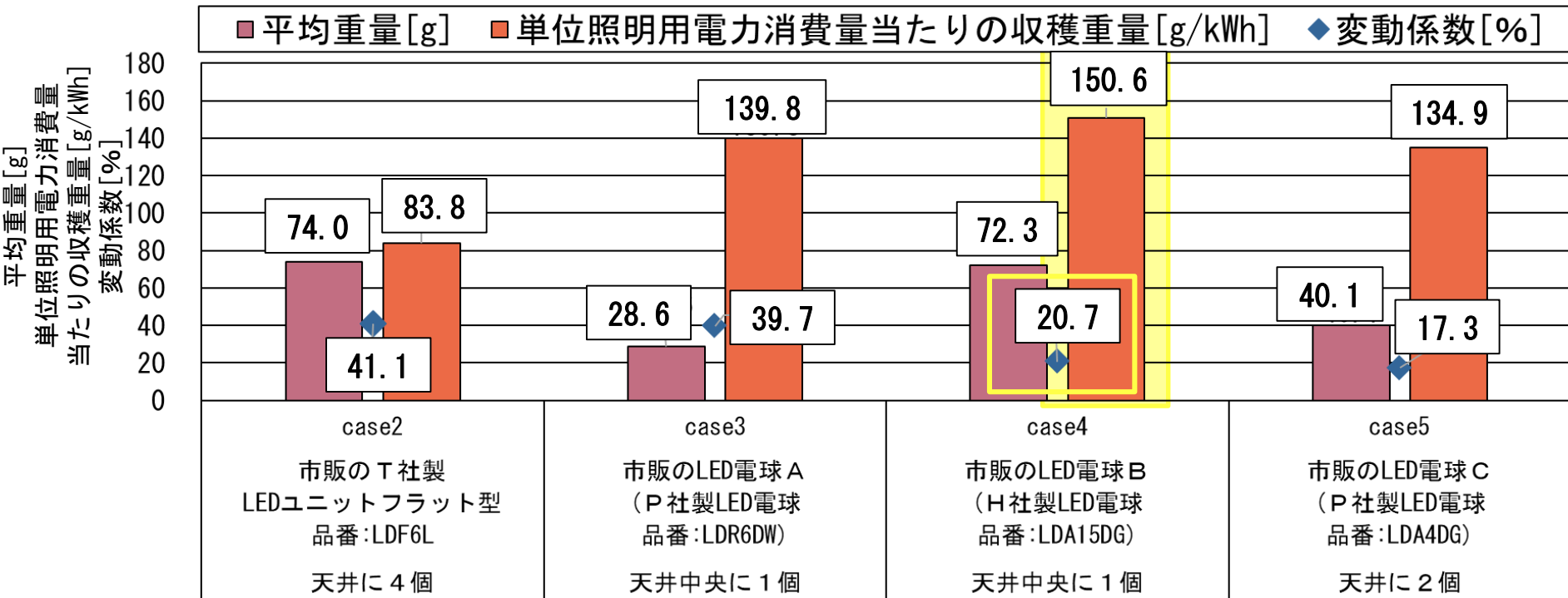


図5 平均重量、単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

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。

リーフレタス栽培実験結果

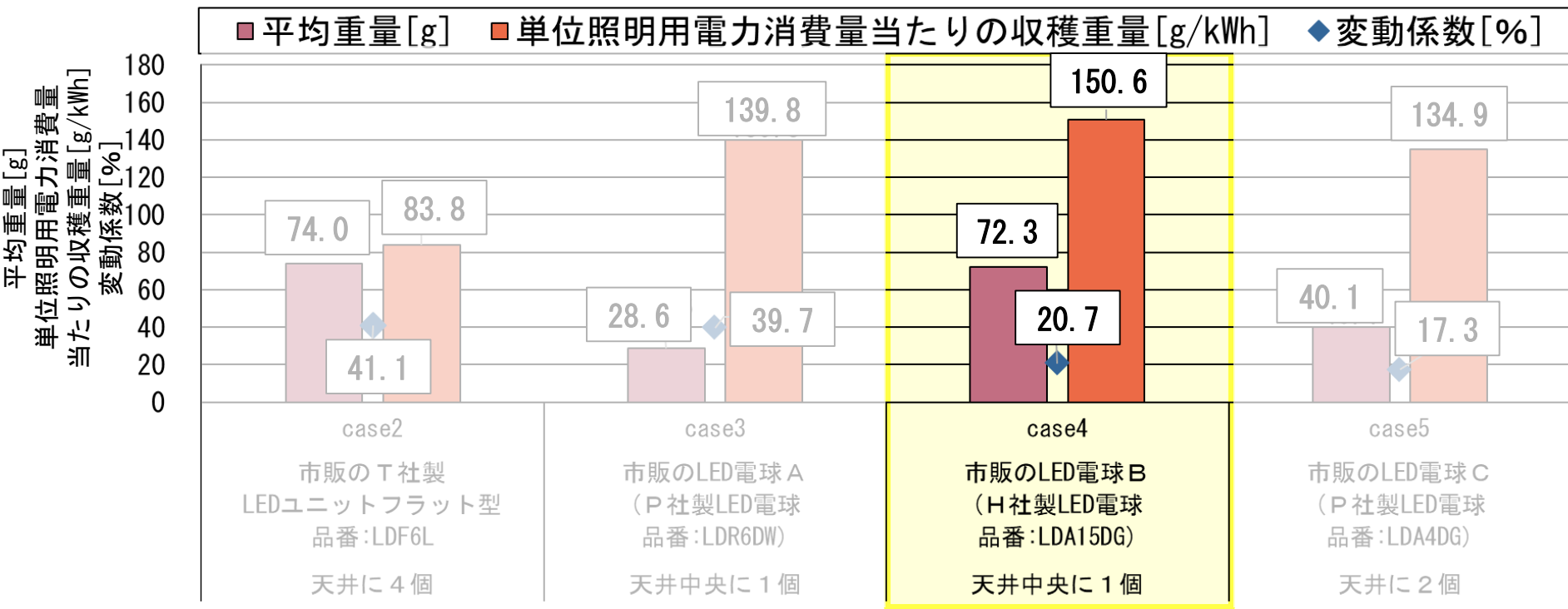


図5 平均重量、単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

今回対象とした市販のLED電球の中では**case4(市販のLED電球B)**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思われる。

リーフレタス栽培実験結果

特注のLED点光源の配置の比較 (case6～case15)

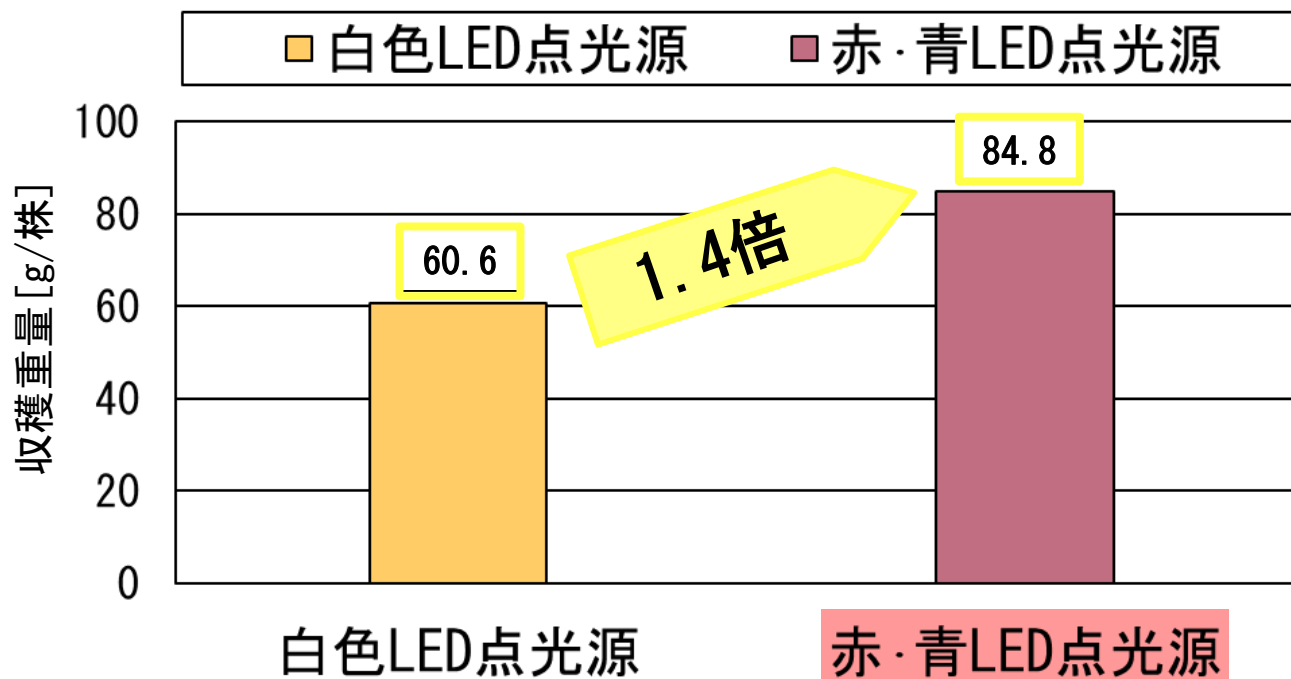


図 収穫重量の平均

収穫重量の平均は赤・青LED点光源 (case11～case15) 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。

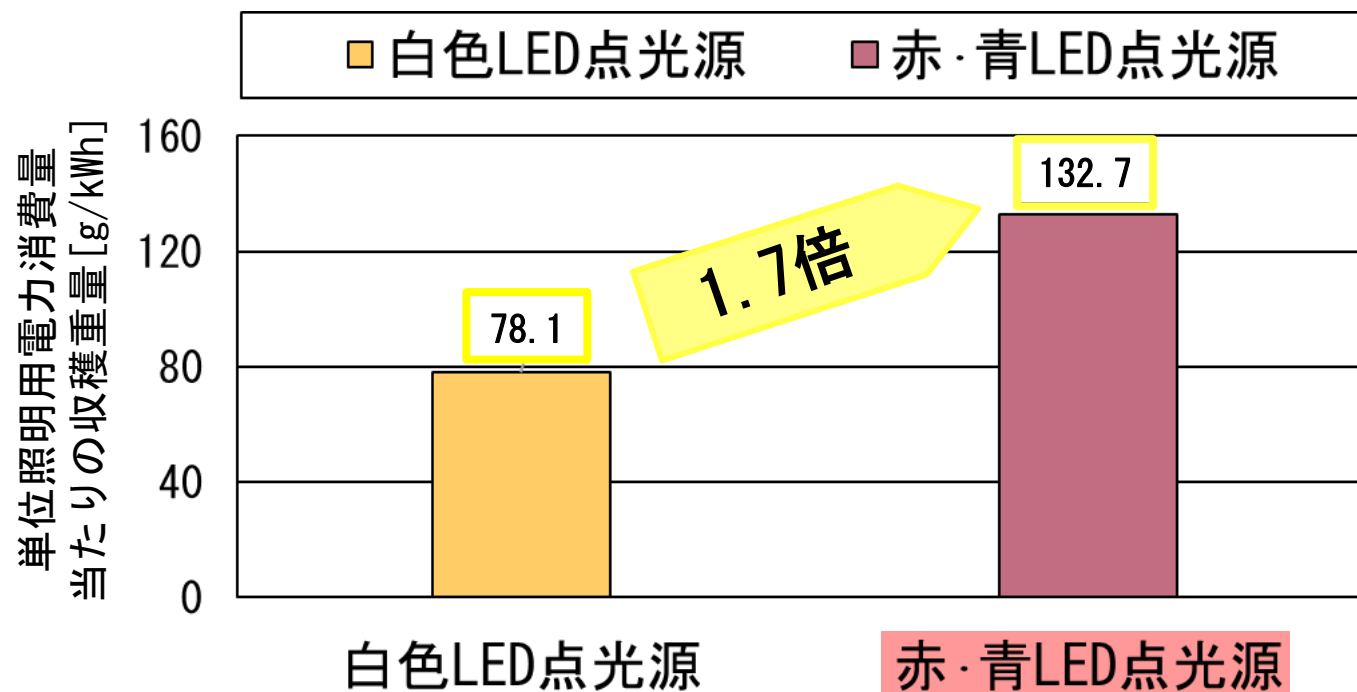


図 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量の平均

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。

単位照明用電力消費量当たりの

収穫重量 [g/kWh]

変動係数 [%]

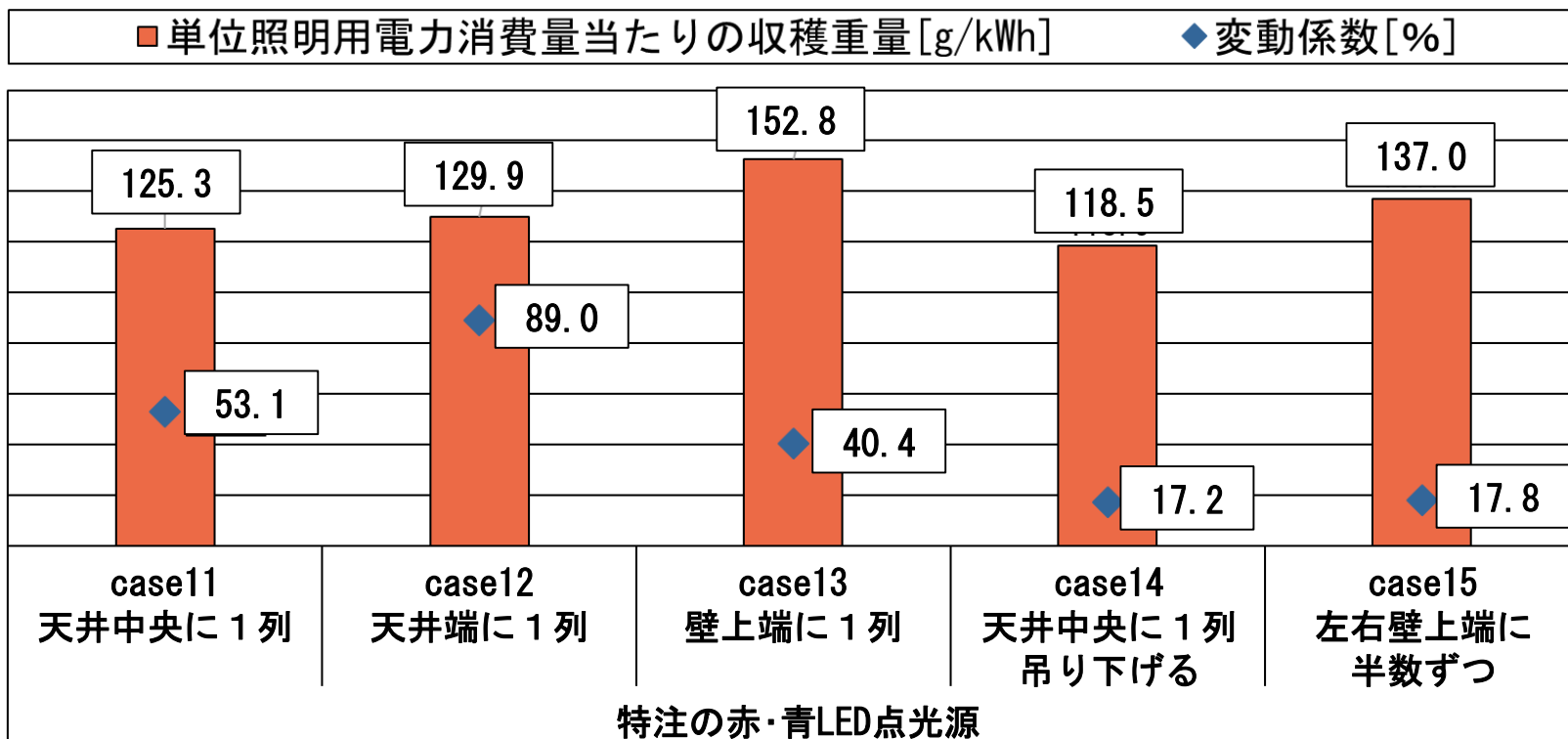


図 5 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

照明の配置を、赤・青LED点光源を用いたcase11～case15で比較する。

栽培実験結果

単位照明用電力消費量当たりの

収穫重量[g/kWh]

変動係数[%]

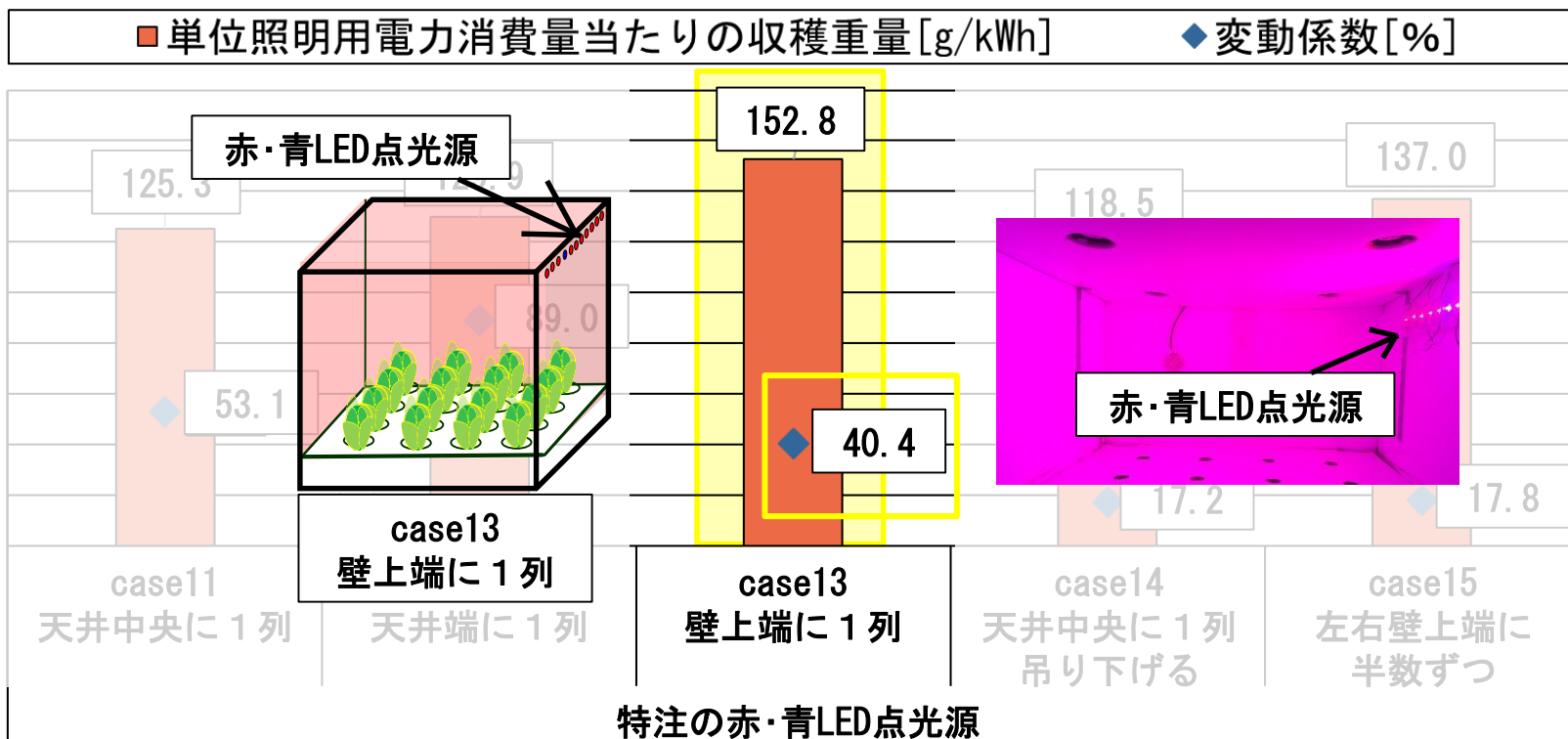


図5 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

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、収穫重量の変動係数も40.4[%]と比較的大きい。

栽培実験結果

単位照明用電力消費量当たりの

収穫重量[g/kWh]

変動係数[%]

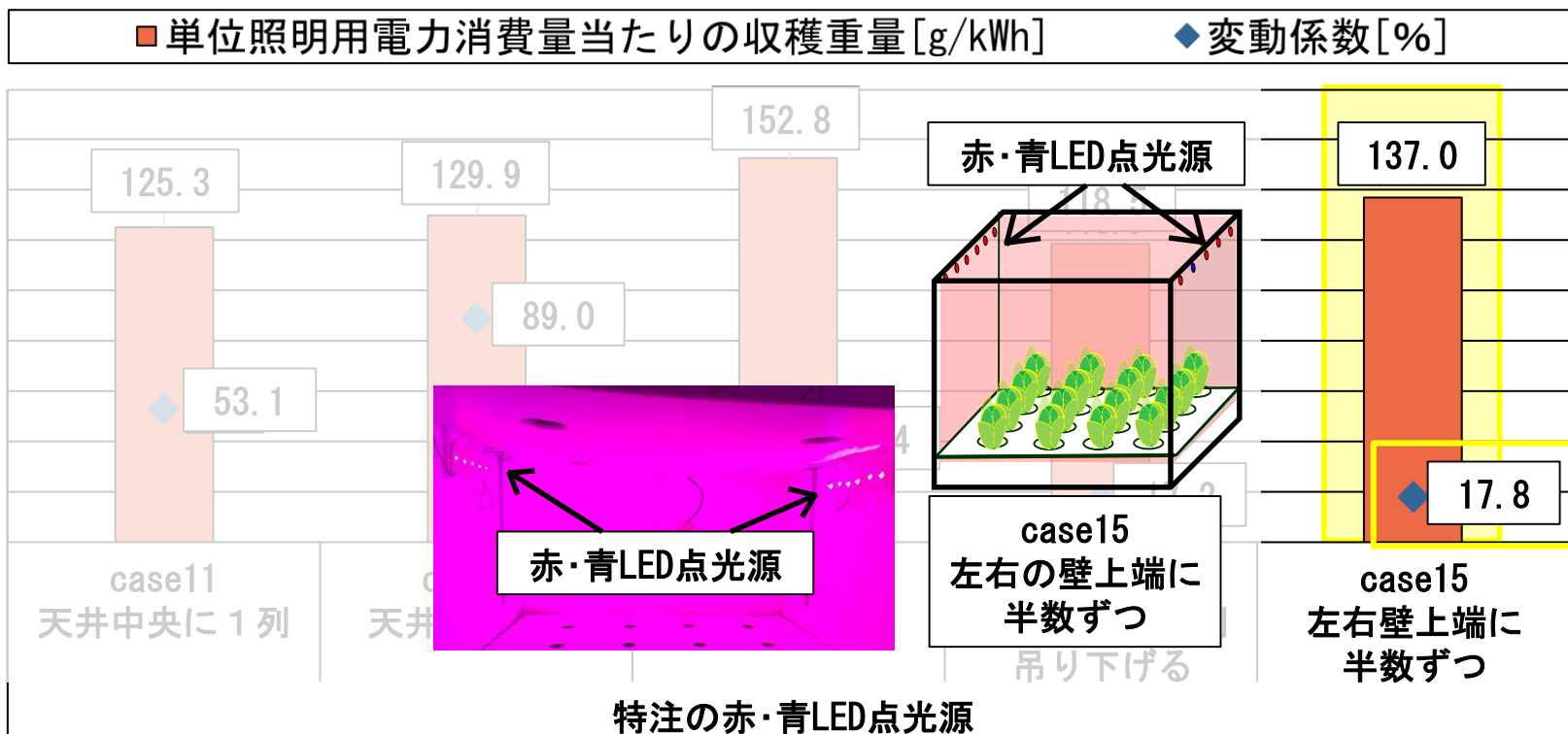


図5 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

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。

栽培実験結果

単位照明用電力消費量当たりの

収穫重量[g/kWh]

変動係数[%]

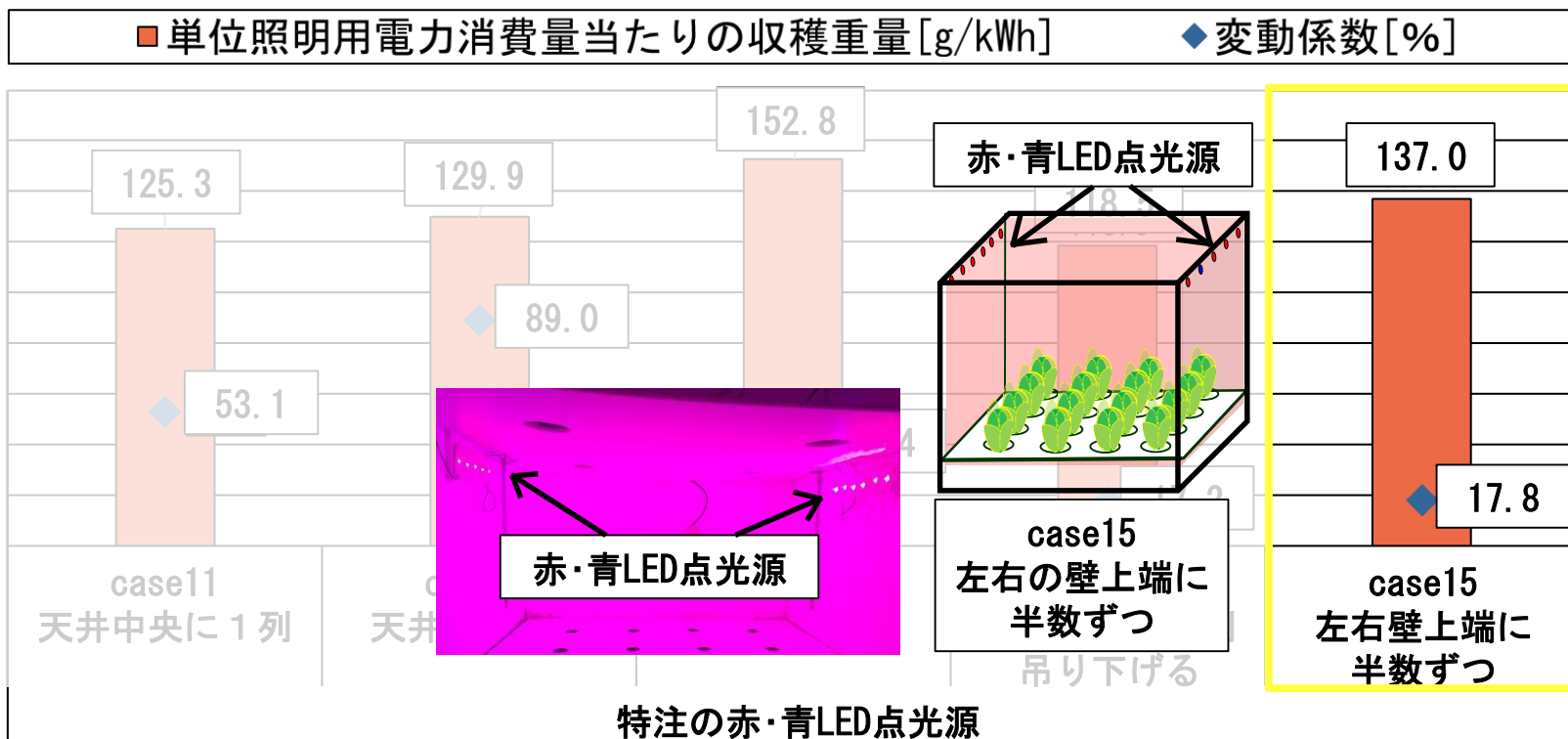


図5 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

LED点光源を用いた場合、**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ると考えられる。

栽培実験結果

単位照明用電力消費量当たりの
収穫重量[g/kWh]
変動係数[%]

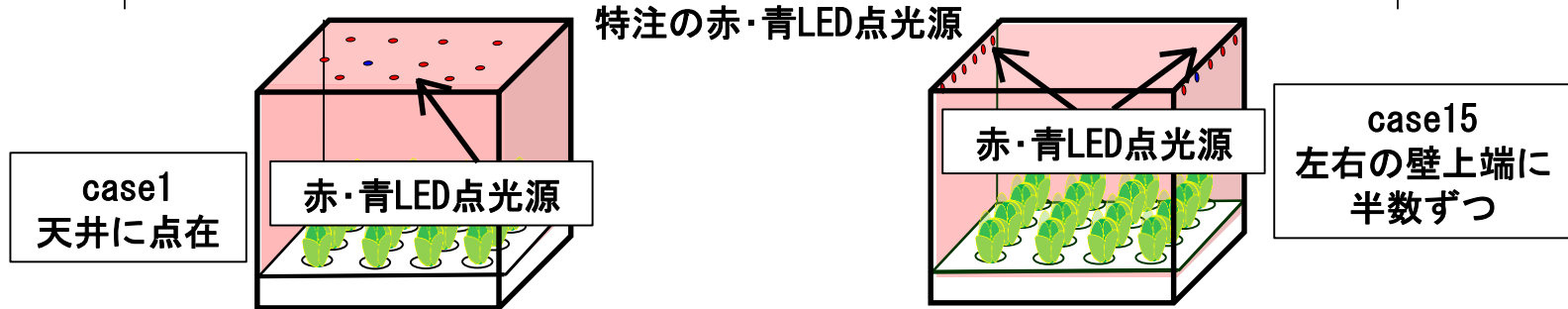
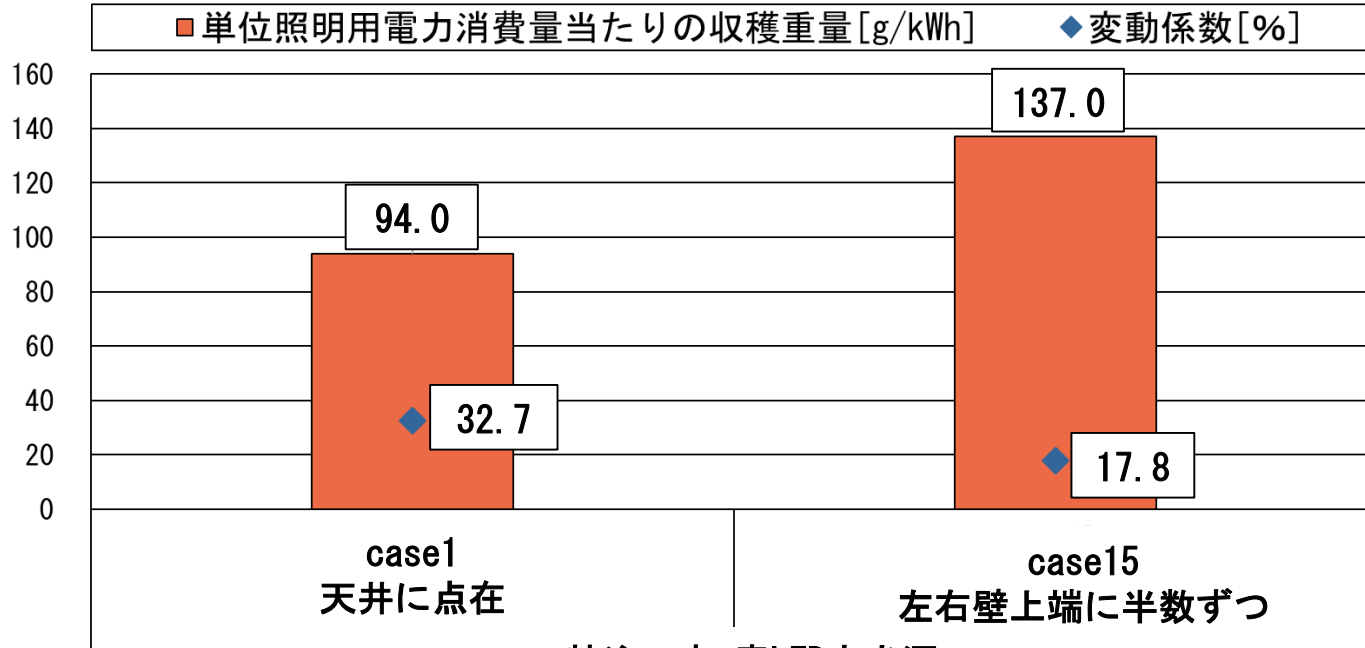


図5 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

次にcase15とcase1 (赤・青LED点光源、天井に点在) を比較する。

栽培実験結果

単位照明用電力消費量当たりの
収穫重量[g/kWh]
変動係数[%]

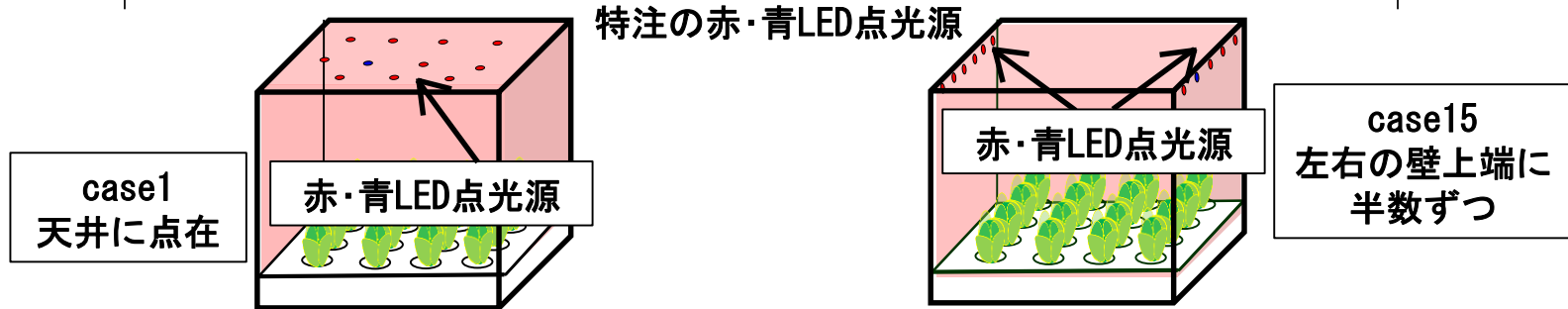
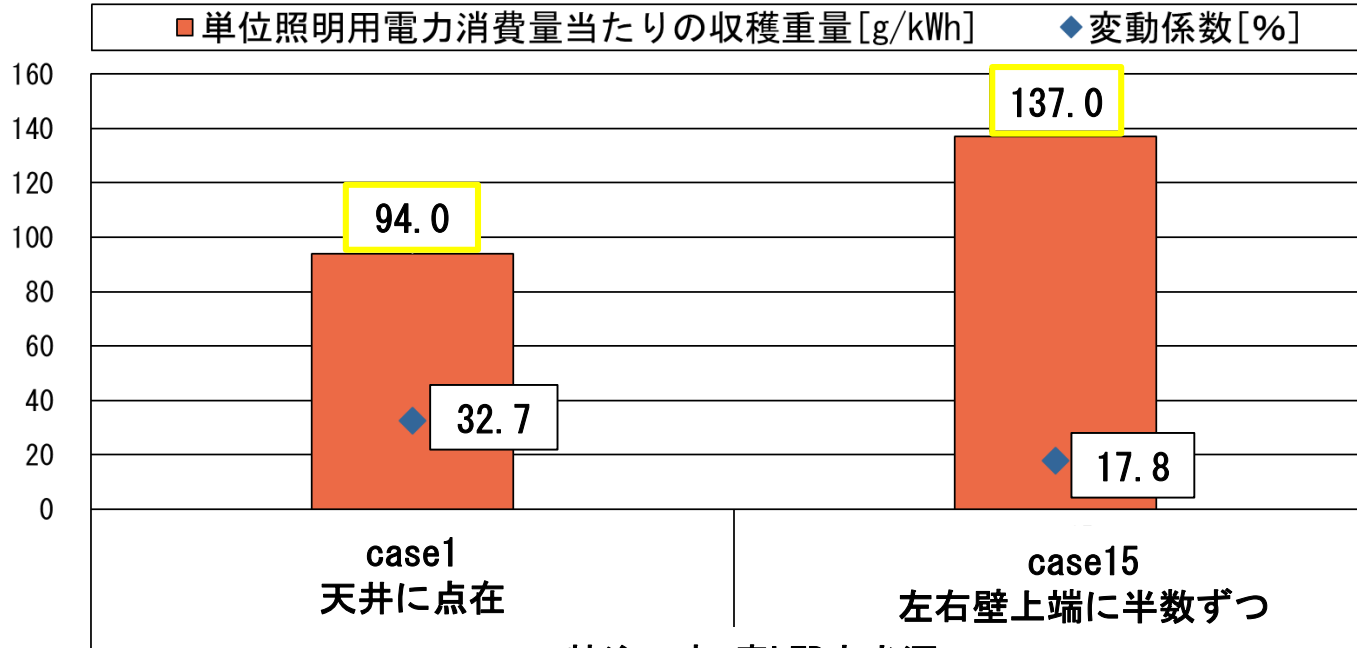


図5 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

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。

栽培実験結果

単位照明用電力消費量当たりの
収穫重量[g/kWh]
変動係数[%]

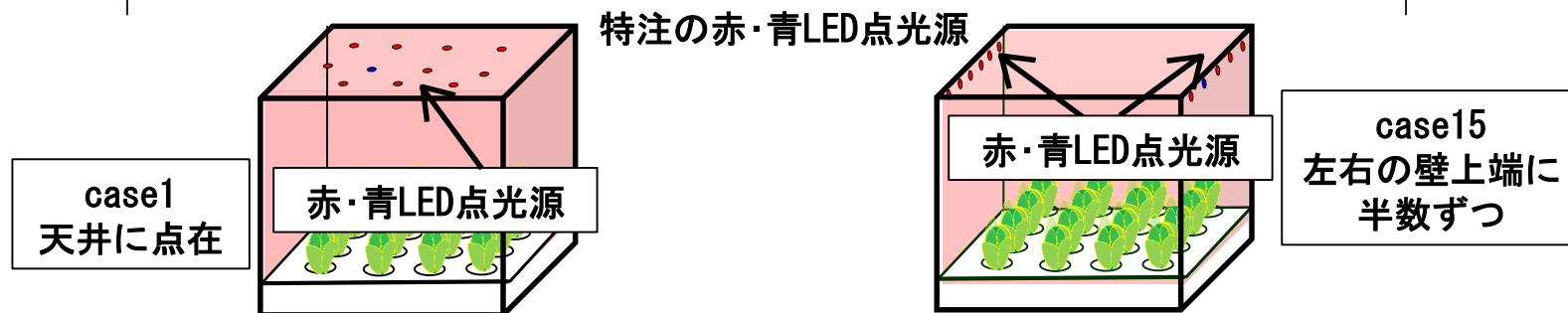
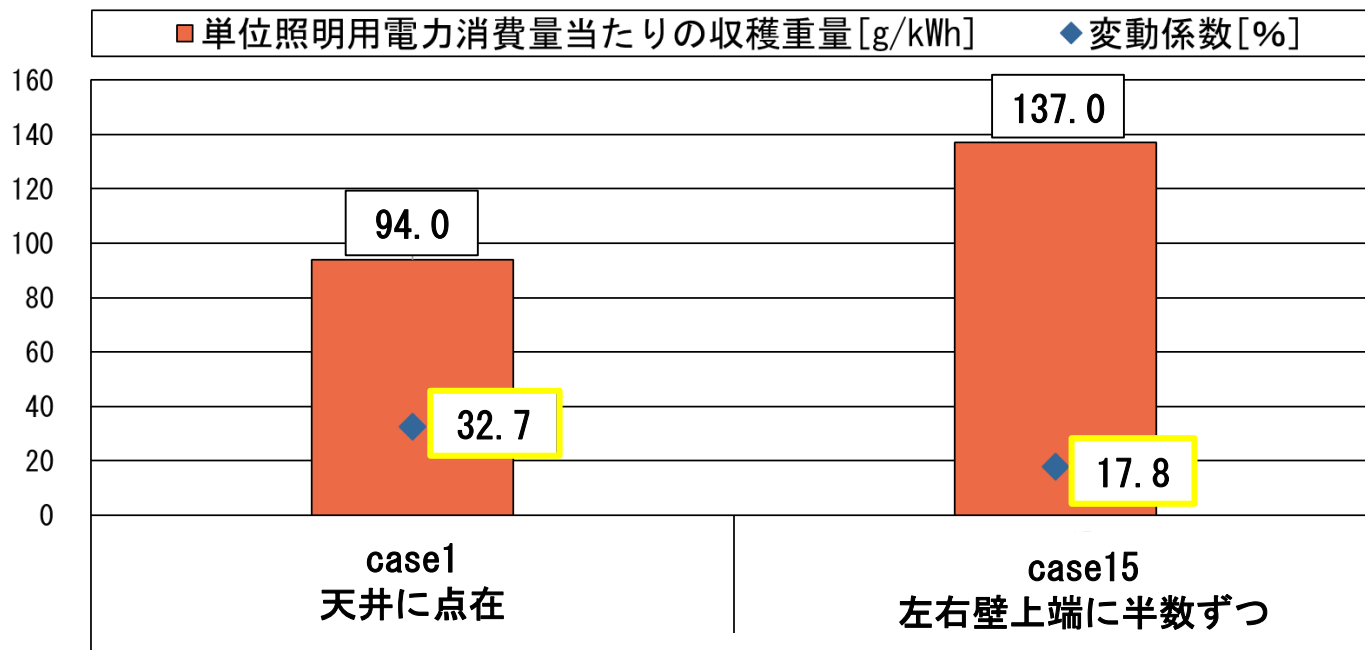


図5 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

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。

栽培実験結果

単位照明用電力消費量当たりの
収穫重量[g/kWh]
変動係数[%]

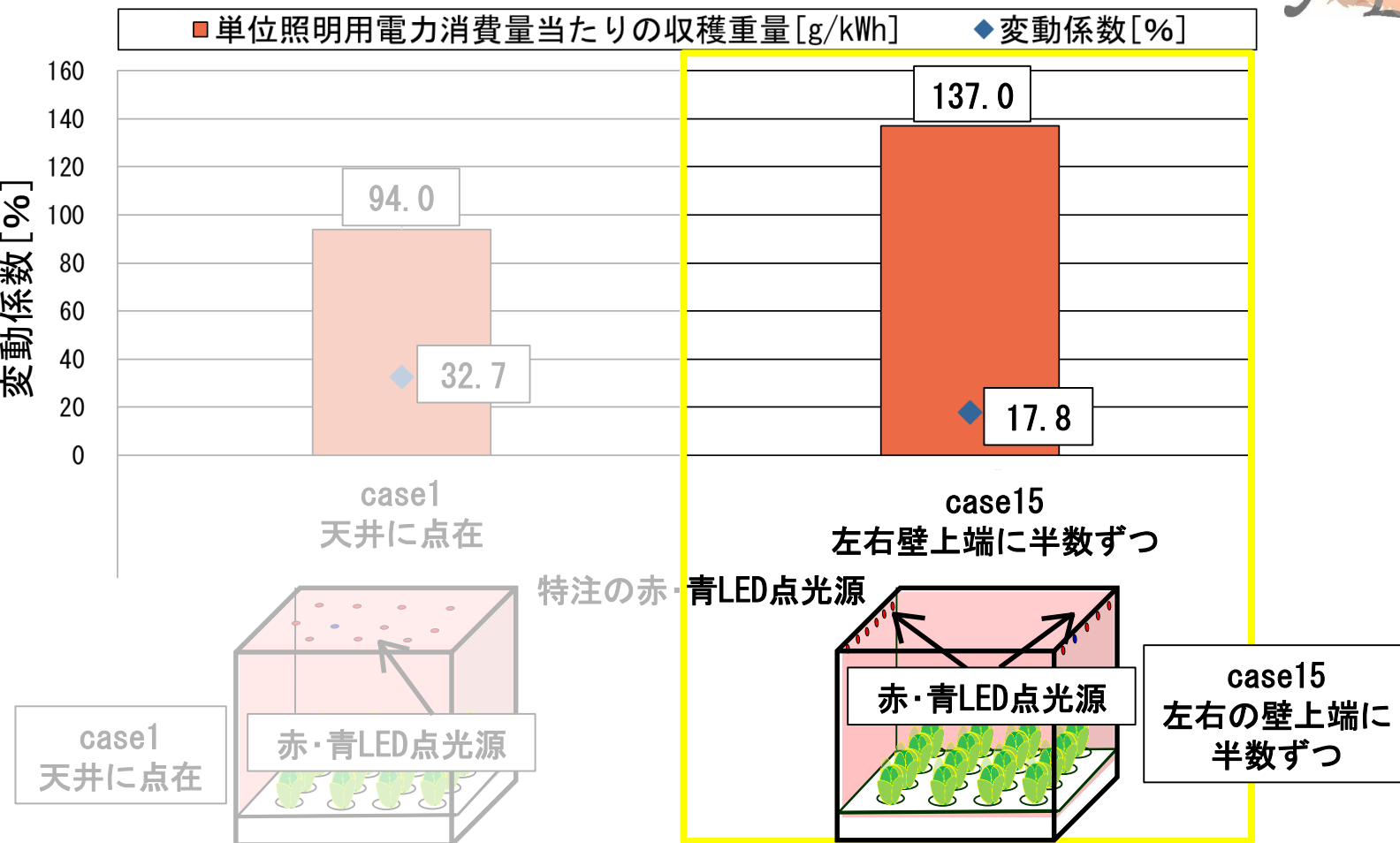


図5 単位照明用電力消費量当たりの収穫重量及び収穫重量の変動係数

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。

栽培実験結果

全caseの比較

表 1 照明器具の初期費用

実験case		case1	case2	case3	case4	case5
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)
	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
照明器具初期費用(円)		27,000	9,300	2,700	2,200	2,000

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。

表 1 照明器具の初期費用

実験case		case1	case2	case3	case4	case5
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)
	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
照明器具初期費用(円)		27, 000	9, 300	2, 700	2, 200	2, 000

7 分の 1

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。

栽培実験結果

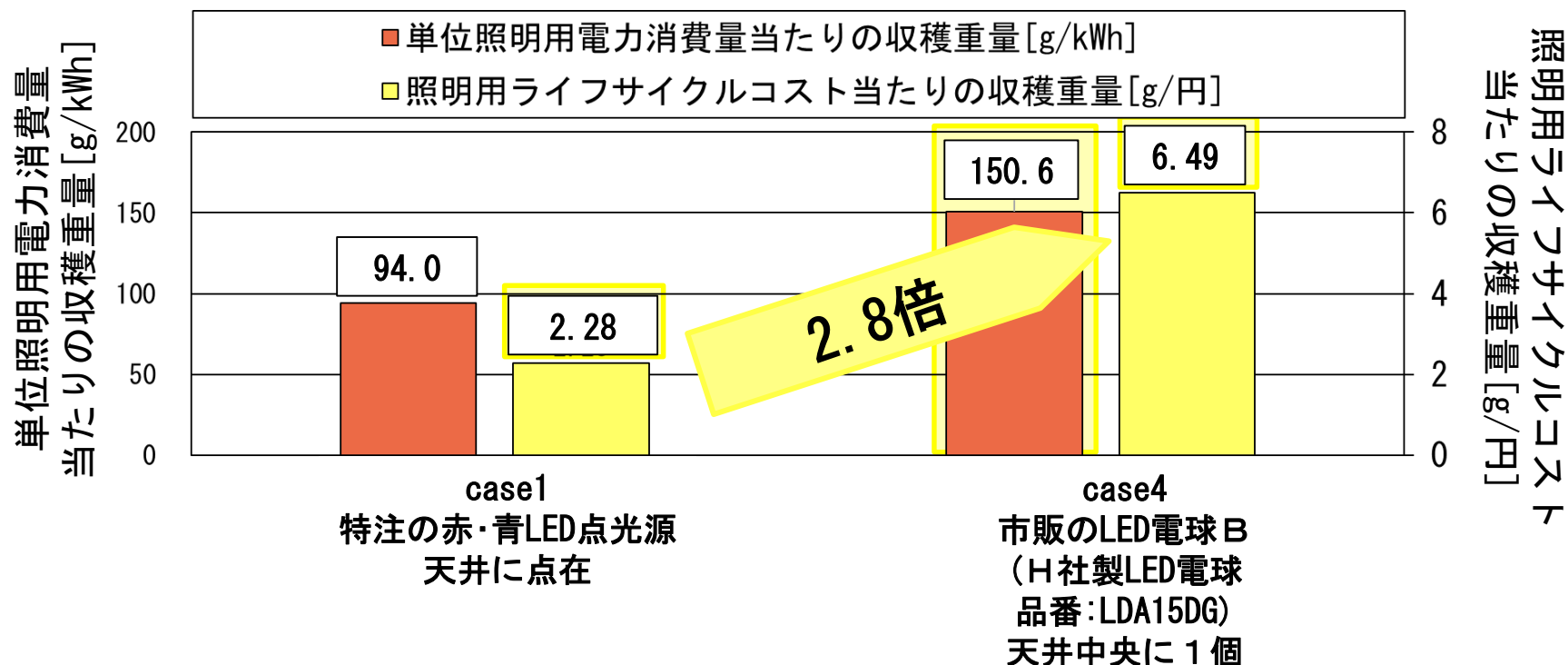


図 単位照明用電力消費量及びライフサイクルコスト当たりの収穫重量

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/¥] と **case1 (2.28 [g/¥])** と比較して **2.8倍** となり、**全caseの中でも最も大きい**。

栽培実験結果

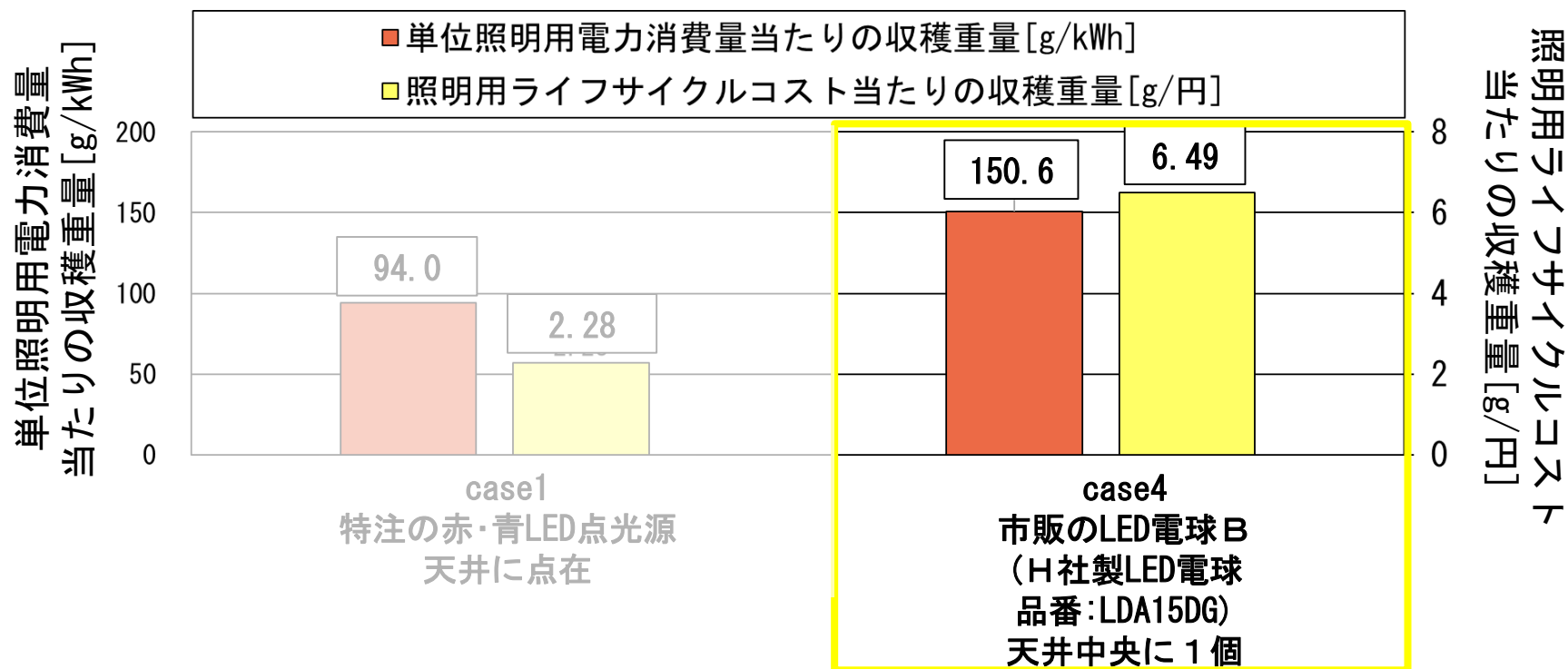


図 単位照明用電力消費量及びライフサイクルコスト当たりの収穫重量

case4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。

まとめ

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**。