

完全人工光型植物工場の 省エネルギー性能評価に関する研究

自然環境下におけるエネルギー削減効果

指導教員 赤林 伸一 佐藤 好美 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。しかし露地栽培では必要としない**照明・空調用エネルギー**が必要となる。



植物工場に特化した**省エネルギー技術の開発**が課題となっている。

研究目的

本研究ではまず、超高効率光反射材で植物周囲を覆い赤色と青色のLEDを用いた**省エネ型栽培設備(栽培設備①)**における赤青LEDの点灯個数制御実験(実験①)を行う。

次に栽培設備①と光源に蛍光灯(FLR40W)を用いた**従来型栽培設備(栽培設備②)**による栽培実験(実験②)を模擬された自然環境下で行い、空調エネルギーも含めた植物工場全体でのエネルギー削減効果の検討を行う。

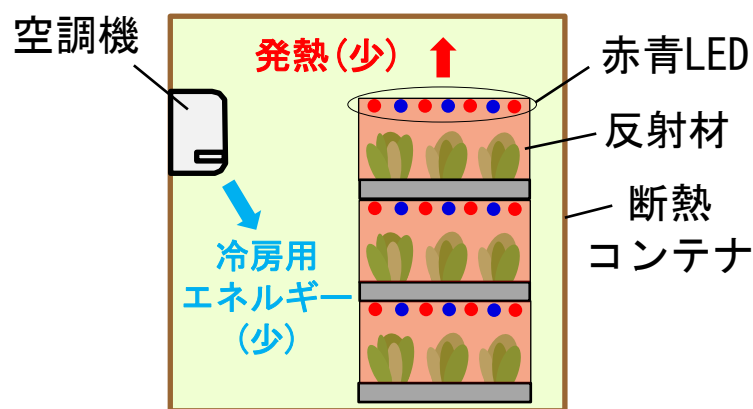


図 省エネ型栽培設備(栽培設備①)による栽培イメージ

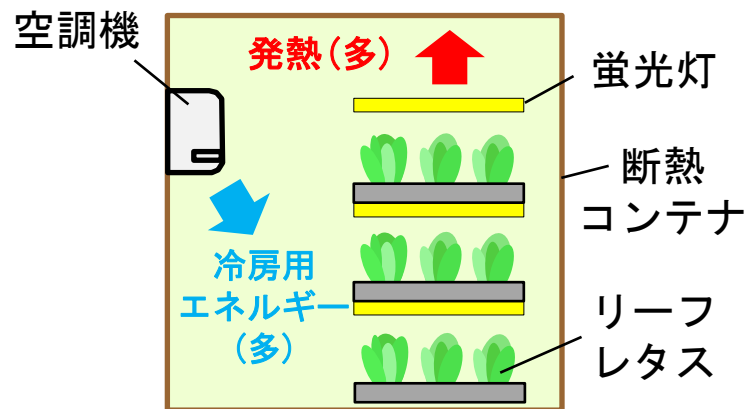


図 従来型栽培設備(栽培設備②)による栽培イメージ

栽培実験概要

各栽培設備の概要

栽培実験概要

各栽培設備の概要

「●」はT型熱電対による温度実測点を示す。

「←」は空気の流れを示す。

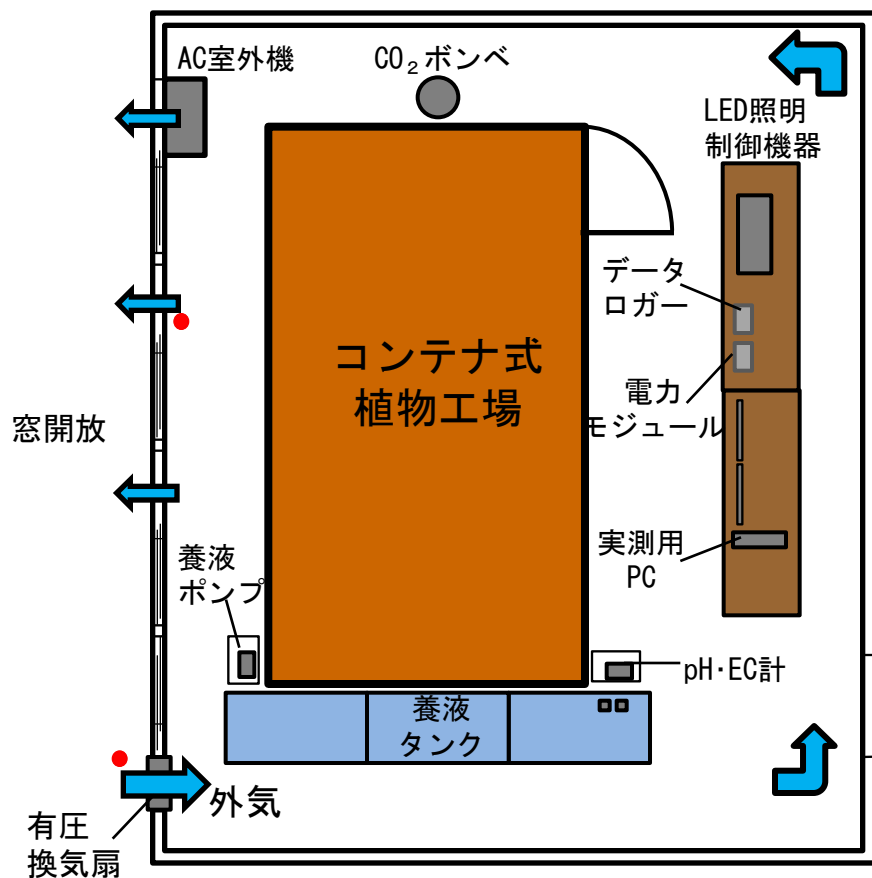


図 実験室の平面

本実験ではコンテナ式※²植物工場を対象としリーフレタスの栽培を行う。

※² 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。コンテナを設置した実験室内には有圧換気扇により外気を給気し自然環境を再現する。栽培実験期間中の外気と実験室の温度差は1.5[°C]以下(換気回数は約31[回/h])である。

有圧
換気扇

養液
タンク



図 実験室内の様子

栽培実験概要

各栽培設備の概要



図 栽培設備①の外観



図 栽培設備②の外観

コンテナ内には栽培設備①と栽培設備②を栽培棚を3段として設置し、明期※³と暗期を設ける。

※3 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。

栽培実験概要

各栽培設備の概要



図1 栽培設備①の内部

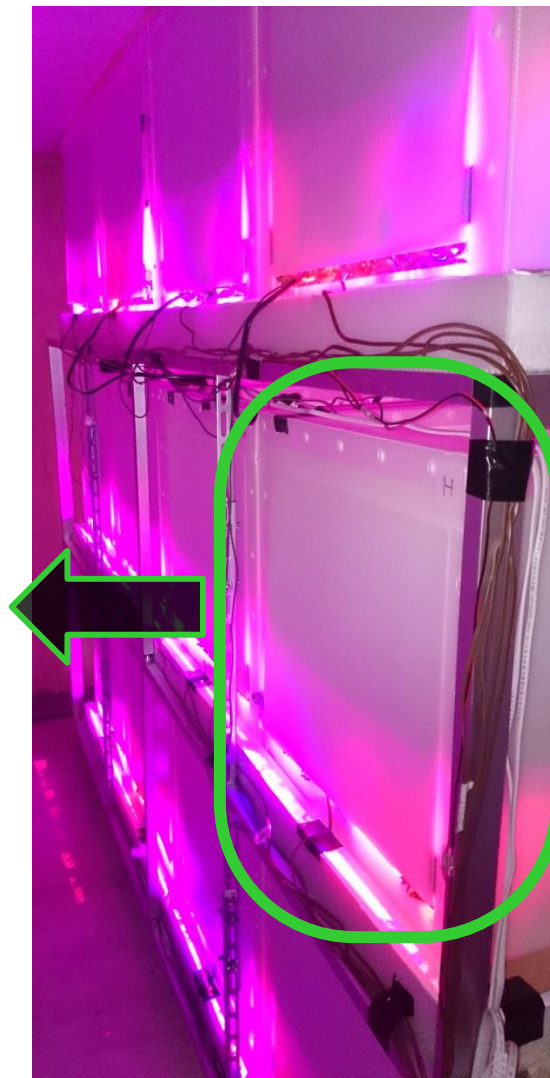


図 栽培設備①の外観

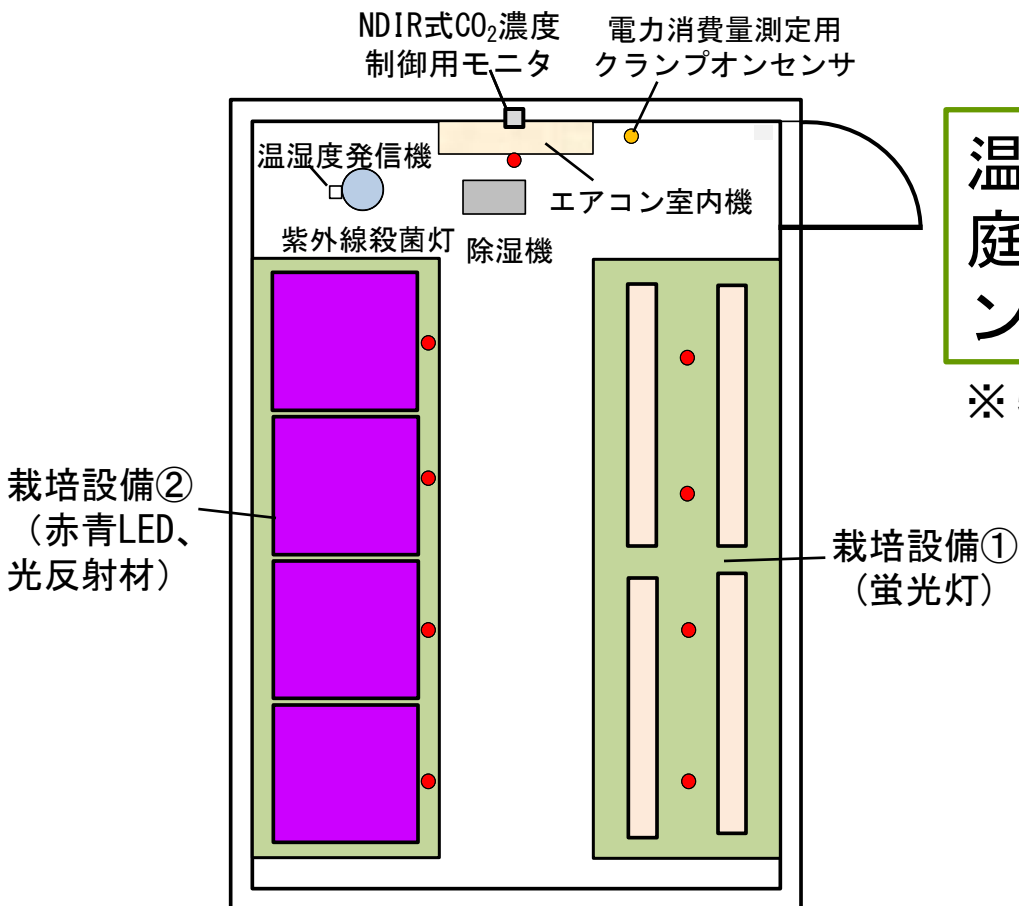
栽培設備①は、栽培棚の上・中・下段に4セットずつ計12セットの栽培BOXを設置する。

1セットずつ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[%])で覆い、光源として赤青LED点光源を用いる。

栽培実験概要

各栽培設備の概要

「●」はT型熱電対による温度実測点を示す。



温熱空気環境※⁵の制御には家庭用エアコン、除湿器、CO₂ポンベを用いる。

※⁵ 栽培設備①の温度は排気口を中心付近で測定する。栽培設備②の温度は各栽培パネル中心上の照明からの距離100[mm]付近、CO₂濃度はエアコン吸込口付近において測定する。

図 コンテナ式植物工場の平面

栽培実験概要

省エネ型栽培設備における赤青LED点灯個数制御実験
(実験①)

栽培実験概要

省エネ型栽培設備における赤青LED点灯個数制御実験(実験①)

表 1 実験①の赤青LED点灯個数

栽培用照明条件		caseA (赤20・ 青4)	caseB (赤15・ 青5)	caseC (赤10・ 青5)	caseD (赤10・ 青1)	caseE (赤5・ 青5)	caseF (赤5・ 青1)
照明個数[個]	赤色LED	20	15	10	10	5	5
	青色LED	4	5	5	1	5	1
電力消費量[W]		55.6	46.1	35.7	26.5	28.9	16.2
光量子束密度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	鉛直上面方向	464	378	281	207	181	124
	5方向合計	1993	1705	1266	884	848	521
赤・青色光の比率(R/B比)		6 : 1	4 : 1	3 : 1	14 : 1	1 : 1	5 : 1

実験①では栽培設備①のみを使用する。
 赤色・青色LEDの点灯個数はそれぞれ
 20個・4個(caseA) 15個・5個(caseB)
 10個・5個(caseC) 10個・1個(caseD)
 5個・5個(caseE) 5個・1個(caseF)とする。

栽培実験概要

省エネ型栽培設備における赤青LED点灯個数制御実験(実験①)

表 1 実験①の赤青LED点灯個数

栽培用照明条件		caseA (赤20・ 青4)	caseB (赤15・ 青5)	caseC (赤10・ 青5)	caseD (赤10・ 青1)	caseE (赤5・ 青5)	caseF (赤5・ 青1)
照明個数[個]	赤色LED	20	15	10	10	5	5
	青色LED	4	5	5	1	5	1
電力消費量[W]		55.6	46.1	35.7	26.5	28.9	16.2
光量子束密度 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	鉛直上面方向	464	378	281	207	181	124
	5方向合計	1993	1705	1266	884	848	521
赤・青色光の比率(R/B比)		6 : 1	4 : 1	3 : 1	14 : 1	1 : 1	5 : 1

各条件で28日間の栽培実験を行い、リーフレタスを最も効率よく栽培することが可能な赤青LED点灯個数を検討する。

栽培実験概要

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験
(実験②)

栽培実験概要

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

実験②では栽培設備①と栽培設備②を使用する。
栽培期間は1年間※⁶とし、栽培設備①、②を用いてそれぞれ28日間の栽培実験を交互に行う。

栽培棚の温度は20～24[°C]に、CO₂濃度は1500～2100[ppm]に制御する。

※6 リーフレタス栽培実験期間は、栽培設備①では5月1日～5月29日(春季)、8月12日～9月9日(夏季)、9月14日～10月13日(秋季)、11月16日～12月14日(冬季)である。栽培設備②では6月4日～7月2日(春季)、7月10日～8月7日(夏季)、10月14日～11月11日(秋季)、12月16日～1月13日(冬季)である。

栽培実験結果

省エネ型栽培設備における赤青LED点灯個数制御実験
(実験①)

栽培実験結果

省エネ型栽培設備における赤青LED点灯個数制御実験(実験①)

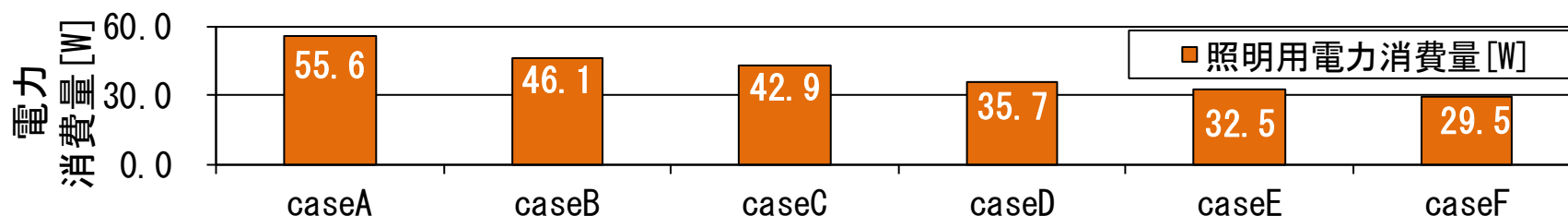


図 実験①の照明電力消費量

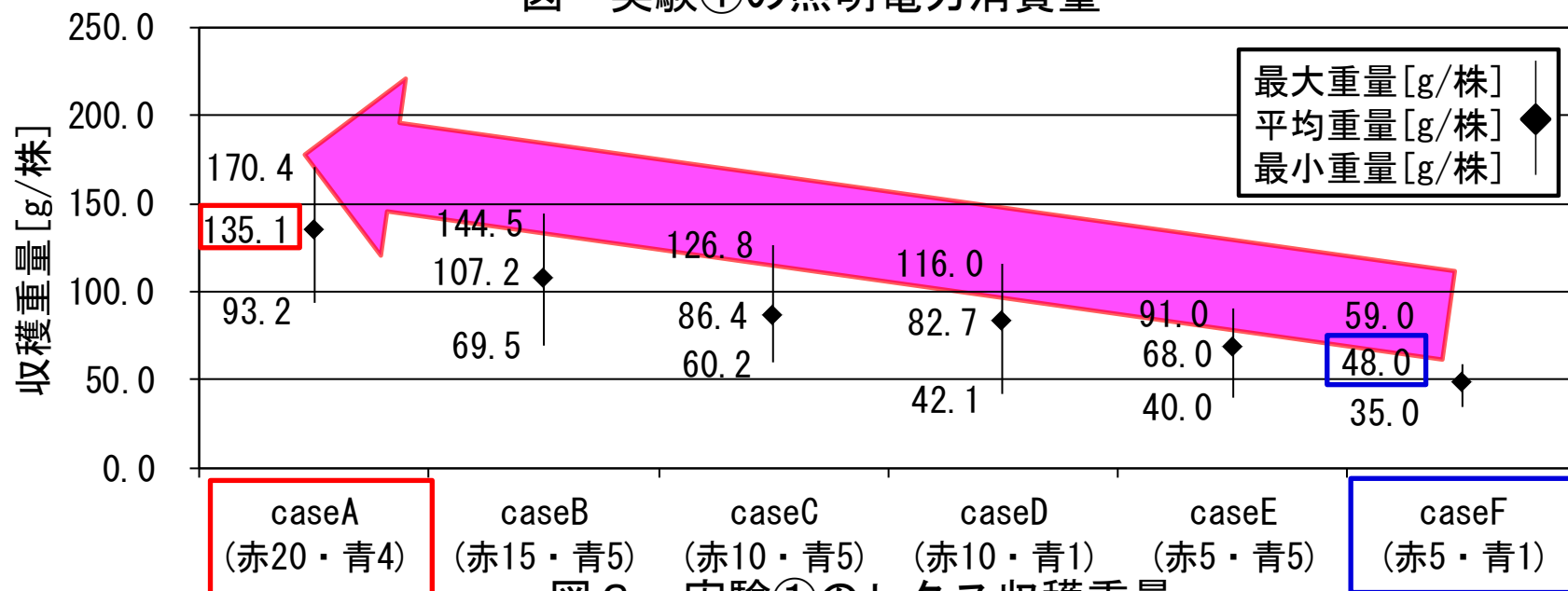


図 3 実験①のレタス収穫重量

平均重量はcaseA(赤20個・青4個)は135.1[g]、caseF(赤5個・青1個)は48.0[g]となり、収穫重量は照明用電力消費量にほぼ比例して増加する。

栽培実験結果

省エネ型栽培設備における赤青LED点灯個数制御実験(実験①)

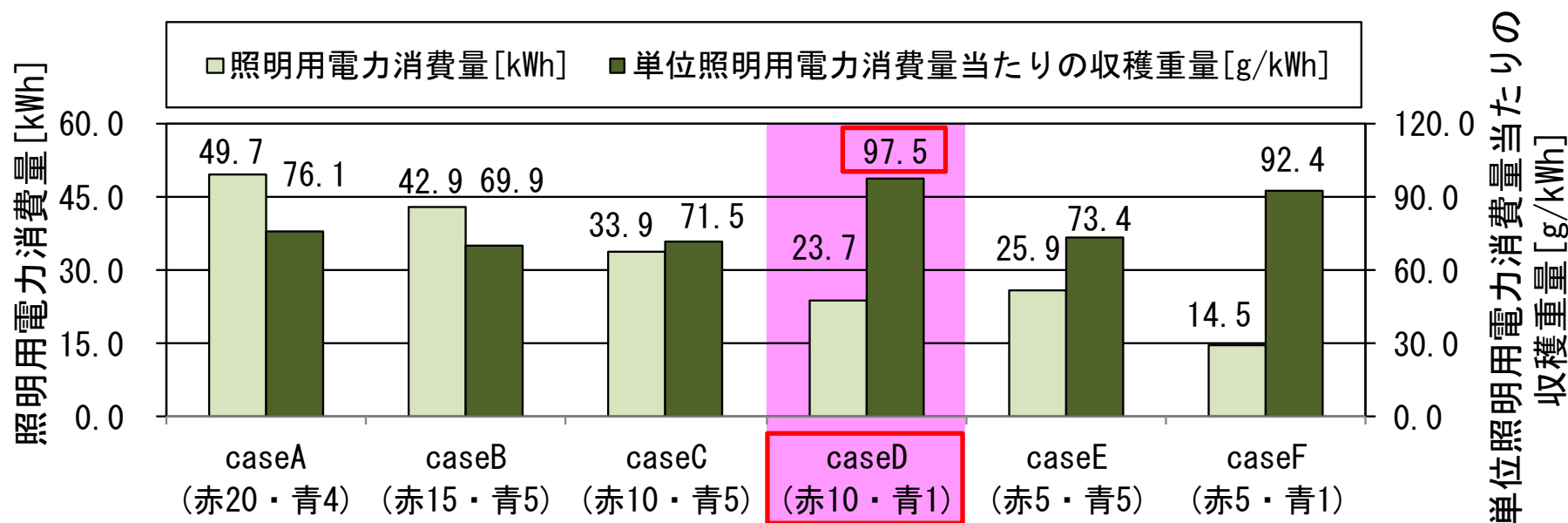


図4 実験①の照明用電力消費量及びレタス収穫重量

単位照明用電力消費量当たりの収穫重量では**caseD(赤10個・青1個)**が97.5[g/kWh]と最も多い。

これは照明用電力消費量がcaseDの約2倍であるcaseAと比較して21.4[g/kWh]多く、caseDの単位照明用電力消費量当たりの収穫重量はcaseAの約1.3倍となる。

栽培実験結果

省エネ型栽培設備における赤青LED点灯個数制御実験(実験①)

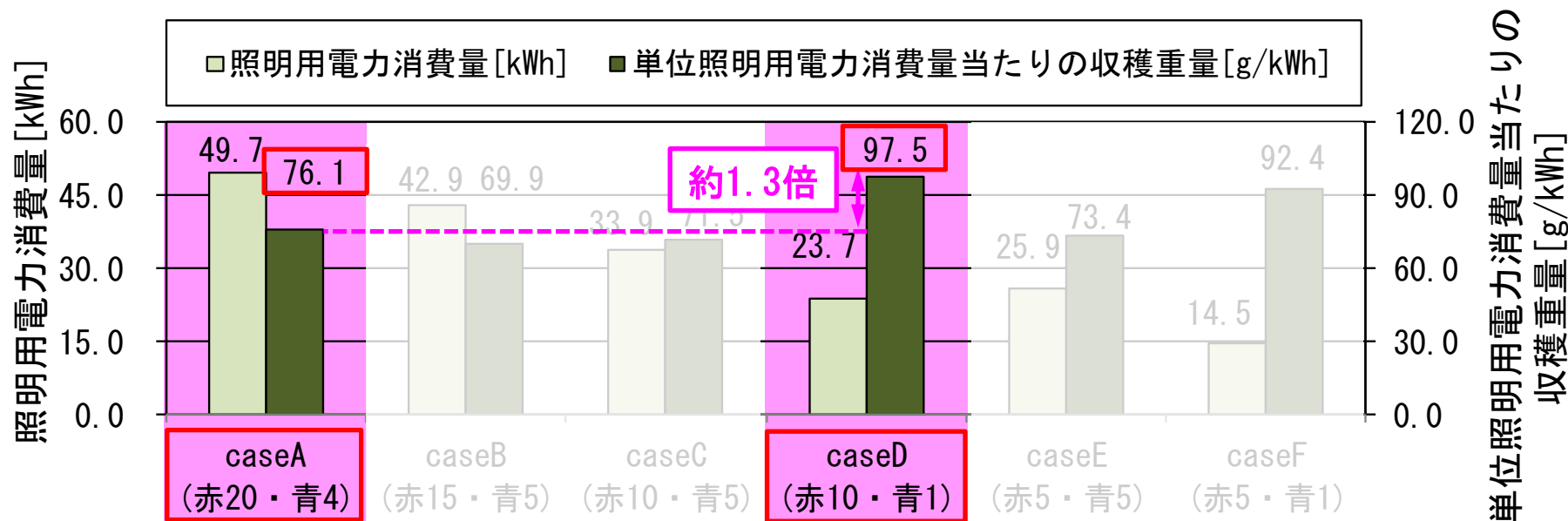


図4 実験①の照明用電力消費量及びレタス収穫重量

単位照明用電力消費量当たりの収穫重量では**caseD(赤10個・青1個)**が97.5[g/kWh]と最も多い。

これは照明用電力消費量がcaseDの約2倍であるcaseAと比較して21.4[g/kWh]多く、caseDの単位照明用電力消費量当たりの収穫重量はcaseAの約1.3倍となる。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験
(実験②)

栽培動画

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)の栽培動画



春季



夏季

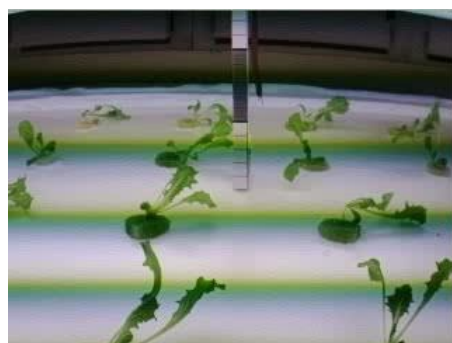


秋季



冬季

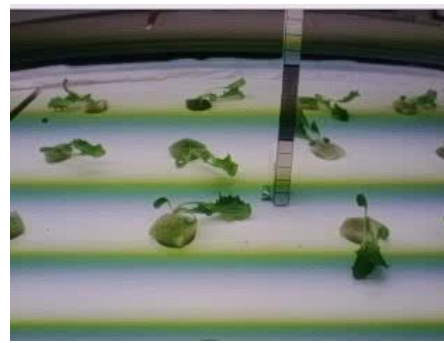
(a) 栽培設備①



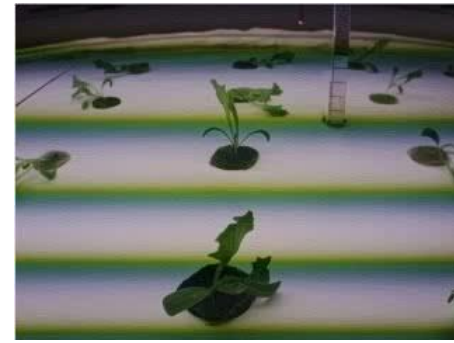
春季



夏季



秋季



冬季

(b) 栽培設備②

動画 各栽培設備による栽培実験の様子

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

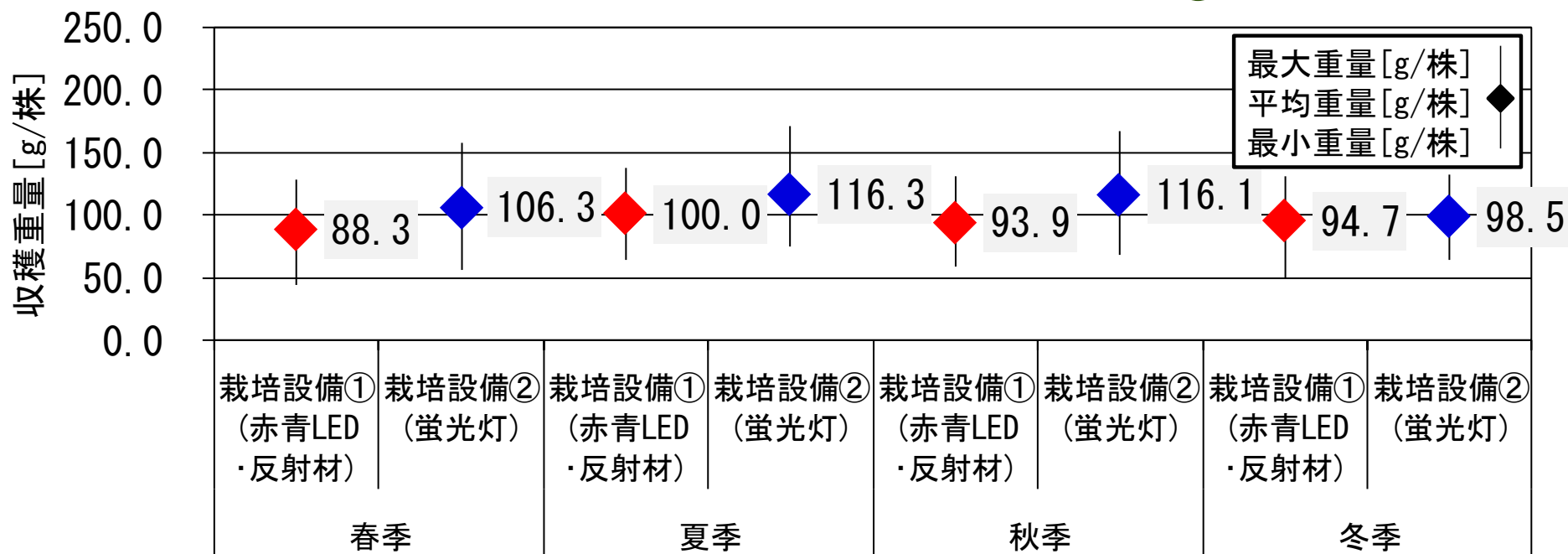


図5 実験②のレタス収穫重量

栽培設備①における赤青LED点光源の点灯個数は実験①の結果から**赤10個・青1個**とする。

最大・最小・平均重量ともに栽培設備①と比較して栽培設備②の方が大きい。各季節の平均では栽培設備②の平均重量は栽培設備①に対して約**1.2倍**となる。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

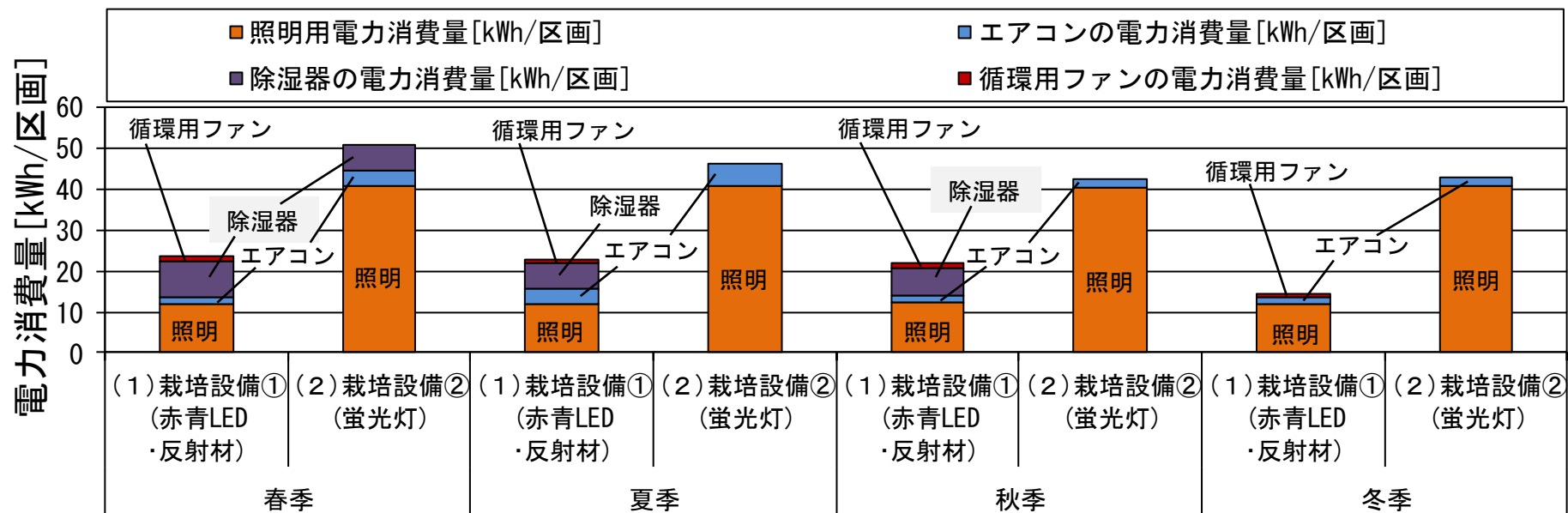


図6 実験②の総電力消費量と照明・エアコン・除湿器・循環用ファンの電力消費量

どの季節でも栽培設備①の照明用電力消費量は栽培設備②に比較して少なく、栽培設備①の照明用電力消費量は栽培設備②に対して平均で**約70[%]減少**する。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

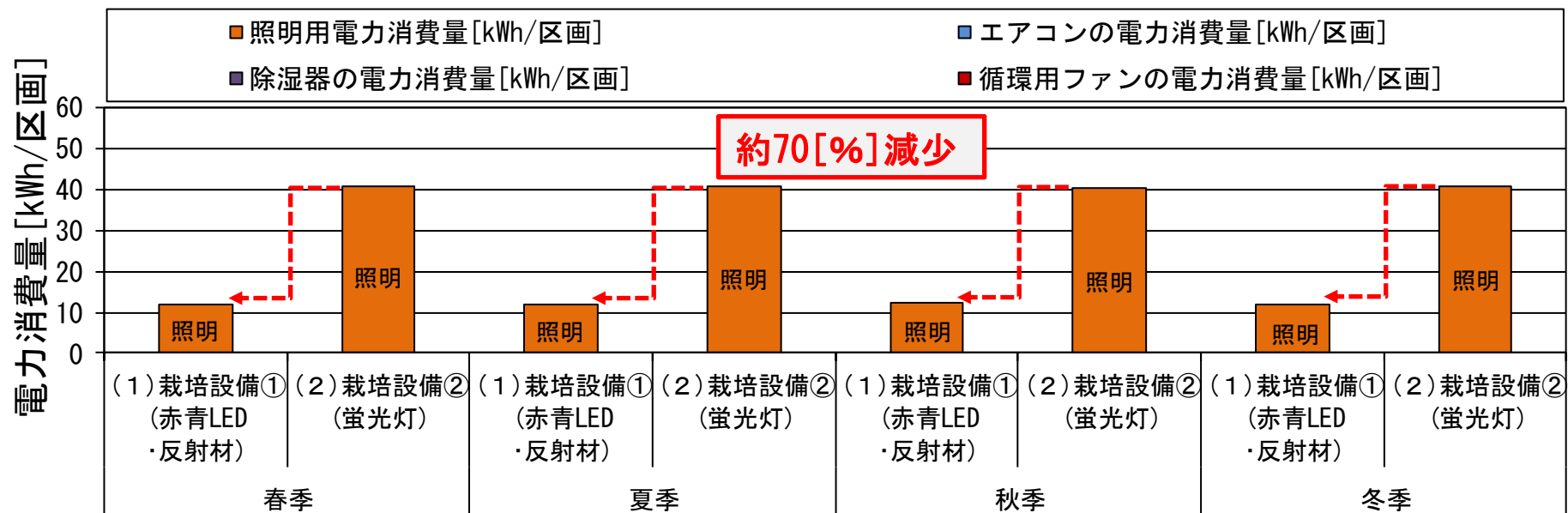


図 実験②の照明用電力消費量

どの季節でも栽培設備①の照明用電力消費量は栽培設備②に比較して少なく、栽培設備①の照明用電力消費量は栽培設備②に対して平均で**約70[%]減少**する。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

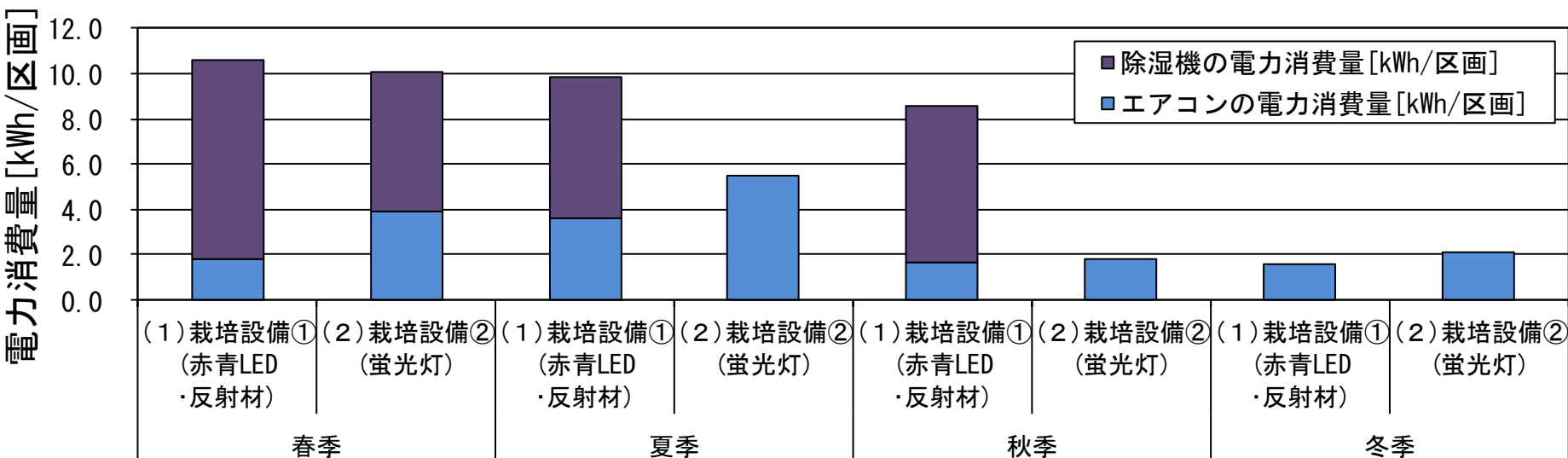


図 実験②の空調用電力消費量及び除湿器・エアコンの電力消費量

エアコンの電力消費量はどの季節でも栽培設備①の方が少ないが、除湿器の電力消費量を含めた空調用電力消費量では春季、夏季、秋季においては栽培設備①の方が多い。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

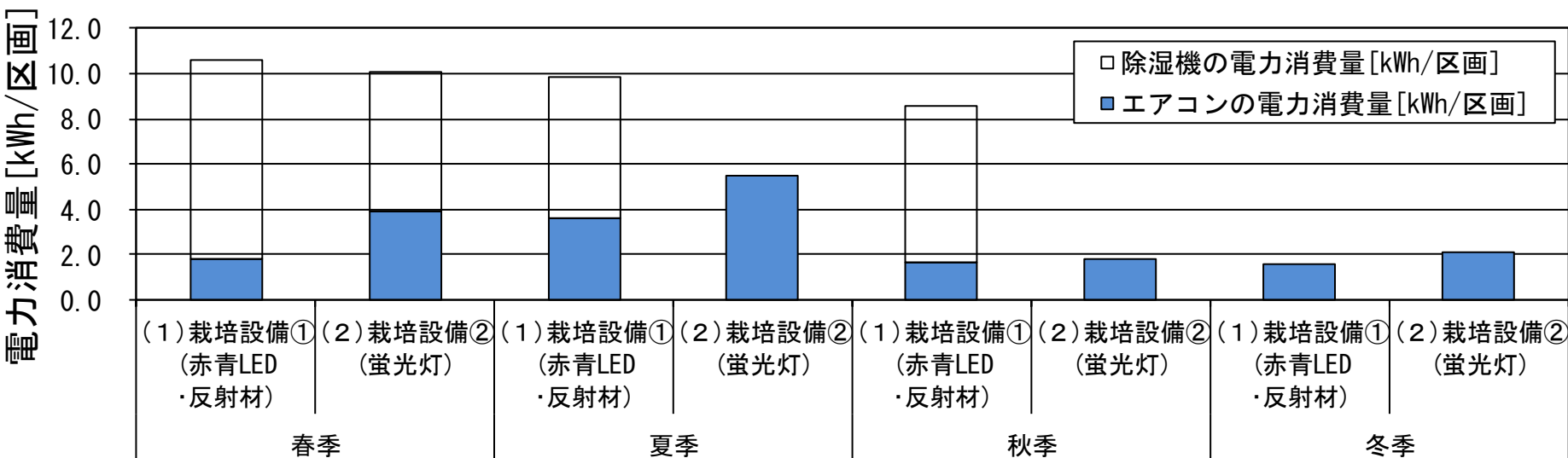


図 実験②の空調用電力消費量及び除湿器・エアコンの電力消費量

エアコンの電力消費量はどの季節でも栽培設備①の方が少ないが、除湿器の電力消費量を含めた空調用電力消費量では春季、夏季、秋季においては栽培設備①の方が多い。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

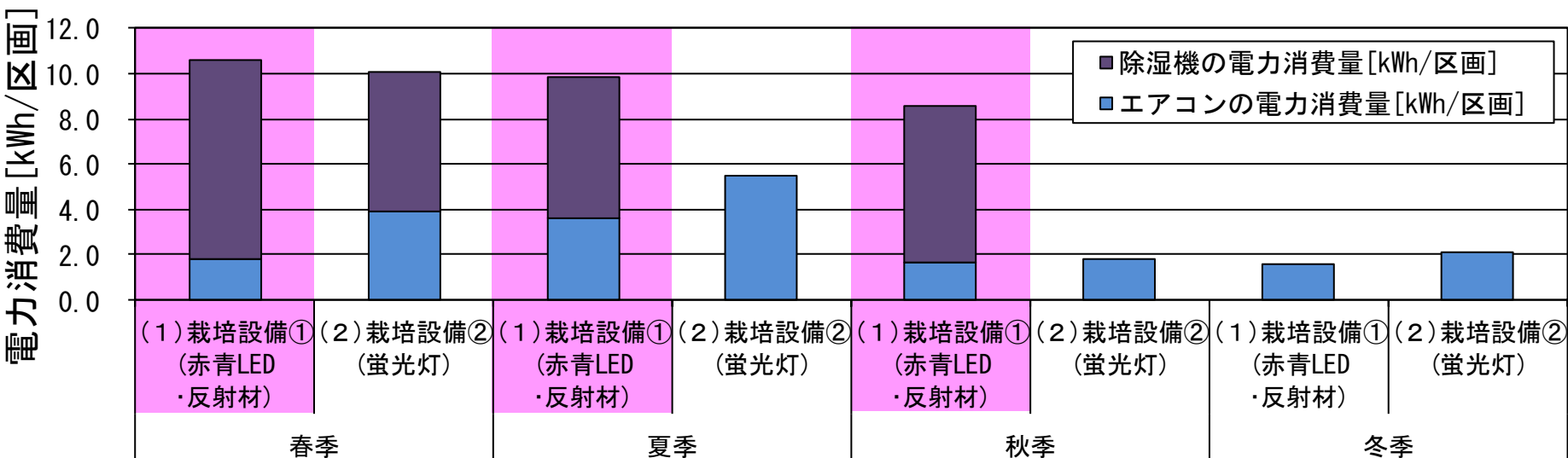


図 実験②の空調用電力消費量及び除湿器・エアコンの電力消費量

エアコンの電力消費量はどの季節でも栽培設備①の方が少ないが、除湿器の電力消費量を含めた空調用電力消費量では春季、夏季、秋季においては栽培設備①の方が多い。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

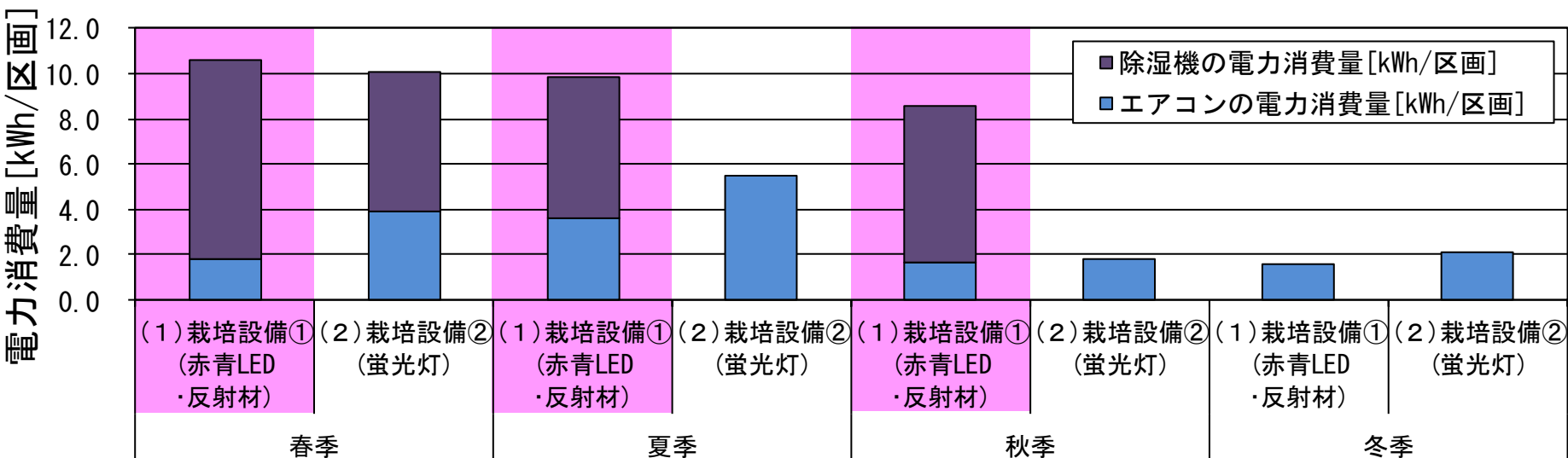


図 実験②の空調用電力消費量及び除湿器・エアコンの電力消費量

- 室内発熱が相対的に少ない栽培設備①ではエアコンの冷房運転する時間が短くなるため、除湿器の処理する潜熱量が相対的に増加する。
- エアコンより除湿器のCOPが低い。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

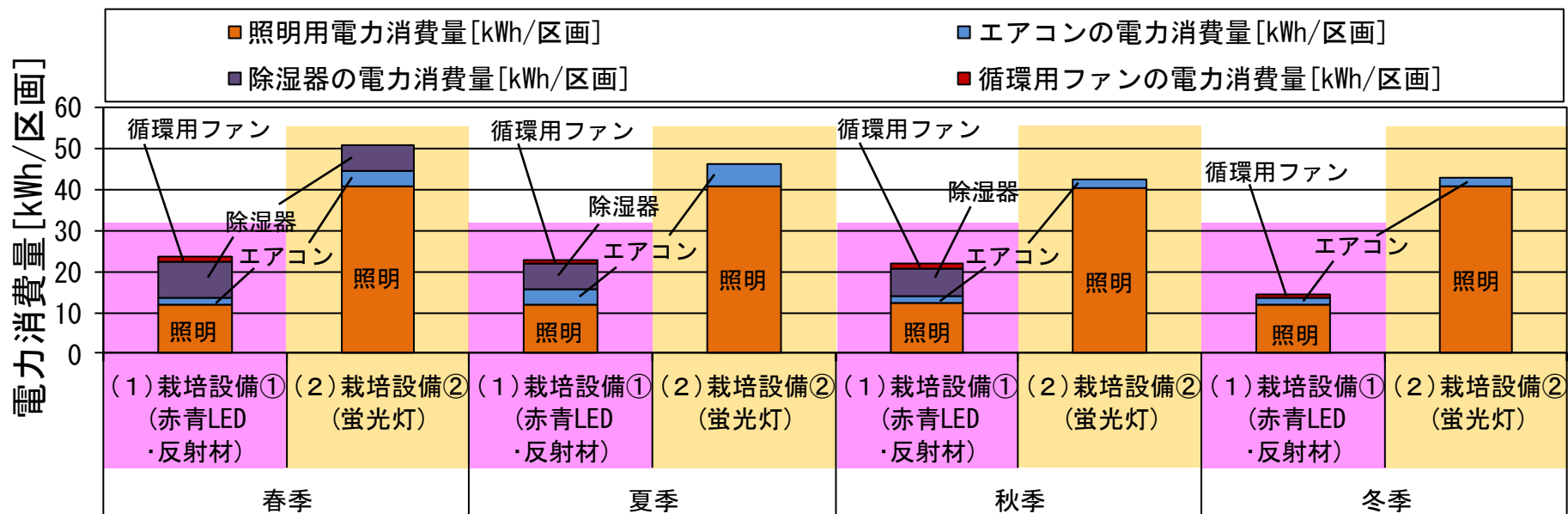


図6 実験②の総電力消費量と照明・エアコン・除湿器・循環用ファンの電力消費量

生育期間の総電力消費量は栽培設備①では栽培設備②に対して約半分となる。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

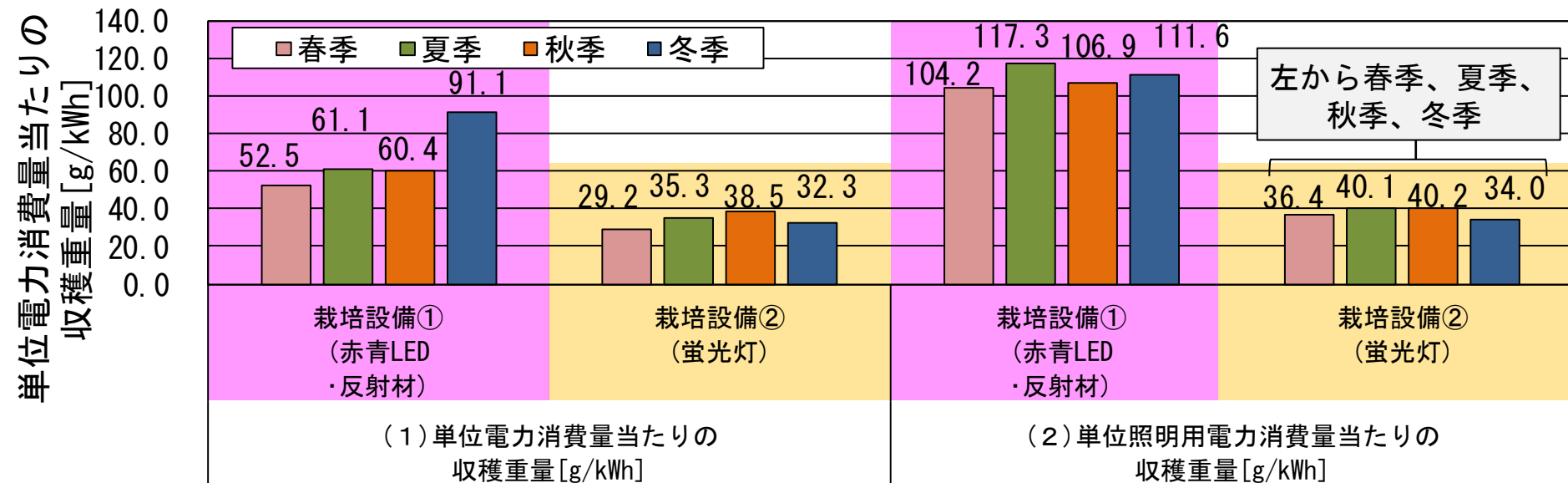


図7 実験②の各単位電力消費量当たりの収穫重量

どの季節においても栽培設備①の単位電力消費量当たりの収穫重量は栽培設備②と比較して大きい。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

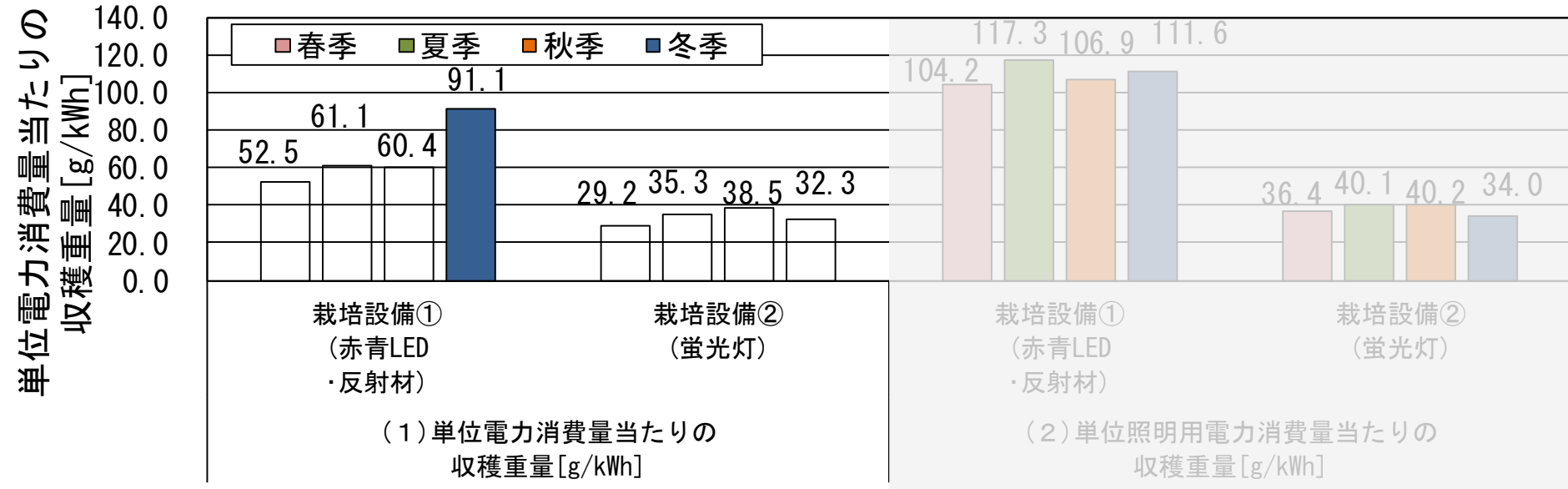


図7 実験②の各単位電力消費量当たりの収穫重量

冬季において栽培設備①の単位電力消費量当たりのレタス収穫重量が比較的大きいが、これは当該実験では除湿器を使用しなかったことで電力消費量が少ないためである。

栽培実験結果

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

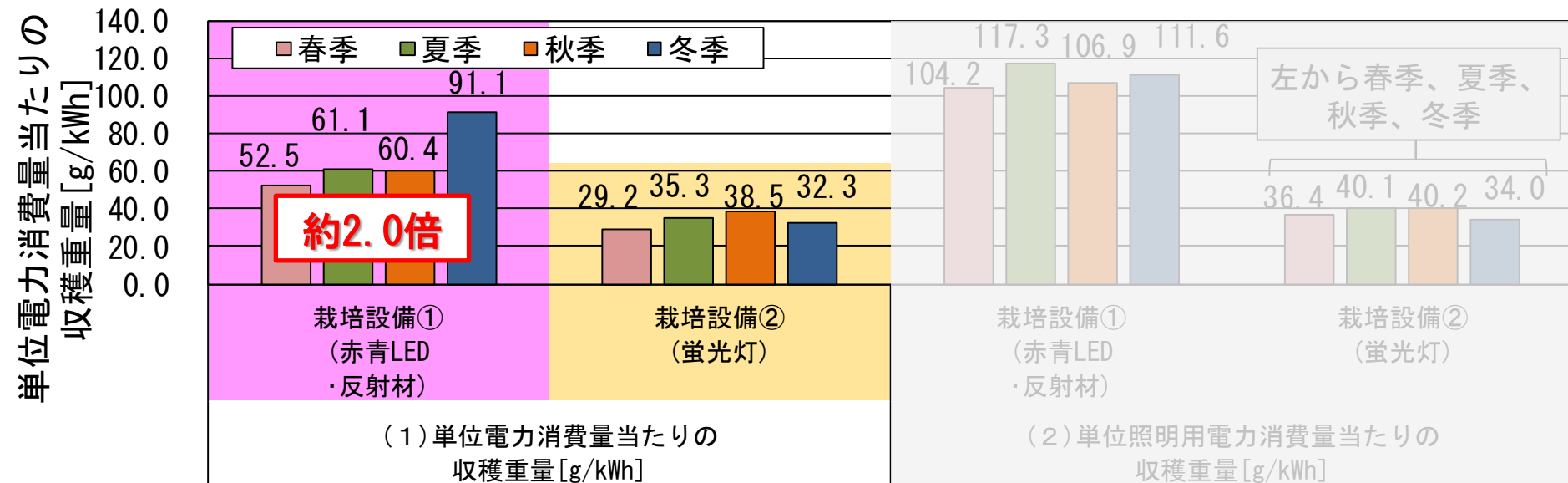


図7 実験②の各単位電力消費量当たりの収穫重量

各季の平均では栽培設備①の単位電力消費量当たりの収穫重量は栽培設備②の約2.0倍となる。

従来型栽培設備と省エネ型栽培設備による栽培実験(実験②)

実験②より省エネ型栽培設備を用いることにより、年間を通して従来の栽培設備と比較して少ない電力消費量で同量以上の植物生産を行うことが可能であると考えられる。

まとめ

- ①実験①では、単位照明用電力消費量当たりの収穫重量はcaseD(赤10個、青1個)が97.5[g/kWh]と最も多い。
- ②実験②ではどの季節においても、栽培設備①の単位電力消費量当たりの収穫重量が栽培設備②と比較して約2.0倍となる。省エネ型栽培設備を用いることにより、年間を通して従来の栽培設備と比較して少ない電力消費量で同量以上の植物生産を行うことが可能であると考えられる。