

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
エネルギー消費のシミュレーション

指導教員

北澤 紫乃
赤林 伸一 教授



図 S社の完全人工光型植物工場

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。

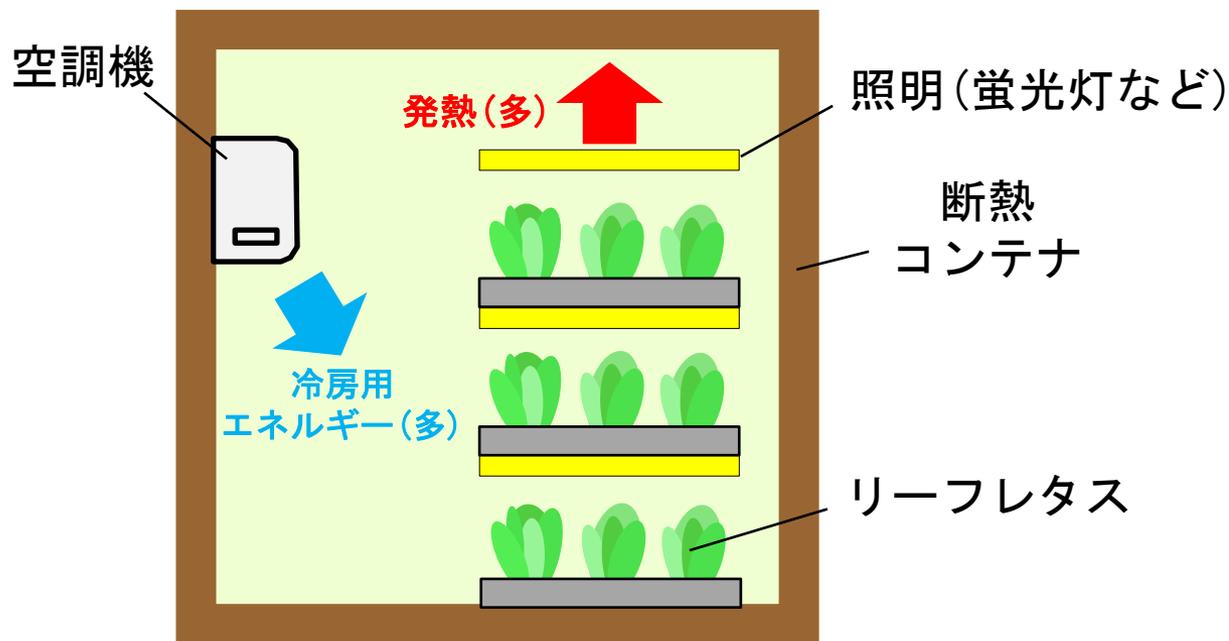


図 従来型栽培設備の栽培イメージ

既往の研究^{文1)}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。

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

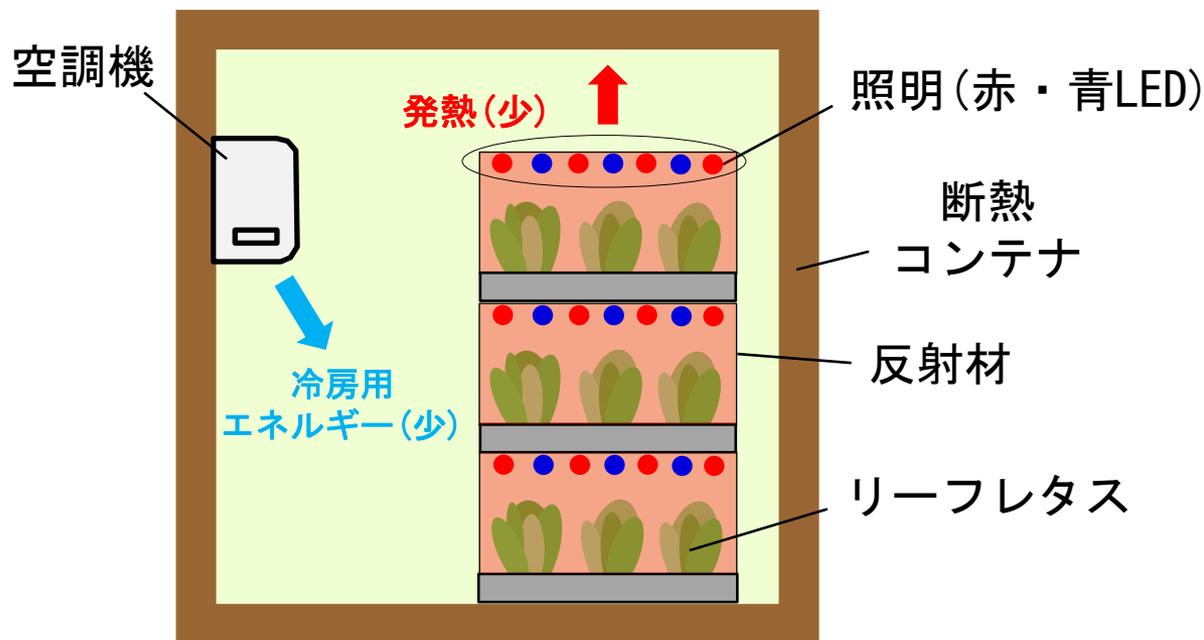


図 省エネ型栽培設備の栽培イメージ

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。

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/m²·K]である。

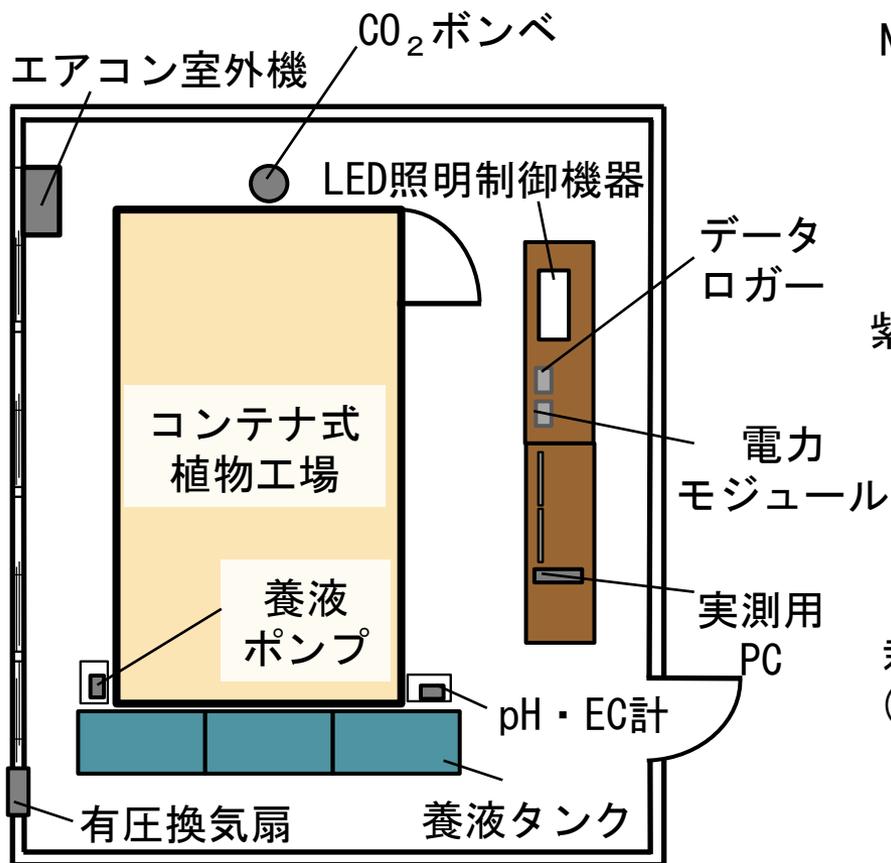


図1 実験室の平面

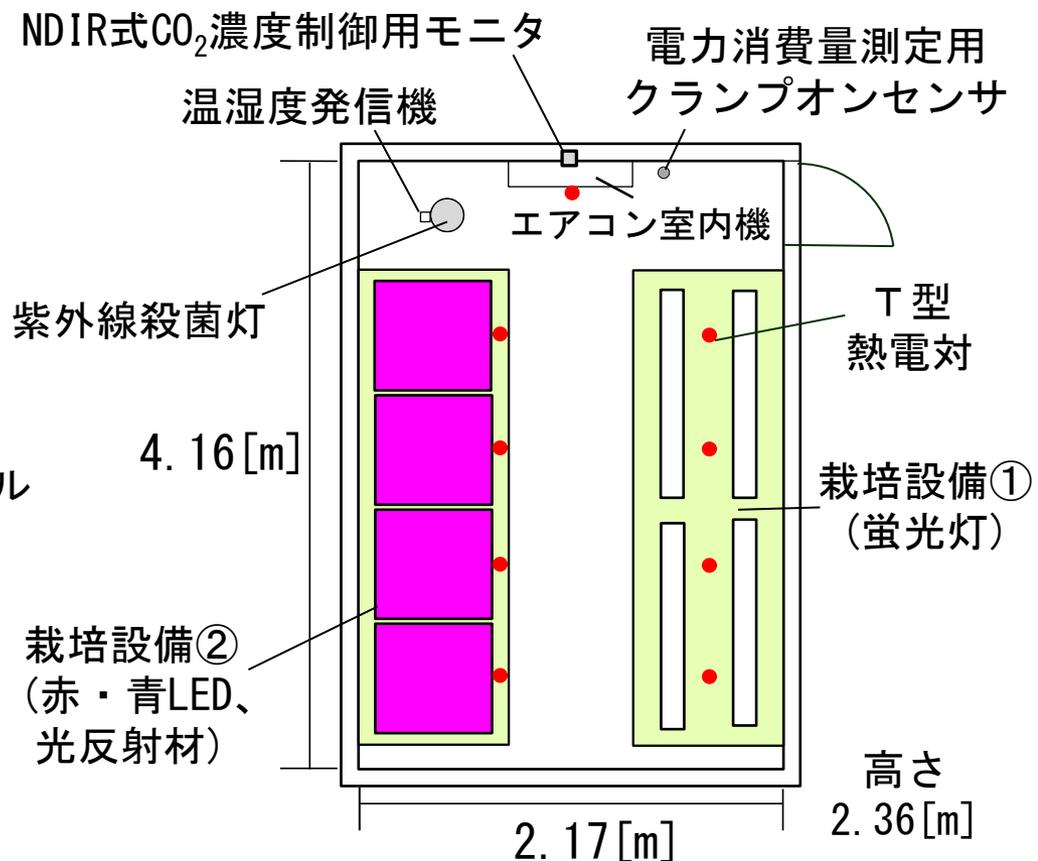


図2 コンテナ式植物工場の平面

実験概要

「●」はT型熱電対による温度測定点を示す。

「←」は空気の流れを示す。

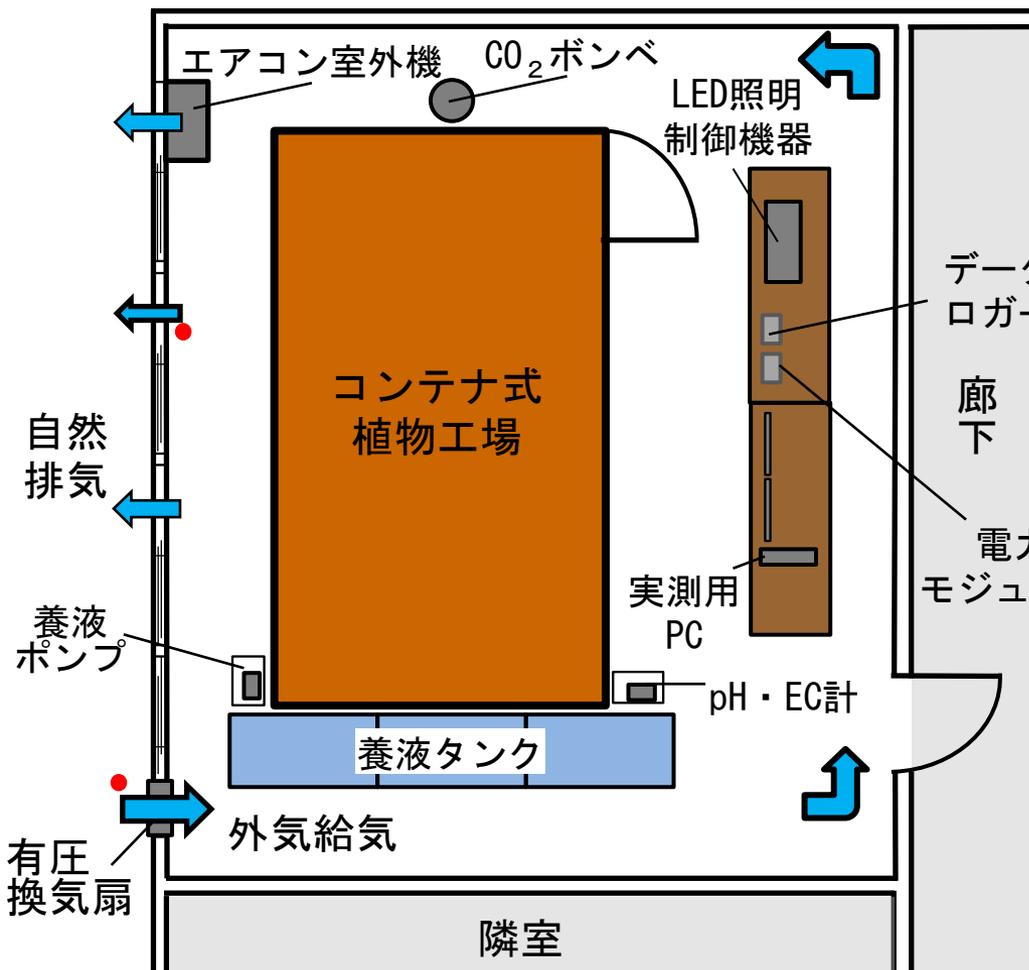


図 実験室の平面

実験室には有圧換気扇で外気を給気し外部環境を模擬し※1 実験室内の温度を模擬外気温度とする。

※1 給気風量は3,500[m³/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。



図 実験室内の様子

実験概要



図 栽培設備①



図 栽培設備②

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)^{文2)}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**^{※2}を設ける。

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

※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。

表 1 栽培実験で使用するエアコン※³の仕様

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

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※⁴とエアコンの電力消費量の関係を明らかにする。

※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

表 2 解析条件

壁体の仕様	外壁の材質	厚さ[mm]	熱伝導率[W/(m・K)]	熱抵抗[(m ² ・K)/W]
壁体の仕様	ラージ合板	9	0.16	0.056
		12		0.075
	スタイロフォームEX	60	0.024	2.5
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

表 2 に解析条件を示す。解析対象は完全人工光型コンテナ式植物工場とする。

熱負荷計算の概要

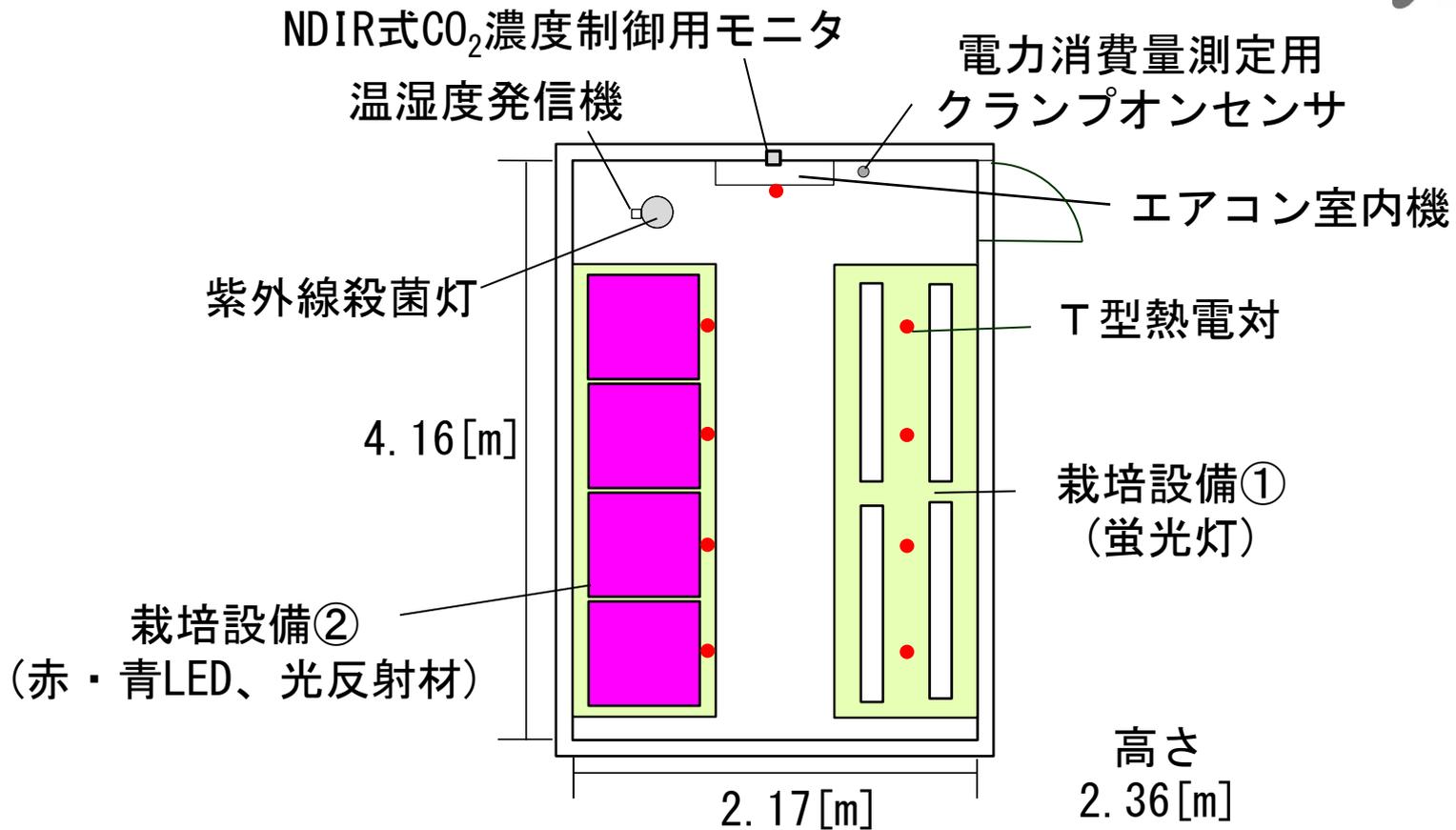
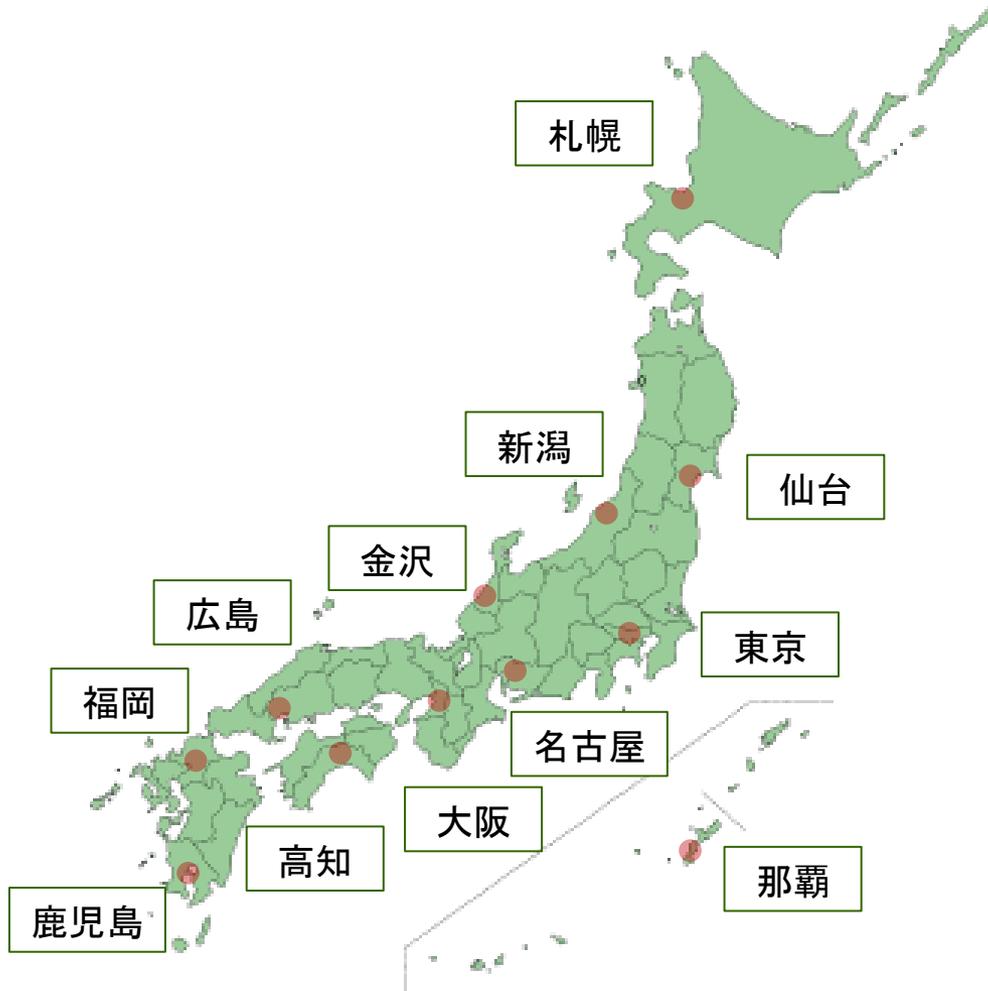


図2 コンテナ式植物工場の平面

表2に解析条件を示す。解析対象は完全人工光型コンテナ式植物工場とする。

熱負荷計算の概要



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。

図 解析対象とする代表12地点

熱負荷計算※⁵により植物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。

- ※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。

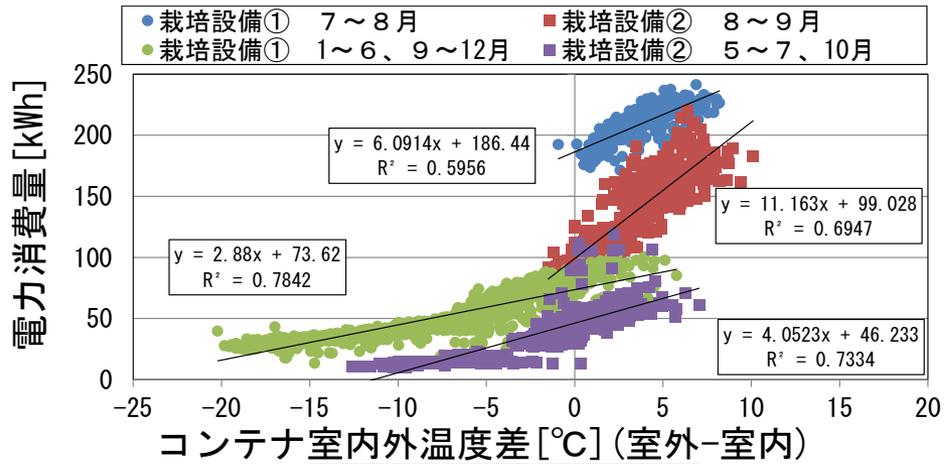
表3に各栽培設備における年間のエアコン稼働条件を示す。

表3 各栽培設備における年間のエアコン稼働条件

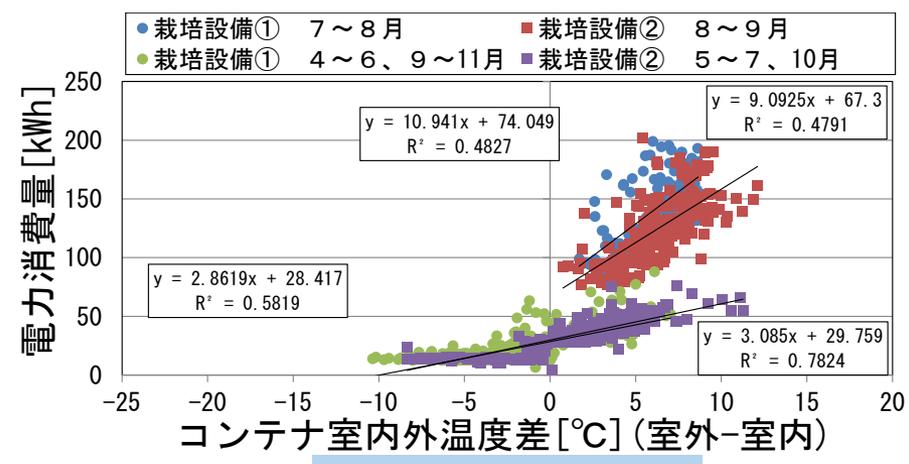
		期間	合計期間
栽培設備①	暖房期間	明期	なし
		暗期	12～3月
	冷房期間	明期	通年
		暗期	4～11月
栽培設備②	暖房期間	明期	11～4月
		暗期	11～4月
	冷房期間	明期	5～10月
		暗期	5～10月

栽培実験結果

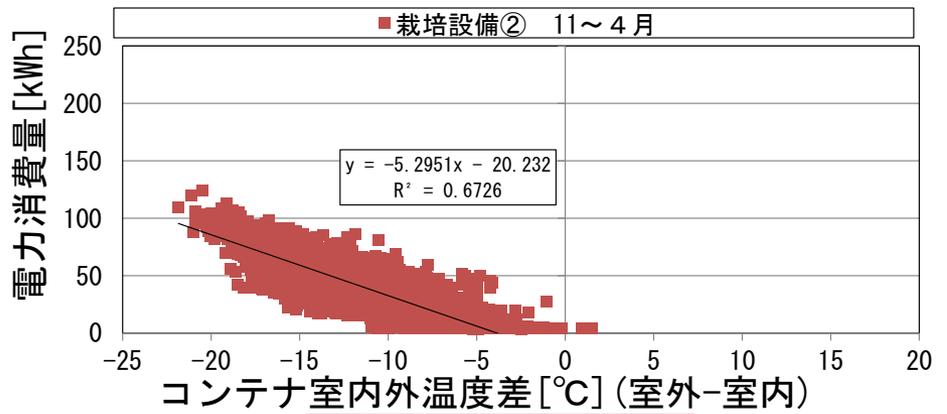
エアコンの電力消費量は室内外温度差にほぼ比例して大きくなる。



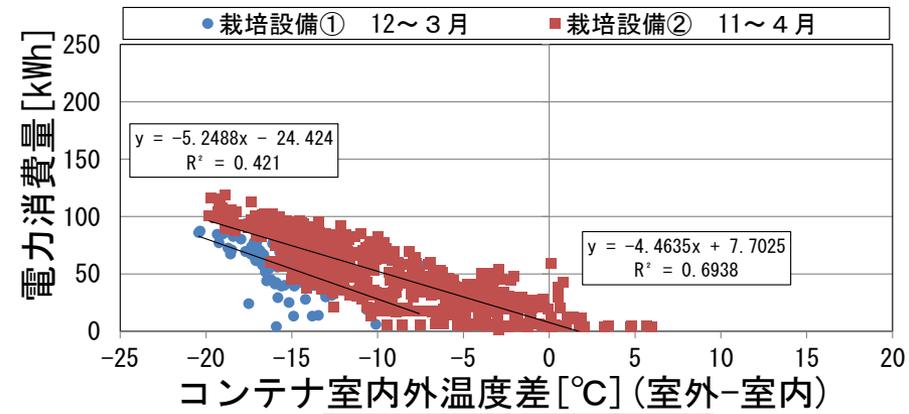
(a) 明期 冷房時



(c) 暗期 冷房時



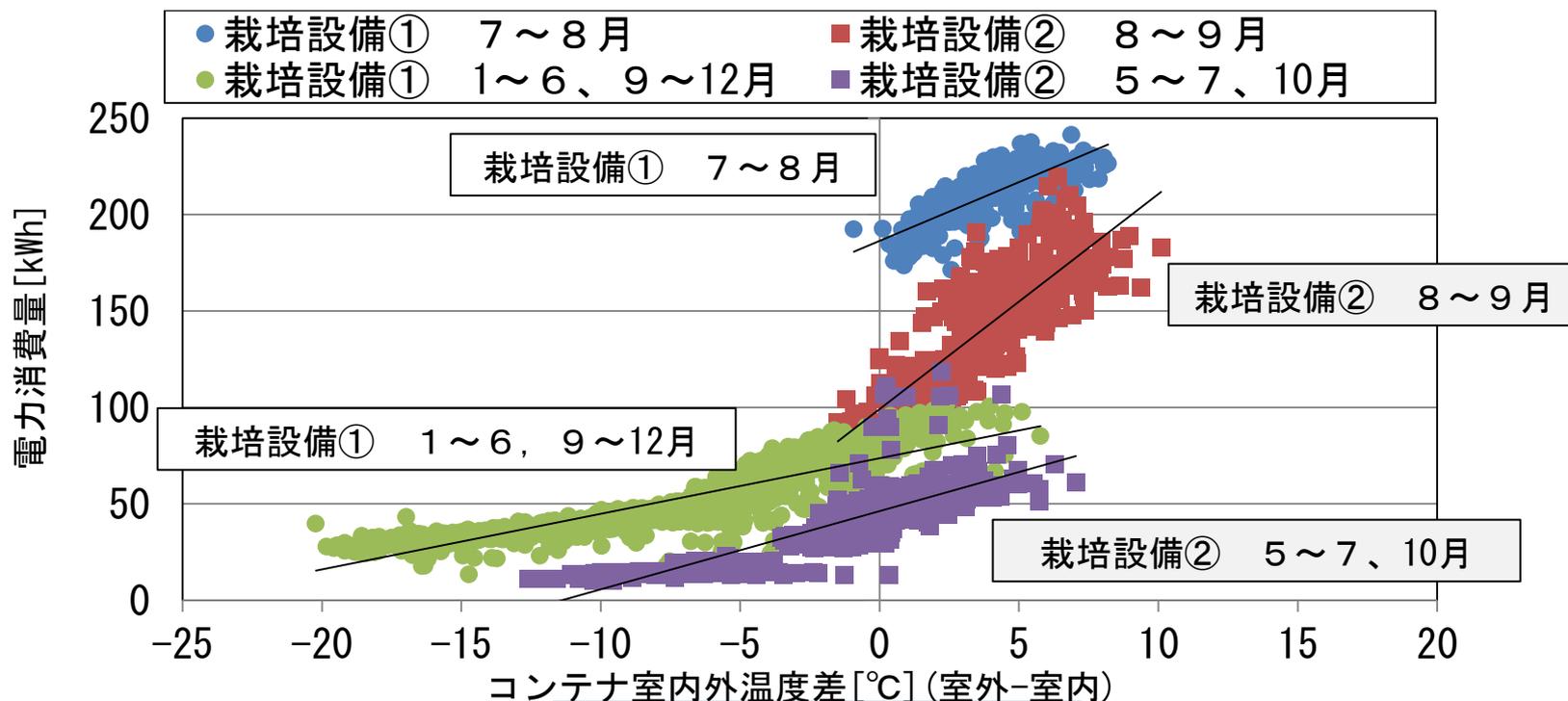
(b) 明期 暖房時



(d) 暗期 暖房時

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

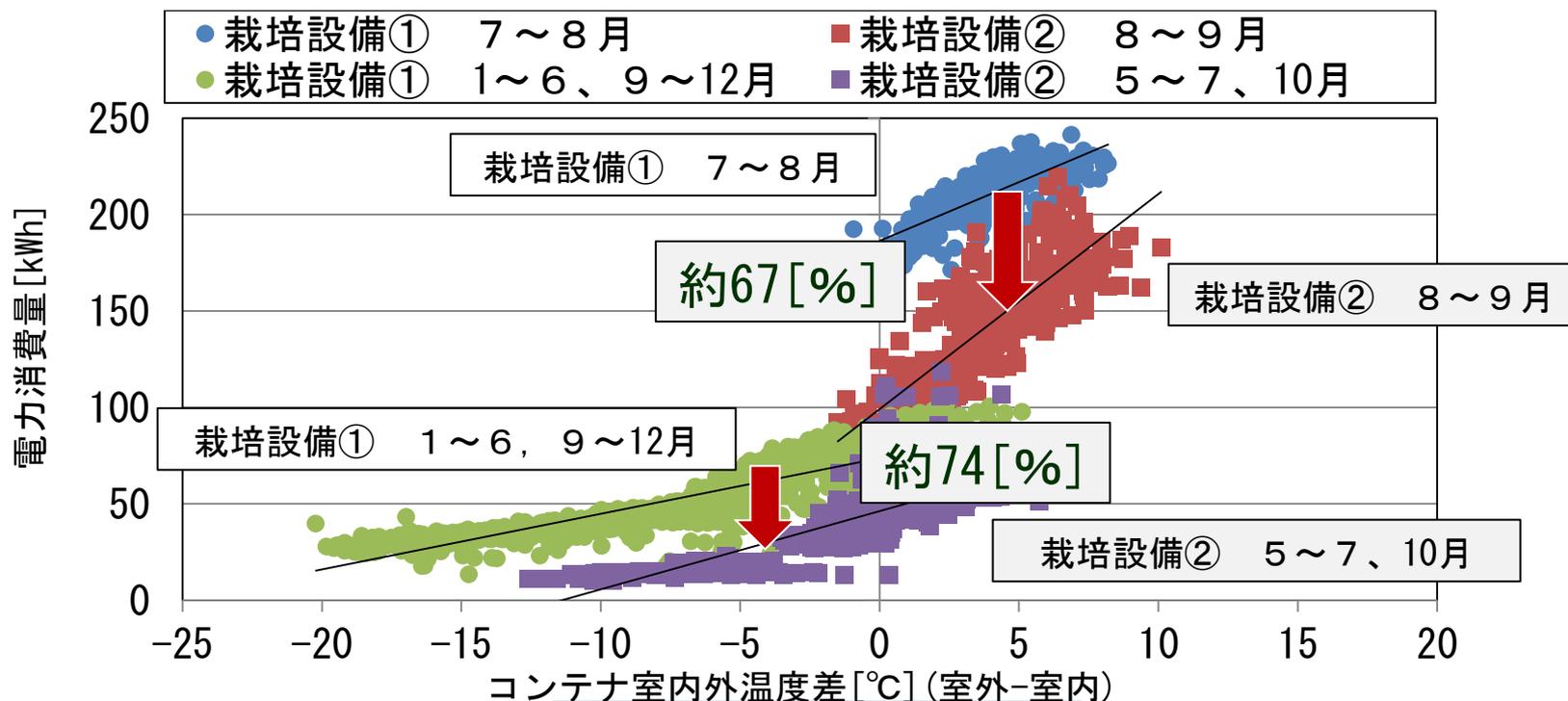
明期冷房時において栽培設備①と栽培設備②を比較すると、栽培設備①に対して栽培設備②のエアコンの電力消費量は、夏季は約67[%]、それ以外の季節では約74[%]となる。



(a) 明期 冷房時

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

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。



(a) 明期 冷房時

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

栽培実験結果

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。

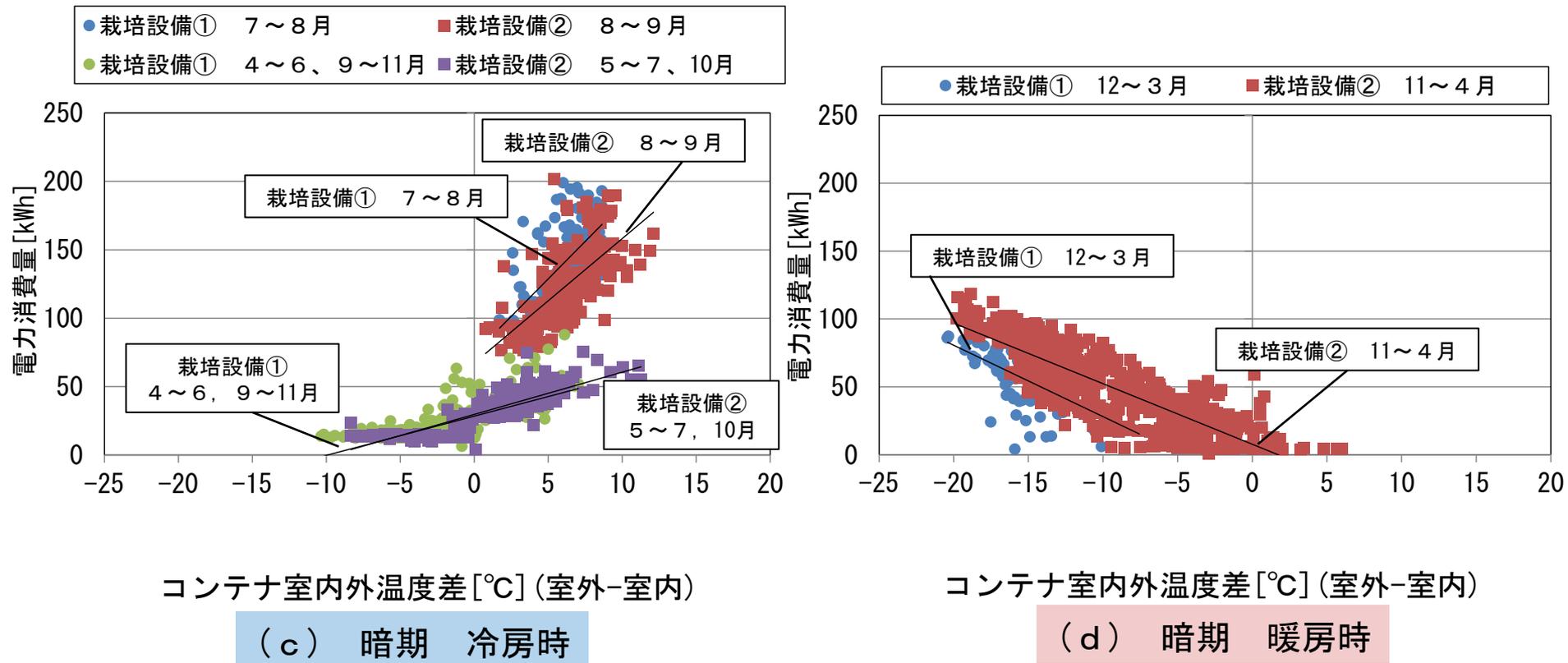
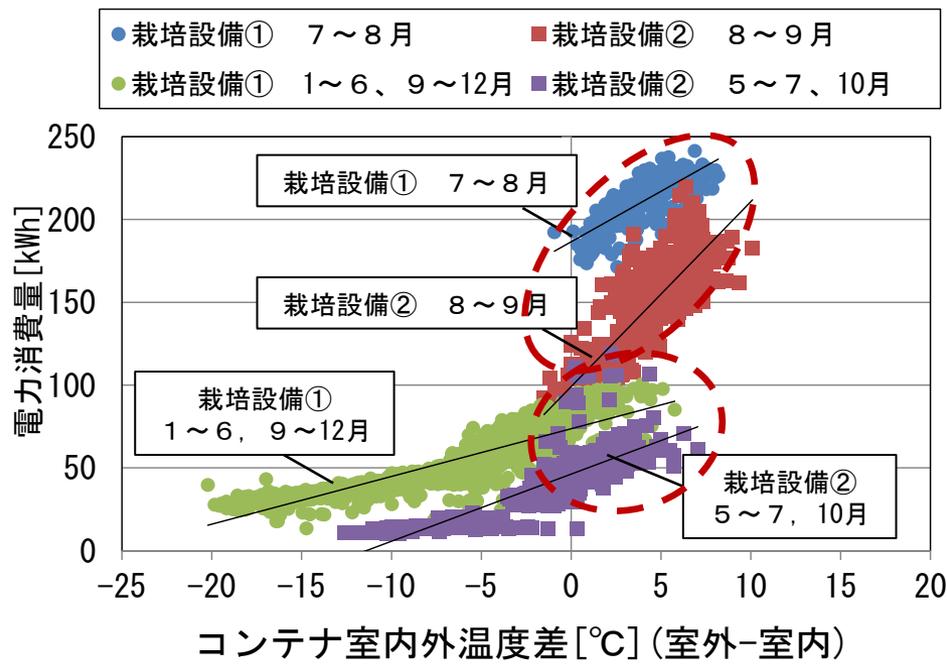


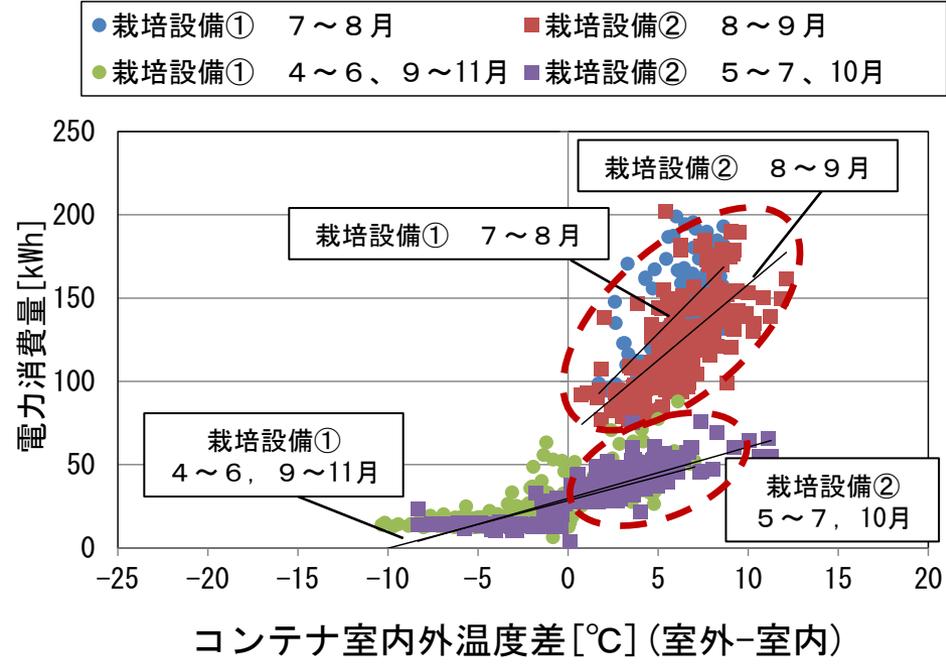
図3 実験期間中の1時間当たりの平均コンテナ室内外温度差とエアコンの電力消費量の関係

栽培実験結果

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。



(a) 明期 冷房時

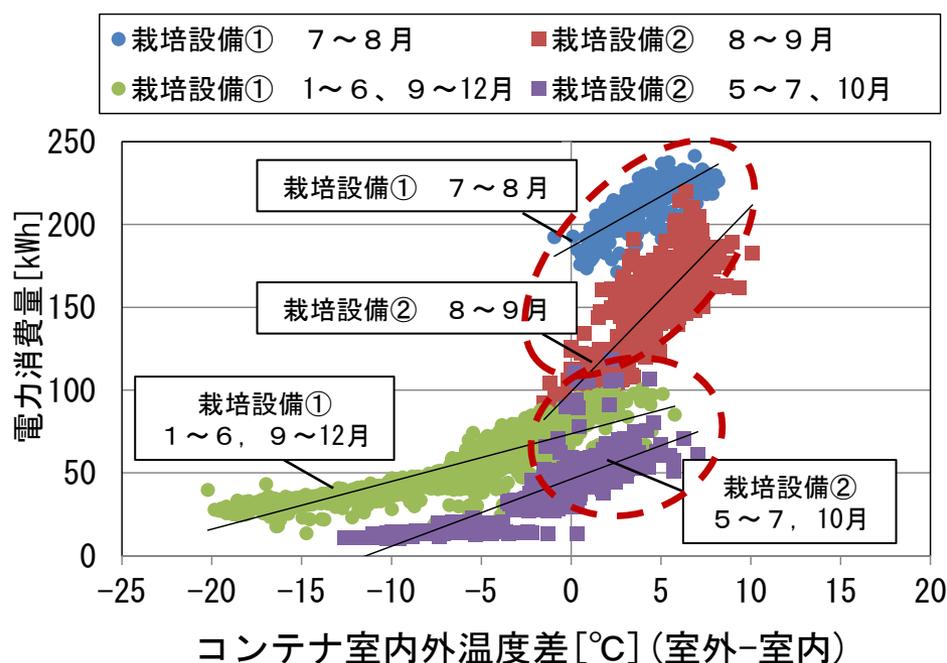


(c) 暗期 冷房時

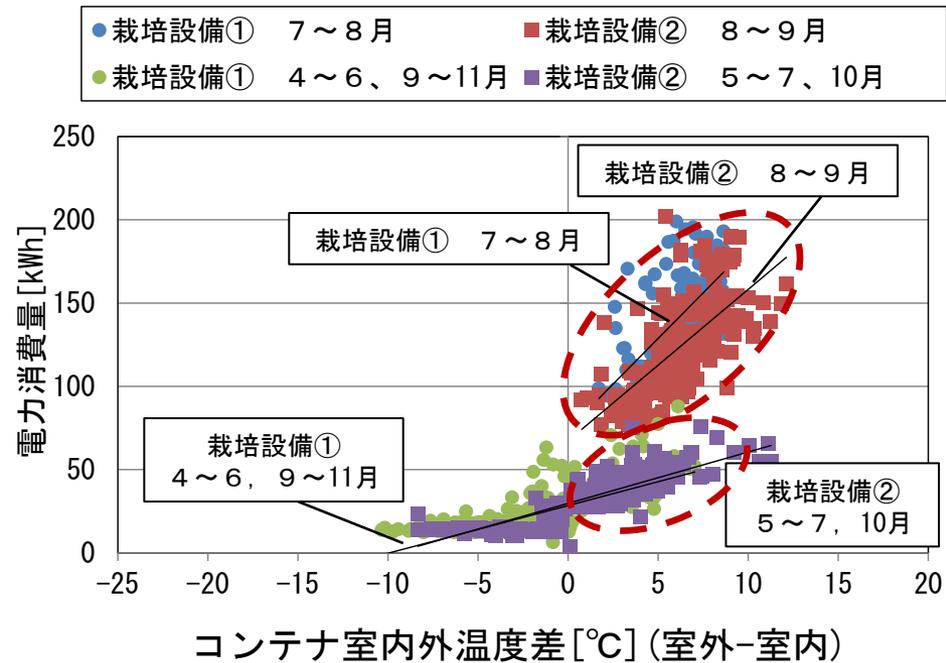
図3 実験期間中の1時間当たりの平均コンテナ室内外温度差とエアコンの電力消費量の関係

栽培実験結果

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。



(a) 明期 冷房時



(c) 暗期 冷房時

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

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※⁶を算出する。

※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。

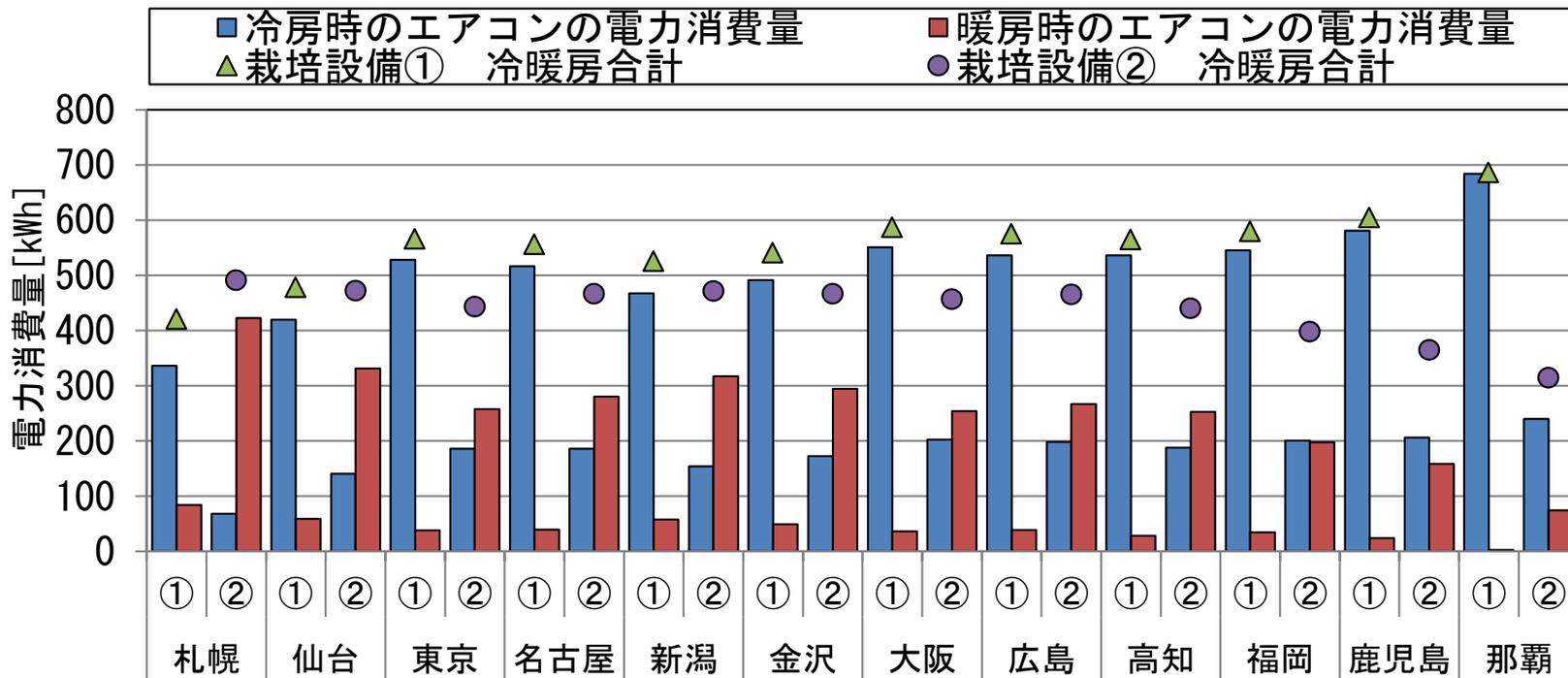


図4 栽培設備①、②における各代表地点のエアコンの年積算電力消費量

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。

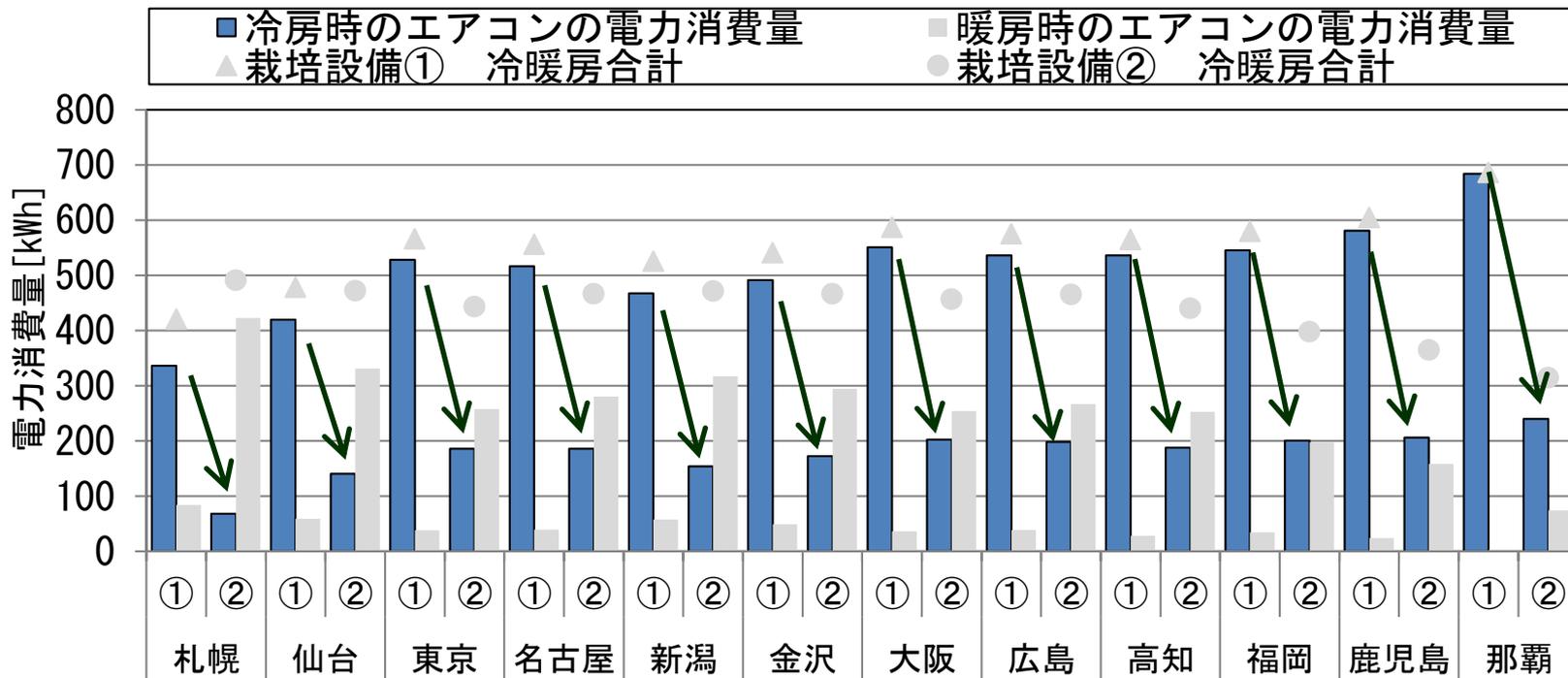


図4 栽培設備①、②における各代表地点のエアコンの年積算電力消費量

冷房時エアコンの電力消費量はどの地点も栽培設備①と比較して栽培設備②の方が少なく**約1/3**となる。

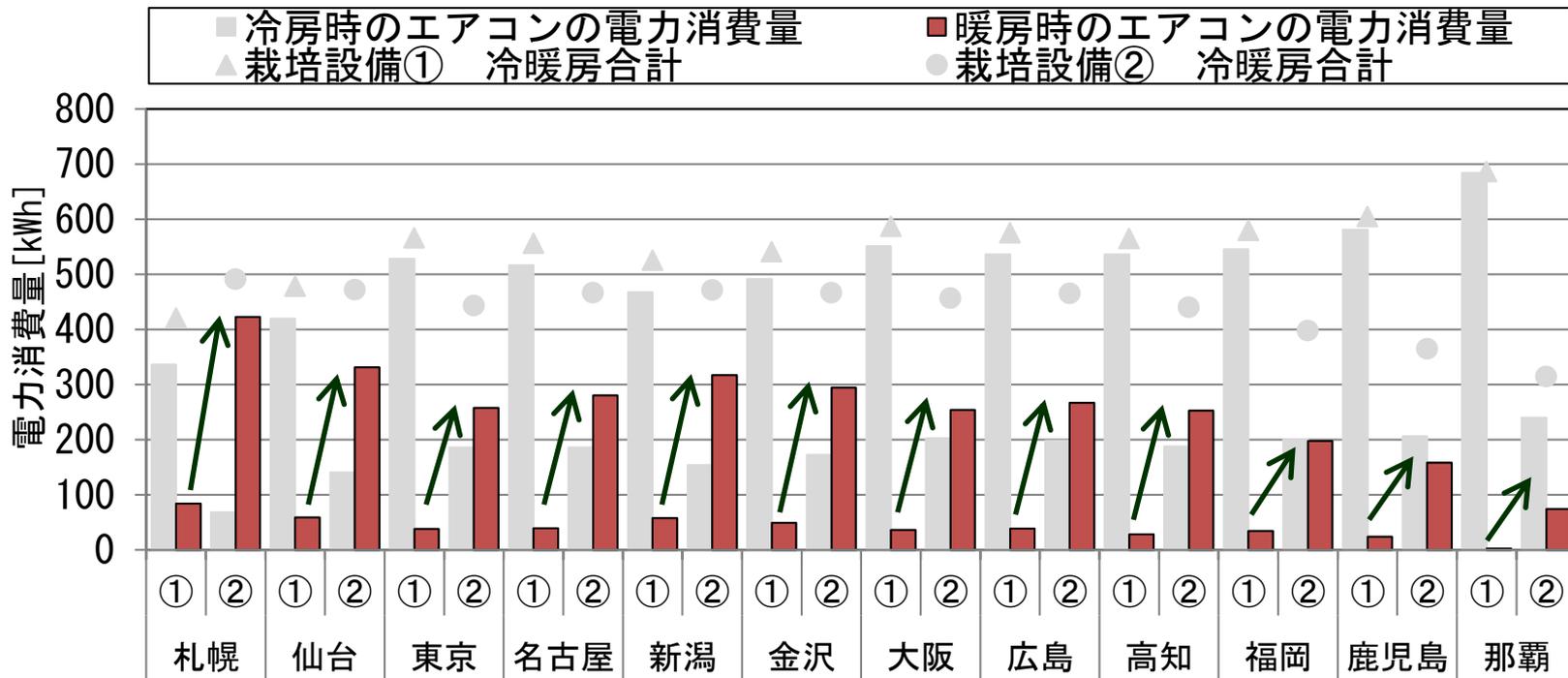


図4 栽培設備①、②における各代表地点のエアコンの年積算電力消費量

暖房時エアコンの電力消費量はどの地点も栽培設備①と比較して栽培設備②の方が多く、札幌と那覇を除く平均では**約7倍**となる。

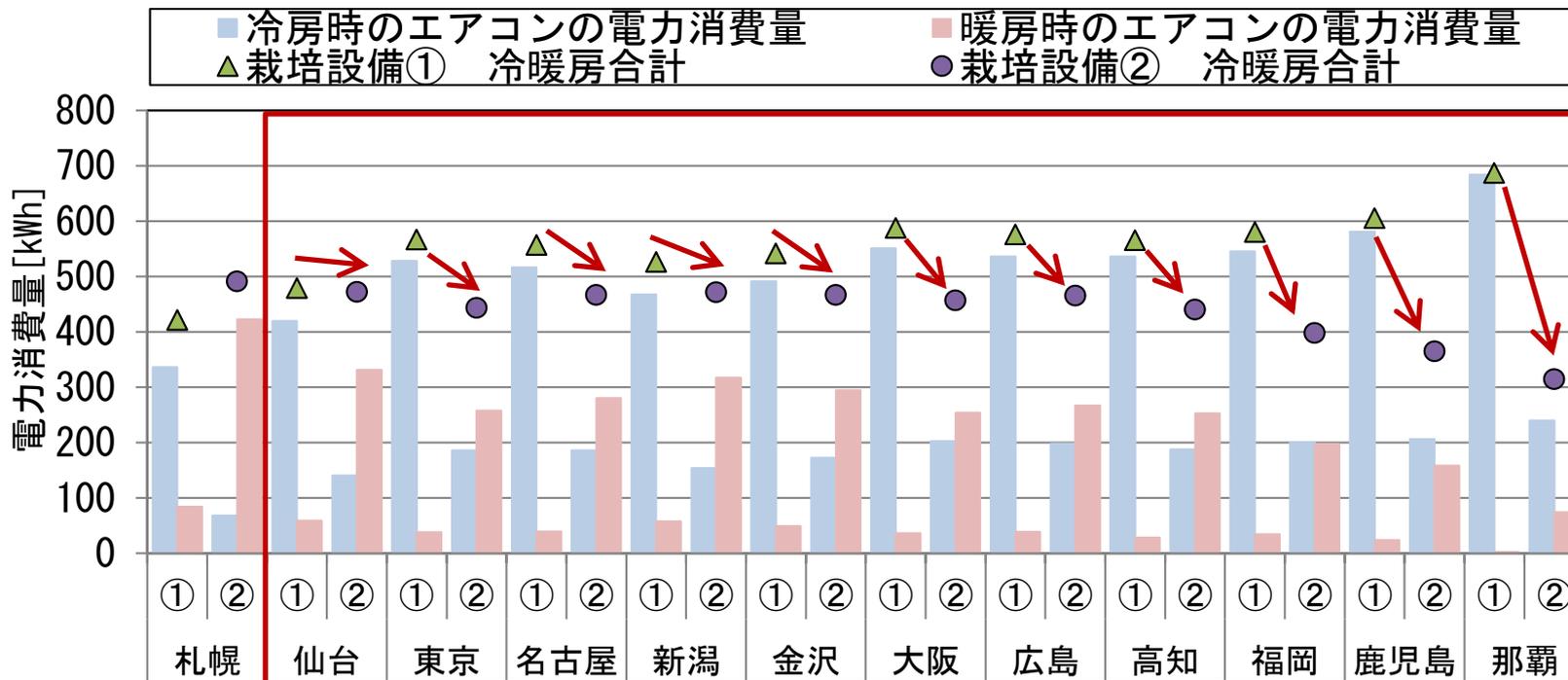


図4 栽培設備①、②における各代表地点のエアコンの年積算電力消費量

札幌以外では、栽培設備①と比較して栽培設備②のエ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。

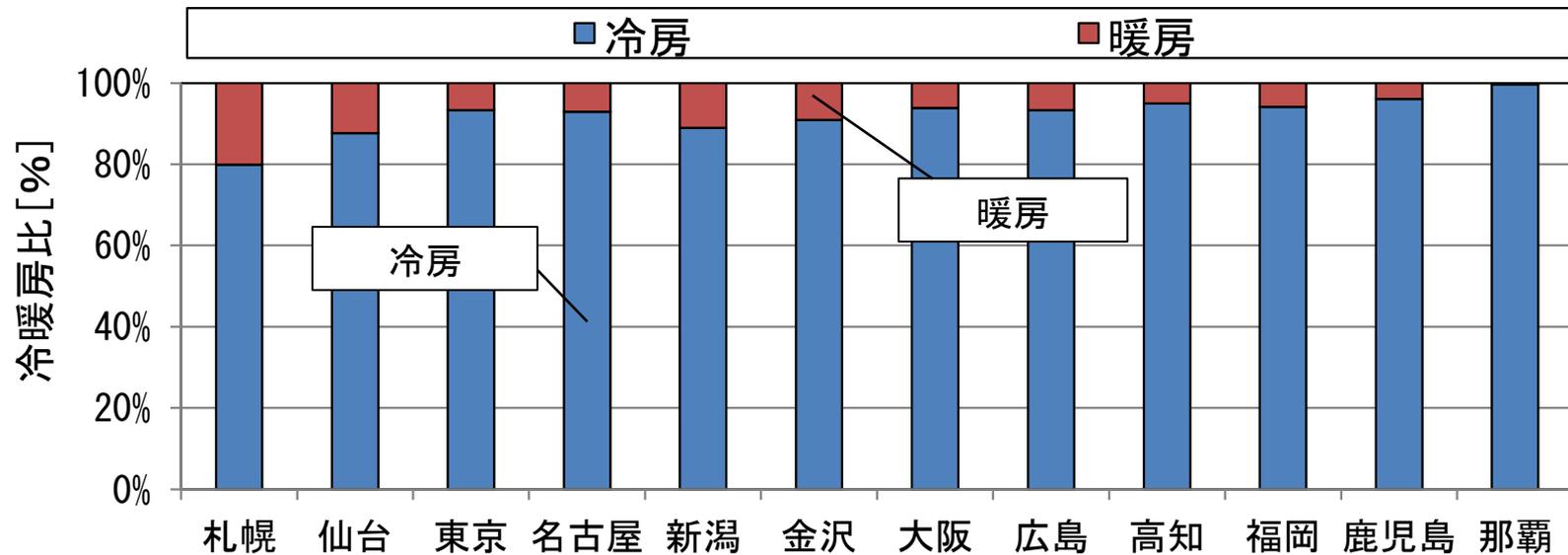


図 栽培設備①における各代表地点の
エアコンの総電力消費量の冷暖房比

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。

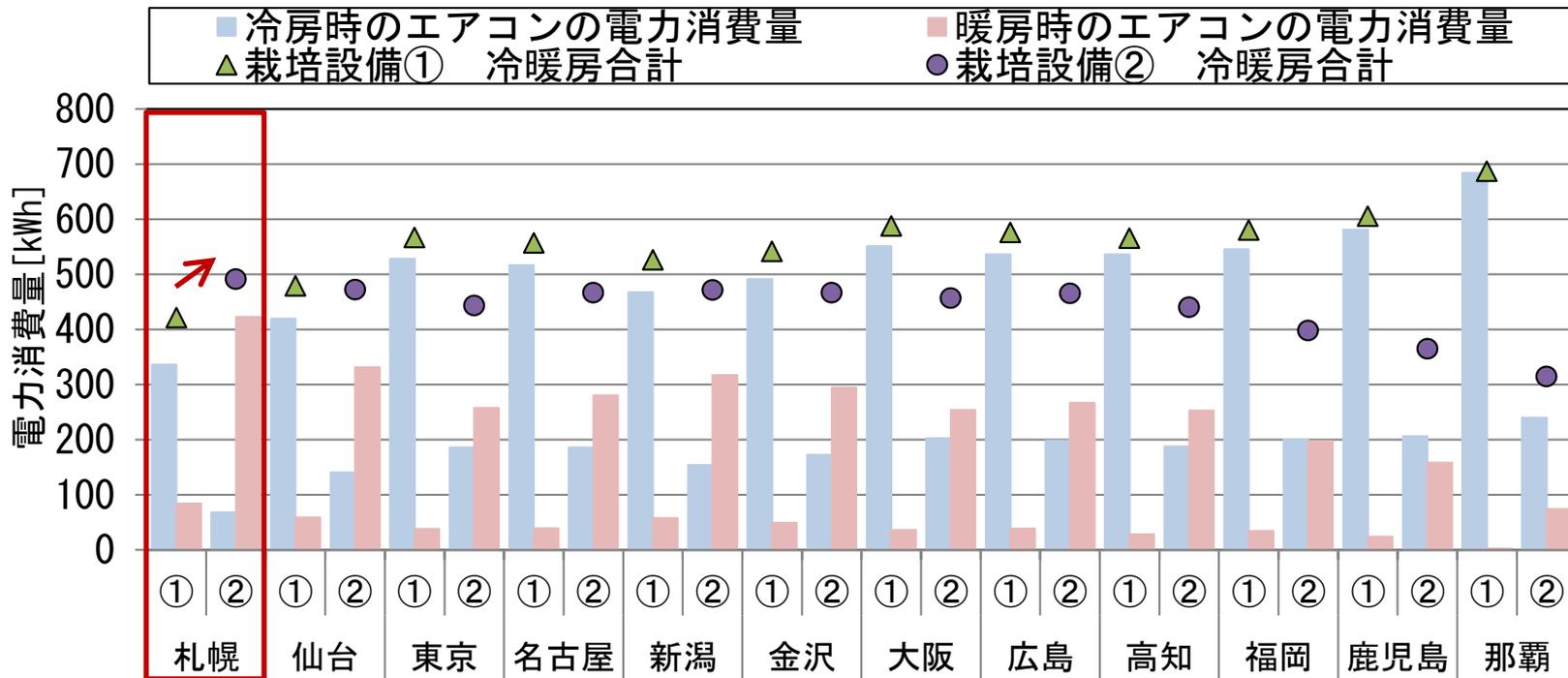


図4 栽培設備①、②における各代表地点のエアコンの年積算電力消費量

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。

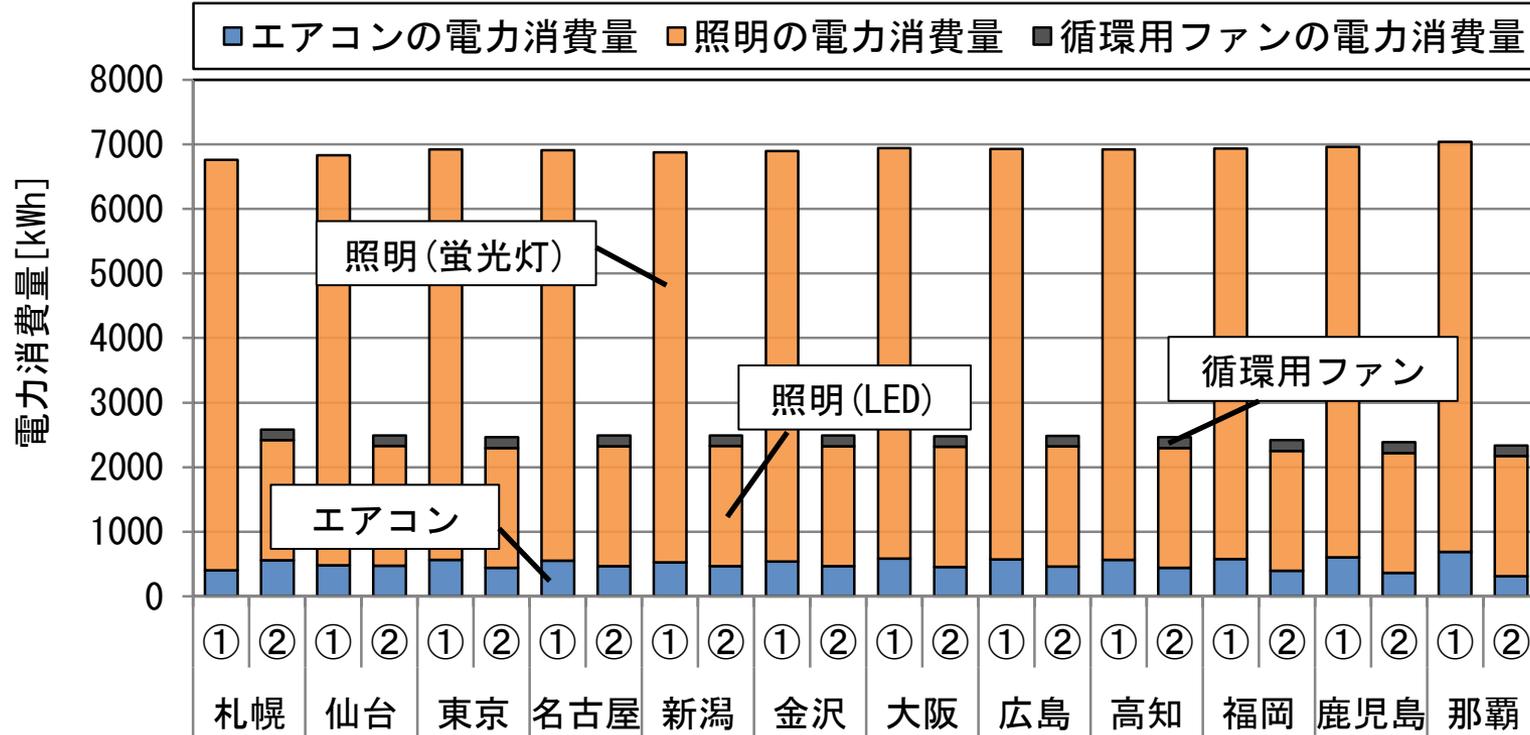


図5 栽培設備①、②における各代表地点の照明・エアコン・循環用ファンを含めた年積算総電力消費量

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。

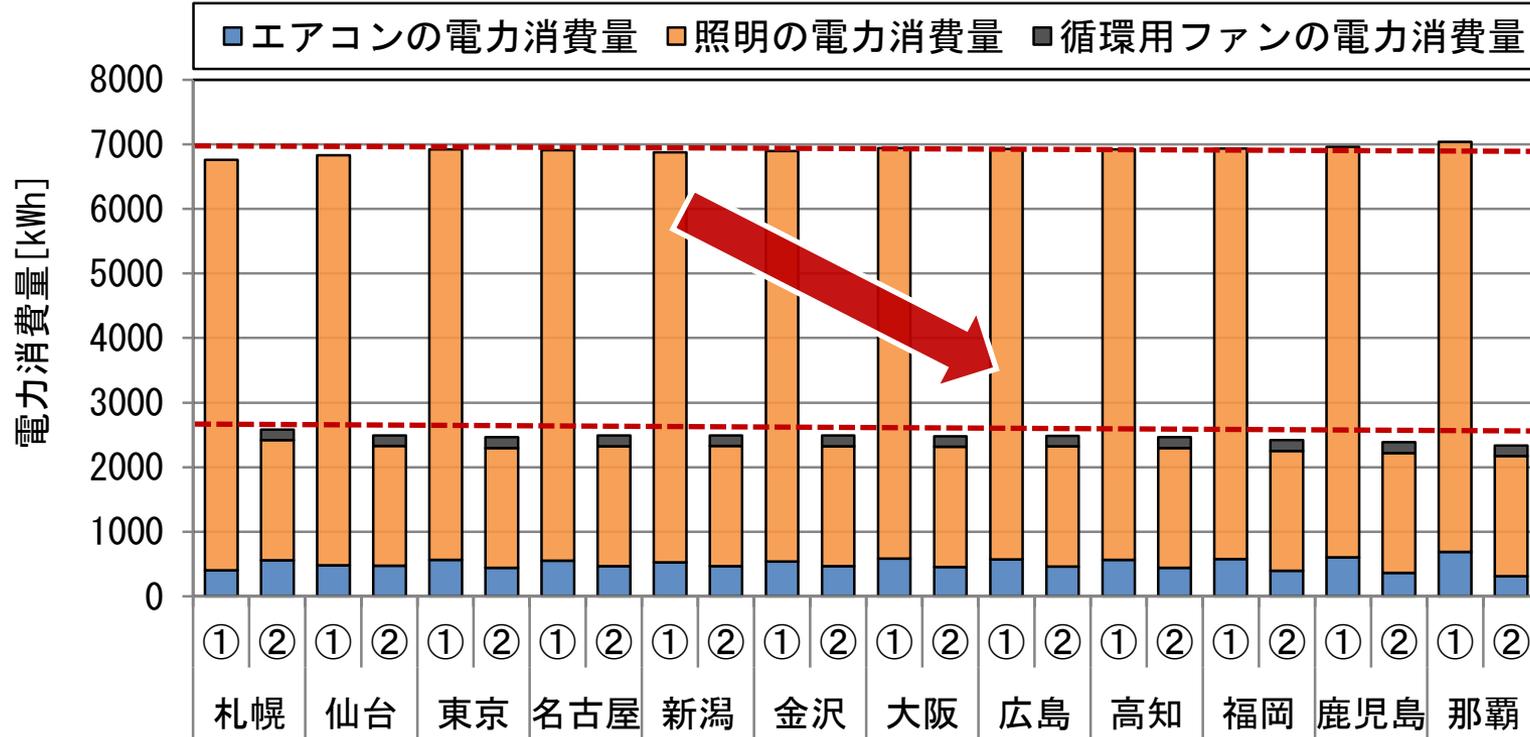
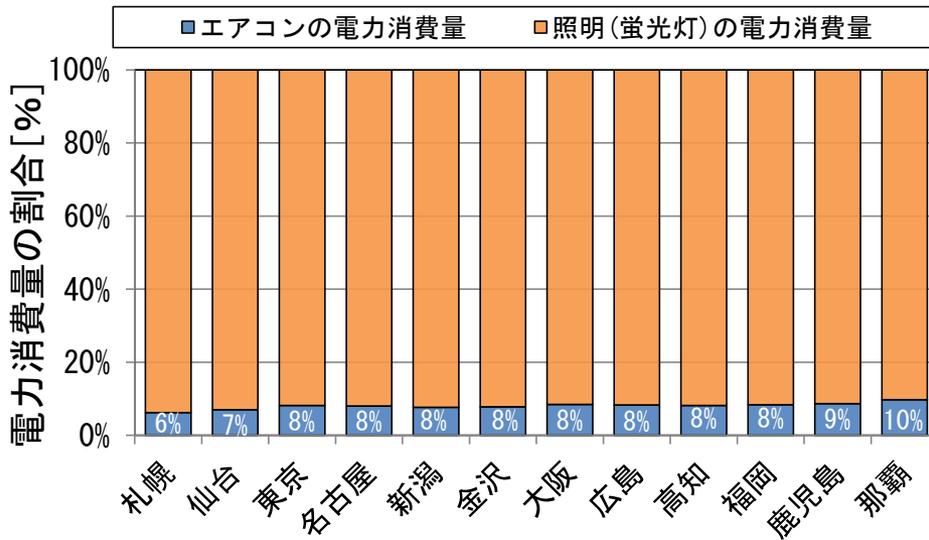


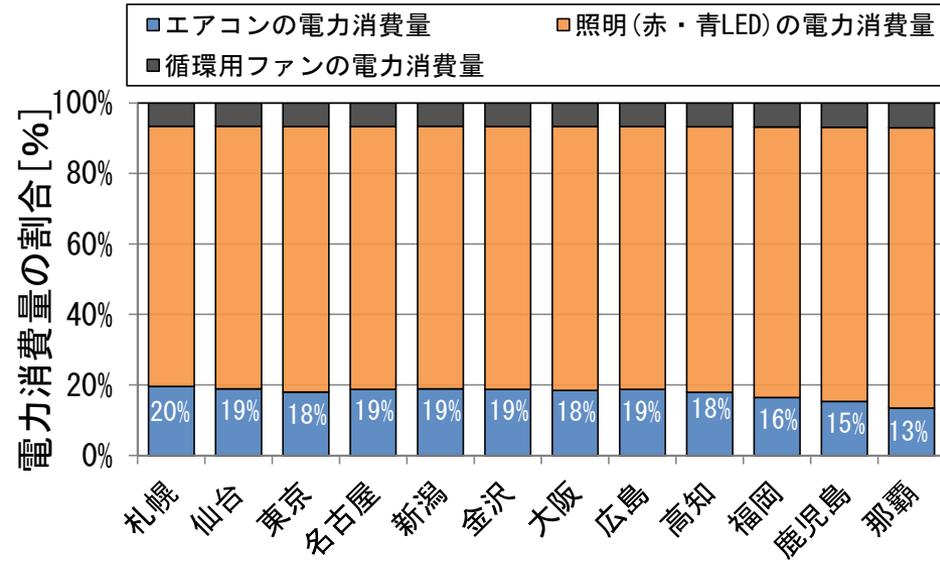
図5 栽培設備①、②における各代表地点の照明・エアコン・循環用ファンを含めた年積算総電力消費量

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。

植物工場稼働時における電力消費量の数値計算結果



(a) 栽培設備①



(b) 栽培設備②

図 各代表地点の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

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。

- 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。