

東京フューチャーアグリシステムの新展開 統合環境制御システムの低コスト化 報告書



令和6年3月28日

公益財団法人東京都農林水産振興財団

背景

- 農総研では都市型農業向けに太陽光利用型の小規模植物工場「東京フューチャーアグリシステム®（以下、TFAS）」を開発し、これまでに、TFASによりトマト・キュウリ・パプリカで高収量生産ができることを実証してきた
- TFASは小規模植物工場としては安価なものとして開発されたが、普及を促進するためには更なるコストダウンが求められている

東京フューチャーアグリシステム®

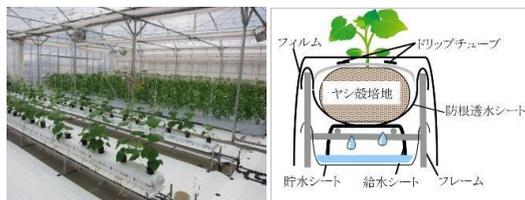
● 東京ブライトハウス®

- ・採光性向上
- ・資材費低減



● 東京エコポニック®

- ・廃液ゼロ
- ・資材費低減



● 統合環境制御装置

- ・リアルタイム制御
- ・温湿度、CO2濃度の最適化



トマト/キュウリ等で試験

- トマト51t/10a等
高収量と高品質化を実証



普及促進のためにはさらに**コストダウン**が必要

目標

- 低コストな環境制御装置を、都内に多く見られる小型ハウスに導入し、TFASと同様の環境制御をすること（低コスト環境制御コントローラ採用TFAS：以下「LC-TFAS」）を想定した試験を実施することで、その際のハウス内環境や制御機器の稼働、導入コスト等について明らかにする

TFAS

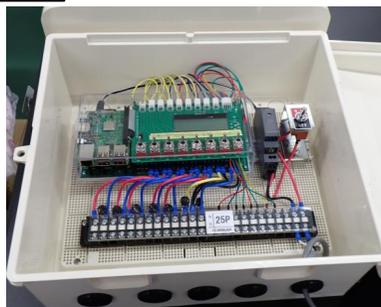


TFASの環境制御装置
本体価格：250万円



東京ブライトハウス®
ハウス価格：1500万円※
※500㎡のハウスを新築した場合

LC-TFAS



LC-TFASの環境制御装置
本体価格：150万円



高軒ハウス
既存のハウスを使用

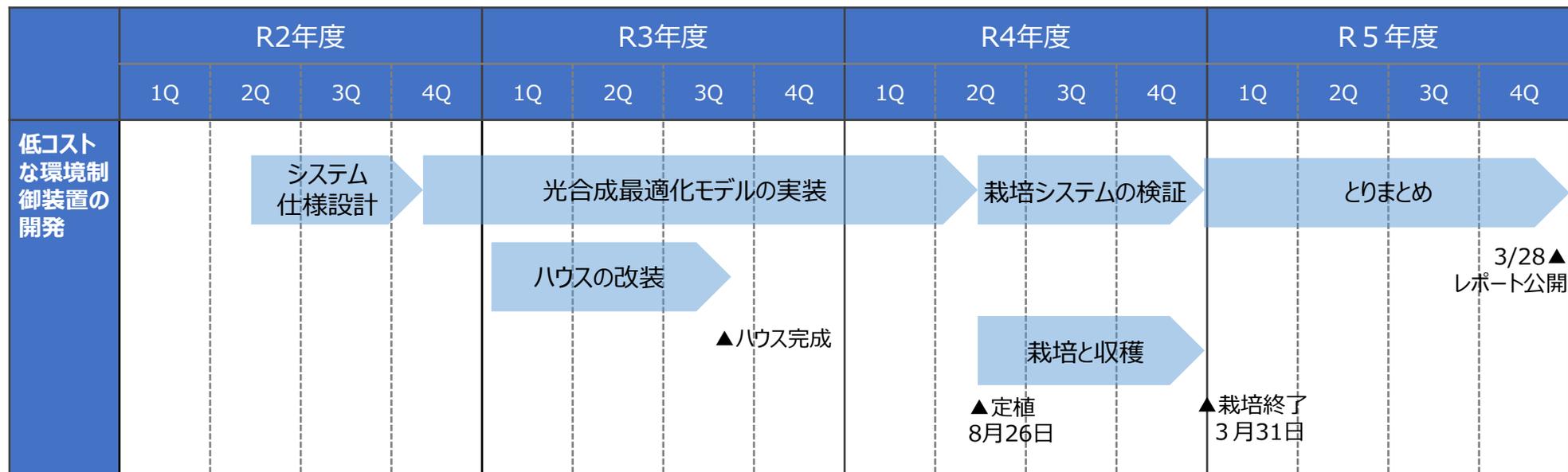
環境制御装置とハウスを低コスト化

低コスト化による変化を
明らかにする

- ・ハウス内環境
- ・環境制御機器の稼働
- ・初期導入コストと経営試算

実施スケジュール

- 令和2年度：環境制御装置の選定とシステムの仕様設計
- 令和3年度：LC-TFASハウスの改装及び検証環境の整備
TFASで採用されている制御モデル（光合成最適化モデル）を低コスト環境制御装置に組みめるように開発
- 令和4年度：システムの検証
- 令和5年度：試験のとりまとめ





検証環境

検証ハウス

- ハウス主骨材は、TFASではΦ60.5のパイプが採用し、ハウスの骨材を減らすことで採光性を高くしているのに対し、LC-TFASは都内で主に採用されているハウスと同様の、Φ48.6のパイプを使用した地中差込式のパイプハウスを供試
- ハウスの被覆構造は、TFASでは採光性の良いフッ素樹脂フィルムを二重に張り、フィルムの中に空気膜を作ることで保温性を高めているが、LC-TFASの被覆材にはPOフィルムを用いて一重被覆とし、採光性と保温性は劣るがTFASより資材費を安価にした低価格化

ハウス外観



LC-TFAS (市販のパイプハウス)



TFAS (東京ブライトハウス®)

ハウスの仕様比較

	LC-TFAS	TFAS
ハウス	市販のパイプハウス	東京ブライトハウス®
ハウスの規模	単棟184m ² (間口8m、奥行23m、軒高2.5m)	連棟240m ² (間口16m、奥行15m、軒高3m)
主骨材	Φ48.6	Φ60.5
被覆材	POフィルム	フッ素樹脂フィルム
被覆方式	一重被覆	空気膜二重被覆
ハウス価格※	一般的なパイプハウス	高価で高性能
	15.8千円/m ²	22.9千円/m ²

※ハウス価格はフレーム+外装被覆+基礎工事の金額を栽培室面積で除した (税込み)

環境制御コントローラ

- TFASはシーケンサ制御の環境制御コントローラが採用されているのに対し、LC-TFASでは低コストなワンボードマイコンを搭載した環境制御コントローラを採用した
- LC-TFASでは環境制御コンセプトとして光合成最適化モデル管理と多段式変温管理を選択可能にした
- いずれの環境制御コントローラも専用のWEBアプリから環境制御機器の操作やハウス内環境の確認ができる

環境制御コントローラの比較

	LC-TFAS	TFAS
制御系	ワンボードマイコン制御 「Arspout」	シーケンサ制御 「DM-ONE」
環境制御 コンセプト	光合成最適化モデル管理 多段式変温管理	光合成最適化モデル管理
WEBアプリの 制御画面		

※光合成最適化モデル管理：純光合成速度が最大になるように、ハウス内環境を制御する管理方法
 多段式変温管理：任意に時間ごとのハウス内温度を設定する管理方法

環境制御機器

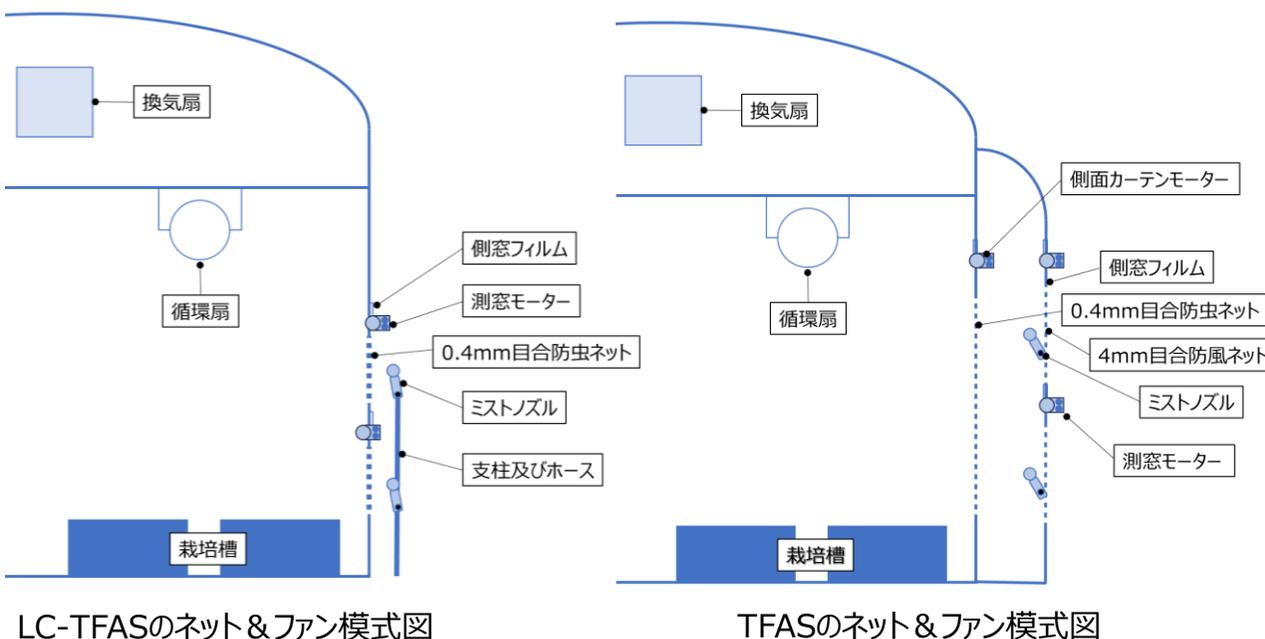
- LC-TFASでトマトを周年栽培可能になるように環境制御機器を選定した
- TFASで温度および湿度の管理のため採用されているヒートポンプはコスト削減のため不採用とした

環境制御機器の比較

	LC-TFAS	TFAS
暖房機	燃焼式：灯油、AC200V、消費電力290W、熱出力37.2kW、「KA-325T」	燃焼式：灯油、AC200V、消費電力290W、熱出力46.5kW、「KA-405T」
換気扇	Φ600、三相200V、200W、2台	Φ1000、三相200V、400W、4台
循環扇	Φ300、単相100V、35W、2台	Φ350、三相200V、47W、4台
側層モータ	DC24V駆動、消費電力48W/台、4台	DC24V駆動、消費電力48W/台、6台
温湿度計	強制通風式（ハウス内）、自然拡散式（ハウス外）	強制通風式（ハウス内）、自然拡散式（ハウス外）
天面カーテン	遮光保温兼用カーテン（遮光率30%）、DC24V駆動、消費電力48W/台、2台	遮光保温兼用カーテン（遮光率30%）、DC24V駆動、消費電力48W/台、4台
気化冷却システム	次項参照	
CO2施用機	ボンベ式：流量2L/m 電磁弁：「AB41-03-3」、AC100V、6.7W	ボンベ式：流量5L/m 電磁弁：「SEV-502XF」、AC100V、7W
ヒートポンプ	-	三相200V、暖房消費電力3400W、「ぐっぴーバズーカーツインタイプ」

気化冷却システム（ネット&ファン）

- 暑熱対策として、TFASで採用されている水の気化熱を利用したシステム（ネット&ファン）を、既存のハウスに取り付けることができるように改良
- LC-TFASはハウス側面を一重構造にし、支柱にミストノズルを取り付けることで、ハウス資材費を削減（TFASは外側窓と内側窓から構成される二重構造で、外側窓にミストノズルを取付）



項目	LC-TFAS	TFAS
ミストノズル	「マイクロプリンクラーシングルヘッド」、噴霧量：7.5L/h、粒子：65ミクロン	同左
ポンプ	DC24V駆動、18.9L/min「パーマックスプラス82500-0094」、168W	DC24V駆動、15.1L/min「パーマックス82400-0094」、132W
電磁弁	DC24V駆動 CKD社製「ADK11-20A」、10W	同左
取付位置	取付用支柱	外側窓

注) 「」内は商品名、型番

※ネット&ファン

ハウス側窓を0.4mm目合防虫ネットにし、ミストを側窓ネットに噴霧し、外気が濡れたネットを通る際に気化熱によって空気を冷却する。冷却された空気をハウス内に取り込むことで温度を下げる。ハウス内の空気は妻面に設置した換気扇から排気する。

栽培試験の概要

- LC-TFASにおいてトマト（りんか®409）の栽培を行った
- 作型は、栽培システムの検証期間に合わせて越冬短期栽培で行った
- 栽培層にTFASで採用されているものと同様の東京エコポニックを採用した

施設・栽培概要																																					
システム	東京エコポニック タイマー式自動灌水装置																																				
	作型・栽培法： 越冬短期栽培・多段どり 栽培スケジュール 令和4年8月26日～令和5年3月31日																																				
栽培	<table border="1"> <thead> <tr> <th>作期</th> <th>8月</th> <th>9月</th> <th>10月</th> <th>11月</th> <th>12月</th> <th>1月</th> <th>2月</th> <th>3月</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>栽培作業</td> <td>▼定植</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>収穫期間</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>温度管理</td> <td></td> <td></td> <td>光合成最適化モデル管理</td> <td></td> <td></td> <td>多段式変温管理</td> <td></td> <td>光合成最適化モデル管理</td> </tr> <tr> <td>品目：トマト 品種：りんか®409 栽培密度：1区画8本（株間15cm、3420株/10a）</td> <td colspan="8"></td> </tr> </tbody> </table>	作期	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	栽培作業	▼定植					収穫期間			温度管理			光合成最適化モデル管理			多段式変温管理		光合成最適化モデル管理	品目：トマト 品種：りんか®409 栽培密度：1区画8本（株間15cm、3420株/10a）								
	作期	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月																												
	栽培作業	▼定植					収穫期間																														
	温度管理			光合成最適化モデル管理			多段式変温管理		光合成最適化モデル管理																												
品目：トマト 品種：りんか®409 栽培密度：1区画8本（株間15cm、3420株/10a）																																					

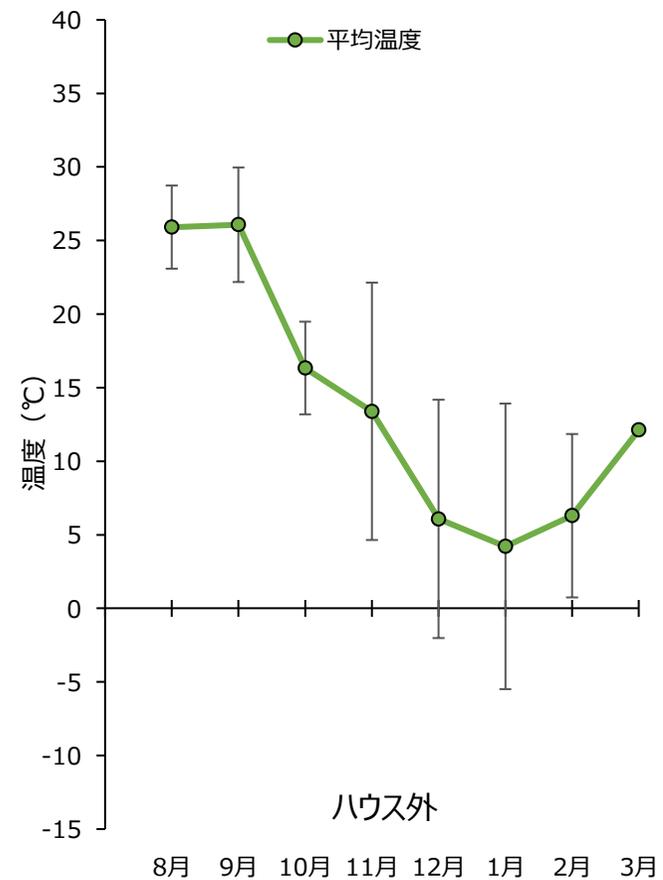
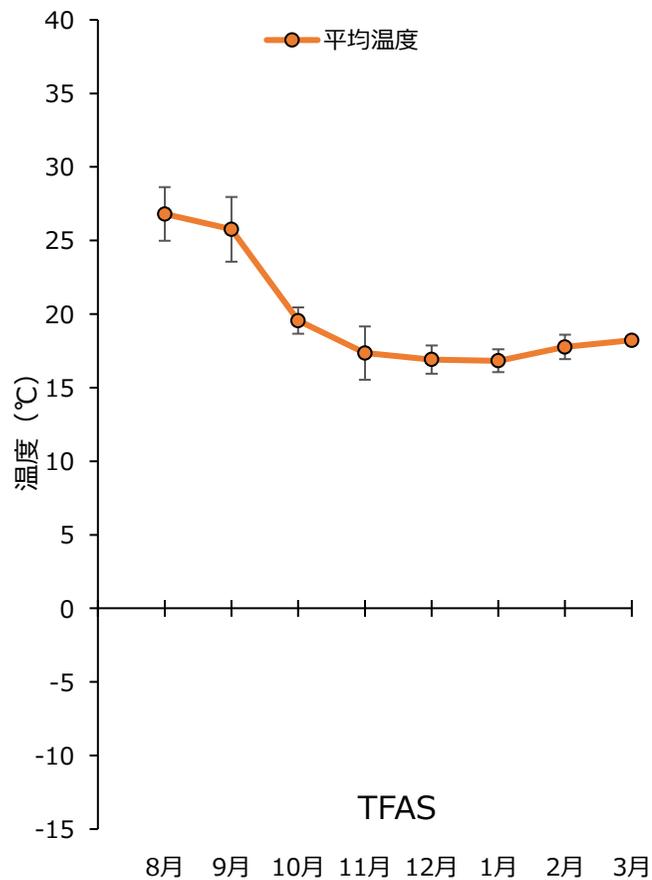
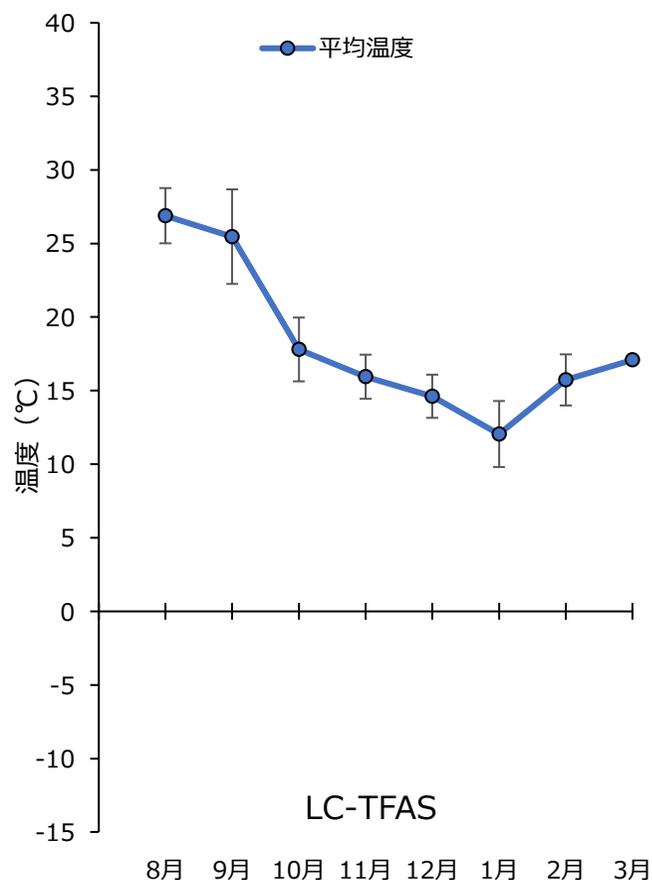
※同期間にTFASにおいても栽培試験を行ったが、栽培槽の不調により栽培が失敗したため、収量等の比較データはない。

※栽培期間中のLC-TFASの温度管理は、試験期間中に1重被膜ハウスでは厳冬期の燃料消費量が多くなることが明らかとなったため、厳冬期は多段式変温管理によりハウス内最低気温を7℃以上に設定し、栽培を行った。
TFASは栽培期間を通して光合成最適化モデル管理により栽培を行った。

検証結果

ハウス内平均温度

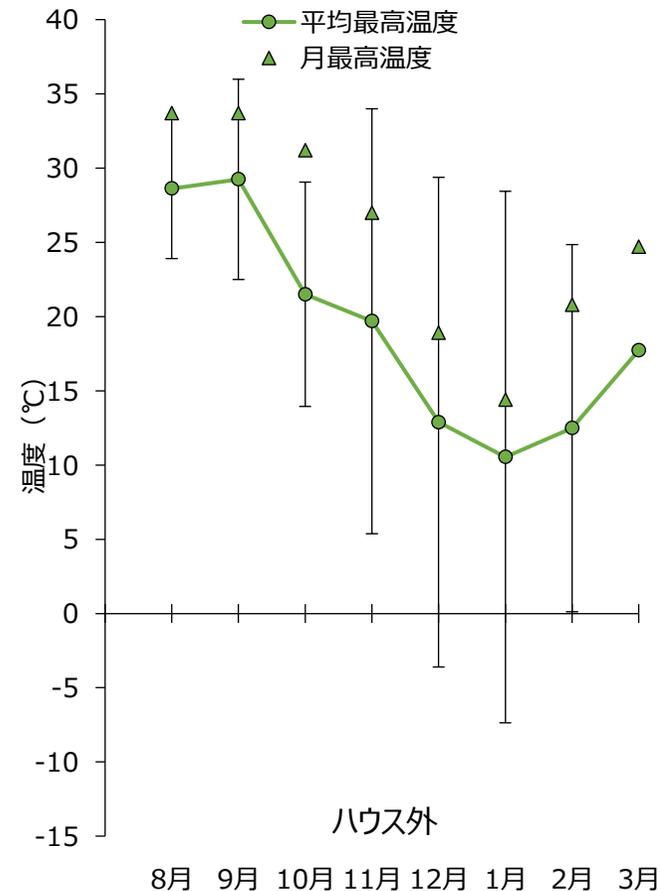
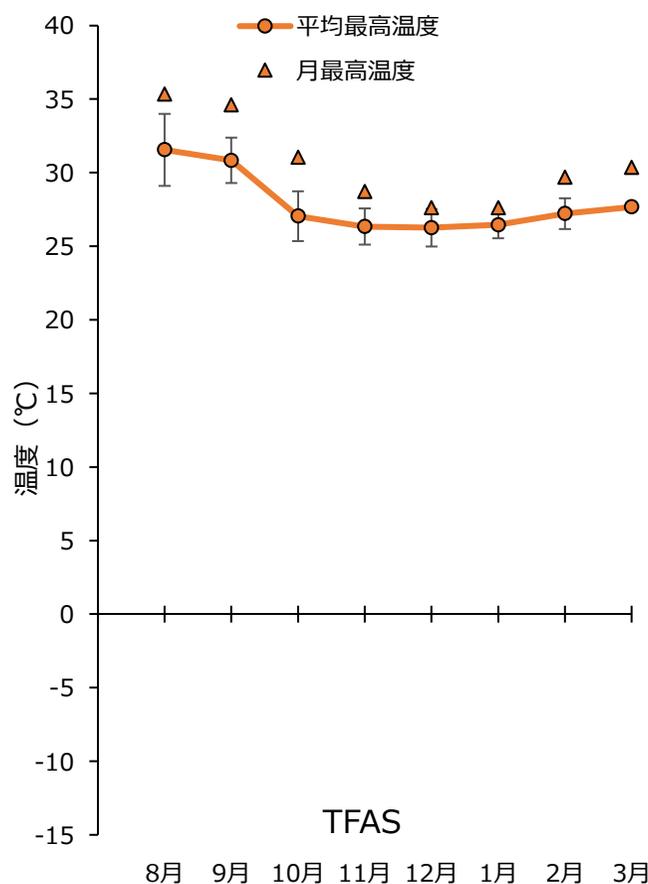
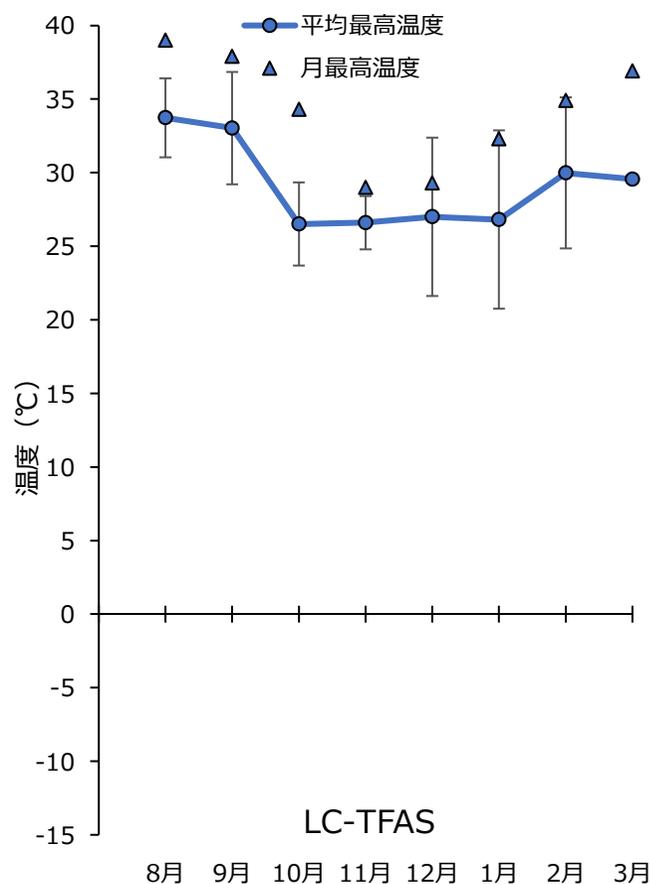
- LC-TFASとTFASの令和4年8月26日～令和5年3月31日のハウス内外温度を比較した
- LC-TFASの平均内温度は、8月～9月は約26℃以上、10月～3月は12℃～17℃で推移した
- TFASと比較し、LC-TFASは特に冬期のハウス内温度が低く、1月の積算温度はLC-TFASが373.6℃、TFASが521.6℃となり、トマトの生育に必要な積算温度を確保するためにはLC-TFASの方が期間を要した



グラフのプロットは平均値、エラーバーは標準偏差を示す

ハウス内最高温度

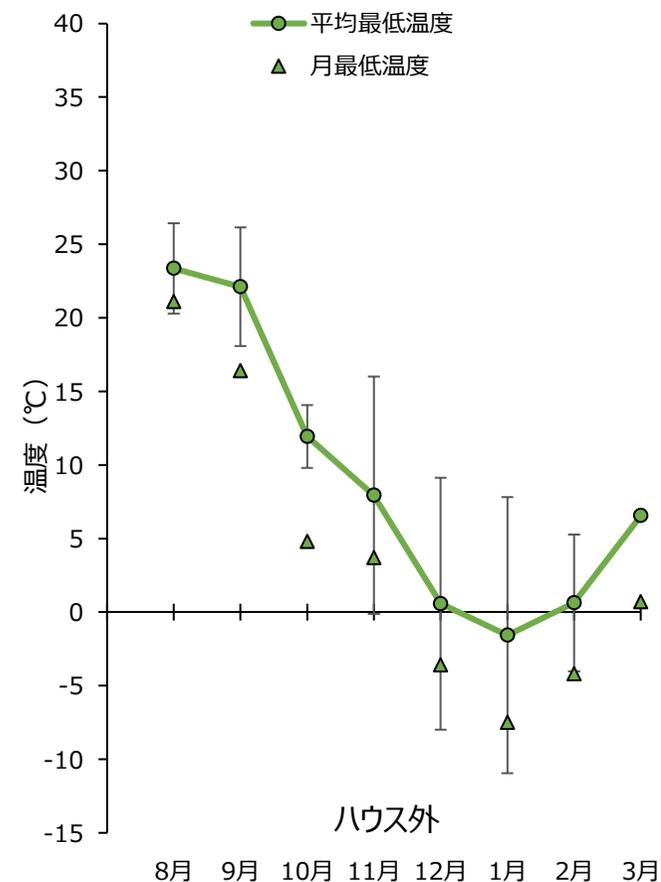
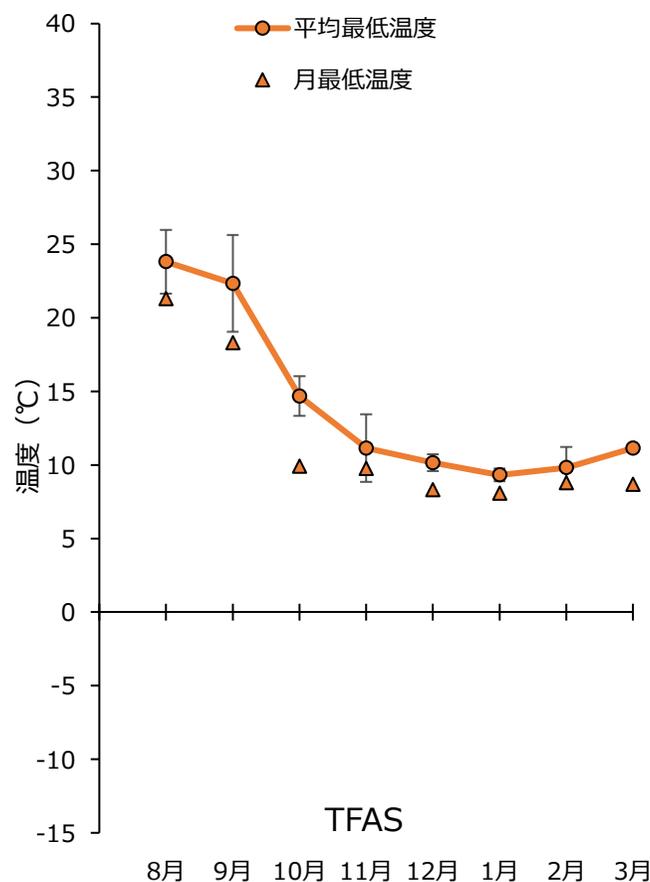
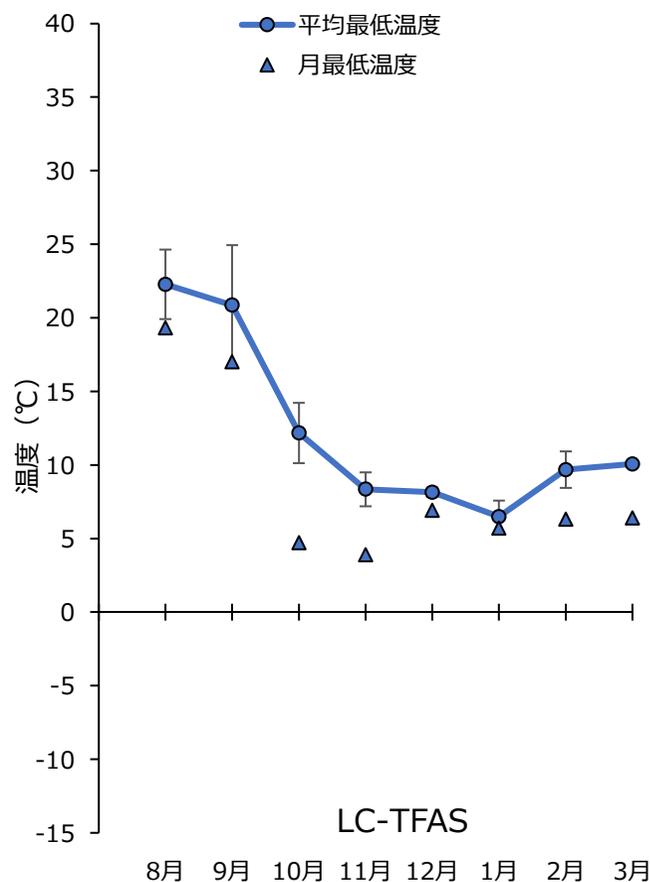
- LC-TFASの平均最高内温度は、8月～9月は、換気と暑熱対策によりハウス外温度との差を4℃に抑え、10月～3月は26℃～29℃の間で推移した
- ハウス内最高温度は、LC-TFASは39℃、TFASは35.3℃だった。また、平均最高温度が高く、標準偏差もLC-TFASの方が大きくなった
- LC-TFASでは夏季においてハウス内が瞬間的に40℃近い気温になるため、栽培時は高温障害に注意が必要になる



グラフのプロットは平均値、エラーバーは標準偏差を示す

ハウス内最低温度

- LC-TFASの最低内温度は、8月～11月はハウス外温度と同程度で推移し、12月～3月は暖房の加温により3.5℃～9℃高く維持した
- ハウス内最低温度は、LC-TFASは3.9℃、TFASは8.0℃だった。また、平均最低温度が低く、標準偏差も実証ハウスの方が大きくなった
- LC-TFASでは冬季においてハウス内が瞬間的に5℃以下の気温になるため、栽培時は低温障害に注意が必要になる

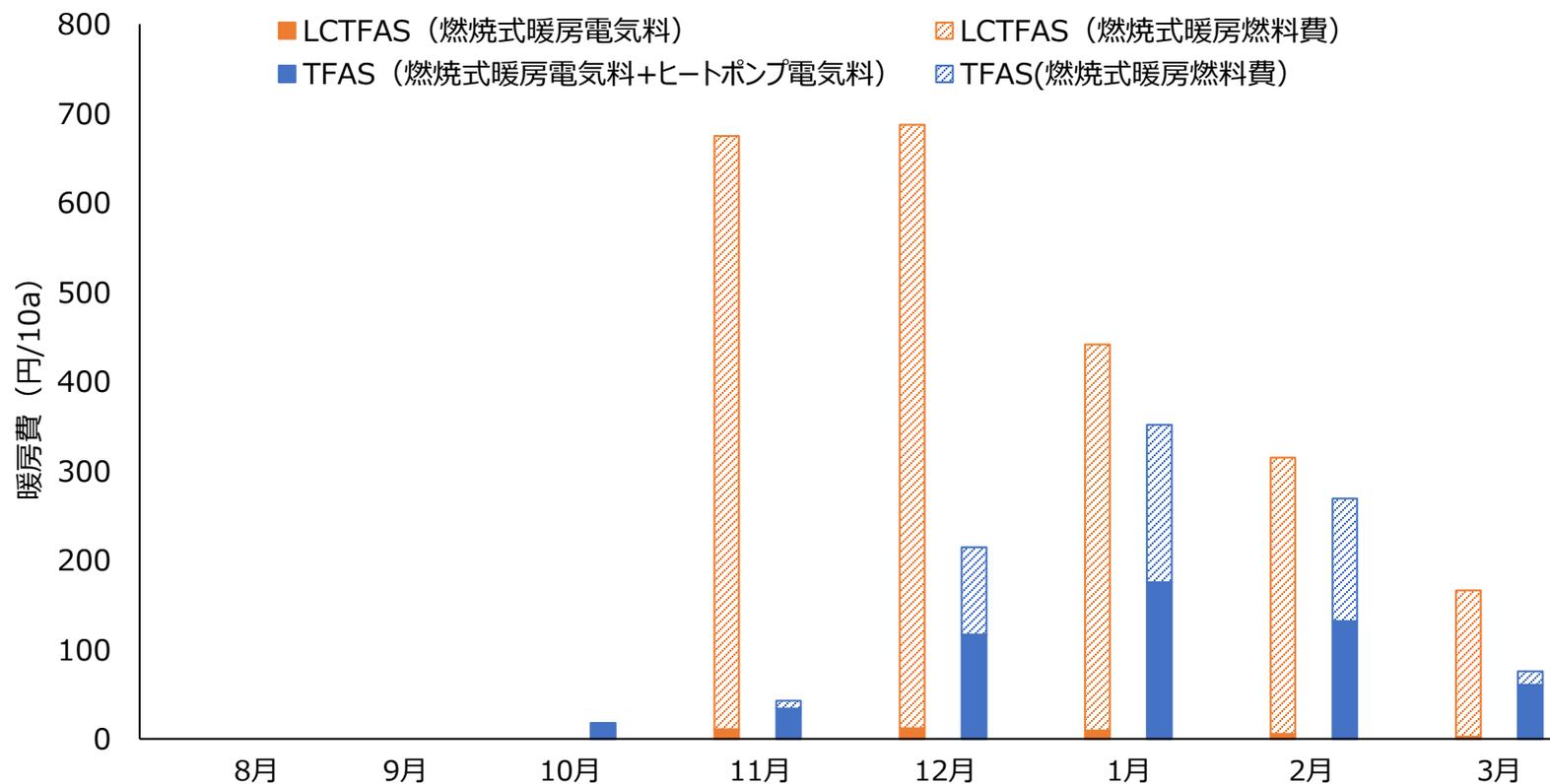


グラフのプロットは平均値、エラーバーは標準偏差を示す

暖房機器の稼働

- 11月～3月にかけての暖房費はLC-TFASの方が多くなった。特に11月と12月は、1重被覆のLCTFASにおいて光合成最適化モデルで暖房を稼働させたため、燃料費が高くなったと考えられる
- LC-TFASの暖房費のうち、燃料費が全体の割合の多くを占めた
- TFASは暖房に燃烧式暖房とヒートポンプを併用しているため、燃烧式暖房の稼働が少なくなったと考えられる

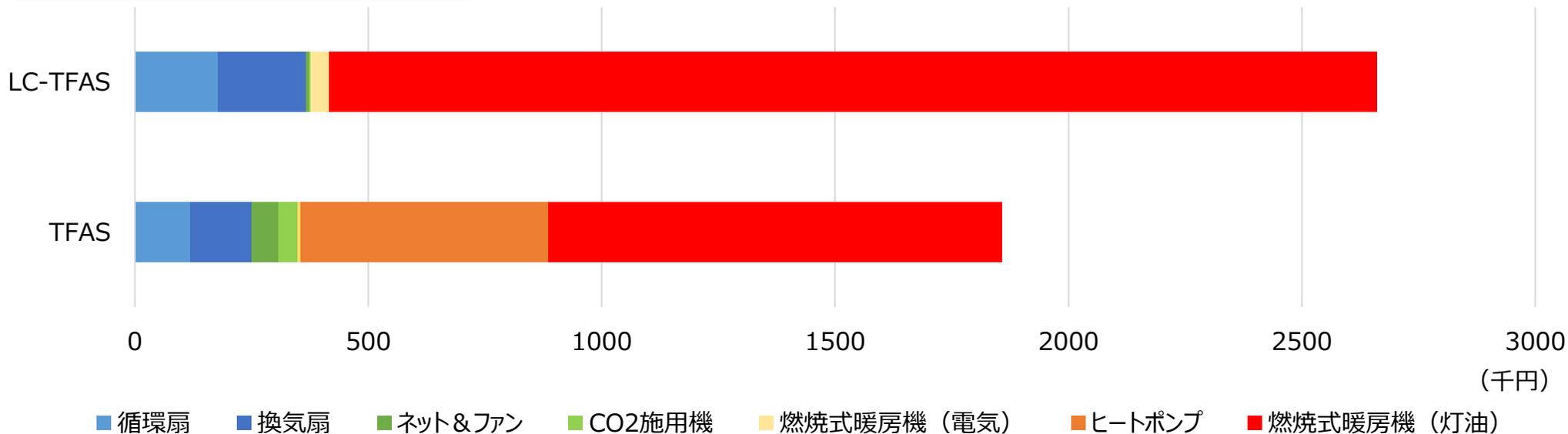
暖房機の稼働にかかる費用



環境制御機器にかかる動力光熱費

- 栽培期間中の栽培面積10aあたりの動力光熱費はLC-TFASが2,660,314円、TFASが1,857,108円となった
- LC-TFASでは暖房に使用する灯油費が高くなっており、TFASの灯油費とヒートポンプの電気代の合計の149%となった

10aあたりの動力光熱費



※本実証の環境制御機器

電力費：循環扇、換気扇、気化冷却システム（ネット&ファン）、燃烧式暖房機、CO₂施用機、ヒートポンプ

灯油費：燃烧式暖房機

上記の機器をもとに実証面積から10aあたりを算出

トマトの収量

- LC-TFASでは収穫開始は10月下旬で、3月末まで収穫した
- 8月～3月の1株あたりの収量は4.5kgであり、10aあたりに換算すると18.7tであった
- TFASの過去の栽培の定植から3月31日までのトマト収量と比較すると、ほぼ同等の収量であった

LC-TFASとTFASの過去の収量の比較

	LC-TFAS	TFAS※
収量 (定植～3月31日までの収量を10aあたりに換算した)	18.7t/10a	16.7/10a

※現地TFASのトマト栽培2作分のデータ（場所：調布市 栽培期間：令和3年8月19日～令和4年7月21日、令和4年8月16日～令和5年7月24日 品種：桃太郎ピース）を参照した。

既存ハウスにLC-TFASを導入するのにかかる費用

- 現地ハウスでトマトを周年栽培するため、LC-TFASに改修することを想定した導入費用を試算した
- 導入に掛かる総費用は約600万円であった

	改修前	改修内容	費用 (円)
環境制御機器	一部	一式	
環境制御コントローラ	—	本体ノード、気象ノード、センサー類、通信用モバイルルータ等	1,537,540
暖房機	—	小型温風機、オイルタンク、配管等	781,900
換気扇	—	排気用ファン、インバーター回路等	494,000
側面カーテン	手動	カーテン、原動機等	385,961
天面カーテン	手動	巻き上げ機、ガイドローラー、DC変換電源等	184,000
側窓 気化冷却システム	手動	ネット&ファンシステム一式、細霧建付架台等	472,424
CO2施用機	—	CO2点滴チューブ、配管等	712,500
循環扇	有		0
東京エコポニク	—	栽培槽 (60区画)、整地等	810,018
給液装置	—	給液装置、給廃液配管等	673,844
合計			6,052,187

※改修するハウスは、検証に使用したものと同等のものとした。
 (ハウス面積：184㎡、導入する環境制御機器等：p8のグラフ参照)

まとめ

検証結果のまとめ

- ワンボードマイコンを搭載した低コストの環境制御コントローラを既存の小型ハウスに導入したLC-TFASは、光合成最適化モデル管理および多段式変温管理でトマト栽培ができた
- LC-TFASでは既存の小型ハウスを活用することで、TFASを新規で導入（面積500㎡で約4000万円）するよりも初期導入費を抑えることが可能である。一方、LC-TFASは一重被服のハウスで断熱性が二重被覆のTFASより低く、光合成最適化モデルでトマトを栽培する場合は暖房費が高くなるため、多段式変温管理との選択が経営する上で重要である
- 今後、LC-TFASを展開していくためには、冬季における環境制御機器の運用技術を確認する必要がある

