

きゅうり産地の復興に向けた低コスト安定生産流通技術体系の実証研究

「きゅうり小規模施設における最小限の環境制御技術導入の手引き」



はじめに

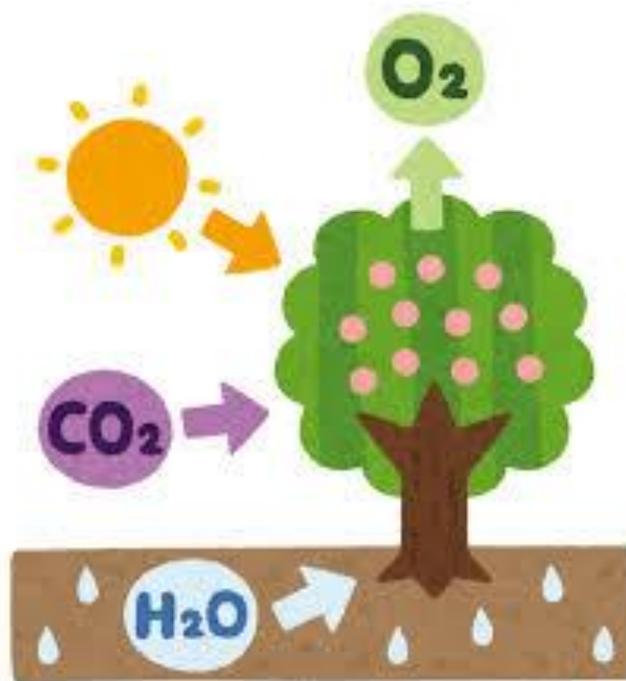
○環境制御とは

植物は、太陽エネルギーを利用して、根から吸収した水と葉から取り込んだCO₂から、光合成によって有機物を生産します。これらの有機物は、植物の生育に使われ、栽培作物では光合成を最大限に高めることで収量や品質の向上に繋がります。

植物の光合成を高めるためには、光、温度、湿度、CO₂、養水分が重要で、これらの環境要素を光合成が最大限に高められるように、光調節、換気、暖房、保温、炭酸ガス、ミスト施用、肥培管理、かん水等によって、施設内を最適な状態に制御することを環境制御と言います。

現在一般的に導入が進んでいる環境制御技術は、複合環境制御盤を利用したもので、設備が高価で大規模な施設でないと設置が難しいものです。

この手引きでは、今ある小規模な施設（100坪程度）において、100万円程度の費用で導入可能な最小限の機器と使用方法について紹介します。



目次

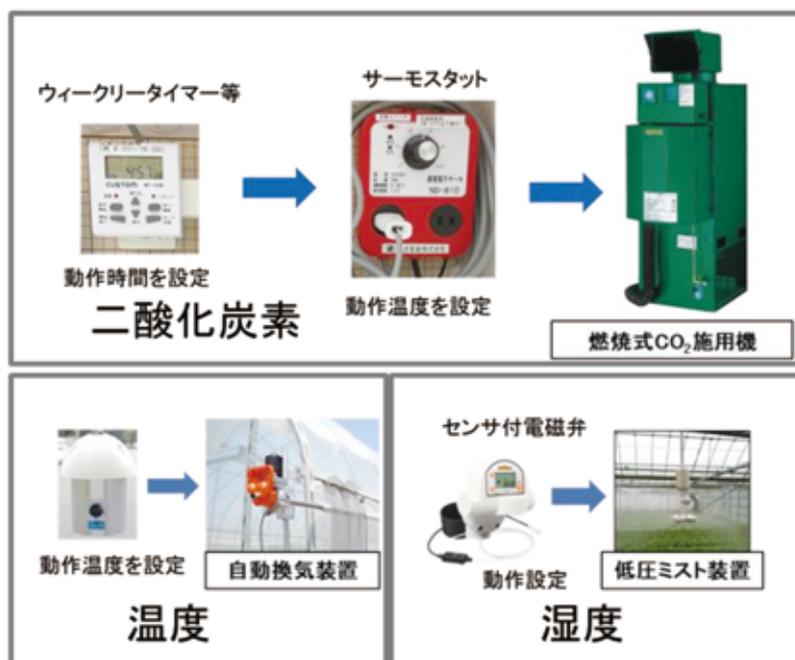
1 小規模施設での環境制御に必要な機器類の設置と使用方法	
(1) 小規模施設での環境制御の考え方	P1
(2) CO ₂ 施用機	P2~4
(3) 低圧ミスト発生装置	P5~8
(4) 側窓自動換気装置	P9~14
(5) 使用機器と動作設定例	P15~16
2 小規模施設での導入効果	
(1) 北上市（岩手農研セ内圃場）での試験概要と結果	P17~22
(2) 陸前高田市（現地圃場）での実証概要と結果	P23~26
(3) 小規模ハウスにおける環境制御の収益性	P27~30
3 加温作型における追加技術	
(1) 局所加温による生育促進・収量向上技術の確立	P31~42
(2) 高断熱被覆資材を利用した燃油使用量削減技術	P43~61
4 導入技術 Q&A	P62~73

1 小規模施設での環境制御に必要な機器類の設置と使用方法

(1) 小規模施設での環境制御の考え方

基本的な環境制御機器は、燃焼式 CO₂ 施用機、低圧ミスト発生装置、側窓自動換気装置です。これらの機器を安価なタイマーやサーモスタットを利用して自動運転させるもので、本来複合環境制御盤等で行われているような CO₂ 濃度や湿度の計測結果と直接連動して制御しているものではありません。そのため利用者が常に環境測定機器によって適正な環境が維持できているかを確認し、装置の設定の修正が必要となります。

本技術は、適切な整枝、摘葉、病害虫防除等の管理を行い、十分な草勢を維持している状態で光合成をさらに活発にし、現状収量の向上を目指すものです。十分な草勢が維持できない場合は十分な効果が得られません。また、一般的な管理よりはやや高温、多湿の管理となるため過繁茂や高温性の病害が出やすく、適切な草勢管理や防除方法、耐病性品種の導入の検討も必要となります。



なお、環境制御の基本的な考え方や機器の設定については、岩手県農業研究センター（2019）「寒冷地中小規模施設における複合環境制御技術の導入手引き」食料生産地域再生のための先端技術展開事業（岩手県内）中山間地における施設園芸技術の実証研究報告書を参照してください(URLは8ページ参照)。

(2) CO₂施用機

1) CO₂施用について

CO₂は光合成の原料であり、換気の少ない低温期（特に昼間）ではCO₂濃度が低下し、光合成速度が減少します。そのため、光合成速度を増加させ、収量を増加させることを目的にCO₂施用機を導入します。

2) 使用機器について

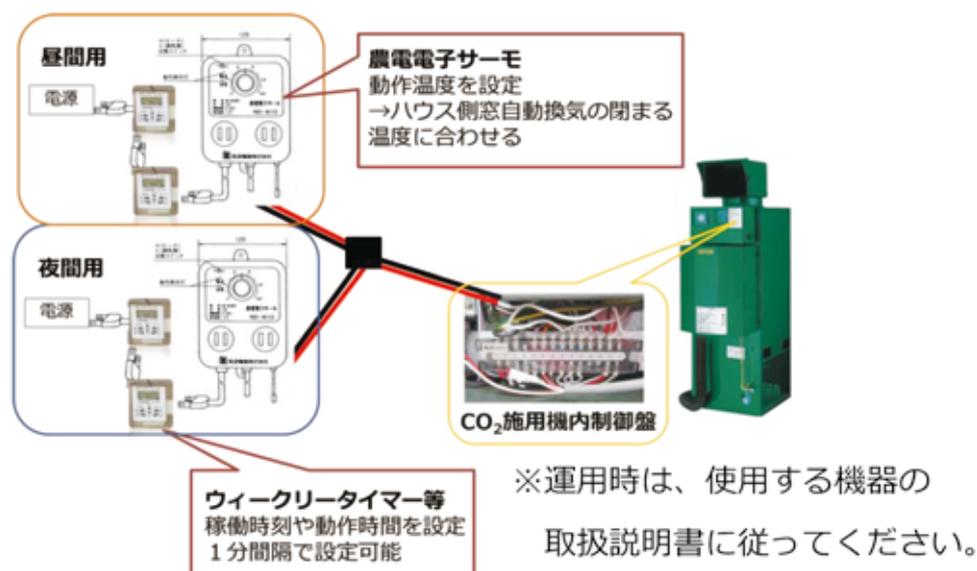
CO₂施用機（ネポン 光合成促進機グローウェア CG-254S1）を稼働させる制御機器として市販のウィークリータイマー（カスタム ウィークリータイマー WT-03N 等）とサーモスタット（日本ノーデン 農電電子サーモ ND-810 等）を使用します。

タイマーはバックアップ用充電電池内蔵などで電気が切れても設定が残るもので、サーモスタットは接点出力を備えている必要があります。

CO₂は送風機と穴あきポリチューブを使ってきゅうりに局所施用します。

3) CO₂施用機の運用

CO₂施用機は時間と温度のみで稼働させます。運用の方法は昼間と夜間で異なります。稼働時刻の設定は市販のウィークリータイマー、動作温度の設定はサーモスタットを使用します。仕組みは以下の通りです。



A. CO₂ 施用（昼）

昼は CO₂ 施用を目的として行います。CO₂ 施用機の動作温度は側窓自動換気装置の開閉温度に合わせ、側窓が閉じたときのみ CO₂ 施用を行います。

B. 低温対策（夜）

夜はCO₂施用機の発熱を利用し、低温期の障害防止を目的として行います。4間×11間（142m²）、内張なしのパイプハウスでは、CO₂施用機を利用しない場合に比べ、ハウス内最低気温が1～3℃程度高く推移します（2-（1）北上市（岩手農研セ内圃場）での試験概要と結果 参照）。

設定の順序は以下の通りです（昼間 CO₂ 施用の例）。



- ① 1つ目のウィークリータイマーで CO₂ 施用機の稼働時刻（日の出～日の入り）を設定します。時刻の設定は1か月に1回程度更新します。
 - ② 2つ目のウィークリータイマーで CO₂ 施用機の動作時間と休止時間を設定します。
 - ③ CO₂ 施用機の動作温度をサーモスタットで設定します。
- ①②の両方で ON のとき、動作温度以下になると CO₂ 施用機が稼働します。
- ※夜間の低温対策は、もうひとつ同じものを準備し、同様に設定を行います。

設定値の目安（1.5a ハウスの場合）

利用方法	稼働時刻 (月に1回程度設定更新)	動作時間	休止時間	動作温度
CO ₂ 施用（昼）	日の出～日の入り	5分	25分	27℃以下
低温対策（夜）	日の入り～日の出	5分	15分	7.5℃以下

※岩手農研セ内圃場の試験で用いた設定値。

△注意

夜間のCO₂施用機使用では、ハウス内のCO₂濃度が高くなる場合があります。労働衛生上の許容濃度とされている5000ppmを超える濃度になることもあり、ハウスに入る際には注意が必要です。気温の低い朝などは特にCO₂濃度が高まりやすいため、ハウス内CO₂濃度を確認し、換気を行うことも重要です。

参考文献

- 1 日本施設園芸協会（2015）二酸化炭素制御 p179-190、施設園芸・植物工場ハンドブック
- 2 日本産業衛生学会（2020）許容濃度の勧告（2020年度）、産業衛生学雑誌、62(5):198-230
- 3 川城英夫、土屋和、崎山一、宇田川雄二（2009）低濃度二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響とその経済性評価、園学研8(4):445-449

(3) 低圧ミスト発生装置

1) 湿度管理の考え方

作物は主に葉裏の気孔を通してガス交換を行っており、光合成に必要なCO₂も気孔から取り込んでいます。気孔は乾燥から身を守る反応として、湿度の急激な低下により閉鎖しますが、同時にCO₂の取り込みも抑制されます。ミスト発生装置は湿度をコントロールすることで、気孔の開放状態を維持し、CO₂の取り込みを促す目的で導入します。

環境制御における湿度は、空気中にどのくらい水蒸気が入る余地があるのかを示す飽差で見ることが一般的であり、気孔の開放に最適な値は飽差 3～6(g/m³)、許容できる値は2～7(g/m³)程度(急激な変化でなければ7以上も可)とされています。

飽差表

		相対湿度											
		40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
温 度	16℃	8.2	7.5	6.8	6.1	5.5	4.8	4.1	3.4	2.7	2.0	1.4	0.7
	17℃	8.7	8.0	7.2	6.5	5.8	5.1	4.3	3.6	2.9	2.2	1.4	0.7
	18℃	9.2	8.5	7.7	6.9	6.2	5.4	4.6	3.8	3.1	2.3	1.5	0.8
	19℃	9.8	9.0	8.2	7.3	6.5	5.7	4.9	4.1	3.3	2.4	1.6	0.8
	20℃	10.4	9.5	8.7	7.8	6.9	6.1	5.2	4.3	3.5	2.6	1.7	0.9
	21℃	11.0	10.1	9.2	8.3	7.3	6.4	5.5	4.6	3.7	2.8	1.8	0.9
	22℃	11.7	10.7	9.7	8.7	7.8	6.8	5.8	4.9	3.9	2.9	1.9	1.0
	23℃	12.4	11.3	10.3	9.3	8.2	7.2	6.2	5.1	4.1	3.1	2.1	1.0
	24℃	13.1	12.0	10.9	9.8	8.7	7.6	6.5	5.4	4.4	3.3	2.2	1.1
	25℃	13.8	12.7	11.5	10.4	9.2	8.1	6.9	5.8	4.6	3.5	2.3	1.2
	26℃	14.6	13.4	12.2	11.0	9.8	8.5	7.3	6.1	4.9	3.7	2.4	1.2
	27℃	15.5	14.2	12.9	11.6	10.3	9.0	7.7	6.4	5.2	3.9	2.6	1.3
	28℃	16.3	15.0	13.6	12.3	10.9	9.5	8.2	6.8	5.4	4.1	2.7	1.4
	29℃	17.3	15.8	14.4	12.9	11.5	10.1	8.6	7.2	5.8	4.3	2.9	1.4
	30℃	18.2	16.7	15.2	13.7	12.1	10.6	9.1	7.6	6.1	4.6	3.0	1.5

注1 単位は g/m³

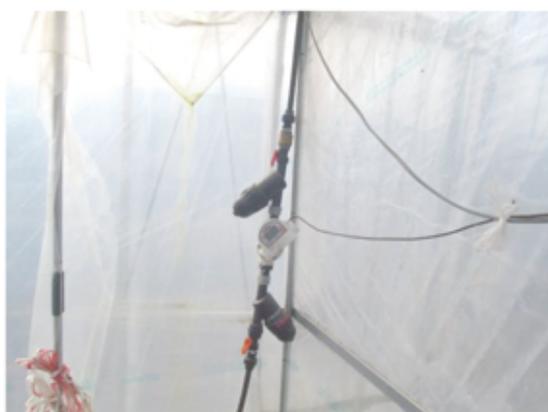
注2 表中の濃いグレーは最適値、薄いグレーは許容値を示す

パイプハウスを用いた夏秋期のきゅうり栽培では、ハウスを開放し熱をハウス外へ逃がす必要があるため、低圧ミストでは常に飽差を適値で維持することは困難です。そのため側窓開放時など、外気の流入による急激な湿度変化(低下)の緩和に主眼を置きます。また、計測機器により飽差での管理が行えない場合には、生育温度帯を16～30℃程度とみなして、相対湿度60～90%を目安に管理することで代用できます。

2) 使用機器

使用機器は制御装置としてT&D社製DOバルブ(DOV-25C2+オプションセンサ)、ミスト発生装置としてネタフィルム社製クールネットプロを配管用の16mmPE管に1.5~3m間隔で取り付けます。間口の広いハウスでは3m程度の間隔を目安に複数列設置してください。PE管はハウスまたは内張の骨に固定して使用します。設置の高さは可能な範囲で高い位置にして下さい(配管の設置はハウス構造により適宜変更が必要です)。また、噴霧する水は貯水タンクに貯めポンプで送水します(ポンプは川本製作所(川本ポンプ)社製ソフトカワエースNF-3-150Sを使用)。

※2020年現在、DOバルブはBluetooth/無線LAN対応のDOV-25BT-TSが販売されている



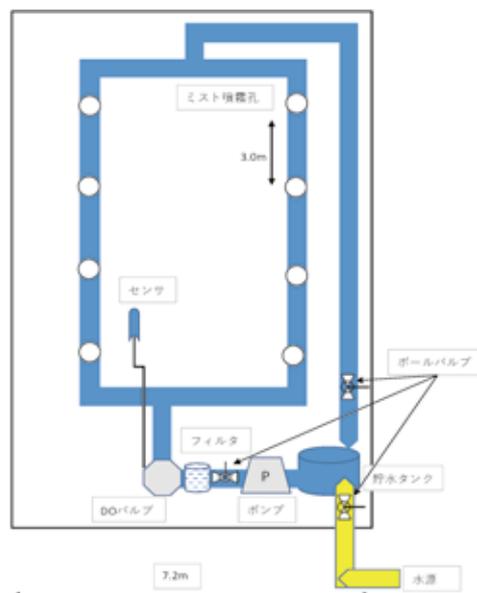
DOバルブ設置状況



クールネットプロ設置状況

3-1) ミスト発生装置の運用

制御機器となるDOバルブでは、1本のセンサーで2か所の温度を計測することができるため、一方は通常の気温、もう一方は湿球温度(水道水に濡らしたガーゼをセンサー部に巻き付け、気化熱により低下した気温)を計測する乾湿温度計として利用します。計測で得られた温度差は湿度に関連し、差が大きくなるほど

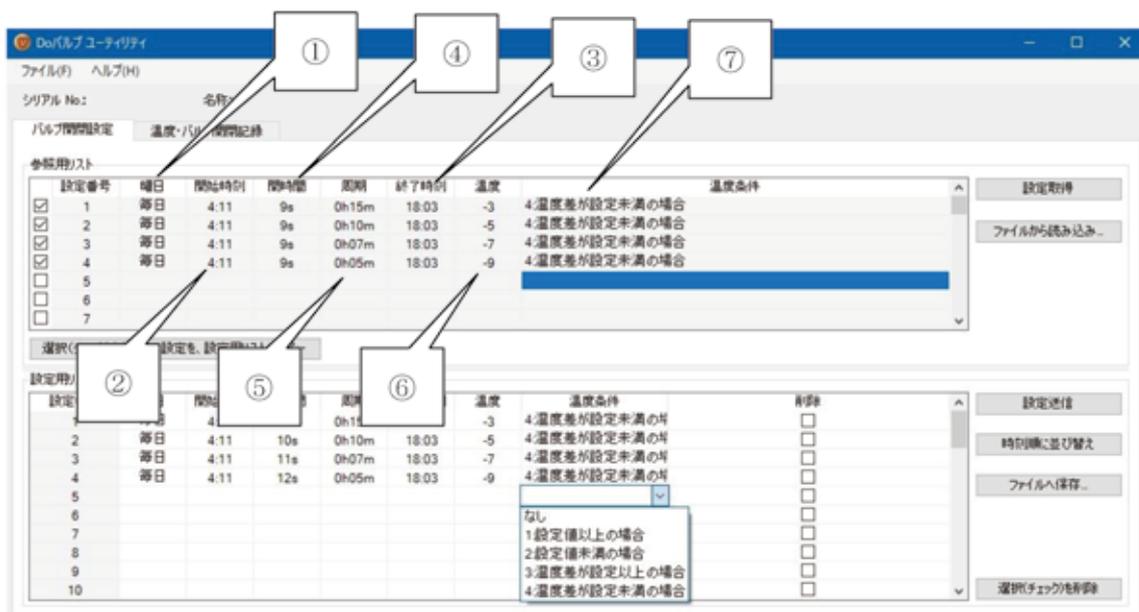


配管経路模式図

空気が乾燥している状態を示します。

なお、気温は通風状態の日陰で計測するため、ファンを装着した通風管内にセンサーを設置します。また、湿球温度を計測するための水は減りが早いため、こまめに確認し無くなる前に補給して下さい。

温度差を基にパソコンから散布設定を組み、ミストの発生を調節します。設定する項目は以下の通りです。



パソコンでの設定画面(DO パルプユーティリティ)

- ①曜日 ②散布開始時刻 ③散布終了時刻 ④1回の散布時間
⑤次回散布までの間隔 ⑥温度差 ⑦動作条件

①は「毎日」、②と③は「日の出～日の入1時間前」の時刻を入力し、月1回以上の頻度で更新します。⑦は「温度差が設定未満の場合」とします。④～⑥は実際にミストを噴霧し、電磁弁の開放から実際にミストが噴霧されるまでの時間差、次回散布までに葉濡れが乾くか、湿度がどの程度上昇するのかを確認しながら調節します。なお、配管の送水側と排水(戻り)側のミスト噴霧状況の差が大きい場合には、戻り配管に付けた止水弁を徐々に閉め、配管内の水圧を高める必要があります。

3-2) 設定の調整 (多段階 (飽差) 制御)

DO バルブではセンサーの温度差を基に複数のプログラムを組み合わせることができます。ハウス内湿度を目標値付近で維持するため、多段階飽差制御 (参考文献 2 の 51 ページ湿度環境の改善を参照) に基づいてミストの噴霧プログラムを設定します。基本的にハウス内の湿度が低い場合 (センサーの温度差が大きい) には噴霧時間を長く、噴霧間隔を短くして噴霧量を多くします。逆に湿度が高い場合 (センサーの温度差が小さい) には噴霧時間を短く、噴霧間隔を長くして噴霧量を少なくします。

葉濡れが長く続く場合には病害の発生を助長しますので、噴霧時間を短くして葉に付いた水滴が蒸発する時間を確保します。

例 多段階噴霧設定例 (基準日 : 5 月 1 日 日の出 4:35、日の入 18:26)

設定番号	曜日	開始時刻	開時間	周期	終了時刻	温度	温度条件
1	毎日	4:35	9s	0h15m	17:26	-3	4温度差が設定未満の場合
2	毎日	4:35	10s	0h10m	17:26	-5	4温度差が設定未満の場合
3	毎日	4:35	11s	0h07m	17:26	-7	4温度差が設定未満の場合
4	毎日	4:35	12s	0h05m	17:26	-9	4温度差が設定未満の場合

参考文献

- 1 齊藤章 (2015) ハウスの環境制御ガイドブック、農文協
- 2 岩手県農業研究センター (2019) 寒冷地中小規模施設における複合環境制御技術の導入手引き
https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/026/019/14_kankyo_seigyo.pdf

(4) 側窓自動換気装置

1) 側窓自動換気装置について

換気の最も大きな目的は日中の過度の昇温抑制であり、側窓の巻き上げを自動化することで、ハウス内の温度管理を簡易化することができます。

また、CO₂施用を行う場合は、側窓巻き上げを自動化することで CO₂ 施用効率を高めることができます。

2) 使用機器について

側窓自動換気装置は、各社から発売されていますが、今回はくるファミ AceⅢ（誠和）を使用しています。くるファミ AceⅢの Ace サーモ（オプションの制御機器）を使用することで、側窓開度調節による温度制御を行います。

(参考) くるファミ AceⅢ



3) 側窓自動換気装置の運用

側窓自動換気装置とともに CO₂ 施用機も導入しているため、開閉温度は CO₂ 施用機の動作温度と合わせ、側窓が閉まっているときに、CO₂ 施用機が動作するように設定します。側窓が閉まるタイミングで CO₂ 施用機が動作することで、効率よく CO₂ が施用され、ハウス内の CO₂ 濃度を高めることができます。

光合成と温度の関係は他の要因によって変動するため、光合成適温は一概に決められませんが、きゅうりは 28～33℃の比較的高い温度で光合成を活発に行います。そのため、開閉温度は 28℃と高めに設定し、なるべく CO₂ 施用時間が長くなるようにします。

【参考】ハウス内環境および導入機器動作状況について（岩手農研セ北上場内）

・上段グラフ

赤：ハウス内気温（℃）

水色：ハウス内 CO₂ 濃度（ppm）

青：ハウス内飽差（g/m³）

・下段グラフ

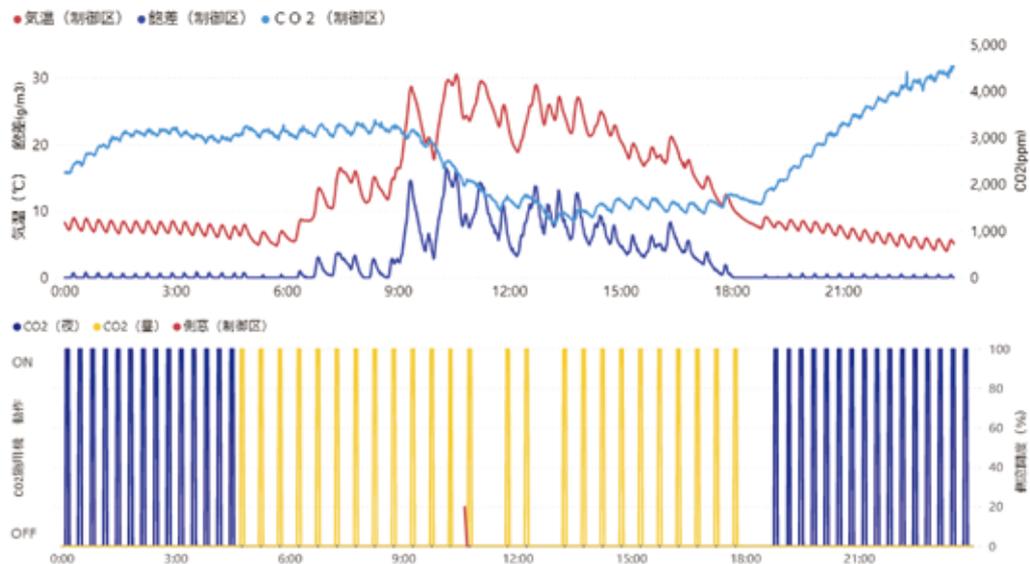
赤：側窓（0→全閉、100→全開）

黄色：昼間 CO₂ 施用機（0→停止、1→動作）

青：夜間 CO₂ 施用機（0→停止、1→動作）

早熟作型（晴天日）の一例

① 3月下旬

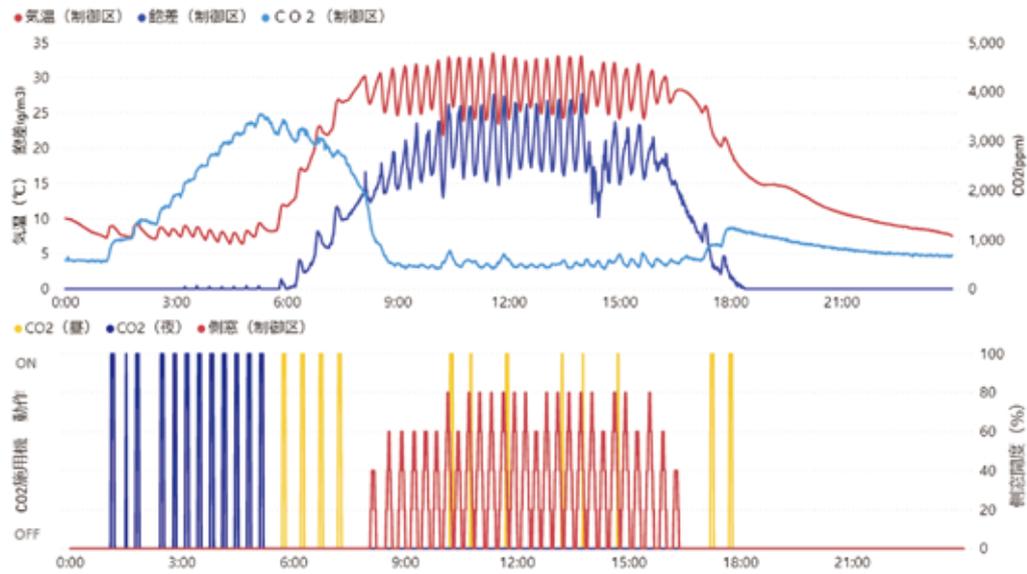


側窓：基本的に「閉」

CO₂ 施用（昼）：継続的に動作

低温対策（夜）：継続的に動作

② 4月中旬

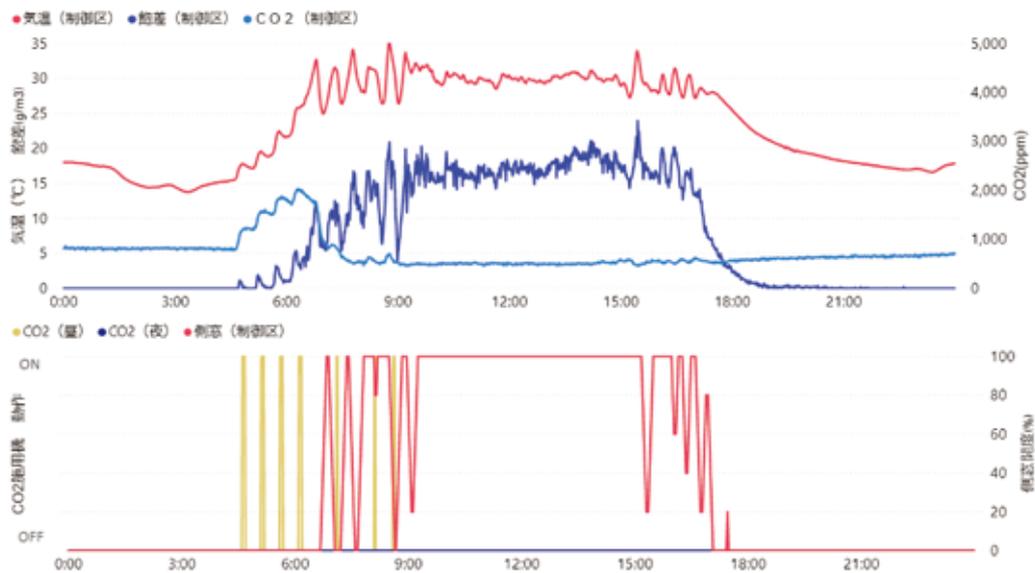


側窓：開閉回数が増え、「開」「閉」の繰り返し

CO₂施用（昼）：側窓「閉」のときに動作

低温対策（夜）：朝方の気温が低いときに動作

③ 5月中旬

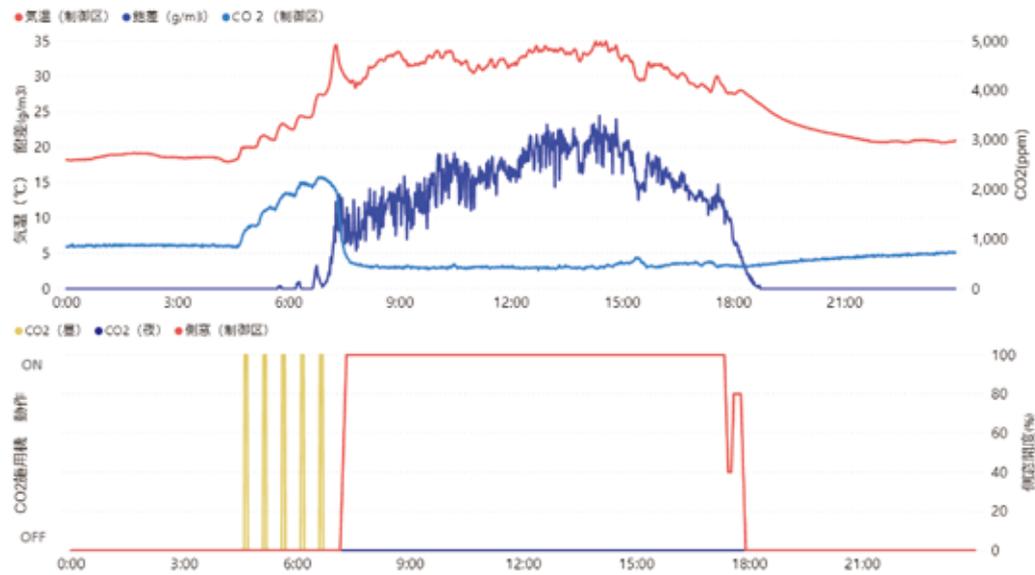


側窓：「開」状態が長くなり始める

CO₂施用（昼）：朝や夕方だけの動作になる

低温対策（夜）：動作することが少なくなる

④ 6月中旬



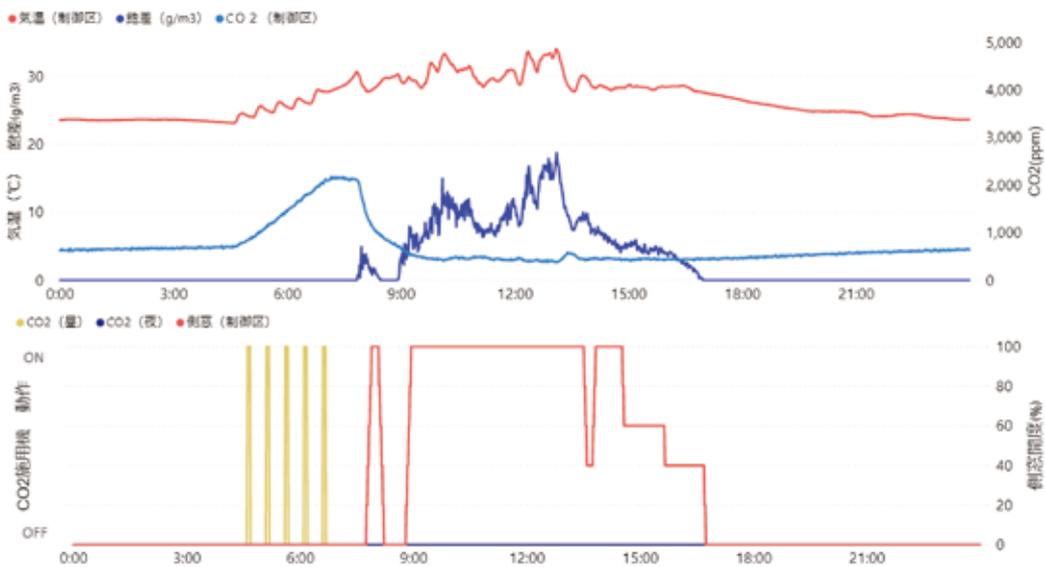
側窓：日中「開」の状態が長い

CO₂施用（昼）：朝に数回動作する

低温対策（夜）：動作することはあまりない

抑制作型（晴天日）の一例

① 8月下旬

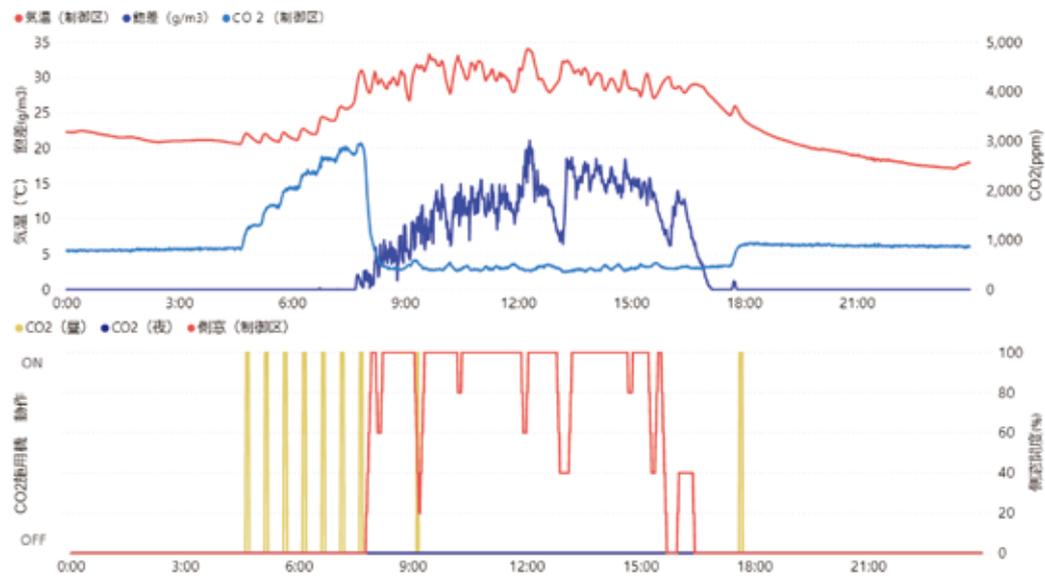


側窓：日中「開」の状態が長い

CO₂施用（昼）：朝方に数回動作する

低温対策（夜）：動作することはあまりない

② 9月中旬

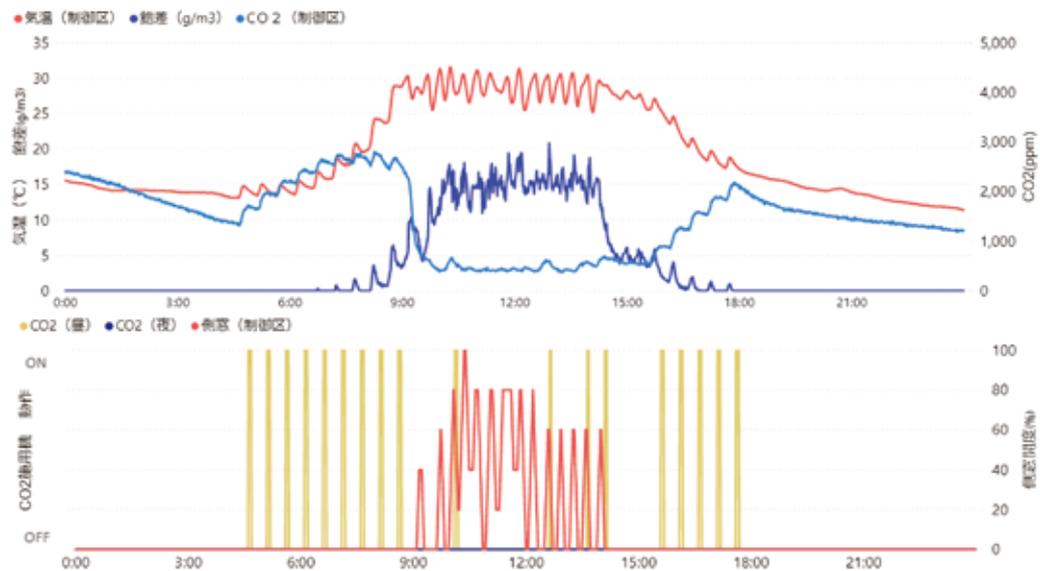


側窓：「開」の状態が多いが、「閉」回数も増え始める

CO₂施用（昼）：朝方に数回、日中も動作し始める

低温対策（夜）：動作することはあまりない

③ 10月中旬

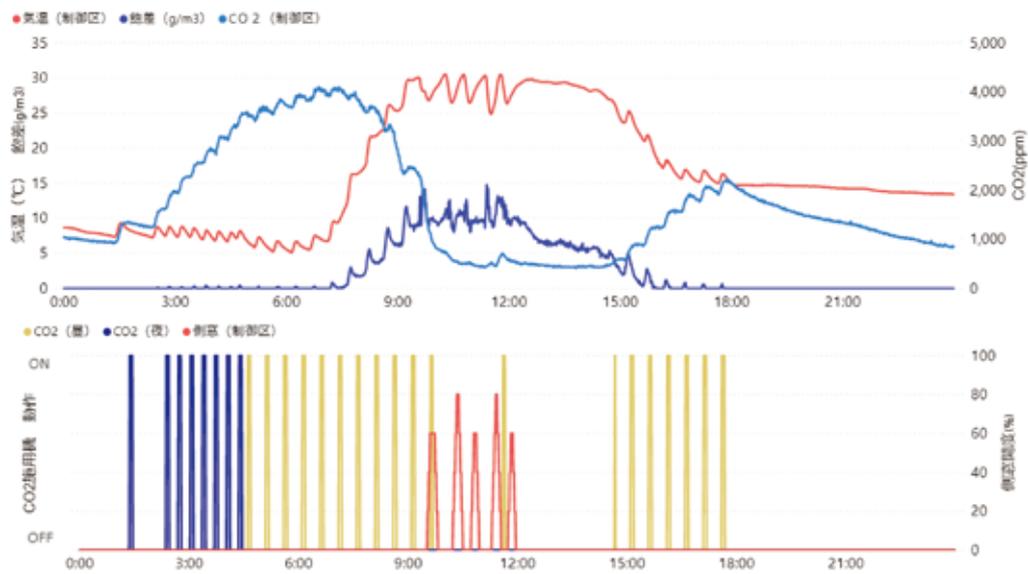


側窓：「開」「閉」が繰り返される

CO₂施用（昼）：動作回数が増え、朝や夕方に動作する

低温対策（夜）：夜温によって動作することもある

④ 11月中旬



側窓：「開」回数が減ってくる

CO₂施用（昼）：動作回数が増える

低温対策（夜）：気温の低い朝方に動作回数が増えてくる

参考文献

- 1 日本施設園芸協会（2015）換気・気流制御 p191-208、施設園芸・植物工場ハンドブック
- 2 長岡正昭、高橋和彦、新井和夫（1984）トマト・キュウリの光合成・蒸散に及ぼす環境条件の影響、野菜試験場報告 A.12:97～117
- 3 稲山光男（2012）キュウリの生理生態と栽培技術、p68-70

(5) 使用機器と動作設定例

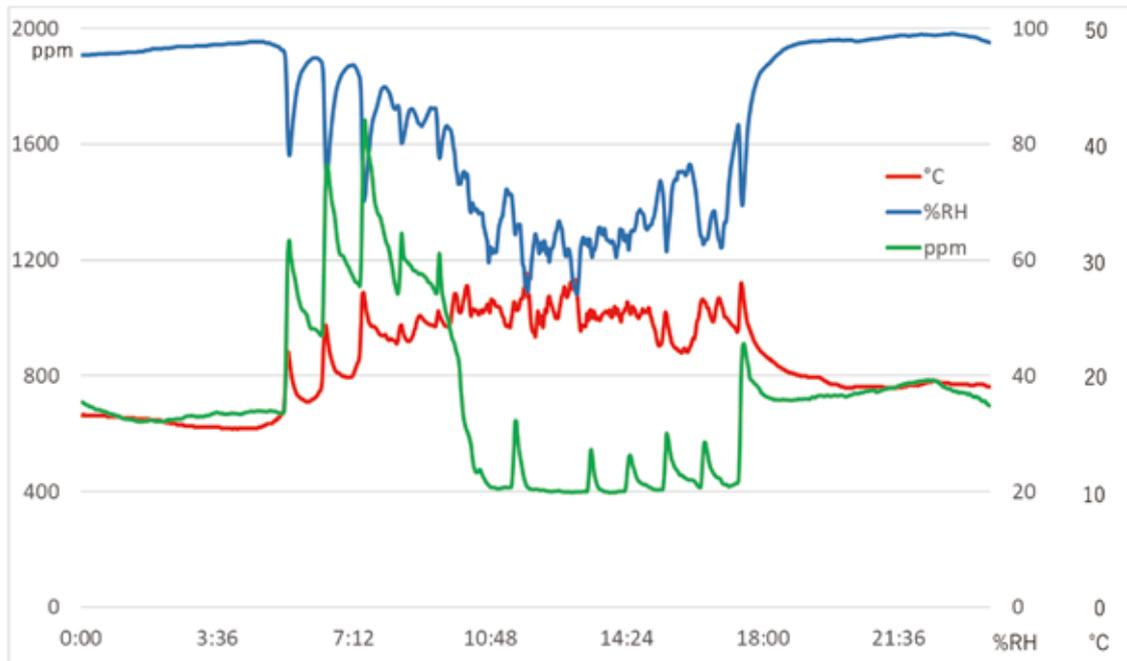
1) 主要な使用機器

制御項目	主要機器
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂施用機 (ネポン 光合成促進機 CG-254S1) ・サーモスタット (日本ノーデン 農電電子サーモ ND-810) ・ウィークリータイマー (カスタム WT-03N) ・送風機 (昭和電機 電動送風機汎用シリーズ SB-201-R3A3) ・子ダクト(シーアイマテックス ココダクト)
湿度	<ul style="list-style-type: none"> ・クールネットプロ ライトグリーンノズル (ネタフィルム) ・温度センサー付タイマーバルブ (T&D DOバルブ DOV-25C2+オプションセンサ) ・井戸ポンプ (川本ポンプ ソフトカワエース NF-3-150S)
温度	<ul style="list-style-type: none"> ・側窓自動換気装置(誠和くるファミ AceIII 電子サーモセット) ・内張 (東罐興産 ウォーターパス)
環境値計測	<ul style="list-style-type: none"> ・データロガー (T&D おんどとり RTR-576-S)

2) 1.5a パイプハウスでの動作設定例 (現地実証圃場 陸前高田市)

制御装置	1.5a での動作設定
CO ₂ 施用機	<p><昼間></p> <ul style="list-style-type: none"> ・1回の燃焼時間を5分間、インターバル55分 (ハウスを締切状態で概ね1000ppm) ・ハウス内温度27℃以下で動作 ・日の出～日の入りの間で稼働 <p><夜間：低温対策></p> <ul style="list-style-type: none"> ・1回の燃焼時間を5分間、インターバル間隔15分 ・ハウス内温度7.5℃以下で動作 ・日の入り～日の出の間で稼働
ミスト発生装置	<ul style="list-style-type: none"> ・実際の1回噴霧時間4秒 ・乾湿温度計の温度差により噴霧間隔を3～12分の4段階調整 ・日の出～日の入り1時間前の中で稼働
側窓自動換気装置	<ul style="list-style-type: none"> ・側窓の巻上げ式自動開閉 ・開温度28℃設定、オプションセンサーによる5段階比例制御 ・最大開度は季節により手動調整

3) 環境値の推移 (5月10日、現地実証圃場 陸前高田市)



注 赤線:温度、青線:湿度、緑線:CO₂濃度

2 小規模施設での導入効果

(1) 北上市（岩手農研セ内圃場）での試験概要と結果

1) 環境制御機器導入による収量性

① 試験概要

	環境制御区	対照区
制御内容	自動側窓換気 (28℃) CO ₂ 施用機 (日の出～日の入り 27℃以下) 低圧ミスト (多段階飽差制御)	自動側窓換気 (28℃)

※各区、4間×11間 (142m²)、内張なし

品 種 : 「プロジェクトX」「クラージュ2」「兼備2号」「極光607」
(台木「バトラー」)

作 型 : 早熟+抑制

定 植 日 : (早熟) 2019年4月23日、2020年4月6日

(抑制) 2019年7月30日、2020年7月31日

栽植距離 : 畝幅 1.5m、株間 50cm (4間ハウス4畝)、1条植え

誘引方法 : アーチネット誘引

肥培管理 : 隔離養液土耕栽培。栽培槽は「ゆめ果菜恵」、培土は「隔離床専用培土」、培養液はOAT SA処方2液式を用い、EC 0.7~2.0dS/mの濃度管理としました。



場内試験の様子(4間ハウスに2アーチ)

② 結果

早熟作型の「プロジェクトX」では、対照区に対し環境制御区で総収量 20～29%増収しました。抑制作型の「クラージュ2」では、対照区に対し環境制御区で総収量 24～33%増収しました。品種や作型によって十分に効果の得られない品種もみられました。



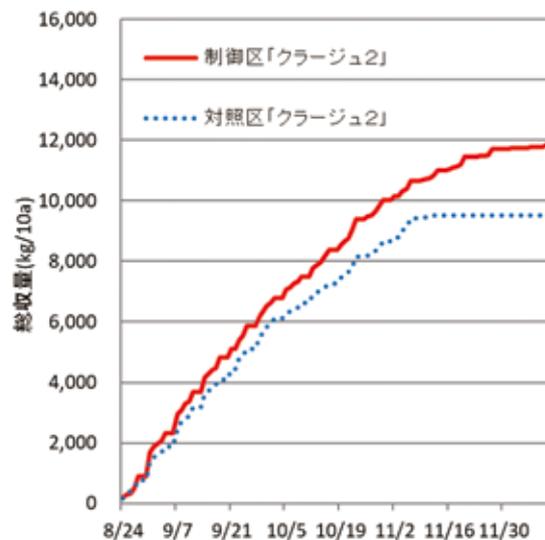
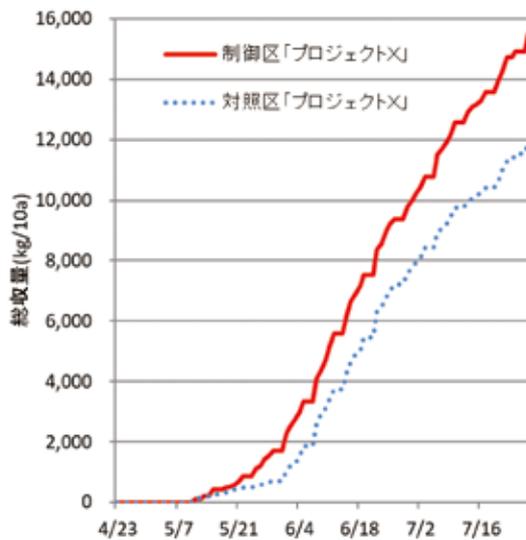
栽培の様子(早熟作型、左:環境制御区、右:対照区、2020年5月21日)



栽培の様子(抑制作型、左:環境制御区、右:対照区、2020年9月24日)

品種ごとの総収量

品種	年次	試験区	早熟作型		抑制作型		2作合計	
			総収量 kg/10a	対照比 %	総収量 kg/10a	対照比 %	総収量 kg/10a	対照比 %
① プロジェクトX	2019	制御	12,672	120	11,789	105	24,461	112
		対照	10,547		11,207		21,754	
	2020	制御	15,495	129	12,185	124	27,679	127
		対照	11,974		9,863		21,837	
② クラージュ2	2019	制御	11,657	96	13,736	133	25,393	113
		対照	12,159		10,308		22,467	
	2020	制御	12,412	112	11,832	124	24,244	118
		対照	11,072		9,530		20,602	
③ 兼備2号	2019	制御	11,900	101	12,192	123	24,092	111
		対照	11,785		9,910		21,694	
④ 極光607	2019	制御	11,274	98	11,649	119	22,923	108
		対照	11,475		9,783		21,258	



総収量の推移

(左:2020 早熟作型、品種「プロジェクト X」、右:2020 抑制作型、品種「クラージュ2」)

2) CO₂ 施用機の夜間利用による作期拡大効果

① 試験概要

試験区	年次	3月中旬定植区	4月上旬定植区	4月下旬定植区
定植日	2019	3/13	4/4	4/23
	2020	3/18	4/6	4/20

品 種 : 「プロジェクト X」(台木「バトラー」)

栽植距離 : 畝間 1.5m、株間 50cm

肥培管理 : 隔離養液土耕栽培。栽培槽は「ゆめ果菜恵」、培土は「隔離床専用培土」、培養液は OAT SA 処方 2 液式を用い、EC 0.7~2.0dS/m の濃度管理としました。

制御内容 : CO₂ 施用機

(昼間利用 : 27℃以下、5分稼働、25分休止)

夜間利用 : 夜 7.5℃以下、5分稼働、15分休止)

低圧ミスト発生装置 (多段階飽差制御)

自動側窓換気装置 (28℃)

注) 内張および定植直後のトンネル被覆はしていません。

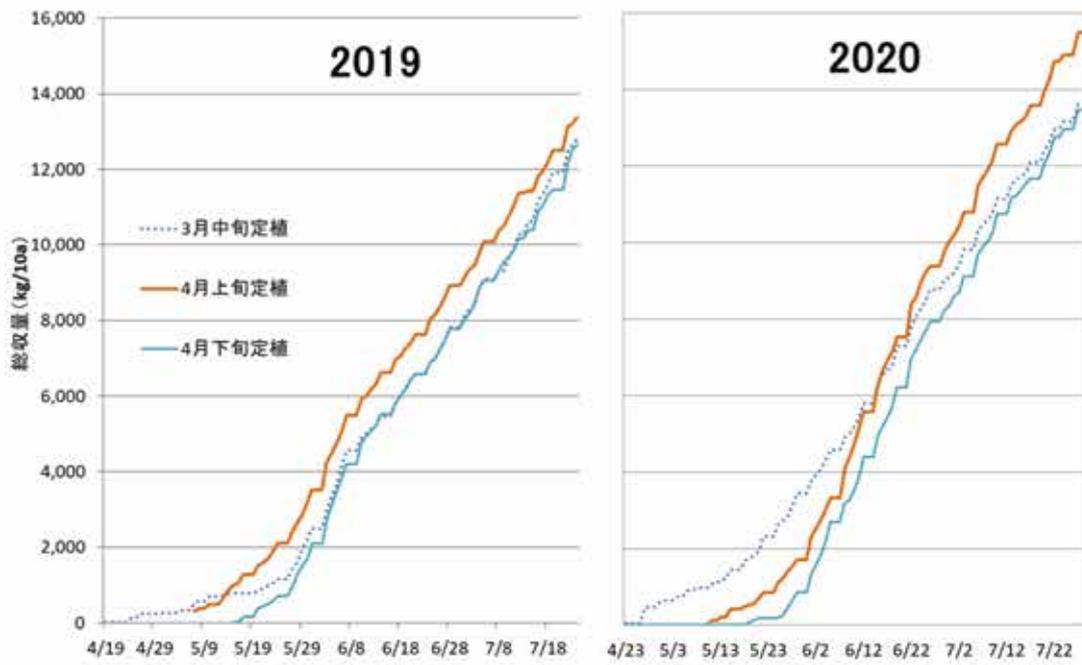
② 結果

4月上旬定植は総収量が 2019 年に 13.3t/10a、2020 年に 15.4t/10a と各定植時期の中で最も高くなりました。

3月中旬から4月下旬にかけて、CO₂ 施用機を導入したハウスは導入していないハウスより、旬ごとの最低気温が 1~3℃程度高く推移しました。CO₂ 施用機を導入していないハウスは低温障害がみられました。



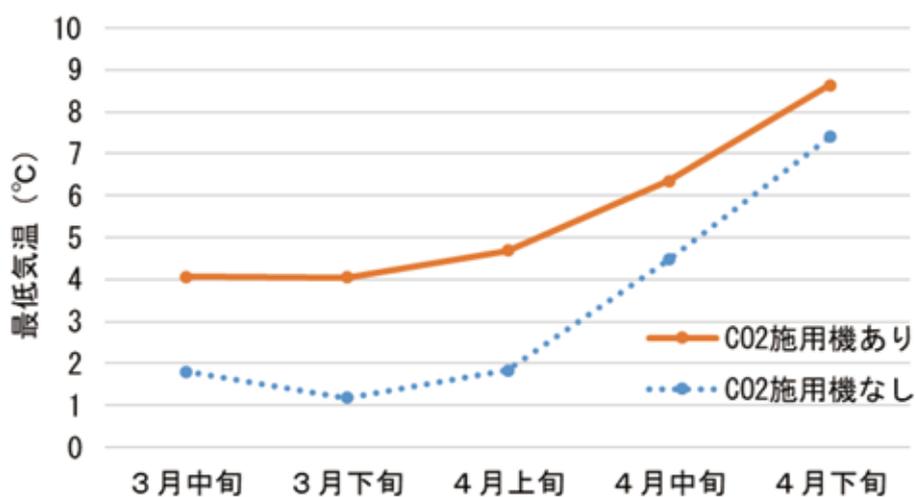
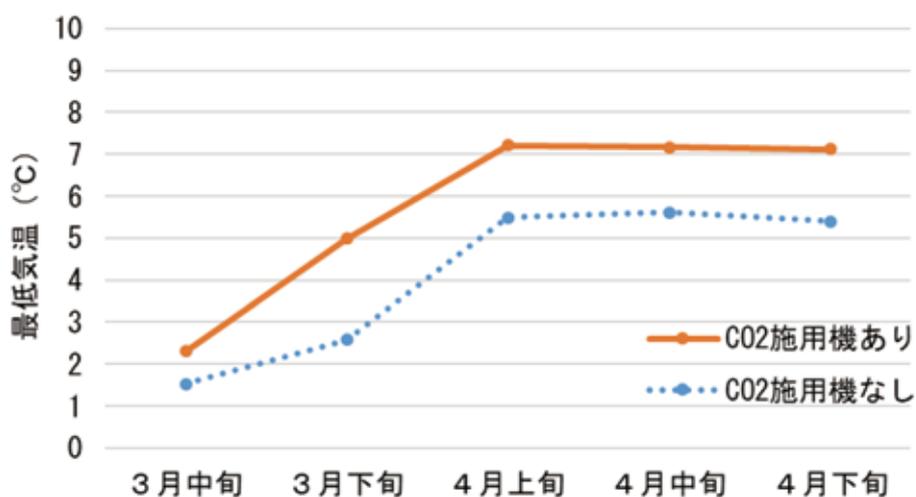
低温障害の様子



総収量の推移(左:2019、右:2020)



2020年4月23日の様子(左:3月中旬定植、右:4月上旬定植)



CO₂施用機の夜間利用によるハウス内最低気温の違い(上:2019、下:2020)

4月上旬定植におけるCO₂施用機夜間利用の経済性

		単位	計	単価	
売上	増収分	kg/1.4a	337.6	198	円/kg
	金額	円/1.4a	66,740		
費用	灯油使用量	L/1.4a	71.3	90	円/L
	金額	円/1.4a	6,421		
収益	売上-費用	円/1.4a	60,319		

(2) 陸前高田市（現地圃場）での実証概要と結果

1) 現地圃場の概要

現地実証は陸前高田市の津波浸水被害区域に再建されたハウスで行いました。区画は水田転換畑で、圃場の土質は砂を多く含むが固まり易く、復旧農地のため地表から 20cm 程度の深さに耕盤があります。地力は一般的なきゅうり栽培圃場に比べ大幅に低く、また、ネコブセンチュウ汚染土壌でした。ハウスは 7.2m×20m×2 連棟（約 3a）で、連棟のそれぞれを環境制御区、慣行区として比較しました。



ハウス外観

2) 栽培条件

2020 年における実証栽培の概要は次ページの表の通りです。

当地域ではハウス内にアーチネットを設置し、ネット誘引とするのが一般的で、定植は遅霜による被害の恐れが少なくなる 4 月下旬から行います。環境制御区では CO₂ 施用機による燃焼熱で防霜効果を期待できることから、4 月 10 日に定植を行いました。また、前年にネコブセンチュウによる汚染が判明したため、両区共に殺線虫剤を使用しました。

耕種概要

区名	慣行	環境制御
作型 (定植日)	長期どり (4月22日)	早熟+抑制 (4月10日+7月30~31日)
品種 *穂木(台木)	プロジェクトX(バトラー)	プロジェクトX(バトラー) +クラージュ2(バトラー)
誘引方法	アーチネット誘引、摘心栽培	
栽植方式	畝間 170cm ×株間 70cm×2 条植	畝間 170cm ×株間 50cm×2 条植
施肥方法	養液土耕 (灌水同時施肥、OATハウス肥料A処方)	
灌水方法	灌水装置による点滴灌水 (pFメーターによりpF値1.7を目標に灌水量を調整)	

3) 実証経過と結果

早熟作型では定植後の生育は概ね順調に推移し、環境制御区では慣行区と比べ2週間早く収穫開始となり前半の収量が確保されました。



栽培の様子(左:早熟作型環境制御区、右:慣行区、2020年5月28日)

一方で、5月下旬からの高温と着果負担の早まりから、環境制御区では例年より早く6月上旬に褐斑病の発生がみられ、慣行区への拡散を抑制するため6月19~20日に強摘葉を実施しました。その後の日射量が平年対比4割(6月第2半旬~7月6半旬:アメダス観測点大船渡)と極端に少なく経過

し、見込んでいた収量の回復が得られませんでした。慣行区においては褐斑病の侵入が遅れたことと、気温の低下で病気の進展が抑制されたことで草勢が維持され、環境制御区の栽培終了時（7月27日）には収量で追い付く形となりました。



栽培の様子(左:早熟作型環境制御区、右:慣行区、2020年7月11日)

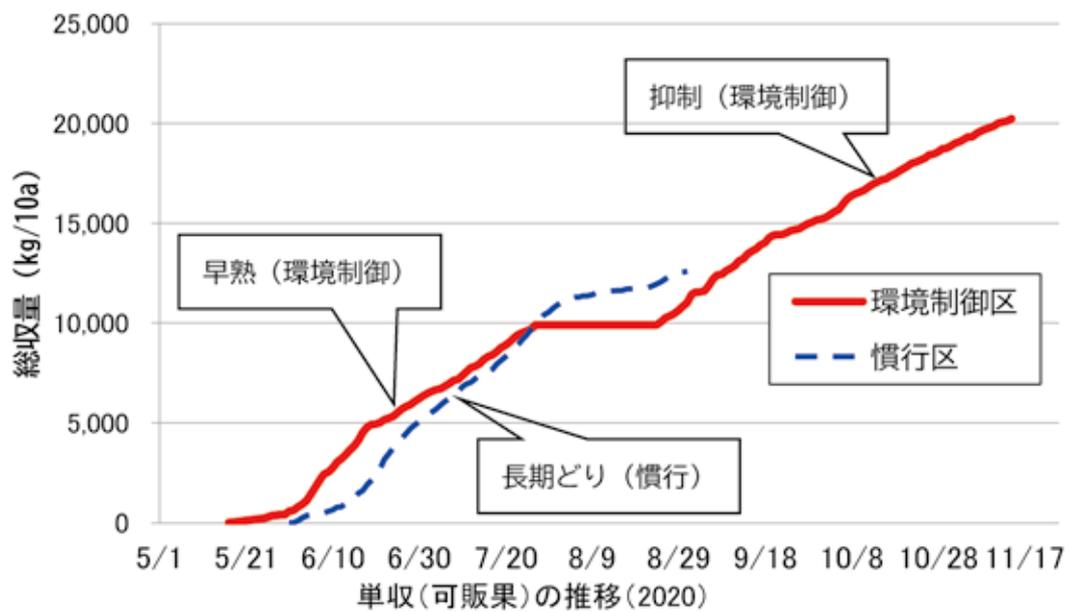
8月に入り高温経過となったことから慣行区でも病害が多発し、抑制作型（環境制御区）への拡散を抑制するために強摘葉を実施したため収量は伸びず、8月31日で栽培を終了しました。



栽培の様子(左:抑制作型環境制御区、右:慣行区、2020年8月24日)

抑制作型では慣行区から病害の侵入はあったものの、病害抵抗性品種の利用と防除により病害の拡大が抑えられ、11月14日まで収穫が継続され、栽培期間全体を通して慣行区に比べ89日間収穫期間が延長されました。

可販果収量は、慣行区 12.6t/10a に対し、環境制御区が 20.2t/10a（早熟作型 9.9t/10a、抑制作型 10.3t/10a）となり、60%の増収となりました。



(3) 小規模ハウスにおける環境制御の収益性

1) 前提条件

小規模ハウスにおける環境制御技術を導入する経営体の想定規模は 3.3a (7.2m×45m) パイプハウスによる家族経営としました。

2) 導入経費

ミニマム環境制御を行うために導入する機器は側窓自動換気装置、CO₂施用機、ミスト発生装置、環境値測定機器となります。それぞれ導入経費は下表の通りです（主要機材の減価償却期間は実耐用年数として原則 11 年としています）。

想定規模での機器導入経費(円)

	購入費用（税込）	減価償却費
側窓自動換気装置	191,587	17,417
CO ₂ 施用機	429,861	40,222
ミスト発生装置	217,307	19,755
環境値測定機器	98,311	8,937
その他部材	5,496	5,496
計	942,561	91,828

注：数値は端数処理の関係で計算と一致しない場合がある

また、ランニングコストは CO₂ 施用機で使用する灯油代と各種電気代として 62,289 円となり、年間の掛かり増し経費は 154,117 円となります。

3) 収益性

実証結果から夏秋きゅうり栽培に環境制御技術を導入した際の収量向上効果は概ね 2～3 割程度と見込まれます。

販売単価を 302.8 円/kg（東京中央卸売市場大田市場 H27～R1 岩手県産きゅうりの月別単価の平均と月別収穫量を基に算出、うち流通経費を除いた額は kg 当たり 197.8 円。なお慣行区の販売単価は同じ算出方法で 302.2 円/kg）とすると、年間の増加費用約 15 万円に対する損益分岐点は 779.3kg となります。

環境制御技術の導入後は 1,700kg 程度の増収が見込まれることから、想定する栽培規模では、導入初年目より 10 万円程度の所得向上が見込まれます。

想定規模での収益性

		単位	環境制御	慣行	慣行差 (千円)	増加率
A 収入	販売額	千円	2,065.7	1,547.0	518.7	134%
(内訳)	栽培面積	a	3.3	3.3	-	
	収量	kg	6,821.9	5,119.3	-	
	単価	円/kg	302.8	302.2	-	
B 変動費計	小計	千円	1,166.9	930.9	236.0	125%
(内訳)	栽培経費	千円	388.0	388.0	-	
	光熱費	千円	62.3	5.7	-	
	流通経費	千円	716.6	537.1	-	
C 固定費計	小計	千円	406.1	315.9	90.2	129%
(内訳)	施設費	千円	329.5	239.2	-	
	内環境制御機器	千円	140.6	50.4	-	
	農機具費	千円	76.6	76.6	-	
D 労働費	小計	千円	87.8	0	87.8	
(増加分)						
E 収益(A-B-C-D)		千円	404.9	300.3	104.7	135%

注1: 数値は端数処理の関係で計算と一致しない場合がある

注2: 減価償却費は実耐用年数で計算

注3: 単価は東京中央卸売市場大田市場H27～R1岩手県産きゅうりの月別単価の平均と月別収穫量を用いて算出

注4: 単収は北上における早熟作型(プロジェクトX:2019～20)+抑制作型(クラージュ2:2019～20)の結果を基に算出

注5: 慣行の環境制御機器は側窓手動換気、内張

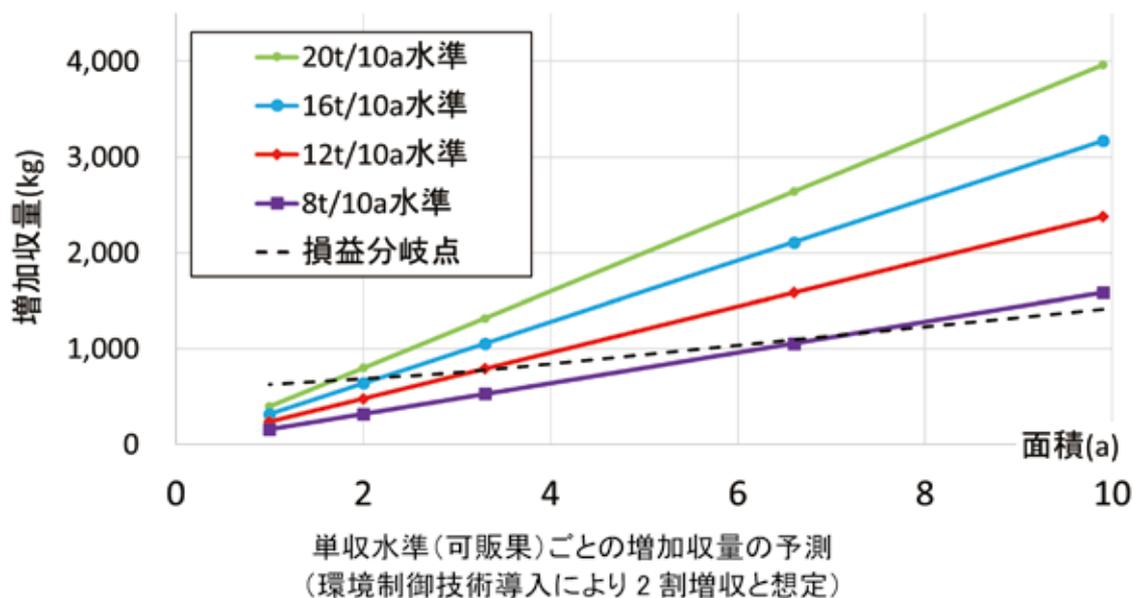
注6: 労働費は793円/時間で計算

注7: 出荷は11月末までとした

4) 導入の目安と留意点

環境制御機器一式を揃えると、最小限であっても初期導入費用は安くはありません。自身の持つハウス面積が小さい場合や、単収水準が低い場合には減価償却費用を賄えない可能性もあることから、双方を考慮して導入を検討します。

次のページの図は環境制御技術導入前の可販果単収と面積から、予測される増加収量と損益分岐点(実耐用年数計算)を示したものです。例えば機器導入前の単収が 8t/10a 水準の場合、6.6a 程度の面積がないと増加する販売額(収量)の不足から損益分岐点(減価償却費)に達しません。なお、この図の試算には内張は含まれていないため、内張を新設する場合には 3.3a (単棟相当)あたり 247kg を損益分岐点に高上げて導入の目安とします。



圃場や栽培条件、機器の使用方法等によっては環境制御技術の導入による増収効果が現れにくくなります。特に基本となる単収が低い場合には、環境制御機器を導入する前に栽培方法の見直しや減収要因を見つけ解決していることが重要です。

5) 減収要因として考慮しておく点

環境制御技術は地上部の環境を光合成が促進されるように調節する技術です。そのため、これまでの管理方法に比べるとやや高温多湿管理となり、また地下部の状態が悪いままでは環境制御技術を導入しても技術本来の効果が発揮されません。

特に考慮しておく点のいくつかを例示しますが、いずれもきゅうり栽培にとって一般的な病害虫や障害で対処方法があります。減収となる状態まで悪化させない管理や対策ができていないか確認してください。

○ 土壌条件

耕盤の有無や栽培期間の水分状態を把握し、過乾燥と過湿のどちらも避けま
す。土壌分析により肥料成分の蓄積状態も定期的に確認します。



耕盤の確認



pF メーターの設置

○ 土壌病害虫

前もって汚染土壌となっていないか確認します。確認された場合には殺線虫
剤や土壌消毒などで対応します。



ネコブセンチュウ



ホモブシス根腐病

○ 病害

高温多湿管理で罹病しやすくなる病害に注意が必要です。



褐斑病

(隣接圃場で多発していると定植直後から発病)



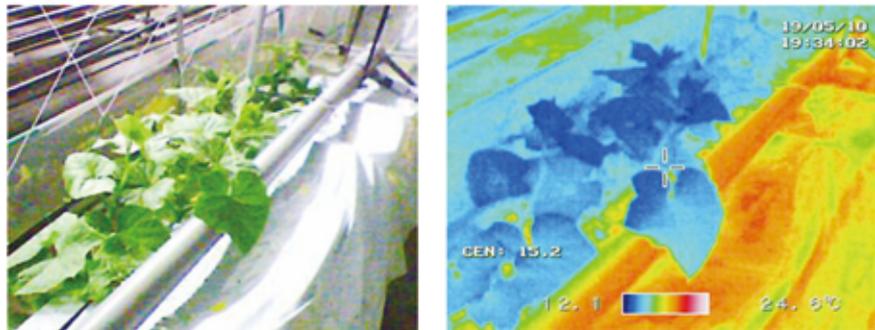
べと病

3 加温作型における追加技術

(1) 局所加温による生育促進・収量向上技術の確立

1) 温湯管「グロウパイプ」による局所加温

エネルギーの効率的な利用を目的として、植物群落内の空中に温湯管を設置する局所加温が欧米などで試みられています。ここでは、植物群落内の空中に設置する温湯管を、「グロウパイプ」と呼びます。



グロウパイプ設置の様子(左:可視画像、右:サーモ画像)

グロウパイプの特徴は、温風暖房機がハウス内全体の気温を高めるのに対し、限られた空間を人工的な風を必要とせず局所的に加温することにあります。また、比較的低い温度域である 40℃程度の温水を循環させることによって局所加温を行うため、近接した植物体を放射により温める効果は低く、対流により近傍の空気を温める効果が主です。

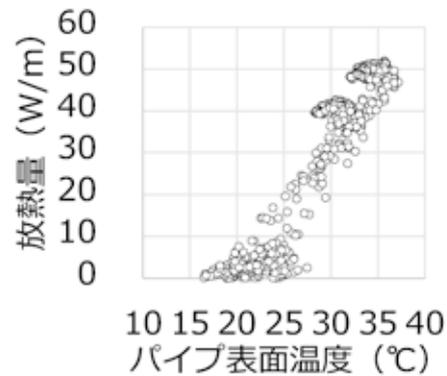
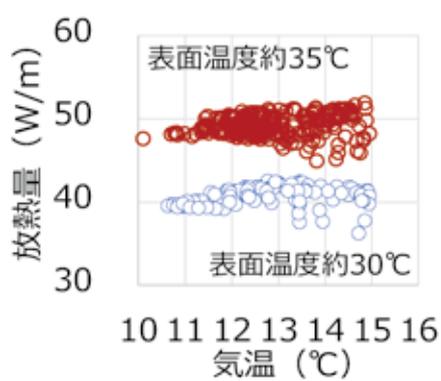


グロウパイプの設置の様子(きゅうりアーチパイプに固定)

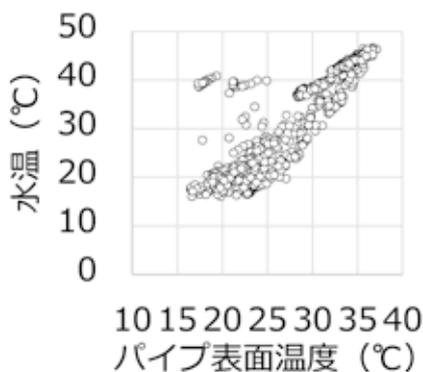
今回、グロウパイプの設置は、きゅうりアーチパイプに地面から 10 cm 程度の高さに固定する方式を用いており、塩ビ管 VU40 mmパイプを利用して自作することで安価に作製が可能です。

グロウパイプを 44m で 1 本とした場合、1 本当たりの材料費は、約 8,300 円です。間口 7.2m×奥行 46m の 100 坪パイプハウスに、畝 44m×6 列で総延長 264m を設置すると、パイプ部材の材料費は約 5 万円です。

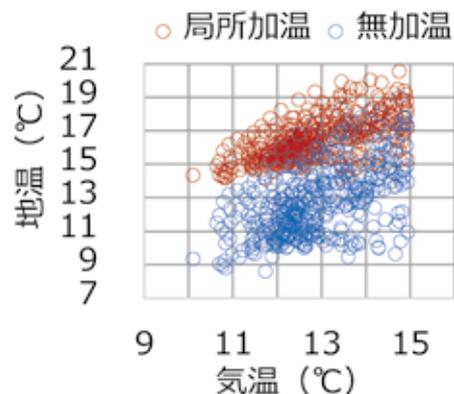
パイプ 1 m 当りの放熱量は、水温により異なるものの 40W/m 程度を発揮でき、100 坪パイプハウスに設置した場合の放熱量は、総延長 264m×単位パイプ長当たりの放熱量 40W/m で 10.5 kW 相当です。グロウパイプは、塩ビ管のほかにもポリエチレンパイプで自作することができます。



グロウパイプの単位パイプ長当たりの放熱量と温度の関係



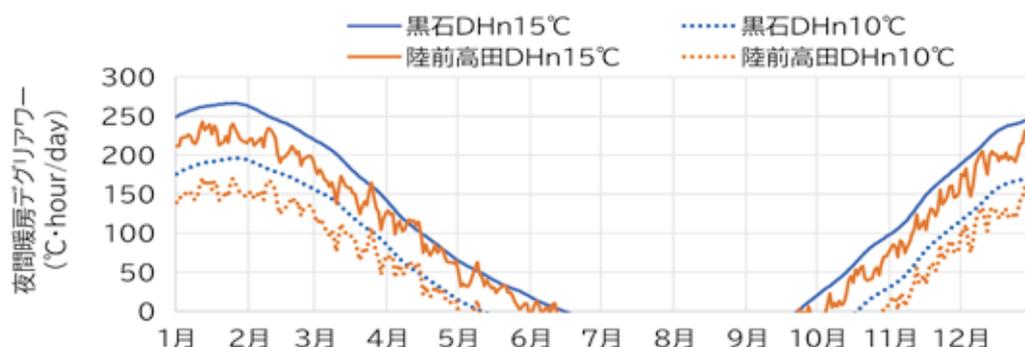
グロウパイプの
表面温度と水温の関係



グロウパイプによる
局所加温の地温上昇効果

2) 局所加温の熱源に温水暖房機を採用

今回の加温の想定は、半促成・早熟・抑制作型です。また、施設規模は100坪程度の小規模パイプハウスです。この作型の加温時期は、3月～4月及び10月～11月であり、夜間暖房デグリアワーでみると、12月～2月に比べて数値が小さくなります。夜間暖房デグリアワーとは、施設の夜間設定温度と屋外最低気温の差から算出した値で、数値が大きいほど暖房費用が多くなります。



夜間暖房デグリアワー(岩手県陸前高田市、青森県黒石市)

注) 陸前高田、黒石は気象庁アメダスデータを引用。黒石は30年間の平均値である平年値を用いており、陸前高田は観測データがある2011年～2020年の平均値を用いています。

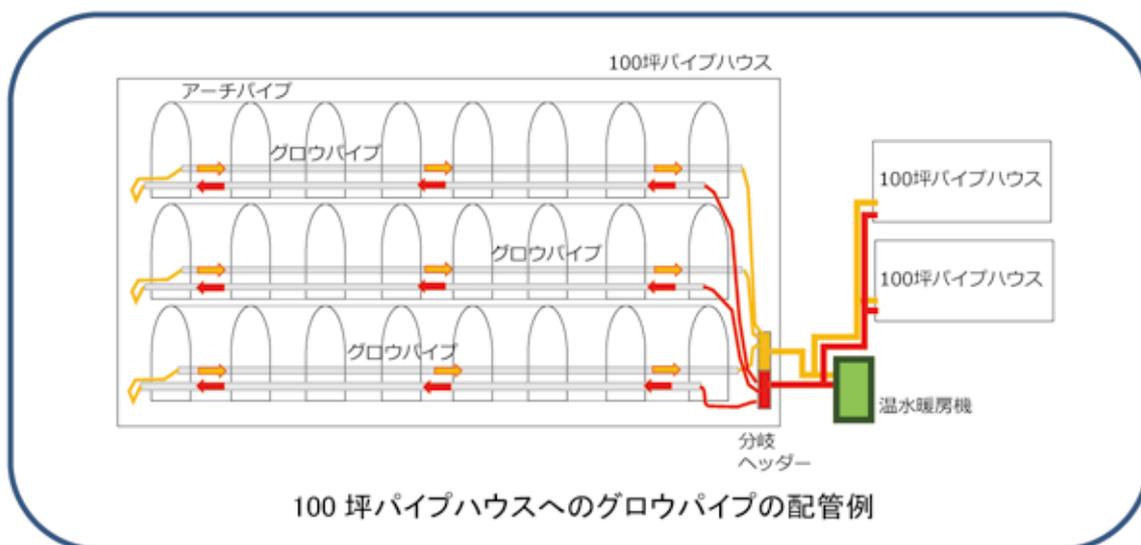
始めに、暖房機の選定を行うため、内張りカーテンによる保温の設備を前提として、設定室温15℃及び10℃で最大暖房負荷を試算しました。最大暖房負荷とは、設定温度まで不足なく加温するための暖房機の機種を選定する場合に目安となる熱出力の値です。

最大暖房負荷(岩手県陸前高田市、青森県黒石市)

保温方法	設定室温 (°C)	100坪当り最大暖房負荷 (kW)			
		陸前高田		黒石	
		1-12月	3-11月	1-12月	3-11月
1層カーテン	15	89.0	73.1	112.9	87.3
	10	71.7	51.9	95.6	70.0
2層カーテン	15	47.4	39.2	59.6	46.5
	10	38.5	26.5	50.8	37.7

注) ビニルハウスにおいて、1層カーテンはポリエチレンフィルム、2層カーテンはポリエチレンフィルム+アルミ蒸着フィルム、陸前高田、黒石は気象庁アメダスデータを引用。

次に、グロウパイプに温水を循環させるための温水暖房機は、複数棟のパイプハウスに温水を分配することとし、その場合のグロウパイプの想定配管図の一例を示します。



グロウパイプは、間口7.2m×奥行46mの100坪パイプハウスに、畝44m×6列で264m分を設置すると、36kW熱出力仕様の温水暖房機1台で100坪3棟分を賄うことができます。グロウパイプの設置は、きゅうりアーチパイプに固定する等の作業を自前で行い、費用を削減することが重要になります。これは、設置費用を含めたグロウパイプ自体が高価であると、設備導入費用が温風暖房機の導入費用を上回りメリットを活かせない可能性があるためです。





条数分のグロウパイプをアーチパイプに沿って設置

さらに、グロウパイプのみでは熱量不足が懸念されるため、暖房機の組み合わせとして温水暖房機に加え、設定室温 10℃の温風暖房機を選定します。

熱源別の単位熱量当たりの本体参考価格及び光熱費

	灯油 消費量 (L/h)	本体 参考価格 (万円)	発熱量 (kW)	熱出力 (kW)	消費電力 (W)	COP	単位熱量当り の本体価格 (万円/kW)	単位熱量当り の光熱費 (円/kW)
小型温風暖房機①	1.7	30	15.9	14	170	-	2.1	10.1
小型温風暖房機②	2.8	35	26.5	23.3	215	-	1.5	9.9
小型温風暖房機③	4.4	45	42.3	37.2	290	-	1.2	9.7
大型温風暖房機	9.5	95	96.9	87.2	1050	-	1.1	9.1
温水暖房機	4.2	45	-	36	410	-	1.3	9.7
空気-水熱交換方式 ヒートポンプ	-	30	-	1.8	400	4.5	16.7	6.7
CO ₂ 施用機	1.7	30	17.5	-	160	-	1.7	8.0

注) 単位熱量当たりの光熱費は、灯油 80 円/L、電気料金 30 円/kW として試算。

例えば、温水暖房機と温風暖房機を組み合わせた場合は、100 坪パイプハウス 3 棟を賄う熱出力 36 kW の温水暖房機 1/3 台と、100 坪パイプハウス毎に設定室温 10℃設定で選定した 37.2 kW の小型温風暖房機 1 台を導入します。これに対して組み合わせを行わない場合は、設定室温 15℃設定で選定した 87.2 kW の大型温風暖房機 1 台を各パイプハウスへ導入することになります。これらは、条件次第で最適な選定が異なります。

グロウパイプの利用とは異なりますが、温水暖房機は局所加温に用いるほかに、自動車用ラジエーターを自作熱交換器として用い、温水を温風に変換して加温に用いることが可能です。この場合も安価な熱交換器を用いることが重要です。「ラジエーター式放熱装置づくり方マニュアル」は農研機構から公表されています。

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/121136.html



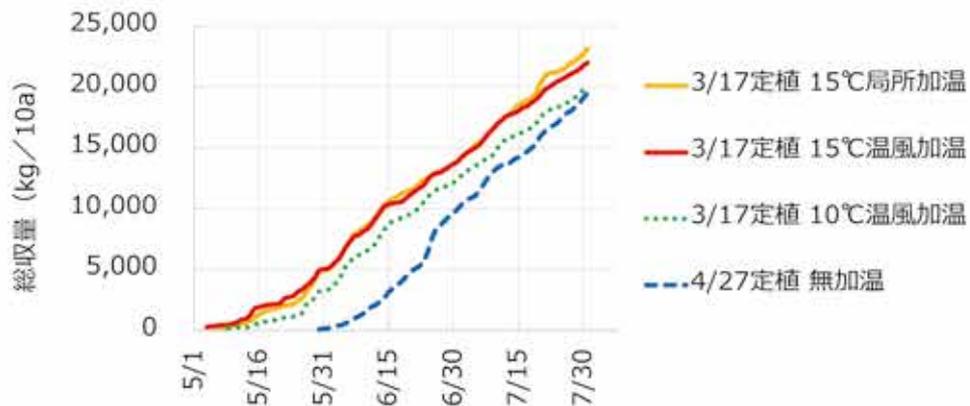
安価に自作した熱交換器

注) 自動車用ラジエーター、ダクトファン、発泡スチロール箱を使用した簡易作製タイプ

3) 北東北地域でのきゅうり栽培における加温及び局所加温

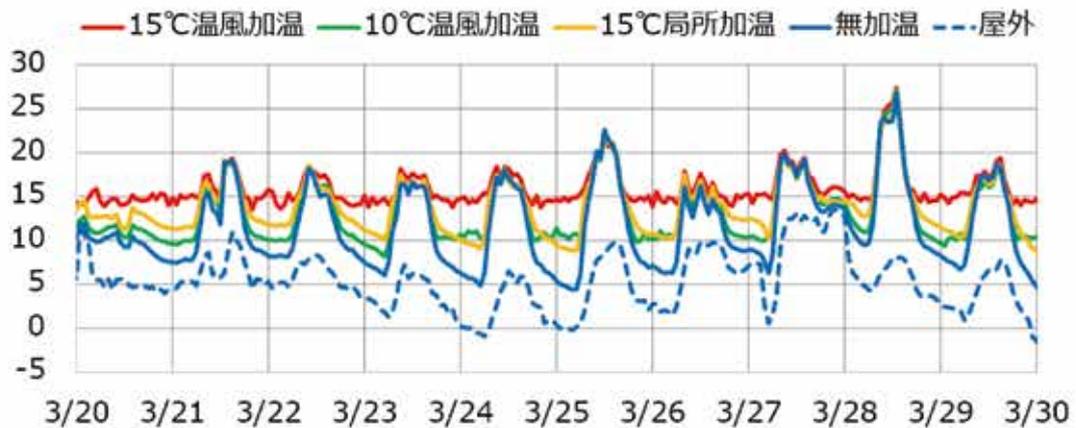
北東北地域でのきゅうり栽培は、露地栽培を主としつつ、ハウス栽培の半促成作型、早熟作型及び抑制作型が行われています。その中で、加温を行うのは、半促成作型と抑制作型になります。今回、これらの加温を行う作型についての温度管理方法が明らかになりました。

半促成作型では、定植後から最低気温を 15℃に設定して温風加温することで生育が促進し、早熟作型の無加温栽培に比べて収穫期が 1 か月前進しました。また、その後の増収の効果が確認されました。自作したグロウパイプによる 15℃局所加温では、15℃温風加温と同等の収量が得られました。一方で、10℃温風加温では、早熟作型の無加温栽培に比べて、収穫始期が早まったものの収量は同等でした。



半促成及び早熟作型の加温方法が収量に及ぼす影響

今回の条件では、保温性の高い施設・設備であったため、15℃局所加温のみであっても10℃温風加温と同等の加温効果が確認されています。



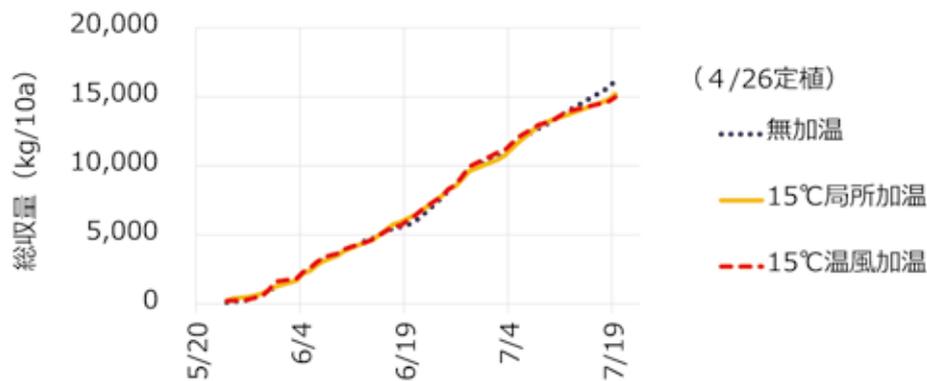
保温性の高い施設・設備での半促成作型の気温推移



半促成作型及び早熟作型の温度管理方法別の草姿

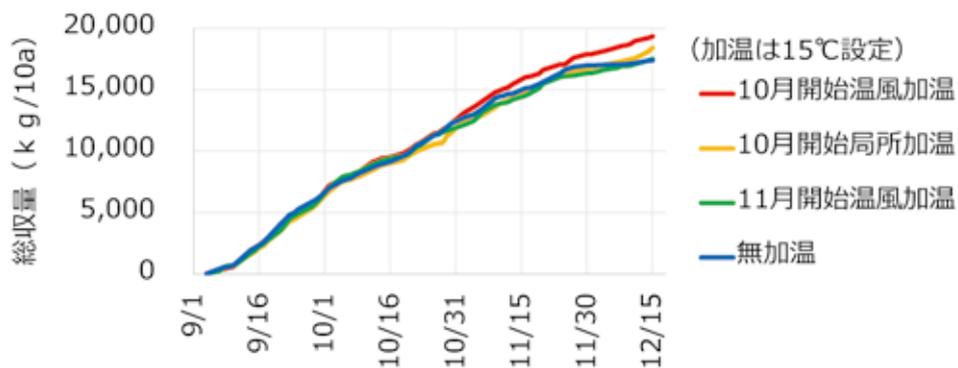
注) 左の写真から順に、半促成作型 3/17 定植の 15℃温風加温、10℃温風加温、15℃局所加温、早熟作型 4/27 定植の無加温での 5/12 現在の様子。

早熟作型では、加温により生育を促進する効果は見られたものの、収量にはほとんど影響がありませんでした。



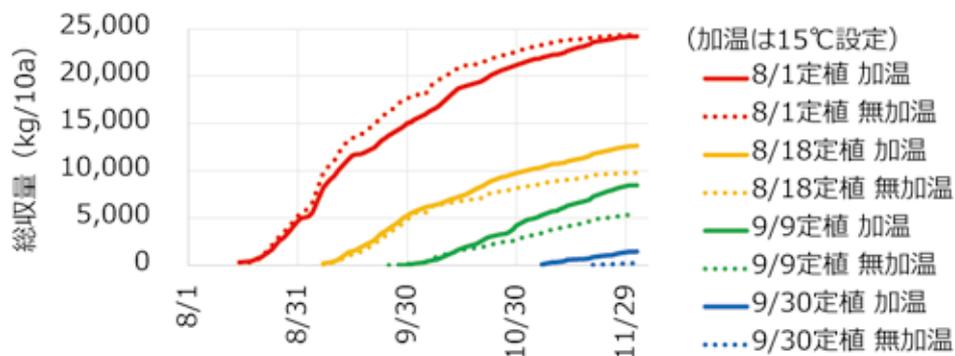
早熟作型の加温方法が収量に及ぼす影響

抑制作型では、収穫期の後半に加温することとなります。10月以降に加温することで増収の効果がありました。



抑制作型の加温方法と加温開始時期が収量に及ぼす影響

ただし、適切な品種選定、品種に合わせた栽培管理を実施すると、加温による増収効果よりも8月上旬までの定植の効果が大きい場合があります。



抑制作型の定植日及び加温の有無が収量に及ぼす影響

保温性の低い施設・設備で内張りカーテンがない場合の気温は、夜間や寡日照の昼間には屋外の気温とほぼ同等になり、気象条件の影響を大きく受けます。そのため、加温栽培との温度差が大きくなり、収量に影響が出ます。



半促成及び抑制作型を想定した時期の加温において、内張りカーテンを設置して加温を行った 100 坪当たり灯油使用量の試算結果から、1 層カーテンでは、15°C加温よりも 10°C加温 + 15°C局所加温の組み合わせで灯油使用量が少なくなりました。これは、15°C加温に比べて、供給される熱量が少ないためです。2 層カーテンでは、15°C加温と 15°C局所加温がほぼ同等の灯油使用量となりました。これは、2 層カーテンを設置することにより保温性が高まり、グロウパイプの局所加温のみであっても加温に要する熱量の供給が 15°C加温と同等程度であったためです。

半促成及び抑制作型における灯油使用量の試算 (100 坪当たり)

地域	栽培期間 の加温時期	1層カーテン				2層カーテン			
		上段：灯油使用量 (L)		下段：燃料費 (円)		上段：灯油使用量 (L)		下段：燃料費 (円)	
		15°C加温	10°C加温	15°C 局所加温	10°C加温 +15°C局所加温	15°C加温	10°C加温	15°C 局所加温	10°C加温 +15°C局所加温
陸前 高田	3/15-4/30	1,582	523	718	1,241	702	139	603	702
		126,596	41,802	57,447	99,250	56,137	11,089	48,277	56,137
	10/1-11/30	1,299	267	788	1,055	543	64	511	543
		103,890	21,376	63,048	84,425	43,419	5,107	40,903	43,419
黒石	3/15-4/30	1,833	748	716	1,464	838	243	638	838
		146,652	59,873	57,263	117,136	67,077	19,469	51,045	67,077
	10/1-11/30	1,858	534	966	1,499	817	169	701	817
		148,672	42,709	77,247	119,956	65,336	13,489	56,069	65,336

注) ビニルハウスにおいて、1 層カーテンはポリエチレンフィルム、2 層カーテンはポリエチレンフィルム+アルミ蒸着フィルム、局所加温は 100 坪に 264m のグロウパイプを設置して試算。燃料費は灯油 80 円/L として試算。陸前高田、黒石は気象庁アメダスデータを引用。

グロウパイプの局所加温による増収効果が最も大きかった半促成作型では、収穫期が1か月前進し、可販果収量は22%増になり、粗収益の試算では100坪当たり約20万円の粗収益増になりました。

半促成作型における加温方法別の粗収益の試算(100坪当たり)

	可販果 収量 (kg)	粗収益 (円/100坪)					
		平均単価 150円/kg	無加温(早熟) との差	平均単価 200円/kg	無加温(早熟) との差	平均単価 250円/kg	無加温(早熟) との差
15℃温風加温 (半促成)	4,879	¥731,916	¥87,142	¥975,888	¥116,190	¥1,219,860	¥145,237
10℃温風加温 (半促成)	4,362	¥654,305	¥9,531	¥872,407	¥12,708	¥1,090,509	¥15,885
15℃局所加温 (半促成)	5,263	¥789,457	¥144,683	¥1,052,609	¥192,910	¥1,315,761	¥241,138
無加温 (早熟)	4,298	¥644,774	-	¥859,699	-	¥1,074,623	-

注) 粗収益は、各区100坪当たりの可販果収量に平均単価を乗じて試算。

4) まとめ

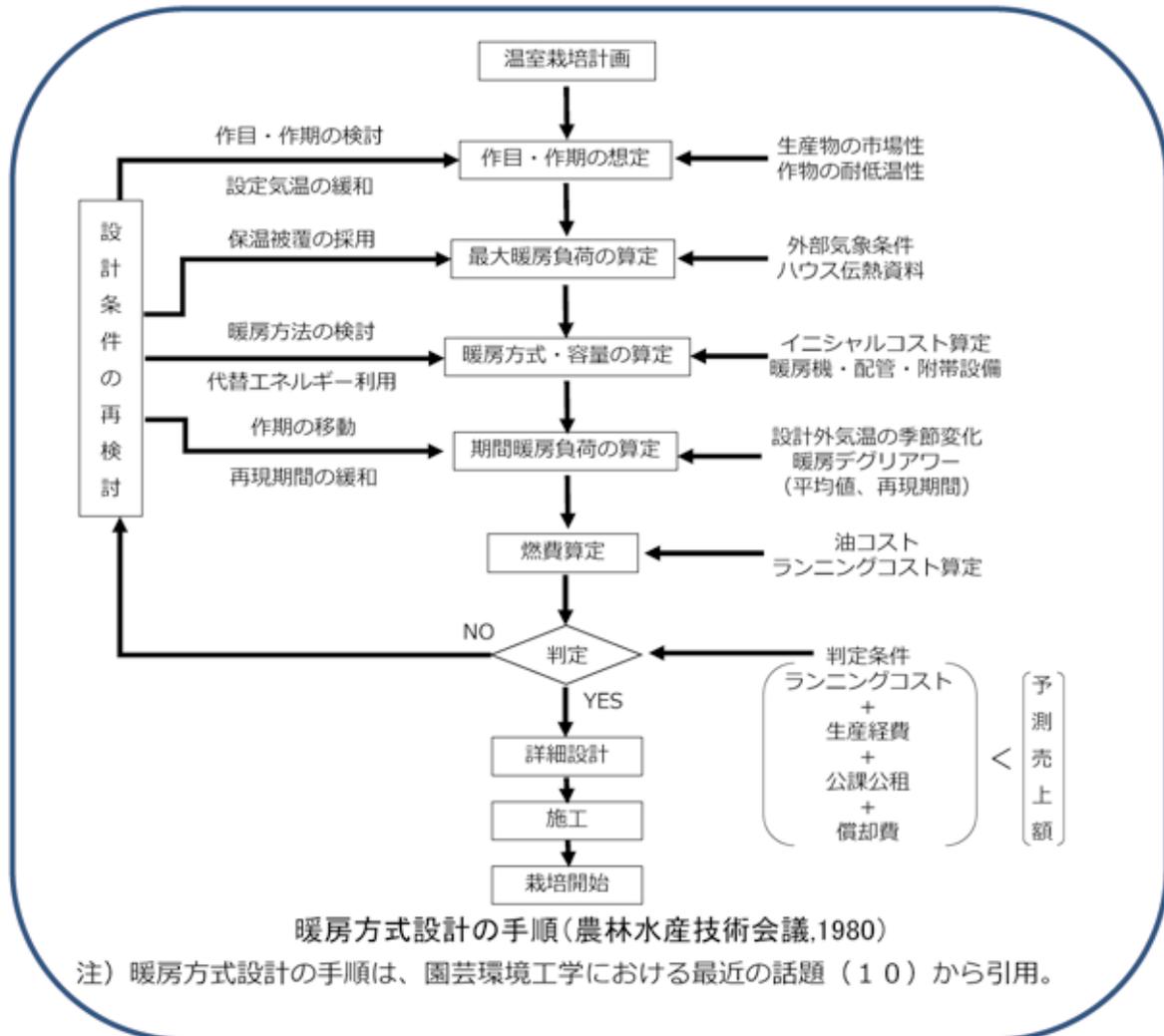
植物群落内の空中に設置する温湯管をグロウパイプと呼び、グロウパイプは、比較的低い温度域である40℃程度の温水を利用するため、放射ではなく対流により近傍の空気を温める効果が主です。

グロウパイプの設置は、地面から10cm程度の高さにきゅうりアーチパイプへ固定する方式としました。

グロウパイプの局所加温による増収効果が最も大きかった半促成作型では、収穫期が1か月前進し、可販果収量は22%増になり、粗収益の試算では100坪当たり約20万円の粗収益増になりました。

北東北地域での実用的な作型と温度管理の想定は、半促成作型では15℃の加温により増収し、早熟作型では加温の必要はなく、抑制作型では10月以降に加温することで増収の効果があります。ただし、適切な品種選定、8月上旬までの定植、品種に合わせた栽培管理を実施すると、加温より増収する場合があります。

加温栽培の導入には、内張カーテン等保温設備及び局所加温等暖房設備に係る減価償却費、燃料費、増収分の出荷経費等が増収による売上を下回ることが条件です。また、増収に伴う作業時間の増加も考慮する必要があります。実際の経営に加温栽培を導入するかどうかは、暖房方式設計の手順に沿って、自身の経営状況を踏まえて検討を行うことにより判断ができます。



参考文献

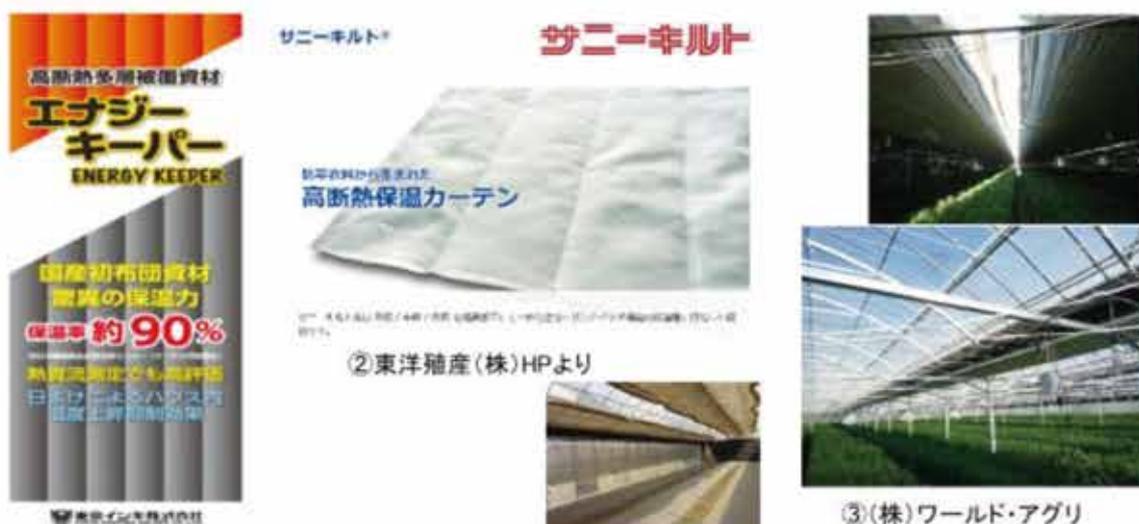
- 1 林真紀夫・古在豊樹・岡田益己（1986）園芸環境工学における最近の話題（10）、p1342-1348、農業および園芸、第61巻11号
- 2 五訂施設園芸ハンドブック（2007）暖房、p127-130、社団法人日本施設園芸協会
- 3 竹倉憲弘・金井源太・山下善道（2018）ラジエーター式放熱装置つくり方マニュアル、農研機構中央農業研究センター・東北農業研究センター
http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/121136.html

(2) 高断熱被覆資材を利用した燃油使用量削減技術

1) 高断熱被覆資材の利用と効果について

国内で使用されている従来の保温用被覆資材に比べ、断熱性が極めて高い被覆資材が販売され、パイプハウス等でも使用されるようになってきています。一方で遮光率が高く、日中は巻き取るなどして開放する必要があり、低温期は日中でもハウス内の温度低下がみられることから、農 PO も用いて日中の温度低下を軽減する必要があります。

○代表的な高断熱被覆資材の例



①東京インキ(株)
①東京インキ(株) http://www.tokyoink.co.jp/products/pro_04.html
②東洋殖産(株) http://www.toyoshokusan.co.jp/business/bus_003.html
③(株)ワールド・アグリ

③(株)ワールド・アグリ
YI-冷/暖シート

今回は高断熱被覆資材(エナジーキーパー®EK-WF:以下保温資材)を使って、ハウスきゅうりの作期拡大と増収を狙い栽培試験を行いました。

○無加温栽培での高断熱被覆資材の効果

高断熱被覆資材は、断熱性が高いとは言え、最低気温が農POのみに比べ2～3℃高く推移するものの日中は巻きとって開放が必要となります。植物体生存は前後に半月程度伸びるものの収量の増加には繋がらず、無加温栽培での使用では効果が期待できません。

耕種概要	抑制作型(2018年)	早熟作型(2019年)
供試品種	プロジェクトX(穂木)／バトラー(台木)	
播種日	6/25	2/26
定植日	8/10	4/14
栽植密度	畝間2m×株間50cm, 2,000株/10a (主枝+側枝仕立て振分け)	畝間2m×株間20cm, 2,500株/10a (主枝一本仕立て振分け)
被覆状況(保温資材)	10/20～	定植～5/14(5/3～5/6除く)
(農PO)	10/20～	定植～5/17

※保温資材は概ね8:50開、16:30閉。農POは日中も28℃を目標に開閉

※保温区は抑制作型では保温資材のみで農POの被覆無、

早熟作型では保温資材+農POの被覆も有

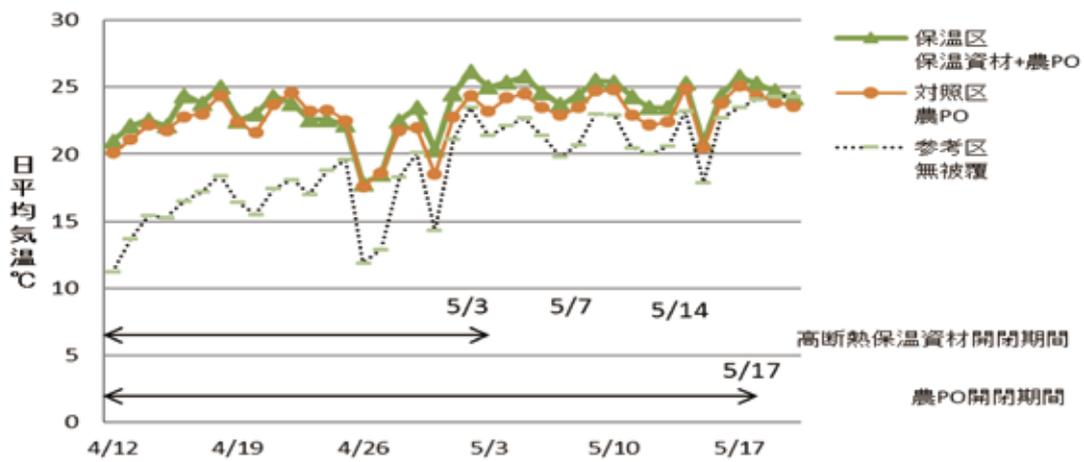
※自動側窓換気(28℃)、燃焼式炭酸ガス発生機(昼27℃以下、夜間15℃以下)、
低圧細霧(多段階飽差制御)

※肥培管理は隔離養液栽培。栽培槽「ゆめ果菜恵」培地「ココピート」培地、
OAT A処方2液式による濃度管理、かん水は天候や生育ステージに応じて
20～120分間隔で86～130ml/株/回のインターバルかん水

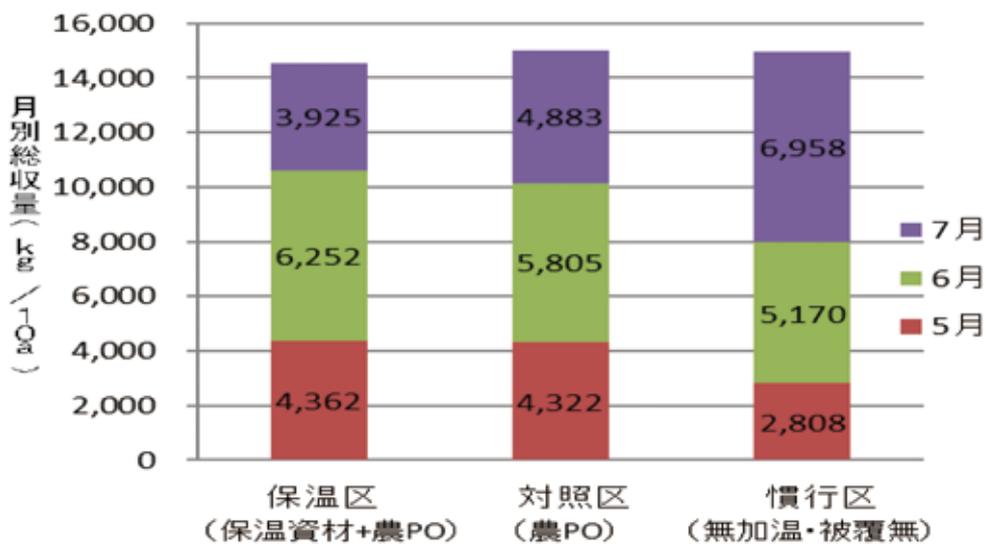
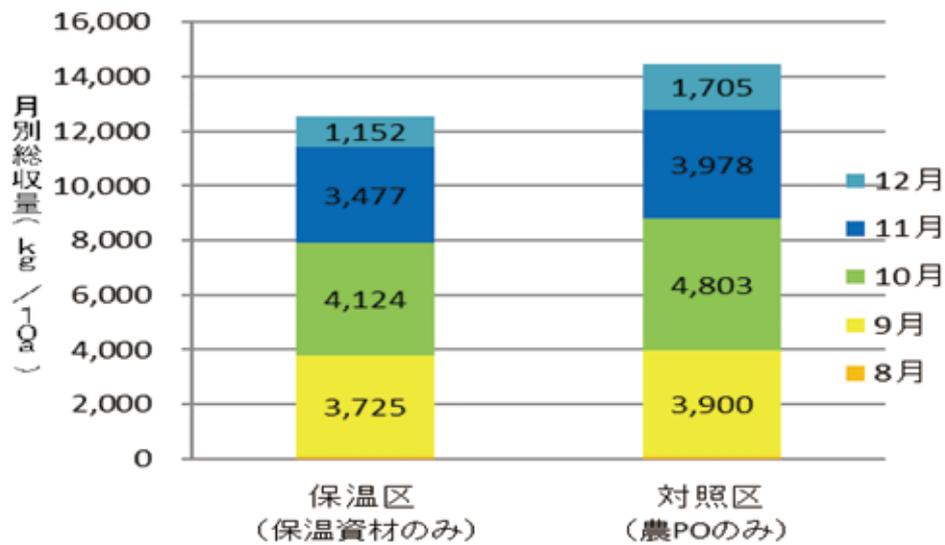
抑制作型の温度(℃)

	晴天日(11/3)		曇天日(11/5)	
	保温資材	農PO	保温資材	農PO
昼平均	19.8	22.7	20.5	22.3
夜平均	12.1	11.2	14.5	15.3

※昼は、保温区は農POを設置していないため被覆無。農PO区は25℃を目安に開閉。



早熟作型の日平均気温の推移



無加温栽培での月別総収量の推移(上:2018年抑制作型、下:2019年早熟作型)

○加温栽培での高断熱被覆資材の効果

被覆後の温度の低下が農 PO のみに比べ緩やかで夜間の平均温度は 3~4℃高くなり、特に半促成作型では初期の生育が進み、4~5 月の収量が増加しました。また、加温機の燃焼時間が短くなるため、灯油の使用量が約 40%削減し、高断熱被覆資材の設置コストは、削減される灯油の使用量 2~4 年分で補えます。

耕種概要	半促成作型(2020年)	抑制作型(2020年)
供試品種	プロジェクトX(穂木)ノバトラ	クラージュ2(穂木)ノバトラ
播種日	1/24 (慣行区(早熟作型)は3/2)	7/4(穂木),7/5(台木) 購入苗
定植日	3/4 (慣行区(早熟作型)は4/7)	7/29
栽植密度	畝間2m×株間25cm(主枝一本仕立て振分け) 2,000株/10a	
被覆状況(保温資材)	定植~5/14(5/3, 9~12除く)	9/28~(9/30~10/5, 9~12, 21~22を除く)
(農PO)	定植~5/28(5/25~26除く)	9/27~(10/3~4を除く)
加温機の稼働	15℃設定で運転	

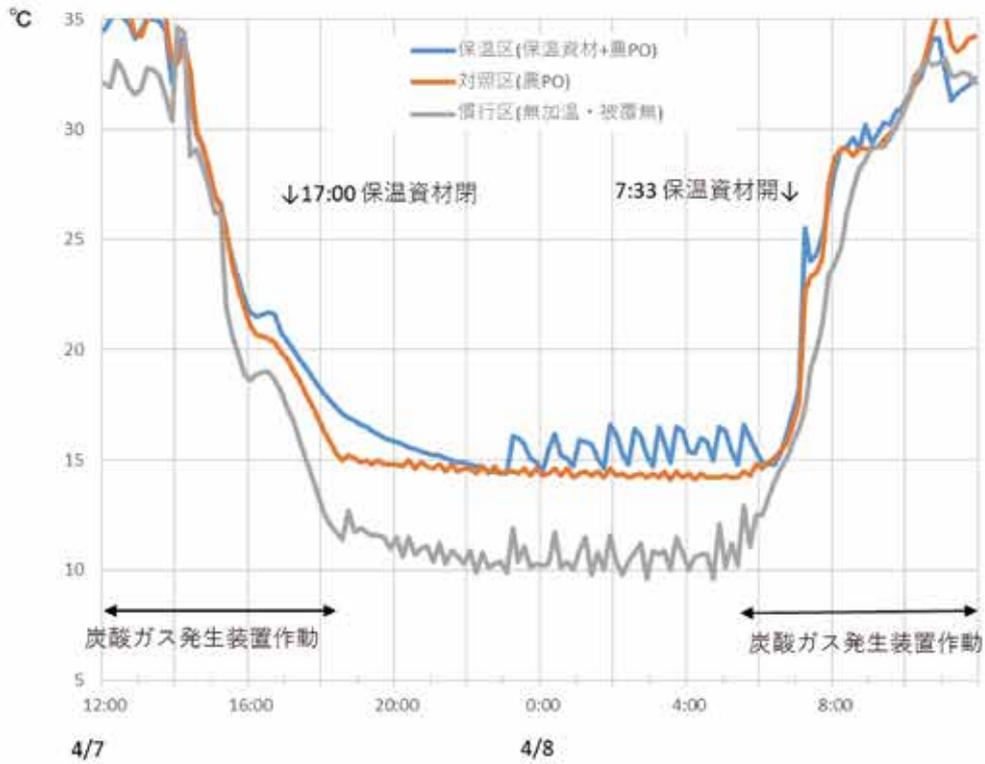
※保温資材は翌日の最低気温の予報が12℃を目安に、日の出後概ね1.5時間
・日の入前概ね1時間に開閉

※農POは翌日の最低気温の予報が14℃を目安に閉め、日中は28℃を目標に開閉

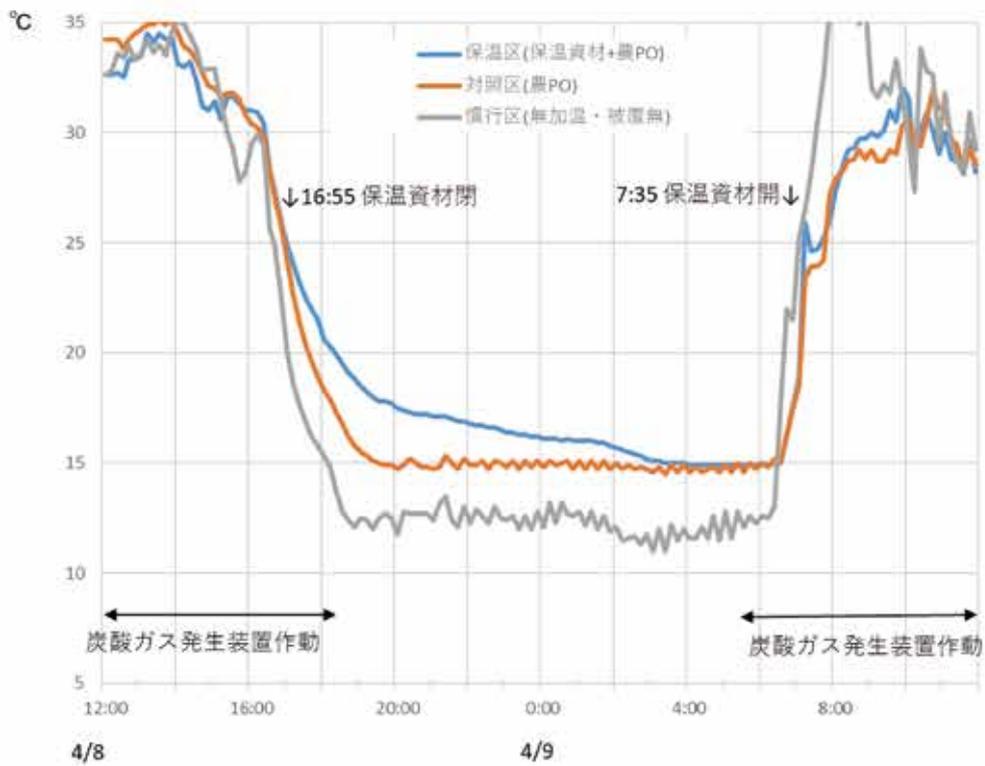
※自動側窓換気(28℃)、燃焼式炭酸ガス発生機(昼27℃以下)、
低圧細霧(多段階飽差制御)

※肥培管理は隔離養液栽培。栽培槽「ゆめ果菜恵」培地「ココピート」培地、
OAT A処方2液式による濃度管理、かん水は天候や生育ステージに応じて
20~120分間隔で86~130ml/株/回のインターバルかん水

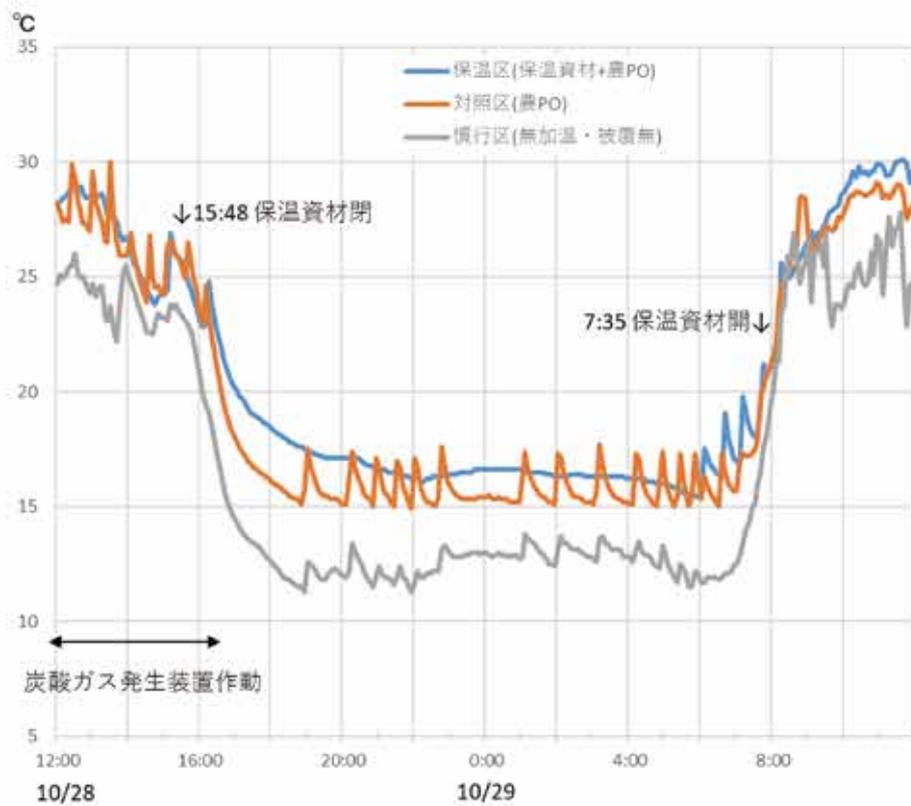
加温栽培での夜間温度推移の例



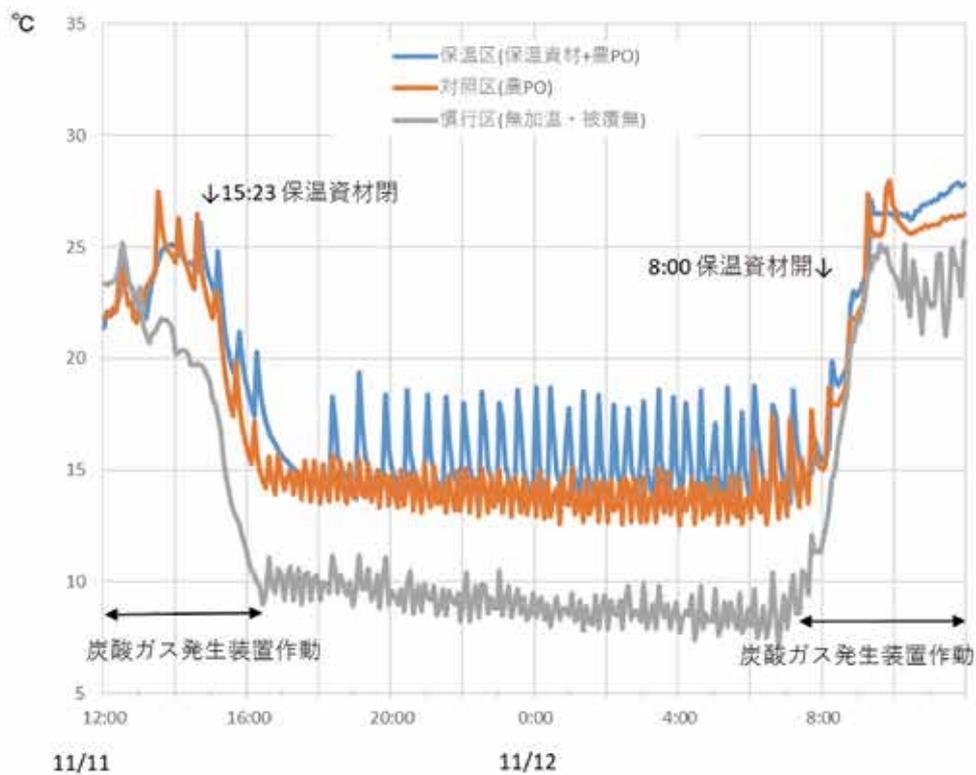
半促成作型の寒い日の推移(2020年4月7日~8日)



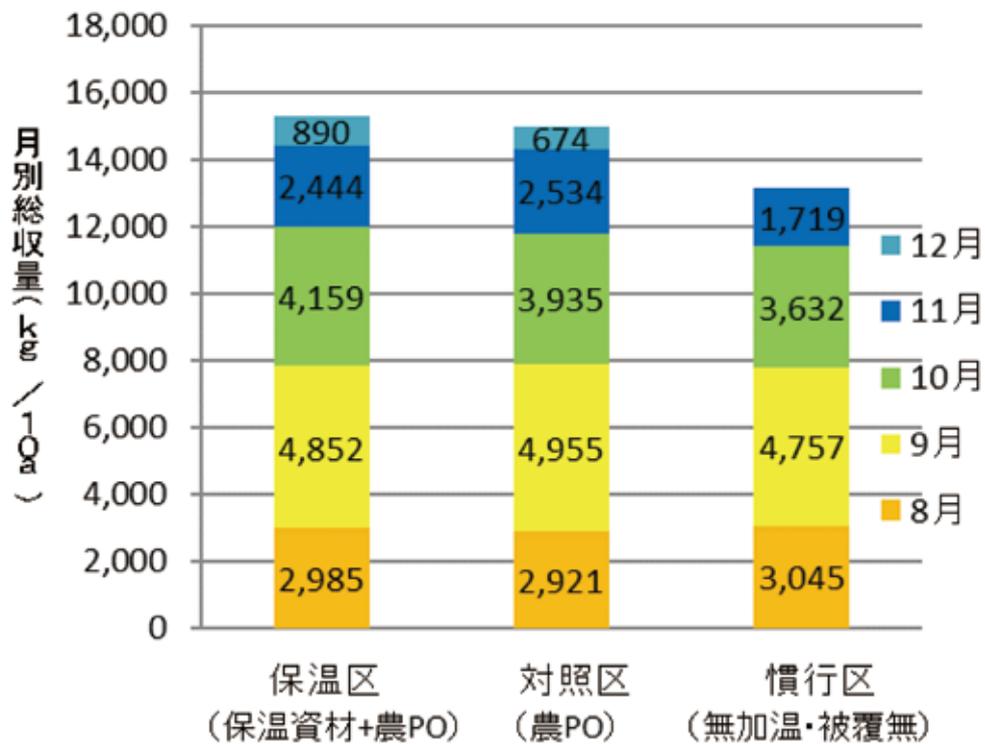
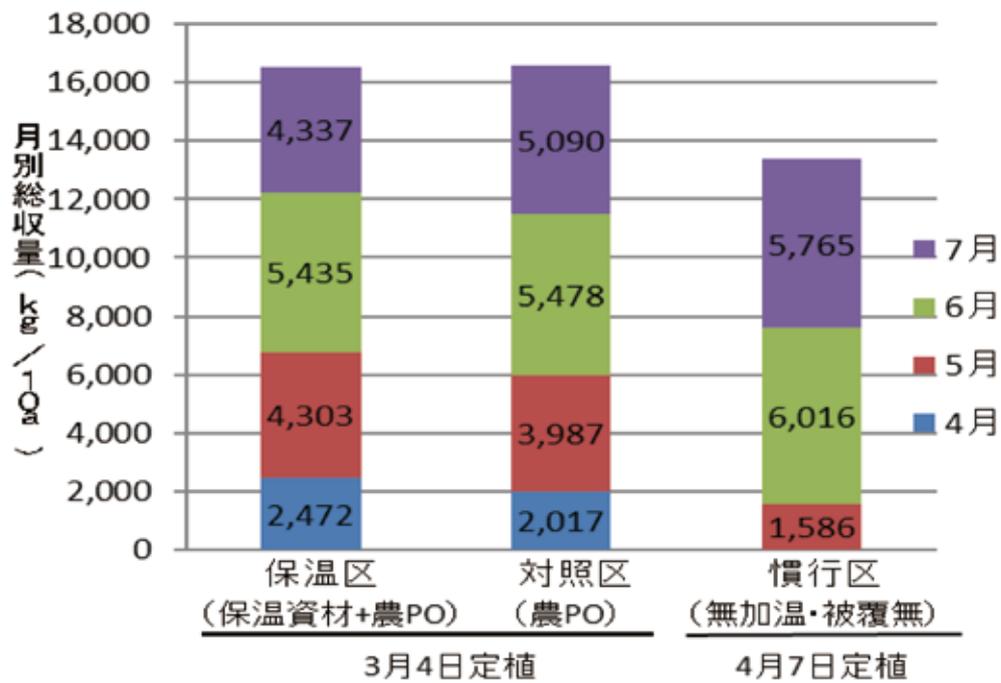
半促成作型の暖かい日の推移(2020年4月8日~9日)



抑制作型の暖かい日の推移(2020年10月28日~29日)



抑制作型の寒い日の推移(2020年11月11日~12日)



加温栽培での月別総収量の推移(上:2020年半促成及び早熟作型、下:2020年抑制作型)

半促成・早熟栽培の生育の様子(6月25日)



保温区

対照区

慣行区

抑制作型の暖房開始時の様子(10月5日)



保温区

対照区

慣行区

加温期間の灯油使用量と削減効果

やや温暖年(2019年)の状況

	10月	11月	12月	合計 (3-12月)
保温区 (保温資材+農PO)	2.6	74.0	87.2	375.8
対照区 (農PO)	65.8	257.4	266.8	1143.4
削減量	63.2	183.4	179.6	767.6
削減率	96%	71%	67%	67%

(3~5月は無加温栽培のためデータなし)

やや低温年(2020年)の状況

	3月	4月	5月	10月	11月	12月	合計 (3-12月)
保温区 (保温資材+農PO)	133.4	69.4	9.3	2.6	74.0	87.2	375.8
対照区 (農PO)	301.8	222.0	29.6	65.8	257.4	266.8	1143.4
削減量	168.4	152.6	20.3	63.2	183.4	179.6	767.6
削減率	56%	69%	69%	96%	71%	67%	67%

加温機の年間灯油使用量と高断熱被覆資材による削減効果

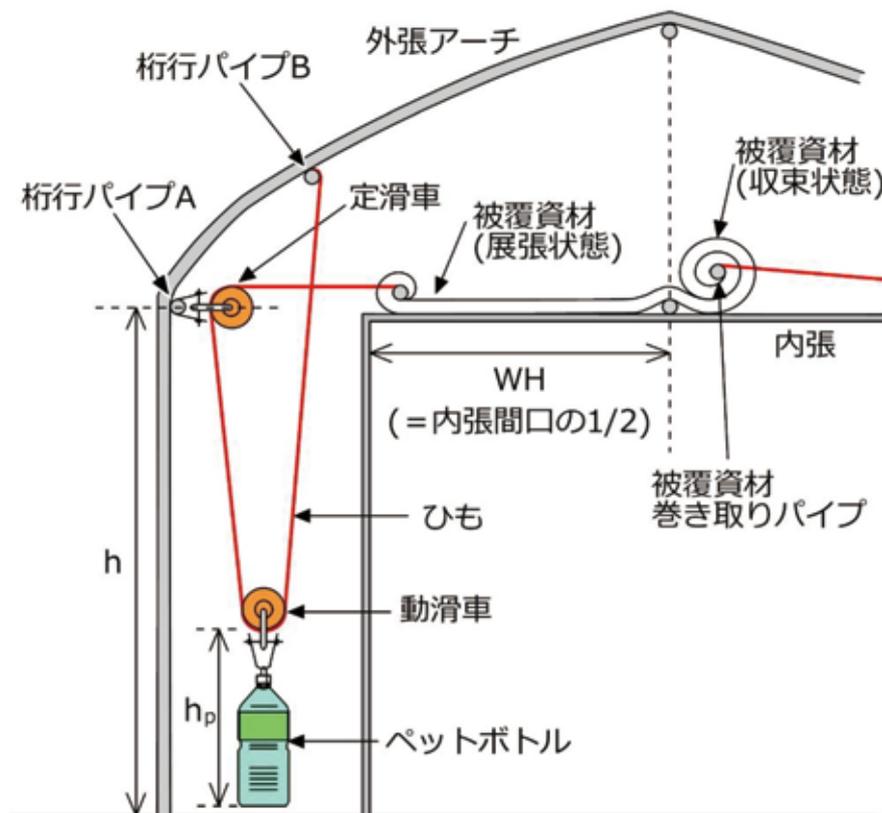
実証規模	0.5a
・保温資材導入コスト	約150,000円
・年間灯油削減量	400L~767.5L
削減量	400L×90円/L×4.2年=151,200円
	768L×90円/L×2.2年=152,064円
↓	
約2~4年の灯油削減分で、資材の導入コストを償還できる	

参考文献

(独)農研機構西日本農業研究センター(2013)「高保温性能で暖房燃料使用量を大幅に削減する次世代型パイプハウスの開発」成果集

2) 高断熱被覆資材の設置法

内張の高断熱被覆資材（以降、被覆資材）を偏りなく巻くためには、内張の天頂部を屋根型にするのがお勧めですが、それが難しい場合は以下のように水平型（収束時は間口方向の中央で巻き取る方式）にします。しかし、水平型の場合、被覆資材を偏りなく巻き取ることが困難です。これは被覆資材に荷重をかけて、資材を引っ張りながら巻くことにより偏りを緩和できます。ここでは、資材に荷重をかける簡易な技術としておもり（水を入れたペットボトル）と滑車を使った方法を示します。おもりを設置する位置は、作業性の観点からハウス側面付近がお勧めです。下図のようにハウス肩付近に定滑車を設置して動滑車と組み合わせることにより、おもりの鉛直移動距離が短いハウスの側面付近でも被覆資材に負荷をかけることができます（ひもの先端は被覆資材巻き取りパイプに固く結び付けます）。下図における h と h_p の差（ $h - h_p$ ）が WH より大きければ、被覆資材を完全に収束することができます。動滑車1個で被覆資材を完全に収束できない場合は、次ページの図のよ



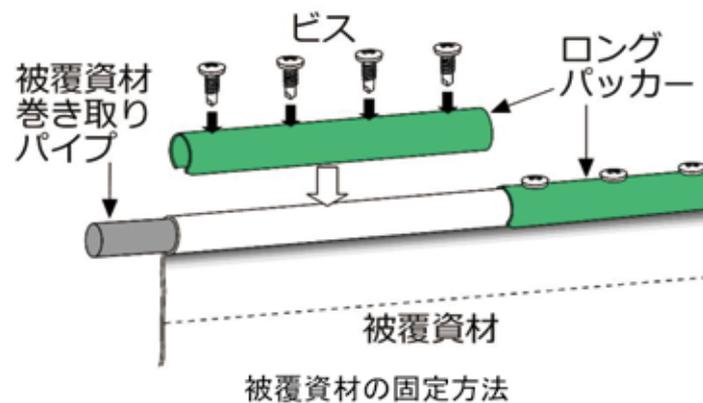
ペットボトルと動滑車を用いた荷重のかけ方(1)

(被覆資材巻き取り器が付いていない側はこの仕組みを導入する

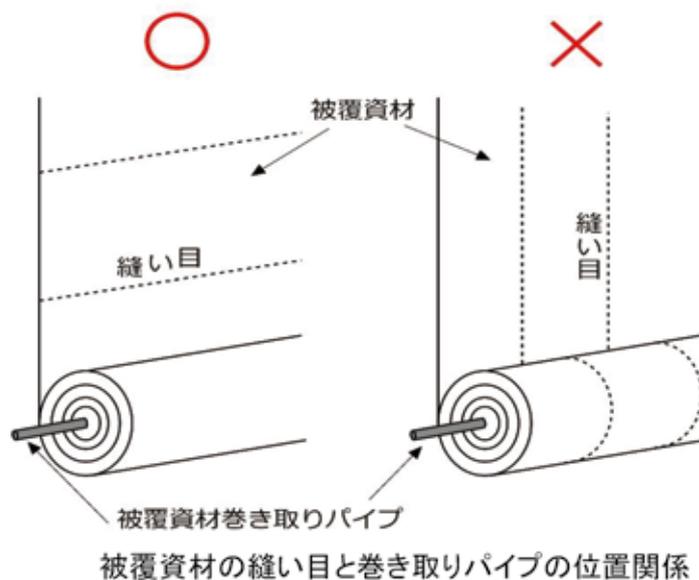
(次ページの図を参照))

日中は被覆資材を収束させるので、被覆資材のみを内張に使用した場合、室温があまり上昇しません。その場合、被覆資材と農 PO フィルムを用いた二重内張が有効です。内張の天井面・側面・妻面の骨組みに沿って、農 PO フィルムを展張・固定し、巻き取りパイプを取り付けます。次に、その外側に被覆資材を同様に設置します。農 PO フィルムと被覆資材を別に固定すると、被覆資材だけ夏季に取り外すことができ便利です。

被覆資材を内張に設置する際の注意点を以下に記します。被覆資材巻き取り時の空回りを防ぐため、被覆資材を巻き取りパイプに巻き付ける際、パッカー止めの上から必ずビス止めをします（下図）。また、巻き取り厚みの違いによるしわ発生を緩和するために、ロングパッカーを使用するのがおすすめです。



被覆資材の収束半径を小さくするために、被覆資材の縫い目が巻き取りパイプと平行になるように設置します（下図）。

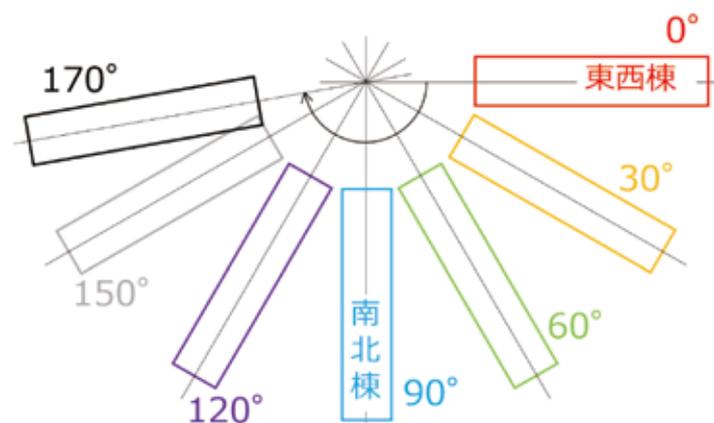


3) 高断熱被覆資材の効率的な開閉のポイント

内張の被覆資材を開閉する時刻によって、暖房燃料使用量（以降、燃料使用量）は変動します。ここでは、燃料使用量を最小にするための最適な開閉時刻（開閉適時）を示します。簡易な暖房燃料使用量推定モデルを作成し、ハウスの向きごとおよび内張材の種類ごとの開閉適時を算出した結果を 58～61 ページの表に示します。

～解説～

- ・ 暖房燃料使用量推定モデル：岩手県農業研究センター南部園芸研究室（陸前高田市）のパイプハウスにおける、きゅうり栽培時の内張内温度を 15℃以上に維持するための燃料使用量について、外気温および全天日射量から算出するモデルであり、天候に関わらず計算できます。周囲の地形・地物は考慮していません。二重内張を仮定し、農 PO フィルムを常に展張、その外側に被覆資材を日中に開、夜間に閉とします。計算に用いた暖房燃料使用量推定モデルの詳細は参考文献に記載しています。
- ・ 計算に使用したデータ期間：南部園芸研究室における 2016～2020 年の 3～4 月および 2015～2019 年の 11～12 月の 10 分おきデータ（57 ページの図では 2016～2020 年の 1～2 月のデータも使用）。
- ・ ハウスの向き：東西棟を 0°、時計回りにプラスとしたときのハウスの向きを角度で表します（下図および巻末 Q&A 参照）。南北棟は 90°です。



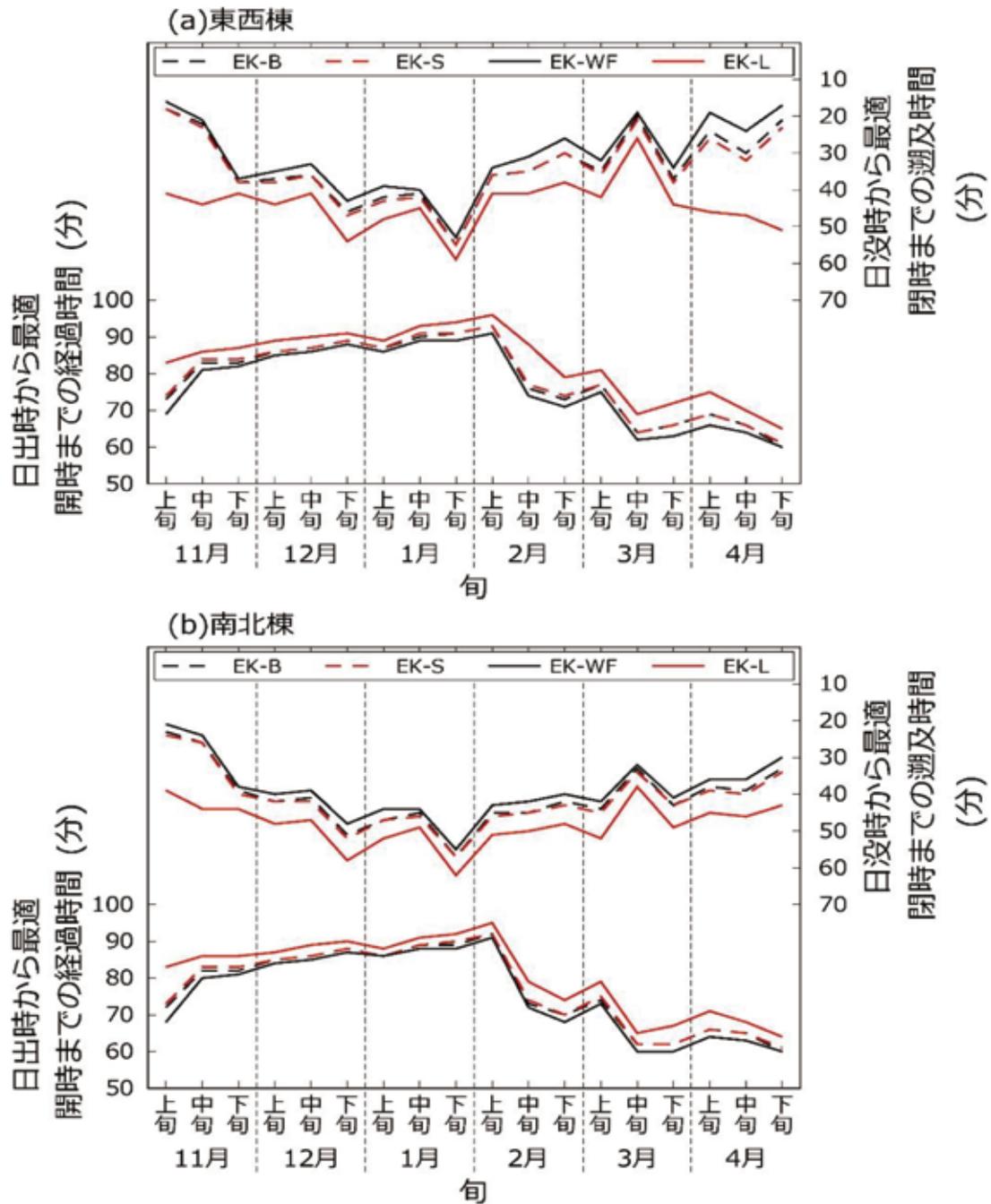
計算に用いたハウスの向き

- 被覆資材の開閉適時：被覆資材を収束させる適時は盛岡における日の出後の経過時間（10分単位（57ページの図は1分単位））で表します。例えば、ある日の盛岡の日の出時刻が6時30分、経過時間が80分の場合、収束最適時刻は7時50分です。一方、被覆資材を展張させる適時は盛岡における日の入り前の遡及時間（10分単位（57ページの図は1分単位））で表します。例えば、ある日の盛岡の日の入り時刻が16時10分、遡及時間が40分の場合、展張最適時刻は15時30分です。なお、盛岡の日の出・日の入り時刻は新聞等を参照してください。
- 被覆資材の種類：熱貫流率（巻末Q&A参照）等の性能値が公表されているエナジーキーパー®（東京インキ）5種類を下表のスペックとして計算します。

計算に用いた被覆資材とスペック

被覆資材	熱貫流率 ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)	遮光率 (-)
EK-B、EK-W	2.2	1.00
EK-S	2.3	0.97
EK-WF	2.7	1.00
EK-L	3.0	0.75

58～61 ページの表および次ページの図より熱貫流率の大きい素材に変更した場合、開時刻は早く、閉時刻は遅くなる傾向が見られます。一方、遮光率の小さい（日射透過性の大きい）素材に変更した場合、逆の傾向になります。したがって、これらの傾向を踏まえればここで示した素材以外でも、素材の熱貫流率、遮光率および58～61 ページの表より開閉適時が類推可能です。



被覆資材に EK-B、EK-S、EK-WF、EK-L を用いたハウスにおける 11~4 月各旬の燃料使用量を最小にする開閉適時

参考文献

松田周、漆原昌二、千葉彩香、高橋大輔、吉越 恆、川嶋浩樹 (2021) 岩手県沿岸南部の園芸施設における暖房燃料使用量を最小にするための内張多層保温被覆資材の開閉適時の傾向、農研機構研究報告 (印刷中)

ハウスの向き・被覆資材ごとの燃料使用量を最小にする開閉適時

(3～4月、ハウスの向き0～80°)

ハウスの向き (°)	被覆資材	日出時から開時までの経過時間 (分)						日没時から閉時までの遡及時間 (分)					
		3月			4月			3月			4月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
0	EK-B、EK-W	80	60	70	70	70	60	30	20	40	20	30	10
	EK-S	80	60	70	70	70	60	40	20	40	30	30	20
	EK-WF	80	60	60	70	60	60	30	20	40	20	20	10
	EK-L	80	70	70	80	70	70	40	30	50	50	50	50
10	EK-B、EK-W	80	60	60	70	60	60	40	20	40	30	30	10
	EK-S	80	60	60	70	60	60	40	20	40	30	40	10
	EK-WF	80	60	60	60	60	60	30	20	30	30	30	10
	EK-L	80	80	70	70	70	60	40	30	50	40	50	50
20	EK-B、EK-W	80	60	60	70	60	60	40	20	40	30	30	20
	EK-S	80	60	60	70	60	60	40	30	40	30	30	20
	EK-WF	80	60	60	60	60	60	40	20	40	30	30	20
	EK-L	80	70	70	70	70	60	50	30	50	40	50	50
30	EK-B、EK-W	80	60	60	60	60	60	40	30	40	30	30	20
	EK-S	80	60	60	70	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	30	20
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	30	50	40	50	50
40	EK-B、EK-W	80	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-S	80	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	30	20
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	40	50	40	50	50
50	EK-B、EK-W	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-S	80	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	30	20
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	40	50	40	50	50
60	EK-B、EK-W	70	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-S	70	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	40	50	40	50	50
70	EK-B、EK-W	70	60	60	70	60	60	50	30	40	40	40	30
	EK-S	70	60	60	70	60	60	50	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	30	30
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	40	50	50	50	50
80	EK-B、EK-W	70	60	60	70	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-S	80	60	60	70	60	60	50	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-L	80	60	70	70	70	70	50	40	50	50	50	50

ハウスの向き・被覆資材ごとの燃料使用量を最小にする開閉適時

(3～4月、ハウスの向き 90～170°)

ハウスの 向き (°)	被覆資材	日出時から開時までの経過時間 (分)						日没時から閉時までの遡及時間 (分)					
		3月			4月			3月			4月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
90	EK-B、EK-W	80	60	60	70	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-S	80	60	60	70	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-L	80	60	70	70	70	70	50	40	50	50	50	50
100	EK-B、EK-W	80	60	60	70	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-S	80	60	60	70	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-L	80	60	70	70	70	60	50	40	50	50	50	50
110	EK-B、EK-W	80	60	60	70	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-S	80	60	60	70	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-L	80	60	70	70	70	60	50	40	50	50	50	50
120	EK-B、EK-W	80	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-S	80	60	60	70	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	40	50	50	50	50
130	EK-B、EK-W	80	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-S	80	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	40	50	40	50	50
140	EK-B、EK-W	70	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-S	80	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	30	40	30
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	40	50	40	50	50
150	EK-B、EK-W	70	60	60	60	60	60	50	30	40	40	40	30
	EK-S	70	60	60	60	60	60	50	30	40	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	50	30	40	30	40	30
	EK-L	80	60	60	70	70	60	60	40	50	50	50	50
160	EK-B、EK-W	70	60	60	60	60	60	50	40	50	40	40	30
	EK-S	70	60	60	60	60	60	50	40	50	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	50	40	40	40	40	30
	EK-L	80	60	60	70	60	60	60	50	50	50	50	50
170	EK-B、EK-W	70	60	60	60	60	60	40	40	50	40	40	30
	EK-S	70	60	60	60	60	60	40	40	50	40	40	30
	EK-WF	70	60	60	60	60	60	40	30	40	40	40	30
	EK-L	80	60	60	70	70	60	50	50	60	50	50	50

ハウスの向き・被覆資材ごとの燃料使用量を最小にする開閉適時

(11~12月、ハウスの向き0~80°)

ハウスの 向き (°)	被覆資材	日出時から開時までの経過時間 (分)						日没時から閉時までの遡及時間 (分)					
		11月			12月			11月			12月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
0	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	40
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	40	50	40	50
10	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-S	80	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	40	50	50	50
20	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-S	80	90	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	30	40	40	50	50	60
30	EK-B、EK-W	80	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-S	80	90	80	90	90	90	20	20	40	50	50	50
	EK-WF	70	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	50	50	50	60
40	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	20	40	50	50	50
	EK-S	80	90	90	90	90	90	20	30	40	50	50	50
	EK-WF	70	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	30	40	50	50	50	60
50	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	30	40	50	50	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	20	30	40	50	50	50
	EK-WF	70	80	80	90	90	90	20	20	40	50	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	30	40	50	50	50	60
60	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	30	30	40	50	50	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	30	30	40	50	50	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	50	50	50	60
70	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	30	30	40	40	40	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	30	30	40	50	50	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	50	50	50	60
80	EK-B、EK-W	70	80	80	80	90	90	20	30	40	40	40	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	20	30	40	40	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	50	50	50	60

ハウスの向き・被覆資材ごとの燃料使用量を最小にする開閉適時

(11~12月、ハウスの向き 90~170°)

ハウスの 向き (°)	被覆資材	日出時から開時までの経過時間 (分)						日没時から閉時までの遡及時間 (分)					
		11月			12月			11月			12月		
		上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
90	EK-B、EK-W	70	80	80	80	90	90	20	20	40	50	40	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	20	30	40	50	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	30	40	40	50	50	60
100	EK-B、EK-W	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	20	30	40	40	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	30	40	50	50	50	60
110	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	30	40	40	40	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	20	30	40	40	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	30	40	50	50	50	60
120	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	30	40	50	40	60
	EK-S	70	80	80	90	90	90	30	30	40	50	50	60
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	30	40	50	50	50	60
130	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	30	40	50	50	60
	EK-S	70	80	80	90	90	90	30	30	50	50	50	60
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	50	50	60
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	50	50	60	60	70
140	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	30	30	40	50	50	60
	EK-S	70	80	80	90	90	90	30	30	40	50	50	60
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	30	40	50	50	60
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	60	60	60	70
150	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	30	40	40	40	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	30	30	40	40	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	40
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	50	50	50	60
160	EK-B、EK-W	70	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-S	70	80	80	90	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	50
	EK-L	80	90	90	90	90	90	40	40	50	50	50	50
170	EK-B、EK-W	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	40
	EK-S	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	40	40
	EK-WF	70	80	80	80	90	90	20	20	40	40	30	40
	EK-L	80	90	90	90	90	90	30	40	40	50	40	50

～ 導入技術 Q&A ～

CO₂ 施用機

Q CO₂ 施用機が動かない時はどうすれば良いですか

- A1 CO₂ 施用機が不着火になっていないか確認します。
- A2 タイマーと農電サーモの設定が正しいか確認します。

Q 側窓が開いているときに CO₂ 施用機が動いてしまい炭酸ガス濃度が上がらない時はどうすれば良いですか

- A CO₂ 施用機の農電サーモのセンサーと側窓自動換気装置のセンサー温度が一致していない可能性があります。側窓が閉じている状態の温度に合わせて、農電サーモの設定を調整します。

Q 環境測定値と CO₂ 施用機の動作温度が合わない時はどうすれば良いですか

- A センサーの差異や測定位置の違いで、環境値の測定結果と CO₂ 施用機の動作が一致しないことがあります。基準となるセンサーを決めて、それに合わせて機器の設定温度を変更・調整します。

Q ハウス面積が大きくなる場合、CO₂ 施用機の設定値はどうすれば良いでしょうか

- A CO₂ 施用機の設定値は、面積の増加に合わせて動作時間を長くします。面積が倍になる場合は動作時間を倍にします。夜間の CO₂ 施用機利用については、ハウス内 CO₂ 濃度の上昇に十分注意が必要です（1-（2）CO₂ 施用機 参照）。また、CO₂ 施用機の性能からすると、1 台で供給できるのは 10a 程度までです。

Q CO₂施用機を夜間に動かす目的と注意点はなんですか

A CO₂施用機の放熱を利用して、低温障害回避を目的として稼働させます。設定温度以下で動作するため、低温期は特に動作回数が多くなり、ハウス内CO₂濃度が高くなります（1-（2）CO₂施用機 参照）。

低圧ミスト発生装置

Q ミストが噴霧されない時はどうすれば良いですか

- A1 湿球温度を計測するセンサーを湿らす水が無くなっていないか確認します（乾いていると温度差が無くなり噴霧されません）。
- A2 配管途中の止水弁が閉まっていないか確認します。
- A3 DOバルブが電池切れしていないか確認します。
- A4 DOバルブの電磁弁が正常に作動しているか確認します。
- A5 DOバルブのセンサーに異常がないか確認します。
- A6 送水ポンプに異常がないか確認します。

Q ミストが噴霧され続ける時はどうすれば良いですか

- A1 DOバルブの電磁弁が開放状態で電池切れになっていないか確認します。
- A2 DOバルブの電磁弁が正常に作動しているか確認します。

Q ミストの噴霧が安定しない時はどうすれば良いですか

A1 センサーと本体、または延長ケーブルが接続されているか確認します。

A2 DOバルブ本体の電池が切れていないか確認します。

A3 設定プログラムに間違い、もしくは意図せず変更・消去されていないか確認します。

Q 手前と奥でミストの出方が違う時どうすれば良いですか

A1 戻り配管に付けた止水弁を締めて配管内の水圧を高めます。

A2 ポンプの送水能力が噴霧量に対して不足していないか確認します。

Q 湿度が上がらない時はどうすれば良いですか

A ハウス開放時には、水蒸気が風で流されるため一時的にしか上がりません。ハウスの開口部を可能な範囲で小さくします。

夏期高温の時間帯には側窓を全開にして熱を逃がしますので、湿度の維持はできなくなります。そのため早朝の側窓開放時における急激な湿度変化の緩和が主たる目的となります。

Q 葉濡れが発生する時はどうすれば良いですか

A 噴霧時間を調整する必要があります。パイプハウスでは噴孔の設置位置が低くなることに加え、低圧ミストでは完全に気化する前に作物へ到達してしまいます。葉が濡れ続ける（乾く間が無い）場合は噴霧時間を短くします。

側窓自動換気装置

Q サイドの開き方が大きすぎる（小さすぎる）時はどうすれば良いですか

A 動作部のつまみで開度を手動調整します。

Q 換気装置が動かない時はどうすれば良いですか

- A1 スイッチが「自動」になっているか確認します。
- A2 制御盤の電源スイッチが入っているか確認します。
- A3 ブレーカーが落ちていないか確認します。

Q 側窓自動換気の設定温度を変更したい時はどうすれば良いですか

A 温度を変更する場合は、CO₂ と側窓の両方の設定を変更する必要があります。また、設定温度を下げると、その分側窓が開く時間が長くなり、CO₂ 施用機の稼働時間が短くなることから、CO₂ 施用の効果が低下することが考えられます。

局所加温

Q グロウパイプは一般的に利用されているものでしょうか

A 今回、グロウパイプは自作により作製したもので、市販品ではありません。また、アーチパイプネット誘引栽培での効果は確認されましたが、その他の方法での効果は未検討です。ここで、効果のあった方法に限らず、他の作物での省エネルギー対策として様々な利用が考えられます。

Q 温水の温度は高いほど良いのでしょうか

A 温水の温度が高くなるとグロウパイプの表面温度も高くなるため、表面温度が 30～35℃になるように水温を調整してください。グロウパイプは植物群落内に設置することを前提としており、仮に、表面温度が高くなりすぎ植物が触れると焼け症状が発生する危険性があります。また、塩ビ管の耐熱温度を超えると接合部から水漏れしたり外れたりすることがあります。

Q グロウパイプの部材はどこから購入できますか

A グロウパイプは一般的な塩ビ管で作製できるため、ホームセンターなどで購入できます。また、ポリエチレンパイプは農業資材店で購入することができます。塩ビ管に比べてポリエチレンパイプは割高になります。

Q グロウパイプの材質は放熱を考えると鉄管やフィン付放熱管の方が良いと思いますが、塩ビ管を使用したのはなぜですか

A 設置費用を含めたグロウパイプ自体が高価であると、設備導入費用が温風暖房機の導入効果を上回り、導入のメリットが活かせないことと、鉄管やフィン付放熱管は一度設置すると移設や撤去が困難になるためです。

Q 温水を3棟のパイプハウスに分配すると途中の配管で熱が逃げませんか

A 温水暖房機から地中配管で温水を分配することになり、配管が長いほど途中での放熱量が大きくなります。配管が長くなってしまふ場合は、無理に分配せずに温水暖房機1台をグロウパイプによる局所加温とラジエーターによる温風加温を組み合わせる1棟の施設内で利用する方法があります。

Q 温水暖房機と温風暖房機を組み合わせた場合に暖房費が安くなることはわかったのですが、きゅうりの収量はどのようになりますか

A 半促成作型の場合、15℃温風加温に比べて15℃局所加温は、収量が同等かそれ以上になりました。この場合の15℃局所加温は、温水暖房機利用によるグロウパイプのみで気温が10℃以上を保った条件でした。仮に、10℃以下になるような条件であり、加温のために温風暖房機が追加で稼働しても、15℃温風加温より暖房費は安くなる試算になっています。

Q 「2層カーテン」の「15℃加温」と「10℃加温+15℃局所加温」の灯油使用量が全く同じですがなぜですか

A 灯油使用量は、15℃加温の使用量を上限として計算しているため、10℃加温+15℃局所加温が15℃加温と同じ数値になっています。
具体的には、15℃局所加温の熱量不足分を10℃加温で補完しています。これには、15℃局所加温のON/OFF制御に従って10℃加温を行う暖房機を制御します。2層カーテンでは、保温性が高いので、10℃加温+15℃局所加温でも15℃加温と同等の熱量が供給できます。

Q 自動車用ラジエーターやダクトファンはどこから購入できますか

A 大手通販サイトなどから購入できます。ラジエーターの製品名はKOYORAD PL012378です。また、ダクトファンの製品名はソーワテクニカ DF-40ETD1です。詳細は「ラジエーター式放熱装置づくり方マニュアル」に記載があります。

Q 加温栽培により粗収益20万円増だと設備投資をするべきか迷いますが、暖房方式設計の手順以外にどのように判断すればよいですか。

A 加温栽培には設備の導入や燃料費等に経費を要しますが、長期継続出荷による販路の維持確保や、早春と晩秋期の雇用対策としての経営上のメリットを考慮して作付体系を組み立てることが必要です。また、高単価販売を目指した抑制作型による年1作体系の導入の検討も必要です。

高断熱被覆資材

Q 無加温栽培で被覆資材を使ってもが収量増に繋がらないのはなぜですか

A 高断熱被覆資材は農 PO フィルムに比べ2～3℃高く維持できる保温力がありますが、きゅうりが大きくなるには一定以上の温度（15℃程度）が必要で、無加温栽培では低温時にその温度を維持できないためです。

Q 年によって灯油の削減率が変わるのなぜですか

A 低温の時ほど高断熱被覆資材の保温力により気温が下がり難く加温機の運転回数や時間が少なくなるため、寒い年ほど削減率が高くなります。

Q 被覆資材を適切な時間に閉めなかった場合どんな影響がありますか

A 光合成の時間が短くなり、加えて温度が低く推移するため、収量は低下します。温度を一定に保つ場合は、加温機の稼働時間が長くなり灯油の使用量が増加します。

Q ハウスの向きはどのように調べれば良いのでしょうか

A ネットで閲覧できる衛星画像(例えば、Google マップ)を用いると便利です。

Q 高断熱被覆資材のスペックである熱貫流率とは何ですか

A 熱の伝わりやすさを示す指標であり、値が高いほど熱が通過しやすくなります。

Q 内張の農 PO フィルムは日中に収束させても良いのでしょうか

A 高断熱被覆資材は日射透過性があまりないので、日中に収束させますが、農 PO フィルムは常時展張しなければ日中の熱損失が大きくなるので、冬季は常時展張することをお勧めします。

Q 3月上旬から4月下旬にかけて、開閉適時が大きくなったり小さくなったり変動しているのはなぜでしょうか

A 3～4月は気温が平年値よりも大きく離れる場合があることと、統計期間が5年と短いためこのような変動が起こると考えられます。なお、計算に用いた暖房燃料使用量推定モデルは簡易なモデルであるため、58～61ページの表に掲載している開閉適時は目安として考えてください。また、周囲に山や建物等の日射障害物がある場合、表の値より開時刻が遅くなる、あるいは閉時刻が早くなる可能性があります。

Q ペットボトルと滑車は内張天井部の被覆資材巻き取りパイプの両側（ハウスの手前側と奥側）に付けるのでしょうか

A 被覆資材巻き取り器が付いていない側にペットボトルと滑車を取り付けます。

その他

Q 環境制御技術は、慣行のアーチネット誘引栽培ではなく、直立ネットや紐誘引でも増収効果はありますか。

A 紐誘引栽培でも増収効果は得られます。

Q 密植にするとさらに増収効果が期待できますか

A 株間を密植（50cm→20cm）にした試験では、単位面積当たりの収量はほぼ変わらない結果でした。また、畝間を密植（1,080→2,700 株/10a）にした試験では、単位面積当たりの収量は2割程度の増収に留まり、作業性や種苗費を考慮すると経営上有利とは言えません。きゅうりの品目特性上、受光量が制約になっていると考えられ、密植化による増収には限界があると考えられます。

Q 環境制御を行う際の肥培管理で注意することはありますか

A 生育が促進されるため、養水分の吸収量が環境制御技術導入前と比べ多くなると考えられます。隔離床栽培では培地容積が小さいことから、培地の乾燥に特に注意し、灌水回数を増やすなどの対処が必要です。土耕栽培では土壌の保水性・排水性や残肥の状態などが、場所や圃場条件により異なることから、作物の状態を見ながら調節することになります。

Q 環境制御を行う際の病虫害防除で注意することはありますか

A やや高温多湿管理となるため、適切な防除がなされていない場合には主に褐斑病、炭疽病、べと病の増加が懸念されます。また、土壌感染性の病虫害（ネコブセンチュウ害、ホモブシス根腐病等）汚染圃場では環境制御の効果が得られませんので、前もって対処しておく必要があります。

Q 適切な品種選定、品種に合わせた栽培管理とありますが、どのような品種、栽培管理が適していますか。

A 早熟作型に適した品種、抑制作型に適した品種をそれぞれ選択することになります。詳しくは、17 ページ以降の「2小規模施設での導入効果」に記載があります。

- 本手引き書に記載された作型や栽培方法は岩手県北上市、陸前高田市、青森県黒石市における例であり、地域や気候条件等により変動することにご留意ください。
- 本手引き書に示した経営上の効果は、あくまでも岩手県北上市、陸前高田市、青森県黒石市における実証試験での実測値を基に試算した概算値です。地域、気候条件、圃場規模、品種、取引や流通状況その他の条件により変動することにご留意ください。本手引き書に記載の技術の利用により、この通りの効果が得られることを保証するものではありません。



【試験研究成果一覧】

- ・ 吉田泰、藤尾拓也、田代勇樹、佐藤春菜、川戸善徳（2019）キュウリ無加温抑制裁培における換気温度に合わせた炭酸ガス施用による収量への影響、園芸学研究 第 18 巻別冊 1 p349
- ・ 岩手県農業研究センター（2021）小規模パイプハウスを想定したきゅうりの環境制御機器導入効果、岩手農研セ試験研究成果書
https://www.pref.iwate.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/032/389/r02shidou_24.pdf
- ・ 松田周、漆原昌二、千葉彩香、高橋大輔、吉越 恆、川嶋浩樹（2021）岩手県沿岸南部の園芸施設における暖房燃料使用量を最小にするための内張多層保温被覆資材の開閉適時の傾向、農研機構研究報告（印刷中）

この手引きは、農林水産省・復興庁「食料生産地域再生のための先端技術展開事業（JPJ000418）」「きゅうり産地の復興に向けた低コスト安定生産流通技術体系の実証研究」（平成 30 年度～令和 2 年度）で得られた成果を基に作成しました。

○ 研究機関・研究担当者

岩手県農業研究センター

漆原昌二 田代勇樹 高橋大輔

吉田 泰^{※1} 千葉彩香^{※1} 佐藤春菜

※1 は現農業普及技術課

地方独立行政法人 青森県産業技術センター 農林総合研究所

伊藤篤史

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 西日本農業研究センター

松田 周 川嶋浩樹 吉越 恆

「きゅうり小規模施設における最小限の環境制御技術導入の手引き」

2021年3月発行

発行者：岩手県農業研究センター

〒024-0003 岩手県北上市成田 20-1 TEL 0197-68-2331(代表)

○問い合わせ先

岩手県農業研究センター園芸技術研究部野菜研究室

TEL 0197-68-4419 FAX 0197-71-1083 E-mail CE0008@pref.iwate.jp

岩手県農業研究センター園芸技術研究部南部園芸研究室

TEL 0192-55-3733 FAX 0192-55-2093 E-mail CE0008@pref.iwate.jp

ー本マニュアルからの引用・転載にあたっては発行者の了解を得てくださいー

