
暖地の促成栽培に関する研究プロジェクト

成果普及マニュアル



平成28年2月

暖地施設園芸コンソーシアム

はじめに

九州地方は温暖な気候を有効に活用した施設を利用した促成栽培が盛んな地域です。促成栽培は、低温期に主として化石燃料を利用して施設内で暖房をおこない作物を生産する方法で、気象条件の影響を受けにくい安定生産が可能な栽培方法です。加温を実施するため、エネルギーの利用効率の良い効率的な栽培を実施することが必要になります。近年は、化石燃料の価格が低下し始め、施設生産に有利な条件になりつつありますが、燃料代は施設生産での経営費に占める割合が大きく、効率的な生産を実施する必要性は変わらないと考えられます。

このような状況の中で、現在の施設生産を効率的な実施方法を開発し検証するために平成25年より、CO₂施用等の高度な環境制御・省エネルギー技術の開発および実証に取り組んできました。その2年間の研究成果を、本マニュアルとして取りまとめいたしました。施設園芸生産の発展のために有効活用いただければ幸いです。

目次

I.	暖地での施設トマト栽培における高度環境制御技術の開発	1
II.	暖地での施設キュウリ・ピーマン栽培における高度環境制御技術の開発	5
III.	暖地での施設園芸生産に適した ICT 活用型統合管理システムの開発	15

I. 暖地での施設トマト栽培における高度環境制御技術の開発

1. 暖地におけるトマト促成栽培の環境制御マニュアル

(1) 目的

トマト促成栽培は、栽培期間が長期間であり、夏秋期・春期の高温、冬期の低温寡日照条件の中で収量、品質の向上が重要な課題である。このため、トマト促成栽培において、温度、炭酸ガス等のハウス内環境を最適化することで30%増収することを目指す。

(2) 環境制御のための機械施設装備

- ①暖房機、自動開閉装置
- ②炭酸ガス発生装置
- ③ドライミスト装置
- ④循環扇
- ⑤養液土耕装置
- ⑥環境制御装置（環境測定装置）

(3) ハウス内環境の制御

前提条件として、冬期におけるハウス内の環境制御（管理）の優先順位は、温度>炭酸ガス濃度>湿度とする。

① 温度管理

気温測定は、普遍的な数値として捉えるために強制通風式の測定器を使用する。無風・強日射下では従来の日除け式の気温測定に比べて数値が低くなるので注意が必要である。

ア) 高温期（8月～11月上旬，3月下旬～6月）

この時期は高温が問題となるため、できるだけ温度が上がらないように換気に努める。ドライミストの活用や遮光資材の展張も降温効果が期待できる。高温の影響で、トマトの成熟日数（開花から収穫までの日数）は短くなるが、40日以下になると極端に小玉となり、可販果収量が低下するので注意が必要である。

イ) 低温期（11月中旬～3月中旬）

暖房機の設定温度を12℃とし、夜温を確保する。晴天日では、午前中のハウス内温度は、果実に結露を発生させないために緩やかに上昇するように換気を行う。1時間に2℃以内の上昇とする例が多い。温度管理は午前中20～23℃、午後23～25℃を目標とする。晴天日の温度管理について日平均気温で16℃程度を推奨している事例が多い。これはトマトの収穫までの積算温度を1100℃・日とすると成熟日数が約69日となり、冬期のトマトの成熟日数は果

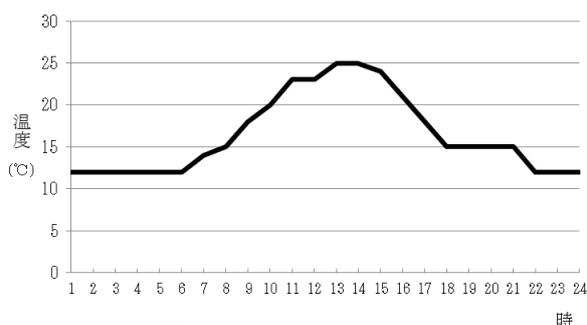


図 I-1 低温期の温度管理モデル

実肥大・品質面から 70～80 日が良いこととも符合する。しかし、あくまでも目安とし、草勢により、弱い時は日中の温度管理を低めとし、強い時は高めとするなど柔軟な対応が求められる。

② 炭酸ガス濃度管理

外気温が低くなり換気窓が閉まるようになる 11 月中旬頃から 3 月下旬頃を施用期間（地域により異なる）の目安とする。炭酸ガスの施用は、肥料として捉えることが重要で、着果負担が大きくなる第 1 果房肥大期以降に草勢を考慮して開始時期を判断する。同化養分の果実への分配が少ないと、強草勢になり不定芽の発生が多くなるため注意する（写真 I - 1）。不定芽の発生が多い時は、日中の温度管理を 2～3℃高めにし、前夜半の暖房設定温度は 15℃程度とし、果実への転流を促す。それでも草勢が強い状態の場合は、一時、炭酸ガスの施用を中止する。



写真 I - 1 葉腋からの不定芽の発生

換気が行われない環境下では、ハウス内の炭酸ガス濃度は光合成で炭酸ガスが消費されるために外気濃度より低くなり、炭酸ガス飢餓の状態となる（図 I - 2）。また、弱日射下でも減少するので炭酸ガスの施用は重要である。



図 I - 2 換気が行われない環境下における炭酸ガス濃度の推移
*日中のハウス内気温は20～23℃で換気窓は閉状態での測定値

炭酸ガス飢餓の状態では光合成能力が低下して草勢低下、果実肥大不良につながり生産性が落ちるので注意が必要である。現在主流である炭酸ガス施用方法は、灯油燃焼型や液化炭酸ガスの利用である。現地の 30a 規模のハウス（図 I - 4）になると、ハウス内は炭酸ガス濃度にバラツキが発生しやすいので循環扇や暖房機の送風機能

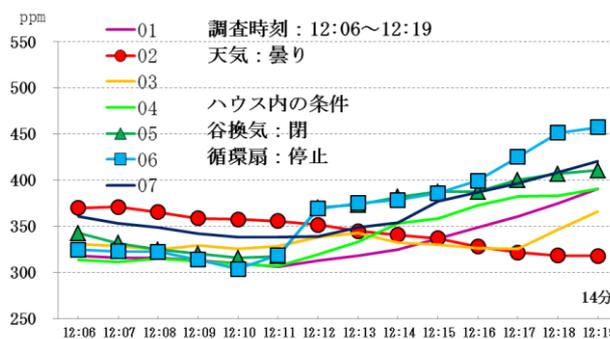


図 I - 3 無風時の炭酸ガス濃度の推移

で風を起こすことが重要である。図 I-3 のように、ハウス内が無風環境下では測定地点が異なると炭酸ガス濃度に差が出る。特に換気が行われない環境下では顕著になる。循環扇等を使って微風を発生させることで炭酸ガス濃度のバラツキは小さくなる。

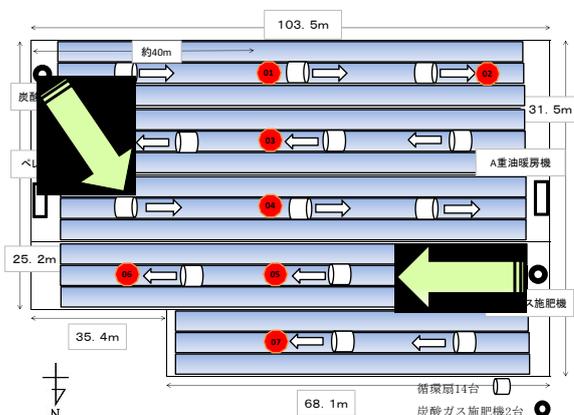


図 I-4 ほ場図及び調査地点 (イメージ)

試験場所 八代市鏡町生産者ほ場

施設面積 3,037㎡ビニルハウス (6m間口×103m、1棟のみ68m 5連棟 軒高2m)

→ 炭酸ガスの送風向き

↻ 循環扇の送風向き

施用設定濃度は、可能であれば換気が行われていないときは外気濃度よりも高めにし、換気が行われているときは外気並とすると良い。換気窓閉時 600ppm・開時 400ppm は、常時 400ppm 設定に比べて収量は多くなる (図 I-5)。換気窓開・閉にあわせて濃度設定できない場合は、400ppm 設定とし、外気濃度を下回らないようにする。

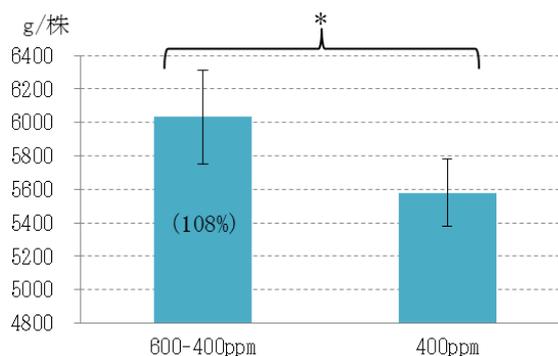


図 I-5 総収量

* : t 検定により 5% の危険率で有意差あり (1区16株4反復)

③ 湿度管理

ドライミスト装置は、粒径 30 ミクロン程度のものを使用する。粒径が大きかったり、粒が不均一だと上手く蒸発せず植物体が濡れて生育障害や病害発生の危険が高まる。

最近では、湿度管理において飽差という概念が用いられ、気孔の開閉や光合成速度に影響が大きいとされる。飽差とは、1m³の空気中にとどれだけ水分を含むことができるかを示す数値である。トマトでの適値は一般に 3~7g/m³といわれている。

秋・春期のハウス内は高温低湿度になるためドライミスト装置を利用する。利用する際は、葉が濡れない程度の噴霧とし、飽差値は適値よりも若干高めの 8~9 程度を目標とする。気温を下げることに主眼を置く。飽差値を適値にしようとして噴霧量を多くし過ぎると、葉は薄く、生育は軟弱になるので注意が必要である。

冬期のハウス内は、90%以上の高湿度になりやすい。日中は換気により除湿を行い、相

対湿度を 75~85%程度になるように管理することで、おのずと飽差値は適値に近づくので過剰に意識する必要はない。

表 I-1 飽差表

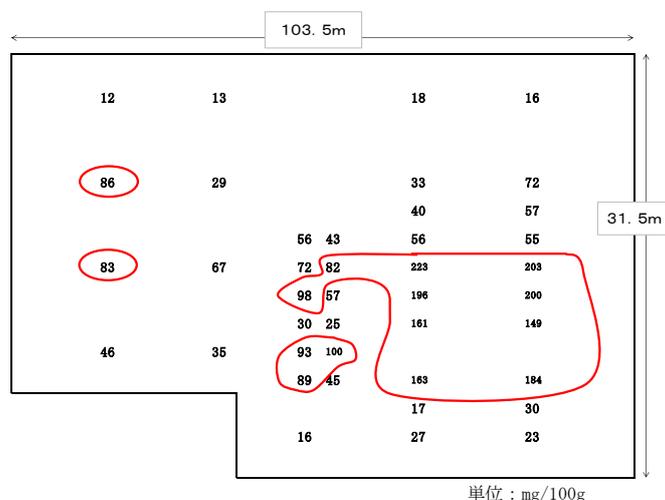
	相対湿度 (Rh%)											
	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
8℃	5.0	4.6	4.1	3.7	3.3	2.9	2.5	2.1	1.7	1.2	0.8	0.4
9℃	5.3	4.9	4.4	4.0	3.5	3.1	2.6	2.2	1.8	1.3	0.9	0.4
10℃	5.6	5.2	4.7	4.2	3.8	3.3	2.8	2.4	1.9	1.4	0.9	0.5
11℃	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5
12℃	6.4	5.9	5.3	4.8	4.3	3.7	3.2	2.7	2.1	1.6	1.1	0.5
13℃	6.8	6.2	5.7	5.1	4.5	4.0	3.4	2.8	2.3	1.7	1.1	0.6
14℃	7.2	6.6	6.0	5.4	4.8	4.2	3.6	3.0	2.4	1.8	1.2	0.6
15℃	7.7	7.1	6.4	5.8	5.1	4.5	3.9	3.2	2.6	1.9	1.3	0.6
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

* 農業技術大系から引用、一部改変

④ 土壌養水分

土壌養水分は少量多回数灌水を基本とする。点滴ドリップの養液土耕装置があると良い。環境制御を行うことで 30%収量増加を目標としているため、収量増加に伴い給水量も増加させる。

現地圃場は干拓地が多いので、圃場の土壌状態に合わせて灌水系統を分けると良い。図 I-6 は、干拓地における圃場の塩素イオン濃度（いわゆる塩）を調査したもので、場所により濃度に大きなバラツキがある。各々、圃場の状態を把握しておくことは重要である。



単位：mg/100g

図 I-6 現地圃場（干拓地）における塩素イオンの分布
5連棟ハウス（30a）で土壌の塩素イオン濃度を調査した 1 事例。
トマトでは80mg/100g以上で生育に影響するといわれている。

II. 暖地での施設キュウリ・ピーマン栽培における高度環境制御技術の開発

1. 暖地におけるキュウリ・ピーマン促成栽培の環境制御マニュアル

(1) 目的

西南暖地では温暖な気候と豊富な日射量を活かした施設キュウリ・ピーマン等の促成栽培が盛んである。近年、施設園芸産地では、更なる生産性向上を目的に、ハウス内環境をモニタリングする装置や CO₂ 施用機等の導入が進んでいる。一方で、生産現場における生産性の高いハウス内環境制御や実用的な CO₂ 施用技術について、知見が少ないため、本課題により暖地における施設キュウリ・ピーマンハウス内環境の把握及び実用的な CO₂ 施用技術の確立を目指す。

(2) 環境制御のための機械施設装備

本課題では、施設ピーマン、キュウリの現地圃場各 1 カ所で CO₂ 施用試験を実施した。現地圃場のハウス形状及び機械施設装備は以下のとおりである（表 II - 1）。

表 II-1 現地圃場のハウス形状及び機械施設装備

	ピーマン	キュウリ
ハウスの形状	AP ハウス 間口 5.4m×長さ 50m 4 連棟ハウス	AP ハウス 間口 4.1m×長さ 65m(3 連棟) 間口 5.7m×長さ 65m(2 連棟)
CO ₂ 発生装置	<ul style="list-style-type: none"> ●CO₂ 全体施用機(CG-554T2) ・送風機とダクトを利用し施用 ・UECS による CO₂ 濃度制御 ●CO₂ 局所施用機 ・液化炭酸ガスと多孔質ゴム製チューブ（リーキパイプ） ・CO₂ 濃度による独立制御 	<ul style="list-style-type: none"> ●CO₂ 全体施用機(CG-554T2) ・加温機のダクト送風により施用 ・UECS による CO₂ 濃度制御 ●CO₂ 局所施用機 ・液化炭酸ガスと多孔質ゴム製チューブ（リーキパイプ） ・CO₂ 濃度による独立制御
暖房機	温湯暖房 独立制御	重油燃焼式加温機 UECS 制御
循環扇	UECS 制御	UECS 制御
自動開閉機	独立制御	UECS 制御（天窗、内天）
環境測定センサー	（ハウス内） 温度、湿度、CO ₂ 、日射、 地温、土壌水分、土壌 EC （ハウス外） 温度、湿度、CO ₂ 、日射、 降雨、風向、風速	（ハウス内） 温度、湿度、CO ₂ 、日射、 地温、土壌水分、土壌 EC （ハウス外） 温度、湿度、CO ₂ 、日射、 降雨、風向、風速

(3) 宮崎県内の施設果菜類ハウス内環境の特徴

宮崎県内の施設果菜類ハウスは、低温期でも晴天日であれば、ハウス内温度が上昇するため換気され、ハウス内外の CO₂ 濃度差により CO₂ が移動する。

県内のピーマン圃場における CO₂ 濃度を計測すると、低温期の 8 時頃までの CO₂ 濃度が 1000ppm 以上ある圃場が散見される。これは、夜間の植物の呼吸や長年、施設園芸を続けている圃場における土壌への有機物投入、夜間の保温を目的とした多重被覆により外気への CO₂ 放出が少ないこと等が影響していると推察される。今回、現地試験に取り組んだピーマン圃場も 8 時過ぎまで CO₂ 濃度が 1000ppm 以上であった（図 II-1）。

(4) CO₂施用を始める前の留意点

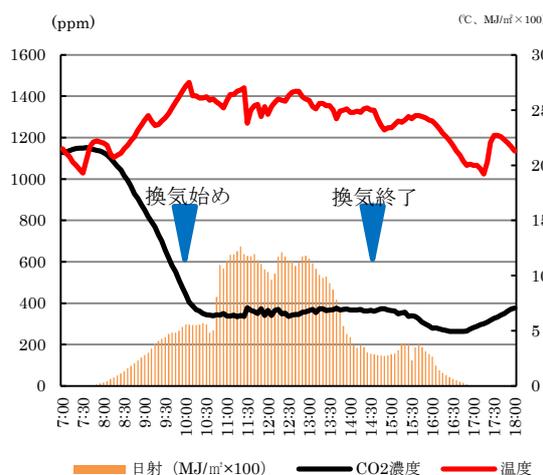
生産現場におけるそれぞれのハウス内環境は、過去の栽培履歴や温度管理、栽植密度やハウスの容積、密閉度等の要因により異なるため、CO₂施用技術を導入する際は、CO₂飢餓が起きやすい低温期の晴天日を含む数日間のハウス内CO₂濃度の推移を測定し、CO₂施用の必要性の有無や日中のどのタイミングでCO₂施用が必要か等を判断することが重要である。具体的な事前のCO₂濃度測定方法は、下記のとおりである。

事前のCO₂濃度測定は、作物を栽培しているハウスでCO₂飢餓が起きている可能性のある低温期(12~1月)の晴天日を含む数日間行う。なお、CO₂データロガーは調査前にCO₂濃度を校正する。

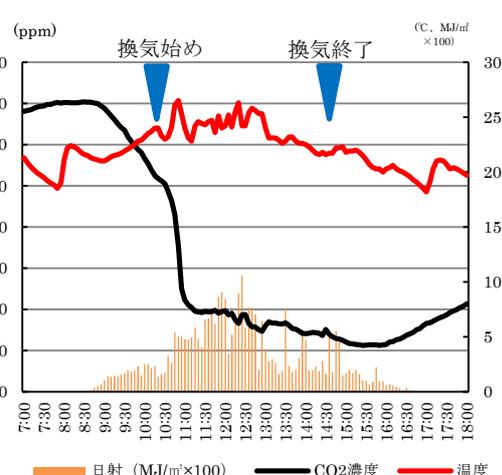
調査する地点は、基本的にハウスの中心部1カ所とする。CO₂濃度測定器に余裕があれば、植物群落内と通路の2点を測定すると、植物が吸収しているCO₂とハウス内のCO₂濃度を推定できる。CO₂データロガーのセンサーの高さは植物全体の高さの中央部あたりに設置する。

測定したCO₂濃度が外気よりも低い400ppm以下に下がる場合(CO₂飢餓状態)、CO₂施用の導入により増収すると考えられ、特に午前中の無換気時の施用であれば、効果が高い。

日中のハウス換気の様子は、日射量や温度に影響を受ける。日射量が豊富でハウス内気温が高い日(図II-1)は、ハウス換気により外気からCO₂が供給され、CO₂濃度は330~380ppmで推移し、夕方ハウスを閉めると250~300ppmまで下がり、日没後上昇する。日射量が少ない曇天日(図II-2)は、ハウス内温度維持のために換気が少ないので、外気からのCO₂供給が少なく、CO₂濃度が外気より低くなる。



図II-1 晴天日のビ°-マンハウス内環境(2016.1.1)



図II-2 曇天日のビ°-マンハウス内環境(2014.12.16)

(5) CO₂施用機及び施用法の選択

CO₂施用機及び施用法は、各圃場の装備や作業環境、コストを考慮し選択する。

全体施用、局所施用どちらを選択しても施用効率とコストの面から、ハウス内の CO₂濃度に基づいた施用が重要なので、CO₂施用機導入時は CO₂濃度コントローラーを導入する。

CO₂濃度センサーは高 CO₂濃度環境で使用すると数値にズレが生じるので、導入の際はセンサーの校正法を確認し、定期的にセンサー値の補正を行う。

現在、生産現場では灯油や LP ガス、液化炭酸ガス等を利用した CO₂施用機が導入されている。本課題では、CO₂全体施用と CO₂局所施用の比較試験に取り組んだ。

CO₂全体施用は、灯油燃焼式の CO₂発生機周辺の CO₂濃度を高め、送風機とダクトを使用しハウス全体に施用した (図 II-3)。

CO₂局所施用は、液化炭酸ガスを CO₂局所施用機により気化させ、多孔質ゴム製チューブ (地中かん水用チューブ、リーキパイプ) を使用し植物群落内を中心に施用した (図 II-4、5、6)。液化炭酸ガスの使用にあたっては、ポンベに直射日光が当たらないよう日よけ等の対策を行う (図 II-7、8)。以下に各施用法の特徴などについて述べる (表 II-2)。

表 II-2 本研究における CO₂全体施用と CO₂局所施用の違い

	CO ₂ 全体施用 (灯油燃焼式)	CO ₂ 局所施用 (液化炭酸ガス)
CO ₂ 施用に伴う特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・設置が容易である。 ・換気が始まると CO₂濃度の維持が困難。 ・無駄のない CO₂施用のためには、換気状況にあわせた CO₂濃度の設定が必要。 ・CO₂施用時に灯油を燃焼するため、加温効果がある。 ・CO₂施用時に送風されるため葉面境界層の打破を期待できる。 ・CO₂施用時にハウス内の濃度ムラをなくすため循環扇を併用する。^{注)} 	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂施用チューブを植物群落内に設置するため、植物群落内を中心に効率的な CO₂施用が可能。 ・CO₂施用時に発熱はせず、風も起こらない。植物群落内への効率的な CO₂施用のためには循環扇の作動に配慮が必要である。 ・専用の資材が必要で施用チューブの設置が煩雑。
コスト	<ul style="list-style-type: none"> ・既存の加温用ダクトや循環扇の使用が可能であれば、導入コストを低く抑えられる。液化炭酸ガスに比べ、ランニングコストも安い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現状では、導入コスト、ランニングコストが CO₂全体施用に比べ高い。
作業性	<ul style="list-style-type: none"> ・CO₂施用のダクトを加温用ダクトと共用すると、収穫作業中にダクトがふくらみ、作業の邪魔になる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施用チューブが細いため、収穫や管理作業に影響はない。

注) 今回の試験における CO₂全体施用の手法は、CO₂施用時にハウス内に CO₂濃度のムラができるので均一化のために循環扇と併用したが、子ダクト等をハウス全体に張り巡らせる場合等は必要ないので、適宜判断する。



図II - 3 CO₂施用機と送風機 (ﾄﾞｰﾏﾝ圃場)



図II- 4 CO₂局所施用機と液化炭酸ガスボンベ
*液化炭酸ガスは直射日光を避け、日よけする。

CO₂局所施用チューブ (リーキパイプ)



図II - 5 UECS用CO₂センサー(ﾄﾞｰﾏﾝ圃場)



図II-6 CO₂局所施用キュウリ圃場



図II-7 液化炭酸ガス日よけ状況



図II-8 アルミ蒸着資材による覆い

(6) CO₂施用のタイミングと CO₂濃度

【宮崎県における CO₂ 施用の目安】

ピーマンは 11 月上・中旬、キュウリは 11 月中・下旬から CO₂ 施用する。

ハウス内 CO₂ 濃度が目標 CO₂ 濃度以下になる 30 分～1 時間前から施用を始める。

ピーマン、キュウリとも株間 50cm (1100 本/10a 以下) であれば、目標 CO₂ 濃度は 600ppm で良い。

ハウス換気中の CO₂ 施用は、CO₂ 局所施用が無駄がなく効率的だがコストは高い。

CO₂ 施用の開始時期は、午前中の外気温が低くなり、概ね 10 時頃までハウスが密閉される時期から開始する。宮崎県では、具体的にはピーマンでは 11 月上・中旬、キュウリでは 11 月中・下旬頃からとする。

CO₂ 施用の開始時間は、外気の影響を受けずにハウス内の CO₂ 濃度を維持できるハウス換気前から開始する。具体的な CO₂ 施用開始時間は、晴天日にハウス内 CO₂ 濃度を測定し、設定する目標 CO₂ 濃度以下に下がる 30 分～1 時間前から CO₂ 施用を開始する。

キュウリ摘心栽培の現地試験圃場 (株間 55cm) では CO₂ 全体施用 (目標 CO₂ 濃度 1000ppm)、CO₂ 局所施用 (目標 CO₂ 濃度 600ppm) の比較試験を行い、CO₂ 無施用に比べ、全体施用では 13%、局所施用では 15%の増収を確認した (図 II-9 10 月 5 日定植、12 月 8 日から 8 時から 4 時間 CO₂ 施用開始、1 月末までの収量)。

ピーマン摘心栽培の現地試験圃場 (株間 60cm) では、元々午前中の CO₂ 濃度が高いため CO₂ 全体施用をハウス密閉中は目標 CO₂ 濃度 1500ppm、その後換気の状態にあわせ 600～400ppm を目標 CO₂ 濃度とし、CO₂ 局所施用は午前中だけではなく午後 3 時まで目標 CO₂ 濃度 600ppm で CO₂ 施用を行った。

その結果、CO₂ 全体施用は換気するまでは目標 CO₂ 濃度で概ね推移するが換気後は目標 CO₂ 濃度を維持できないのに対し、CO₂ 局所施用はハウス換気後も植物群落内の CO₂ 濃度をやや高く維持することができた (図 II - 10)。

これまでに宮崎県総合農業試験場において数年にわたり、同様の試験を実施しており、ハウス密閉時のハウス内 CO₂ 濃度が 400ppm 以下になる小型ハウス(0.5a)では、キュウリ、ピーマンとも CO₂ 全体施用(1000ppm)、CO₂ 局所施用(600ppm)いずれの処理法でも、増収を確認している。具体的には、キュウリでは株間 50cm の場合、全体施用は 9%、局所施用は 15%、ピーマンでは株間 50cm の場合、全体施用は 19%、局所施用は 18%、可販果収量が増えた。

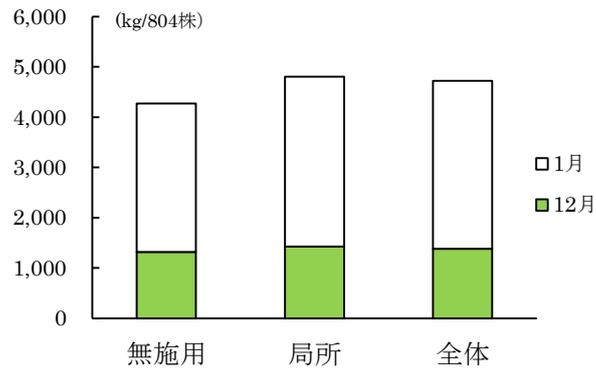


図 II - 9 CO₂施用後の可販果収量 (H27 キュウリ)

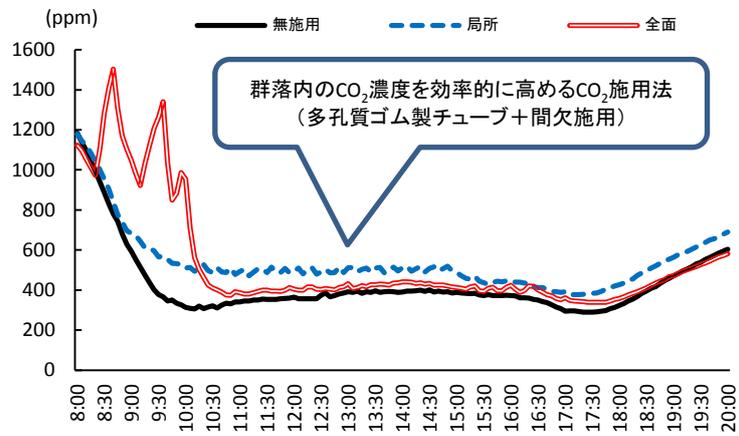


図 II - 10 ピーマン現地圃場ハウス内 CO₂濃度 (2015年3月10日 晴)

(7) 天候（日射量）と CO₂ 施用

図 II-11 と図 II-12 は同日のピーマン現地試験圃場、キュウリ現地試験圃場の日射、CO₂ 濃度、温度の晴天日、雨天日のデータである。両圃場とも晴天日は 10 時頃一度換気され、その後ピーマン圃場はハウス内温度維持のため 13 時頃まで換気されず、キュウリ圃場も全開になることは少なく、換気設定温度に対応し自動開閉機によりこまめに開閉をくり返した。そのため、晴天日のハウス内 CO₂ は光合成により消費され、さらに外気からの CO₂ 供給がないため、ハウス内の CO₂ 濃度は外気以下に下がる（CO₂ 飢餓状態）。

雨天時は日射が少なく、ハウス内気温も上がらないため、光合成速度が低下し、13 時頃までゆるやかに CO₂ は消費されるが、400ppm 以下には下らない。

CO₂ 濃度による制御をしているハウスでは、雨天時でも目標 CO₂ 濃度以下になるまで CO₂ 施用されない。無駄な CO₂ 施用をしないという点でも、CO₂ 濃度コントローラーによる CO₂ 施用は植物の生育上やコスト面から重要である。しかし、目標 CO₂ 濃度が高いと日射が少ない時も過剰に CO₂ 施用する場合が想定されるので、今後は日射や換気程度に応じた目標 CO₂ 濃度の設定や CO₂ 施用の制御を検討する必要がある。

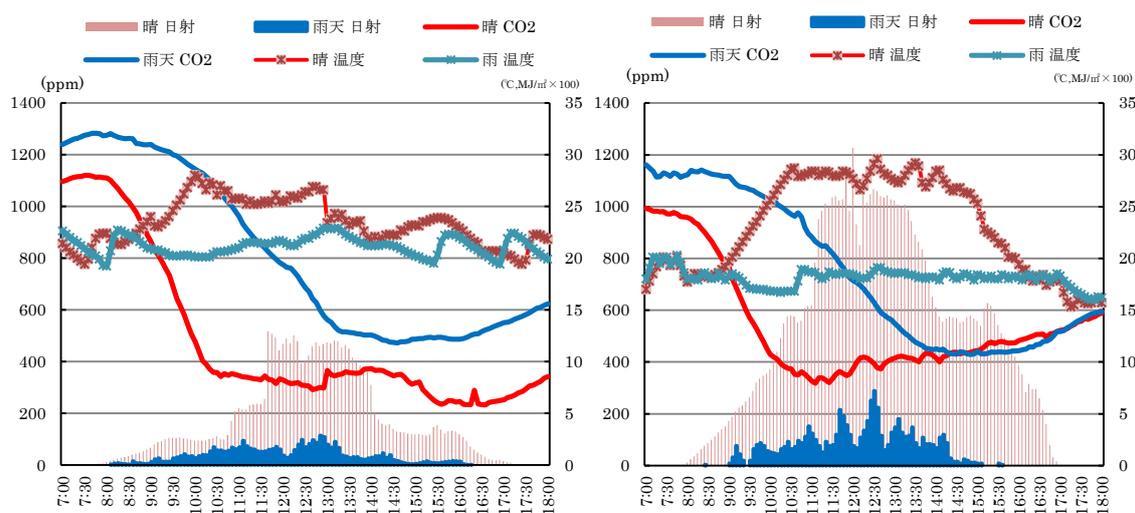


図 II-11 ピーマン圃場における日射、CO₂ 濃度、温度
(晴 2016.1.1 雨 2016.1.15)

図 II-12 キュウリ圃場における日射、CO₂ 濃度、温度
(晴 2016.1.1 雨 2016.1.15)

(8) CO₂施用の留意点

CO₂施用の効果を高めるために外張フィルムの洗浄等により光環境を良くする。
CO₂施用時は、慣行より追肥やかん水を増やす（土質により異なるが 10～30%増を目安）

今回の試験圃場であるピーマン圃場とキュウリ圃場は晴天日の日射に差がある（図Ⅱ-11、図Ⅱ-12）。これは、ピーマン圃場はハウスの外張に展張後 6 年目を経過した中期展張のポリフィルム、キュウリ圃場は毎年張り替えるビニルを展張していることが影響している。光合成には光環境も重要なので、中期展張のフィルムで光透過率が 80%以下になる場合は、フィルムの洗浄や張り替え等が必要である。

CO₂施用しても増収効果が見られない場合、かん水や施肥の不足が原因の場合が多い。そのため、慣行より多めのかん水・施肥を心がけ、植物体中の硝酸イオン濃度や土壌中の EC や pH のリアルタイム診断を栽培の目安にするとよい。

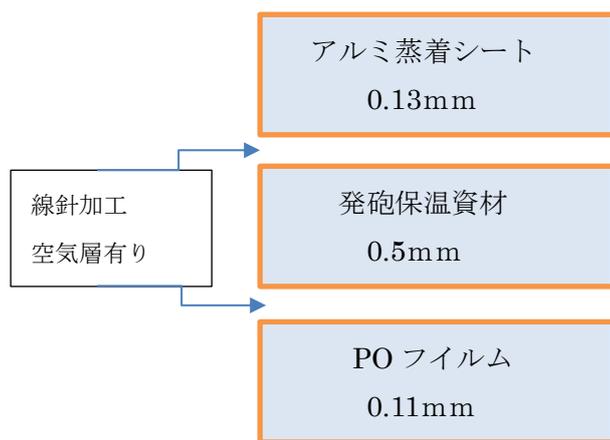
試験場で CO₂ 施用の試験をする際は、ハウスが閉まっている時間を長く維持できるように、CO₂ 施用の時間帯はハウスの換気設定温度を 2℃ 高く設定している。

2. ビニールハウス内張用高効率保温カーテン資材の開発

(1) 開発したカーテン資材の概要

施設園芸における燃料費は、原油価格高騰などの影響で生産農家への負担が大きくなっている。本資材は生産農家の経営安定を目指し、宮崎県総合農業試験場と(株)長友農機が共同研究を重ね、実用化を目的に開発した商品です。

【ハウス外面】



【ハウス内面】

図Ⅱ-13 開発した高効率保温資材の構造と被覆方法



写真Ⅱ-1：宮崎県国富町 ピーマン栽培ハウスでの展張例

特長

- ① 被覆方法は、熱反射率の高いアルミ面を外側に向けて展張すると燃油削減効果が高い。
- ② 3種類の資材を線針加工し空気層を作る事で断熱効果が高くなる。

(2) 開発したカーテン資材の省エネルギー効果

宮崎県総合試験場では、上記展張方法により熱量ベースで 36.8%の燃油削減率を達成しました。

平成 26 年 12 月 1 日～平成 27 年 2 月 2 日まで 宮崎県国富町川上氏のハウスでも検証を行い、研究ハウス 重油使用量 883.15 L に対し比較ハウス 1,683.83 L と A 重油削減率 47.5% を確認しています。

(3) 開発したカーテン資材の設置状況

この様な結果を踏まえて宮崎県都農町のマンゴーハウス圃場に省エネルギー設備導入を推進する平成 27 年度 燃油価格高騰緊急対策事業の二次募集に高効率保温カーテン資材設置の申請を行い、この度、事業承認を受け平成 28 年 1 月より運用を開始します。合わせて同都農地区のメロン部会にも同町産業振興課を通じて PR を薦めています。

本資材はマンゴー、メロン、バラ、ピーマンなど燃油消費の大きい作物や寒冷地での低コストによる作物栽培に対し、直接経費を抑える有効な資材なので今後、多くの引き合いを期待したい。(日本農業新聞にも本資材の記事を掲載予定)



写真Ⅱ-2 宮崎県都農町 マンゴ栽培ハウスでの展張例

Ⅲ. 暖地での施設園芸生産に適した ICT 活用型統合管理システムの開発

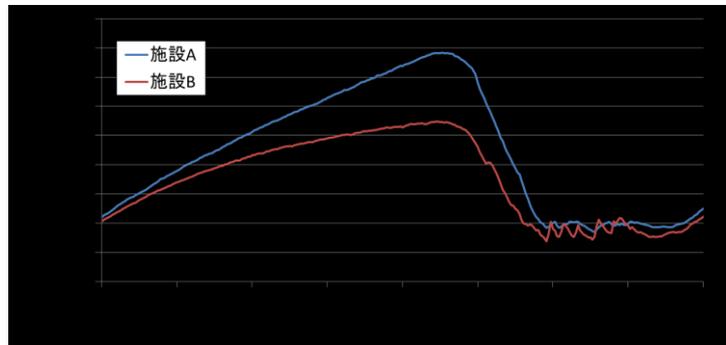
1. 施設内での CO₂ 濃度変化を利用した換気推定ソフトウェア

(1) 目的

近年、低温期の日中にしばしば施設内で発生する CO₂ 濃度の低下に対処するため、CO₂ 施用が実施されるケースが増えてきた。ただ、施設内外の CO₂ 濃度差が大きいと、施用した CO₂ のうち屋外に排出される量が多くなり CO₂ 施用効率が悪くなる。屋外に排出される CO₂ の量は施設の隙間換気による換気回数に影響されるため、換気回数を簡単に把握可能となれば CO₂ 施用を効率的に実施する上で有益であろう。また、施設栽培で省エネルギーを考える際にも換気回数を把握することは重要である。換気回数を算出するためには、施設内に SF₆ ガスを散布し、ガス濃度の減衰速度から計算する方法が標準的に用いられる。しかし、SF₆ ガスは高価であり、その測定装置は高価であり、装置の取り扱いも煩雑である。そのため、換気回数を簡便に把握する方法の開発が望まれている。近年、CO₂ 濃度の測定センサが安価になり、施設で CO₂ を経時的に測定することが容易となった。CO₂ を SF₆ の代わりにモニタリングすることで、換気回数を測定することが可能であるが、施設の土壌からの CO₂ 発生や、植物の光合成による吸収を考慮する必要があり SF₆ を利用した場合に比べて計算方法がさらに煩雑になる。そこで煩雑な換気回数算出のための計算を自動化し、推定した値を電子メールによって通知するソフトウェアの開発を行った。

(2) 換気回数の解析例

宮崎県のピーマン栽培施設の CO₂ 濃度変化について図Ⅲ-1 に示した。施設 A の方が、夜間および午前中換気が開始される 12:00 頃まで CO₂ 濃度が高く推移していることがわかる。



この施設の換気回数と施設内での CO₂ 発生量を計算すると表Ⅲ-1 のようになった。この解析結果から、施設 A で CO₂ 濃度が

図Ⅲ-1 ピーマン栽培温室における施設内 CO₂ 濃度変化

高く維持できた原因は換気回数が小さかったことが影響したと考えられる。CO₂ 発生量大きな差がないことから、施設 B においても換気抑制を徹底することで、午前中いっぱい CO₂ 施用を実施しなくても高い CO₂ 濃度を維持できる可能性がある。この一例のように換気回数を把握することで、温室内環境の改善につなげることが可能となる。

表Ⅲ-1 ピーマン栽培施設の換気回数および CO₂ 発生速度

	換気回数 (回・hour ⁻¹)	CO ₂ 発生速度 (mL・m ⁻² ・h ⁻¹)
施設 A	0.05	264
施設 B	0.13	257

(3) 開発したソフトウェアの概要

高度な数値計算が可能なフリーソフトウェアである「R」を活用した換気回数の自動計算ソフトウェアの開発を行った。ソフトウェアは、日本で開発された環境制御システムであるユビキタス環境制御システム (UECS) 導入温室で動作させることが可能で、UECS 導入温室に設置されている温室内外の CO₂ センサの値を自動的に収集する。収集したデータを R の非線形回帰分析用ソフトウェアを利用して換気回数を計算し、電子メールで計算結果を通知することを特徴としている。換気回数とともに施設内での CO₂ 発生速度も推定する。電子メールには、計算結果の推定値の正確性を示す表を記載した html ファイル (図 III-3 A) と CO₂ 濃度の実測値と回帰曲線を図示したグラフを jpg 形式のファイル (図 III-3 B) にて添付ファイルとして送信する。ソフトウェアは java 導入したパーソナルコンピュータ上で動作させることが可能である。

本ソフトウェアを、利用することで施設の換気に関する情報を簡単に入手することが可能になる。

UECS換気計測サービス			
換気測定結果			
	値	標準誤差	検定
換気回数(回/h)	0.727	0.049	14.845 [0]
土壌からのCO ₂ 発生 (mL/h)	27992.542	1720.418	16.271 [0]

統計パラメータ	
測定日	2015/12/15
サンプル数(個)	31
自由度	29
電子ル標準誤差	3.6700538928505388

powered by Ventilation measurement software developed by Vegetable Crop Sci. Lab. in Olayama Univ.

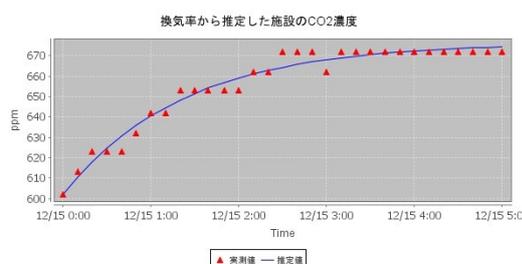


図 III - 3 開発したソフトウェアから送信される換気回数の計算結果 (A) と換気回数推定グラフ (B)

本マニュアルは平成 25 年度補正予算「攻めの農林水産業実現にむけた革新的技術緊急展開事業」で実施した研究成果として作成されたものです。

本マニュアルの内容を無断で複製・転載することを禁じます。

【研究担当機関】

国立大学法人岡山大学（研究代表機関）
熊本県農業研究センター
宮崎県総合農業試験場
（株）長友農機
九州オリンピック工業(株)
熊本県八代地域振興局農業普及・振興課
宮崎県営農支援課
宮崎県中部農林振興局農業経営課
宮崎県中央農業協同組合