

II 温室の保温性向上技術

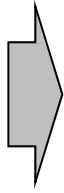
<カーテン裾部の隙間>

カーテンの裾部が短かすぎることによる隙間、暖房時にカーテンがはためくことによつてできる隙間に注意が必要であり、さらに、夜間は冷気が下降してカーテンが温室内側に膨らみ、温室内に冷気が侵入しがちです。

カーテン裾部を長めに確保し、留め具や土などの重しを乗せるなどして固定することにより保温性を確保しましょう。



冷気によるカーテンの膨らみ



カーテン裾部の固定（留め具）



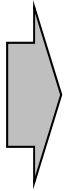
カーテン裾部の固定（土盛り）

<出入口付近や妻面の隙間>

開閉により外気が侵入しやすい出入口付近や温室の妻面の隙間を点検し、内張カーテンの多層化等により高い保温性を確保しましょう。



妻面のカーテンの隙間



妻面のカーテンの隙間対策①



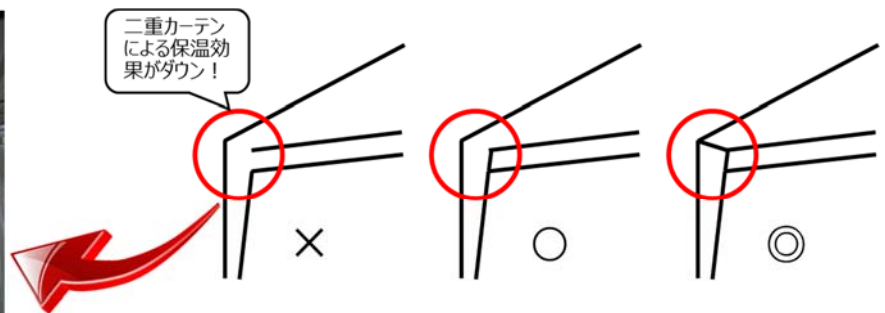
妻面のカーテンの隙間対策②

<多層カーテン肩部隙間>

2層カーテンの場合、1層目と2層目のカーテンの隙間をなくすこと、さらに、肩部を遮蔽することにより保温効果を高めることができます（下図参照）。



多層カーテン肩部の隙間



II 温室の保温性向上技術

<内張カーテンの開閉>

内張カーテンは温室内が適温に達した後に開放し、温室内の温度が下がらないうちに閉めましょう。開閉をタイマーで設定している場合は、その時期の日長（日の出、日の入り時刻）に応じて開閉時間の設定を調節しましょう。

また、内張カーテンを自動開閉させる際は、加温シーズン開始時に試験的に開閉させて隙間の点検を行いましょう。



内張カーテンの自動開閉

<その他の留意事項>

加温期間（冬期）における北風は温室の保温機能を低下させる要因になります。断熱資材（反射性資材、発泡資材等）を温室北面に固定張りすることも、温室の保温機能の確保に有効な対策です。

また、内張カーテンに結露水等が溜まり、下の写真のように金魚鉢状に膨らむことがあります。被覆資材が破損する要因になるため、持ち上げて水を抜く、小さな穴を開けて水を抜くなど、適切に対処しましょう。



温室北面へ断熱資材を固定張り



金魚鉢状に膨らんだ内張カーテン

2 多重化・多層化

(1) 外張多重化

①固定2重被覆

垂木などを用いてフィルムで屋根部や天井部を2重に固定張りし、加圧せずに断熱層を設ける方法があります（固定2重化）。

この場合、高い光線透過性があり、光線不足による作物への影響を抑制できる被覆資材を使用することが有効とされています。



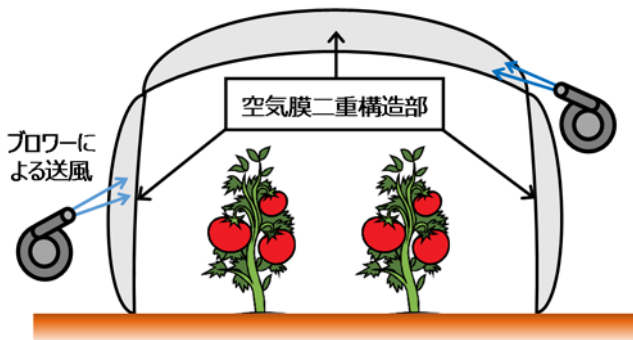
フッ素系硬質フィルムによる固定2重化

②空気膜2重被覆

空気膜2重被覆は、温室の屋根面（または天井面）等の被覆資材を2重展張し、その間にブローヤや送風ファンで空気を送り込んで空気の断熱層を形成することにより温室の保温性を向上させる技術で、省エネ効果が期待できます。屋根面だけでなく、側面、妻面も一体的に空気膜2重構造とすることにより、さらに保温性を高めることも可能です。

なお、空気膜の内部に結露が生じると昼間の日射透過を低下させる原因になるので、送風には水蒸気含量の少ない室外空気を使用する方が結露の減少に効果があります。

また、夏期・高温期の日中は室内が高温になりやすいため、適切な換気に留意する必要があります。



空気膜2重構造の温室のイメージ



空気膜の加圧のための送風ファン



空気膜2重被覆（屋根部）



空気膜2重被覆（側面部）

II 温室の保温性向上技術

(2) 内張多層化 (2層・3層カーテン)

内張カーテンの展張による保温効果は多層被覆とするほど高くなり (3層>2層>1層)、また、天井だけでなく側面や妻面も一体的に多層化することで、より高い保温効果が得られます。温室全面の多層被覆に積極的に取り組みましょう。

内張カーテンによる保温効果は被覆資材の材質や厚みによって異なります。次のページ表-1 に示した被覆方法別の熱貫流係数 (熱貫流率) (注) を参考に、保温の必要性に応じて適切な方法を選択し、省エネルギー対策に取り組みましょう。

また、2層のカーテンが密着してしまうと1層カーテンに近い保温効果となってしまうので、多層被覆の際には結露水等で被覆資材同士が張り付かない程度の間隔を設けましょう。

なお、多層化するほど光の透過性は低下するので、作物の生育特性とのバランスを勘案して取り組みましょう。

注：熱貫流係数 (熱貫流率)

被覆資材における熱貫流係数 (熱貫流率) は、熱の通りやすさを表す値で、数値が小さいほど熱が通りやすく、断熱性が高いことを示しています (単位は $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$)。

なお、熱貫流係数は、天候やハウス形状などの条件によっても変動があります。

【コラム】内張カーテンの多層化による省エネルギー効果

内張カーテンを多層化し、その際、できるだけ保温効果の高い資材を使用することで、省エネルギー効果は向上します。

下の表は、主な内張カーテンの被覆方法による熱節減率を示したものです。熱節減率は設置した被覆資材からの放熱量の削減割合を示しており、例えば、1層カーテンを設置した場合の熱節減率 0.30 (ガラス室) は、1層カーテンを設置していない場合に比べて 30%の放熱量が削減されることをあらわしています。

できるだけ熱節減効果の大きい被覆方法により暖房のエネルギー使用の削減に努めましょう。

区分	カーテンの種類	熱節減率	
		ガラス室	ビニールハウス
1層カーテン	農PO (ポリエチレンフィルム)	0.30	0.35
	LS同等品 (シルバ1:透明1)	0.35	0.40
2層カーテン	農PO+農PO	0.45	0.50
	農PO+LS同等品 (シルバ1:透明1)	0.50	0.55
3層カーテン	農PO (農ビ) + 農PO + 不織布	0.50	0.55
	LS同等品 (シルバ1:透明1) 2層 + 通気性資材	0.55	0.60

出典：28ページの表-1をもとに算定した概数

II 温室の保温性向上技術

表-1 被覆方法別の熱貫流係数（熱貫流率）

(A) 1重被覆

保温方法	被覆資材	熱貫流係数 ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$)
1重被覆 カーテンなし	ガラス、硬質板	5.8
	農ビ、農PO、硬質フィルム	6.4
	農ポリ	6.8

(B) 保温被覆（その1）（固定張り資材：ガラス、硬質板、農ビ、農PO、硬質フィルム）

保温方法	カーテン資材	熱貫流係数 ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$)
1重 + 1層カーテン	不織布	4.4
	農ポリ（ポリエチレンフィルム）	4.2
	農酢ビ（酢酸ビニルフィルム）	4.1
	農PO（ポリオレフィン系フィルム）	3.9
	農ビ（塩化ビニルフィルム）	3.8
	中空構造フィルム	3.7
	LS同等品（シルバ1：透明1）	3.7
	LS同等品（全面シルバ）	3.5
	布団資材（12mm～5mm厚）	1.8～3.0
1重 + 2層カーテン	農ポリ + 不織布	3.6
	農ポリ2層	3.4
	農ビ（農PO） + 不織布	3.4
	LS同等品（シルバ1：透明1） + 不織布	3.4
	農ビ（農PO） + 農ポリ	3.3
	農ビ（農PO）2層	3.2
	LS同等品（全面シルバ） + 不織布	3.1
	中空構造フィルム2層	3.1
	LS同等品（シルバ1：透明1） + 農ビ（農PO）	2.9
	LS同等品（シルバ1：透明1） + 中空構造フィルム	2.9
	アルミ蒸着 + 不織布	2.9
	アルミ混入中空構造フィルム + 農PO	2.7
	LS同等品（全面シルバ） + 中空構造フィルム	2.7
	アルミ蒸着 + 透明フィルム	2.5
アルミ蒸着 + LS同等品（シルバ1：透明1）	2.5	
農PO + 布団資材（12mm～5mm厚）	1.5～2.5	
1重 + 3層カーテン	寒冷紗（または割布）2層 + 不織布	3.4～4.2
	LS同等品（シルバ1：透明1） + 不織布 + 寒冷紗	3.1～3.6
	LS同等品（シルバ1：透明1） + 不織布2層	2.8
	農ビ（農PO） + 農PO + 不織布	2.8
	農ビ + 農PO2層	2.7
	LS同等品（シルバ1：透明1）2層 + 通気性資材	2.7
	中空構造フィルム + 透明フィルム2層	2.7
	中空構造フィルム2層 + 透明フィルム	2.7
	LS同等品（シルバ1：透明1） + 透明フィルム2層	2.6
	LS同等品（シルバ1：透明1）3層	2.5
	LS同等品（シルバ1：透明1） + 中空構造フィルム + 農ビ（農PO）	2.5
	LS同等品（シルバ1：透明1）2層 + 中空構造フィルム	2.5

(C) 保温被覆（その2）

保温方法	被覆資材	熱貫流係数 ($W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$)
固定2重被覆 空気膜2重	カーテンなし	3.8
2重 + 1層カーテン	農ビ、農PO	3.2
	中空構造フィルム	3.1

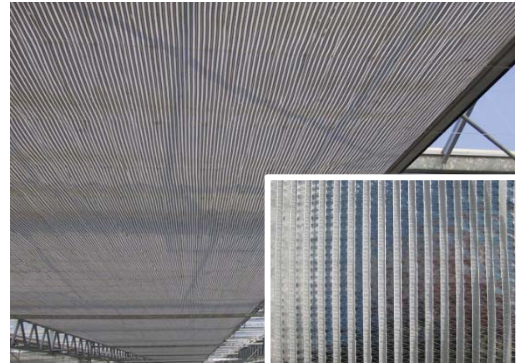
出典) 施設園芸・植物工場ハンドブック

3 保温性の高い被覆資材の利用

(1) 反射性資材

アルミ蒸着資材やアルミ箔資材のように赤外線反射率の高い資材は、透明資材よりも断熱性に優れています。

市販されている反射資材の多くは、裁断したアルミ箔資材を細糸で編んだ資材（アルミ編み込み資材）であり、遮光との併用を目的としたアルミ箔資材と透明資材を組み合わせた編み込み資材では透明資材の面積割合が多くなるほど断熱性能は低下します。



アルミ編み込み資材

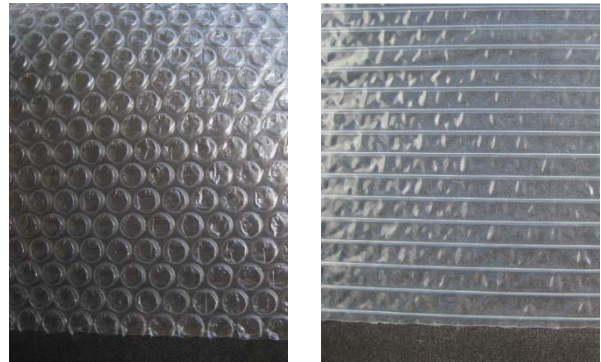
(2) 中空構造資材

中間に空気層をもつ中空二層構造軟質フィルムのカーテン資材は、単層のフィルムより断熱性に優れています。

フィルム間に断熱性を高める空気層があることにより、ポリエチレン1層カーテンに比べ1割程度は保温効果が高いとされています。



中空構造資材（側面カーテン）



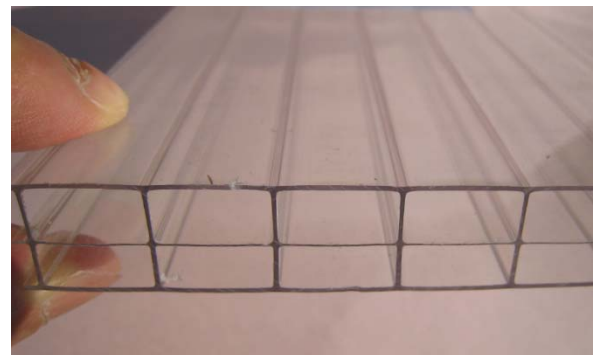
中空構造資材の構造（例）

(3) 複層板

複層板はアクリル製やポリカーボネート製の資材で空気層があるため断熱性に優れており、2層構造の複層板の断熱性は、1cm以上の層隙間があれば、固定2重に近い保温性能が期待されます。

加工時または施工時に、内部に乾燥空気や窒素ガスなどを封入してあると、内部の結露や藻の発生を防ぐことができます。

なお、透明資材に比べると光の透過率の低下がやや大きいため、側壁だけに使うこともあります。



複層板の構造（例）

II 温室の保温性向上技術

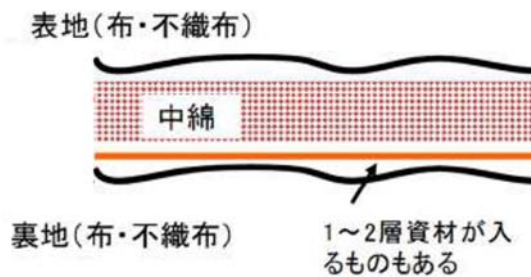
(4) 多層断熱資材（布団資材）

ポリエステル綿などを不織布や布で挟んだ多層断熱資材（布団資材）は、断熱性素材を重ねた布団状の保温資材で、一般的な保温用の被覆資材に比べて2～3倍高い断熱性を有しています。

断熱性が高く遮光率も高いことから、夏期には遮光資材として活用すれば、温度上昇が抑制され暑熱対策としても効果を発揮することが期待されます。

従来は、多層構造の資材で厚みがあるため、巻き上げ方式や自動カーテン方式での利用が困難であったり、カーテンを開けたときに資材の影が大きくなるなど収束性に課題がありました。

現在では、軽量化や薄層化が進み、自動巻き上げが可能で、収束性も改善されてきており、新たな素材であるナノファイバーを使用した資材なども製品化されています。



多層断熱資材の構造

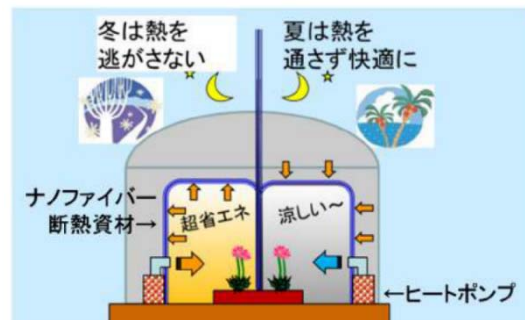


展長時の布団資材

【コラム】 ナノファイバーを利用した多層断熱資材

軽薄化が進んできた多層断熱資材ですが、中綿にナノファイバーを使用した資材が開発されています。ナノファイバーは、従来の繊維に比べ極めて細いため、断熱性を維持しながら厚さを低減できます。このため、収束性も改善され、資材の影による日射の低下も、作物の生育に影響がない水準にまで改善されています。

優れた断熱性を有し、収束性も改善されたナノファイバー断熱資材は、冬の暖房の省エネルギー対策としてだけでなく、夏の夜間冷房の際の冷房負荷の軽減などにも利用できることから、年間を通した有効活用が期待されます。



出典：ナノファイバー断熱資材活用マニュアル

Ⅲ 省エネのための温度管理技術

1 施設園芸作物の適温管理

作物には品目・品種・生育ステージ毎に生育適温（最も良好な生育を示す温度域）があります。

作物の生育適温にふさわしくない過度の省エネルギー対策によって作物の生育不良、生産物の品質低下や収量減を招くことを避けるため、まずは、栽培している作物の生育適温を確認しましょう。

(1) 野菜の生育適温

主な野菜の一般的な生育適温は表-2のとおりですが、地域で奨励されている品目や品種によって適温範囲が異なるので、栽培開始前に必ず普及センターやJA等の営農指導機関に確認しましょう。



野菜は地上部が多少低温または高温であっても、地温が適温であれば生育するといわれていますが、イチゴの高設栽培などは地面から隔離されているため、温室内の設定温度を土耕栽培に比べて高めに設定しなければならないなどの事例もあります。

同じ品種であっても、栽培方式により温室内の管理温度に差が生じる場合もあるので注意しましょう。

表-2 作物別生育適温並びに限界温度

作物	昼気温 (°C)		夜気温 (°C)		地温 (°C)			
	最高限界	適温	適温	最低限界	最高限界	適温	最低限界	
ナス科	トマト	35	25~20	13~8	5	25	18~15	13
	ナス	35	28~23	18~13	10	25	20~18	13
	ピーマン	35	30~25	20~15	12	25	20~18	13
ウリ科	キュウリ	35	28~23	15~10	8	25	20~18	13
	温室メロン	35	30~25	23~18	15	25	20~18	13
	スイカ	35	28~23	18~13	10	25	20~18	13
	カボチャ	35	25~20	15~10	8	25	18~15	13
イチゴ	30	23~18	10~5	3	25	18~15	13	

出典：施設園芸ハンドブック

(2) 花きの生育適温

切り花、鉢もの類、観葉植物それぞれの標準管理温度は表-3~5のとおりです。

同一品目であっても、タイプ別（スプレーや輪物など）、品種別、生育ステージ別（栄養生長や花芽分化・花芽発達段階など）に適温が異なるため、品目や品種別の適温、生育ステージ別の適温を栽培開始前に必ず確認しましょう。



表-3 切り花の冬期の標準管理温度

種類	昼温	夜温	備考
キク	25°C以下	14~18°C	品種による
バラ	23~25°C	15~18°C	品種による
カーネーション(大輪)(周年)	20°C	12°C	
カーネーション(房咲)(周年)	18~20°C	10~12°C	
シュツコンカスミノウ	22°C以下	8~10°C	草丈20cmまでは夜温15°C 若苗利用は夜温15°C
アルストロメリア	20°C	5~10°C	
スターチス(シヌアータ)	25°C以下	8~10°C	
スターチス(Hyb)	25°C以下	10°C	
キンギョソウ	20°C以下	5~7°C	
スイートピー	18°C	5°C	曇雨天日は夜温2°C
ユーストマ	25°C	13~15°C	
テッポウユリ	25°C以下	13~15°C	
アジアティックHyb	25°C以下	13~15°C	
オリエンタルHyb	25°C以下	15~18°C	
チューリップ	25°C以下	14°C	
ハナモモ	20°C	20°C	
ユキヤナギ	25°C	5°C	

出典：農業技術体系 花き編 1巻

Ⅲ 省エネのための温度管理技術

表-4 鉢ものの類の標準管理温度

種類	昼温	夜温
アザレア	12~18℃	10℃
インパチェンス		15℃
ガーベラ	25℃以下	15℃
カランコエ	25℃以下	10℃
ペゴニア (エラチオール)		18℃
ペゴニア (センパ)		10℃
シクラメン	20℃以下	12~15℃
シネリア		5~12℃
ゼラニウム	20℃以下	8~12℃
ハイドランジア		12~18℃
ハイビスカス		18℃
プリムラ (オボコニカ)	25℃以下	10~12℃
プリムラ (ポリアンタ)	25℃以下	5~8℃
プリムラ (マラコイデス)	25℃以下	5~10℃
ペラルゴニウム		8~10℃

出典：農業技術体系 花き編 1 巻

表-5 観葉植物の標準管理温度

種類	昼温	夜温
アジアタム		12~15℃
アロエ		8℃
アンズリウム		18~20℃
インドゴム	20℃以上	13℃
ベンジャミンゴム		20℃
クズマニア		18℃
クロトン		18~20℃
サンセベリア	20~25℃	13℃
シンゴニウム	20℃以下	16~18℃
シェフレラ		12~13℃
スパティフィラム		16~18℃
ディフェンバキア		20℃
ドラセナ・マッサンゲアナ	25℃	20℃
パキラ		18℃
フィロデンドロン (セロム)		10~11℃
ポトス	35℃以下	20℃

出典：農業技術体系 花き編 1 巻

(3) 果樹の生育適温

果樹の開花期・果実肥大成熟期における生育適温は表-6、7のとおりです。

果樹の温度管理では、昼温は高温障害を防ぐための換気管理が主体であり、加温栽培の特徴は夜温の管理になります。

野菜や花きと同様に、品種別、生育ステージ別の適温を栽培開始前に必ず確認しましょう。



表-6 開花期の温度管理目標

樹種	昼温	夜温
オウトウ	20~22℃	7~8℃
スモモ	18~22℃	7~8℃
モモ	18~20℃	8~9℃
ナシ	20~25℃	8~12℃
カキ	25~28℃	12~15℃
ブドウ		
有核 (ネオマス、巨峰など)	25~28℃	15~18℃
無核 (デラウェア)	23~25℃	8~10℃
温州みかん	23~25℃	15~18℃
ビワ	15~20℃	5~7℃

出典：農業技術体系 果樹編 8 巻

表-7 果実肥大成熟期の温度管理目標

樹種	昼温	夜温
オウトウ	22~25℃	10~15℃
スモモ	25~28℃	10~15℃
モモ	25~28℃	10~15℃
ナシ	25~28℃	10~15℃
カキ	25~30℃	18~20℃
ブドウ	25~28℃	15~20℃
温州みかん	25~30℃	20~22℃
ビワ	20~25℃	8~15℃
イチジク	25~30℃	15~20℃

出典：農業技術体系 果樹編 8 巻

Ⅲ 省エネのための温度管理技術

2 天敵資材や花粉交配用昆虫の活動適温

施設園芸において省力化や品質向上に大きな役割を果たしている天敵資材、花粉交配用昆虫の活動適温は、表-8、9のとおりです。

天敵資材や花粉交配用昆虫の種類ごとに活動適温が異なり、また、栽培作物の生育適温とバランスをとった温度管理が重要です。使用の際は必ず事前に活動適温を確認するとともに、管理温度が不明確な場合は、普及センターやJA等の営農指導機関に確認しましょう。

表-8 天敵資材の最適活動温度

天敵資材	活動可能温度 (湿度)	活動適温	適湿度 (最適)
チリカブリダニ	12～30℃ (> 50%)	22～25℃	65～75%
ククミスカブリダニ	12～35℃ (> 60%)	21～23℃	65～75%
スワルスキーカブリダニ	15～35℃ (> 60%)	28℃ (夜温15℃以上推奨)	高湿度を好む
ナミメハナカメムシ	15～35℃ (> 50%)	21～23℃	(65～75%)
タイリクヒメハナカメムシ	(13～32.5℃)	21～23℃	(65～75%)
ヤマトクサカゲロウ	15～35℃	24～26℃	70～90%
ショクガタマバエ	16～35℃	20～24℃	75～85%
オンシツヤコバチ	15～30℃	20～24℃	60～90% (最適75%)
コレマンアブラバチ	5～30℃	20～24℃	55～65%
イサエアヒメコバチ	15～30℃	20～25℃	—
ハモグリコマユバチ	15～30℃	15～20℃	—

出典：施設園芸ハンドブックに一部自記

表-9 花粉交配用昆虫の活動温度

花粉交配用昆虫	活動開始温度	活動停止温度
マルハナバチ	6～7℃	30℃
ミツバチ	10℃	35℃

出典：施設園芸ハンドブック

3 省エネ型の品種や作型への転換

野菜や花きでは、品目によっては低温での伸長性、開花性、着果性、肥大性や成熟性などに優れた品種が開発されているものがあります。また、厳寒期を避けた作型に変更することでも暖房エネルギーの削減が可能です。

このような低温に強い品種や厳寒期を避けた作型への変更にあたっては、導入による収益性や地域での適応性などについての評価が必要です。事前に営農指導機関に相談しましょう。



低温伸長性に優れたイチゴ「おいこベリー」

4 温度ムラの改善（送風ダクト・循環扇の利用）

温室内の温度ムラは作物の生育に影響を及ぼすだけでなく、無駄な効用による燃料消費量の増加につながります。

まずは、温室内の複数箇所において温度を測定し、温度ムラの有無や温度差を確認しましょう。この際、以下の点に留意しましょう。

- 暖房機の温度センサーと同様に作物付近（生長点付近など）の適切な高さで温室温度を測定すること
- 複数の温度計（特に市販の棒温度計）を使用する場合は個々の温度計間の誤差を予め把握し、必要な補正を行うこと

温室内の温度ムラの有無や温度差を確認したうえで、これらを改善するため、送風ダクト、循環扇を有効に利用しましょう。

（1）送風ダクトの利用と適切な配置

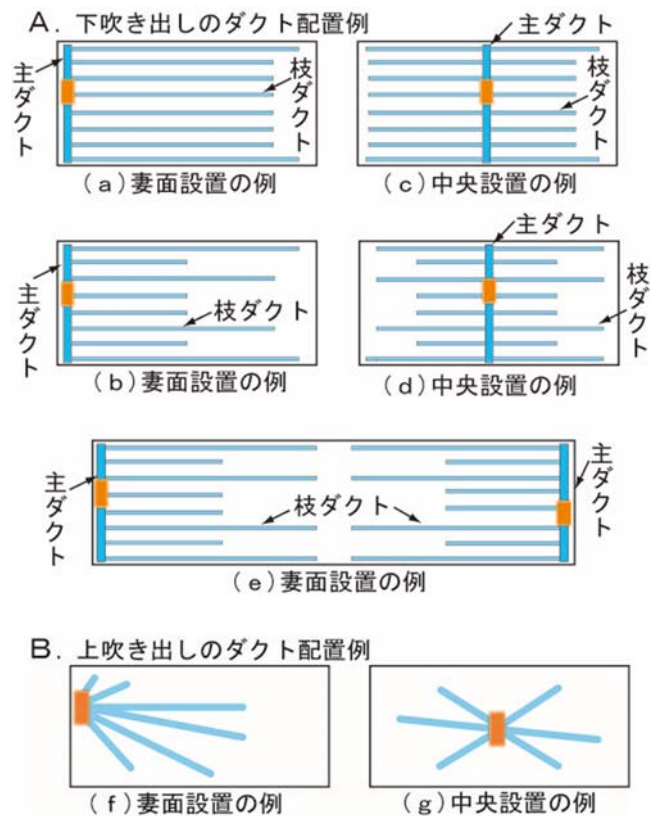
送風ダクトは、送風抵抗を少なくし、できるだけ多くの送風量を確保することが重要です。

右図は基本的な主ダクト、枝ダクトの配置例ですが、主ダクトの直径や枝ダクトの本数・直径は暖房機の送風量に応じて選択する必要があるため、事前に暖房機の取扱説明書での確認が必要です。

● 送風ダクト利用のポイント

ア 送風ダクト表面からの放熱が大きい
ため、暖房機付近では吹き出し量を
少なく、遠くでは吹き出し量を多く
できるようにしましょう。

イ 温室内の冷え込みが厳しい所ではダ
クトの本数を増やしたり、吹き出し
穴の大きさ・間隔を増やしましょう。



送風ダクトの設置方法（例）



下吹き出しのダクトの設置例



上吹き出しのダクトの設置例

(2) 循環扇の利用と適切な配置

送風ダクトを利用して温度ムラを解消できない場合には、循環扇を利用して温室内に大きな空気の流れをつくり、温度ムラを改善することが有効で、温度ムラが解消されることにより10%程度の省エネ効果が期待されます。

循環扇は温室内に水平方向の流れ（強制対流）をつくることによって、暖房時の自然対流による温度ムラを改善するタイプのものが多く、この場合、自然対流よりも強い強制対流をつくり出すための配置が重要になります。

循環扇を設置する場合、循環扇の正面では強い風が吹くため、栽培作物に風が直接当たらないような位置（一般的には作物の最頂部と温室の天井部の間）に設置しましょう。



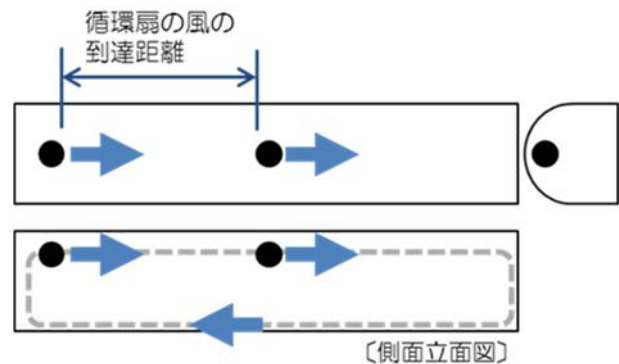
空気の流れをつくる循環扇

● 循環扇の配置のポイント

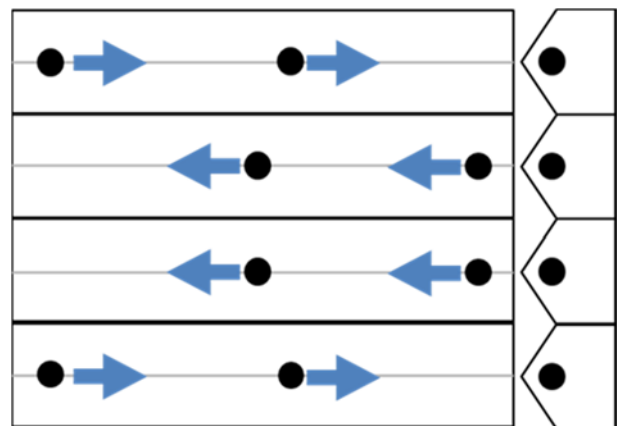
ア 右上図のように、風の到達距離を目安に循環扇の設置間隔を設定しましょう。

イ 単棟ハウスなど間口の狭い温室の場合には、同一方向に送風して温室の下層部で戻りの気流が形成されるように設置しましょう。

ウ 連棟ハウスなど間口の広い温室の場合には、右下図のように複数の対流の渦が形成されるように設置しましょう。



間口の狭い温室での循環扇の設置（例）



間口の広い温室での循環扇の設置（例）

循環扇を設置して空気を流動させることは、温度ムラの改善だけでなく、結露の発生軽減による好湿性病害の抑制効果やCO₂濃度の均一化による光合成の促進効果も期待できるため、それぞれの温室に適した配置方法を工夫しながら効果的な省エネルギー対策に取り組みましょう。