

園芸ハウスにおけるエア－送風内張2層化の燃料消費量削減効果 —冬春トマト栽培ハウスにおける検証—

Reduction in fuel consumption by the air-blowing two-layered lining system for greenhouse : Inspection in a winter spring tomato cultivation house

倉田和馬・田中誠司

Kazuma KURATA, Seiji TANAKA

要 約

園芸ハウスの燃料消費量を削減するためには、ハウスから外気への放熱を抑制する内張フィルムの多層化が効果的であるが、本県ではハウスの軒高等が低いことや、天井アーチ部に補強用の陸梁がある等の理由から内張用フレームの追加が困難なハウスが多いため内張1層による保温対策に留まっている。そこで、ハウスの内張フレームを追加することなく、内張1層の上側に重ねてフィルムを追加し、2枚のフィルムの間にファンで空気を送り込む「エア－送風内張2層化」についての省エネ効果を検討した。その結果、燃料消費量は内張1層に比べ37%、内張2層に比べ16%抑えられ、夜間の平均外気温が5℃を下回る寒い時期ほど効果が高く、重油代削減額からファン等の部材設置経費を差し引いた10aあたりの経費削減効果も内張1層より約8万2千円、内張2層より約5万7千円高かった。なお、エア－送風内張2層で栽培した冬春トマトの生育・収量は内張2層の場合と同様であった。

キーワード：園芸ハウス，省エネ，保温対策，内張2層化，送風

I 緒言

近年の重油価格の高騰を受け、園芸ハウスの省エネ対策としては、内張の多層化や外張や内張において保温性の高い資材への変更等によるハウスの放熱抑制、重油暖房機からより安価な燃料を用いた暖房機の使用、変温管理による暖房負荷の軽減等が取り組まれている¹⁾。その中でも保温被覆資材である内張フィルムの効果は、1970年代の二度のオイルショック以降、林ら²⁾により各被覆法別の夜間放熱係数が調査され、この放熱係数の比較が燃料消費量削減の目安となり、ポリオレフィンフィルム（POフィルムと略す）の場合、内張を設置しないものに比べて2層で45%、1層で35%の燃料消費量の削減が可能とされる。

内張の2層化のためには、汎用の内張フィルムを高さの異なる2段階のフレームにそれぞれ1層ずつ固定する必要があるが、県内の平坦地域の園芸ハウスの約7割は軒高等が低い（約180cm）ことや、ハウス屋根アーチ部分の補強材である陸梁がある等の理由から内張用フレームの追加が困難であるため、内張1層の設置に留まっているのが現状である。

一方、ハウスの多層化方法として、一体成形したフィルム2枚の間に送付機で空気を送り2層化する外張用空

気膜2層フィルムが東罐興産(株)から2004年頃「ふくら～夢」として発売され、その製品を改良した開閉作業が可能な内張用空気膜フィルムでは、内張1層に比べ約15%の燃料消費量が削減でき、昼間の内張開閉により日射量は同等、冬春キュウリ栽培での収量・品質が同等であるなどの報告がある^{3) 4)}。しかし、これら空気膜フィルムによる内張2層には、送風口や端部の圧着などの加工が必要なことや、巻上げ作業に時間を要するなどの課題があった。

そこで、同一のフレームを利用し汎用の内張フィルム2枚を順次、上下に重ねて固定した上で、小型ファンを使い内部に直接送風するエア－送風内張2層について、内張2層や内張1層との省エネ性の比較を行ったので報告する。

II 材料および方法

1 エア－送風内張2層化の概要

第1図および第2図のとおり、内張の天井部分は既存の内張1層用フレームに内張フィルム2枚を重ねて展張、下層フィルムに装着（2器/棟）した東都興業(株)製の直径12cmの小型ファンで送風し、膨らみ調整機（スイッチ構造で膨らむとファン停止、萎む

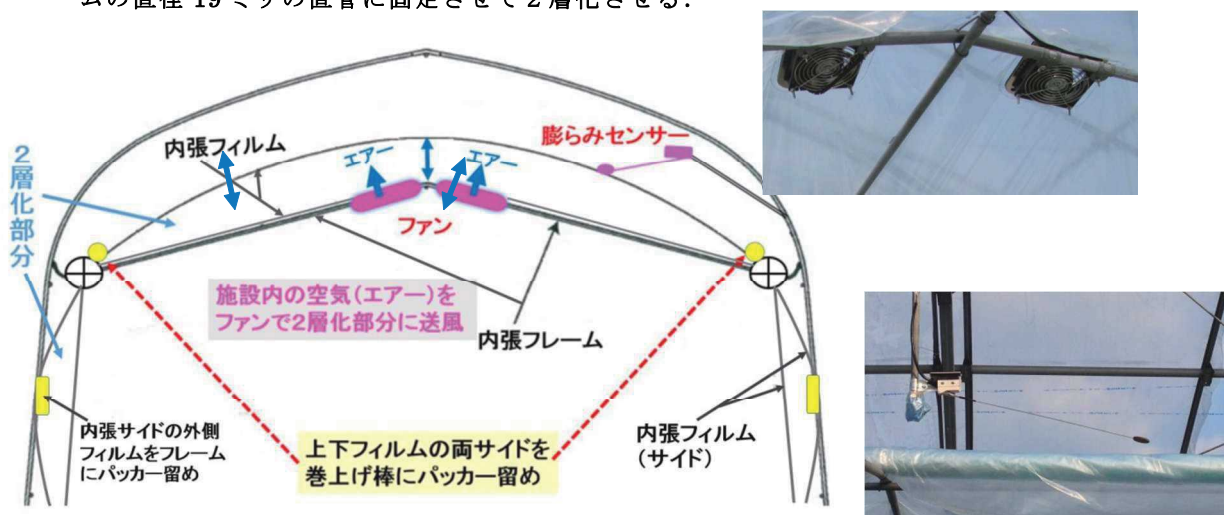
とファン稼働)によりファンの電源を制御することで上下の内張フィルムの間隔を最大で 30cm 程度(第 1 図の両矢印で示した部分)に維持する。ファン, 膨らみ調整機, ファンの電源用 AC アダプター等は東都興業(株)製の「TSエアユニット」を利用した。また, 朝の内張巻上げ作業をスムーズに行うために作業の 1~2 時間前には送風を停止して 2 層を萎ませておく必要から, 電源タイマーを取り付けた。内張フィルムは厚さ 0.05~0.075mm を使用し, 上下フィルムの両サイドは巻上げパイプにパッカー留め, 妻端部は補修テープまたはホッチキスによりエア漏れを防ぐ。さらに, 内張のサイド面については送風しないものの内側と外側に計 2 枚のフィルムを展開し, パッカーで外側のフィルムをハウス外張フレームの直径 19 ミリの直管に固定させて 2 層化させる。

2 エア送風内張 2 層と内張 2 層との暖房機燃料消費量の比較

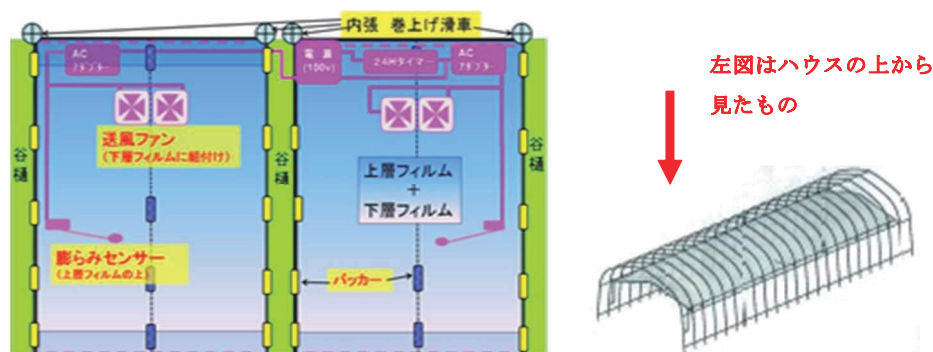
1) 試験条件

同規模・同形状の 2 ハウス(間口 6.0m, 奥行 24m, 軒高 2.5m, 棟高 3.8m, 2 連棟)を供試し, それぞれ, エア送風内張 2 層区, 内張 2 層区とした。

内張フィルムは, 両区とも上層が厚さ 0.05mm の PO フィルム(東罐興産社製「NHブルー」), 下層には厚さ 0.05mm の透水性有孔 PO フィルム(東罐興産社製「ウォーターパス」, 直径 2mm の小穴 10*10cm)を使用し, 内張の開閉は手動による巻上げ方式とした。



第 1 図 「エア送風内張 2 層化」の断面図(右上:ファン, 右下:膨らみセンサー)



第 2 図 「エア送風内張 2 層化」における部品等の位置関係

両区とも同一の灯油式温風暖房装置（ネボン社製 32,000kcal/h）で、ダクトや設定温度（12℃）を同一条件とし、冬春トマト、穂木は「麗容（サカタのタネ）」、台木は「がんばる根トリパー（愛三種苗）」を栽植密度 1,800 株/10a で栽培した。なお、冬春トマトの栽培条件は「熊本のやさい（耕種基準）」に準拠し、両区とも施肥や脇芽摘み、葉かぎや誘引作業等の栽培管理を同様に実施した。

2) 外気条件など暖房負荷の取扱いについて

本試験は同規模・同形状のハウスにて同一の暖房機による同一の設定温度およびダクト配置で実施したものの、両ハウスはお互いにやや離れた場所に立地しており、隣接するハウスの有無や風向等の違いなどにより外気温の条件がやや異なるため、同一条件（夜間暖房負荷）で比較する必要がある。

両ハウスの夜間暖房負荷に与える影響は外気温の違いのみであることから「空気膜 2 重フィルムによるハウス省エネ対策」田中ら(2006)による既報³⁾に従い、それぞれの夜間暖房負荷を試算し、その計算式の構成要素である暖房ディグリーアワー $^{\circ}\text{C}$ あたりの燃料消費量を比較することとした。

なお、夜間暖房負荷の算出は「暖冷房負荷の算定法(1)」林ら(1986)による既報⁵⁾に従った。すなわち、 Q_{nt} : 夜間暖房負荷 (kcal/day), A_g : 温室の被覆面積 (m^2), q_{hn} : 夜間の単位被覆面積当りの放熱負荷 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$), h_{hn} : 夜間放熱係数 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C}$), DH_{nt} : 夜間暖房ディグリーアワー ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}/\text{day}$) とすると、 $Q_{nt}=A_g \cdot h_{hn} \cdot DH_{nt}$ で表される。

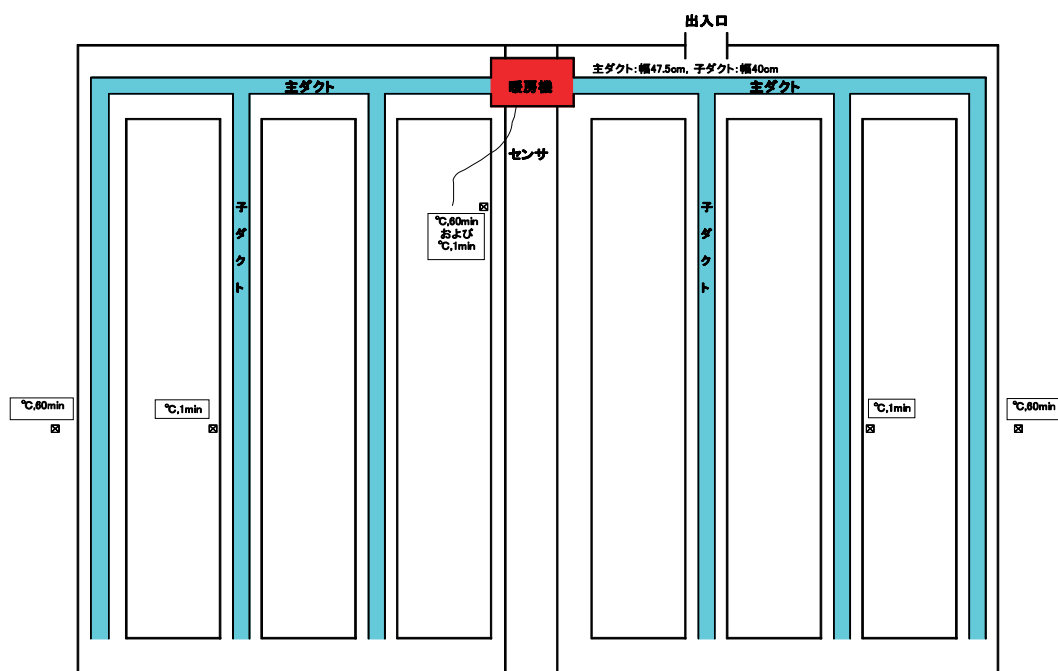
3) 調査・計測項目および状況

両区の夜間暖房ディグリーアワー: $DH (^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}/\text{day})$ を計算するため、T&D (テイアンドデイ) 社製「おんどとり TR-52, TR-52i」を用い 1 時間間隔で外気温とハウス内温度を計測（高さ 150cm），さらに夜間（17:00 から翌朝 9:00 まで）の暖房機運転状況を確認するため暖房機の温度センサー付近（高さ 150cm, 暖房機センサーから水平方向に 10cm）の温度を 1 時間間隔で計測した（第 3 図）。

燃料消費量は、オーバル社製「ケロメイト・RN LSN41L8-A」を用いて夕方から翌朝までの使用量を記録した。冬春トマトの収量調査については、生育が中庸で連続した 7 株を調査区として、それぞれ 3 反復設置し、12 月上旬から翌 3 月下旬の間、各調査区から収穫した果実の一果重を記録し、チャック果や裂果などの障害果を除外した積算重量を記録した。

4) 経費試算

内張 1 層を基準として、内張 2 層、エアー送風内張 2 層の導入経費と重油代削減額を試算した。経費試算にあたりエアー送風内張 2 層、内張 2 層とも間口 6m, 長さ 50m, 面積 12a の 4 連棟ハウスとし、内張フレームは直径 19 ミリのアーチ式を 2m 間隔で設置、フィルムは 0.05mm 厚の PO 製、パッカーは 1 m 間隔で留める前提とした。さらに、資材の償還期間はフレーム等が 7 年、ビニル等が 2 年、その他の資材は 5 年間と設定した。電気代はファン（消費電力 6.96W）8 台が 1 日あたり 12 時間、計 5 ヶ月稼働すると仮定し、1kwh あたりの電気料金は 27 円、重油



第 3 図 ハウス内外における温度計測箇所（両区共通）

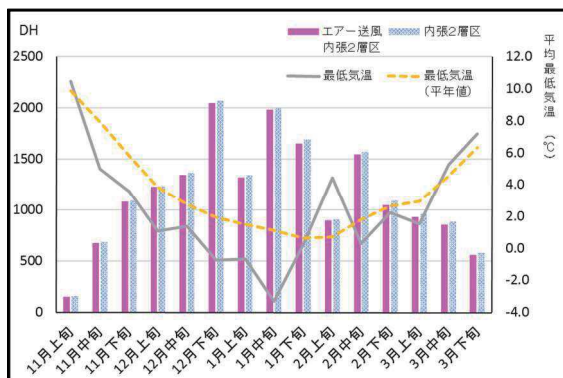
単価は 90 円/ℓとした。なお、内張 1 層の重油使用量は県内冬春トマトの平均重油使用量 5,200ℓとし⁶⁾、内張 1 層から内張 2 層への重油削減率は 25%として⁷⁾試算した。

Ⅲ 結果及び考察

1 エア送風内張 2 層と内張 2 層との暖房機燃料消費量の比較

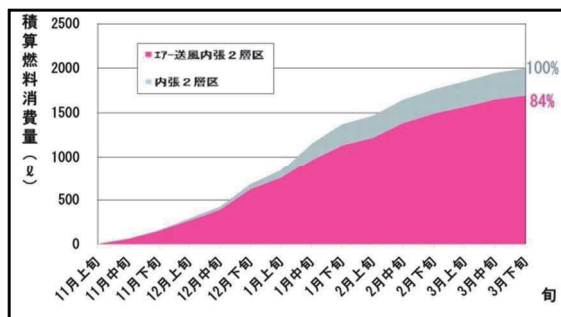
1) 暖房ディグリーアワーと積算燃料消費量

燃料消費量の調査を行った 2013 年 11 月 1 日から 2014 年 3 月 31 日までの旬ごとの平均最低気温(°C)と夜間暖房ディグリーアワー:DH (°C・h/day)の積算値の推移を第 2 図に示す。平均最低気温が-0.8°Cの 12 月下旬と-3.3°Cの 1 月中旬は夜間暖房ディグリーアワー:DH が 2,000°C程度と大きく、一方、2 月上旬に 11 月下旬と同等のレベルまで小さく暖かい旬となった。



第 4 図 屋外最低気温と夜間暖房ディグリーアワー:DH (°C・h/day) 積算値の推移

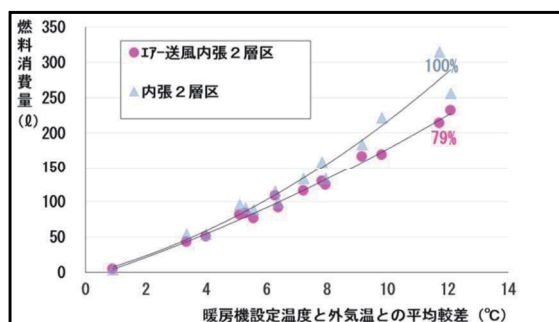
調査期間の旬ごとの積算燃料消費量は、暖かく夜間暖房負荷が小さい 11 月上旬から 12 月上旬までは大きな差は見られなかったが、夜間暖房ディグリーアワー:DH が大きくなった 12 月中旬以降から徐々に較差が広がり、3 月下旬の調査終了時にはエア送風内張 2 層区は内張 2 層区の約 84%に削減された(第 5 図)。



第 5 図 積算燃料消費量 (2013 年度)

2) 暖房機設定温度と外気温との平均較差と燃料消費量

旬ごとの暖房機設定温度(12°C)と外気温との平均較差(1時間おきの外気温が 12°Cを下回った際に積算)と燃料消費量は、平均較差が 4°Cまでの比較的暖かい時期(平均外気温が 8°Cまで)には燃料消費量に大きな差は見られなかった。しかし 12 月上旬以降、平均較差が大きくなるにつれてエア送風内張 2 層区の燃料消費量の削減効果が高くなり、平均較差が 12°C(平均外気温が 0°C)の場合で 79%まで削減され(第 6 図)、厳寒期ほどエア送風内張 2 層区の燃料消費量削減効果が高くなるものと思われた。

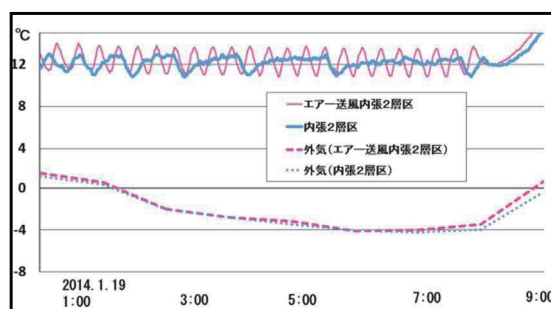


第 6 図 旬ごとの暖房機設定温度(12°C)と外気温との平均較差と燃料消費量(2013 年度)

3) 暖房機稼働状況によるハウス内断熱性比較

ハウス内の暖房機センサー位置における 1 分間隔の温度推移により暖房機の運転状況が示され、ハウス内温度が上昇している間は暖房機が燃焼を続け、下降している間は暖房機が燃焼を止め送風のみとなっていることが分かる。

最低気温が-4.1°Cで暖房機設定温度と外気温との平均較差が 11.9°Cと夜間暖房負荷が大きい日の温度推移を第 7 図に示す。これによると、エア送風内張 2 層区は暖房機の温度制御によりパーナーが点火と消火を繰り返す間欠燃焼となっている一方で、内張 2 層区は燃焼開始後、燃焼を停止する温度までなかなか達せず、連続燃焼の状態が長時間継続し、燃焼時間がエア送風内張 2 層区に比べて長くなった。

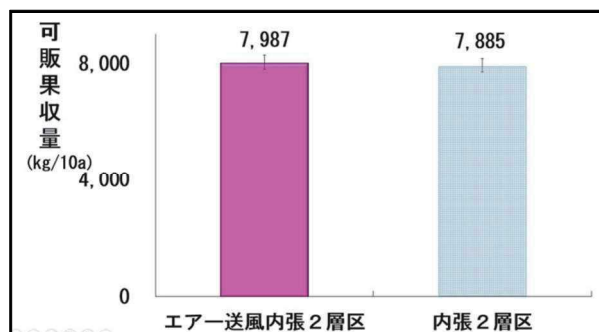


第 7 図 ハウス内温度と外気温の推移(設定温度 12°C)

前述のとおり夜間暖房負荷の計算式は $Q_{nt}=A_g \cdot h_{hn} \cdot DH_{nt}$ であるが、エア送風内張2層区と内張2層区はともに同規模・同形状で、ハウスの表面積が同じであり夜間暖房負荷計算のための外気温推移もほぼ同等であるため、エア送風内張2層区の暖房機が間欠燃焼となったのは夜間放熱係数： h_{hn} ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$) が内張2層区より低く、ハウス内の断熱性が高まっていることを示しているものと考えられた。

2 冬春トマトの生育・収量性

12月中旬から翌年3月中旬までのチャック果や裂果などの障害果を除外して積算した可販果収量は、エア送風内張2層区と内張2層区において、ほぼ同等であった(第8図)。



第8図 冬春トマトの可販果収量

(2013年12月中旬～2014年3月中旬)

3 10aあたり年間の経費試算

内張1層は重油使用量が5,200ℓ/年であるため⁶⁾、単価90円/ℓとして計算すると重油代は468,000円/年である。内張2層の費用は、重油消費量が内張1層より25%抑制されるため⁷⁾117,000円/年削減されるが、フレームとビニル類等の追加により設置経費

が92,185円/年掛かるため、内張1層からの経費削減額は24,815円/年となる。エア送風内張2層は調査結果から内張2層に比べ重油消費量が16%抑えられ(第5図)、試算により内張1層より重油使用量が37%抑えられ重油代として173,160円/年削減されるが、ビニル類およびファンキット・タイマー類、電気代等の設置経費が91,262円/年掛かるため、内張1層からの経費削減額は81,898円/年となる。なお、ハウスの奥行きが70m以上あるエア送風内張2層の場合、ファン2器など部材の追加が必要となることから導入経費が133,923円/年に上昇するため、内張1層からの削減額は39,237円/10a・年となる(第1表)。

4 総合考察

冬春トマトの収量性が同等である中で、エア送風内張2層区は内張2層区に比べ16%の燃料消費量削減となり(第5図)、厳寒期ほどその効果は高まった。これはエア送風された暖かい空気により断熱性が高まり、夜間放熱係数が小さくなったためであると考えられる。夜間放熱係数($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$)は貫流伝熱($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)と隙間換気伝熱($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)から構成され⁵⁾、空気層による貫流伝熱抑制に加え、送風による空気圧により、内張天井部が接触する谷へコや内張サイドとの密閉性が高まり、隙間換気伝熱も低下したものと推察されるが、詳しい分析などは今後の研究が望まれる。

最後に、エア送風内張2層化による保温対策は、内張2層より燃料消費量や費用面でのメリットが大きいので、フレーム追加による内張の2層化が困難な軒高の低いハウス等だけでなく、県内における多様な加温ハウスにおいて、取り組みが期待できる技術であると考えられる。

第1表 重油代削減額と省エネ技術の導入経費(試算、年間・10aあたり)

	重油代削減額 ①				導入経費 ②				経費削減額 ①-② (円)
	重油使用量 (ℓ)	油量 (%)	重油代 (円)	重油代削減額 (円)	フレーム・フィルム類 (円)	ファンキット・タイマー類 (円)	電気代 (円)	導入経費合計 (円)	
内張1層(基準)	5,200	100	468,000	—	—	—	—	—	—
内張2層	3,900	75	351,000	117,000	92,185	0	0	92,185	24,815
エア送風内張2層	3,276	63	294,840	173,160	46,008	42,548	2,706	91,262	81,898
エア送風内張2層 (奥行き70m超の場合)	3,276	63	294,840	173,160	46,008	82,503	5,412	133,923	39,237

注1) 間口6m、長さ50m、面積12aの4連棟ハウスでの試算。

注2) 重油単価は90円/ℓ、電気代は27円/kwhとして計算。

注3) 内張1層の重油使用量は「熊本県農業経営指標」を、また内張2層の重油削減率は「燃油・資材・飼料等価格高騰に係る技術対策マニュアル」を参考とし、エア送風内張2層における重油使用量は内張2層より16%削減されることから算出。

注4) 内張フレームはΦ22のアーチ式を2m間隔で施工、フィルムは0.05mm厚のP0製で、パッカーは1m間隔。

注5) 償還期間はフレーム等が7年、フィルム等が2年、その他の資材は5年間と設定。

注6) 内張2層での開閉労力増加分は試算に含めず。

IV 引用文献

- 1) 施設園芸省エネルギー生産管理マニュアル, pp2~3, 農林水産省生産局, 2008年
- 2) 四訂 施設園芸ハンドブック, p139, (社)日本施設園芸協会, 1998年
- 3) 田中誠司・石氷泰夫(2006): 空気膜2重フィルムによるハウス省エネ対策, 第69回(平成18年度)九州農業研究発表会 専門部会発表要旨集①(本文), p138
- 4) 勝山直樹・福田富幸・越川兼行(2010): 冬春キュウリ栽培における空気膜利用技術による省エネ効果, 岐阜県農業技術センター研究報告 第10号, PP16~22
- 5) 農業および園芸, 第61巻, 第11号, pp102~105, 養賢堂, 1986年
- 6) 熊本県農業経営指標, p55, 熊本県農政部, 2011年
- 7) 燃油・資材・飼料等価格高騰に係る技術対策マニュアル, 熊本県農政部

Summary

Reduction in fuel consumption by the air-blowing two-layered lining system for greenhouse : Inspection in a winter spring tomato cultivation house

Kazuma KURATA, Seiji TANAKA

Installation of multi-layered ceiling linings was effective to suppress heat dissipation and reduced heating fuel consumption for greenhouse. However, in Kumamoto prefecture, single lining was often used. This was because the height of greenhouses was low and installing frames for additional linings was difficult interrupted by reinforcement flat beams attached to the vaulted ceiling. Therefore, "the air blowing two-layered linings system" was made, without adding frames, instead by installing a sheet of film on top of the lining film and blowing air in-between to make the layers into two. The energy saving effect of the system was evaluated. As a result, the fuel consumption of the new system was 37% lower than those of the single layer ceiling system and 16% lower than the conventional two-layered ceiling system. The effect was greater in colder seasons in which heating load was larger. In addition, the cost reduction effect, which was calculated by subtracting the cost for equipment (e.g. fans etc.) installation from the reduced cost for heavy oil, was greater than the conventional two-layered system. Further, growing and the yield of the winter spring tomato grown by the air blowing two-layered linings system were like the occasion of the conventional two-layered ceiling system.