

コンピュータ熱流体解析を応用したハウス内の効率的な加温設計技術の開発

生産技術部
田中 徹

近年、日本経済も景気の悪化が深刻になってきており、施設園芸栽培の経営にも影響を与えている。高品質な農作物を栽培する施設園芸ではハウス内を重油や灯油を用いて加温しており、栽培のために消費するエネルギーなどの生産コストの削減に取り組む必要がある。本研究では、従来からの施設園芸栽培の技術に加えて工業分野で注目されている熱流体解析技術を活用し、ハウス内の加温システムの体系的な構築を目的としている。本年度は、先の研究^{1),2)}にて得られたハウスに使用されている被覆資材の伝熱特性や、ハウス内へ放出される温風の状態を近似化し解析条件に適用することにより、近年ハウスの被覆に採用されている二重被覆の構造がハウス内の温度分布に与える影響を検討した。

1. はじめに

財団法人日本エネルギー経済研究所の調査によると、平成21年1月のA重油の価格は1リットルあたり、約60円と平成19年1月の価格を下回っている。しかし、リーマンショックをきっかけとした世界的な経済危機の影響で、日本経済も景気の悪化が深刻になっており、施設園芸の分野でも経営面で作物単価の低迷など大きく影響を受けている。このような状況の中、生産コストを削減することが急務であり、なかでもハウス内の加温に使用されるエネルギーコストを削減するために、省エネルギーへの取組みが盛んに行われている。

本研究は、近年ハウス内の加温に活用されている技術に、熱流体解析技術（CFD：Computational Fluid Dynamics）を導入して、効率的なハウス内加温システムを構築することを目的とした。平成18年度は施設園芸用資材に関する伝熱特性を検討し¹⁾、平成19年度は加温機から送風ダクトを通してハウス内へ放出される温風の状態を近似化し、解析条件に適用する方法を検討した²⁾。

本報告では、これまでの研究で得られた結果を用いることにより、近年施設園芸で採用されているハウスの被覆構造に関して、ハウス内の温度分布に与える影響を検討した結果を報告する。

2. 解析モデルの検討

2.1 保温性を高める被覆構造

近年、ハウス内を有効に加温するために、ハウスの被覆方法に関して保温効果が高い被覆技術の開発が行われ、様々な二重被覆構造が使用されている。今回はその中でも、外張り空気膜ハウスの構造と内

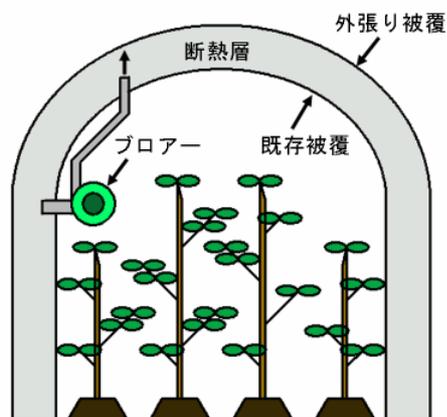


図1 外張り空気膜ハウスの構造

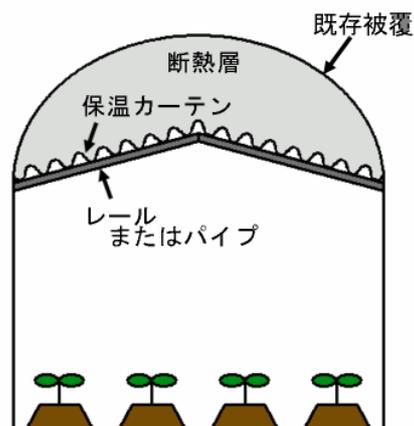


図2 内張り保温カーテンの構造

張り保温カーテンの構造について検討する。

図1および図2に、外張り空気膜ハウスの構造と

内張り保温カーテンの構造をそれぞれ示している。

外張り空気膜ハウスは、図1に示すように既存のハウスの外側にさらに被覆資材を張り、ハウスの外表面との間にブローア（送風機）で24時間空気を送りこむことで断熱層を作る構造である。

内張り保温カーテンは、図2に示すように既存のハウスの内側にレールやパイプなどの部材を設置し、カーテン状の被覆資材を設けることで、ハウスの内部に断熱層を作るとともに、加温する空間の体積を小さくして省エネ効果を得る構造である。

2.2 解析モデル

ハウス内の温度分布を解析するために作成した3次元解析モデルを図3および図4に示す。

ここで、図3は図1に示した外張り空気膜ハウスの構造をモデル化したものであり、一方図4は図2に示した内張り保温カーテンの構造をモデル化したものである。

図3に示す外張り空気膜ハウス構造のモデルはハ

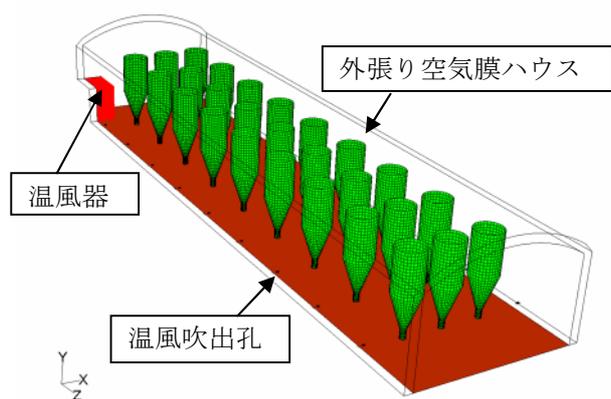


図3 外張り空気膜ハウス構造の解析モデル
(果樹試験場のハウス)

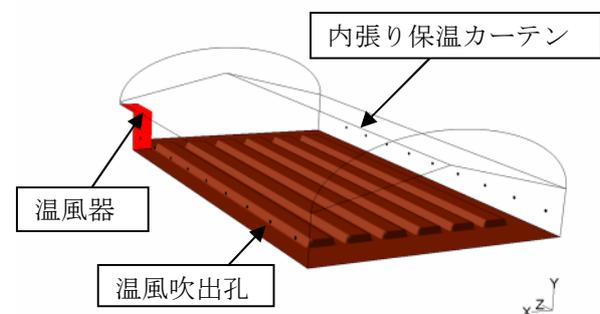


図4 内張り保温カーテン構造の解析モデル
(農業試験研究センターのハウス)

ウス内の空間が変わらないことから、みかんや梨など、栽培する作物が比較的大きい果樹を栽培するハウスに設置されると考えて、果樹試験場に設置されているハウスを適用対象とした。

また、図4に示す内張り保温カーテン構造のモデルはハウス内の空間が小さくなることから、きゅうりやトマトなど、栽培される作物が比較的小さい野菜を栽培するハウスに設置されると考えて、農業試験研究センターに設置されているハウスを適用対象とした。

図5および表1に、果樹試験場および農業試験研究センターに設置されている栽培実験用のハウスの形状と寸法をそれぞれ示す。

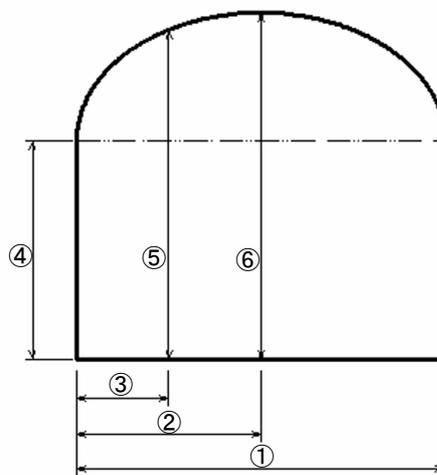


図5 ハウスの寸法図

表1 解析モデルの寸法

	単位[m]						
	①	②	③	④	⑤	⑥	長さ
果試	5.60	2.80	1.30	2.98	3.55	3.82	25.0
農試	8.50	4.25	2.20	1.50	3.04	3.50	15.0

3. 解析方法

3.1 ハードウェア

ハードウェアとしては、HP製 Work-Station xw8400 (財団法人 JKA 平成18年度補助物件)を使用した。

3.2 ソフトウェア

解析を行うためのソフトウェアとしては、汎用熱流体解析システム FLUENT (財団法人 JKA 平成18年度補助物件)を用いた。また、プリプロセッサとしては GAMBIT2.3.16、解析ソルバーとポストプロセッサとしては FLUENT6.2.16を使用した。

3.3 解析条件

(1) 流入条件

表2 モデルに設定した温風の流速・温度

果試	吹出孔位置[m]	2.0	4.5	7.0	9.5	12.0	14.5	17.0	19.5	22.0
	吹出流速[m/s]	33.7	33.3	33.1	33.0	33.0	32.9	32.9	32.9	32.8
	吹出温度[K]	330.0	329.4	329.2	329.1	328.9	328.3	327.1	325.1	321.9
農試	吹出孔位置[m]	2.0	3.5	5.0	6.5	8.0	9.5	11.0	12.5	14.0
	吹出流速[m/s]	33.7	33.4	33.3	33.2	33.1	33.0	33.0	32.9	32.9
	吹出温度[K]	330.0	329.6	329.4	329.3	329.2	329.1	329.0	328.8	328.5

温風のハウス内への流入速度および流入温度は、平成19年度の研究²⁾にて算出した近似式を用いて算出した値を各吹出孔部に設定した。

ここで、それぞれのハウスの解析モデルは、両側に温風流入のための吹出孔を9ヶ所とし、それぞれのモデルに設定する各吹出口での流速と温度を表2に示す。

(2) 流出条件

流出条件としては、温風器の下部からハウス内の空気が流出するものとし、大気開放条件のゲージ圧力0 [Pa]を温風器下部に設定した。

(3) 材料物性値

解析モデルで用いる材料として、流体には空気、ハウスの被覆資材にはポリエチレン（厚さ0.2mm）を設定した。表3に使用した材料物性値を示す。

表3 材料物性値

物性値名	空気	ポリエチレン
密度 [kg/m ³]	1.225	1.3
熱伝導率 [W/m・K]	0.0242	0.33
比熱 [J/kg・K]	1006.43	2300
粘性係数 [kg/m・s]	1.79E-5	-

(4) 熱伝達率

ハウス内の温度分布解析は、解析領域の外表面からの放熱条件である平均熱伝達率を設定して定常解析を行う。しかし、平均熱伝達率は材料固有の物性値ではなく、状態によって変化する物理量であるため、一般的にその値を特定することは困難である。

そこで、次の2つの領域に分けて平均熱伝達率を設定した。

ハウスの外表面に適用する熱伝達率は、次の式(1)から平均熱伝達率 hm を算出した³⁾。

$$hm = \frac{1}{L} \int_0^L h(x) dx \quad \dots (1)$$

ここで、 $h(x)$ は局所熱伝達率の関数でLはその代表長さである。

式(1)から平成19年度に求めた $h(x)$ とLを用いて、平均熱伝達率 hm を算出すると $hm=5.45[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ が求まり、この値を解析領域の下面（土壌）以外の外表面に設定した。また、ハウスから放熱するときのハウス周辺の外気は無風状態とし温度を273[K]とした。

一方、解析領域の下面（土壌）の平均熱伝達率 hg は、長崎県の省エネルギー対策資料⁴⁾にて報告されている値を参考に、 $hg=6[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ （ハウス内外の温度差20°C、保温被覆有、暖地）に設定し、地中温度は一様に293[K]とした。

4. 結果および考察

解析結果を考察するにあたって、平成19年度の研究²⁾において、今回と同様な解析条件を適用して二重被覆構造でない解析モデルで解析した結果を図6および図7にそれぞれ示す。

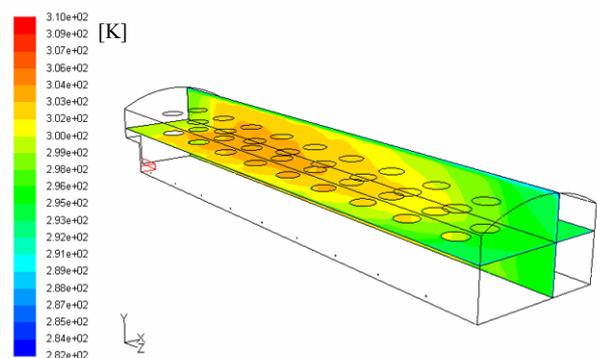


図6 二重被覆でないハウスの温度分布
(果樹試験場のハウス)

図6は果樹試験場のハウスの解析結果であり、モデル下面（土壌）より2.0[m]の高さの平面とハウス中心から0.8[m]離れた断面での温度分布を示している。

また、図7は農業試験研究センターのハウスの解析結果であり、モデル下面（土壌）より0.4[m]の高さの平面とハウス中心の断面での温度分布を示している。

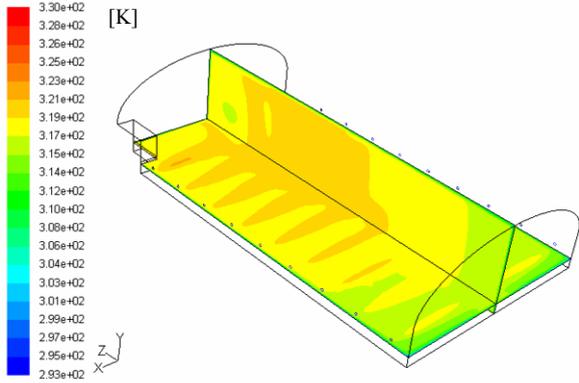


図7 二重被覆でないハウスの温度分布
(農業試験研究センターのハウス)

図6および図7の結果から、それぞれのハウスにはその容積の違いによって温度分布の値に差が生じているが、いずれの結果においてもハウス内の温度分布は、ハウスの奥（温風器から離れる方向）に向かうに従って温度が不均一になっている。

次に、果樹試験場のハウスに適用した外張り空気膜ハウスの構造の解析モデルと、農業試験研究センターのハウスに適用した内張り保温カーテンの構造の解析モデルで解析した結果を図8および図9にそれぞれ示す。ここで、図8、図9の温度コンターのバンド幅は図6および図7のそれぞれに示したものと同一バンド幅としており、分布する断面も同じ位置としている。

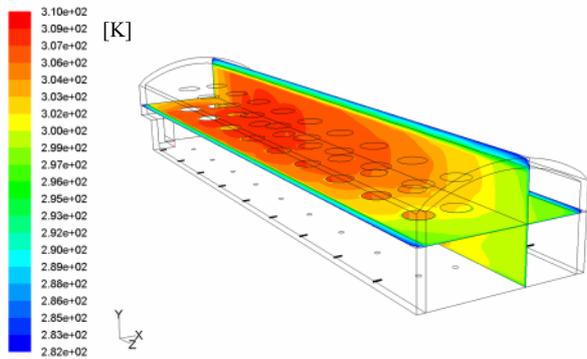


図8 外張り空気膜ハウス構造のハウスの温度分布
(果樹試験場のハウス)

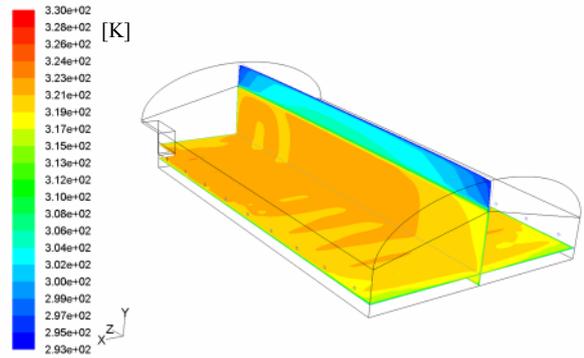


図9 内張り保温カーテン構造のハウスの温度分布
(農業試験研究センターのハウス)

図8、図9の結果では、二重被覆構造でないハウスの温度よりも高い温度分布が表れており、このことは二重被覆で形成された断熱層によって、外部への熱伝達による熱移動が抑制されているためと考えられる。

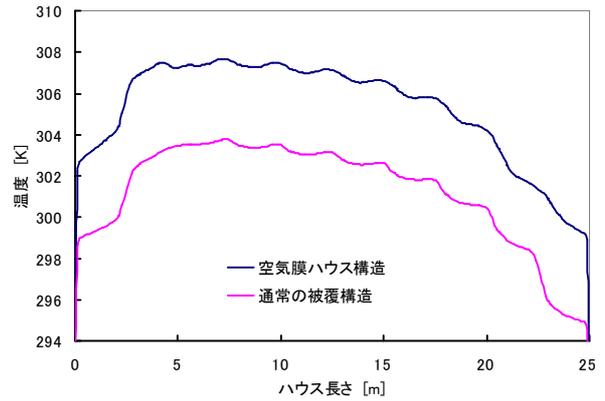


図10 ハウス長さ方向温度分布
(果樹試験場のハウス)

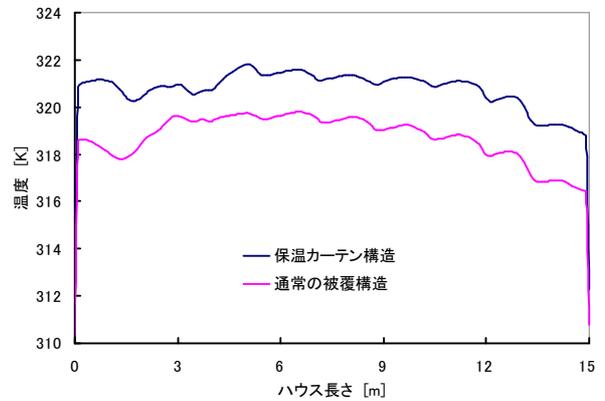


図11 ハウス長さ方向温度分布
(農業試験研究センターのハウス)

ここで、果樹試験場のハウスについて、図6および図8の結果での、2つの温度分布平面の交線上におけるハウス長さ方向の温度分布を図10に示す。また、農業試験研究センターのハウスについて、図7および図9の結果での、2つの温度分布平面の交線上におけるハウス長さ方向の温度分布を図11に示す。

これらの結果から、二重被覆構造とすることでいずれのハウス内でも分布する温度が上昇していることから、二重被覆構造とすることはハウス内の保温に効果的であることが確認できる。さらに、図10と図11の結果を比較すると、外張り空気膜ハウスの構造の方が内張り保温カーテンの構造に比べハウス内の温度上昇が大きいことから、外張り空気膜ハウスの構造とすることにより優れた保温効果が期待できると考えられる。

しかし、外張り空気膜ハウスの構造は被覆資材の汚れや細かい傷によって、採光性が悪くなることが指摘されており、栽培する作物の発育への影響が懸念される。一方、内張り保温カーテンの構造は、レールまたはパイプを使用したカーテン状であるため被覆資材の開閉が可能であり、ハウス内を加熱する夜間のみカーテンを閉めて保温効果を利用することができる⁵⁾。

5. おわりに

ハウスに使用される2つの二重被覆構造の解析モデルについて、熱流体解析システムを用いてハウス内の温度分布の解析を行った結果、二重被覆構造がハウス内の加熱効果に与える影響について、以下に示すことが分かった。

(1) ハウスの被覆を二重被覆構造とすることで断熱

層が形成され、外部への熱移動が抑制されることによって、ハウス内の保温性に効果がある。

(2) 外張り空気膜ハウスの構造の方が内張り保温カーテンの構造に比べ、ハウス内の温度上昇が大きいことから、外張り空気膜ハウスの構造とすることで優れた保温効果が期待できる。

平成19年度に実施の研究により、ハウス内の温度分布は温風器からの送風ダクトに設ける温風吹出孔の位置がハウス内温度分布の均一性に影響を及ぼすことがわかった。加えて、本年度に実施した研究により、二重被覆構造とすることはハウス内の保温効果の改善が可能であることが明らかになった。したがって、これらの研究成果を組合せることで総合的なハウス加温システムを構築することが可能と考えられる。

なお、本研究は佐賀県の戦略的試験研究推進制度により、佐賀県果樹試験場、佐賀県農業試験研究センター、佐賀県工業技術センターの3機関の共同研究として実施した。

参考文献

- 1) 田中徹, 平成18年度佐賀県工業技術センター研究報告書No15, pp.39-42 (2006)
- 2) 田中徹, 平成19年度佐賀県工業技術センター研究報告書No16, pp.55-60 (2007)
- 3) 平田哲夫, 田中誠, 石川正昭, 羽田喜昭, 例題で分かる伝熱工学, 森北出版 (2005)
- 4) 長崎県農業経営課 施設園芸の省エネルギー対策Ⅲ施設園芸での暖房用燃料の節減対策 pp.18-37
- 5) 農林水産省生産局 施設園芸省エネルギー生産管理マニュアル pp.13-20 (2008)