技術報告

平織で強化した軟質 プラスチック複合 シートの伝熱特性

会 員 堀 川 明*

坂 部 雅 也**

1. 緒 言

近年、物性の異なる複数の材料を組合わせて、性能の向上をはかった複合材料 (Composite Materials) は急速な発展を遂げ、構造物分野では欠くことのできない工業材料として広く用いられている。

従来複合材料については、機械的性質などの力学特性に関する研究^{1)~5)}は広範囲に行われているが、熱膨脹^{6)~8)}熱応力⁹⁾、熱伝導^{10)~12)}など、熱的挙動に関する研究は少ない。

複合材料の熱的挙動は、それを構成する異種の物性、熱的性質、さらには異方性特性などが複雑に関係しているため、その熱力学的考察が難しいためと考えられる。

とくに、高分子系複合材料の熱伝導については、エポキシマトリックス中に金属ファイバを充填した複合材料の熱伝導率の測定¹²⁾が見られる程度である。

The Behaviours of Heat Transfer of Flexible Plastic Sheets Reinforced with Plain Woven Fabrics.

Akira Horikawa, Masaya Sakabe,

*Department of Mechanical Engineering, Osaka University, Suita, Osaka.

**Market Development Laboratory, Mitsubishi Petrochemical Co., Ltd., Ibaraki Pref.

The behaviours of heat transfer – heat conductivity and overall coefficient of heat transmission of flexible plastic sheets reinforced with plain woven fabrics have been investigated experimentally.

The results obtained are as follows:

1) No effects of bulk density of fabrics are found on heat conductivity of flexible plastic sheets.

2) The Horikawa's model is useful for calculating the heat conductivity of flexible plastic sheets.

3) The over – all coefficient of heat transmission of flexible plastic sheets depends largely on its heat transfer coefficient, but few on its heat conductivity.

4) The over – all coefficient of heat transmission of sandwich consisting of flexible sheets and insulating materials, depends largely on the heat conductivity of insulating material, but few on the heat transfer coefficient of flexible plastic sheets.

以上のような現状から、本研究では、食品および輸送用などに保冷コンテナとして用いられている平織布を基布とする軟質プラスチック複合シートの伝熱特性について、熱伝導率、熱伝達率および熱貫流率を測定し、実験的に研究したものである。とくに複合シートの熱伝導率

表1 供試試料

試料No.	コーティング材 (マトリックス)	基 布			シート厚さ (mm)
		材 質	織 密 度* ³	トータル デニール**	
1	EVA* ¹	ナイロン66	16	840	0.90
2	EVA	ナイロン66	16	1260	1.08
3	EVA	ポリエステル	16	1000	1.11
4	PVC* ²	ナイロン66	16	840	0.90
5	PVC	ナイロン66	16	1260	1.15
6	PVC	ポリエステル	16	1000	1.08

注) *¹ エチレン酢酸ビニル共重合樹脂

*² 軟質塩化ビニル樹脂

*³ 1 in 当りの繊維本数

*⁴ 9 000 m 当りの重量(g)を表わす

*A. Horikawa, Member. 大阪大学 工学部 教授(工博)

**M. Sakabe, 三菱油化 応用研究所

については、堀川モデル¹³⁾による計算結果と実験結果とを比較評価し、同モデルの複合シートへの適応を確認するとともに、軟質プラスチック複合シートの保冷コンテナとしての応用例についても検討した。

2. 複合シートの熱伝導率

2.1 シート状物体の熱伝導率測定装置および測定方法

A. 供試試料

本実験に用いた複合シートは、基本となる平織の布(基布)に両側からプラスチックのコーティングをほどこしたものである(図1)。

図1 複合シート構造

また、実験供試試料は表1に示すように、2種類のマトリックスと2種類の基布(トータル デニールは異なる)の組合せである。

試料寸法は直径100mm、厚さ0.90~1.15mm。

B. 熱伝導率測定装置

本実験に使用した熱伝導率測定装置は図2に示すとおりである。

図2 熱伝導率測定装置概略図

a. 熱板

円形雲母板のまわりにニクロムリボンをできるだけ密にまいたもので、さらにこの上に雲母をかぶせ外部と絶

縁して、銅の円板①、①'の間にはさんである。

b. 冷却板

⑦、⑦'、⑧の部分で、水は矢印の方向に流れる。

c. ふく射防止環

熱板の周辺部よりのふく射によって生じる損失を防ぐため、アルミニウム фольドをはったプラスチック環④、⑤を作り熱板を囲う。

d. 熱板、冷却板表面温度測定用熱電対

銅、コンスタンタン熱電対である。

C. 熱伝導率の測定方法

(1) 熱電対の検定

熱電対を、その低温接点を0℃に保ったときの高温度接点の温度と熱起電力との関係を求め、最小自乗法によって回帰直線を求めるつぎようになる。

$$\theta = 23.72x + 1.63 \quad \dots\dots\dots(1)$$

θ ; 温度 ℃

x ; 起電力 mV

(2) 熱伝導率を求める計算式

熱伝導率は試料に与える熱量および高温側と低温側の温度差から求める。この際、測定装置の機構上熱源の両面に試料を置いて測定するが、熱源の熱線の不均一等から上面と下面の通過熱量が異なる。

上面の試料を実際に通過した熱量を、熱源の熱量の k_1 倍、下面のそれを k_2 倍とすることによって通過熱量を修正する。熱伝導率は次式で与えられる。

$$\lambda = 0.8598 \cdot \frac{k_i W}{\theta_1 - \theta_2} \cdot \frac{d}{F} \quad \dots\dots\dots(2)$$

λ ; 熱伝導率 kcal/mh℃

W ; 電力 W(ワット)

F ; 断面積 m²

d ; 厚さ mm

(ただし、1 W=0.8598kcal/h
 i ; $i=1$ が上面、 $i=2$ が下面を示す。)

計算の便利のために実用的な単位に(2)式を変え、かつ(1)式を代入して、起電力を求めることによって、すぐに熱伝導率が計算できるようにしたのが次式である。ただし、 k_i は後で実験から求めるものとする。

$$\lambda = 4.617 \cdot k_i \cdot \frac{Wd}{x_1 - x_2} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(3)$$

λ ; 熱伝導率 kcal/mh℃

W ; 電力 W(ワット)

x_1, x_2 ; 起電力 mV

d ; 試料厚さ mm

(3) 熱伝導率測定時の上下面通過熱量の修正

熱伝導率は、添字1を上面、2を下面とすると、次の

ように表わせる。

$$\lambda_1 = A_1 k_1 W \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\lambda_2 = A_2 k_2 W \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{ただし } A_i = 4.617 \cdot \frac{d_i}{(x_1 - x_2)_i} \times 10^{-3} \quad (i = 1, 2)$$

実際には同じ試料を上下面に入れ換えて測定するので $\lambda_1 = \lambda_2$ とおける。ゆえに、

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{(x_1 - x_2)_1}{(x_1 - x_2)_2} \cdot \frac{d_2}{d_1} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

また

$$k_1 + k_2 = 1 \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

すなわち実験から k_1/k_2 を求め、(4.4) 式と連立させれば、 k_1, k_2 を決定できる。実際の計算においては精度をよくするために

$$k_1 = \frac{(x_1 - x_2)_1 d_2}{(x_1 - x_2)_2 d_1} \cdot k_2 \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

を(4.4) 式に代入して

$$k_2 = \frac{(x_1 - x_2)_2 d_1}{(x_1 - x_2)_2 d_1 + (x_1 - x_2)_1 d_2} \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

同一試料を用いるので、 $d_1 = d_2$ であるからつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= \frac{(x_1 - x_2)_2}{(x_1 - x_2)_2 + (x_1 - x_2)_1} \\ k_1 &= 1 - k_2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.7)$$

実験より $(x_1 - x_2)_1 = \Delta x_1$, $(x_1 - x_2)_2 = \Delta x_2$ を求めれば、 k_1, k_2 が求められる。

(4) 測定にあたって注意すべき事項

熱板および冷却板と試料の接触面では、伝熱抵抗は非常に大きなものになる。これは試料表面が平面ではなく、かなりの凹凸があり、熱板、冷却板と密着しないで空隙ができることもそれを増加させる一因である。

このように、伝熱抵抗が大きくなることは、実験誤差の原因になるので、この実験では、液体シリコンに銅粉をまぜたものをこの接触面にぬり、伝熱抵抗をできるだけ小さくするようにつとめた。

2.2 複合シートの熱伝導率

A. 複合シートの熱伝導率の測定結果

熱伝導率測定装置を用いて、マトリックスを EVA および PVC、基布をナイロン66およびポリエステルとする複合シートの熱伝導率を測定した結果を表2に示す。

表2 複合シートの熱伝導率測定値

試料 No.	熱伝導率測定値 (kcal/mh°C)
1	0.290
2	0.290
3	0.290
4	0.210
5	0.210
6	0.190

表にみられるように、複合シートの熱伝導率は、基布の影響はほとんどなく、マトリックス材 (EVA, PVC) の差異によるものであると考えられる。また、基布のデニールがかわっても、すなわち繊維の含有量がかわっても、ほとんど影響を与えていないことがわかる。

したがって、複合シートの熱伝導率を考えると、繊維の種類および含有量に対する影響は無視してよく、マトリックスの物性に大きく影響されると考えてよい。

B. 堀川モデル¹³⁾ による複合シートの熱伝導率の計算

複合シートの熱伝導はマトリックスおよび基布がそれぞれ分担して行われる。いま、2枚の平板間に複合シートが置かれている場合、熱は基布を構成する繊維内を移動するが、繊維は平板間を直接つなぐのではなく、途中何回か接触しながら他の繊維へ熱を伝える。したがって、繊維自体の伝熱抵抗 (r_f) と接触抵抗 (r_b) とがシリーズにつながって、一つの抵抗を形成している。また、平板からの熱は、マトリックスのみを伝って移動することもある。このときにはマトリックスと平板との接触抵抗を考えないことにすると、マトリックスの伝熱抵抗 (r_m) がシリーズに2枚の平板間につながる。また、マトリックスとマトリックスの間に繊維 (基布) が、平板と直接つながらないでできていることがある。このときの伝熱抵抗は $r_m + r_b + r_f$ の形で平板間に入る。

したがって、複合シートの伝熱抵抗としては、以上の3形式の抵抗が、平板間にパラレルに入っていると考えることができる。これをモデル化して示したのが図3である。図から複合シートの熱伝導率は次式で与えられる。

図3 複合シートの伝熱抵抗

$$\lambda_c = (1-d)k_m + \frac{1}{\frac{1}{dk_f} + \frac{1}{dk_b}} + \frac{1}{\frac{1}{dk_f} + \frac{1}{dk_b} + \frac{1}{(1-d)k_m}} \dots\dots\dots(5)$$

- d ; 繊維の体積分率
- λ_c ; 複合シートの熱伝導率 (kcal/mh℃)
- k_m ; マトリックスの熱伝導率 (kcal/mh℃)
- k_f ; 繊維の熱伝導率 (kcal/mh℃)
- k_b ; 繊維の接触部の熱伝導率 (kcal/mh℃)

(5)式を用いて、複合シートの熱伝導率を理論的に計算する。マトリックスおよび基布を構成する繊維の熱伝導率は表3に示すとおりである。マトリックスは実験により求めた値であり、この値を理論計算に用いた。また、繊維の熱伝導率は実験から求められないので、文献値^{14)~17)}をそのまま用いた。

表3 複合シートの熱伝導率計算値

試料 No.	熱伝導率計算値 (kcal/mh℃)
1	0.292
3	0.288
4	0.200
6	0.196

〈前 提〉
マトリックスの熱伝導率 (測定値)
EVA 0.300 kcal/mh℃
PVC 0.200 “
繊維の熱伝導率〔文献値〕^{14)~17)}
ナイロン66 0.210 kcal/mh℃
ポリエステル 0.140 “

接触部の熱伝導率は単純に(6)式で与えることにした。

$$k_b = \frac{1}{2} (k_m + k_f) \dots\dots\dots(6)$$

以上の仮定のもとに計算した結果を表3に示す。また、図4に繊維の体積分率と複合シートの熱伝導率の関係を示す。図から明らかなように、これはマトリックスと繊維の間の熱伝導率の差が小さいためと考えられる。また、モデルを用いた熱伝導率の理論計算と測定値とは

かなりよく一致している。

図4 熱伝導率と体積分率の関係

3. 複合シートの熱貫流率

3.1 複合シートの熱貫流率の測定装置および測定方法¹⁸⁾

A. 供試試料
本実験に用いた複合シートは、2.1.Aと同様、平織布に両側からプラスチックのコーティングをほどこしたものである(図1)。また、実験供試試料は表4に示すように、単板シートおよびサンドイッチ複合体である。試料寸法は400mm×400mm。

B. 熱貫流率測定装置
本実験に使用した熱貫流率測定装置は図5および図6に示すとおりである。

図5 熱貫流率測定装置概略図

表4 供試試料

試料No.	表面材*1		芯材				構造
	マトリックス	厚さ(mm)	材質	密度(g/cm³)	熱伝導率(kcal/mh℃)	厚さ(mm)	
A	EVA	0.85	—	—	—	—	単板シート
B	PVC	0.84	—	—	—	—	単板シート
C	EVA	0.85	ウレタンフォーム	0.03	0.018	50	サンドイッチ構造
D	EVA	0.85	発泡スチロール	0.03	0.030	45	サンドイッチ構造

注) *1 基布材質 ナイロン66 (840D)

図6 熱貫流率測定装置 (冷却装置概略図)

(1) 加熱装置

加熱装置は熱源とこれを取りまくダクトおよび送風機で構成される。

(a) ダクト壁は内部温度の安定を保持するため、熱損失を少なくする構造とした(熱伝達率 $0.4 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 以下)。

(b) 加熱装置の供試体に接触する面はパッキング材を用い気密にした。

(c) 加熱装置内に配線する熱源にはシース線を用い、供試体へのふく射の影響をできるだけ少なくした。

(2) 冷却装置

冷却装置は冷却箱とこれを取りまく保冷箱で構成される。

(a) 冷却箱と保冷箱の周壁は熱損失を少なくする構造とした(熱伝達率 $0.4 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 以下)。

(b) 保冷箱は冷水供給が可能な構造とし、冷却箱と見合った寸法をもたせた。

(c) 冷却装置のダクトおよび供試体との接触面にはパッキング材を用いた。

(3) 温度測定機器

銅・コンスタンタン熱電対を用い、記録計としては6点式自動温度記録計(横河電機製)を用いた。

C. 熱貫流率の測定方法

(1) 供試体の取付方法

供試体を加熱装置と冷却装置の間に固定する。この際、実際の場合の貫流熱量が測定できるよう、供試体と加熱装置の接触面はすき間の生じないようにする。

(2) 温度測定位置

温度はダクト内空気、供試体加熱側表面、供試体冷却側表面および冷却側空気について測定する。ダクトおよび冷却側空気温度は図7に示す点の平均値とする。供試体表面温度は空気温度に相対する5点とする。保冷箱においては図に示す9点(○印)の温度を測定する。

(3) 風速測定位置

風速はピトー管を用い、ダクト内表面および中央部分について測定する。

図7 温度測定装置

(4) 温度および風速

加熱側(ダクト内)空気温度は $30^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ 、空気速度は $1 \sim 6 \text{ m/s}$ の範囲とする。

(5) 流量測定

冷却箱からの流出水量はU字トラップに水量目盛を記入し、水量を直読する。

(6) 熱貫流率を求める計算式

熱貫流率は次式により求める。

$$K = \frac{1}{R} = \frac{Q}{A(\theta_1 - \theta_2)} = \frac{Q_1}{A \cdot \gamma_a (\theta_1 - \theta_2)} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Q ; 供試体通過熱量

Q_1 ; 流出水量

γ_a ; 氷の比熱

K ; 熱貫流率

R ; 熱貫流抵抗

θ_1 ; 加熱側の空気温度

θ_2 ; 冷却側の空気温度

A ; 供試体の表面積

3.2 複合シートの熱貫流率

A. 単板シートの熱貫流率

図8はマトリックスをEVAとする単板シートについて、加熱側の空気の温度および速度を変化させた場合の熱貫流率を測定した代表例を示す。図にみられるように、空気の温度が低いほど、また空気の速度が大きいほど、熱貫流率の測定値は大きい。

図8 EVA 単板シートの熱貫流率

いっぽう、単板シートの両側に温度の異なる流体が
あって、熱がその一方の側の高温流体から単板シートを通
って他方の側の低温流体に伝わる定常状態を考えると、
単板シートの熱貫流率 K は次式で与えられる¹⁹⁾。

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \dots\dots\dots(8)$$

α_1 ; 高温側の熱伝達率

α_2 ; 低温側の熱伝達率

δ ; 単板シートの厚さ

λ ; 単板シートの熱伝導率

EVA 単板シートの熱伝達率 α_1, α_2 は実測値を用い、
また熱伝導率 λ は 2.2.A 表 2 の実測値を用いるものと
すると、単板シートの熱貫流率 K は(8)式から求められ
る。

表 5 (a) は代表的な条件のもとにおける EVA 単板シ
ートの熱貫流率の測定値と(8)式による計算値とを対比し
て示したものである。表にみられるように、単板シート
の熱貫流率は熱伝達率 α に大きく影響され、シート自身
の熱伝導による影響はほとんど認められない。また、熱
貫流率の測定値は計算値よりも小さい値を示している。
この理由として、加熱側の熱伝達率 α_1 の算出に必要な
単板シートの加熱側の温度の測定値が真の温度よりやや
高目に出ているためと推定される。

表 5 (a) 熱貫流率の計算値と測定値の比較
(E V A 単板シート : 試料 No. A)

加 熱 側 空 気		計 算 値 (kcal / m ² h ^o C)				測 定 値 (kcal / m ² h ^o C)
温度 ($^{\circ}$ C)	速度 (m / s)	α_1	α_2	λ / δ	K	
30	1.0	19.40	5.18	3.40×10^2	4.08	2.78
50	1.0	7.96	4.71	3.40×10^2	2.96	2.07
70	1.0	7.52	4.23	3.40×10^2	2.71	1.99
50	3.0	9.34	4.20	3.40×10^2	2.90	2.43
50	6.0	12.30	5.50	3.40×10^2	3.80	2.96

表 5 (b) 熱貫流率の計算値と測定値の比較
(P V C 単板シート : 試料 No. B)

加 熱 側 空 気		計 算 値 (kcal / m ² h ^o C)				測 定 値 (kcal / m ² h ^o C)
温度 ($^{\circ}$ C)	速度 (m / s)	α_1	α_2	λ / δ	K	
30	1.0	11.70	4.21	2.50×10^2	3.10	2.52
50	1.0	7.84	4.06	2.50×10^2	2.67	2.19
70	1.0	6.16	4.52	2.50×10^2	2.61	1.94
50	3.0	11.00	5.54	2.50×10^2	3.68	2.87
50	6.0	10.20	5.06	2.50×10^2	3.38	2.56

図 9 はマトリックスを PVC とする単板シートについ
て、加熱側の空気温度および空気速度を変化させた場合
の熱貫流率の測定結果を示す。その傾向は EVA シー
トの場合とほぼ同様であり、また、マトリックスである
PVC 材と EVA 材の熱貫流率にほとんど差はみられな
い。

図 9 PVC 単板シートの熱貫流率

表 5 (b) は代表的な条件のもとにおける PVC 単板シ
ートの熱貫流率の測定値と(8)式による計算値とを対比し
て示す。この場合も、その傾向は EVA シートの場合と
ほぼ同様である。

表 5 (a) および表 5 (b) から明らかなように、単板シート
の熱貫流率は、シート自体の熱伝導の差異にはほとんど

表6 サンドイッチ構造体の熱貫流率(測定値)

試料No.	表面材	断熱材	加熱側空気		熱貫流率(測定値) (kcal / m ² h℃)
			温度(℃)	速度(m/s)	
C	EVA	ウレタンフォーム	30	1.0	0.32
C	EVA	ウレタンフォーム	50	1.0	0.36
C	EVA	ウレタンフォーム	70	1.0	0.34
C	EVA	ウレタンフォーム	30	3.0	0.33
C	EVA	ウレタンフォーム	30	6.0	0.33
D	EVA	発泡スチロール	30	1.0	0.53

表7 サンドイッチ構造体の熱貫流率(計算値)

試料No.	加熱側空気		計算値 (kcal / m ² h℃)				
	温度(℃)	速度(m/s)	α_1	α_2	λ_s / δ_s	λ_l / δ_l	K
C	30	1.0	19.40	5.18	3.40×10^2	0.36	0.33
C	70	1.0	7.52	4.23	3.40×10^2	0.36	0.32
C	30	6.0	31.80	4.55	3.40×10^2	0.36	0.33
D	30	1.0	19.40	5.18	3.40×10^2	0.67	0.57

影響されない。マトリックスである PVC 材と EVA 材の熱貫流率の測定値にはほとんど差のないことは、上のような理由によるものと考えられる。

B. サンドイッチ構造体の熱貫流率

表 6 は EVA 単板シートと断熱材（ウレタンフォームおよび発泡スチロール）とのサンドイッチ構造体の熱貫流率の測定結果を示す。表から、サンドイッチ構造体は単板シートに比較してよい断熱効果を示すことがわかる。

一方、サンドイッチ構造体の熱貫流率 K は(8)式を変形して次式で与えられる¹⁹⁾。

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{\delta_l}{\lambda_l} + \frac{1}{\alpha_2} \dots\dots\dots(9)$$

δ_s ; 単板シートの厚さ
 λ_s ; 単板シートの熱伝導率
 δ_l ; 断熱材の厚さ
 λ_l ; 断熱材の熱伝導率

EVA 単板シートの熱伝導率 α_1, α_2 および熱伝導率 λ_s は 3.2.A と同じ値を用い、断熱材の熱伝導率 λ_l は表 4 の値を用いて、EVA 単板シートを表面材とするサンドイッチ構造体の熱貫流率を(9)式で求めると、表 7 に示すとおりとなる。表に示すごとく、3.2.A “単板シート” と異なり、表面の熱伝達はいずれも問題でなく、断熱材の熱伝導が熱貫流率に影響することとなる。

したがって、加熱側空気の温度および速度は、サンドイッチ構造体の熱貫流率にほとんど影響を及ぼさない。また、この場合にも、表面材の熱伝導はサンドイッチ構造体の熱貫流率にほとんど影響しない。

表 6 に示すサンドイッチ構造体の熱貫流率の測定値と表 7 に示す熱貫流率の計算値とはよい一致を示す。

4. 複合シートの保冷コンテナへの応用

コールドチェーンの普及とともに、生鮮食品等を生産地（あるいは加工センタ）から消費地（あるいは店頭）へ、品質を保持しつつ輸送できるコンテナの開発が要請されている。本研究では、前章の実験結果で断熱効果の優れている、軟質シートとウレタンフォームからなるサンドイッチ構造体を用いて、保冷コンテナとしての実用性能を把握すべく実施した二、三の応用例について以下に述べる。

4.1 折りたたみ式保冷コンテナへの応用

A. 実験試料

図10は折りたたみ式保冷コンテナの外観図であり、表 8 は保冷コンテナの概略仕様を示す。保冷コンテナは高温外気の進入を防止するため、軟質シート（PVC厚さ 0.5mm、ポリエステル基布）と内部温度を保持するための断熱材（軟質ウレタンフォーム、厚さ24mm）のサンドイッチ複合構造となっている。

また、保冷コンテナ各部は すき間のないようにシートを互いに高周波溶接し、開閉部はバンド止め方式を採用している。

図10 折りたたみ式保冷コンテナ外観図

表 8 折りたたみ式保冷コンテナの仕様

外 寸 法	550×750×1 160mm
内 寸 法	500×700×1 100mm
外 表 面 積	3.56m ²
内 表 面 積	3.34m ²
伝 熱 面 積	3.81m ²
材 質	表面材 PVC複合シート（ポリエステル補強、0.5mm厚さ） 芯 材 軟質ウレタンフォーム（24mm厚さ）
内 容 積	385 ℓ
重 量	26 kg
そ の 他	(イ) 加工：シート高周波溶接 (ロ) 開閉部：バンド止め方式

B. 実験方法

実験は図11に示す内部冷却方法²⁰⁾により行い、次の式により熱貫流率 K を求める。

$$K = \frac{Q}{S(\theta_1 - \theta_2)} \dots\dots\dots (10)$$

- $S = \sqrt{S_1 \cdot S_2}$
- $Q = G(80 + C \cdot \theta_3) - 0.86 \cdot I \cdot E \cdot \eta$
- Q ; 伝熱量
- S ; 伝熱面積
- S_1 ; コンテナの外表面積
- S_2 ; コンテナの内表面積
- θ_1 ; 外気温度
- θ_2 ; コンテナ内部温度
- G ; 融解した氷の重量
- C ; 水の比熱
- θ_3 ; 融水の温度
- I ; 扇風機の電流
- E ; 扇風機の電圧
- η ; 扇風機のモータの力率

図11 測定装置配置図（内部冷却法）

C. 実験結果

図12は内部冷却方法による熱貫流率の測定結果を示す。この図からわかるように、実験に供したコンテナは、良好な断熱性能を有し、4 hr 後でもコンテナ内部温度上昇は約 2℃にとどまる。

図12 折りたたみ式保冷コンテナの断熱性能

また、熱貫流率の測定値は $K = 0.81 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ である。コンテナを構成するサンドイッチ複合体（0.5 mm PVC+24mm軟質ウレタンフォーム）を 3.1.B の測定装置で測定した熱貫流率は $0.79 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ であり、前記熱貫流率 K との差はコンテナの気密性などにもとづくものと推定されるが、その差は極めて小さく、計画時の断熱設計が適切であったと考えられる。

4.2 ロール式保冷コンテナへの応用

A. 実験試料および実験方法

図13はロール式保冷コンテナの外観図であり、表 9 は保冷コンテナの概略仕様を示す。保冷コンテナは厚さ 1.0mmのPVCシート（ポリエステル基布補強）と厚さ48 mmの硬質ウレタンフォームとのサンドイッチ構造体で

図13 ロール式保冷コンテナ外観図

表9 ロー式保冷コンテナの仕様

外 寸 法	560×750×1 730mm
内 寸 法	460×650×1 420mm
外 表 面 積	4.27m ²
内 表 面 積	3.75m ²
伝 熱 面 積	3.99m ²
材 質	表面材 PVC複合シート (ポリエステル基布補強, 1mm厚さ)
芯 材	硬質ウレタン フォーム (48mm厚さ)
内 容 積	420 ℓ
重 量	80kg
そ の 他	(イ) キャスタ: 150φ×4 個自在車輪つき (ロ) 扉: 前面(490×1 450mm)上下2点ロック

ある。また、保冷コンテナはパネル組立方式で、パネルの接合は片側パネルに耳20mmほど出し、ヒートシールにて実施した。

なお、内容物取出し開閉部は蝶番による片開き方式を採用した。

B. 実験方法

実験は図14に示す内部加熱方法²⁰⁾により行い、次の式により熱貫流率 K を求める。

$$K = \frac{Q}{S(\theta_2 - \theta_1)} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$S = \sqrt{S_1 \cdot S_2}$$

$$Q = 0.86(I_1 \cdot E_1 + I_2 \cdot E_2 \cdot \eta)$$

I_1 : 電熱器の電流

I_2 : 扇風機の電流

E_1 : 電熱器の電圧

E_2 : 扇風機の電圧

η : 扇風機モータの効率

図14 測定装置配置図 (内部加熱法)

C. 実験結果

本実験に供したコンテナの熱貫流率の測定値は $K=0.39 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ($\theta_1=51^\circ\text{C}$, $\theta_2=14^\circ\text{C}$) である。コンテナを構成するサンドイッチ構造体 (1.0mm PVC + 48mm ウレタンフォーム) を 3.1.B の実験装置で測定した熱貫流率の値は $0.33 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ (加熱側空気温度 30°C , 空気速度 1 m/s) である。

コンテナと試験片との熱貫流率の差は、(イ) コンテナの気密性、(ロ) コンテナと試験片の測定条件の差 (空気温度、空気速度) などが考えられるが、その差は比較的小なく、コンテナ計画時の断熱設計が適切であったと判断される。

5. 結 言

合成繊維を基布とし、エチレン酢酸ビニル共重合樹脂、ポリ塩化ビニル樹脂をマトリックスとする軟質プラスチック複合シートの伝熱性能について、熱伝導率、熱伝達率および熱貫流率を測定し、実験的に研究した。

また、軟質複合シートの断熱材としての応用例についても検討した。

その結果、つぎのことが明らかとなった。

(1) 軟質複合シートの熱伝導率は、実験の範囲内では、基布の体積分率の影響はほとんど認められない。

(2) 軟質複合シートの熱伝導率には、堀川モデルの適用が有効である。

(3) 軟質複合シートの熱貫流率には、熱伝達率が大きく影響し、シートの熱伝導による影響は小さい。

(4) 軟質複合シートと断熱材のサンドイッチ構造体の熱貫流率では、シートの熱伝達率はあまり問題でなく、断熱材の熱伝導による影響が大きくなる。

(5) 軟質複合シートを用いた保冷コンテナは、シートと発泡体とのサンドイッチ構造とすることにより、断熱効果が発揮され実用に供しうる。

おわりに、本実験および計算にご協力いただいた大阪大学工学部真田宗氏および三菱油化(株)応用研究所小日向英一氏、佐々木多加志氏に深謝する。

文 献

- 1) 網島, 石田, 松見; 材料, **21**, 221, 76 (1972)
- 2) 小牧, 黒田; 材料, **21**, 229, 899 (1972)
- 3) 白鳥, 池上, 服部; 材料, **22**, 240, 850 (1973)
- 4) 前田, 田中, 寛; 繊維誌, **21**, 5, T97 (1968)
- 5) 植村, 山脇, 阿部, 井山; 東大宇宙航空研究所報告, **4**, 3(B), 448, (1968)
- 6) E.H. Kerner; Pro. Phys. Soc., **B69**, 808 (1956)
- 7) P.S. Turner; J. Res. Nat. Bur. Stand., **37**, 239 (1946)
- 8) 佐藤, 酒井, 久世, 繊維誌, **31**, 8, T-323 (1975)
- 9) T. De Silva, A. Chadwick; J. Mech. Phys. Solids, **17**, 387 (1969)
- 10) 栗原; 強化プラスチック, **2**, 164 (1956)

- 11) 林; 複合材料工学, 323 (1971), 日科技連
- 12) G. Dandrea, E.F. Ling; Proceedings of the 4th International Heat Transfer Conference, Vol.1, Paris, France (1970)
- 13) 繊維機械学会編; 基礎繊維工学[I], 169 (1965), 繊維機械学会
- 14) 村橋, 小田, 井本; プラスチックハンドブック, 543 (昭44) 朝倉書店
- 15) 高分子学会編; 高分子材料の工学的性質(I), 128 (昭42)
- 16) 繊維機械学会編; 基礎繊維工学[I], 104, 168 (1965), 繊維機械学会
- 17) 日本化学会編; 化学便覧, 687, 702 (1958) 丸善
- 18) 日本規格協会編; JIS A 1414-1973, 昭48. 12.1制定
- 19) たとえば甲藤; 伝熱概論, 24 (1964), 養賢堂
- 20) 日本規格協会編; JIS D170-1976, 昭51.11.1 制定

地人書館

海外繊維技術文献集 7/8月特集号 内容紹介

不 織 布

不織布の大きな市場——赤ん坊用おむつ

不織布に使用されるポリマ, 繊維, バインダ, 添加物などの素材と不織布製造法の概説をし, 用途を使い捨てと耐久性の製品に分けて1980年までの販売金額を予想している.

すなわち, 全不織布の販売額は15億ドルに達しようが, 使い捨て製品が $\frac{1}{3}$ を占め, さらにその内で, おむつは30%を占めるであろう.

ステッチボンド布の物理的性質に及ぼす因子

ビスコースレーヨンスフを2種別個に用いたウェブを, ポリエステルフィラメント糸でステッチボンドした布について, ウェブの厚さとステッチ密度を変えた場合, 布の強伸度, 引裂き強力, ドレープ係数, 曲げ剛さ, 摩耗度の変化を測定している.

移動ベルト上に置かれた糸の形

種々な条件で移動ベルト上に置かれた糸の形を研究するための装置を作った. これはスパンボンド不織布製造中で, 紡糸されたフィラメントを配置する機構に一部似ている.

これらについて第1~3報に分けて述べる.

敷設された糸の形は糸の種類, 供給高さ, ベルトと供給の速度比によって変化するが, 特に形の変化する速度比のある値がある. 均斉な形になる条件を推定する.

また, 第2報では糸配列の形はある範囲の速度比では, 修正サイクロイドの式で数学的に示し, 実験上の形は理論の形に相当似ている. ベルトが静止し, 供給とベルトの速度が概知で, 円形の半径がわかっていれば, 理論形を予知できる. 重なり合うループ状に糸を配列する条件を推定し, ストロボ写真を用い異なる条件下で種々な機構の存在を明らかにしている.

第3報では, 移動ベルト上に糸を配置するとき, 糸の性質, 速度比, 供給高さが配列の形に及ぼす影響を詳しく研究する. 速度比が大になると修正サイクロイドのループになるが, 小になると波形になる.

海外繊維技術文献集の購読ご希望の方は本誌 P.409 を参照下さい.

海外資料研究部会