

段ボール原紙の赤外線放射率が段ボール箱内の 内容物への伝熱に及ぼす影響

志水 基修*

Influence of Fiberboard Infrared Emissivity on the Heat Transfer to the Contents of a Corrugated Fiberboard Box

Motonobu SHIMIZU*

赤外線放射率が9%~90%の段ボール原紙および段ボールシートを温度変化評価装置に設置し、装置内部の水の温度上昇の程度から伝熱に及ぼす影響を調査した。その結果、段ボール原紙の状態では放射率が低いほど水の温度上昇が抑制された。また、段ボールシートの状態では放射率を制御した面を段ボールシートの表面に露出した場合には相関があったが、制御面を段ボールシートの中しん原紙側に向け、段ボールシート表面に露出させなかった場合には水温は一般の段ボールシートと同等に上昇し、段ボールシート表面の放射率のみが水温上昇に影響した。

一方、放射率が9%と最も低い段ボール原紙はアルミニウム箔をラミネートしたものであり、リサイクルが困難なため、その代替品を検討した。段ボール箱の状態では、放射率が46%の段ボール原紙であってもABフルートの段ボール箱に使用して熱コンダクタンスを低減すれば、アルミニウム箔をラミネートしたAフルートの段ボール箱と同程度に伝熱が抑制され、リサイクルが可能な保冷段ボールとして推奨される。

Several types of fiberboard and corrugated fiberboard were investigated about the effect of their surface infrared emissivity ranging from 9 to 90% on the heat transfer through the materials. A temperature-change evaluating instrument was used to measure the rise in temperature of water located in the instrument. Regarding fiberboard, the lower its infrared emissivity was, the better it inhibited the temperature rise. In the form of corrugated fiberboard, those with controlled infrared emissivity surfaces facing external side of the board showed a correlation between their infrared emissivity and an inhibitory effect on the temperature rise. In contrast, when the controlled infrared emissivity surfaces faced the adhered corrugating medium, the temperature-keeping effect was as low as ordinary corrugated fiberboard. Meanwhile, fiberboard with the lowest infrared emissivity, 9%, is manufactured by laminating with aluminum foil, thus hard to recycle. As a substitute, recyclable fiberboard with slightly higher infrared emissivity, 46%, was developed and examined. When this fiberboard is used in an AB-flute corrugated box to reduce the heat conductance, it can inhibit the heat transfer as well as an A-flute corrugated box using aluminum-laminated fiberboard. Therefore, it could be recommended as a recyclable cool-keeping corrugated box.

キーワード：段ボール原紙、段ボール箱、包装、赤外線放射率、伝熱、温度、保冷

Keywords : Fiberboard, Corrugated Fiberboard Box, Packaging, Infrared Emissivity, Heat Transfer, Temperature, Cool-keeping

*レンゴー株式会社中央研究所 〒553-0007 大阪市福島区大開 4-1-186 TEL:06-6465-5067
Rengo Co.,Ltd. Central Laboratory, 4-1-186, Ohiraki, Fukusima-ku, Osaka 553-0007, Japan

1. 緒言

包装資材に用いられているプラスチックや紙および加工紙、また印刷インキなどの材料を同定する際に、その材料の赤外線の吸収スペクトルを測定する方法がある。これは、それぞれの材料を構成している分子の結合部が固有の振動をしており、その振動と同じ波長の赤外線が吸収され、分子構造に応じたスペクトルが得られることを利用したものである。プラスチックや紙および加工紙、印刷インキなどの材料には有機化合物が多く、赤外線を吸収する分子結合部が多いため赤外線吸収スペクトルを測定する方法が利用しやすい。

一方、物体に吸収された赤外線は構成している分子の振動を活発にし、その物体の温度を上昇させる。このため、熱伝導率などの条件が同一であれば吸収率が高い方が温度の上昇が速い。

また、熱放射に関連する電磁波全般がそうであるが、その一種である赤外線も物体に吸収される以外に反射および透過されるために、赤外線が吸収される割合には、反射率+吸収率+透過率=100%¹⁾の関係があり、不透明な物体で赤外線を透過しない場合には吸収率+反射率=100%となる。

さらに、物体が熱的に平衡状態にあるときには、赤外線の吸収率は放射率とイコールになり、放射率+反射率=100%となる。これは物体が周囲の環境温度よりも高温になった場合には低温側に向けて赤外線を吸収するのと同じ比率で赤外線を放射することを示している。

したがって、包装容器において内容物の温度

が外部雰囲気の温度よりも低い場合には、包装容器内面に赤外線の吸収率が高い、すなわち放射率が高い材料が使用されていると包装容器から内容物に向かって多くの赤外線が放射される。このため、包装容器内面の放射率の高低が内容物の温度上昇に影響する可能性がある。さらに、包装容器から内容物への伝熱については、内容物が包装容器内部の壁面に密着している場合には主に熱伝導によって伝熱されるが、密着していない場合には放射によって伝熱される割合が高くなる。

そこで本報では、段ボール箱において内容物が箱内部の壁面に密着していない場合を想定し、材料となる段ボール原紙の表面の放射率が箱内の内容物への伝熱に及ぼす影響を調査したので報告する。

また、リサイクルが可能な材料で作製した放射率を制御した段ボール原紙の実用性も確認したので、その結果も報告する。

2. 実験方法

2.1 段ボール原紙表面の放射率の測定方法

株式会社島津製作所製のフーリエ変換赤外分光光度計「IR Prestige-21」に拡散反射用アタッチメント DRS-8000 を取り付け（以下、本測定器）、その試料設置部に段ボール原紙の表面を光源に向けて設置し、測定可能波長範囲である 2.5 μm ~25 μm において 0.0121 μm の間隔で放射率を測定した。さらに放射率は波長によって異なるため、各波長において 100%-反射率により吸収率を算出し、これらの値をキルヒホッフの法則を適用して分光放射率と見なした²⁾。

Fig.1 に段ボール原紙や段ボール箱の物性を調査する際の標準状態とされる 23℃と夏期を想定した 35℃において、黒体（放射率が 100% の物体）が発する赤外線の波長範囲と分光放射輝度、および本測定器の測定可能波長範囲を示した。23℃および 35℃の黒体が発する赤外線の波長範囲は約 3 μm~90 μm であるが、本測定器で測定可能な波長範囲は 2.5 μm~25 μm であり、25 μm~90 μm の波長範囲の放射率は測定できない。しかしながら、黒体の分光放射輝度のピーク波長は 23℃では 9.8 μm、35℃では 9.4 μm で短波長側に偏っており、本測定器の測定可能波長範囲であっても 23℃および 35℃の黒体の分光放射輝度の総量の 84%および 86%に相当する波長範囲の測定が可能である。このことから、測定値を段ボール原紙が通常使用される温度域での放射率として扱うことに大きな問題はないと考えられる。

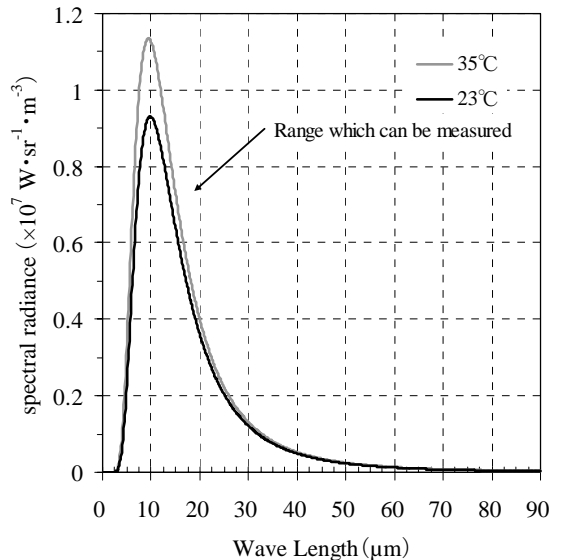


Fig.1 Spectral radiance curves of a blackbody at 23°C and 35°C

2.2 段ボール原紙および段ボールシートの放射率と内容物の温度変化の関連の評価方法

Fig.2 に段ボール原紙および段ボールシートの放射率と内容物の温度変化の関連を評価する装置（以下、温度変化評価装置）の断面図を示した。容器は発泡スチロール製で、内のり寸法が長さ 217mm、幅 150mm、高さ 174mm（開口部から下に 32mm の部分までは長さ 233mm、幅 164mm）で、厚さが 20mm である。その底部中央に 50mm 角の発泡スチロール製の台座を設け、その上に 100ml 容のプラスチックビーカーを固定し、このプラスチックビーカー内に熱電対を設置してグラフテック株式会社製の記録計「DQ-1000」に

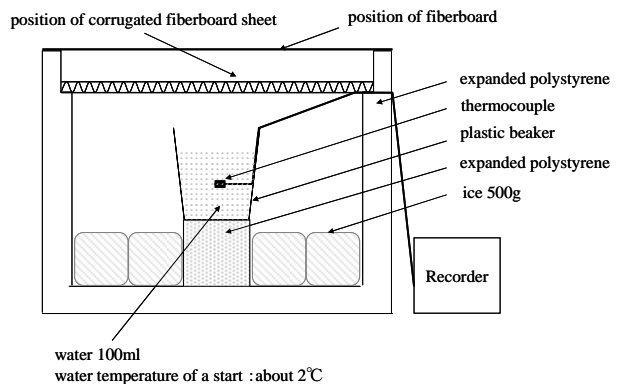


Fig.2 Sectional view of the measuring instrument

接続した。

また、試験前の温度変化評価装置は、23℃、50%RH の恒温恒湿室内に 24 時間以上保管し、装置内の温湿度を 23℃、50%RH とした。この操作は以降のすべての試験について行った。

一方、試験時には温度変化評価装置内の底部に 500g の氷とプラスチックビーカー内に約 2℃に冷却した 100ml の水を入れ、段ボール原

紙の放射率を測定した面を温度変化評価装置内部に向けて容器開口部のフランジ部に段ボール原紙の端部を両面テープで固定し、密閉した。

また、段ボール原紙を貼り合わせて作製した段ボールシートを評価した際には、容器開口部の凹部に段ボールシートをはめ込んで固定した。

段ボール原紙あるいは段ボールシートを固定した温度変化評価装置は23°C、50%RH、気流0～0.01m/secの恒温恒湿室内に保管し、プラスチックビーカー内の水温を経時的に測定した。

2.3 段ボール原紙表面の放射率と温度変化評価装置内の水の温度上昇との関連

2.1の方法により算出した分光放射率を平均した値が90%の段ボール原紙(一般の段ボール原紙、LB級、坪量210g/m²)と、76%、60%、46%、33%の段ボール原紙(アルミニウム粉とバインダー樹脂の混合物をコーティングした段ボール原紙)、ならびに9%の段ボール原紙(アルミニウム箔をラミネートした段ボール原紙)の6種の段ボール原紙について、2.2の方法で温度変化評価装置内の水温の上昇の程度を比較した。

2.4 段ボール原紙の透湿度と温度変化評価装置内の水の温度上昇との関連

段ボール箱の外部雰囲気からの空気の流入や、段ボール箱内に透過した水蒸気が結露する際に発する凝縮熱が、内容物の温度変化に影響する可能性が考えられる。そこで、段ボール原紙の透湿度と分光放射率の影響を調査した。JIS Z 0208「防湿包装材料の透湿度試験方法(カップ法)」の条件Bでの透湿度が4g/m²・24hで平

均放射率42%の段ボール原紙と透湿度3g/m²・24h、平均放射率9%の段ボール原紙について2.2の方法で水温の上昇の程度を比較した。また、透湿度3900g/m²・24h、平均放射率90%、および透湿度2800g/m²・24h、平均放射率60%、ならびに透湿度2800g/m²・24h、平均放射率46%の段ボール原紙についても同様に比較した。

2.5 段ボールシートにおける放射率を制御した段ボール原紙の貼り合わせ位置の影響

Fig.3に示したように厚さが5.1mmのAフルートの両面段ボールシートを温度変化評価装置に設置した際、段ボール原紙の平均放射率が90%、46%、9%の面がTable1の試験条件1～9になるように設置した。これらの各試験条件について2.2の方法で温度変化評価装置内の水温を経時的に測定し、段ボール原紙の貼り合わせ位置の影響を調査した。

試験条件1～5では、平均放射率が90%、46%、9%の面を段ボールシートの表面に向けて露出させて貼り合わせ、試験条件6～9では中しん原紙側に向け、段ボールシートの表面には露出させなかった。

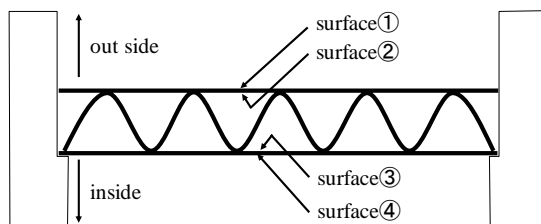


Fig.3 Geometry of a corrugated fiberboard sheet sample examined

Table1 Configurations of fiberboard with various infrared emissivity in a geometry of corrugated fiberboard sheet

experimental condition	emissivity of corrugated fiberboard sheet			
	surface①	surface②	surface③	surface④
1	90%	92%	92%	90%
2	46%	92%	92%	90%
3	90%	92%	92%	46%
4	9%	92%	92%	90%
5	90%	92%	92%	9%
6	92%	46%	92%	90%
7	90%	92%	46%	92%
8	92%	9%	92%	90%
9	90%	92%	9%	92%

2.6 放射率を制御した段ボール原紙を段ボール箱に使用した場合の内容物の温度上昇に及ぼす影響

段ボール箱の内面の平均放射率が90%、46%、9%のAフルートの両面段ボール箱（厚さ5.1mm）を作製した。また、段ボール箱の内面の平均放射率が46%のABフルートの複両面段ボール箱（厚さ7.9mm）と、段ボール箱の外表面と内面の両方の平均放射率が46%のAフルートの両面段ボール箱（厚さ5.1mm）を作製した。段ボール箱の形式はJIS Z 1507「段ボール箱の形式」の0201形、内のり寸法は長さ217mm、幅150mm、高さ174mmとした。

これら5種の段ボール箱内に2.2と同様に50mm角の発泡スチロール製の台座とプラスチックビーカー、熱電対を設置し、試験時は段ボール箱の底部に氷500gとプラスチックビーカー内に約2℃に冷却した水100mlを入れ、23℃、50%RHの恒温恒湿室内に保管して水温を経時的に測定した。尚、試験前の段ボール箱は、23℃、

50%RHの恒温恒湿室内に24時間以上保管し、箱内の温湿度を23℃、50%RHとした。また、段ボール箱の封緘は、段ボール箱の角部からの空気の流入を防止するためポリプロピレンを基材とした粘着テープを外フラップ（蓋）部にH字状に貼りつけて行った。

3. 結果および考察

3.1 段ボール原紙表面の放射率と温度変化評価装置内の水の温度上昇との関連

温度変化評価装置に表面の平均放射率が90～9%の6種の段ボール原紙を設置した場合の水温の経時変化をFig4に示した。段ボール原紙表面の平均放射率が低いほど温度変化評価装置内の水温の上昇は抑制され、例えば低温と考えられる15℃以下を保持した時間を比較すると、平均放射率90%の場合では13時間50分、76%

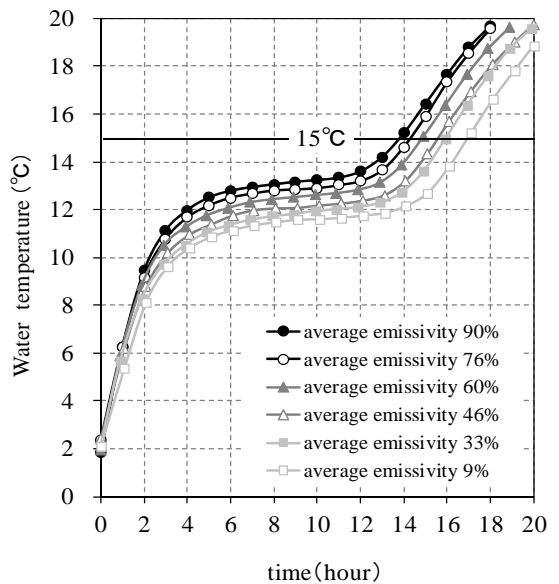


Fig.4 Changes of the water temperature in the measuring instrument for six types of fiberboard with different average infrared emissivity

の場合では 14 時間 20 分、60%の場合では 15 時間、46%の場合では 15 時間 30 分、33%の場合では 16 時間、9%の場合では 16 時間 50 分となり、平均放射率 9%の場合では 90%の場合よりも 3 時間延長された。

また、試験 6 時間後から 12 時間後にかけて温度変化評価装置内の氷が解ける間に水温の上昇が緩やかだった時間帯があったが、この際には段ボール原紙表面の平均放射率が低いほど水温が低かった。例えば試験開始から 10 時間後の水温を比較すると、平均放射率 90%の場合では 13.2℃、76%の場合では 12.9℃、60%の場合では 12.6℃、46%の場合では 12.2℃、33%の場合では 12℃、9%の場合では 11.6℃であり、平均放射率 9%の場合では 90%の場合よりも 1.6℃低かった。

さらに、Fig.5 に段ボール原紙表面の平均放射率に対して温度変化評価装置内の水温が 15℃以下を保持した時間をプロットした。段ボール原紙表面の平均放射率が高くなるにつれて水温が 15℃以下を保持した時間は直線的に短くなっており、段ボール原紙の放射率に応じて温度変化評価装置内に放射された赤外線の量が一定の割合で変化したためと考えられた。

また、Fig.6 に 23℃の黒体が発する分光放射輝度とこれに平均放射率が 90%、46%、9%の各段ボール原紙の 2.5μm～25μm の波長範囲での分光放射率を乗じて算出した各段ボール原紙の理論上の分光放射輝度を示した。2.5μm～25μm の波長範囲での分光放射輝度の積算値を算出すると、平均放射率 90%の段ボール原紙では $10.0 \times 10^7 \text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ であったが、46%の段ボール

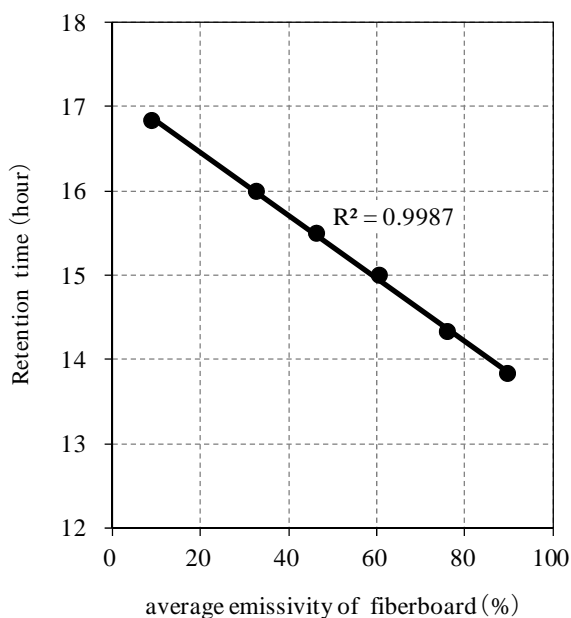


Fig.5 Effect of average infrared emissivity of fiberboard on the retention time which water temperature is kept below 15℃

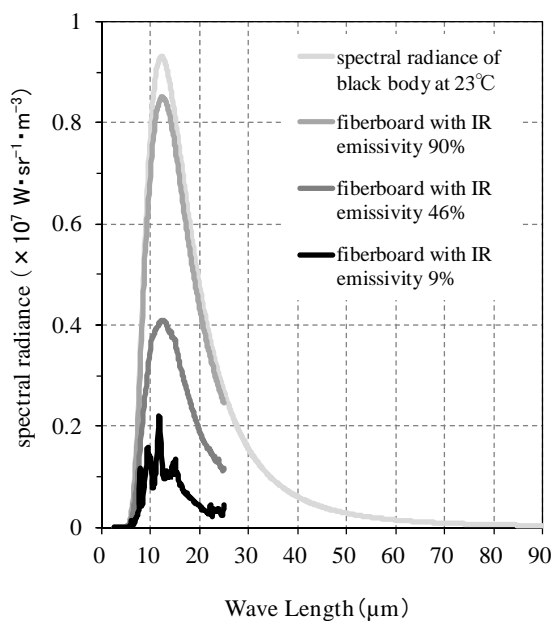


Fig.6 Spectral radiance curves of a blackbody and fiberboard with different average infrared emissivity (23℃)

原紙では $4.7 \times 10^7 \text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ 、9%の段ボール原紙では $1.4 \times 10^7 \text{W} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ であり、放射率が低い段ボール原紙では赤外線量が大きく減少した可能性が考えられた。

尚、試験終了時に段ボール原紙表面を観察したところ、水の付着やしみこみ跡はなかったことから、結露水の付着による段ボール原紙表面の放射率の変化はなかったと考えられた。

3.2 段ボール原紙の透湿度と温度変化評価装置内の水の温度上昇との関連

温度変化評価装置に透湿度あるいは放射率が異なる5種の段ボール原紙を設置した場合の水温の経時変化を Fig.7 に示した。

水温が 15°C 以下を保持した時間を比較すると、透湿度 $4 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放射率 42% の場合では 15 時間であったが、透湿度 $3 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放射率 9% の場合では 16 時間 50 分であった。また、透湿度 $3900 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放射率 90% の場合では 13 時間 50 分であったが、透湿度 $2800 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放射率 60% の場合では 15 時間、透湿度 $2800 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放射率 46% の場合では 15 時間 30 分であった。

以上のように、水温が 15°C 以下を保持した時間は透湿度が同レベルであっても平均放射率が低いほど延長された。また、放射率が同程度であれば、透湿度が大きく異なっても保持時間に大差はなかった。したがって、内容物への伝熱には段ボール原紙の透湿度の影響はほとんどないか、あっても放射率の影響の方が非常に大きいと考えられた。

一方、本試験では透湿度 $4 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放

射率 42% の場合の水温の上昇の程度が、透湿度 $2800 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放射率 60% の場合と同等であった。その原因は、透湿度 $4 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放射率 42% の段ボール原紙の分光放射率が 23°C の物体の分光放射輝度のピーク波長である $9.8 \mu\text{m}$ を挟んだ $6.7 \mu\text{m} \sim 13.4 \mu\text{m}$ の領域で高く、この波長領域で平均放射率を算出すると 60% (データ省略) になるためと考えられた。

また、この透湿度 $4 \text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ 、平均放射率 42% の段ボール原紙は、アルミニウム箔をラミネートした上層に耐摩擦性を向上するために樹脂のオーバーコートニスをコーティングしたものであるが、外観上はアルミニウム箔のみをラミネートした段ボール原紙と同様に区別が困難である。しかしながら、放射率は高く、内容物への伝熱が大きいため、実用上で段ボール原紙

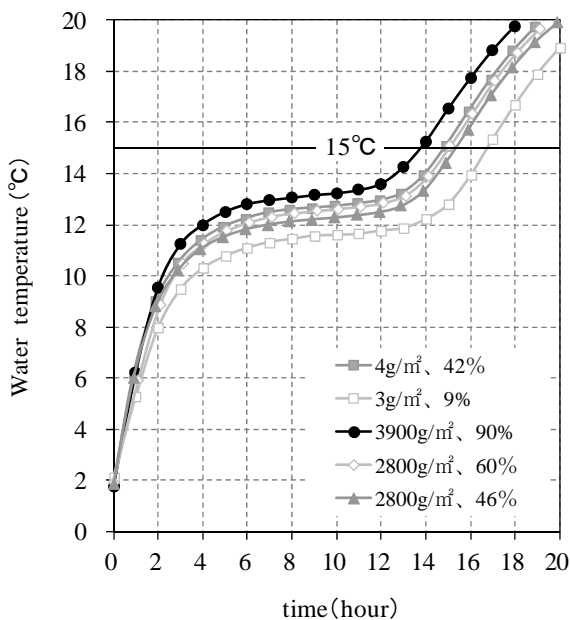


Fig.7 Changes of the water temperature in the measuring instrument for five types of fiberboard with different vapor permeability and average infrared emissivity

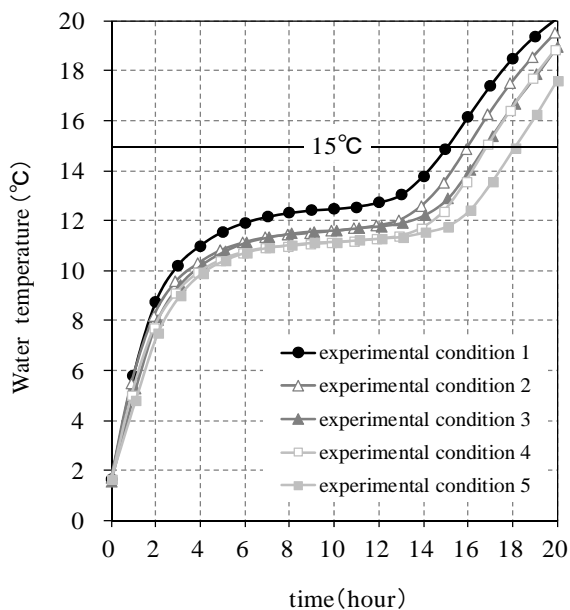


Fig.8 Changes of the water temperature in the measuring instrument for five types of corrugated fiberboard sheets with different infrared emissivity

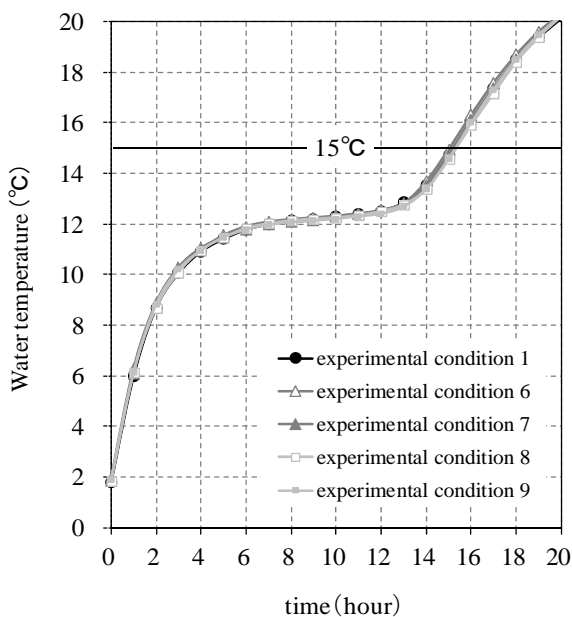


Fig.9 Changes of the water temperature in the measuring instrument for five types of corrugated fiberboard sheets with different infrared emissivity

を選定するには注意が必要である。

尚、本試験でも終了時に段ボール原紙表面に水の付着やしみこみ跡はなかった。

3.3 段ボールシートにおける放射率を制御した段ボール原紙の貼り合わせ位置の影響

温度変化評価装置に Table1 の試験条件 1～5 で段ボールシートを設置した場合の水温の経時変化を Fig.8 に示した。水温が 15°C以下を保持した時間を比較すると、平均放射率 90%の段ボール原紙を貼り合わせた一般の段ボールシートである試験条件 1 では 15 時間 10 分であったが、平均放射率 46%の面を温度変化評価装置の外部側に向けた試験条件 2 では 16 時間 10 分、内部側に向けた試験条件 3 では 16 時間 50 分と

なった。さらに、平均放射率 9%の面を外部側に向けた試験条件 4 では 17 時間、内部側に向けた試験条件 5 では 18 時間 10 分となり、試験条件 5 では試験条件 1 よりも 3 時間延長された。

段ボールシートの状態でも段ボール原紙の状態と同様に放射率が低い方が温度上昇が抑制され、特に放射率を制御した面を温度変化評価装置の内部側に向けた場合に試験後半の水温の上昇が抑制された。これは放射率の制御のために平均放射率 9%の段ボール原紙ではアルミニウム箔をラミネートし、平均放射率 46%の段ボール原紙ではアルミニウム粉とバインダー樹脂の混合物をコーティングしているが、これらの面を温度変化評価装置の外部側に向けて設置した場合では外部からの赤外線が反射される一方で、

これらの材料であるアルミニウムの熱伝導率が 273W/mK (27°C 環境下) と紙の熱伝導率の 0.06W/mK (20°C 環境下)³⁾ よりも著しく高いことから、一般の段ボール原紙を外部側へ向けた場合よりも外部雰囲気からの熱伝導が多かったことが一因と考えられる。

次に、試験条件 6~9 である段ボール原紙の平均放射率が 46%、あるいは 9% の面を中しん原紙側に向けて貼り合わせ、段ボールシートの表面に露出しなかった場合の結果を Fig.9 に示した。水温が 15°C 以下を保持した時間は、平均放射率 46% の段ボール原紙を温度変化評価装置の外部側に用いた試験条件 6 では 15 時間 10 分、内部側に用いた試験条件 7 では 15 時間 20 分となった。また平均放射率 9% の段ボール原紙を温度変化評価装置の外部側に用いた試験条件 8 と内部側に用いた試験条件 9 ではともに 15 時間 20 分となった。

いずれも 15°C 以下を保持した時間は一般の段ボールシートを用いた試験条件 1 の 15 時間 10 分と同等であり、平均放射率が低い段ボール原紙を貼り合わせた段ボールシートであっても、段ボールシートの表面に放射率や反射率を制御した面が露出していなければ影響はほぼなかった。

尚、本試験でも終了時に温度変化評価装置内部側の段ボール原紙表面に水の付着やしみこみ跡はなかった。

3.4 放射率を制御した段ボール原紙を段ボール箱に使用した場合の内容品の温度上昇に及ぼす影響

段ボール箱の内面の平均放射率が 90%、46%、9% である段ボール箱に設置した水の温度変化を Fig.10 に示した。

水温が 15°C 以下を保持した時間は、A フルート (厚さ 5.1mm) の両面段ボール箱については、箱内面の平均放射率が 90% の場合では 8 時間 10 分、46% の場合では 11 時間、9% の場合では 13 時間となり、平均放射率 9% の場合では 90% の場合よりも 4 時間 50 分延長された。

また、試験 5 時間後から 10 時間後にかけて水

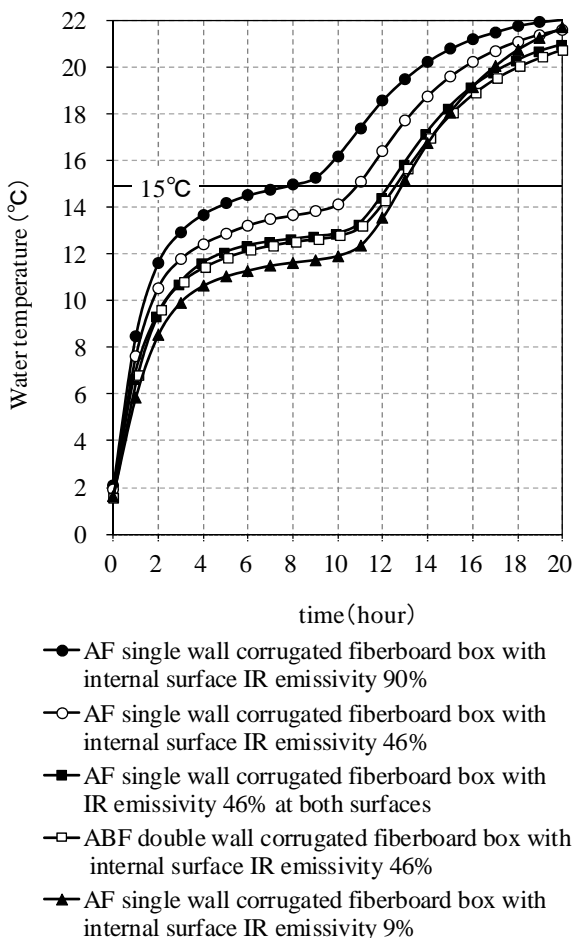


Fig.10 Changes of the water temperature in five types of corrugated fiberboard boxes

温の上昇が緩やかだった時間帯があったが、この際には段ボール箱内面の平均放射率が低いほど水温が低かった。例えば試験開始から8時間後の水温を比較すると、平均放射率90%の場合では14.9℃、46%の場合では13.6℃、9%の場合では11.6℃であり、平均放射率9%の場合では90%の場合よりも3.3℃低かった。

このように段ボール箱の状態でも、前記の段ボール原紙や段ボールシートと同様に段ボール箱内面の平均放射率が低いほど水温の上昇が抑制され、平均放射率と段ボール箱内の内容物への伝熱には相関があった。

一方、平均放射率46%の段ボール原紙を段ボール箱内面に使用したA Bフルート（厚さ7.9mm）の複両面段ボール箱や、平均放射率46%の段ボール原紙を段ボール箱の内外両面に使用したAフルート（厚さ5.1mm）の両面段ボール箱では、水温が15℃以下を保持した時間はそれぞれ12時間40分と12時間30分となり、平均放射率9%の段ボール原紙を使用したAフルートの両面段ボール箱の13時間と同レベルとなった。

打田らは、熱コンダクタンスは熱伝導率が同じであれば厚いものが低い値を示し、一般段ボール箱の場合、厚さ5.0mmのAフルートの両面段ボール箱の熱コンダクタンスは12.70W/m²Kであるが、厚さ7.3mmのA Bフルートの複両面段ボール箱では7.70W/m²Kに低下する⁴⁾としている。このことから、段ボール箱の厚さを増加することで伝熱抑制性能が向上したと考えられる。

また、Aフルートの両面段ボール箱の内外の

両面に平均放射率46%の段ボール原紙を使用した場合では、外部からの赤外線を反射する性能が付加されることにより、内部への放射のみを抑制した場合よりも伝熱抑制性能が向上した。

尚、本試験でも終了時に段ボール箱内面に水の付着やしみこみ跡はなかった。

4. 結論

段ボール箱において内容物が段ボール箱内面に密着していない条件を想定した場合は、段ボール原紙表面の赤外線放射率と内容物への伝熱には高い相関があった。また、放射率の伝熱への影響は、容器内部に放射率が制御された面を露出した場合に大きかったことから、放射率を制御した段ボール原紙は段ボール箱内面に使用する必要があった。

一方、本報では平均放射率が9%と最も低かったアルミニウム箔をラミネートした段ボール原紙を使用した場合に最も伝熱が抑制され、また、実用場面でもアルミニウム箔をラミネートした段ボール箱が保冷段ボール箱として製造、販売されている。

しかしながら、日本製紙連合会が、「再生する際に障害となるため除外する紙類」に指定している「金、銀などが箔押しされた紙」⁵⁾に準じるものであり、リサイクルが困難であるという問題がある。

これに対し、本報では水中で分散するためリサイクルが可能な材料で作製した段ボール原紙であっても平均放射率が76%~33%の範囲に低減されたものがあった。アルミニウム箔をラ

ミネートした段ボール原紙と比較すると段ボール原紙単体の伝熱抑制性能は若干劣ったが、段ボール箱においては平均放射率 46%の段ボール原紙であっても、A Bフルートの複両面段ボール箱の内面に用いた場合や、Aフルートの両面段ボール箱の内外両面に用いた場合であれば、アルミニウム箔をラミネートした段ボール原紙を使用したAフルートの両面段ボール箱の伝熱抑制性能と大差はなくなった。

以上から、リサイクルが可能な材料で放射率を低減した段ボール箱でも実用性があると考えられ、リサイクル率向上の観点より、リサイクルが可能な材料で放射率を低減し、段ボール箱の厚さ等も考慮した保冷段ボール箱の利用が推奨される。

<参考文献>

- 1) 北山直方、“図解電熱工学の学び方”、株式会社オーム社、P. 187-188 (1982)
- 2) 笹森宣文、東京都立産業技術研究所研究報告、第2号、46 (1999)
- 3) 福迫尚一郎、“伝熱工学”、森北出版株式会社、P. 240、P. 243 (1988)
- 4) 打田宏、中村洋、東城清秀、太田英明、日本包装学会誌、4 (1)、36、(1995)
- 5) 日本製紙連合会、紙のリサイクルに関する考え方、分別回収について
<http://www.jpa.gr.jp/env/recycle/segregation/index.html> (2011年9月15日)

(原稿受付 2012年6月27日)

(審査受理 2012年10月17日)

段ボール原紙の赤外線放射率が段ボール箱内の内容物への伝熱に及ぼす影響