

研究論文

光蓄熱特性評価技術の確立

丹羽昭夫*1、深谷憲男*1、廣瀬繁樹*1

Establishment of Light Thermal Storage Characterization Technology of Curtain

Akio NIWA*1, Norio FUKAYA*1 and Shigeki HIROSE*1

Owari Textile Research Center*1

本研究は、前報に引き続きインテリア素材の照射蓄熱特性の評価技術について研究した。今回、補正の基準として太陽の照射熱を取り入れ、目の粗い試料での照射後と遮断後の照射蓄熱速度の差が小さい試験システムを開発した。この方法は熱の移動量の定量的な評価が可能となるため、エネルギー効率の評価等への応用が可能となる。

1. はじめに

近年、地球温暖化の懸念から、インテリア製品を中心とする繊維製品においても、エネルギー使用削減効果が期待される保温性、遮熱性など、製品の熱特性に関する機能性向上が求められている。このため、迅速、簡易、低コストかつ定量的に行える試験法が求められている。

しかし現在存在する規格化された試験法¹⁾、各検査機関独自の簡便な方法²⁾はいずれも問題を抱えており、迅速、簡易、低コストかつ定量的に行える試験法は存在しない。

著者らはこれまで、簡便な遮熱性迅速評価技術を確立すべく、「遮熱性迅速測定装置」などの測定技術を研究してきた³⁾。これらは図1に示したように、サーモラボ装置(カトーテック株製)のBTボックス(以下BT)を利用して照射熱の強さを評価する方法である。この技術を利用して、冬向けインテリア生地などの試作開発段階で簡便に評価できる照射熱蓄熱性測定法を考案し、簡易モデルを試作した(図2)⁴⁾。

これは繊維製品が照射熱を閉じられた空間に蓄熱する能力を評価する。熱容量を把握した受熱体を断熱箱に入れ、開口部に試料を取り付ける。試料面にレフランプで熱を照射し、受熱体の温度の変化を測定する。そして熱照射開始直後及び平衡に達した後の照射遮断直後の温度変化より蓄熱速度を算出する。照射熱をBTにより同時測定し、これにより補正することで蓄熱速度の平準化を図る。蓄熱速度を測定した照射熱により補正することで平準化されることを確認した。この方法により、熱の移動量の評価が可能となる。

しかし、レースカーテンで照射後より遮断後の照射蓄熱速度が低くなった。これは受熱体周りの温度上昇が蓄熱速度に影響を与えることが原因と考えられた。そこでこの点を改善するための試験法を検討する。また補正に使用する照射熱基準値はレフランプの照射熱より決定したが、より妥当な基準による照射熱基準値を設定する必要がある。インテリア製品は通常太陽熱の照射を窓ガラス越しに受ける状態で使用される。そのため、実際の太

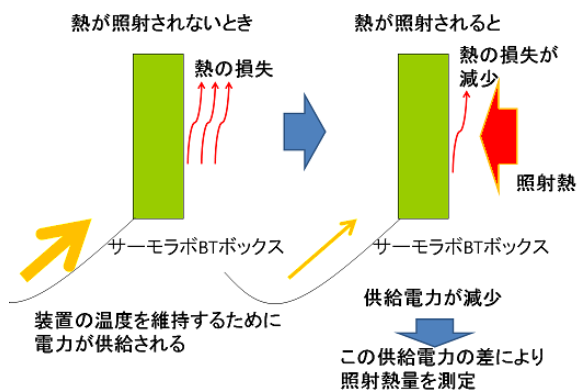


図1 BTによる照射熱の評価

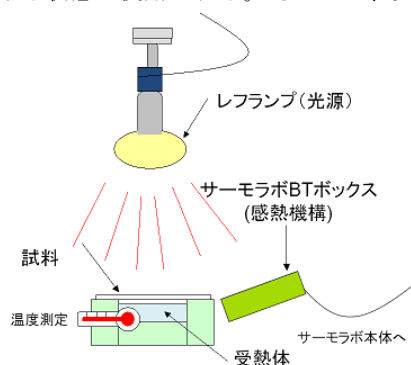


図2 照射蓄熱特性の測定システム

*1 尾張繊維技術センター 機能加工室

陽光からのサーモラボへの熱流量測定及び窓ガラスの熱透過率の測定を BT で行う。

2. 実験方法

2.1 サーモラボへの熱流量測定

BT に熱を照射して、BT 熱損失量（消費電力の 1 分間平均値） W を測定した。 W 値はプロッター出力の電圧ロガーによる 5 秒間隔での記録値より 5 分間分の平均を用いた。BT 温度 T_b を固定し、同時に気温を測定して以下の式(1)により熱流量 L_{100} 、式(2)により L 値を求めた。 L_{100} 値と L 値の差($L_{100}-L$)を照射熱流量とした。

$$L_{100} = \frac{(T_b - T_a) \times W_{100}}{60 - T_{100}} \dots(1) \quad L = W + \frac{T - T_a}{(T_b - T_a)} L_{100} \dots(2)$$

T_a : 想定気温(°C)、 T_b : BT 温度(°C) T : 気温(°C)

T_{100} : 100%遮蔽時の気温(°C)

L : 照射時のサーモラボへの熱流量(W)

L_{100} : 100%遮蔽時のサーモラボへの熱流量(W)

W : BT 熱損失量の測定値(W)

W_{100} : 100%遮蔽時の BT 熱損失量の測定値(W)

2.2 太陽光からサーモラボへの熱流量測定

昨年度補正に使用する照射熱基準値はレフランプの照射熱より決定したが、より妥当な基準による照射熱基準値を設定する必要がある。インテリア製品にとっての熱源は通常太陽熱である。そのため、実際の太陽光の熱量測定を BT で行った。

測定時期は 7 月上旬晴天時の 11~13 時に行った。気温は 35~38°C であったため T_a を 35°C、 T_b を 70°C とした。BT を図 3 のように水平置きまたは垂直置きとし、太陽光の照射時及び遮蔽時の BT 熱損失量（消費電力の 5 分間分の平均値）を測定し、式(1)及び(2)により水平に置いた時の熱流量 L_h 及び垂直に置いた時の熱流量 L_v を求めた。測定時の太陽高度 θ より以下の式(3)で太陽光

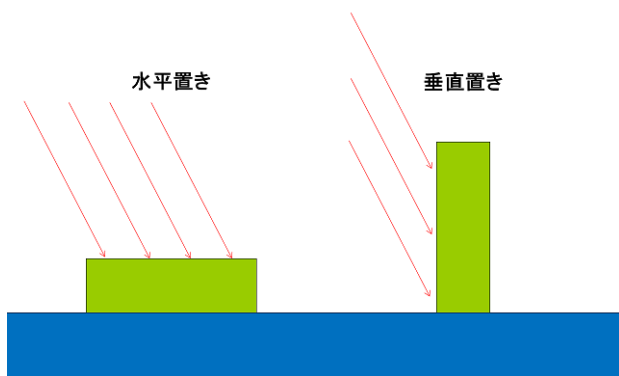


図 3 太陽光からの熱流量測定での BT の配置

からの熱流量 L_s を求めた⁵⁾。

$$L_s = 0.5 \times \left\{ \frac{L_h}{\sin \theta} + \frac{L_v}{\cos \theta} \right\} \dots(3)$$

L_s : 太陽光のサーモラボへの熱流量(W)

L_h : 水平置き時熱流量(W)、 L_v : 垂直置き時熱流量(W)

2.3 窓ガラスの熱透過率の測定

インテリア製品は通常太陽熱の照射を窓ガラス越しに受ける。太陽熱は窓ガラスにより減少するため、窓ガラスの熱透過率を測定した。BT を図 4 のようにレフランプより 30cm 離して置き、レフランプと BT の間に BT から 10cm 間隔で 5mm 厚窓ガラスを配置し、レフランプにより熱を照射して、サーモラボへの熱流量を測定した。窓ガラスなしでの熱流量も測定した。この時 T_a を 20°C、 T_b を 60°C とした。

以下の式(4)により熱透過率 F 、式(5)により照射熱基準値 L_{st} を求めた。

$$F = \frac{L_f}{L_n} \dots(4) \quad L_{st} = L_s \times F \dots(5)$$

F : 熱透過率、 L_f : 窓ガラス配置時の熱流量(W)

L_h : 窓ガラス非配置時の熱流量(W)

L_{st} : 照射熱基準値(W)

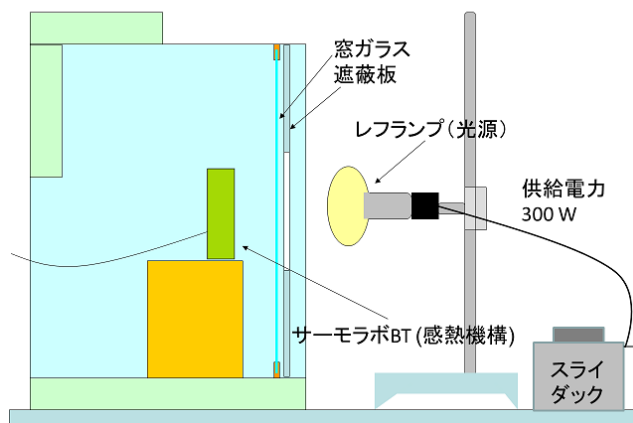


図 4 窓ガラスの熱透過率の測定

2.4 照射蓄熱特性評価のための受熱装置の作成

前報と同様の方法で受熱装置を作成した。これに 30cm 離して 300W フラッドレフランプを照射し、ヒートシンクの温度を 5 秒間隔で記録した。ヒートシンクの温度が平衡に達したところで光源を遮断し、その後の温度変化も記録した。気温は、レフランプ照射熱が当たらない場所に平面型熱電対を空中につりさげ、同様に 5 秒間隔で記録した。

2.5 光蓄熱特性評価装置の作成

レースカーテンで照射後より遮断後の照射蓄熱速度が低くなった。これは受熱体周りの温度上昇が原因と考えられたため、この点を改善した 2 試験法を行った。

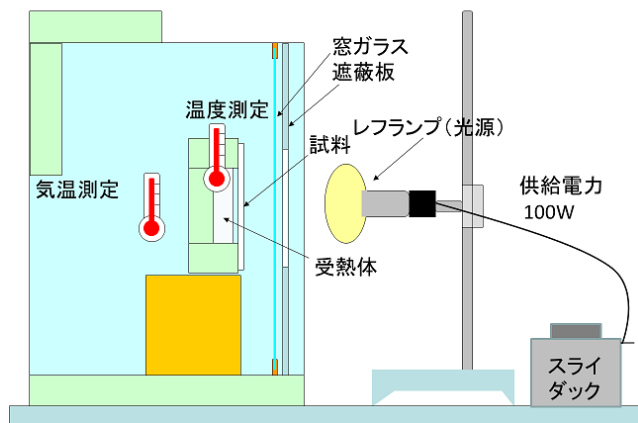


図5 窓ガラス法

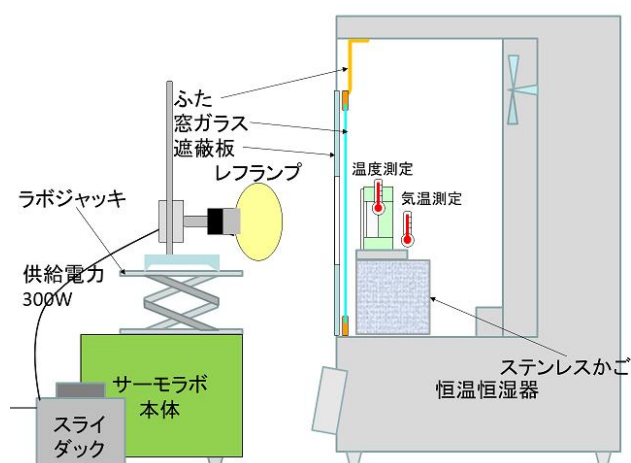


図6 恒温恒湿器法

1つは図5のとおり受熱装置とレフランプの間隔を30cm、受熱装置と5mm厚窓ガラスの間隔を10cmとなるように受熱装置、窓ガラス及びレフランプを配置した。レフランプはスライダックに接続し、レフランプ電力を 100 ± 2 Wに調整して測定を行った。この方式を窓ガラス法とした。レフランプ照射熱は受熱装置の位置に受熱装置の代わりにBTを配置してその熱流量を照射熱とした。この時 T_a を 20°C 、 T_b は 40°C とした。これはこの装置内で熱量の同時測定は困難であったこと、電力の調整によりレフランプ熱量をほぼ一定にできることからこの方法を行った。窓ガラス法では前報の方式と比べ照射される熱量が小さいため受熱体周りの温度上昇が起きにくいと考えられた。

もう1つは図6のとおり恒温恒湿器IG400(ヤマト科学(株)製)に受熱装置、窓ガラスを配置し、受熱装置と窓ガラス及び受熱装置とレフランプの間隔をそれぞれ10cm、30cmとなるようレフランプを照射し測定した。この方式を恒温恒湿器法とした。この方法ではより強い風が試料面を通過するため、試料面からの熱放出量が増加する。レフランプはスライダックに接続し、レフラン

プ電力を 300 ± 6 Wに調整した。レフランプ照射熱は窓ガラス法と同様に受熱装置の位置にBTを配置して熱流量を求めた。この時 T_a を 20°C 、 T_b は 40°C とした。恒温恒湿器法では恒温恒湿器内で強制的に送風されるため受熱体周りの温度上昇が起きにくいと考えられた。

試料はレースカーテン、淡色及び濃色の厚手カーテン、そして遮熱性薄手カーテンの4種類を使用した。

2.6 照射蓄熱速度の算出

前報と同様にレフランプ照射後及び遮断後の30秒から150秒の間の温度変化速度 $dT(^{\circ}\text{C}/\text{s})$ を求め、これに受熱体の比熱と質量を乗じ、測定開口部の面積により除したものを計測照射蓄熱速度とした。計測照射蓄熱速度に照射熱基準値を乗じ、レフランプからの熱流量で除したものを補正照射蓄熱速度とした。計測照射蓄熱速度及び補正照射蓄熱速度はそれぞれ式(6)(7)のとおりである。

$$\text{計測照射蓄熱速度}(\text{W}/\text{cm}^2) = \frac{dT \times C \times m}{A \times 60} \dots (6)$$

$$\text{補正照射蓄熱速度}(\text{W}/\text{cm}^2) = \frac{\text{計測照射蓄熱速度} \times \text{Lst}}{\text{Lr}} \dots (7)$$

C : アルミニウム比熱($\text{J}/\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}$)、

m : 受熱体質量(g)、 A : 開口部面積(cm^2)、

Lst : 照射熱基準値(W)、 Lr : レフランプからの熱流量(W)

3. 実験結果及び考察

3.1 太陽光からサーモラボへの熱流量測定

太陽光からの熱流量測定の結果は表1のとおりであった。これより式(3)を用いて太陽光からの熱流量 L_s は 5.28W となった。この時 $\tan^{-1}(\text{Lh}/\text{Lv})=74.99^\circ$ となり、測定時点での太陽高度にほぼ一致した。

表1 太陽光からのサーモラボへの熱流量測定

| | Lh (水平置き) | Lv (垂直置き) |
|--------|--------------|--------------|
| 熱量 (W) | 5.10 | 1.37 |

3.2 窓ガラスの熱透過率の測定

窓ガラス配置時の照射熱 L_f は 3.88W 、窓ガラス非配置時 L_n は 4.98W であった。これより式(4)を用いて熱透過率 F は 0.78 となり、式(5)を用いて照射熱基準値 Lst は 4.12W となった。

3.3 照射蓄熱特性の測定システムの開発

それぞれの方法での補正照射蓄熱速度の測定結果は表2のとおりであった。前報と比べ照射熱量を減らした窓ガラス法と試料面からの熱放出量を増加させた恒温恒湿器法はレースカーテンでの照射後と遮断後の照射蓄熱速度の差が小さかった。これは受熱体周りの温度上昇に

表2 各試料の補正照射蓄熱速度（単位は 10^{-2} W/cm^2 ）

| 計測蓄熱速度 (10^{-2} W/cm^2) | 窓ガラス法 | | 恒温恒湿器法 | |
|--|-------|------|--------|-----|
| | 照射後 | 遮断後 | 照射後 | 遮断後 |
| レース | 照射後 | 2.66 | 2.12 | |
| | 遮断後 | 2.55 | 2.11 | |
| 淡色厚手 | 照射後 | 1.63 | 1.20 | |
| | 遮断後 | 1.56 | 1.20 | |
| 濃色厚手 | 照射後 | 1.66 | 1.12 | |
| | 遮断後 | 1.59 | 1.12 | |
| 遮熱薄手 | 照射後 | 1.67 | 1.23 | |
| | 遮断後 | 1.66 | 1.26 | |

よる試料面からの熱放出量の問題により照射後と遮断後の差が生じたためと考えられた。これより、照射熱量の減少や試料面からの熱放出量の増加により照射後と遮断後の照射蓄熱速度の差が生じる問題を改善できると考えられた。

なお受熱体の部位でのレフランプから BT への熱流量は窓ガラス法で 1.31W、恒温恒湿器法で 3.86W であり、これらはレフランプ電力に比例するものと考えられた。また計測蓄熱速度は恒温恒湿器法の方が小さくなったが、これは受熱体周りの風速が大きいため受熱体から逃げる熱が大きくなったためと考えられた。

インテリア製品の使用環境では通常それほどの大きな風がないと考えられる。これより、インテリア製品の評価には 100W 窓ガラス法がより実態に近いと考えられた。恒温恒湿器法は屋外で使用する産業資材などの実態に近いと考えられた。

4. 結び

今回の研究により、太陽光のサーモラボでの熱量及び窓ガラスの熱透過率を求め、照射熱基準値を決定できた。また照射熱量の減少や試料面からの熱放出量の増加により照射後と遮断後の照射蓄熱速度の差が生じる問題を改善できた。

この評価技術により、少量の試料で機能性の評価が可能となるため、商品開発費用の低減及び商品企画のスピードアップが図られる。また迅速、簡易、低コストかつ定量的に行えるため、省エネ効果の算出にも利用可能であると考えられる。

今後は、積極的に研究成果を普及させ、広く産地繊維業界の新製品開発力の向上を図り、江南産地インテリア素材企業による光蓄熱性製品の開発と評価に協力することで新製品開発力の向上を図る。

またこの測定装置はインテリア素材に限らずシート状のものであれば、評価することが可能であるため、産業用資材など幅広い分野への展開が期待できる。

文献

- 1) 日本工業規格 JIS A 1422, 日本工業標準調査会編
- 2) http://www.kaken.or.jp/guidance/functionality/photorespiration_thermalconversion.html
- 3) 丹羽, 岡田: あいち産業科学技術総合センター研究報告, **2**, 102(2013)
- 4) 丹羽, 廣瀬: あいち産業科学技術総合センター研究報告, **2**, 106(2013)
- 5) <http://keisan.casio.jp/exec/system/1185781259>