

窓用遮熱・断熱フィルムの開発

竹内 哲也*・後藤 修・犬塚 正隆
 榎崎 徹司・徳永 義弘・別所 久美
 武田 仁*

Development of Window Films for Solar Shading and Heat Insulating Applications — by Tetsuya Takeuchi, Osamu Goto, Masataka Inuduka, Tetsuji Narasaki, Yoshihiro Tokunaga, Hisami Bessho and Hitoshi Takeda — Tokai Rubber Industries, Ltd. (TRI) has developed window films for solar shading and heat insulating applications by combining its advanced technologies of optical multi-layered membrane design, precision coating, and elongated sputtering as well as accumulated knowledge of materials. An optical function membrane is a multi-layered membrane that consists of thin Ag alloy membranes and thin dielectric membranes with a high refractive index. TRI has significantly reduced the manufacturing cost of the dielectric membrane by using its original sol-gel wet membrane making method, and has accordingly succeeded in producing competitively-priced optical function membranes. Their solar shading and heat insulating effects were proven in the verification tests by using the experimental equipment of Tokyo University of Science. Furthermore, the annual energy savings for air-conditioning related power consumption were estimated by using the thermal load calculation program “LESCOM-wind” in a model office.

Keywords: window film, solar shading, heat insulating, infrared light, sol-gel

1. 緒言

省エネ・節電意識の高まり、窓際の住環境改善ニーズへの対応として、窓ガラスに貼付して使用する透明熱線カットフィルムの適用が提案されている。

これまで当社では、当社の保有する光学多層膜設計技術、精密塗工技術、長尺スパッタ技術、材料技術を活用し、光学機能フィルム製品の開発を進めてきており、今般、上記市場ニーズにマッチする窓用の透明遮熱フィルムおよび透明断熱フィルムを開発したので報告する。

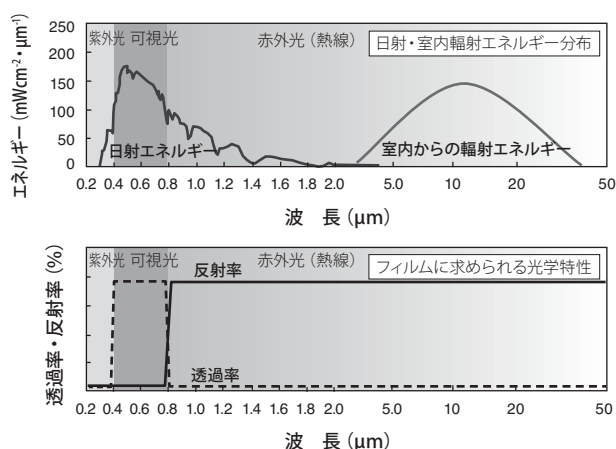


図1 日射および室内輻射熱のエネルギー分布と、窓貼りフィルムに求められる光学特性

2. 開発の概要

2-1 窓用遮熱・断熱フィルムの機能 窓部には、採光性、眺望性が求められるため、窓用遮熱・断熱フィルムは透明性と両立が必須となる。図1に光の波長に対する日射エネルギー分布、室内からの暖房輻射熱エネルギー分布、透明・遮熱（日射遮蔽）・断熱機能を発現するために

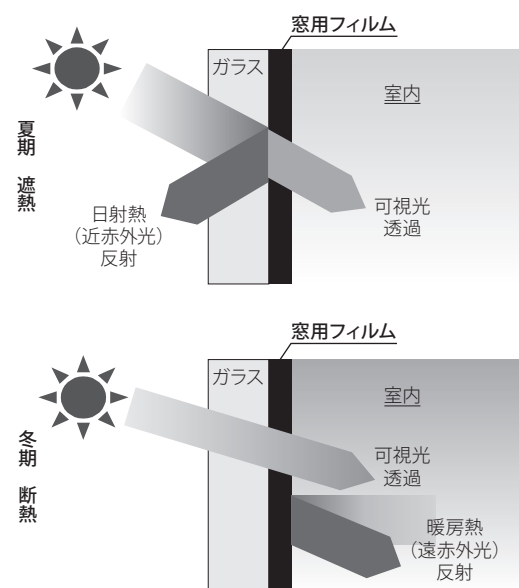


図2 遮熱・断熱フィルムの機能

窓貼りフィルムに求められる透過・反射スペクトルを示す。

窓の採光性維持と日射エネルギー遮蔽を両立するためには、日射エネルギーのうちの、可視光成分（波長0.4～0.8μm）は透過し、近赤外光成分（波長0.8～2μm）は反射するカットオフフィルターを形成する必要がある。また、断熱機能は、室内からの暖房輻射熱エネルギーである遠赤外光（波長5～20μm）を室内側へ反射させて熱流出を低減することで発現させるため、遠赤外光成分の反射も必要となる。

図2に遮熱・断熱フィルムの夏期および冬期の機能イメージを示す。

2-2 機能膜の設計・構成 可視光透過、近赤外光反射、遠赤外光反射を全て満足する光学多層膜フィルターとしての機能膜設計にあたり、低屈折率層には、可視光の吸収が小さく赤外光の反射が大きいAg系合金薄膜を選定した。そして、高屈折率誘電体薄膜との多層積層化により可視光領域を低反射率化・高透過率化することで高採光性・眺望性を確保した。求める可視光領域の透過波長幅、近赤外光領域の反射率の立ち上がりの傾斜、遠赤外光領域の反射率に応じて高屈折率誘電体薄膜とAg薄膜の積層数、各層の膜厚が決定される。図3に7層積層品の断面写真を示す。

実際の構成は、PETフィルム上に高屈折率誘電体薄膜、Ag系合金薄膜が交互積層され、高屈折率誘電体薄膜とAg薄膜の界面には、Agマイグレーション抑制・層間密着性向上のため数nm厚のTi薄膜がバリア膜として挿入されている。

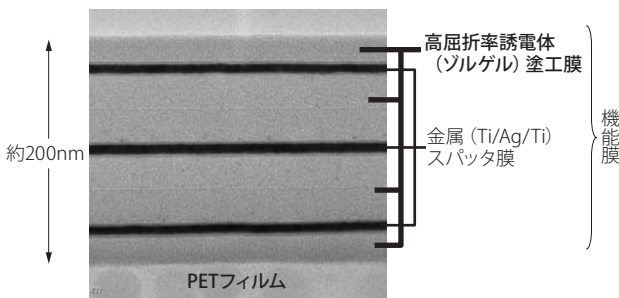


図3 機能膜の断面構造（TEM像）

2-3 断熱機能付加技術 断熱機能を付加するためには、室内から発生する暖房熱（遠赤外光）を吸収することなく室内側に反射する必要があるが、従来の遮熱フィルムは機能膜（熱線反射膜）の室内側にPETフィルムとアクリル系ハードコートがあり、暖房熱（遠赤外光）を吸収してしまうため、断熱機能を有していなかった。

そこで、フィルム構成をガラス側から、粘着層、PETフィルム、熱線反射機能膜、アクリル系保護膜、アクリル

系ハードコートという順に変更し、さらに、ハードコート膜、保護膜の膜厚をそれぞれ1μm以下の適正範囲にコントロールすることにより断熱性と耐擦傷性の両立を実現した。図4に遮断熱タイプと遮熱タイプのフィルム構成を示す。

	フィルム構成（断面図）	機能	
		遮熱性	断熱性
遮断熱タイプ		○	○
遮熱タイプ		○	×

図4 遮熱・断熱フィルムの構造

2-4 機能膜作製技術 機能膜の構成要素である高屈折率誘電体薄膜は、高コストの反応性スパッタ成膜ではなく、大気中で高線速化が可能なウェット塗工法で成膜することで大幅な低コスト化を実現した。原料には有機チタネートを用い、グラビアロール方式で塗工、その後乾燥され、続くUV照射による低温ゾルゲル重合反応により、PETフィルム上でのTiO₂化を可能としている。有機チタネートには、塗液での安定性、高屈折率化し易さ、亀裂の発生し難さを考慮し、nブトキシチタン（多量体）を用い、UV吸収性を付加するため、アセチルアセトンでキレート化したものを使用している。図5にUVアシストゾルゲル重合反応機構を示す。

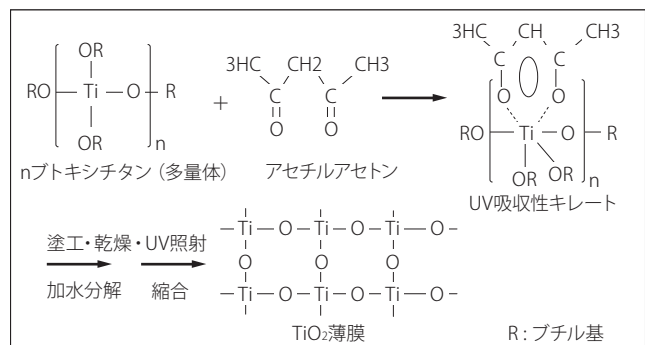


図5 UVアシストゾルゲル重合反応機構

3. 遮熱・断熱フィルムの特性

3-1 光学特性 遮熱機能を有する「リフレッシュイン®TX71」、断熱機能を有する「リフレッシュイン®TW31」、遮熱および断熱機能を有する「リフレッシュイン®TU71」の3種の窓用遮熱・断熱フィルムを開発した。紫外～遠赤外光領域の透過・反射スペクトルを図6～8に示す。遮熱フィルム「リフレッシュイン®TX71」は可視光透過・近赤外光反射機能を、断熱フィルム「リフレッシュイン®TW31」は可視光透過・遠赤外光反射機能を、遮断熱フィルム「リフレッシュイン®TU71」は、可視光透過・近～遠赤外光反射機能をそれぞれ有していることが分かる。

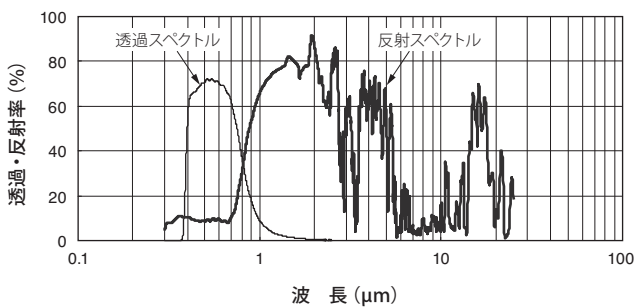


図6 遮熱フィルム「リフレッシュイン®TX71」の透過・反射スペクトル

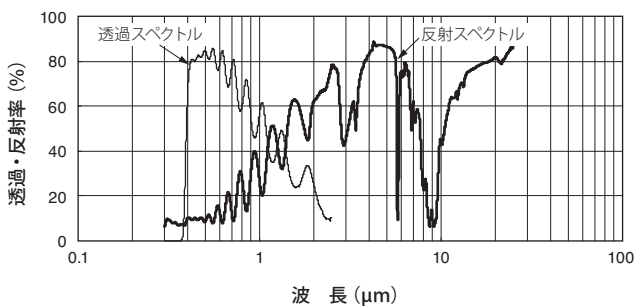


図7 断熱フィルム「リフレッシュイン®TW31」の透過・反射スペクトル

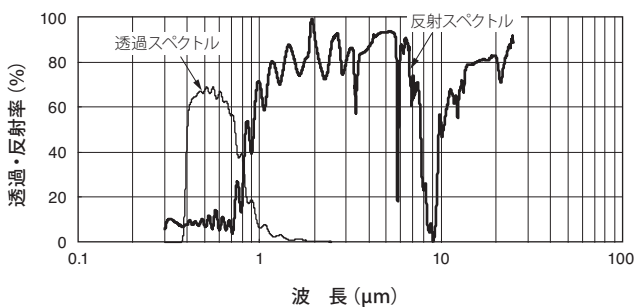


図8 遮断熱フィルム「リフレッシュイン®TU71」の透過・反射スペクトル

表1 「リフレッシュイン®TX71」、「リフレッシュイン®TW31」、および「リフレッシュイン®TU71」の特性

		遮熱タイプ	断熱タイプ	遮断熱タイプ	参考
		リフレッシュイン®TX71	リフレッシュイン®TW31	リフレッシュイン®TU71	3mm厚板ガラスのみ
採光性	可視光透過率	71.0%	81.6%	70.8%	90.4%
遮熱性	遮蔽係数	0.57	0.74	0.51	1.00
	日射透過率	39.6%	61.0%	37.0%	87.4%
断熱性	熱貫流率	5.77W/m²K	4.49W/m²K	4.47W/m²K	5.92W/m²K
ガラス熱割れ安全性	日射吸収率	32.4%	19.0%	34.1%	4.4%

試験方法：3mm厚板ガラスに貼付し、JIS A5759「建築窓ガラス用フィルム」に準拠し測定

表1に「リフレッシュイン®TX71」、「リフレッシュイン®TW31」、および「リフレッシュイン®TU71」の特性を示す。いずれも、可視光透過率70%以上の高採光性を有しており、TX71とTU71は遮蔽係数0.6以下という高い遮熱性を、また、TW31とTU71は熱貫流率が4.5W/m²K以下と低い値を示し、断熱性を有している。特にTU71は、透明・遮熱・断熱特性を兼ね備えた世界初の窓用フィルムである。

3-2 耐候性 建物窓用フィルムは、JIS A5759「建築窓ガラス用フィルム」でサンシャインカーボンアーク灯式の耐候性試験機による耐候性試験が規定されている。表2に試験条件を示す。

「リフレッシュイン®TX71」、「リフレッシュイン®TW31」、および「リフレッシュイン®TU71」の試験結果を表3に示す。いずれも1000時間処理後において、外観、光学特性に変化がないことを確認した。

表2 耐候性試験条件

項目	条件
光源	サンシャインカーボンアーク灯1灯光フィルター 分光透過率 275nmで2%以下 400nmで90%以上
電源電圧	交流 200V ± 20V
照射時の条件	
平均放電電圧電源	50V ± 1V, 60A ± 1.2A
ブラックパネル温度計の示す温度	63°C ± 3°C
相対湿度	(50 ± 5) %
試験片表面の放射照度	255(±10%)W/m²(300nm～700nmにおいて)
水の噴射	通常、120分照射中に、18分間水噴射
フィルムを貼り付けるガラス	分光透過率 275nmで2%以下 400nmで90%以下
試験片への光照射条件	ガラス面を光源に向けて取り付ける
水噴射の方法	光照射面であるガラス面に噴射する

表3 「リフレッシュイン®TX71」、「リフレッシュイン®TW31」、および「リフレッシュイン®TU71」の試験前後の特性比較

品 種	項 目	初 期	耐候性試験後
遮熱 タイプ TX71	可視光透過率	71.0%	71.8%
	遮蔽係数	0.57	0.56
	日射透過率	39.6%	39.2%
	熱貫流率	5.77W/m ² K	5.79W/m ² K
	日射吸収率	32.4%	31.8%
断熱 タイプ TW31	可視光透過率	81.6%	79.4%
	遮蔽係数	0.74	0.74
	日射透過率	61.0%	60.0%
	熱貫流率	4.49W/m ² K	4.63W/m ² K
	日射吸収率	19.0%	20.4%
遮断熱 タイプ TU71	可視光透過率	70.8%	71.6%
	遮蔽係数	0.51	0.54
	日射透過率	37.0%	37.8%
	熱貫流率	4.47W/m ² K	4.52W/m ² K
	日射吸収率	34.1%	30.4%

透過日射量等を1分間隔で24時間連続計測を行った。実験箱のセンサー類設置状況を図9に示す。断熱効果測定時には、各実験箱内に400Wの遠赤外線ヒーターをガラス面とは反対のポリスチレンフォーム面に向けて設置し、ガラスのみの実験箱の床面から高さ150cmの箱内空気温度を基準とし20～25℃になるように全実験箱内のヒーターのON/OFF制御を同時に行った^{(1),(2)}。

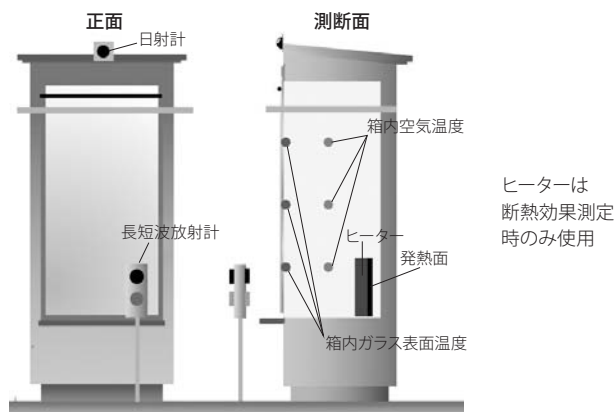


図9 実験箱のセンサー類設置状況

4. 遮熱・断熱効果の実験検証

4-1 実験方法 今回開発した遮熱・断熱フィルムの温熱効果検証を、東京理科大学の実験装置を用いて行った。実験装置写真を写真1に示す。



写真1 実験装置写真

実験装置（以下：実験箱）は6基存在し、そのうちの4基を用いた。実験箱は南面に幅1m、高さ2mの開口部があり、単板ガラスまたは複層ガラスが設置されている。ガラス面以外は厚さ100mmのポリスチレンフォームにより断熱されている。使用した4基のうち3基は、ガラスの箱内面にそれぞれ、遮熱・断熱フィルムを貼付し、残り1基は比較のためガラスのみとした。実験は、パソコンとデータロガーを用い、実験箱内の空気温度、ガラス内面温度、

遮熱および断熱効果は、実験箱の開口部に単板ガラスまたは複層ガラスを使用し、それぞれ遮熱・断熱フィルムを貼付した場合とガラスのみとの比較を行った。実験は冬期～中間期、および夏期に実施した。表4に実施した実験の一覧を示す。

表4 実施した実験一覧

	使用ガラス	季節	実施年月日
遮熱 効果 検証	単板ガラス 8mm厚	冬期～中間期	2011年2月3日～20日
		夏 期	2011年6月28日～7月31日
	複層ガラス 8/A6/8mm	冬期～中間期	2011年4月2日～4月30日
		夏 期	2011年6月1日～6月26日
断熱 効果 検証	単板ガラス 8mm厚	冬期～中間期	2011年3月14日～15日
		夏 期	—
	複層ガラス 8/A6/8mm	冬期～中間期	2011年4月7日～8日
		夏 期	—

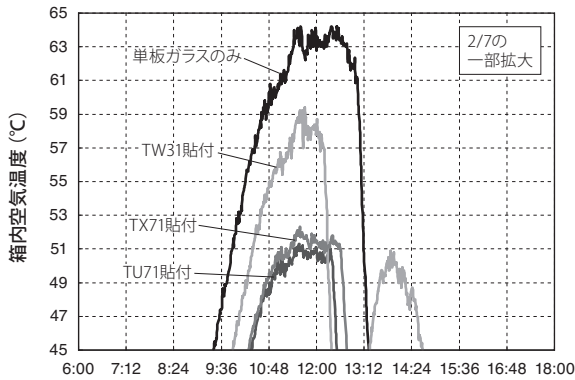
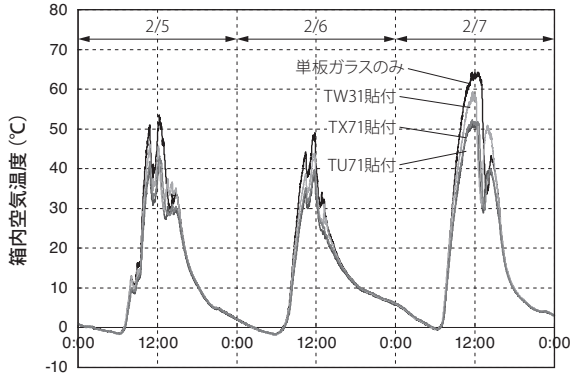
4-2 実験結果

(1) 遮熱効果検証

(a) 単板ガラスに貼付した場合

8mm厚単板ガラスの箱内面に貼付した場合の箱内空気温度の経時変動を図10に示す。冬期・中間期は2011年2

(1) 冬期～中間期実験



(2) 夏期実験

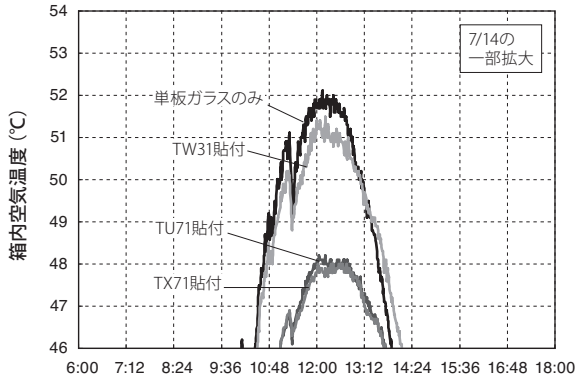
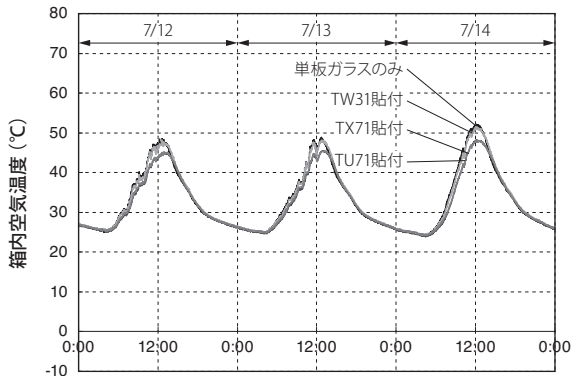


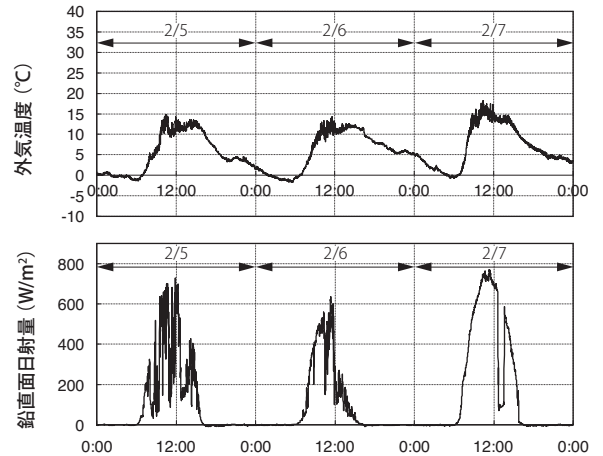
図10 (1) 冬期～中間期実験、(2) 夏期実験における箱内空気温度の経時変動 (単板ガラスの場合)

月5日～7日、夏期は2011年7月12日～14日の結果である。実験の際は気象データも同時に測定している。図11に例として冬期・中間期および夏期実験期間中の外気温度、鉛直面日射量のデータを示す。

冬期・中間期測定において、2月5日、6日は曇り、7日は晴天、夏期測定において、7月12日、13日は曇り、14日は晴天であった。日射がある場合、箱内空気温度は、冬期ではフィルム未施工のガラスのみに比べて最大で、TU71は12.9°C、TX71は11.9°C、TW31は4.8°C低下し、夏期では、TU71は3.9°C、TX71は4.1°C、TW31は0.6°C低下するという結果が得られ、フィルムを貼付した場合の昇温抑制効果、および遮蔽係数が小さいほど大きな昇温抑制効果が得られることが確認された。

尚、冬期に比べて夏期の方が箱内空気温度の昇温が小さいが、これは夏期の方が開口部のある南面の鉛直面日射量が小さく、箱内に流入する日射量が減るためである。

(1) 冬期～中間期実験の気象データ



(2) 夏期実験の気象データ

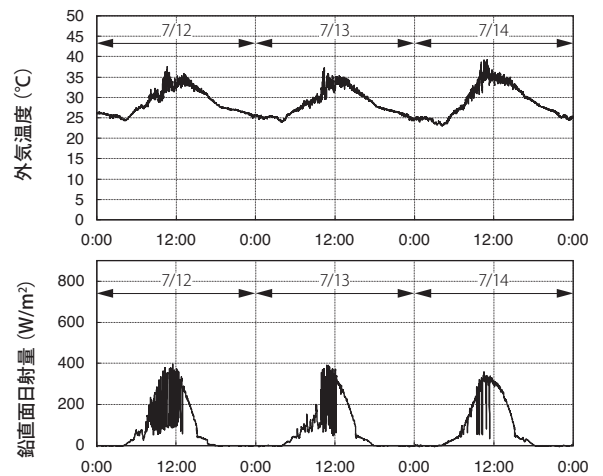
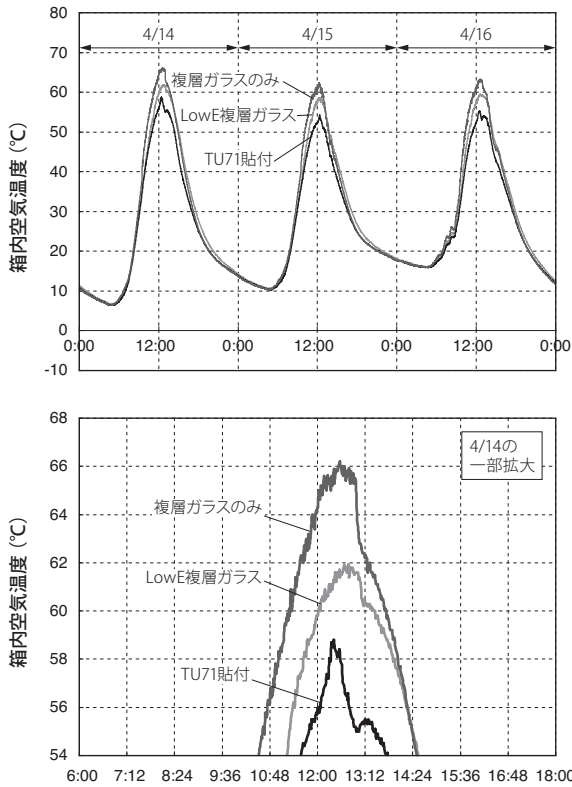
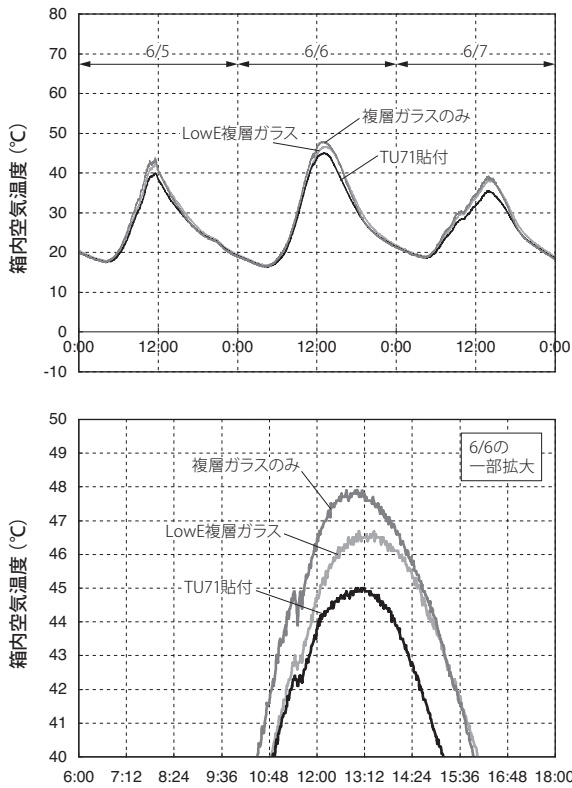


図11 実験期間中の気象データ例

(1) 冬期～中間期実験



(2) 夏期実験



(b) 複層ガラスに貼付した場合

ガラス8mm／空気6mm／ガラス8mm複層ガラスの箱内面にTU71を貼付した場合の箱内温度の経時変動を図12に示す。測定は、同じ厚みのLowE複層ガラス（遮蔽係数0.69、熱貫流率2.5W/m²K）も同時に実施し比較を行った。冬期・中間期は2011年4月14日～16日、夏期は2011年6月5日～7日の結果である。冬期・中間期測定において、4月14日、15日は晴天、16日は曇り、夏期測定において、6月5日、7日は曇り、6日は晴天であった。

箱内空気温度は、冬期・中間期では、フィルム未施工の複層ガラスに比べて最大で、TU71は7.4℃低下したのに対し、LowE複層ガラスでは4.3℃の低下であった。夏期では、TU71は2.9℃低下したのに対し、LowE複層ガラスでは1.2℃の低下であった。以上の結果から、複層ガラスの場合においても、フィルムを貼付した場合の昇温抑制効果、および遮蔽係数が小さいほど大きな昇温抑制効果が得られることが確認された。

(2) 断熱効果検証

(a) 単板ガラスに貼付した場合

8mm厚単板ガラスの箱内面に断熱タイプTW31および遮熱タイプTX71を貼付した場合の実験は、2011年3月14日～15日に実施した。実験は、日射熱の影響を避けるため夜間に実施した。図13に箱内空気温度の経時変動を示す。また、図14に実験期間中の外気温度、鉛直面日射量のデータを示す。

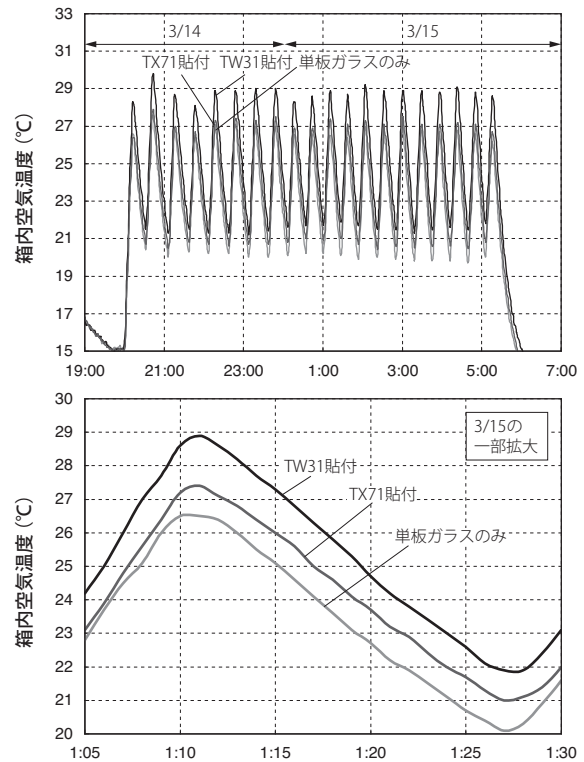


図12 (1) 冬期～中間期、(2) 夏期実験における箱内空気温度の経時変動（複層ガラスの場合）

図13 箱内空気温度の経時変動（単板ガラスの場合）

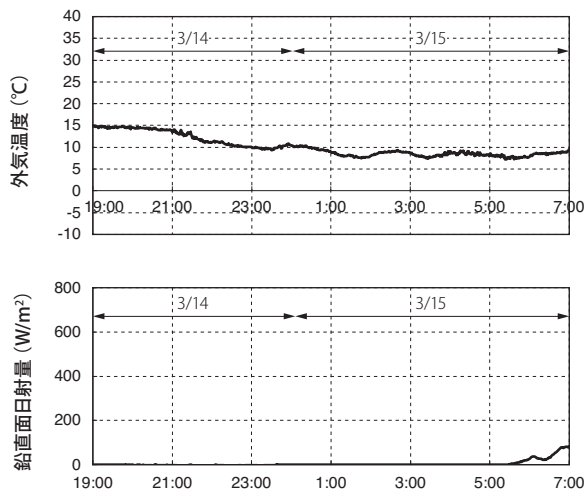


図14 実験期間中の気象データ例

各実験箱内に400Wの遠赤外線ヒーターを設置し、単板ガラスのみの実験箱の床面から高さ150cmの箱内空気温度を基準とし20～25℃になるように全実験箱内のヒーターのON/OFF制御を同時に行っており、箱内空気温度は波形で上昇降下を繰り返している。断熱タイプTW31を貼付した場合、フィルム未施工のガラスのみに比べて最大で、2.7℃の温度上昇が得られ、断熱効果が確認された。

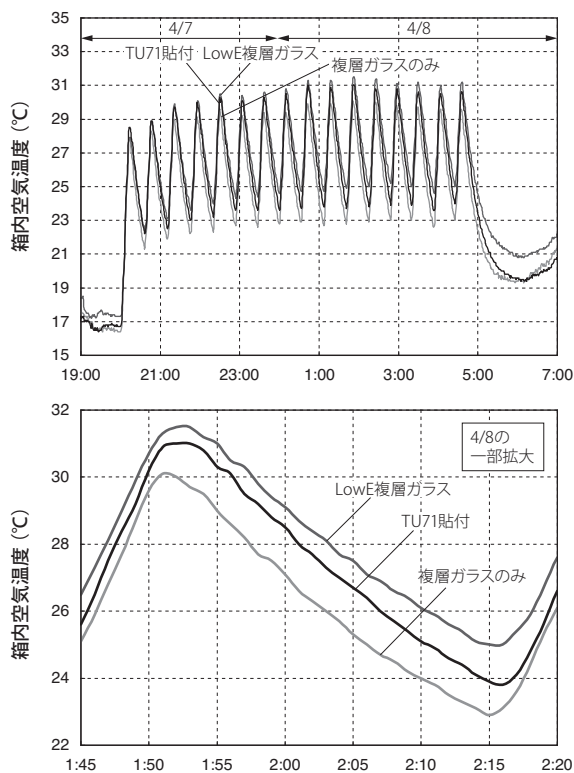


図15 箱内空気温度の経時変動（複層ガラスの場合）

また、遮熱タイプTX71を貼付した場合は、1.1℃の上昇であった。

(b) 複層ガラスに貼付した場合

ガラス8mm／空気6mm／ガラス8mm複層ガラスの箱内面に遮断熱タイプTU71を貼付した場合の実験は、2011年4月7日～8日に実施した。測定は、同じ厚みのLowE複層ガラス（遮蔽係数0.69、熱貫流率2.5W/m²K）も同時に実施し比較を行った。日射熱の影響を避けるため夜間に実施した。図15に箱内空気温度の経時変動を示す。

遮断熱タイプTU71を貼付した場合、フィルム未施工の複層ガラスのみに比べて最大で、1.0℃の温度上昇が得られ、断熱効果が確認された。また、LowE複層ガラスを使用した場合は、1.5℃の上昇であった。

(3) 結果まとめ

上記実験結果を表5にまとめる。

表5 遮熱・断熱効果検証実験まとめ

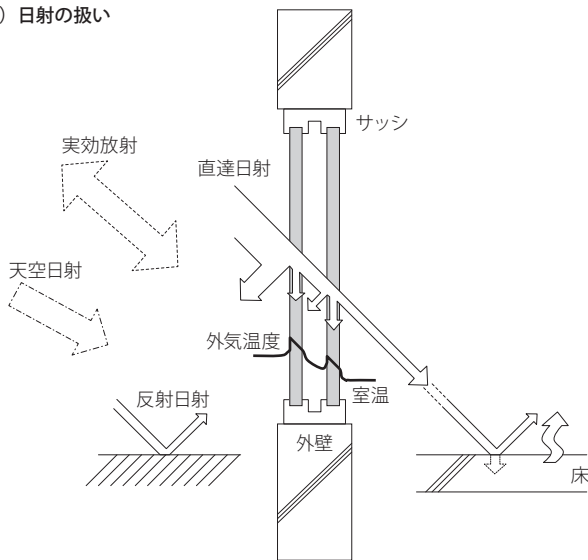
遮熱効果検証	断熱効果検証	使用ガラス	季節	フィルム貼付による効果 (未施工ガラスとの箱内空気温度差比較)			参考
				基準	遮熱フィルム (TX71) 貼付	断熱フィルム (TW31) 貼付	
遮熱効果検証	単板ガラス 8mm厚	冬期 ～中間期	単板ガラスのみの場合を基準とする	11.9℃ 低下	4.8℃ 低下	12.9℃ 低下	
			夏期	4.1℃ 低下	0.6℃ 低下	3.9℃ 低下	
遮熱効果検証	複層ガラス 8/A6/8mm	冬期 ～中間期	複層ガラスのみの場合を基準とする	—	—	7.4℃ 低下	4.3℃ 低下
			夏期	—	—	2.9℃ 低下	1.2℃ 低下
断熱効果検証	単板ガラス 8mm厚	冬期 ～中間期	単板ガラスのみの場合を基準とする	1.1℃ 上昇	2.7℃ 上昇	—	
			夏期				
断熱効果検証	複層ガラス 8/A6/8mm	冬期 ～中間期	複層ガラスのみの場合を基準とする	—	—	1.0℃ 上昇	1.5℃ 上昇
			夏期				

5. 遮熱・断熱効果のシミュレーション検証

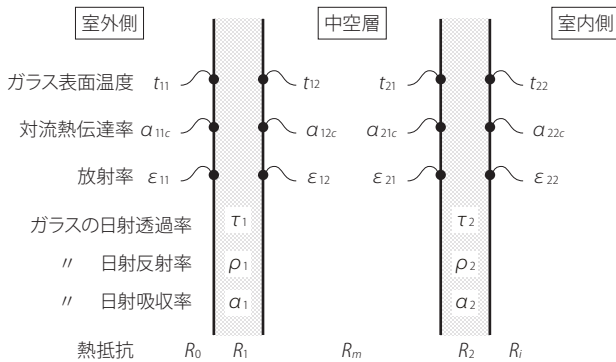
5-1 シミュレーション方法 今回開発した遮熱・断熱フィルムの温熱効果検証を、レスポンス・ファクター法に基づく非定常熱負荷計算プログラム「LESCOM-wind」を用いて行った。「LESCOM-wind」は、旧通産省生活産業局の住機能向上製品対策委員会で開発された多数室非定常熱負荷計算プログラム「LESCOM」を、窓用遮熱・断熱フィルム計算に応じた内容に追加開発したものである^{(3)～(6)}。

開口部の熱収支概念図を図16に示す。非常に複雑で多

(1) 日射の扱い



(2) 熱収支



- t_{11} : 室外側ガラス外表面温度 [°C]
- t_{12} : 室外側ガラス内表面温度 [°C]
- t_{21} : 室内側ガラス外表面温度 [°C]
- t_{22} : 室内側ガラス内表面温度 [°C]
- t_m : 中空層温度 [°C]
- a_{11c} : 室外側ガラス外表面対流熱伝達率 [W/m²K]
- a_{11r} : 室外側ガラス外表面放射熱伝達率 [W/m²·K]
- a_{12c} : 室外側ガラス内表面対流熱伝達率 [W/m²K]
- a_{21c} : 室内側ガラス外表面対流熱伝達率 [W/m²K]
- a_{22c} : 室内側ガラス内表面対流熱伝達率 [W/m²K]
- a_{22r} : 室内側ガラス内表面放射熱伝達率 [W/m²·K]
- ϵ_{11} : 室外側ガラス外表面放射率 [-]
- ϵ_{12} : 室外側ガラス内表面放射率 [-]
- ϵ_{21} : 室内側ガラス外表面放射率 [-]
- ϵ_{22} : 室内側ガラス内表面放射率 [-]
- R_0 : 室外側熱伝達抵抗 [m²·K/W]
- R_1 : 室外側ガラス熱抵抗 (一定) [m²·K/W]
- R_m : 中空層熱伝達抵抗 [m²·K/W]
- R_2 : 室内側ガラス熱抵抗 (一定) [m²·K/W]
- R_i : 室内側熱伝達抵抗 [m²·K/W]
- R : ガラス部の総合熱抵抗 [m²·K/W]

図16 開口部の熱収支概念図 (複層ガラスの場合)

岐にわたる。非定常熱負荷計算プログラム「LESCOM-wind」は、これらを考慮した熱平衡式からコンピュータシミュレーションにより温熱環境を再現している。

5-2 シミュレーション検証結果

(1) 遮熱効果検証

熱負荷計算プログラム「LESCOM-wind」を使用し、実際の実験箱実験に基づく熱負荷計算を行い、遮熱効果のシミュレーション計算による検証を行った。計算は、2011年2月5日～7日に実施した8mm厚単板ガラスを使用した遮熱実験に基づき、当日の気象データを用いて実施した。図17にTX71を貼付した場合の箱内空気温度のシミュレーション計算結果と実測データを示す。「LESCOM-wind」を使用したシミュレーション計算結果は実測データとよく一致し、シミュレーション計算によってもTX71の遮熱効果が確認された。

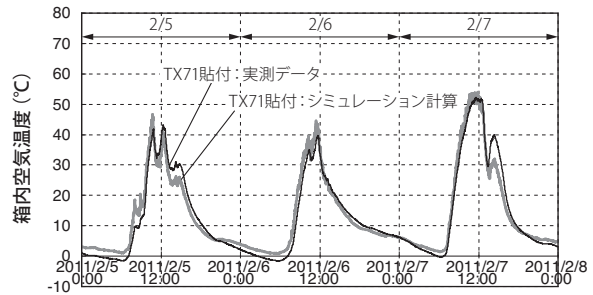


図17 TX71を貼付した場合のシミュレーション計算結果と実測値比較

(2) 断熱効果検証

(1)と同様に熱負荷計算プログラム「LESCOM-wind」を使用し、2011年3月14日～15日に実施した8mm厚単板ガラスを使用した断熱実験に基づき、当日の気象データを用いて実施した。図18にTW31を貼付した場合の箱内空気温度のシミュレーション計算結果と実測データを示す。

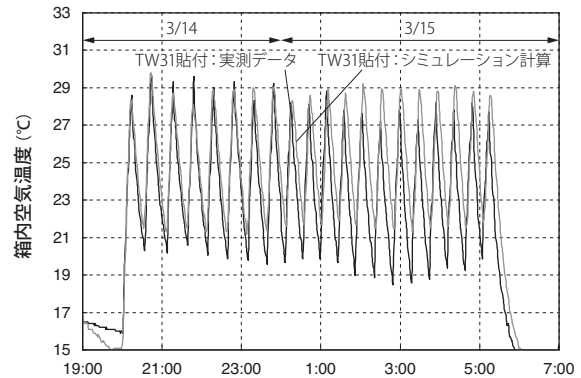


図18 TW31を貼付した場合のシミュレーション計算結果と実測値比較

す。「LESCOM-wind」を使用したシミュレーション計算結果は実測データとよく一致し、シミュレーション計算によってもTW31の断熱効果が確認された。

6. モデルオフィスにおける空調負荷シミュレーション

6-1 シミュレーション方法 計算結果と実験箱での実験結果がよく一致することが確認できたことから、熱負荷計算プログラム「LESCOM-wind」を使用し、建築学会モデルオフィスにおいて遮熱・断熱フィルムを使用した場合の年間空調消費電力に対する省エネ効果のシミュレーション計算を行った。計算は、札幌、東京、那覇の3地点で実施した。表6にシミュレーション計算条件、図19に建築学会オフィスモデル平面図を示す(7)。

表6 シミュレーション計算条件

項目	計算条件
計算プログラム	「LESCOM-wind」
計算地点	札幌、東京、那覇
気象データ	90年代標準年データ使用
建物モデル	建築学会オフィスモデルの1フロア分 対象床面積 605m ² (事務室部分) 窓面積 150m ²
ガラス種	8mm厚単板ガラス、または8/A6/8mm複層ガラスに遮熱・断熱フィルム貼付(全窓の室内面に貼付)
空調設定	冷房設定温度 26.7℃、暖房設定温度 21.9℃ 空調運転時間 8:00～18:00

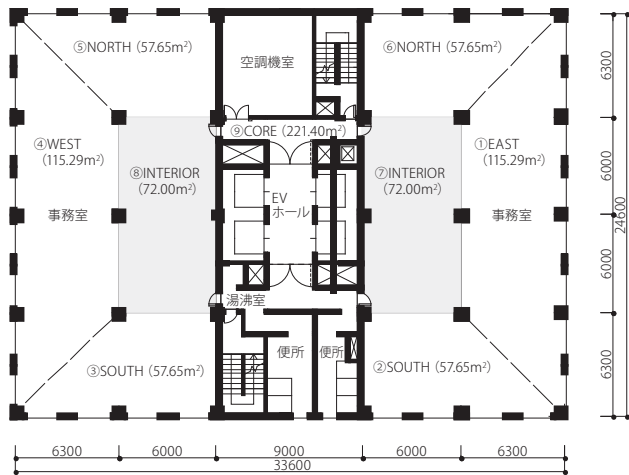


図19 建築学会オフィスモデル平面図

6-2 シミュレーション結果 図20に8mm厚単板ガラスにTU71、TW31、TX71を貼付した場合の年間冷暖房消費電力、図21にガラス8mm/空気6mm/ガラス

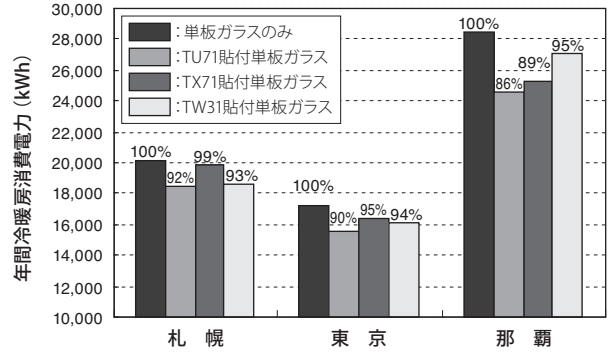


図20 単板ガラスに貼付した場合の計算結果

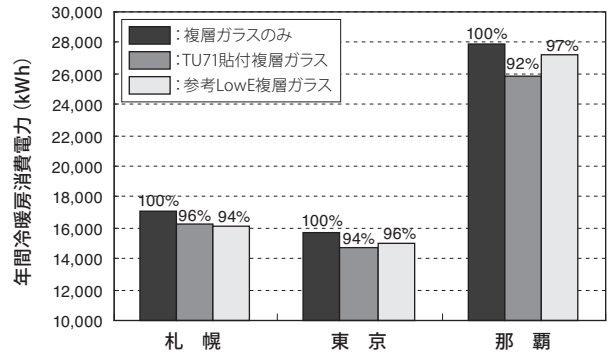


図21 複層ガラスに貼付した場合の計算結果

8mm複層ガラスにTU71を貼付した場合の年間冷暖房消費電力、表7に東京での単板ガラスに貼付した場合の年間冷暖房熱負荷、表8に東京での複層ガラスに貼付した場合の年間冷暖房熱負荷を示す。図21、表8には、同じ厚みのLowE複層ガラス(遮蔽係数0.69、熱貫流率2.5W/m²K)を使用した場合も同時に計算し比較を行った。単板ガラスでの比較において、札幌、東京、那覇のいずれの地点でも、遮熱・断熱フィルムを貼付することでフィルム未使用条件に比べて年間冷暖房消費電力の削減効果が得られている。特に遮熱・断熱の両機能を有するTU71はいずれの地点に

表7 単板ガラスに貼付した場合の東京における年間冷暖房熱負荷計算結果

	年間冷暖房負荷			
	kWh/年	相対比率	年間冷房負荷 kWh/年	年間暖房負荷 kWh/年
単板ガラスのみ	17,198	100%	13,028	4,170
TU71 貼付単板ガラス	15,502	90%	11,017	4,485
TX71 貼付単板ガラス	16,332	95%	11,266	5,067
TW31 貼付単板ガラス	16,136	94%	12,360	3,775

相対比率は単板ガラスを100%とした場合の比率

表8 複層ガラスに貼付した場合の東京における年間冷暖房熱負荷計算結果

	年間冷暖房負荷		年間冷房負荷 kWh/年	年間暖房負荷 kWh/年
	kWh/年	相対比率		
複層ガラスのみ	15,668	100 %	13,056	2,612
TU71 貼付複層ガラス	14,726	94 %	11,835	2,892
参考：LowE複層ガラス	15,004	96 %	12,711	2,293

相対比率は複層ガラスを100%とした場合の比率

においても最大の削減効果が得られることが確認された。また、シミュレーション結果から、TU71は複層ガラスに貼付することにより、LowE複層ガラス（遮蔽係数0.69、熱貫流率2.5W/m²K）と同等レベルの削減効果が得られることが確認された。

7. 結 言

当社の保有する光学多層膜設計技術、精密塗工技術、長尺スパッタ技術、材料技術を活用し、窓用の遮熱、断熱、および遮断熱フィルムを開発した。光学機能膜はAg系合金薄膜と高屈折率誘電体薄膜の多層積層膜からなり、特に、高屈折率誘電体薄膜を当社独自のゾルゲルウェット成膜法で形成することにより大幅な低コスト化を実現した。東京理科大学の実験装置を使用した実験検証、および熱負荷計算プログラム「LESCOM-wind」を使用したシミュレーション検証により、遮熱・断熱効果を明確化し、モデルオフィスでの年間冷暖房消費電力に対する省エネ効果を試算した。

今後は、構成材料の開発や機能膜設計の適正化を実施し、更なる高性能化、低コスト化の実現を計画している。

用語集

※1 遮蔽係数

3mmの透明板ガラスの透過、及び再放射による室内流入熱量を1.00とした場合の、太陽光エネルギーの流入熱量を表す数値。

※2 熱貫流率

1℃の温度差がある場合の1時間当たり、1m²を通過する熱量を表す数値。

※3 ガラス熱割れ

窓ガラスに直射日光を受けると、日光の照射された部分は暖まり膨張するが、周辺のサッシに飲み込まれた部分や日陰になった部分はあまり暖まらず低温のままとなる。この低温部は暖まった高温部の膨張を拘束し、結果としてガラ

スエッジ周辺部に引張応力が発生する。応力がガラスのエッジ強度を越えると「ガラスの熱割れ」が発生する。

※4 冷房負荷

室内をある温度に冷却するのに必要なエネルギー量。

※5 暖房負荷

室内をある温度に暖めるのに必要なエネルギー量。

参 考 文 献

- (1) 竹内哲也、武田仁、稲垣宏樹、別所久美、「日射遮蔽フィルムの遮熱・断熱効果に関する研究、その1 遮熱効果の実験検証」、日本建築学会学術講演梗概集、D-2、pp563-564 (2011)
- (2) 稲垣宏樹、武田仁、竹内哲也、別所久美、「日射遮蔽フィルムの遮熱・断熱効果に関する研究、その2 低放射フィルムの断熱効果の実験検証」、日本建築学会学術講演梗概集、D-2、pp565-566 (2011)
- (3) 松尾陽、武田仁、「レスポンスファクター法による熱負荷計算法と計算例(1)」、空気調和・衛生工学会誌、第44巻第4号、pp1-14 (1970)
- (4) 松尾陽、武田仁、「レスポンスファクター法による熱負荷計算法と計算例(2)」、空気調和・衛生工学会誌、第44巻第7号、pp11-25 (1970)
- (5) 武田仁、「非空調室の室温変動解析」、空気調和・衛生工学会論文集、No.7、pp13-21 (1978)
- (6) 武田仁、稲沼寛、吉沢望、磯崎恭一郎、「標準気象データと熱負荷計算プログラムLESCOM」、井上書院 (2005)
- (7) 滝沢博、「標準問題の提案 オフィス用標準問題」、日本建築学会環境工学委員会、第15回熱シンポジウム資料、pp35-42 (1985)

執 筆 者

竹内 哲也*：東海ゴム工業(株) 新事業開発研究所
担当次長
光学機能フィルム開発に従事



後藤 修：東海ゴム工業(株) 新事業開発研究所
犬塚 正隆：東海ゴム工業(株) 新事業開発研究所
榎崎 徹司：東海ゴム工業(株) 新事業開発研究所 担当課長
徳永 義弘：東海ゴム工業(株) リフレッシュイン事業室 担当次長
別所 久美：東海ゴム工業(株) 新事業開発研究所 室長
武田 仁*：東京理科大学 名誉教授 工学博士
専門 建築環境工学



*主執筆