

熱割れが不安でお困りのお客様へ



網入ガラスや着色ガラスにフィルムを施工したいが、業者に断られてお困りではありませんか？

反射型の iQUE フィルムなら、独自の熱割れリスク診断と、充実の熱割れ保障制度で、様々なガラスに施工できます。

網入りガラスや熱反ガラスに貼れる iQUE フィルム



日当たりの良い野外に面した板ガラスは、まれに、直射日光が当たることによってガラスが破損することがあります。これを熱割れ現象と言います。野外に面した窓ガラスでは、日射を直接受けた部分は日射熱を吸熱して高温となり膨張する一方、アルミサッシに組み込まれた部分や、日差しが当たらない影の部分はあまり温度上昇せず低温のままとなります。この温度差が結果としてガラスに歪みが発生し、こ

れがガラスの耐久強度を超えるとガラスが割れてしまいます。

例えば熱割れは、冬期の晴れた日の午前中に東面で発生しやすくなります。また網入りガラスや大きなガラス、着色ガラスや熱線吸収・熱線反射ガラスで発生しやすく、日射調整フィルムを不用意に施工すると、その危険性がさらに高まります。つまり熱割れ現象は、気象や建物の向きといった環境因子、ガラスの大きさや種類といったガラスの特性、さらには、ガラスの表面にフィルムやシールを貼るなどの装飾といった様々な要因が複雑に絡み合っ引き起こされる現象であって、個々に詳細に検討しない限り、一概に言及することができません。それでも、日差しが当たった時にガラス面に発生する温度差が原因である以上、ガラスの熱くなりやすさ（日射吸収率）を低く抑えることが熱割れする危険を回避する基本となるため、日射吸収フィルムを導入するためには、高い遮熱効果を得るというメリットと、熱割れする危険性が高まるというデメリットというジレンマをどうやって解消するかが重要な判断基準になります。

高性能な遮熱機能と低い日射吸収率を兼ね備えた iQUE フィルムは、そのようなジレンマを抱える網入りガラスや熱線反射ガラスにも施工でき、緻密な熱割れ診断サービス（無償）と安心の熱割れ保証制度（有償）も充実。熱割れが懸念されるガラスの省エネ改修にお困りの方は、遠慮なくご相談下さい。iQUE フィルムなら、お客様のベストアンサーが見つかります。

1. 網入りガラスに iQUE フィルムを貼る

熱割れする危険性はある程度予測することが可能で、“ガラスの中心温度とサッシ温度の温度差”とガラスの環境によって決まる“危険係数”の積が、ガラスのひずみに対する耐久力（許容熱応力）より小さければ、熱割れする危険性が低いと考えることができます。これは、どの様なガラスでも同じです。

$$\underline{【危険係数:K】 \times (【ガラスの中心温度:Tg】 - 【サッシの温度:Ts】) \leq 【ガラスの許容値】}$$

では、網入りガラスはなぜ熱割れしやすいのでしょうか？それは、一般的なフロートガラスに対して、網入りガラスの許容熱応力が著しく低いことが原因となります。同じ 10mm の厚みのガラスと比較すると、網入りガラスの許容熱応力は、一般的なガラスの 56%未満しかありません。この結果、ガラスの温度差 (Tg-Ts) も、通常の 56%未満になるように設計しなければならないのです。

例えば東京都内の一般的なオフィスビルで、ガラスサイズが 1 m²の可動式窓ガラスを想定します。

この時の危険係数：K は最大 6.12 となりますので、網入りガラスの場合、その温度差が 16℃以下になるように気を付けなければなりません。29℃まで許容できる一般的なガラスとは大違いです。

板ガラスの場合、ガラスの温度差 (Tg-Ts) はおおよそ下記の式に近似できます。

$$\underline{Tg - Ts = 0.05 \times \text{日射量} : I \times \text{日射吸収率} : A}$$

日射量は季節な方角、時刻によって大きく変化しますが、最大で 800W/m²に及ぶこともあります。つまりガラスの温度差 (Tg-Ts) を 16℃以下に抑えるためには、日射吸収率：A を 40%以下に抑えなければなりません。ちなみに普通のガラスであれば日射吸収率：A は 74%まで許容されますので、その差は明らかです。

では、日射吸収率：Aw、日射反射率：Rw のウィンドウフィルムを 10mm の網入りガラスに内貼施工した時のガラスの日射吸収率はどうなるのでしょうか？概算値ですが、下記の式の様になります。

$$\underline{A = 0.20 \times (1 + 0.73 \times Rw) + 0.73 \times Aw}$$

例えば Rw=10%前後の非光沢タイプのウィンドウフィルムであれば、Awは 25%以下でなければいけないこととなります。Rw=38%前後のミラータイプのウィンドウフィルムであれば、Awは 20%以下にしなければなりません。非常に選択肢が限られてしまうのが、網入りガラスへのウィンドウフィルムの施工になります。

それでは、いろんなウィンドウフィルムを比較してみましょう。

ガラスの許容熱応力

厚み	フロートガラス	網入りガラス
6.0mm	180	—
6.8mm	—	100
8.0mm	180	—
10mm	180	100
12mm	180	—
15mm	150	—
19mm	150	—

単位：kgf/cm²

以下の表に、様々な物性のウィンドウフィルムの一覧表を作成してみました。これらの製品は、よく見かけるものばかりです。しかしながら、網入りガラスに施工できそうなものはたった2種類だけ。しかも基本性能を見比べても、施工できるかどうかは全く判断できません。もちろん、ガラスのサイズが大きくなったり、使用環境、ガラスの向き、方角、カーテンの有無などが変わることで熱割れリスクの危険係数：Kは、2.2～9.0 前後まで大きく変動しますので、この表で施工可否を一概に言えるわけでもありません。この様な背景から、一般的に『ウィンドウフィルムは網入りガラスには貼れない』という考え方が広まったと考えられます。

でも、早々に諦めてしまうのはもったいなくないですか？よほど過酷な条件でない限り、遮蔽係数が0.63と優秀なiQUE78FGは、網入りガラスに施工できるのです。[熱割れリスクの診断から始める iQUE フィルムの検討手順](#)に従えば、きっと解決できていない網入りガラスの暑さ対策が可能となります。

製品	基本特性			日射特性		熱割れリスク	
	遮蔽係数	可視光透過率	可視光反射率	吸収率 A _w	反射率 R _w	総合日射吸収率 A	熱割れリスク
iQUE78FG	0.63	78%	10%	24%	21%	0.40	○
iQUE73FG	0.50	70%	8%	31%	30%	0.47	×
iQUE53G2	0.45	58%	7%	40%	30%	0.53	×
比較1	0.61	69%	9%	37%	21%	0.50	×
比較2	0.65	81%	11%	30%	22%	0.45	×
比較3	0.80	88%	10%	12%	22%	0.32	○
比較4	0.29	20%	58%	32%	53%	0.51	×
比較5	0.44	36%	40%	35%	38%	0.51	×
比較6	0.55	37%	20%	49%	19%	0.58	×
比較7	0.70	54%	12%	40%	12%	0.51	×
比較8	0.84	70%	9%	27%	8%	0.41	×
比較9	0.69	41%	7%	47%	9%	0.55	×
比較10	0.80	83%	10%	32%	8%	0.44	×

2. 熱反ガラス・着色ガラスに iQUE フィルムを貼る

きちんと遮熱対策したはずの窓ガラスの窓際がやっぱり暑い。最近、このような相談をよく承ります。これにもちゃんと理由があります。一般的な熱反ガラス、着色ガラスの特性を改めて確認してみましょう（右表）。熱線反射ガラスは、特に高性能を謳う遮蔽係数の小さなものほど、実は日射の反射率よりも吸収率の方が格段に大きいことがわかります。

製品		基本特性			日射特性	
種類	色調	遮蔽係数	可視光透過率	可視光反射率	日射吸収率	日射反射率
高性能熱線反射	シルバー	0.26	8%	40%	63%	32%
	シルバー	0.32	14%	31%	65%	25%
	シルバー	0.38	20%	23%	66%	20%
	ブルー	0.47	29%	17%	63%	16%
	ブルー	0.56	39%	11%	60%	10%
熱線反射	シルバー	0.74	62%	31%	23%	20%
熱線吸収	グリーン	0.62	67%	7%	62%	5%
	ブラウン	0.67	40%	5%	55%	5%
無色透明		0.92	87%	8%	19%	7%

つまりこのガラスはそれ自体、太陽光を浴びるととても熱くなる可能性が高いのです。熱くなったガラスは、赤外線を再放射します。つまり“火照る”ため、スペック値通りに涼しくならない可能性が高いのです。

日射調整型のウィンドウフィルムは、仕様によっては、その再放射された赤外線（輻射熱）も吸収したり、反射したりすることができますが、火照る熱反ガラスを涼しくしようとすると難しくなります。その原因は二つ。一つは、吸収タイプであれ反射タイプであれ、室内側に施工しても、ガラスが熱くなることに変わりがないので意味がない、あるいはかえって悪化するかもしれないこと、もう一つは、ガラスがより熱くなってしまえば、熱割れを引き起こす危険が高まることにあります。もっとも本質的な原因は同じで、要はガラスがより熱くならない様に見えるかどうか、成功のカギになります。

板ガラスの温度（中心温度）は、次の式で予測することができます。

$$\mathbf{T_g = 0.041 \times (\text{日射量} : I \times \text{日射吸収率} : A + 15.1 \times \text{外気温} : T_o + 9.2 \times \text{室温} : T_r)}$$

例えば、真夏の西日を想定します。外気温： $T_o = 35^\circ\text{C}$ 、室温： $T_r = 26^\circ\text{C}$ の環境下で、日差しの強さは $600\text{W}/\text{m}^2$ に及ぶことも考えられます。するとその時のガラスの温度 T_g は、 $T_g = 24.6 \times \text{日射吸収率} : A + 31.5$ となります。日射吸収率が **65%** の熱反ガラスの場合、そのガラスの温度は 47°C を超える可能性があるわけです。

ここに様々なウィンドウフィルムを施工してみます。いずれも優れた遮蔽係数を誇る製品ですので、計算上の遮熱効果は非常に優秀です。ところが想定されるガラスの温度を見てみると、ほとんどのウィンドウフィルムが、窓の温度をかえって高めてしまうこととなります。もし、熱反射ガラスを熱く感じる原因が、ガラスの火照り感であったなら、ウィンドウフィルムの施工は逆効果となってしまうかもしれません。

より深刻な問題は、ガラスの温度が上昇するという事は、熱割れする危険性が高まるという点です。例えばこの窓が一般的なオフィスに設置されている厚み 6mm ・ 面積 3m^2 の直付けサッシ窓であったとします。その時の危険係数： K は **8.75** となるかもしれません。するとこのガラスが元々高い日射吸収率をもっていますから、フィルムを施工していない施工前の状態でさえ、

発生する熱応力はすでに、許容値（180kgf/cm²）の95%に相当する171kgf/cm²まで上昇している可能性があります。そしてガラスの温度が僅かでも上昇してしまうウィンドウフィルム施工の場合は、いずれのケースでも発生する熱応力が180kgf/cm²を超えてしまい、熱割れを引き起こす危険性が発生してしまいます。

この様に、すでに日射吸収率が高いガラスにウィンドウフィルムを施工する場合は、最低限、次の3つの条件を満たすウィンドウフィルムを選択する必要があります。

- (1) フィルム自身の日射透過率が低いこと
- (2) フィルム自身の日射吸収率が低いこと
- (3) フィルムは外貼り可能な仕様で、耐候劣化に優れ、変色を生じないこと

(1)の目的は、ともかく熱反ガラスの温度が上がらないように、ガラスに日射があたらないようにすることにあります。しかしながらフィルム自体が日射を吸収してしまつては意味がありませんので、同時に(2)の性能も兼ね備える必要があります。そして、設計されたその性能が長期間にわたって変わらないためには、高い耐久性も求められます。

製品	施工面	製品の基本性能			施工後の総合性能		熱割れリスク	
		遮蔽係数	日射吸収率	日射反射率	日射吸収率	想定される窓の温度	発生する熱応力	熱割れの可能性
iQUE78FG	内貼り	0.63	24%	21%	69%	48.4	181	×
iQUE73FG	内貼り	0.50	31%	30%	70%	48.7	184	×
iQUE73FGX	外貼り	0.45	31%	30%	59%	46.1	156	○
比較1	内貼り	0.61	37%	21%	70%	48.7	184	×
比較2	外貼り	0.57	43%	15%	75%	49.9	196	×
比較3	内貼り	0.44	35%	38%	71%	49.0	186	×
比較4	外貼り	0.42	32%	29%	60%	46.4	159	○
比較5	内貼り	0.48	49%	19%	71%	49.0	187	×
比較6	外貼り	0.50	49%	18%	74%	49.8	196	×
未施工時(比較)		—			65%	47.5	171	○

このような性能の比較は、基本性能を見比べても全く判断できません。もちろん、ガラスのサイズが変わったり、使用環境、ガラスの向き、方角、カーテンの有無などが変わることで熱割れリスクの危険係数：Kは、2.2～9.0前後まで大きく変動しますので、施工可否を一概に言えるわけでもありません。このような背景から、一般的に『ウィンドウフィルムは熱反ガラス（着色ガラス）には貼れない』という考え方が広まったと考えられます。

でも、早々に諦めてしまうのはもったいなくないですか？よほど過酷な条件でない限り、遮蔽係数が0.45と優秀なiQUE73FGXは、外貼り施工という制約条件があるものの、熱反ガラス（着色ガラス）に施工できるのです。[熱割れリスクの診断から始める iQUE フィルムの検討手順](#)に従えば、熱反ガラス（着色ガラス）へのさらなる暑さ対策が可能となります。

3. 複層ガラスにiQUE フィルムを貼る

特に、室温と外気温の温度差が大きくなる冬の夜、窓ガラスを介して熱が流出するのを防ぐ複層ガラスは、素晴らしい断熱効果を発揮します。これは極めて低い熱環流率をもたらす高い断熱効果の恩恵で、窓ガラスを介した熱伝導を抑制できることに起因します。ところが最近、この複層ガラスが暑いという声をよく聞くようになりました。よく晴れた春の昼下がり、燦燦とふりそそぐ日射が窓ガラスを通過して室内を温めるわけですが、以前であれば低い外気温ゆえに室内が冷やされていたのですが、複層ガラスはその熱の流出を防いでしまいますので室内は、まるでビニールハウスの方に暑く熱をため込んでしまいます。こんな時にも日射をカットするウィンドウフィルムを活躍できそうですが、これも簡単ではありません。複層ガラスにフィルムを安易に施工すると、熱割れする危険性がとても高まってしまうからです。

熱割れする危険性はある程度予測することが可能で、“ガラスの中心温度とサッシ温度の温度差”とガラスの環境によって決まる“危険係数”の積が、ガラスのひずみに対する耐久力（許容熱応力）より小さければ、熱割れする危険性が低いと考えることができます。ところが、ガラス1枚だけできた窓ガラスの場合と異なり、複層ガラスの場合は、室温の影響を強く受ける室内側のガラスと、逆に外気温の影響を強く受ける野外側のガラスで別々に考える必要があり、特に夏場は、室温で冷やされることのない野外側のガラスの温度が激しく上昇し、逆に冬場は、外気温で冷やされることのない室内側のガラスの温度が高くなりがちです。この計算の煩雑さと分かりにくさがウィンドウフィルムの選定を難しくしてしまいます。

複層ガラスのガラス温度は、下の式で近似できます。それでは次の二つの条件で、ガラスの温度がどれくらい上昇するか計算してみましょう。

$\text{野外側のガラスの温度: } T_g^{\text{OUT}} = \frac{0.86 \times (14 \times A^{\text{OUT}} + 7 \times A^{\text{IN}}) \times I + 182 \times T^{\text{OUT}} + 49 \times T^{\text{IN}}}{231}$ $\text{室内側のガラスの温度: } T_g^{\text{IN}} = \frac{0.86 \times (7 \times A^{\text{OUT}} + 20 \times A^{\text{IN}}) \times I + 91 \times T^{\text{OUT}} + 140 \times T^{\text{IN}}}{231}$ <div style="text-align: center; font-size: small;"> A^{OUT}: 野外側ガラスの実質日射吸収率 A^{IN}: 室内側ガラスの実質日射吸収率 T^{OUT}: 外気温 T^{IN}: 室温 I: 日射量 </div>
--

ウィンドウフィルムを内貼りすれば室内側のガラスの日射吸収率が、外貼りすれば野外側のガラスの日射吸収率が変化します。これに伴い、それぞれのガラスの温度上昇の程度が変化しますが、場合によっては、熱割れを引き起こしかねないほどに上昇することもあり得ます。例えばこの窓が一般的なオフィスに設置されている面積 3 m² の直付けサッシ窓であったとします。その時の危険係数：K は 6.73 となるかもしれません。すると板ガラスの許容熱応力は 180kgf/cm² ですから、ガラス温度とサッシ温度の温度差が 26.7℃以下になればいいことになります。

項目	条件1	条件2	
環境因子	季節	夏	冬
	時刻	15時	12時
	方角	南西	南
	日射量: I	600W/ m ²	800W/ m ²
	外気温: T ^{OUT}	36℃	10℃
	室温 * T ^{IN}	28℃	22℃
ガラス構成	外側	FL6 (A ^{OUT} =12%)	
	空気層	6mm	
	内側	FL6 (A ^{IN} =12%)	
	面積	3m ²	
工法	直付サッシ		

様々な遮熱フィルムを施工してみた結果、フィルムを内貼りしてしまうと、一部の製品を除いて冬場に室内側のガラスが熱割れする危険が高いことがわかります。これは先述の通り、冬場は外気温で冷やされることのない室内側のガラスの温度が高くなりがちであるにも関わらず、フィルム貼合によってその温度がさらに高くなってしまうためです。つまりこのケースでは、なるべくウィンドウフィルムを外貼りするか、内貼りするのであれば、日射吸収率の低いものを上手く選定しないとイケないことがわかります。

項目	未施工		IQUE78FG		IQUE73FG		IQUE73FGX		比較①		比較②		比較③		比較④		比較⑤		比較⑥		
	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	
フィルム	日射吸収率		24%		31%		31%		37%		43%		35%		32%		49%		49%		
	日射反射率		21%		30%		30%		21%		15%		38%		29%		19%		18%		
	施工面		内貼り		内貼り		外貼り		内貼り		外貼り		内貼り		外貼り		内貼り		外貼り		
実質的日射吸収率	野外側	13%	18%		22%		37%		20%		50%		26%		38%		20%		54%		
	室内側	10%	28%		33%		5%		37%		5%		37%		5%		44%		4%		
ガラス温度	野外側のガラス温度	39.8	19.9	44.2	25.8	46.4	28.7	46.6	28.9	46.2	28.4	50.6	35.6	48.2	31.1	46.9	29.4	47.6	30.3	51.9	36.1
	室内側のガラス温度	37.5	25.7	46.3	37.5	49.5	41.8	39.1	27.8	50.5	43.1	41.2	34.7	51.7	44.7	39.2	28.0	54.2	48.0	41.5	31.0
	サッシ温度	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2
熱割れ診断	$T_e^{OUT}-T_s$	6.6	5.7	11.0	11.6	13.2	14.5	13.4	14.7	13.0	14.2	17.4	21.4	15.0	16.9	13.7	15.2	14.4	16.1	18.7	21.9
	$T_e^{IN}-T_s$	4.3	11.5	13.1	23.3	16.3	27.6	5.9	13.6	17.3	28.9	8.0	20.5	18.5	30.5	6.0	13.8	21.0	33.8	8.3	16.8
	熱割れの可能性	○		○		×		○		×		○		×		○		×		○	

少し複雑な複層ガラスでも検討してみましょう。今度は野外ガラスが日射吸収率 63%の熱反ガラスに変更した場合を考えます。その他の条件を先ほどと同じとすれば、ガラスが熱割れしない条件とはガラス温度とサッシ温度の温度差が 26.7℃以下になればいいことになります。

計算してみると、このガラス構成の場合、野外側のガラスの日射透過率が 10%未満であることから、室内側のガラスにはほぼ日射が当たらなくなりますので、内貼りフィルムは比較的容易に施工できるようになります。反面、外側のガラスに日射吸収率の大きなフィルムを施工すると、今度は、冬場に野外側のガラスが熱割れする危険が高まることがわかります。

項目	条件1	条件2
環境因子	季節	夏
	時刻	15時
	方角	南西
	日射量: I	600W/ m ²
	外気温: T ^{OUT}	36℃
	室温 * T ^{IN}	28℃
ガラス構成	外側	熱反ガラス (A ^{OUT} =65%)
	空気層	6mm
	内側	網入ガラス (A ^{IN} =15%)
	面積	3m ²
	工法	直付サッシ

項目	未施工		IQUE78FG		IQUE73FG		IQUE73FGX		比較①		比較②		比較③		比較④		比較⑤		比較⑥		
	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	条件1	条件2	
フィルム	日射吸収率		24%		31%		31%		37%		43%		35%		32%		49%		49%		
	日射反射率		21%		30%		30%		21%		15%		38%		29%		19%		18%		
	施工面		内貼り		内貼り		外貼り		内貼り		外貼り		内貼り		外貼り		内貼り		外貼り		
実質的日射吸収率	野外側	63%	63%		64%		56%		63%		71%		64%		58%		64%		71%		
	室内側	1%	2%		2%		0%		2%		0%		3%		0%		3%		0%		
ガラス温度	野外側のガラス温度	54.1	39.0	54.4	39.4	54.6	39.6	52.0	36.2	54.5	39.5	56.5	44.6	54.7	39.7	52.3	36.6	54.6	39.6	56.5	42.2
	室内側のガラス温度	41.3	30.8	41.9	31.6	42.1	31.9	40.1	29.2	42.1	31.9	42.3	39.2	42.3	32.1	40.3	29.4	42.4	32.2	42.3	32.2
	サッシ温度	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2	33.2	14.2
熱割れ診断	$T_e^{OUT}-T_s$	20.9	24.8	21.2	25.2	21.4	25.4	18.8	22.0	21.3	25.3	23.3	30.4	21.5	25.5	19.1	22.4	21.4	25.4	23.3	28.0
	$T_e^{IN}-T_s$	8.1	16.6	8.7	17.4	8.9	17.7	6.9	15.0	8.9	17.7	9.1	25.0	9.1	17.9	7.1	15.2	9.2	18.0	9.1	18.0
	熱割れの可能性	○		○		○		○		○		×		○		○		○		○	

このような性能の比較は、基本性能を見比べても全く判断できません。もちろん、ガラスのサイズが変わったり、使用環境、ガラスの向き、方角、カーテンの有無などが変わることで熱割れリスクの危険係数: K は、2.2~9.0 前後まで大きく変動しますので、施工可否を一概に言えるわけでもありません。このような背景から、一般的に『ウィンドウフィルムは複層ガラスには貼れない』という考え方が広まったと考えられます。

でも、早々に諦めてしまうのはもったいなくないですか？複層ガラスの設置環境が明らかにし、熱割れする危険性を慎重に、かつ正確に計算すれば、よほど過酷な条件でない限り、複層ガラスにも遮熱フィルムは施工できるのです。[熱割れリスクの診断から始める iQUE フィルムの検討手順](#)に従えば、複層ガラスの夏冬両シーズンでの省エネ対策が可能となります。

4. 熱割れリスクを診断する

熱割れする危険性は、複雑な計算式を駆使する必要があるものの、ある程度予測することが可能です。基本的な考え方は、“ガラスの中心温度とサッシ温度の温度差”とガラスの環境によって決まる“危険係数”の積が、ガラスのひずみに対する耐久力（許容熱応力）より小さければ、熱割れする危険性が低いと考えることができます（下記式参照）。

$$\text{【危険係数:K】} \times (\text{【ガラスの中心温度:Tg】} - \text{【サッシの温度:Ts】}) \leq \text{【ガラスの許容値】}$$

つまり熱割れリスクの予測では、まずは窓ガラスが設置されている環境を詳細に確認し、まずは①危険係数を確認したうえで、②外気温と室内温度から見たサッシ温度の推定、③ガラスの向き・方角による日射量の推定、④フィルムを施工したガラスの日射熱吸収率とガラス温度の推定を行い、①×(④-②)で予測されるガラスの熱応力量が、その許容値を超えないかどうか確認することで検討致します。またガラスの熱割れは一般的に、夏場の猛暑日と、冬場の極寒日に発生する傾向があります。そこで、猛暑日と極寒日の2つのケースで検討を行うのが一般的です。それでは、東京都内の高層ホテル50階のトップライト（東面・南東面・南面の3面）に設置された15mmのフロートガラス2枚からなる合わせガラスをモデルケースとして、順を追って計算してみましょう。

① 危険係数の確認

危険係数とは、窓ガラスが設置されている環境の中で、特に熱割れを引き起こす原因となりやすい4つのパラメーターを確認して、その危険度を経験的に数値化した係数になります。4つのパラメーターとはすなわち、ガラスのサイズ、影の当たり方、カーテンの有無、窓ガラスの施工法であり、これは現地を調査して、右の表から数値を選びます。

危険係数：Kは、下記の式で求めます。

$$K = 4.8 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$$

例えば今回のモデルケースでは、 $K_1=1.03$ 、 $K_2=1.60$ 、 $K_3=1.00$ 、 $K_4=0.65$ であり、 $K=5.14$ であったと仮定します。

面積係数：K₁

ガラス面積(m ²)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	6.0	8.0	10.0
面積係数：K ₁	0.95	1.00	1.04	1.07	1.09	1.10	1.12	1.16	1.19	1.21

影係数：K₂

影の形	影なし	シングル	クロス	平行	複雑
					
影係数：K ₂	1.0	1.3	1.6	1.7	樹木や看板などガラス面にシャープな影が生じる場合

カーテン係数：K₃

カーテン等の種類	カーテン無し	レースカーテン		厚手・ブラインド	
		<100mm	≥100mm	<100mm	≥100mm
カーテン係数：K ₃	1.0	1.3	1.1	1.5	1.3

エッジ温度係数：K₄

ガラス施工の種類	サッシの取付・構造	
	PC部材に打ち込みまたは、直付けサッシ	金属カーテンウォールまたは、可動サッシ
パテ・塩ビシート	0.95	0.75
ゴム・ポリサルファイド施工	0.80	0.65
標準施工	0.65	0.50
ガasket	0.55	0.48

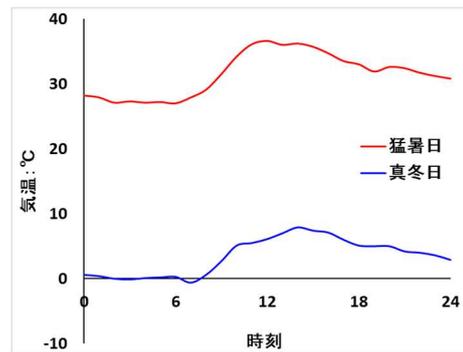
② 外気温と室内温度から見たサッシ温度の推定

ガラス温度やサッシ温度の推定は、例えば合わせガラスの場合は、下記の実用式を活用して算出します。なお実用式は、窓ガラスの種類によって異なりますので、種類に合わせて、実用式を使い分ける必要があります。

計算式	サッシ温度: T_s	ガラス温度: T_g	
		野外側: T_{g1}	室内側: T_{g2}
実用式	$T_s = 0.65 \times \text{【外気温】} + 0.35 \times \text{【室温】}$	$T_{g1} = \frac{\text{【室温】} - \text{【相当外気温】}}{3.5} + \text{【相当外気温】}$	$T_{g2} = \frac{\text{【相当外気温】} - \text{【室温】}}{1.9} + \text{【室温】}$
近似値計算		【相当外気温】=ガラスの外側の温度の概算値 $\text{【相当外気温】} = \frac{\text{【日射量: I】} \times \text{【総合日射吸収率: A】}}{11.2} + \text{【野外温度】}$	
		【総合日射吸収率】=ガラスの日射吸収率の概算値 $\text{【総合日射吸収率】} = \text{【外ガラスの日射吸収率】} + \text{【外ガラスの日射透過率】} \times \text{【中間膜の日射吸収率】} + \text{【外ガラスの日射透過率】} \times \text{【中間膜の日射透過率】} \times \text{【内ガラスの日射吸収率】}$	

まずはサッシ温度: T_s から見てみましょう。サッシ温度を推定するためには、室温と外気温を知ることが必要です。室温は、空調が十分効いているとして、設定温度の夏季: 25℃、冬季: 22℃であると仮定します。

一方外気温は、気象庁の気象データを引用します。都内の場合は、右の様な傾向にあります。但しモデルケースでは、外部が50階と高層であることから、気温は単純に約1℃(0.6℃/100m)低いと想定されます。お客様によっては、風による冷却効果で外気温はさらに下がり、結果として、地表面よりも約10℃低温となると想定してほしいと言われることもあります。今回はお客様のご要望に従って、



外気温は、気象庁のデータから10℃低く見積もった数値を引用することとします。

するとサッシ温度: T_s は、次の式: $T_s = 0.65 \times (\text{【外温度】} - 10) + 0.35 \times \text{【室内温度】}$ で試算できますので、時刻08時、10時、12時でそれぞれ、下記のように推定されます。

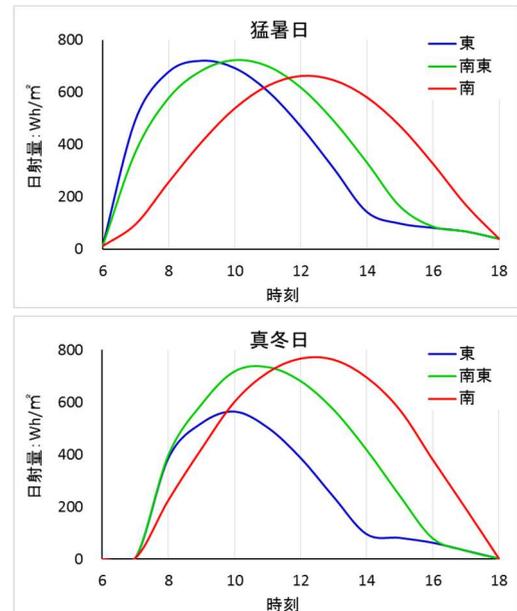
季節	夏季			冬季		
時刻	08時	10時	12時	08時	10時	12時
外気温(50階想定)	19.1℃	24.2℃	26.6℃	-9.6℃	-4.9℃	-3.6℃
室内温度(空調温度)	25℃			22℃		
サッシ温度: T_s	21.2℃	24.5℃	26.0℃	1.5℃	4.5℃	5.2℃

③ ガラスの向き・方角による日射量の推定

次にガラスの温度： T_g を推定しますが、これを求めるためには、太陽に照らされた時のガラスの外側の温度（これを相当外気温と称します。）を推定する必要があり、相当外気温を試算するためには、日射量： I を知る必要があります。

日射量： I は、NEDOが公開している日射量データを参考致します。ガラスは南東方向に向き、天頂から見て60度に傾いていると想定して、上記データベースから日射量を抽出すると右図の様になります。

我々は、リスク計算の精度を追求し、このモデルケースの試算では右のデータの下、下記表の数値を活用致します。なおこの数値は、当然、ガラスの方角、傾きはもちろん、季節や時刻、地域（緯度）によっても変わりますので、必要な数字を適宜抽出する必要があります。



季節		夏季			冬季		
		08時	10時	12時	08時	10時	12時
日射量	東	679	693	469	387	565	387
	南東	579	723	618	399	719	681
	南	469	618	663	226	602	768

単位：kW/m²

④ フィルムを施工したガラスの日射熱吸収率とガラス温度の推定

次にフィルムを施工したガラスの日射熱吸収率を推定します。15mm厚のフロートガラス (FL15) の日射吸収率が29.2%、日射透過率が64.4%であり、中間膜の日射吸収率が5%、日射透過率が95%であることから、この合わせガラスの日射吸収率： A_0 は、 $A_0=29\%+64\% \times 5\%+64\% \times 95\% \times 29\%=50\%$ となります。また同様にして日射透過率： T_0 は、 $T_0=64\% \times 95\% \times 64\%=39\%$ となります。

この窓ガラスのウィンドウフィルムを施工する場合、ウィンドウフィルムの日射吸収率を A_w 、日射反射率を R_w とおくと、ウィンドウフィルムを施工した合わせガラスの総合日射吸収率： A は、

$$A=50\% (1+39\% \times R_w) + 39\% \times A_w$$

と概算することができます。

この計算式を用いれば、検討しているウィンドウフィルムの物性を調べることで、それぞれのフィルムを貼合した時のガラスの総合日射吸収率を比較検討できるようになります。

	iQUEフィルム			比較品		
	73FG	78FG	73FGX	比較1	比較2	透明飛散
遮蔽係数	0.50	0.63	0.45	0.61	0.65	0.98
施工面	室内側	室内側	野外側	室内側	室内側	現状
A_w	31%	23%	31%	37%	30%	9%
R_w	30%	21%	30%	21%	22%	8%
総合日射吸収率:A	68%	63%	52%	69%	66%	55%

これで相当外気温が推定でき、合わせガラスの各々のガラス温度： T_g が試算できるようになりましたので、ガラスの熱割れリスクの診断を行う準備が整いました。

⑤ 熱割れリスクの診断

それでは、熱割れリスクの診断を行ってみましょう。モデルケースの合わせガラスは、15mmの厚みのフロートガラスを使っていますので、それぞれのガラスの許容応力は 150kgf/cm^2 となります。このモデルケースでの危険係数： K は 5.14 でしたので、計算の結果求められる $T_g - T_s$ がいずれの条件でも 29.2 未満になれば、熱割れする可能性は低いと診断できます。それでは、検討しているウィンドウフィルムについて順番に診断してみましょう。

iQUE73FG を内貼施工した場合は、東面への施工は可能ですが、南東面・南面に施工すると、外側のガラスが熱割れしてしまう可能性があることがわかります。

【iQUE73FGを内貼施工した場合】

季節	夏季			冬季		
	東	南東	南	東	南東	南
方角	東	南東	南	東	南東	南
時刻	08時	10時	12時	08時	10時	12時
室内温度	25			22		
野外温度	19.1	24.2	26.6	-9.6	-4.9	-3.6
日照量	679	724	663	387	719	768
総合日射吸収率	68%					
相当外気温	60.3	68.2	66.9	13.9	38.8	43.0
野外側ガラス温度	50.2	55.8	54.9	16.2	34.0	37.0
室内側ガラス温度	43.6	47.7	47.0	17.7	30.8	33.1
サッシ温度	21.2	24.5	26	1.5	4.5	5.2
野外側ガラス温度差	29.0	31.3	28.9	14.7	29.5	31.8
室内側ガラス温度差	22.4	23.2	21.0	16.2	26.3	27.9
診断結果	○	×	○	○	×	×

iQUE78FG を内貼施工した場合は、東面・南東面への施工は可能ですが、南面に施工すると、外側のガラスが熱割れしてしまう危険性がわずかに残ることがわかります。

【iQUE78FGを内貼施工した場合】

季節	夏季			冬季		
方角	東	南東	南	東	南東	南
時刻	08時	10時	12時	08時	10時	12時
室内温度	25			22		
野外温度	19.1	24.2	26.6	-9.6	-4.9	-3.6
日照量	679	724	663	387	719	768
総合日射吸収率	63%					
相当外気温	57.3	64.9	63.9	12.2	35.5	39.6
野外側ガラス温度	48.1	53.5	52.8	15.0	31.7	34.6
室内側ガラス温度	42.0	46.0	45.5	16.8	29.1	31.3
サッシ温度	21.2	24.5	26	1.5	4.5	5.2
野外側ガラス温度差	26.9	29.0	26.8	13.5	27.2	29.4
室内側ガラス温度差	20.8	21.5	19.5	15.3	24.6	26.1
診断結果	○	○	○	○	○	×

iQUE73FGX を外貼施工すれば、東面・南東面・南面のいずれの方角でも施工できますが、高層50階の外貼施工ですから、工事が大変そうです。

【iQUE73FGXを外貼施工した場合】

季節	夏季			冬季		
方角	東	南東	南	東	南東	南
時刻	08時	10時	12時	08時	10時	12時
室内温度	25			22		
野外温度	19.1	24.2	26.6	-9.6	-4.9	-3.6
日照量	679	724	663	387	719	768
総合日射吸収率	52%					
相当外気温	50.6	57.8	57.4	8.4	28.5	32.1
野外側ガラス温度	43.3	48.4	48.1	12.3	26.6	29.2
室内側ガラス温度	38.5	42.3	42.0	14.8	25.4	27.3
サッシ温度	21.2	24.5	26	1.5	4.5	5.2
野外側ガラス温度差	22.1	23.9	22.1	10.8	22.1	24.0
室内側ガラス温度差	17.3	17.8	16.0	13.3	20.9	22.1
診断結果	○	○	○	○	○	○

ただ、他社比較品を施工した場合は、比較品1ではどの方角でも施工することができず、比較品2が辛うじて東面で施工できることのみです。

【比較1を内貼施工した場合】

季節	夏季			冬季		
	東	南東	南	東	南東	南
方角						
時刻	08時	10時	12時	08時	10時	12時
室内温度	25			22		
野外温度	19.1	24.2	26.6	-9.6	-4.9	-3.6
日照量	679	724	663	387	719	768
総合日射吸収率	69%					
相当外気温	60.9	68.8	67.4	14.2	39.4	43.7
野外側ガラス温度	50.7	56.3	55.3	16.5	34.4	37.5
室内側ガラス温度	43.9	48.1	47.3	17.9	31.2	33.4
サッシ温度	21.2	24.5	26	1.5	4.5	5.2
野外側ガラス温度差	29.5	31.8	29.3	15.0	29.9	32.3
室内側ガラス温度差	22.7	23.6	21.3	16.4	26.7	28.2
診断結果	×	×	×	○	×	×

【比較2を内貼施工した場合】

季節	夏季			冬季		
	東	南東	南	東	南東	南
方角						
時刻	08時	10時	12時	08時	10時	12時
室内温度	25			22		
野外温度	19.1	24.2	26.6	-9.6	-4.9	-3.6
日照量	679	724	663	387	719	768
総合日射吸収率	66%					
相当外気温	59.1	66.9	65.7	13.2	37.5	41.7
野外側ガラス温度	49.4	54.9	54.0	15.7	33.0	36.0
室内側ガラス温度	43.0	47.0	46.4	17.4	30.1	32.3
サッシ温度	21.2	24.5	26	1.5	4.5	5.2
野外側ガラス温度差	28.2	30.4	28.0	14.2	28.5	30.8
室内側ガラス温度差	21.8	22.5	20.4	15.9	25.6	27.1
診断結果	○	×	○	○	○	×

これらの診断結果を総合すると、東面への施工なら遮蔽係数が 0.50 と高性能な iQUE73FG の内貼施工が最も好ましく、南東面への施工であれば施工の難しさも考慮し、遮蔽係数が 0.63 の iQUE78FG の内貼施工が好適と言えます。ただし南面への施工では、iQUE78FG の施工でもわずかではありますが熱割れする危険性が残りますので、iQUE73FGX を外貼施工するしかありません。

熱割れする危険性が高い窓ガラスへウィンドウフィルムを施工する場合は、このように、複数のウィンドウフィルムで熱割れする危険性を慎重に診断し、施工可能な選択肢から遮蔽係数に最も優れたものを選択することをご推奨致します。

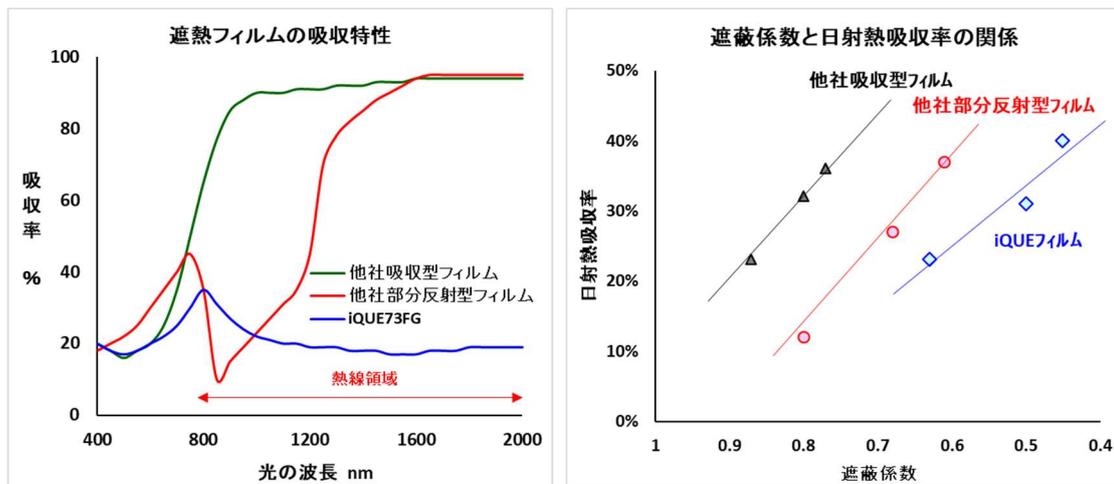
5. iQUE フィルム施工の進め方

最先端技術の応用とち密な発生熱応力の予測計算によって、これまで諦められていた網入ガラス、熱線反射ガラス、複層ガラスへの遮熱フィルムの施工が可能になっております。まずは、安心して遮熱フィルムをご導入頂くための手順をご紹介します。

① なぜ iQUE フィルムは熱割れしにくいのか？

そもそも、なぜ iQUE フィルムなら網入ガラス等への施工が可能になるのでしょうか？それは世界最先端技術『XIR Technology』が、太陽光に含まれる遠赤外線まできちんと反射できる、言い換えると遠赤外線まで吸収しない透明反射型（非吸熱型）という理想的な遮熱フィルムを誕生させました。

その結果もたらされる、優れた遮蔽係数を達成しながらも日射熱吸収率が低い、つまりガラスが熱くなりにくいという iQUE の特別な性質は、下のグラフを確認してもらえば一目瞭然です。とはいうものの、iQUE フィルムも日射熱を全く吸収しないわけではありません。あるいは、非常に厳しい環境下では、iQUE フィルムでも熱割れを引き起こしてしまう可能性はないとは言いきれません。なので、iQUE フィルムのご採用をご検討頂くときは、あらかじめ熱割れリスクの診断をさせて頂くことを常としております。



② まずは熱割れリスクを診断しよう

窓ガラスの種類、厚みやサイズ、方角はもちろんのこと、窓際環境や空調の設定温度など多岐にわたる情報を収集すべく、現地調査またはヒアリングさせていただきます。その後、所定のフォーマットに従って窓ガラスに発生する熱応力の最大値を推定し、熱割れする危険性を考察します。

熱割れ診断の結果で選ばれる iQUE フィルムは通常、73FG、73FGX、78FG のいずれかになります。熱割れの危険性が無い限り、通常、快適性・省エネ性に最も優れた 73FG をお勧めしますが、どうしても熱割れの懸念が残る場合は、高性能な 73FG と同じ機能を兼ね備えた外貼仕様の 73FGX か、快適・省エネ効果がやや低下するものの熱割れリスクの懸念がさらに低い 78FG のいずれかを代わりにお勧めすることもございます。もしも当初ご検討のフィルムが熱割れしそうな時は、最適なフィルムの選定から、ガラスの熱割れを回避するための対策まで一緒に検討させていただきます。

③ 導入後に注意したいこと

ご採用を決めて頂きましたら、ライセンスを持つ専門スタッフがお客様にご訪問し、お客様のご事情・ご都合に合わせた施工スケジュールをご相談させていただきます。ご不明な点・ご要望は何なりとご相談下さい。このフィルム貼合工事は水貼工法で行います。お客様の大切な家具・内装品を傷付けないのはもちろん、お部屋を汚さない様に、十分な養生を施してから、施工を行います。



施工が終了しましたら、お客様と一緒に工事完了の確認・検収を行わせて頂きます。ご不明・ご懸念がございましたら、この場でも遠慮なくお申し出下さい。誠心誠意対応させていただきます。iQUE フィルムは、室内施工であれば長期 10 年、屋外施工でも 3～5 年の品質保証があります。施工後、保証書が発行されますので、大事に保管して下さい。万が一、フィルムが自然に剥がれてきたり、気泡が発生したりした場合は、すぐにご連絡下さい。誠心誠意、対応させていただきます。

また施工後窓ガラスの周辺環境を大きく変更させる場合は、事前に我々までご相談下さい。変更後の状態で改めて熱割れリスクを試算して、熱割れする危険が高まらないかも一度確認することをご推奨しております。特に、ガラスに掲示物を重ね貼りする、窓際に段ボールや本棚を積み上げる、空調の風をガラスに直接あてる様にする、ブラインドを付け替えるなどの行為は、いずれも熱割れを誘引する可能性がありますので、事前のご相談頂けますよう、重ねてご推奨させていただきます。

iQUE フィルムを安心してご愛好頂くために。ご不明な点は、施工後も遠慮なくご相談下さい。