

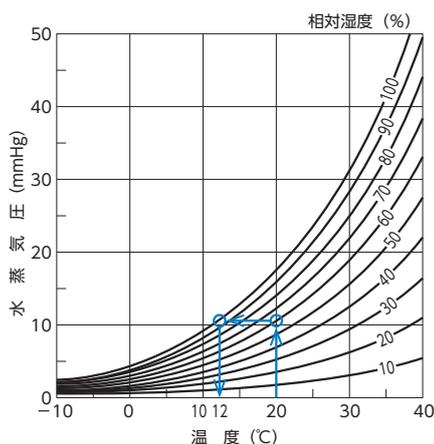
4-7 板ガラスと結露

4-7-1 総論

(1) 結露のメカニズム

水蒸気を含む空気(湿り空気)が冷却されると、相対湿度が次第に高くなり、やがて飽和状態(相対湿度100%)となります。このときの温度を「露点温度」といい、空気中の水蒸気の一部は凝縮し霧や水滴となります。同様に湿り空気中に露点温度以下の物体があると物体表面に接する空気が露点温度以下となり水蒸気が凝縮するため、結露が発生します。

【図1】の飽和水蒸気圧曲線を使って露点温度を調べることができます。例えば、温度20℃、相対湿度60%の空気の露点温度Tdは12℃です(【図1】の矢印)。したがって、ガラス面温度Tgiが12℃以下となると結露します。



【図1】空気の湿度と露点

(2) 室内結露と室外結露

結露は、広く一般的に知られている、冬期に室内側ガラス表面に生じる「室内結露」と、室外側ガラス表面に結露が生じる「室外結露」に大別されます。

室内結露は室内空気の露点温度を室内側ガラス表面温度が下回った場合に、室外結露は室外空気の露点温度を室外側ガラス表面温度が下回った場合に、発生します。

4-7-2 室内結露

冬期の室内結露【図2】は、室内空気の露点温度が高いほど、室内側ガラス表面温度が低いほど、発生しやすくなります。複層ガラスの場合、ガラス周辺部は、スペーサーが冷

たさを伝えやすくガラス温度が低くなりやすいため、ガラス中央部よりも結露が生じやすくなります。室内結露が発生すると、結露水による壁面、床、カーテンなどの汚損が発生するだけでなく、カビ・ダニの繁殖をまねきます。結露の軽減には断熱性の高いガラスのご使用が効果的です。

●室内空気の露点温度

●室内に水蒸気の発生源があり、換気が充分に行われていないと、室内湿度が上昇し、露点温度が高くなります【図2①】。室内湿度を低くすれば、室内結露は軽減されますが、極端に湿度を抑えると微生物の繁殖や喘息等疾患などに悪影響を及ぼすため、相対湿度40~60%程度とすることが望ましいとされています【図3】。

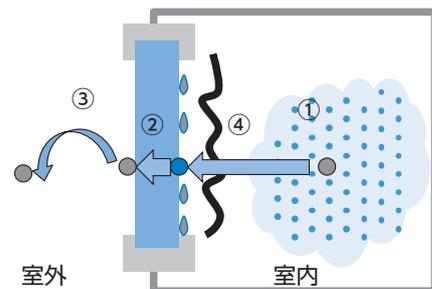
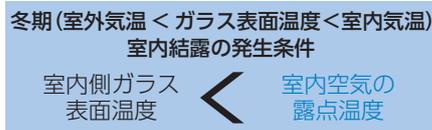
●室内側ガラス表面温度

●ガラスの断熱性が低いと室内側ガラス表面から室外側に向けて失われる熱が増加し、ガラス表面温度が低くなります【図2②】。ガラスの断熱性がガラス表面温度にどのように影響するか、透明単板ガラスとLow-E複層ガラスで比較した計算例を【図4】に示します。室外気温0℃、室内温度20℃、相対湿度60%のとき、透明単板ガラスは室内側ガラス面温度Tgi=6.0℃、Low-E複層ガラスはTgi=15.5℃となります。露点温度Tdは12℃なので、透明単板ガラスではTgiがTdを下回り、結露が発生します【図4 a】。一方、Low-E複層ガラスではTgiはTdより高くなるので結露は生じません【図4 b】。

●室外気温が低く、室外風速が大きいと室内側ガラス表面から室外側に向けて失われる熱が増加し、ガラス表面温度が低くなります【図2③】。室内気温20℃の場合の結露判定図を【図5】に、各ガラスの熱貫流率を【表1】に示します。例えば、室外気温-5℃程度が想定される地域で、相対湿度が60%の部屋【図5●】にはガラス①~③の使用が結露防止に効果的です。室外気温-20℃程度が想定される地域で、相対湿度が60%の部屋【図5○】にはガラス①~②の使用が結露防止に効果的です。このように室外気温が低い地域では、結露を防ぐために、より断熱性の高い(熱貫流率の小さい)ガラスを選定する必要があります。

●室内空間と室内側ガラス表面との間に遮

るものがある(厚手のカーテン・ハニカムシェード等を使用する、家具を窓際に設置する等)と室内空気から室内側ガラス表面に向けて与えられる熱が減少し、ガラス表面温度が低くなります【図2④】。

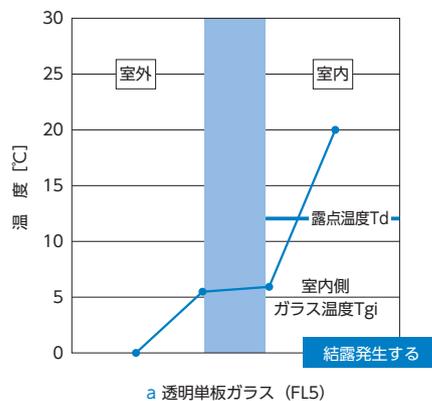


【図2】冬期の室内結露

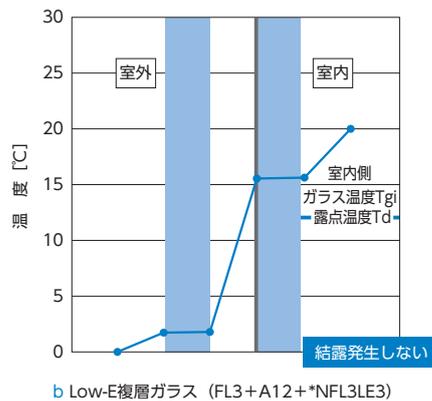
相対湿度(%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
バクテリア									
ウイルス									
カビ									
ダニ									
呼吸器疾患									
アレルギー性鼻炎 花粉症									

最適健康領域

【図3】健康のため望ましい相対湿度※1



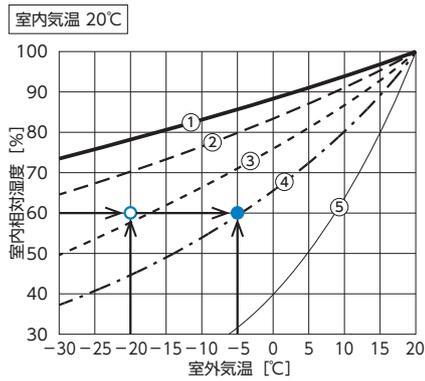
a 透明単板ガラス (FL5)



b Low-E複層ガラス (FL3+A12+\*NFL3LE3)

【図4】ガラス温度分布と露点温度

# 4 板ガラスと光と熱



凡例:  
 ① ———— スペーシア21 断熱クリア  
 ② - - - - - スペーシアクール  
 ③ - · - · - ペアマルチEA 寒冷地タイプ  
 ④ - - - - - ペアマルチ クリア  
 ⑤ ———— 透明単板ガラス

グラフの見方  
 結露する  
 結露しない

**【算出条件】**

外気風速 $V_e=3.5\text{m/s}$ , 室内風速 $V_i$ =自然対流

**【図5】結露判定図**

**【表1】各ガラスの熱貫流率**

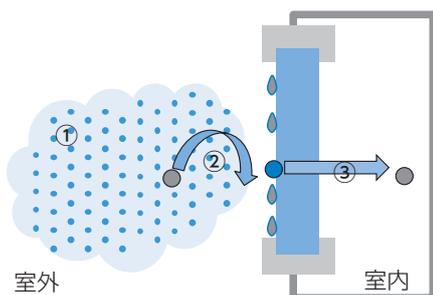
ガラス品種	熱貫流率U [W/(m <sup>2</sup> K)]
①複層真空ガラス スペーシア21 断熱クリア (NFL3LE2*+Ar12+FL3+V+*NFL3LEQ-S)	0.8
②真空ガラス スペーシアクール (RSFL3SU1*+V+FL3)	1.0
③Low-E複層ガラス ペアマルチEA 寒冷地タイプ (FL3+A12+*NFL3LE3)	1.9
④透明複層ガラス ペアマルチ クリア (FL3+A12+FL3)	2.9
⑤透明単板ガラス (FL3)	6.0

### 4-7-3 室外結露

#### (1) 夏期の室外結露

夏期の室外結露【図6】は、室外空気の露点温度が高いほど、室外側ガラス表面温度が低いほど、発生しやすくなります。蒸し暑い夏の日、冷房がよく効いた店舗のショーウィンドーなどで室外結露が発生すると、展示物が見えづらくなることがあります。結露の軽減には断熱性の高いガラスのご使用が効果的です。

**夏期 (室外気温>ガラス表面温度>室内気温) 室外結露の発生条件**



【図6】夏期の室外結露

#### ● 室外空気の露点温度

・降雨等により室外湿度が上昇すると、露点温度が高くなります【図6 ①】。

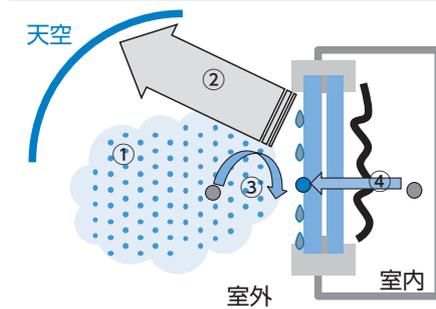
#### ● 室外側ガラス表面温度

- ・室外風速が小さいと室外空気から室外側ガラス表面に向けて対流により与えられる熱が減少し、ガラス表面温度が高くなります【図6 ②】。
- ・ガラスの断熱性が低いと冷房によって冷やされた室内空気の冷たさが室外側へ伝わりやすく、ガラス表面温度が低くなります【図6 ③】。

#### (2) 冬期の室外結露

冬期の室外結露【図7】は、室外空気の露点温度が高いほど、室外側ガラス表面温度が低いほど、発生しやすくなります。複層ガラスの場合、ガラス中央部は、周辺部と比較してスペーサーがないために室内側からの熱が伝わりにくく室外側ガラス表面温度が高くなりやすいので、ガラス周辺部よりも結露が生じやすくなります。室外結露は冬期において降雨があった翌日の早朝などに生じやすくなります。室外結露は室外の環境により発生の有無が左右されるため対策のとりにくい現象ですが、一時的なものであり、太陽が昇り、室外側ガラス表面温度が上昇することにより短時間で解消されます。また、室外結露は製品の不良や品質の低下を示すものではなく、ガラスの断熱性が高いが故に生じる現象です。暖房を使用している部屋の窓では、断熱性の低い単板ガラスは室内側の熱が伝わりやすく、室外結露は生じにくいですが、室内気温がほぼ室外気温に近いような部屋では、単板ガラスでも室外結露が生じることがあります(室外に駐車された自動車の窓に生じる結露・霜と同じ現象です)。

**冬期 (室外気温 > ガラス表面温度 < 室内気温) 室外結露の発生条件**



【図7】冬期の室外結露

#### ● 室外空気の露点温度

・降雨等により室外湿度が上昇すると、露点温度が高くなります【図7 ①】。

#### ● 室外側ガラス表面温度

- ・雲が少ない、窓面から見える景色に占める天空の割合が大きい(庇・周辺建物等の障害物が少ない、窓面が天空方向に傾斜している)と室外側ガラス表面から天空に向けて放射により失われる熱が増加し、ガラス表面温度が低くなります【図7 ②】。
- ・室外風速が小さいと室外空気から室外側ガラス表面に向けて対流により与えられる熱が減少し、ガラス表面温度が高くなります【図7 ③】。
- ・ガラスの断熱性が高い、厚手のカーテン・ハニカムシェード等を使用している、家具を窓際に設置している、室内気温が低い(室内が無人、暖房を使用していない等)と室内から室外側ガラス表面に伝わる熱が減少し、ガラス表面温度が高くなります【図7 ④】。

#### 【参考文献】

Sterling, E. M., A. Arundel, and T. D. Sterling: Criteria for human exposure to humidity in occupied buildings, ASHRAE Transactions, 91(1B), pp.611-622, 1985

※各種板ガラスの結露判定計算は、弊社ホームページからご利用いただけます。

<https://glass-wonderland.jp/architectural-glass/simulation/>