

壁体内結露判定

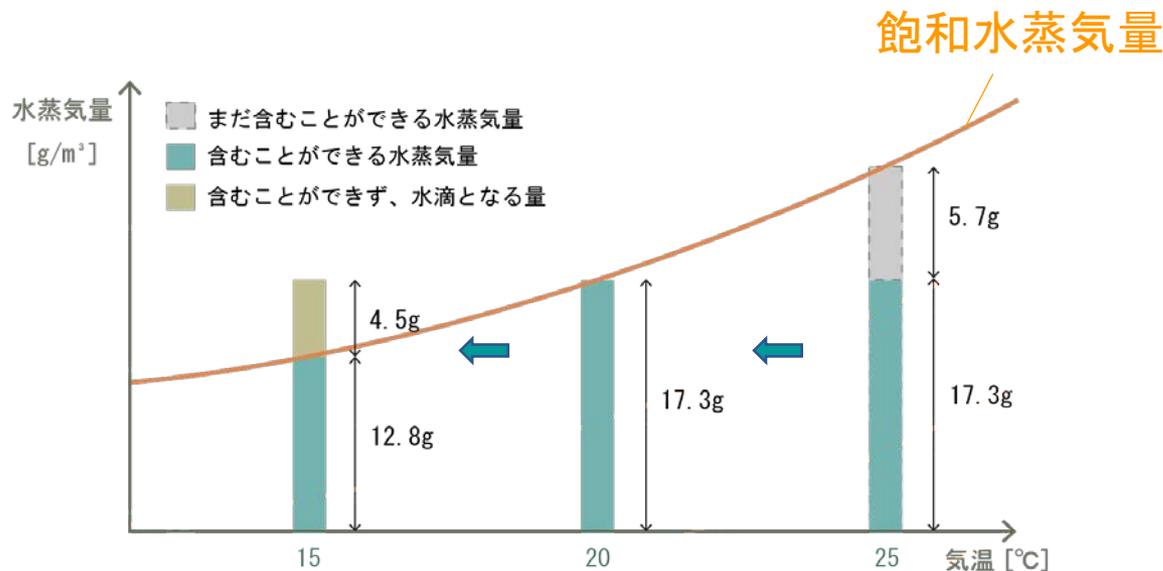
壁の中の結露は、
どこまで予測できる？



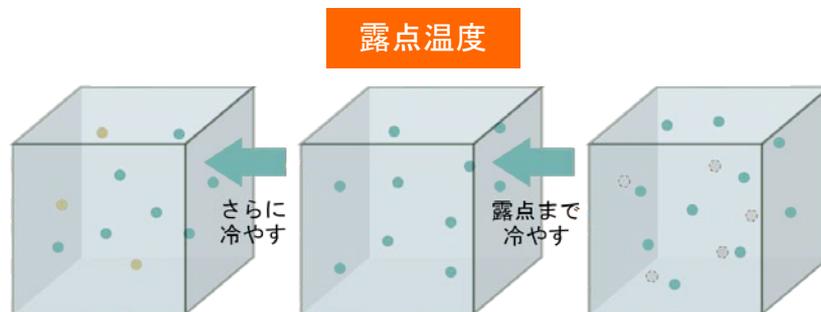
2018/9/5

飽和水蒸気量、露点温度とは

空気は温度によって含むことができる水蒸気量(飽和水蒸気量)が異なり、暖かい空気ほど多くの水蒸気を含むことができます。



水蒸気をたくさん含んだ空気が冷やされ、「飽和水蒸気量」が小さくなると、これを超えた余分な水蒸気が液体に変わります。この温度を露点温度と言います。



相対湿度とは、この飽和水蒸気量に対する、実際に含んでいる水蒸気量(絶対湿度)の割合のことをいいます。

住宅における結露とは

結露は、美観、耐久性、木部の腐朽といった直接的な被害以外に、さらにはダニカビによる健康被害が考えられます。

ただし、わずかな結露が、即座に深刻な被害につながるとは限らないので、許容範囲内にあるかを検討することが重要です。また、住まい方での改善も有効といえます。

結露の種類

冬型結露

冬期、外気温が低い時期に発生する。室内の水蒸気が低温の部位に結露するものを言う。

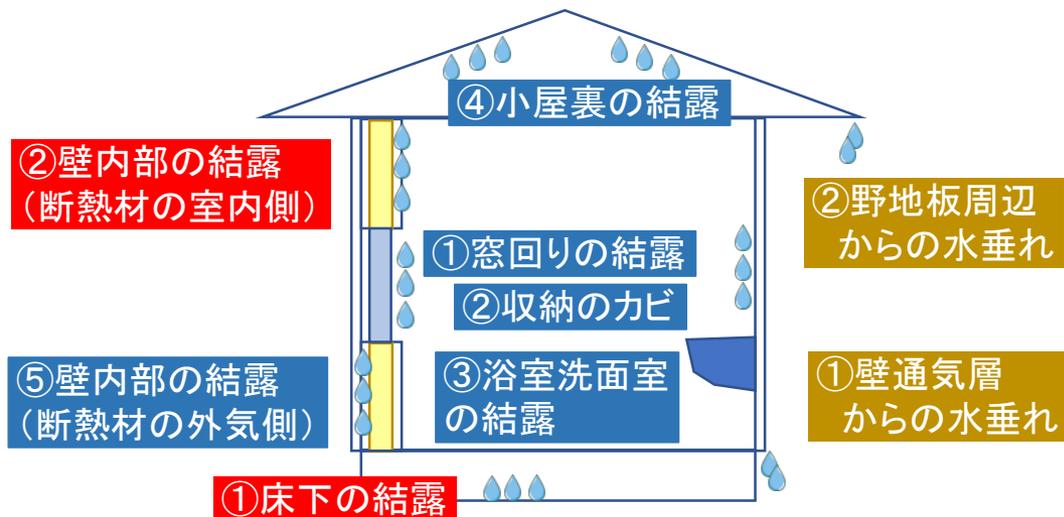
夏型結露

夏期、外の湿気をたくさん含んだ高い温度の空気が、冷たい部位に結露するものを言う。

放湿型結露

夜間に吸湿、低温化した木材や合板から、太陽があたることで放出される水蒸気が冷たい部位に結露するものを言う。

さまざまな結露トラブル



建築関連図書で
結露に関する
特集が相次いだ
(2017~2018)



現象		対策	
冬型結露	表面結露	<ul style="list-style-type: none"> ①窓回りの結露 ②収納のカビ ③浴室・洗面室の結露 ④小屋裏の結露 	<ul style="list-style-type: none"> ・断熱性能の向上 ・発生水蒸気量の抑制、換気通風による室内低湿化
	内部結露	⑤壁内部の結露(外気側)	・外気側は水蒸気を通しやすく、室内側は通しにくくする
夏型結露	表面結露	①床下の結露	・断熱性能の向上、床下への湿気流入の抑制、除湿
	内部結露	②壁内部の結露(室内側)	・室温を極端に低くしない、壁面にエアコンの吹だしを当てない
放湿型結露		<ul style="list-style-type: none"> ①野地板周辺の水垂れ ②壁通気層からの水垂れ 	<ul style="list-style-type: none"> ・野地板裏面の断熱材等の非吸湿化 ・サイディング裏面の非吸湿化

結露対策に関する基準等

下記のように、省エネ基準では防露については注意喚起程度の記述となっているが、計算による結露チェックを行い、結露の発生リスクの程度を確認しておくことは有用と思われる。

■省エネ基準 住宅に係る判断の基準 1-5結露性能の確保

(1)表面結露の防止

断熱構造化すべき部位において、表面結露の発生のおそれのある、著しく断熱構造を欠く部分(開口部を除く)を設けないこと

(2)内部結露の防止

断熱材の内部または断熱材よりも屋外側で外気に開放されていない部分においては、内部結露の発生を防止するため、水蒸気の侵入および排出について考慮し、当該部分に多量の水蒸気が滞留しないよう適切な措置を講じること。



■住宅性能表示制度

温熱等断熱等級4 結露の発生防止に関する基準

①防湿層の設置

グラスウール、ロックウール、セルローズファイバー等の繊維系断熱材、プラスチック系断熱材その他これらに類する透湿抵抗の小さい断熱材を使用する場合は、防湿層(断熱層の室内側に設けられ、防湿性が高い材料で構成される層で、断熱層への漏気や水蒸気の侵入を防止するもの)を設けること。(但し書きあり)

②通気層の設置

屋根または外壁を断熱構造とする場合は、断熱層の外気側に通気層を設置するなどの換気上有効な措置を講じること。(但し書きあり)



結露判定方法

①仕様による判定は断熱層内側の防湿層と外側の通気層の設置必要性を判定するものです。対象になっている材しか判定できません。④非定常計算は結露判定のみならず、湿度影響を考慮した省エネ効果やカビ繁殖程度なども予測できますが、非常に難解です。

②透湿抵抗比による計算は断熱層の外側と内側の透湿抵抗の合計の比率の大小で結露リスクを簡易判定します。③定常計算は断面を構成する材の境界面の水蒸気圧を求め、内部結露の発生リスクを判定します。

ホームズ君では③定常計算による結露判定を行えます。

計算ルート	概要	摘要範囲	難易度	精度
①仕様による判定	防湿層、通気層の設置の必要性を仕様から判断する	壁体構成の仕様を対象にある場合のみ	簡易	A
②透湿抵抗比による簡易判定	壁体を構成する各層の透湿抵抗から算出する	断熱層が単相の場合はどのような壁体構成でもOK (断熱層が複層の場合は適用できない)	簡易	A
③定常結露計算を行う簡易判定	壁体を構成する各層の熱・湿気伝導率に基づき計算する	どのような壁体構成でもOK	複雑	AA
④非定常計算による判定	壁体の熱容量、湿気容量を考慮し、熱、湿気(水蒸気)、水の移動を計算する	どのような壁体構成でもOK (調湿建材も考慮できる)	複雑	AAA

※定常計算とは室内空気の温湿度、外気の温湿度は一定であり、壁内部の状態が均衡している定常状態と考える計算方法です



壁体内結露判定

- 壁の材料の熱伝導率にしたがい、冬季の場合、高温(室内)側から低温(外気)側に熱が移動する。
→ 壁内部の温度の推移(温度の勾配グラフ)①が決まる。温度グラフから、壁内部の飽和水蒸気圧の勾配グラフ②が決まる。
- 熱と同様に湿気(水蒸気)も、壁の材料の透湿率にしたがい高温(室内)側から低温(外気)側に移動する。
→ 壁内部の水蒸気圧の勾配グラフ③が決まる。
- 壁内部の各点において水蒸気圧③と飽和水蒸気圧②を比較し、
水蒸気圧③ > 飽和水蒸気圧②のとき水蒸気が飽和して**結露が発生する**。

①温度勾配

(熱抵抗の比率に応じて下降する)

②飽和水蒸気圧の勾配

(温度に伴って下降する)

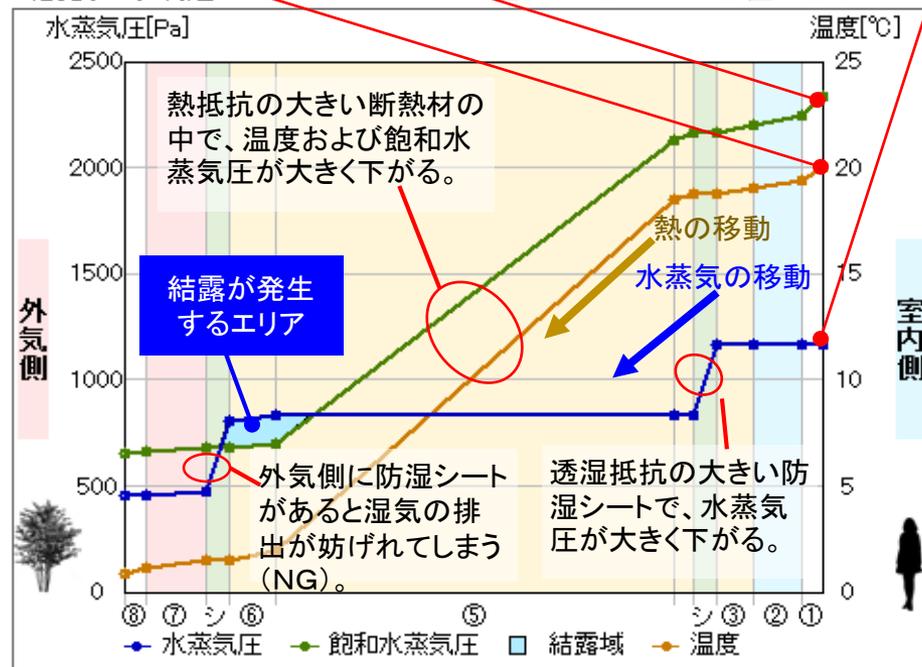
③水蒸気圧の勾配

(透湿抵抗の比率に応じて下降する)

番号	入力層	材料名	透湿抵抗 [m ² ・s・Pa/ng]	水蒸気圧 [Pa]	飽和水蒸気圧 [Pa]
①	室内側	室内側表面熱伝達層	0.00002	1169.6	2339.2
②	室内側	せっこうボード(GB-R, GB-D, GB-L, GB-NC)	0.00030	1169.6	2247.8
③	断熱層	せっこうボード(GB-R, GB-D, GB-L, GB-NC)	0.00024	1168.9	2202.8
-	シート	アスファルトルーフィング 22kg	0.14400	1168.3	2167.8
④	断熱層	その他の空気層	0.00003	834.0	2167.8
⑤	断熱層	高性能グラスウール断熱材 24k相当	0.00059	834.0	2131.6
⑥	断熱層	合板	0.01081	832.6	702.1
-	シート	住宅用プラスチック系防湿フィルムB種	0.14400	807.5	680.0
⑦	外気側	窯業系サイディング	0.00714	473.2	680.0
⑧	外気側	外気側表面熱伝達層	0.00001	456.7	664.5
				456.7	652.4

■ 結露リスク判定

水蒸気量⇒水蒸気圧 表面温度表示

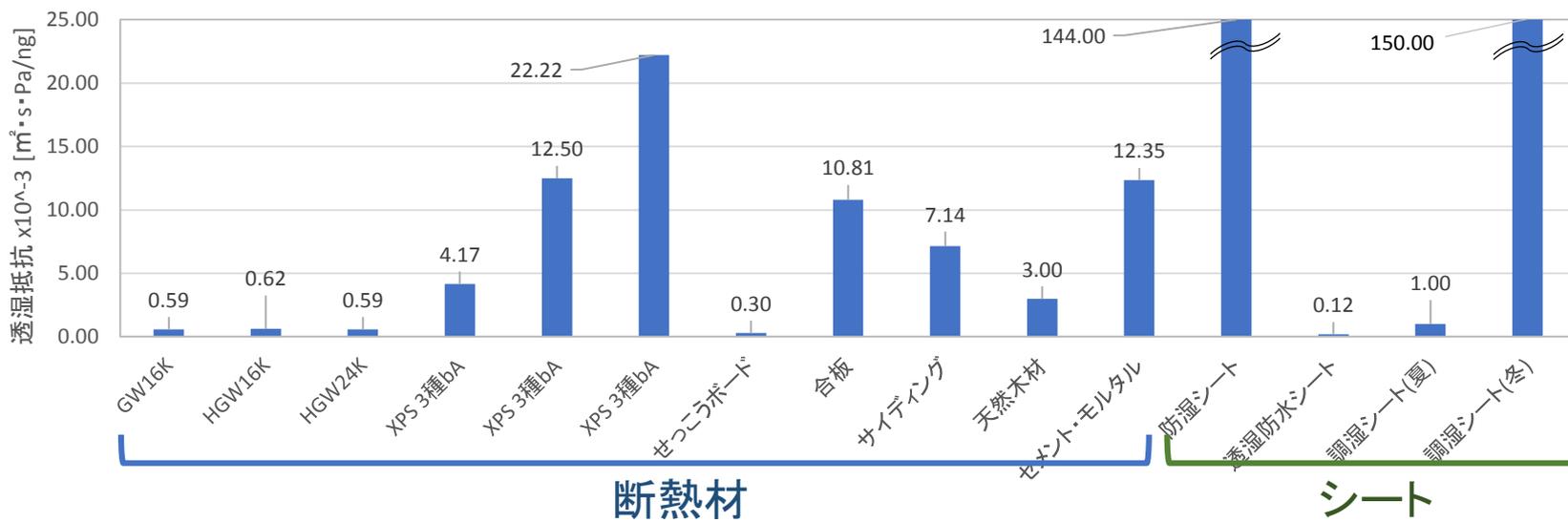


※温度が大きく下がる断熱材より手前(室内側)に防湿シートを設置することが、冬型結露の防止に有効です。

※断熱材より外気側には、透湿抵抗の小さい透湿防水シートを設定します。

主な断熱材・シートの性質

	材料名	厚さ [mm]	熱伝導率λ [W/(m・K)]	熱抵抗R [m ² ・K/W]	透湿率 [ng/(m・s・Pa)]	透湿抵抗 [m ² ・s・Pa/ng]
断熱材	GW16K	100	0.045	2.222	170.00	0.00059
	HGW16K	105	0.038	2.763	170.00	0.00062
	HGW24K	100	0.036	2.778	170.00	0.00059
	XPS 3種bA	15	0.028	0.536	3.60	0.00417
	XPS 3種bA	45	0.028	1.607	3.60	0.01250
	XPS 3種bA	80	0.028	2.857	3.60	0.02222
	せっこうボード	12	0.221	0.054	39.70	0.00030
	合板	12	0.160	0.075	1.11	0.01081
	サイディング	15	0.280	0.054	2.10	0.00714
	天然木材	12	0.120	0.100	4.00	0.00300
	セメント・モルタル	20	1.500	0.013	1.62	0.01235
シート	防湿シート	-	-	0.000	-	0.14400
	透湿防水シート	-	-	0.000	-	0.00012
	調湿シート(夏)	-	-	0.000	-	0.00100
	調湿シート(冬)	-	-	0.000	-	0.15000



様々な工法を結露チェックしてみる

工法やシート、判定条件(外気温、室温)を変えてホームズ君の結露チェック機能を用い、結露リスクの頻度と程度について検討を行った。

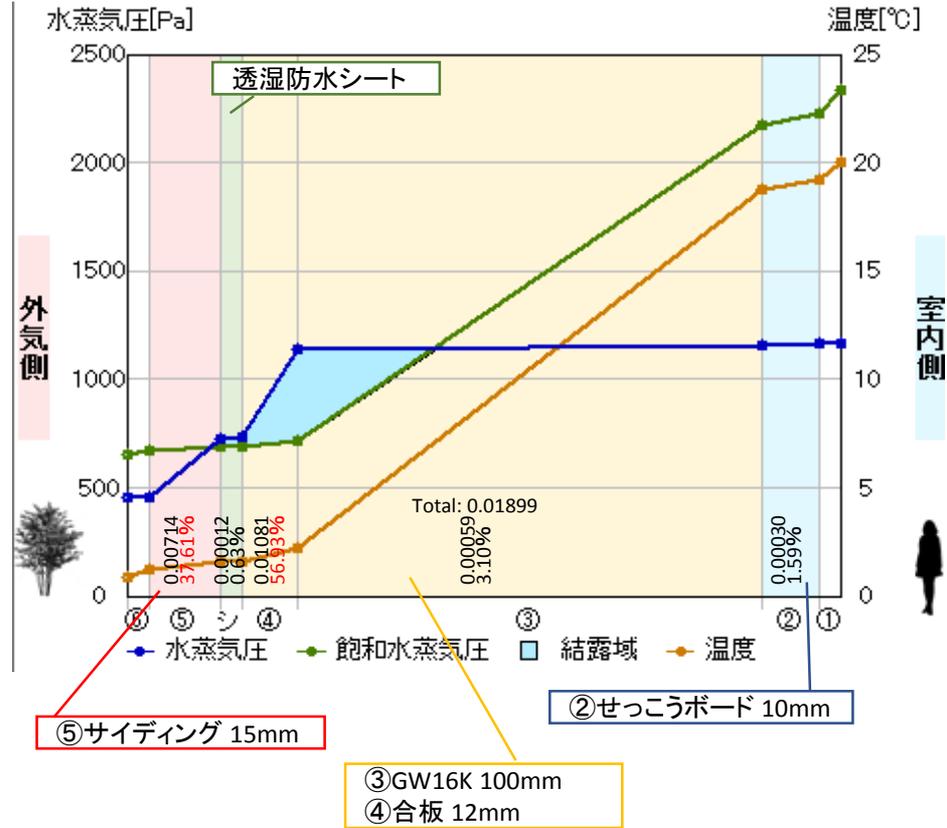
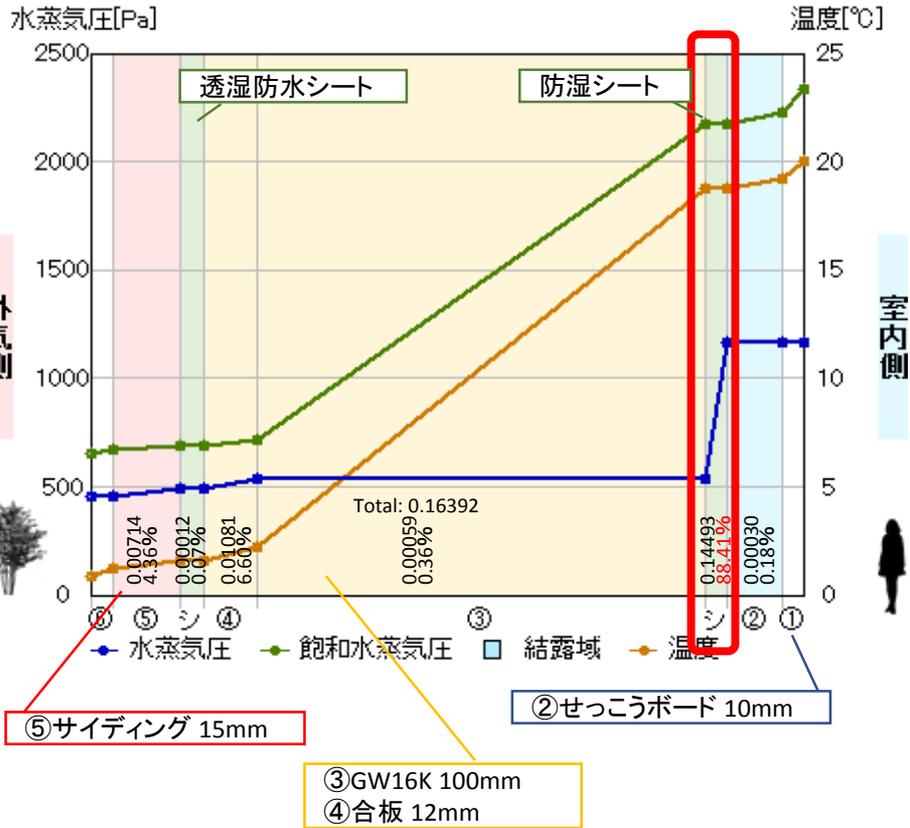
Case	工法	比較内容	まとめ
1	充填断熱	室内側気密層 防湿シート有VSなし	室内側に防湿層を設けないと室内側水蒸気が断熱層に侵入し、外気側防湿層の手前で結露する
2	充填断熱	外気温 -11.9°C VS 0.9°C (地域1) (地域5)	外気温が低くなると、外気側の層の表面温度が低くなり、飽和水蒸気圧が低くなるため、相対的に結露リスクが高くなる
3	充填断熱	室温 20°C VS 22°C	室温の2°C程度の変化による結露リスクは変化なし
4	充填断熱 付加断熱	断熱材 GW16K VS HGW24K+XPS80mm	断熱性能も防湿性能も高い断熱材の場合、結露リスクを低減できる
5,6	充填断熱	室内側気密層 防湿シートVS調湿シート	透湿抵抗が可変型の調湿シートでは、夏は透湿、冬は防湿性を確保でき、夏型結露リスクを低減できる

Case1

防湿シート 有 vs 無

地域5(室内:20°C, 50% 外気:0.9°C, 70%)
防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング

地域5(室内:20°C, 50% 外気:0.9°C, 70%)
防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング



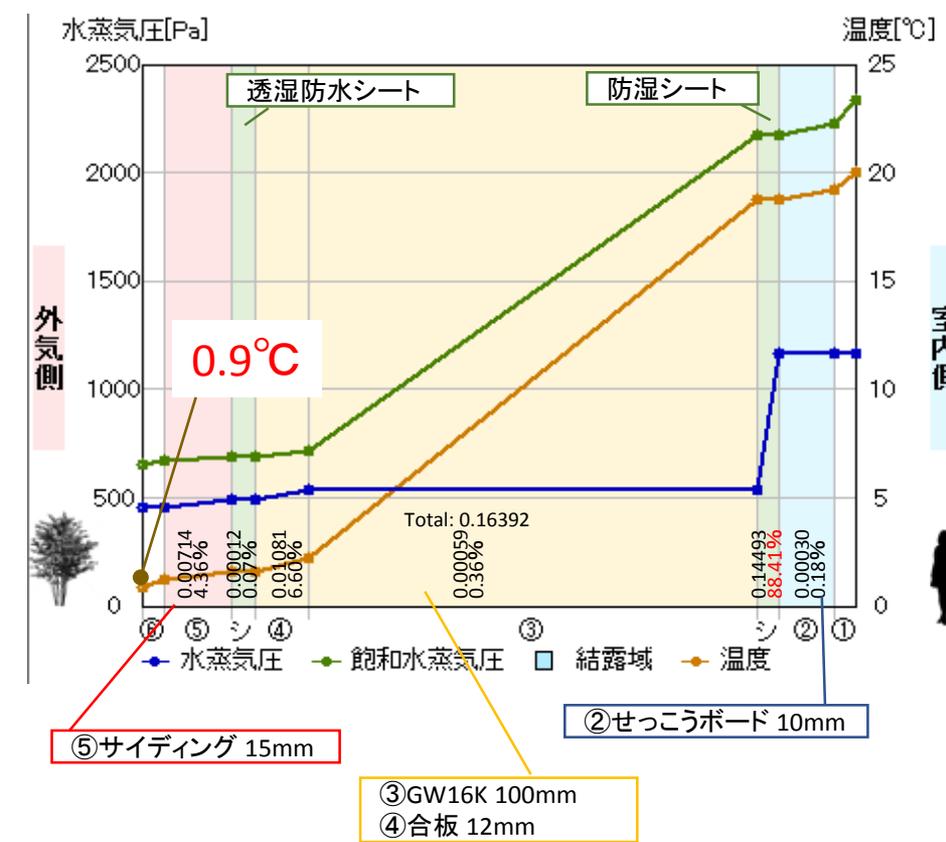
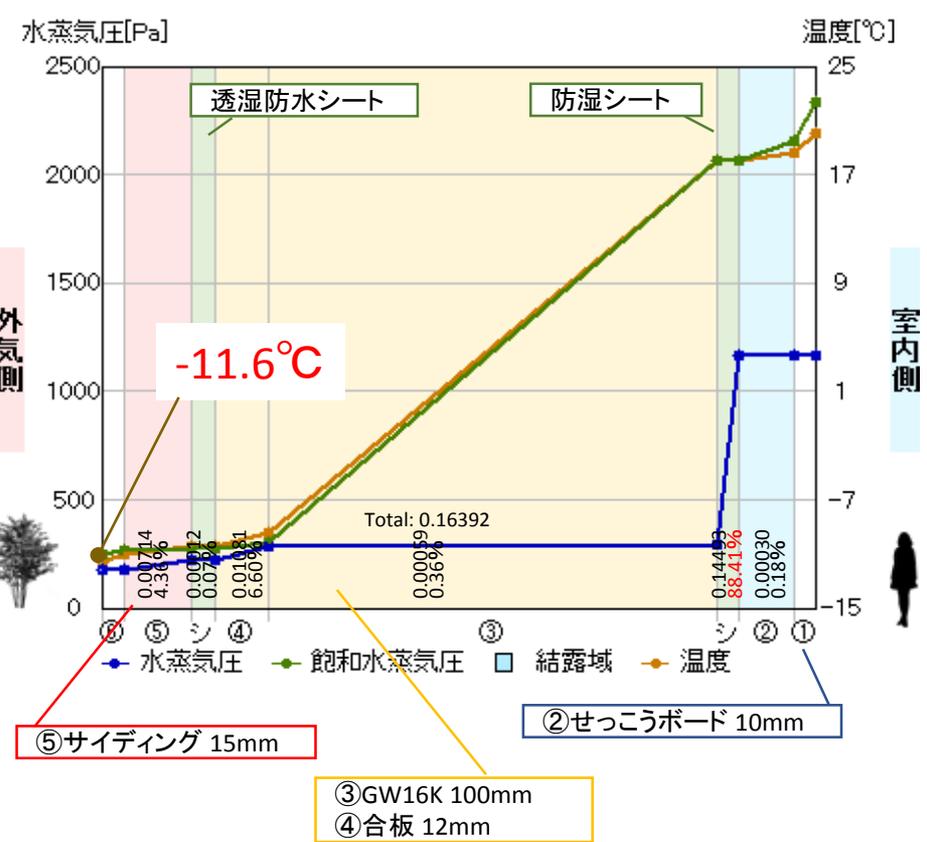
防湿シートありの場合: 温度降下前に湿度を下げており、結露リスクを低減する。
 防湿シートなしの場合: 断熱層に湿気が侵入し表面温度が低い合板で結露の危険性がある。

Case2

外気温 -11.6°C (地域1) vs 0.9°C (地域5)

地域1(室内: 20°C , 50% 外気: -11.6°C , 70%)
防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング

地域5(室内: 20°C , 50% 外気: 0.9°C , 70%)
防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング



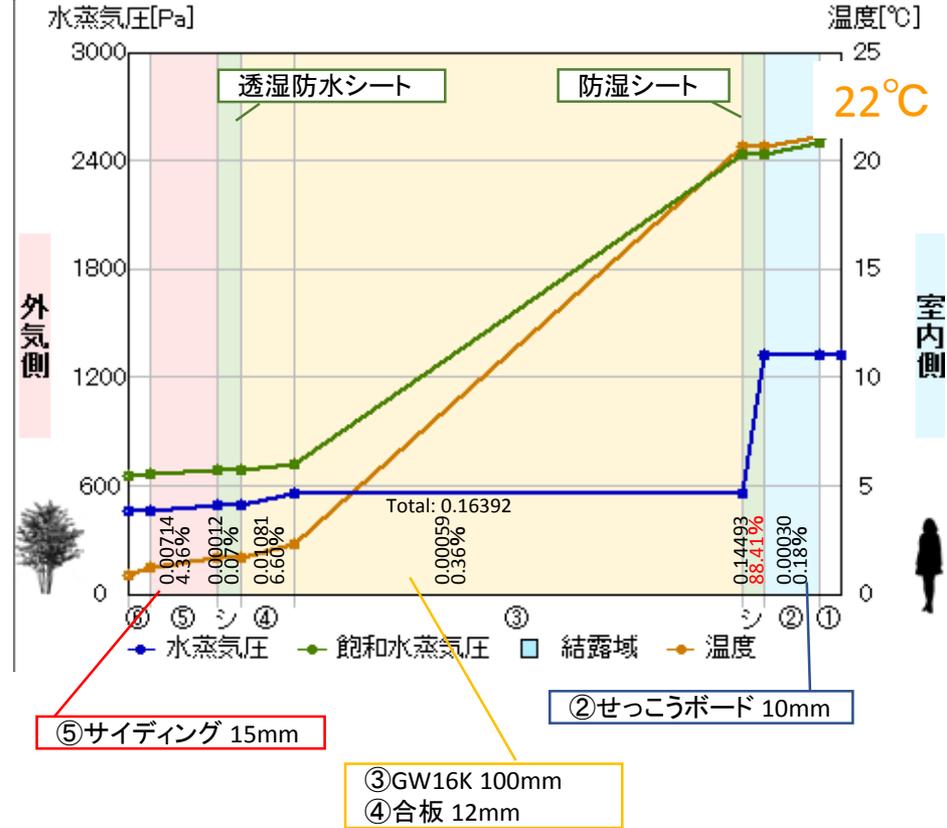
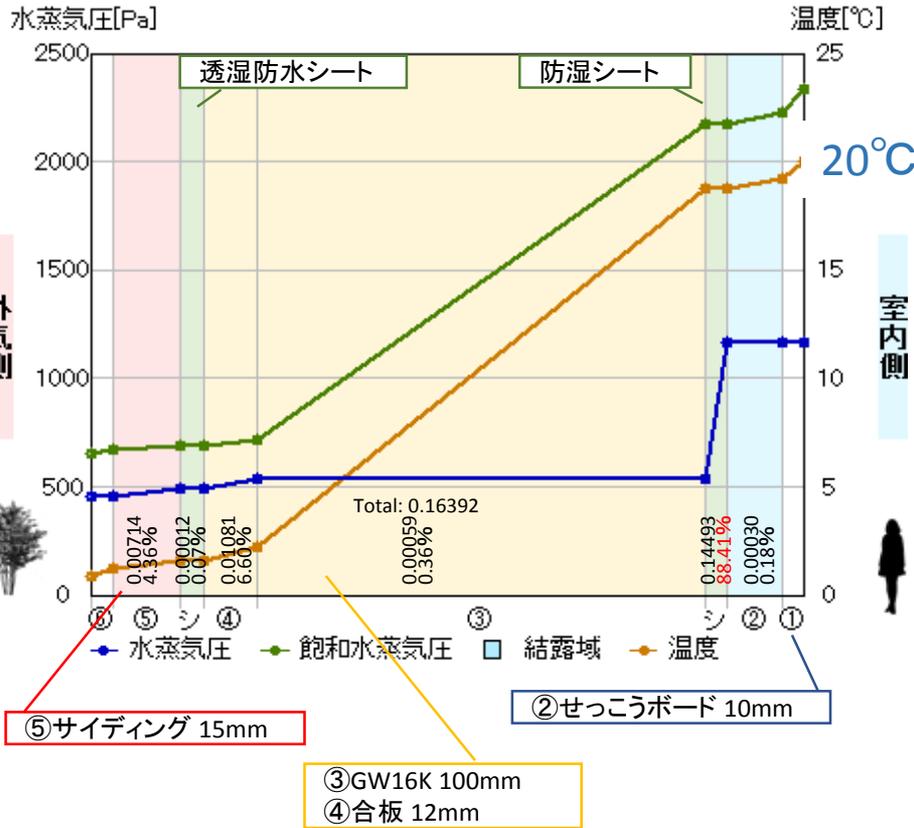
いずれの場合も、飽和水蒸気圧 > 水蒸気圧ではあるが、
外気温が -11.6°C と低い場合は、外気側の層の表面温度がより低くなり飽和水蒸気圧が小さく、
かつ、水蒸気圧との差異が少なくなるため、相対的には外気温が低いほうが結露リスクが高まる
ことがわかる。

Case3

室温 20°C vs 22°C

地域5(室内:20°C, 50% 外気:0.9°C, 70%)
防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング

地域5(室内:22°C, 50% 外気:0.9°C, 70%)
防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング



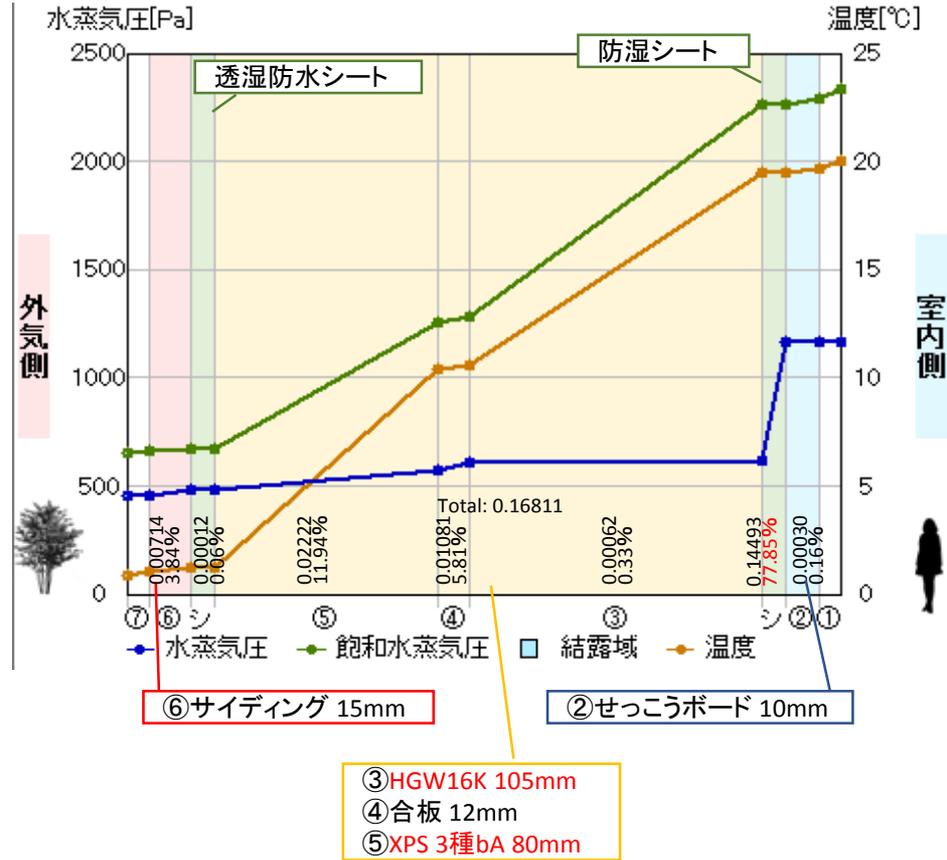
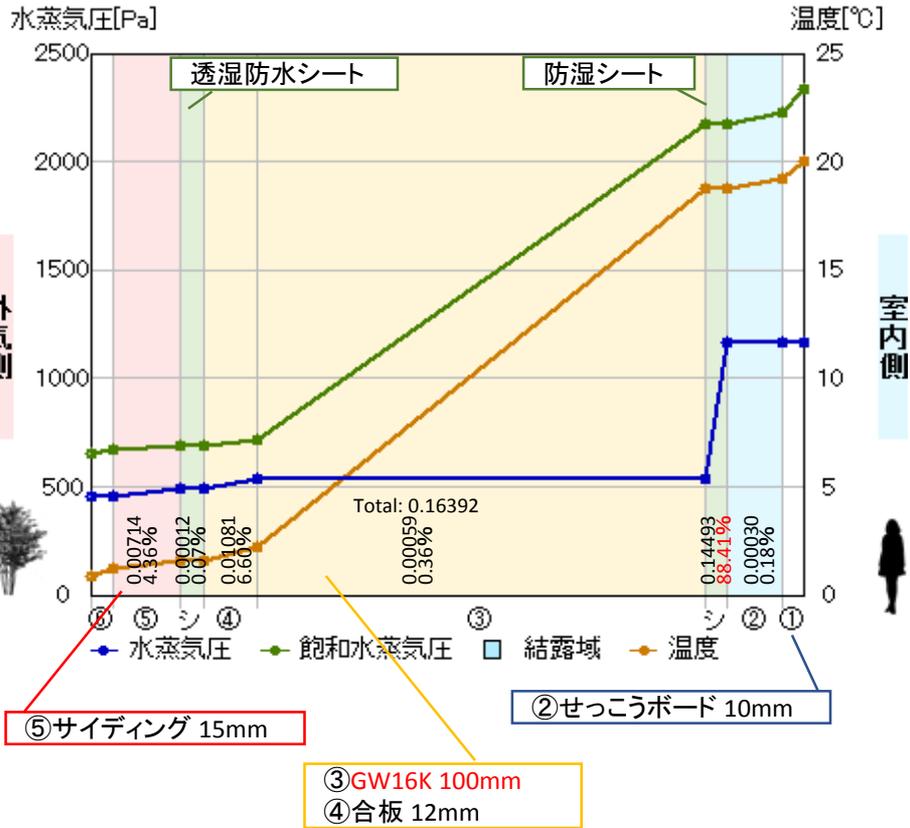
室温の設定温度の2°Cの差では、飽和水蒸気圧も水蒸気圧も変化は少なく、結露リスクも同程度と言える。

Case4

GW16K vs HGW16K+XPS80mm

地域5(室内:20°C, 50% 外気:0.9°C, 70%)
防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング

地域5(室内:20°C, 50% 外気:0.9°C, 70%)
防湿 + HGW16K+XPS80mm(U: 0.17) + サイディング



XPSの透湿抵抗は断熱材としては比較的大きい。熱抵抗も大きく、透湿抵抗も大きい場合、つまり、熱も水蒸気も通しにくいので、結露リスクを高めにくいことがわかる。

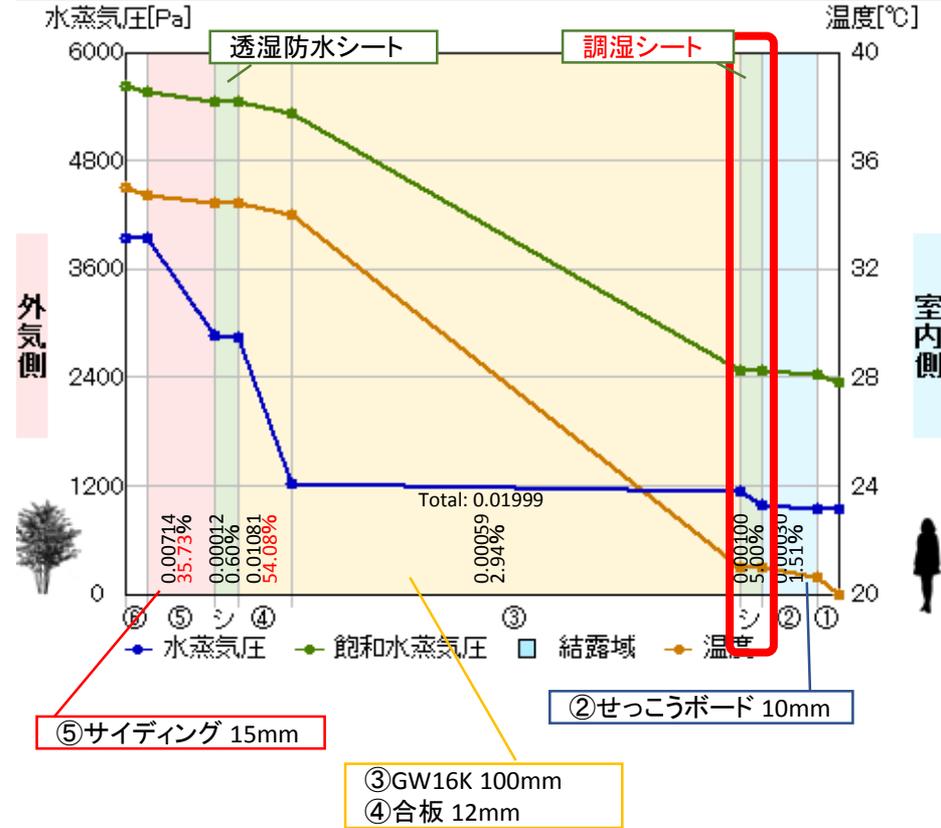
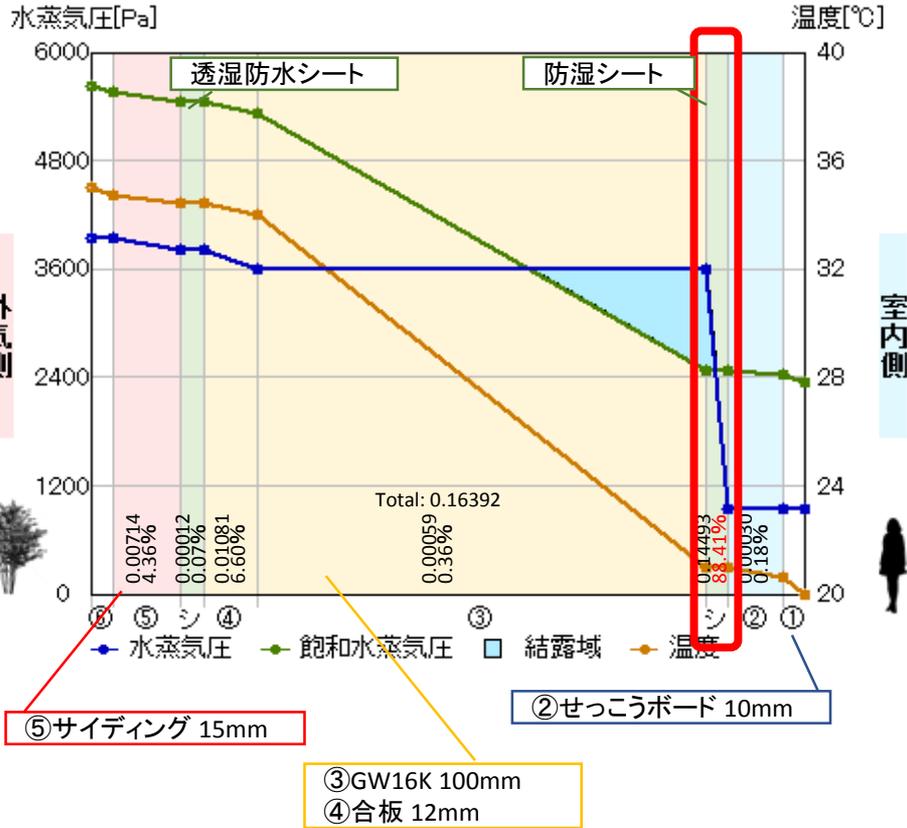
断熱層において熱抵抗のみ大きいと、飽和水蒸気圧と水蒸気圧のグラフが交わりやすくなる、すなわち、結露リスクが高くなりやすくなる。

夏 防湿シート vs 調湿シート

Case5

地域5(夏)(室内:25°C, 40% 外気:35°C, 70%)
防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング

地域5(夏)(室内:25°C, 40% 外気:35°C, 70%)
調湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング



夏、断熱層の湿気(水蒸気圧)が高まる場合、防湿層(室内側)で透湿抵抗が低いと、結露リスクが小さくなる。

※調湿シートとは：周囲の絶対湿度(水蒸気の量)が低下すると透湿抵抗が増加するシート(ベースは透湿シート)。
 絶対湿度が高い夏においては透湿抵抗が低く透湿シートとして機能するため、壁体内の湿気を室内に逃がす。絶対湿度が低い冬においては透湿抵抗が高くなるため、室内の湿気を壁体内に逃がさない。



防湿シート vs 調湿シート

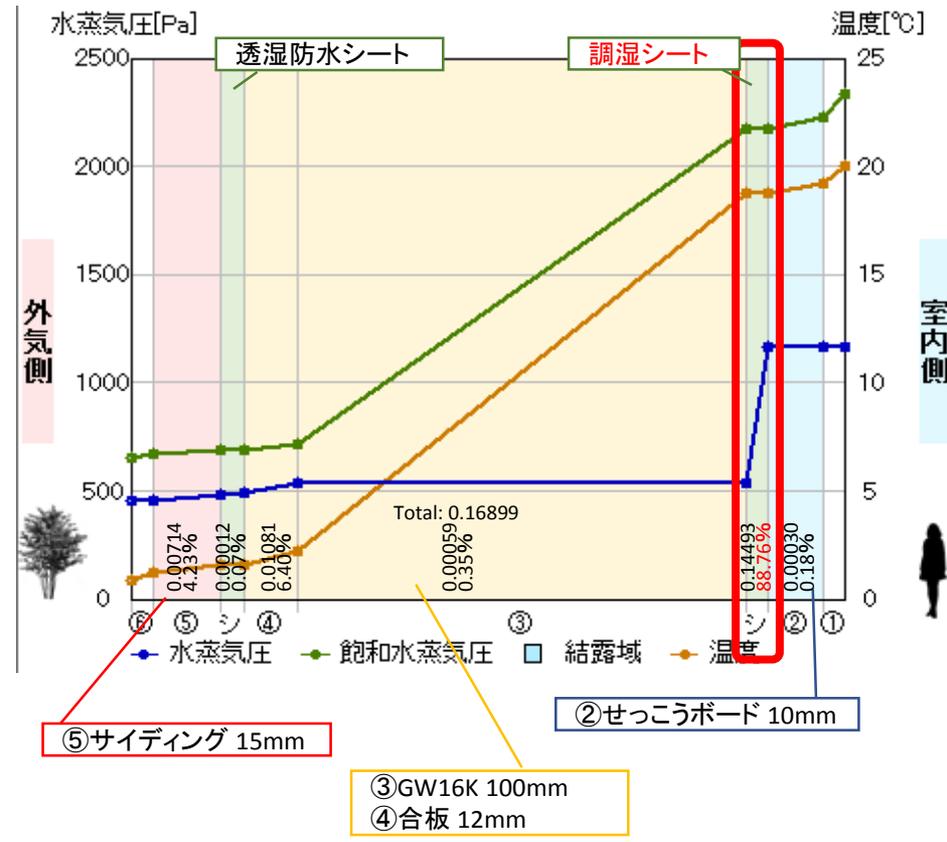
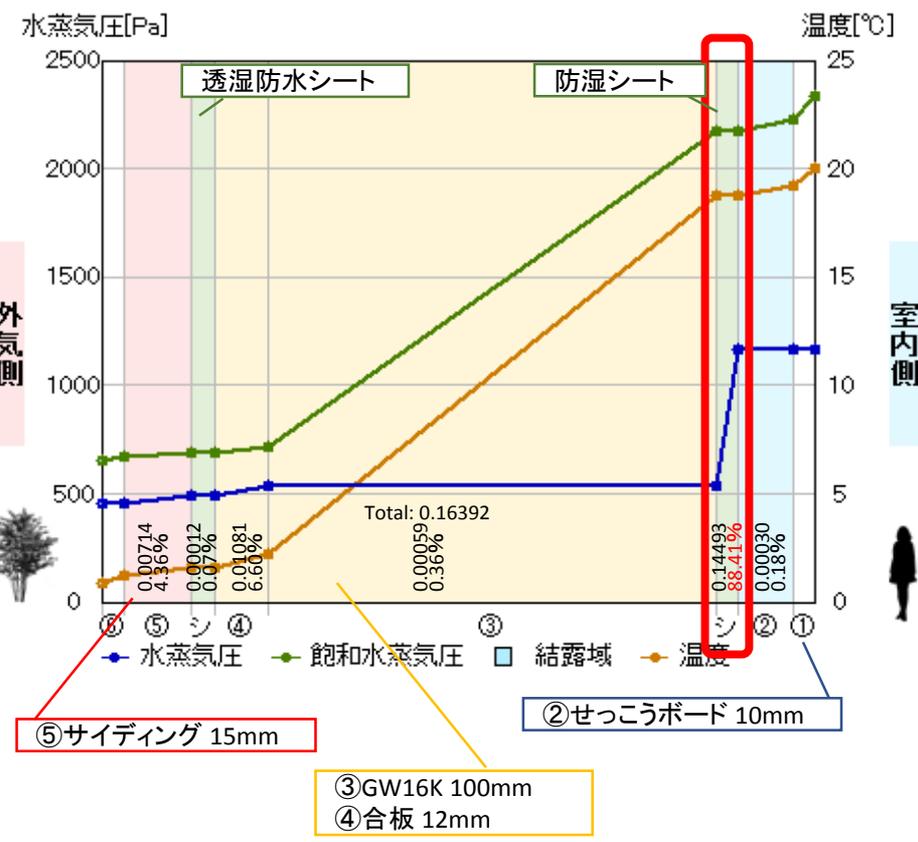
Case6

地域5 (室内: 20°C, 50% 外気: 0.9°C, 70%)

防湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング

地域5 (室内: 20°C, 50% 外気: 0.9°C, 70%)

調湿 + GW16K(U: 0.40) + サイディング



冬、室内の湿気(水蒸気圧)が高まる場合、防湿層(室内側)で透湿抵抗が高いと、結露リスクが小さくなる。

※調湿シートとは：周囲の絶対湿度(水蒸気の量)が低下すると透湿抵抗が増加するシート(ベースは透湿シート)。
絶対湿度が高い夏においては透湿抵抗が低く透湿シートとして機能するため、壁体内の湿気を室内に逃がす。絶対湿度が低い冬においては透湿抵抗が高くなるため、室内の湿気を壁体内に逃がさない。

結露発生の頻度と害の大きさがある程度、予測できる

- 壁結露の対策の原則は、室内側に防湿層、外気側に通気層をつくり、外気に対して透湿抵抗を小さくする
- ただし、内外の気温差で結露のリスクの大小が変わってくるので、地域の外気温を考慮してチェックするのがよい
- 暖房室温の設定の $2,3^{\circ}\text{C}$ 程度の違いでは、結露リスクは変わらないが、室内湿度によっては大きくかわってくる。住まい方(加湿器の使い過ぎや換気装置の停止)などの注意が必要となる。
- 付加断熱等では断熱層の温度勾配が大きくなるので、境界部の仕様(透湿させるのか、させないのか)が目的どおりとなっていることが、より重要となる。
- 可変型調湿シートは、年間を通して気密を確保しつつ、冬は防湿性、夏は透湿性を発揮する。室内の湿度変動を抑制するので、結露対策に有効といえる。

結露防止の原則(住まい方)

住まい方によって、室内湿度を適切に保てば、結露の抑制が可能となる。
住まい手にも理解を促すことも重要と思われる。

■ 結露防止ハンドブック (IBEC発行)



- ・室内では洗濯物をできるだけ干さない
- ・室内の水槽や植物を少なめにする
- ・浴室の戸を開け放しにしない
- ・暖房器にやかんなどをのせない
- ・加湿器の仕様は最小限にとどめる
- ・できるだけ密閉型の暖房器を使用する
- ・窓を開けて換気する
- ・小窓や換気口で換気する
- ・換気扇で換気する
- ・浴室や仕様しない部屋も換気する
- ・壁・床に接して家具などを置かない
- ・押入れの中でも壁・床に接して物を置かない
- ・床下換気口の近くに物を置かない
- ・室温は適温(冬20℃~23℃、夏25℃~28℃)
- ・家の中で低温の場所を作らない



ホームズ君レポート『ガラス結露判定』もご覧ください