

住宅の通気工法に起因する結露の防止に
資する技術の検討業務

報告書

(抄)

令和5年 2月

アルセッド建築研究所

「住宅の通気工法に起因する結露の防止に資する技術の検討業務」

報告書

目次

1章 業務の目的・概要	1
1. 1 業務の目的	1
1. 2 業務の内容	1
1. 3 業務の実施体制	1
1. 4 業務の実施工程	2
2章 令和4年度の作業実施概要	5
3章 実大モデル実験	9
3. 1 実大モデル実験1（通気層雨水浸入計算モデル）	9
3. 2 実大モデル実験2（小屋裏・通気層計算モデル）	20
4章 シミュレーション	75
4. 1 シミュレーション実施条件の検討	75
4. 2 シミュレーション1（通気層雨水浸入計算モデル）	83
4. 3 シミュレーション2（小屋裏・通気層計算モデル）	147
5章 結露発生・雨水浸入による建物劣化リスクの検証	183
5. 1 結露等の発生に影響を及ぼす建築的・環境的条件の整理	183
5. 2 建物劣化リスクが高まる条件の組合せの整理	185
6章 4カ年の調査・実験結果及び成果の取りまとめ	189
6. 1 調査方法の検討結果の取りまとめ	189
6. 2 補修方法に対する考え方の整理	225
6. 3 調査・実験結果及び成果の概要の一覧	227
7章 一般消費者等が参照可能な資料の作成	233
(略) 8章 検討会の運営補助	241
8. 1 検討会の実施概要	241
8. 2 事務局打合せの実施概要	254
9章 まとめ	271
9. 1 実大モデル実験の実施	271
9. 2 シミュレーションの実施	272
9. 3 結露等の発生要因を把握するための調査方法	273

1章 業務の目的・概要

1.1 業務の目的

(公財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター(以下、「財団」という。)に寄せられる住宅に関する電話相談における技術的助言や紛争処理支援の一環として紛争処理委員に技術情報を提供している「住宅紛争処理技術関連資料集」の記載内容の拡充・質的向上等を目的に、住宅の通気工法に起因する結露の防止に資する技術に係る情報の収集・整理を行うものである。

1.2 業務の内容

本業務では、仕様書に従い以下の作業を実施した。また、本報告書中に記述している該当箇所を表1.2.1に示す。

表 1.2.1 業務内容の記載

業務内容		本報告書 記載箇所
(1)通気工法に起因する結露の防止	1)実大モデル実験	3章
	2)シミュレーション	4章
	3)結露発生・雨水浸入による建物劣化リスクの検証	5章
	4)4ヶ年の調査・実験結果及び成果の取りまとめ	6章
	5)一般消費者等が参照可能な資料の作成	7章
(2)検討会の運営補助	8章	

1.3 業務の実施体制

本検討の実施者の所属、氏名、役割分担を表1.3.1に示す。

表 1.3.1 本検討の実施者の所属、氏名、役割分担

所属	役職	氏名	役割分担
アルセッド建築研究所	代表取締役副所長	大倉 靖彦	全体統括
	統括	山口 克己	(1)通気工法に起因する結露の防止(副担当) (2)検討会の運営補助(副担当)
	主幹	埴 加寿雄	(1)通気工法に起因する結露の防止(正担当) (2)検討会の運営補助(正担当)
		靱井 玲	(1)通気工法に起因する結露の防止(副担当) (2)検討会の運営補助(副担当)
		松井 俊風	(1)通気工法に起因する結露の防止(副担当) (2)検討会の運営補助(副担当)
		大島 康治	(1)通気工法に起因する結露の防止(副担当) (2)検討会の運営補助(副担当)

1. 4 業務の実施工程

1.4.1 実施期間・工程

実施期間は、令和4年7月20日から令和5年2月28日である。

実施工程は表1.4.1の通りである。

表 1.4.1 業務の実施工程

業務項目	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
(1)通気工法に起因する結露の防止								
1)実大モデル実験				実験の実施				
2)シミュレーション				条件検討		実施		結果整理
3)結露発生・雨水浸入による建物劣化リスクの検証							水分滞留による建物劣化リスクの高まる条件の絞り込み	
4)4か年の調査・実験結果及び成果の取りまとめ							調査方法精査・再整理	補修方法考え方整理
5)一般消費者等が参照可能な資料の作成			情報収集・成果イメージ検討			資料作成		
(2)検討会の開催			●第1回(9/5)			●第2回(12/2)		●第3回(2/2)
(3)事務局打合せ		○8/10	○9/14	○10/27	○11/16	○12/21	○1/23	○2/9 ○2/22
(4)報告書の作成								報告書の作成

1.4.2 検討会の開催

有識者が委員として参画した「住宅の通気工法に起因する結露防止技術検討会（以下、検討会という）」を計3回開催・運営補助した。検討会の開催日は表1.4.2、検討会のメンバーは表1.4.3の通りである。

表 1.4.2 検討会の開催日

	開催日	検討会
1	令和4年9月5日	第1回 住宅の通気工法に起因する結露防止技術検討会
2	令和4年12月2日	第2回 住宅の通気工法に起因する結露防止技術検討会
3	令和5年2月2日	第3回 住宅の通気工法に起因する結露防止技術検討会

表 1.4.3 検討会メンバー

区分	氏名	所属	役職
委員	澤地 孝男	国立研究開発法人建築研究所	理事長
	齋藤 宏昭	足利大学	工学部創生工学科 建築・土木分野 教授
	松岡 大介	ものづくり大学	技能工芸学部 建設学科 准教授
	三島 直生	国土交通省 国土技術政策総合研究所	建築研究部 材料・部材基準研究室 室長
事務局	日野 康彦	(公財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター	研究第一部長
	須賀 昌昭	(公財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター	研究第一部 主任研究員
	宮 麻里子	(公財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター	研究第一部 研究員
	大倉 靖彦	(株)アルセツド建築研究所	代表取締役
	山口 克己	(株)アルセツド建築研究所	総括
	埴 加寿雄	(株)アルセツド建築研究所	主幹
	大島 康治	(株)アルセツド建築研究所	

2章 令和4年度の作業実施概要

令和4年度の検討では、令和3年度に引き続き、実大モデルを用いた実データの測定及び結露等の発生が長期に継続する状況となる様々な条件を定量的な検証するためのシミュレーションを行った。

また、結露等の発生要因を判定するための調査方法については、令和3年度に行った基礎的な整理をベースとして、より実践的な方法とするよう検討すると共に、結露等の発生要因となる不具合事象を補修する方法については代表的な補修方法の項目の整理を行った。

それぞれの実施概要を以下に掲げる。※【 】内に当該内容を取り扱う章・節を示す。

(1) 実大モデル実験の実施【3章】

実大モデル実験において令和3年（2021年）3月から外壁及び小屋裏の温湿度並びに通気風速等の測定を行っているが、より長期にデータを収集してデータを平準にすることを意図し、継続して実施した。

なお、住宅仕様の実状に照らして実大モデルの一部の仕様の見直し（東側足場板の一部撤去、間仕切壁上部の気流止め仕様の見直し等）を行った。令和4年度も令和3年度と同一の部位及び結露のタイプ別に下記の事項の測定を行っている。

①外壁通気層

- ・放湿型（夏型）：夏期を中心とし、通年で温湿度・通気風速等を測定
- ・冬型：冬期を中心とし、通年で温湿度・通気風速等を測定

②小屋裏：通年で温湿度・通気風速等を測定

(2) シミュレーションの実施【4章】

住宅の通気工法に起因する結露等の発生要因を判定するための調査方法及び補修方法に対する考え方の整理の検討を現実的かつ効率的に行うために、シミュレーションを通じて、木部周辺の高湿状態や、木部表面に結露水の滞留している状態が長期に継続し、建物劣化リスク（ここでは、建物を構成する木材が腐朽等により劣化し、構造安全性が低下する危険性の度合いをいう。）が高まる建築的条件及び環境的条件を検証した。

なお、本検討では「建物における湿害の診断と対策に関する規準・同解説（2021年3月（一社）日本建築学会）」に基づき、木材の材料表面の相対湿度が98%超となり、その状態が1～2か月程度継続すると木材中に菌糸が定着する状態を建物劣化リスクが高まる状態としている。

①シミュレーション実施条件（建築・環境）の検討

- ・シミュレーションでは結露を誘引すると想定される建築的条件（各部仕様等）や環境的条件（地域的条件、室内環境条件等）を検討要素として設定した。

②シミュレーションの実施

- ・シミュレーションでは建築的条件及び環境的条件を検討要素として設定し、実態を踏まえた複数の検討要素が組合わされた状況について結露等の発生状況の検証を行った。

③シミュレーション結果の整理

- ・シミュレーションの結果から、結露等の発生及び高湿状態の長期継続により建物劣化リス

クが高まる状況を誘引する条件の確認・整理を行った。

(3) 結露発生・雨水浸入による建物劣化リスクの検証【5章】

結露等の発生要因を判定するための調査において調査すべき内容の検討につなげるために、結露等が長期に継続し、建物の劣化リスクが高まる条件とこれらの組合せについて、シミュレーションの実施条件の検討結果及び有識者からの意見等を踏まえて整理を行った。

①結露等の発生に影響を及ぼす建築的・環境的条件の整理

- ・結露等の発生に影響を及ぼす条件（建築的・環境的）について、部位や結露のタイプごとに個別に整理を行い、建物劣化リスクが高まる条件の組合せの整理の検討につなげた。

②建物劣化リスクが高まる条件の組合せの整理

- ・結露等の発生に影響を及ぼす条件（建築的・環境的）が組み合わせることにより建物の劣化リスクが高まると考えられることから、建物の劣化リスクが高まる条件（環境的・建築的条件）の組合せと劣化リスクの程度との関連について整理を行った。

(4) 4カ年の調査・実験結果及び成果の取りまとめ【6章】

4カ年の調査・実験結果及び成果の取りまとめとして、結露等の発生要因を判定するための実務者の活用を想定した合理的な調査方法、結露等を誘引させると想定される不具合事象を補修するための項目の整理を行った。また、年度ごとの検討成果の整理を行った。

①調査方法の検討結果の取りまとめ

- ・過年度の基礎的な成果を踏まえて、令和4年度は結露等が長期に継続し、建物の劣化リスクが高まる条件をベースとして、より実務に即した資料の整理を試みた。

1) 外壁通気層及び小屋裏の結露の発生要因の精査

- ・シミュレーションや調査方法を検討する上でのベースとして活用するための結露の発生要因の相関及び結露を誘引すると想定される不具合事象について改めて精査を行った。

2) 結露等の発生要因を判定するための調査方法の検討

- ・結露等に起因する変状の発生状況を元に、結露の発生箇所及び結露のタイプを判定するための調査方法について、実務に即した合理的な手順及び方法の検討を行った。
- ・また、上記(3)の整理結果を踏まえて、結露のタイプ別に結露等の発生要因を判定するために調査すべき内容を絞込み、効率の良いより具体の調査方法の検討を行った。

②補修方法に対する考え方の整理

- ・上記①2)の調査で得られる結果が、結露等により引き起こされた不具合の根本要因であり、すなわち補修すべき対象となる。
- ・結露等による建物の劣化リスクが高まる状況を引き起こすと考えられる代表的な不具合事象例を対象として、代表的な補修方法の項目を整理した。

③調査・実験結果及び成果の概要の一覧

- ・過年度分も含めた4カ年の成果について、年度ごとの業務内容や成果・課題、課題に対する対応内容・結果等について整理を行った。

(5) 一般消費者等が参照可能な資料の作成【7章】

- ・低層木造戸建て住宅の外壁及び小屋裏に生じる結露等を対象とした、一般消費者等向けの資料を作成した。
- ・資料は、一般消費者等の基礎的知識の紹介をはじめ、一般消費者等にも可能な被害発生子防と日常生活における注意喚起を促すことを意図した内容とした。

3章 実大モデル実験

3.1 実大モデル実験1（通気層雨水浸入計算モデル）

近年の断熱性能を向上させた外壁では、通気層の設置により雨水及び室内からの水分浸入に対する乾燥性能を確保しているが、通気層に対する要求性能は明確ではない。特に、外装材緊結方法により異なる通気障害や嵌合部の経年劣化による浸水の影響について、定量的に検討した例はほとんど無く、不具合が発生した際の原因や責任の所在が曖昧になっているのが現状である。

このような背景に鑑み、令和3年度は外装材嵌合部等からの浸水を想定し、降水量に比例した雨水を強制的に通気層へ注水した際の壁体内の温湿度性状を、実大住宅の外壁において測定し、通気障害や方位等との関係を把握した。外壁内の水分蓄積は複数年にわたり検証する必要があるため、令和4年度は、壁内温湿度の長期的な推移について検証をおこなうとともに、足場撤去による日射授受の影響について考察する。また、後述するシミュレーション計算に基づく感度解析の検証データとして利用する。

3.1.1 実験概要

3.1.1.1 実大モデル住宅

実大モデル住宅は令和2年度から測定を継続している、ものづくり大学（埼玉県行田市）のキャンパス内にある在来軸組工法の木造2階建て、延べ床面積108.82m²の戸建住宅である（図3.1.1、図3.1.2）。測定対象は写真3.1.1に示す東面及び北面とし、外壁通気層で生じる通気障害を幅455mm毎のスパンで再現した（図3.1.3）。最も通気し易い縦胴縁+鋼製ファイヤーストッパー仕様を筆頭に、窓、横胴縁に加え、パラペット部分の施工ミスが散見される上部閉塞等を並列に比較できるように東面の同一方位に配置した。北面については、通気障害が大きいとされる横胴縁仕様とし、⑧、⑨については後日外装材をアクリルに変更し、通気及び浸入水の流下を可視化できる仕様とした。断面構成は図3.1.4に示すグラスウール（以下、GW）の充填断熱工法とし、耐火性能を高めるため内装材に加え合板の外側にも石膏ボードを2枚ずつ配置した。通気層への雨水浸入は、足場の軒高の位置に漏斗を設け、降雨時に一定割合の雨水を捕集・注水出来るようにした。漏斗は、3階建てを想定した壁面雨量のおおよそ5%を捕集する面積とした。

なお、令和4年度は実験住宅周囲の足場を撤去し、写真3.1.1の実験対象範囲への日射取得が確保できるよう条件を変更し、その影響を比較できるように配慮した。

3.1.1.2 測定項目及びセンサー設置位置

測定項目は、温度、相対湿度、合板含水率、通気層風速とし、図3.1.3に示すよう各種センサーを通気層の上端、中央、下端に設置した。温湿度センサーは通気層に加え、断熱材の外気側及び室内側に設置し（図3.1.4）、放湿型結露や冬型結露による湿度上昇を捉えられるよう配慮した。また、2階の内装材上下910mmをアクリルボードで仕上げ、防湿シートとGWの界面で発生する放湿型結露を観察できるようにした。

なお、測定は令和3年（2021年）3月から継続的に実施している。

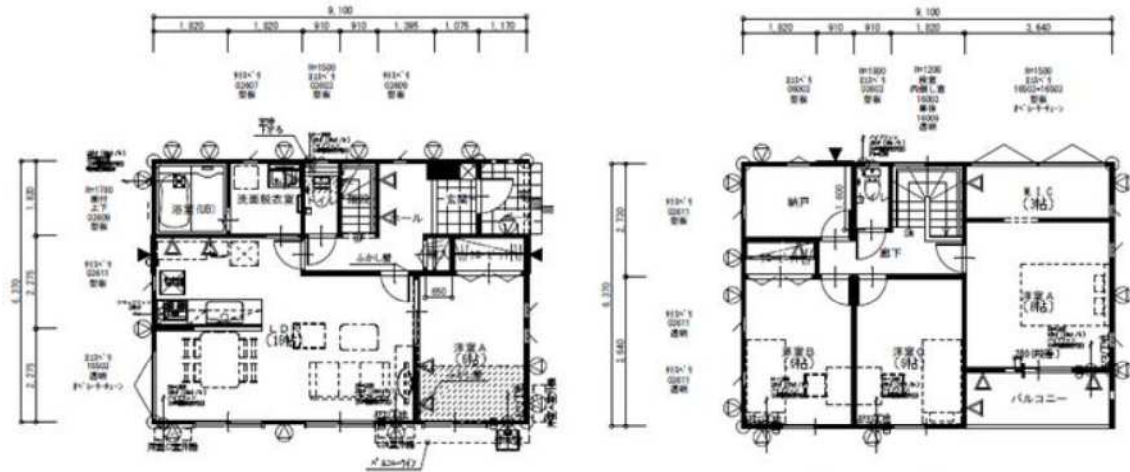


図 3.1.1 実大モデル住宅平面図（左：1階、右：2階）



図 3.1.2 実大モデル住宅立面図



写真 3.1.1 実大モデル住宅の測定対象外壁と注水用漏斗（撮影：2021年）

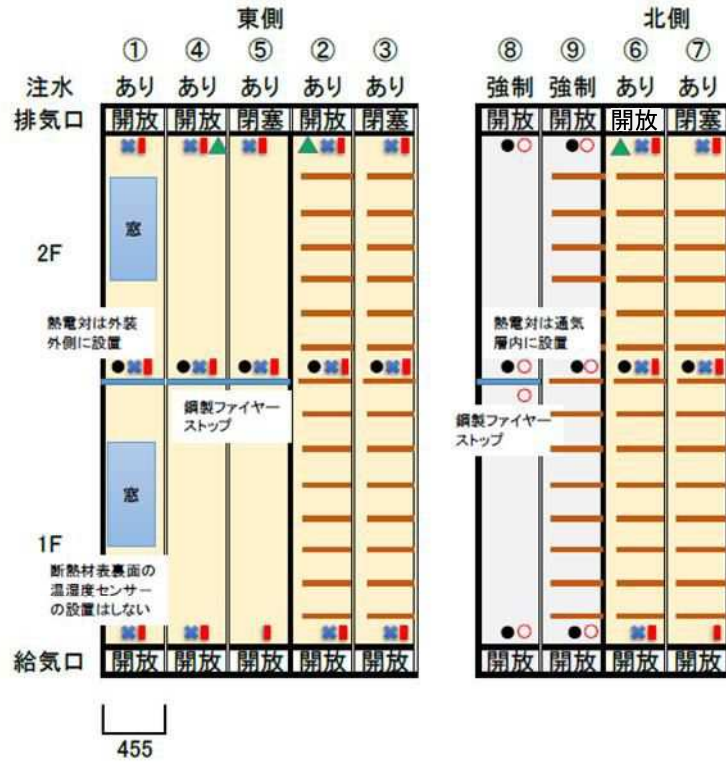


図 3.1.3 通気層仕様とセンサー設置位置

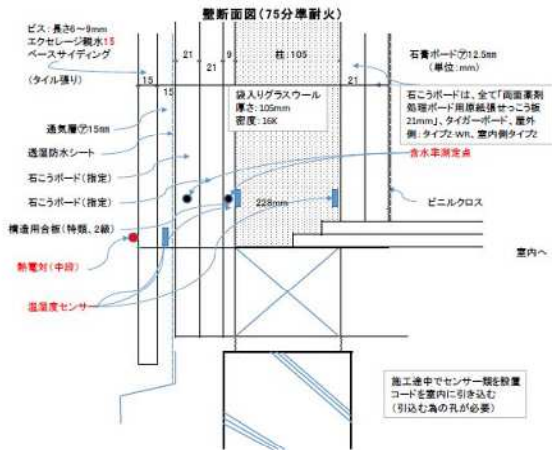


図 3.1.4 外壁の断面構成及びセンサー設置位置

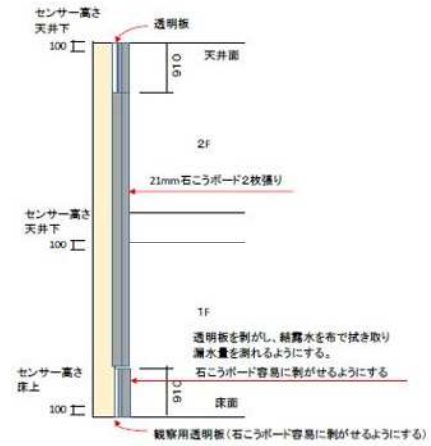


図 3.1.5 結露観察用のアクリル設置位置

3.1.2 結果

3.1.2.1 標準的仕様の壁内温湿度変動

初めに、標準的な仕様である縦胴縁開放④における、長期的な温湿度変動について考察する。図 3.1.6 に、測定を開始した 2021 年 5 月から 2022 年 9 月中旬までの通気層、断熱材屋外側、断熱材室内側の相対湿度、及び外気温、降水量を示す。通気層、断熱材屋外側の相対湿度は、2021 年、2022 年共に梅雨期である 6 月から 8 月にかけて降水量の増加に伴い上昇しているが、冬期は低下している。断熱材室内側に関しては、これらに比べ振幅が小さいうえ、長期的な水分蓄積の傾向は見られない。

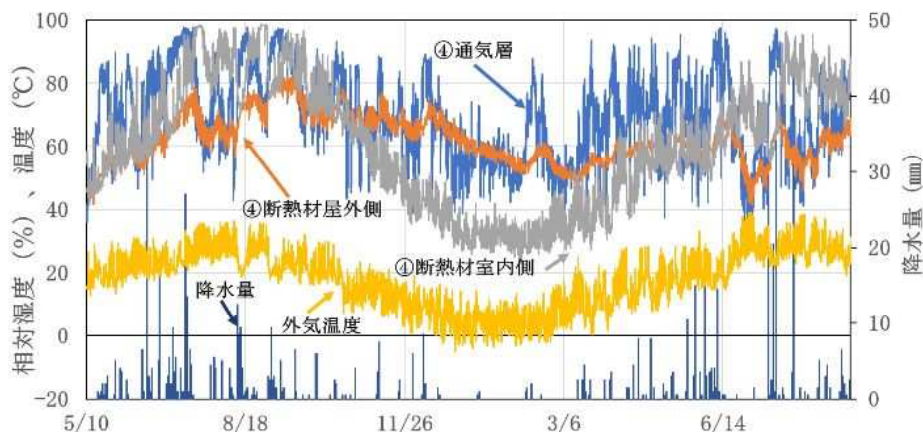


図 3.1.6 相対湿度の長期変動（縦胴縁開放上段部：④）

3.1.2.2 仕様による通気層相対湿度の比較

通気層における各仕様の相対湿度の差異について考察する。図 3.1.7、図 3.1.8 は、仕様ごとの通気層温度、通気層相対湿度を計測し、全期間の平均と標準偏差を示したグラフである。図 3.1.9、図 3.1.10 は通気層上端の開放、閉塞の違いを比較するため、2 階上部における相対湿度の時間変化を表したグラフである。

(1) 通気層仕様による違い

仕様による違いは、窓あり (①)、横胴縁開放 (②)、横胴縁閉塞 (③)、縦胴縁開放 (④)、縦胴縁閉塞 (⑤) の 5 つについて比較した。図 3.1.7 より、通気層温度に関しては、上中下段ともに 20°C 前後で、大きな違いは見られなかったが、図 3.1.8 の相対湿度に関しては、東面の窓あり (①) を除いて、上段、中段、下段の順に高くなっていった。この中でも特に横胴縁 (②、③) の上段の相対湿度は全期間平均にも関わらず約 90% と、顕著に高い傾向が見られた。これは、横胴縁が縦胴縁よりも通気、排水が悪く、水分が滞留しやすかったためと考えられる。窓あり (①) は、中段、上段、下段の順に高く、窓により中段部の通気と排水が滞る為、中段の値が高くなったと推測される。

(2) 通気層上部閉塞による影響

次に、同仕様で通気層上端の開放及び閉塞による上段の相対湿度の違いについて比較した。図

3.1.9の横胴縁閉塞(③)では、開放(②)に比べ秋期から冬期にかけて相対湿度が高く、上部閉塞による通気量低下の影響が確認できる。また、図3.1.10の縦胴縁(④、⑤)に関しては、閉塞(⑤)の振幅が開放(④)と比べ小さく、冬期の相対湿度に若干高い傾向が見られた。上部閉塞の仕様(③、⑤)は通気による排湿が滞っており、降水量の少ない冬期にも相対湿度が、低下し難い傾向にあると考えられる。

(3) 通気層相対湿度の上下分布

図3.1.8では、通気層相対湿度の上下分布が上・中・下の順と中・上・下の順で高いグループに分けることができる。前者については、特に横胴縁閉塞(③)において顕著であり、上・中・下それぞれ93%、78%、52%と、上段部と下段部の差が41%と最も大きかった。後者は、窓あり(①)が60%、68%、56%であり、③ほどの上下差はないものの窓の直下である中段部の相対湿度が最も高く、中段部と下段部の差は12%であった。一般に、外装材が日射によって温められることで、材料内に蓄積されていた水分が放出・通気層内の空気が加湿され、上部の相対湿度が上昇したと考えられる。

ゆえに、窓や横胴縁等の障害物や上部閉塞による通気阻害によって、通気層への浸入雨水の乾燥が妨げられ、相対湿度が上昇する外壁上部で躯体の劣化リスクが高まると推測される。

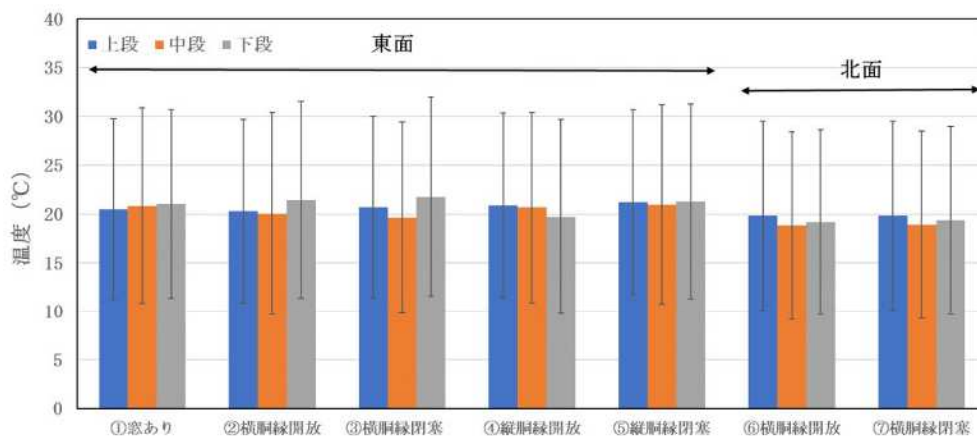


図 3.1.7 通気層温度の平均及び標準偏差 (全期間)

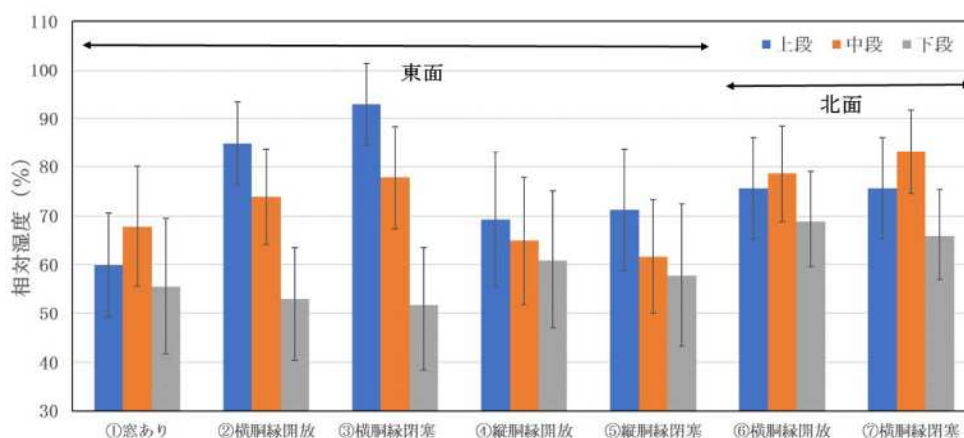


図 3.1.8 通気層相対湿度の平均及び標準偏差 (全期間)

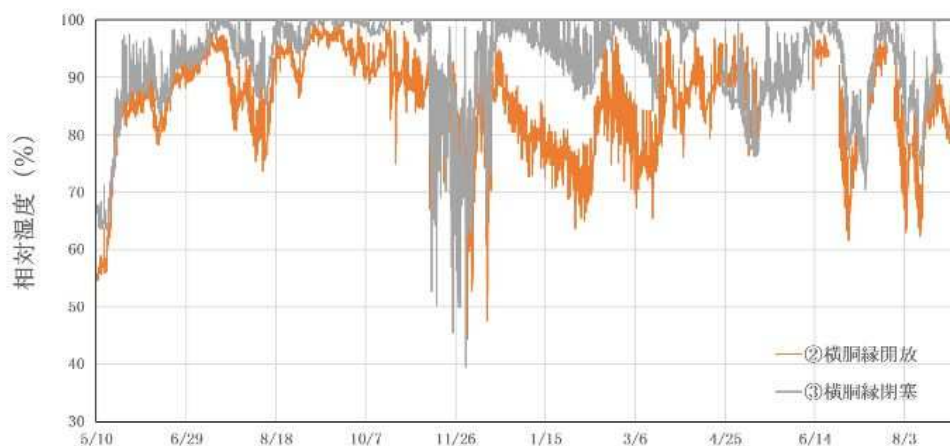


図 3.1.9 上部閉塞による通気層相対湿度の比較（横胴縁）

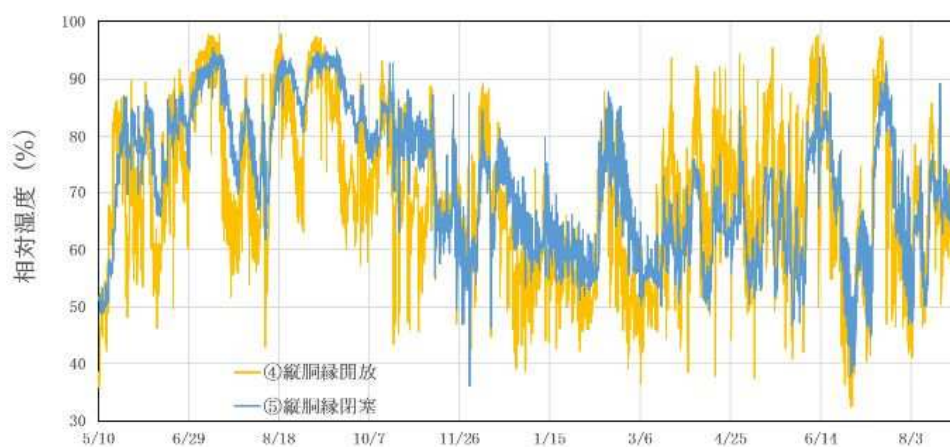


図 3.1.10 上部閉塞による通気層相対湿度の比較（縦胴縁）

3.1.2.3 方位による日射取得の影響

実験棟は、写真 3.1.1 のように 2021 年度は東面に足場が設置されているが、2022 年度は撤去されており、特に中下段で足場による日射遮蔽の影響があると考えられる。そこで、東面と北面の方位や外壁表面への日射取得がどのような影響を及ぼすか考察する。図 3.1.11、図 3.1.12 は、各仕様中段における年度別の 6 月～8 月の通気層相対湿度と温度の期間平均と標準偏差である。中段とした理由は、上部では軒の影響で足場撤去の差異がほとんど見られず、中段が顕著であったことによる。なお、北面は 2021 年度も足場は設置されていない。

(1) 方位による影響

方位については東面の足場を撤去した 2022 年度の結果を比較する。図 3.1.11 の東面では全ての仕様で、期間平均温度が 30℃以上である一方、北面の各使用は 27℃程度であった。図 3.1.12 の相対湿度については、東面は 50～65%である。北面は共に 80%前後と東面よりも 20%程度高い傾向が見られた。一般に、同じ水蒸気圧でも日射量の増加により空気温度が上昇すると、相対湿度は低下する。東面の相対湿度の低下は、東・北面での日射取得の違いによって、通気層内の温度が高く維持されることにより生じたものと言えよう。年間を通して比較した図 3.1.8 では、横胴縁（仕様②、③、⑥、⑦）上段部における相対湿度が東面（②、③）で高く、特に横胴縁閉

塞（③、⑦）では東・北面の差が17%と差が最も大きく、長期的な湿害リスクについては東面の方が高いと思われる。

(2) 足場撤去による日射の影響

図 3.1.11 による温度の比較では、足場を撤去した 2022 年度が 2021 年度に比べ、東面の各仕様で期間平均が 3~5℃上昇していた。図 3.1.12 では、上部開放（②、④）で約 10%、上部閉塞（③、⑤）では 20%、足場の撤去に伴う日射取得の増大により、相対湿度が低下していた。この結果から、周辺環境による日射取得の影響は大きく、一般の住宅で隣家等により日陰となっている外壁内では、微妙な日射取得の違いにより壁内湿度性状が異なることが推測される。なお、2022 年度は夏期の降水量が少なく、晴天日が多い外気条件も影響したと思われる、年度ごとの気候のバラツキの影響については今後の検討課題である。

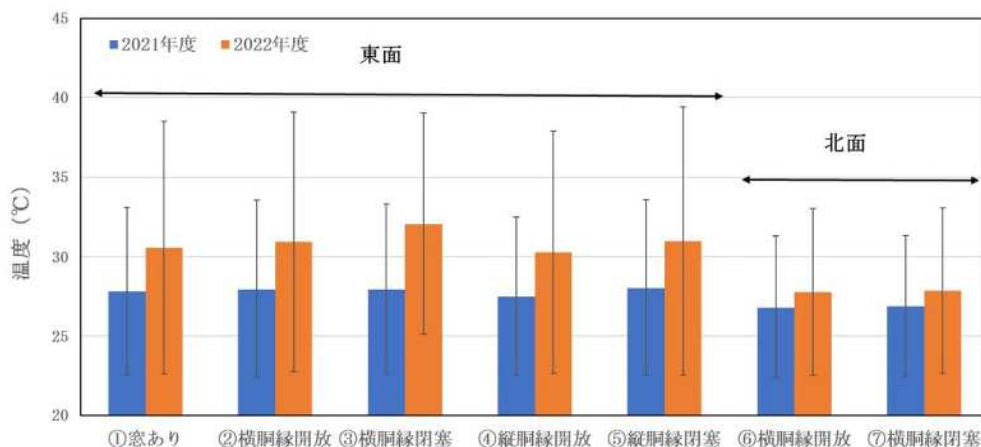


図 3.1.11 6~8月の通気層中段部温度の平均及び標準偏差

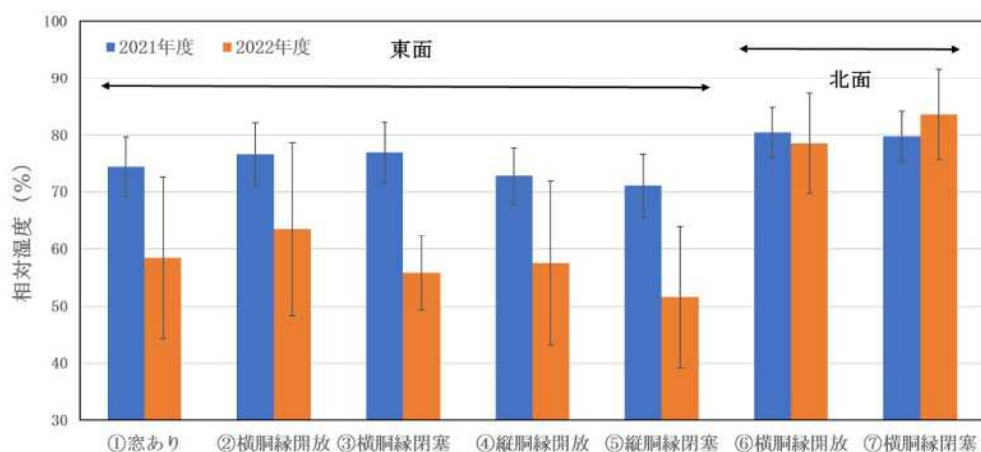


図 3.1.12 6~8月の通気層中段部相対湿度の平均及び標準偏差

3.1.2.4 通気層温湿度の上下分布発生の要因

通気層温湿度上下分布が発生するメカニズムについて、降雨前後の期間に注目し考察する。梅雨明け前後4日間の横胴縁開放(②)の通気層相対湿度、外気温、降水量を図3.1.13に、絶対湿度を図3.1.14に示す。図3.1.13では、上段部の相対湿度が常に約95%で大きな変動は見られない。中段部及び下段部の相対湿度は、降雨日の変化は小さいが、晴天日は外壁表面に日射が当たる午前中の1時間程度で急激に低下し、昼にかけて上昇していた。さらに、空気中の水蒸気量を示す絶対湿度では、上・中・下段共に、降雨日は低い傾向にあるが、晴天日の午前中に上昇、昼に低下する変動を示した。この結果は、降雨時に外装材で吸水された水蒸気が、日射取得による温度上昇によって放出され、絶対湿度の上昇をもたらしたものとえよう。したがって、温湿度上下分布の要因は、外装材の雨水の蓄積と、その後の日射取得による温度上昇により、通気層内の空気が加湿され上部になる程、湿度が上昇したものと考えられる。

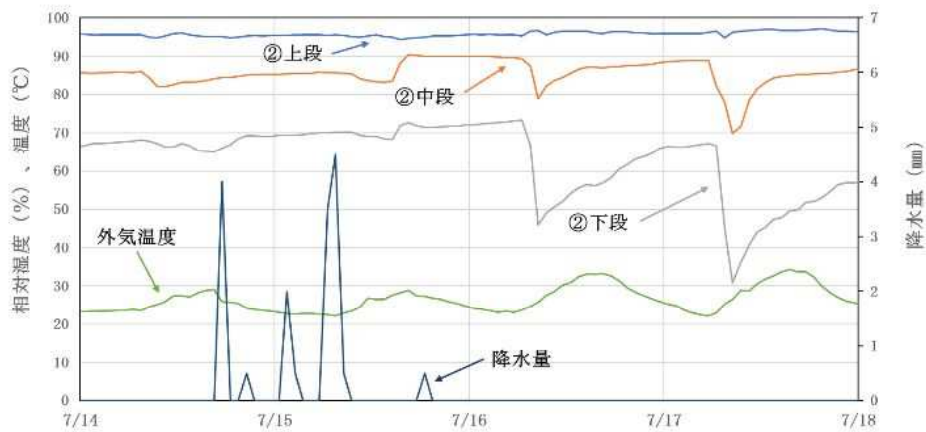


図 3.1.13 横胴縁開放(②) 通気層相対湿度

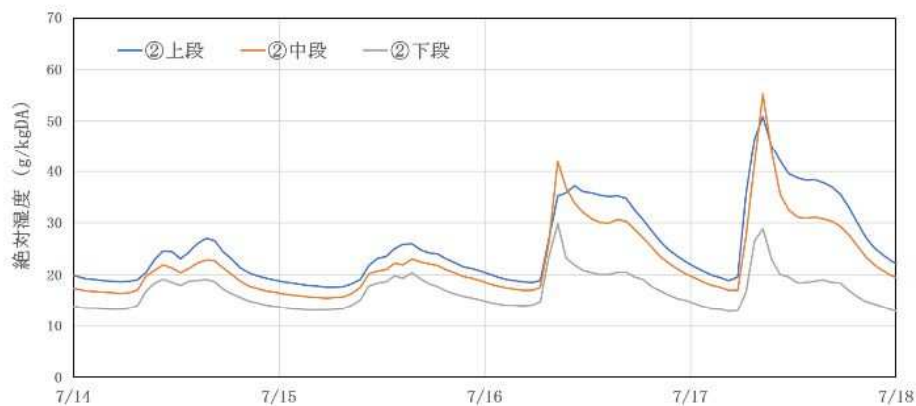


図 3.1.14 横胴縁開放(②) 通気層絶対湿度

3.1.3 まとめ

2年間にわたる雨水浸入を再現した外壁内の温湿度変動の測定により、通気層の仕様と水分蓄積リスクの関係がおおよそ把握できた。令和3年度の報告でも示唆したとおり、縦胴縁仕様では通気層への雨水浸入が生じて、十分な排水・通気の効果により乾燥を維持できる結果となった。横胴縁については、夏期に放湿型結露が若干継続するため注意が必要であるが、冬期には乾燥する結果となっている。一方で、通気層上部を閉塞した仕様では、通気層上の湿度が高止まりするため、パラペットや胴縁などで湿害の生じるリスクが高いと考えられる。また、北側の通気層も高湿度状態が継続する可能性があり、更なる検討が必要であろう。

雨水浸入を考慮した外壁通気層のシミュレーション計算は、国内外でも事例が少なく、特に実験による検証データはほとんど存在していない。計算結果に影響を及ぼす浸入水の挙動や付着量の扱いなども、欧州や北米の研究者も含め検討中の状況である。そのため、本検討ではシミュレーション計算と実験結果を比較し、仕様や条件変更を行った際に同じような傾向が確認できれば、現時点では十分であると考えている。

今回の結果は、令和3年度のシミュレーションで示した傾向をおおよそ再現出来ており、貴重な検証データと言える。特に、通気層上部で高湿度となるメカニズムが実証されており、都市部で被害の多い3階建てや、今後増加が見込まれる中層木造建築の耐久性評価に資する知見が得られたと考えられる。

<付録> 2年間の通気層及び断熱材室内側の日平均相対湿度

(24時間平均のため変動は小さくなっているが、仕様による差異や上下分布は明確に示されている)

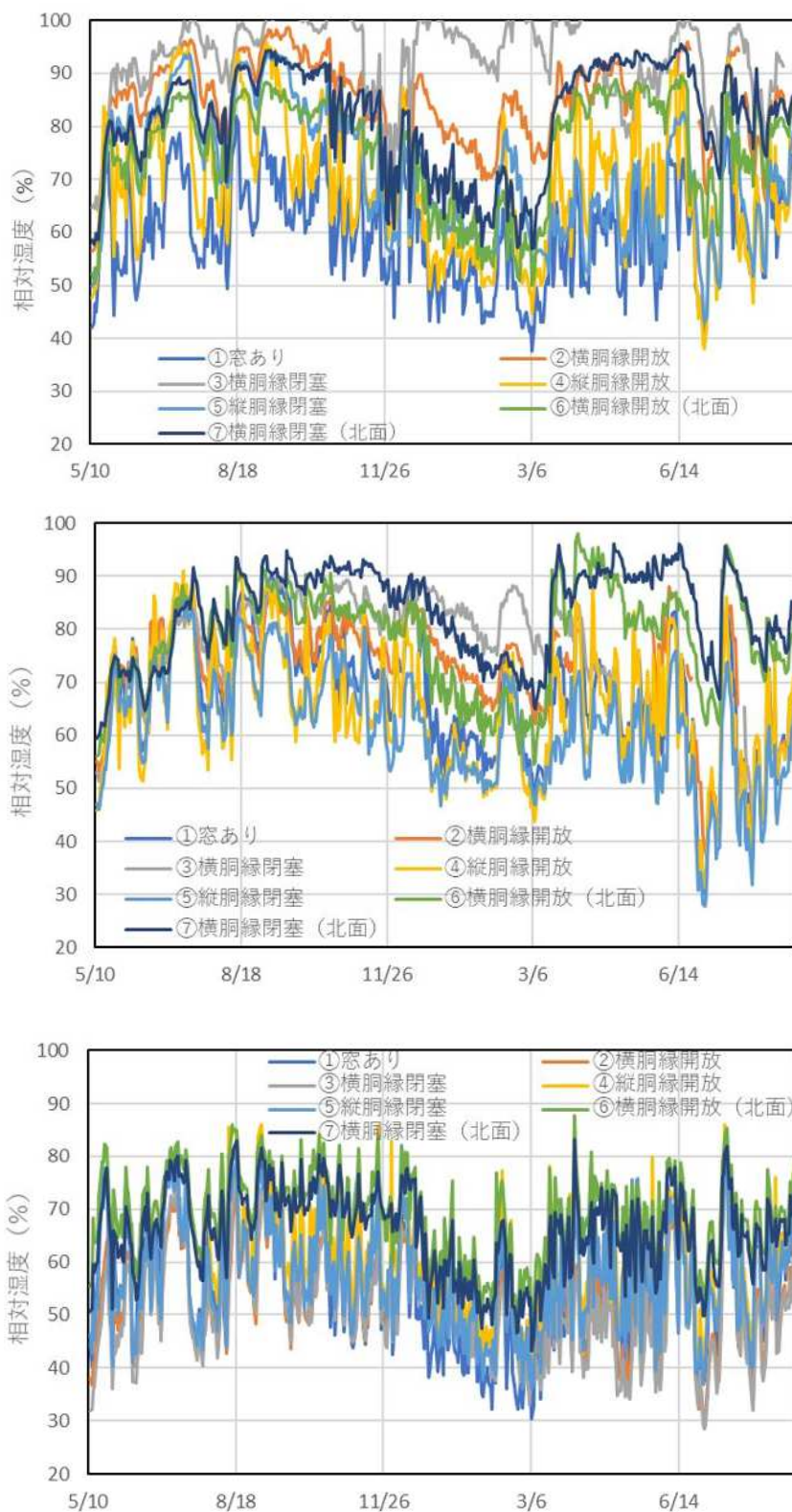


図 3.1.15 通気層相対湿度 (上：上段、中：中段、下：下段)

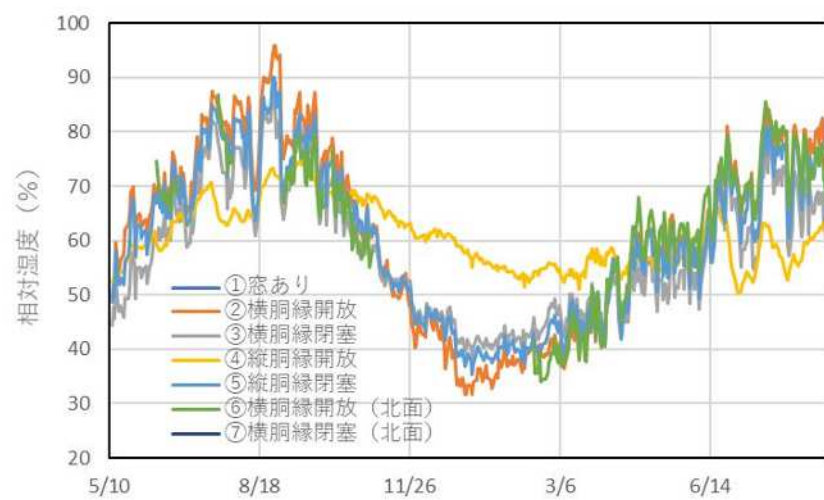
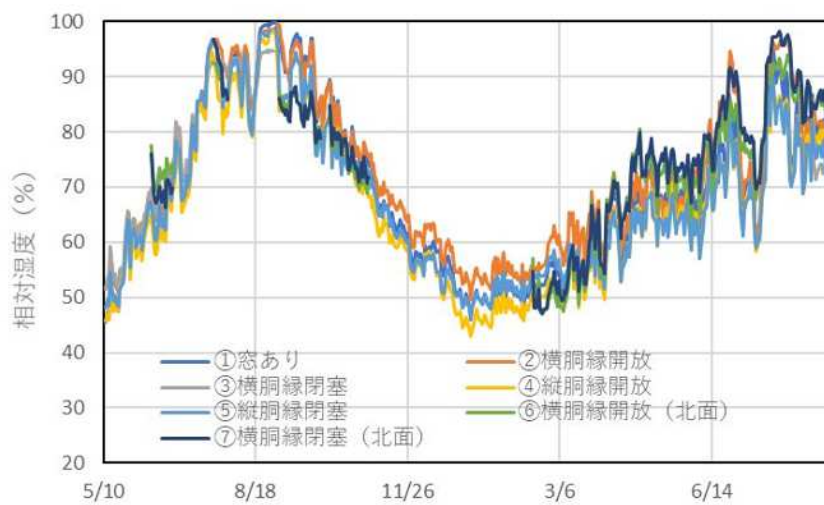
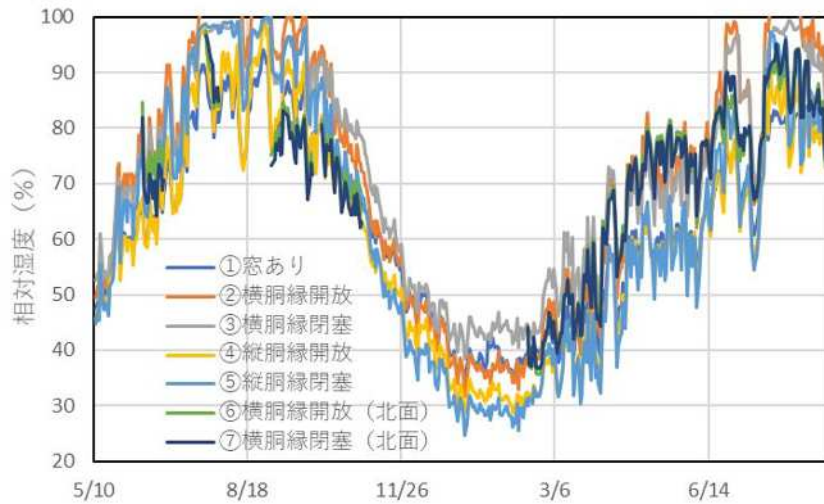


図 3.1.16 断熱材屋内側相対湿度 (上 : 上段、中 : 中段、下 : 下段)

※上段 : ④、⑤、⑥、⑦ 中段 : ①、②、③、⑤、⑥、⑦ 下段 : ①、⑥、⑦ 部分欠損

3. 2 実大モデル実験 2 (小屋裏・通気層計算モデル)

通気層および外壁については、過年度は令和 4 年度同様に横胴縁やファイヤーストップ材の有無、窓上下部などに温湿度計、風速計を設置して測定を行ったが、期間的に十分でなく(報告書では 12 月 14 日～21 日)、また、配線不備などにより測定点も少なかった。令和 4 年度は雨水注水する以外の壁の、通気層の温湿度・風速計のチェックを行い、計測できた測定点を増やし、自然環境下における条件で継続した。ただ、本報告書では、測定値の掲載に留まり、詳細の解析は今後の課題とする。

小屋裏換気(野地結露防止)に関する実験については、過年度は「軒のみ換気方式(換気口基準)・居室第 1 種換気」、「同・居室第 3 種換気」、「同・居室第 1 種換気(西側換気口のみ偏り)」、「軒のみ換気方式(換気口基準 1/2)・居室第 1 種換気」の条件を実施した。小屋裏空間の湿度状況を、夜間の絶対湿度が外気と居室の間のどの位置にあるかを示す無次元絶対湿度(=0 は外気と同じ)により評価した。その結果、居室第 3 種換気の場合は第 1 種換気より小屋裏空間が低湿化していることが確認できたが、全ての実験条件でマイナスの値となり、外気絶対湿度より低いという結果であった。この理由は、野地合板や木材が乾燥しており、夜間は吸湿するからであるが、合板や木材の乾燥が維持されるのは、居室からの湿気の移流が少ないためと考えられ、令和 4 年度は居室からの移流量が増すように、2 階間仕切り壁上部の木材気流止めに穴を開けて実験を行った。換気口の偏り実験については、令和 3 年度の結果から小屋裏空間の東西で絶対湿度の差が見られず、この理由として、小屋裏の形状が単純な 1 つの空間であったことと考えられたので、令和 4 年度の実験条件からは除いた。また、令和 4 年度は新たに軒一棟換気方式の実験を追加している。

3. 2. 1 実験計画の策定

3. 2. 1. 1 各実験項目の実施目的

- ・通気、排水または換気障害のない状態を基準とし、結露の発生要因となる障害の設定条件を変えた場合の通気層内及び小屋裏内の温度・湿度及び通気風速を比較する。
基準と障害のある場合の測定結果を比較することにより、結露発生に対する各要因(障害)の影響を把握することを目的とする。

3. 2. 1. 2 影響を確認する方法の各項目の基本方針

(1) 影響の確認方法

- ・縦胴縁で区画された幅 455 の通気層を対象に、
「通気・排水・換気障害なし(閉塞の程度 0%)」と
「通気・排水・換気障害あり」の箇所を設定し、障害のある場合とない場合の測定結果を比較することにより、各要因(障害)の結露発生への影響を把握する。
- ・実験で閉塞の程度を設定する(例えば 25%、50%と設定する等)ことは困難であるため、シミュレーションにて検証することを基本とする。
「通気・排水・換気障害なし」: 縦胴縁で区画された幅 455 の通気層から障害^{*}なく軒裏を経由し、棟に抜けるルートにおける温湿度及び通気風速

「通気・排水・換気障害あり」：ルート内に障害を設けた場合の温湿度及び通気風速

※外装材スターター、ファイヤーストッパー、横胴縁、横長窓、外壁上部排気口、換気口の減少、換気口の偏り

(2) 実験の対象箇所及び計測機器の設置位置

- ・通気層については、実験住宅各面の縦胴縁で障害のない通気層空間と、横胴縁やスターターなどの障害のある通気層空間に温度・相対湿度、風速センサーを設置する。
- ・小屋裏については、軒裏空間、小屋裏空間各所および野地板表面温度と表面近傍に温度・相対湿度センサーを設置する。

(3) 使用する計測機器

- ・温度：TC 型熱電対
- ・相対湿度：TDK (株) CHS-UPS
- ・小屋裏換気口風速：日本カノマックス (株) MODEL6332 (プローブ 0962)
- ・通気層風速：トーニック (株) QB-5

(4) データ測定の配慮事項

- ・限られた範囲で複数のデータを収集する都合上、全ての実験を同一方位にて行う事ができない。そのため、方位による温度差が極力出ないように夜間のデータを主な比較対象とすることを基本とする。
- ・方位による温度差を補正できるよう、外壁、屋根面の表面温度も記録する。

実大モデルを用いた実験の一覧と実験項目を表 3.2.1, 3.2.2 に示す。

表 3.2.1 外壁（通気層）に係る実験内容
(通気層番号は図 3.2.6~3.2.9 参照)

発生要因	実験項目	測定するデータ		通気層番号				
		温湿度	通気風速	東	南	西	北	
	基準とする通気層(通気障害なし)	●	●	①	⑦	⑨	⑫	
通気層の通気障害	下部	外装材スターターの影響等	●	●		⑥		
	中間部	ファイヤーストッパーの影響	●	●	②③			⑬
		横胴縁の影響	●	●	④⑤			⑭⑮⑯
		横長窓の影響	●	●			⑰⑱	⑲⑳㉑㉒
		窓回りの影響	●	●	①②	⑥⑦	⑩⑪⑫	⑲⑳㉑
		換気ダクトの影響	●	●			⑧	
	上部	外壁上部排気口の影響	●	●	③⑤			㉒
通気層上部の排水障害(国総研)	通気層への雨水浸入の影響	●	●	②③④⑤			㉓㉔	

表 3.2.2 小屋裏に係る実験内容（図 3.2.10～3.2.11 参照）

発生要因		実験項目	測定箇所	測定するデータ	
				温湿度	通気風速
換気不足	換気方式	軒のみ換気の影響	・軒裏 ・小屋裏 ・外部	● 軒裏及び小屋裏と外部の差圧	●
	換気口	換気口減少	・軒裏 ・小屋裏 ・外部	● 軒裏及び小屋裏と外部の差圧	●
		設置の偏りの影響 (小屋裏空間分割モデルの検討)	・軒裏 ・小屋裏 ・外部	● 軒裏及び小屋裏と外部の差圧	●
漏気	天井	天井の通気量影響(P-Q 関係)	・2階居室 ・小屋裏	● 2階居室及び小屋裏の差圧	●
	間仕切壁	間仕切壁内上部の通気量の影響 (P-Q 関係)	・2階居室 ・小屋裏	● 2階居室及び小屋裏の差圧	●
室内外条件	居室換気システム	第1種、第3種の違いによる影響	・軒裏 ・小屋裏 ・外部	● 軒裏及び小屋裏と外部の差圧	●

■ : 実験の対象外(ただし、シミュレーションによる検証は実施)

3.2.2 実大モデル

3.2.2.1 実大モデルの概要

実大モデルは、埼玉県行田市のものづくり大学構内に建設されており、その外壁通気層と小屋裏を利用して、外壁通気層及び小屋裏内に温湿度や通気風速などの測定器を設置して様々な性状の把握を行った。

実大モデルの規模、間取りは近年の一般的な一戸建て住宅を想定し、1階床面積55.83㎡、2階床面積52.99㎡、延べ床面積108.82㎡（約33坪）である。屋根は寄棟としている。

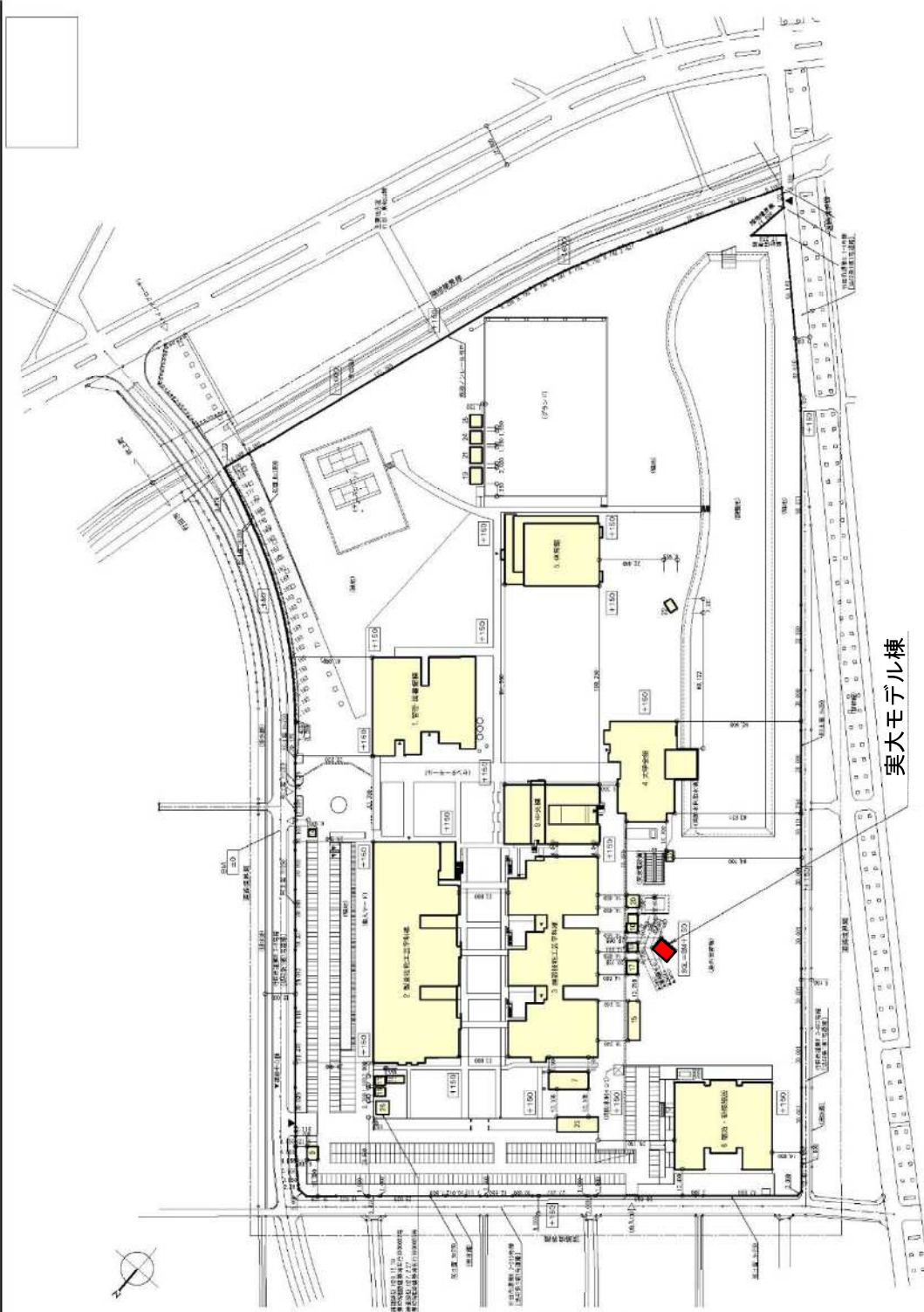
本実大モデルの特徴を以下に掲げる。また、設計図書を次頁以降に掲げる。

- ① 外壁通気層は幅455mm単位で設定し、通気障害のない通気層と一部に通気障害となるスターター、横胴縁、ファイヤーストッパー等を設けて、その影響を比較できるようにした。
- ② 通気層の通気障害の影響をみるため、北面と西面に横長窓を設けた。
- ③ 小屋裏は軒裏換気口と棟換気口を設置し、目張りによって軒のみ換気方式と軒-棟換気方式の実験が出来るように、かつ軒裏換気口については、設置の基準値を満たしつつ偏り実験が出来るように、基準より多く設置してある。
- ④ 小屋裏結露への24h換気システムの違いを見るため、壁付換気ファンの第1種と第3種、両方の換気システムを設置した。

なお、小屋裏空間の湿度レベルに影響する2階間仕切り壁上部について、令和3年度までの実験は木材でしっかり気流止めがされていたため、小屋裏空間が夜間に高湿化しなかったことから、令和4年度は、当木材に穴を開ける工事を行った（10月31日）。穴は間柱-間柱間（455mm）につきφ24mmで4カ所、ほぼ全ての間仕切り壁に開けた（施工の関係で一部は未実施）。

表 3.2.3 実大モデルの仕様・工法

項目		内容
階数		2 階建て
構法		木造軸組工法
規模		1 階:55.83 m ² 、2 階:52.99 m ² 延床面積 108.82 m ² (32.9 坪) 建築面積 57.96 m ²
屋根形状		寄棟
主採光面		南向き
玄関		東入り
間取り	1 階	LDK(16 畳)、寝室(洋室 6 畳)、洗面脱衣室、浴室、トイレ
	2 階	寝室 3 室(洋室 9 畳×1、洋室 6 畳×2)、納戸、トイレ、ルーフバルコニー
主な仕様	基礎	べた基礎、高さ GL+400 mm、基礎パッキン 20 mm
	外壁	<ul style="list-style-type: none"> ・窯業系サイディング ・通気層(下部:サイディングスターター、中間部:胴縁(縦・横)・ファイヤーストッパ、上部:閉塞可) ・透湿防水シート ・構造用面材 9 mm ・高性能グラスウール 20K 厚 105mm(防湿気密シート付)
	屋根	<ul style="list-style-type: none"> ・化粧スレート葺き ・アスファルトルーフィング 940 ・野地板 12 mm ・天井断熱材:高性能グラスウール(防湿シート付)14K 厚 155mm ・軒部換気口 ・棟部換気口
	開口部	・アルミ樹脂複合サッシ
	換気設備	・給気用・排気用換気扇
	その他	・間仕切壁の上部に気流止めあり



実大モデル棟

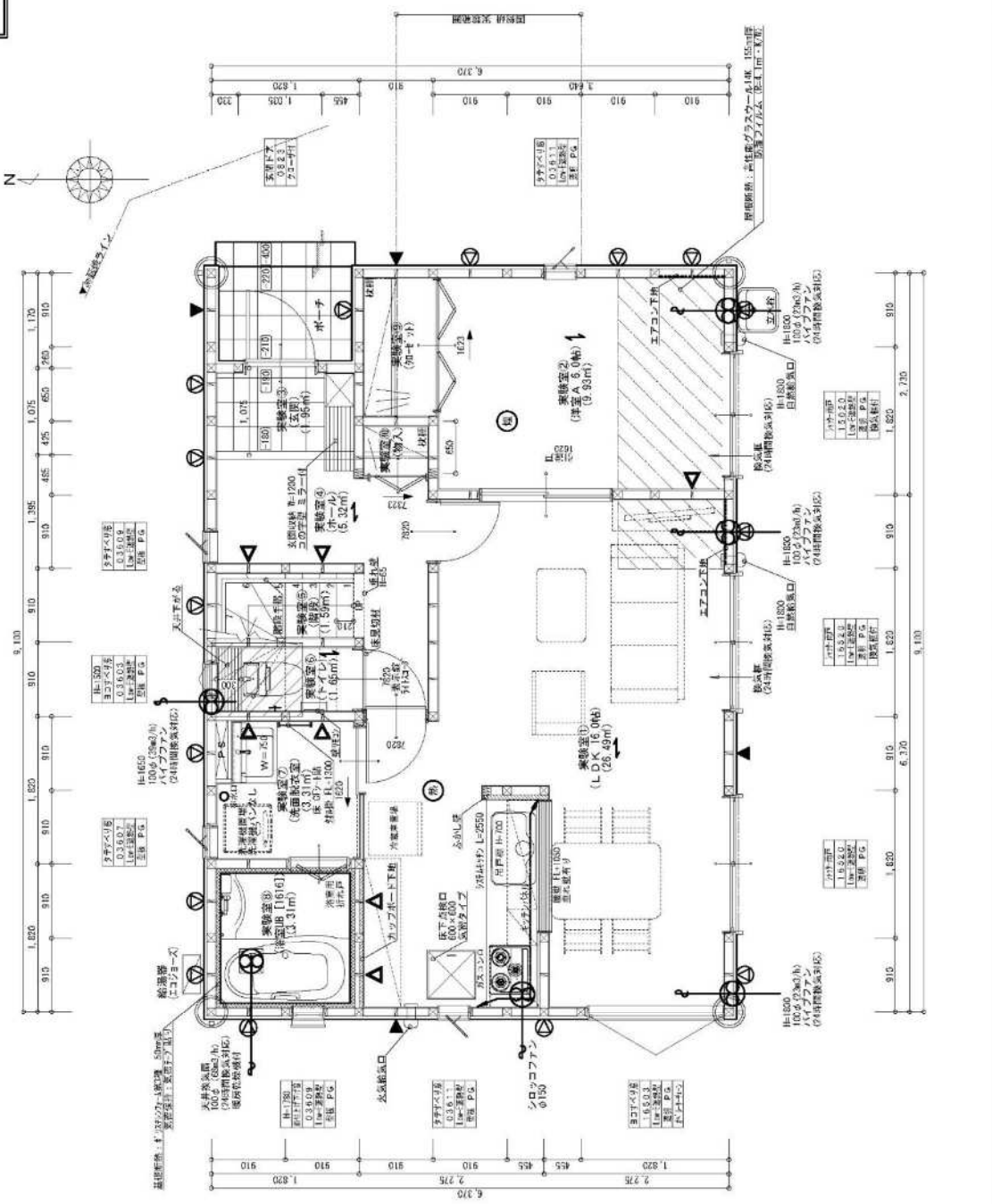
※外観は図面を参考とし、実際の外観は変更となる可能性があります。
 ※建物の図面は建築士事務所が作成した図面に基づいており、変更となる可能性があります。

株式会社 ファイブイズホーム 一級建築士事務所 〒361-0056 埼玉県行田市持田3丁目2番17号 一級建築士 大塚 一彦	監理 監理者 監理者 監理者	設計 設計者 設計者 設計者	工事 工事 工事 工事	2020/1/11 2020/1/11 2020/1/11 2020/1/11	1/100, 1/200 1/100, 1/200 1/100, 1/200 1/100, 1/200	2 2 2 2
	ものつくり大学 実験住宅 新築工事 配置図					

図3.2.1 配置図

断熱材：吹付断熱とする
※一部グラスウール

大塚製鋼工業株式会社(吹付断熱) 吹付断熱用セパレート型(吹付断熱) 吹付断熱用セパレート型(吹付断熱)
 吹付断熱用セパレート型(吹付断熱) 吹付断熱用セパレート型(吹付断熱)
 吹付断熱用セパレート型(吹付断熱) 吹付断熱用セパレート型(吹付断熱)



メーカー	商品名	数量	単位	合計
LIXIL	セラミックタイル	976	枚	976
		1178	枚	1178
		20	枚	20
LIXIL	セラミックタイル	976	枚	976
		1178	枚	1178
		20	枚	20
LIXIL	セラミックタイル	976	枚	976
		1178	枚	1178
		20	枚	20

工種	設計	監理	施工	検査	測量	写真	その他
2020/09/17	2020/09/17	2020/09/17	2020/09/17	2020/09/17	2020/09/17	2020/09/17	2020/09/17
ものつくり大学 実験住宅 新築工事	ものつくり大学 実験住宅 新築工事	ものつくり大学 実験住宅 新築工事	ものつくり大学 実験住宅 新築工事	ものつくり大学 実験住宅 新築工事	ものつくり大学 実験住宅 新築工事	ものつくり大学 実験住宅 新築工事	ものつくり大学 実験住宅 新築工事
1/50	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50	1/50
株式会社 ファイブズホーム 一級建築士事務所	株式会社 ファイブズホーム 一級建築士事務所	株式会社 ファイブズホーム 一級建築士事務所	株式会社 ファイブズホーム 一級建築士事務所	株式会社 ファイブズホーム 一級建築士事務所	株式会社 ファイブズホーム 一級建築士事務所	株式会社 ファイブズホーム 一級建築士事務所	株式会社 ファイブズホーム 一級建築士事務所
T 361-0056	T 361-0056	T 361-0056	T 361-0056	T 361-0056	T 361-0056	T 361-0056	T 361-0056
埼玉県行田市神田3丁目2番17号	埼玉県行田市神田3丁目2番17号	埼玉県行田市神田3丁目2番17号	埼玉県行田市神田3丁目2番17号	埼玉県行田市神田3丁目2番17号	埼玉県行田市神田3丁目2番17号	埼玉県行田市神田3丁目2番17号	埼玉県行田市神田3丁目2番17号
一級建築士 大匠登録 第194061号	一級建築士 大匠登録 第194061号	一級建築士 大匠登録 第194061号	一級建築士 大匠登録 第194061号	一級建築士 大匠登録 第194061号	一級建築士 大匠登録 第194061号	一級建築士 大匠登録 第194061号	一級建築士 大匠登録 第194061号
年月日	年月日	年月日	年月日	年月日	年月日	年月日	年月日

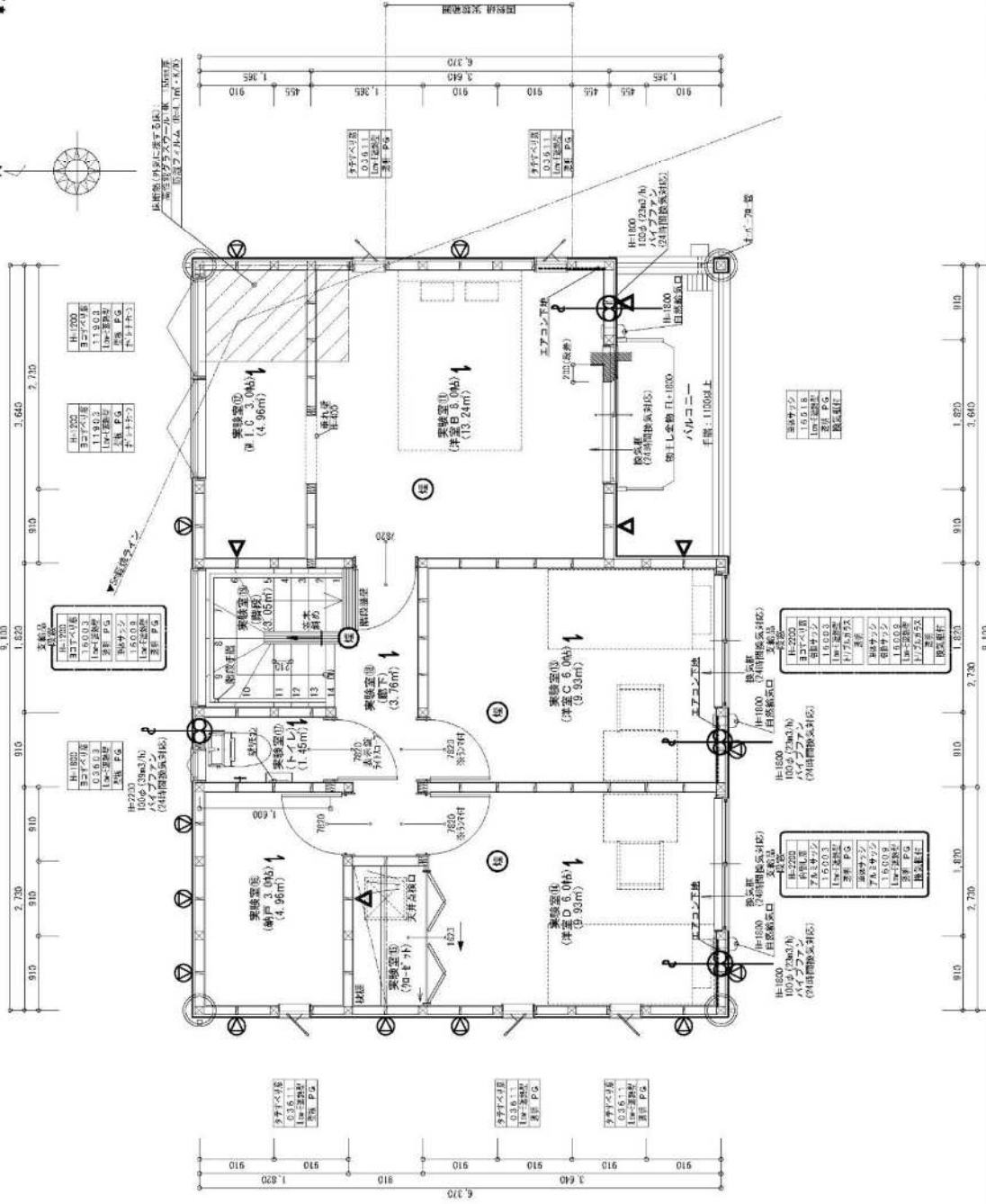
図3.2.2 1階平面図

断熱材：吹付断熱とする
※一部グラスウール

*小屋裏石膏ボード張

大塚建設工業(株)の建築設備工事に
天井：ビーム吊下げ(吊下げ高：1.10m)
壁：ビーム吊下げ(吊下げ高：1.10m)

- 凡例(記号)の対応
- ⑧ 養生板
 - ⑨ 養生板
 - ⑩ 養生板
 - ⑪ 養生板
 - ⑫ 養生板
 - ⑬ 養生板
 - ⑭ 養生板
 - ⑮ 養生板
 - ⑯ 養生板
 - ⑰ 養生板
 - ⑱ 養生板
 - ⑲ 養生板
 - ⑳ 養生板
 - ㉑ 養生板
 - ㉒ 養生板
 - ㉓ 養生板
 - ㉔ 養生板
 - ㉕ 養生板
 - ㉖ 養生板
 - ㉗ 養生板
 - ㉘ 養生板
 - ㉙ 養生板
 - ㉚ 養生板
 - ㉛ 養生板
 - ㉜ 養生板
 - ㉝ 養生板
 - ㉞ 養生板
 - ㉟ 養生板
 - ㊱ 養生板
 - ㊲ 養生板
 - ㊳ 養生板
 - ㊴ 養生板
 - ㊵ 養生板
 - ㊶ 養生板
 - ㊷ 養生板
 - ㊸ 養生板
 - ㊹ 養生板
 - ㊺ 養生板
 - ㊻ 養生板
 - ㊼ 養生板
 - ㊽ 養生板
 - ㊾ 養生板
 - ㊿ 養生板



二階平面図

2020/09/17
2020/09/17
2020/09/17

ものづくり大学 実験住宅 新築工事

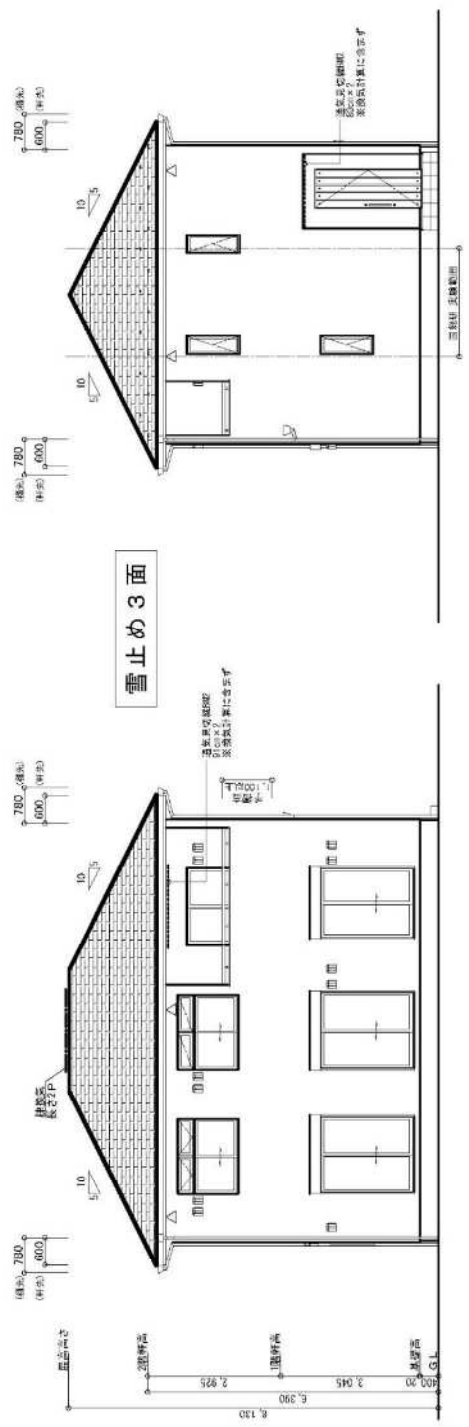
株式会社 ファイブイズホーム 一級建築士事務所
〒361-0056
埼玉県行田市神田町目2番17号
一級建築士 大塚登雄 第194061号 大塚 一彦

1/50

5

図3.2.3 2階平面図

軸高1法：700
軒高1法：600

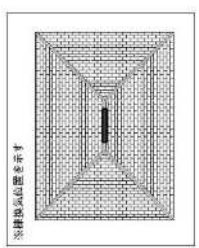


東側 立面図 S : 1/100

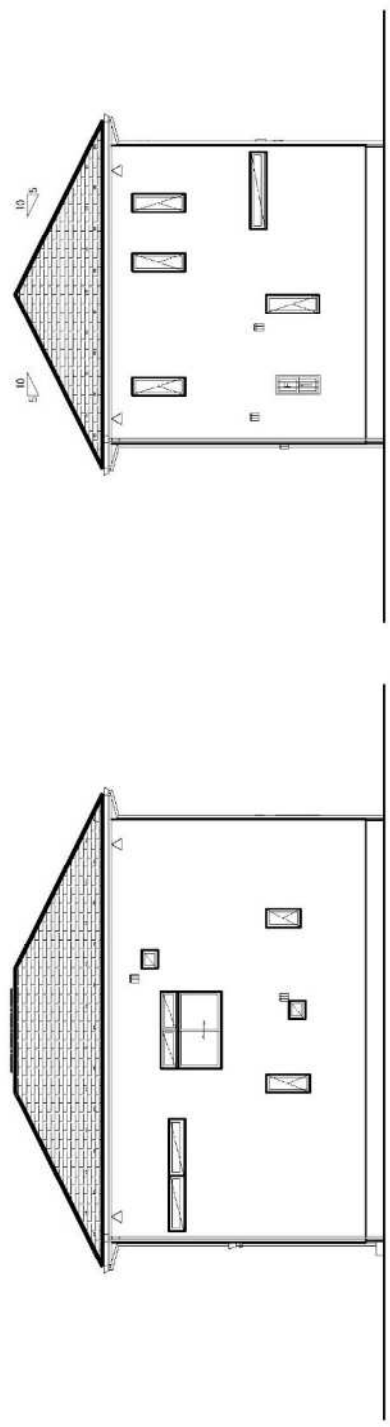
南側 立面図 S : 1/100

2階 小規模換気口制 窓兼	
換気量 (cm ³ /m)	換気口面積 (cm ²)
4850.01	0.079
換気量 (cm ³ /m)	換気口面積 (cm ²)
59804.3	0.0542
換気量 (cm ³ /m)	換気口面積 (cm ²)
2975.6	0.0400
換気量 (cm ³ /m)	換気口面積 (cm ²)
59804.3	0.0542

- 防火降気風
- 換気口一型：ハウゼコ
【2シート型】
- ・窓枠
 - 一次外框：YY3001B 長さ：0.5P
 - 二次外框：YY3007B 長さ：1P
 - 一次外框：YY3001B 長さ：1P
 - ・換気
 - 一次外框：YY3001B5 長さ：0.5P
 - 二次外框：YY3007B5 長さ：1P
 - 三次外框：YY3001B5 長さ：1P
 - ・下層：ハラスベスト
 - ペナルティ窓：YY3007B5 長さ：1P
 - ・防炎付換気
 - 一次：1P
 - ペナルティ窓：YY3007B5 長さ：1P



※換気風向きを示す



北側 立面図 S : 1/100

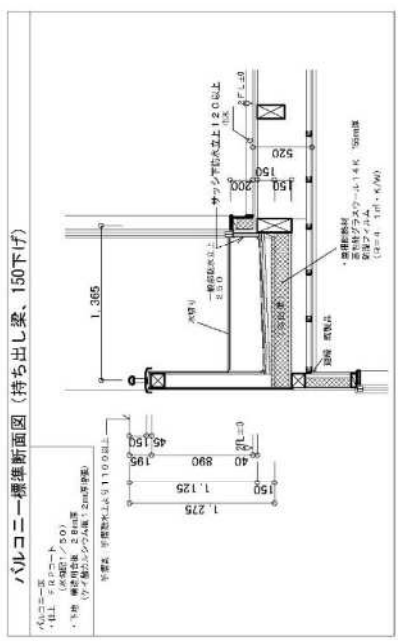
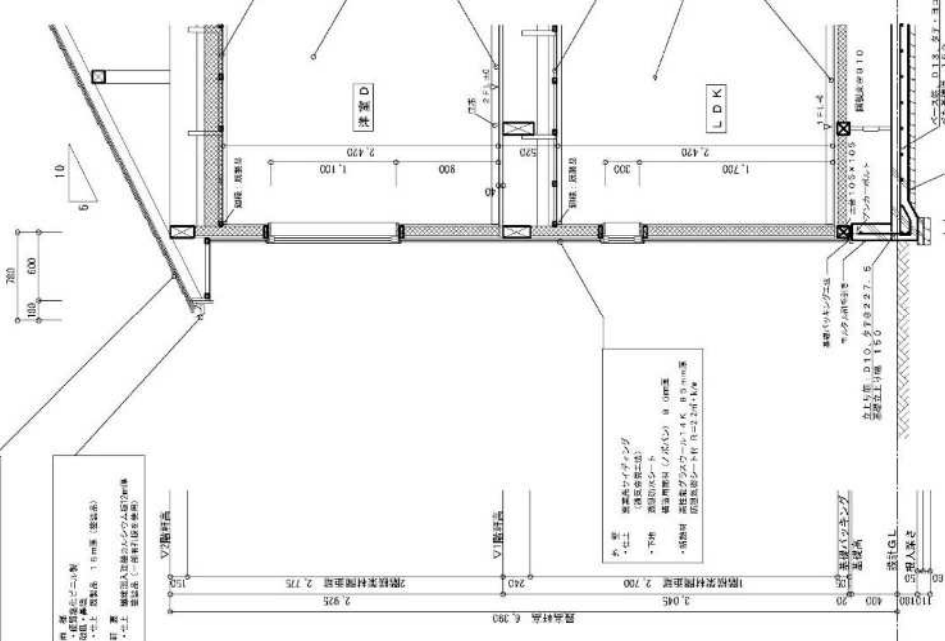
西側 立面図 S : 1/100

株式会社 ファイブイズホーム 一級建築士事務所 〒361-0056 埼玉県行田市神田3丁目2番17号 一級建築士 大匠登録 第194061号 大塚 一雄	図面名称 立面図	図面番号 1/100	工程 2020/09/17 (2020/09/17)	NO. 6
設計 株式会社 ファイブイズホーム	監理 株式会社 ファイブイズホーム	建築 株式会社 ファイブイズホーム	工種 新築工事	工種 新築工事

図3.2.4 立面図

仕様
 ・柱 100φφ×1.5×2.90
 ・床 100φφ×1.5×2.90
 ・天井 100φφ×1.5×2.90
 ・土間 100φφ×1.5×2.90

仕様
 ・柱 100φφ×1.5×2.90
 ・床 100φφ×1.5×2.90
 ・天井 100φφ×1.5×2.90
 ・土間 100φφ×1.5×2.90



承認 年 月 日	株式会社 ファイブズホーム 一般建築士事務所 〒361-0056 埼玉県行田市神田町丁目2番17号 一般建築士 大匠登録 第194061号 大塚 一彦	設計 監理 監理 監理	2020/09/17 (2020.09.17)	7 1/40	7 1/40
-------------	---	----------------------	----------------------------	-----------	-----------

図3.2.5 矩計図

3.2.2.2測定ポイント

通気層は基本、幅 455mm の縦胴縁とし、国土交通省、国土技術政策総合研究所総プロ耐久性分科会の実験（以下「国総研実験」とする）の実施のため、一部、横棧方式としている（以降の図面参照）。なお、実測値の共有は許可されている。

測定点の大略の概要を以下に示す。なお、測定は令和 3 年（2021 年）3 月から継続的に実施している。

- ① 通気層は層内風速、温湿度、上下の差圧を測定（上下の差圧は正負の結果により上昇気流か下降気流化を判断するため）
- ② 外壁合板室内側・断熱材外気側の①とほぼ同じ場所で、温度、表面温度、相対湿度を測定（空隙の温湿度から絶対湿度を求め、表面温度により表面の相対湿度を算出、結露の有無を判断する）
- ③ 小屋裏内は空間を東西南北に 4 分割し、温湿度、および各所の野地板表面近傍温度、表面温度、相対湿度を測定（野地表面近傍の温度、相対湿度から絶対湿度を求め、表面温度により表面の相対湿度を算出、結露の有無を判断する）
- ④ 軒裏換気口の各方位の一部には、指向性風速計と差圧計のチューブを設置。差圧計の正負により流入か流出を判断する。また、軒換気口の開口（南北）にも差圧計のチューブを設置、換気口にかかる風圧力を測定できるようにした。

表 3.2.4 に外壁（通気層）、表 3.2.5 に小屋裏のセンサーポイント一覧を示し、センサー設置位置を図 3.2.5～3.2.6 に示す。なお、野地板の含水率（電気抵抗値）についてはセンサー（ビスの埋め込みと 2 芯線コード）を設置したものの、含水率測定器がないため、今後購入して測定し、結果を社会へ還元（論文などで公表）する。

測定種類
T: 温度(熱電対)
RH: 相対湿度
V・Vt(セット): 風速計(トーニック)
P: 差圧

表 3.2.4 センサーポイント表【外壁】

室名場所	対象部	測定種類	タグ表記	ロガー	同一空間	設置高さ	備考
WIC (北) 窓上東	通気層 (北)	T	G-01	小屋裏E		FL+1600	
	通気層 (北)	RH	G-02	小屋裏E		FL+1600	
	通気層 (北)	V	G-03	小屋裏E		FL+1600	
		Vt	G-03t	小屋裏E			
	通気層 (北)	P	G-04	小屋裏E		FL+1600	
WIC (北) 窓上西	通気層 (北)	T	G-05	小屋裏E		FL+1600	
	通気層 (北)	RH	G-06	小屋裏E		FL+1600	
	通気層 (北)	V	G-07	小屋裏E		FL+1600	
		Vt	G-07t	小屋裏E			
	通気層 (北)	P	G-08	小屋裏E		FL+1600	
WIC (北) 窓下東	通気層 (北)	T	G-09	床下E		FL+450	
	通気層 (北)	RH	G-10	床下E		FL+450	
	通気層 (北)	V	G-11	床下E		FL+450	
		Vt	G-11t	床下E			
	通気層 (北)	P	G-12	床下E		FL+450	
	合板 (北) 室内側表面	T	G-13	2階E		FL+450	
	合板 (北) 室内側	T	G-14	2階E		FL+450	
	合板 (北) 室内側	RH	G-15	2階E		FL+450	
WIC (北) 窓下西	通気層 (北)	T	G-16	小屋裏E		FL+450	
	通気層 (北)	RH	G-17	小屋裏E		FL+450	
	通気層 (北)	V	G-18	小屋裏E		FL+450	
		Vt	G-18t	小屋裏E			
	通気層 (北)	P	G-19	小屋裏E		FL+450	
	合板 (北) 室内側表面	T	G-20	2階E		FL+450	
	合板 (北) 室内側	T	G-21	2階E		FL+450	
	合板 (北) 室内側	RH	G-22	2階E		FL+450	
WIC (北) 窓西横	通気層 (北) 連通・上部	T	G-23	小屋裏E	玄関ホール (北) 窓東横	FL+1600	
	通気層 (北) 連通・上部	RH	G-24	小屋裏E	玄関ホール (北) 窓東横	FL+1600	
	通気層 (北) 連通・上部	V	G-25	小屋裏E	玄関ホール (北) 窓東横	FL+1600	
		Vt	G-25t	小屋裏E			
	通気層 (北) 連通・上下	P	G-26	小屋裏E	玄関ホール (北) 窓東横	FL+1600	
	合板 (北) 室内側表面	T	G-27	2階E		FL+1600	
	合板 (北) 室内側	T	G-28	2階E		FL+1600	
	合板 (北) 室内側	RH	G-29	2階E		FL+1600	
玄関ホール (北) 窓東横	通気層 (北) 連通・下部	T	G-30	床下E	WIC (北) 窓西横	FL+1200	水切り→床下換気口
	通気層 (北) 連通・下部	RH	G-31	床下E	WIC (北) 窓西横	FL+1200	
	合板 (北) 室内側表面	T	G-32	1階E		FL+1200	
	合板 (北) 室内側	T	G-33	1階E		FL+1200	
	合板 (北) 室内側	RH	G-34	1階E		FL+1200	
WIC (北)	通気層 (北)	T	G-35	小屋裏E	玄関ホール窓上	FL+1600	
	通気層 (北)	RH	G-36	小屋裏E	玄関ホール窓上	FL+1600	
	通気層 (北)	V	G-37	小屋裏E	玄関ホール窓上	FL+1600	
		Vt	G-37t	小屋裏E			
	通気層 (北)	P	G-38	小屋裏E	玄関ホール窓上	FL+1600	
2Fトイレ (北) 窓下	通気層 (北)	T	G-39	床下W		FL+450	
	通気層 (北)	RH	G-40	床下W		FL+450	
	通気層 (北)	V	G-41	床下W		FL+450	
		Vt	G-41t	床下W			
	通気層 (北)	P	G-42	床下W		FL+450	
納戸 (北) 東トイレ横	通気層 (北) 連通・FS	T	G-43	小屋裏W		FL+1600	C'
	通気層 (北) 連通・FS	RH	G-44	小屋裏W		FL+1600	
	通気層 (北) 連通・FS	V	G-45	小屋裏W		FL+1600	
		Vt	G-45t	小屋裏W			
	通気層 (北) 連通・FS上下	P	G-46	小屋裏W		FL+1600	
納戸 (北) 中央	通気層 (北) 連通・FS	T	G-47	小屋裏W		FL+1600	湿度検 (湿度・ファイヤーストップバー)
	通気層 (北) 連通・FS	RH	G-48	小屋裏W		FL+1600	湿度検 (湿度・ファイヤーストップバー)

	通気層(北)連通・FS	V	G-49	小屋裏W		FL+1600	国総研(横棧・ファイヤーストッパー)
		Vt	G-49t	小屋裏W			
	通気層(北)連通・FS上下	P	G-50	小屋裏W		FL+1600	国総研(横棧・ファイヤーストッパー)
納戸(北)西	通気層(北)連通・横棧	T	G-51	小屋裏W		FL+1600	国総研(横棧)
	通気層(北)連通・横棧	RH	G-52	小屋裏W		FL+1600	国総研(横棧)
	通気層(北)連通・横棧	V	G-53	小屋裏W		FL+1600	国総研(横棧)
		Vt	G-53t	小屋裏W			
	通気層(北)連通・横棧上下	P	G-54	小屋裏W		FL+1600	国総研(横棧)
納戸(西)	通気層(西)連通	T	G-55	小屋裏W		FL+1600	UB排気扇有
	通気層(西)連通	RH	G-56	小屋裏W		FL+1600	
	通気層(西)連通	V	G-57	小屋裏W		FL+1600	
		Vt	G-57t	小屋裏W			
	通気層(西)連通・上下	P	G-58	小屋裏W		FL+1600	
洋室D_CL(西)北	通気層(西)連通・上部	T	G-59	小屋裏W		FL+1600	
	通気層(西)連通・上部	RH	G-60	小屋裏W		FL+1600	
	通気層(西)連通・上部	V	G-61	小屋裏W		FL+1600	
		Vt	G-61t	小屋裏W			
	通気層(西)連通・上下	P	G-62	小屋裏W		FL+1600	
	合板(西)室内側表面	T	G-63	2階W		FL+1200	
	合板(西)室内側	T	G-64	2階W		FL+1200	
	合板(西)室内側	RH	G-65	2階W		FL+1200	
	合板(西)上部室内側表面	T	G-66	2階W		上端	コンセント部防湿健全
	合板(西)上部室内側	T	G-67	2階W		FL+1950	コンセント部防湿健全
	合板(西)上部室内側	RH	G-68	2階W		FL+1950	コンセント部防湿健全
	合板(西)下部室内側表面	T	G-69	2階W		下端	コンセント部防湿健全
	合板(西)下部室内側	T	G-70	2階W		FL+200	コンセント部防湿健全
	合板(西)下部室内側	RH	G-71	2階W		FL+200	コンセント部防湿健全
洋室D_CL(西)南	通気層(西)連通・上部	T	G-72	小屋裏W		FL+1600	
	通気層(西)連通・上部	RH	G-73	小屋裏W		FL+1600	
	通気層(西)連通・上部	V	G-74	小屋裏W		FL+1600	
		Vt	G-74t	小屋裏W			
	通気層(西)連通・上下	P	G-75	小屋裏W		FL+1600	
	合板(西)室内側表面	T	G-76	2階W		FL+1200	
	合板(西)室内側	T	G-77	2階W		FL+1200	
	合板(西)室内側	RH	G-78	2階W		FL+1200	
	合板(西)上部室内側表面	T	G-79	2階W		上端	コンセント部防湿欠損
	合板(西)上部室内側	T	G-80	2階W		FL+1950	コンセント部防湿欠損
	合板(西)上部室内側	RH	G-81	2階W		FL+1950	コンセント部防湿欠損
	合板(西)下部室内側表面	T	G-82	2階W		下端	コンセント部防湿欠損
	合板(西)下部室内側	T	G-83	2階W		FL+200	コンセント部防湿欠損
	合板(西)下部室内側	RH	G-84	2階W		FL+200	コンセント部防湿欠損
K(西)北	合板(西)室内側表面	T	G-85	1階W		FL+1200	
	合板(西)室内側	T	G-86	1階W		FL+1200	
	合板(西)室内側	RH	G-87	1階W		FL+1200	
	合板(西)上部室内側表面	T	G-88	1階W		上端	コンセント部防湿健全
	合板(西)上部室内側	T	G-89	1階W		FL+1950	コンセント部防湿健全
	合板(西)上部室内側	RH	G-90	1階W		FL+1950	コンセント部防湿健全
	合板(西)下部室内側表面	T	G-91	1階W		下端	コンセント部防湿健全
	合板(西)下部室内側	T	G-92	1階W		FL+200	コンセント部防湿健全
K(西)南	合板(西)室内側表面	T	G-94	1階W		FL+1200	
	合板(西)室内側	T	G-95	1階W		FL+1200	
	合板(西)室内側	RH	G-96	1階W		FL+1200	
	合板(西)上部室内側表面	T	G-97	1階W		上端	コンセント部防湿欠損
	合板(西)上部室内側	T	G-98	1階W		FL+1950	コンセント部防湿欠損
	合板(西)上部室内側	RH	G-99	1階W		FL+1950	コンセント部防湿欠損
	合板(西)下部室内側表面	T	G-100	1階W		下端	コンセント部防湿欠損
	合板(西)下部室内側	T	G-101	1階W		FL+200	コンセント部防湿欠損
洋室D(西)K窓上	合板(西)下部室内側	RH	G-102	1階W		FL+200	コンセント部防湿欠損
	通気層(西)	T	G-103	小屋裏W		FL+1600	

	通気層 (西)	RH	G-104	小屋裏W		FL+1600	
	通気層 (西)	V	G-105	小屋裏W		FL+1600	
		Vt	G-105t	小屋裏W			
	通気層 (西)	P	G-106	小屋裏W		FL+1600	
洋室D (西) 北窓横	通気層 (西)	T	G-107	小屋裏W		FL+1600	
	通気層 (西)	RH	G-108	小屋裏W		FL+1600	
	通気層 (西)	V	G-109	小屋裏W		FL+1600	
		Vt	G-109t	小屋裏W			
	通気層 (西)	P	G-110	小屋裏W		FL+1600	
洋室D (西) 南窓横	通気層 (西)	T	G-111	小屋裏W	D (西) 横長窓上	FL+1600	
	通気層 (西)	RH	G-112	小屋裏W	D (西) 横長窓上	FL+1600	
	通気層 (西)	V	G-113	小屋裏W	D (西) 横長窓上	FL+1600	
		Vt	G-113t	小屋裏W			
	通気層 (西)	P	G-114	小屋裏W	D (西) 横長窓上	FL+1600	
D (西) 横窓下	通気層 (西)	T	G-115	床下W			
	通気層 (西)	RH	G-116	床下W			
	通気層 (西)	V	G-117	床下W			
		Vt	G-117t	床下W			
	通気層 (西)	P	G-118	床下W			
洋室D (南) 窓横西	通気層 (南) 連通・中央	T	G-119	小屋裏W		FL+1600	A
	通気層 (南) 連通・中央	RH	G-120	小屋裏W		FL+1600	
	通気層 (南) 連通・中央	V	G-121	小屋裏W		FL+1600	
		Vt	G-121t	小屋裏W			
	通気層 (南) 連通・上下	P	G-122	小屋裏W		FL+1600	
	合板 (南) 室内側表面	T	G-123	2階W		FL+1600	
	合板 (南) 室内側	T	G-124	2階W		FL+1600	
	合板 (南) 室内側	RH	G-125	2階W		FL+1600	
洋室C (南) 窓横西	通気層 (南) 連通・中央	T	G-133	小屋裏W		FL+1600	B
	通気層 (南) 連通・中央	RH	G-134	小屋裏W		FL+1600	
	通気層 (南) 連通・中央	V	G-135	小屋裏W		FL+1600	
		Vt	G-135t	小屋裏W			
	通気層 (南) 連通・上下	P	G-136	小屋裏W		FL+1600	軒裏貫通小屋裏へ
	合板 (南) 室内側表面	T	G-137	2階W		FL+1200	
	合板 (南) 室内側	T	G-138	2階W		FL+1200	
	合板 (南) 室内側	RH	G-139	2階W		FL+1200	
洋室B (南)	通気層 (南)	T	G-147	小屋裏E		FL+1600	
	通気層 (南)	RH	G-148	小屋裏E		FL+1600	
	通気層 (南)	V	G-149	小屋裏E		FL+1600	
		Vt	G-149t	小屋裏E			
	通気層 (南)	P	G-150	小屋裏E		FL+1600	
洋室B (東) 窓南	通気層 (東)	T	G-151	小屋裏E	洋室A (東) 窓南	FL+1600	
	通気層 (東)	RH	G-152	小屋裏E	洋室A (東) 窓南	FL+1600	
	通気層 (東)	V	G-153	小屋裏E	洋室A (東) 窓南	FL+1600	
		Vt	G-153t	小屋裏E			
	通気層 (東) 連通上下	P	G-154	小屋裏E	洋室A (東) 窓南	FL+1600	
	合板 (東) 室内側表面	T	G-155	2階E		FL+1200	
	合板 (東) 室内側	T	G-156	2階E		FL+1200	
	合板 (東) 室内側	RH	G-157	2階E		FL+1200	
洋室A (東) 窓南	合板 (東) 室内側表面	T	G-158	2階E		FL+1200	
	合板 (東) 室内側	T	G-159	2階E		FL+1200	
	合板 (東) 室内側	RH	G-160	2階E		FL+1200	
WIC (東) ポーチ上	通気層 (東)	T	G-161	小屋裏E		FL+1600	
	通気層 (東)	RH	G-162	小屋裏E		FL+1600	
	通気層 (東)	V	G-163	小屋裏E		FL+1600	
		Vt	G-163t	小屋裏E			
	通気層 (東)	P	G-164	小屋裏E		FL+1600	
洋室B (東) 窓横北・FS	通気層 (東) 連通・横棧	V	G-165	小屋裏E			国総研
		Vt	G-165t	小屋裏E			
	通気層 (東) 連通・縦棧上下	P	G-166	小屋裏E			国総研・軒裏貫通小屋裏へ
洋室B (東)	通気層 (東) 連通・横棧	V	G-167	小屋裏E			国総研

		Vt	G-167t	小屋裏E			
	通気層(東)連通・横棧奥	V	G-168	小屋裏E			国総研
		Vt	G-168t	小屋裏E			
	通気層(東)連通・上下	P	G-169	小屋裏E			国総研
玄関上軒裏	空間	V	G-170	1階E			Joto
		Vt	G-170t	1階E			
外装材表面近傍 (差圧計補正用)	外壁南1階	T	G-171	小屋裏W			軒裏貫通小屋裏へ
	外壁南2階	T	G-172	小屋裏W	洋室C(南)窓横西	FL+1200	//
	外壁西1階	T	G-173	小屋裏W			//
	外壁西2階	T	G-174	小屋裏W	洋室D_CL(西)南		//
	外壁北1階	T	G-175	小屋裏E			//
	外壁北2階	T	G-176	小屋裏E	WIC(北)		//
	外壁東1階	T	G-177	小屋裏E			//
	外壁東2階	T	G-178	小屋裏E	洋室B(東)窓横北・FS		//
SAT	外壁南	ST	G-179	床下W			床下換気口より床下へ
	外壁西	ST	G-180	床下W			//
	外壁北	ST	G-181	床下E			//
	外壁東	ST	G-182	床下E			//

T	71
RH	43
V	26
Vt	26
P	24
SAT	4
計	194

	T	RH	V	Vt
床下E	2	2	1	1
床下W	2	2	2	2
1階E	2	1	1	1
1階W	12	6	0	0
2階E	10	5	0	0
2階W	16	8	0	0
小屋裏E	12	8	11	11
小屋裏W	15	11	11	11
計	71	43	26	26

表 3.2.5 センサーポイント表【小屋裏】

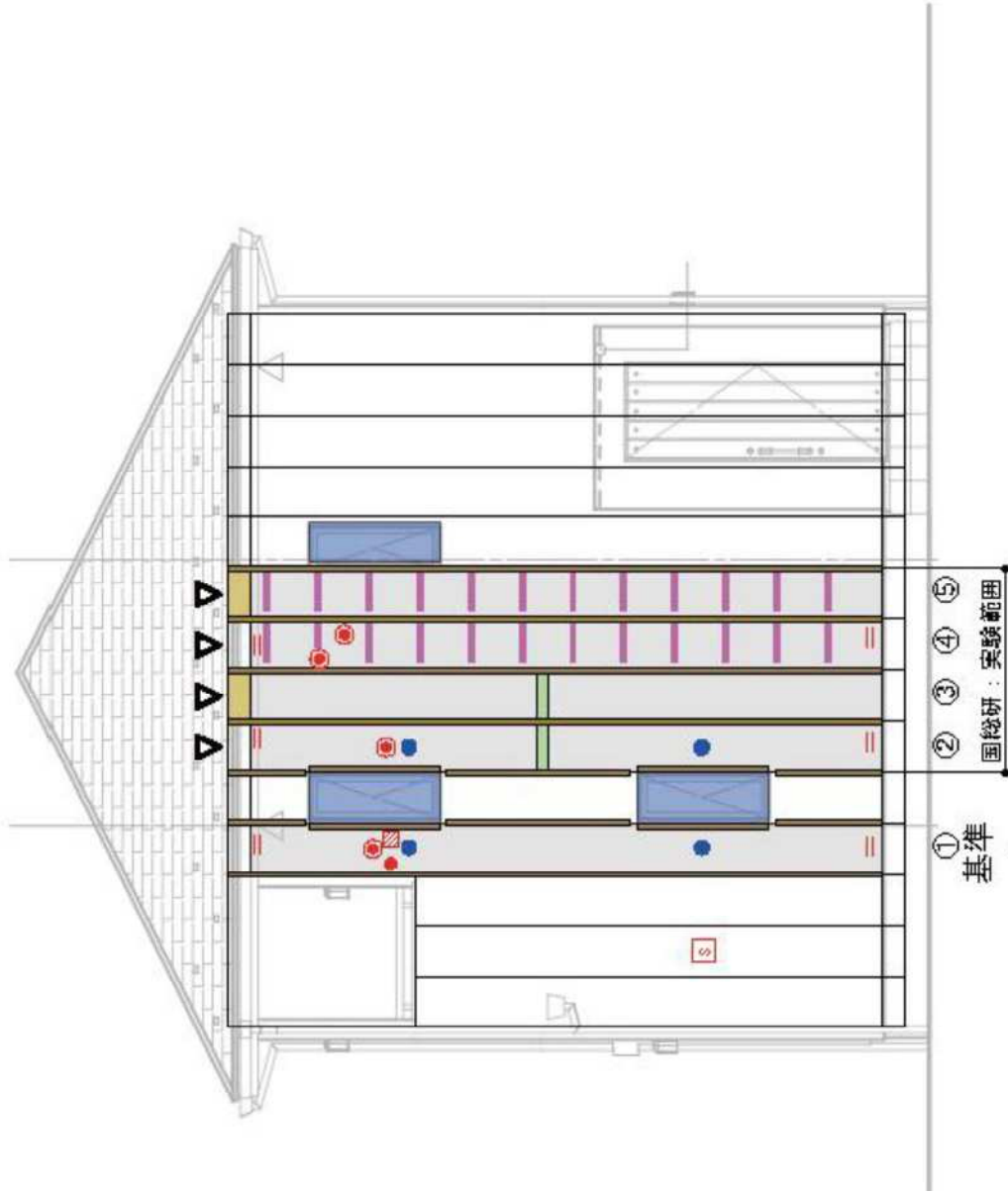
測定種類
 T: 温度(熱電対)
 RH: 相対湿度
 Vs: 風速(カノマックス)
 P: 差圧
 G: 含水率(電気抵抗)

室名場所	対象部	測定種類	タグ表記	ロガー	備考
小屋裏(南西)	空間	T	K-1	小屋裏W	
	空間	RH	K-2	小屋裏W	
小屋裏(北西)	空間	T	K-3	小屋裏W	
	空間	RH	K-4	小屋裏W	
小屋裏(北東)	空間	T	K-5	小屋裏E	
	空間	RH	K-6	小屋裏E	
小屋裏(南東)	空間	T	K-7	小屋裏E	
	空間	RH	K-8	小屋裏E	
小屋裏	東-西空間	P	K-9	小屋裏E	
	空間中央	T	K-120		
	空間中央	RH	K-121		
	軒裏(南)	P	K-122		
	軒裏(西)	P	K-123		
	軒裏(北)	P	K-124		
	軒裏(東)	P	K-125		
野地(南) 軒部	表面	T	K-10	小屋裏W	東西中央
	空間	T	K-11	小屋裏W	//
	空間	RH	K-12	小屋裏W	//
	表層	G	K-13		//
	換気口・西	Vs	K-14	小屋裏W	//
	換気口・西	P	K-15	小屋裏W	//
	換気口・東	Vs	K-16	小屋裏W	//
	換気口・東	P	K-17	小屋裏W	//
野地(南)	高さ中央・表面	T	K-18	小屋裏W	東西中央
	高さ中央・表面近傍	T	K-19	小屋裏W	//
	高さ中央・表面近傍	RH	K-20	小屋裏W	//
	高さ中央・表層	G	K-21		//
	棟近傍・表面	T	K-22	小屋裏W	//
	棟近傍・表面近傍	T	K-23	小屋裏W	//
	棟近傍・表面近傍	RH	K-24	小屋裏W	//
	棟近傍・表層	G	K-25		//
	高さ中央・西・表面	T	K-26	小屋裏W	
	高さ中央・西・表層	G	K-27		
	高さ中央・東・表面	T	K-28	小屋裏W	
	高さ中央・東・表層	G	K-29		
野地(西) 軒部	表面	T	K-30	小屋裏W	南北中央
	空間	T	K-31	小屋裏W	//
	空間	RH	K-32	小屋裏W	//
	表層	G	K-33		//
	換気口	Vs	K-34	小屋裏W	//
	換気口	P	K-35	小屋裏W	//
野地(西)	高さ中央・表面	T	K-36	小屋裏W	南北中央
	高さ中央・表面近傍	T	K-37	小屋裏W	//
	高さ中央・表面近傍	RH	K-38	小屋裏W	//

	表層	G	K-39		//
	棟近傍・表面	T	K-40	小屋裏W	//
	棟近傍・表面近傍	T	K-41	小屋裏W	//
	棟近傍・表面近傍	RH	K-42	小屋裏W	//
	棟近傍・表層	G	K-43		//
	高さ中央・南・表面	T	K-44	小屋裏W	
	高さ中央・南・表層	G	K-45		
	高さ中央・北・表面	T	K-46	小屋裏W	
	高さ中央・北・表層	G	K-47		
野地（北）軒部	表面	T	K-48	小屋裏E	東西中央
	空間	T	K-49	小屋裏E	//
	空間	RH	K-50	小屋裏E	//
	表層	G	K-51		//
	換気口・西	Vs	K-52	小屋裏E	//
	換気口・西	P	K-53	小屋裏E	//
	換気口・東	Vs	K-54	小屋裏E	//
	換気口・東	P	K-55	小屋裏E	//
野地（北）	高さ中央・表面	T	K-56	小屋裏E	東西中央
	高さ中央・表面近傍	T	K-57	小屋裏E	//
	高さ中央・表面近傍	RH	K-58	小屋裏E	//
	高さ中央・表層	G	K-59		//
	棟近傍・表面	T	K-60	小屋裏E	//
	棟近傍・表面近傍	T	K-61	小屋裏E	//
	棟近傍・表面近傍	RH	K-62	小屋裏E	//
	棟近傍・表層	G	K-63		//
	高さ中央・西・表面	T	K-64	小屋裏E	
	高さ中央・西・表層	G	K-65		
	高さ中央・東・表面	T	K-66	小屋裏E	
	高さ中央・東・表層	G	K-67		
	野地（東）軒部	表面	T	K-68	小屋裏E
空間		T	K-69	小屋裏E	//
空間		RH	K-70	小屋裏E	//
表層		G	K-71		//
換気口		Vs	K-72	小屋裏E	//
換気口		P	K-73	小屋裏E	//
野地（東）		高さ中央・表面	T	K-74	小屋裏E
	高さ中央・表面近傍	T	K-75	小屋裏E	//
	高さ中央・表面近傍	RH	K-76	小屋裏E	//
	表層	G	K-77		//
	棟近傍・表面	T	K-78	小屋裏E	//
	棟近傍・表面近傍	T	K-79	小屋裏E	//
	棟近傍・表面近傍	RH	K-80	小屋裏E	//
	棟近傍・表層	G	K-81		//
	高さ中央・南・表面	T	K-82	小屋裏E	
	高さ中央・南・表層	G	K-83		
	高さ中央・北・表面	T	K-84	小屋裏E	
	高さ中央・北・表層	G	K-85		
	棟部	棟-南	P	K-86	小屋裏W

	棟-北	P	K-87	小屋裏W	//
梁	表面	T	K-88	小屋裏W	
	表層	G	K-89		
束	表面	T	K-90	小屋裏W	
	表層	G	K-91		
棟木	表面	T	K-92	小屋裏W	
	表層	G	K-93		
屋根表面（南）	軒部	T	K-94	小屋裏E	
	高さ中央	T	K-95	小屋裏E	
	高さ中央・SAT	T	K-96	小屋裏E	
屋根表面（西）	軒部	T	K-97	小屋裏W	
	高さ中央	T	K-98	小屋裏W	
	高さ中央・SAT	T	K-99	小屋裏W	
屋根表面（北）	軒部	T	K-100	小屋裏E	
	高さ中央	T	K-101	小屋裏E	
	高さ中央・SAT	T	K-102	小屋裏E	
屋根表面（東）	軒部	T	K-103	小屋裏E	
	高さ中央	T	K-104	小屋裏E	
	高さ中央・SAT	T	K-105	小屋裏E	
天井空気層	中央南	T	K-106	小屋裏E	
	中央南	RH	K-107	小屋裏E	
	中央北	T	K-108	小屋裏W	
	中央北	RH	K-109	小屋裏W	
	南西	T	K-110	小屋裏W	
	南西	RH	K-111	小屋裏W	
	北西	T	K-112	小屋裏W	
	北西	RH	K-113	小屋裏W	
	北東	T	K-114	小屋裏E	
	北東	RH	K-115	小屋裏E	
	南東	T	K-116	小屋裏E	
	南東	RH	K-117	小屋裏E	
SAT	屋根南	ST	K-118	小屋裏W	
	屋根北	ST	K-119	小屋裏W	

■外壁の実験実施条件〈東側〉



ファイヤーストッパーの有無の影響度比較 (①⇔②の換気量のみ)

■凡例

- 実験対象通気層範囲 (①~⑤)
※太線のみは基準とする通気層 (通気・排水障害なし)
(①、②、③、④、⑤)
 - 〓 通気・排水障害の状況
 - 外装材スタター (通気層下端)
 - ファイヤーストッパー (通気層胴差部)
 - 横胴縁
 - 縦胴縁
 - 通気層上端部閉塞 (※窓上の通気層は下端部閉塞)
 - ▽ 通気層最上部注水漏斗使用
- 〈計別機器〉
- 温度センサー
 - 湿度センサー
 - 風速センサー
 - ≡ 差圧センサー
 - 室内側台板温湿度計
 - S 外表面SAT計

図 3. 2. 6 外壁実験実施条件 (東側)

■外壁の実験実施条件〈南側〉

■凡例

■ 実験対象通気層範囲 (①~⑦)
 ※太線囲みは基準とする通気層 (通気・排水障害なし)
 (①、⑦、⑨、⑫)

〈通気・排水障害の状況〉

■ 外装材スターター (通気層下端)

■ ファイアーストッパー (通気層洞差部)

■ 横洞縁

■ 縦洞縁

■ 通気層上端部閉塞 (※窓上の通気層は下端部閉塞)

▽ 通気層最上部注水漏斗使用

〈計測機器〉

● 温度センサー

■ 湿度センサー

⊙ 風速センサー

＝ 差圧センサー

● 室内側合板温湿度計

□ 外表面SAT計

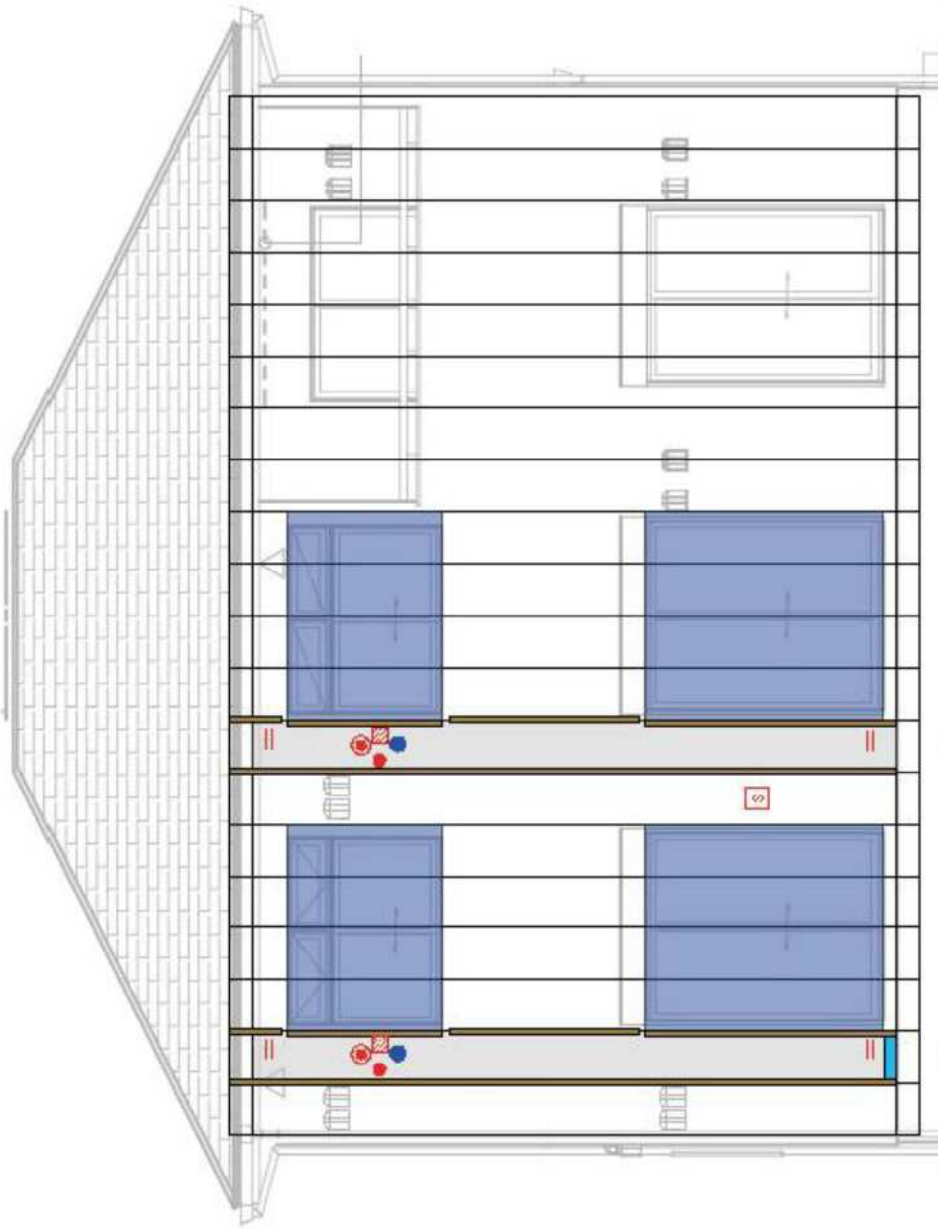
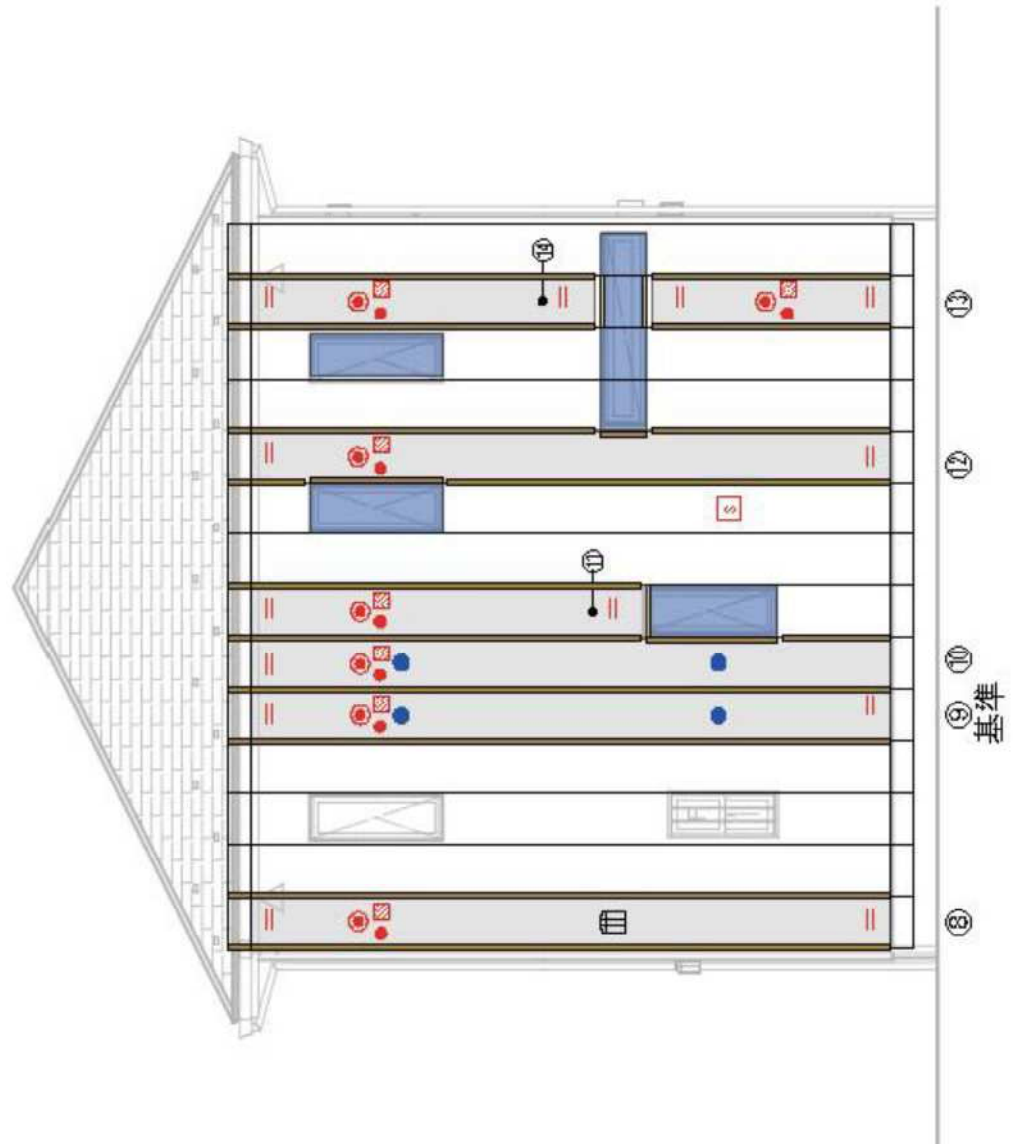


図 3. 2. 7 外壁実験実施条件 (南側)

■外壁の実験実施条件〈西側〉



■ 凡 例

■ 実験対象通気層範囲 (①~⑬)
 ※太線のみは基準とする通気層 (通気・排水障害なし)
 (①、⑦、⑨、⑬)

〈通気・排水障害の状況〉

■ 外装材スターター (通気層下端)

■ ファイアーストッパー (通気層洞差部)

■ 横洞縁

■ 縦洞縁

■ 通気層上端部閉塞 (※窓上の通気層は下端部閉塞)

▽ 通気層最上部注水漏斗使用

〈計別機器〉

● 温度センサー

■ 湿度センサー

⊙ 風速センサー

＝ 差圧センサー

● 室内側合板温湿度計

□ 外表面SAT計

図 3. 2. 8 外壁実験実施条件 (西側)

■外壁の実験実施条件〈北側〉

■凡例

実験対象通気層範囲 (①~⑭)
 ※太線のみは基準とする通気層 (通気・排水障害なし)
 (①、⑦、⑨、⑭)

〈通気・排水障害の状況〉

外装材スターター (通気層下端)

ファイヤーストッパー (通気層胴差部)

横胴縁

縦胴縁

通気層上端部閉塞 (※窓上の通気層は下端部閉塞)

通気層最上部注水漏斗使用

〈計測機器〉

温度センサー

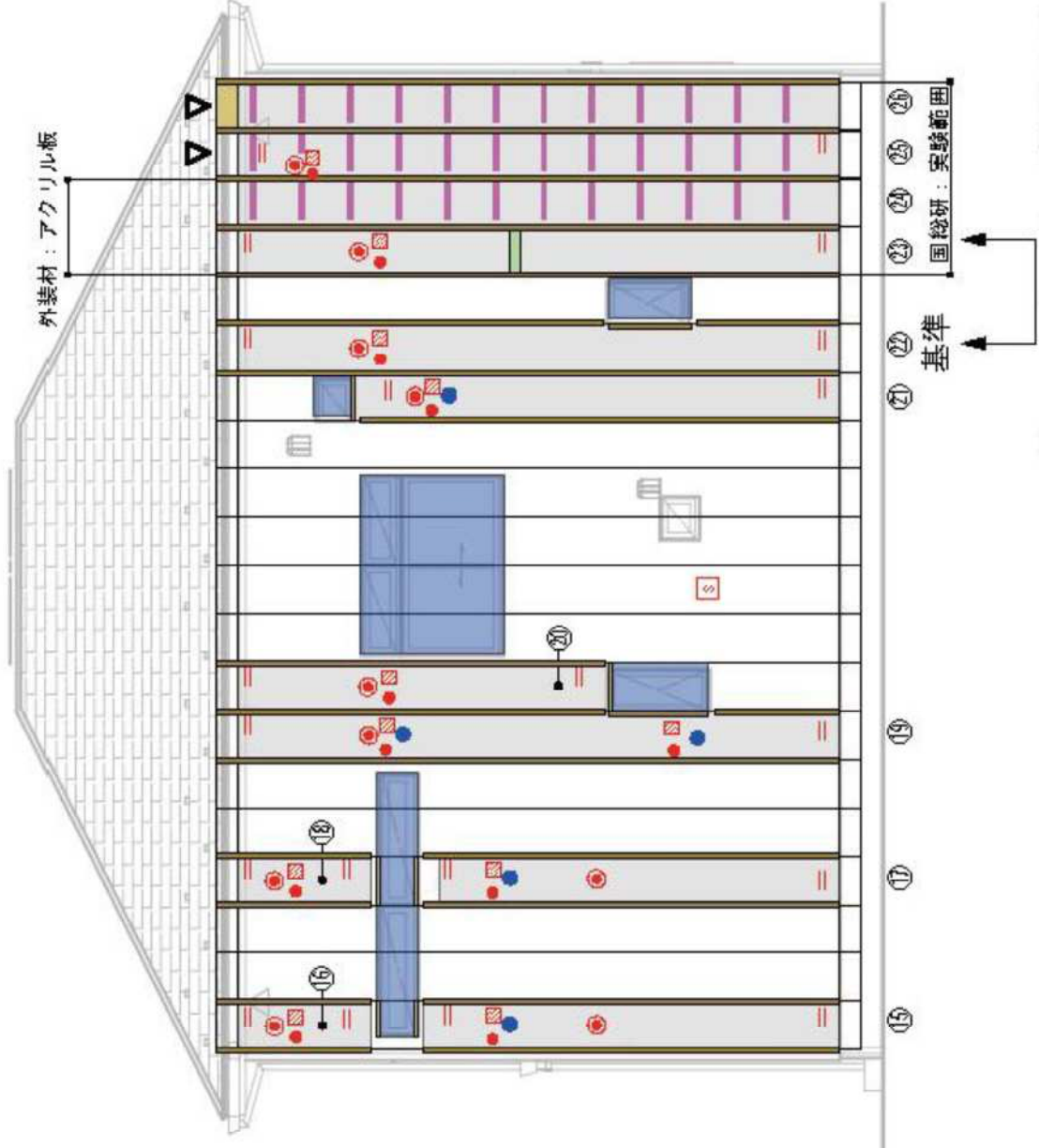
湿度センサー

風速センサー

差圧センサー

室内側合板温湿度計

外面SAT計



ファイヤーストッパーの有無の影響度比較 (⑭⇔⑬)

図 3. 2. 9 外壁実験実施条件 (北側)

■小屋裏の実験実施条件〈小屋裏内のセンサー設置状況〉

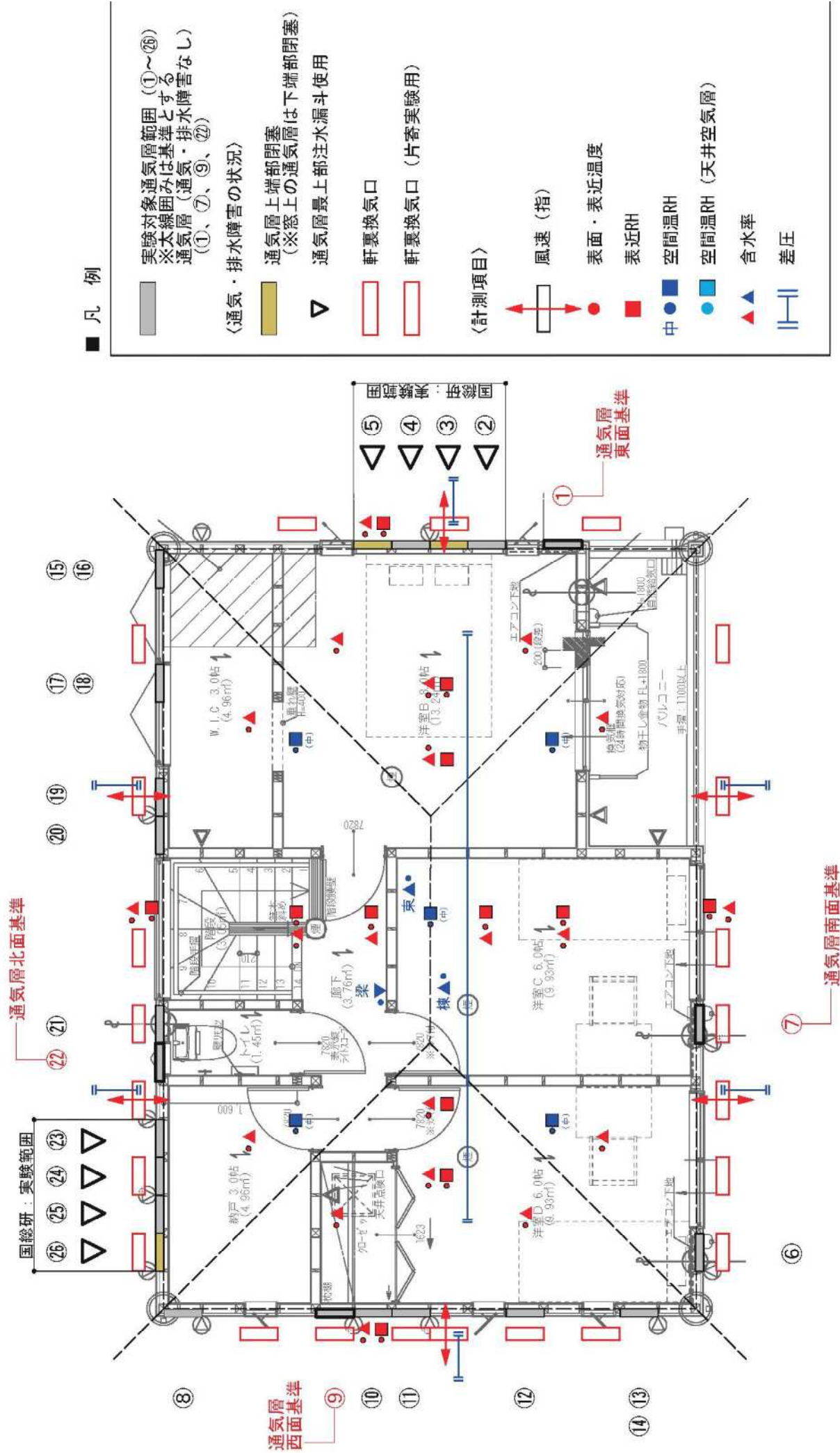


図 3.2.10 小屋裏センサー設置状況

■小屋裏の実験実施条件〈天井空気層のセンサー設置状況〉

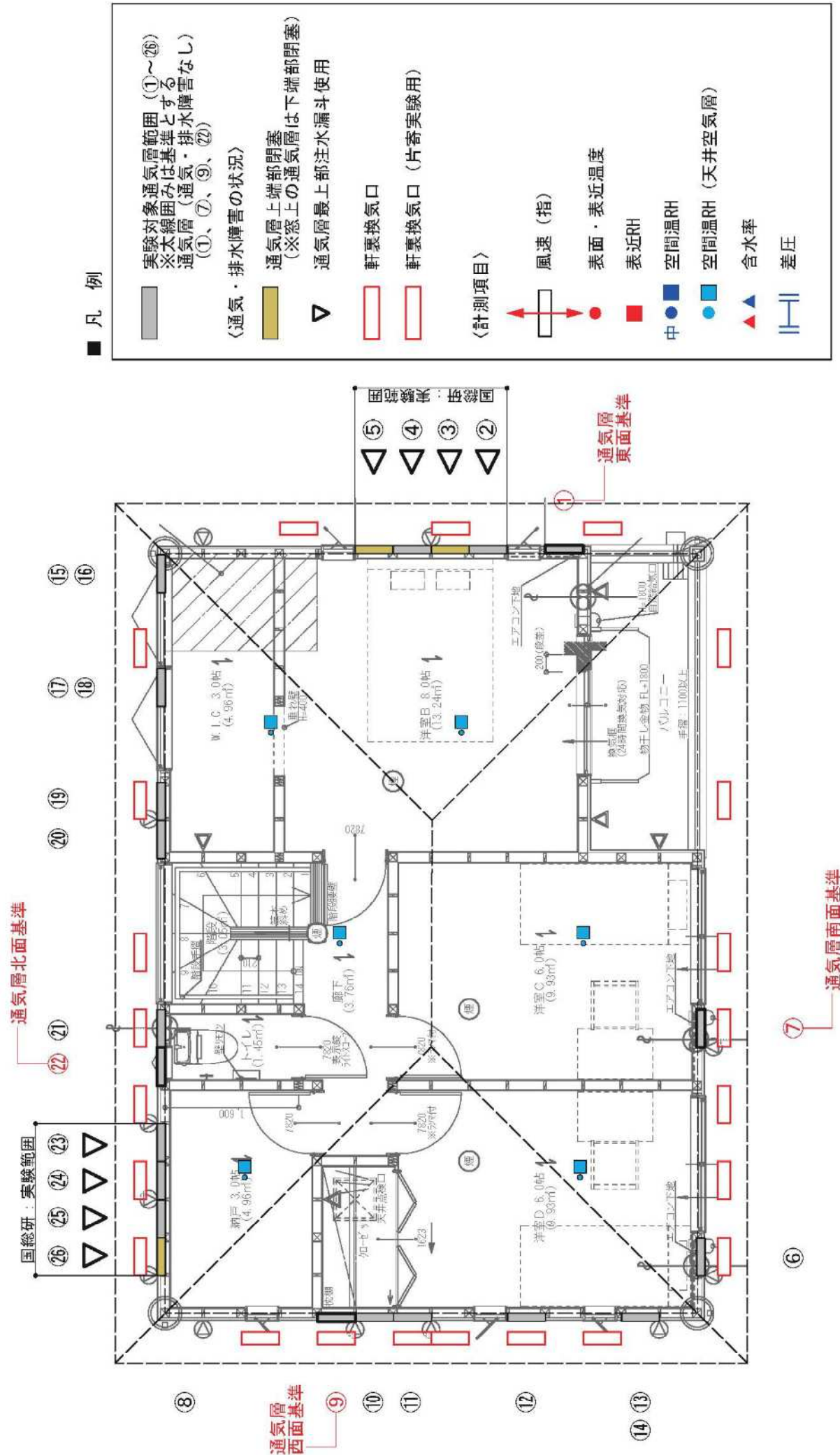


図 3.2.11 天井空気層センサー設置状況

3.2.3 実験の実施結果

3.2.3.1 外壁通気層について

居室は冬期に入った 12 月 1 日から各室のエアコンおよび加湿器を稼働させて、22°C50%程度を維持するようにした。2 階の納戸へは攪拌ファンを用いて洋室 B の暖房・加湿された空気を送るようにした。

センサーの設置、加湿器などの準備が整った、12 月 14 日からの測定値を解析の対象とした。以下では 12 月 21 日までの結果を示す。

(1) 通気層の温湿度性状

図 3.2.12～3.2.31 に 2022 年 12 月 15 日から 2023 年 2 月 14 日まで、測定出来たポイントの温度、相対湿度、絶対湿度の測定結果を示す。図はほぼ 2 週間ごとに作成した。

通気層の温度および絶対湿度は、昼間に上昇し、夜間に下がることを繰り返しており、相対湿度はその逆の変動になっている。南面と西面の温度変動は、北面より高く日変動が大きい。それに合わせて相対湿度が北面よりやや低くなっている。同方位の絶対湿度については、昼のピークでは北面より高まるが、夜間は低い。相対湿度は期間の最高で 80%程度であり結露という観点では問題ないといえる。

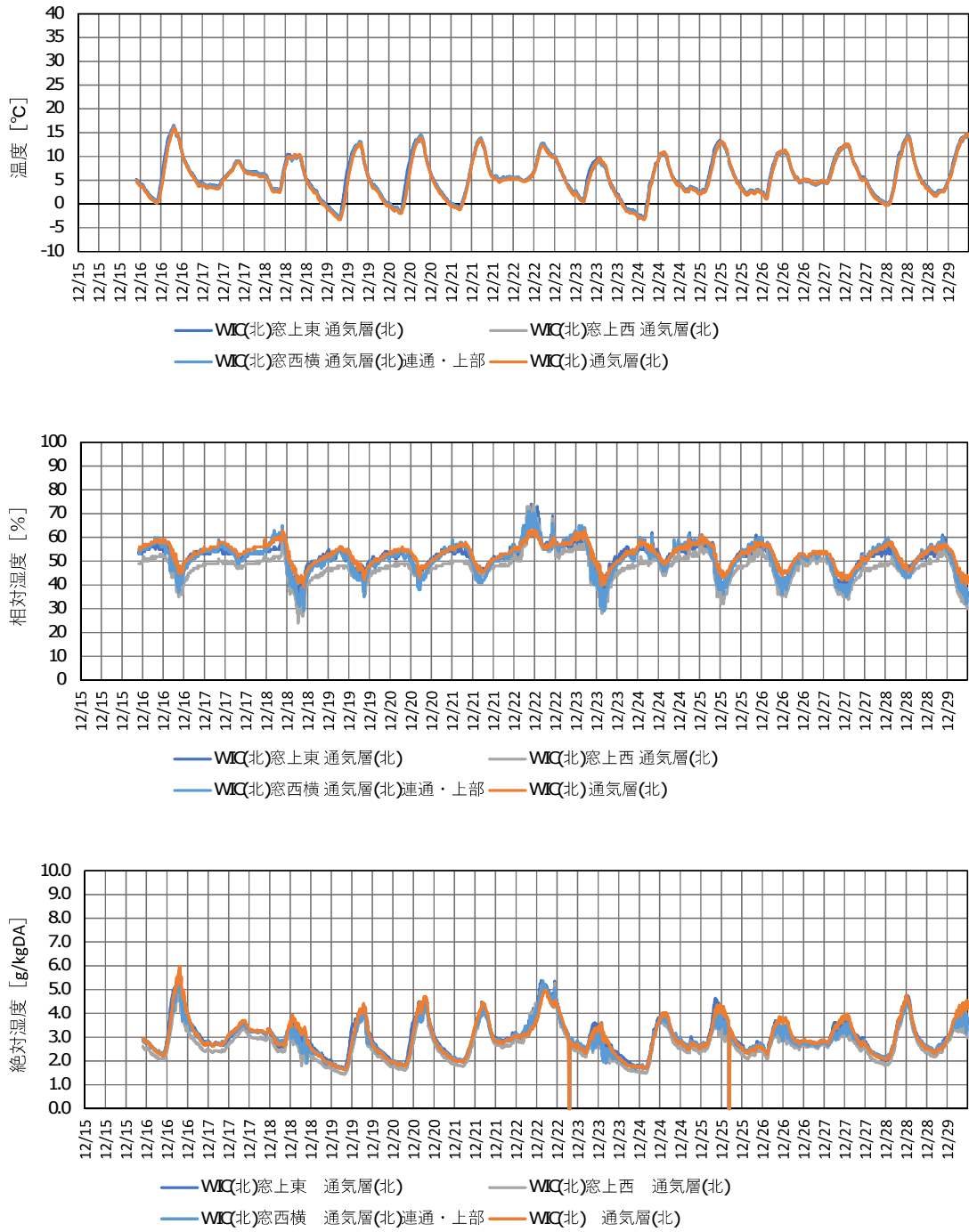


図 3. 2. 12 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/15~12/29) -1

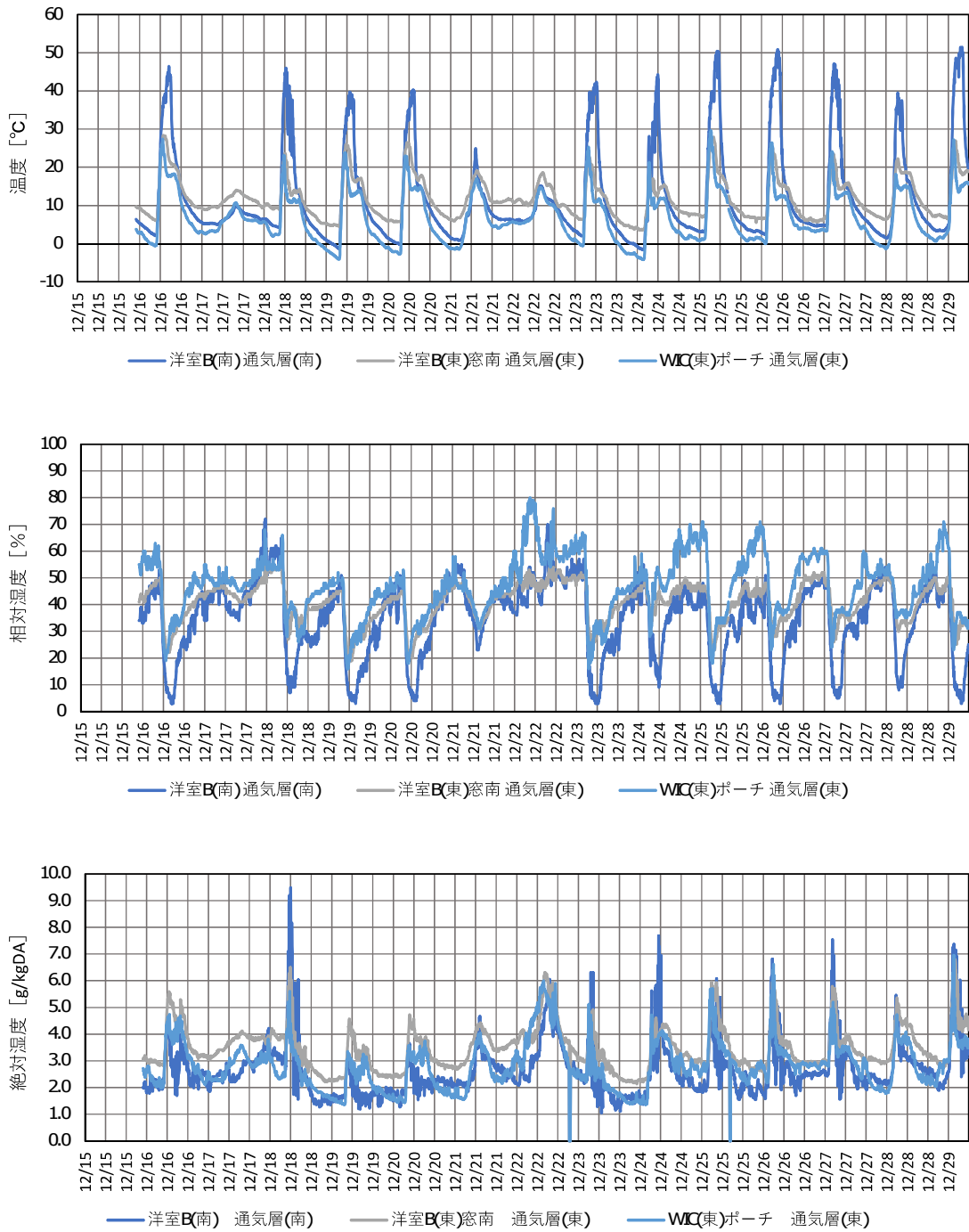


図 3. 2. 13 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/15~12/29) -2

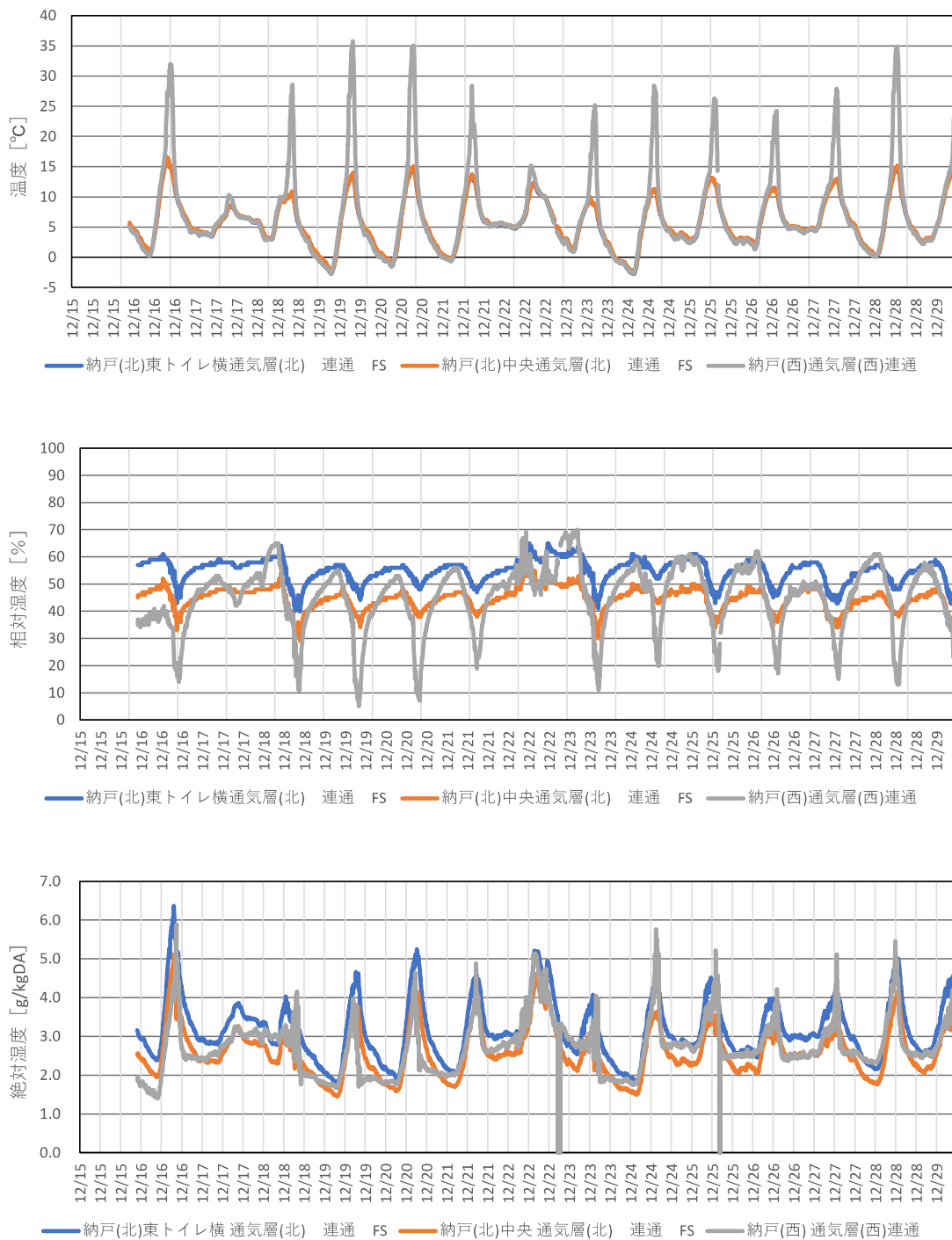


図 3.2.14 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/15~12/29) -3

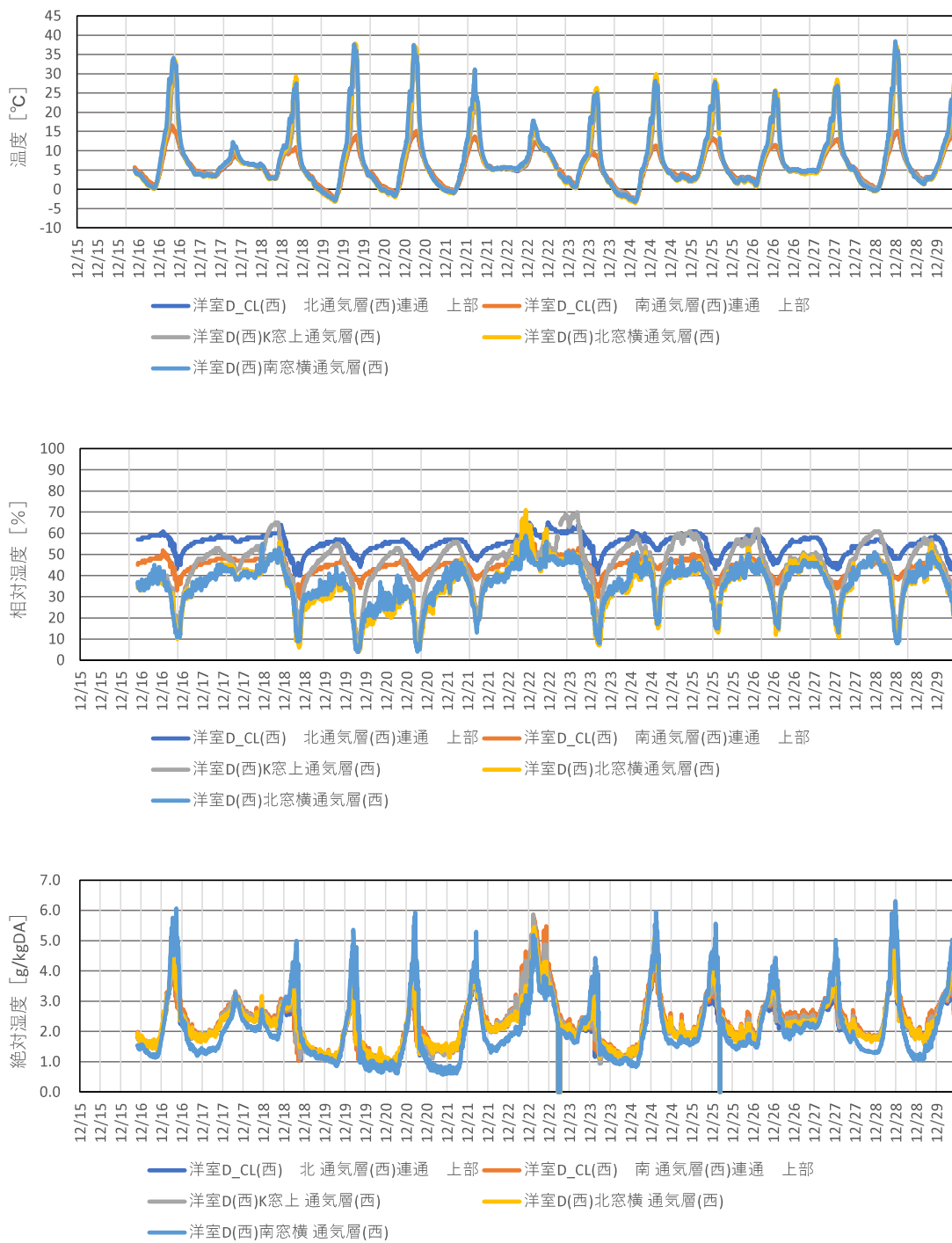


図 3.2.15 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/15~12/29) -4

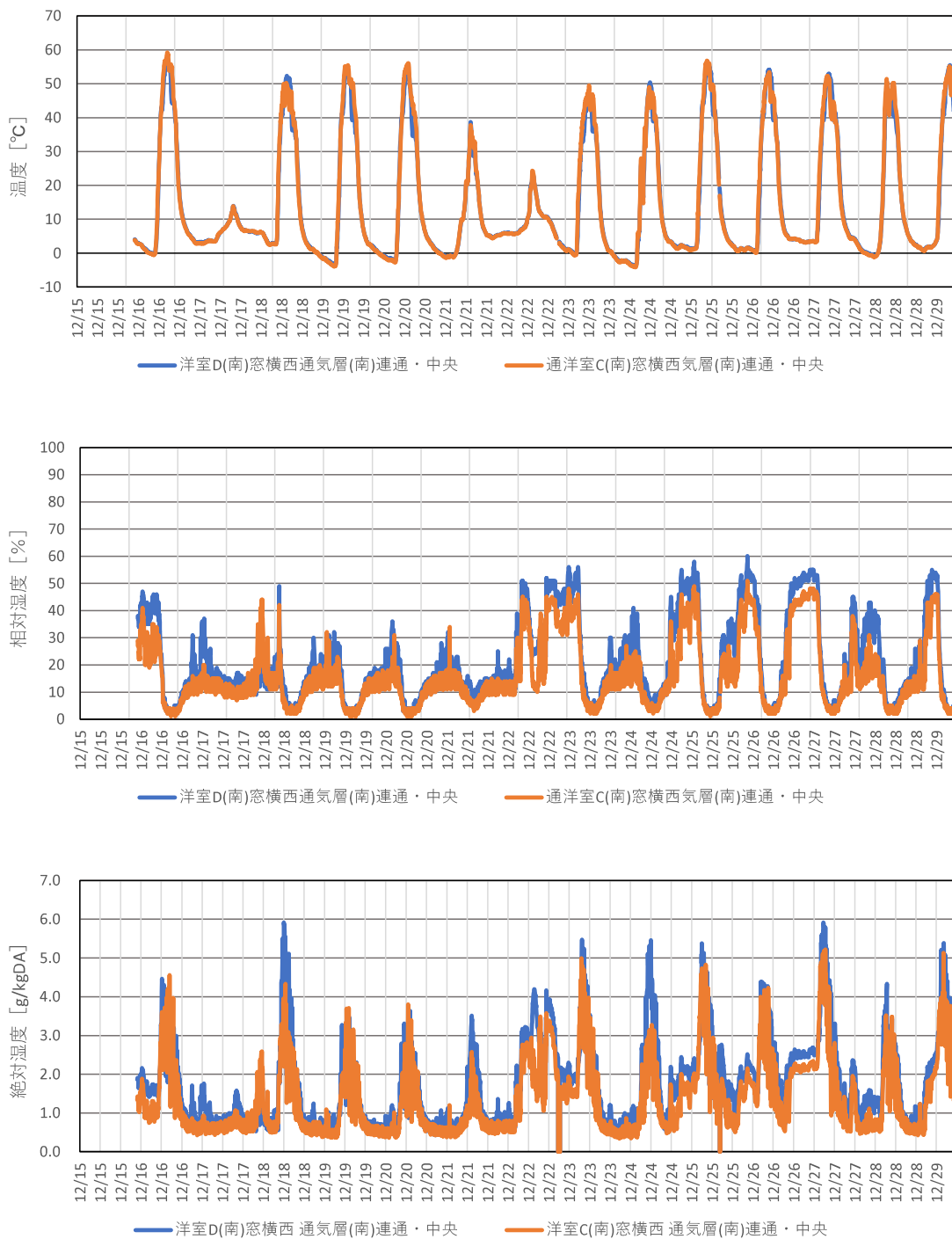


図 3.2.16 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/15~12/29) -5

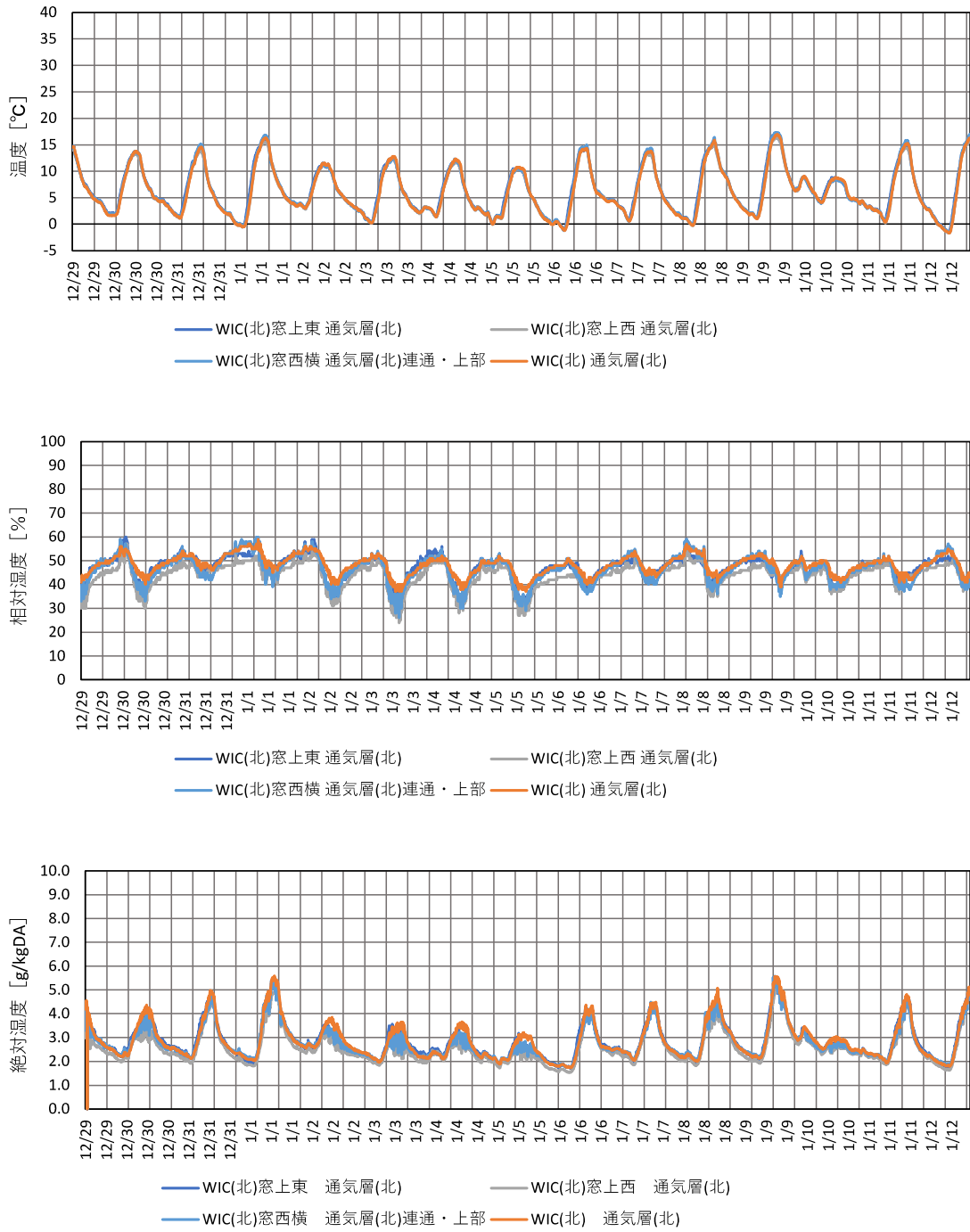


図 3.2.17 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/29~1/12) -1

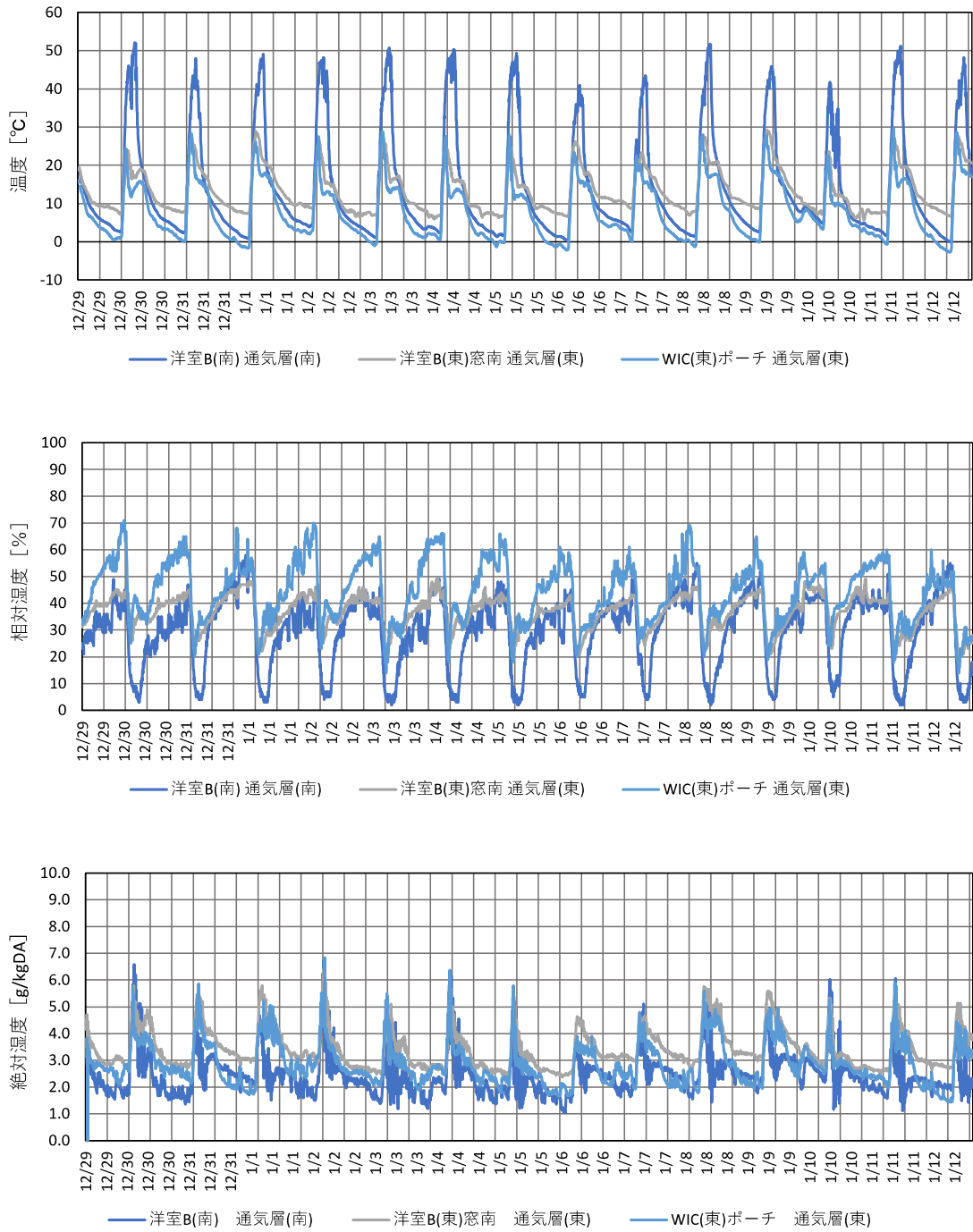


図 3.2.18 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/29~1/12) -2

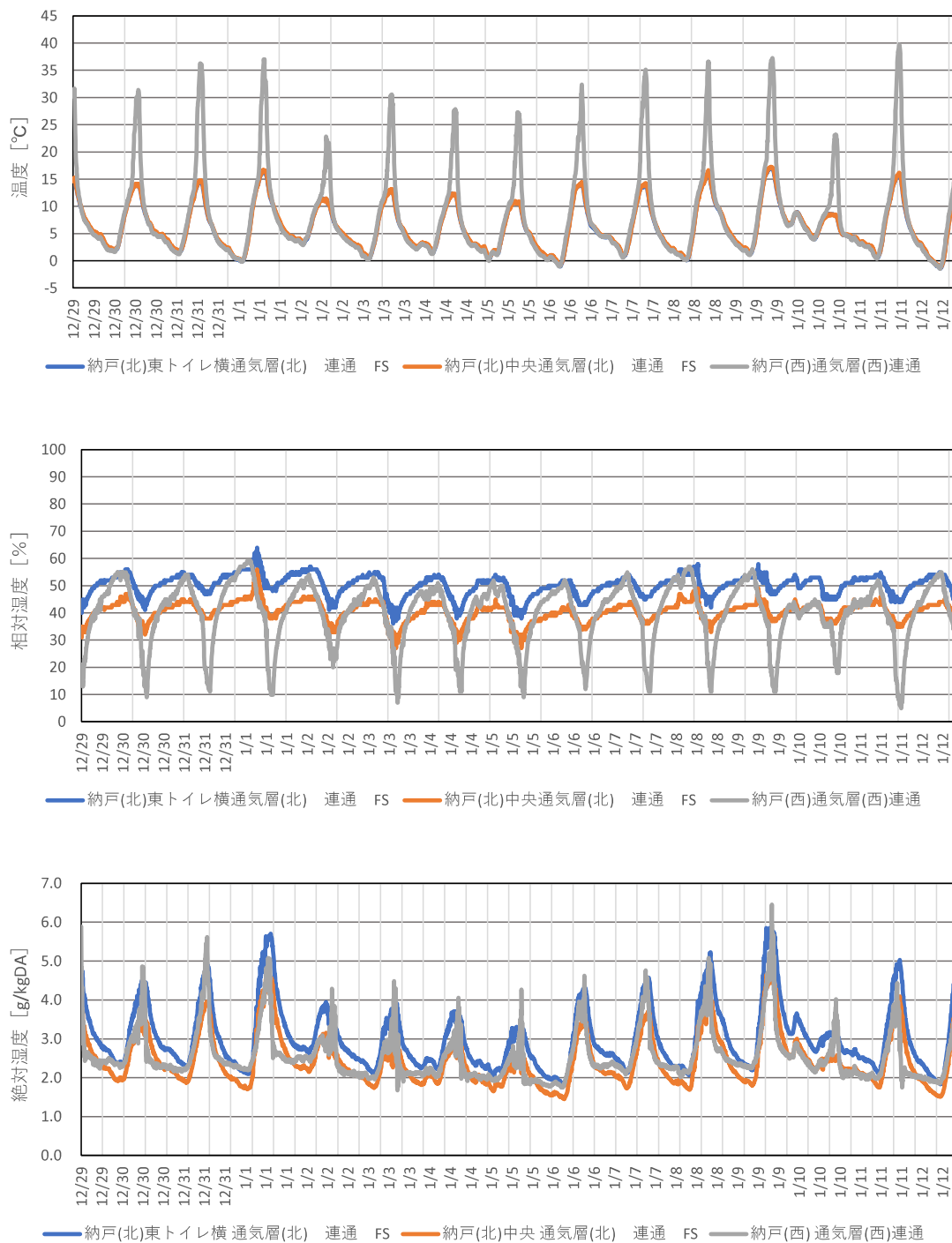


図 3.2.19 通気層の温度・相对湿度・絶対湿度 (12/29~1/12) -3

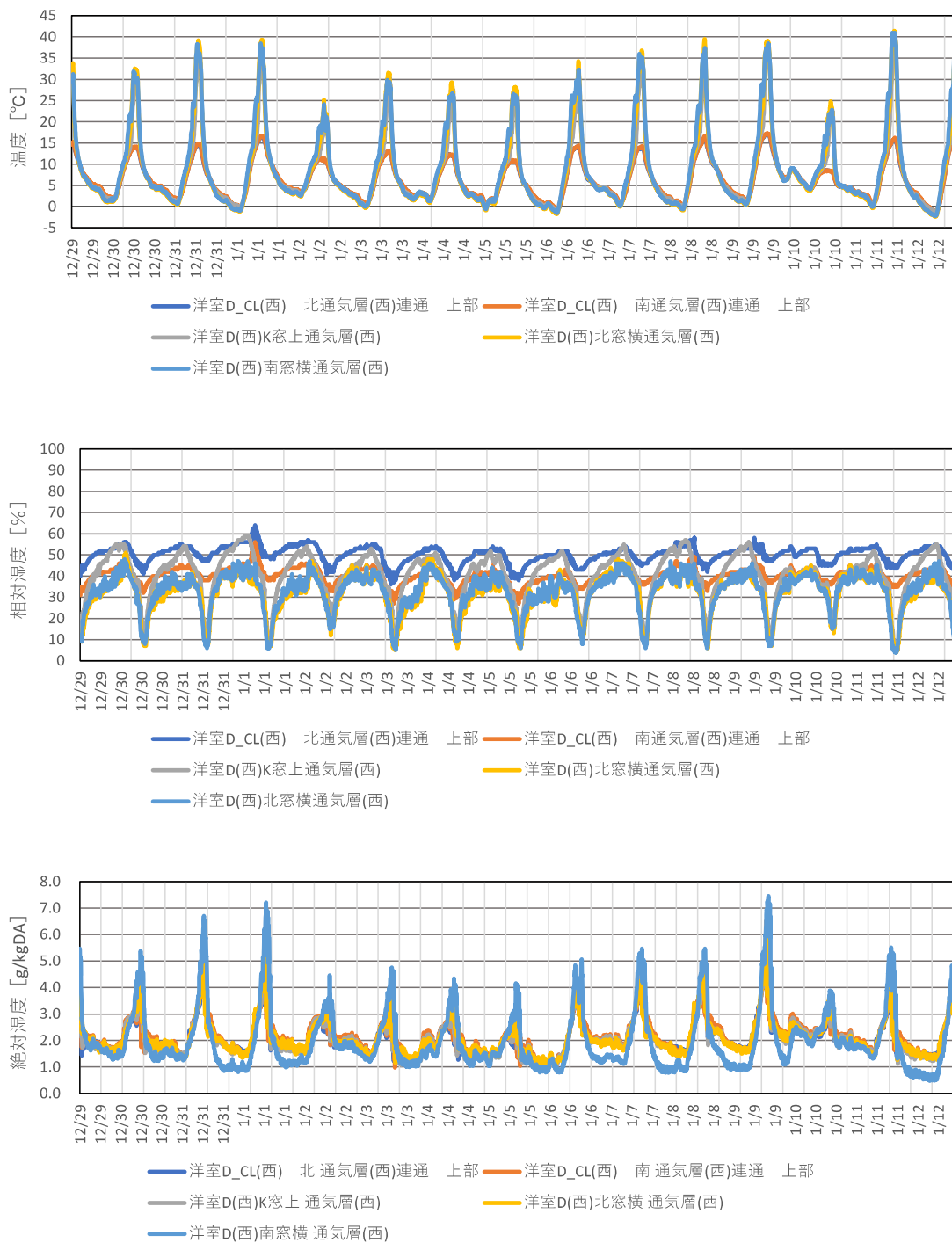


図 3.2.20 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/29~1/12) -4

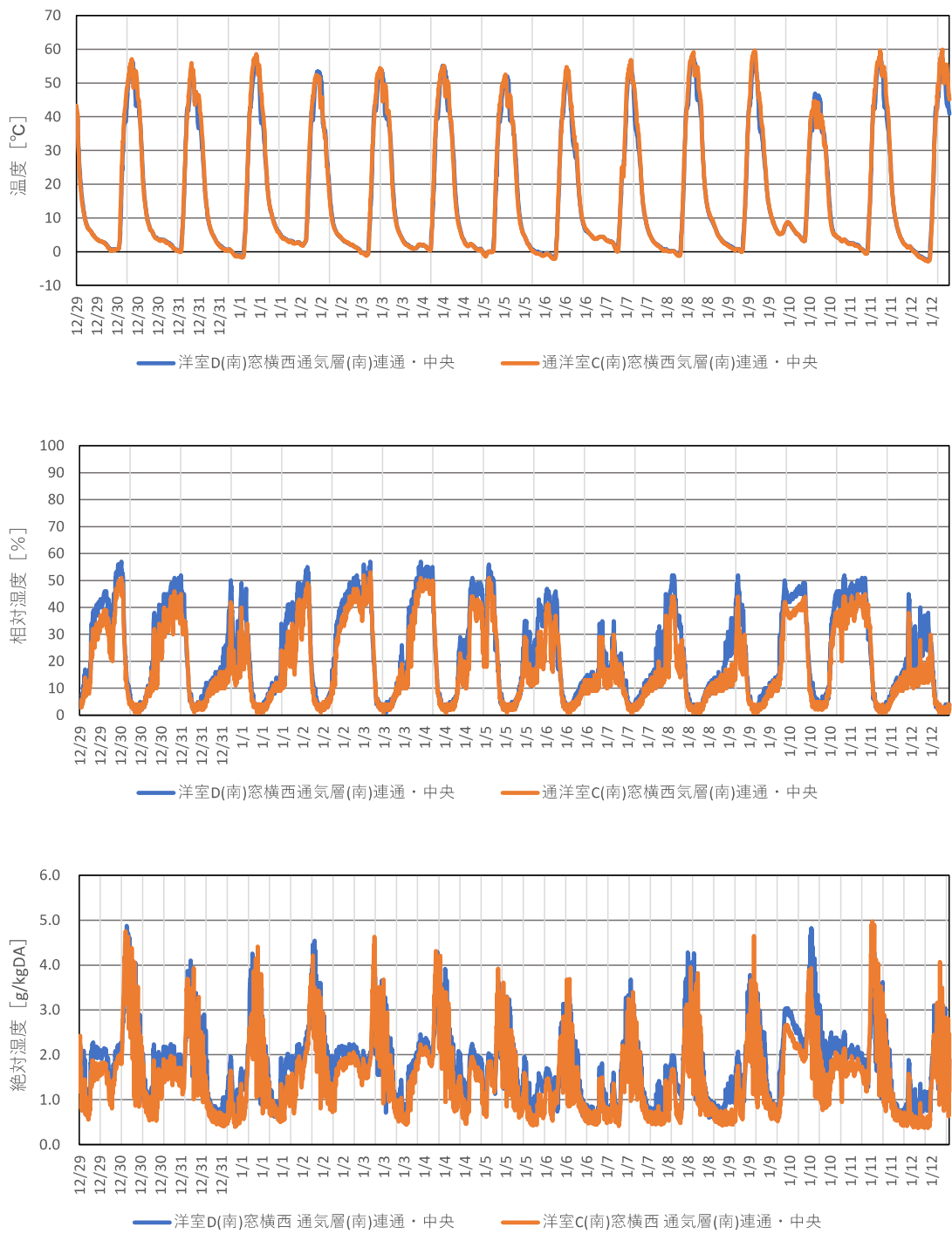


図 3.2.21 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (12/29~1/12) -5

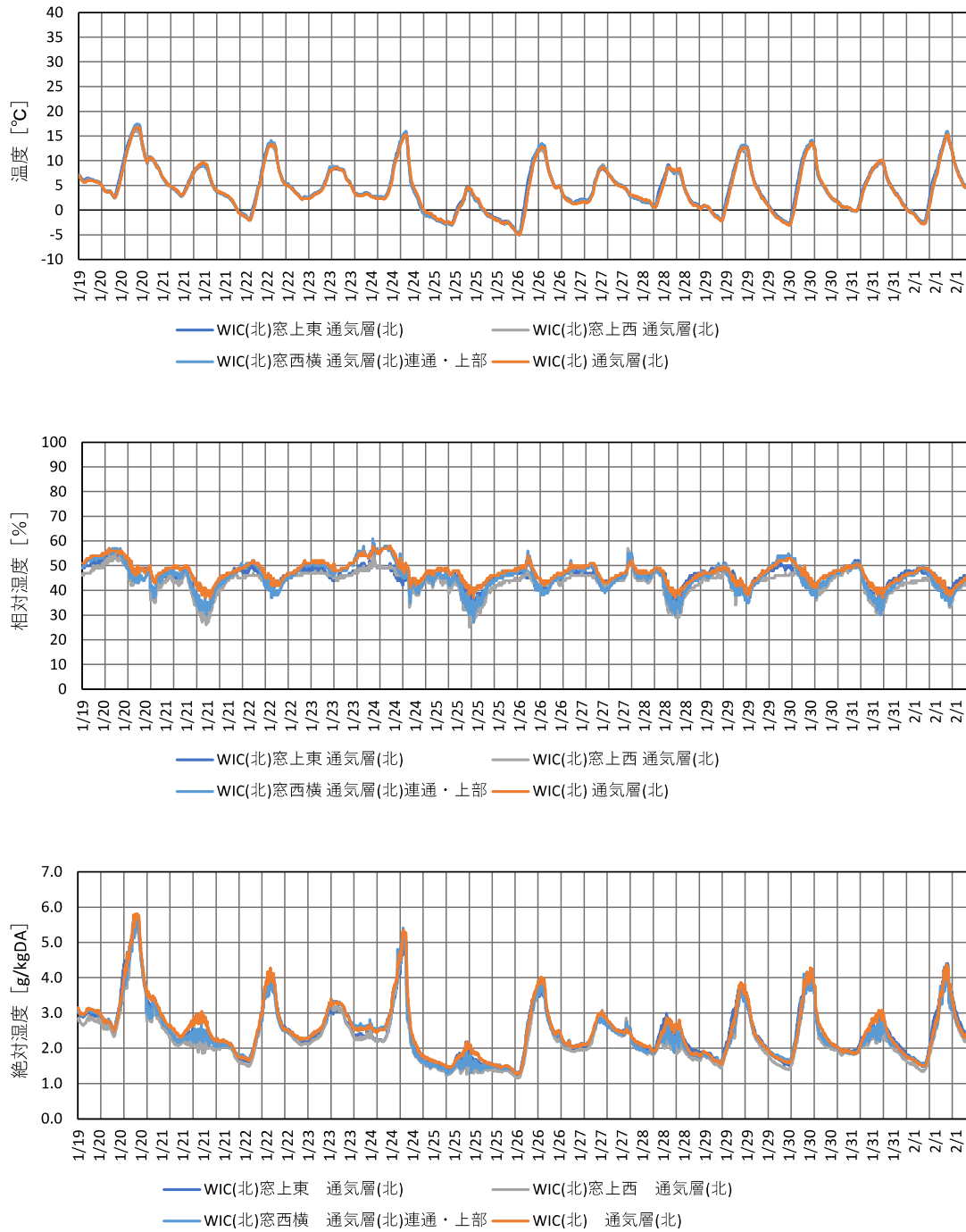


図 3.2.22 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (1/19~2/1) -1

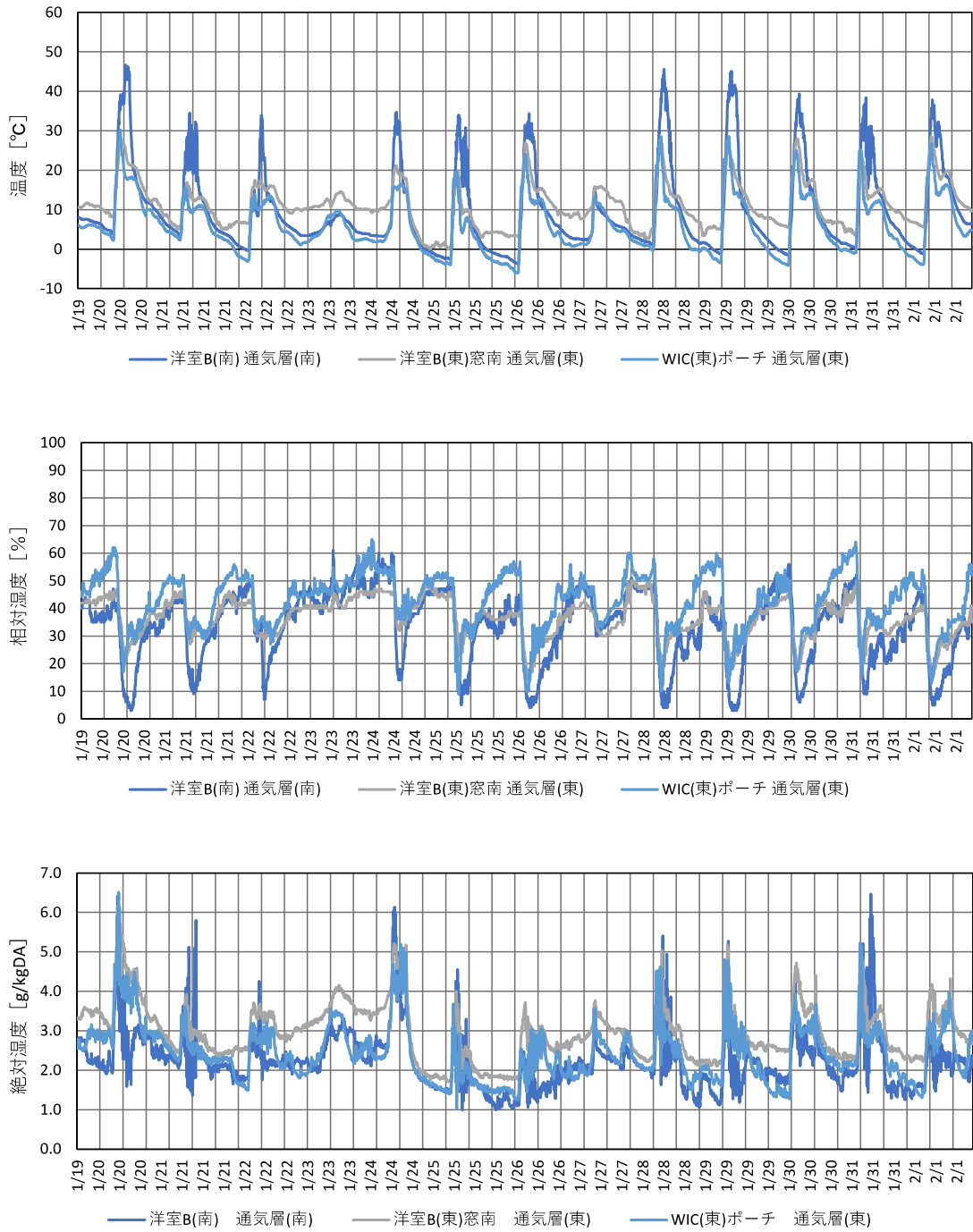


図 3.2.23 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (1/19~2/1) -2

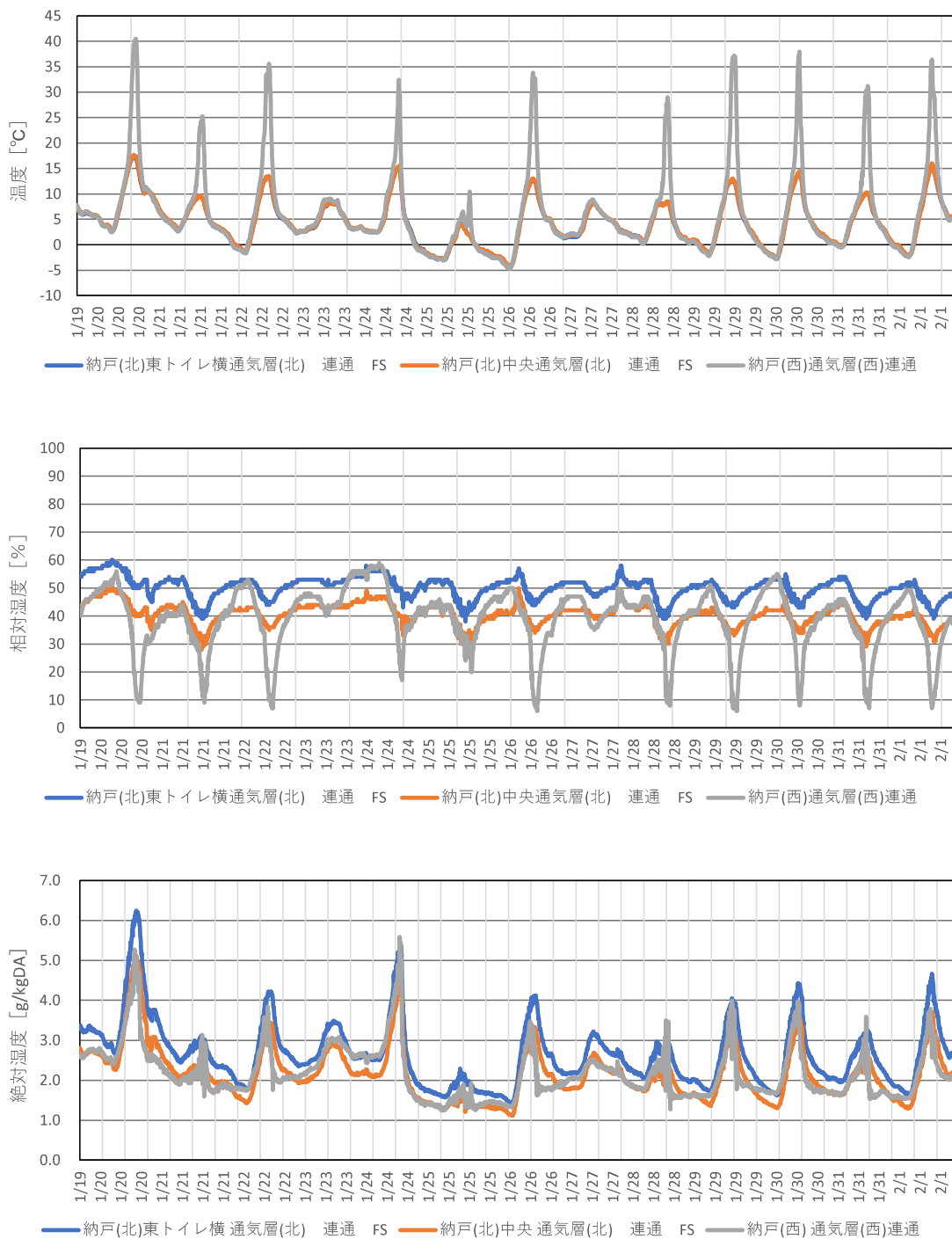


図 3.2.24 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (1/19~2/1) -3

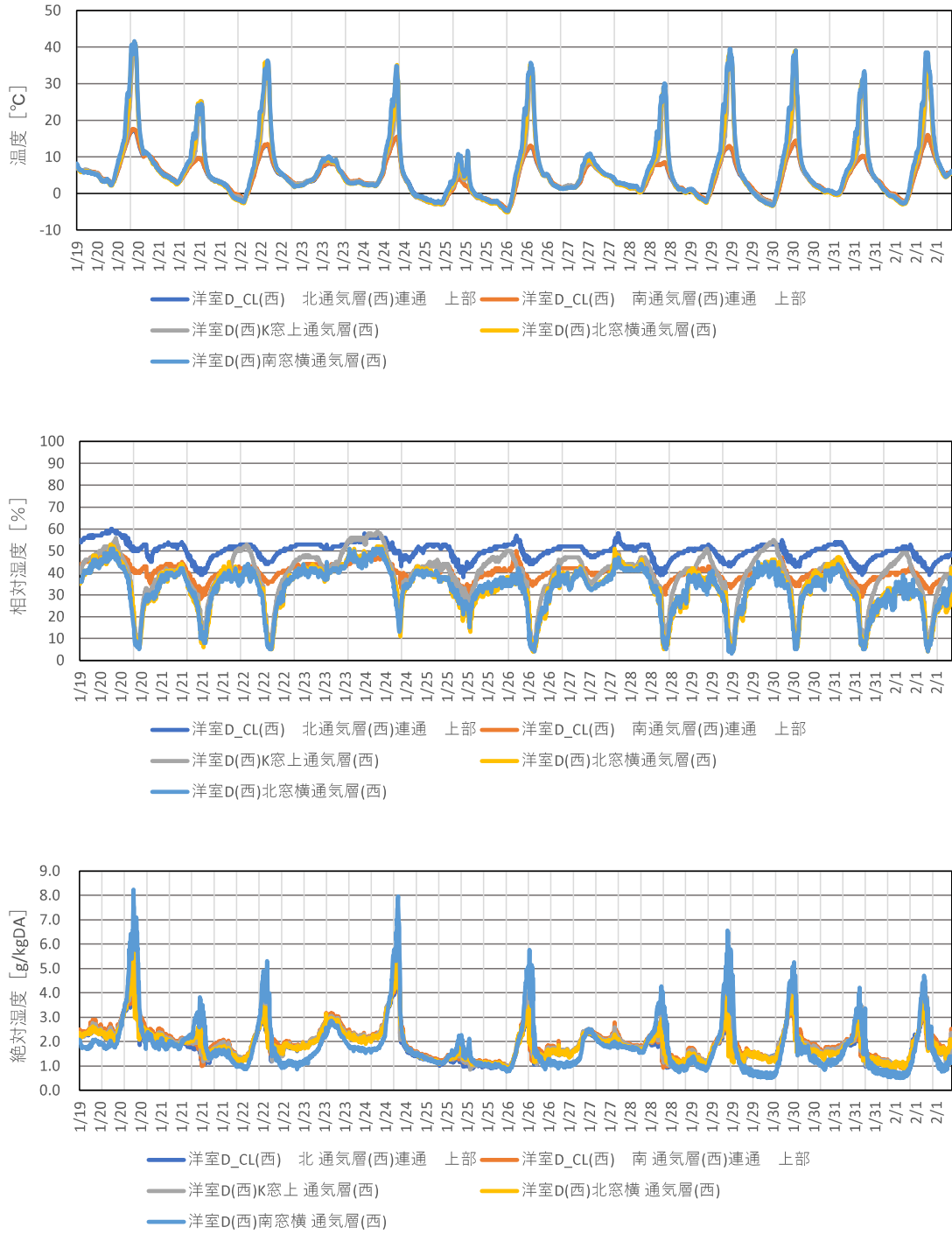


図 3.25 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (1/19~2/1) -4

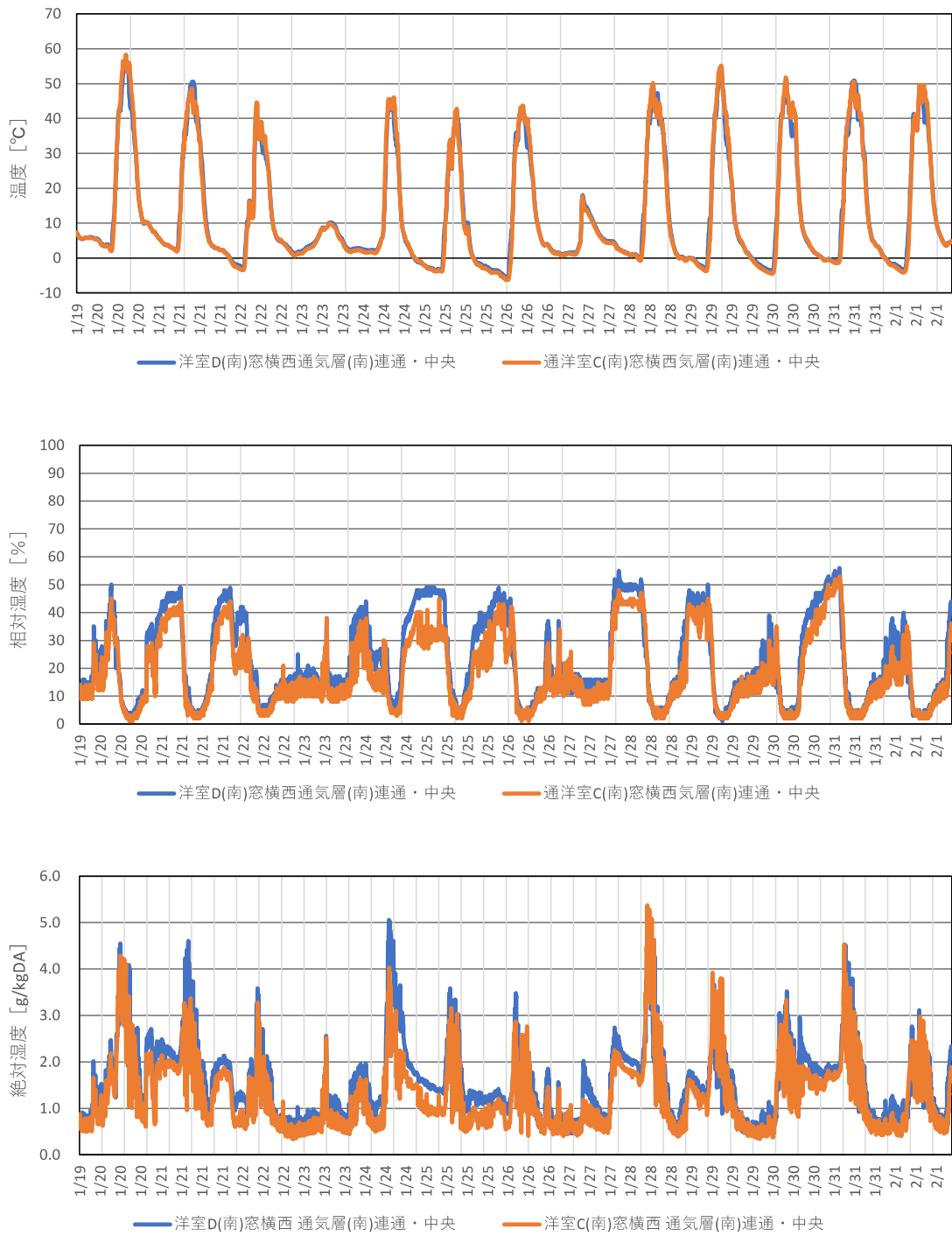


図 3.2.26 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (1/19~2/1) -5

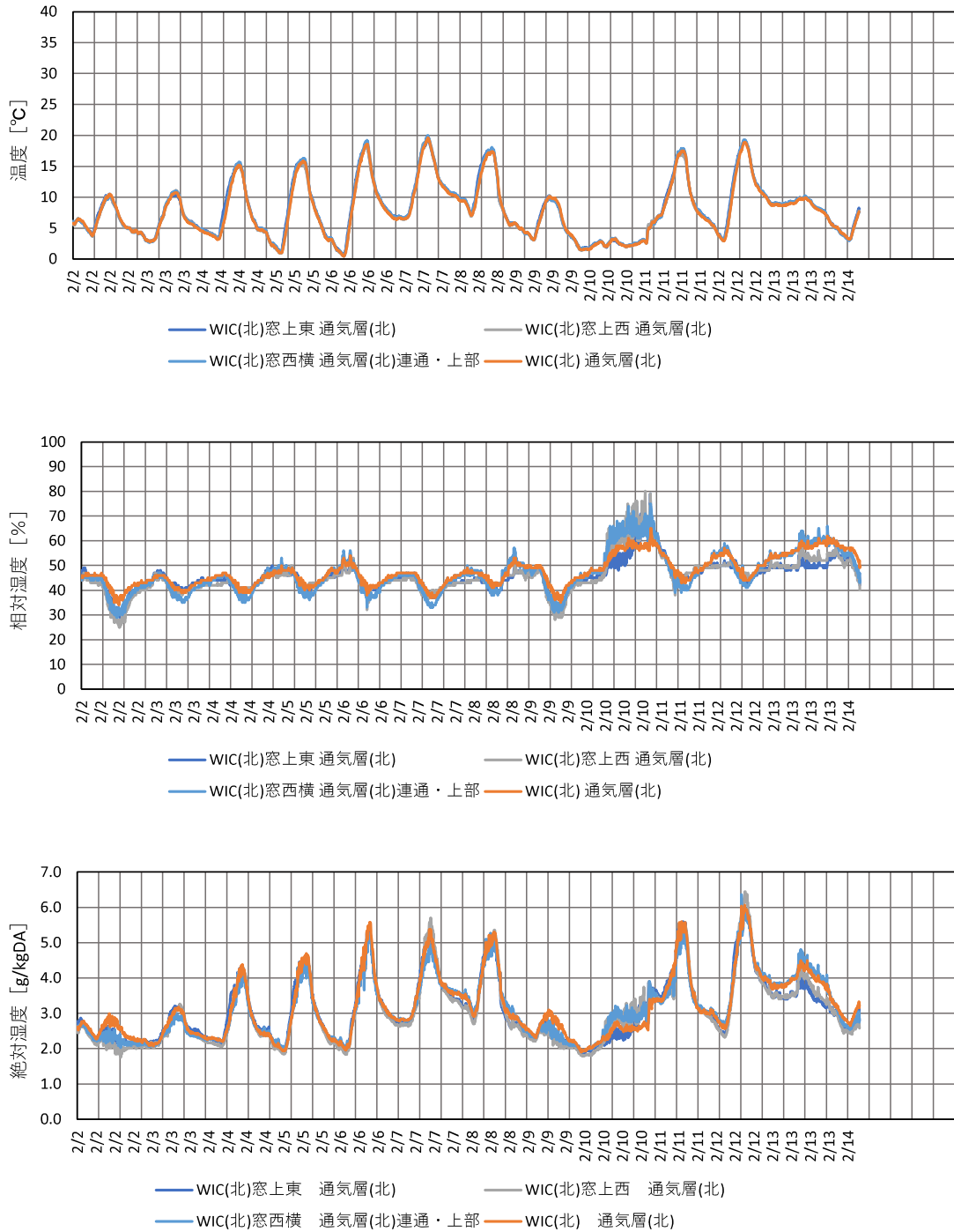


図 3.2.27 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (2/2~2/14) -1

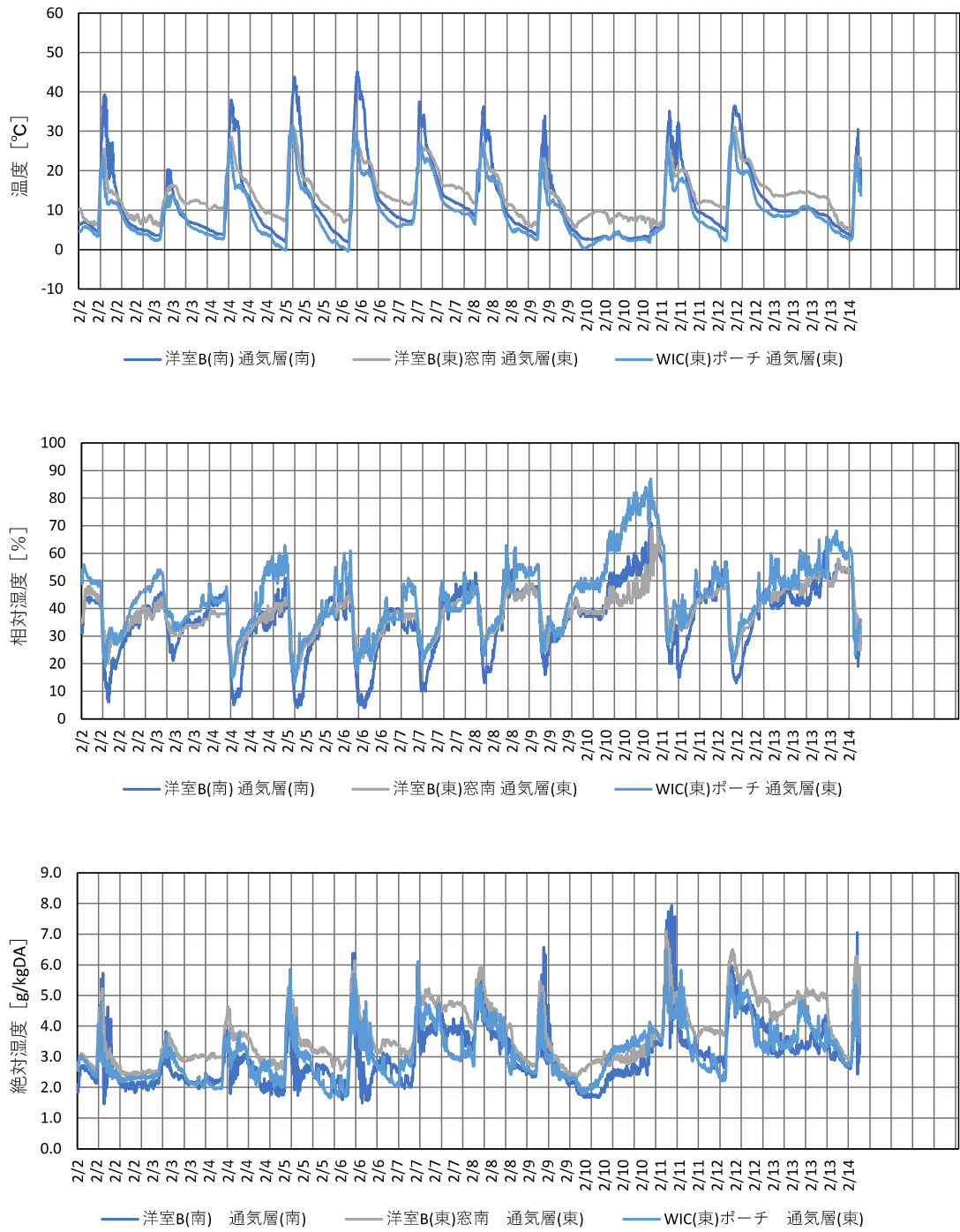


図 3.2.28 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (2/2~2/14) -2

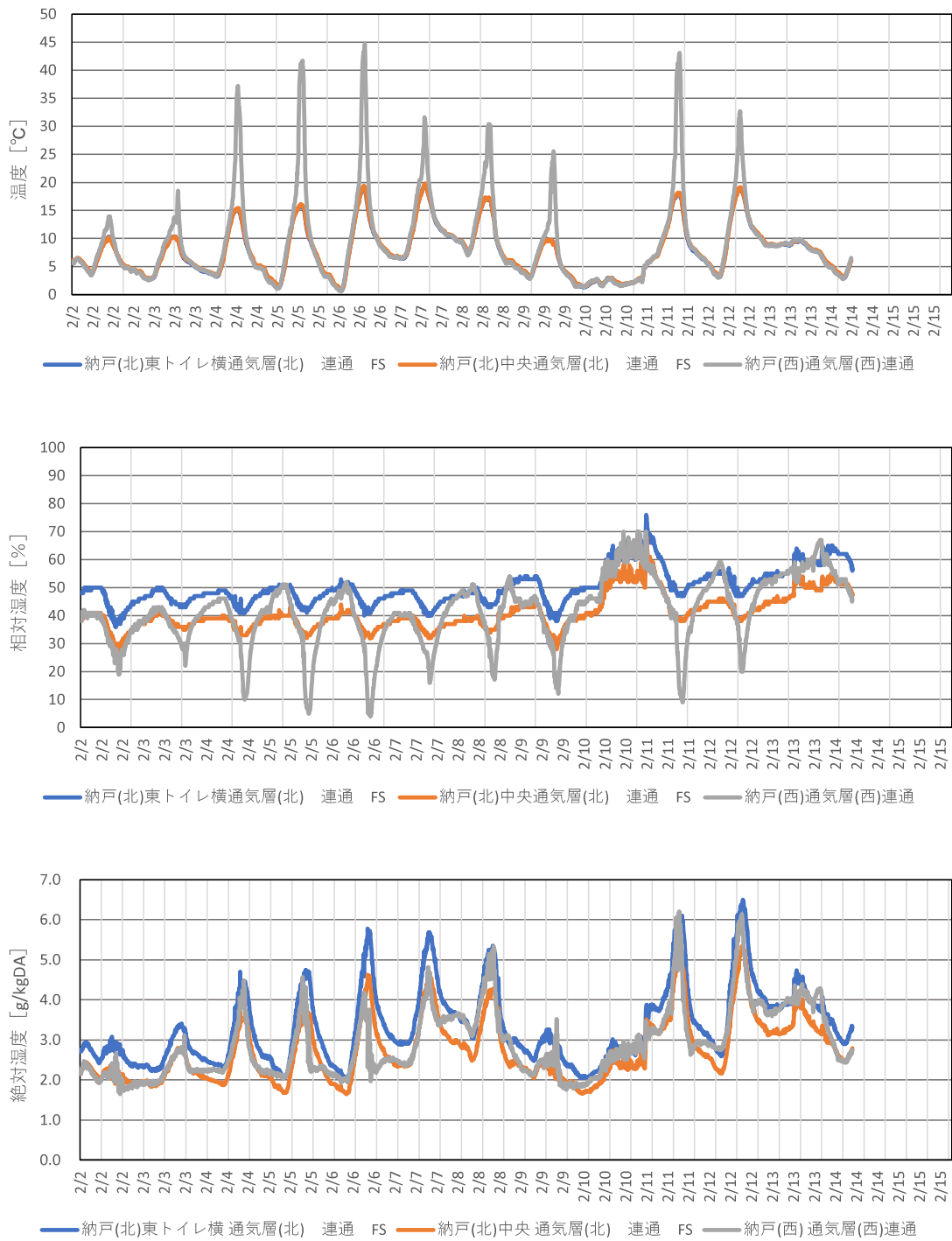


図 3.2.29 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (2/2~2/14) -3

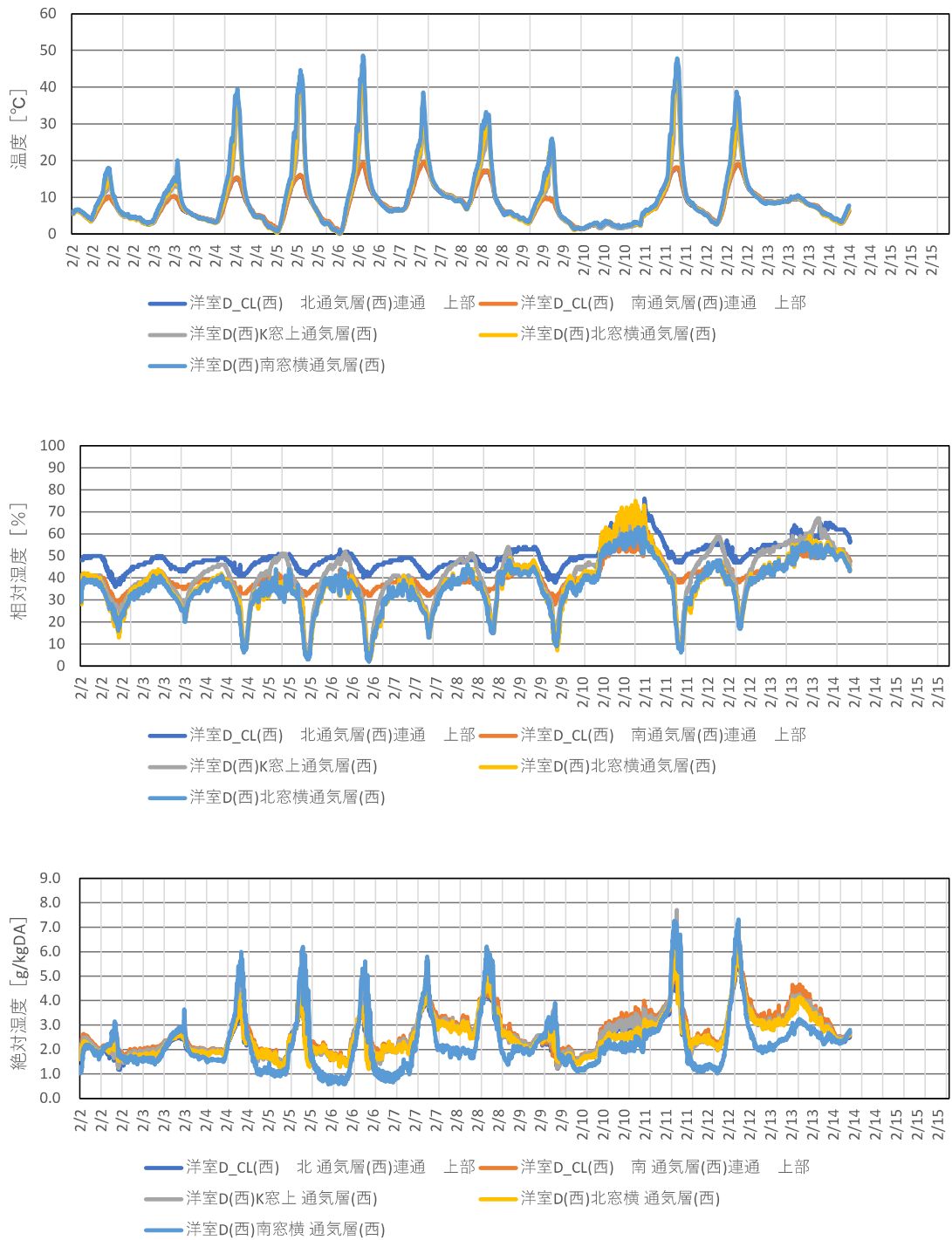


図 3.2.30 通気層の温度・相対湿度・絶対湿度 (2/2~2/14) -4

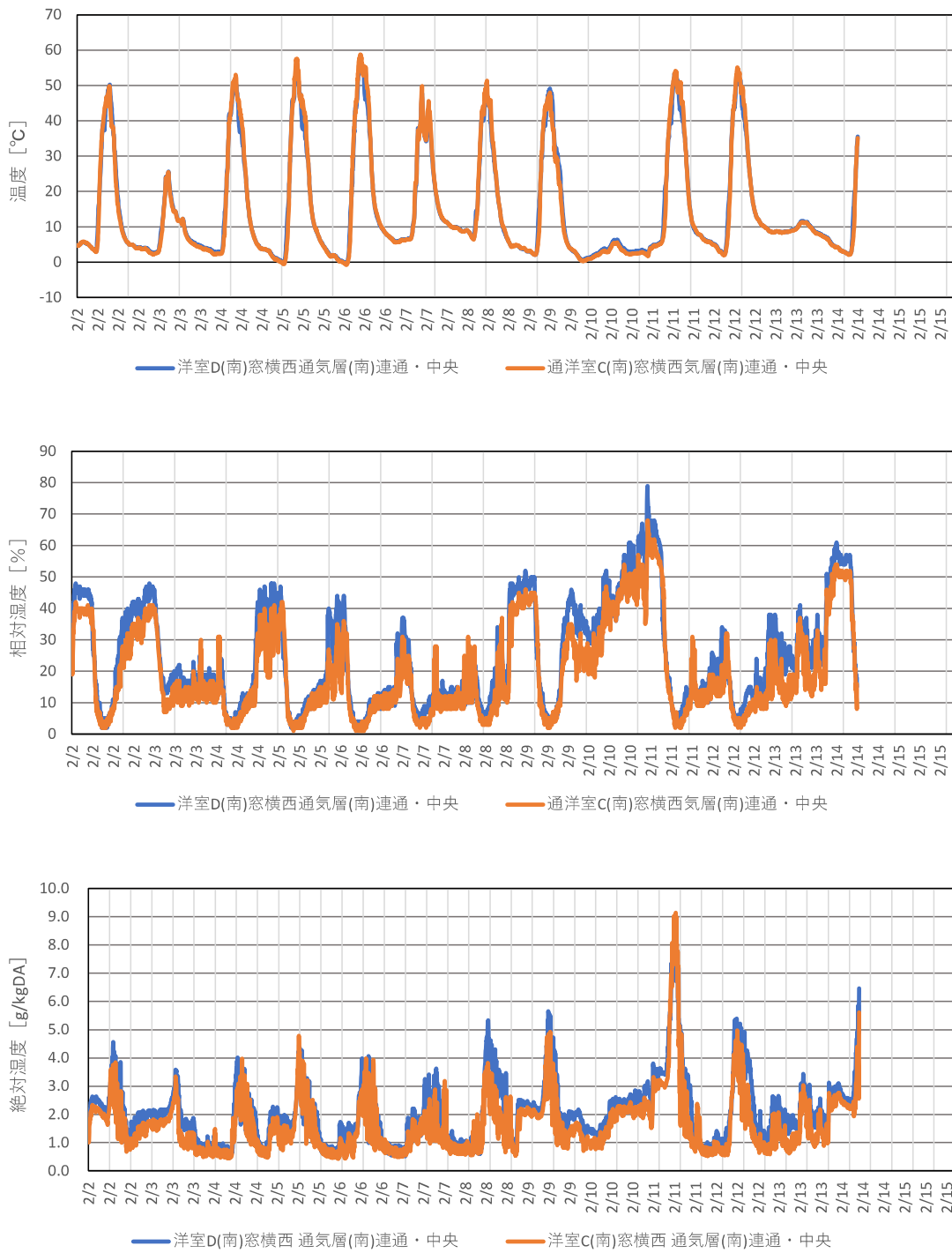


図 3.2.31 通気層の温度・相对湿度・絶対湿度 (2/2~2/14) -5

(2) 通気層内の風速

各通気層の風速の2022年12月1日～12月31日の測定値を図3.2.32に示す。基本的な日変動は、昼間に風速が上がって、夜間に下がっているが、夜間の風速は極めて小さい(0.2m/s以下)。昼間の風速の上昇は、日射により通気層内の温度が上がり、内外温度差が生じることにより、換気の駆動力が大きくなることに加え、外部風も昼間は夜間より大きくなっているためである。全体的に通気層の風速は多くの日で0.5[m/s]以下と小さいが、時に2[m/s]を超え、最大では5m/sにもなる日があった。また、北面の通気層の風速が高いが、これは本実験住宅の立地する気象が、冬期は北の風が多いためと考えられる。

今回、通気の障害の影響については、詳細に解析できなかったが、今後解析を進め、社会に還元(論文などで発表)していく予定である。

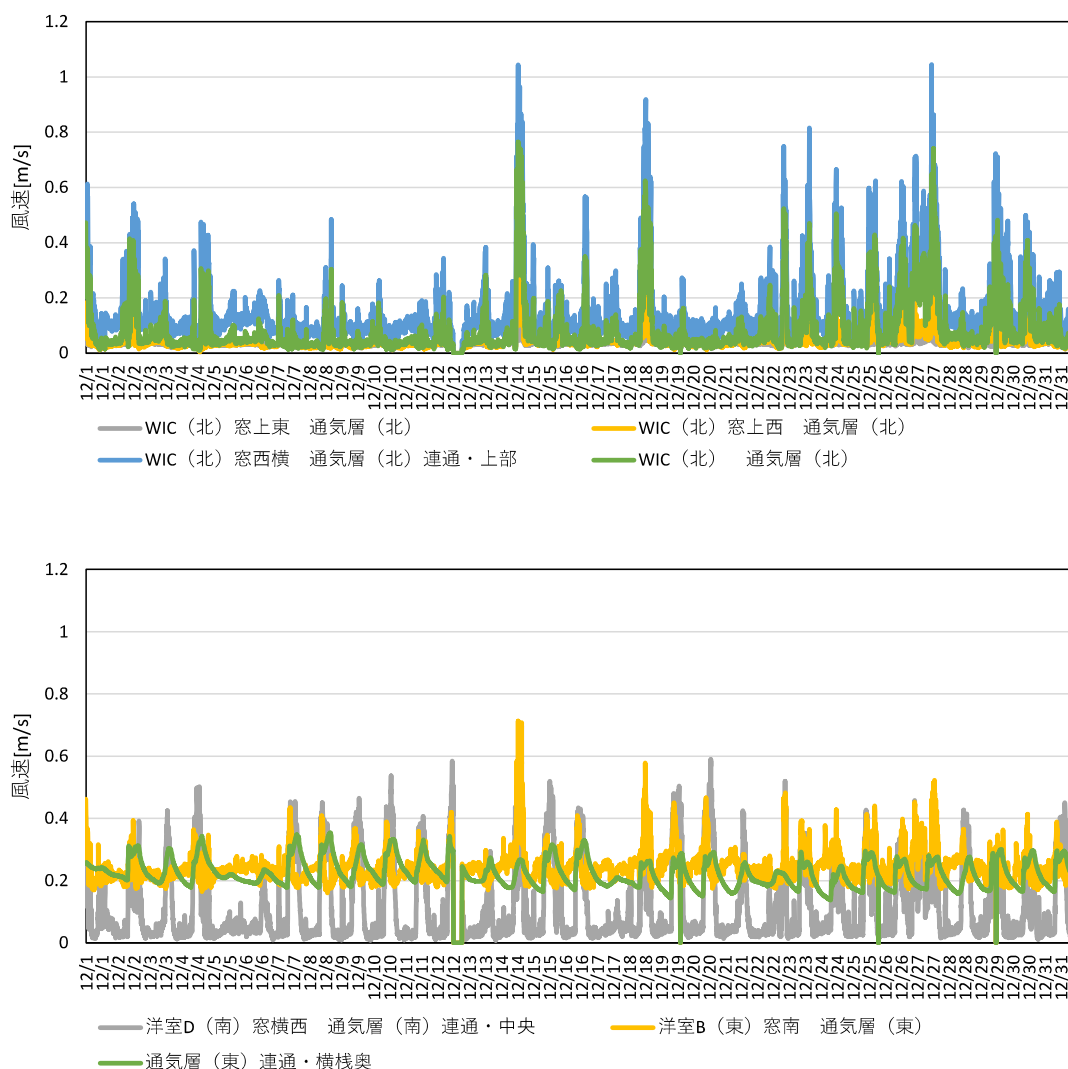


図 3.2.32 通気層内風速 (12/1～12/31)

3.2.3.2 小屋裏について

(1) 実験条件

小屋裏実験については、居室の24h換気方法や換気口の位置や面積など、いくつか条件を変えてそれぞれ2週間程度の実験を行った。実施した実験の条件を表3.2.6に示す。なお、2023/1/12～1/19は小屋裏換気方式の転換のため、居室の加湿器をオフにし、全換気口を開放して小屋裏を乾燥させた期間である。図3.2.33は軒のみ換気放棄器基準での軒裏換気口の開閉状況を示す。換気口の偏り実験は、令和3年度の測定結果から明確な差が見られなかったため、令和4年度は実施しないこととした。また、換気口基準の1/2の実験では配置のバランスは崩さないように、標準(図3.2.33)で開いている換気口について、目張りにより半分にして実験を行った(図3.2.34)。

表 3.2.6 小屋裏実験条件と実験期間

実験条件	実験期間
軒のみ換気: 基準・居室第1種換気	2022/12/1～12/15
軒のみ換気: 基準・居室第3種換気	2022/12/15～12/29
軒のみ換気: 基準1/2・居室第2種換気	2022/12/29～2023/1/12
軒-棟換気: 基準・居室第1種換気	2023/1/19～2/2
軒-棟換気: 基準1/2・居室第1種換気	2023/2/2～2/14

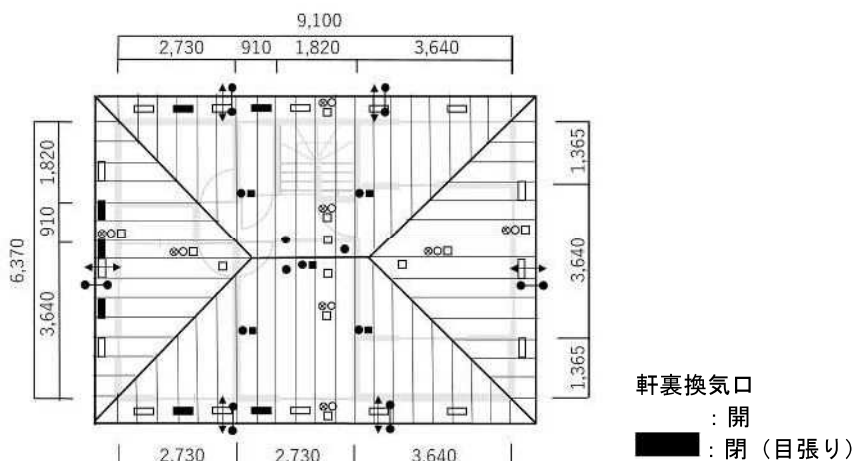


図 3.2.33 軒裏換気口 開閉状況【換気口基準】

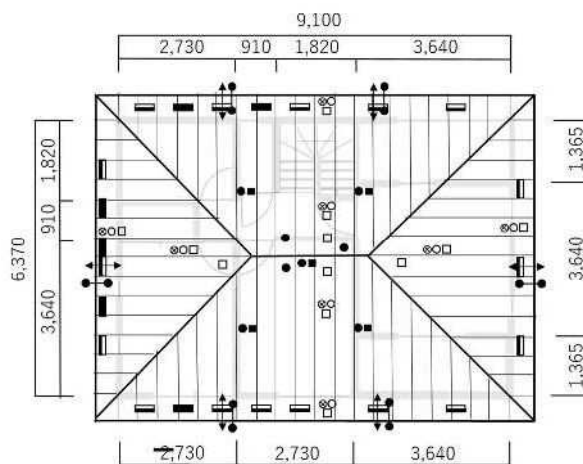


図 3.2.34 軒裏換気口 開閉状況【換気口1/2】

(2) 実験結果

小屋裏空間絶対湿度変動を、実験条件ごとに図 3.2.35～図 3.2.39 に示す。令和 4 年度は先述したように間仕切り壁上部に穴を開けたが、軒のみ換気方式の換気口基準で居室第 1 種(図 3.2.35)と同じ条件の令和 3 年度の結果(図 3.2.40)を比べてみると、日毎の変動の底辺で令和 3 年は 4～6 [g/kgDA] であったのに対して、令和 4 年度は 3～5 [g/kgDA] であり、居室や外気の絶対湿度が同じではないとはいえ、明確な小屋裏湿度の上昇が見られなかった。分かりやすくするため、絶対湿度の比較的安定している夜間 0-6 時の平均値を求めた。令和 3 年度を図 3.2.41 に令和 4 年度を図 3.2.42 に示す(令和 3 年度は換気口偏りの実験があったため、小屋裏空間の東側と西側に分けて示したが、令和 4 年度は空間各点の平均値を示した)。換気口 1/2 を除くとほぼ同等である。間仕切り壁上部の気密性を低くしたにも関わらず、小屋裏空間の絶対湿度があまり上昇しなかった理由は、居室の湿気が小屋裏へ移動する経路を考えると、①間仕切り壁内に石膏ボードを透過した湿気が上昇し小屋裏へ至る、②間仕切り壁の幅木下の隙間から移流する、③コンセントやスイッチの隙間から移流する、が考えられるが、全間仕切り壁上部の気密性を低くしたことに応じて湿気移動が増えるのは①②であり、コンセント・スイッチからの移流は限定された場所であるため、比例するようには増えないこと、①については、本実験住宅はビニールクロスで仕上げているため、そもそもの透過量が微量であるためと考えられる。ただ、石膏ボードを透過する湿気移動量とコンセントや巾木からの湿気移動量の割合や、小屋裏野地結露への影響の程度については今後の課題として解析していく。

結露が懸念される場所である、野地(北)表面近傍の相対湿度の変動を図 3.2.43～3.2.46 に示す。軒のみ換気方式の換気口 1/2、居室第 1 種(図 33)で最高の相対湿度 95%を記録し、結露状態となっていたが、一時的なもので、全条件で問題はなかったと考えられる。

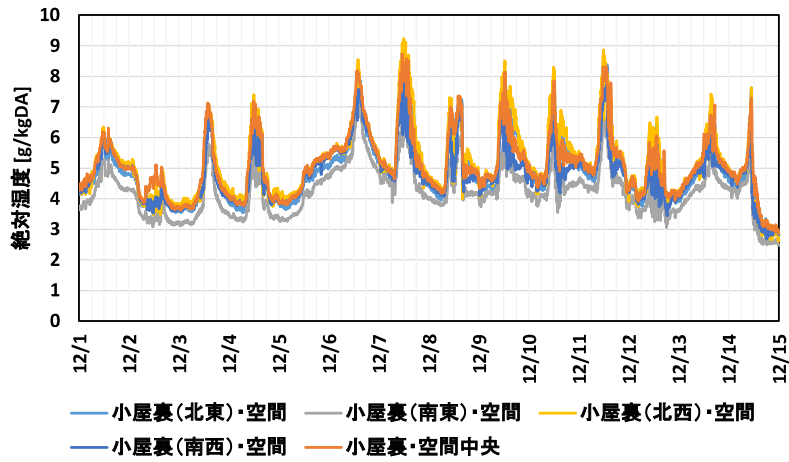


図 3.2.35 小屋裏空間絶対湿度【軒のみ換気基準・居室第1種換気】

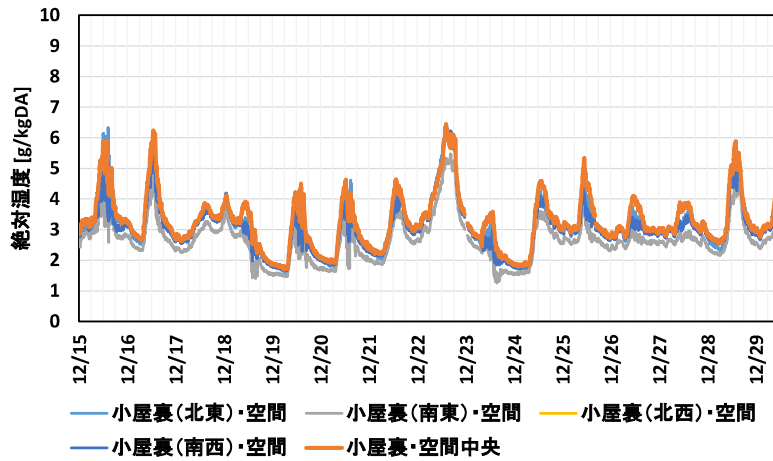


図 3.2.36 小屋裏空間絶対湿度【換気のみ換気基準・居室第3種換気】

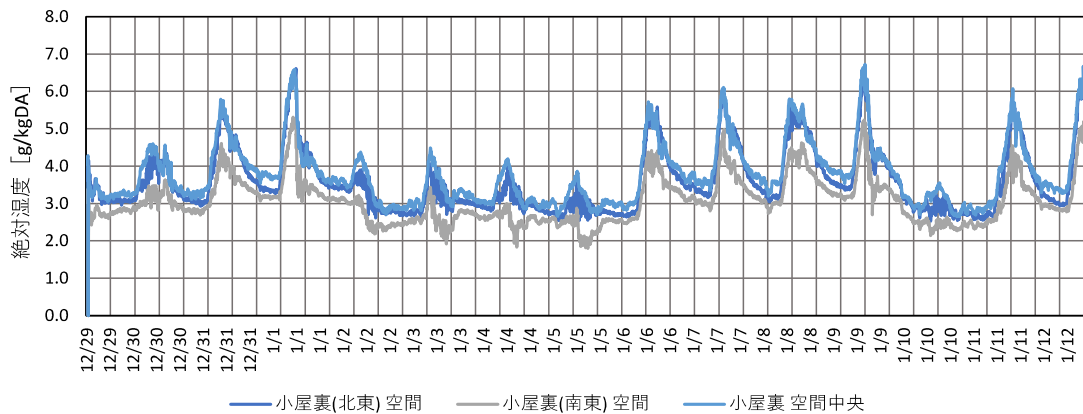


図 3.2.37 小屋裏空間絶対湿度【軒のみ換気 1/2・居室第1種換気】

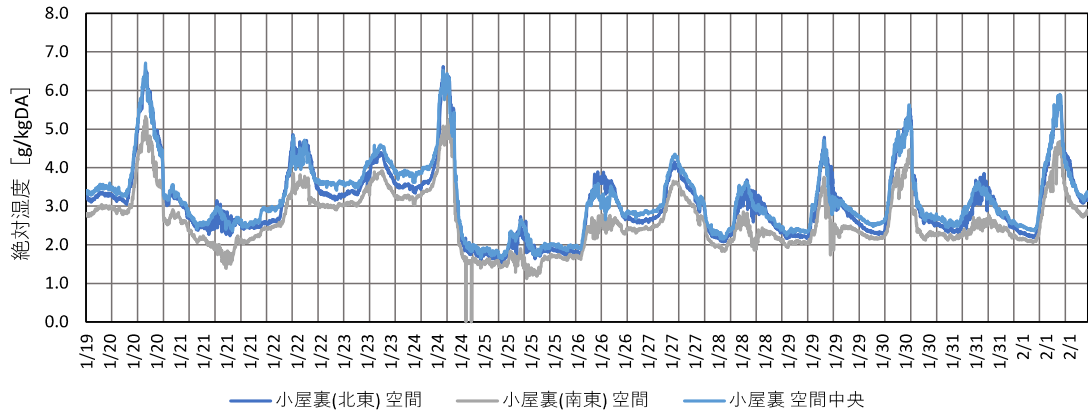


図 3. 2. 38 小屋裏空間絶対湿度【軒-棟換気基準・居室第 1 種換気】

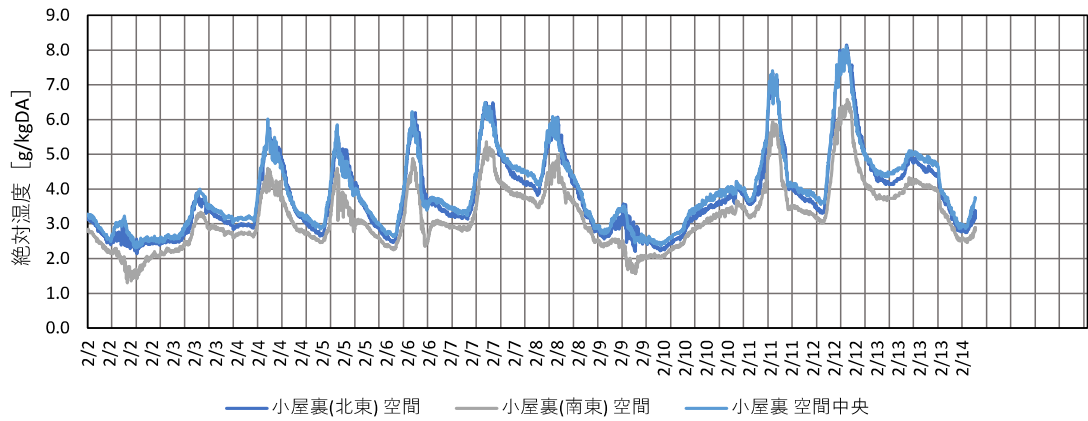


図 3. 2. 39 小屋裏空間絶対湿度【軒-棟換気 1/2・居室第 1 種換気】

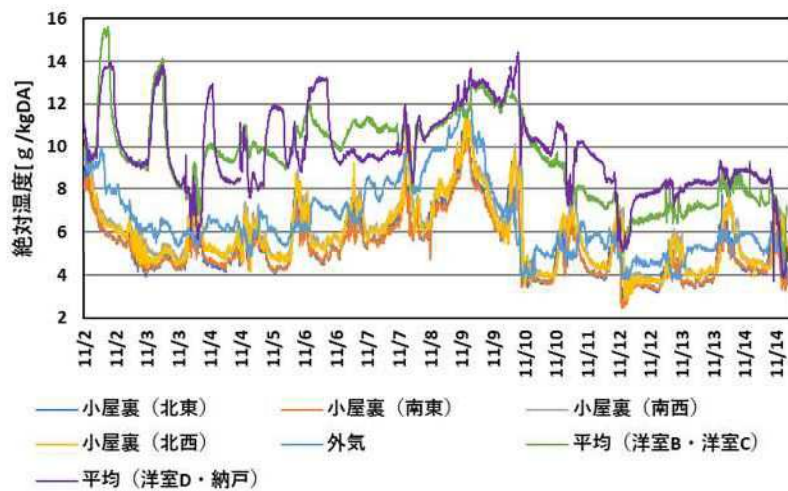


図 3. 2. 40 小屋裏空間絶対湿度 2021 年【換気口基準・第 1 種換気】

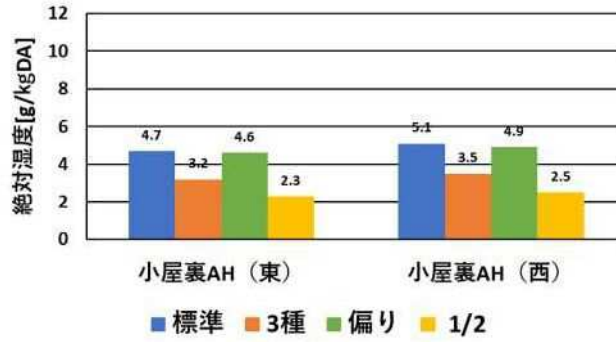


図 3.2.41 小屋裏空間平均絶対湿度（夜間 0-6 時）2021 年【軒のみ換気口・居室第 1 種】

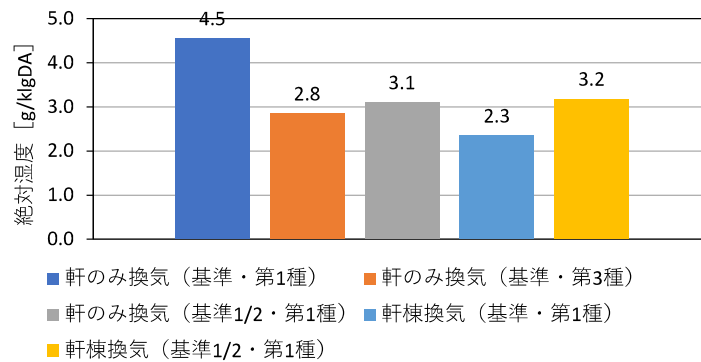


図 3.2.42 小屋裏空間平均絶対湿度（夜間 0-6 時）2022 年

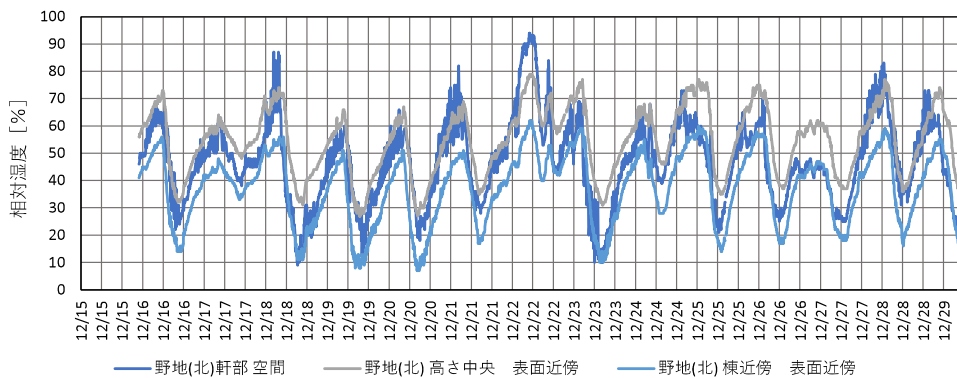


図 3.2.43 野地（北）表面近傍相対湿度【換気のみ換気基準・居室第 3 種換気】

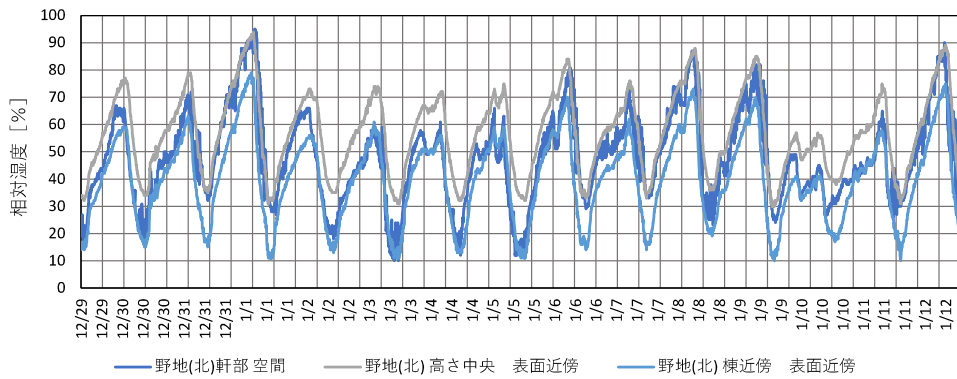


図 3.2.44 野地（北）表面近傍相対湿度【軒のみ換気 1/2・居室第 1 種換気】

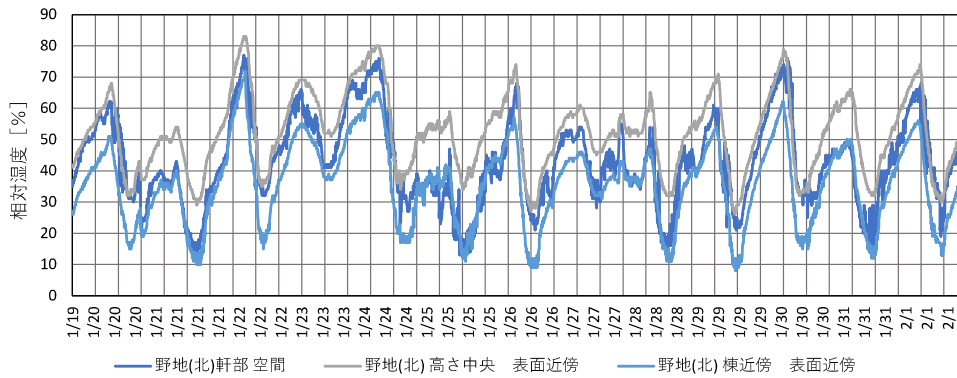


図 3.2.45 野地（北）表面近傍相対湿度【軒-棟換気基準・居室第 1 種換気】

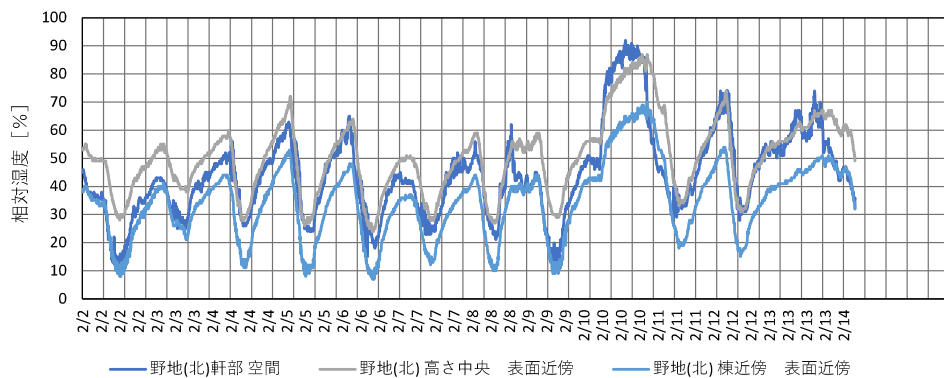


図 3.2.46 野地（北）表面近傍相対湿度【軒-棟換気 1/2・居室第 1 種換気】

(3) 無次元絶対湿度

小屋裏絶対湿度は外気や居室の環境の影響を受けるので、図 3.2.42 のような単純な平均値では、各測定条件の小屋裏空間の湿潤度合い比較できないため、次に示す式により無次元絶対湿度を求めた。この値は 0 に近いと小屋裏絶対湿度は外気に近く、1 に近いと居室の絶対湿度に近いことを示す。なお、各条件の前に行った実験で材料に蓄積された湿気の影響を排するため、各条件での測定期間の最後の 5 日間の典型的な変動のときの、夜間 0-6 時の数値を使用した。結果を図 3.2.47 に、比較用に令和 3 年度の結果を図 3.3.48 に示す。

これによると令和 3 年度は、全てマイナスの値だったものが、令和 4 年度は軒のみ換気・居室第 3 種を除いてプラスの値、つまり外気絶対湿度より高い値となっている。先述した小屋裏空間絶対湿度の平均値では、「間仕切り壁上部の木材気流止めに穴を開けた効果が明確に見られない」としたが、無次元絶対湿度によって、その効果が示されているといえる。ただし、令和 3 年度も令和 4 年度も 0 に近い（外気と同じに近い）正負の値であるため、小屋裏空間絶対湿度が大きく上昇したとはいえない。ただ、やはり居室第 3 種換気の場合は、大幅に低下していることは令和 3 年度と令和 4 年度の結果からもいえる。居室 3 種換気が第 1 種換気より大幅に低湿化していることは、シミュレーションでも示された傾向と一致しており、これは小屋裏への室内湿気の流入量が大幅に抑えられているためと考えられる。軒のみ換気（基準）と（基準 1/2）の比較については、1/2 の方が悪くなっており、想定通りともいえるが、既往の研究^[3]（天井気密の悪いもので 0.25 レベル）から考えると、大きく高湿化していないといえる。これは、後述するシミュレーションでも同様な傾向が出ているが、換気口の換気量に対して、室内からの移流空気量や通気層からの通気量の割合が大きいため、換気口の換気量（換気口の面積）にあまり影響を受けないからと考えられる。軒-棟換気方式（基準）も軒のみ換気方式（基準）よりやや悪い程度で、上述の既往の研究のレンジから考えると同等ともいえるだろう。ただ、軒-棟換気方式（基準 1/2）だけは様相が異なり、これが小さい理由は、図 3.2.49 に実験期間の外気絶対湿度の変動を示すが、この実験のときだけ外気の変動が大きく、特に無次元絶対湿度にも算入されている 2/9~2/13 に、2.0 [g/kgDA] から 5.0 [g/kgDA] まで大きく変化したことが大きな原因と考えられる（短期に外気絶対湿度が上昇したため、小屋裏絶対湿度が「外気=0 に近い」と算出される）。このような短期で大きく変化する場合の無次元絶対湿度評価には限界があると考えられる。

$$\chi_a = (X_a - X_o) / (X_i - X_o)$$

χ_a : 小屋裏各部の無次元絶対湿度 X_a : 小屋裏各部の絶対湿度 (g/kgDA)
 X_o : 外気絶対湿度 (g/kgDA) X_i : 居室の絶対湿度 (g/kgDA)

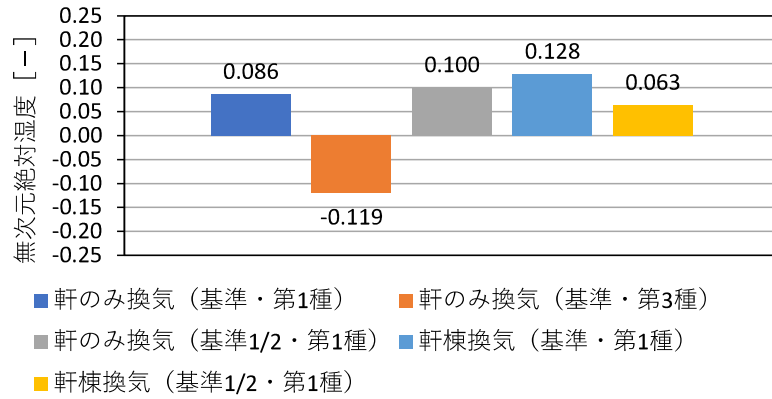


図 3. 2. 47 各実験条件での無次元絶対湿度

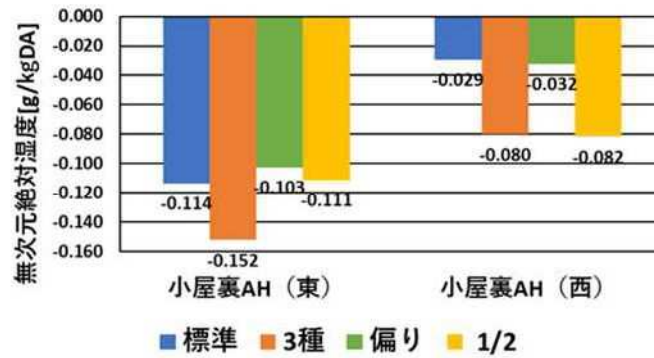


図 3. 2. 48 各実験条件での無次元絶対湿度 2021 年度

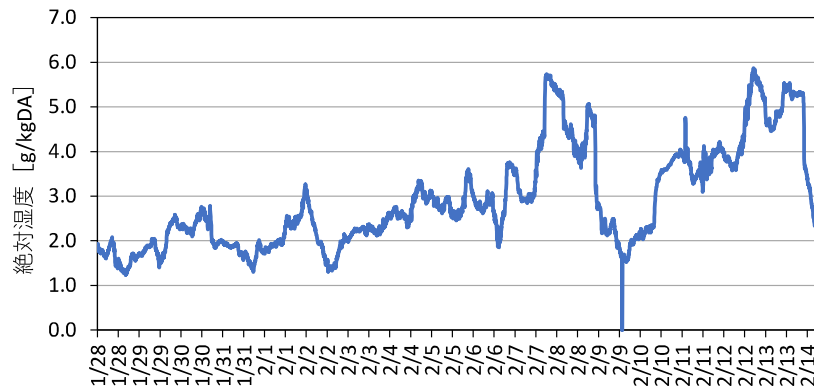


図 3. 2. 49 外気絶対湿度変動

3.2.4 まとめ

外壁通気層について、2年間にわたる室内水蒸気浸入を再現した外壁内の湿度変動の測定により、外壁の通気層及び防湿層の仕様と水分蓄積リスクの関係がおおよそ把握できた。

通気層の温度および絶対湿度は、昼間に上昇し、夜間に下がることを繰り返しており、相対湿度はその逆の変動になっている。南面と西面の温度変動は、北面より高く日変動が大きい。それに合わせて相対湿度が北面よりやや低くなっている。同方位の絶対湿度については、昼のピークでは北面より高まるが、夜間は低い。相対湿度は期間の最高で80%程度であり結露という観点では問題ないといえる。

小屋裏について、2年間にわたる室内水蒸気浸入を再現した小屋裏内の湿度変動の測定により、小屋裏の換気、天井及び間仕切壁の防湿・気密の仕様と水分蓄積リスクの関係がおおよそ把握できた。

最も結露が懸念される場所である、冬期の野地（北）表面近傍の相対湿度の変動について、最も厳しい条件である小屋裏の換気方式を軒のみ、換気口面積を住宅金融支援機構の基準の1/2、居室換気方式が第1種の場合に最高の相対湿度95%を記録し、結露状態となっていたが、一時的なもので、問題ないと考えられる。他の条件については、より安全側の条件となるため問題はないと考えられる。

各地の気象条件や建込み具合などによって異なる住宅各部の温湿度や結露性状を、実大住宅で測定・確認することは非現実的である。そこで、様々な条件に対する結露・腐朽性状は、シミュレーションで確認することになる。ただ、シミュレーションにおいて、熱水分の移動や通気・換気量の理論は確立しているものの、適切なモデル化は未だ研究途上である。

ここでのモデル化とは、例えば通気層の入口の水切り部の相当隙間面積の設定や、軒裏換気口にかかる外部風圧力の適切な風圧係数の設定、小屋裏内木材の蓄熱量や吸放湿量（ \equiv 表面積）の設定、細部では時々刻々と変化する各部の熱伝達率や湿気伝達率の設定などのことである。実験住宅の実測値は、上記の適切なモデルを設定するために活用する。

今後の課題となるが、実験住宅のモデル（例えば、最低でも屋根寄棟、通気層は4面にある状態）で、実験の外界条件（外気温湿度や日射量）を与えて計算（シミュレーションを実施）し、各部の通気量や温湿度の算出結果を実測値と比較して、実測値を再現できるように様々な設定値を検討、一般的な木造住宅のシミュレーションモデルを構築する予定である。

構築されたモデルの計算が実測値とほぼ一致すれば、さらなる信頼性が得られるので、これで様々な気象や外部風速条件、建築的条件で計算を行い、湿害が起こる条件の精度を上げていきたいと考えている。

4章 シミュレーション

4.1 シミュレーション実施条件の検討

住宅の通気工法に起因する結露等による水分蓄積に至る原因を判定するための調査方法及び補修方法シート補完の検討を現実的かつ効率的に行うために、シミュレーションを通じて、結露等による水分蓄積により建物劣化リスクが高まる建築的条件（各部の経年劣化・施工不良等の不具合事象等含む）及び環境的条件（気候条件及び居住者の生活の影響含む）を整理することが有用である。シミュレーションを実施するにあたり、まず、設定すべき条件を以下のように検討した。

4.1.1 シミュレーションにて結露発生要因（不具合事象等）を再現するための指標及びレベルの設定方法の検討

（1）シミュレーションにて結露発生要因（不具合事象等）を再現するための指標化

令和3年度の検討で、「結露や浸水等に起因する水分蓄積による建物劣化リスクの程度」が高い、と設定した不具合事象を中心に、結露等による水分蓄積に至る条件をシミュレーションにて定量的に検証することを考えた。シミュレーションにおいて、結露発生要因（不具合事象等）の状況を再現するには、結露発生要因（不具合事象等）を代替するための建築的・環境的条件をそれぞれ個別に定量的に設定する必要がある、まず、条件を構成する定量的な指標を設定した（表4.1.1～4.1.3）。

表 4.1.1 外壁・放湿型（雨水由来の結露）を再現するための指標化

■ :R3年度シミュレーション実施項目

結露発生要因		シミュレーションで再現するための指標化	備考	位置付け
G-1)外壁面からの浸水	1. 過度な浸水	浸水割合	壁面降雨量の通気層への浸水する割合	水分の流入
G-2)通気層の排水障害	1. 排水の経路不全	残留率	通気層内への浸水の残留率 ※浸水率=浸水割合×残留率	
G-3)通気層の通気障害	1. 通気経路不良 2. 通気層上下端部不良	通気層の流量係数		水分の排出
G-6)室内外条件	2.室外（高湿・浸水リスク等）	各地の標準気象データ	降水量：宮崎市他の降水量の多かった年次のデータを採用 温湿度：同一地域における上記と同一の年次の気象データを採用	前提条件

表 4.1.2 外壁・冬型（室内水蒸気由来の結露）を再現するための指標化

結露発生要因		シミュレーションで再現するための指標化	備考	位置付け
G-3)通気層の通気障害	1. 通気経路不良 2. 通気層上下端部不良	通気層の流量係数		水分の排出
G-4)透湿過多	1. 防湿不良	透湿抵抗		水分の流入
G-5)漏気過多	1. 内壁の気密不良 2. 取り合い部の気密不良	透湿抵抗		
G-6)室内外条件	1. 室内（過度な水蒸気） 2. 室外（気温） (日照条件等)	居室内相対湿度 各地の標準気象データ 指標化不可		前提条件

表 4.1.3 小屋裏・冬型（室内水蒸気由来の結露）を再現するための指標化

結露発生要因	シミュレーションで再現するための指標化	備考	位置付け
K-1) 小屋裏換気不足	1. 屋根勾配	(要調整)	水分の排出
	2. 屋根形状	指標化不可	
	3. 換気口	換気口面積	
	4. 外壁通気層	通気層の流量係数 →対象外	
K-2) 漏気(気密不良)	1. 天井	<ul style="list-style-type: none"> ・相当隙間面積 ・㎡あたりの毎時換気量 ・換気システム 	水分の流入
	2. 壁	相当隙間面積	
K-3) 透湿	1. 天井	透湿抵抗	
K-4) 屋根面からの浸水	1. 防水不良	指標化不可	
K-5) 配管ダクト類・透湿漏気	1. ダクトの接続不良	対象外	小屋裏内の配管接続不良の状況は小屋裏内を目視できれば明らかかなため、対象外とすることを基本とする。
K-6) 室内外条件	1. 室内	居室相対湿度	前提条件
	2. 室外	各地の標準年気象データ	
K-7) 断熱・防露不備	1. 換気ダクト・冷媒配管等	対象外	小屋裏内の断熱・防露不備の状況は小屋裏内を目視できれば明らかかなため、対象外とすることを基本とする。

(2) シミュレーションにて結露発生要因を再現するための指標のレベルの設定方法の検討

ここでは、(1)で設定した定量的な指標ごとに、実態に即した状況を目安に数値設定を行った。

シミュレーションでは、結露等による水分蓄積により建物劣化リスクが高まる状況を検証し、検証結果を可視化するためのグラフ(曲線)が描くこととした。そのため、指標ごとに悪条件のレベルを一つ以上含む大・中・小の3つのレベル(水準)を採用した。

数値設定したレベルとシミュレーションを実施するために採用した値を表4.1.4に示す。

表 4.1.4 指標別のレベル設定の目安

■:シミュレーションを実施するために採用したレベルの値(目安)

①浸水率(=浸水割合×残留率) ...外壁・放湿型: G-1)外壁面からの浸水、G-2)通気層の排水障害

No.	浸水率		浸水割合(%)			残留率		備考
				目安			目安	
1	0.1%	=	1%	設備ダクト貫通部シーリング欠損	×	10%	縦胴縁	
2	0.4%					40%	横胴縁	
3	0.3%	=	2.5%	サイディングニ方実(強風時)	×	10%	縦胴縁	
4	1.0%					40%	横胴縁	
5	0.6%	=	6%	サイディングのシーリング欠損	×	10%	縦胴縁	
6	2.4%					40%	横胴縁	
7	1~1.25%	=	10~12.5%	サイディング四方実(無風時)	×	10%	縦胴縁	
8	4~5%					40%	横胴縁	
9	2.5%	=	25%	サイディング四方実(強風時)	×	10%	縦胴縁	
10	10.0%					40%	横胴縁	

※サイディングニ方実(無風時):0%

※その他の浸水割合は、今後国総研、基整促で検討予定

②流量係数 ...外壁・放湿型及び冬型: G-3)通気層の通気障害

No.	通気層全体の流量係数	目安	備考
1	0.173	閉塞なし	胴縁H15mm
2	0.090	スターター	
3	0.05	胴縁H6mm	
4	0.049	ファイヤーストッパー	
5	0.017	横胴縁	
6	0.001	上部閉塞	

※冬型結露では影響小(全体のパターン総数で水準数調整)

③透湿抵抗 ...外壁・冬型: G-4)通気層の通気障害・G-5)漏気過多、小屋裏・冬型: K-3)透湿

No.	透湿抵抗 (m ² Pa/ng)	換気回数 (回/h)	目安	備考
1	0.0823	0	防湿フィルム等防湿材あり、漏気なし	透湿抵抗低下率:1.000
2	0.01885	0.05	要確認	
2	0.01915	0.2	要確認	透湿抵抗低下率:0.227
3	0.00905	0.5	コンセント及び石膏ボード胴差取り合い部に欠損あり(移流あり:水蒸気が空気と共に流入)	透湿抵抗低下率:0.106
4	0.00492	1	確認中	透湿抵抗低下率:0.056
5	既定値ベースに推計?		防湿材の固定・重ね不備、破損	壁及び天井
6	0.00128	5以上	大きな防湿欠損	換気回数5回/h以上
7	0.00031	0	防湿層なし	施工なし(石膏ボードのみ・移流なし)
8	既定値ベースに推計?		内装材の選択	石膏ボード+ビニールクロス 壁及び天井(透湿抵抗抵抗大) ※設定は可能だが、要否検討
9	既定値ベースに推計?			木板張り、タイル張り等 壁または天井(透湿抵抗抵抗小) ※設定は可能だが、要否検討
10	既定値ベースに推計?		コンセント、換気扇等と内壁との取合い部の施工不良 専用気密部材の不使用 防湿フィルムとの密着不良	壁
11	既定値ベースに推計?		幅木、窓枠・額縁、廻縁部分と内壁との取合い部での防湿フィルムの施工不良	壁

※換気回数:外壁1m²×0.105あたり(気積0.105m³あたり)の換気回数

表 4.1.4 指標別のレベル設定の目安（つづき）

④居室の相対湿度 ……外壁・冬型：G-6) 室内外条件、小屋裏・冬型：K-6) 室内外条件

No.	相対湿度 (20℃時)	目安	備考
1	40%	エアコン稼働状態程度	18℃の時は50%になる
2	50%		
3	60%	開放型暖房器具の使用程度	18℃の時は70%になる
4	既定値ベースに 推計?	室内干し・加湿器の使用	現場にて湿度を測定すれば、相対湿度と高含水率累積週数との相関グラフから水分蓄積リスクの把握は可能

⑤換気口面積 ……小屋裏・冬型：K-1) 小屋裏換気不足

No.	換気口面積	目安	備考
1	1	支援機構基準	換気口配置偏りなし
2	1/2	支援機構基準の1/2	
3	1/4	支援機構基準の1/4	
4	要検討	換気口配置偏り(東側または西側)	※要否検討 ※小屋裏の東空間、西空間の換気量の設定方法要検討

⑥相当隙間面積 ……小屋裏・冬型：K-2) 漏気(気密不良)

No.	相当隙間面積 (cm ² /m ²)	目安		備考
1	0.5	天井	気密性の高いダウンライト等の使用	
2	2.6		気密性の低いダウンライト等の使用	気密性の低いダウンライト等の使用とGWと組合せる場合は、2.6+1.7=4.3
3	既定値ベースに 推計?	天井壁取合	気密不足(防湿層不連続を含む)	
4	0.05	間仕切り壁	先張り防湿フィルム	
5	0.4		木材	
6	1.7		GW	
7	3.71		気流止め不完全	

⑦㎡あたりの毎時換気量 ……小屋裏・冬型：K-2) 漏気(気密不良)

No.	㎡あたりの毎時 換気量 (m ³ /h)/m ²)	目安		備考
1	0.15	天井	袋入り断熱材継目丁寧な施工	
2	0.75	天井	袋入り断熱材継目標準的	天井上に袋入りGW置いたのみ(10回/H・㎡)、断熱材間の隙間はないが、防湿層は不連続
3	1.5	天井	袋入り断熱材継目間大きめ	

⑧換気システム ……小屋裏・冬型：K-2) 漏気(気密不良)

No.	種	目安	備考
1	第1種	室内から天井への漏気大	
2	第3種	室内から天井への漏気小	

⑨地域 ……外壁・放湿型及び冬型：G-6) 室内外条件、小屋裏・冬型：K-6) 室内外条件

No.	地域	目安	備考(実施対象)
1	盛岡	寒冷地域(3地域)	冬型(外壁・小屋裏)
2	宇都宮	温暖地域①(5地域)	冬型(外壁・小屋裏)
3	東京	温暖地域②(6地域)	放湿型
4	福岡	温暖地域③(6地域)	冬型(外壁・小屋裏)
5	宮崎	蒸暑地域(7地域)	放湿型

※冬型において東京は宇都宮で代替

4.1.2 条件設定の組合せ検討

「結露等に起因する水分蓄積による建物劣化リスクが確実に高まる条件」が成立するのは、単独の条件のみではなく、複数の条件が同時に発生している場合が多いと想定される。

(例：寒冷地の、防湿層に施工不良のある住宅において、冬季に室内で過剰な水蒸気を継続的に発生させた場合等)

したがって、シミュレーションは単独のみならず、複数の条件が組合わされたパターンについても検討・設定した上で、検証を行った。

次ページ以降に結露タイプごとのシミュレーション条件の組合せ方の整理結果を示す(表 4.1.5～4.1.7)。また、これらの組合せにより実施したシミュレーションの結果を 4.2、4.3 節に示す。

表 4.1.5 シミュレーション条件の組合せ方 (外壁・放湿型)

組合せの数	建築的条件						環境的条件			備考
	G-1)外壁からの浸水 (浸水割合*:%)	G-2)通気層の排水障壁 (残留率:%)	浸水率:% (=浸水割合× 残留率)	G-3)通気層の通気障壁 (流量係数)	G-6)室内外条件		地域	方位		
					方位	方位				
1	サイディング四方実 (無風時)	縦胴縁	10%	縦胴縁(閉塞なし)	0.173	温暖地域②(東京?)	東			
2	サイディング二方実 (強風時)	横胴縁	40%	横胴縁	0.017	蒸暑地域(宮崎)	北			
3	サイディング四方実 (強風時)	縦胴縁	10%	上部閉塞	0.00017					
4	サイディングシール欠損	横胴縁	40%							
5	大きすぎるため対象外	縦胴縁	10%							
6	サイディング四方実 (無風時)	横胴縁	40%							
備考	R3年度:浸水割合×残留率=1%, 5%は宮崎では実施済み						温暖地域は、夏季の 降水量の多い地域を 選定		南,西は影 響小のため対象外	

* 浸水割合:壁面雨量(水平面雨量と外部風速の関係から算出)のうち通気層内に浸水する割合

サイディングの裏の形状と風速に対する浸水割合(%)

裏の形状	風速		備考
	無風	強風	
二方	0	2.5	
四方	10~12.5	25	交点にピンホールあり

表 4.1.6 シミュレーション条件の組合せ方 (外壁・冬型)

備考	建築的条件				環境的条件				備考
	G-3) 通気層の通気障害 (流量係数)		G-4) 透湿過多/G-5) 漏気過多 (透湿抵抗: m ² sPa/ng)		G-6) 室内外条件		20°C時の居室相対湿度 (%)		
	縦胴縁(閉塞なし)	横胴縁	縦胴縁(閉塞なし)	横胴縁	方位	地域	開放型暖房器具の使用程度	エアコン稼働状態程度	
1	0.173	0.0823	0.0823	0.0823	北	寒冷地域(盛岡) (3地域)	×	40	
2	0.017	0.00905	0.00905	0.00905	東	温暖地域①(宇都宮) (5地域)	×	60	
3	0.001	0.00128	0.00128	0.00128	×	温暖地域③(福岡) (6地域)	×		
4		0.00031	0.00031	0.00031					
備考	縦胴縁の1/10が横胴縁で、更に約1/10が閉塞となるのでNo.1、2、4の3点で設定 (No.2は傾向から推計)	0.00823 = 0.0082 + 0.0003 0.000904 = 0.000874 + 0.0003			東は寒冷地域(盛岡)のみ	蒸暑地域は対象外		年間温度cos設定で1はRH50%、2は60%	
組合せの数	3	4	4	4	北+東	盛岡	1	2	48
	3	4	4	4	北	宇都宮+福岡	2	2	48
									計
									96パターン

表 4.1.7 シミュレーション条件の組合せ方 (小屋裏・冬型)

建築的条件				環境的条件				備考
K-1) 小屋裏換気不足				K-6) 室内外条件				
K-2) 漏気(気密不良)/K-3) 透湿				換気システム				
天井								
照明など 相当隙間面積 (cm ² /m ²)	間仕切り壁上部処理 相当隙間面積 (cm ² /m ²)	断熱材敷き込みの施工性 m ² あたりの毎時換気量 (m ³ /h)/m ²)	換気システム	地域	20℃時居室相対湿度 (%)		2 計	
1	先張り防湿フィルム	0.05	袋入り断熱材継目丁寧な施工	寒冷地域(盛岡)	x	エアコン稼働状態程度		40
2	GW	1.7	袋入り断熱材継目標準的	温暖地域①(宇都宮)	x	開放型暖房器具の使用程度	60	
3	気流止め不全	3.71	袋入り断熱材継目間大きめ	温暖地域③(福岡)				
備考				蒸暑地域は対象外				

組合せの数 3 3 3 2 3 2 計 324パターン

組合せで3パターンに絞込み

ダウングラウト	気流止め	透過抵抗	備考
1 気密性高	防湿フィルム	0.55	→採用
2 気密性高	GW	2.2	計算結果から推計可
3 気密性低	防湿フィルム	2.65	計算結果から推計可
4 気密性高	不完全	4.21	計算結果から推計可
5 気密性低	GW	4.3	→採用
6 気密性低	不完全	6.31	→採用

4. 2 シミュレーション1 (通気層雨水浸入計算モデル)

4.2.1 計算概要

外壁通気層の水分収支は、図 4.2.1 に示すように室内外の温湿度室内だけでなく、雨水浸入や排水・通気障害、構成部材の吸水等、様々な要因が影響する。通常の外皮の水分解析は、室内外方向への1次元流を想定した熱水分に関する拡散方程式を適用したモデルを用いる。しかし、通気層は煙突効果により下端から流入した空気が上端から排出されるため、雨水浸入を考慮する場合、流入空気が通気層の経路上で加湿され上階で水蒸気圧が顕著に上昇することが予想され、3.1節の実験結果でも同様の現象が確認されている。そこで、本節では図 4.2.1 に示すように外気-室内の1次元流の計算モデルを積層し、温度及び湿度の上下分布を算出できる多層モデルを開発し解析を行った。

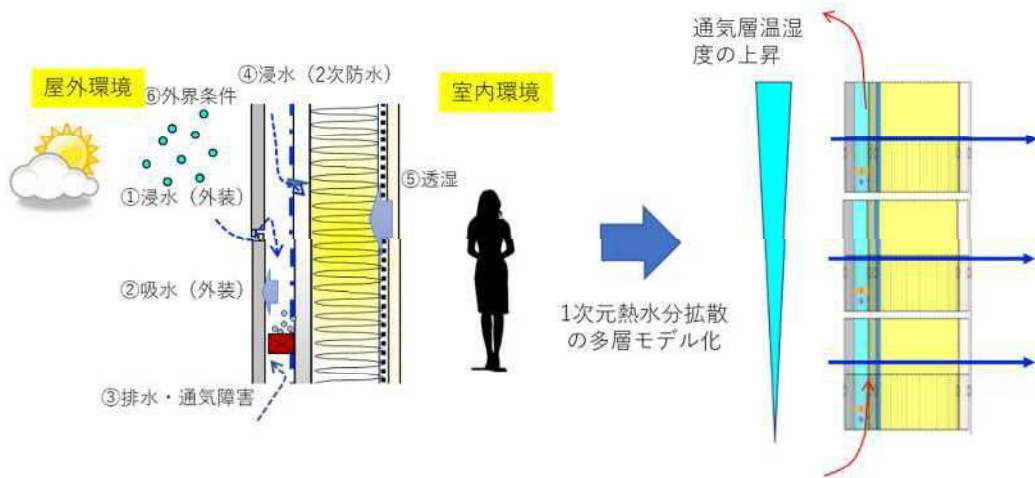


図 4.2.1 計算対象の概要

4.2.1.1 基本式

基本式は1次元の熱水分同時移動方程式と熱湿気の収支式、温度差換気による回路網計算である。多孔質材に対しては、水分化学ポテンシャルを用いた熱水分同時移動方程式(4.2.1)、(4.2.2)式を適用する。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \{ (\lambda + r \lambda'_{Tg}) \nabla T + r \lambda'_{\mu g} \nabla \mu \} \quad \dots (4.2.1)$$

$$\rho_w \frac{\partial \varphi}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial t} = \nabla (\lambda'_{\mu} \nabla \mu + \lambda'_{T} \nabla T) + J_w \quad \dots (4.2.2)$$

外壁通気層に関しては熱湿気の収支式である(4.2.3)、(4.2.4)式を適用する。

$$\begin{aligned} \rho_a c V \frac{\partial T_c}{\partial t} &= \sum \alpha A (T_j - T_c) \\ &+ \sum \rho_a c Q_{aj} (T_j - T_c) \end{aligned} \quad \dots (4.2.3)$$

$$\begin{aligned} \rho_a V \frac{\partial X_c}{\partial t} &= \sum \alpha' A (X_j - X_c) \\ &+ \sum \rho_a Q_{aj} (X_j - X_c) \end{aligned} \quad \dots (4.2.4)$$

通気層の換気量については、安全側の評価を行う観点から風圧力を無視し、温度差のみを駆動力として換気量を算出した。通気層の流出入量 Q 及び圧力差 ΔP は(4.2.5)、(4.2.6)式で求める。なお、通気層は最下階下端から最上階上端まで繋がった全層通気とした。

$$\Delta P = g(h - h_n)(\rho_{a,c} - \rho_{a,o}) \quad \dots (4.2.5)$$

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2}{\rho_a} \Delta P} \quad \dots (4.2.6)$$

4.2.1.2 壁面雨量及び浸水量の算出方法

降雨による浸水量に関しては、水平面雨量と外部風速の関係から壁面雨量を求めて算出する。壁面雨量 R_w は、水平面雨量 R_h と関係より(4.2.7)式により求めた。 U は外部風速 (m/s)、 δ は方位角で法線方向が 0° となる。 C_{im} は建物形状、壁面内の位置によって異なる常数である。

$$R_w = \frac{1}{C_{im}} R_h U \cos \delta \quad \dots (4.2.7)$$

浸水量は、(4.2.8)式に示す浸水率 (%) と壁面雨量の積とした。

$$J_w = \frac{0.01 \cdot f \cdot R_w}{3600} \quad \dots (4.2.8)$$

なお、本計算では風向を無視するため方位角 $\delta = 0^\circ$ における1時間毎の外部風速 U から壁面雨量を求める。また、浸水率は一定とし、 C_{im} は既往文献より小規模建築物に対する値である $C_{im} = 9.2$ を採用した。

外装材表面など浸水を考慮する材料では、浸水によって材表面に水膜が形成されると仮定し、表面の計算ポイントからの吸水量を算出し、水分収支を計算する。室内温度は(9)式により与え、室内湿度は60%一定とした。

$$T_r = 4.5 \cdot \cos \frac{48\pi(D - 212)}{8760} + 22.5 \quad \dots (4.2.9)$$

D: 1月1日からの経過日数

記号

J_w : 浸水量 (kg/m²s)
 ・: 水分化学ポテンシャル (J/kg)
 ϕ : 体積含水率 (m³/m³)
 T : 温度 (K*)
 X : 絶対湿度 (kg/[kg/kgDA])
 ・: 湿気伝達率 (kg/m²skg/kgDA)
 ・: 熱伝達率 (W/m²K)
 t : 時間 (s)
 R_h : 水平面雨量 (mm/h)
 R_w : 壁面雨量 (mm/h)

r : 潜熱 (J/kg)
 Q : 換気量 (m³/s)
 C_d : 流量係数 (-)
 ・: 材料密度 (kg/m³)
 ρ_w : 水の密度 (kg/m³)
 ρ_a : 空気密度 (kg/m³)
 ・: 熱伝導率 (W/mK)
 ・: 水分伝導率
 c : 比熱 (J/kgK)
 f : 浸水率 (%)

g : 重力加速度 (m/s²)
 V : 体積 (m³)

添字

・: 水分化学ポテンシャル
 T : 温度
 g : 水蒸気

*ケルビン: 熱力学温度のSI単位

4.2.1.3 計算対象・条件

計算における対象建物、立地や環境等の概要を表4.2.1に示す。

計算対象は、実大実験と同様の窯業系サイディングを外装材とし、繊維系断熱材を使用した充填断熱工法である。外気の気候区分は温暖・多雨地域として宮崎市、一般的な温暖地として東京を対象とし、降水量が多い年として宮崎市は1993年の、東京は1991年の気象データを用いた。

階数は実験棟同様の2階、方位は東及び北面とした。雨水浸入箇所はサイディング及び合板の通気層側とした。計算に用いた材料物性値は、米国空気調和衛生工学会（ASHARE）が公表している表4.2.2、図4.2.2～図4.2.3の値とした。

計算ケースは、方位、浸水率が異なる表4.2.3に示す組合せとし、通気層の通気障害については実験棟での条件を流量係数を変更することで再現した。

表 4.2.1 計算概要

立地・建物関連	立地・気候区分	温暖・多雨地域（宮崎：1993年） 温暖・一般地域（東京：1991年）
	建物階数・高さ	2階
	外壁が面する方位	東面、北面
	外壁のレイヤー構成	サイディング、通気層、透湿防水シート、構造用合板、断熱材（防湿層）、石膏ボード
	通気層の長さ	全層通気
	通気層厚さ	通気障害として流量係数を変更（通気障害なし、横胴縁、上部閉塞の3水準）
	通気障害	
環境・現象関連	浸水率	サイディング裏面・合板表面にそれぞれ壁面雨量の浸水1～5%
	室内温度	品確法基準の検討条件に準拠（4.2.9式）
材料物性値	熱伝導率、湿気伝導率、水分拡散係数、平衡含水率等	ASHAREで公開された値を使用（表4.2.2）

表 4.2.2 計算に使用した材料物性値

材料	熱伝導率 W/[m・K]	湿気伝導率 kg/[m・s・Pa]	比熱 J/[K・kg]	密度 kg/m ³
石膏ボード*	0.22	2.93×10^{-11}	870	787
グラスウール16K	0.045	1.58×10^{-10}	698	16
サイディング	0.963	1.30×10^{-11}	879	1095
合板	0.160	1.11×10^{-12}	1880	613
防湿フィルム*	-	2.92×10^{10}	-	-

*防湿フィルムについては透湿抵抗([m²sPa]/kg)のみ表示した。

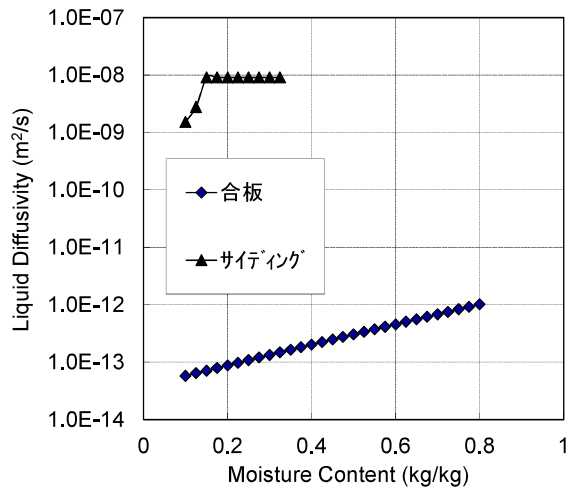


図 4.2.2 水分拡散係数

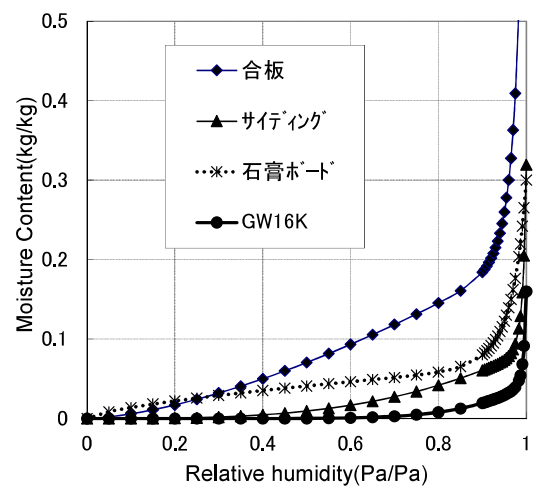


図 4.2.3 平衡含水率

表 4.2.3 計算ケース

地域	方位	東			北			流量係数 ^{*1}
	浸水率 通気障害	1%	2.5%	5%	1%	2.5%	5%	
宮崎	control ^{*2} (縦胴縁)	○	○	○	○	○	○	0.173
	横胴縁	○	○	○	○	○	○	0.017
	上部閉塞	○	○	○	○	○	○	0.001
東京	control (縦胴縁)	○	○	○	○	○	○	0.173
	横胴縁	○	○	○	○	○	○	0.017
	上部閉塞	○	○	○	○	○	○	0.001

*1：流量係数は1層分の値

*2：縦胴縁による通気障害、排水障害のない基準とした条件

4.2.2 結果

4.2.2.1 計算モデルの検証

計算モデルの検証については、実験棟で計測した通気層風速及び温湿度について比較した。実験棟は、写真 4.2.1 及び図 4.2.4 に示す茨城県つくば市に建つ建築面積 39.9 m²、延べ床面積 206.1m² の枠組壁工法 6 階建てで、図 2 の type2 と同様の断面構成となっている。通気層厚さは 1、2 階が 15mm、3～6 階が 36mm である。計算との比較対象は東面 5 階通気層内における計測結果で、夏期の約 10 日間の時系列データを図 4.2.6 に整理した。モデルによる計算は、断面構成や階数は実験棟と同じ設定であるが、境界条件となる測定データが十分でなかったため、宮崎の気象データを用い、外気温の変化が同様の傾向である期間について結果を図 4.2.7 に整理した。

図 4.2.6、図 4.2.7 を比較すると、どちらも通気層内の温度上昇に伴い風速も高い値を示しており、温度変化が大きい晴天日とみられる期間の日最大値はおおよそ 0.5～0.7m/s であった。通気層温度についても、おおよそ 25～45℃の範囲で変化していた。相対湿度については、実測値が 50～80%、計算値が 50～90%と若干高い傾向であった。実験棟では外部風の影響もあることを考慮すると、シミュレーション計算でも通気層風速や温湿度のおおよその傾向は再現できていると評価できる。



写真 4.2.1 実験棟（左：東面、右：北面）

図 4.2.4 実験棟立面及び断面図

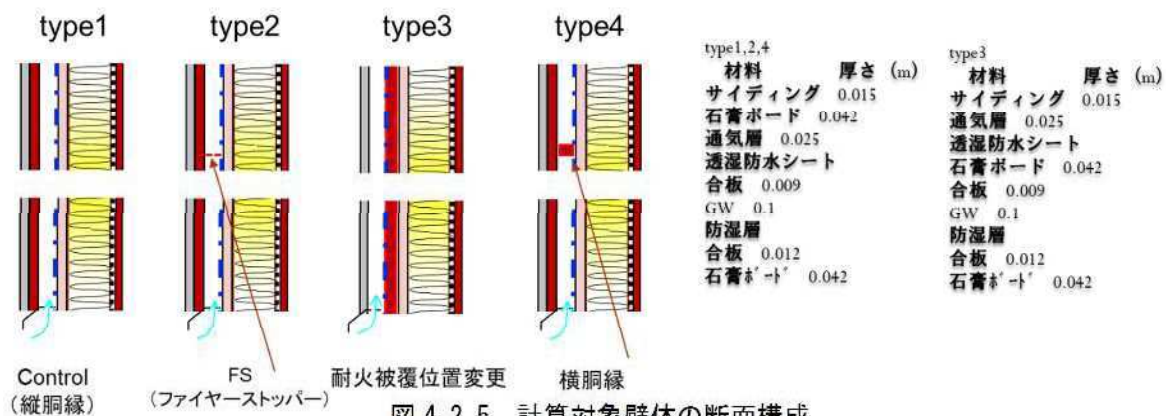


図 4.2.5 計算対象壁体の断面構成

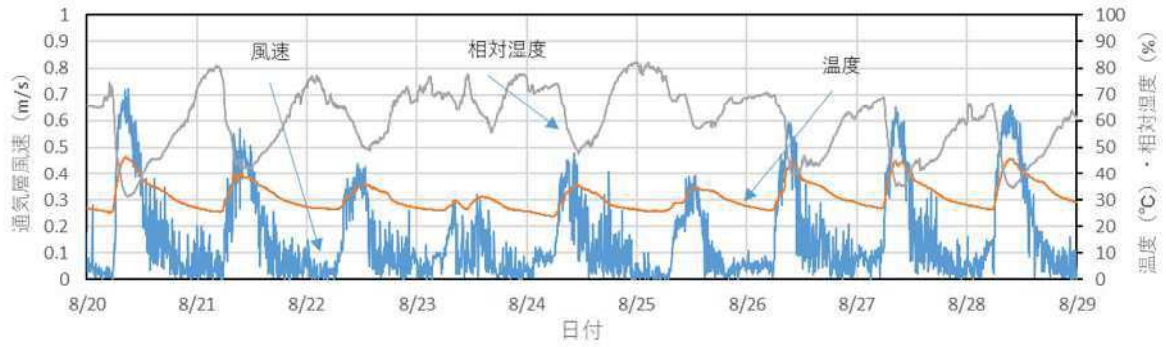


図 4.2.6 通気層風速及び温湿度の測定結果（東面）

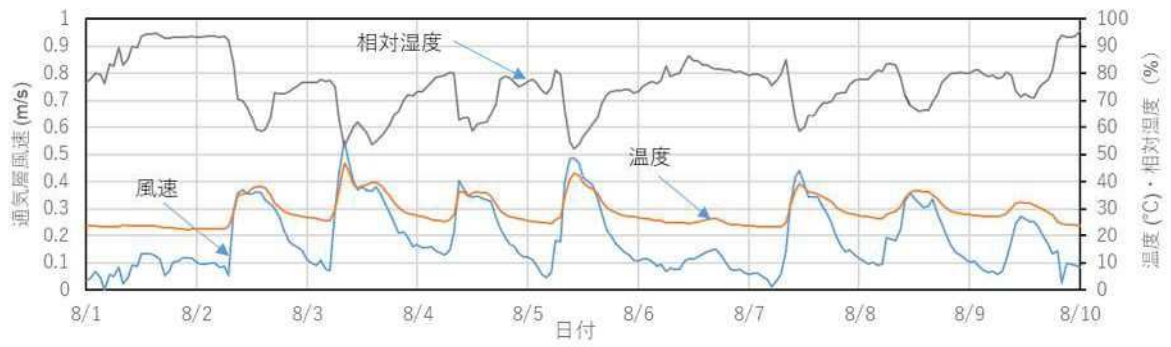


図 4.2.7 通気層風速及び温湿度の計算結果（東面）

4.2.2.2 通気障害による年間変動への影響

(1) 合板含水率（東面、浸水率1%、宮崎）

3年間の降雨量と東面サイディング表面温度の変化を図4.2.8に、構造用合板の含水率（GW側表層の値）を図4.2.9～4.2.11に示す。凡例は、高さで1階、中間（胴差付近）、2階である。

ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）やCSA S478（National Standard of Canada, Durability in buildings）等、外皮の熱水分解析や湿害評価に関する規格では、不具合が発生し易い年度の気象データをMoisture reference yearとして抽出し、繰り返し用いることが規定されている。これにより前年に乾燥しきれなかった残留水の影響も含めて検証することで、厳しい側で検証となっている。

2次防水層を介して通気層と接する合板の含水率は、通気層湿度に影響を受ける。降水量は図4.2.8に示すように梅雨期にピークがあり、control、横胴縁の合板含水率は降水量と同時期に年最大値を示している。含水率の年最大値はcontrolでは25%程度、横胴縁では35%程度となっているが、ピーク後は含水率が低下していることから、通気層への雨水浸入による合板が腐朽に至るリスクは低いと思われる。一方、上部閉塞では初年度の梅雨期の後、9月下旬から含水率が60%に達しており、2年目は更に上昇している。これは、夏期に放湿型結露により断熱材に蓄積された水分が、秋期から冬期にかけて合板側に移動・蓄積されたと考えられ、腐朽のリスクが高い状態と言えよう。

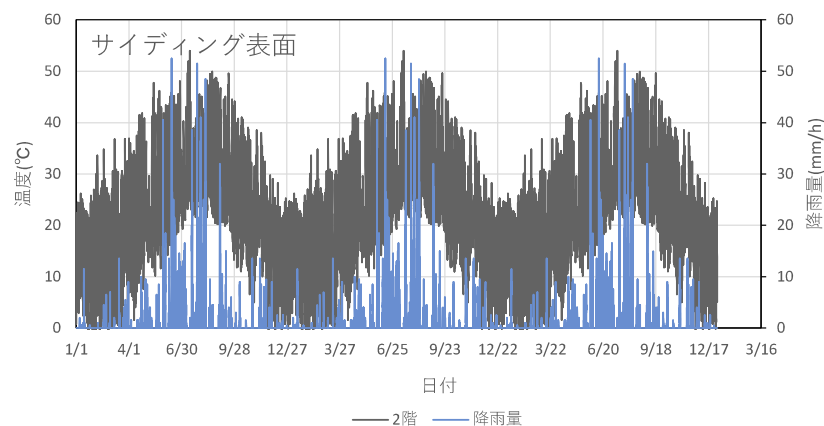


図 4.2.8 降雨量と東面サイディング表面温度（宮崎）

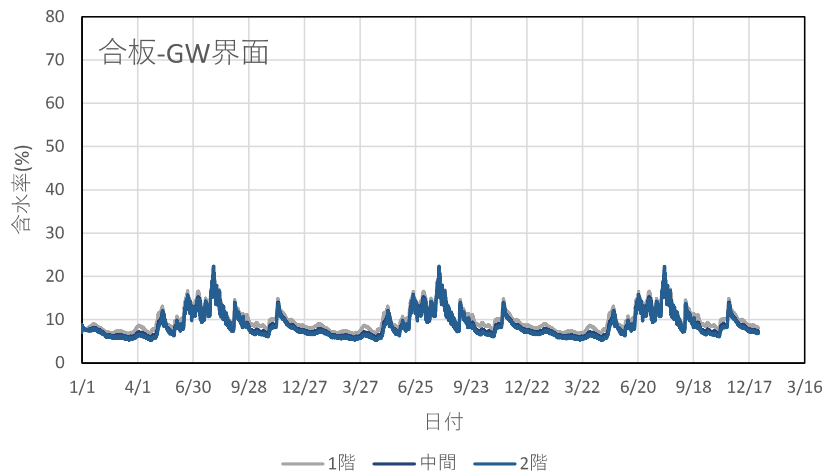


図 4.2.9 構造用合板の含水率変動（control、東面、浸水率1%、宮崎）

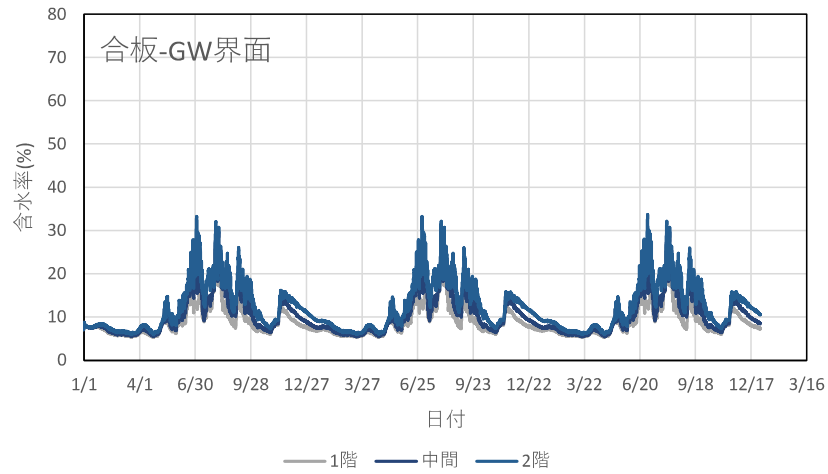


図 4.2.10 構造用合板の含水率変動（横胴縁、東面、浸水率 1%、宮崎）

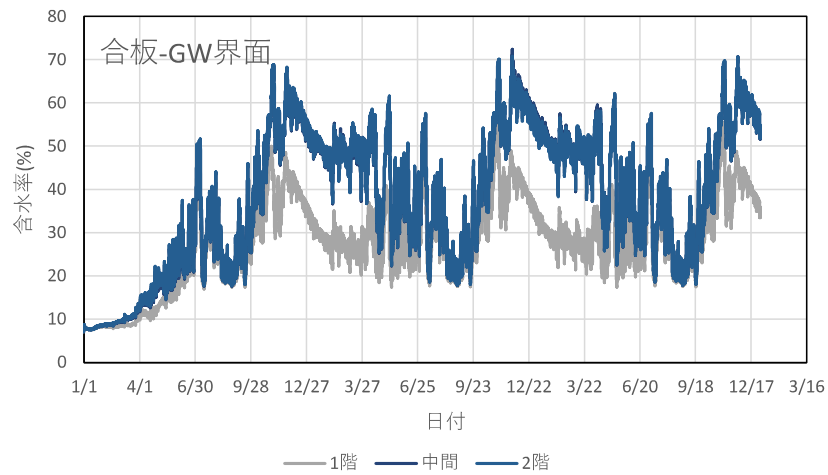


図 4.2.11 構造用合板の含水率変動（上部閉塞、東面、浸水率 1%、宮崎）

(2) 合板含水率（東面、浸水率 1%、東京）

3年間の降雨量と東面サイディング表面温度の変化を図 4.2.12 に、構造用合板の含水率（GW 側表層の値）を図 4.2.13～4.2.15 に示す。凡例は、高さで 1 階、中間（胴差付近）、2 階である。

東京における降水量は台風、秋雨の時期にピークがあり、control、横胴縁の合板含水率は降水量と同時期に年最大値を示している。control では含水率の年最大値がおおよそ 20%以下であり、通気層への雨水浸入による合板が腐朽に至るリスクは低いと思われる。また横胴縁の場合の年間最大含水率はおおよそ 40%であり宮崎よりも高くなっているが、雨の多い時期が 9 月となっており宮崎に比べて乾きにくくなっていることに起因していると考えられる。また、特に 2 階部分の含水率が高くなっているが、冬期から春季にかけて乾燥していることから、合板が腐朽に至るリスクは比較的低いと思われる。一方、上部閉塞では初年度の梅雨期の後、9 月下旬から含水率が 50%に達しており、2 年目は更に上昇している。宮崎市のケースと同様、夏期に放湿型結露により断熱材に蓄積された水分が、秋期から冬期にかけて合板側に移動・蓄積されたと考えられ、腐朽のリスクが高い状態と言えよう。

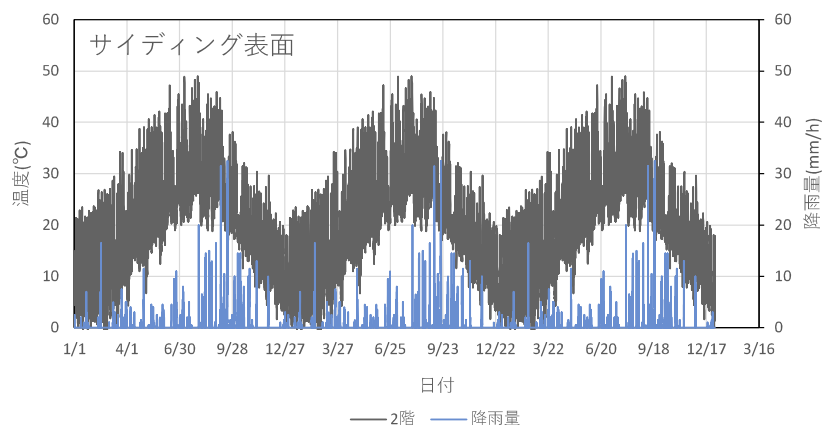


図 4.2.12 降雨量と東面サイディング表面温度（東京）

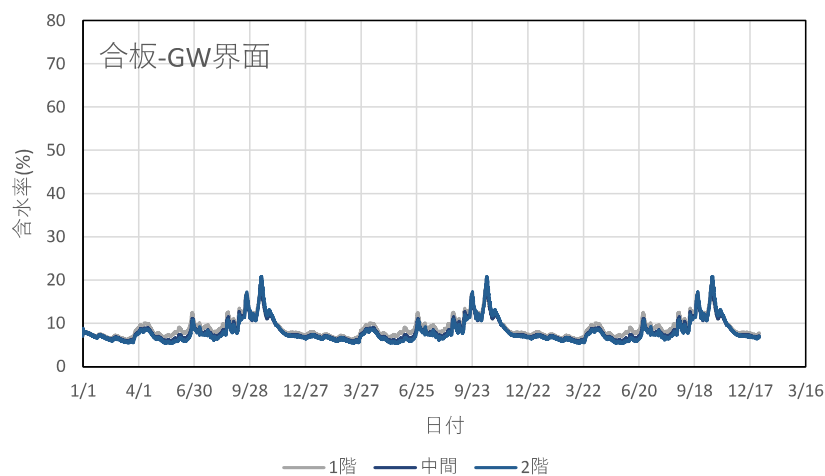


図 4.2.13 構造用合板の含水率変動（control、東面、浸水率 1%、東京）

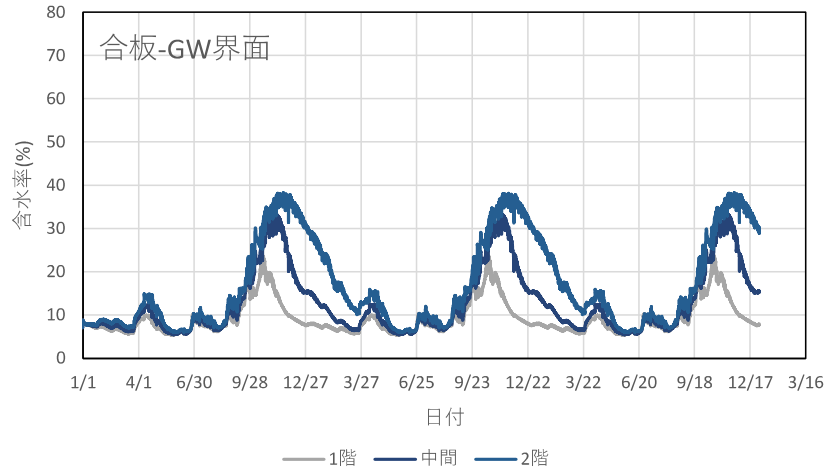
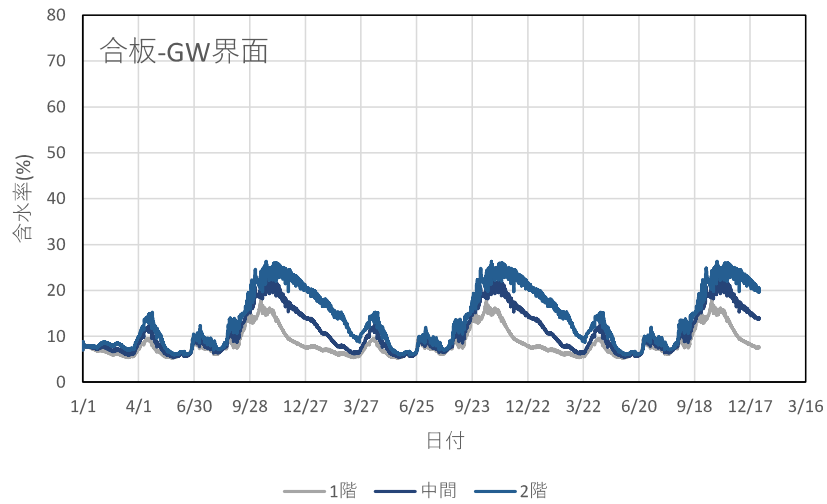


図 4.2.14 構造用合板の含水率変動（横胴縁、東面、浸水率 1%、東京）



（参考）構造用合板の含水率変動（横胴縁、東面、浸水率サイディング 1%、合板 0%、東京）

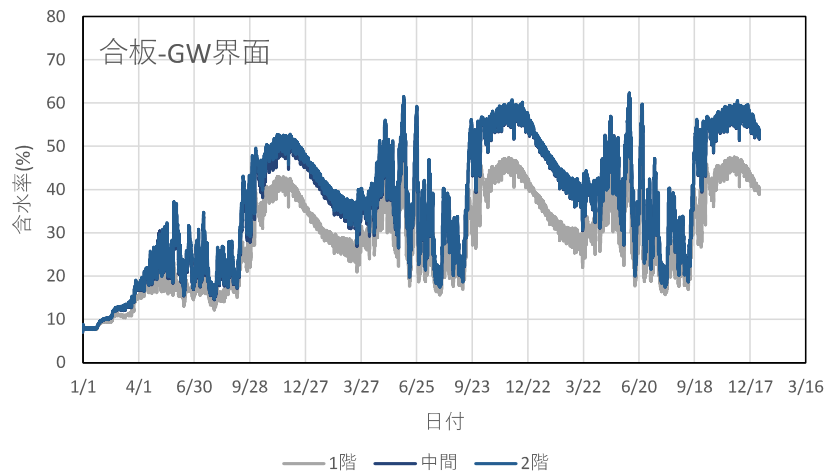


図 4.2.15 構造用合板の含水率変動（上部閉塞、東面、浸水率 1%、東京）

(3) サイディング含水率の年間の変動（東面、浸水率 1%、宮崎）

サイディングの含水率を図 4.2.16～4.2.18 に示す。各仕様のサイディング含水率についても合板と同様の傾向が見られる。サイディングについては、含水率が上昇しても腐朽のような生物劣化は生じないが、冬期などで氷点下になる場合は凍害のリスクがある。ゆえに、冬期においても高含水率が継続する上部閉塞の仕様は、外装材の耐久性確保の観点からは望ましくない結果と思われる。

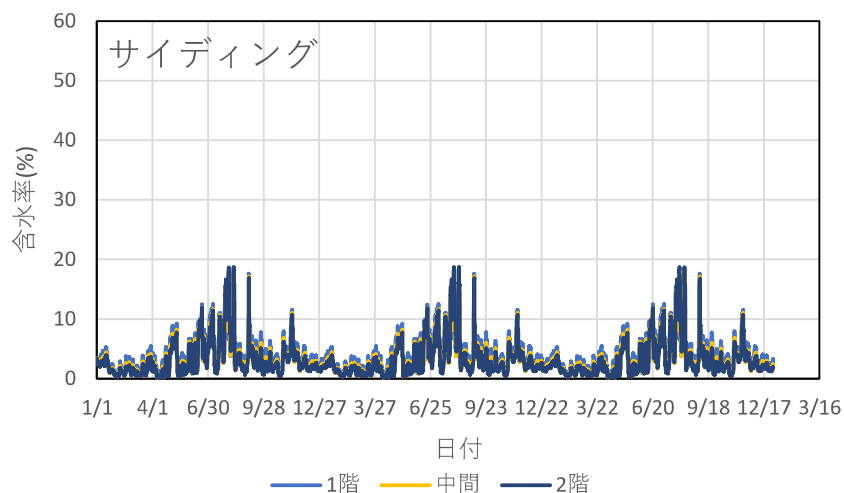


図 4.2.16 サイディングの含水率変動（control、東面、浸水率 1%、宮崎）

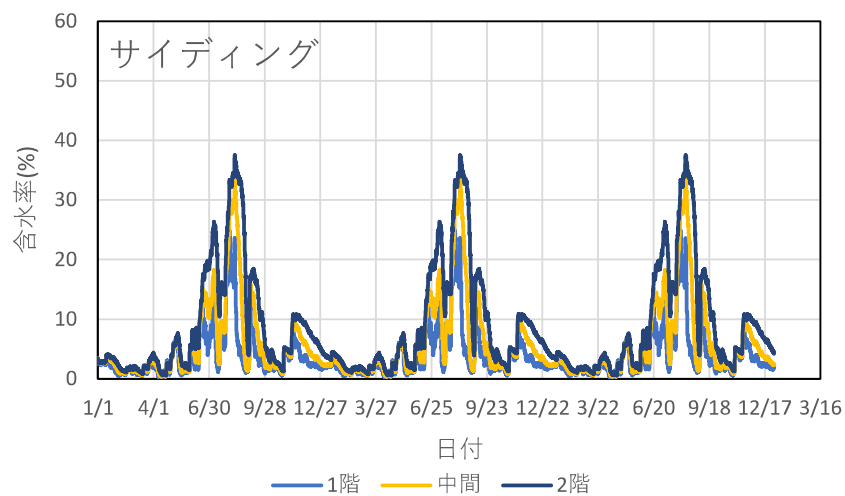


図 4.2.17 サイディングの含水率変動（横胴縁、東面、浸水率 1%、宮崎）

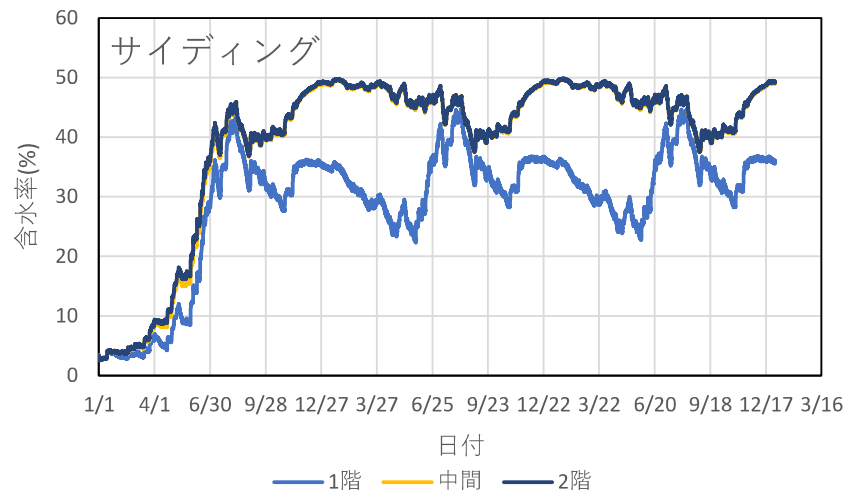


図 4.2.18 サイディングの含水率変動（上部閉塞、東面、浸水率 1%、宮崎）

(4) サイディング含水率の年間の変動（東面、浸水率 1%、東京）

サイディングの含水率を図 4.2.19～4.2.21 に示す。各仕様のサイディング含水率についても合板と同様の傾向が見られる。サイディングについては、含水率が上昇しても腐朽のような生物劣化は生じないが、冬期などの氷点下になる場合は凍害のリスクがある。ゆえに、冬期においても高含水率が継続する上部閉塞の仕様は、外装材の耐久性確保の観点からは望ましくない結果と思われる。

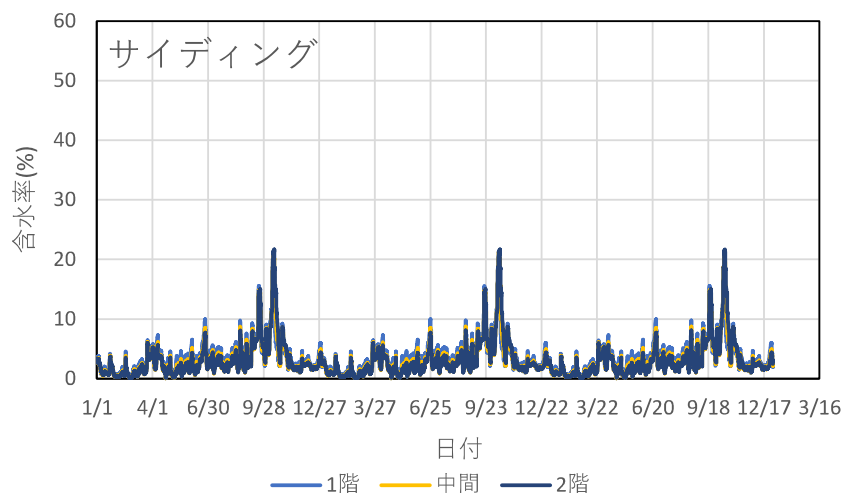


図 4.2.19 サイディングの含水率変動（control、東面、浸水率 1%、東京）

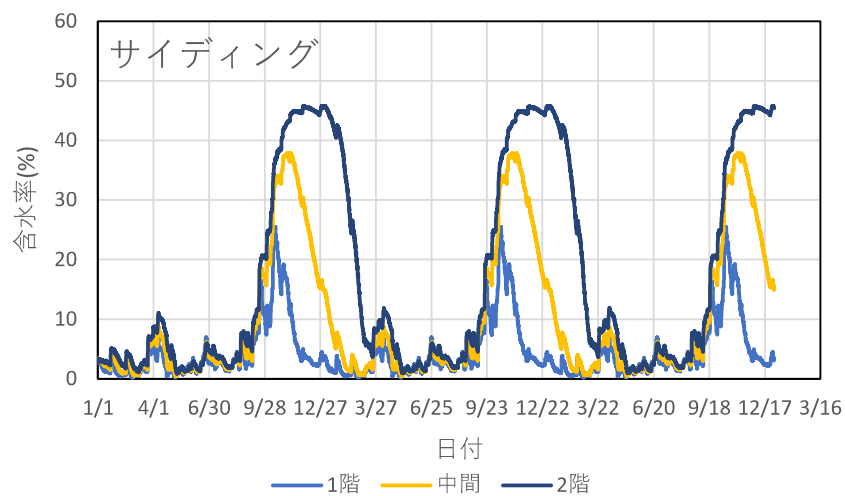


図 4.2.20 サイディングの含水率変動（横胴縁、東面、浸水率 1%、東京）

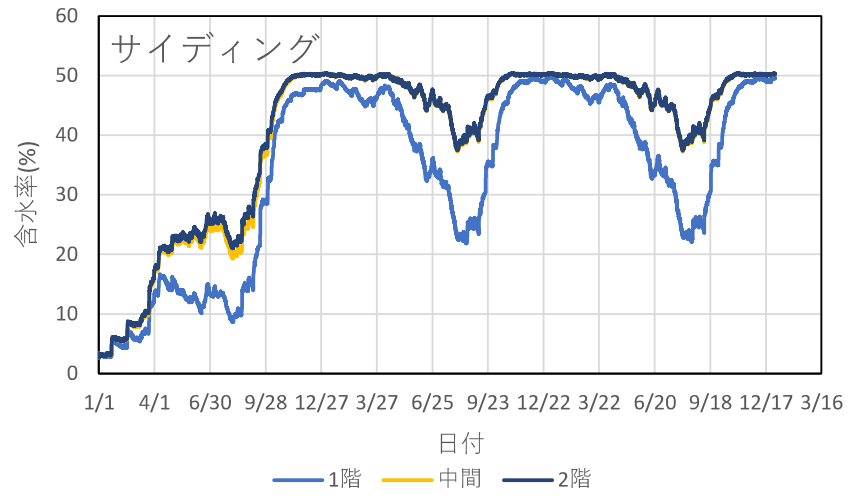


図 4.2.21 サイディングの含水率変動 (上部閉塞、東面、浸水率 1%、東京)

4.2.2.3 通気障害による放湿型結露への影響

(1) 梅雨期以降の放湿型結露（東面、浸水率 1%、宮崎）

7/23～9/11 までの降雨量と東面サイディング表面温度の変化を図 4.2.22 に、放湿型結露が発生するとされる GW と防湿層界面の相対湿度を図 4.2.23～4.2.25 に示す。

図 4.2.22 の降雨量と図 4.2.23～4.2.25 の相対湿度の関係から読み取れるように、放湿型結露は降雨量の多い梅雨期の後（7月下旬以降）に外気温度が上昇する際に顕著に発生している。通気障害との関係も明確に表れており、control では相対湿度が連続して 95%を超える時期が8月の2週間程度であるが、横胴縁では2階部分で1か月程度、上部閉塞ではすべての位置で夏期期間中常に飽和状態となっている。図 4.2.11 における冬期にかけての合板含水率の上昇は、防湿層界面の水分が秋期以降に合板側に移動することにより生じたと推測できる。

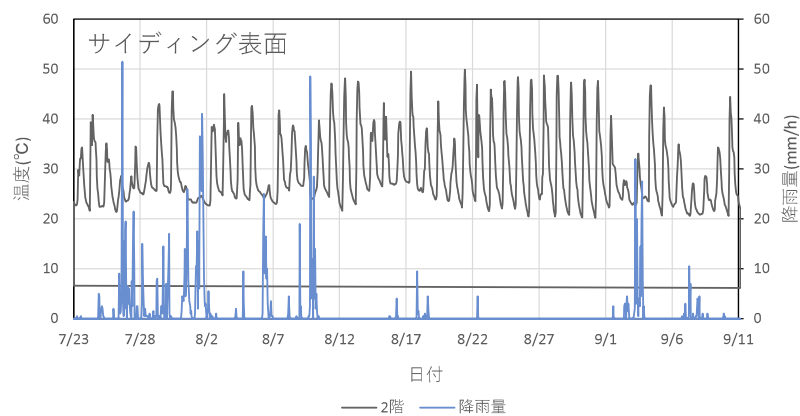


図 4.2.22 降雨量と東面サイディング表面温度（宮崎）

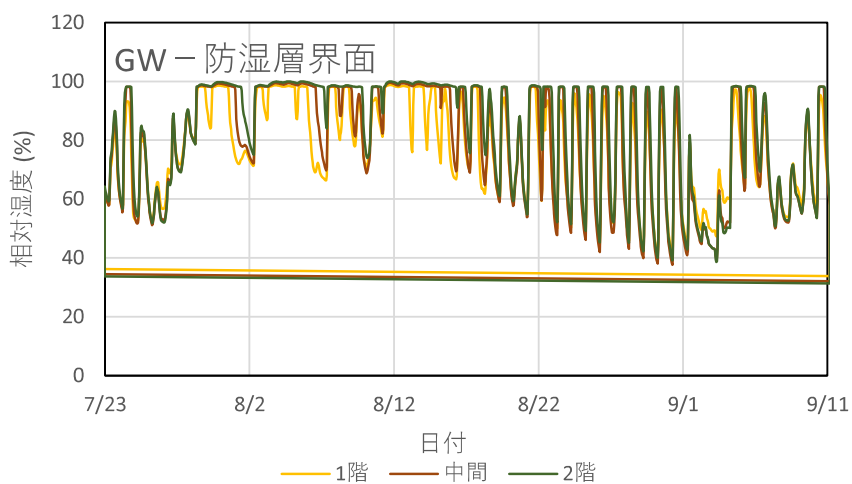


図 4.2.23 防湿層界面の相対湿度変動（control、東面、浸水率 1%、宮崎）

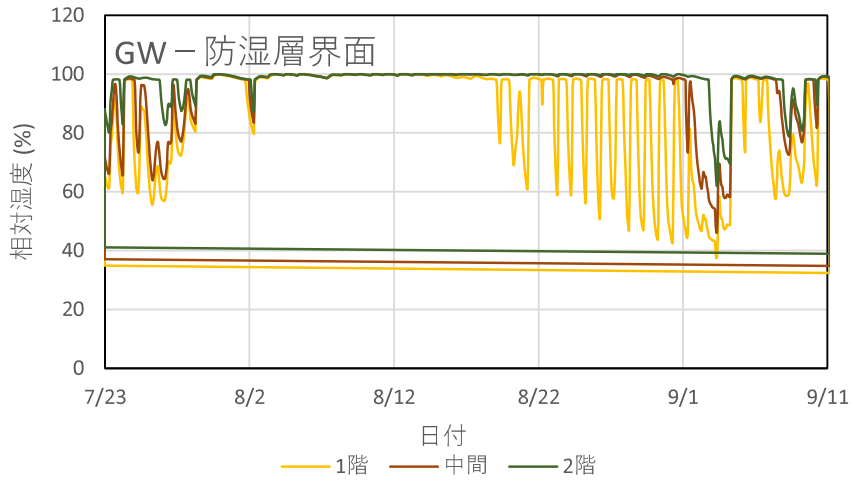


図 4.2.24 防湿層界面の相対湿度変動（横胴縁、東面、浸水率 1%、宮崎）

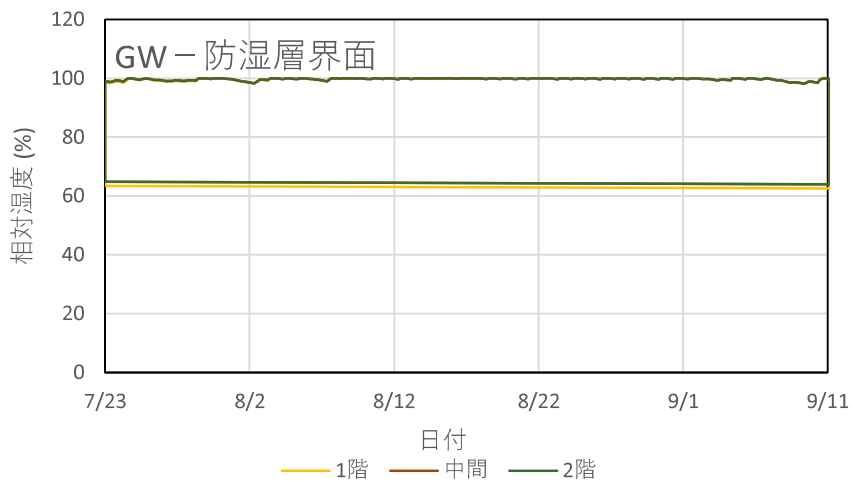


図 4.2.25 防湿層界面の相対湿度変動（上部閉塞、東面、浸水率 1%、宮崎）

(2) 梅雨期以降の放湿型結露（東面、浸水率 1%、東京）

7/23～9/11 までの降雨量と東面サイディング表面温度の変化を図 4.2.26 に、放湿型結露が発生するとされる GW と防湿層界面の相対湿度を図 4.2.27～4.2.29 に示す。

図 4.2.26 の降水量と図 4.2.27～4.2.29 の相対湿度の関係から読み取れるように、放湿型結露は梅雨期の後（7月下旬）や台風、9月初旬の降雨等の後で外気温度が上昇する際に顕著に発生している。通気障害との関係も明確に表れており、control では気温が高い時間帯に相対湿度 95%を超え、気温が下がると相対湿度も低くなっているが、横胴縁では 2 階部分で 9/1～9/5 の期間に、上部閉塞ではすべての高さで夏期期間中にほぼ飽和状態となっている。図 4.2.15 における冬期にかけての合板含水率上昇は、防湿層界面の水分が秋期以降に合板側に移動することにより生じたと推測できる。

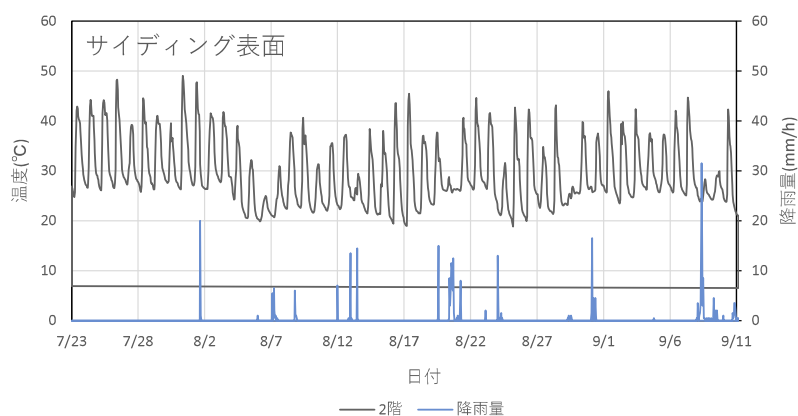


図 4.2.26 降雨量と東面サイディング表面温度（東京）

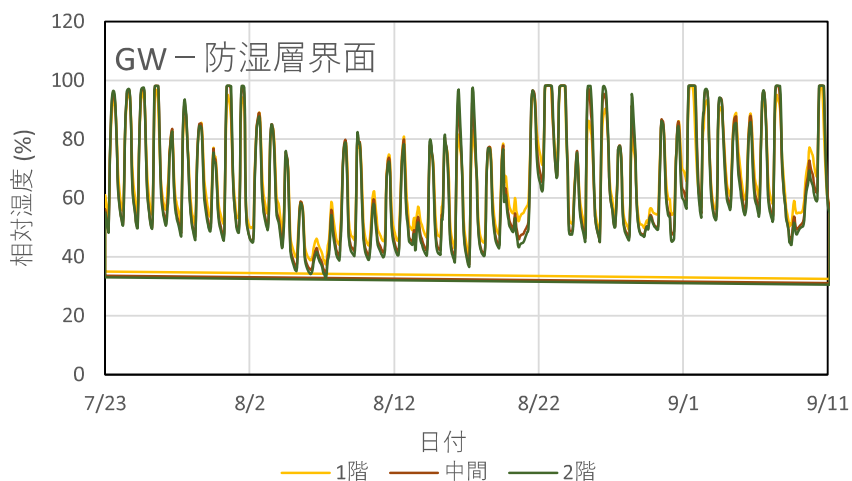


図 4.2.27 防湿層界面の相対湿度変動（control、東面、浸水率 1%、東京）

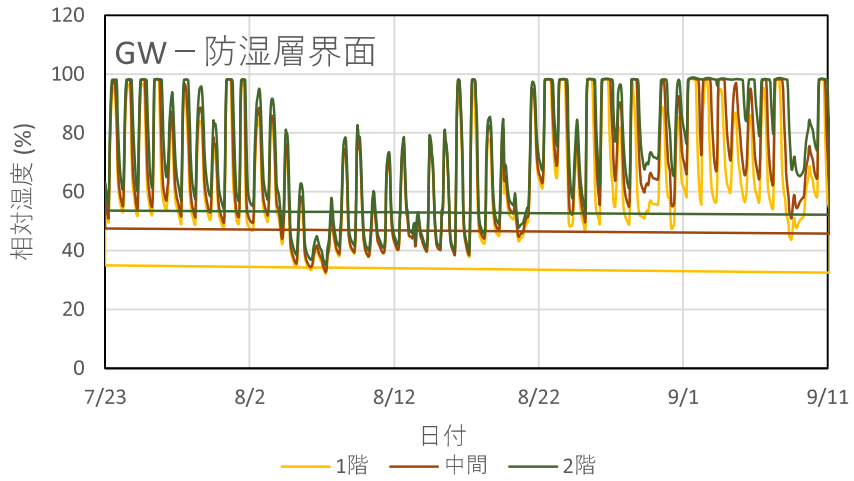


図 4.2.28 防湿層界面の相対湿度変動（横胴縁、東面、浸水率 1%、東京）

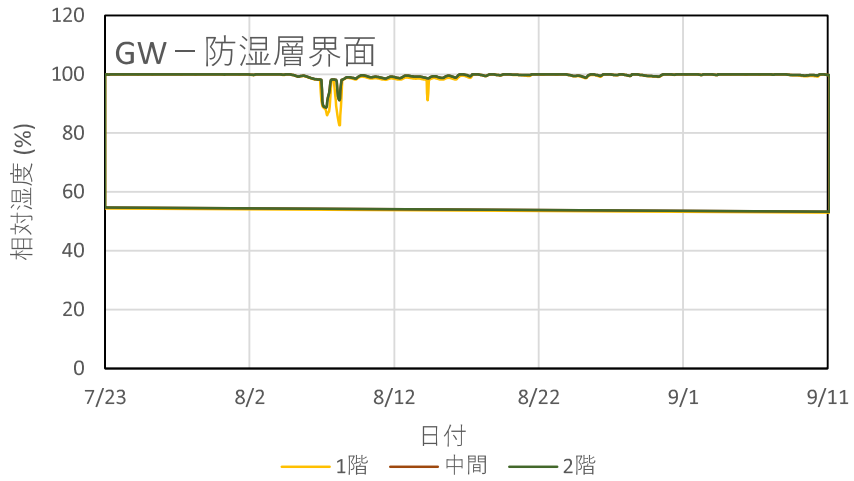


図 4.2.29 防湿層界面の相対湿度変動（上部閉塞、東面、浸水率 1%、東京）

4.2.2.4 方位による影響

(1) 合板含水率（北面、浸水率1%、宮崎）

3年間の降雨量と北面サイディング表面温度の推移を図4.2.30に、構造用合板の含水率（GW側表層の値）の推移を図4.2.31～4.2.33に示す。

図4.2.30に示す北面のサイディング表面温度を東面の値（前出 図4.2.8）と比較すると、夏期の最高温度は北面で40℃、東面で50℃に達しており、夏期の日較差も北面20K、東面30Kと約10Kの差が読み取れる。合板含水率に関する方位による差はcontrolでは僅かだが（図4.2.31と図4.2.9）、横胴縁は東（図4.2.10）に比べ北面（図4.2.32）が高く、特に秋期の2階で70%に達しており腐朽のリスクが高いと判断される。これは、東面と比べ北面は温度上昇が小さいため、浸入雨水の乾燥が滞り、合板の含水率上昇に至ったものと推測される。

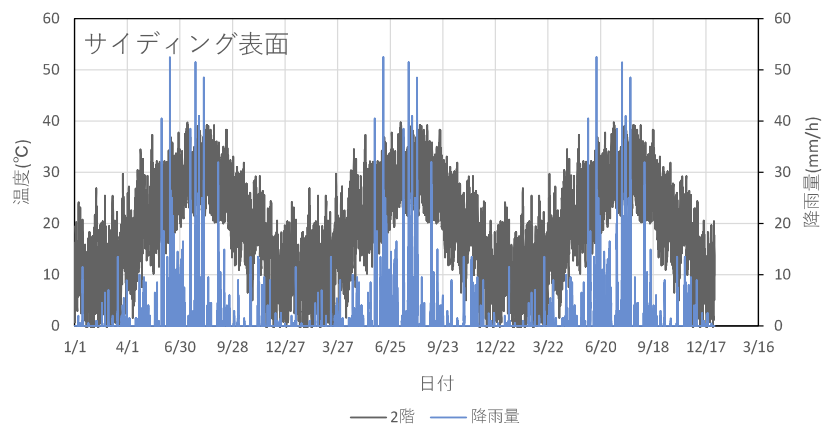


図 4.2.30 降雨量と北面サイディング表面温度（宮崎）

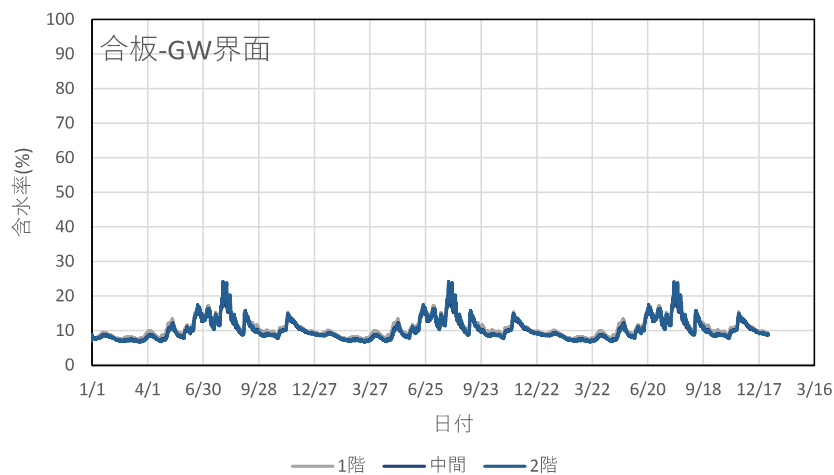


図 4.2.31 構造用合板の含水率変動（control、北面、浸水率1%、宮崎）

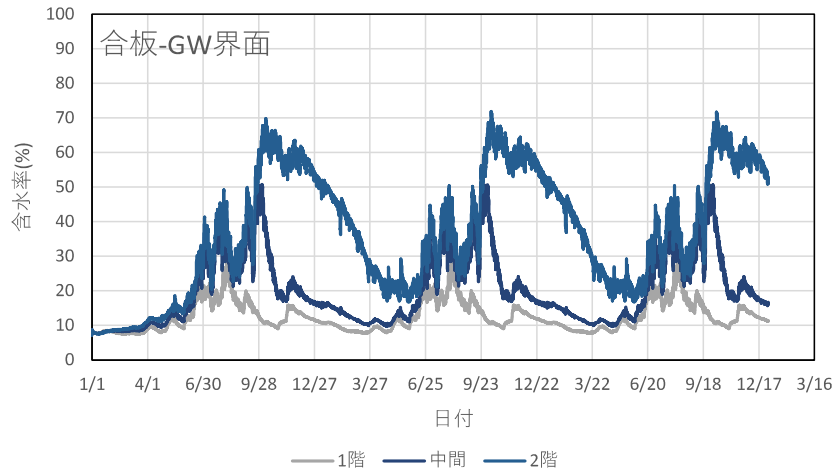


図 4.2.32 構造用合板の含水率変動（横胴縁、北面、浸水率 1%、宮崎）

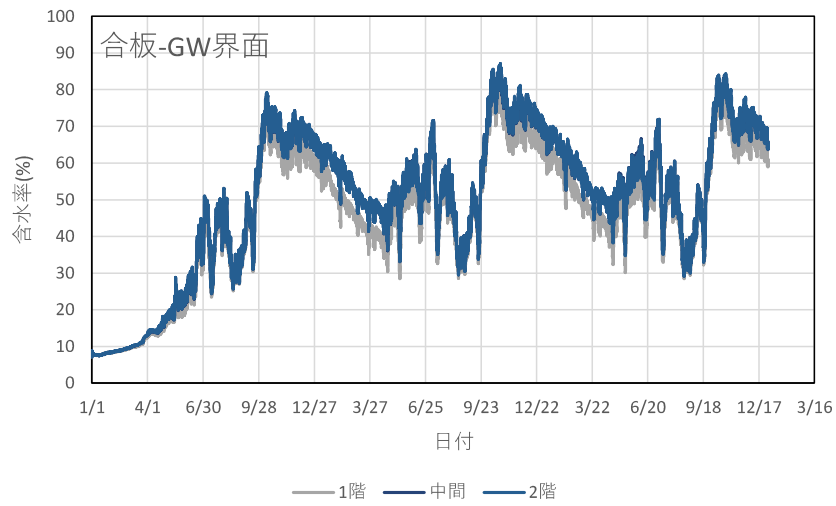


図 4.2.33 構造用合板の含水率変動（上部閉塞、北面、浸水率 1%、宮崎）

(2) 合板含水率（北面、浸水率1%、東京）

3年間の降雨量と北面サイディング表面温度の変化を図4.2.34に、構造用合板の含水率（GW側表層の値）を図4.2.35～4.2.37に示す。

図4.2.34に示す北面のサイディング表面温度を東面の値（前出 図4.2.12）と比べると、夏期の最高温度が北面で40℃、東面で50℃に達しており、夏期の日較差も北面20K、東面30Kと約10Kの差が読み取れる。controlでは合板含水率に関する方位による差は僅かであった（図4.2.35と図4.2.13）。一方横胴縁は東面（図4.2.14）では3月に乾燥する傾向にあるが、北面（図4.2.36）の2階では3月でも30%程度の含水率となっており、その後再び含水率は上昇している。このことから、横胴縁の場合は北面で腐朽のリスクが高いと判断される。これは降雨時に合板内に蓄積された水分が抜け切る前に冬を迎え、再び水分が蓄積されたことに起因すると考えられる。

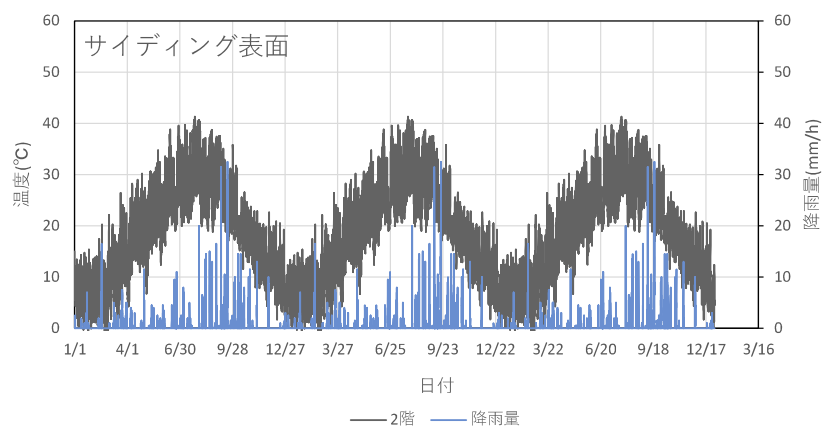


図 4.2.34 降雨量と北面サイディング表面温度（東京）

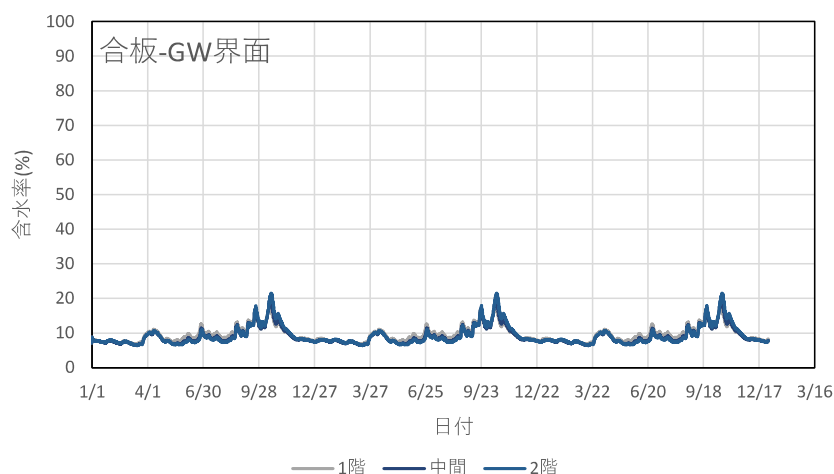


図 4.2.35 構造用合板の含水率変動（control、北面、浸水率1%、東京）

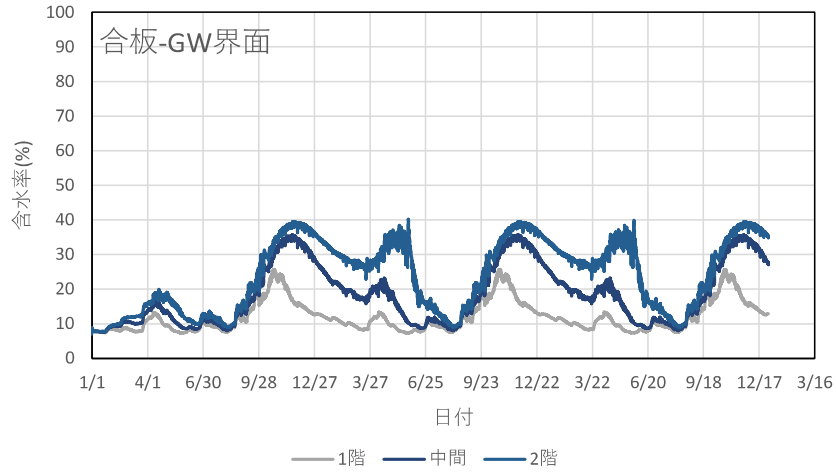


図 4.2.36 構造用合板の含水率変動（横胴縁、北面、浸水率 1%、東京）

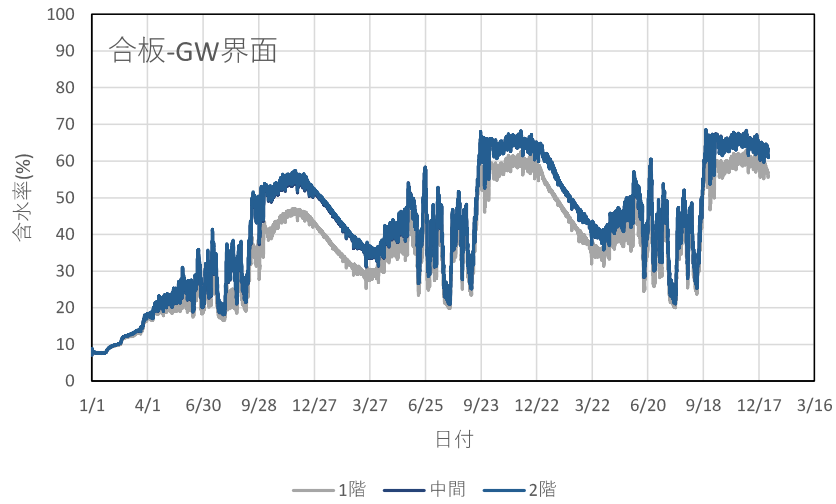


図 4.2.37 構造用合板の含水率変動（上部閉塞、北面、浸水率 1%、東京）

(3) 梅雨期からの放湿型結露（北面、浸水率 1%、宮崎）

7/23～9/11 までの降雨量と北面サイディング表面温度の変化を図 4.2.38 に、GW と防湿層界面の相対湿度を図 4.2.39～4.2.41 に示す。北側防湿層界面の相対湿度は（図 4.2.39～4.2.41）、東面（図 4.2.23～4.2.25）と比べると日較差が小さい傾向が見られる。相対湿度 95%を超える期間は、control では方位による差は僅かであるが、横胴縁では北面の方が長く、図 4.2.40 の 2 階では 1 か月を超えている。このような長期の放湿型結露の影響が、図 4.2.32 で示した冬期の合板含水率の上昇にも影響を及ぼしたものと推測される。

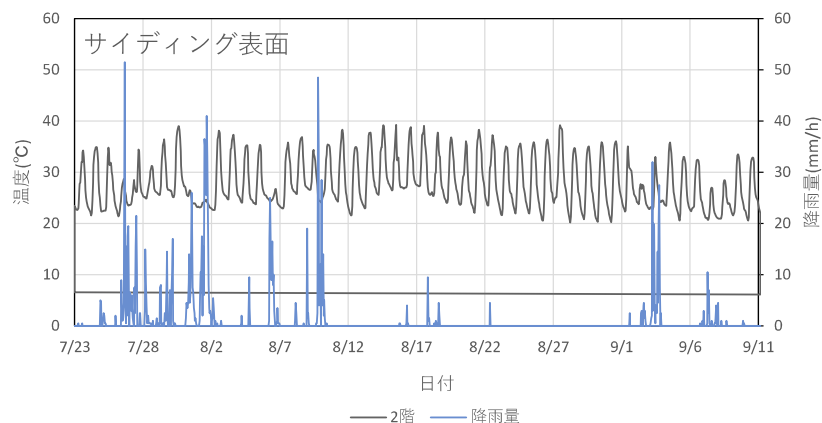


図 4.2.38 降雨量と北面サイディング表面温度（宮崎）

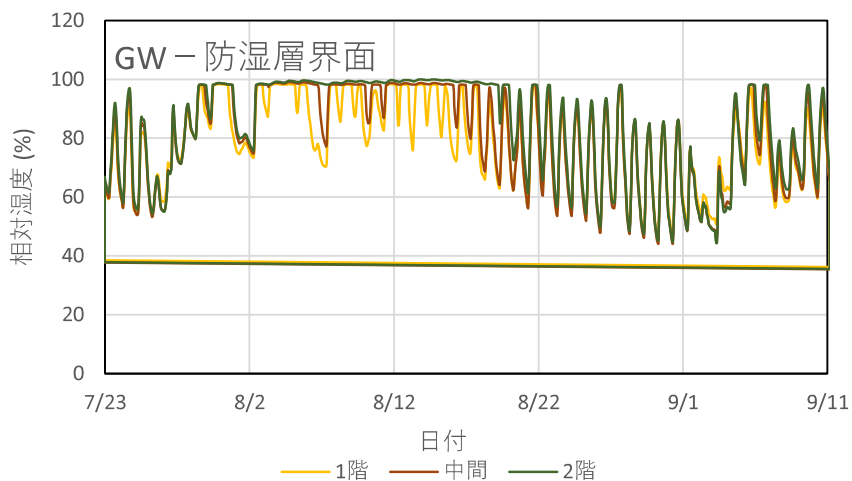


図 4.2.39 防湿層界面の相対湿度変動（control、北面、浸水率 1%、宮崎）

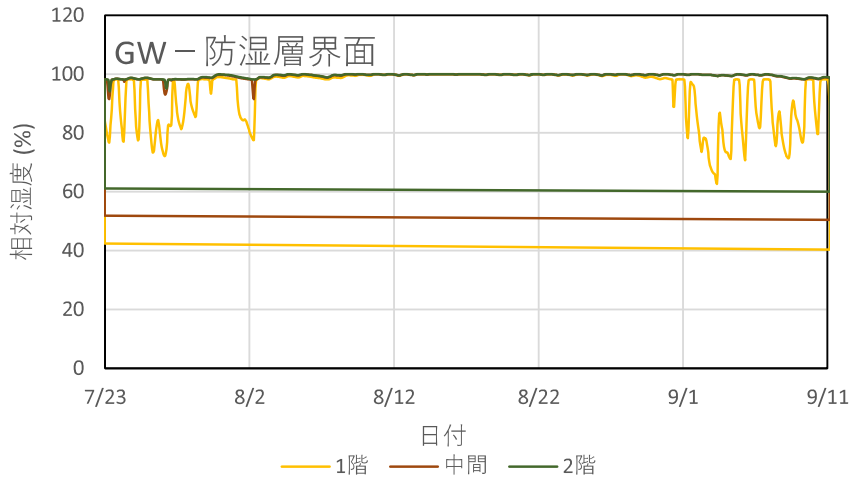


図 4.2.40 防湿層界面の相対湿度変動（横胴縁、北面、浸水率 1%、宮崎）

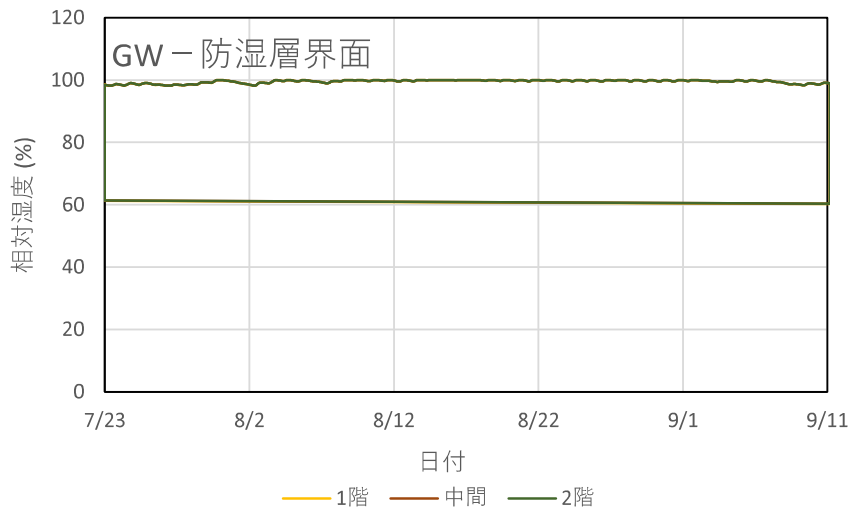


図 4.2.41 防湿層界面の相対湿度変動（上部閉塞、北面、浸水率 1%、宮崎）

(4) 梅雨期以降の放湿型結露（北面、浸水率 1%、東京）

7/23～9/11 までの降雨量と北面サイディング表面温度の変化を図 4.2.42 に、GW と防湿層界面の相対湿度を図 4.2.43～4.2.45 に示す。北側防湿層界面の相対湿度は（図 4.2.43～4.2.45）、東面（図 4.2.27～4.2.29）と比べると特に中間から 2 階にかけて日較差が小さい傾向が見られる。control では東面と同様に気温が高い時間帯に相対湿度が 95%を超え、気温が下がると相対湿度も低くなっている。横胴縁では北面の方が相対湿度は高くなる傾向にあり、特に 2 階で 1 週間程度、相対湿度が 95%を超えている期間がある。これが、図 4.2.36 で示した冬期の合板含水率の上昇にも影響を及ぼしたものと推測される。

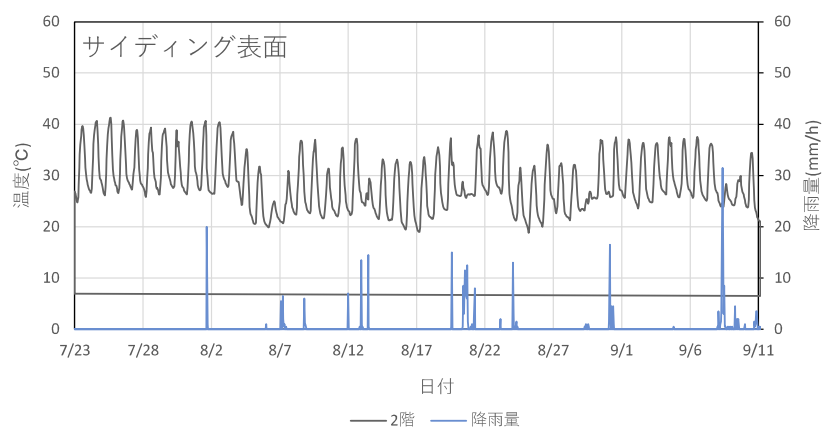


図 4.2.42 降雨量と北面サイディング表面温度（東京）

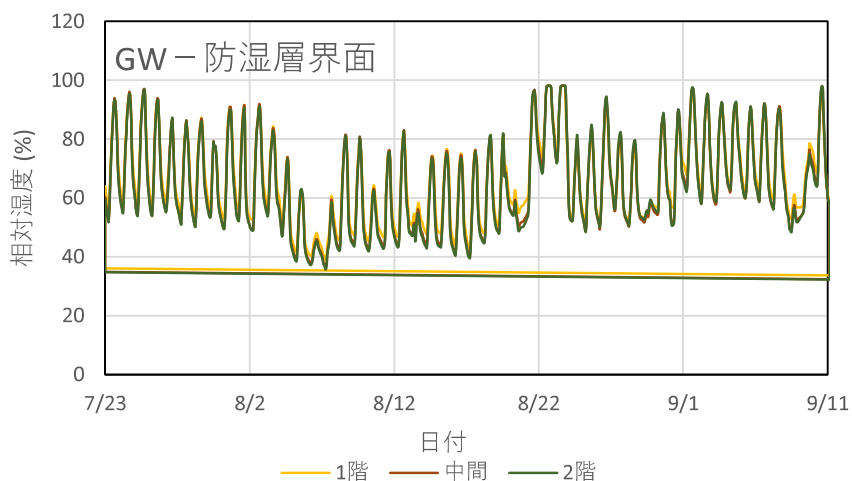


図 4.2.43 防湿層界面の相対湿度変動（control、北面、浸水率 1%、東京）

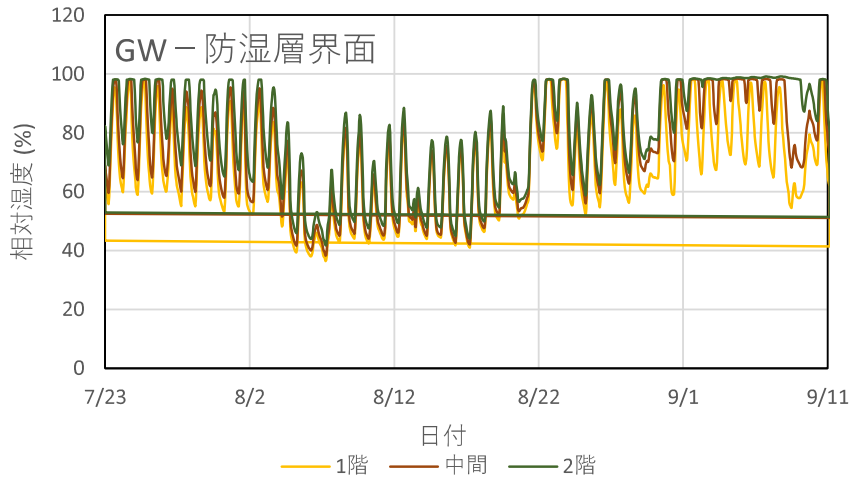


図 4.2.44 防湿層界面の相対湿度変動（横胴縁、北面、浸水率 1%、東京）

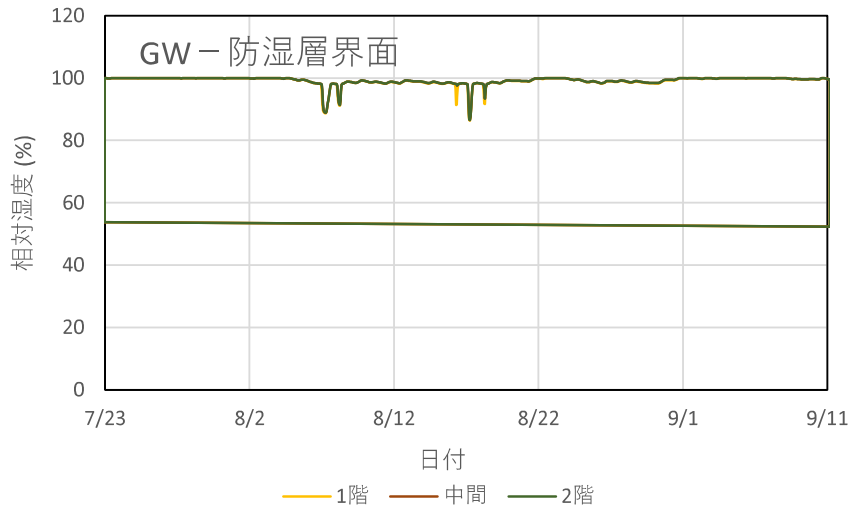


図 4.2.45 防湿層界面の相対湿度変動（上部閉塞、北面、浸水率 1%、東京）

4.2.2.5 浸水率の影響

(1) 合板含水率（東面、浸水率 2.5%および 5%、宮崎）

図 4.2.46～図 4.2.47 は control における浸水率 2.5%および 5%の構造用合板の含水率変動（東面）の結果である。浸水率 1%（図 4.2.9）では含水率のピークは 22～23%であったのに対し、浸水率 2.5%および 5%では 30%程度となっているが、その後乾燥している様子が伺えることから問題とはならないと考えられる。

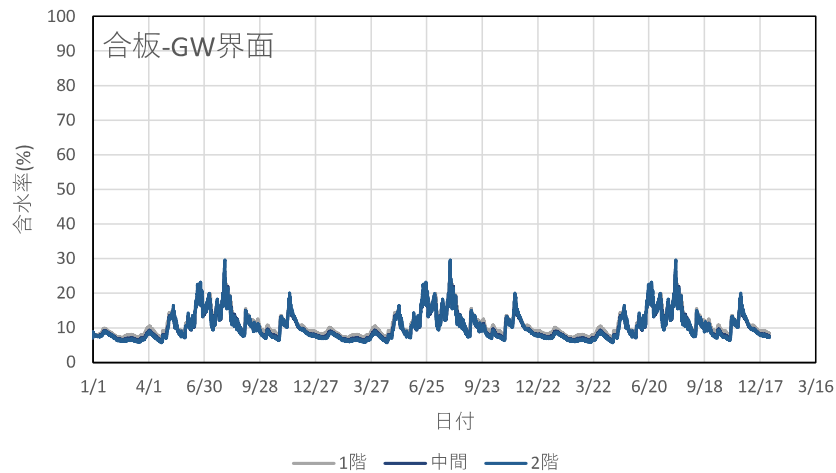


図 4.2.46 構造用合板の含水率変動（control、東面、浸水率 2.5%、宮崎）

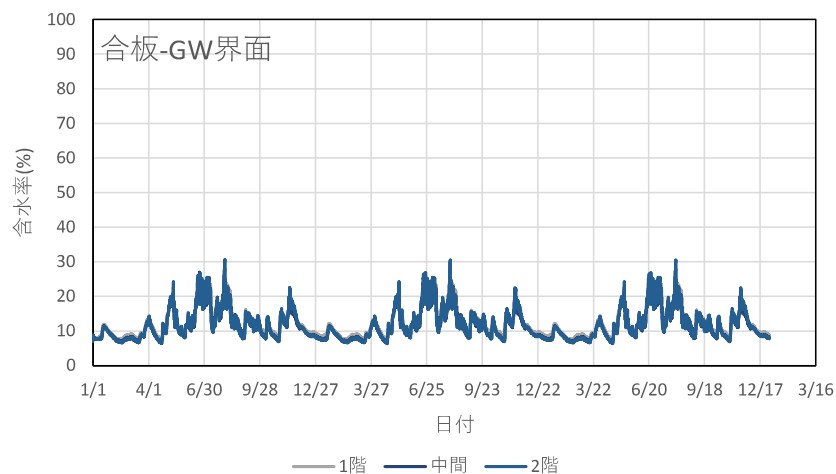


図 4.2.47 構造用合板の含水率変動（control、東面、浸水率 5%、宮崎）

図4.2.48～図4.2.49は横胴縁における浸水率2.5%および5%の構造用合板の含水率変動(東面)の結果である。浸水率1% (図4.2.10) では含水率のピークは30～35%であったのに対し、浸水率2.5%および5%では50%程度となっている。また、浸水率1%では秋から春にかけて合板が乾燥している様子が伺えるが、浸水率2.5%(図4.2.48)では中間および2階でその傾向が弱くなっており、浸水率5%(図4.2.49)では2階において秋以降も含水率が40%程度となる期間が続き、春に含水率が十分に下がりきらないうちに再び上昇している。また、浸水率が大きいほど1階の含水率も高くなっていることが確認できる。

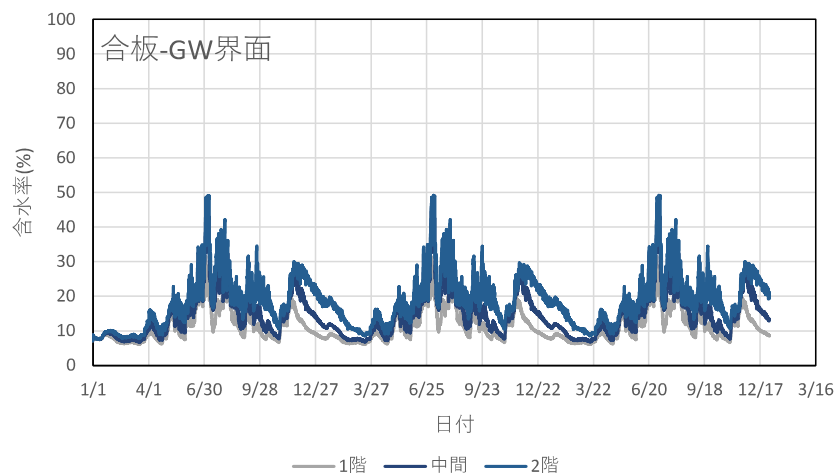


図 4.2.48 構造用合板の含水率変動 (横胴縁、東面、浸水率 2.5%、宮崎)

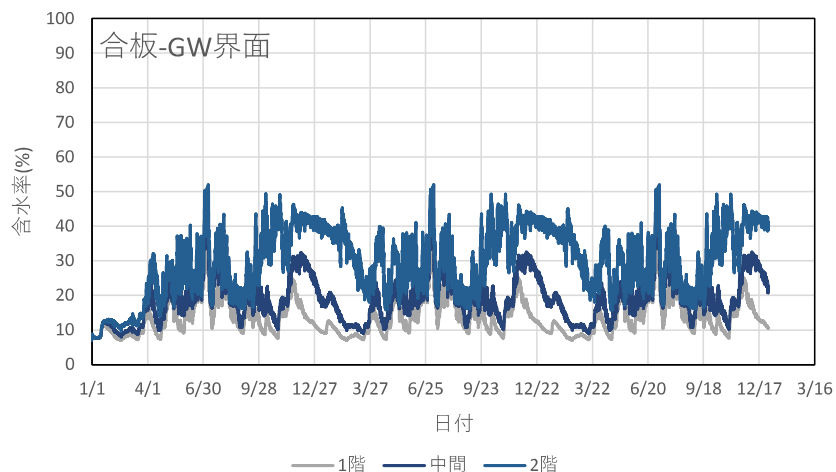


図 4.2.49 構造用合板の含水率変動 (横胴縁、東面、浸水率 5%、宮崎)

図 4.2.50～図 4.2.51 は上部閉塞における浸水率 2.5%および 5%の構造用合板の含水率変動（東面）の結果である。浸水率 1%（図 4.2.11）では含水率のピークは 70%程度であったのに対し、浸水率 2.5%および 5%では 80%程度となっている。また横胴縁と同様に、浸水率が大きいほど 1 階合板の含水率が高くなっていることが確認できる。以上の結果より、放湿型結露、合板含水率ともに通気障害の影響が卓越しており、耐久性確保の観点からは control（縦胴縁）相当の通気が確保できる仕様を採用することが重要と言えよう。

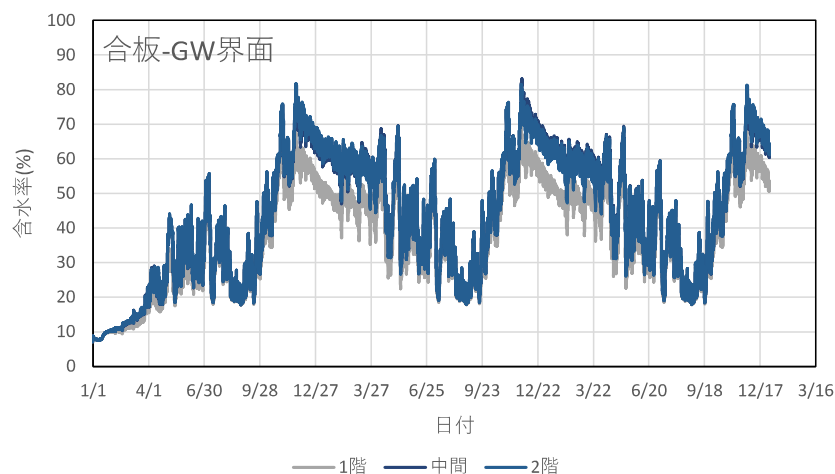


図 4.2.50 構造用合板の含水率変動（上部閉塞、東面、浸水率 2.5%、宮崎）

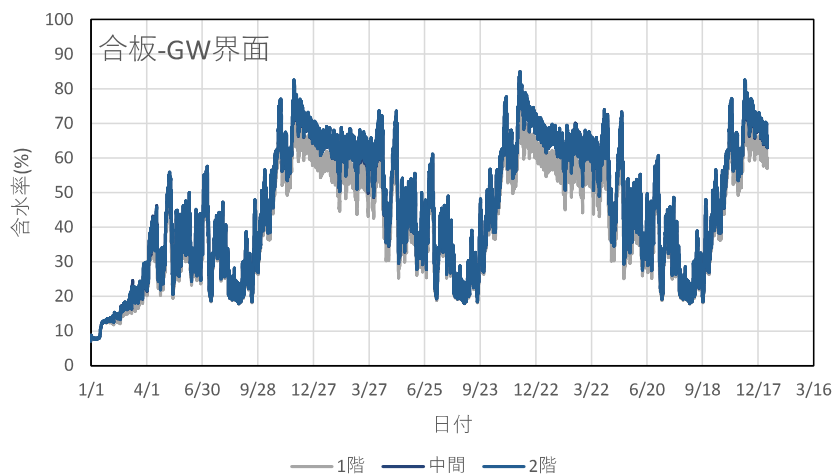


図 4.2.51 構造用合板の含水率変動（上部閉塞、東面、浸水率.5%、宮崎）

(2) 梅雨期以降の放湿型結露（東面、浸水率 2.5%および 5%、宮崎）

図 4.2.52～図 4.2.53 は control における浸水率 2.5%および 5%の防湿層界面の相対湿度変動（東面）の結果である。浸水率 1%の結果（図 4.2.23）と比較すると、特に中間および 2階で結露時間が長くなっているが、秋以降は相対湿度が低くなり浸水率 1%と概ね同様の傾向となっている。

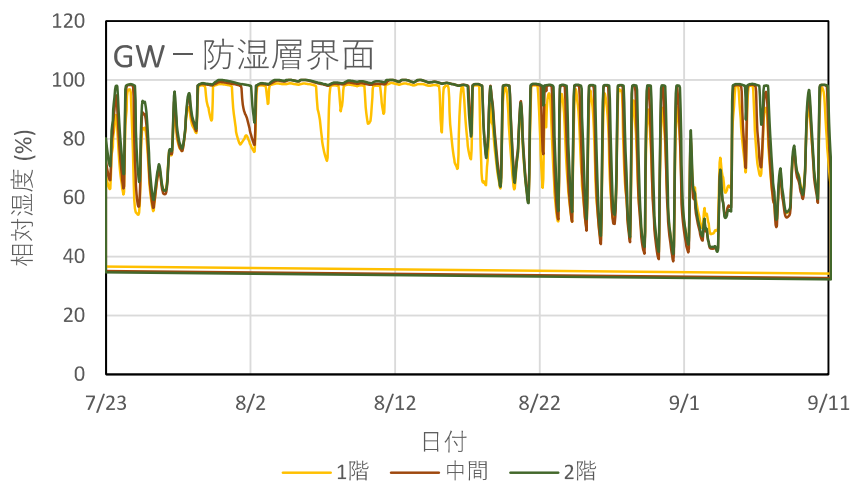


図 4.2.52 防湿層界面の相対湿度変動（control、東面、浸水率 2.5%、宮崎）

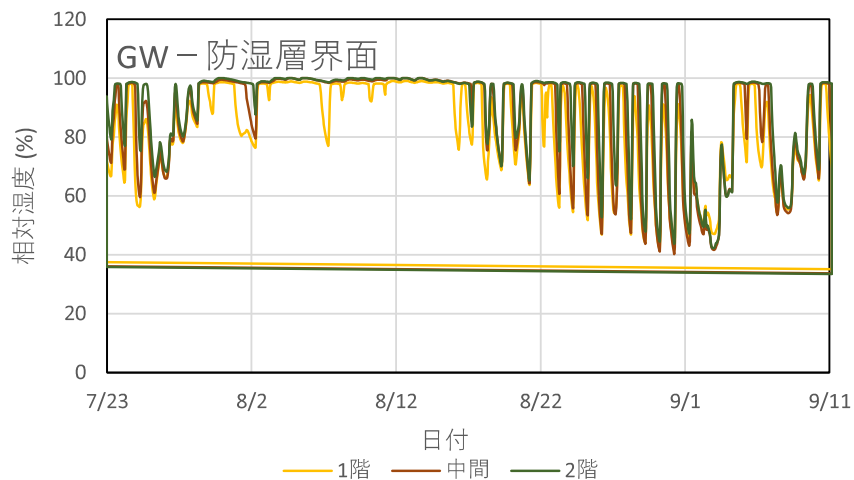


図 4.2.53 防湿層界面の相対湿度変動（control、東面、浸水率 5%、宮崎）

図 4.2.54～図 4.2.55 は横胴縁における浸水率 2.5%および 5%の防湿層界面の相対湿度変動（東面）の結果である。浸水率 1%（図 4.2.24）に比べて浸水率 2.5%は全体的に結露時間が長くなっており、浸水率 5%ではさらに長くなっていることが確認できる。

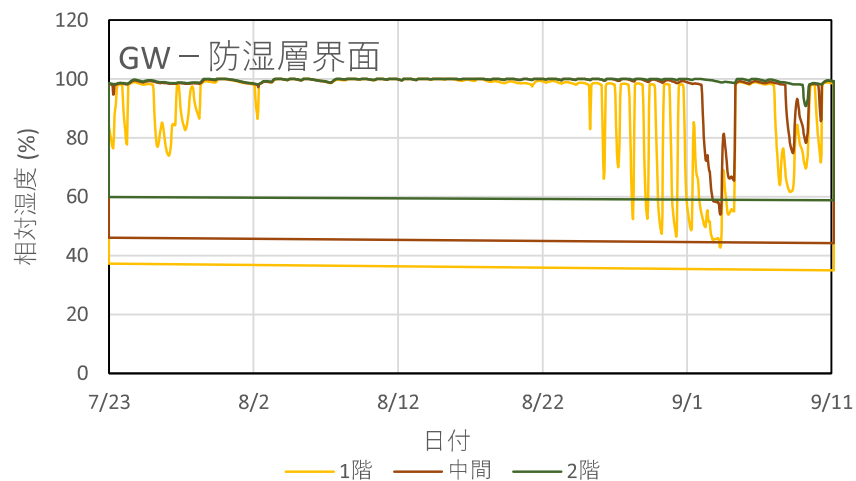


図 4.2.54 防湿層界面の相対湿度変動（横胴縁、東面、浸水率 2.5%、宮崎）

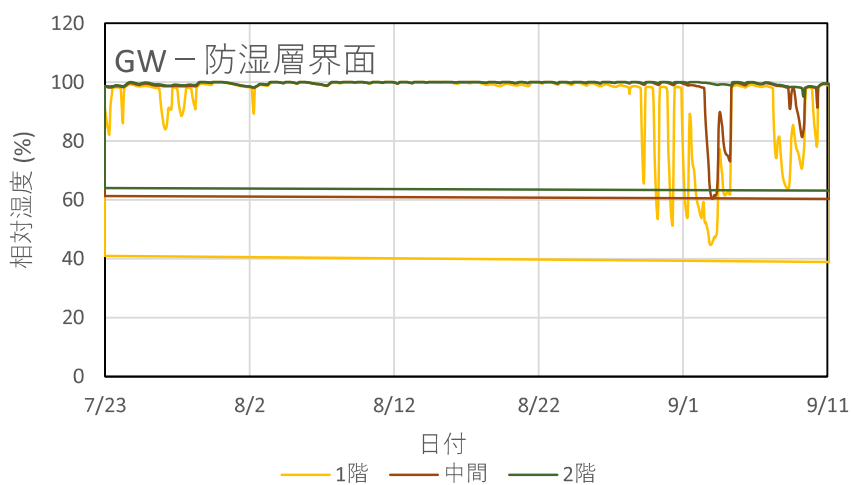


図 4.2.55 防湿層界面の相対湿度変動（横胴縁、東面、浸水率 5%、宮崎）

図 4.2.56～図 4.2.57 は上部閉塞における浸水率 2.5%および 5%の防湿層界面の相対湿度変動（東面）の結果である。浸水率 1%（図 4.2.25）において既に梅雨期間中連続して結露しており、浸水率 2.5%および 5%も同様の結果となった。図 4.2.46～図 4.2.51 の合板含水率の年間変動についても同様の傾向であったことから、5%程度までの浸水率ならば、放湿型結露、合板含水率ともに通気障害の影響が卓越しており、耐久性確保の観点からは control（縦胴縁）当の通気が確保できる仕様を採用することが重要と言えよう。

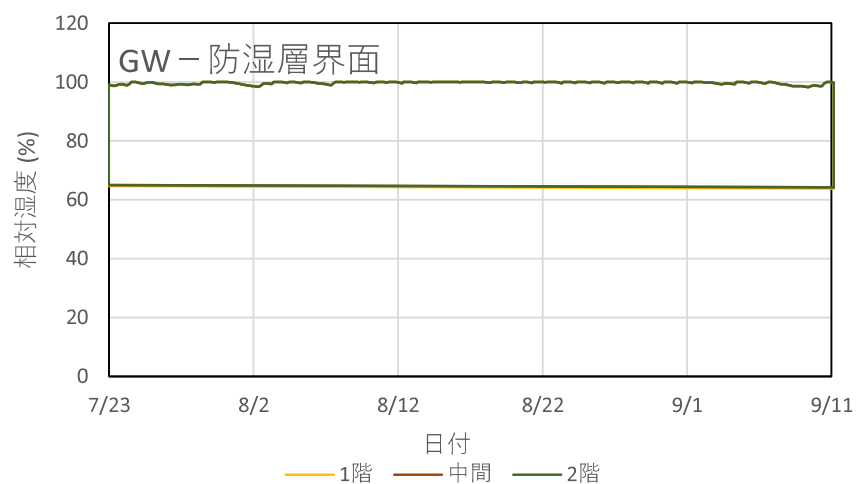


図 4.2.56 防湿層界面の相対湿度変動（上部閉塞、東面、浸水率 2.5%、宮崎）

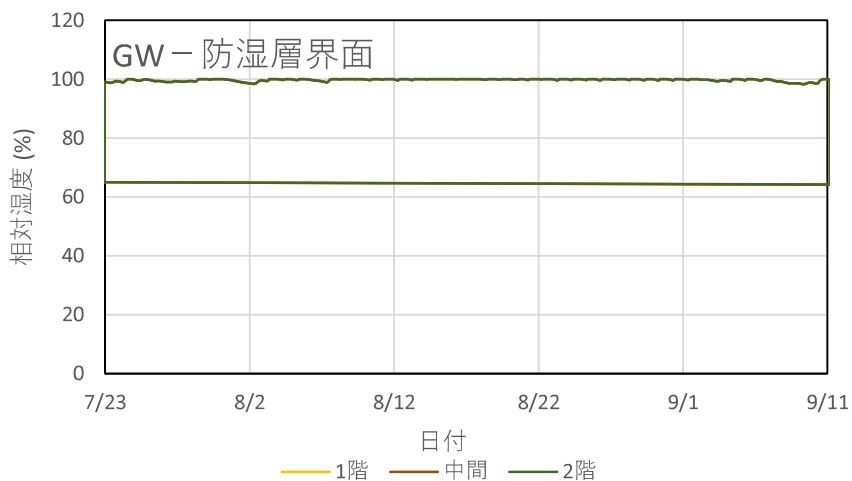


図 4.2.57 防湿層界面の相対湿度変動（上部閉塞、東面、浸水率 5%、宮崎）

(3) 合板含水率（東面、浸水率 2.5%および 5%、東京）

図 4.2.58～図 4.2.59 は control における浸水率 2.5%および 5%の構造用合板の含水率変動（東面）の結果である。浸水率 1%（図 4.2.13）では含水率のピークは 20%程度であったのに対し、浸水率 2.5%および 5%では 25～30%程度となっているが、その後秋から春にかけて乾燥している様子が伺えることから問題とはならないと考えられる。

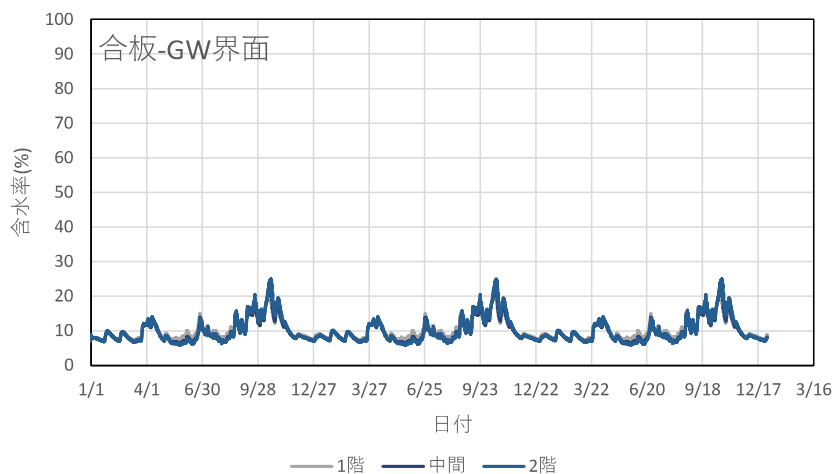


図 4.2.58 構造用合板の含水率変動（control、東面、浸水率 2.5%、東京）

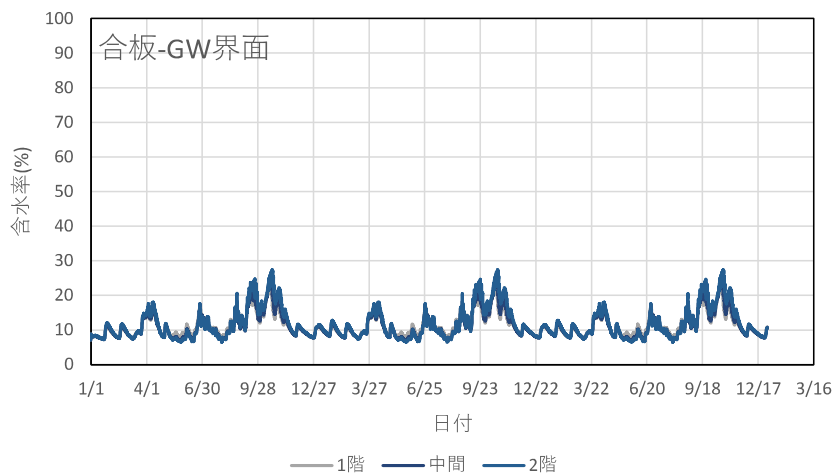


図 4.2.59 構造用合板の含水率変動（control、東面、浸水率 5%、東京）

図4.2.60～図4.2.61は横胴縁における浸水率2.5%および5%の構造用合板の含水率変動(東面)の結果である。浸水率1% (図4.2.14) では含水率のピークは40%程度であったのに対し、浸水率2.5%では50%程度、浸水率5%では60%程度となっている。また、浸水率1%では秋から春にかけて含水率が減少している様子が伺えるが、浸水率2.5% (図4.2.60) では中間および2階でその傾向が弱くなっており、浸水率5% (図4.2.61) では2階において秋以降も含水率が50%程度となる期間が続いている。

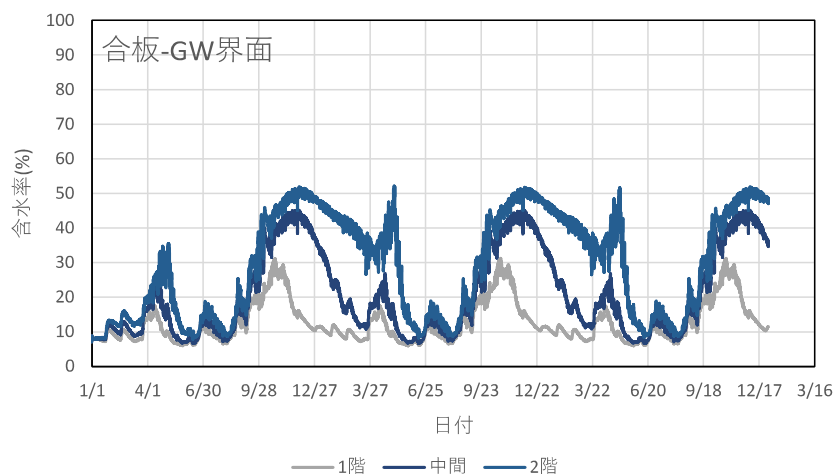


図4.2.60 構造用合板の含水率変動 (横胴縁、東面、浸水率2.5%、東京)

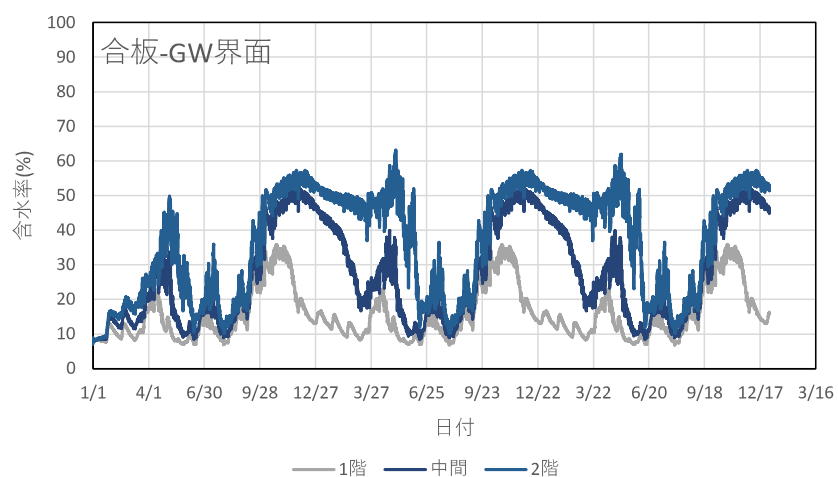


図4.2.61 構造用合板の含水率変動 (横胴縁、東面、浸水率5%、東京)

図 4. 2. 62～図 4. 2. 63 は上部閉塞における浸水率 2. 5%および 5%の構造用合板の含水率変動（東面）の結果である。変動の推移は浸水率 1%（図 4. 2. 15）と同様であるが、含水率のピークは浸水率 1%で 60%程度であるのに対し、浸水率 2. 5%および 5%では 70%程度となっている。また、浸水率が大きいほど 1 階合板の含水率が高くなっていることも併せて確認できる。

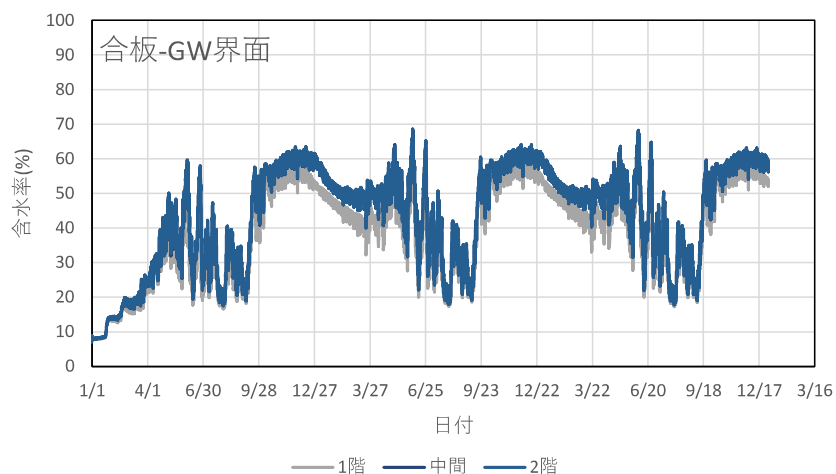


図 4. 2. 62 構造用合板の含水率変動（上部閉塞、東面、浸水率 2. 5%、東京）

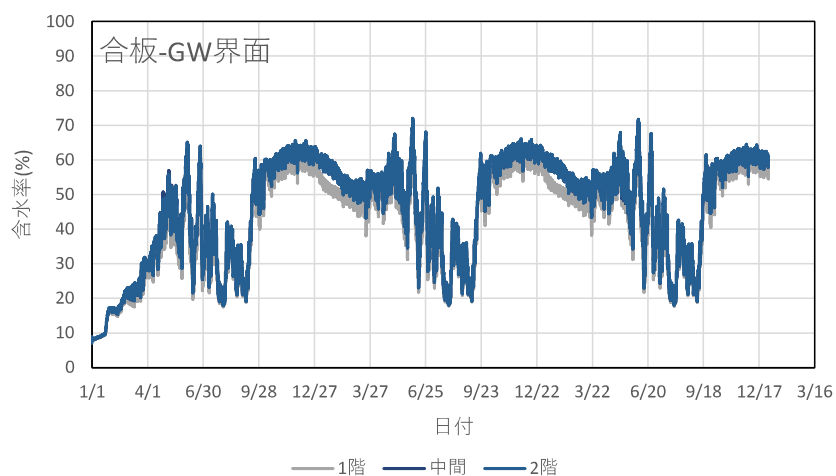


図 4. 2. 63 構造用合板の含水率変動（上部閉塞、東面、浸水率 5%、東京）

(4) 梅雨期以降の放湿型結露（東面、浸水率 2.5%および 5%、東京）

図 4.2.64～図 4.2.65 は control における浸水率 2.5%および 5%の防湿層界面の相対湿度変動（東面）の結果である。浸水率 1%の結果（図 4.2.27）と比較すると、全体的に結露時間が若干長くなっているが、浸水率 1%と概ね同様の傾向となっている。

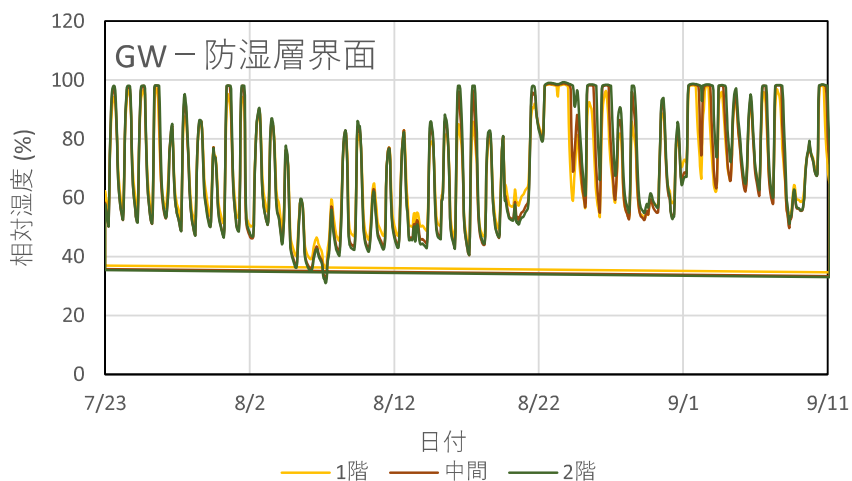


図 4.2.64 防湿層界面の相対湿度変動（control、東面、浸水率 2.5%、東京）

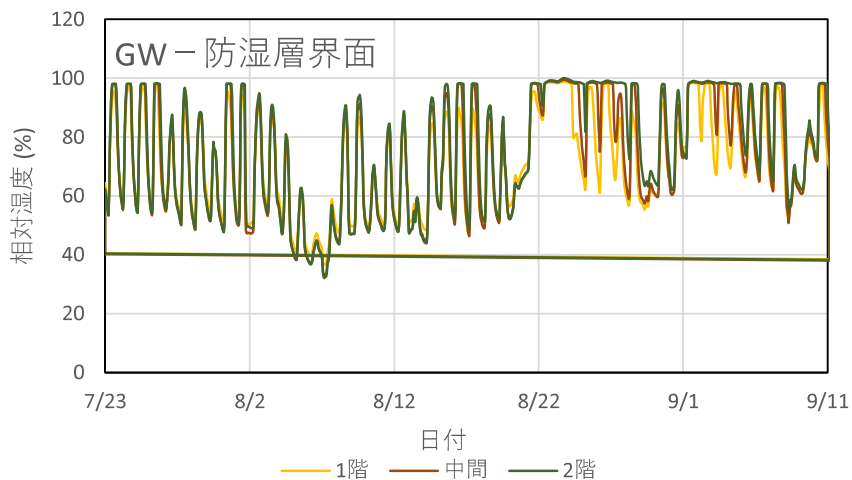


図 4.2.65 防湿層界面の相対湿度変動（control、東面、浸水率 5%、東京）

図 4.2.66～図 4.2.67 は横胴縁における浸水率 2.5%および 5%の防湿層界面の相対湿度変動（東面）の結果である。浸水率 1%（図 4.2.28）に比べて浸水率 2.5%は全体的に結露時間が長くなっており、特に中間および 2 階で 2～3 週間連続して結露が発生している様子が伺える。浸水率 5%ではさらに、1 階においても連続して結露が発生している様子が確認できる。

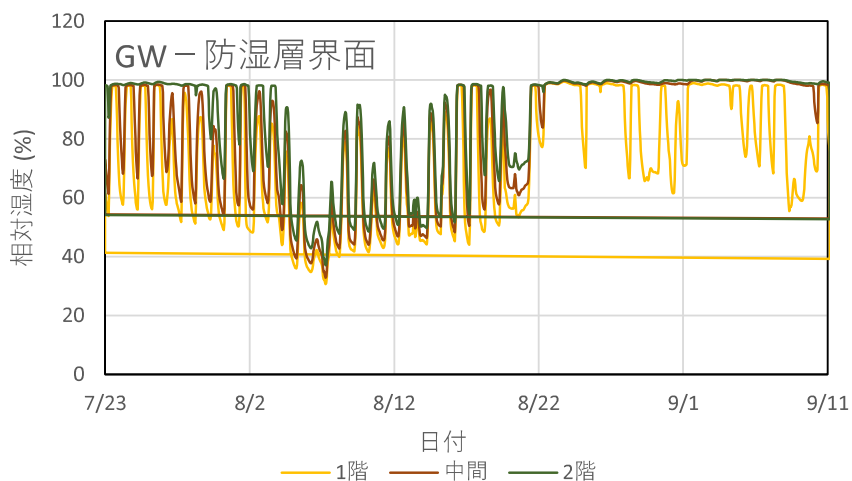


図 4.2.66 防湿層界面の相対湿度変動（横胴縁、東面、浸水率 2.5%、東京）

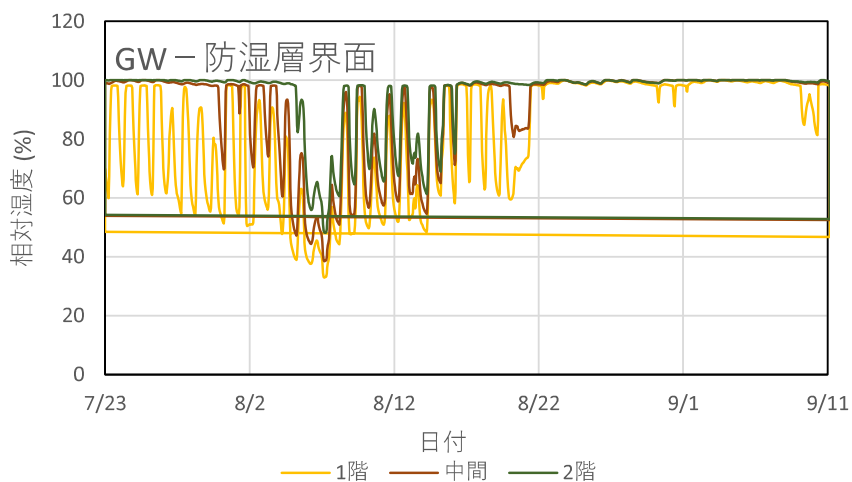


図 4.2.67 防湿層界面の相対湿度変動（横胴縁、東面、浸水率 5%、東京）

図 4.2.68～図 4.2.69 は上部閉塞における浸水率 2.5%および 5%の防湿層界面の相対湿度変動（東面）の結果である。浸水率 1%（図 4.2.29）において既に梅雨期間中連続して結露しており、浸水率 2.5%および 5%も同様の結果となった。図 4.2.58～図 4.2.63 の合板含水率の年間変動についても同様の傾向であったことから、5%程度までの浸水率ならば、放湿型結露、合板含水率ともに通気障害の影響が卓越しており、耐久性確保の観点からは control（縦胴縁）当の通気が確保できる仕様を採用することが重要と言えよう。

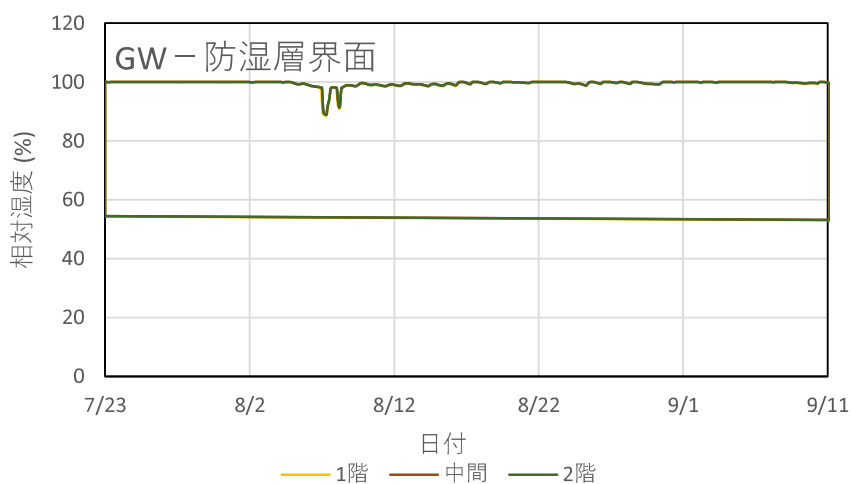


図 4.2.68 防湿層界面の相対湿度変動（上部閉塞、東面、浸水率 2.5%、東京）

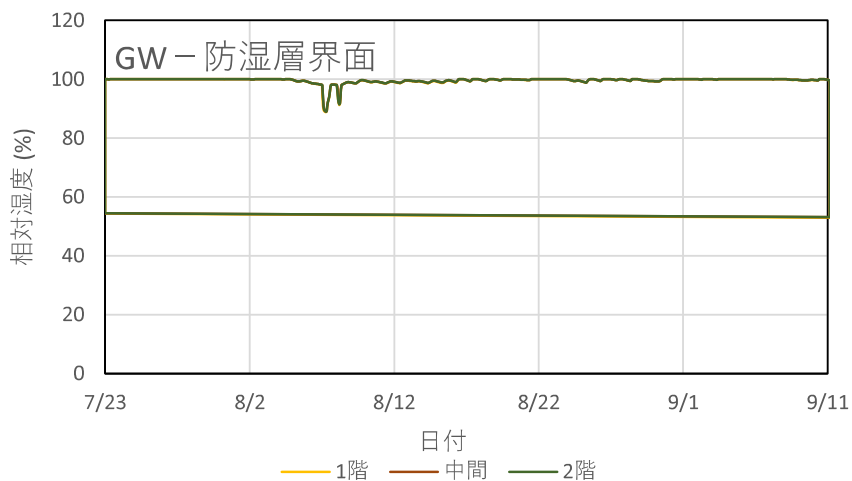


図 4.2.69 防湿層界面の相対湿度変動（上部閉塞、東面、浸水率 5%、東京）

4.2.2.6 相対湿度が98%以上になる累積日数

(1) 浸水率との関係 (宮崎)

control の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.70 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.71 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.72 に示す。なお、相対湿度は1時間ごとに出力されるため、相対湿度 98%以上となる累積時間を 24 で除することで累積日数（本検討では、前述の通り、木材の材料表面の相対湿度が 98%超となった状態が 1~2 か月程度継続すると木材中に菌糸が定着し、建物を構成する木材が腐朽等により劣化し、構造安全性が低下する危険性が高まることから累積日数 60 日を基準（閾値）として設定している。）とした。構造用合板の屋外側では北側の 2 階で 60.3 日となっているが、それ以外の位置では 60 日を下回っており、浸水率 5%以内であれば直ちに重大な問題とはならないと考えられる。構造用合板の室内側では、いずれのケースにおいても相対湿度が 98%以上となる時間は発生しておらず、良好な状態を保っていると言える。断熱材の室内側表面では、東側の 2 階において浸水率 2.5%で 60 日を上回っており、対策の必要性が示唆される。

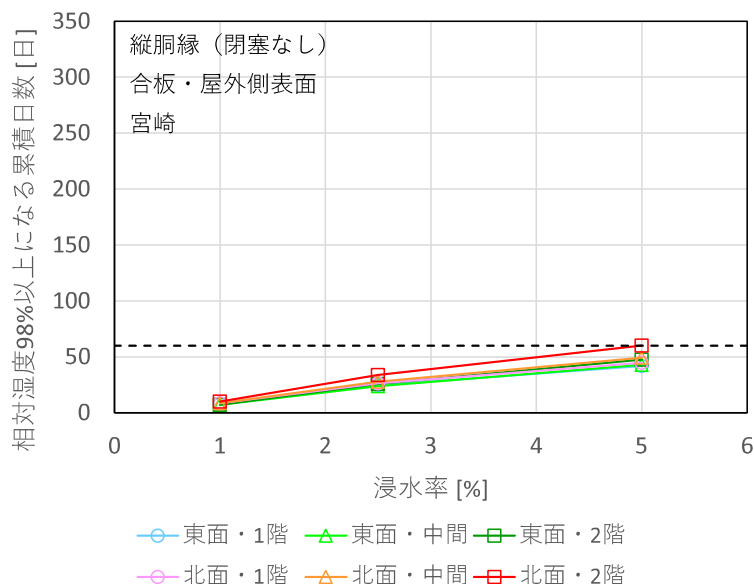


図 4.2.70 浸水率と累積日数の関係 (control、合板・屋外側表面、宮崎)

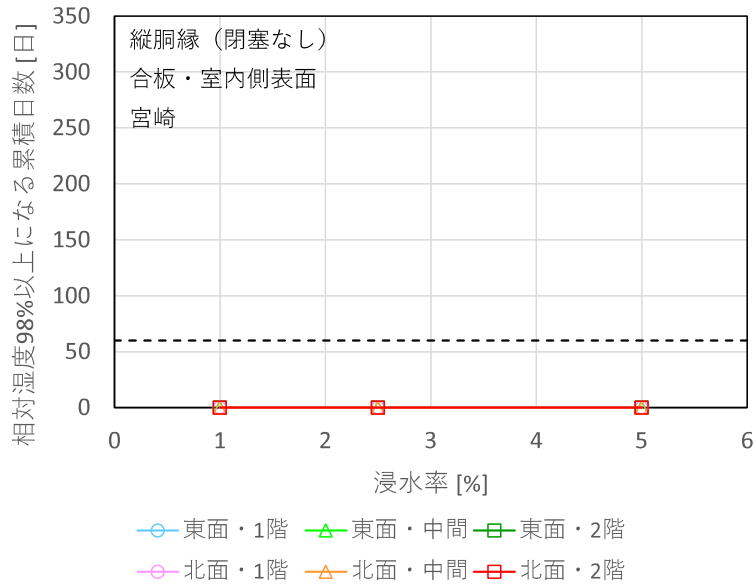


図 4.2.71 浸水率と累積日数の関係（control、合板・室内側表面、宮崎）

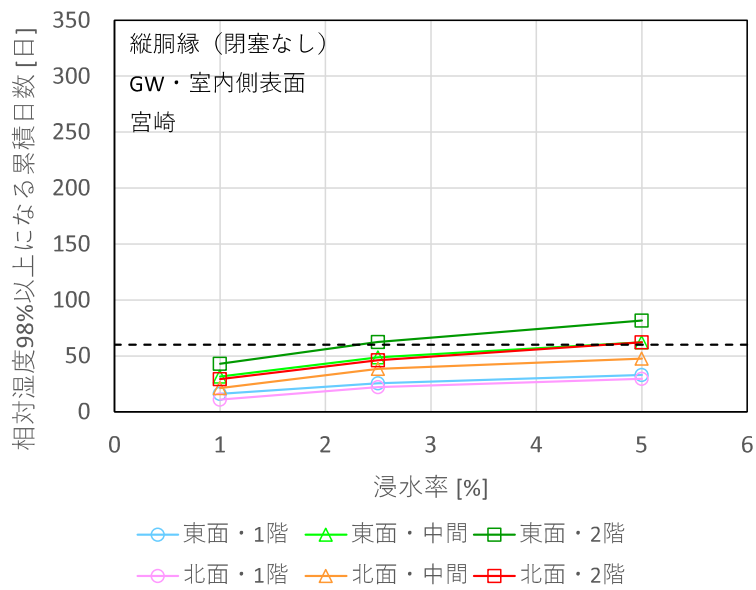


図 4.2.72 浸水率と累積日数の関係（control、GW・室内側表面、宮崎）

横胴縁の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.73 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.74 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.75 に示す。構造用合板の屋外側では、浸水率 1%の条件においても北側の中間および 2階で 60 日を超えている。また浸水率 2.5%では東面、北面のいずれも 60 日を下回るのは 1 階のみとなっている。さらに、浸水率 5%では全ての位置において 60 日を上回っており、浸水率が大きい場合、横胴縁は乾燥が十分に行われない恐れがあることが示唆される。

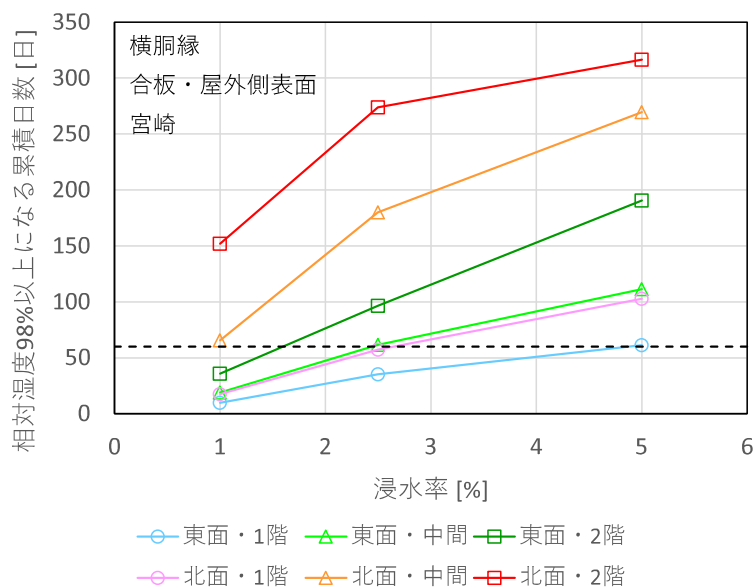


図 4.2.73 浸水率と累積日数の関係（横胴縁、合板・屋外側表面、宮崎）

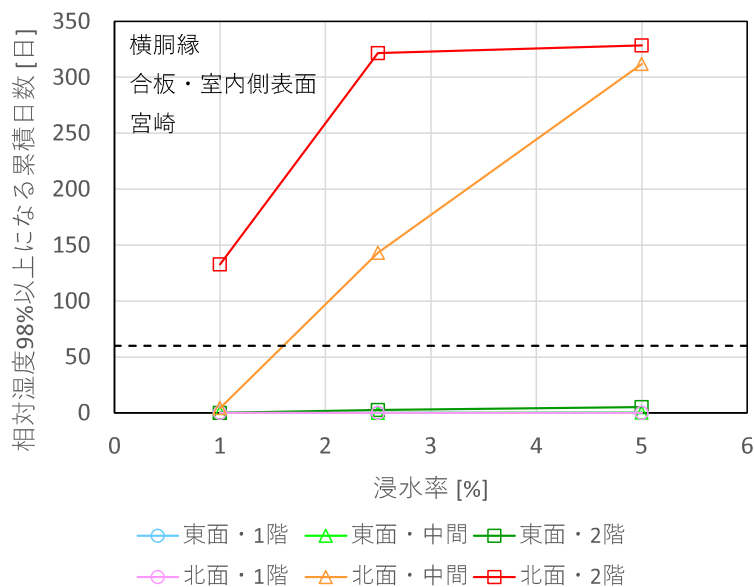


図 4.2.74 浸水率と累積日数の関係（横胴縁、合板・室内側表面、宮崎）

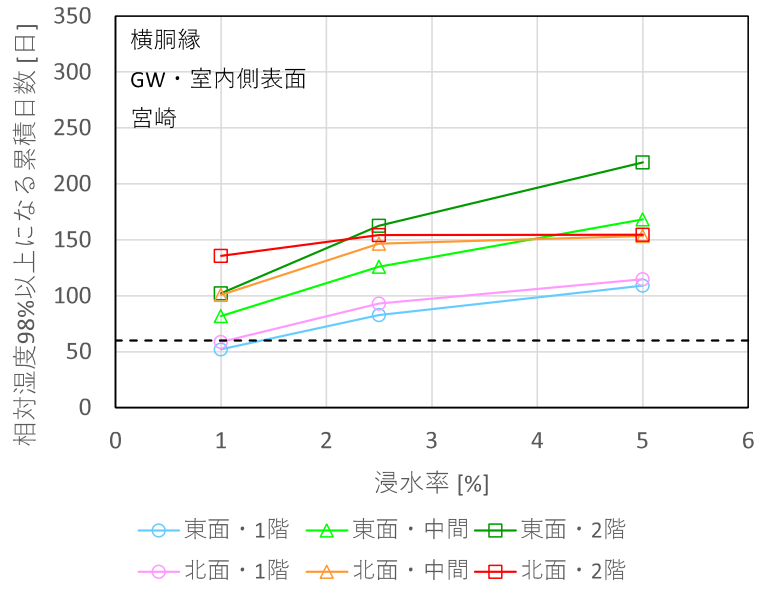


図 4.2.75 浸水率と累積日数の関係（横胴縁、GW・室内側表面、宮崎）

上部閉塞の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.76 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.77 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.78 に示す。構造用合板の室内側、浸水率 1%の東面 1 階を除くすべてのケースで 60 日を上回っており、特に北面では構造用合板が一年の 3 分の 2 以上の期間で湿度の高い状態に曝露されていることが確認できる。

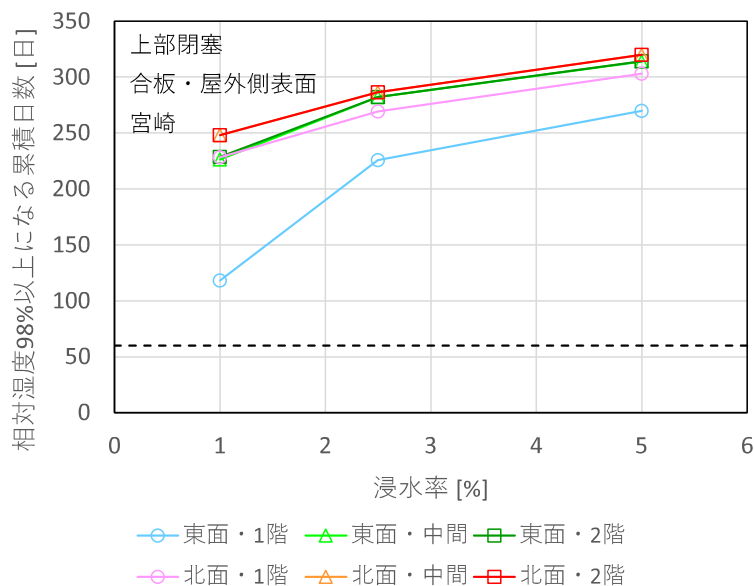


図 4.2.76 浸水率と累積日数の関係（上部閉塞、合板・屋外側表面、宮崎）

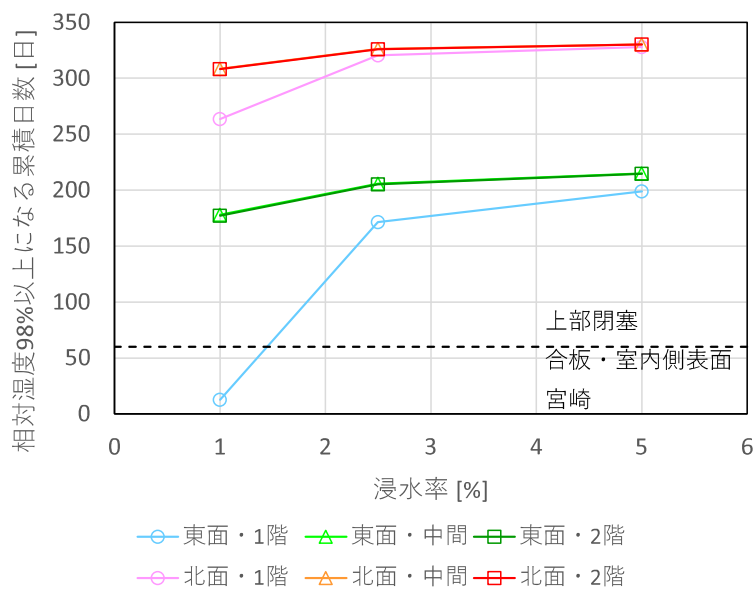


図 4.2.77 浸水率と累積日数の関係（上部閉塞、合板・室内側表面、宮崎）

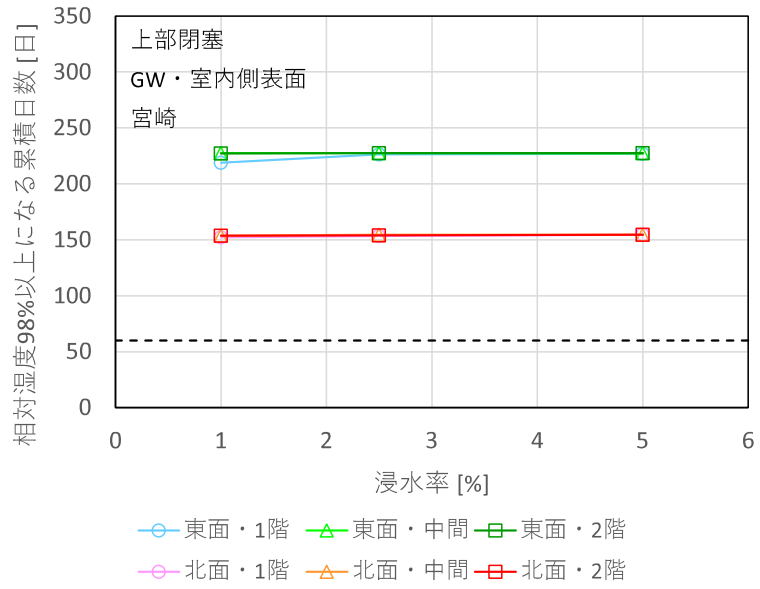


図 4. 2. 78 浸水率と累積日数の関係（上部閉塞、GW・室内側表面、宮崎）

(2) 通気層端部の流量係数との関係 (宮崎)

浸水率 1%の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.79 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.80 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.81 に示す。なお流量係数は 0 が上部閉塞、0.017 が横胴縁、0.173 が control (縦胴縁) である。合板の屋外側表面において、流量係数 0 (以下「上部閉塞」) では全ての位置で 60 日を超えているが、流量係数 0.017 (以下「横胴縁」) では北面の中間および 2 階を除く箇所が 60 日を下回り、流量係数 0.173 (以下「control」) では全ての位置で 60 日を下回った。合板室内側、GW 室内側でも同様の傾向を示しており、すべての位置で 60 日を下回するためには control 相当の流量係数が必要であることが示唆される。

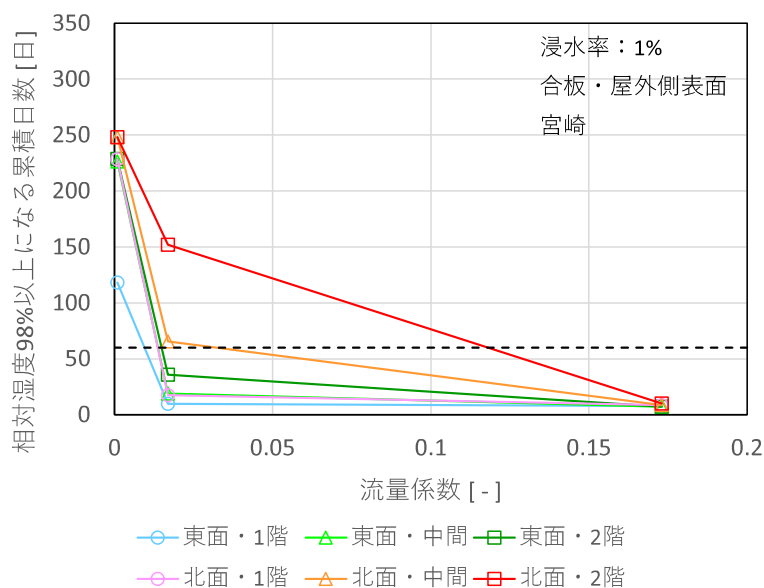


図 4.2.79 通気層端部の流量係数と累積日数の関係 (浸水率 1%、合板・屋外側表面、宮崎)

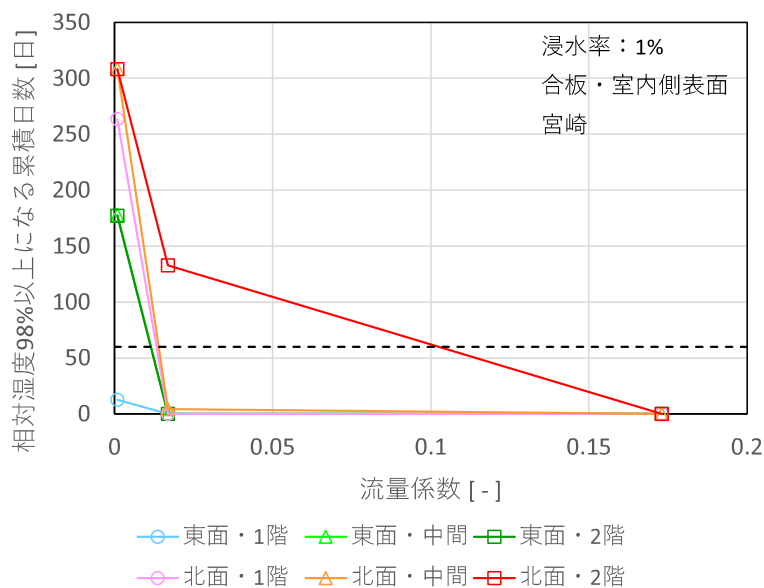


図 4.2.80 通気層端部の流量係数と累積日数の関係 (浸水率 1%、合板・室内側表面、宮崎)

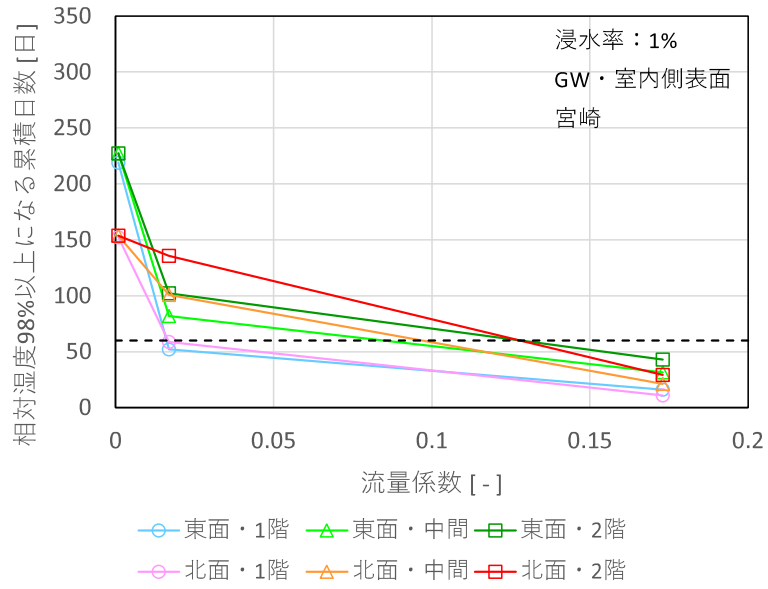


図 4. 2. 81 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 1%、GW・室内側表面、宮崎）

浸水率 2.5%の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.82 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.83 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.84 に示す。合板の屋外側表面において、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超えている。横胴縁では東面と北面の 1 階のみが 60 日を下回り、control では全ての位置で 60 日を下回った。合板室内側において、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超え、横胴縁で北面の中間および 2 階を除く位置で 60 日を下回り、control ですべてが 60 日を下回った。GW 室内側においては、上部閉塞および横胴縁ですべての位置が 60 日を上回り、control で東面の 2 階を除く位置で 60 日を下回った。このとき、東面の 2 階の日数は 62.5 日であり、直ちに大きな問題とはならないと考えられる。浸水率 2.5%の条件においても、すべての位置で 60 日を下回るためには control 相当の流量係数が必要であることが示唆される。

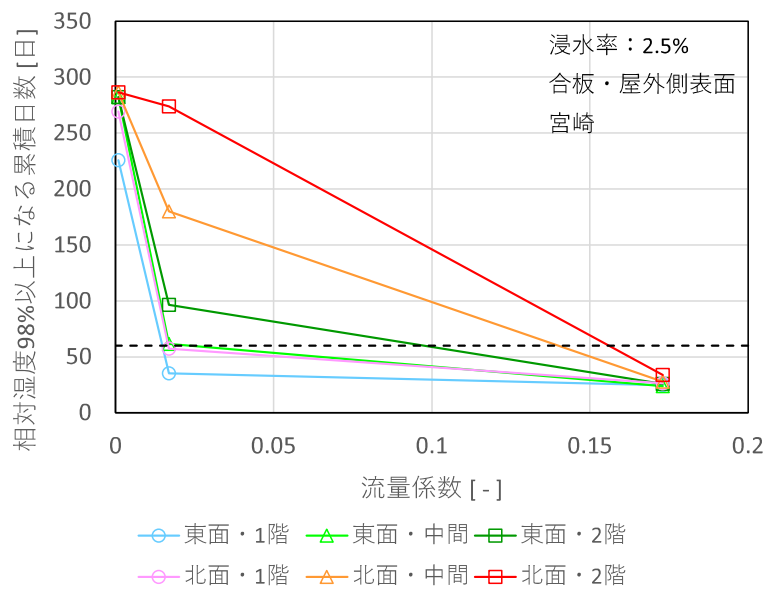


図 4.2.82 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 2.5%、合板・屋外側表面、宮崎）

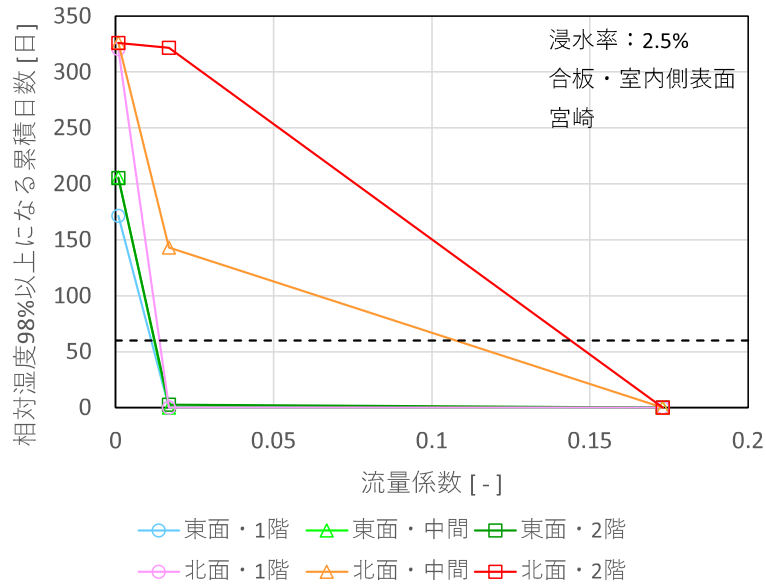


図 4.2.83 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 2.5%、合板・室内側表面、宮崎）

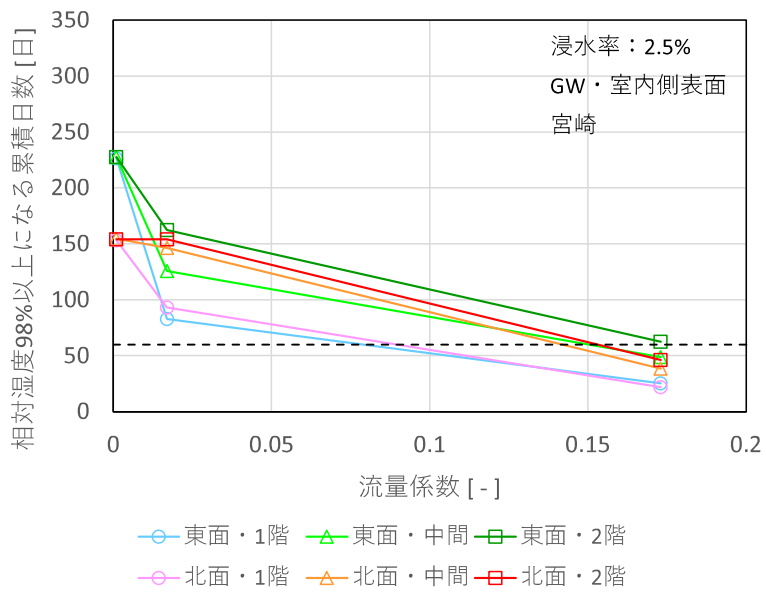


図 4.2.84 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 2.5%、GW・室内側表面、宮崎）

浸水率 5%の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.85 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.86 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.87 に示す。合板の屋外側表面において、上部閉塞および横胴縁では全ての位置で 60 日を超えており、control では北面の 2 階を除いて 60 日を下回っている。このとき、北面の 2 階の日数は 60.3 日であった。合板室内側において、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超え、横胴縁で北面の中間および 2 階を除く位置で 60 日を下回り、control ですべてが 60 日を下回った。GW 室内側においては、上部閉塞および横胴縁ですべての位置が 60 日を上回り、control で東面の中間および 2 階、北面の 2 階で 60 日を上回った。このとき、東面の 2 階の日数は 81.5 日であり、すべての位置で 60 日を下回るためには control 以上の流量係数が必要であることが示唆される。

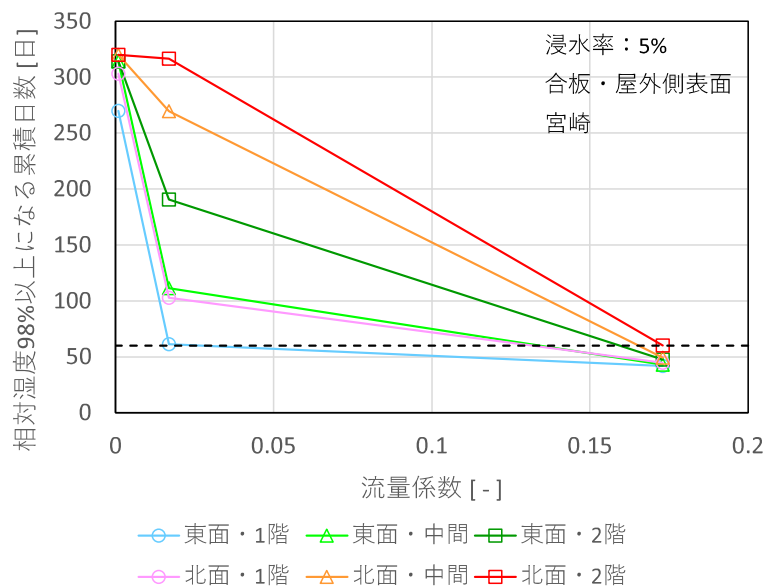


図 4.2.85 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 5%、合板・屋外側表面、宮崎）

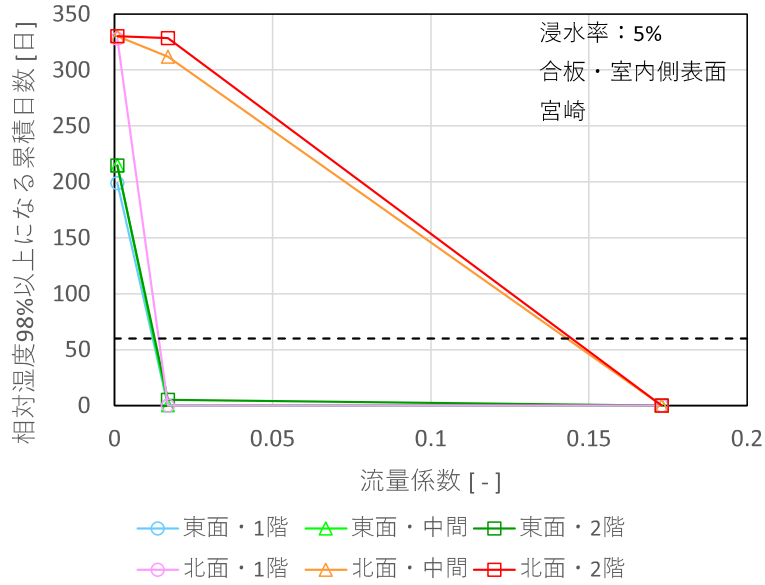


図 4.2.86 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 5%、合板・室内側表面、宮崎）

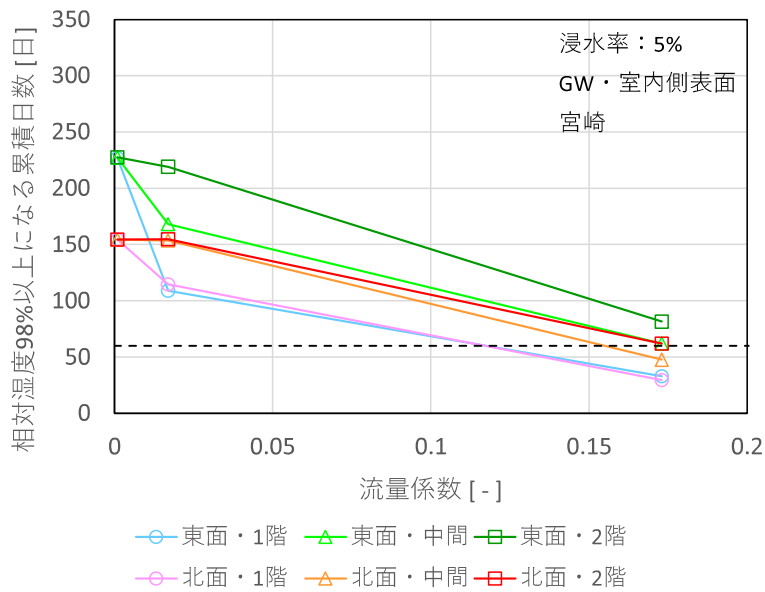


図 4.2.87 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 5%、GW・室内側表面、宮崎）

(3) 浸水率との関係 (東京)

control の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.88 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.89 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.90 に示す。構造用合板の屋外側、合板の室内側、GW の室内側のすべての位置で 60 日を下回っており、浸水率 5%以内であれば問題とはならないと考えられる。特に構造用合板の室内側では、いずれのケースにおいても相対湿度が 98%以上となる時間は発生しておらず、良好な状態を保っていると言える。

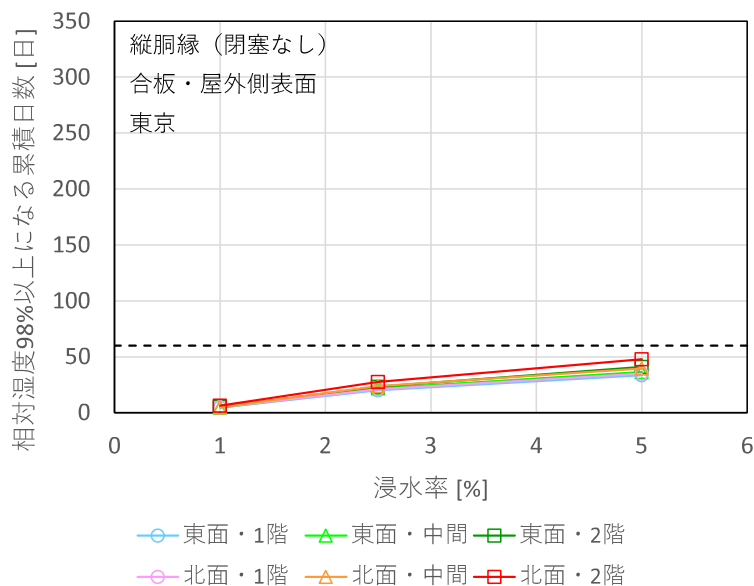


図 4.2.88 浸水率と累積日数の関係 (control、合板・屋外側表面、東京)

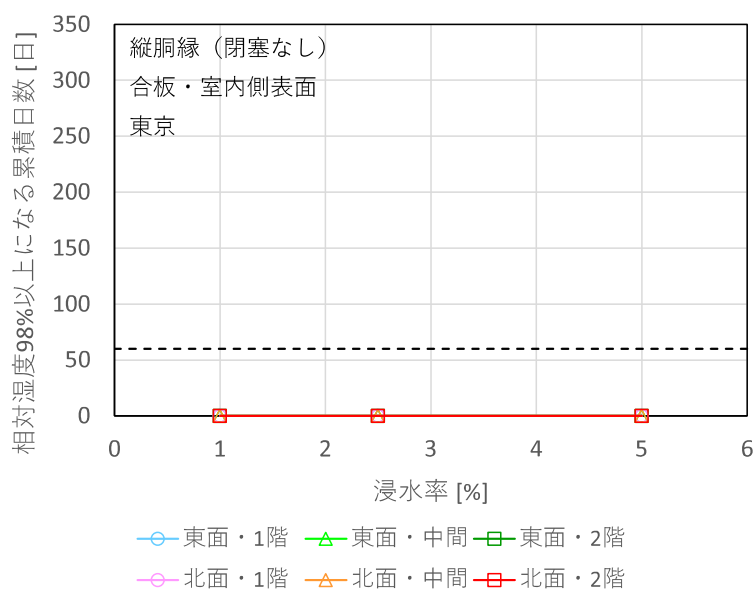


図 4.2.89 浸水率と累積日数の関係 (control、合板・室内側表面、東京)

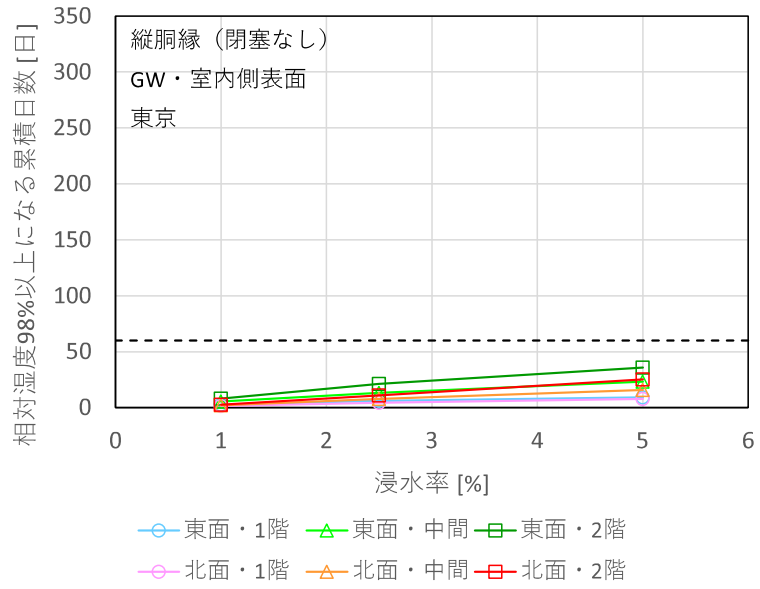


図 4. 2. 90 浸水率と累積日数の関係 (control、GW・室内側表面、東京)

横胴縁の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.91 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.92 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.93 に示す。構造用合板の屋外側では、浸水率 1%の条件においても北側の 2 階で 60 日を超えている。浸水率 2.5%では東面、北面のいずれも 60 日を下回るのは 1 階のみとなっている。さらに、浸水率 5%では東面の 1 階を除く位置で 60 日を上回っており、浸水率が大きい場合、横胴縁は乾燥が十分に行われない恐れがあることが示唆される。

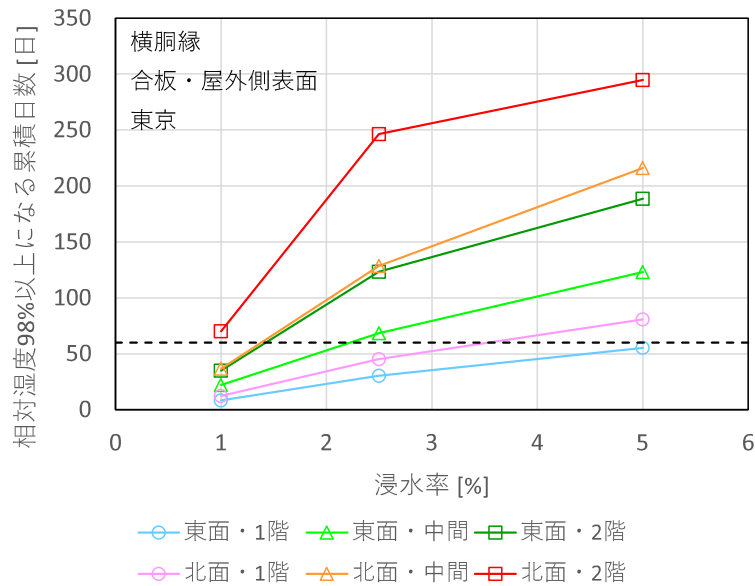


図 4.2.91 浸水率と累積日数の関係（横胴縁、合板・屋外側表面、東京）

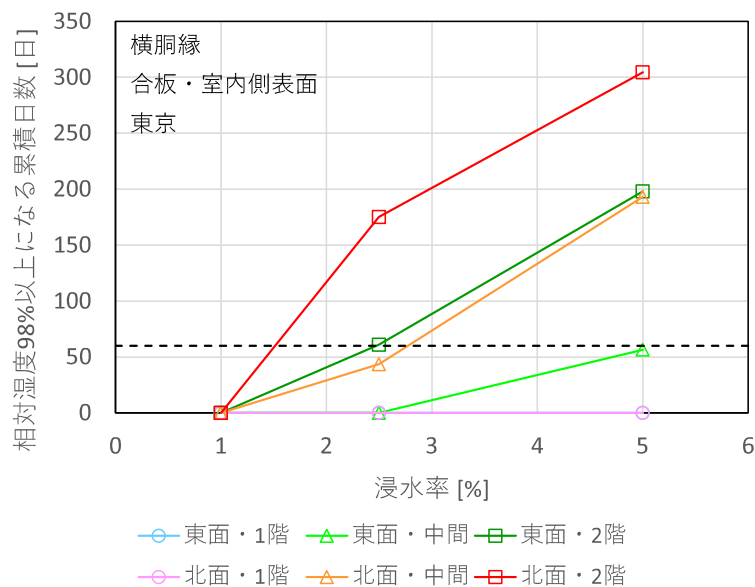


図 4.2.92 浸水率と累積日数の関係（横胴縁、合板・室内側表面、東京）

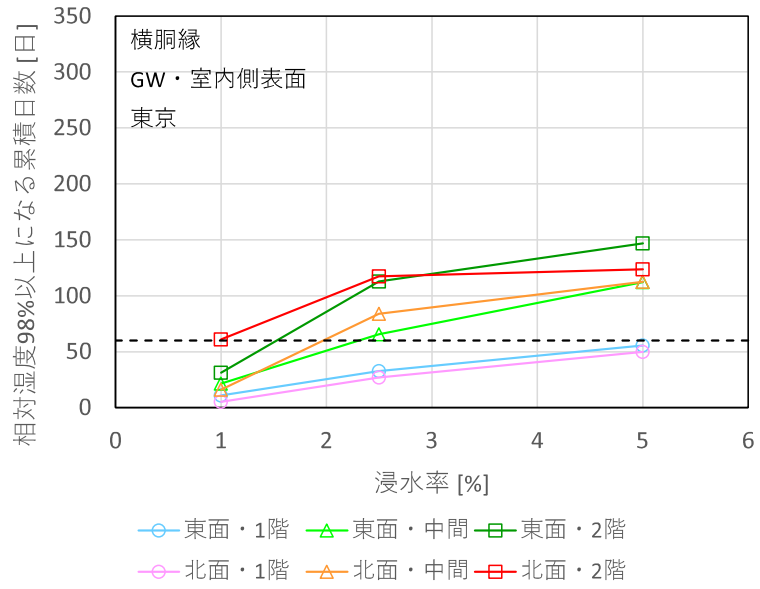


図 4.2.93 浸水率と累積日数の関係 (横胴縁、GW・室内側表面、東京)

上部閉塞の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.94 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.95 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.96 に示す。構造用合板の室内側、浸水率 1%の東面 1 階を除くすべてのケースで 60 日を上回っており、特に北面では構造用合板が、浸水率が 1%のとき一年の概ね半分以上の期間で、浸水率 2.5%以上のとき一年の 3 分の 2 以上の期間で湿度の高い状態に曝露されていることが確認できる。

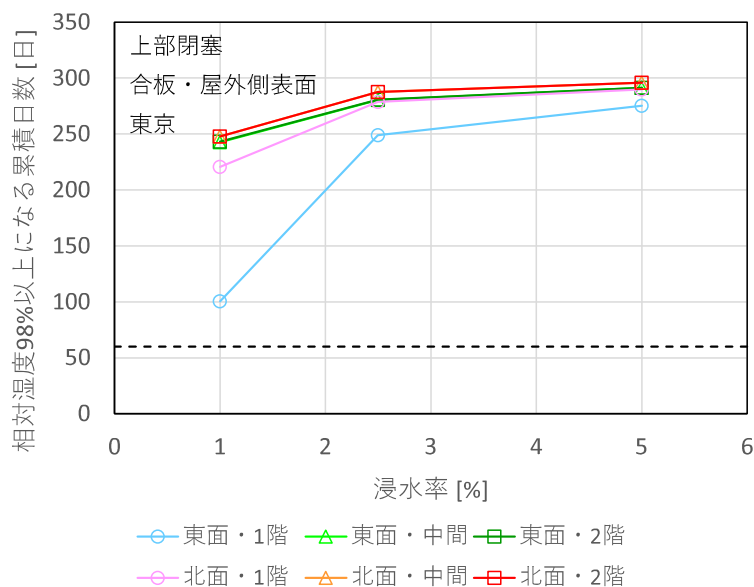


図 4.2.94 浸水率と累積日数の関係（上部閉塞、合板・屋外側表面、東京）

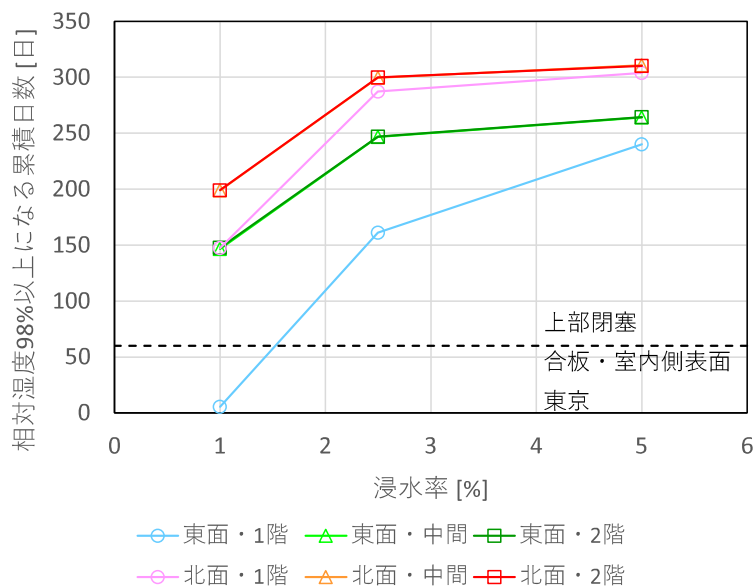


図 4.2.95 浸水率と累積日数の関係（上部閉塞、合板・室内側表面、東京）

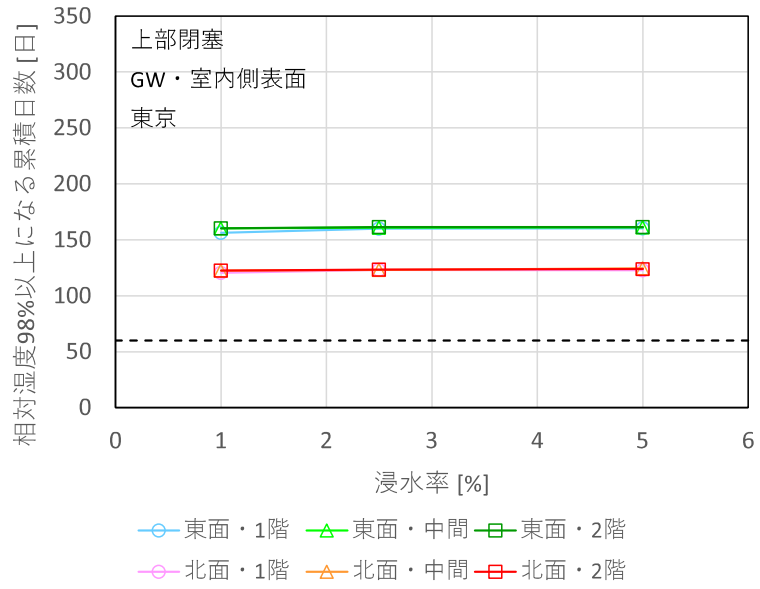


図 4.2.96 浸水率と累積日数の関係（上部閉塞、GW・室内側表面、東京）

(4) 通気層端部の流量係数との関係 (東京)

浸水率 1%の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.97 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.98 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.99 に示す。合板の屋外側表面において、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超えているが、横胴縁では北面の 2 階を除く箇所が 60 日を下回り、control では全ての位置で 60 日を下回った。合板室内側、GW 室内側でも同様の傾向を示しており、すべての位置で 60 日を下回るためには control 相当の流量係数が必要であることが示唆される。

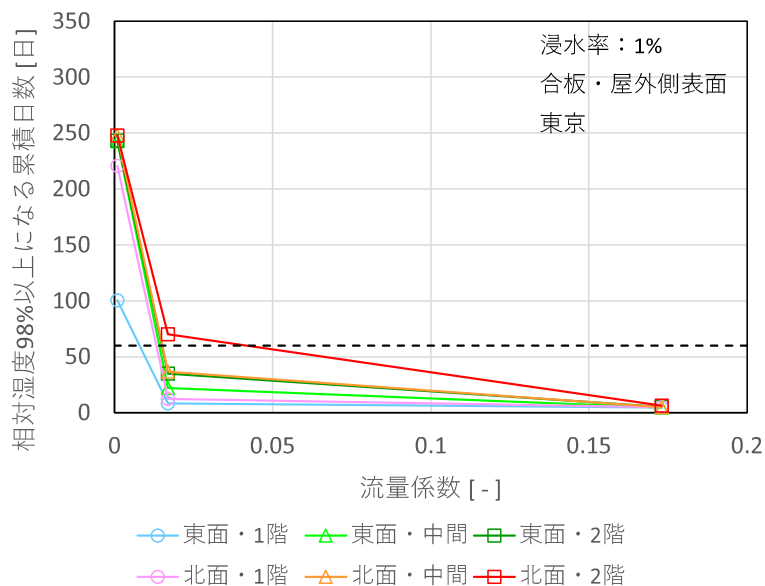


図 4.2.97 通気層端部の流量係数と累積日数の関係 (浸水率 1%、合板・屋外側表面、東京)

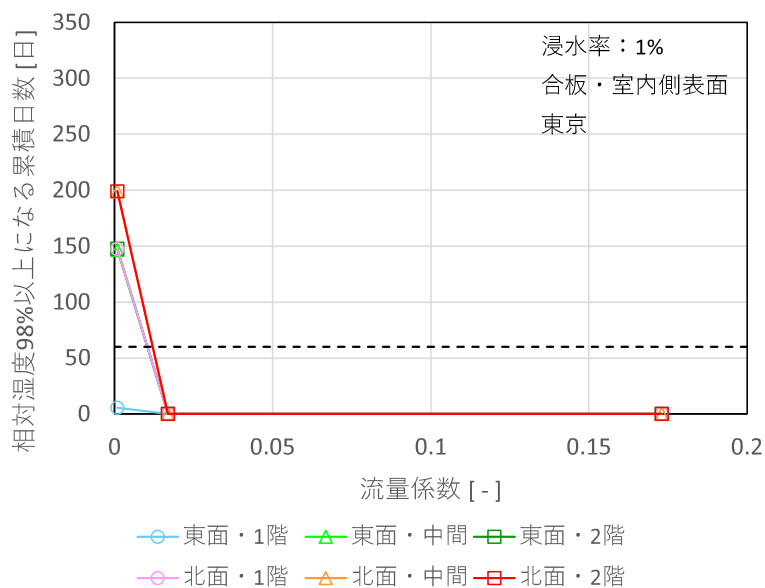


図 4.2.98 通気層端部の流量係数と累積日数の関係 (浸水率 1%、合板・室内側表面、東京)

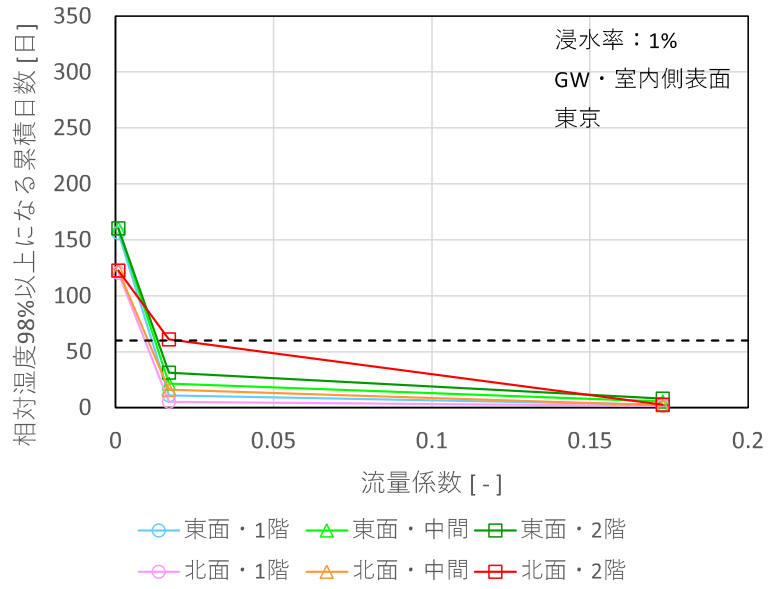


図 4. 2. 99 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 1%、GW・室内側表面、東京）

浸水率 2.5%の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.100 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.101 に、GW—防湿層界面における累積日数を図 4.2.102 に示す。合板の屋外側表面において、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超えている。横胴縁では東面と北面の 1 階のみが 60 日を下回り、control では全ての位置で 60 日を下回った。合板室内側において、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超え、横胴縁では東面および北面の 2 階を除く位置で 60 日を下回り、control ではすべての位置で 60 日を下回った。GW 室内側においては、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超え、横胴縁では東面および北面の 1 階を除く位置で 60 日を上回り、control ではすべての位置で 60 日を下回った。浸水率 2.5%の条件においても、すべての位置で 60 日を下回るためには control 相当の流量係数が必要であることが示唆される。

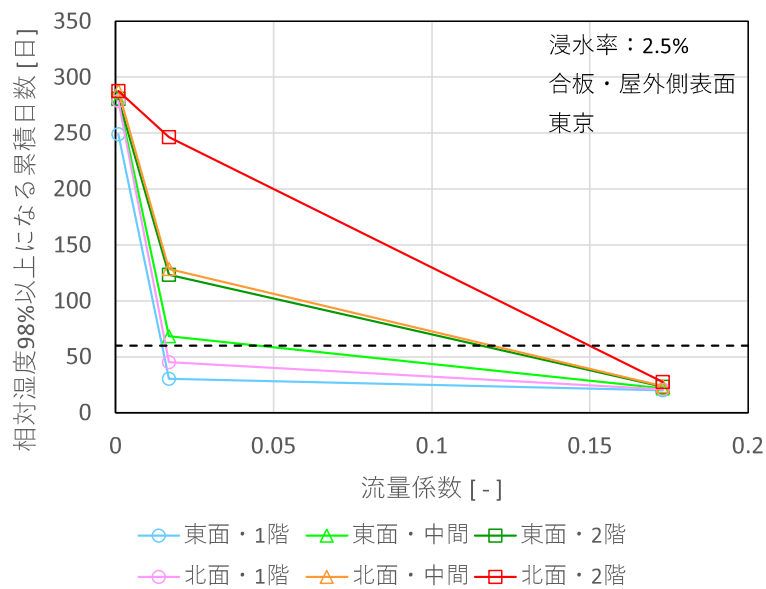


図 4.2.100 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 2.5%、合板・屋外側表面、東京）

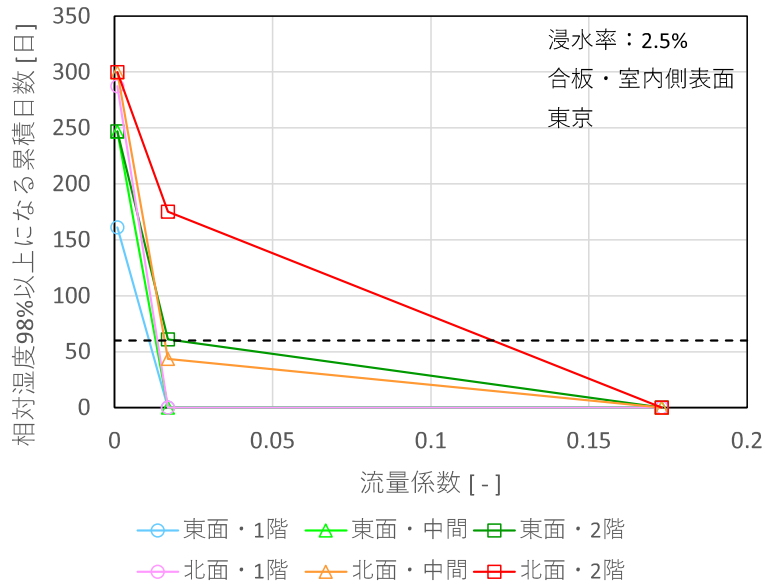


図 4.2.101 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 2.5%、合板・室内側表面、東京）

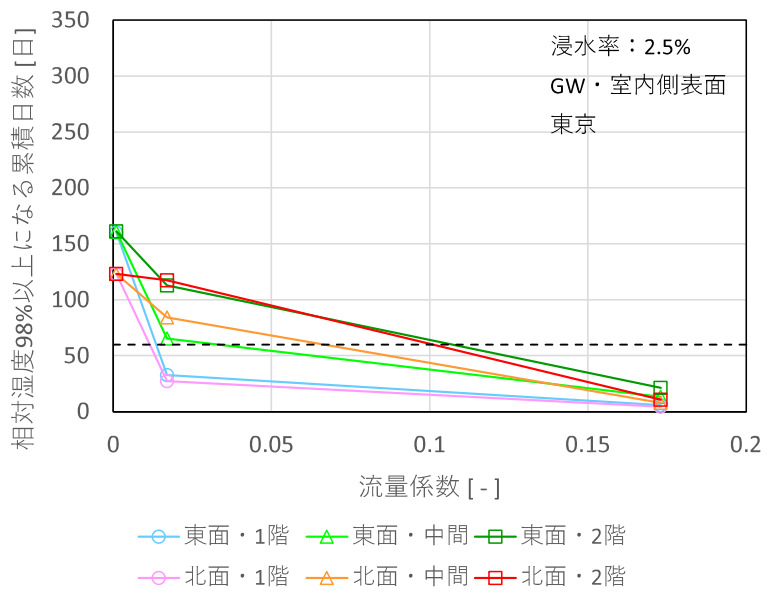


図 4.2.102 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 2.5%、GW・室内側表面、東京）

浸水率 5%の条件で、構造用合板の屋外側表面において相対湿度が 98%以上になる累積日数を図 4.2.103 に、合板の室内側表面における累積日数を図 4.2.104 に、GW-防湿層界面における累積日数を図 4.2.105 に示す。合板の屋外側表面において、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超え、横胴縁では東面の 1 階を除く位置で 60 日を超えており、control ではすべての位置で 60 日を下回っている。合板室内側において、上部閉塞では全ての位置で 60 日を超え、横胴縁で北面の中間および 2 階、東面の 2 階を除く位置で 60 日を下回り、control ではすべての位置で 60 日を下回った。GW 室内側においては、上部閉塞ではすべての位置で 60 日を上回り、横胴縁では東面および北面の 1 階で 60 日を下回り、control ではすべての位置で 60 日を下回った。浸水率 5%においても、すべての位置で 60 日を下回するためには control 相当の流量係数が必要であることが示唆される。

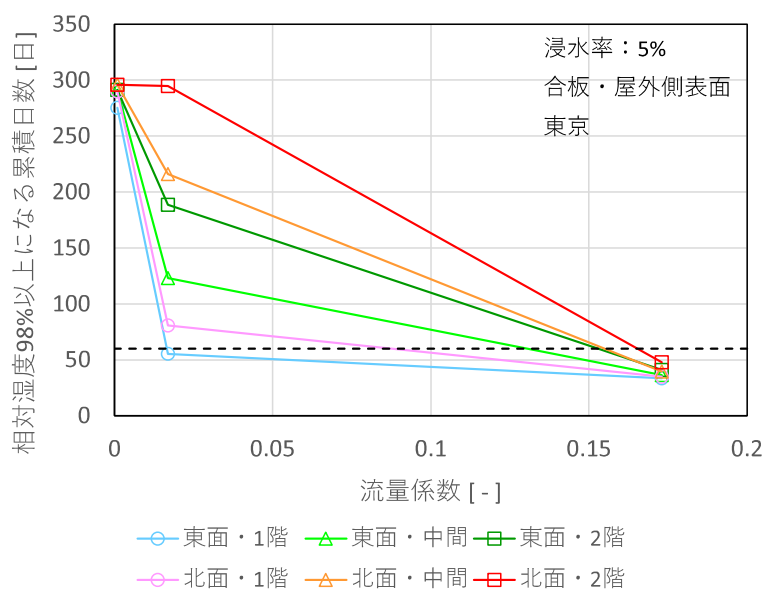


図 4.2.103 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 5%、合板・屋外側表面、東京）

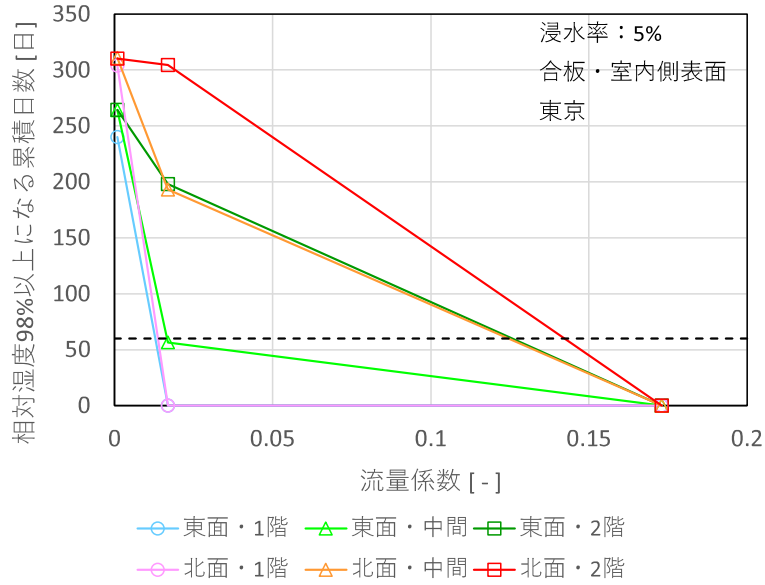


図 4.2.104 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 5%、合板・室内側表面、東京）

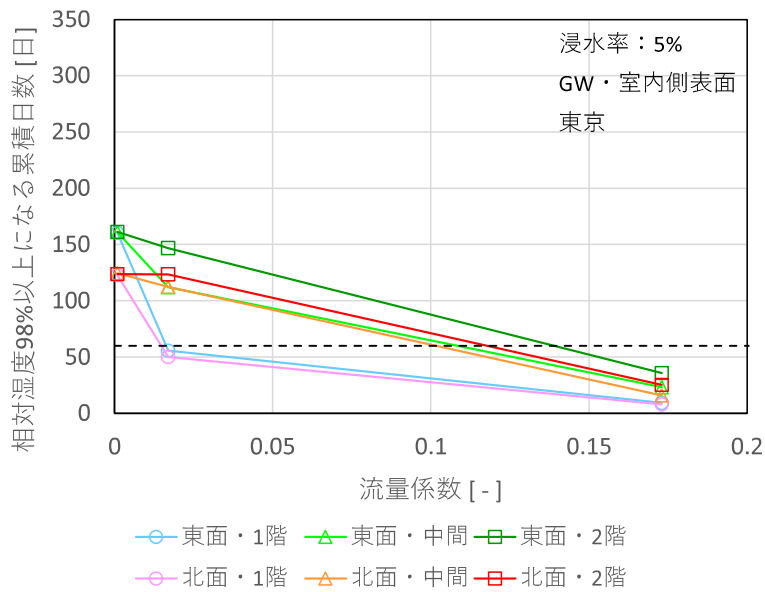


図 4.2.105 通気層端部の流量係数と累積日数の関係（浸水率 5%、GW・室内側表面、東京）

4.2.3 まとめ

表 4.2.4 に上述したシミュレーション計算による雨水浸入時の劣化リスクを整理した。シミュレーション計算では、通気障害、浸水率、方位のパラメータを変化させたが、通気障害が雨水浸入時の放湿型結露及び合板含水率上昇に最も感度が高い結果となった。今回設定した条件（温暖地、2階建て）では、control 程度の通気障害ならば、通気層へのある程度の浸水にも耐えうるということが示唆された。一方で、横胴縁では中程度、通気層上端が閉塞する場合はかなり高い確率で劣化が生じる環境条件になることが読み取れる。

表 4.2.4 シミュレーションによる雨水浸入時の劣化リスク

地域	方位	東			北			流量係数*
	浸水率 通気障害	1%	2.5%	5%	1%	2.5%	5%	
宮崎	control（縦胴縁）	○	△	△	○	○	△	0.173
	横胴縁	△	×	×	△	×	×	0.017
	上部閉塞	×	×	×	×	×	×	0.001
東京	control（縦胴縁）	○	○	○	○	○	○	0.173
	横胴縁	○	×	×	△	×	×	0.017
	上部閉塞	×	×	×	×	×	×	0.001

劣化リスク：○低、△中、×高

* 流量係数は1層分の値

雨水浸入を考慮した計算モデルでは、実際の現象に対し不明な点が多々あるため、本計算ではいくつかの安全率を設定し、全体的には厳しい評価となっている。本検討で行ったような外皮の評価方法や与条件については、国内、海外を含め様々な議論があり、明確な指針は定まっておらず、以下に計算結果の位置付けや未解決の課題について解説する。

- ・通気層内への雨水浸入量を算出するための浸水率は、本来、風速の関数となり、ある値を越えないと雨水浸入は生じないが、ASHRAE のガイドラインに準拠し壁面雨量が算出されれば風速によらず一定の浸水が生じるとしており、本計算でもこれに準拠した。
- ・また、ASHRAE のガイドラインでは、通気層への浸入水が外装材裏面などを流下せず滞留する設定のため、浸水量が多い場合、長期にわたる水分供給が生じる。計算精度を向上させるには、浸入水の流下を考慮したモデル開発が必要であるが、現在開発中であるため本計算では利用しておらず、より厳しい設定となっている。
- ・外装材の塗膜や防水紙の透水抵抗のデータが存在しないため、本計算では塗膜等の抵抗が小さい暫定的な値を採用している。外装材嵌合部の浸水率についてもデータが少ないため、上述した ASHARE の値をベースに設定している。一方、ステープルや釘などの貫通部の施工性や経年劣化の影響の大きいことが既往研究で指摘されており、これらを勘案したデータを収集する必要

がある。

- ・今回、気象データについては、気象庁の統計値を参考に降水量が多い年度の1時間毎のデータを採用した。一方、欧米では湿害評価のための気象データ選別のためのプロトコルを整備し、外皮の評価において使用することを推奨している。しかしながら、合板の水分蓄積、防湿層における放湿型結露、外装材の凍結融解等、様々な湿害に対して、壁面方位、降水量、卓越風向、外気温度等、どの項目が最も影響するかは、国際的な学会でも議論があり、日本の気象条件や構法、施工システムを勘案した検討が必要とされる。
- ・耐久性評価の場合、竣工から数十年後の性能評価が必要となる。そのため、近年の温暖化による温度、降水量等の変化に対する考慮がCSA (National Standard of Canada) などでは求められているものの、国内では未着手の状態である。

本検討における実測結果は、上述したシミュレーション計算の位置付けに対し、完全ではないものの一定の信頼性を与えるデータであり、各種パラメータと湿害リスク(相対湿度の出現頻度)の定性的傾向については実測とおおよそその一致が見られている。ゆえに、感度解析に基づく不具合原因特定手法の整備といった、プロジェクトの目的に対して実測結果は有用な知見と位置付けられる。

4. 3 シミュレーション2 (小屋裏・通気層計算モデル)

4.3.1 計算概要

4.3.1.1 計算対象住宅モデル

計算対象の住宅モデルは学会標準問題^[1]を参考に、2階南側にはバルコニーがあるものとして、人が出入りできる窓の大きさとし、他の窓寸法についても現代的な寸法に修正した、南北切妻屋根の住宅とする(図4.3.1)。計算対象空間の平面・断面モデルを図4.3.2に示す。通気層は南北面のみとし、ファイヤーストップなどの中間の通気抵抗を検討するため、2FL高さで上下に分け、①小屋裏空間、②軒裏空間(南)、③軒裏空間(北)、④通気層(南1F)、⑤通気層(南2F)、⑥通気層(北1F)、⑦通気層(北2F)、⑧天井空気層、⑨居室は全体を合わせて1室にした計9室とした。なお、⑧の空間は天井下地材を貫流した湿気が天井断熱材の継目を通して小屋裏へ流入する現象を再現するために設けた天井下地材と天井断熱材の間の空間である(以下、天井空気層と記す)。

計算対象空間の気積および各部の面積を表4.3.1、4.3.2に示す。通気層については、南面および北面の窓の無い1,2階の連通した部分を対象とし、軒裏空間につながるタイプとした。東西面の通気層は小屋裏の妻壁のみで計算対象としており、空気層扱いとして熱伝達および湿気伝達での計算としている。各隙間の設定値を表4.3.3に、換気計算に関する各室床面高さや各開口・隙間の特性値や高さ・面積などを表4.3.4に示す。昨年度との違いは、天井面の隙間の特性が検討会の結果を受けて、昨年度は間仕切り壁上部、廻り縁、照明器具の隙間を別々に設定していたが、今回は天井面全体での気密性能(隙間の特性値)で設定している(後節4.3.2.3で詳細を述べる)。各部材取り合い部の隙間には別途実施した試験体による気密箱実験で求められた値を用いた^[2]。ただし文献^[2]では、ノルマル流量(空気温度0°Cでの流量)での数値であったため、20°Cの空気の通気量に修正した値を設定した。また、軒裏空間と小屋裏空間の間にある桁梁上の垂木間の開口、および通気層水切り部は垂直の開口として扱い、開口高さの中心で内外の圧力差を求め、流量係数 α と開口面積から通気量を算出している。桁梁上の開口の流量係数については、垂木断面による面積減少も考慮して0.3とした。軒裏換気口の相当開口面積 αA は、気密箱試験により得られた値^[3](123cm²)とした。通気層の水切り部と中間部(2FL高さ部)と上部の流量係数 α は、通気層の摩擦抵抗を考慮して、障害が無い場合は全て0.3とした。以下、これを基準条件とする。なお、表4.3.4での網掛け部分は、計算条件により選択されるものである。また、同表中の適用欄の2カ所に「給気口4カ所」とあるのは、居室第3種換気のために用いられる給気口の開口特性の設定値である。



図 4.3.1 計算住宅平面図

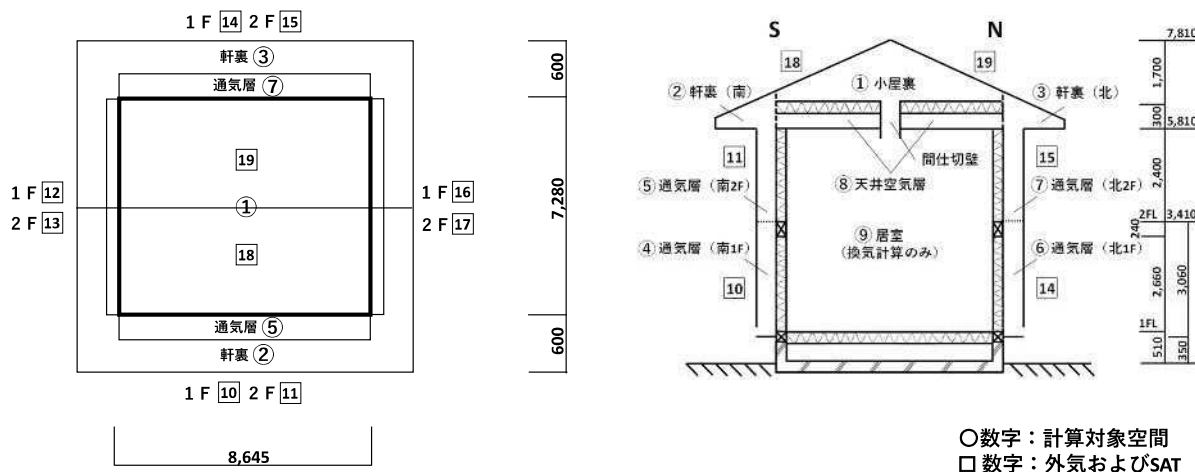


図 4.3.2 計算住宅モデル

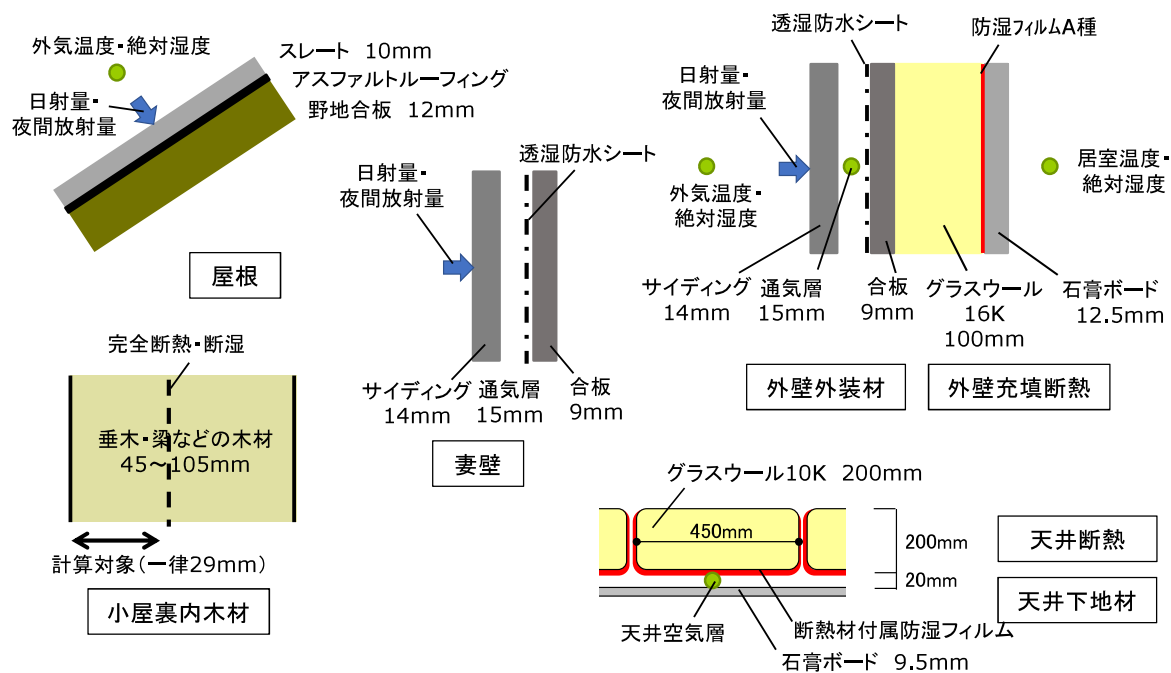


図 4.3.3 断面構成モデル図

表 4.3.1 計算対象室の気積

対象室	気積(m ³)
小屋裏空間	63.50
軒裏空間(南・北)	1.43
通気層(南1F・北1F)	0.15
通気層(南2F・北2F)	0.11
天井空気層	1.26

表 4.3.2 各部面積

対象室	隣接室	面積(m ²)
小屋裏	居室	62.94
	妻壁(東・西)	7.35
	屋根(南・北)	34.51
	小屋裏内木材	101.58
軒裏空間(南・北)	軒裏天井	5.62
	屋根軒部	6.16
通気層(南1F・北1F)	外壁外装材	9.75
	外壁充填断熱	8.47
通気層(南2F・北2F)	外壁外装材	7.64
	外壁充填断熱	7.64

表 4.3.3 各隙間の設定値

部位	n値	通気率 _a [m ³ /h/Pa ^{1/n}]	単位	数量
軒部垂木高開口	2	0.03 [※]	m当り	8.65(南および北)
間仕切り壁上部含む天井面隙間	1.5	0.1744	m2当り	62.94
外壁幅木下(断熱防湿有・普通幅木)	1.11	0.0247	m当り	31.85
胴差上	1.09	0.0285	m当り	17.29
胴差下(石膏ボード張上げ)	1.08	0.0181	m当り	17.29
軒裏換気口	2	0.0123 [※]	カ所	8[カ所](南および北)
通気層上部	2	0.0045 [※]	m当り	3.19(南および北面)
通気層下部(水切り部)	2	0.0045 [※]	m当り	3.19(南および北面)
窓枠と障子・障子召し合せ(玄関ドア含む)	1.6	0.720	m当り	117.3
給気口	2	0.001 [※]	カ所	8[カ所]

※単開口でαA[m2]を示す。

表 4.3.4 各室床面高さとの各部の開口諸元表

床面の地盤面からの高さ[m]										
小屋裏	軒裏(南)	軒裏(北)	通気層(南1F)※1	通気層(南2F)	通気層(北1F)※1	通気層(北1F)	天井空気層	居室		
6.11	5.81	5.81	0.35	3.41	0.35	3.41	5.81	0.51		
開口データ										
対象室	隣接室	場所	水平/垂直	n値	通気率※2	下端高さ[m]※3	上端高さ[m]※3	横方向長さ[m]	個数	適用
1	2	壁	水平	2	0.03	0.09	—	8.65	1	桁上垂木高(南)
1	3	壁	水平	2	0.03	0.09	—	8.65	1	桁上垂木高(北)
1	9	底面	水平	1.50	0.1744	0	0	62.94	1	単位面積 αA=0.55[cm2/m2]
1	9	底面	水平	1.50	1.3633	0	0	62.94	1	単位面積 αA=4.3[cm2/m2]
1	9	底面	水平	1.50	2.0005	0	0	62.94	1	単位面積 αA=6.31[cm2/m2]
2	5	底面	水平	2	0.005	0	—	3.19	1	通気層上(南)窓除く
2	5	底面	水平	2	0.0005	0	0	3.19	1	通気層上(南)横棧
2	5	底面	水平	2	0.00002	0	0	3.19	1	通気層上(南)上部閉塞
2	11	底面	水平	2	0.0123	0	—	1	8	軒裏換気口(南)
3	7	下端	水平	2	0.005	0	0	3.19	1	通気層上(北)窓除く
3	7	下端	水平	2	0.0005	0	0	3.19	1	通気層上(北)横棧
3	7	下端	水平	2	0.00002	0	0	3.19	1	通気層上(北)上部閉塞
3	15	底面	水平	2	0.0123	0	—	1	8	軒裏換気口(北)
4	5	上端	水平	2	0.005	3.06	0	3.185	1	通気層中間
4	5	上端	水平	2	0.0008	3.06	0	3.185	1	通気層中間(FS)
4	5	上端	水平	2	0.0005	3.06	0	3.185	1	通気層中間(横棧)
4	9	壁	水平	1.08	0.0181	2.78	0	3.19	1	階間南 胴差下
4	10	壁	水平	2	0.005	0	0	3.19	1	通気層南 水切り部
4	10	壁	水平	2	0.0015	0	0	3.19	1	通気層南 水切り部(ロングスターター)
4	10	壁	水平	2	0.0005	0	0	3.19	1	通気層南 水切り部(横棧)
5	9	壁	水平	1.1	0.0532	0	0	3.19	1	胴差上+2F幅木下
6	7	上端	水平	2	0.005	3.06	0	3.19	1	通気層中間
6	7	上端	水平	2	0.0008	3.06	0	3.19	1	通気層中間(FS)
6	7	上端	水平	2	0.0005	3.06	0	3.19	1	通気層中間(横棧)

6	9	壁	水平	1.08	0.0181	2.78	0	3.19	1	階間北 胴差下
6	14	壁	水平	2	0.005	0	0	3.19	1	通気層北 水切り部
6	14	壁	水平	2	0.0015	0	0	3.19	1	通気層南 水切り部(ロングスター)
6	14	壁	水平	2	0.0005	0	0	3.19	1	通気層南 水切り部(横棧)
7	9	壁	水平	1.10	0.0532	0	0	3.19	1	胴差上+2F幅木下
9	10	壁	水平	1.11	0.0247	0	0	8.65	1	1F外壁幅木下(南)
9	10	壁	垂直	1.6	0.72	0	2.0	—	9	1F南窓16520垂直 3カ所
9	10	壁	水平	1.6	0.72	0	—	1.65	3	1F南窓16520下水平 3カ所
9	10	壁	水平	1.6	0.72	2	—	1.65	3	1F南窓16520上水平 3カ所
9	10	壁	水平	2	0.001	2.2	—	1	4	1F給気口 4カ所
9	11	壁	垂直	1.6	0.72	3.1	4.9	—	6	2F南窓16518 2カ所
9	11	壁	水平	1.6	0.72	3.1	—	1.65	2	2F南窓16518 2カ所
9	11	壁	水平	1.6	0.72	4.9	—	1.65	2	2F南窓16518 2カ所
9	11	壁	垂直	1.6	0.72	3.7	4.9	—	2	2F南窓16512
9	11	壁	水平	1.6	0.72	3.7	—	1.65	1	2F南窓16512
9	11	壁	水平	1.6	0.72	4.9	—	1.65	1	2F南窓16512
9	11	壁	水平	2	0.001	5.1	—	1	4	2F給気口 4カ所
9	12	壁	水平	1.11	0.0247	0	—	7.28	1	1F外壁幅木下(西)
9	12	壁	垂直	1.6	0.72	0.8	2	—	4	1F西窓06012垂直 2カ所
9	12	壁	水平	1.6	0.72	0.8	—	0.60	2	1F西窓06012下水平 2カ所
9	12	壁	水平	1.6	0.72	2	—	0.60	2	1F西窓06012上水平 2カ所
9	12	壁	垂直	1.6	0.72	1	1.4	—	3	1F西窓16504垂直
9	12	壁	水平	1.6	0.72	1	—	1.65	1	1F西窓16504下水平
9	12	壁	水平	1.6	0.72	1.4	—	1.65	1	1F西窓16504上水平
9	13	壁	垂直	1.6	0.72	3.7	4.9	—	2	2F西窓06012
9	13	壁	水平	1.6	0.72	3.7	—	0.60	1	2F西窓06012
9	13	壁	水平	1.6	0.72	4.9	—	0.60	1	2F西窓06012
9	14	壁	水平	1.11	0.0247	0	—	8.65	1	1F外壁幅木下(北)
9	14	壁	垂直	1.6	0.72	0	2.4	—	2	玄関ドア 垂直2本
9	14	壁	水平	1.6	0.72	2.4	—	0.90	1	玄関ドア 上水平
9	14	壁	水平	1.6	0.72	0	—	0.90	1	玄関ドア 下水平
9	14	壁	垂直	1.6	0.72	0.8	2	—	4	1F北窓06012垂直 2カ所
9	14	壁	水平	1.6	0.72	0.8	—	0.60	2	1F北窓06012下水平 2カ所
9	14	壁	水平	1.6	0.72	2	—	0.60	2	1F北窓06012上水平 2カ所
9	14	壁	垂直	1.6	0.72	0	2	—	2	1F北窓06920(キッチンドア)
9	14	壁	水平	1.6	0.72	0	—	0.69	1	1F北窓06920(キッチンドア)
9	14	壁	水平	1.6	0.72	2	—	0.69	1	1F北窓06920(キッチンドア)
9	15	壁	垂直	1.6	0.72	3.7	4.9	—	6	2F北窓16512 2カ所
9	15	壁	水平	1.6	0.72	3.7	—	1.65	2	2F北窓16512 2カ所
9	15	壁	水平	1.6	0.72	4.9	—	1.65	2	2F北窓16512 2カ所
9	15	壁	垂直	1.6	0.72	3.7	4.9	—	2	2F北窓06012
9	15	壁	水平	1.6	0.72	3.7	—	0.60	1	2F北窓06012
9	15	壁	水平	1.6	0.72	4.9	—	0.60	1	2F北窓06012
9	15	壁	垂直	1.6	0.72	2.9	4.1	—	2	2F北窓06012(階段部)
9	15	壁	水平	1.6	0.72	2.9	—	0.60	1	2F北窓06012(階段部)
9	15	壁	水平	1.6	0.72	4.1	—	0.60	1	2F北窓06012(階段部)
9	16	壁	水平	1.11	0.0247	0	—	7.28	1	外壁幅木下(東)
9	16	壁	垂直	1.6	0.72	0.8	2	—	2	1F東窓06012
9	16	壁	水平	1.6	0.72	0.8	—	0.60	1	1F東窓06012
9	16	壁	水平	1.6	0.72	2	—	0.60	1	1F東窓06012
9	17	壁	垂直	1.6	0.72	3.7	4.9	—	4	2F東窓06012 2カ所
9	17	壁	水平	1.6	0.72	3.7	—	0.60	2	2F東窓06012 2カ所
9	17	壁	水平	1.6	0.72	4.9	—	0.60	2	2F東窓06012 2カ所

※1:通気層は水切りまでの高さ[m]

※2:n 値=2 の場合は流量係数×高さ。その他の場合は通気率 [m³/h/Pa^{1/n}]

※3:開口高さは対象室の床面からの高さ[m]

4.3.1.2 熱湿気計算の概要

各材料中の熱水分移動の解析には、式 4.3.1, 4.3.2 に示す水分化学ポテンシャルを用いた方程式を用いた[4]。昨年度、盛岡における小屋裏野地の計算において、長時間結露のため発散して、妥当性に欠ける算出結果であったことから、今回は合板のみに水分拡散係数 D_w を与えた（式 4.3.3）。なお、その他の材料は水蒸気のみ扱いとした（式 4.3.4）。境界条件を式 4.3.5, 4.3.6 に示す。また、小屋裏空間や通気層空間の熱収支と水分収支を式 4.3.7, 4.3.8 に、天井空気層の熱水分収支を式 4.3.9, 4.3.10 に示す。式 4.3.7, 4.3.8 の右辺第 3 項は天井断熱材の継目から、断熱材下（天井石膏ボードとの間の）空間（以下「天井空気層」という）から、小屋裏内に移流する熱湿気を再現するために設けたものである。

外気条件は、標準年気象データ[5]を用いた。また、居室（⑨室）の温湿度は既知とし、温度を式 4.3.11[6]で与え、相対湿度は一定とした（設定条件は後述）。計算に用いた熱湿気伝達率を表 4.3.5 に、物性値を表 4.3.6、図 4.3.4, 4.3.5 に示す。

計算時間間隔は 5 秒とし、外気や居室で温湿度を与条件とした時刻の間は直線近似とした。なお、空間温度および絶対湿度の算出では、接する材料表面の値は 1 時点前（5 秒前）の値を用いている。計算期間は 5 月 1 日～4 月 30 日（以下 5/1～4/30 と表記する）である。

材料中の熱湿気移動

$$C\rho_m \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[(\lambda + r\lambda'_{Tg}) \frac{\partial T}{\partial x} + r\lambda'_{\mu g} \frac{\partial \mu}{\partial x} \right] \quad \dots 4.3.1$$

$$\rho_w \frac{\partial \psi}{\partial \mu} \frac{\partial \mu}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda'_{\mu} \frac{\partial \mu}{\partial x} + \lambda'_{Tg} \frac{\partial T}{\partial x} \right] \quad \dots 4.3.2$$

$$\lambda'_{\mu} = \rho_w D_w \frac{\partial \psi}{\partial \mu} \quad \dots 4.3.3 \quad \lambda'_{\mu} = \lambda'_{\mu g} \quad \dots 4.3.4$$

境界条件

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_a - T_s) \quad \dots 4.3.5 \quad -\lambda' \frac{\partial X}{\partial x} = \alpha'(X_a - X_s) \quad \dots 4.3.6$$

空間の熱・水分収支

$$C\rho_i V_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum \alpha A (T_s - T_i) + \sum C\rho_j Q_{ij} (T_j - T_i) + \underbrace{C\rho_c Q_c (T_c - T_{at})}_{\text{天井空気層との換気による熱移動}} \quad \dots 4.3.7$$

天井空気層との換気による熱移動
(小屋裏空間の場合のみ考慮)

$$\rho_i V_i \frac{\partial X_i}{\partial t} = \sum \alpha' A (X_s - X_i) + \sum \rho_j Q_{ij} (X_j - X_i) + \underbrace{\rho_c Q_c (X_c - X_{at})}_{\text{天井空気層との換気による湿気移動}} \quad \dots 4.3.8$$

天井空気層との換気による湿気移動
(小屋裏空間の場合のみ考慮)

天井空気層の熱・水分収支

$$C\rho_c V_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = \sum \alpha A_c (T_s - T_c) + C\rho_c Q_c (T_{at} - T_c) \quad \dots 4.3.9$$

$$\rho_c V_c \frac{\partial X_c}{\partial t} = \sum \alpha' A_c (X_s - X_c) + \rho_c Q_c (X_{at} - X_c) \quad \dots 4.3.10$$

居室温度

$$\theta_i = 4.5 \cdot \cos\{2\pi(D - 212)/365\} + 22.5 \quad \dots 4.3.11$$

μ : 水分化学ポテンシャル [J/kg] T : 絶対温度 [K] X : 絶対湿度 [kg/kgDA]
 C : 比熱 [J/kgK] ρ_m : 材料密度 [kg/m³] ρ_w : 水の密度 [kg/m³] λ : 熱伝導率 [W/mK]
 r : 潜熱 [J/kg] ψ : 体積含水率 [m³/m³]
 λ'_μ : 水分化学ポテンシャル勾配に対する水分伝導率 [kg/ms(J/kg)]
 $\lambda'_{\mu g}$: λ'_μ の気相水分伝導率 [kg/ms(J/kg)]
 λ'_{Tg} : 温度勾配に対する気相水分伝導率 [kg/msK]
 D_w : 水分拡散係数 [m²/s] ρ : 空気密度 [kg/m³]
 α : 熱伝達率 [W/m²K] α' : 湿気伝達率 [kg/m²s(kg/kgDA)]
 V : 気積 [m³] A : 各部面積 [m²]
 Q_{ij} : j 室から i 室へ流入する空気流量 [m³/s]
 Q_c : 小屋裏と天井空気層との間の換気量 [m³/s]
 x : 位置座標 [m], t : 時間 [s]
 θ : 温度 []
 D : 1 月 1 日を起点とする日数

添字 a: 空間 i: 小屋裏または軒裏空間 j: i 室に繋がる空間 s: 材料表面
 at: 小屋裏空間 c: 天井空気層

表 4.3.5 計算で使した熱・湿気伝達率

部位	熱伝達率 [W/m ² K]	湿気伝達率 [kg/m ² s(kg/kgDA)]
小屋裏内野地・木材・妻壁表面・居室室内	9	0.0044
外表面・軒裏内野地・軒裏天井板表面	23	0.0178
居室天井面・天井断熱上下面	12	0.0074
通気層内表面(対流)	4.4	0.0044
通気層内表面(放射)	4.6	—

表 4.3.6 使した各部材の物性値

材料名	密度 [kg/m ³]	比熱[J/kgK]	熱伝導率 [J/msK]	湿気伝達率 [kg/msPa]	空隙率 [m ³ /m ³]
合板	600	1880	0.16	1.10E-12	0.64
木材	460	1880	0.10	2.60E-13	0.8
スレート・軒天板・サイディング	1095	879	0.963	3.98E-12	0.22
石膏ボード	700	870	0.24	2.20E-11	0.7
グラスウール10K	10	840	0.05	1.24E-10	0.99
グラスウール16K	16	840	0.045	1.24E-10	0.99
				湿気貫流率[kg/m ² sPa]	
ルーフィング		—			3.45E-12
透湿防水シート		—			8.33E-09
外壁断熱材付属防湿フィルム(A種)		—			1.22E-11
天井断熱材付属防湿フィルム 厚0.02mm		—			2.02E-11

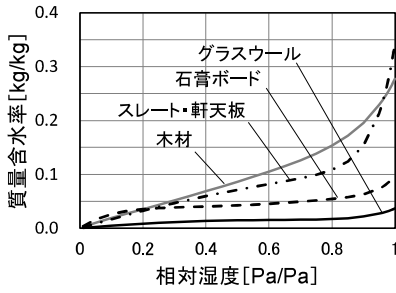


図 4.3.4 使用した各部材の平衡含水率曲線

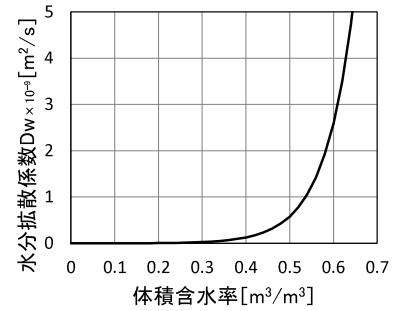
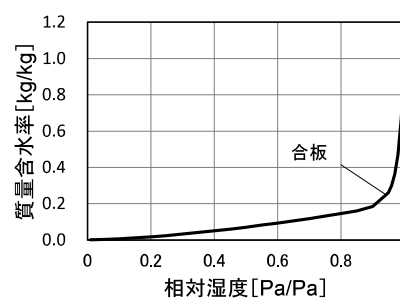


図 4.3.5 合板の水分拡散係数^[7]

4.3.1.3 換気回路網計算の概要

換気回路網計算（以下換気計算）では、流量は式 4.3.12, 4.3.13 により求まるものとした。開口両側の差圧は式 4.3.14 により求めるが、今回、外部風については考慮しない。計算対象空間の全てで換気量収支が 0 (式 4.3.15) になるように床面高さにおける大気基準の室内圧 P_i についてニュートン・ラフソン法を用いて決定する。

天井空気層については、小屋裏側と居室側の隙間を極小に設定し（換気回路網計算の結果は全時点ではほぼ 0 であった）、小屋裏空間との換気量は断熱材の「標準的な断熱施工」において文献^[3]の数値を天井面積比例で当モデルに合わせ、47.5 [m³/h] (=天井面積 1m² 当り 0.75 [m³/h]) として一定値で与えた。

換気計算は 15 分毎に熱水分計算で算出された空気温度を用いて行い、その流量を次の 15 分間の熱水分計算に用いている（熱と換気の連成計算は行っていない）。換気計算において収束しなかった場合は、その前の時点の収束した値を解とした。なお、居室⑨は温度を既知として、その温度を用いて居室の換気計算を行っている。

換気回路網計算

単純開口の場合の場合

$$Q_{ij} = \text{sign}(\Delta p_{ij}) \cdot \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho_j} |\Delta p_{ij}|} \quad \dots 4.3.12$$

隙間の場合の場合

$$Q_{ij} = \text{sign}(\Delta p_{ij}) \cdot al \cdot \Delta p_{ij}^{1/n} \quad \dots 4.3.13$$

$$\Delta p_{ij} = (p_j - g\rho_j h_j) - (p_i - g\rho_i h_i) \quad \dots 4.3.14$$

$$\sum Q = 0 \quad \dots 4.3.15$$

Q : 通気量 [m³/s] αA : 相当開口面積 [m²] Δp : 開口両側の差圧 [Pa] ρ : 空気密度 [kg/m³]

al : 通気率 [m³/s/Pa^{1/n}] n : 隙間特性値 [-] P : 床面高の大気基準の室内圧 [Pa]

g : 重力加速度 [m/s²] h : 開口の床面からの高さ [m]

4.3.2 各条件での計算

ここでは、湿害の起こった現場に対して、どのような場合に室内湿気由来の湿害が疑われるのか、対策はどのようにすれば良いのかのヒントを提示するために、各種条件と湿害の起こる閾値との関係を把握することを目的として、様々な気象条件や仕様による年間計算を実施した。

4.3.2.1 気象条件

計算都市（気象データの都市）については、検討会にて、準寒冷地と言われる盛岡と、温暖地ではあるが、冬期には外気温が低く冬型結露に対しては厳しい宇都宮と、温暖な気候である福岡が選定された。気象データには省エネ計算でも使用されている、(株)気象データシステムから販売されている「拡張アメダス気象データ 標準年データ (2010年版)」を用いた。

4.3.2.2 外壁（冬型結露検討用）の仕様と計算条件

外壁の仕様は図 4.3.3 に示す構成とする。計算は図 4.3.2 に示す住宅モデルの南北面の外壁を対象とするが、解析対象は湿害の起こりやすい北面外壁とする。冬型結露に影響を及ぼす要因としては、検討会にて「通気層の通気障害の程度（換気量の大小）」と「防湿フィルムの施工不良や損傷による室内の湿気の壁体内への透湿・移流量の過多」、および「居室の生活湿気状況」が取り上げられ、設定各値が決定された。

設定された条件を表 4.3.7 に示す。通気層の障害の程度については、「縦胴縁（閉塞なし）」を標準として、「横胴縁」と「上部閉塞」が設定され、数値として通気層水平断面の開口面積に対する流量係数で表された。それぞれ、おおよそ 1/10 倍ずつの関係である。透湿および移流については、文献^[7]を参考に防湿フィルムの透湿抵抗の低減により設定した。健全な状態「防湿フィルムあり・漏気なし」を標準として、「防湿フィルム一部欠損」と「防湿フィルム大きな欠損」および「防湿層なし（漏気なし）」を設定された。居室の湿気状況については、「エアコン暖房」と「開放型暖房器の使用」を想定し、20℃の場合の相対湿度で 40%と 60%が設定された。なお、式 4.3.11 の適用にあたっての相対湿度は 50%と 70%の一定値である。参考に年間変動を図 4.3.6 に示す。図には 20℃40%と 20℃60%の絶対湿度の線も記載したが、それぞれの年間変動の最低値がこのレベルとなっている。

以上の条件に対して、検討会にて気象条件として盛岡、宇都宮、福岡の 3 地点と、盛岡については東面との違いを見るために、住宅モデル図 4.3.2 の南面を東面に向けた計算も行うことが決定された。したがって、計算の総計は 96 パターンである。なお計算結果の説明のために、表 4.3.7 の各条件を記号で表し（表中に記載）、計算名として「M-vb-d」のように冒頭は気象データの都市名の頭文字を記し、ハイフン後の 2 文字が建築的条件、その後に居室の相対湿度条件を表すこととした。

表 4.3.7 外壁（冬型結露検討用）の計算条件

	建築的条件				環境的条件	
	G-3) 通気層の通気障害 (流量係数)		G-4) 透湿過多/G-5) 漏気過多 (透湿抵抗: m ² sPa/ng)		G-6) 室内条件	
					20°C時の居室相対湿度 (%)	
1	縦胴縁(閉塞なし) 計算記号:v	0.173	*防湿フィルム等防湿材あり *漏気なし (換気回数:0回/h) 計算記号:b	0.0826	エアコン暖冷房 計算記号:-d	40
2	横胴縁 計算記号:h	0.017		×		0.00905
3	上部閉塞 計算記号:c	0.001	×	0.00128		
4			大きな防湿欠損 (換気回数:5回/h以上) 計算記号:l	0.00128		
			防湿層なし 計算記号:n	0.00058		

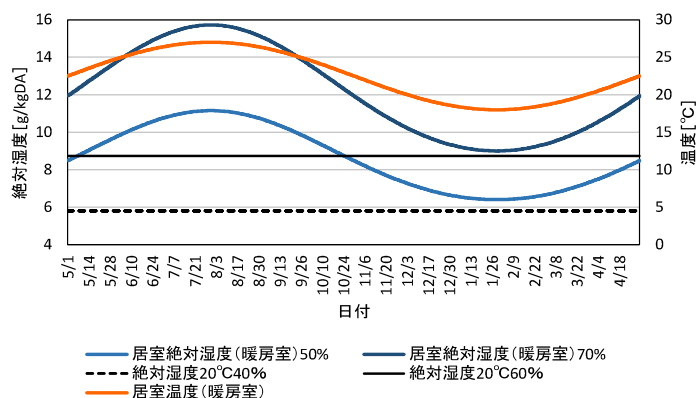


図 4.3.6 居室の絶対湿度と温度設定値

4.3.2.3 小屋裏（冬型結露検討用）の仕様と計算条件

屋根や天井の仕様は図 4.3.3 に示す構成とする。計算は図 4.3.2 に示す住宅モデルの南北面に屋根をもった切妻の小屋裏とするが、解析対象は湿害の起こりやすい北面屋根とする。冬型結露に影響を及ぼす要因として、検討会では、「小屋裏換気不足」、「天井面の気密性・透湿」、「居室の換気システム」、および「居室の生活湿気状況」が取り上げられ、各設定値が決定された。

設定された条件を表 4.3.8 に示す。小屋裏換気不足（換気口面積）については、「(住宅金融) 支援機構基準の換気口設置」を基準として、その 1/2, 1/4 が設定された。この設定は、既存のほとんどの住宅が基準を満たしていると思われるが、問題のあった現場において断熱材などで閉塞が無いかを確認し、機能している換気口面積で、それが湿害の原因となっていないかをチェックすることが出来るように設けたものである。

照明などの隙間については、実住宅を測定した文献^[8]から、天井の単位面積当りの相当隙間面積を推定し、「気密性の低いダウンライト等の使用」の 2.6 [cm²/m²] とし、「気密性の高い」場合は根拠はないが、その 1/5 とした。間仕切り壁上部は、グラスウール (GW) を気流止めとした場合を標準とし (数値は文献^[2])、それより高い設定を「防湿フィルム」先張りの数値^[2]とした。それぞれ、試験体測定の単位長さ当りの隙間の特性値から、図 4.3.1 の 2 階の間仕切り壁があると

想定して、空気温度 20℃、差圧 9.8Pa 時の相当隙間面積を求めた（表 4.3.1 には単位面積当りの値を示した）。「気流止め不完全」については根拠がないので、GW 気流止めの 3 倍の隙間量があるとした。最終的に、天井面の隙間面積（気密性）については、照明などの隙間と間仕切り壁上部気流止めの隙間の合計となるが、それぞれの組み合わせの天井単位面積当たりの相当隙間面積を求めると、表 4.3.8 の下部に示すようになる。これを近い値をまとめて隙間面積が小中大となる単位面積当り 0.55 [cm²/m²]、4.3、6.31 を選定し設定条件とした。なお、このときの隙間特性値は全て n=1.5 とした。居室の換気システムについては、昨年度までの検討で第 1 種と第 3 種の違いが大きいことが分かったので、今回も第 1 種と第 3 種を設定した。居室の温湿度条件については、4.3.2.2 節で述べた外壁の計算条件と同様である。なお、居室の換気量は⑨室（図 4.3.2）の気積の 0.5 [回/h] となる流量を一定値で設定し、小屋裏への通気量を算出するために、居室も換気回路網計算に入れている。以上の条件の組み合わせにより、計算の総計は 324 パターン（うち外壁と重複する条件が 24 パターン）であった。

表 4.3.8 小屋裏（冬型結露検討用）の計算条件

建築的条件										環境的条件			
K-1) 小屋裏換気不足										G-6) 室内外条件			
K-2) 漏気(気密不良)/K-3) 透湿										20℃時居室相対湿度 (%)			
天井										換気システム			
照明など相当隙間面積 (cm ² /m ²)			間仕切り壁上部処理相当隙間面積 (cm ² /m ²)			断熱材敷き込みの施工性 m ² あたりの毎時換気量 ((m ³ /h)/m ²)							
1	支援機構基準 計算記号:1	1	気密性の高いダウンライト等の使用	0.5	先張り防湿フィルム	0.05	袋入り断熱材継目丁寧な施工	0.15	第1種 計算記号:1	x	エアコン暖冷房 計算記号:-d	40	
2	支援機構基準の1/2 計算記号:2	1/2	気密性の低いダウンライト等の使用	2.6	GW	1.7	袋入り断熱材継目標準的	0.75	第3種 計算記号:3		x	開放型暖房器具使用 計算記号:-h	60
3	支援機構基準の1/4 計算記号:4	1/4			気流止め不完全	3.71	袋入り断熱材継目間大きめ	1.5					

組合せて3パターンに絞込み

	ダウンライト		気流止め		天井気密性能	備考	
1	気密性高 0.5	+	防湿フィルム 0.05	=	0.55	←採用	計算記号:h
2	気密性高 0.5		GW 1.7		2.2	計算結果から推計可	
	気密性低 2.6		防湿フィルム 0.05		2.65	計算結果から推計可	
3	気密性高 0.5	+	不完全 3.71	=	4.21	計算結果から推計可	計算記号:m
	気密性低 2.6		GW 1.7		4.3	←採用	
4	気密性低 2.6		不完全 3.71		6.31	←採用	計算記号:l

4.3.3 計算結果

4.3.3.1 実験住宅測定値との整合性

ここでは、シミュレーション計算結果は妥当な値であるのか、実験住宅測定値と比較して整合性を確認する。計算は4.3.1.1節で説明したモデル住宅で、通気層は縦胴縁で外壁の防湿フィルムがあり、小屋裏は換気口基準、天井面の気密性はグラスウール気流止めの条件で行った。なお、居室は開放型暖房器使用(対湿度60%一定)で、気象データは東京の標準年気象データを用いた。

これまでの様々な研究により、4.3.1.2節で説明した熱と湿気の計算は、その妥当性が証明されているので、以下では、通気層通気量および小屋裏換気量について確認する。

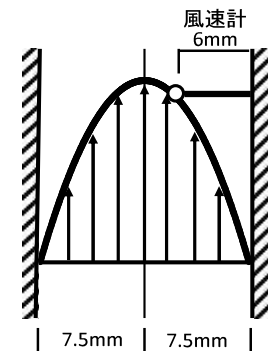
通気層について

計算で算出された通気層の通気量 [m³/h] は、測定点の風速 [m/s] に換算して実測値と比較する。計算モデルは水平方向芯々幅 455mm の通気層を南北それぞれに7カ所設定しているのので、算出された通気量を1カ所当りの量にした後、以下の式4.3.16を用いて風速に換算した。

通気層内の風速分布を右図のように層流と仮定すると、平均風速は測定風速 V_m を用いて以下のように表される。

$$\bar{V}_m = b \cdot V_m$$

$$b = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{1.5^2}{7.5^2}\right)}$$



通気層の通気量 [m³/h] は低減率 C を用いて、以下の式ように表される。

低減率は既往の通気層の実験^[3]より、実流量は層流理論値の約0.83倍(=C)とした。

$$\begin{aligned} Q_m &= C \cdot A_r \cdot \bar{V}_m \cdot 3600 \\ &= C \cdot A_r \cdot b \cdot V_m \cdot 3600 \end{aligned}$$

したがって、測定点での風速 V_m は計算で求められた通気量 Q_m から、以下のよう求められる。

$$V_m = \frac{Q_m}{C \cdot A_r \cdot b \cdot 3600} \quad \dots 4.3.16$$

V_m : 測定点風速 [m/s] \bar{V}_m : 平均風速 (内外方向) [m/s]
 Q_m : 層流を仮定した通気量 [m³/h] C : 通気低減率 [-]
 A_r : 通気層水平面積 (胴縁材部を除く) [m²]

実測値は南北の通気層測定値の、2022/12/25～12/31 を抽出した。実測値と計算値の比較グラフを図 4.3.7 に示す。計算値には、東京の標準年気象データを用いているため、外部環境が同じとはいかないが、同時期で環境条件の近い日の 12/11～12/17 の結果を抜粋した。青太線が計算の南通気層で赤太線が計算の北通気層である。図にはいくつかの通気層の測定値を載せたが、上記の条件に近い実測値を、南面は水色線、北面は桃色線で示した。

計算値は実測値と同様に、昼間に風速が大きくなり、夜間（日付ラベルの前後）は小さくなっているが、夜間は計算値が 0.15 [m/s] 程度大きく算出されている。南面の通気層の昼間は実測値とよく一致している。しかし、北面の通気層については、例えば 12/27 の昼間など実測値（桃色）が計算値に比べて大幅に大きくなっているだけでなく、日ごとのピークの風速は、全体的に計算値は実測値に比べて小さい。これは、実験住宅の立地環境が北風が強くて頻度が多いためと考えられる。ただ、12/30 のように外部風が穏やかと考えられる日は、おおよそのレベルは一致していた。以上より、計算は実際の通気層の通気量を再現出来ていると考えられる。

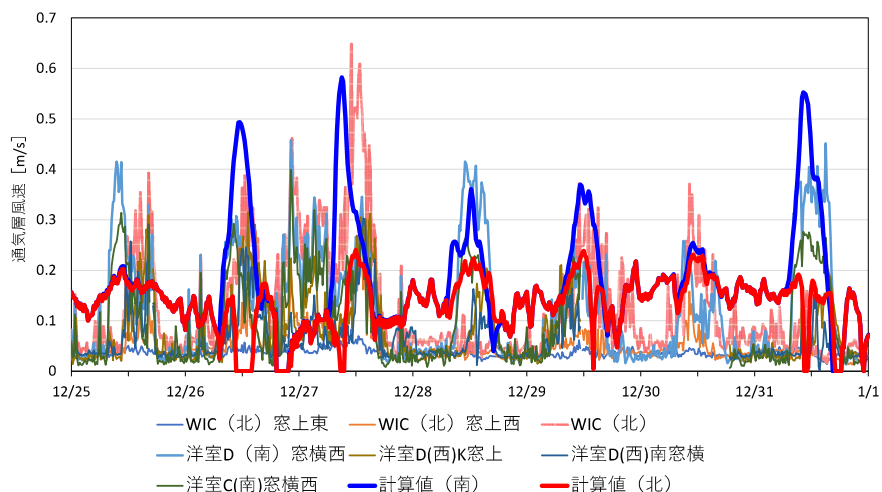


図 4.3.7 実験住宅通気層風速と計算通気層風速比較

小屋裏換気量について

小屋裏の換気量は外部風の影響を強く受けることから、計算では標準年気象データ（東京）の外部風速を用いて、軒裏換気口にかかる風圧力を考慮した。なお、換気口面積については4.3.1.1節で説明した換気口（相当隙間面積 123cm^2 ）が、計算モデルは切妻屋根で南北8カ所の計16カ所、実験住宅は寄棟で南北5カ所ずつ、東西3カ所ずつ設置されており、方位ごとの設置数は異なるが、合計は16カ所で同数である。

実験住宅の軒裏換気口の通気量は、換気口に設置された風速測定値 $[\text{m/s}]$ から通気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$ に換算し、換気口内外の差圧の正負により、流出・流入（流出が正）を判定した。換気口の風速と差圧の測定は、南北軒は西側と東側の2カ所、東西軒は1カ所ずつであるので、その他の換気口の通気量については、南北の軒は西側と東側がそれぞれの測定換気口と同じ、東西の軒は測定換気口と同じと仮定し、それらの流出量の総計を小屋裏換気量とした^[3]。

換気量の実測値と計算値の比較グラフを、居室第1種換気時（12/1～12/15）を図4.3.8に、第3種換気時（12/15～12/19）を図4.3.9に示す。計算値は実測と同じ外部風速・風向、内外温度ではないため、単純比較はできないが、同時期で強風時の換気量が算出されている期間を抜粋した（図4.3.8は標準年気象データの11/1～11/14、図4.3.3.3は11/26～12/9）。なお、小屋裏の換気量は居室の換気システムにあまり影響を受けないため、計算値は居室第1種換気のみとしている。

計算値のグラフが平らになっているところ（同じ値で推移しているところ）は換気回路網計算が収束しなかったために、その前の時点の数値を用いているからであるが、いずれも一日程度の短期間であることと、一日の換気量のレベルとしては実測値と大きく異なってはいないため、その影響は小さいと考えられる。注目すべき点として、計算値は強風時に図4.3.8では、 $1400[\text{m}^3/\text{h}]$ 程度、図4.3.9では $1100[\text{m}^3/\text{h}]$ 程度、穏やかな日は $200\sim 400[\text{m}^3/\text{h}]$ の推移で、実測値と同様な換気量となっている。なお、夜間（図の日付の前後）は、計算値が実測値より高い値となっているときが目立つが（例えば12/3～12/10）、これは標準年気象データの外部風速が実測時より大きいためと考えられ、外界条件さえ合致させれば、例えば12/3日付変わり直前や12/11の日付変わり直後のように、少量の換気量の場合も計算できていると考えられる。以上より、計算は実際の小屋裏換気量を再現出来ていることを確認した。

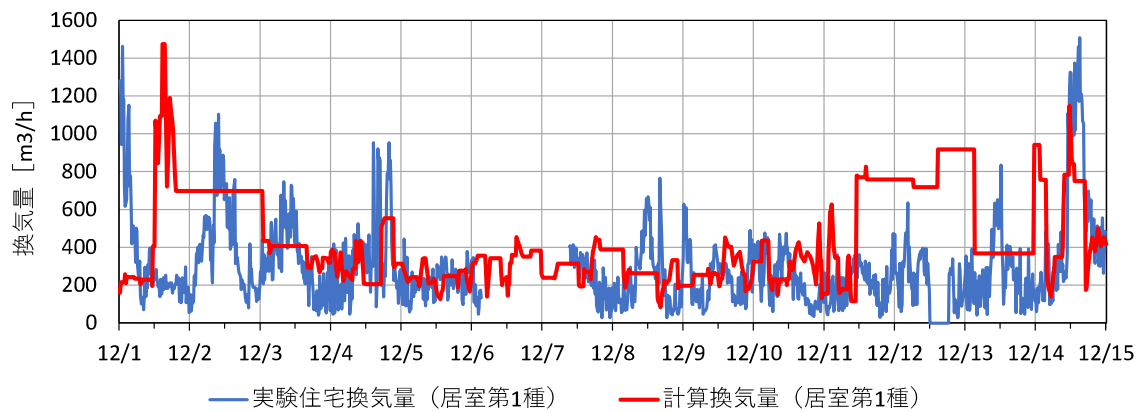


図 4.3.8 軒裏換気方式の小屋裏換気量の実測値 (居室第1種換気時) と計算値の比較

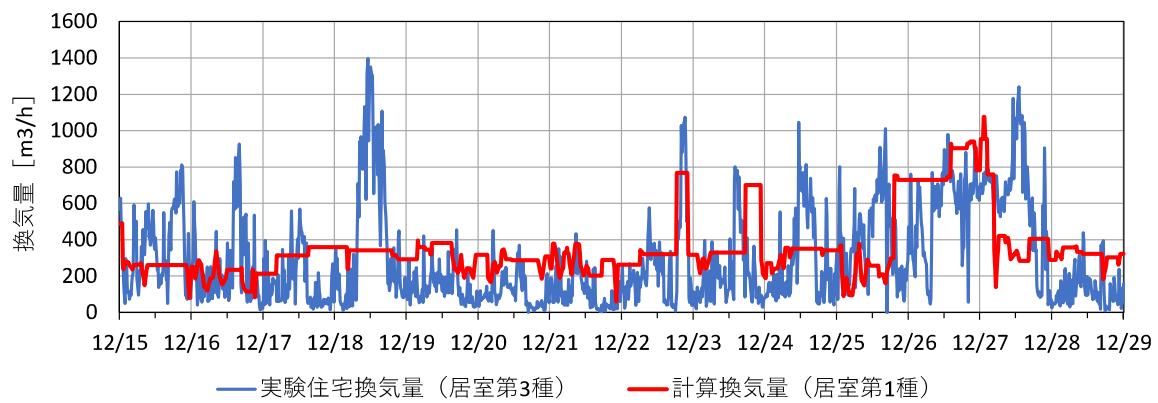


図 4.3.9 軒裏換気方式の小屋裏換気量の実測値 (居室第3種換気時) と計算値の比較

4.3.3.2 外壁面北面と東面の違い（盛岡）

ここでは、室内の湿気由来で外壁の壁体内冬型結露が起こる場合、北面と東面のどちらを評価すべきか（どちらが厳しいか）を確認する。計算の結果の例として、通気層は縦胴縁で、断熱材室内側の防湿フィルムに一部欠損あり、エアコン暖房（計算名 M-vs-d）の場合における、北面と東面の合板室内側表面の相対湿度の比較を図 4.3.10 に示す。年間を通して北面の方が東面より高くなっている。全ての計算条件での結果は、合板室内側表面の相対湿度 96%以上となる累積日数^{注)}を図 4.3.11 に示すが、どの仕様でも北面の方が累積日数が多くなっていた。以上より、以降では北面の外壁について解析する。

注) 年間の計算で条件を満たした時間を全て積算し、日数換算した数値。4.3.4.1 節で詳しく説明する。

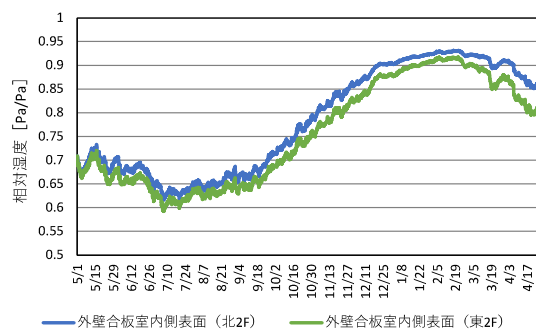


図 4.3.10 外壁合板室内側表面の相対湿度変動（計算名 M-vs-d）

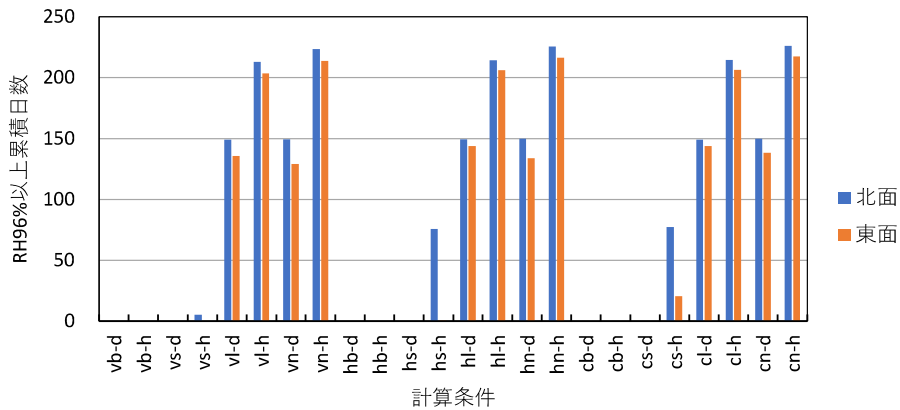


図 4.3.11 外壁合板室内側表面の相対湿度 96%以上となる累積日数

4.3.3.3 計算結果の例（盛岡）

盛岡の計算結果の例として、エアコン暖房想定（室内相対湿度低湿）において、通気層が縦胴縁で断熱材室内側の防湿フィルムに大きな欠損がある場合（M-v1-d）と、小屋裏については、軒裏換気口基準、天井気密高、天井断熱施工悪（断熱材継目大）で、居室第1種換気（M-1hw1-d）とした場合を挙げる。図4.3.12に外壁の通気層温度を、図4.3.14に絶対湿度を、図4.3.16に高湿化・腐朽が懸念される場所である合板（耐力面材）の室内側表面の相対湿度 [Pa/Pa] を示す。合板室内側相対湿度を見ると、12月中旬から1.0（100%）付近に達して平らに推移している。文献^[9]では、木材は相対湿度98%以上（以降、これを“結露”とする）が2カ月間続くと腐朽が始まるとしているが、本計算結果では98%以上とはならなかった。これは、本計算では袋入り断熱材を想定し、断熱材外気側と合板との間に透湿抵抗（通常の空気との伝達抵抗が $3.66E-05$ [m²sPa/ng] のところを $1.20E-04$ と約4倍）を与えた影響と考えられる。しかし、上述の1.0付近で平らになっているところは明らかに結露状態と考えられることから、本報では外壁合板については96%以上の累積日数で解析する。なお、この条件で当例の累積日数を算出すると、149日となることから、湿害の起こった現場で大きな防湿欠損が認められる場合は、室内湿気由来の冬型結露と考えられる。

小屋裏に関しては、図4.3.13に小屋裏温度を、図4.3.15に絶対湿度を、図4.3.17に高湿化・腐朽が懸念される部位である野地（北）小屋裏側表面の相対湿度を示す。野地表面相対湿度は外壁と同様、12月下旬くらいから1.0付近で推移している。ただこの計算仕様では、換気口の設置は基準通りで、天井の気密性が高い状態での結果であるため、これでは多くの住宅が不適格となってしまうことになる。今回の計算では外部風を考慮しなかったため、かなり厳しい結果となってしまったと思われる。建て込み地の想定ではあったが、一年中風がないことは考えられない。風の影響を計算に入れるとこの結果は大きく緩和されると思われるが、今後、機会があれば実施して社会へ提供（学会などで発表）することとしたい。ただ後述するが、各計算条件の結果の整理によって結露が発生する条件の傾向は把握できる。また、本例の結果からは盛岡のような準寒冷地では、丁寧で厳格な施工が必要であることが分かった。

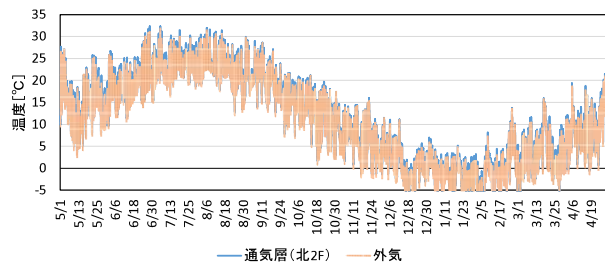


图 4.3.12 通风层温度 (M-vl-d)

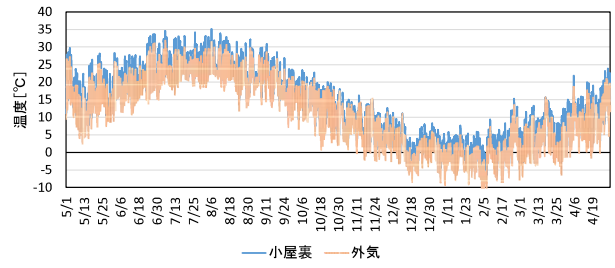


图 4.3.13 小屋裏温度 (M-1hw1-d)

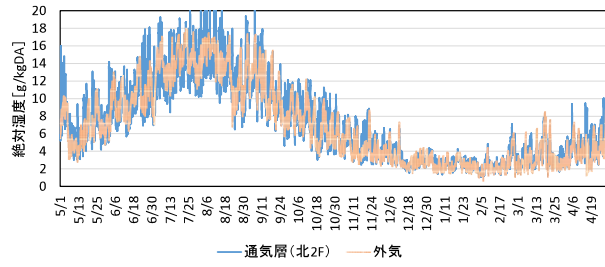


图 4.3.14 通风层绝对湿度 (M-vl-d)

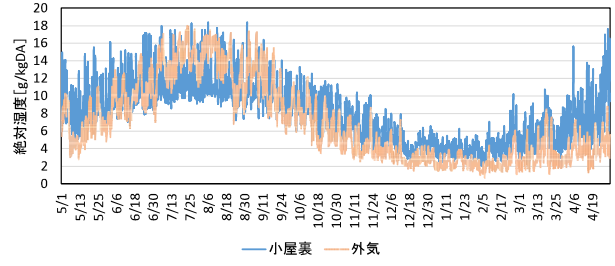


图 4.3.15 小屋裏绝对湿度 (M-1hw1-d)

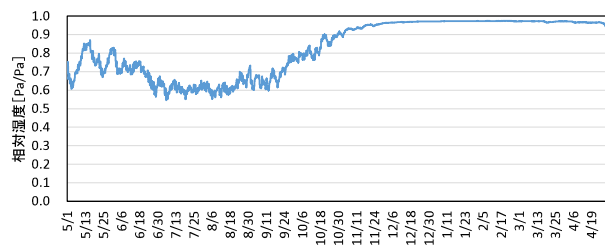


图 4.3.16 外壁合板(北)室内側表面相对湿度 (M-vl-d)

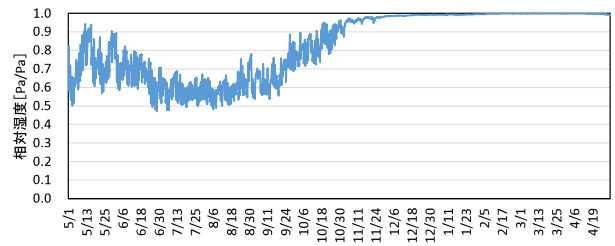


图 4.3.17 野地(北)小屋裏側表面相对湿度 (M-1hw1-d)

4.3.3.4 計算結果の例（宇都宮）

宇都宮の計算結果の例として、盛岡と同様、エアコン暖房想定（室内相対湿度低湿）において、通気層が縦胴縁で断熱材室内側の防湿フィルムに大きな欠損がある場合（U-v1-d）と、小屋裏については、軒裏換気口基準、天井気密高、天井断熱施工悪（断熱材継目大）で、居室第1種換気（U-1hw1-d）とした場合を挙げる。外壁合板室内側相対湿度（図4.3.22）を見ると、盛岡同様に12月中旬から1.0（100%）付近で平らに推移しているが、96%に達した時間はわずかで、累積では約20日であった。宇都宮くらいの気象であれば、室内湿気由来（雨水浸入がない）場合は、防湿フィルムの施工が多少悪くても問題ないといえる。小屋裏野地についても野地表面相対湿度（図4.3.23）を見ると、冬期に1.0付近で推移しているが、98%以上の累計日数では25日で、野地に結露は起こるが、腐朽が懸念される2カ月より大幅に短く、この条件では問題ないといえる。

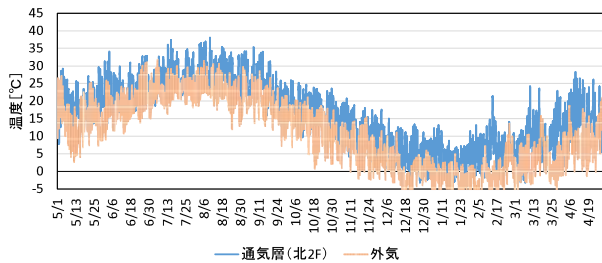


図 4.3.18 通気層温度 (U-v1-d)

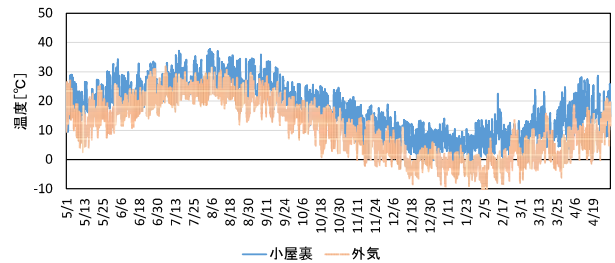


図 4.3.19 小屋裏温度 (U-1hw1-d)

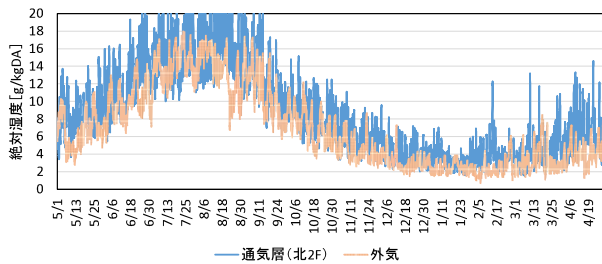


図 4.3.20 通気層絶対湿度 (U-v1-d)

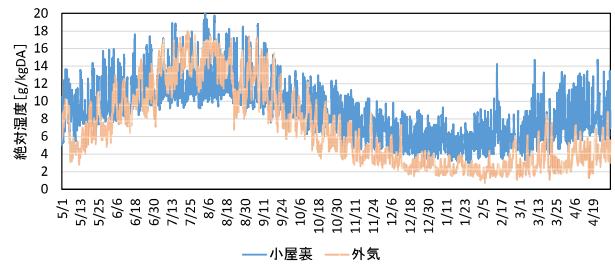


図 4.3.21 小屋裏絶対湿度 (U-1hw1-d)

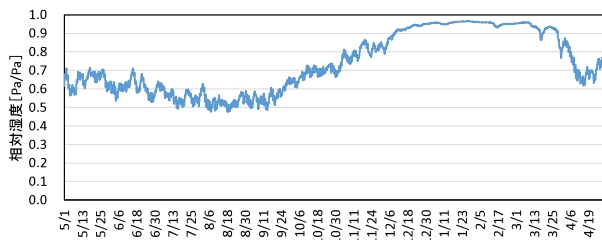


図 4.3.22 外壁合板（北）室内側表面相対湿度 (U-v1-d)

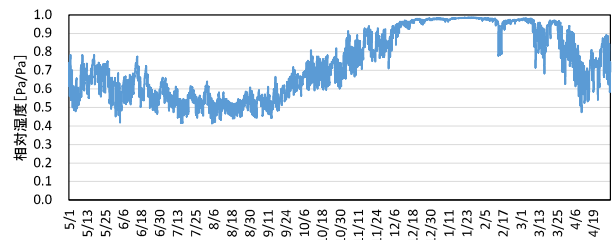


図 4.3.23 野地（北）小屋裏側表面相対湿度 (U-1hw1-d)

4.3.3.5 計算結果の例（福岡）

福岡の計算結果の例として、盛岡と同様、エアコン暖房想定（室内相対湿度低湿）において、通気層が縦胴縁で断熱材室内側の防湿フィルムに大きな欠損がある場合（F-v1-d）と、小屋裏については、軒裏換気口基準、天井気密高、天井断熱施工悪（断熱材継目大）で、居室第1種換気（F-1hw1-d）とした場合を挙げる。外壁合板室内側相対湿度（図4.3.28）では0.9以下であり、福岡くらいの温暖な気象であれば、室内湿気由来（雨水侵入がない）場合は防湿層の施工が悪くても問題ないといえる。小屋裏野地についても野地表面相対湿度（図4.3.29）を見ると、最大で0.96で、この仕様では一時の結露も起こる可能性は極めて小さいと言える。

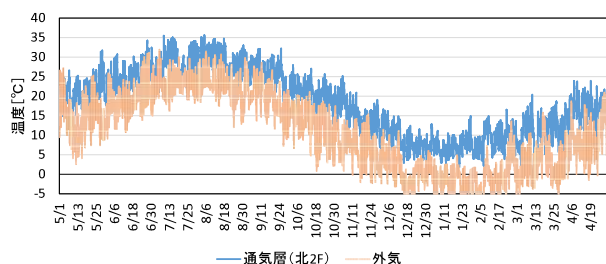


図 4.3.24 通気層温度 (F-v1-d)

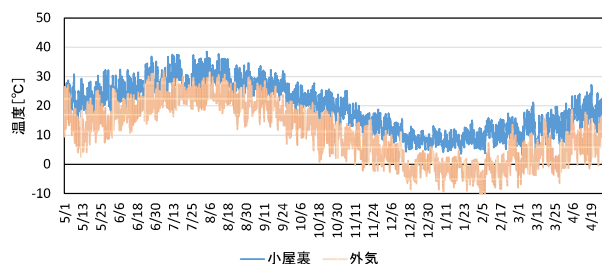


図 4.3.25 小屋裏温度 (F-1hw1-d)

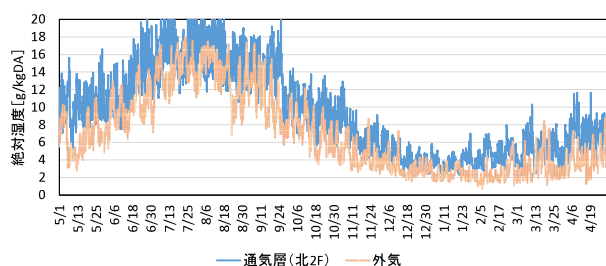


図 4.3.26 通気層絶対湿度 (F-v1-d)

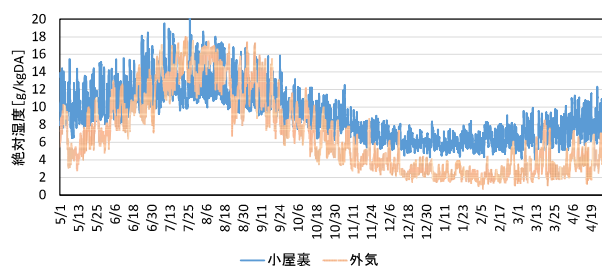


図 4.3.27 小屋裏絶対湿度 (F-1hw1-d)

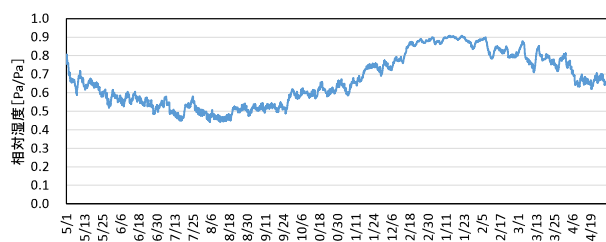


図 4.3.28 外壁合板（北）室内側表面相対湿度 (F-v1-d)

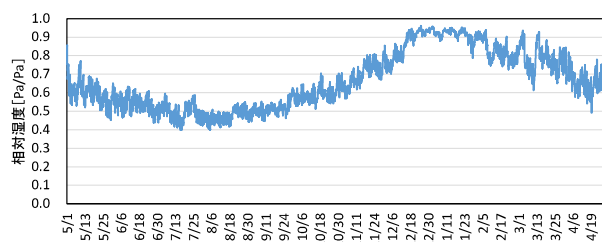


図 4.3.29 野地（北）小屋裏側表面相対湿度 (F-1hw1-d)

4.3.4 湿害（合板腐朽）の起こる条件

4.3.4.1 外壁について

外壁体内で室内湿気由来により高湿化する場所は、合板（耐力面材）の室内側表面である。文献^[9]では、この相対湿度で98%以上が2カ月続くと腐朽が始まるとされている。本来、腐朽菌は成長範囲を外れて乾くと死滅も考えられるので、実在の建築のように温湿度が変動する場合の腐朽の度合いは未だ良くわかっていないが、ここでは15分毎に出力された相対湿度 [Pa/Pa] を単純に累積し、日数に変換した値とした。ただ、本解析における外壁の合板室内側表面については、4.3.3.3 節で述べた理由により、相対湿度96%以上を対象とする。累積日数を断熱材室内側透湿抵抗との関係で表したものを図4.3.30～4.3.35に示す。グラフには、2カ月間=60日のラインも入れ（以降、これを“閾値”とする）、各条件の閾値とのおおよその交点分かるように近似曲線も示した。なお、この近似曲線は、正確な閾値との交点を求める必要はないため、各条件のプロットを結ぶとおおよそこのような曲線になると考えられる近似式（対数近似 $y=a \cdot \ln(x) + b$ や累乗近似 $y=a \cdot x^b$ ）について、最小二乗法により求めたものである。

盛岡で開放型暖房器を使用した場合（図4.3.31）以外のグラフで曲線が1本に見えるのは、通気層の閉塞度合いによって、結果が殆ど変わらなかったからである。そこで、各通気層通気量を確認したところ、閉塞度が高まる（設定した流量係数が小さくなる）と通気量は少なくは算出されていた（図省略）。にもかかわらず、累積日数が殆ど変わらなかったのは、結露が懸念される時間帯、夜間～早朝の通気層の絶対湿度が条件によって変わらなかったからである。つまり、通気層の閉塞度合いは、雨水侵入があった場合に乾燥させるためには役割が大きく、室内湿気由来の冬型結露にはあまり影響しないということである。なお、図4.3.31の開放型暖房器の使用のときに、縦胴縁の曲線が他と若干異なるのは、防湿フィルム一部欠損の場合に、横胴縁や上部閉塞の場合は累積日数が約80日あるのに対して、縦胴縁が5日程度しかなかったからである。これは相対湿度のピークがちょうど閾値付近であったことの影響であり、図4.3.36に縦胴縁と横胴縁の場合の合板室内側表面の相対湿度変動を示すが、縦胴縁のときの相対湿度が大幅に低かったわけではない。

次に、これらのグラフをどのように見るか（湿害のあった物件でどのように使うか）について解説する。グラフはエアコン暖房と開放型暖房に分けているが、エアコン暖房とは低湿度な生活を、開放型暖房は高湿度な生活を端的に言い表したものである。エアコン暖房で生活している場合でも、加湿器を使用していたり、観葉植物や水槽などの加湿源がある場合には「開放型暖房器」使用のグラフを用いる。

盛岡のエアコン使用の場合（図4.3.30）、曲線が閾値と交差する断熱材室内側の透湿抵抗は約0.004 [$\text{m}^2\text{sPa/ng}$]（以下、単位省略）である。これは、防湿フィルムがコンセントや胴差部分に一部欠損がある場合より少し小さな値である。すなわち、湿害の起こった物件で、上記のような場所を点検して、多くの箇所防湿フィルムの一部欠損が見られた場合に、室内由来の冬型結露である可能性が高いと推定できるということである。開放型暖房器使用の場合（図4.3.31）は、閾値との交点が0.02で、エアコン使用より大幅に要求される抵抗が高まっている。これは、防湿欠損なしと一部欠損の間であるので、上記の場所を点検したときに、数箇所でも欠損があった場合に、室内湿気由来の湿害が疑われると読める。いずれにしても、対策は欠損部分の防湿・気密化が考えられる。

宇都宮や福岡については、エアコン暖房の場合は室内側防湿の程度に関わらず、湿害が起こる可能性がないといえる。ただしこれは、通気層があることと、天井懐部の外壁（胴差下まで）も断熱材と石膏ボードが施工されていることを条件とした計算の結果であることに注意を要する。古い物件では通気層がなかったり、天井懐の胴差下部に断熱材が入っていないこともあり、その場合はこの結果の対象外となり、湿害が起こる可能性がある。一方、開放型暖房器使用の場合は、閾値との交点は宇都宮 0.004、福岡 0.003 と読み取れ、盛岡のエアコン暖房と同程度の施工が要求されるということを示している。

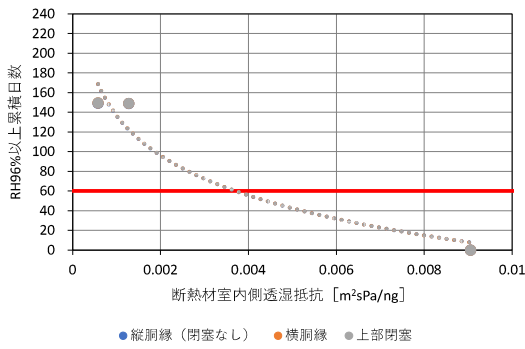


図 4.3.30 盛岡 (エアコン暖房)

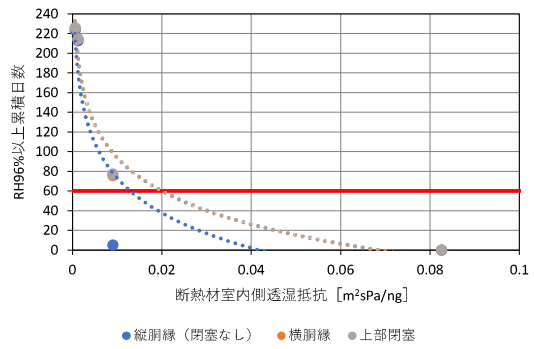


図 4.3.31 盛岡 (開放型暖房)

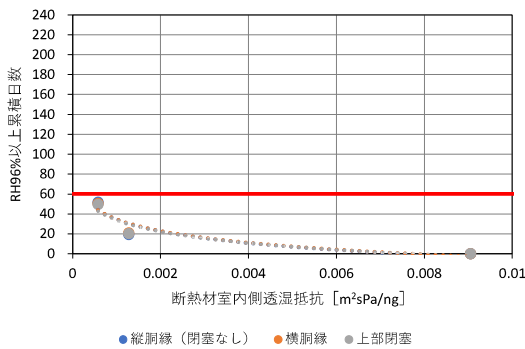


図 4.3.32 宇都宮 (エアコン暖房)

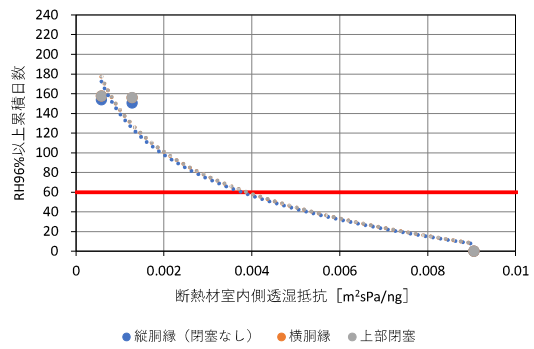


図 4.3.33 宇都宮 (開放型暖房)

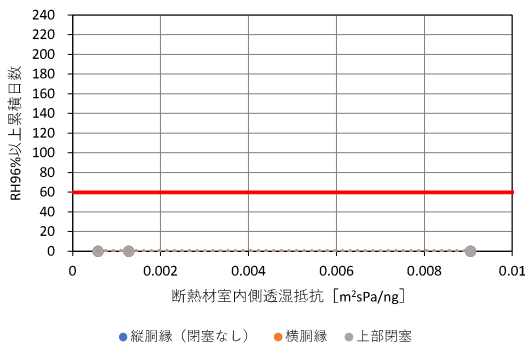


図 4.3.34 福岡 (エアコン暖房)

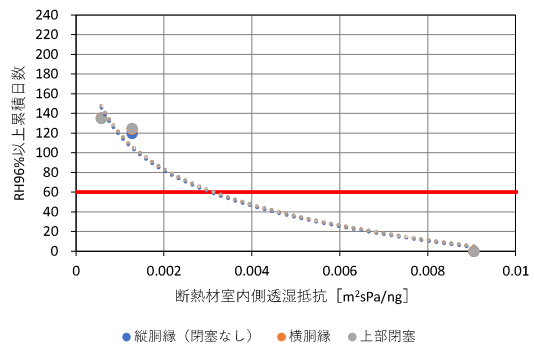


図 4.3.35 福岡 (開放型暖房)

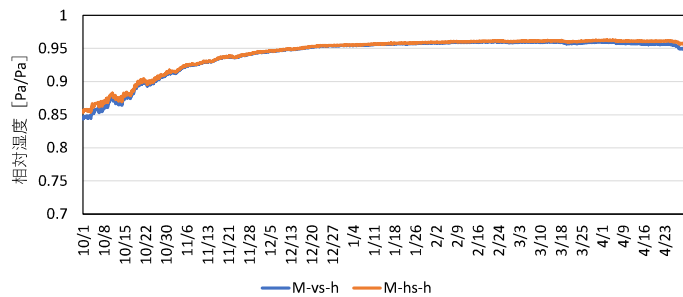


図 4.3.36 外壁合板室内側表面の相対湿度変動 (計算名 vs-d)

4.3.4.2 小屋裏（盛岡）について

小屋裏の場合は北面の野地小屋裏側表面の相対湿度を対象とする。野地の腐朽の閾値として、外壁の合板と同様、累積日数で評価するが、相対湿度の条件は文献^[9]の通り 98%以上とする。各計算結果の、累積日数を①天井断熱材の施工性（天井空気層換気量）、②天井面の隙間面積、③換気口面積（換気口天井面積の逆数）との関係で解析した。①については、居室第 1 種換気の場合の換気口基準通り、1/2、1/4 を図 4.3.37～39 に、居室第 3 種換気の場合を図 4.3.40～42 に示し、②についても同様に、換気口基準通り、1/2、1/4 を図 4.3.43～45 に、居室第 3 種換気の場合を図 4.3.46～48 に示す。③については、居室第 1 種換気でエアコン暖房の場合を図 4.3.49、開放型暖房の場合を図 4.3.50 に、居室第 3 種換気の場合を図 4.3.51、52 に示す。

図 4.3.37～38 より、第 1 種換気の場合は、天井面での気密を高く（隙間面積を小さく）した、エアコン暖房の場合のみ、断熱材の施工性でほぼ 0 $[(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2]$ に近くする、すなわち継目をしっかり密着させるように丁寧に施工して、閾値を下回るという厳しい結果になった。第 3 種換気の場合は第 1 種より緩和されるが、上記同様の施工を行うことで、開放型暖房でも閾値を下回るという結果である。この厳しい結果となった理由は、4.3.3.3 節で述べたように、本シミュレーションは外部風を考慮していない影響が大きい。

また、図 4.3.37～39 の換気口面積で見た差があまりない。この換気口面積を横軸としてまとめたものが図 4.3.49～52 であるが、換気口面積による差がないのが明確に分かる。そこで、換気口からの流入量を比較したところ（図省略）、基準の換気口面積で最大 30 $[\text{m}^3/\text{h}]$ （2/2 頃の計算結果）に対して換気口 1/4 はほぼ 0 $[\text{m}^3/\text{h}]$ となっており、換気口面積による通気量の違いはあった。しかし、流出量でみると、基準の換気口面積の最大約 100 $[\text{m}^3/\text{h}]$ に対して、換気口 1/4 でも 90 $[\text{m}^3/\text{h}]$ 程度で、大きな違いはなかった。つまり、流出量の多くを占めるのが居室や通気層からの流入量であるために、換気口面積の違いが生じなかったと考えられる。ただし、これも外部風を考慮することによって、居室・通気層からの流入量に対して換気口からの流入量の割合が大きくなれば、違いが生じてくると考えられ、今後の課題としたい。

これらのグラフをどのように使うかについては、例えば問題のあった住宅で、居室第 3 種換気のエアコン暖房で天井面の気密性能が高かった場合（図 4.3.40）、グラフの閾値との交点が 0.4 $[(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2]$ で「丁寧な施工」と「標準的な施工」の間であることから、天井断熱の施工状況を点検し、断熱材の継目の施工が甘かった場合には、これが原因と推定できる。なお、「天井面の気密性能」は直接には確認できないため、実際には住宅全体の気密性能が高いことを確認したり、間仕切り壁上部の気流止めの施工状況を確認したり、照明器具部分の断熱材を取って、電気配線周りの気密施工の状態を確認するなどして、推定するしかない。なお図 4.3.49～52 からは、対策として換気口面積を増やすことは効果的でないといえるが、これは上述したように外部風の影響がない場合の結果であることに留意が必要である。

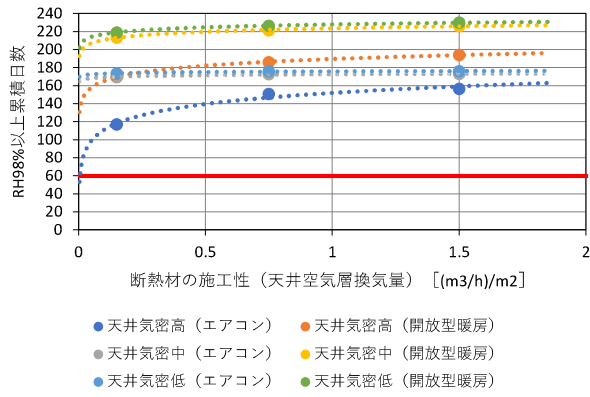


図 4.3.37 換気口基準・居室換気1種

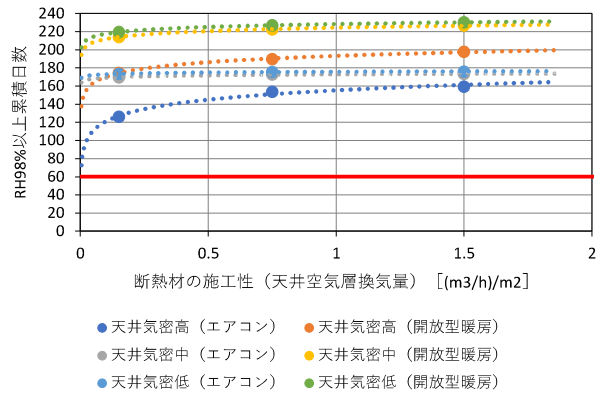


図 4.3.38 換気口基準 1/2・居室換気1種

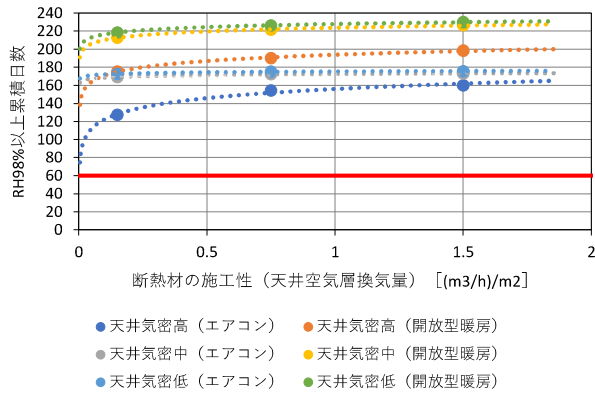


図 4.3.39 換気口基準 1/4・居室換気1種

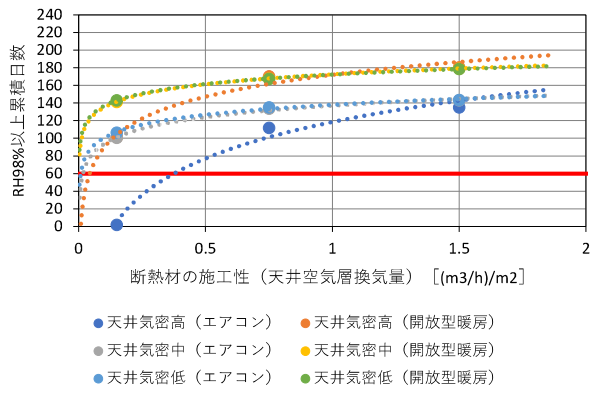


図 4.3.40 換気口基準・居室換気3種

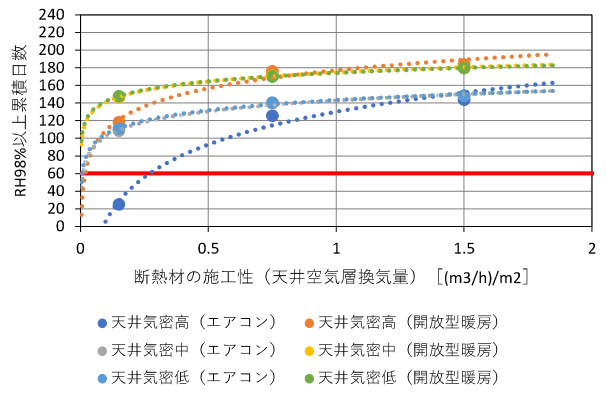


図 4.3.41 換気口基準 1/2・居室換気3種

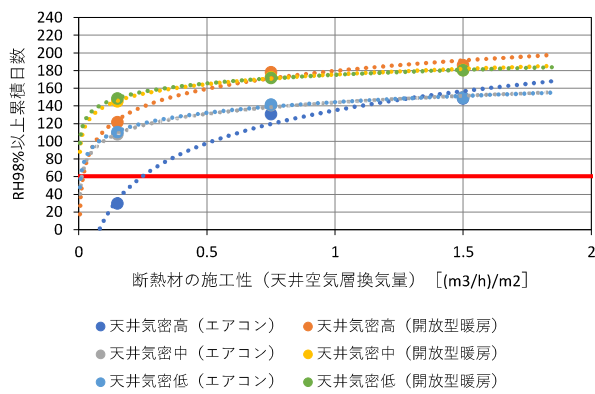


図 4.3.42 換気口基準 1/4・居室換気3種

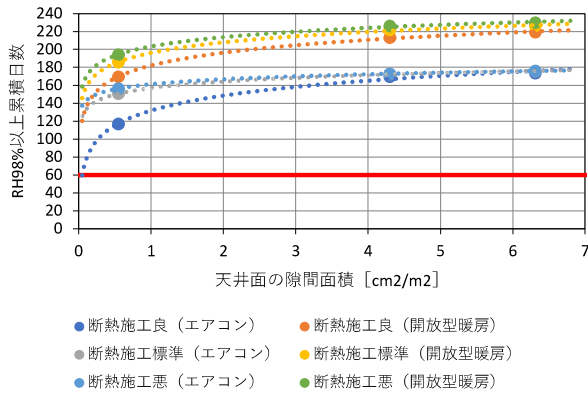


図 4.3.43 換気口基準・居室換気1種

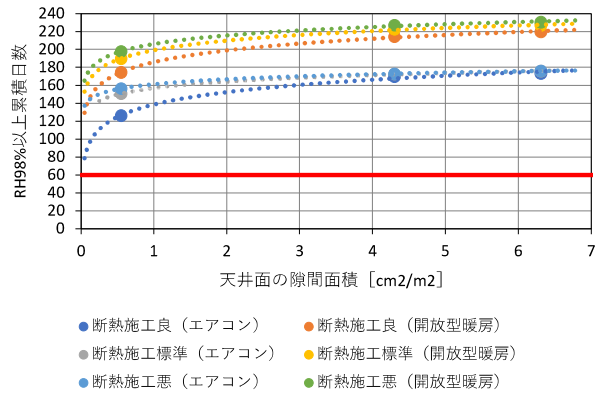


図 4.3.44 換気口基準 1/2・居室換気1種

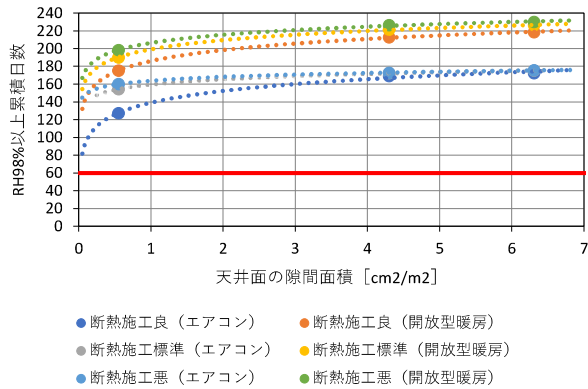


図 4.3.45 換気口基準 1/4・居室換気1種

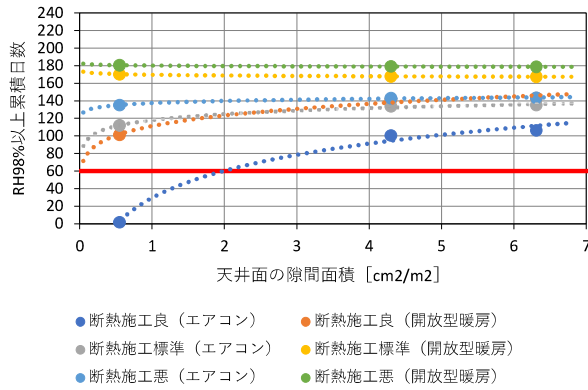


図 4.3.46 換気口基準・居室換気3種

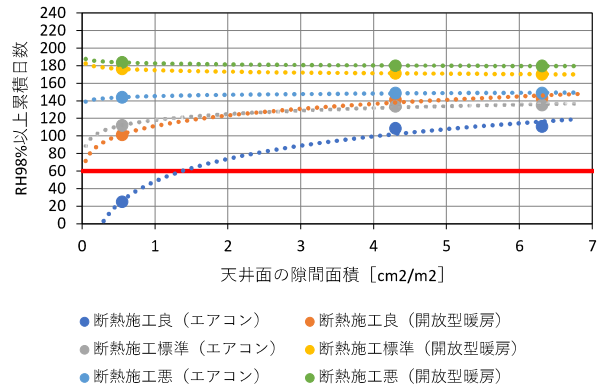


図 4.3.47 換気口基準 1/2・居室換気3種

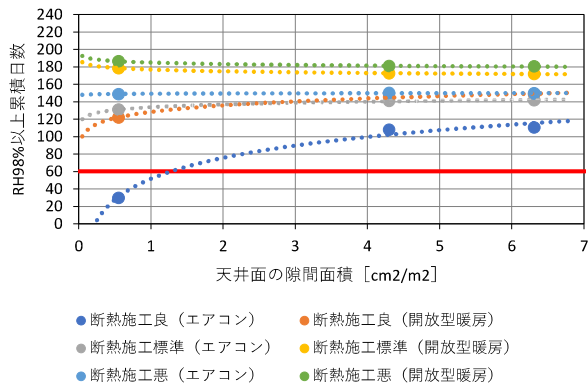


図 4.3.48 換気口基準 1/4・居室換気3種

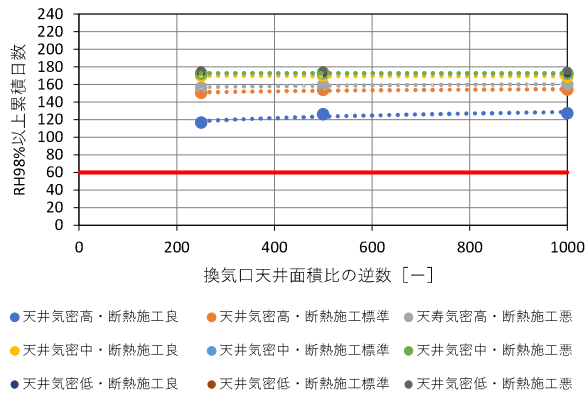


図 4.3.49 居室換気1種・エアコン暖房

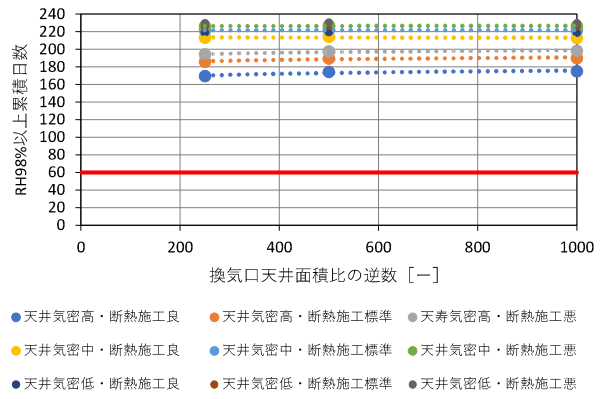


図 4.3.50 居室換気1種・開放型暖房

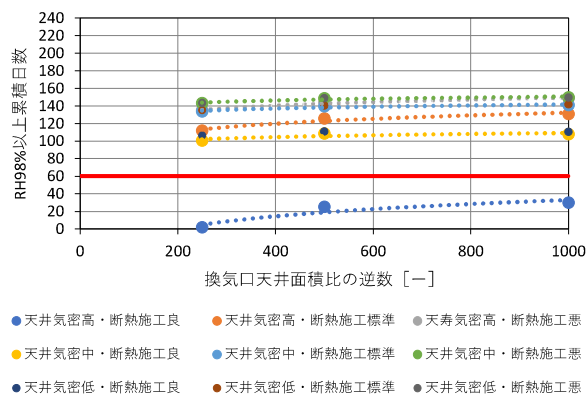


図 4.3.51 居室換気3種・エアコン暖房

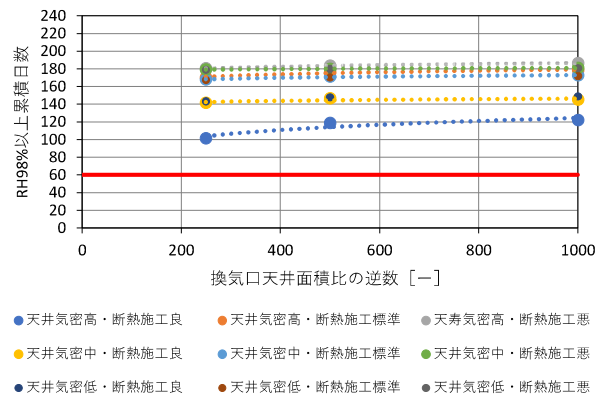


図 4.3.52 居室換気3種・開放型暖房

4.3.4.3 小屋裏（宇都宮）について

各計算結果について、盛岡同様に累積日数を①天井断熱材の施工性（天井空気層換気量）、②天井面の隙間面積、③換気口面積（換気口天井面積の逆数）との関係で解析した。①については、居室第1種換気の場合の換気口基準通り、1/2、1/4を図4.3.53～55に、居室第3種換気の場合を図4.3.4.56～58に示し、②についても同様に、換気口基準通り、1/2、1/4を図4.3.59～61に、居室第3種換気の場合を図4.3.62～64に示す。③については、居室第1種換気でエアコン暖房の場合を図4.3.65、開放型暖房の場合を図4.3.66に、居室第3種換気の場合を図4.3.67、68に示す。

図4.3.53～55より、第1種換気の場合は、天井面での気密が高くエアコン暖房の場合は、天井断熱の施工性によらず問題がない。天井面での気密が高い開放型暖房使用の場合は、閾値との交点が $0.2 [(m^3/h) / m^2]$ 付近であるので、断熱材を密着させた丁寧な施工より悪くなると問題があるといえる。それ以外は、断熱材の施工性でほぼ $0 [(m^3/h) / m^2]$ に近くする、すなわち継目をしっかり密着させるように丁寧に施工して、閾値を下回るという厳しい結果になった。第3種換気の場合は第1種より大きく緩和され、エアコン暖房は全て問題ないが、開放型暖房使用の場合には断熱材の施工性の閾値との交点が $0.6 [(m^3/h) / m^2]$ 程度であるので、天井断熱を確認したときの見た目でも密着していない場合に、これが湿害の原因と考えられる。天井面の気密性能との関係では、第1種でエアコン暖房の場合（図4.3.59～61）は、閾値との交点が $2.0 [cm^2/m^2]$ 前後である。これは間仕切り壁上部に繊維系断熱材で気流止めが施工されているレベルと考えられるため、問題のあった物件を確認した結果、これが施工されていない場合や脱落があったり、隙間が多く気流止めが機能していないように見える場合は、ここが原因と考えられるであろう。第3種換気の場合（図4.3.62～64）は、換気口が基準通り設置されていた（機能している）場合は、開放型暖房で断熱材の施工が標準以下の場合に閾値を上回っている。この場合は、断熱材の継目を丁寧に密着し直すと良いだろう（寄せていくので断熱材が足りなくなり、追加の断熱材が必要となる可能性はある）。なお、図4.3.62～64（3種換気）で、天井の隙間面積が大きくなっていくと（気密性能が悪くなっていくと）、天井断熱の「施工標準」と「施工悪」の累積日数が徐々に小さくなっている。これは、3種換気の場合はファンによって、空気が小屋裏から居室へ流れる方向へ引っ張られていることから、天井面の隙間が大きくなることで、その量が多くなっているからと考えられる。詳細はこの傾向が顕著にでてくる次節の福岡で説明する。

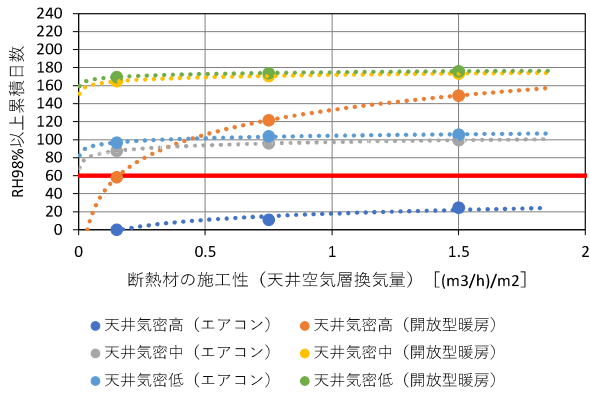


図 4.3.53 換気口基準・居室換気1種

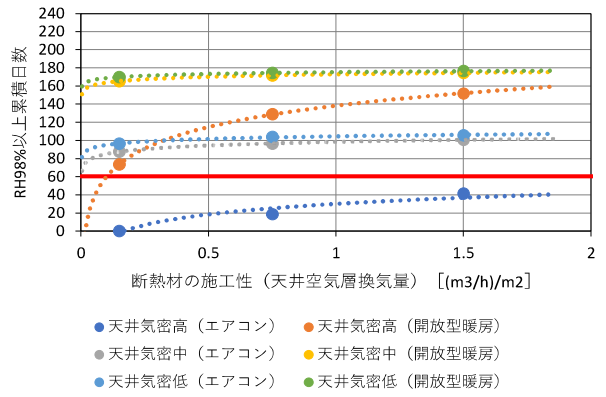


図 4.3.54 換気口基準1/2・居室換気1種

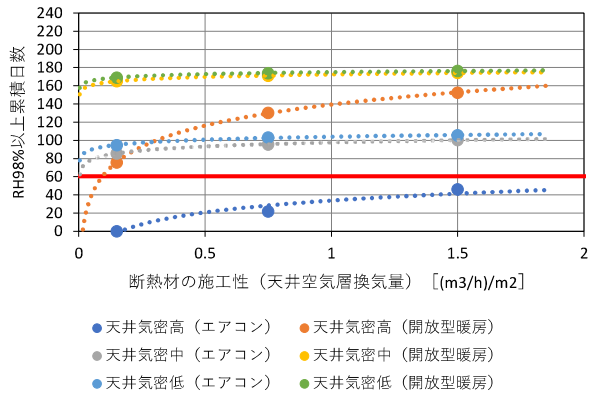


図 4.3.55 換気口基準1/4・居室換気1種

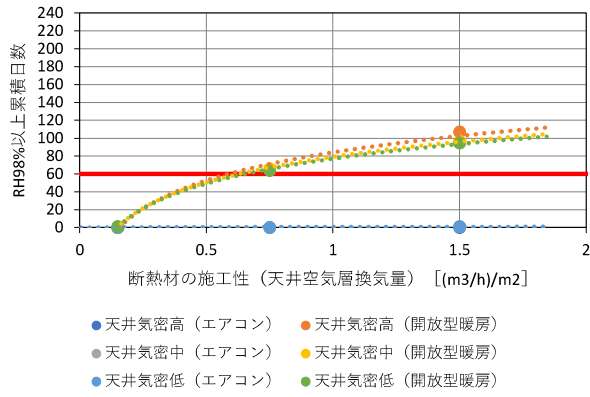


図 4.3.56 換気口基準・居室換気3種

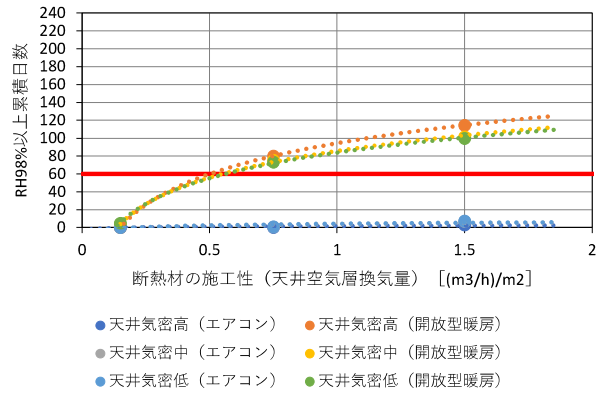


図 4.3.57 換気口基準1/2・居室換気3種

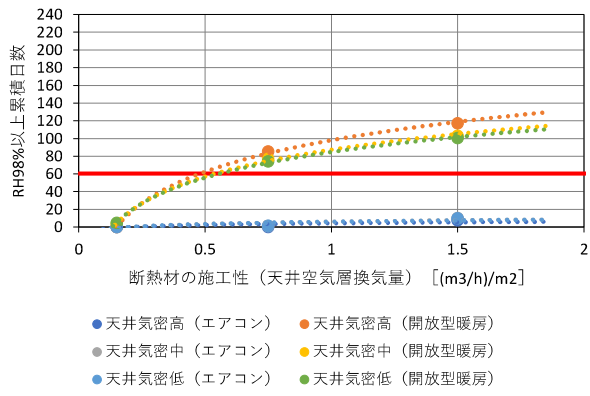


図 4.3.58 換気口基準1/4・居室換気3種

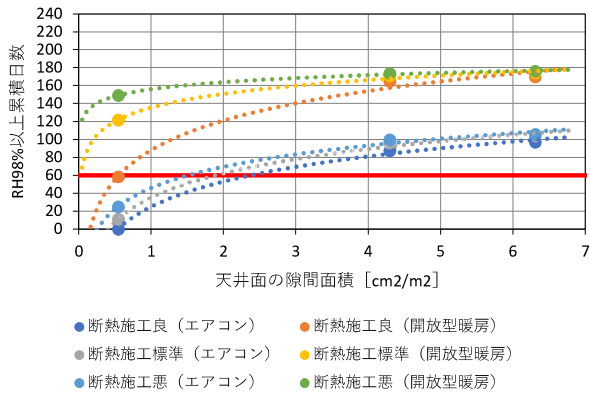


図 4.3.59 換気口基準・居室換気1種

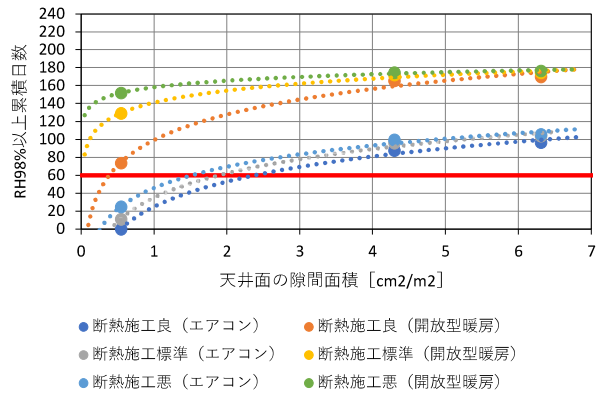


図 4.3.60 換気口基準1/2・居室換気1種

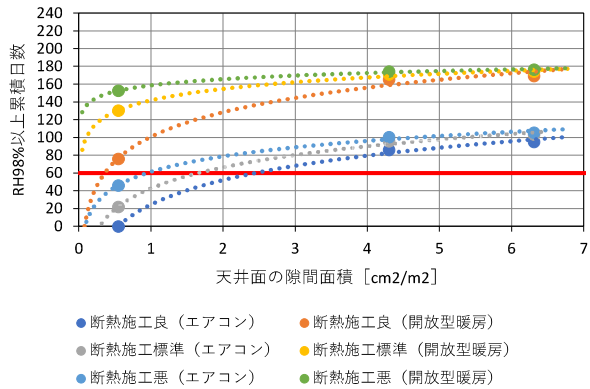


図 4.3.61 換気口基準1/4・居室換気1種

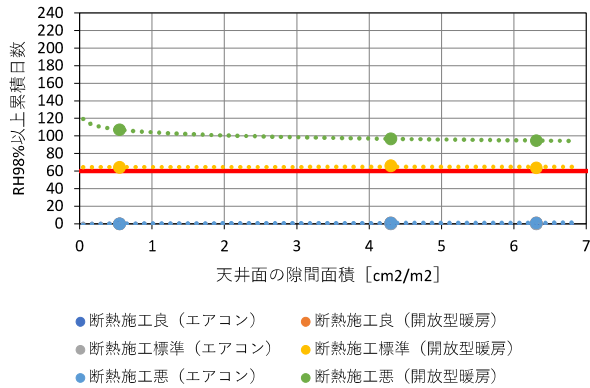


図 4.3.62 換気口基準・居室換気3種

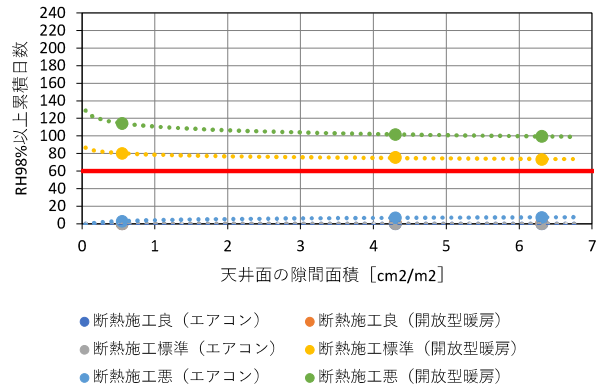


図 4.3.63 換気口基準1/2・居室換気3種

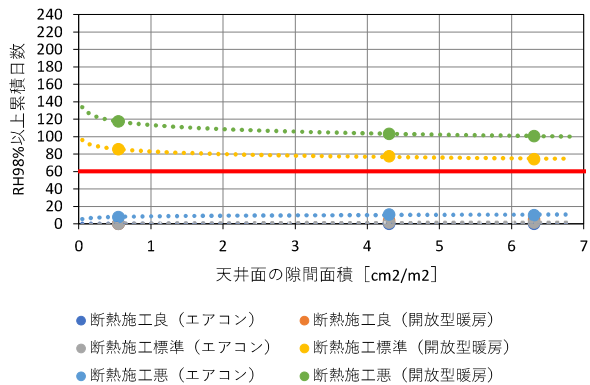
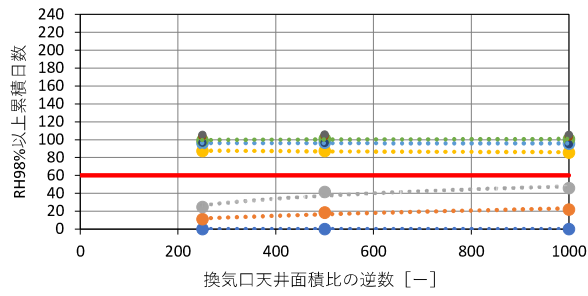
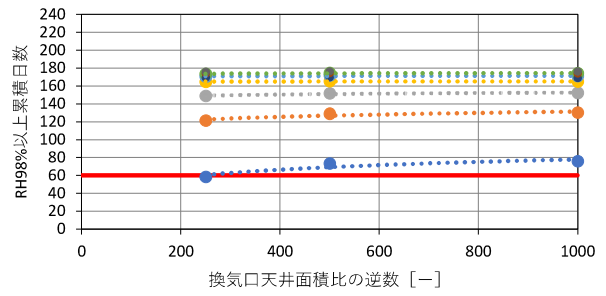


図 4.3.64 換気口基準1/4・居室換気3種



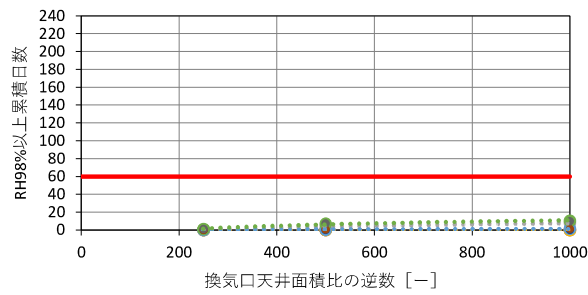
- 天井気密高・断熱施工良 ●天井気密高・断熱施工標準 ●天寿気密高・断熱施工悪
- 天井気密中・断熱施工良 ●天井気密中・断熱施工標準 ●天井気密中・断熱施工悪
- 天井気密低・断熱施工良 ●天井気密低・断熱施工標準 ●天井気密低・断熱施工悪

図 4.3.65 居室換気1種・エアコン暖房



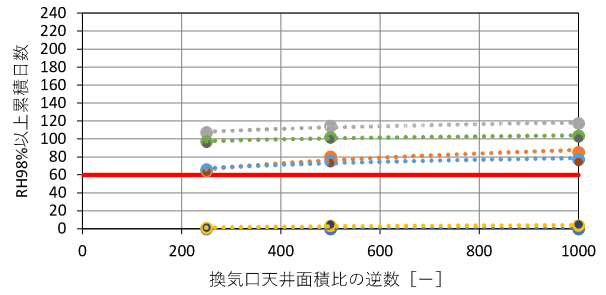
- 天井気密高・断熱施工良 ●天井気密高・断熱施工標準 ●天寿気密高・断熱施工悪
- 天井気密中・断熱施工良 ●天井気密中・断熱施工標準 ●天井気密中・断熱施工悪
- 天井気密低・断熱施工良 ●天井気密低・断熱施工標準 ●天井気密低・断熱施工悪

図 4.3.66 居室換気1種・開放型暖房



- 天井気密高・断熱施工良 ●天井気密高・断熱施工標準 ●天寿気密高・断熱施工悪
- 天井気密中・断熱施工良 ●天井気密中・断熱施工標準 ●天井気密中・断熱施工悪
- 天井気密低・断熱施工良 ●天井気密低・断熱施工標準 ●天井気密低・断熱施工悪

図 4.3.67 居室換気3種・エアコン暖房



- 天井気密高・断熱施工良 ●天井気密高・断熱施工標準 ●天寿気密高・断熱施工悪
- 天井気密中・断熱施工良 ●天井気密中・断熱施工標準 ●天井気密中・断熱施工悪
- 天井気密低・断熱施工良 ●天井気密低・断熱施工標準 ●天井気密低・断熱施工悪

図 4.3.68 居室換気3種・開放型暖房

4.3.4.4 小屋裏（福岡）について

各計算結果について、盛岡同様に累積日数を①天井断熱材の施工性（天井空気層換気量）、②天井面の隙間面積、③換気口面積（換気口天井面積の逆数）との関係で解析した。①については、居室第1種換気の場合の換気口基準通り、1/2、1/4を図4.3.69～71に、居室第3種換気の場合を図4.3.72～74に示し、②についても同様に、換気口基準通り、1/2、1/4を図4.3.75～77に、居室第3種換気の場合を図4.3.78～80に示す。③については、居室第1種換気でエアコン暖房の場合を図4.3.81、開放型暖房の場合を図4.3.82に、居室第3種換気の場合を図4.3.83、84に示す。

図4.3.69～71より、第1種換気の場合は、天井面での気密が高くエアコン暖房の場合は、天井断熱の施工性によらず問題がない。天井面での気密が高い開放型暖房使用の場合は、閾値との交点が $0.3 \text{ [(m}^3/\text{h) /m}^2]$ 付近であるので、断熱材を密着させた丁寧な施工より悪くなると問題があるといえる。それ以外は、断熱材の施工性でほぼ $0 \text{ [(m}^3/\text{h) /m}^2]$ に近くする、すなわち継目をしっかり密着させるように丁寧に施工して、閾値を下回るといふ厳しい結果になった。第3種換気の場合は換気口が基準通り設置してある（機能している）場合は、全ての条件で問題はないが、換気口面積が基準の1/2や1/4の場合は、天井面気密が高く開放型暖房使用の場合には、断熱材の施工性の閾値との交点が 0.75 と $1.5 \text{ [(m}^3/\text{h) /m}^2]$ の間にあるので、天井断熱を確認したときの見た目でも密着していない場合に、これが湿害の要因と考えられる。天井面の気密性能との関係では、第1種換気でエアコン暖房の場合は問題ないが、開放型暖房の場合（図4.3.75～77）は、天井断熱「施工標準」と「施工悪」であると、天井隙間面積は $0 \text{ [cm}^2/\text{m}^2]$ に近い性能が要求される（ただし、何度も言及するが外部風なしの場合である）。天井断熱の「施工良」の場合は、閾値との交点が $0.5\sim 1.0 \text{ [cm}^2/\text{m}^2]$ であるので、間仕切り壁上部の気流止めに先張り防湿フィルムが用いられているような場合は問題がないといえる。第3種換気の場合（図4.3.78～80）は、天井面の隙間が 1.0 以下になると閾値を超える結果となっているものの、ほぼ全ての条件で問題ないといえる。

なお、図4.3.78～80（3種換気）で、天井の隙間面積が大きくなっていくと（気密性能が悪くなっていくと）、天井断熱の「施工標準」と「施工悪」の累積日数が徐々に小さくなっていく理由についてであるが、第1種と第3種の場合の居室から小屋裏への通気量 $[\text{m}^3/\text{h}]$ の変動を示して説明する。図4.3.85に第1種換気の場合を、図4.3.86に第3種換気の場合を示す。縦軸は正の場合が居室から小屋裏へ流入することを表している。第3種では居室のファンによって空気を引っ張っているため、負の値、つまり小屋裏から居室に移動する量が1種に比べて大幅に大きくなっている。したがって、天井面の隙間が大きいほど、小屋裏の湿気が居室に流出していくことになるため、小屋裏空間が低湿化し、累積日数が少なくなると考えられる。ただし、この結果をもって天井面の高气密化が良くないということではなく、閾値を超えるのは開放型暖房使用で断熱施工が「悪」の場合のみであるため、問題のあった物件での対策は、断熱材をしっかりと密着して施工し直すことや、新たな断熱材を既存断熱の上に継ぎ目を密着させて追加することが考えられる。後者の場合は断熱性能が良くなるので、より湿害に対して安全なエアコン暖房へ切り替えることも提案できるであろう。

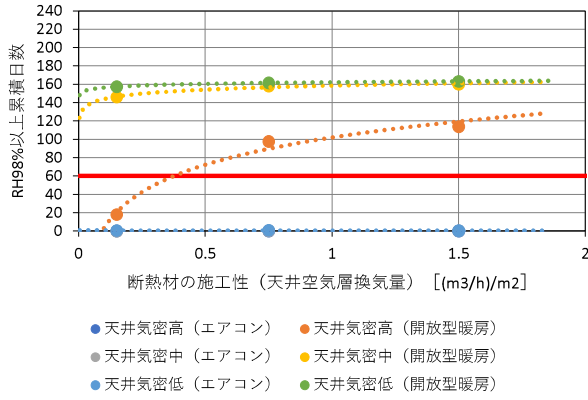


図 4.3.69 換気口基準・居室換気1種

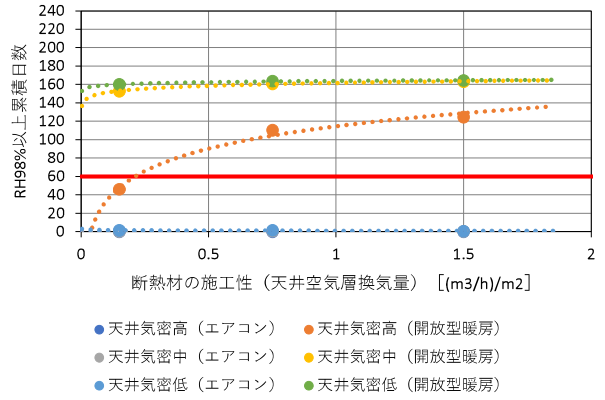


図 4.3.70 換気口基準 1/2・居室換気1種

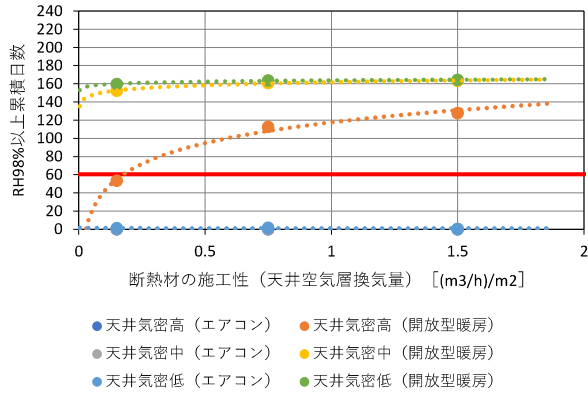


図 4.3.71 換気口基準 1/4・居室換気1種

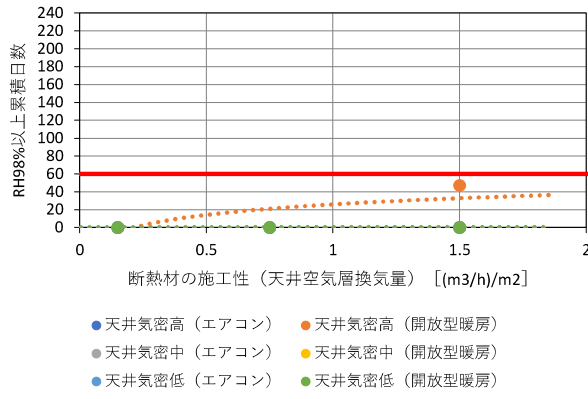


図 4.3.72 換気口基準・居室換気3種

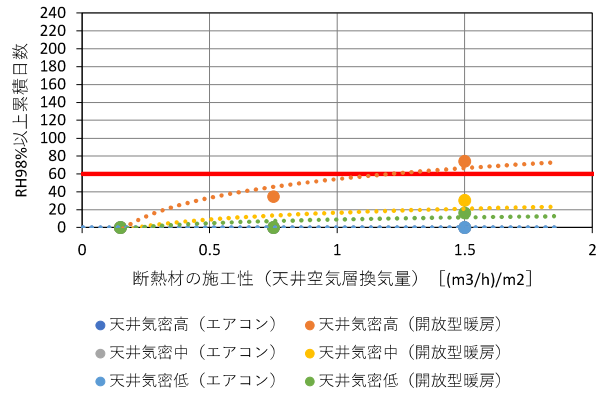


図 4.3.73 換気口基準 1/2・居室換気3種

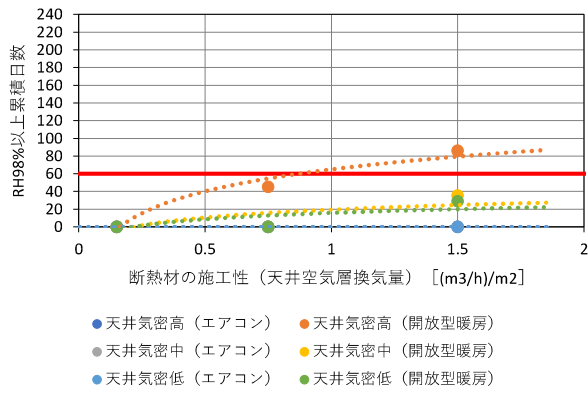


図 4.3.74 換気口基準 1/4・居室換気3種

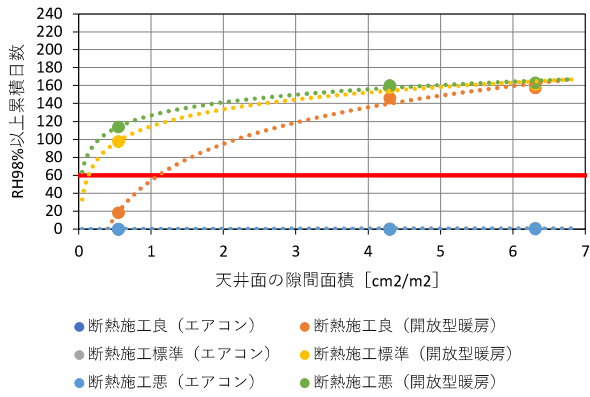


図 4.3.75 換気口基準・居室換気1種

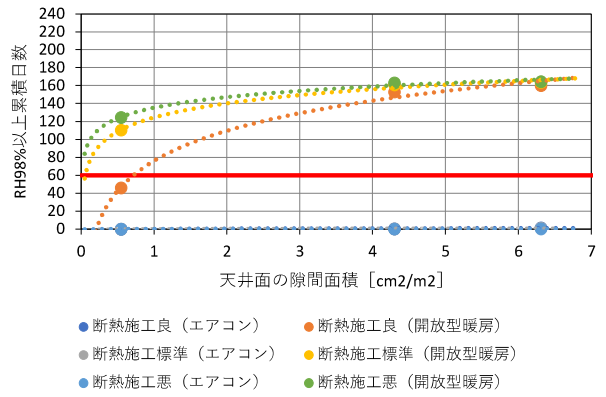


図 4.3.76 換気口基準1/2・居室換気1種

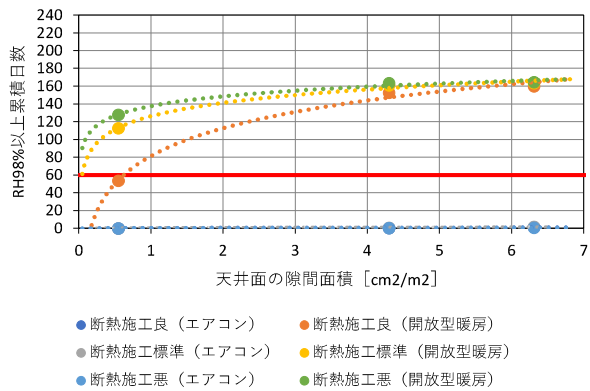


図 4.3.77 換気口基準1/4・居室換気1種

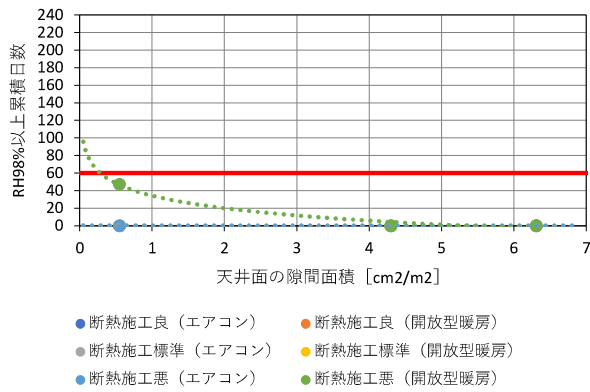


図 4.3.78 換気口基準・居室換気3種

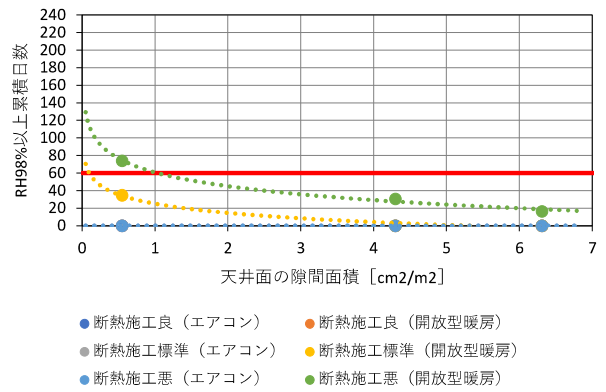


図 4.3.79 換気口基準1/2・居室換気3種

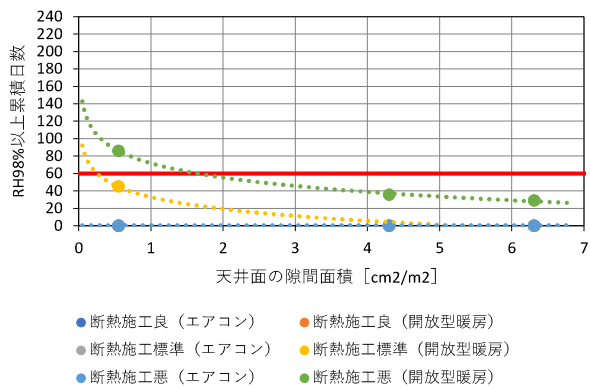


図 4.3.80 換気口基準1/4・居室換気3種

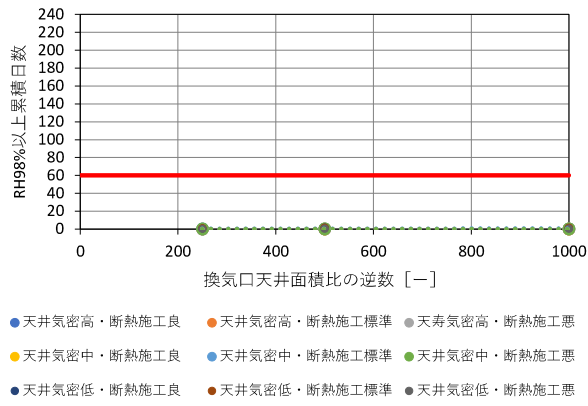


図 4.3.81 居室換気 1 種・エアコン暖房

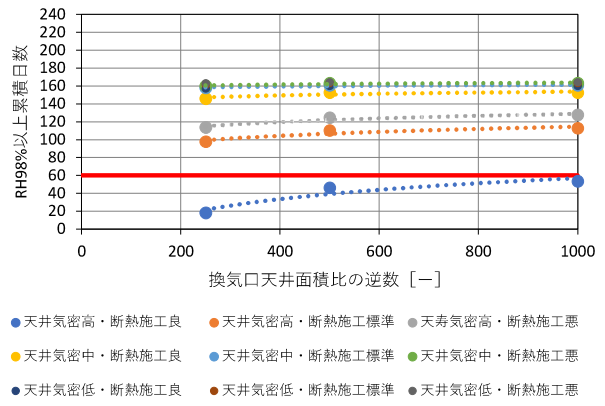


図 4.3.82 居室換気 1 種・開放型暖房

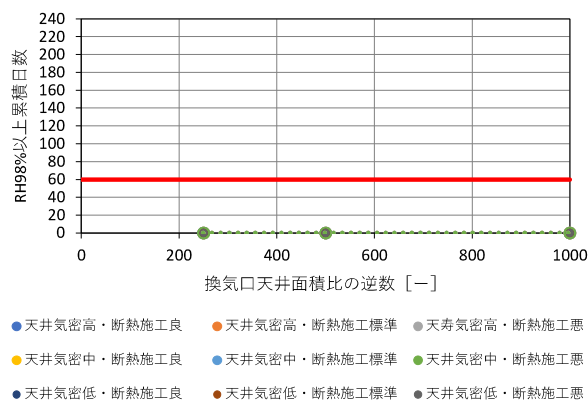


図 4.3.83 居室換気 3 種・エアコン暖房

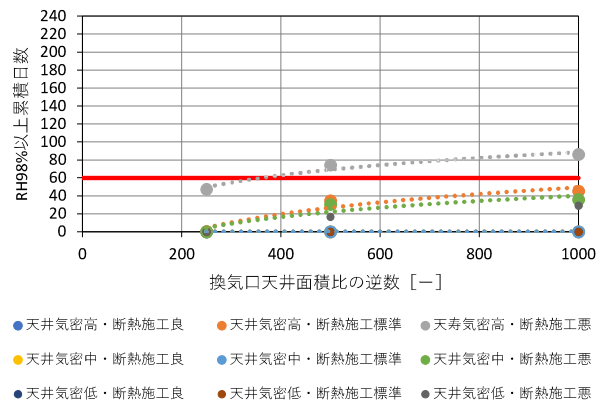


図 4.3.84 居室換気 3 種・開放型暖房

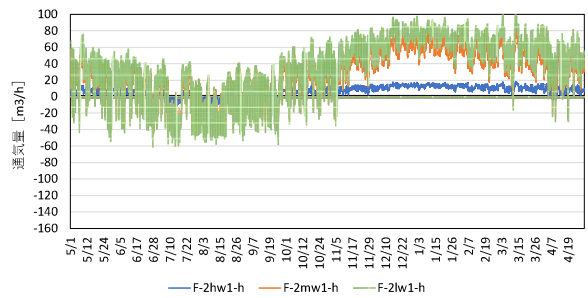


図 4.3.85 居室→小屋裏通気量
(居室換気 1 種・開放型暖房)

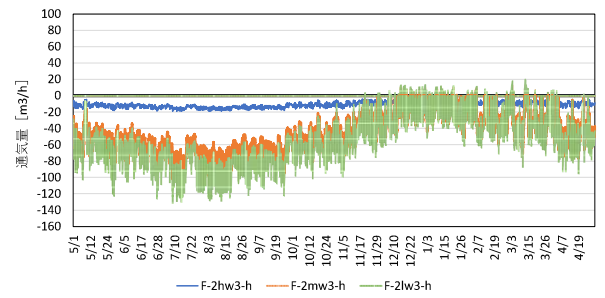


図 4.3.86 居室→小屋裏通気量
(居室換気 3 種・開放型暖房)

4.3.4 まとめ

外壁通気層については、盛岡等の寒冷地では、エアコン使用などによる低湿度な生活の場合は、防湿フィルムがコンセントや胴差部分に一部欠損がある場合と同程度の場合に、また、開放型暖房器使用などによる高湿度な生活の場合は、防湿の欠損が数箇所あるような場合に、外壁の防湿フィルムの室外側で劣化が生じる可能性がある。

宇都宮や福岡等の地域ではエアコン暖房の場合に、外壁通気層があり、天井懐部の外壁（胴差下まで）も断熱材と石膏ボードが施工されている場合は、室内側防湿の程度に関わらず、外壁の防湿フィルムの室外側の劣化は起こる可能性がないことが確認できた。一方、開放型暖房器使用の場合は、防湿フィルムがコンセントや胴差部分に一部欠損がある場合と同程度の場合に、外壁の防湿フィルムの室外側で劣化が生じる可能性がある。

小屋裏については、盛岡のような寒冷地域では、換気方式が第1種の場合、エアコン使用の低湿度な生活の場合でも、天井面の気密性を高くし、天井断熱材の継目を密着させるように丁寧に施工しても劣化の可能性が確認され、第3種の場合は、開放型暖房使用の高湿度な生活の場合には、天井面の気密性を高くし、天井断熱材の継目を密着させるように丁寧に施工しても、劣化の可能性が確認された。

温暖地域では、エアコン使用の場合は、天井面の気密性が高ければ天井断熱材の施工性によらず問題がなく、開放型暖房使用の場合は、天井面での気密が高くし、天井断熱材を密着させた丁寧な施工が担保されないと劣化の可能性が確認された。

第3種換気の場合は、宇都宮程度の地域では、エアコン使用の場合は、天井面の気密性、天井断熱材の施工性によらず問題がない。開放型暖房使用の場合には天井断熱材が密着していない場合に、劣化の可能性が確認され、福岡程度の地域では、換気口が基準通り設置され機能している場合は、全ての条件で問題はないが、換気口面積が基準の1/2や1/4の場合は、開放型暖房使用の場合には、天井断熱材が密着していないと劣化の可能性が確認された。

なお、本報のシミュレーションでは、既往の文献から分かっている数値を用いて実施し、その再現性（信頼性）の確認として、通気層の風速および小屋裏換気口の換気量について、実測値と比較した。本報では、おおよその再現性が確認されたが、外部風が強い時や各部の温湿度については再現性の確認の実施が出来なかった。

今後、精度を上げていくために必要なこととしては、多くの要素が考えられるが、主要ものを挙げると、通気層の出入口の通気層内摩擦も含めた通気特性（差圧と通気量の関係）、小屋裏内木材の設定方法、棟換気口の差圧と通気量の関係および風向と換気性状の関係が考えられる。

参考文献

- [1] 宇田川光弘：標準問題の提案 住宅用標準問題，日本建築学会環境工学委員会 熱分科会第 15 回熱シンポジウム
- [2] 金子友昭, 松岡 大介：木造戸建住宅の気密性能に関する研究，その 3 試験体による各種取合い部の隙間特性（既存住宅仕様含む），日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学 I，学術講演梗概集 DVD，pp. 751-752，2021. 09
- [3] 松岡大介：温暖地における木造住宅の小屋裏温湿度形成に関する研究，京都大学博士学位論文，2016
- [4] 松本衛ほか：新建築体系 10 環境物理，彰国社，1994，第 1 版 3 刷
- [5] （株）気象データシステム：日射直散分離と斜面日射の計算，技術解説（日射・昼光関係），2020 年 5 月，
<https://www.metds.co.jp/documents/ea/>
- [6] 齋藤宏昭，本間義規ほか 2 名：多数室シミュレーションによる気密性能を考慮した木造住宅の小屋裏防露性能に関する検討，日本建築学会技術報告集，第 17 巻，第 35 号，pp. 221-226，2011. 2
- [7] 齋藤宏昭ほか 2 名：木造断熱外壁の防湿・気密措置と防露性能に関する研究 -繊維系断熱材充填工法に対する要求性能-，日本建築学会環境系論文集，第 78 巻，第 688 号，pp. 461-470，2013. 06
- [8] 石川善美，吉野博：東北地方の戸建住宅を対象とした部位別気密性能の実測結果について，日本建築学会学術講演梗概集，D，環境工学，pp619-620，1992. 8
- [9] 日本建築学会：日本建築学会環境基準 AIJES-H0003-2021 建物における湿害の診断と対策に関する規準・同解説

5章 結露発生・雨水浸入による建物劣化リスクの検証

過年度までの検討結果より、一時的な雨水浸入や結露等の発生がすぐに建物の劣化、すなわち木構造部材の腐朽につながるわけではなく、木部周辺の高湿状態や、木部表面に結露水の滞留している状態（結露等）が長期に継続することが問題となる。

どのような条件において、結露等が長期に継続し、建物劣化リスクが高まるか、シミュレーションの実施条件の検討結果及び有識者からの意見等を踏まえて整理し、結露等の発生要因を判定するための調査において調査すべき内容の検討につなげることとした。

5.1 結露等の発生に影響を及ぼす建築的・環境的条件の整理

結露等の発生に影響を及ぼす条件（建築的・環境的）は、部位や結露のタイプごとに異なる。これらの条件が組み合わさり建物の劣化リスクが高まると考えられるが、ここではシミュレーションの実施条件として取り上げた項目（4章4.1.2表4.1.5～7）を中心にまず、部位、結露のタイプごとに個別に整理を行った。

5.1.1 外壁

外壁において建物の劣化リスクの程度に影響を及ぼす条件は、主に夏期の雨水に由来する放湿型結露と、主に冬期の室内水蒸気に由来する冬型結露によって異なる。また、条件は建築的な条件と環境的な条件に大別でき、結露のタイプ別に影響を及ぼす条件の整理を行った。

なお、以下の（１）、（２）で用いている「G-番号」は、後述する6章6.1図6.2.1中の記号による。

（１）放湿型結露

放湿型結露では、外壁から通気層への雨水の浸入と、通気層に浸入した雨水の排水及び乾燥の程度がリスクの多寡に影響し、以下の4つの条件が劣化リスクの発生に影響を及ぼすと考えられる。

・建築的条件

G-1) 外壁面からの浸水

G-2) 通気層の排水障害

G-3) 通気層の通気障害

・環境的条件

G-6) 室内外条件（地域・方位）

(2) 冬型結露

冬型結露では、室内から壁体内への水蒸気の浸入の程度がリスクの多寡に影響し、以下の3つの条件が劣化リスクの発生に影響を及ぼすと考えられる。

- ・ 建築的条件
 - G-3) 通気層の通気障害
 - G-4) 透湿過多
 - G-5) 漏気過多
- ・ 環境的条件
 - G-6) 室内外条件（地域・方位・居室の相対湿度）

5.1.2 小屋裏

小屋裏において劣化リスクの程度を決定づける条件は、外壁同様に、主に夏季の雨水に由来する放湿型結露と、主に冬季の室内水蒸気に由来する冬型結露によって異なり、それぞれの結露別に条件整理を行った。

なお、以下の(1)、(2)で用いている「K-番号」は、後述する6章6.1図6.1.2中の記号による。

(1) 放湿型結露※

放湿型結露では、屋根から小屋裏内への雨水の浸入と、小屋裏内に浸入した雨水の乾燥の程度がリスクの多寡に影響し、以下の3つの条件が劣化リスクの発生に影響を及ぼすと考えられる。

※小屋裏の放湿型結露は近年研究に着手したばかりのテーマであるため、不明な点が多く、現時点の知見を元に整理した。

- ・ 建築的条件
 - K-1) 小屋裏換気不足
 - K-4) 屋根面からの浸水
- ・ 環境的条件
 - K-6) 室内外条件（地域・方位）

(2) 冬型結露

冬型結露では、室内から小屋裏内への水蒸気の浸入及び小屋裏の換気の程度がリスクの多寡に影響し、以下の4つの条件が劣化リスクの発生に影響を及ぼすと考えられる。

- ・ 建築的条件
 - K-1) 小屋裏換気不足
 - K-2) 漏気（気密不良）
 - K-3) 透湿
- ・ 環境的条件
 - K-6) 室内外条件（地域・居室の相対湿度）

5.2 建物劣化リスクが高まる条件の組合せの整理

結露等の発生に影響を及ぼす条件（建築的・環境的）が組み合わさって建物の劣化リスクが高まると考えられることから、ここではシミュレーション結果及び有識者からの意見等を踏まえて、結露等により建物の劣化リスクが高まる条件（環境的・建築的条件）の組合せと劣化リスクの程度との関連の整理を行った。

5.1 で取り上げた条件のうち、劣化リスクが高まる影響の大きい条件を対象に取り上げる。これらの整理を元に6章 6.2 調査方法の検討につなげる。

5.2.1 外壁

(1) 放湿型結露

外壁の放湿型結露では、外壁通気層への雨水浸入及び浸入した雨水の通気層への残留と外壁通気層の閉塞がある場合に、防湿フィルムの室外側で結露等の発生につながり、これが長期に継続すると建物の劣化リスクが高まる（図 5.2.1）。

なお、図 5.2.1 中の条件の組合せによる劣化リスクの多寡は地域・方位によらず同一であるため、地域、方位の項目は割愛している。ただし、降雨量の多い地域や、東面は結露等が発生しやすい傾向があると考えられる。

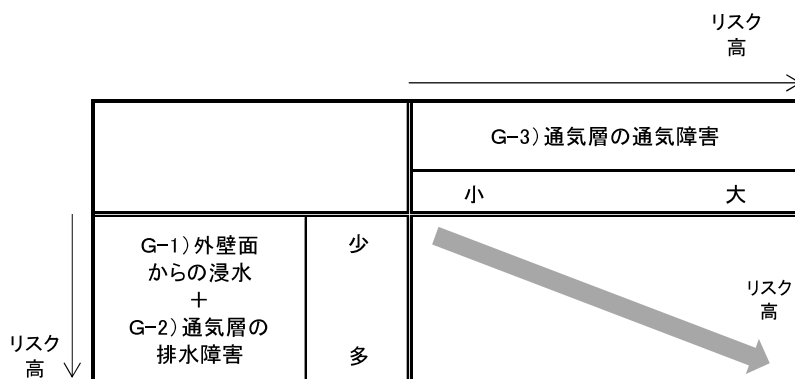


図 5.2.1 条件の組合せによる劣化リスクの多寡（外壁・放湿型結露）

(2) 冬型結露

外壁の冬型結露では、居室から外壁への透湿・漏気がある状態で居室湿度が高い場合に、構造用面材の室内側で結露等の発生につながり、これが長期に継続すると建物の劣化リスクが高まる(図 5.2.2)。

なお、図 5.2.2 中の条件の組合せによる劣化リスクの多寡は地域・方位によらず同一であるため、通気層の通気障害はシミュレーションにて影響が小さいことが確認されたため、地域、方位、通気障害の項目は割愛している。

ただし、寒冷な地域や、北面は結露等が発生しやすい傾向があると考えられる。

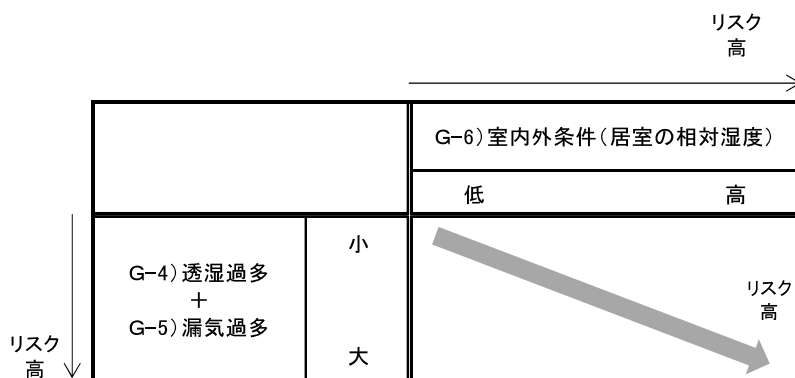


図 5.2.2 条件の組合せによる劣化リスクの多寡 (外壁・冬型結露)

5.2.2 小屋裏

(1) 放湿型結露

小屋裏の放湿型結露では、小屋裏内への雨水浸入及び浸入した雨水の残留と小屋裏換気不足がある場合に、天井材上の防湿フィルムの小屋裏側で結露等の発生につながり、これが長期に継続すると建物の劣化リスクが高まる(図 5.2.3)。

なお、図 5.2.3 中の条件の組合せによる劣化リスクの多寡は地域によらず同一であるため、地域の項目は割愛しているが、降雨量の多い地域は結露等が発生しやすい傾向があると考えられる。

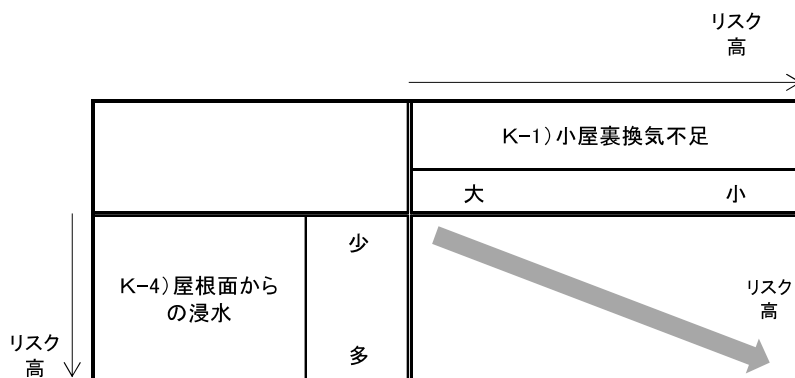


図 5.2.3 条件の組合せによる劣化リスクの多寡 (小屋裏・放湿型結露)

(2) 冬型結露

小屋裏の冬型結露では、居室から小屋裏内への透湿・漏気がある状態で小屋裏換気量が不足する場合に、野地板材の小屋裏側で結露等の発生につながり、これが長期に継続すると建物の劣化リスクが高まる（図 5.2.4）。

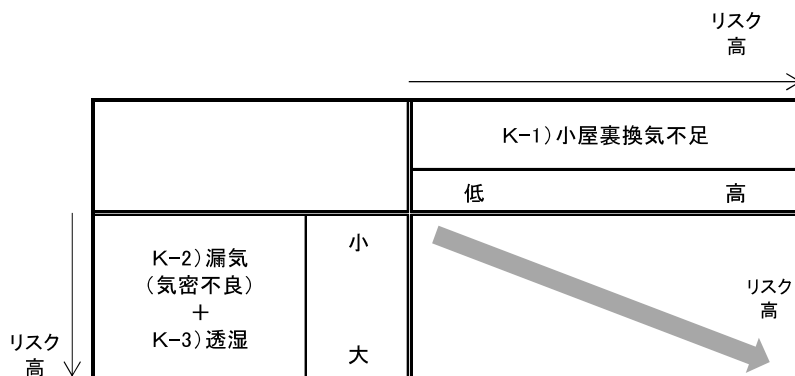


図 5.2.4 条件の組合せによる劣化リスクの多寡（小屋裏・冬型結露 その1）

また、小屋裏の冬型結露では、居室から小屋裏内への透湿・漏気がある状態で居室湿度が高い場合に、野地板材の小屋裏側で結露等の発生につながり、これが長期に継続すると建物の劣化リスクが高まる（図 5.2.5）。

なお、図 5.2.4、5.2.5 中の条件の組合せによる劣化リスクの多寡は地域によらず同一であるため、地域の項目は割愛しているが、寒冷な地域ほど結露等は発生しやすい傾向があると考えられる。

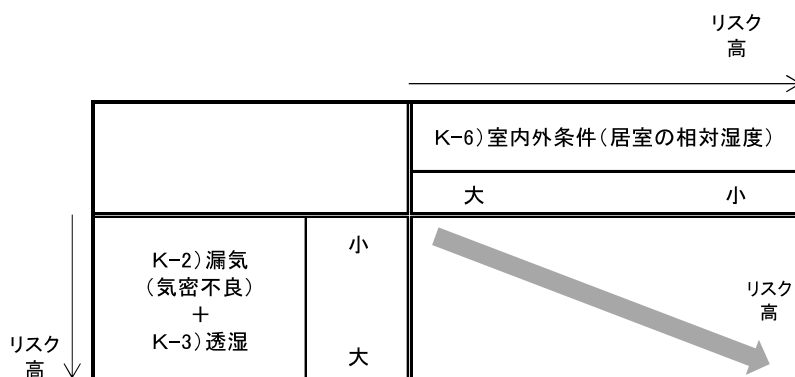


図 5.2.5 条件の組合せによる劣化リスクの多寡（小屋裏・冬型結露 その2）

6章 4カ年の調査・実験結果及び成果の取りまとめ

4カ年の調査・実験結果及び成果の取りまとめとして、結露等の発生要因を判定するための実務者の活用を想定した合理的な調査方法、結露等を誘引すると想定される不具合事象を補修するための項目の整理を行った。

6. 1 調査方法の検討結果の取りまとめ

過年度の検討を踏まえて、結露の発生要因の相関及び結露を誘引すると想定される不具合事象について、委員の意見も参考にして精査を行った。以下及び次頁に精査を行った結果を掲げる。

6.1.1 外壁通気層及び小屋裏の結露の発生要因の精査

過年度作成した結露の発生要因の相関及び結露を誘引すると想定される不具合事象について改めて精査を行った。次頁以降に精査を行った結果を掲げる。

なお、本整理は、シミュレーションを行うための条件の組合せの検討や、結露の発生要因を判定するための諸々の調査方法を検討する上でのベースとして活用している。



図 6.1.1 結露とその発生要因の相関 (外壁)

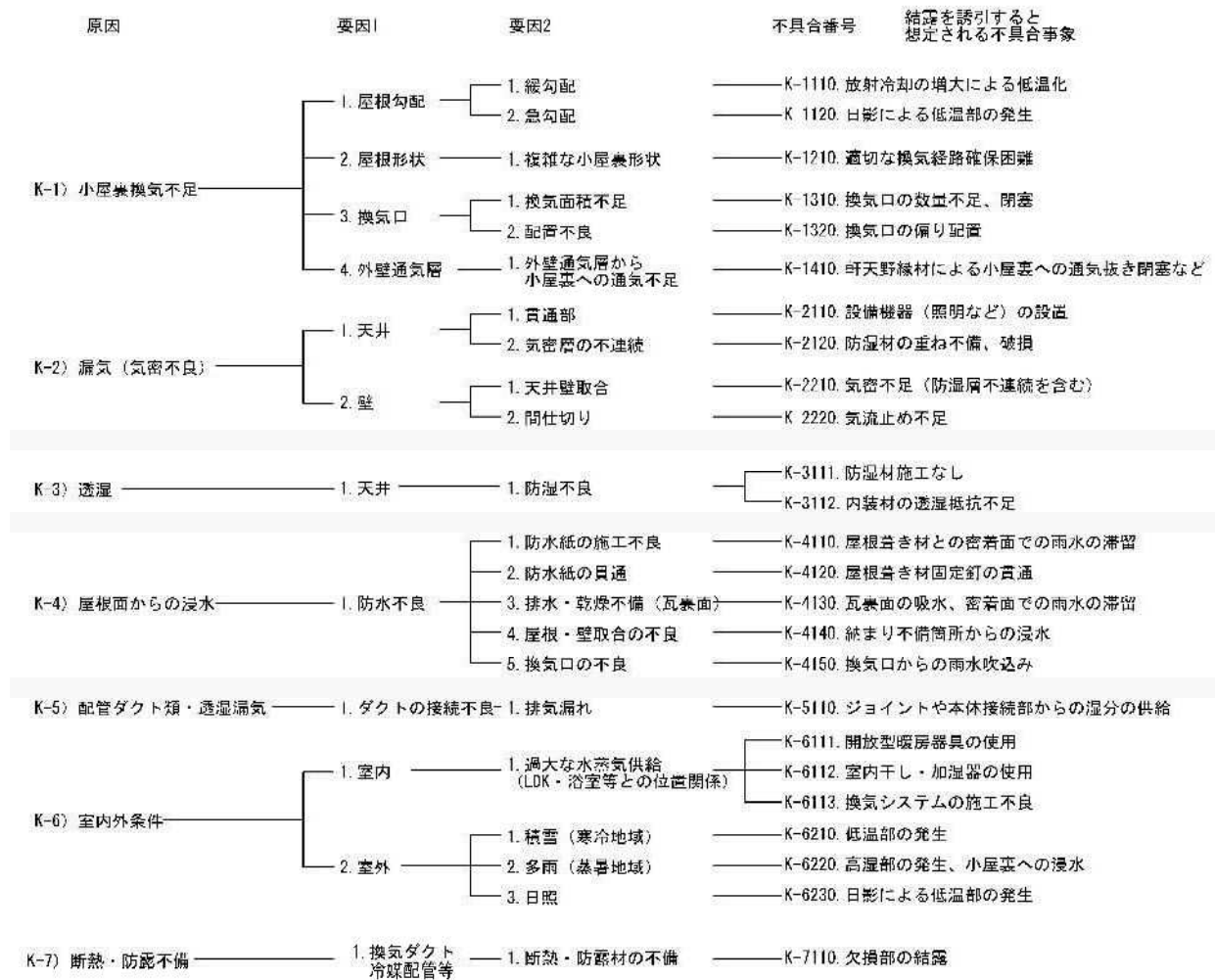


図 6.1.2 結露とその発生要因の相関 (小屋裏)

6.1.2 結露等の発生要因を判定するための調査方法の検討

(1) 結露等の発生要因の判定・補修方法の検討ステップ

本検討では、実務者が合理的に外壁通気層及び小屋裏の結露等の発生要因を判定するために行う調査を実施できるように、効率性を意識し、ステップ1からステップ4までの段階的な調査方法の整理を行った。

また、これらの調査結果を受けたステップ5として補修工事を位置付けている。

ステップ1から5までの流れ、各ステップの概要及び参照すべき図表を示した一覧を以下に掲げる。

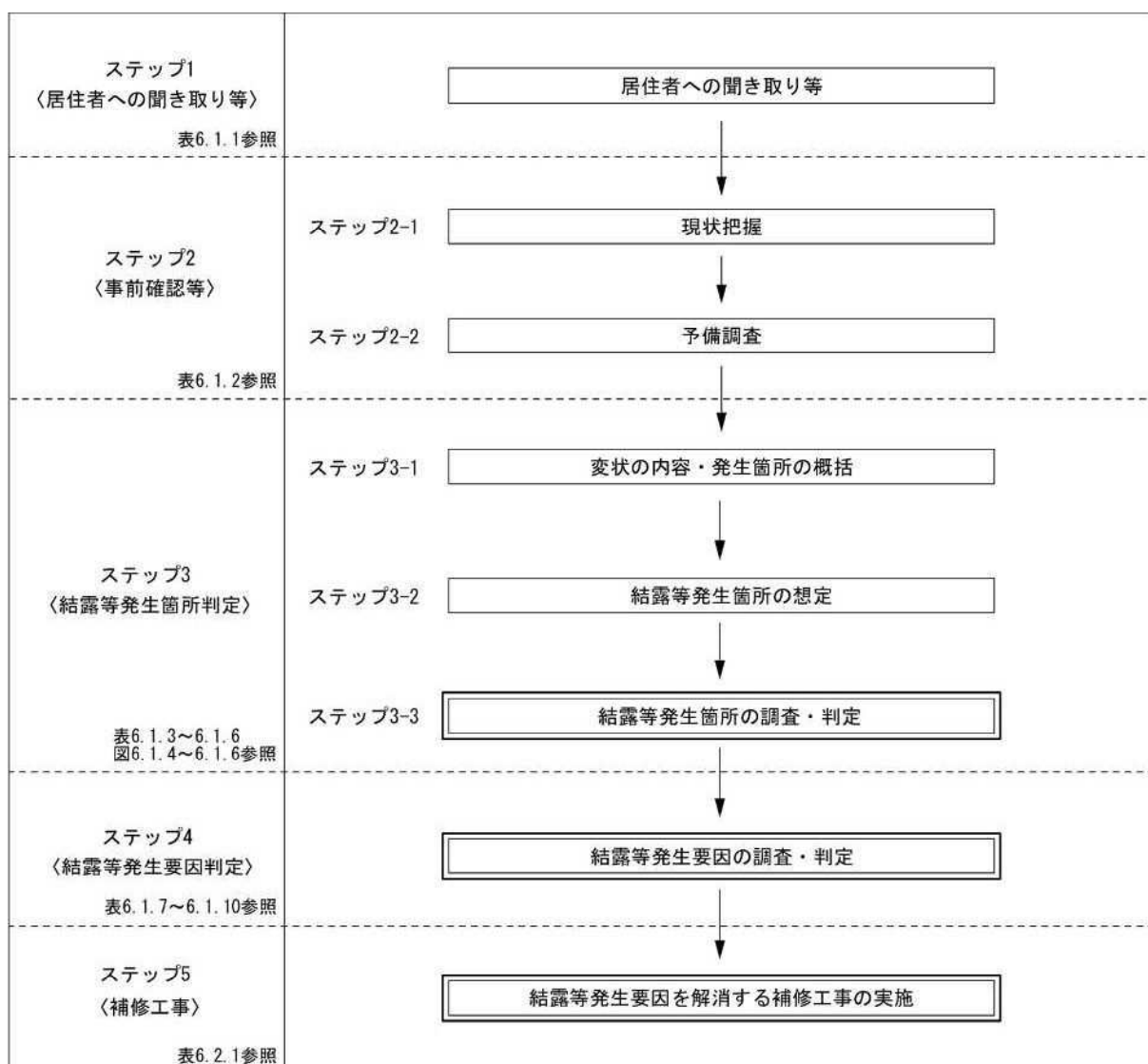


図 6.1.3 結露等の発生要因の判定・補修方法の検討ステップ

(2) 結露等の発生要因判定に係る居住者への聞き取り等 ステップ1

ステップ1は、調査者が具体の調査を行う前に、住宅の環境状況、現地で発生している変状の発生状況に加えて、居住者の生活状況等の聞き取りを行い、現状把握を行うステップ2の調査の参考情報の収集と位置付けている。

居住者に聞き取りを行う情報の一覧を以下に掲げる。

表 6.1.1 居住者への聞き取り情報一覧

①環境状況等

地域	住所
敷地	立地条件（地形・隣地のレベル・がけ地等）
	近隣の状況（住宅の建込み状況など）

②変状の発生状況

概要	変状の発見時期（新築後経過年数）
	変状の程度、進行状況
	変状の発生と季節・天候等との相関関係
外壁	基礎外部側面の変色・水しみ、錆跡等
	開口部上枠の水しみ跡
	室内側床取り合い部水しみの跡
	内装材のカビの発生（防湿層に不備がある場合）
	カビ臭
小屋裏	内装材の水しみ・水滴跡（防湿層に不備がある場合）
	軒天井の変色、しみ
	天井面及び天井と壁との取り合い部の水しみ・変色等
その他	開口部上枠の水滴・水しみ

③生活状況等

設備機器等	開放型暖房器具の使用の有無
	加湿器の使用の有無
	食器洗い乾燥機の使用の有無
	換気システム種別の確認
その他	室内干しの有無
	観葉植物の有無
	熱帯魚飼育用水槽の有無

④その他

- ・変状発生後の処置の有無及び状況

(3) 結露等の発生要因判定調査に係る事前確認等 ステップ2

ステップ2は、具体の調査を行うための事前情報の収集と位置付け、住宅の基本情報や設計図書や工事記録等から建物の概要や各部の構法・材料等の確認を行い、結露等発生要因判定の参考情報を収集することとしている。

また、現場の状況等に鑑み、必要に応じた予備調査として、通気層及び小屋裏の温湿度等の測定を行い、通気層や小屋裏空間の通気状態を確認することとしている。

事前確認等を行う情報の一覧を次頁に掲げる。

表 6.1.2 事前確認を行う情報一覧

ステップ 2-1 現状把握

①基本情報

建物所在地	住所、地域区分(温暖・寒冷・蒸暑)、省エネ地域区分等
構法	在来・枠組・木質パネル等
階数	
建物竣工年	
敷地面積	
延べ面積	
設計者	
工事施工者	ハウスメーカー・地域ビルダー・地域工務店等
住宅供給方法	注文・建売等
設計図書の有無	
改修履歴	改修・増改築等
被災履歴	地震・火災・水害等
周辺状況	接道方位・隣地のレベル・周囲の建物状況等

②設計図書・工事記録等の確認

②-1 建物概要

建物配置	主開口の向き等
建物形態	平面形状・断面形状等

②-2 各部の構法・材料など

外部	基礎	構造形式、基礎形式、基礎高さ等
	床下換気	換気口の設置状況等
	外壁	構法、仕上材料、外壁通気、防水材、下地材等
	開口部	建具材料、形状等
	軒裏	材料等
	屋根	形状、葺き材、軒の出、屋根付属物、防水材、野地板等
	小屋裏換気	換気口の設置状況等
内部	床	構成、材料など
	間仕切壁	構成、材料、気流止めの設置状況等
	天井	構成、材料など
	その他	埋め込み器具の設置状況

ステップ 2-2 予備調査 ※必要に応じて温湿度や通気の状態を確認

通気層	測定器具により温湿度の測定
	煙の利用による通気状態の確認
小屋裏	測定器具により温湿度の測定

(4) 結露等の発生箇所判定の調査方法の整理 ステップ3

ステップ3は、結露等に起因する変状の発生状況と結露等の発生箇所との相関を通じて、結露等の発生箇所や結露タイプ（放湿型・冬型）を判定するための調査として位置付けた。

結露等の発生箇所は、結露等の発生に起因する不具合事象に対応した兆候である変状の発生状況と相関性があり、変状が確認された場合に、その状況を手掛かりに結露等発生箇所を判定できる可能性がある。

次頁以降に調査の参考となる以下の事項を掲げる。

- ①結露等発生箇所判定の調査フロー
- ②変状及び結露等発生箇所（断面図）
- ③変状 参考写真
- ④結露等の発生箇所判定の調査方法

①結露等発生箇所判定の調査フロー

結露等の発生箇所及び結露タイプを判定するための調査のフローを整理した。本フローは以下の手順で実施することとしている。

- ・ステップ 3-1：変状の内容・発生箇所の概括
↓
- ・ステップ 3-2：変状の発生内容に基づく結露等発生箇所の想定
↓
- ・ステップ 3-3：結露等発生箇所の調査・判定

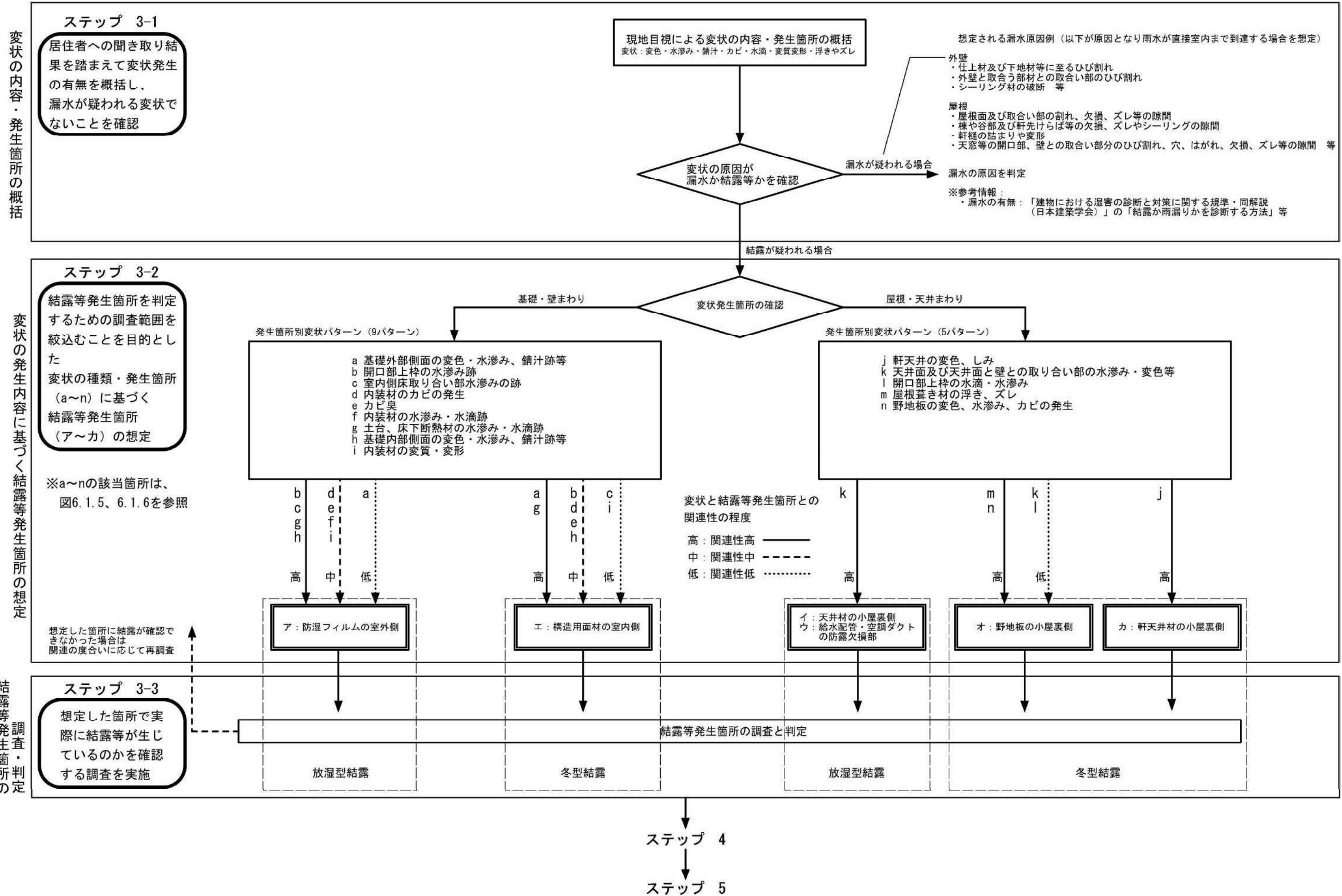


図 6.1.4 結露等発生箇所判定の調査フロー

②変状及び結露等発生箇所（断面図）

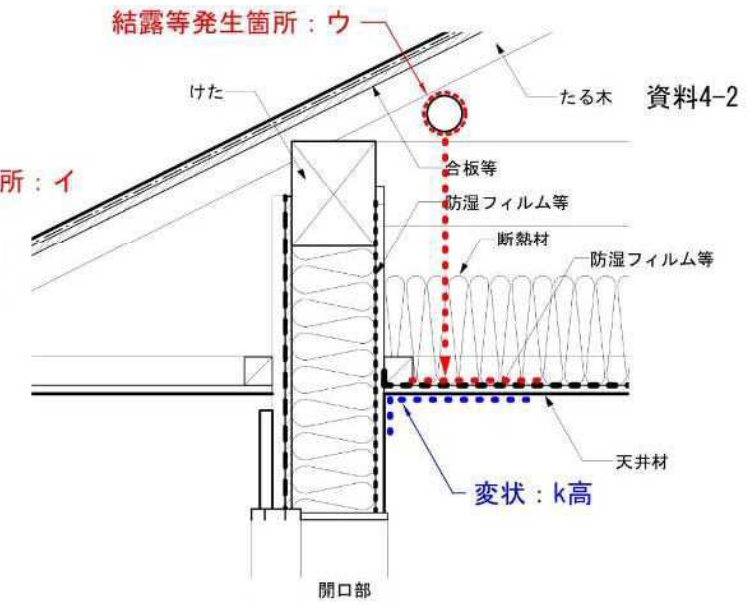
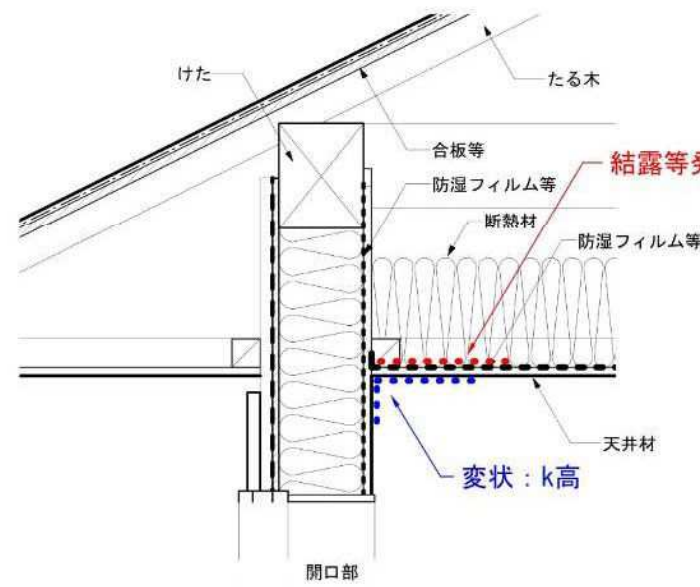
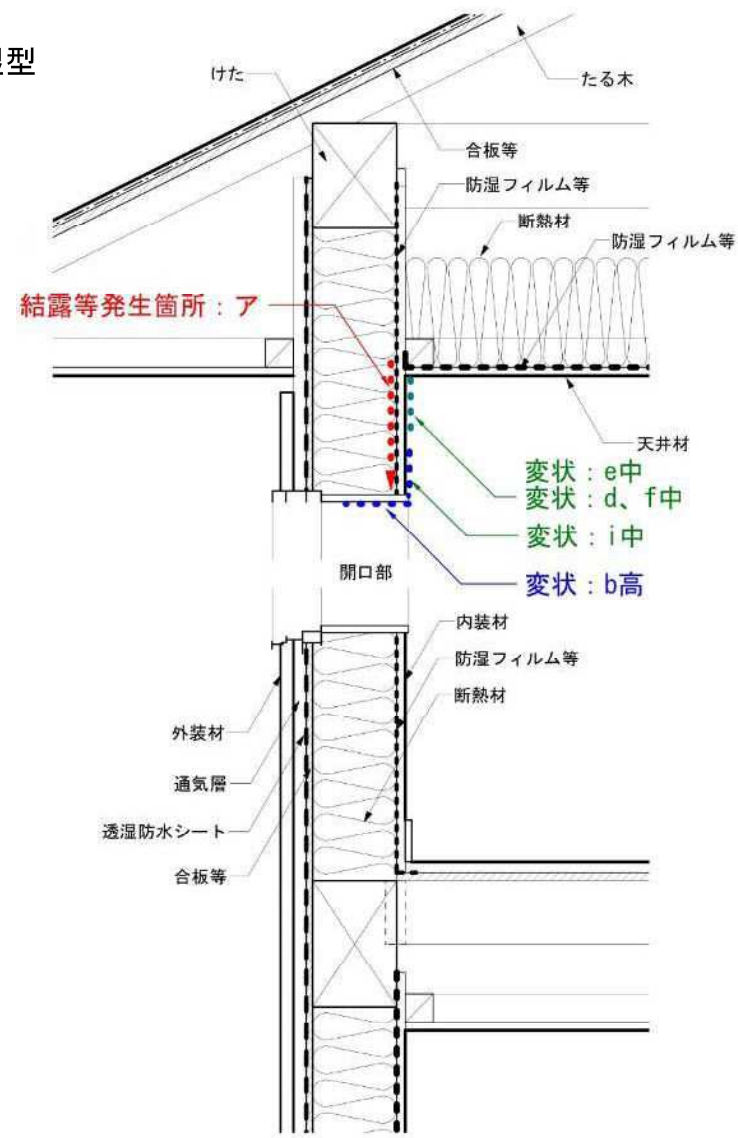
前述の通り、結露等の発生箇所は、結露等の発生に起因する不具合事象に対応した兆候である変状の発生状況と相関性があり、変状が確認された場合に、その状況を手掛かりに結露等発生箇所を判定することが可能である。

次頁以降に、外壁・小屋裏まわりの放湿型結露と冬型結露の発生箇所と変状の発生位置を示した図を掲げる。

放湿型結露の発生箇所はア～ウの3タイプの変状と対応し、

冬型結露の発生箇所はエ～カの3タイプの変状と対応しているので参考にされたい。

放湿型

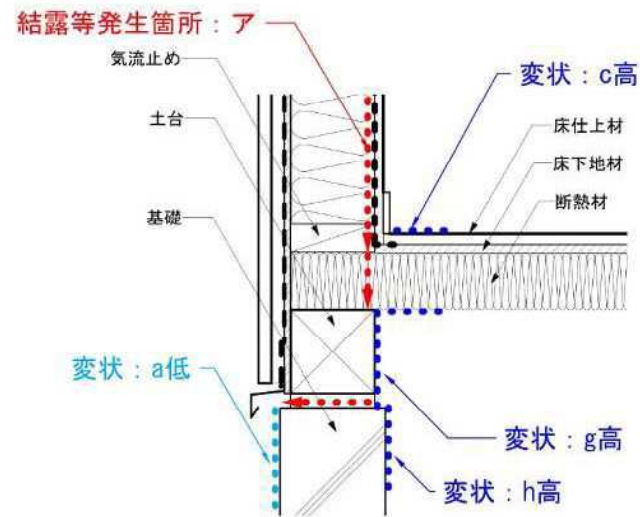


資料4-2

結露等発生箇所：イ
天井材の小屋裏側

結露等発生箇所：ウ
給水配管・空調ダクトの防露欠損部

小屋裏



結露等発生箇所：ア
防湿フィルムの室外側
外壁

凡例

●●●●● 結露等発生箇所

放湿型

- ア：防湿フィルムの室外側
- イ：天井材の小屋裏側
- ウ：給水配管・空調ダクトの防露欠損部

変状と結露等発生箇所との関連性の程度

- 高：関連性高
- 中：関連性中
- 低：関連性低

変状

外壁

- a：基礎外部側面の変色・水しみ、錆跡等
- b：開口部上枠の水しみ跡
- c：室内側床取り合い部水しみの跡
- d：内装材のカビの発生
- e：カビ臭
- f：内装材の水しみ・水滴跡
- g：土台、床下断熱材の水しみ・水滴跡
- h：基礎内部側面の変色・水しみ、錆跡等
- i：内装材の変質・変形

小屋裏

- k：天井面及び天井面と壁との取り合い部の水しみ・変色等

図 6.1.5 放湿型結露に起因する結露等の発生箇所及び変状の発生箇所

冬型

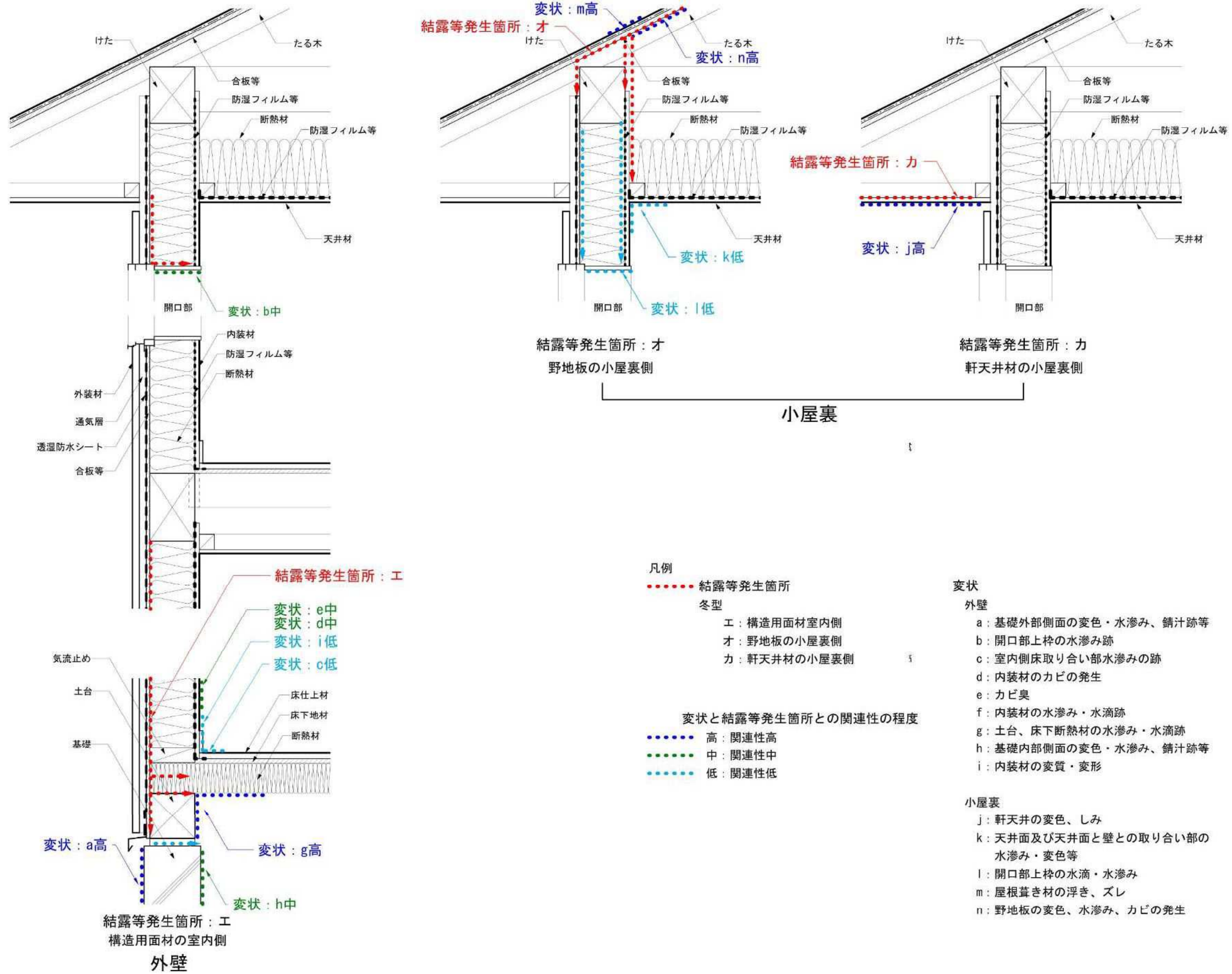


図 6.1.6 冬型結露に起因する結露等の発生箇所及び変状の発生箇所

③変状 参考写真

既往文献に掲載された変状の写真を対象に収集・整理を行った。

a～nのうち、収集ができた写真を表 6. 1. 3 に掲げる。前述の断面図とあわせて参考にされたい。

表 6.1.3 結露等に起因する変状の発生状況の例

変状の発生状況の例 その1

部位	外壁
<p>a 基礎外部側面の変色・水しみ、錆跡 【基礎側面の汚れ】 c 室内側床取り合い部水浸みの跡</p>	
	
<p>写真引用元</p>	<p>木造住宅の耐久性に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究(2017年国土交通省 国土技術政策総合研究所)</p>
<p>写真引用元</p>	<p>木造住宅の耐久性に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究(2017年国土交通省 国土技術政策総合研究所)</p>

<p>h 基礎内部側面の変状 (基礎側面の汚れ)</p>	
	
<p>写真引用元</p>	<p>木造住宅の耐久性に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究(2017年国土交通省 国土技術政策総合研究所)</p>

変状の発生状況の例 その2

部位	小屋裏
----	-----

j 軒天井の変色、しみ		m 屋根葺き材の浮きやズレ	
			
写真引用元	木造住宅の耐久性に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究(2017年国土交通省 国土技術政策総合研究所)	写真引用元	木造住宅の耐久性に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究(2017年国土交通省 国土技術政策総合研究所)

n 野地板の変色、水しみ、カビの発生	
	
結露発生要因	小屋裏の換気不足、断熱材の施工不良
写真引用元	木造住宅の耐久性に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究(2017年国土交通省 国土技術政策総合研究所)

④結露等の発生箇所判定の調査方法の整理

前述の通り、結露等の発生箇所は、結露等の発生に対応した兆候である変状の発生状況と相関性があるため、変状が確認された場合、その状況を手掛かりに結露等の発生箇所を想定できる可能性がある（ステップ 3-2）。

実際の結露等の発生状況を確認するためには、現況の調査が必要となる（ステップ 3-3）。

しかし、外壁通気層内の結露等は、構造用面材の室内側か、防湿フィルムの室外側で発生するため、建物の内外からの外観目視で確認することは困難であり、ステップ 3-3 では以下のような調査を行うことが考えられる。

内部から調査を行う場合は、床下や小屋裏に進入し外壁回りを確認することや、ユニットバスが面する外壁等で内壁仕上げが施されていない箇所がある場合等においては、防湿フィルム越しに直接または内視鏡などを用いた目視確認を行うことが考えられる。その他、壁に埋め込まれた設備器具類を外し、必要に応じて内視鏡を用いて確認する等の可能性が考えられるが、基本的には軽微破壊または破壊を伴う調査が必要であると考えられる。

外部から調査を行う場合は、外壁や軒天井に埋め込まれた設備器具類を外し、必要に応じて内視鏡を用いて確認する方法が考えられるが、基本的には外壁または軒天井を軽微破壊または破壊を伴う調査が必要であると考えられる。

一方、小屋裏内の結露等発生状況は、小屋裏点検口が設けられていることが多いことから、外観目視が主たる方法となり、副次的に天井等を軽微破壊した上で目視確認を行うことが必要と考えられる。

想定された結露等発生箇所に応じた調査の範囲、対象、内容及び方法の一覧を表 6.2.4、6.2.5 に掲げる。

また、本検討では、結露等の発生箇所を判定するための調査（ステップ 3-3）を行った後に、結露等の発生要因を判定するための調査（ステップ 4）を行うこととしているが、ステップ 3-3 を実施する際に、調査対象や方法によっては、次のステップ 4 で行う調査を効率よく同時に実施することが可能な場合があり、その関係性を表 6.2.3 に示す。

例えば、結露等発生箇所判定調査を軸組の室内側・内壁から調査（記号：iw）を行う際には、内壁の透湿・漏気の状態を確認する調査（記号：iw-m 及び iw-a）を同時に行うことを試みるとよい。

なお、ステップ 4 の具体の調査方法は表 6.2.6～6.2.9 を参照されたい。

表 6.1.4 ステップ 3-3 (結露等発生箇所調査) と同時に実施できる可能性のある
ステップ 4 (結露等発生要因調査) の調査

ステップ3-3 (結露等の発生箇所を判定するための調査)					ステップ3-3と同時に実施できる 可能性のあるステップ4の調査 (結露等の発生要因を判定するための調査)							
調査方法 記号	調査対象へのアプローチ					調査方法 記号	調査範囲					
if	i	内部から (inside)	f	床下から (floor)	→	iw-m	iw	内壁 (inside wall)	m	透湿状況 (moisture)		
						iw-a			a	漏気状況 (air)		
iw			w	内壁から (wall)	→	iw-m	iw	内壁 (inside wall)	m	透湿状況 (moisture)		
						iw-a			a	漏気状況 (air)		
ic			s	天井・小屋裏から (ceiling)	→	ic-a	is	室内天井 (inside ceiling)	a	漏気状況 (air)		
						ic-m			m	透湿状況 (moisture)		
ow	o	外部から (outside)	w	外壁から (wall)	→	ow-w	ow	外壁 (outside wall)	w	浸水状況 (water)		
						vc-a			vc	通気層 (vented cavity)	a	通気障害 (air)
						vc-d					d	排水障害 (draining)
oc			s	軒天井から (ceiling)	→	r-w	r	屋根 (roof)	w	浸水状況 (water)		
						r-a		r	小屋裏 (roof)	a	換気障害 (air)	
						ic-a	ic	室内天井 (inside ceiling)	a	漏気状況 (air)		
						ic-m			m	透湿状況 (moisture)		

表 6.1.5 結露等発生箇所の調査・判定の方法 <外壁>

調査範囲	調査対象	調査内容	調査対象へのアプローチ 【 】内は調査方法記号	方法			調査結果	結露等発生箇所		
				I：非破壊調査	II：軽微破壊調査 (I：非破壊調査では判定できない場合)	III：破壊調査 (II：軽微破壊では判定できない場合)				
外壁回りの変状が確認された箇所の周辺	外壁共通									
	・外壁を構成する木材	・外壁を構成する木材のしみ・変色・カビ・湿り気・腐朽の有無		・床下点検口等から、目視確認(内視鏡利用含む)	・床面に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔をあけ、内視鏡を用いて目視確認 ※床下点検口がない場合	・床を一部取り外し、目視確認 ※床下点検口がない場合	【外壁共通】 外壁を構成する木材の □しみ・□変色・□カビ・ □湿り気・□腐朽 □カビ臭 □外気、室内及び軸組内温 湿度(○℃・○%) □仕上材や下地材留付け用 釘・ビスのさび			
	・カビの有無	・カビ臭の有無		※当該外壁部分に内装仕上げが施されていない場合を想定	・内壁に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔をあけ、内視鏡を用いて目視確認	・内壁を一部取り外し、目視確認				
	・温湿度	・外気、室内及び軸組内の温湿度		・埋め込み器具(コンセント、スイッチ類等)を外し、目視確認(内視鏡利用含む)	→	→			・防湿フィルム及び断熱材を一部取り外し、目視確認及び木部の含水率測定	
	・さびの有無	・仕上材や下地材留付け用釘・ビスのさびの有無		※内壁表面から高周波式含水率計、赤外線サーモグラフィ、表面温度計を活用することも検討?	→	→				
	軸組の室内側にある部材									
	・防湿フィルム	・防湿フィルム室外側表面に結露・しみ・変色・カビの有無		※当該外壁部分に内装仕上げが施されていない場合を想定	・天井面に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔をあけ、内視鏡を用いて目視確認 ※天井点検口がない場合	・天井を一部取り外し、目視確認 ※天井点検口がない場合	→	→	→	→
	・断熱材	・断熱材の主に室内側の面のしみ・変色・カビ・ずれ落ちの有無		・天井点検口(ユニットバス、天袋等)から目視確認(内視鏡利用含む)	→	→	→	→	→	→
				・埋め込み器具(ダウンライト等)を外し、目視確認(内視鏡利用含む)	→	→	→	→	→	→
	軸組の室外側にある部材									
	・透湿防水シート	・透湿防水シート表面にしみ・変色・カビの有無		・土台水切り部から内視鏡を挿入し、目視確認	・外壁に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔をあけ、内視鏡を用いて目視確認	・極力雨がかりにならない部分の外壁を一部取り外し、目視確認及び木部の含水率の測定	→	→	→	→
	・構造用面材	・構造用面材室内側表面に結露・しみ・変色・カビ・湿り気の有無		・埋め込み器具(コンセント、スイッチ類等)を外し、目視確認(内視鏡利用含む)	→	→	→	→	→	→
・断熱材	・断熱材の主に室外側の面のしみ・変色・ずれ落ちの有無		※外装材表面から高周波式含水率計、赤外線サーモグラフィを活用することも検討?	→	→	→	→	→	→	
			・軒天井に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔をあけ、内視鏡を用いて目視確認	→	→	→	→	→	→	
			※外装材表面から高周波式含水率計、赤外線サーモグラフィ、表面温度計を活用することも検討?	→	→	→	→	→	→	

表 6.1.6 結露等発生箇所の調査・判定の方法 <小屋裏>

調査範囲	調査対象	調査内容
天井・軒天井回りの変状が確認された箇所の周辺	小屋裏内の各部材の状態	
	・小屋組・天井を構成する木材	・小屋組・天井を構成する木材のしみ・変色・カビ・湿り気・腐朽の有無
	・野地板	・野地板小屋裏側のしみ・変色・カビ・湿り気・腐朽の有無
	・軒天井材	・軒天井材小屋裏側のしみ・変色・カビ・湿り気・腐朽の有無
	・断熱材	・断熱材のしみ・変色・カビの有無
	・天井材	・天井材のしみ・変色・カビの有無
	・カビの有無	・カビ臭の有無
	・湿度	・外気、室内及び小屋裏内の湿度(°C・%)
	・さびの有無	・仕上材や下地材留付け用釘・ビスのさびの有無

調査対象へのアプローチ 【 】内は調査方法記号		方法		
		I:非破壊調査	II:軽微破壊調査 (I:非破壊調査では判定できない場合)	III:破壊調査 (II:軽微破壊では判定できない場合)
内部から	天井から 【ic】	・天井点検口(ユニットバス、天袋等)から目視確認 ・埋め込み器具(ダウンライト等)を外し、目視確認(内視鏡利用含む) ※天井点検口がない場合 ※天井材表面から高周波式含水率計、赤外線サーモグラフィ、表面温度計を活用することも検討?	・天井に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔をあけ、内視鏡を用いて目視確認 ※天井点検口がない場合	・天井の一部取り外し、目視確認及び木部の含水率の測定 ※天井点検口がない場合
外部から	軒天井から 【os】	・軒裏換気口や埋め込み器具(ダウンライト等)を外し、目視確認(内視鏡利用含む) ※軒天井材表面から高周波式含水率計、赤外線サーモグラフィ、表面温度計を活用することも検討?	・軒天井に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔をあけ、内視鏡を用いて目視確認	・軒天井の一部取り外し、目視確認及び木部の含水率の測定

調査結果	結露等発生箇所
【小屋裏共通】 小屋組・天井を構成する木材のしみ・変色・カビ □湿り気・□腐朽 □仕上材や下地材留付け用釘・ビスのさび □カビ臭の有無 □外気、室内及び小屋裏内の湿度(°C・%) □仕上材や下地材留付け用釘・ビスのさび	
天井材のしみ・変色・カビ □湿り気・□腐朽	イ. 天井材の小屋裏側【冬型】 → ウ. 給水配管・空調ダクトの防露欠損部【冬型】
野地板のしみ・変色・カビ □湿り気・□腐朽	→ オ. 野地板の小屋裏側【冬型】
軒天井材のしみ・変色・カビ □湿り気・□腐朽	→ カ. 軒天井材の小屋裏側【冬型】

(5) 結露等の発生要因判定の調査方法の整理 ステップ4

ステップ4は、結露等の発生要因を判定し、補修方法の検討につなげるための調査である。

ステップ3で判定された外壁・小屋裏の部位別の結露等発生箇所ごとに、関連する原因、要因及び結露等を誘引すると想定される不具合事象と関連付けて、結露等の発生要因を判定するための調査方法を整理した表をの表6.1.7～6.1.10に掲げる。

なお、結露等の発生要因を判定するための調査は以下に留意して行う。

- ・結露等発生箇所（結露タイプ）と相関性の高い不具合事象のうち、結露等に至る影響度が高いと想定される事象を優先して確認する。
- ・調査の方法は非破壊調査→軽微破壊調査→破壊調査の順に実施することを基本とする。

表 6.1.7 結露等発生箇所が、「ア. 防湿フィルムの室外側」と判定された場合

結露等発生箇所が、「ア. 防湿フィルムの室外側」と判定された場合

「外壁面からの浸水」、「通気層の通気障害」、「通気層の排水障害」の組合せにより結露等が発生した可能性が想定され、これらについて目視確認調査の実施しやすい内容の調査から順に実施

□ : 過年度にて整理 □ : 令和4年度の検討範囲

	原因	要因1	調査すべき内容(確認の優先順位) (要因2)	不具合事象	調査範囲 【 】内は調査方法記号	調査内容	調査方法			調査結果 (結露等発生要因)										
							I : 非破壊調査	II : 軽微破壊調査	III : 破壊調査											
外壁面からの浸水	G-1) 外壁面からの浸水	1. 過度な浸水	1. 外装材の不良の有無	G-1111 外装材の勘合部の不良(経年劣化、維持管理不良等)	→ 変状が確認された付近の外壁面(外壁面からの浸水状況) [ow-w]	・外装材交差部の隙間、勘合部の破損の有無	→ ・変状が確認された付近の外壁回りの外観目視及び触診	→	→	外装材交差部の □隙間・□勘合部の破損										
			2. 外装材・シーリング・塗膜の劣化の有無	G-1121)ひび割れ・目地からの浸水、外装材表面からの吸水		・外装材のひび割れ・欠損、シーリング材の破断・ひび割れの有無					→	→	外装材の □ひび割れ・□欠損・ □シーリング材の破断・□ひび割れ							
				G-1122 外装材の塗膜劣化(経年劣化、維持管理不良等)		・塗膜のふくれ、割れ、はがれの有無								→	→	塗膜の □ふくれ・□割れ・□はがれ				
通気層の通気・排水障害	G-3) 通気層の通気障害	1. 通気経路不良	1. 不適切寸法による閉塞(厚さ、胴縁の間隔等)	G-3111 横胴縁による通気不足	→ 変状が確認された付近の通気層内(通気障害状況) [vc-a]	・横胴縁通気隙間の有無	→ 【通気層が小屋裏に開放されている場合】 ・変状が確認された付近の小屋裏内の通気層上部から内視鏡を挿入し、目視確認	→	→	横胴縁 □通気隙間なし										
				G-3113 断熱材の膨らみ		・断熱材による通気層の閉塞の有無					→ 【通気層が小屋裏に開放されている場合】 ・変状が確認された付近の通気層上部の軒裏換気口を取り外し、内視鏡を挿入し、通気層内を目視確認	→	軒天を一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認							
				G-3114 透湿防水シートの膨れ、めくれ、端部の留めつけ不良		・透湿防水シートによる通気層の閉塞の有無								→ 【通気層が小屋裏に開放されていない場合】 ・軒天に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔をあけ、内視鏡を挿入し、通気層内を目視確認	→	軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認				
			2. 不適切な施工による閉塞	G-3121 通気胴縁以外の外装下地材役物等による閉塞		・外装材役物等による通気層の閉塞の有無											→	軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認		
				G-3122 開口部廻りの処理: サッシ周りの胴縁通気経路間隔の不足や配置不良		・サッシ縦枠取り付け下地材による通気層の閉塞の有無													→	軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認
				2. 通気層上下端部不良		1. 不適切な通気見切り部材の選択														
	G-3212 通気穴のない見切り材の誤使用	・通気穴のない見切り材の有無	→		軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認															
	2. 出入口部の施工不良	G-3223 透湿防水シートの膨れ、めくれ、端部の留めつけ不良				G-3114に同じ	→	軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認												
		G-3224 軒天野縁材による小屋裏への通気抜き閉塞など		・通気層上部と軒天井野縁の取合い部の閉塞の有無		→			軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認											
											→	軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認								
G-2) 通気層の排水障害	1. 排水の経路不全	1. 不適切寸法による閉塞(厚さ、胴縁の間隔等)		G-2111 横胴縁による排水経路不全						→ 変状が確認された付近の通気層内(排水障害状況) [vc-w]			・胴縁の方向	→	→	→	横胴縁が横方向			
				G-2113 断熱材の膨らみ									・断熱材の通気層への膨らみの有無、閉塞の度合い					→	軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認	
	2. 通気層上下端部不良	2. 不適切な見切り部材の選択	G-2220 通気穴のない見切り材の誤使用	・通気穴のない見切り材の有無	→								軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認							
				→			軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認													
						→		軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認												
					→				軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認											
				→			軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認													
						→		軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認												
					→				軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認											
				→			軒天の一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認													

表 6.1.8 結露等発生箇所が、「イ. 天井材の小屋裏側」、「ウ. 給水配管・空調ダクトの防露欠損部」と判定された場合

結露等発生箇所が、「イ. 天井材の小屋裏側」、「ウ. 給水配管・空調ダクトの防露欠損部」と判定された場合

「屋根面からの浸水」、「小屋裏換気不足」の組合せにより結露等が発生した可能性が想定され、これらについて目視確認調査の実施しやすい内容の調査から順に実施

□ : 過年度にて整理 □ : 令和4年度の検討範囲

	原因	要因1	調査すべき内容(確認の優先順位) (要因2)	不具合事象	調査範囲 【 】内は調査方法記号	調査内容	調査方法			調査結果 (結露等発生要因)			
							I:非破壊調査	II:軽微破壊調査	III:破壊調査				
屋根面からの浸水	K-4) 屋根面からの浸水	1.防水不良	4.屋根・壁取合の不良	K-4140 納まり不備箇所からの浸水	→	変状が確認された付近の屋根面(屋根面からの浸水状況) 【r-w】 ・屋根及び屋根・壁取り合い部の施工不良箇所の有無	・変状が確認された付近の屋根回りの外観及び屋根の小屋裏側の面の目視	→	・天井に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔を明け、内視鏡を用いて屋根の小屋裏側の面を目視確認 ※天井点検口がない場合	→	・天井の一部取り外し、屋根の小屋裏側の面を目視確認 ※天井点検口がない場合	屋根ふき材の □はがれ・□ずれ・□浮き・□変形 下ぶき材の □はがれ・□ずれ・□浮き・□変形 下ぶき材の	
小屋裏の換気不足	K-1) 小屋裏換気不足	2.屋根形状	1.複雑な小屋裏形状	K-1210 適切な換気経路確保困難	→	変状が確認された付近の小屋裏(小屋裏換気状況) 【r-a】 ・小屋裏の形状	・屋根形状の外観目視	→	・天井に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔を明け、内視鏡を用いて小屋裏内の形状を目視確認 ※天井点検口がない場合	→	・天井の一部取り外し、目視確認 ※天井点検口がない場合	小屋裏の □平面形状が複雑 □断面形状が複雑 で空気が流れにくいと想定される箇所がある 換気口の □設置数が住宅金融支援機構基準未済 □閉塞あり 換気口が (□東・□南・□西・□北)側に少ない	
		3.換気口	1.換気面積不足	K-1310 換気口の数量不足、閉塞			・換気口の仕様(換気量)、設置数、閉塞状況等						・小屋裏換気口の数量、閉塞状況の目視確認
		2.配置不良	K-1320 換気口の偏り配置	・換気口の設置状況			・小屋裏換気口の設置位置の目視確認						

表 6.1.9 結露等発生箇所が、「工. 構造用面材の室内側」と判定された場合

結露等発生箇所が、「工. 構造用面材の室内側」と判定された場合

「透湿過多」、「漏気過多」、「通気層の排水障害」の組合せにより結露等が発生した可能性が想定され、これらについて目視確認調査の実施しやすい内容の調査から順に実施

□ : 過年度にて整理 □ : 令和4年度の検討範囲

	原因	要因1	調査すべき内容(確認の優先順位) (要因2)	不具合事象	調査範囲 【 】内は調査方法記号	調査内容	調査方法			調査結果 (結露等発生要因)	
							I:非破壊調査	II:軽微破壊調査	III:破壊調査		
透湿・漏気過多	G-4)透湿過多	1.防湿不良	1.防湿措置なし	G-4110 防湿フィルム等防湿材の施工なし	→ 変状が確認された付近の内壁面(内壁面からの透湿状況) 【iw-m】	・防湿フィルム有無 ・防湿フィルムの施工状況	→ ・変状が確認された付近のコンセントボックス、スイッチボックス等を取り外し、防湿フィルムの有無や気密措置の状況を直接目視または内視鏡で目視確認	→ ・変状が確認された付近の内壁に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔を明け、内視鏡を挿入し、防湿フィルムの有無や気密措置の状況を内視鏡で目視確認	→ ・変状が確認された付近の内壁を撤去し、防湿フィルムの有無や気密措置の状況を目視確認	□防湿フィルムなし 防湿フィルムの □固定不備あり・□重ね不備あり・□破損あり 防湿フィルム貫通部の □専用気密部材の不使用・□防湿フィルムとの密着不良あり □内壁と各部取り付け部で防湿フィルムの不連続あり	
	3.防湿層の施工不良		G-4130 防湿材の固定・重ね不備、破損								
透湿・漏気過多	G-5)漏気過多	1.内壁の気密不良	2.貫通部の施工不良	G-5120 コンセント、換気扇等と内壁との取合い部の施工不良 専用気密部材の不使用、防湿フィルムとの密着不良	→ 変状が確認された付近の内壁面(内壁面からの漏気状況) 【iw-a】	・貫通部の気密処理の有無 内壁と各部取り付け部の防湿フィルムの納まり					
			2.取合い部の気密不良	1.各部取合の施工不良							G-5210 幅木、窓枠・額縁、廻縁部分と内壁との取合い部での防湿フィルムの施工不良
通気層の通気障害	G-3)通気層の通気障害	1.通気経路不良	1.不適切寸法による閉塞(厚さ、胴縁の間隔等)	G-3111 横胴縁による通気不足	→ 変状が確認された付近の通気層内(通気障害状況) 【vc-a】	・横胴縁通気隙間の有無 ・断熱材による通気層の閉塞の有無 ・透湿防水シートによる通気層の閉塞の有無 ・外装材役物等による通気層の閉塞の有無 ・サッシ縦枠取り付け下地材による通気層の閉塞の有無 ・外壁上部排気口の閉塞の有無 ・通気穴のない見切り材の有無 ・通気層上部と軒天井野縁の取合い部の閉塞の有無	→ 【通気層が小屋裏に開放されている場合】 ・変状が確認された付近の小屋裏内の通気層上部から内視鏡を挿入し、目視確認	→ 【通気層が小屋裏に開放されている場合】 ・変状が確認された付近の通気層上部の軒裏換気口を取り外し、内視鏡を挿入し、通気層内を目視確認 ・軒天に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔を明け、内視鏡を挿入し、通気層内を目視確認	→ 【通気層が小屋裏に開放されている場合】 ・変状が確認された付近の極力雨がかりとならない外壁面に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔を明け、内視鏡を挿入し、通気層内を目視確認	→ 【通気層が小屋裏に開放されている場合】 ・軒天を一部撤去し、内視鏡を挿入するか直接目視により、通気層内を確認	横胴縁 □通気隙間なし □断熱材の膨らみによる通気層の閉塞あり 透湿防水シートの □膨れ・□めくれ・□端部の留めつけ不良による通気層の閉塞あり □外装材役物等による通気層の閉塞あり □サッシ縦枠取り付け下地材による通気層の閉塞あり □通気層上部の閉塞あり □通気穴のない見切り材による通気層の閉塞あり □通気層上部と軒天井野縁の取合い部の閉塞あり
				G-3113 断熱材の膨らみ							
				G-3114 透湿防水シートの膨れ、めくれ、端部の留めつけ不良							
			2.不適切な施工による閉塞	G-3121 通気胴縁以外の外装下地材役物等による閉塞							
				G-3122 開口部廻りの処理: サッシ周りの胴縁通気経路間隔の不足や配置不良							
				2.通気層上下端部不良							
		G-3212 通気穴のない見切り材の誤使用									
		2.出入口部の施工不良	G-3224 軒天野縁材による小屋裏への通気抜き閉塞など								

表 6.1.10 結露等発生箇所が、「オ. 野地板の小屋裏側」または「カ. 軒天井材の小屋裏側」と判定された場合

結露等発生箇所が、「オ. 野地板の小屋裏側」または「カ. 軒天井材の小屋裏側」と判定された場合

「透湿過多」、「漏気過多」、「小屋裏の換気不足」の組合せにより結露等が発生した可能性が想定され、これらについて目視確認調査の実施しやすい内容の調査から順に実施

□ : 過年度にて整理 □ : 令和4年度の検討範囲

	原因	要因1	調査すべき内容(確認の優先順位) (要因2)	不具合事象	調査範囲 【 】内は調査方法記号	調査内容	調査方法			調査結果 (結露等発生要因)
							I:非破壊調査	II:軽微破壊調査	III:破壊調査	
透湿・漏気過多	K-2)漏気(気密不良)	2.壁	1.天井壁取合	K-2210 気密不足(防湿層不連続を含む)	→	・防湿フィルムの施工状況 ・間仕切り壁上部の気流止めの有無 【ic-a】 変状が確認された付近の天井面(天井面や天井・壁取合からの漏気状況)	・天井点検口(ユニットバス、天袋等)から目視確認 ・埋め込み器具(ダウンライト等)を外し、目視確認(内視鏡利用含む) ※天井点検口がない場合	・天井に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔を明け、内視鏡を用いて目視確認 ※天井点検口がない場合	・天井の一部取り外し、目視確認及び木部の含水率の測定 ※天井点検口がない場合	<input type="checkbox"/> 防湿フィルム <input type="checkbox"/> 固定不備あり・ <input type="checkbox"/> 重ね不備あり・ <input type="checkbox"/> 破損あり
			2.間仕切り	K-2220 気流止め不足						<input type="checkbox"/> 間仕切り壁上部の気流止めなし
	K-3)透湿	1.天井	1.防湿不良	K-3111 防湿材施工なし		防湿フィルム有無				<input type="checkbox"/> 防湿フィルムなし
+										
小屋裏の換気不足	K-1)小屋裏換気不足	2.屋根形状	1.複雑な小屋裏形状	K-1210 適切な換気経路確保困難	→	・小屋裏の形状 ・換気口の仕様(換気量)、設置数、閉塞状況等 ・換気口の設置状況 【r-a】 変状が確認された付近の小屋裏(小屋裏換気状況)	・屋根形状の外観目視 ・小屋裏換気口の数量、閉塞状況の目視確認 ・小屋裏換気口の設置位置の目視確認	・天井に内視鏡の挿入が可能な最小限の孔を明け、内視鏡を用いて小屋裏内の形状を目視確認 ※天井点検口がない場合	・天井の一部取り外し、目視確認 ※天井点検口がない場合	<input type="checkbox"/> 小屋裏の <input type="checkbox"/> 平面形状が複雑 <input type="checkbox"/> 断面形状が複雑で空気が流れにくいと想定される箇所がある
			3.換気口	1.換気面積不足						K-1310 換気口の数量不足、閉塞
		2.配置不良	K-1320 換気口の偏り配置	<input type="checkbox"/> 換気口が <input type="checkbox"/> (東・南・西・北)側に少ない						

6. 2 補修方法に対する考え方の整理

6.1 (5) で結露等に至る影響度が高いと想定される事象、すなわち結露等に至る影響度が高い発生要因として取り上げた項目について、補修項目(案)を示すと共に既往の住宅紛争処理技術関連資料集の補修方法シートの取扱い状況について整理を行った(表6.2.1)。

既往の補修方法シートで取扱っていない項目(表6.2.1中の「—」を付した項目)については、今後項目の追加を検討していくことが望ましいと考えられる。

表 6.2.1 既往の住宅紛争処理技術関連資料集の補修方法シートの対応状況

—: 既往補修方法シートの取扱いなし

※記号は既往補修方法シートのシートNo.

部位	原因	要因1	要因2	不具合番号	不具合事象	補修項目(案)	既往補修方法シートの対応状況
外壁	G-1) 外壁面からの浸水	1.過度な浸水	1.外装材の不良の有無	G-1111	外装材の勘合部の不良(経年劣化、維持管理不良等)	外装材の勘合不良部分の補修	—
			2.外壁材・シーリング・塗膜の劣化の有無	G-1121	ひび割れ・目地からの浸水、外装材表面からの吸水	外壁のひび割れ・欠損の補修	G-2-101~102 G-2-501~503
				G-1122	外装材の塗膜劣化(経年劣化、維持管理不良等)	塗料・仕上塗材の塗替え	TO-1-001~003
	G-2) 通気層の排水障害	1.排水の経路不全	1.不適切寸法による閉塞(厚さ、胴縁の間隔等)	G-2111	横胴縁による排水経路不全	横胴縁における適正な通水隙間の確保	—
				G-2113	断熱材の膨らみ	断熱材膨らみ部の修正	—
		2.通気層上下端部不良	2.不適切な見切り部材の選択	G-2220	通気穴のない見切り材の誤使用	見切り材の納まり補正	—
	G-3) 通気層の通気障害	1.通気経路不良	1.不適切寸法による閉塞(厚さ、胴縁の間隔等)	G-3111	横胴縁による通気不足	横胴縁における適正な通気隙間の確保	—
				G-3113	断熱材の膨らみ	断熱材膨らみ部の修正	—
				G-3114	透湿防水シートの膨れ、めくれ、端部の留めつけ不良	透湿防水シートの膨らみ部等の修正	—
				G-3121	通気胴縁以外の外装下地材役物等による閉塞	外装下地材役物等の補正	—
				G-3122	開口部廻りの処理: サッシ周りの胴縁通気経路間隔の不足や配置不良	開口部廻りの下地材の補正	—
		2.通気層上下端部不良	1.不適切な通気見切り部材の選択	G-3211	外壁上部排気口の閉塞	見切り材の納まり補正	—
G-3212				通気穴のない見切り材の誤使用	見切り材の納まり補正	—	
	2.出入口部の施工不良		G-3223	透湿防水シートの膨れ、めくれ、端部の留めつけ不良	透湿防水シートの膨らみ部等の修正	—	
			G-3224	軒天野縁材による小屋裏への通気抜き閉塞など	見切り材の納まり補正	—	

表 6. 2. 1 既往の住宅紛争処理技術関連資料集の補修方法シートの対応状況（つづき）

—: 既往補修方法シートの取扱いなし

※記号は既往補修方法シートのシートNo.

部位	原因	要因1	要因2	不具合番号	不具合事象	補修項目(案)	既往補修方法シートの対応状況
外壁	G-4) 透湿過多	1.防湿不良	1.防湿措置なし	G-4110	防湿フィルム等防湿材の施工なし	外壁断熱材の交換	W-3-101
			3.防湿層の施工不良	G-4130	防湿材の固定・重ね不備、破損	外壁断熱材の交換	W-3-101
	G-5) 漏気過多	1.内壁の気密不良	2.貫通部の施工不良	G-5120	コンセント、換気扇等と内壁との取合い部の施工不良 専用気密部材の不使用、防湿フィルムとの密着不良	コンセント等の専用気密部材への交換	—
				G-5210	幅木、窓枠・額縁、廻縁部分と内壁との取合い部での防湿フィルムの施工不良	見切り材の納まり補正	—
小屋裏	K-1) 小屋裏換気不足	2.屋根形状	1.複雑な小屋裏形状	K-1210	適切な換気経路確保困難	小屋裏換気口、換気装置の増設・拡大	W-3-603
			3.換気口	1.換気面積不足	K-1310		
			2.配置不良	K-1320	換気口の偏り配置		
	K-2) 漏気(気密不良)	2.壁	1.天井壁取合	K-2210	気密不足(防湿層不連続を含む)	天井断熱材の不連続部分の修正	W-3-102
			2.間仕切り	K-2220	気流止め不足	気流止めの設置	—
	K-3) 透湿	1.天井	1.防湿不良	K-3111	防湿材施工なし	天井断熱材の不連続部分の修正	W-3-102
	K-4) 屋根面からの浸水	1.防水不良	4.屋根・壁取合の不良	K-4140	納まり不備箇所からの浸水	屋根下地材・ふき材の交換、けらば水切の再施工他	R-1-601、603 W-1-501~505

6. 3 調査・実験結果及び成果の概要の一覧

過年度分も含め、最終的な4カ年の成果について、年度ごとの業務内容や成果・課題、課題に対する対応内容・結果等について、表6.3.1の項目にて整理した。

一覧表は次頁以降に示し、表6.3.2は過年度の検討成果、6.3.3は令和4年度の検討成果を示す。

表 6.3.1 過年度及び令和4年度実施内容の整理

1.情報整理	既往情報の整理	
	結露とその要因との相関整理	
2.実大モデルによる実験等の実施	①外壁通気層	放湿型
		冬型
3.シミュレーションの検討・実施	②小屋裏	
	①通気層雨水浸入計算モデル	計算モデルの検討
②通気層・小屋裏計算モデル		シミュレーションの実施
	4.結露発生・雨水浸入に起因する水分蓄積による建物劣化リスクの検証	
5.実務者が参照可能な情報 収集・整理	①調査方法の検討	
	②補修項目の整理	
6.一般消費者等が参照可能な資料の作成		

表 6.3.2 過年度の検討成果

実施項目		過年度の実施内容							
		令和1年度		令和2年度		令和3年度			
			報告書 記載箇所		報告書 記載箇所		報告書 記載箇所		
1. 情報整理	既往情報の整理	文献収集及び知見整理	2.2.2	—	—	—	—		
	結露とその要因との相関整理	電話相談における相談内容・回答の傾向分析・整理（テキストマイニング）	2.2.1	—	—	—	—		
	成果・課題、課題に対する実施内容等	結露とその発生要因との相関整理（試案の整理）	2.1	結露とその発生要因との相関整理（試案の整理）	2.2.1 2.2.2	結露とその発生要因との相関整理（案）の再精査	2.6.1		
	成果・課題、課題に対する実施内容等	今後の検討のベースとなる結露とその発生要因との相関についての仮説的な資料を整理	—	結露とその発生要因との相関に関する仮説的な資料をベースに、結露に起因して顕現すると想定される不具合事象を追加整理	—	結露とその発生要因との相関整理について実施に即した内容を補足すると共に明快な表現に見直し、調査方法の検討に資する資料を整理	—		
2. 実大モデルによる実験等の実施 (シミュレーションで活用する計算モデルの妥当性を確認するための実測値の収集)	①外壁通気層	放湿型	—	—	—	外壁通気層の通気障害と雨水浸入の要素をパラメータとした際の断熱材室内側・防湿フィルム室外側（及び構造用材室内側表面）の相対湿度の変化の把握（夏季を中心に通年） パラメータ 通気障害：外装材スターク、ファイバーストッパ、横胴縁、通気層上部閉塞 雨水浸入：降雨時の壁面雨量の5%	2.2.1 2.2.2 2.2.3		
		冬型	—	—	2.3.3(1)	外壁通気層の通気障害と室内水蒸気の流入をパラメータとした際の構造用材室内側表面・断熱材室外側の相対湿度の変化の把握（冬季を中心に通年） パラメータ 通気障害：外装材スターク、ファイバーストッパ、横胴縁、通気層上部閉塞 室内水蒸気の流入：室内の温湿度	2.3.1 2.3.2 2.3.3(1)		
	②小屋裏	簡易装置実験 (換気口の外部風向風速、風圧、空気流入の測定による換気性状の把握)	2.3.5	小屋裏への室内水蒸気の流入及び小屋裏換気障害をパラメータとした際の野地板室内側表面の相対湿度の変化の把握（冬季のみ） パラメータ 室内水蒸気の流入：天井及び間仕切壁上部からの通気量及び換気システムの違い 換気障害：換気方式と換気口の面積	2.3.3(2)	小屋裏への室内水蒸気の流入及び小屋裏換気障害をパラメータとした際の野地板室内側表面の相対湿度の変化の把握（通年） パラメータ 室内水蒸気の流入：天井及び間仕切壁上部からの通気量及び換気システムの違い 換気障害：換気方式と換気口の面積	2.3.1 2.3.2 2.3.3(2)		
	成果・課題、課題に対する実施内容等	簡易装置実験を用いて棟換気口の外部風の影響を把握	—	実大モデル棟が竣工し、様々な結露の発生要因の影響度を定量的なデータとして計測できるようになった。ただし、令和2年度は冬季のみの測定であり、定量的なデータの解析はまだ十分ではないことから、今後も測定の継続と解析が必要。	—	年間を通じて様々な結露の発生要因の影響度を定量的なデータとして把握できるようになった。ただし、定量的なデータの解析はまだ十分ではなく、また、実験に即した住宅仕様におけるデータの測定や収集データを標準化していく上でも測定の継続と解析が必要。	—		
	①通気層雨水浸入計算モデル	計算モデルの検討	—	—	—	—	・外壁通気層の通気風速と湿度について、計算モデルによる計算結果と、実大モデル棟の測定値とを比較し、傾向が整合していることの確認 ・通気障害・浸水率・方位の建物劣化リスクへの影響の検証	2.4.1	
3. シミュレーションの検討・実施 (水分蓄積に至る諸々の条件を再現し、木材腐朽に至る状況を定量的に検証)	②通気層・小屋裏計算モデル	計算モデルの検討	—	—	—	・外壁通気層の通気風速について、計算モデルによる計算結果と、実大モデル棟の測定値とを比較し、傾向が整合していることの確認 【小屋裏】 ・小屋裏換気量について、計算モデルによる計算結果と、実大モデル棟の測定値とを比較し、傾向が整合していることの確認	2.5.1 2.5.2		
		シミュレーションの実施	シミュレーション①-1	3条件（通気層への浸水率（2）×通気障害（4）×方位（2））=16 ^h のうちの10 ^h の範囲 [P56表2.4.3] 1993年（降雨量多）気象データ 宮崎市	2.4.2 2.4.3 2.6.3	計算モデル①-1 足利大学菅藤研究室にて開発の既往計算プログラム (雨水浸入を考慮した外壁内の湿度及び含水率の計算)	2.4.1		
	シミュレーションの実施	シミュレーション②-1-1	【外壁通気層】 ・外壁通気層の通気風速について、計算モデルによる計算結果と、実大モデル棟の測定値とを比較し、傾向が整合していることの確認 【小屋裏】 ・小屋裏換気量について、計算モデルによる計算結果と、実大モデル棟の測定値とを比較し、傾向が整合していることの確認	2.5.1 2.5.2	シミュレーション②-3-G 【外壁通気層】 2条件・40 ^h の範囲 [P79表2.5.9] ・通気障害（5）×断熱材防湿フィルム厚（2） =10 ^h の範囲×4地域（盛岡、東京、福岡、鹿児島） =40	2.5.3 2.5.4(2) 2.5.5 2.6.3	計算モデル②-3 小屋裏と外壁通気層が軒裏で一体に繋がる形へ改良	2.5.1 2.5.2	
	シミュレーションの実施	シミュレーション②-1-2	【小屋裏】 4条件・72 ^h の範囲 [P82表2.3.8] ・換気口面積（2）×気流止めの程度（3）×天井防湿・断熱材施工（2）×居室相対湿度（2） =24×3地域（盛岡、宇都宮、富山）=72	2.3.4	シミュレーション②-2-2 【小屋裏】 5条件 [P73表2.5.2] ・換気方式（1）×換気口面積（2）×換気口の偏り（2）×天井通気率（2）×間仕切壁上部通気率（2）×居室換気システム（1） =16 ^h の範囲×1地域（東京）	2.5.1 2.5.3	シミュレーション②-3-K 【小屋裏】 4条件 [P78表2.5.8] ・換気方式（1）×換気口面積（3）×通気止め（3）×24h換気システム（2） =18 ^h の範囲×4地域（盛岡、東京、福岡、鹿児島）=72 ^h の範囲	2.5.3 2.5.4(1) 2.5.5 2.6.3	計算モデル②-3 計算モデル①-1を用いて多雨地域の夏期における防湿フィルムの相対湿度及び構造用合板の含水率変化を可視化。温暖地域における計算実施が課題 計算モデル②-3を用いて構造用合板、防湿フィルム及び野地板の高湿度となる累積期間を可視化。寒冷地における信頼性のある計算実施が課題
	成果・課題、課題に対する実施内容等	既知理論をベースに野地板結露の発生状況についてシミュレーションを試行的に実施	—	計算モデル②-2-1【外壁通気層】及び計算モデル②-2-2【小屋裏】を用いて試算を実施し、一部の条件について外壁構造用合板及び野地板の高湿度となる累積期間を可視化	—	—	—		
4. 結露発生・雨水浸入に起因する水分蓄積による建物劣化リスクの検証	—	—	—	—	—	—			
成果・課題、課題に対する実施内容等	—	—	—	—	—	—			
5. 実務者が参照可能な情報 収集・整理	①調査方法の検討 (シミュレーション結果に基づき、長期の水分蓄積に至る原因を判定するための調査方法の検討)	—	—	結露に起因して顕現すると想定される不具合事象別の調査項目と調査方法の相関整理	2.5.4	実務者向けの段階的な調査方法（ステップ1～4）	2.6.2		
	②補修項目の整理	—	—	—	—	補修方法を検討すべき対象部位	2.6.4		
成果・課題、課題に対する実施内容等	—	—	—	—	—	実務者に向けて、結露等の発生要因を判定する調査の手順、項目についての基本的な内容を一覧整理。実務に即したより具体的な方法の整理が課題	—		
6. 一般消費者等が参照可能な資料の作成	—	—	—	—	—	—	—		

(※) 建物劣化リスク：本検討では「建物における湿害の診断と対策に関する規程・解説（2021年3月（一社）日本建築学会）」に基づき、木材の材料表面の相対湿度が98%超となり、その状態が1～2か月程度継続すると木材中に菌糸が定着する状態を建物劣化リスクが高まる状態としている。

表 6.3.3 令和4年度の検討成果

実施項目		令和4年度実施内容	令和4年度報告書への取りまとめ			
			検討成果の整理	報告書記載箇所	概要書	
1. 情報整理	既往情報の整理	—	—	—	—	
	結露とその要因との相関整理	・結露とその発生要因との相関整理（案）の再精査	・結露とその発生要因との相関整理	6.1.1	—	
	成果・課題、課題に対する実施内容等	結露とその発生要因との相関整理について、結露の実態に即した内容に見直し精査	—	—	—	
2. 実大モデルによる実験等の実施 (シミュレーションで活用する計算モデルの妥当性を確認するための実測定値の収集)	①外壁通気層	放湿型	外壁通気層の通気障害と雨水浸入の要素をパラメータとした際の断熱材室内側・防湿フィルム室外側（及び構造用材室内側表面）の相対湿度の変化の把握（夏季を中心に通年） パラメータ 通気障害：外装材スター、ファイバースタパー、横断縁、通気層上部閉塞 雨水浸入：降雨時の壁面雨量の5%	・通気層内の湿度、断熱材室内側・防湿フィルム室外側（及び構造用材室内側表面）の相対湿度の推移 ・通気障害及び雨水浸入による断熱材室内側・防湿フィルム室外側（及び構造用材室内側表面）の相対湿度への影響（相関性）等	3.1	外壁の放湿型結露（または高湿状態）の特徴的な発生状況の様相（経年での水分蓄積の有無の確認及び足場撤去の影響把握）を抜粋
		冬型	外壁通気層の通気障害と室内水蒸気の流入をパラメータとした際の構造用材室内側表面・断熱材室外側の相対湿度の変化の把握（冬季を中心に通年） パラメータ 通気障害：外装材スター、ファイバースタパー、横断縁、通気層上部閉塞 室内水蒸気の流入：室内の湿度	・通気層内の湿度、構造用材室内側表面・断熱材室外側の相対湿度の推移 ・通気障害及び室内湿度による構造用材室内側表面・断熱材室外側の相対湿度への影響（相関性）等		外壁の冬型結露（または高湿状態）の特徴的な発生状況の様相を抜粋
	②小屋裏	小屋裏への室内水蒸気の流入及び小屋裏換気障害をパラメータとした際の野地板室内側表面の相対湿度の変化の把握（通年） パラメータ 室内水蒸気の流入：天井及び間仕切壁上部からの通気量及び換気システムの違い 換気障害：換気方式と換気口の面積	・小屋裏内の湿度の推移 ・室内水蒸気の流入及び小屋裏換気障害による野地板室内側表面の相対湿度への影響（相関性）等	3.2	小屋裏の冬型結露（または高湿状態）の特徴的な発生状況の様相を抜粋	
	成果・課題、課題に対する実施内容等	様々な結露の発生要因の影響度を2年間に渡り定量的なデータとして継続的に測定。また、実態に即したデータの測定を行うための一部改修を実施。収集データを標準化していくことを意図し、測定の継続と解析が必要。	—	—	—	—
	3. シミュレーションの検討・実施 (水分蓄積に至る諸々の条件を再現し、木材腐朽に至る状況を定量的に検証)	①通気層雨水浸入計算モデル	計算モデルの検討	・外壁通気層の通気風速と湿度について、計算モデルによる計算結果と、実大モデル棟の測定値とを比較し、傾向が整合していることの確認 以下のパラメータと建物劣化リスクとの相関関係の検証 ・外壁通気層への浸水 ・外壁通気層の通気障害 ・方位 計算モデル①-1 足利大学齋藤研究室にて開発の既往計算プログラム（雨水浸入を考慮した外壁内の湿度及び含水率の計算）	・浸水率・通気障害・方位を組み合わせた場合の、断熱材室内側・防湿フィルム室外側の相対湿度（及び構造用材室内側表面の相対湿度）98%超が累計2ヶ月間に至る各条件の閾値の把握 ※計算結果やグラフ等は特徴的なものは本編に掲載し、他は資料編として整理	4.2.1
シミュレーションの実施			シミュレーション①-1 3条件・36 ^h テン [P80 表4.1.5] ・通気層への浸水率 (3) × 通気障害 (3) × 方位 (2) = 18×2地域 (東京、宮崎) = 36 ※東京：1991年(降雨量多)、宮崎：1993年(降雨量多)	4.1 4.2.2		
②通気層・小屋裏計算モデル		計算モデルの検討	【外壁通気層】 ・外壁通気層の通気風速について、計算モデルによる計算結果と、実大モデル棟の測定値とを比較し、傾向が整合していることの確認 【小屋裏】 ・小屋裏換気量について、計算モデルによる計算結果と、実大モデル棟の測定値とを比較し、傾向が整合していることの確認 以下のパラメータと建物劣化リスクとの相関関係の検証 【外壁通気層】 ・外壁通気層の通気障害 ・室内水蒸気の流入 ・方位 ・室内湿度 【小屋裏】 ・小屋裏換気障害室内水蒸気の流入 ・換気システム ・室内湿度 計算モデル②-1 材料内液水移動モデルを追加	【外壁通気層】 ・通気障害・透湿・漏気・方位・居室湿度を組み合わせた場合の、構造用材室内側・断熱材室外側の相対湿度98%超が累計2ヶ月間に至る各条件の閾値の把握 等 【小屋裏】 ・換気面積・天井隙間及び間仕切り上部隙間・天井断熱材継目・換気システム・居室湿度を組み合わせた場合の、野地板室内側表面の相対湿度98%超が累計2ヶ月間に至る各条件の閾値の把握 等 ※計算結果やグラフ等は特徴的なものは本編に掲載し、他は資料編として整理	4.3.1	
		シミュレーションの実施	シミュレーション②-1 【外壁通気層】 4条件・96 ^h テン [P81 表4.1.6] ・通気障害 (3) × 透湿・漏気 (4) × 方位 (2) × 居室湿度 (2) = 48 盛岡 (48 ^h テン (方位：北+東)) 宇都宮、福岡 (24 ^h テン (方位：北のみ)) 【小屋裏】 6条件・324 ^h テン [P82 表4.1.7] ・換気面積 (3) × 天井隙間及び間仕切り上部隙間 (3) × 換気システム (2) × 居室湿度 (2) = 108×3地域 (盛岡、宇都宮、福岡) = 324	4.1 4.3.2 4.3.3 4.3.4		
成果・課題、課題に対する実施内容等		計算モデル①-1及び計算モデル②-1を用いて、外壁内各所及び野地板における結露等による高湿度となる累積期間を気候条件の異なる地域ごとに可視化。通気層雨水浸入計算モデルでは実際の現象に対し不明な点あり、国内、海外を含め様々な議論があり、未解決の課題あり。通気層小屋裏計算モデルでは外部風の扱い等、未だ研究途上であり、課題あり。	—	—	—	
4. 結露発生・雨水浸入に起因する水分蓄積による建物劣化リスクの検証	成果・課題、課題に対する実施内容等	・建物劣化リスクが高まるパラメータ（条件）組合せとリスクの程度に関する整理 ※整理項目 【外壁・放湿型】：外壁通気層への浸水・残留、外壁通気層の閉塞、地域、方位 【外壁・冬型】：居室から外壁への透湿・漏気、外壁通気層の閉塞、地域、方位、居室湿度 【小屋裏・放湿型】：小屋裏内への浸水・残留、小屋裏換気量、天井・間仕切り上部隙間、換気システム、地域 【小屋裏・冬型】：居室から小屋裏への透湿・漏気、小屋裏換気量、換気システム、地域、居室湿度	建物劣化リスクが高まる条件の検討結果を示す図の整理 ※左記一覧のうち、リスクが顕著となる条件の組合せを抽出し、結露タイプ別の整理	5章	—	
	成果・課題、課題に対する実施内容等	結露等の発生要因を判定するための調査方法の検討の基本資料として、結露等が長期に継続し、建物劣化リスクが高まると想定される条件とその組合せを整理	—	—	—	
5. 実務者が参照可能な情報 収集・整理	①調査方法の検討 (シミュレーション結果に基づく、長期の水分蓄積に至る原因を判定するための調査方法の検討)	1) 結露等の発生箇所を判定するための調査方法の整理 2) 結露等の発生要因を判定するための調査方法（案）の検討（精査）	・結露等の発生箇所を判定するための調査方法（案） ・結露等の発生要因を判定するための調査方法（案）（実務的な調査手順、調査箇所、実施方法等）	6.1	・結露等の発生箇所を判定するための調査方法（案） ・結露等の発生要因を判定するための調査方法（案）の調査手順と調査方法のポイント抜粋	
	②補修項目の整理	補修方法シートに取り上げるべき項目の整理	補修項目の検討結果の整理	6.2	補修項目の検討結果の概要抜粋	
	成果・課題、課題に対する実施内容等	実務者に向けて、結露等の発生要因を判定する調査の手順、項目、方法について、現場の状況を想定した具体的な方法を整理。今後は、結露に関して専門的な知識を有していない建築士等の技術者が活用できる資料とするために、より具体的手順書やマニュアル等の整理等が有用	—	—	—	
6. 一般消費者等が参照可能な資料の作成	一般消費者等向け資料の作成 ・一般消費者に向けた湿気による被害のしくみと予防のための注意喚起	一般消費者向けパンフレットの作成	7章	一般消費者向けパンフレットの概要紹介		

7章 一般消費者等が参照可能な資料の作成

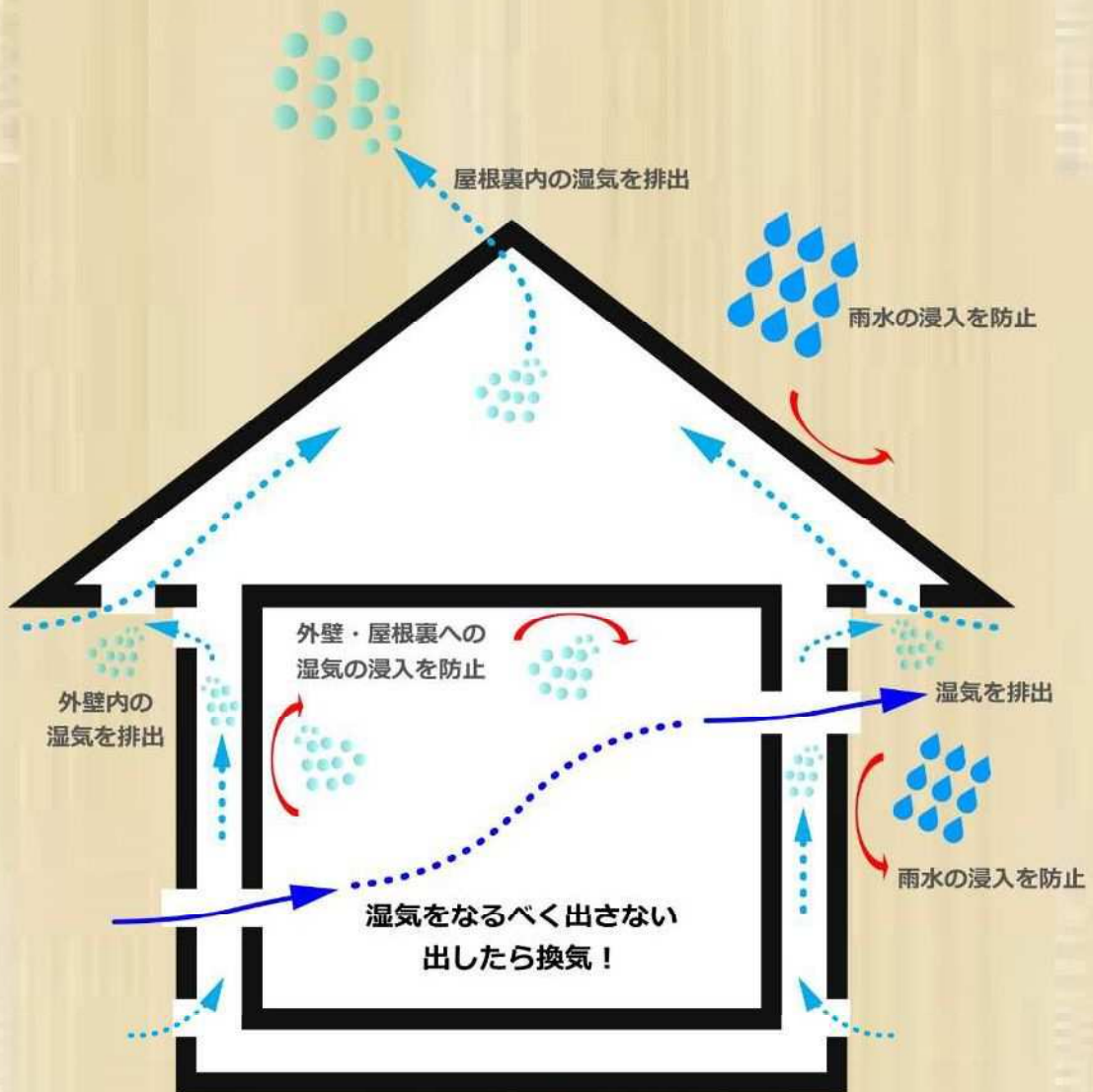
過年度及び今年度の検討成果を元に、一般消費者等（一般消費者、紛争処理委員、電話相談員及び実務者）が活用可能と思われる結露に係る基礎的な項目を抽出し、6ページのパンフレット形式に取りまとめた。

各ページの主な内容は表7.1.1以下の通りとし、次頁以降に原稿案を示す。

表 7.1.1 各ページの主な内容

ページ	主な内容
1	表紙：タイトル及び木造住宅に影響を及ぼす湿気のイメージ図
2	<ul style="list-style-type: none">・住宅の木材には水分（湿気）が大敵である。・最近の住まいは湿気の浸入を防ぎ、排出する機能を有している。・施工不良や不具合の放置で湿気の浸入や排出が損なわれることがある。 ことの紹介
3	<ul style="list-style-type: none">・湿気の浸入と排出の不良により被害が発生するしくみの紹介（主に冬）
4	<ul style="list-style-type: none">・湿気の浸入と排出の不良により被害が発生するしくみの紹介（主に夏）・コラム：結露とは
5	<ul style="list-style-type: none">・結露の発生が疑われる症状の紹介・湿気により見えない所で被害が起きている事例の紹介
6	<ul style="list-style-type: none">・住まい手にできる被害の発生予防と日頃の注意点の紹介・専門家による空気の状態の計測の紹介

適切な施工とメンテナンスで 木造住宅を長持ちさせましょう！



湿気による被害のしくみと予防

住宅の木材には水分（湿気）が大敵！

木造住宅では柱・梁などの木造骨組や下地材など様々な場所で木材が使われています。木材は軽い・加工しやすい・温かみがある、など優れた点がある一方、置かれた環境によっては「腐る」という弱点もあります。

木材は腐朽菌により腐りますが、木材が水に触れないようにすること、触れた場合はすぐに乾くようにすれば木材が腐ることを防ぐことが可能です。しかし、木材は水分（湿気）が長期間触れた状態にあると、腐朽菌によって分解されて腐ってしまいます。

湿気の浸入を防ぎ、排出する最近の住まい

最近の住まいでは、構造材である木材が湿気により耐久性が損なわれないように、外壁や屋根裏に様々な対策が取られるようになってきています。

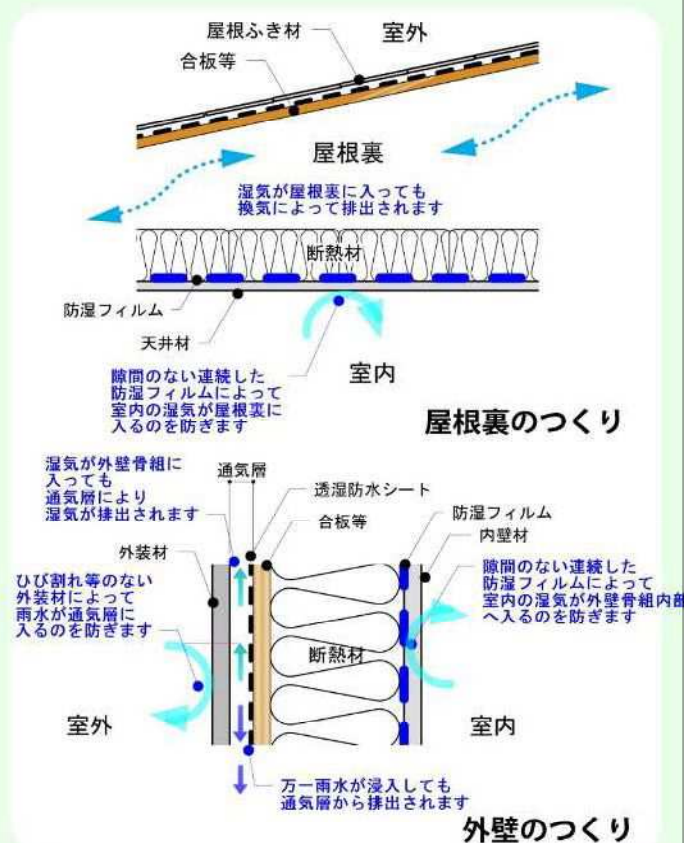
屋根裏では、天井材の上に敷かれた断熱材の室内側に、室内からの湿気の浸入を防ぐための「防湿フィルム」があります。

また、屋根裏に湿気が入っても速やかに外部に排出できるよう、屋根の棟、妻壁、軒先などに換気口が設けられています。

外壁では、壁の中に雨水や湿気が入っても、骨組の外側に通気層を設け、雨水や湿気を排出できる「外壁通気工法」が普及してきています。

木造骨組の室外側には雨水が入るのを防ぎ、内部の湿気を通気層に排出できる「透湿防水シート」が、また室内側には室内から骨組内への湿気が入るのを防ぐ「防湿フィルム」が貼られています。

このような長持ちさせる機能を維持させるためには適切な施工とメンテナンスを行い、被害を防ぎ、建物を健全に保つことが可能です。



施工不良や不具合の放置で湿気が浸入したり排出されない場合も

施工不良や不具合が放置されているなどにより、水分や水蒸気の外壁骨組内部や屋根裏に入り、湿気が排出されない状態※が続くと、木材が腐る可能性があると言われていています。そんな状態が起こる可能性のある施工不良と不具合の放置の例をあげます。

【施工不良の例】

- ・天井上断熱材の敷込みの不良
- ・外装材（サイディング）の留め付け不良
- ・透湿防水シートのふくれやめくれ
- ・屋根裏換気口の数の不足や偏った配置

— 湿気浸入

— 湿気排出不良

【不具合の放置の例】

- ・外装材のひび割れや目地部のシーリング材のひび割れ
- ・外装材表面の塗装の劣化
- ・屋根裏換気口の目詰まり

— 湿気浸入

— 湿気排出不良



天井上断熱材の敷込み不良



外壁シーリング材のひび割れ*

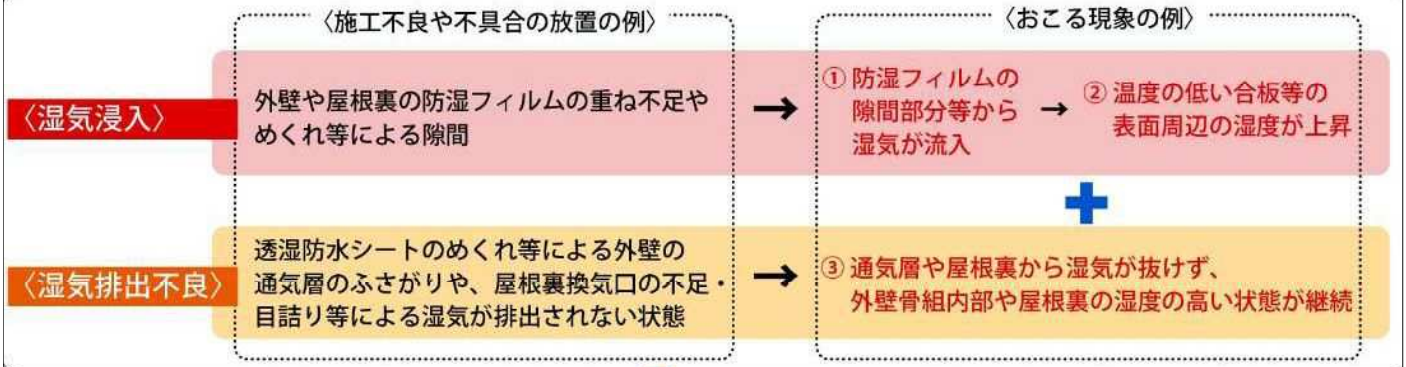
*写真「木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究(2017年国総研資料975号)」

※：木材周辺の湿度が1～2か月程度、100%近い状態

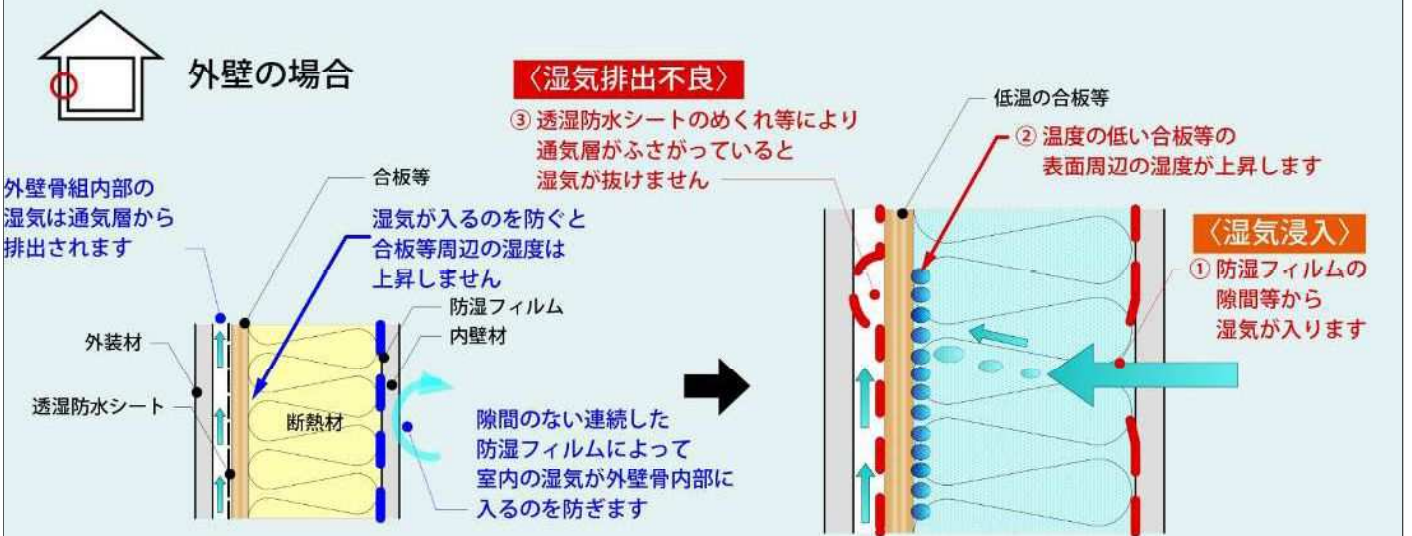
2

湿気が入り排出されない不良により木材周

室内から湿気が入ることが原因で主に冬におこる現象

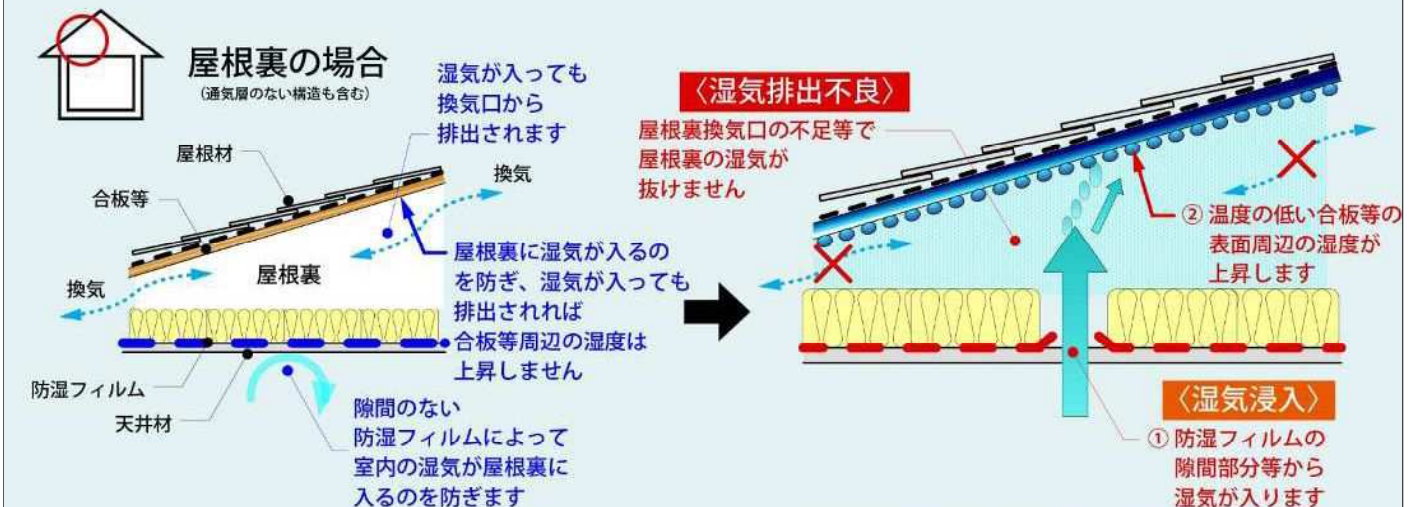


木材周辺で湿度
長期に続くと木材が腐



○適切な施工やメンテナンスがされている場合

×施工不良や不具合の放置がある場合

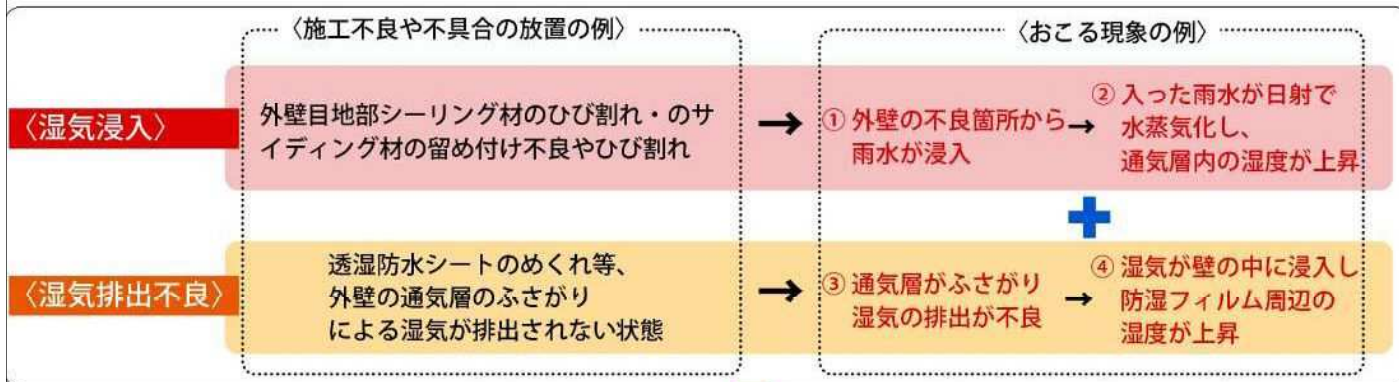


○適切な施工やメンテナンスがされている場合

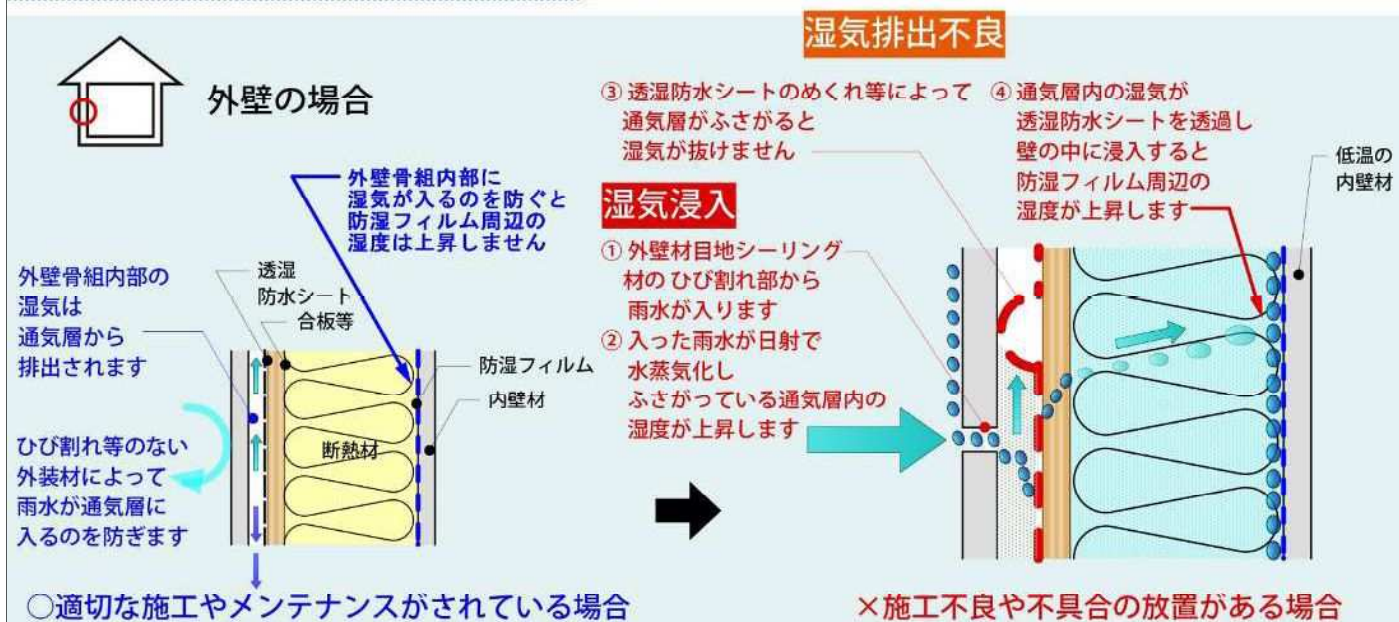
×施工不良や不具合の放置がある場合

辺の湿度が上がリ被害が発生するしくみ

通気層に雨水が入ることが原因で主に夏に起こる現象



の高い状態が
ることにつながります！

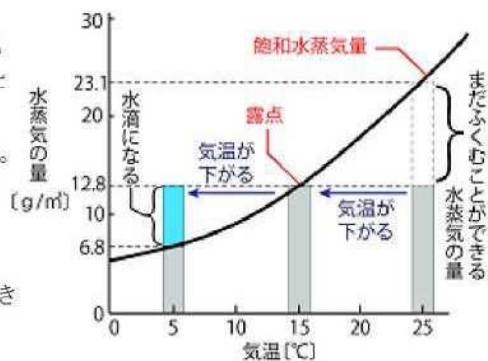


結露とは

空気中に含むことができる水蒸気の最大量(「飽和水蒸気量」といいます)は空気の温度(気温)によって変わります。気温が高いと、より多くの量の水蒸気を含むことができ、気温が低くなると少なくなります。

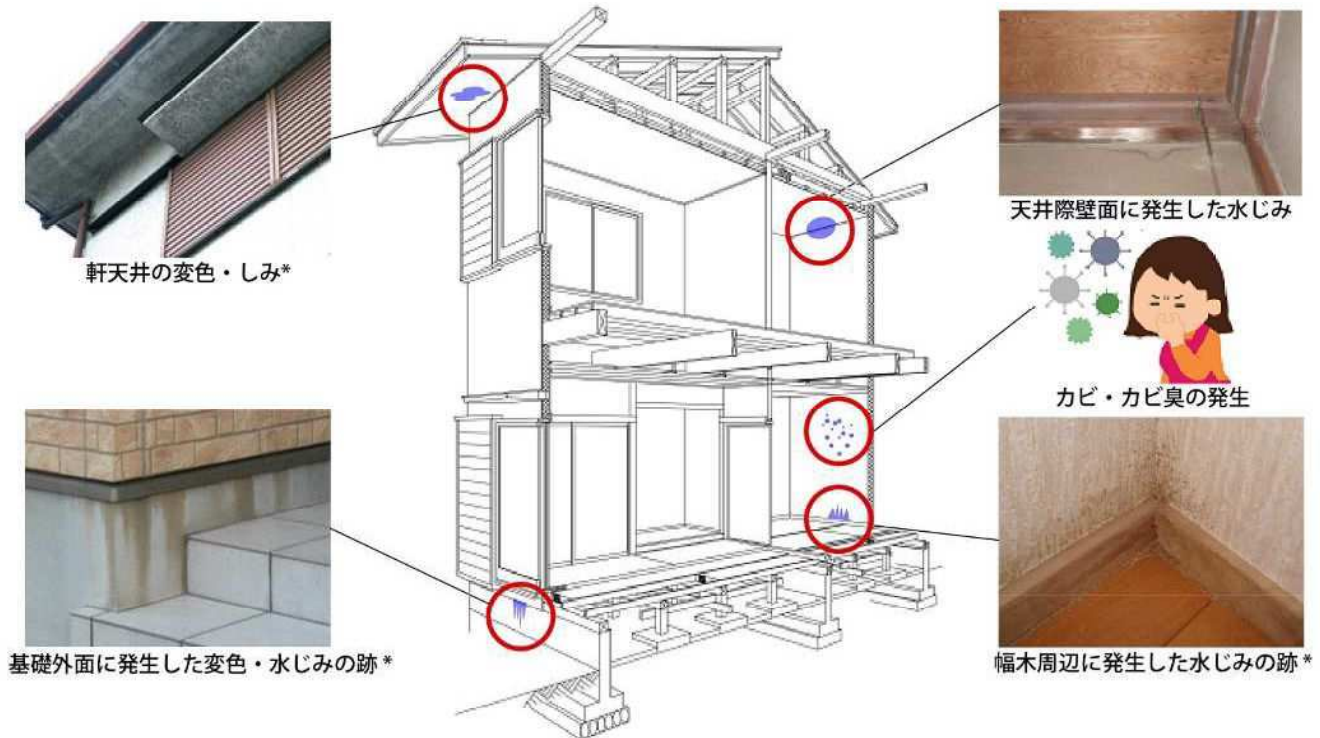
右図は気温と空気中に含むことができる水蒸気の数との関係を表したグラフです。気温が25℃の時は1m³あたり23.1gまで水蒸気を含むことができ、15℃では12.8g、5℃では6.8gとなっています。

つまり、25℃で12.8g/m³の水蒸気を含んでいる空気は、気温が15℃に下がる、または15℃以下のものに触れると、15℃・12.8g/m³を超えた空気中に含むことができなくなった水蒸気は「水滴になる」いわゆる結露となります。



こんな症状はありませんか？

雨漏り又は外壁・屋根裏内部の結露等が原因で外壁や屋根裏内部で湿度が高い状態が長い期間続くと、以下の写真のような症状が見られることがあります。特に雨天ではないのに症状が現れた場合は、結露の発生の可能性が疑われます。



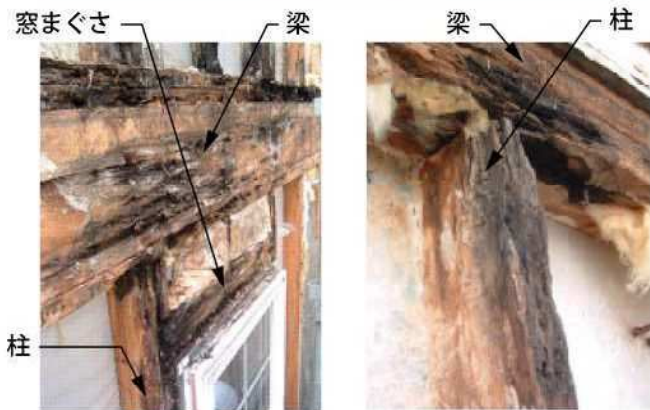
※写真のような症状は雨漏りでも発生する場合がありますので、原因の判断には注意が必要です

見えない所で被害が進んでいることがあります

湿気による被害は外壁などの骨組内部や屋根裏など普段目に触れない場所で発生すると、発見が遅れる場合が多く、そのまましておくと木材が腐り、思わぬ大きな被害となるので注意が必要です。

木材周辺の湿度が高くなるとすぐに腐るわけではありませんが、湿度の高い状態が長期に続くと腐る可能性があります。湿気により木材が腐ることを防ぐには、室内水蒸気の発生をおさえ積極的に換気を行い、建物骨組・屋根裏に水分や湿気が入るのを防ぐことが重要です。

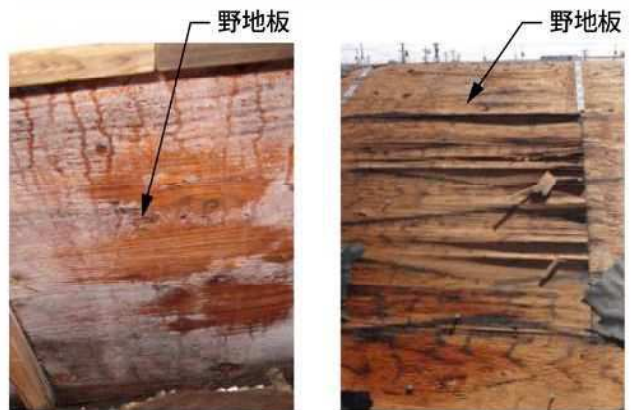
外壁の被害の例



原因:外装材目地からの浸水
外壁通気層の閉塞

原因:外壁室内側防湿フィルムの欠損

屋根裏の被害の例



原因:天井断熱材の施工不良
小屋裏換気不足

原因:小屋裏換気不足

*写真「木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究(2017年国総研資料975号)」

5

住まい手にできる被害の発生予防と日頃の注意点

日常の住まい方で気をつけること

室内で水蒸気の発生をさせるものには、開放型暖房器具(灯油やガスによるストーブなど)、加湿器、室内干し、調理、食器洗い乾燥機、観葉植物、熱帯魚の水槽などがあります。

窓を閉め切ることの多い冬季は通常の換気に加え、窓を開けるなどして積極的に換気を行い、室内の湿気を外に出すことが重要です。

また夏季は、室内の温度を極端に下げないようにすることなどが予防に有効です。

また、温度・湿度計を用いて日頃から室内外の温湿度状況を意識するようにしましょう。



定期的に点検をしましょう

外壁の中に雨水が入る可能性のある、外装材のシーリング材のひび割れや、屋根ふき材の割れなどの他、室内の水蒸気が骨組内に入る可能性のある壁、天井仕上材の隙間・ひび割れ等の不具合に加え、カビやシミ・変色など水や湿気による被害が疑われる症状がないか点検しましょう。

また、湿気を排出するための換気設備の状態や、床下や屋根裏の状況なども点検し、カビ臭さや水滴がないかなど、湿気による被害につながる症状の発見につなげることが住宅の保全に有効です。

定期的な点検で異常を感じたらお近くの建築士、住宅メーカー、工務店などの専門家に相談し、不具合が確認されたら早期に補修を行いましょう。



外壁や屋根の不具合の例

専門家に相談しましょう

異常を感じた場合には、速やかに専門家に相談しましょう。専門家により湿気による被害の発生が疑わしいと判断された場合、空気の状態を計測することで、湿気による被害がないか推定できる場合があります。

空気の状態を調べる場合は、温度だけでなく湿度の測定も併せて行うことが重要です。

また、継続的に温湿度の変化を計測できる場合は、湿気による被害の発生が疑われる空間およびその裏側の空間(外気を含む)の状態を記録し、温度・湿度の変化を確認することで、被害の有無の発見につながる場合があります。

○測定機器

温湿度を測定できる機器には、室内や壁体内などの空気の温湿度を測定するものや、壁や窓、天井や床等の物体の表面温度を測定するものなどがあります。



空気の温湿度測定用
データロガー内蔵デジタル温湿度計の例

出典:住宅紛争処理技術関連資料集
機器使用方法編

○測定のポイント

- ・温度を測定する場合は、温度計の先端を日射に当たらないようにし、また材料に触れないようにします。
- ・空間の温湿度を測る場合は、空間の中央付近に設置することが望ましいです。(屋根裏などの大きな空間では不具合の生じるエリアの中央部に設置するか、いくつかの測定器を用いて均等に配置します。)
- ・湿度が高くなった原因を調べる場合は、外気と室内の温湿度も測ることをおすすめします。その場合、外気は日射の影響を受けないようにし、室内は暖冷房機の直風が当たらない所に設置する必要があります。

公益財団法人 住宅リフォーム・紛争処理支援センター
〒102-0073 東京都千代田区九段北4丁目1番7号 九段センタービル3階
TEL. FAX <https://>

編集・制作:株式会社アルセッド建築研究所

令和5年3月発行

このパンフレットの...

9章 まとめ

本章では実大モデル実験、シミュレーション、結露等の発生要因を把握するための調査方法についてのまとめを整理する。

9. 1 実大モデル実験の実施

実大モデル実験は、結露等により建物の劣化リスクが高まる条件を検証するためのシミュレーションに用いる計算モデルの妥当性を確認するために、令和3年3月から各種データを継続的に測定してきた。計算モデルは通気層雨水浸入計算モデルと小屋裏・通気層計算モデルの2つモデルがあり、それぞれで実施した結果のまとめを以下に整理する。

(1) 通気層雨水浸入計算モデル（放湿型結露）

2年間にわたる雨水浸入を再現した外壁内の温湿度変動の測定により、通気層の仕様と水分蓄積リスクの関係がおおよそ把握できた。

縦胴縁仕様では通気層への雨水浸入が生じて、十分な排水・通気の効果により乾燥を維持できる結果となった。横胴縁については、夏期に放湿型結露が若干継続するため注意が必要であるが、冬期には乾燥する結果となっている。一方で、通気層上部を閉塞した仕様では、通気層上部の湿度が高止まりするため、パラペットや胴縁などで湿害の生じるリスクが高いと考えられる。また、北側の通気層も高湿度状態が継続する可能性があり、更なる検討が必要であろう。

今回の結果は、昨年度のシミュレーションで示した傾向をおおよそ再現出来ており、貴重な検証データと言える。

特に、通気層上部で高湿度となるメカニズムが実証されており、都市部で被害の多い3階建てや、今後増加が見込まれる中層木造建築の耐久性評価に資する知見が得られたと考えられる。

(2) 小屋裏・通気層計算モデル（冬型結露）

①外壁通気層

2年間にわたる室内水蒸気浸入を再現した外壁内の湿度変動の測定により、外壁の通気層及び防湿層の仕様と水分蓄積リスクの関係がおおよそ把握できた。

通気層の温度および絶対湿度は、昼間に上昇し、夜間に下がることを繰り返しており、相対湿度はその逆の変動になっている。南面と西面の温度変動は、北面より高く日変動が大きい。それに合わせて相対湿度が北面よりやや低くなっている。同方位の絶対湿度については、昼のピークでは北面より高まるが、夜間は低い。相対湿度は期間の最高で80%程度であり結露という観点では問題ないといえる。

②小屋裏

2年間にわたる室内水蒸気浸入を再現した小屋裏内の湿度変動の測定により、小屋裏の換気、天井及び間仕切壁の防湿・気密の仕様と水分蓄積リスクの関係がおおよそ把握できた。

最も結露が懸念される場所である、冬期の野地（北）表面近傍の相対湿度の変動について、最も厳しい条件である小屋裏の換気方式を軒のみ、換気口面積を住宅金融支援機構の基準の1/2、居室換気方式が第1種の場合に最高の相対湿度95%を記録し、結露状態となっていたが、一時的な

もので、問題ないと考えられる。他の条件については、より安全側の条件となるため問題はないと考えられる。

9. 2 シミュレーションの実施

結露等による水分蓄積に至る原因を判定するための調査方法及び補修方法に対する考え方の整理の検討の参考とするために、シミュレーションを通じて、木部周辺の高湿状態や、木部表面に結露水の滞留している状態が長期に継続し、建物劣化リスクが高まる建築的条件及び環境的条件を検証した。実施結果のまとめを以下に整理する。

(1) 通気層雨水浸入計算モデル（放湿型結露）

2年間にわたる一定の条件のもとで行ったシミュレーションから確認された内容は以下の通りである。

通気障害が雨水浸入時の放湿型結露及び合板含水率上昇に最も感度が高い結果となった。

今回設定した条件（温暖地、2階建て）では、縦胴縁程度の通気障害ならば、通気層へのある程度の浸水にも耐えうる事が示唆された。一方で、横胴縁では中程度、通気層上端が閉塞する場合はかなり高い確率で劣化が生じる環境条件になることが確認された。ただし、本計算は雨がかりに対する風向無視、浸入水が流下しないという厳しい条件での計算結果であることを配慮する必要がある。

今後の課題として、浸入水の保持量のモデリング、異なる気候地域での検討が重要と思われる。

なお、雨水浸入を考慮した計算モデルでは、実際の現象に対し不明な点が多々あるため、本計算ではいくつかの安全率を設定し、全体的には厳しい評価となっている。本検討で行ったような外皮の評価方法や与条件については、国内、海外を含め様々な議論があり、明確な指針は定まっておらず、未解決の課題が多々ある状況である。

(2) 小屋裏・通気層計算モデル（冬型結露）

本シミュレーションでは外部風を考慮していないため厳しめの結果となっているが、結露等により野地板に劣化が生じる可能性は以下のように確認された。

①外壁通気層

盛岡等の寒冷地では、エアコン使用などによる低湿度な生活の場合は、防湿フィルムがコンセントや胴差部分に一部欠損がある場合と同程度の場合に、また、開放型暖房器使用などによる高湿度な生活の場合は、防湿の欠損が数箇所あるような場合に、外壁の防湿フィルムの室外側で劣化が生じる可能性がある。

宇都宮や福岡等の地域ではエアコン暖房の場合に、外壁通気層があり、天井懐部の外壁（胴差下まで）も断熱材と石膏ボードが施工されている場合は、室内側防湿の程度に関わらず、外壁の防湿フィルムの室外側の劣化は起こる可能性がないことが確認できた。一方、開放型暖房器使用の場合は、防湿フィルムがコンセントや胴差部分に一部欠損がある場合と同程度の場合に、外壁の防湿フィルムの室外側で劣化が生じる可能性がある。

②小屋裏

盛岡のような寒冷地域では、換気方式が第1種の場合、エアコン使用の低湿度な生活の場合でも、天井面の気密性を高くし、天井断熱材の継目を密着させるように丁寧に施工しても劣化の可能性が確認され、第3種の場合は、開放型暖房使用の高湿度な生活の場合には、天井面の気密性を高くし、天井断熱材の継目を密着させるように丁寧に施工しても、劣化の可能性が確認された。

温暖地域では、エアコン使用の場合は、天井面の気密性が高ければ天井断熱材の施工性によらず問題がなく、開放型暖房使用の場合は、天井面での気密が高くし、天井断熱材を密着させた丁寧な施工が担保されないと劣化の可能性が確認された。

第3種換気の場合は、宇都宮程度の地域では、エアコン使用の場合は、天井面の気密性、天井断熱材の施工性によらず問題がない。開放型暖房使用の場合には天井断熱材が密着していない場合に、劣化の可能性が確認され、福岡程度の地域では、換気口が基準通り設置され機能している場合は、全ての条件で問題はないが、換気口面積が基準の1/2や1/4の場合は、開放型暖房使用の場合には、天井断熱材が密着していないと劣化の可能性が確認された。

なお、本計算モデルでは、熱水分の移動や通気・換気量の理論は確立しているものの、適切なモデル化は未だ研究途上であり、外部風の扱いの他、課題が多々ある状況である。

9.3 結露等の発生要因を把握するための調査方法

結露等に発生要因を判定するための調査方法を検討するにあたり、まず外壁通気層及び小屋裏の結露の発生要因の全貌を整理し、網羅的に整理した発生要因を元に調査方法の検討を行った。実施結果のまとめを以下に整理する。

(1) 外壁通気層及び小屋裏の結露の発生要因

外壁及び小屋裏の結露等の発生要因の相関及び結露等を誘引すると想定される不具合事象については、網羅的な整理ができた。

本整理は、シミュレーションを行うための条件の組合せの検討や、結露の発生要因を判定するための諸々の調査方法を検討する上でのベースとして活用した。

また、結露等を誘引する不具合発生の予防保全のために設計・施工時に配慮すべき情報としても有用と考えられる。

(2) 結露等の発生要因を判定するための調査方法

本検討では、変状の場所・内容から結露等の発生箇所を判定し、結露等の発生箇所を元に結露タイプ（放湿型・冬型）を絞り込んだ上で、結露等の発生要因を判定する方法を示している。

実務者に向けて、調査の手順、項目、方法について、参考となる資料の整理も含め、基本的な方法を示すことはできたと考えられる。

今後は、結露に関して専門的な知識を有していない建築士等の技術者が活用できる資料とするために、より具体的手順書やマニュアル等の整理等が有用と考えられる。