

CONTENTS

【総論】

06 設計施工の基本①

屋根設計 [高コスパ×高性能] 実践セオリー

菅沼建築設計・菅沼悟朗氏

21 設計施工の基本②

小屋裏換気と屋根通気の [超] 基本

ハウゼコ・神戸睦史氏

【事例】

32 Jパネルで水平構面を固めて 裏面をあらわしに

天野保建築 [山梨県富士吉田市]

36 はさみ梁を階段状に組んだ 空間を覆う大屋根

宮内建築 [滋賀県草津市] × 川端建築計画 [滋賀県野洲市]

40 平行弦トラスによる 折板葺きの大屋根

カワイ [静岡県磐田市] × 喜太郎 [熊本県嘉島町]

44 耐久性の高い 軒ゼロ納まりのフラットルーフ

三五工務店 [北海道札幌市]

48 屋根垂木を2本重ねて断熱厚保ちつつ 豪雪地帯でも薄く大きな屋根を実現

藤井光雄工務店 [北海道東神楽町]

第2特集

53 結露・湿害 Q&A <延長戦>

国立保健医療科学院・本間義規氏



設計施工 の基本②

結露を防いで屋根の耐久性を確保 小屋裏換気と屋根通気の [超] 基本

屋根は日射と風雨を直接受ける最も過酷な部位。漏水とともに建物寿命に影響を与える結露も生じやすい。屋根の結露リスクを抑えるための鋼板屋根のポイントについて、換気部材メーカー・ハウゼコ社長の神戸睦史氏への取材をもとにまとめた。

取材・文：大菅力

特記のない資料提供：ハウゼコ・「住まいの耐久性大百科事典1」

POINT 1

建築構法の変化による結露リスク

- いまどきの住宅の屋根の耐久性について考える際には、屋根の形状以前に建築構法の変化による結露リスクの高まりを認識する必要がある。結露は腐朽菌を繁殖させて木部を腐朽させるほか、カビの繁殖リスクを高める
 - 結露は建物の耐久性を損なうほか住まい手の健康にも悪影響を与える。結露リスクを抑えるために設計施工ともに最大限に配慮する
- 1点目は高断熱化。躯体を高断熱化すると建物内外の温度差が高まり、小屋裏や屋根内で結露が発生しやすくなる。また高断熱化に伴い全館空調が普及しつつあり、夏も内外温度差が増している
 - 屋根直下のロフトを簡易な全館空調の冷房室として用いる例が増えている。この仕組みを採用した事例に夏型結露が増加中
- 2点目は基礎や木材が含む水分の影響を受けやすくなっていること。今の在来木造は短工期で基礎が大きく、大壁で面材耐力壁が主流。躯体は気密化され基礎や木材は乾燥しづらく、そこから放散した水蒸気が結露を招く
 - 屋根内や小屋裏の木材に加えて、基礎の水蒸気が室内に供給されるほか壁内の木材からの水蒸気も外壁通気層を介して小屋裏に溜まりやすい
- 特に夏の日射の強い時間帯には屋根の表面温度が約70℃、野地板の温度が約60℃、小屋裏内が約55℃まで上昇する。屋根内や小屋裏が高温になることで小屋組みの木材から放湿する
 - 壁内も高温になっているので、前述のように外壁通気層からも高温な空気が小屋裏に流入。小屋裏は高温高湿となる
- 上記をふまえると、小屋裏換気や屋根通気で高湿な空気を排出し、外気を導入することは耐久性向上に不可欠。総合的には「外壁通気層＋小屋裏換気（屋根通気）＋天井面の防湿気密」が必要



夏的小屋裏の天井面。表面温度が50℃を超えている



結露箇所

小屋裏に壁掛けエアコンを設置して空調室として利用した例。冷風が当たる面が結露を起こした（写真提供：辻充孝 [岐阜県立森林文化アカデミー]）

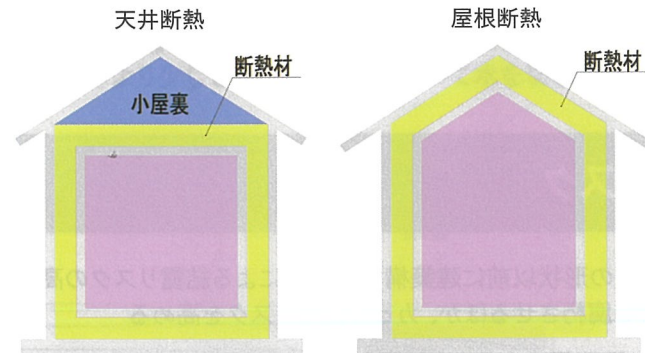
POINT 2

屋根材や屋根形状による結露リスク

- 次に屋根形状や納まりに関する昨今の傾向を見ていく。大きくは3つの傾向がある。1つ目は鋼板屋根の増加。軽量で耐震性を高めやすいことと屋根を薄く見せられるという意匠性が好まれた
- 鋼板屋根は熱伝導率が高く、夏の日射や冬の放射冷却による温度変化を野地板に伝えやすい。通年で結露リスクが高い屋根葺き材であり、結露防止に小屋裏換気や屋根通気は欠かせない
- 2つ目は屋根断熱の増加。空間の広がりや強調した提案が支持されていること、資材高騰下でコスト抑制のために居室の面積を抑えてロフトを積極的に利用するプランが流行しているためだ
 - 屋根断熱は天井断熱と異なり熱や水蒸気のバッファとなる小屋裏がない。屋根内で十分な通気を確保しないと結露しやすい

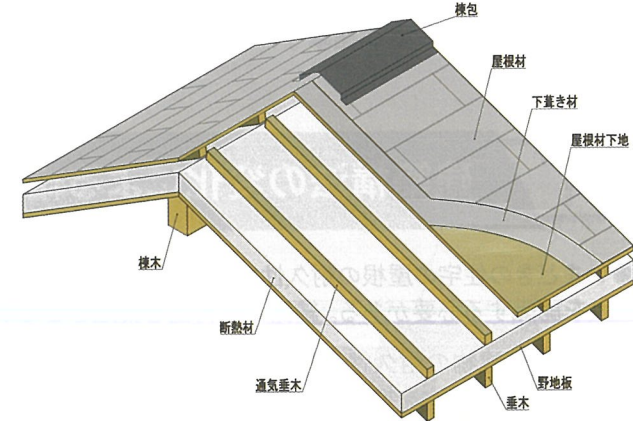
- 3つ目は軒ゼロ・ケラバゼロの納まり。一時の流行は去ったが一般的な表現として定着。通気の入口(吸気)と出口(排気)を確保するには専用部材の使用など、納まりの工夫が必要になる
→軒ゼロにはしないまでも、軒の出は全般的に短くなっている。外壁や開口部廻りに雨が掛かりやすく、漏水リスクが増す

断熱工法による空間の違い



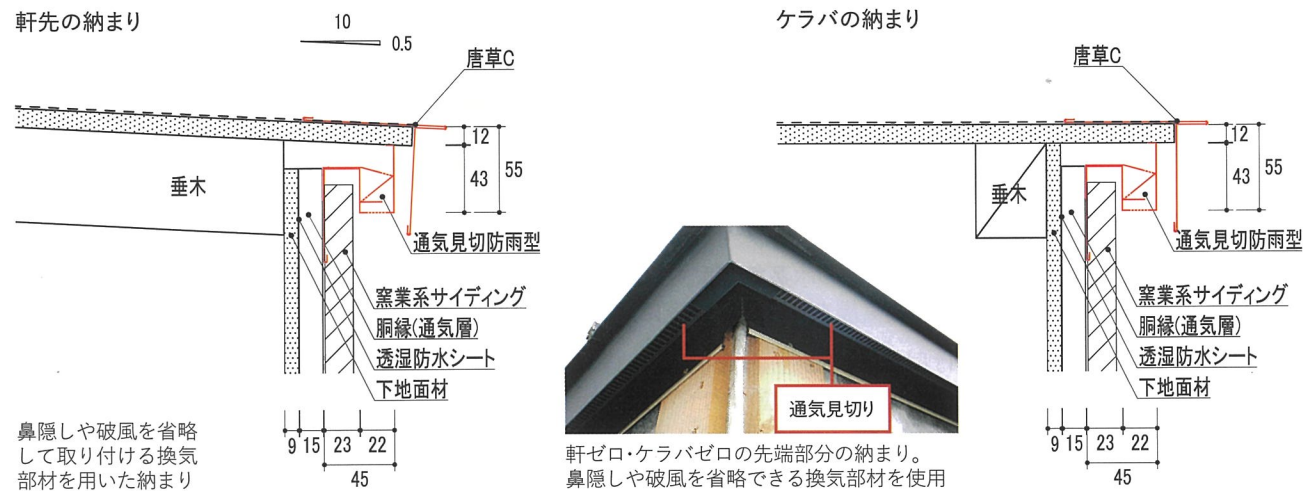
空間の伸びやかさやロフトの収納利用などのために屋根断熱とする例が増えているが、屋根断熱時の屋根通気基準が確立していない

棟換気を設けていない屋根断熱の例



通気層はあるものの棟換気を設けていないため換気量が不足する

軒ゼロ・ケラバゼロの納まり例



鼻隠しや破風を省略して取り付ける換気部材を用いた納まり

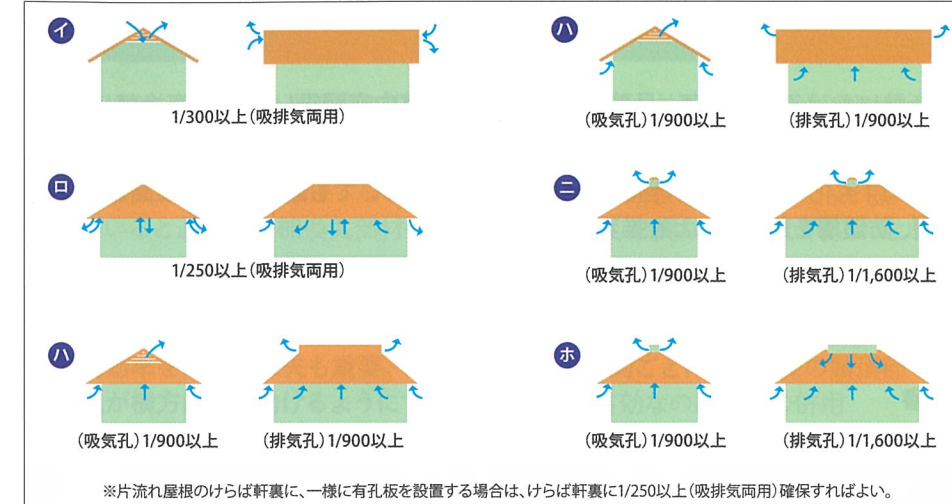


軒ゼロ・ケラバゼロの先端部分の納まり。鼻隠しや破風を省略できる換気部材を使用

POINT 3 小屋裏換気の規定とポイント

- 天井断熱の場合、屋根の直下に内外の中間領域となる小屋裏を設ける。小屋裏は軒先や妻壁、棟部に設けた換気部材によって内外の空気を入れ替えて結露を抑え、夏の日射による熱負荷を緩和する
- 結露リスクを抑える上では換気量の確保が重要となる。特に屋根勾配が緩い建物は小屋裏の容積が小さくなるほか軒と棟の高低差が低くなり重力換気が働きにくくなるため換気孔の面積を多めに確保したい。換気に加えて天井面の防湿気密層も重要
→ポリエチレンフィルムにより隙間なく天井面を覆うことで、室内からの高湿な空気の流入を防ぎ、結露リスクを抑えられる
- 小屋裏換気は結露対策として有効だが、建築基準法には規定がない。品確法の住宅性能表示制度における「劣化の軽減」という項目に換気面積の規定が設けられている程度だ
→規定内容は住宅金融支援機構の「木造住宅工事仕様書」と同じ。換気方式別に換気必要面積の最低基準を規定している
- 換気方式は棟換気や妻換気、軒裏換気に分けられ、小屋裏の天井面積に対して吸気口と排気口の有効換気面積を規定。いずれも独立した小屋裏ごとに2カ所以上換気に有効な位置に設けるように規定

「木造住宅工事仕様書」における小屋裏換気孔の有効換気面積



- ①妻換気形式：両妻壁に換気孔(吸排気両用)を設ける。換気孔をできるだけ上部に設ける。換気孔の面積の合計は、天井面積の1/300以上
- ②軒裏換気形式：軒裏に換気孔(吸排気両用)を設ける。換気孔面積の合計は天井面積の1/250以上
- ③軒裏換気・妻換気併用形式：軒先に換気孔を設け、小屋裏の外壁に接する壁面に排気孔を設ける。垂直距離で900mm以上離してそれぞれの換気孔面積を天井面積の1/900以上とする
- ④棟換気形式：軒裏又は小屋裏の壁のうち、屋外に面するものに換気孔を設け、かつ棟部に排気孔を設ける場合、換気孔面積を天井面積の1/900以上。排気孔の面積を天井面積の1/1600以上

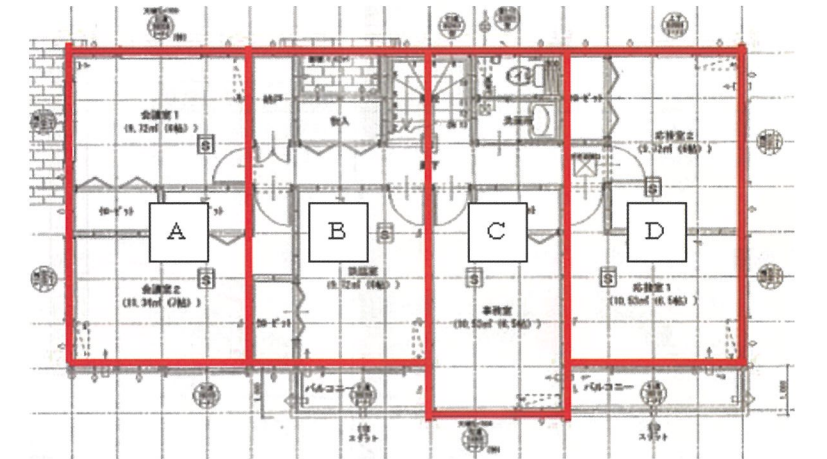
POINT 4 「軒先吸気+棟排気」の有効性

- 換気方式のなかで結露事例が目立つのが軒裏吸排気。水蒸気は小屋裏の頭頂部に集まるため、この方式の換気効率は今ひとつ。軒裏から吸気し、棟や妻壁上部に換気孔を設けて排気する方式が有効。
- 近畿大学と換気部材メーカーのハウゼコが行った共同研究によると、「軒先換気のみ」の場合と比較して、「軒先吸気+棟排気」の換気量は2倍以上。結露リスクを抑える効果が非常に高い
- 棟換気部材は設置位置が重要。中央だけに配置するとそこから離れた棟廻りの高湿な空気は、棟部で滞留して結露リスクが高まる。棟換気部材をバランスよく配置すると結露リスクを抑えられる



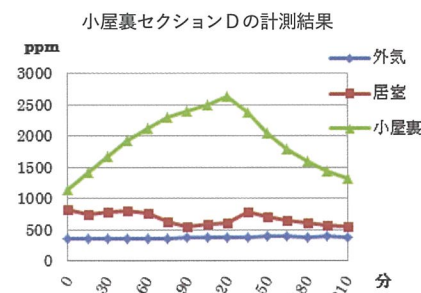
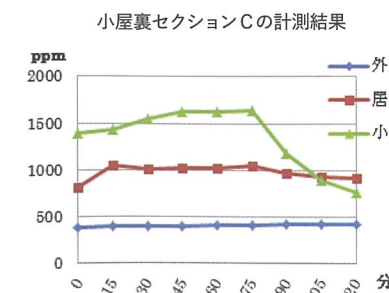
実験棟の外観

実験棟の区画割



換気量の計測結果

小屋裏セクションC：軒裏換気(有孔板)+棟換気
小屋裏セクションD：軒先換気のみ



小屋裏換気測定結果

	セクションC	セクションD
換気量 (m³/h)	26.7	13.0
換気回数(回/h)	1.65	0.60

小屋裏での結露時間

	小屋裏	露点温度(°C)	該当時間(h)
Case A	セクションD	2.7	1156
暖房室上	セクションC	-1.5	313
Case B	セクションD	1.5	850
非暖房室上	セクションC	-2.7	126

POINT
5

屋根通気には規定がない

- さらに不具合が目立つのが屋根断熱における屋根通気。**品確法では小屋裏は室内空間扱いで小屋裏換気は不要。屋根通気は規定がない。**そのため小屋裏換気と屋根通気の双方を省略する事例もある
- 前述した住宅支援機構の仕様書では「劣化の軽減」の内容に加えて**屋根断熱においても断熱材の上に高さ30mm程度の通気層を設けることや防風層、防湿層を設けることを推奨している**
- また旧住宅金融公庫の北海道版仕様書には、屋根断熱の規定がある。**棟換気とした場合、天井の見付面積の1/240以上の有効開口面積を設けることとしている。**これが国内では唯一の指針だが現在は用いられていない

旧北海道版の住宅金融公庫の仕様書

1.19 小屋裏の換気措置—水蒸気をすみやかに排出するほか、積雪に対する屋根の耐久性を向上させます。

1.19.1 小屋裏換気孔面積

必

小屋裏(または屋根裏)換気孔の面積は、断熱方法及び屋根形状に応じて、天井もしくは屋根の断熱面積に対し、表 1-18-1 に示す割合以上の有効開口面積を確保します。なお、有効開口面積は、次によります。

- (1) 使用する換気部材について、製造者が表示する有効開口面積
- (2) 実開口面積に表 1-19 に掲げる係数を乗じて得られる有効開口面積

1.19.2 通気の確保

必

必要な換気量が確保されるよう、次により小屋裏(または屋根裏)の通気を確保します。

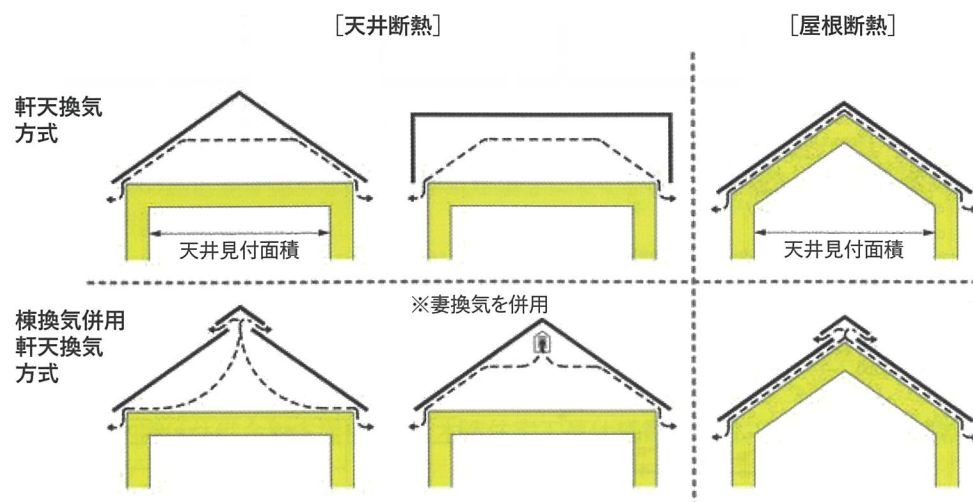
- (1) 天井断熱の場合は、断熱材により軒先の換気経路がふさがらないように、せき板などを設置します。
- (2) 屋根断熱の場合は、通気層の厚さは30mm以上とします。
- (3) 屋根断熱で繊維系断熱材を使用する場合は、断熱材と通気層の間に防風材を設けます。

表 1-18-1 屋根形状・小屋裏換気方式ごとの小屋裏換気孔有効開口面積比

		天井見付面積に対する小屋裏換気孔有効開口面積の比		M 型屋根(フラット屋根)
		勾配屋根(落雪屋根及び雪止め金具などを用いる勾配屋根)		
		天井断熱方式	屋根断熱方式	
軒天換気方式		1/290 以上	1/240 以上	1/360 以上
むね換気併用軒天	むね換気孔	1/1200 以上		
	軒天換気孔	1/1200 以上	1/720 以上	

※勾配屋根、フラット屋根併用の場合は勾配屋根の基準を用います。天井断熱方式、屋根断熱方式併用の場合は屋根断熱方式の基準を用います。勾配屋根とは勾配が1/10以上のものとします。

小屋裏換気方式



小屋裏換気方式の説明文(抜粋)

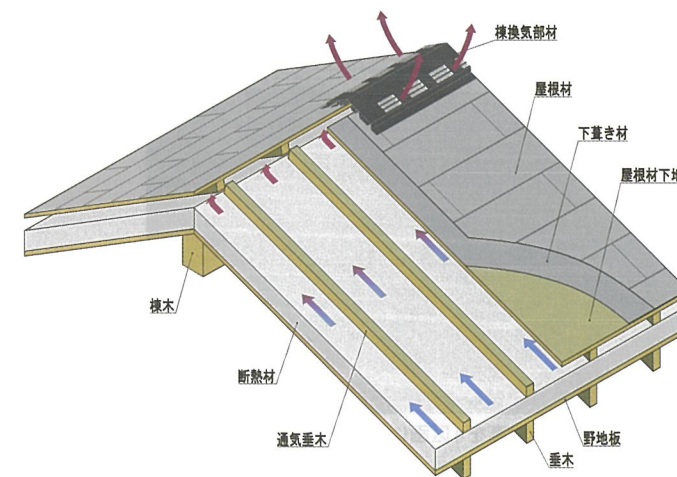
- ・小屋裏換気は①冬的小屋裏・屋根裏の結露防止、②夏の熱気排出、③屋根雪の融解防止、の3点
- ・①②のために小屋裏・屋根裏通気層へ積極的に外気を導入。③のために小屋裏換気に加えて室内から小屋裏・屋根裏通気層への熱損失を防いで屋根面を外気温に近づける
- ・換気方式は軒天換気方式と棟換気併用軒天換気方式の2種類(軒天換気と妻換気の併用は棟換気併用軒天換気方式に含む)あり、前者より後者が優れる
- ・M型屋根やフラット屋根以外の場合は、棟換気併用軒天換気方式を推奨

POINT
6

屋根通気を機能させるポイント

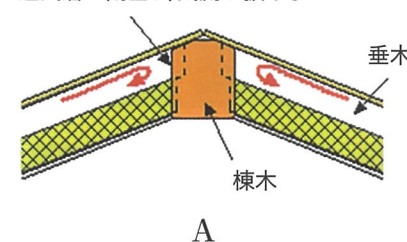
- 屋根通気は屋根面に通気層を設け、軒先の換気孔から外気を取り入れ(吸気)て棟部の換気部材から排気する仕組み。通気層の設置により、温度差による自然換気で軒先から棟に空気が動く
- 屋根通気は吸気量を確保することが重要。吸気孔の面積が少なかったり、吸気孔が空気抵抗の大きな場所に設けられていると通気層や棟換気部材の面積を確保しても必要な通気量が得られない
- 通気層の高さは30mm以上が目安。最近は通気層を屋根垂木から独立させる工法が増えた。30mmより大きくする実務者もいる。通気層は通気垂木間ごとに経路が確保されていることを確認
- 排出効率を高める工夫も重要。棟換気部材を垂木間ごとに設置、棟の頭頂部で垂木を切断して棟換気部材周辺で空気が横方向にも動けるようにするなどだ。特に有効なのは両者の併用
- 棟換気部材の垂木間ごとの設置と垂木カットの併用が有効なのは、垂木間を上ってきた空気が棟の頂部に達したとき、その周辺の空間が左右に広がっていても横方向にはそれほど動かないため
 - ➔屋根断熱の場合、緩衝空間となる小屋裏がない。通気が止まると結露につながる。コストの許す限り通気量確保の対策を施したい
- 屋根通気のセオリーは確立していない。その理由は屋根断熱の工法が複数存在すること。大きくは垂木間(登り梁間)に断熱材を充填する方法と野地板の上に外張りする方法に分かれる
 - ➔前者の場合、垂木のせいより断熱材の厚みを抑えることで断熱材上部に空隙を設ける。この空隙部分が通気層となる
- 外張り断熱の場合、垂木の上に合板を張って断熱材を施工し、さらにその外側に通気垂木を施工し、野地板で覆う。外張り断熱のほうが機能的には通気層が明快に分離されている
 - ➔ただし、最近は高断熱化により両者の併用が増えてきた。この場合、通気に関しては外張り断熱の通気層の手法が用いられる

屋根断熱における通気層の考え方

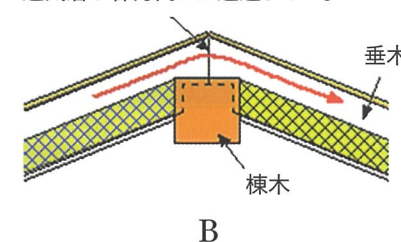


棟の納まりと換気量の関係

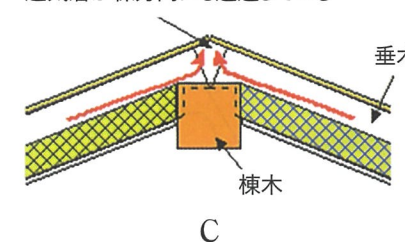
通気層が閉塞し、気流が抜けない



通気層が棟方向には連通していない



通気層が棟方向にも連通している



垂木カットをすることで棟方向にも空気が移動するため換気量が確保しやすい



頭頂部の垂木カットの詳細。棟方向(横方向)に空気を動かすための工夫



片流れ屋根における棟換気の例。棟の端から端まで換気部材を設置している



垂木間に断熱層と通気層を設けた例。白色の卵バックのような部材で通気層を確保(写真提供:デコス)



断熱層の上部に独立した通気層を設けた例。屋根断熱が多層化するとこの工法になりやすい(写真提供:住まい環境プランニング)

POINT
7

初期含水は結露リスクを高める

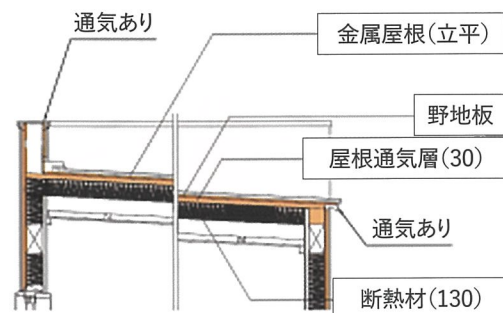
- 初期含水による結露リスクの大きさと通気層の有効性を示した実験を紹介する。実験棟の屋根を区分けして、垂木間の野地下空間が垂木カットをしていないために連通性を確保できていないケースを想定し、野地下の通気層を閉塞させた区画と開放した区画を設けてその温湿度を比較している
 - この実験棟は工期中に一般的な養生を施した状態で1日だけ雨に降られて濡れた。窓部分から雨水が屋内に入り、1階床下地合板などが濡れた
- 屋根の棟部を見ると、通気層を閉鎖した区画に関しては竣工から2カ月経った6月から相対湿度が急上昇して100%を超えた。その後も上下はするものの100%を超える時間が長く、恒常的に結露していた
- 原因は施工時の雨で濡れた野地合板。気温上昇や屋根面に日射を受けた影響で合板内の水分が放湿。水蒸気は棟の最上部に移動。周辺の絶対湿度が上昇して木部が吸湿。空間は常に高温状態になる
 - 結露の影響で野地合板に黒いシミが発生。シミは時間経過とともに拡大。合板の吸放湿により合板の成分が表出した
- 一方、通気層を開放した区画を見ると、相対湿度の曲線は気温の変化に応じ上下するものの最大80%に留まる。通気層の効果が明らかだ。

通気層のあり方による小屋裏の湿度環境

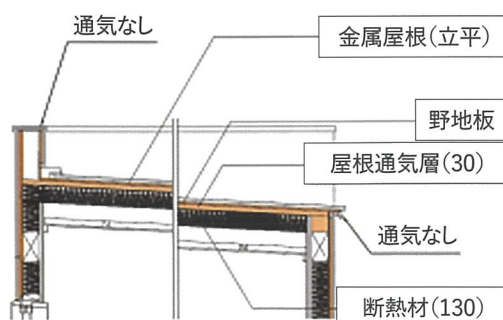


実験棟の外観。小屋裏を4区画に分割。通気層の条件を変えて温湿度を計測

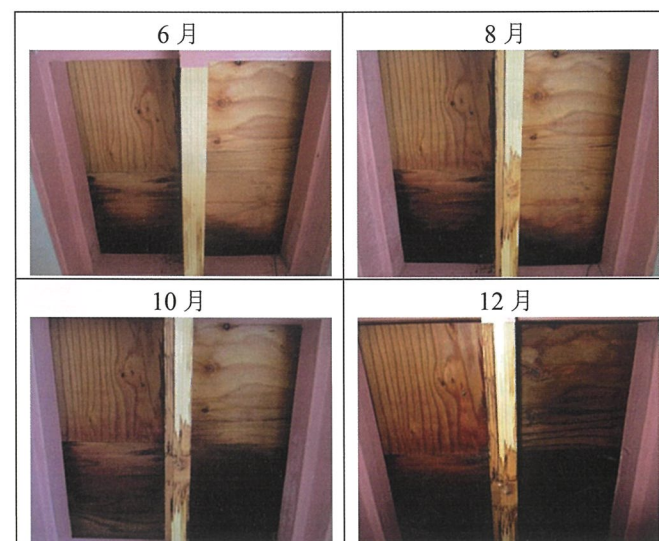
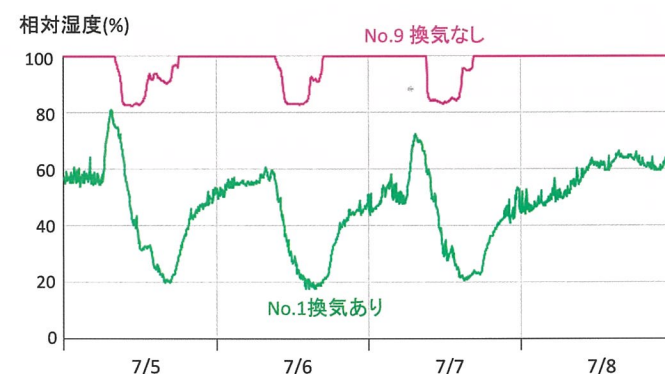
グラフ：No.1換気ありの小屋裏断面 (通気層高さ30mmを開放)



グラフ：No.9換気なしの小屋裏断面 (通気層高さ30mmを閉鎖)



換気の有無による小屋裏の相対湿度



No.9換気なしの小屋裏の様子。結露による黒いシミが棟部中心に広がっている。シミは成分分析で合板に含まれる成分だと判明

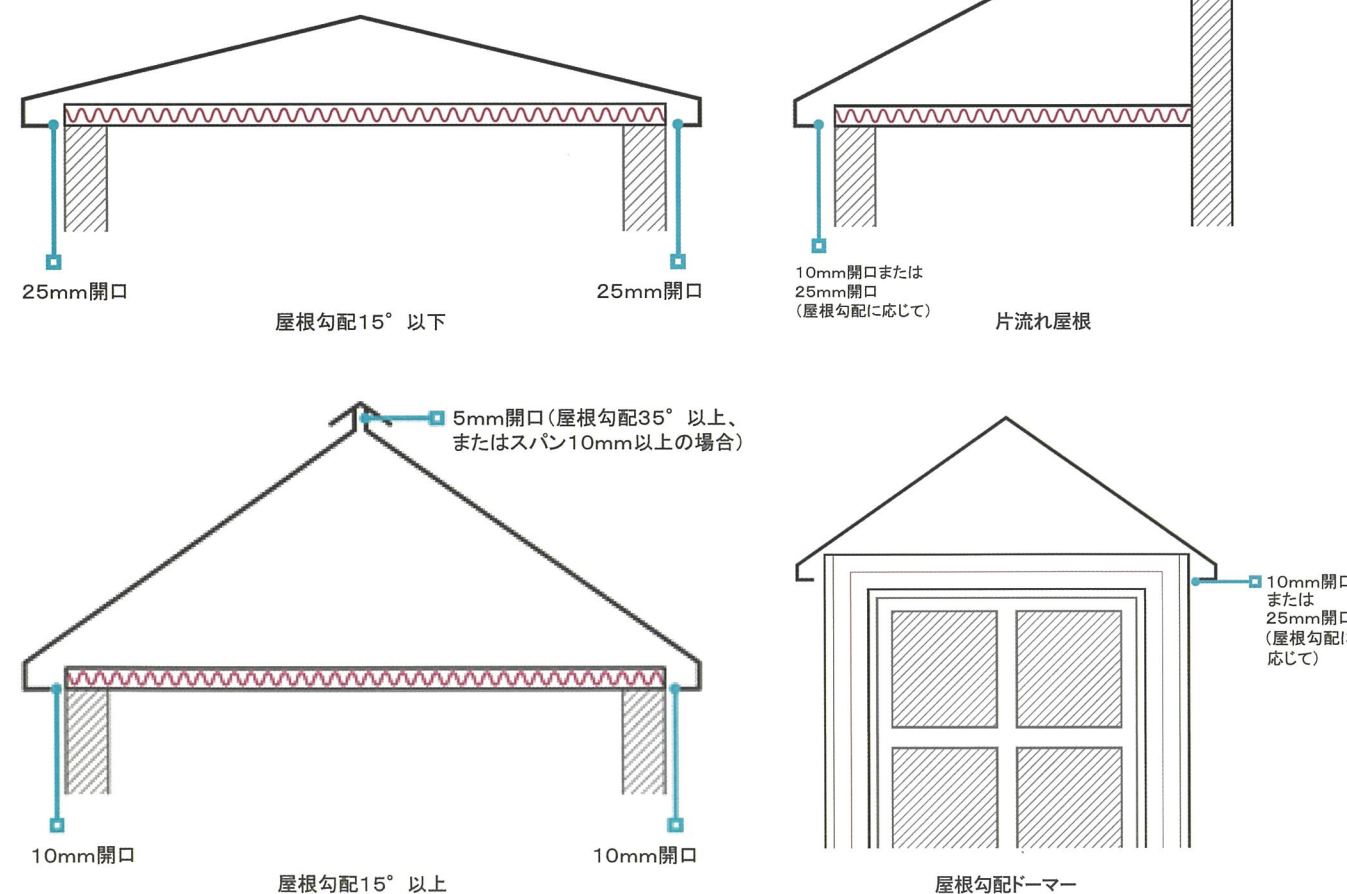
POINT
8

欧米の屋根通気の規定に学ぶ

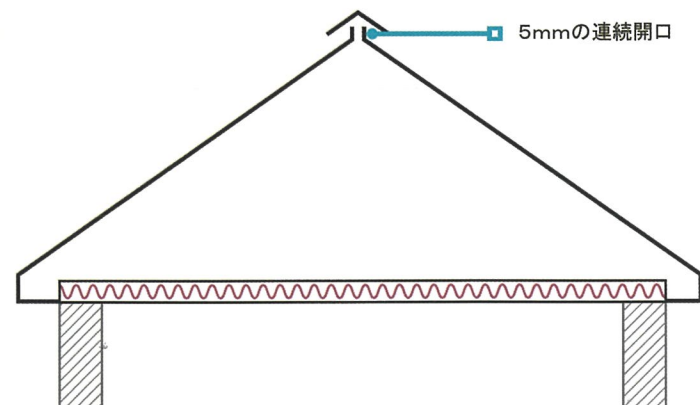
- 欧米の建築関連法規は小屋裏換気や屋根通気を重視。イギリスの小屋裏換気基準(BS5250)の場合、開口面積を対天井面積比ではなく「**屋根の長辺全長×開口幅(25mmなど)**」で定めている
- 同基準は軒先など屋根の幅一杯に換気孔を設けることが前提。その上で**相対する屋根に同じ開口面積を設けることを義務化**。さらに勾配と下葺き材の透湿抵抗によって基準値を変えている
- 同基準には屋根断熱の規定もある。下葺き材が非透湿性の場合、断熱材の室内側に気密防湿層を設置して下葺き材と断熱層の間に高さ25mmの通気層を確保。その水下・水上の双方に開口を設ける
 - 通気層間口長さに対する相当開口幅は水下の吸気孔で25mm、水上の排気孔で5mmに規定。通気量の確保に吸気が重要だと分かる
- 同様に下葺き材に透湿性がある場合、防湿気密層の有無により以下のように指針が変わる。断熱材の室内側に防湿気密層を設け、屋根葺き材の透湿性が高いときは通気層による換気は非推奨
 - 下葺き材に透湿性があり、断熱材の室内側に防湿気密層を設けない場合は通気層による換気を行う。同様に下葺き材が非透湿性か屋根葺き材の気密性が高いときも通気層による換気を行う
- またカナダ・ブリティッシュコロンビア州の規定(BCBC2018)では、小屋裏が高湿になることを避けるために壁の通気層と屋根の通気層の連通を禁止。換気経路を独立することを規定
- このほかオーストリア・チロルの規定では、屋根断熱の棟換気孔は棟の端から端まで設置、通気層は高さ80mmなどの参考図を掲載。IBC(全米建築基準)では片流れの規定を設けている
 - 高断熱高気密住宅の先進国である欧米の指針は有用な内容が多い。多少の気候風土の違いを加味しつつ参考にしたい

イギリス NHBC 規格の小屋裏換気の規定 (BS5250 と同内容)

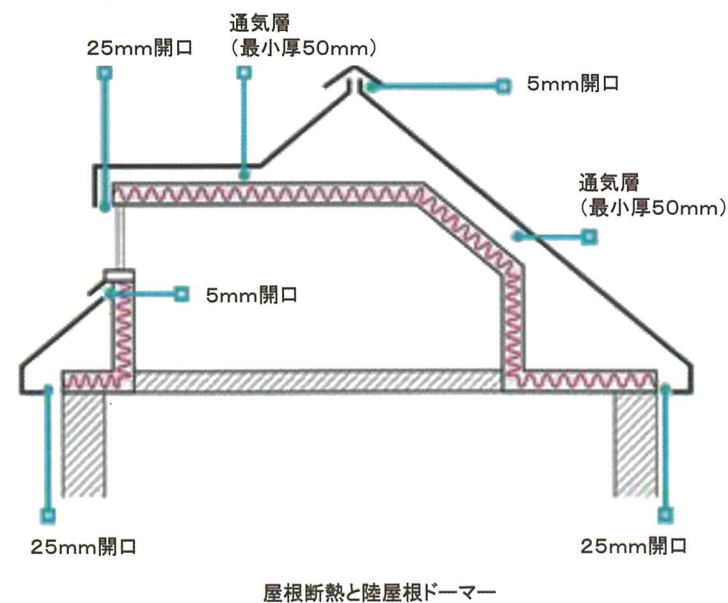
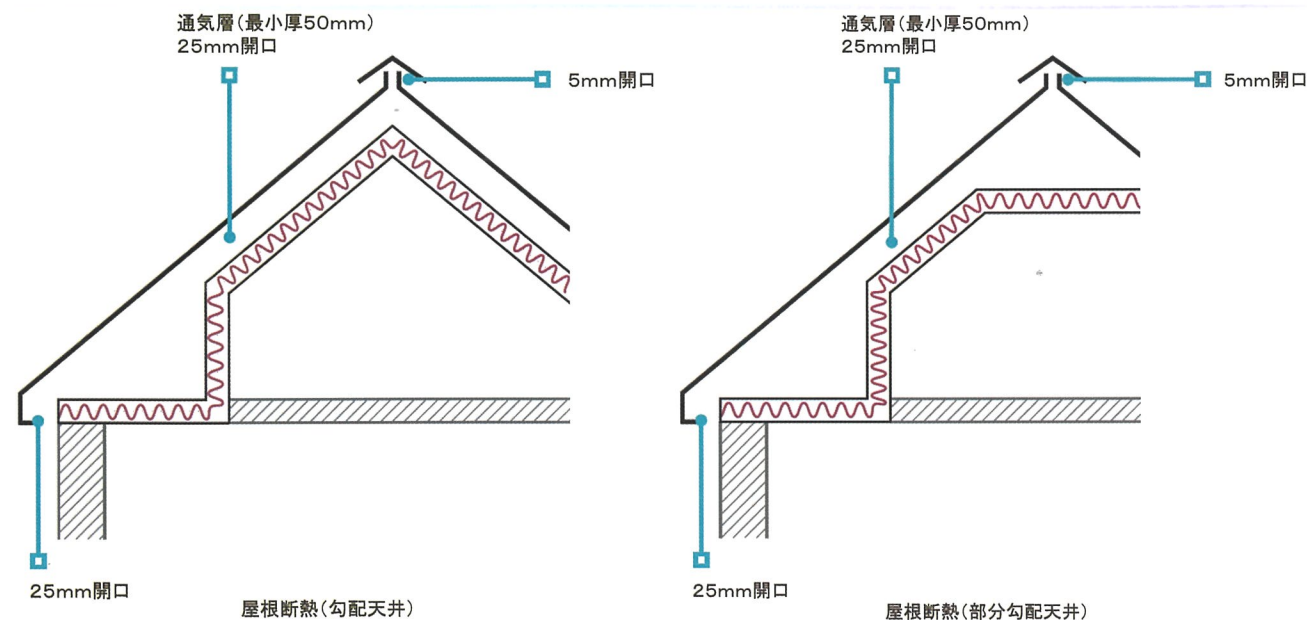
①天井断熱で下葺き材が不透湿性の場合



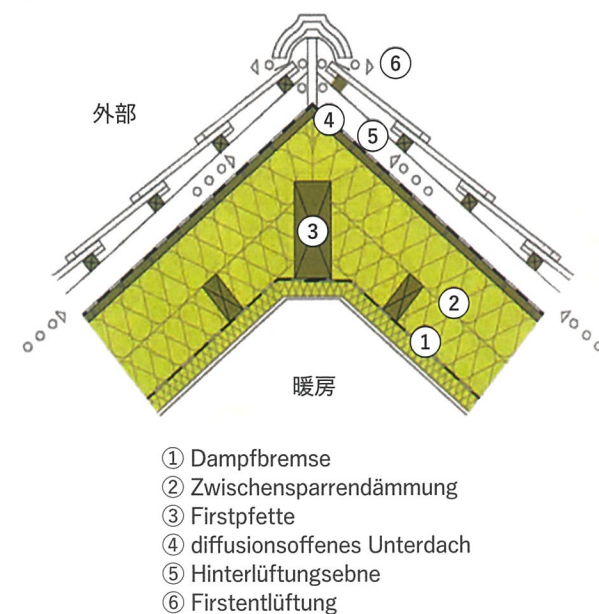
②天井断熱で下葺き材が透湿性の場合



③屋根断熱の場合



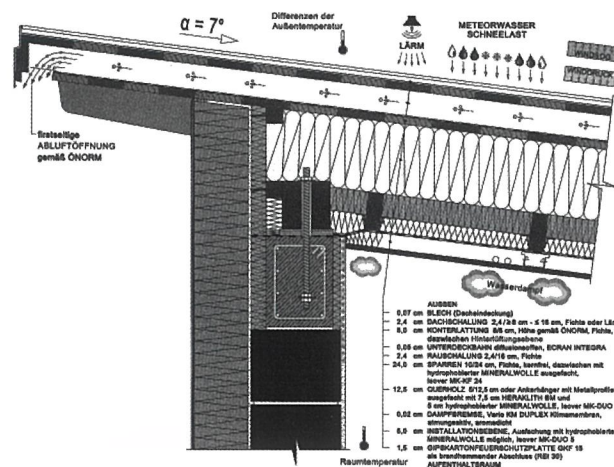
④オーストリアの屋根断熱の換気規定(抜粋)



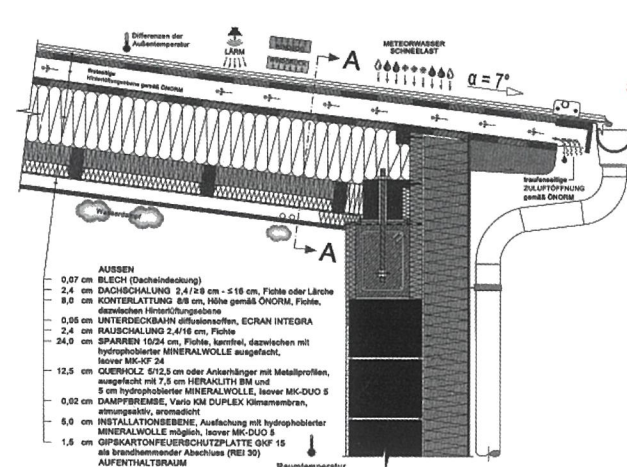
棟換気は棟の端から端まで連通させることを定めている

①片流れ屋根の水上と水下の納まり

①水上側の納まりと規定

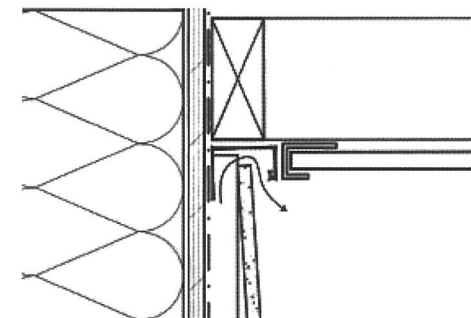


②水下側の納まりと規定



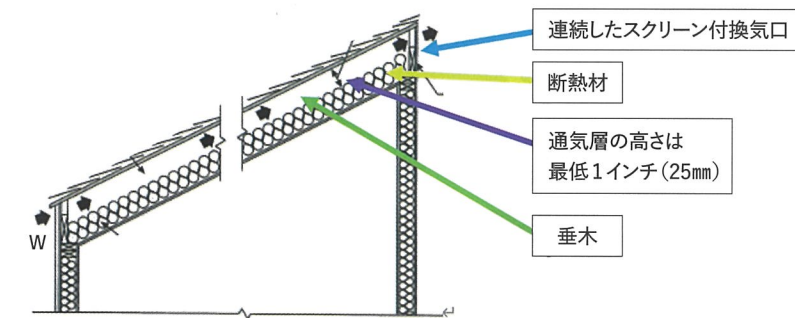
屋根断熱の通気層を高さ 80mm と規定している

①カナダ BC 州の外壁通気層の規定(抜粋)



小屋裏に高温な空気を送らないために外壁通気層は屋根内に延長せずに軒下などで排気する

②IBC(全米建築基準)の片流れの規定(抜粋)



野地板と断熱材の間に約 25mm 以上の通気層を設置。有効開口面積は 1/150 以上が原則。ただし頂部から約 915mm 以内に換気口面積の 40 ~ 50% の換気口が換気される空間の上部またはその付近に設けられている場合は 1/300 以上となる

POINT 9

鋼板屋根と野地板間に通気を確保

- 昨今の鋼板屋根の主流である立平葺きでは、雨水がはぜを伝って軒先に滞留。毛細管現象で野地合板の端部に浸水することがある。合板には接着層があるため吸水すると木口からしか抜けない
→ 特に屋根中央部は野地合板に囲まれて木口がふさがれているため水分が抜けにくく、暴露試験をすると含水率 70 ~ 80% に上る
- 屋根断熱の場合、通気層を野地合板下部に設ける。合板の性質上、通気層に水分は排出されにくい。また野地合板の上部はアスファルトルーフィングに覆われているので、上部にも水分は抜けない
→ 上記の結果、野地合板に含んだ水分が夏に日射を受けて加湿源となり、合板とルーフィングとの間で結露する不具合がよく見られる
- この結露への対策は 2 つ。1 つはアスファルトルーフィングの代わりに透湿ルーフィングに網状体のスペーサーを取り付けた「エアーギャップシート」などの透湿性のある材料を用いる方法だ
→ シートの周囲を膨張シーリングで抑えるなど施工が煩雑だが、屋根材と野地合板との間に 10mm 厚の空気層を確保できる
- 2 つ目はハウゼコの通気立平葺き屋根材(デネブエアルーフ)の採用。透湿ルーフィングの上にリブ形状の鋼板屋根を葺く。リブにより 5mm の空隙ができ、通気を確保。施工方法は立て平葺きとほぼ同じ
- 同社では暴露試験を行い、通気層の働きで通常の立平葺きと比べて野地合板の含水率を大幅に抑えられることを確認している。製品価格は通常の立平葺きよりも約 2 割アップとなる



軒先キャップ
廻りなどに雨水が滞留

一般的な立平葺きの軒先。はげに雨水が滞留して毛細管現象で野地合板に浸水することがある



唐草

浸水跡

毛細管現象により、軒先の野地合板に浸水した立平葺きの例。水分が抜けないので時間経過とともに合板が劣化する



透湿ルー
フィング

広範囲
に結露

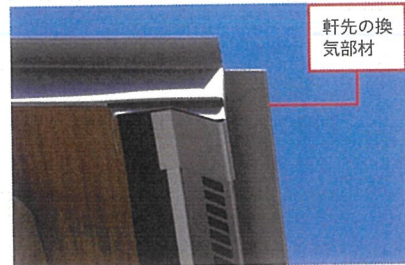
立平葺きの結露例。透湿ルーフィングを用いていたが、銅板屋根と密着していたため、水蒸気が抜けずに結露に至った

■ 通気立平葺きの施工



通気が確
保できる

通気立平葺き屋根材の軒先の施工。換気部材を取り付けて毛細管現象を防止



軒先の換
気部材

通気立平葺き屋根材の軒先とケラバの詳細



下葺き材は透湿ルーフィングを用いる



リップにより
通気の間
隙を確保

通気立平葺き屋根材の詳細。屋根材にはリップが設けられており、その下部に生じる隙間で通気を確保

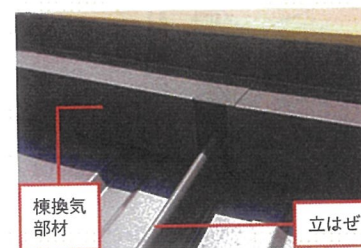


棟換気部材を取り付けたところ。この上からカバー（棟包）で覆う



棟換気
部材の下
地

棟換気廻りの詳細。木下地の上から換気部材で覆う



棟換気
部材

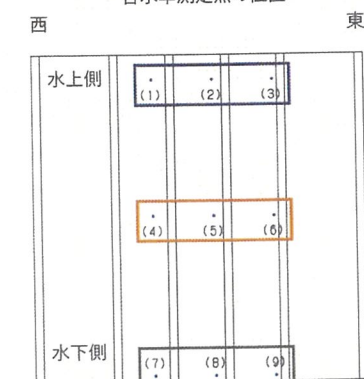
立はげ

換気部材と立はげの取り合い

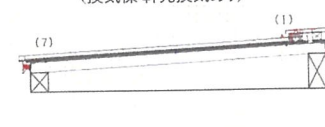
■ 銅板屋根の暴露試験の結果(野地板の含水率)

試験体

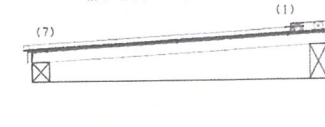
含水率測定点の位置



試験体1 通気立平(透湿ルーフィング)
(換気棟・軒先換気あり)

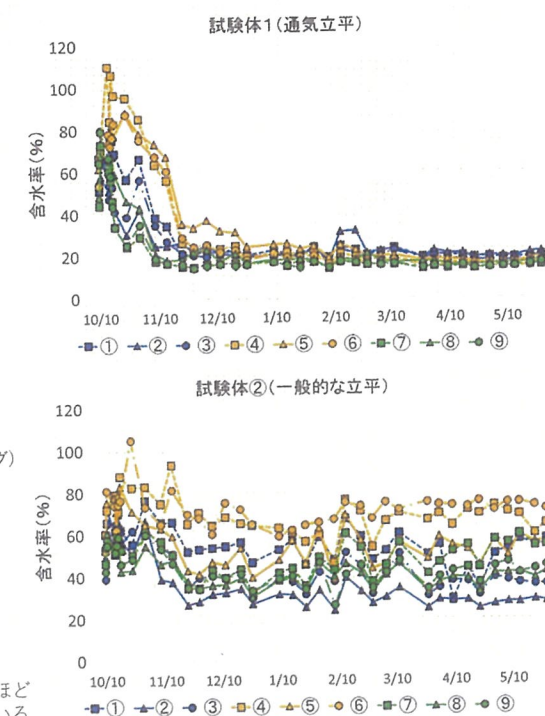


試験体2 一般的な立平(改質アスファルトルーフィング)
(換気部材なし)



通気立平葺きは通気量が多いため10日ほどで乾燥して相対湿度20%前後を保っている

■ 試験体に散水後の含水率の変化



[設計・施工]の力を[営業・経営]につなげる

月刊

アキテクトビルダー

Monthly ARCHITECT BUILDER

ハウジング

5
2023

強い、超入門 屋根

水平構面を確保しつつ漏水・結露を防いで高断熱化。
耐震等級3、断熱等級6以上を実現する
屋根の設計施工手法を解説

月刊アーキテクトビルダー
オンライン
動画解説
デジタルブック



新建ハウジング別冊付録 / 2023年5月号