

断熱・防露性能と冬の実測

1. はじめに

心地よく活動するには、適切な温熱環境が不可欠である。今回は断熱・防露性能の考え方と冬の温熱環境の実測について紹介する。

2. 各部位の断熱性能の考え方

屋根は暖かく湿った空気が集まりやすいため断熱性能と防露性能が大切である。morinosではCLT36mmの屋根構面の上下に合計240mm（室外側90mm、室内側150mm）のセルロースファイバー（以下CF）を吹き込んだ。（熱貫流率U値0.19W/m²K）

CLTの上下に断熱を入れたのには理由がある。CLTは湿気を通しにくく防湿層として機能するが、CLT自体が冬の冷気や夏の冷房で冷やされると内部結露のリスクが上がる。そこで、断熱材で挟むことで、CLTの温度を安定させた。また、CFは蓄熱や調湿に優れ、特に日内の温度差の激しい夏期に熱と湿気を上手く調整する役割を担う。

外壁は斜めに方杖が貫通する複雑な形状のため、細部まで施工可能な吹込み式の断熱材として屋根と同じCF150mm（U値0.29W/m²K）とし、基礎は全面にフェノールフォームを施工した。

開口部はLowEトリプルガラス（U値1.5W/m²K）を主体に、建具は重量軽減のためペアガラスとした。

3. 建物全体の温熱性能

これらの部位仕様と建物形状から外皮性能を示す年間熱負荷PAL*を計算すると、基準値470MJ/m²に対しmorinosは238MJ/m²となり、半分程度の熱負荷となった。

住宅の断熱指標である外皮平均熱貫流率UA値で示すと0.61W/m²Kである。住宅の基準値0.87W/m²Kと比べるとそれほど高断熱とは言えない。これはガラスの面積割合が大きい（一般的な住宅の2倍）ためだ。住宅と異なり夜間の利用はほとんどなく日中の活動が中心となるため、高断熱化よりもガラス面から入ってくる日射熱の活用を重視したためである。

断熱性能と日射熱取得性能のイメージを簡単に計算してみる。UA値は、室内外の温度差を1℃とした時、1m²の外皮あたりの移動する熱量である。

美濃市1月の平均外気温を3℃、室内を20℃と仮定すると内外温度差は17℃、外皮面積は449m²であるので、UA値0.61W/m²K×温度差17K×外皮面積449m²=4,656Wとなる。（換気除く）つまり、室内から外気に向けて4,656Wの速さで熱が逃げていることを示している。

一方、晴れた日中の水平面日射量を500W/m²とすると、冬期日射熱取得率η_{AH}値4.6%のため、0.046×外皮面積449m²×水平面日射量500W/m²=10,327Wの熱取得で5,000W強分プラスになり、室内を暖め



方杖が貫通する複雑な外壁

ることになる。ただし、曇りでは日射熱がほとんど取得できないため、室温を維持するためには熱損失の4,656W分を暖房設備等で供給する必要がある。

このように外皮の温熱性能がわかれば、熱がどのように移動しようとしているかのイメージが可能である。

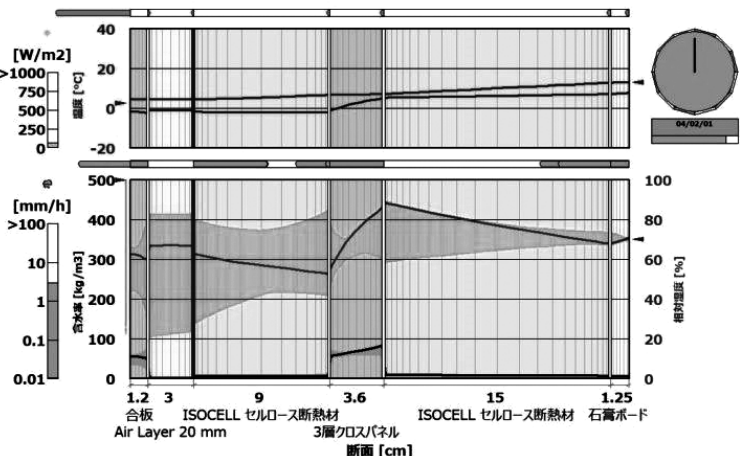
4. 冬の気温実測

実際の室内の様子を見るために冷え込みが激しかった2021年1月8日～10日の温度データを分析する。

8日朝の外気は実測で-4.5℃。日中に気温が上昇するが最高気温1.6℃という厳しい冷え込み。晴時々曇りで日照時間もまばらである。9日朝も-5.5℃。この日は比較的晴れ間も多く最高気温は3.2℃。美濃市の平年値と比べても寒い日である。

地点：Mino (Gifu); AMeDAS 標準年; 0.0 °C;

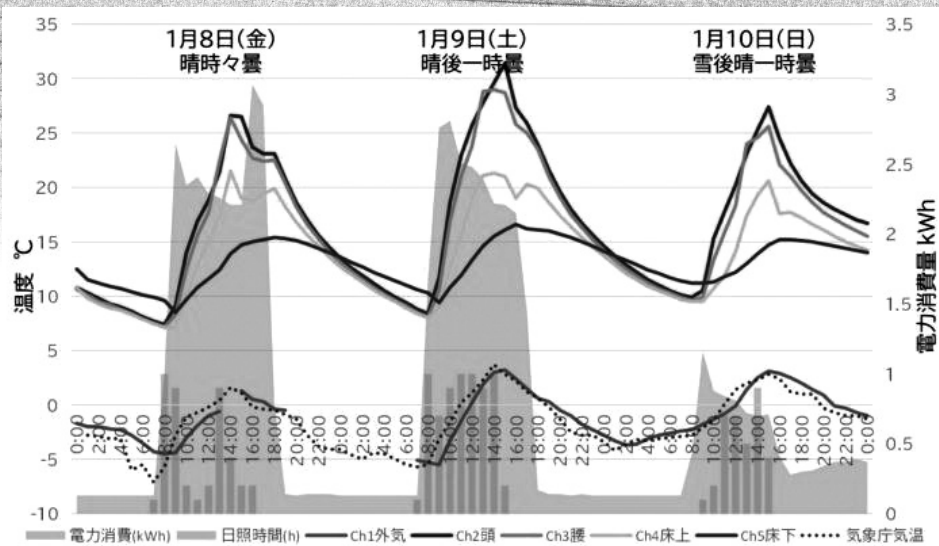
WUFI(R)



図非定常計算ソフトWUFI Proシミュレーションで蓄熱、調湿効果を確認



うっすら雪が積もる冬季の morinos



2021年1月8日(金)～10日(日)の実測データ(折れ線グラフは温度変化:下部の線が外気温(実線建物で実測、点線アメダス、その他の4つの折れ線は下から床下、足元、腰高、頭の高さの室温、面グラフは消費電力量、棒グラフは日照時間を示す。)

室温は高さを変えて4カ所計測(床下、床上、腰高、頭高)した。明け方は3日間とも10℃を少し切るくらいに対して、日中は25℃～30℃とかなり暖かい状況である。

morinosの熱供給は、①日射熱、②薪ストーブ、③床下(床上)エアコン、④その他内部発熱である。

電力消費量(面グラフ)でエアコンの稼働状況を確認する。8日、9日は朝から夕方までエアコン2台稼働、10日は1台稼働であった。平年程度の冷え込みであれば、エアコン1台+日射取得で十分そうである。

温度変化を見ると、腰と頭の高さはほぼ同じように推移し、足元は少し低めだが、朝から同じように温度が上がっている。

日中30℃を超えてオーバーヒート気味の日もある。これはエアコン、薪ストーブ、日射熱の3つが合わさっているために発生している。それぞれの熱供給を分散して取り込めれば良いが、実はなかなか難しい。

朝の室温がもう少し高ければ、明け方はエアコンをつけずに、日射熱取得まで粘って熱供給できて良いのだが、夜間利用しない運用上、朝の室温を高温に維持するのが困難なのである。

例えば10日の夕方以降の電力消費は、会議のために夜まで照明を使用していたため、薪ストーブも使用している。この翌日の11日朝の室温は14.5℃であった。この

温度であれば、太陽が出るまで薪ストーブのみの使用の可能性もある。帰り際に薪ストーブに薪を多めに放り込み、流入空気を絞って少しずつ燃焼させることで運用時のエネルギーを減らし、オーバーヒートへの対応も期待できる。

morinosの特異性としてプログラムによっては冬期でも扉を開け放つことがある。冬期建具の開放対策として2点考慮した。1つ目は、床下空間の暖房である。床下エアコンにより床下を暖めることで、扉をあけ放つ際も暖かい空気が一気になくならない熱だまりになる。2つ目は、床や壁などへの蓄熱である。蓄熱によって、外気が一気に入ってきて、建具を閉めれば躯体の蓄熱分により元の室温に戻りやすい。morinosには薪ストーブ周辺の左官壁と土間床、シンボルの大きな左官壁が中央に配置され熱の安定に一役買っている。

5. 冬期の表面温度実測

2021年1月13日14:45分頃の表面温度の実測を分析する。



室内のサーモ画像

外気温は7.2℃と、概ね平年通りくらい。晴時々曇り。室内温度は、床下18.0℃、室内の足元23℃、腰高25.9℃、頭の高さ26.5℃。上下温度差は3.5℃である。

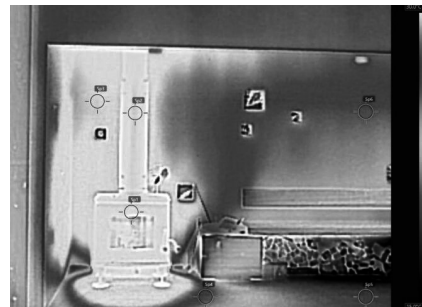
各部の表面温度をサーモ画像確認したが温度ムラが少なく全体がのっぺりした印象である。

各部の表面温度は床面23.8℃、外気に面していない内部の左官壁24.3℃、天井25.2℃、上部外壁面25.3℃、トリプルガラスの開口部23.5℃である。

室温に近く非常に安定した室内表面温度である。体感温度は概ね(室温+表面温度)÷2で表せるので、建物のどこに行ってもヒヤッとするとところはない。

また、薪ストーブ(午前中に燃焼)本体の表面温度は55.4℃、薪ストーブ背後の壁29.8℃、薪ストーブ近くの土間26.4℃、薪ストーブから離れた壁26.2℃であった。

薪ストーブ周辺の温度は、他の部位より少し高くほんのり暖かい。薪ストーブの熱を左官壁が蓄えていることがわかる。蓄熱容量の大きな素材は一度暖まってしまうと、冷めにくい特徴があるので活用したいものである。



薪ストーブ周辺のサーモ画像

6. おわりに

実測、分析を行うことで設計時の評価を確認したり、運用方法の提案をすることで、より心地よい環境につながる事が期待できる。引き渡して終了ではなく、実測・分析することをおすすめする。

岐阜県立森林文化アカデミー
教授 辻 充孝

