

報告 Report

ものづくり大学環境実験住宅プロジェクト報告

— 概要と研究計画 —

原稿受付 2021年8月19日

ものづくり大学紀要 第11号 (2021) 73~81

松岡大介

ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科

木造住宅 湿害防止 耐久性 省エネ 快適性

1. はじめに

現在、地球温暖化が問題になっており、その原因とされている CO₂ の排出量の削減が喫緊の課題となっている。我が国では、2030年までに2013年比46%削減することに加え、2020年10月26日には政府から2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを世界に向けて宣言された。全産業の CO₂ 排出量をみると、家庭部門は増加傾向が続いていることから、この部門で大きな削減を達成しなければならない。すなわち、住宅は可能な限り省エネ化し、その上で太陽光発電などにより必要なエネルギーを賄う住宅（ZEH、ネットゼロエネルギー住宅）の普及が重要となる¹⁾。

また、建設時や解体時の CO₂ 排出量の削減も図った、LCCM住宅（ライフサイクルカーボンマイナス住宅）も目指していかなければならない¹⁾（産業廃棄物の削減も大きな課題ではある）。LCCM達成のためには、建築物の耐久性を高め、100年200年維持できる住宅とすることが必要である。長期に維持できる住宅には、設備の更新を容易にすることや、居住者の変化に対する間取りのフレキシビリティも大事であるが、そもそもの構造体としての高耐久性が重要である。木造住宅の場合は、雨水侵入や躯体内結露による、居住者の見えないところでの構造木材の腐朽によって、建物が短命に終わることもあり、様々な部位における結露防止や乾燥性能の確保が重要となる。

このような背景から本プロジェクトでは、様々な公的機関、企業、有識者に協力を頂いて、住宅の更なる省エネ・快適性へ向けての研究・技術開発や、各部の防露性・乾燥性能を明らかにして、耐久性の向上を図ることを目的として、ものづくり大学キャンパス内に実大規模の実験用木造住宅を建設した。関係団体、関係者を表1に示す。本報では実験住宅の概要と今後予定している研究について報告する。

表 1. 実験住宅での実験・研究の関係者

学識者		屋根換気メーカー協会	
足利大学	教授	齋藤 宏昭	(株)太田製作所
京都大学	教授	小椋 大輔	大谷工業(株)
東京大学	准教授	前 真之	片岡瓦工業(株)
日本工業大学	准教授	伊藤 大輔	ケイミュー(株)
日本大学	助教	井口 雅登	ジェイベック(株)
ものづくり大学	准教授	久保 隆太郎	(株)タニタハウジングウェア
公的機関		(株)トーコー	
国土交通省 国土技術政策総合研究所		日本住環境(株)	
国立研究開発法人 建築研究所		(株)馬場商店	
(公財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター		(株)屋根技術研究所	
共同研究者		(株)ヨネキン	
積水ハウス(株)	出端 祐輔	窓開口の遮熱・断熱を考える研究会	
積水ハウス(株)	梅野 徹也	塩ビ工業・環境協会	
(株)ミサワホーム総合研究所	長村 貞治	(株)日建設計総合研究所	
民間企業		文化シャッター(株)	
(株)アルセッド建築研究所		三菱電機(株)	
城東テクノ(株)		(株)エクセルシャノン	
(株)ファイブイズホーム			

2. 実験住宅の概要

2.1 周辺環境

実験住宅は埼玉県行田市のものづくり大学キャンパス内に建設された、木造在来軸組み工法2階建、延べ床面積108.82m²の住宅である。平面図を図1に、南側立面図を図2に示す。間取りについては、一般的な住宅を目指し、首都圏ベッドタウンの様々な分譲住宅を参考にして決め、これに防露・乾燥性能について未だよく分かっていない、セットバックバルコニーとオーバーハング(玄関ポーチ上)を設けたものとした。なお、図中には24h換気システムの設計風量[m³/h]を示した。

周辺環境についてはキャンパス内配置図を図3に示すが、場所は建設学科屋外実習場の北東部で、掃き出し窓のある面(日射を採り入れる面)を真南とした。実験住宅周辺の拡大図を図4に示す。南面と西面は開けている。南東には受水槽があり、北側には木造の小舎が、北東には機材の倉庫が連なっている。その倉庫からさらに離れたところに建設学科の校舎がある。なお、校舎の屋上には気象観測ステーションが設置してあり、日射については直達と拡散および全天のそれぞれの日射量と照度および分光放射照度、風向風速(超音波式)、温湿度を計測している(写真1)。

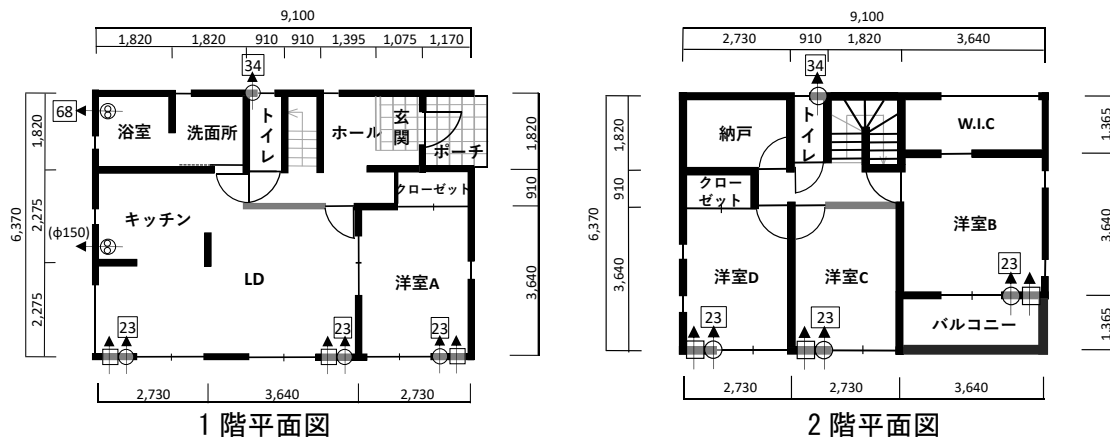


図1 実験住宅平面図

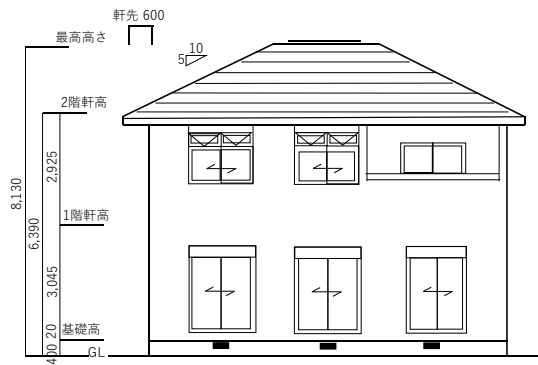


図2 南側立面図

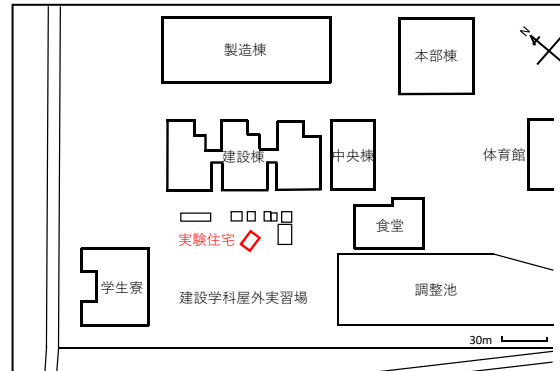


図3 配置図



写真1 校舎屋上の気象ステーション

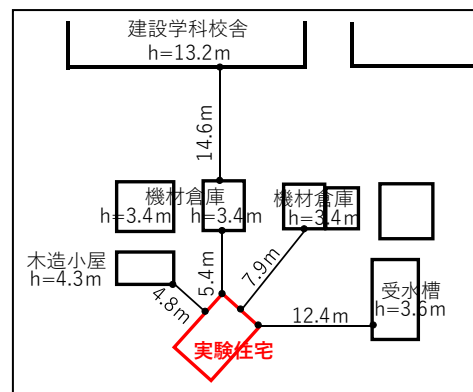


図4 配置図 (拡大)

2.2 主な仕様と特徴

外皮の断熱仕様、窓の仕様を表2に示す。外皮平均熱貫流率 (U_A 値) は $0.49 [W/m^2K]$ (現在の実験のための天井断熱1重敷で洋室D南窓が金属サッシでの値) であり、気密性能は $1.2 [cm^2/m^2]$ である。建設にあたり工夫した主な特徴を以下に示す。

- ・ 将来的に潜熱蓄熱材 (PCM) を敷設し、ダイレクトゲインによる省エネ性能を検証するため、その重量に耐えられる床構造とした。
- ・ リビング吹抜けへ比較的容易に変更できるようにした (図1の点線部)。
- ・ リビング直結階段に変更できるように、一部の間仕切り壁を取り除けるようにした (図1の灰色壁)。
- ・ セットバックバルコニーは、その天井懐や手すり壁通気層の換気の難しい、手すり壁が1階外壁と同一壁となるようにした。

2.2.1 小屋裏換気

- ・ 軒のみ換気方式と軒棟換気方式が実験できるように換気口を設置。さらに、換気口の偏りによる野地板結露の事故も多いことから、偏らせても基準²⁾通りの換気口面積を確保できるように通常より多く設置した (目張りにより調整する)。
- ・ これまでの研究³⁾で、居住部の24h換気方式の影響が大きいとの結果から、居住部の換気方式には壁付けファンにより、第1種と第3種換気方式の実験ができるようにした。

2.2.2 外壁通気層

- ・ 横長窓を1階LD西側と2階のWIC北側に設置。WICの窓は天井高さの中央部に取り付け、窓上下の通気層の状態を測定できるようにした。

2.2.3 床下空間

- ・ 基礎立上りに開口を設けた方式と基礎パッキン換気方式の両方を施工（目張りにより切り換える）。
- ・ 地中の温度や湿度を把握するため、地中各所に温度センサー設置、加えてスラブ下の防湿フィルムの上下に温度・湿度センサー設置した。

表 2. 実験住宅断熱仕様

部位	仕様	熱伝導率[W/mK]	厚さ[mm]
天井	高性能グラスウール 14K	0.038	155
外壁(充填工法)	高性能グラスウール 20K	0.034	105
浴室基礎立上り	押出法ポリスチレンフォーム 3種b	0.028	30
床	高性能グラスウール 36K	0.032	105
窓の仕様		代表的熱貫流率[W/m ² K]	
窓(洋室D南側)	金属サッシLow-E複層ガラス	3.49	
窓(上記以外)	樹脂サッシLow-E複層ガラス(アルゴンガス入)	1.31	

3. 今後の研究予定

3.1 測定種類と測定点数

実験住宅に設置予定のセンサーは、温度（熱電対）約 260 点、相対湿度は約 110 点、無指向風速計（小型の通気層内測定用）35 点、指向性風速計（換気口用）6 点、微差圧計は約 100 点、CO₂ センサー 52 点、温湿度センサー 11 点で、総測定点数は約 570 点と膨大な数である。なお、後に述べる各研究に共通して用いる、外部の風向風速計（超音波式）は、実験住宅北西部の北壁から 1.2m、西壁から 1.8m 離れた、地上から 9m の高さに設けている。また外気温湿度は、建物北側の東西方向の中央部で、壁から 1.1m 離れた高さ 2.6m の位置に、日射の影響を受けないようにアルミホイルの傘を作って設置した。なお、それぞれのセンサーの特性は本報末尾の付表 1 に示した。

3.2 耐久性向上に関する研究

3.2.1 小屋裏 野地板の小屋裏側表面では冬期に結露が発生し、この結露が長期間続くと野地板が腐朽する。この湿気の主なものは居室からの流入であるが、小屋裏内の絶対湿度を低減させ、湿害を防ぐために換気口の設置面積の基準が示されている³⁾。しかし、我が国の基準は地域の気候特性によらず一定で、かつ換気部材の通気特性を考慮しない単純開口面積での基準となっている。そこで、換気方式および気候特性に適した換気口の提示を行うことを最終目的として、まずは換気や温湿度の実態を把握するために実験を行う。センサー設置位置を図 5 に示す。野地板表面や空間の温湿度に加え、換気量を推定するために各方位の換気口に風速計と差圧計を設置した。

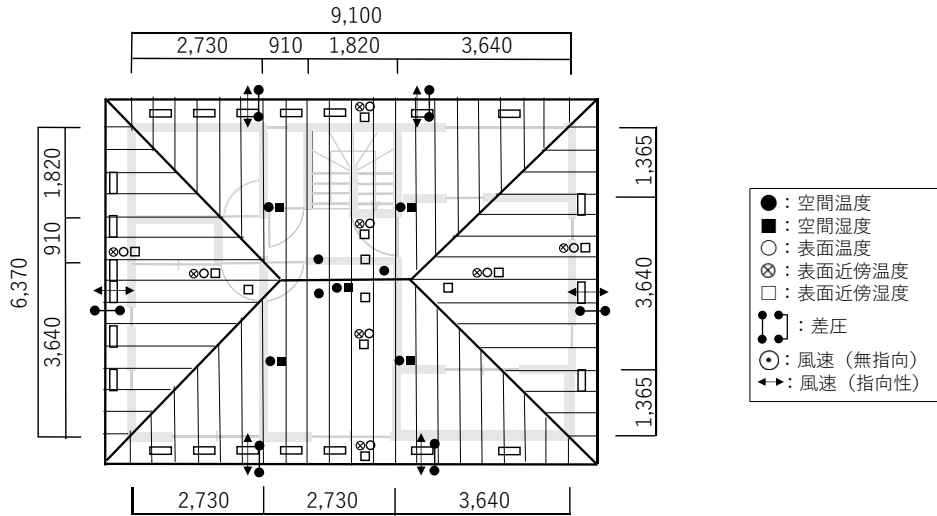


図5 センサー設置位置 (小屋裏)

3.2.2 通気層 通気層は外壁外装材の室内側に設けられ、冬期には室内側から壁体内に侵入した湿気を速やかに外に排出させ、断熱材の外気側で結露による腐朽を防ぐ。また、外装材の継目などから侵入した雨水が、躯体内に直接入らないようにする働きもある。ところが現実には、(横長)窓や横胴縁工法、外装サイディングのスターター、ファイアーストッパーなどによる通気および雨水排出を阻害する要因があり、事故例も多い。そこで実験住宅の各面に、様々な通気層の仕様を設けて、雨水が躯体内に入るメカニズムや乾燥性能の定量的な把握を行い、長期に躯体を維持できる設計・施工指針の提示を目的として実験を行う。センサー設置位置を図6に示す。なお、通気層の厚さは全て15mmである。



図6 センサー設置位置 (通気層)

3.2.3 床下 近年の住宅の基礎は、構造耐力の向上や衛生的な理由から、べた基礎として、基礎立上り天端と土台の間に通気用パッキンを設ける換気方式が主流となっているが、従来の基礎立上りに開口を設けた換気方式も多く存在する。これらの換気方式は、経験的に湿害のリスクが低かったことから普及してきたと思われるが、その換気性状は明らかになっていない。しかし、実際には床下空間のカビや結露などの湿害の事故も起きている。また、次節で述べる在来軸組み工法特有の、床下から間仕切壁内を經由して小屋裏まで隙間で連通しているため、それらを通る空気移動がある。これらの空気（湿気）移動を定量的に明らかにすることを目的として実験を行う。図7にセンサー設置位置を示すが、床下空間の温湿度、風速、外気や室内や間仕切壁との差圧に加えて、地中の温度とスラブ下の防湿フィルム上下に温湿度センサーを設置した。なお、地中については深さ2mと5mに、建物内4隅の測定点は外壁芯から1mの位置に、外気側は建物から2m離れた位置と西側には5m離れた位置に設置した。

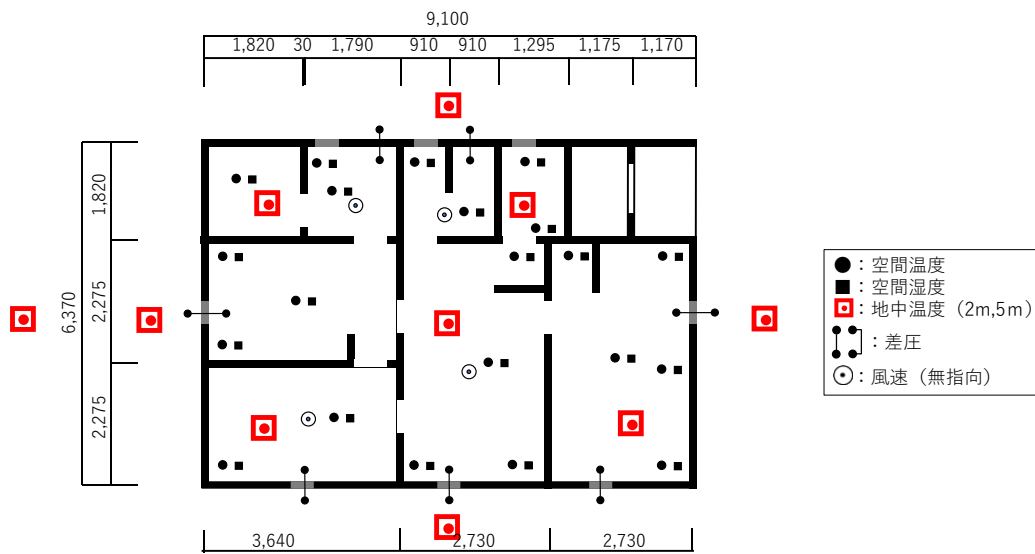


図7 センサー設置位置 (床下)

3.2.4 階間・間仕切壁 近年、我が国の各地で夏期の高温多湿化が進んできた影響とエアコン利用による、階間や小屋裏天井面でのカビの発生の懸念が報告されている⁴⁾。この原因となる湿気は外気からの流入と考えられるが、その経路として外気→床下→間仕切壁→階間（または小屋裏の天井断熱下）の湿気移動によるものが考えられる。また、冬期の3.2.1で述べた野地板結露の原因となる湿気は、間仕切壁上部からの室内湿気の流入が大きいことがわかっている⁵⁾。そこで、本研究では上に述べたような各経路、間仕切壁上下部や居室との間のコンセント・スイッチなどの隙間特性を明らかにし、床下、小屋裏や居室との空気（湿気）の流出入を把握し、様々な湿害への影響や対策を明らかにすることを目的とする。図8にセンサー設置位置を示す。

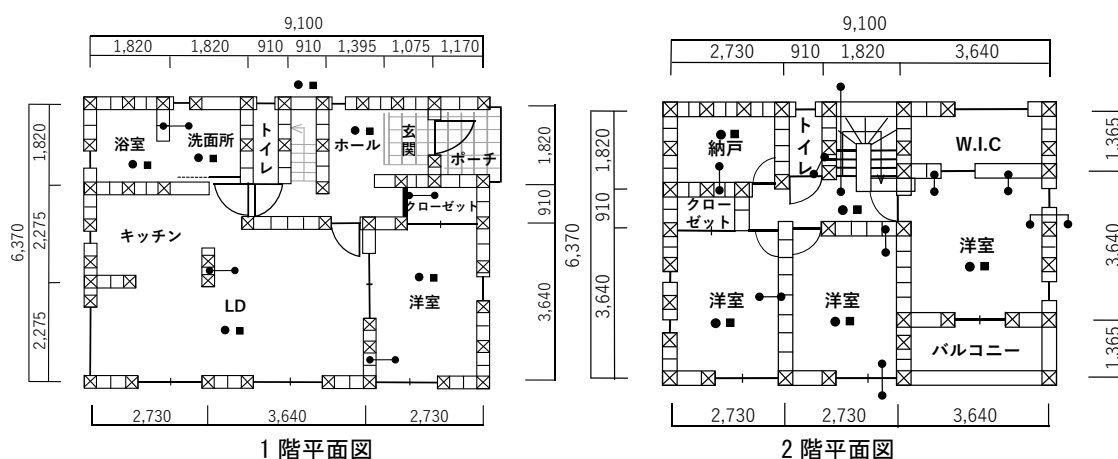


図8 センサー設置位置（間仕切壁・居室）

3.3 省エネ・快適性向上に関する研究

3.3.1 吹抜け空間 近年の住宅ではリビングに吹抜けを設け、リビングに直通する階段（リビング階段）を採用して、住宅全体がほぼ一体の空間となった設計が多くなっている。こうした居住空間において問題となるのが、冬期の暖房時に起こるドラフトによる不快感である。実際に居住者からは足元の気流による不快さが指摘されている⁶⁾。ドラフトの指摘される住宅には、階段室型階段や階段腰壁があることが共通しており、下降気流が拡散せず気流速が大きくなるために、問題になっていると推測される。この解決を目的として、将来、改修して実験する予定である。

3.3.2 潜熱蓄熱材利用 冬期に太陽熱を蓄熱して暖房エネルギーを削減する手法は、特に1970年代のオイルショック以降に盛んに研究された。当時はコンクリートや石への蓄熱（顕熱）が主流であったが、近年ではパラフィンや塩化カルシウムなどをアルミや樹脂にパックした潜熱蓄熱材（PCM）を用いた住宅が建設されている。PCMの利点は、同じ蓄熱量を得るのにコンクリートなどと比べて材積が小さくて済むこと、冬期に合わせた融点とすることで夏期には熱を貯めないことが挙げられる。ただ、実住宅規模での検証は少ない。そこで効果の検証と、適切な設計手法を提示することを目的とし、将来、床にPCMを敷設して実験を行う予定である。

3.3.3 自動通風・日射遮蔽 「窓開口の遮熱・断熱を考える研究会」（本学の久保准教授担当）の提案による研究である。アルミ窓または樹脂窓に外ブラインドを設置し、遮熱・断熱性による省エネ・室内環境向上効果の検証に加え、自動開閉の換気窓を設置し、自然換気による効果を検証することを目的とした実験である。外ブラインドの開閉、換気窓の開閉、エアコンの発停などを連動自動制御して、快適で省エネとなる制御手法を開発する。

3.3.4 昼光照明利用 昼光利用は照明用エネルギーの削減方法の一つであり、近年、様々な窓ガラスやブラインド等の昼光利用装置が開発されている。しかし、昼光の変動や昼光利用装置の光学特性を把握する簡易的な手法がなく、それらの効果の予測は簡単ではない。本研究では、これまでに提案した⁷⁾省エネルギー性能や視環境性能評価指標を実用化するために、測定手法の精度確認、気象条件の変動に対応した様々な昼光装置のデータベースを作成、各種装置への適用性の確認を行う。気象観測ステーションで観測される詳

細な昼光データと合わせることで、建物用途や窓方位毎に適切な昼光計画を行うことが出来るようになる。そのことにより、これまで昼光シミュレーションを行っていなかった規模の物件（住宅）にまで昼光照明設計を実施してもらうことも可能となる。日本工業大学伊藤准教授発案の研究である。

4. おわりに

本実験住宅で明らかになった知見は、学会などで発表し、基準への反映や設計・施工ガイドラインやガイドブックなどに著すことにより、社会に展開し、住宅の質の向上に努めていきたいと考えている。しかしながら、このようなフィールド実験を伴う研究は、シーズンまたは年間の測定結果から結論を導き出すものであるため、思うような成果が得られない場合は、修正してまた次の年に同様な実験を行うということも生じる。そのため、想定以上に時間がかかる可能性もあるが、ここに示した研究は粛々と進めていく所存である。

付表1 各センサーの特性

測定器	測定タイプ・メーカー	応答時間・精度など
温度センサー	T型熱電対	時定数: 6.1秒 (林電工社の測定を参照)
湿度センサー	抵抗変化型 TDK社製 CHS-UPS	精度: $\pm 3\%$ RH 応答時間: 1分(30 \leftrightarrow 85%)を100とした時の90%到達時間)
風速計 (軒裏換気口)	熱式風速計(指向性) KANOMAX社製 MODEL 6332 プローブ0962-00	プローブ精度(0.1~4.99m/s): $\pm 0.1\text{m/s} \pm 1\text{digit}$ 応答時間: 約1秒(風速1 m/s, 90%到達時間)
風速計 (通気層)	熱式風速計(無指向) トーニック社製 QB-5(変換器MONITOR-R)	プローブ精度: $\pm 5\%$ 以内 応答時間: 11秒(1m/s時90%到達時間)
微差圧計 (小屋裏・通気層・床下)	シリコンダイヤフラム式 長野計器製 GC-32(レンジ $\pm 50\text{Pa}$)	精度: $\pm 1.5\%$ F.S. 応答速度: 100ms以下
微差圧計 (間仕切壁)	フロー式 センシリオン社製EK-P5(レンジ $\pm 500\text{Pa}$)	精度: 0.1Pa+読み値3% 応答時間: 3m秒未満(変化の63%まで追従するのに要する時間)
CO ₂ センサー	NDRI方式 センシリオン社製・SCD30	精度: $\pm (30\text{ppm} + \text{読み値}3\%)$ 応答時間: 20秒(変化の63%まで追従するのに要する時間)
外部風向風速計	超音波風向風速計 GILL社製 ウインドソニック PGWS-100	風速精度: $\pm 2\%$ (12m/s時) 風向精度: $\pm 2^\circ$ (12m/s時) 応答時間: 0.25秒

謝 辞

本プロジェクトは、本文に挙げた関係団体・関係者の支援のほか、ものづくり大学「大学教育力・研究力強化プロジェクト」の採択を受け支援を頂きました。関係各位に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 国土交通省：社会資本整備審議会環境部会・交通政策審議会交通体系分科会環境部会，第36回合同会議，<https://www.mlit.go.jp/common/001386820.pdf>, 2021.02.12
 - 2) (独)住宅金融支援機構監修：木造住宅工事仕様書, 2019年版
 - 3) 穴澤みのり, 松岡大介：戸建住宅の小屋裏の換気性状と野地板結露防止に関する研究，その1 熱湿気・換気計算による各要素の影響分析，日本建築学会大会学術講演梗概集 DVD，環境工学Ⅱ，pp.929-930, 2020.09
 - 4) 出端祐輔, 小椋大輔ほか2名：住宅における冷房時の夏型結露に関する研究，一外気高温化の影響一，日本建築学会大会学術講演梗概集 DVD，環境工学Ⅱ，pp.921-922
 - 5) 松岡大介, 銚井修一ほか2名：軒裏換気方式における冬期の小屋裏温湿度性状に関する実験的研究，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 その1，日本建築学会環境系論文集，第79巻 第704号，pp.849-856, 2014.10
 - 6) 松岡大介, 松本泰輔：戸建て住宅の吹抜け空間における温熱環境形成に関する研究，その1 対流暖房時の上下温度分布と室内気流の測定，日本建築学会大会学術講演梗概集. D-2, 環境工学Ⅱ, pp61-62, 2007.07
 - 7) 谷口智子, 岩田利枝, 伊藤大輔：配光曲線を用いた窓装置性能評価，照明学会全国大会講演予稿集，2016.8
-