

基礎断熱の底盤内に電気ヒーターを入れた住宅の温熱測定* —福岡市内の戸建木造住宅（展示場）の深夜電力利用の床下温湿度—

須 貝 高**
石 田 卓**
岡 部 省 吾**

Thermal Measurement of Housing put an Electric Heater in the Bottom Panel of the Basic Insulation — Temperature and Humidity of Underfloor of Detached Wooden House Using the Midnight Power (Exhibition Center) in Fukuoka City —

Takashi SUGAI**, Taku ISHIDA** and Shogo OKABE**

The elderly is increasing more and more in Japan. Elderly and high blood pressure who often succumb to a stroke in the house. Since the stroke occurs in the non-heated space, it's necessary to heating the space.

In this paper, our detached wooden house was adopted underfloor heating (introduction of a midnight power), basis insulation and total enthalpy heat exchanger of underfloor, so as to measure the temperature and humidity over a year. The underfloor heating put an electric heater in the concrete at the dirt floor, and heat under the floor. It's possible to reduce the temperature difference between the floor temperatures of indoor by the underfloor heating. As an experimental result that temperature and humidity of summer and winter and rainy season were a good environment.

Key Words : Wooden House, Basic Insulation, Underfloor Heating, Temperature, Humidity, Midnight Power, Electric Heater

1. 目的

日本では高齢者がますます増加している。住宅内の暖房していない空間、特に水廻り空間では高血圧者・高齢者などが脳卒中などで倒れるケースも多々ある。そのため、非暖房空間である水廻り空間も含めて1階を全て暖房しなければならない。

そこで、本論文ではその対策を実践している住宅の温湿度環境を測定した。その内容は、基礎断熱工法にして、基礎の底盤内（土間コンクリートの水平箇所）に電気ヒーターを入れ床下空間を暖房することによって、全室が

床暖房になる。1階のロビーの床面から温風が出て、2階のドアのアンダーカットを設け、各室の暖房を行う方式である。暖房は深夜電力（22～8時、昼の電気料金の約35%安価）を利用し、コンクリートに蓄熱させている。また、基礎断熱では竣工時からコンクリート内に入っている水分が床下に発生して、カビや腐朽菌が繁殖することもある。

さらに、それを解決するため、外気を取り入れ、室内からの排気を床下に設置した全熱交換器による換気を通して排湿するようにしている。その住宅が、どの程度の温湿度環境になっているのかを明確にする。対象とした戸建木造住宅（展示場）の所在地は福岡市西区富士見である。

* 平成26年11月30日受付

** 建築学科

2. 住宅概要

2-1. 住宅の平面図・全体の様子

図1に戸建て木造住宅の床伏図及び1・2階の平面図を示す。写真1にレンガ貼りの戸建て木造住宅の外観を示す。

2-2. コンクリートの底盤内全体に電気ヒーターを入れた状態

図2に底盤のコンクリート(厚み150mm)の上部に電気ヒーターを入れた。写真2は床下の基礎の垂直部には発泡系断熱材を施工している。

2-3. 住宅内の温湿度センサー

住宅内の床下及び1階の床面の温湿度センサーは表1に示す。なお、外気の温度は前原の気象データを使用し(前原では湿度を観測していない)、外気の湿度は福岡の気象データを使用した。

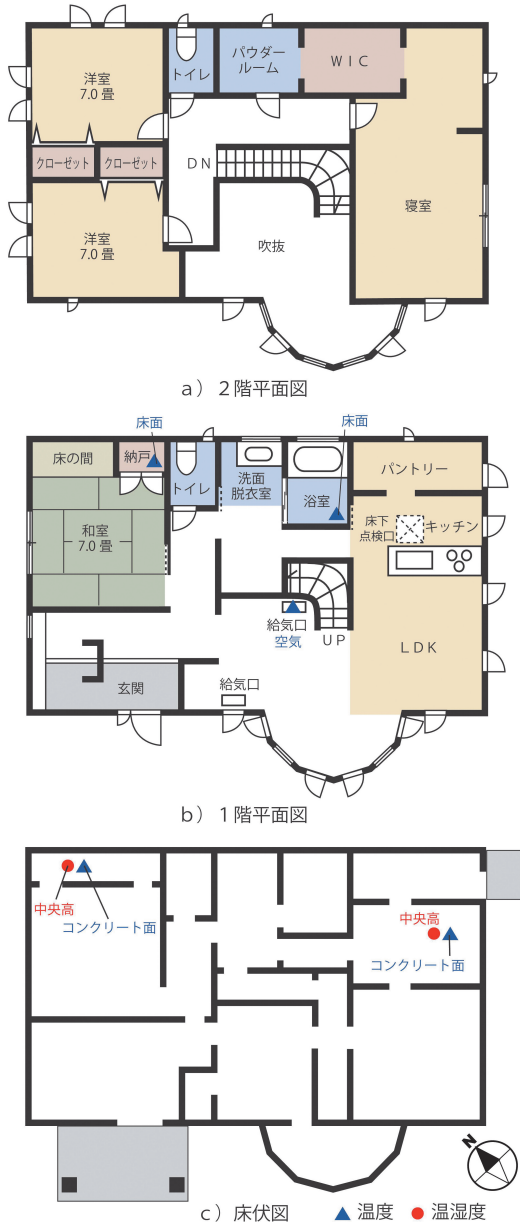


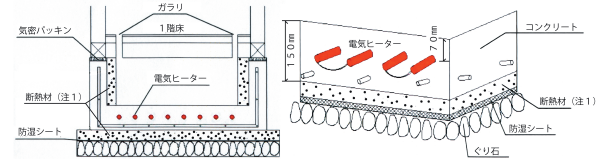
図1 戸建木造住宅の床伏図及び1・2階の平面図



写真1 南西面からのレンガ貼りの戸建て木造住宅の外観



写真2 床下内の基礎の垂直部の断熱材(A種押出法ポリスチレンフォーム保温板3種・50mm)



(注1) A種押出法ポリスチレンフォーム保温板3種(厚・50mm)



図2 基礎の底盤内全体に電気ヒーターを入れた状態

表1 住宅内の温湿度センサー

場所	室名	温度	湿度	写真の番号
床下 コンクリート	点検口	○	—	写真3のa)
	和室	○	—	—
床下中央高	点検口	○	○	写真3のa)
	和室	○	○	写真3のb)
1階吹出口	ロビー	○	—	—
1階床表面	和室の納戸	○	—	写真3のc), d)
	浴室洗い場	○	—	写真3のe)

2-4. 住宅の全体的な換気・暖房・冷房についての概要

図3に示すように、住宅内は省エネルギー化を目的として床下に住宅全体の換気を0.5回/hにして、全熱交換器を使用し、外気からの給気を行ないながら、各室毎からダクトで集めてきた排気を床下の全熱交換器に入れ、排気をしている。冬季は床下内にある床暖房で暖めながら、1階床部に給気口を設け、室内に吹き出している。2階の各部屋は床下から1階からの暖気をドアのアンダーカットから給気している。排気口は全室の床面に1箇所設けている。排気はチャンバーで床下に集め、全熱交換器に入れる。それによって外気からの給気の温・湿度を高めている。また、排気は各室毎にチャンバー内に物が落ちないようにしている(写真3のd)。

一方、夏季は2階にエアコンを1箇所設けて、冷房すると共に、除湿を行っている。そのため全熱交換で外気の湿気を取り除いていると共に外気からの暖気を冷やしている。



a) 床下中央高の温湿度及び床下点検口のコンクリート面の温度
 b) 和室中央高の温湿度及びコンクリート面の温度
 c) 和室の納戸の温度 (円形の排気口)



d) 納戸の温度 (円形の排気口)
 e) 浴室の床面の温度

写真3 床下及び1階の床部の温湿度センサー



図3 住宅の換気・暖房・冷房の概要¹⁾

3. 梅雨季・夏季における温湿度, 結露分析, 土台の含水率 (期間: 2012年6/15~8/24, ただし, 電磁波測定のため床下ヒーターをONにしたため, 6/22~25は除く)

3-1. 梅雨季・夏季の床下における温度の分析

床下部の温度は梅雨季の図4 (期間: 2012年6/15~6/20) では, 約24.0~26.5℃で, 点検口の床下中央高がコンクリート面より1℃高くなっており, 安定した温度である。夏季の図5 (期間: 7/15~7/22) では外気温度34~36℃になっているにもかかわらず, 点検口の中央高は26~29℃である。ここで点検口の床下中央高がコンクリート面よりも約1℃高くなっている。その理由は外気を流入したが, 全熱交換器が作動していても多少高くなっている。コンクリートの温度は両者とも近い値である。表2は2012年6/15~8/24の床下の温度を示しており, 外気の最高温度は37.4℃でも, 点検口の床下中央高は, 最高では29.8℃と低い値になっている。これも全熱交換器の効果である。さらに最低値は23.9℃である。

表2 温度の最高・平均・最低値

2012年6/15-8/24(6/22-25は除く)

温度	最高値	平均値	最低値
外気(前原気象データ)	37.4	27.2	17.8
床下コンクリート面(点検口)	28.9	27.1	24.4
床下中央高(点検口)	29.8	27.8	24.4
床下中央高(和室)	29.1	27.2	23.9
床下コンクリート面(和室)	28.8	27.0	24.0

3-2. 梅雨季・夏季の床下における相対湿度, 含水率の分析

A. 測定期間の分析

床下の相対湿度は80%以下であれば, 確実に腐朽菌の繁殖, 白蟻の被害はない。図6に梅雨季, 図7に夏季の相対湿度を示す。特に外気が入ってくる全熱交換器のある点検口の近くは相対湿度が高くなっている。図6・7から外気相対湿度が高くても, 図6では最高で74%, 図7では79%である。

また, 表3に示すように, 6月15日~8月24日の最高値は, 点検口の床下は79%, 和室の床下は73%で, 平均値は68~69%と低い。この時期に入ってくる外気の湿気の最高値は97%であるが, 室内の排気が床下の全熱交換器で熱・湿気が交換されているため点検口は79%である。また, 他の理由は, 2011年5月に竣工されており, その間の冬に床下全体を暖房しており, 床下の木材等の含水率が低く梅雨季・夏季は外気からの湿気を吸湿してくれるためである。

表3 相対湿度の最高・平均・最低値

2012年6/15-8/24(6/22-25は除く)

相対湿度	最高値	平均値	最低値
外気(福岡気象データ)	97.0	75.1	26.0
床下中央高(点検口)	79.0	69.0	46.0
床下中央高(和室)	73.0	68.4	57.0

次に含水率について測定した。一般的に床に断熱材を入れ床下換気口を設ける住宅が多く, 床下には日射が当たらず, 高湿時, 雨天時には床下は高湿になる。高湿になった床下では木材が吸湿して含水率が高くなる。腐朽菌に対する含水率は25%以上で生育域, 30%以上で増殖域である。

そこで, 2012年8月21日には床下の構造材の含水率を測定した。スギ材の土台・大引は, いずれも含水率9.5%と圧倒的に低く, 極端に乾燥しており, 他の材料は低すぎて測定できなかった。構造材の低含水率は耐久性・耐震性が向上させる可能性があった。

B. 相対湿度の頻度分析

図8に相対湿度の頻度分布を示す。外気が侵入する点検口(全熱交換器)の箇所できく変動しており, 特に75~80%は点検口のみである。しかし60~75%までは点検口の値が多少高いのは, 外気が入ってくるためである。ここで床下点検口の頻度の全体総数(図8の床下点検口の総数)は1,678(回)で, その内75~80%の日数は105日であり6.3%と, 極めて少ない。和室の床下相対湿度が多少低いのは, 冬季の床下の暖房による木材の乾燥による吸湿のためである。以上から床下は梅雨季・夏季でも相対湿度が80%以下と乾燥していることが分かった。

3-3. 梅雨季・夏季の床下における絶対湿度の分析

A. 測定期間の分析

図9に7/10から7/22の絶対湿度を示す。床下の点検口付近にある全熱交換器は多湿な外気を取り入れるため, 点検口付近は多少湿気の量が多い。一方, 和室の床下は点検口から入る湿気は冬に床下内を暖房しているので, 乾燥した木材が吸湿してくれるので, 低い値を示している。外気の絶対湿度に対して床下内の値は相当低いことが分かる。

B. 絶対湿度の頻度分布

図10は絶対湿度の頻度分布を示す。絶対湿度20g/kg'以上は外気のみである。また外気の高湿な日は, 18~20g/kg'で, 点検口が高い。その他では点検口と和室はほぼ同値(平均値では点検口16.3g/kg', 和室は15.6g/kg'とほぼ同じ)である。その理由は床下の全熱交換器の効果と冬季暖房している床下の材料が乾燥しているので吸湿していると考えられる。

3-4. 湿気が多い梅雨季・夏季の床下空間の結露の分析

一般に床下内では, 最も結露し易いのはコンクリート面である。さらに床下空間内の結露の危険性についても分析する。

A. 点検口のコンクリート面での分析

最も湿気の入ってくる点検口のコンクリート面の温度と床下中央の露点温度の差を分析すると, 6~8月の中で最も差が小さいのは7月中であり, 図11・aに示した。最も温度が小さいのは7月1日の2.9℃であり, 安全側

であった。その理由は2つある。1つは外気の入ってくる空気と家全体の排気との熱・湿気を全熱交換するための換気扇の効果である。さらに冬季の間に床下暖房され、その乾燥した木材が吸湿してくれたためである。

B. 点検口の中央高の分析

両者の最低温度差は図 11・b をみると、7 月中の 4.0℃であり、安全側であった。

C. 和室のコンクリート面での分析

両者の最低温度差は図 11・c をみると、7 月中で 4.8℃であり、安全側であった。

D. 和室の中央高の分析

両者の最低温度差は図 11・d をみると、7 月中で 5.2℃であり、安全側であった。

以上から湿気の多い梅雨季・夏季には床下では結露が発生しないことが分かった。

4. 床下内の深夜電力利用による電気ヒーターを入れた全室床下暖房時の測定

4-1. 冬季の床下における温度の分析

測定期間は 2013 年 2 月 10 日～3 月 5 日まで分析する。図 12 に戸建木造住宅の温度を示す。測定住宅の床下暖房の区割はブレーカーが 9 個あり、ON、OFF が出来るように分けて、暖房ができるようにしている。また各々の温度調節もできる。今回の測定では和室は寝室でもあるので就寝時は暖房を入れていない。また、展示場の住宅であるため、出入りのお客様が多いので、他の箇所は多少高めの温度にしている。

今回の和室のコンクリートの温度は 20～23℃で、さらに床下中央高は 20～25℃である。それに対して点検口のコンクリート面の温度は 30～49℃と高く、床下中央高は 26～37℃と高い温度である。和室のコンクリートが暖房していなくても温度が高いのは、周囲のコンクリートの温度が高いため、コンクリートが熱を伝えてくると共に、床下の熱気が流動しているからである。また 1 階のロビーの給気口の温度は 28～36℃で熱気が室内に流入している (図 13)。浴室の床面温度は 26～32℃と高い値であるが、実際に居住者がいれば温度は低くすることができる。和室の納戸の床面温度は 21～27℃の温度であり、床下の熱が流れてきている。

4-2. 冬季における床下の相対湿度の分析

図 14 に戸建木造住宅の相対湿度を示す。床下の底盤内の電気ヒーターで暖房している点検口の床下中央高の相対湿度は 10～23%と極めて低湿である。また無暖房の和室の床下中央高は温度の範囲は点検口に比べて約 4～10℃低い、床下の熱気が流動しているため 22～38%になっている。このように低い値であるので、床下の木材などは大変乾燥しており、強度が向上し、高耐久化につながっている。

4-3. 暖房中及び無暖房中における床下のコンクリート面及び中央高の温度と露点温度

暖房中の点検口下部の 2 箇所、及び無暖房中の和室下部 2 箇所と露点温度との平均値の差を表 4 に示す。

表 4 床下の各部と露点温度との平均値の差

床下	各部	床下の各部 — 露点温度	結露
暖房中 点検口の床下	床下コンクリート面	38.6	しない
	中央高	31.2	しない
無暖房中 和室の床下	コンクリート面	18.9	しない
	中央高	20.6	しない

いずれにしても基礎断熱して床下を暖房すると、結露は発生しない。さらに最も差の少ない無暖房中の和室のコンクリート面と露点温度との差は 18.9℃と安全側になっている。

4-4. 冬季の床下における絶対湿度の分析

床下の絶対湿度をまとめたのが図 15 である。外気の絶対湿度が高い時には、外気を取り入れる距離の近い点検口の床下が高くなる。一方、距離のある和室の方も次に上昇する。外気が低い時には点検口の方が低くなっている。つまり全熱交換器を使用しているので外気の影響を受ける。このように住宅全体を換気する住宅では全熱交換器の良さが発揮できている。

5. まとめ

基礎断熱で外気と室内からの排気を全熱交換器を入れた戸建木造住宅 (展示場) の梅雨季、夏季における床下の温湿度などの測定を行ない、さらに冬季には床下の底盤内に深夜電力利用による電気ヒーターを入れた全室 (和室を除く) 床下暖房時の床下の温湿度を測定した。その内容をまとめる。

5-1. 梅雨季及び夏季の温度、相対湿度、絶対湿度、結露発生の有無、含水率の分析

A. 外気の最高温度が 37.4℃であっても、床下の温度は 23.9～29.8℃と低い温度であった (表 2)。相対湿度は外気が全熱交換器を通して入ってくる点検口の最高の値は 75～80%であるが、頻度は全体総数の中で 6.3 (= 105 ÷ 1678 × 100) %と低かった。また床下中央高 (点検口・和室) の平均相対湿度は 68%と低かった。

B. 外気の絶対湿度は最も高い値で、次は床下点検口である。このように外気よりも基礎断熱をすることによって低い値であることが分かった。

C. 結露対策については湿気の高い外気の入ってくる点検口のコンクリート面が最も結露の危険性が高いが、最少温度差は 2.9℃ (図 11・a) あり、結露発生がないことが分かった。

D. 土台の含水率は9.5%と圧倒的に低い値であり、他の材料は低すぎて測定できなかった。

5-2. 冬季における床下内に深夜電力利用による電気ヒーターを入れた床下暖房時の分析

A. 住宅の床下暖房の区割はブレーカーが9個あり、和室は就寝時は暖房しない。他の箇所は暖房されているので、和室の納戸の床面温度は21～27℃であった。また、ロビーの給気口の温度は28～36℃であり、1階を暖房しながら2階も暖房していることになる。展示場の住宅なので温度を高い温度にしているが、実際には温度調節ができる。

B. 床下の点検口の相対湿度は10～23%と極めて低い。和室の床下の相対湿度は23～38%と低く、床下については極めて安全側である。そのため木材の強度が上昇し、高耐久化につながっている。

C. 外気の絶対湿度は最も高い値であり、その影響を受けるのは床下の点検口である。しかし、全熱交換器によって低い値を示している。

謝辞

(株)みぞえ住宅の方々には測定に際し、ご協力を頂きました。ここに記して、心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (株)マーベックスのカタログ：「地中熱を利用した換気システムをウリにしませんか？」

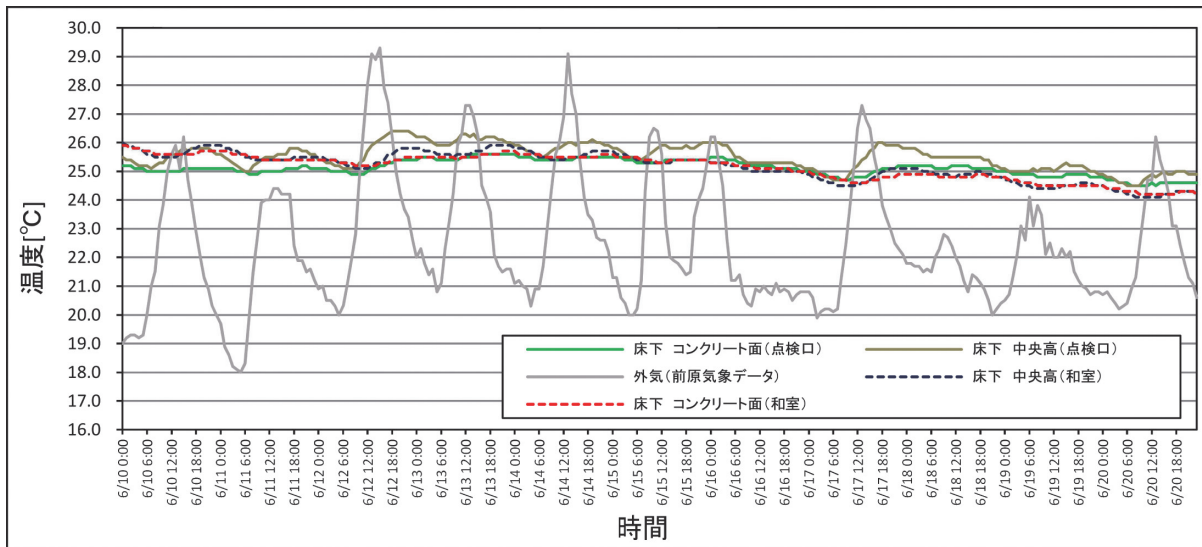


図4 戸建木造住宅の梅雨季の温度 (期間：2012年 6 / 10 . 0 : 00 ~ 6 / 20 . 23 : 00)

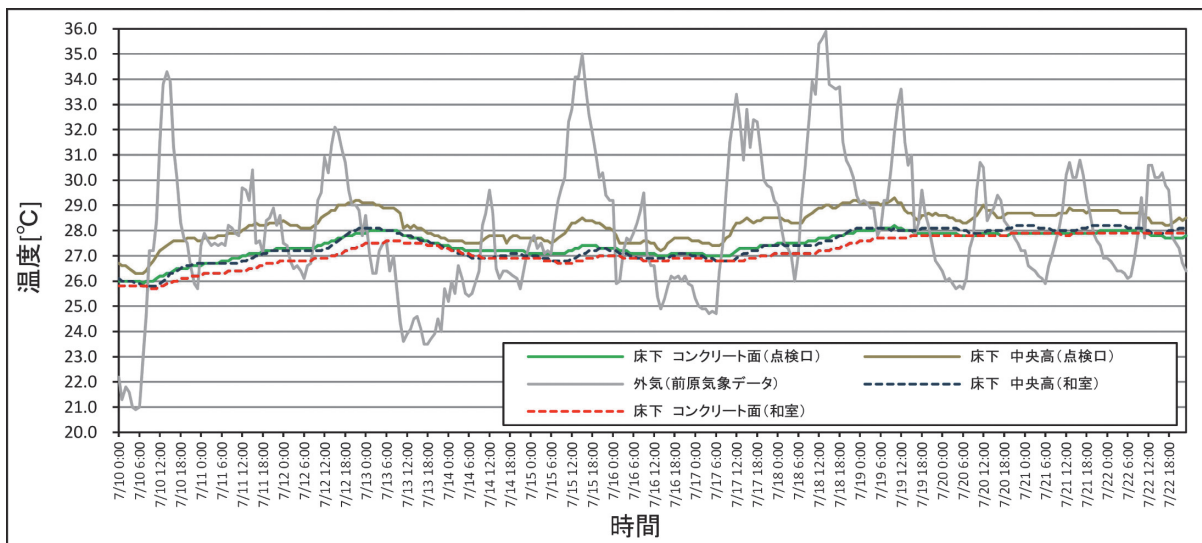


図5 戸建木造住宅の夏季の温度 (期間：2012年 7 / 10 . 0 : 00 ~ 7 / 22 . 23 : 00)

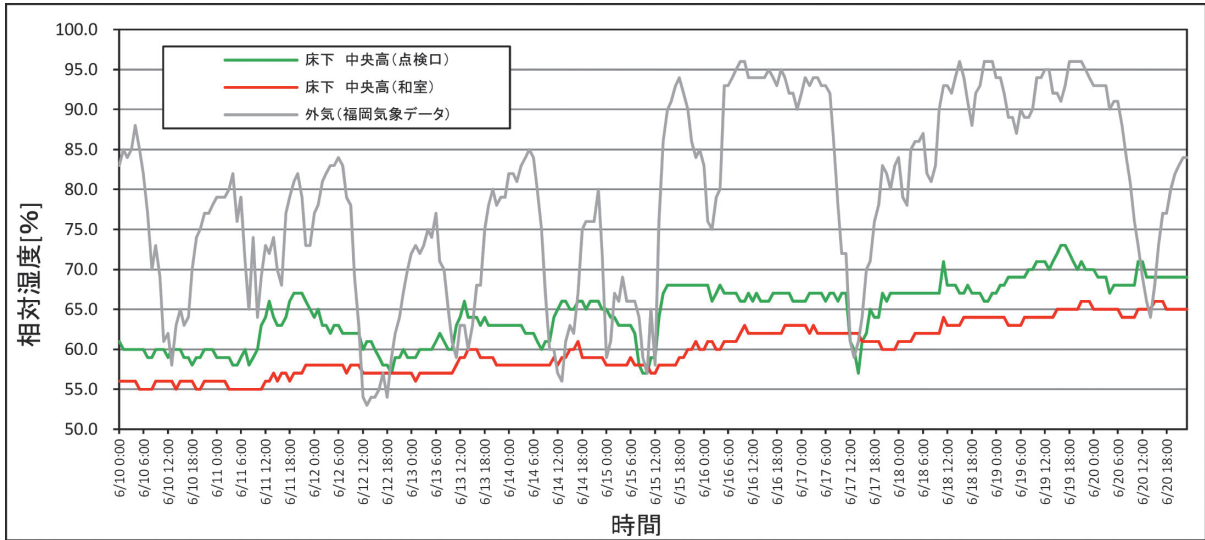


図6 戸建木造住宅の梅雨季の相対湿度 (期間: 2012年 6 / 10 . 0 : 00 ~ 6 / 20 . 23 : 00)

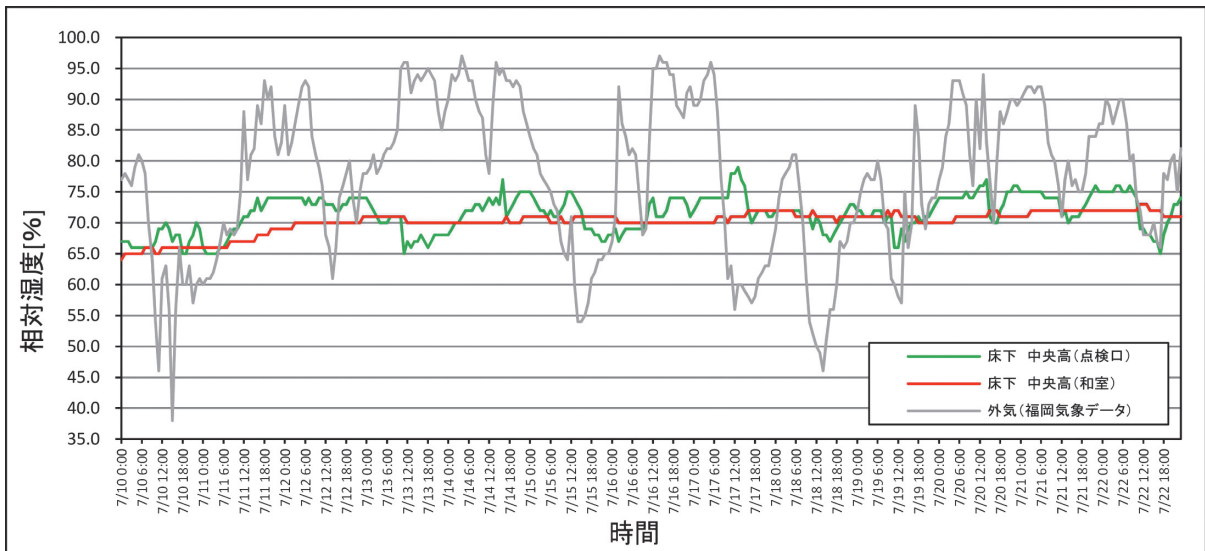


図7 戸建木造住宅の夏季の相対湿度 (期間: 2012年 7 / 10 . 0 : 00 ~ 7 / 22 . 23 : 00)

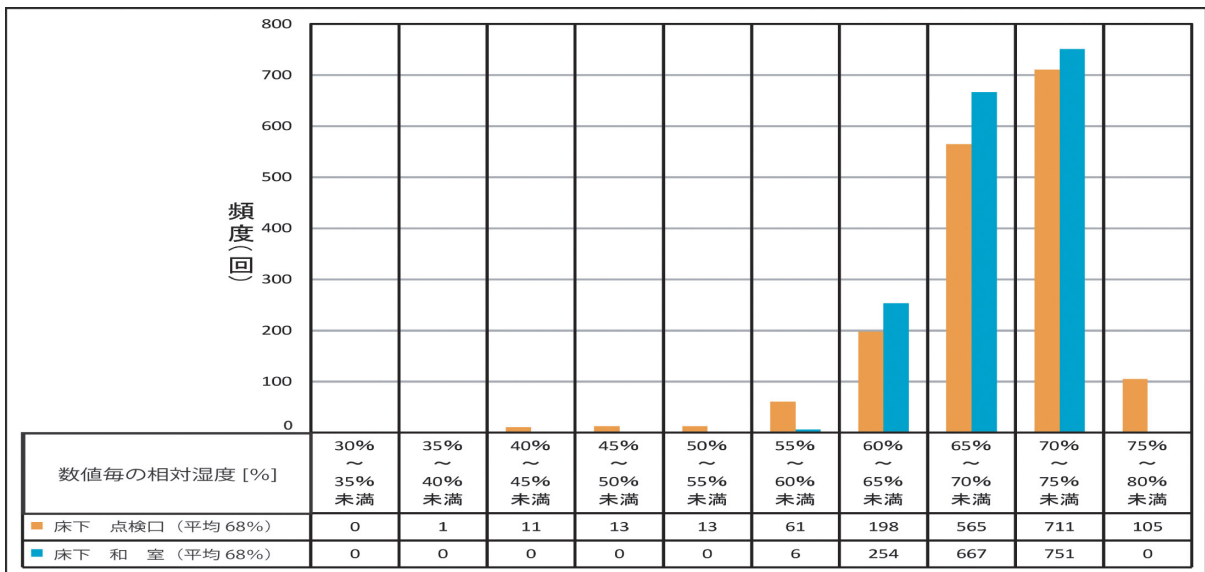


図8 戸建木造住宅の相対湿度の頻度分布 (期間: 2012年 6 / 15 . 14 : 00 ~ 8 / 24 . 11 : 00)

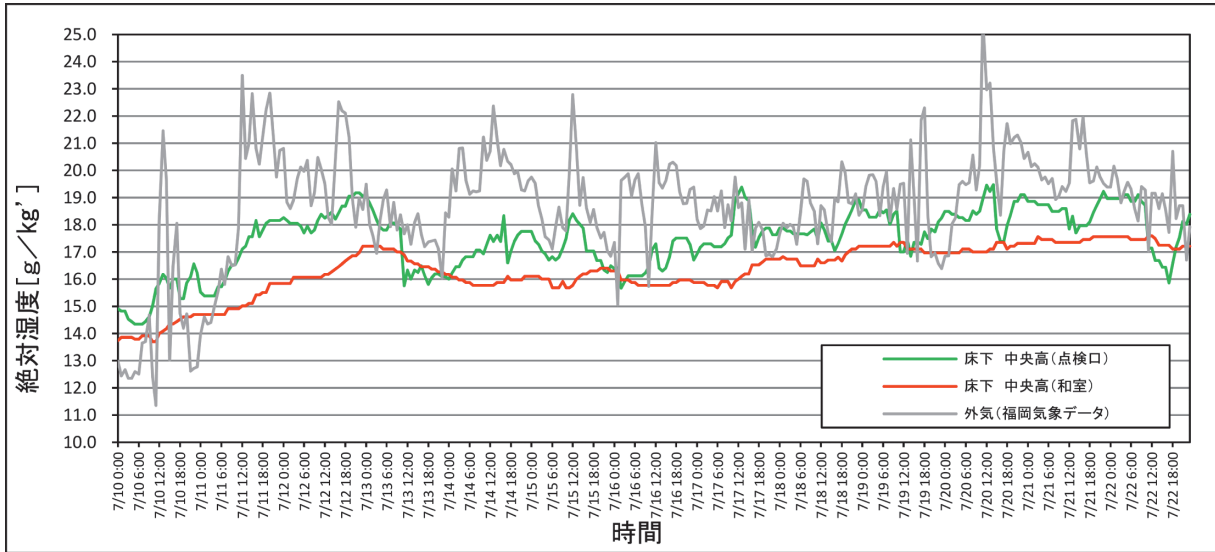


図9 戸建木造住宅の夏季の絶対湿度 (期間: 2012年 7 / 10 . 0:00 ~ 7 / 22 . 23:00)

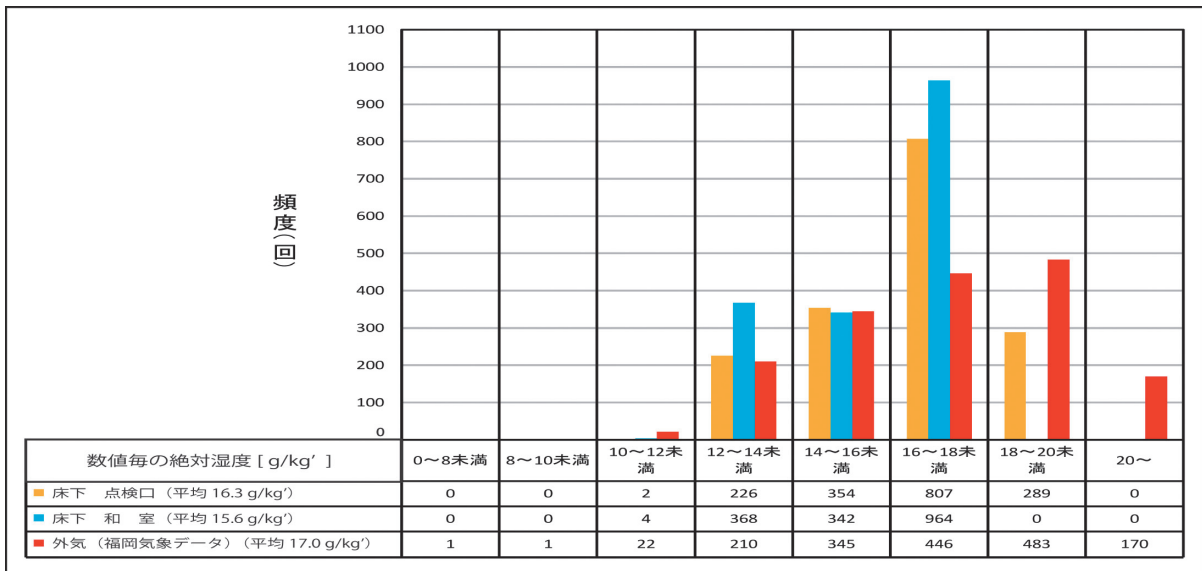


図10 戸建木造住宅の絶対湿度の頻度分布 (期間: 2012年 6 / 15 . 14:00 ~ 8 / 24 . 11:00)

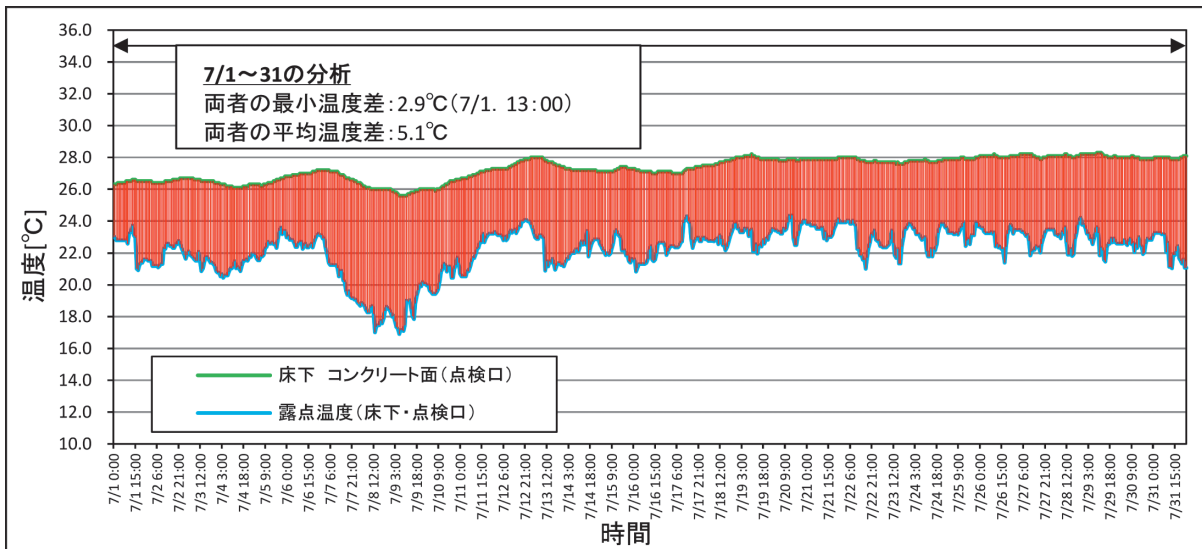


図11・a 戸建木造住宅の床下点検口下のコンクリート面温度とその上部の床下中央高の露点温度 (期間: 2012年 7 / 1 . 0:00 ~ 7 / 31 . 23:00)

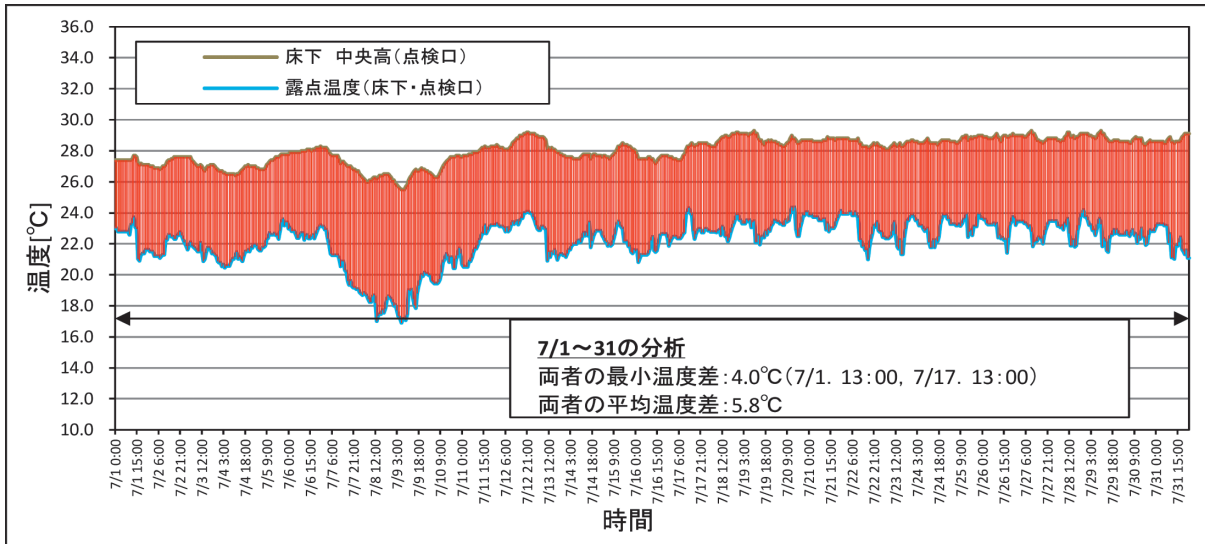


図 11・b 戸建木造住宅の床下点検口の中央高の温度と露点温度
(期間：2012年 7 / 1 . 0 : 00 ~ 7 / 31 . 23 : 00)

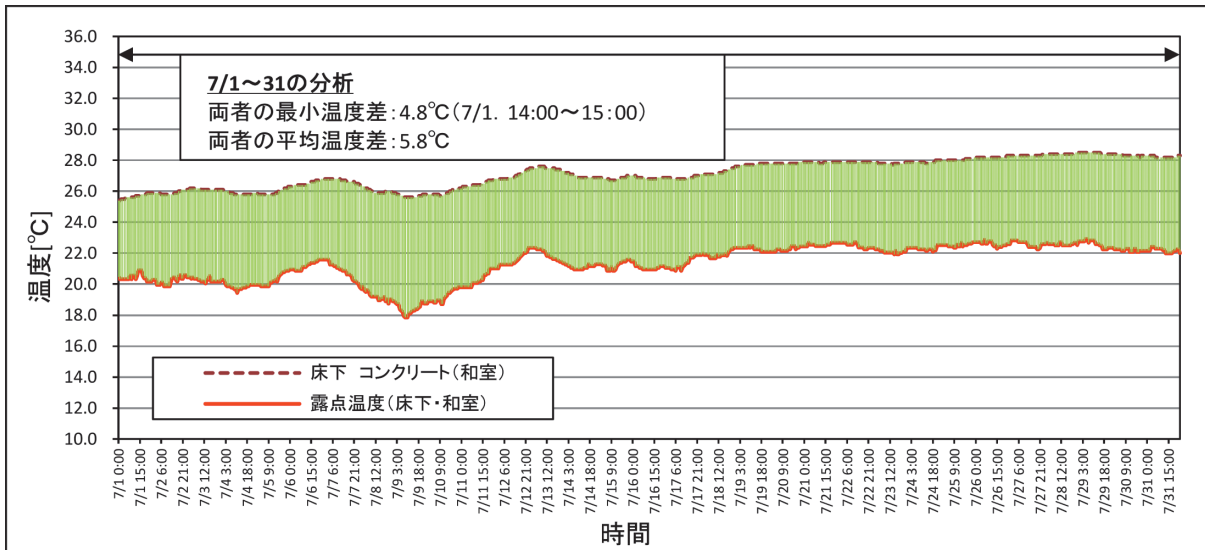


図 11・c 戸建て木造住宅の和室下のコンクリート面温度とその上部の床下中央高の露点温度
(期間：2012年 7 / 1 . 0 : 00 ~ 7 / 31 . 23 : 00)

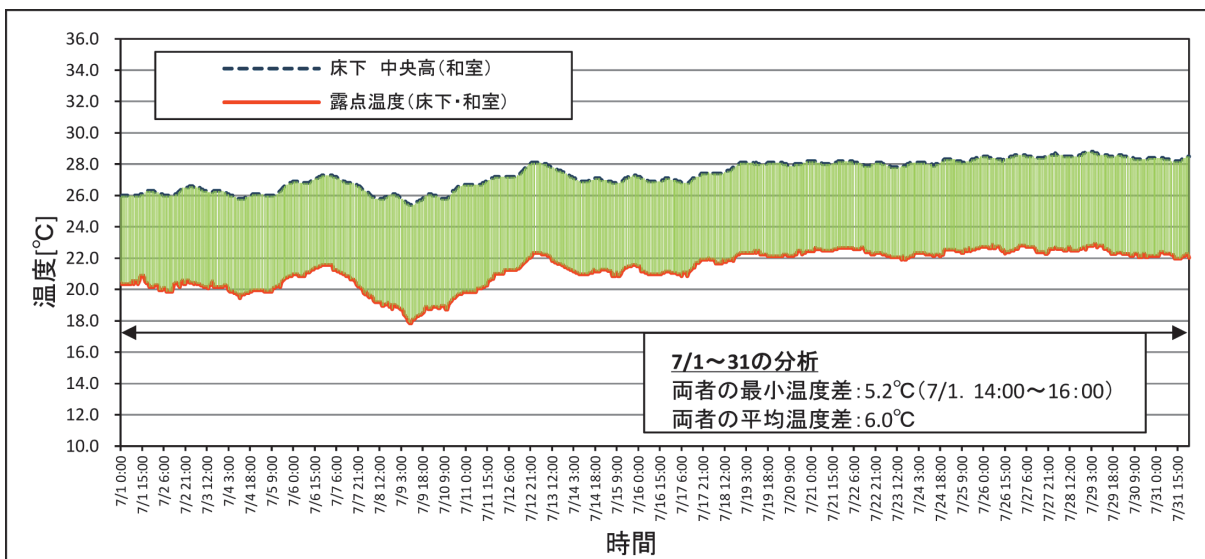


図 11・d 戸建木造住宅の和室床下の中央高の温度と露点温度
(期間：2012年 7 / 1 . 0 : 00 ~ 7 / 31 . 23 : 00)



RG: 1 ϵ : 1.00 SC: NORM

12/02/07

17:24:27

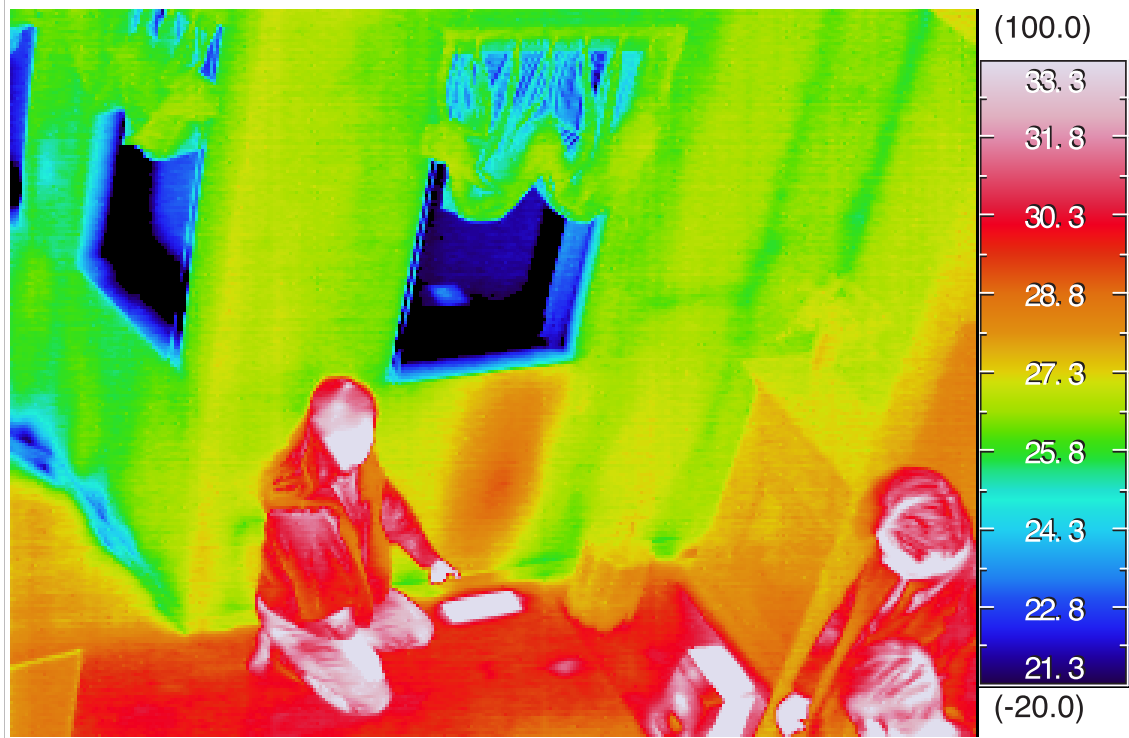


図 13 1階ロビーの吹出温度は28~36℃, 床面温度30℃

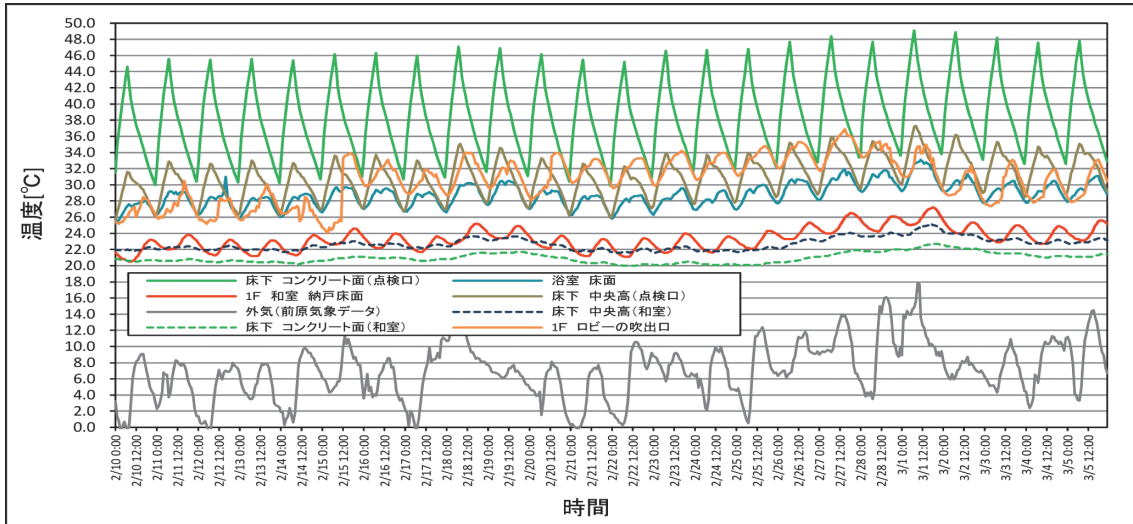


図 12 戸建木造住宅の冬季の温度 (期間：2013年 2 / 10 . 0 : 00 ~ 3 / 5 . 23 : 00)

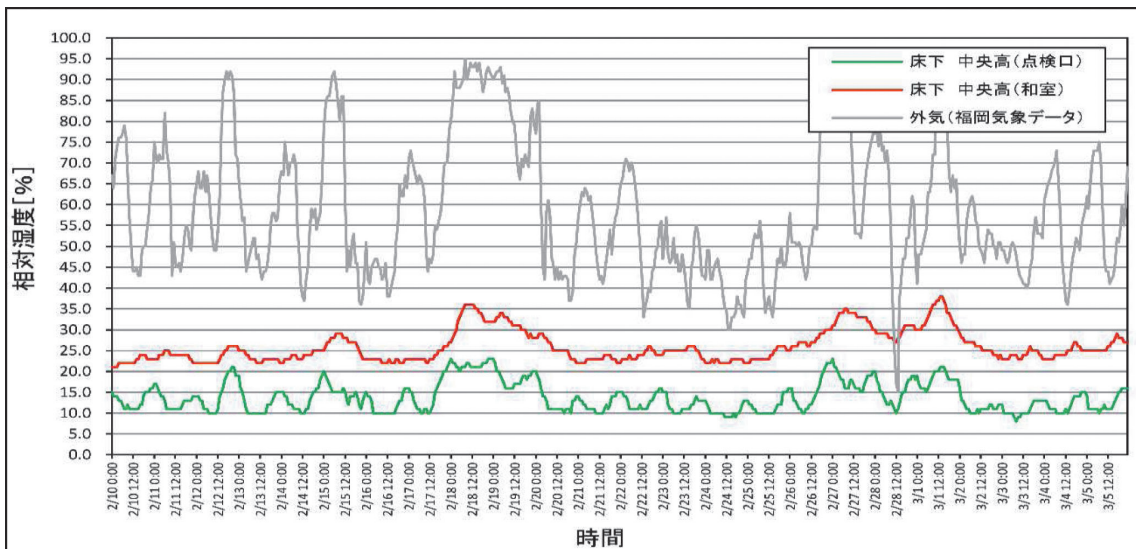


図 14 戸建木造住宅の冬季の相対湿度 (期間：2013年 2 / 10 . 0 : 00 ~ 3 / 5 . 23 : 00)



図 15 木造住宅の冬季の絶対湿度 (期間：2013年 2 / 10 . 0 : 00 ~ 3 / 5 . 23 : 00)