

解 説

住宅内の熱環境評価

佐藤真奈美

(受取日：2008年11月15日，受理日：2008年12月26日)

An Evaluation of Hygrothermal Phenomena in Dwelling House

Manami Sato

(Received November 15, 2008; Accepted December 26, 2008)

In this paper, I note the relation between architectural environmental engineering and calorimetry & thermal analysis with some results of my research.

There are many moisture damages (mold growth in room, moisture condensation on finishing materials or windows *etc.*) in a dwelling house that has low adiabatic performance. It has recognized that ventilation is fundamental method to avoid moisture damage. Recently, the degree of adiabatic performance of a dwelling house has been improved. Consequently, there is few difference of temperature among the rooms. And moisture damage occurred in a dwelling house has been decreased. However, the important problem for relative humidity of indoor air has been recognized. The low relative humidity of indoor air exceeds the comfort limit for person

In this paper, I show distribution of moisture ratio in a real LDK (living dining room connects kitchen) when steam arise from a pan during 50 minutes. And I show control procedure of relative humidity in a room heated by air conditioner to utilize desorption of finishing materials.

Keywords: distribution of relative humidity; desorption of finishing materials; moisture damage in dwelling house

1. はじめに

建築環境工学は建築学の一つの研究領域である。本報では建築環境工学で熱問題を扱った研究例を示し、建築と熱測定の関係解説したい。

春，湿り気を含んだ風に運ばれる香，庭の沈丁花。

夏，淀んだ生暖かい闇の中で瞬く庭の蛍。

秋，涼やかな風と鈴虫の音。

むかし，私たちは季節の移ろいを「いえ」の内で四季折々に感じる事ができた。日本の「いえ」は外と内の区別がきわめて曖昧で，季節の移ろいは「いえ」を吹き抜ける風，どこからともなく入ってくる隙間風によって運ばれ

た。内外の区別なく風が行き来し，居ながらに光，香りを感じ，音を聞く。空気の行き来を邪魔する物を極力排除した「いえ」では，温暖な気候条件下，冬の乾いた寒さ，夏の湿っぽい暑さへの少々の我慢を除けば四季を概ねしのぎやすく過ごすことができた。

時が流れ，「いえ」の内外を明瞭に区別し，自然の移ろいにかかわりなく，私たちはいつでも快適な環境を手に入れる技術を持った。ひとにとって快適な「いえ」は風を通しにくい壁や床，屋根（以下，建物外皮と呼ぶ）で外から区切られた空間となった。一年を通じて快適な空間を手に入れたはずの私たちだったが，快適な空間内では新たな問題も発生した。結露，カビ・ダニ・菌類発生，過乾燥，室内

空気の化学物質汚染……。

本報告では快適な環境を造り上げたいと願った「いえ」の内で発生する問題とその解決法を検討するためにおこなった現象の測定と測定結果について示す。

2. 快適な「いえ」

本報で考える快適とは「いえ」の内の熱環境を指す。

「いえ」の内でひとは ・暑い・寒いと感ぜない。
・湿っぽさ・乾き感がない。

これら熱環境の快適感は一ひとの感覚量であり、この感覚量に影響する「いえ」の内の空気の状態を造り出す要素には建築外皮を構成する材料と空気の状態を機械的に造り出す暖房機器、冷房機器、換気設備さらには空気調和設備がある。

ひとの暑い・寒いを評価する物理量は熱環境の4要素と呼ぶ空気温度、空気湿度、気流速度、平均放射温度（＝面積平均された室内表面温度）である。この4要素の組み合わせがひとを暑く感ぜさせ、寒く感ぜさせる。空気調和設備を導入して大量のエネルギーを使えば建物外皮がどのようなものであろうと熱環境は概ね良好に保たれる。しかし、エネルギー危機に直面する私たちがこの方法を取ることは許されない。建物外皮の特性で暑さ・寒さを制御する（エネルギーのインシアルコスト）にも多くのエネルギーを必要とするが、熱環境を維持するためのエネルギー（ランニングコスト）削減が省エネルギーに及ぼす効果が大いに期待されている。

2.1 建築材料の熱特性

構造材や一部の建具材で使われる金属や樹脂を除くと、建築材料の多くは毛細管を有する多孔質材料である。建築材料は毛細管の直径や連なる構造、含まれる量によって様々な熱的特性を持つ。さらに毛細管に含まれる物質によって建築材料の熱的性質は大きく影響を受ける。私たちが考慮する含有物質は空気である。湿り空気と呼び、酸素、窒素を主成分とする様々な気体全体（乾燥空気）と水蒸気を考える。一般的環境下では水蒸気を除く気体成分は不活性と考える。しかし水蒸気は多孔質体内で移動し、気体⇔液体⇔固体の相変化をする。

多孔質材料である建築材料の熱環境に影響する物理量には、密度／比熱／相変化熱／熱伝導率／含水率（含湿率）／湿気伝導率または水分伝導率がある。熱物性として含水率や湿気伝導率が入る訳は、建築材料が多孔質体であり、含有する水分が熱性能に影響し、熱の移動と水分の移動が独立で扱えないことにある。

2.2 暑さ・寒さを制御する建物外皮

「いえ」を住宅に限って話を進める。建物外皮はたとえば内装材＋断熱材＋構造材＋外装材が組み合わさった多層

構造となる。部屋の熱環境を制御するために有効な方法は外皮の断熱性能を上げることである。断熱性能が高い建物外皮には断熱材と呼ぶ不連続な毛細管（気泡）を多く含む材料が必ず使われる。ところがどんなに小さな熱伝導率の断熱材を用いても住宅の断熱性能は上らない。建築材料は多孔質材であるが故、部屋の内外で湿り空気の移動が起きる。毛細管内では湿り空気の移動に伴い熱の移動も起きる。さらに、建物外皮は様々な部位（壁と床、壁と屋根、壁と窓など）が接合され連続した内外境界を構成する。この接合部からの湿り空気の漏れは断熱性能に大きな影響を与える。そのために、断熱性能を上げるためには、外皮各部位の気密性能を上げ、湿り空気の移動を小さくする必要がある。さらには各部位の接合部からの湿り空気の移動を小さくすることが断熱性能向上に肝要となる。気密シートや防湿シートと呼ぶ材料を断熱材と内装材境界に接合部も含め連続して貼ることで気密性能が向上する。断熱、気密化の両施工があつて初めて断熱性能が高いといわれる住宅となる。

1999年に住宅の断熱・気密の高水準化を掲げた次世代省エネルギー基準が施行された。住宅の高気密化に伴う室内空気の汚染を避けるために、計画換気（0.5回/h）も義務付けられた。

2.3 暑さ・寒さを制御した「いえ」で暮らす

住宅の断熱・気密性能向上に伴い、室温は高くなった。住宅で使用する暖房器具も大きく変化し、採暖機器と呼ぶ開放型灯油またはガスストーブからエネルギー単価が高くても性能がよい顕熱制御型エアコンが住宅に導入されるようになった。灯油、ガスなどの燃焼では大量の水蒸気が発生する。エアコン導入によって燃焼に伴う住宅への水分供給がなくなった。住宅には恒常的に水分発生する風呂があり、高温高湿の風呂や風呂から拡散する水分による部屋の高湿度化によるカビ発生を制御するために換気が推奨された。断熱性の低い住宅では風呂から放散する水蒸気が温度の低い部位で結露し建物の耐久性を損ねることも懸念され、風呂の換気は台所での調理時換気とともに大いに推奨されてきた。断熱性能が低い住宅での強硬な湿っぽさの排除が定着する中で、断熱性能が高い住宅に暮らす人たちの数が増加してきた。

わずかな暖房費用で暖かな熱環境を手に入れた人たちの生活に新たに乾きの不具合が生じた。部屋や建物外皮の乾燥である。ひとにとって快適な湿度環境は相対湿度50%から60%といわれている。相対湿度40%を下回るとインフルエンザなどのウイルス性疾患にかかりやすくなるといわれている。昨今アトピーなどアレルギー症状を持つ人が増え、部屋の乾燥は症状を重くするともいわれている。部屋で発生し、排除した結果残る水分量は変わらずとも、部屋

の温度が上がれば相対湿度は下がる。これが過乾燥といわれる問題である。エアコンによる冷房では部屋の湿り空気は必ず除湿される。室温が下がったにもかかわらず冷房室でも過乾燥は発生している。

3. 湿度調整

過乾燥対策を目的に湿度調整法を検討した結果を示す。

実測対象はFig.1に示す実大実験棟内LDK（前室を含む）。実測対象室は次世代省エネルギー基準の等級4の性能を有する。

過乾燥の実態をFig.2¹⁾に示す。Fig.1の前室で、床、天井面を除く壁面を外気と同等の条件に暴露した時の前室中央部（Fig.1 △）の温湿度変動である。前室の初期条件は測定時外気条件（温度 約14℃、相対湿度40%）とした。エアコン運転開始後10分程度で、床面の温度制御不足を除き、ひとの居住域である床面から1.2m高い位置では暖房設定温度20℃に制御された。この室温の上昇に伴い、相対湿度は30%まで低下した。加湿源がなく、排湿を促す換気もない条件では絶対湿度はほぼ一定となる条件下で生じる過乾燥である。

3.1 調理時発生水分のLDK内湿度挙動²⁾

台所で使用する調理器具にIHクッキングヒータを使う住宅が増えている。ガスコンロは完全燃焼条件と燃焼ガスの排除のために大量の換気が必要とする。しかし燃焼ガスを発生しない調理法では調理に伴う臭気処理を除けば換気の必要はない。調理による発生水分は夕食時で600gあると報告されている。³⁾ この水分を室内湿度調整に利用する方法を検討するために、Fig.1のLDKで実験を行った。

LDKは天井、壁面が石膏ボード下地に透湿性クロス仕上げ、床面は透湿抵抗の大きなフローリング仕上げである。内装材は吸湿、放湿による室内湿度の調整性能が期待できることから、Fig.3に示す条件で調理時発生水分による室内湿度分布を評価した。測定条件は、case 1；室内全表面をビニルフィルム断湿した場合、case 2；加熱・発湿位置に近い台所天井を吸放湿面とした場合、case 3；すべての面が吸放湿面の場合の3種である。IHクッキングヒータ（容量1KWを調整）での加熱時間は50分、加湿量（加熱容器からの蒸発量）は608g。加湿時間は加熱停止後20分程度続いた。Fig.4～9に換気がない場合の測定結果、Fig.10,11にはレンジフード弱運転時の測定結果を示す。

Fig.4～9に示す吸放湿面積の違いがあるcase 1から3の実測どの場合でも、湿流は加熱・発湿源直上天井面に到達後、天井面に沿って水平方向に広がる。湿流の広がる位置につり戸棚（図中□）などの遮蔽物がある場合、遮蔽物周囲への流れのまわりこみが観察できた。

Fig.4,6,8は吸放湿面積が異なる条件での天井面付近の水

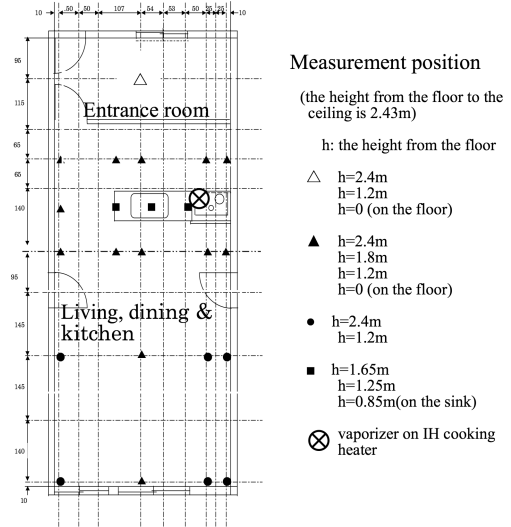


Fig.1 Floor plane of experiment room (LDK).

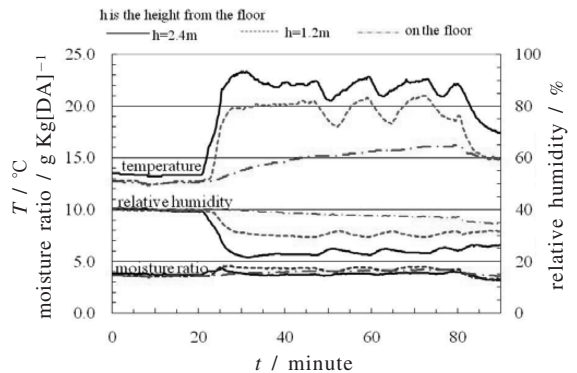


Fig.2 Hygrothermal variation on the center of a room heated by air conditioner.

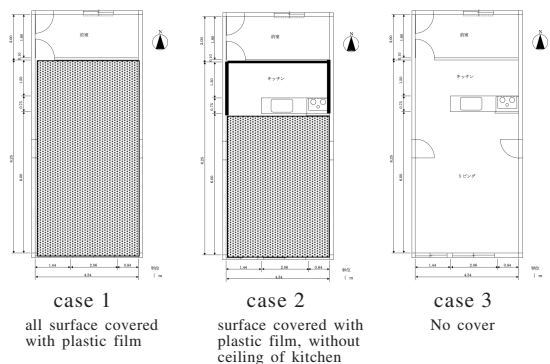


Fig.3 Allocation of vapor retardation on surface of finishing material.

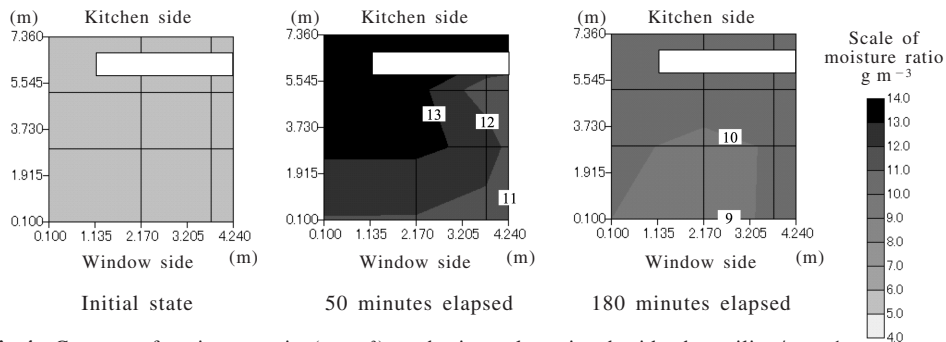


Fig.4 Contour of moisture ratio (g m^{-3}) on horizontal section beside the ceiling/case 1.

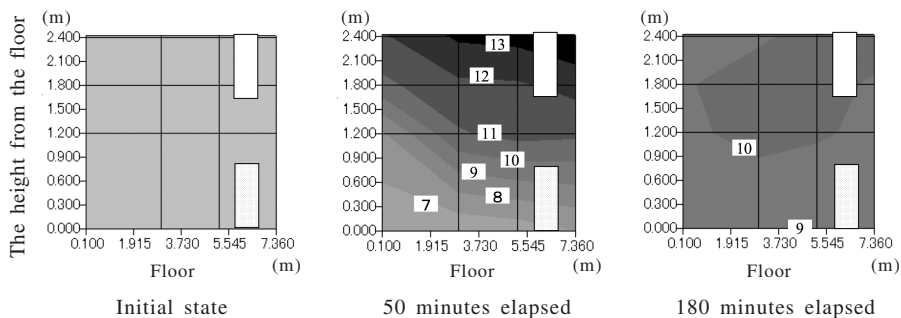


Fig.5 Contour of moisture ratio (g m^{-3}) on vertical section of the LDK/case 1.

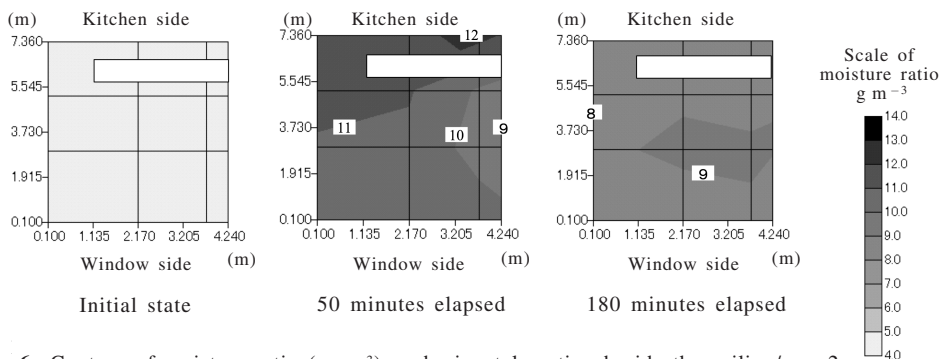


Fig.6 Contour of moisture ratio (g m^{-3}) on horizontal section beside the ceiling/case 2.

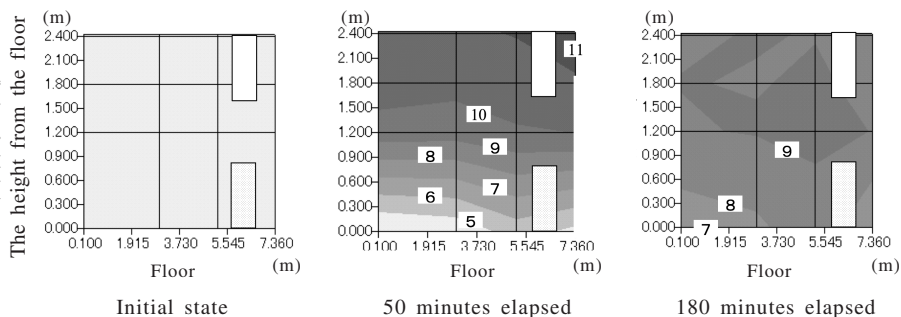


Fig.7 Contour of moisture ratio (g m^{-3}) on vertical section of the LDK/case 2.

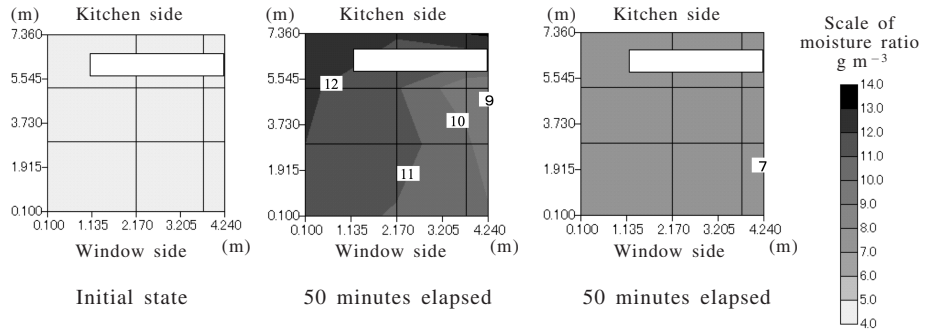


Fig.8 Contour of moisture ratio(g m^{-3}) on horizontal section beside the ceiling/case 3.

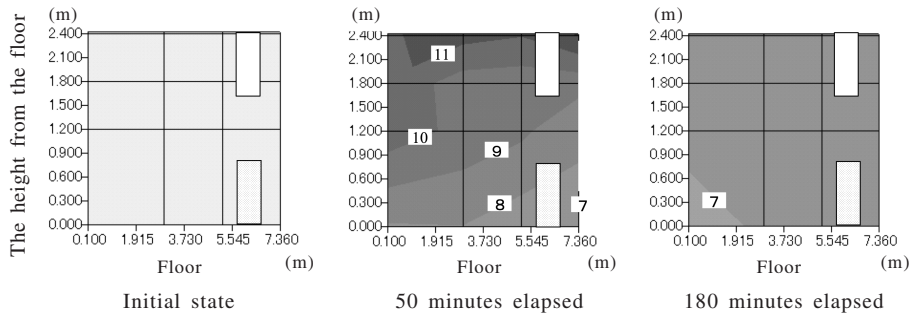


Fig.9 Contour of moisture ratio(g m^{-3}) on vertical section of the LDK/case 3.

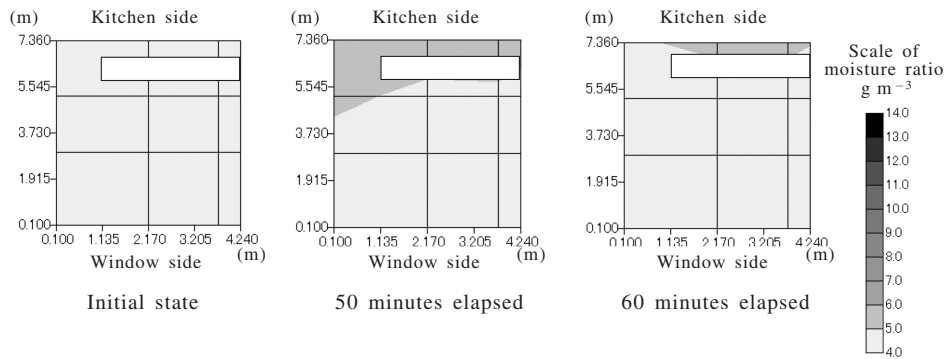


Fig.10 Contour of moisture ratio(g m^{-3}) on horizontal section of the LDK/ case 1(Operate the exhaust fun).

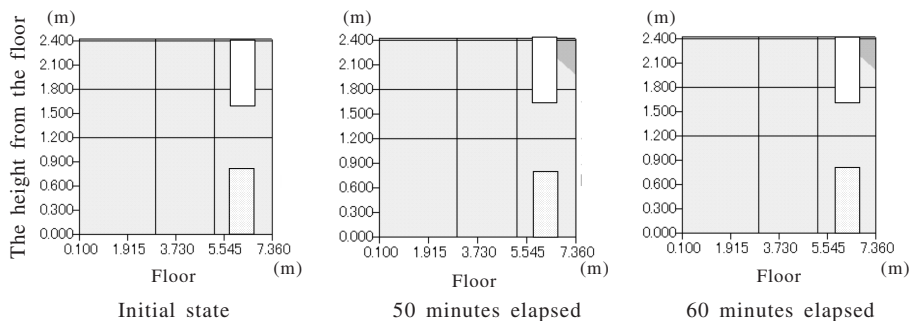


Fig.11 Contour of moisture ratio(g m^{-3}) on vertical section of the LDK/ case 1 (Operate the exhaust fun).

平面絶対湿度分布である。吸放湿面積が増加するほど室内絶対湿度が低下しており、一般的な内装材の吸湿が室内湿度環境に及ぼす影響が大きいことが読み取れる。

Fig.5,7,9は各図右手に台所を望む室中央立断面での絶対湿度分布を示す。図示のとおり、発湿された水分は加熱による対流に沿って長時間天井付近に滞留する。加熱を伴い発生する水分の捕集に天井面が有効に働く。case 2では台所天井での吸湿で、リビング側の絶対湿度上昇はcase 3に比べ少ない。加熱終了後には天井付近から床面に向け水蒸気の拡散による移動が生じ、室内湿度の均一化が図られている。加熱終了から2時間後の室内湿度を比較すると、case 3よりcase 2の場合が長時間にわたり室内の湿度調整をしている。このLDKではcase 1とcase 2の測定値から概算した室含有水分量に80 g程度の差があり、この値が台所天井面の吸湿量とみなせる

LDKでは台所での加熱・発湿時のリビングの湿度上昇抑制には台所天井面での吸湿が有効であり、加熱・発湿時にリビングへの湿流導入が必要であれば、吸湿面を全表面に持つことが有効となる。

Fig.10,11にレンジフードの弱運転 ($200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) 下での加熱・発湿 (608 g) 実測結果を示す。実測時LDKの換気量回数は2回/hに相当する。図示の通り、加熱・発湿位置直上で僅かながら湿度上昇が見られる。しかし、室全体で初期の絶対湿度分布が大きく変わることはない。一般的に実施される局所排気は調理時発生水分を十分に排出する。調理時発生水分を湿度調整に利用する場合、換気との取り合いの検討が必要である。

3.2 吸湿した内装材の利用法¹⁾

加熱を伴う発湿源の水分が内装材に吸湿され、室内条件に応じて放湿を促すことができれば、室内湿度調整に有効に利用できる。本節では、暖房時の過乾燥緩和に内装材からの放湿を利用する方法を検討する。

実測は**Fig.1**の前室で行った。前室天井面に調湿性能が高いといわれる珪藻土を塗布したパネルを設置した。パネル設置面積は天井面の80%、 6.5 m^2 である。パネルは温度 20°C 、相対湿度80%の環境に3時間暴露した。パネルの吸湿総量約150 g (約 24 g m^{-2})を**Table 1**に示す。

Fig.12に換気をしない部屋で室温 20°C 設定のエアコンを運転させた場合の室内温湿度変動を示す。室初期温度 14°C 、相対湿度40%である。暖房開始前20分間でパネルを設置しているため室絶対湿度は暖房運転前に上昇し始める。暖房開始後20分で床面から1.2 mの位置で大略設定室温となる。一方、天井付近では 22°C まで上昇し、床面では実測期間中設定温度に達しない。絶対湿度は天井付近が最大、床面で最小となる分布がある。結果、室内相対湿度は床面から床面1.2 mの間で50%となり、良好な湿度環境が2時

Table 1 Mass of the coated panel by Diatomite.

Ventilator ($90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$)	Total weight of panels (g)			The net diffusion of moisture from the panels (g)
	The dry state	The moist state	The diffusion state	
off	12277	12442	12292	150
on	12283	12443	12252	191

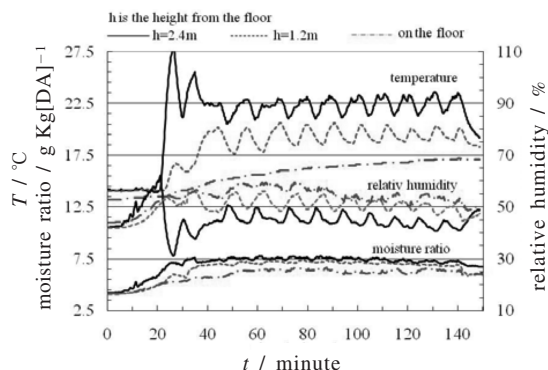


Fig.12 Hygrothermal variation on the center of a room (The ceiling is finished in panel of Diatomite).

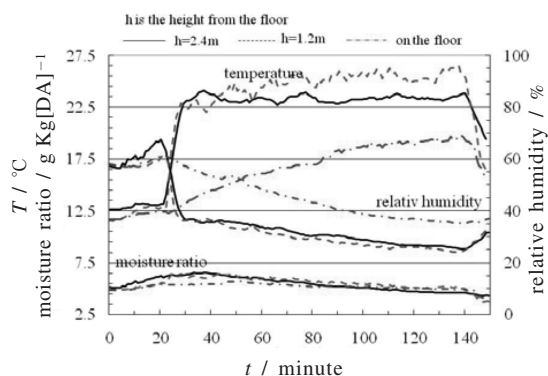


Fig.13 Hygrothermal variation on the center of a room: operate the ventilator (The ceiling is finished in panel of Diatomite).

間程度維持された。

Fig.13に前述と同様の条件に、換気条件；第3種換気方式、 $90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ を加えた室内温湿度変動の測定結果を示す。

パネル設置期間中は室内絶対湿度が上昇するが、暖房開始と同時に減少する。室温は換気の影響でエアコンの出力が大きくなり設定室温より 2°C 以上高い。室温が高いことで

相対湿度が小さくなってはいるが、絶対湿度の減少に連動した相対湿度低下であることは明らかである。換気がある場合、単位面積当たり24 g程度の放湿能力を持つ建材があっても放湿が室内湿度調整に寄与しなくなる。

これら得られた成果をもとにシミュレーションを展開し室内の湿度調整法の検討を続けている。

4. おわりに

本報告で紹介した研究例は、高品質な熱環境を手に入れた生活で発生した乾きの問題を、これまで排除していた湿気で解決しようとする試みである。いうなれば「もったいない」の発想である。排除は技術で容易に実現できる。住宅内湿気は発生と必要とする場所、時は往々にして一致しない。「もったいない」を実行するには発生した湿気を一旦蓄積し、必要に応じて利用する方法の確立が必要である。つまり住宅内で湿気が不用な場所には留めず、必要とされる場所と時に供給するシステム造りも肝要である。

以上、住宅での過乾燥問題に少しでも興味を持っていたら幸いである。

文 献

- 1) 佐藤真奈美, 数江昇資, 日本建築学会学術講演梗概D-2, 317, (2008).
- 2) 古賀 修, 佐藤真奈美, 日本建築学会学術講演梗概集D-2, 421, (2005).
- 3) 渡辺 要編, 建築計画原論III (表9.6), 丸善, 161, (1965).

要 旨

本報では建築学の一つの研究領域である建築環境工学で熱問題を扱った研究例を示し、建築と熱測定の関係を解説した。

断熱性能が低い住宅では高湿度化によるカビの発生や結露による様々な実害が発生しやすいことから、住宅では結露防止と室内の高湿度化抑制を目的に発生水分は直ちに排出することが原則であった。

近年、住宅の断熱性能が増す中、住宅内温度分布が小さくなることにより室内湿度の問題としての結露害は減少した。その一方、機械換気による室内水分の排出により住宅内の過乾燥化が新たな問題として注目されてきた。

本報では調理の過程で放湿する湿気の室内湿度調整への利用の可能性を検討した実測結果を示すとともに、調湿性能が高いといわれる内装材からの放湿が室内湿度を調整する過程を実測によって検証した結果を紹介した。

佐藤真奈美 Manami Sato

大阪工業大学工学部建築学科, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology, TEL. 06-6954-4883, &FAX 06-6957-2132, e-mail: sato@archi.oit.ac.jp

研究テーマ：室内湿度調整法に関する研究, 建物の防露設計法に関する研究

趣味：ゴルフ, 能