

## 2 壁体・家具等の吸放湿を考慮した温度計算方法の構築

### 2.1 調査の目的

住宅の温熱環境を快適に維持するために、断熱性・気密性の確保による適切な建築計画に加え、エアコンなどの設備に対して高効率機器を用いることにより、暖冷房消費エネルギーを抑制することが重要といえる。特に冷房において形成される室内温湿度環境を考えた場合、一般的に間欠的使用が多く、室内の収納物の熱・湿気容量の影響が無視できない。これらが、どの程度収納されており、それが室内の温湿度形成や、熱負荷にどの程度影響を与えているのかは明らかになっていない。

本研究では、住宅内の家具・収納物が温度・湿度の挙動、熱負荷にどのような影響を及ぼすのかについて明らかにするため、机、本、衣類、布団、ベッドなどの家具・収納物について以下の様な検討を実施した。

- 1) 家具・収納物の使用実態調査
- 2) 家具・収納物の吸放湿特性の文献調査
- 3) 家具・収納物の熱・湿気モデルの作成

### 2.2 家具・収納物使用実態調査

#### 2.2.1 WEB アンケートの概要

居住者の行動実態調査で行った WEB アンケートに、家具の使用実態調査を加えた。以下で WEB アンケートの概要を示す。調査対象地域は、国内 3 県から選定する。選定するにあたり高温多湿である太平洋側の気候に着目するとともに、蒸暑地域の中でも地域の差が出るように四国地方、九州地方、沖縄地方を選択した。各地方からの県の選定に関しては標準年を用いてエアコン（冷房、除湿、送風）を利用すると考えられるおおよそ 5 月上旬～9 月下旬頃に特に高温多湿である高知県、鹿児島県、沖縄県の 3 県を対象地域として決定した。アンケート調査は、WEB アンケートで 2013 年 11 月 1 日（金）～8 日（金）の計 8 日間を調査実施日として行った。

アンケートにおいては、対象室をリビングと寝室に対して、住宅の形式（戸建・集合）、構造（RC、木造、鉄骨）、室の広さ、床の仕上げ（フローリング、カーペット、畳）、各部屋の家具の個数（机、椅子、ソファ、棚、座布団、クッション、じゅうたん、布団、ベッド、植物、本）などの情報を得た。また、これに加えエアコンの使用実態と、室内の湿度がもたらす問題として代表的なカビ・結露の実態についてもアンケートを実施した。

## 2.2.2 紙面アンケートの概要

家具・収納物の使用実態調査を、家具・収納物の設置状況の把握も可能となるように、図面に記述してもらうことを含めて、実施した。調査は、近畿大学の建築学部の学生 544 名に対して、2014 年 1 月中旬に実施し、有効な回答は 503 であった。

質問項目は、以下の表の通りであり、データについて集計を行った。

表 1 家具・収納物のアンケート調査（紙面）

大項目	中項目	小項目
1. 住宅の基本特性		1-1. 都道府県、1-2. 人数構成、1-3. ペットの有無、1-4. 平日、休日の人がいる時間帯・就寝の時間帯、1-5 就寝場所、1-6 主な調理時間帯・時間、1-7. 住宅の建設時期、1-8. リビング・寝室を改修の有無、1-9. 改修理由、1-10. 居住年数、1-11. 何階建ての戸建て住宅か、集合住宅では何階中何階か、1-12. 各部屋の広さ、1-13. 各部屋の階、1-14. 建物の構造、1-15. 建物の断熱、1-16. 断熱箇所、1-17. 窓のガラスの種類・単層/複層、1-18. 各部屋の床暖房の有無、1-19. 各部屋(室内)の床・壁・天井の表面の主な材料
	2. リビングの家具の配置	図面に記入
3. リビングの家具/収納物の種類・大きさ・素材	A 窓・カーテン	A-1 窓の大きさ、A-2 カーテン(レース・遮光)の有無、A-3 遮光カーテンの素材、A-4 カーテンの開閉頻度(夏、冬)
	B. カーペット	B-1 夏におけるカーペットの有無、B-2 カーペットの大きさ、B-3 素材、B-4 冬におけるカーペットの有無、B-5 カーペットの大きさ、B-6 素材
	C ベッド	C-1 大きさ、C-2 種類、C-3 ベッド下収納、C-4 マットレスの有無、C-5 布団の収納方法、C-6 布団(夏)の素材(掛布団)、C-7 布団(夏)の素材(敷布団)、C-8 布団(冬)の素材(掛布団)、C-9 布団(冬)の素材(敷布団)
	D 布団	D-1 大きさ、D-2 布団の収納方法、D-3 布団(夏)の素材(掛布団)、D-4 布団(夏)の素材(敷布団) D-5 布団(冬)の素材(掛布団)、D-6 布団(冬)の素材(敷布団)
	E ソファ	E-1 種類、E-2 大きさ、E-3 素材、E-4 配置
	F 棚(本棚・食器だな等)	F-1 大きさ、F-2 スライド、F-3 奥行、F-4 用途、F-5 扉の有無、F-6 背板、F-7 素材、F-8 配置、F-9 本の場合、収納率
	G タンス(チェスト)	G-1 大きさ、G-2 奥行、G-3 素材、G-4 配置、G-5 収納率(夏)、G-6 収納されている衣類の種類(夏)、G-7 収納率(冬)、G-8 収納されている衣類の種類(冬)
	H 衣類(室内ハンガー掛け)	H-1 衣類カバーなしの衣類の数(夏)、H-2 衣類の種類(夏)、H-3 衣類カバーをかけている衣類の数(夏)、H-4 衣類の種類(夏)、H-5 衣類カバーの種類(夏)、H-6 衣類カバーなしの衣類の数(冬)、H-7 衣類の種類(冬)、H-8 衣類カバーをかけている衣類の数(冬)、H-9 衣類の種類(冬)、H-10 衣類カバーの種類(冬)
	I テーブルについて(リビング)	I-1 テーブルの種類、I-2 テーブルの素材
	J 収納空間について	J-1 収納空間の大きさ、J-2 主な収納物、J-3 収納率、J-4 収納空間の種類・戸、戸の開閉状況
4. 寝室の家具の配置		図面に記入
5. 寝室の家具/収納物の種類・大きさ・素材	3. と同じ	3. と同じ
6. リビングの加湿・除湿源	換気口	6-1 換気口の有無と、有りの場合図面に位置を示す、6-2 換気口が開いている時間帯(夏・冬)
	換気扇	6-3 換気扇の有無と、有りの場合図面に位置を示す、6-4 換気扇が開いている時間帯(夏・冬)
	部屋干し	6-5 リビングで部屋干しを行う季節、6-6 部屋干しを行う理由
	加湿に関する機器類	①開放型暖房器*、②食洗機、③炊飯器、④湯沸しポット、④水槽、⑤観葉植物、⑥その他
	エアコンの除湿運転	6-8 エアコンの除湿運転の有無、6-9 使用時期、6-10 使用頻度、6-11 除湿機能を使用する時、6-12 除湿機能の使用理由
7. 寝室の加湿・除湿源	除湿器	6-13 除湿器の有無、6-14 使用時期、6-15 使用頻度、6-16 除湿器を使用する時、6-17 除湿器の使用理由
	加湿器	6-18 加湿器の有無、6-19 使用時期、6-20 使用頻度、6-21 加湿器を使用する時、6-22 加湿器の使用理由
8. 結露・カビの発生	リビング	8-1 結露の発生場所について図面に示す、8-2 結露の発生頻度、8-3 結露の発生時間帯、8-4 カビの発生場所について図面に示す
	寝室	リビングと同じ
	結露の発生状況と対策	8-9 結露の発生を気にするか否か、気にする場合の理由、8-10 結露発生防止の実施の有無、8-11 結露発生防止の対策、8-12 結露水は拭き取り
	カビの発生状況と対策	8-13 カビの発生を気にするか否か、気にする場合の理由、8-14 カビ発生防止の実施の有無、8-15 カビ発生防止の対策、8-16 カビは拭き取り

### 2.2.3 紙面アンケートの結果の分析

図2にアンケート対象者の住まいの府県、住宅形式と家族構成を示す。大阪、兵庫、奈良、京都の順に、近畿エリアの住まいだけで7割強を占めている。アンケートを実施した大学が大阪府下であることが影響していると考えられる。住宅の形式は、73%が戸建住宅、25%が集合住宅であった。

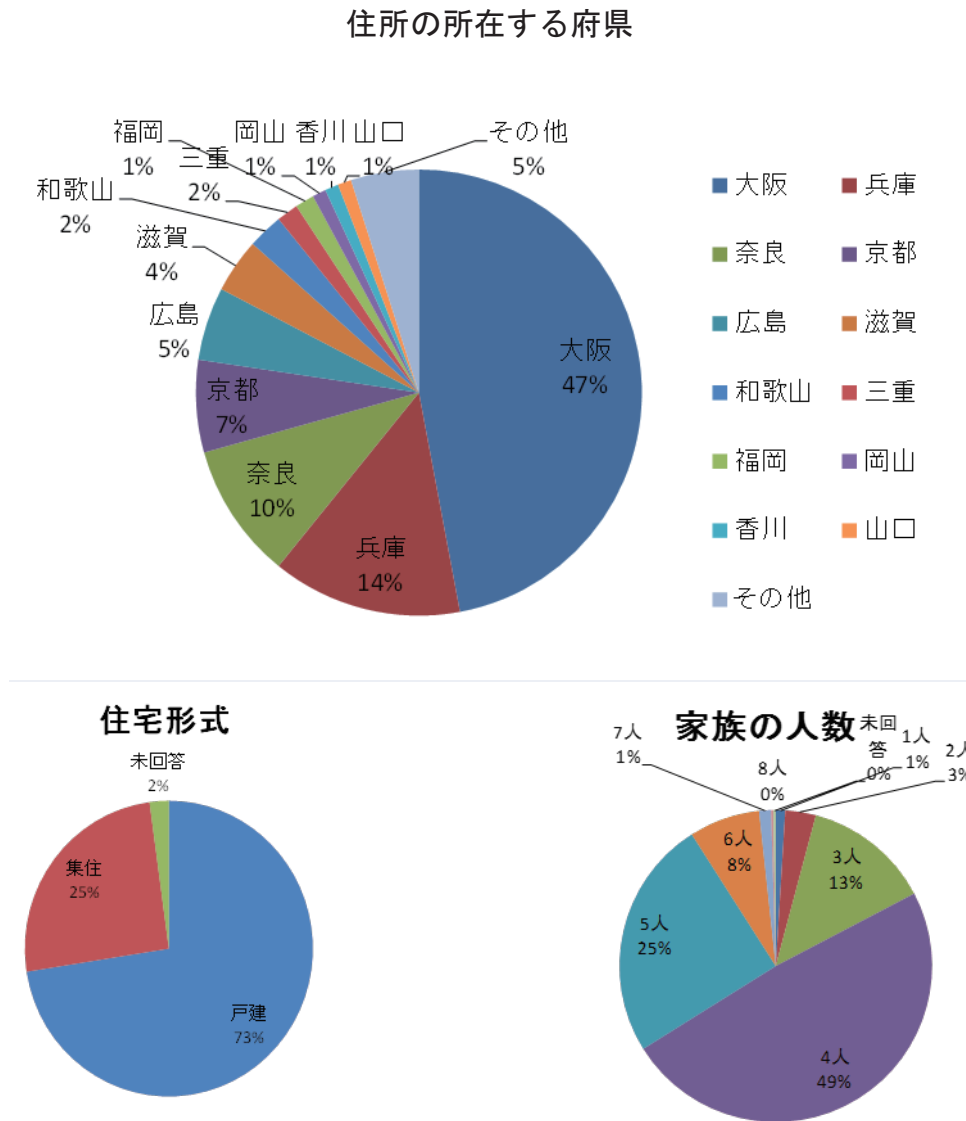


図2 住所の所在する府県、住宅形式と家族構成

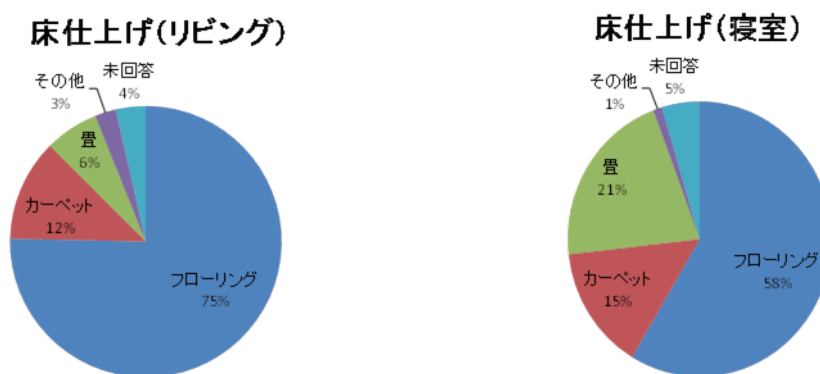
### 2.2.3.1 仕上げ

#### (1) 床仕上げ

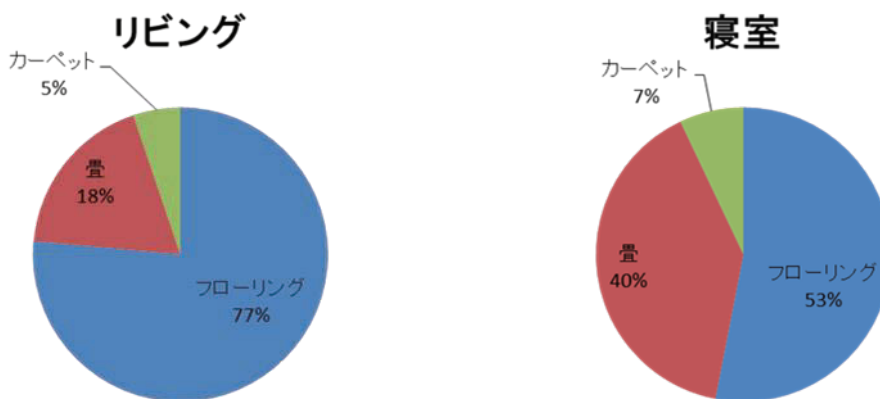
床表面の主な仕上げについては図3に示す通りである。

リビングの床表面仕上げが「フローリング」と答えた方は75%、「畳」と答えた方の割合は6%、寝室ではそれぞれ58%、21%である。いずれの部屋もフローリングが多く、リビングより寝室の方が畳の割合が高い。「カーペット」と答えた方の割合はリビングでは12%、寝室では14%と約1割を超える程度である。

平成26年度に実施した高知、鹿児島、沖縄の3県のWEBアンケート結果と比較するとフローリングの割合はほぼ等しいが、畳の割合は、高知、鹿児島、沖縄の方が割合が多かった。



(a) 平成27年度調査結果



(b) 平成26年度調査：高知、鹿児島、沖縄

図3 床仕上げの分布

## (2) 壁仕上げ

壁面の内装仕上げについてはリビングと寝室で大きな差はなくビニル、布、紙クロスが7割程度を占めている(図 4)。

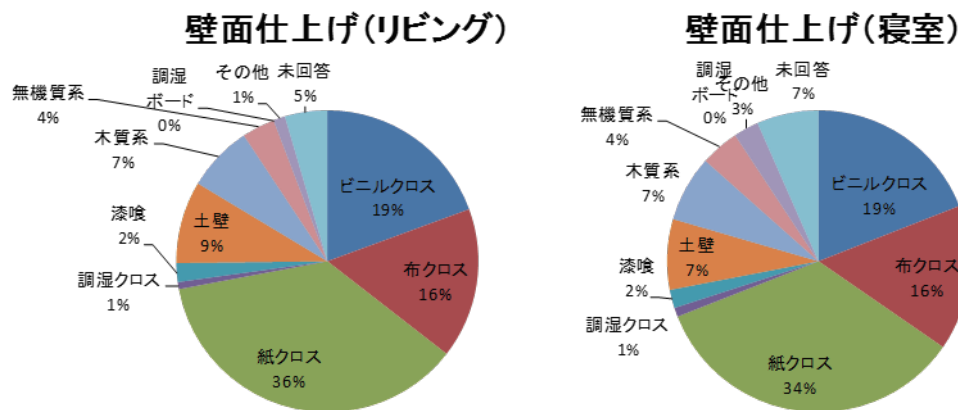


図 4 壁仕上げの分布

### 2.2.3.2 広さ

リビングの広さは8~13畳程度が多く、平均は12.6畳、寝室は6畳程度が多く、平均は7.5畳であった(図 5)。

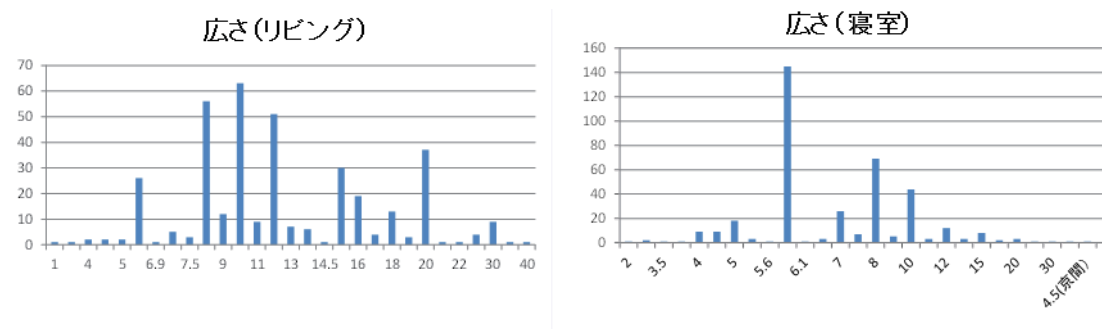


図 5 部屋の広さ

## 2.2.4 集計の結果

### 2.2.4.1 棚

リビングの棚の平均数は2.1であった。用途としては食器棚が最も多くサイズは大きなもの(C)が多かった(図 6、図 7、図 8、図 9)。

寝室の棚の平均数は1.0であった。用途としては本棚が最も多く8割以上を占める。サイズは(D)が多かった(図 10、図 11、図 12)。

棚の数(リビング)

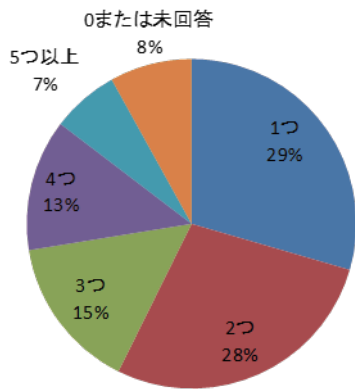


図 6 棚の個数

用途(リビング)

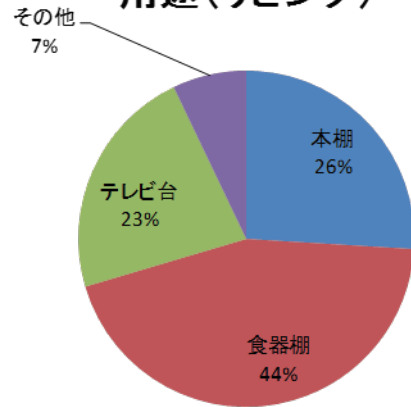


図 7 棚の用途

棚のサイズ(リビング)

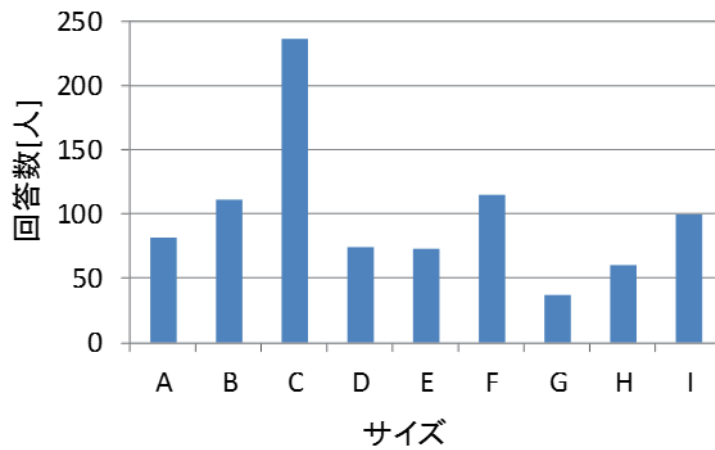


図 8 棚の大きさ

高さ / 幅	50cm 程度	90cm 程度	120cm 程度
180cm 程度	A	B	C
100cm 程度	D	E	F
50cm 程度	G	H	I

図 9 棚の大きさの対応関係

棚の数(寝室)

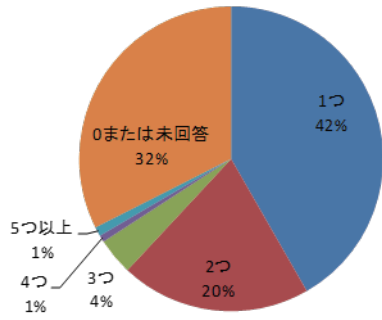


図 10 棚の個数

用途(寝室)

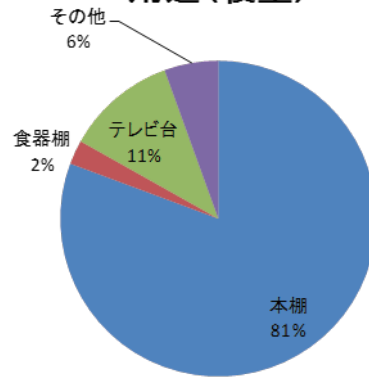


図 11 棚の用途

棚のサイズ(寝室)

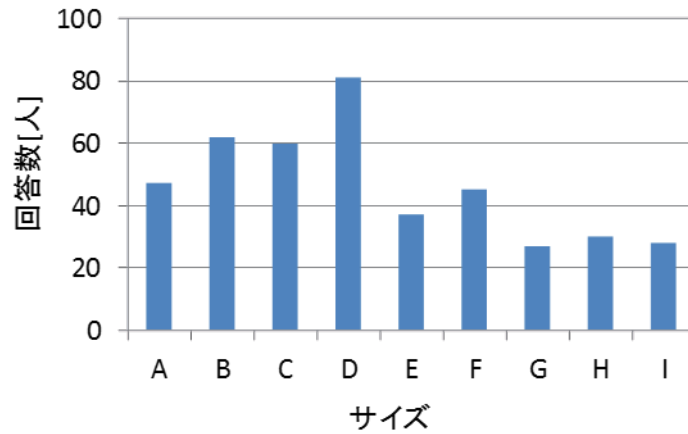


図 12 棚の大きさ

### 2.3 家具・収納物の吸放湿特性の文献調査と測定実験

家具・収納物における吸放湿特性に関わる物性値の文献調査を実施した。表 2 に、熱湿気物性値として密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]、熱伝導率  $\lambda$  [W/mK]、湿気伝導率 [g/ms(g/kg')], 容積比熱  $C_p$  [J/m<sup>3</sup>K] を、図 13 に平衡含水率を示す。

表 2 家具・収納物の熱・湿気物性値<sup>i, ii, iii, iv, v, vi, vii, viii, ix</sup>

材料	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$\lambda'$ [g/ms(g/kg')]	$C_p$ [J/m <sup>3</sup> K]
布団(羽毛)	7.7	0.056	1.39E-05	1.37E+04
布団(羊毛50% ポリエステル50%)	11.8	0.056	1.97E-05	1.58E+04
布団(綿60% ポリエステル40%)	18.5	0.056	1.67E-05	2.48E+04
衣類(綿)	81	0.056	2.78E-05	1.08E+05
カーテン(レーヨン)	316	0.079	1.39E-05	4.29E+05
紙(断面)	686	0.209	3.89E-06	8.92E+05
紙(表面)	686	0.209	5.00E-07	8.92E+05
カーペット(羊毛100%)	273	0.080	1.74E-02	3.18E+05

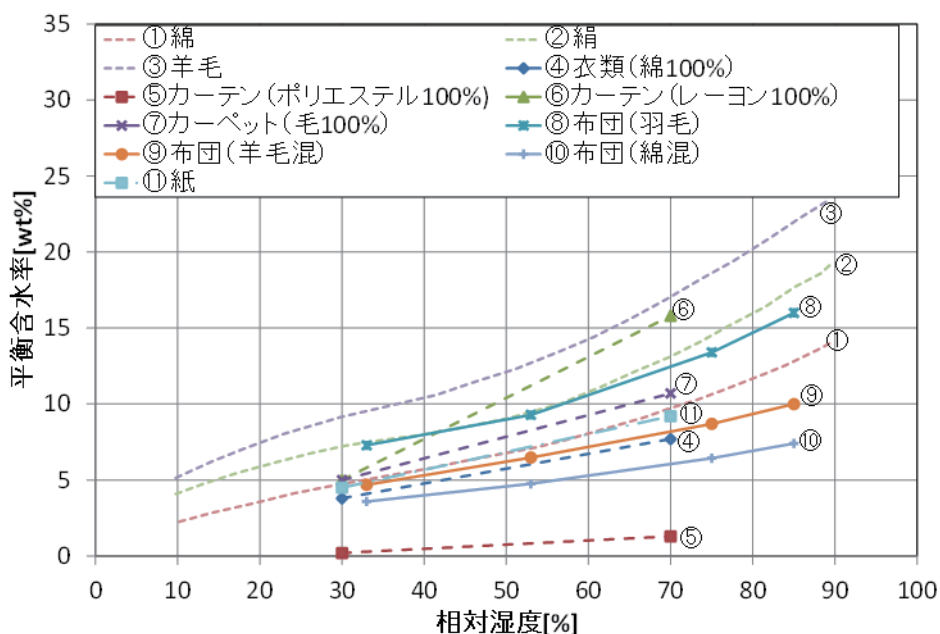


図 13 家具・収納物の平衡含水率<sup>I-IX</sup>



上記、平衡含水率は相対湿度 30～80%程度ではほぼ直線と見なせるため、近似直線式を下式で示す様に作成した。

$$\varphi = \frac{\rho_d}{\rho_w} (a + bh)$$

式 1

ただし、

$\varphi$	: 体積基準平衡含水率	[m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
$\rho_d$	: 乾燥密度	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_w$	: 水密度	[kg/m <sup>3</sup> ]
$h$	: 相対湿度	[-]

平衡含水率の相対湿度勾配は下式となる。

$$\frac{d\varphi}{dh} = \frac{\rho_d}{\rho_w} b$$

式 2

得られた係数**b**を表 3 に示す。

表 3 各種材料の平衡含水率の相対湿度勾配の係数

材料	$b$
衣類 (綿)	0.0975
カーテン (レーヨン 100%)	0.27
カーペット (毛 100%)	0.1425
布団 (羽毛)	0.1669
布団 (羊毛混)	0.1101
布団 (綿混)	0.0731
紙	0.1175

## 2.4 家具・収納物の熱・湿気モデルの作成

建築壁体内における熱と水分の移動に関する理論は、松本<sup>x</sup>、池田<sup>xi</sup>により確立しており、家具も同様の取扱が可能と考えられる。1次元の壁体の蒸気拡散支配の熱水分同時移動方程式は下式の通りである。

$$(c\rho + Lv) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + L\kappa \frac{\partial X}{\partial t}$$

式 3

$$(c'\rho' + \kappa) \frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda' \frac{\partial X}{\partial x} \right) + v \frac{\partial T}{\partial t}$$

式 4

ここで、

$c$	: 材料の比熱	[J/kgK]
$\rho$	: 材料の密度	[kg/m <sup>3</sup> ]
$L$	: 水の相変化熱	[J/kg]
$v$	: 含水率の絶対湿度勾配による吸放湿特性値 (ニューウ)	[kg/ m <sup>3</sup> K]
$T$	: 温度	[°C]
$t$	: 時間	[s]
$\lambda$	: 熱伝導率	[W/mK]
$\kappa$	: 含水率の温度勾配による吸放湿特性値 (カッパ)	[kg/ m <sup>3</sup> (kg/kg')]
$\rho'$	: 乾燥空気密度	[kg'/ m <sup>3</sup> ]
$\lambda'$	: 湿気伝導率	[kg/ ms(kg/kg')]

家具・収納物の吸放湿については、図 14 に示すような1次元壁体へのモデル化を行った。容積 $V$  [m<sup>3</sup>]を空気に接する部位の表面積 $L$  [m<sup>2</sup>]で除して、材料の厚み $L$  [m]を算出する。

$$L = \frac{V}{S}$$

式 5

また、家具・収納物の室内側表面からの厚み $L$  [m]の位置では断熱・断湿とする。

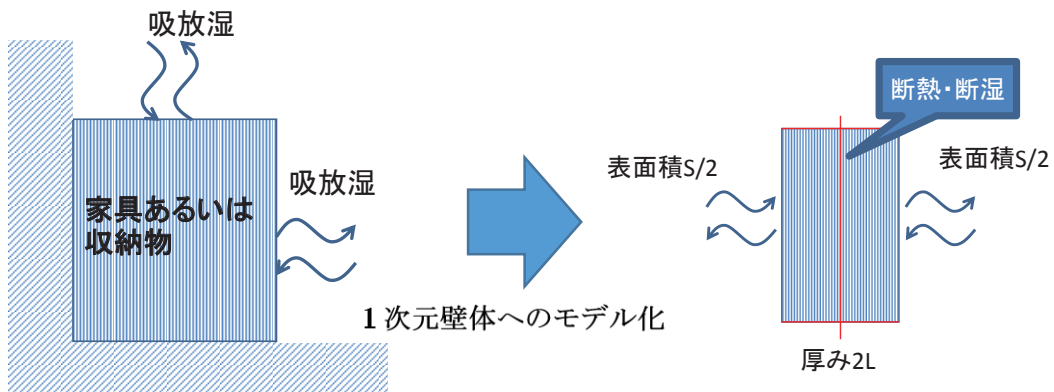


図 14 家具あるいは収納物の1次元壁体へのモデル化

上記の様な家具モデルの実測との比較については、梅野ら<sup>iii</sup>が、放湿過程についてやや放湿量を過大に見積もるものの1次元解析モデルの妥当性を確認している。家具・収納物を、空気側の伝達に寄与する部位に対して、1次元の熱水分移動現象として取り扱ってよいと考えられる。

以下では、上記モデルを用いた家具がある部屋の吸放湿の影響の数値シミュレーションによる検討例を示す。図 15 に示すように解析対象は集合住宅の一室を想定し、本棚の本、ベッド（綿）を吸放湿材とする。なお室内側の表面の吸放湿性は無視する。比較のため家具なしの条件も行う。計算条件は、表 4 に示す通りである。アンケート調査から求めた寝室の平均的な本棚サイズ、ベッドサイズを想定している。

表 4 計算条件

換気回数 [回/h]	家具	外気[°C]	外気絶対湿度 [g/kg]	室温	室相対湿度	室内水分発生量 [g/h]	室内熱発生量[W]
0.5	本棚の本 (1.8×1.2×0.2) ベッドの綿 (1×2×0.2)	29±3	16.32一定	27°C (17-22時 の間)	60% (17-22時 の間)	40 (17-22時 の間)	60 (17-22時 の間)

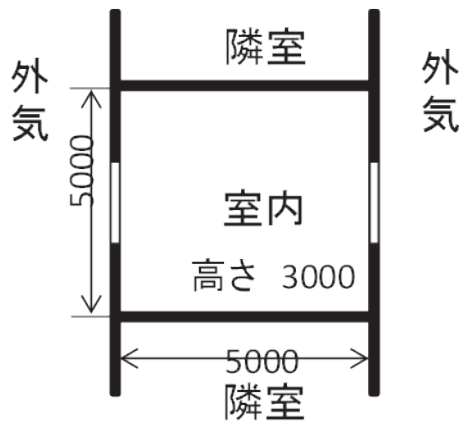


図 15 解析対象(単位 : mm)

温湿度の計算結果を図 16 図 17 図 18 に示す。図中の吸放湿ありが家具ありの条件を、吸放湿なしが家具なしの条件を表す。図より家具のみの有無でも室温湿度が多少異なる変動を示す。家具ありの場合、エアコン停止後の湿度上昇が最大で 3%程度抑制されている。

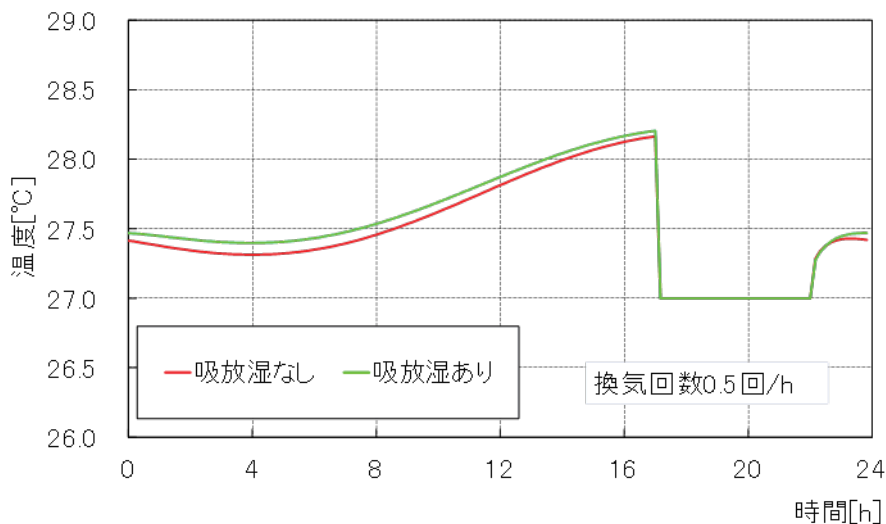


図 16 家具の有無による温度の比較

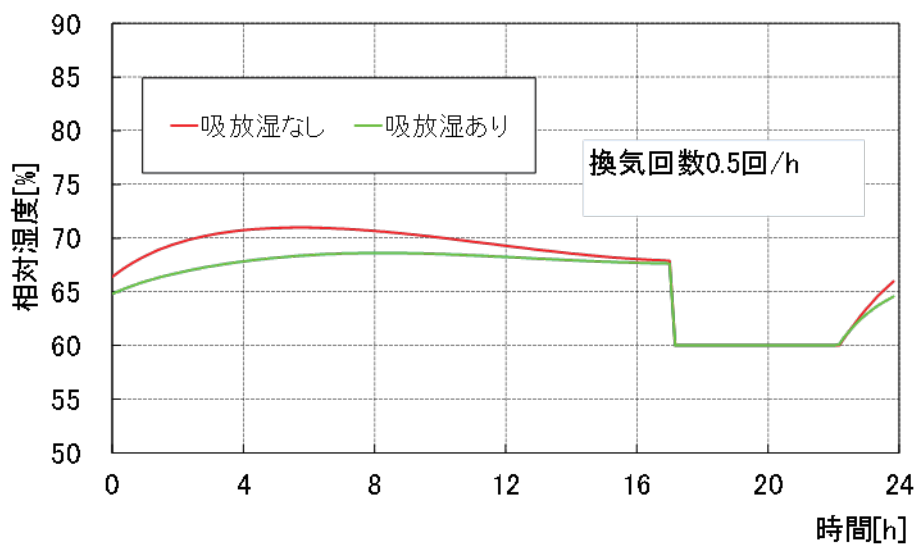


図 17 家具の有無による相対湿度の比較

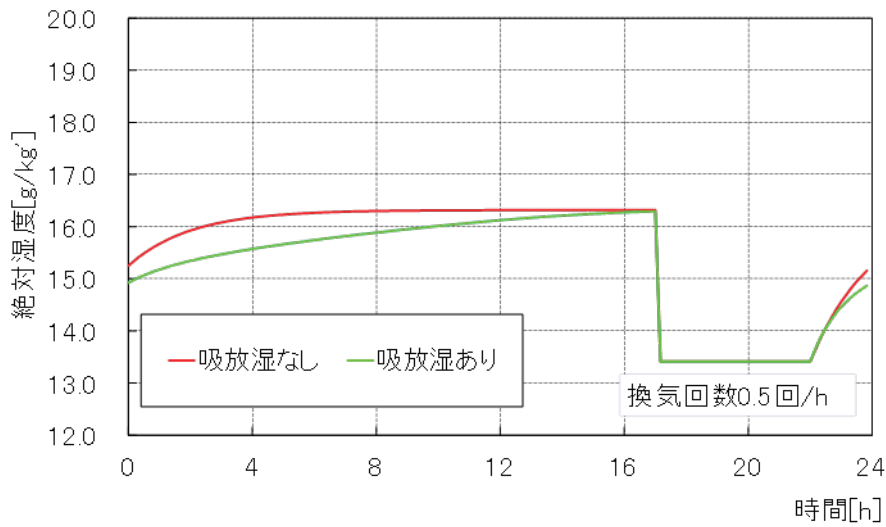


図 18 家具の有無による絶対湿度の比較

次に家具の有無による全熱負荷の比較を、図 19 に、家具がある場合とない場合の顕・潜熱負荷をそれぞれ図 20、図 21 に示す。図より夕方に冷房を行う場合、室内の吸放湿性を考慮することで、全熱負荷が、4%程度増加することが分かる。以上から、平均的な家具設置条件で熱負荷は増えるが、家具の吸放湿が熱負荷へ与える影響は大きくはなかったといえる。

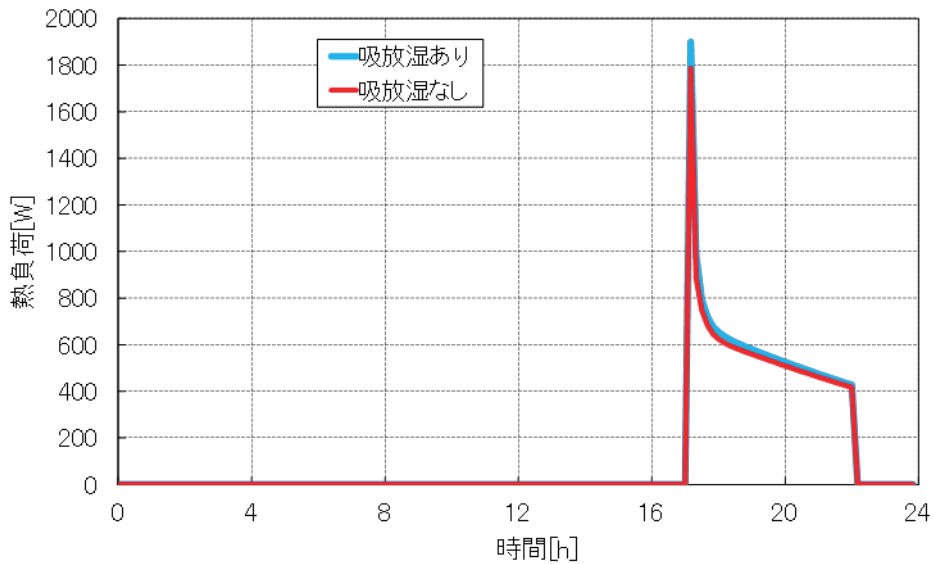


図 19 家具の有無による全熱負荷の比較

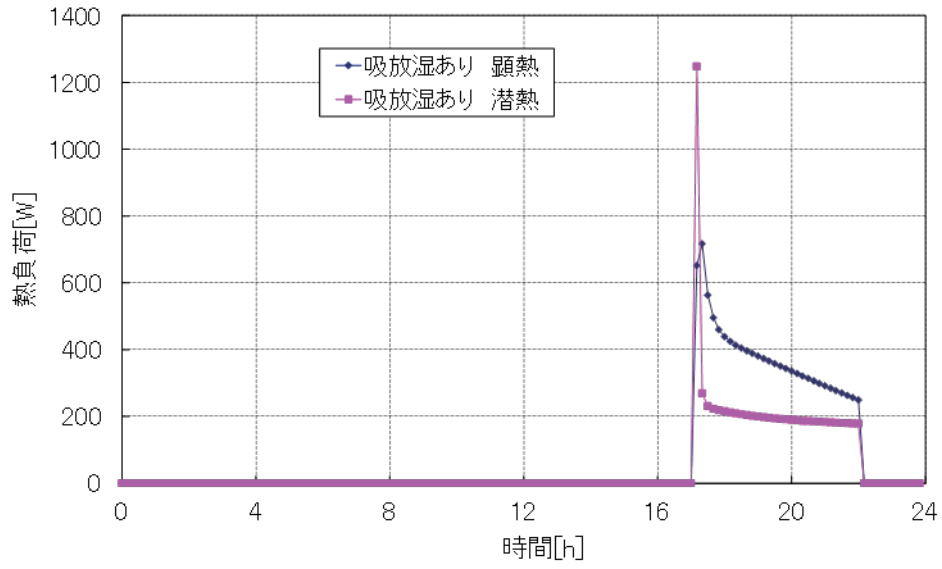


図 20 家具ありの場合の顕熱、潜熱負荷

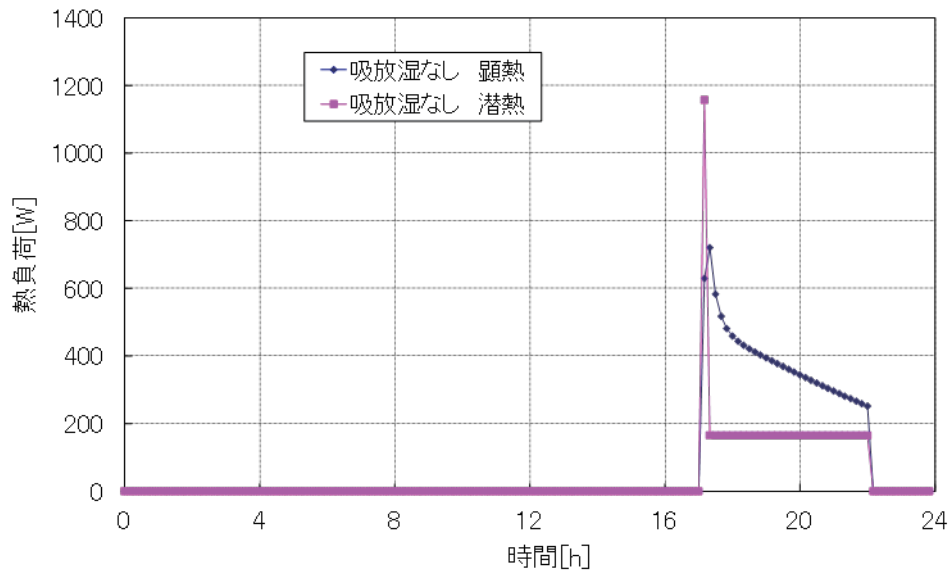


図 21 家具なしの場合の顕熱、潜熱負荷

## 2.5 まとめ

本研究では、住宅内の家具・収納物が温度・湿度の挙動、熱負荷にどのような影響を及ぼすのかについて明らかにするため、机、本、衣類、布団、ベッドなどの家具・収納物について以下の様な検討を実施した。

- 1) 家具・収納物の使用実態調査
- 2) 家具・収納物の吸放湿特性の文献調査
- 3) 家具・収納物の熱・湿気モデルの作成

得られた結果は以下の通りである。

大阪、兵庫、奈良、京都の順に近畿エリアの住まいで7割強を占める家具・収納物の使用実態に関するアンケート調査結果から、以下の結果が得られた。

- 1) 住宅の形式：73%が戸建住宅、25%が集合住宅であった。
- 2) リビングの平均広さは12.6畳、寝室の平均広さは7.5畳であった。
- 3) 床仕上げは、リビングでは「フローリング」78%、「カーペット」11%、「畳」6%であり、寝室では「フローリング」66%、「畳」19%、「カーペット」15%であった。
- 4) 棚については、リビングでは平均2.1台であり、食器棚、本棚が多く、収納率80%以上が6割あった。寝室では平均1.0台であり、本棚が多く、収納率80%以上が7割あった。

家具・収納物における吸放湿特性に関わる物性値の文献調査を実施し、布団、紙、衣類、カーテン、カーペットの物性値を得た。

家具・収納物の吸放湿を明らかにするため、既存の熱水分同時移動方程式を用いて1次元の壁体として扱うモデル化を行った。また、このモデルを用いて、例題計算として寝室の平均的なベッド、本棚の収納環境、夏期の夕方での冷房使用を想定し、数値シミュレーションを行った。その結果、以下の結果が得られた。

- 1) 家具の有無で室温湿度が多少異なる変動を示す。特に家具ありの場合、エアコン停止後の湿度上昇が最大で3%程度抑制された。
- 2) 室内の吸放湿性を考慮することで、全熱負荷が、4%程度増加した。平均的な家具設置条件で熱負荷が増えるが、その影響は、大きくはなかった。

室ごとの家具・収納物の設置量とこれらのモデルを考慮した室の解析手法を用いることで、エアコンの挙動を考慮した温湿度解析、熱負荷解析、消費電力の解析は可能となる。

