

平成元年度農林水産省補助事業
日本住宅・木材技術センター事業

住宅部材安全性能向上事業報告書

住環境に関する総合調査

平成 2 年 3 月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

住環境に関する総合調査

目次

まえがき	1
1. 室内空気の換気調査について 奥山 剛	4
1. 1 はじめに	4
1. 2 測定方法	5
1. 2. 1 測定の考え方	5
1. 2. 2 測定装置及び方法	6
1. 3 測定結果及び考察	7
1. 3. 1 木造住宅の換気	7
1. 3. 2 R C アパートの換気	8
1. 3. 3 R C 造実験室の換気	9
1. 3. 4 R C 建築物内の部屋の換気	11
1. 3. 5 小学校校舎の換気	11
1. 4 おわりに	12
文献	12
2. 住宅材料の接触温度特性 —— 接触後の手の平と材料 の温度変化 —— 山本 浩之	30
2. 1 はじめに	30
2. 2 材料の熱特性と接触温冷感	30
2. 3 実験方法	32
2. 3. 1 温度測定試料	32
2. 3. 2 温度測定方法	32
2. 4 実験結果	32
2. 4. 1 手の平及び材料の初期温度	32
2. 4. 2 材料の温度降下過程と手の平の温度降下過程	33
2. 5 おわりに	36
文献	36
3. 室内ラドン濃度と換気について 奥山 剛	57
3. 1 はじめに	57
3. 2 測定方法	59
3. 2. 1 測定方法	59
3. 2. 2 測定箇所	61
3. 3 測定結果及び考察	66
3. 3. 1 木造住宅の床下工法とラドン濃度との関連	66
3. 3. 2 住宅内でのラドンの垂直方向への移動	66
3. 3. 3 土壁の影響	67
3. 3. 4 大気中のラドン濃度について	68
3. 3. 5 木造住宅と R C 造アパートでのラドン濃度の比較	69
3. 3. 6 R C 造実験室内でのラドン濃度	69
3. 3. 7 R C 建造物内のラドン濃度	70

3.3.8	校舎における木造とRC造でのラドン濃度の比較	71
3.3.9	ラドン濃度と換気回数	72
3.4	終わりに	74
	文献	75
4.	室内環境における落下真菌の測定及び同定 …………… 川上 日出国 ……	119
4.1	はじめに	119
4.2	実験	119
4.2.1	使用培地	119
4.2.2	空中落下菌の採取方法	120
4.2.3	培養条件及び分離株の同定	120
4.3	結果	120
4.3.1	上之小学校の菌数	120
4.3.2	一般住宅の菌数	122
4.4	終わりに	123
	文献	124
5.	木造校舎とRC校舎内の温湿度環境について …………… 服部 芳明 ……	145
	橘田 絃洋	
5.1	学校校舎内の温湿度環境の実態 ——— 木造校舎とRC造校舎を 有する小学校の例 ———	146
5.1.1	まえがき	146
5.1.2	方法	147
	(a) 対象とした校舎、教室の概要	147
	(b) 温湿度の測定	149
	(c) 室温の垂直分布の測定	151
5.1.3	結果	151
	(a) 外気温湿度の年変動	151
	(b) 就学時間内における教室内温湿度の実態	153
	(c) 冬季における床表面温度	154
	(d) 教室内気温の垂直分布	155
	(e) 廊下気温の垂直分布	157
	(f) 廊下の気温	158
5.1.4	考察	160
	(a) 「学校環境衛生の基準」について	161
	(b) 校舎内温熱環境について	163
	(c) 「学校環境衛生の基準」からみた校舎内温湿度環境	165
5.1.5	まとめ	170
	文献	173
5.2	温湿度環境からみた木造校舎とRC造校舎の比較	199
5.2.1	はじめに	199

5. 2. 2	方法	201
	(a) 対象とした校舎	201
	(b) 温湿度の測定方法	201
5. 2. 3	結果及び考察	202
	(a) 外気の温湿度の年変動	202
	(b) 教室内の温湿度の年変動	202
	(c) 夏季における教室内の不快指数	203
	(d) 就学時における教室内気温	205
	(e) 木造、RC造校舎内教室ならびに外気の気温の日較差	207
	(f) 廊下の気温について	210
	(g) 廊下気温の日較差	211
	(h) 就学時における教室内湿度	214
	(i) 校舎内湿度の日較差	214
	(j) 冬季における教室内気温の時刻別変動	215
	(k) 教室内の気温変動幅	219
	(l) 冬季における床表面温度	221
	(m) 床下温度と床表面温度	222
	(n) 教室内気温の垂直分布	223
5. 2. 4	まとめ	224
	文献	227
5. 3	サーモトレーサーによる学校校舎内の周壁面温度分布の調査 —— 木造校舎とRC造校舎の比較 ——	250
5. 3. 1	はじめに	250
5. 3. 2	方法	251
5. 3. 3	結果および考察	252
	(a) 廊下周壁の表面温度について	252
	(1) 1階廊下について	252
	(2) 2階廊下について	254
	(b) 教室の周壁について	257
	(1) 教室北側の周壁表面温度	257
	(2) 2階教室中央部の床温について	259
	(3) 2階教室の南側の周壁面について	259
5. 3. 4	まとめ	261
	文献	263
6. 総括 木方 洋二	276

まえがき

昨年度の調査においては、問題意識をもつ多くの研究者が集まり、主に次の三つのテーマについて生活環境因子の総合的な試験、調査、提言が行われた。

すなわち、(1) 住宅における住環境因子

(2) 健康に観点を置いた住環境評価指標

(3) 学校教育に必要とされる校舎内環境である。

(1) においては住居の場において、木材は十分な通気により平衡含水率に達し、気乾状態を保つことを根底においた居住環境に対する種々の実験、測定、提案がなされた。

(2) については生物学的因子の検討として建材、土壌から放出されるラドン濃度の測定方法の開発等が行われた。

(3) については校舎のあり方を自然科学的、社会科学的の両側面より検討がなされた。

以上の討論の中において今後の重要課題として屋内空気の換気回数を取りあげることが提案された。換気回数は(1)、(2)、(3)全ての測定、調査と根底においてかかわりのある課題であり、住環境を記述するにあたって、全てに換気回数を表示すべきであるとの意見が述べられたのである。

このことを受けて今回の調査では換気回数測定と、それに関連の深いラドン濃

度測定、落下真菌の測定が取り上げられ、また住宅材料の接触温度特性、小学校の温湿度環境について測定が行われた。対象とした小学校は同一敷地内に木造校舎とRC造校舎があり、しかも廊下で連続した状態で一線上に並んでおり、木造、RC造の対比に誠に好都合なものであった。

本調査の測定を許可していただいた上之保小学校長山田麟二校長はじめ多大なる御協力をいただいた同小学校の早川敏文教頭、先生方に感謝の意を表すものである。

住環境調査委員会 委員名簿 (アイウエオ順)

委員長	木方 洋二	名古屋大学農学部	木材物理学・教授
委員	有馬 孝禮	東京大学農学部	木質材料学・助教授
	岡野 建	東京大学農学部	木材物理学・教授
	奥山 剛	名古屋大学農学部	木材物理学・助教授
	川上 日出国	名古屋大学農学部	林産化学・助教授
	橋田 紘洋	愛知教育大学教育学部	木材加工学・教授
	鈴木 滋彦	静岡大学農学部	改良木材学・助手
	服部 芳明	名古屋大学農学部	木材物理学・助手
	山本 浩之	名古屋大学農学部	木材物理学・助手

1. 室内空気の換気調査について

1.1 はじめに

住環境を左右させる基本的な要因としての換気の測定を試みた。

一般に、室内空間と外気との間に、なんらかの圧力差がある場合、壁の通気口を通して圧力の高いほうから低いほうへ空気が流れる。その圧力差は風や温度差にもとづく浮力や送風機によって作られる。

もし、壁の開口部が1つであれば、送風機が動いていても外気との圧力差が平衡に達した時点で空気の流れは止まってしまうが、開口部が2つ以上あれば、換気は連続して行われる。

この換気の原因が風や温度差のみの場合が自然換気であり、なんらかの動力を用いて換気を行うのが機械換気である。

ここで取り扱うのは、室内の自然換気である。

自然換気は、風や温度差またはその複合効果で室内外に圧力差が生じることによっておこるが、被測定室の通気口の条件がそれぞれ千差万別である。

ここでは、あきらかに解放された開口部がある部屋は除外し、普通は閉じられたままである場合が多い部屋についての測定を試みた。木造家屋の場合は、障子や襖を締め切った状態で、RC造の実験室などは、扉を締め切った状態及び普通に

実験者が出入りする状態での換気度の測定を行った。

なお、この測定は、大学院生渡辺 拓君の協力で行った。

1. 2 測定方法

1. 2. 1 測定の考え方¹⁾

換気量の測定方法は、一般的にはCO₂を用い、継続的にガスを発生させながら室内のガス濃度の増加速度を測定するか、一時にガスを充満・拡散させその減少速度を測定するかである。

換気率は換気回数 n (回/時間) で表現する。すなわち、

$$n = V / R \quad [1. 1]$$

ここで、 V は単位時間あたりの換気量 (m^3 /時間)、 R は室容量 (m^3)。

室外へ流出する空気量を V_1 (m^3 /時間)、室内空気のCO₂濃度を k_i (m^3 CO₂/m₃ air) とすると、 $d t$ 時間のCO₂流出量は、 $V_1 \cdot k_i \cdot d t$ である。

室内へ流入する外気量を V_2 、外気のCO₂濃度を k_a とすると、同じく $d t$ 時間のCO₂流入量は $V_2 \cdot k_a \cdot d t$ となる。

室内で発生させるCO₂量を k (m^3 /時間) とすると、 $k \cdot d t$ の発生量がある。室内の全CO₂量は室容量を R (m^3) とすれば $R \cdot k_i$ である。その変化は $R \cdot d k_i$ となる。

室内でのCO₂の吸着・吸収などを無視すれば、

$$V_2 \cdot k_a \cdot dt + k \cdot dt - V_1 \cdot k_i \cdot dt = R \cdot dk_i \quad [1.2]$$

室内外空気の圧力差を無視し、室内・外の絶対温度を T_i 、 T_0 ($^{\circ}K$) とす

ると、 $V_2 = T_0 \cdot V_1 / T_i$ であるから

$$\therefore [k - V_1 (k_i - T_0 \cdot k_a / T_i)] dt = R \cdot dk_i \quad [1.3]$$

これを k_i について解いてならばかえると

$$k - V_1 (k_i - T_0 \cdot k_a / T_i) = [k - V_1 (k_0 - T_0 \cdot k_a / T_i)] \cdot \exp(-V_1 \cdot t / R)$$

ここに、 k_0 は $t = 0$ における室内 CO_2 濃度である。 [1.4]

$T_0 / T_i \approx 1$ とみなせば、 $V = V_1 = V_2$ となる。 $V / R = n$ であるから

$$k - V (k_i - k_a) = [k - V (k_0 - k_a)] \exp(-n t) \quad [1.5]$$

※ CO_2 を発生させて室内の濃度がある値になったときに、 CO_2 発生を止め、

その減少速度を測定する場合、 $k = 0$ であるから、

$$(k_i - k_a) = (k_0 - k_a) \exp(-n t) \quad [1.6]$$

したがって、

$$n = (-2.303 / t) \log [(k_i - k_a) / (k_0 - k_a)] \quad [1.7]$$

CO_2 濃度の減少速度を測定することにより、この式から、換気回数をもとめた。

1. 2. 2 測定装置及び方法

CO₂の濃度変化速度を測定した。用いたCO₂メーターは、赤外線吸収方式による環境測定用CO₂計（富士電機株式会社ZFP5）で、測定範囲は、0～2000/5000 ppmである。メーターのゼロ点校正にはN₂ガスを用いた。

測定にあたっては、扇風機で室内空気を攪拌しながら、室内にCO₂ガスを放出する。室内空気のガス濃度が5000 ppmになった時点でガスの放出を止め、以後濃度減少経過を記録計で自記した。高さ1.2 mの位置から測定ガスの吸入を行った。

CO₂濃度と時間との記録チャートから測定値を読み取り、[1.7]式を用いて換気回数を計算した。

1.3 測定結果及び考察

換気回数そのものが、外気温、風による圧力差など多くの因子によって変動するものである。従って、ここであげた測定値は、それを測定した時点の条件での一測定値にすぎない。しかし、場所によっては、一時点の測定値でその部屋の換気の良し悪しが判断できるものもある。

1.3.1 木造住宅の換気

図1.1は、木造住宅2の1階6帖（平面図3.8の黒い㊸印）での値と同じ住宅2の2階6帖（平面図3.9の黒い㊹印）での測定例である。いずれ

も同じ程度の換気回数であるが、曲線の形は異なる。すなわち、1階では、換気によって部屋から流出したCO₂ガスは、廊下を通過してLDKや玄関の広い空間へと拡散し、正しい換気が行われる。それに対して2階6帖では、隣の洋間に流出したガスが、再度6帖に逆流したために、特に低濃度領域で下に凸な曲線になったものと考えられる。

1. 3. 2 RC造アパートの換気

図 1. 2 はRC造アパートの一室の換気測定例である。このアパートの平面図は図 3. 17 にあげた。窓の換気口や襖などは締め切った条件で測定したものである。

換気回数はいずれも0.4内外であり、上記の木造住宅に比べ少し低い値を示した。この結果のみから「RC造は木造よりも換気が悪い」と結論することはできない。しかし、ラドン濃度は、RC造のほうが高い値を示すことからその傾向はあると考えられる。

この程度の換気回数が、どの程度、室内空気環境に影響するかを知るため、成人一人が一晩、この部屋で就寝した場合の空气中炭酸ガス濃度の上昇経過を測定した。結果を図 1. 3 に示す。図のように、おどろくほどCO₂濃度は上昇するもので、両対数ではほぼ直線的に上昇し、通常約600ppm程度のものが一晩約7時間で2700ppmの濃度となった。

炭酸ガスは、そのみの増加ならば数%に達しても害はないとされている。しかし通常は、衛生上のCO₂濃度は短期1000ppm、長期700ppmとされており、RC造アパートのそれは約1時間でその値を越えることになる。その意味では、換気回数はこれより高いほうが望ましい。

ちなみに、吐息のCO₂濃度は約4400ppmで成人の仰臥時の呼吸量は平均0.24～0.3m³/時間¹⁾程とされており、つごう1.1～1.3×10⁻³m³/時間の炭酸ガスが吐き出される。換気回数が一晩中一定であるなら、この場合、[1.5]式がなりたち、やはりCO₂濃度は時間の対数に直線的に上昇するはずである。ところが、実際は図1.3のように両対数でほぼ直線の関係であり、他のなんらかの因子が影響したものと考えられる。

1.3.3 RC造実験室の換気

実験室の換気測定にあたっては、実際の使用条件下での測定を主眼とした。

※ まず図1.4は173号室の例である。この実験室は、平面図3.18にあるように、177、179号室の並びになっており、これらの部屋は共通の空調機械で空調されている。したがって、互いに空調ダクトでつながれている。

173号室で放出されたCO₂ガスは、外気と換気されることはないが、ダクトを通して他の2部屋に拡散される。測定値は、測定日時にあまり関係なく比較的安定した値がえられているのは、この部屋の開口部が外気と接していないため、

温度変化や風による圧力差に直接影響されなかったためと考えられる。

※ 図 1. 5 は 181 号室の中に作られた 2×4 m の小さな現像用暗室内での測定例である。扉は 2 重扉で、扉及び廊下に面した壁の足下に 0.2×0.4 m 程度の通気口がある。また、壁の上部に換気扇が備えられている。

173 号室と同様に、安定した測定値がえられる。換気扇をつけた場合は約 2 倍の換気回数となる。この換気扇は、この建物が作られた時につけられた旧式のもので、タバコの煙が排出されにくいなど、従来から苦情が多かった設備のものである。測定された換気回数も、換気扇による換気にしては低い値である。

※ 図 1. 6 は、一般的な実験室である 285 室での測定値である。測定日時によって $0.85 - 2.45$ と大きく値が変動する。測定時には入口のドアは締めている状態であったが、他の実験も続行中であり人の出入りは自由とした。しかしながらこの実験室の容量から考えて、その程度のことでこれだけ換気回数が上下するとは考え難い。やはり、窓の外の風や、暖房中の室温と外気温との差などが影響していると考えられる。

今後、他の居住因子と換気との因果関係を解析するためにも、このあたりの検討は重要課題であろう。

※ 図 1. 7 は、建築後新しい実験室である。（図 3. 18 の平面図参照）換気回数は 1 回／時間と平均的な値であるが、西日が陰り外気が急速に低下する

15 : 00頃には、2.3回/時間と2倍以上の値となる。また、換気扇の影響は大きく15回/時間であった。この程度であると、室内空気の動きを肌で感じることができる。

1.3.4 RC建築物内の部屋の換気

※ 図 1.8 は、RC建造物の典型である図書館の密閉された室の測定例である。(平面図 3.20及び23参照) 両者とも、建物内に作られており外気との接点が全く無く、ドアも廊下や閲覧室側にあるのみで、通常は閉じられたままである。両者とも非常に低い値で、測定時間によるばらつきもなく安定した値を示した。後述するが、このような場所ではラドンの滞留も大きくラドン濃度も高い値を示した。

マイクロフィルム室の換気回数は低いが、CO₂減少線図が1時間あたりで変化する傾向がみられる。これは、木造住宅2の2階和室の場合にもみられたような逆流現象と考えられる。すなわち、マイクロフィルム室には、扉つきの資料棚がギッシリと並べられており、CO₂は一旦その中に流入し、室内の濃度低下にともなって逆流してきた結果、図のようにCO₂減少速度が落ちたものと考えられる。

1.3.5 小学校校舎の換気

※ 図 1.9 は小学校校舎での測定例である。RC造である家庭科教室及び理

科教室では、木造である校長室より換気回数は小さく、約半分の値である。これらのことからいちがいに「RC造は木造より換気が悪い」と結論することはできないが、RC造アパートと木造住宅との比較例からも、多少その傾向はあるように思える。

今後、種々の条件で両者の比較測定を続ける必要がある。

1. 4 おわりに

この項では、住宅の居住性と室内空気環境を大きく左右する換気について検討した。換気の測定に関しては、古くから建築関係の専門家によって研究されてきたが、住環境因子の一つとして測定されたものが多く、他の住環境因子との相関を論ずる目的のためには、そのつど測定を行う必要がある。

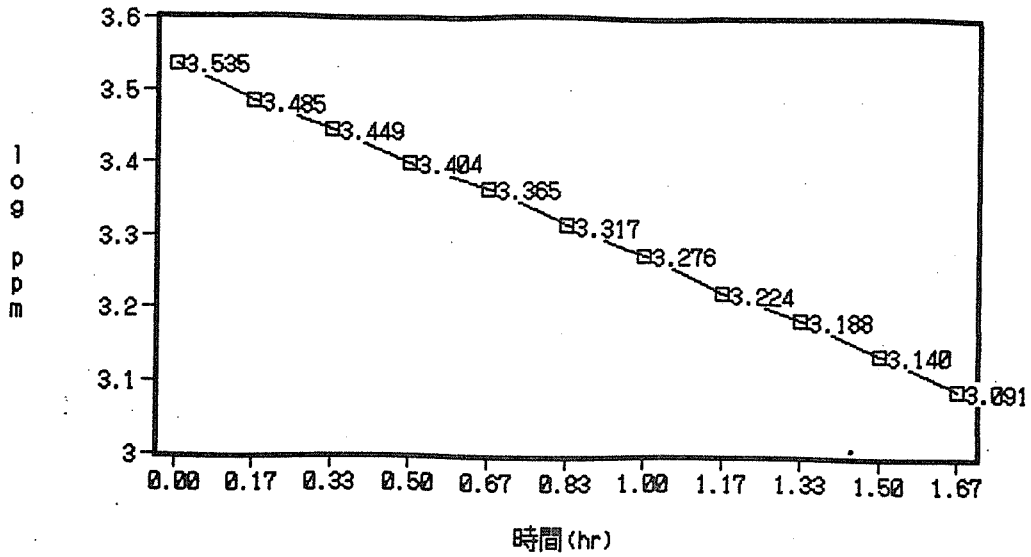
本研究では、主として後述のラドン濃度との相関をみるために行った測定である。ラドン濃度は何ヶ月かの平均値として評価されるのに対し、換気回数は測定した時点での値でしかない。換気もやはり、一定期間の平均的な値として評価できる性質のものにする必要がある。

換気回数は、種々の因子によって測定値は変化し、開口部の大きさのみで決定される量ではない。個々の測定対象について換気測定に影響する因子をよく検討し、長期間の平均値が評価できるような測定手順を確定すべきである。

文献

1) 渡辺 要 編 : 建築計画原論 III、丸善 1965

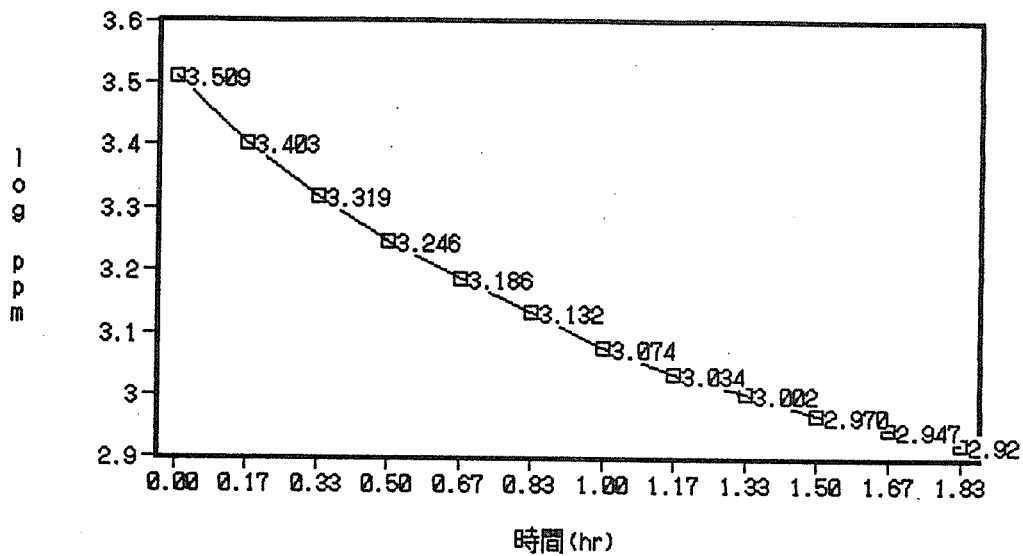
図 1. 1 木造住宅 2 の CO₂ 濃度変化速度



1 階和室 6 帖 (図 3. 8 平面図参照)

※ 測定日時 : 1990 2.6、10:40

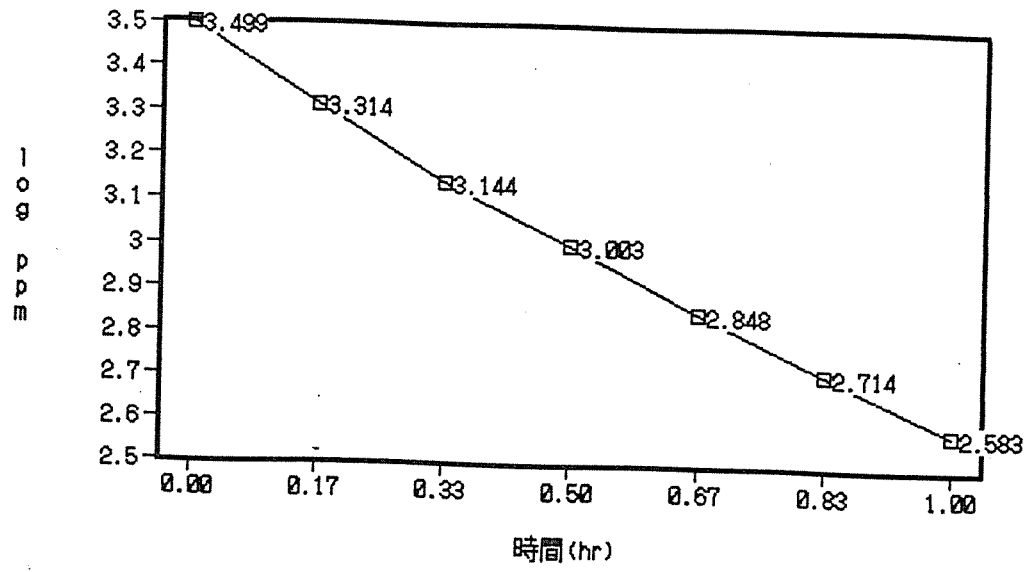
※ 換気回数計算値 : 0.61 回/時間



2 階和室 6 帖 (図 3. 9 平面図参照)

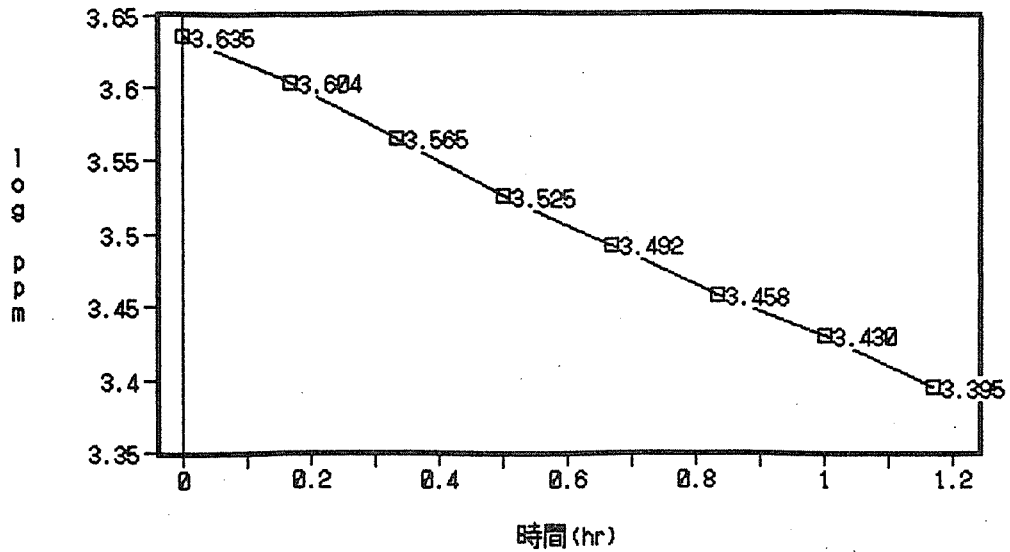
※ 測定日時 : 1990 2.6、13:40

※ 換気回数計算値 : 0.74 回/時間



※ 測定日時 : 1990 1.19、19:00
 ※ 換気回数計算値 : 2.11 回/時間

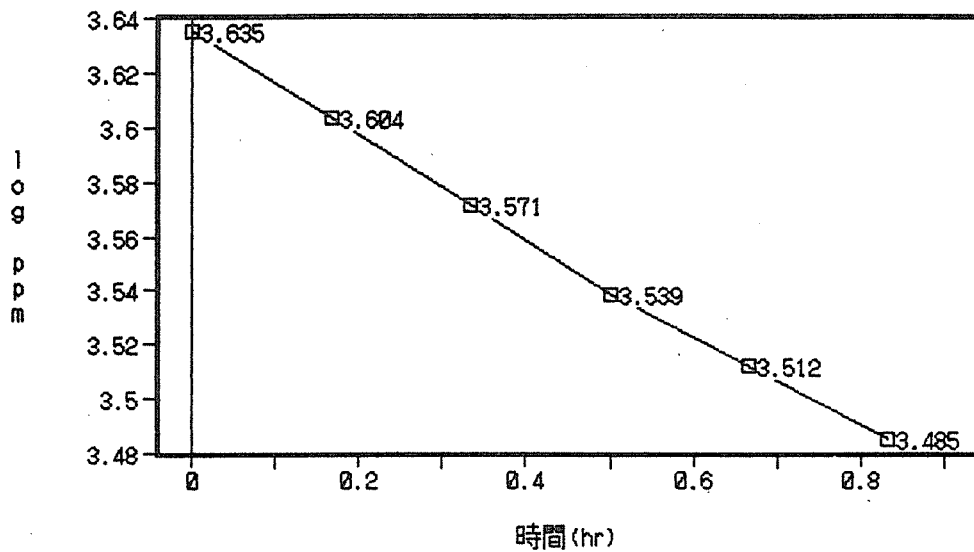
図 1. 2 R C造アパートのCO₂濃度変化速度



北 6 帖居間 (図 3. 1 7 平面図参照)

※ 測定日時 : 1990 2.19、10:10

※ 換気回数計算値 : 0.47 回/時間

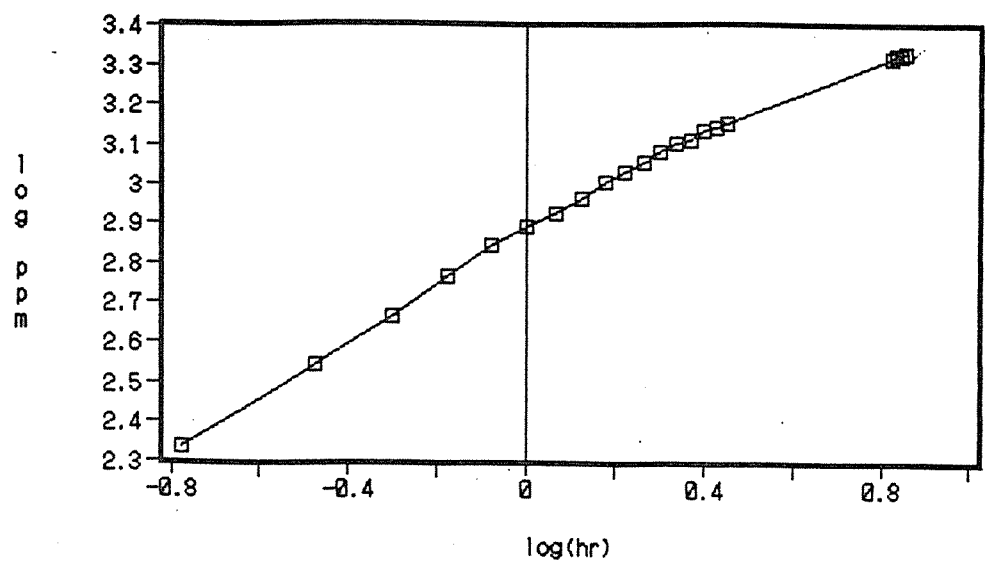


南 4. 5 帖居間 (図 3. 1 7 平面図参照)

※ 測定日時 : 1990 2.19、10:40

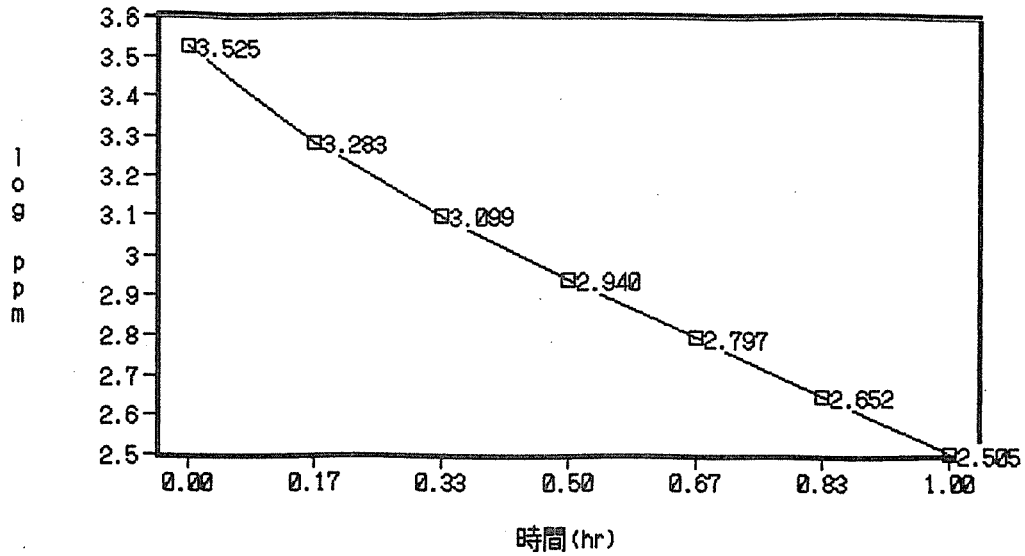
※ 換気回数計算値 : 0.41 回/時間

図 1.3 RC造アパートで就寝中のCO₂濃度上昇例

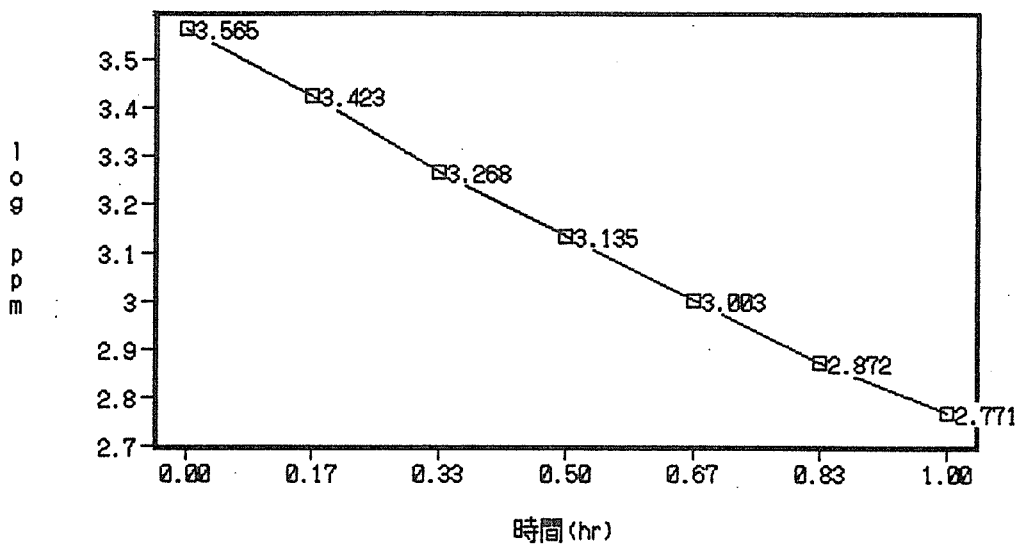


※ 北6帖居間 (図 3.17 平面図参照)
 ※ 測定日時 : 1990 2.20、0:00-7:00

図 1. 4 R C 造実験室 173 号室内 の CO₂ 濃度変化速度
測定時刻による違い (図 3. 18 平面図参照)

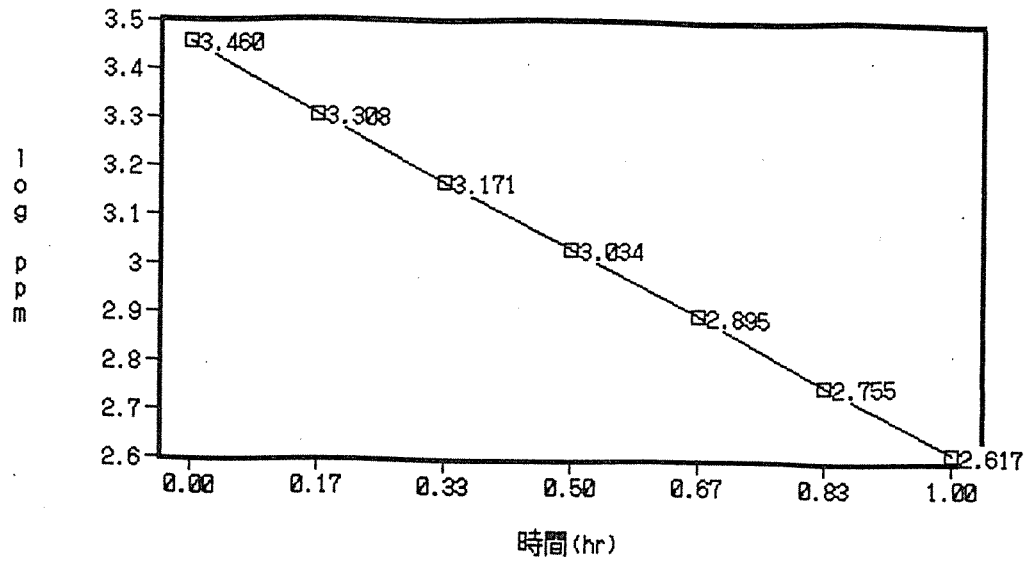


※ 測定日時 : 1990 1.19、~~15:00~~
 ※ 換気回数計算値 : 2.35 回/時間

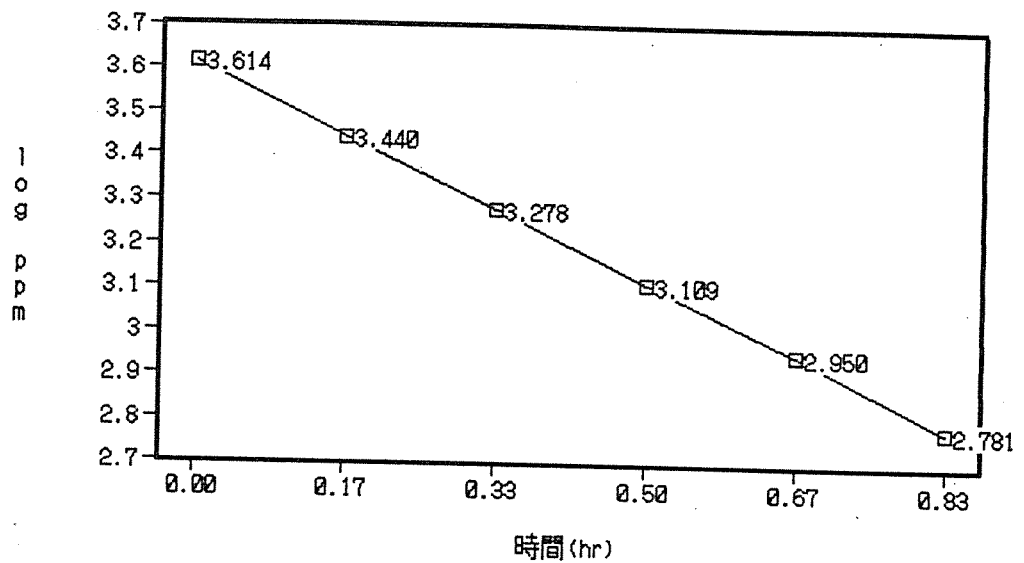


※ 測定日時 : 1990 1.19、~~17:00~~
 ※ 換気回数計算値 : 1.83 回/時間

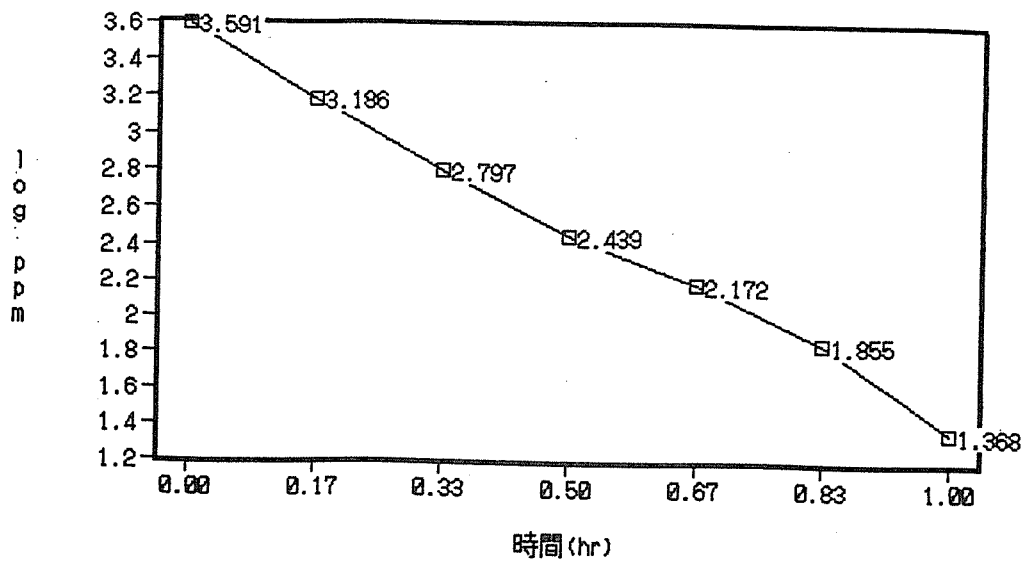
図 1. 5 R C 造実験室 1 8 1 号暗室内の CO₂ 濃度変化速度
測定時刻及び換気扇の影響 (図 3. 1 8 平面図参照)



※ 測定日時 : 1990 1.24, 11:30
 ※ 換気回数計算値 : 1.94 回/時間



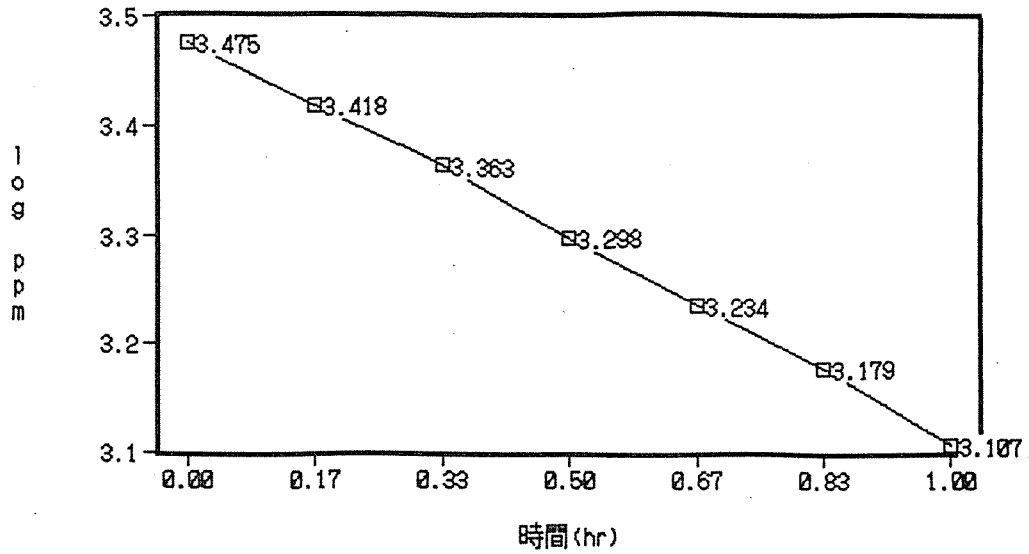
※ 測定日時 : 1990 1.24, 15:00
 ※ 換気回数計算値 : 2.30 回/時間



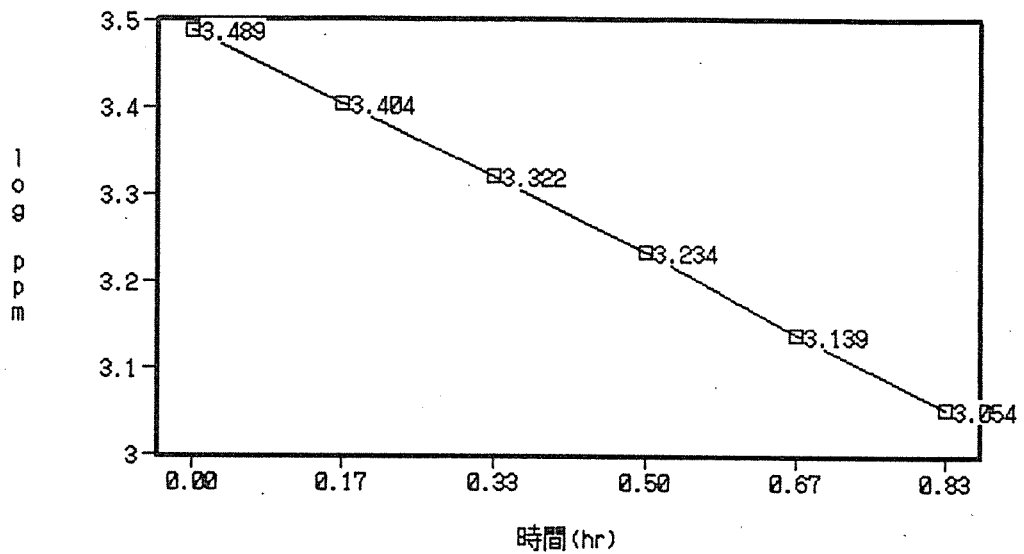
換気扇入

- ※ 測定日時 : 1990 1.24、13:40
- ※ 換気回数計算値 : 5.12 回/時間

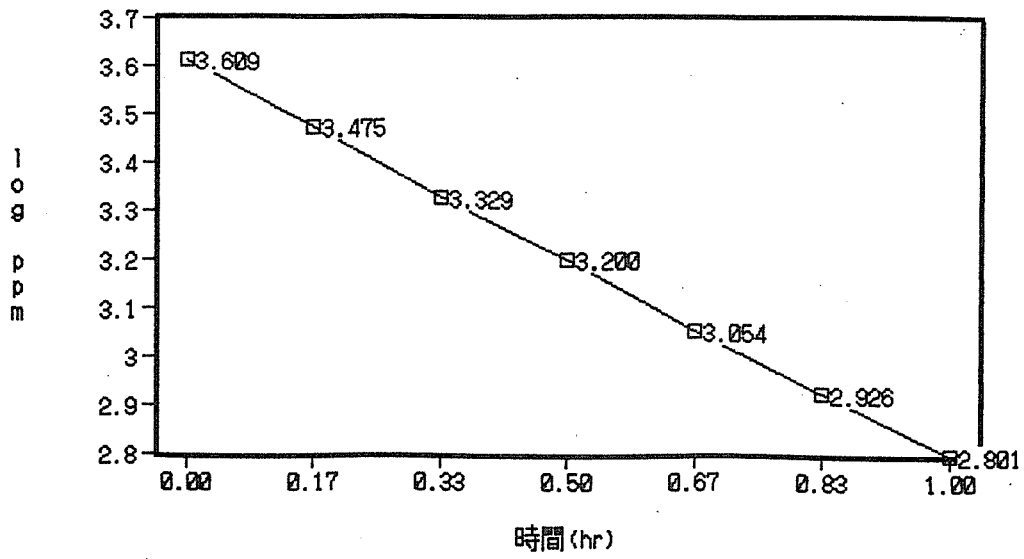
図 1. 6 R C 造実験室 2 8 5 号室の CO₂ 濃度変化速度
測定時刻の影響 (図 3. 1 8 平面図参照)



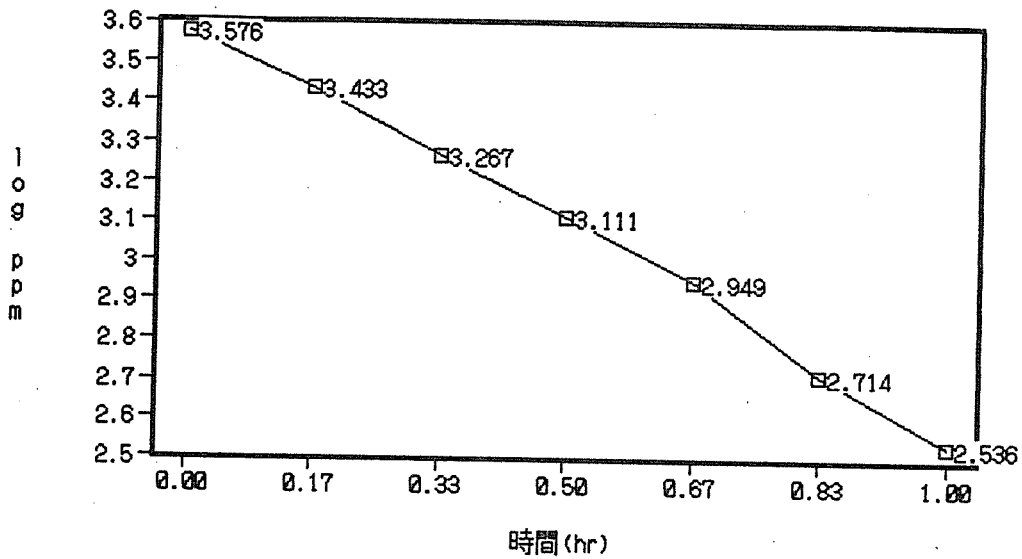
※ 測定日時 : 1990 1.18, 13:20
 ※ 換気回数計算値 : 0.85 回/時間



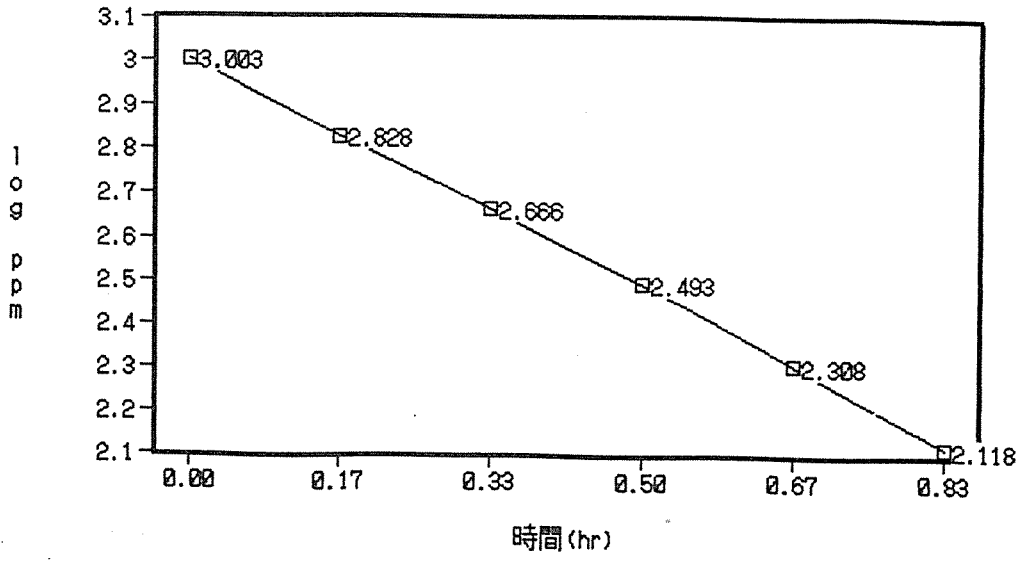
※ 測定日時 : 1990 1.18, 15:15
 ※ 換気回数計算値 : 1.20 回/時間



※ 測定日時 : 1990 1.18, 18:00
 ※ 換気回数計算値 : 1.86 回/時間

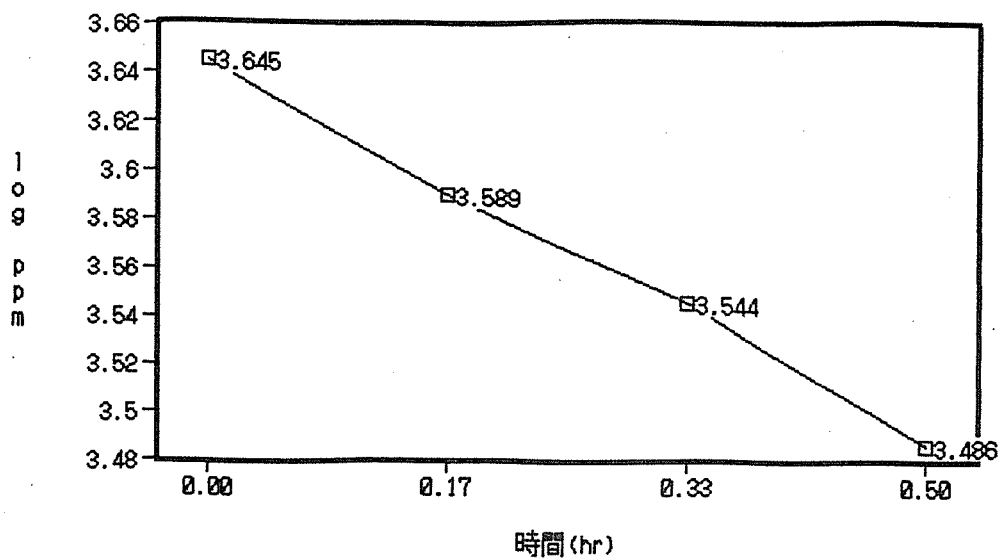


※ 測定日時 : 1990 1.19, 11:00
 ※ 換気回数計算値 : 2.40 回/時間

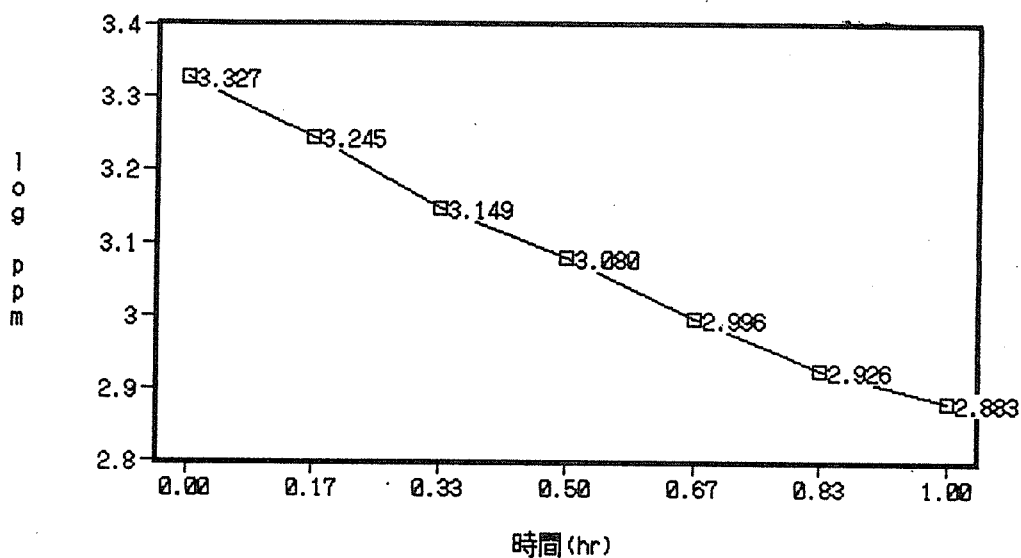


※ 測定日時 : 1990 1.19, 13:00
 ※ 換気回数計算値 : 2.45 回/時間

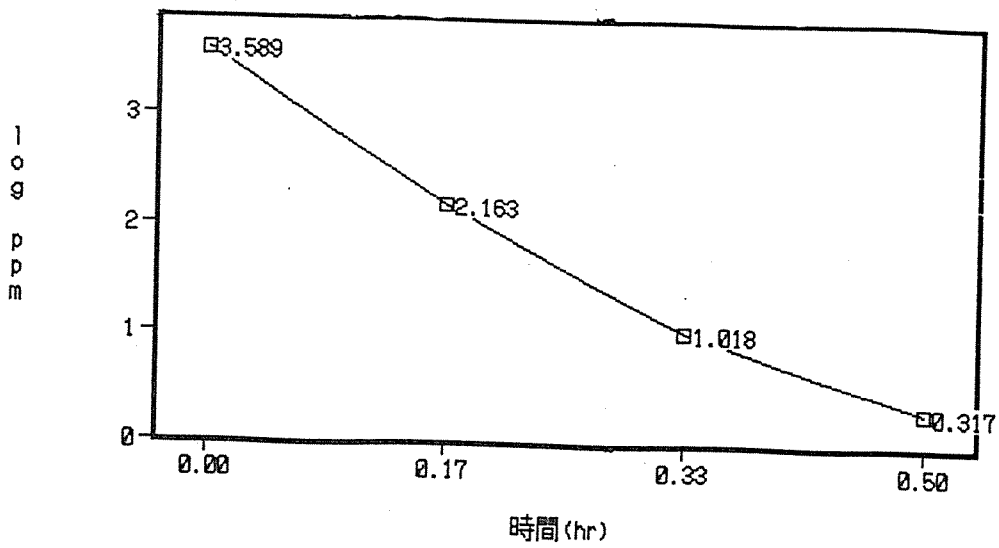
図 1. 7 R C 造実験室 B 2 2 4 号室の CO₂ 濃度変化速度
測定時刻及び換気扇の影響 (図 3. 1 8 平面図参照)



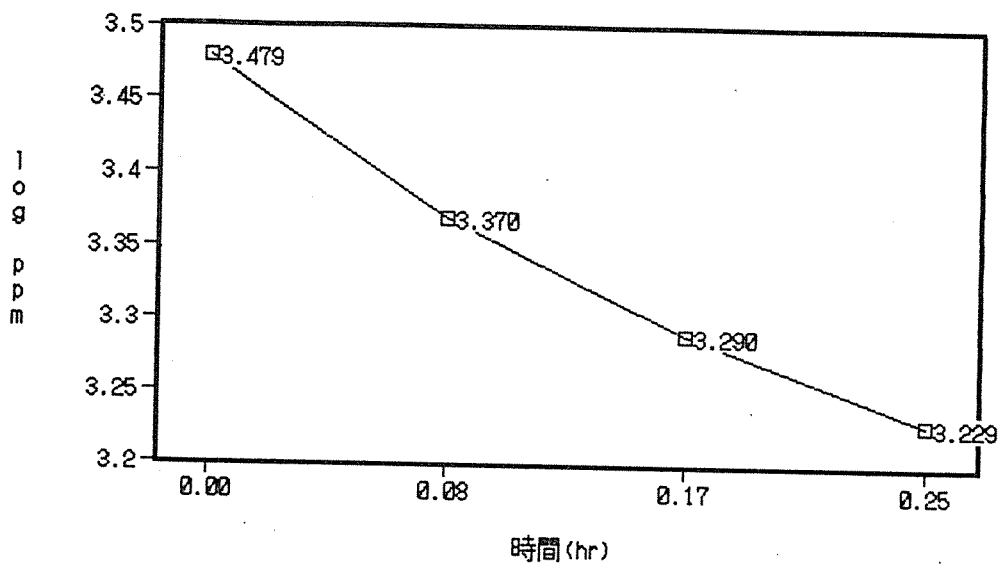
※ 測定日時 : 1990 1.20. ~~18:30~~
 ※ 換気回数計算値 : 0.73 回/時間



※ 測定日時 : 1990 1.20. ~~18:30~~
 ※ 換気回数計算値 : 1.02 回/時間

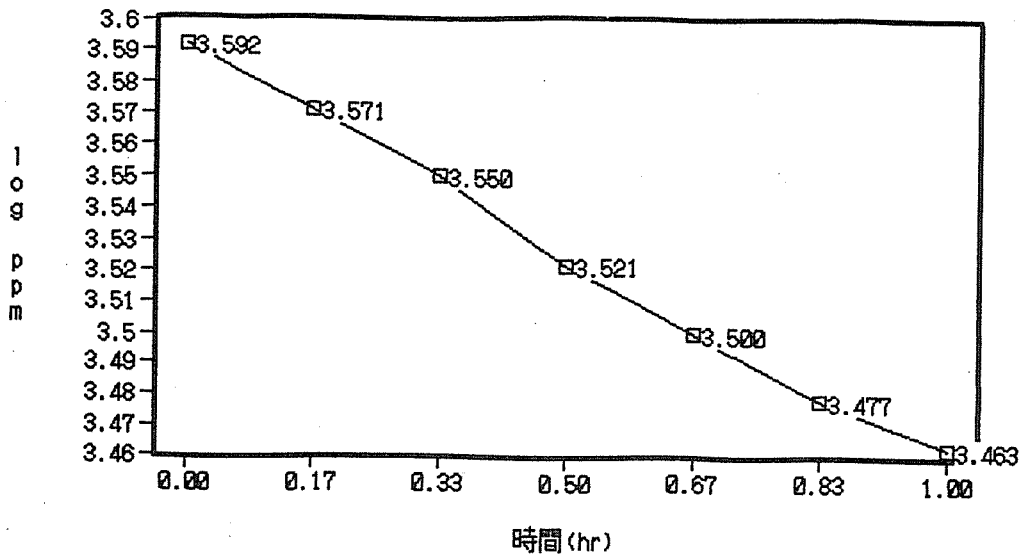


換気扇入
 ※ 測定日時 : 1990 1.20、~~16:00~~
 ※ 換気回数計算値 : 15.07 回/時間



気温急変時
 ※ 測定日時 : 1990 1.20、~~15:50~~
 ※ 換気回数計算値 : 2.30 回/時間

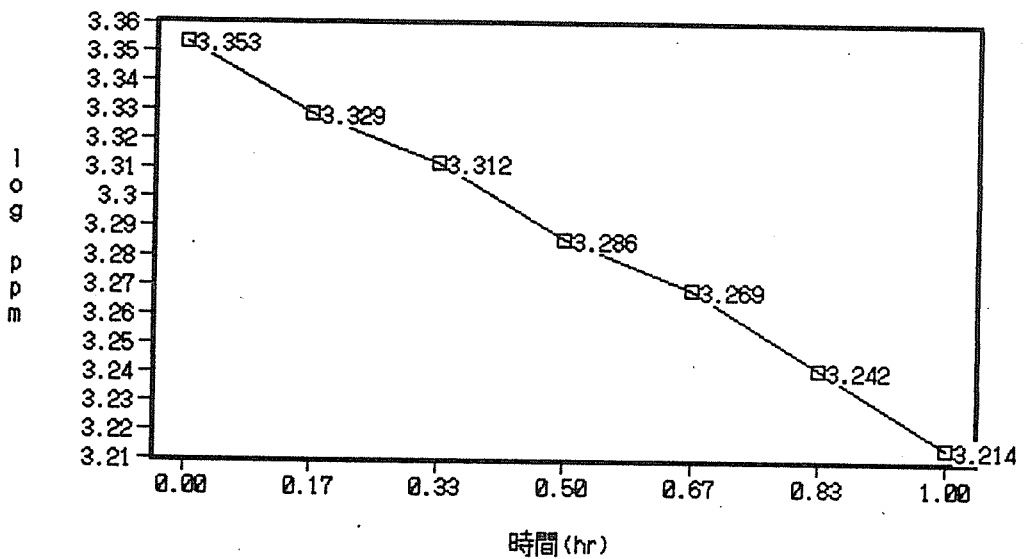
図 1. 8 R C 造建築物、名古屋大学中央図書館内の CO₂ 濃度変化速度



倉庫内 (図 3. 20 の平面図参照)

※ 測定日時 : 1990 1.23、13:00

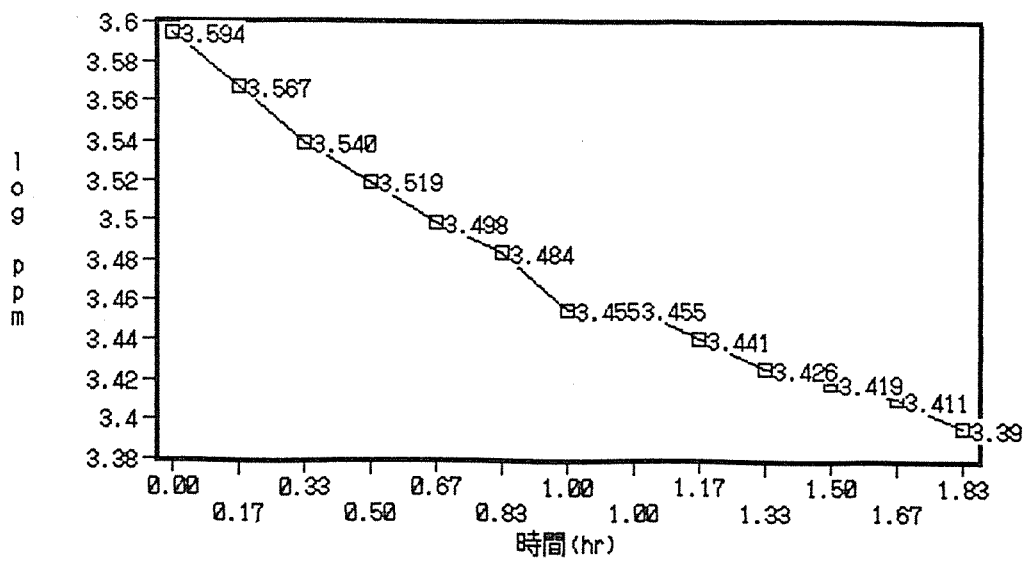
※ 換気回数計算値 : 0.30 回/時間



倉庫内 (図 3. 20 の平面図参照)

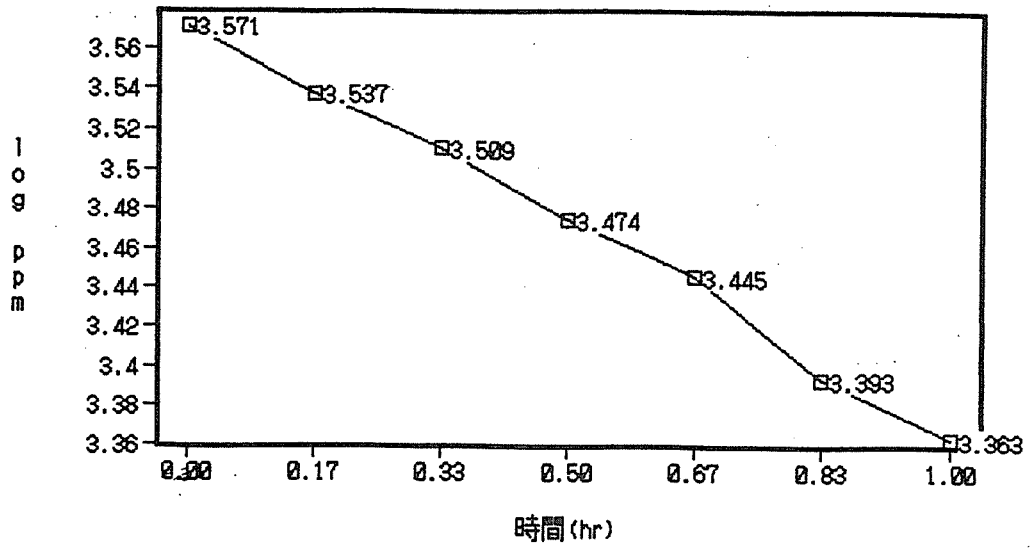
※ 測定日時 : 1990 1.23、13:00

※ 換気回数計算値 : 0.32 回/時間

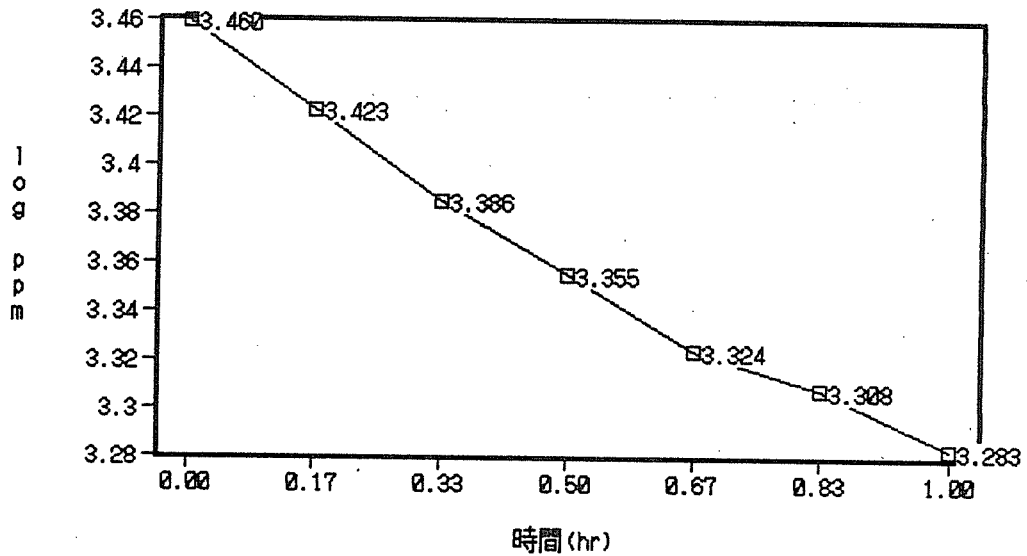


マイクロフィルム資料室 (図 3・22 の平面図参照)
 ※ 測定日時 : 1990 1.23、14:30
 ※ 換気回数計算値 : 0.32 - 0.25 回/時間

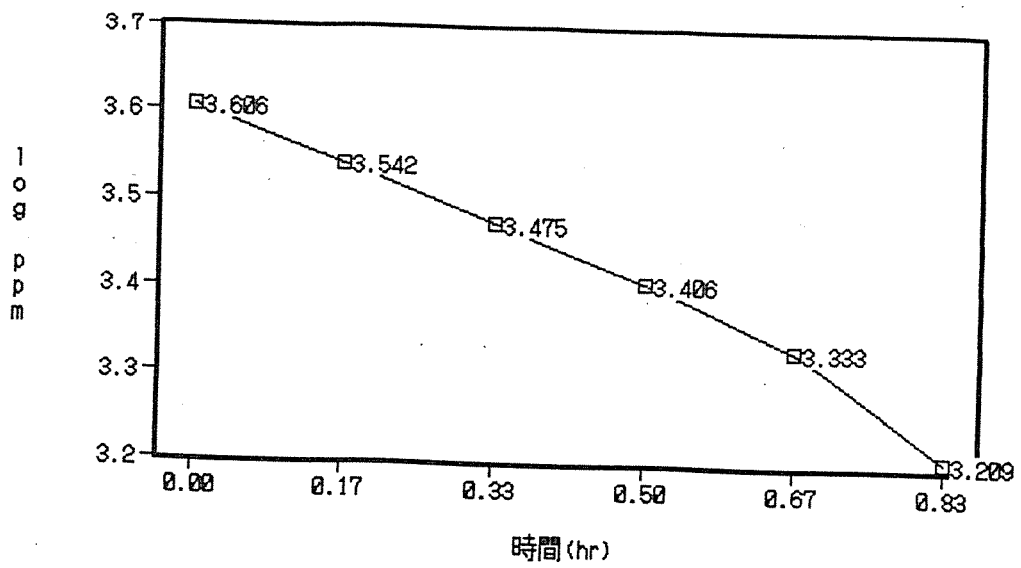
図 1.9 上之保小学校校舎各室での
のCO₂濃度変化速度



R C 造家庭科教室 (図 3.24 の平面図参照)
 ※ 測定日時 : 1990 2.15、~~09:00~~
 ※ 換気回数計算値 : 0.48 回/時間



R C 造理科教室 (図 3.24 の平面図参照)
 ※ 測定日時 : 1990 2.15、~~10:30~~
 ※ 換気回数計算値 : 0.41 回/時間



木造校長室（図3・24の平面図参照）

※ 測定日時：1990 2.15、14:10

※ 換気回数計算値：0.94 - 1.10 回/時間

2. 住宅材料の接触温度特性

— 接触後の手の平と材料の温度変化について

2. 1 はじめに

木材などの生活材料には、ヒトの感覚のみによって評価できる性質が多く見られる。これらの官能特性は、感覚への物理的刺激に対する心理的応答の程度によって評価される。官能特性は様々な形容語句によって表現されるが、たとえば視感・触感における「あたたかい—つめたい」や「こまかい—ざつな」などはその一例である。住宅材料としての木材の接触感については、温冷感、粗滑感、硬軟感、乾湿感などの官能特性があり、生活の場に木材が使用される場合には、これらの特性は重要な性質となる。

本項目では、とくに接触温冷感に着目し、木材あるいは木質系複合材料を中心とする住宅材料と手の平との温度的な関係を定量的に推定するための実験及び結果について報告する。

2. 2 材料の熱特性と接触温冷感

材料に触れたときの温冷感は、材料との接触部の温度及び温度変化速度や、接触部を通して出入りする熱量がヒトの感覚器をどのように刺激するかによって決まる。体温よりも温度が低い材料に触れると接触部は急速に冷やされるが、その後は発泡スチロールやバルサ材では界面の温度は上昇し、セメントモルタルやシ

ラカシ材では低下する¹⁾。

以上に述べた皮膚・材料接触面での熱挙動は、材料の表面構造や熱特性さらに外部の温湿度環境によっても支配される。例えば20℃において一対比較法によって測定された温冷感、触れた材料の深さ方向の熱伝導率の対数と直線関係にあることが報告されている²⁾。それによれば、発泡スチロールや発泡ウレタンなどの熱伝導率の小さい材料では、温冷感は高く（温かく）、セメントモルタルやシラカシ材などの熱伝導率の大きい材料では逆に温冷感は低い（冷たい）。また木材の場合、同一樹種でも木口面の方が縦断面よりも熱伝導率が大きいので、木口面は冷たく感じる。

現実の住環境で用いられる木質材料は、単板を他の材料の上に被覆したり、表面を化学加工したり、塗装するなどして用いられることが多い。これらの木質系住宅材料では、木材そのものの熱特性の他にベース材や塗膜の種類や厚さが、温冷感に影響することが報告されている¹⁾。

住環境において気温（環境温度）の示す意味は大きい。マウスを用いた実験で、木製飼育箱内での飼養条件では、コンクリート製やアルミニウム製の飼養条件下に比べ、出産、ほ育が順調であることが示されている³⁾。マウスの飼養状況は飼育箱内の温湿度環境に左右されやすい。このように住宅材料の官能特性が生物の生活に与える影響は大きく、その一つとして住宅材料の接触温度特性を知るこ

とは重要である。

2. 3 実験方法

2. 3. 1 温度測定試料

15種類の住宅材料を用いた。大きくわけて木材素材、表面加工木材、天然有機材料、合成有機材料、非金属材料及び金属材料に大別した。うちわけを表2. 1に示す。

2. 3. 2 温度測定方法

非接触型の赤外線放射温度計、サーモレーサ（（株）日本電気三栄製）を用いた。測定試料から放射される赤外放射エネルギーを検出部（カメラ）を通して検出し、光学走査することにより、材料表面の温度分布をディスプレイ上にカラーの二次元画像で表示する。

検出部カメラから約1.5 m離して、カメラと垂直に向き合うように被測定物を置いた。なお被測定物の後方（裏）には何も置かなかった。手の平で測定試料を触れた後に、手の平及び測定材料の二次元温度分布をディスプレイ上にカラー表示させ、写真撮影により親指付け根の温度回復過程と、材料上の相当箇所の温度降下過程を記録した。測定は2月中旬に行い、室温は約25℃であった。

2. 4 実験結果

2. 4. 1 手の平及び材料の初期温度

材料を1分間触れて手を離れた直後の、手の平の親指付け根と材料上の相当箇所
の温度（初期温度）を表2.2に示す。

金属材料及びガラス板は、手の平、材料ともに初期温度が30℃を下回っていた
が、他の材料はいずれも30℃以上であった。

材料の温度が手の平の温度をこえることはなかったが、その差は小さく、多く
て2℃であり、両者にはほとんど差はないといえる。金属材料、無機材料及びナ
イロンカーペットでは、他の材料に比べ両者の差が比較的大きかった。

金属材料やガラス板は熱容量が大きいと同時に熱伝導率も高い。また血流によ
って材料との接触面に供給される熱量には限度があるから、材料と手の平との接
触面は冷やされる。従って、手の平の初期温度が低くなる。

以上のように、金属材料やガラスなどを触れると冷たく感じたり、一方有機材
料や木材を触れると温かく感じるのは、初期温度で見る限り理解できる。このよ
うに今回測定した初期温度は、材料に対する手の平の接触温冷感を如実に反映し
ているといえる。

2. 4. 2 材料の温度降下過程と手の平の温度降下過程

図 2.1(a)～(p)に結果を示す。住宅材料の温度は、いずれも時間に対して指数
関数的に減少して行き、十分な時間経過の後には外気温度に等しくなる。

手の平の温度回復過程は概ね指数関数的であったが、なかには過剰に温度回復

をして正常温度以上になった後に、やや温度を下げて温度一定になるもの（たとえばビニールタイル）もあった。全体的に、材料の温度降下曲線ほどには規則的ではなかった。

時間・温度関係の材料による違いを考察するために、時間と温度との関係に次ぎのような冷却則を適用してみた。

$$y = A \exp(-k t) + B \quad \dots\dots(1)$$

但し、 y : 温度

t : 時間

A, B, k : 定数

冷却過程にある材料にとっては $A > 0$ 、 B は外界の温度であり、温度回復途上にある手の平にとっては $A < 0$ 、 B は平常時の体温である。 $t = 0$ のときの y が初期温度 ($y_0 = A + B$) を表わす。正の定数 k は、材料の温まりやすさ、冷めやすさを表わす。便宜的に k を”冷却指数”と呼ぶことにする。

(1)式より

$$\log |y - B| = \log |A| - k t \quad \dots\dots(2)$$

を得る。実測値を(2)式で回帰することによって冷却指数 k を推定した。

材料については(2)式による回帰は合理的であると思われるが、手の平の温度回復過程は複雑な生理的現象を因子として含むので、(2)式による回帰は必ずし

も適当ではないかもしれない。得られた時間・温度関係（図2.1）を見る限り、手の平の温度回復過程には、(2)式による回帰が可能であると判断した。

冷却指数 k の測定結果を表2.3 に示す。

材料の冷却過程における k の値については、石膏ボード、ナイロンカーペット及びポリエステル化粧板で特に大きく、アルミ板、ガラス板も他に比べて大きな値を示した。木材素材については、スギ桎目板や広葉樹集成材は比較的大きな値を示したが、フラッシュパネルでは k の値は小さかった。

ニス塗りを施したつき板では k の値は小さかったが、WPC合板やポリエステル化粧板の k の値が大きいことを考慮すると、表面の化学加工により木材は冷めやすくなると考えられる。

温度回復過程にある手の平の冷却指数 k は、触れていた材料の冷却指数と正の相関関係があった（相関係数 0.79**）。両者の関係を図2.2 に示す。

冷却指数 k の大きな材料は温まりやすく、また冷めやすい。従って、そのような材料に触れると手は急激に冷やされ、材料から手を離れた後の手の平の温度回復も急激になる。当然、このような材料は、寒冷時には「冷たい材料」という認識を与えるだろう。多くの無機材料や金属材料はこれに当てはまる。逆に k の小さい材料は「温かい材料」という認識を与える。木材とか天然有機材料がこれに当てはまるだろう。

但し、ナイロンカーペットは初期温度が大きいにもかかわらず、手の平、材料ともに冷却指数 k はかなり大きいし、鉛板は初期温度がかなり低いにもかかわらず、冷却指数は手の平、材料ともに小さいなど、実際の接触温度感覚とは矛盾する結果も出た。これらの原因としては、材料固有の熱的特性や表面構造（例えば多孔性など）の他に、材料の寸法や厚さなどが k の値に影響するためである。今後、供試材料の寸法や厚さ、さらに表面構造をも考慮に入れて、生体に対する材料の温度特性を明らかにしてゆく必要がある。

2. 5 おわりに

接触温冷感を中心に住宅材料の接触温度特性について考察した。

いわゆる、材料の「あたたかさ-つめたさ」は、手を置いてしばらくしてから材料の温度または手の温度に対応している。金属材料やガラスなどでは接触面の温度は低く、木質材料などの有機材料では高かった。

材料の冷却過程と手の平の温度回復過程に簡単な冷却則を適用して、接触温冷感と材料の熱的特性との比較を試みた。本実験により、適切な実験条件を探るための手掛かりが得られたと考える。

文献

- 1) 荒川 純一、佐道 健、中戸 完二：木材誌、31、145、（1985）
- 2) 原田 康裕、中戸 完二、佐道 健：木材誌、29、205、（1983）

3) 竹村 富男ら：第36回日本木材学会研究発表要旨集、239、(1986)

表 2 . 1 表面温度測定試料

分類	うちわけ	厚さ(mm)
木材素材	・広葉樹集成材	30
	・2mm厚のシナ合板をはったフラッシュ パネル	20
	・スギ桎目板	30
	・コルク板	10
表面加工木材	・ナラつき板（ニス塗1mm厚）をはっ た3プライ合板	9
	・ポリエステル化粧板	9
	・WPC（1mm厚）をはった5プライ 合板	10
天然有機材料	・天然ゴム	15
	・なめし牛革をはった発泡ゴム	15
合成有機材料	・ビニールタイル	3
	・ナイロンカーペット（ゴム裏打ち）	10
非金属系無機 材料	・石膏ボード	10
	・ガラス板	15
金属材料	・0.15mmアルミ板を表板とする3プラ イ合板	5
	・鉛板	10

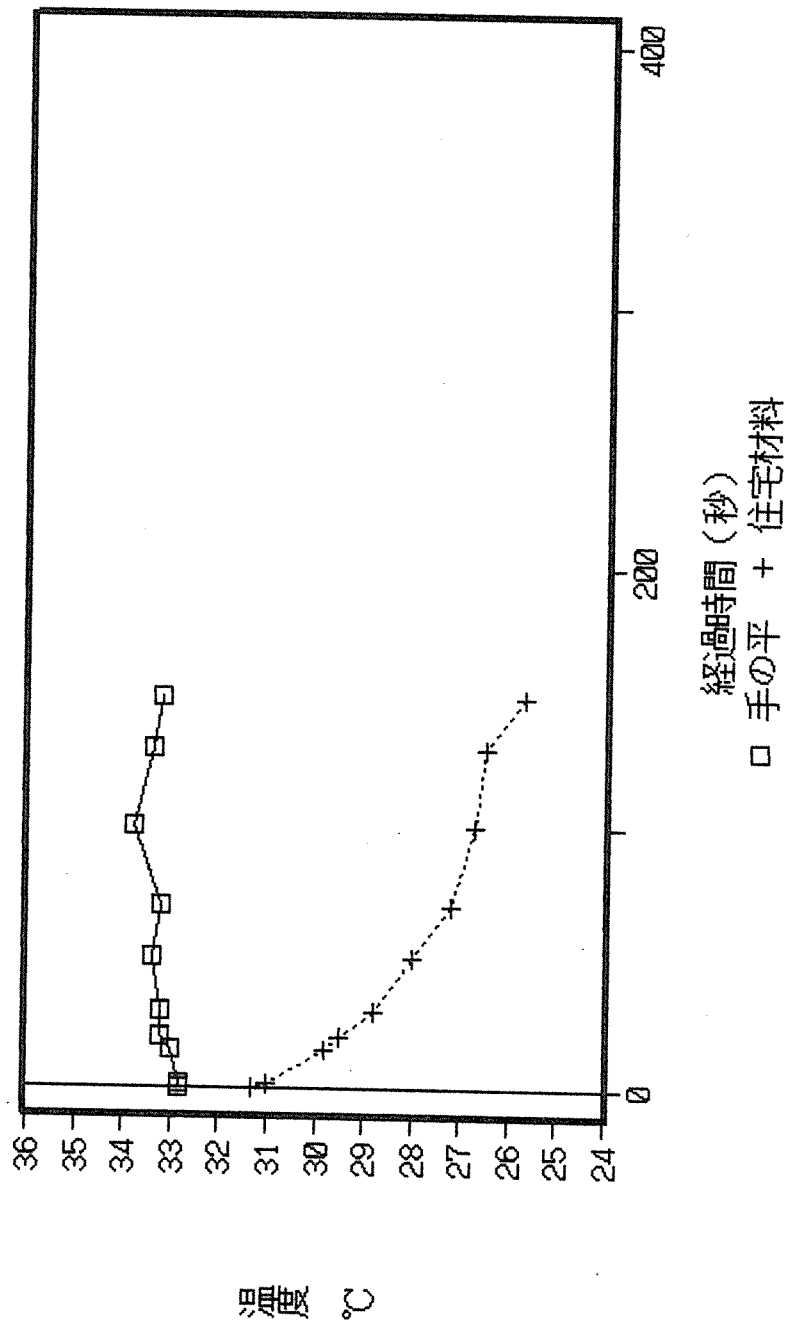
表2.2 手の平及び住宅材料の初期温度

住宅材料うちわけ	初期温度 (°C)	
	手のひら	材料
・広葉樹集成材	32.8	31.3
・なめし牛革をはった発泡ゴム	32.2	32.0
・2mm厚シナ合板をはったフラッシュパネル	32.2	30.7
・ナイロンカーペット	32.2	30.2
・ナラつき板(ニス塗)をはった合板	32.0	31.0
・石膏ボード	32.0	30.7
・WPCをはった合板	31.8	31.4
・ビニールタイル	31.7	31.5
・コルク板	31.5	31.5
・ポリエステル化粧板	31.4	31.7
・スギ桤目板	31.2	30.3
・天然ゴム	30.2	30.2
・0.15mmアルミ板を表板とする3プライ合板	29.8	27.7
・鉛板	28.8	27.7
・ガラス板	28.7	28.2

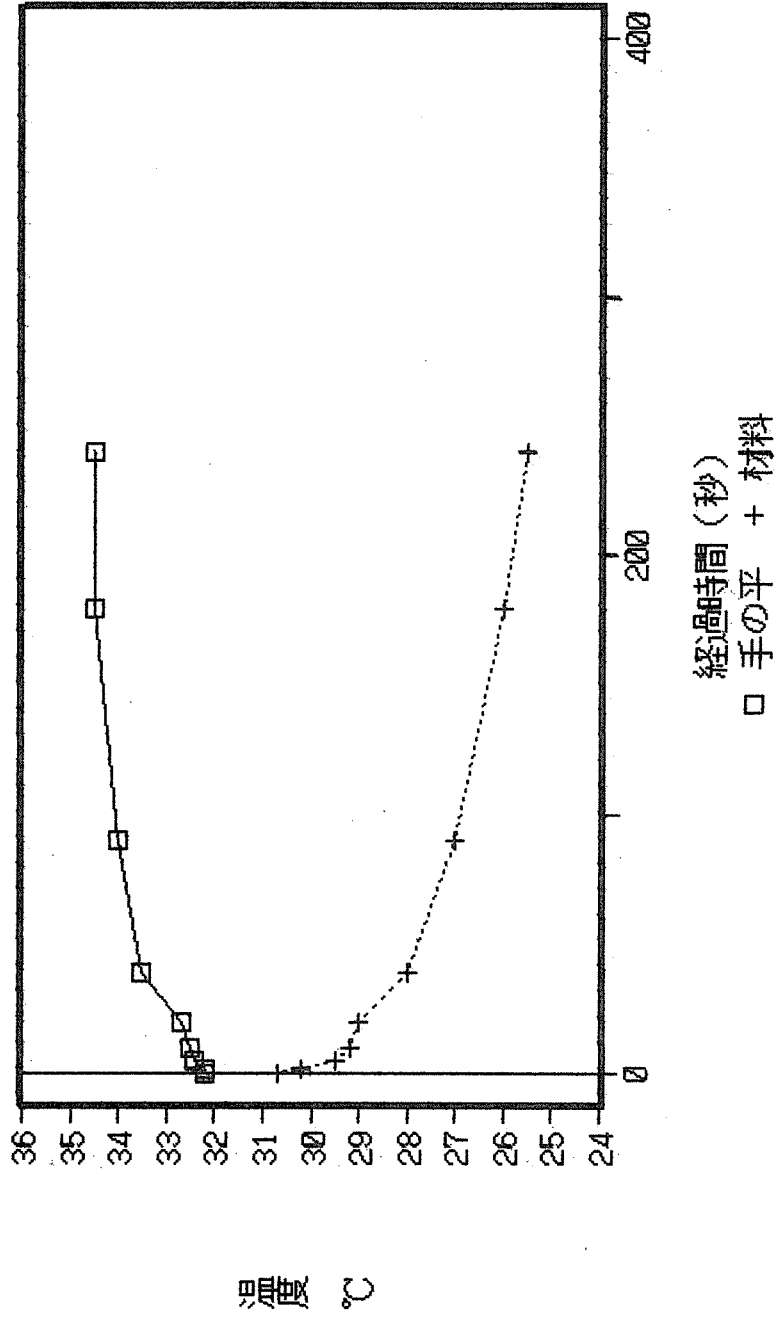
表2.3 手の平の温度回復過程と住宅材料の温度降下過程における冷却指数の、材料による違い

住宅材料うちわけ	冷却指数($\times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)	
	手のひら	材料
・広葉樹集成材	1.22	4.07
・2mm厚シナ合板をはったフラッシュパネル	7.64	2.73
・スギ桎目板	5.81	4.38
・コルク板	5.91	2.80
・ナラつき板(ニス塗)をはった合板	6.10	2.69
・ポリエステル化粧板	11.2	8.99
・WPCをはった合板	6.57	4.01
・天然ゴム	4.17	3.61
・なめし牛革をはった発泡ゴム	0.81	2.54
・ビニールタイル	2.34	2.22
・ナイロンカーペット(ゴム裏打ち)	12.2	15.7
・石膏ボード	9.93	9.38
・ガラス板	4.36	4.36
・0.15mmアルミ板を表板とする3プライ合板	9.87	5.84
・鉛板	2.98	1.24

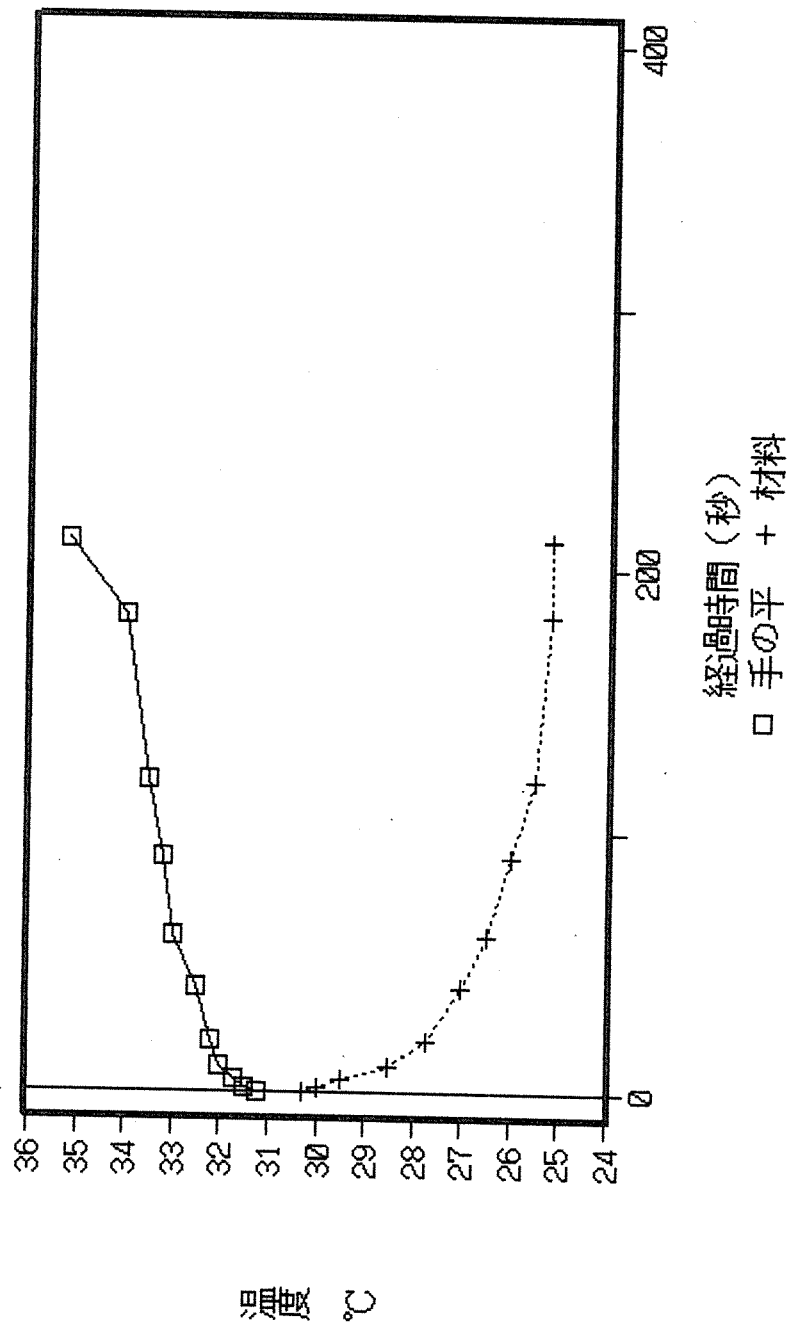
図2.1(a) 広葉樹集成材



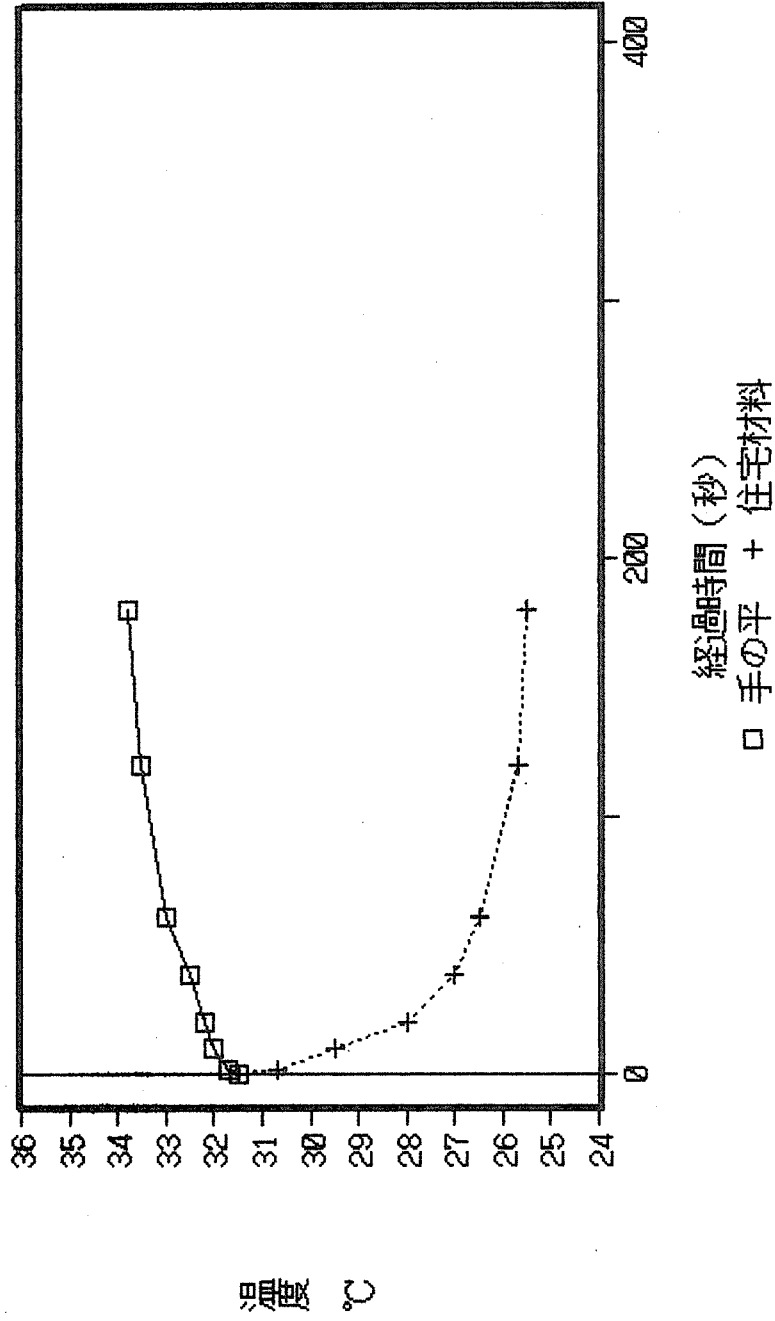
(b) シナ合板を貼ったフラッシュパネル



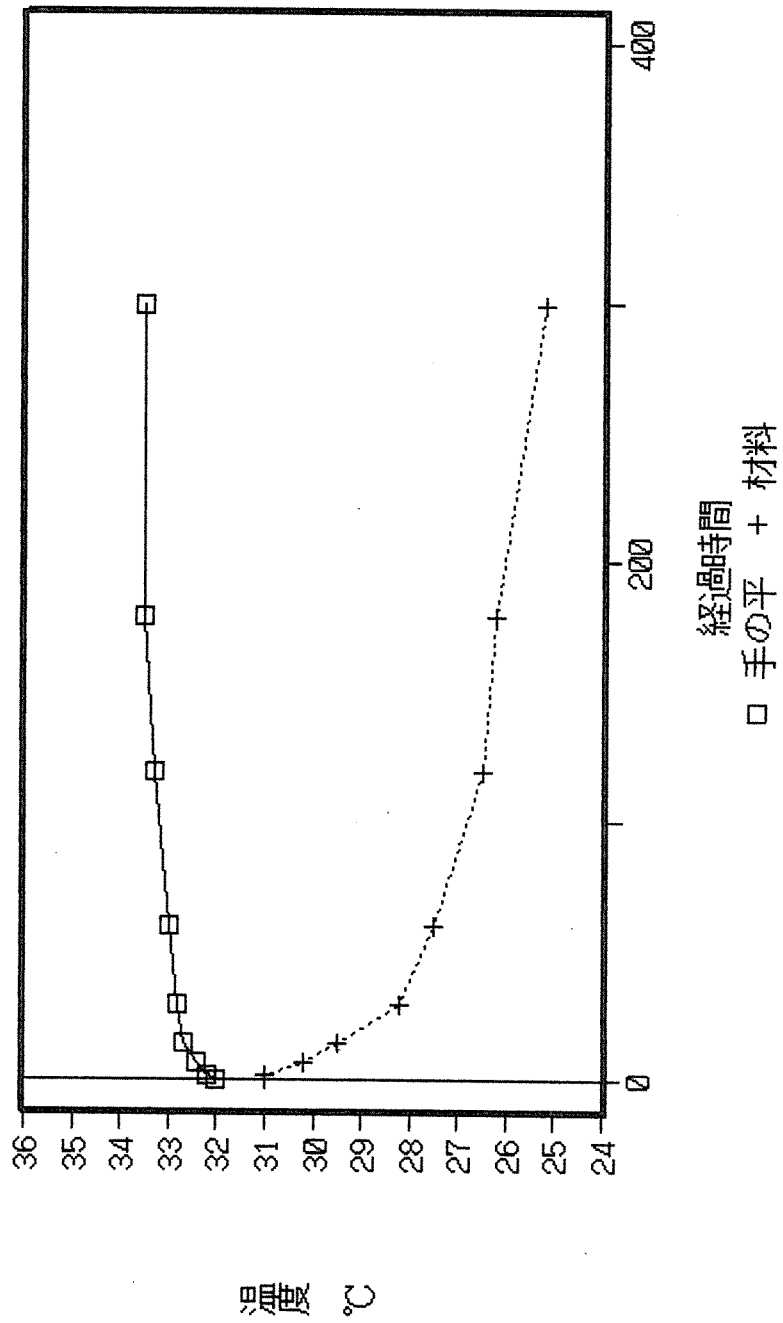
(c) スギ板目板



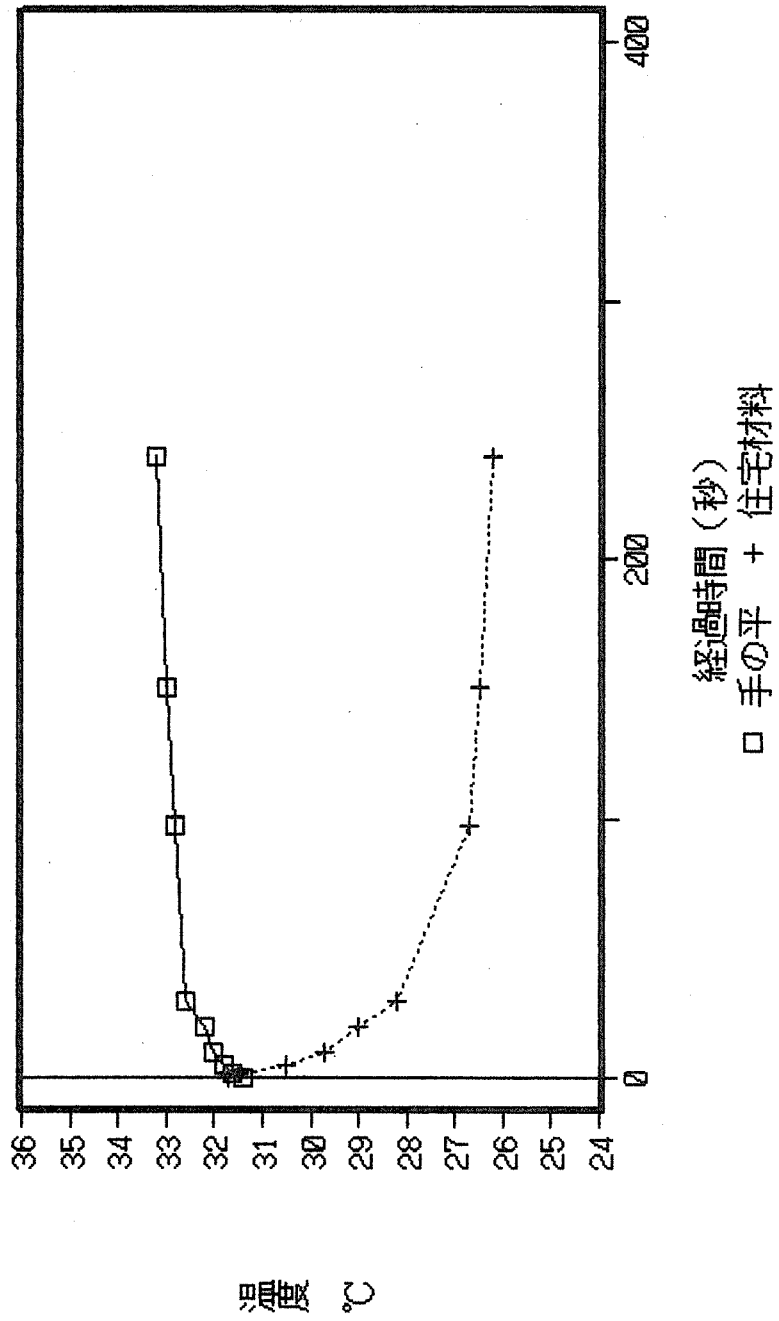
(d) コルク板



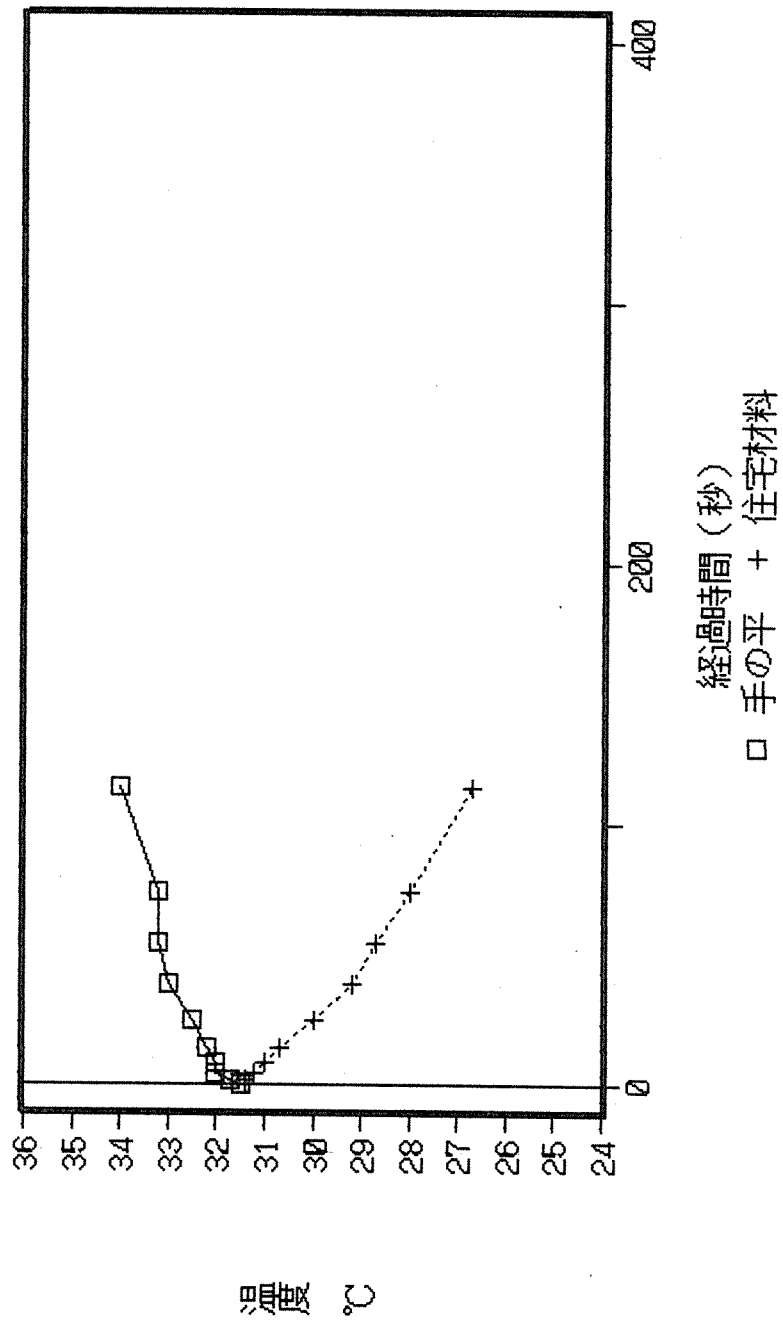
(e) ナラつき板 (ニス塗り)



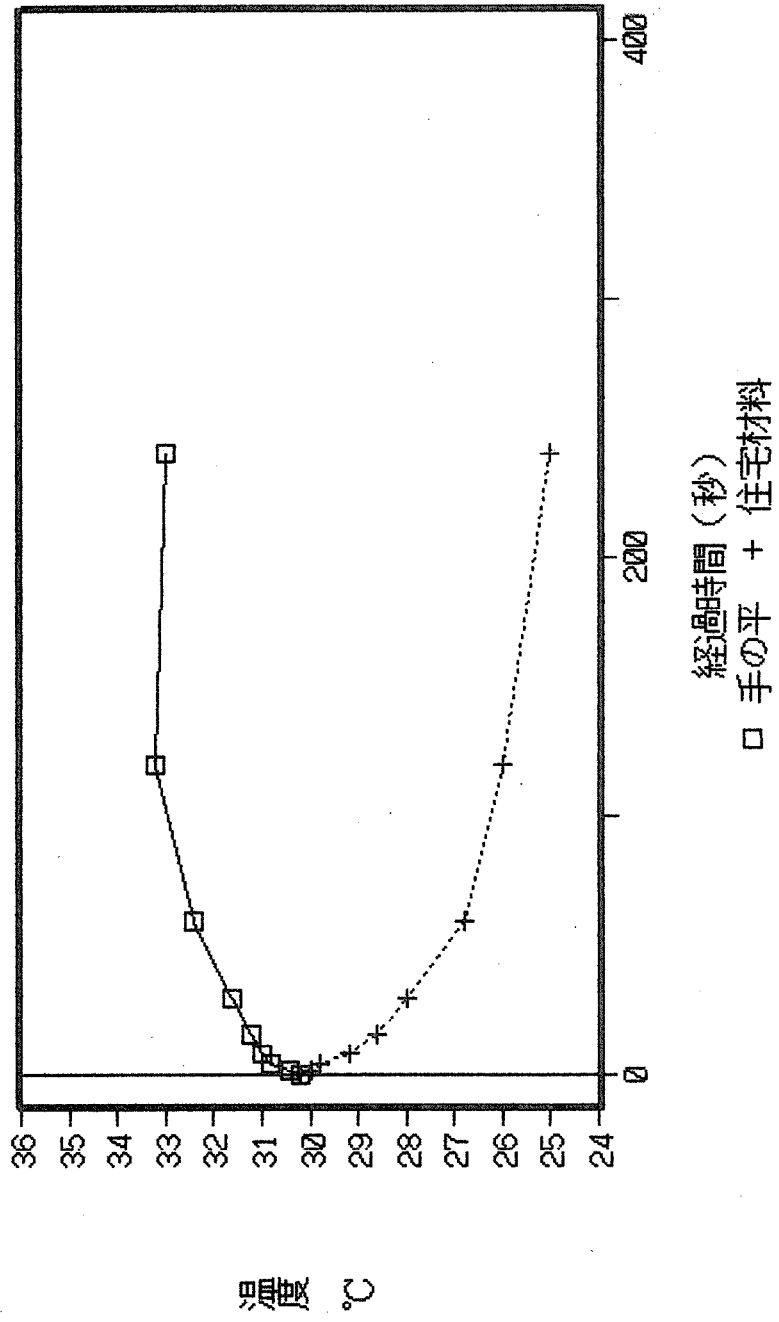
(f) ポリエステル化粧板



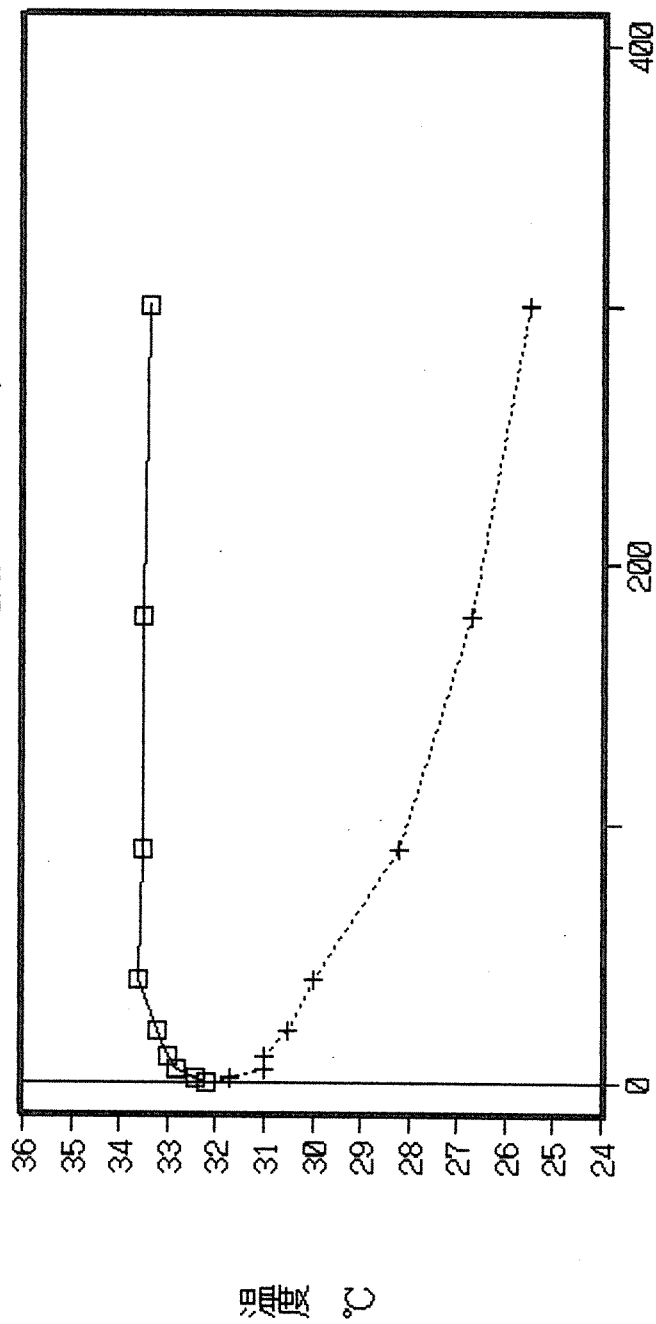
(g) WPC



(h) 天然ゴム板

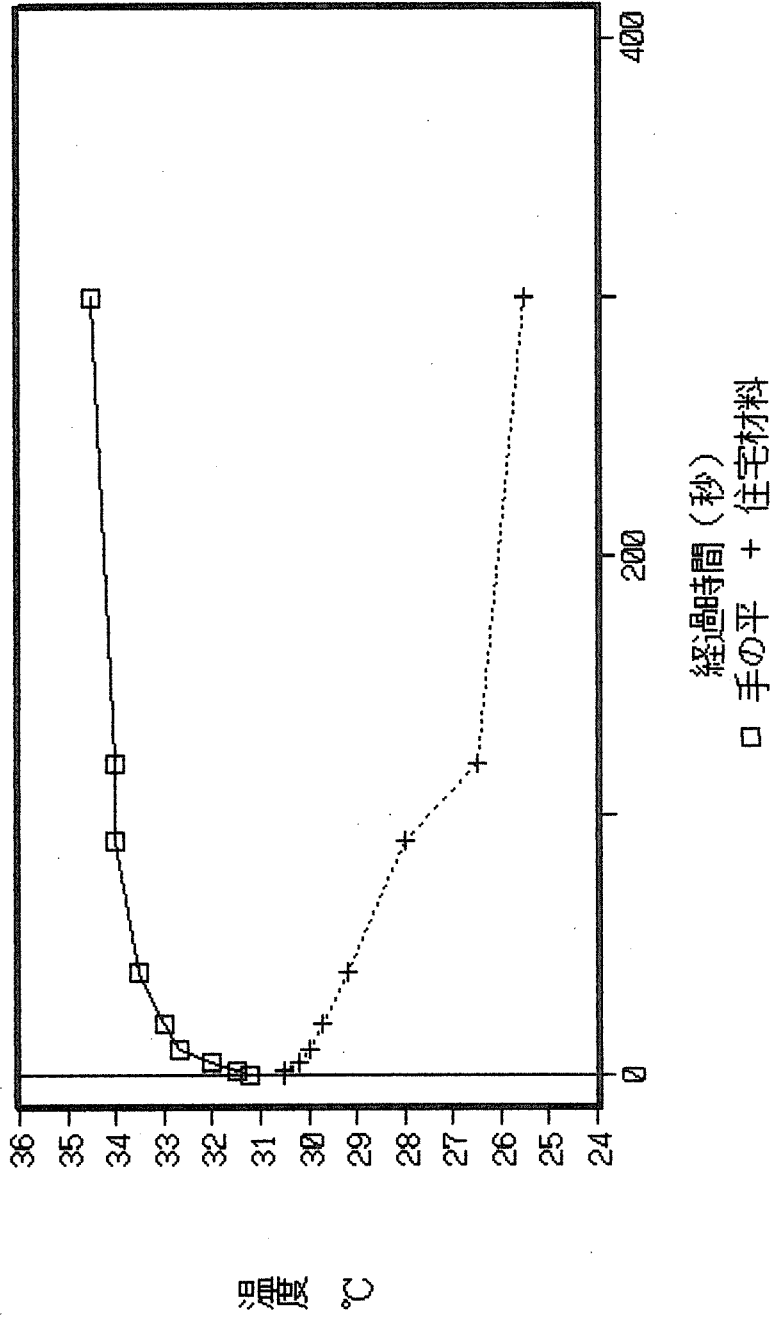


(i) 牛なめし革(その下)
15mm厚の発泡スチロール

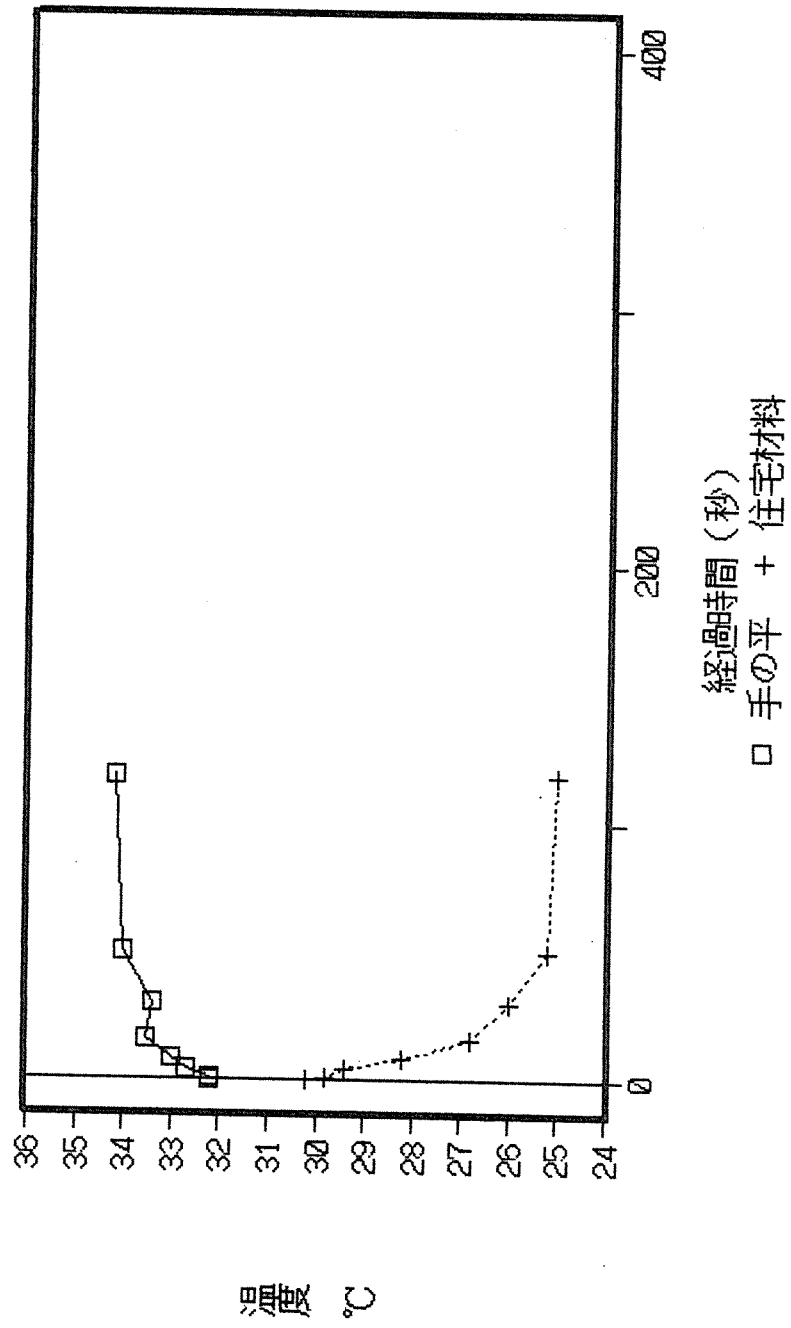


経過時間 (秒)
□ 手の平 + 住宅材料

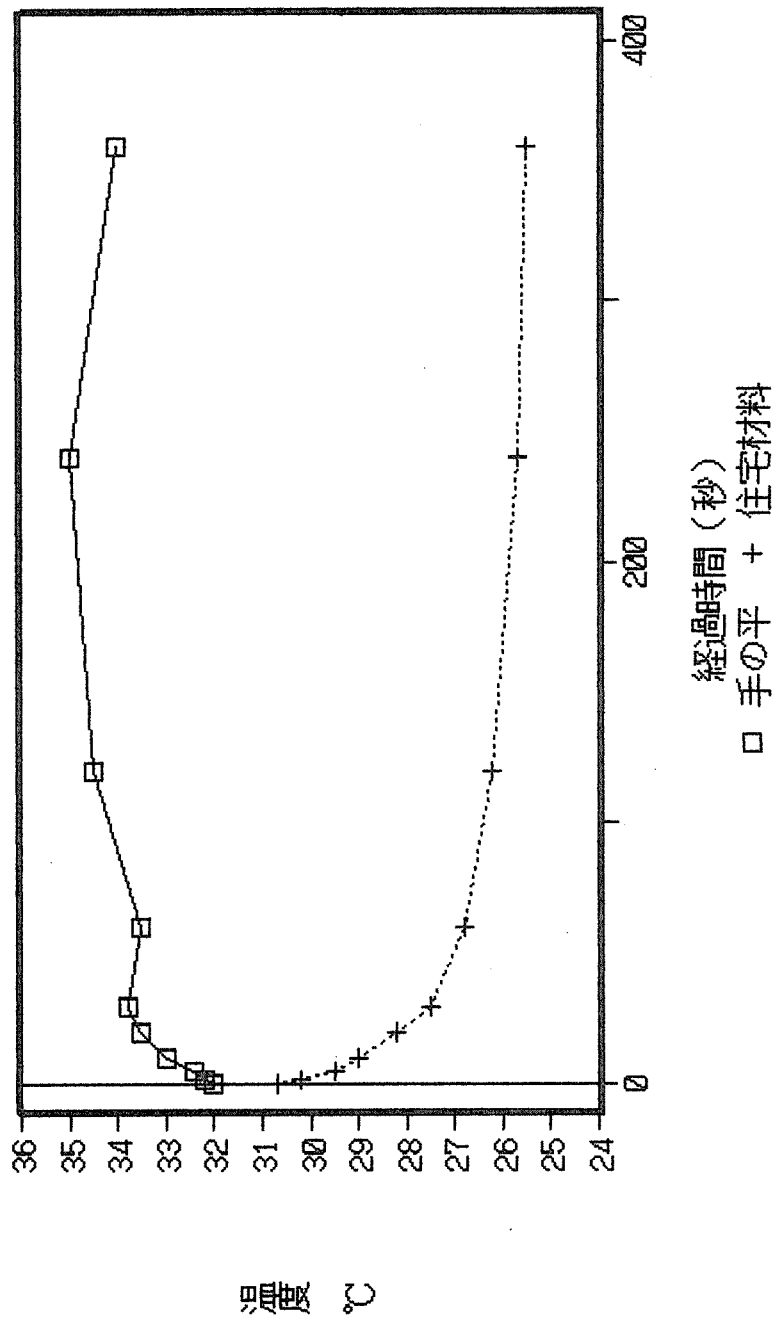
(j) ビニールタイル



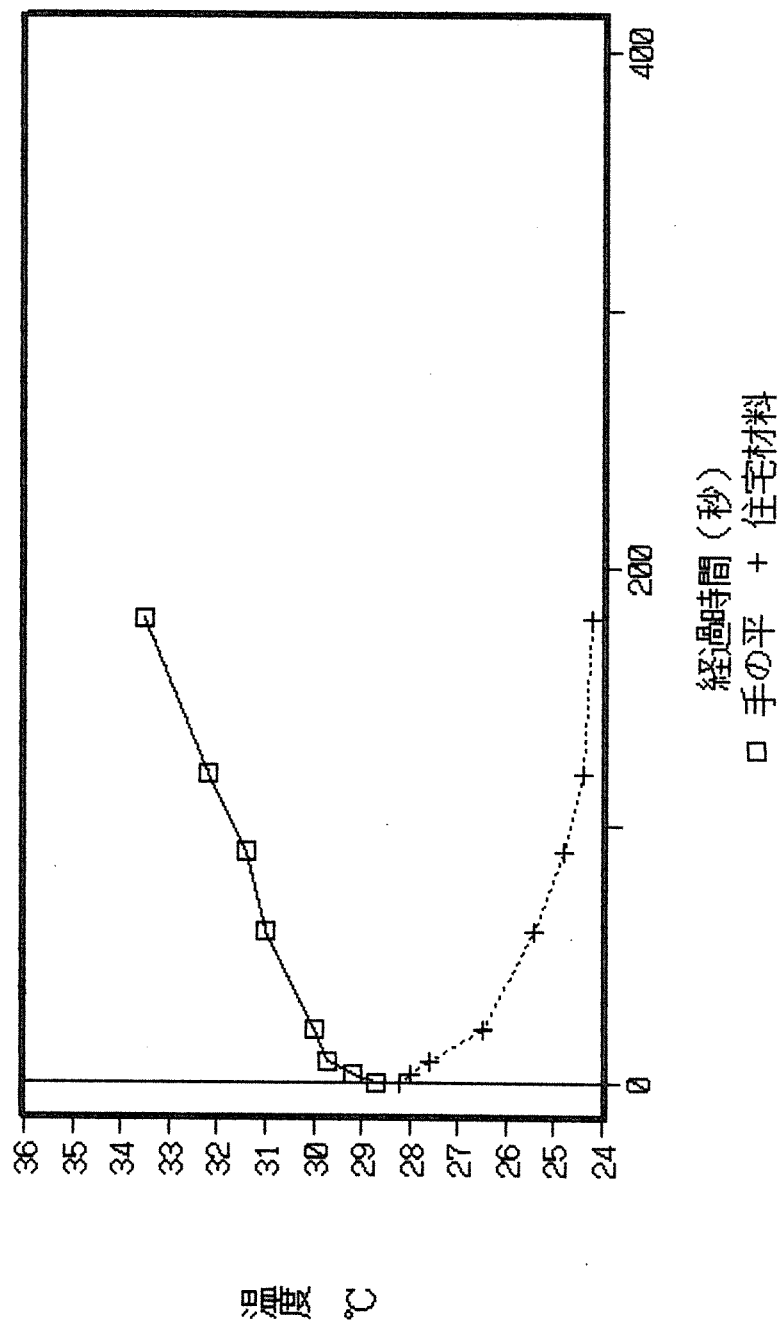
(k) ナイロンカーペット (ゴム裏打ち)



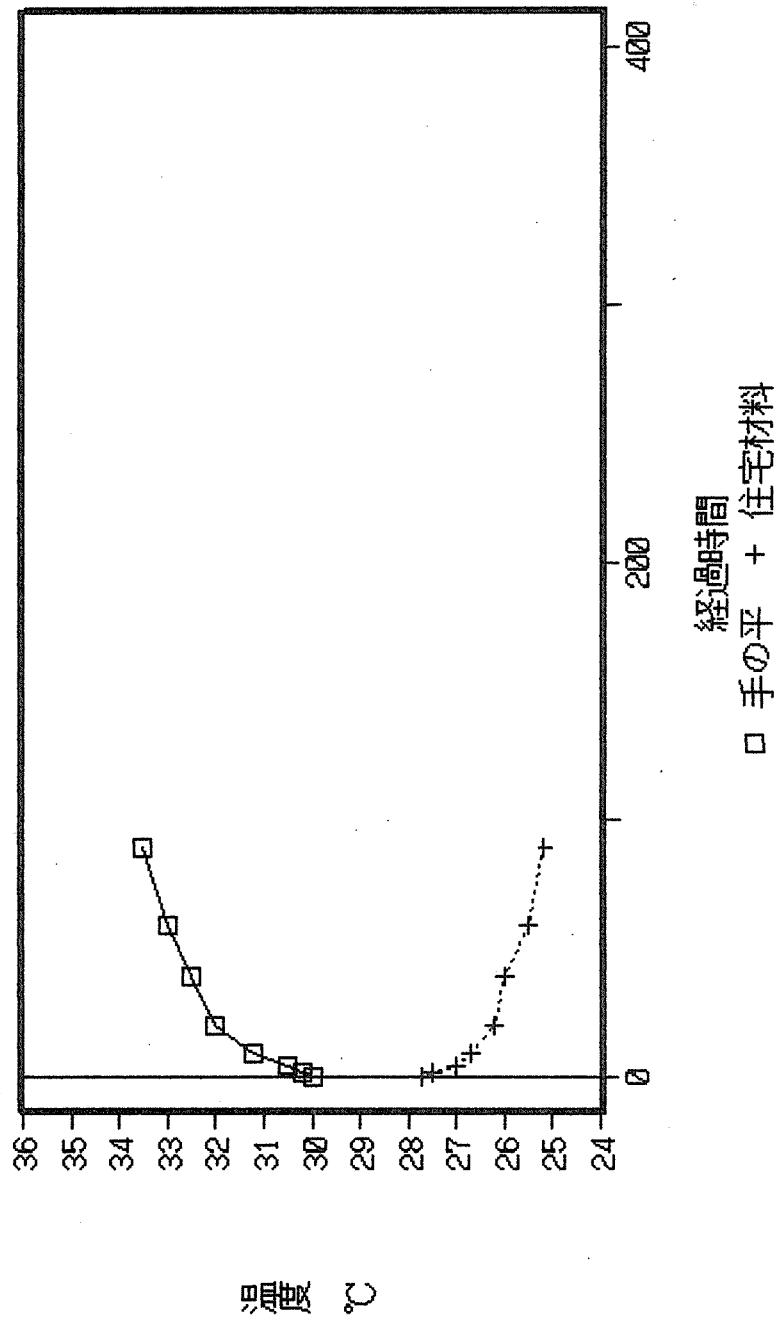
(1) 石膏ボード



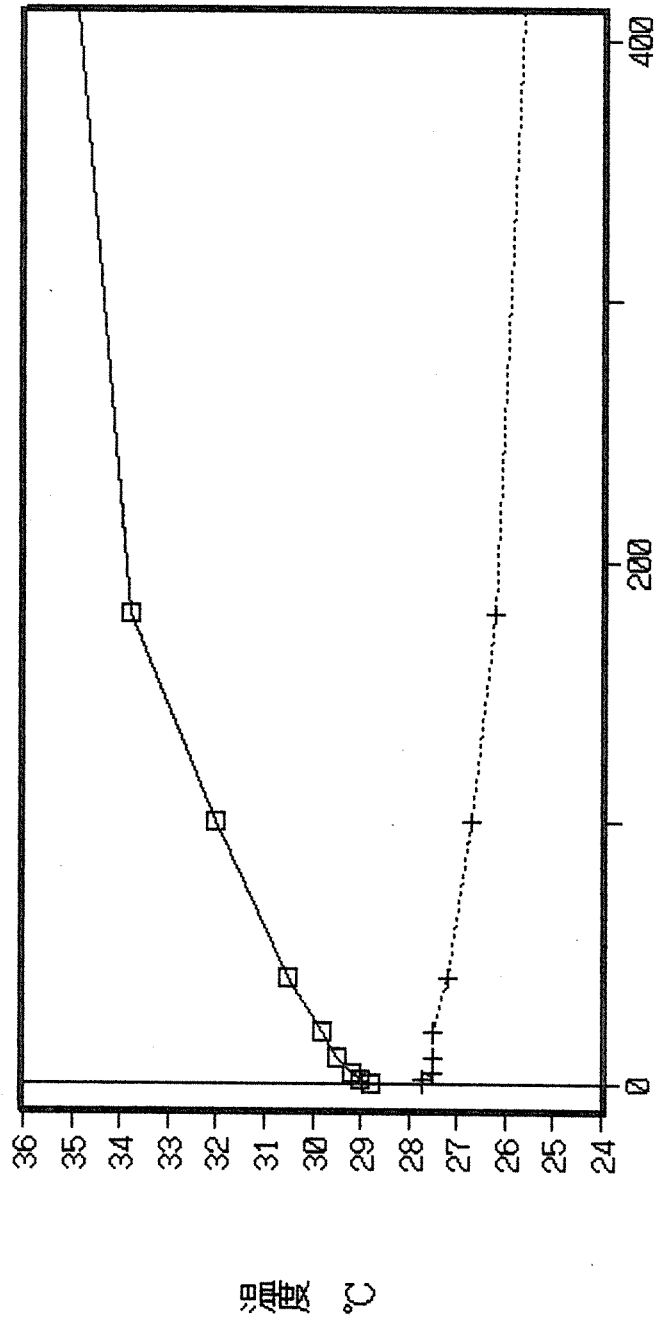
(m) ガラス板



(n) 表にアルミ板(0.15mm厚)を貼った
3プライ5mm厚合板

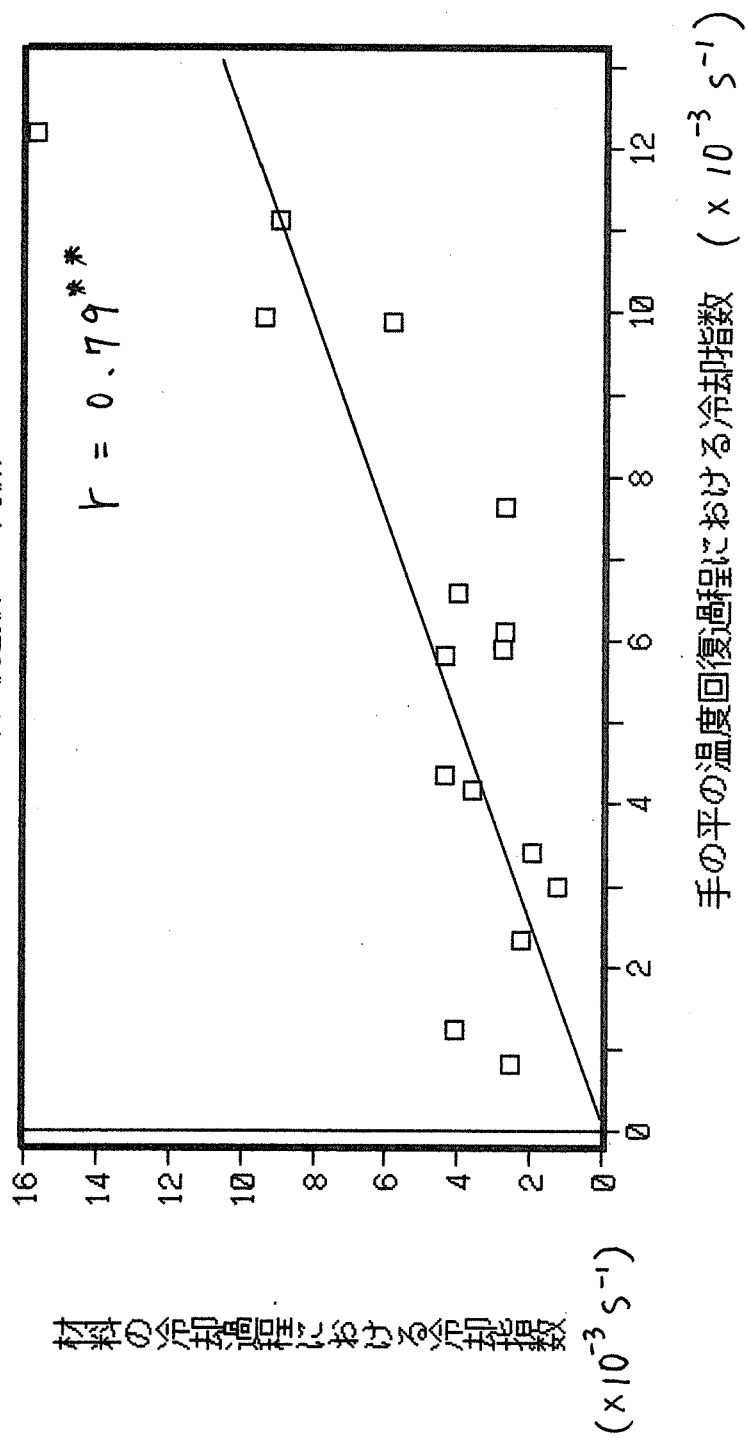


(○) 鉛板



経過時間 (秒)
□ 手の平 + 住宅材料

図2. 2 手の平の冷却指数と住宅材料の冷却指数との関係



3. 室内ラドン濃度と換気について

3. 1 はじめに

昨年度は、特に、無機建材のラドン散逸の測定を行った。その結果、市販されているある種の無機建材や無機有機複合建材、土などはかなりのラドン・トロンを放出することが実測された。

このラドン・トロンは、その壊変過程でエネルギーの最も大きい放射線である α 線を放出し続ける。それは肺細胞を至近距離で照射するため、長時間のうちに肺癌をひきおこすと考えられている。ただし、ラドン・トロンと肺癌との因果関係については疫学的なデータの不足から専門家の間ではいまだ議論のあるところである。そのため、現時点でラドンに対して過敏になることは、不必要な混乱を助長することになるので避けなければならない。しかし、欧米諸国では、古くからラドンと肺癌罹患の相関が重視されており、「放射線影響に関する国連科学委員会 UNSCEAR」では、1982年にラドン・トロンは人間にとって有害であるとの立場を明らかにしている¹⁾。

日本でも住宅環境の因子として、放射線安全工学の分野で研究が行われている。測定結果も公表されだしてはいるが、まだまだデータが不足している状況で、特に木造住宅とRC住宅、校舎など、長時間生活する場でのデータの集積が必要で

ある。また、データの集積にあたっては、測定値の比較のみにとどまらず、ラドン・トロンの発生原因とその条件を明らかにして、生活環境での放射線被曝を少なくするための指針を提供する努力が必要である。

木材は有機建材であり、ラドン・トロンは発生させない。それらを主体とした木造住宅・建築物の内部の空気は当然ながらラドン・トロン濃度は低いと考えられる。しかし、測定条件によっては木造住宅で非常に高い濃度が検出されることがあり²⁾、「木造住宅は放射能が高くなりやすい」ととられかねない危惧もある。

最近の建築技術は、住宅の気密度をどんどん高くしていく傾向がある。そのこと自体は必要なことであるが、一方では、気密が高いほどラドン・トロンが滞留しやすくなっていると考えられる。

本研究では、種々の室内での空気のラドン濃度を換気度とともに測定し、室内のラドン濃度とその発生源、住宅の構造、木造かRC造での違いなどについて年間をとおして測定し、検討した。

なお、ラドン・トロンに関する説明や、従来の研究などは、昨年³⁾の報告書

P. 143 - 177 を参照されたい。

この研究は、工学部原子核工学科 飯田 孝夫氏の御指導と、当研究室大学院生 渡辺 拓君、学部生 蟹江 洋子君の御協力で行っている⁴⁾。

3. 2 測定方法

3. 2. 1 測定方法

空気中のラドン濃度を測定するには、空気をポンプでひきこみフィルターで娘核種をとらえて測定する Active法と、自然換気を利用して長期間のラドンを積分する Passive法がある。ここでは、小型、安価、取り扱いの容易な Passive法を用いた⁵⁾。

Passive法もいろいろ考案されているが、最も広く用いられ、安定した測定値が得られる固体飛跡検出器 (CNフィルム) を用いたカップ法と静電捕集法とを採用した。

(A) Cup法

内容積が $200 \sim 450 \text{ cm}^3$ 程度の Cup の形状をしたステンレスまたはプラスチックの容器を用いる。容器の底面に $\phi 12 \text{ mm}$ と $\phi 16 \text{ mm}$ の穴を開け、その一方には $0.8 \mu\text{m}$ のメンブレンフィルターをはりつけ娘核種を濾過してラドンのみを Cup 内に誘導する。 $\phi 16 \text{ mm}$ の穴には CNフィルムをとりつけラドンとその娘核種が壊変する際発生する α 線を捕捉する。

測定期間は約 60 日間とし、その間に CNフィルム上に生成されるエッチピット (硝酸セルロースが α 線のエネルギーをうけた部分で現像によって剝落し穴が開く、このピットをエッチピットと言う) の密度をカウントし、あらかじめ決定

しておいた較正定数で、空気中のラドン濃度を求める。

すなわち、

$$X_R = 1 / E (N / A - N_B / A_B) \quad (1)$$

ここで、 A はCNフィルム上でエッチピットが生成されている部分の占有面積 (cm^2)、 N はその面積内に生成されたエッチピットの数 (tracks)、 A_B 、 N_B はバックグラウンドのそれである。 E は較正定数 ($\text{tracks} \cdot \text{cm}^{-2} / (\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr})$)、 X_R は時間積分ラドン濃度 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}$) である。

$$C = X_R / T = 1 / T \int_0^T C(t) dt \quad (2)$$

測定時間 T (hr) 間の平均ラドン濃度 C (Bq/m^3) は、時刻 t でのラドン濃度 $C(t)$ を時間積分して得られる。

Cupの断面図を図3.1に示す。

(B) 静電捕集法

これは、静電気を利用して、Cup法より大きな較正定数が得られるように工夫されたものである。図3.2に静電式積分型モニターの概略図を示す。

容器内には0.8 μm のメンブレンフィルターをとおして、ラドンのみが自然換気で導入される。容器内のラドンは α 壊変により ^{218}Po を生成する。この ^{218}Po は壊変後、正に帯電しているので、-315 Vが印荷されている電極のアルミマイラー膜上に吸引される。 ^{218}Po はそこで壊変し、生成した α 線がCNフィルム上に等分に到達しエッチピットを生成する。

Cup法と同様に約60日間の測定期間の平均値をもとめた。

これによって、自然大気レベルのラドン濃度である4 Bq/m³程度の濃度まで測定できる。

なお、(1)、(2)式は、静電捕集法でも同様である。

(A)、(B)によってエッチピットが生成されたCNフィルムは、水酸化ナトリウム溶液とエチルアルコールで現像する。その後、万能投影機と画像解析装置(IBAS-II)で、(1)式の N/A 、 N_B/A_B を測定した。

3. 2. 2 測定箇所

本研究では、建築構造や使われている建材が異なる様々な住宅を選びラドン濃度を測定した。

選んだ住宅は、次のとおりである。

1) 木造住宅1 : 築60年 愛知県東海市の隣接地に建築。

- 2) 木造住宅2 : 築 5年 同上。
- 3) 木造住宅3 : 築 1年 同上。
- 4) 鉄骨造倉庫 : 築15年 同上。
- 5) RC造アパート : 名古屋市千種区内。
- 6) 実験室内 : 名古屋大学農学部各種実験室及びアイソトープ総合センター内のタンデムトロン設置実験室。
- 7) RC造建物 : 名古屋大学中央図書館内。
- 8) 校舎 : 岐阜県武儀郡上之保小学校、RC教室と木造校長室。

それぞれの建物の室内寸法、床下の状態、使われている建材の種類などを表3.1～8に表わす。また、測定器の設置場所を示す平面図及び立面図を図3.3～2.4に示す。図中数字を白ぬきにした丸印は、ラドンモニターを設置した場所を示す。

それぞれの被測定建築を選択したねらいはつぎのようである。

※ 木造住宅1、2 : これらは、同一地域に隣接して建てられた在来工法による家屋である。木造住宅1、2とも壁は真壁（土壁で表面はジュラク仕上）で、両者築後年数が異なるほか、床下の工法が異なる。すなわち、木造住宅1は、古い時代に建てられたもので、床下は地面が露出している。しかも床下の換気につ

いてはあまり考慮されていない。このような場合、地面からのラドン散逸が多く、床下のラドン濃度が高いことが予想された。さらに、床下からのラドンが室内に散逸していく様子が1階、2階のラドン濃度を測定することにより判断できると考えた。

※ **木造住宅3** : やはり上記の家屋に隣接した地域に建てられたものであるが、築後1年と新しい。床下はコンクリート打ちがしてある。ここでは、建材の影響をみるために、床、壁、天井とも土壁ではなく、合板または木製フローリング等、木材で囲まれた物置内にモニターを設置した。

※ **鉄骨倉庫** : 床がコンクリート、壁はアスベスト吹き付けと、建材としてはラドンの散逸が大きいと思われるが、常に出入り口が解放された状況にあり、そのことがラドン濃度にどう影響するかを検討するためである。

※ **R Cアパート** : 築後約10年のもので、木造住宅内のラドン濃度とR C住宅のそれとを単純に比較するために測定した。ただ、居室のみでなく、換気の少ない押入れの中にもモニターを設置した。押入れのなかは、合板で内装してはあるものの天井はコンクリートむきだしで、コンクリートからのラドン散逸状況が把握できると考えた。

※ **実験室** : 築後約25年経過した名古屋大学農学部R C研究棟のなかの通常の使用下にある実験室で、壁はコンクリートにモルタル吹付け後、塗装した

もの。天井は壁と同じであるが、173号室とB224号室は石膏ボード張り。床はコンクリートの上にPタイル張りである。このように室内に使われている建材は各室ともほぼ同様で、測定中は、季節に関係なく人の出入りも多い。なお、11月から3月までは各実験室とも暖房が入る。

建材以外に、実験室の構造からくるラドンの散逸源をさぐる目的で、実験室の水道（井戸水）の流し台の下、及び2実験室のダクトサービスボックス内のラドン濃度も測定した。

B224の実験室の床下は、B224室とほぼ同容積のダクトサービスルームとなっており、配管が多くはしらせてある以外は全面コンクリート打ちっ放しである。コンクリートからのラドン散逸が大きいことが予想される。ただ、通風はかなりあり、ラドンの滞留は少ないと考えられる。

※ R.I センター : タンデトロン設置室で、実験室としては特殊な構造とみられたので測定した。すなわち、大型精密測定器を設置してあるため、床は地面にコンクリート打ちし表面を塗装しただけである。年間を通じて完全な空調を行っており、室の内容積は大きいものの、外気との換気は無く、コンクリート床の割れ目を通してラドンが侵入していると予想された。ただし、タンデトロン自体、 α 線を発生するものではない。

※ 中央図書館 : 名古屋大学中央図書館はRC造で、全館冷暖房が完備し

た名古屋大学随一の近代的施設である。他の大学施設に較べ一般のRC建築を代表する建物と言えよう。その中でも、特に書庫として使っている内容積の小さい倉庫は、コンクリートとコンクリートブリックで壁、床、天井が作られており、一つある扉も通常は閉じられているため、ラドンの発生と滞留が非常に大きいと予測された。

つぎに、マイクロフィルムを集蔵し閲覧できる、いわゆるマイクロ資料室は、出入口が一箇所内装はコンクリートと石膏板の無窓の密室である。ここも高濃度が予測された。

閲覧室とつながっている書架の上には、閲覧者が必ず使用するスペースでのラドン濃度の代表値を得る目的でモニターを設置した。地下通路は、地下のボイラー室に通じる通路で、図書館内の空気が肌に感じるほど通風のよい場所である。

ラドンの滞留は考えられない場所として測定点を選んだ。

3. 3 測定結果及び考察

測定結果を 図 3. 25 ~ 34 に示す。測定結果を項目別にまとめるとつぎのようである。

3. 3. 1 木造住宅の床下工法とラドンの散逸との関連

木造住宅における最も重大なラドン発生源は地面である。図 3. 25 ~ 27 にこれが明確に現れている。すなわち、床下の地面が露出したままの木造住宅 1 においては、床下のラドン濃度が $60 - 90 \text{ Bq} / \text{m}^3$ と高い。一方、床下の地面をコンクリートで覆った木造住宅 2 では、測定時期によりばらつくが、 $8 - 20 \text{ Bq} / \text{m}^3$ 、木造住宅 3 では、 $9 - 11 \text{ Bq} / \text{m}^3$ と住宅 1 の 10% 程度の濃度である。これは、明らかに地面からラドンが散逸していることを示すものである。また、住宅 2、3 の建築時期は新しく、床下換気口が適切に配置されていることも、ラドンの滞留を少なくしたものと考えられる。

いずれも、測定時期（季節）による変動がみられる。すなわち、気温と湿度の低い冬期においてラドン濃度は低く、気温・湿度の高い時期にはいずれの場合も高くなる。一般に、ラドンは土などから水分とともに拡散・散逸すると考えられており¹⁾、地面からのラドンが気温と湿度の相乗効果で散逸している状況が測定されたものと思われる。

3. 3. 2 住宅内でのラドンの垂直方向への移動

地面から散逸したラドンは、床下換気口から大気中に拡散するが、床を通して一部室内に侵入する。

図 3. 25 では、床下の $60 - 90 \text{ Bq} / \text{m}^3$ から 1 階は $9 - 16 \text{ Bq} / \text{m}^3$ 、2 階へは $3 - 6 \text{ Bq} / \text{m}^3$ と順次低い値となっている。また、図 3. 26 の例においても床下 $8 - 20 \text{ Bq} / \text{m}^3$ から 1 階の $5 - 8 \text{ Bq} / \text{m}^3$ 、2 階の $4 - 7 \text{ Bq} / \text{m}^3$ と上階ほど低くなっている。いずれも 1 階、2 階の使用建材やモニター設置場所に換気が決定的に異なる条件がないことから、この結果は床下からのラドンが、階上へ移動していることを表わしていると考えられる。

3. 3. 3 土壁の影響

木造住宅において 1 階のラドン濃度は床下の影響が大きいですが、2 階においては建材からのラドン散逸のほうが大きいかもしれない。

図 3. 25、26 の室内は土壁であり、図 3. 27 の例は木質建材に囲まれた押入れの中の測定値である。

両者の室内において、特に湿度か気温の低い季節（9 - 3 月）でのラドン濃度に大きな差はないが、気温と湿度の高くなる 3 ~ 5 月には、ラドン濃度が高くなるものと予測される。

今回の測定時期からは、土壁の影響は確認出来なかった。

住宅 1、2 の土壁を採取し昨年の報告書に記したと同様な方法でラドン・トロ

ン散逸量を測定したところ、石膏ボードに匹敵するほどの $420 \text{ Bq} / \text{m}^3$ の値が測定された。

これらのことから、土壁からのラドン発生は室内濃度を上げる一要因となる可能性が考えられる。

ここで、ラドン・トロン濃度としたのは、この測定法では、ラドンと半減期の短いトロンとを測定上分離していないことによるものである。

一方、建材としてアスベスト吹付け工法をとる鉄骨倉庫では、図 3. 28 に示すように、非常に低いラドン濃度を示した。この建物の出入り口には、扉はなく解放された2階部分であり、たとえラドンが発生しても滞留する条件は全くない。また、使用壁材料のアスベストも、そのラドン散逸を測定したところ $80 \text{ Bq} / \text{m}^3$ と無機建材としては低い値であった。

3. 3. 4 大気中ラドン濃度について

上記、被測定建物のある愛知県東海市の大気中のラドン濃度を測定した結果が図 3. 29 である。これは、静電式積分型ラドンモニターで測定したもので、季節にあまり関係せず $5 \text{ Bq} / \text{m}^3$ 近辺の値である。この値は1984年～1986年にかけて全国で測定された大気中ラドン濃度の値とよく一致している。⁶⁾

木造住宅1、2の2階室内では、この大気中ラドン濃度より低い値となってい

る。木造家屋にラドンを吸収する機能があるとは、いまのところ考えられない。

3. 3. 5 木造住宅とRC造アパートでのラドン濃度の比較

図 3. 30 は名古屋市内のRC造アパート4階での測定値である。この場合、床下地面からのラドン散逸は考えられない。また、3箇所モニター設置場所とも台所、風呂場から離れているため水道水等からのラドン散逸の影響も少ない。図において、居間のラドン濃度は $7 - 14 \text{ Bq} / \text{m}^3$ の値を示した。この値は上記木造家屋内での値のうち、床下からのラドン散逸の影響の少ない2階での値 $4 - 7 \text{ Bq} / \text{m}^3$ の約2倍の値である。測定季節別に比較しても常に2倍程度の高い値を示した。

この場合、やはりコンクリートからのラドン散逸が主原因と考えられる。

図 3. 30 において、押入れの中のラドン濃度は居間のそれより $1.5 - 4$ 倍の高濃度を示す。押入れの中の壁と床はラワン合板で内装されてはいるもののその天井はコンクリート打ち放しの状態であり、コンクリートからのラドン散逸を妨げるものはない。しかも、扉は収納物を取り出す時開くのみで、ラドンの滞留しやすい条件である。

RC造の家屋は木造住宅よりラドン濃度が高く、その発生源はコンクリートであると考えられる結果が得られた。

3. 3. 6 RC造実験室内でのラドン濃度

通常の実験室では、人の出入りも多く、換気回数も 2 - 5 回 / 時間 と大きく、たとえラドンの発生が大きくても、それが滞留する条件は小さい。

図 3. 31 の結果をみると、181、281、173、B224号室のそれぞれは $1.0 - 2.2 \text{ Bq} / \text{m}^3$ と RC 造アパート内のラドン濃度とほぼ同レベルである。B224室の床下は、予想どおり B224 室内の濃度より高く約 2 倍の値を示した。

このような実験室でのラドン発生源としては、やはりコンクリートであると考えてよい。図 3. 32 の測定結果からも明らかであるが、ダクトサービスボックスは研究棟の地階から 6 階まで吹き抜けとなっており通風はあるが、外気との交流は地下の地面をとおしてである。そのため、地面からのラドンとコンクリートからのラドン散逸が加わっていると考えられ、特に高い濃度を示した。285室流し台下はコンクリートむきだしに加え締め切りによるラドン滞留がおおきい。

3. 3. 7 RC 建造物内のラドン濃度

RC 造の建築物内のラドン濃度の高さを示す典型的な測定結果が得られた。倉庫では、コンクリートとコンクリートブリックからのラドン散逸と換気が低いことの相乗効果で $250 - 490 \text{ Bq} / \text{m}^3$ の高濃度を示した。この値はの危険性を米国環境保護局が 1986 年に出したラドンのリスク表⁷⁾から推定すれば、70 年間この濃度で生活すると 1000 人あたり 30 - 120 人が肺癌で死ぬり

スクに相当するものである。マイクロ資料室でも $90 - 170 \text{ Bq} / \text{m}^3$ の高濃度を示す。この両室の換気回数は 0.3 回／時間と非常に低い。これらのことから、やはりコンクリートからのラドン散逸とラドン滞留が大きな因子である。

R C 造建物の中の一般的な居住空間と同条件と考えられる書架と地下通路における測定値も $20 - 70 \text{ Bq} / \text{m}^3$ の値を示した。ここでは、部屋の空間体積は大きく、通風も良好であるが、外気の換気は極めて少ない。そのような条件では、このように R C 造実験室、R C 造アパートよりも高濃度となる。ちなみに、さきほどの表によればこの濃度での肺癌リスクは、 $3 - 30$ 人／ 1000 人である。

3. 3. 8 校舎における木造と R C 造でのラドン濃度の比較

図 3. 3 4 に、上之保小学校の校舎での測定結果を示した。

ここでも木造と R C 造の差がはっきりと現れた。すなわち、木造の校長室の書棚に置いたモニターでは $6 - 17 \text{ Bq} / \text{m}^3$ であるのに対し、R C 造である家庭科及び理科室では $40 - 67 \text{ Bq} / \text{m}^3$ と木造の $3 - 4$ 倍のラドン濃度を示した。この原因は、やはりコンクリートからのラドン散逸であると思われる。

ラドン滞留の状況をみるために換気回数を比較すると校長室は 1.1 回／時間、家庭科室 0.48 回／時間、理科室 0.41 回／時間 となり、R C 造の方が換気が小さい。このことが、R C 造のラドン濃度を高くしている一因とも考えられ

る。

校長室の床下のラドン濃度は $100 - 140 \text{ Bq} / \text{m}^3$ と非常に高い濃度を示した。この床下はコンクリート打ちがしてあり、地面からのラドン散逸は抑えられているはずである。また、床下換気口も適切に配置されており、通風は良好であった。ただ、この小学校は、山の切羽に建築されたものであり、床下には、その切羽からの空気が流入している。そこで、その切羽の土を採取して、ラドン散逸濃度を測定したところ、 $389 \text{ Bq} / \text{m}^3$ という大きな値が検出された。これは、普通の土で得られた値 $180 - 200 \text{ Bq} / \text{m}^3$ の約2倍の値である。

住宅の床下がコンクリート打ちしてある場合でも多少高い濃度となるが、この場合、そのことに加えて、まわりの高い濃度の土からのラドンが床下に滞留したものと考えられる。

3.3.9 ラドン濃度と換気回数

一般に、密閉された空間内での時間 t におけるラドン濃度 $A(t)$ は、その壊変定数を λ (回/時間) とすれば、

$$dA(t) / dt = F_r \lambda A_0 - \lambda A(t) \text{ であり、}$$

$t = 0$ で $A_0 = 0$ として解けば、

$$A(t) = F_r A_0 (1 - \exp(-\lambda t)) \text{ となる。}$$

ここに F_r はラドンの散逸能である。

この場合の放射能濃度は、これをその空間の体積 V でわることにより求められる。

今、換気回数が λ_v (回/時間) の場合、空間のラドン濃度 $A^-(t)$ は、空間の体積を $V(1 + \lambda_v/\lambda)$ と考えて、

$$A^-(t) = F_r A_0 (1 - \exp(-(\lambda + \lambda_v)t)) / V(1 + \lambda_v/\lambda)$$

とあらわせる。¹⁾

この式に各定数を代入し、計算すると、 t が十分大きくなった時のラドン濃度は、換気回数 0.1 回/時間で換気回数 0 の場合の約 7%、0.25 回/時間で 3%、0.5 回/時間で 1.5%、1 回/時間で 1% 以下となり、換気回数上昇に伴って急速に低下する。

いかにラドン滞留防止に及ぼす換気の効果が大きいかかわかる。

今回、ラドン濃度を測定した箇所の一部で換気回数をも測定した。その中で RC 造の名古屋大学中央図書館の書庫とマイクロ資料室における換気回数率が 0.3 回/時間と低いところで、高いラドン濃度を記録した。

また、RC 造実験室では、ラドン発生源としてのコンクリート建材の使用の条件は、上記図書館とは変らないが換気回数が 2 - 5 回/時間と大きい。それにもなって実験室内のラドン濃度は図書館のそれより極端に低い。これは、やはり換気の効果と考えられる。

しかし、ラドン濃度と換気回数との相関については、さらに研究する必要がある。すなわち、今回のラドン濃度は、2か月間の積分濃度をもとに測定されるものであるが、CO₂メーターを用いた換気回数測定は、1回約1時間の換気を測定するものである。厳密に両者の対応をとるには、換気回数も2か月間の平均値を求めたうえで対応させねばならない。

3. 4 おわりに

今回、屋内ラドン濃度の測定を多くの場所について測定したが、木造建物内はRC造建物内に比べてラドン濃度が低いことが、住宅のみならず公共の建物においても明らかにできた。

RC造でのラドン散逸はコンクリートからが多いことが推定されたが、ラドン濃度を低下させるには、外気との換気が重要なポイントとなることも推定できた。一方、木造住宅においては、ラドン濃度は低いものの、地面からのラドン散逸の影響を大きく受けることが明らかとなった。また、土壁からのラドン・トロンの散逸の可能性も確認された。最近の木造住宅は、地面からの湿気を抑えるために、たいていの場合床下のコンクリート打ちが採用されているが、それにしても床下換気口の適切な配置は重要であろう。

これからの、都市型の住宅を考えると、RC造集合住宅が主流になることは必至であるが、その際、無機建材、特にコンクリートからのラドン散逸と滞留を

最小限に抑えることが必要であろう。そのためには、室内空気の循環ではなく入替えを重視するべきである。また、コンクリートの露出部分は最低限にするべきで、木材で表面をカバーすることはラドンの散逸抑制に効果的であろう。この点については、さらに研究をすすめる必要がある。

文献

- 1) 放射線医学総合研究所 監訳 : 放射線とその人間への影響 (UNSCEAR 1982)
227-293 (1983)
- 2) A. V. ニーロ : 式部 啓訳 : 屋外より汚染されている室内の空気、
サイエンス、Vol.18(7)、9-17 (1988)
- 3) (財)日本住宅・木材技術センター : 住宅部材安全性能向上事業報告書
住環境に関する総合調査、平成元年3月、p. 143-177
- 4) 蟹江 洋子 : 屋内のラドン濃度の測定、名古屋大学卒業論文、1990
- 5) 飯田 孝夫 : Passive型ラドン濃度測定器について、保健物理、20、
407-415 (1985)
- 6) T. Iida et. al. : An electrostatic integrating ^{222}Rn monitor with
cellulose nitrate film for environmental monitoring,
Health Physics, 54, 139-148(1988)

7) United States Environmental Protection Agency, OPA-86-004(1986)

小林定喜、完倉 孝子 編 : 放医研環境セミナーシリーズ No.15

生活環境におけるラドン濃度とそのリスク、実業公報社 1989 より

表 3. 1 測定対象 (1)

木造住宅 1 (築 6 0 年 床下コンクリート打ちなし)

測定箇所	建材 及び 状況
① 床下 P = 0 cm	基礎コンクリート打ちなし
② 1 F 6 帖和室 P = 2 5 cm	床 : 縁付き畳敷 壁 : 真壁 (土壁) + 塗り壁 (ジュラク仕上げ) 天井 : 踏み板天井 (杉板) S = 9.9 m ² H = 2.4 m V = 23.8 m ³
③ 2 F 4.5 帖和室 P = 5 0 cm	床 : 縁付き畳敷 壁 : 真壁 (土壁) + 塗り壁 (ジュラク仕上げ) 天井 : 竿天井 (杉板) S = 7.5 m ² H = 2.1 m V = 15.8 m ³

表 3.2 測定対象 (2)

木造住宅2 (床下コンクリート打ちあり)

測定箇所	建材 及び 状況
① 床下 P = 0 cm	基礎コンクリート打ちあり
② 1F 6帖和室 P = 30 cm	床 : 縁付き畳敷 壁 : 真壁 (土壁) + 塗り壁 (ジュラク仕上げ) 天井 : 杉桧合板 目透かし貼 S=9.9m ² H=2.4m V=23.8m ³
③ 2F 6帖和室 P = 120 cm	床 : 縁付き畳敷 壁 : 真壁 (土壁) + 塗り壁 (ジュラク仕上げ) 天井 : 杉桧合板 目透かし貼 S=9.9m ² H=2.4m V=23.8m ³
④ 2F 押入 P = 180 cm	床、壁、天井 : 合板 S=0.5m ² H=0.48m V=0.3m ³

表 3.3 測定対象(3)

木造住宅3 (床下コンクリート打ちあり)

測定箇所	建材 及び 状況
① 床下 P = 0 cm	床下コンクリート打ちあり
② 1 F 物置 P = 0 cm	床、壁、天井： 合板 S=1.3 m ² H=1.8 m V=2.3 m ³
③ 2 F 物置 P = 0 cm	床： フロア合板 壁： 合板 天井： 合板 S=5.8 m ² H=1.45 m V=8.4 m ³

表 3. 4 測定対象 (4)

鉄骨倉庫

測定箇所	建材 及び 状況
① 2 F P = 1 2 0 cm	床 : コンクリート + 鋼板 (デッキプレート) 壁 : カラートタン + アスベスト吹き付け 天井 : 鋼板 (デッキプレート) S=129.6m ² H=2.8m V=369m ³

表 3. 5 測定対象 (5)

R C 造アパート

測定箇所	建材 及び 状況
①南向き 押入 P = 0 c m	合板打ち貼 天井 : コンクリート S=0.72m ² H=0.57m V=0.41m ³
②北向き 押入 P = 0 c m	合板打ち貼 天井 : コンクリート S=2.25m ² H=0.57m V=1.28m ³
③北向き 6帖和室 P = 1 4 0 c m	床 : 縁付き畳敷 壁 : モルタル + 塗料 天井 : ヒル石吹き付け S=8.6m ² H=2.35m V=20.2m ³

表 3.6 測定対象(6)

名古屋大学農学部及びアイソトープ総合センター天然放射線測定室

測定箇所	建材 及び 状況
① 181号室 P = 75 cm	床 : コンクリート + 塗料 壁 : コンクリート + モルタル吹き付け + 塗料 天井 : 石膏ボード S=4.1m ² H=2.4m V=9.8m ³ ※流し台あり
② 281号室 P = 130 cm	床 : Pタイル 壁 : コンクリート + モルタル吹き付け + 塗料 天井 : コンクリート + モルタル吹き付け S=54.8m ² H=3.28m V=179.7m ³
③ 173号室 P = 76 cm	床 : Pタイル 壁 : コンクリート + モルタル吹き付け 天井 : 石膏ボード S=55.1m ² H=2.37m V=130.6m ³
④ B224 床下 P = 0 cm	コンクリート打ちあり

<p>⑤ B 2 2 4</p> <p>P = 1 2 0 cm</p>	<p>床 : P タイル</p> <p>壁 : コンクリート + モルタル吹き付け + 塗料</p> <p>天井 : 石膏ボード</p> <p>S=16.4 m² H=2.65 m V=30.3 m³</p>
<p>※⑥</p> <p>R I センター</p> <p>P = 0 cm</p>	<p>床 : コンクリート + 塗料</p> <p>壁 : 発泡コンクリート + アクリル吹き付け</p> <p>サイジング : モルタル吹き付け</p> <p>天井 : 発泡コンクリート</p> <p>S=127.5 m² H=7 m V=765 m³</p>

※アイソトープ総合センター天然放射線測定室

表 3.7 測定対象 (7)

名古屋大学中央図書館

測定箇所	建材 及び 状況
① 書庫 (B1-2) P = 40 cm	床 : コンクリート + 塗料 壁 : コンクリート 天井 : コンクリート S=9.93m ² H=1.5m V=13.18m ³
② 電動集密書架 P = 200 cm	床 : コンクリート + 塗料 壁 : コンクリート + モルタル吹き付け 天井 : コンクリート + モルタル吹き付け
③ 機械室通路 P = 145 cm	床 : コンクリート + 塗料 壁 : コンクリート + モルタル吹き付け 天井 : コンクリート + モルタル吹き付け
④ マイクロ 資料室 P = 190 cm	床 : コンクリート + 塗料 壁 : コンクリート + モルタル吹き付け 天井 : 石綿吸音板 S=20.25m ² H=2.5m V=50.63m ³

表 3. 8 測定対象 (8)

岐阜県武儀郡上之保小学校

測定箇所		建材 及び 状況
校 長 室 ※ 木 造 校 舎	① 床下 P = 0 cm	床下コンクリート打ちあり
	② 書棚 P = 150 cm	床 : フローリング板 壁 : フローリング板 + クロス貼 天井 : ファイバーボード S=37.1m ² H=3m V=111.3m ³
	③ 天井裏 P = 0 cm	
※ R C 校 舎	④ 家庭科室 P = 220 cm	床 : コンクリート + 木材タイル 壁 : コンクリート + モルタル吹き付け 天井 : ファイバーボード S=59.5m ² H=3m V=178.5m ³
	⑤ 理科室 P = 180 cm	床 : コンクリート + 塗料 壁 : コンクリート + 塗料 天井 : ファイバーボード S=58.1m ² H=3m V=174.3m ³ ※流し台あり

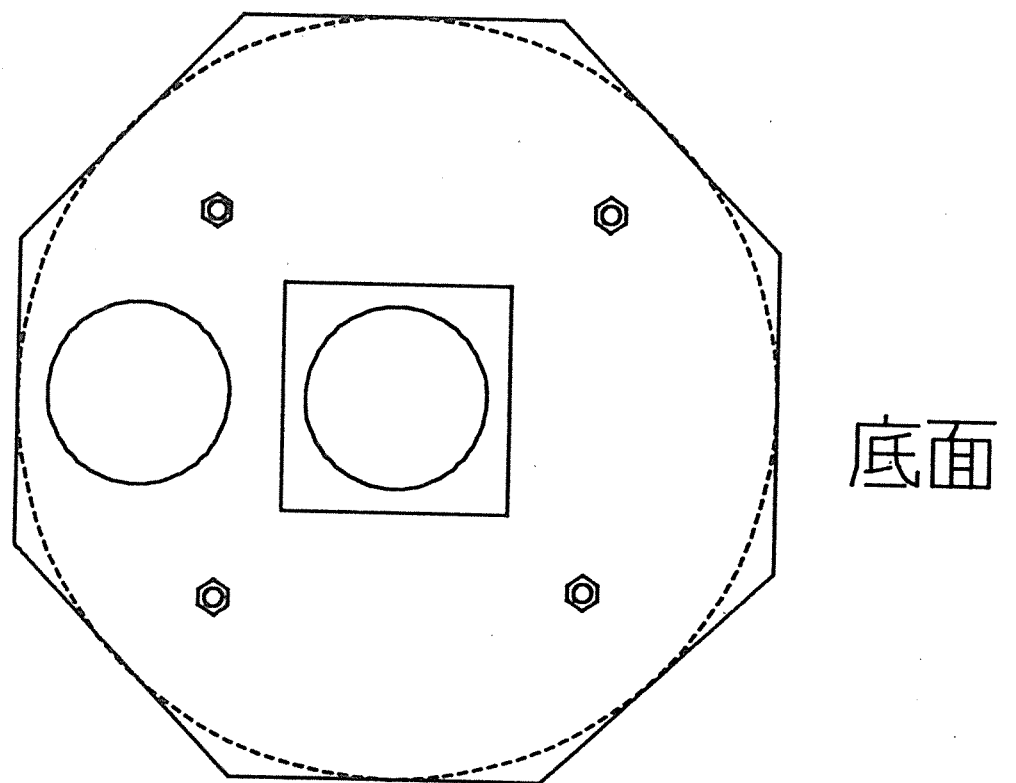
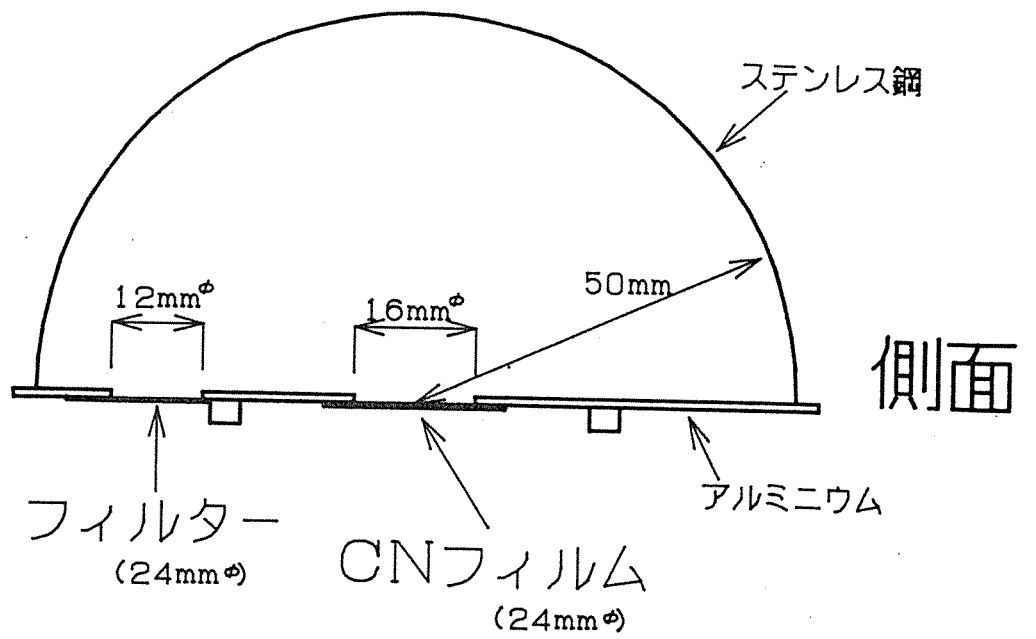


図 3. 1 Cup型ラドンモニター

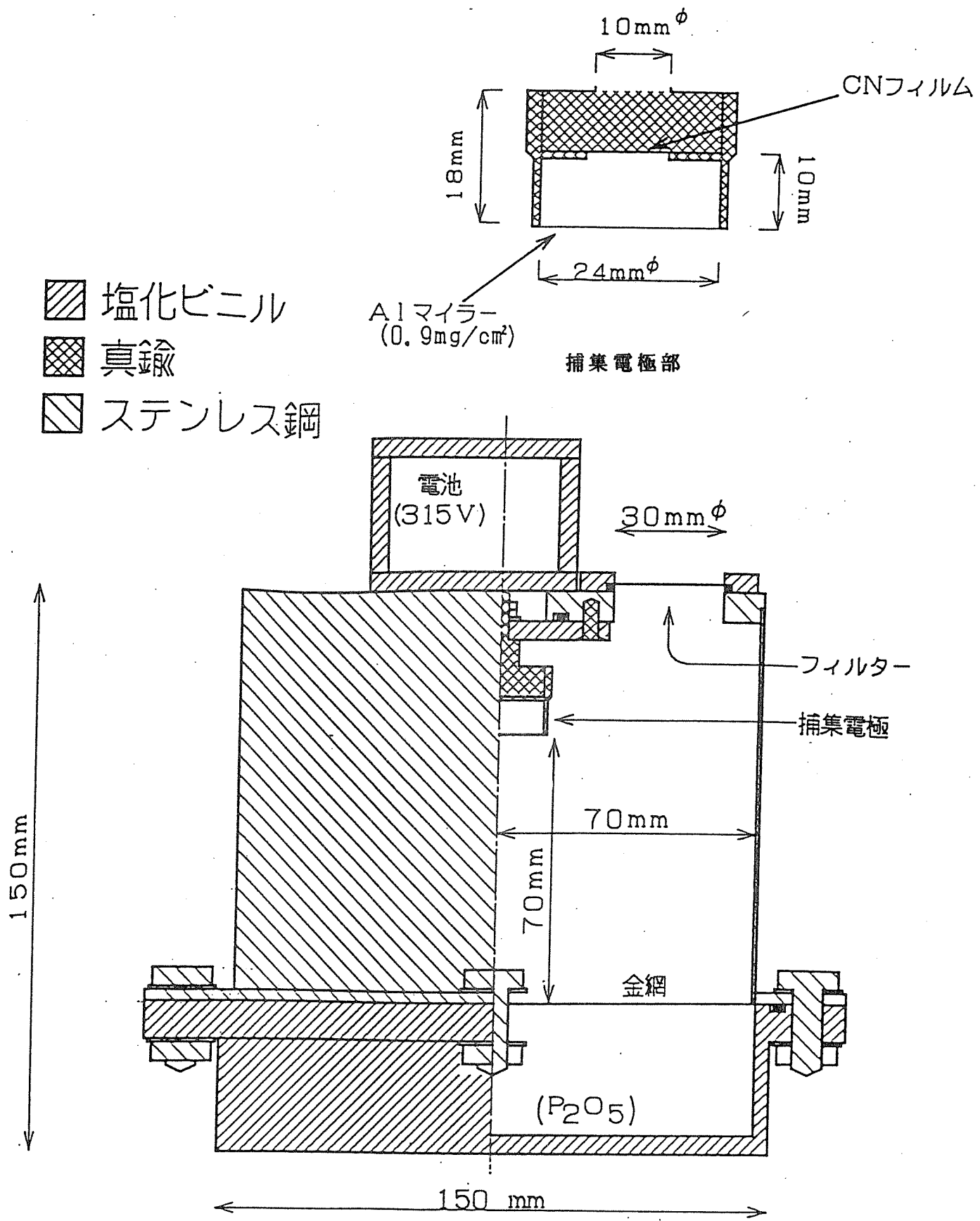


図 3. 2 静電式積分型ラドンモニター

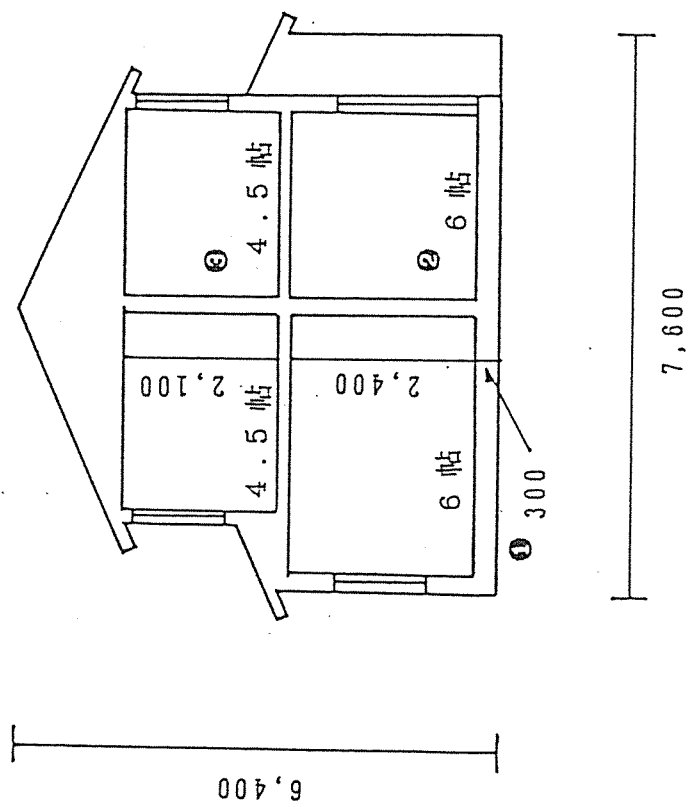


図 3.3 木造住宅 1 (築 60 年 床下コンクリート打ちなし)

断面図 s:1/100

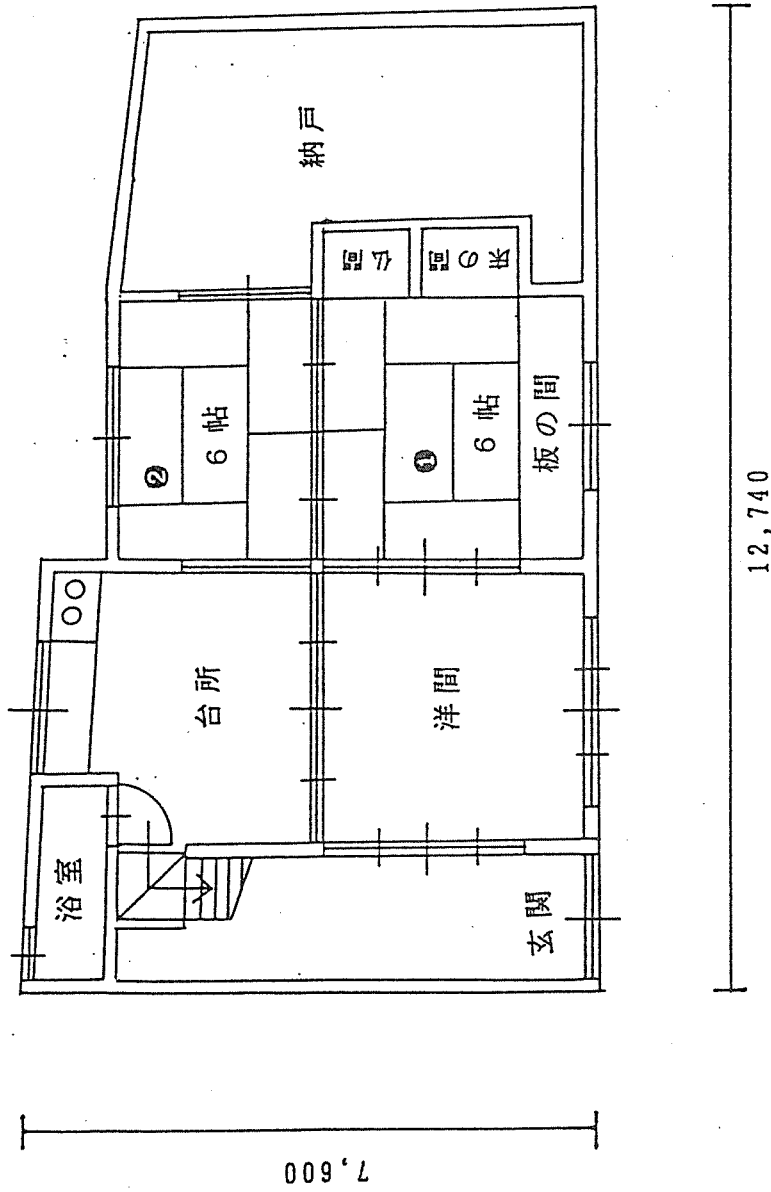


図 3. 4 木造住宅 1 (築 60 年 床下コンクリート打ちなし)
1 階 平面図 s:1/100

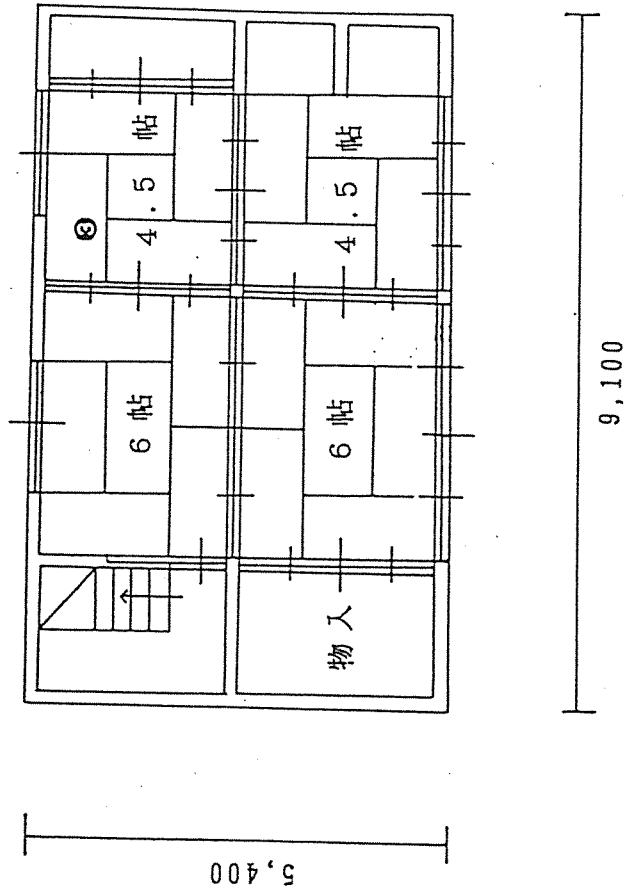


図 3. 5 木造住宅 1 (築 60 年 床下コンクリート打ちなし)
2 階 平面図 s:1/100

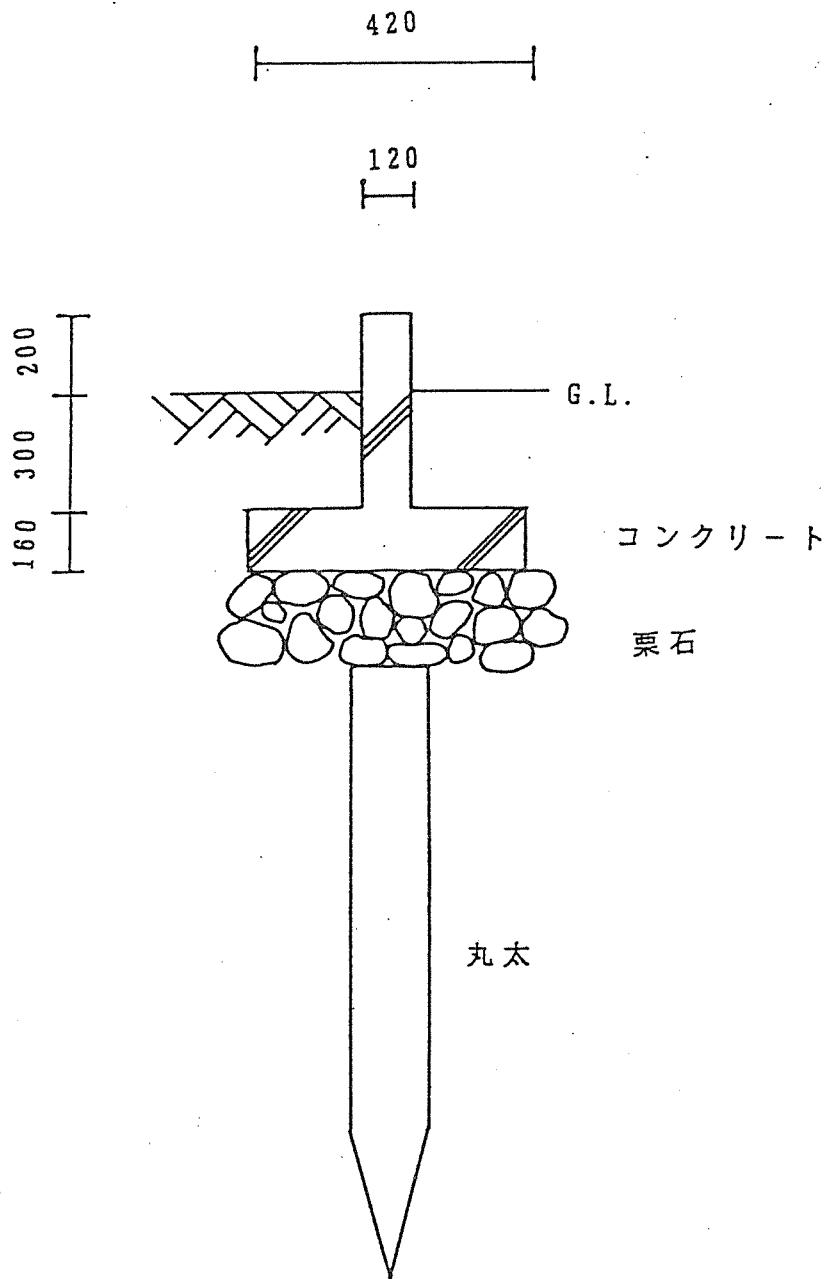


図 3. 6 木造住宅1 (築60年 床下コンクリート打ちなし)
基礎断面図 s:1/20

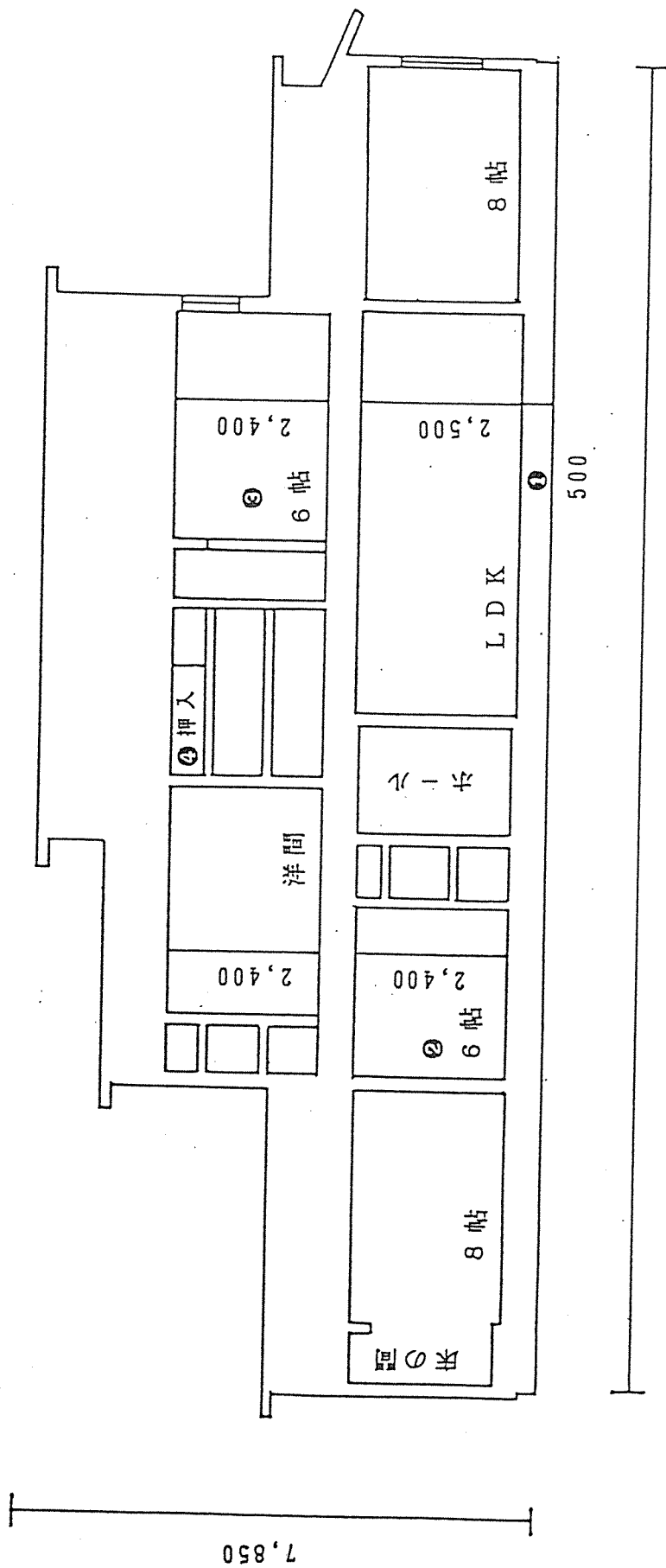
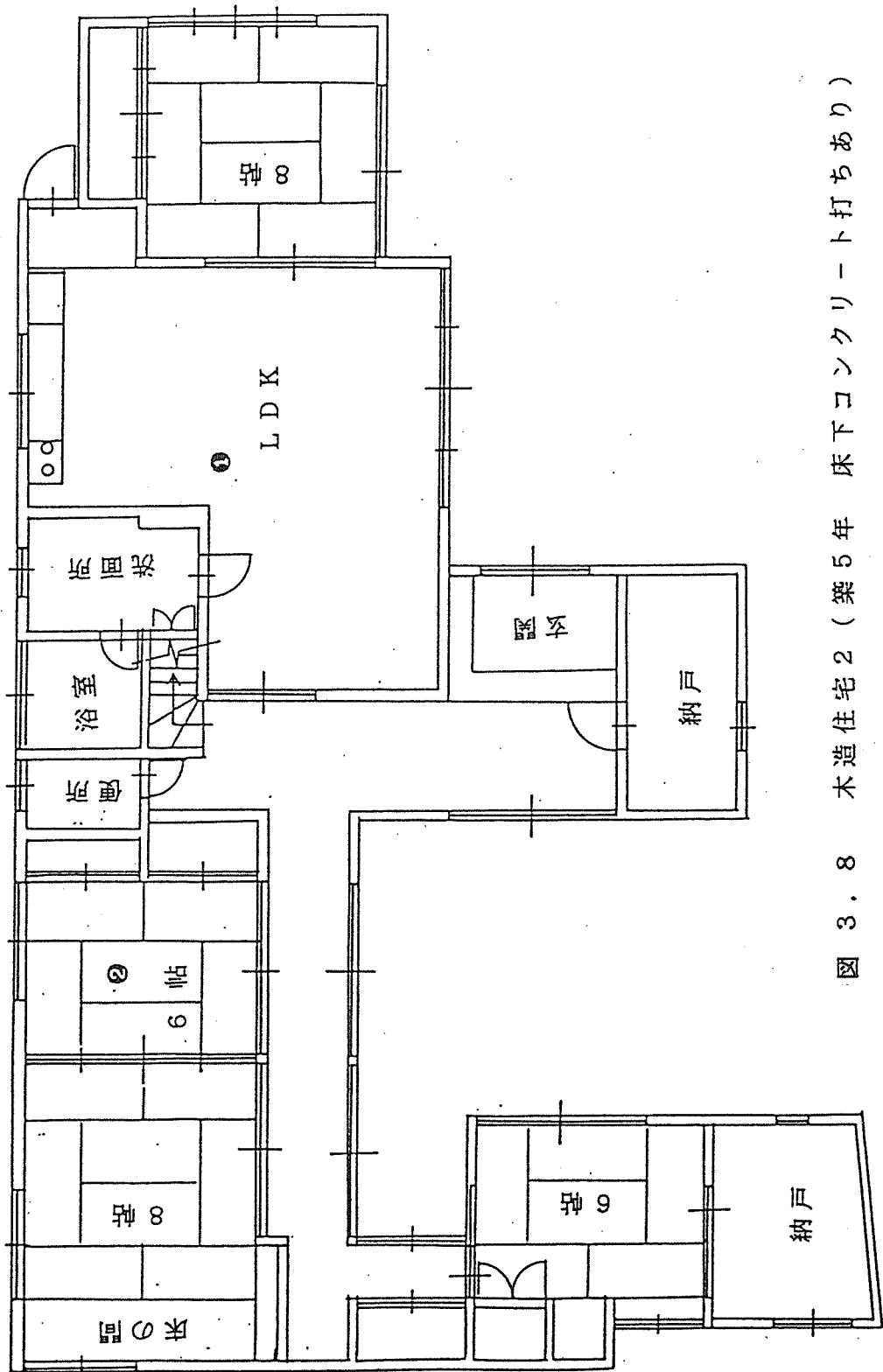


図 3.7 木造住宅2 (築5年 床下コンクリート打ちあり)

断面図 s:1/100

20,020

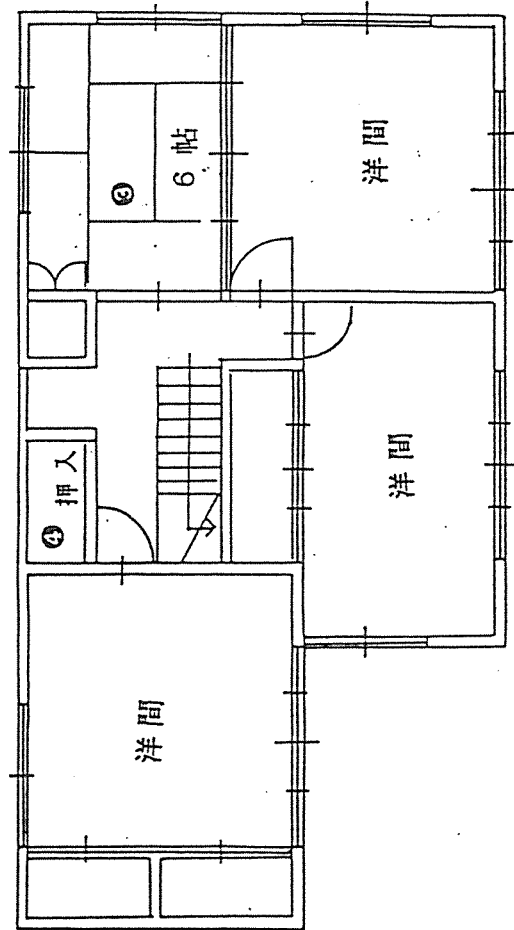


12,865

図 3. 8 木造住宅 2 (築 5 年 床下コンクリート打ちあり)

1 階平面図 s:1/100

11,830



6,370

図 3. 9 木造住宅 2 (築 5 年 床下コンクリート打ちあり)

2 階平面図 s:1/100

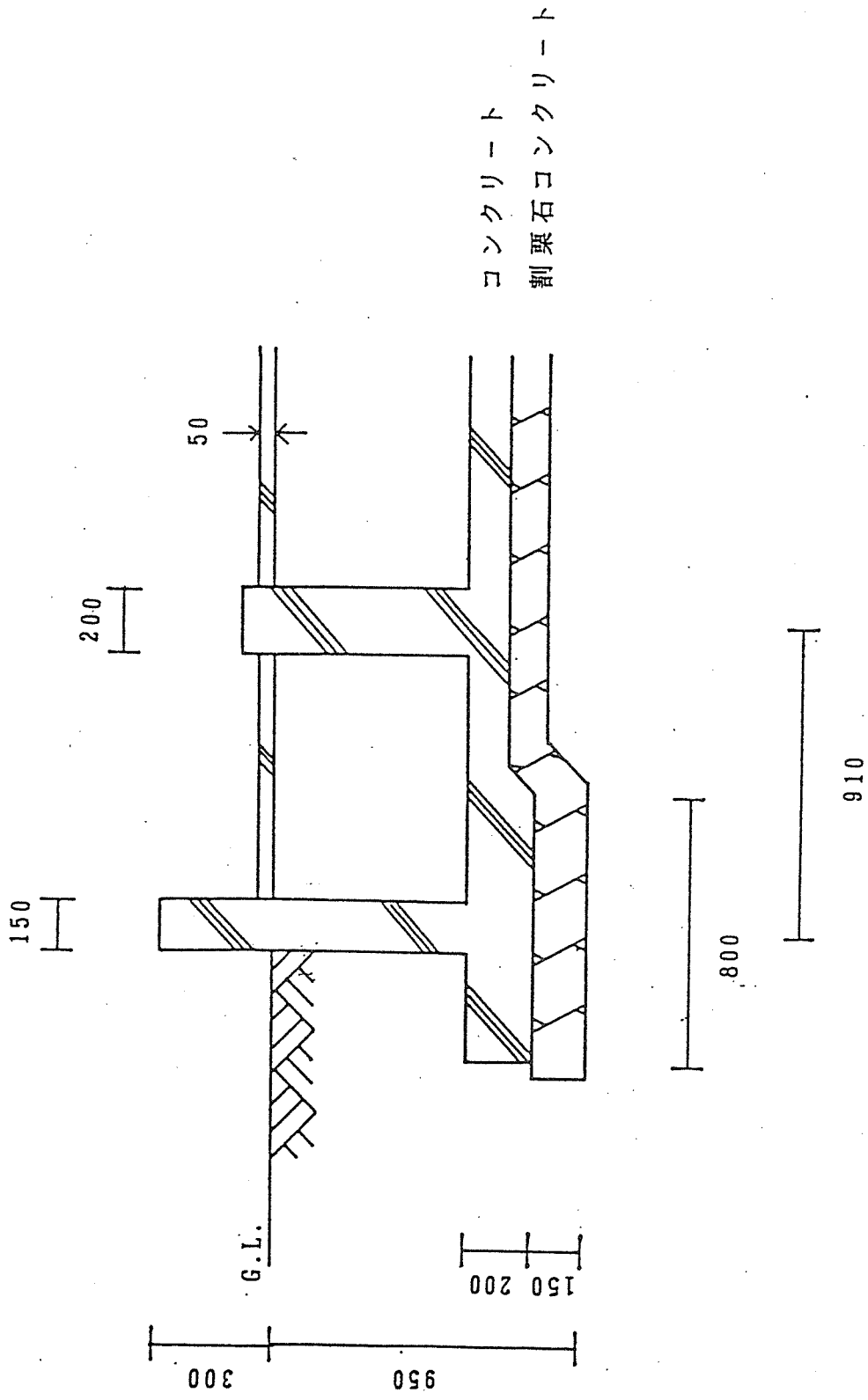


図 3. 10 木造住宅 2 (築 5 年 床下コンクリート打ちあり)
基礎断面図 s:1/20

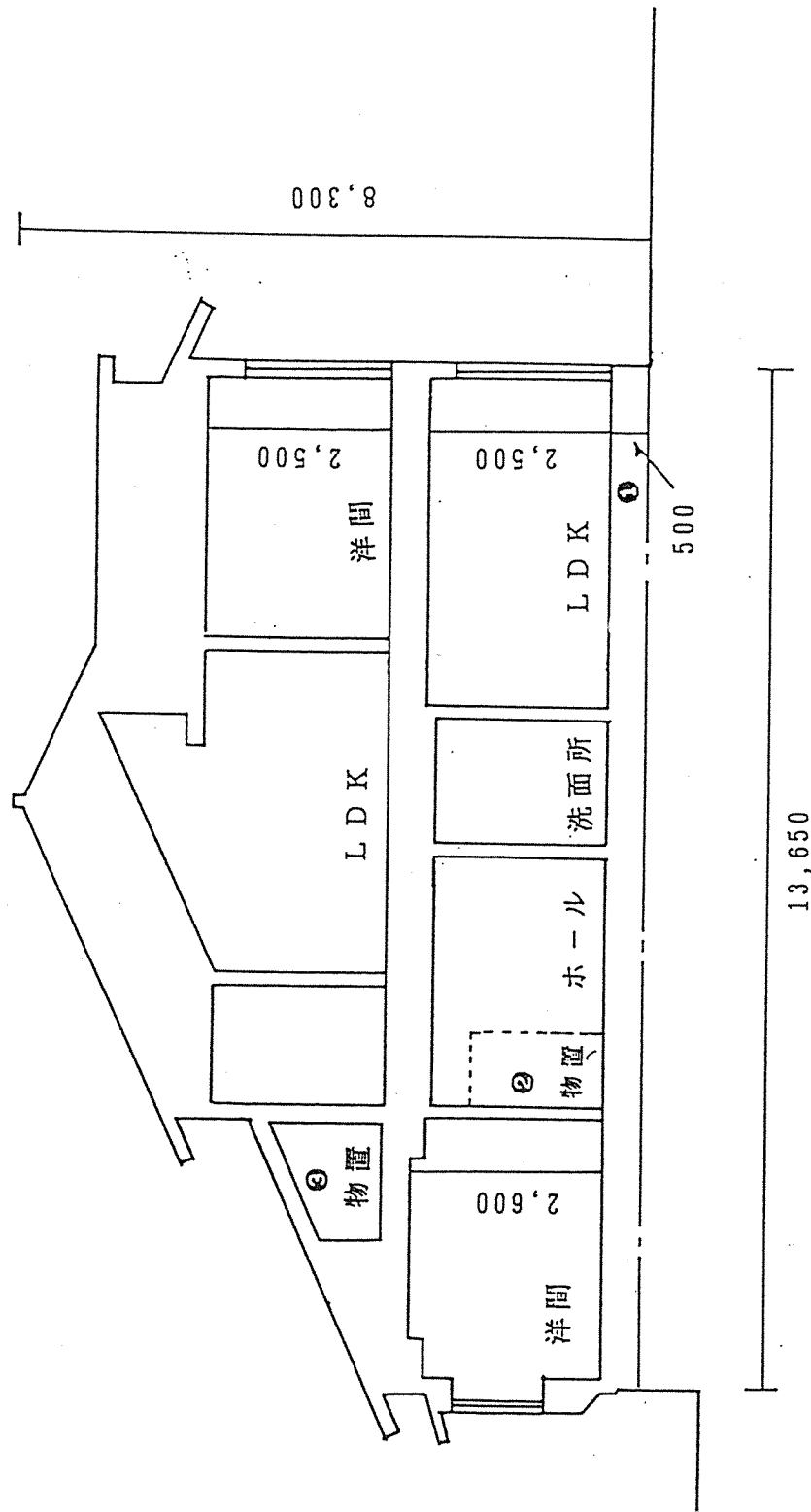
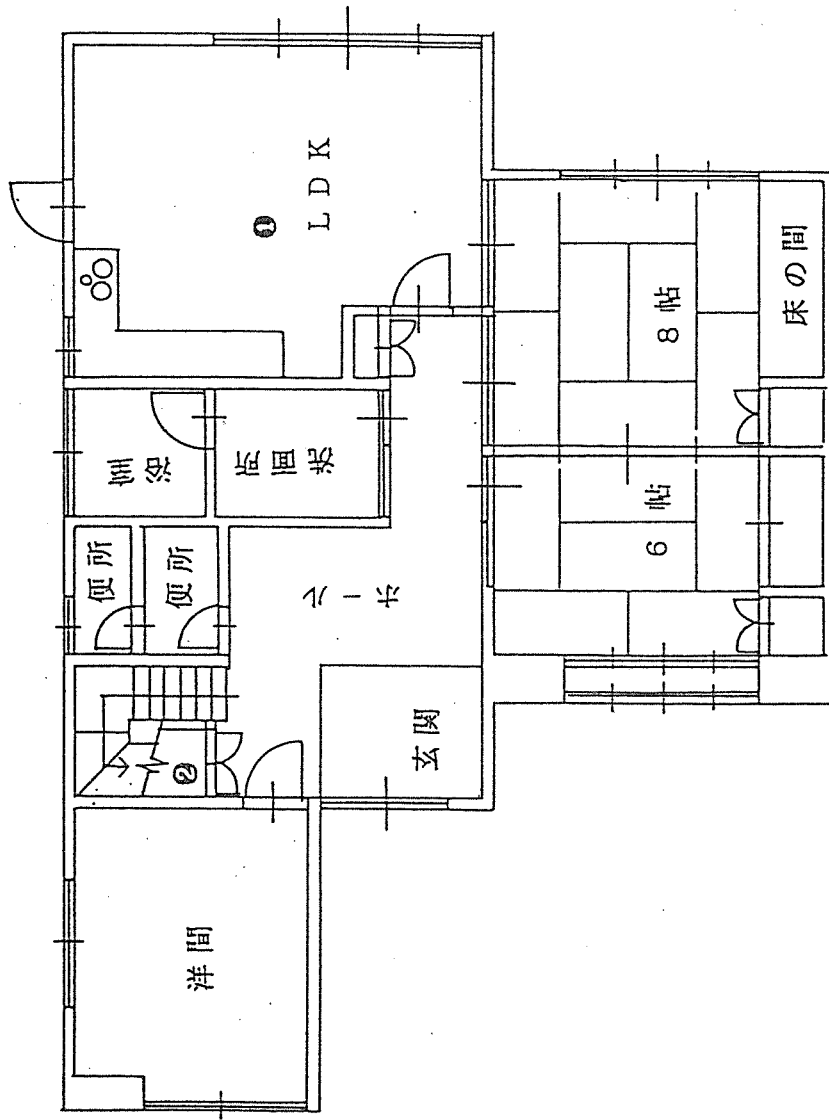


図 3. 11 木造住宅 3 (築 1 年 床下コンクリート打ちあり)

断面図 s:1/100

13,650



10,010

図 3.12 木造住宅 3 (築 1 年 床下コンクリート打ちあり)

1 階平面図 s:1/100

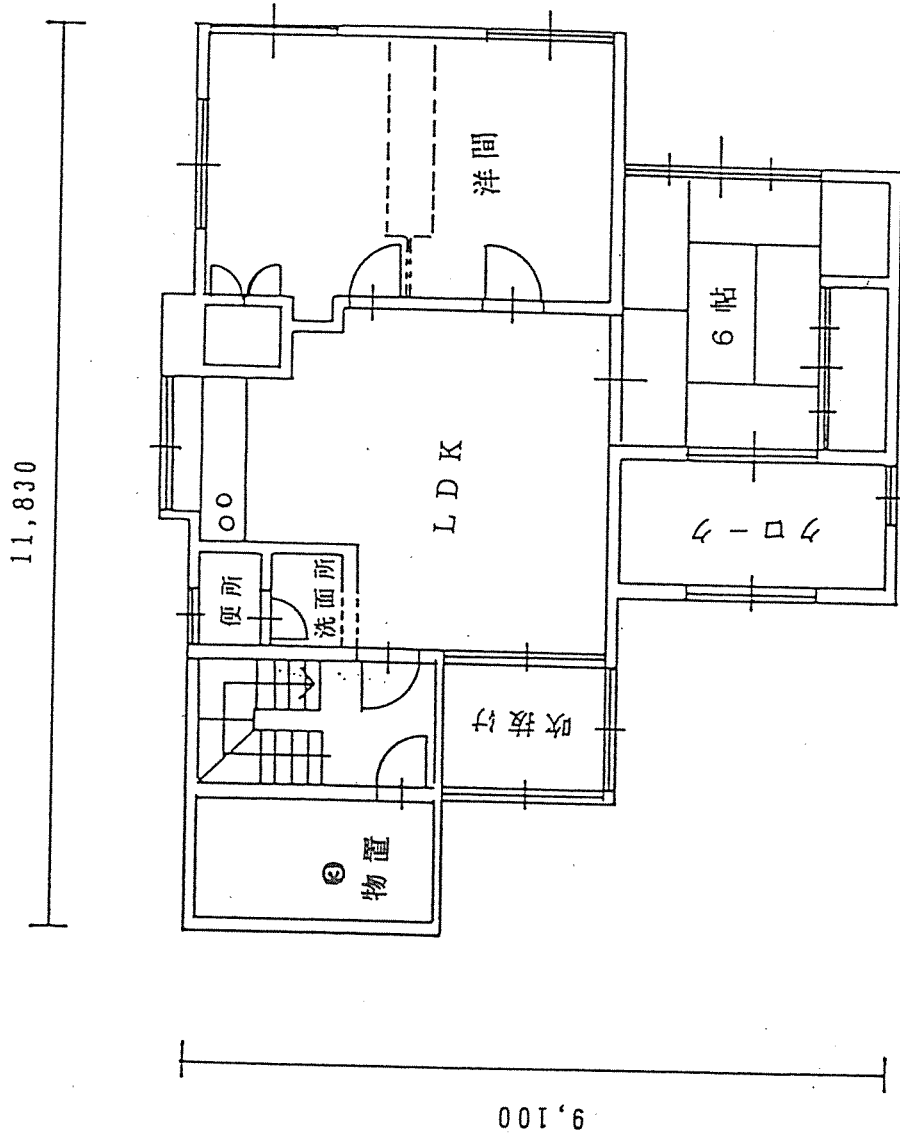


図 3. 1. 3 木造住宅 3 (築 1 年 床下コンクリート打ちあり)
2 階平面図 s:/100

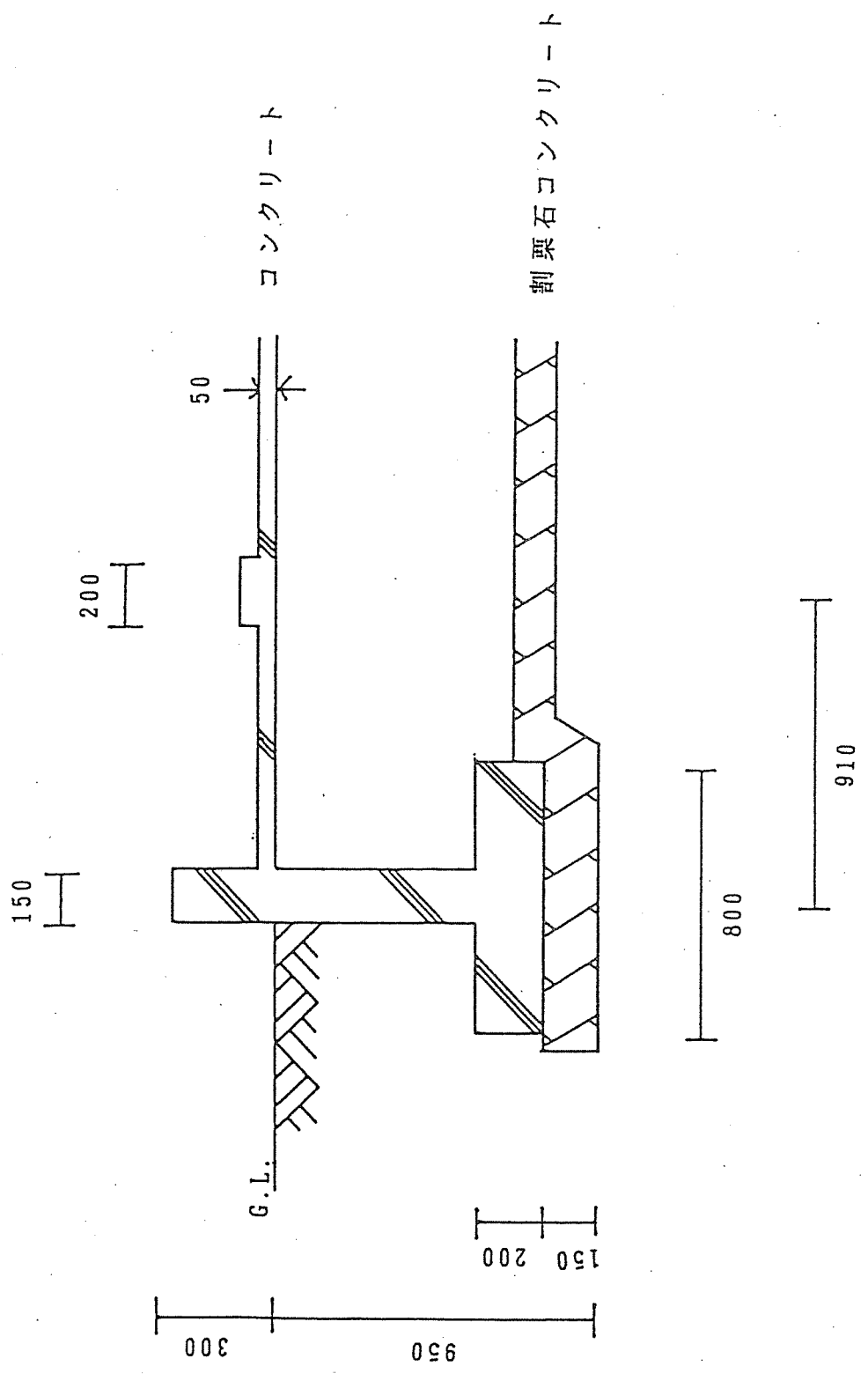


図 3. 14 木造住宅 3 (築 1 年 床下コンクリート打ちあり)

基礎断面図 s:1/20

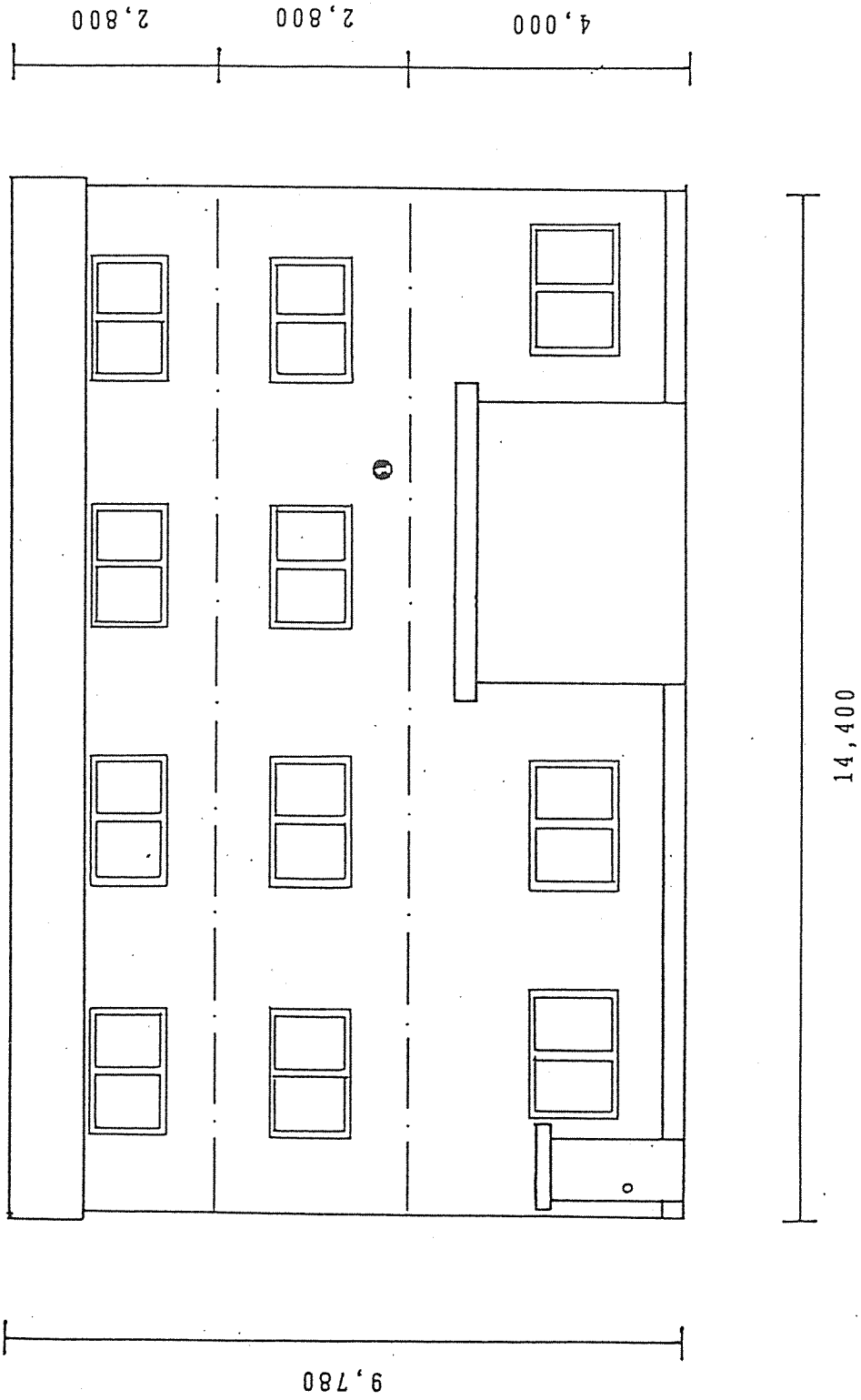


図 3. 15 鉄骨倉庫 (アスベスト吹き付け)

正面図 s:1/100

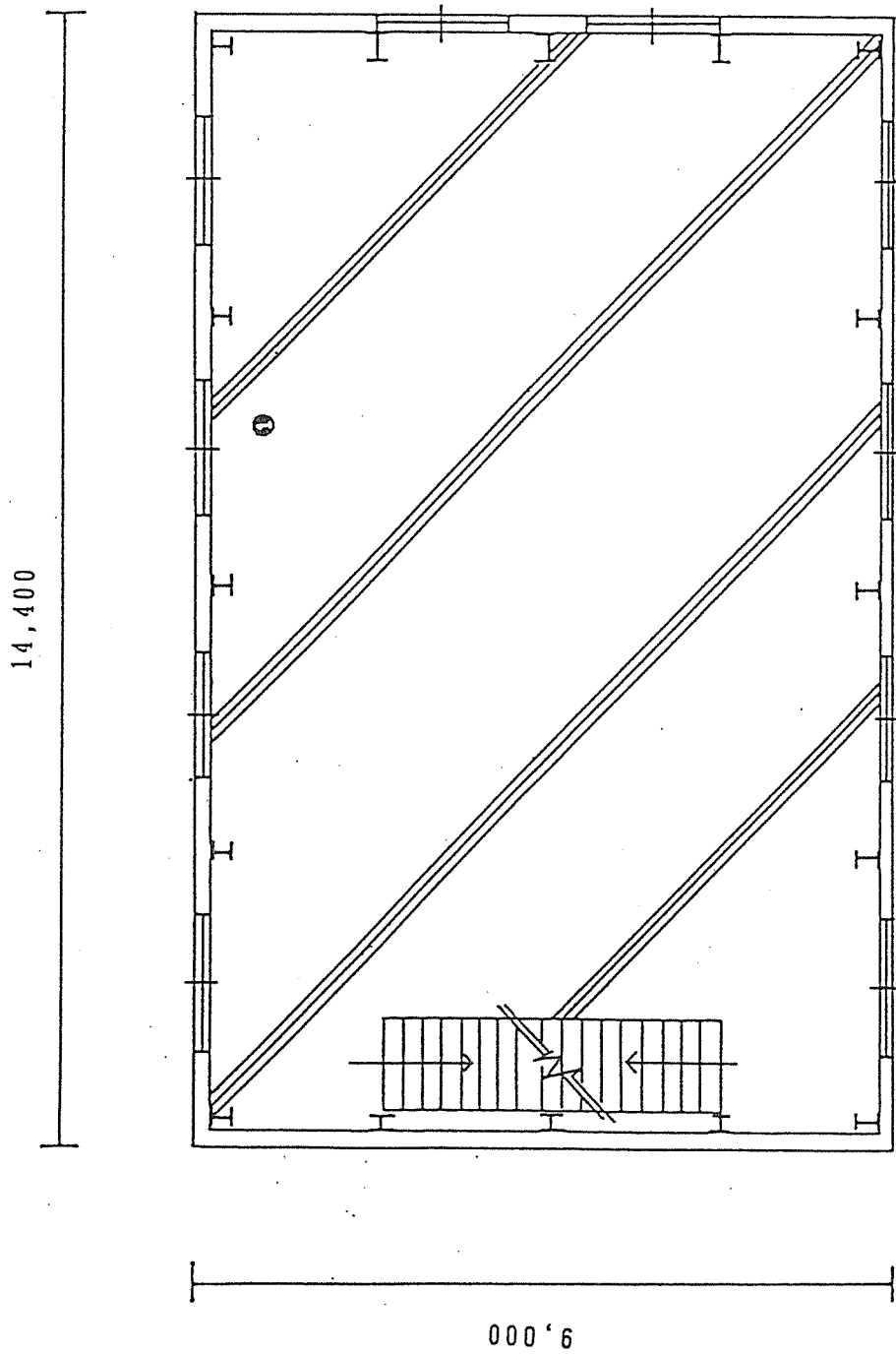
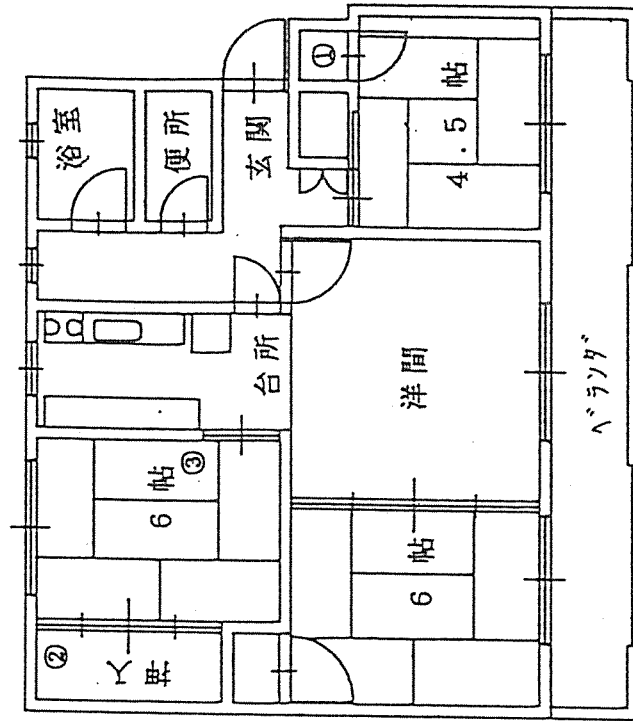
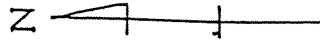


図 3. 16 鉄骨倉庫 (アスベスト吹き付け)

2 階平面図 s: 1/100



6,600

9,000

図 3. 17 RC造アパート

平面図 s:1/100

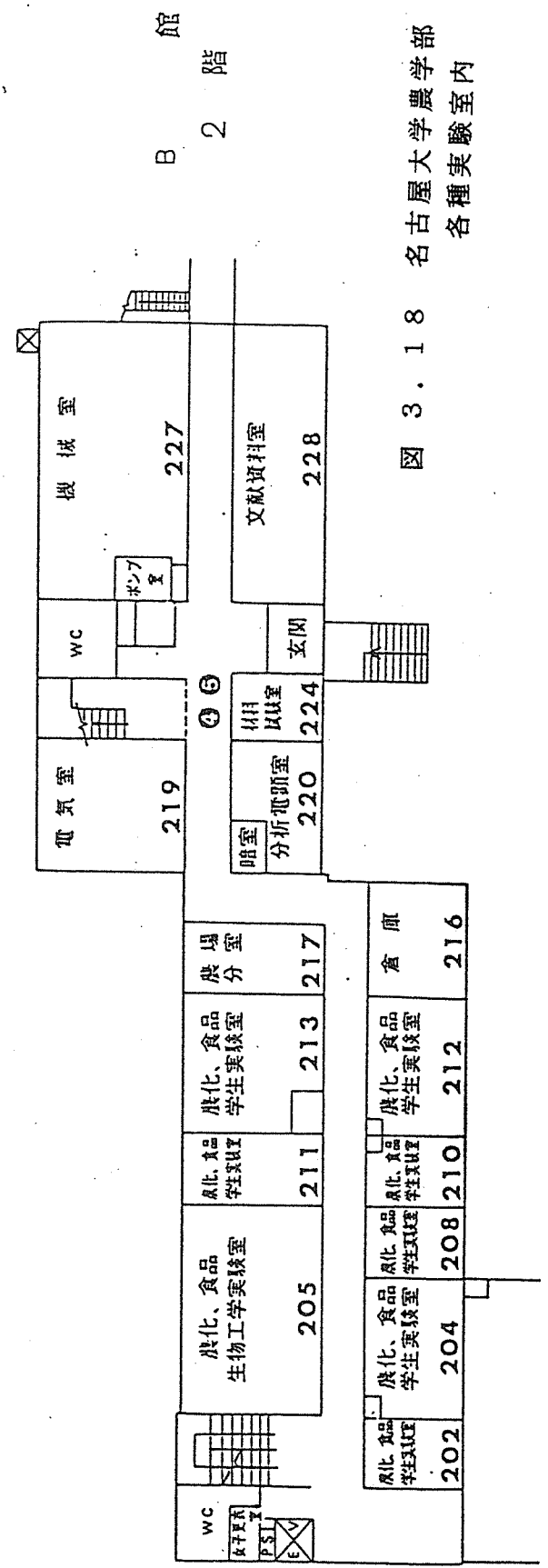
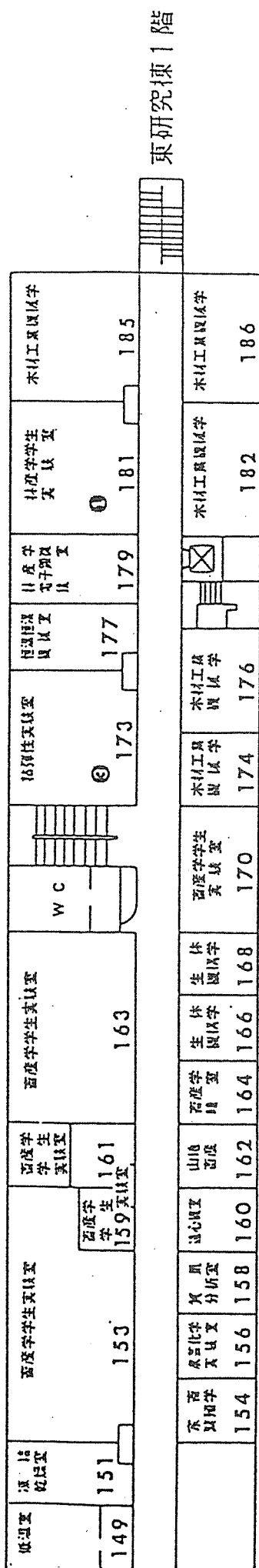
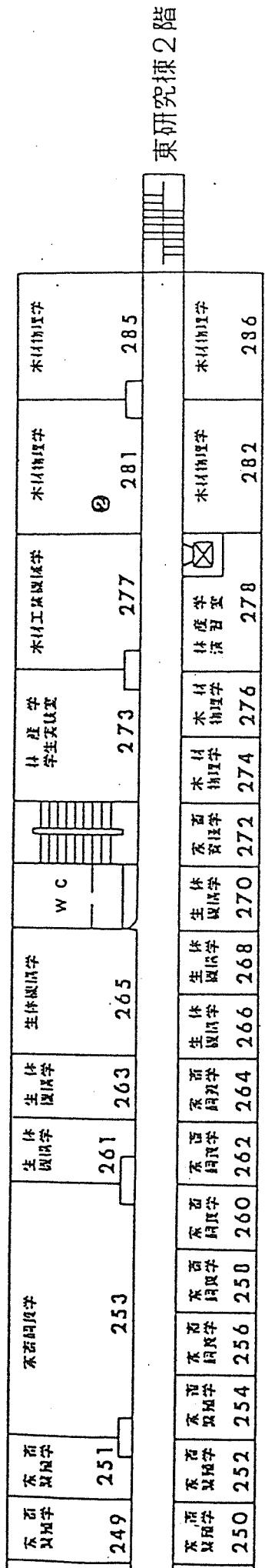


図 3. 1 8 名古屋大学農学部
各種実験室内

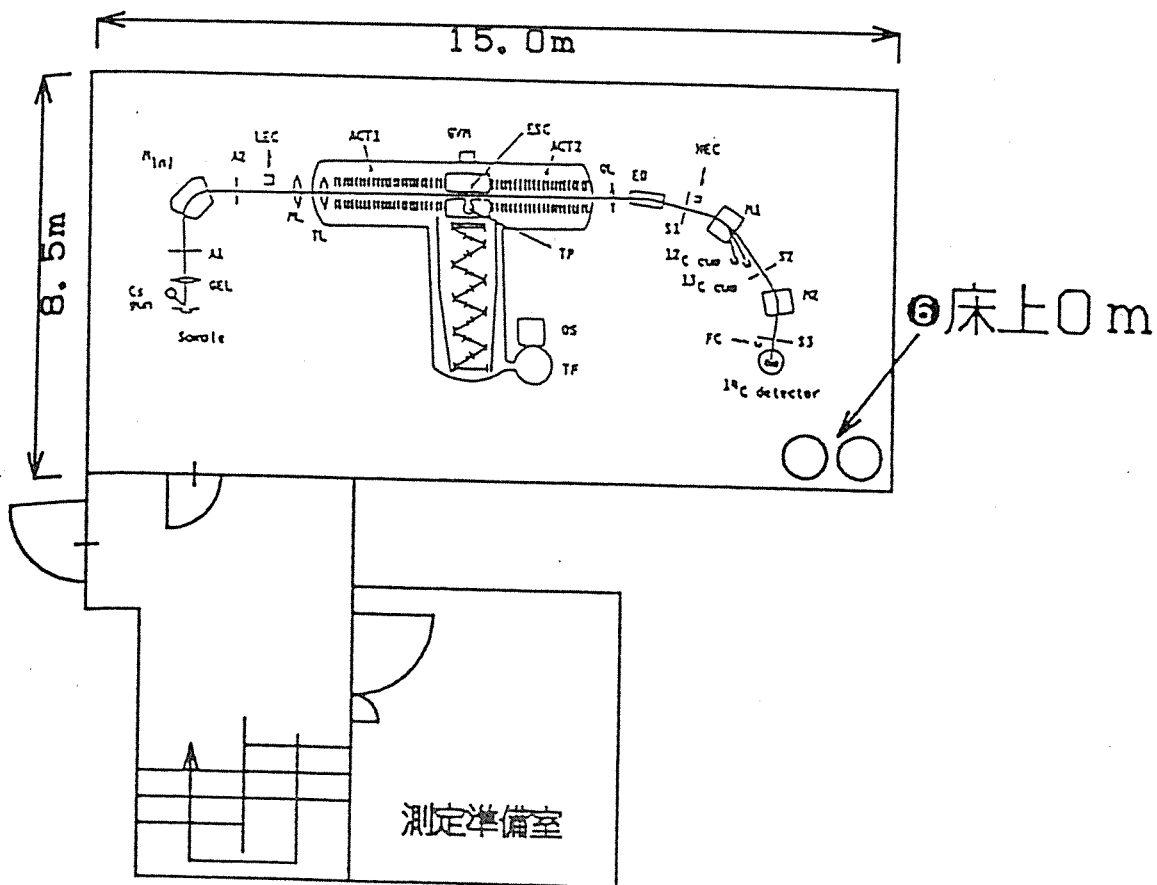


図 3. 1 9 名古屋大学アイソトープ総合センター
天然放射線測定室 (タンデトロン設置室)

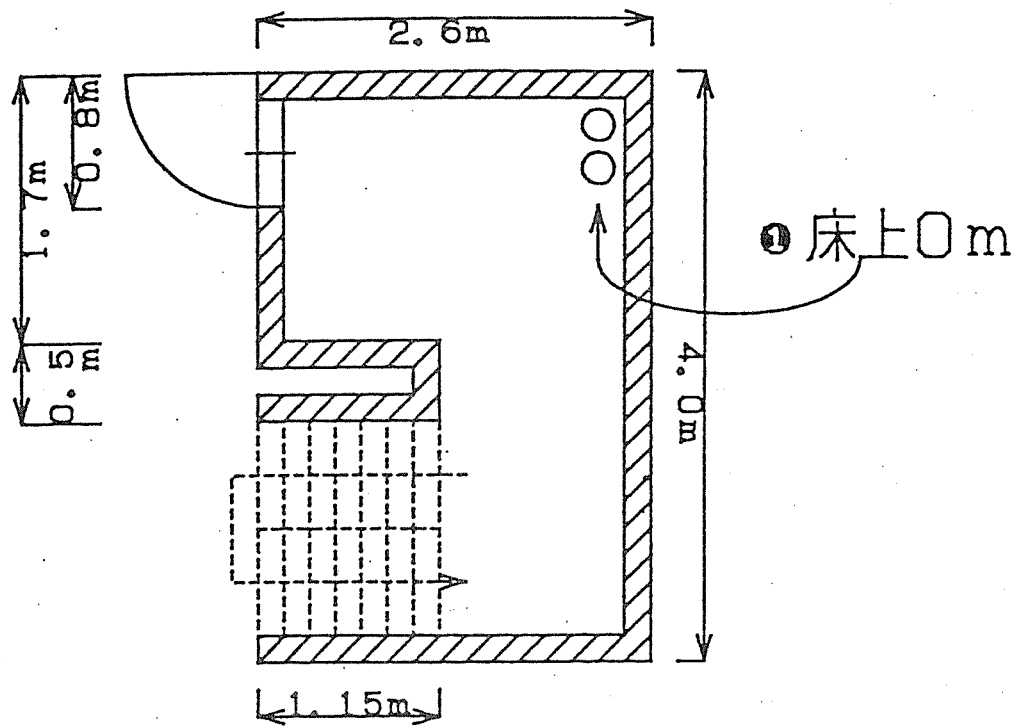


図 3.20 名古屋大学中央図書館内 (RC造)
 地下1階倉庫 (B1-2)
 平面図

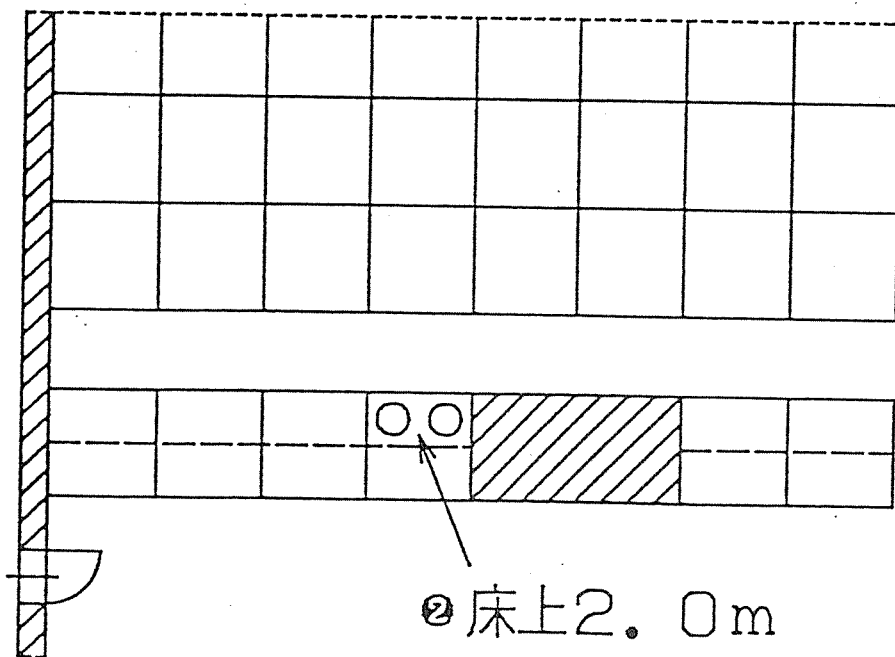


図 3. 2 1 名古屋大学中央図書館内（RC造）
地下1階電動集密書架室
平面図

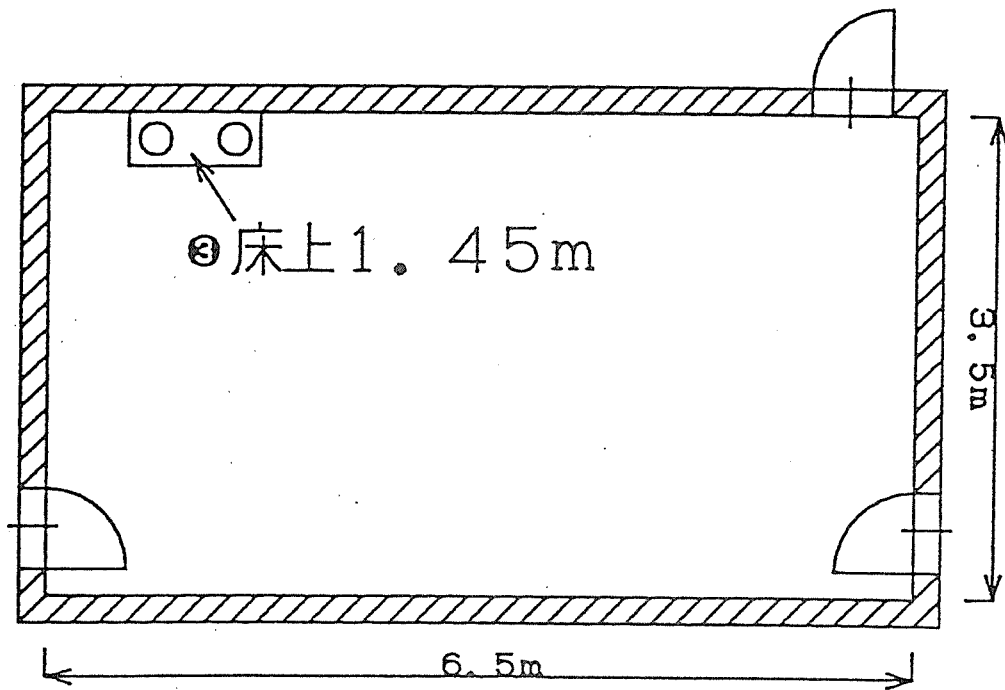


图 3.22 名古屋大学中央図書館内 (RC造)
 地下1階機械室通路
 平面図

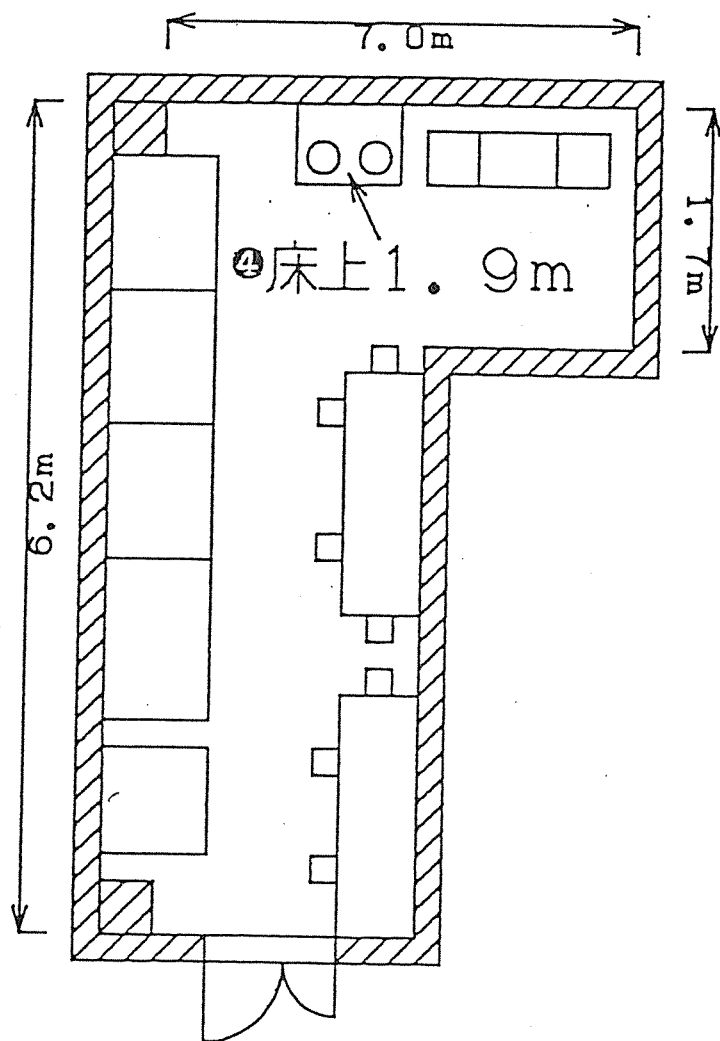


図 3.23 名古屋大学中央図書館内（RC造）
1階マイクロフィルム収納室
平面図

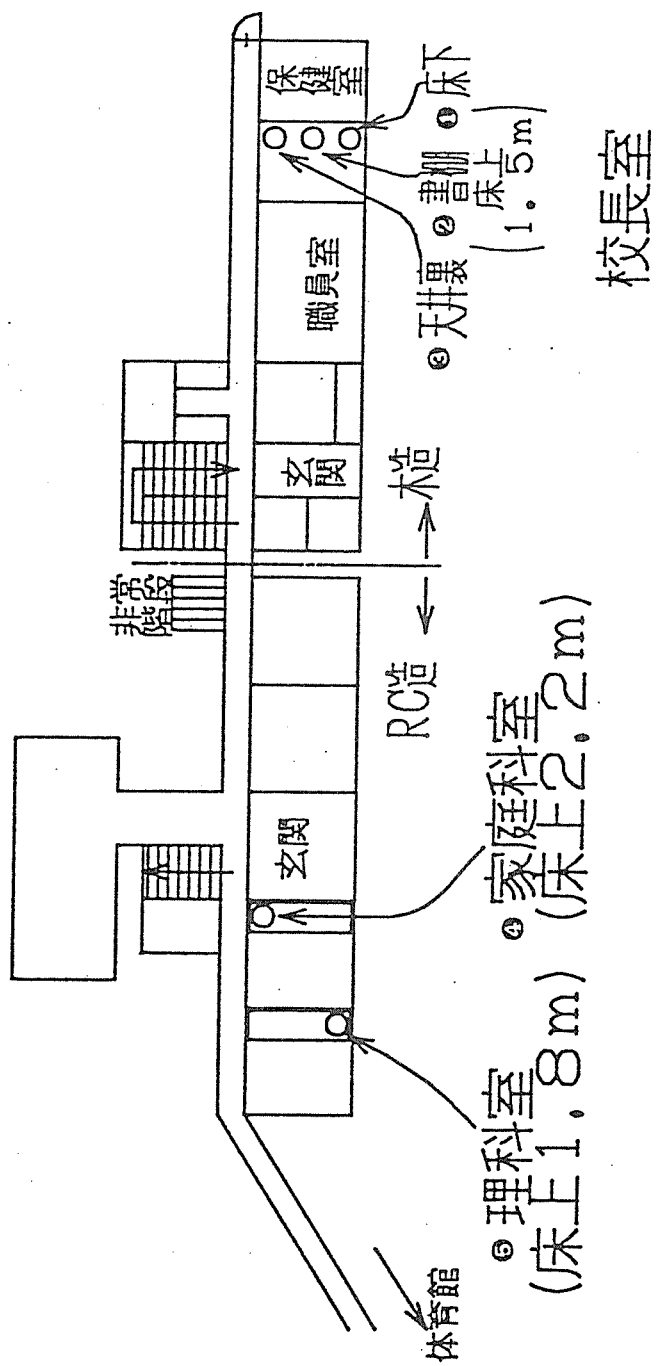


図 3. 2 4 学校校舎
 (岐阜県武儀郡上之保小学校)
 理科室、家庭科室 : RC造
 校長室 : 木造
 床下 : コンクリート打ちあり

木造住宅（築60年）

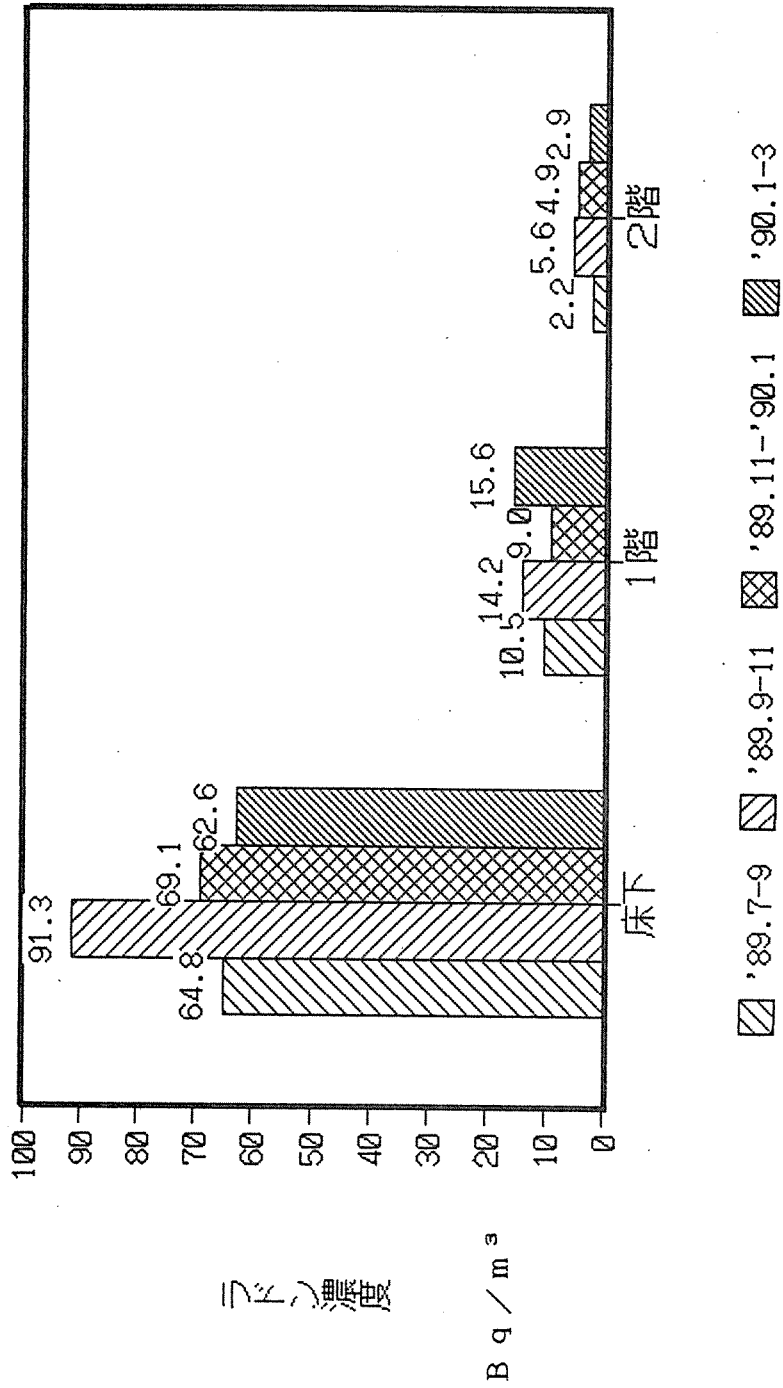


図 3. 25 木造住宅 1 内のラドン濃度
(床下コンクリート打ちなし、土壁)

木造住宅（築5年）

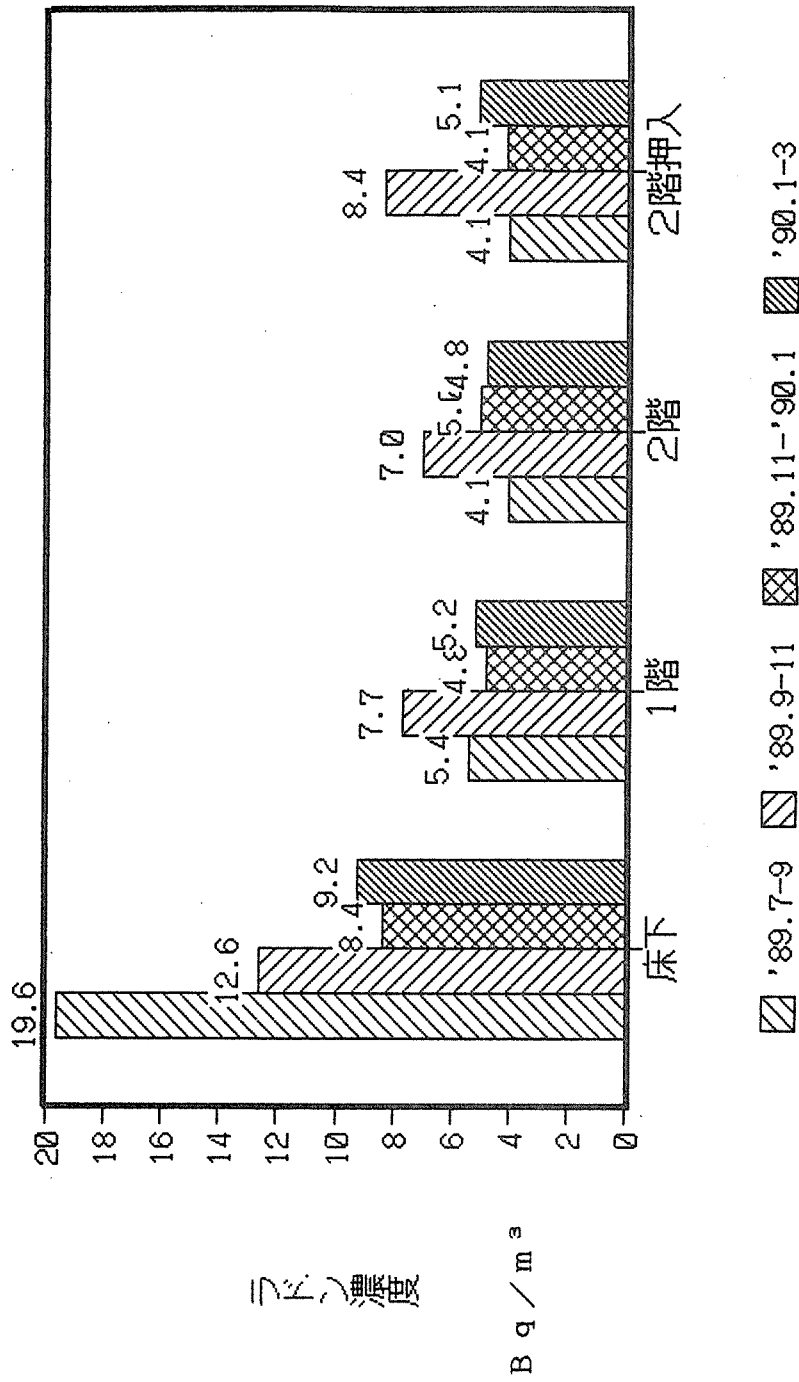
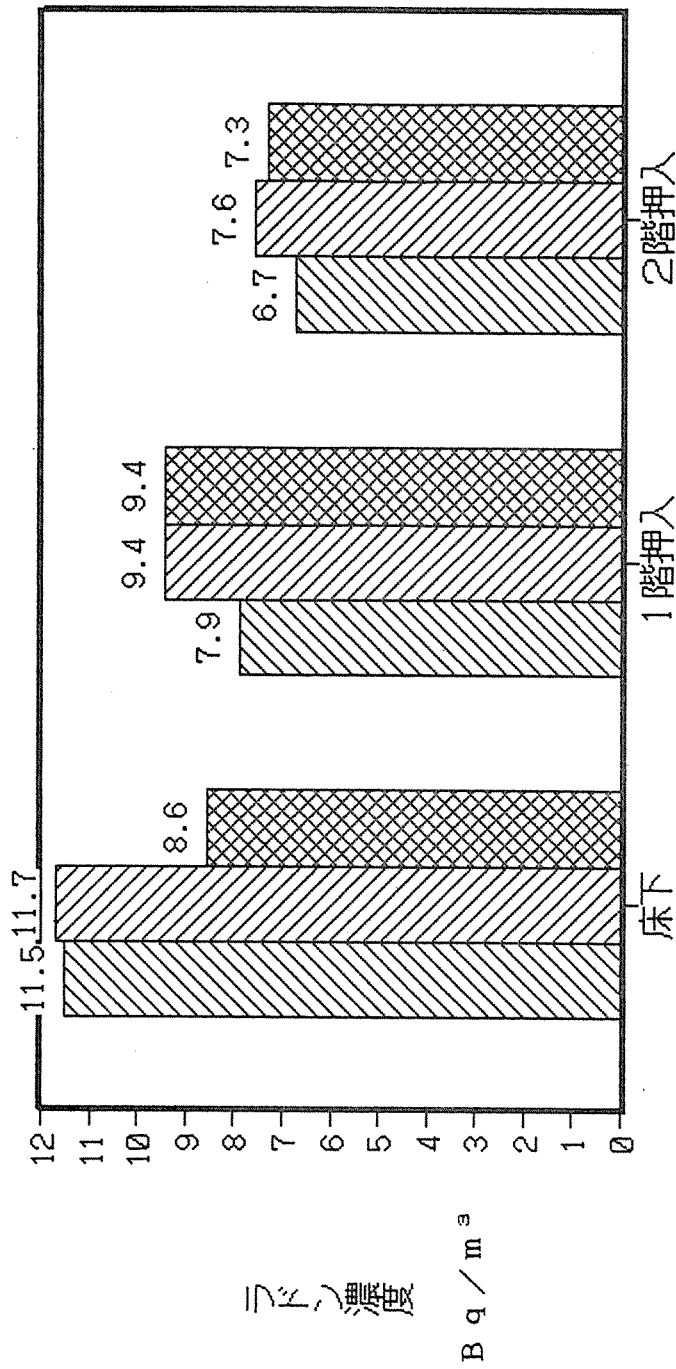


図 3. 26 木造住宅 2 内のラドン濃度
(床下コンクリート打ちあり、土壁)

木造住宅（築1年）



'89.9-11
 '89.11-'90.1
 '90.1-3

図 3. 27 木造住宅3内のラドン濃度
 （床下コンクリート打ちあり、木質壁）

鉄骨倉庫

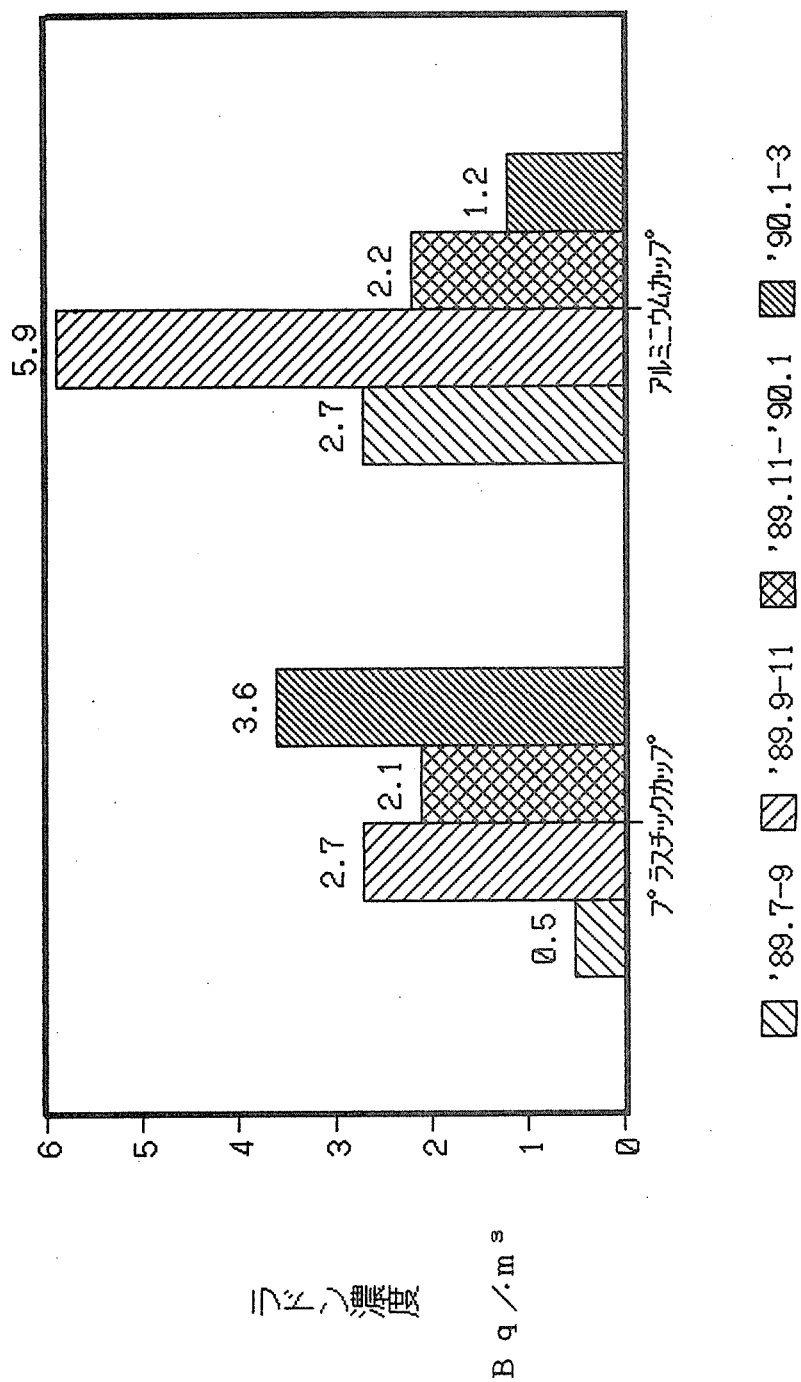


図 3. 28 鉄骨倉庫内のラドン濃度
(二種類のカップモニターによる)

愛知県東海市の
大気中ラドン濃度

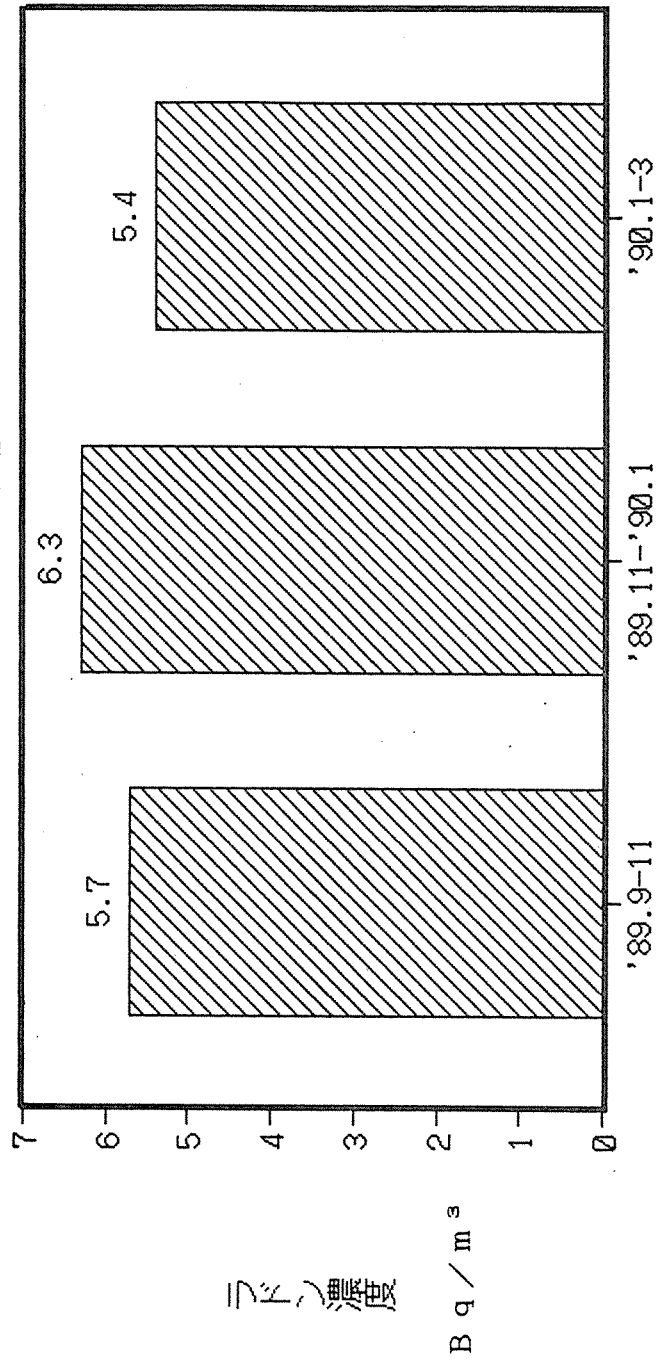


図 3. 29 静電式積分型ラドンモニターで測定した大気中ラドン濃度の季節変動

RC造アパート

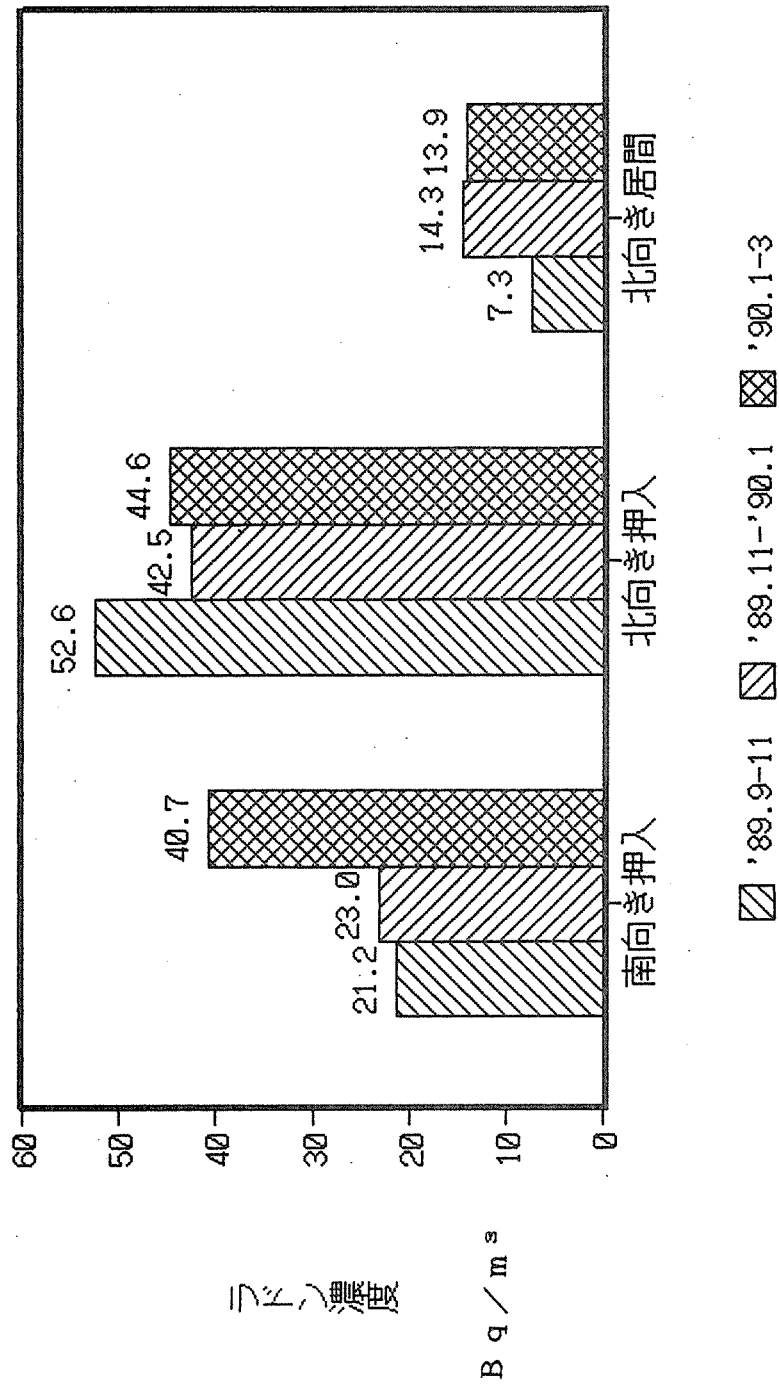


図 3. 30 RC造アパート内のラドン濃度

名古屋大農学部及び
RIセンター

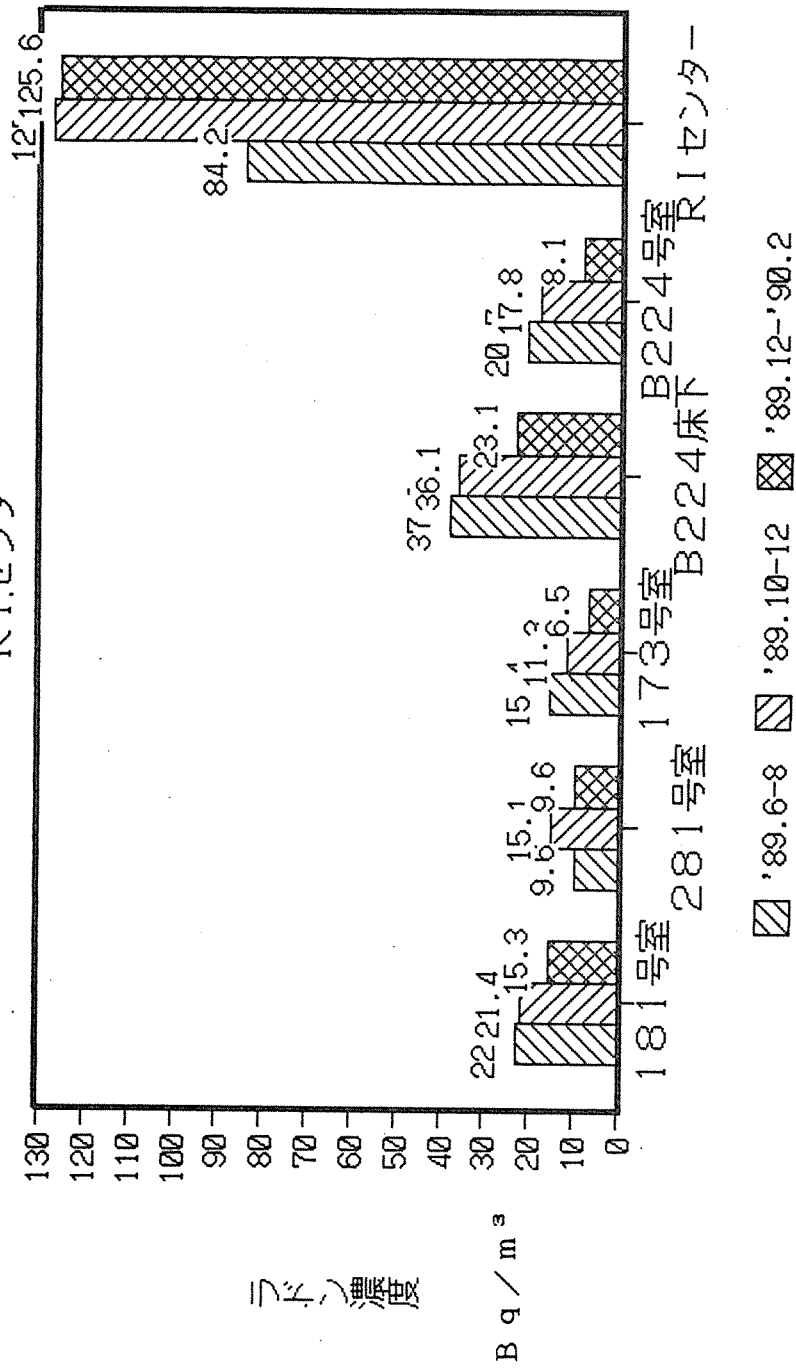


図 3. 3 1 実験室内のラドン濃度の比較

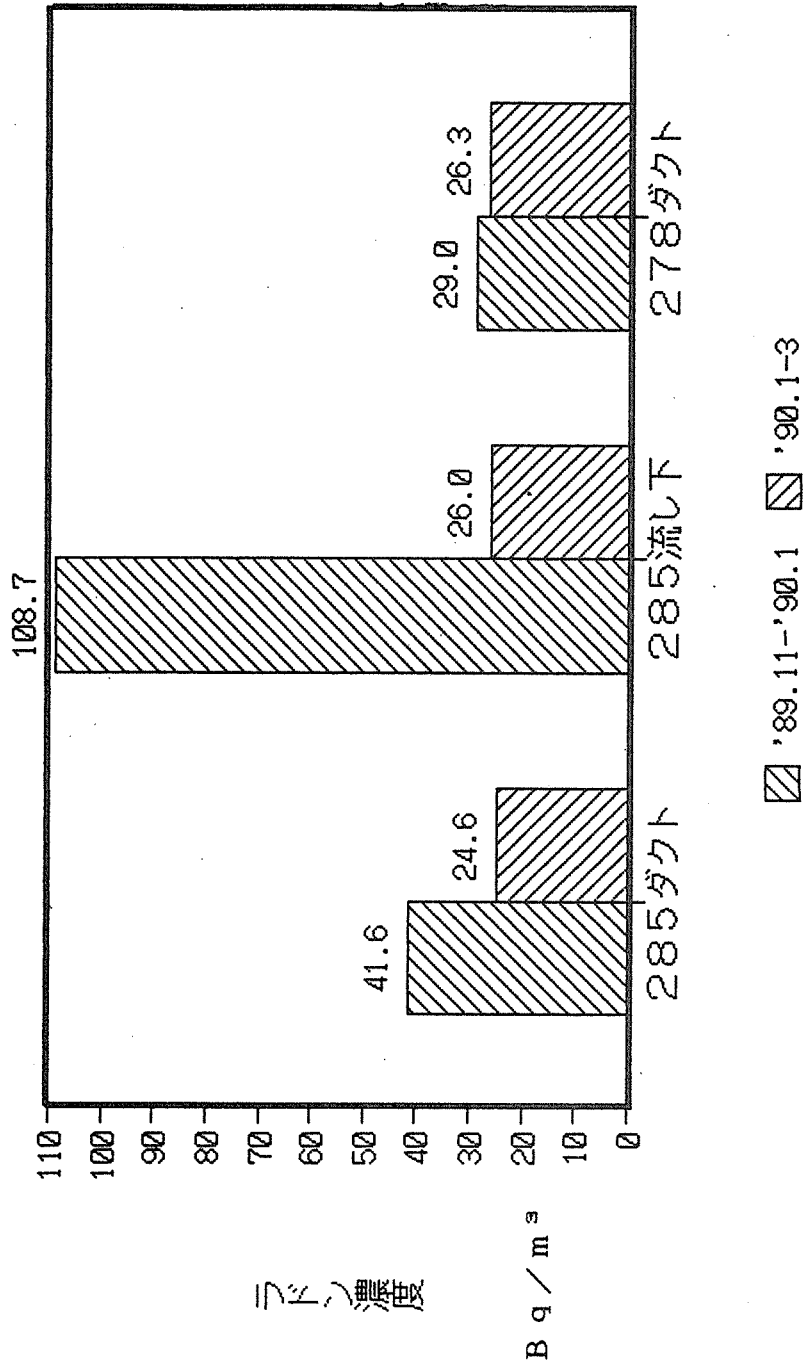


図 3. 3. 2 実験室内でのラドン発生源らしい場所のラドン濃度

名大付属中央図書館

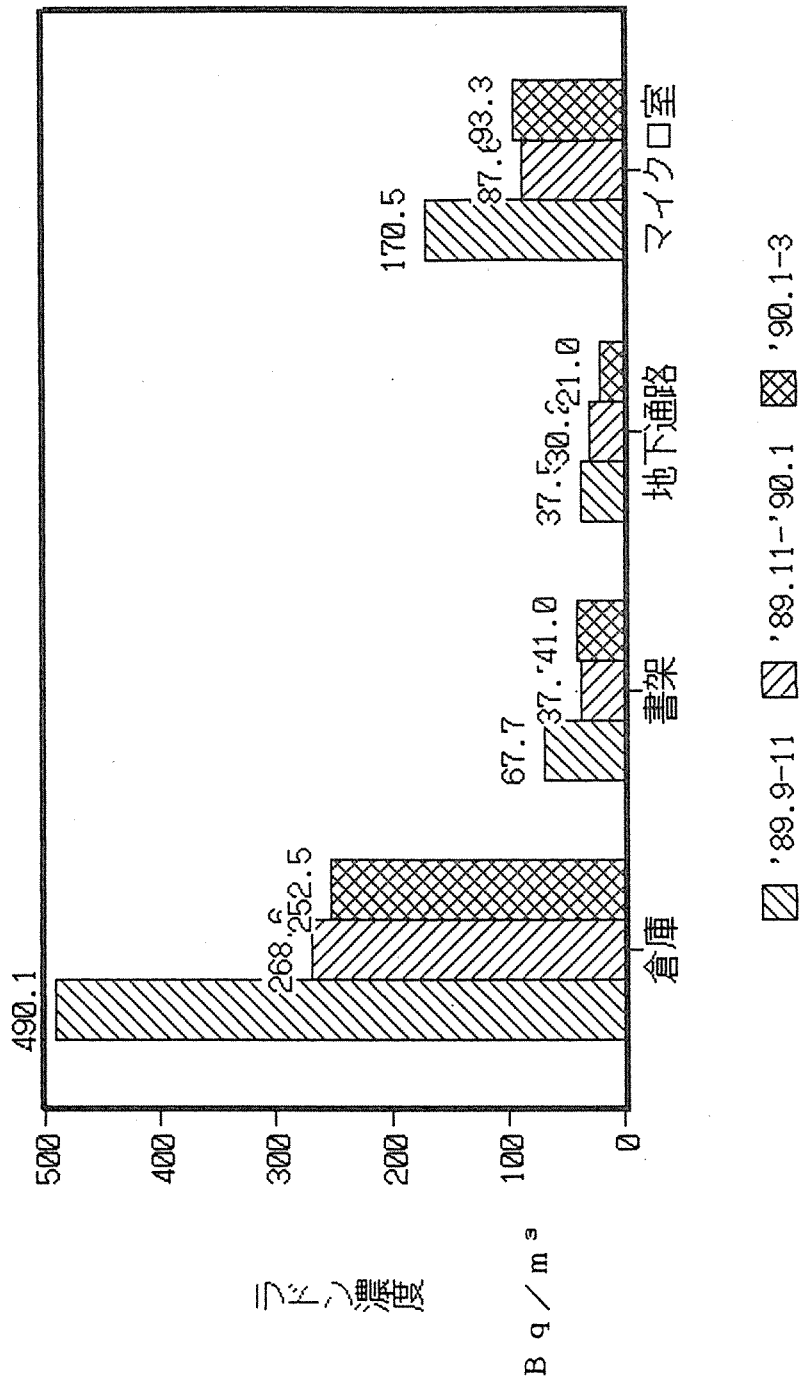


図 3.3.3 R C 建造物内各場所でのラドン濃度

上之保小学校

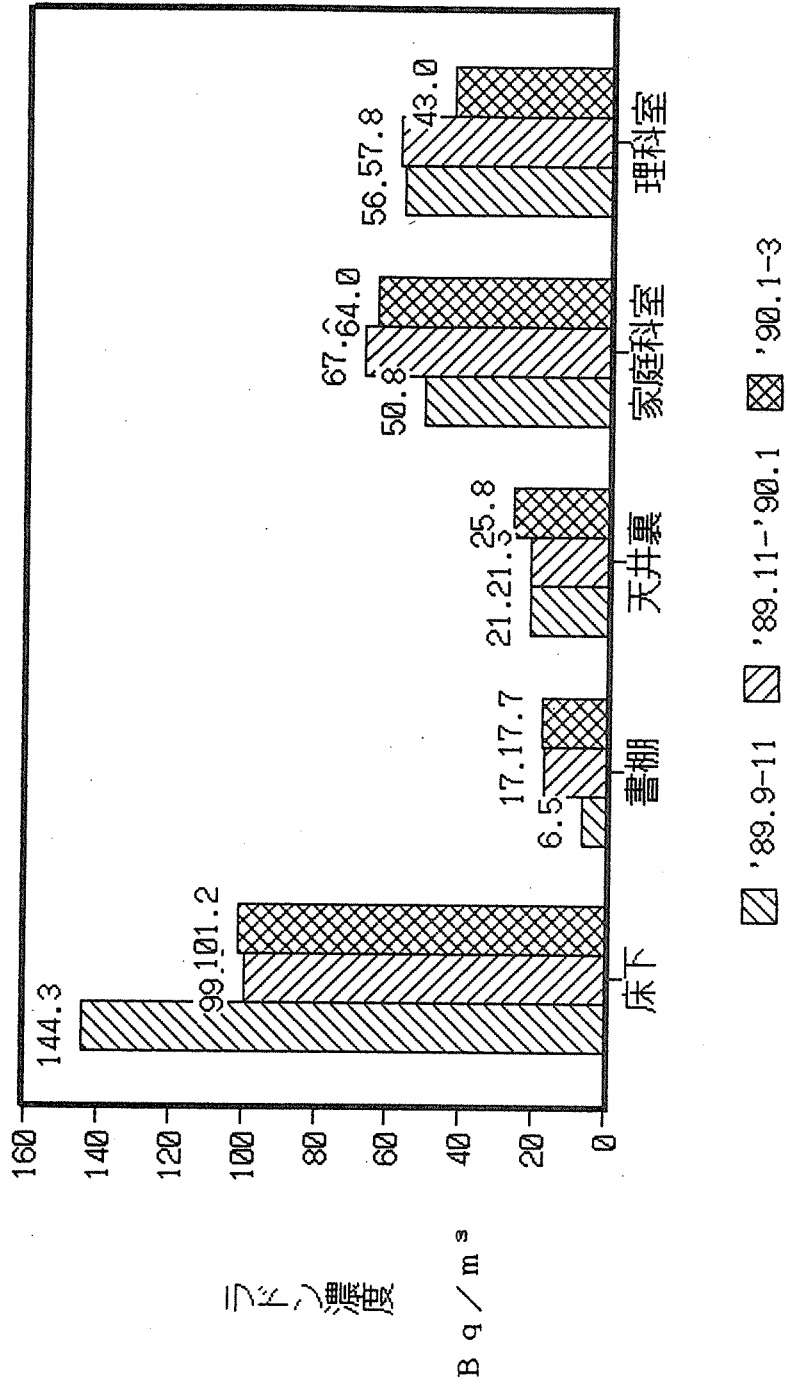


図 3.34 校舎内でのラドン濃度の比較

書棚、天井裏：木造事務室（校長室）
 床下：コンクリート打ちあり
 家庭科室、理科室：RC造教室

4. 室内環境における落下真菌の測定及び同定

4.1 はじめに

微生物特に真菌類（糸状菌、かび）は、住環境における空気汚染要素のひとつであり保健上重要なものである。真菌類はアレルゲンとして特に注目されており、37° Cで生育可能なものは適当な宿主を見いだすことができればすべてがヒトや動物に対して病原性を持ち得ると考えられている¹⁾。しかし、真菌類は他の汚染物質に比べて不明な点が多いといわれており、データの集積が望まれている。

前回²⁾は地下鉄環境の落下真菌一般の実状と濃度、及び変動性などについて調査した。今回は公共の場所として小学校を測定の対象とし更に一般家庭の空中菌類の測定も行い、これらの屋内環境の実体の一部を明らかにしようとした。

4.2 実験

4.2.1 使用培地

前回と同様PDA培地を用いた。馬鈴薯200gを蒸煮した濾液1Lにグルコース20gを加えた寒天培地に、細菌の発育を抑制する目的でクロランフェニコール 50mg

/Lを添加したものである。測定直前に直径90mmペトリー皿に分注して用いた。

4.2.2 空中落下菌の採取方法

ペトリー皿の開蓋時間は10分として1件につき2枚のペトリー皿を用いた。皿の位置は測定場所の様態に応じて床上50cmないし1mとした。

4.2.3 培養条件及び分離株の同定

ペトリー皿を28°Cの恒温器にいれ培養を行い5日目の発生コロニー数を計測した。各コロニーは適当な時期に斜面培地に接種し保存した。分離株の同定検索は菌類図鑑³⁾及び微生物の分類と同定⁴⁾にしたがい、同定は属の段階でまとめた。

4.3 結果

4.3.1 上之保小学校の菌数

岐阜県武儀郡上之保村の上之保小学校を他の実験と同時に測定の対象とした。

この小学校の校舎の特徴は木造とRCが共存している点である。空中落下菌の採取は1990年2月15日(表1)、5月1日(表2)及び5月25日(表3)の3回実施した。2月15日の採取は学童の登校前と登校中に実施した。それ以外は放課後のみに採取した。

2月15日の結果は表1の通りである。また、培養ペトリー皿のコロニーの状態を付録に示す。当日及び前日の天候は曇り、当日の室温は学童登校前11°C, 登校中1

5°C。相対湿度は登校前60%、登校中72%であった。

職員室及び校長室の測定結果は一般の事務所なみの数値である。但し校長室の朝の菌数の大きい値は清掃直後に試料採取をした可能性がある。廊下は木造及びRCとも大きい値を示し両者に大きい差異は見いだせない。また、朝と登校中でも差異は殆ど存在しない。これに反して教室では登校前に比べ、登校中の菌数は増加している。増加率は木造教室で圧倒的に高い値を示し、登校中の菌数においても木造ではRC教室よりもやや高い値となっている。菌数が学童の運動量に関連があるとすれば教室の材質が学童の活性度に影響を与えていることが示唆される。なお、一般住宅では1階の菌数は2階以上のそれより格段に多いといわれているがここではそのような傾向は観察できない。屋外ではかなり多い菌数が見いだされているが、登校前の菌数の大きさについては風の影響を受けた可能性がある。なお、同定できた範囲においてはアスペルギルス属が最も多くこれに対してクラドスポリウム属が少なく、冬期の特徴⁵⁾を示している。

表2には5月1日の採取の結果を示した。当日及び前日とも晴れ、測定時の気温は18°C、相対湿度は40%であった。当日は連休の谷間であったせいか、一般に菌数が少なく屋外以外はほぼ同様な値であった。しかし、同定できた真菌はクラドスポリウム属がアスペルギルス属を上回っており季節の特徴を示している。

表3には5月25日の結果を示した。当日及び前日とも晴れ、但し当日はかなり強

風が吹いていた。試料採取時の温度は 23 °C、相対湿度は 29 %であった。当日の廊下の菌数は表1のそれらに比べてかなり大きい数値である。特にRC階下では計測不能な大きい数値であった。当日はこの場所の窓が解放されており強風の影響を受けて胞子の空中分布が多くなり、このような結果になったものと思われる。屋外の菌数もこれを裏付けている。なお、同定できた真菌はクラドスポリウム属が最も多くペニシリウム属、アスペルギルス属、酵母類がこれについており、冬期とは異なったマイクロフローラとなっている。なお、当地方は食用菌の栽培が盛んであるため、落下菌コロニーの中には担子菌菌糸と思われるものが若干観察された。

4.3.2 一般住宅の菌数

一般住宅として名古屋市千種区のRCマンション4階、瀬戸市住宅団地内のプレハブ平屋、及び木造在来2階建てを調査した。名古屋市の住宅は2月26日。瀬戸市の住宅はそれに加えて3月27日、及び5月10日に調査した。調査時間は名古屋は15時30分、瀬戸市は8時である。調査時の天候は2月26日は、前日及び当日とも曇り。3月27日及び5月10日は前日及び当日とも晴れであった。調査の結果は表4に示す。生活の場である住宅の菌数は事務所などのそれに比べかなり多いといわれている⁸⁾。しかし、今回の結果は特に大きい差異は観察されなかった。またRC、プレハブ、及び木造在来とも菌数に特に大きい差異は見いだされず浜田らの結果⁵⁾と

一致している。日が当たり乾燥しやすい南面の居室は北面の居室より菌数が低い傾向があり、同定できたものはアスペルギルス属が主なものであった。浴室はやはり菌数は多く、ペニシリウム属やクラドスポリウム属、酵母類が見いだされた。一般に空中に真菌数は冬期は最小で、春から夏にかけて最も多くなるといわれている⁷⁾。しかし、暖房が行われている一般住宅では菌数の大きい差異は認められなかった。

4.4 おわりに

今回は落下真菌の測定を冬期から初夏にかけて行った。小学校での測定の結果は校長室、職員室などでは菌数は比較的少なく木造とRCとの差異も余り観測されなかった。一方、教室では学童登校中に比較的高い菌数を示した。特に、木造教室ではRCより登校前と登校中の増加率が高く、教室の構造が児童の活動度に影響を及ぼしている可能性が窺われた。一般住宅では浴室、北側居室、南側居室の順に落下菌数が減少する傾向が観察されたが階数による菌数の差異は余り大きくはなかった。

しかし、以上の結果を検証し、有意義なデータを得るためには少なくとも3年間の連続的調査が必要とされている。また、空中菌類を定量的に回収するためには落下菌のみならず浮遊菌も回収することが望ましい。従って、今後恒常的に平板培地暴露法（落下法）で測定を継続し、機会があればアンデルセン型サンプラ

ーなどを用いて調査を継続する必要がある。

この調査を行うに当たり真菌の採取に協力された服部芳明博士、奥山 剛助教
授に感謝致します。

文 献

- 1) Al-Doory Y. and Domson, J. F. (田中健治、鳥居新 平 訳) かびアレルギー、 p. 37, 学会出版センター、 (1989)
- 2) 日本住宅 木材技術センター : 住宅部材安全性向上 事業報告書 住環境に関する総合調査, 124-142, (1989)
- 3) 宇田川俊一ら著: 菌類図鑑、上, 下, 講談社 (1978)
- 4) 長谷川武治 編: 微生物の分類と同定, p. 30-35, 東京 大学出版会, (1975)
- 5) 浜田信夫: 日本防菌防ばい学会第17回年次大会講演要 旨集, 112 (1990)
- 6) 米虫節夫ら: 防菌防ばい, 16, 3-8 (1988)
- 7) 文献1) p. 38
- 8) 浜田信夫ら: 日本防菌防ばい学会第16回年次大会講演 要旨集, p. 86 (1989)

表-1 上之保小学校の落下菌コロニー数 (2月15日)

測定場所	構造	階数	採取時間	コロニー数	
1 廊下	木造	1	授業前	7, 8	Asp.
2 同	同	同	授業中	9, 5	同
3 職員室	同	同	授業前	2, 4	Asp., 藻状菌
4 同	同	同	授業中	4, 4	同、
5 2年生教室	RC	同	授業前	4, 3	Asp., Pen., 酵母
6 同	同	同	授業中	7, 5	同, Clad.
7 廊下	同	同	授業前	13, 13	Asp., Pen., 酵母
8 同	同	同	授業中	11, 10	同
9 5年生教室	木造	2	授業前	0, 1	
10 同	同	同	授業中	6, 11	Clad., Mucor, 酵母
11 3年生教室	RC	同	授業前	3, 4	Trichoderma, 酵母
12 同	同	同	授業中	6, 8	同, Asp.
13 校長室	木造	1	授業前	6, 8	Asp., Clad.
14 同	同	同	授業中	1, 1	Asp.,
15 屋外 (給食室前)			授業前	20, 13	Asp., Pen., Tricho., 酵母
16 同			授業中	5, 11	同, Mucor

表-2 上之保小学校の落下菌 (5月1日 16時30分-)

	測定場所	構造	階数	採取時間	コロニー数
1	1年生教室	RC	1	放課後	2, 0
2	6年生教室	木造	2	同	2, 2
3	3年生教室	RC	同	同	1, 1
4	校長室	木造	1	同	1, 0
5	屋外			同	6, 2
					Asp., Clad., 酵母

表-3 上之保小学校の落下菌数（5月25日 16時-16時22分）

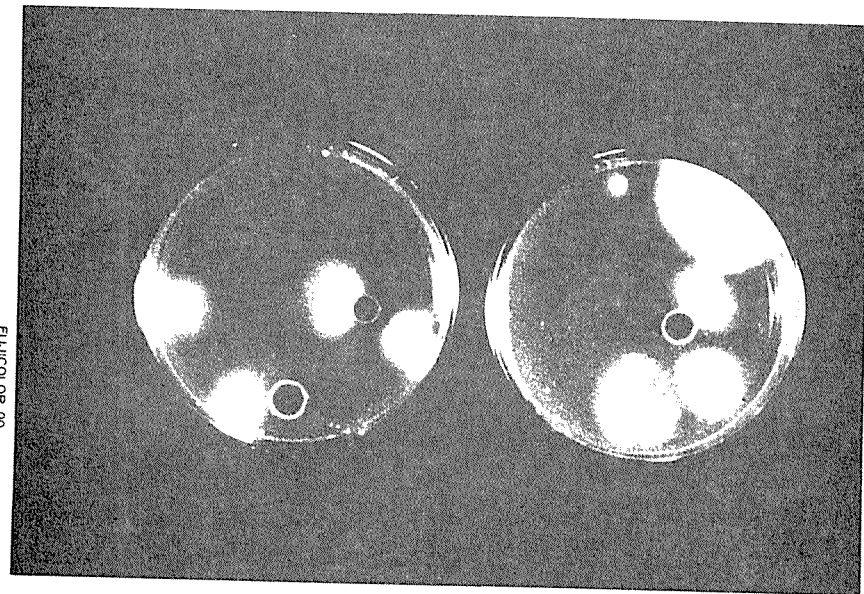
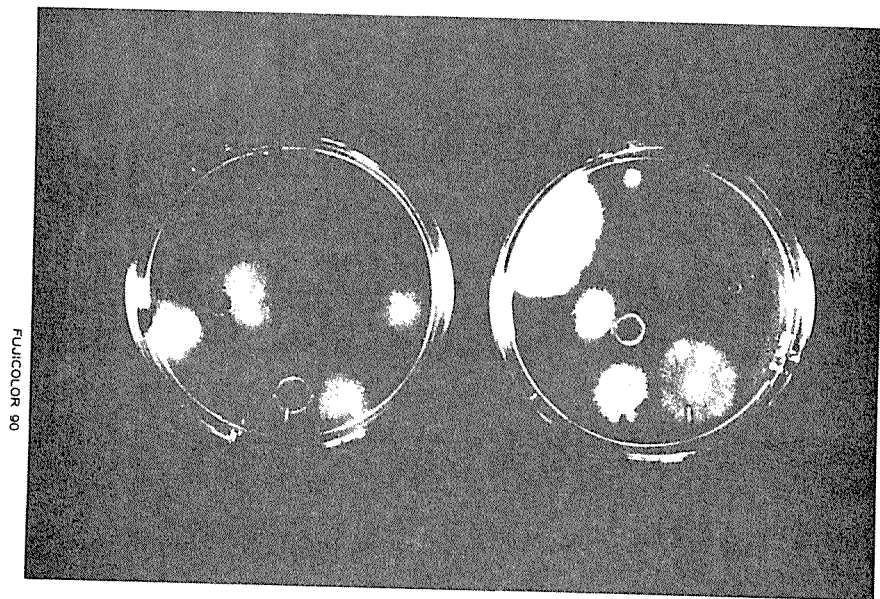
測定場所	構造	階数	採取時間	コロニー数	
1 廊下*	木造	1	放課後	15,	19 Asp., Clad., 酵母
2 職員室	同	同	同	2,	2 Pen., Clad.
3 2年生教室	RC	同	同	2,	5 Clad., 酵母
4 廊下*	同	同	同	80<, 70<	Asp., Pen., Clad. 酵母
5 5年生教室	木造	2	同	4,	2 Clad., Mucor
6 4年生教室	RC	2	同	4,	2 Clad.
7 校長室	木造	1	同	2,	8 Pen., Clad., 藻状菌
8 屋外			同	25,	30 Asp., Pen., Clad.
9 廊下	木造	2	同	6,	2 Asp., Pen.
10 同	RC	2	同	8,	5 Clad., Tricho., 酵母

* 窓が解放されていた

表-4 一般住宅の落下菌数

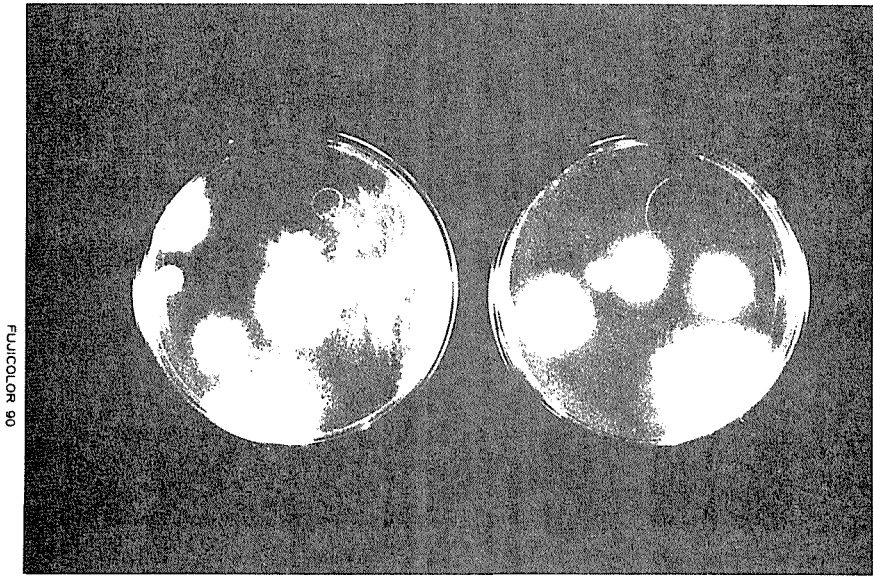
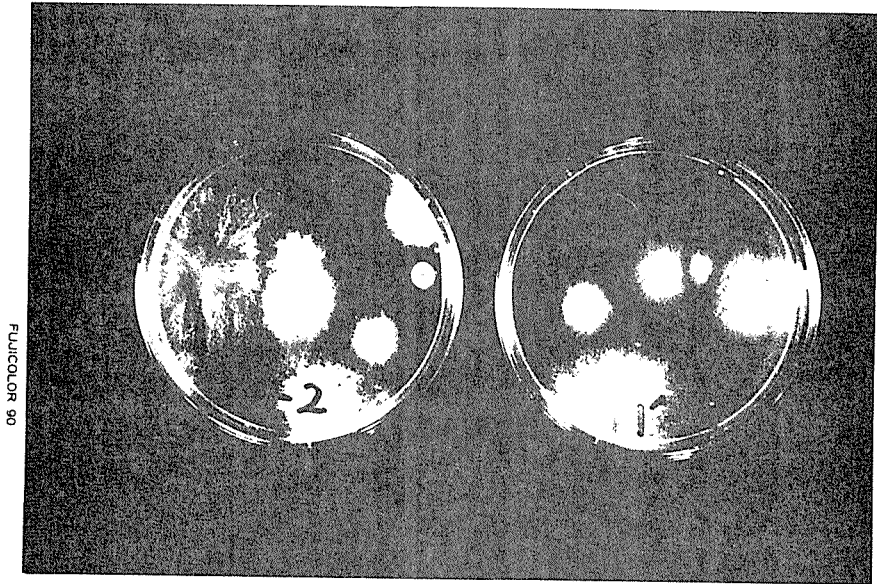
測定場所	構造	階数	採取時間	コロニ数	菌
1 北居間 (名)	RC	4	2月26日	2,	Asp., 酵母
2 南居間	同	同	同	0,	
3 浴室	同	同	同	3,	Pen.
4 北居間 (瀬)	P	1	同	2,	Asp.
5 南居間	同	同	同	2,	酵母
6 浴室	同	同	同	4,	Pen., 酵母
7 南居間	同	同	同	2,	酵母
8 北居間	同	2	同	4,	Asp.
9 北居間	P	1	3月27日	2,	Asp., 酵母
10 南居間	同	同	同	2,	
11 浴室	同	同	同	4,	Clad., Pen.
12 南居間	同	同	同	1,	
13 北居間	同	2	同	2,	Asp.
14 北居間	P	1	5月10日	3,	Asp.
15 南居間	同	同	同	2,	
16 浴室	同	同	同	3,	Asp., 酵母
17 南居間	同	同	同	2,	
18 北居間	同	2	同	0,	Asp.

付録



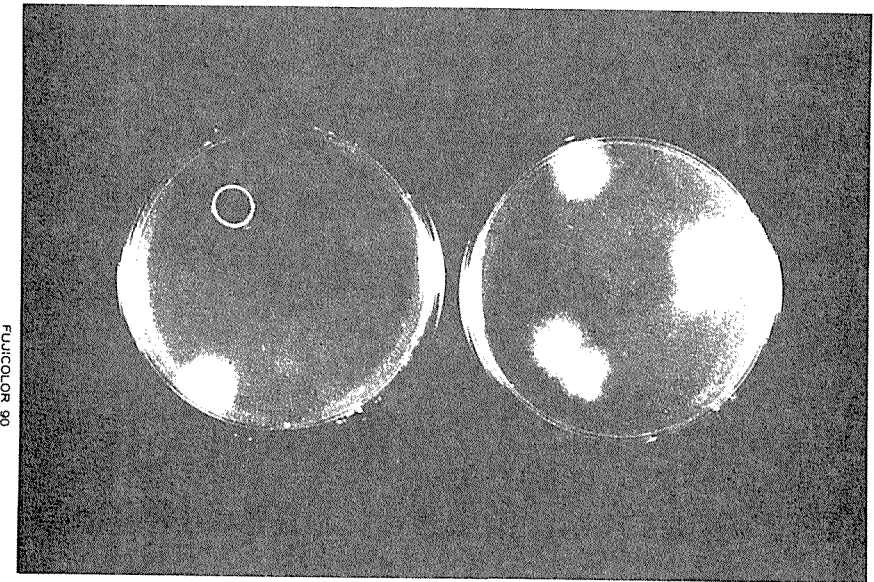
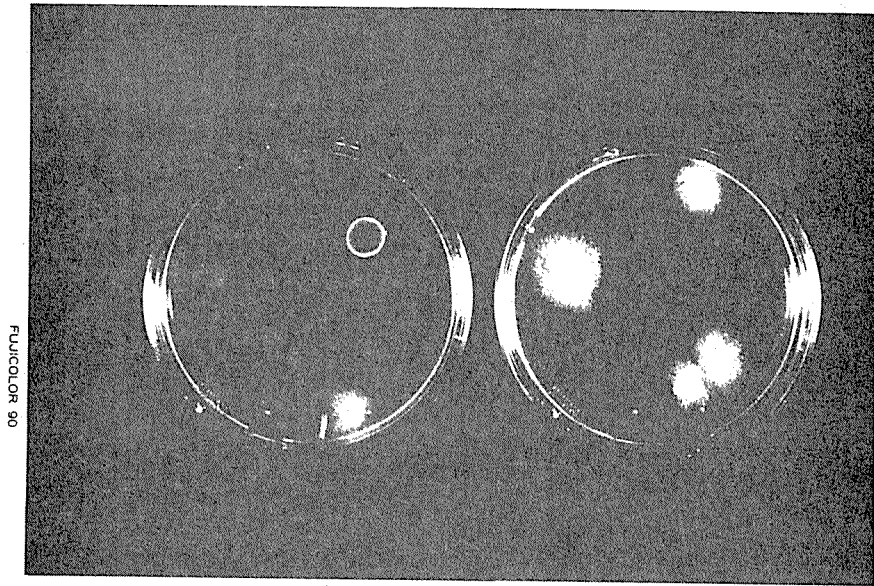
培養後のコロニーの状態 1990年2月15日 上之保小学校

(1)廊下(木造1階、職員室前及び玄関) 7時54分



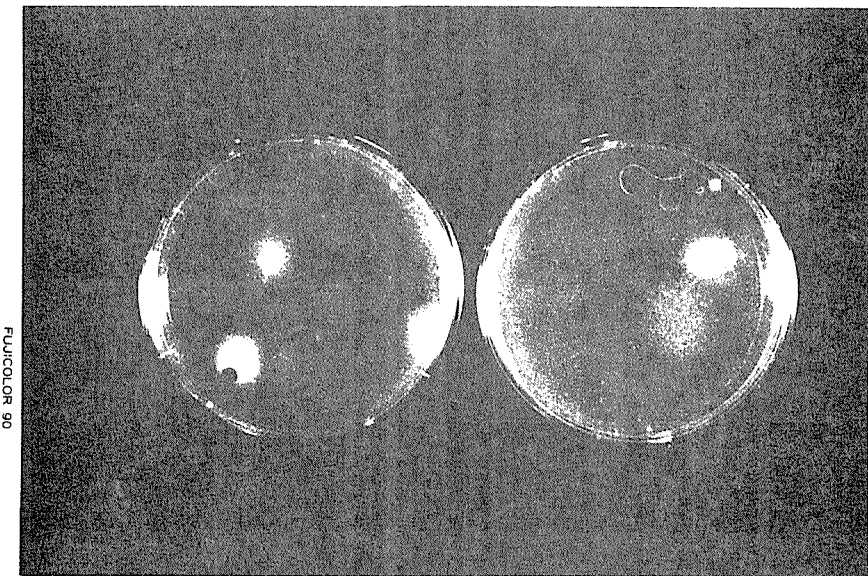
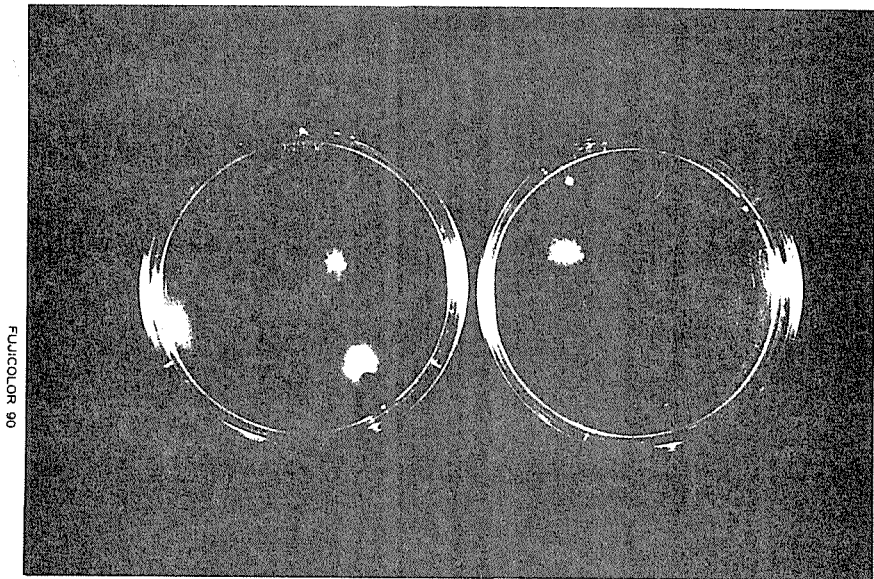
培養後のコロニーの状態(2)

(1)と同じ 13時15分



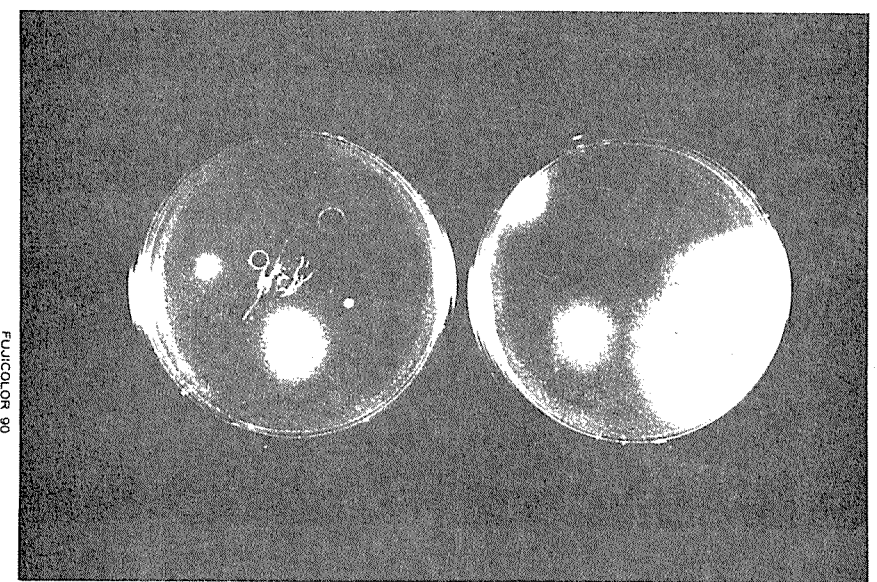
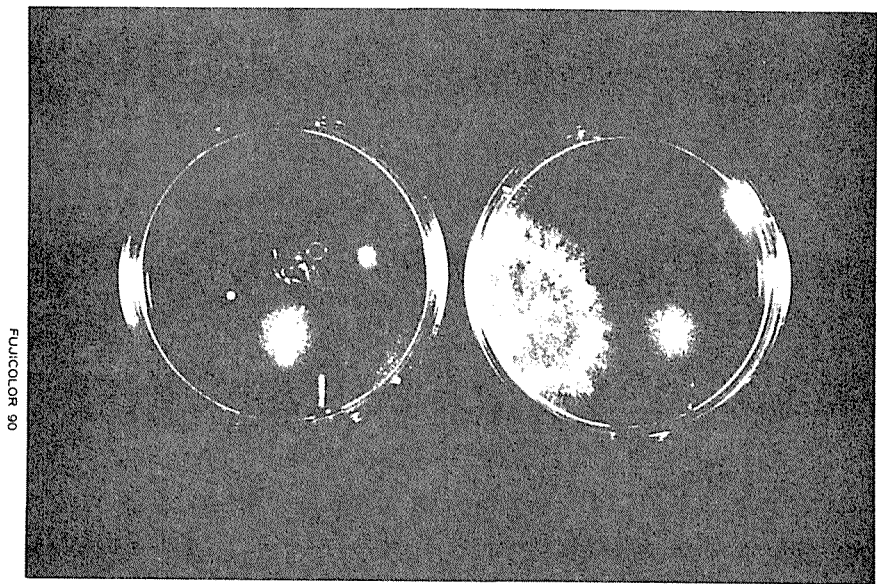
培養後のコロニーの状態(3)

職員室(木造1階)中央及び北隅 7時51分



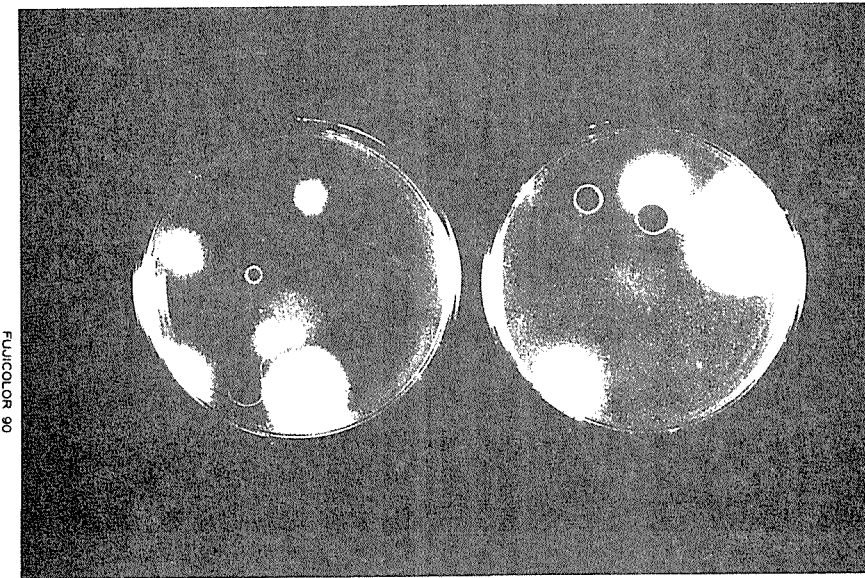
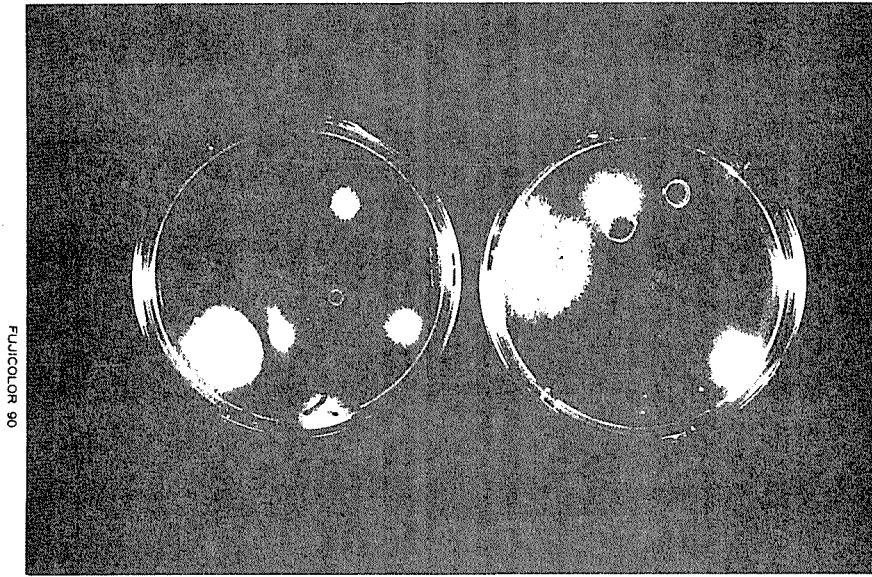
培養後のコロニーの状態(4)

(3)と同じ 13時19分ー



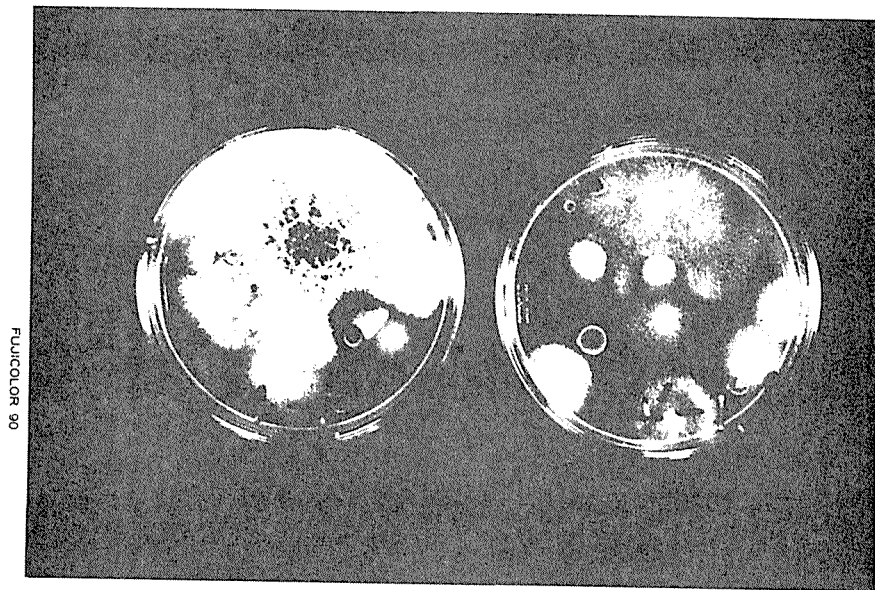
培養後のコロニーの状態(5)

2年生教室(RC1階)中央及び南隅 7時51分

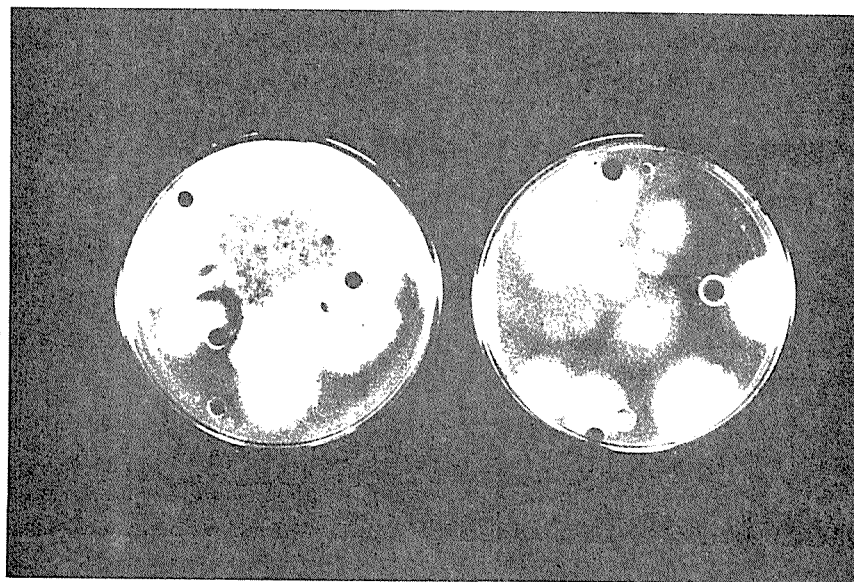


培養後のコロニーの状態(6)

(5)と同じ 13時18分



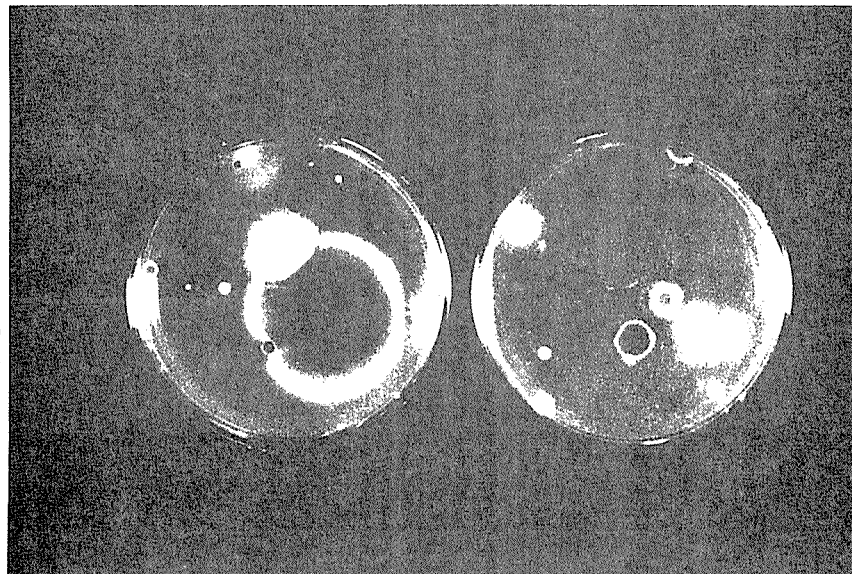
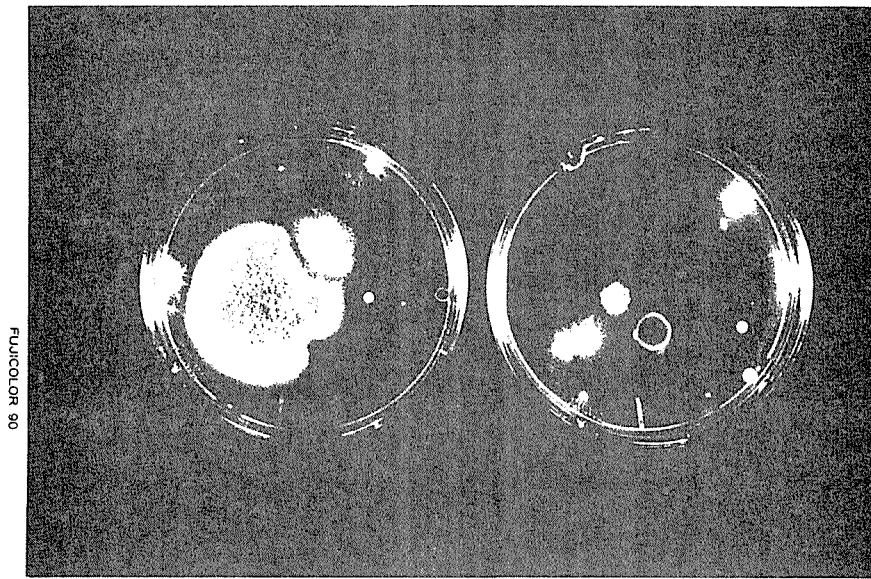
FUJICOLOR 90



FUJICOLOR 90

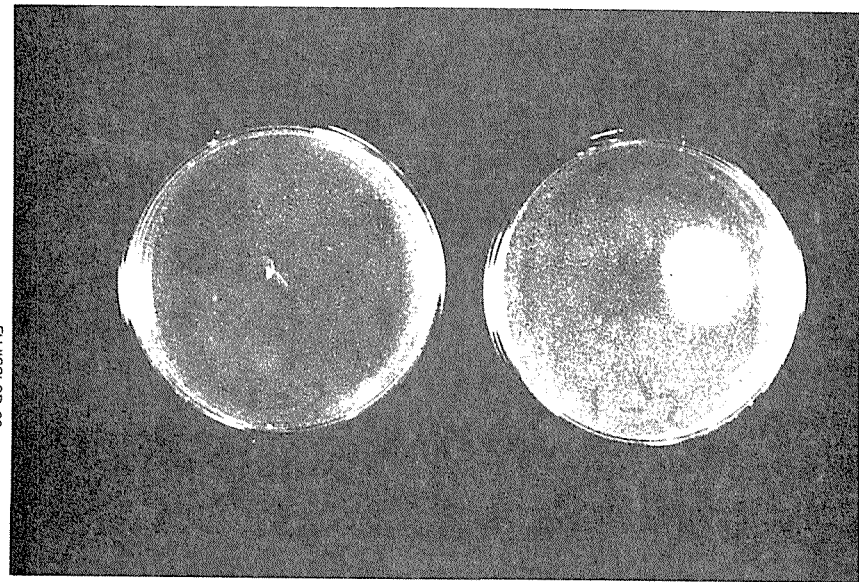
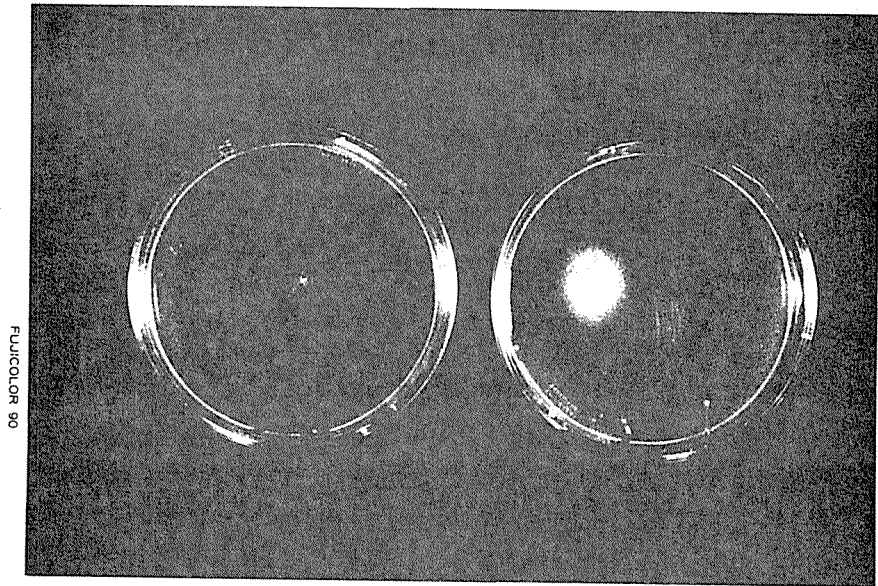
培養後のコロニーの状態(7)

廊下(RC1階)1年生教室前南及び北 7時56分



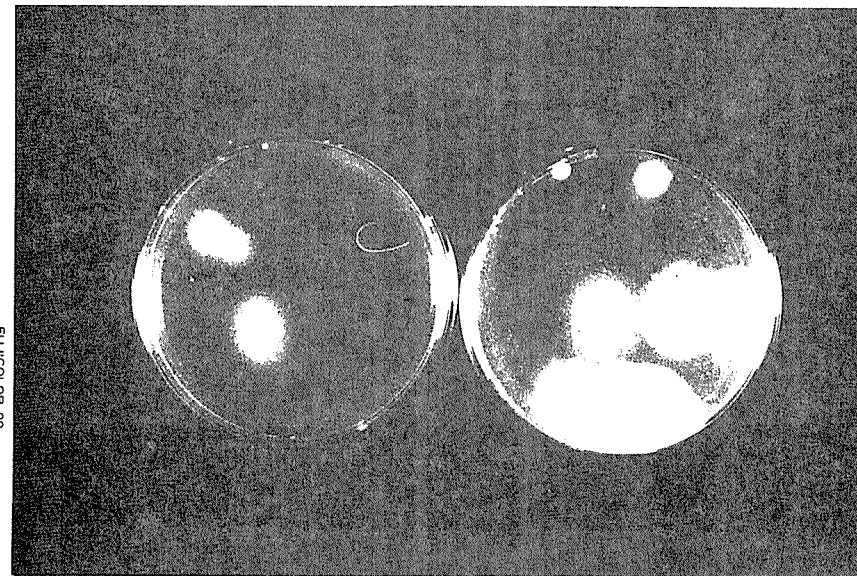
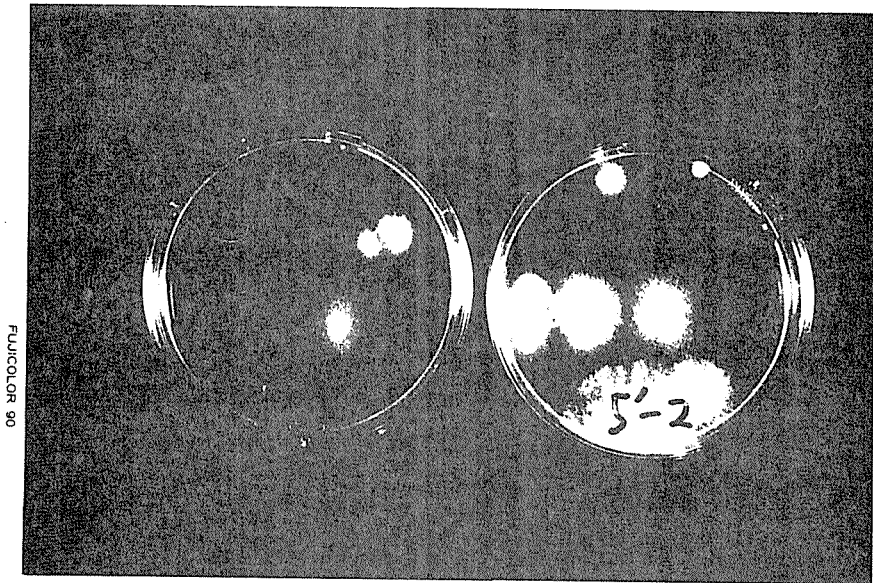
培養後のコロニーの状態(8)

(7)と同じ 13時18分ー



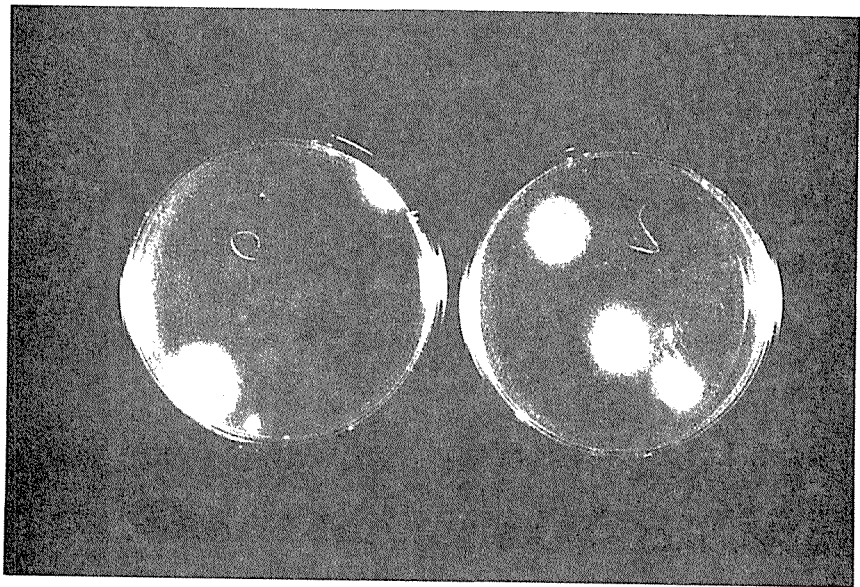
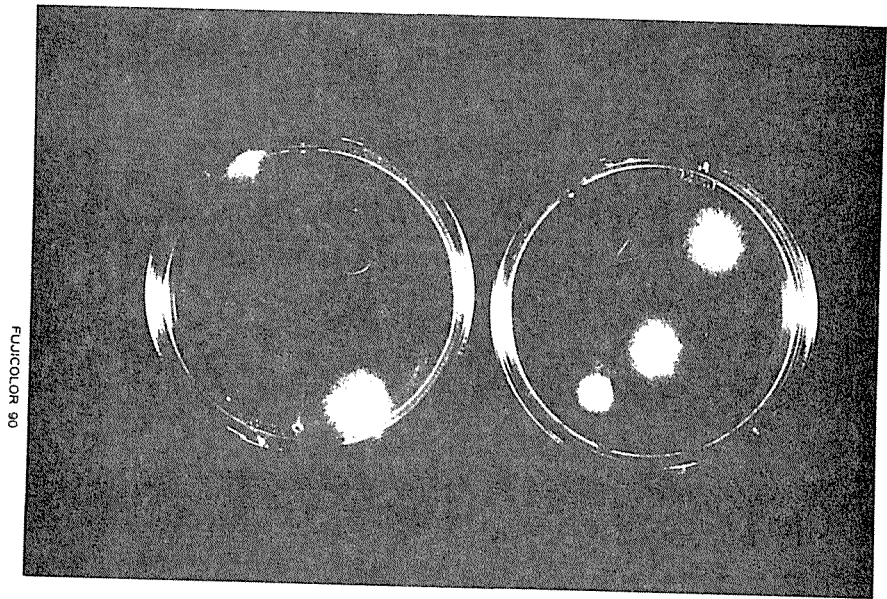
培養後のコロニーの状態(9)

5年生教室(木造2階)中央及び南隅 7時48分



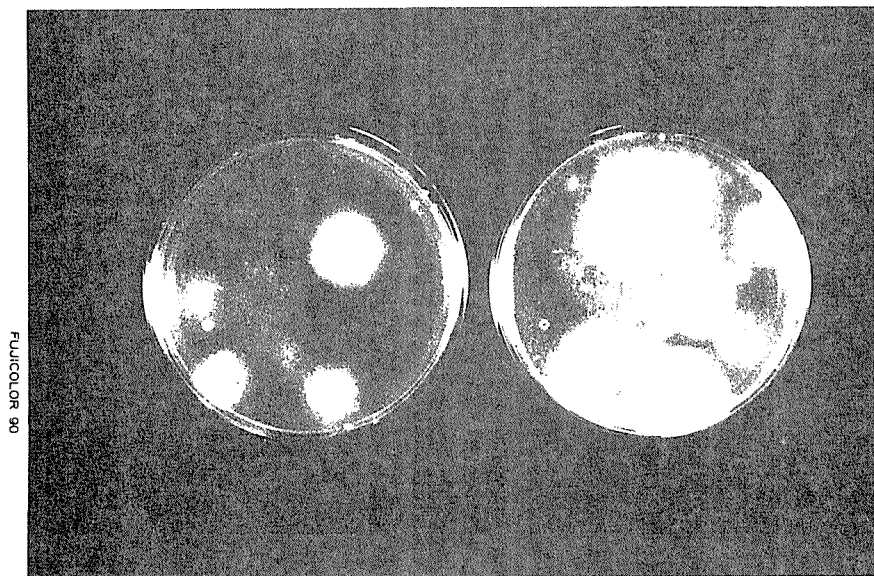
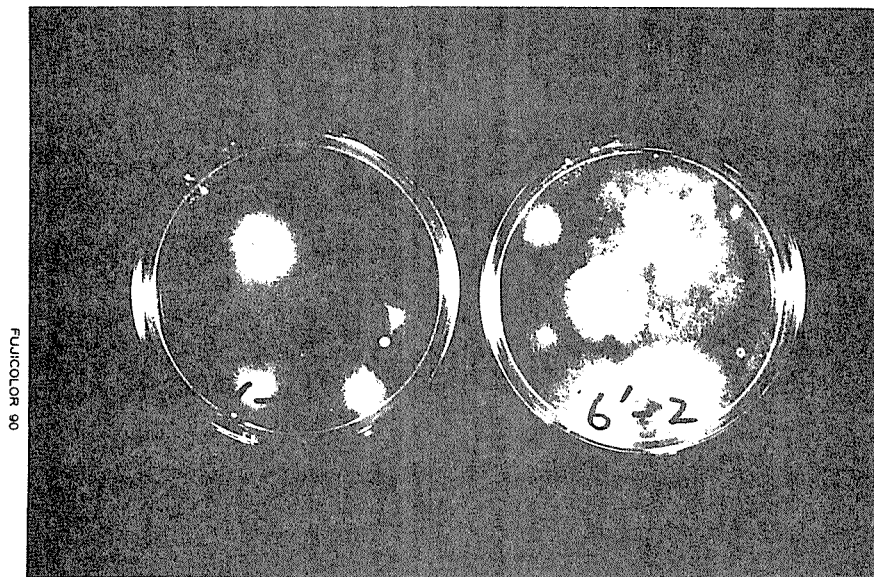
培養後のコロニーの状態(10)

(9)と同じ 13時20分



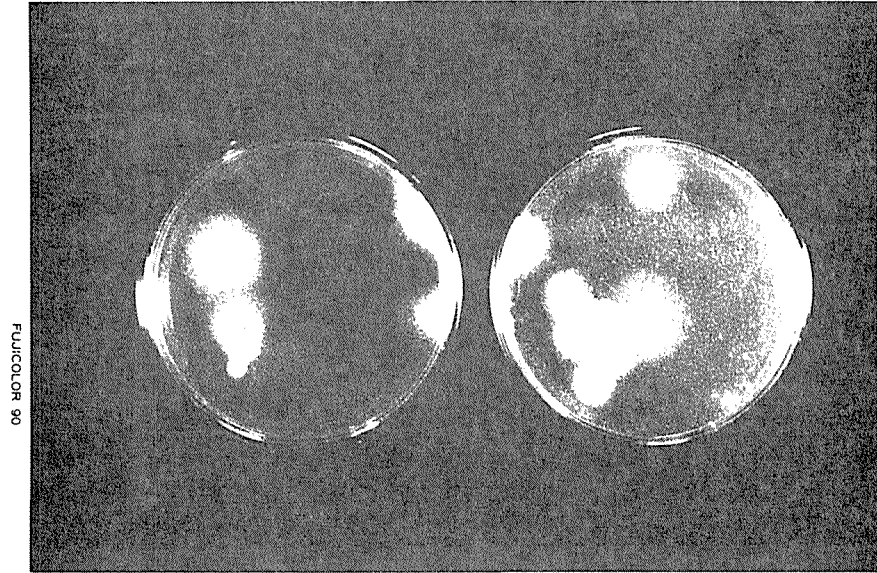
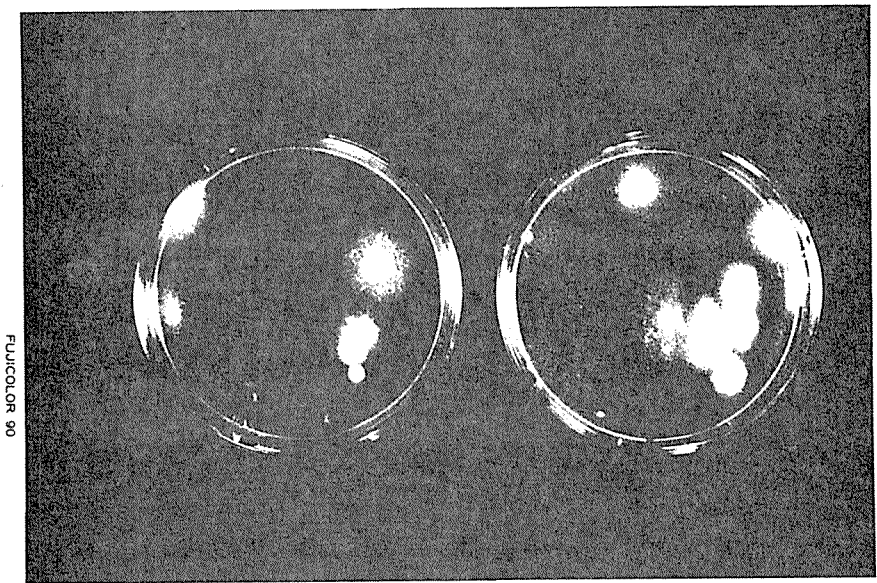
培養後のコロニーの状態(11)

3年生教室(RC2階)中央及び南隅 7時50分



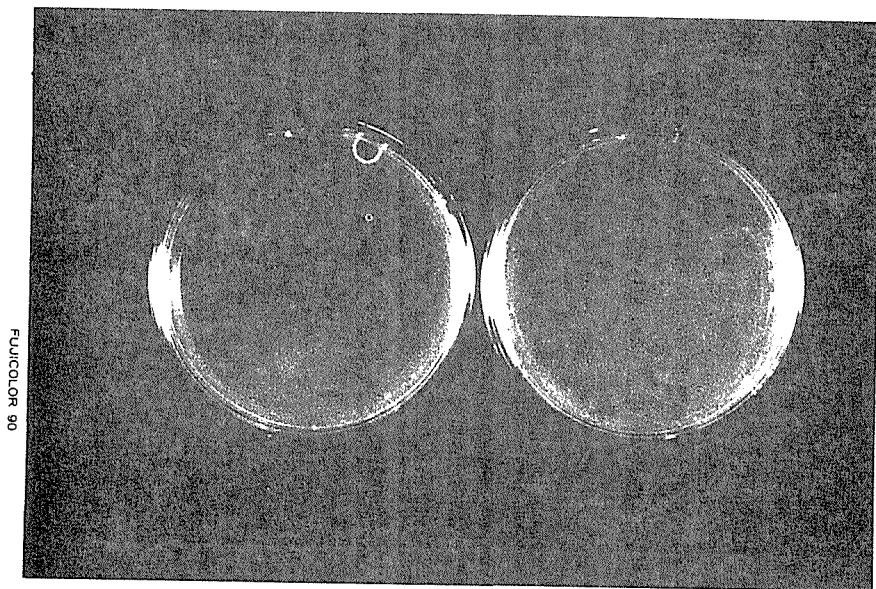
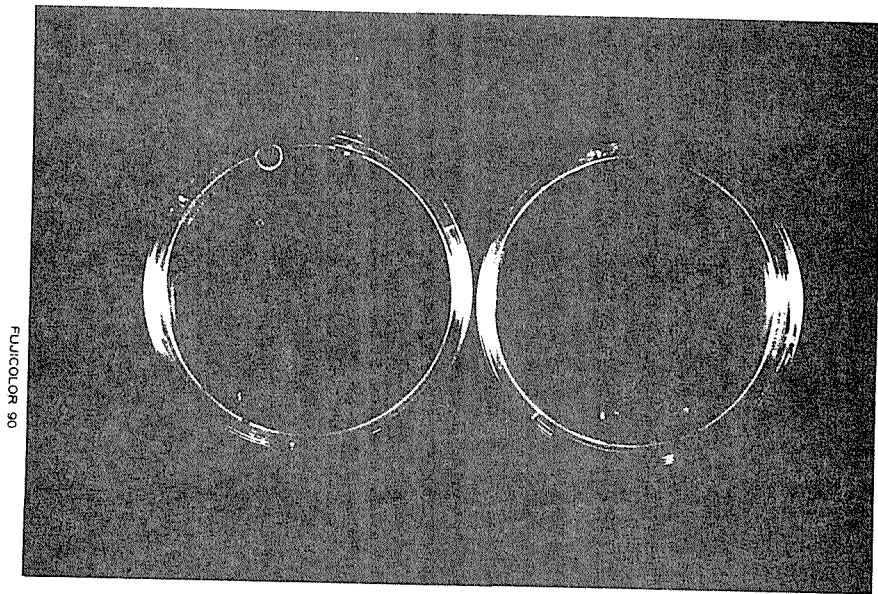
培養後のコロニーの状態(12)

(11)と同じ 13時22分 -



培養後のコロニーの状態(13)

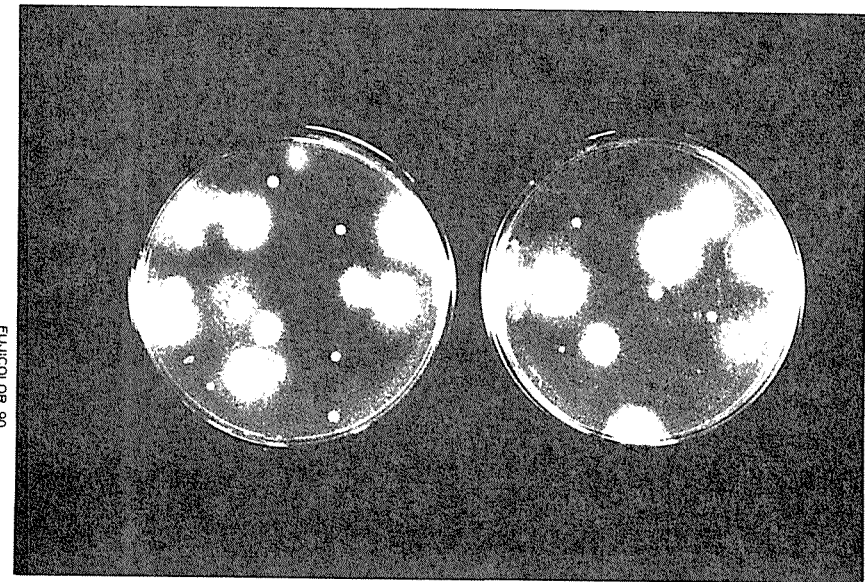
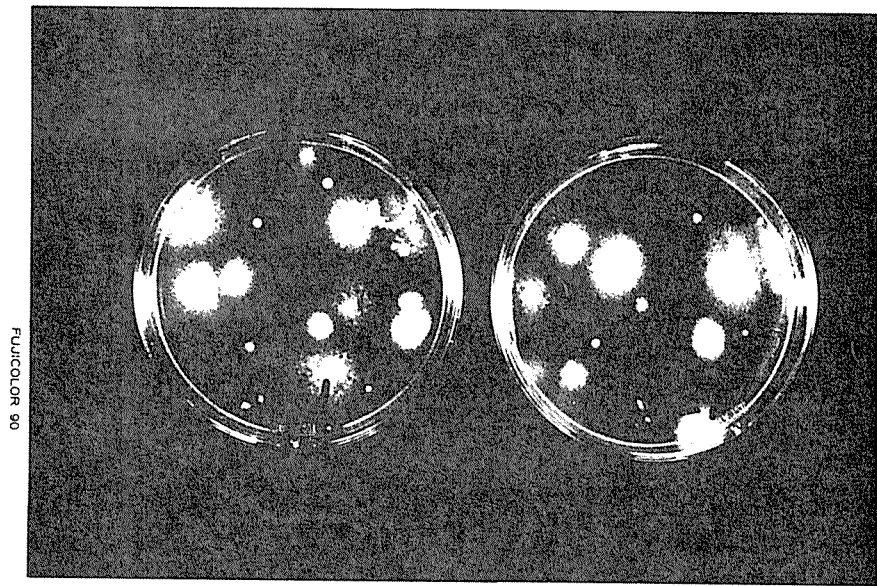
校長室(木造1階)中央及び北隅 7時58分



培養後のコロニーの状態(14)

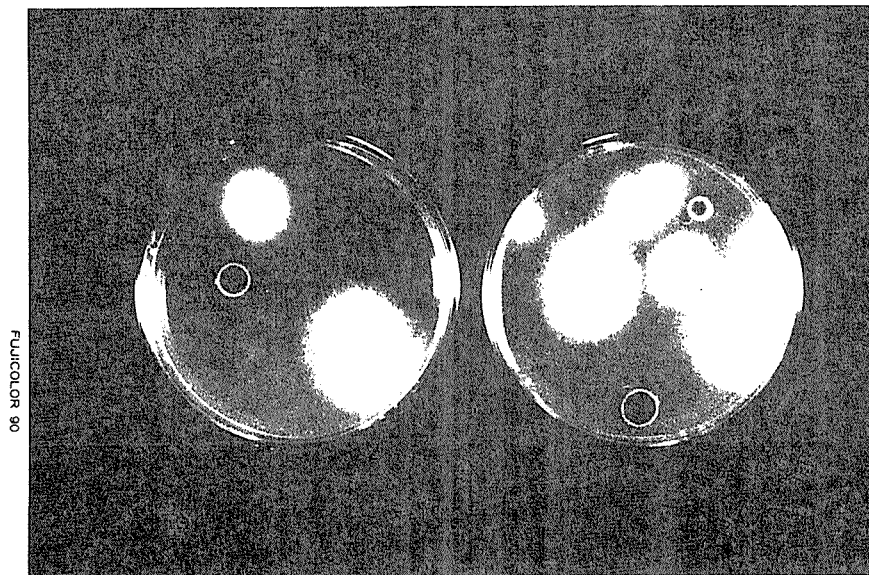
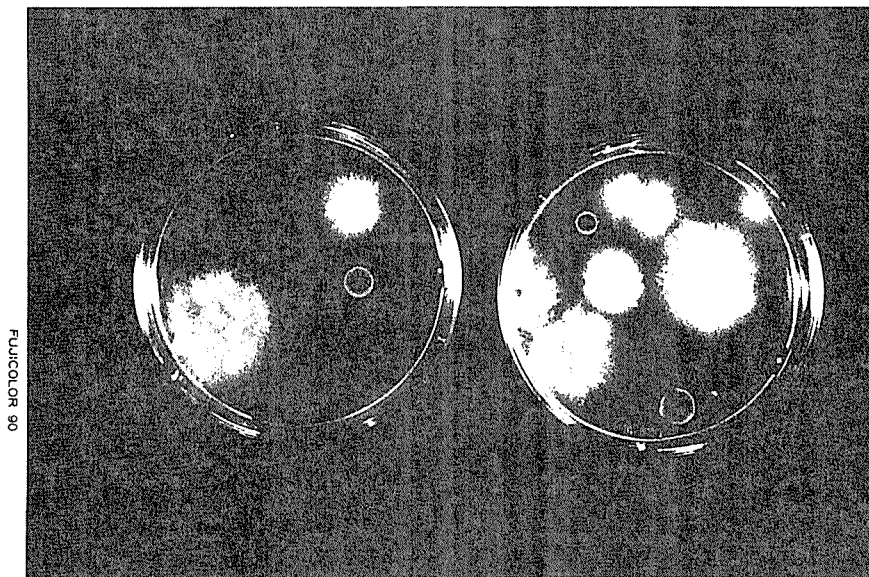
(13)と同じ

13時14分



培養後のコロニーの状態(15)

給食室(RC1階)屋外南及び北側 8時07分



培養後のコロニーの状態(16)

(15)と同じ 13時15分

5. 木造校舎とRC造校舎内の温湿度環境について

岐阜県武儀郡にある小学校を対象として校舎内の温湿度環境をほぼ1年にわたって実測し、温湿度環境の実態を明らかにした。対象とした小学校の特徴は、同一敷地内に木造校舎とRC造校舎を有することであり、このため、両タイプの校舎内の環境を綿密に比較することが可能となった。

本報告では、まず、(1)校舎を利用している子どもの側を主体とし、温湿度環境の実態を「学校衛生環境の基準」に照らし合わせて検討し、現状においては木造校舎のほうが優位であることを明らかにした。つぎに、(2)建物の側に主眼を置き、校舎内の場所別に温湿度環境を綿密に対比し、木造校舎とRC造校舎内での違いを検討した。最後に、(3)サーモグラフを用いて冬季における校舎内の温熱環境を調査し、木造校舎内のほうが暖かく、快適となっている原因を探った。

5. 1 学校校舎内の温湿度環境の実態

—木造校舎とRC造校舎を有する小学校の例—

5. 1. 1 まえがき

学校教育においては、校舎・教室内での学習、作業が児童生徒の過ごす時間の大部分を占める。そこでは体力やその日の体調が異なる多人数の子どもが教育を受け、心身両面の健全な発育、発達を目指している。このような学校校舎の環境衛生の維持、改善のめやすとするため、昭和39年に「学校環境衛生の基準」が定められた。しかし、学校教育現場における温湿度環境の実態は全くといってよいほど明かにはされておらず、しかも、1年間を通した実測値の報告例は皆無に等しい。

前回の報告¹⁾に述べたように、筆者らは比較的温暖である愛知県岡崎市に位置するRC造校舎を対象にして1年間の校舎内温湿度を実測調査し、検討した。その結果、就学時間内において冬季、夏季ともに「環境基準」を満たさない時間の割合は全体のほぼ1/3にもものぼることが明かとなった。これ自体重要問題であり、早急に対策を講ずる必要がある。また、今後さらに実証データを蓄積して、環境改善のための基礎データとして役立てていくことが必要であろう。

一方、学校建築に対する付帯設備は、明治、大正期から現在にいたるまであまり考慮されてきておらず、薪、石炭ストーブが石油ストーブに変わってきた程度

である。現在においても学校建築は自然条件を最大限生かすため、教室を南面にならべて太陽に正対させて採暖を考え、廊下を北側において校舎北面からの寒気の前室のような役目を持たせるなどの配置を採用しているが、自然条件を最大限に活かしたとしても、現状の付帯設備の範囲では教育環境として適切な環境はとうてい実現しえないと思われる。

学校校舎内の温湿度環境は決して好ましいとは言いがたいが、近年建設された木造校舎では、従来のRC造校舎と較べて温湿度環境がどの様にどの程度異なるのかを把握しておくことは木造校舎建設の方向を決定づける一つの重要因子である。また、木造校舎は今後さらに増加すると予想でき、教育効果という側面からの基礎的研究が重要となる。

本報告では、総合的な教育環境をバランスよく整えるための一環として物理的環境の中でも温湿度環境をとりあげ、木造校舎とRC造校舎とを比較をまじえて検討し、学校設備の質の向上のための指針にすることを目的とした。

5. 1. 2 方法

(a) 対象とした校舎、教室の概要

対象とした校舎は、岐阜県武儀郡上之保村、上之保村立上之保小学校である。当小学校には、1968年に竣工されたRC造2階建校舎と、旧来の木造校舎の改築によって1988年7月に竣工された木造2階校舎とがある(図5. 1. 1

参照)。校舎の配置図を図5. 1. 2に示す。全校児童数は175名である（平成元年度実績）。

木造校舎とRC造校舎との間は廊下でつながっており、それぞれの校舎に扉がある。冬季には児童等の行き来時以外はそれぞれの校舎の扉を閉めている。

仕上げの概要は以下の通り。

外壁には22mm厚のセメント中空押出成形材を鎧板張りしており、下地にはアスファルトフェルトの防水層が設けられている。さらに、胴縁（45 x 45 / 2）と外壁断熱材として50mm厚のグラスウールが用いられ、内装にはヒノキ集成壁材が用いられている。

木造校舎1階の床は、ポリウレタン塗装した15mm厚のフローリングボード、その下に12mm厚の耐水合板が用いられている。1階の床には断熱材は使用されていない。

1階の天井は9mm厚の石膏ボードにビニルクロス貼りがなされている。廊下天井は15mm厚のサワラ小幅板である。

2階床はポリウレタン塗装の15mm厚のフローリングボード、9mm厚の防振マット、12mm厚の耐水合板から構成されている。

2階の天井には15mm厚のサワラ小幅板と100mm厚のグラスウール断熱材が用いられている。

R C造校舎は土間床構造であり、R C造校舎内の教室の床は土間コンクリートの上に木タイルが敷き詰められている。R C造校舎の廊下の床は硬質ビニール貼りである。

木造校舎の床は揚床構造であり、詳細は以下のとおり。床の位置はグラウンドレベルから70 cmである。床下の環境は換気孔によって左右されるが、換気孔数は、校舎南側に7箇所、北側に13箇所、東側に2箇所設けられ、校舎南側では平均として壁の長さ3.5 mごと、北側では2.9 mごと、東側は3.2 mごとに設けられている。換気孔下部の位置は、設計グラウンドレベルより27 cmであるが、土間コンクリートが施工されているために見かけの高さは20 cmである。換気孔の大きさは、15 cm×40 cmであり、面積としては600 cm²である。床下の地下地盤からの湿気を防ぐため、0.15 mm厚のポリエチレンフィルムが敷かれ、その上に厚さ10 cmの土間コンクリートが施工されている。

木造1階教室は職員室や保健室等に利用されており、2階部分は普通教室と音楽室として利用されている。

冬季の12月から翌年の3月までは灯油ストーブによって教室内の暖房を実施している。なお、廊下には暖房を入れていない。

(b) 温湿度の測定

温湿度の記録には自記温湿度計を使用した。温度はバイメタル式温度計、湿度

は毛髪式の湿度計によって記録される。

温湿度自記記録計は定期的にチェックした。

温度のチェックの方法は2通り行い、一つは1～2ヶ月に一度アスマン乾湿度計による比較を行い、他の一つは、1週間に1回アルコール乾湿度計の乾球温度の読みとの比較を行った。アスマン温湿度計による読みを基準に比較して大きなズレがないことを確認した。5機種についてアルコール温度計の乾球温度との差を求めると、いずれも平均±0.4℃、標準偏差0.9℃におさまった。

湿度については、アスマン湿度計による読みとの比較を1年間通して定期的に計8回行った。温湿度自記記録計との差の平均値は-1.4%から1.0%の範囲にはいった。標準偏差の平均値は約5%であった。このため、自記記録計による記録は補正せずに用いた。

測定場所は9ヶ所とし、木造については1階職員室、1階廊下、2階教室、1階床下、RC造校舎については1階教室、1階廊下、2階教室、外気の温湿度は学校敷地内の百葉箱において測定した。RC造1階教室には南側の壁付近と北側（廊下側）の壁付近の2箇所とした。

温湿度の測定位置は床上約10cmである。今回の測定では座った学童の足元を対象にしたため、一般にいう室温測定位置の床上75～120cmよりも低い位置に設定した。

扉や窓の開放の状態は、日常の学校生活における温湿度環境をとらえるために特に制御しなかった。

測定期間は1989年6月から1990年4月までである。なお、一部については1989年12月から1990年4月の主に冬季から春先までを測定した。

(c) 室温の垂直分布の測定

日常的な状況での校舎内各場所の垂直気温分布を測定した。デジタルマルチレコーダー（タケダ理研製）を使用し、T型熱電対によって、床面を含め、床面から天井下1 cmまでの12部位について測定した。測定を実施した日は1989年12月14日、1990年2月14日、3月1日の3日間である。

5. 1. 3 結果

(a) 温湿度の年変動

調査の対象とした本校の当年の気象的条件を明かにするため、気温と湿度の年変動を示す。

図5. 1. 3 (a) ~ (c) に外気ならびに1階教室の温度の年変動を示す。

(a) は外気について日最低気温、日最高気温、(b) は木造1階教室、(c) はRC造1階教室について示した。同様に、図5. 1. 4 (a) ~ (c) には廊下内の温度の年変動を示す。(a) は外気、(b) 木造1階廊下、(c) RC造1階廊下である。

12月から3月の冬季の外気温に注目すると、日最低気温が0度以下となる日は、12月では9日間、1月では13日間、2月では4日間、3月では2日間あった。

表5. 1. 1には冬季の外気について日最低気温、日最高気温の月平均値を示す。1月では日最低気温がマイナス値となっているが、他の月では0度以上である。日平均気温をみてもいずれの月も氷点下以下にはなっておらず、また、日最高気温が氷点下である真冬日は記録されなかった。

図5. 1. 5 (a) ~ (c)に教室内と外気の湿度の年変動を示す。(a)は外気について日最低値、日最高値、(b)は木造1階教室、(c)はRC造1階教室について示した。同様に、図5. 1. 6 (a) ~ (c)には廊下内と外気の湿度の年変動を示す。(a)は外気、(b)木造1階廊下、(c)RC造1階廊下である。

表5. 1. 2には外気の水蒸気圧、日平均関係湿度、日最低関係湿度それぞれの月平均値を示す。

水蒸気圧は最寒月である1月において最小となり約5 mmHg、8月では最大となり、23 mmHgであった。一方、関係湿度の月平均値は3月の68%が最小となり、9月の77%が最大となる。最大値と最小値の幅は9%と狭い。日最低関係湿度の月平均値はやはり3月が最低で42%、9月が最高で58%、その

幅は16%程度である。

(b) 就学時間内における教室内温湿度の実態

図5. 1. 7 (a) ~ (h) に就学期間内の8時から15時までの就学時間帯に絞り、1時間毎の温湿度値の散布図を示す。児童が登校しない休日は除いた。

(a) は木造校舎内の1階教室について6月から翌年3月のほぼ1年間の結果であり、(b) はRC造校舎内1階職員室についての同様な結果を示した。

(c) (d) は夏季について木造、RC造1階教室における結果を示した。

(e) ~ (h) には冬季について、木造、RC造教室それぞれ1階と2階とにおける結果を示した。

表5. 1. 3には「学校環境衛生の基準」に適合する割合を月別に示した。なお、「学校環境衛生の基準」については4. 項において述べる。

表5. 1. 4には1階に位置する教室について8時から15時の就学時間帯における気温の月平均値を示す。表5. 1. 5には2階に位置する教室の8時から15時の就学時間帯における月平均値を示す。

外気の月平均気温は1月に最低値を記録し、校舎内の教室や廊下の月平均気温もその月に最低となっていた。

木造校舎1階については1月の教室の平均気温が11. 4℃であるが、他の場所ではいずれも10℃以下になっている。木造1階教室は職員室として使われて

おり、他の場所とは暖房時間が異なるために多少室温が高くなっているようである。

(c) 冬季における床表面温度

床表面温度の測定結果を表5. 1. 6に示す。測定を実施した日は12月14日、2月15日、3月1日の3日間であり、測定時間帯は12時から14時の間である。いずれも教室では灯油ストーブを使用していた。

床表面温については、木造校舎とRC造校舎とでは明確な違いが認められる。

教室では1階、2階ともに木造教室の床表面温度がRC造教室の床表面温度よりも高い。その差は1階において2.0～2.9℃であり、2階では2.0～4.6もある。

廊下については12月4日を除いて木造校舎のほうが表面温度が高い。これは特に2階において顕著であり、木造の床はRC造の床よりも2.5℃程度も高い。1階廊下では木造の床とRC造の床との差は-1.2～1.6の範囲にあり、2階ほどの際だった差はなかった。廊下の床温の特徴としては、木造1階部分では変動が大きく、かつ、温度もRC造校舎より低い場合がある。これは床の構造に起因すると考えられる。すなわち、RC造校舎では土間床構造をしているが、木造校舎では揚床構造をしている。換気のよい床下の気温は外気温に左右されやすく、日変動幅が大きくなる。断熱施工されていない揚床構造では、床下の気温の

変動に影響されやすく、結果として温度の変動が大きくなる。2階廊下では1階とは異なり、床下気温は外気温に影響されにくく、気温も高い。

教室については、暖房器具の使用のために廊下に較べて温度が高い。また、木造2階教室の床温が他の場所にくらべて特に高いことが特徴である。この特徴は廊下においても認められ、木造2階においてもRC造廊下よりも床温が高い。

木造2階教室で使用している暖房器具は木造1階やRC造で使用している器具と同じであり、また、暖房時間についても大きな違いはないにもかかわらず木造2階床温が特に高いが、このような状況が生ずる原因として、①揚床構造であり、しかも、床に断熱施工していない木造1階にくらべて、木造2階は全体として断熱性能がよく、気温の上昇速度が大きく、これに伴って表面温度の上昇速度が大きい。②2階教室で使用している暖房器具以外からの熱の授受がある。これには1階部分からの熱が考えられる。この点に関しては別の項目において検討を加えることにするが、いずれにしろ木造教室の床温はRC造にくらべて高く、床に座って作業することが頻繁にある小学校では床温が高いことは望ましく、床温に関しては木造2階教室はRC造教室よりも好ましいといえる。

(d) 教室内気温の垂直分布

教室内の気温の垂直分布の測定例を図5. 1. 9～11に示す。いずれもストーブに点火してから2～3時間経過している。

RC造校舎1階の教室(図5. 1. 9)では床面温度が13℃、天井下1cm下の気温が27℃であり、14℃の気温差が生じている。床上100cmでの気温は22℃と暖かいが、その気温と床付近の気温の差は9℃であった。

木造校舎2階とRC造校舎2階の教室での気温の垂直分布(図5. 1. 10)を比較すると、床表面温度は木造では16.2℃であるのに対して、RC造ではRC造では11.6℃であり、木造よりも4.6℃低い。一方、天井から1cm下での気温は木造で18.9℃、RC造で18.6℃とほぼ等しい温度となっており、RC造の方が垂直方向の温度傾斜が大きくなっている。

このように温度傾斜が大きいと、たとえば床上1m付近を18℃の快適な温度に保つためには、木造では床付近の気温より2℃程度高めただけでよいが、RC造では6℃程度高めなければならない。また、逆にRC造教室ではその高さの気温が適当な温度になっていたとしても足元は低温である好ましくない状態になりやすい。

木造1階の会議室の垂直温度分布(図5. 1. 11)では、廊下からの冷気の流れの影響が認められる。床表面の温度と床上20cmから100cmまでの温度分布は全体としては木造2階教室のそれに似ているが、床上2cmから5cmの範囲の温度が低下しているのが特徴である。これは、廊下側の扉を開けた時に廊下側から冷気が室内に進入したために生じたものである。廊下の気温が低い場

合には、このように扉の開閉に伴って冷気が進入し、足元が冷やされる結果となり、見掛け上はRC造教室のような急な温度分布が生じたようになる。教室と廊下との気温差は小さいほうが望ましい。

(e) 廊下気温の垂直分布

廊下気温の垂直分布を図5. 1. 12～14に示す。測定日は教室の場合と同様に3月1日、測定時刻は12時から12時40分の範囲である。

廊下気温の垂直分布は全体として均一であり、教室のような強い傾斜は生じていない。これは廊下には暖房器具を用いて暖房していないためである。

RC造校舎において1階と2階の垂直温度分布をくらべてみると(図5. 1. 12)、両者は似ており、床表面の温度の差は 0.5°C と小さく、天井から1cm下の気温の差も 0.9°C と小さい。

木造校舎においては(図5. 1. 13)、1階と2階ともに垂直温度分布が均一である点はRC造校舎と同じであるが、2階の温度は全体として 4°C 程度も高いことが特徴である。

校舎の2階について、木造とRC造とを比較すると(図5. 1. 14)、木造2階廊下の方が約 3°C 程度高くなっている。

木造2階廊下の温度分布は比較的均一であり、暖房している教室のような傾斜は生じていないことから、暖まった空気が直接流入してきて形成された温度分布

ではないと思われる。これは、壁体自体の保温性がよいことに加えて、階下からの暖気が2階の壁体を暖めていることによると考えられる。木造校舎では壁体ならびに2階天井は断熱材が施されている。木造建築物では壁体内の隙間が天井裏に抜けており、通常は床下からの冷たい空気の通り路となるという欠点があるが、本校舎ではむしろ2階の壁内は1階からの暖かい空気の通り路になっていることが考えられる。このような状況にあるとすれば、木造校舎は全館暖房しているのではないが、上下方向への壁体内での通気性がよいため全館暖房と同じような効果があることも考えられる。なお、詳細については、1階天井裏の高さ60cm程度の空間の熱的性質を検討することも含めて、今後の課題として残された。

以上のように木造2階の廊下の気温は他よりは高く、床面から天井までの平均温度差は3.3℃であり、床上1m付近では約4℃の差があった。10℃前後の場所から4℃高い場所に移動とするとかなり暖かく感じるはずであり、逆に4℃低い部屋にはいるとかなり寒く感じる。児童は木造校舎のほうが暖かいという印象をもっているが、実際に暖かいことが確認できた。

(f) 廊下の気温について

冬季に暖房を使っている場合は教室内の気温は高くなっているが、廊下には暖房がはいっていないために教室内の気温と廊下の気温とは相当な違いが予想される。従来は、廊下は外気と教室との間の気温のクッション的な役割しか考えられ

ておらず、熱環境の対象としては二の次にされていた感がある。また、学校教室の扉は一般家庭などとは異なり、頻繁に開け閉めすることが特徴であり、この際に廊下の冷たい空気が教室内に入り込み、特に床表面間際の極めて低い部分に寒気が漂うことになり、足元が寒くなって不快感をおぼえることになる。また、部屋全体が暖房によって快適な状態になっていたとしても、廊下側の出入り口付近の児童にとっては出入口のすきま風によって寒さを感じることになり、これは決して好ましい状態ではない。

表5. 1. 7は1階における教室内気温と廊下の気温ならびに両者の差を月ごとに平均したものである。

6月から9月の夏季では室内気温と廊下気温とは似た値を示す。夏季では窓や扉を開放するためであろう。

12月～3月の冬季では、木造教室とRC造教室とではかなり異なった傾向にある。すなわち、木造教室と木造廊下との温度差は約5℃もあり、教室内の気温のほうが高い。木造教室では最寒月においても平均値として10℃を超えているため、教室では異常な寒さではないが、廊下の気温が低く、この温度差が問題となろう。すなわち、扉の開閉に伴って廊下側から冷気が流入し、足元が冷えて好ましくない状況となる。これに加え、教室内の換気のためであろうが廊下側の扉は気密性を良くしていないのが普通であり、廊下側からのすきま風の影響もある。

R C造では教室と廊下ともに低いこと自体が問題である。

5. 1. 4 考察

学校施設は子どもの全人的な発達を促す働きを持つ必要があることは言うまでもないが、そのための検討課題は広範囲におよぶ。一つの重要な課題として学校環境の衛生問題がある。

衛生問題という字句からすると狭く健康の阻害や疾病の問題として受け取られやすいが、学校教育の根幹に深く関わっている重要な問題である。なぜなら、学校環境が衛生的か否かは、児童生徒の心身の発育・発達や健康の保持・促進という元来の衛生問題のみならず、学習活動の能率にも関わっており、単に児童生徒の健康維持の問題ではない。このように、校舎内環境は心身両面の健康を積極的に増進させることと学習能率の向上というきわめて能動的な意味がある。

学校環境のうち校舎内、特に教室は子ども達が気を集中させやすい環境が望まれる。しかし、どのような教室内環境が最適であるかを具体的に示すことは現時点では困難な課題である。また、教室は病室のような安静を求める場所ではなく、むしろ活動意欲を喚起するある種の刺激が必要だとする指摘もある³⁾。しかしながらその刺激の内容や質は活動の種類によってダイナミックに異なってくるといふ性質のものであり、かつ、心理的な側面が強く、現時点では、最も適した教室内環境を具体的に示すことは困難である。

教室内の温湿度環境を検討する際にも適、不適の基準と言ったものが必要となる。そこで、今回は保健体育審議会が答申した「学校環境衛生の基準」を参考にしながら校舎内温湿度環境を検討することにする。

(a) 「学校環境衛生基準」について

学校保健法は昭和33年に制定された。同法の第3条には「学校においては、換気、採光、照明、及び保温を適切に行い、清潔に保つ等環境衛生の維持に努め、必要に応じてその改善を図らなければならない。」とうたわれているが、環境衛生の内容については詳しくは示されていない。その後、昭和39年に「学校環境衛生の基準」（以下環境基準と称す）が文部大臣の諮問機関である保健体育審議会によって答申された。この答申には、実際の学校においてどのような管理を行うべきかという具体的内容が示され、文部省体育局から各地の教育委員会に到達され、これを受けて各学校では1年に1～2回一定の時期をきめて学校薬剤師が定期検査を行うことになり、結果は「教室の空気検査報告書」としてまとめられることになっている。

環境衛生の基準には、教室の空気をはじめ、照明、騒音、自然換気、机椅子の整備、黒板の管理、飲料水、手や足の洗い場、便所の管理、ねずみや害虫、清潔給食の食品衛生、プールの管理等の15項目があげられている。

「教室の空気」という検査項目が本論文と主に関連する。その項目中の検査事

項についてはア～キの7つの事項がとりあげられている。ア、温度、湿度、気流、イ、感覚温度、ウ、二酸化炭素、エ、じんあい、オ、落下細菌、カ、熱ふく射、キ、一酸化炭素。カとキについては特に必要と認める場合に行うものとしている。

温度と湿度に関する判定基準については以下のように述べている。(1)教室内の温度：冬期では10℃(感覚温度9.5℃)以上、夏期では30℃(感覚温度26℃)以下であることが望ましく、最も望ましい温度は、冬期では18～20℃、夏期では25～26℃である。教室内の湿度は30%以下、80%以上でないことが望ましく、最も望ましい湿度は50%前後である。このように判定基準として望ましい線を示している。

環境基準に述べられている判定基準の内容をみると、学校保健法の目的達成のための許容限界的な性質のものであるようで、このことを梶原⁴⁾も指摘している。また、それは体温調節に破綻をきたさない気温の範囲であり⁵⁾、逆にその範囲外であると体温調節に破綻をきたす子どもがいる可能性があるともいえる。

したがって、この環境基準内におさまれば良いというのでない。しかし、この環境基準からはずれている場合には対策を講じて環境基準内に保つ方策を実施する必要がある。このことは環境基準にも明記されている。ただし、学校の管理責任の上からは、環境基準を満たさなくても罰則規定に類するものがなく、環境基準は一種の努力目標を定めているに過ぎないという見方もできる。

また、昭和39年に「学校環境衛生基準」が出された時点では、従来そういった基準というものがなく、参考とする資料もすくなかったため、健康上だけでなく、学習の能率向上という面から教育上どうあるべきかという視点では立案されておらず、この環境基準では必ずしも充分ではないという認識であったようである。このため将来にはこの基準によって得られた結果を参考にして検討を加えることにしていたようである5)。

すでに述べたように、木造校舎内の教室とRC造校舎内の教室の温湿度環境を比較検討する際にはなんらかの基準が必要であるため、「環境基準」に照らし合わせて議論を進めることにする。

(b) 校舎内温熱環境について

温熱条件を「住まい」について考えるとき、吉沢晋は次の3つの条件レベルに分けている7)。①健康障害の防止、②保健的条件レベル、③快適性。

学校生活を考えるときには、これらに加えて④教育的条件レベルというがあげられよう。

暑さや寒さでからだの具合が悪くなるのではこまる。このレベルが①健康障害の防止である。健康増進に役立つようなレベルが②保健的条件レベルであり、暑くもなく寒くもないという中立的条件レベルが③の快適性を追求するレベルである。学習や作業の能率化につながるレベルが④教育的条件レベルである。

①の健康障害の防止については労働環境という面から研究が進んでいる。③の快適性を追求するレベルは病院に代表される特別な温熱条件である。また、今日ではエアコンディショナーによって家庭でも実現できる。一方、②保健的条件レベルや④教育的条件レベルはその基準の判定がきわめて困難である。しかし、①の健康障害の防止と③の快適性の追求の間に入ることは確かであろう。

①の健康障害の防止に関しては労働条件に関係することから調査研究が進められていると述べたが、その概要を述べる。労働の場としての事務所ビルに対しては、ビル管理法や労働安全衛生法などにより空気環境条件が示されているようである⁸⁾。衛生基準として空調ビルの気温は17～28℃とし、快適基準(案)としては夏には座業24～27℃、軽作業20～25℃、冬には座業20～23℃、軽作業18～20℃としている。もちろん子どもに対してはこの数値を直接当てはめるわけにはいかず、子供にみあった室温を検討すべきである。小学生という6～12才の時期の体温に注目すると幼児から成人への過渡期であると特徴付けられる。幼児期には皮膚表面の血管がわずかな熱刺激にたいして反射的に拡張し、また、皮膚温は暖かく、放熱的である。小学校の4年生の10歳ごろより漸次、成人の体温の変化パターンに移行してくるようである⁸⁾。したがって、上記の数値は10才以上の子どもに対しても一応の目安にしてもよいと考えられる。一方、教師に対してはこのような条件を積極的に当てはめるべきであろう。

上記の数値はひと昔前にくらべて高い値になっている。

三浦はオフィスの暖房の快適温度の年次推移を模式的に示している⁹⁾。これによると、1950年代には18℃であったものが1980年代には25℃近づいている。このように、時代とともに生活環境、様式が変化するとともに、志向する温度にもかなり変化が生じていることがうかがわれる。児童の側も同様にひと昔前とは異なっている。児童の体温を年次的に比較してみると、平常体温は近年になるにしたがって次第に低下してきており、1930から50年代では37℃前後であったものが、1980年代になると四季にわたった男女平均で36.5℃になっている⁸⁾。これは、子どもの食・住生活環境、生活行動様式の変化が最近での児童の体温の低下傾向の要因と考えられており、だんだんに成人のものに近づいているものと想像される。

いずれにせよ、「学校環境衛生の基準」に示された値は下限値的色彩が強いと言えよう。

(c) 「学校環境衛生の基準」からみた校舎内温湿度環境

校舎内の温度と湿度について、「学校環境衛生基準」に示された値からはずれる割合を8時から15時の間の1時間毎に調べ、その結果は表5. 1. 4に示したが、冬季、夏季ともに対象とした教室において基準値以下の状態が存在した。

1カ月の75%が環境基準外となる例があり、これはRC造2階の教室で1月に

観測された。

季節ごとに見ると、6、7月の梅雨の期間には「基準」を超える割合は8～18%である。12月から翌年の3月の間の40～70%というように幅が広く、教室によってかなり温湿度条件が異なることがわかる。冬季の平均としては木造1階では約15%、木造2階では26%、RC造1階では約54%、RC造2階では約41%となっている。このように条件の悪い教室ではなんと半分以上が「基準」を満たさないことになる。本校では冬季の平均としてRC造1階教室の条件が最も悪く、次いでRC造2階教室である。なお、2階部分についての平均値には12月は含まれていない。

対象とした木造校舎1階部分は「基準」を満たす割合が他に較べてかなり高い。この教室は職員室に使用しており、児童が使う普通教室ではないという理由から木造1階教室を除いて考えても、木造校舎の方が「基準値」を満たす割合が高く、不適な条件はより少ないといえることができる。

なお、環境衛生の基準値は机上高の温度であり、本測定値は床上約10cmの値であるので、両測定値を直接比較することは慎重であるべきだが、少なくとも床付近の温湿度環境は適切ではないと言える。

このように冬季の教室内の温湿度環境は苛酷な状態であると言えよう。子ども側の対策としては衣服を余分に着用することでしのいでいるのが現状であろうが、

子どもの活動を制限するような厚着になっているとしたら問題である。

以上に述べたように、特にRC造教室の温湿度環境は決して好ましくない。対策としては、現状においては暖房の強化によって室内気温を高めることになるが、ファンの無い灯油ストーブを用いた場合には、室内の上下温度差がかなり大きくなることが予想できる。

図5. 1. 19に示したRC造教室内の気温垂直分布をみると、床温と床上数cmでの気温が 13°C であるのに対して床上1mでの気温は 22°C となっており、 9°C も温度差がついている。また、天井付近の気温は 27°C であり、床付近と較べて 14°C もの温度差が生じる。頭部と足部の気温差は少ないことが望ましいが、ストーブ等の自然対流にまかせた暖房を行うとその温度差はかなり生じてしまう。

室内気候計画では頭部と足部との気温差は $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 以内であれば良いが、少なくとも約 3°C 以下にとどめるべきであるとされている¹¹⁾。その温度差が $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ になると不快を感じずる人の割合が増えてくる¹²⁾。天井高の比較的低い部屋では暖房時の床面付近と天井付近との温度差を 5°C 以内が望ましく、これ以上の温度差があると重苦しさなどの不快感を伴う。学校校舎では3mぐらいの天井高であるため 5°C よりも多少は温度差があっても良いと考えられるが、当校での測定例ではその値をはるかに超えた 14°C の温度差であった。

このように、現状の暖房器具では上下温度差による不快感だけではなく、「頭

寒足熱」とは逆の状況が生まれ、足元は冷えるが頭はのぼせるという学習条件としてははなはだ不都合な状況になりやすい。実際、「頭寒足熱」の状況を人工的に造り出してクレペリンテストを実施した例からは、上下気温差が適当にあり、下部気温の暖かい場合のほうが精神作業の能率向上が認められるという実験結果も報告されている9)。

教師は立って授業をすることが多いが、立っている教師と座っている児童の感じる温度にはかなりギャップがあると考えられ、暖房器具を調節する場合にこのことに対する配慮も必要であろう。

なお、上下温度差を少なくするための対策としては、ファンによる空気の攪拌が有効であるが、これ以外に、熱源に対向する壁の断熱強化や、天井や床の断熱が対策として有効である。なお、天井よりも床の断熱増強のほうが効果的であるとする報告もある12)。

小学校など学校校舎では、子どもは床に座って作業することも多く、床温は一般のオフィスにくらべて重要性を持つ。

裸足の場合には、床材の材質による熱損失量の違いから足部皮膚温が変化し、23℃ぐらいになると不快な冷たさを感じるようになる。また、1分間当りの熱損失が15 kcal/m²以上になるとやはり不快な冷たさを感じるようになる8)。

靴下にスリッパという普通の室内履を着用した状態では、床材の材質の違いは

ほぼ無視できるとされている。米空調学会での床温の推奨値は、適当な室内履を用いた場合に18～29℃としている9)。

2、3月での測定結果によると、木造1階教室では13～14℃、これに対してRC造教室では11～13℃、木造2階教室では13～15℃、RC2階教室では約12℃であり、いずれも快適な床温の下限值よりは3～7℃低い。

床温の低さは、放射による体感温度の低下をもたらすこと、室温の上下温度分布を拡大すること、床付近の気温を低下させて足元を冷えさせて不快感を感じさせること、「足熱頭寒」とは逆の好ましくない状況をつくり出すこと、座作業での不快感を感じさせることなどいろいろな悪環境に結びつくので重要問題である。

いずれの教室の床も低い温度であるが、灯油ストーブを使用している現状ではこれを改善することはむづかしい。ただし、木造校舎内の教室の方が床温が多少高く少しは条件が良くなっており、同じような暖房器具を使う場合には床温に関して木造校舎の方が有利であるといえる。

校舎内の場所による気温差は少ない方がよい。廊下の気温が特に低くなっている場合には、教室内廊下側の子どもは出入口の扉や教室と廊下との境の窓からの隙間風によって寒く感じている。教室廊下側の扉や窓は、換気を考えて気密性のよい構造にはなっていないことが多い。このため、廊下側からの寒気がすきま風として教室内に流入し、低温空気の密度の関係から教室の床面付近に漂うことに

なる。

この例は図5. 1. 11 (3/1木造1階会議室) に示したが、上下温度差を助長するため好ましくない。

表5. 1. 7に示した教室と廊下の気温の違いを冬季についてみると、RC造校舎では教室と廊下の気温の差は小さくなっているが、これは両者ともに6℃～9℃と低いことの方が問題である。木造校舎1階では教室と廊下の気温の差は5℃程度ある。木造2階の廊下は図5. 1. 13に見られるように木造1階廊下にくらべて全体として4℃程度高く、木造1階のような差はないものと推定できる。

冬季の教室と廊下の気温差に関しては、木造2階では問題無さそうであるが木造1階での差が気になる。RC造校舎については教室、廊下ともに気温が低いという問題がある。暖房を強くして教室の気温を上げるとさらに問題になると思われる。

最後に湿度条件の健康への影響に関して三浦⁹⁾は興味深い研究結果を紹介しているが、教室湿度条件の考察は別の機会に行うことにする。

5. 1. 5 まとめ

比較的温暖な気候に位置する小学校校舎内の温湿度環境を約1年間にわたって調査した。そして、この調査結果を「学校環境衛生の基準」に示された値を参考にして考察し、学校校舎内の温湿度環境の実態を明らかにした。対象とした校舎

の特徴は、同じ敷地内に木造校舎とRC造校舎の両タイプの校舎を有していること、しかも、両校舎は敷地の北縁部に東西直列に配置され、廊下も連続していることである。このため、木造とRC造という建築工法の異なる校舎どうしの教室内温湿度環境を対比して比較することが可能となった。

結果をまとめると以下の通り。

1) 教室の床上約10cmの気温と湿度について学校環境衛生基準値からはずれ
る割合を8時から15時の間の1時間毎に調べた結果、冬季、夏季ともに基準値
以下の状態が存在した。最も悪い温湿度環境としては1ヶ月間で全体の75%が
環境基準外となる結果となり、これはRC造2階の教室において1月に観測され
た。

2) 木造教室とRC造教室とを比較すると全体として木造教室の方が環境基準か
らはずれる割合が少なかった。

季節別にみると以下のよう。1階教室では梅雨時期から真夏にかけて木造教室
では6~17%が基準からはずれ、一方、RC造教室では12%~17%がはず
れていた。特に、7、9月がRC造教室での基準からはずれの割合が高かった。
冬季においては、木造教室では22~29%と少なく、また、12と1月に集中
していた。RC造教室においては11月~翌年の3月の間28%以上が基準から
はずれ、1月には70%が基準からはずれていた。

3) 冬季において校舎内の1階と2階とでは異なり、2階に位置する教室の方が「環境基準」からはずれる率が高かった。基準からもっともはずれる割合が高い1月についてみると、木造1階では29%であるのに対し、2階では基準からはずれる割合が41%と高くなった。RC造教室では1階が70%であるのに対し2階では75%となった。

4) 就学時間帯に限って教室、廊下の気温の月平均値を木造とRC造校舎それぞれ1階について比較する以下のよう。

教室、廊下の月別平均気温の最低値は1月に記録され、その値が最も高かった場所は木造教室であった。次いでRC造教室、RC造廊下、木造廊下という順序で1月の平均気温は低くなった。教室ではストーブを使用しているために廊下にくらべて高くなっているが、木造教室では壁面の熱容量の小ささのためにRC造教室にくらべて暖まりやすく、気温は高くなっている。一方、廊下では暖房を入れないため、木造では熱容量の小ささのために外気温の低下に追従しやすく、RC造廊下にくらべて低い気温になりやすい。

5) 暖房時の室温の床付近と天井付近の上下温度差はRC造教室のほうが大きな温度差になりやすく、好ましくない温度環境が生じやすい。

以上のように、寒冷地でない当地域の学校校舎内の温湿度環境は、夏、冬ともに好ましい状況にない。冬季には特に苛酷な状況下にある。この悪条件下におい

ても木造校舎内の教室はR C造校舎内の教室よりも「環境基準」を満たす割合が全体として大きかった。

今日においても木造校舎というイメージは、大正あるいは昭和初期に建築されたすでに老朽化してすきま風に悩まされた木造校舎のイメージが重なり、ノスタルジックな印象はあっても良い印象を抱く人は多くなさそうである。しかし、校舎内の温湿度環境の実態は過酷な条件の中でもR C造校舎内の教室よりも優れているという結論が得られた。また、冬季については室温という量的な面のみならず教室内垂直温度分布といった質的な温熱環境においても木造校舎の優位性が見いだされた。

謝辞

温湿度調査のために校舎を提供していただいた上之保小学校校長山田麟二氏にお礼申し上げますとともに、日常的な温湿度測定にもご協力いただいた早川敏文教頭先生に感謝いたします。また、上之保小学校の先生方に調査にあたってさまざまな配慮をいただきました。ここに感謝の意を表します。

文献

- 1)服部芳明、橋田紘洋：「住宅部材安全性能向上事業報告書 住環境に関する総合調査」、日本住宅・木材技術センター、1989年、pp261-300
- 2)文部省：「学校環境衛生の解説」、教育図書、1965年、pp1-93

- 3)板野登：「人の発達にかかわる木質環境の機能に関する研究、代表者 山田正」、
1989年、pp12-19
- 4)梶原麻佐路：「学校環境衛生の基準に関する考察 第一報」、学校保健研究、
27(9)、pp442-450 (1985)
- 5)武田真太郎：健康教室、26(1)、pp11-16 (1975)
- 6)元山 正：空気清浄、3 (2)、p34-37(1965)
- 7)三浦豊彦、吉田敬一、吉沢 晋：「衣服と住まいの健康学」、大修館書店、
1988年、p136
- 8)田中正敏、菊池安行：「近未来の人間科学事典」、朝倉書店、1988年、
p349、p354、p355
- 9)三浦豊彦：「冬の寒さと健康 (第二版)」、労働科学研究所出版部、
1989年、p130
- 10)建築学大系編集委員会編：「建築学大系22 室内環境計画」1969年、p273
- 11)日本建築学会編：「建築学便覧 I 計画」、p905

表5. 1. 1 日最低、日最高、日平均気温 (°C) の月平均値

月	最低気温	最高気温	平均気温
6	17. 0	24. 9	20. 5
7	20. 0	27. 7	23. 5
8	21. 3	30. 7	25. 4
9	20. 1	27. 5	23. 2
10	11. 2	21. 8	15. 9
11	7. 0	15. 8	10. 5
12	0. 8	9. 7	4. 5
1	-1. 0	6. 6	2. 2
2	3. 3	11. 6	7. 1
3	4. 5	14. 5	9. 0

表5. 1. 2 水蒸気圧と関係湿度の月平均値

月	水蒸気圧 (mmHg)	平均関係湿度 (%)	最低関係湿度 (%)
6	17. 3	72. 8	57. 0
7	20. 7	72. 2	55. 2
8	23. 1	72. 8	49. 3
9	21. 7	77. 3	57. 5
10	12. 2	69. 0	42. 9
11	9. 6	73. 4	48. 7
12	6. 2	74. 7	51. 1
1	5. 3	72. 5	47. 2
2	7. 4	74. 6	54. 0
3	7. 5	67. 9	41. 7
4	10. 7	71. 2	44. 3

表5. 1. 3 教室内温湿度の「学校環境衛生の基準」*適合率(%)

月	木造 1階			RC造 1階 南側			RC造 1階 北側		
	適正	未満	超	適正	未満	超	適正	未満	超
6	83	0	17	88	0	12	—	—	—
7	92	0	8	82	0	18	—	—	—
9	94	0	6	81	2	17	—	—	—
10	100	0	0	92	8	0	—	—	—
11	99	0	1	66	28	6	—	—	—
12	78	22	0	39	61	0	63	37	0
1	71	29	0	29	70	1	37	45	18
2	97	3	0	48	51	1	30	51	19
3	96	4	0	65	35	0	82	4	14
4	100	0	0	91	0	9	76	0	24

月	木造 2階			RC造 2階		
	適正	未満	超	適正	未満	超
1	59	41	0	12	75	13
2	77	23	0	61	14	25
3	85	15	0	56	34	10
4	99	0	1	97	0	3

*: 温度 冬期10℃以上
夏期30℃以下
湿度 30%超~80%未満

注) 木造1階教室は職員室、
8時から14時の間を1時間づつ対象にした。
休日は除いた。

表5. 1. 4 就学時間帯（8～15時）に
おける月平均気温

月	木造1階		RC造1階		外気
	教室	廊下	教室	廊下	
6	24.8	24.3	23.9	24.3	22.6
7	26.3	26.7	26.0	26.2	25.5
8	27.7	27.9	27.0	26.8	27.1
9	25.8	25.7	25.6	25.1	24.8
10	20.5	19.1	20.9	19.6	18.4
11	16.6	13.7	15.1	14.9	11.8
12	13.3	7.6	9.8	9.6	6.3
1	11.4	5.4	7.6	6.6	3.7
2	13.7	8.9	9.7	9.1	8.3
3	15.0	11.1	12.3	11.4	11.0
4	17.5	16.3	16.1	15.2	16.3
平均	19.3	17.0	17.6	17.2	16.0

表5. 1. 5 就学時間帯（8～15時）
における月平均気温

月	木造2階	RC造2階	外気
	教室	教室	
12	9.0	6.2	6.3
1	8.7	6.3	3.7
2	12.0	11.0	8.3
3	13.4	10.7	11.0
4	16.9	14.4	16.3

表5. 1. 6 木造とRC造の教室と廊下の床表面温度

日付	教室				廊下			
	1階		2階		1階		2階	
	木造	RC造	木造	RC造	木造	RC造	木造	RC造
12/14	15.2	12.3	-	-	6.9	8.1	-	-
2/15	12.6	10.3	14.0	12.0	9.7	8.1	11.4	8.8
3/ 1	15.1	13.1	16.2	11.6	9.9	9.5	12.5	10.0

表5. 1. 7 室内気温と廊下気温との違い (1階)

月	木造		RC造		外気	教室と廊下の差	
	教室	廊下	教室	廊下		木造	RC造
6	24.6	23.9	23.5	23.7	20.4	0.7	-0.2
7	25.7	25.9	25.9	25.4	23.3	0.1	0.4
8	27.3	27.3	27.0	26.4	25.5	0.2	0.5
9	25.2	24.7	24.1	24.5	22.7	0.3	-0.1
10	19.7	18.1	19.1	18.7	15.6	1.6	-0.5
11	16.1	13.2	14.0	14.2	10.4	2.9	-0.2
12	12.1	7.3	8.8	9.1	4.4	4.7	-0.3
1	10.3	5.1	6.5	6.3	2.4	5.1	0.3
2	13.3	8.7	8.8	8.8	6.8	4.7	0.0
3	14.0	10.3	12.2	10.8	8.8	3.5	1.3
4	16.3	14.8	15.1	13.9	13.1	1.5	1.3
平均	18.6	16.3	16.8	16.5	13.9	2.3	0.2

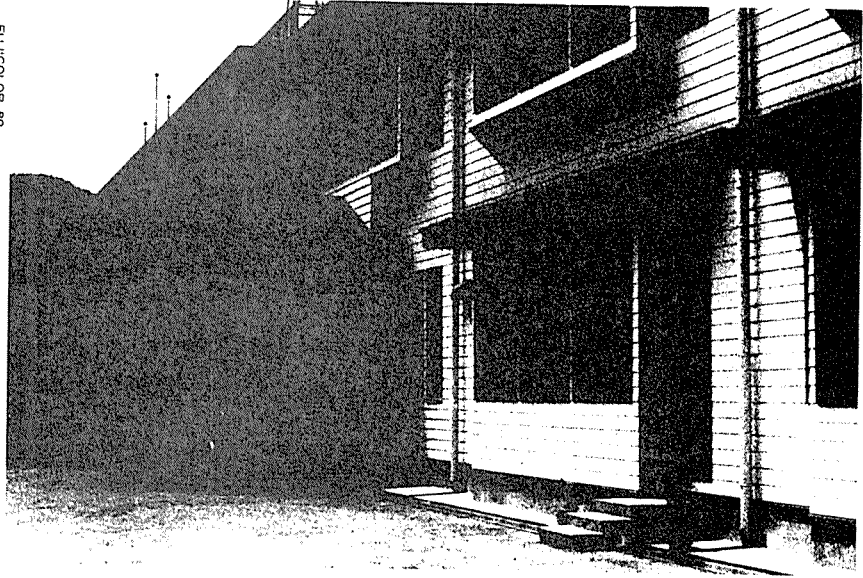


図5. 1. 1 上之保小学校校舎
木造校舎（手前）とRC造校舎（向こう側）

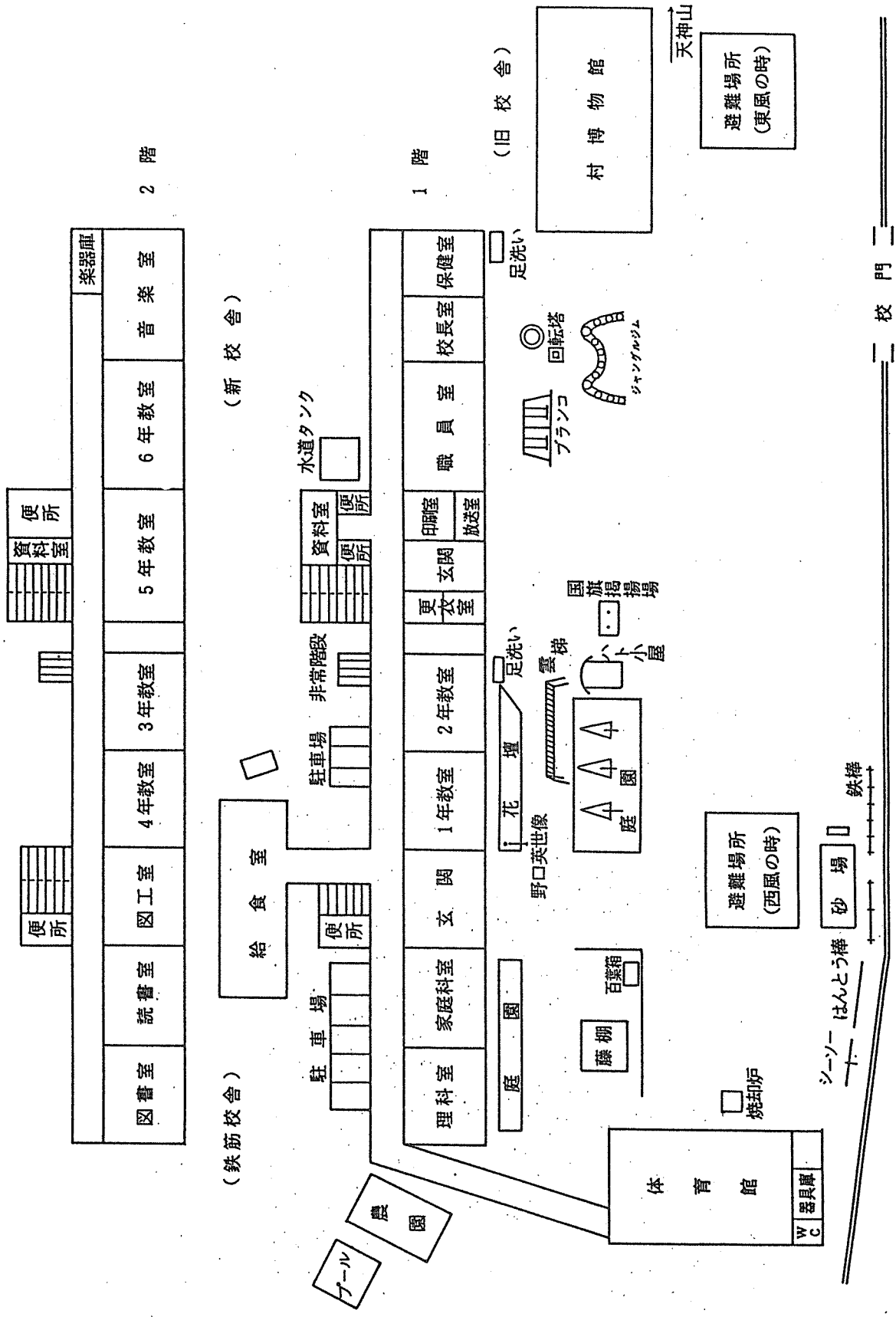


図5. 1. 2 校舎配置図

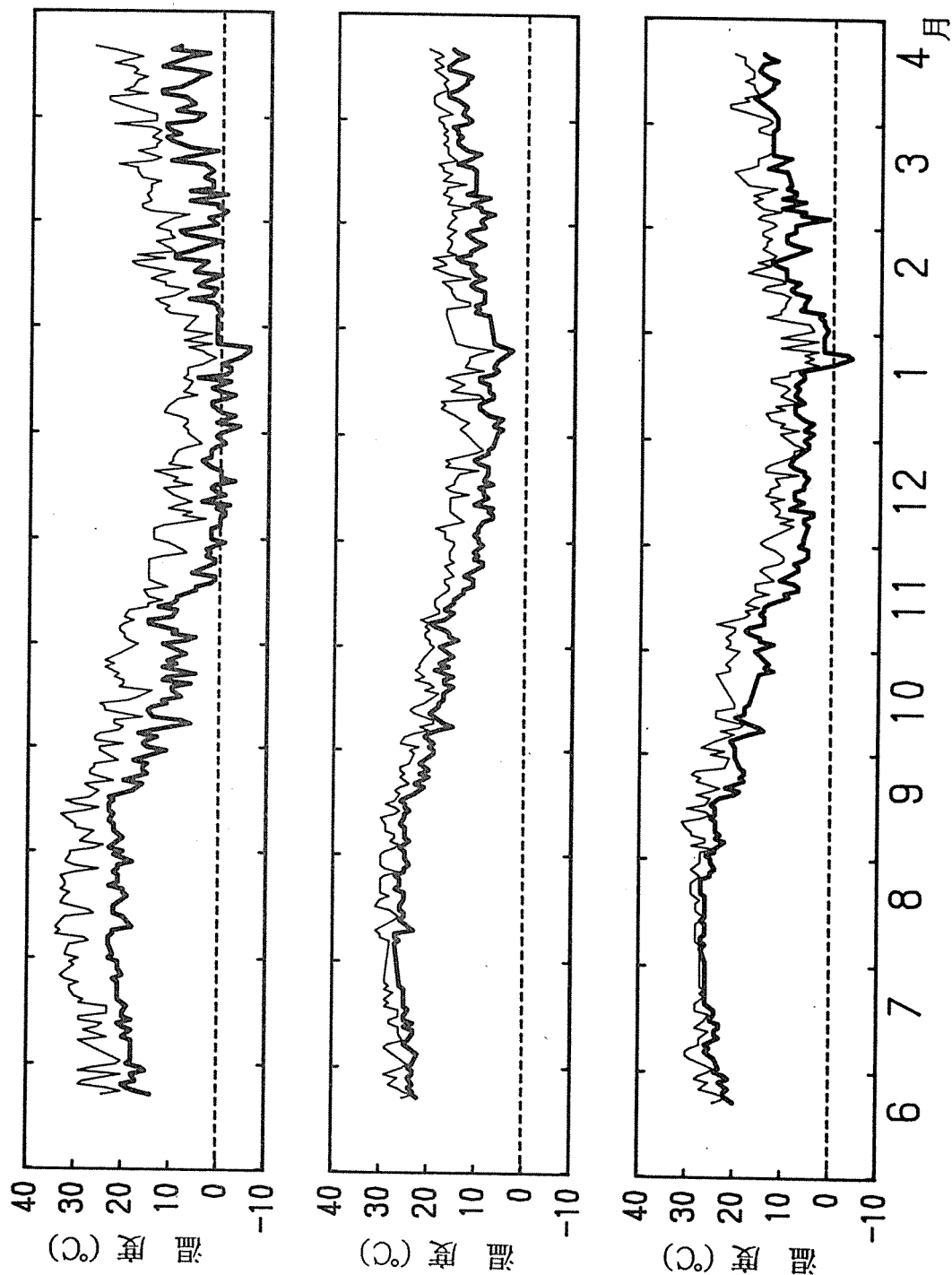


図5. 1. 3 日最低気温 (太線) ならびに日最高気温 (細線) の年変動
(1989年6月~1990年4月)

- (a) : 外気
- (b) : 木造校舎内1階教室
- (c) : RC造校舎内1階教室

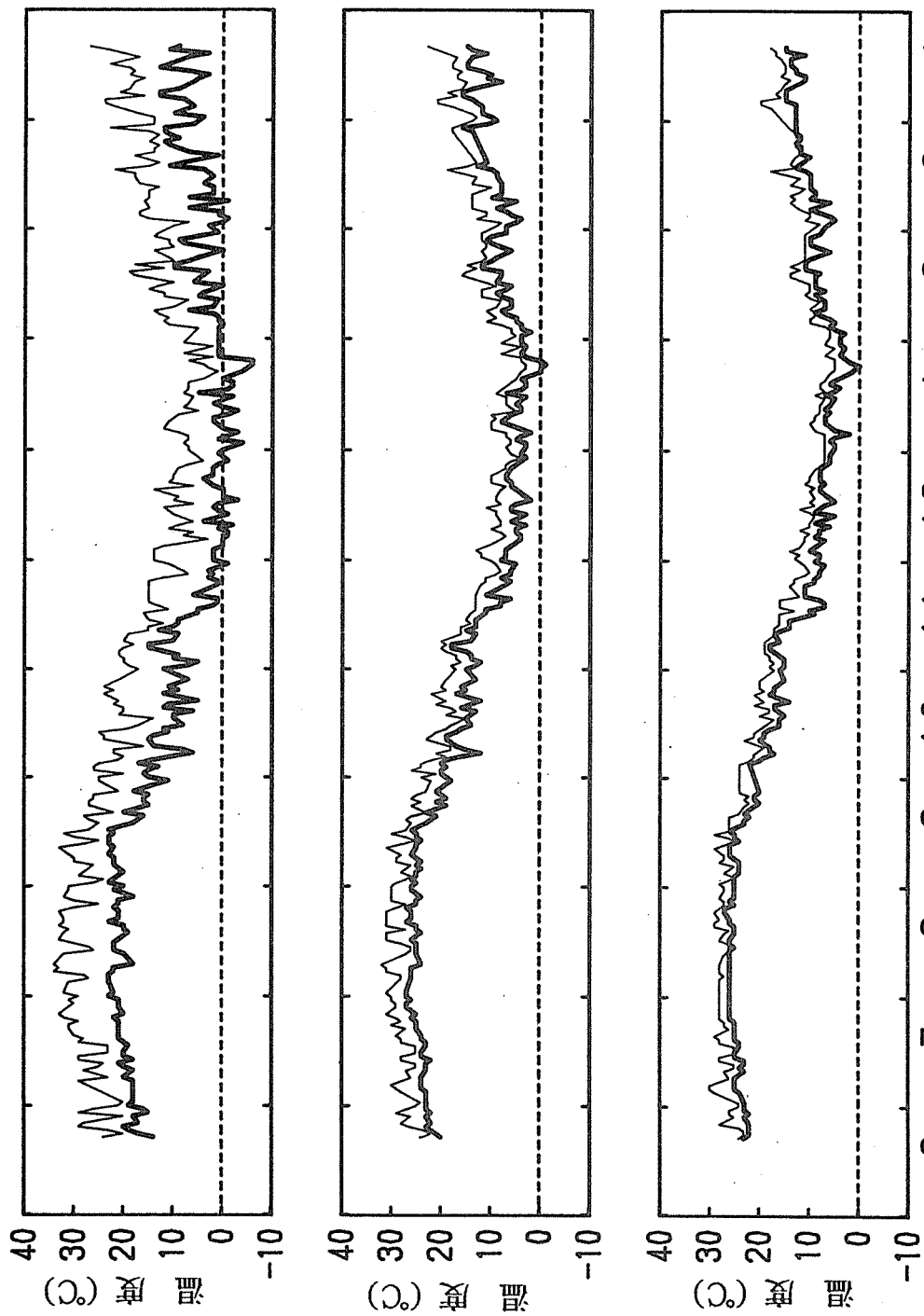


図5. 1. 4 日最低気温 (太線) ならびに日最高気温 (細線) の年変動
(1989年6月~1990年4月)

(a) : 外気

(b) : 木造校舎内1階廊下

(c) : RC造校舎内1階廊下

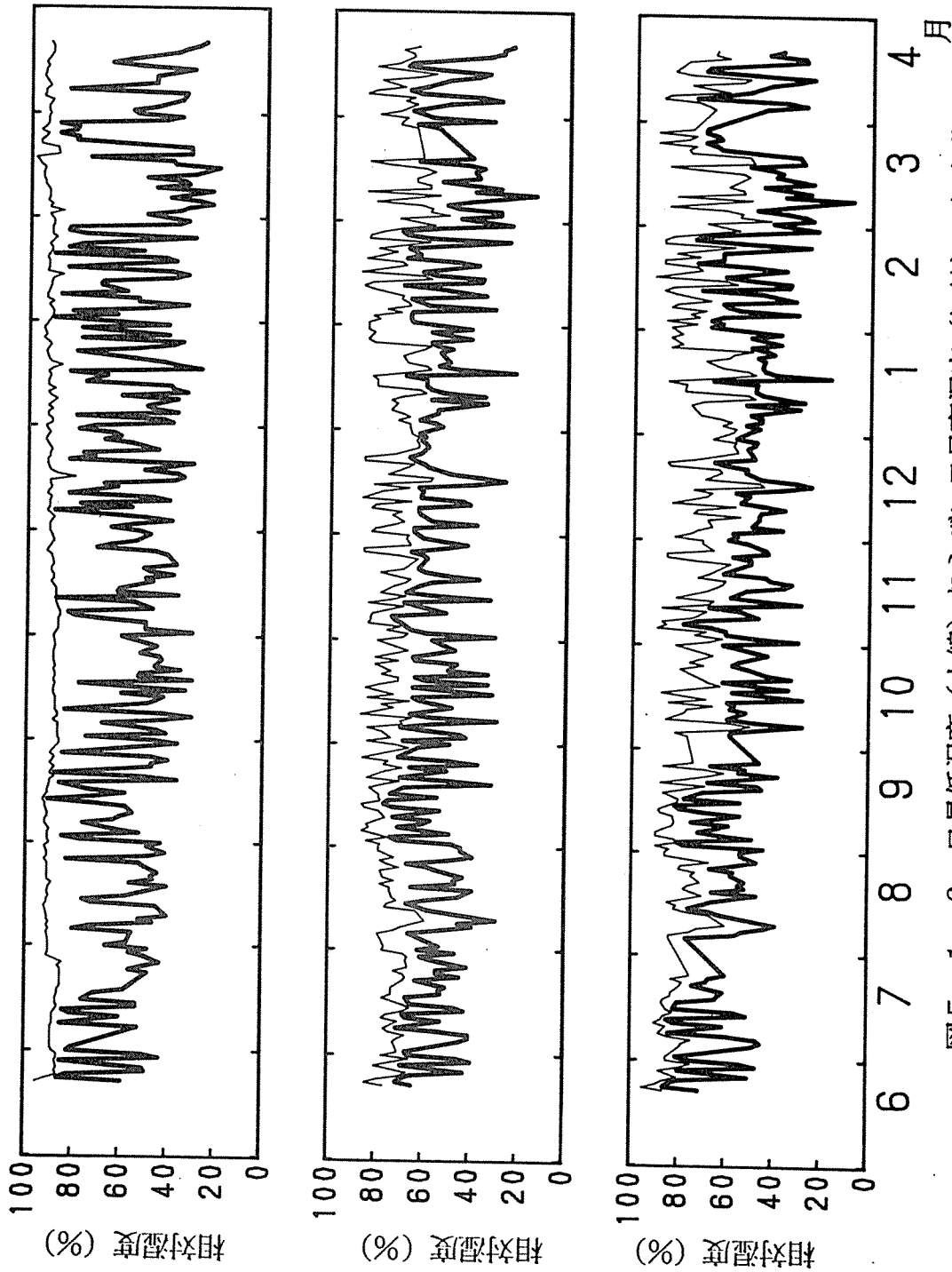


図5. 1. 6 日最低湿度 (太線) ならびに日最高湿度 (細線) の年変動
 (1989年6月~1990年4月)

(a) : 外気

(b) : 木造校舎内1階廊下

(c) : RC造校舎内1階廊下

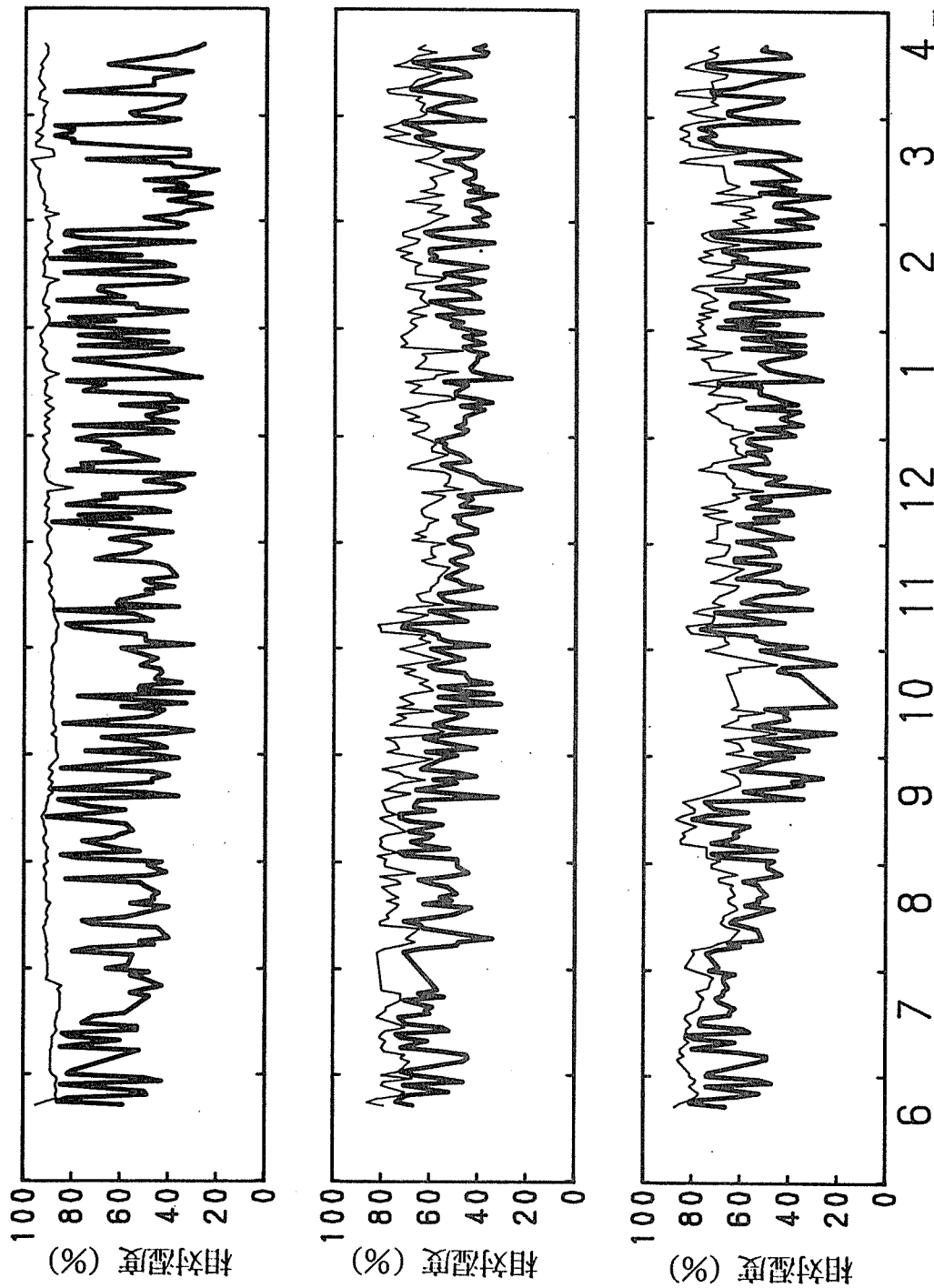


図5.1.5 日最低湿度 (太線) ならびに日最高湿度 (細線) の年変動
(1989年6月~1990年4月)

- (a) : 外気
- (b) : 木造校舎内1階教室
- (c) : RC造校舎内1階教室

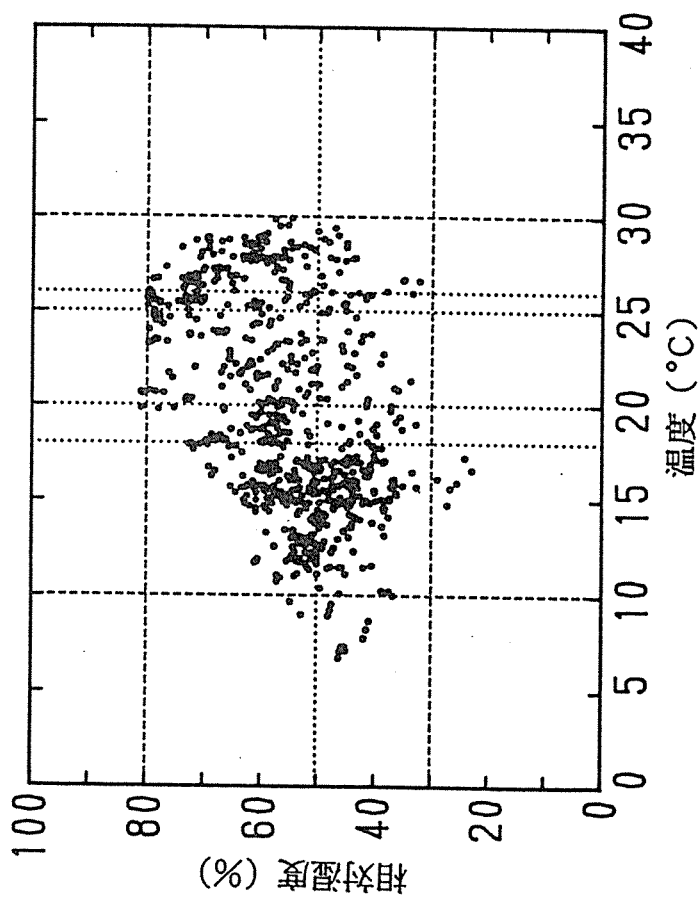


図5. 1. 7 (a) 木造校舎1階教室における温度と湿度の散布図
(6月中旬～3月中旬)

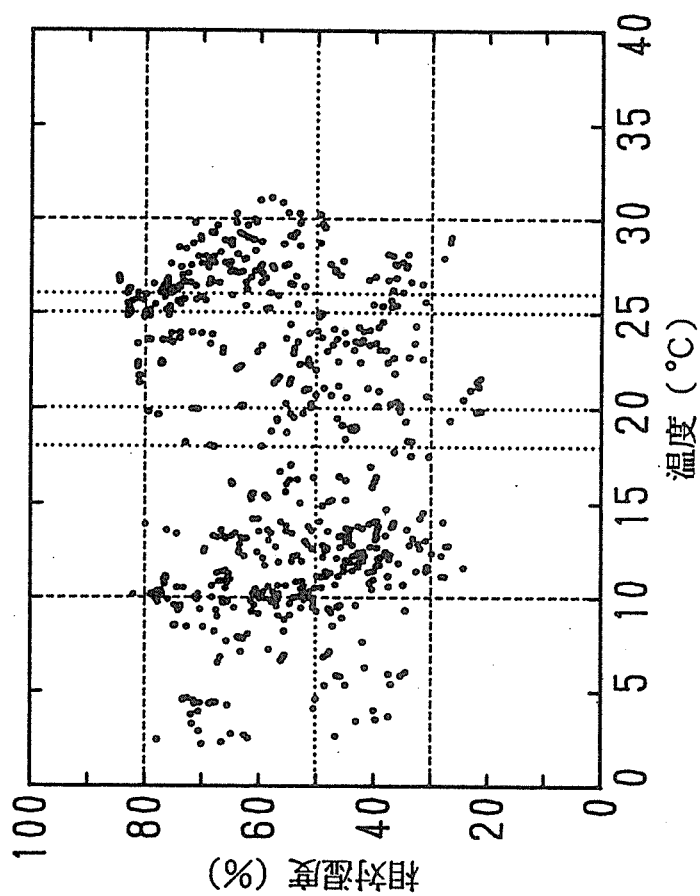


図5. 1. 7 (b) RC造校舎1階教室における温度と湿度の散布図
(6月中旬～3月中旬)

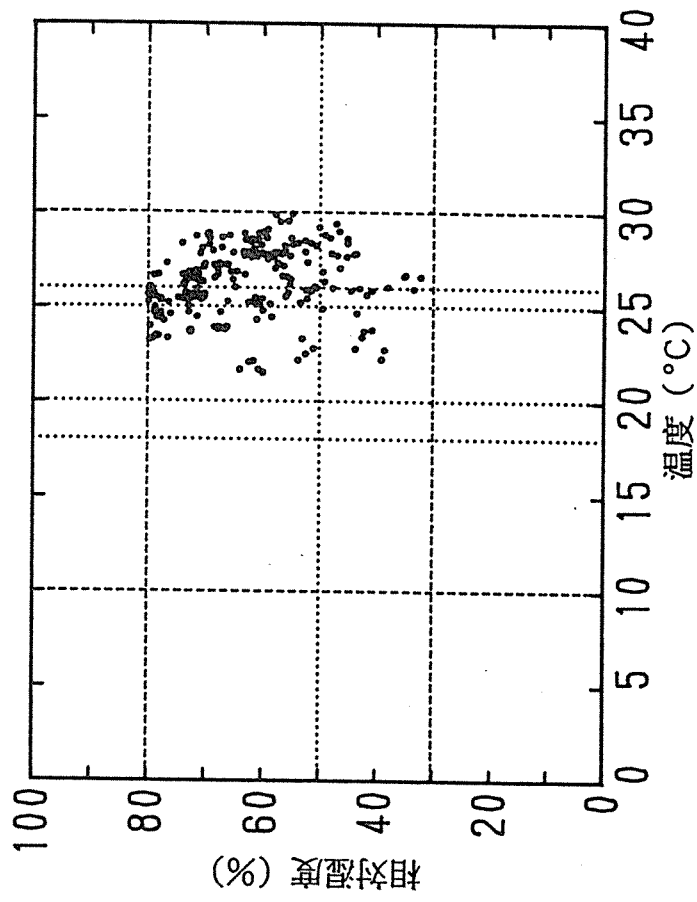


図5. 1. 7 (c) 木造校舎1階教室における温度と湿度の散布図 (夏期)

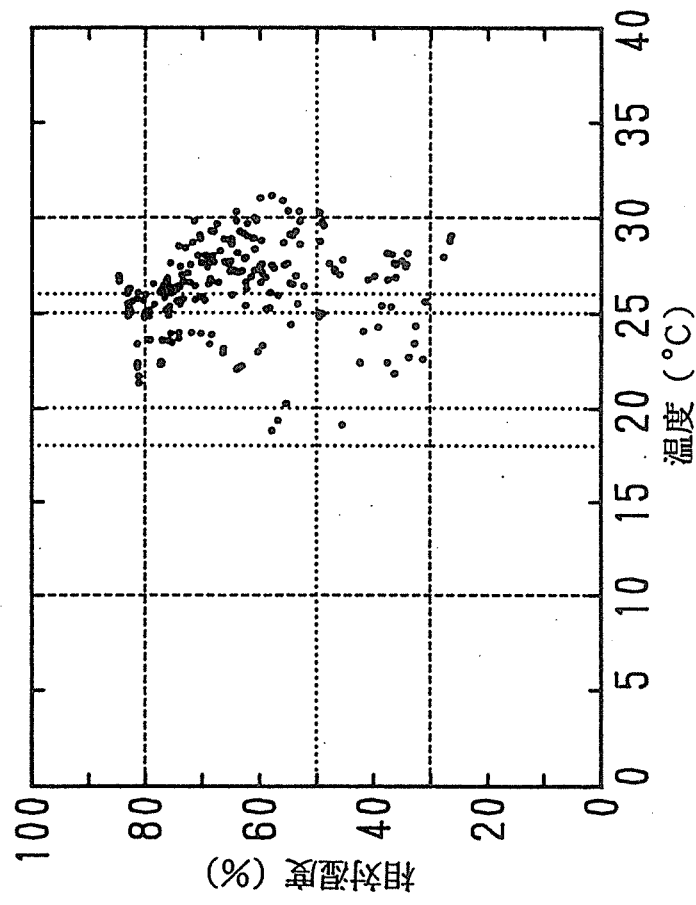


図5. 1. 7 (d) RC造校舎1階教室における温度と湿度の散布図 (夏期)

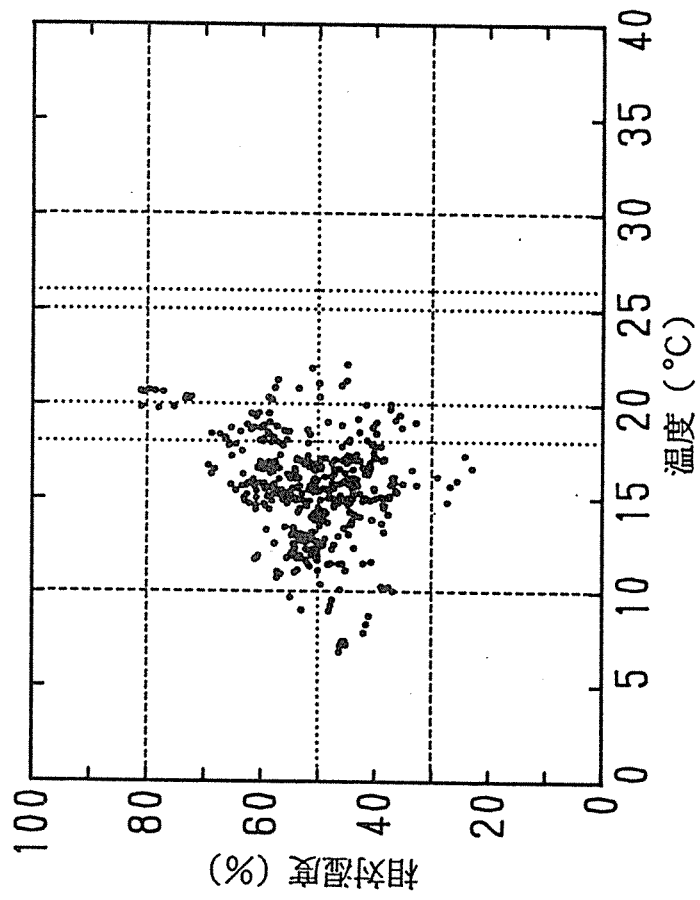


図5. 1. 7 (e) 木造校舎1階教室における温度と湿度の散布図 (冬期)

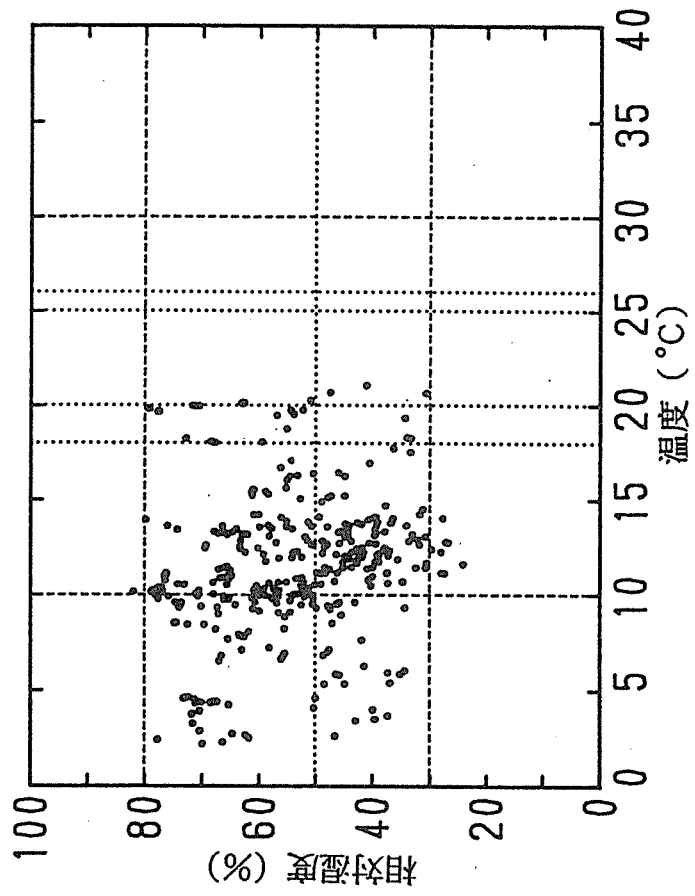


図5. 1. 7 (f) RC造校舎1階教室における温度と湿度の散布図 (冬期)

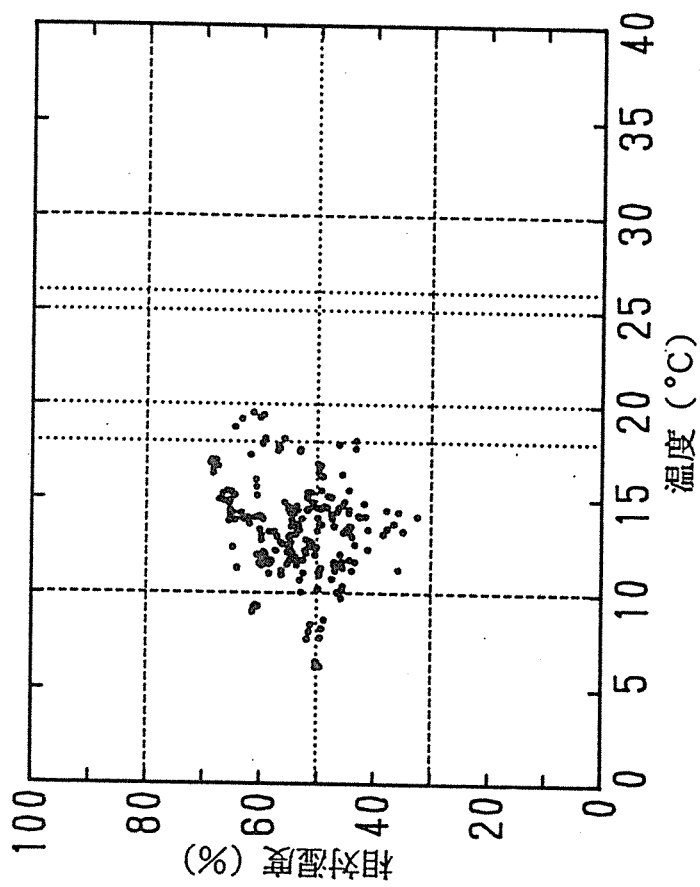


図5. 1. 7 (g) 木造校舎2階教室における温度と湿度の散布図 (冬期)

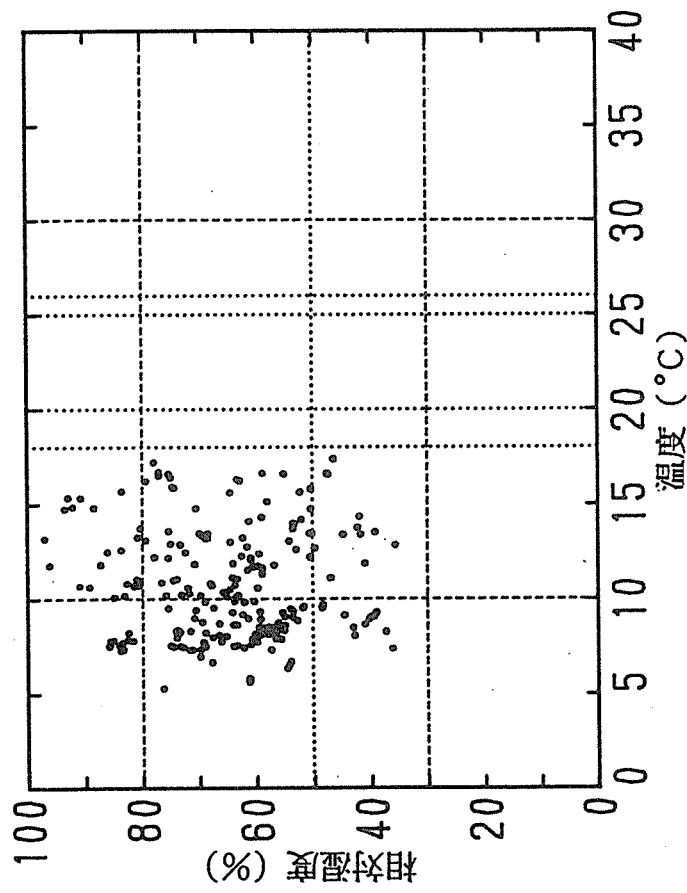


図5. 1. 8 (h) R C造校舎2階教室における温度と湿度の散布図 (冬期)

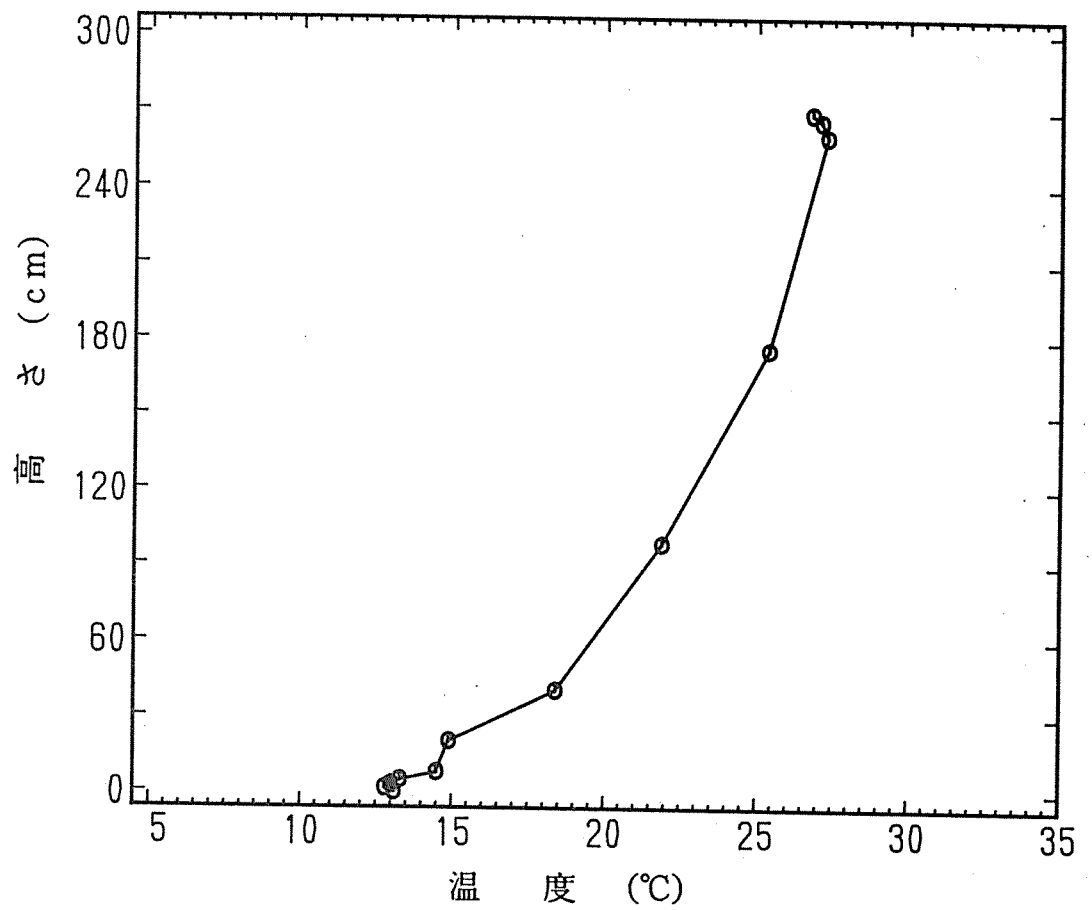


図5. 1. 9 RC造1階教室における垂直温度分布
(1990年3月1日12時)

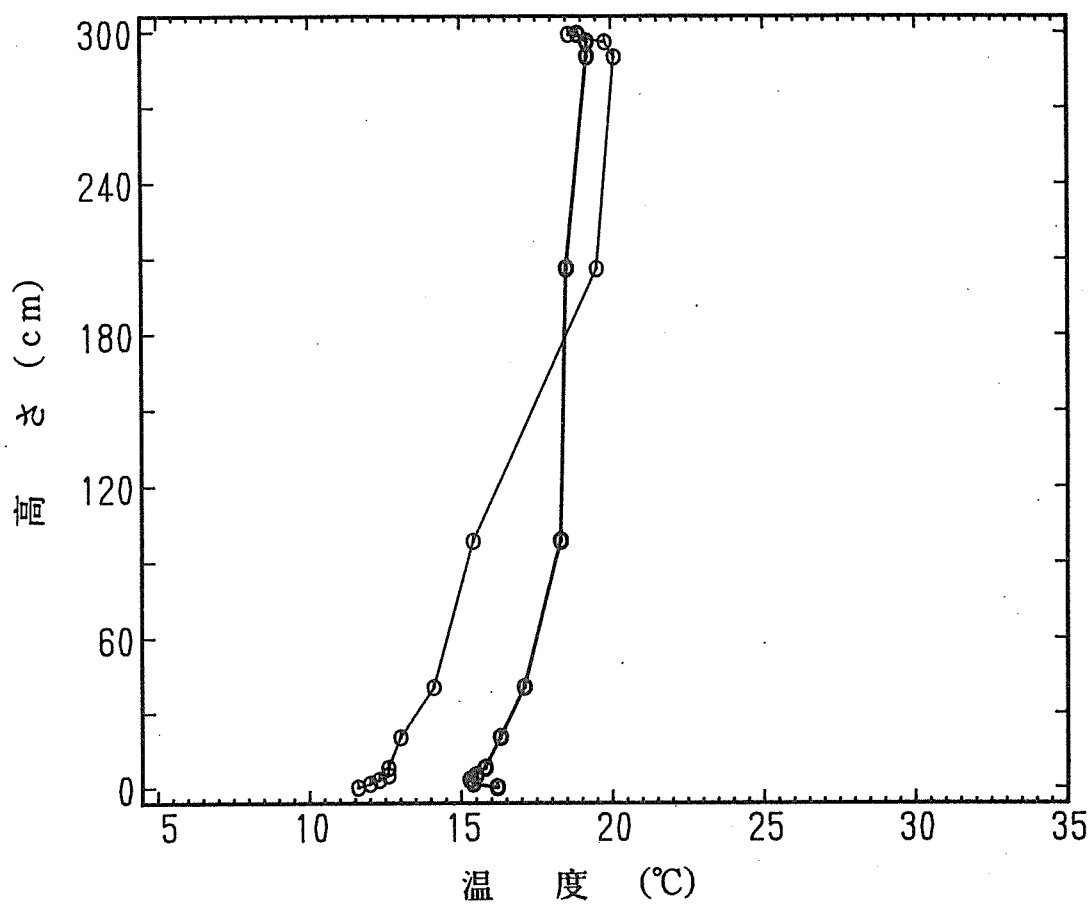


図5. 1. 10 木造2階教室（太線）とRC造2階教室（細線）
 における垂直温度分布（1990年3月1日12時）

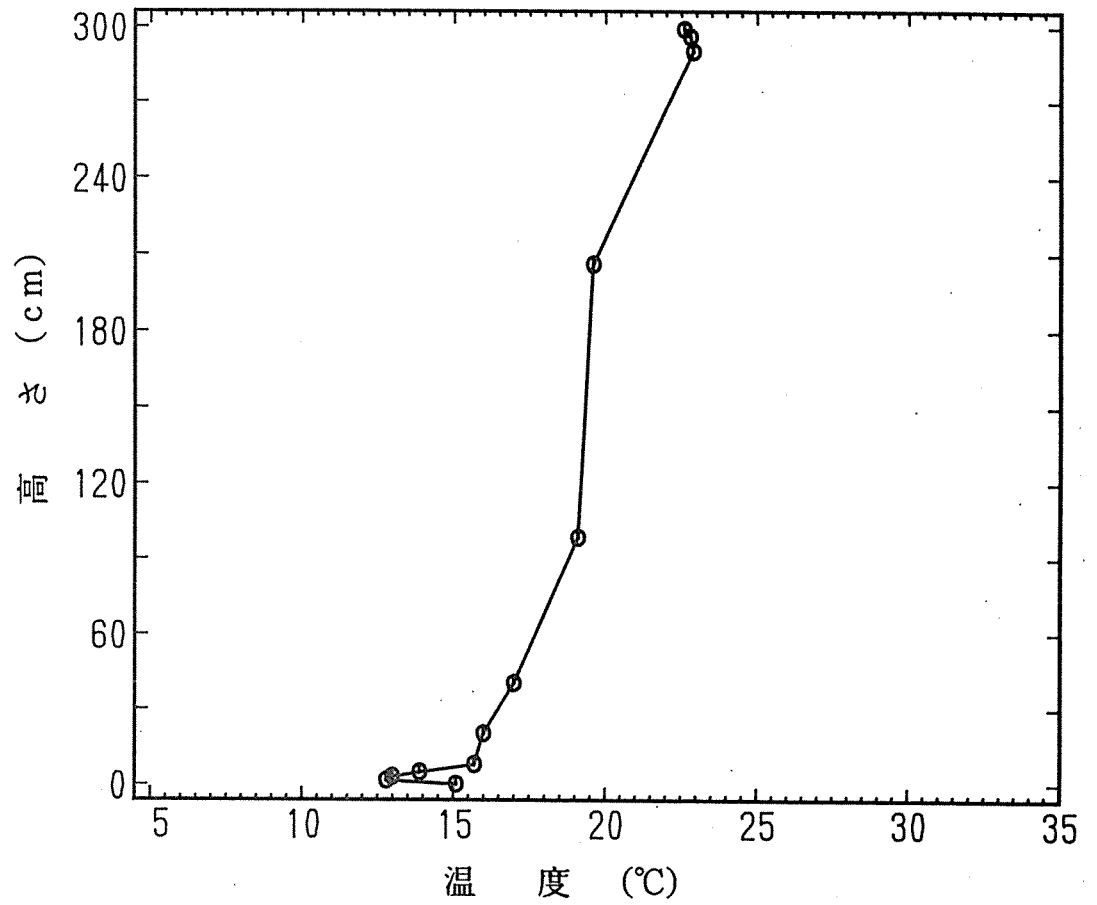


図5. 1. 11 木造1階教室（会議室）における垂直温度分布
（1990年3月1日10時）

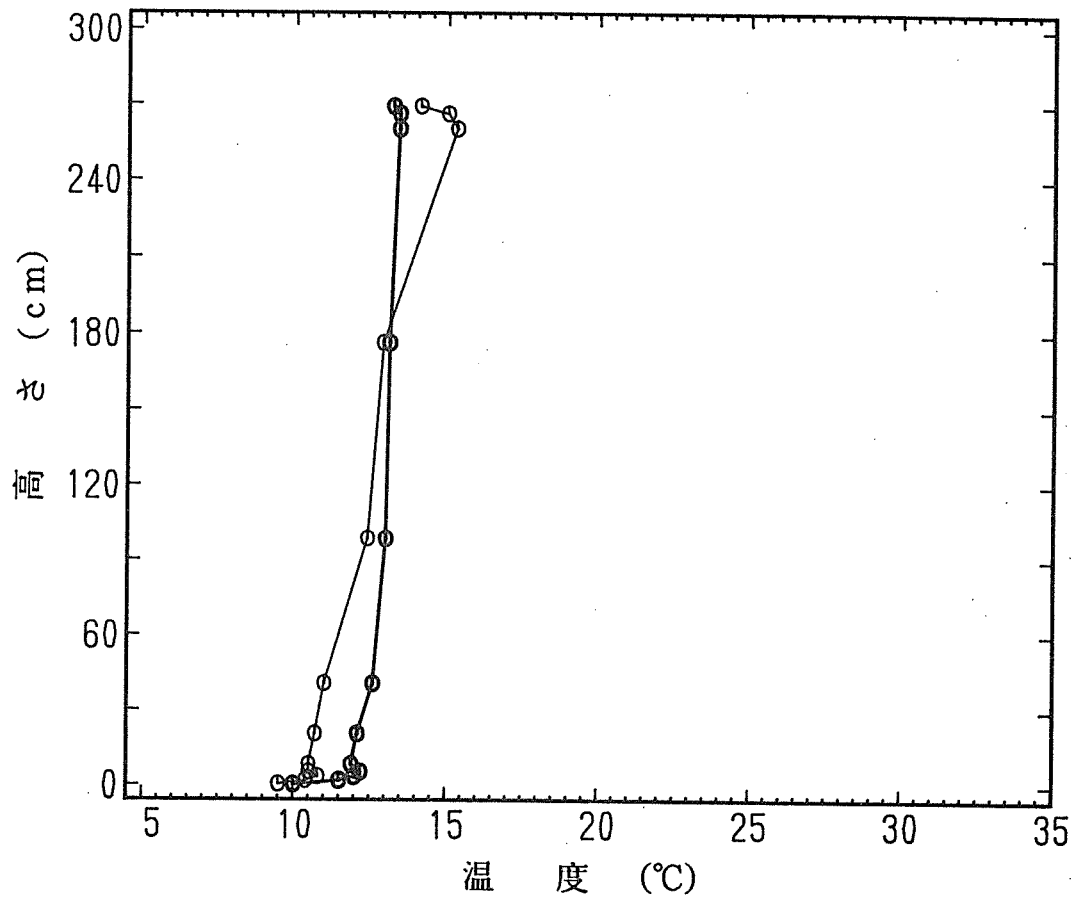


図5. 1. 12 RC造校舎内の1階廊下(細線)と2階廊下(太線)における垂直温度分布(1990年3月1日12時)

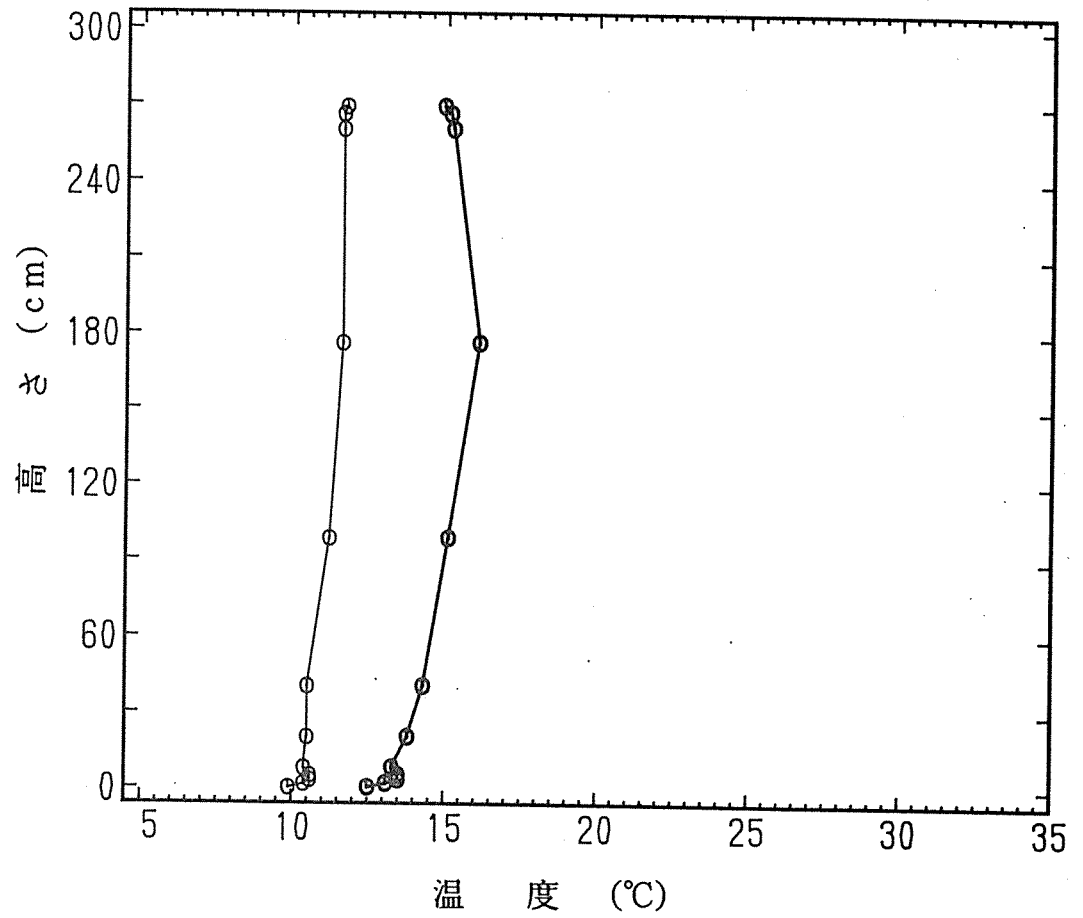


図5. 1. 13 木造校舎内の1階廊下（細線）と2階廊下（太線）
における垂直温度分布（1990年3月1日12時）

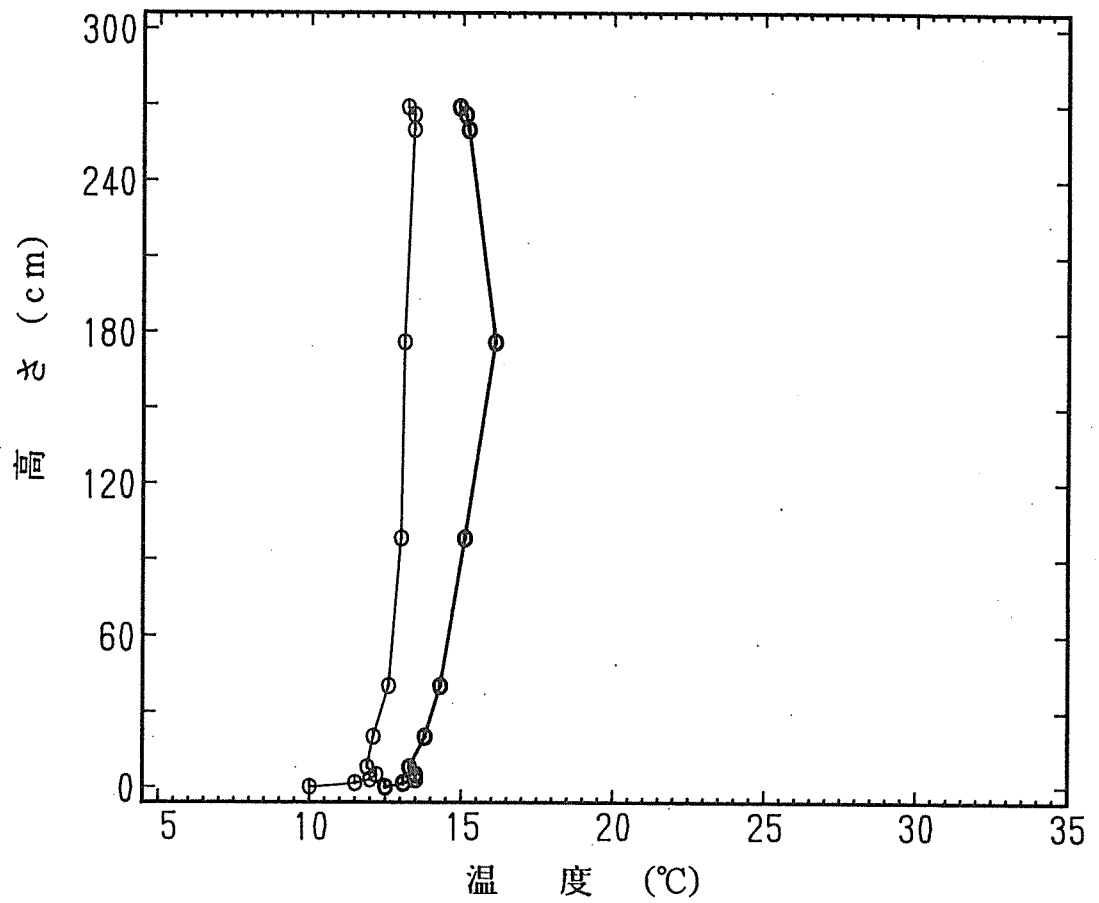


図5. 1. 14 木造校舎内2階廊下 (太線) とRC造校舎内2階廊下 (細線) における垂直温度分布 (1990年3月1日12時)

5. 2 温湿度環境からみた木造校舎とR C造校舎の比較

5. 2. 1 はじめに

前回の報告¹⁾に述べたように、文部省は昭和60年から3ヶ年かけて学校施設の在り方について総合的な検討を行った。その結果として提出された提言をみると、施設そのものの在り方に対して従来になかった積極的ともいえる態度に文部省が旋回したと評価できる²⁾。また、文部省大臣官房文教施設部はその提言の解説において「多目的スペース等では内装に木質材料等を使用することも質的向上のために検討したい」と述べている³⁾。また、国産材の利用拡大を重要課題とする農林水産省の意向ともあいまって、文部省は学校施設、教育研修施設への木質の利用促進策を講じており、この間、純木造の校舎が都市部をのぞく全国に建築されだし、昭和60年から63年の間に500m²以上の規模の木造校舎が全国に85校建築された⁴⁾。

学校教育においては、校舎・教室内での学習、作業が児童生徒の過ごす時間の大部分を占め、その環境の整備は教育上第一義的課題である。このため「学校環境衛生の基準」（以下「環境基準」と称す）が定められ、環境衛生の維持、改善のめやすになっている。しかし、学校教育現場における温湿度環境の実態は全くといってよいほど明かではなく、しかも、1年間を通した実測例は皆無に等しい。

前回の報告¹⁾に述べたように、筆者らは比較的温暖である愛知県岡崎市に位置するRC造校舎を対象にして1年間の校舎内温湿度を実測調査し、検討した。その結果、就学時間内において冬季、夏季ともに「環境基準」を満たさない時間の割合は全体のほぼ1/3にもものぼることが明かとなった¹⁾²⁾。これ自体重要問題である。今後さらに実証データを蓄積して、改善のための基礎データとして役立てていく必要がある。

近年建設された木造校舎では、今のRC造校舎にくらべて温湿度環境がどの程度異なるのか改善されたのかを把握しておくことは木造校舎建設の方向を決定づける一つの因子である。また、木造校舎は今後さらに増加するものと予想でき、教育効果という側面からの基礎的研究が重要となる。

学校建築物は通常の住宅と同様に基本的には自然気候依存型の室内気候調節を行っている。そのために自然条件を最大限生かすように教室を南面にならべて太陽に正対させて採暖を考え、廊下を北側において校舎北面からの寒気の前室のような役目を持たせるなどの配置を採用している。しかし、自然条件を活かし、かつ、冬季に開放型ストーブによって暖房したとしても、現状では教育環境として適当な温熱環境は実現しにくく、厳しい状況であると思われる。また、学校建築に対する付帯設備は、明治、大正期から現在にいたるまであまり考慮されてきておらず、薪、石炭ストーブが石油ストーブに変わってきた程度でしかない。ただ

し、人工的な環境調節にたよることが好ましいとは考えないが、最低限の調節は必要である。

本報告では、総合的な教育環境をバランスよく整えるための一環として物理的環境の中でも温湿度環境に焦点を絞り、木造校舎とRC造校舎とを詳細に対比して検討し、校舎内環境と学校設備の質の向上のための指針を得ることを目的とした。

5. 2. 2 方法

(a) 対象とした校舎

対象とした校舎は1989年7月に竣工した木造2階建校舎ならびに1968年に竣工されたRC造2階建校舎である。詳細については、5. 1. 2 (a)ですでに述べたが、同一敷地内に木造校舎とRC造校舎とが東西1列に並んでいるという特徴がある。

木造1階教室は職員室や保健室等に利用されており、2階部分は普通教室と音楽室として利用されている。

(b) 温湿度の測定方法

校舎内の温湿度の測定方法は5. 1. 2に記載した通りである。

床下とその上の室内の温度測定には自記温湿度計に加えて、ハンディタイプデータ収録装置（安立計器製AM-7001）を用いて1時間毎に自動測定した。

5. 2. 3 結果および考察

(a) 温湿度の年変動

結果はすでに5. 1. 2項において示した。

当校は海拔157mの高さの山間部に位置し、夏季の気温は岐阜市と高山市の間になる。8月の日最高気温は30℃をわずかに超え、日最低気温は21℃、日平均気温は約25℃であり、中部地区の都市部に比べて涼しい。また、冬季には真冬日は観測されなかった。このように、当校は気候的には厳しくなく、むしろ気候的に恵まれていると言えよう。

(b) 校舎内の温湿度の年変動

図5. 2. 1に外気ならびに木造、RC造校舎1階の教室内の日平均気温の年変動を示す。図5. 2. 2には1階廊下の温度の年変動を示す。図5. 2. 3には1階教室の日平均気温の年変動を示す。図5. 2. 4には1階廊下の日平均湿度の年変動を示す。いずれの図においても(a)は外気、(b)は木造校舎、(c)はRC造校舎における結果である。

室内の温熱環境は、その部屋の断熱性能や建物全体の熱容量など基本的性能に支配されるが、実際に使用している状態では、窓や扉の開け閉めやストーブの使用など快適にするための人為的な作用が含まれるため、ハード面だけによって決定される性能のみによってその室内の環境が決定付られるのではない。しかし、

断熱性能や気密性能などの基本性能によって人為的に調節される速度や限界が異なり、その室内の快適性も異なってくる。

対象としている建物は住居ではないため、夜間や早朝よりも日中の8時から16時までの時間範囲における環境が問題となる。しかし、日中に形成される温熱環境といえども前日の余熱等の影響が考えられるため、24時間全てを対象にする必要がある。この点を考慮し、以降の議論では場合に応じて全日を対象としたり、就学時間帯である8時から16時に限る場合などがある。

(c) 夏季における教室内の不快指数の変動

夏季の教室気候を見るために、温度と相対湿度から不快指数を求めた。

図5. 2. 5に7月から9月までの1階教室における不快指数の変動を示す。

不快指数(DI)は有効温度(ET)の一部を数式化したものであり、風速の小さい室内を対象としてつくられている⁵⁾。算定するために必要な要素が少ないことから応用範囲は狭いといわれているが、夏の蒸し暑さを評価するのに便利であり、しばしば用いられる。

DIは70のとき10%、75のとき50%、80のときには全員が不快となる指数である。DIが65~75の範囲に入っておれば快適であると判断できる。ただし、夏の高温多湿の環境に馴化している日本人の場合には不快となるパーセンテージが異なるとの指摘もあるが⁶⁾、温湿度環境の比較には便利な指数である。

表5. 2. 1には1階教室を対象として不快指数を4つの分級に分け、それぞれに含まれる割合を月別に示した。表5. 2. 2には就学時間帯である8時から16時に限って、不快指数の各分級それぞれの出現割合を示したものである。

当校は山間部に近く、夏は都市部に比べて比較的涼しいことはすでに述べた。外気の不快指数が75を超える割合は22～38%であり、8時から16時の日中だけに限ると29～46%と大きくなる。

夜間や早朝では気温の低下のために、屋外での不快指数は小さくなるのは当然であるが、校舎内では状況が異なる。すなわち、校舎内では日中だけよりも夜間や朝を含めたほうが不快指数70未満の快適域にはいる割合が少なくなる傾向にある。これは夕刻以降になっても不快指数は小さくならず、夜半にわたって大きな値を維持し続けていることを意味している。このことはRC造校舎内の教室において顕著であり、不快指数75～80である割合は、日中では27～56%であるのに対して全日を対象とした場合には28～63%といずれの月においても増加している。これは熱容量の大きなRC造校舎の特徴であろうと思われる。

就学時間帯について教室内の不快指数が75を超える割合を比較すると、7月では木造教室で38%、RC造教室で50%であり、RC造の方が不快である時間の割合が多いが、9月では逆に木造の方が多く、木造は44%であるのに対しRC造では29%である。また、8月では窓を閉めきった状態におかれていると

いう特殊性はあるが、両者はほぼ等しい。ただ、不快指数70未満の快適な時間の割合は木造の方がやや多い。

室温が夏季に30℃を越すことはまれであったが、不快指数から判断すると就学時間内の30%~60%は不快な状態にあるといえる。

なお、今回は2階教室についてのデータは得ていないが、RC造校舎の屋上への日射の影響が考えられるため、熱容量の大きなRC造教室と木造校舎と間に顕著な違いが見いだされる可能性がある。この点は今後の課題として残された。

(d) 就学時間内における教室内気温

住宅とは異なり、学校校舎は夜間には使用しない。そこで、夜間や早朝を除外して考えるために8時から15時の就学時間帯に限り月平均気温を求めた。表5. 2. 3に校舎内1階ならびに外気の月平均値を示す。表5. 2. 4には校舎2階の冬季についての結果を示す。なお、12月から3月までは暖房設備として灯油ストーブを各教室内で使用し、かつ窓の開閉頻度も少なくなるため、室温形成に対して設備的因子が支配的となるが、他の月では外的因子に左右される。

月平均気温の最低値はいずれも1月に記録され、木造校舎1階の職員室の平均気温は11.4℃となっているが、木造2階教室の2月の値を除くと他は全て10℃以下の状態になっている。

教室についてみると、最低値はRC造2階で1月に記録され、7.3℃であっ

た。廊下の気温はさらに低く、最低値は木造廊下で1月に記録された。その値は5.4℃であった。冬季の木造校舎1階においては室温が高く、かつ、廊下の気温が低いため両者の差が大きくなっていることがわかる。

児童は大人とは違って机上高も低く、床に近い位置にいる。また、教室の床に座って作業する児童も多く、床付近の気温に特に注意が必要である。冬季の床上10cmでの気温が10℃以下であることは、教育環境としては適当でなく、快適性の議論以前の問題であろう。

従来の労働環境についての報告によると7)、第2次大戦後の暖房の不十分な時代に冬の工場の平均気温と軽作業女子労働者の作業中の生理機能の関係を調べた結果、室温10℃以下では皮膚温は低く、血清クロール量も50%以上の人で減少しており、また、室温が10℃以下になると50%の人に血清屈折率の増加が認められたとされている。室温10℃以下という温度は人体の生理機能が変化してくる低温であり、労働安全衛生法の事務所衛生基準規則でも冬期には10℃以下の事務所は暖房が必要なことをうたっている。また、5.1.4項において述べたように、「学校環境衛生の基準」においても冬期では気温10℃以上が望ましいとされ、これが指導基準とされている。

このような低温下では児童の着衣量が増え、結果として活動的では無くなることが予想され、教育環境として好ましくない。

冬季において木造校舎とRC造校舎の気温を比較すると、1階教室では約3.5℃の差、2階教室では約1.9℃の差があり、木造教室の方が暖かく、より好ましい温度に近づいている。

以上のように、木造校舎では冬季の月平均気温は約10℃か、それ以上であるのに対して、RC造校舎の教室では10℃を下回っている。各教室ともに同じ灯油ストーブを使用しているため、暖房条件には大きな違いはない。このような暖房条件では木造校舎内の教室のほうがRC造校舎内の教室よりも室温に関しては生理機能的に好ましいと考えられる。ただし、両タイプの校舎ともに室温は低く、快適性以前の問題である。

(e) 木造とRC造校舎内教室ならびに外気の気温の日較差

木造校舎内、RC造校舎内それぞれ1階の教室と外気の日較差ならびに外気日較差に対するそれぞれの比の月別平均値を表5.2.5に示す。冬季の2階教室の日較差と外気日較差との比を月別に表5.2.6に示す。

外気の日較差は7.6℃から11.4℃の範囲にはいり、3、4月の春先と秋の10月に大きく、10℃を超える。年間の平均は8.9℃であった。

木造教室の日較差は7月の2.6℃から1月の6.3℃までの範囲にはいり、外気の日較差より幅がせまい。日較差の年平均値は4.3℃となり、外気の日較差にくらべて54%に小さくなっている。

一方、RC造教室内では日較差は8月の1.6℃から3月の6.2℃の範囲にはいり、平均4.1℃となった。年平均としては外気日較差の約50%となり、木造教室よりはやや小さいが、大差はない。

木造教室とRC造教室の日較差の大小関係みると、季節によってそれが逆転することがわかる。すなわち、夏と冬では木造のほうが日較差が大きく、春と秋には逆にRC造の方が大きくなる。

8月や7月の下旬は他の月にくらべて特別な状況におかれる。すなわち、夏期休業中のために窓を一日中閉めきった状態におかれる。このような状況下では、室温変動は熱容量の大きさ等の建物本来の熱的性能に大きく左右されることになる。熱容量の大きなRC造校舎では教室内の日較差が8月には1.6℃と極めて小さく、RC校舎の教室内の気温は外気温の日較差の16%しか変動しない。一方、木造校舎では0.34となり、RC造校舎の2倍以上に室温は変動する。

外気の日較差との比が最大となる月は、木造教室内では冬季の12月～翌年2月であり、1月では0.84と特に大きくなっている。一方、RC造教室内では木造のような大きな比にはならないが、やはり冬季の11月～3月が全体としては相対的に大きい。ただし、木造教室ではその比が特に大きい月は12、1月であるのに対し、RC造教室ではその前後の11月や3月において大きく、木造教室との間にずれが認められる。

冬季について1階教室と2階教室とをくらべてみると、木造校舎については明確ではないが、RC校舎では2階教室の方が日較差は小さく、その差は平均1.6℃であった。

当校では12月から翌年3月までは灯油ストーブを使用して暖房している。このため、12月から3月までの室内の日較差とそれらの月以外の暖房をしていない月の日較差とは意味が異なる。暖房していない時期では、日中には適度に窓を開放して通風を促したり、あるいは児童の出入りのための扉の開け閉めが比較的頻繁に行われ、このときに外気が流入して室温が形成される。しかし、冬季の暖房時期には窓を閉めきった状態が比較的長く続き、室温は暖房に依存して形成されることになる。

木造教室内の日較差は暖房によって12、1月に大きくなるが、熱容量が小さくしかも断熱性の良い壁で囲まれている木造教室内では、暖房装置からの暖気によって壁面が暖まりやすく、ストーブの点火した後、室内周壁の温度の上昇速度が大きいため短時間の間にある一定の室温に到達する。一方、RC造の教室では壁体の熱容量が大きく、また、壁体の熱伝導率も大きいので木質壁にくらべて壁温の上昇速度は遅い。早朝にはコンクリート壁面の温度は冷えているため、ストーブによって暖まった暖気は周壁や天井で冷やされ、冷やされた空気は降下し、結果として室温の上昇速度は木造教室にくらべて遅くなる。室温の最高気温も木

造ほどには上昇しないことになる。このようなことからストーブを使用する冬季にはRC造教室の日較差が木造教室にくらべて小さくなる。ただし、別項目において述べるように、冬季における室内気温の最低値が木造のほうが高いことを考えると、校舎の熱容量の大きさだけでなく、校舎ならびに教室の気密性能、換気率について、壁内を含め1階と2階をあわせた校舎全体の暖気の循環を考慮した検討をする必要がある。

(f) 廊下の気温について

冬季に暖房を使っている場合は教室内の気温は高くなっているが、廊下には暖房がはいっていないために教室内の気温と廊下の気温とは相当な違いが予想される。従来では、廊下の役割は外気と教室との間の気温のクッション的なものとして考えられておらず、熱環境を考える対象としては置き去りにされている感がある。また、学校教室の扉は一般家庭などとは異なり、頻繁に開け閉めすることが特徴であり、この際に廊下の冷たい空気が教室内に入り込み、特に床表面間際の極めて低い部分に寒気が漂うことになり、足元が寒くなって不快感をおぼえることになる。また、室内全体が暖房によって快適な状態になっていたとしても、廊下気温が低ければ、廊下への出入り口付近の児童にとっては出入口のすきま風によって寒さを感じることになり、好ましい状態にあるとは限らない。

表5. 2. 7は1階における教室内外気温と廊下の気温との差を月ごとに平均し

たものである。

教室内の気温と廊下の気温との差の1年間にわたる平均値は、木造では2.3℃の差、RC造では0.2℃の差である。RC造校舎では差がほとんどないが、木造校舎内の教室温と廊下気温との差は約2度もある。

月別にみると以下のとおり。6月から9月の夏季では室内気温と廊下気温とは似た値を示す。夏季では窓や扉を開放するためであろう。

12月～3月の冬季では、木造教室とRC造教室とではかなり異なった傾向にある。すなわち、木造1階教室と木造1階廊下との温度差は約5℃もあり、教室内の気温のほうが高い。木造教室の気温は平均値としても10℃を超えている。一方、RC造では教室の気温と廊下の気温とはほぼ等しく、1月には教室内気温は月平均値として6.5℃と低い。

冬季においてはRC造校舎の1階では教室、廊下ともに低い気温であるが、木造校舎1階では教室内で10℃以上であるのに対して廊下では気温が低く、5℃程度の差があり、廊下の低温の教室気温形成への影響が問題となろう。

(g) 廊下気温の日較差

1階廊下について木造ならびにRC造校舎の日較差を月別に表5.2.8に示す。

廊下については冬季に暖房を使用しないため、廊下の日較差は教室のそれにく

らべて年間を通して比較的安定した値となる（表5. 2. 5と表5. 2. 6を参照）。RC校舎の廊下における日較差の年平均値は、8月の1. 8℃という小さい値を除けば2. 4℃となり、ほぼ一定値となっている。この値は教室の年平均日較差より約60%ほど小さい。外気日較差に対する比も平均0. 28であり、ほぼ一定している。

木造校舎の廊下については、年平均3. 7℃の日較差があり、教室の日較差の約90%の大きさである。外気日較差に対する比は平均0. 41となるが、RC造校舎の廊下の0. 28にくらべて大きい。特徴としてはいずれの月も例外なくRC校舎よりも木造校舎の日較差のほうが大きいことである。教室ではこの大小関係が季節によって逆転したが、廊下では対照的である。

1ヶ月間窓を閉めきった状態におかれる8月の日較差はRC校舎では1. 8℃と小さく、同月の教室での値1. 6℃に近い。なお、同月の外気日較差に対する比は0. 19となり、外気気温の変動の19%しか変動せず、一日中ほぼ一定値に近い状態にある。

一方、同月の木造校舎での値に注目すると、RC造校舎のようには小さくならず、ほぼ年平均値に近い3. 9℃である。木造校舎では窓を閉めきった状態でも外気温に追従して室温が変動しやすく、日常的に窓の開閉を行っている場合との差は現われてこない。

教室では晴天時の日中に南窓からの日射の影響のために気温があがると予想されるが、廊下では直射日射の影響は無視できる。8月の日較差を教室と廊下についてくらべてみると、月平均値としては木造、RC造ともにほとんど差がない。したがって、校舎南側に面している教室においても日射の影響は少なく、カーテンによって日射が遮断されるためであろう。したがって、8月の気温の日較差は主としてその校舎の熱容量と断熱性能とが反映されたものといえる。

RC造校舎では熱容量が大きいため、暖まりにくい、一旦暖まってしまえば逆に冷めにくい。夕刻に外気温が下がっても窓を閉めきって外気の流入が少ない状態にあると室温は日中に形成された値を維持し続ける。木造校舎においては室温の変動の程度が他の月と同様であることは、壁体の熱容量の違いに加えて、RC造校舎では土間床形式であるのに対し、木造校舎では床下があり、夜間に床からの冷却効果があることを示唆している。

8月の日較差については以上のとおりであるが、他の月では窓の開閉による外気の流入、また、冬季の教室では暖房器具の使用によって、室温が左右されるため、教室と廊下では日較差が異なる。しかし、すでに述べたように暖房をしない廊下では年間を通じて日較差は安定しており、特に、RC造においてはこの安定傾向が著しい。したがって、廊下における日較差の大きさは、その校舎内気温の外気温追従性、あるいは、室温維持性能を示す目安になると考えられる。このよ

うに考えると、木造校舎の日較差はRC造校舎の約1.5倍あり、木造校舎は外気温に左右されやすく、RC造にくらべて1.5倍の変動をするといえる。なお、これは開口部を閉めきった校舎1階部分のみに当てはまると思われ、2階については今後の検討が必要であろう。

以上のように建物自体の温熱的性能として熱容量の大きいRC造校舎のほうが外気温の変動に追従しにくい、実際に使用している状況では事情は異なり、RC造校舎の方が室温の変動幅が小さいとは言えない。

(h) 就学時間帯における教室内湿度

就学時間帯の8時～15時に限って、教室内と外気の月平均湿度を表5.2.9に示す。表5.2.10には冬季の2階教室について示す。

月平均湿度に関しては木造とRC造校舎との違いは明かではなかったが、いずれも外気の湿度よりは低く、室内では湿度調節されていることがわかる。

(i) 校舎内湿度の日較差

表5.2.11には1階教室内の湿度日較差を、表5.2.12には2階教室内の冬季の湿度日較差を、表5.2.13には1階廊下での湿度日較差を示す。いずれの表にも外気日較差に対する比も示す。

外気の1日における湿度変動は大きく、湿度日較差として19%から34%あるが、教室内では外気日較差に対する比が年平均として約50%となり、湿度調

節されていることがわかる。

木造教室とR C造教室とを月別に比較してみると、7月と8月を除いて他の月はすべて木造教室のほうが湿度日較差が小さいことが特徴としてあげられる。この状況は冬季2階教室でも同様であった。夏期休業の8月には窓等を閉めきっており、R C造教室の室温の変動は極めて小さく木造の約半分であったが、湿度の変動もR C造教室では木造の約60%と小さい。相対湿度については木造教室とR C造教室との間で差が認められなかったが、湿度日較差については明らかに木造の方が小さくなっている。この結果から木造教室ではR C造教室よりも調湿作用がはたらいっているものと判断できる。

1階廊下では木造の湿度日較差のほうがR C造廊下の日較差よりも大きい。これは、廊下での気温の変動に依存していることが考えられる。すなわち、木造廊下の気温日較差はR C造廊下の年平均として約1.5倍あり、木造廊下の気温は変動しやすい。たとえ絶対湿度が同じでも気温が変動すれば相対湿度も変動することになる。

(j) 冬季における室内気温の時刻別変動

学校教室では、夜間には扉や窓を密閉し、その中では人間活動は行われぬ。一方、朝は扉や窓を開放して外気を室内に導入し、あるいは、ストーブを点火して暖をとる。午後4時には児童は下校し終わり、校舎は密閉された状態で翌日ま

でおかれる。冬季においては前日の暖房によって上昇した室温が翌日もある程度保温されておれば好ましい。

図5. 2. 6と図5. 2. 7は、それぞれ1階と2階の教室と外気について冬季における気温の時刻別平均値を求め、月別に示したものである。

1月は日の出が午前7時前であり、この頃に外気の日最低気温となる。

木造校舎とRC造校舎の教室気温はともに児童の登校前の7～8時頃に最低温度を示す。一方、最高温度を示す時刻は木造とRC造とではずれがあり、RC教室では13～14時に最高温度を示すのに対して木造では15～16時に最高温度となり、木造教室のほうが室温の降下時期が遅れる。この傾向は1階と2階とも共通に認められた。また、RC造教室1階には2ヶ所で温湿度を測定しているが、いずれも同様な傾向を得た。外気温が最高値に達する時刻は14時頃であり、木造教室内の最高気温の記録時刻は1～2時間遅れる。このような遅れがある例は他にも報告されている8)。

木造校舎の熱容量はRC造校舎のそれにくらべて小さいために、熱しやすく冷めやすいと考えるのが一般的である。しかし、上記の結果は逆であり、RC造校舎の方が温度の降下し始める時刻が早く、興味深い。

図5. 2. 8には木造教室とRC造教室の室温差の時刻変動を示す。両教室の室温差の時刻変動については、2階の教室では始業前の差は小さいが、授業開始

後から差が徐々に拡大し、午後6時頃にピークとなり、その後、翌日の朝まで差は減少する。これは室温の最高値を示す時刻のずれに伴うことである。1階教室ではそのような傾向は明瞭ではない。

以上に述べたような最高気温を呈する時刻が木造教室のほうが遅れるという結果は、前項においても述べたように、校舎の熱容量の違い以外の他要因を考えなければ説明がつかない。

ストーブを使用しなくなった4月になると、2階教室ではこの傾向が多少残っているが、最高気温を記録する時刻は早くなり、外気の温度変動パターンに一致してくる。このことを考えると1階部分での暖房の影響が2階の室温形成になんらかの関係があるものと考えられる。すなわち、木造校舎1階では床には断熱を施していないが、木造2階では構造上、床下への熱の逸散は少なく、むしろ1階天井付近の暖気が1階天井裏を暖め、その暖気が2階の床あるいは壁体内を暖めていることが考えられる。1階天井裏には換気孔は設けられているが、その換気孔は直径50mmのパイプであり、換気率は非常に小さいことが予想され、外部からの寒気の流入による気温低下は極めて小さいはずである。また、木造2階部分は、児童が帰宅した後では熱源が全くないはずであるのに室温が上昇しているが、この原因は上述した原因のほかには考えにくい。

もう一つの要因としては、RC造教室には南壁部に換気孔が設けられているが、

この換気口の影響が考えられる。しかし、別途試験による換気回数（ n ）の測定結果では、RC造教室においては $n = 0.5$ 回/時と換気率は小さい。ちなみに、木造教室での結果は $n = 1.5$ 回/時程度であった。換気率には3倍程度の違いがあるが、RC造教室のほうが換気率が小さいため、時刻別温度変動パターンの形成に対する寒気の流入の影響は少ないものと考えられる。

本項における結果をまとめると以下の通り。

- 1) 夜間の気温は1階と2階ともに木造教室の方が高い。
- 2) 夜間における室温降下量は木造教室の方が大きい。
- 3) 始業時直前では木造校舎内の教室とRC造教室の室温が近くなるが、その後の暖房によっては木造校舎の方が室温の上昇量は大きく、また、到達する最高室温も高い。これにともない、木造教室の室温の日較差はRC造教室の日較差はよりも大きくなる。
- 4) 木造校舎2階の教室では最高室温を記録する時刻は15～16時であり、一方RC造校舎内の教室では13～14時であり、これは外気が最高気温に達する時刻に近い。
- 5) 2階の教室では、木造とRC造との室温差は17～18時に最大となる。ただし、ストーブを利用しない4月では最大となる時刻は早くなる。

(k) 教室内の気温変動幅

就学時間帯では、扉や窓の開閉によって外気が流入することや、ストーブの点火、児童の身体から発熱によって、室内気温が左右されるため、部屋の性能による違いが明確にはならないため、ここでは冬季に限って就学時間帯とそれ以外の時間帯に注目し比較した。

表5. 2. 1 4は夕刻5時から翌日の朝7時まで1時間おきについて最低、最高、ならびに温度の変動幅を木造教室とRC造教室それぞれ2階について月別に比較したものである。

夕刻から翌朝までの温度変動幅は3月を除いて木造教室内のほうがRC造教室内より1.3～1.4倍大きい。木造建築物は熱容量が小さいために外気の温度に左右されやすく、このため室温変動率が大きいというのが一般的認識であり、この認識は上記の結果と一致する。しかし、ここで注目すべき点は、最低温度、最高温度ともに木造校舎のほうが3度以上高いことである。

室温の形成には室温の外気温への変動追従性とは別に、次に述べるように、暖房による影響が大きいことが考えられる。

対象とした月は暖房を使用している。日中の暖房によって教室全体が暖まるが、木造校舎の方が暖まりやすく、RC造校舎内の教室よりも温度は高くなる。夜間や明け方の外気の冷え込みに追従して教室内の室温が低下するが、その低下する

量は熱容量の小さな木造校舎のほうが大きい。しかし、さきに述べたように、日中に到達する最高室温は木造のほうが高く、夜間の低下量を差し引いても木造教室の方が室温自体は高くなっている。

就業時間帯に注目したものが表5. 2. 15である。1～3月の範囲で朝8時から16時までの毎時間を対象に最低、最高、ならびに温度の変動幅を木造教室とRC造教室それぞれ2階について比較している。

就学時間帯では、扉、窓の開放による寒気の流入、ストーブによる暖気の発生や児童身体からの発熱などによって室温変動の様子は夜間とは異なる。

木造のほうがRC造教室よりも室温変動幅が大きいことは夜間と同様であり、その比率は夜間より少なく、木造の方がRC造よりも1.1倍大きい程度である。特徴的なことは、室内の最低気温は3月を除いて木造とRC造とではそれほど違いがないが、最高気温はRC造にくらべて木造教室のほうが2℃程度高いことである。

木造教室の室温はRC造教室よりも日中において暖房によって高められ、夜間では木造の方が温度降下幅は大きい。一方、RC造では日中の温度上昇幅が木造ほど大きくなく、このため夜間の温度降下幅が小さくても早朝の気温は木造よりも低くなる。特に、暖房によって天井付近の空気は急速に暖められ、30℃程度になるが、ストーブによって供給される熱量はそれほど大きくないとすると、熱容

量の小さい空気はたやすく暖められても、熱容量の大きなRC造校舎の壁体を十分に熱せられないままストーブが止められることになり、さらに、児童の帰宅前の掃除の時間等に窓から冷気が導入されることになる。一方、木造校舎では、熱容量の小さな壁体はストーブからの暖気によって暖まりやすい。

以上のように、木造教室はRC造教室に較べて室温変動幅は大きい、木造教室は最低気温、最高気温ともにRC造教室よりも高く、特に最高気温が相対的に高いことが特徴である。

冬季に2階に位置する教室を利用している児童にとっては、木造教室のほうがRC教室より室温に関しては快適であるといえる。ちなみに、気温の異なる部屋に移動したときには、0.3℃の温度差も区別できる場合があるともいわれている9)。

(1) 冬季における床表面温度

床表面温度の測定結果はすでに表5. 1. 6に示した。この結果から床表面温については、木造校舎とRC造校舎とでは明確な違いが見いだされた。その中で廊下の床温の特徴として木造1階部分での変動が大きく、かつ、温度も低い傾向にあった。

このような違いが生じる主たる理由として、周壁の熱伝導率や容積比熱の差のほか、土間床か揚床かという床構造の違いに起因すると考えられた。すなわち、

RC造校舎では土間床構造をしているが、木造校舎では揚床構造をしている。揚床構造では床下の温度に影響されやすいことが考えられ、この点に関して次項で取り上げて検討した。

(m) 床下温度と床表面温度

木造1階の教室を対象に床下気温、床表面温度、床上30cmにおける室温それぞれを経時的に同時に測定した。そもそも床温は床材の熱的性質と境界条件等が定まれば非定常伝熱理論によって求めることができるが、ここでは床面温度の形成を支配している主たる因子を探ることにする。

図5. 2. 9に床表面温度と室内気温との散布図を、図5. 2. 10には床表面温度と床下気温の散布図を示す。

室内では暖房によって室温が上昇するが、床温はそれに追従できないために強い相関はない(相関係数、 $R=0.68$)。一方、床下気温と床表面温度とはより相関が強い($R=0.89$)。

床下気温は一般に外気に較べて変動が少なく比較的安定しているが、それでも日中は気温の変動が大きい。そこで、朝方に記録される日最低気温をそれぞれについて求め比較した。

図5. 2. 11は室温と床温それぞれの日最低値の散布図、図5. 2. 12は床下気温と床温それぞれの日最低値の散布図である。

室温と床温との相関は強い($r=0.87$)が、床下気温と床温とはさらに相関が強い($R=0.97$)。この結果から、木造校舎1階の床温は、朝方には床下の気温によってほぼ決定付られていると考えてよい。当小学校は特に寒冷地に位置するのではないために床は断熱処理がなされていない。このため床下の気温の影響を受けやすいという結果となっている。

先に示した床面温度の測定例において1階廊下の床面温度がRC造1階廊下の床面温度にくらべて低い場合があるのは床下気温の影響を受けているものと考えられる。一方、RC造校舎は土間床のため外気に接している壁近傍以外では温度変動が少ないのが普通である。

以上のように床表面温度は床下の温度の影響を受けやすい。このことは床の構造がそう違わない2階の床にもあてはまると考えられる。ただ、2階の場合には床下ではなく、1階の天井裏となっている点が異なり、床表面温は天井裏の気温に左右されることになる。暖房を使用している時には、天井付近には30度以上の暖気が停滞するが、この暖気が2階の床温形成にはたしている役割は大きいと思われる。また、実測例においても木造2階の床温は相対的に高い温度であった。

(n) 教室内気温の垂直分布

教室内の気温の垂直分布の測定例はすでに図5. 1. 9～5. 1. 11に示した。床表面温度は先に述べたように木造の方がRC造より5度近く高い。また、

R C造校舎では温度傾斜が大きく、床表面温度が低かったにも関わらず天井付近では逆にR C造のほうが高い温度になっている。このため高さ1 m付近を18℃にして快適な温度に保つためには、木造では床付近の気温より2℃程度高めただけでよいが、R C造では6℃程度高めなければならない。一般に、室温の測定位置は75 cmから120 cmの範囲において測定することになっているが、R C造教室ではその高さの気温が適当な温度になっていたとしても足元は低温であることになる。

このような状況をみると温度快適性は木造のほうがすぐれているのは一目瞭然である。

なお、床表面温が木造の方が高い理由は、1階での暖房空気が熱源になっている可能性があるが、現時点では明かではない。天井裏に高さ60 cm程度の空間があるが、この空間を含めた木造校舎全体の熱的性質を調査する必要がある。

4. まとめ

最寒月の平均気温が約2℃、最暖月の平均気温が約25℃の比較的温暖な地域に位置する小学校校舎の温湿度をほぼ1年を通じて実測した。対象とした校舎の特徴は木造校舎とR C造校舎とが同一敷地内に、しかも、廊下が連続した状態にある。このため、1年を通じた温湿度環境の実態が把握できたと同時に木造校舎とR C造校舎の温湿度環境の綿密な対比が可能となった。なお、児童が足元で感

じる温湿度に注目したため、温湿度は床上10cm程度の床に近い位置で測定した。

得られた結果を以下に述べる。

1) 夏季における1階教室内の不快指数を、就学時間内の8時から16時までの範囲で1時間ごとに求めた結果、不快指数7.5以上の不快な状態の出現時間割合は30～60%であった。湿度日較差は夏季を除いて木造校舎1階の教室内ではRC造校舎1階教室よりも小さく、湿度変動は木造教室のほうが少ない。

2) 冬季12月から3月の8時から15時の間の月平均気温は、同じ灯油ストーブを使用しているにも関わらず、木造校舎内の教室については1階と2階ともに約10℃かあるいはそれ以上であったのに対し、RC造校舎内の教室では1階2階を問わず10℃未満であった。なお、防寒のための衣類を着用せずに10℃以下の気温の下に長時間いることは人体の生理機能に直接影響を及ぼすとされている。

3) 木造とRC造の教室の室温を比較すると、木造校舎内の教室の方が室温は高く、2階部分では月平均気温として最大3℃もの差が生じていた。また、1階部分ではそれ以上の差があった。同じ暖房器具を用いて暖房した場合には、木造校舎の方が室温が高くなり、より好ましい条件に近くなる。

4) 夏季において校舎の窓をすべて閉めきった状態においては、熱容量が大きく、

かつ、床下への熱の逸散が少ないために、RC造校舎1階の気温の変動は少ない。木造校舎では日常的に窓を開け閉めしている状況下と大差ない変動をした。

5) 校舎の温熱的性能としての外気温追従性は、年間をとおした廊下気温の日較差の比較によって明瞭となり、木造校舎はRC造校舎にくらべて室温変動幅は約

1.5倍あり、木造校舎はRC造校舎にくらべて外気温の日変動に追従しやすい。

6) 暖房期においては、木造校舎内の教室とRC造校舎内教室との間で室温が最高値に達する時刻にずれが生じる。木造教室では最高温度に達する時刻は15～16時であるが、RC造校舎ではそれよりも早く13～14時となる。夜間では木造校舎の室温の低下幅が大きく、校舎全体としての熱容量はRC造校舎よりも小さいことがうかがえる。

子どもの日常の学校生活からの正直な感想は、「木造校舎は暖かくて良い」ということであった。これは1日に何回となく木造校舎とRC造校舎の間を行き来して得られた実感である。校舎内の温湿度データを蓄積し、それを分析した結果、子どもの感想を実証することができた。これは、すきま風の多かった旧来の木造校舎のイメージとは全く逆である。

学校校舎には特別な場合を除いて空調設備は導入せず、今後も自然気候依存型建築であり続けるであろうが、自然気候への依存志向には木造校舎が柔軟に対処できるのではないかと思える。

謝辞

本調査のために校舎を提供していただいた上之保小学校校長山田麟二校長、ならびに、温湿度の測定に多大なる協力をしていただいた早川敏文教頭に感謝の意を表します。また、上之保小学校の先生方のご協力にお礼申し上げます。

文献

- 1)服部芳明、橋田紘洋：「住宅部材安全性能向上事業報告書 住環境に関する総合調査」、日本住宅・木材技術センター、1989年、pp261-300
- 2)橋田紘洋、服部芳明、小川正光：「温湿度環境からみたRC校舎内環境」、愛知教育大学教科教育センター研究報告、14、pp89-96 (1990)
- 3)文部省大臣官房文教施設部：「教育方法等の多様化に対応する学校施設の在り方について」、教育と施設、24、pp10-109 (1989)
- 4)小川正光：「住宅部材安全性能向上事業報告書 住環境に関する総合調査」、日本住宅・木材技術センター、1989年、pp301-307
- 5)田中俊六、足立哲夫、武田 仁、土屋喬雄：「新版 建築環境工学」、井上書院、1985年、p45
- 6)田中正敏、菊池安行：「近未来の人間科学事典」、朝倉書店、1988年、p345
- 7)三浦豊彦：「冬の寒さと健康 (第二版)」、労働科学研究所出版部、

1989年、p161

8)木口 実、今村浩人：「各種木造住宅の温湿度環境」、木材工業、43(3)、

pp117-122 (1988)

9)中山昭雄：「温熱生理学」、理工学社、1981年、p561

表5. 3. 1 不快指数の分級別割合 (%) (0時~23時)

月	木造1階教室				RC造1階教室			
	快適	やや不快	不快	かなり不快	快適	やや不快	不快	かなり不快
	70未満	70~75	75~80	80以上	70未満	70~75	75~80	80以上
7	16	48	36	0	7	32	60	1
8	19	17	62	2	8	28	63	1
9	17	39	44	0	31	40	28	1

月	外気			
	快適	やや不快	不快	かなり不快
	70未満	70~75	75~80	80以上
7	47	31	21	1
8	21	41	30	8
9	34	43	20	3

表5. 2. 2 不快指数の分級別割合 (%) (8時~16時)

月	木造1階教室				RC造1階教室			
	快適	やや不快	不快	かなり不快	快適	やや不快	不快	かなり不快
	70未満	70~75	75~80	80以上	70未満	70~75	75~80	80以上
7	19	43	38	0	10	40	50	0
8	19	19	58	4	8	34	56	2
9	21	34	44	0	34	37	27	2

月	外気			
	快適	やや不快	不快	かなり不快
	70未満	70~75	75~80	80以上
7	42	25	31	2
8	26	29	37	9
9	32	39	24	5

表5. 2. 3 就学時間帯（8～15時）における
校舎内1階ならびに外気の月平均気温

月	木造1階		RC造1階		外気
	教室	廊下	教室	廊下	
6	24.8	24.3	23.9	24.3	22.6
7	26.3	26.7	26.0	26.2	25.5
8	27.7	27.9	27.0	26.8	27.1
9	25.8	25.7	25.6	25.1	24.8
10	20.5	19.1	20.9	19.6	18.4
11	16.6	13.7	15.1	14.9	11.8
12	13.3	7.6	9.8	9.6	6.3
1	11.4	5.4	7.6	6.6	3.7
2	13.7	8.9	9.7	9.1	8.3
3	15.0	11.1	12.3	11.4	11.0
4	17.5	16.3	16.1	15.2	16.3
平均	19.3	17.0	17.6	17.2	16.0

表3. 2. 4 就学時間帯（8～15時）における
2階教室での月平均気温

月	木造2階教室	RC造2階教室
12	9.7	6.7
1	9.5	7.3
2	12.5	12.4
3	14.0	11.8
4	17.6	14.9

表5. 2. 5 1階教室気温と外気の日較差ならびに
外気日較差との比

月	日較差 (°C)			外気日較差との比	
	木造	R C造	外気	木造	R C造
6	3.0	3.4	7.9	0.41	0.44
7	2.6	1.8	7.6	0.38	0.27
8	3.4	1.6	9.5	0.34	0.16
9	3.4	4.4	7.6	0.49	0.59
10	4.0	4.7	10.2	0.40	0.46
11	4.1	5.3	8.8	0.51	0.63
12	6.0	5.0	8.6	0.77	0.60
1	6.3	4.3	7.6	0.84	0.60
2	5.4	5.0	8.3	0.73	0.63
3	4.9	6.2	10.4	0.64	0.69
4	4.0	3.9	11.4	0.47	0.34
平均	4.3	4.1	8.9	0.54	0.49

表5. 2. 6 2階教室気温の日較差と外気日較差との比

月	日較差 (°C)		外気日較差との比	
	木造	R C造	木造	R C造
1	5.5	3.2	0.72	0.42
2	5.3	4.1	0.64	0.49
3	5.4	3.6	0.52	0.37
4	4.6	2.2	0.40	0.19

表5. 2. 7 室内気温と廊下気温との違い (1階)

月	木造		RC造		外気	教室と廊下の差	
	教室	廊下	教室	廊下		木造	RC造
6	24.6	23.9	23.5	23.7	20.4	0.7	-0.2
7	25.7	25.9	25.9	25.4	23.3	0.1	0.4
8	27.3	27.3	27.0	26.4	25.5	0.2	0.5
9	25.2	24.7	24.1	24.5	22.7	0.3	-0.1
10	19.7	18.1	19.1	18.7	15.6	1.6	-0.5
11	16.1	13.2	14.0	14.2	10.4	2.9	-0.2
12	12.1	7.3	8.8	9.1	4.4	4.7	-0.3
1	10.3	5.1	6.5	6.3	2.4	5.1	0.3
2	13.3	8.7	8.8	8.8	6.8	4.7	0.0
3	14.0	10.3	12.2	10.8	8.8	3.5	1.3
4	16.3	14.8	15.1	13.9	13.1	1.5	1.3
平均	18.6	16.3	16.8	16.5	13.9	2.3	0.2

表5. 2. 8 1階廊下の気温の日較差と
外気日較差との比

月	日較差 (°C)			外気日較差との比	
	木造	RC造	外気	木造	RC造
6	3.7	2.5	7.9	0.47	0.32
7	3.4	2.3	7.6	0.45	0.30
8	3.9	1.8	9.5	0.41	0.19
9	3.1	2.2	7.6	0.41	0.29
10	4.1	2.7	10.2	0.40	0.26
11	3.0	2.9	8.8	0.34	0.33
12	3.5	2.6	8.6	0.41	0.30
1	2.9	2.3	7.6	0.38	0.30
2	3.5	2.5	8.3	0.42	0.30
3	4.4	2.7	10.4	0.42	0.26
4	4.7	2.3	11.4	0.41	0.20
平均	3.7	2.4	8.9	0.41	0.28

表5. 2. 9 就学時間帯（8～15時）における
校舎内1階ならびに外気の月平均湿度

月	木造1階		RC造1階		外気
	教室	廊下	教室	廊下	
6	68	63	66	72	72
7	67	60	70	74	70
8	65	62	63	68	70
9	67	68	63	72	76
10	58	63	47	61	65
11	57	65	59	61	73
12	51	64	58	60	74
1	54	61	55	56	71
2	58	64	60	65	78
3	53	51	56	50	64
4	60	56	64	57	66
平均	60	62	60	63	71

表5. 2. 10 就学時間帯（8～15時）に
おける2階教室での月平均湿度

月	木造2階教室	RC造2階教室
12	52	61
1	51	59
2	55	65
3	50	53
4	57	58

表5. 2. 1 1 1階教室内の湿度と外気湿度の日較差
ならびに外気日較差との比

月	日較差 (%)			外気日較差との比	
	木造	R C造	外気	木造	R C造
6	8.9	9.5	21.9	0.41	0.43
7	12.3	9.5	18.5	0.66	0.52
8	11.8	7.4	27.7	0.43	0.27
9	14.9	15.3	23.1	0.65	0.66
10	13.4	13.6	32.7	0.41	0.42
11	8.5	11.0	22.5	0.38	0.49
12	12.3	13.5	23.9	0.51	0.57
1	14.1	19.0	29.4	0.48	0.65
2	13.5	17.9	23.6	0.57	0.76
3	11.9	13.3	34.0	0.35	0.39
4	11.3	13.7	32.4	0.35	0.42
平均	12.1	13.1	26.3	0.47	0.51
標準偏差	1.9	3.4	4.9	0.11	0.14

表5. 2. 1 2 2階教室湿度の日較差と外気日較差との比

月	日較差 (%)		外気日較差との比	
	木造	R C造	木造	R C造
1	7.5	12.3	0.26	0.43
2	8.1	15.3	0.29	0.56
3	8.4	14.6	0.29	0.50
4	8.6	13.8	0.30	0.47

表5. 2. 13 1階廊下湿度と外気湿度の日較差
ならびに外気日較差との比

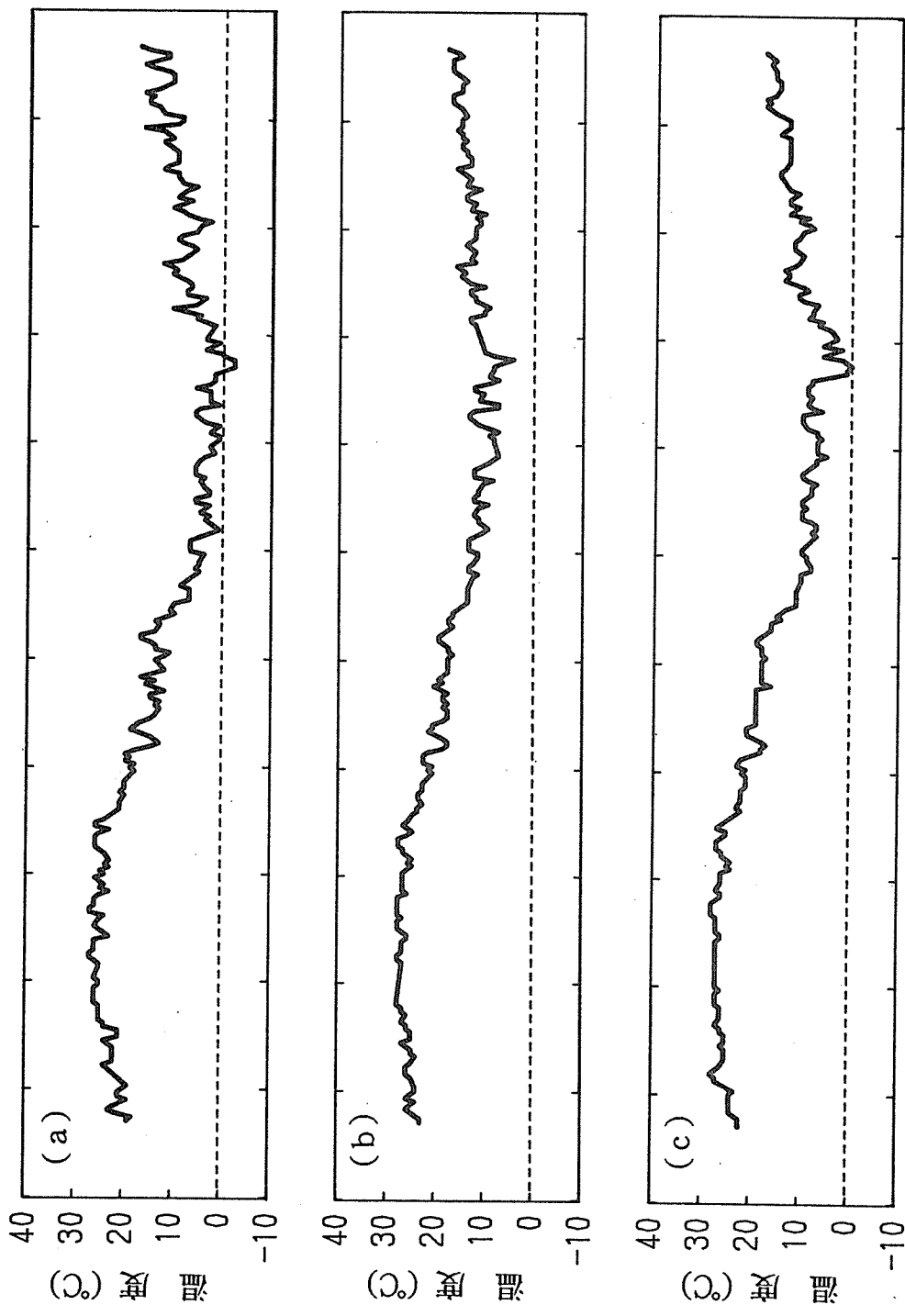
月	日較差 (%)			外気日較差との比	
	木造	R C造	外気	木造	R C造
6	11.0	8.6	21.9	0.50	0.39
7	13.2	10.3	18.5	0.71	0.56
8	13.0	8.9	27.7	0.47	0.32
9	17.4	14.8	23.1	0.76	0.64
10	17.2	14.7	32.7	0.53	0.45
11	11.3	11.3	22.5	0.50	0.50
12	15.4	12.6	23.9	0.65	0.53
1	12.4	10.8	29.4	0.42	0.37
2	18.0	13.5	23.6	0.76	0.57
3	18.8	14.9	34.0	0.55	0.44
4	17.9	14.8	32.4	0.55	0.46
平均	15.1	12.3	26.3	0.58	0.48
標準偏差	2.8	2.3	4.9	0.11	0.09

表5. 2. 14 木造とR C造2階教室室内室温変動幅の比較 (17時~翌朝7時)

月	木造2階			R C造2階			差の比 (木造/R C造)
	最低	最高	差	最低	最高	差	
1	3.3	14.6	11.2	2.6	11.1	8.6	1.3
2	6.5	19.6	13.1	6.4	15.9	9.5	1.4
3	7.0	19.1	12.1	3.1	16.0	12.9	0.9

表5. 2. 15 木造とR C造2階教室室内室温変動幅の比較 (8時~16時)

月	木造2階			R C造2階			差の比 (木造/R C造)
	最低	最高	差	最低	最高	差	
1	2.5	15.1	12.6	2.0	13.7	11.7	1.1
2	5.8	19.2	13.4	5.4	17.4	12.0	1.1
3	6.3	20.8	14.5	3.7	17.4	13.7	1.1



6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 月

図5. 2. 1 外気ならびに木造校舎、RC造校舎内1階教室に

おける日平均気温の年変動

(1989年6月～1990年4月)

(a) 外気

(b) 木造校舎内1階教室

(c) RC造校舎内1階教室

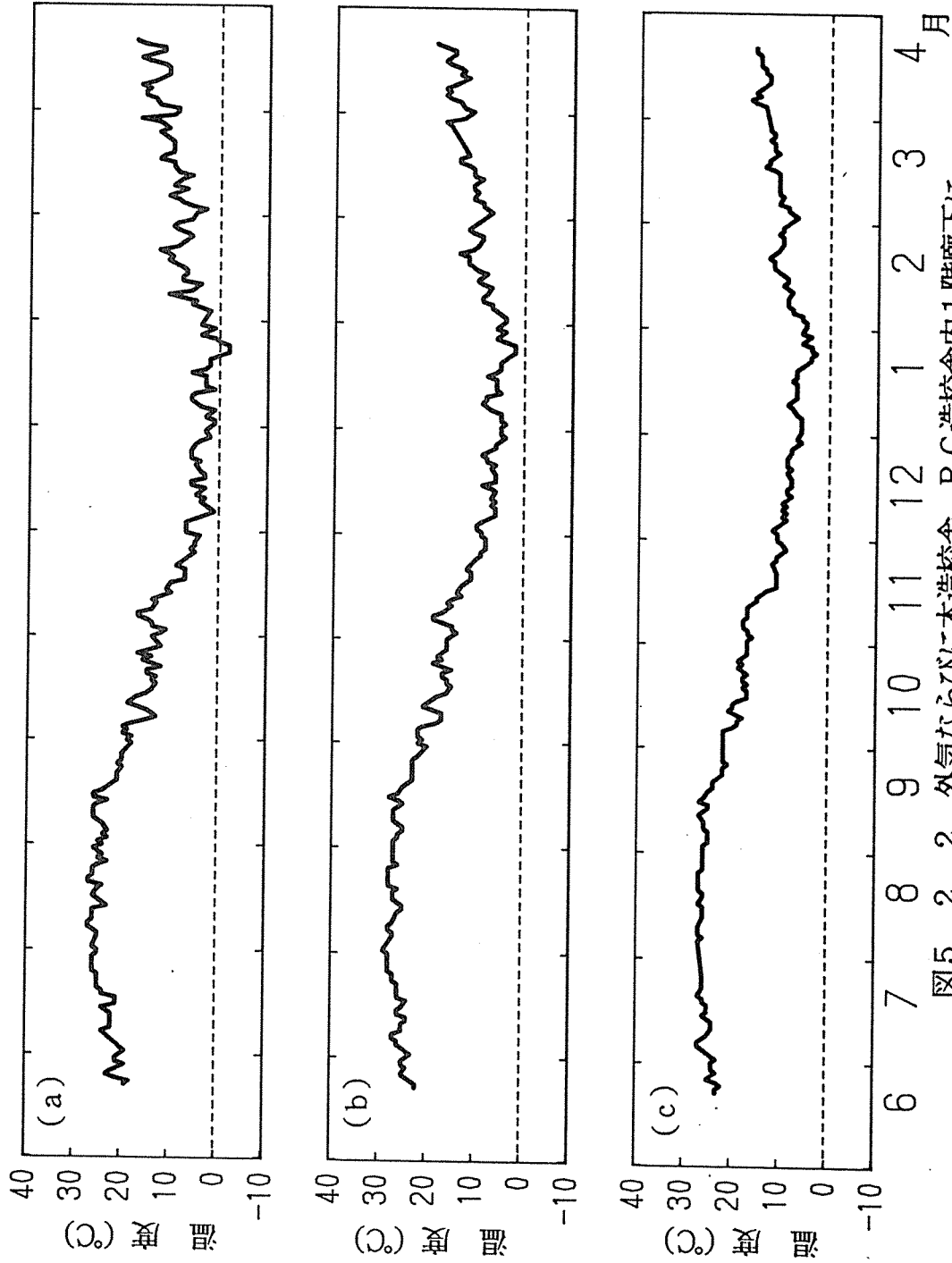


図5. 2. 2 外気ならびに木造校舎、RC造校舎内1階廊下における日平均気温の年変動
(1989年6月～1990年4月)

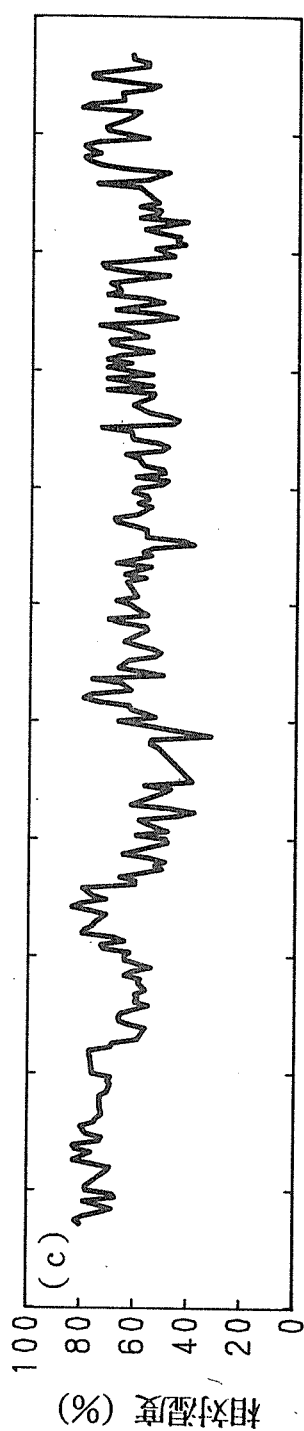
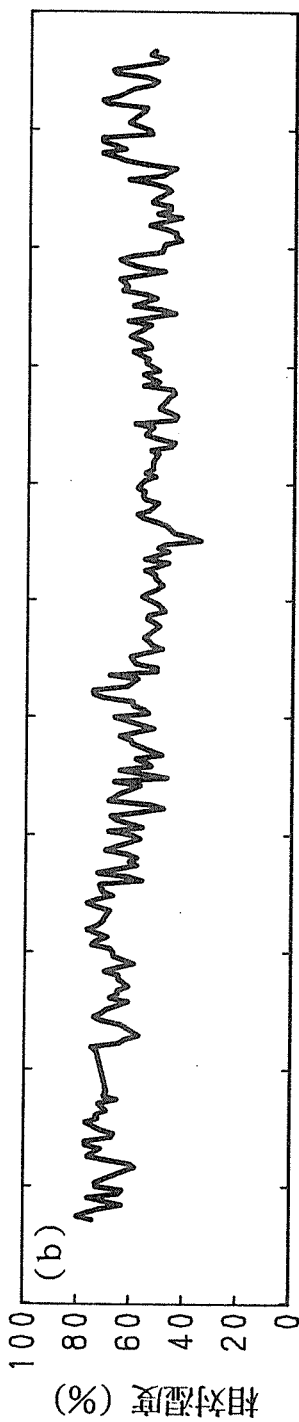
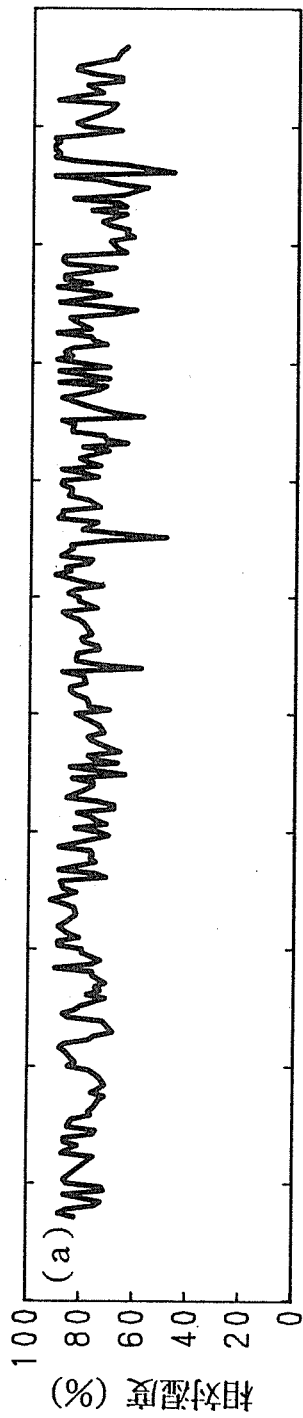


図5. 2. 3 外気ならびに木造校舎、RC造校舎内1階教室における日平均湿度の年変動

(1989年6月～1990年4月)

(a) 外気

(b) 木造校舎内1階教室

(c) RC造校舎内1階教室

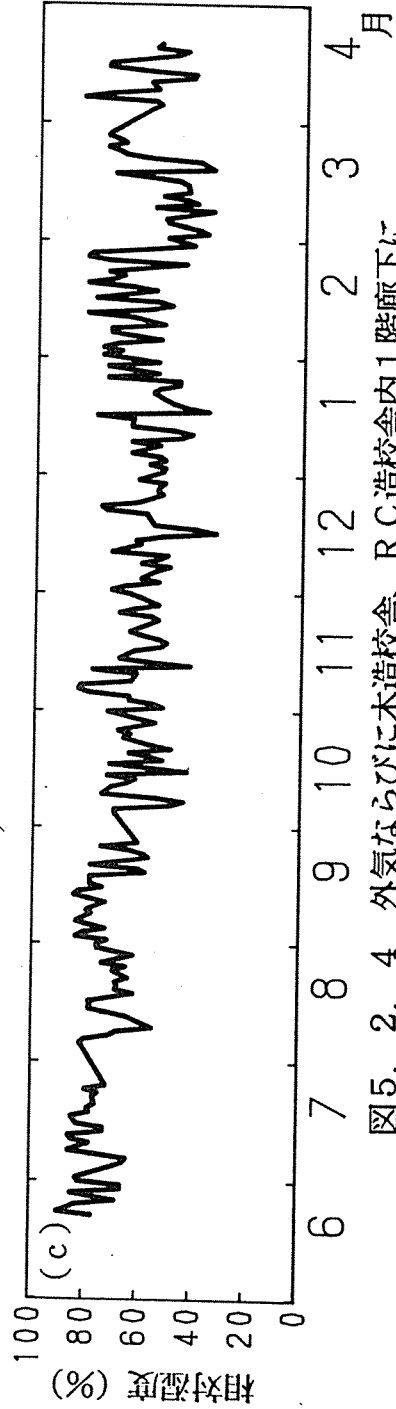
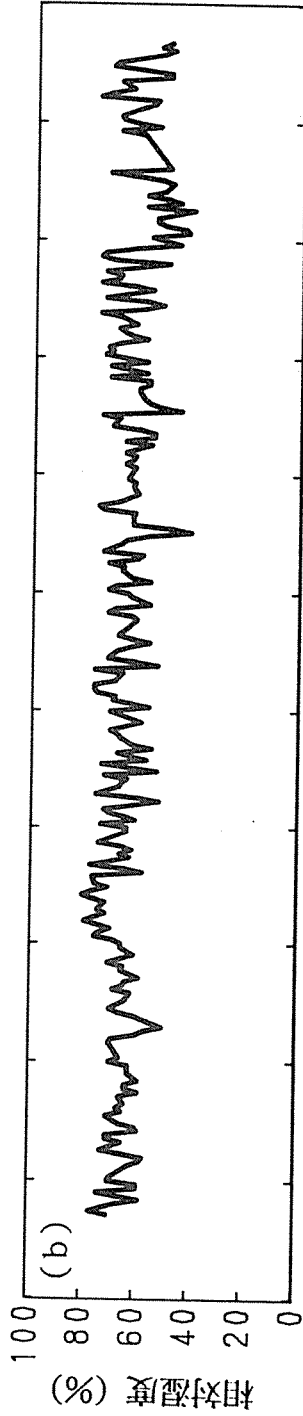
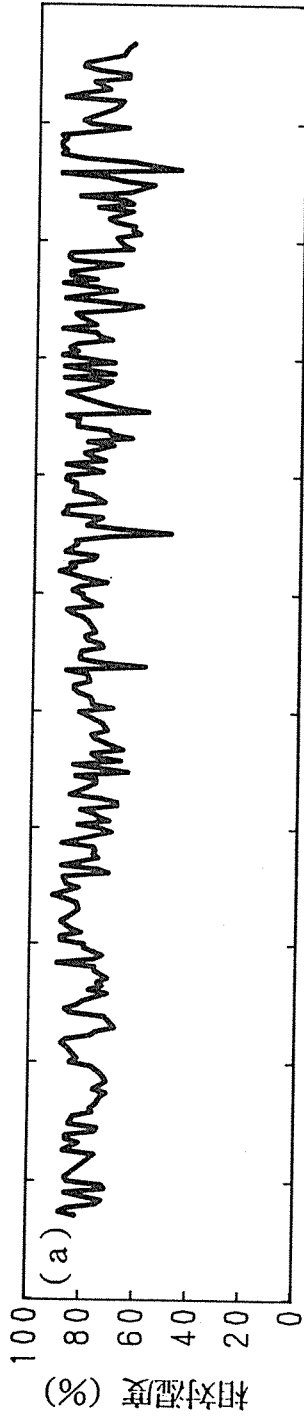


図5. 2. 4 外気ならびに木造校舎、RC造校舎内1階廊下における日平均湿度の年変動

(1989年6月～1990年4月)

(a) 外気

(b) 木造校舎内1階廊下

(c) RC造校舎内1階廊下

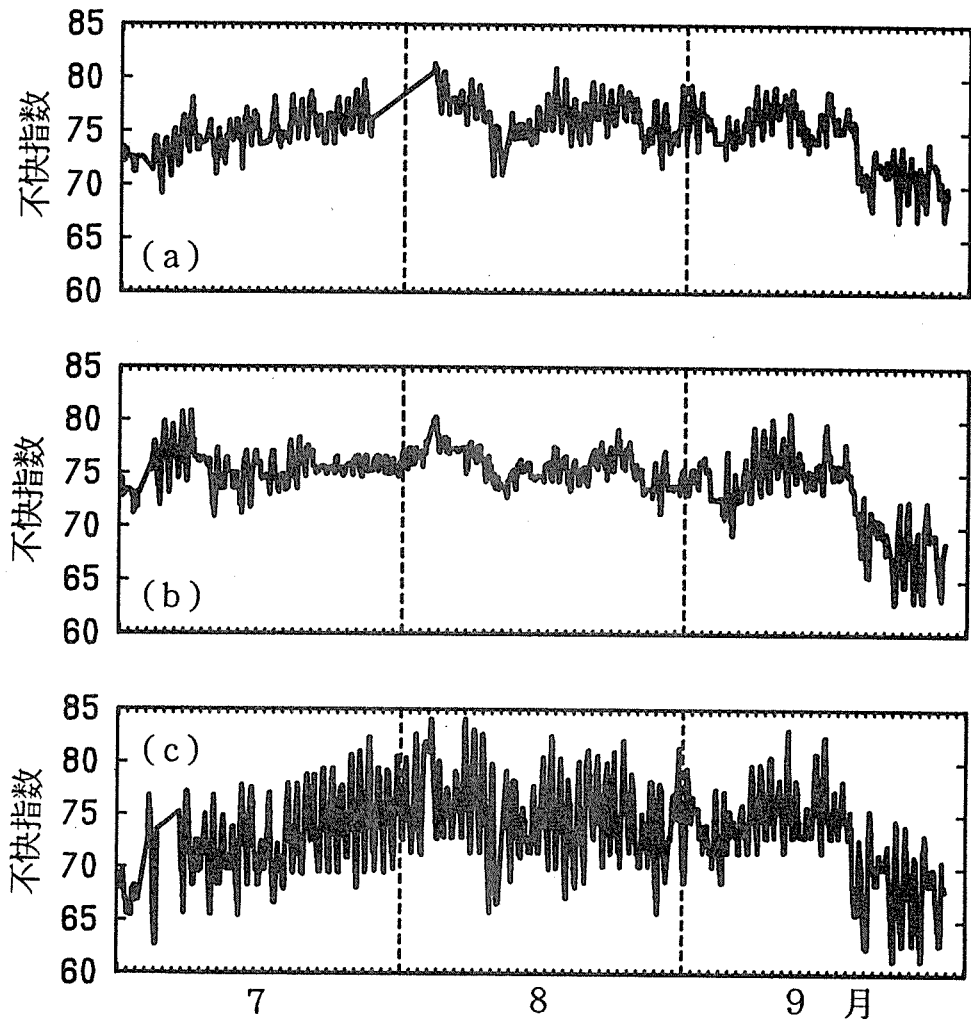


図5. 2. 5 夏季における不快指数の変動 (1989年7~9月)
 (a) 木造校舎内1階教室
 (b) RC造校舎内1階教室
 (c) 外気

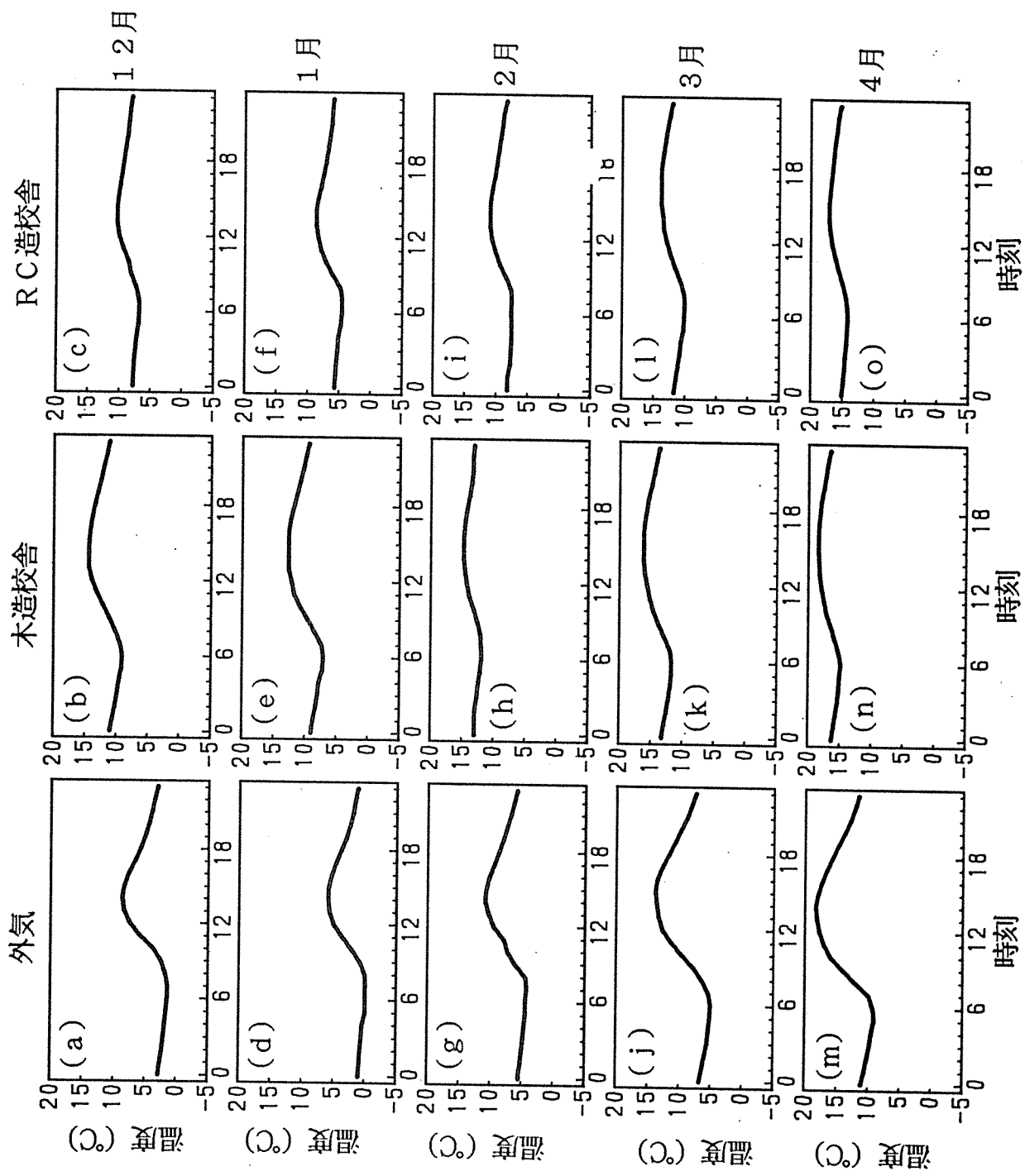


図5. 2. 6 1階教室内における時刻別月平均気温の変動

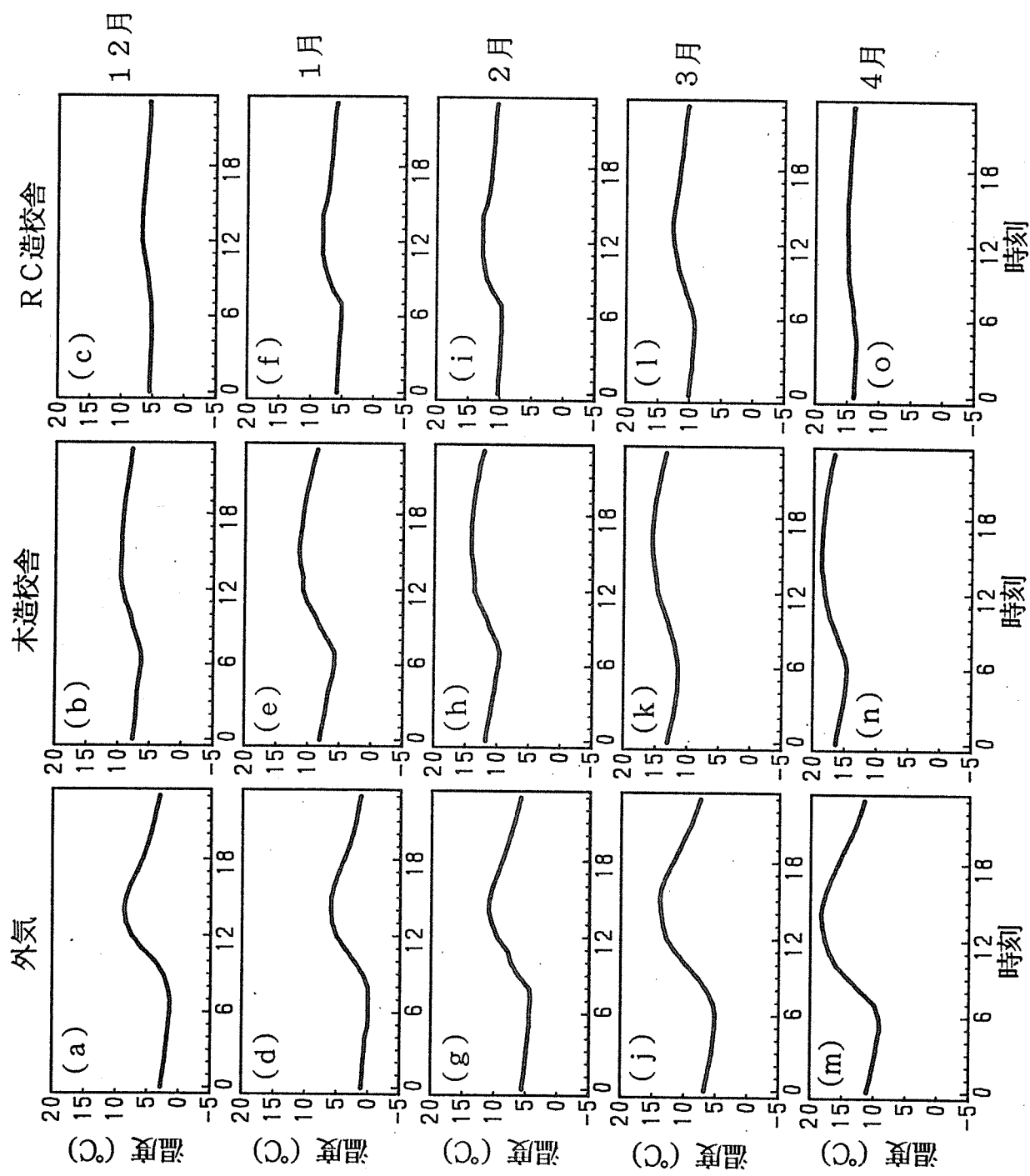


図5. 2. 7 2階教室内における時刻別月平均気温の変動

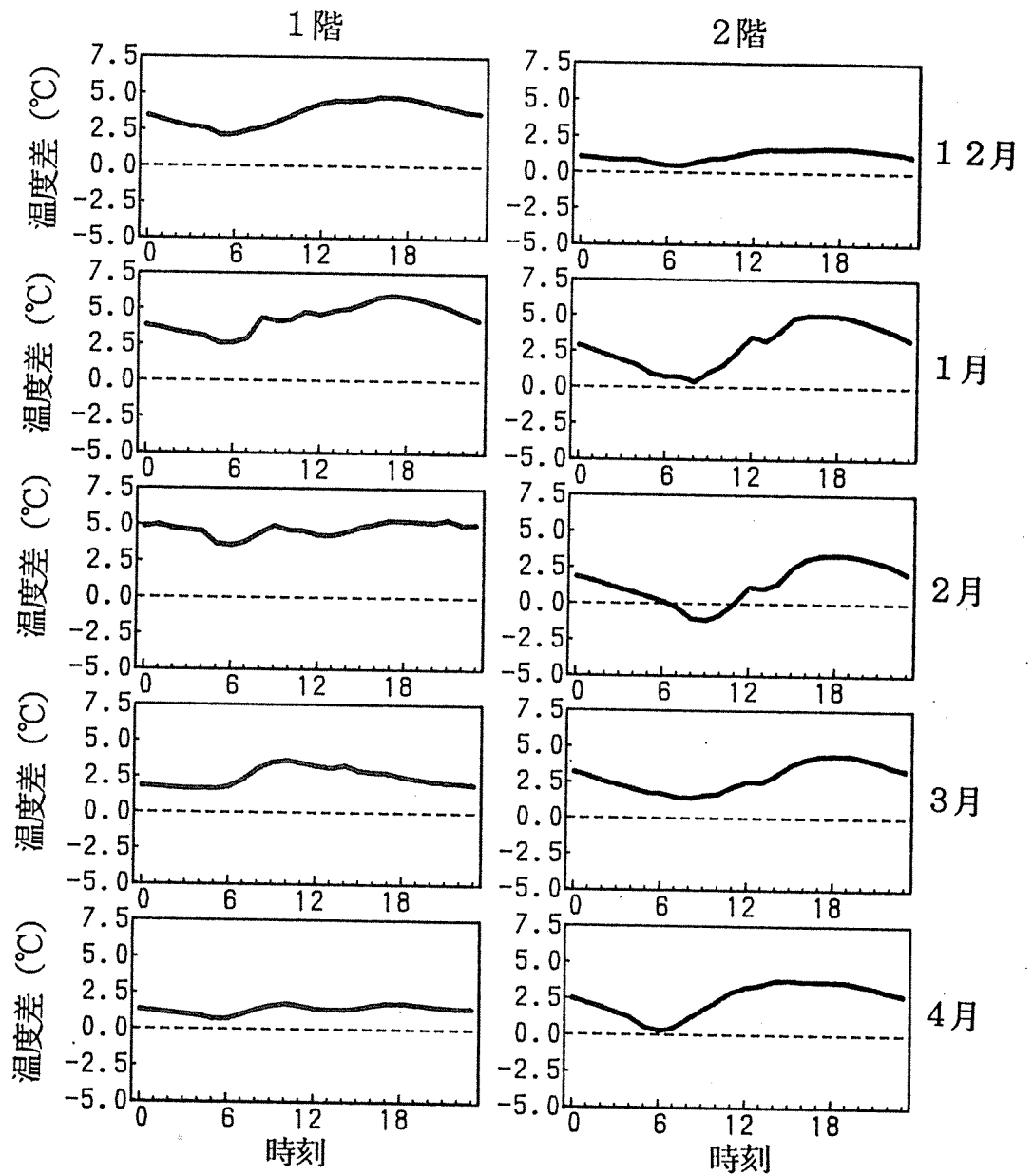


図5. 2. 8 木造とRC造校舎内の時刻別月平均気温の差の変動

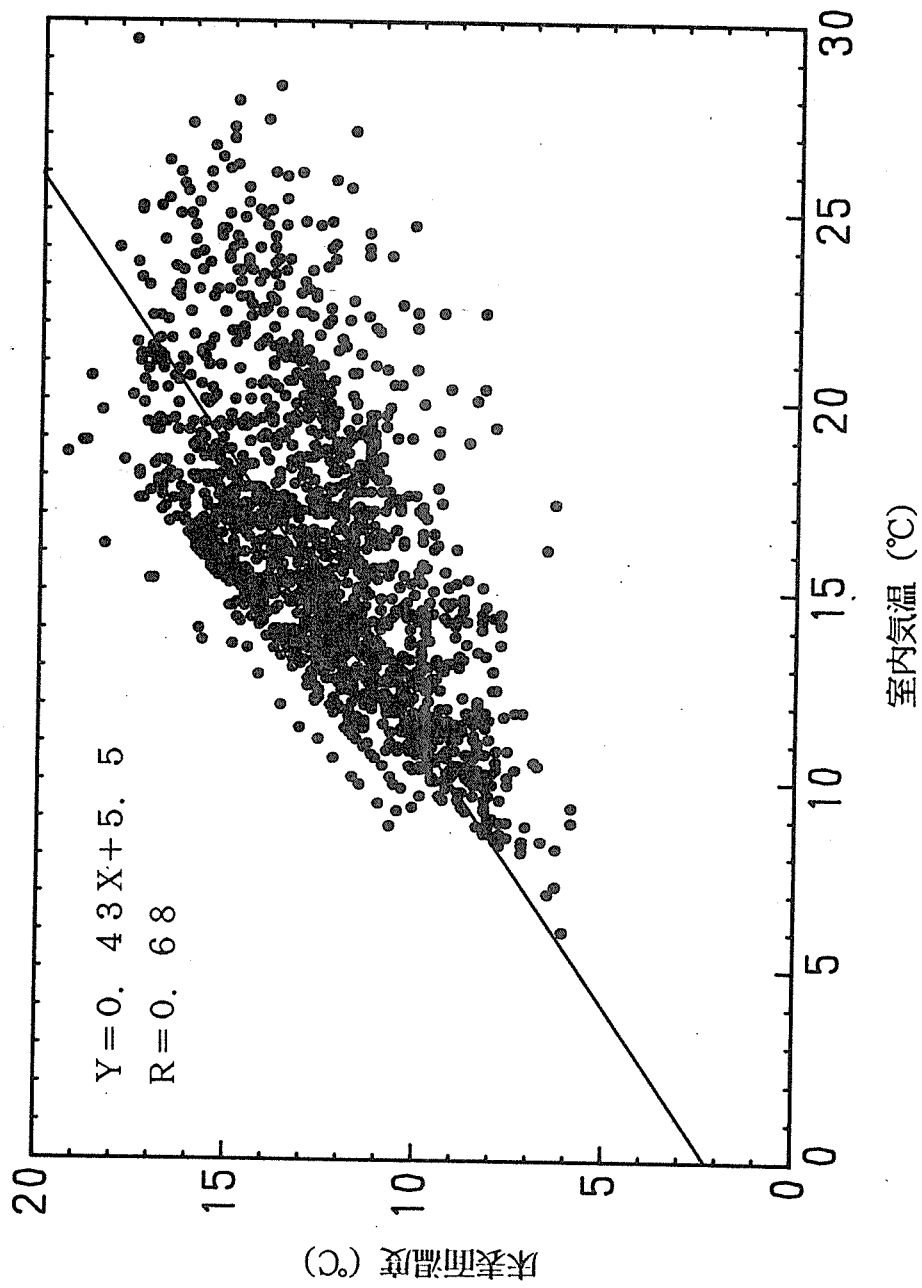


図5. 2. 9 室内気温 (床上30 cm) と床表面温の散布図

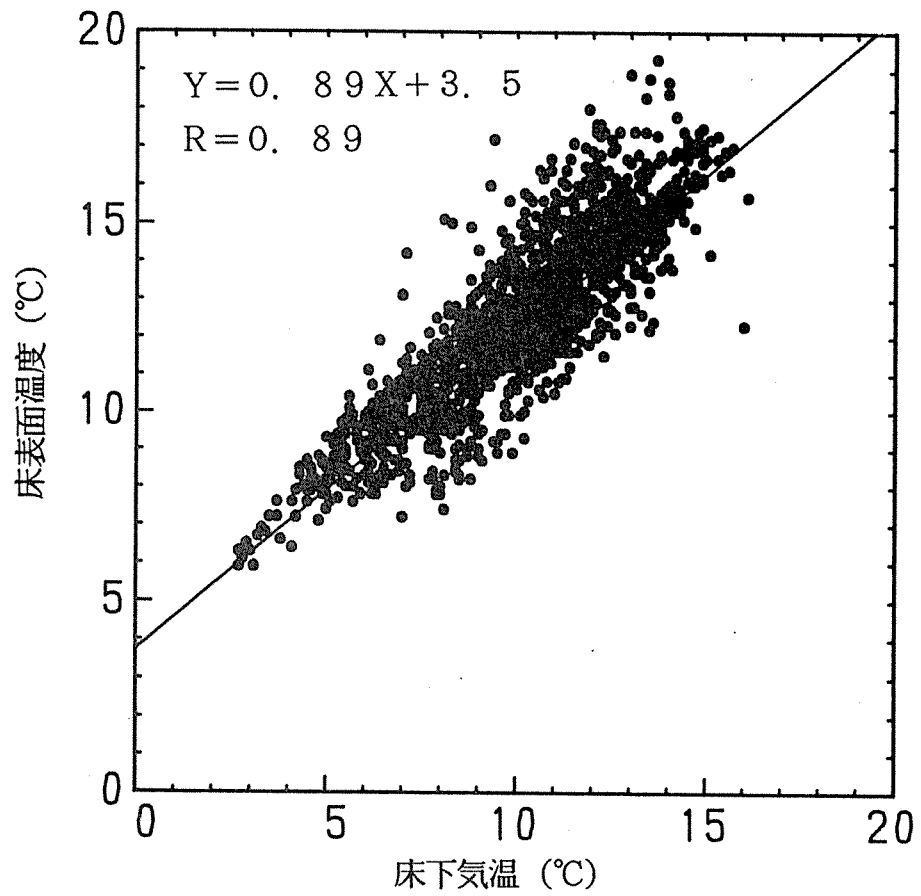


図5. 2. 10 床下気温*と床表面温の散布図
 *測定高: 土間コンクリート面から20cm

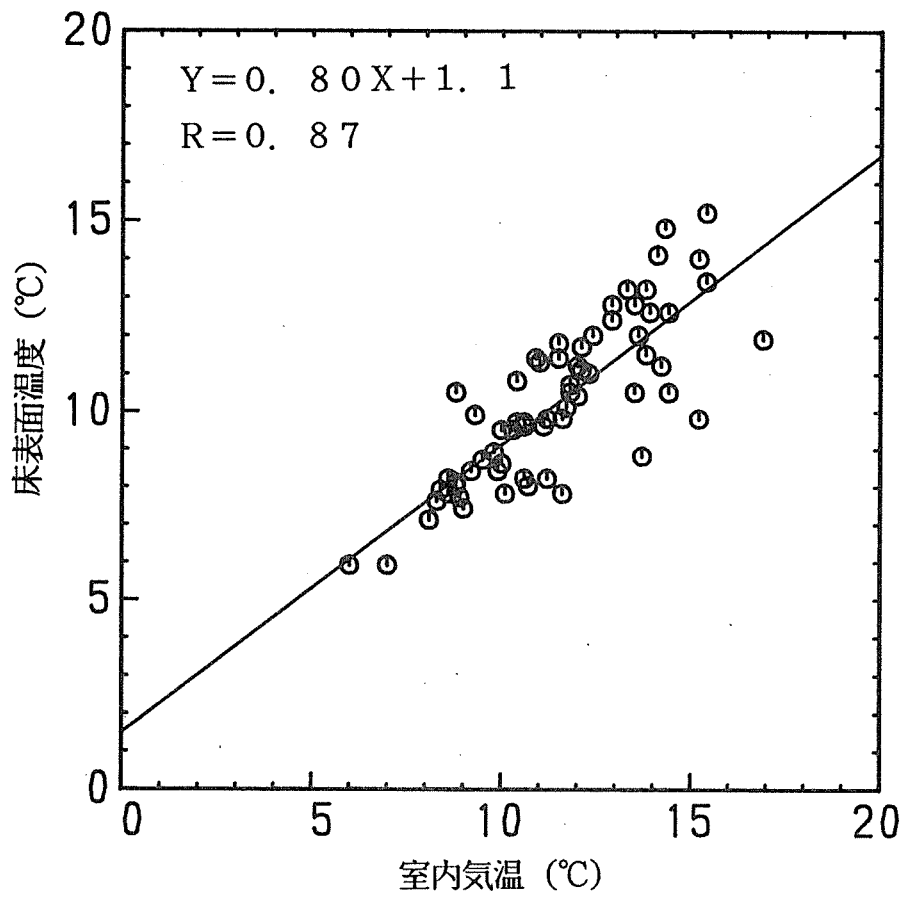


図5. 2. 11 室内日最低気温 (床上30cm) と床表面日最低温度の散布図

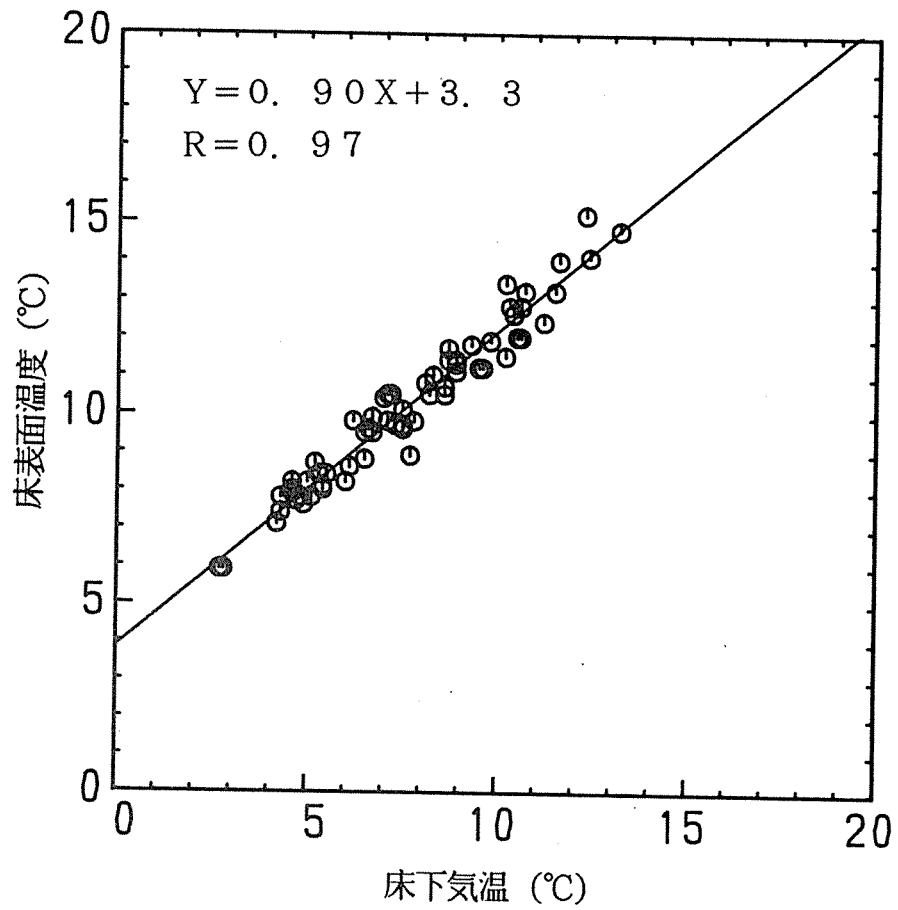


図5. 2. 12 床下日最低気温*と床表面日最低温度の散布図
 *測定高：土間コンクリート面から20cm上

5. 3 サーモトレーサーによる学校校舎内の周壁面温度分布の調査

－木造校舎とRC造校舎の比較－

5. 3. 1 はじめに

サーモトレーサーなど面測定ができる赤外線放射温度計を用いると、0.1℃差単位の温度分布をサーモグラフとして画像化できる。冬季に暖房した建築物内部では場所や材料によって温度分布が異なると予想できる。建物の構造や内装材料あるいは暖房方法によっても水平方向や垂直方向の温度分布は異なり、たとえば同じように暖房したとしても周壁の断熱性能や熱容量の違いによって周壁や床の温度は異なる。室温が等しく暖房されていたとしても周壁面の温度が低いと放射冷却効果によって寒く感じる場合がある。また、低温の天井や壁面で冷却された空気が降下し、好ましくない垂直温度分布を形成することが考えられる。

本報告では、木造校舎とRC校舎内の温度環境の違いを把握するために、同一敷地内に木造とRC造の両タイプの校舎を有する小学校を対象とし、冬季のストーブを必要とする時期における校舎内の温度分布を面測定した。この結果から得られた木造校舎とRC造校舎内の温度環境の相違について報告する。

当小学校に通っている児童は、冬季には木造校舎の方がRC造教室よりも暖かいという印象を例外なく持っている。当校が位置する地域は寒冷地ではないため、木造校舎の床には断熱措置は施されていない。建築物の熱容量だけから判断する

と、木造の方が熱容量が小さいために朝方にかけての外気温の低下に追従しやすく、このため、児童が登校してきたときには木造教室のほうが寒く感じるのではないかと想像できる。しかし、さきに述べたように児童は逆の印象を持っている。このことは木造の学校校舎の温熱条件は、一般の木造住宅のそれとは異なった条件下にあることを示唆している。このことを念頭において木造校舎とRC造校舎との比較をした。

5. 3. 2 方法

1990年3月1日、午前8時過ぎから校舎内の各所の周壁面温度の面分布を測定した。なお、測定時の外気温は6℃、天候は曇であった。測定装置はサーモトレーサー6T62型（日本電気三栄製）を用いた。放射率は0.98に固定した。

暖房設備としては開放型の灯油ストーブを使用している。

廊下周壁についての表面温度の測定時刻は、午前9時11分から同29分の間である。その測定時刻は、ストーブが教室で点火されてから1時間弱の時間が経過した後となる。

教室については、以下の時刻に測定した。いずれの場所も第1回目の測定時にはストーブを点火していないが、測定直後からストーブが点火された。

木造1階校長室：8時19分

木造2階教室 : 8時51～58分と10時31～46分

R C造1階教室: 8時33分と9時46分

R C造2階教室: 9時4～6分、11時17分、11時48分、11時56分

5. 3. 3 結果および考察

校舎内を廊下と教室とに分け、教室についてはさらに南側、中央部、北側に分け、それぞれ1階と2階について木造校舎とR C造校舎とを比較、検討する。

(a) 廊下周壁の表面温度について

図5. 3. 1にR C造1階廊下と木造1階廊下のサーモグラフを示す。図5. 3. 2にはR C造2階廊下と木造2階廊下のサーモグラフを示す。表5. 3. 1にはサーモトレーサーによって測定した1階と2階の廊下の周壁温度を示す。

以下に、木造とR C造それぞれ廊下について1階と2階とを分けて結果を述べ、木造とR C造の違いを比較、検討する。

(1) 1階廊下について

(ア) R C造1階廊下

廊下の床表面の温度には分布があり北壁面(写真では右側の壁面)に近いほど温度が低い。表面温度は北壁面付近では約9℃、教室との仕切りの壁付近では10.5℃前後であった。また、北壁の校舎内側表面では約8℃であった。

教室内ではストーブを使用しており、廊下に面した天窗から暖気が廊下に流れ

だしているのがわかる。このために天井面は約 11°C になり、北壁面でも天井付近では $10\sim 11^{\circ}\text{C}$ になっていた。

教室の扉の表面は教室内のストーブからの暖気によって暖められており、 10°C を超えているが、扉のすぐ横のコンクリート面では $9\sim 9.5^{\circ}\text{C}$ であった。

(イ) 木造1階廊下

廊下表面の温度分布は小さく、 8.5°C 前後であった。北壁の校舎内側（写真では左側の壁）ではRC造校舎とほぼ等しく 8°C 前後であった。教室側の壁面は 9°C である。

RC造の場合と同様に教室内ではストーブが使用されており、廊下に面した天窓から暖気が廊下に流れだしているのがわかる。しかし、ストーブを点火してからの時間が異なるためか、あるいは天窓の気密性が異なるためか、その部分からの暖気の流出はRC校舎に較べてそれほど目立たない。天井表面は 10°C 前後であった。

(ウ) RC造1階廊下と木造1階廊下との比較

RC造廊下は土間形式になっており、廊下の下は直接地面に接している。土壌は熱容量が大きく、地中温度は比較的安定しており、外壁近く以外は冷えにくい。一方、木造では床下に空間があり、換気孔を通して外気が出入りしている。また、床材の熱容量がそれほど大きく、かつ、断熱材は施されていないために床下気温

に追従しやすい。当日の外気の最低気温は4℃と低く、床下も外気温程度に冷えているものと考えられる。

以上のように、1階廊下に関しては、北壁面やそこに近い廊下表面の温度は土間床構造のRC造校舎と木造校舎とにはそれほど違いがない。しかし、教室に近い部位では土間床構造のRC造廊下の方が2℃程度温度が高い。これが土間床の特徴である。

(2) 2階廊下について

(ア) RC造2階廊下

廊下の床表面には温度分布があるが1階ほど顕著ではない。校舎北壁（写真では右側の壁）に近い部分では10℃前後、教室に近い部位では11℃弱であり1℃近くの差があった。

校舎北壁面の校舎内側表面の温度は9℃前後であった。相対する教室側の壁面は約10.5℃である。

RC造1階廊下の周壁温度と比較すると、校舎北壁の廊下側表面ならびに床表面において1階と2階とでは1℃以下の温度差があり、2階の方が温度が高い。

2階の方が温度が高いのは1階天井部分での熱伝導によると考えられるが、大きな温度差ではない。

(イ) 木造2階廊下

RC造校舎とは異なり廊下の床面の温度が比較的均一であり、分布が少ない。
また、校舎北壁（写真では左側の壁）に近い部位では温度が 11°C 近くあり、RC造より 1°C 程度は高かった。

校舎北壁には5cm厚のグラスウール断熱材が入っているが、筋交い部分が熱橋になっており、温度は内部に筋交いのない部分より 1°C 程度低い。しかし、全体としては 11°C であり、同じ2階のRC造校舎北壁面よりも 2°C は高かった。
また、校舎北壁面の下部の幅木付近に温度の高い部位が認められ、1階から暖かい空気が昇ってきていることがうかがえる。

特徴的なことは教室側の壁面全体の温度が高く 12°C となっており、袋板の隙間から暖気が漏れてきており、温度は約 13°C になっていた。校舎北壁でも同様に暖気が下から漏れてきている徴候が認められる。また、壁面上下の温度分布が少なく、むしろ下の方ほど温度が高い。温暖な空気によって壁面が熱せられた場合には空気の密度差によって上の方ほどよく暖められる。壁内部の空間内の暖気によって熱せられる場合にも状況は同様であり、温度勾配によって上側のほうが暖まるはずである。したがって、教室側の壁面において下方のほうが温度が高いことは教室側からの熱伝導によるのではなく、床下から上昇した暖気によって壁面全体が熱せられていると考えるのが妥当であろう。

(ウ) RC造2階廊下と木造2階廊下の比較ならびに1階廊下との比較

廊下の温度に関しては、1階ではRC校舎の方が木造よりも周壁温度が多少高く、全体として1℃程度の差がある。2階では木造の方がRC造よりも2℃程度高いという結果となった。したがって、1階ではRC造校舎のほうがわずかに暖かく、2階では木造校舎の方が暖かく感じることになる。

木造1階廊下の周壁温度と比較すると、北壁の校舎内側の表面については1階と2階とでは3℃の違いがある。床表面においては1階と2階とでは2.5℃程度の温度差があり、木造2階校舎内では木造1階よりも暖かい雰囲気になっている。

以上のように、始業開始後約1時間あまり経過した時点での木造校舎の廊下とRC校舎の廊下における温度環境をサーモトレーサーによって測定した結果、1階では土間床構造をとっているRC校舎の周壁表面のほうが1℃程度は高いことが知られた。しかし、2階では逆に木造校舎の方が全体として2℃程度高くなっている。すでに述べたように、本小学校の児童たちは口を揃えたように「木造校舎の方が暖かくて良い」という感想を持っている。木造校舎全体の熱容量はRC造校舎より小さいことから木造校舎内の室温は外気の変動に追従しやすく、特に始業直後にはかなり冷えているのではないかと想像していたが、実測によると逆であり、むしろ児童の使用している木造校舎の2階の方が暖かい雰囲気であることがわかった。また、廊下には暖房を用いていないが、階下の暖房によって2階

部分が暖められていることが確認できた。児童が木造校舎が暖かいと感じている理由の一つは、実際に気温が高いことにあり、しかも、その気温の形成には階下の暖房が影響していることが明らかになった。

(b) 教室の周壁温度について

図5. 3. 3にRC造1階教室北面のサーモグラフを示す。図5. 3. 4には木造2階教室北面のサーモグラフを示す。図5. 3. 5と図5. 3. 6にはRC造と木造それぞれの教室中央付近の床面のサーモグラフを示す。

以下に、木造とRC造それぞれ教室についての結果を述べ、木造とRC造の違いを比較、検討する。

(1) 教室北側の周壁表面温度

表5. 3. 2にRC造校舎内教室の北側周壁の表面温度を示す。表5. 3. 3には木造校舎内2階教室の北側周壁の表面温度を示す。なお、北側の壁の外側には廊下が位置して外気には直接触れない。

(ア) RC造教室について

ストーブを点火してから1時間経つと床表面と机上とは4℃の温度差ができています。3時間後には6℃の温度差になっている。

床と天井付近との温度差はストーブ点火後1時間で1.2℃差、3時間後には1.4℃の差がある。

(イ) 木造教室について

ストーブを点火してから約2時間経つと床表面と机上とは3℃の温度差ができている。

床と天井付近との温度差はストーブ点火後約2時間で7℃差がある。

(ウ) 北側周壁温度の木造教室とRC教室との比較

木造校舎内の教室の床はRC造校舎内の教室の床に較べて暖まりやすい。RC造教室の床は木タイル張りであり、木造教室の床材の表面付近とはそれほど熱容量の大きさに違いはないと想像できる。しかし、RC造校舎では床材の下は直接土間コンクリートに接触しており、コンクリートは熱伝導率と熱容量とが大きい。そのため、表面温度は木造教室の床のほうがRC造教室の木タイル表面より温度が上昇しやすい。このため、ストーブを点火した後2時間程度経過した時点では、両教室とも机上温には違いが少ないのに対して、床温と机上温との差はRC造教室のほうが大きくなる。その温度差は木造校舎では3℃程度であるのに対し、RC造では2回の測定結果から判断して5℃程度はあると考えられる。

また、天井付近の温度はストーブ点火後2時間で約25℃であるがRC造教室では29～30℃である。RC造の床面の温度は木造よりも低いため、上下温度差はRC造教室では13℃にもなっているが、木造校舎では7℃程度の差となり、RC造教室のその半分近くに小さくなっている。

(2) 2階教室中央部の床温について

表3. 2. 2に木造とRC造それぞれの2階教室について、教室中央部での床温を示す。

ストーブ点火前の床温度はRC造では12.5～13℃、木造では13～13.5℃と木造のほうがわずかに高い。ストーブを点火して2時間経過後RC造教室では18℃であるが、木造教室ではストーブ点火約2時間後に19℃に達している。なお、RC造教室の黒板下の壁面は暖まりにくく、ストーブ点火後約3時間経過してからでも18℃である。

(3) 2階教室の南側の周壁温について

表3. 2. 3にRC造と木造教室の南側の壁面を中心とした周壁温度を示す。なお、南側の壁の外側は直接外気に触れている。

木造校舎内教室の南壁面についてはストーブ点火前では約12.5℃であるが、RC造教室南壁面では10.5℃、換気孔の下部に位置する壁では約10℃である。このようにストーブを点火する前から木造2階教室南壁面はRC造教室南壁面よりも2℃程度温度が高い。この温度差は廊下の北壁面にも認められた。

廊下南壁面の下部からは暖気が流出していたが、外気に直接接触している南壁面では逆に冷気が壁の下部から流出し、角では10℃になっている。

ストーブを点火した後約2時間経過すると木造教室の床面は約18℃、窓から

下の壁面も床と同様に約18℃になっている。一方RC造教室では床面は約14℃、窓から下の壁面は約12℃である。カーテン下部の温度は木造とRC造両者ともに19～20℃であることからその高さの空気温はほぼ等しいと判断できる。

以上のように、ストーブ点火2時間後の床ならびに壁面の表面温度については木造教室とRC教室との間に4～6℃の温度差が生ずる。例として、壁面温度が12℃であれば室温が21℃であっても壁面の冷却効果のために体感される温度は2.1～2.2℃低いとされている¹⁾。したがって、子どもがすわった時の頭部の高さでの気温が19℃であっても、子どもの感じている温度は約17℃ということになる。またRC造教室の床面温度は14℃と木造教室よりも4℃も低い。

一般に暖房している部屋の床面温度は16℃以上、または、室温と床上面との温度差は6℃以内に維持することが望ましいとされている²⁾。南壁近くに机を並べている児童にとっては好ましいといわれている下限の16℃よりもさらに2℃も低いという望ましくない温度条件下におかれていることになる。

以上の測定結果から判断すると、同一気象条件において、しかも、同一暖房器具を用いた場合に、RC造教室よりも木造教室のほうが温度環境については明らかにより快適であると判断される。ちなみに労働中の事故防止のために指先の器用さを保持するためには、気温が16℃以下になったら手には手袋を着用するなど手には特別に保護を与える必要があるといわれている³⁾。

(4) 木造1階教室北側の扉付近について

図5. 3. 9は木造校舎1階の廊下に面した扉付近の温度分布を示す。

扉は壁面よりも3℃程度低く、廊下側の冷氣によって冷やされている状態が読み取れる。また、扉から冷氣の侵入は部屋の使用者に不快感を与えるため、扉下部の換気孔が塞がれているが、扉と扉の間の隙間から冷氣が侵入していることがわかる。

壁面の温度分布の特徴は、下部で低温になっていることであり、木造2階の壁面では下部が高温になっていることと対照的である。このことから、床下からの冷氣が壁内に侵入していることが推察できる。このことは木造建築物の欠点としてしばしば取り上げられる現象であり4)、本校舎においても床を断熱していないためにこのような状況が認められる。

また、一般に、学校校舎では廊下側の扉の密閉性はよくない。これは多人数が集まるために換気率を大きくとる必要からであると思われるが、教室内と廊下との気温差が大きい場合には、すきま風として扉付近の子どもに不快感を与える一つの原因となっていると考えられる。

5. 3. 4 まとめ

木造校舎とRC造校舎について、始業開始前の暖房をいれる前と暖房をいれてから2、3時間経過後の温度環境をサーモグラフを用いて比較した。

結果を以下にまとめる。

- 1) RC造1階部分は土間床構造をとっているため、始業時の暖房をいれる前には木造校舎よりも床温が1℃程度高い。しかし、2階廊下の外壁近くでは木造の床温のほうが1.5℃程度高い。また、外気に直接触れている南側の壁では木造のほうが3℃も高い。
- 2) 石油ストーブを使用したとき、木造教室の床の方が均一に暖まりやすい。また、RC造教室の方は床面の温度分布が大きくなりやすい。このために外壁近くの児童にとっては低い温度の壁面や床面から放射熱を奪われ体感温度は低くなる。
- 3) 同じ机上温の時でもRC造教室の天井付近の空気温は木造に較べて高い。
- 4) 教室を同じ室温にしたとしても、RC造教室の上下温度差は木造教室に較べて大きく、「足寒頭熱」という好ましくない状況が生じやすい。

以上のように、教室が寒くても暖房すれば同じように快適になるだろうという考えかたはできないことが判明した。ファンによって空気を攪はんす場合には気流の影響を考える必要があるだろう。暖房を入れることを前提とすると、コンクリート壁面の冷却効果を弱めるには、壁に断熱材をいれて表面温度を上昇させることが有効であるが、これは設計時の問題である。現時点においても、壁面を熱容量の小さい木質にすることや、あるいは、カーテンによってふく射を遮断するこ

とも効果的であると考えられる。

また、木造在来工法などでは、木造壁の内部の隙間は天井裏に抜けており床下からの冷気の通りとなっていることがしばしば欠点としてあげられているが4)、学校校舎のような各普通教室を一斉暖房する場合には、木造壁の内部の隙間は、熱せられた空気の密度差によってむしろ暖気の通り道になる状況が生まれ、2階教室部を温熱環境的にはより好ましい環境をつくりだす役割を果たすことが判明した。

謝辞

サーモトレーサーによる測定の際に名古屋大学農学部林産学科木材物理学講座の大学院生に援助を得た。ここに感謝の意を表す。また、上之保小学校校舎を測定対象として提供していただいた山田麟二校長、早川敏文教頭をはじめ教諭先生方にお礼申し上げます。

文献

1) 建築学大系編集委員会：「建築学大系 22 - 室内環境計画 -」、彰国社、

1976年、p297

2) 鹿島出版会：「建物の断熱と結露防止の知識」、鹿島出版会、1989年、

p57

3) 三浦豊彦：「冬の寒さと健康（第二版）」、1985年、p166

4)浅野平八、東敏博：「木造住宅のしくみ、在来工法の基本と応用」、
学芸出版社、1988年、p137

表5. 3. 1 廊下周壁の表面温度

		壁		床		天井
		北面	南面	北部	南部	
1階	R C 造	8	9~9.5	9	10.5	10~11
	木造	8.5	9	8.5	8.5	10
2階	R C 造	9	10.5	10	11	-
	木造	11	12	11	11	-

表5. 3. 2 R C校舎教室北側の表面温度

	ストーブ点火前	ストーブ点火後	
	1階	1階	2階
時刻	8:33	9:46	11:56
床	12.5	16	17
棧	12	14	18
机上	13	20	23
天井*	13	28	31

*天井付近のポスター表面

表5. 3. 3 木造2階教室北側の表面温度

	ストーブ点火前	ストーブ点火後
時刻	8:58	10:41
床	13~13.5	18
机上	14.5	21
壁 1)	14.5	20
天井2)	-	25

1)廊下側の壁

2)天井付近のポスター表面

表5. 3. 4 2階教室中央部の床温

	ストーブ点火前	ストーブ点火後
時刻	8:54	10:44
木造	13~13.5	19
時刻	9:06	11:48
RC造	12.5~13	18

表5. 3. 5 2階教室南壁の表面温度

		ストーブ点火前	ストーブ点火後
木造	壁	12.5	18
	床	12	18
	カーテン下部	13	20
RC造	壁	10.5 (10)*	12
	床	12	14
	カーテン下部	-	19.5

*壁にある換気孔の下の部分

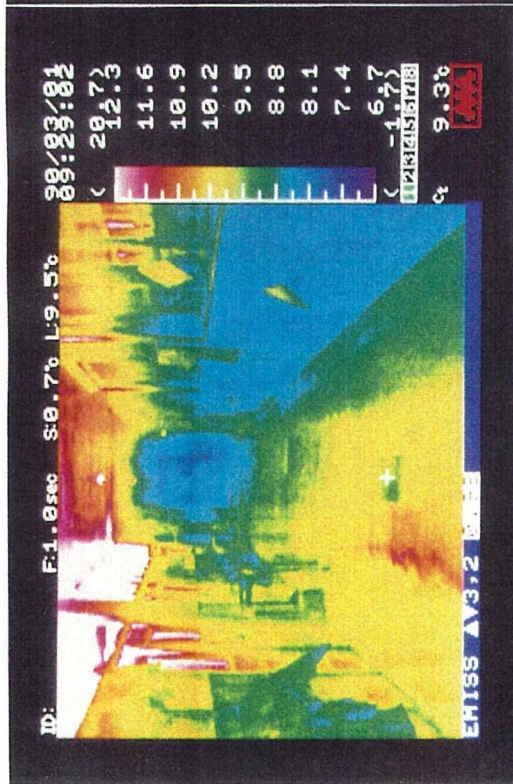
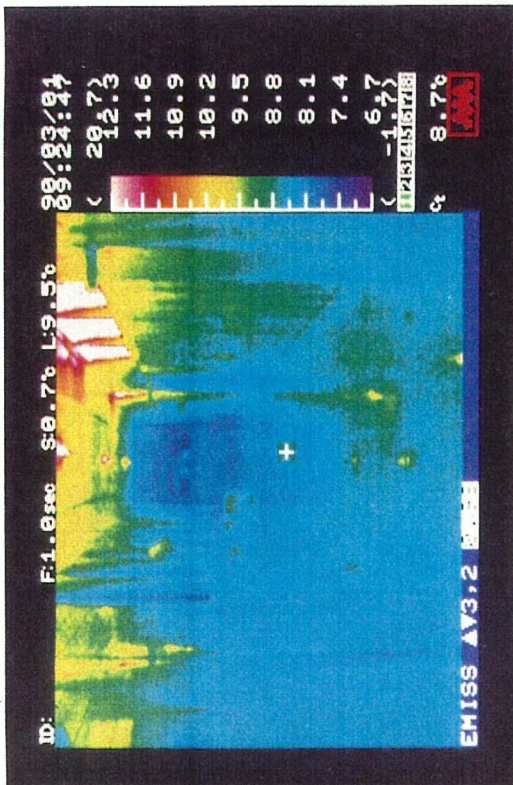


図5. 3. 1 R C造1階廊下 (左側) と木造1階廊下 (右側) のサーモグラフィ (上段) と写真 (下段)

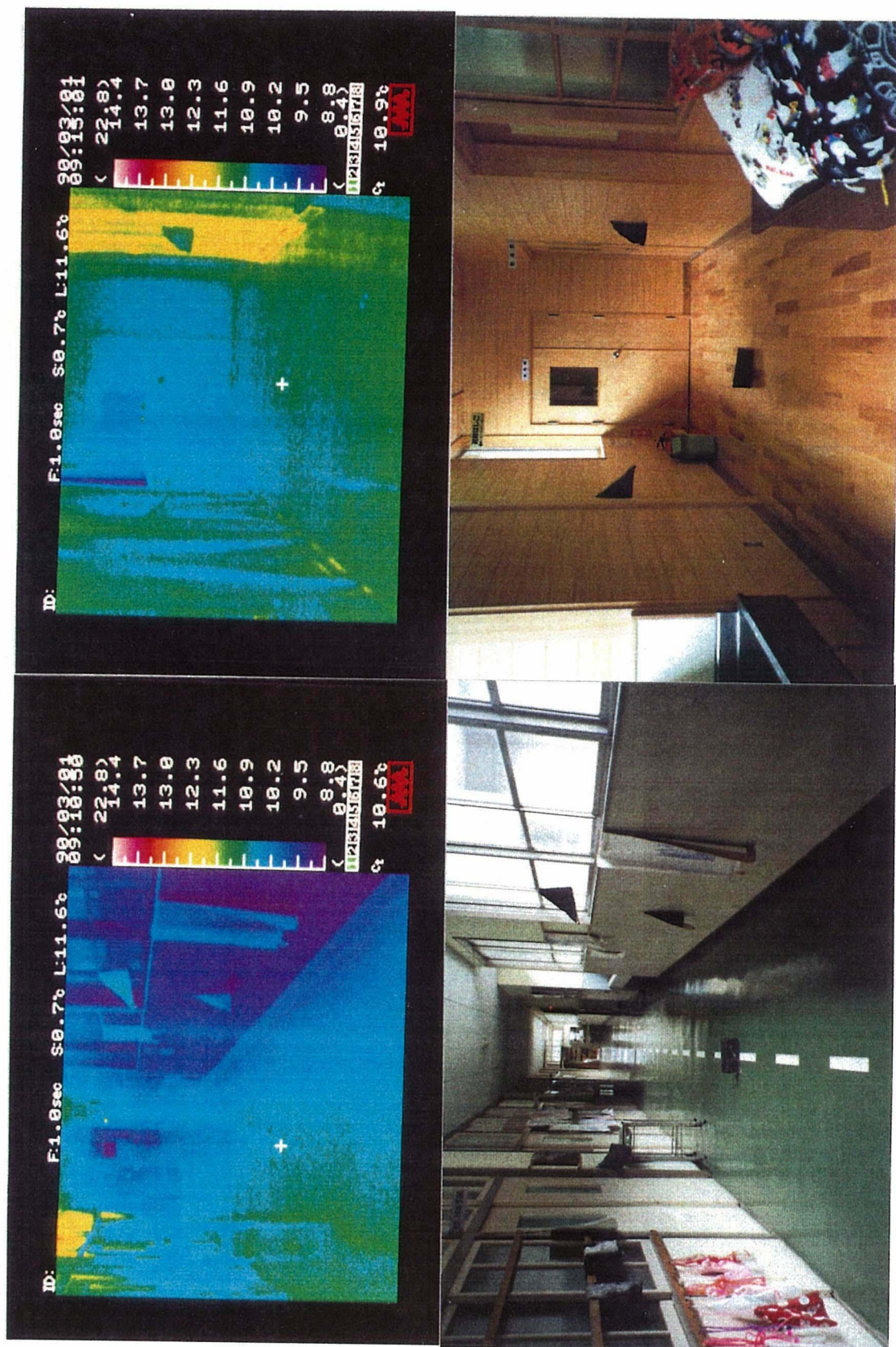


図5.3. 2 RC造2階廊下(左側)と木造2階廊下(右側)の
サーモグラフィ(上段)と写真(下段)

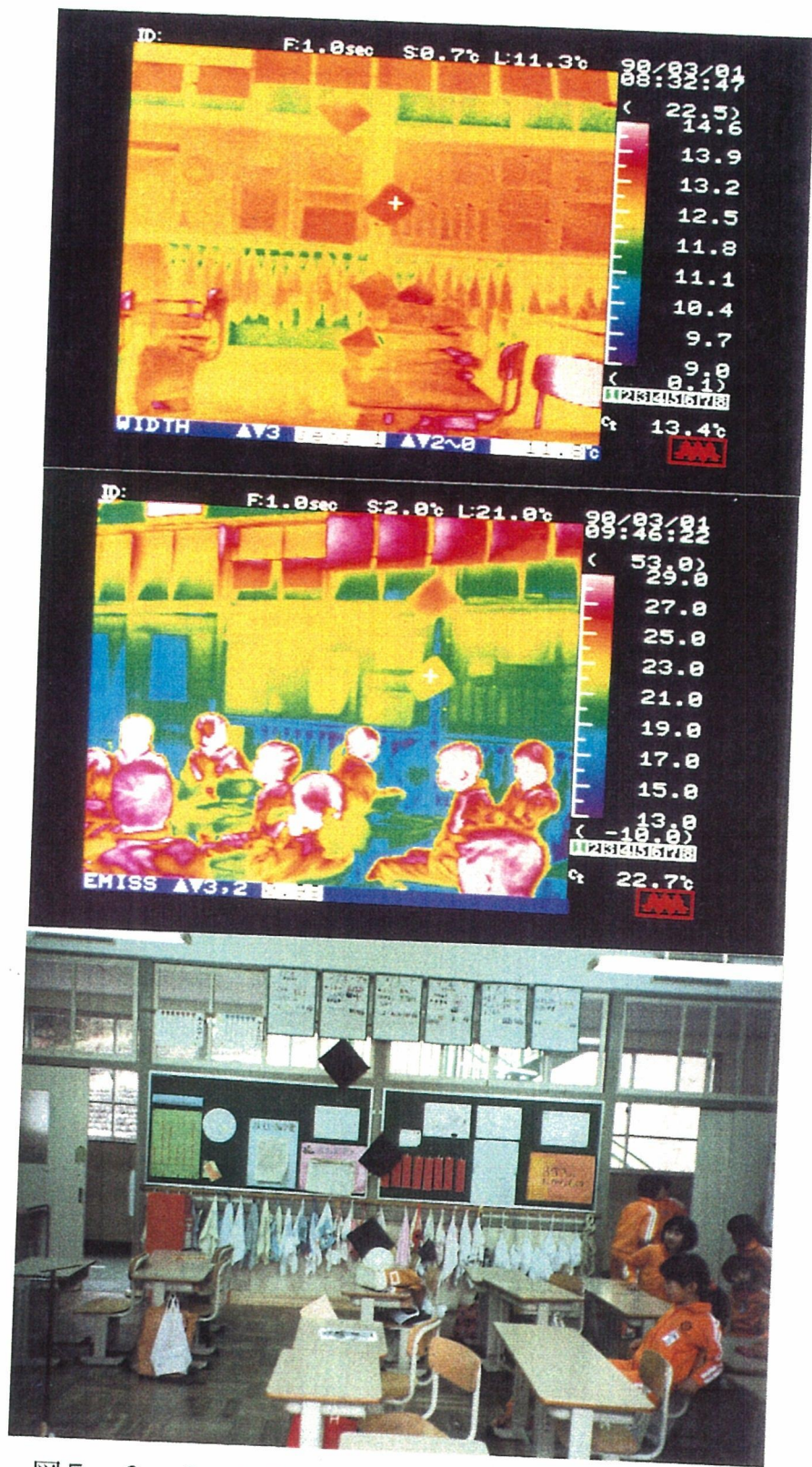


図5. 3. 3 RC造1階教室北面のサーモグラフ
 上：ストーブ点火前、8時33分
 中：ストーブ点火後、9時46分
 下：北面の写真



図5. 3. 4 木造2階教室北面のサーモグラフ
 上：ストーブ点火前、 8時58分
 中：ストーブ点火後、 10時41分
 下：北面の写真

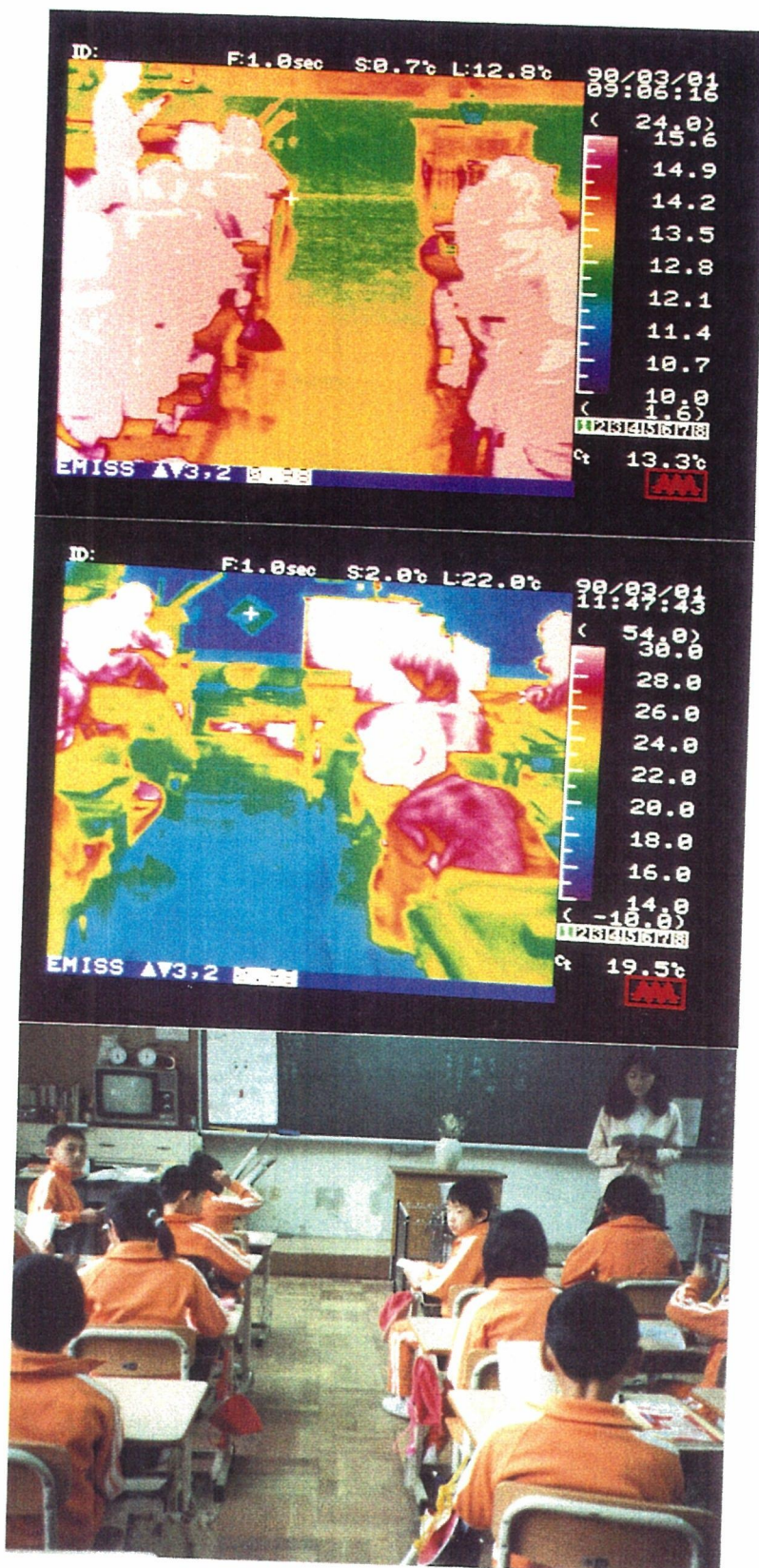


図5. 3. 5 RC造2階教室中央付近の床面のサーモグラフ
 上: ストープ点火前、 9時 6分
 中: ストープ点火後、 11時47分
 下: 床面の写真

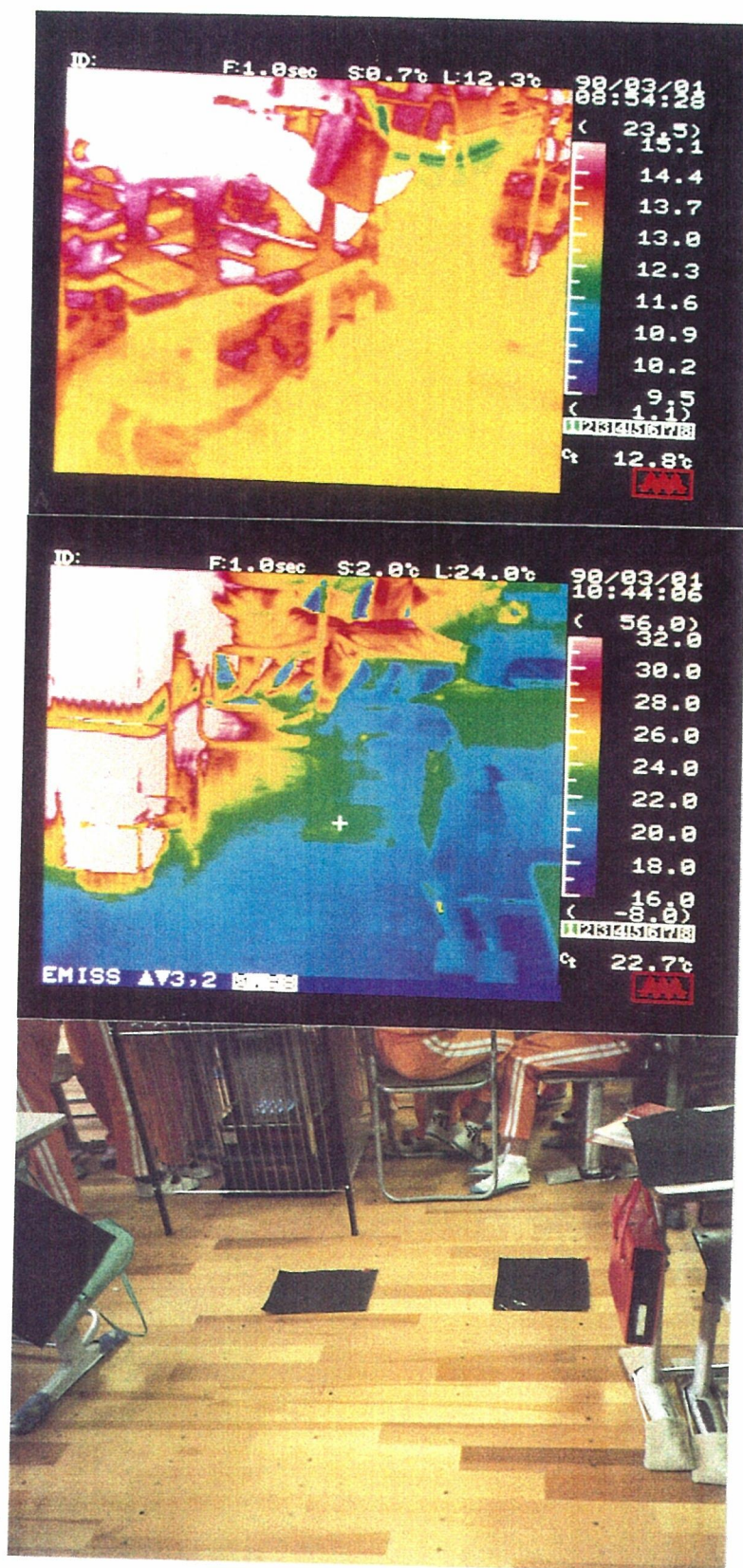


図5. 3. 6 木造2階教室中央付近の床面のサーモグラフ
 上: ストープ点火前、 8時54分
 中: ストープ点火後、 10時44分
 下: 床面の写真

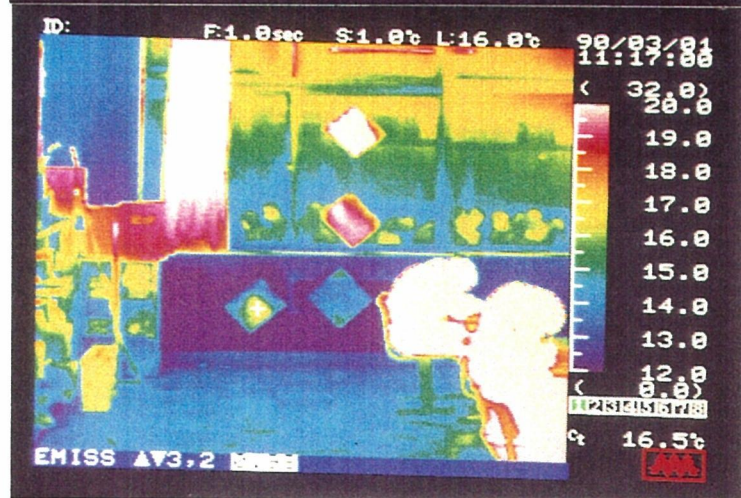
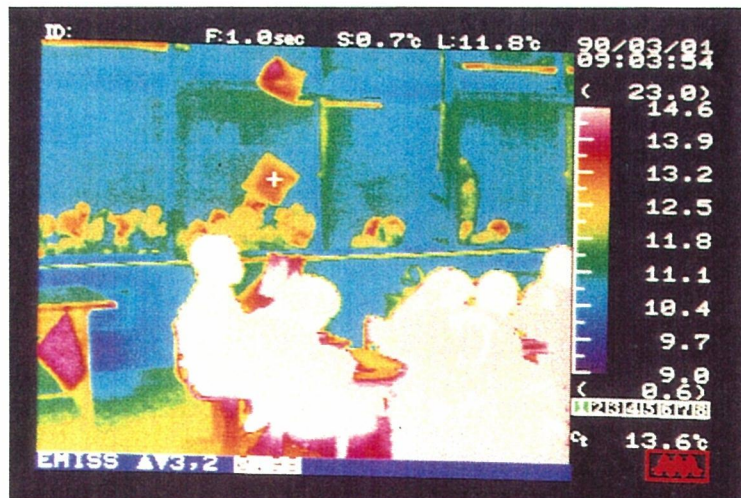


図5. 3. 7 RC造1階教室南面のサーモグラフ
 上: ストープ点火前、 9時 4分
 中: ストープ点火後、 11時17分
 下: 南面の写真

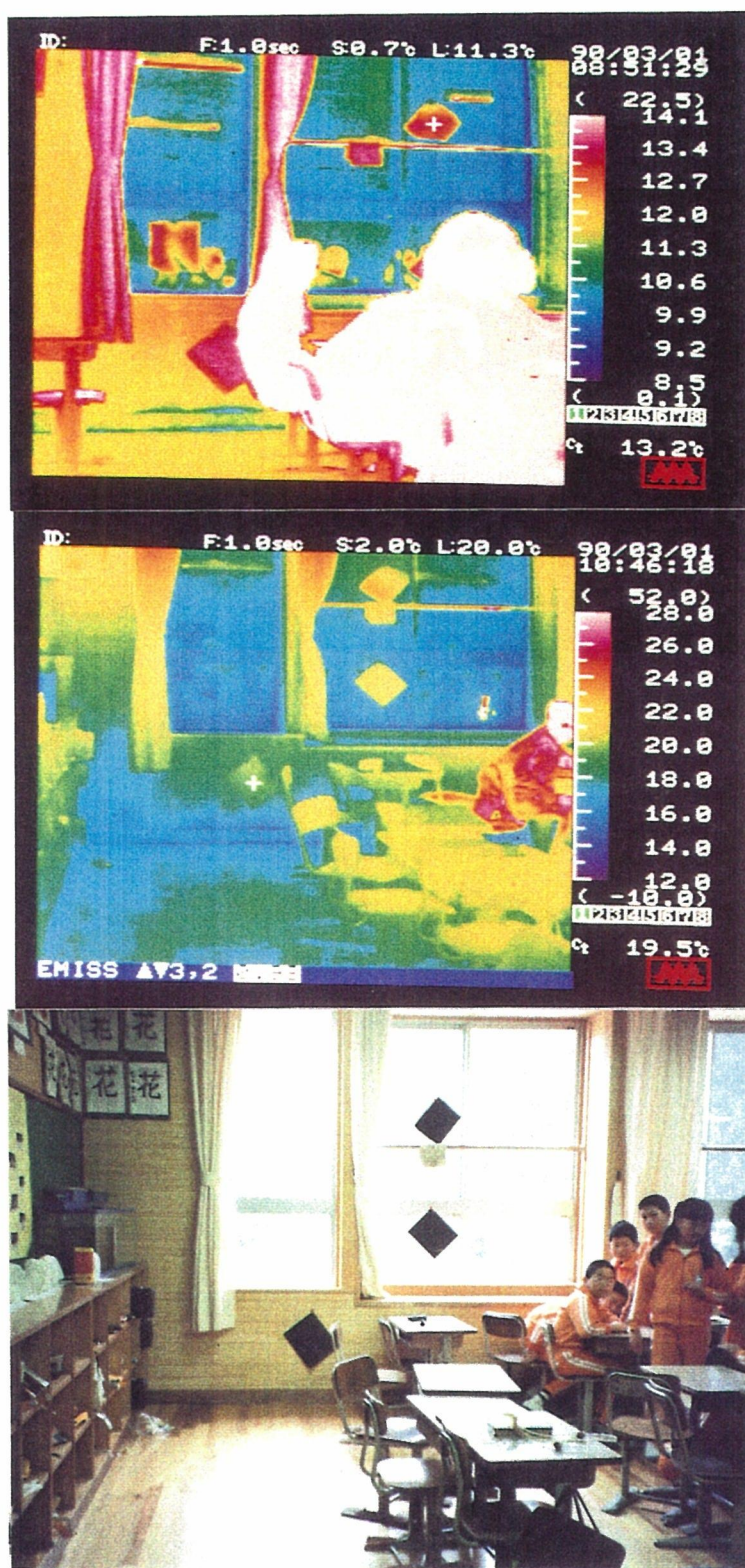


図5. 3. 8 木造2階教室南面のサーモグラフ
 上：ストーブ点火前、 8時51分
 中：ストーブ点火後、10時46分
 下：南面の写真

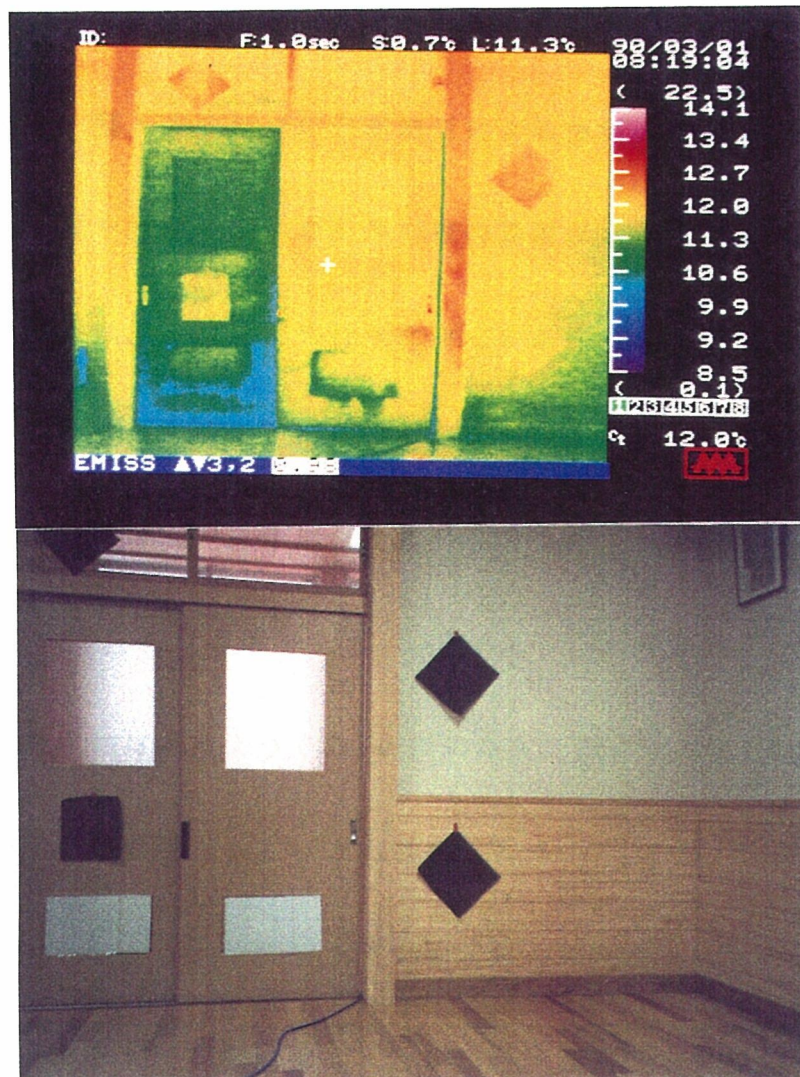


図5. 3. 9 木造1階会議室北面（廊下側）のサーモグラフ
 上：ストーブ点火前、8時19分
 下：北面の写真

総括

1. 室内空気の換気調査について

木造家屋の居室、RC造アパートの居室さらには木造およびRC造の学校の教室、実験室等、種々の条件での自然換気による換気回数の測定が行われた。

自然換気は、風や気温等種々の条件の複合効果により生ずるものであり、ここで測定された結果は、その測定を行った時点の条件での一測定値と解すべきであろう。従ってRC造は木造より換気が悪いとは、にわかには結論することはできないがRC造アパート、木造住宅の比較例などから、その傾向にあることが知られた。

また測定結果には隣室よりCO₂の逆流現象、西日の当たることによる急激な気温の変化等種々の影響があることも観察された。

本研究は主として、後述するラドン濃度との相関をみるために行われた測定であったが、ラドン濃度の測定は2ヵ月かの平均濃度として評価されるのに対し、換気回数の測定はその測定時点での値である。従って両者の間の相関を求めることはできなかったが、RC造のラドン濃度は高く換気の悪いことをうかがわせた。換気についても一定期間の平均値として算出できる方法を検討する必要がある。

換気回数は種々の因子によって測定値は変化し、部屋の開口部の大きさのみで決定される量ではないが、将来においては開口部の数値化、窓を少し、あるいは

大きく開けることによる効果等についても検討を要するものと思われる。他の住環境因子との相関を論ずるには、その都度それに対応した換気回数の測定を行う必要がある。

2. 住宅材料の接触温度特性－接触後の手の平と材料の温度変化について

皮膚と15種の住宅材料との接触面での熱挙動を、非接触型の赤外線放射温度計を用いて測定した。すなわち手の平で1分間接触したあと手を離し、手の平面と材料表面の温度変化の上昇、あるいは下降を測定し、その結果を

$Y = A \exp(-kt) + B$ で表現し、冷却指数 k を求めた。手の平の冷却指数と、ふれていた材料の冷却指数の間には正の相関がある。 $(r = 0.79)$ 。

k の大きい材料は温まりやすく、さめやすい。一般に冷たい材料と認識される。逆に k の小さい材料は暖かい材料ということになる。木材、天然有機材料は暖かい材料である。

材料の厚さ、表面構造を考慮にいった測定法を確立し、生体に対する材料の温度特性を明らかにしていく必要がある。

3. 室内ラドン濃度と換気

ラドン濃度と換気回数、室内ラドン発生源、ラドン濃度と住宅構造すなわち木

造とRC造の違い等について年間を通じた測定が行われた。

木造住宅におけるラドン発生源は地面である。床下面をコンクリート打ちすることにより、さらに床下換気口を適正に配置することによりラドンの滞留が少なくなる。ラドンは床下から階上へと移動するが1階のラドン濃度は床下の影響が大きく、2階でのラドン濃度は建材からのラドンの放出の影響が大きい。

RC造ではコンクリートからのラドン散逸が主原因と考えられ、木造住宅よりラドン濃度が高い。

気温、湿度の低い冬期はラドン濃度は低く、気温、湿度の高い時はラドン濃度が高くなる。ラドンは土などから水分と共に拡散、散逸するものと思われ、地面からのラドンが気温と湿度の相乗効果で散逸している状況が測定された。

換気との関係は、理論上の計算では、換気回数0.1/時間で換気のない状態すなわち0/時間の7%、0.25回/時間で3%、0.5回/時間で1.5%、1回/時間で1%となり、換気の効果は大きい。

測定結果によれば換気の悪いRC造実験室、図書室書庫では極めて高いラドン濃度を示している。

RC造のコンクリート露出部を、木材でカバーすることはラドンの散逸抑制に効果があると思われる。この点について研究を推進させる必要がある。

4. 室内環境と落下真菌の測定と同定

小学校の冬から初夏にかけての測定では、木造とRC造には差はみられず、児童登校中に比較的高い菌数を測定した。木造教室ではRC造より児童の活動が盛んであり、菌数が多く測定された。

一般住宅では南側居室の方が少なく、階数による差はみられない。

正確を期するためには3年間の連続測定が必要とされる。また浮遊菌の回収による測定も必要であると思われる。

5. 木造校舎とRC校舎内の温湿度環境について

5. 1. 学校校舎内の温室度環境の実態

教室床上約10cmの気温と湿度を測定した結果、冬期、夏期共に「学校環境衛生基準値」以下となる状態が存在し、RC造2階教室において1月の1ヶ月では約75%がはずれる結果が得られた。RC造教室に比し木造教室の方が適合率は高い。特に7月、9月にRC造教室でははずれる割合が高い。また、2階の方がはずれる率が高い。

冬期には木造教室では、暖房（灯油ストーブ）により、RC造教室より早く温まり、高い気温になる。また床付近と天井付近の上下温度差はRC造の方が大きく、好ましくない温度環境を生じ易い。

5. 2. 温湿度環境からみた木造校舎とRC造校舎の比較

最寒期平均温度 2°C 、最暖期気温 25°C といった比較的温暖な地域の小学校校舎内の温湿度をほぼ1ケ年を通じ測定した。

夏季の不快感指数には木造、RC造の差はみられなかった。冬期の8時～15時の間の平均気温は同一のストーブの使用にもかかわらず木造教室では1階、2階共に 10°C あるいはそれ以上であり、RC造では 10°C 以下であった。一般に木造の方が室温は高く、最大では月平均で 3°C の差を生じた。

日較差は木造はRC造に比し室温変動幅は約1.5倍あり、外気温の日変動に追従し易い。

5. 3. サーモトレーサーによる学校校舎内の周壁面温度分布の調査

冬期における始業前の暖房を入れる前と、暖房を入れてから2～3時間経過した後の温度環境をサーモグラフを用いて比較した。暖房を入れる前にはRC造1階床は木造より 1°C 高いが、2階廊下の外壁では逆に木造が 1.5°C 、南側壁では 3.0°C も高かった。暖房使用により、木造教室の床はより均一に温まりやすい。RC造の教室の上下温度差は大きい。

学校校舎のように教室を一斉に暖房する場合は木造壁の内部の隙間は暖気の通り道となり、2階教室の温度環境をより好ましくする役割をはたしていた。