

平成2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

技術開発推進事業報告書

省エネルギー一部材開発

(ログハウスの気密性向上技術の開発)

平成3年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

まえがき

近年、自然への回帰、価値の多様化に伴い、ログハウスへの需要が高まりつつある。また野趣豊かなデザイン上の好ましさに加えて、木材の良好な断熱性から夏涼しく冬暖かいとも言われている。一方、ログハウスは丸太を積み重ねて壁体を構成するため、丸太の乾燥・収縮により、特に壁体交差部において、気密の確保が困難という側面が指摘されている。これがスキマとなって気密性を損ない、冬期間にはスキマ風となって居住性を低下させると共に、暖房に伴うエネルギーの増大をもたらしている。

本事業はログハウスの気密性向上による省エネルギー技術の開発を目指すものである。今年度はスキマの評価方法の確立を目的とし、建て方の異なる既存のログハウスについてスキマを測定し検討を行った。

実験を担当して頂いた名古屋大学農学部奥山助教授に深甚なる謝意を表すると共に、ご協力を頂いた岐阜県林業センター 富田氏、奈良県室生村森林組合 宮口氏、滝倉氏の各位に厚くお礼申し上げます。

平成3年3月

(財)日本住宅・木材技術センター
理事長 下川英雄

目次

1. はじめに	1
2. 実験方法	3
2.1 ‘すきま’の評価方法	3
2.1.1 換気回数の測定	4
(1) 測定理論	4
(2) 測定手順及び使用機器	6
2.1.2 気密度の測定	7
(1) 測定理論	7
(2) 測定手順及び使用機器	10
2.2 測定対象	15
(1) R C造事務室	16
(2) ログハウス1	16
(3) ログハウス2	18
(4) ログハウス3	26
(5) ログハウス4	27
3. 測定結果及び考察	36
3.1 測定条件の検討結果	36
3.1.1 換気回数について	36
(1) ‘すきま’の量と換気回数	36
(2) 測定時の気温の影響	45
3.1.2 気密度について	48
3.1.3 有効開口面積と換気回数の関係	51
3.2 ログハウスの測定結果	55
(1) ログハウス1	56
(2) ログハウス2	56
(3) ログハウス3	57
(4) ログハウス4	57
4. まとめ	61
文献	63

1. はじめに

世界中で様々な資源の枯渇が危惧されるなかで、省エネルギーの必要性が現実的な課題となってきた。

人間生活に関与する省エネルギーとしては、熱発生源の効率化が第一に考えられ、ここ数年間で、電気機器や輸送機器の機関の省エネルギー技術は大きな進歩がみられたと言えよう。

住宅における省エネルギーも数々の技術が開発され施工されるようになった。ただ、住宅は複雑な人間の生活に直接関与するため、ハードウェアの省エネルギー技術のみでは解決できない難しさがある。その技術は人間にフィードバックされて、人間の感性、健康に適合した省エネルギー化でなければならない。

例えば、住宅の断熱性能を向上させることは必要であるが、同時に生活のためには適切な湿度が必要であるし、人間生活による湿気の発生にも対処しなければならない。そのための機器を使うとすれば新たなエネルギーが必要になる場合もある。

日本人は日本の気候風土に適した感性をもっているが、それを無視した住環境のコントロールは、長い目でみて定着しないであろう。

いずれにせよ、住宅の省エネルギーを考えるにあたり最も基本になるのは換気の問題である。住宅内の環境には適切な換気が必要であることは、当センターの住

環境に関する総合調査の結果からも明らかである。^{1,2)} 換気と省エネルギーとを両立させることが基本的課題であろう。

近年、自然素材の復権と木材の使用量増大施策によってログハウスがちょっとしたブームとなっているが、特にその‘すきま風’による問題が散見されるようになってきている。ログハウスは、断熱性能がよく温湿度の自然な調節が期待される一方で、その施工法によっては‘すきま風’がつきものとなる。

この研究では、住宅の省エネルギーの向上の一環として住宅の気密性能の調査を行うものである。

そこで、ログハウスの‘すきま風’の原因となる‘すきま’の評価方法を検討し、実際のログハウスではどの程度の‘すきま’があるのか、施工法により異なるか、経時変化はどの程度か、などについて実測による検討を三年計画で行う。

なお、本研究を遂行するにあたり、岐阜県林業センター・富田氏、奈良県室生村森林組合・宮口、滝倉両氏には多大な協力をお願いしている。ここに深謝致します。

2. 実験方法

2. 1 ‘すきま’の評価方法

一つの壁を隔てて両側の空間に圧力差があるとき、もし壁に何等かの貫通口があれば、これを通して圧力の高い方から低い方へと空気が流れる。壁で囲まれた一つの空間とその外側とを考えたとき、その間に圧力差を生じさせる原因は、風、温度差に基づく浮力、送風機などであるが、小さな開口が一つだけで他は完全密閉であるならば、圧力差はまもなく無くなり空気の流れは止まってしまう。しかし、他の開口があればここには第一の開口とは逆の圧力差を生じ、原動力である風、浮力、送風機などが止まらないかぎり室内空気の流出・流入が生じ、換気が行われる。

換気の原因が、風、温度差による浮力のみである場合を自然換気といい、送風機などで強制換気する場合を機械換気という。

これらの換気の難易を数値化することによって、室内の‘すきま’を評価できる。すなわち、自然換気は単純にはないが‘すきま’に依存するし、機械換気も‘すきま’の大きいほど容易である。前者はCO₂ガスをトレーサーとする換気回数の測定に対応し、後者はファンを用いた強制排気などによる気密度測定に対応するものである。

‘すきま’の評価には両者で一長一短があると思われるが、本研究では両者の

比較から試みる。

2. 1. 1 換気回数の測定

(1) 測定理論³⁾

自然換気は、室内気体が単位時間あたりに入れ替わる回数である換気回数 n (回/時間 h) で表わされる。

$$n = V / R \quad (1)$$

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

換気量の測定方法は、一般には炭酸ガス (CO_2) 濃度の変化をトレースする方法が用いられる。一定量の CO_2 ガスを継続的に発生させながら室内 CO_2 濃度の増加速度を測定するか、一時に多量のガスを室内に充満させてその濃度減少速度から換気量を算出するものである。 CO_2 は、空気より比重が大きいため多少問題があるが、濃度があまり高くない場合には人体に無害であり、入手、取り扱いが容易なため普通に用いられる。

室外に流出する空気量を V_1 (m^3/h)、室内空気の CO_2 濃度を k_i (m^3/m^3_{air})、とすると $d t$ 時間の CO_2 流出量は $V_1 \cdot k_i \cdot d t$ となる。

一方、室内に流入する外気量を V_2 、外気の CO_2 濃度を k_a とすると、おなじく $d t$ 時間の CO_2 流入量は $V_2 \cdot k_a \cdot d t$ となる。

室内において発生する CO_2 量を k (m^3/h) とすると $d t$ 時間内に $k \cdot d t$

だけの CO_2 が発生する。室内の全 CO_2 量は、室容量を R (m^3) とすれば

$R \cdot k_i$ で与えられる。従って、その変化は $R \cdot dk_i$ となる。

室内で CO_2 の吸着・吸収される量を無視できれば、

$$V_2 \cdot k_a \cdot dt + k \cdot dt - V_1 \cdot k_i \cdot dt = R \cdot dk_i \quad (2)$$

の関係がなりたつ。

室内温度を T_i ($^{\circ}\text{K}$) とすると、

$V_2 = T_0 \cdot V_1 / T_i$ であるから

$$\left[k - V_1 \left(k_i - \frac{T_0}{T_i} k_a \right) \right] dt = R \cdot dk_i \quad (3)$$

これを k_i について解いてならべかえると、任意の時刻 t における室内の CO_2 量は

$$k - V_1 \left(k_i - \frac{T_0}{T_i} k_a \right) = \left[k - V_1 \left(k_0 - \frac{T_0}{T_i} k_a \right) \right] \cdot \exp \left(- \frac{V_1}{R} t \right) \quad (4)$$

ここに、 k_0 は $t = 0$ における室内 CO_2 濃度である。

$T_0 = T_1$ とみなせば、 $V = V_1 = V_2$ となる。また、 $V/R = n$ であるから

$$k - V (k_i - k_a) = [k - V (k_0 - k_a)] \cdot \exp (-n \cdot t) \quad (5)$$

測定手順として、 CO_2 を室内に充満させて、濃度減少経過を測定する場合は、

$t = 0$ のときの CO_2 充満濃度を k_0 とし、 t 時間後の濃度を k_i 、バックグラウンド濃度を k_a と考えれば (5) 式は、

$$k_i - k_a = (k_0 - k_a) \cdot \exp(-n \cdot t) \quad (6)$$

最終的に、換気回数 n は、

$$n = (-2.303 / t) \cdot \log \frac{(k_i - k_a)}{(k_0 - k_a)} \quad (7)$$

で求められる。

(2) 測定手順及び使用機器

CO_2 をトレーサーとして用いた。

まず、室内 CO_2 濃度のバックグラウンド [式 (7) における k_a] を測定したあと、扇風機で室内空気を攪拌しながら CO_2 ガスを放出し、室内 CO_2 濃度が 5000 ppm [式 (7) における k_0] になった時点でガスの放出を停止した。その後 CO_2 濃度減少経過 [式 (7) における k_i] を自記記録計で記録した。なお、 CO_2 濃度は床から 1.2 m の位置で測定した。同時に室内外の温度を自記記録した。

測定対象の建物については 2.2 において詳述するが、気密度との対比を行う実験を RC 造事務室で行った。すなわち、窓以外の隙間を全て目張りしたあと、隙間面積を変える目的でアルミサッシの窓を、 2 、 4 、 6 、 8 、 10 cm と開

け、CO₂濃度測定による換気回数と気密度測定を交互におこなう実験を行った。

使用機器は、

1、環境測定用CO₂計 : 富士電機株式会社 ZFP5

* 測定範囲 0～2000 / 5000 ppm

ゼロ点補正にはN₂ガスを使用。

2、XYレコーダー : 渡辺測器、WX4403

3、データロガー : 日本電機三栄株式会社 7V13 および

DL1200。

4、C-C熱電対 : 室内 2～3点、室外 2点を測定。

2. 1. 2 気密度の測定

(1) 測定理論⁴⁾

気体が運動しているときは、その気体は運動のエネルギーを保有する。その圧力は流速 v (m/s) が完全に0になるとき慣性で押す仕事 p_v (kg/cm²) で評価する。すなわち、

$$p_v = \int_0^v m v \, dv = m v^2 / 2 = \gamma v^2 / 2 g \quad (8)$$

ここに m は質量、 γ は気体の比重量 (kg/m³)、 g は重力加速度 (9.8 m/s²) である。これは、気体の理想的な流れによって生じる動圧の式である。

実際に気体が狭い開口部などを流れる場合には (8) がそのままなりたらず、流れに抵抗が生じ圧力損失が起こる。その場合には、圧力損失係数 ζ を導入した次式が用いられる。

$$\Delta p = \zeta \frac{\gamma}{2g} v^2 = \zeta \frac{\gamma}{2g} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (9)$$

これは、2点間に圧力差 Δp があり、流速 v で気体流れる場合に用いられる関係である。ここに、 v は二点間の平均流速 (m/s)、 Q は気体流量 (m³/s)、 A は面積 (m²) である。

(9) 式の A から気密性を評価できる。すなわち、室内の空気を外部に強制的に流出または流入させる時、空気の流量 Q と室内外の圧力差 Δp との関係は (9) 式で表わされ、これから 'すきま' の面積 A が評価できる。ただし、(9) 式中、 ζ は建物の 'すきま' の形によって異なる定数であり、それをあらかじめ決定することは不可能である。従って、絶対的な開口面積 A を求めるのは困難である。

そこで、一般的に風量係数 α なるものを導入し、 αA を有効開口面積とよび、その値で建物の気密性を評価する。すなわち、

$$\alpha = (1 / \zeta)^{1/2} \quad (10)$$

とおき (9) 式を書きかえると、

$$Q = \alpha A \left(\frac{2g}{\gamma} \Delta p \right)^{1/2} \quad (11)$$

さらに、実際の‘すきま’では、空気流量が圧力差の1/2乗に比例しない場合が多く、測定値を次式のように整理するのが普通である。

$$Q = Q_0 \cdot \Delta p^{1/n} \quad (12)$$

ここに、 Q_0 は基準圧力差（1 mm A q、9.8 Pa）で‘すきま’を流れる空気流量（ m^3/s ）である。

すなわち、 Q_0 は（11）式の Δp に1を代入し、

$$Q_0 = \alpha A (2g/\gamma)^{1/2} \quad (13)$$

それを（12）に代入して、

$$Q = \alpha A (2g/\gamma)^{1/2} \cdot \Delta p^{1/n} \quad (14)$$

n は‘すきま’の特性値とよばれるもので、開口部の大きさ、形状などによって異なる。普通の開口で $n \doteq 2$ 、毛細管透気の場合 $n \doteq 1$ である。従って、‘すきま’の幅が大きい窓の場合は n が2に近づき、気密度が増せば1に近づく傾向にある。

実際には、単位時間あたりの流量と圧力差を同時に測定し、両者を両対数グラフにプロットする。その直線の傾斜から n を計算する。

また、 αA は、（11）、（12）式から

$$\alpha A = Q_0 (\gamma / 2g)^{1/2} \cdot (\Delta p)^{(1/n) - (1/2)} \quad (15)$$

の Δp が 1 mm A q のときの Q_0 を代入してもとめる。

この式において、単位をあわせる場合、 γ [kg/m³]、 g [m/sec²]、 Δp [mm A q : kg/m²]、であり、(15) 式は

$$[m^2] = (1 / 3600) [m^3/h] [sec/m] [m^2/kg]^{1/2} \cdot [kg/m^2]^{1/2}$$

となる。結局、最終的に時間の単位を 1 / 3600 で調整するのみでよい。

(2) 測定手順及び使用機器

軸流ファンを有する気密度測定器（写真1）を用い、減圧法で測定した。すなわち、測定器の排気口を窓から外側に向け、排気風量 [式(14)における Q] を各種の段階で変化させて、それに対応する室内・外の圧力差 [式(14)における Δp] を測定した。両対数グラフ上の縦軸に Δp を横軸に Q をプロットし、直線の傾きからすきま特性値 n を求めた。

空気密度は常温で 1.164 kg/m³、であり g は 9.807 m/sec²、従って、 $\gamma / 2g = 0.059$ であるから (15) 式から、有効開口面積 αA は

$$\alpha A (m^2) = Q_0 (m^3/h) \times 0.059 / 3600 \text{ でもとめられる。}$$

この測定法を採用するにあたり、圧力差をどの範囲にとるかが問題となる。低すぎる圧力差は風の影響をうけることになり誤差が大きくなる。この実験では、図

1 に例を示すように、 Q と Δp の両対数グラフ上の広い範囲でよい直線性が得られることから、最低 0.1 mm A q から最高 $2 \sim 8 \text{ mm A q}$ の範囲で $7 \sim 16$ 点の測定を行い両者の最適直線を求め、 n と αA を算出した。

使用機器は、

1、住宅用気密測定器 : コーナー札幌株式会社

K N S - 3 0 0 0 11

2、パーソナルコンピュータ : N E C 9 8 0 1 L V

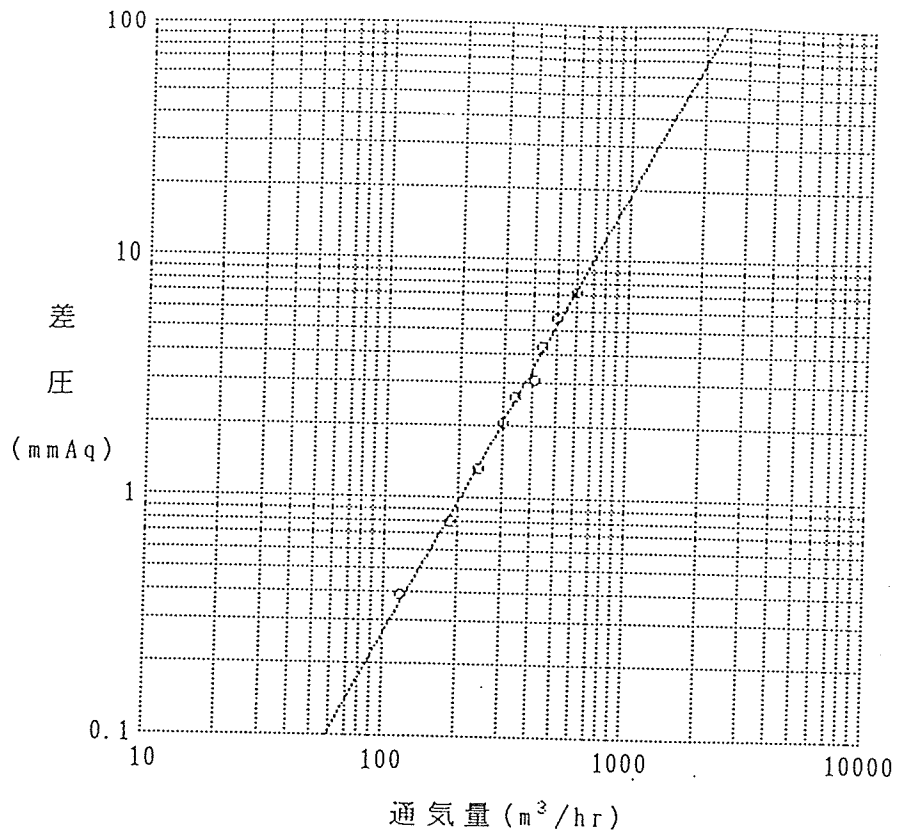
なお、室内および壁の有効開口面積は、 αA を床面積または壁の測定範囲の面積で除したものである隙間相当開口面積 (cm^2/m^2) であらわした。

壁面の‘すきま’の評価

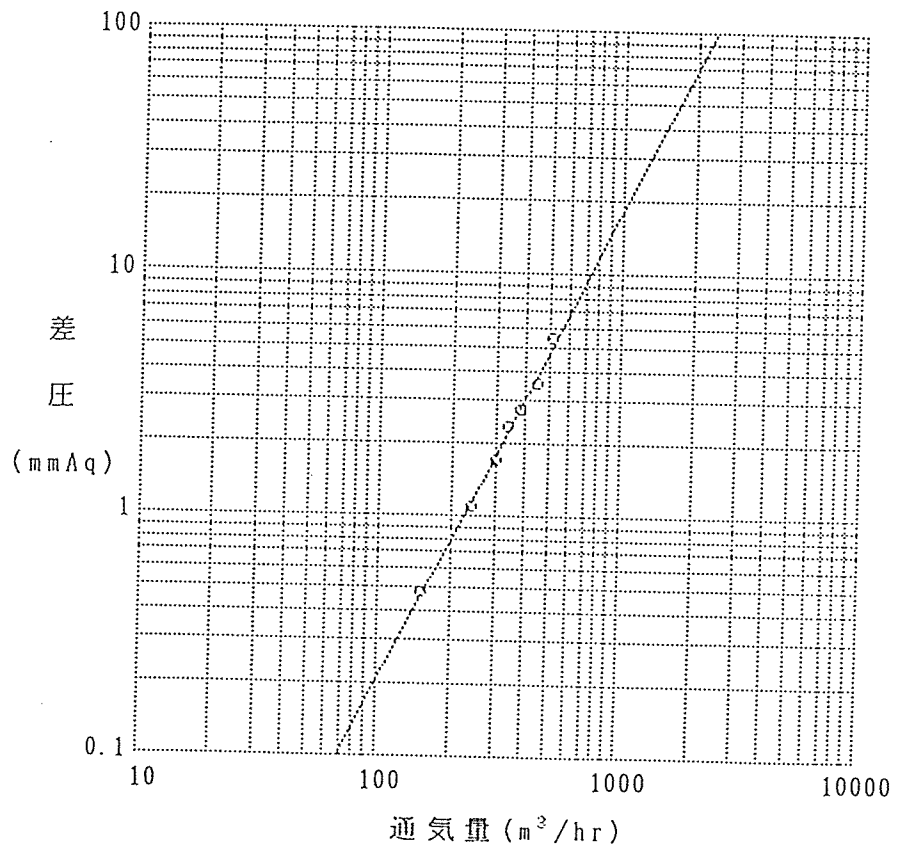
室内の気密性は、出入り口のまわりなどの隙間に大きく左右されることは当然であるが、特にログハウスなどの気密性の改善をはかる目的からは、壁面の隙間の評価は不可欠である。

壁面の有効開口面積を測定するには加圧法とした。すなわち、写真1に示すように気密測定器の排気口の排気圧を壁面に向け、その時の空気流量と圧力差を測定する方法をとった。

壁面的一部分（およそ $1.2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ）をビニールシートで覆い、シートのまわりと壁面を布テープで空気の漏れがないようにシールし、シートにあけた穴に



傾き: 1.84 相関係数: 0.998 有効開口面積: 136.43 cm^2



傾き: 1.95 相関係数: 0.997 有効開口面積: 149.61 cm^2

図1 気密率測定例、差圧と通気量との関係

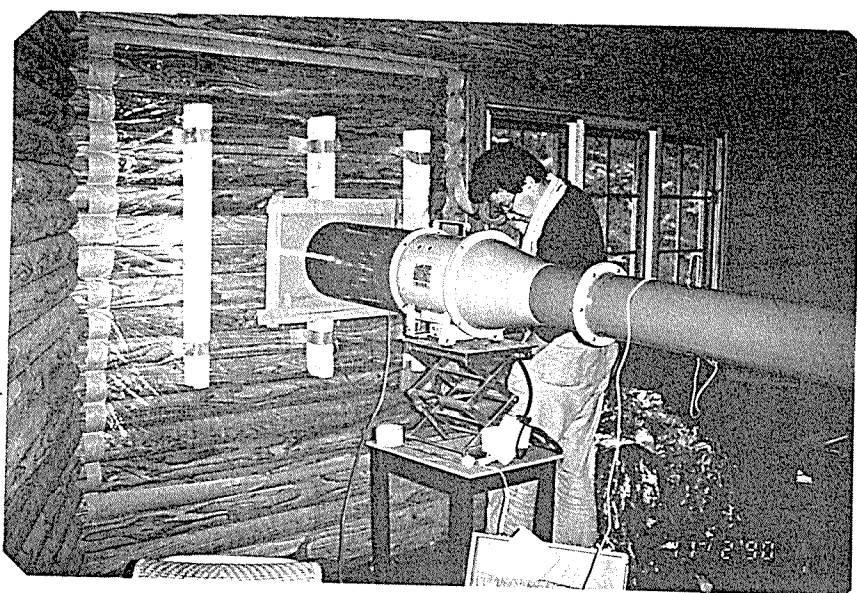


写真1 壁面の有効開口面積の測定

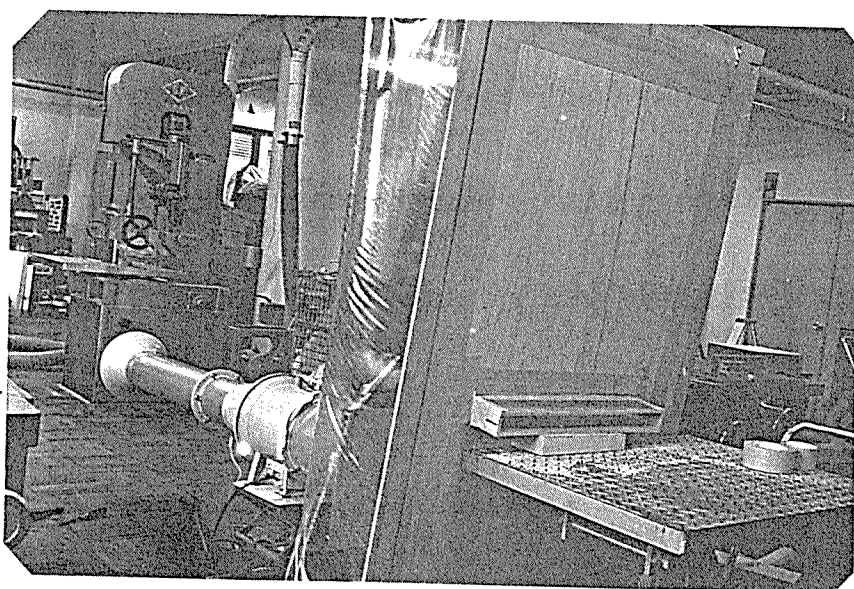


写真2 板にあけた穴の有効開口面積の測定

気密測定器の排気筒を取り付けた。送風中の圧力震動を受けないように工夫した
圧力測定プローブを壁面とビニールシートの上に挿入し、シート内外の圧力差を
測定した。空気流量は室内気密度の測定の場合と同様に測定される。

有効開口面積と実面積の比較実験

開口部の形によって圧力の損失が生じるため、風量係数 α が異なる。このこと
によって、有効開口面積と実面積との比が異なってくる。

室内や壁の‘すきま’の形はさまざまな形をしているので、前もって風量係数
を予測するのは不可能に近い。また、その値は測定器や測定条件によっても異な
ると考えられる。気体の流通する穴の流通方向の断面形によってことなる α の値
についてはすでに実験的に検討された例があるが、壁面からみた開口部の形によ
る検討結果はない。ここでは、開口の形がスリット、長方形および円形で α 値が
どの程度異なるかについて、木質材料を使って検討した。

厚さ 9 mm の合板および 13 mm のパーティクルボードの 3 × 6 板 (90 mm
× 1800 mm) に、下記の寸法の開口を作った。

スリット状開口 : 3 mm × 500 mm を 13 本、測定時にはテープで有効
スリットの本数を変えた。

長方形開口 : 500 mm × 450 mm の長方形の穴を開け、測定時に
やはり布テープで所定の面積の長方形にして測定した。

円形開口 : 円の直径を60mm～160mmまで1cmきざみの穴
を開け測定を行った。

これらの穴をあけた板について前述の壁面の‘すきま’の評価と同様な測定を行った。写真2は、その実験中で圧力をかけている状態である。

換気回数との比較実験

‘すきま’を評価する場合の方法として、さきのCO₂濃度による換気回数と、この有効開口面積による方法を試みたが、両者はそれぞれに一長一短があると考えられるが、‘すきま’に対して同一条件の部屋を両者の方法で同時に測定し比較してみることによって相互の数字の意味が明確になる。

そこで、‘すきま’の量を制御しやすいRC造の事務室〔測定対象の(1)〕の全ての隙間をガムテープで目張りし、アルミサッシュの窓を2、4、6、8、10cm(面積にして230、460、690、920、1150cm²)と順次開けていき、それぞれの条件で有効開口面積を2回、換気回数を1回交互に測定した。従って、風、温度などの影響は両者の測定で大きく異なることがない測定条件である。

2.2 測定対象

上記、二つの方法による‘すきま’の評価結果の比較を行う意味で、測定対象建物の全てについて二種類の測定を行なった。

(1) R C造事務室

名古屋大学農学部A館276号室。同一形状の部屋で窓やその他の‘すきま’を容易に変化させうるためのテストルームとして選んだ研究室の一室である。

平面図を図2に示した。

‘すきま’としては、廊下に面したドア（幅80cm、高さ200cmでドアの下部に57cm×20cmの通気口あり）のまわり、隣室に通じるドア（前記のものと同じ規格）まわり、アルミサッシの引違い窓（160cm×60cm×2および160cm×115cm×2）のまわり、サービスダクトの扉（鉄製扉、65cm×155cm）などがある。また、室内には大きめの本棚（木製で、310cm×245cm）がある。

‘すきま’とみられる部分をつぎつぎとガムテープで目張りし隙間の量を変化させ測定を行った。

測定は、一年中適宜行った。

(2) ログハウス1

森林組合で事務室としても使われている18m²の展示室である。

写真3でみるように、外装はログハウス様に作られているが、いわゆる通常のログハウスとは異なる。すなわち、校木組み壁を耐力壁とはせず、コンクリート造布基礎にたてた10cm角の柱を基本とする構造をとっている。その意味では、

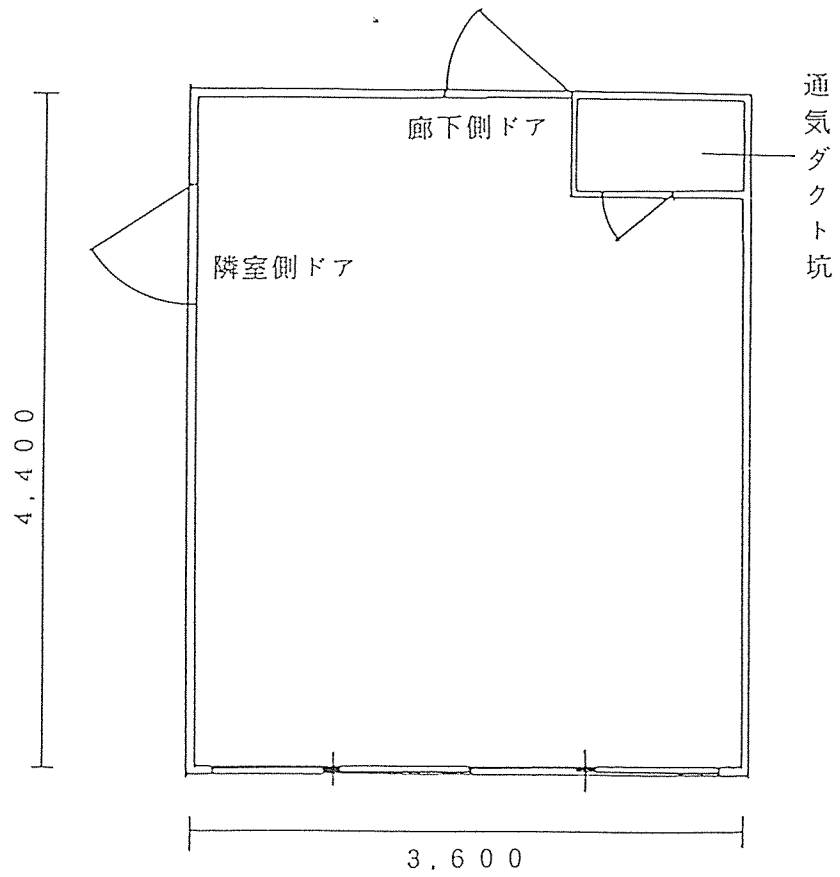


図2 R C造事務室平面図、名古屋大学農学部276号室

ログハウスの定義からは外れる建物である。

木製ドアの出入り口と四方に二重窓が1ヶ所ずつあり、そのうち3つはアルミサッシのガラス窓（180cm×100cm×3）で内側は障子戸となっている。他一つは、はめこみ窓で開閉はできない。

天井は、図4のように、径9cmのスギ丸太を組合せた小屋組みで10cm角材の軒げたとの隙間は漆喰でうめてはあるが、あきらかに隙間が多い。

壁は、図5のように、ログをパネルの外壁とし、内側は発泡スチロール板を入れ、内装壁板を張った構造となっており、厚みは13cm程度で‘すきま’はみかけ上少ない。

床は木製フローリング仕上である。

測定は1990年11月1～2日に行った。

（3）ログハウス2

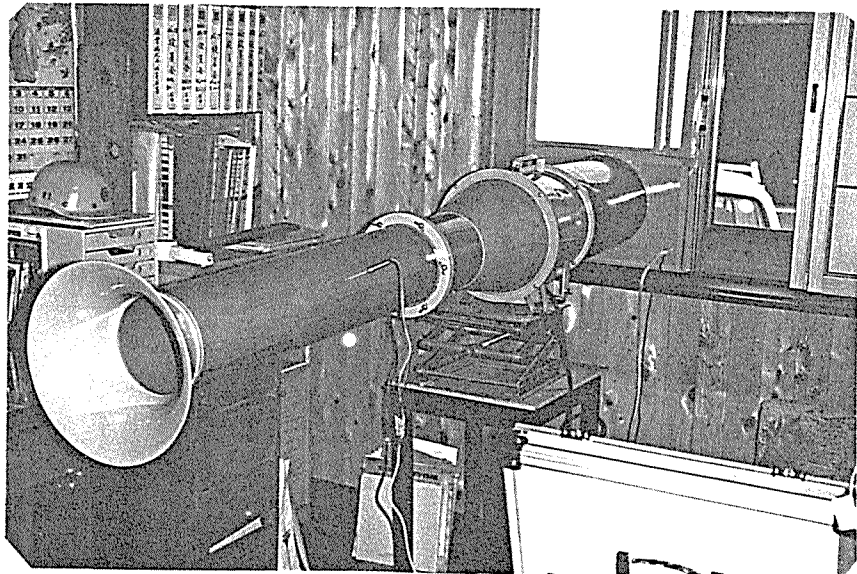
上記と同一場所に1989年11月に建設された一辺の壁長さが5.15mの六角形の高床式のログハウスである。森林組合により製造販売されているものである。外観及び構造の一部を写真4に示す。

平面図は図6に、校木の断面を図7に、校木組み及び窓枠すりあわせ部の断面を図8に示す。

平面図では五部屋に区切られてみえるが、天井は共通になった吹き抜けであり、



FUJICOLOR 90



FUJICOLOR 90

写真3 ログハウス1、及びその内部での測定状況

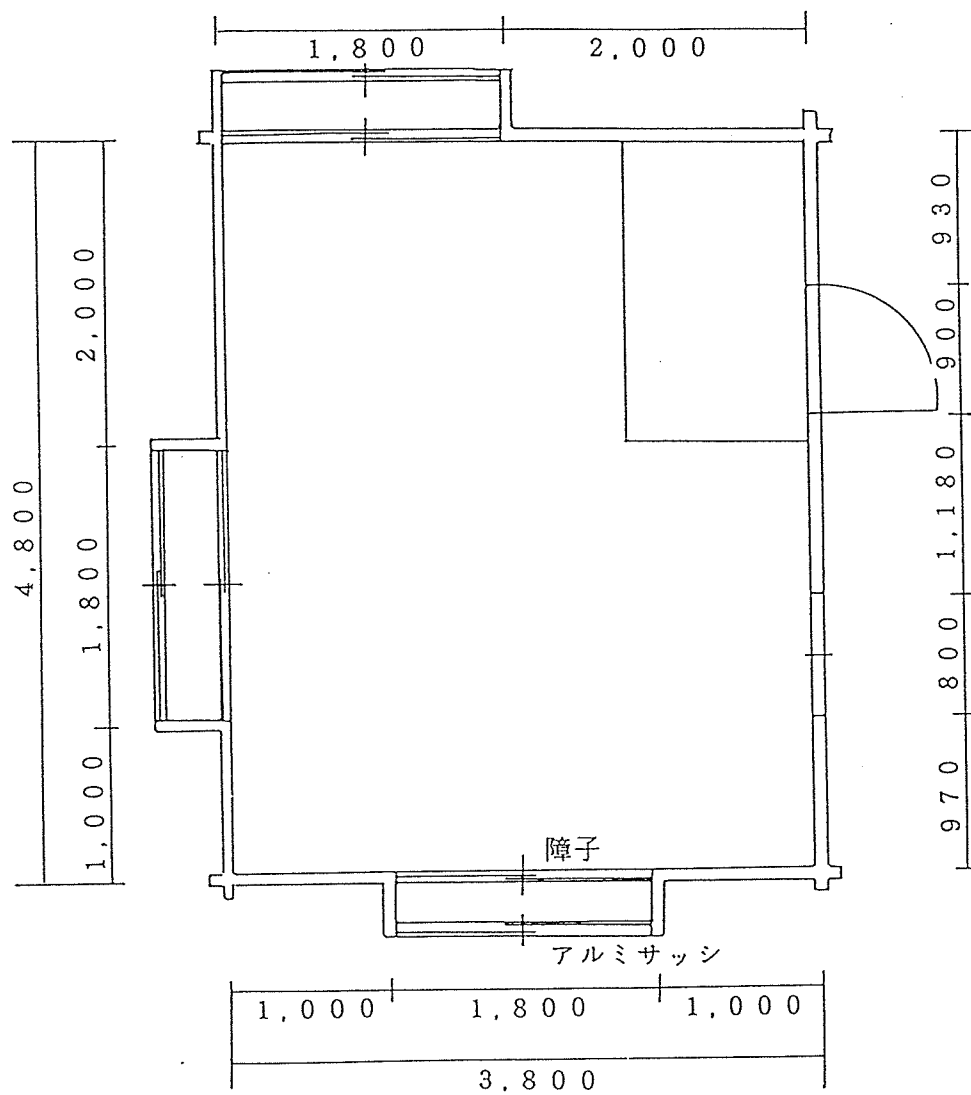


図3 ログハウス1 平面図

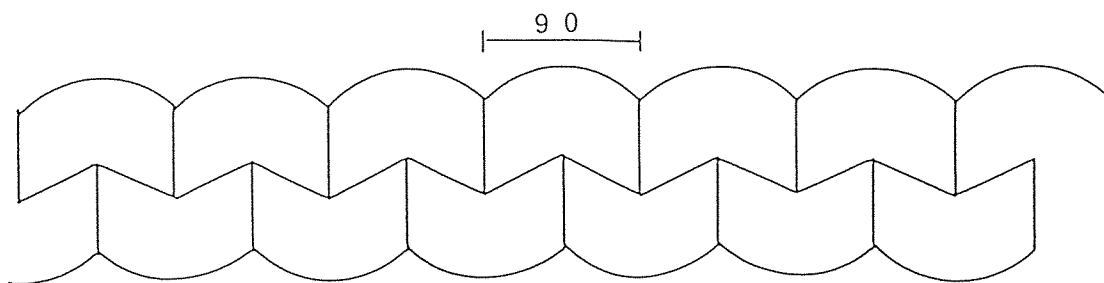


図4 ログハウス1 屋根の丸太組み

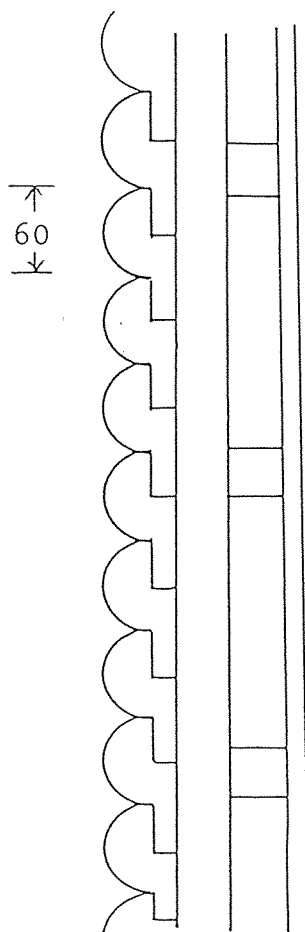
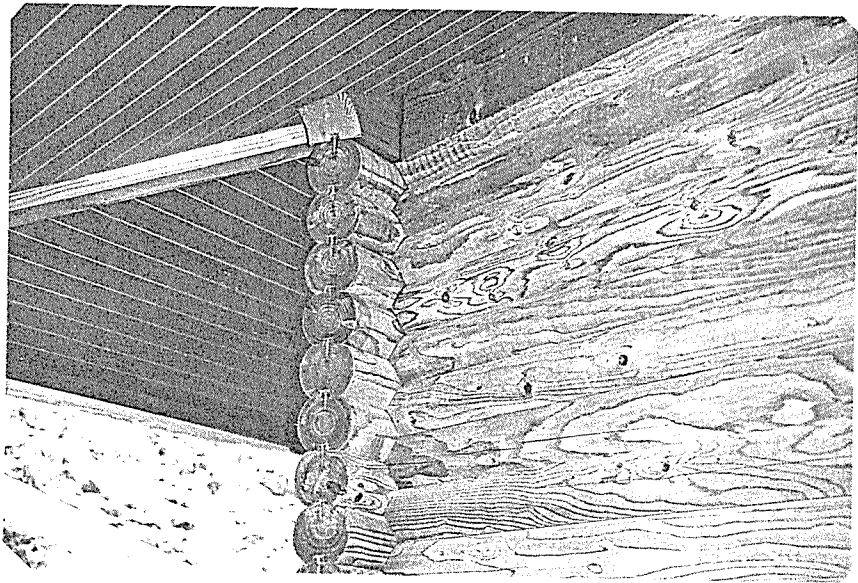


図5 ログハウス1 壁体断面図

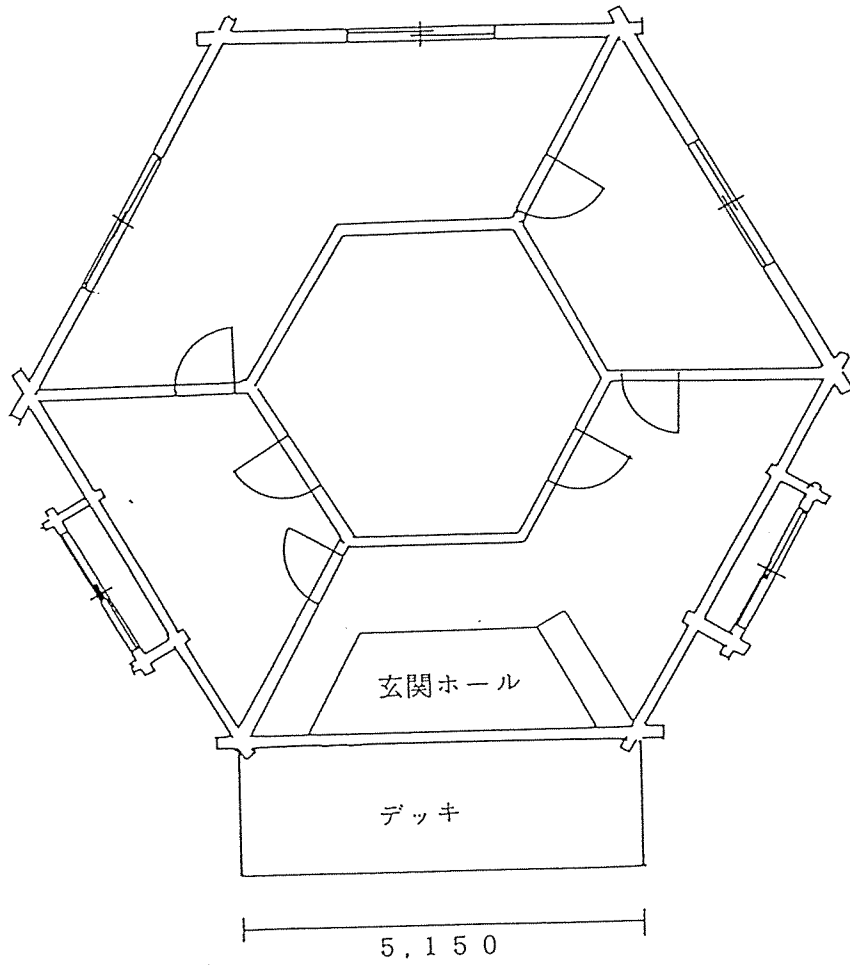


FUJICOLOR 90



FUJICOLOR 90

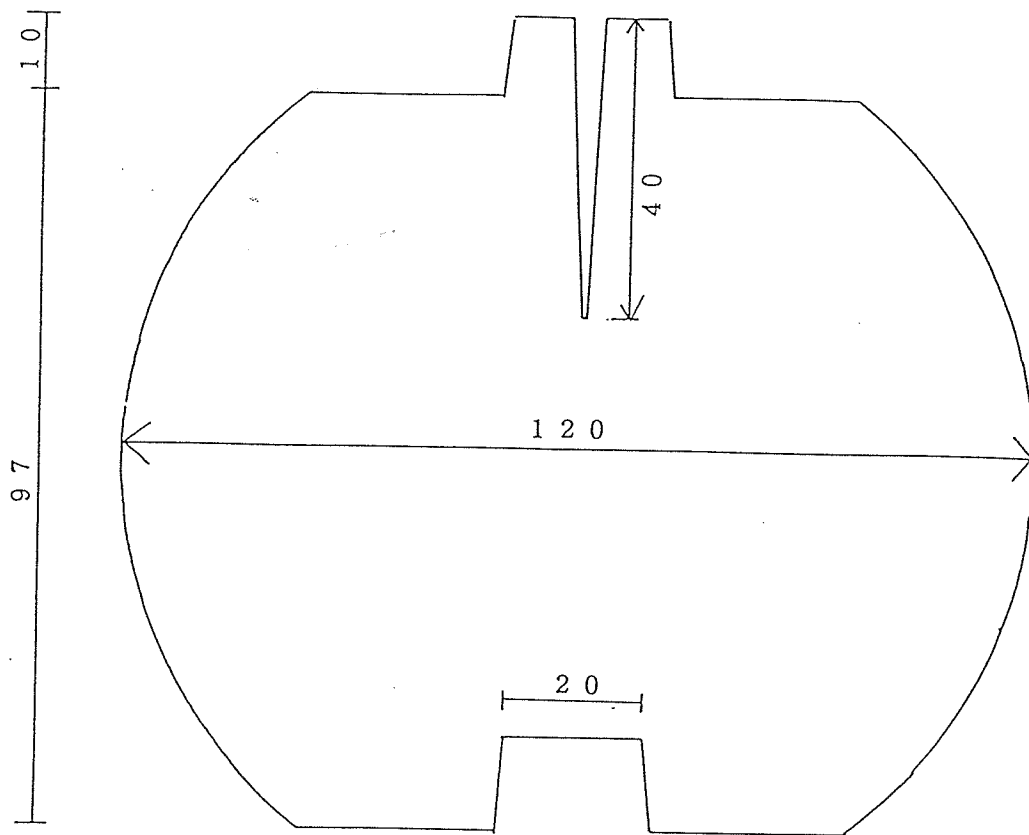
写真4 ログハウス2、及びその部分写真



床面積 75.7 m²

築 1989年12月

図6 ログハウス2 平面図



スギ、直径 12 c m

図 7 ログハウス 2 校木の断面図

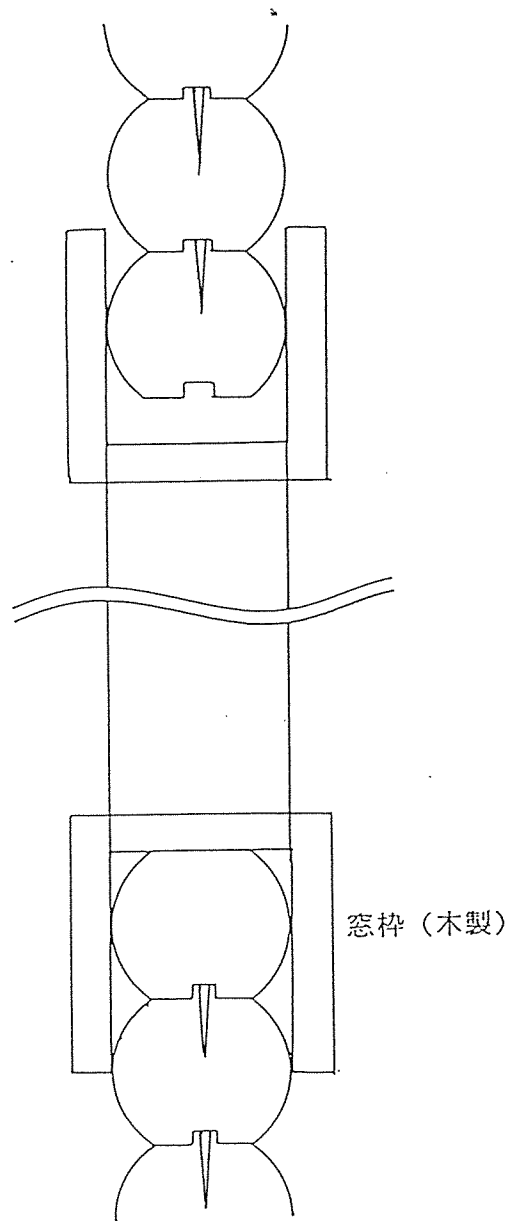


図8 ログハウス2 校木積みと窓枠すり合せ部分

通気的面からみれば全体が一部屋の作りである。玄関ホールには木製の観音開きのドア（190 cm × 210 cm）が取り付けられている。

高さ2.45 mの壁は直径15 cm以上のスギ丸太を乾燥後、直径12 cmに旋削し、図7のように機械加工したものを図8のように組みあげたものである。

校木組みは図7から明らかなように、丸太の乾燥収縮による背割りの開きが校木間の‘すきま’を閉じさせるように巧妙に精度高く組まれていて、一見して‘すきま’の少ない、また経時的变化が少ないことが予想される作りである。

窓枠まわりの施工は図8のようで、やはり‘すきま’に対して配慮されている。窓は3連観音開きの木製サッシュガラスで仕上げは良く気密性は高いとみられる。

室内の壁は、校木組みがそのまま見えるが、天井は化粧合板で内張りし、ログの上に10 cm角の敷いたをおき、たる木との間の隙間をもやでうめている。

高床式の床は、根太の上に発泡スチロールを敷きその上にコンクリートパネル合板を敷き、さらに木質フローリング仕上げがなされている。

測定は、壁を組み上げてから約10カ月後に行ったことになるが、壁に通したボルトとナットの間隙からみて、加圧乾燥収縮によって約6 cmの沈みがみらる。

なお、測定は1990年11月2日に行った。

(4) ログハウス3

1989年4月に名古屋市熱田区白鳥の住宅展示場内に建設されたモデルハウスで、小屋裏を利用した2階建である。写真5に外観の一部を、平面図を図9、校木の断面及び校木組みを図10に、測定した部屋の平面図を図11に示す。

測定は、一階の6畳の和室の出入り口を締め切って行った。図11の出入り口は80cm×180cmの木製片開きドアで他にアルミサッシの引違いガラス窓(75cm×120cm)と170cm×180cmの引違い出入り口がある。

壁は校木組みの露出、天井はヒノキ天井板張りで床はコンクリートパネルに畳敷きである。

測定は1991年1月22日に行った。

(5) ログハウス4

1989年5月に上記のログハウスにならべて建設されたものである。やはり小屋裏を2階とするもので写真6に外観と壁体の部分を、平面図を図12に示す。

これは、図13および写真6にみられるように、ヒノキ間伐材をミニフィンガージョイントでつないだ厚さ3.5cmの台形ラミナを集成し、角材としたものをログハウス風に組み上げたもので、丸太を使っていない。校木のかん合面が他の円形系とはことなり、平面を基本としている。したがって、‘すきま’の一つのバリエーションとして比較対照することは興味深い。

測定には1階の4.5畳の和室を使用した(図14)。室内には出入り口の引

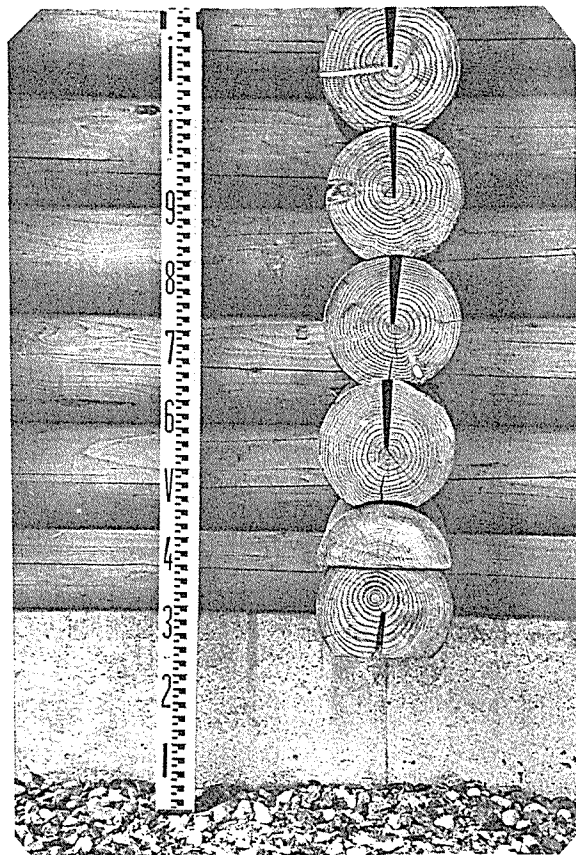
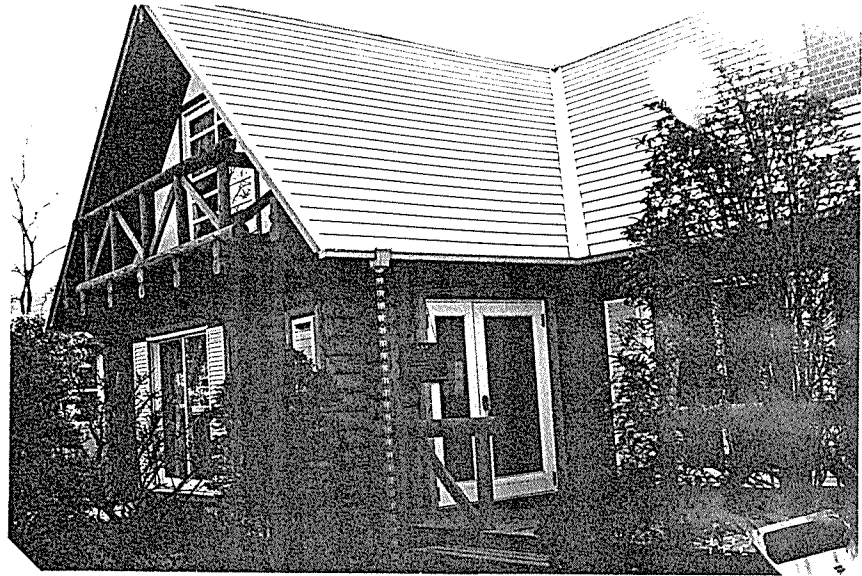
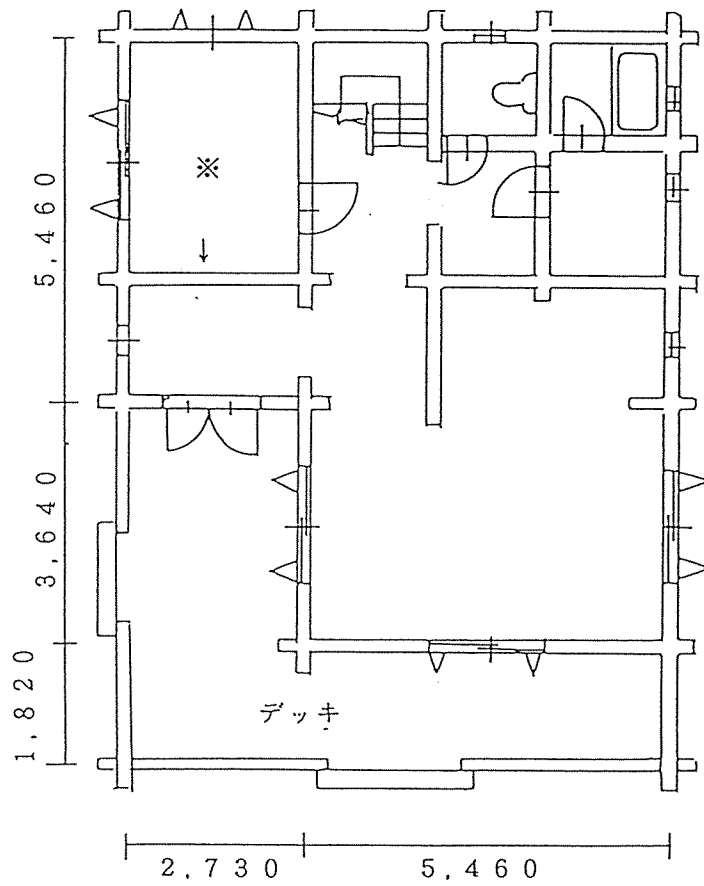
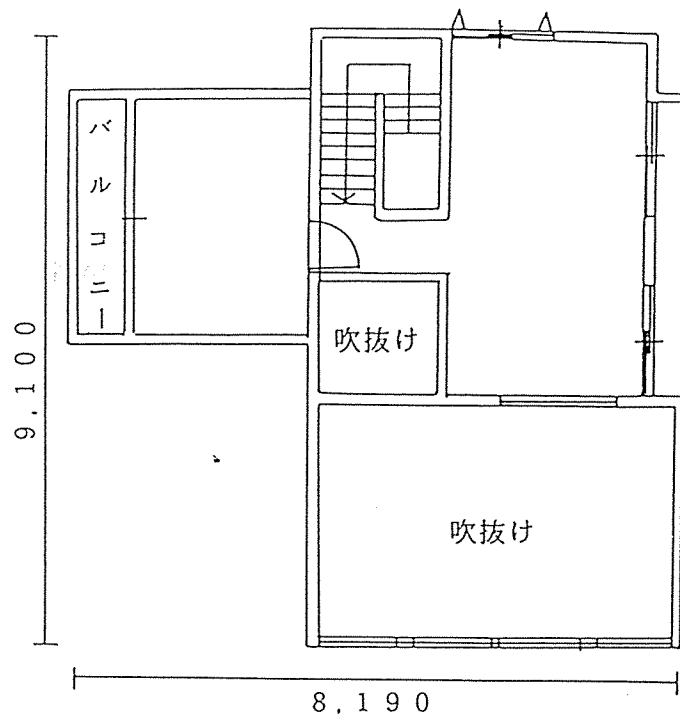


写真5 ログハウス3、及び校木積みの部分写真

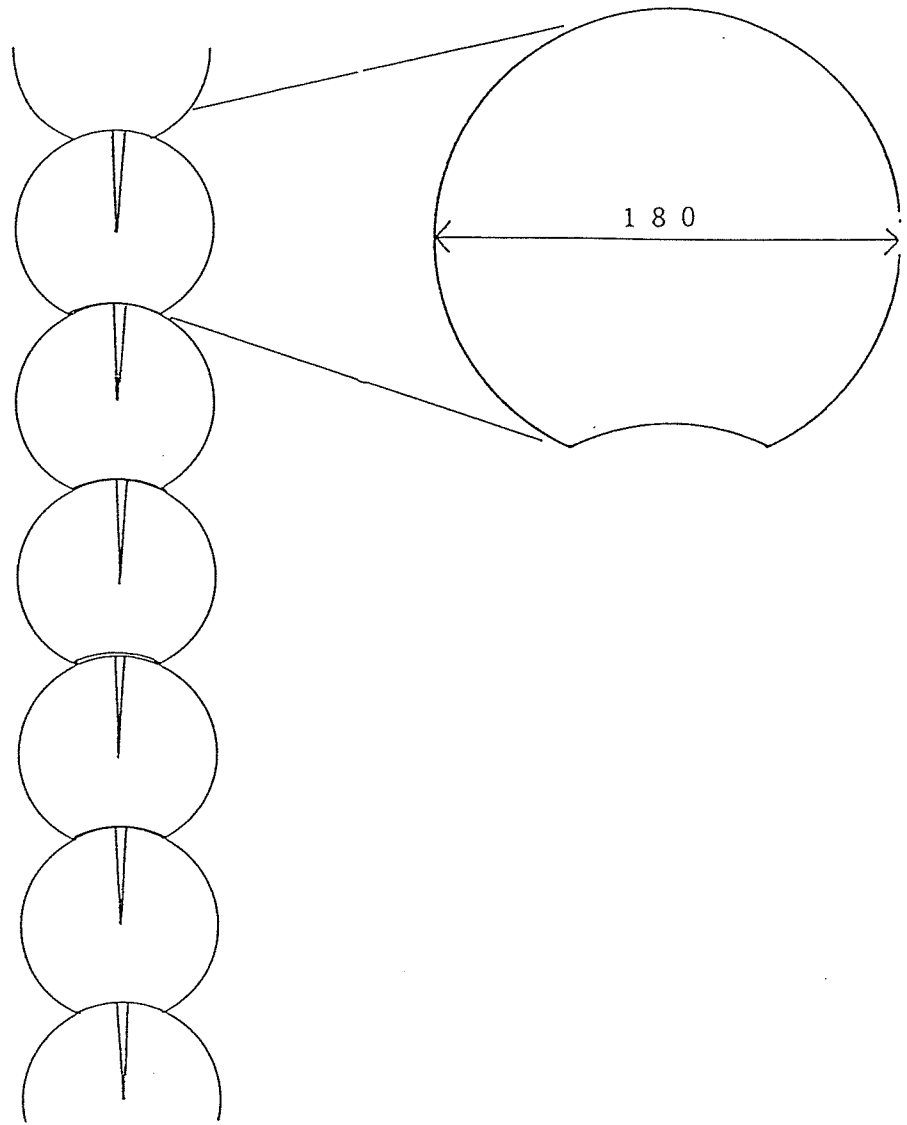


床面積 99 m²

築 1989年4月

※ 測定に供した部屋

図9 ログハウス3 平面図



スギ、直径18cm

図10 ログハウス3 校木積み断面図

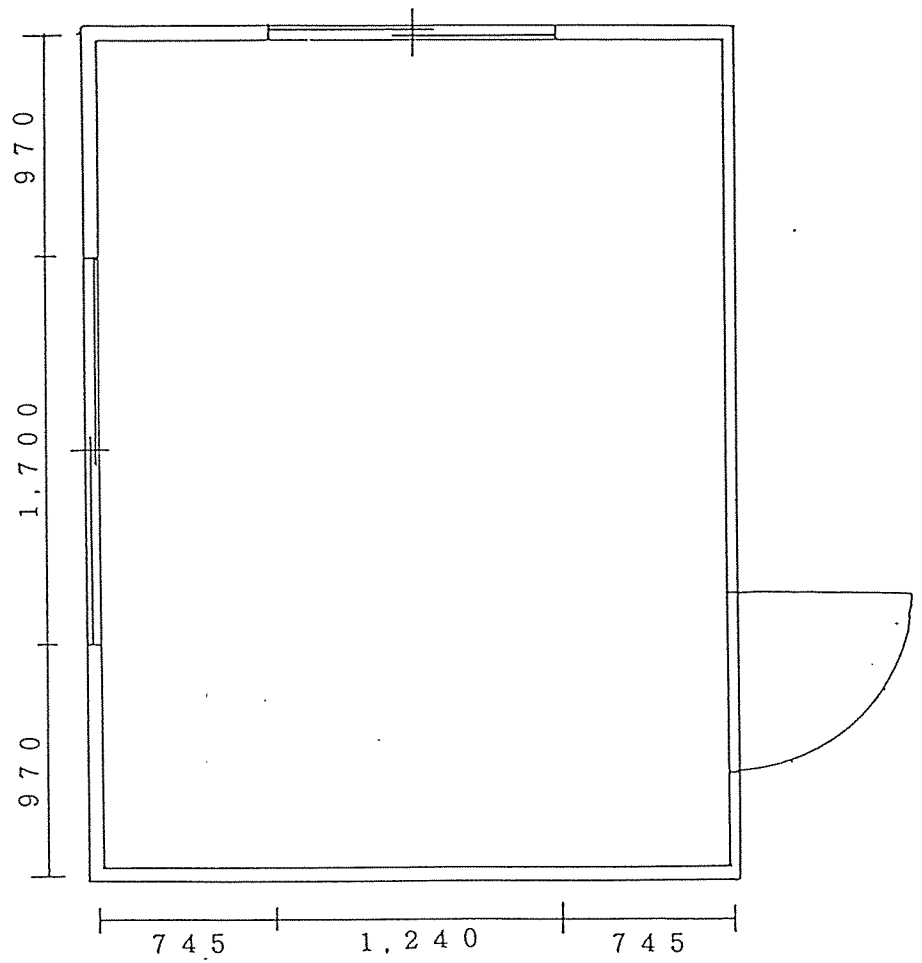


図 1 1 ログハウス 3 測定した部屋の平面図

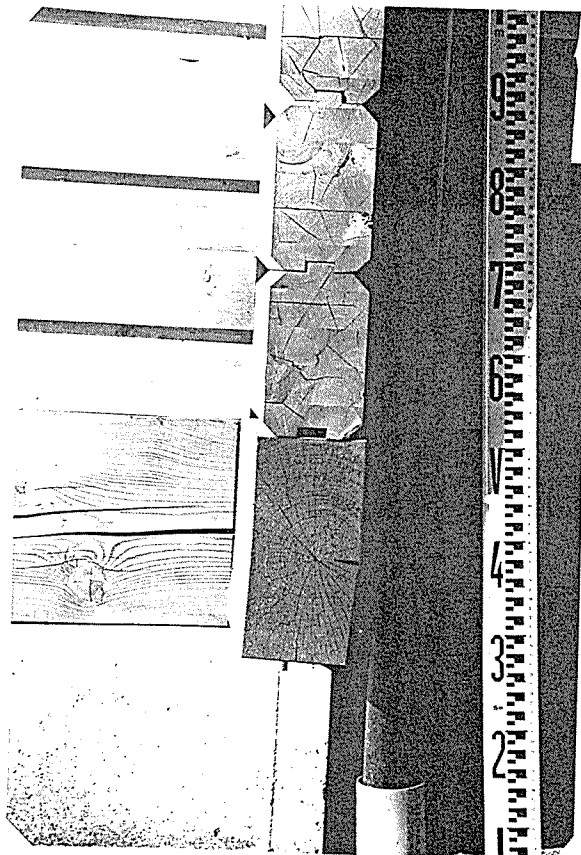
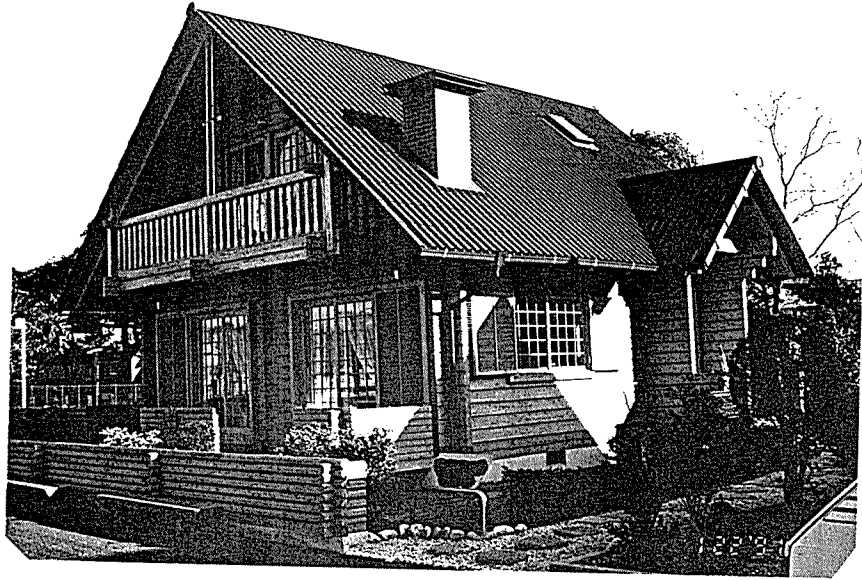
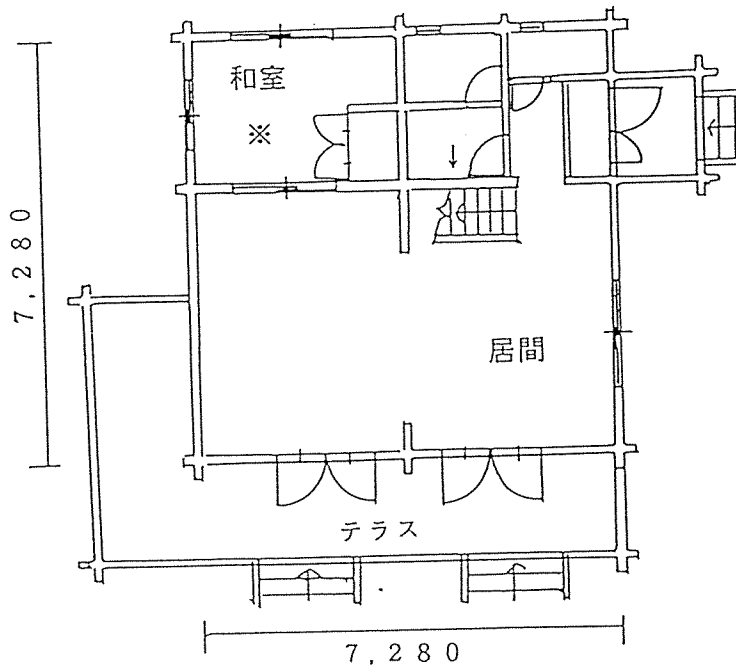
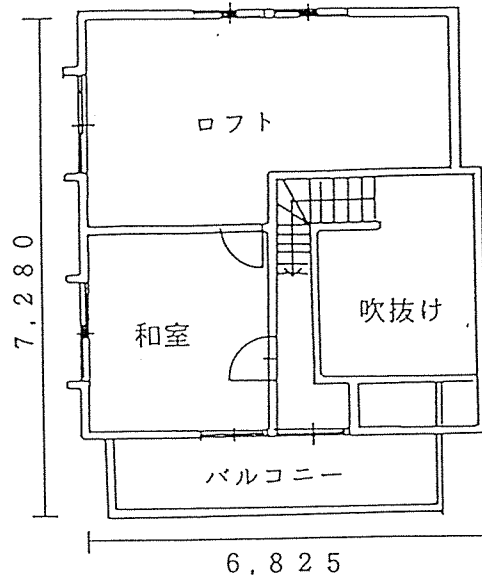


写真6 ログハウス4、及び校木積みの部分写真

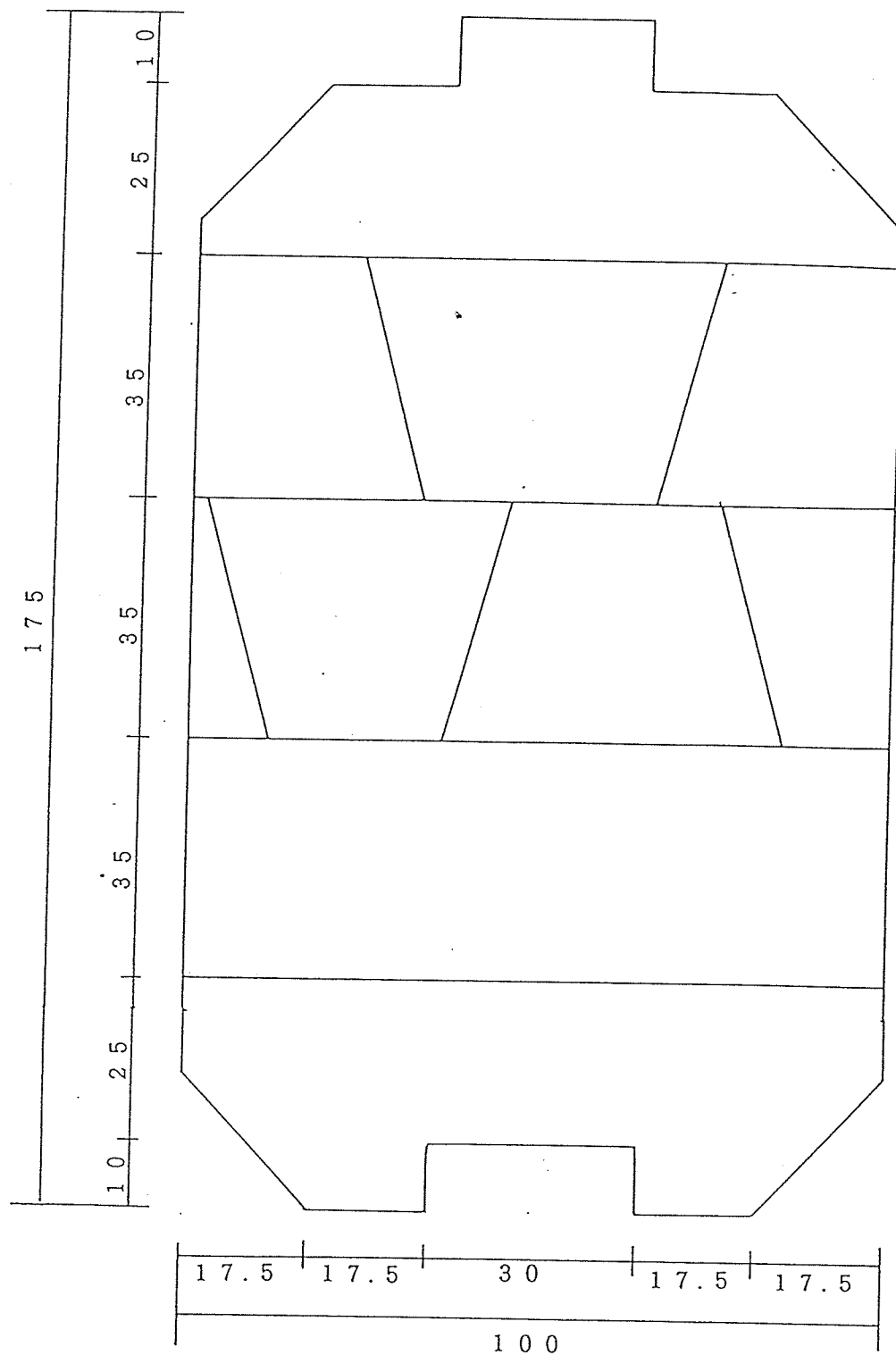


床面積 87.8 m²

築 1989年5月

※ 測定に供した部屋

図12 ログハウス4 平面図



ヒノキ間伐材

図13 ログハウス4 集成校木の断面図

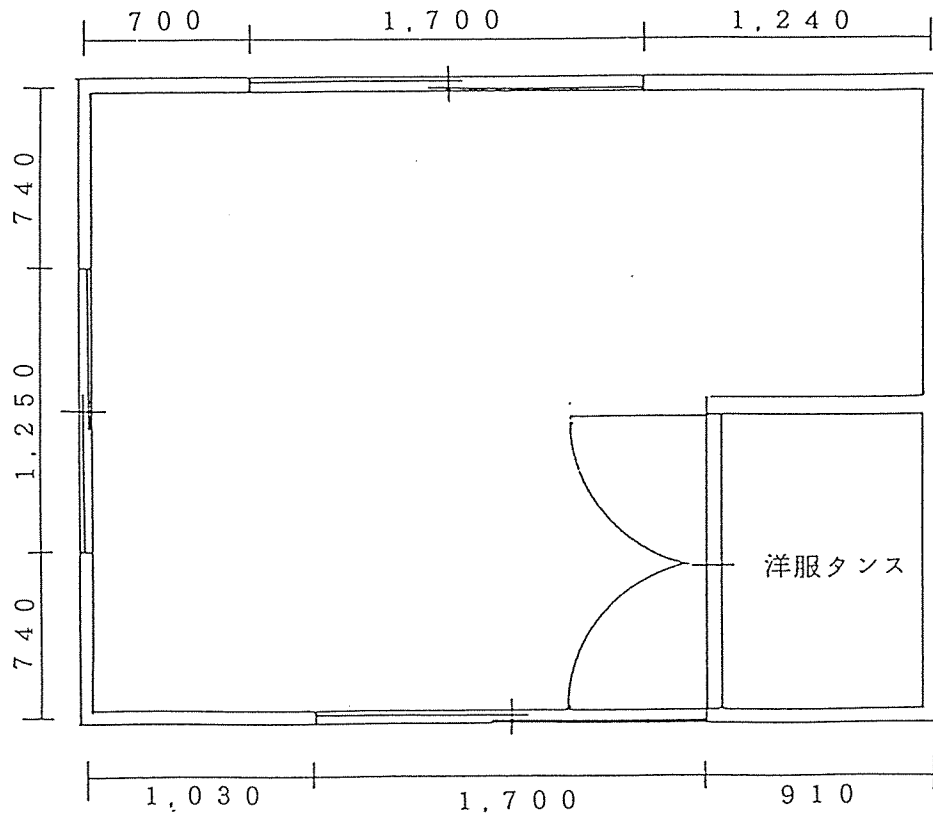


図14 ログハウス4 測定した部屋の平面図

違い戸が一カ所と、木製サッシの引ちがいガラス窓が2カ所（170 cm × 110 cm、125 cm × 110 cm）ある。天井はクロス張り、床はコンクリートパネルの上に畳を敷いたものである。なお、そのうちの0.5畳は板張りである。

測定は1991年1月22日に行われた。

3. 測定結果及び考察

3.1 測定条件の検討結果

3.1.1 換気回数について

(1) ‘すきま’の量と換気回数

研究室276号室には、多く種類の‘すきま’がある。その隙間をつぎつぎとガムテープで目張りを施すことにより、‘すきま’の量を変えて換気回数の比較を行った。

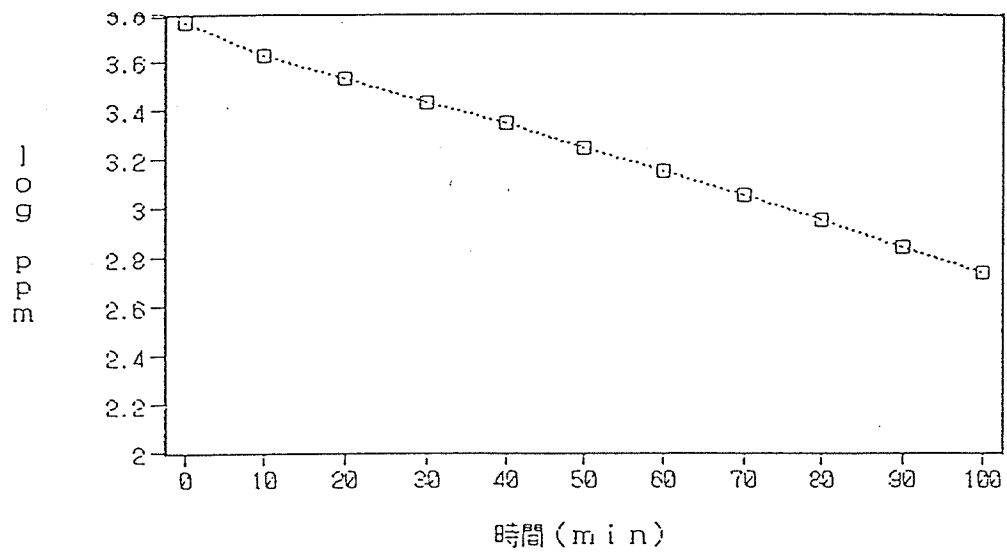
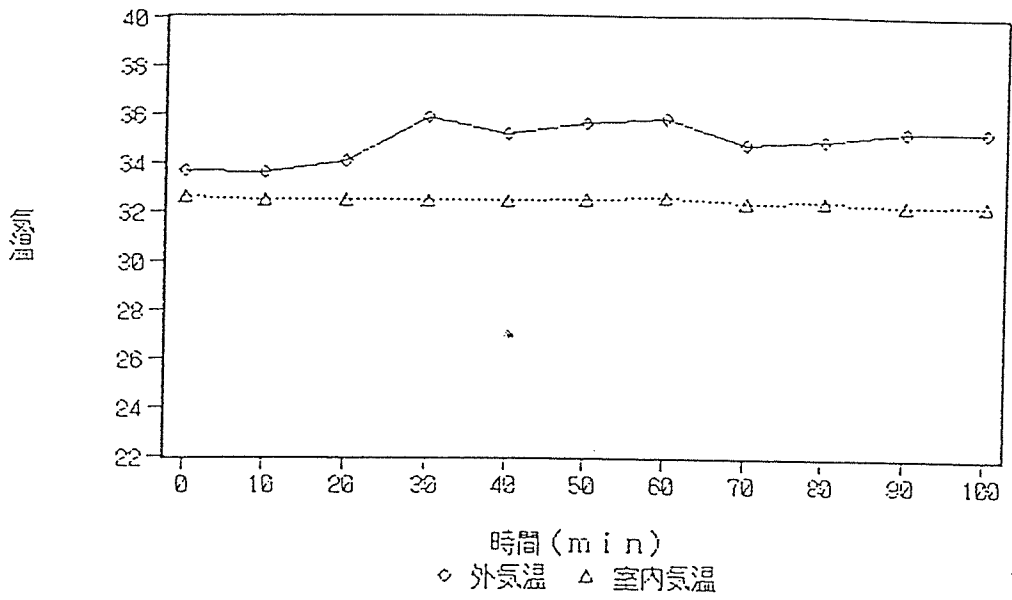
その結果を図15-1～7に示す。図中の上図は測定中の室内外の温度経過で、下図はCO₂濃度の対数と経過時間の図である。下図の傾斜を(7)式に代入することによって換気回数nが計算できる。

これらは夏の暑い時期で、風の少ない時を選んで測定した結果であるが、測定中に室内外の温度差は1.55～4.32℃と変化した。従って、温度による影

響がなしとは言えないが‘すきま’の多いほうが換気回数が大きい傾向はみられた。

すなわち、図15-1は室内に目張りを施さず、窓やドアをしめきった状態で測定したものであるが、その場合は1.42回/hの換気回数であった。この値は鉄筋コンクリート造住宅洋室の自然換気回数が0.3~1回/hとされる従来の実測値よりかなり高い値である。この実験に用いた研究室276号室は、6階建て大学校舎の2階に位置する研究室であり住宅よりは気密性にたいし粗雑に作られていること、また、風の影響もあって高めの値が得られたものと考えられる。

図15-2は、廊下側ドアの下部にある通気口をふさいだ場合である。研究室の換気回数は1.32回/hと図15-1の場合よりは多少小さくなっている。そしてドアの周囲も目張りを施すと0.92回/hとなり(図15-3)、さらに図15-5のように、隣室との境となるドアの目張りによって0.71回/hに落ちる。最終的には、サービスダクトの扉の周囲も目張りした図15-7の例では0.46回/hまで小さくなった。この状態では、‘すきま’としてはアルミサッシの窓の隙間のみとなった条件である。これは、従来からのデータであるRC住宅の換気回数の実測値の範囲にはいる。この研究室のサービスダクトは、6階建ての建物の地下から6階まで煙突のように通気する構造であり、その隙間からの空気のもれは肌で感じられる程である。従って、それに目張りを施す前と



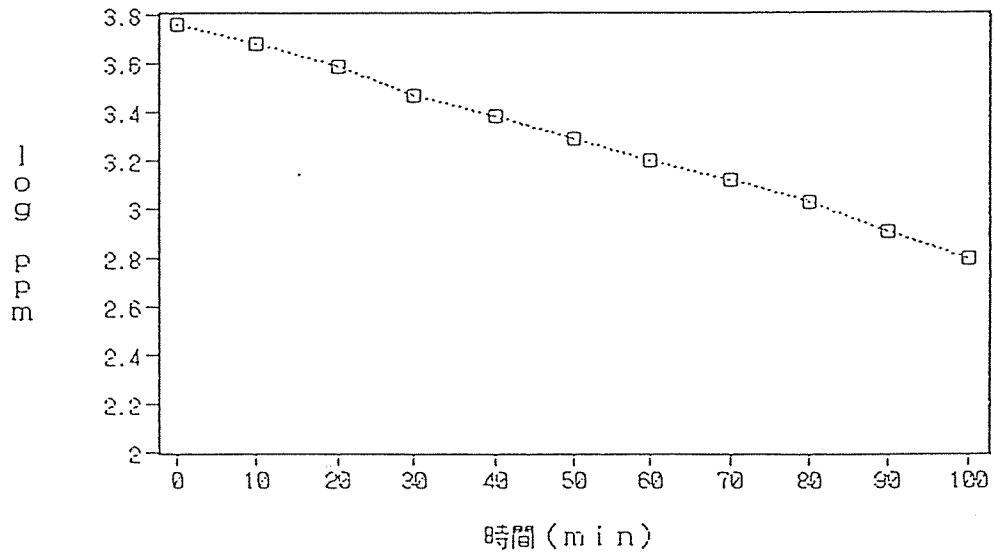
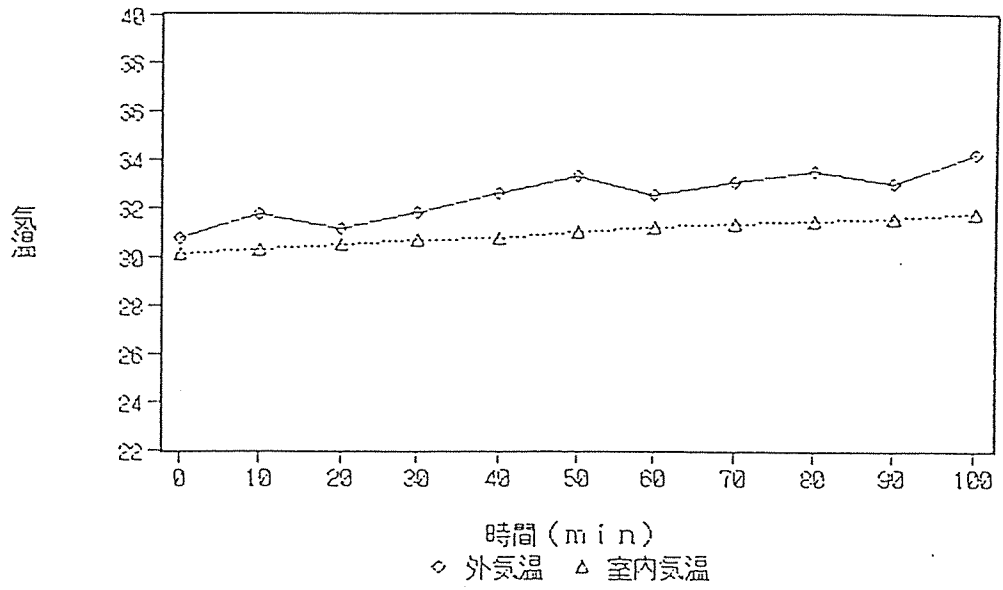
測定箇所 : R C 造事務室

測定日時 : 1990年7月26日、15:30

測定条件 : 目張りなし

結果 : 換気回数 1.42回/h

図15-1 換気回数の測定結果 (上: 気温変化、下: CO₂濃度変化)



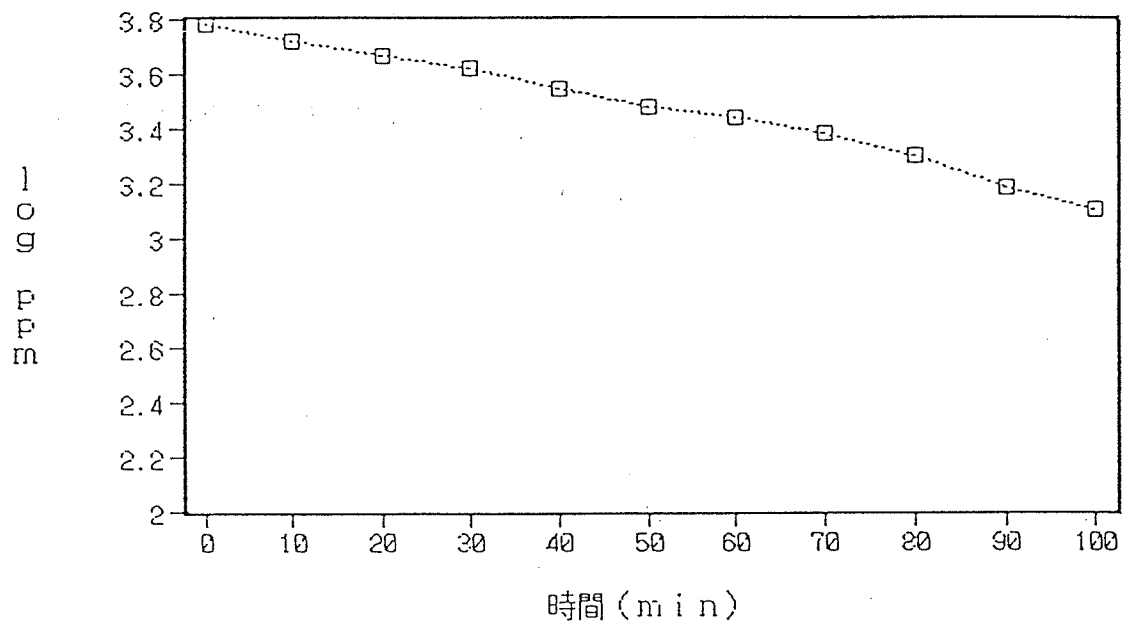
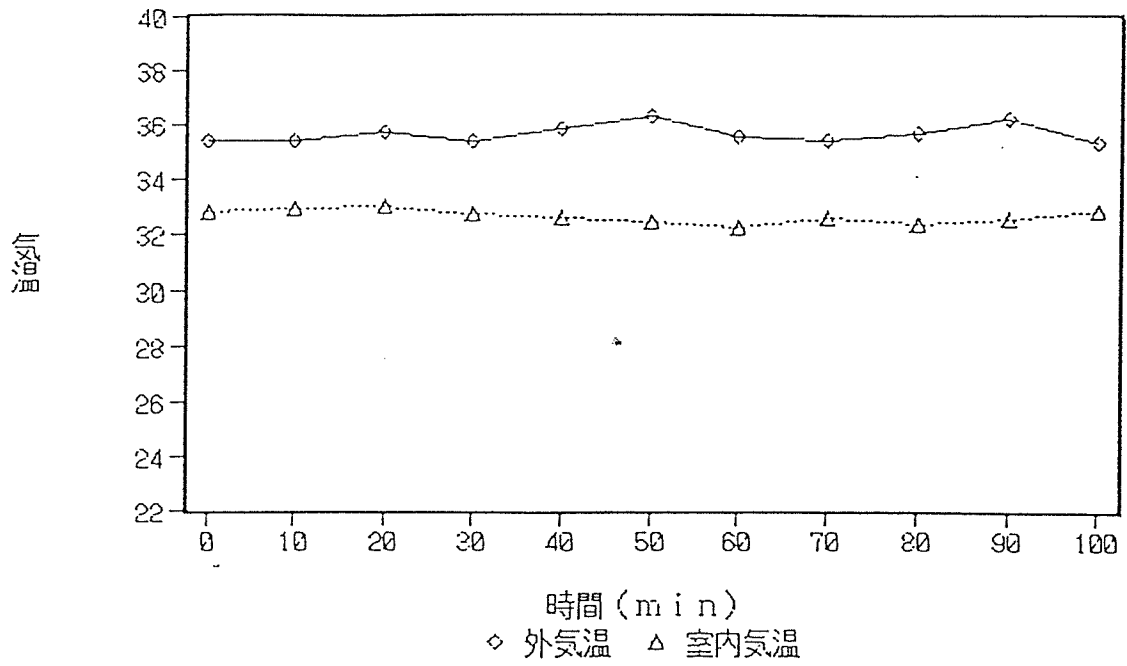
測定箇所 : R C 造事務室

測定日時 : 1990年7月27日、9:50

測定条件 : 廊下側ドアの通気口を目張り

結果 : 換気回数 1.32回/h

図 15-2 換気回数 の 測定結果 (上 : 気温変化、下 : CO₂濃度変化)



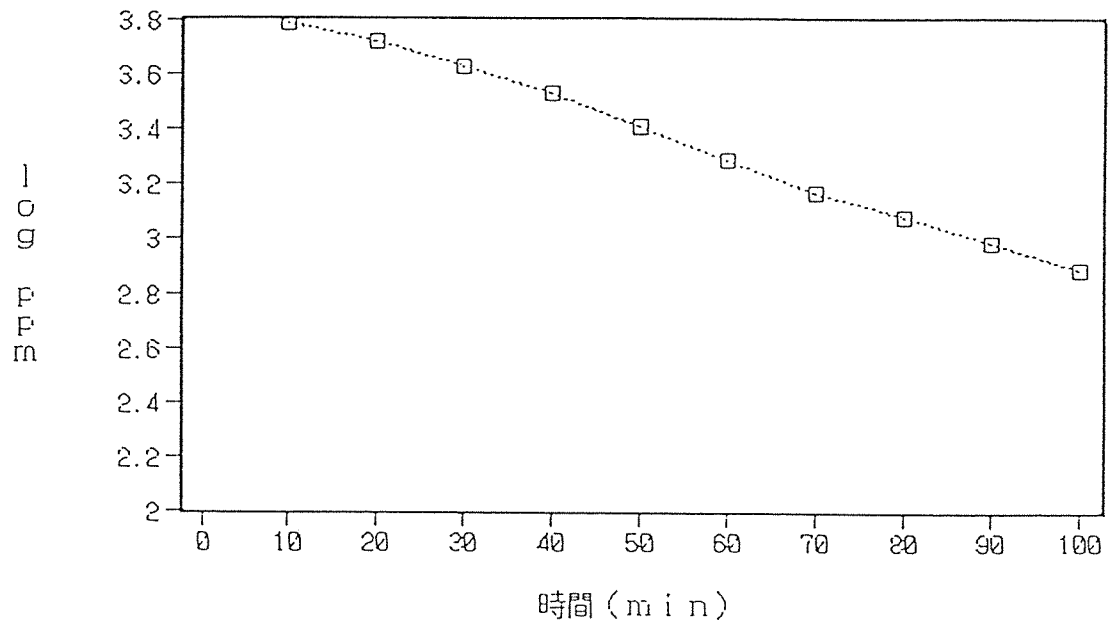
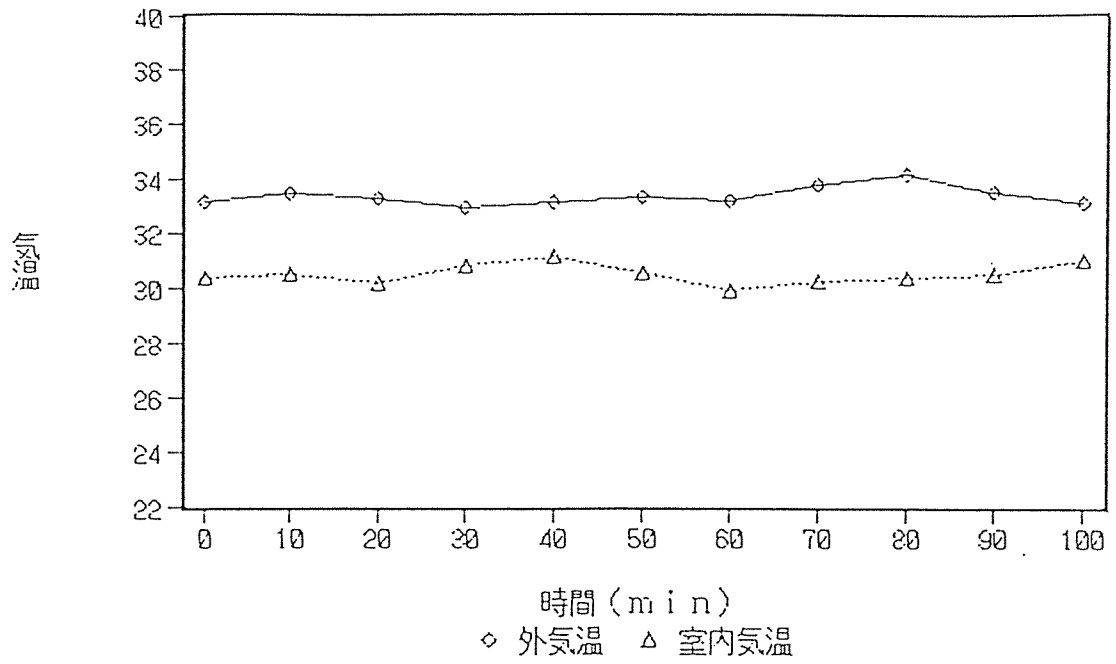
測定箇所 : R C 造事務室

測定日時 : 1990年8月6日、11:40

測定条件 : 廊下側ドアの通気口とドア周囲を目張り

結果 : 換気回数 0.92回/h

図 15 - 3 換気回数の測定結果 (上 : 気温変化、下 : CO₂濃度変化)



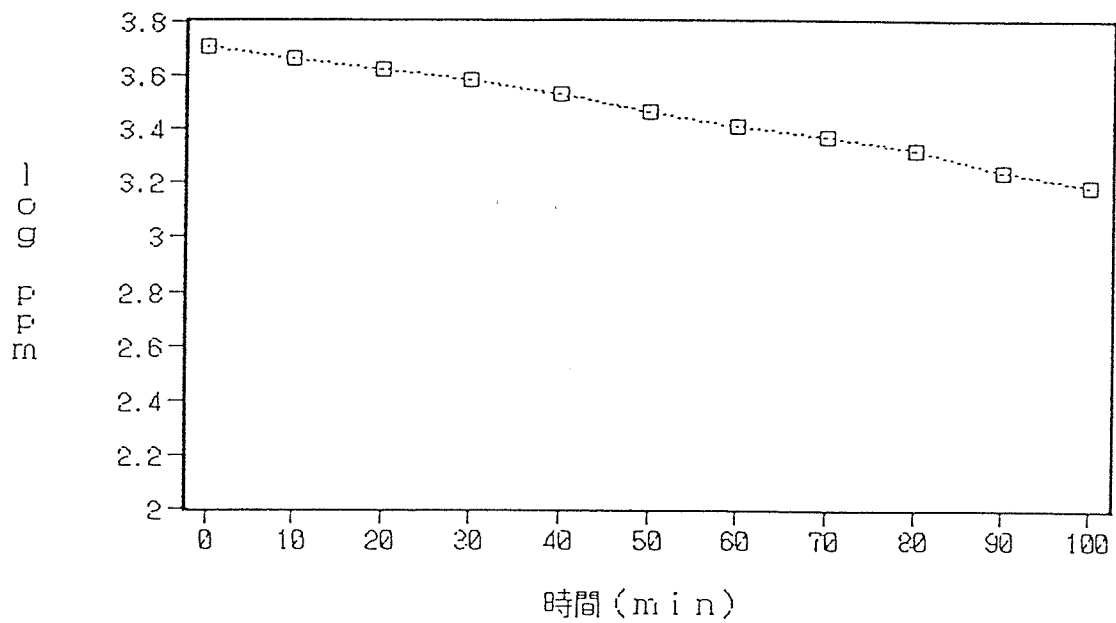
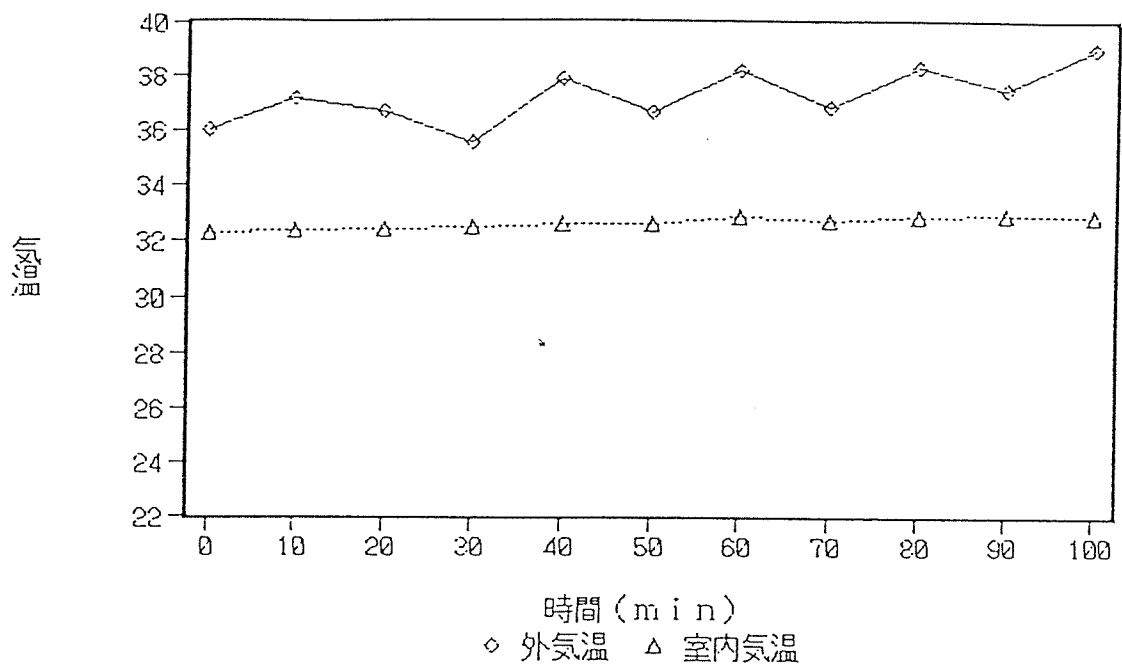
測定箇所 : R C 造事務室

測定日時 : 1990年8月6日、15:00

測定条件 : 図15-3に加え本棚の半分を目張り

結果 : 換気回数 1.40回/h

図15-4 換気回数の測定結果 (上: 気温変化、下: CO₂濃度変化)



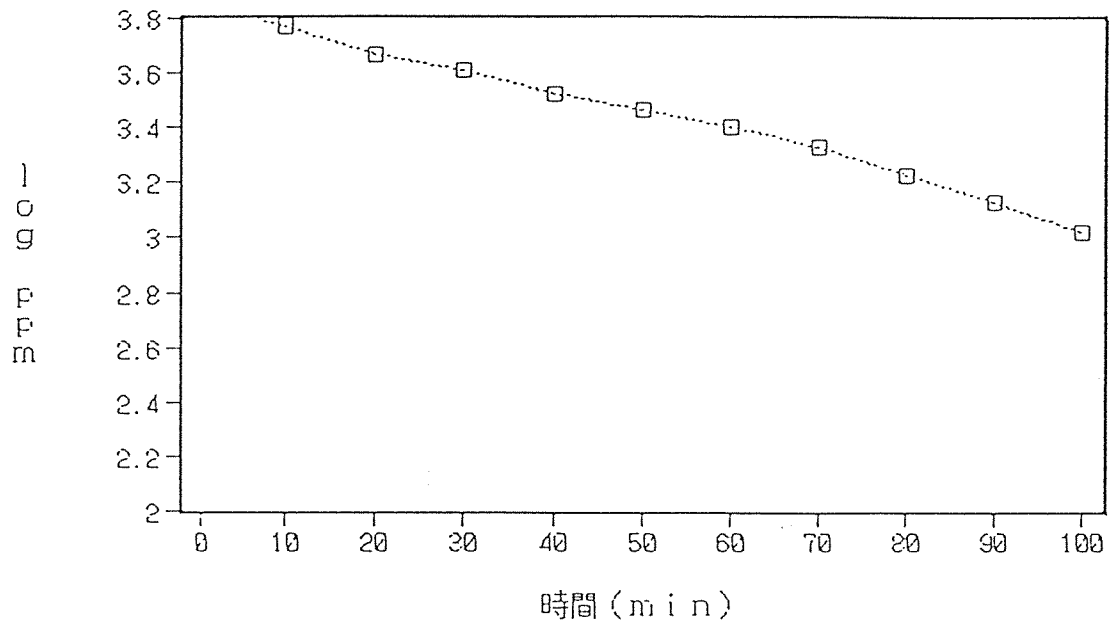
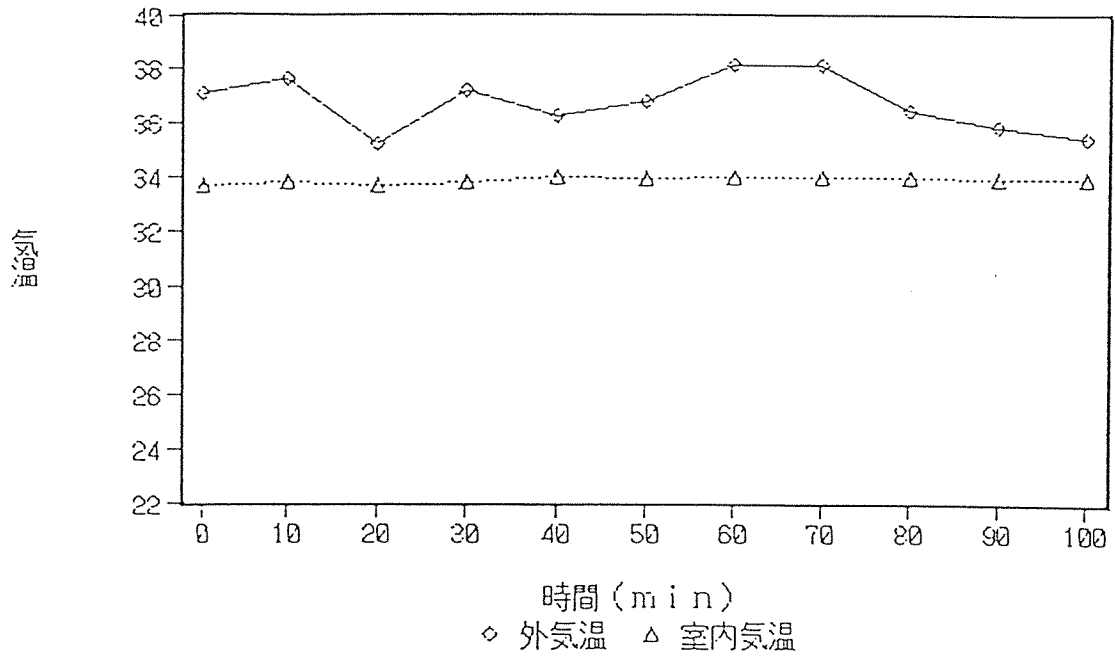
測定箇所 : R C 造事務室

測定日時 : 1990年8月7日、12:10

測定条件 : 図15-3に加え本棚の全てを目張り

結果 : 換気回数 0.71回/h

図15-5 換気回数の測定結果 (上: 気温変化、下: CO₂濃度変化)



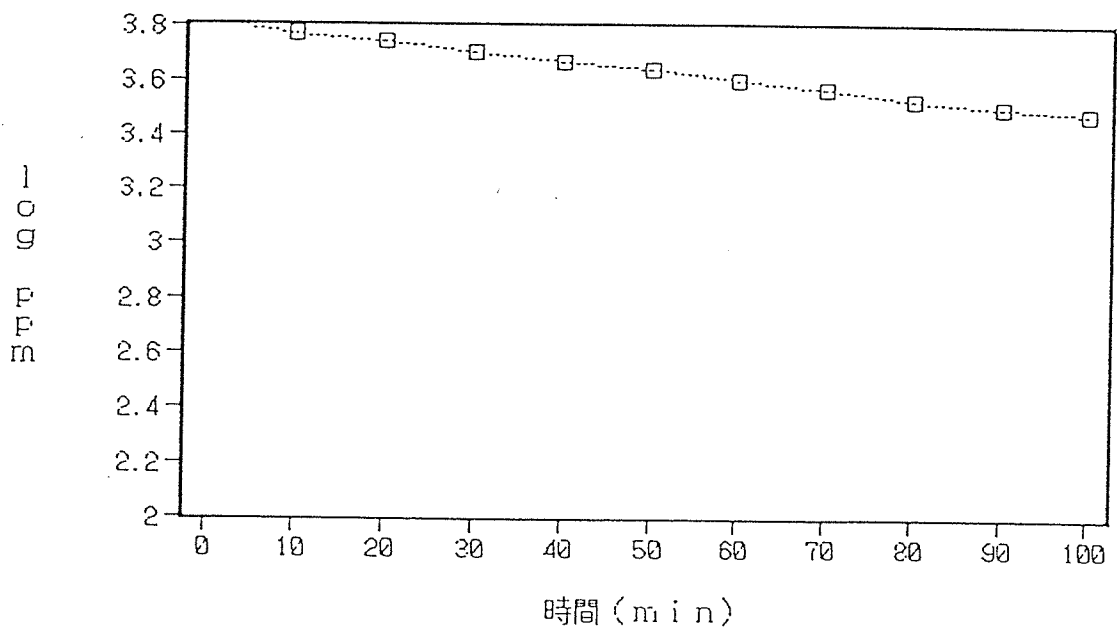
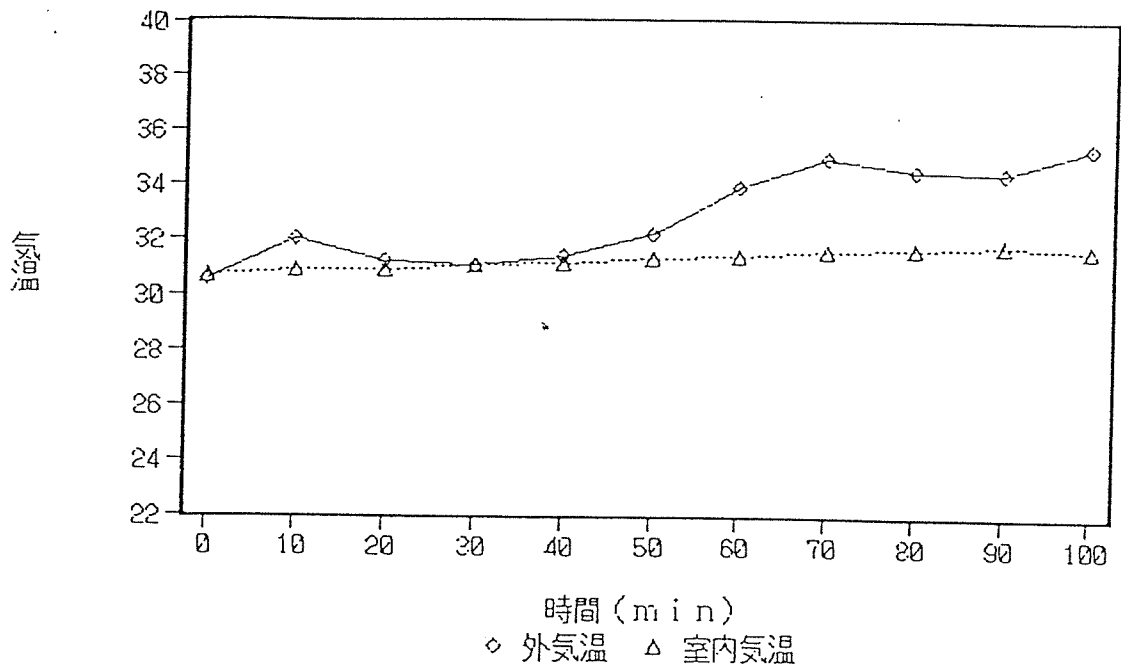
測定箇所 : R C 造事務室

測定日時 : 1990年8月8日、14:15

測定条件 : 通気ダクトまわりを除いた全ての開口部を目張り

結果 : 換気回数 1.15回/h

図15-6 換気回数の測定結果 (上: 気温変化、下: CO₂濃度変化)



測定箇所 : R C 造事務室

測定日時 : 1990年8月10日、14:40

測定条件 : 全ての開口部を目張り

結果 : 換気回数 0.46回/h

図 15 - 7 換気回数の測定結果 (上 : 気温変化、下 : CO₂濃度変化)

後では換気回数に大きな差がみられた。

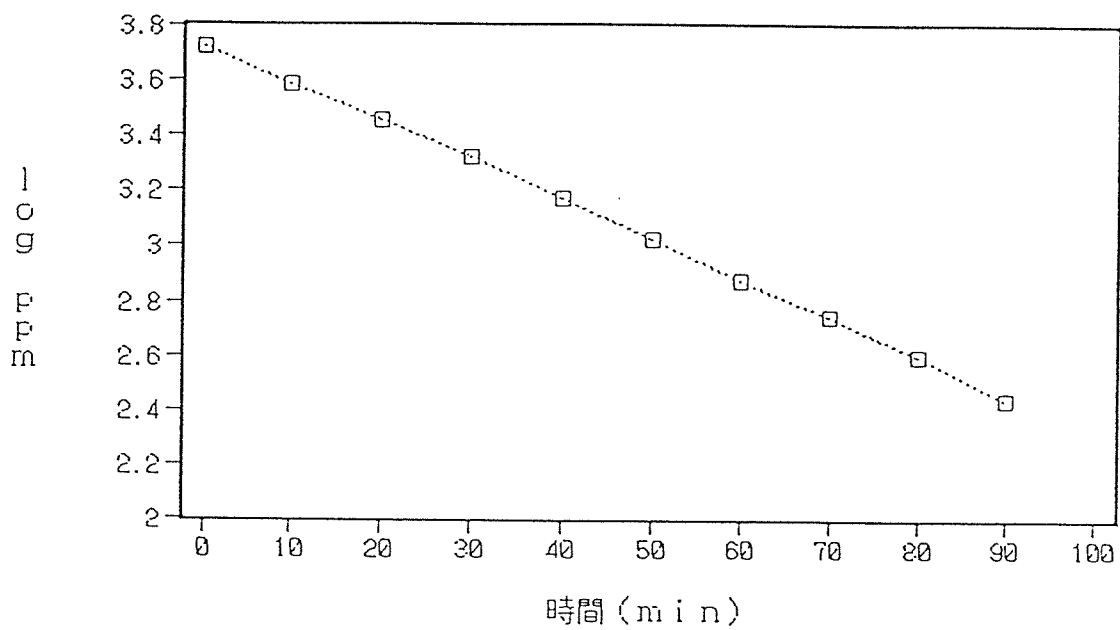
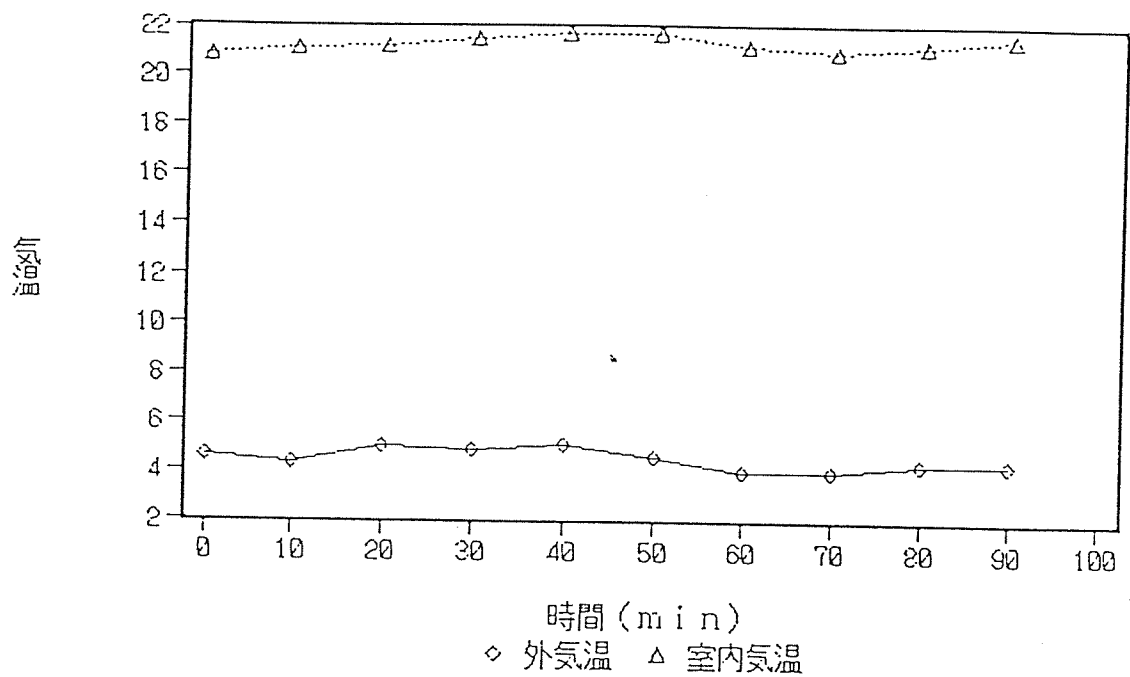
ただし、図15-4および6のように、‘すきま’の量に比例しない値も実測されることから、やはりこの測定法ではかなりの誤差の幅を考慮しておく必要がある。今回、風の少ない時を選んで測定を行ったが、ビル風は天候に関係なくあることを考えなければならず、やはりこの測定法は風の影響が大きいものと思われる。

以上のように、換気回数と‘すきま’の量は、だいたい対応するとみられる。ただし、風などの影響による値のばらつきは必ずある。

(2) 測定時の気温の影響

CO₂は空気の流れによって室外に流出するが、その際、室内外の気温差や風による圧力差によって気流が変化する。当然ながらそのことによって換気回数の測定結果に影響をうける。ここでは、なるべく風の影響の少ない天候を選んで室内外気温差の異なる夏、冬の測定結果を比較した。

図16は、上述と同じ研究室において、隙間に目張りを施さない条件での冬の測定結果である。同じ条件での夏での測定結果である図15-1と比較されるべきものである。夏の室内外の気温差は約2℃で、換気回数が1.42回/h、一方、冬では室内外気温差が約19℃となり、換気回数は2.16回/hと大きくなる。



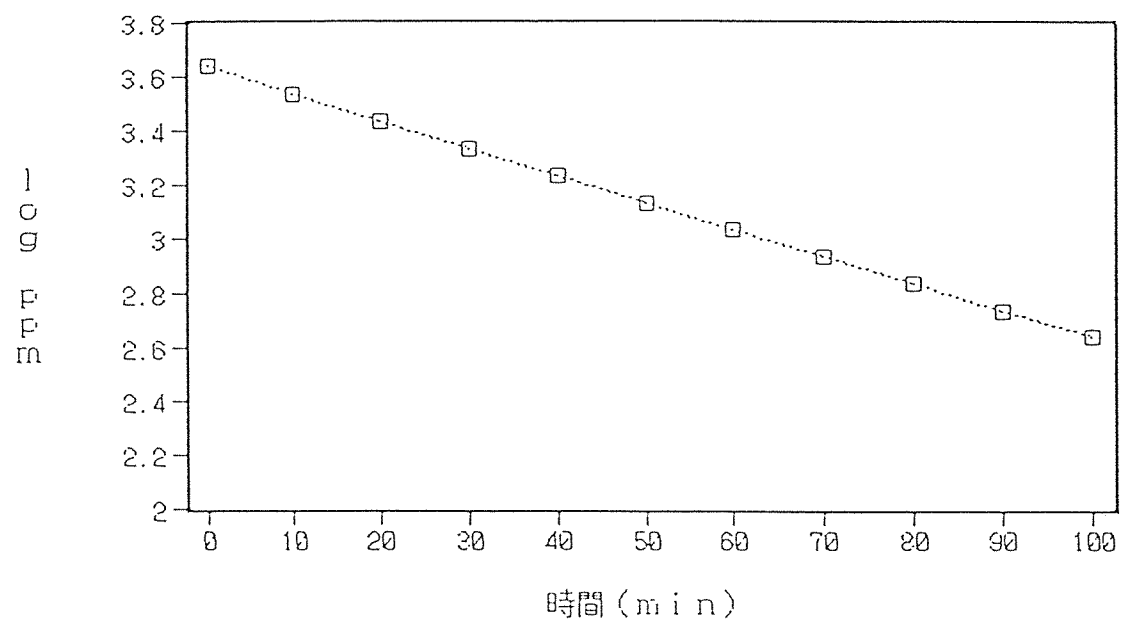
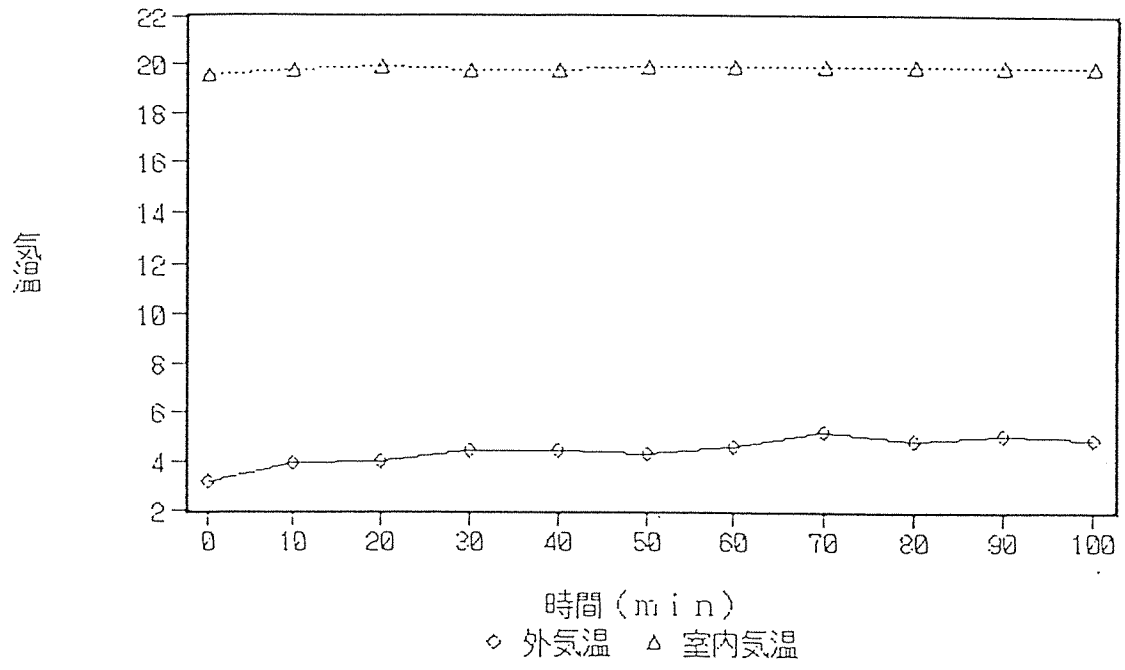
測定箇所 : R C 造事務室

測定日時 : 1990年2月23日、13:20

測定条件 : 目張りなし

結果 : 換気回数 2.16回/h

図16 換気回数の測定結果 (上: 気温変化、下: CO₂濃度変化)



測定箇所 : R C 造事務室
 測定日時 : 1990年2月14日、11:50
 測定条件 : 廊下側ドアの通気口とドア周囲を目張り
 結果 : 換気回数 1.38回/h

図 1 7 換気回数の測定結果 (上: 気温変化、下: CO₂濃度変化)

ある程度目張りをして換気回数を少ない条件にした時の測定値は、冬の場合、図 1 7 で夏の図 1 5 - 3 に対応する。この場合も夏の室内外温度差が約 3 °C で換気回数が 0 . 9 2 回 / h 、冬の室内外温度差が約 1 5 °C で換気回数が 1 . 3 8 回 / h と上昇する。このようにいずれの場合も、冬に室内外の気温差が大きい場合、気温差が少ない夏の場合の約 1 . 5 倍の換気回数となる。

この換気回数の夏・冬での差の全てが室内外気温差とは言えないにしても、室内が室外より高温になれば気流が外に向かうことから考えて、やはり気温によって換気回数の測定値に差がでると考えられる。ただし、例えば図 1 5 - 6 などにみられるように、換気回数測定中の温度変動が 2 °C 程度では、CO₂濃度の減少速度にそれほど大きな影響はみられない。

3 . 1 . 2 気密度について

有効開口面積 αA の評価

空気がある開口部を通過する際には圧力の損失がある。それは、開口部の形が大きく影響する。圧力損失が最も小さいのは気体流入側がベルマウス形で導入筒がつけられているものである。一方、大きな圧力損失の生じるものは、エッジのたったものや、途中で風向の変わるブラインド、網目状の格子などである。

これらによる圧力損失の程度は、いちいち予測できないもので、有効開口面積から真の開口面積 A を求めるのは不可能に近い。

実際の室内の‘すきま’は、スリット状の開口であると想像される。建築分野で用いられている風量係数 α は、窓などの単純開口で0.6～0.7とされている。‘すきま’に関しては窓などの閉めあわせ部分の長さ1 mあたりの有効開口面積が0.001などと、 αA のみで評価されている。³⁾

ただ、実際の際間面積を予測するためにもおよその α 値を知る必要がある。

ここでは、この気密度測定器を使った場合の風量係数 α が、開口の壁面からみた形によってどのような値をとるかを合板、パーティクルボードにあけた穴で評価することを試みた。

図18は、その結果である。

横軸は板にあけた穴の実面積、縦軸は測定された有効開口面積である。図から明らかのように、実面積が200 cm²以内では両者はよい直線性を示す。

それぞれの回帰直線は

$$\text{スリット状開口} \quad Y = 0.905 X - 4.88 \quad (r = 0.95)$$

$$\text{長方形開口} \quad Y = 0.628 X + 8.83 \quad (r = 0.99)$$

$$\text{円形開口} \quad Y = 0.605 X + 4.68 \quad (r = 0.99)$$

となった。ここでYは αA に、XはAに対応している。

各直線は切片がゼロとはならないものの、その値は十分小さいため実際によく測定される100 cm²以上の有効開口面積での換算時の誤差は小さくなる。

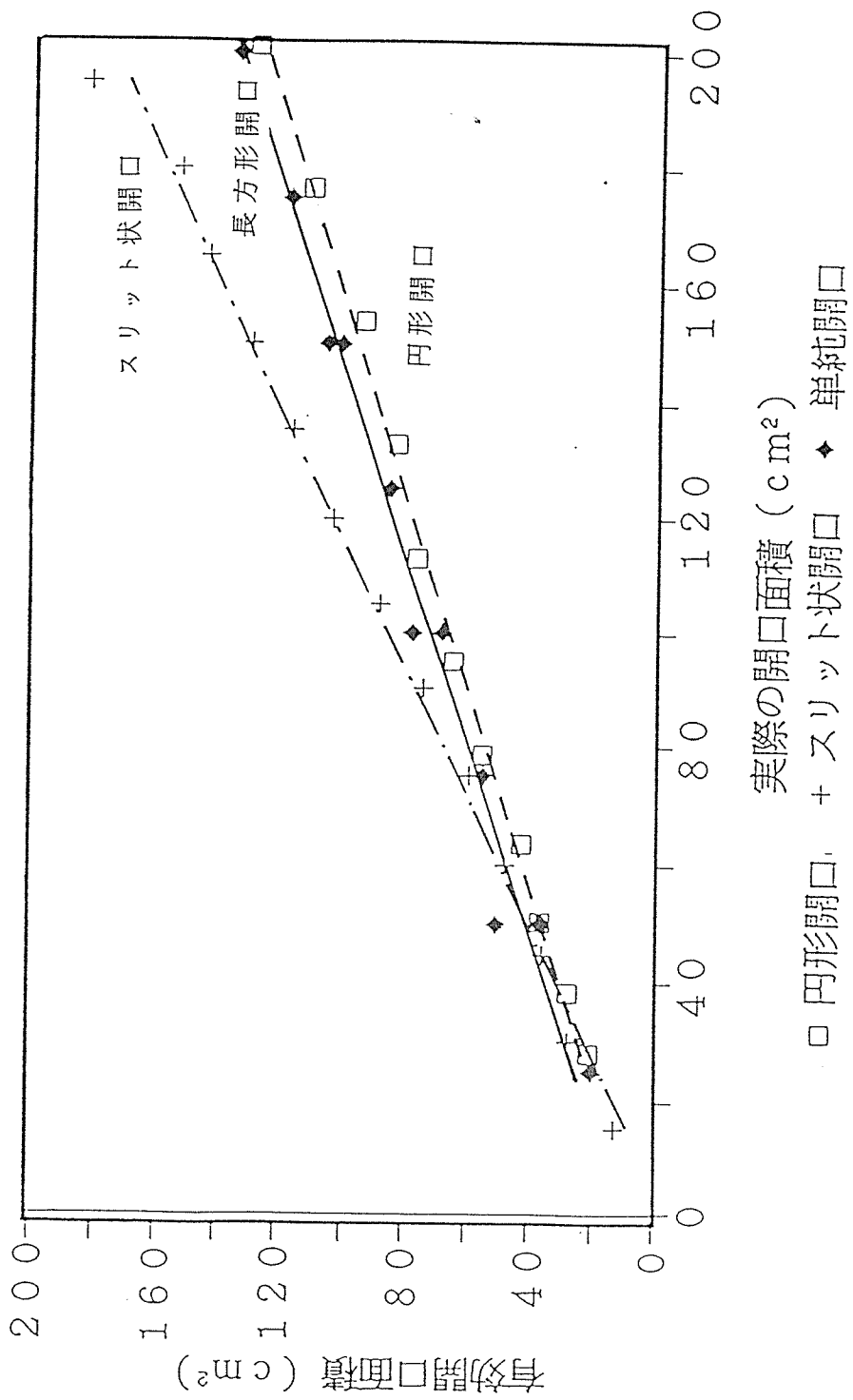


図 18 有効開口面積と実際の開口面積との関係

有効開口面積の非常に小さい場合は別として、風量係数 α は上の回帰直線式の傾斜であるから、スリット状開口で 0.90、長方形と円形開口ではほぼ同じで 0.62、0.60 という結果である。圧力損失係数はこれらの値と (10) 式とから計算でき、それぞれ 1.05、1.26、1.29 となる。ただ、スリット状開口の圧力損失が他の単純な開口と比べて小さいのは不可解である。この実験ではスリットを板面に密に開けたものについてのデータであるので、まばらにあげたスリットの場合の検討も必要かもしれない。

いずれにせよ、有効開口面積を 0.6 程度で徐したものを実開口面積と考えて大きな間違いはないであろう。それ以上の精度の予測は不可能であるし、無意味かもしれない。

3. 1. 3 有効開口面積と換気回数との関係

部屋の気密性を評価するための方法として、換気回数を測定する場合と、開口面積そのものを測定する場合とで、両者が実際の開口面積（実開口面積）をどの程度表わすかを検討した。

その結果を図 19 に示す。

図の横軸は、アルミサッシの窓を 2、4、6、8、10 cm と順次開放していったときの開口面積（実開口面積）である。縦軸は換気回数（回/h）と、有効開口面積（ cm^2 ）を $1/1000$ した値である。

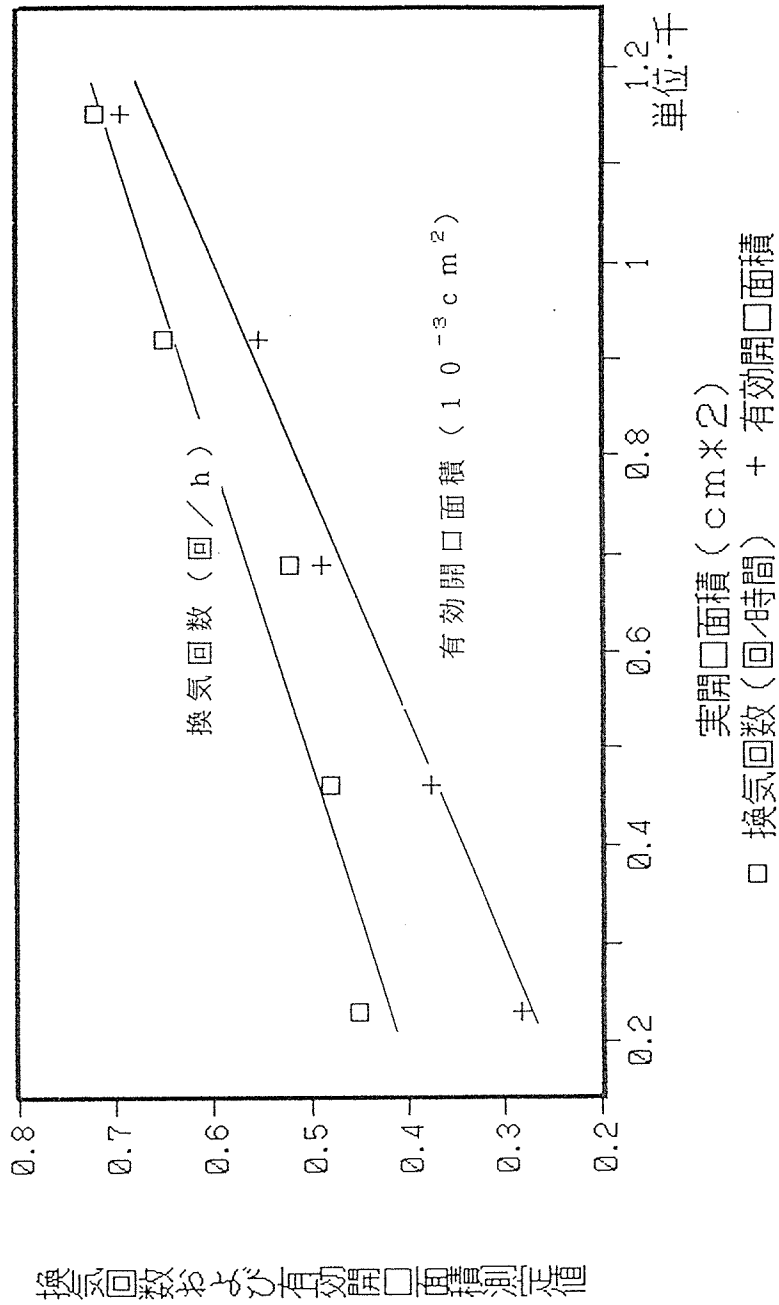


図19 換気回数および有効開口面積の実開口面積との関係

実開口面積を X にとった回帰直線は

$$\text{換気回数} \quad : \quad Y = 3.09 \times 10^{-4} X + 0.351, \quad r = 0.97$$

$$\text{有効開口面積} \quad : \quad Y = 0.433 X + 171, \quad r = 0.99$$

双方とも、よい直線性を示す。ただ、こまかく測定点をみると、換気回数の測定点は多少不安定にみえる。すなわち、図において、換気回数のほうの測定値の左からの3点と右の2点の傾斜は異なるように見える。開口面積の小さい場合の CO_2 の室外への流出と、開口面積が十分大きくなった場合の流出の程度が異なるようである。一方、室内空気の減圧による強制換気を使った有効開口面積の測定では、空気の流入は開口面積に比例するため、より安定した直線性といえるようである。

つぎに、換気回数と有効開口面積の相関をみたのが図20である。

図において、横軸は有効開口面積 αA 、縦軸は CO_2 濃度法による換気回数である。両者は比較的よい直線関係を示す。

実験方法にも記したが、両者は測定条件がほぼ同一で比較したものであるし、‘すきま’も、アルミサッシュ窓の一部開放で、その形も長方形であるため比較的安定した測定値がえられた。

開口の形が長方形であることから、3.1.2の結果をもちいて実開口面積 A を計算してみる。長方形開口の場合の風量係数 α は0.62であるから図19の

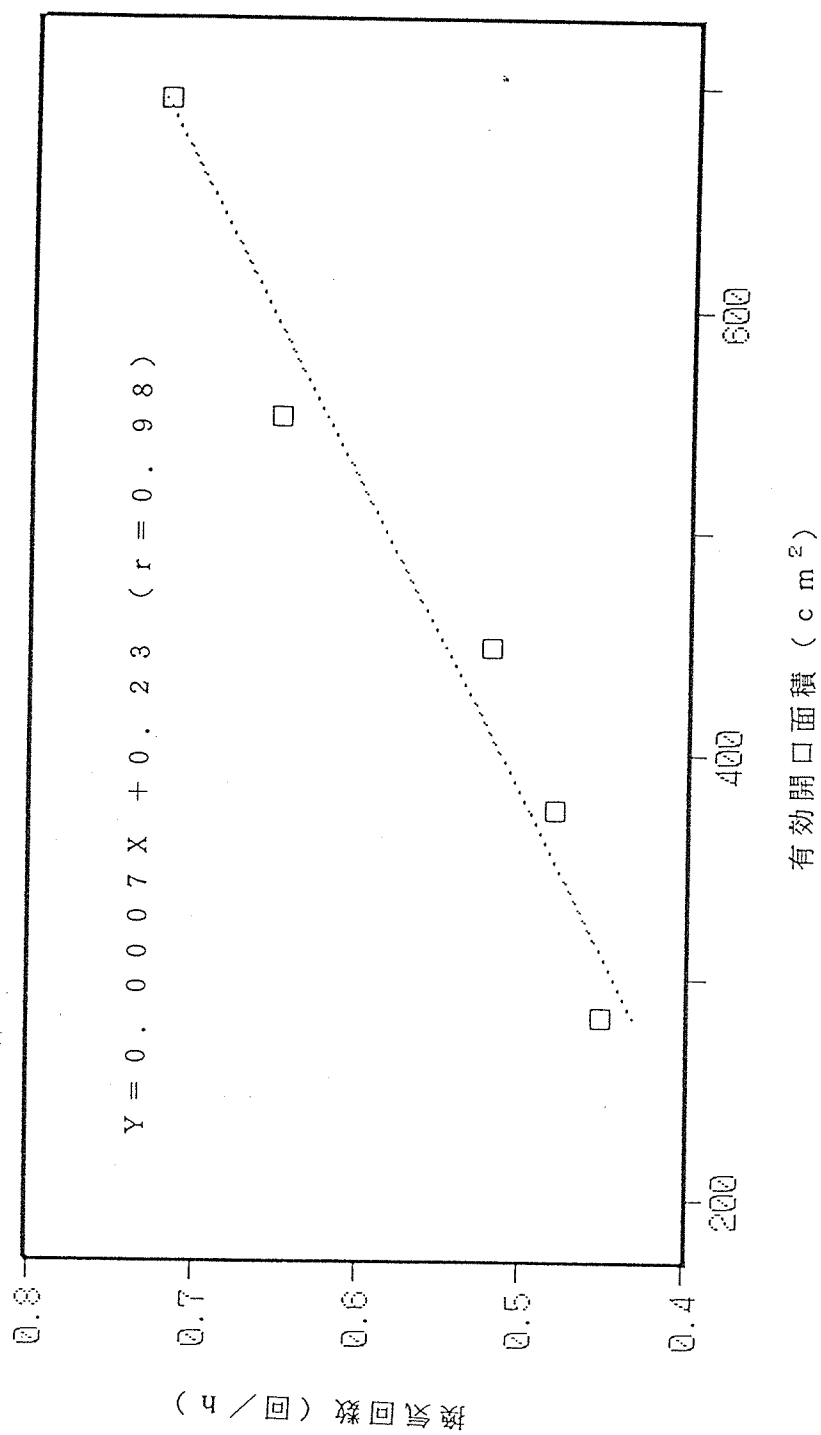


図 20 R C 造事務室での換気回数と有効開口面積との関係

5つのプロットの有効開口面積 αA を用いて下表のように計算される。

この表における実面積（設定値）とは、実験時にアルミサッシの窓を開けたときの実際の隙間面積のことである。

表1 RC造276号室の実開口面積の計算値と実際の値（単位 cm^2 ）

有効開口面積	283	375	448	551	693
実面積（計算値）	456	605	723	889	1120
実面積（設定値）	230	460	690	920	1150

この表から明らかなように、有効開口面積が 400cm^2 以上においては、実開口面積 A の計算値と設定値はよく一致するようになっている。すなわち、アルミサッシの窓を $6\text{cm} \times 115\text{cm}$ 程度以上の面積になるほど開放すれば、3.

1. 2の実験結果の長方形開口の風量係数が適用できる。しかし、それ以下の開放では、窓の開放部がスリット状開口にちかづくため、長方形開口の風量係数が適用できなくなるものと考えられる。

3. 2 ログハウスの測定結果

今回測定を行った4つのログハウスについて、その換気回数、床面積 1m^2 あたりの有効開口面積（隙間相当開口面積）、壁面 1m^2 あたりの有効開口面積を表2にまとめた。以下に、それぞれの測定値の各論をあげる。

(1) ログハウス 1

この建物は、通常のログハウスとは異なり柱に丸太をクギ止めした構造であるし、内壁もスギの腰板張りである。外壁と内壁との間には断熱材が入れられているものの‘すきま’についての特別な配慮はなされていない。また、図4に示したように屋根についても直径9cmの細いログの組合せのみで組合わせ部の数は多くなり、そのことだけでも‘すきま’は多いものとみられた。そのため、有効開口面積は、本研究で用いた住宅用気密測定器の測定限界にちかい大きな値であった。壁面の‘すきま’も桁違いに大きい。それにくらべて、換気回数は意外に低く、1.3回/時間であった。壁には‘すきま’は多いものの断熱材などによって複雑な気体流通経路となり、CO₂が自然に流出しにくい状態にあるものと考えられる。また、屋根の‘すきま’からは空気より重いCO₂が流出しにくいこともある。そのため、有効開口面積が大きいにもかかわらず換気回数が小さめに評価されたものと考えられる。

このあたりが、‘すきま’の評価に対する換気回数の数値に不安が残るところである。

(2) ログハウス 2

この建物は、建物全体、壁の有効開口面積、換気回数ともに非常に低い値が測定された。床1m²あたりの隙間相当開口面積は、在来木造住宅のその低いもの

の値に相当する⁶⁾。それに対応して換気回数も極端に低い。R C造住宅のそれにも匹敵するほどである。最も隙間のでやすいと考えられる丸太組みの交差部分の有効開口面積も壁面のそれとの違いは検出されなかった。

校木の断面形状とかん合精度がいいことと、ある程度乾燥した丸太を用いていることが気密性能をあげている要因と思われる。

(3) ログハウス 3

この建物は2階建ての住宅であるが、測定は1階の和室のみについて行った。丸太組みは最もオーソドックスな円形系校木断面のタイプであり、壁面の開口面積がログハウス4より少し大きいわりには隙間開口面積が大きい。在来住宅よりはかなり大きい値である。しかし、換気率はそれほど大きくはない。

この丸太組みの断面の形は、‘すきま’が生じやすい不利な形かもしれない。しかしながら、この断面タイプは、隙間充填施工が比較的容易であると考えられるので、気密性の向上が必要な場合には対策をこうじやすい。

(4) ログハウス 4

この建物についても、1階の和室について測定をおこなった。

壁面の単位面積あたりの有効開口面積は、上記3のものより多少良い程度である。部材の断面形が矩形であり、かん合面が平面となる形であるため、それが曲面である上記のログハウス3より格段に少ない‘すきま’となると予想されたが、

実際には $1 \text{ cm}^2 / \text{m}^2$ 程度小さいだけであった。

1階和室の隙間相当開口面積は、壁面の有効開口面積から予測されたよりも低い値であった。これは、壁面よりも内部造作の仕上程度によるところが大きい。すなわち、測定は和室の出入り口の襖を目張りして行っているが、この出入り口を目張りを外して測定した場合隙間相当開口面積は表に示すように約1.7倍となる。このことから考えて、壁面そのものの‘すきま’よりも、床の作り、窓枠、出入り口の仕上げなどが室内の気密性能を左右する大きな要因であろう。

以上の4つのログハウスの測定例を比較すると以下のようなものである。

壁面における隙間の面積を比較する場合、単位面積あたりの隙間の長さが問題となろうが、それは校木の直径（正確にはかん合面間の寸法）に反比例すると考えられる。すなわち、直径20 cmの校木の場合の壁体面測定面積の一辺あたりに入るかん合面（隙間に比例）の数は直径10 cmのログの場合の半分となり、かん合面の気密性能が同一ならば半分の有効開口面積になる計算である。従って、校木の積み上げの時点のみで比較するならば、校木の直径（かん合面間の寸法）が大きいほど有利であることになる。

そこで、かん合面間の寸法を比較すると、ログハウス1の場合は6 cm、同2は10.7 cm、同3は約16 cm、同4は17.5 cmである。これで見ると、

表2 気密性および換気回数の測定結果

測定例	隙間相当開口面積 (cm^2/m^2)	壁面 1 m^2 あたりの 有効開口面積 (cm^2/m^2)	換気回数 (回/時間)
ログハウス1	185	42.0	1.30
ログハウス2	11.3	4.68 (4.54) *1	0.26
ログハウス3	61.2	9.85	1.60
ログハウス4	21.4 (37.2) *2	8.83	1.65
RC事務室 (窓以外を目張り)	10.8	--	0.4

*1 壁体交差部

*2 出入り口を目張りなし

かん合面の数は、およそ1.9 : 1.7 : 1.1 : 1の比率となり、ログハウス1が最も‘すきま’の数は多い。しかし、壁面の有効開口面積は、この隙間の数には反比例しないようである。すなわち、ログハウス1は他3例のログハウスの4~10倍の隙間面積であり、かん合面の数の比以上に隙間面積の比が大きい。このことは、ログハウス1の壁体の気密性能は、他に比べて劣るとみるべきである。一方、ログハウス2の例では‘すきま’の数が多いわりには有効開口面積

が極端に小さい。従って、この壁体の気密性能は非常に良いということになる。

やはり、図7にみるように、乾燥収縮で背割りが開くことによって隙間が閉じる機構がうまく機能しているものと考えられる。

つぎに、室内の隙間相当開口面積について比較する。

さらに多くの測定例を比較しないとこれらの値がどの程度かを判定することはできないが、ログハウス2は、気密性のよい在来木造住宅の値と同程度であることはたしかである⁶⁾。

気密度の測定中に、室内の圧力が下がり外気が‘すきま風’として流入してくる状況が手で感じられる。その経験と今回の測定値とを対照して考えられることは、ログハウスの気密性は、壁体そのものの気密性能もさることながら、他の開口部、すなわち、ドアまわり、床、天井のとりつけ部などの‘すきま’が大きく関与する。窓枠のとりつけ部は隙間の大きな要因であるように考えられるが、実際にはそれほどでもなく、図8のような工夫によってかなり改善されているようである。

4. まとめ

木造住宅の省エネルギー化技術向上の一環として、ログハウスの気密性能の評価を試みた。

気密性能を評価するにあたって、それを数値化することが不可欠である。その場合、従来から用いられてる方法に、換気回数と気密率とがあるが、住宅の気密性能を見るにあたって測定法としての両者の適性について比較することから始めた。

双方ともモデル的な条件で比較するに限り気密性を十分評価できる。すなわち、開口部の形や大きさがわかったRC造事務室を使ったモデル実験では、双方とも実際の開口面積に比例した測定値が得られる。しかし、換気回数は、室内外の温差や室外の風が大きく影響し、気密率よりは測定環境の影響は受けやすいと考えられる。また、換気回数はCO₂の室外流出速度を測るものであるため、開口部の高さ位置や開口部の気体流通経路によっても値が変化する。

気密率をあらわす有効開口面積について検討した結果、‘すきま’の形によってその値は異なる。すなわち、スリット状の開口では、長方形、円形の開口の場合より大きな風量係数となることがわかった。

このように、有効開口面積は‘すきま’の形により差異がでる。しかし、温度や風圧の影響は換気回数より少ないと考えられる。RC造事務室でも有効開口面

積の実測値と実開口面積との関係は、換気回数の場合より安定した良い直線関係がえられた。

以上のように、ログハウスの気密性能を評価するにあたっては、換気回数、有効開口面積の両者とも一長一短はあるものの、やはり‘すきま’の面積を直接推定できる有効開口面積の方が‘すきま’の多い建物には適しているし、壁体そのものの‘すきま’の評価も可能である点が測定法としては有利であろう。

校木の積み上げ方の異なる4つのログハウスについて部屋の換気回数、有効開口面積、および壁体の有効開口面積を測定し比較した。

その結果、部屋の換気回数と有効開口面積とは比例しない。壁体の‘すきま’は校木のかん合部の仕上によって大きく異なる。そして、壁体に‘すきま’の多いものは部屋全体の有効開口面積も大きくなるが、部屋の‘すきま’には入り口まわりや床の気密性能が大きく影響することがわかった。

ログハウスでも、室内の造作の仕上方によって、在来木造住宅やRC造住宅に匹敵する気密性能が得られるものがあることが明らかになった。

文献

- 1) 日本住宅・木材技術センター：“住環境に関する総合調査”、1989、
pp. 322
- 2) 同上、1990、pp. 280
- 3) 渡辺 要：“建築計画原論 III”、丸善、1965
- 4) 齊藤 平蔵：“建築気候” 大学講座 建築学 環境編 第1巻、共立出版、
1974、p. 188～252
- 5) 西岡 利晃：空気清浄、23(2)、59～68(1985)
- 6) 吉野 博：空気清浄、23(2)、29～40(1985)