

- 14) 特に吸引駆動圧設定が小さい場合、あるところまで電磁弁開放時間が長くなると、その間の空気吸引でチャンバー内圧が大気圧と等しくなり、それ以上開放時間が長くなっても吸引空気量は増えなくなる。表-2において、吸引駆動圧 25 mmHg では開放時間 150 ms 以上になると、同 50~75 mmHg では 200 ms 以上にて、同 85~100 mmHg では 300 ms 以上にて、各々吸引空気量はほとんど増えていない。
- 15) 既報<sup>25)</sup>の空気温度計の応答時間と当時のデータロガーの瞬時値検索時間と同期余裕時間を合計した空気吸引時間 15 秒に対応する吸引空気量は約 250 cm<sup>3</sup>と推定された。

参考文献

- 1) 小林定教, 宮野秋彦: 熱伝達率の研究 (突起物を有する外壁面の熱伝達特性に関する風洞実験), 日本建築学会論文報告集, No. 258, pp. 53~62, 1977. 8
- 2) 小林定教: 建築物の室内側熱伝達特性に関する実験的研究 第1報 (換気のない室内における温度と気流特性について), 日本建築学会論文報告集, No. 282, pp. 130~147, 1979. 8
- 3) 小林定教: 建築物の室内側熱伝達特性に関する実験的研究 第2報 (換気のない室内における各面の流出入熱量とその熱伝達特性について), 日本建築学会論文報告集, No. 292, pp. 79~86, 1980. 6
- 4) 小林定教: 対流熱伝達率測定装置の試作とその検討 (室内壁面の対流熱伝達特性に関する実験的研究・その1), 日本建築学会計画系論文報告集, No. 412, pp. 11~18,

1990. 6

- 5) 渡部真志, 武田 仁: 短波長放射のある室内における空気温度測定方法に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 399, pp. 1~10, 1989. 5
- 6) 賀上貴明, 渡部真志, 武田 仁: 開口部の熱流に関する研究 (短波長放射のある室内における対流熱伝達率測定方法に関する試行・その5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 847~848, 1989. 10
- 7) 渡部真志, 武田 仁, 賀上貴明: 開口部の熱流測定装置の開発 (能動的空気温度測定方法による境界層温度計測に関する検討・その5), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 457~460, 1989. 10
- 8) 渡部真志, 武田 仁, 賀上貴明: 開口部の熱流測定装置の開発 (能動的空気温度測定方法による対流熱伝達率測定方法に関する実験的検討・その7), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 761~764, 1990. 10
- 9) 龍谷光三, 清家 清, 梅干野 晃: 輻射環境下における気温測定装置の試作と検討 (照り返しに関する基礎的研究・その1), 日本建築学会論文報告集, No. 245, pp. 91~100, 1976. 7
- 10) 渡部真志, 武田 仁: 開口部熱流測定装置の開発 (空気場攪乱の最小化を狙った電磁弁制御空気温度計の開発と対流熱伝達率の測定・その8), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 433~436, 1991. 11

(1991年12月10日原稿受理, 1992年6月8日採用決定)

【論文】

日本建築学会計画系論文報告集 第438号・1992年8月  
Journal of Archit. Plann. Environ. Engng. AIJ, No. 438, Aug., 1992

### 建物の気密性を用いた換気量の簡易計算法 A SIMPLIFIED CALCULATION METHOD OF THE HOUSE INFILTRATION RATES WITH THE BUILDING AIR TIGHTNESS

石田建一\*, 鎌田元康\*\*, 千田善孝\*\*\*, 星川邦彦\*\*\*\*, 林 基哉\*\*\*\*\*  
*Ken-ichi ISHIDA, Motoyasu KAMATA, Yoshitaka CHIDA, Kunihiko HOSHIKAWA and Motoya HAYASHI*

In this paper we present a simplified calculation method of the house infiltration rates with the building air tightness. The characteristic of the method is able to estimate the infiltration rates for combination of out door wind speed and indoor-outdoor temperature difference. The proposed calculation method was tested using the measured infiltration data of a experimental house for a year. A results of the comparison between the calculations and measurements showed that the agreement between the prediction and the measurement was also within 0.1 volume per hour.

**Keywords:** air infiltration, air tightness, simplified calculation method, validation, long term field measurement  
換気, 気密性, 簡易計算法, 検証, 長期実測

#### 1. はじめに

近年, 住宅は高断熱の傾向にあり, これにともない換気・漏気 (以下換気) が建物全体の熱負荷や快適性に与える影響は増加しつつある。住宅の気密に関する性能は, 床面積当たりの隙間の相当開口面積 (cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) で表されることが多く, 国内外の住宅の気密性基準値として用いられている。しかしながら, 換気量は内外温度差や風向・風速などの条件により変化するため隙間の相当開口面積と換気量の関係を一意に求めることはできず, 隙間の相当開口面積を測定しても, ある温度差および風速・風向条件でどの程度換気量があるのかが, 一般的には理解できない。また, 設計段階においても, 床面積当たりの隙間の相当開口面積を幾つにすべきか判断が難しい。したがって, 床面積当たりの隙間の相当開口面積と温度差および風速・風向の関係を簡易に関連付けられる換気量計算式が必要である。

各室の換気量を細かく求める計算法としては, 各開口部ごと, 各隙間ごとの特性を与えて計算する方法<sup>1)~5)</sup>があるが, 隙間の特性などの必要とする項目や計算量が多く, 概算としては煩雑である。また, 建物全体を1室と

した簡易計算法としては Shaw<sup>6)</sup>, Tamura<sup>7)</sup>, Grimsrud<sup>8)~9)</sup>などの計算法があるが, 計算条件に実験から得られた係数が用いられているために, 計算の適用範囲が限定されることや予測精度に問題があると報告されている<sup>10)~13)</sup>。これらの計算法の中では, 建物の隙間の開口特性値を用いて計算する Shaw の方法の予測精度が比較的良いと報告されている<sup>10)</sup>。しかし, Shaw の方法では計算式を,

- 1) 風速 3.5 m/s 以下の温度差換気
- 2) 温度差 20°C 以下の風力換気
- 3) 温度差 20°C 以上, 風速 3.5 m/s 以上の温度差・風力換気

の3つに分類しているが, 内外温度差 20°C 以下の風速の影響を受ける場合も多いことや, 実測値から係数を求めているために風力換気において周囲の状況は, 遮蔽物ありとなしの2種類しかなく, 実験と異なる状況では誤差を生じ, 日本のような建て込んだ敷地条件には対応できない場合も多い。

ここで提案する計算法は, 設計・計画時の換気量概算値を求めるような, 電卓程度で簡単に求められる方法を

\* 積水ハウス東京設計部・博士 (工学)  
\*\* 東京大学工学部建築学科 助教授・博士 (工学)  
\*\*\* 東京大学総合試験所  
\*\*\*\* 積水ハウス技術研究所  
\*\*\*\*\* 積水ハウス東京設計部・博士 (工学)

Tokyo Planning Office, Sekisui House, Dr. Eng.  
Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.  
Engineering Research Institute, Faculty of Engineering Univ. of Tokyo  
Institute of Technology, Sekisui House  
Tokyo Planning Office, Sekisui House, Dr. Eng.

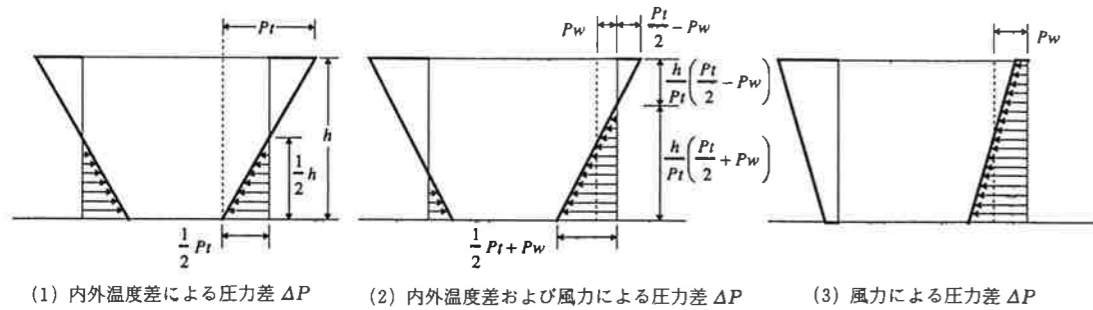


図-1 内外温度差および風力による圧力差の関係

目指したもので、Shawの方法同様、建物全体の隙間の開口特性値を用いるが、内外温度差と風力の合成を収束計算なしで求めることができ、周囲の状況は風圧係数を用いて敷地条件に対応できるようにしたことが特徴である。さらに、提案した簡易計算法を、実大住宅の約1年間にわたる長期換気計測結果を用いて計算精度を検討した。

2. 建物の相当開口特性値を用いた簡易計算法

加圧あるいは減圧法による建物の気密性能試験は、風量可変送風機によって建物内に送風あるいは建物内から排気し、建物内外の圧力差を適当に調整する。このとき、建物内からの漏気量と送風量、あるいは給気量と排気量が同じとみなせば、内外差圧と通気量の関係は次の実験式が成り立つ。

$$Q_s = Q_0 (\Delta P)^{1/n} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

Q: 隙間を通過する風量 [m³/h]

ΔP: 隙間の両側における内外差圧 [mmAq]

Q₀, n: 隙間の気密性能を表す定数。Q₀は内外差圧1 mmAqの場合の通気量。nは、圧力差が通気量のべき乗に比例する関係を示したときのべき数。

一方、隙間を流れる風量と隙間面積・差圧の関係は、n=2とした場合一般に次式で表すことができる。

$$Q_s = Ax \left(\frac{2g}{\gamma}\right)^{1/2} \Delta P^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、

Qs: 風量 [m³/sec]

Ax: 隙間の実効面積 [m²]

γ: 空気の比重量 [kgf/m³]

g: 重力加速度 [=9.8 m/s²]

(1), (2)式において1 mmAqを基準圧力差 (ΔP=1 mmAq), 隙間の実効面積の単位を cm² とし隙間の相当開口面積とすれば、次式で求められる。

$$\alpha A = 2.78 Q_0 \sqrt{\frac{\gamma}{2g}} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、

αA: 隙間の相当開口面積 [cm²]

2.78: 単位変換のための係数 (sec→h, m→cm)

(1), (3)式から Q と ΔP の関係は、空気の比重を γ=1.204 [kgf/m³] で一定とすれば、

$$Q = \frac{\alpha A}{2.78 \sqrt{\frac{\gamma}{2g}}} \Delta P^{1/2} = 1.45 \alpha A \Delta P^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

気密性の測定結果から αA, n は既知であり、ΔP を適当に予測してやれば、換気量 Q を求めることができる。

ΔP は、図-1 に示すように (1) 内外温度差, (2) 内外温度差・風力, (3) 風力の3つに分類することができる。実際の隙間の分布は建物全体に分散しているが、ある程度の気密化を行った建物では、石膏ボードとビニールクロスにより気密化が起こるなどの理由により、平面的な隙間は少なく、大きな隙間は開口部および天井、床と壁の取り付け部分であることから、隙間は建物の外壁周囲に均一に分布していると仮定する。

1) 内外温度差による圧力差 ΔP

隙間が外壁周囲に均一に分布していれば、内外温度差換気の場合の中性帯は建物高さの1/2となる。中性帯が建物の中央で室温が外気温よりも高い場合、建物の上半分が流出、下半分が流入となる。換気量としては流入だけを問題とするから、下半分だけを考えればよく、下半分の平均内外圧力差は、温度差による換気駆動力を Pt とすれば以下のようになる。

$$Pt = (\gamma_o - \gamma) h \dots \dots \dots (5)$$

$$\Delta P = \frac{1}{4} Pt \dots \dots \dots (6)$$

ここで、

γₒ: 外気の比重量 [kg/m³]

h: 建物の高さ (最下階床から最上階天井間) [m]

2) 風力が十分に大きな場合の圧力差 ΔP

風力による圧力は風上側が+, 風下側および側面が-となるが、風が真正面から吹くことは少なく、多少角度が生じて斜めから吹くことが多い。風向が斜めからであ

れば、2面が風上側、他の2面が風下側に分けることができる。風力による圧力は、風上・風下のどちらかでは風上風下間の圧力差が1/2であり、風力による圧力は(7)式となる。ここで、任意の風圧係数を代入することで、敷地周囲の状況を考慮することができる。

$$Pw = \frac{1}{2} (C_1 - C_2) \frac{\gamma_o}{2g} V_s^2 = \frac{1}{2} (C_1 - C_2) \left(\frac{V_s}{4}\right)^2 \dots \dots \dots (7)$$

ここに、

C₁, C₂: 風上側, 風下側の風圧係数

Vₛ: 風速 [m/s]

風力が十分に大きな場合には、ΔP=Pwである。

3) 温度差と風力の影響が合成する場合の圧力差 ΔP

風力による圧力差が内外温度差の圧力差の1/2以内である場合には、高さ方向に圧力を積分し、室の高さで割って平均を求めると次式となる。

$$\Delta P = \frac{h}{2Pt} \left[ \left(\frac{Pt}{2} - Pw\right)^2 + \left(\frac{Pt}{2} + Pw\right)^2 \right] \frac{1}{h} = \frac{Pt}{4} + \frac{Pw^2}{Pt} \dots \dots \dots (8)$$

(8)式は、Pw=0の場合(6)式と同一となるため、(6)式は不要であり、風力換気(7)式と温度差・風力換気(8)式の2つとなる。この2式の適用範囲は、図から 1/2 Pt > Pw の場合(8)式、1/2 Pt ≤ Pw の場合(7)式となる。換気量 Q は(8)式または(7)式で求めた ΔP と(4)式から求めることができるが、自然換気では気密試験の場合と異なり流入・流出の2つが同時に発生し、流入に対しては隙間の1/2のみが有効であるから(4)式を1/2にし(9)式となる。

$$Q = 0.73 \alpha A (\Delta P)^{1/2} \dots \dots \dots (9)$$

簡単のために隙間の特性を表す n を 2 とすることもできるが、計算精度が低下するため、隙間の特性が与えられる場合には、実測値の n を与えることが望ましい。当然ながら、建築前の実測値のない段階では、設計値の隙間の相当開口面積 αA, 隙間の特性 n を用いれば、設

定内外温度差、風速下の条件での自然換気量を求めることができる。

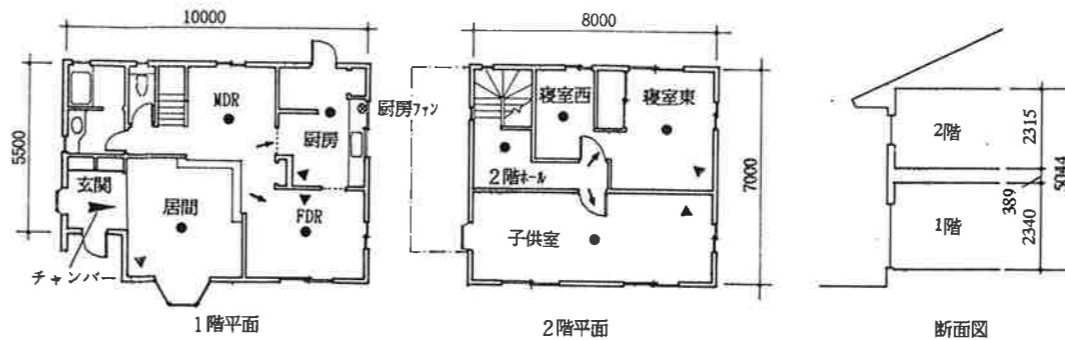
3. 換気量の長期計測実験

ここで提案した簡易換気量計算法の精度を検討するために、約1年間にわたる CO₂ をトレーサーガスとした長期換気実測を行った。実験の対象は、写真-1、図-2 に示すような茨城県総和町の工場敷地内に建設された、鉄骨プレハブ造、2階建て、延べ床面積123 m²、容積284 m³ の建物である。建物の内装は、壁および天井は石膏ボードにビニールクロス仕上げ、1階床は下地ボード上にフローリング、2階床は下地合板カーペット仕上げである。実験中は建物全体を1室と見なせるように、建物内のすべての間仕切ドアを開放した。

建物の周囲の状況は、図-3 に示すように、北側7 m、南側12 m に同じような2階建て住宅、東西には樹木があり、一般的な住宅地とほぼ同じ状況である。居住状態を想定して、12~4月の間は電気ヒーターを用いて22°Cの全室間欠暖房(7~23時)を行い、今回の報告では特にデータをうけなかったが朝(7~8時)、昼(12~13時)、晩(18~19時)の1日3回、換気扇をプログラムタイマーによる電源のON/OFFで制御し作動させた。建物の気密性を床面積当たりの隙間の相当開口面積で表せば、1989年4月7日までは手動換気扇を電源側



写真-1 実験棟外観



●: CO₂吸引位置(上中下3点) →: CO₂放出位置(フレキダクト) ▲: 扇風機位置

図-2 実験棟平面および断面図

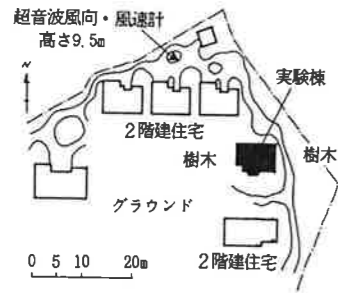


図-3 実験棟周囲の状況

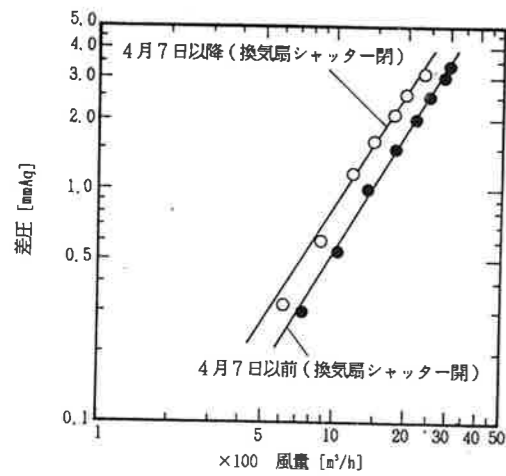


図-4 実験棟気密性測定結果

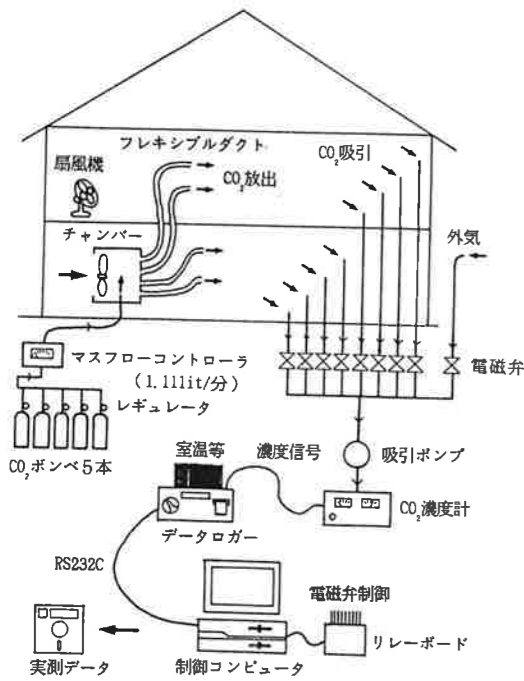


図-5 長期換気自動計測装置

で制御したため換気扇停止時も換気扇のシャッターが開の状態のままであり  $8.1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  ( $n=1.72$ ) であったが、4月7日以降は自動換気扇(換気扇作動時以外はシャッターは閉)に交換したため  $6.5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$  ( $n=1.73$ ) に向上した(図-4)。なお、気密性能の測定は、文献 [13] に示される回転数制御のダクトファン・ドアパネル(ただし、ドアパネルは合板製)を玄関に設置し加圧法により測定した。

換気量の計測は、トレーサースガスとして  $\text{CO}_2$  を用いた一定発生法とし、 $\text{CO}_2$  ガスの放出およびサンプリングは、図-5に示すコンピュータを用いた自動計測装置で行った。 $\text{CO}_2$  は、屋外で  $30 \text{ kg}$  ボンベ5本をレギュレータを介して結合し、マスフローコントローラーを用いて一定量が ( $1.11$  リットル/分) 室内に放出されるようにした。マスフローコントローラーからの  $\text{CO}_2$  ガスは、いったんチャンパーに入れられ、送風ファンとダクトにより建物全体に分配し、さらに各室で扇風機を用いてかく拌し、建物全体の濃度分布を解消するようにした<sup>13)</sup>。この方法では、建物内で気流を発生させるために、換気の性状に影響を与える可能性があるが、ここでは  $\text{CO}_2$  の濃度分布を改善することを優先した。 $\text{CO}_2$  のサンプリングは、図-2に示す9点で行い、各計測点では室中央で上中下3点の混合とし、上下濃度分布の影響を減少させるようにした。 $\text{CO}_2$  のサンプリングは、外気と各室および全体のサンプリングを15分間隔で繰り返した。換気量計算に用いた外気の  $\text{CO}_2$  濃度は、別の外気濃度測定を参考に、連続測定の最低の平均値を用いた。また、1回の測定(1分ごと)は、3回の連続サンプリングの平均値とした。風向・風速は、実験棟北側の高さ  $9.5 \text{ m}$  の位置で、超音波風向・風速計により計測した。

換気量の計算は、換気扇作動時の変化が大きいため、15分ごとの  $\text{CO}_2$  濃度変化から次式を用いて、収束計算を行い求めた。

$$0 = \left[ (C_0 - C_i) + \frac{M}{Q} \right] - \left[ (C_0 - C_i^*) + \frac{M}{Q} \right] \exp\left(-\frac{Q}{V} \Delta t\right) \quad \dots \dots \dots (10)$$

ただし、

- $C_0$ : 外気  $\text{CO}_2$  濃度 [ppm]
- $C_i, C_i^*$ : 現時点,  $\Delta t$  前の室内  $\text{CO}_2$  濃度 [ppm]
- $M$ :  $\text{CO}_2$  発生量 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]  $\times 10^6$
- $V$ : 容積 [ $\text{m}^3$ ]
- $Q$ : 換気量 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
- $\Delta t$ : 計測時間間隔 [h]

4. 長期換気計測結果

図-6に夏期・冬期に風速の大きな代表日の計測結果を示す。ここで、換気量の与える影響は、建物規模によって異なるために、換気量自体では換気の影響を把握し難

いたために、これ以降は換気量として、1時間当たりの換気量を建物容積で除算した換気回数を用いることにする。

夏期の室温は、冷房を行っていないため日中の最高温度は  $37^\circ\text{C}$  に達しており、室温は外気温度よりも常に高

く、内外温度差は  $2\sim 5^\circ\text{C}$  である。一方、冬期は暖房を行っているために、室内外温度差は最大  $20^\circ\text{C}$  程度生じている。したがって、本実験では室温が外気温度よりも低く、外気が2階から流入し、1階から流出する換気経路についての測定結果はほとんどなく、室温が外気温度

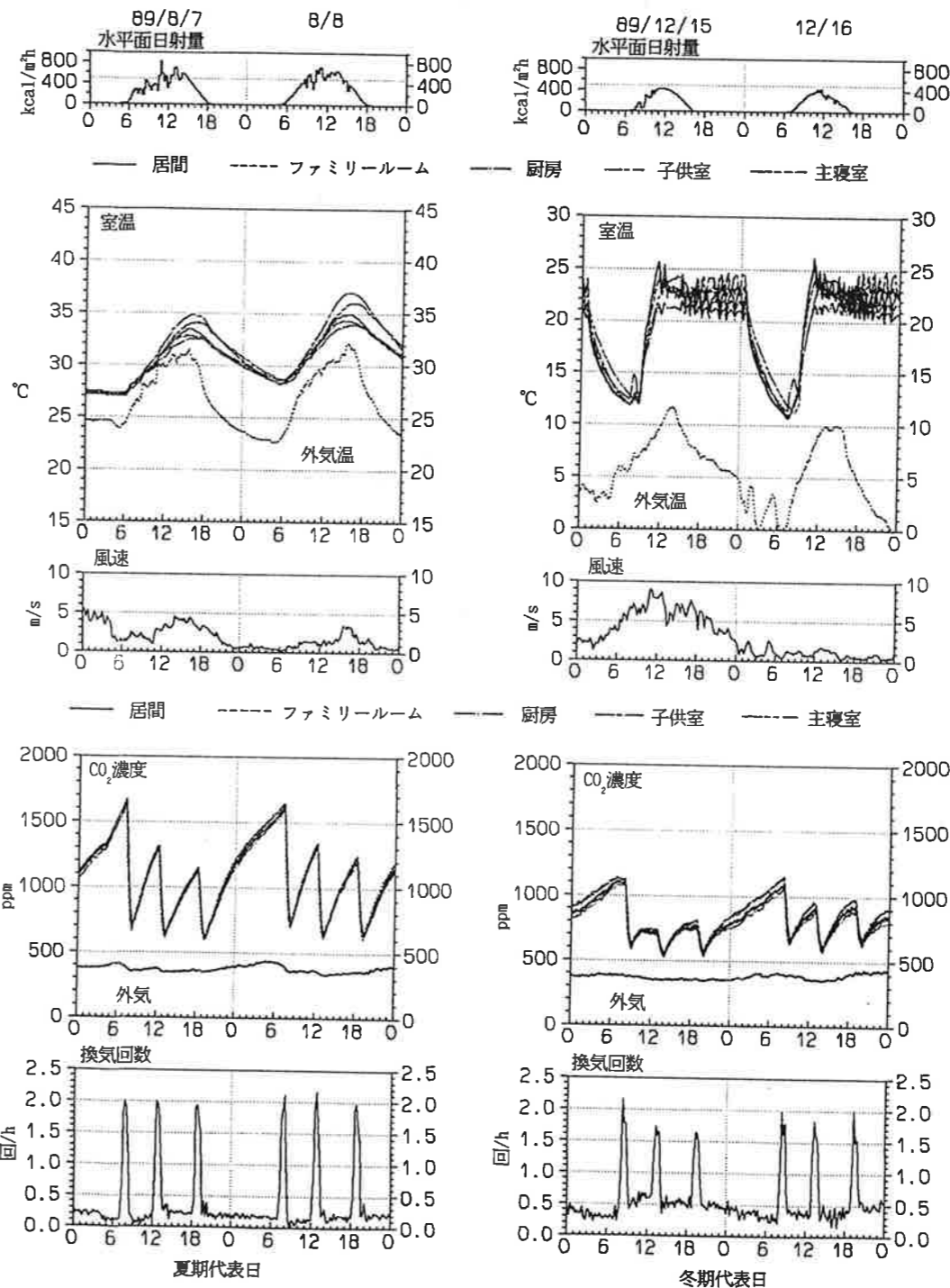


図-6 夏期・冬期代表日の換気量計測結果

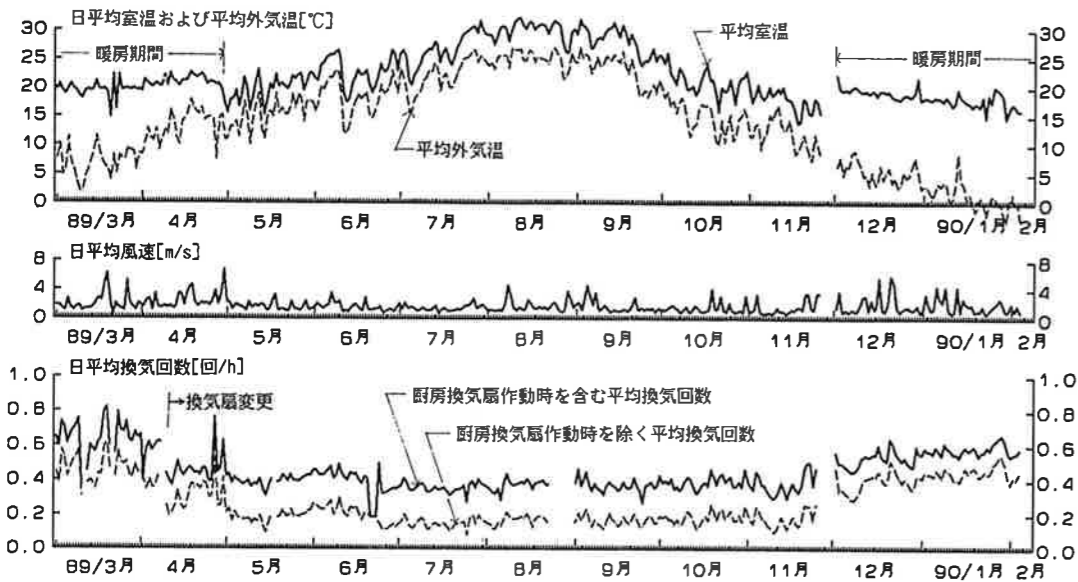


図-7 換気量の年間計測結果

よりも高く、外気が1階から流入し2階から流出する換気経路のみの測定であった。ここで用いたCO<sub>2</sub>トレーサーガス法の適用は、建物内で温度、濃度が一定であることが条件であるが、各室の温度差は南北、上下階ともに最大でも3°C程度であり、建物内の温度はほぼ一様であると見なすことができる。

室内のCO<sub>2</sub>濃度は、放出量が一定であるために換気量に逆比例し、温度差の小さく換気量の少ない夏期には最高1500ppmまで上昇するが、温度差の大きく換気量の大きい冬期には1200ppm程度までしか上昇しない。また、風が強い場合に低い。1日3回CO<sub>2</sub>濃度が急激に減少するところが厨房換気扇作動時である。この場合も各室のCO<sub>2</sub>濃度差はわずかであった。各室間のCO<sub>2</sub>濃度差は最大100ppm程度であり、建物内のCO<sub>2</sub>濃度もほぼ一様であると見なすことができる。

図-7は1989年3月から1990年2月までの約1年間の温度・風速・換気量の測定結果である。内外温度差は、暖房期間中は15~20°Cであるが、非暖房期間は5°C程度である。換気扇作動時を除いた日平均換気回数は、中間期および夏期は0.2回/h、冬期0.4回/h程度であった。

### 5. 換気実測結果を用いた検証

約1年間の換気量実測値を用いて、先に示した換気量計算式を検証する。

#### 1) 温度差換気量の検証

図-8に、4月7日以降の内外温度差が支配的 ( $Pt/10 > Pw$ ) な場合の内外温度差と実測換気量の関係を示す。図中の全体の傾向とは大きく異なる点は、計測時間と換気扇作動時の時間のずれにより、換気扇作動時の影響が

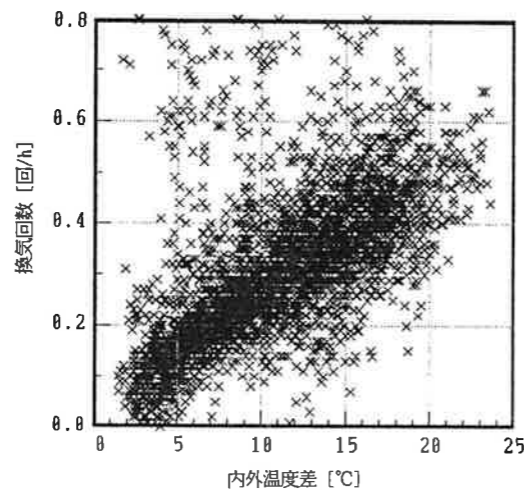


図-8 実測値の内外温度差と換気回数

含まれているものである。この実測値そのものは、内外温度差の増加に伴い換気量が増加する傾向は読み取れるが、ばらつきが大きく内外温度差と換気回数の関係が把握し難いため、内外温度差0.5°Cごとに平均したものが図-9である。図中には4月7日以前と気密性が悪い場合を△記号で加えてある。4月7日以前と以後で床面積当たりの隙間の相当開口面積は、8.1cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>から6.5cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>に向上しておりこの影響で、換気回数も約0.1回/h低減している。

図中、破線は4月7日以前、実線は4月7日以降の提案した簡易計算による換気回数である。計算に使用した建物高さは、1階床から2階天井までh=5mとした。4月7日以前、以降ともにすべての範囲で計算値は実測値に比べ0.1回/h程度大きい。計算値が実測値に比較し

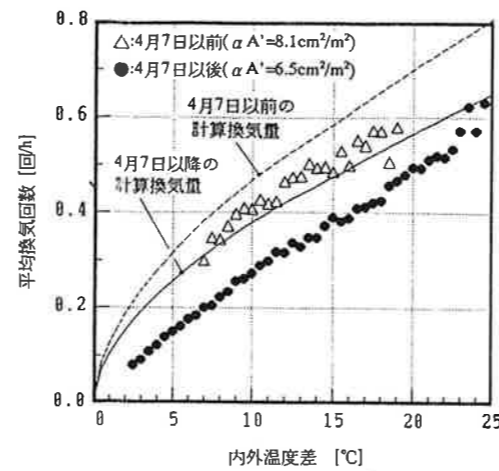


図-9 内外温度差と平均換気回数の関係

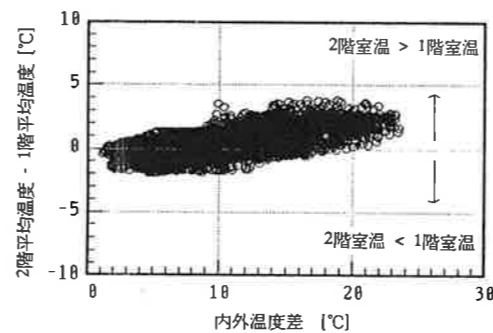


図-10 内外温度差と1, 2階室温の関係

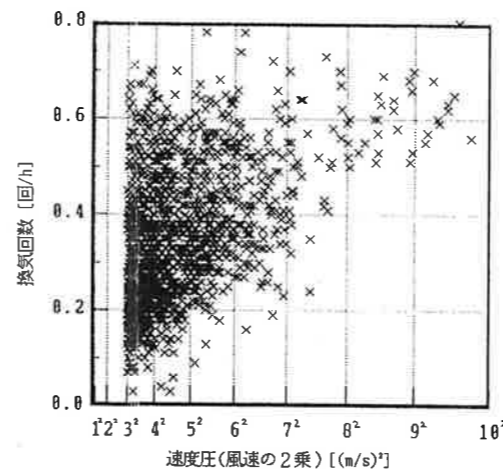


図-11 実測値の速度圧と換気回数

で大きくなる原因は、計算に用いた建物の気密性測定結果が加圧法で行ったものであり、特に換気扇のシャッターの構造などから隙間の相当開口面積が大きめの値となっていること、簡易計算式は計算の簡便さから上下圧力分布を考慮しておらず、大きめに計算される傾向にあるためなどである。特に、温度差が小さい場合に実測

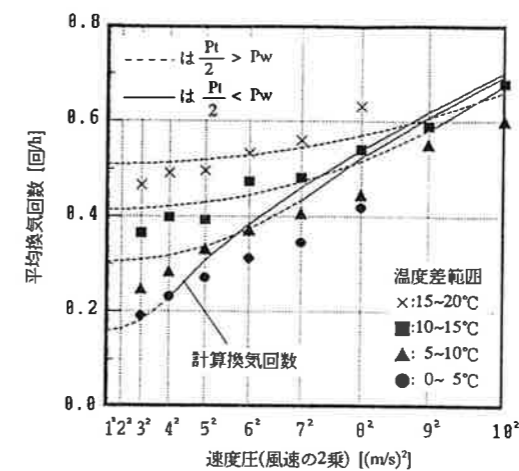


図-12 速度圧と平均換気回数の関係

値と計算値の差が大きくなる傾向がある。これは図-10に示すように、1階と2階の温度が、内外温度差が小さい場合には1階室温の方が高く、内外温度差が大きな場合には2階室温の方が高い傾向があるため、内外温度差が小さな場合には内外圧力差が減衰され、温度差が大きな場合には内外圧力差が助長されるためである。しかしながら、換気量の簡易計算法の実用精度としては、安全側であることを考慮すれば十分であろう。また、4月7日以前では厨房換気扇のシャッターが開いたままであり、隙間が集中していたが、4月7日以後のデータと傾向としては一致しており、隙間が周囲に平均に分散していると仮定しても誤差は少ないことを、さらに気密性が異なっても本簡易計算式が適用できることが分かる。

#### 2) 温度差・風力の換気量の検証

図-11は速度圧(風速の2乗)と換気回数の関係を風速3m/s以上について示したもので、風速増加に伴い換気量は増加する傾向があるが、内外温度差などの影響によりばらつきがかなり大きい。この風速の増加による換気回数の増加は、風速9m/sの場合に内外温度差20°C相当であり、建物が建ち並んでいる住宅地では風速の影響はかなり小さいことが分かる。図-12は、温度差の影響を分離するために温度差5°Cごとに速度圧と平均換気回数の関係を求めたものである。ただし、年間計測においても風速が3m/sを超えることは比較的少なく、サンプルとしては温度差換気に比べてかなり少ない。また、四周が囲まれているために、風向による違いはほとんど見られなかった。

図中の曲線が計算法による換気回数で、実線部分が  $\frac{Pt}{2} < Pw$ 、破線部分が  $\frac{Pt}{2} \geq Pw$  の区間である。風力による換気量を左右する要素である風圧係数は、文献[14]の建ぺい率と風圧係数を参考に  $C_1=0.01$ 、 $C_2=0.04$  とし、風速は高さ9.5mの実測値をそのまま使用した。全体的な傾向としては、風速の小さな場合には温度差換

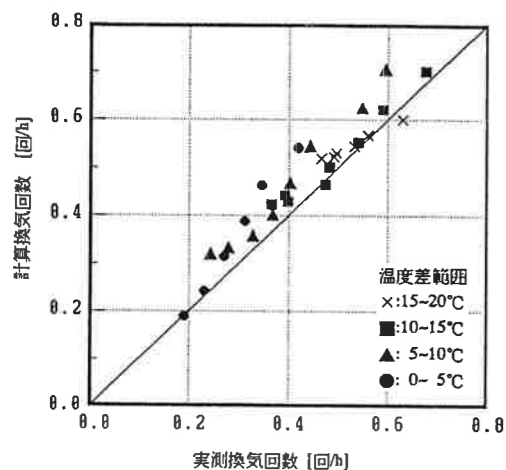


図-13 実測換気回数と計算換気回数の関係

気に見られたように計算換気回数が実測値より大きく、風速が大きな場合に一致する傾向がある。また、計算値では風速が大きくなると、風力換気が支配的となり温度差に関係なくなるが、実測値ではこの傾向が表れる風速がかなり大きい。これは、風圧係数などの問題であろう。

この実測値と換気量の簡易計算式から求めた計算値の関係が図-13である。温度差による場合と同様に、計算値は実測値に比べ平均約0.1回/h大きい、全体的な傾向としてはよく一致している。しかし、ここで用いた風圧係数は推定値であること、換気計算の風速は建物の影響がない場所での風速を用いるのが一般的であることなど、換気計算の値が大きく変る要素を含んでいる。

#### 6. まとめ

建物の気密性能を表すことに用いられることが多い、建物の隙間の相当開口面積および隙間特性と内外温度差・風速を条件とした場合の換気量の簡易計算法を提案した。提案した計算法の特徴は、内外温度差・風力換気を同時に考慮した計算が収束計算なしで簡単にできることである。また、提案した簡易計算法は、隙間の相当開口面積および隙間特性と圧力差の理論式から求めたものであるため、係数に実験条件などが含まれておらず、周囲の状況を風圧係数を用いて考慮することが可能である。

この簡易計算法の計算精度を長期換気実測結果を用いて検討した結果、提案した計算法と実測値は、内外温度差換気・風力換気ともに傾向としてはよく一致し、建物全体を1室と見なした概算値としては十分な計算精度であった。

ただし、今回の検証は総2階に近い建物1棟であり、今後は形状や気密性の異なる建物についても検証を行う必要がある。また、すべての換気計算法に共通する問題として、周囲に建物がある立地条件に近い風圧係数の適

当な設定方法が今後の課題である。

なお、本研究の長期換気実測は、財団法人住宅・建築省エネルギー機構、「住宅における快適性の研究(委員長 松尾 陽)」の一部として行われたものである。

#### 注

本論文で提案した換気量の簡易計算式は、計算を簡便化することを優先し、上下圧力分布を考慮せず平均圧力を使用した。換気量の計算式が1/n乗であるため、平均圧力で計算した場合やや小さめの計算を行うことになる。上下圧力分布を考慮する場合には次式となる。

$\frac{Pt}{2} > Pw$  の場合

$$Q = 0.73 \frac{1}{Pt} \frac{n}{n+1} \left[ \left( \frac{Pt}{2} + Pw \right)^{\frac{1}{n+1}} + \left( \frac{Pt}{2} - Pw \right)^{\frac{1}{n+1}} \right] \quad (A.1)$$

$\frac{Pt}{2} < Pw$  の場合

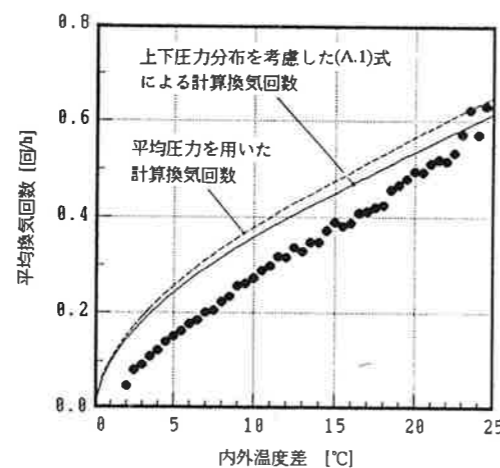


図 A-1 温度差換気の上下圧力分布を考慮した場合と平均圧力式を用いた場合の比較

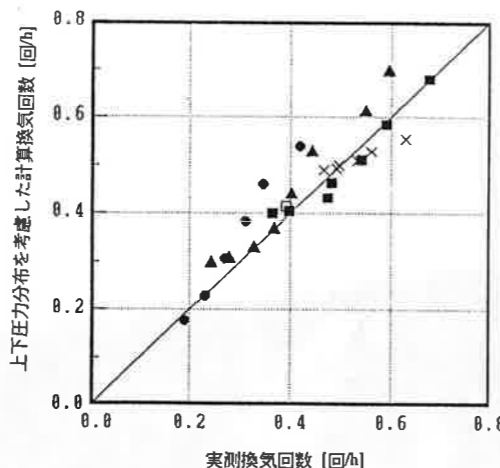


図 A-2 温度差・風力換気の上下圧力分布を考慮した計算換気回数と実測換気回数

$$Q = 0.73 \frac{1}{Pt} \frac{n}{n+1} \left[ \left( Pw + \frac{Pt}{2} \right)^{\frac{1}{n+1}} - \left( Pw - \frac{Pt}{2} \right)^{\frac{1}{n+1}} \right] \quad (A.2)$$

図 A-1 は、内外温度差と換気回数の関係を、平均圧力を使用した(9)式と圧力分布を考慮した(A-1)式の計算結果を示したもので、圧力分布を考慮すると0.02~0.03回/h程度実測値に近付いている。同じく図 A-2 は、内外温度差+風力換気の場合の圧力分布を考慮した計算値と実測値の関係を示したものであり、内外温度差と換気回数の関係と同様平均圧力を用いた図-13よりも全体に実測値に0.02~0.03回/h程度近付いている。

#### 参考文献

- 1) Y. Sakamoto, "Calculation of Unsteady Room Temperature in a Dwelling House Including Effect of Natural Ventilation", Proceeding of 4th International Symposium on The Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings, pp.189~194, 1983
- 2) 石原正雄: 建築換気設計, 朝倉書店, 昭和44年
- 3) 奥山博康: 換気回路網によるシミュレーションの理論と応用, 空気調和衛生・工学会学術論文集, pp.545~548, 昭和58年10月
- 4) 栗岡 均, 石田義洋: 回路網計算における新解析法の提案, 日本建築学会大会論文集, 昭和59年10月, pp.565~566
- 5) 石田建一, 宇田川光弘: 室温・熱負荷計算における換気回路網 計算法の実測データによる検証, 日本建築学会論文報告集, 第388号, pp.60~69, 1988.6
- 6) C. Y. Shaw: A Correlation Between Air Infiltration and Air Tightness for Houses in A Developed Residential Area, ASHRAE TRANSACTION, Vol.87, Part 2, pp.333~341, 1981.
- 7) G. T. Tamura: The Calculation of House Infiltration Rates, ASHRAE TRANSACTION, Vol.85, Part 1, pp.58~71, 1979.
- 8) M. H. Sherman, D. T. Grimsrud: Infiltration-Pressurization Correlation: Simplified Physical Modeling, ASHRAE TRANSACTION, Vol.85, Part 1, pp.778~807, 1980.
- 9) D. T. Grimsrud, M. P. Modera, M. H. Sherman: A Predictive Air Infiltration Model-Long-Term Field Test Validation, ASHRAE TRANSACTION, Vol.88, Part 1, pp.1351~1370, 1982.
- 10) 田中昭司, 鎌田元康, 加藤信介, 戸河里敏, 吉沼敏和: 戸建て住宅の気密性と漏気量に関する研究, 日本建築学会環境工学論文集, pp.51~60, 昭和59年11月
- 11) 吉野 博, 長友宗重, 松本 博, 内海康雄, 山本頼房: 木造戸建住宅を対象とした自然換気量の予測法に関する検証実験, 日本建築学会論文報告集, 第412号, pp.19~29, 1990年6月
- 12) 鎌田元康, 吉野 博: 住宅の気密性と漏気量, 日本建築学会環境工学論文集, pp.19~26, 昭和58年11月
- 13) 鎌田元康, 加藤信介, 射場本忠彦, 戸河里敏: 実験値に基づく住宅の漏気量評価に関する基礎研究, その3.簡易気密性測定装置の試作と Grimsrud 等の漏気量予測式の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.359~360, 昭和57年10月
- 14) 建築設計資料集成1 環境, 日本建築学会編, 丸善, p.156

#### 本論文に関する既発表論文

- 15) 石田建一, 鎌田元康, 千田善孝, 星川邦彦: 居住状態における住宅の漏気・換気量に関する研究, その2 モデル住宅における長期測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.617~618, 1989年10月
- 16) 石田建一, 鎌田元康, 千田善孝, 星川邦彦: 居住状態における住宅の漏気・換気量に関する研究, その3 モデル住宅における年間測定結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.559~560, 1990年10月
- 17) 石田建一, 林 基哉, 鎌田元康: 建物の気密性を用いた換気量の簡易計算法, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.261~264, 1990.10

(1991年11月26日原稿受理, 1992年5月19日採用決定)