

# 自然通風による冷房効果に関する研究 (その3)

——一面開口と二面開口における自然換気特性——

小 宮 英 孝

## Study on the Cooling Effect of Natural Ventilation (Part 3)

——Characteristics of Natural Ventilation in a Room  
with One Opening or Two Openings——

Hidetaka Komiya

### Abstract

From the viewpoint of positively bringing the outdoor environment indoors, measurements of the effects of natural ventilation were made in a simplified room with one opening or two openings. The ventilated flow rates measured by the CO<sub>2</sub> method or the heating method were 10 percent higher than that by the pressure difference method or wind speed method because of the ventilation effect of diffusion in case of two openings. From the heat balance in the room, the same results could be obtained at high wind speed. However, at low wind speed, the ventilation rates due to wind, diffusion, and temperature difference were almost the same. The ventilated flow rate with one opening was linear to the square root of the temperature difference between inside and outside, and about four to seven times per hour. The variance in wind speed and eddy diffusivity decreased with increase in distance from the upper window in case of two openings. However, in case of one opening, these values were almost constant except near the window. These tendencies were also obtained from spectrum analyses of wind speed also.

### 概 要

外部環境を室内へ積極的に取り入れる一手法としての自然換気を評価するために、簡易化したモデル室を設定し、二面開口・一面開口による特性差を中心として、その構造を明確にする実測を行なった。換気量は、CO<sub>2</sub>濃度減衰法、加熱法および窓面風速測定法・内外差圧測定法で行なった。二面開口の場合、換気量は外部風に比例しかつ前2者の測定結果が10%程度多く、これが拡散による換気量に相当する。一方一面開口の場合は、内外温度差の平方根に比例し、4～7回/hのオーダーであった。風速変動・拡散係数は一面開口の場合、風上窓からの距離とともに減少し、一面開口の場合は、室奥行きの1/8以上では一定値となる。以上の関係は風速のパワースペクトルからも説明される。ヒートバランスから、二面開口の換気構造をとられると、強風の場合、90%が平均流、10%が拡散によるものである。さらに弱風の場合は、平均流、拡散、温度差によるものが同程度の量となる。

#### 1. はじめに

外部環境を室内へ積極的に取り入れる一手法としての自然通風に着目して、これまで事務所ビル（大林組技術研究所本館）において、自然通風による冷房能力および自然通風下の室内環境を明らかにしてきた。

本報告では、事務所ビルを一般化かつ簡易化したモデル室において、自然通風下の換気量、冷房効果、室内環

境の分布と変動、窓の働きを実測によって明確にし、事務所建築における自然換気特性をとらえたものである。特に今回は一面開口と二面開口による自然換気効果について実測を行ない、両者の換気効果の違いから、この点を明らかにした。

#### 2. 測定概要

測定対象には事務所建築を一般化かつ簡易化したモデ

ルとして、大林組技術研究所清瀬社宅（RC造、地上4階）の4階西側住戸の2室を用いた(写真-1)。同室の床面積は、17.25 m<sup>2</sup>、室容積は、43.98 m<sup>3</sup>である。自然通風は、南北各々にある0.882 m<sup>2</sup> (0.68×1.3m)の窓を開放する場合(二面開口)と南窓のみを開放する場合(一面開口)について行なった。内部発熱源としては、床パネルヒーター(定格900 W×2枚:寸法270 cm×180 cm×2枚)を用いた。



写真-1 大林組技術研究所清瀬社宅

測定は、室内外の温度・風速変動特性を求める詳細測定と室内温度分布・ヒートバランスなどを求める一般測定とに分かれる。測定ポイントを図-1に示した。詳細測定の測定項目は、屋上風速(超音波風速計:2次元)、窓部又は室内風速(超音波風速計:3次元)および室内外温度11点(Ar・Cr熱電対)とした。記録は、サンプリングタイムを0.1秒とし、デジタルデータレコーダで集録した。1回の測定は約12時間で総計240時間行なった。一般測定の測定項目は、室内外温度(69点)、室内外風速(3点)、熱流量(2点)、日射・ふく射量(2点)である。これらのデータは、多点デジタル記録計を通して、1分ごとに計測し15分平均値を記録した。

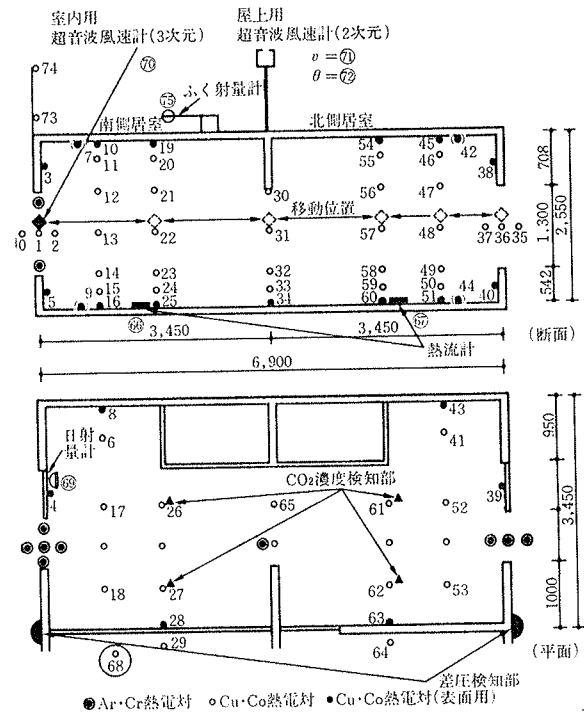


図-1 測定ポイント

### 3. 測定結果

#### 3.1. 室マスバランス

##### (1) CO<sub>2</sub>濃度減衰法による換気量

最小2乗法を用いて、CO<sub>2</sub>濃度減衰法<sup>2)</sup>により求めた換気回数と屋上風速、内外温度差との関係を図-2に示した。両窓開放の場合には、屋上風速に正比例して、換気回数は増大する。一方、片窓開放の場合には、内外温度差の平方根に、比例して換気回数が増大する。しかし、一般的な屋上風速の範囲(1 m/s前後)では、両窓開放と片窓開放の場合の換気量には、10:1程度の開きがある。

$$N = 38.1 \cdot V_0 \quad (\text{両窓開放}) \quad \dots\dots(1)$$

$$N = 2.13 \cdot \sqrt{\Delta T} \quad (\text{片窓開放}) \quad \dots\dots(2)$$

##### (2) 窓面風速又は内外差圧測定による換気量

両窓開放の場合には、窓面風速又は内外差圧の測定によって、平均流による換気量を求めることができる。

図-3は、屋上風速と窓面風速との関係を示したもので

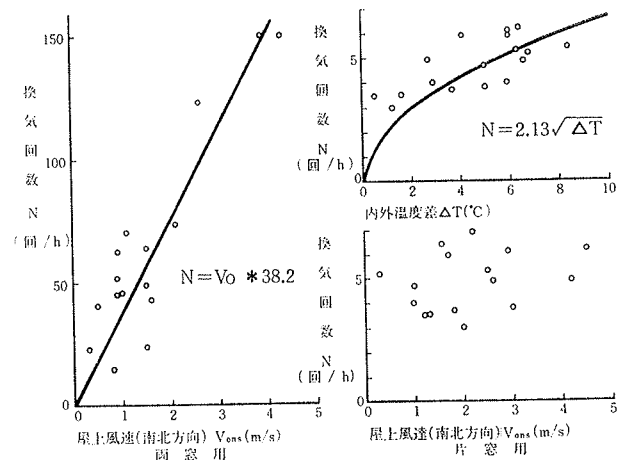


図-2 換気回数と屋上風速、内外温度差との関係

あるが、これを換気回数で表現すると次式の通りである。

$$N = A_{sw} \cdot V_{sw} / Q_R = 32.1 \cdot V_0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

一方、同様に屋上風速と内外差圧との関係は、図一4に示される通りであったが、これより換気回数を求めると、

$$N = \frac{\alpha \cdot A_w \times \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta P}}{Q_R} = 32.0 \cdot V_0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。以上の様に、窓面風速、内外差圧から求められる換気回数は、CO<sub>2</sub>濃度減衰法で求められる換気回数より、15%程度少なくなる。これは、前者の測定法が平均流による換気量をとらえるだけであるのに対し、後者の測定は、すべての要因による換気量をとらえているためであり、両者の差は主に拡散による換気量である。

3.2. 室内環境の分布と変動

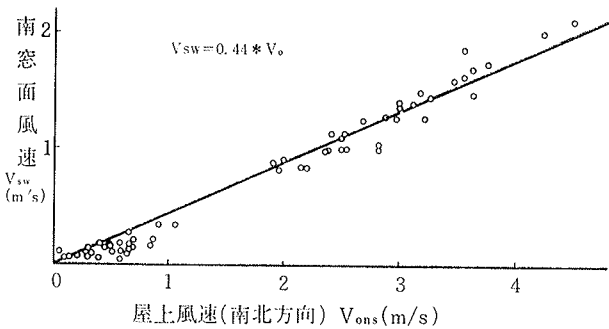
(1) 温度分布と加熱法による換気量

室内および窓部の温度分布を、両窓開放、片窓開放について、代表的な例を図一5に示した。両窓開放で、風が強い場合には、風下に向い室温が上昇しているが、室

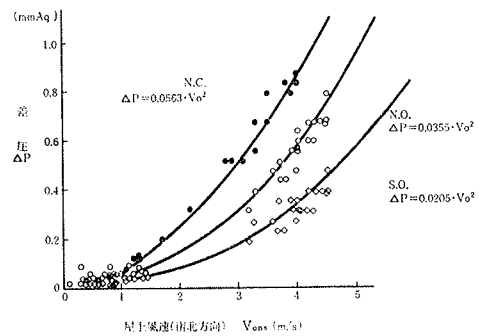
中央(風上から3.45 m)以降では、上昇カーブがゆるやかになる。さらに、風下窓面での上下、左右の温度差が小さく、一様温度の空気が風下窓に到達していること、内外温度差が小さく、主要な熱移動が平均流による換気により行なわれていることを示している。以上の点から、内外温度差と発熱量から換気量を図に示されたケースについて求めると、

$$\frac{n}{v_0} = \frac{w - w_0}{C_p \cdot \gamma \cdot Q \cdot \Delta t \cdot v_0} = \frac{1347.38}{0.288 \cdot 43.98 \cdot 1.1 \cdot 2.5} = 38.7 \quad \dots\dots\dots(5)$$

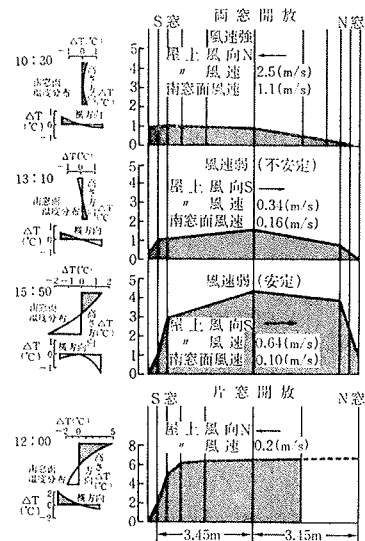
となる。加熱法(室を加熱し、内外温度差より換気量を求める本方法)によって求めた換気量は、CO<sub>2</sub>濃度減衰法により求めた換気量と概略一致する。一方、片窓開放の場合には、窓部上下で大きな温度差がつき、温度差による換気が、主となっていることが示されている。同図に示されている様に、室中央高さにおける室温は、室奥行き1/8以上では、概略一致している。ただし、窓近傍の下部は、後の熱写真より得られた温度分布が示すように、局所的に冷やされていた。また、両窓開放の場合でも、弱風時には、上記二例の中間の状態となる。



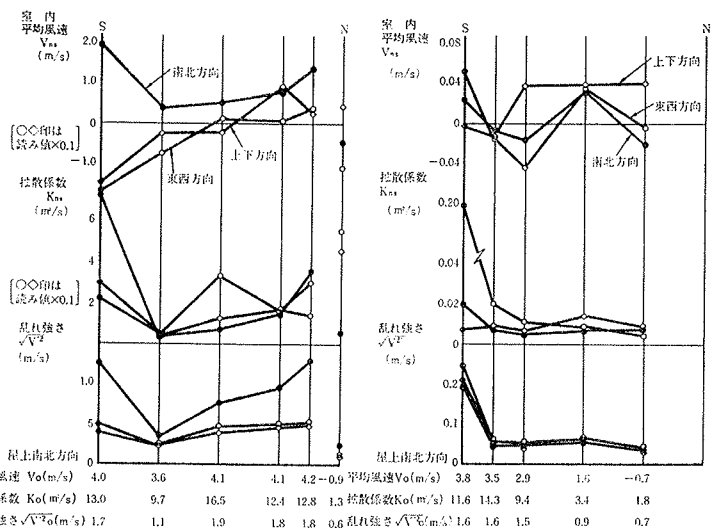
図一3 屋上風速と窓面風速との関係 (20分平均値)



図一4 屋上風速と内外差圧との関係 (10分平均値)



図一5 室内および窓部の温度分布



図一6 風速・拡散係数・風速変動の室内分布 (左図: 強風, 右図: 弱風)

(2) 風速, 風速の乱れ強さ, 拡散係数の室内分布

風速, 乱れ強さ, 拡散係数の室内分布を, 両窓開放, 片窓開放について, 図一六に示した。両窓開放は, 北風強風\*の場合であり, 風速, 乱れ強さ, 拡散係数ともに, 風向と同一方向のものは(●印), 風上窓からの距離に比例して減少する(ただし, 北窓測定時は, 風向が異なり不明であるが, 傾向は明らかである)。この形は, 図一五の温度分布に対応している。一方, 風向と水平面で直角方向(○印)および上下方向(◇印)においては, 平均風速はゼロとなり, 風向と同一方向の値に対し, 拡散係数で1/10, 乱れ強さで1/2のレベルとなる。片窓開放の場合は, 他の室内の点と比較して, 窓部における値が2~4倍大きい点を除けば, 室内分布なく, 又3次元方向別の違いも小さい。なお, 両窓開放で, 弱風\*の場合は, ここでは示していないが上記二例の中間の状態となる>(\*風速(南北方向) 1.5 m/s以上を強風, 1.5 m/s以下を弱風とした)

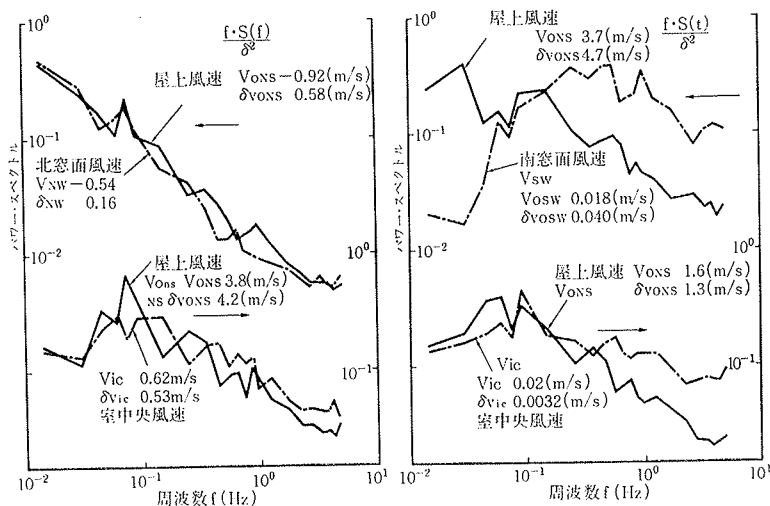
(3) 風速のパワー・スペクトル

風速に関する室内外の変動特性の差異, 窓面と室中央との変動特性の差異を明らかにするために, 該当各部における風速のパワー・スペクトルを求めた。パワー・スペクトルはFFT法を用いて,  $\Delta t = 0.1 \text{ sec}$ ,  $N = 2,048$ で求めたものである。一例として, 両窓開放時, 片窓開放時の, 窓面, 室中央, 屋上における風速のパワー・スペクトルを図一七に示した。両窓開放の場合は室中央において若干パワー・スペクトルの分布がフラットになることが示すように, 高周波成分(乱れのスケールが小さい)が若干増す以外は, あまり差異は見られない。片窓開放の場合は, 両窓開放の場合と比較して, 明らかに窓面および室中央におけるパワー・スペクトル分布がフラットになり, 乱れのスケールが小さくなっている事がわかる。以上の関係は, ここでは示していないが温度スペクトルからも得られるとともに, 図一六の拡散係数分布とも対応する。

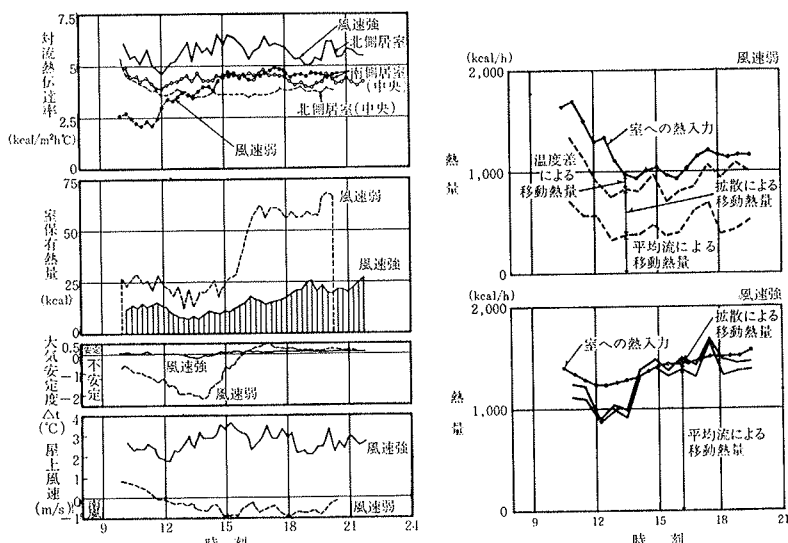
3.3. 室ヒートバランス

図一八に, 両窓開放の場合における対流熱伝達率, 室保有熱量および熱バランスの時間変動を示した。対流熱伝達率は, 床パネルヒーターの出力か

ら, 床への伝導熱量, 室内へのふく射熱伝達量を差し引いた値を, 床表面温と床上27cmの空気温との差で除したものである。室保有熱量は, 平均室温と外気温との差に比熱・室体積を乗じたもので, 室への熱出力は, 床パネルヒーターの出力から室各面からの伝導による損失を減じたものである。なお, 全熱移動, 拡散による熱移動などの算出方法は次節で示した。さらに大気安定度としては, 屋上面から0.25mと1.0mの位置にある空気温度差を用いた。同図に示される様に, 対流熱伝達率は, 3~6 kcal/m<sup>2</sup>・h・°Cの範囲で, 風速が速い程, 又風上側が大きな値となった。強風時には, 熱移動のほとんど(90%)は平均流により行なわれ, 拡散による移動は10%程度であった。この結果は, 換気量で述べた点と一致する。一方, 弱風時には, 平均流, 拡散, 温度差による熱移動が概略同程度の量となる。さらに, 弱風時には, 大気の安定状態によって, 室保有熱量が大きく変化するこ



図一七 窓面・室中央および屋上風速のパワースペクトル(左:両窓,右:片窓)



図一八 対流熱伝達率, 室保有熱量および熱バランスの時間変動

とが示す様に、大気の安定状態が換気量への影響要素となる。

### 3.4. 窓の働き

#### (1) 窓通過熱量

窓面単位面積当りの全熱移動熱量 ( $Q_T$ )、平均流による移動熱量 ( $Q_w$ )、拡散による移動熱量 ( $Q_{KS}$ ,  $Q_{KN}$ )、拡散係数 ( $K_x$ ) を、文献2) で示した計算式によって、評価時間を1.25分、平均時間を10分\*\*として求めた。全移動熱量 ( $Q_T$ ) と平均流による移動熱量 ( $Q_w$ ) との関係を図-9に示した。風速が速い場合には、両者の相関が強く傾きが0.93程度となる。このことは、拡散による熱移動 (両者の差) が7%程度であることを示している。一方風速が低い場合には、両者の相関が低くなるとともに、傾きが0.52程度となる。さらに、温度の乱れ強さと風速の乱れ強さとの積 ( $\sqrt{t'^2} \cdot \sqrt{u'^2}$ ) と温度変動と風速変動との積の平均値を ( $\overline{t' \cdot u'}$ ) との関係を図-10に、又南窓における拡散による熱移動量の全熱移動量に対する割合 ( $Q_{KS}/Q_T$ ) と、南窓における拡散係数を屋上風速で割った値 ( $K_x/V_0$ ) との関係を図-11に示した。風速が速い場合には、図-10に示される様に温度変動と風速変動の相関が低くなり (傾きが小さくなる)、 $K_x/V_0$  と  $Q_{KS}/Q_T$  との関係も不明となる。すなわち、 $K_x/V_0$  の値は約2となり、 $Q_{KS}/Q_T$  は0~0.2程度となる。これに対し、弱風時には、温度変動と風速変動の相関が高くなり、 $K_x/V_0$  と  $Q_{KS}/Q_T$  との関係も見られるようになる。(\*\*: 前報では、20分としたが、平均時間による違いはない)

#### (2) 温度分布の可視化

サーモカメラを用いて測定した、窓近傍の温度分布を図-12に示した。窓部における温度差換気および窓部下側への冷気の流入状態を明確に示している。又片窓開放の場合には、室から80cm (奥行きの1/8) 程度で、均一となった。

### 4. まとめ

事務所空間を簡易化したモデル室を用いて、二面開口、一面開口について、実測に基づき、自然換気の特徴を、マスバランス、室内環境の分布と変動、ヒートバランス、窓の働きといった観点からとらえた。

### 参考文献

- 1) 小宮英孝: 自然通風による冷房効果に関する研究 (その1), 大林組技術研究所報, No. 27, (1983), pp. 6~10
- 2) 小宮英孝: 自然通風による冷房効果に関する研究 (その2), 大林組技術研究所報, No. 29, (1984), pp. 11~15

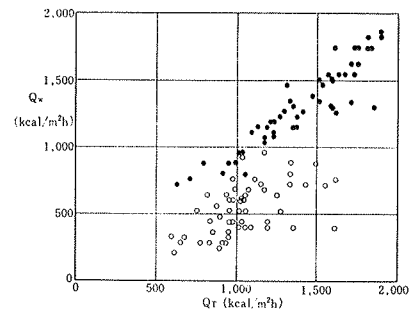


図-9  $Q_T$  と  $Q_w$  との関係

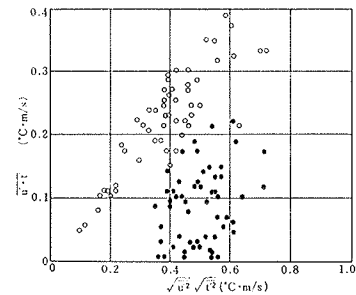


図-10  $\sqrt{u'^2} \cdot \sqrt{t'^2}$  と  $\overline{t' u'}$  との関係

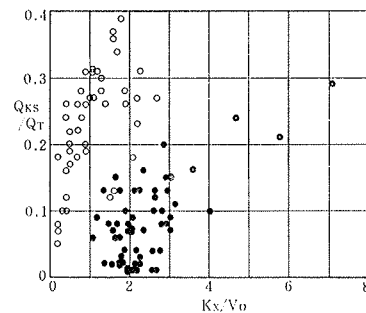


図-11  $K_x/V_0$  と  $Q_{KS}/Q_T$  との関係

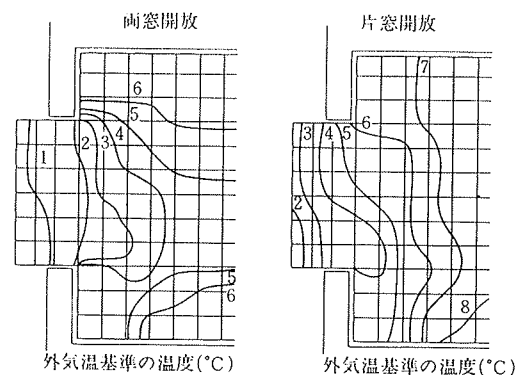


図-12 窓近傍の温度分布

- 3) H. Komiya: Study on the Cooling Effect of Natural Ventilation by Field Measurement, TASE Symposium, (1985.4), (投稿中)
- 4) 日野幹雄: スペクトル解析, 朝倉書店