

自然通風による冷房効果に関する研究（その2）

——超省エネルギービル（大林組技術研究所本館）における
自然通風冷房能力と室内熱環境——

小 宮 英 孝

Study of the Cooling Effect of Natural Ventilation (Part 2)

——Cooling Quantity and Thermal Environment by Natural Ventilation
in the Super Energy Conservation Building (Main Building of
Ohbayashi-Gumi Technical Research Institute)——

Hidetaka Komiya

Abstract

From the viewpoint of positively bringing the outdoor environment indoors, measurements of the effects of natural ventilation were made in the Super Energy Conservation Building of Ohbayashi-Gumi Technical Research Institute during intermediate seasons. In the previous report the results of correlation between air current speeds indoors and outdoors, disturbance of air indoors, number of room air changes, etc., were reported. In this report, the results of measurements of the cooling effect and the temperature distribution by natural ventilation are described. The cooling quantity calculated from the number of room air changes was 0~40 kcal/m²·h, and the heat storage capacity of the room was very effective for smoothing temperature variations. The heat flow rate by turbulence was about 0~40% of total heat flow rate through the windows, and linear to the eddy diffusivity at the windows. At high wind speed the temperature distribution in the room showed hardly any difference according to height, but at low wind speed the air over the floor near windows was locally cooled.

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通風に着目して、技術研究所本館2階事務室において同手法の効果を実測により評価した。前報では、室内外気流の相関、室内の乱れ、換気回数などについて報告したが、今回の測定は、自然通風による冷房効果と室内熱環境を明らかにするために行なわれたものである。CO₂濃度減衰法により求められた換気回数は、屋上風速1m/sあたり、約4回/hであり、この換気回数を用いて冷房能力を求めると、0~40 kcal/m²h程度であった。また熱収支と室温変動からみると、本建物の場合、室内熱容量により自然通風による室温変化が和らげられていることが明らかとなった。開放窓における拡散による熱移動は、全熱移動の0~40%を占め、窓中央の乱れ量、拡散係数に比例することが示された。さらに、強風時には、室温分布がほとんどなくなるのに対し、窓開放直後、又は弱風時には、窓近傍下部が局所的に冷され、温度分布も大きくなることが明らかとなった。

1. はじめに

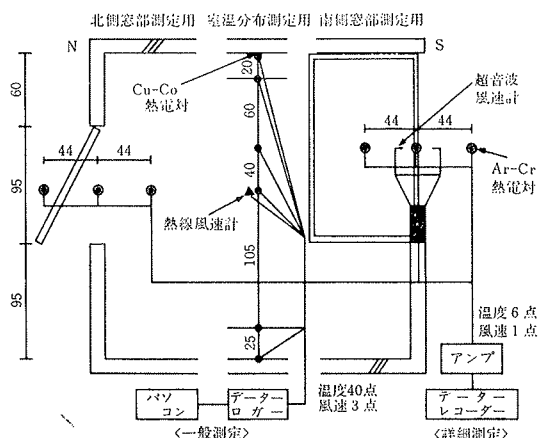
外部環境を室内へ積極的に取り入れる一手法としての自然通風に着目して、技術研究所本館（以下技研本館）において、自然通風による冷房能力および室内熱環境を実測によって評価した。

自然通風下の室内外気流の相関、室内の乱れ、換気回

数などは前報¹⁾で既に明らかにされているので、本報告では自然通風による冷房能力と室内熱環境および窓面における移動熱量を中心に検討を加えた。

2. 測定概要

自然通風の対象空間とした技研本館2階研究室および自然通風方法は、前報に記した通りである。但し、窓は



①室内断面温度分布の測定は、南北方向21.6mの1/4, 1/2, 3/4の位置において行なった。

図-1 測定点と測定装置

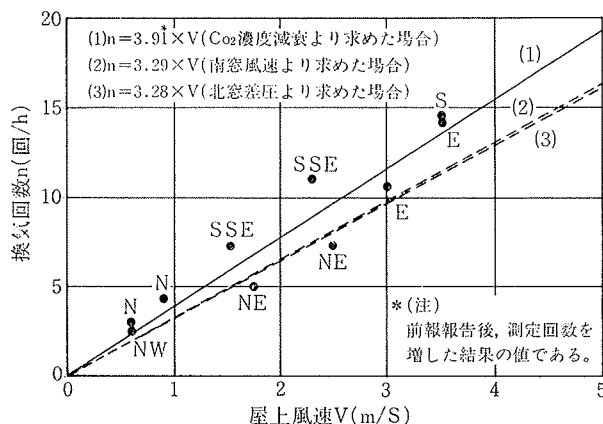


図-2 屋上風速と換気回数との関係

日中だけ(原則として8時半から17時半まで)開放した。

測定は、昭和58年4月、10月の休日において10日間行なったが、内部発熱としてタスク/アンビエント照明(8.46 kcal/m²h)を利用した。なお3階研究室部分を比較対象とするため、窓を密閉とし、内部発熱は同一条件とした。

自然通風による冷房能力を主に求めた4月の測定方法は、前報¹⁾に記した通りである。

10月の測定は、窓面における移動熱量(詳細測定)および同窓を含む断面温度分布の時間変動(一般測定)を求めることを目的としたもので、その測定点・装置を図-1に示した。一般測定の測定項目は、室内外温度40点(Cu-Co熱電対)、室内風速3点である。これらのデータは2分ごとに集録し、解析には20分又は30分ごとの平均値を用い、室内温度分布の時間変動・冷房効果について解析した。詳細測定においては、南北各々の窓中央および中央から内外へ44cmの位置における温度をAr-Cr(0.05m/m:応答50m Sec)熱電対で、南窓中央の風速を超音波風速計で測定し、増幅器を通してデータレコーダーで記録した。以上の計測は1回につき約100分間の連続記録を行ない、総計11回の測定を行なった。記録したデータは0.05秒(20Hz)ごとにAD変換し、解析には、0.1秒ごとの平均値を用い、窓部の乱れ量、熱移動量について解析した。

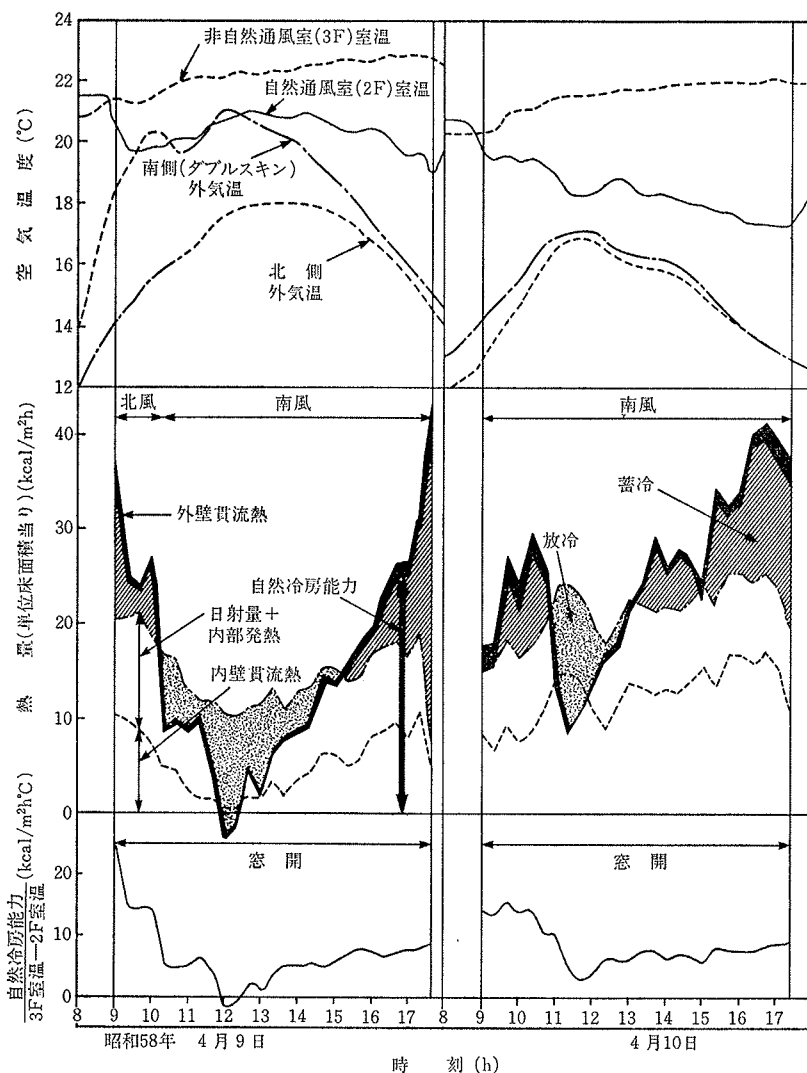


図-3 自然通風冷房能力と室温の時間変動(4/9, 4/10)

3. 実測結果

3.1. 換気回数

CO₂濃度減衰法により求めた換気回数(n)と屋上風

速(V)との関係を図-2の式(1)に示した。同図中に合せて示されている式(2)は、屋上風速と南窓中央風速との相関および南窓面積から求めたものであり、式(3)は屋上風速と北窓内外差圧との相関(南風の場合)および北窓の実効面積から求めたものである。

式(1)で求められる換気回数に対し、式(2)、(3)で求められる値は、約15%程度少なくなる。不一致の原因として式(1)に対しては、CO₂検出点が1点であったこと、式(2)に対しては、窓中央風速を平均風速としている点、式(3)に対しては、流量係数の仮定値(流出用0.33を採用)が考えられるが、基本的なこととして式(2)、(3)では、拡散による換気効果が無視されている点があげられる。したがって次節の冷房能力の算出では、直接換気回数を求めた式(1)を用いることとした。

3.2. 冷房能力

図-3に、自然通風冷房能力および室温などの時間変動を示した。同図上部には、自然通風下(2階)の室温、比較対象としての非自然通風下(3階)の室温および南側(ダブルスキン内)と北側の外気温の変動を、中央部には、自然通風冷房能力、内部発熱、貫流熱量などの熱収支の時間変動を示した。自然通風冷房能力は、(1)式を用いて求めた換気量および流入外気温と室温の差から求めた。さらに貫流熱量は、熱流計および内表面温度と室

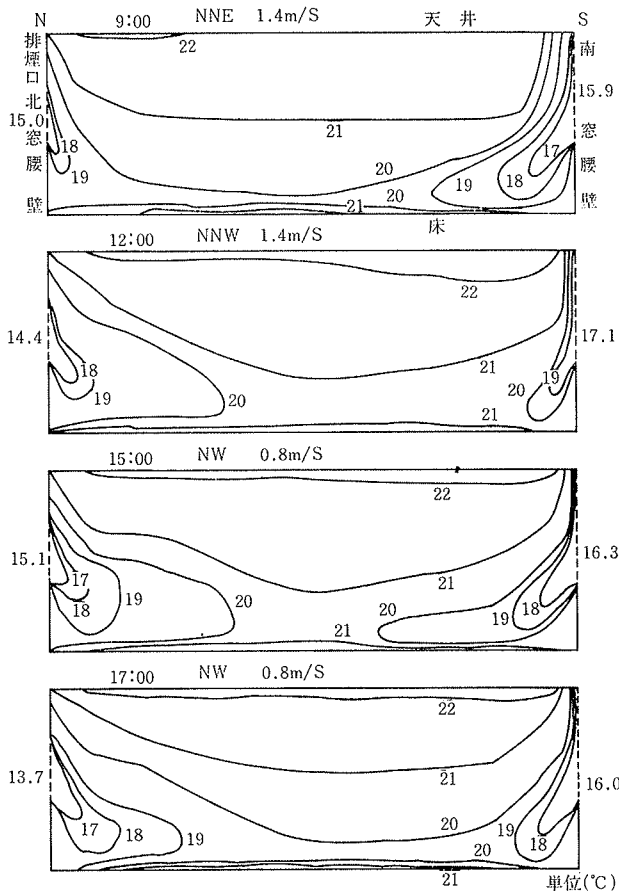


図-4 断面温度分布の時間変動(10/8:弱風)

温の差から求めた。

同図に示された両日においては、窓開放後2時間前後は外気温が低い為冷房能力が内部発熱等を上回り、室温が低下し、躯体および室内家具などに蓄冷されていく。その後、正午前後に外気温が上昇し、冷房能力が低下するが、以前の蓄冷効果もあり室温上昇は、比較的緩やかである。さらに午後は、外気温の低下にともなう冷房能力の増加によって室温が徐々に低下する。以上のことは本建物においては、室内熱容量の働きで自然通風による室温変化が和らげられていることを示している。この関係は冷房能力を自然通風による室温降下で除した値(同図下部)で明確に示されている。すなわち、自然通風による単位室温降下当りの冷房能力は、朝方大きな値を示した後、正午頃最小値を示し、午後はほとんど一定値であるが微増となる。又この値は、自然通風室、非自然通風室が熱的に全く等しく相互に独立した室である場合には、最終的に収束した値は、熱損失係数を示すことになる。

3.3. 断面温度分布の時間変動

詳細測定を行なった窓を含む室断面の温度分布の時間変動を図-4、5に示した。図-4は、基本的に北風弱風時(10/8)の断面温度分布の時間変動である。窓開放直後は南北両窓から拡散により冷されて行くが、中央部

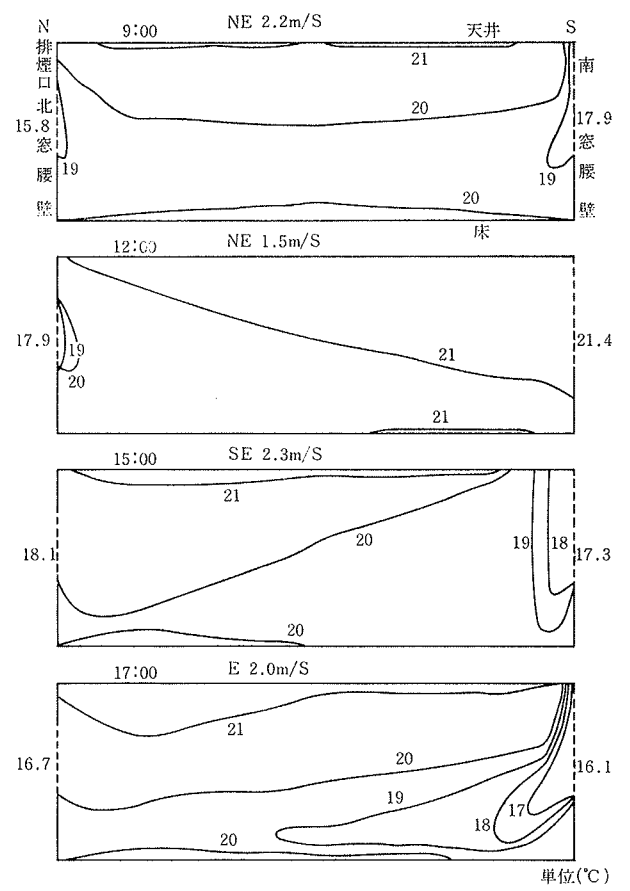


図-5 断面温度分布の時間変動(10/23:強風)

分は、影響を受けづらくなっている。正午前後には、やや北風が強くなり南窓近くの上下温度差が小さくなる。その後再度弱風となり、朝方同様窓近くが局所的に拡散により冷やされて上下温度分布が強くなっている。図-5は、南風強風(10/23)の断面温度分布の時間変動である。窓開放直後、窓近辺は外気の影響を受けるものの、風上、風下側ともに、温度差はあまりみられない。この関係は、正午、午後になるとさらに明確となる。すなわち、風上側の窓内側だけが若干外気の影響を受ける以外は、水平・垂直方向ともに温度分布はほとんどなく、概略室温は一定となり室内空気が外気と良く混合されている。17時になると、若干風上側下部に低温領域が形成される。

以上の2ケースの温度分布からわかるように、風速が速い場合は、室全体が良く混合されるが、風速が弱い場合には、換気効果が局所的になることに注意すべきである。

3.4. 窓面通過熱量

測定断面にある窓の単位面積当りの各々の移動熱量を以下の式によって求めた。評価時間を長くすることにより、拡散係数、拡散による熱移動は増大するが、ここでは、評価時間を1.25分とし、以下ではすべて20分平均値を用いた。

(1) 全移動熱量 (QT)

$$QT = 3600 \times C_p \gamma \times (\bar{v} + v') (\bar{t}_{ih} + t'_{ih} - \bar{t}_{oj} + t_{oj})$$

但し、南風の場合 h=N (北側) j=S (南側)

北風の場合 h=S (南側) j=N (北側)

C_p : 比熱 (kcal/kg°C) γ : 比重量 (kg/m³)

\bar{v} : 平均風速 (m/s) v' : 変動風速 (m/s)

t_i : 室温<窓内側 44 cm> t_o : 外気温<窓外側 44 cm>

(\bar{t} : 平均温度, t' : 変動温度)

(2) 平均風速による移動熱量 (QW)

$$QW = 3600 \times C_p \cdot \gamma \cdot \bar{v} \cdot (\bar{t}_{ih} - \bar{t}_{oj})$$

但し、南風の場合 h=N (北側) j=S (南側)

北風の場合, h=S (南側) j=N (北側)

(3) 拡散による移動熱量 (Q_{KS}) <南窓>

$$Q_{KS} = 3600 \times C_p \cdot \gamma \cdot \sqrt{v' t' w'_s}$$

$t' w'_s$: 南窓面中央の温度変動 (°C)

また、北窓における風速変動による移動熱量は、風速を測定していないことから求めることはできないが、同風速変動が南窓の風速変動と相関が強いと思われることから、参考までに次式で求めた。

$$Q_{KN} = 3600 \times C_p \cdot \gamma \cdot \sqrt{v' t' w'_N}$$

$t' w'_N$: 北窓面中央の温度変動 (°C)

全移動熱量 (QT) と平均風速による移動熱量 (QW) との関係を図-6に示した。QT と QW の相関は、強いものの、500 kcal/m²h 程度 QW は QT より少ない。

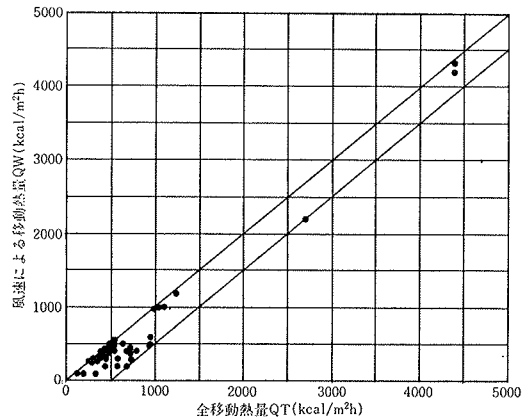


図-6 全移動熱量 (QT) と風速による移動熱量 (QW)

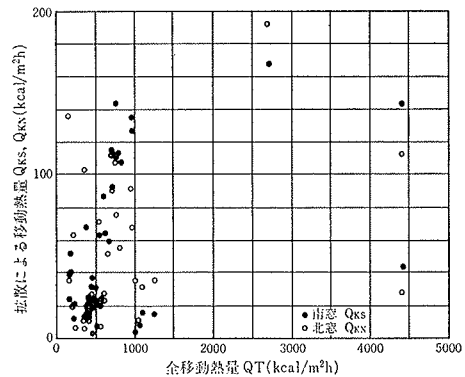


図-7 全移動熱量 (QT) と拡散による移動熱量 (Q_{KS} ● Q_{KN} ○)

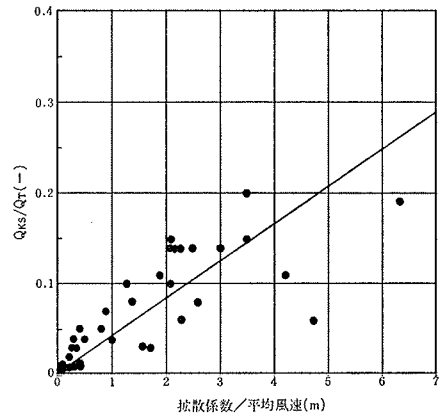


図-8 拡散係数/平均風速と Q_{KS}/QT との関係

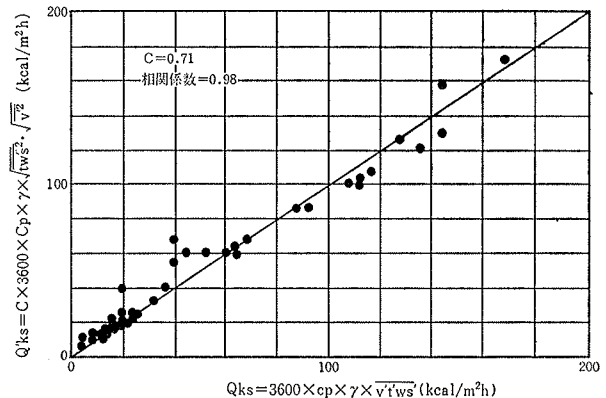


図-9 $\sqrt{v' t' w'_s}$ と $\sqrt{v' t' w'_s}$ より算出した移動熱量の関係

これが、拡散による移動熱量に相当すると思われる。全移動熱量 (QT) と拡散による移動熱量 (Q_{KS} , Q_{KN}) との関係を示した。図-7に示した。 Q_K は南北窓ともに0~200 kcal/m²hの範囲で変動するが、QTとの直接の関係は見られない。図-8に、拡散係数 (ED)/平均風速 (V) と Q_{KS}/QT との関係を示した。拡散係数は、次式によって求めたものである。

$$ED = \bar{v}'^2 \int_0^{T_1} R(\tau) dt$$

ED: 拡散係数 (m²/s)

R(τ): \bar{v}' の自己相関関数(-)

T₁: R(τ)がはじめて負になるまでの時間(S)

\bar{v}' : 変動風速 (m/s)

両者の直線相関性はそれ程 ($r=0.63$) 高くないものの、ED/VDの増大にともない、 Q_{KS}/QT は増大している。このことは、拡散による熱移動が窓面における拡散係数に依存していることを示している。

また、次式により、南窓の拡散による移動熱量を求める場合

$$Q_{KS} = C' \times 3600 C_p \cdot \gamma \sqrt{t_w' s^2} \sqrt{\bar{v}'^2}$$

C' を0.71にすればよいことが図-9より明らかである。同時にこのことは、 $t_w' s$ と \bar{v}' との相関係数が約0.71であることを示している。

4. 結論

技研本館の2階研究室を利用して、前報に引き続き自然通風効果を求める実測を行なった。本報では、冷房効果、窓面通過熱量などに検討を加えた結果以下の点が明らかとなった。

(1) 屋上風速と換気回数との間には、相互に線形の関係がある。CO₂濃度減衰法により求めた換気回数は、屋上風速が1 m/sの場合、約4回/hであるが、南窓中央風速および、北窓内外差圧より求めた換気回数はこれより15%程少ない。これは、各算法にそれぞれ問題もある

ものの後2者の方法は、拡散などによる換気効果が無視されているためと思われる。

(2) CO₂濃度減衰法で求めた換気回数をもとに、自然冷房能力の時間変動を求めた。自然冷房能力を自然通風による温度降下で除した値より、午前中の蓄冷、正午の放冷が明らかにされ、本建物の蓄熱容量が自然通風による温度変動を緩和していることが示された。

(3) 窓を含む断面温度分布より朝方窓開放直後は風上風下側ともに、窓近傍が局所的に冷されていること、強風時には、室温が均一になる傾向があるのに対し、弱風時には、窓近傍、特に下部が局所的に冷されていることが明確となった。

(4) 窓通過熱量を風速変動と温度変動から求めたところ、全熱移動量のうち、片側の窓から拡散による移動熱量が0~20%程度の範囲にあり、この割合は、おおむね拡散係数と平均風速との比とともに増大することが明らかとなった。

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: 室内外環境の相互関係に関する研究(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和58. 9), pp. 683~684
- 3) 岡 建雄: 市街化空間の熱的環境に関する研究(その6), 日本建築学会論文集, 第301号, (昭和56. 3), pp. 131~137
- 4) J. P. Cockroft, P. Robertson: Ventilation of an Enclosure Through a Single Opening, Building and Environment, Vol. 11, pp. 29~35
- 5) 栖崎正也, 他: 自然風の乱れによる換気効果(その5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和58. 9), pp. 453~454