

# 実大建物風洞による通風時の室内表面熱伝達率分布の測定

# MEASUREMENT OF HEAT TRANSFER COEFFICIENT ON CROSS-VENTILATED INDOOR SURFACE USING FULL-SCALE MODEL IN A WIND TUNNEL

成田健一—\*1 森岡 勲—\*2 澤地孝男—\*3  
瀬戸裕直—\*4 石川優美—\*5 清田誠良—\*6

Ken-ichi NARITA Isao MORIOKA Takao SAWACHI  
Hironao SETO Yuumi ISHIKAWA Nobuyoshi KIYOTA

## キーワード:

通風, 物質伝達率, 蒸発, 実大実験

## Keywords:

Cross-ventilation, Mass transfer coefficient, Evaporation, Full-scale test

Cross ventilation has the effects to give comfortable feeling by forced convection without any artificial mechanisms. As for the nighttime, it is also useful for cooling down the structure of residence. In this paper, to clarify the heat-removing rate by cross ventilation, the wind tunnel experiments were performed using real scale model house. The distribution of mass transfer coefficient on the floor and indoor wall surfaces were measured by water evaporation method using filter paper. Then heat transfer coefficient was estimated by supposing analogy between mass and heat transfer and its relation to the indoor airflow was also investigated.

## 1. はじめに

夏季に蒸暑気候下にあるわが国において、通風は古くから住宅の重要な環境性能として認識されてきた。しかしながら、断熱性、気密性、日射遮蔽性能などの他の環境性能に比べ、現在でもなお定量的な評価手法が確立されているとは言い難い状況にある。通風の主たる目的は、居住者に対する暑熱緩和であり、それが涼しさとして体感的にどのように作用するかを最終的に左右する物理量は対流熱伝達率である。一方、外気による夜間冷却をはじめ、躯体に蓄熱された熱を屋外へ除去するという作用も、通風の重要な機能と位置づけられる。このような通風による冷却作用を定量的に評価するためには、通風時の室内表面における対流熱伝達率を把握することが不可欠である。しかしながら、これまでの室内表面対流熱伝達率の研究は、空調を想定した閉鎖条件での検討に限られており、開口部位を開放した通風時の検討はほとんどなされていない。

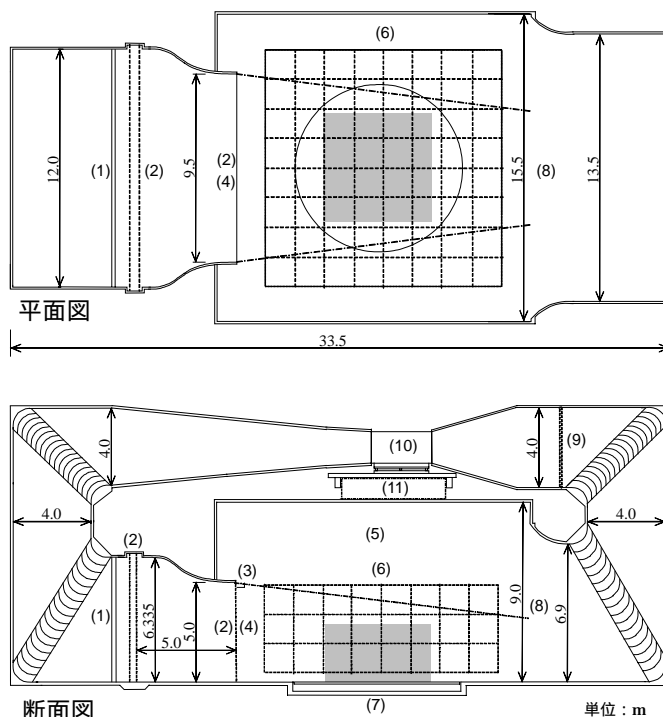
そこで本報では実大建物風洞を用い、通風時の詳細な室内表面対流熱伝達率分布の実測を行い、室内の気流分布との関係を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 風洞および建物模型

図1に使用した実大建物風洞の概要を示す。吹き出し口の寸法は、縦5m・横9.5mで、測定部の中央には直径8.5mのターンテーブルが設置されている。今回使用した建物模型は、平面形状が一辺5.56mの正方形・高さは3m、内部の床面高さは、風洞床面から0.5mとなっている。

図2に、使用した建物模型の概要と開口の大きさと位置を示す。



(1) 整流格子 (2) 金網 (3) 基準静圧用ピトー管 (4) 吹き出し口 (5) 測定部 (6) モデル建物設置前の測定部風速測定点格子 (7) ターンテーブル (8) 吸い込み口 (9) 冷却コイル (10) 軸流送風機 (11) 撮影観察室

図1. 実大建物風洞の概要(平面と断面)

\*1 日本工業大学工学部 教授 工博  
(〒345-8501 南埼玉郡宮代町学園台4-1)

\*2 株式会社 當木工事 修士(工学)

\*3 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築新技術研究官 工博

\*4 独立行政法人建築研究所 主任研究員

\*5 独立行政法人建築研究所 重点研究支援協力員 工修

\*6 広島工業大学工学部 教授 工博

\*1 Professor, Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.

\*2 ATSUKI-KOUJI, M. Eng.

\*3 National Institute of Land and Infrastructure Management, Dr. Eng.

\*4 Building Research Institute

\*5 Building Research Institute, M. Eng.

\*6 Professor, Hiroshima Institute of Technology, Dr. Eng.

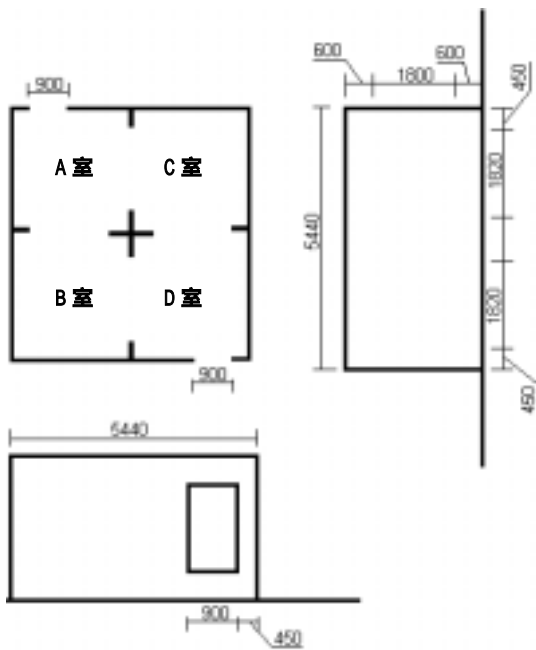


図2．実験に使用した実大建物模型と開口部の状況

建物内部は、田の字型に4部屋（A～D室）に仕切れるようになっているが、今回は仕切りを取り外した条件で測定している。ただし、仕切りの各両端部分の幅45cmは袖壁状に仕切りが付いた状態となっている。開口は、幅90cm・高さ180cmの大きさで、ほぼ対角線上に配置されている。

## 2.2 熱伝達率ならびに気流性状の測定方法

ここでは、熱伝達と物質伝達のアナロジーを仮定し、濾紙面蒸発による物質伝達率から熱伝達率を算定する方法を採用している<sup>1)</sup>。2mm厚の亚克力板に60mm×60mm・厚さ1mmの濾紙を貼り付け測定試料とした(図4)。その四方には試料面と同じ条件の濾紙湿潤面を幅180mm設け、420mm四方の濾紙面としている。これは、edge効果、すなわち湿度境界層が未発達な部分をできるだけ含まないようにするためである。試料と周囲湿面の境界は、水分の交換がないよう幅3mmの亚克力で仕切っている(図3・左)。なお、実験のプロセスで濾紙面に手が触れないよう、亚克力板に0.55の針金を通して固定し、試料のセット及び回収時はその針金を持つよう工夫した。蒸発面温度の測定用として1mmのサーミスタ温度センサ(1/100精度)を湿らせた濾紙の表面直下に挿入し、30分間測定点にセットした。水分蒸発量は、試料部分を密閉できるポリ袋に入れ、電子天秤(0.1mg精度)で秤量した。風洞内の温度は約20℃に制御し、空気側の温湿度は実大建物風上側にてサーミスタと容量型湿度計を用いて測定した。

物質伝達率(k)[kg/m<sup>2</sup>・s.(kg/kg)]の算出方法は、以下の通りである。

$$k = E / (X_s - X_a) \quad (1)$$

ここで、Eは蒸発フラックス[kg/m<sup>2</sup>・s]、X<sub>s</sub>は蒸発面の飽和絶対湿度[kg/kg]、X<sub>a</sub>は空気の絶対湿度[kg/kg]を表す。また熱伝達率(c)[W/m<sup>2</sup>・K]への変換は以下の式による。

$$c / C = (Le)^n \times k \quad (2)$$

Leはルイス数、Cは湿り空気の比熱[J/kg・K]である。指数nについては、平板では2/3となることが多くの実験で確認されているが、

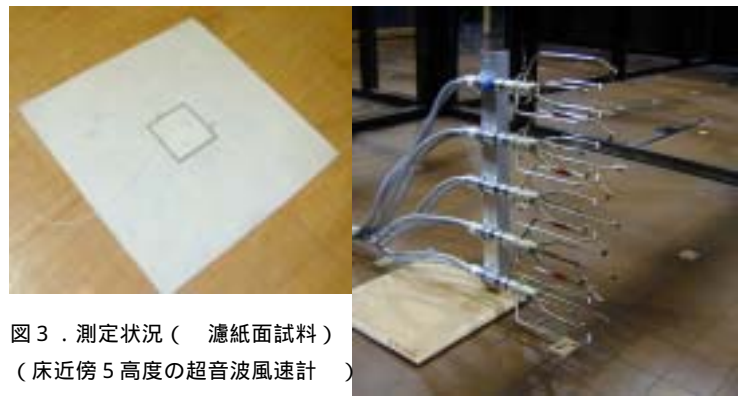


図3．測定状況（濾紙面試料）  
（床近傍5高度の超音波風速計）

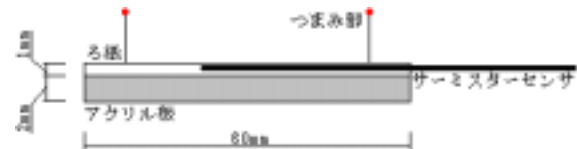


図4．濾紙面試料の詳細図

剥離域などでの値は必ずしも確認されていない。本報では、(Le)<sup>n</sup> = 0.83として計算を行った<sup>2)</sup>。

気流の測定には、5cmスパンの3次元超音波風速計を使用した。室内の測定点は420mm間隔のグリッドで計196点である。なお、壁面近傍の測定点は、壁から70mmの位置となる。全体の気流場を把握するために、床面から230・710・1190・1670・2100mmの5高度、さらに床面近傍として床上50mmから80mm間隔で5高度の測定を行った(図3・右)。測定時間は各点3分間とし、データは10Hzで収録した。

伝達率の測定は、室内床面について、風速測定点と同じ196点について濾紙試料を順次移動させながら測定を繰り返した。なお、壁近傍の測定については、風速測定位置と一致させるため、壁側の周囲湿潤面幅を壁面までの幅に狭めて測定している。これに加え、内壁面の中央高さ(床上1190mm)の一周、52点についても濾紙試料による伝達率測定を行った。

気流測定については、風向0度から15度ごとに165度まで12風向について測定しているが、伝達率については膨大な手間と時間を要するため、今回は1風向のみの測定とした。風向の選択に当たっては、流量が最大となり室内気流分布に関しても最も明確な流管が形成されることを考慮し、風向15度を選んだ。なお、実験風速は3m/sとした。

## 3．実験結果

図5に、熱伝達率の測定結果を示す。床面は等値線、周囲壁面については棒グラフ表示とした。図6・7には、床面上5cmと29cmならびに室中央高さ(119cm)におけるベクトル図および合成風速(風速ベクトルの瞬時合成値の時間平均)の等値線図を示した。熱伝達率の値は、流管から外れたC室では4W/m<sup>2</sup>程度でほぼ一様であるのに対し、流管に沿ったエリアでは10～12W/m<sup>2</sup>程度となっており、図6の気流分布とほぼ対応した分布となっている。最大値は、A室の左下、B室とを仕切る袖壁と周壁との隅角部付近に現れている。室中央高さの周壁の分布も、床面の平面分布とよく対応している。なお、床面のB室とD室の境界部分に現れているピークは、図

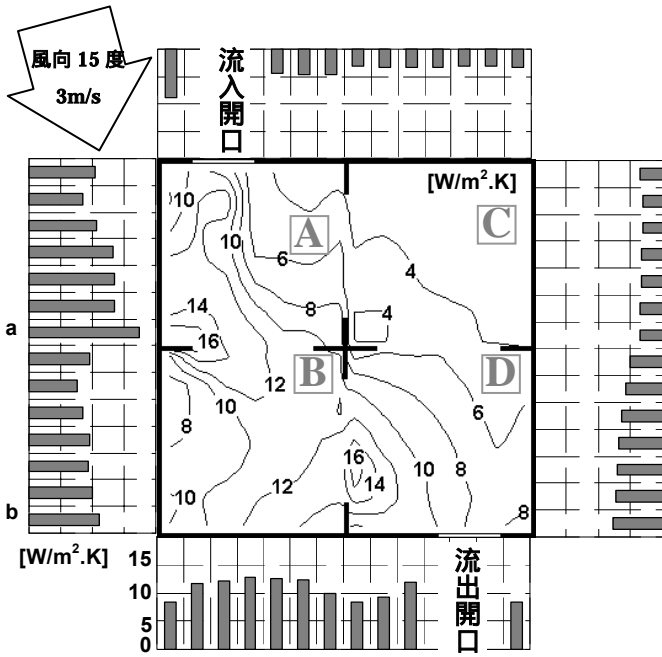


図5．風向15度における床面・壁面（床上119cm）の熱伝達

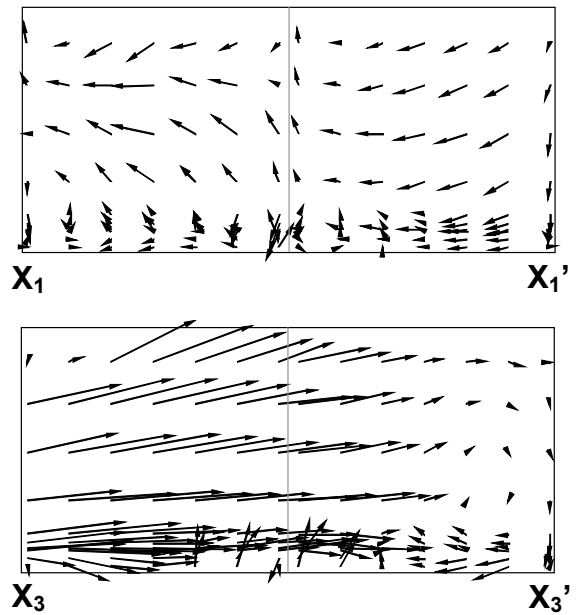


図9．鉛直断面ベクトル図

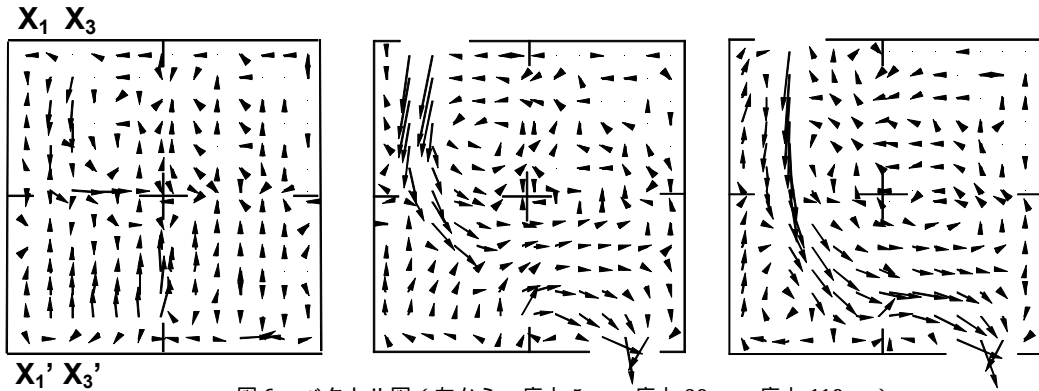


図6．ベクトル図（左から、床上5cm、床上29cm、床上119cm）

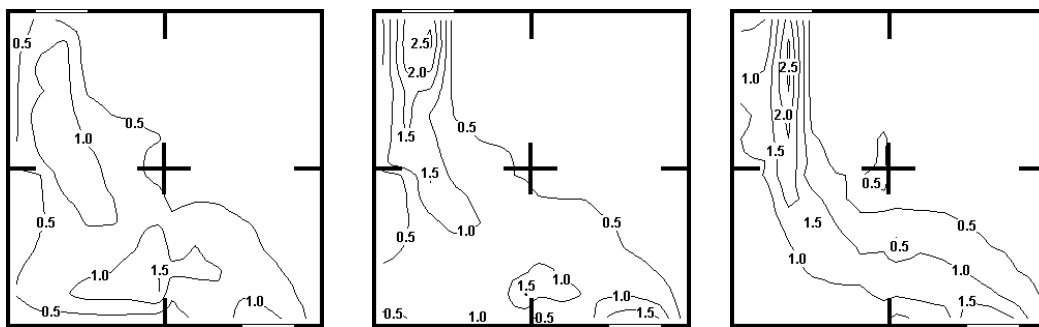


図7．合成風速の分布（左から、床上5cm、床上29cm、床上119cm）

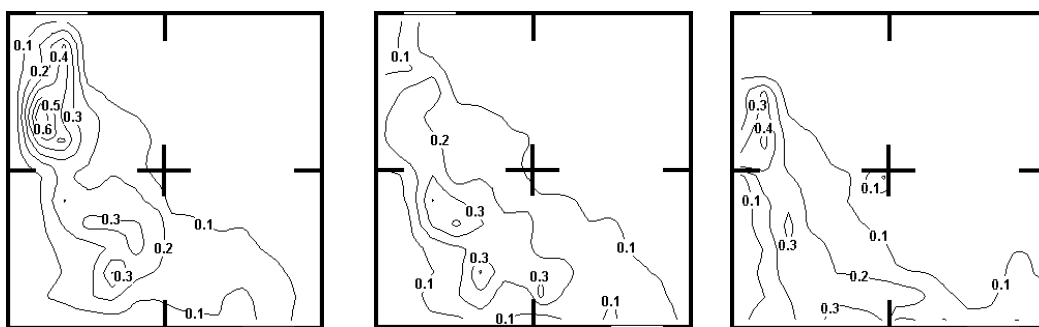


図8．乱流エネルギーの分布（左から、床上5cm、床上29cm、床上119cm）

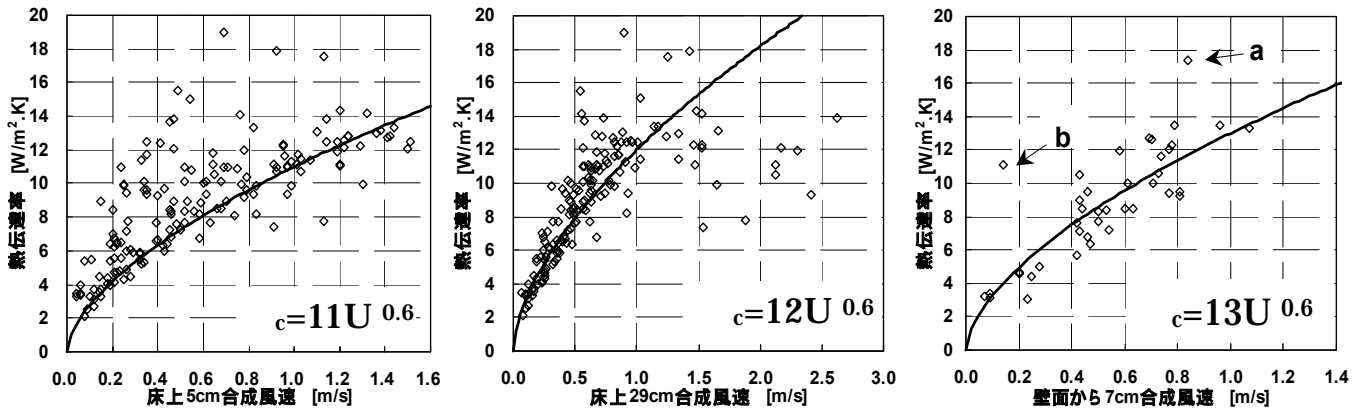


図 10 . 熱伝達率と合成風速の関係 (左から、床上 5cm、床上 29cm、壁面から 7cm)

では省略されている柱の影響が現れたものである。

最も床面に近い 5cm 高さのベクトル図 (図 6 左) は、それより上の流れ場 (図 6 中・右) とかなり異なっている。図 9 は図 6 に示した 2 つのラインの鉛直断面ベクトル図で、X1 は壁近傍 7cm、X3 は流入開口を含む位置に相当する。壁際(X1)は弱いながら流管とは逆方向の流れが生じており、一方、X3 ラインの B 室では床面付近で逆流が生じていることがわかる。これは流入開口の対面の B 室壁面に衝突した気流が吹き降ろした結果と思われる。

図 10 は、熱伝達率と近傍風速との関係をプロットしたものである。床面の表面熱伝達は、より近傍の気流性状に左右されると思われたが、表面から 5cm の位置よりも 30cm 程度離れた位置の風速との相関の方が高いという結果となった。壁面については、床面に比べるとデータのばらつきは比較的小さいが、何点が極端に大きな値となる点が見られる (図中、a と b)。図 5 に示したように、a は A 室の風下側の袖壁との隅角部、b は同じく B 室の風下側隅角部である。このように、気流が衝突する隅角部では、極端に伝達率が大きくなる。なお、表面からどの距離の風速を採用するかにより係数は異なるが、壁面の結果も含め、熱伝達率は合成風速の 0.6 乗にほぼ比例している。

熱伝達率と風速との関係におけるプロットのばらつきの原因を探るひとつの試みとして、気流の乱れとの関係を考察した。乱流エネルギー (TE) [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>] の定義は以下の通りである。

$$TE = (x^2 + y^2 + z^2) / 2 \quad (3)$$

x y z: 各々 X, Y, Z 方向の変動成分 [m/s]

図 8 は各高さ平面の乱流エネルギーの等値線図である。床上 119cm では、上述の a 付近で乱れが大きくなっていることがわかる。図 10・11 は、熱伝達率の各プロットと回帰式との比を縦軸にとり、乱流エネルギーとの関係を検討したものである。回帰式より熱伝達率が大きくなった点では乱れが大きいという関係を期待したが、床面・壁面とも明確な関係は得られなかった。

#### 4. まとめ

体感への寄与を把握するという目的のためには、実際に人が存在する位置での熱伝達率評価が最終的には必要であるが、今回はその第一歩として床面・壁面での評価を試みた。滞留域の 4W/m<sup>2</sup>K 程度に対し、通風経路に沿ったエリアの熱伝達率は 10 ~ 12W/m<sup>2</sup>K と 2.5 ~ 3 倍程度となっていることが明らかとなった。また、気流がぶつ

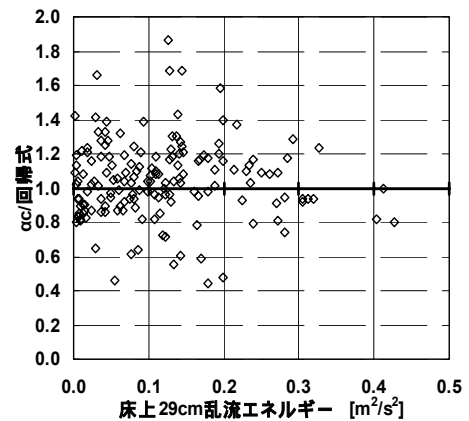


図 11 . 乱流エネルギーの影響の検討 (床面)

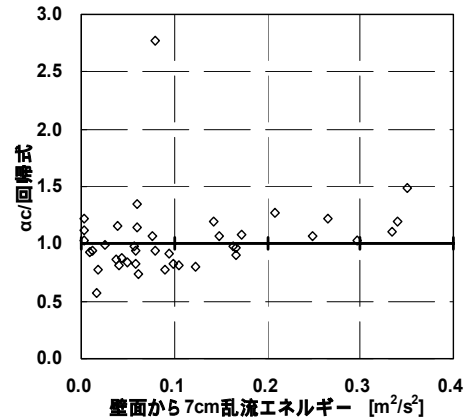


図 12 . 乱流エネルギーの影響の検討 (壁面)

かる隅角部では特に大きくなる傾向が見られた。

謝辞: 本実験に際しては、日工大卒論生、木戸英明・小暮正樹君に絶大なる協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 成田健一, 野々村善民, 小笠 頤: 自然風下における窓面对流物質伝達率の実測, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 527 号, pp.69-76, 1997.1
- 2) 尾崎ほか 6 名: 建物外表面の熱・水分伝達に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 407 号, pp.11-25, 1990.1