

— 論文 —

建物外皮に用いるガラス表面の気流性状 と室内空気の垂直温度分布に関する実験研究 (その1)

—— 非空調時の気流性状と垂直温度の重心 (中性帯) について ——

山口 温 佐野 武仁

Experimental Study on Airflow Characteristics of Glass Surfaces used in Building External Walls, and Vertical Temperature Distribution of Air in Room Interiors (Part 1)

—— Airflow Characteristics in Non-Air Conditioned Environments, and Center of Gravity "Neutral Band" of Vertical Temperature Distribution ——

Haru Yamaguchi Takehito Sano

keywords: thermal environment in rooms, energy saving, airflow characteristic, vertical temperature distribution, aerial center of gravity "neutral band"
室内環境 省エネルギー 気流性状 垂直温度分布 空気の重心 (中性帯)

With the enactment of Japan's Energy Conservation Law in 1980, window glass in building external walls was extremely reduced over the next about 6 years. However, through the efforts of glass manufacturers, energy conserving glass, such as heat reflecting and highly insulated glass, Low-E glass, and bi-layered glass were developed, and from about the end of the 80s on, buildings using large amounts of glass began to increase. Today, even buildings with exteriors made entirely of glass are capable of meeting Energy Conservation Law PAL values, and glass is reaching the height of its popularity.

However, it has been commented that during spells of fine weather and clear days, the brightness of these glass buildings can hurt the eyes, and their year-round thermal load is great compared with concrete buildings. Thus, we believe it is necessary to investigate the light and thermal characteristics of glass.

Up until now, various research has been carried out on glass, but this report uses experiments on interior climate, and explores airflow characteristics, thermal characteristics, light characteristics, and vertical temperature distribution in the vicinity of glass, with the goal of clarifying optimal usage for glass.

Furthermore, as a starting point, the airflow characteristics around glass installed on building exteriors, vertical temperature distribution, and the position of the center of gravity of room interior air, were investigated.

1. はじめに

建物外皮にはコンクリート、石材、木材などの不透明材料、スリガラスやガラスブロック、膜材などの半透明材料、透明ガラス、ポリカーボネイトなどの透明材料でできたものなど3種類に分けることができる。従来建物外皮は、窓ガラスを小さくしコンクリートでできたものが多かった。しかし、ガラスの技術的革新とともに、居住快適性を高めるため、光環境や熱環境に配慮したもっと大きい窓が要求されるようになってきた。外皮が薄くなり、透明性が高まるに連れて、太陽放射の影響を瞬時に受け、室内の温熱環境や光環境に与える影響が大きくなり、建物外皮の熱や光の取扱いが問題視されるようになってきた。

ガラスに関する既往の研究は、吉野ら¹⁾がガラスを多用している建物としてアトリウムを取り上げ、空間構成、環境調整手法と垂直温度分布の関係について文献調査を行い比較している。垂直温度分布について、アトリウムの形態によって様々であるが、日射遮蔽、頂部での換気によって夏期の場合は熱だまりによる温度上昇はかなり緩和され、冬期の上下温度差は小さくなるが居住域での温度低下が見られるなどの結果を得ている。また、小野ら²⁾は温暖地域の窓面の最適化について、16種の仕様のガラス面の熱流と冷暖房負荷計算を行い、夏季は日射遮蔽性能の効果、冬季は対流・放射による流出熱の削減と有効日射熱取得の効果について明らかにし、種々のガラスについて評価を行っている。

筆者らはこれまで半透明材料として各種膜材料の熱特性、光特性について報告している³⁾。透明材料としてはガラスを取り上げ、これまでの研究でガラス表面温度境界層がガラス表面から2 cm以内に存在し、また境界層内の気流分布と室内外の温度差の関係について明らかにしてきた^{4),5)}。

省エネルギーに繋がる、より効率的な空調を行うため冷房時や暖房時に室内空気の重心（中性帯）がどの高さに位置するかが重要と考え、前報⁶⁾では自然対流時の室内空気の重心の位置についてまとめた。これに引き続き本報では、非空調時（中間期）の気流性状と垂直温度分布、室内空気の重心の位置について明らかにしたので報告する。

2. 冷房時・暖房時の空気の重心位置

建物の居室など閉鎖空間において、空調や換気による室内への給排気量が等しいとき、室内の熱負荷を小さくするには、冷房時は図1の①に示した非居住域に上下の温度差を大きくして温風を溜め、冷風が下部居住域に溜まるとよい。また、暖房時は温風が軽く①の上部非居住域に上昇するので、垂直方向への温度差をなるべく小さくすることが省エネルギーに繋がる。

図1の②に室内上下空気が等温時の重心位置を示したが、空気の重量 G は空気の容積 V と密度 γ 、温度 θ 、全圧 P の関数 $f(V, \gamma, \theta, P)$ であり、室内の天井高を H とすると空気の重心位置は $h_1 = h_2$ となる。また、図1の③に上下空気が非等温時の冷房時、暖房時の重心位置を示したが、実測を目的として上下空気層を n 層に分けると、 n 層の空気の容積と密度の積の和 $\sum V_n \gamma_n$ が室内全空気量となり、この1/2が上部空気と下部空気になる床からの高

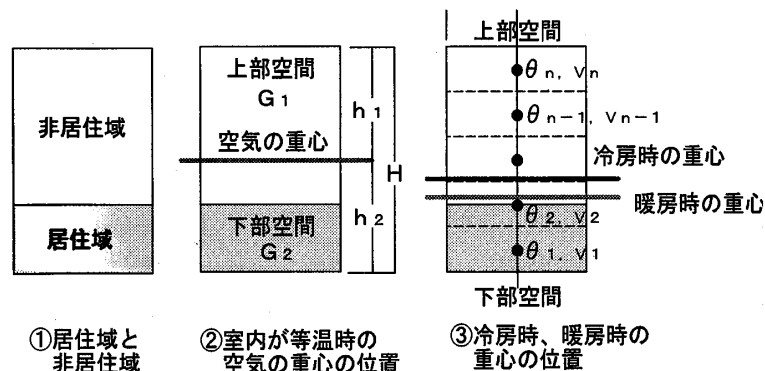


図1 冷房時・暖房時の空気の重心位置

さが空気の重心の位置となる。冷房時は空気の重心が低いほど、暖房時は高いほど省エネルギーに繋がると考えられる。

3. 実験概要

3. 1 屋内気候実験室

実験は、昭和女子大学大学1号館地下1階の屋内気候実験室において中間期、冬期、夏期の設定で実験を行った。

写真1に屋内気候実験室外観、図2に屋内気候実験室を示す。この実験室は私学助成金を受

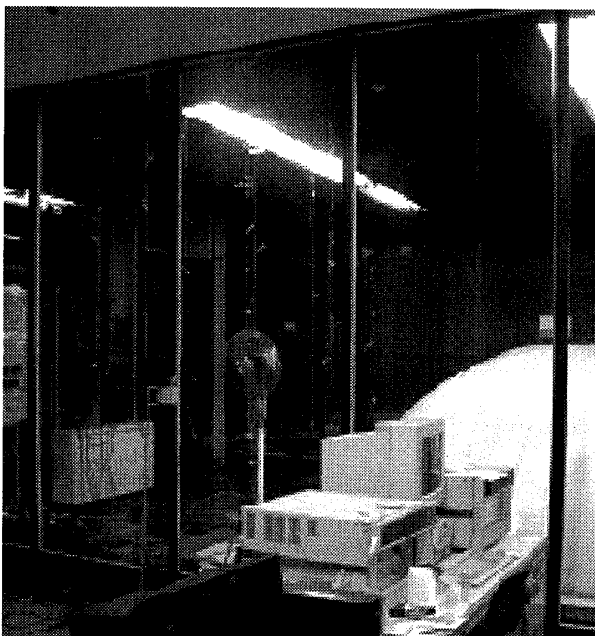


写真1 屋内気候実験室外観

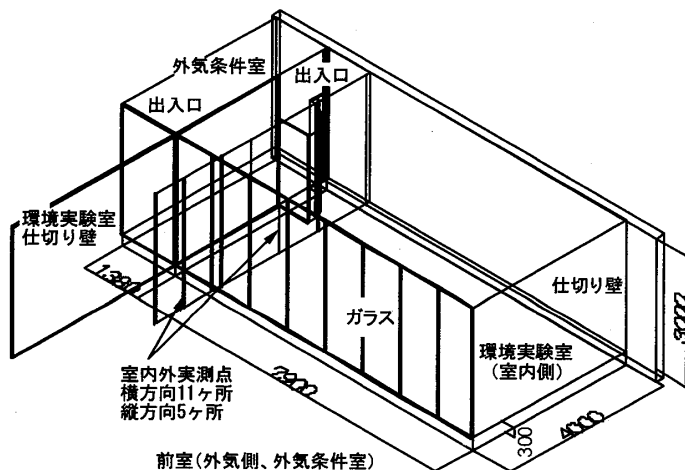


図2 屋内気候実験室

け、設けられたものである。ここでの各室の名称は、環境実験室（室内側）、前室（外気側または外気条件室）とする。環境実験室の巾は7.9m、奥行き4m、天井高さ2.7m、前室の天井高さ3mである。環境実験室の床は前室のコンクリートの床から300mm立ち上げたアルミ製600□のシステムフローアである。向かって左側の壁、後ろの壁、天井・床は実験精度を高めるため50mm厚のグラスウール（かさ比重32kg/m³）で断熱を行い、外乱の影響を防止している。環境実験室左側および前室の外気条件室は、20℃から40℃程度まで自由に温度設定が可能で中間期・冬期・夏期の条件設定ができる。環境実験室への進入は、左端にある出入口からとなり、この部分も外気条件室で、温度・湿度の設定が可能である。この部屋の奥右側の扉を入ると、環境実験室である。

3. 2 実験計測機器類

表1に使用した実験計測機器類を示す。室内外各点の垂直温度分布の温度測定はC-C熱電対を用い、室内外ガラス表面温度境界層の風速分布は微風速計を用いて計測した。

表1 計測機器類

計測機器	仕様
ハイブリッド	ハイブリッドレコーダ HR-2500（横河電気） 記録精度：スパンの±0.1% 最高分解能：スパンの0.04% 記録スパン： 瞬時モード 3×10^4 パルス/秒 記録方式：ラスタンスキャン方式
微風速計	Tr式微風速計AM05型（RION） 風速測定範囲：0.05~25m/s 気温測定：0~60℃
C-C熱伝対	ビニール被覆Tタイプ 0.65mm
データ変換ソフト	ウェーブリサーチャー（ハビリス）
扇風機	300φ

3.3 実験方法

図3に実測点を示す。垂直方向への温度の測定は、内側の出入口から2.5m入った位置で前面ガラスに垂直に、ガラスの内外表面各1ヶ所、外気側3ヶ所、室内側5ヶ所、室内側壁表面1ヶ所、計11ヶ所、高さ方向に各ヶ所5点、計55点の位置について実測した。また、室内外を隔てるガラスの内外表面の温度境界層について、温度境界層の気流分布を測定するため、環境実験室の床上1.2mの点の風速を室内外各1点実測した。今回の実験で風の流れはガラスに沿った上下流であり、微風速計センサーの方位角指向

性は風速に関係なくほとんどないが、仰角指向性があるためセンサーを上部に向けて設置し測定した。各実測点で得られたデータはハイブリッドレコータを用いて測定間隔1分毎に自動計測としたが、実験結果から24時間の経過を見る上で1分毎と10分毎の値に大きな差がなかったので、解析に当たっては10分毎のデータを用いた。

本実験では表2に示す中間期・冬期・夏期について研究を進める予定である。CASE1に引き続き、本報では中間期を想定した非空調時のCASE2-1の実験結果についてまとめる。実験は2004年3月4日(木)の24時間行った。

また、CASE2-1の実験室への吹出し風量はJIS B 8330⁷⁾に規定されている方法で、吹出し口の下部に1200角の短管ダクトを設け縦横各4分割、計16分割して各グリッドの風速を測定し、この平均風速を式(1)から求め吹出し風速とした。

$$v = \sum_{i=1}^n \frac{v_i A_i}{A} \quad \dots (1)$$

v: 吹出し風速 (m/s)

v_i: 16分割した各面積の吹出し風速 (m/s)
A, A_i: 短管ダクト下面の面積、16分割した各部分の断面積 (m²)

ただし、n=16である。

また、各吹出し口から室内への吹出し風量Q (m³/h)の合計は、式(2)を用いて計算した。

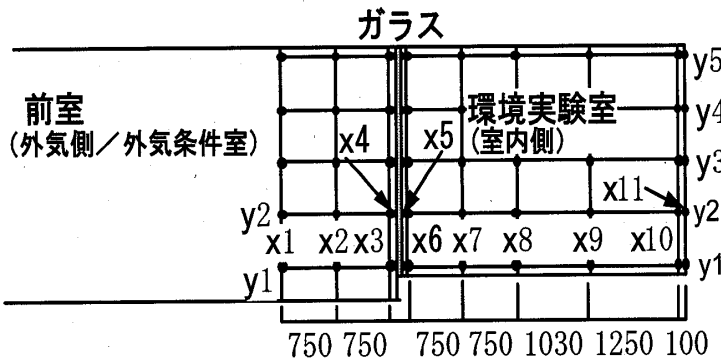
$$Q = \sum_{n=1}^n A V \quad \dots (2)$$

CASE2-1の吹出し口は3ヶ所あり、吹出し風量の合計は911m³/h (n=3)となり、室内の換気回数は約10.0回である。

4. 非空調時 (CASE2-1) の実験結果および考察

4.1 室内外ガラス表面の風速分布

室内外ガラス表面の風速を図4に示す。外気側の風速は0.08~0.3m/sで8時から14時の間多



	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
y5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
y4	9	14	19	24	29	34	39	44	49	54	59
y3	8	13	18	23	28	33	38	43	48	53	58
y2	7	12	17	22	27	32	37	42	47	52	57
y1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56
y	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪

図3 屋内気候実験室断面図と実測点

表2 実験計画書

実験番号	シーズン	実験室内	実験室内	前室	室外側	室内側
			フ給ア	ケバ	風速最大	風速最大
			ン	ー	3m	3m
			ン	ッ	首振り	首振り
CASE1	停止時	換気なし	OFF	OFF	OFF	OFF
CASE2-1	中間期	換気のみ	ON	ON	OFF	OFF
CASE2-2	中間期	換気のみ	ON	ON	ON	OFF
CASE2-3	中間期	換気のみ	ON	ON	ON	ON
CASE3-1	冬期	暖房	40°C	20°C	OFF	OFF
CASE3-2	冬期	暖房	40°C	20°C	ON	OFF
CASE3-3	冬期	暖房	40°C	20°C	ON	ON
CASE4-1	夏期	冷房	20°C	40°C	OFF	OFF
CASE4-2	夏期	冷房	20°C	40°C	ON	OFF
CASE4-3	夏期	冷房	20°C	40°C	ON	ON

少風速が低く変化がみられるが、室内側の風速は0.4~0.65m/sで、平均0.55m/sと安定している。

4. 2 室内外各実測点の垂直温度分布

ガラスを隔てた室内外の垂直温度分布を図5に示す。図中の①~④は図3に示した外気側x1~x4各点の高さ方向y1~y5の温度、⑤

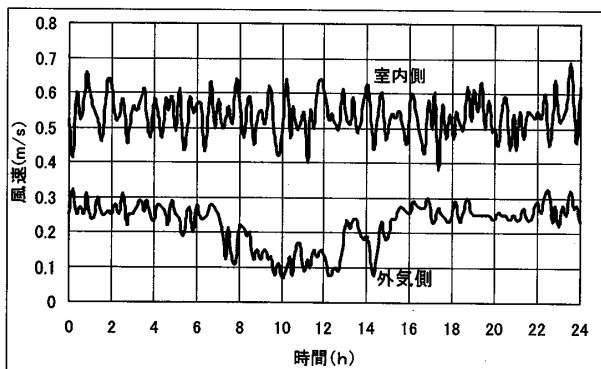


図4 室外ガラス表面の風速

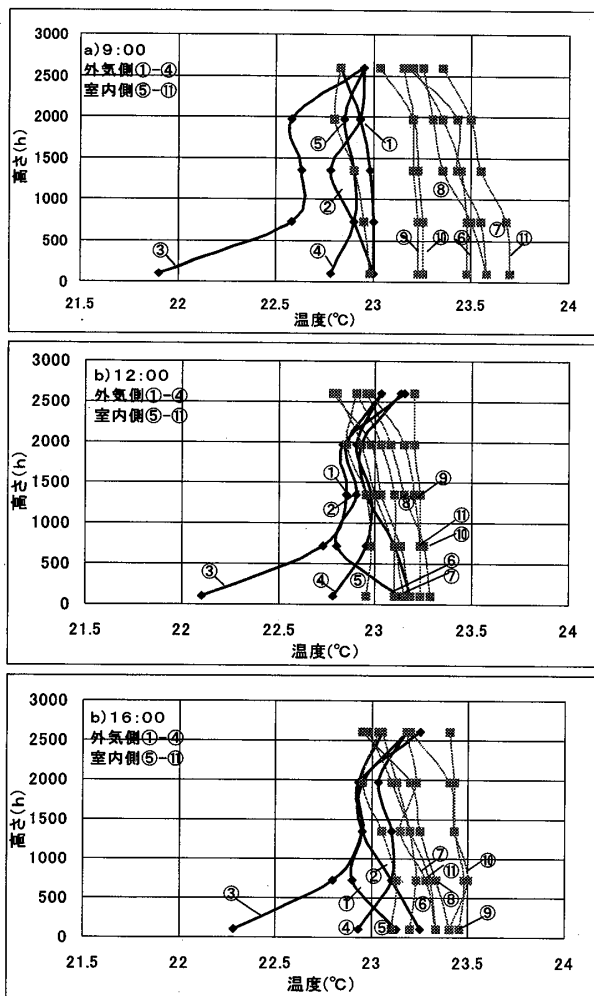


図5 各実測点の垂直温度分布

~⑪は室内側x5~x11各点の高さ方向y1~y5の温度を示し、上からa) 9時、b) 12時、c) 16時の状態を示している。室内外は単に換気をしているだけであるが、天井近辺では最大0.4°C程度、床近辺では最大0.8°C程度のばらつきがある。天井面と床面の垂直方向への温度差は③が最も大きく最大1.2°C程度あり、これ以外は0.4°C程度である。③の床面の温度が他と比べて低い値を示しているが、換気を行った際の送風の位置の影響と外気側の床下が断熱のない2重ピットになっているので、冷たい空気が対流しているためと考えられる。

4. 3 外気側の温度分布

ガラスの表面から外気側へ100、860、1620mm離れた点の温度分布を図6 a)、b)、c)に示す。a)の外気側へ100mm離れた位置では0

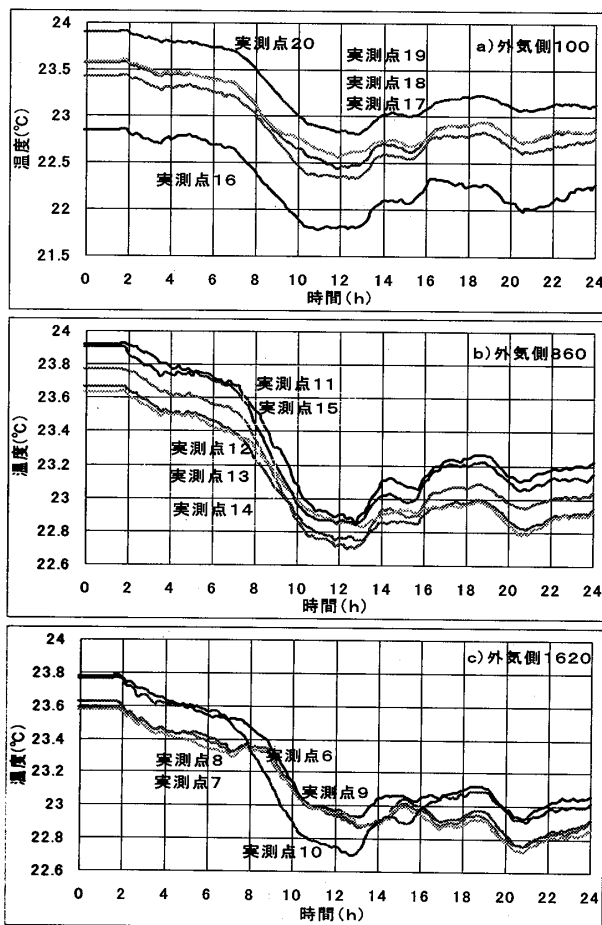


図6 外気側の温度分布

～24時の温度分布は、上下実測点間の温度差が最大0.7℃程度まで変化し、時系列でその差は異なるが、天井部分と床部分の温度差は1.2℃程度あり、垂直方向に温度成層をなしている。b)、c)の外気側へ860、1620mm離れた位置では、床面と天井面の温度差は小さいが、温度成層をなしている。ただし、実測点10は前室天井側に最も近い点の温度を示しているが、天井から吹出す空気の影響を受けているのか、7～14時にかけて温度が変化している。

4. 4 室内外ガラス表面の温度分布

図7 a) に室内側ガラス表面温度、b) に外気側ガラス表面温度を示す。室内側は0.15～0.3℃程度であるが、天井から床面へ向かって垂直方向に温度成層をなしている。外気側も同様の温度成層となっている。

4. 5 室内側の温度分布

ガラス面から室内側へ100、860、2650mm離れた点の温度分布を図8 a)、b)、c) に示す。室内ガラス表面と同じく、床面から天井に向かって温度が高くなる温度成層となっているが、そ

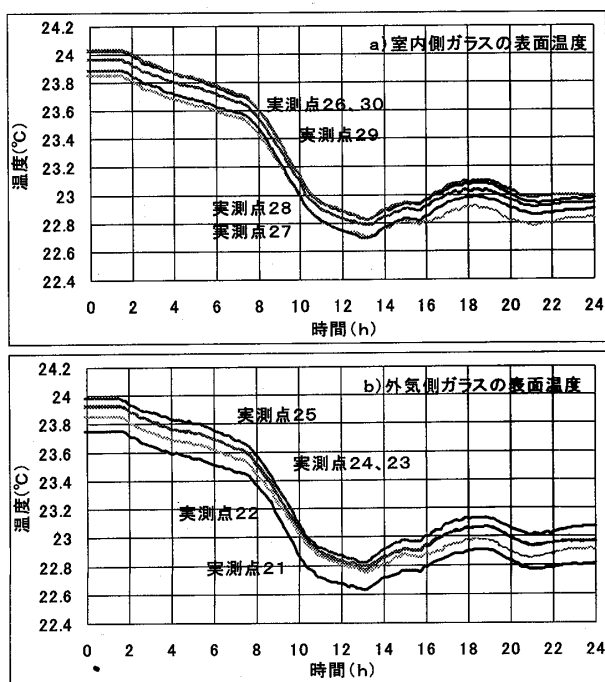


図7 室内外のガラス表面の温度分布

の差は0.15～0.3℃程度である。

4. 6 室内側奥壁表面の温度分布

図9に室内側奥壁表面の温度分布を示す。室内側のほかの実測点と同じ傾向にある。自然対流時には室内空気の垂直方向への温度差は1℃前後あり、奥壁表面では床上100mmと天井下100mmの垂直方向への温度差は0.5℃程度に収まっているのに対し、非空調時には室内側の実測点と

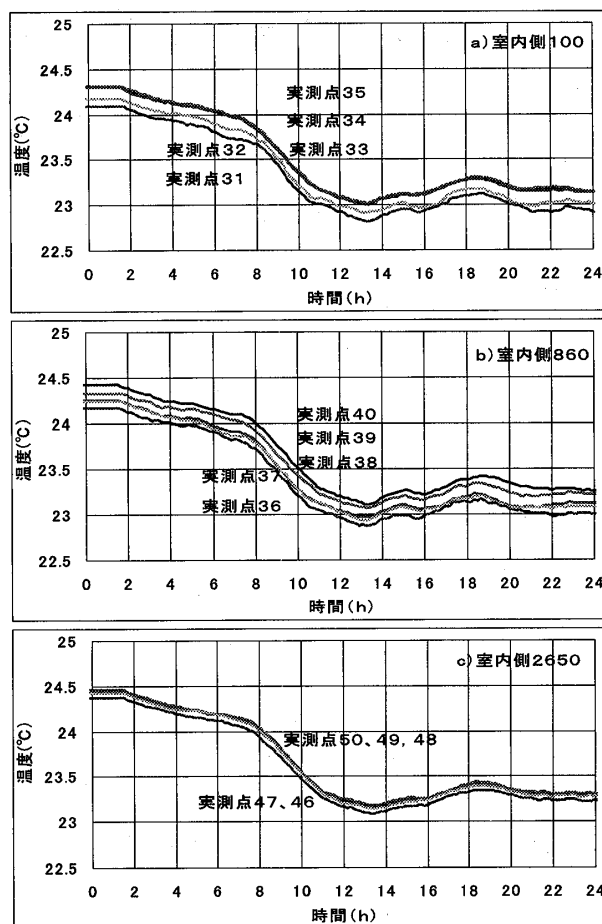


図8 室内側の温度分布

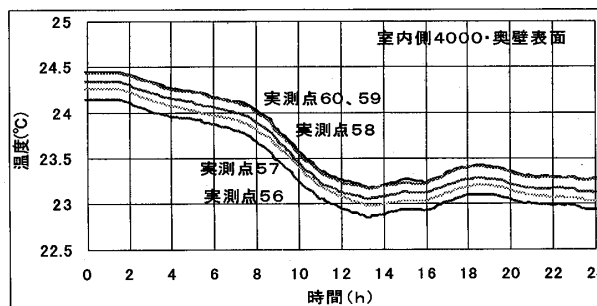


図9 室内側奥壁表面の温度分布

奥壁表面の垂直温度分布の温度差がほぼ同じである。

4. 7 室内外温度境界層の上下温度差

ガラス面から室内外に100mm離れた位置の垂直方向に測定した5点（下から y_1, y_2, \dots, y_5 ）の上下温度差（ $y_2 - y_1, \dots, y_5 - y_4$ ）について、図10に a) 室内側（実測点16-20）、

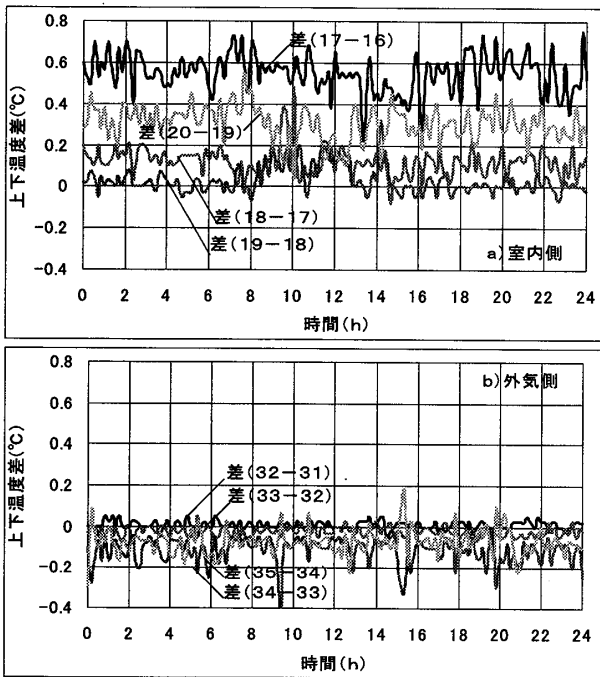


図10 室内外ガラス表面温度境界層の上下温度差

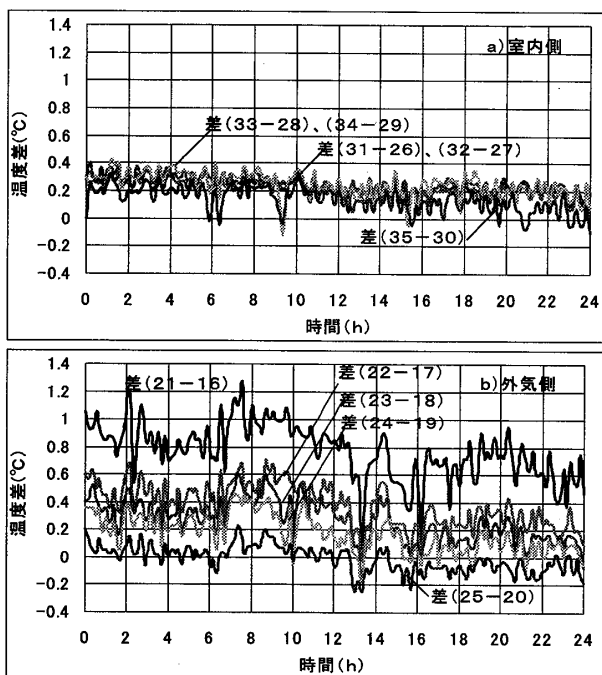


図11 室内外ガラス表面と温度境界層の温度差

b) 外気側（実測点31-35）を示す。室内側の床面から3点の温度差はほとんどなく、近い（17-16）で 0.6°C 差あるものの、（20-19）間は 0.3°C 差、（18-17）・（19-18）間は $0 \sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 差と小さい。

4. 8 室内外ガラス表面と温度境界層の温度差

図11に a) 室内側、b) 外気側の室内外ガラス表面温度とガラス表面から100mm（検出端は20mm）離れた温度境界層の点との温度差を示した。室内側の y_1 （31-26）～ y_5 （35-30）の温度差は $0.1 \sim 0.3$ 度程度で、上下の温度差も 0.2°C 程度と小さい。外気側の y_1 （21-16）は、 $1 \sim 1.2^{\circ}\text{C}$ 程度の温度差があり、 $y_1 \sim y_2$ （22-17）間は 0.4°C 程度あるが、 $y_2 \sim y_5$ （25-20）間は $0.1 \sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 程度と温度差が小さい。

4. 9 室内空気の重心（中性帯）位置の推定

4. 9. 1 解析の方法

前述に示した通り、暖められた軽い室内空気

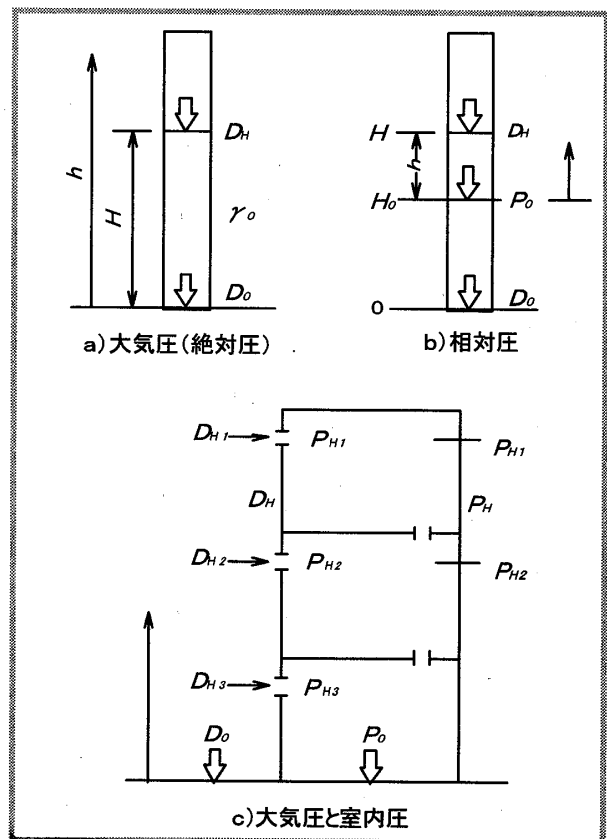


図12 大気圧と室内圧

は天井近辺に、冷えた重い空気は床面に滞留し上下方向に温度成層ができることが判った。これは大気圧によるものである。大気圧と室内圧の関係を図12示す。大気圧とは物体に働く空気の圧力で、その上部にある大気の重量によって生じ、基準となる海面上の大気圧 D_0 は図12の a) および式 (3) によって表される。

$$D_0 = \int_0^{\infty} \gamma_0 dh \quad \dots (3)$$

γ_0 : 空気の密度 (kg/m³)

h : 高さ (m)

また、基準面 (海面) から任意の高さ H (m) の大気圧 D_H は

$$D_H = D_0 - \int_0^H \gamma_0 dh \quad \dots (4)$$

となる。また、 γ_0 は空気の圧力 P (hPa)、絶対温度 T (K) の関数であるので、

$$\gamma_0 = \frac{353.25P}{1013.25T} \quad \dots (5)$$

となる。

建築物を対象とする範囲では、高さ h によって大気圧 P はそれほど変化せず、 γ_0 も高さによって変化しないと考えて良いので、

$$D_H = D_0 - \gamma_0 H \quad \dots (6)$$

が成り立ち D_H を絶対圧力という。しかし、一般の建物では、圧力差は自然換気で 0 ~ 5 Pa、機械換気で 150 ~ 1000 Pa 程度であるので絶対圧力ではなく基準大気圧との差、相対圧力を用いる。相対圧力は任意の基準とする点の大気圧 P_0 と、いま問題とする点の大気圧の差をいうものであり、式 (7)、図12の b) に示したとおりとなる。

$$\begin{aligned} D_{RH} &= D_H - P_0 = D_0 - \gamma_0 H - P_0 \\ &= -\gamma_0 h \end{aligned} \quad \dots (7)$$

D_{RH} : 高さ H (m) の点の P_0 に対する相対圧力 (Pa)

D_H : 高さ H (m) の点の気圧 (Pa)

D_0 : 基準とする点の気圧 (Pa)

これによって計算した室内上下方向への圧力差によって、室内圧が高さ方向に変わるが、この関係を図12の c) に示したもので式 (9) によって表すことができる。各階の高さ方向への室内圧は、それぞれの高さ (階) の部屋の気圧 P_H と高さによって異なる外部大気圧 D_H の差によって決定されるので、この大気圧 D_H を基準として部屋の圧力を表す大気基準 P_h によって圧力を示す。

$$\begin{aligned} p_h &= P_H - D_H = P_{RH} - D_{RH} = P_{RH} + \gamma_0 h \\ &= P_H - D_0 + \gamma_0 H \end{aligned} \quad \dots (8)$$

P_H : それぞれの高さ (階) の部屋の気圧 (Pa)

D_H : 高さによって異なる外部大気圧 (Pa)

p_h : 大気圧 D_H を基準として部屋の圧力を表す大気基準圧 (Pa)

4. 9. 2 室内上下温度差による室内圧

建物の上下に温度差があると、空気の密度の差によって浮力による圧力差を生じる。建物換気はこの理論によるが、空調時の暖房・冷房と室内の垂直温度分布・圧力分布もこれに起因している。すなわち、温度の高い空気は、密度が小さくなり、軽くなって上部に溜まることにも起因している。

いま、外気の密度を γ_0 、室内空気の密度を γ_i とし、室内床面高さの圧力を大気基準圧で表して p_{i0} とすると、室内各高さ (h) の大気基準圧 p_i は下式のようになる。

$$\begin{aligned} p_i &= (p_{i0} - \gamma_i h) - (-\gamma_0 h) \\ &= p_{i0} + (\gamma_0 - \gamma_i) h \end{aligned} \quad \dots (9)$$

p_i : 室内各高さ (h) の大気基準圧 (Pa)

p_{i0} : 室内床面高さの圧力 (Pa)

γ_0 : 外気の密度 (kg/m³)

γ_i : 室内空気の密度 (kg/m³)

室内外差圧が 0 となる位置があるが、ここで

は $p_i = 0$ であるのでこの高さを h_n とすると、式 (9) から、

$$p_{i0} = -(\gamma_0 - \gamma_i)h_n \quad \dots (10)$$

これをふたたび式 (9) に代入すると、

$$p_i = -(\gamma_0 - \gamma_i)(h - h_n) \quad \dots (11)$$

がえられる。 h_n を中性帯（重心の位置）といい、空調を行う場合に、この位置がどこにくるかによって、効果的な冷房や暖房が可能となる。

4. 9. 3 室内空気の重心の位置の推定

室内空気の重心の位置は、垂直方向に分割した室内空気の実測点 5 点の温度から、その温度に対する空気の密度を求め、床面から天井面までの和の相対値を 1 とし、全密度を加重平均温度で除したもから求めた^{8),9)}。図13は「温度－密度」の相関を示したもので、

$$y = -0.043x + 1.2911 \quad \dots (12)$$

y : 空気の密度 (kg/m^3)

x : 空気の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

となり、寄与率は99.91%であるので、空気の密度を求めるため、式 (13) の近似式を用いて室内空気の重量、および重心の位置は推定できると判断した。

4. 10 重心(中性帯)の位置と省エネルギー

前報⁶⁾では実験室内外とも送風機系が停止している自然対流時 (CASE 1) について報告した。垂直温度分布については天井面と床面の温度差が 1°C 以下でも室内の空気は温度成層をし、床面からの高さが同じであれば、水平面の温度はほぼ同じである。また、重心（中性帯）の位置については床面からの高さ1080mmにあることが判った。

図14に非空調時の室内空気の重心（中性帯）の位置を示す。床から天井までの高さの1/2の位置、図中の②が室内空気の容積の中心である。

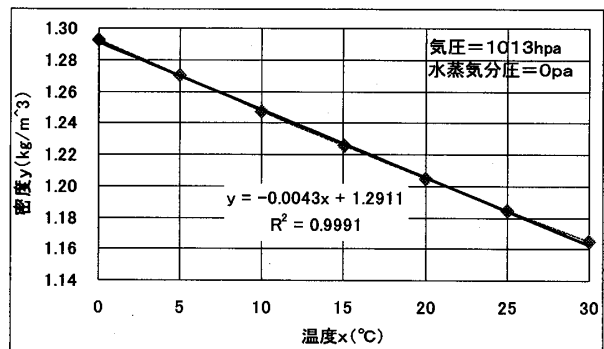


図13 室内空気の温度－密度

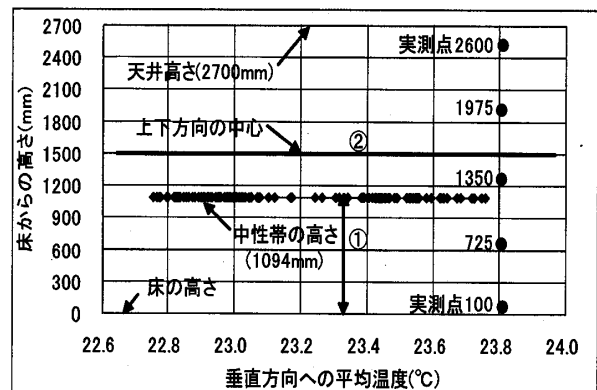


図14 非空調時の室内空気重心(中性帯)の位置

重心の位置は床面からの高さ①、1090mmにあることが判った。自然対流時と比べ、10mmほど高い位置にあり、②の位置に近くなっている。単位閉鎖空間を1つの空間と考え、室内上下方向への垂直温度分布と室内空気の重心（中性帯）が床面からどの高さにくるかを明らかにする。例えば、中性帯の位置が室内空気の容積の1/2以下にある場合は室内の上下に温度差があり、大空間では床部分の局所冷房には適しているといえる。また、空気の重心が床面から1/2にあるときは、上下の温度差はなく、暖房効率が良くなると考えられる。

室内空気の垂直方向への温度がどの点でも一定の場合、空気の密度の中心（重心）は②の点にくるが、可逆現象として②の点の上方に行くことはない。冷房時は重心の位置①の高さを低く、暖房時の温風は上部に滞留することが予想されるので、この中性帯の位置を床から天井ま

での高さの1/2の位置の室内空気の容積の中心に近づけることが、省エネルギーに繋がると考える。

5. まとめ

建物外皮に用いるガラス表面の気流性状と室内の垂直温度分布について実験を行い、空調および換気による室内への給排気量が等しいCASE 2-1非空調時（中間期）の室内空気の重心（中性帯）高さについて求め、以下のことが明らかになった。

- 1) 自然対流時には垂直方向の温度分布が天井面に近いほど室内空気の密度は小さく、温度が高くなったが、非空調時も同様に上下実測点間の温度差が外気側100mmの位置では最大0.7°C程度、室内側ガラス表面温度は0.15~0.3°C程度垂直方向に温度成層をなしている。室内側奥壁表面は室内側の実測点との垂直方向の温度差がほぼ同じであった。
- 2) 室内空気の重心の位置は1090mmの高さにあり、自然対流時と比べて10mmほど高い位置であった。床面から天井までの高さの1/2の位置に近く、実験結果が符合することが検証できた。

今後、表2に示す冬期、夏期を想定した実験結果についてまとめ、重心の位置と省エネルギーとの相関について明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 吉野博、伊藤邦明、青笹健：アトリウムの温熱環境に関する文献調査－垂直温度分布と空間構成の関連－，日本建築学会計画系論文集，第483号，pp63-72，1996.5
- 2) 小野公平、須貝高、尾崎明仁：温暖地域における窓ガラスの最適仕様の研究－ガラスの成分別熱流計算－，日本建築学会計画系論文集，第483号，pp33-42，1996.5
- 3) 山口温、佐野武仁：膜構造建築に用いる四フッ化エチレン樹脂膜の汚れと経年変化に関する実験研究，日本建築学会計画系論文集，第546，pp 23-29，2001.8
- 4) 渡部紀子、阿部智子、佐野武仁：ガラス表面の温度境界層と総合熱伝達率に関する実験研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，環境工学Ⅱ，pp3-4，1997.9
- 5) 佐野武仁、山口温、渡部紀子、内田敦子：ガラス表面温度境界層と総合熱伝達率に関する実験研究（その2），日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，環境工学Ⅱ，pp5-6，1998.9
- 6) 佐野武仁、山口温、内田敦子：建物外皮に用いるガラス表面の気流性状と室内空気の垂直温度分布に関する実験研究－自然対流時の気流性状と垂直温度分布の中性帯（重心）について－空気調和衛生工学会学術講演会梗概集E，pp1751-1754，2004.9
- 7) 送風機の試験及び検査方法，JIS B 8330：2000，日本規格協会，2000年7月20日改定
- 8) 空気の密度：理科年表，p433
- 9) 湿り空気線図：空気調和・衛生工学便覧13版，空気調和・衛生工学会，p83

（やまぐち はる 昭和女子大学生生活科学部生活環境学科 研究助手）

（さの たけひと 昭和女子大学大学院生活機構研究科生活機構学専攻 教授）

受理年月日 平成16年9月30日

審査終了日 平成16年11月30日