

通風時の室内における快適性評価手法に関する基礎的研究

BASIC STUDY ON THE EVALUATION METHOD OF THERMAL COMFORT BY CROSS VENTILATION

佐藤 英樹^{*1}, 赤林 伸一^{*2}, 坂口 淳^{*3}, 桑原 亮一^{*4}

*Hideki SATO, Shin-ichi AKABAYASHI, Jun SAKAGUCHI
and Ryoichi KUWAHARA*

Natural ventilation has the effect on improving the comfort of the indoor environment. However, this effect has not been clarified since it is difficult to artificially reproduce the same airflow as natural cross ventilation. In this study, the psychological and physiological effects of fluctuating airflow on the human body in hot summer environment were evaluated. The subjective experiments were carried out in a climatic chamber with fluctuating airflow generator, which can generate three airflows with different properties. The following results were obtained. (1) The thermal comfort is obtained by the natural cross ventilation most. Even after the airflow stops, the thermal comfort can be maintained. (2) The allowable environment can be reproduced by using the fluctuating airflow in a hot environment. Especially, the natural cross ventilation is psychological and physiological effective.

Keywords : Cross ventilation, Fluctuating airflow, Subjective experiment, Thermal sensation, Thermal comfort

通風, 変動気流, 被験者実験, 温冷感, 快適感

1. はじめに

夏季における温熱環境の改善手段の一つとして、日本古来の環境調整技術である自然通風の利用が挙げられる。通風による温熱環境改善は、エネルギー消費削減の効果もあることから、通風の積極的な利用が見直されている。しかし、通風性能は気象条件や建物立地条件、建物性能の影響を大きく受けるため、定量的に評価することは極めて困難である。筆者らは、定常状態の場合における屋外や室内の通風デグリアワー CVDH (Cross Ventilation Degree Hour) 等の指標を提案し、地域性を考慮した通風による温熱環境改善のポテンシャルを評価してきた^{1), 2)}。

一方、温熱環境の要素である温度・湿度・放射温度・風速の中で、気流の時間的変動は他の要素と比較して速いため、気流変動が人体に与える影響を PMV などの定常状態を想定した指標で評価した場合には、必ずしも感覚と一致しないことがある。変動気流による温冷感や快適性を被験者実験により評価した既往の研究では、徐ら^{3)~5)}が暑不快環境から気流のある中立環境又はやや暑い環境へ移動した場合の心理的影響や生理反応を検討し、変動風の有用性を示すとともに、その効果を Kuno ら⁶⁾の二次元温冷感モデルにより考察を行っている。また、祝ら⁷⁾や李ら⁸⁾は、暑熱環境においてもタスク域に変動風を利用することで快適性を犠牲にせず、アンビエント温湿度条件が緩和できるとしている。この他、変動気流による効果を評価した例はあるが、何れの場合も与えられる気流は周期的に変動

する人工風や非等温の空調気流であり^{9)~13)}、自然通風の気流性状とは異なる^{14), 15)}。非定常状態の温冷感や快適性の評価では、気流変動を制御することが最も重要であるが、住宅等の実空間で被験者実験を行う場合、被験者ごとに同一の環境条件で行うことが困難であることから、自然通風の効果は明確になっていない。自然通風環境を再現できれば、通風本来の心地よさの評価が可能であると考えられる。八木ら^{16)~18)}のように風向を変化させながら自然風を再現した例もあるが、気流変動と主観申告との非定常解析には至っていない。気流発生装置を用いてリアルタイムで主観申告を行うことにより、気流の変動量と主観申告の変化量を定量化することも可能となる。しかし、自然通風の再現は、風速の応答速度等の問題による技術的課題が多く、その気流を実験条件とした研究例は少ない。また、実現象として起こりうる不均一な放射環境における通風の効果を定量化した研究例も少ない。

本研究では、通風時を対象として、温湿度と放射環境をコントロールした試験室内に性状の異なる気流を人工的に発生させ、気流変動が人体へ与える影響・効果について客観的・定量的に評価することを目的としている。同時に、通風時の温冷感・快適性の評価手法として、リアルタイムの申告方法が非定常状態を考察する上で妥当であるかを検討する。本報では、均一な放射空間において、申告による主観評価と皮膚温度などの生理量の変化を比較・検討することにより、基礎的なデータが得られたので報告する。

*1 新潟大学大学院自然科学研究科 大学院生・修士(工学)

(三建設備工業㈱)

*2 新潟大学大学院自然科学研究科 教授・工博

*3 新潟県立大学国際地域学部国際地域学科 教授・博士(工学)

*4 三建設備工業㈱技術本部技術研究所 博士(工学)

Graduate Student, Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ., M. Eng.

(Sanken Setsubi Kogyo Co., Ltd.)

Prof., Division of Science and Technology, Graduate School of Niigata Univ., Dr. Eng.

Prof., Faculty of International Studies and Regional Development, Univ. of Niigata Pref., Dr. Eng.

Research Engineer, Sanken Setsubi Kogyo Co., Ltd., Dr. Eng.

2. 研究方法

2.1 環境試験室

実験は環境試験室で行う。試験室の平面図を図1に、試験室及び空調システムの仕様を表1に示す。試験室①内に、4,500×3,000×2,100mmの被験者実験用の試験室②を構築し、一方向から変動気流発生装置¹⁹⁾、^{注1)}にて気流を与える。温湿度は環境試験室①全体が外部空間として夏季条件となるように制御する。試験室②は窓を開けた居室で、外部からの通風のみを得る空間を想定しているため、試験室②内は空調せず、外気(試験室①)温湿度と同条件とする。試験室②の天井に設置した放射パネルは表面温度を制御し、室内温度とほぼ等しくなるようにする。

2.2 変動気流発生装置

実験に用いる変動気流発生装置は、風量調整ダンパ(Systemair社製 Iris Damper SPI300)と風量制御のための1軸トラバース装置(以下スライダと称す)、斜流ファン及び整流格子付き吹出口で構成される。スライダ上のステージを高速で動かし、ダンパの風量調整ツマミを全開状態から全閉状態の範囲で移動させることにより風速を制御する。スライダは上位コントローラであるPLC(Programable Logic Controller)により制御を行う。ステージの移動速度は200mm/s、加速度は1m/s²である。吹出口寸法は窓1面を想定しW600×H800mmとする。

2.3 被験者

表2に実験に参加した被験者の属性を示す。被験者は30～41歳までの健康な男性5名で、身長は平均171.8cm、体重は平均70.2kgで

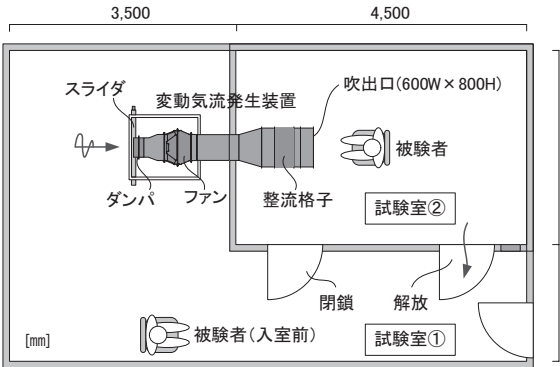


図1 試験室平面図

表1 試験室概要

環境試験室①	寸法	8,000×4,800×2,600mm
	構造・材質	硬質ウレタンフォーム サンドイッチパネル120mm
空冷パッケージ	冷却能力	11kW(圧縮機ON/OFF)
電気ヒータ	加熱能力	12kW(比例制御)ダクト挿入型
電極式蒸気発生器	蒸気発生量	7.5kg/h(比例制御)ダクト挿入型
試験室②	【壁】	寸法 4,500×3,000×2,100mm 構造・材質 硬質ウレタンフォーム サンドイッチパネル120mm
	【天井】	寸法 2,300×440mm×8枚 構造・材質 アルミ製放射パネル+アルミ複合管

表2 被験者属性

N=5	年齢 [歳]	身長 [cm]	体重 [kg]	体表面積 [m ²]	BMI
平均値	37.6	171.8	70.2	1.80	23.7
標準偏差	4.27	7.25	12.83	0.17	3.79

ある。着衣は実験者側で用意したものに着替え、着衣量を0.3clo程度(Tシャツ、ロングパンツ、ソックス、下着)に統一する。被験者には相応の謝金を支払った。

2.4 実験条件

実験条件を表3に、実験のタイムテーブルを図2に示す。外部を模擬した環境試験室①を前室とし、センサ類の装着時間も含めて約60分間椅座安静状態で滞在した後に試験室②へと移動する。試験室②内でも同様に椅子に着席させ、申告装置(写真1)にてリアルタイムで温冷感及び快適感を申告させる。申告時間は45分とし、時間内で気流の発生・停止を2度繰り返す。気流は各実験毎に設定し、計3条件での比較を行う。実験は、気流への慣れや感じ方の偏り及び概日リズム(circadian rhythm)^{注2)}による影響を極力排除するために、被験者に実験ケースを告知せず、実験順序はランダムに実施する。

室内温熱環境の条件をCASE1は28℃、50%RH、CASE2は32℃、55%RHとし、気流条件はモード1を定常風(平均風速0.8m/s)、モード2を周期変動風(平均風速0.75m/s、変動周期30秒)、モード3を模擬自然通風(平均風速0.76m/s)とする。発生気流を図3に示す。気流の選定は、室内通風の実測データを基準として模擬自然通風を再現

表3 実験条件

実験No.	温度 [℃]	湿度 [%RH]	壁面 温度 [℃]	気流 モード	備 考
CASE1-1	28	50	28	モード1	気流モード モード1:定常風 モード2:周期変動風 モード3:模擬自然通風
CASE1-2	28	50	28	モード2	
CASE1-3	28	50	28	モード3	
CASE2-1	32	55	32	モード1	
CASE2-2	32	55	32	モード2	
CASE2-3	32	55	32	モード3	

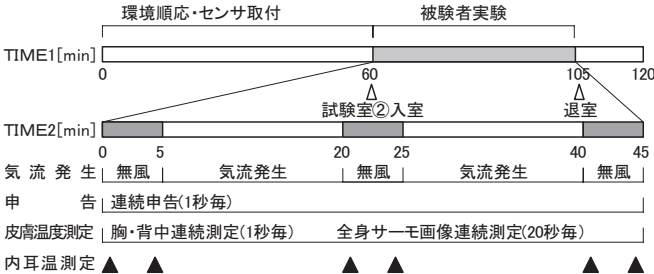


図2 被験者実験タイムテーブル

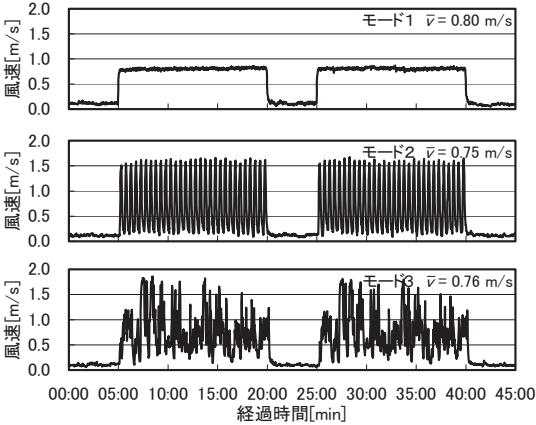
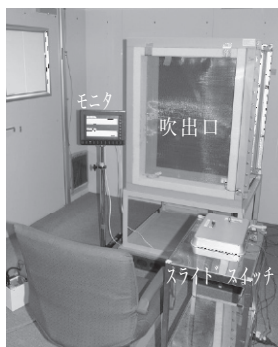


図3 発生気流



(1) 装置全体



(2) 申告モニター
写真 1 申告装置



(3) スライドスイッチ

し、再現した気流の平均風速と同一となるような定常風と周期変動風を決定する。但し、周期変動風は装置の制約上、等速度でステージを動かしているためサインカーブの風速変動とはなっていない。

2.5 測定項目

各測定位置を図4に、使用する計測器の一覧を表4に示す。被験者は吹出口より1.0mの位置に気流を正面から受ける向きに座る。生理量は、サーミスタにより胸部及び背中の皮膚温度を、赤外線式温度計により被験者右前方から体全体の表面温度（熱画像）を測定する。また、核心温度として耳赤外線体温計を用いて内耳温度を気流停止時に測定する。更に、試験室の温湿度及び壁面温度、吹出風速の測定を各測定器にて同時に行い、実験時の室内環境状態を確認する。心理量は、温冷感申告では、「寒い」から「暑い」を0から100までの無段階（但し、「中立」を50とする）で、快適感申告では、「快適」から「非常に不快」を0から100までの無段階で、手元にあるスライドスイッチを操作する。申告ミスを解消するために前面のモニターに表示される申告スケールを見ながらリアルタイムに申告させる²⁰⁾、^{注3)}。また、実験終了時には、アンケート形式で実験の印象などを回答させる^{注4)}。

3. 実験結果及び考察

3.1 申告値経時変化

被験者5名の温冷感申告値、快適感申告値の経時変化を図5に示す^{注5)}。CASE1（28℃、50%RH）では、申告開始から気流発生までの5分間で徐々に温冷感申告値が増加^{注6)}し、気流の曝露とともに「中立」側へ移行する。また、20分後に気流が停止した場合にも同様となり、温冷感申告は徐々に増加し、25分後の気流曝露後に減少する。定常風であるCASE1-1では、曝露直後に急激に「中立」となるが、変動風であるCASE1-2、CASE1-3では徐々に変化する。また、定常風の場合でも、15分間と比較的短い時間での気流の曝露では、温冷感是一定とならず常に変化していることから、この期間は温冷感の過渡期と考えられ、定常状態を前提としたPMVなどの指標を用いることは難しいと予想される。被験者Dは、定常風（CASE1-1）の場合には、気流による温冷感改善の効果が大きい、変動風（CASE1-2、CASE1-3）では、その効果が小さい。しかし、変動風の場合でも、1回目の気流曝露時での温冷感の改善は見られないが、2回目の曝露時にはやや改善される傾向が見られる。

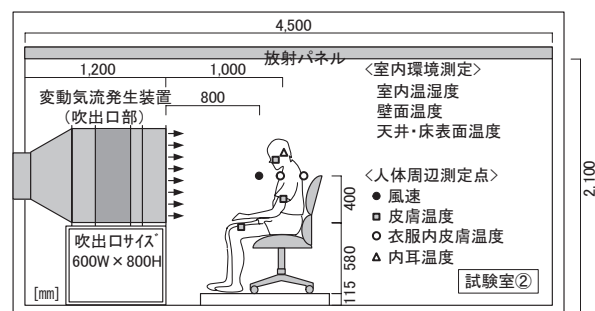


図4 測定点概要

表4 計測器一覧

測定項目	測定機器/型番[メーカー]/記録間隔
室内温湿度	おんどとり/TR-72U[T&D]/10s間隔
壁・天井・床表面温度	おんどとり/TR-71U[T&D]/10s間隔
気流速度	サーミスタ風速計/FA2412[理化精機]/0.1s間隔
皮膚温度	サーミスタ温度計/SUC-T200[杉原SEI]/約1s間隔
体表面温度(熱画像)	赤外線サーモグラフィ/TVS-200EX[Avio]/20s間隔
内耳温度	耳式体温計/M30[テルモ]/随時

快適感申告では、温冷感と同様に、気流曝露直後から「快適」側へと移行していき、気流が停止すると不快感が増加する。模擬自然通風（CASE1-3）は、他の気流モードに比較して快適感が得られやすく、殆どの被験者が「快適」に近い申告をしている。快適感の申告は、温冷感の申告と対応しており、「暑い」側の申告が増加するのに合わせて「不快」側の申告が増加する。しかし、被験者CのCASE1-2のように、温冷感の申告変化が段階的な変化であるのに、快適感申告は頻繁に変化するような事例も見られる。CASE2（32℃、55%RH）の暑熱環境では、気流モードに関わらず、気流の曝露とともに温冷感、快適感が急激に改善され、気流が停止すると急激に悪化する傾向が見られる。殆どの被験者が気流停止時に「暑い」に近い申告をしており、気流無しの暑熱環境として限界に近いと思われる。気流を受けた直後に温冷感や快適感が改善されるが、曝露し続けると、気流モードに関わらず、時間の経過に伴い徐々に温冷感、快適感が「暑い」側、「非常に不快」側へと移行し、回復した申告値を維持することは難しい。温冷感では、どの条件においてもほぼ「中立」から「暑い」の範囲で推移し、「中立」付近から下回ることはない。快適感も、短時間であるが気流により「快適」と申告する被験者も存在する。気流が変動するCASE2-2、CASE2-3は、定常風であるCASE2-1に比較して温冷感や快適感が若干低めに維持される。被験者Eは、

他の被験者と異なり、CASE2 の環境下でも CASE1 と同様の申告値を示しており、温熱環境条件による温冷感、快適性の差が見られない。また、CASE2-3 では、気流曝露時にやや不快が増加するという傾向も見られる。

全体的な申告の傾向として、気流の変動に合わせて申告値を変化させる被験者と、徐々に変化させる被験者に大別でき²⁰⁾、その申告値は個人差があるものの、非定常気流に対する反応として、Kuno

らの二次元モデル⁶⁾で解釈できると考えられる。また、本実験のような連続申告の方式は、瞬間的な変化を捉えることができることから、自然通風時の室内気流のような非定常状態を定量化するための方式として適用できる可能性があると考えられる。

3.2 平均申告値

気流曝露時と停止時の平均申告値^{注7)}を図6に示す。室内温熱環境が変化しても、気流曝露時の温冷感、快適感平均申告値は、定常

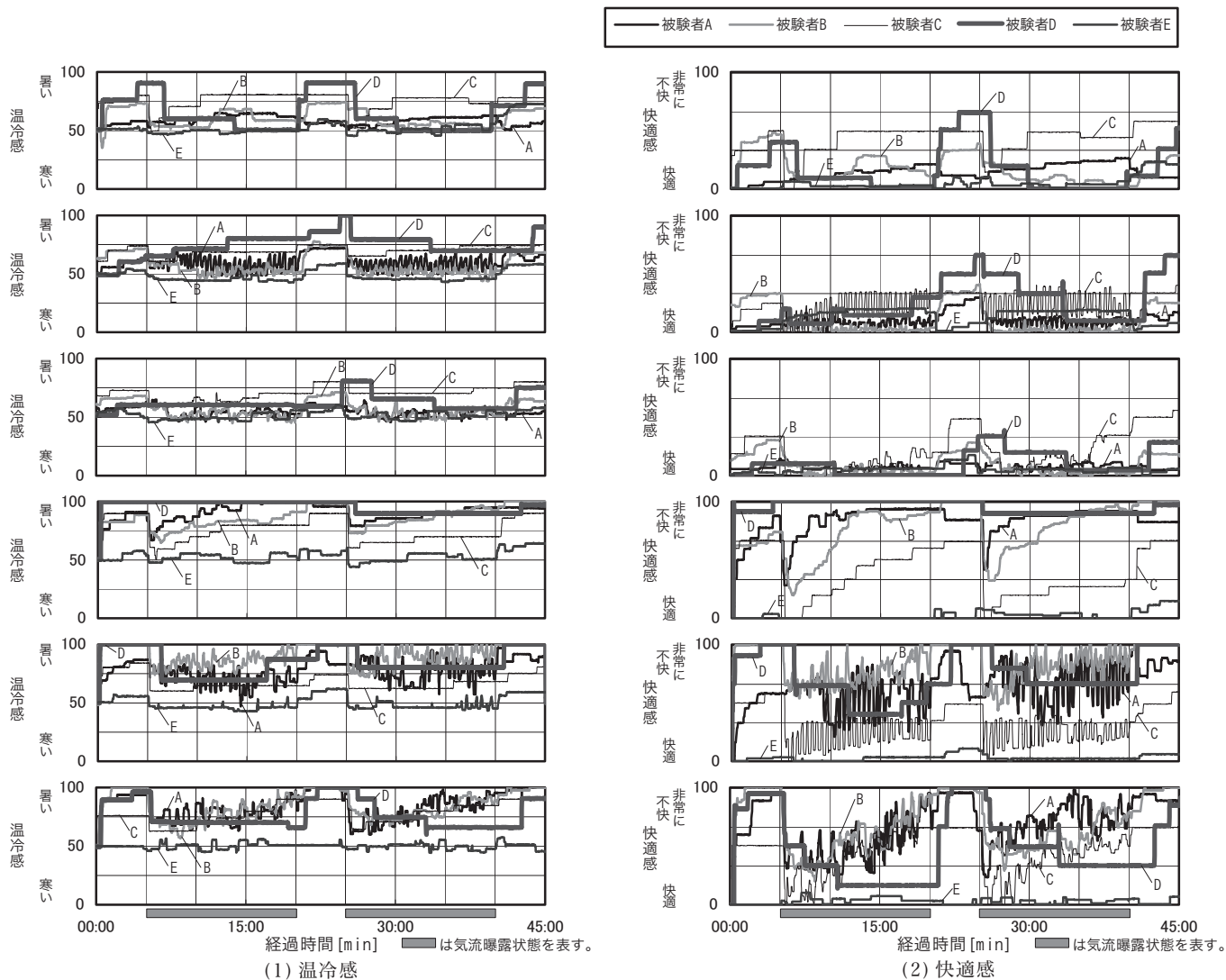


図5 申告経時変化(上から CASE1-1, 1-2, 1-3, 2-1, 2-2, 2-3)

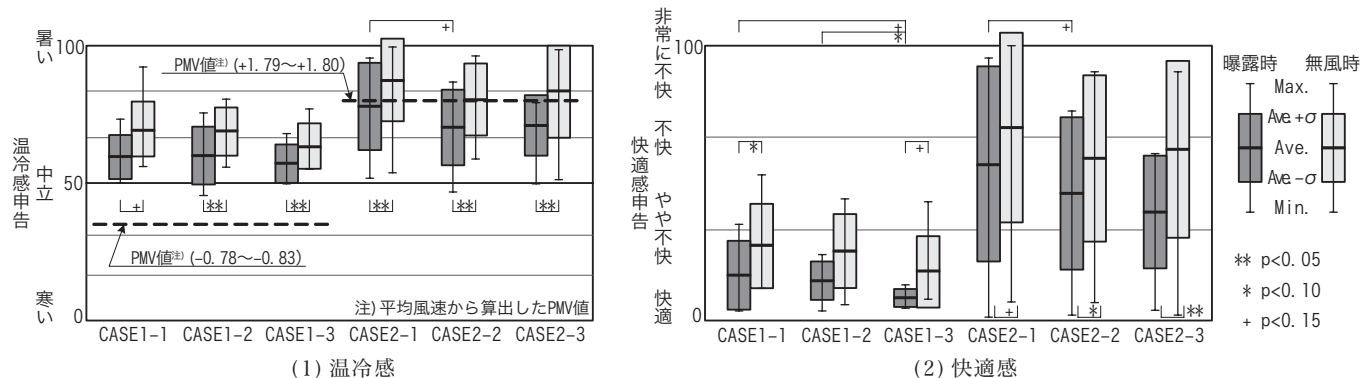


図6 平均申告値

風（モード1）と比較して変動風（モード2、モード3）が「中立」に近づく。CASE1で最も温冷感が「中立」に近いのはCASE1-3で、CASE2で最も温冷感が「中立」に近いのはCASE2-2となる。暑熱環境では、風速変動が温冷感を下げる傾向が見られる。気流停止時の平均申告値も気流曝露時の平均申告値と同様の傾向を示す。気流停止は全てのケースで同様の条件となるが、実験条件間で申告値に差が生じる。これは、それまでに曝露される気流性状の違いにより温冷感の変動経過が異なり、気流停止後5分間程度の短時間では気流の余韻が残るためと思われる。つまり、それまで曝露される気流変動が気流停止後の温冷感に大きな影響を与える残効⁴⁾の一部と考えられる。平均値の標準偏差 σ 及び最大値・最小値の幅は、模擬自然通風であるモード3が最も小さく、気流が不規則に変動することにより申告値のばらつきが減少する。一方、周期的に気流が変動するモード2では個人差が大きく、CASE1、CASE2ともにばらつきが大きい。CASE1-1を除く各条件において、気流曝露時と気流停止時では有意に差が認められ ($p<0.05$)、暑熱環境下では、等温気流であっても気流の効果が大きいと考えられる。平均申告値を曝露時平均風速から算出したPMVと比較すると、CASE1で-0.8程度、CASE2で+1.8程度となり、平均申告値とは一致しない。特にCASE1での差は大きく、7段階評価 (-3 ~ +3) で比較すると約1段階以上の開きがある。非定常条件では、PMVとの評価に違いが見られる。快適感の平均申告値では、CASE1、CASE2ともに、モード3、モード2、モード1の順に快適であると申告している。特にCASE1-3では、被験者全員がほぼ「快適」に近い申告しており、模擬自然通風による快適感改善の効果が見られる。気流モード間による快適感申告では、CASE1-2とCASE1-3で若干の有意差が認められる ($p<0.10$) が、それ以外の条件では明確な差は認められない。しかし、平均値から見ると、自然通風のような風速の変化が快適性を保つ上では有効であると考えられる。CASE2の曝露時と停止時の条件間では、温冷感において全てのケースで有意差が認められ ($p<0.05$)、気流モードの差異はないが、快適感は気流モードによる差異が見られる。

3.3 申告頻度

図7に気流曝露時におけるスライドスイッチの操作回数を、表5、表6に操作回数の増減比率を示す^{注8)}。申告回数は、温冷感、快適感ともに個人差が大きく、同じ実験ケースでも数回から300回以上と差がある。CASE1、CASE2ともに操作回数が多い方からモード2 (CASE1-2、CASE2-2)、モード3 (CASE1-3、CASE2-3)、モード1 (CASE1-1、CASE2-1)の順となる。モード2では、変動幅の大きい風速が定期的に発生するため操作回数が多くなる。温冷感申告では、被験者Dを除いて、温熱環境が悪化すると「寒い」側への操作回数と比較して「暑い」側への回数が増加する。これは、室内環境と同じ温度の気流では、気流速度が強くても温冷感を下げることが難しいことに加え、逆に気流が弱くなると暑さを更に感じやすくなり、温冷感が上がるためと考えられる。被験者Dは、気流曝露直前の温冷感が最も高く、曝露後の時間経過とともに下がるため、全てのケースで比率が50%を下回る。変動気流（モード2、3）の場合には、「暑い」側と「寒い」側の操作回数の差は、定常風より小さい。快適感の申告値でも、気流条件による操作回数の大小は、被験者Cを除いて温冷感申告の場合とほぼ同様の傾向を示す。被験者Cは、図5の経時変化にもあるように、快適感申告と温冷感申告の傾向が異なっており、快適感申告では、気流変動に呼応して申告を行うため、快適感の操作回数が増加している。しかし、比率で比較すると被験者Cも同様の傾向となる。CASE1-3では、被験者A、B、C、Dにおいて「快適」側の申告回数の方が多い。

3.4 生理量の変化

図8にCASE2における被験者A及びDの各部位（顔・腕・脚）の熱画像測定による皮膚温度の時系列変化を示す^{注9)}。なお、皮膚温度の変化は、測定を開始した時の温度を基準としている。被験者Aは気流変動に合わせて比較的多くスライドスイッチを操作し、一方、被験者Dは、徐々に申告値を変化させている。気流の違いにより被験者の皮膚温度の変化は違いが見られる。どの被験者も吹出気流が直接当たる顔や腕の皮膚温度が変化しやすい。脚は、部

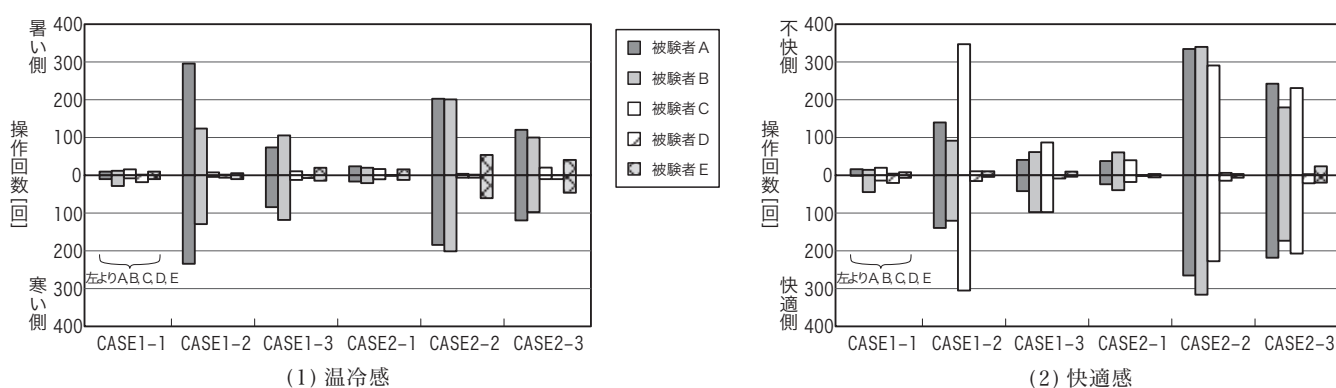


図7 気流曝露時におけるスライドスイッチの操作回数

表5 温冷感操作回数増減比率

実験No.	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
CASE1-1	54.5	32.6	70.8	14.3	48.0
CASE1-2	55.9	49.0	61.5	33.3	41.2
CASE1-3	47.2	47.3	45.8	0.0	55.6
CASE2-1	61.0	50.0	60.7	0.0	57.7
CASE2-2	52.1	49.9	40.0	30.0	48.3
CASE2-3	50.6	50.8	67.7	9.1	53.8

網掛部分は「暑い」側の申告が多いことを表す。単位：[%]

表6 快適感操作回数増減比率

実験No.	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
CASE1-1	94.7	27.4	58.8	16.7	57.1
CASE1-2	50.2	43.4	53.2	42.3	73.3
CASE1-3	49.4	39.0	47.3	11.1	76.9
CASE2-1	61.3	61.0	70.2	0.0	37.5
CASE2-2	55.8	51.8	56.2	30.0	33.3
CASE2-3	52.6	51.0	52.7	16.0	55.8

網掛部分は「不快」側の申告が多いことを表す。単位：[%]

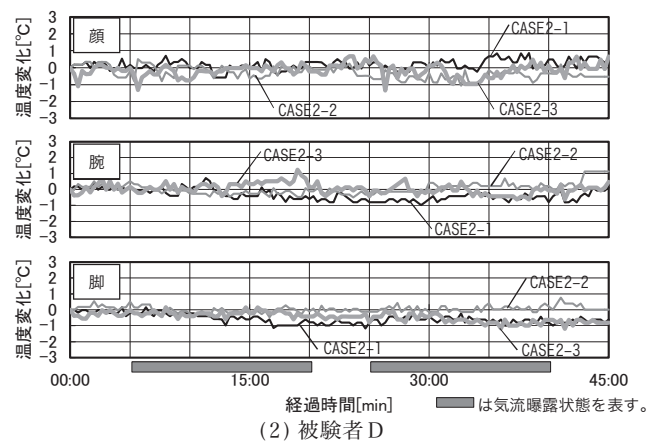
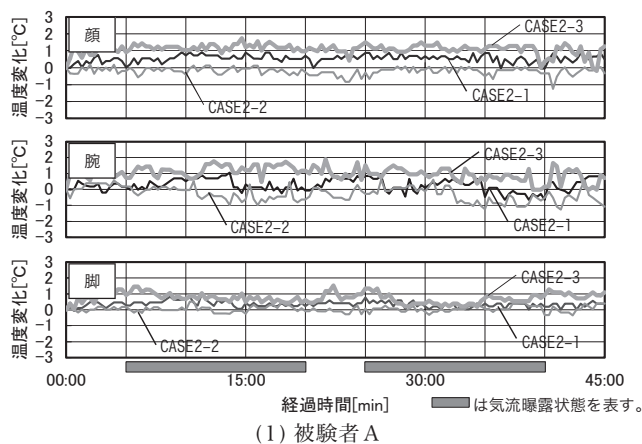


図8 皮膚温度の経時変化

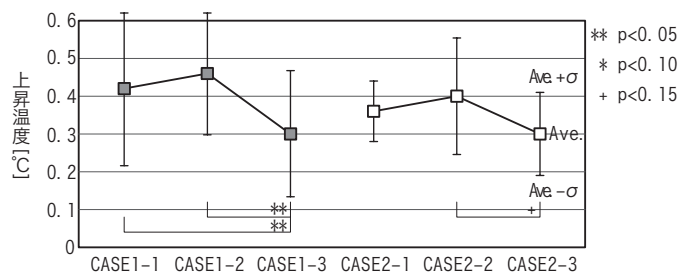


図9 核心温上昇の違い

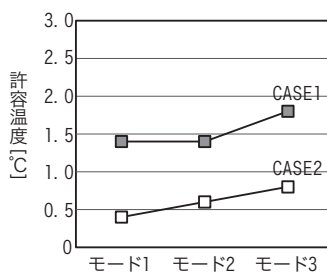


図10 許容温度

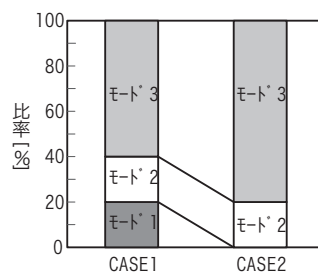


図11 好まれる気流

位の中で最も皮膚温度の変化が少ない。これは、脚部は吹出気流が当たりにくい部位であるためと考えられる。また、事前の調査でも、両被験者が下半身よりも上半身の発汗が多い体質であると回答しており、実験後のアンケートでも頭部や背中を中心とした上半身に発汗していたと答えていることから、汗の蒸発による下半身の皮膚温度の低下が少ないことが影響していると考えられる。被験者Aは、CASE2-2が全ての部位で低い値を示しており、その影響が図7の温冷感や快適感の申告回数の多さに関連していると考えられる。また、被験者Dは、被験者Aに比較して全体的に各部位の温度変化が小さいため、申告回数が少ないと考えられる。これは、他の被験者にも共通しており、被験者Bでは温度変化が比較的大きく、被験者C、Eでは温度変化が小さい。最も皮膚温度を低下させる気流モードについては、被験者により異なるため、気流モードと生理量の変化、申告値の関係性の把握は、今後の検討課題としたい。

気流の違いによる核心温（内耳温度）の温度上昇を図9に示す。温熱条件によらず最も内耳温の上昇が低く抑えられるのはモード3であり、また逆に内耳温が最も上昇するのはモード2となる。CASE1では、モード3は他のモードと比較して有意に低い（ $p < 0.05$ ）。内耳温の上昇温度は、図5における温冷感や快適感の平均申告値の大小と一致していない。但し、モード3は快適度が最も高く、核心温の上昇を抑えることができる点において、心理的效果と生理的影響が一致すると考えられる。また、温熱条件が厳しいCASE2よりも、CASE1は温度上昇が大きい。これは、温熱環境的に厳しいCASE2では、初期の核心温度がCASE1と比較して高く、上昇幅が小さいためと考えられる。

3.5 アンケート結果

気流の違いによる室内温度の許容温度^{注10)}を図10に示す。許容温度は、モード1、モード2、モード3の順に高くなり、モード3ではCASE1で平均 1.8°C 、CASE2で平均 0.8°C の上昇まで許容できると回答している。この結果と図6から、定常風に比較して変動気流では、暑熱環境における温冷感、快適感を良好に保つことができる可能性を持つと考えられる。特に、同じ変動気流でも周期的に変動するモード2と比較すると、不規則に変化するモード3の方が、その効果が高いと考えられる。

図11に最も好まれる気流モードのアンケート結果を示す^{注11)}。この結果から、CASE1、CASE2ともに定常風（モード1）に曝露されるよりも変動風（モード2、モード3）による曝露を好み、特に、モード3を最も好んでいる。また、室温が高くなるほどその傾向が強くなり、CASE2では、モード1を良いと感じる被験者はいない。図5の快適感の平均申告値でもあるように、変動風は定常風よりも快適性を維持するには有効な手法であると考えられる。

4. まとめ

定常風、周期変動風、自然通風を再現できる気流発生装置を開発し、性状の異なる気流をパラメータとした被験者実験を行うことで、夏季の暑熱環境下において気流が人体に与える心理的・生理的影響を評価した。また、リアルタイムで連続的に申告する方法を採用するで、非定常状態の検討に適用できる可能性を示した。被験者実験から得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 気流の変動により温冷感や快適感が変化するが、変動気流を曝露した場合には、定常風を曝露し続けた場合と比較して、気流曝露初期

での改善効果が高いため、温冷感や不快感が上限に達するまでの持続時間が長い。

- (2) 風速の変化に伴い申告装置の操作回数は増減するが、暑熱環境においては、風速の増加による快適感の申告よりも、風速の減少による不快感や暑さの申告が多くなる。
- (3) 模擬自然通風の場合、曝露時の温冷感や快適感是最も得られやすく、気流が停止した後も、直前まで曝露されていた気流性状の影響により、その効果が持続する。
- (4) 気流性状により、核心温の温度変化にも若干の違いが見られ、自然通風を再現した変動気流曝露時が最も温度上昇が小さい。
- (5) 変動気流が存在することで、暑熱環境においても許容できる環境を造り出すことができる。特に、自然通風のような変動は、心理的、生理的にも有効であると考えられる。

暑熱環境において気流が人体に与える影響や効果について明らかにしたが、被験者の人数や年齢、性別は限られたものであり、定量的評価をする上では更にデータを蓄積し、検討する必要があると考えられる。また、今後は非均一放射空間における通風の効果についても検討を行う予定である。

注

- 注1) 本論文投稿時には刊行されていないが、日本建築学会技術報告集第31号(2009年10月号)に「通風時の室内気流を対象とした変動気流発生装置の開発」として装置の詳細が掲載される予定である。
- 注2) 今回の実験では、個人の生体リズムについて特別な配慮はしていないが、一般的な概日リズムを崩さないために、前日までの深夜作業や徹夜作業を行っていない通常の生活をしている者を被験者としている。実験は、一日の中で午前1ケース、午後2ケースの計3ケースを実施しているため、午後のケースでの内耳温の上昇が見られると考えられたが、午前と午後の実験開始時の内耳温測定の結果は、1名が最大0.8℃上昇することはあったものの、他は徐々に上昇する程度(0.3℃前後)、又は変化無しであった。実験順序もランダムに行っており、概日リズムの影響により特別あるケースだけが突出した結果となっていないとは考えていない。
- 注3) 申告方法の説明として、通常の記録用紙による温冷感や快適感申告の値との整合をとるため、申告値は全体のスケールの中でその時々の状態における温冷感・快適感を申告するように事前に説明した。連続申告の研究例として、清水らは、時々刻々変化する申告(「風の強さ」及び「風の快適感」に対する申告)を連続申告装置を用いて行っている。ここでは、風の強さの申告は気流の変化に良く対応し、快適感の申告は被験者により申告の仕方に個人差があるとしている。快適感申告におけるこの個人差は、風の強さ感に対応して変化させる被験者と、一定のままであまり変化させない被験者との差であると示されている。この傾向は、筆者らの被験者実験でも同様と状況であった。また、質問用紙での申告も同時に行っており、「風の強さ」、「風の快適感」申告ともに、連続申告のそれぞれの最大値と質問用紙との申告が対応していることが示されている。
- 注4) 通常の温冷感、快適感以外に被験者に質問した代表的な内容は以下の通りである。(1)現在の温湿度はどの程度と感じたか。(2)快適又は不快と感じた要因は何か。(3)この温湿度環境なら気流があれば耐えられると思うか。(4)気流があれば感覚的にあと何℃程度気温が高くてでも耐えられるか。(5)より快適感を得るためには温湿度、気流等の環境条件をどう変えればよいと思うか。(6)最も気持ちの良いケースはどれか。
- 注5) 実験中の温熱環境は、各ケースとも、設定温度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、設定湿度 $\pm 4\%\text{RH}$ に収まっていた。また、試験室②の壁面の温度は、天井に関しては放射パネルが設置されているため、ほぼ室温条件と同程度になっていた。床表面温度は室温 $+0.2^{\circ}\text{C}$ 、壁表面温度は室温 $+0.4^{\circ}\text{C}$ 程度であった。

注6) 申告の変化に対する用語として、便宜上、温冷感が「暑い」側、快適感が「非常に不快」側に変化することを増加と表現し、逆に「寒い」側、「快適」側に変化することを減少と表現している。

注7) 試験室②に入室後、温冷感では中立(50)、快適感では快適(0)の初期値から申告値の記録をスタートしているため、1回目の気流曝露までの温冷感や快適感の推移が被験者により異なる。このため、この最初の5分間は、無風時の平均値データとして採用しない。無風時のデータは、気流曝露状態から停止した後の5分 $\times$ 2回分(20 $\sim$ 25min及び40 $\sim$ 45min)を採用している。

注8) 操作回数は、申告値の変化量が1%以上の場合の回数を示し、1%未満の場合にはカウントしない。増減の比率は、全操作回数に対する「暑い」側への申告、「不快」側への申告の比率とする。つまり、比率が50%を超えるケースは、「暑い」側、「不快」側の申告が多いことを意味する。

注9) 連続測定した熱画像を解析し、各部位の温度変化を求めた。顔は頬、腕は上腕、脚は大腿内股の温度を表す。なお、放射率は0.98とした。

注10) 許容温度は、注4)(4)の問いに回答してもらう。不快でこれ以上の温度は耐えられない被験者は0℃と回答してもらい、全ての被験者の平均値をとった。なお、温度は感覚的なもので回答してもらったため、正確に許容できる温度とは異なる。なお、注4)(1)の問いに対する回答結果は、CASE1で平均28.5℃(標準偏差0.8℃)、CASE2で平均31.4℃(標準偏差0.9℃)であった。この結果は設定温度に比較的近い値となっている。申告値と許容温度との相関では、快適性が不快と申告していた被験者が0℃と申告する一方、あまり不快度が低い被験者EではCASE2で2℃程度と回答するなど、ある程度の相関はできていると思われる。回答した数値の絶対値が正確であるとは言えないが、被験者本人が現状の温度を回答した上で、気流の種類によっては更に高温の環境でも許容できると回答していることに意味があると考えている。

注11) 注4)(6)の問いに回答してもらう。但し、該当するケースが無い(全てのケースで気持ち良さを感じられないという回答)場合には、有効回答と見なさず、回答を得られたものに対してのみの比率を求めた。なお、有効回答数は、CASE1で5(100%)、CASE2で4(80%)であった。

参考文献

- 1) 赤林伸一、佐々木淑貴、坂口 淳、富永禎秀：通風性能の定量的評価手法に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.568、pp.49-56、2003.6
- 2) 赤林伸一、坂口 淳、細野淳美、佐藤英樹、久保俊輔：室内気流分布を考慮した通風性能評価に関する研究 室内通風デグリアワーを用いた戸建住宅の通風性能評価、日本建築学会環境系論文集、Vol.73、No.633、pp.1261-1266、2008.11
- 3) 徐 国海、久野 覚、水谷慎吾、齋藤輝幸：変動風環境における生理・心理反応に関する研究 一暑不快環境から気流のある中立環境へ移動した場合の温冷感実験一、日本建築学会計画系論文集、No.519、pp.47-53、1999.5
- 4) 徐 国海、久野 覚、田中将彦、齋藤輝幸：暑不快環境から気流のあるやや暑い環境へ移動した場合の生理・心理反応に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No.524、pp.37-44、1999.10
- 5) 徐 国海、呂 静、下村明可、久野 覚、齋藤輝幸：変動風を利用した空調システムに関する研究 その28 気流条件を途中で変更した場合の生理・心理反応、日本建築学会大会学術講演梗概集D2、pp.891-892、1999.9
- 6) S.Kuno, H.Ohno, N.Nakahara: A Two-Dimensional Model Expressing Thermal Sensation in Transitional Conditions, ASHRAE Transactions, Vol.93, Pt.2, pp.396-406, 1987
- 7) 祝 家燕、田中雅之、李 克欣、伊藤尚寛、中原信生：非等温パーソナル変動気流がアンビエント温湿度条件緩和に与える効果に関する実験 変動風を用いたタスク・アンビエント空調システムに関する研究その1、日本建築学会計画系論文集、No.480、pp.47-53、1996.2
- 8) 李 克欣、田中雅之、伊藤尚寛、祝 家燕、中原信生：非等温変動気流下における被験者の温冷感心理反応の要因解析と適切な設計条件の選定

- に関する研究 変動風を用いたタスク・アンビエント空調システムに関する研究その2, 日本建築学会計画系論文集, No. 489, pp. 57-66, 1996. 11
- 9) 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子: 蒸暑環境における好まれる気流速度の人体影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No. 442, pp. 9-16, 1992. 12
- 10) 永井千佳子, 伊藤直明, 須永修通, 室 恵子, 堀 祐治: 夏期冷房時の温冷感・快適感に対する気流の効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集環境工学(2), pp. 365-366, 1995. 8
- 11) 堀 祐治, 伊藤直明, 須永修通: 夏期蒸暑環境下の気流利用による熱的快適性の向上に関する実験研究 一天井からの下方気流を利用した場合の至適熱環境における上限空気温度一, 日本建築学会計画系論文集, No. 521, pp. 47-53, 1999. 7
- 12) 桑沢保夫, 斎藤基之, 鎌田元康, 千田善孝: 変動風が快適性におよぼす影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 526, pp. 37-42, 1999. 12
- 13) 鈴木健次, 堀越哲美: 不均一気流が人体に及ぼす影響に関する実験的研究(その2) 一人体正面からの気温・気流温一定の気流の影響一, 日本建築学会大会学術講演梗概集D2, pp. 429-430, 2002. 8
- 14) 梅宮典子, 松浦邦男: 夏季室内通風環境における快適性評価と気流速度スペクトルについて, 日本建築学会計画系論文集, No. 461, pp. 51-59, 1994. 7
- 15) 隈元孝行, 宿谷昌則: 夏季における自然風と人工風の特性とその体感に関する比較研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集D2, pp. 641-642, 2002. 8
- 16) 八木由紀, 久保博子, 磯田憲生, 井上雄二, 清水 真: 変動気流の前後風向持続時間が温熱的快適性に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 93, pp. 97-103, 2004. 4
- 17) 久保博子, 磯田憲生, 日向麻由美, 井上雄二: 夏期における室内変動気流の温熱的快適性に関する研究 その1. 風向変化の影響について, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 1309-1312, 2001. 9
- 18) 八木由紀, 久保博子, 磯田憲生, 井上雄二: 夏期における室内変動気流の温熱的快適性に関する研究 その2. 前後風向の持続時間の影響について, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 1309-1312, 2001. 9
- 19) 佐藤英樹, 赤林伸一, 水谷国男, 坂口 淳, 桑原亮一: 通風時の室内における快適性評価手法に関する比較研究 その1 変動気流発生装置の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集D2, pp. 395-396, 2008. 9
- 20) 清水謙児, 室 恵子: 自然通風による夏期の快適環境条件に関する実験研究 変動風に関する評価申告について, 日本建築学会大会学術講演梗概集D2, pp. 557-558, 2004. 8

(2009年5月9日原稿受理, 2009年10月8日採用決定)