

冷房、扇風機、自然通風の使用頻度にもとづく個人類型における住環境と環境意識の特徴 Characteristics of Living Environment and Environmental Consciousness of Classification Based on the Use Frequency of Air Conditioning, Electric Fans, and Natural Ventilation

○孫 琳 (大阪市立大学)

梅宮 典子 (大阪市立大学)

Lin SUN* Noriko UMEMIYA*

* Osaka City University

Five questionnaire surveys were administered to Osaka residents during 2004–2014. Respondents were classified into eight clusters (S1–S8) according to their frequency of use of AC, electric fans, and natural ventilation. Living environments and environmental consciousness were compared. 1) In S1, the ‘sunlight’ score is low and the ratio of installing blinds is high. The ratio of ‘minding cooling bills and saving on them’ is high. The score of environmental awareness is generally high. 2) In S2, the scores of ‘outdoor air’, ‘view’, ‘AC effect’, and ‘ventilation’ are low. The ratio of ‘minding cooling bills but having no choice’ is high. The environmental awareness score is generally low.

1. 背景と目的

近年、住宅では個室ごとにルームエアコンを設置するのが一般的になり、冷房使用はパーソナル化しつつある。こうした状況下では、平均的な個人より個人属性との関係で冷房使用を捉えるほうが適切ではないだろうか。

張ら (2015 年)¹⁾は、2004 年から 2014 年にかけて実施された大阪の集合住宅を対象とした 5 回の調査^{2) 3) 4) 5)}のデータを用いて、クラスター分析の手法によって、年齢・性別・職業および体質にもとづいて個人を 7 類型 Z1~Z7 に分類した。さらに各類型の冷房、扇風機および自然通風の主観的な使用頻度について、1) 体質が強い男性は、冷房の使用頻度が 7 類型のうち最も低く、自然通風の使用頻度が最も高い、2) 有職で暑さに弱く若い男性は、冷房の使用頻度が 7 類型のうち最も高く、冷房設定温度の平均値が最も低い、などの特徴を明らかにした。

筆者らは張らと同じデータを使用し、張らとは逆の方向で、1) 冷房、扇風機および自然通風の主観的な使用頻度にもとづいて個人を類型化し (S1~S8)、2) 各類型の年齢、性別、職業および体質の特徴を把握し、3) 年齢・性別・職業および体質にもとづく類型 Z1~Z7 との対応を確認した^{7) 8)}。

本報は類型 S1~S8 について、住環境属性と居住者の環境意識の特徴を把握したので報告する。

2. 使用するデータ

5 つの調査^{2) 3) 4) 5) 6)}は目的が異なるがいずれも大阪市内およびその近郊に立地する家族向き集合住宅の居住者を対象にしており、いずれも基本属性、環境意識、住環境主観評価、住戸属性および温熱環境調節行為を質問項

目に含んでいる。本報では 1616 通を分析する。

3. 冷房、扇風機および自然通風の使用頻度にもとづく個人類型

個人の類型化は、既報に示したように、冷房、扇風機、日中と就寝中の窓開放の各主観的使用頻度および冷房設定温度の 5 項目に基づくクラスター分析によった^{7) 8)}。

表 1 に分類された個人類型 S1~S8 の冷房、扇風機、窓開放の各カテゴリーの出現頻度を示す。

S1 (174 人) は、冷房をあまり使わず扇風機をよく使い、日中も就寝中も窓開放が多く、冷房設定温度が高い。S2 (242 人) は、冷房をよく使い日中も就寝中も窓閉鎖が多く、冷房設定温度が高い。S3 (96 人) は、冷房をあまり使わず扇風機をよく使い、日中も就寝中も窓開放が多い。S4 (424 人) は、冷房も扇風機もよく使い、日中窓開放が多く、冷房設定温度が高い。S4 は人数が多いため、クラスター分析後に就寝中の窓開放程度が高い順に S4-1 (189 人)、S4-2 (132 人)、S4-3 (103 人) に分けた。S5 (39 人) は、冷房をよく使い扇風機をあまり使わず、日中も就寝中も窓開放が多い。S6 (198 人) は、冷房をあまり使わず日中窓開放が多いが就寝中は窓閉鎖が多く、冷房設定温度が高い。S7 (96 人) は、冷房も扇風機もよく使い、就寝中は窓閉鎖が多く、冷房設定温度が低い。S8 (45 人) は、冷房をよく使い扇風機をあまり使わず、日中も就寝中も窓閉鎖が多く、冷房設定温度が低い。

4. 各類型の基本属性および体質

図 1 に個人類型 S1~S8 の基本属性として年齢の平均値、性別と職業の分布を示す。平均年齢は、S3 が 52 歳で最も高く、次いで S4-2、S5 が高い、S8 は 47.3 歳と最も若

い。女性は、S4-2 が 69.4%と最も多く、S8 が最も少なくついでS7 も少ない。有職率は、S5 が 45.5%と最も少なく、S8 が 89.5%と最も多い。

体質について、暑さ耐性は、S1、S3、S5 は「強い」が多く、S2、S7 は「弱い」が多い。寒さ耐性は、S5 は「強い」が最も多く、S4-3 は「強い」が少ない。風邪は、S3 と S5 はあまりひかない人が多い。冷え性傾向は、S1、S4-3 はある人が多く、S5、S7、S8 はない人が多い。(図略)。

5. 各類型の住戸属性

図2に各類型の住戸面積、住戸の主要開口部の方位、断熱水準を示す。住戸属性では、S4-3 は「70 m²以上」が 64.6%と多い。住戸方位では、S5 は「南」が 67.9%と多く、S8 は「東」が 42.9%と多く、S4-3 と S7 は「西」が相対的に多い。断熱水準は、竣工年によって旧省エネ基準の「H3 以前」、新省エネ基準の「H4-H10」、次世代省エ

ネルギー基準の「H10 以降」の三段階に分けた⁹⁾。S2 は「H10 以降」が 69.7%と多く、S5 と S7 と S8 は「H4-H10」が多くて「H10 以降」が少なく、S8 は「H3 以前」がない。

6. 住環境主観評価

住環境主観評価は、1)日照環境(日当たり、日射しの眩しさ、夏の日射熱、すだれやよしずの設置)、2)室外環境(外の空気、防犯、外の騒音、上下階や隣戸の騒音、眺望)、3)室内環境(冷房の効き、風通し、結露、湿気や匂い、カビ、虫)の計15項目の回答の各選択肢に点数を与え、得点=2×「良い」割合+1×「普通」割合+0×「悪い」割合として算出した。図3は分類の得点を全類型の平均と標準偏差で標準化してレーダーチャートで示す。

日照環境ではS1は「日当たり」が低く「すだれやよしず(以降すだれ)」が高い。S3は「日当たり」と「夏の日射熱(日射)」が高い。S4-3は「日当たり」が低く「すだれ

Table.1 Frequency of Thermal Control Use

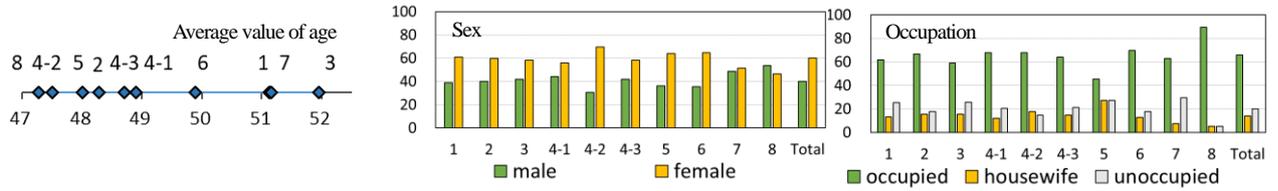
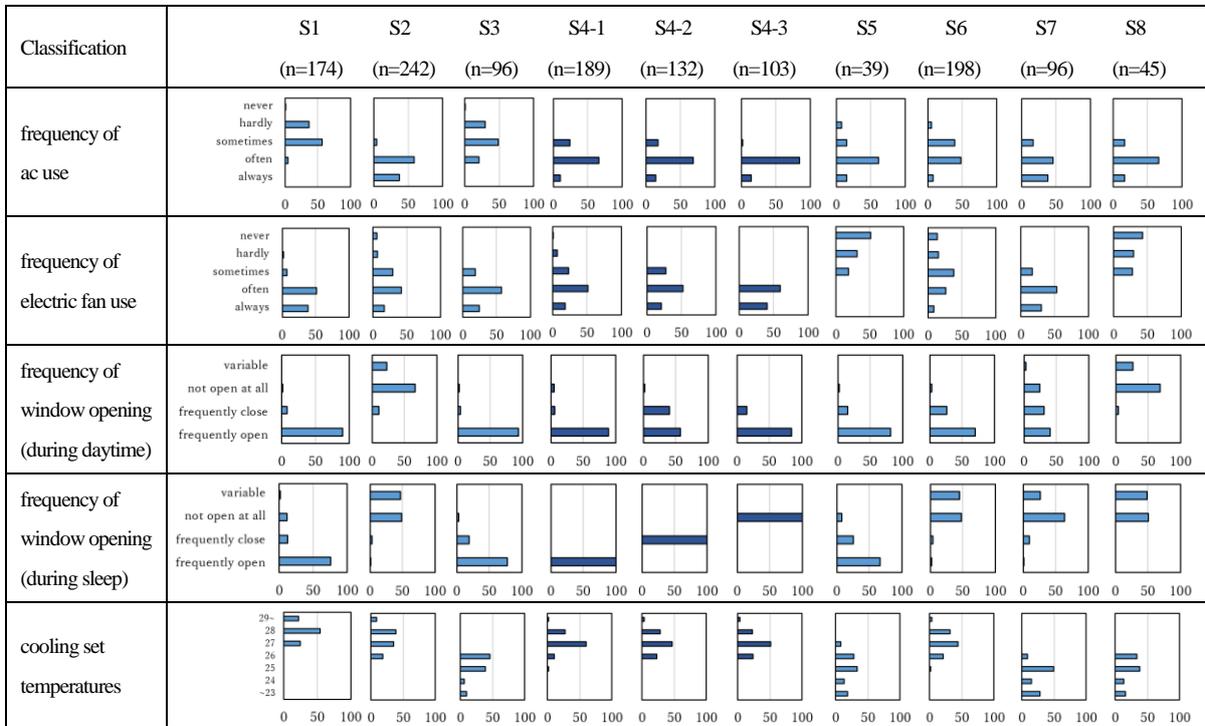


Fig.1 Personal Attributes

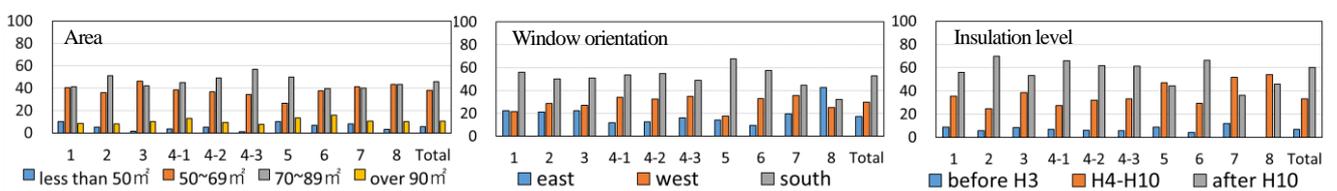
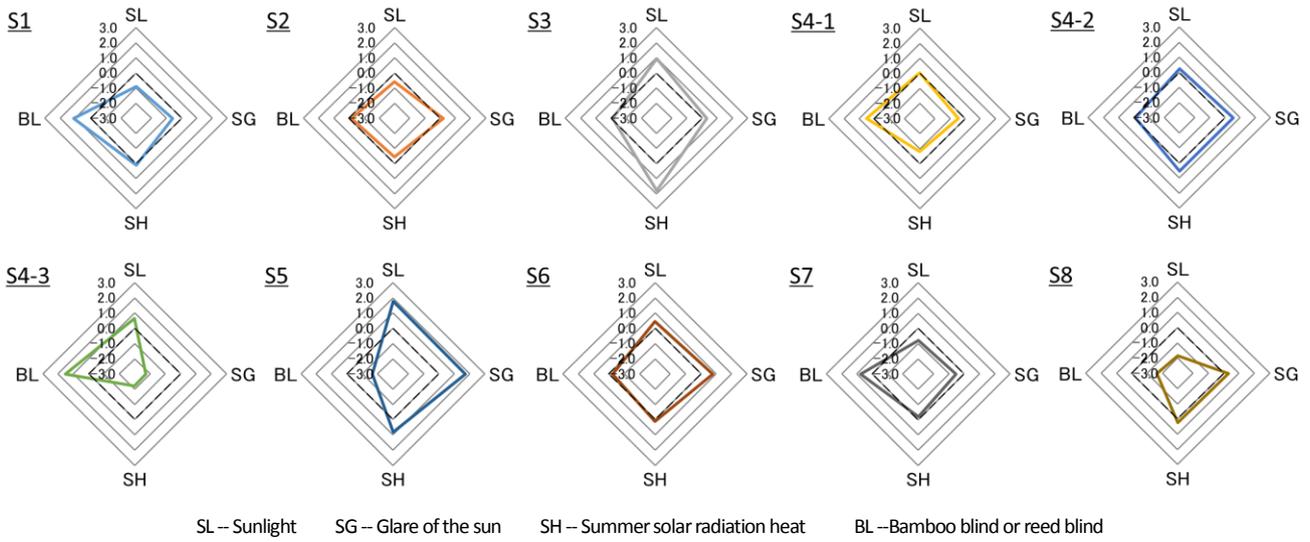
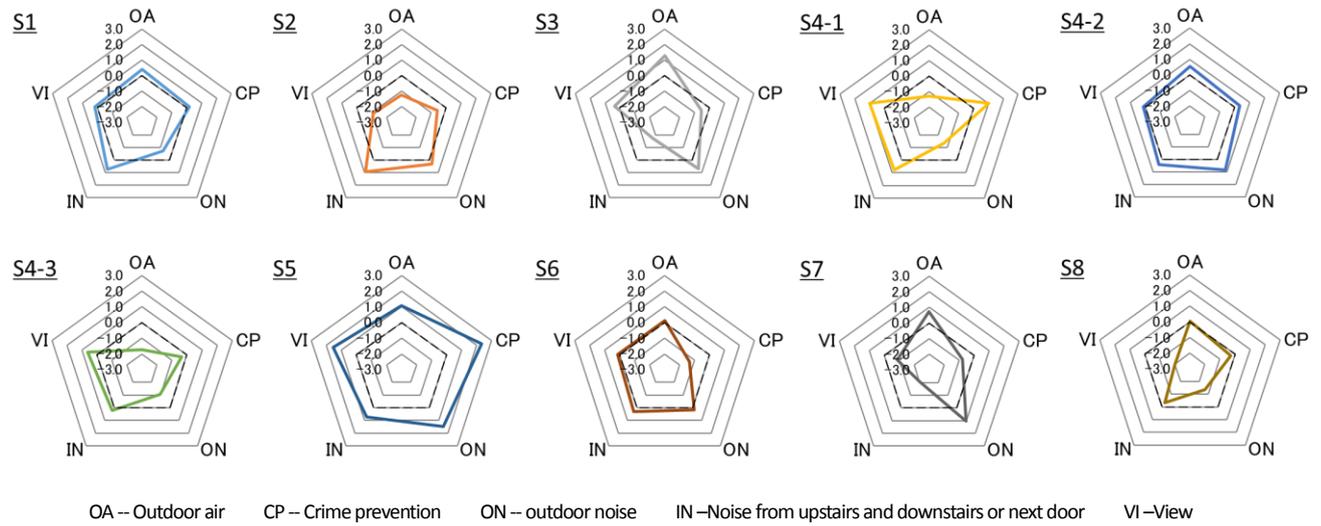


Fig.2 Dwelling Attributes

Light environment :



Outdoor environment :



Indoor environment :

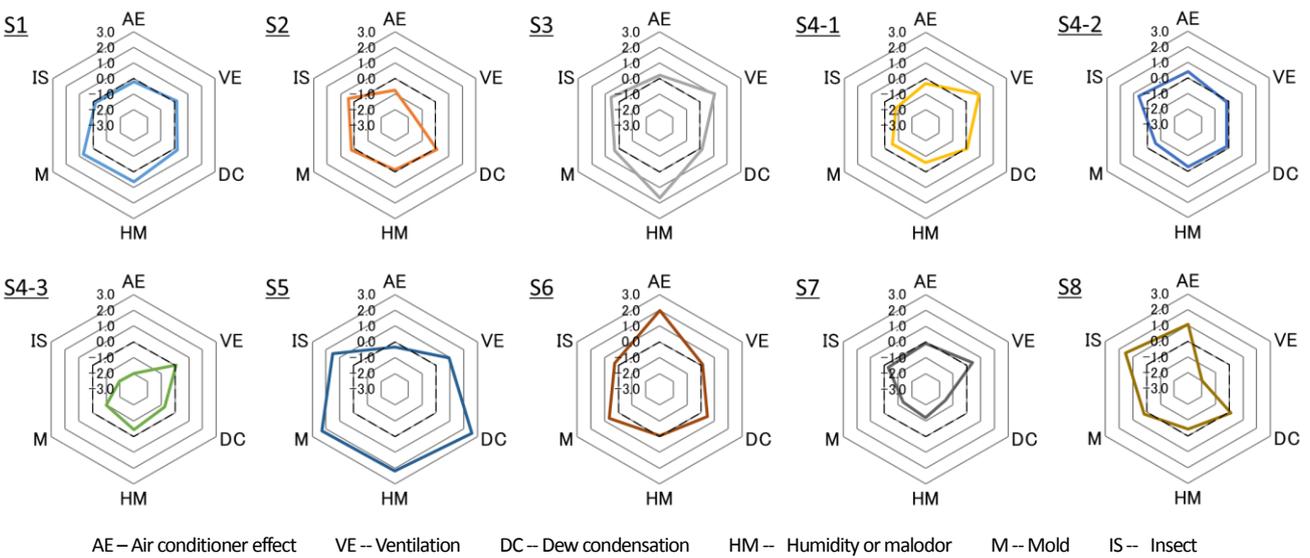


Fig.3 Score of subjective evaluation of living environment

が高く、「日射しの眩しさ (以降眩しさ)」と「日射」が低い。S5は「日当たり」と「眩しさ」と「日射」が高く「すだれ」が低い。S6は「眩しさ」が高く、S7は「すだれ」が高く、S8は「日当たり」と「すだれ」が低い。S2、S4-1、S4-2は4項目とも平均点に近く、特徴がない。

室外環境では、S5は全般的に高く、S1とS4-2は平均点に近い。S2は「外の空気 (空気)」と「眺め」が低く、「上下階や隣戸の騒音 (隣戸騒音)」が高い。S3は「空気」が高く「隣戸騒音」が低い。S4-1は「空気」と「外の騒音 (騒音)」が低く「防犯」、「隣戸騒音」、「眺め」が高い。S4-3は「空気」と「騒音」が低い。S6は「防犯」が低い。S7は「空気」と「騒音」が高く「隣戸騒音」が低い。S8は「騒音」と「眺め」が低い。

室内環境では、S3とS6は全般的に高くS4-3は全般的に低い。S5は「冷房効き」以外高い。S1とS4-2は平均点に近い。S2は「冷房効き」と「風通し」が低い。S4-1は「風通し」が高い。S7は「結露」、「湿気や臭い」、「カビ」が低い。S8は「風通し」が低く「冷房効き」と「虫」が高い。

7. 環境意識

図4に冷房使用時期の電気代意識を示す。S1とS3は「気になるので節約する」が42.6%、45.6%と多い。S2とS7は「気になるが仕方ない」が65.7%、64.3%と多い。S8は「ほとんど気にしてない」が18.9%と多い。

環境意識として「自然の風で過ごしたい」、「衣類や寝具により温度調節」、「都市高温化や地球温暖化に関心」、「暑さや寒さに敏感」、「節水」、「節電」、「温暖化実感」について、得点=3×「かなり当てはまる」割合+2×「当てはまる」割合+1×「少し当てはまる」割合として算出した。環境意識が高いほうが得点が高い。

図5に各類型の環境意識の標準化得点を示す。S1は得点が全般的に高く、S2は全般的に低く、S4-1、S4-2、S6、

S7は平均値に近い。S3は「衣類や寝具により温度調節 (以降調節)」と「暑さや寒さに敏感 (敏感)」以外が高く、S4-3は「調節」と「都市高温化や地球温暖化に関心 (関心)」と「温暖化を実感 (実感)」が高く「敏感」が低く、S5は「関心」と「敏感」が高く「実感」が低く、S8は「敏感」以外低い。

8. まとめ

大阪の集合住宅居住者1616人の調査データを冷房、扇風機および自然通風の主観的な使用頻度に基づき類型S1~S8にクラスター分析により分類し、抽出された各類型の住環境評価と居住者の環境意識の特徴を調べた。その結果、1) 冷房使用頻度が低く扇風機使用頻度が高く日中も就寝中も窓開放頻度が高いS1は、日当りの評価が低く、すだれやよしずの設置率が高く、環境意識が全般に高く、冷房料金が気になるので節約する、とする割合が高い、2) 冷房使用頻度が高く日中も就寝中も窓閉鎖頻度が高いS2は、外気、眺望、冷房効率、風通しの評価が低く、環境意識が全般的に低く、冷房料金が気になるが仕方ない、とする割合が高い、など、住環境や環境意識に特徴がある類型が抽出できることを明らかにした。

文献： 1)張氷ら、空衛・近畿、A-66、2015年、2)林小勇ら、建・近畿、第45号、81-84、2005年、3)野村裕紀ら、空衛・近畿、A-1、2007年、4)坂根達也ら、空衛・近畿、A-65、2011年、5)坂根達也ら、空衛・近畿、A-63、2013年、6)橋良樹ら、空衛・近畿、A-65、2015年、7)孫琳ら、空衛・近畿、A-46、2019年、8)孫琳ら、建築・近畿、105-108、2019年、9)陳宇航ら、空衛・近畿、A-50、2018年

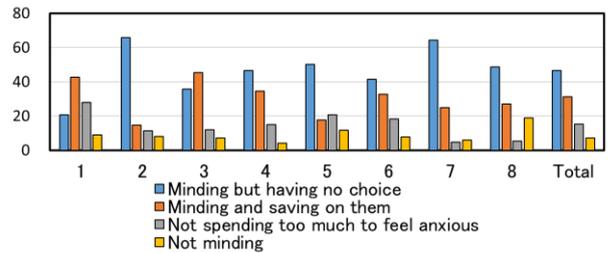


Fig.4 Awareness of cooling bill

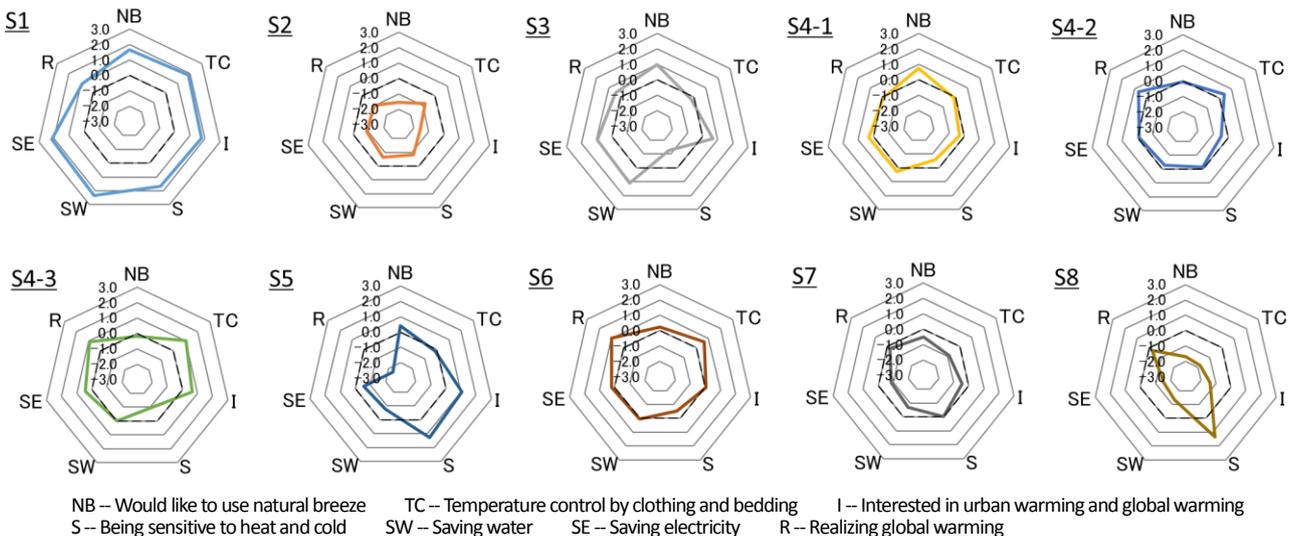


Fig.5 Score of environmental consciousness

夏季の住宅における冷房、扇風機、および自然通風の使用程度の相互関係 Relationship among degree of air-conditioners, electric fans and natural ventilation use in apartments in summer

○朝岡 勇登 (大阪市立大学) 梅宮 典子 (大阪市立大学) 遠藤 立城 (大阪市立大学)

Yuto ASAOKA*¹ Noriko UMEMIYA*¹ Tatsuki ENDO*¹

*¹ Osaka City University

Electric fan is more inexpensive, handier and less electric power than air conditioner. Recently its demand is increasing, but the number of its shipments decreased. I research electric fan use through questionnaire survey in 2004, 2011 and 2017. Results elucidated the following for electric fan use: 1) The more they use air conditioners, the less they open windows during awake and sleep. Air conditioner use and electric fan use do not have a relationship. The more they use electric fan, the more they open windows during awake. 2) Reluctant directivity of cooling use electric fan in 2011. Those who have high consciousness of power saving use electric fan. 3) Those who have bad circulation use electric fan.

1. 研究の背景と目的

扇風機には気流感を上げることによって暑熱感を緩和する効果があり、エアコンと比べると使用電力が少なく、安価で、持ち運び可能である。東日本大震災後の電力不足の時期には、扇風機の売り切れが続出し、最近では携帯型小型扇風機が2019年に10~30代を中心に流行した。しかし家庭用扇風機の出荷台数は1990年に368万台、2000年に249万台、2004年に167万台と減少している¹⁾。

飯野ら(2012年)²⁾は関東圏内一都三県での小学校の扇風機の設置率は約76%であり、エアコン設置校より扇風機のみを設置している学校の方が児童の平等な温熱環境を保つことが難しいとした。中垣ら(2015)³⁾によると、パソコン演習室における温熱快適性分布は、熱負荷のない状況下では、空調設備の設定温度を25℃にして扇風機を併用すれば室内の温度分布は均一になり温熱快適性の向上も期待できるが、空調吹出口直下の局所的な寒さによる不快感は解消できなかったと述べている。

本報は住宅における扇風機の使用程度に関して、冷房や自然通風の使用との関係を明らかにする。具体的には、1)扇風機と冷房、通風の主観的使用程度の相互関係を明らかにし、扇風機使用程度と2)意識及び3)体質との関係について分析したので報告する。

2. 調査方法

2004年、2011年および2017年に大阪市住吉区周辺の6~14階建て、片廊下型の家族向け集合住宅の同じ住棟26棟にアンケート票を配布し、入居1年未満は入居して

からの期間が短く回答の信頼性が低いので除いて2004年257通、2011年185通、2017年191通を分析する(回収率16.3%、11.1%、10.4%)。分譲と賃貸、民間と公的が偏らないように配布時に調節した。

調査項目は、1)住戸属性:居住階、面積、間取り、築年数、2)住環境主観評価:自宅の日当たり、風通し、空気、騒音、防犯、においや湿気のこもりやすさ、虫の発生、冷房暖房の効き、自宅の夏の暑さ、3)回答者属性:a)年齢、性別、家族構成、出身地、職業、在宅時間、b)暑さ寒さ耐性、発汗傾向、冷え性の有無などの体質、健康状態、c)冷房指向性、電気代意識などの環境意識、生活時間や節電などの習慣、4)扇風機、エアコンの保有台数や使用程度、窓開閉程度、5月と8月の電気料金、ほかである。

3. 調査対象の構成

回答者は60代21.9%、50代21.4%、40代17.7%、男性が37.2%、世帯人数は2人21.9%、3人21.4%、1人17.7%、職業はフルタイム35.3%、無職30.3%、専業主婦19.6%、住戸面積は50~69㎡が54.3%を占め、居住階数は平均6.1階で標準偏差3.4階である。

保有台数は扇風機が1台39.6%、2台35.2%、3台12.8%、エアコンが1台22.2%、2台38.5%、3台27.9%である。(図略)

4. 扇風機、冷房、通風の利用程度

4.1 利用程度の出現頻度 (図1)

扇風機は「よく使う」42.2%、次いで「非常によく使

う(以降「非常に」と略)24.2%、「時々使う(以降「時々」)22.6%、冷房は「よく使う」45.5%、ついで「時々」27.0%、「非常に」17.9%で、扇風機と冷房は同様の分布性状であるが冷房のほうが使わない側に寄っている。

窓は起床中では「開けておくことが多い(以降「開多い」)」が64.5%で特に多く、就寝中は「閉めることが多い(閉多い)」35.5%と「開多い」32.2%が拮抗している。

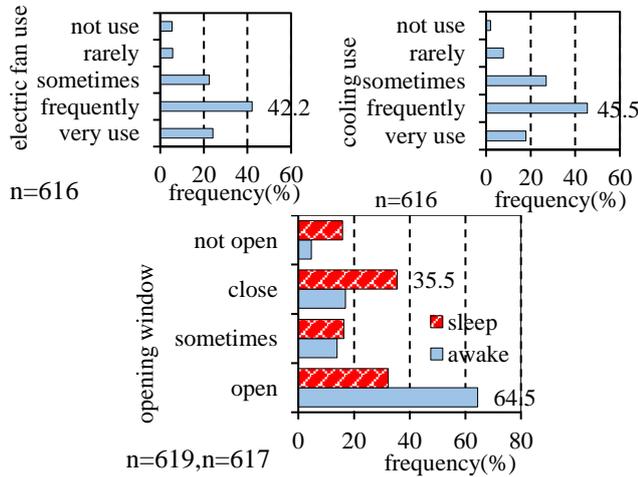


Figure 1 Frequency distribution of electric fans, ACs and windows use

4.2 使用程度の相互関係

4.2.1 カテゴリーごとの出現頻度 (図2)

4.2.1.1 扇風機と冷房 (図2 a)に扇風機使用の各段階における冷房使用程度の分布を示す。扇風機使用と冷房使用の一様性検定の有意水準は $p = .0649$ であり、冷房「時々」及び冷房「ほとんど使わない」は、扇風機使用程度によらずほぼ一定である。

4.2.1.2 扇風機と通風 (図2 b) 起床中は、扇風機を使うほど窓「開多い」が 36.4%、55.9%、57.0%、71.3%、68.5%と増える ($p < .0001$)。一方、就寝中は、扇風機使用と窓開放は関係がない。

4.2.1.3 冷房と通風 (図2 c) 起床中も起床中も、冷房を使うほど窓を閉める (いずれも $p < .0001$)。すなわち起床中も就寝中も冷房と通風は補い合う関係にあり、

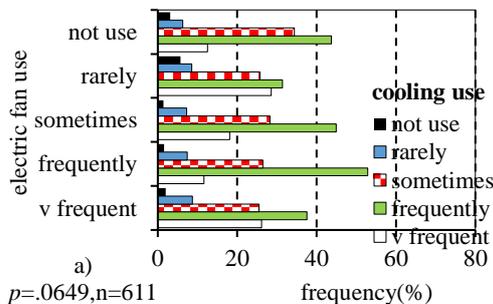


Figure 2(a) Relation with electric fans and ACs use

また起床中に扇風機と通風は併用される傾向にあるのに対し、冷房使用程度と扇風機使用程度の関係は弱い。

4.2.2 2段階での出現頻度

4.2.2.1 冷房使用・不使用別の扇風機と通風 (図3a)

冷房「非常によく使う」と「よく使う」を使用側、それ以外を不使用側とする。起床中は使用側不使用側ともに、扇風機を使うほど窓「開多い」が多く「全閉」が少ない。「開多い」は、扇風機「非常によく使う」で冷房使用側 55.8% 不使用側 90.7%、扇風機「よく使う」で冷房使用側 60.4% 不使用側 91.2%であり、冷房不使用側の方が扇風機を使うほど窓を開ける ($p = .0009$)。また就寝中は扇風機使用の各段階で、冷房使用側では「開多い」が、冷房不使用側では「開多い」が最多であるが両側とも有意ではない。すなわち、冷房の使用側不使用側に問わず扇風機使用と就寝中の窓開放は関係しない。

4.2.2.2 窓開側閉側別の扇風機と冷房使用 (図3 b)

起床中及び就寝中の窓開放「開多い」と「日によって異なる」を開側、それ以外を閉側とする。

a) 起床中 窓開側では冷房「時々使う」も「ほとんど使わない」も扇風機使用程度によらず一様である。窓閉側では冷房「時々使う」は扇風機使用程度が高いほうが低い傾向があるが有意ではない ($p = .2145$)。すなわち起床中は、開側閉側ともに扇風機使用程度と冷房使用程度は関係しない。

b) 就寝中 開側では冷房「時々使う」も「ほとんど使わない」も扇風機使用程度によらず一様である。窓閉側では扇風機使用の、各段階で冷房「よく使う」が最も多いが有意ではない。すなわち就寝中も、開側閉側ともに扇風機使用程度と冷房使用程度は関係しない。

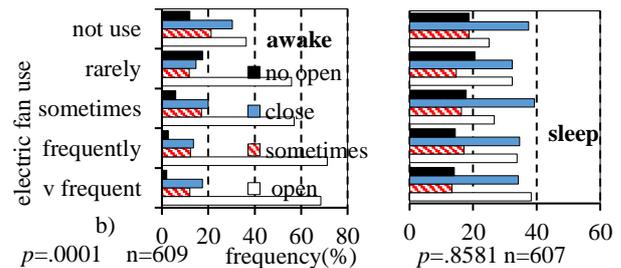


Figure 2(b) Relation with electric fans and windows use

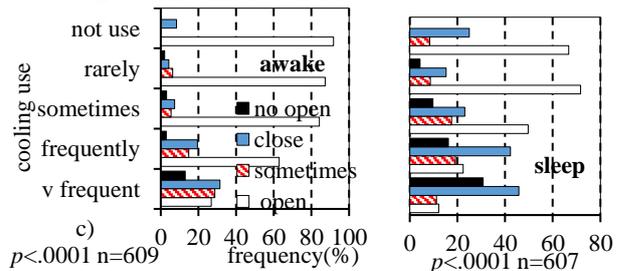


Figure 2(c) Relation with ACs and windows use

Figure 2 Relation among electric fans, ACs and windows use

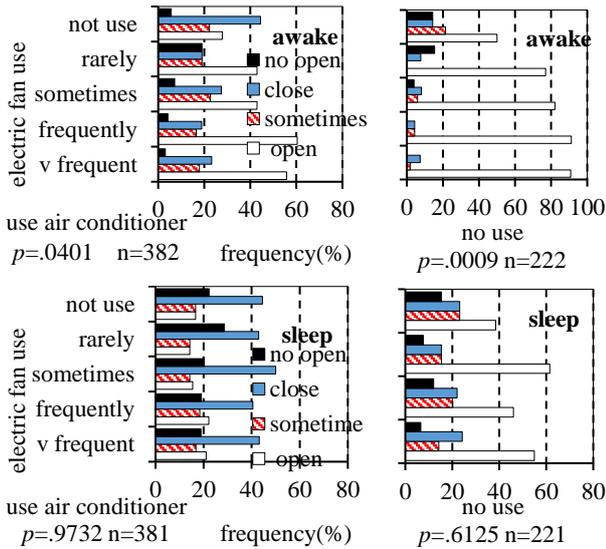


Figure 3(a) Relation with electric fans and windows use by ACs use and non-use

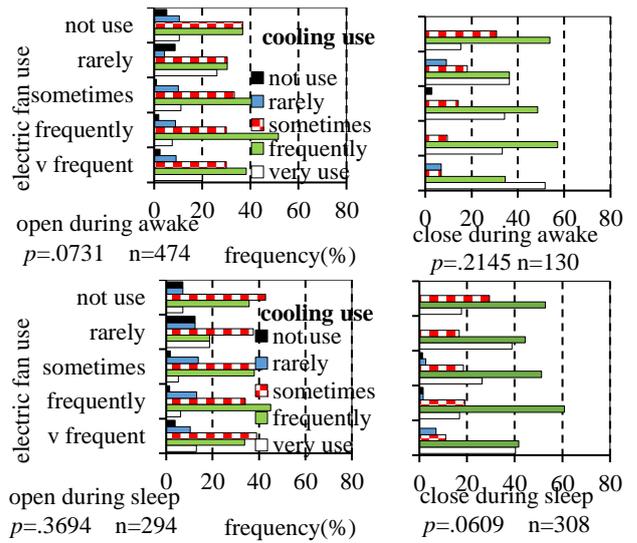


Figure 3(b) Relation with electric fans and ACs use by open and close windows

5. 体質や意識と扇風機使用程度との関係

5.1 体質や意識の出現頻度 (図 4)

耐暑性は「普通」52.4%、「弱い」26.3%、耐寒性は「普通」44.4%、「弱い」32.6%、冷え性は「ある」39.5%、「ない」34.1%、汗は「よくかく」45.7%、「人並み」42.3%である。冷房指向性は「消極的」67.6%、「積極的」16.9%で、東日本大震災後の2011年の調査でも「消極的」は69.7%である。節電習慣は「ある」が37.2%で、京都議定書発効直前の環境への関心が高まったと思われる2004年の調査でも36.9%である。

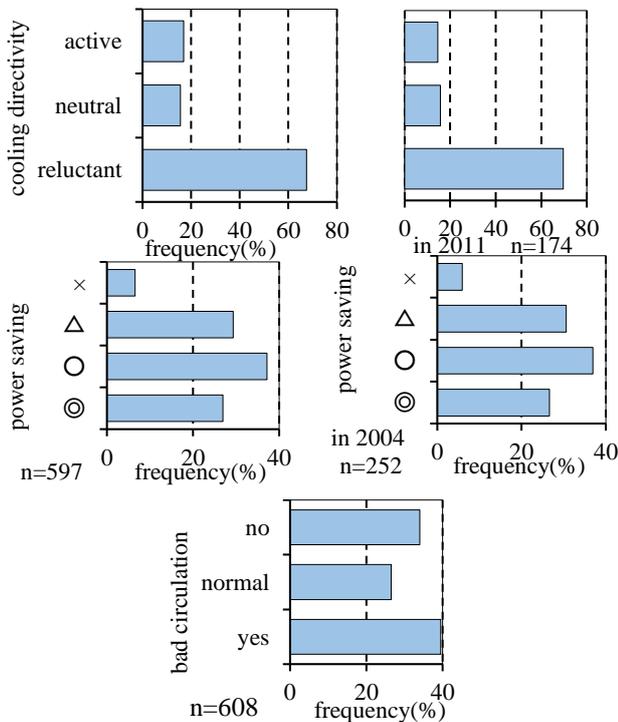


Figure 4 Frequency distribution of constitution and consciousness

5.2 意識と扇風機使用程度の関係

5.2.1 冷房指向性 (図 5 a) 冷房指向性は扇風機使用程度と関係がない ($p=.5653$) が、2011 年は消極派が積極派より扇風機を使う傾向がある ($p=.0245$)。冷房の代わりに扇風機を使ったと言える。

5.2.2 節電 (図 5 b) 節電意識「かなり当てはまる」は扇風機使用程度が高いと 18.8%~32.6%まで上がり、節電意識が高いほど扇風機を使う ($p=.0454$)。2011 年と2017 年の調査では扇風機使用と節電意識の関係はないが、2004 年は関係する傾向がある ($p=.051$)。

5.3 体質と扇風機使用程度の関係

5.3.1 冷え性 (図 5 c) 扇風機「よく使う」は冷え性「ある」が 48.3%で、冷え性の場合には扇風機を使う弱い傾向があるといえる ($p=.1317$)。

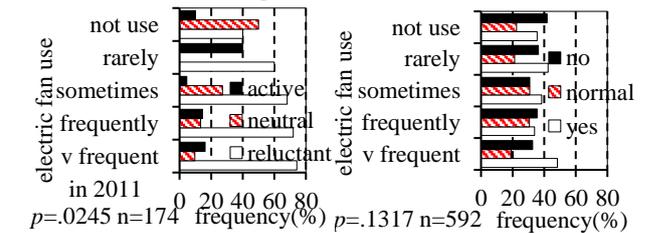


Figure 5(a) Relation with electric fans and directivity of cooling

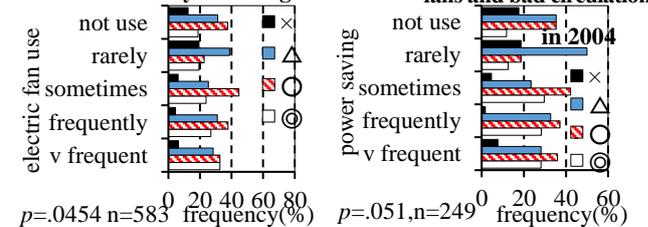


Figure 5(b) Relation with electric fans and consciousness of power saving

Figure 5 Relation among electric fans, constitution and consciousness

一方、耐暑性や耐寒性、発汗傾向は、扇風機使用程度とは関係しない ($p=0.6639$, $p=0.2643$, $p=0.1484$) (図略)。

5.4 冷房指向性消極側積極側別の使用程度の相互関係

5.4.1 扇風機使用程度と冷房使用程度

積極側で扇風機使用程度と冷房使用程度は少し関係がある ($p=0.0606$) (図略)。

5.4.2 扇風機使用程度と窓開放程度

a) 起床中 (図 6) 冷房指向性消極側では扇風機を使うほど窓を開ける ($p<0.0001$) が、積極側では扇風機使用程度と窓開放程度の関係はない ($p=0.4727$)。すなわち、起床中に扇風機と窓開放を併用する傾向は、冷房指向性が消極的である人のみにある。

b) 就寝中 消極側と積極側どちらも扇風機使用程度と窓開放程度は関係しない ($p=0.9319$, $p=0.8872$) (図略)。消極側ではすべての扇風機使用程度で窓「開多い」が最も高く、積極側ではすべての扇風機使用程度で窓「開多い」が最も高い。

5.5 節電意識「高い側」「低い側」別に見た使用程度の相互関係

節電意識「かなり当てはまる」及び「当てはまる」を高い側、それ以外を低い側とする。

5.5.1 扇風機使用程度と冷房使用程度

節電意識の高い側低い側どちらも、扇風機と冷房の使用程度の関係は弱い ($p=0.1222$, $p=0.0624$) (図略)。

5.5.2 扇風機使用程度と窓開放程度

a) 起床中 (図 7) 節電意識高い側では扇風機を使うほど窓を開ける ($p=0.0216$) が、低い側では扇風機使用程度と窓開放程度の関係は弱い ($p=0.1131$)。

b) 就寝中 節電意識高い側低い側どちらも扇風機使用程度と窓開放程度の関係はない ($p=0.3417$, $p=0.7907$) (図略)。

5.6 冷え性「ある側」「ない側」別に見た使用程度の相互関係

5.6.1 扇風機使用程度と冷房使用程度

冷え性ある側ない側どちらも扇風機使用程度と冷房使用程度のあいだに関係はない ($p=0.1681$, $p=0.1789$) (図略)。

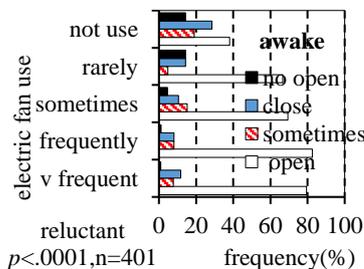


Figure 6 Relation with electric fans and windows use on the side of reluctant

5.6.2 扇風機使用程度と窓開放程度

a) 起床中 冷え性ある側ない側どちらも扇風機使用程度が増加すると「開多い」の割合が増加するが関係は弱い ($p=0.1895$, $p=0.1151$) (図略)。

b) 就寝中 冷え性ある側ない側どちらも扇風機使用程度と窓開放程度の関係はない ($p=0.641$, $p=0.5867$) (図略)。

6. 結論

2004年、2011年、2017年において大阪市住吉区周辺の6~14階建て、片廊下型の家族向け集合住宅26棟633通を対象に行ったアンケートを分析した結果、

1) 起床中も就寝中も冷房と通風は補い合う関係にあり、起床中に扇風機と通風が併用される傾向にあるのに対し、冷房使用程度と扇風機使用程度の関係は弱い。起床中に扇風機と通風が併用される傾向は、冷房を使用しない場合の方が顕著である。

2) 扇風機使用程度は冷房指向性とは関係がないが、2011年調査では、消極派が積極派より扇風機を使用している。起床中に扇風機と窓開放を併用する傾向は、冷房指向性が消極的である場合に見られる。節電意識は年別には扇風機使用程度と関係しないが、3年合計では節電意識が高いほど扇風機を使う。起床中に扇風機と窓開放を併用する傾向は、節電意識が高い方が顕著である。

3) 扇風機使用程度は耐暑性や耐寒性、発汗傾向との関係はないが、冷え性があると扇風機を使う傾向がある。

参考文献 1) 日本電機工業会 家庭用電気機器出荷・在庫 2020.7.7 <https://www.jema-net.or.jp/Japanese/data/ka02.html> 2020.12.4 閲覧 2) 飯野由香利ほか: 関東圏内の公立小学校の冷房機器の設置や環境調節行為に関するアンケート調査研究, 建・技術報告集, 40, pp995-998, 2012.10 3) 中垣康平ほか: パソコン演習室における温熱快適性分布の改善, 空・衛大会論文集, 618, pp33-36, 2007.8

◎ : かなり当てはまる	○ : 当てはまる
× : 当てはまらない	△ : 少し当てはまる

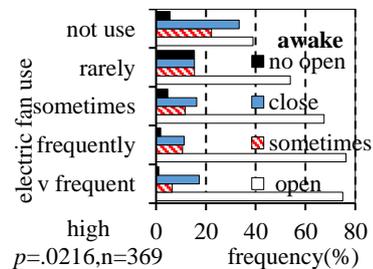


Figure 7 Relation with electric fans and windows use on the side of high consciousness

夏季睡眠時における冷房使用と通風利用のあいだの住戸属性および居住者属性の比較 Comparison of Apartment and Occupant Characteristics between Air-conditioner Users and Natural Ventilation Users during Sleep in Summer

○陳 宇 航 (大阪市立大学) 梅 宮 典 子 (大阪市立大学)

Yuhang CHEN*1 Noriko UMEMIYA*1

*1 Osaka City University

This survey compared apartment and occupant characteristics of air conditioner (AC) users and natural ventilation (NV) users based on 112 respondents on a total of 578 nights for four years in collective housing in Osaka. 1) Apartments facing southward use AC. Those facing westward use NV. 2) Apartments with old insulation levels tend to use AC; new ones tend to use NV. 3) Apartments of quiet, good sunlight use NV. Residents who use AC are anxious about security, difficulties of condensation, odors, and mold. 4) Residents using NV sleep in quiet rooms with good ventilation, good views, solar heating, but with few difficulties of condensation, odors and mold. Sleeping rooms with good sunlight and efficient cooling use AC.

1. 目的と背景

既報では夏季睡眠時における温熱環境調節パターンの出現率上位5パターンについて分析した結果、1) 居住人数が多い住戸が冷房を使用、2) 全時間冷房使用する場合、結露、におい、カビの問題があると評価、3) 冷房を使用する場合、騒音がうるさい、防犯が気になると評価、5) 通風に扇風機併用は通風のみより寝室満足度が低い、ことなどを示した¹⁾。本報は冷房使用と通風利用のみ注目し、住戸属性、居住者属性、温熱環境、温熱感覚、冷房への意識について、冷房使用と通風利用のあいだで比較したので報告する。

2. 方法

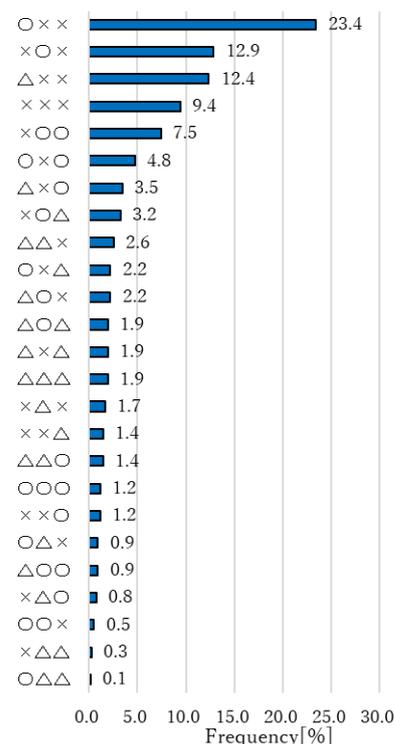
2015年、2016年、2017年、2019年のべ112戸578晩を分析する。寝室の温熱環境を10分間隔で測定し睡眠他の申告調査を7日間実施した。冷房や扇風機の使用、窓開・閉、寝室の在室、睡眠時間帯については30分間隔で「冷房使用日誌」に記入し、毎朝起床時に前晩の睡眠の質や温熱感覚を申告する。

3. 調節パターンの定義と出現率

fig.1 に温熱環境調節パターンの出現率を示す。全時間冷房のみ使用○××が出現頻度23.4%で1位、一時冷房のみ使用△××が出現頻度12.4%で3位、全時間冷房使用かつ通風不使用○×○が出現頻度4.8%で6位、一時冷房使用かつ全時間扇風機使用△×○が出現頻度3.5%で7位、全時間冷房かつ一時扇風機併用○×△が出現頻度2.2%で10位、一時冷房使用かつ一時扇風機併用△×△が出現頻度1.9%で13位である。以上、冷房を一時的にでも使用しかつ通風を全く使わないパターンを総称して、「冷房使

用」と定義する。出現頻度48.1%である。

また、全時間通風のみ使用×○○が出現頻度12.9%で2位、全時間通風と扇風機併用×○○が出現頻度7.5%で5位、全時間通風+一時扇風機併用×○△が出現頻度3.2%、8位、冷房や扇風機は不使用で一時通風のみ使用×△×が出現頻度1.7%15位、一時通風+全時間扇風機併用×△○が出現頻度0.8%22位、一時通風+一時扇風機併用×△△が出現頻度0.3%24位を合計して、通風を一時的にも使用しかつ冷房を全く使用しないパターンを「通風利用」



とする。出現頻度26.3%である。

fig.2 に示すように、「冷房使用」と「通風利用」で睡眠時の平均温熱環境を比較すると、冷房使用のほうが通風利用より、室温、室内SET*、室内WBGTが低く(いずれも $p < 0.0001$)、外気温が高い($p = 0.0154$)。

fig.1
 Thermal control pattern

4. 住戸属性の調節パターンによる比較

4.1 居住人数 (fig.2)

居住人数は、「冷房使用」で 2.5±1.1 人、通風利用で 2.1±1.0 人で冷房使用のほうが家族人数が多い (p<0.0001)。

寝室寝る人数は冷房使用で 1.8±0.8 人、通風利用で 1.2±0.5 人で、房使用のほうが多い (p<0.0001)。fig.2 に家族人数と寝室寝る人数の割合分布を示す。通風利用は「1人」で寝るが多く、冷房使用は「3人」、「4人」が多い (p=0.0002)。通風利用で1人が 78.5%が最も多い。冷房使用では「2人」が48.2%、次いで「1人」が38.7%である (p<0.0001)。

居住人数、寝室寝る人数ともに、通風利用の場合の方が多く、寝る人数は1人が7割合以上である。家族人数が少ない、寝室寝る人数が少ない場合は睡眠時に冷房より通風を利用する傾向があると言える。

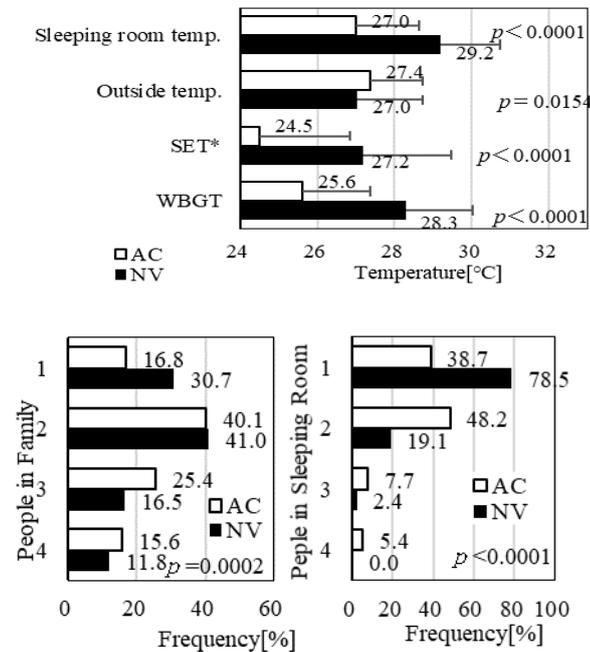


fig.2 Thermal environment, People in the family and room

4.2 居住階、断熱水準、方位 (fig.3)

居住階は、冷房使用 5.6±3.5 階、通風利用 5.8±3.4 階で、居住階の平均値に差はない (p=0.3992)。

住戸面積は、冷房使用 58.8±13.5 m²、通風利用 60.9±17.1 m²で、通風がやや広いが、平均値に差はない (p=0.1435)。

省エネ基準は竣工年に基づき「平成3年以前」、「平成4年～10年」、「平成11年以降」の3段階に分けると、冷房使用の場合は通風利用より「平成3年以前」が多く (一様性検定で p<0.0001)、断熱水準が低い建物は通風よりも冷房を使用する。

『主なベランダの向き』の割合分布は、冷房使用と通風利用では、冷房使用のほうが南向き住戸が多い (p<0.0001)。東向き住戸の割合には差はない (p=0.7759)。

通風利用は西向き 15.2%が有意に多い (p<0.0001)。南向き住戸は通風を、西向き住戸は冷房を使うと言える。

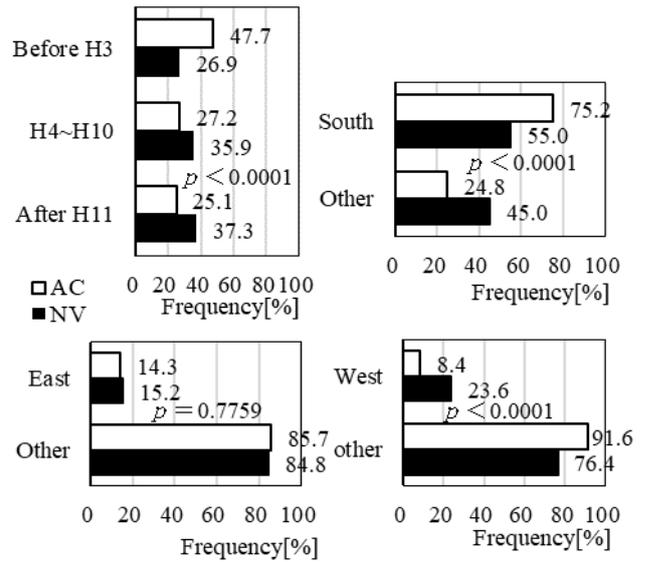


fig.3 Year of completion, direction of apartments

4.3 住環境

(1)住戸全体 (fig.4)

住環境は居住者による主観的な評価をもとに比較する。冷房使用と通風利用では、全方位合計では通風利用のほうが『風通し』が良い傾向がある (p=0.08)。南向きでは風通しによる差はない (p=0.7409)。東向きでは通風利用のほうが風通しが良い (p<0.0001)。西向きでは風通しによる差はない (p=0.3625)。

冷房使用より通風利用のほうが『日当たり』がよく (p<0.0001)、『窓や壁にカビ』が少なく (p=0.0022)、『日射熱』が煩わしくなく (p=0.0043)、『上下階隣戸の騒音』が静か (p<0.0001)、「通風だけでも暑さをしのげる」 (p<0.0001)、『虫』が少ない (p=0.024)。通風利用より冷房使用のほうが『結露』が多く (p=0.0065)、『湿気や匂い』がこもりやすく (p=0.0157)、『室外の視線』が気になり (p<0.0001)、『防犯』に気をつけている (p<0.0001)。

住戸の『風通し』、『ベランダからの眺望の良さ』、『冷房の効き』、『暖房の効き』、『外の空気』、『窓の日差し』、『近隣の騒音』、『住環境満足度』には、冷房使用と通風利用に差はない。建物外の騒音は睡眠時に窓を閉めて冷房か窓を開けて通風かの選択に影響しない。

冷房使用と通風利用では、『自宅の冷房性能の満足度』(2段階に集約)に差はない。(p=0.2374)

(2) 寝室 (fig.5)

寝室についても同様に比較すると、通風利用のほうが寝室の『風通し』が良く (p<0.0001)、『日当たり』が良く (p=0.0009)、『ベランダからの眺望』が良く p=0.0036)、『冷房の効き』が効きやすく (p=0.0004) 『結露がほとんどない』が多く (p=0.0022)、寝室に『湿気や匂い』

がこもりにくく、($p=0.0446$)、『カビ』が少なく ($p=0.0049$)、『日射熱』が煩わしくなく ($p<0.0001$)。『窓の日差し』がまぶしくなく ($p=0.0637$)、『上下階隣戸の騒音』が静か ($p<0.0001$) である。

冷房使用では 17.4%が『防犯意識』が有意に「気をつけている」が多い ($p<0.0001$)。

寝室の『暖房の効き』、『外の空気』、『窓の日差し』、『虫の発生程度』、『近隣の騒音』、『室外の視線の程度』には、冷房使用と通風利用のあいだで差がない。

5. 居住者属性の調節パターンによる比較

5.1 居住者基本属性

平均年齢±標準偏差は、冷房使用で 50.2±14.9 歳、通

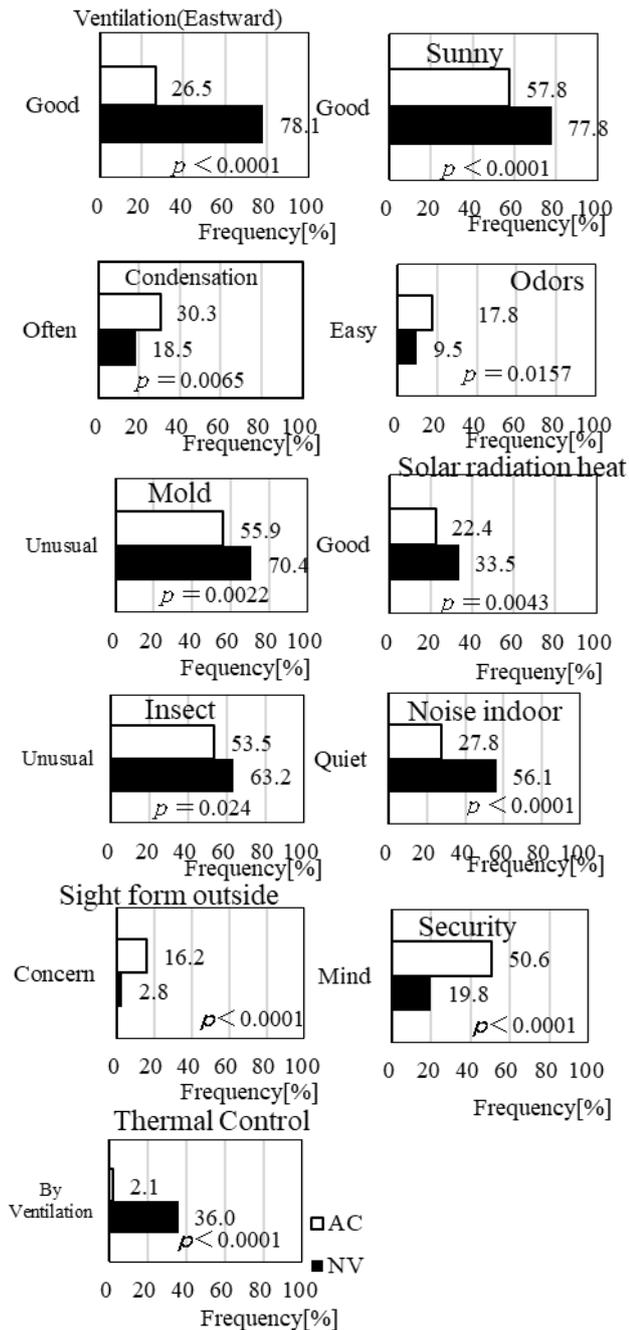


fig.4. Living environment evaluation (Apartment)

風利用で 60.2±14.2 歳であり、通風利用のほうが冷房使用より 10 歳年上である ($p<0.0001$)。年長のほうが通風利用になる。性別では冷房使用で男性 35.3%、通風利用で 39.0%であり、性別によって調節パターンの出現率に差はない。職業では有職者の割合は、冷房使用で 62.0%。通風利用で 67.2%であり、職業によっても調節パターンの出現率に差はない。

5.2 冷房使用 (fig.6)

通風利用のほうが冷房設定温度の下限が低い ($p=0.0214$)。冷房設定温度の上限には、冷房使用と通風利用のあいだで差はない。

5 月の電力使用量は、冷房使用パターンの住戸で 239.2±144.7kWh、通風利用パターンの住戸で 212.5±113.1 kWh である。中間期において冷房使用パターンの住戸のほうが使用量がやや多い ($p=0.0986$)。8 月の電力使用量は、冷房使用パターンの住戸で 373.2±178.5kWh、通風利用パターンの住戸で 305.6±167.4 kWh であり、冷房使用住戸のほうが多い ($p=0.003$)。

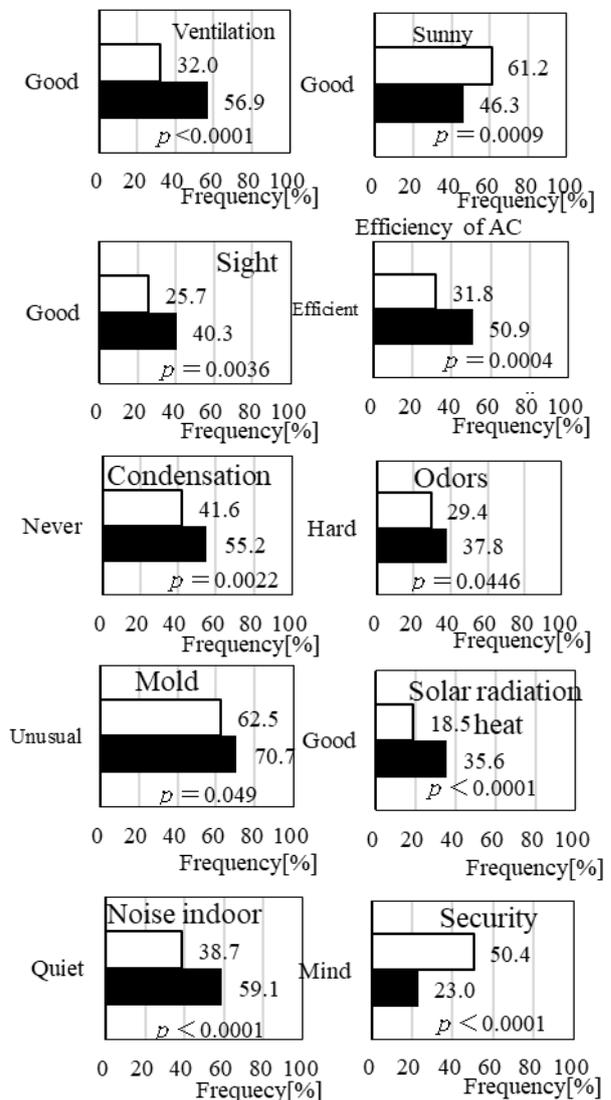


fig.5. Living environment evaluation (Sleeping room)

冷房電力使用量を【8月電力使用-5月電力使用量】と定義すると、冷房使用パターンに住戸で134.1±94.0kWh、通風利用パターンに住戸で93.1±79.9 kWhであり、冷房使用住戸のほうが多い ($p=0.0005$)。

5.3 環境に関する意識・習慣 (fig.7)

環境に関する意識の設問に対して、選択肢を「かなり当てはまる」が1、「当てはまる」が2、「少し当てはまる」が3、「当てはまらない」が4と数値を与える。冷房使用と通風利用のそれぞれの平均値から見ると、「夏はできるだけ自然の風で過ごしたい ($p<0.0001$)」、「外とのつながりが感じられる方がいい ($p<0.0001$)」、「自然の中の暮らしにあこがれる ($p<0.0001$)」、「暑さ寒さは気の持ちようで変えられる ($p=0.0004$)」、「地球温暖化問題に関心がある ($p=0.0429$)」、「電気料金の値上げが気になっている ($p=0.0047$)」は、いずれも通風利用のほうが冷房使用より当てはまる。

一方、「暑さ寒さには敏感な方だと思う」、「衣類や寝具による温度調節をこまめにしている」、「洗剤など、環境にやさしい商品を使う」、「節水」や「節電」、「自宅の照明の省エネに気を配っている」、「震災の前は節電していなかった」、「熱中症を気にしている」、「原子力発電に頼りたくない」、「都市高温化を実感している」には、冷房使用と通風利用のパターン出現率に差がない。

6. 結論

夏季睡眠時の温熱環境調節において冷房使用と通風利用の選択傾向を大阪の集合住宅で比較した。1)居住階や住戸面積によって冷房と通風の選択傾向に差はない。南向きは冷房、西向きは通風、断熱水準が古い場合は冷房使用のことが多い。2)『日当たり』良い、『上下階隣戸の

騒音』静か、『日射熱』煩わしくなく、『虫』多い住戸は通風のことが多い、『室外の視線』気になる、『防犯意識』高い、『結露』、『カビ』、『湿気や匂い』多い住戸は冷房のことが多い。『風通し』、『眺望』、『冷房の効き』、『暖房の効き』、『外の空気』、『窓の日差し』、『近隣の騒音』『住環境満足度』によっては住戸で冷房と通風の選択傾向に差はない、3)『風通し』良い、『日射熱』煩わしくない、『上下階隣戸の騒音』静か、『防犯意識』高い、『眺望』よい、『結露』ない、『湿気や匂い』こもりにくい、『カビ』少ない寝室は通風利用のことが多い、『日当たり』良い、『冷房の効き』よい寝室は冷房のことが多い。寝室の『暖房の効き』、『外の空気』、『窓の日差し』、『虫』、『近隣の騒音』、『視線』によっては寝室での冷房と通風の選択傾向に差はない、4)単身世帯、同室就寝人数が少ない、年長の場合、通風利用のことが多い。5)外界指向性、自然指向性、地球環境問題への関心、電気代意識は冷房と通風の選択傾向に影響するが、環境低負荷商品の使用、節電、節水の習慣や熱中症予防意識、都市高温化の実感によっては冷房と通風の選択傾向に差はない。

参考文献 1)陳ほか:夏季の寝室における温熱環境調節パターンと居住環境、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究論文集、A64、2018年 2)山本ほか:中高年・高齢者を対象としたOSA睡眠感調査票(MA版)の開発と標準化、脳と精神の医学、10、pp. 401-409、1999年

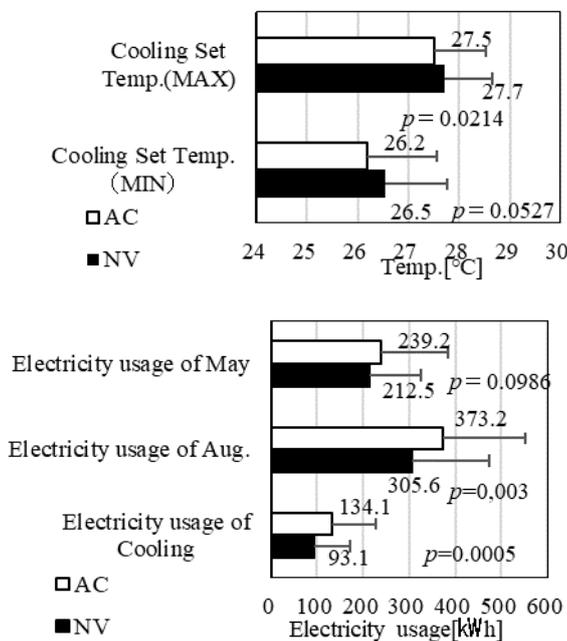


fig.6. Set Temperature of cooling, Electricity

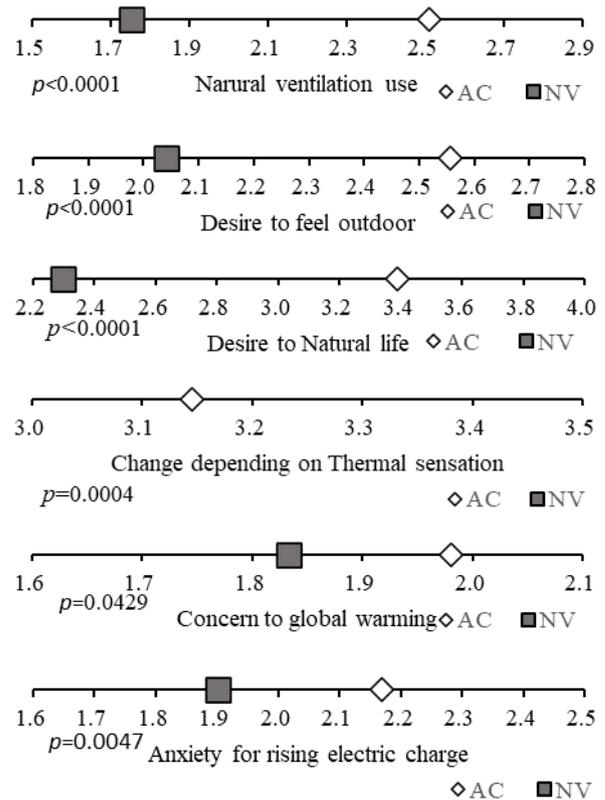


fig.7 Environmental awareness

リビング内エアコンの吹出し方向・フード排気量の違いが 夏季住宅台所の温熱環境に与える影響の評価

Evaluation on Effects of Differences in both Blowing Direction from Air Conditioner and Amounts of Hood Exhaust on Thermal Environment in Housing Kitchens in Summer Season

○木村 美文 (奈良女子大学) 吉田 伸治 (奈良女子大学)

Mifumi KIMURA*1 Shinji YOSHIDA*2

*1 Nara Women's University *2 Nara Women's University

The summer environment has deteriorated in recent years, and there is concern about heat stroke in houses. In particular, the kitchen does not have air conditioning equipment and generates heat and humidity by cooking, so there is a risk that the thermal environment will deteriorate. In this paper, an experiment conducted with parameters of the direction of airflow from the air conditioner in the living room, the outflow volume of the exhaust fan, and the cooking time is reported. The relationship between these parameters and the environment in the kitchen is evaluated.

はじめに

近年、夏季の暑熱環境悪化^{1) 2)}に伴い熱中症発症者の増加が多数報告されている。この熱中症による救急搬送は住宅での発症によるものが最も多く、令和元年度の消防庁の統計によると発症場所の約4割が住宅内である³⁾。特に住宅内の台所は、調理による熱、湿気の発生が多く、夏季に暑熱障害を引き起こす可能性が懸念される。本報では、空調方式等の違いが台所内の温熱環境へ与える影響の評価・分析を行う。

1. 測定概要

1.1 測定対象

Table 1に測定対象・期間、Fig.1に測定対象の1F平面図と断面図を示す。対象住宅は地上2階建ての鉄骨造であり、リビング・ダイニング及び台所は1階の南東に位置する。

1.2 測定ケース

測定ケースをTable 2に示す。リビング内に設置されたエアコンの吹出し方向、異なる調理時刻、排気フード風量をパラメータとした以下の5ケースを設定した。まず、エアコンからの吹出し気流が水平で午前10:00から調理を行うものをcase1とする。case1に対して、調理開始時刻を14:00としたものをcase2とした。エアコンからの気流を下吹き出しとしたケースをcase3、case4とする。フード排気量を「強」としたものをcase5とする。case1、case2は8月18日、case3、case4は8月19日、case5は8月20日に測定を行った。

● : Temperature ○ : Glove temperature
◎ : Relative humidity/CO₂ Concentration
△ : Wind Speed

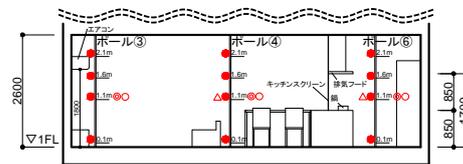
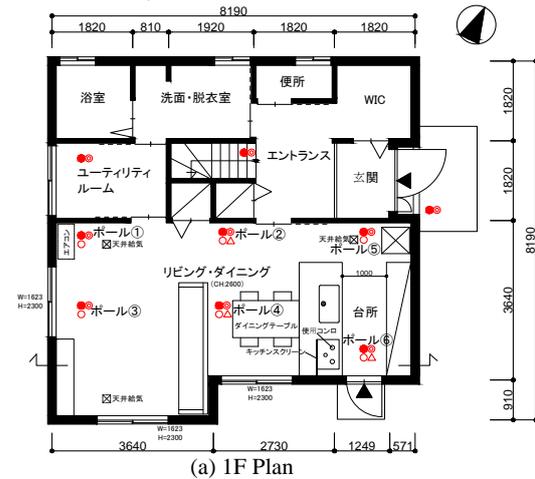


Fig.1 Object Plan

Table 2 Cases

	Airflow direction from A/C	Time range of boiling water	Outflow volume from exhaust fan
case1	upward	10:00~10:30	medium (370m ³ /h)
case2		14:00~14:30	
case3	downward	10:00~10:30	
case4		14:00~14:30	
case5	upward	14:00~14:30	

Table 1 Object place and Date

Place	Two-story house(Steel Construction, Nara city)
Date	2020.08~2020.08.20

1.1 測定項目

測定項目を Table 3 に示す。LDK では、温度をポール①～⑥の FL+0. 1m、1. 1m、1. 6m、2. 1m の計 24 点で計測した。また、FL+1. 1m では相対湿度、グローブ温度、CO2 濃度を、風速はポール②④⑥の FL+1. 1m で計測した。エアコンの吹出し温度、エアコン上部の吸込み温湿度を計測した。スモークジェネレーターを用いてエアコンの吹出し口付近で煙を発生させ、目視およびビデオ記録により気流の挙動を確認した。サーモカメラで室内の熱放射画像を適宜撮影した。表面温度については台所の窓とサッシを 1 点ずつ計測した。ユーティリティルーム、エントランス、2 階の子供室で空間温湿度を計測した。測定中の屋内の冷房条件はリビングのエアコンのみ稼働させるものとし、子供室は非冷房状態とした。ポーチ付近で屋外の温湿度（放射除けをセンサー周囲に設置）と CO₂ 濃度を計測した

Table 3 Measurement items

Measurement items	Measurement points	Measuring instrument
temperature (pole①～⑥, utility room, 2F-Child room)	FL+0.1m, 1.1m, 1.6m, 2.1m	T-type thermocouple (pole①～⑥), Thermometer (utility room, 2F-Child room)
Surface temperature on the kitchen window	-	T-type Thermo couple
Surface temperature on the sash in the kitchen	-	T-type Thermo couple
Relative humidity (pole①～⑥, utility room, 2F-Child room, outdoor)	FL+1.1m	CO ₂ Thermometer (THCO2)
Temperature and humidity of outlet air from the air conditioner	FL+1.8m	T-type Thermo couple
Temperature and humidity of inlet air of air conditioner	-	Thermo-hygrometer (RS-14 Thermo Recorder)
Glove temperature (pole①～⑥)	FL+1.1m	Glove thermometer, T-type Thermo couple
Outdoor temperature, humidity and CO ₂ concentration	FL+1.1m	Thermo-hygrometer (RS-14 Thermo Recorder)
CO ₂ concentration (pole①～⑥, utility room, 2F-Child room, outdoor)	FL+1.1m	CO ₂ Thermometer (THCO2)
Wind speed (pole②④⑥)	FL+1.1m	hot-wire anemometer (KANOMAX)
Air flow visualization	-	Smoke generator
Thermal radiation images	-	Thermo-camera (FLIRC2)

1.2 測定方法

測定ケースで示した条件下で調理模擬を行う。エアコンは設定温度 28℃、相対湿度 50%とし、それぞれ吹出し方向を設定した後、全ケース午前 8 時から運転させる。調理はガスコンロを使用し、鍋(直径 22. 3cm、高さ 10. 09cm) に入れた水 3. 5l を沸騰させる。調理はガスコンロで 30 分間加熱を行う。すなわち、午前調理を行うケースは 10:00 にガスコンロを点灯して加熱を開始し、10:30 に加熱を停止する。火力は全ケースで強火設定とした。加熱開始と同時にフードを運転し換気を行い、調理終了と同時に停止する。温度、

風速等の各種データは 1 秒間隔のサンプリングにより 1 分間平均で算出した。

2. 測定結果

2.1 エアコン吹出し方向の違いによる気流の挙動

エアコンの吹出し方向の違いによる気流の挙動の比較を Fig. 2 に示す。画像はユーティリティルームの扉の前方で撮影し、エアコン吹出し口近傍からスモーク噴出後 5 秒間の気流の挙動を 1 秒ごとで示した。吹出し方向によって気流の落ち込む位置が異なった。水平吹出しの気流は、室の上部を水平に移動し、下降は緩やかである。一方、下吹出しの気流は比較的速く下降し、水平吹出しよりもエアコンに近い位置に落ち込む様子を確認した。

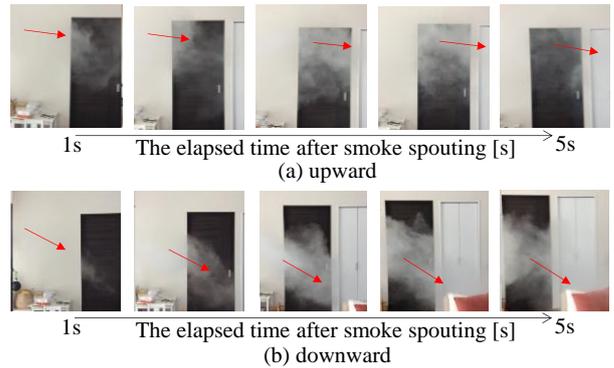


Fig. 2 Comparison of airflow behavior showing the difference in the blowing direction of the air conditioner

2.2 調理時間帯の違いによる比較

case3 (下吹き・午前) と case4 (下吹き・午後) の調理時間帯における温度、グローブ温度をそれぞれ Fig. 3、Fig. 4 に示す。ポール①～⑥の FL+1. 1m の値を示す。

(1) 温度

case3 (午前)、case4 (午後) とも窓に近接したポール③で最も高くなっている。台所コンロ前のポール⑥では、case4 よりも case3 で温度が高い。これは、午前には台所の南東側の窓から日射の影響があったためだと考えられる。エアコンに近いポール①③で他の測定点と比べて温度が高くなっている。ポール①③はエアコンの吹出し気流にかかりにくい場所であったと考えられる。また、エアコン気流が届きやすい場所であったと考えられるポール②④⑤では比較的溫度が低い。

(2) グローブ温度

台所の窓に近いポール⑥では case3 (午前) で他の測定点よりも高温傾向である。case4 (午後) では南西側の窓に近いポール③で高いことから、午前と午後の太陽位置の変化が室内の窓に近い場所のグローブ温度に影響すると思われる。室奥に位置するポール②⑤では他の測定点と比べグローブ温度が低い。

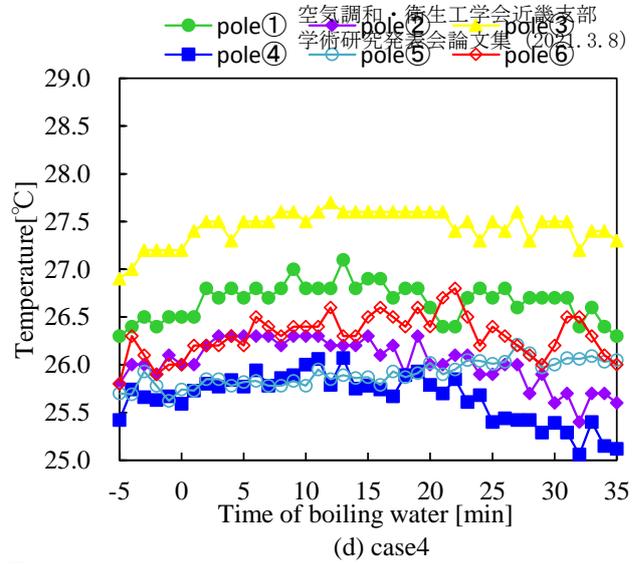
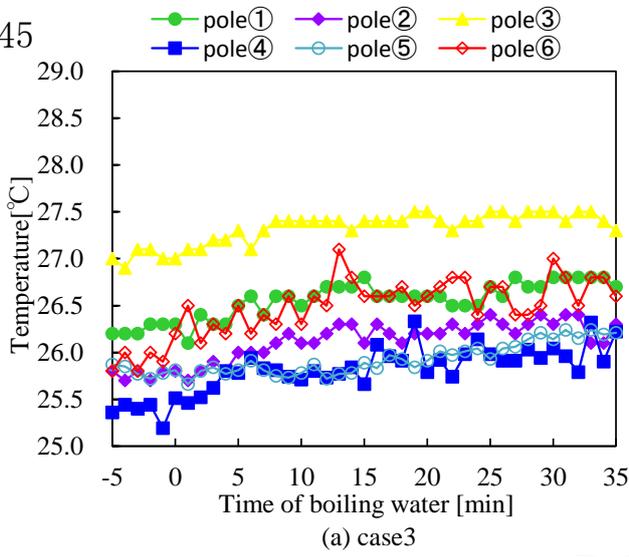


Fig. 3 Temperature

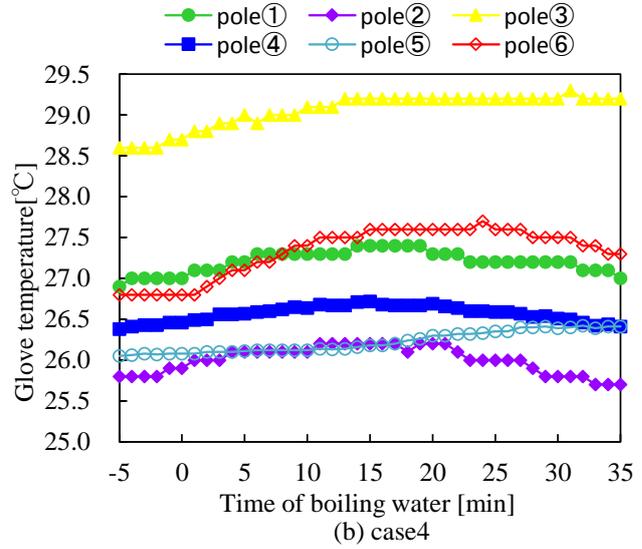
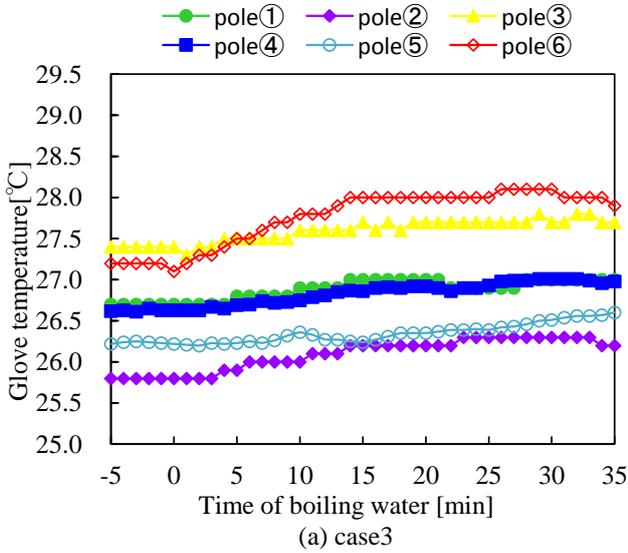


Fig. 4 Glove temperature

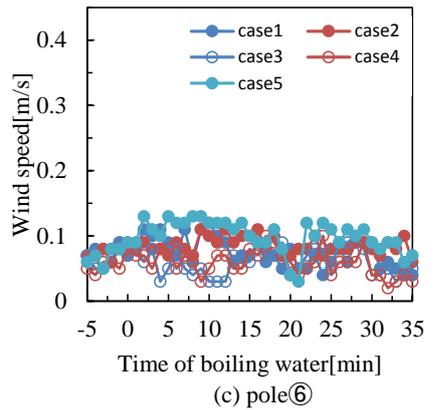
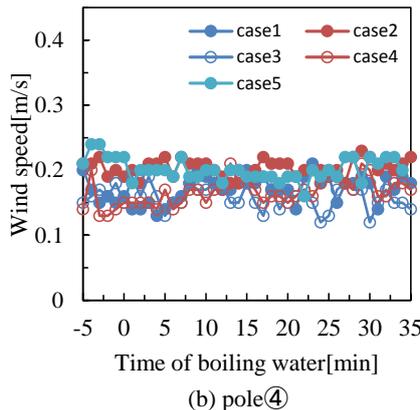
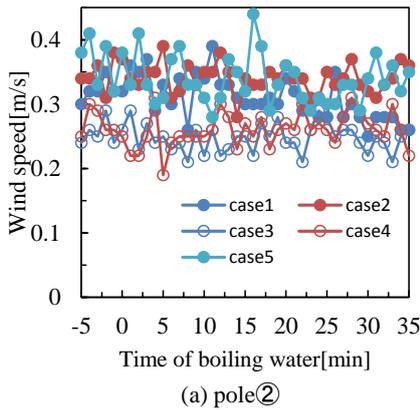


Fig. 5 Wind speed

2.3 調理時におけるケース間の風速比較

ポール②④⑥の風速結果を Fig. 5 に示す。ポール②、ポール④、ポール⑥の順で風速が小さく、エアコンから離れた台所では弱風であることが分かる。ポール②では水平吹きと比べ下吹き出しの case3, case4 の風速が小さくなっている。下吹きではよりエアコンに近い位置に気流が落ち込んでいるため、水平吹きと比べてポール②地点

の風速が小さくなったと考えられる。ポール⑥ではフード排気を「強」とした case5 の風速が大きい。フードからの排気量が多い場合、台所周辺の気流を排気面に吸い寄せる効果がより働き風速が大きくなったと考えられる。

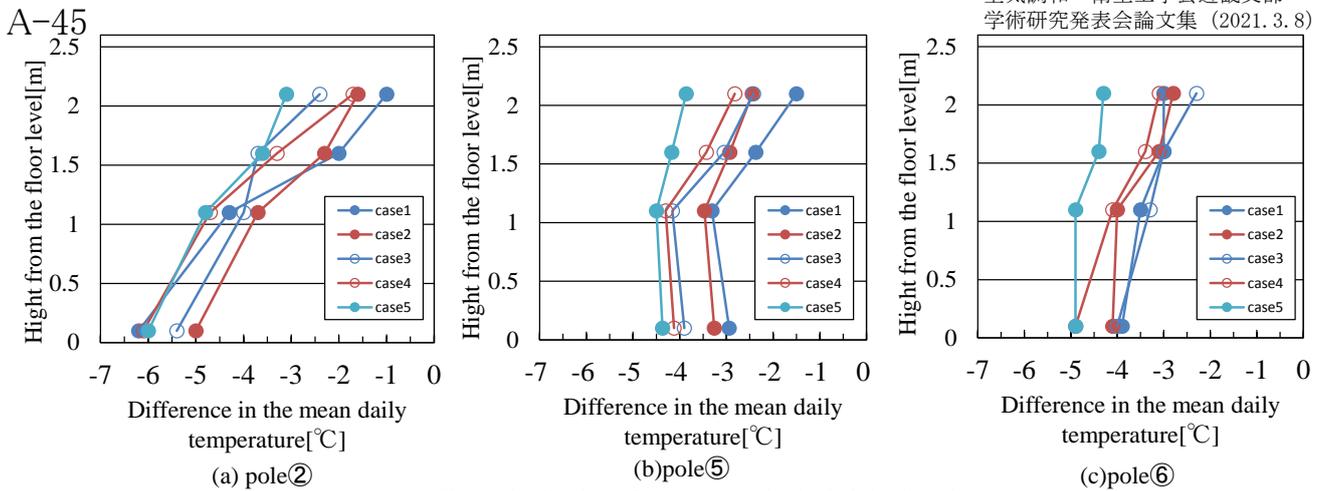


Fig.6 Distribution of temperature in the height direction

2.4 台所の上下温度分布の比較

ポール②⑤⑥のケースごとの上下温度分布を Fig. 6 に示す。横軸には測定点の温度から実測日の日平均気温 (日平均気温: case1, 2=30.1°C, case3, 4=30.3°C, case5=31.3°C) を引いた値を示し、0に近いほど高温である。測定場所を比較すると、ポール②で最も上下温度差が大きく、ポール⑥で最も小さい。エアコンの前方付近のポール②では吹出し気流が下部に落ち込むことで上下温度差が大きくなったと思われる。一方、フードを運転している台所では、周辺空気が排気面に吸い寄せられやすいため、ポール⑤⑥の上下温度差が小さくなったと考えられる。ポール⑤⑥ではフード排気を「強」とした case5 が他のケースと比べて最も低温となり、上下温度差も小さい結果となった。フード排気量を多くする場合、台所周辺の空気がフードの排気面へ吸い寄せられる効果がより大きくなると考えられる。したがって、下部の冷たい空気が上部空間へ移動し、上下温度分布がより均一になったと考えられる。フード排気量を大きくすることで台所温度が低下し、かつ温度の不均一性が解消されることから、快適性に繋がる可能性が示唆される。

2.5 ポール⑥の基準値との温度差

ポール⑥ (台所コンロ前) の基準値との温度差を Fig. 7 に示す。基準値はポール①～⑥の全ての測定点 (FL+0.1m~FL+2.1m) における調理 30 分間の総平均値とし、Table 4 に示す。下吹出しのケース (case3, case4) では床に近い位置 (FL+0.1m) と天井に近い位置 (FL+2.1m) との温度差が大きい。また、天井に近い位置 (FL+2.1m) では他のケースよりも高温になっている。室内では暖かくて軽い空気が上、冷たくて重い空気が下に溜まりやすい。下吹方式では冷気が下部空間に吹出されるため、この二層の上下温度差が比較的解消されにくく、台所でも上下温度差が小さくなると考えられる。

3. まとめ

- 1) エアコンから離れて位置する台所の風速は小さい。
- 2) フード排気量を大きくすることで台所温度が低下し、かつ上下温度差が小さくなる。

Table 5

	case1	case2	case3	case4	case5
Average temperature[°C]	27.6	27.2	26.7	26.7	27.0
	♠FL+0.1m	⊗FL+1.1m	≡FL+1.6m	∞FL+2.1m	

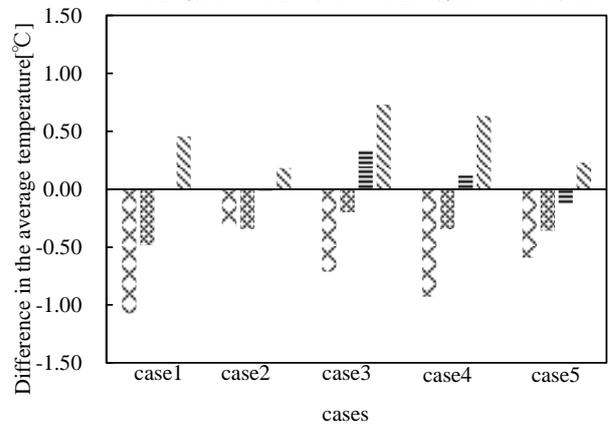


Fig.7 Difference in the average temperature on pole⑥

- 3) エアコン下吹出しでは上下温度差が比較的解消されにくく、台所でも上下温度差が大きくなる。

今後は CFD 解析を用いて台所の暑熱環境の緩和手法を検討する。その前段階として、今回の結果データを用いて CFD 解析の予測精度検証を行い、実測と解析の対応状況を確認する。

参考文献

- 1) 気象庁, 日本の夏平均気温偏差
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/sum_jpn.html
- 2) 気象庁, 全国の猛暑日の年間日数
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- 3) 総務省, 消防庁, 過去の全国における熱中症傷病者救急搬送に関わる報道発表資料「令和元年度 (5月から9月) の熱中症による救急搬送状況」

生年と年齢による冷房電力使用量への影響の違い -冷房使用程度、指向性、冷え性

Difference between generation and age effects on cooling power use in summer

-AC use frequency, attitude toward AC use and bad circulation

○遠藤 立城 (大阪市立大学) 梅宮 典子 (大阪市立大学) 林 小勇 (大和ハウス工業)

Tatsuki ENDO*1 Noriko UMEMIYA*1 Xiaoyong LIN *2

*1 Osaka City University *2 Daiwa House Industry CO,LTD

We investigated the effects of age and generation on the relation between residences and resident attributes and the cooling power use of 620 apartments in Osaka. 1) The number of household residents and resident age had no effect on cooling power use, but there was some influence by people born 1955-1964 and earlier. 2) The number of air conditioners is affected by age and generation with one and two air conditioners, but no effect was found with age with three air conditioners. 3) Two rooms are influenced by age and generation. Three rooms are more influenced by generation. When regarded by age, a clear difference is apparent depending on age greater than 60 years old.

1. はじめに

熱中症による救急搬送者数は高齢者が 2018 年は 48.1%、2019 年 52.0%、2020 年 57.9%である¹⁾。高齢者は暑さへの生理的適応能力が低く熱中症に罹患しやすい。しかし一般に、高齢者は冷房使用を控える傾向があるとされる。原因には生理能力や認知機能の衰えや、経済力の低下、健康観や倫理観からくる冷房使用への抵抗感があると考えられる。

久保ら (1993 年)²⁾ 高齢者は体の不調を危惧し冷房の使用率が少なく起床時の冷え込みで不快感があること、福永ら (2008 年)³⁾ は高齢者ほど冷房設定温度が高いこと、上田ら (2018 年)⁴⁾ は高齢者は冷房時でも高温多湿の環境で過ごすことを示した。

既報⁵⁾ では冷房使用量に影響を及ぼす要因として居住人数、エアコン台数、寝室数について、年齢による違いを分析した。本報では年齢だけでなく生年にも着目し、回答者属性の観点から在宅状況、冷房使用程度、冷房指向性、冷え性についてのカテゴリにおける冷房電力使用量に年齢と生年が与える影響を比較する。

7 年台、生年は 2004 年調査の 80 歳台から 10 歳台に相当する 1915 年～1924 年生れから 1985～1994 年生れの 8 世代とする。世代は昭和の年号の 10 年台刻みにも相当する。図 1 に年台と世代の分布を示す。度数が少ない 20 歳台、1915～1924 年生れ、1985～1994 年生れは分析対象から除く。図 2 に各世代における年台の出現頻度を示す。1925～1934 年生れと 1975～1984 年生れには 2 つの年台、その他の世代には 3 つの年台が含まれる。

2.2 冷房電力使用量

5 月と 8 月の電気料金と電力使用量はアンケートで尋ねた。回答率は電気料金が 63.9%、電力使用量が 28.1%

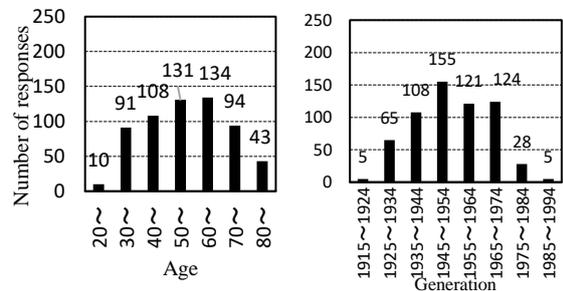


Fig.1 Responses of Age and Generation

2. 方法

2.1 使用するデータ

大阪市内南部の 6～14 階建て、片廊下型の家族向き集合住宅 26 棟にほぼ同じ調査票の 2004 年 257 通、2011 年 185 通、2017 年 178 通、計 620 通を分析対象とする。

年齢は 10 歳ごとの年台、生年は 1915 年生れから 10 歳ごとの世代に区分した。2004 年の調査では 10 歳刻みのみで年齢を尋ねている。年齢は 20 歳台から 80 歳台の

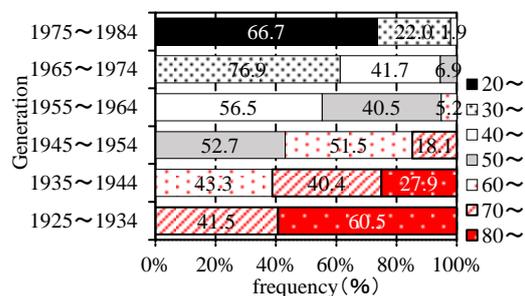


Fig.2 Relationship between Age and Generation

で、記入の面倒さが影響したと思われる、電気料金を調査年月の料金体系に基づき電力使用量に換算して差引法により冷房電力使用量（以下使用量と略）とする。なお家族のうち在宅時間の最も長い人が回答するよう依頼した。

家庭用エアコンの期間消費電力は図3のように年々向上している。また図4のように高齢のほうがエアコンがやや古い。そのため期間消費電力量は2014年製造の一般家庭用2.8kWhのエアコンを基準とし、保有するエアコンの製造年の年台差を考慮して調査年ごとに表1の補正倍率をかけて調査年による冷房電力使用量の差を調整した。

図5に年台別世代別の冷房使用量の分布を箱ひげ図で示す。箱は25-75%範囲を示す。既報⁵⁾では全体の上下2.5%計5%を除いたが、各年台、世代のデータ数が少ないため外れ値の影響が大きい。そこで本報では各年台、世代ごとの上下各5%計10%を除き、残った2004年193通、2011年86通、2017年117通を分析する。

使用量の平均値は年台でみると40歳台が145.0kWhと最大で、80歳台の85.7kWhにかけて年台とともに減る。世代でみると1925~1934年72.6kWhから1955~1964年144.7kWhにかけて増え、1975~1984年99.1kWhにかけて減る。高齢者世帯で冷房使用量が少ない傾向がある。

3. 年台や世代が冷房電力使用量に及ぼす影響

3.1 在宅時間

在宅状況については2004年は在宅程度のみを3段階で尋ね、2011年は在宅時間の数字のみを尋ねた。図6に2017年の在宅程度と在宅時間の回答の関係を示す。「不在が多い」と「日による」は17時間以下が8割を占め、「在宅が多い」は18時間から増え始める。そこで2011年は18時間未満を「不在が多い」、18時間以上を「在宅が多い」と言える。2004年と2017年は「日による」を

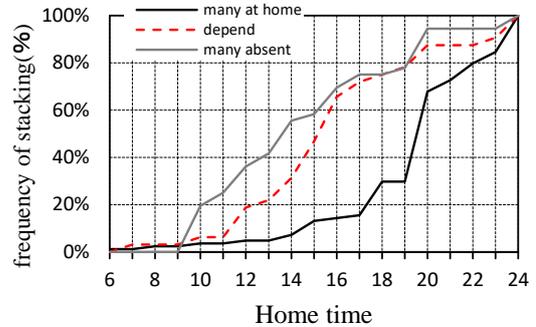


Fig. 6 Subjective degree at home vs home time in 2017

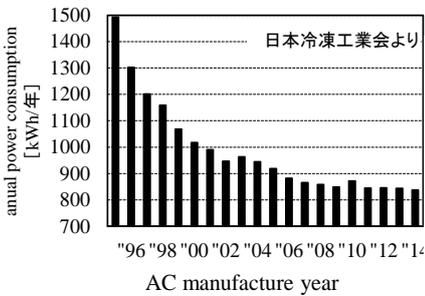


Fig. 3 Ac manufacture vs annual power

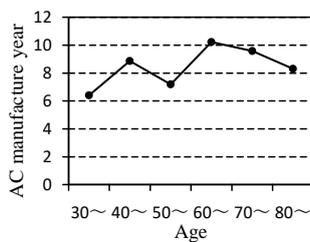


Fig. 4 Ac manufacture vs Age

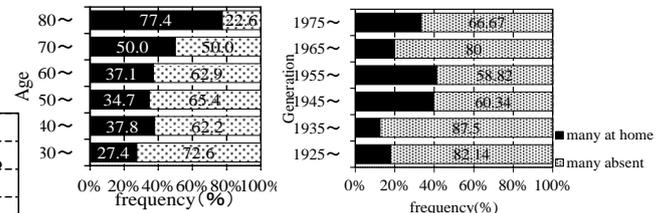


Fig. 7 Subjective degree at home vs Age and Generation

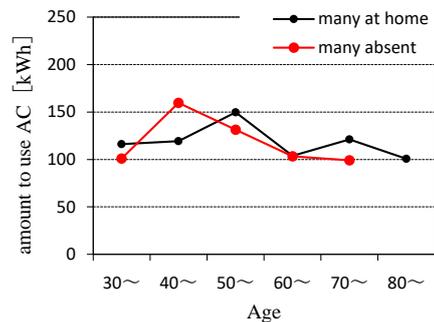


Fig. 8 (a) Mean cooling use by Age each degree at home

Table. 1 Correction magnification of the amount cooling

	2004年	2011年	2017年
30~	0.73	0.91	0.99
40~	0.56	0.88	0.98
50~	0.7	0.89	0.96
60~	0.56	0.85	0.97
70~	0.56	0.85	0.97
80~	0.56	0.88	0.99

※2014year is 1

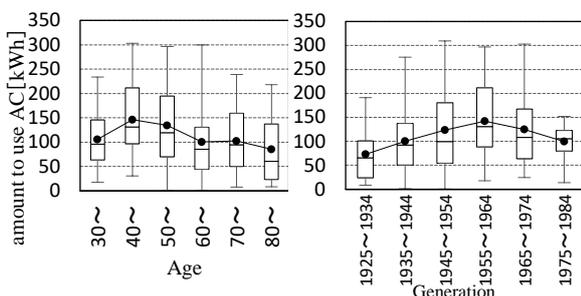


Fig. 5 Mean cooling use by Age and Generation

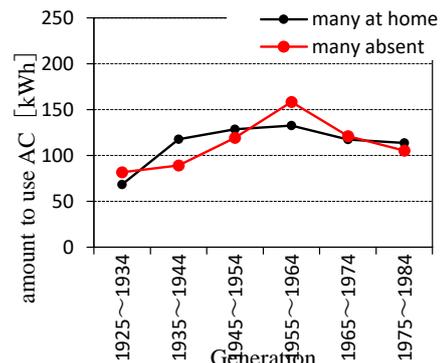


Fig. 8 (b) Mean cooling use by Generation each degree at home

「不在が多い」に統合する。図7に年台や世代と在宅状況の関係を示す。60歳台以降に「在宅が多い」が増加し、世代は1945～1954、1954～1964年で「在宅が多い」が多い ($p < .001, .006$)。

年台や世代に分けない場合の「在宅が多い」と「日による」+「不在が多い」の平均使用量は、121.5kWhと122.6kWhで差はない ($p = .886$)。

図8に、在宅状況別の年台及び世代と使用量との関係を示す。年齢別では40歳台と70歳台は使用量に在宅状況による差があるが有意でない ($p = .174, .189$)。世代別では1935～1944年と1955～1964年もカテゴリーによる差が大きい有意でなく ($p = .064, .215$)、年台や世代は在宅状況と冷房電力使用量の関係に影響しないと言える。

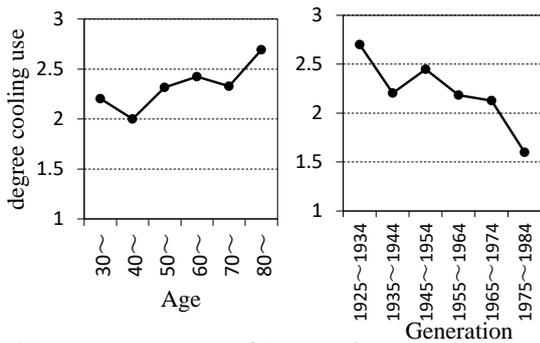


図9 Mean degree cooling use by Age and Generation

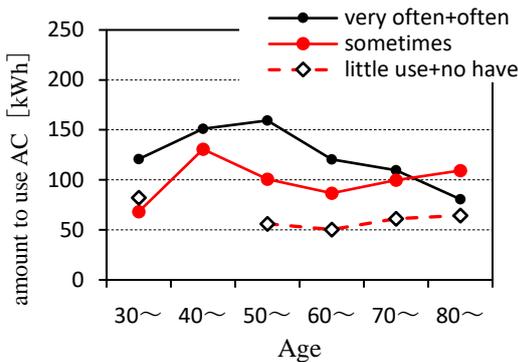


図10(a) Mean cooling use by Age each degree cooling use

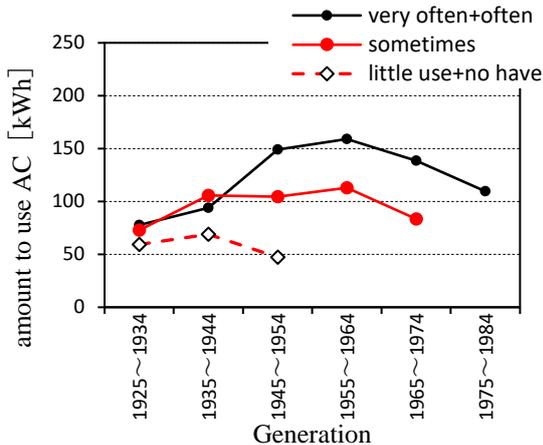


図10(b) Mean cooling use by Generation each degree cooling use

3.2 冷房使用程度

冷房使用程度は主観的に「非常によく使う」、「よく使う」、「時々使う」、「ほとんど使わない」、「持っていない」の5段階で訊たが分析では「非常によく使う」と「よく使う」、「ほとんど使わない」と「持っていない」を統合する。図9に年台や世代別の冷房使用程度平均値を示す。主観的な冷房使用程度は年台や世代に関係し、年台が高いほど、生年が古いほど冷房使用程度が高い (一様性検定 $p = .004, p = .002$)。

図10に主観的な冷房使用程度3段階の年台や世代と使用量の関係を示す。60歳台は使用量に冷房使用程度による差があり ($p = .002$)、70歳台と80歳台は使用量に冷房使用程度による差がない ($p = .250, p = .664$)。一方、1925～1934年生れと1935～1944年生れは使用量に冷房使用程度による差がない ($p = .534, p = .664$)。一方で1945～1954年生れは使用量に冷房使用程度による差がある ($p < .0001$)。60歳台と70歳台の間の差と1935～1944年生れと1945～1954年生れの間の差を比べると、1935～1944年生れと1945～1954年生れの間の差が大きいことから、使用量の冷房使用程度による差は、世代の間の差のほうが大きい。家庭用エアコンの急激な普及が世代による冷房使用程度の基準の違いに影響したと解釈できる。

3.3 冷房指向性

冷房指向性は「消極的」、「中立的」、「積極的」の3段階で訊いている。冷房指向性は年台と関係せず、世代と関係する (一様性検定 $p = .348, p = .001$)。

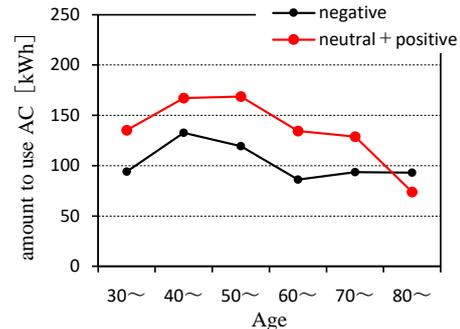


図11(a) Mean cooling use by Age each intentionality

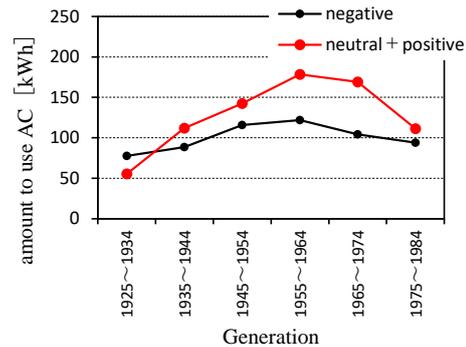


図11(b) Mean cooling use by Generation each intentionality

図 11 に冷房指向性のカテゴリ別の年台や世代別の冷房使用量を示す。「中立」は年台も世代も高齢ほど使用量が低い。「消極的」と「積極的」では、70 歳台まで使用量に冷房指向性による差がない。世代でみるとカテゴリ間の差は 1935~1944 年と 1945~1954 年は同程度で ($p=.082, p=.092$)、1955~1964 年は差が強い ($p=.008$)。冷房指向性による使用量の違いに年台の影響がない一方で、世代は 1945~1954 年と 1955~1964 年の間で指向性による使用量の差が強くなる。すなわち、冷房指向性が使用量に及ぼす影響は、年台によって異なるが、世代によっては異なり。世代が新しいほど差が開く。

すなわち冷房指向性は年齢ではなく世代の差が大きい。こうした冷房指向性の基準は冷房使用程度の基準と同様に生育環境によって身に着いた可能性がある。差の出る世代は冷房使用程度使用量の場合より 10 年遅い。高度経済成長期に社会の豊かさに対する価値観が変化して、冷房指向性がこの世代において急激に変化し、さらに時代とともに変化していると解釈できる。

3.4 冷え性

冷え性と年台や世代の間の一様性検定の結果、冷え性は年台とは関係がなく、世代と関係する ($p=.515, 0.02$)。

図 12 に冷え性のカテゴリ別の冷房使用量を年台や世代ごとに示す。年台でみると、60 歳台、70 歳台はカテ

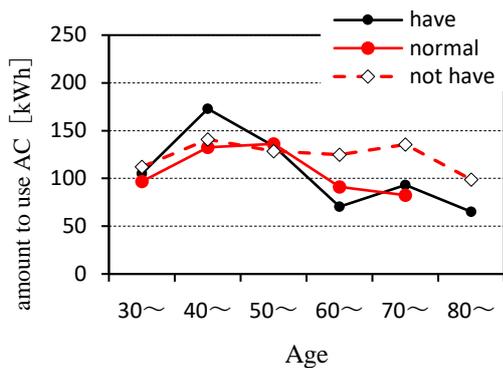


図 12(a) Mean cooling use by Age each sensitivity to cold

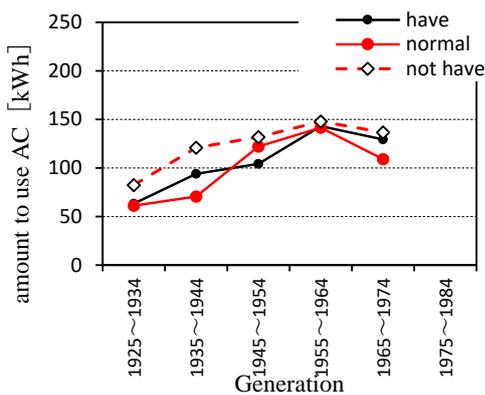


図 12(b) Mean cooling use by Generation each sensitivity to cold

ゴリーの間で冷房電力使用量に差がある ($p=0.0043, .041$)。一方世代でみると 1935~1944 年はカテゴリ間で差がある ($p=.024$)。40 歳台に着目すると、差がある 60 歳台と 70 歳台ではカテゴリによる使用量が逆転し、「冷え性がある」が「ない」を上回っている。

60 歳台以降になると、冷え性がある場合はないより冷房使用量が少ない。冷え性がない場合はどの年台でも一定して 100~150kWh 付近の冷房使用量であり、年台の影響が強い。一方、50 歳台以前では、冷え性の有無は冷房使用量に影響せず、冷え性があってもなくても同程度に冷房を使っている。冷え性が生理的な能力に関係していることを考えると、冷房使用の冷え性への影響は世代ではなく年齢によることが示されたのは妥当と言える。

なお、耐暑性、耐寒性、発汗性には、こうした明確な傾向は認められなかった。

4. 結論

大阪市内南部の 6~14 階建て、片廊下型の同じ家族向き集合住宅 26 棟を対象とした 2004 年 193 通、2011 年 86 通、2017 年 117 通について、冷房使用程度、冷房指向性、冷え性の各カテゴリにおける冷房電力使用量について、年齢を 10 歳ごとに区分した 30 歳台から 80 歳台までの 6 年台、1925 年~1934 年生れから 1975 年~1984 年生れまでの 6 世代に分けて、年台や世代による違いを分析して以下を明らかにした。

- 1) 主観的な冷房使用程度の各カテゴリにおける冷房電力使用量には年台と世代による違いがともにあるが、世代による違いのほうが強い。
- 2) 冷房を積極的に使いたいかなるべく使いたくないかの冷房指向性の各カテゴリにおける冷房電力使用量には年台による違いはないが、世代による違いがある。
- 3) 冷え性の有無の各カテゴリにおける冷房電力使用量には年齢による違いがある。60 歳台以降の年台において冷え性があると冷房を控えるが、それより年台が若いと冷え性の有無は冷房電力使用量に影響しない。

高齢者が冷房を控える要因には冷房使用程度や冷房指向性のように年齢より世代が影響する要因と、冷え性のように世代より年齢が影響する要因がある。高齢者という概念において年齢と世代は区別する必要がある。

参考文献 1) 総務省消防庁: 令和 2 年の熱中症による搬送状況、<https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/post3.html>
2) 久保ほか: The 26th HES, 2002 年 3) 福永ほか、建・大会梗概集、143-144、2008 年 4) 上田ほか、日本生気誌 54(4)、135-145、2018 年 5) 遠藤ほか、空・衛近畿論文集、A43、2020 年、6) 山口、建・大会梗概集、537-538、2011 年

被験者実験による侵襲型深部温度測定と非侵襲型計測に関する検討 Invasive Measurement by Subject Experiment and Examination of Non-invasive Measurement on Human Body Core Temperature

○肥田 弘明 (大阪府立大学) 千種 成尚 (大阪府立大学) 永井 賢人 (大阪府立大学)
吉田 篤正 (大阪府立大学) 木下 進一 (大阪府立大学)

Hiroaki HIDA*¹ Narihisa CHIGUSA*¹ Kento NAGAI*¹ Atsumasa YOSHIDA*¹ Shinichi KINOSHITA*¹

*¹ Osaka Prefecture University

Invasive body core temperature measurements were performed by subject experiments to evaluate the characteristics of body parts. Tympanic temperature was lower than rectal temperature and responded well to the core temperature rise due to exercise. A non-invasive body core temperature measurement technique based on the dual-heat-flux method using insulation materials with different thickness was examined by numerical simulation, model experiment, and subject experiment. The lower the air temperature and the thicker the subcutaneous fat, the worse the measurement accuracy due to heat loss from the side of insulation materials.

1. 緒言

深部温度の監視は熱中症や低体温症の予防に繋がる。従来の深部温度測定方法は侵襲的であり、測定部位により特性の違いが見られる。被験者を用いた運動実験により、深部温度の部位特性を把握する。非侵襲的で連続計測可能な双熱流法¹⁾に基づく深部温度計の開発、測定精度の評価を行う。

2. 被験者実験による侵襲型深部温度測定

2.1 被験者と実験条件

測定項目は気温、相対湿度、壁面温度、床面温度、皮膚温度7点、深部体温(直腸、耳内)、代謝量、体重変化量(発汗量)、心拍数、血流量、温冷感で、被験者は22歳~25歳の男子学生9人である。被験者は実験前、26℃の室内にて30分間の安静状態を経て実験を開始した。被験者毎の体内の水分量を同等にするために排泄及び300gの水分摂取を行った。測定日前日の夕食以降食事制限を行った。運動はトレッドミルにより歩行を行った。着衣量0.3cloのTシャツ、半ズボン、サンダルを着用した。

2.2 実験方法

関西大学堺キャンパスA棟温熱環境生理実験室で実施した。実験のプロトコルを図1に示す。立位安静→歩行→立位安静、各ステージ24分間とした。気温は30℃とし、相対湿度および歩行速度を変えた実験を実施した。
①湿度40%、速度4.0 km/h、②湿度60%、速度4.0 km/h、
③湿度40%、速度5.4 km/hの各条件に対して各4人の

被験者とした。



Fig.1 Protocol of subject experiment.

2.3 実験結果と考察

図2に運動開始前の深部温度(直腸、耳内)を示す。深部温度は耳内より直腸の方が有意に高かった。耳内温は環境温度に影響を受けるため²⁾、直腸より耳内の方が低くなったと考えられる。運動が深部温度に与える影響を評価するため、条件①、②、③の直腸、耳内の運動終了(48分)と回復時間終了(72分)の測定結果により、各ステージで変化した深部温度の比較を行った。図3、4に運動、回復により変化した深部温度を示す。運動後の深部温度上昇は直腸、耳内ともに運動強度が大きい方が大きくなった。歩行速度が同じでも被験者毎の運動負荷が異なるため、偏差が認められた。回復時間における深部温度の変化の大きさに運動強度による差異はなかった。深部温度の変化に測定部位の差は認められなかった。運動による深部温度上昇の開始時間を図5に示す。開始時間が明確な歩行速度5.4 km/hの測定結果を対象とした。直腸より耳内の方が有意に早い結果となった。血流による熱移動は大きく、体深部を還流してきた血液を肺動脈へと送る右心房の駆出動脈血温が深部温度として考えられるため²⁾、より心臓に近い耳内の方が応答性の良い結果となったと考えられる。運動、回復により深部温度変化に湿度

が与える影響を図6, 7に示す. 実験条件①の耳内温を正確に計測できたのは1例であった. 運動による深部温度上昇に与える湿度の影響は認められなかった. 回復時間における直腸温については高湿度の条件で有意に変化が大きかった. 耳内温では差異は認められなかった. 湿度が深部温度変化に与える影響については今後より詳しく検討する必要がある.

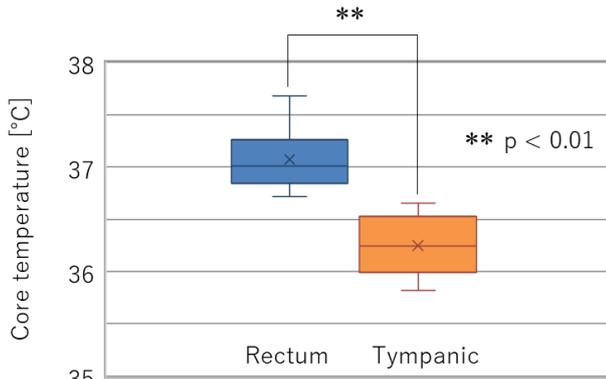


Fig.2 Core temperature for body parts.

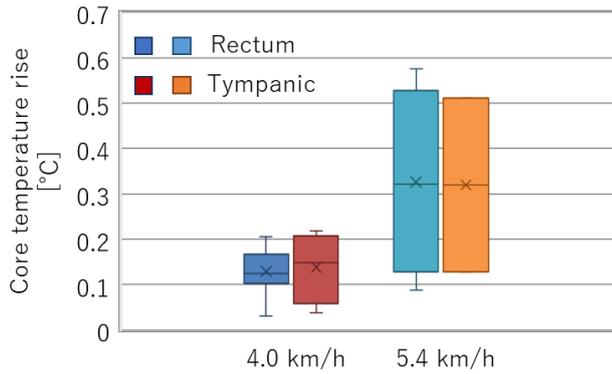


Fig.3 Core temperature rise due to walking exercise.

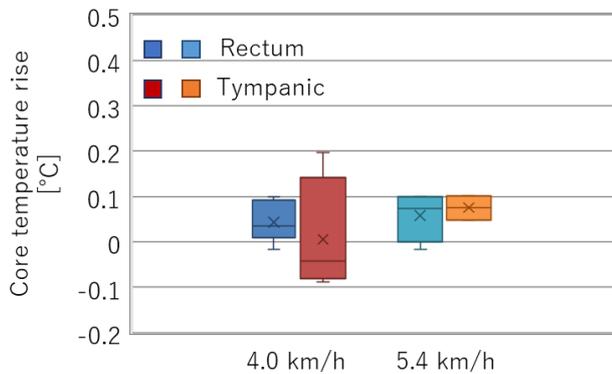


Fig.4 Core temperature rise after walking exercise.

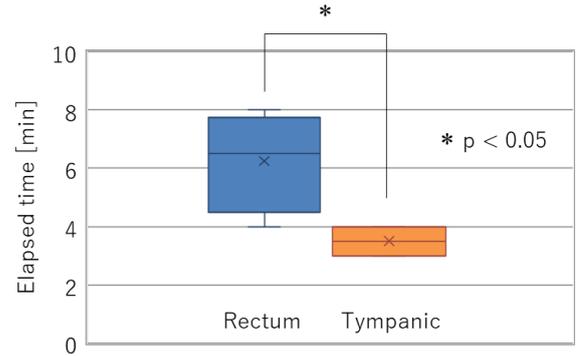


Fig.5 Response time of core temperature rise after exercise.

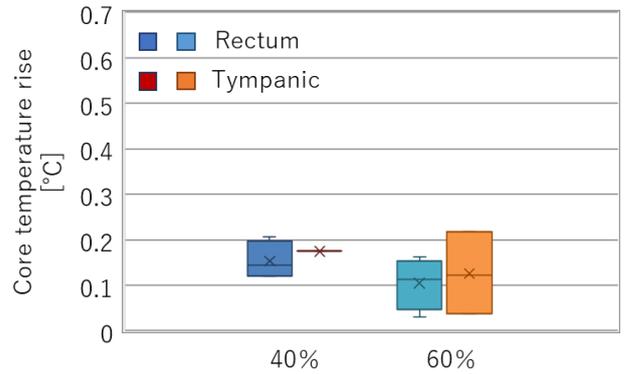


Fig.6 Core temperature rise due to walking exercise.

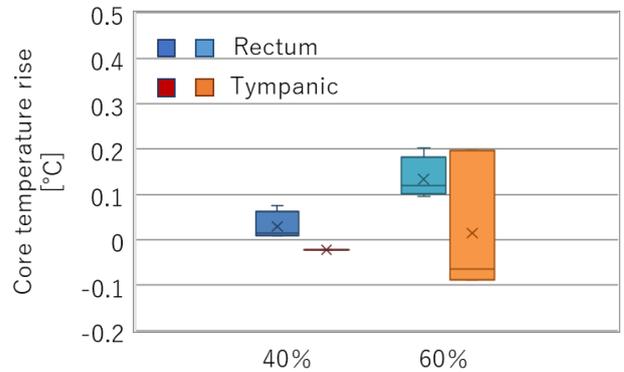


Fig.7 Core temperature rise after walking exercise.

3. 非侵襲型計測に関する検討

3.1 測定原理 (双熱流法)

図8に双熱流法の測定概要を示す. 体内深部から皮膚へ向かう1次元定常熱流を仮定する. 異なる厚さの断熱材で皮膚を覆い, 両端面の温度差を計測することにより各断熱材を通過する熱流束を求める. 皮膚層の熱抵抗の数値を必要とせず, 深部温度は式(1)より得られる.

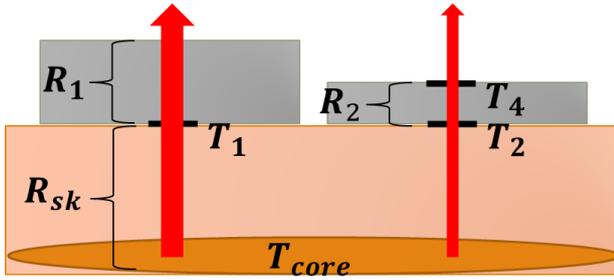


Fig.8 Schematic diagram of dual-heat-flux method.

$$T_{core} = T_1 + \frac{(T_1 - T_2)(T_1 - T_3)}{S(T_2 - T_4) - (T_1 - T_3)} \quad (S = \frac{R_1}{R_2}) \quad (1)$$

この熱抵抗値比 S は同じ材質の断熱材を用いた場合、理想的には断熱材の厚さの比になる。

3.2 数値計算

数値計算により測定に影響を与える因子について検討する。図 9 に計算モデルを示す。3 次元非定常熱拡散方程式で構成され、初期条件を設定し、定常状態になるまで計算を行う。生体組織の熱物性値を表 1 に示す。表皮と真皮の熱物性値は同じ、各生体組織は等方で均一とする。各物性値の温度依存性はないものとする^{3),4)}。初期条件：断熱材温度は均一で気温に等しく、皮膚温度は皮膚の表面温度に等しい。境界条件：皮膚層側面は断熱、気温と深部温度は一定、断熱材と皮膚の接触面の熱流は連続、断熱材側面、上面は対流熱流束と伝導熱流束が等しい。深部温度は 37℃、断熱材はポリスチレンフォーム、断熱材の厚さを 5 mm と 9 mm、大きさを 50mm×50mm とした。気温 15℃、20℃、25℃、30℃、35℃の 5 条件と、皮下脂肪厚さ 2mm、6mm、10mm の 3 条件の計算を行った。

それぞれの条件の計算結果を図 10, 11 に示す。縦軸は測定誤差、横軸は気温と深部温度の差または皮下脂肪厚さで示す。気温と深部温度の差が大きくなる程、また皮下脂肪厚さが厚くなる程、測定誤差が大きくなった。双熱流法は 1 次元の熱輸送を仮定しているため、側面の熱損失の影響が大きくなることで誤差も大きくなった。

Table.1 Thermophysical properties of the human body.

	Thermal conductivity [W/mK]	Density [kg/m ³]	Heat capacity [J/kgK]
Skin(Dermis)	0.45	1200	3300
Subcutaneous adipose tissue	0.27	950	3100
Muscle	0.50	1050	3465

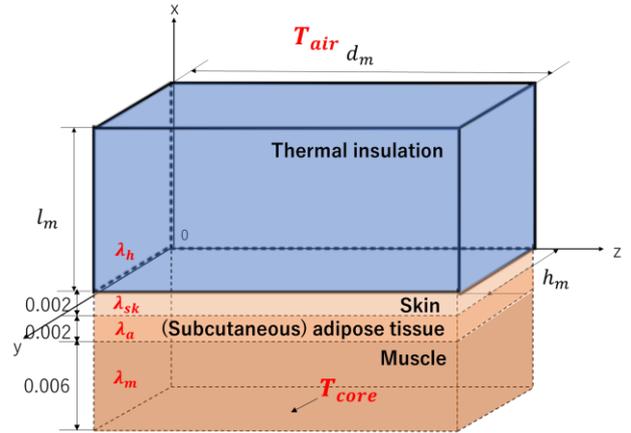


Fig.9 Schematic diagram of numerical simulation.

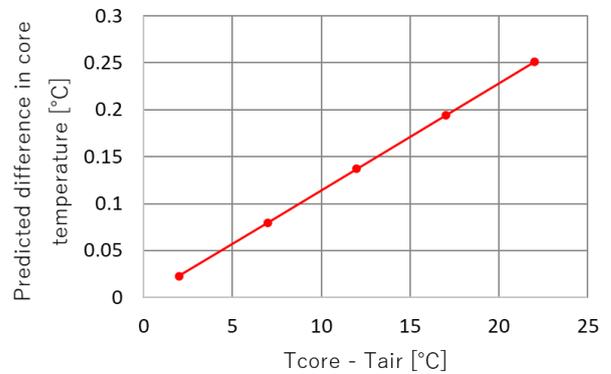


Fig.10 Effect of air temperature on core temperature by numerical simulation.

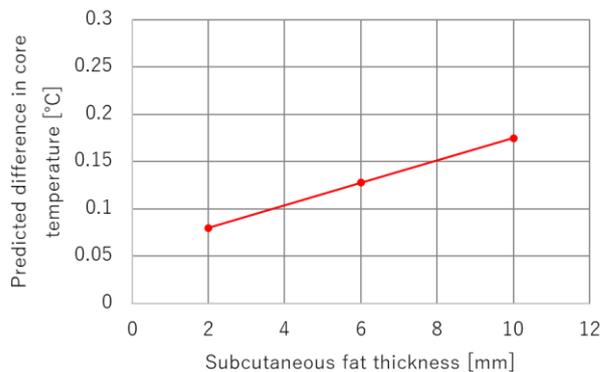


Fig.11 Effect of fat thickness on core temperature by numerical simulation.

3.3 模型実験

実験装置の概略を図 12 に示す。人体を模擬した寒天をアクリル樹脂の直径 125mm のシャーレに約 15mm の厚さで作成し、恒温水槽に浮かべ、双熱流法により深部温度を算出する実験を行った。水温を一定に維持し、温度測定にはサーミスタを使用した。数値計算で定めた材料、寸

法で装置を作成した. 図 13 に測定結果を示す. 縦軸は測定誤差, 横軸は気温 T_{air} と深部温度 T_{core} の差を表す. 計算結果と同様に, 気温と深部温度の差が大きくなる程測定誤差は大きくなった.

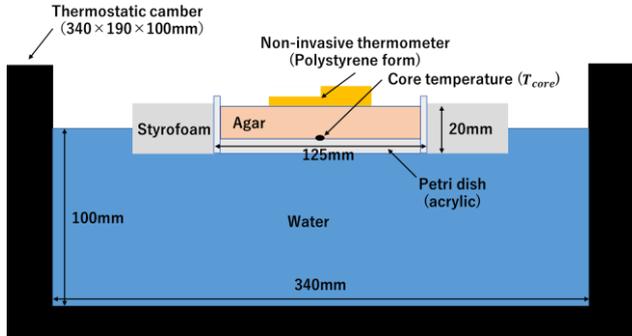


Fig.12 Schematic diagram of model experiment.

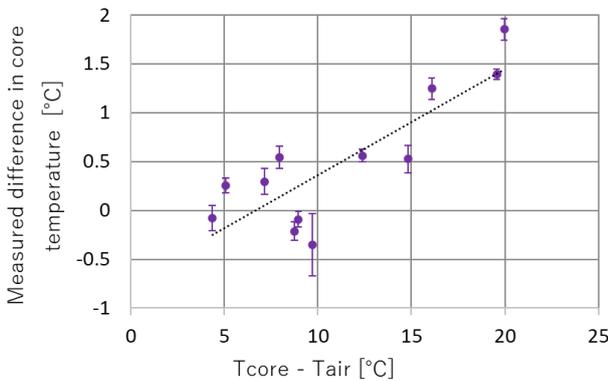


Fig.13 Effect of air temperature on core temperature by model experiment.

3.4 被験者実験

模型実験で用いた測定装置を用いて, 双熱流法により前額深部温度と腹部深部温度を測定し, それぞれ測定部位に近い耳内温度と直腸温度と比較した. 被験者は仰臥位状態で60分間測定した. 図 14 に測定結果を示す. 縦軸は測定誤差(耳内温度と双熱流法により得られた前額深部温度の差, または直腸温度と双熱流法により得られた腹部深部温度の差), 横軸は被験者の BMI (体格指数)を表す. 腹部深部温度と直腸温度の差は被験者の BMI が大きいほど誤差も大きくなっている. BMI が大きいほど腹部の皮下脂肪が厚く, これは皮下脂肪厚さを変えた計算結果と同様の傾向を示している. 前額部の深部温度と耳内温度の差に被験者毎の差が少ないのは, 額における皮下脂肪は少なく個人差がないことが原因だと考えられる. 環境条件, 測定部位に影響されない非侵襲深部温度測定を可能にするには, 断熱材側面からの熱損失を減らすとともに, これを補正するアルゴリズムを検討する必要がある.

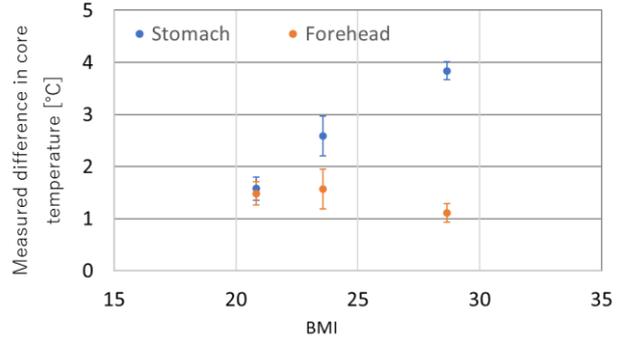


Fig.14 Effect of fat thickness on core temperature by subject experiment.

4 結言

- ・歩行運動を伴う被験者実験により直腸, 耳内を対象に深部温度測定を行った. 直腸温が耳内温よりも有意に高い, 運動による深部温度の応答性は直腸より耳内の方が良いことが確認された.
- ・双熱流法に基づいた非侵襲型測定を数値計算, 模型実験, 被験者実験より検討した. 気温と深部温度の差, 測定部の皮下脂肪厚さが決定される深部温度に影響を与えることが明らかになった.

謝辞

本研究の人工気候室での被験者実験では, 関西大学の河端隆志先生に大変お世話になりました. 本研究の費用の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金(17H0082, 代表: 吉田篤正)が企てられた. ここに謝意を表します.

参考文献

- 1) Kei-Ichiro Kitamura, Xin Zhu, Wenxi Chen, Tetsu Nemoto: "Development of a new method for the noninvasive measurement of deep body temperature without a heater" Medical engineering&physics32(2010):1-6
- 2) Brengelmann GL. Dilemma of body temperature measurement. Charles C. Thomas., 1987:5-22 Shiraki K, Yousef MK, eds. Man in stressful environments : Thermal and work physiology
- 3) ASHRAE; "Thermal environmental conditions for human occupancy" ASHRAE ANSI/ASFRAE Standard55-92,(1998)
- 4) Pennes,H.H., "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperature in the Resting Human Forearm", Journal of Applied Physiology, vol.1, No.2(1948), p93-123

流動人口データを用いた大阪難波周辺における暑熱環境対策優先街区の選定

Selection method of priority city blocks for mitigating thermal environment around Osaka Namba using mobile location data

○吉田 大翔 (大阪市立大学)

鍋島 美奈子 (大阪市立大学)

榊 愛 (摂南大学)

西岡 真稔 (大阪市立大学)

Hiroto Yoshida*1 Minako Nabesghima*1 ai Sakaki*2 Masatoshi Nishioka*1

*1 Osaka City University *2 Setsunan University

The purpose of this study is to suggest a selection method of priority city blocks for mitigating thermal environment around Namba in Osaka using mobile location data. We analyzed the fluid population and the thermal environment in a 50-meter mesh, and selected high-priority clusters by conducting cluster analysis. In addition, by using the results of the analysis of the attributes, we were able to provide effective information for the selection of priority city blocks.

1. 研究背景・目的

近年の急激な都市化に伴う地表面被覆の人工化, 都市形態の高密化, 人工排熱の増加などにより, 都市部ではヒートアイランド現象が問題視されており, 熱中症など人体への被害が増加している. 三坂ら¹⁾は, 基準化利用者数と数値解析を用いて, 設計段階での暑熱対策による暑熱環境緩和と利用者数増加の効果を予測する手法について提案した. しかし, 実際に暑熱環境対策を行う場所の選定方法については言及されていない. 限られた予算で優先順位をつけて暑熱対策をおこなうためには, ①どの場所にどれくらい人が集まっているのか, ②どの場所にどのような属性の人々が集まっているのか, ③どの場所が暑くなっているのか を考慮したうえで暑熱環境対策すべき場所を選定する必要があるが, 暑熱環境対策優先街区の選定方法に関する研究は少ない. 以上の背景から, 本研究では流動人口データを用いて大阪難波周辺における暑熱環境対策優先街区の選定方法を提案することを目的とする. 流動人口及びその属性と暑熱環境などの特徴量を考慮して, 優先的に対策を行う街区を選定することに本研究の新規性があると考え. 本研究では, 50m メッシュを1街区として扱う.

2. 流動人口データについて

本研究で使用するポイント型流動人口データは, 2019年に大阪難波周辺において(株)Agoop が同社のスマートフォンのアプリのユーザーからGPS位置情報を取得したものである. データ項目はデ일리ID, 年, 月, 日, 曜日, 時間, 緯度, 経度, GPS精度(m), 移動速度(m/s), スマートフォンの言語設定, 端末のOSなどがある. ログの取得タイミングは端末のOSによって異なり, iOSではアプリのユーザーが滞在や出発, 大幅移動の場合にログ

を取得し, Androidでは一定の時間間隔でログを取得する. 本研究では一定の時間間隔でログの取得が可能なAndroidのデータを使用する. GPS精度はIDの移動距離算出に影響を及ぼすため, 25m以下のデータを採用した. 本研究では主に歩行者, 自転車を対象とするため, 移動速度が4.2(m/s)以下のデータを使用した. ポイント型流動人口データはアプリのユーザーから得ているデータであるため, メッシュ単位での流動人口を推定する回帰式の構築が必要となる. 一ノ瀬ら²⁾は, ポイント型流動人口データと交通量調査データを用いて, 「隣接するメッシュに存在する流動人口経路数」, 「メッシュ内の総道路延長(m)」を説明変数とする100m四方の歩行者数を推定する回帰式を提案した. 本研究でも一ノ瀬らの回帰モデルが適用可能かについて検討する.

3. 分析の流れ

本研究の流れをfig.1に示す. ①属性分析では, 流動人口データの項目を用いることにより, IDに対し「active(一時間の移動距離が50m以下), inactive(一時間移動距離が50mより大きい)」, 「日本人(言語設定が日本語), 外国人(言語設定が日本語以外)」の属性を付与し, メッシュ内の属性経路数を調べる. ②流動人口分析では, 流動人口データから経路を作成し, 回帰分析により各時間帯におけるメッシュ内流動人口を推定する. ③暑熱環境分析では, 道路面の1日積算日射量について, メッシュごとに平均値を算出する. ④クラスター分析では, 流動人口分析と暑熱環境分析の結果を用いて, k平均法によりメッシュのクラスタリングを行う. ⑤クラスター分析の結果と属性分析の結果を用いて暑熱環境対策優先街区の選定の判断材料とする.

本研究において「経路」とは, IDが同じの位置情報を

時系列順に結んだラインまたは独立したポイントであり、各時間帯におけるメッシュ内の経路数 (fig.2) を集計し、回帰モデルの説明変数とした。

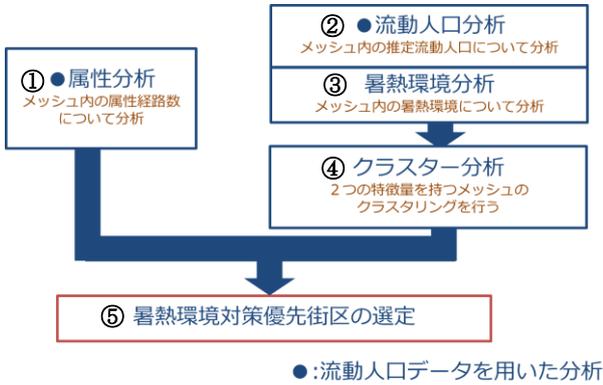


fig.1 Analysis flow

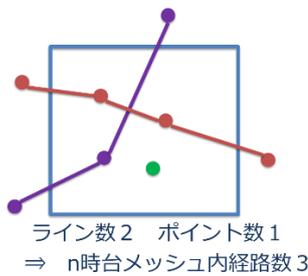


fig.2 Number of routes in mesh

4. 分析結果

4.1 属性分析

本研究において、「active」に分類される経路は屋外活動が活発な経路として考え、これを暑熱環境対策の対象者とする。「inactive」に分類される経路は屋外活動が非活発な経路として考え、暑熱環境対策の対象者ではないとする。さらに、言語設定から日本人、外国人の分類を行うことで、外国人を対象とした暑熱環境対策優先街区の選定における有効な情報とする。属性の分類方法について、流動人口データからは屋内外の判定が正確にできないこと、スマートフォンの言語設定は必ずしもその人の国籍を表すものではないことに留意する必要がある。

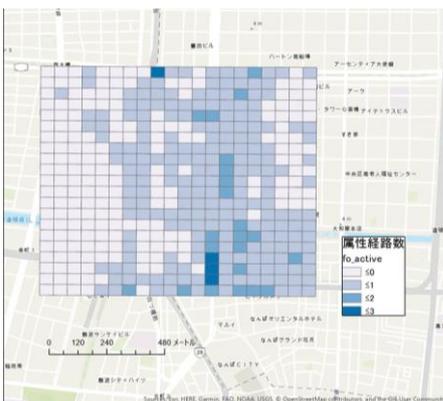


fig.3 Color map of the number of "foreigner and active" routes

属性ごとのメッシュ内経路数 (7時から19時の合計) を分析した。fig.3に「外国人かつactive」の属性による経路数のカラーマップを示す。これより、御堂筋の難波駅北側や、長堀通の四ツ橋心斎橋駅周辺に外国人かつactiveの経路が多いことがわかる。

4.2 流動人口分析

流動人口分析より、大阪市の交通量調査データとの比較によりメッシュ内の流動人口を推定する回帰式を構築した (eq.1)。大阪市の交通量調査データは2015年11月19日に歩行者、自転車を対象として1時間集計で調査されたデータを目的変数とした。説明変数及びP値をtable.1に示す。流動人口データ由来の説明変数である x_1 のP値が有意ではなく、回帰モデルの自由度調整済み決定係数が0.467となり、モデル改善の余地は残った。

P値および自由度調整済み決定係数が有意な結果とならなかった原因として、交通量調査データと流動人口データの取得日の違いが考えられたため、交通量調査データと同日の流動人口データをもとに同じ説明変数を用いて重回帰分析を行ったが、隣接メッシュ内の経路数 (x_1) のP値は0.42、自由度調整済み決定係数は0.464となり、推定式の改善にはつながらず、一ノ瀬ら²⁾の回帰モデルは本研究で適用することができなかった。

eq.1によって各時間帯におけるメッシュ内の推定流動人口を算出した (fig.4)。これより、12時台には御堂筋や

table.1 Results of multiple regression analysis

説明変数	P値	係数
隣接メッシュ内経路数 (x_1)	0.24	-2.65
メッシュ内道路幅平均 (x_2)	0.00	26.92
メッシュ内延べ床面積 (x_3)	0.00	-0.18
雇用者数 (x_4)	0.00	-3.69
定数項		
2457.12		
目的変数		
交通量調査データ(歩行者・自転車)		

$$y = 2457.12 - 2.65x_1 + 26.92x_2 - 0.18x_3 - 3.69x_4 \quad (eq.1)$$

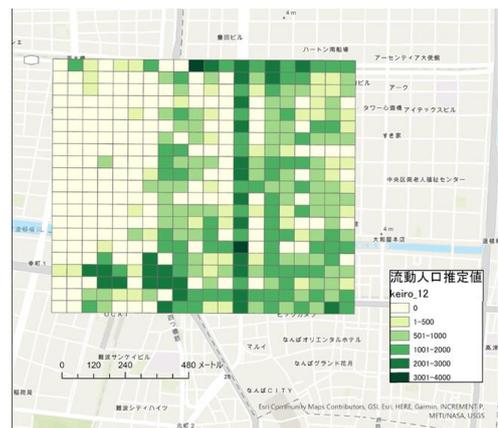


fig.4 Estimated fluid population at 12:00

長堀通の東側、湊町リバープレイス周辺に日本人と外国人の active の経路が多いことがわかる。

4.3 暑熱環境分析

ArcGIS を用いて、暑熱環境分析により、メッシュごとの道路面日射量の平均値 [Wh/ (m²・日)] を算出した。カラーマップを fig.5 に示す。これより、東西道路である長堀通、道頓堀川沿い、湊町リバープレイスの道路面日射量が大きいがわかる。

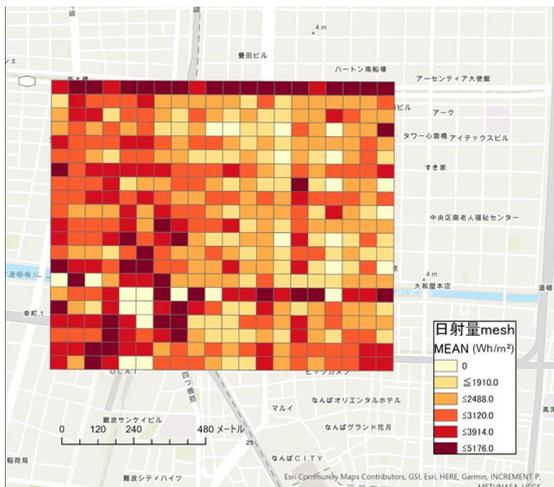


fig.5 Average solar radiation on road surface in mesh

4.4 クラスタ分析

流動人口分析と暑熱環境分析の結果から、メッシュごとのクラスタ分析を行った。クラスタ数は4と設定した場合の各クラスタの平均値を fig.7, fig.8 に示す。これより、クラスタ0 はメッシュ内の推定流動人口が2000人程度、クラスタ3 は1000人程度であることがわかる。また、クラスタ0 とクラスタ2 の道路面日射量は3080~3250Wh/ (m²・日)程度、クラスタ3 が2600Wh/ (m²・日)程度で日当たりが良い街区であることがわかる。以上より、推定流動人口と道路面日射量の観点から、暑熱環境対策優先街区は推定流動人口が多く道路



fig.6 Results of cluster analysis

面日射量も大きいクラスタ0 に分類された街区と判断できる (table.2). クラスタ番号0 に分類される主な場所としては、御堂筋、長堀通、大阪難波駅、道頓堀、湊町リバープレイス周辺などがある。

table.2 Evaluation of each cluster

クラスタ番号	流動人口順位	暑熱環境順位
0	1	1
1	3	4
2	3	2
3	2	3

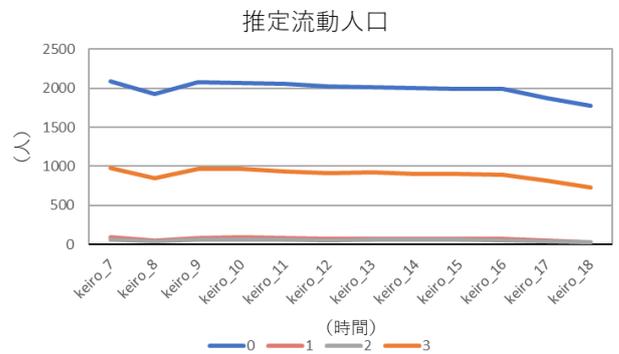


fig.7 Average estimated fluid population by cluster

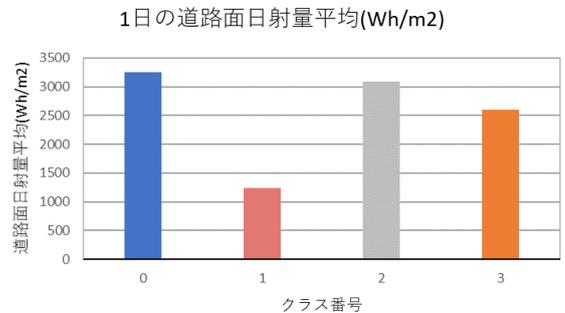


fig.8 Average road surface solar radiation by cluster

5. 暑熱環境対策優先街区の選定

fig.9 に、クラスタ0 と分類された街区について「外国人かつ active」の経路数についてのカラーマップを示す。これにより、特に外国人を対象とした場合の暑熱環境対策優先街区として、fig.9 に示す大阪難波駅北側の街区を選択することができる。同様に、fig.10, fig.11 を用いてクラスタ0 の中で推定流動人口、道路面日射量について順位付けを行うことができ、優先度の高い項目の強度に応じて暑熱環境対策優先街区を選定することができる。



fig.9 Number of "foreigner and active" routes in cluster0



fig.10 Estimated fluid population at 12:00 in cluster0

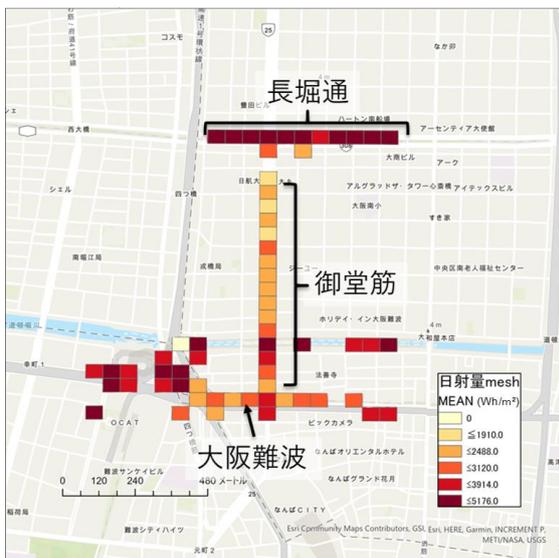


fig.11 Average solar radiation on road surface in mesh in cluster0

6. まとめ

流動人口データを用いて、大阪難波周辺において暑熱環境対策優先街区の選定方法を提案することができた。

優先度の高いクラスターの中でさらに属性ごとの経路数や推定流動人口、道路面日射量を用いて順位付けをすることで自治体が重要度に応じて判断することができる、優先街区選定に対して有効な情報を提供できた。

流動人口分析における回帰式の改善は今後の課題である。

参考文献

- 1) 三坂ら「暑熱環境対策における人の空間利用に関する研究」環境情報科学 学術研究論文集 31, 131-136, 2017年
- 2) 一ノ瀬ら「スマートフォンの位置情報による流動人口の時空間分布の推定」土木学会論文集 A1, Vol. 74, No. 4, p210-219, 2018年

空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会 局所温冷感・乾燥感を考慮した航空機内の座席空調の検討

Verification of the Effect of Air-conditioned Seats in an Aircraft considering Local Thermal Sensation

○郷原 遼 (立命館大学)

近本 智行 (立命館大学)

*1 Ryo GOHARA

*2Tomoyuki CHIKAMOTO

In this research, the air-conditioned seats in an aircraft were proposed. The effect of them were verified by experiment of thermal and airflow distribution in an experimental room which reproduced a part of the aircraft indoor space and air-conditioning system. Subject experiments were also conducted. Since the air-conditioned airflow from the overhead supply outlet generates draft near the face, passengers sometimes feel uncomfortable. The air-conditioned seats do not generate the flow around the face and it leads to improvement of the thermal sensation vote of the passengers. It also reduce the dryness feeling of the passengers.

1. はじめに

航空機の機内温湿度は $24^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 、 $10\sim 20\%\text{RH}$ に設定されている。また、乗客の温冷感には個人差がある。しかし、航空機には乗客が個別に温度調節できる設備を付けることができない。そのため、個別空調として頭上に吹き出し口(以下、頭上空調)が設置されているが、Weilin Cui ら^{文1)}によると頭上空調は背中や臀部に暑さによる不快感を感じる。このことから、P. Jacobs ら^{文2) 3)}は吹き出し方法や吹き出し場所などを検討し気流を主に顔付近に当てることで冷涼感を得る研究を行った。一方、高田ら^{文4)}によると乾燥状態において顔に気流を感じることが不快であるということを明らかにしており、航空機内で気流を用いた個別空調を使用すると乾燥感がより悪化すると予想される。しかし、乗客の乾燥感を考慮した航空機内における個別空調の研究は少ない。そこで、顔付近に気流が発生しない空調方式に変えることで乾燥感を改善しながら局所的な快適性を向上させることができると考え航空機に適応可能な個別空調を提案する。

本研究では、オフィスチェアの背中面と座面に小型のPCファンを取り付けたもの(以下、座席空調)を作成し、航空機内の気流の流れを変えずに適応可能であることを確かめる。その後、低湿度状態($20\sim 30\%\text{RH}$)において、座席空調を使用した際の目、鼻、口への気流による乾燥感・局所的な温冷感に関するアンケート調査を被験者実験にて行う。

2. 実測概要

2.1 座席空調の概要

座席空調は、オフィスチェアの座面と背中面にそれぞれ

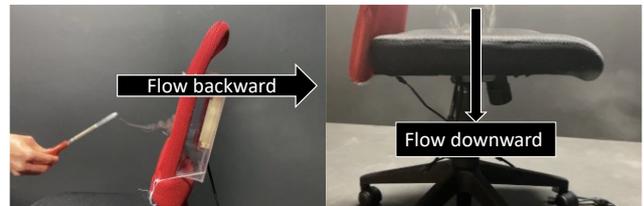


Fig.1 Airflow

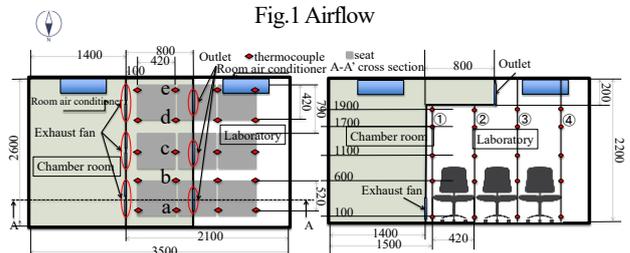


Fig.2 Floor plan and A-A' cross section

れ1個ずつ吸い込みファンを取り付け、Fig.1のように航空機内の空気の流れと同様の上から下への流れを再現した。

2.2 実験概要

実験室内に航空機内の座席配置3列×3列を模擬した。Fig. 2のように吹き出し口を中央席の上部に作成し、東側の下部にファンを取り付け排気を行った。実験室内は 26°C に設定する。実験に使用する椅子は、奥行、幅共に420mmのオフィスチェアである。座席には人体の発熱を模擬するため、60Wの電球を入れた高さ910mmのプラスチックダンボール箱を設置した。より人体の発熱状態に近づけるため、上部に熱が行くよう下部にアルミホイルを取り付けた。Fig. 3の通り、アルミホイルを取り付けた人体模型はアルミホイルがない場合と比べ、熱が上部にも行き渡っていることが見て取れる。また、着座していると想定している座席のみファンを起動させる。

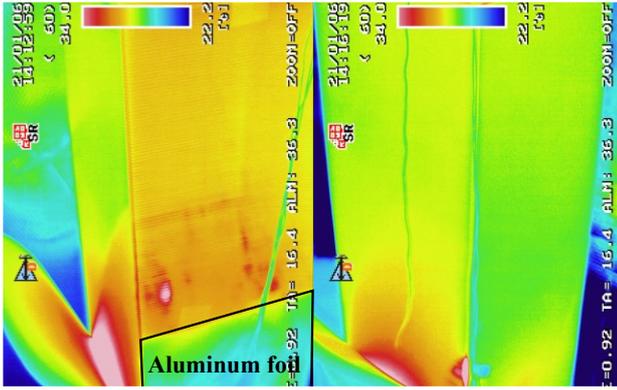


Fig.3 mannequin



Fig.4 Inside view of the room tested

Table.1 Experiment outline

	Laboratory acclimatization		Start measurement	End of measurement
Time (minutes)	0	60	60	120
Laboratory	No air conditioning	27°C	No air conditioning	
Chamber room	24°C	18°C	18°C	

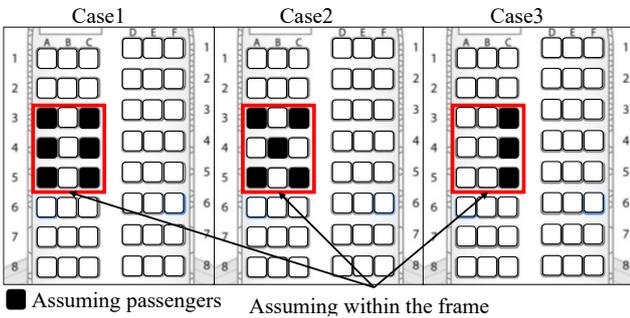


Fig.5 Experimental case

2.3 実験ケースと実験方法

座席空調の稼働数が機内の空調に影響を与える可能性があるため、Fig. 5 のように3ケース設定した。また、実験室の環境条件はTable. 1 のように設定した。実験室順化を行っている間も、座席空調を稼働させあらかじめ空気の流れを構築した。温度は、室内の FL+100mm・FL+600mm・FL+1100mm・FL+1700mm・FL+1900mm を 20 か所、計 100 点にて計測した。また、気流の可視化はスモークを用いて行った。

3. 実験結果

3.1 室内温度分布

室内温度分布は、Fig. 2 の A-A' 断面②吹き出し口直下の平面を切り取ったものを掲載する。また本稿では、座

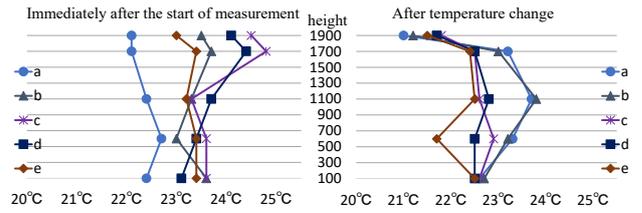


Fig.6 Temperature change of overhead air conditioning in case 1

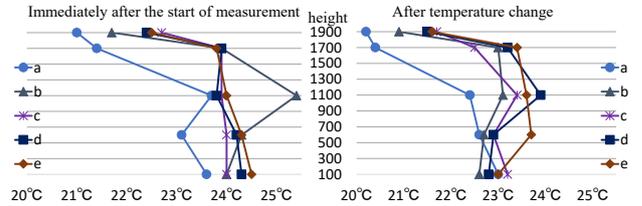


Fig.7 Temperature change of seat air conditioning in case 1

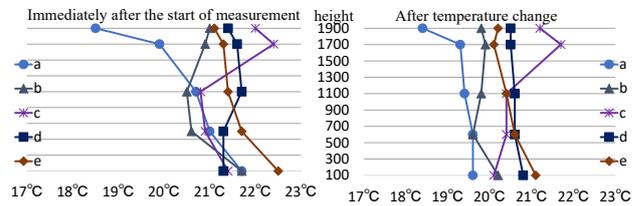


Fig.8 Temperature change of overhead air conditioning in case 3

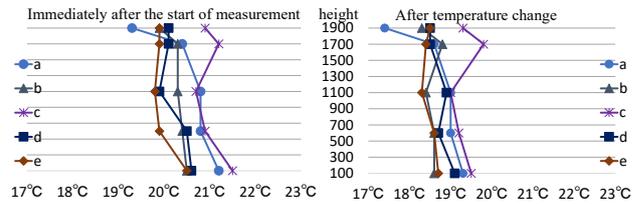


Fig.9 Temperature change of seat air conditioning in case 3

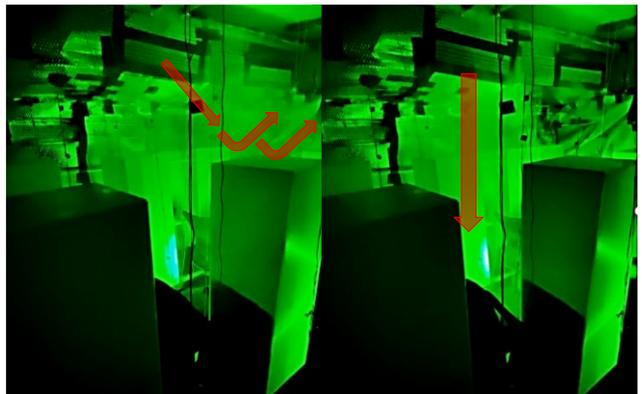


Fig.10 Airflow for overhead and seat air conditioning

席空調の稼働数が最も多いケース 1 と最も稼働数が少ないケース 3 のみ掲載し、ケース 2 は省略する。Fig. 6～9 に、各点の計測開始直後及び変化後の温度分布を示す。全体空調時はFig. 6、8 ように、室内温度が 1°C 低下したが、座席空調時はFig. 7、9 のように、1.5°C 低下した。座席空調時に 1.5°C 低下した理由として、座席に設置されているファンによって換気が促され、チャンバー室の 18°C の空気流入量が多くなったことが大きな要因だと考

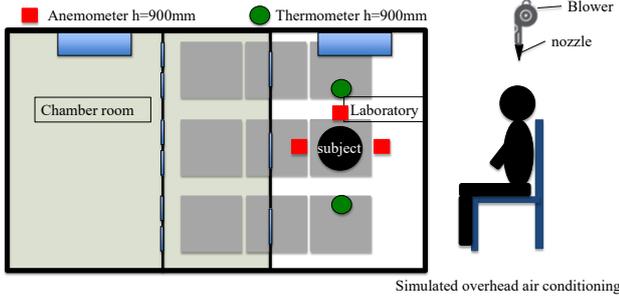


Fig.11 Subject experiment outline

えられる。測定点 a において、高くなるにつれ温度が低い状態になっており、これは測定点が吹き出し口の近くにありチャンパー室の 18℃の冷気が直接当たっていたことが原因である。

3.2 気流の可視化

空調時は、吹き出し口から出たスモークは Fig. 10 のように中央席の人体モデルに直撃し、一度上昇していることがわかる。一方で座席空調時は、吹き出し口から出たスモークはすぐに、下方向に流れ人体モデルに直撃することはなかった。また、全体空調時のように上昇することもなかったため、上から下への流れができています。

3.1-3.2 から、航空機内で座席空調を用いると上から下への流れを維持したまま、換気が促され温度変化が早く大きくなることがわかった。

4. 被験者実験

4.1 実験概要

被験者は健康な男子学生 3 名^{注1)}とした。Fig.11 のように被験者の両横にて風速を計測する。また、実験前に被験者の顔前から 10cm 程度のところで気流を測定した結果 Table.2 の通りになった。室内温湿度は、温度 26℃、湿度 30%に設定した。ファンは 2 時間常に付けた状態とした。また、比較として頭上空調を模擬した実験も行った。頭上空調は Fig. 11 のように小型の送風機を用い、吹き出し口に厚紙で作成したノズルを取り付け風量が航空機同様 1L/s になるように設定し、被験者の頭上に取り付けた。着座した被験者のおでこ付近に気流が当たるよう調節した。

4.2 実験手順

最初の 15 分間は、航空機の搭乗までに歩く時間と、搭乗後に荷物を荷物置きに置く作業を想定し、体温を上昇させるためスクワットを 30 回してもらった。その後、実験室に入室し、2 時間着座状態で実験を行う。アンケートは 10 分おきに記入してもらい、入室直後の 1 回を含む計 13 回記入してもらった。アンケート評価は Table. 3 の通りである。

Table.2 Subject experiment measurements and setting conditions

Overhead air conditioning		
In front of the face	Left side	Right side
1.2m/s	0.2m/s	0.1m/s
Seat air conditioning		
In front of the face	Left side	Right side
0.1m/s	0.2m/s	0.1m/s

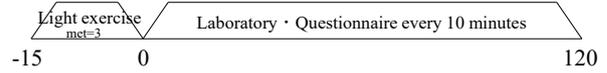


Fig.12 Experiment schedule

Table.3 Questionnaire evaluation items

value	Warm and cold feeling	Comfort	Feeling dry
3	hot	Very comfortable	
2	warm	comfortable	
1	Somewhat warm	Somewhat comfortable	
0	Neither	Neither	
-1	Slightly cool	Somewhat uncomfortable	
-2	cool	Discomfort	
-3	cold	Very uncomfortable	

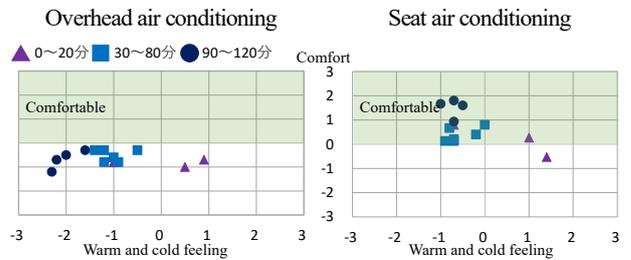


Fig.13 Changes in whole body warmth and coldness

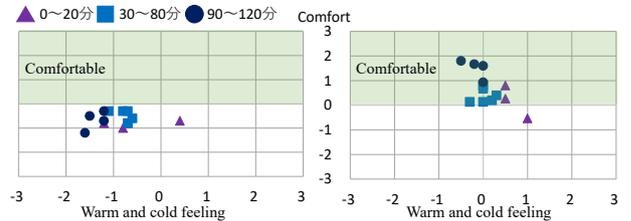


Fig.14 Change in the feeling of warmth and coldness of the face

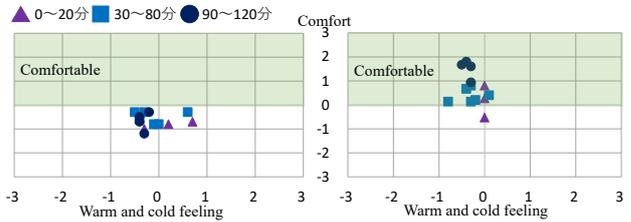


Fig.15 Change in feeling of warmth and coldness on the back

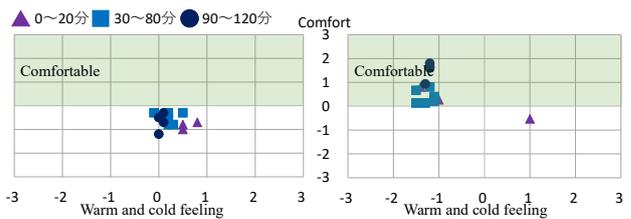


Fig.16 Changes in the feeling of warmth and coldness in the buttocks

5. 結果

5.1 温冷感の変化

頭上空調時の全身温冷感はFig. 13のように、涼しくて不快であると申告されている。しかし座席空調になると、涼しくて快適との申告に変化している。部位別温冷感も、頭上空調時は不快感を示す申告が多く出ている。しかし、座席空調になると全ての部位で快適の申告に大半を占めていた。特に変化の大きかった部位は臀部である。頭上空調時の申告はやや暑くて不快であったが、座席空調時は涼しくて快適の申告に変化している。これには、座面のファンが大きく影響を与えていると考えられ座席空調の効果が最も出ている部位であると考えられる。座席空調を使用すると、頭上空調時と同程度の温冷感にはなるものの、快適感はやや上がる。座席空調になったことで気流が小さくなり、寒いと感じなくなったためだと考えられる。頭上空調時の全身温冷感は一1.07 とやや寒く、快適感は一0.35 とやや不快であった。座席空調時は全身温冷感は一0.64 と涼しく、快適感は一0.68 と快適となっている。

5.2 乾燥感の変化

頭上空調時は、Fig. 17のように目では不快感が出ており、気流の影響であるということが見て取れる。鼻はFig. 18のように気流感が不快という結果が出ている。口においては、Fig. 19のようにどちらの場合も湿度が不快である。しかし、気流感においてはすべての部位において快適であると申告された。目においては、気流感が快適であるとは申告されなかった。これは、全体空調の気流がわずかながら影響しているとみられ、被験者2名ともコンタクトレンズ装着者であることも影響していると考えられる。

6. 座席空調の導入効果

頭上空調時の全身温冷感は一1.07 とやや寒く、快適感は一0.35 とやや不快であった。座席空調時は全身温冷感は一0.64 と涼しく、快適感は一0.68 と快適となっている。以上のことから、座席空調を導入することで快適感が向上することがわかる。

7. まとめ

本研究では、座席空調の導入による空調としての効果と実用性を検証した。座席空調を導入しても頭上空調と変わらず、航空機内の気流の流れは維持できた。また、被験者実験の結果から頭上空調よりも温冷感を向上することができる。さらに、乾燥感の改善を行うことができた。このことから、航空機内に座席空調を導入することは可能である。

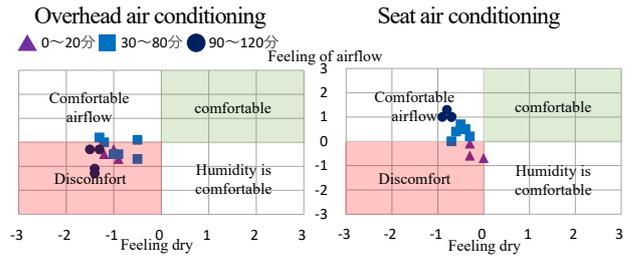


Fig.17 Changes in dryness of the eyes

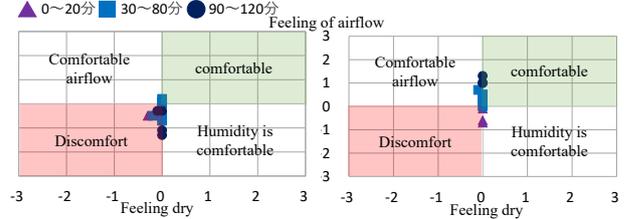


Fig.18 Change in dryness of the nose

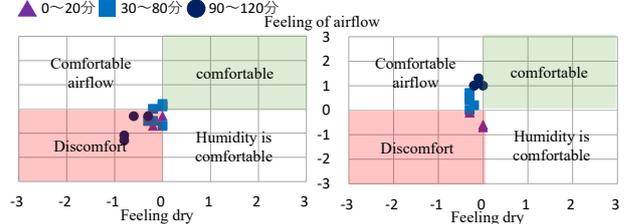


Fig.19 Change in dry mouth

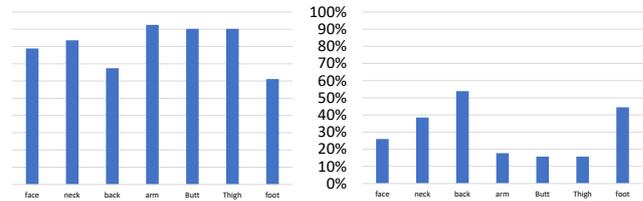


Fig.20 Effect on whole body warmth and coldness of each part

注釈

- 1) 1名の実験中に室内温度変化が大きくなりデータとして不正確なため、2名分のデータを使用した。

参考文献

- 1) Weilin Cui, Qin Ouyang, Yingxin Zhu:Field study of thermal environment spatial distribution and passenger local thermal comfort in aircraft cabin”, of Building and Environment, Volume 80, pp. 213~220(October 2014)
- 2) P.Jacobs W.E.de Gids :The Aircraft Seat As Indoor Air Quality And Temperature Control System”, Department of Building Physics Indoor Environment and Energy TNO Environment and Geosciences(2005)
- 3) P.Jacobs W.E.de Gids: Individual and collective climate control in aircraft cabins” International journal of vehicle design(2006)
- 4) 高田 暁：乾燥感の評価構造に関する研究(乾燥感の部位別特性と室内温熱環境条件との関係) 空空調・衛生工学会大会学術講演論文集 pp1865~1868 (2011年9月)

農業の持続的な発展のための温室における環境デザインに関する研究

- 栽培作業台高さと温熱環境が作業者に及ぼす影響 -

Study on Environmental Design in Green Houses for Sustainable Development of Agriculture
- Impact of Cultivation Work Table Height and Thermal Environment on Workers -

○山田 侑輝 (大阪市立大学) 鍋島 美奈子 (大阪市立大学) 西岡 真稔 (大阪市立大学)

北川 康孝 (東レ建設株式会社) 小倉 久弥 (東レ建設株式会社)

Yuki YAMADA*, Minako NABESHIMA*, Masatoshi NISHIOKA*,

Yasutaka KITAGAWA**, Hisaya OGURA**,

*¹ Osaka City University, ** TORAY Construction Co., Ltd.

Recently, stilt sand cultivation has been attracting attention in the agricultural field. In this study, we investigated the effects of the height of the cultivation workbench and the thermal environment on the workers by performing simulated planting work in a stilt sand cultivation agricultural facility and measuring the work efficiency, etc at that time. As a result, it was concluded that the recommended range of height of the cultivation workbench, which is less fatigued and easier to work with, is 7 to 14 cm, which is the difference between the height of the elbow and the height of the workbench.

1 研究背景・目的

農業用ビニルハウスでの高床式砂栽培農業は、関東以西の比較的温暖な地域で展開されており、作業性の良さから地域の高齢者や障がい者のコミュニティー農園での活用事例も増えている。Fig 1 に示す高床式ベッドは建設現場などで使用される足場材で構成されており、施工や高さ調節が容易であるといった高い施工性、高床式であるため腰付近の高さで作業ができ体への負担が少ないことなどがあげられるが定量的な評価がなされていない。

茂木ら¹⁾は立位作業時に作業台を使用する場合の作業台高さの最適値に関する実験を行い、主観評価によって適切な作業面高は肘高差が 10 cm となる条件であり、その調節範囲は条件 $10\text{cm} \pm 5\text{cm}$ とするのが望ましいことを明らかにした。しかし、茂木らの実験内容はやや小さな立位静止作業であったため、ビニルハウス内での農作業とは異なる。また、作業に関する主観評価は作業高さや順位でしか評価されておらず、要因として考える疲労度や全身温冷感といった心理量の分析はしていない。

そこで、山田ら²⁾は被験者に高床式栽培ベッドで定植の模擬作業を行わせ、その際の作業効率や心理量の変化を記録し、作業台高さの違いが及ぼす影響を分析した。しかし、この時の実験は評価指標や実験方法の妥当性を検討するための予備的な実験という位置づけであったため、被験者は 20 代前半の学生 3 名のみ、作業台高さは 90 cm と 55 cm の 2 条件のみといった限定的な実験であった。

そこで本研究では、より多くの人々にとって疲労が少なく作業しやすい栽培ベッドの高さを明らかにするため、様々な年代の被験者を対象に、70cm~90cm の作業台高さで 5 分間の定植の模擬作業実験を行い、作業効率、作業姿勢だけでなく心理量を含む各評価指標と個人の特徴である肘高差の関係から分析する。



Fig 1 Stilt cultivation bed

2 方法

2.1 実験場所

本研究は 2019 年 11 月~2020 年 9 月の 10 日間に京都府相楽郡精華町光台 2 丁目 2 番地 2、国際電気通信基礎技術研究所敷地内にあるビニルハウスにて測定を行った。

2.2 測定項目

ビニルハウス内の温熱環境を把握するために乾球温度、湿度、黒球温度、風速について測定する。いずれの項目も測定間隔は 1 秒であった。

2.3 実験条件

栽培ベッド高さは 90cm、80cm、70cm とする。また、慣れや疲労などを考慮し、実験順序はランダムとする。

2.4 被験者

被験者は、実験参加への同意が得られた 20 代前半の

学生と10代前半～80代前半の普段からビニルハウスにて農作業を行っている延べ30名(男性16名、女性14名)であった。被験者の平均身長(標準偏差)は162.8cm(8.3)であり、被験者の最高身長は183cm、最低身長は147cmであった。

2.5 作業内容

作業効率を計測するための模擬作業として、苗を定植する代わりに赤、黄、青、緑の4色のカラーボールを栽培ベッドに置いていくものとする。

2.6 評価指標

2.6.1 作業効率

被験者に実験直前に Fig 2 のようにカラーボールがランダムに配置された指示書を渡し、5分間で配置通りにカラーボールを正確に栽培ベッドに配置できた個数で作業効率を評価する。また、カラーボールには1～9の数字のシールが貼っており、縦の列のカラーボールの数字を足し合わせた合計を各列の下の枠内に記入していくものとする。ここで計算に間違いがあった場合、正確に配置したカラーボールの個数を1つ減らすものとした。

2.6.2 心理量

ビニルハウス内での作業が人の心理にどのような影響を与えるのかを把握するために実験前後にカテゴリ尺度を用いて全身温冷感、疲労度、温湿度に対する許容度の3つの心理量計測項目を被験者の主観申告として得る。

2.6.3 順位評価

作業高さの最適値を求めるために実験終了後に作業に適した栽培ベッド高さの順位評価を行う。

2.6.4 作業姿勢

作業姿勢(前傾角度)は VisionPose Nano を用いて右

肩と右腰を結ぶ直線と地上平行線のなす角度により測定した。VisionPose Nano とは、Webカメラのみで骨格深度情報を検出可能なAI姿勢推定エンジンであり、4FPS(1フレーム/0.25sec)で体の各部位の関節(25箇所)と顔パーツ(5箇所)の合計30箇所の骨格情報を2D座標で検出できる。今回は、右肩と右腰の座標を用いて、被験者の作業姿勢を求めた。

また、作業姿勢を平均値で評価するために計算結果を用紙に書く際、栽培ベッド上で行うものとする。

3 結果および考察

3.1 温熱環境と各評価指標の関係

Fig 3 に作業効率と SET* の関係を示す。ここで凡例は被験者の肘高差を四捨五入した値を示す。Fig 3 より作業効率と SET* の相関係数は -0.39 であり弱い負の相関がみられた。同様に Fig 4～Fig 6 に心理量と SET* の関係を示す。これらより全身温冷感は強い正の相関がみられたことから温熱環境の影響が大きかったと考えられる。また疲労度には温熱環境による影響はみられず、温湿度に対する許容度は弱い負の相関であり、「1:許容できない」の申告は少なかったため、SET* が高い環境下でも許容できる範囲内であったと考えられる。

Fig 7 に SET* を 30℃未満、30℃以上の2つに分類した時の SET* 別の作業効率を示す。これより、SET* が 30℃以上の時より 30℃未満の時の方が作業効率は平均で 5.5 個高い結果となり、分散分析の結果、有意水準 1% で有意差が認められた。これにより、温熱環境の違いが作業効率に影響を及ぼすことが認められた。

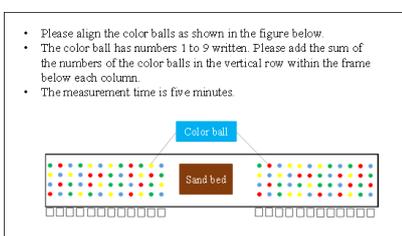


Fig 2 Instructions for measuring work efficiency (An example)

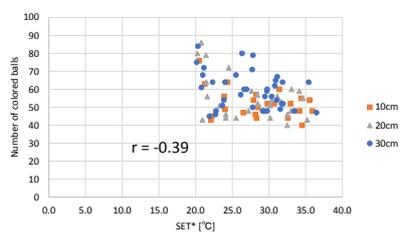


Fig 3 Relationship between work efficiency and SET *

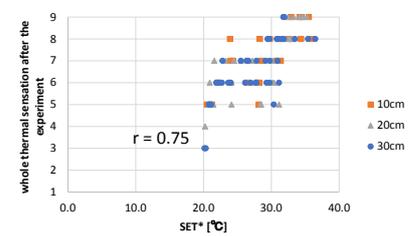


Fig 4 Relationship between whole thermal sensation and SET *

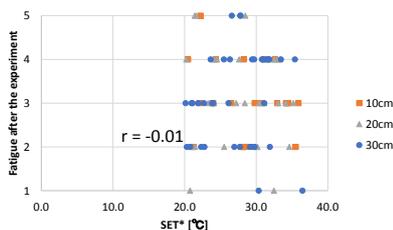


Fig 5 Relationship between fatigue and SET *

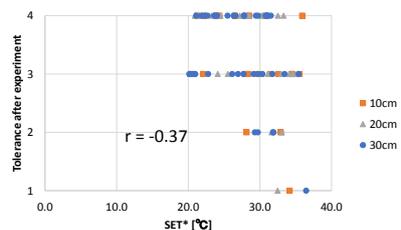


Fig 6 Relationship between tolerance and SET *

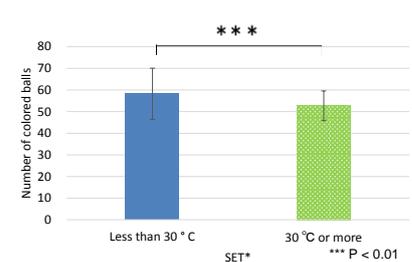


Fig 7 Work efficiency for each SET *

3.2 肘高差と各評価指標の関係

3.2.1 作業効率

各実験における被験者の肘高差(cm)の1の位を四捨五入した値を10cm以下(条件10cm)、20cm(条件20cm)、30cm以上(条件30cm)の3つに分類した時、肘高差ごとに正確に配置できたカラーボールの個数の平均を Fig 8に示す。作業効率が高い順に、条件20cmの時57.9個、条件30cmの時56.0個、条件10cmの時53.9個であった。分散分析の結果、条件間では有意差が認められなかった。これにより、肘高差の違いが作業効率に影響を及ぼさなかったことが認められた。また Fig 9に正確に配置できたカラーボールの個数と肘高差の相関係数は-0.01であり相関関係はみられなかった。

3.2.2 心理量

各実験における被験者の肘高差条件を前述のように3条件に分類した時、肘高差ごとの疲労度の変化量の平均を Fig 10に示す。疲労度の変化量はより疲れた側へと変化した順にCの時1.2、Bの時0.4、Aの時0.3であった。分散分析の結果、有意水準1%で有意差が認められた。これにより、肘高差の違いが疲労度に影響を及ぼすことが認められた。また、Fig 11に疲労度と肘高差の関係を示す。Fig 11より疲労度と肘高差の相関係数は0.54であり正の相関がみられた。

同様に各実験における被験者の肘高差条件を前述のよ

うに3条件に分類した時、肘高差ごとの全身温冷感、許容度の変化量の平均を Fig 12、Fig 13に示す。分散分析の結果、条件間では有意差が認められなかった。これにより、肘高差の違いが全身温冷感、許容度に影響を及ぼさなかったことが認められた。

3.2.3 作業姿勢

各実験における被験者の肘高差条件を前述のように3条件に分類した時、作業姿勢の平均を Fig 14に示す。作業姿勢が小さい順に条件30cmの時56.7°、条件20cmの時70.4°、条件10cmの時79.3°であった。分散分析の結果、有意水準1%で有意差が認められた。これにより、肘高差の違いが作業姿勢に影響を及ぼすことが認められた。Fig 15に作業姿勢と肘高差の関係を示す。これより作業姿勢と肘高差の相関係数は-0.80であり強い負の相関がみられた。作業姿勢において、70°以下の前傾姿勢は腰痛の発生要因となる指摘がある³⁾。ここで、Fig 15の肘高差と作業姿勢の関係式(formula 1)より作業姿勢が70°となる肘高差は20cmであることがわかった。このことから肘高差が20cm以上となる条件は本研究では適切ではない肘高差であると考えられる。

$y = -1.0303x + 90.629$	formula 1
x : Difference between elbow height and work table height [cm]	
y : Working posture [°]	

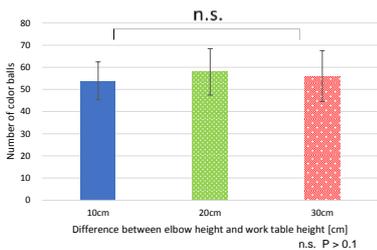


Fig 8 Average number of color balls per difference between elbow height and work table height

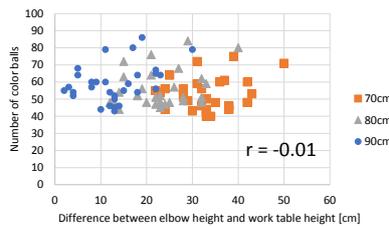


Fig 9 Relationship between the number of color balls and difference between elbow height and work table height

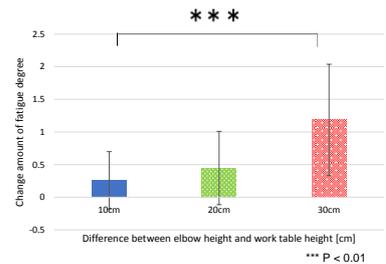


Fig 10 Average of the change amount of fatigue degree per difference between elbow height and work table height

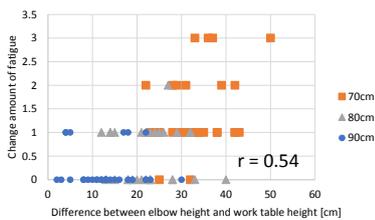


Fig 11 Relationship between fatigue degree and difference between elbow height and work table height

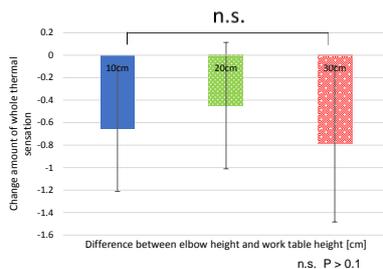


Fig 12 Average of the change amount of whole thermal sensation per difference between elbow height and work table height

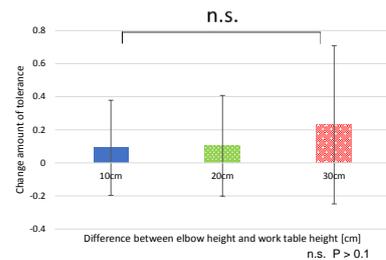


Fig 13 Average of the change amount of tolerance per difference between elbow height and work table height

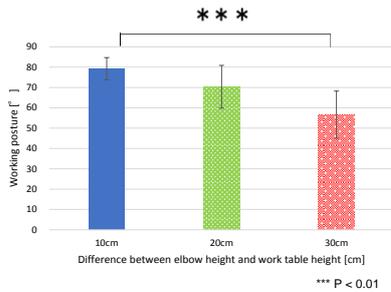


Fig 14 Average working posture per difference between elbow height and work table height

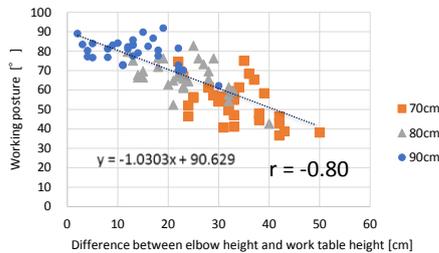


Fig 15 Relationship between working posture and difference between elbow height and work table height

3.2.4 順位評価

実験終了後に作業に適した栽培ベッド高さの順位評価を行った。Fig 16 に各順位評価における肘高差の分布を示す。Fig 16 より順位評価が低くなるごとに肘高差のピーク値は大きくなる傾向がみられた。

肘高差が 18cm 以下の条件では順位評価で 3 位評価を申告した被験者はいなかったが、19~21cm の肘高差の条件で 3 位評価を申告する被験者がいたことや、肘高差が 19cm 以上の各条件では 1 位評価を申告した人数より 2 位、3 位評価を申告した人数の割合が大きくなっていることから肘高差が 19cm 以上となる条件は作業に適していないと考えられる。なお、ここで肘高差が 19cm 以上となる条件で 1 位評価をした被験者は 7 名いるが、そのうち 6 名は最も肘高差が小さくなる条件が 19cm より大きかった。そのため、先ほど挙げた 6 名の被験者は肘高差が 18cm 以下の条件となる作業台で実験をしていれば、その際の条件を 1 位評価と申告していた可能性が高いと考えられる。

肘高差 4~14cm の条件の時、1 位評価を申告する被験者が最も多かった。

また、肘高差が 6cm 以下の条件で 2 位評価を申告した被験者がいることから、肘高差が小さいとその際の作業台高さは少し高いと感じ、作業に適した条件にならなかったと考えられる。

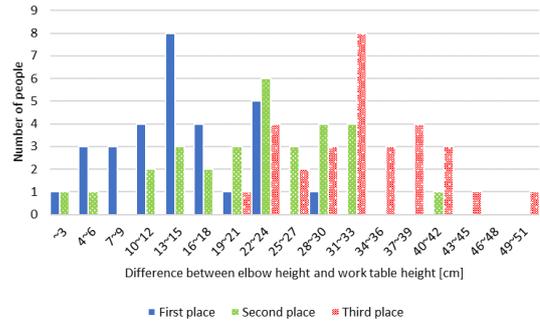


Fig 16 Ranking evaluation by difference between elbow height and work table height

3.3 まとめ

本研究では、より多くの人々にとって疲労が少なく作業しやすい栽培ベッドの高さを分析するために、被験者実験を行い以下の結果を得た。

- 肘高差という個人の身体情報の有用性を、疲労度、作業姿勢の観点から確認できた。
- 作業効率、全身温冷感、温湿度に対する許容度に関しては肘高差との関連性は低く SET*との関連性が高いことを確認できた。SET*が 30℃以上の時より SET*が 30℃未満の時の方が作業効率は高くなった。
- 順位評価の観点では肘高差が 4~18cm となる条件の時、1 位評価を申告する被験者の割合が最も大きくなり、肘高差が 6cm 以下となる条件の時、2 位評価を申告する被験者がみられた。
- 肘高差が 14cm 以下となる条件の時、疲労度の変化量は最も小さくなった。
- 肘高差と作業姿勢の関係式を示し、肘高差が 20cm 以上となる条件の時、腰痛の発生原因となる作業姿勢となることが分かった。
- 沖田ら⁴⁾の台所作業台の適正高に関する研究では酸素消費量が最も小さくなる肘高差の条件は 9cm~13.1cm であるという知見が得られている。本研究結果と沖田ら⁴⁾の結果から総合的に判断すると、栽培ベッド高さは作業者の肘高差が 7~14cm の条件で調節することを推奨する。

【参考文献】

- 1) 茂木伸之・三澤哲夫 (2013) : 立位作業時における作業面高の最適値と調節範囲に関する実験的研究,労働科学 89(2) : pp33-39.
- 2) 山田侑輝・鍋島美奈子・西岡真稔・大橋良之・北川康孝 (2019) : ビニルハウス室内の作業性に関する研究- 栽培作業台高さの違いを評価する被験者実験方法についての検討 -,空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集
- 3) Punnet L, Fine LJ, Keysering WM, Herrin GD, Ghaffin DB(1991) : Back disorders and nonneutral trunk postures of automobile assembly workers, Scand J Work Environ Health 17, pp337-46.
- 4) 沖田富美子、上林博雄 (1980) : 「台所作業台の適正高に関する研究-台所作業台のデザイン基準の探求-」, 日本建築学会, Vol.295, pp85-91,

夏季において寝室 WBGT の時間変化に寝室方位が及ぼす影響

Comparison of thermal environment, thermal sensation and sleep quality among bedroom directions in summer

○吉見 周 (大阪市立大学) 梅宮 典子 (大阪市立大学)

陳 宇航 (大阪市立大学)

Shu YOSHIMI*1 Noriko UMEMIYA*1 Ukoh CHIN*1

*1 Osaka City University

This survey compares the relation of sleep quality and thermal environments, and thermal sensation in the bedroom orientation, N, E, S, and W in Osaka of collective housing residents of 931 people during the summer. We compared the relation of thermal sensations in all thermal environment changes: WBGT is always about 1°C higher in W than in the other directions. In all hours of using air-conditioning, WBGT rises 30 min to 2 hr after bedtime in W. In S, WBGT is constant. In E and N, WBGT is the same and lower than in the others. During all hours of opened windows, WBGT is 2°C lower in E than in the others.

1. 背景と目的

熱帯夜が増加する中で^{文1)}、夏季寝室の温熱環境調節は容易ではなく、冷房だけでは解決できない。山形ら(2018)は盛夏期の大阪の集合住宅での実測調査に基づき、温熱環境調節パターンや温熱環境の時間変化、温熱感覚や睡眠の質を分析し、1) 出現頻度は) 全時間冷房 30.8%、4) 全時間窓開放 10.3%、ウ) 全時間窓開放+扇風機使用 10.8%、2) 睡眠の質は就床後2時間、起床前2時間に温度変動が小さいほど良い、3) 温冷感はいウで差がない、4) 睡眠時 WBGT はア<イ=ウで推移、等を明らかにした^{文2)}。

本研究は、データを増やし季節も盛夏から夏全体に拡げて、就床時からの寝室 WBGT の推移に着目して、1) 温熱感、2) 睡眠の質、3) 住戸属性、4) 居住者属性として体質によって、WBGT の推移がどのように異なるかを住居の方位ごとに分析し、良い睡眠を得るための条件を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

大阪都市部の集合住宅を対象とし、各住戸連続7日、寝室温度は10分間隔、湿度は就床前と起床時に記録した。居住者には冷房や扇風機の使用、窓開・閉、寝室の在室、睡眠の30分間隔の記録と、起床時の前夜の睡眠の質5段階15尺度(OSA)と熟睡感や温熱感覚を申告してもらった。別途、体質や住戸属性も調査した。WBGTは自然湿球温度 Tw と黒球温度 Tg から(1)式で定義されるが^{文3)}、実測した気温と相対湿度から換算し^{文3)}、室内温熱環境指標とした。

$$WBGT=0.7 \cdot Tw+0.3 \cdot Tg \quad \dots (1)$$

7月末から9月中旬に2015年28戸165晩、2016年24戸152晩、2017年59戸398晩、2019年29戸216晩のうち、21時より早く寝た5%を除く870晩を分析する。盛夏期である8月15日前後は少ないが、夏全体にわたってほぼ偏りなく分布している(Fig. 1)。

3. 分析対象の構成

分析対象は24~88歳、平均58.2±16.0歳の男48名(34.3%)、女88名(62.9%)である(Fig. 2)。住戸方位ごとの戸数と出現晩数(出現率)は、南向き91戸637晩(65.0%)、東向き23戸161晩(16.4%)、西向き21戸147晩(15.0%)、北向き4戸28晩(2.9%)である(Fig. 3)。

睡眠の質を表すOSA得点は、60~64点67晩(7.5%)、55~59点88晩(9.8%)、50~54点230晩(25.6%)、45~49点276晩(30.7%)、40~44点152晩(16.9%)、35~39点63晩(7.0%)である。温熱環境調節行為としての冷房使用、窓開放、扇風機使用の各3種類について、睡眠時間に対する行為の時間率「全時間(○)」「一時(△)」「不使用(×)」の3段階をかけた計27パターンについて、出現頻度が高いパターンは順に、全時間冷房使用204晩(22.3%)、全時間窓開放131晩(14.3%)、冷房一時使用111晩(12.1%)、全部不使用94晩(10.3%)、全時間窓開放+扇風機使用61晩(6.7%)である。

4. 睡眠時 WBGT の時間推移

就床時刻の平均は23:06±00:54で、睡眠時間の平均が7時間18分±1時間36分であった。就床から8時間までに8割が起床するので、本報では就床から8時間までを分析する(Fig. 4 Table. 1)。

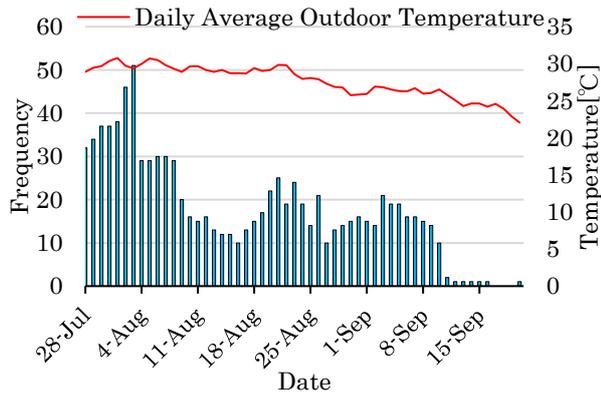


Fig.1 Daily mean outdoor temperature and measured periods

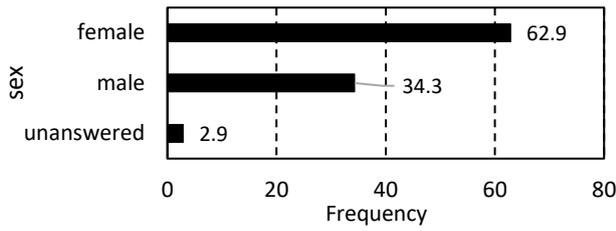


Fig.2 Gender proportion

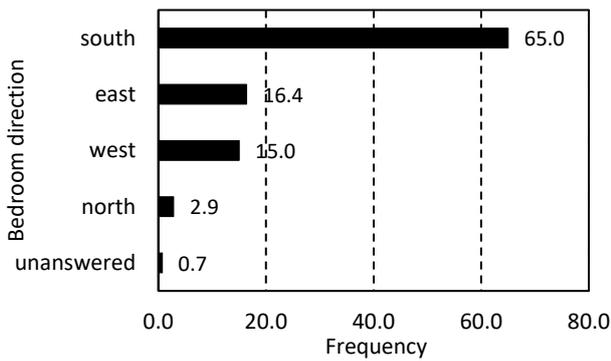


Fig.3 Bedroom direction proportion

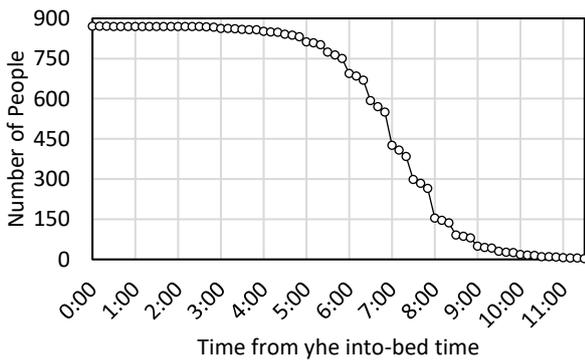


Fig.4 Changes in sleepers

Table.1 Bedtime and Sleep Duration

	Bedtime	Sleep Duration
Average	23:06	7:18
s. d.	0:54	1:36
Min	21:00	4:00
Max	2:30	11:30

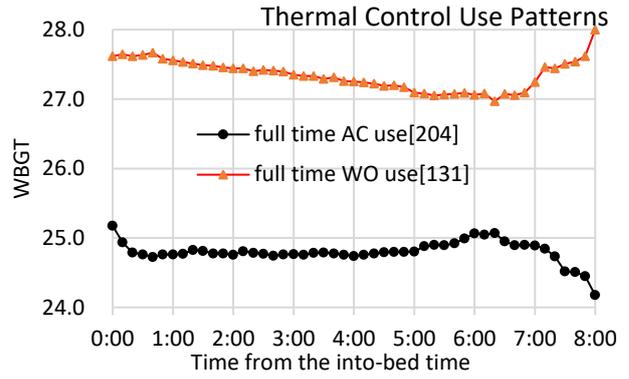


Fig.5 WBGT change since beginning of sleep and Thermal Control Use Patterns

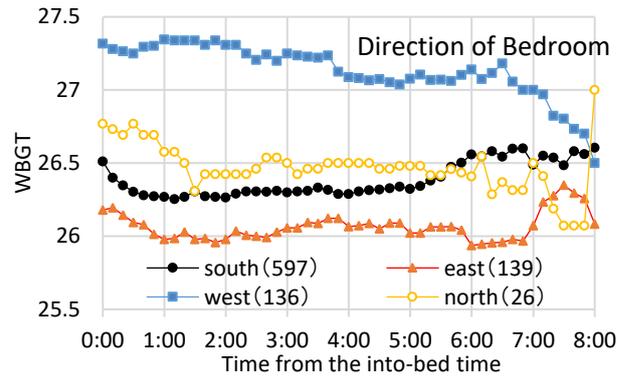


Fig.6 WBGT change since beginning of sleep and bedroom direction

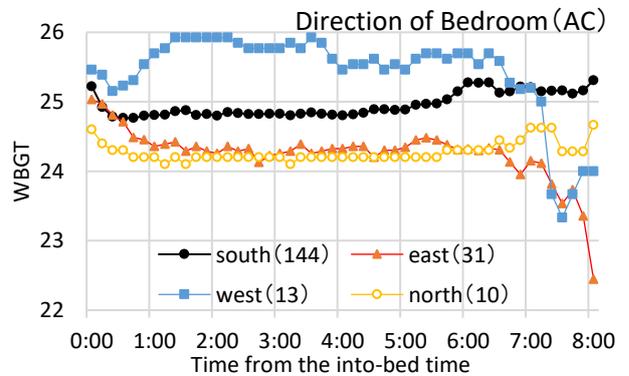


Fig.7a WBGT change since beginning of sleep and bedroom direction (full time AC use)

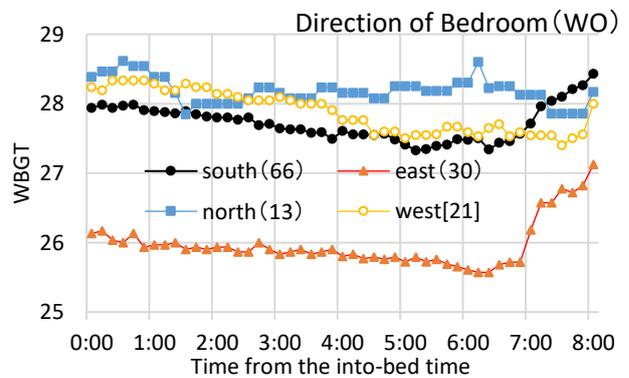


Fig.7b WBGT change since beginning of sleep and bedroom direction (full time WO use)

5. 調節パターンによる温熱環境の変化

全時間冷房使用 (○××、以下「冷房」と略) は全時間窓開放 (×○×、以下「通風」と略) より約 2.5℃ 低く推移し変動も小さい。冷房は就床後 30 分間下降した後に一定となるが、通風は就床後 40 分間一定の後に下降する。就床後 6 時間以降、冷房は下降するが、通風は上昇する。窓を開放することで冷房使用よりも外気の影響を受けやすくなり、朝日の影響で外気温が上昇することの影響をより強く受けたことを表している (Fig. 5)。

6. 寝室方位別の就床時からの温熱環境の変化

WBGT は寝室の方位によって値のレベルに差があり、西が他の方位より常時 1~1.5K 高く、就床時から 8 時間後まで徐々に約 1℃ 下降する。西日の影響を受けていると考えられる。他の方位は 1~2 時間後まで下降した後は一定である。5 時間後まで西>北>南>東の順位は変わらない (Fig. 6)。

6.1 温熱環境調節パターン a) 冷房 (Fig. 7a) 西向きは就床時は他の方位との差は小さいが、就床 30 分後~2 時間後にかけて上昇する。その後一定となる。南向きはほぼ 25℃ で一定である。東向き北向きは 24.2℃ 前後でほぼ同じ値で推移する。東向きが朝日の影響で朝に上昇することはなく、むしろ下降する。南向きは最も変動が小さく安定している。b) 通風 (Fig. 7b) 東向きが最も低いが 7 時間以降上昇する。通風では外気を取り込むので朝日の影響であると考えられる。西向きは最も変動が小さい。

6.2 竣工年 竣工年が断熱性能を反映するとして 3 段階に分けて比較する。a) 南向き寝室 (Fig. 8a) 竣工が平成 4~10 年と平成 11 年以降の WBGT はほぼ同じで、平成 3 年以前はそれらより一貫して約 0.5℃ 低い。平成 11 年以降が最も変動が小さく安定しているのは断熱性が高いことと関係している可能性がある。平成 3 年以前は就床後 1 時間のあいだに約 0.5℃ 下降し、就床後 30 分のあいだに 0.2℃ 程度下降する 4~10 年に比べて下降が大きい。その後はほぼ一定である。3 年以前と 4~10 年はともに、5 時間後から上昇する。b) 東向き寝室 (Fig. 8b) 3 年以前と 11 年以降の WBGT がほぼ同じで、4~10 年より一貫して約 1.5℃ 高い。11 年以降は就床時から就床 7 時間後までほぼ 26.5℃ で一定である。3 年以前は就床 3 時間後から 6 時間後にかけて徐々に約 0.5℃ 上昇している。4~10 年は、就床後から就床 1 時間後にかけて約 0.5℃ 下降し、その後も緩やかに下降し続けて就床 6 時間後までにさらに 0.5℃ 下降する。c) 西向き寝室 (Fig. 8c) 3 年以前が 4~10 年や 11 年以降より、WBGT が一貫して低い。3 年以前は就床 3 時間後から起床時にかけて緩やかに下降する。4~10 年も就床後から起床時にかけて下降する傾向がある。一方 11 年以降は、就床後から就床 2 時間後まで緩やかに上昇し、その後下降するが就床 4 時間後から上昇し

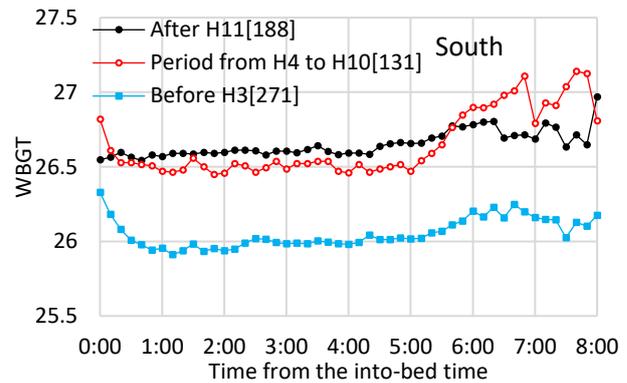


Fig.8a WBGT change since beginning of sleep and year of completion (South)

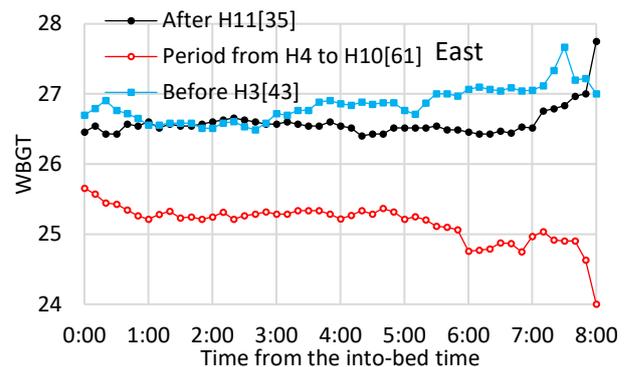


Fig.8b WBGT change since beginning of sleep and year of completion (East)

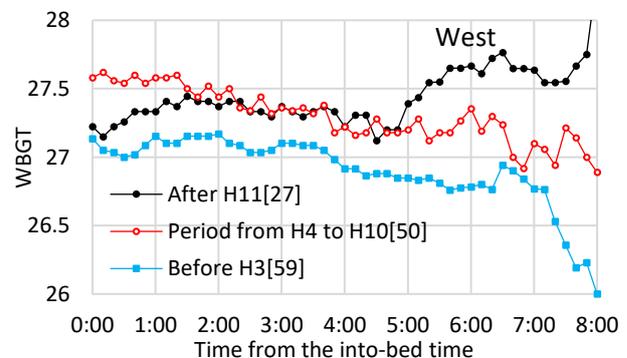


Fig.8c WBGT change since beginning of sleep and year of completion (West)

始め、6 時間半後には 27.8℃ に達する。このように西向き寝室では平成 3 年以前竣工の場合に WBGT が最も低く、平成 11 年以降の竣工では WBGT が上昇傾向にある。寝室の WBGT は旧断熱水準の建物が最も低く、次世代省エネルギー基準の建物では徐々に上がっており、西向きの寝室では、竣工年で分けると断熱性が高い方が寝室の温熱環境が悪いという結果となった。

6.3 東向き寝室の調節パターン別の竣工年による比較

(Fig. 9) a) 冷房 平成 11 年以降は 3 時間 30 分から上昇し、5 時間 30 分から下降する。平成 4~10 年は 3 時間 30 分までは 11 年以降よりも高い推移で一定であるが、その後もほぼ一定で 11 年以降と比較すると常に変動が

小さい。b) **通風** 11年以降は変動は小さいが、就床2時間から4時間後の間に上昇し、6時間後からも上昇する。H10以前はH11年以降と比較すると変動は大きく、就床から3時間後まで下降した後に上昇する。11年以降は断熱性が高いので深夜の外気温が下がった影響を受けにくいと考えられる。c) **全体** 通風の11年以降が最も低い推移であり、最も変動も小さいので、寝室の温熱環境が最も良い。

6.4 東向き寝室の熱的快適感による比較 (Fig. 10a

Fig. 10b) 熱的快適感の「快適」を快適側、「快適でない」と「不快」と「非常に不快」を不快側とする。快適が不快より一貫してWBGTが低い。就床5時間後までは両者ともほぼ一定であるが、5時間後から快適側は約0.5℃下降し、不快側は約1℃上昇する。快適側のうち冷房は30.0%で通風は24.3%、不快側のうち冷房は15.4%で通風は21.5%である。快適側の遮光カーテン設置率は57.1%、不快側の遮光カーテン設置率は60.0%で違いはないので、冷房の使用率が高い分快適側はWBGTが低くなったと考えられる。また、快適側の冷房のみ低い推移を示しているのは、不快側と比較するとエアコン設定温度が低いからであると考えられる。

6.5 東向き寝室の温冷感 (Fig. 11)

WBGTは就床時から一貫して「寒い」<「暑い」<「普通」の順で推移する。「暑い」は5時間後から下降した後に上昇するが、「寒い」は5時間後から上昇する。

7. 結論

大阪に居住する136人の870晩を対象に夏季に寝室の温湿度実測と申告調査を行い、寝室WBGTの推移と温熱感覚や睡眠の質との関係を、寝室の方位に分けて就床時を起点とするWBGTの推移を分析し、断熱水準および睡眠時熱的快適感の快と不快の間の違いを明らかにした。

1) 就床6時間以降、全時間冷房使用(「冷房」)では下降するが全時間窓開放(「通風」)は上昇、2) 就床5時間後までWBGTは西向き>北向き>南向き>東向きの順位は変わらず推移、3) 冷房では西向きで就床後30分~2時間に上昇、南向きではほぼ一定、東と北向きではほぼ同じで低い、開放では東向きで他の方位より約2K低く推移、4) 南向きでは、平成11年以降竣工が最も変動が小さく、平成3年以前竣工が最も低く推移する、5) 西向きでは、平成3年以前竣工が最も低く、平成11年以降竣工では上昇傾向にある。WBGTは断熱水準の古い建物が最も低く、新しい建物では徐々に上がっており、断熱性が高い方が寝室の温熱環境が悪い、6) 東向きでは、快適側は不快側より冷房使用率が高い。

注 注1) 日本生気象学会、日常生活における熱中症予防指針の温度と湿度からWBGTを推定した。注2) 測定日は18時開始で定義し、前日の0時開始の外気象データと対応させる。湿度は就床時と起床時の平均。

文献 1) 気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, 令和2年12月6日閲覧 2) 山形まか、空・衛・近畿、A-65、2018年 3) 日本生気象学会、日常生活における熱中症予防指針

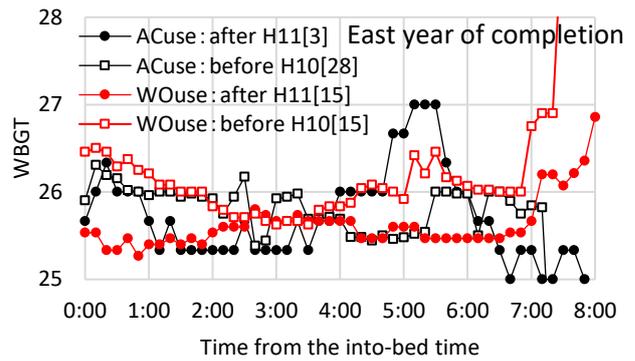


Fig.9 WBGT change since beginning of sleep and East year of completion (Thermal Control Use Patterns)

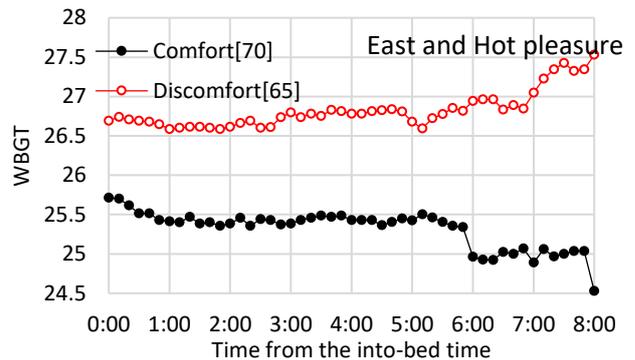


Fig.10a WBGT change since beginning of sleep and Hot pleasure (East)

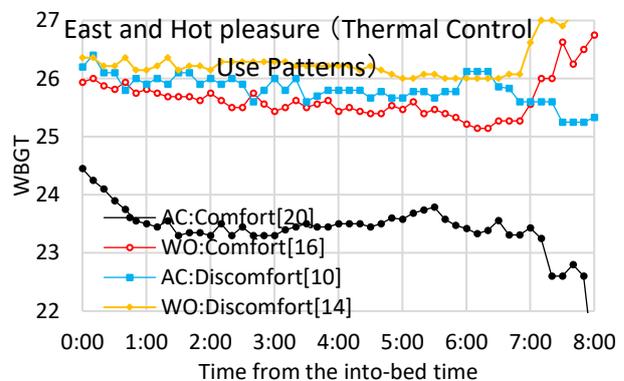


Fig.10b WBGT change since beginning of sleep and East and Hot pleasure (Thermal Control Use Patterns)

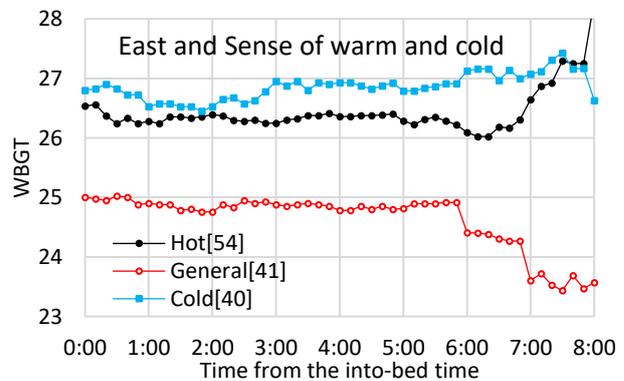


Fig.11 WBGT change since beginning of sleep and East and East and Sense of warm and cold

冷房使用と通風利用の選択における外気温に応じた室温の調節範囲 Adjusted range of indoor temperatures depending on outdoor temperatures during cooling and window opening selection

○渡部 麗杏 (大阪市立大学)

梅宮 典子 (大阪市立大学)

Reia WATABE*1 Noriko UMEMIYA*1

*1 Osaka City University

During summer and autumn, we particularly measured indoor environments, cooling, window opening and closing. Based on the data, we considered the adjusted range of indoor temperature according to outdoor temperatures during cooling (AC) and according to window opening (WO) selection. Results revealed the following. During WO selection, indoor temperatures increase about 0.43°C at night, and about 0.55°C during daytime, per degree rise in outdoor temperature. When outdoor temperatures are higher than 22.1°C, the WO indoor temperature is higher than the AC indoor temperature during night. When outdoor temperatures are higher than 26.3°C, the WO indoor temperature is higher than the AC indoor temperature.

1. 研究背景

冷房は熱中症予防のために適切に使用することが必要である一方で、建物内外の寒暖差を生じさせ、「冷房病」などの健康被害をもたらす。窓開放による通風の利用は、自然エネルギーを利用した採涼行為であり、外気環境を室内環境に取り込むことが可能である。さらに、窓開放行為は、温熱環境を調節する在室者による適応行動のひとつであると捉えられている。

de Dear と Brager (1998)¹⁾は、温冷感申告と申告に対応する温熱環境測定値、着衣量、活動量を記録した約 20,000 個の観測値からなるデータベースをメタ分析した。その結果、自然通風下の快適温度は月平均外気温度に応じて変化することを示した Adaptive Model を提案した。ASHRAE 基準に導入され実際の設計にも使われている。

本報は、夏季から中間期にかけて、冷房発・停、窓開・閉、室内温熱環境を 20 秒間隔で連続測定したデータに基づいて、冷房及び通風の選択時における内外気温の関係を明らかにし、外気温に応じた室温の調節範囲を検討す

ることを目的とする。具体的には、1)各季節における内外気温の関係はどのようになっているのか、2)室温が外気温に応じてどの程度変化するのか、また、3)内外気温の関係を線形回帰し、Adaptive Model と比較し、4)外気温に応じた冷房選択時と通風選択時の室温を比較したので報告する。

2. 方法

実測は、大阪市内の 11 階建て集合住宅 1 棟で、冷房、通風、温熱環境の関係が読み取りやすいようにエアコンが 1 台で間取りが単純 (Fig. 1)、居住者 1~2 人の 9 住戸を対象に 8 月下旬から 12 月中旬まで、室内温熱環境、エアコン吹き出し温度、マグネットスイッチによる全開口部の開・閉を記録した。複数ある開口部のうち、1 つでも開の場合を「開放」、すべて閉の場合を「閉鎖」と定義した。冷房発・停の判定は、冷房吹き出し温度と室温から、居住者の在・不在は玄関の開閉スイッチと照度の記録、居住者へのヒアリングから判定した。屋外環境は、実測対象住棟から西に約 1km 離れた大学建物屋上の気象

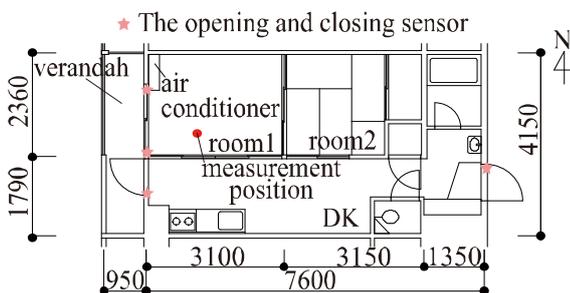


Fig.1 Floor Plan

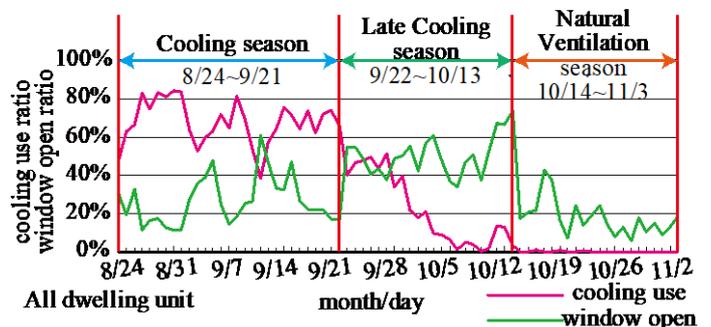


Fig.2 Daily mean ratio of air conditioner use and window opening

観測システムの観測値を用いた。

分析期間は、Fig.2 に示す冷房使用時間率の季節推移をもとに、冷房期、冷房終了期、中間期の3季節とする。温熱環境調節行為は、冷房使用・不使用と窓開閉の組み合わせから、「冷房使用のみ選択」のAC、「冷房使用と窓開放両方選択」のAW、「窓開放のみ選択」のWO、「どちらも選択しない」のFRの4つに分類する。

本報では、各住戸の在宅率の日内変動をもとに推定した過渡状態を除いて分析する。また、生活行為の影響が最も少ないと考えられる夜間 2-5 時と日中 14-17 時の2つの時間帯²⁾を対象とする。

3. 外気温の出現分布

WO 選択時における外気温の出現状況を調べた。

Fig. 3 に冷房期における 1℃刻みにした外気温の出現分布を示す。正規性の検定に Kolmogorov-Smirnov 検定を適用すると $p < .01$ で、データは正規分布に従っているとはいえない。平均値は夜間 24.1℃、日中 29.7℃である。最頻値は夜間 25℃、日中 31℃である。日中は 28~33℃に分布が集中している一方で、23℃にもピークがある。これは、実測期間のうち、1 日だけ外気温が他の日と比べて低い日があり、そのデータが影響していると考えられる。よって、外れ値とみなし、冷房期の日中の外気温は 25℃未満を除くこととした。

Fig. 4 に冷房終了期における 1℃刻みにした外気温の出現分布を示す。正規性の検定に Kolmogorov-Smirnov 検定を適用すると、 $p < .01$ で、データは正規分布に従っているとはいえない。平均値は、夜間 21.0℃、日中 25.3℃

である。夜間は 23℃、同程度に 20℃が多く、日中の最頻値は 22℃である。

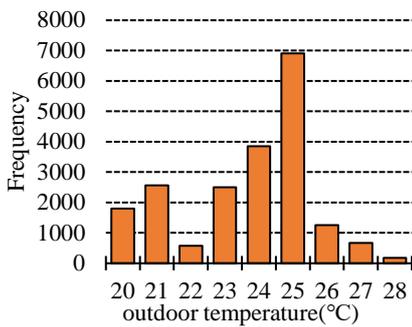
Fig. 5 に中間期における 1℃刻みにした外気温の出現分布を示す。正規性の検定に Kolmogorov-Smirnov 検定を適用すると、 $p < .01$ で、データは正規分布に従っているとはいえない。平均値は、夜間 15.0℃、日中 20.8℃である。最頻値は、夜間 15℃、日中 22℃である。

4. 調節行為別内外温熱環境の関係

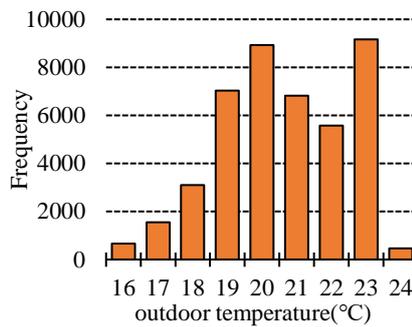
外気温に対する室温の関係について、季節別、調節行為別に述べる。室温も外気温も 95%レンジを分析した。調節行為の違いによって、同じ外気温に対して室温はどう異なるのか、季節による違いにも着目する。Table. 1 に回帰式、決定係数、データ数 N を季節別、調節行為別にまとめて示す。

Fig. 6 に冷房期における外気温と室温の関係を示す。夜間では、決定係数は、Table. 1 に示した通り、WO 選択時のみ 0.1 以上である。外気温が 1℃上昇すると室温は約 0.4℃上昇する。同じ外気温に対して室温は、26.5℃以下において、FR、WO、AC の順に高い。日中では、決定係数は、WO 選択時のみ 0.35 であてはまりがよく、外気温 1℃あたり室温は約 0.3℃上昇する。同じ外気温に対して室温は WO、FR、AC の順に高く、FR と AC はほとんど平行している。

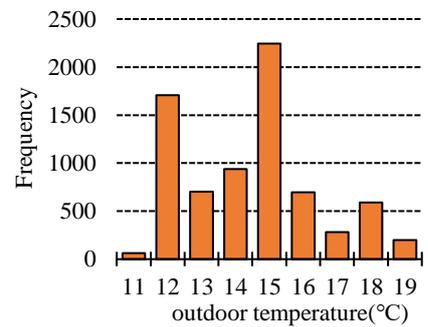
Fig. 7 に冷房終了期における外気温と室温の関係を示す。夜間では、決定係数は WO 選択時で 0.34 とあてはまりがよく、FR 選択時で 0.16 とやや当てはまりがよい。AC 選択時は、外気温と無関係に室温が決まっているのに



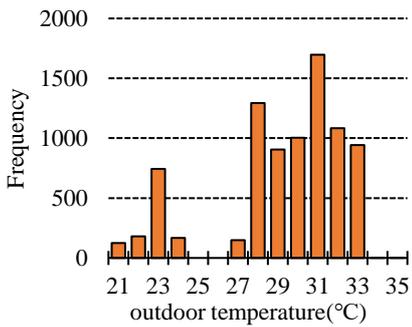
(1) night



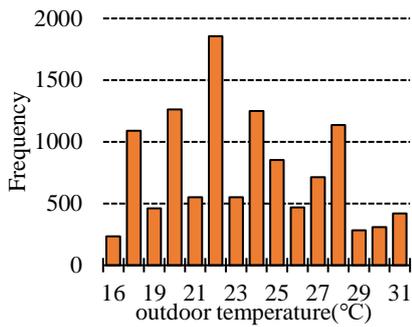
(1) night



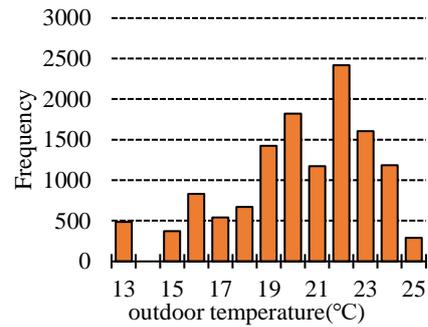
(1) night



(2) daytime



(2) daytime



(2) daytime

Fig.3 Frequency of distribution about outdoor temperature (Cooling season)

Fig4. Frequency of distribution about outdoor temperature (Late Cooling season)

Fig5. Frequency of distribution about outdoor temperature (Natural Ventilation season)

対して、WO 及び FR 選択時は外気温が高いと室温が高い傾向がある。外気温 1℃あたり、室温は、WO 選択時で約 0.4℃、FR 選択時で約 0.3℃上昇する。夜間の外気温の最頻値 23℃における室温は、FR、WO、AC の順に高い。日中では、決定係数は、WO 選択時が 0.56、FR 選択時で 0.26 とあてはまりがよい。WO と FR は外気温 28.3℃に交点をもつ。外気温 1℃あたり、室温は WO 選択時で約 0.4℃、FR 選択時で約 0.2℃上昇する。

Fig. 8 に中間期における外気温と室温の関係を示す。中間期では、AC は選択されない。夜間では、WO も FR も決定係数が 0.1 以下で回帰式のあてはまりは悪い。同じ外気温に対して室温は、FR 選択時の方が WO 選択時より高い傾向がある。日中では、WO 選択時の決定係数が 0.50 とあてはまりがよい。外気温 1℃あたり室温は約 0.4℃上昇する。同じ外気温に対して室温は、FR 選択時の方が WO 選択時より高い傾向がある。

5. Adaptive Model との対応

WO 選択時における内外気温の関係を de Dear ら (1998)¹⁾ が提案した Adaptive Model の回帰式 $y=0.31x+17.8$ の勾配と比較する。縦軸は快適とは限らないが、在室者の調節による定常状態の室温である。

Fig. 9 に WO 選択時における各季節の外気温と室温の関係を示す。夜間における回帰式の勾配は、冷房期が 0.40、冷房終了期が 0.41、中間期が 0.16 である。冷房期と冷房終了期の勾配は、Adaptive Model の勾配 0.31 より大きい。日中における回帰式の勾配は、冷房期が 0.33、冷房終了期が 0.42、中間期が 0.40 である。すべての季節

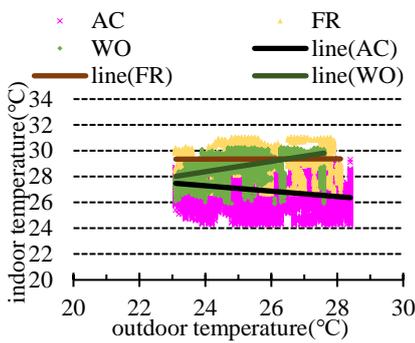
で勾配は Adaptive Model の勾配 0.31 より大きく、冷房期では同程度である。

Fig. 10 に、冷房期から中間期までの合計の WO 選択時における外気温と室温の関係を示す。夜間の回帰式の決定係数は 0.67 とあてはまりがよい。勾配は 0.43 で Adaptive Model の勾配 0.31 より大きい。日中の回帰式の決定係数は 0.81 とあてはまりがよい。勾配は 0.55 で Adaptive Model の勾配 0.31 より大きい。

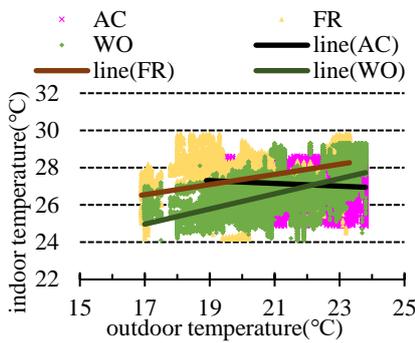
以上により、WO 選択時において、各瞬間の外気温と室温との関係の勾配は、各季節において、中間期の夜間以外は Adaptive Model より大きい。3 季節合計の場合、勾配は Adaptive Model より大きく、外気温 1℃当たり室温は、夜間では 0.43℃、日中は 0.55℃上昇する。Adaptive Model は、長期的な関係を示しているが、瞬時値でみて

Table.1 Seasonal refression formula

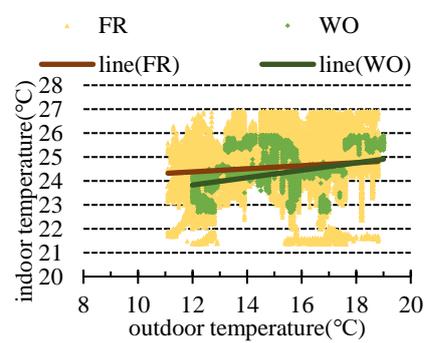
		refression formula	R ²	N
Cooling season	night	AC $y=-0.21x+32.3$	0.07	58,580
		WO $y=0.40x+18.8$	0.16	14,386
		FR $y=0.004x+29.3$	0.00003	17,388
	daytime	AC $y=-0.08x+30.0$	0.02	20,766
		WO $y=0.33x+20.5$	0.35	6,865
		FR $y=-0.03x+30.5$	0.002	2,612
Late Cooling season	night	AC $y=-0.073x+28.7$	0.01	21,238
		WO $y=0.41x+18.1$	0.34	40,317
		FR $y=0.27x+21.9$	0.16	29,054
	daytime	AC $y=-0.04x+28.9$	0.02	7,707
		WO $y=0.42x+17.0$	0.56	16,795
		FR $y=0.18x+23.8$	0.26	9,391
Natural Ventilation season	night	WO $y=0.16x+22.0$	0.10	7,012
		FR $y=0.06x+23.6$	0.02	77,739
	daytime	WO $y=0.40x+16.0$	0.50	11,517
		FR $y=0.17x+22.1$	0.07	14,565



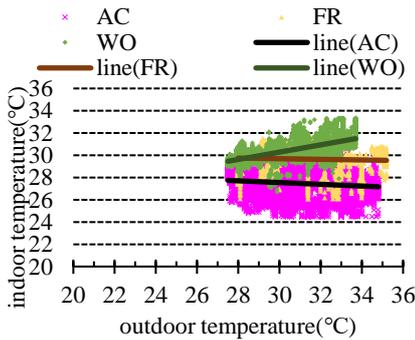
(1) night



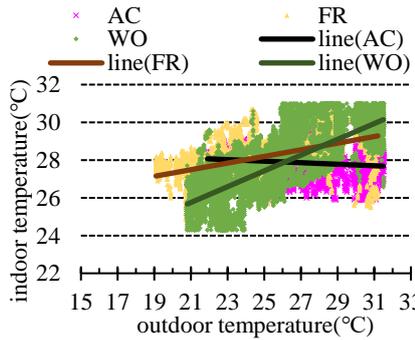
(1) night



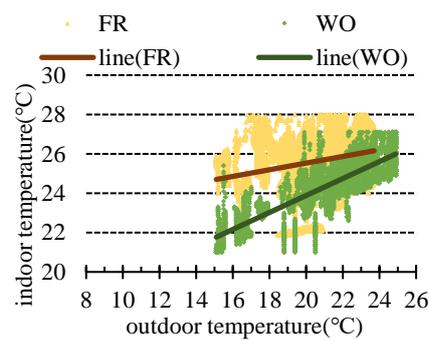
(1) night



(2) daytime



(2) daytime



(2) daytime

Fig.6 Relation of indoor and outdoor temperature (Cooling season)

Fig.7 Relation of indoor and outdoor temperature (Late Cooling season)

Fig.8 Relation of indoor and outdoor temperature (Natural Ventilation season)

も室温は外気温に応じて決まっており、外気温が室温を決定する傾向は瞬時値の方がより強いことが示された。

6. 外気温に応じた室温の調節範囲

Fig. 11 に3季節合計のW0選択時とAC選択時の外気温に対する室温との関係を示す。夜間のW0選択時の回帰式は、 $y=0.43x+17.7$ 、決定係数は0.67であてはまりがよい。AC選択時は決定係数が0.04であてはまりが悪い。AC及びW0の回帰直線の交点は、外気温22.1℃、室温27.2℃である。同じ外気温に対して、外気温22.1℃以上は、W0選択時の方が室温は高く、外気温22.1℃以下では、W0選択時の方が室温は低い。

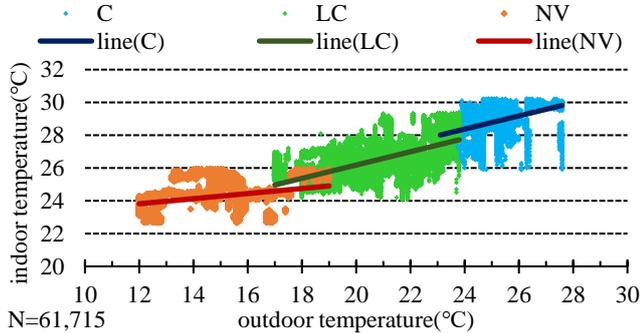
日中のW0選択時の回帰式は、 $y=0.55x+13.4$ 、決定係数は0.81であてはまりがよい。AC選択時は決定係数が0.05であてはまりが悪い。AC及びW0の回帰直線の交点は、外気温26.3℃、室温27.9℃である。同じ外気温に対して外気温26.3℃以上では、W0選択時の方がAC選択時に比べ室温は高く、26.3℃以下ではW0選択時の方が室温は低

い。

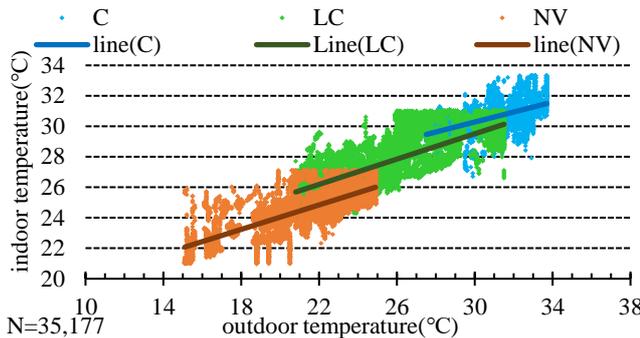
7. 結論

20秒間隔で測定した冷房発・停、窓開・閉、室内温熱環境のデータに基づいて、内外気温の関係を Adaptive Model と比較した。通風選択時の外気温と室温の関係は、1) 中間期夜間を除き直線回帰でき、外気温が1℃上昇すると室温は約0.3~0.4℃上昇、2) 中間期夜間を除き、線形回帰の勾配は Adaptive Model の0.31より大きく、冷房期の日中は0.33でほぼ同じ、3) 3季節合計の室温の瞬時値は外気温の瞬時値に応じて変化し、外気温が1℃上昇すると、室温は夜間約0.43℃、日中約0.55℃上昇する。瞬時の室温は Adaptive Model より敏感に外気温に反応、4) 3季節合計の通風選択時の室温は同じ外気温に対し、夜間では外気温22.1℃以上のとき冷房選択時より高く、日中では外気温26.3℃以上のとき冷房選択時より高い。

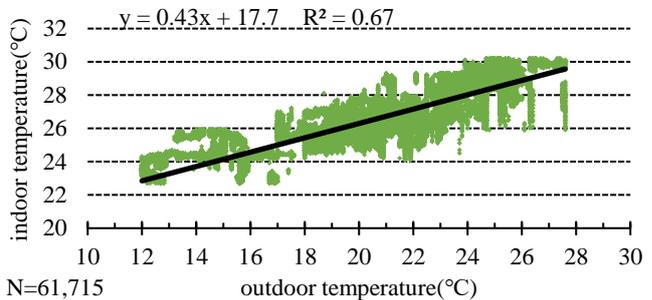
【参考文献】 1) de Dear ら, ASHRAE transactions, 145-167, 1998
 2) NHK 国民生活時間調査2015年, <https://www.nhk.or.jp/bunken/yoron-jikan/>, 2021年2月16日閲覧



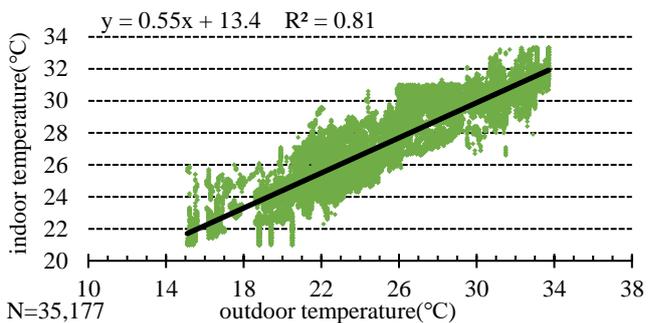
(1) night



(2) daytime

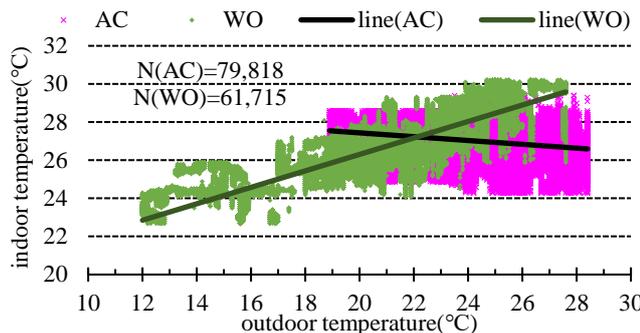


(2) daytime



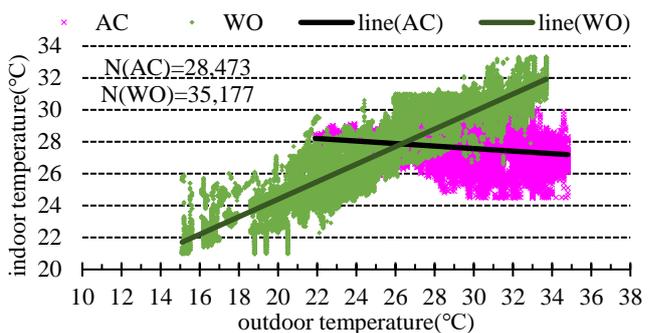
(2) daytime

Fig.9 Seasonal Relation of indoor and outdoor temperature (W0)



(1) night

Fig.10 All season Relation of indoor and outdoor temperature (W0)



(2) daytime

Fig.11 All season Relation of indoor and outdoor temperature (AC and W0)

室内の CO₂ 濃度が生産性と血中 CO₂ 濃度や他の生理量に及ぼす影響

Effect of Indoor CO₂ Concentration on Productivity, Blood CO₂ Concentration and Other Physiological Change

○坂井 遥祐 (立命館大学)

近本 智行 (立命館大学)

Yosuke SAKAI*1 Tomoyuki CHIKAMOTO*1

*1 Ritsumeikan University

In this study, we conducted a laboratory experiment to measure the physiological amounts of workers, assuming that the indoor CO₂ concentration rises. From these results, we aim to clarify investigate the relationship with productivity and what physiological mechanism is occurring in the body due to the increase in CO₂ concentration. As a result, it turns out that there is not much relation between CO₂ concentration and productivity

はじめに

CO₂は知覚しない気体ではあるが、室内の換気不足等により CO₂濃度が高濃度に上昇した環境下では、人体に影響を及ぼす^{文1)}とされている。また、生産性にも影響することが考えられる。

これを明らかにするために CO₂単体の影響として捉え、他の環境因子を変化させずに CO₂濃度のみを変化させる環境下で、生産性と生理変化を測定する被験者実験を実施することが必要となる。

そこで本研究では、室内の CO₂濃度が緩やかに上昇する状況を想定し、執務者の生産性と生理量を測定する実験室実験を行った。この結果から CO₂濃度上昇により、作業効率と生理メカニズムにどのような変化が生じるのかを明らかにすることを目的とする。

2. 被験者実験概要

2.1 実験条件

本実験は1月に、立命館大学びわこくさつキャンパス内にある恒温恒湿室にて温度 25°C、相対湿度 50%、机上面照度 750lx の環境下で行った。被験者は健康な男子大学生3名であり、着衣量は肌着・長袖シャツ・長ズボンの 0.8clo に統一した。

2.2 実験ケース

実験ケースを Table. 1 に示す。また、CO₂濃度の変化のイメージを Fig. 1 に示す。30 分間かけ緩やかに上昇させていった。すべての実験において、誤差が 100ppm 以内に収まるよう濃度を制御した。

2.3 実験空間

実験室の様子を Fig. 2 に示す。また、環境測定点を Table. 2 に示す。CO₂ボンベからホースを経由して CO₂を

実験室内に放出する。また、呼気が滞留しないよう、気流を流した。なお、被験者の体に当たらないよう調整している。

2.3 作業性テスト

生産性を測るための作業性テストとして、100 マス計算とタイピングテストを実施した。100 マス計算は自作のものであり、毎回問題を変更している。しかし、難易度が同じになるよう、2桁×1桁で統一し、解く順序も固定した。また、タイピングテストはタイピング練習のフリーソフトである、「Typelighter」を使用した。

2.4 測定項目

生理量の測定機器・項目を Table. 2 に示す。経皮的血液ガスモニタリングは PCO₂^{注1)}、PR^{注2)}、SpO₂^{注3)} を非侵襲的に測定できる機器である。PCO₂の低下は脳血流量を減少させる。逆に、PCO₂の上昇は脳血流量を増加させるといわれており^{文2)}、生産性に影響する可能性がある。

赤外線酸素モニターは組織の酸化状態を非侵襲的に測定できる機器である。ΔO₂Hb^{注4)}、TOI^{注5)} は異なる原理で測定する。そして TOI を ΔO₂Hb と比較することで脳内の酸素需給バランスが予測可能となる。

心理量として、Table. 4・Table. 5 に示した項目でアンケートと自覚症しらべを実施した。

2.6 実験タイムスケジュール

タイムスケジュールを Fig. 3 に示す。まず入室後被験者に測定機器を取り付ける。その後、作業性テストの慣れを防ぐために一度練習を行ってもらおう。実験環境に順応する期間を設け、最初の作業性テストとアンケートを行う。そして 30 分かけ CO₂濃度を変化させて後、15 分の安静期間の後、最後に 3 度目の作業性テスト・アンケートを実

施す。なお、テストの慣れを防ぐため、事前に計3回の練習として同様のテストを行っている。

Table.1 Experimental conditions

	空気質環境	温熱環境		被験者の状態
	CO ₂ 濃度	温度	相対湿度	着衣量
case1	600ppm	25°C	50%RH	0.8clo
case2	1000ppm			
case3	2000ppm			
case4	3500ppm			

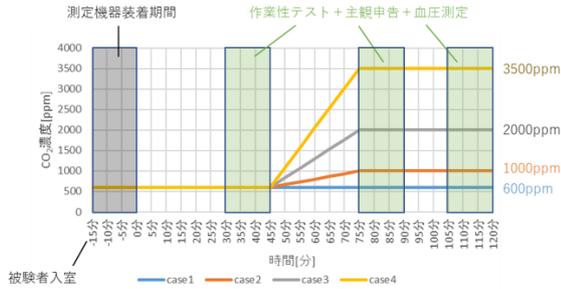


Fig.1 CO₂ concentration

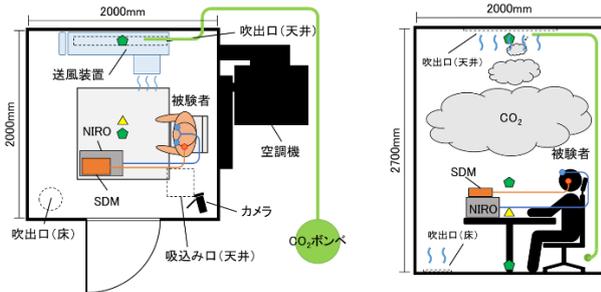


Fig.2 Laboratory

Table.2 Environmental measurement points

凡例	測定項目	測定点数	測定機器
●	室内温湿度	3点 (天井、机上、床)	CO ₂ 計おんどり
▲	温湿度	1点 (机上)	HMP9

Table.3 100 squares calculation

×	39	77	28	82	61	44	10	93	56	15
0										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

Table.4 Measurement item

測定機器	メーカー	測定部位	測定項目
センテックデジタルモニタシステム (経皮的血液ガスモニタリング)	SenTec AG	耳たぶ	PCO ₂(血中二酸化炭素分圧) SpO ₂(動脈血酸素飽和度) PR (脈拍数)
ニロモニタ NIRO-200 (赤外線酸素モニタ装置)	浜松ホトニクス株式会社	額	ZO ₂ Hb(酸素化ヘモグロビン濃度) TOI (組織に含まれるO ₂ Hbの割合)
サーモクロン 手動式血圧計 HEM-6324T	株式会社KNラボラトリーズ オムロンヘルスケア株式会社	顔など7点 上腕	平均皮膚温(7点法) 血圧

Table.5 Questionnaire items

	評価項目
光環境	1.非常に暗い→7.非常に明るい
温冷感	1.非常に寒い→7.非常に暑い
湿度感	1.非常に乾いている→7.非常に湿っている
気流感	1.非常に不満→7.非常に満足
発汗	1.発汗なし→4.非常に汗ばむ
温熱環境	1.非常に不満→7.非常に満足
よどみ感	1.全く感じない→7.非常に感じる
空気環境	1.非常に不満→7.非常に満足
ストレス	1.全くストレスを感じない→7.非常にストレスを感じる
集中度	1.全く集中できなかった→7.非常に集中できた

Table.6 Awareness items

	各項目(1.まったくあてはまらない→5.非常によくあてはまる)
I群(ねむけ感)	ねむい、横になりたい、あくびがでる、やる気がぼしい、全身がだるい
II群(不安感)	不安な感じがする、ゆううつな気分だ、おちつかない気分だ、いらいらする、考えがまとまりにくい
III群(不快感)	頭がいたい、頭がおもい、気分がわるい、頭がぼんやりする、めまいがする
IV群(だるさ感)	腕がだるい、腰がいたい、手や指がいたい、足がだるい、肩がこる
V群(ぼやけ感)	目がしょぼく、目がかれる、目がいたい、目がかく、ものがぼやける

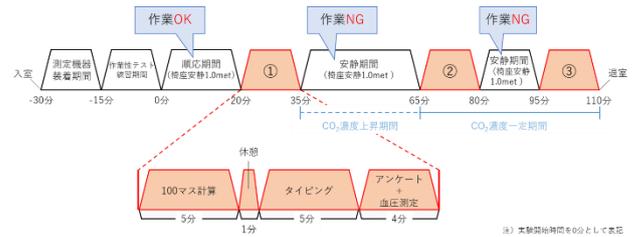


Fig.3 Time schedule

3. 実験結果

3.1 予備実験結果

午前と午後において、実験結果に影響がないかを確認するため、予備実験を一度行った。100マス計算とタイピングテスト両方において、同様な傾向が見られた。そこで、本実験において、被験者により午前と午後の実験を実施することを認めた。

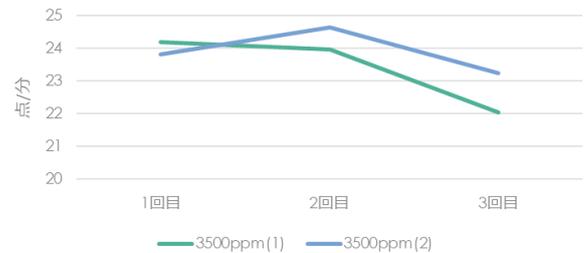


Fig.4 Pre experiment(100 squares calculation)

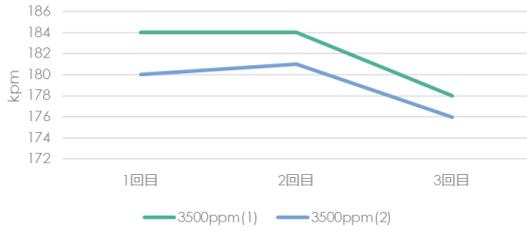


Fig.5 Pre experiment(typing)

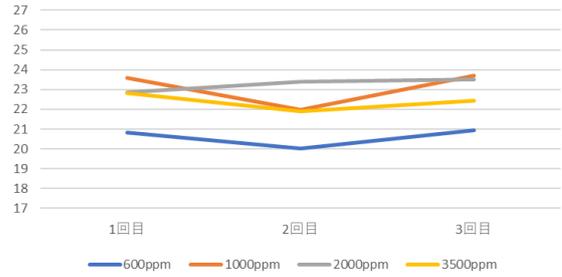


Fig.9 100 squares calculation(Average of 3 people)

3.2 100マス計算結果

100マス計算の結果を下に示す。点数を計算にかかった時間(分)で除している。いずれの被験者、ケースにおいても共通点はなく、濃度による違いも見ることができなかった。また、数をこなすことにより、徐々に被験者が計算に慣れていき、後半に行ったケースにおいて結果が良くなる傾向が少し見られた。

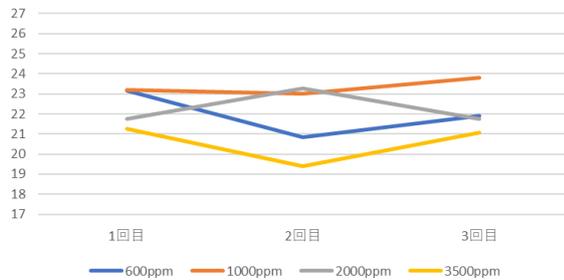


Fig.6 100 squares calculation(A)

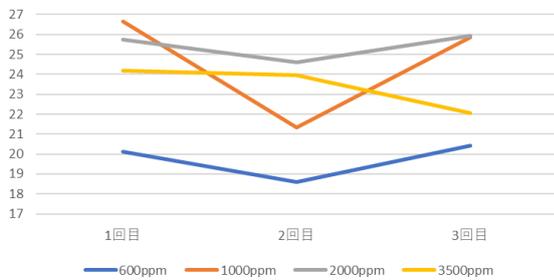


Fig.7 100 squares calculation(B)

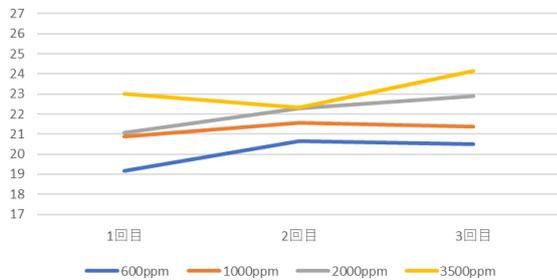


Fig.8 100 squares calculation(C)

3.3 タイピング結果

タイピングの結果を下に示す。kpmと呼ばれる合計キー数を時間(分)で除したもので結果を示す。いずれの被験者、ケースにおいても共通点はなく、濃度による違いも見ることができなかった。また、数をこなすことにより、徐々に被験者が計算に慣れていき、後半に行ったケースにおいて結果が良くなる傾向が少し見られた。ミス数においても同様に、濃度による違いを見ることはできなかった。

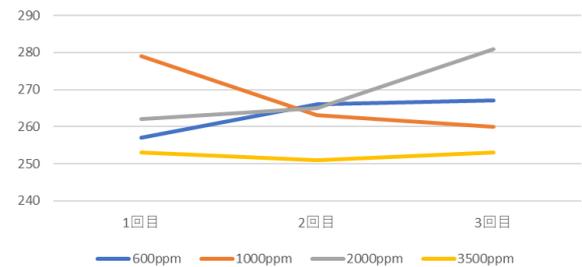


Fig.10 typing (A)

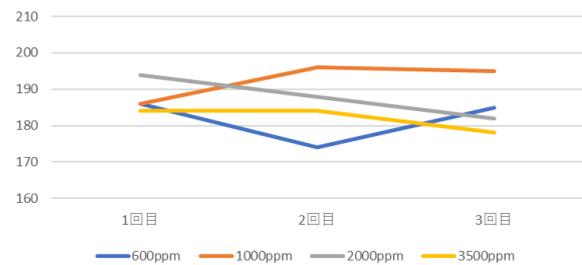


Fig.11 typing (B)

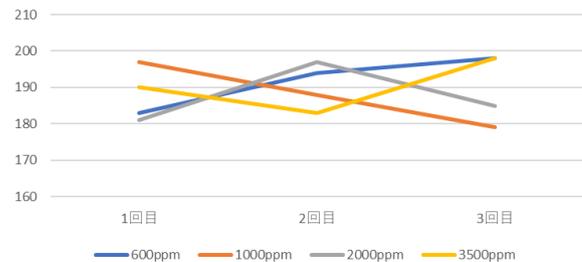


Fig.12 typing (C)

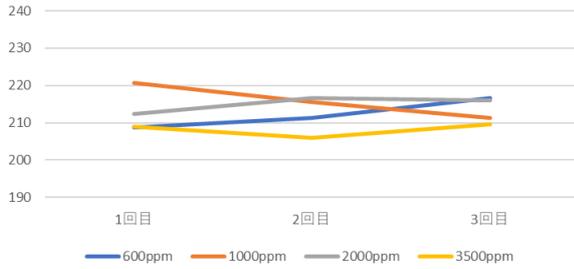


Fig.13 typing(Average of 3 people)

3.4 生理量結果

ケース1 (600ppm) とケース4 (3500ppm) のCO₂の結果をそれぞれ被験者ごとに下に示す。濃度による違いを見ることはできなかったが、被験者ごとに同じように変動する結果が示された。この変動は、作業性テストを開始した際に発生しているため、体の動きが影響しているものと考えられる。

他の生理量においては、実験ごとの差が大きく、濃度による違いを見ることはできなかった。

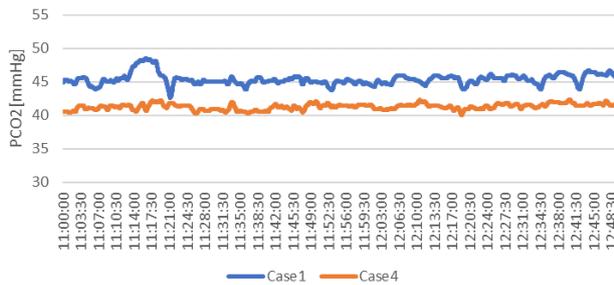


Fig.14 PCO2 Case1,4(A)

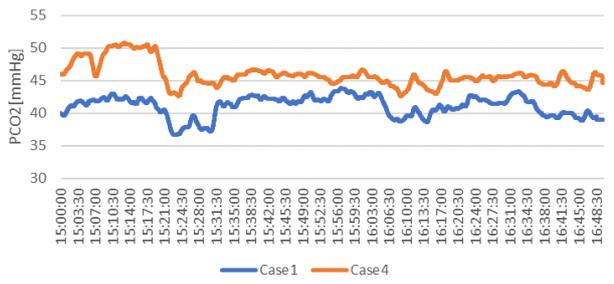


Fig.15 PCO2 Case1,4(B)

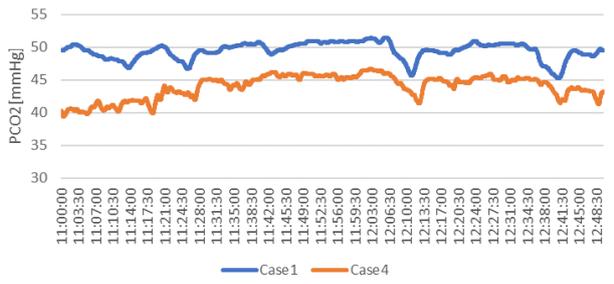


Fig.16 PCO2 Case1,4(C)

3.5 主観申告結果

温度や湿度などの実験環境における主観評価はいずれの被験者もケースにおいても同様の傾向が見られ、いずれも満足に近い評価となった。よって、実験環境においては適切な環境において実験ができたことがわかる。よどみ感においては、いずれのケースにおいても徐々に上昇した。空気環境の満足度においては、徐々に低下するという結果が現れた。濃度に関係なく、いずれの実験においても室内の空気に関する評価が下がっていることがわかる。また、ストレスはいずれのケースにおいても徐々に上昇した。同様に集中度はいずれのケースにおいても徐々に低下した。長時間測定機器を装着した状態で滞在していたことが、このような結果になったと考えられる。

自覚症しらべにおいても、いずれの群別において濃度による違いを見ることはできなかった。

4. まとめ

本研究では、CO₂濃度における生産性の影響と人体の生理メカニズムを明らかにするため、被験者実験を行った。その結果、CO₂濃度と作業性テスト (100 マス計算・タイピング) の結果に関係性を見ることはできなかった。また、アンケートにおいても、濃度による違いを見ることはできなかった。

注 釈

- 1) PCO₂は血液中のCO₂分圧のことであり、血中CO₂濃度の指標となる。
- 2) PRは脈拍数のことである。本測定機器で1秒間に1回測定する。
- 3) SpO₂は経皮的動脈血酸素飽和度のことであり、動脈の赤血球中のヘモグロビンが酸素と結合している割合である。
- 4) ΔO₂Hb (酸素化ヘモグロビン変化量) はModified Lambert Beer法にて測定。
- 5) TOI (組織酸素化指標) は空間分解分光法 (SRS法) にて測定。

参 考 文 献

- 1) 高橋正好、二酸化炭素と人体、安全工学 37、352-357、1998
- 2) 松浦哲也、菅野巖：神経活動にともなう脳血流増加のメカニズム、日本比較生理生化学会、19(1)、pp.30-38、2002-04-30

期間蒸暑な国内気候に適したスマートメンブレンによる外皮構成の開発に関する研究

Numerical Evaluations on Timber Wall Assemblies with Smart Membranes in Japanese Mixed Climate Zones

芝池 英樹 (京都工芸繊維大学)

○内橋 恵都 (京都工芸繊維大学)

Hideki SHIBAIKE*¹ Keito UCHIHASHI*¹

*1 Kyoto Institute of Technology

The Smart membrane is a sort of sheet with vapor permeability and airtightness installed in the envelope assembly. Due to the variable vapor permeability depending on RH of itself, it is expected as the functional component that can enhance the durability of building envelope assemblies against the internal condensation damages. In this manuscript, the internal condensations of building envelope assemblies occurred in the mixed climate zones in Japan are numerically investigated in details. Internal moisture accumulations are compared for various assemblies with different membrane permeabilities.

1. はじめに

住宅の運用時エネルギー性能向上と再生可能エネルギー利用へのシフトには大きな期待が寄せられている。建築物のエネルギー消費性能に関する法律(省エネ法)は、1979年以降、大略10年毎に改正され最低基準のレベルアップが図られてきた。建築物のエネルギー消費性能基準は底上げを続ける一方で、高性能住宅の普及状況は未だ芳しくないのが現状である。高断熱・高気密住宅に対する専門家や工事関係者の認識は高まりを見せているが、高気密化に対する国内での設計・施工時の配慮・経験には未だ不十分な箇所が見られ、不用意な施工で内部結露を誘発する危険性もあり、改善余地が残されている。

本報では、期間蒸暑な国内気候において発生する内部結露を解消するために、建設地の気候に適したスマートメンブレンによる外皮の構成法を検討する。

スマートメンブレンとは Fig.1 の外壁内側に施工される防湿気密シート的一种である。雰囲気湿度によって透湿性能が変化することで、一次元複合外皮内の含水率を通年で健全に維持できうる機能性建材として期待されている。しかし製品価格が抵抗値一定の防湿気密シート(PEメンブレン)より高額であることなどを理由に未だ認知度も低く普及していない。加えて内部結露は様々な要因により発生する現象であり、無自覚で不用意な施工に起因する事故例も多い。本報では、スマートメンブレンによる結露リスク軽減効果を数値評価し、有効性を確認する。

さらに、外皮の防露性能に影響する外界気象は国内各地で異なり、それぞれの地点に適した外皮構成も一律とは限らない。例えば、高断熱・高気密な建築外皮の防露計画において北米で使用されている国際建築基準モデル規定(IBC2018 1404.3)では、Fig.2 の IECC の気候地域に対して、防湿膜材を透湿抵抗値で3階級に区分し、気候地

域毎に推奨する防湿膜材を指定している (Table.1)。この北米モデル基準を国内気候地域に換算すると、class1 は日本では主に北海道以北の寒冷地域が、class2, 3 は本州・九州地方に概ね該当する。このモデル基準を日本の国内気候に適用した場合の妥当性に関しても、本州以南で選定した数地点の気象データに対して事例検討する。

2. 評価方法と計算条件

在来軸組木造外壁に生じる1次元非定常熱・水分同時移動は、非線形連立偏微分方程式(1-2)により計算する Windows アプリケーション WUFI[®] Pro¹⁾ で評価する。熱輸送方程式¹⁾

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + h v \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \cdot \frac{\partial P_{sat}}{\partial x} \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

湿気輸送方程式¹⁾

$$\rho w \frac{\partial u}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho w D_{\varphi} \frac{\partial u}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\delta}{\mu} \cdot \frac{\partial P_{sat}}{\partial x} \right) \dots (2)$$

外界気象条件には関東以南から選抜した8地点(富山、銚子、長峰、長野、舞鶴、高知、福岡、鹿児島)での AMEDAS データを用い、室内温・湿度条件は ASHRAE160 (暖・冷房・除湿有り) を指定し、建材の物性値には組み込みデータベースを利用する。複数の外壁構成モデル間や地点間での計算結果を比較し、各地点の気候条件に適した室内・外膜材の組合せを探った。漏出空気や雨水侵入による水分発生の有無も含めて評価し、合板では質量比含水率 18% (84.6[kg/m³]) を腐朽に対する耐久性限界値とし、GW 結露については室内側 1mm厚 GW の含水率限界値を 30[kg/m³] (BSI5250:2011) として結露判定した。しかし GW についてその限界値を上回るとは極めてまれであり、GW の平衡含水率 - 相対湿度グラフから、相対湿度が 95% を超えると GW の含水率が急上昇することが読み取れるため、相

対湿度 95%時のGW 平衡含水率である $1.67[\text{kg}/\text{m}^3]$ を基準値とした。加えて合板の結露判定に関しては、乾球温度 30°C では結露限界の相対湿度 86%、 0°C では 95% とし、2 点を直線で結んだ上側の領域に結露が生じるとした DIN68800 の指標も参照した。

3. 研究結果

8 地点から選んだ 4 地点(富山, 長野, 高知, 銚子)について、在来軸組木造外壁の室内側に位置する防湿気密シーートの sd 値(ある厚さの建材の透湿抵抗値を等価な静止空気層厚さ m に換算)を 4 種類(3. 125, 6. 25. 12. 5. 25m)に、外気側に位置する透湿防水シーートの sd 値を 4 種類(0.05, 0.1, 0.2, 0.4m) に各々変化させた計 16 通りの膜材の組み合わせの結露性状を検討した。また、Fig.3 のスマートメンブレン 6 種類と透湿防水シート 2 種類 (sd 値 0.05, 0.1) による 12 通りの膜材の組み合わせの結露性状も検討した。合板・GW の含水率から 4 地点の結露傾向を、漏気・雨水侵入のない場合 : NoMS と漏気や雨水侵入による水分発生を加味した場合で比較した⁴⁾。

4 地点の結露発生状況は外気温や降水量、外部風速に依存して変化した。NoMS では、「合板・GW とともに限界値・基準値を超える時間あり(富山)」、「合板のみ限界値を超える時間あり(長野)」、「GW のみ基準値を超える時間あり(高知)」、「合板・GW とともに限界値・基準値を超える時間なし(銚子)」の 4 パターンの傾向が見られた (Fig.4-7)。

また、漏気・雨水侵入を加味した E5, R(PL05) の環境においては、降水量や風速の大きい富山や銚子では NoMS の場合と比べて大幅な合板含水率の上昇が見られた (Fig.8,9)。一方で長野では sd 値の変動幅の大きなスマートメンブレン建材や sd 値の大きな PE メンブレンを用いることで合板含水率が限界値以下に抑えられ、高知では 16 種類の PE メンブレンの組み合わせの中で合板含水率の限界値を超えるケースは発見されなかった (Fig.10,11)。また E5, R(PL05) の長野において DIN68800 の結露指標を参照すると Fig.11 のケース 2 と 6 の間に結露判定の可否の境目が存在した (Fig.12-15)。Fig.8,11 から、富山や高知では透湿抵抗が雰囲気相対湿度で変化するスマートメンブレンを用いることで、外界気象条件の変化に対する順応性の向上が期待でき、その普及を進めることは結露リスクの軽減に貢献するとわかった。しかし富山ではスマートメンブレンを用いても合板含水率が限界値を上回り (Fig.8)、また銚子のように上昇し続けた地点も存在したことから (Fig.9)、雨水侵入リスクを最大限低減した施工法が一般に普及することが肝要である。

4. まとめ

本論文では、関東以南から選抜した 8 地点での木造軸組外壁の非定常・非線形での結露判定結果に基づき、特徴

Table.1 Breathable resistance layer classification of IBC 2018 1404.3³⁾

Performance classification	Moisture permeability $Q_v \text{ ng}/\text{sm}^2 \text{ Pa}$	Material example
Class1 (CZ5,6)	$Q_v \leq 5.72,$ $35 \text{ m} \leq \text{SD}$	PE, Aluminum sheet
Class2 (CZ3,4)	$5.72 < Q_v \leq 57.2,$ $3.5 \text{ m} \leq \text{SD} < 35\text{m}$	Oil-based paint
Class3 (CZ1,2)	$57.2 < Q_v \leq 572.,$ $0.35 \text{ m} \leq \text{SD} < 3.5\text{m}$	Latex, Water-based paint

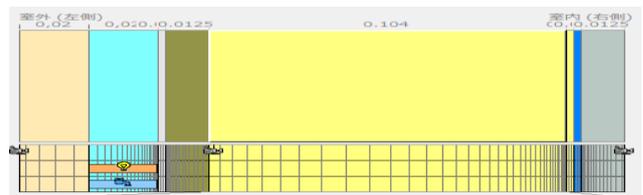


Fig.1 The material arrangement for the wall assembly (Materials and thicknesses from the outside(LHS) are plaster board $t=0.02\text{m}$, Air cavity $t=0.02\text{m}$, SBP membrane $t=0.001\text{m}$, Plywood board $t=0.0125\text{m}$, Fiber glass $t=0.105\text{m}$, Airtight membrane $t=0.001\text{m}$ and Interior plaster board $t=0.0125\text{m}$.)

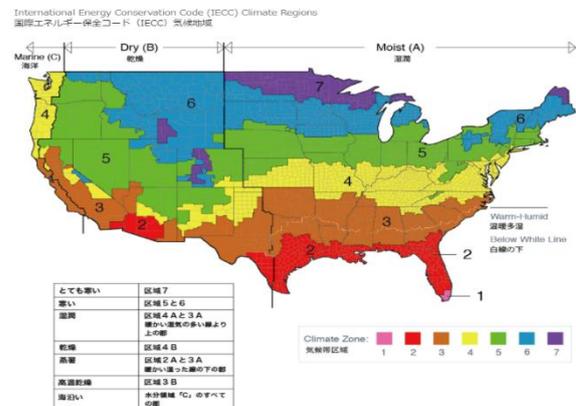


Fig.2 IECC Climate Zones²⁾

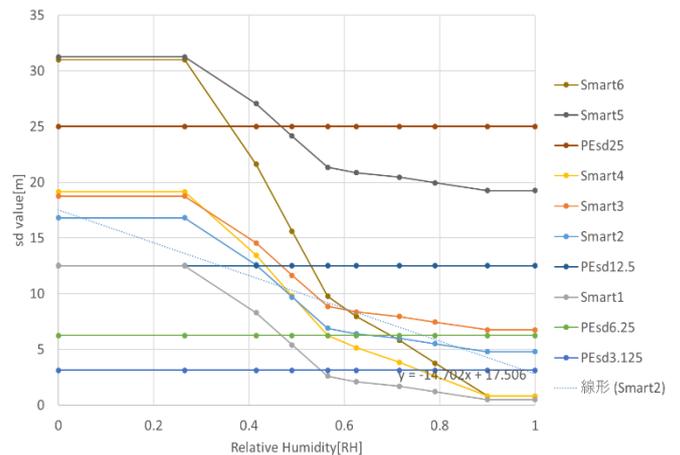


Fig.3 Relations of SD value (Vapor Permeability) and Ambient RH for 6 kinds of smart membranes and 4 kinds of PE membranes.

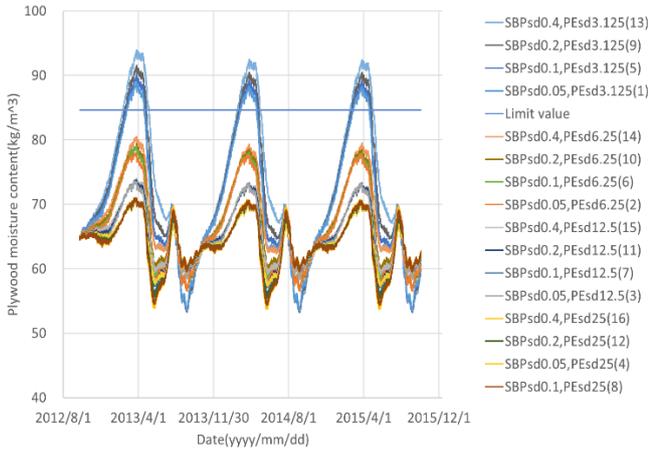


Fig.4 Long term profiles of plywood moisture content for 16 cases with various PE and SBP membranes in Toyama (No Moisture Source)

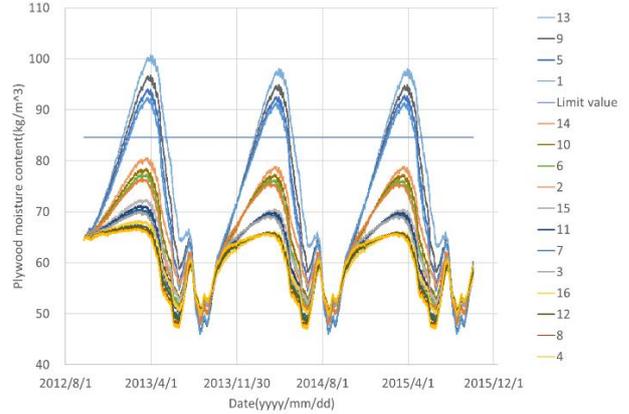


Fig.7 Long term profiles of plywood moisture content for 16 cases with various PE and SBP membranes in Nagano (No Moisture Source)

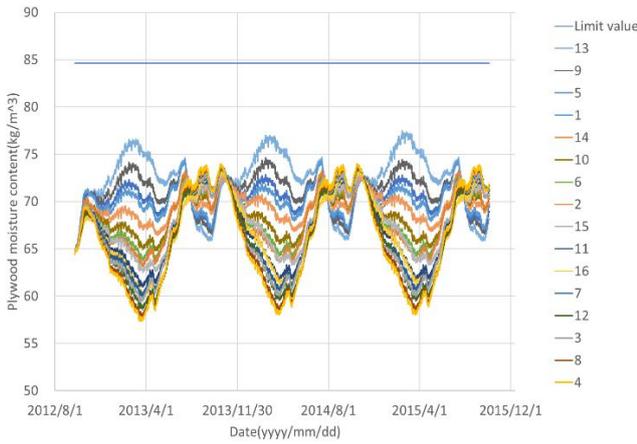


Fig.5 Long term profiles of plywood moisture content for 16 cases with various PE and SBP membranes in Choshi (No Moisture Source)

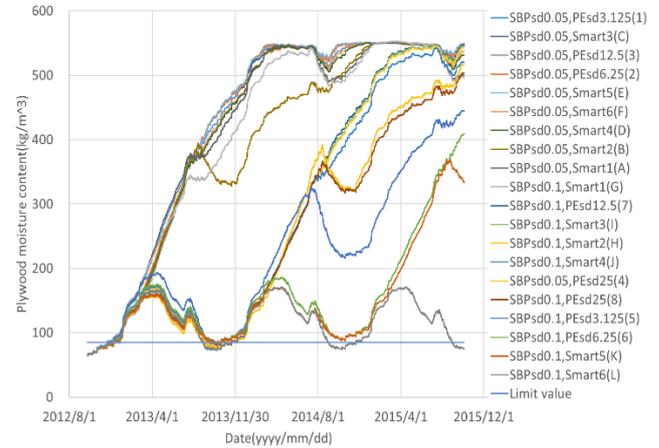


Fig.8 Long term profiles of plywood moisture content for 20 cases with various PE or Smart and SBP membranes in Toyama, i.e., 8 kinds of PE or 6 kinds of Smart membranes multiplying 2 kinds of SBP membranes (Exfiltration and Rain water intrusion (PLO5))

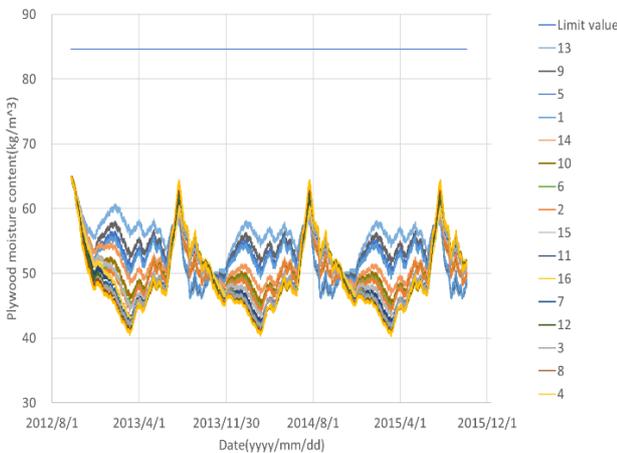


Fig.6 Long term profiles of plywood moisture content for 16 cases with various PE and SBP membranes in Kochi (No Moisture Source)

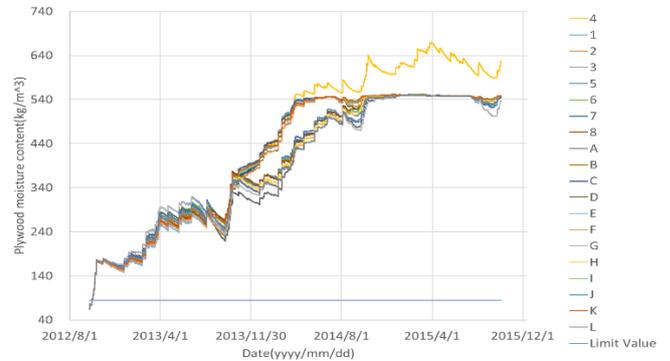


Fig.9 Long term profiles of plywood moisture content for 20 cases with various PE or Smart and SBP membranes in Choshi, the membranes combinations for cases are same as in Fig. 8 (Exfiltration and Rain water intrusion (PLO5))

的な結果が見られた4地点(富山, 長野, 高知, 銚子)に焦点を絞りスマートメンブレンを含む複数の防湿・防水膜材の組み合わせを比較し防露性能が堅牢な構成を探した。今後の課題として、前述の気候区分毎の防湿膜材抵抗値に関する北米モデル規定 (IBC2018 1404.3) の国内気候での適否判定があり、全国多地点での検証を必要とする。また、雨水侵入の影響評価には、低層戸建て木造住宅に対する雨水侵入モデルを用いたが、建物3D形状を考慮した影響予測が可能なWUFI®Plusの活用も必要と考える。

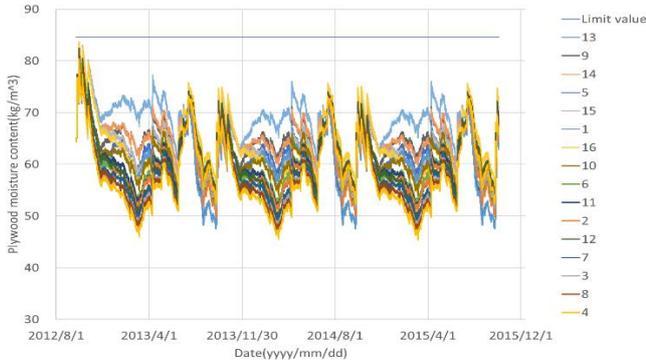


Fig.10 Long term profiles of plywood moisture content for 16 cases with various PE and SBP membranes in Kochi (Exfiltration and Rain water intrusion (PLO5))

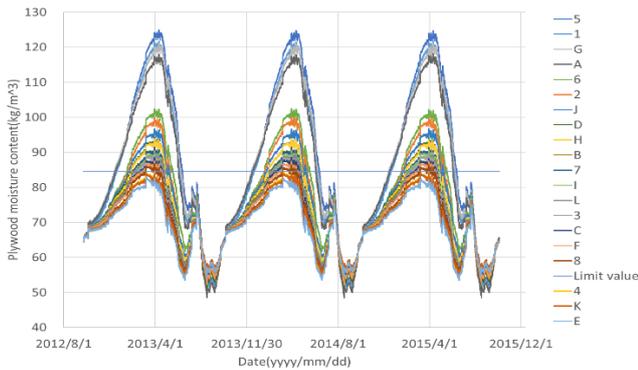


Fig.11 Long term profiles of plywood moisture content for 20 cases with various PE or Smart and SBP membranes in Nagano (Exfiltration and Rain water intrusion (PLO5))

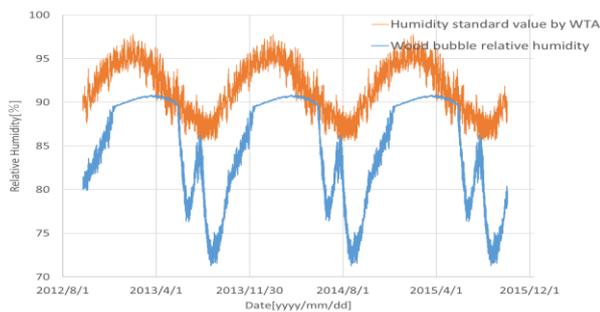


Fig.12 Long term profiles of plywood RH for Case 2 in Nagano against the critical RH (Exfiltration and Rain water intrusion (PLO5))

参考文献

- 1)H.M.Künzel, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One-and two dimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag 1995.
- 2)パッシブビルディングの歴史,特定非営利活動団体PHIJ(<https://phi-jp.org/history/>).
- 3)2018 International Building Code, CHAPTER 14 EXTERIOR WALLS,ICC DIGITAL CODES,2017/8.
- 4)ASHRAE160 による1%雨水侵入の設定,WUFI,2019/2/3 (<https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=1645>).

【謝辞】本研究の一部は、産学共同研究「期間蒸暑気候に適した防湿膜材と遮熱膜材の性能設計に関する研究」による。ご支援頂いた酒井化学工業(株)関係各位に感謝します。

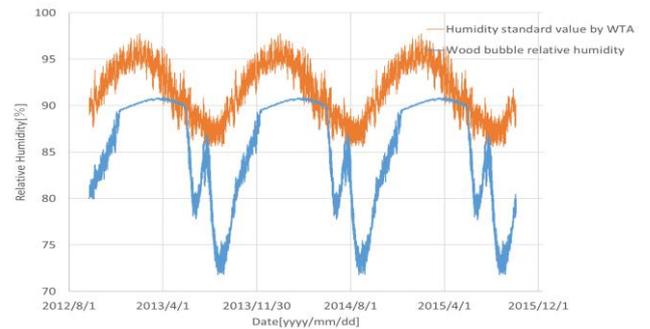


Fig.13 Long term profiles of plywood RH for Case 6 in Nagano against the critical RH (Exfiltration and Rain water intrusion (PLO5))

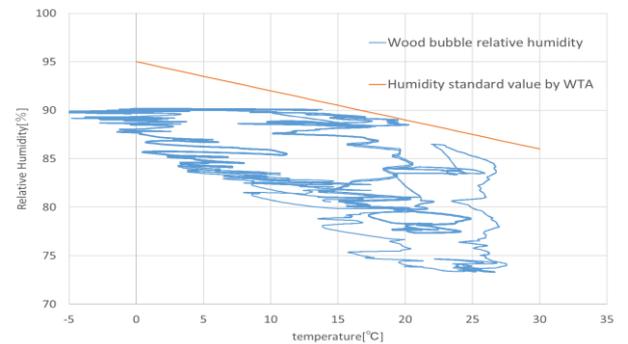


Fig.14 Long term trajectory for temperature and RH of plywood for Case 2 in Nagano against the critical RH line

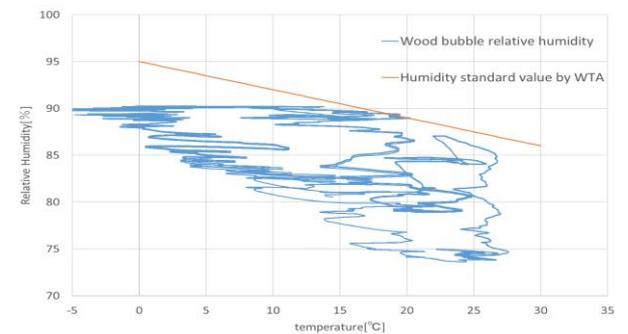


Fig.15 Long term trajectory for temperature and RH of plywood for Case 6 in Nagano against the critical RH line

寒冷地における木製外装を施した実規模建造物の断熱性能に関する長期評価 Long-term Evaluation on Thermal Insulation Performance of Actual Scale Building with Wooden Exterior in Cold Region

○木田 迅飛 (大阪府立大学) 荘保 伸一 (越井木材工業株式会社)
内藤 俊介 (越井木材工業株式会社) 吉田 篤正 (大阪府立大学)
木下 進一 (大阪府立大学) 松村 佳明 (株式会社山下設計)
Hayato KIDA*¹ Shinichi SHOHO*² Shunsuke NAITO*²
Atsumasa YOSHIDA*¹ Shinichi KINOSHITA*¹ Yoshiaki MATSUMURA*³
*¹ Osaka Prefecture University *² Koshii & Co. Ltd. *³ Yamashita sekkei INC

In this research, thermal insulation performance of RC building with wooden exterior on the whole outer wall, Yonezawa city library, is evaluated by measuring the surface temperature and the heat flux on wall and window surfaces and the indoor thermal environment for a long term. Each heat flow on the wall, window, ceiling, floor is estimated from measured results. Correlation between power consumption and temperature or absolute humidity difference is discussed.

1. 緒言

近年、地球温暖化が国際的な問題となっており、各国で二酸化炭素の排出抑制が課題となっている。そこで、低熱伝導率の木材でコンクリート (以後、RC) 建造物を被覆することで空調負荷の軽減が期待される。これまでにミニチュアモデル、モデル棟、実規模建造物¹⁾²⁾を用いて、異なる規模の建物を対象として、熱負荷および空調負荷抑制効果について評価が行われてきた。

本研究では、寒冷地における木製外装された実際のRC建造物を対象として、建物壁面・窓の温度、熱流束と室内温熱環境の測定を通じて、建物全体の断熱ならびに省エネルギー性能について長期的に評価を行った。

2. 測定概要

2.1 測定対象及び構造

山形県米沢市に建設された市立米沢図書館 (以後、図書館) を対象として、測定を行った。図書館は縦、横ともに約50m、高さ約20mの5階建てのRC建造物である。外壁は内側からRC壁250mm、ポリスチレンフォーム15mm、空気層65mm、熱処理されたスギ間伐材100mmで構成されている。木材は1階から5階まで東西南北の壁のほぼ全面に施工されている。2階から5階まで館内は吹き抜けの構造となっている。窓ガラスには日射取得型Low-E複層ガラスが使われている。天井面は室内からロックウール9mm、プラスターボード12.5mm、天井懐350mm、RC150mm、防水シート (硬質ウレタンフォーム50mm+ポリ塩化ビニル1.5mm) となっている。建物の外観を図1に示す。

2.2 測定項目

図書館の壁体各部の表面温度と伝導熱流束を測定するために4階の東、南、西面の木製外装、RC躯体と2階北面の窓ガラスにT型熱電対および熱流計を設置した。天井表面、屋上床面の表面温度はそれぞれサーモグラフィおよびT型熱電対で測定している。T型熱電対では空気層と室内温度も測定した。気象データは屋上で測定しており、測定項目は風速、風向、全天日射量、赤外放射量、紫外放射量、気温、相対湿度、黒球温度である。館内では1階から5階の各階温湿度と、1日毎の消費電力量を測定した。壁体と窓の断面図とT型熱電対および熱流計の設定位置を図2に示す。天井断面図を図3に示す。



Fig.1 Appearance

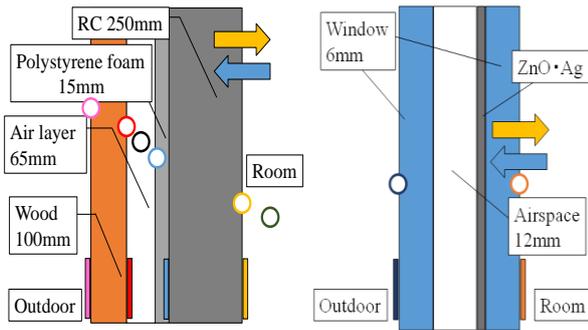


Fig.2 Structure of wall and window

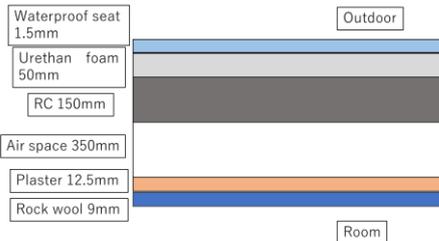


Fig.3 Structure of ceiling

3. 測定建物の性能評価

壁体の各物性値を表 1 に示す. 表 1 の RC 躯体と比べて木製外装, 空気層, ポリスチレンフォームの熱伝導率が低いことから, この 3 層による断熱性が高いことがわかる. 壁体, 窓ガラス, 窓枠の厚さと熱貫流率を表 2 に示す. 各面要素の面積を表 3 に示す. 表 3 から窓, 窓枠の面積は壁面の面積と比べて小さいが, 表 2 より熱貫流率 (U 値) が壁面と比べて大きいので, 建物全体の熱流出に与える影響は十分に大きいので考慮する必要がある.

Table 1 Thermophysical property of wall

Wall	Density [kg/m ³]	Specific heat [J/(kg·K)]	Thermal conductivity [W/(m·K)]	Thermal diffusivity [m ² /s]
Wood	367	1455	0.081	1.53E-07
Airspace	1.18	1007	0.026	2.21E-05
Polystyrene foam	28	1255	0.037	1.06E-06
RC	2100	1050	2.3	1.04E-06

Table 2 U value

	Thickness [mm]	U value [W/(m ² ·K)]
Wall	430	0.503
Window	24	1.8
Window frame	24	6.66

Table 3 Area of each part of library

Area[m ²]	East	West	South	North	Sum
Wall	495	574	349	449	1868
Window	233	152	195	106	686
Window frame	21.0	21.4	25.4	4.8	72.6
Ceiling					970

4. 測定結果

4.1 対象期間

図書館の測定は 2016 年 6 月から現在まで行われている. 今回は冬季データとして 2019 年 1 月 17 日から 2 月 3 日, 2020 年 1 月 23 日から 2 月 20 日のものを用いた. 夏季データとして 2019 年 8 月 7 日から 9 月 3 日, 2020 年 8 月 6 日から 9 月 5 日のものを用いた.

4.2 壁体・窓ガラスの断熱性能

図書館 4 階東面の壁体各部の表面と外気温度と室内温度の 1 時間ごとの日平均推移と標準偏差を図 4 に, 2 階北面の窓ガラスの表面温度の 1 時間毎の日平均推移と標準偏差を図 5 に示す. 壁面, 窓面ともに建物外側から内側に向かうにつれて日変化, 標準偏差が小さくなっている. これは外気の日変化による影響を受けずに室内の温度を保っているということである. 冬季では, 図書館が閉館している時間は空調の設定温度を低くしているため, 日中と夜間の温度差が大きくなっている.

温度推移と同様に壁の熱流束の日平均推移と標準偏差を図 6 に示す. 冬季では RC 内側の熱流束が小さくなっているのので, 建物内から熱が流出している. 夏季に室内に流入してくる熱量はかなり小さくなっているのので, 夏季は冬季と比べて外気が室内に与える影響は小さくなっているということがわかる.

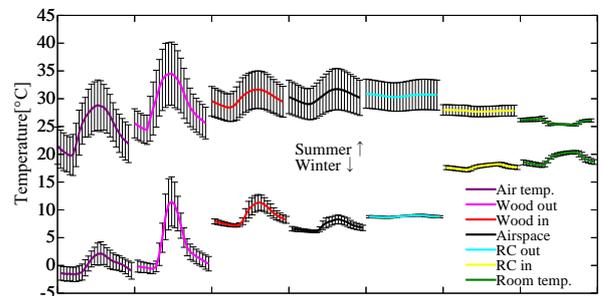


Fig.4 Diurnal change of surface temperature on wall

(4F/east)

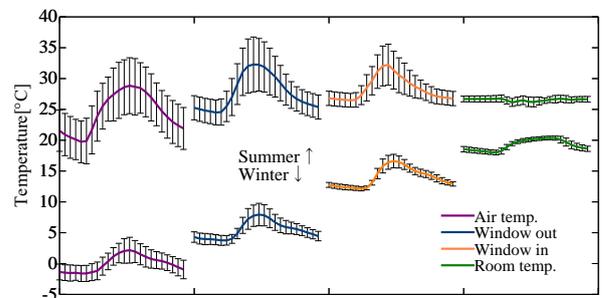


Fig.5 Diurnal change of surface temperature on window

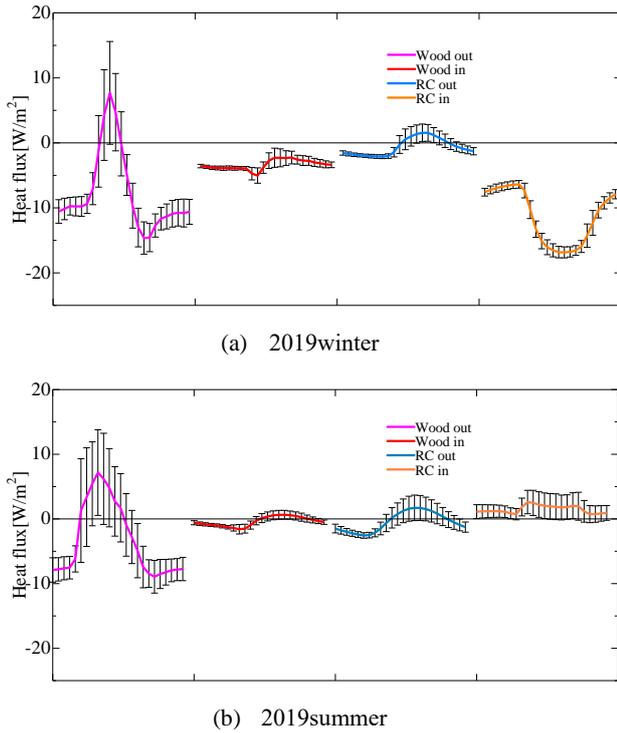


Fig.6 Diurnal change of heat flux on wall

4.3 熱流出量

建物の断熱性の評価を行うために、各壁面における熱流量を測定結果から算出した。東、西、南側壁面ではRC内側、窓面では室内側にそれぞれ設置された熱流計の測定値から熱流量を算出した。北側壁面の熱流量は建物の北側に位置する部屋の室温を別途測定し、外気温との温度差と壁の熱貫流率から算出した。天井面については、天井表面と屋上床面との温度差と天井を構成する各要素の熱伝導率から算出した。1階床面の熱流量については床面近傍に設置した温湿度ロガーの測定値と過去に測定されている山形の地中温度(深度5m)³⁾の値を用い、1次元非定常熱伝導方程式に基づいて算出した。建物地下については深度5mまでコンクリート構造であると仮定して、RCの密度、比熱、熱伝導率の値を物性値として与えた。

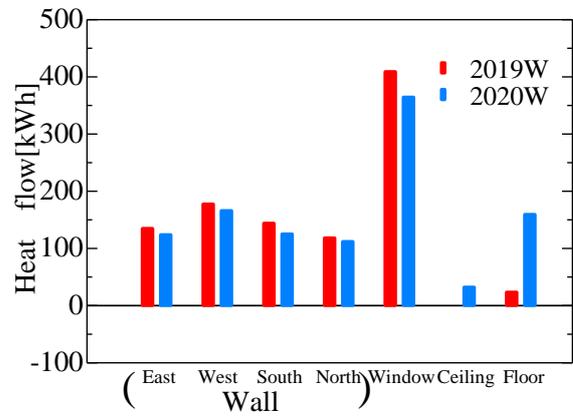
上記で算出した熱流量に各面の面積をかけた、各季節の1日で流出する熱流量(kWh)を図7に示す。壁面の各方向と窓、天井、床面からの熱流量をそれぞれ示す。2020年夏季の天井面、床面、2019年冬季の天井面はデータ欠測している。冬季について東、西、北面の壁からの熱流出が近い値で、南面はほかの3面に比べて比較的大きくなっていて、窓面はさらに大きくなっている。この傾向はどちらの年でも見て取れる。2020年の熱流出は2019年のものより全体的に小さくなっている。2020年は例年と比べて暖かい冬となっ

ていたことが原因であると考えられる。夏季と冬季の比較では熱流出の方向が、壁、窓、天井において逆方向になっていることがわかる。また、夏季に室内に流入してくる熱量はかなり小さくなっているため、夏季は冬季と比べて外気が室内に与える影響は小さくなっているということがわかる。

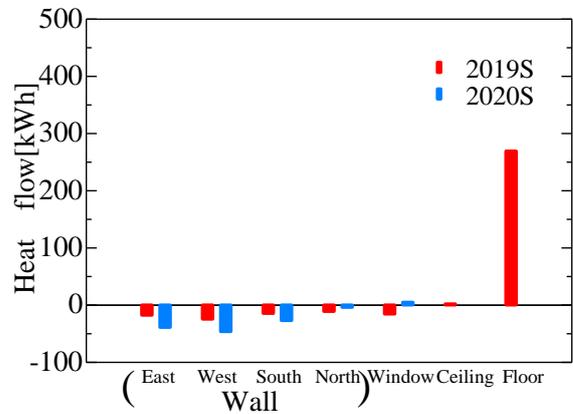
4.4 消費電力

消費される電力を1日毎に記録している。1か月毎の総消費電力量をまとめたものを図8に示す。期間は2018年4月から2020年3月である。冬季において2019年の冬期より2020年の冬期は消費電力が少ないといえる。これは2020年の冬季は暖冬であり、積雪も少なく、気温も平年と比べて低くならなかったためであると考えられる。

消費電力が夏季と冬季でピークがあることについて検討する。2019年度の1月毎の消費電力についてはその期間の1日の平均値を用いた。冬季では図書館開館時間の10時から20時までの内外の気温差、夏季では同様の時間の内外の絶対湿度差を消費電力と比較した。冬季のものを図9、夏季のものを図10に示す。この二つの図で決定係数が0.9を上回ることから強い相関があることがわかる。このことから冬季では



(a) winter



(b) summer

Fig.7 Heat flow on each side

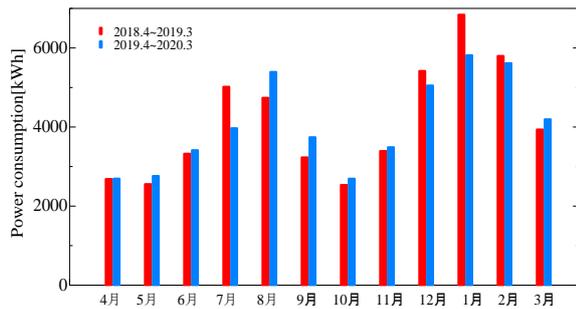


Fig.8 Power consumption

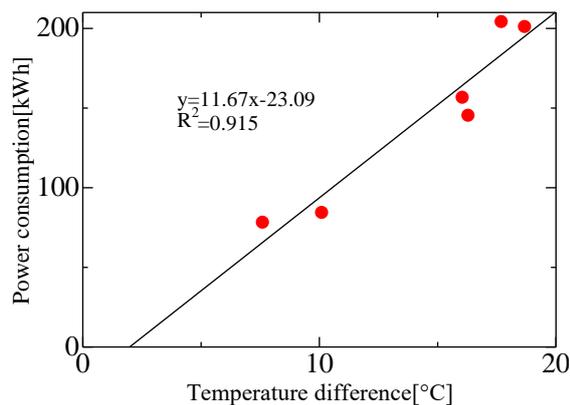


Fig.9 Correlation between temperature difference and power consumption(winter)

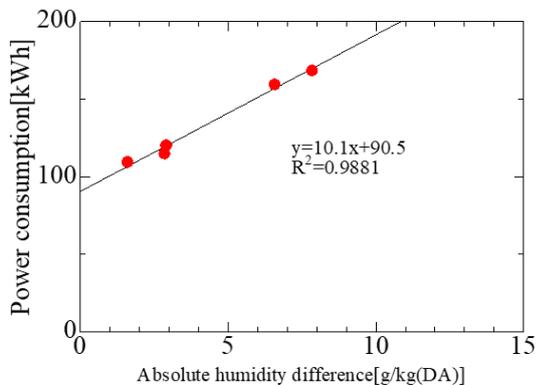


Fig.10 Correlation between absolute humidity difference and power consumption (summer)

館内の温度を保つため、暖房機能に電力を使用しており、夏季では館内の湿度を保つため除湿機能に電力を使用していることがわかる。

5. 結言

寒冷地における木製外装を施した既存建物の断熱性能の検証を目的とし、長期間測定されたデータから評価を行った。その結果以下の知見が得られた。

- ・夏季、冬季ともに木製外装から室内に向かって、温度の日変化と標準偏差が小さくなっている。また最大値を示す時間が遅くなった。

- ・建物全体の熱流出を評価するには窓枠からの熱流出も影響があると推測できるため、窓枠の熱流束を測定し、評価する必要がある。

- ・建物全体で冬季では熱流出、夏季では熱流入が見られるが、冬季の熱流出の値が大幅に大きくなっている。夏季は冬季と比べて外気が室内に与える影響は小さくなっている。

- ・夏季と冬季に消費電力のピークが見られる。冬季では消費電力と室内外の気温差の相関は見られ、夏季では消費電力と室内外の湿度差に相関が見られたことから、冬季では暖房、夏季では除湿に電力が消費されているといえる。

参考文献

- 1) 荘保伸一, 朝倉靖弘, 吉田篤正, 木下進一; 熱処理木材を使った木製外装による建物模型を用いた断熱性能の評価 日本建築学会技術報告集, Vol.22, No.52, pp.871-874, (2016-10).
- 2) Atsumasa Yoshida, Shinichi Shoho, Shinichi Kinoshita, Evaluation of Reduction Effect on Thermal Load Inside and Outside of Concrete Building with Wooden Decoration by Numerical Analysis, The 11th Nordic Symposium on Building Physics (NSB2017), Paper No. 104, Web-page (6 pages), Trondheim, Norway, (2017-6).
- 3) 農林水産省; 「地中温度に関する資料, 農業気象資料第3号」(1982).

BEST-H を用いた冬期住宅内温熱環境の安全性に関する研究 —高齢者率・断熱住宅率を考慮した都道府県毎のリスク評価—

Study on safety for thermal environment in residential houses in winter season using BEST-H program -Examination for residential houses on each prefecture in japan considering elderly rate and insulated rate-

○高田 桃子 (奈良女子大学)

吉田 伸治 (奈良女子大学)

Momoko TAKATA*1 Shinji YOSHIDA*1

*1 Nara Women's University

In recent years, in Japan, the relationship between the thermal environment in a house and health has been attracting attention. In particular, attention is being paid to heat shock, which occurs when blood pressure rises and falls due to a sudden change in the thermal environment in which residents are exposed in a house in winter. The purpose of this report is to improve the accuracy by considering the heat insulation rate and the elderly rate and analyzing in subdivided areas.

はじめに

近年、日本では住宅内の温熱環境と健康との関係が注目されている^{文1)}。特に冬期の住宅内で居住者が暴露される温熱環境の急激な変化に伴う血圧の昇降が契機となり発症するヒートショックなどが注目されている。従って、住宅内を安全な温熱環境に制御するための適切な断熱性能を施すことは不可欠である。先行研究文^{2)~4)6)}では、奈良県の冬期気候に配慮した健康・安全に必要な断熱性能を、独自の評価尺度 (HSDH, HSH, HSD) を用いて分析している。しかし、これらの研究では、断熱住宅の普及率・高齢者率は未考慮であり、その精度の面で改良の余地が残されている。そこで本報では、断熱率・高齢者率を考慮するとともに、細分した区域で解析を行い、精度を高めることを目的とする。

1. 解析概要

1.1 解析対象

住宅の熱負荷シミュレーションツール BEST-H を用いた。対象住宅は木造2階建の戸建住宅 (自立循環モデル) 文⁹⁾である。

1.2 対象地域・気象条件

解析対象は47都道府県各々の一次細分区域内の代表的なアメダス観測地点である。一次細分区域とは、気象特性、災害特性及び地理的特性に基づき県内を細分した区域であり、その一例として **Fig.1** に奈良県における一次細分区域の分布を示す。本研究では、この区域を代表する地点の観測データを上述の住宅が暴露される気象条件として用いた解析を行い、得られた結果を各区域の人口、高齢者率などと関連づけて分析することにより、県内の諸量の分布を考慮可能なものとなる配慮を行った。住宅の断

熱性能については、①平成25年省エネルギー基準の地域区分 (**Table.1**) 相当の断熱性能を有する場合、②無断熱の場合の2つの条件を設定した。

1.3 評価尺度

研究では、先行研究で提案された生活者の移動に伴い室温を変化させて算出された評価尺度 Dynamic-HSDH (以下、Dy-HSDH)^{文2)} (**Table.2**)、暖かさ得点 (WS)^{文6)} を基本的な評価尺度に定め、これらに高齢者率、住宅の断熱化率を考慮するための以下の改良を施した。

(1) 住宅の断熱化率の考慮

指標 ϕ に対して、月 m の地域区分相当 i の断熱を施した場合の値 ϕ_{mi} 、無断熱の場合の値 ϕ_{m0} の算出結果に文献7に示された住宅の断熱化率 r_i を用いることにより、一次細分区域毎の指標の代表値を推定した。

$$\phi_{mp} = \phi_{mi} \cdot r_i + \phi_{m0} (1 - r_i) \quad [1]$$

なお、暖かさ得点については、①居間の寒さ、②寝室の寒さ、③寝室の乾燥、④脱衣所の寒さ、⑤浴室の寒さ、⑥トイレの寒さ、⑦廊下の寒さの7項目の指標に対して各々3点満点、家全体21点満点で評価している。本稿では、この得られた得点(21点)から差し引くことにより得られる「満点からの減点」を指標として用いた。

(2) 冬期の指標増加率の算出

(1)で得られた月毎の指標値を基に、中間期の指標平均値 Φ_M 、厳冬期の指標平均値 Φ_H を各々推定し、後者を前者で除すことにより得られる増加率 $R_\phi (= \Phi_H / \Phi_M)$ を算出した。

(3) 区域人口、高齢者率に基づく冬期増加率の算出

(2)に説明した指標増加率 R_ϕ を一次細分区域毎に算出し、これを同区域の人口、高齢者率の重み付け平均を施すことにより県全体の指標値の冬期増加率を推定した。

なお、暖かさ得点については、本節で述べた手順に基づき得られる値を「減点増減率」と定義し、以下の分析に用いた。

Table.1 Classification criteria in Nara

Classification	Municipalities
V	Nara(exc. Tsuge), Uda(exc. Muro), Katsuragi, Gojo(exc. Oto), Tenri, Yamatotakada, Gose, Yamatokoriyama, Soni, Kashihara, Sakurai, Kashiba, Yamazoe, Sango, Ikaruga, Ando, Kawanishi, Miyake, Tawaramoto, Mitsue, Takatori, Asuka, Koryo, Kanmaki, Oji, Kawai, Yoshino, Oyodo, Shimoichi, Kurotaki, Tenkawa, Totsukawa, Shimokitayama, Kamikiyayama, Kawakami, Higashiyoshino
IV	Tsuge, Oto, Ikoma, Muro, Heguri, Nosegawa

Fig.1 Classification criteria in Nara

Table.2 Definition formula of Dynamic-HSDH

DynamicHSDH**(hereafter DyHSDH**, **: reference temperature

$$DyHSDH ** = \int_0^T \max(\theta_c - \theta_t, 0) dt$$

θ_c : reference temperature [°C], θ_t : operative temperature [°C]

T: time of a day [h]

2. 結果及び考察

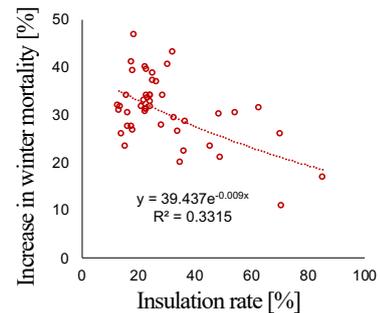
Fig.2 に県毎の建物の断熱強化に伴う、冬期死亡増加率、Dy-HSDH10、WS 減点増減率の関係を示す。冬期死亡増加率は、人口動態統計 (2014 年、厚労省) 中の 4 月から 11 月の脳・心疾患が死因の月平均死亡者数に対する、12 月から 3 月の脳・心疾患が死因の月平均死亡者数の増加割合である。住宅の断熱化率は住宅・統計調査

(2008、総務省) の都道府県毎の統計データに基づくものである。従って、Fig.2 (1) がこの問題の現況を表す客観データと見做すことが可能と考えられる。この図では、解析で得られたリスク指標 (Dy-HSDH10、WS 減点増減率) の自然対数を取り、建物の断熱強化に伴う指標の緩和効果の評価を試みた。リスク指標が県毎の建物の断熱率を関数とするため、当然ながら、建物の高断熱化に伴い指標が減少しており、客観データ (冬期死亡増加率) と同様の傾向が再現されていることが確認できる。また、Fig.3 に冬期死亡増加率と各リスク指標の関係を示す。本解析では、Dy-HSDH の方が WS (暖かさ得点) 減点増幅率よりも冬期死亡増加率との相関がやや高い傾向が見られる。

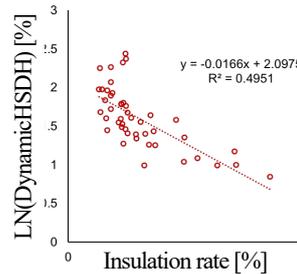
本稿執筆時点では、Dy-HSDH の基準温度を 10°C とした結果のみ分析しており、他の基準温度 (18°C、16°C) を採用した場合の結果についても今後分析する必要はあ

るが、現時点では評価指標としては Dy-HSDH10 の方が、この問題の評価尺度としての有用性が高い結果となった。また、建物の断熱化とリスク指標の関係 (Fig.2

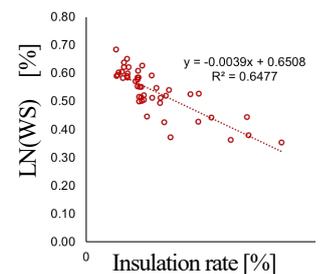
(2)) に着目すると、建物の断熱率が 80% の縦軸の値が最も小さくなる都道府県が存在する点から、このレベルまで建物の断熱化が浸透すると冬期の脳・心疾患での死亡増加が抑えられている結果となると判断できる。現状においてこれ (断熱化率 80%) を満足するのは北海道のみであり、多くの都府県で断熱化の推進が必要であることが明らかとなった。



(1) Mortality increase rate

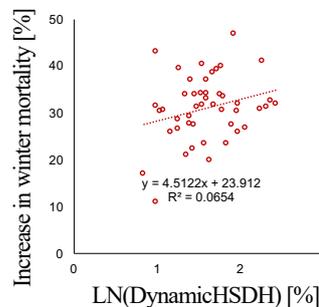


(2) Dy-HSDH10

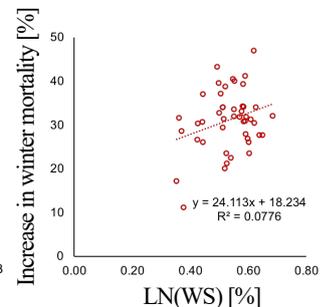


(3) WS

Fig.2 Effect of risk indicators (LN: Natural logarithm)



(1) Dy-HSDH10



(2) WS

Fig.3 Relationship with mortality increase rate

3. GIS ツールを用いた解析結果の可視化

Fig.4 に(1)脳・心疾患が死因の冬期死亡増加率、(2)断熱住宅普及率の分布を日本地図上で示す。Fig.4(1)において都道府県別に冬期死亡増加率の分布を見た場合、緯度が高いほど死亡増加率は少なく、緯度が低いほど死亡増加率が高い傾向が確認できる。北海道・青森や北陸地方の冬期の寒さが厳しい地域においては相対的に増加率が低い傾向を示す。地図上の赤で示す地域は比較的冬期増加率が高いといえるが、特に和歌山・奈良・三重・滋賀に集中しているのが確認できる。これより、冬期死亡増加率は明らかに地域による偏りがあることが分かる。また、これらの集中した地域の死亡増加率を下げるのが急務であるということが確認できる。

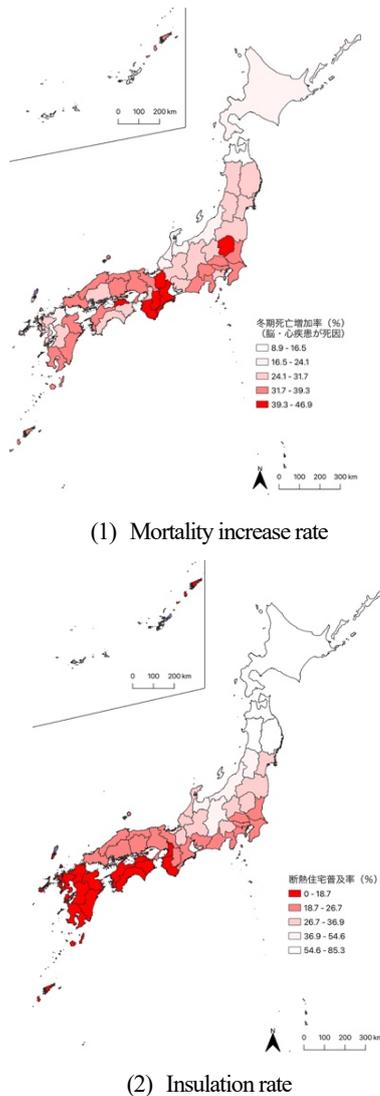


Fig.4 Objective date for each prefecture

Fig.4(2)からは断熱住宅の普及率が高緯度から低緯度にかけて減少していることが明らかである。Fig.4(1)で和歌山・奈良・三重・滋賀の死亡増加率の高さを指摘したが、Fig.4(2)の断熱住宅の普及率とは完全な一致は見られない。冬期死亡増加の要因には断熱普及率以外にも含まれることが推察される。

4. リスク指標の比較

Fig.5 に(1)DynamicHSDH 増加率と(2)暖かさ得点減点増減率の分布を日本地図上で示す。Fig.5(1)より高緯度になるに従って DynamicHSDH と暖かさ得点減点増減率の値が小さいことが分かる。Fig.4(2)で断熱住宅の普及率は高緯度になるほど高いという傾向が確認できたが、断熱住宅普及率を係数とする(1)DynamicHSDH と(2)暖かさ得点の分布でも当然ながら同様の傾向が確認できる。

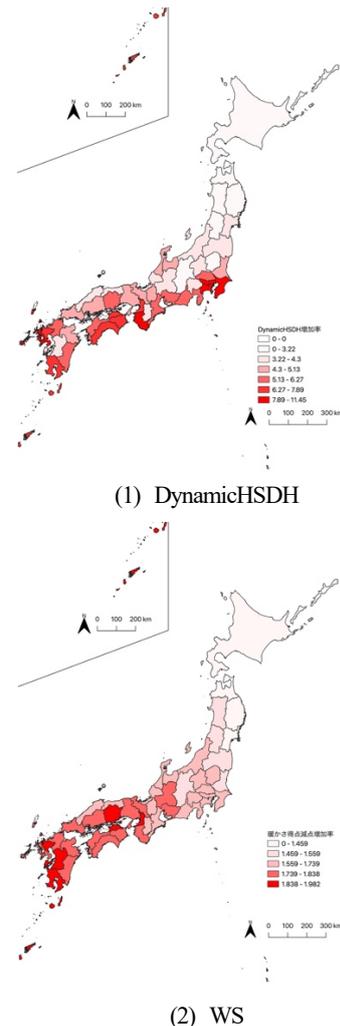
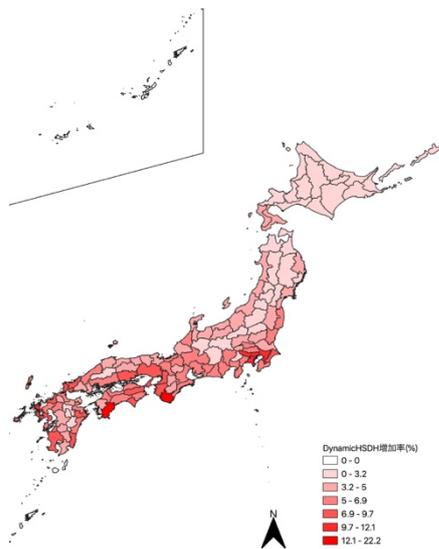


Fig.5 Risk index for each prefecture

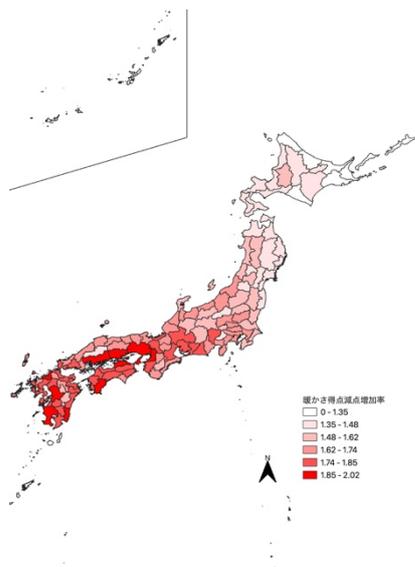
5. 一次細分区域を単位としたリスク指標の分布

Fig.6 に一次細分区域を単位とした、(1)DynamicHSDH 増加率と(2)暖かさ得点減点増幅率の分布を示す。

Fig.6(1)(2)を比較した場合、(1)DynamicHSDH 増加率の方が、Fig.4(1)で示した冬期死亡増加率の現状分布の①緯度が高いほどリスク指標が低く、緯度が低いほどリスク指標が高い、②紀伊半島・関東地方で集中的にリスクが高い、という2点の傾向が反映されており、Fig.5 で示した都道府県毎の分布より高い精度で分析されていることが確認できる。



(1) DynamicHSDH



(2) WS

Fig.6 Risk index distribution by subdivision

ただし、現状を示す客観データと完全に一致していない点があり、特に①新潟県・北陸地方のリスク評価が比較的高い、②四国地方の太平洋側のリスク指標が比較的高い、の2点である。考えられる理由として①リスクが高い時刻の抽出が不十分、②細分区域ごとの断熱住宅率の考慮が不十分、があり、今後の課題になると言える。

7. まとめ

(1)Dy-HSDH10の方が暖かさ得点よりも有用性の高い評価尺度であると言える。また、現段階で断熱普及率の最高水準は約80%であり、脳・心疾患が死因の冬期死亡増加が抑えられる一つの基準であると言える。

(2)GISツールを用いて都道府県毎のリスク指標の分布を示した場合、現状を示す客観データとの不一致より、細分化した区域での検討の必要性和断熱住宅率以外の要因がある可能性があることが分かった。

(3)GISツールを用いて一次細分区域毎のリスク指標の分布を示した場合、都道府県毎よりも客観データと一致する点が多く、より正確なシミュレーションができていえる。しかし、リスクが高い時間の抽出や細分区域毎の断熱住宅率を考慮し、より精度の高いシミュレーションを目指し、リスクに対する改善努力を明らかにする実用性のあるツールとして役立てていく必要がある。

参考文献

1. 伊香賀俊治, 江口里佳, 村上周三, 岩前篤, 星旦二, 水石仁, 川久保俊, 奥村公美: 健康維持がもたらす間接的便益 (NEB) を考慮した住宅断熱投資評価, 日本建築学会環境系論文集, 666, 735-740, 2011. 8.
2. 吉田伸治: 冬の住宅内の温熱環境と安全性に関する研究 (その1) BEST-H を用いた奈良県内の気候条件に相応な断熱性能を持つ新築住宅の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術公園論文集, 225-228, 2019. 9.
3. 高岡祐希: BEST-H を用いた冬の住宅内の温熱環境の安全性に関する研究-47 都道府県毎の現状分析 (令和元年度奈良女子大学卒業論文)
4. 吉田柚香子: BEST-H を用いた冬の住宅内の温熱環境の安全性に関する研究-評価指標の差異の影響とリスク緩和策の効果の評価 (令和元年度奈良女子大学卒業論文)
5. 建築環境・省エネルギー機構: 自立循環型住宅への設計ガイドライン, 2009. 9
6. 芹川真緒, 佐藤誠, 長井達夫, 秋元孝之: 熱負荷シミュレーションを使用した戸建て住宅の高断熱・高気密化に関する検討, 日本建築学会環境系論文集, 733, 227-235, 2017. 3.
7. 総務省「住宅・土地統計調査 2008」

高断熱・高気密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究 (その3) 多数室換気モデルにおける換気風量・系統の検討

Hygrothermal Simulations on a High Performing Single Family House with Traditional Timber Framed Modular Panels

(Part 3) Evaluations on Air Flow Rates and Paths by the Multi-zonal Ventilation Network Model

○伍 賀 誠 治 (京都工芸繊維大学)

芝 池 英 樹 (京都工芸繊維大学)

Seiji GOKA*¹ Hideki SHIBAIKE*¹

*¹ Kyoto Institute of Technology

Dynamic hygrothermal simulations occurred between multiple zones in a building which implement interzonal airflow networks are numerically analyzed by using the Windows application WUFI[®] Plus with the airflow function. Influences of buoyancy, wind directions and velocities, and mechanical fans with the energy or heat recovery function as well are all investigated in the computations successfully. The target building is a one story high performing house with traditional timber framed modular panels that will be constructed in Yokoshiba, Chiba. Under the switching operation of the ERV and bypass, the CO₂ concentration in the leeward room is kept low due to the exhaust ventilation volume of the EA fan.

1. はじめに

気候変動抑制は世界的な喫緊の課題であり、その解決法として住宅分野における温室効果ガス削減に大きな期待が寄せられている。建築外皮の高断熱・高気密化はその実現手段として有効であるが、空調機器との連携等を十分に考慮しないと冷房エネルギー消費量を増大させる恐れがある。また一方で、社会の高齢化が加速する中、屋内温熱快適性を担保することは、居住者の健康増進・長寿に繋がる重要項目である。

上述のような背景を踏まえ、高断熱・高気密住宅モデルに関して、屋内温熱快適性 (PMV) とその維持に必要な空調負荷を比較し、最小限のエネルギーで快適な屋内環境を維持できる各種建築的方策、および顕熱・全熱回収型換気装置等の組み合わせ効果を検討してきた。

前報¹⁾では、Windows アプリケーション WUFI[®] Plus^{2,3)}の多数室換気計算機能を活用し、全熱回収型第1種換気システム (ERV) 運用時に、多数室間に生じる通風量が PMV や下流室等の熱・湿気・空気質性状に与える影響を検討した。

本報では、同条件下で顕熱回収型第1種換気システム (HRV) を運用した場合の、下流室等の PMV や熱・湿気・空気質性状を ERV 運用時と比較・検討する。またその際、空調を在室時間に合わせて間欠運転させた場合についても検討を行う。WUFI[®] Plus の多数室換気計算機能は、熱・湿気計算と同時に多数室間通風量も毎時刻で逐次予測が可能で、浮力、風向・風速等の影響についても考慮が可能である。

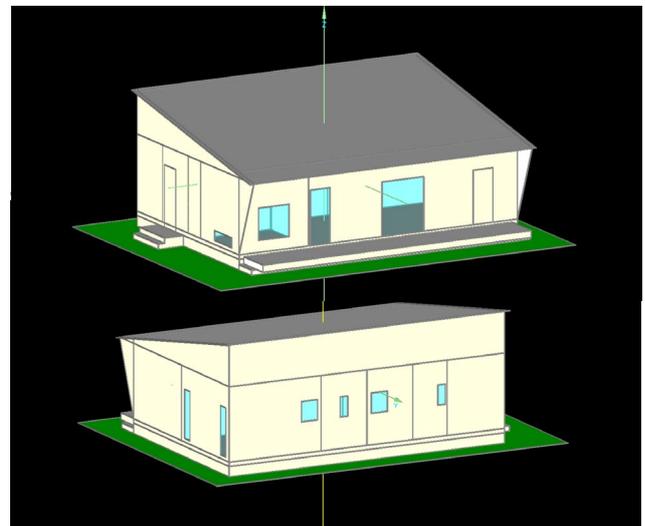


Fig.1 Overview of the model house in WUFI Plus 3.2

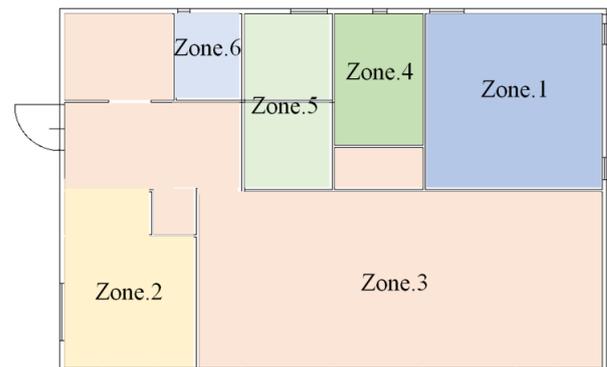


Fig.2 Plan of the model house

2. 計算モデルの概要

多数室換気計算では、比較的単純な換気回路網が設定できるので Fig.1 のような平屋住宅を計算対象とする。検討対象とした千葉県旭市に新築予定の木造軸組パネル住宅は、7.28m×10.92mの平屋で、延床面積が79.5m²、室容積が300.0m³、外皮面積が297.9m²であり、屋根は北から南に傾斜している。モデル住宅は、居住域6ゾーン (Fig.2) と非居住域2ゾーン (床下・小屋裏)、建物から (給・還気以外) 独立した外気・排気処理室2ゾーンの計10ゾーンである。また屋根、壁、床、窓の熱貫流率は各々0.11、0.18、0.25、1.33W/m²・K、外皮平均熱貫流率 (U_A値) は0.34W/m²・Kである (Table.1)。

3. 計算条件

計算期間は1年間 (助走期間1週間経過後、11月1日1時から翌年10月31日24時まで) で、外界気象条件は横芝 (千葉) の拡張アメダス標準年毎時値を用いる。

内部負荷 (対流・放射熱、水蒸気量、CO₂量) は、居住者を計4名 (夫婦、娘、息子) とし、IBECが想定した住宅の毎時の生活スケジュール⁴⁾と建物種類別居住者負荷発生量⁵⁾から作成し、冬期平日・休日、夏期平日・

休日、中間期平日・休日の6パターンで設定する。PMV算出には、着衣量は夏0.5clo、冬1clo、中間期0.75clo、エネルギー代謝率は通年1.2Metを用いる。

建物外皮および間仕切り壁の気流性状特性値は、気密測定値⁶⁾およびOrme (1999) 付録E⁷⁾に基づいて与えた (Table.2)。また、各ゾーンの給気 (SA) および排気 (EA) の設計風量は Table.3 の通りである。

ERVは顕熱回収効率70%、潜熱回収効率40%、HRVは顕熱回収効率90%とする。WUFI[®] Plusの多数室換気計算機能ではHRVおよびERV運用状態は直接予測できないので、EA計算結果と外気 (OA) の両時系列から、回収時とバイパス時のSA温・湿度時系列を更新する繰り返し計算を行い、5回目の収束解をSA時系列とする⁸⁾。

また、Fig.4⁹⁾に準じてHRV・ERVとバイパス回路の切り替えを行い、バイパス回路が機能しているときは回収せず、回収時と同風量のOAを直接取り入れる。境界には不定領域 (Fig.3のグレーゾーン) を設定し、作動中にこの領域に温度が移動した場合は前の状態を保持する。

エアコンは在室時のみ作動する間欠運転と不在時でも作動する終日運転の2種を設定し、上流室の温度：20-27°C、相対湿度：30-65%に収まるように適宜作動する。

Table.1 Thermal performances of building envelope assemblies

Component	Insulation	U-value [W/m ² ・K]	U _A -value [W/m ² ・K]
Wall	Fiber Glass 105mm NEOMA FOAM 30mm	0.18	0.34
Floor	NEOMA FOAM 66mm	0.25	
Roof	Fiber Glass 120mm NEOMA FOAM 95mm	0.11	
Window	-	1.33	

Table.2 Airflow parameters

Component	Flow coefficient [dm ³ /sm ² Pa ⁿ]	Flow exponent [-]
Exterior walls	0.018	0.71
Inner walls	0.52	0.62
Floor	0.018	0.71
Roof	0.007	0.71
Windows	0	0.71

Table.3 Volumes and airflow rates

Zone	Room	Floor [m ²]	Volume [m ³]	Envelope [m ²]	SA		EA	
					[m ³ /h]	[1/h]	[m ³ /h]	[1/h]
1	Bedroom	13.3	38.0	34.2	52.8	1.4	-	-
2	J-style room	9.1	26.1	27.4	36.1	1.4	-	-
3	LDK+α	43.1	123.6	94.0	69.9	0.57	31.5	0.25
4	WIC	5.0	14.3	10.2	-	-	9.1	0.64
5	Bathroom	6.6	19.0	11.9	-	-	68.8	3.6
6	WC	2.5	7.1	6.4	-	-	49.4	6.9
7	Attic	(79.5)	71.9	113.9	-	-	-	-
8	Crawl	(79.5)	(44.9)	-	-	-	-	-
SUM		79.5	300.0	297.9	158.8	0.53	158.8	0.53

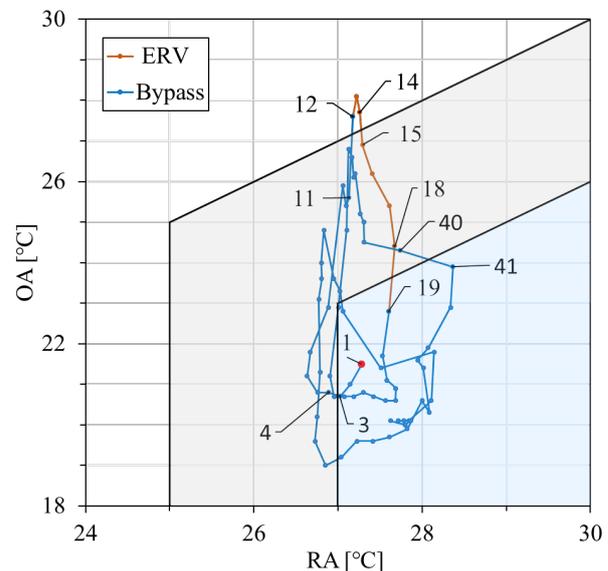


Fig.3 Switching HRV/ERV and bypass

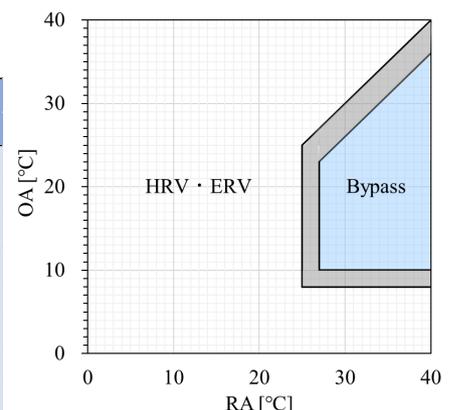


Fig.4 Judgement of HRV/ERV and bypass

4. 計算結果

平屋建て住宅モデルに関して、HRV・ERVの運用時の、上流室(寝室、子ども室、LDK)および下流室(WIC、洗面所・風呂、WC)の温・湿度、CO2濃度、PMV等の変動性状について検討する。比較期間は最高・最低気温生起日を含む3日間を取り上げる。

Fig.5、Fig.6は上流3室のエアコン作動時間を表している。終日運転時でも、冬期の午後は子ども室とLDKは設定温・湿度内であり、エアコンは停止している。一方、夏期は3日間とも絶えずエアコンが作動していた。間欠運転時の作動時間は居住者の滞在スケジュールに基づいており、夏冬共に同じ作動時間であり、ERV運用時においても同様である。

Fig.7、Fig.8に各ゾーンのCO2濃度を示す。間欠運転時、冬期の早朝5時に2000ppmを超えピークに達し、子ども室も1500ppmを超えている。LDKおよび下流室3室の濃度については低く抑えられている。夏期は間欠運転時のほうが寝室、子ども室ともにCO2濃度を抑えられている。ERVに関して類似の結果が得られた。

Fig.9、Fig.10に温・湿度を示す。冬期、間欠運転時は深夜から早朝にかけてLDKの不在時に温・湿度ともに低下しており、それに追従するように下流室の温・湿度も低下している。風呂場は17時をピークとして、温・湿度ともに上昇し、PMVも他ゾーンよりも悪化した。

Table.4 Seasonal accumulations of AC loads per floor area [kWh/m²]

	Heating	Humid	Cooling	Dehumid
HRV_all-day	7.0	2.5	25.0	6.9
HRV_intermittent	5.6	1.8	24.2	6.2
ERV_all-day	11.9	0.0	21.8	11.0
ERV_intermittent	9.8	0.0	21.0	10.5

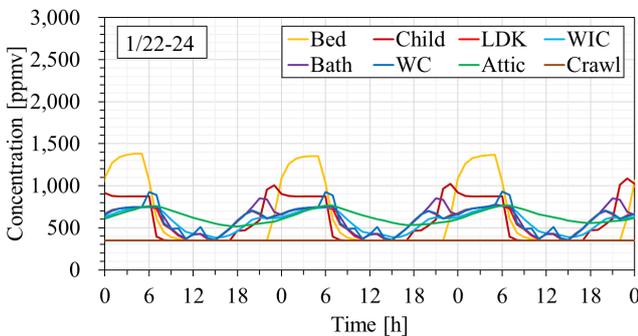


Fig.7 CO2 concentration profiles during all-day operation (HRV)

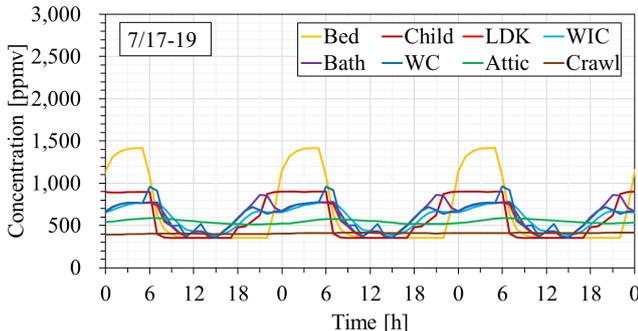


Fig.11、Fig.12はPMVを示す。最低気温生起日の1/23も上流室は-0.5<PMV<0.5の快適域内であるが、下流室では劣化しており-0.5を下回る時間も多かった。夏期に関しては、上流室でも0.8付近であった。

最後に年間空調負荷をTable.4に示す。設定湿度が30-65%であったため、ERV運用時には加湿負荷が発生せず、除湿負荷が増え、冷房期の負荷が増大した。

5. まとめ

平屋住宅モデルで、WUFI® Plusによる建物の非定常熱・湿気・空気質性状を年間毎時で計算した。ERVおよびHRV運用下で、在室時間・部屋でだけエアコンが間欠運転される場合の、室間に生じる換気量が上・下流室でのPMV、熱・湿気・空気質変動に与える影響を検討した。エンタルピー制御によりERV・HRVとバイパスの切り替え運用した場合の効果は、今後の検討課題である。

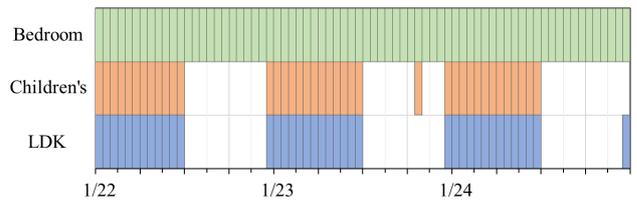


Fig.5 AC switching during all-day operation (HRV)

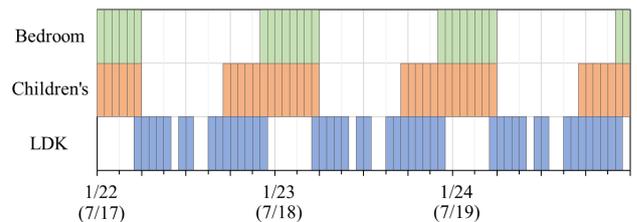


Fig.6 AC switching during intermittent operation (HRV)

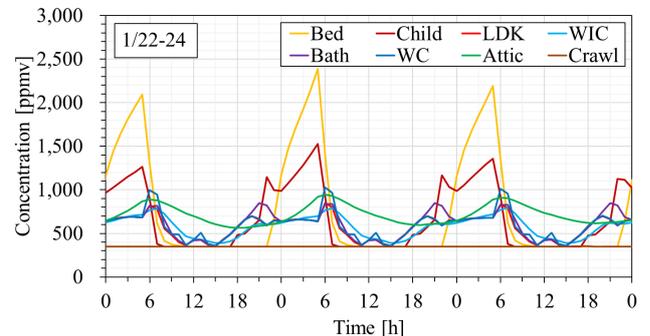


Fig.8 CO2 concentration profiles during intermittent operation (HRV)

参考文献

- 1) 芝池英樹, 伍賀誠治, 高断熱・高気密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究 (その2) 全熱回収換気 (ERV) に関する多数室換気流路の影響, 空調調和・衛生工学会大会学術講演, D-29, 2020.
- 2) H. M. Künzle, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and two-dimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag, 1995.
- 3) H. M. Künzle, Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope, Solar Energy 78, 2005.
- 4) 財団法人建築環境・省エネルギー機構, 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説
- 5) K. Ahmed・J. Kurnitski・B. Olesen, Data in Brief, 15,

- 1030-1034, 2017.
- 6) 伍賀誠治, 芝池英樹, 高断熱・高気密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究 (その1) 窓・庇形状と外装材色等が室内熱・湿気性状に与える影響, 空調調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-30, 2020.
- 7) Orme M., TN 51: Applicable Models for Air Infiltration and Ventilation Calculations. AIVC Technical Note 51, 1999.
- 8) 芝池英樹, 伍賀誠治, 高断熱・高気密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究 (その2) 間仕切り壁等の調湿機能と多数室換気流路の影響, 空調調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-31, 2020.
- 9) MITSUBISHI ELECTRIC, 三菱全熱交換型換気機器ロスナイ技術資料<外気処理ユニット>, 2019

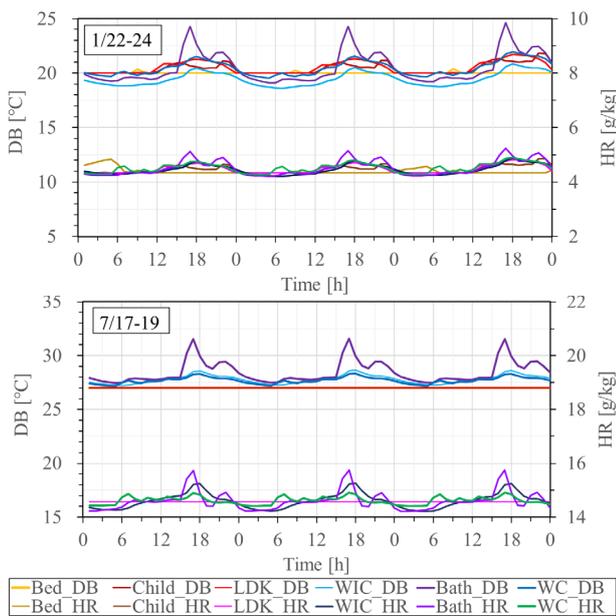


Fig.9 DB and RH profiles during all-day operation (HRV)

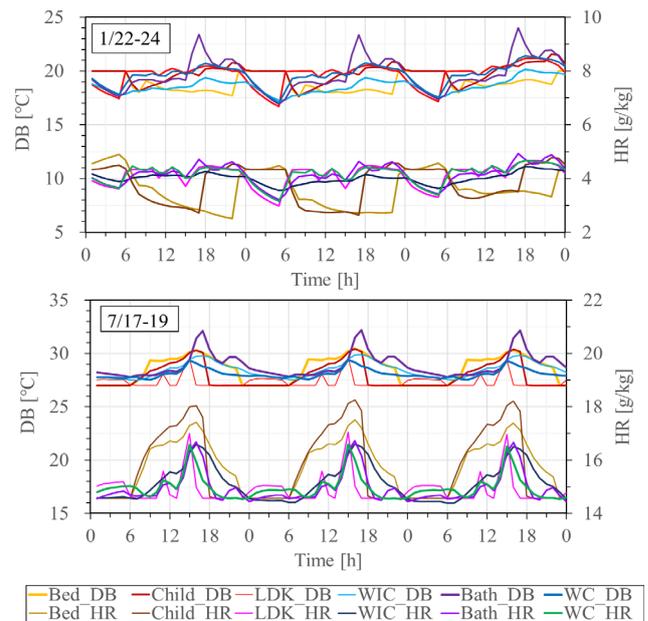


Fig.10 DB and RH profiles during intermittent operation (HRV)

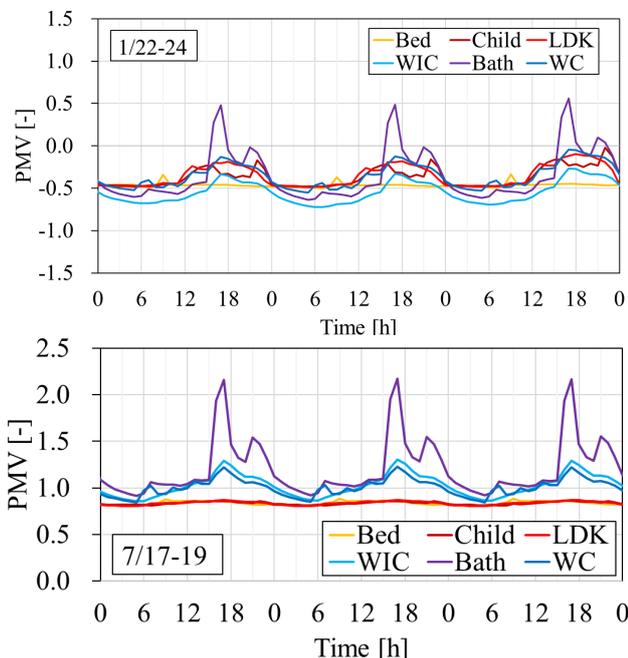


Fig.11 PMV profiles during all-day operation (HRV)

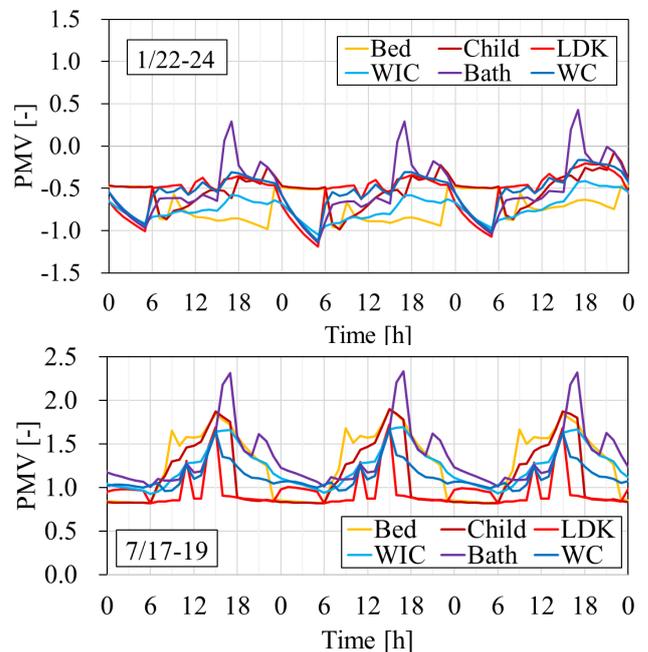


Fig.12 PMV profiles during intermittent operation (HRV)

高断熱・高気密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究

(その4) 平屋テラスハウスの熱・湿気性状の比較検討

Hygrothermal Simulations on High Performing Single Family Houses with Traditional Timber Framed Modular Panels (Part 4) Comparative Evaluations on One-story Terrace Houses

芝池 英樹 (京都工芸繊維大学)

○門脇 健志朗 (京都工芸繊維大学)

伍賀 誠治 (京都工芸繊維大学)

Hideki SHIBAIKE*¹Kenshiro KADOWAKI*¹Seiji GOKA*¹*¹ Kyoto Institute of Technology

Dynamic hygrothermal simulations occurred between multiple zones in a building which implement interzonal ventilations are numerically analyzed by the windows application WUFI® Plus. The computational target are one story terrace houses with traditional timber framed modular panels to be simulated in Choshi (Chiba). Disadvantages in terms of solar utilization due to the redundant plan and 3D shape are evaluated by the performance bases. Influences of cellulose fiber Infills are evaluated quantitatively.

1. はじめに

気候変動抑制は国際的な喫緊の課題であり、住宅運用時の温室効果ガス排出削減効果は戸建て住宅戸数を勘案すると大きな期待が寄せられている。建築外皮の高断熱・高気密化はその実現手段として有効であり、建物の高性能化・長寿命化に貢献し、持続可能な開発目標 (SDGs) にも即しており、環境負荷を抑制した開発を可能にする。しかし、空調機器との組み合わせによる複合性能等を十分に考慮しないと、暖房エネルギー消費量は削減されるが、オーバーヒートにより冷房エネルギー消費量を増大させて空調エネルギー消費量の削減効果を相殺させる恐れがある。期間蒸暑な気候が増々極端化する現況では、特に冷房・除湿負荷削減への設計時の配慮が必要不可欠である。一方で、居住者の健康増進・長寿に繋がる屋内温熱快適性の担保も重要であり、屋内温熱快適性と空調負荷削減は利害相反関係にあり、両立させるには複合コストの最小化を探ることになる。

ところで、平屋住宅はこれまでもワンフロアの中で生

活が完結するという点を中心に根強い人気があり、社会の超高齢化への推移もあり、住宅着工で平屋 (住居専用) は需要拡大が報じられている。都心密集地を除くと、戸建て平屋住宅の建設発注も多く、平屋選択者が求める間取りや仕様の上位には、「自分の趣味を楽しめる空間や設備のある住まい」、「オープンキッチンとダイニングが庭と連続した住まい」、「庭が充実した住まい」、「広縁がある住まい」等が挙げられると報告されている。

本報では、将来的な工事関係者減少にも対応できるように、建設地工数削減を意図して考案された在来木造軸組パネル工法で計画された平屋コートハウスに関して、外皮の高断熱・高気密化による冷・暖房負荷削減と室内熱・湿気性状改善の効果を WUFI® Plus¹⁾²⁾を用いて検討する。居住者からのプラン要求を反映させた結果、安全性やプライバシー性は向上するが、平面形や3D形状が冗長となり、日射利用で不利となる平屋コートハウスに関して、気密性能実測結果を考慮し、室内温熱快適性はしっかりと担保しながら、空調負荷 (顕熱・潜熱) を削減する上

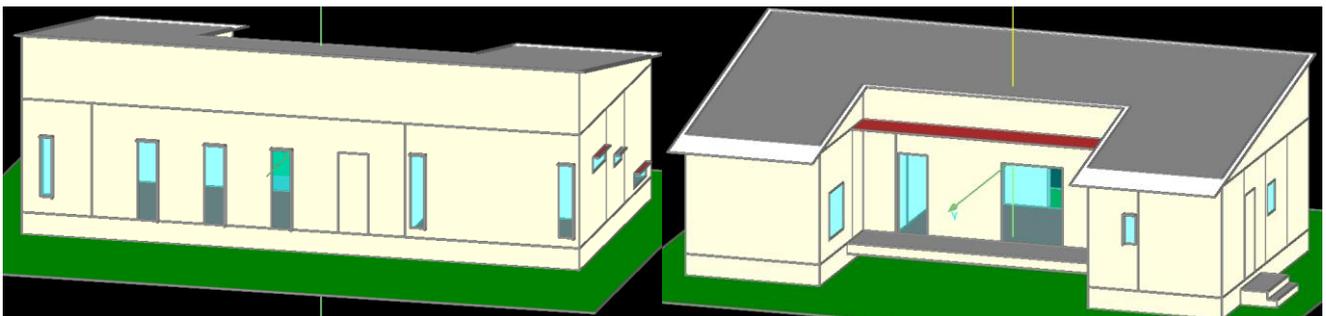


Figure.1 Overview of the model terrace house in WUFI® Plus 3.3 (U-shaped plan)

での、外皮の断熱性能に加えて、調湿用充填断熱材、全熱回収型換気システム等の複合利用による効果を検討する。

2. 計算方法

Google SketchUp を用いて作成した検討対象の 3D マスモデルを、建物の非定常熱・湿気同時移動が検討できる WUFI® Plus 3.3 にインポートし、敷地・居住条件や計画された機器情報等を付与して評価する。検討対象は、2LDK の標準的長方形平面の平屋モデル (前報 (その 3) **Figure.1**⁷⁾ 参照) と、これを変形した平屋コートハウス (**Figure.1**) である。長方形モデルは、短辺 7.28m、長辺 10.92m の平屋建て、延床面積 79.5 m²、室容積 189.0 m³、外皮面積 297.9 m² である。平屋コートハウスは、短辺 7.28m、長辺 14.56m の平屋建て、延床面積・室容積は長方形モデルと等しく、外皮面積 355.2 m² で、長方形の中庭 (7.28m×3.64m、面積 26.5 m²) を 3 辺から囲む。屋内は、居住域を 5 ゾーンに区分し、非居住域 2 ゾーン (小屋裏・床下) と合計した全 7 ゾーンで計算する。各ゾーンの床面積、容積、換気回数を **Table.1** に示す。外皮要素の熱貫流率を **Table.2** に示す。

3. 計算条件

計算期間を 1 年間 (助走期間約 1 ヶ月経過後、11 月 3 日 1 時から翌年 11 月 2 日 24 時まで) で、外界気象条件は銚子 (千葉県) の拡張アメダス標準年毎時値を用いる。内部負荷 (対流・放射熱、水蒸気量、CO₂ 量) に関しては、居住者を計 4 名 (夫婦、娘、息子) とし、IBEC が想定した住宅の毎時生活スケジュール³⁾ と建物種類別居住者負荷発生量⁴⁾ から作成し、冬平日・冬休日・夏平日・夏休日・中間期平日・中間期休日の 6 パターンで設定する。換気には顕熱回収効率 70%、潜熱回収効率 40% の全熱回収型第一種換気システム (ERV) を用いる。外気温の温度にかかわらず、年間を通じて全熱回収を行っている。また、室温度が 20-27℃、室相対湿度が 40-70% に収まるようにエアコンが適宜作動する。LDK と小屋裏間で 10.2 m³/h、主寝室と小屋裏で 6.3 m³/h、子ども室と小屋裏で 3.0 m³/h、玄関と小屋裏で 3.9 m³/h、浴室と小屋裏で 1.9 m³ の室間相互換気量を与えている。

PMV 評価には、着衣量は夏 0.5clo、冬 1clo、中間期 0.75clo、エネルギー代謝率は通年 1.2met を用いる。

4. コートハウスの冷・暖房負荷の分布性状

エアコンによる冷・暖房は LDK、主寝室及び子供室に供給し、洗面室等のオン・湿度は各々の質容積に対する各々 0.5ACH の室間相互換気量で成り行き維持するものとし、ゾーン毎に全熱冷・暖房負荷の発生頻度を求めた。間仕切り壁中空層へのセルロースファイバー (以下 CF と

略称) 充填による調湿効果を検討した。充填用断熱材として普及しているグラスウール (FG) に比べて、CF は中程度の湿度域に対してより大きな調湿能力を示すので (**Figure.2** 参照)、冬期の防露目的で可変透湿幕材が施工される外壁よりも、間仕切り壁への充填で直接的な調湿効果が期待できると考えた。コートハウス LDK に対する冷房および暖房の全熱負荷の発生密度と分布を **Figure. 3** に示す。全熱負荷で比較すると、充填の有無による差は僅かであるが、充填 CF が暖房時は蓄熱・放湿し、冷房時は放熱・吸湿はして、顕熱負荷を増やし潜熱負荷を減らす。全熱では充填により、暖・冷房時共に、中負荷の密度が減り低負荷と高負荷の密度が微増する傾向が見られる。

5. 冷房時の潜・顕熱負荷の散布性状

毎時冷房負荷を構成する顕熱・潜熱成分の分布性状を、コの字平面コートハウスと長方形平面で比較する。これらの時系列数値解は、計算条件として与えたエアコンの顕熱および潜熱処理能力上限を超えない範囲で建築材料の吸・放湿性状等は反映させて独立に求められているが、本来はエアコンの熱源特性を連成させて求められるもの

Table.1 Volumes, floor areas and airflow rates for internal zones

Zone	Room	Floor [m ²]	Volume [m ³]	Natural [1/h]	Mechanical [1/h]	Infiltration [1/h]
1	LDK	29.8	75.9	-	0.5	0.026
2	Master +WIC	19.9	46.8	-	0.5	0.026
3	Child Room	9.9	22.7	-	0.5	0.026
4	Entrance	13.2	29.4	-	0.5	0.026
5	Bath room	6.6	14.2	-	0.5	0.026
6	Attic	(79.5)	50.7	-	-	0.072
7	Crawl	(79.5)	(33.8)	6.72	-	0
	SUM	79.5	239.7	-	-	-

Table.2 U values for envelope components

Component	Insulation	U-Value[W/m ² ·K]
Wall	GW105mm	0.176
	NEOMA FORM 30mm	
Floor	NEOMA FORM 66mm	0.256
Roof	GW120mm	0.111
	NEOMA FORM 95mm	
Window	-	1.33

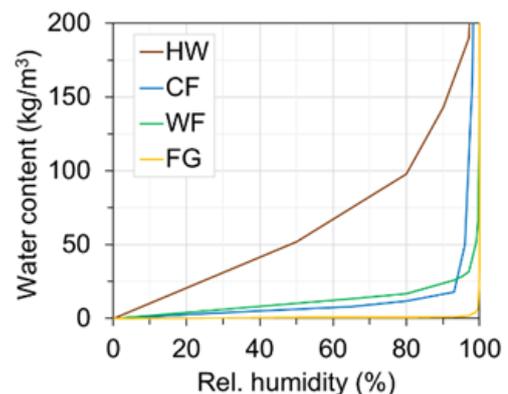


Figure.2 Sorption isotherms for various insulation materials

であり、特に冷房における顕熱比 (SHF) が低くなる場合には除湿しきれない状況も考えられ、顕熱・潜熱成分の散布性状の確認は重要である。南北軸のコの字平面モデルと長方形平面モデルの LDK に関して、CF 充填の有無によるエアコン冷房負荷の毎時顕熱・潜熱成分の散布性状を各々 Figure.4, 5 に示す。CF 充填により SHR は増加しており、CF が調湿を行うことでエアコンの除湿負荷を減らしていることが伺える。なお、外皮に充填されている CF の吸放湿量に関しては、室内内装材の直ぐ外側に可変透湿・気密膜材が施工され、冬期の吸湿量は抑制される。

6. 最暑日の室内温・湿度変動

年間を外気温が最高値を示す 8 月 31 日の中日とする 3 日間における LDK の室内温・湿度変動を、Figure.7 に示す。左は南北軸長方形平面モデル、右は南北軸コの字平面モデルの結果である。CF 充填により、隣接室の冷房の影響が抑制されるため、夜間等の空調停止後の室温上昇が大きくなり、非空調時室温は長方形平面よりコの字平面がより高く上昇する。これに伴い、相対湿度は長方形平面よりコの字平面がより低く下降する。未明の湿度上昇は、コの字平面より長方形平面のほうが大きい。CF 充填により、非空調時の湿度変動は抑制されている。

7. 平面形・方位による冷・暖房負荷積算量への影響

コの字平面モデルおよび長方形平面モデルに関して、LDK の掃き出し窓が南面する東西軸、および東面する南

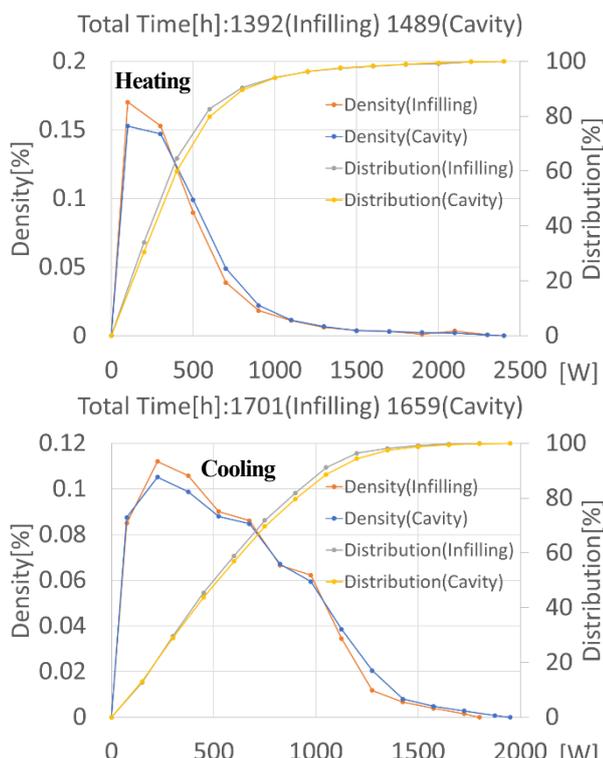


Figure.3 Densities and distributions of total AC loads for LDK

北軸で方位を変え、さらに間仕切り壁への CF 充填有無を変化させた計 8 ケースでの建物全体での期間冷・暖房および除・加湿負荷を比較した (Figure.7)。全体として南北軸より東西軸の方が空調負荷は抑制されており、間仕切り壁の CF 断熱材充填による空調負荷削減効果も確認できた。これは、間仕切り壁を貫流して不在空間に冷・暖房熱量が流出するのを、断熱材の充填により抑制できたことによると考えられる。ただし東西軸コの字平面モデルの暖房では、CF 断熱材充填により顕熱負荷は微増した。一般的に間仕切り壁に CF 断熱材が充填された場合は、隣接する非空調空間の暖房熱量は抑制されるが、コの字の両凸部が南面して朝夕の日射を遮り、LDK の日射取得は減少し、東西隣接室で取得された日射も、建物全体での分配利用が妨げられたためと考えられる。

8. まとめ

在来木造軸組で受注建設された平屋コートハウスに関して、外皮の高断熱・高气密化による冷・暖房負荷削減と室内熱・湿気性状の改善効果を WUFI® Plus を用いて検討した。平面形や 3D 形状が冗長となり、日射遮蔽的にも不利となる新築平屋コートハウスに関して、室内温熱快適性はしっかりと担保しながら、空調負荷 (顕熱・潜熱) を削減する建築的方策を検討し、以下の結論を得た。

- 1) 空調時 SHR は、CF 充填により増加し、外皮を含めて CF が調湿の働きをし、空調除湿・加湿量を減らす。
- 2) 間仕切り壁への断熱材の充填は、非空調時のバッファゾーンとしての働きを減らす方向にシフトする。

エネルギー性能に関して従来不利と認識されている南北軸モデルでも、非滞在な時間・空間での空調停止による間欠・局所空調の徹底とバッファ空間の活用により、空調負荷を抑制し東西軸モデルに近い運用可能性がある。

参考文献

- 1) H.M.Künzel, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and two-dimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag, 1995.
- 2) H.M.Künzel, Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope, Solar Energy 78, 2005.
- 3) 財団法人建築環境・省エネルギー機構, 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説
- 4) K. Ahmed · J. Kurnitski · B. Olesen, Data in Brief, 15, 1030-1034, 2017.
- 5) Home Ventilating Institute, HVI-certified Products Directory, 2020.
- 6) 佐賀誠治, 芝池英樹, 高断熱・高气密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究 (その 1) 窓・庇形状と外装材色等が室内熱・湿気性状に与える影響, 空気調和・衛生工学会近畿支

部学術研究発表会論文集, A-30, 2020.

- 7) 伍賀誠治, 芝池英樹, 高断熱・高気密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究 (その3) 多数室換気モデルにおける換気風量・系統の検討, 空調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-57, 2021.

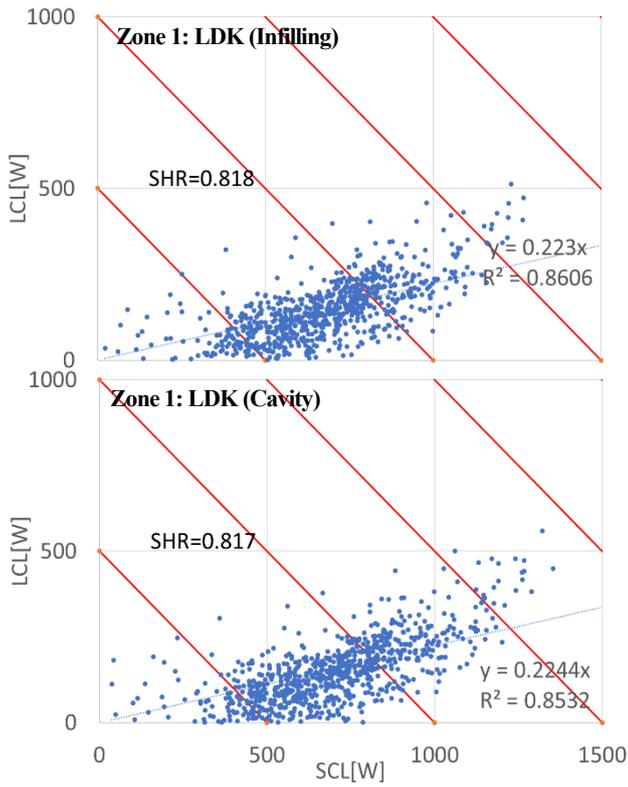


Figure.4 Relations between sensible and latent loads for U-shaped

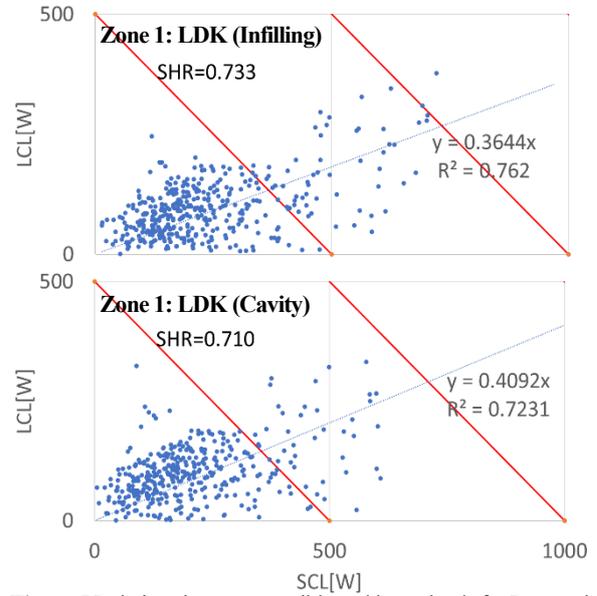


Figure.5 Relations between sensible and latent loads for Rectangle

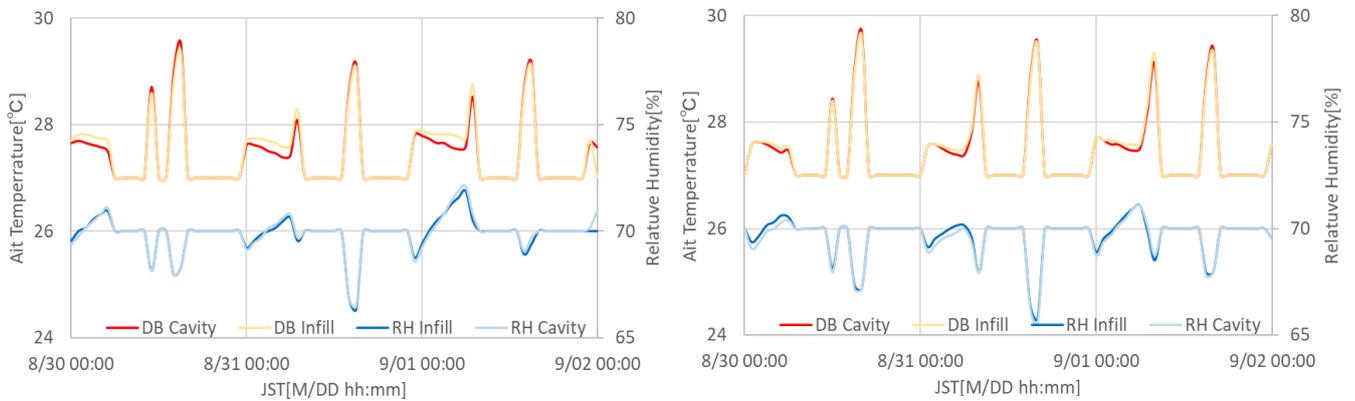


Figure.6 LDK Temperature at Special day (Left: Rectangle, Right: U-shaped)

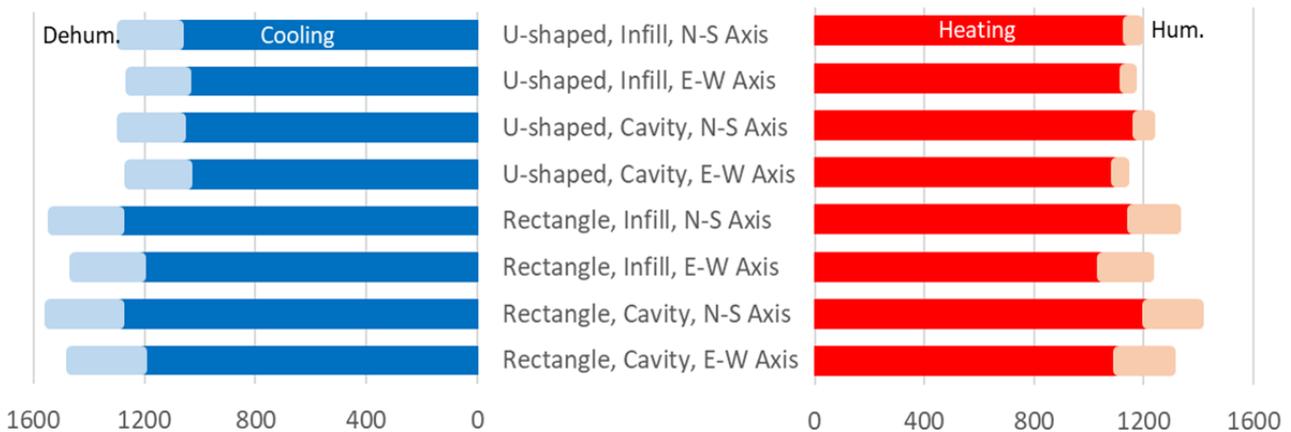


Figure.7 Annual Heating and Cooling Loads for various model houses [kWh]

暑熱環境における局所刺激が人体熱ストレスに与える影響

—マスク着用、局所ミスト冷却の場合—

Influence of local stimulation on human thermal stress in hot environment

-in case of wearing a mask and local mist cooling-

○千種 成尚 (大阪府立大学) 吉田 篤正 (大阪府立大学) 木下 進一 (大阪府立大学)

永井 賢人 (大阪府立大学) 肥田 弘明 (大阪府立大学)

Narihisa CHIGUSA*¹ Atsumasa YOSHIDA*¹ Shinichi KINOSHITA*¹ Kento NAGAI*¹ Hiroaki HIDA*¹*¹ Osaka Prefecture University

The effects of wearing masks and local mist cooling on the human body were confirmed through subject experiments. The increases in metabolic rate, body core temperature, and perspiration were made dear by wearing masks and walking in an outdoor hot environment. This may be caused by the inhalation resistance. When mist cooling was applied to the neck in an indoor environment, the decrease in sweating was recognized. The decrease in sweating was thought to be due to the stimulation of thermoreceptors on the skin surface by the local cold stimulus.

1. はじめに

ヒートアイランド現象の進行による都市空間の暑熱化が顕著なために熱中症などの健康被害が報告されており、労働環境でも多く発生している。しかし、労働現場の多くは空調設備などの既存の冷却手法が活用できない環境である。このことから、労働環境でも活用可能な冷却方法の必要性が増しているといえる。本研究では屋内外を問わず活用できる冷却方法として局所ミスト冷却に着目し、被験者実験から効果を確認する。また、昨年からの新型コロナウイルス流行により常時マスクを着用するようになった。ミスト冷却に加えてマスク着用が人体に与える影響も被験者実験から確認する。

熱ストレスの評価には人体の熱収支や熱中症の要因となる生理応答を用いた。熱中症の発生や重症化の主な要因である脱水や蓄熱に関わる生理応答に重点を置いた。

2. マスク着用による影響

2.1 測定項目及び実験場所

被験者は23歳から25歳の健康な男子学生3名を対象にした。実験は大阪府立大学中百舌鳥キャンパス中庭で、2020年8月、9月の10時から16時に行った。マスクは不織布を用いた日常防護マスクを使用した。

温熱環境の測定のため、日射量などのふく射量、気温、相対湿度、風速、壁面などの表面温度を測定した。日向においては被験者の前後方向及び左右方向、日陰においては上下及び左右の日射量と赤外放射量を測定した。測定した生理量は、皮膚温度(7点:額、上腕、手甲、腹、大腿、下腿、足甲)、深部体温(直腸温)、代謝量、体重変

化量(発汗量)、心拍数、血流量(指先)、および温冷感申告である。血流量は1秒間隔、気温、湿度、表面温度、ふく射量、風速は5秒間隔、皮膚温と深部温は10秒間隔、心拍数は20秒間隔で測定、温冷感は3分間隔で申告された。体重計は精度1gのものを用い、0分、24分、36分、48分、72分の5回測定した。温冷感申告にはASHRAEの温冷感指標を線形尺度として使用した。

2.2 実験方法

被験者は、実験前日の夕食以降の食事を制限した。被験者は実験場所に移動する1時間前から気温26°Cに設定された待機室に移動し、食事及び運動の制限を行った。このとき、被験者毎の体内の水分量を同等にするために排泄及び300gの水分摂取を行った。被験者が待機室入室後、被験者の体重及び衣服の重量を測定し、着衣量0.3c1oのTシャツ、半ズボン、サンダルを着用した。日向にいる24分間のみトレッドミル上で4.0km/hの歩行を行い、建物陰にいる48分間は立位安静状態とした。実験プロトコルを図1に示す。

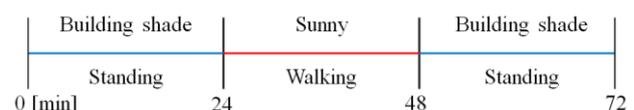


Fig.1 Experimental protocol for wearing a mask

2.3 実験結果

実験を行った環境の気温、相対湿度、風速はおおむね統一されていたが、日射については天候状況の影響によ

り変動が大きい場合も見られた。ばらつきのある環境条件を評価するために、対流とふく射輸送を総合的に表す作用温度を算出して評価に用いた。環境条件は気温が $36.2 \pm 1.2 [^{\circ}\text{C}]$ 、相対湿度が $36.1 \pm 7.5 [\%]$ 、風速が $1.2 \pm 0.4 [\text{m/s}]$ 、全日射量が $725.9 \pm 184.9 [\text{W/m}^2]$ 、全天赤外放射量が $486.2 \pm 4.1 [\text{W/m}^2]$ であった。

$$T_o = (h_c T_{air} + h_r T_r) / (h_c + h_r) \quad (1)$$

作用温度 T_o は、式(1)に示す気温 T_{air} 及び平均放射温度 T_r を、対流熱伝達率 h_c 及びふく射熱伝達率 h_r を用いて統合して求められる。実験時の作用温度は日向で $48.9 \pm 2.7 [^{\circ}\text{C}]$ 、建物陰で $39.1 \pm 1.9 [^{\circ}\text{C}]$ となっており、日向の値は天候が悪い1日を除いて $48 \sim 51^{\circ}\text{C}$ の範囲に収まった。

実験結果から、マスク着用により発汗量、代謝量及び日向歩行時の深部体温上昇の大きさに増加がみられた。深部体温の上昇には代謝量が影響していると考えられ、代謝量の増加はマスク着用による吸気抵抗が影響している可能性がある。図2に示す代謝量は、0から24分の平均値を1とした場合の24分以降の代謝量を相対値で表した。マスクを着用した場合の方が、日向歩行時(24分から48分)の代謝量が1割程度増加した。

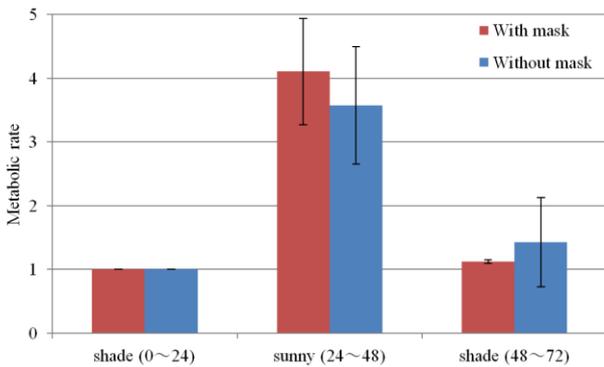


Fig.2 Metabolic rate

環境条件は測定日によって違いがあるため、発汗量を作用温度と関係づけた。評価対象には0~24分および24~48分のデータを用い、48~72分の回復時間は個人差が一般に大きくなるので除いた。発汗は単位時間当たりの体重比発汗量で評価した。図3には発汗量の測定結果を示す。マスク着用の方が同じ作用温度でも発汗率が高い結果となった。これは、頭部などの皮膚がマスク着用によって未着用時に比べて高い温度にさらされ、皮膚表面に存在する温度受容体を刺激することで発汗量が増加したと考えられる。

発汗量と深部体温の差異は代謝量が増えたことにより人体が蓄熱したためだと考えられる。この生理応答の傾向は脱水と過度な蓄熱に直結するので、マスク着用によ

り日向での歩行での熱ストレスは増加すると考えられる。

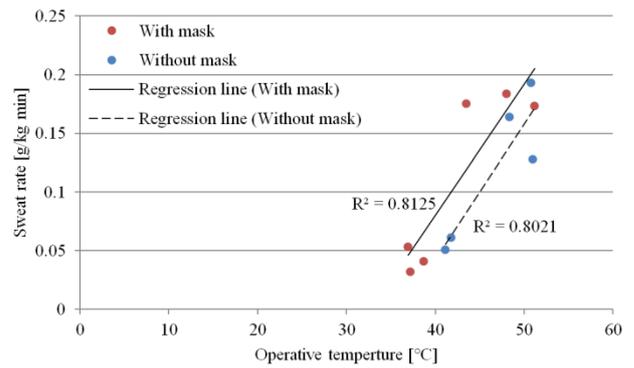


Fig.3 Relationship between sweat rate and operative temperature

3. ミスト冷却の効果

3.1 測定項目及び実験場所

被験者は21歳から25歳の健康な男子学生9名を対象に、気温が管理できる大阪府立大学B4棟W326室及び、関西大学堺キャンパスA棟温熱環境生理実験室で実施した。実験は2020年8月~10月の10時から16時に行い、同時に1人ずつ、一日に3人行った。温熱環境の測定のため、気温、相対湿度を測定した。生理量は、皮膚温度(7点:額、上腕、手甲、腹、大腿、下腿、足甲)、直腸体温、代謝量、体重変化量(発汗量)、心拍数、血流量(指先)、温冷感である。血流量は1秒間隔、気温、湿度、壁面温度、床面温度は5秒間隔、皮膚温と深部温は10秒間隔、心拍数は20秒間隔、温冷感は3分間隔で測定した。体重計は精度1gのものを用い、0分、24分、36分、48分、72分の5回測定した。温冷感はASHRAEの温冷感指標に基づき測定した。

3.2 実験方法

被験者は、実験前日は夕食以降の食事を制限し、実験当日の食事制限も制限した。被験者は実験1時間前から待機室(26°C)にて食事及び代謝量を増加させる行動の制限を行った。このとき水分管理を行い、待機室に入室後は体重及び衣服の重量を測定ののち、着衣量0.3cloのTシャツ、半ズボン、サンダルを着用した。

ミスト冷却器は超音波振動子によりミストを発生させ、シロッコファンを用いて風下に吹き付ける装置である。ミスト平均粒径は10μm、ミスト噴霧量は5cc/min、吹き出し口の冷却風の風速は2m/sである。実験を行った環境条件は25°C、30°C40%、30°C60%の3条件で有り、各条件におけるミスト冷却器の冷却熱量を求める実験を別途実施した。各条件での冷却量は、2250J/min(25°C, 90%)、2500J/min(30°C, 40%)、2540J/min(30°C, 60%)であった。

実験では24分から48分間の24分のみ歩行とミスト冷却を行い、それ以外の48分間は立位安静状態とした。条件は4条件行い、それぞれ気温、相対湿度、歩行速度

を変えた。条件は Control (30°C, 40%, 4.0km/h), Low temperature (25°C, 90%, 4.0km/h), High humidity (30°C, 60%, 4.0km/h), High load (30°C, 40%, 5.4km/h) の4条件で、プロトコルを図4に示す。

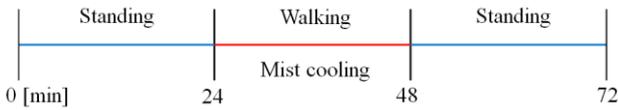


Fig.4 Experimental protocol for local mist cooling

3.3 評価方法

人体の熱ストレスを評価するために、実験時に測定した深部体温、平均皮膚温、代謝量、発汗量、気温、湿度、風速を用いて人体の熱収支を算出した。人体の熱収支算出には人体と周囲の環境とのふく射、顕熱、潜熱の各輸送成分を考慮して求めている人体熱負荷量 F_{load} ¹⁾を用い、式(2)に従って計算した。ここで、 R_{net} は正味ふく射量、 C は顕熱損失量であり、呼吸顕熱損失および皮膚からの顕熱損失を考慮している。 E は潜熱損失量であり、実験時の体重変化量もとに算出している。 W は代謝量であり、実験時に呼吸代謝計で測定した値を用いた。歩行運動による人体の機械仕事量は東の手法²⁾を元に算出した。

$$F_{load} = M - W - R_{net} - C - E \quad (2)$$

3.4 実験結果

実験時の環境条件は、Low temp で気温 24.8±0.1[°C]、相対湿度 94.9±5.8[%]、Control で気温 30.3±0.3[°C]、相対湿度 34.9±0.6[%]、High humidity で気温 30.5±0.2[°C]、相対湿度 57.9±3.8[%]、High load で気温 30.1±0.3[°C]、相対湿度 35.2±0.7[%]であった。実験結果から、ミスト冷却により発汗量や深部体温が変化する傾向がみられたが、他の生理応答には差はみられなかった。

実施した4条件下におけるミスト冷却時の発汗減少量を図5に示す。Low temp では平均36%減、Control では平均10%減、High humidity では平均8%減、High load では平均7%減であった。4条件全てで発汗が減少する傾向がみられており、これは千葉らの報告^[3]と同様の結果であった。この要因としてはミスト冷却による局所冷刺激が人体皮膚表面にある温度受容体を刺激したことが考えられる。発汗の減少率は、Low temp の場合が最も大きい結果であった。気温25[°C]の条件は人体の至適温度域に入る温度帯であり、気温30[°C]の条件に比べて人体皮膚表面の温度受容体の感度が高くなっていると考えられる。気温30°Cで実施した3条件を比較した場合は湿度や運動強度が増加した場合に発汗減少幅が低下する傾向がみられているので、湿度や運動強度も気温に比べると小さいものの温度受容体の感度に影響していると考えら

れる。以上のことから、同程度の熱量の冷刺激であっても発汗量の減少傾向は気温、湿度、運動強度などの条件に影響されることが考えられる。

実験は条件ごとに歩行速度を決めているが、被験者の身体能力の違いにより歩行運動の負荷が個人によって異なる可能性がある。そのため、最大酸素摂取量測定実験を本実験とは別途行い、各被験者が自身の耐える最大強度の運動に対して何割の運動をしているかを確認した。評価に用いた負荷率は、実験時の酸素摂取量を同じ被験者の最大酸素摂取量で割ることで求めている。個人差の影響が大きくなる48~72分の回復時間は除いて比較し、発汗は単位時間当たりの体重比発汗量に換算して負荷率と比較を行った。

発汗率と負荷率の比較を表した図6では同じ負荷でもミスト冷却を行った場合の方が発汗率は低くなる傾向が表れている。これはミスト冷却により身体が冷却されることで発汗を行う必要が減少しているためであると考えられ、蓄熱を増やすことなく人体の脱水を軽減する点で熱ストレス低減に繋がると考えられる。

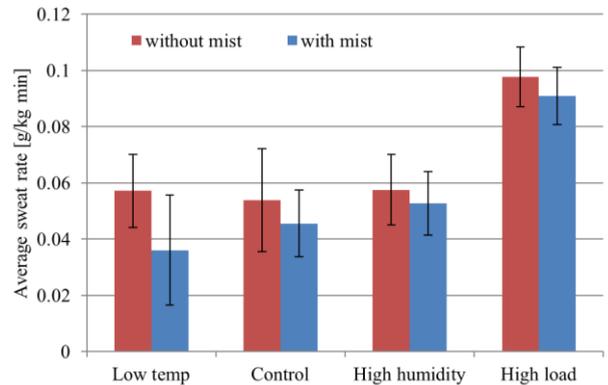


Fig.5 Sweat rate with different conditions

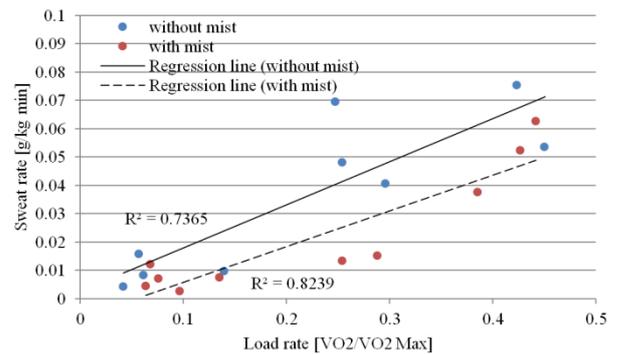


Fig.6 Relationship between load rate and sweat rate (Low temperature)

実験での測定結果を用いて算出した人体熱負荷量を図7に示す。人体熱負荷量では、気温30°Cの3条件はどれもミスト冷却により人体熱負荷量が減少する傾向がみられた。Control (30°C, 40%)及びHigh humidity (30°C, 60%)の場合はミスト冷却により人体熱負荷量が負の値となった。気温25°CのLow temperature の条件ではミスト冷却

により発汗量が大幅に減少しており、ミスト冷却による冷却量以上に放熱が減ってしまっている。その結果、Low temperature の場合はミスト冷却により人体熱負荷量は増加した。一方で、運動負荷を増やした High load の条件では人体熱負荷量が軽減される傾向がみられた。

Low temperature (25°C) の場合は歩行時(24分から48分)の深部体温に増加傾向が見られ、High load (30°C, 40%) の場合は歩行時(24分から48分)に減少傾向が見られた。Low temperature の場合、図8に示すように24分から48分の歩行において深部体温が大幅に上昇した。High load の場合、図9に示すように24分から48分の歩行においてミスト冷却により深部体温の上昇が抑えられた。John らの報告^[4]でも運動時の局所冷却で深部体温が変化することを報告しており、今回の傾向はどちらも人体熱負荷量と合致する傾向であった。局所ミスト冷却が深部体温に影響を与えている可能性が示唆される。一方で、Control (30°C, 40%) 及び High humidity (30°C, 60%) の場合、局所ミスト冷却が深部体温に与える影響は確認できなかった。

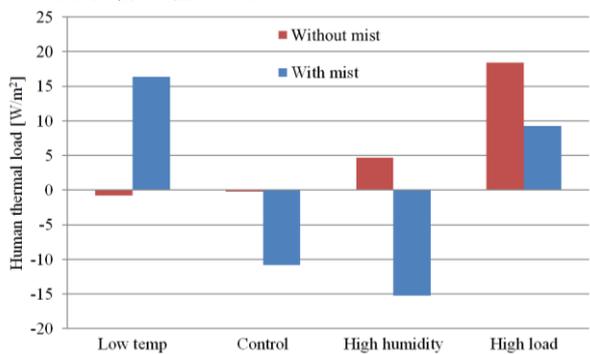


Fig.7 Human thermal load

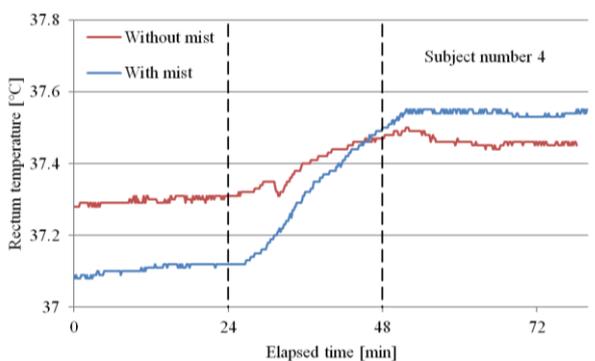


Fig.8 Rectum temperature (Low temperature)

ミスト冷却により人体熱負荷量は減少する傾向がみられたが、逆に蓄熱を招く場合や過冷却になる場合も測定された。人体の至適温度域に含まれる気温帯や蓄熱しない程度の負荷の下でミスト冷却を行うことはかえって人体に逆効果である可能性がある。このことから、ミスト冷却を行う場合は人体に蓄熱負荷がかかる環境条件ない

し運動負荷がある場合に行うべきだと考えられる。

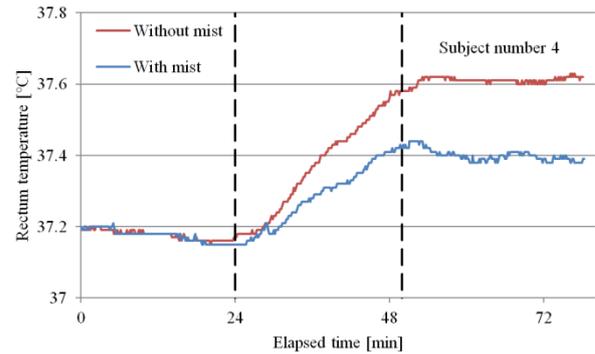


Fig.9 Rectum temperature (High load)

4. 結言

日向で歩行する際にマスクを着用すると、マスクの吸気抵抗により代謝量の増加を招き、結果として深部体温や発汗が増加する可能性がある。これは脱水や蓄熱の進行という点で熱ストレスが増加していると考えられる。ミスト冷却により発汗量が減少し、人体熱負荷量も変化する傾向が見られた。一部条件では、人体熱負荷量の変化と合致する傾向の深部体温の変化傾向も見られた。30°Cの3条件では蓄熱と脱水を同時に防げており、ミスト冷却が熱ストレス低減につながっていると考えられる。

謝辞

本研究にあたって関西大学の河端隆志教授に実験施設の提供及びご指導鞭撻いただいたことについても、ここに感謝の意を表す。本研究の費用の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金(17H0082, 代表: 吉田篤正)が企てられた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Shimazaki Y., et al.: Experimental Determination of Pedestrian Thermal Comfort on Water-Retaining Pavement for UHI Adaptation Strategy, *Atmosphere* 12, 127, (2021) <https://doi.org/10.3390/atmos12020127>
- 2) 東章弘, 活動的歩行の機械的仕事およびトレッドミル水平負荷牽引歩行の換気性作業閾値に関する研究, 金沢大学大学院博士論文, (2014)
- 3) 千葉友樹他5名, 局所冷却行為による暑熱ストレス低減効果の予測手法に関する研究(その1)頸部冷却時の生理時反応の検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第6巻, 37-40, (2019)
- 4) John B. Lissoway, et al. ; Novel Application of Chemical Cold Packs for Treatment of Exercise-Induced Hyperthermia: A Randomized Controlled Trial, *Wilderness & Environmental Medicine*, 26, 173-179 (2015)

においがパーソナルスペースに及ぼす影響

Effect of Odor on Perceived Personal Space

○ 佐藤 光優 (摂南大学) 竹村 明久 (摂南大学) 開 唯花 (摂南大学)

Miyu SATO* Akihisa TAKEMURA* Yuika HIRAKI*

* Setsunan University

It was important to reveal the effect of odor on the discomfort of approaching. Personal spaces of participants were estimated using measures of distance and anxiety. The experimenter stood at eleven places, of which four were in the front of participants, six were in the side of them and one was in the back of them. Participants evaluated about "familiarity", "distance", "safety" and "nervousness" with sniffing the odor bag, those were acetic acid, fragrance and control. Consequently, it was revealed that odor effected on "familiarity" a lot. Moreover, discomfort odor decreased "safety" and increased "nervousness". There were differences in "distance" between the sexes, however, there were no clear differences in the effects of odor.

1. はじめに

自己と他者との間の空間はパーソナルスペースと呼ばれ、両者の社会的関係や状況によって近接距離と不快感の関係が異なることがわかっている。一方で、エレベータ内や電車内など現代社会ではやむを得ない他者との接近機会が多くある。近年は柔軟剤や香水の使用機会が増えて、そのにおいを他者が不快と感じて香害と認識することが社会問題として挙げられるようになったため、接近距離とにおいとの関係がこれらの問題を悪化させている可能性も考えられる。本研究では、香害をもたらすにおいや体臭などの悪臭要因がパーソナルスペースに及ぼす影響を把握するため、接近方向と距離をパラメータとした実験を行い、評価者の接近感などの心理評価に基づくにおいがパーソナルスペースに及ぼす影響を明らかにすることを目的に行った研究について報告する。

2. 実験概要

芳香とパーソナルスペースの関係について検討した立川ら¹⁾の実験を参考に、2020年10月14日から11月13日に、19～27℃、27～61%RHの環境の会議室で20名の嗅覚検査合格者(男

女各10名：平均21.2歳)が1名ずつ参加した。実験参加者は図1の中央の椅子に正面を向いた状態で着座した。実験者(女性：22歳)は、図中に示した4方向の計11か所に順不同に実験参加者向きで立って、実験者に対する距離感評価を実験参加者に行わせた。においの提示は臭気採取袋(PET製10L：近江オドエアーサービス)に表1に示す酢酸の2濃度(体

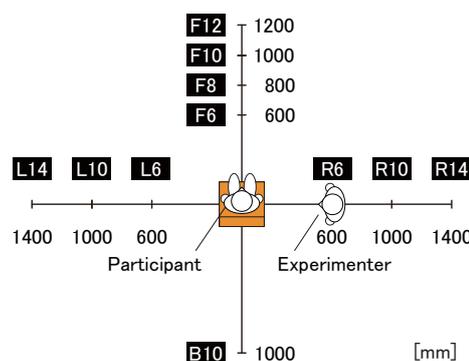


Figure 1 View plan of positions of participant and experimenter

Table 1 Symbols of conditions

	[ppm]	Symbol
Acetic acid	0.12, 3.92	Ac1, Ac2
Odor concentration [-]		Symbol
Pour homme	4500, 15000	Ph1, Ph2
Control	2 times	Ctrl1, Ctrl2

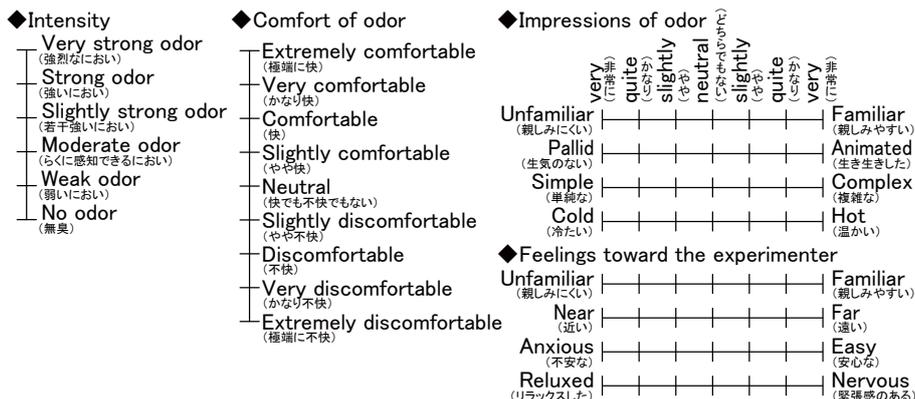


Figure 2 Scales

臭を想定：和光純薬、Ac1, Ac2) と香水であるプールオムの2濃度(香害を想定：ブルガリ、Ph1, Ph2)、および臭気を付加しない希釈用の活性炭を通した室空気(Ctr1, Ctr2)の計6試料を用意し、上記の立ち位置ごとの距離感評価を2-3回行うごとに試料を検臭させた。評価にあたっては、検臭中において実験者から発していることを想定して評価させた。Ctrは再現性の確認のため2条件用意した。一連の距離感評価を6つのにおい条件について、1人あたり1日または2日に分けて実施した。評価項目は、図2に示すおいの強さ、快・不快、印象4項目(「親しみ」、「新鮮さ」、「複雑さ」、「温かさ」と、実験者との距離感に関する印象4項目(「親しみ」、「接近感」、「安心感」、「緊張感」とした。検臭は11か所の立ち位置すべてでは行わなかったが、におい評価も前回検臭を思い出させて11か所すべてで評価させた。

3. におい評価

図3ににおいの強さ、図4ににおいの快・不快評価を示す。横軸がにおい条件、縦軸は各尺度で、プロットが平均値、円の面積で度数を示した。Ctrの2条件はほぼ同じ平均臭気強度および快・不快度だったが、「弱におい」程度のおいでわずかに快側だった。Ac1とPh1は低強度を意図した条件で、「らくに感知できるにおい」程度、Ac2とPh2は高強度を意図した条件

で「若干強いにおい」と「強いにおい」の間程度だった。一方で、図4の快・不快度は体臭を意図したAc1, Ac2は不快側、芳香を意図したPh1は快側だったものの、香害を想定したPh2は中庸程度だった。

4. 実験者との距離感評価

図5に「親しみ」評価を示す。横軸がにおい条件、縦軸は「親しみ」尺度で、プロットが平均値、円の面積で度数を示し、11か所の位置条件について並べた。図中にはBonferoniの多重比較結果を併記した。Ctrについて位置条件間で比較すると、B10では他条件よりやや低い傾向にあった。におい条件間で比較すると、Ac2とPh1間に有意差が多く検出され、においの差異が評価に大きく影響したことがわかる。一方で、L14, R14, B10の位置条件では有意差は見られず、実験参加者の視界内に実験者がいなかったことがその要因と推察された。

図6に「接近感」評価を示す。図の見方は図5に準じる。Ctrについて位置条件間で比較すると、実験参加者と実験者の距離が近いほど低い評価だった。実験参加者の背後に実験者が立つB10条件は、L10, R10

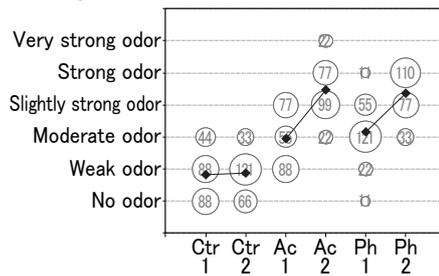


Figure 3 Comparison of odor intensity

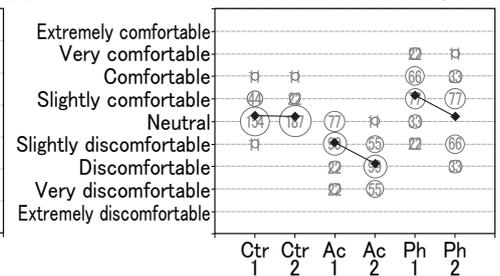


Figure 4 Comparison of odor hedonics

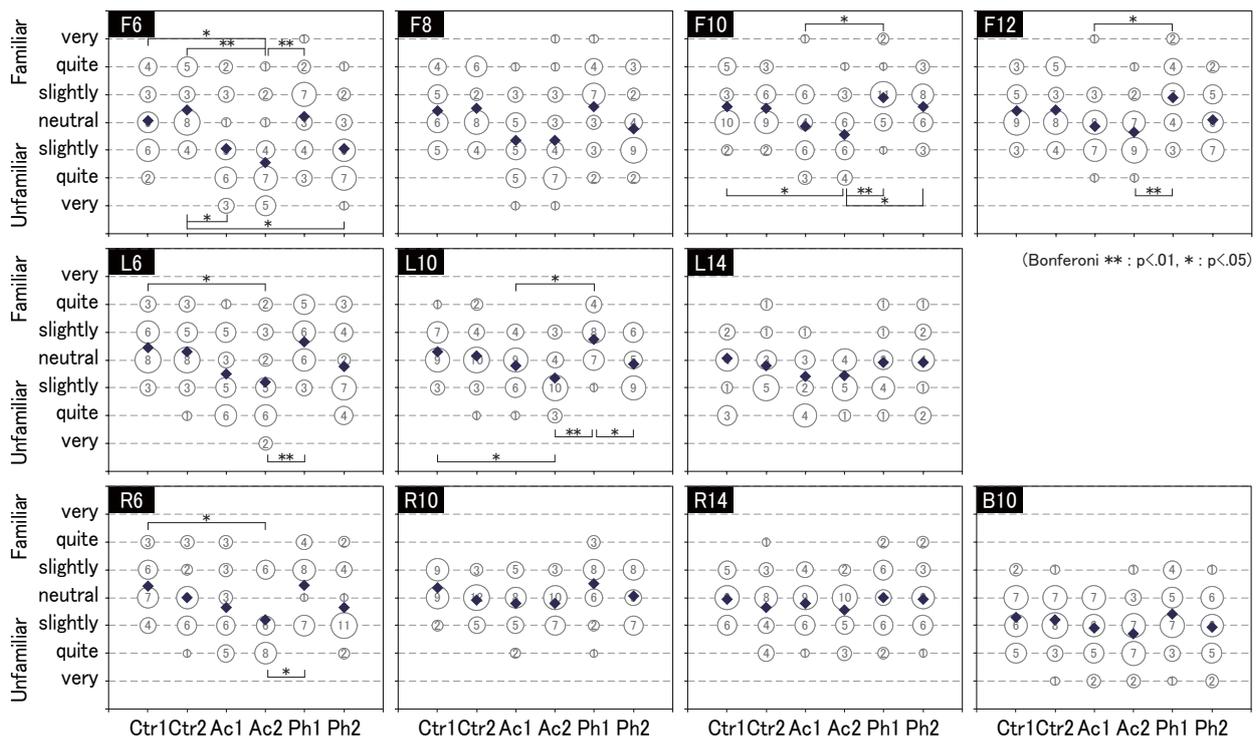


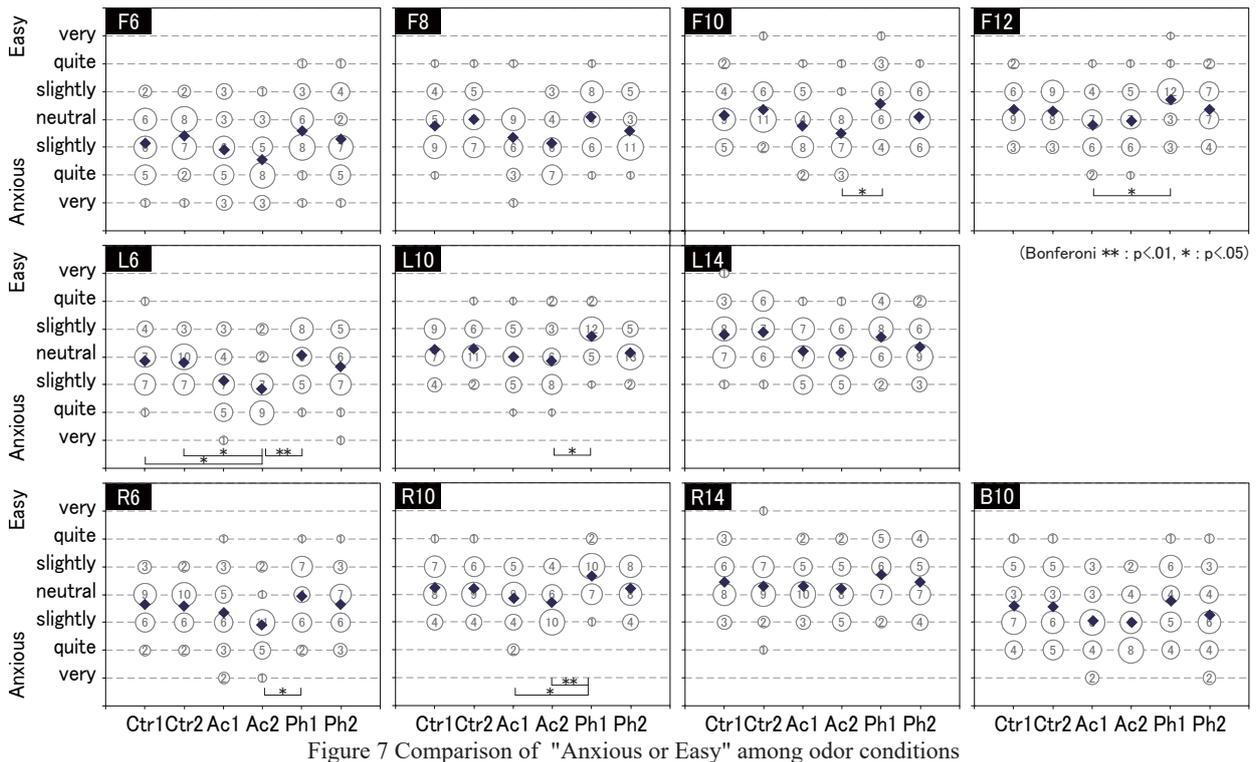
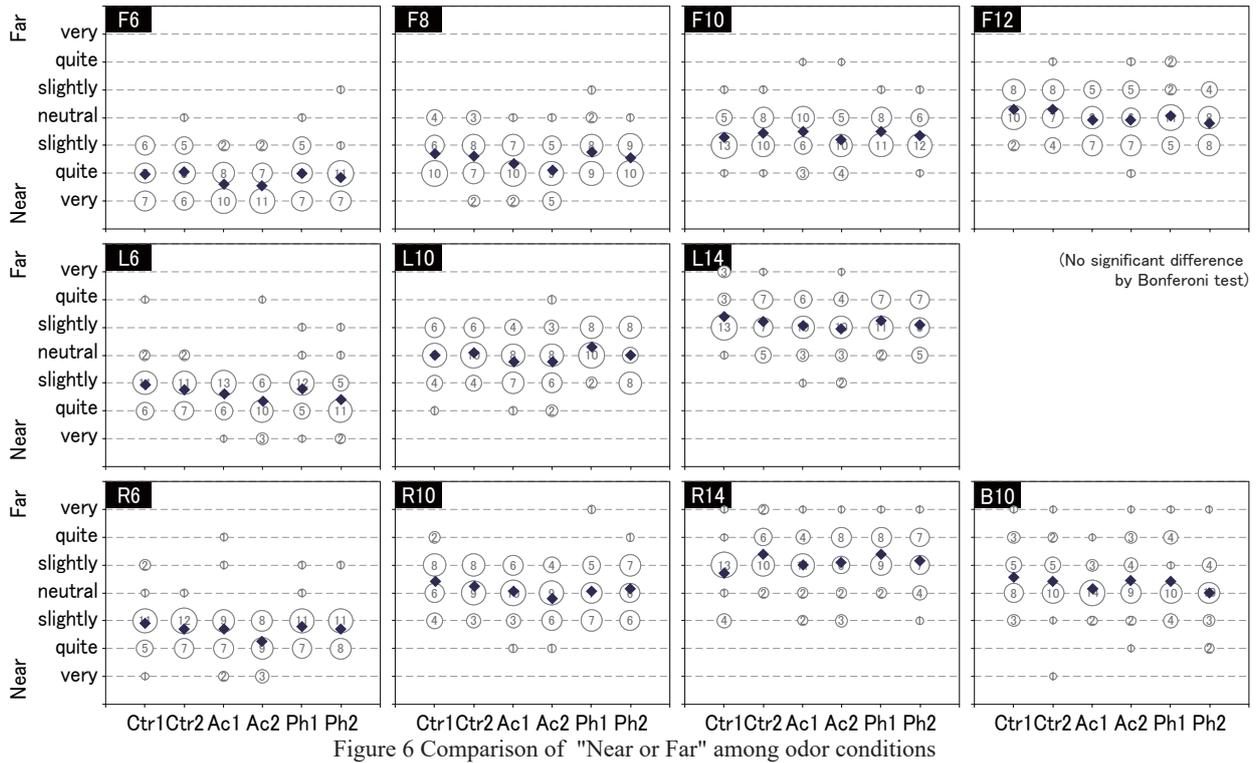
Figure 5 Comparison of "Unfamiliar or Familiar" among odor conditions

(Bonferoni **: p<.01, *: p<.05)

よりやや高い評価で、F10 より高く評価された。におい条件間では Ac1, Ac2 は Ctr よりわずかに低く、Ph1, Ph2 は Ctr とほぼ同程度の評価だったが、有意差は検出されなかった。「接近感」評価ではいずれの条件でもにおい条件間に有意差は検出されず、においが評価に及ぼす影響は小さいことがわかった。

図 7 に「安心感」評価を示す。図の見方は図 5 に準じる。Ctr について位置条件間で比較すると、実験

参加者と実験者の距離が近いほどわずかに低い評価だった。実験参加者の背後に実験者が立つ B10 条件は、F10, L10, R10 よりやや低く評価された。におい条件間では Ac1, Ac2 と Ctr, Ph1 との条件間で有意差が散見された。Ph1, Ph2 は Ctr に近い評価だったことを鑑みると、図 4 で不快側評価だった Ac1, Ac2 が「安心感」評価を低くする影響があるが、臭気が不快側でなければ評価への影響は小さいと推測できる。



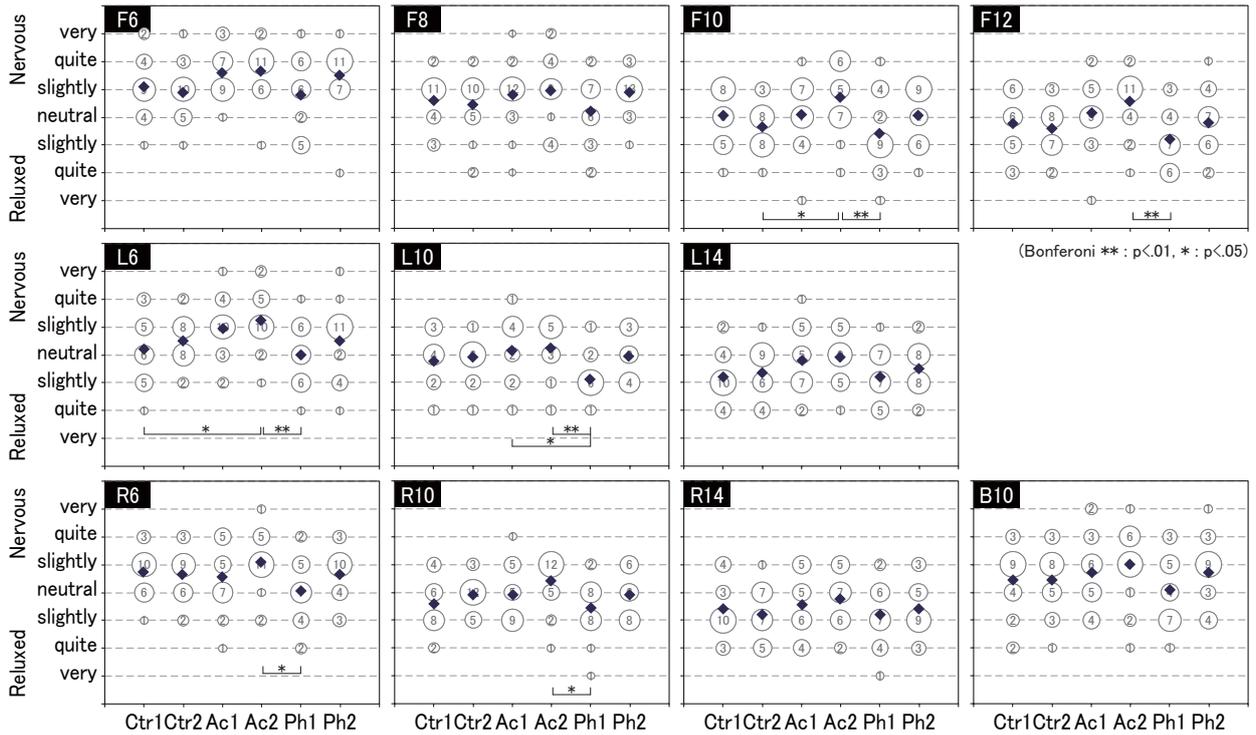


Figure 8 Comparison of "Relaxed or Nervous" among odor conditions

図8に「緊張感」評価を示す。図の見方は図5に準じる。Ctrについて位置条件間で比較すると、実験参加者と実験者の距離が近いほど高い評価だった。実験参加者の背後に実験者が立つB10条件は、L10, R10よりやや高く、F10より高く評価されたがF6よりは低かった。におい条件間ではAc2とCtr, Ph1との条件間で有意差が多く見られた。図4で不快側評価だったAc2が「緊張感」評価を高くする影響があり、臭気は快側では無臭よりやや低くする影響があったと推測された。

5. 実験者との距離感評価の男女間比較

図9に距離感評価の4項目について、男女各10名ずつの平均値を比較した一例としてF12条件の評価を示す。横軸はにおい条件、縦軸は各評価で白抜きプロット(◇)は女性、塗りプロット(◆)は男性の平均値を示す。図中縦線分で標準偏差を示し、男女間の平均値の差の検定結果を併記した。紙面の都合上、1つの位置条件のみの掲載としたが、F12では「親しみ」評価に性差は見られず、「接近感」評価では女性の方が高い傾向が見られた。「安心感」評価ではわずかに女性の方が高く、「緊張感」評価では女性の方がやや低かった。実験者が女性だったために、女性の実験参加者の方が不安が少なく、緊張しにくかったと考えられる。また、図中の「接近感」評価でのみ有意差が見られたように、「親しみ」評価におけるR6のPh1, R14のAc1の2条件を除くと、有意差が見られたのは「接近感」評価のみで、「安心感」と「緊張感」では有意

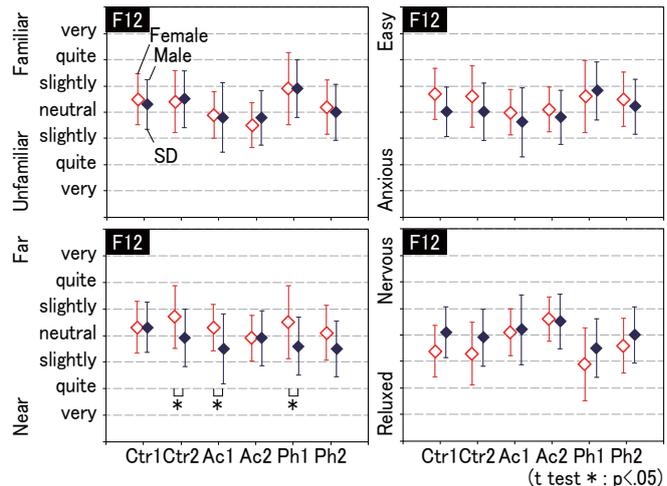


Figure 9 Example of comparison of feelings toward the experimenter between sex (position F12)

差は見られなかった。性差の現れやすい項目がある可能性が推測された。

6. おわりに

本報では、パーソナルスペースを推定するために距離感評価4項目を設定して、快・不快評価の異なるにおい条件間で比較を行った。「親しみ」へのにおいの影響は比較的大きく、不快臭は「安心感」や「緊張感」に影響を及ぼすことがわかった。性差として「接近感」が顕著だったが、においが評価に及ぼす影響の性差は明確ではなかった。なお、本研究は本学の人を対象とする研究倫理審査の承認を得て実施した。

参考文献

1) 立川一義, 大坊郁夫: 香りの心理学的研究 (2) - フレグランスのパーソナルスペースへの影響 -, 日本化粧品技術者会誌 Vol. 34 No. 3, pp. 307-309, 2000

においが心理的負荷下の作業効率に及ぼす影響

Effect of Odor on Mental Work Performance under Fatigue Condition

○ 泉 奈緒子 (摂南大学) 竹村 明久 (摂南大学) 佐藤 拓実 (摂南大学)

Naoko IZUMI* Akihisa TAKEMURA* Takumi SATO*

* Setsunan University

There are few studies unified the mental or physical condition of participants just before the mental work experiments. It was conducted the follow experiments. Firstly, participants were engaged in the classifying words test in a odorless room. Secondly, they moved to the second room, and were engaged in the d2 test with four odor conditions, which were lavender oil, grapefruits oil, methyl mercaptan sodium salt and control. Consequently, lavender increased the achievement rate (Pa) without raising the miss rate (Pm). Grapefruit not only increased "Pa" but also decreased "Pm". Though methyl mercaptan maintained "Pa", "Pm" tended to increase.

1. はじめに

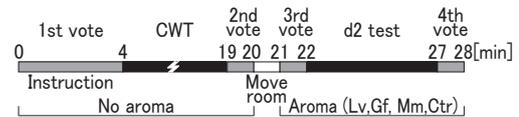
においを含めた室内環境が知的作業効率に及ぼす影響に関する検討事例は近年多くなった。知的作業効率を見るにあたっては、実験前までの行動履歴を統一して得られたデータは多くはなく、従事時の心身状態のばらつきは、大きな個人差の一因だったと推測される。そこで、本報では、知的作業に起因する疲労状態で引続き知的作業を行う状況を想定して、2つ目の知的作業環境ににおいが存在した場合について、においが知的作業効率に及ぼす影響の把握を目的として実施した検討について報告する。

2. 実験概要

2020年10月26日から11月10日に18.4～24.1℃、28～66%RHの環境の2つの実験室で実施した実験に14名(男性11名、女性3名:平均21.3歳)の嗅覚検査合格者が参加した。スケジュールは図1の通りで、実験参加者はまず臭気の発生等のない1つ目の実験室(第1室)で単語分類作業¹⁾を15分間行い、その後に芳香を想定したラベンダー(Lv)、グレー

プフルーツ(Gf)、生活悪臭を想定したメチルメルカプタン(Mm)、対照としての臭気発生なし(Ctr)の計4つのいずれかのおい条件で充満させた2つ目の実験室(第2室)に1分以内に移動して5分間のd2テストに従事した。

単語分類作業は、内山ら²⁾が提案した方法を参考に、図2左の紙片に1つ書かれた語を、図中右のタブレットPC画面上に書かれた表記書体3種(平仮名、片仮名、漢字)、先頭母音3種(い、う、お)、語の意味3種(動植物、地名人名、人工物)の計27通りの分類の該当するボタンから選んでタップさせて次の紙片に進む作業を時間内にできるだけ多く行わせた。d2テストについては、dとpのいずれかの記号に0-4個の点が付された記号列の中から、1行につい



* CWT : classifying words task
Figure 1 Schedule

Figure 2 Example of classifying words test

$$P_a = \frac{N_a}{N_{all}} \quad P_m = \frac{N_m}{N_a}$$

P_a : Percentage of achievement
 N_a : Number of achievement
 N_{all} : Number of symbols (1410)
 P_m : Percentage of miss answers
 N_m : Number of miss answers

Figure 3 Example of d2 test

て10秒間の制限時間内にdに2点が付された記号のみに対してできるだけ多くの斜線を付す作業を30行にわたって行わせた。成績として達成率 (P_a) とミス率 (P_m) を設定した。 P_a は行内における制限時間内の最後に斜線をつけた記号の次に斜線をつけるべき記号の1つ手前までの記号数の30行分の和 (N_a) を総記号数 (N_{all}) で除した値とした。 P_m は、総誤答数 (N_m) を達成数 N_a で除した値とした。また、d2テストは習熟による成績向上の傾向がある実験参加者が多いことがわかっている³⁾ ことから、最初の実験日までに10回のd2テストの実施を宿題として実験参加者に課した。

第2室で室内に充満させたにおいては、実験参加者着座位置の右前方300mmの机の上に設置した、100mLの水を入れた水噴霧型ディフューザ機内のミスト通過経路に、LvとGfは精油を、Mmは0.015%に希釈したMethyl Mercaptan Sodium Salt水溶液を各0.1mL、Ctrでは物質の添加なしで、実験参加者の着座と同時に最大風量で連続噴霧を開始した。

図1中に示した4回実施した心理評価は、1回目と2回目はにおいの散布のない第1室での作業であったため、図4に示す3項目のうち、においの強さ(6段階)、においの快・不快(7段階)を除く、気分(10項目:5段階)のみについて回答させた。3回目と4回目については、においに関する2項目も加えた計3項目について回答させた。以上の内容の実験について、1日あたり1つのにおい条件までの実施として、同一実験参加者が異なる4日間について参加した。4つのに

おい条件の経験順はラテン方格に基づいて実験参加者ごとにほぼ均等になるように割り振った。

3. におい評価

図5に第2室におけるにおいの強さ評価を示す。横軸がd2テスト前(3回目評価)後(4回目評価)とにおい条件を、縦軸は臭気強度とした。Ctrは全員が「無臭」と回答した。LvとGfは「らくに感知できるにおい」から「若干強いにおい」の間の評価で、Mmは「弱いにおい」程度の評価だった。また、一般的な知見として嗅覚順応による臭気強度低下が予想されたが、5分間の作業前後ではいずれの条件でもにおいの強さは低下しなかった。

図6ににおいの快・不快評価を示す。横軸は図4と同様の表記で、縦軸は快・不快度とした。Ctrはほとんどが中庸評価で、LvとGfは快側評価、Mmは不快側評価となり、当初の設定意図通りの傾向だった。図5のにおいの強さ評価の傾向に対応して、4回目評価が3回目評価より高い臭気強度であれば、快・不快度は4回目評価の方がやや低い傾向が見られた。

4. 気分評価

4.1 単語分類作業時の評価(1,2回目評価)

図7ににおい噴霧のなかった単語分類時の気分評価(1,2回目評価)を示す。横軸ににおい条件を示して1,2回目評価を並べた。図中の2回目評価のにおい条件間について、分散分析を実施したがいずれの評価項目でも有意差は見られなかった。単語分類作業実施の意図は、異なる4日間に計4回実施したにおい条件間で、第2室で行うd2テスト前の心身の疲労状態を概ね一致させることであった。そこで、特に2回目評価に着目して、上記の分散分析を実施した。有意差が見られなかったように、いずれの評価項目についても平均値では最大で0.5段階差程度以内であった。また、2回目評価では4回の実験全てについて「活気がわいてくる」、「元気がいっぱいだ」が低下し、「やる気がない」、「疲れた」、「頭が混乱する」、「クヨクヨする」、「集中できない」、「気が張りつめる」、「ぐったりする」が上昇した。「落ち着かない」については、

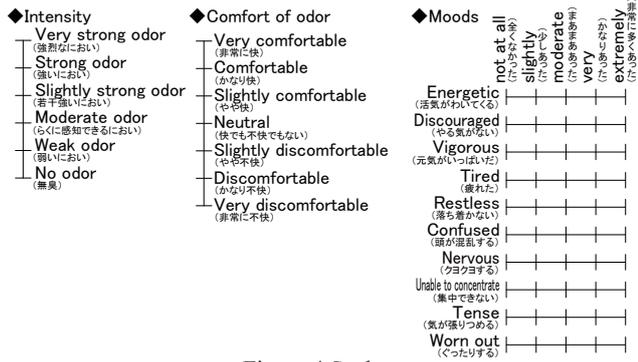


Figure 4 Scales

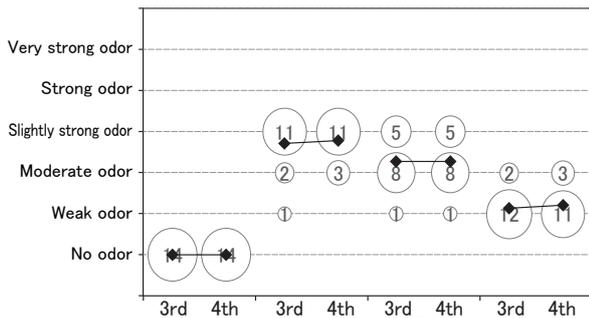


Figure 5 Odor intensity

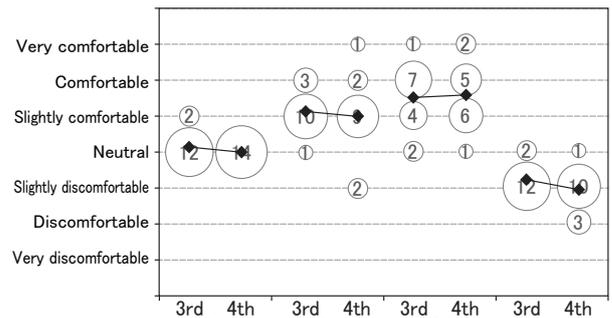


Figure 6 Odor hedonics

Mmのみ2回目評価に若干の低下がみられるが、他のにおい条件と比較して1回目評価が非常に高かったことによる傾向と推定され、他の3つのにおい条件と比較して2回目評価は同程度だった。

4.2 d2テスト時の評価 (3, 4回目評価)

図8にアロマディフューザを稼働させた環境下で行ったd2テスト時の気分評価(3, 4回目評価)を示す。横軸におい条件を示して、白抜きプロットで図7でも示した2回目評価、塗りプロットで3, 4回目評価を並べた。図中の3, 4回目評価間について、平均値の差の検定を実施したがいずれの評価項目およびにおい条件でも有意差は見られなかった。3回目評価は、図7の2回目評価から室移動および着席直後にいき、アロマディフューザ稼働開始後の評価である。

3回目評価と2回目評価を比べると、Ctrでは「疲れた」がやや大きく低下し、「やる気がない」と「頭が混乱する」はわずかに低下した。室移動間にある程度の回復が見られたと判断できる。有臭の3条件の2, 3回目評価間の関係については、程度の差はあれど傾向が比較的類似したが、Mmのみ「元気がいっぱいだ」、「落ち着かない」、「気が張りつめる」の3項目についてはわずかにあるがLv, Gfと反対の傾向を示した。芳香と悪臭との差異が原因と考えられる。

3, 4回目評価間を比較すると、有意差は見られなかったものの、上昇と低下の傾向が見られた。Ctrでは、「疲れた」と「頭が混乱する」が作業後に上昇し、「落ち着かない」はわずかに低下した。芳香のLv, Gfは比較的類似の傾向を示し、「疲れた」と「頭が混乱す

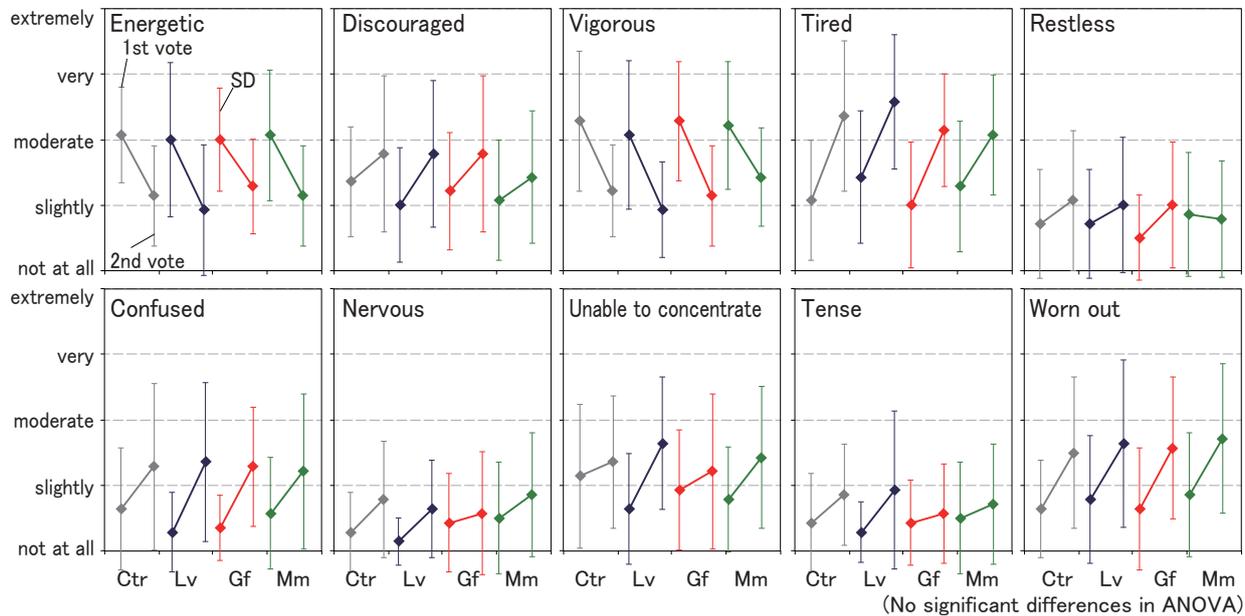


Figure 7 Comparison of mood evaluation in the 2nd votes among odor conditions

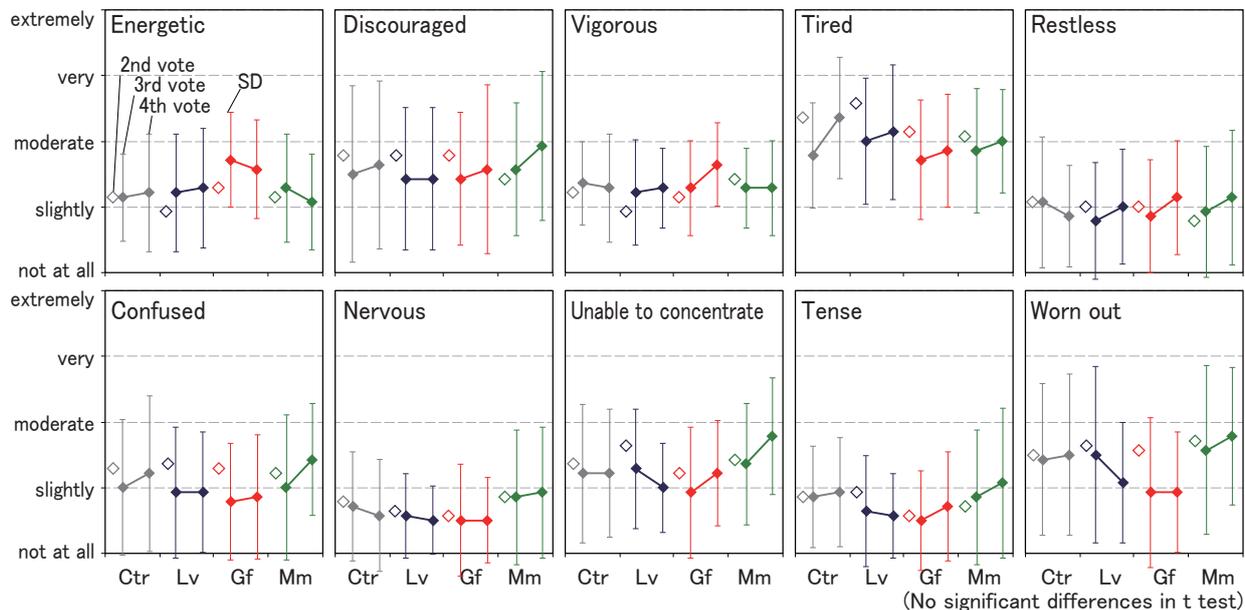


Figure 8 Comparison of mood evaluation between the 3rd votes and the 4th votes

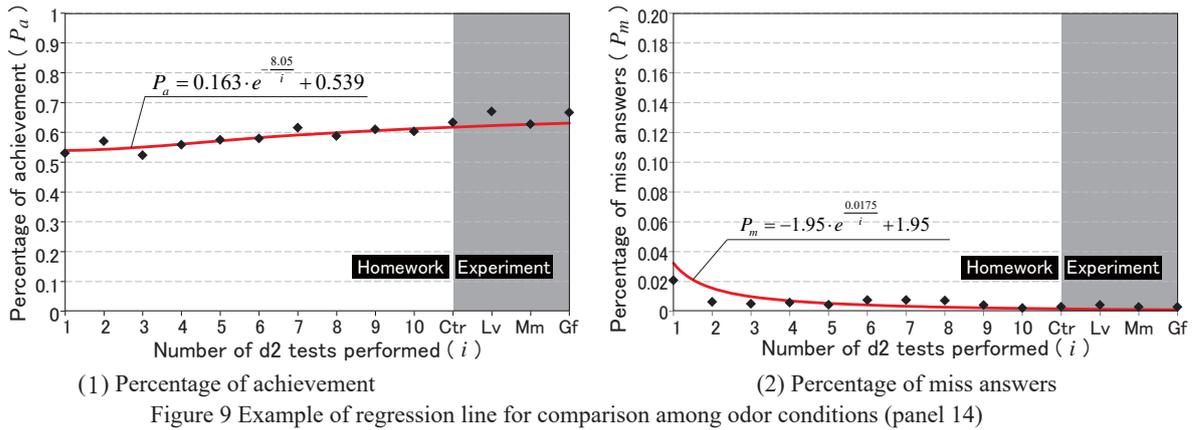


Figure 9 Example of regression line for comparison among odor conditions (panel 14)

る」では Ctr より作業後の上昇が緩く、「落ち着かない」は Ctr と反対に上昇した。一方で、「活気がわいてくる」、「集中できない」、「気が張りつめる」は Lv と Gf で傾向が反対だったほか、「ぐったりする」は Lv では作業後に低下したのに対し、Gf は横ばいの傾向だった。快なおいでもにおいの種類によって作業における心理評価への影響は異なっていたことがわかる。悪臭として設定した Mm は Ctr と比較的近い傾向にあったが、「活気がわいてくる」は低下し、「落ち着かない」、「クヨクヨする」は Ctr と反対に上昇の傾向が見られた。また、4 条件の中で「やる気がない」、「頭が混乱する」、「集中できない」、「ぐったりする」は最も大きな上昇傾向だったことから、悪臭により影響を受けやすい項目であったと推定できる。

5. d2 テストの作業成績

d2 テスト成績の習熟を考慮するため、事前宿題の 10 回の成績を基に各実験参加者の達成率 Pa とミス率 Pm の習熟曲線を下式 1, 2 を用いて求めた。

$$P_a = a \cdot e^{-\frac{b}{i}} + c \quad \dots \text{(Eq. 1)}$$

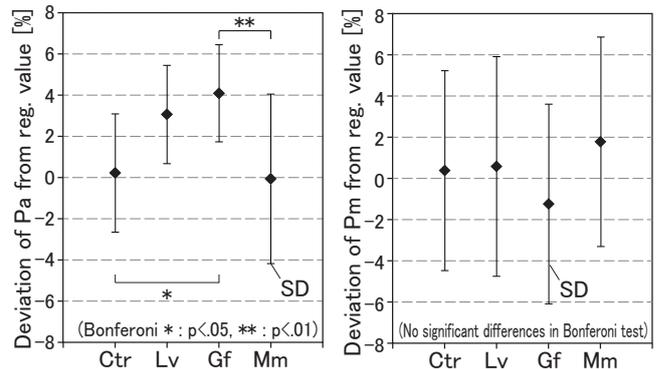
$$P_m = k \cdot e^{\frac{l}{i}} + m \quad \dots \text{(Eq. 2)}$$

Pa : 達成率 [-] a, b, c : 係数 [-] i : テスト回数 [回]

Pm : ミス率 [-] k, l, m : 係数 [-]

図 9 に実験参加者 1 名の例を示す。横軸は事前練習宿題の 10 回を含めた d2 テストの実施回数で実験室で実施した 11 ~ 14 回目はにおい条件記号とした。縦軸は図中左 (1) は達成率 Pa, 右 (2) はミス率 (Pm) で、曲線が習熟曲線である。11 回目以降の各成績は、習熟曲線との偏差で評価した。

図 10 に達成率 (Pa) とミス率 (Pm) のにおい条件間比較を示す。横軸はにおい条件、縦軸は図中左 (1) が Pa と習熟曲線の偏差、右 (2) は Pm と習熟曲線の偏差で、プロットが平均値、縦線分が標準偏差である。多重比較による有意差について併記した。図中 (1) では Ctr が習熟曲線との偏差がほぼゼロだったのに



(1) Percentage of achievement (2) Percentage of miss answers

Figure 10 Comparisons of Pa and Pm among odor conditions

対し、Lv と Gf は高く Mm は Ctr と同程度かつ標準偏差が大きかった。心身疲労状態下の知的作業で、芳香は達成率に好影響であるが、悪臭の悪影響には個人差があると考えられる。図中 (2) では Ctr は習熟曲線との偏差がほぼゼロだったのに対し、Lv は Ctr と同程度、Gf は低く Mm は高い傾向にあった。標準偏差が非常に大きいため有意差は見られなかったものの、Lv はミス率は Ctr と同等ながら達成率が高い傾向、Gf は Ctr より達成率が高くミス率も低い傾向、Mm は達成率の平均値は Ctr と同程度な一方で、ミス率が高い傾向である可能性がある。

6. おわりに

本報では、直前の知的作業で心身疲労状態とした実験参加者による知的作業成績をにおい条件間で比較し、においによる成績への影響を明らかにした。なお、本研究は本学の人を対象とする研究倫理審査の承認を得て実施した。

参考文献

- 1) 竹村明久：非集中時間を指標とした CO2 環境下の作業性および精神疲労とストレス評価, 空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 41-44, 2019
- 2) 内山皓介, 宮城和音, 石井裕剛, 下田宏, 大林史明, 岩川幹生：作業への集中に着目した知的生産性評価ツールの開発, ヒューマンインターフェースシンポジウム, (PDF), 2013
- 3) 南田高希, 竹村明久, 杉本泰世, 脇山雄多：香りが短時間仮眠後の作業効率に及ぼす影響 (その 1) 作業成績の習熟度検討と香り条件間比較, 空調調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集 (pdf), 2019

三点比較式臭袋法における吸入濃度に基づく最適吸引法に関する研究 (その10) 鼻腔モデルを用いた数値解析による検臭臭気の流動状態

Proposal for Optimum Sniffing Method Based on Odor Concentration in Triangle Odor Bag Method Part.10 Flow Conditions of Odor with Numerical Analysis Model of Nasal Cavity

○ 中山 樹生 (摂南大学) 堀江 昌朗 (摂南大学) 竹村 明久 (摂南大学)

Mikio NAKAYAMA* Masaaki HORIE* Akihisa TAKEMURA*

* Setsunan University

In order to improve the accuracy of the triangle odor bag method, both methods of experiments and simulations using computational fluid dynamics analysis has been used for studying. In this paper, the relationship between the ratio of the air volume of odor discharged from the odor bag to the air volume of odor suctioned into the nasal cavity and the concentration of the odor was investigated in the discharge and suction method without the odor mask based on the detailed nasal cavity model including nasal septum and nasal turbinate. Consequently, it was revealed that the high concentration odor could be suctioned, when small air volume was suctioned after the odor was sufficiently discharged around the nasal cavity before the suction.

1. 緒論

悪臭防止法で定める臭気濃度測定手法である三点比較式臭袋法について、手法としての精度向上が図れば有意義であると考えて、鼻腔への吸引濃度において袋内濃度に近い吸引方法の検討を目指して、簡易な鼻腔モデルを皮切りに、モデルの改良を重ねながらCFDによるシミュレーションと実験に基づく検討を行ってきた¹⁻⁴⁾。これまでの知見を基に、鼻あてを使用しない押出吸引法に検討対象を絞り込んで、測定誤差の少ない検臭臭気測定方法を提案することを目的として研究を進めている。本報では、新たに製作した鼻中隔、鼻甲介を模擬した鼻腔の計算モデルと、パネルによる吸引とにおい袋を押さえたときに排出される臭気の排出流量の実測値を用いて数値解析を実施し、臭気の鼻腔内での流動状態と吸引濃度について検討した結果を報告する。

2. 鼻腔モデルおよび数値解析方法

測定誤差の少ない臭気測定法の提案をするためににおい袋から排出される検臭臭気を鼻腔に吸引する

際の鼻腔内部の臭気の流動状態を明らかにすることが重要である。この際、CTスキャンによる鼻腔空間を測定したのから数値解析用にモデル化したものを使用することが最適であると考えられるが、鼻腔の形状は人により異なり、また被爆量の問題から容易に測定することは困難である。そこで、人体モデルや文献^{5,6)}を参考にpixologic社のZBrushCore2018を用いて、鼻甲介や鼻中隔を再現した鼻腔モデルを作成した(図1)。なお、本鼻腔モデルの鼻腔容量は20歳以上の成人の平均値とほぼ同じ30mLである。

図2に本研究で使用した数値解析モデルを示す。本研究では既往研究と同様に鼻あてを使用しておらず、におい袋に取り付けられたガラス管を想定したパイプ部、顔、鼻腔、そして顔とパイプ出口との間の自由空間から構成されている。顔の形状はBondware社のPoserによる男性の頭部モデルを使用しており、先に述べた鼻腔の詳細モデルは頭部モデルの内部に組み込まれている。パイプ部の長さは60mm、内径は10mmで、鼻の先端から25mm離し約45度下方から鼻

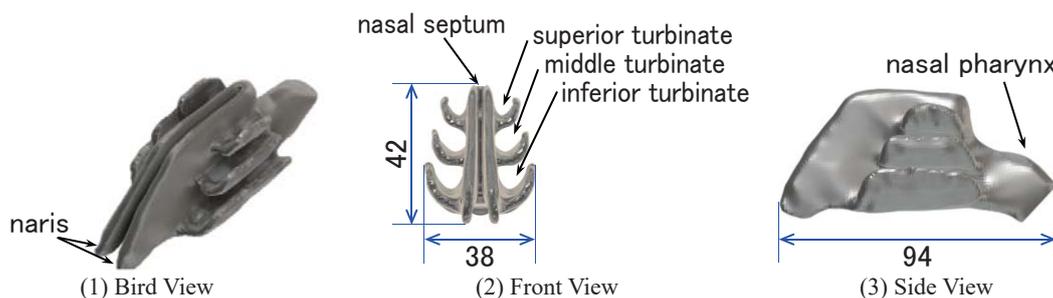


Figure 1 Analysis model of nasal cavity

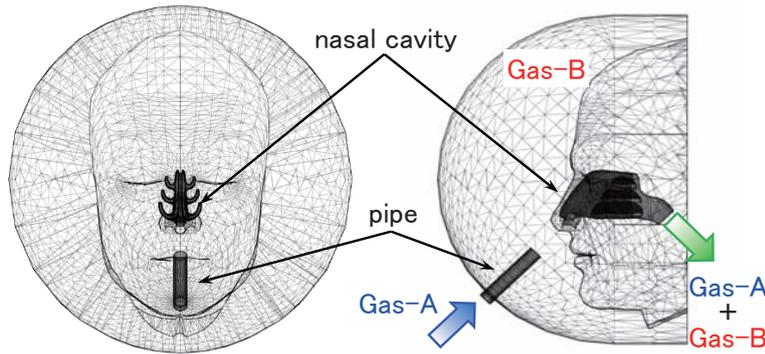


Figure 2 Outline of calculation model

孔に向けて検臭臭気が流出する様に設置した。なお、本解析モデルの総要素数は約 330 万である。数値解析においては ANSYS 社の CFX18.0 を使用した。本解析では有限体積法によるレイノルズ平均ナビエ・ストークス方程式 (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations: RANS) を採用し、SST (Shear Stress Transport) 乱流モデルによる非定常解析を行った。入口境界面はパイプ部のにおい袋側の端面とし、におい袋を押さえてガラス管から鼻孔に向かって排出される流量を境界条件として設定した。また、出口境界面は鼻腔内部の終端面とし吸引流量を設定した。なお、顔表面は壁面とし、顔表面周囲の空間の端部は大気圧で気体の流入出が可能である設定とした。ここで、入口から流入する検臭臭気を想定した気体を Gas-A、初期の状態からパイプ部、鼻腔部、顔表面周囲の空間に存在している気体を Gas-B とし、全ての気体は 25°C の非圧縮性の空気とした。なお、本研究では既往研究と同様に、におい袋を押さえて検臭臭気に相当する Gas-A を排出させてから 1 秒後に吸引を開始するように設定して数値解析を行った。

3. 鼻孔における吸引量とにおい袋からの排出量の測定

本研究では検臭臭気が封入されているにおい袋を押さえて、におい袋の出口に取り付けられているガラス管から鼻孔へ向けて排出し、検臭臭気を吸引する押出吸引法を想定して数値解析を行う。数値解析では、入口・出口境界条件にパネルによる実際の吸引量とにおい袋の排出流量を設定する。鼻孔における吸引量の測定は 2019 年 12 月 9 日に 20 代の男女 20 名 (男性 16 名、女性 4 名) に摂南大学にて実施した。なお、パネルの半数は三点比較式におい袋法の経験者である。実験では鼻あてと鼻あての入口側に取り付けられた気体用流量センサー (KEYENCE 社製 FD-A50) を使用し、三点比較式におい袋法における自己吸引法と同じ手法で約 0.5 秒間の吸引を指示し、それぞれ 5 回測

定を行った。本稿では詳細については割愛するが、各自の吸引量の測定値は 5 回ともほぼ同じであったが、吸引時間と総吸引量の個人差は非常に大きく、吸引時間は 0.4 秒から 1.2 秒以内、吸引量は約 40 ~ 230 mL であった。なお、一般的に 1 度の呼吸量は 500 mL 程度と言われているが、検臭の場合、三点比較式におい袋法の経験の有無にかかわらず半分以下の吸引量であることが明らかとなった。

次に検臭臭気の代わりに空気が封入されたにおい袋を押さえた際にガラス管から排出される空気の排出量の測定を 2016 年 6 月 9 日、8 月 29 日、11 月 24 日に 20 代の男女 16 名 (男性 11 名、女性 5 名) に摂南大学にて実施した。この測定では吸引量と同様に三点比較式におい袋法の経験者は半数である。実験では 3L のポリエチレンテレフタレート製のにおい袋にポンプで検臭臭気を想定した室内空気を充満させ、臭気測定の経験者には測定時と同様の方法でにおい袋を押さえて内部の空気を排出するように被験者に指示し、気体用流量センサー (KEYENCE 社製 FD-A50) を用いて 2 回測定を行った。また、未経験者にはにおい袋を押し出す流量の変動を少なくするために 20 秒間で気体をゆっくり排出するように指示し、3 回測定を行った。ここでは割愛するが、各自の排出量の傾向はほとんど同じであるが、排出時間は測定経験者の場合は 3 ~ 5 秒であったのに対して、未経験者は 10 ~ 20 秒と非常に長くなる傾向を示した。しかし、排出流量は測定経験の有無にかかわらず 0.1 ~ 0.3 L/s であり大きな違いは無かった。なお、臭気の吸引時間はおい袋から排出される検臭臭気の排出時間に比べて十分短い時間である。以上の測定結果を用いて、境界条件としてにおい袋から排出される排出流量は 6 条件、吸引は 20 条件とし、全ての組合せによる数値解析を実施した。なお、吸引および排出流量の測定実験の参加者には実験内容の説明と実験には自由意志で参加できること、途中での参加の取りやめが可能であることなどを文書にて説明し、同意を得た上で実験を実施した。

4. 検臭臭気の流動状態

図 3 はにおい袋から排出された Gas-A (検臭臭気) を吸引したときの鼻腔内部の正面・側面断面における時間経過に伴う Gas-A の濃度分布の変化を示している。ここで、色の違いは Gas-A の濃度割合を示しており、濃度が低い場合は青、高い場合は赤で示している。

図 3-i) は検臭臭気の排出流量と鼻孔における総吸引量がともに多い実測値の組み合わせを境界条件とした解析結果を示している。この条件における総吸引量 V_s は約 226mL, 吸引時間は約 0.8 秒であり, 平均排出流量は 0.3L/s, 吸引が終了するまでの Gas-A の排出

量 V_d' は約 530mL である。この組み合わせでは排出流量が非常に多いため, におい袋を押さえて検臭臭気を排出させてから吸引を開始するまでの 1 秒間に鼻孔近傍に Gas-A が高い濃度で流入する。1 秒後に吸引が開始されると非常に濃度の高い Gas-A が鼻孔内部に

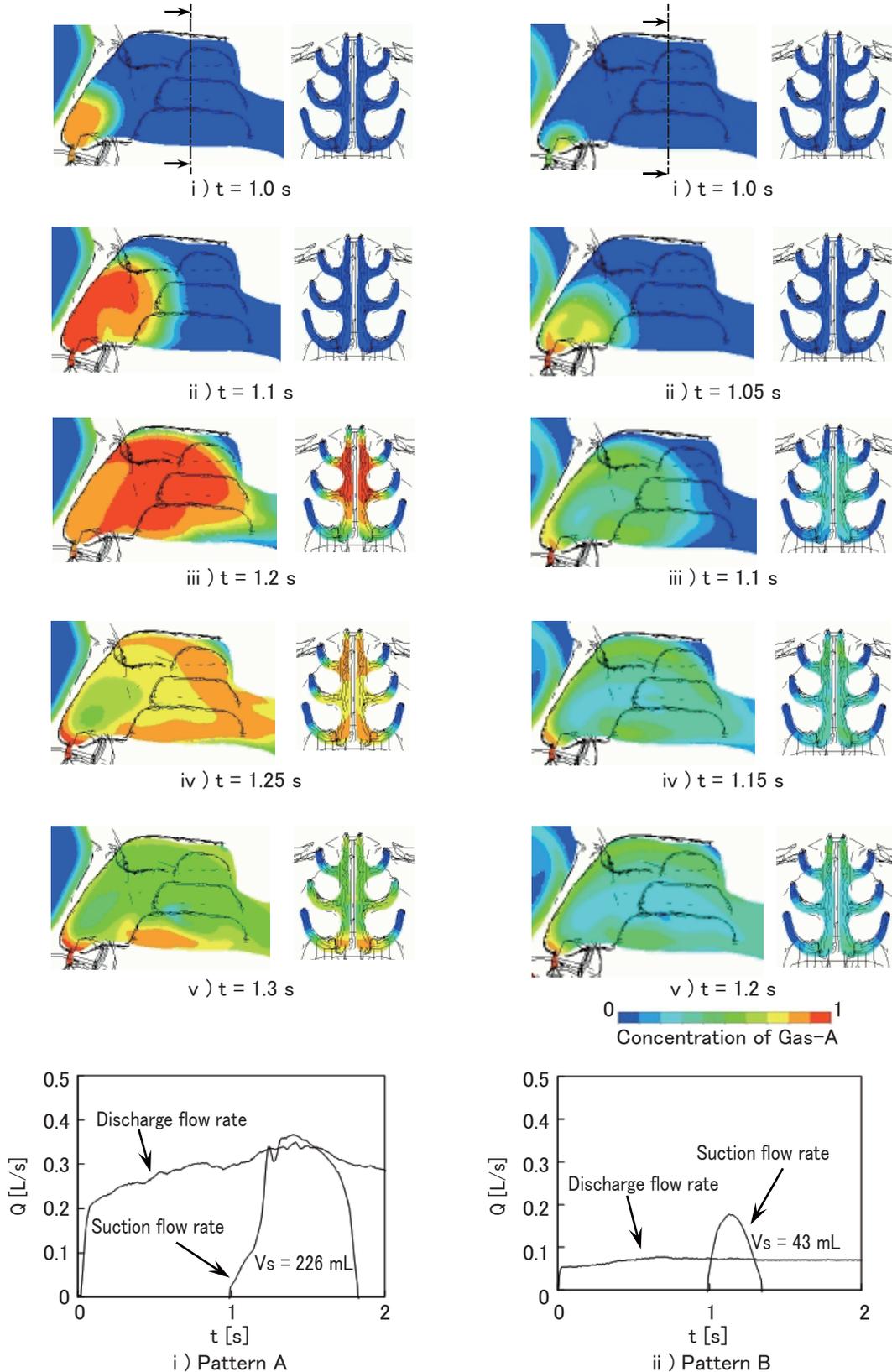


Figure 3 Concentration distribution of Gas-A in nasal cavity

流入し約 1.2 秒後に鼻孔全体が Gas-A に満たされる。このとき、鼻中隔の近傍の Gas-A の濃度は高くなり、1.25 秒の図より上部と下部に濃度の高い領域が偏る傾向を示した。また、鼻甲介の外側の部分には 1.3 秒以降に Gas-A が流入し、時間の経過に伴って濃度は低くなるものの鼻孔の全体に Gas-A が充満する。

図 3-ii) は検臭臭気の排出流量と鼻孔における総吸引量がともに最も少ない実測値の組み合わせを境界条件とした解析結果を示している。この条件における総吸引量 V_s は 43mL、吸引時間は 0.35 秒であり、平均排出流量は 0.07L/s、吸引が終了するまでの Gas-A の排出量 V_D' は 93mL である。この条件では Gas-A の排出流量と鼻腔における総吸引量が少ないため、図 3-i) の条件に比べて全体的に鼻腔内部の Gas-A の吸引濃度は低い結果となった。しかし、総吸引量が少なくても鼻腔の上部と下部の鼻中隔近傍で Gas-A の濃度が高くなる傾向を示した。なお、ここでは割愛するが、他の条件においても鼻中隔近傍の上下部分を Gas-A が偏って流れる傾向は同様であった。

5. 検臭臭気の吸引濃度

鼻腔における検臭臭気の濃度の吸引割合を定量的に評価するために、検臭臭気の排出量に対する吸引量の比と吸引濃度の関係について検討した。ここで鼻腔における総吸引量を V_s 、におい袋から検臭臭気の排出を開始してから 1 秒後に吸引を開始し吸引が終了するまでの臭気の排出量を V_D' とし、臭気排出量に対する総吸引量の比を V_s/V_D' とする。図 4 は V_s/V_D' と検臭臭気の吸引濃度の関係を示しており、横軸は V_s/V_D' 、縦軸は検臭臭気の吸引濃度を示している。プロットマークは第 3 節にて実測した全ての吸引と排出パターンの組合せた数値解析結果である。 V_s/V_D' の値が大きくなると検臭臭気の吸引濃度は全体的に低くなり、 V_s/V_D' の値が小さくなるとばらつきは大きい。検臭臭気の吸引濃度は高くなる分布傾向を示した。また、この結果の詳細について検討した結果、図中の右上に示す 4 つの領域に大別される。①の領域は総吸引量 V_s が多い場合、②の領域は V_s が少ない場合、③の領域は排出量 V_D' が少ない場合、④の領域は V_D' が多い場合である。このことから、十分な量の検臭臭気を鼻孔に向けて排出した後に、少量の吸引を行うことによって、三点比較式臭袋法の経験の有無に関わらず、高い濃度の臭気を吸引することが可能であるといえる（領域②の上方）。また、実際の臭気測定において、検臭臭気の濃度が低い閾値近くの測定を行う場合、測定者は無意識のうちにこれまで以上に多くの気

体を吸引する可能性があるが、十分な量の臭気を吸引する前に押し出して少量だけ吸引することにより、におい袋内部の検臭臭気の濃度に関わらず測定者に負担をかけることなく誤差の少ない臭気測定が可能であると考えられる。

6. 結論

三点比較式臭袋法における検臭臭気の吸引濃度の予測を行うために、鼻中隔と鼻甲介を模擬した鼻腔詳細モデルを用いて、鼻腔内部の流動状態と検臭臭気の吸引濃度について数値解析を行い、以下の結論を得た。

- ・吸引量や排出量に関わらず、鼻孔から吸引された検臭臭気は鼻中隔近傍の上と下の領域に偏って流れる傾向を示した。
- ・吸引される検臭臭気の濃度と V_s/V_D' の関係から、におい袋からの検臭臭気の排出量と吸引量によって 4 つの領域に分類できる。
- ・吸引を開始するまでににおい袋を押さえて検臭臭気を鼻腔に向けて十分に排出させ少量を吸引することにより高い濃度の検臭臭気を吸引することが可能であり、検臭誤差を少なくすることが可能である。

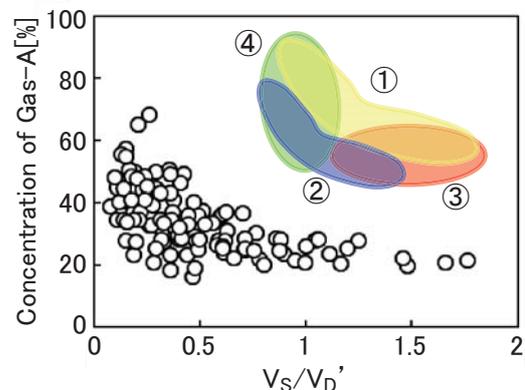


Figure 4 Relation between V_s/V_D' and concentration of Gas-A

参考文献

- 1) 堀江昌朗, 竹村明久, 山川和希, 増井公貴: 三点比較式臭袋法における吸引濃度に関する数値流体解析を用いた基礎的研究, におい・かおり環境学会誌論文集, Vol. 48 No. 2, pp. 140-147, 2017
- 2) 堀江昌朗, 竹村明久, 藤本侑佑: 三点比較式臭袋法における吸引濃度に関する数値流体解析を用いた基礎的検討 その 2 押出吸引法における吸引濃度予測, におい・かおり環境学会誌論文集, Vol. 49 No. 2, pp. 121-127, 2018
- 3) 森山甲太郎, 堀江昌朗, 竹村明久: 三点比較式臭袋法における吸入濃度に基づく最適吸引法に関する研究 (その 6) 経験者と未経験者の吸引および排出流量実測値を用いた臭気濃度評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 157-160, 2018
- 4) 竹村明久, 堀江昌朗, 前田遼介: 三点比較式臭袋法の測定精度に及ぼす吸引方法の影響の実験的検証, におい・かおり環境学会誌, Vol. 51 No. 2, pp. 144-147, 2020
- 5) 佐藤達夫: 型抜き絵本 鼻腔と副鼻腔疾患, アプライ, pp. 1-2, 2005
- 6) 中東和彦: 正常人における鼻腔容積の研究: MRI による計測, 昭和医学会雑誌, Vol. 53 No. 5, pp. 494-500, 1993

車室内呼出煙とサードハンドスモークの嗅覚測定法に基づく脱臭性能検証

Deodorizing Performance of Exhaled Smoke and Third-hand Smoke Based on Olfactometry

○ 竹村 明久 (摂南大学) 石山 栄一 (伯東) 柳 信宏 (伯東) 福本 祐也 (摂南大学)

Akihisa TAKEMURA* Eiichi ISHIYAMA** Nobuhiro YANAGI** Yuya FUKUMOTO*

* Setsunan University ** Hakuto Co., Ltd.

It was important for both thermal environmental preservation and energy conservation in a car to support ventilation with air cleaners. It was focused both exhaled smoke and third-hand smoke in a car. Four measurements were conducted between before and after deodorizing smoke odor from the point view of "odor concentration", "odor sensor value", "dust indicator value", "sensory evaluation of odor" with three air cleaners. Some air cleaner reduced odor intensity, discomfort and unacceptance more than natural reduction. Based on odor concentration and dust indicator value in the exhaled smoke condition, the equivalent ventilation volume was calculated as 1.93 times per hour (based on odor concentration), and 3.00 times per hour (based on dust indicator value).

1. はじめに

乗用車は小規模の空間であり、かつ乗用旅客車のように多様な人の出入りが想定される場合がある。公共空間での喫煙が制限された社会環境下にあっても、車内では喫煙機会があったり、喫煙所等での喫煙直後の乗車の機会があったりという状況が想定される。一方で、小空間での換気は空調熱負荷の面で大きな負担となることから、臭気対策を空気清浄機 (以降、空清機と表記) で補助することは車内温熱環境保持の面からも省エネ面からも非常に有意義と考えられる。本報では、たばこ臭を対象とした脱臭性能としての空清機の相当換気量を把握することを目的に、呼出煙と付着再放散臭 (サードハンドスモーク) を用いた臭気低減実験を行った結果について報告する。

(男性 7 名、女性 2 名 : 平均 21.1 歳) が三点比較式臭袋法に準じた臭気濃度測定に従事した。試料は、呼出煙条件では図 1 の PET フィルム製チャンバー (2x1x2m: 容積 4 m³) の内部空気が十分に攪拌された環境下で、在室者 1 名が 1 本のたばこ (メビウススーパーライト 6 ミリ : 日本たばこ産業) を HCI 法¹⁾ に準じて 2 秒の吸煙と 30 秒の休止 (呼吸) を 5 分間繰返して喫煙し、呼出煙と副流煙の混合臭気を充満させた。喫煙直後に在室者が退出した臭気をフレックスポンプ (DC1-NA : 近江オドエアーサービス) で 10L 試料採取袋 (PET 製 : 近江オドエアーサービス) に採取して空清機稼働前試料とした。続いて、空清機を 40 分間稼働したのち

Table 1 Symbols of conditions

	Air volume [CMM]	Filter etc	Symbol	
			Exhaled smoke	Third-hand smoke
A	0.25	HEPA Activated carbon Photocatalyst	Ae0, Ae40	At0, At30
B	0.08	Rough filter	Be0, Be40	Bt0, Bt30
C	No data	Rough filter	Ce0, Ce40	Ct0, Ct30

2. 臭気濃度測定

2.1 実験概要

2020 年 10 月 6 日から 11 月 10 日に、20 ~ 27℃、28 ~ 50%RH の環境の実験室で 9 名の嗅覚検査合格者

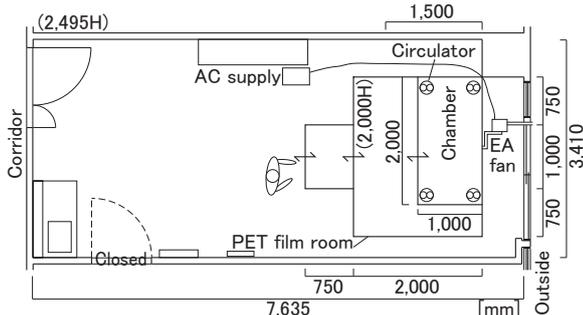


Figure 1 View plan of sampling chamber

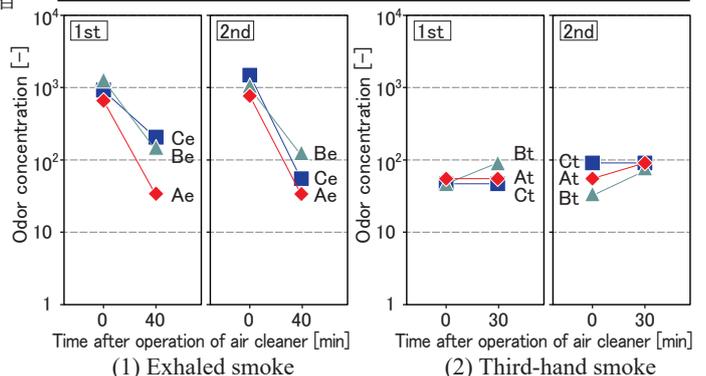


Figure 2 Odor concentration

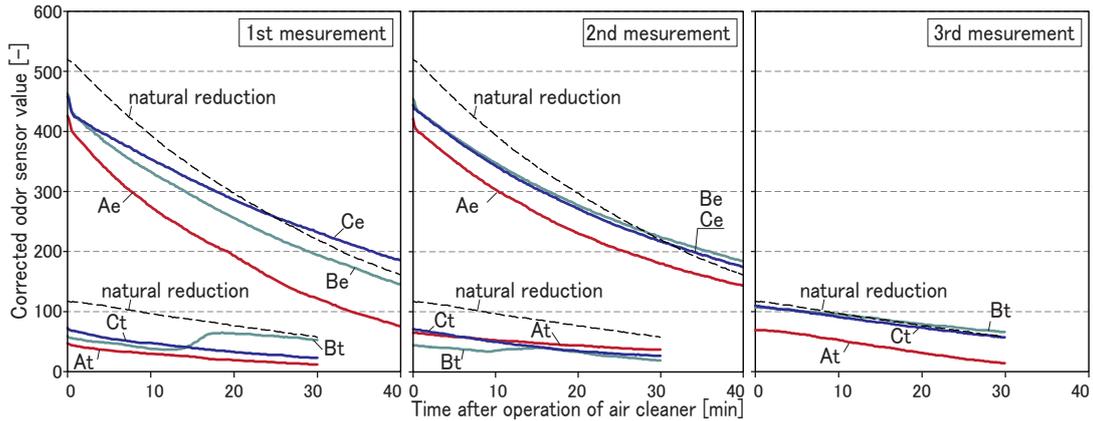


Figure 3 Odor sensor value

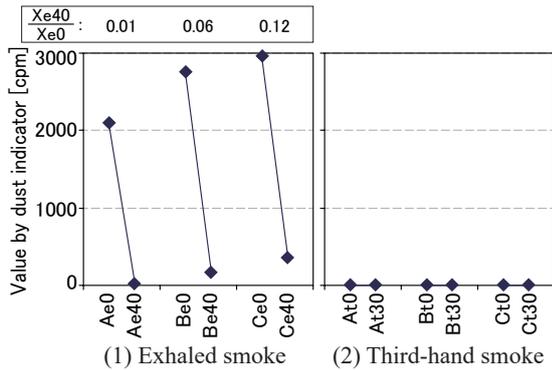


Figure 4 Dust indicator value

に同様の手法で採取した臭気を空清機稼働後試料とした。付着臭条件では、車室内にたばこ臭の付着した1名が5分間乗車したことを想定して、ポリエステルレースカーテン (582.5 × 750mm:ユニバーサル) 4枚を内部に吊るして空気攪拌装置2台を稼働させた180Lのアクリルデシケータ内で1本のたばこ(前述)を8分間自然燃焼させて、燃焼完了後30分間攪拌を維持して存置したのち、カーテン4枚を図1のチャンバ内に吊るして攪拌気流を当てて5分間臭気を放散させた。その後、フレックスポンプで10L試料採取袋に採取して空清機稼働前試料、空清機を30分稼働させた後に再度採取した臭気を空清機稼働後試料とした。空清機は表1に示す車室内で使用する可能性がある3社の3製品として、空清機稼働前後の全12試料名を付与した。呼出煙条件、付着臭条件とも同様の測定を異なる日に2回ずつ実施した。

2.2 測定結果

図2に測定結果を示す。横軸は空清機稼働からの時間、すなわち稼働前後を示し、縦軸は臭気濃度である。プロットは上下カット後の7名の平均値で示した。図より稼働前の臭気濃度は、呼出煙条件の2回、付着臭条件の1回目では3空清機条件間で再現性が高かったが、付着臭条件の2回目はややばらつきがあった。空清機稼働前後の傾向に着目すると、呼出煙条件では全空清機で稼働後の臭気濃度は稼働前より低下した。

低下幅はAeが最大だった。付着臭条件では稼働前後で横ばいまたは稼働後に上昇する傾向が見られた。三点比較式臭袋法は測定可能な最低臭気濃度が10であることから、これに近い臭気濃度の稼働前後の臭気に無臭空気供給のための活性炭やPET製チャンバ、におい袋などの固有臭の混入の影響があったのではないかと考える。

3. においセンサと粉塵計を用いた測定

3.1 実験概要

主観的測定を支援する目的で、2020年10月6日から12月8日に、17～27℃、28～60%RHの実験室で2.1に示した臭気採取時ににおいセンサによる測定を実施した。図1のチャンバ内の床上400mmににおいセンサ(XP-329 III R:新コスモス電機)を設置して、空清機稼働中である呼出煙条件で40分間、付着臭条件で30分間の指示値を連続測定した。また、空清機稼働を伴わない環境での連続測定も実施した。粉塵計(LD-5 (PM2.5サイクロン装着):柴田科学)を用いた測定は、2020年11月9日と24日に上記測定と併行して、空清機稼働前後の2時点のみ測定した。

3.2 測定結果

図3ににおいセンサ測定結果を示す。横軸が空清機稼働からの時間、縦軸はにおいセンサ指示値とした。においセンサ指示値は、付着臭条件で空清機稼働後時点で負値を示した場合が複数あり、ゼロ値の調整不良と判断して測定終了時点の負値を稼働前指示値に加算した補正值で示した。図中には呼出煙条件と付着臭条件を実線で、自然減衰測定結果を破線で示した。空清機稼働開始時の指示値にばらつきがあるため傾向の判断は難しいが、呼出煙条件では自然減衰幅と比較してBeとCeの減衰量が小さかった。付着臭条件はBtが2回とも測定途中での指示値上昇が見られたため、3回目も実施したところ上昇は見られなかった。いずれも自然減衰幅と比較して減衰量は小さかったが、においセンサを用いた低濃度臭気

測定はメーカーの推奨範囲外だったことから、今後はより高い濃度での検証が必要と考えた。

図4に粉塵測定結果を示す。横軸が呼出煙、付着臭の条件と空清機の種類および空清機稼働からの時間を示す。縦軸は粉塵計指示値とした。呼出煙条件については空清機稼働前後比を図上に併記した。呼出煙条件では、空清機稼働後に粉塵量の低減が見られ、Aeが最も低減率が高かった。付着臭条件は、空清機稼働前時点での粉塵発生がほぼ見られなかった。

4. 主観評価実験

4.1 実験概要

2020年10月6日から12月8日に、2.1と同一の環境下の実験室で20名の嗅覚検査合格者(男性8名、女性12名:平均20.9歳)に主観評価実験を実施した。なお、このうち7名(男性5名、女性2名:平均20.7歳)のみ自然減衰条件も評価した。提示試料については、呼出煙条件と付着臭条件とを異なる日に実施したため、1日の実験で表1のAe0~Ce40の6試料、またはAt0~Ct30の6試料のいずれかを順不同で評価させた。自然減衰条件では、呼出煙条件と付着臭条件を同日で実施し、呼出煙条件は喫煙直後と40分経過後、付着臭条件は臭気発生源撤去直後と30分経過後の計4試料を順不同に評価させた。評価項目は、図5のおいの強さ、快・不快、印象6項目(「いやな」、「陰悪な」、「鋭い」、「こってりした」、「濁った」、「生臭い」と許容の可否とした。

4.2 評価結果

図6に2回繰返し実施した空清機稼働前後の臭気強度評価を示す。横軸が呼出煙、付着臭の条件と空清機の種類および空清機稼働からの時間を示す。縦軸は臭気強度、円の面積で度数を示した。図中の2本の破線は自然減衰条件での減衰幅を示し、空清機稼働前後のt検定結果を付記した。(a)呼出煙条件では2回とも全条件が空清機稼働後に臭気強度は低下した。低下幅はAeが最大だったが、自然減衰幅も比較的大きかった。PETフィルムチャンバーの壁フィルムの脈動で漏気による臭気濃度低減があった

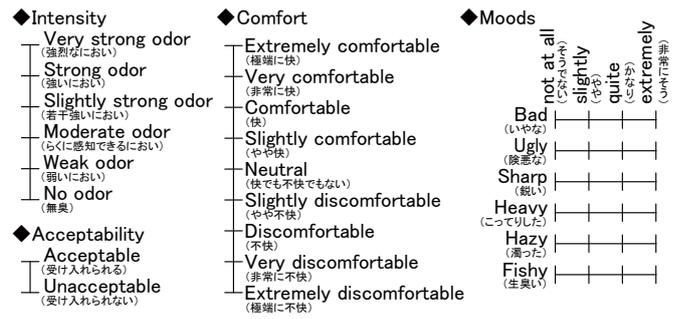


Figure 5 Scales of evaluation items

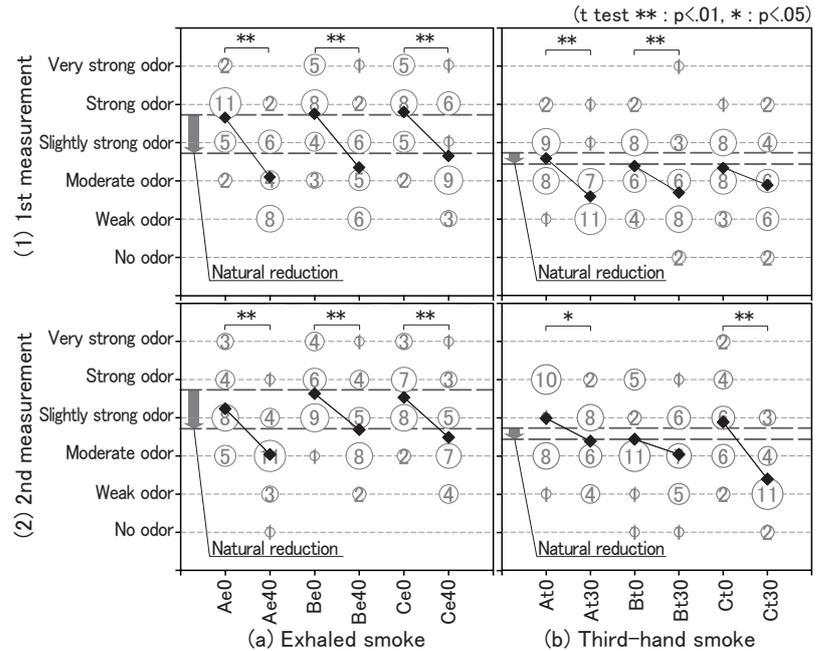


Figure 6 Comparison of intensity between before and after deodorizing

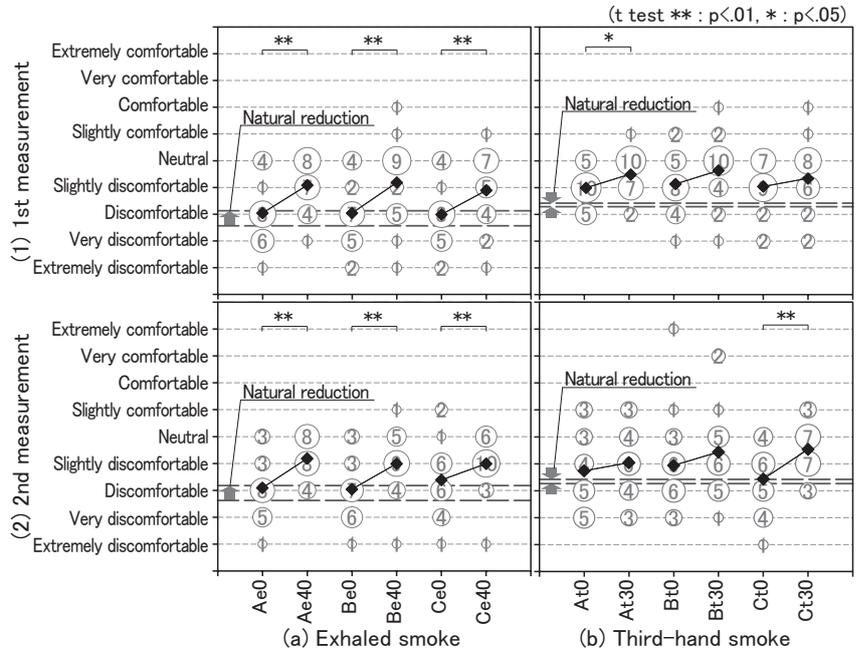


Figure 7 Comparison of hedonics between before and after deodorizing

可能性が示唆された。図2の臭気濃度と比較すると、Aeが最も低下幅が大きい点で類似の傾向と言えた。図3のにおいセンサ値と比較すると、自然減衰条件を含めて各条件の低減の傾き傾向と概ね一致した。(b)

付着臭条件では、呼出煙条件より空清機稼働前評価は低く、同稼働による低下幅も小さかった。(1)1回目測定はAtの低下幅が最大だったが、(2)2回目ではCtが大きく、低濃度臭気の評価ゆえの再現性の低さに対して検証の必要性が示唆された。

図7に快・不快度評価を示す。縦軸を快・不快度とした以外は図6と同様である。(a)呼出煙条件、(b)付着臭条件とも、空清機稼働後には不快度が軽減した。自然減衰も不快度の軽減傾向を示したが、いずれの空清機でも概ね自然減衰より軽減幅は大きかった。紙面の都合で省略したが、印象も概ね類似の傾向だった。

図8に許容の可否評価を示す。縦軸は非許容者を全回答者で除した比とした他は図6と同様である。(a)呼出煙条件では空清機稼働で非容認率は低下した。(1)1回目測定ではAeが最大の低下幅で、(2)2回目はBeがわずかにAeより低下幅が大きかった。いずれも自然減衰より低下幅は大きく、図6の臭気強度が空清機使用条件と自然減衰条件の低下幅が近かったことを鑑みると、図7の快・不快度や非容認率への空清機使用の影響の程度は臭気強度より大きい可能性がある。(b)付着臭条件では自然減衰は見られなかった。(1)1回目測定ではAtの低下幅が著しく大きく、(2)2回目ではBtとCtが大きかった。ここからもとりわけ付着臭の再現性については検討が必要と考えられた。

5. 臭気濃度と粉塵量に基づく相当換気量

将来的な換気と空清機の併用による臭気低減を目標に、外気濃度と汚染物発生量が存在しない条件下でザイデルの式(式1)を用いると、本研究の各測定濃度からたばこ臭における換気量相当値が算出できると考えた。一方で、付着臭条件はいずれの測定値も低濃度ゆえに精度よく低減が確認できなかったことから、呼出煙条件のみに対象を絞って、臭気濃度と粉塵量の空清機稼働前後の測定値を基に相当換気量を求めた。チャンバー容積は4m³、脱臭時間は40分とした。

$$Q = -\frac{V}{t} \log \frac{C}{C_0} \quad (\text{Eq. 1})$$

- Q : Equivalent ventilation volume [m³/h]
- V : Air volume of chamber (4m³) [m³]
- t : Time after operation of air cleaner [h]
- C : Odor concentration after operation of air cleaner [-] or value of dust indicator [cpm]
- C₀ : Odor concentration before operation of air cleaner [-] or value of dust indicator [cpm]

図9に算出結果を示す。左図(1)が呼出煙条件1回目の臭気濃度を基に、右図(2)が粉塵量を基に算

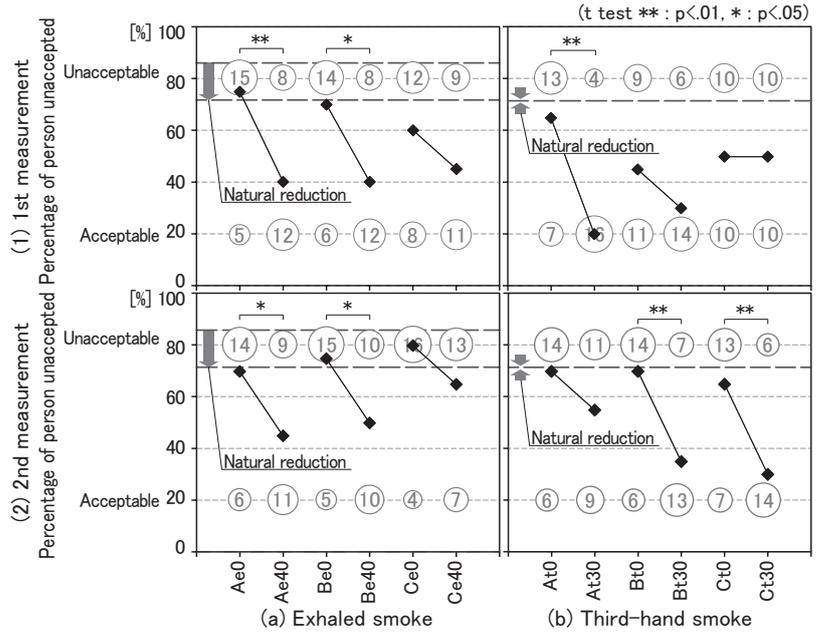


Figure 8 Comparison of acceptance between before and after deodorizing

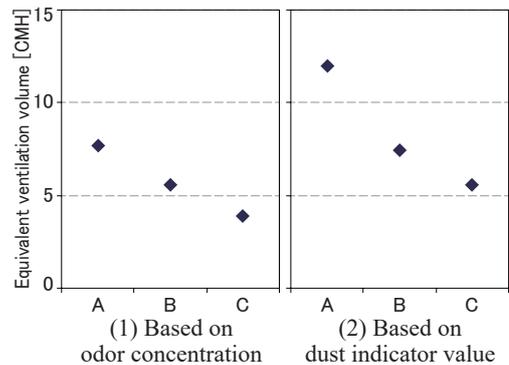


Figure 11 Equivalent ventilation volume in the exhaled smoke

出した相当換気量である。臭気濃度よりも粉塵量ベースの方が大きく、空清機3機ではAが最大で臭気濃度ベース1.93回/h、粉塵量ベース3.00回/hだった。

6. おわりに

本報では、たばこ臭を空気清浄機で低減する場合の心理物理量(臭気濃度)、主観評価への影響とにおいてセンサや粉塵計を用いた測定を実施した。明確な低減が確認できた呼出煙条件の臭気濃度と粉塵量を基に相当換気量を明らかにした。一方で、低濃度だった付着臭条件では現実的に想定される環境再現によって臭気を作製したが、においセンサ測定も臭気濃度測定も判断の難しい測定値となったことから、高濃度での再検討が必要と判断された。

なお、本研究は本学の人を対象とする研究倫理審査の承認を得て実施した。また、実験参加者には募集段階からたばこ臭評価であることを伝えて参加させたほか、適切な報酬を支払った。

参考文献

1) T-115 Health Canada: Determination of 'Tar', Nicotine and Carbon Monoxide in Mainstream Tobacco Smoke, 1999

休憩空間におけるにおい・照明環境が在室者の心理・生理反応に及ぼす影響
(その1) 実験概要および主観評価の分析

**Influence of Odor and Lighting Environment in Relaxation Space
on Psychological and Physiological Response of Occupants
(Part 1) Experimental Setup and Analysis of Subjective Evaluations**

○藤江 智暉 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学)
竹村 明久 (摂南大学) 小林 知広 (大阪大学) 近藤 弘基 (大阪大学)
池田 馨 (パナソニック株式会社) 伊藤 雅人 (パナソニック株式会社)
丸山 博 (パナソニック株式会社)

Tomoki FUJIE*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Narae CHOI*¹ Akihisa TAKEMURA*²

Tomohiro KOBAYASHI*¹ Koki KONDO*¹ Kaoru IKEDA*³ Masato ITO*³ Hiroshi MARUYAMA*³

*¹ Osaka University *² Setsunan University *³ Panasonic Corporation

Although it is known that relaxation and refreshment spaces can also benefit workplace productivity, relatively few studies concentrated on the effects of the combined indoor environment in the relaxation space. This study aims to examine the psychological and physiological effects of the indoor environment in the relaxation space on workplace productivity. In this paper, the subjective evaluations under the various odor (Japanese cypress, rush grass, orange sweet essential oils) and illuminance conditions (100 lx, 500 lx, 2500 lx) of the relaxation space were investigated.

はじめに

現代の人々は一日の90%以上の時間を室内で過ごすとしており、居住者にとって健康で快適な室内環境の提供が求められている。近年オフィス設計では、執務者が快適な休憩時間を過ごすことが知的生産性の向上につながるため、休憩空間の環境も注目されている。休憩空間の室内環境については、既に研究¹⁾が行われているが、休憩空間における複合環境が利用者の心理・生理に及ぼす影響についてはまだ解明されていない。本研究は、休憩空間のにおい環境と照明環境に着目し、その複合環境が心理・生理反応に与える影響について検討することを目的とする。本報では、異なるにおいと照度条件下の休憩空間で心理反応を測定した結果を報告する。

1. 実験概要

実験は2020年11月16日～1月8日の間、本学学内で行った。被験者としては25歳未満の非喫煙者の本学

男子学生11名を採用した。実験室概要をFig. 1に示す。室1は執務空間を、室2は休憩空間を模擬している。実験スケジュールをFig. 2に示す。被験者は室1に入室し、実験の説明を受け、生理反応の計測機器を取り付けた後、主観評価(R1-start)を行う。しばらく安静時間を取った後、事務作業を模擬するためのd2テスト²⁾を15分間続けて行う。テスト終了後、2回目の主観評価(R1-end)を行い、隣に位置する室2に移動する。室2に入室し、椅子に着席した状態で3回目の主観評価(R2-start)を行った後、好みの雑誌を読みながら休憩時間を過ごす。最後に4回目の主観評価(R2-end)を行い、計測機器を取り外し、実験終了となる。

実験条件をTable 1に示す。作業空間の室1は全ての実験条件で同じの室内環境とし、休憩空間である室2のにおい・照明環境を実験ごとに変化させることで、休憩空間の環境が心理・生理反応に与える影響を調べた。におい環境については、無臭条件に加え、ヒノキ・い草・アロマ条件で実験を行った。照明環境は、被験者が座って雑誌を読む面(FL+600 mm)の照度を100 lx、500 lx、2500 lxに設定する。ヒノキ条件では、ヒノキチップ

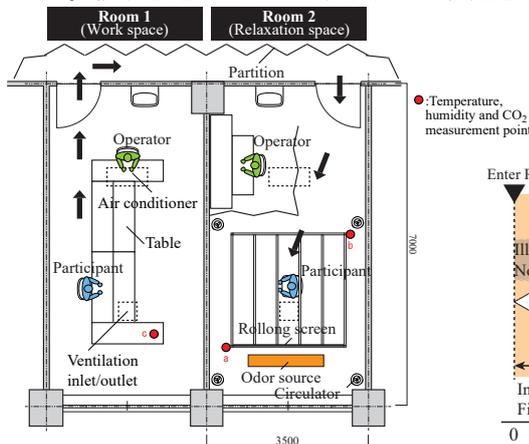


Fig. 1 Experimental room plan

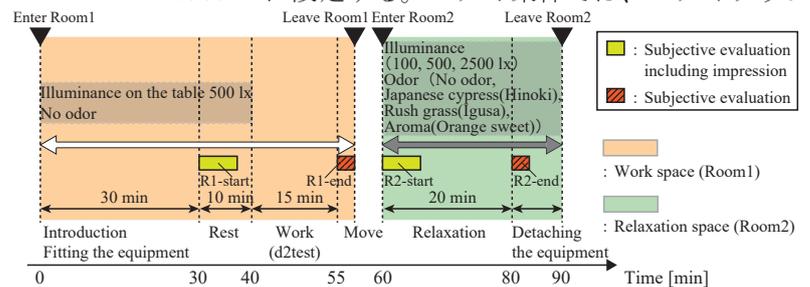


Fig. 2 Experimental schedule

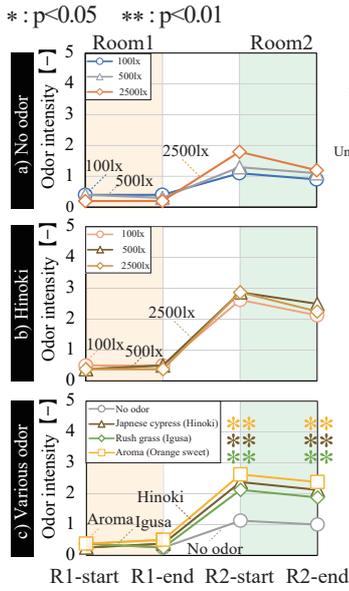


Fig. 3 Odor intensity

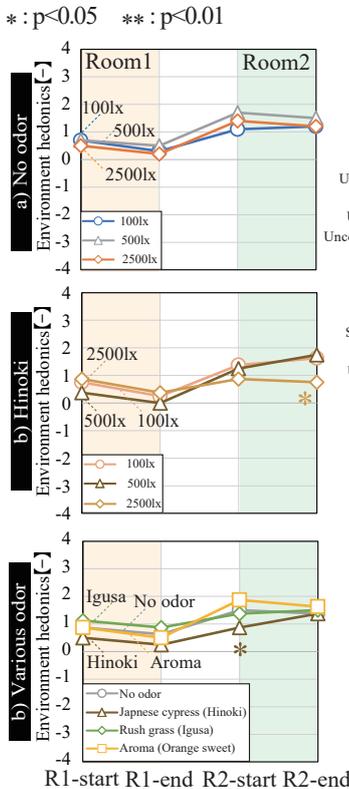


Fig. 4 Odor environment hedonics

Table 1 Experimental condition

Odor	No odor			Japanese Cypress (Hinoki)			Rush grass (Igusa)		Aroma (Orange Sweet)	
Illuminance [lx]	100	500	2500	100	500	2500	500		500	
Participants	11	10	11	9	10	9	8		8	

2600 g をプラスチックボードの上に 60 cm×130 cm の大きさに広げ、サーキュレータにより室内の空気を攪拌させた。い草条件ではい草チップ 1500 g を同様に広げてにおいを発生させた。アロマ条件ではオレンジスイートの精油を精油用ディフューザー (生活の木社製) により発生させた。被験者の側面にはロールスクリーンを設置し、におい発生源が見えないようにした。照度を変

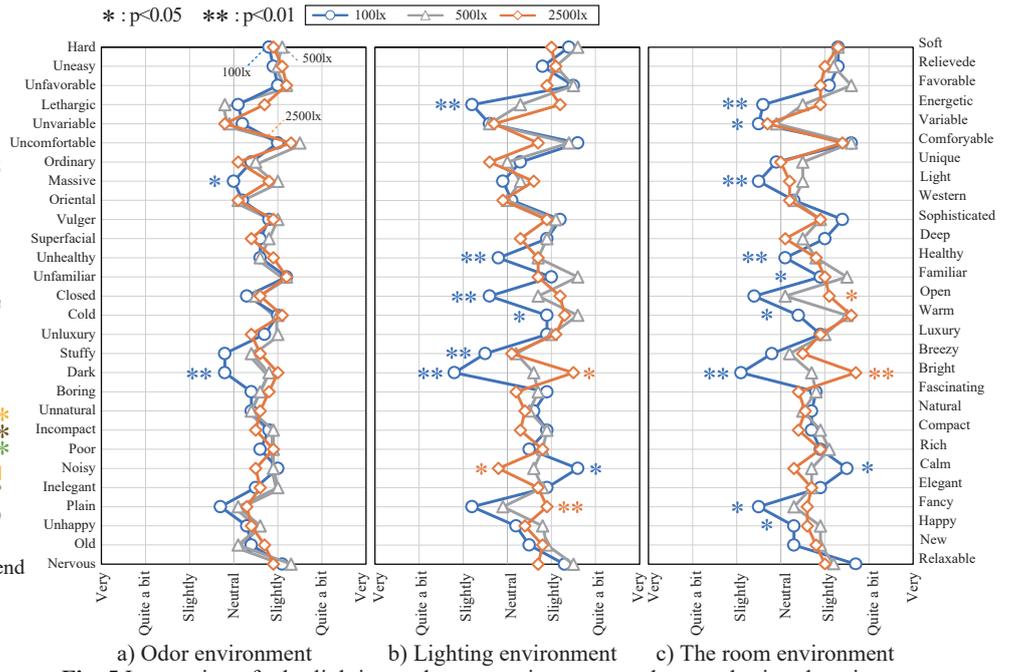


Fig. 5 Impression of odor, lighting, and room environment under no odor in relaxation space

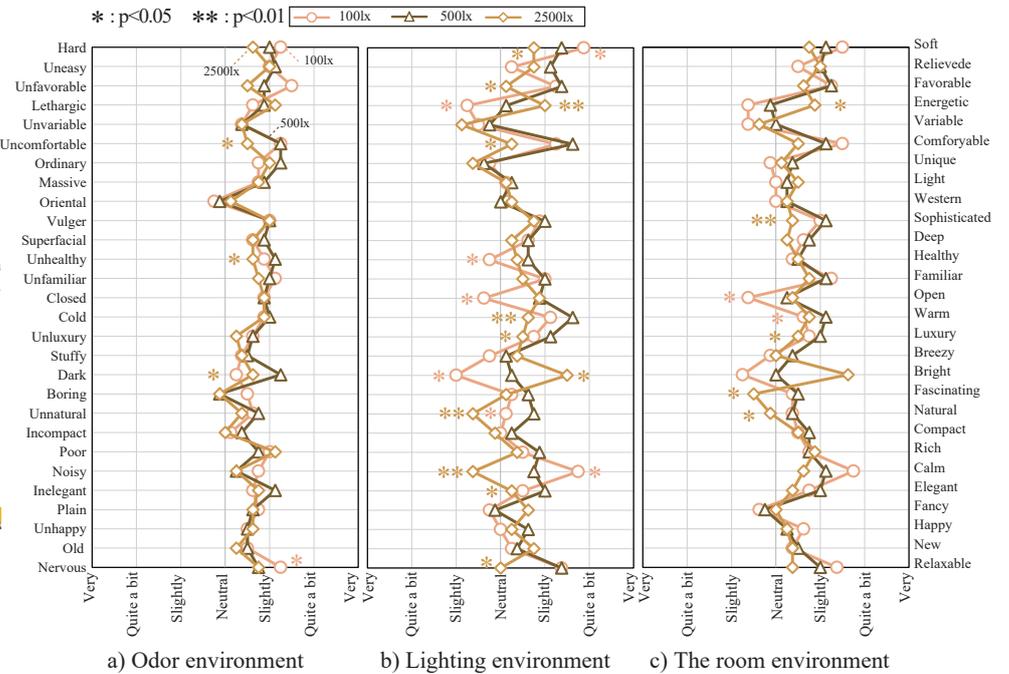


Fig. 6 Impression of odor, lighting, and room environment under hinoki in relaxation space

化させるために、室2には1辺2.4 m のアルミフレームを設置し、上部に調光・調色が可能なLED電球を取り付けた。全ての照度条件で相関色温度は約3500 Kとした。また、室1の作業を行う机上面の照度は全条件で約500 lxである。なお、日光の影響を受けないように、窓には遮光フィルムを貼り付け、室1と室2の移動経路にはパーティションを設置した。各室の換気量は約50 m³/hであり、空調機により室内温度の調整を21℃～24℃で行った。実験室内の温湿度及びCO₂濃度の測定を行い、全条件間で差がないことを確認した。

2. 心理量測定項目

本実験では、臭気強度、においの快不快度、におい環境・

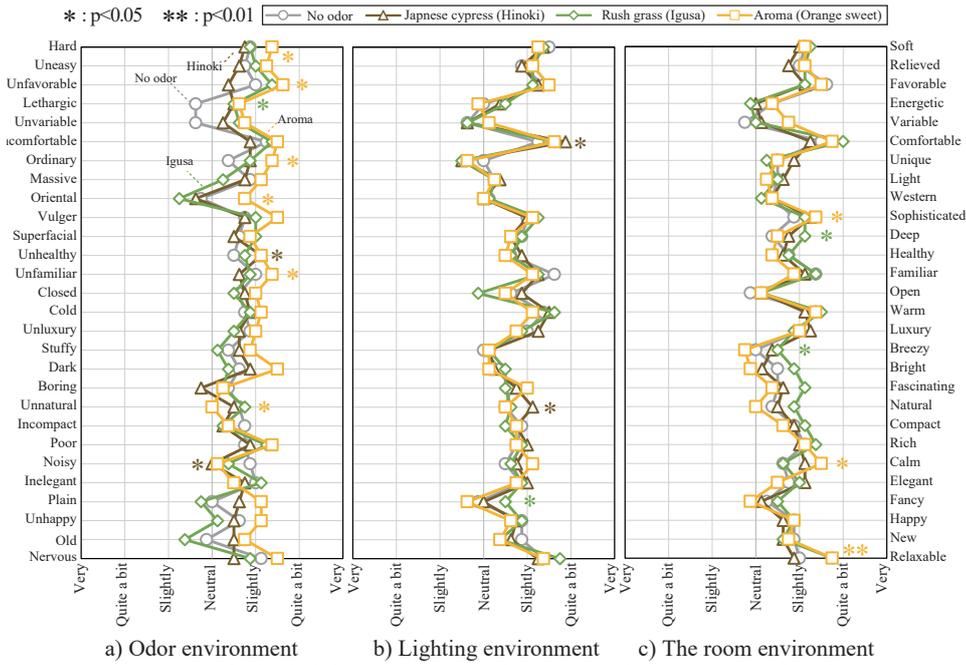


Fig. 7 Impression of odor, lighting, and room environment under various odor in relaxation space

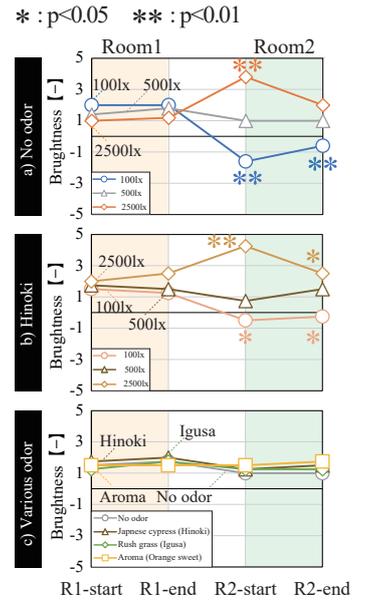


Fig. 8 Brightness

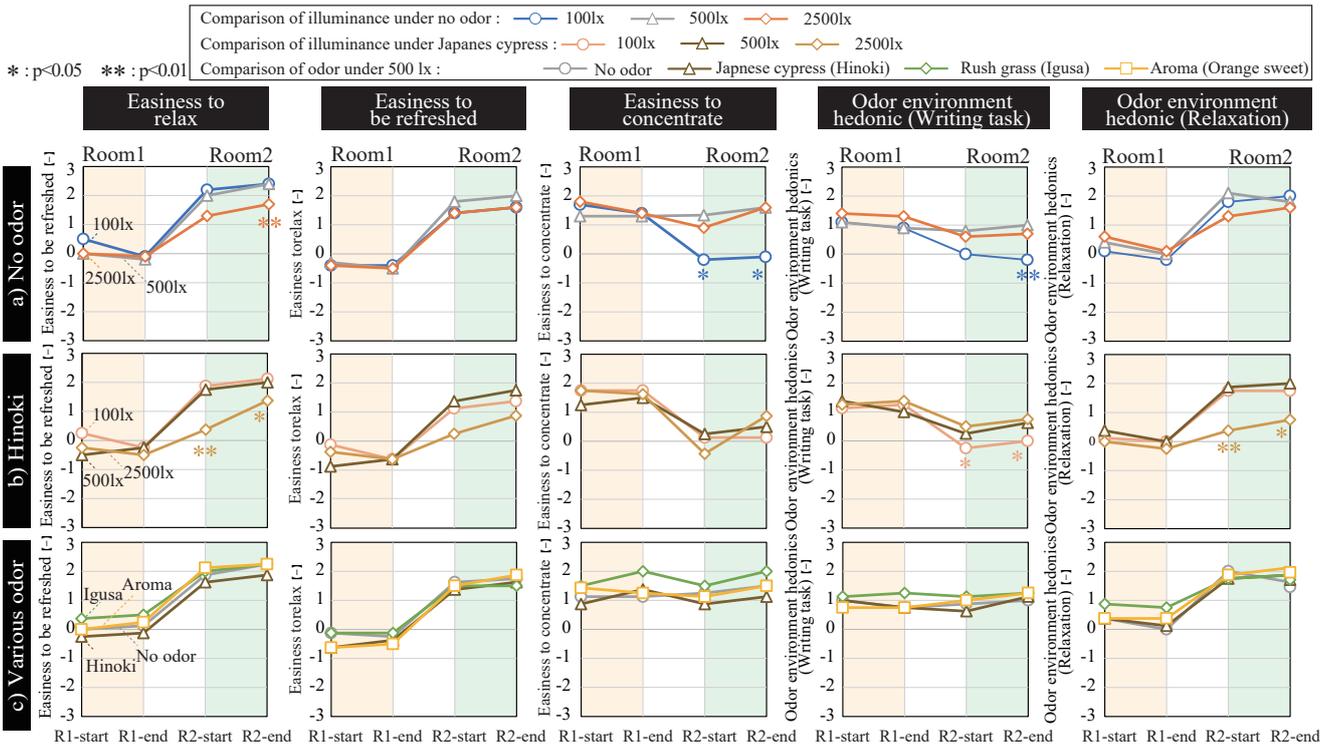


Fig. 9 Variation of subjective evaluation

照明環境・室内環境全体における印象評価、照明環境の明るさ感の評価を行った。また、室内環境のリラックスしやすさ、リフレッシュしやすさ、集中しやすさ、快不快度と TDMS(二次元気分尺度)についても測定した。

3. 実験結果と考察

考察にあたっては、全条件に共通して参加した被験者の平均値を用いた。照度が異なる条件では 500 lx の条件と他の条件間に t 検定を行い、においが異なる条件では無臭条件と他の条件間で t 検定を行った。また、全条件で、R1-start と R1-end の評価はいずれの条件でも

環境条件は同じであることから比較対象とはせず、R2-start と R2-end の評価の条件間比較を行った。

3.1 臭気強度・におい環境の快不快度

臭気強度の時間変化を Fig. 3、快不快度を Fig. 4 に示す。無臭、ヒノキ条件で、照度による臭気強度への影響は見られなかった (Fig. 3a,b)。照度 500 lx における各におい条件で無臭条件と有意差が見られ、被験者がにおいを十分感知していたことが確認された (Fig. 3c)。快不快度では、ヒノキの 2500 lx 条件で 500 lx 条件と有意差が見られ、高照度でにおい環

* : p<0.05 ** : p<0.01

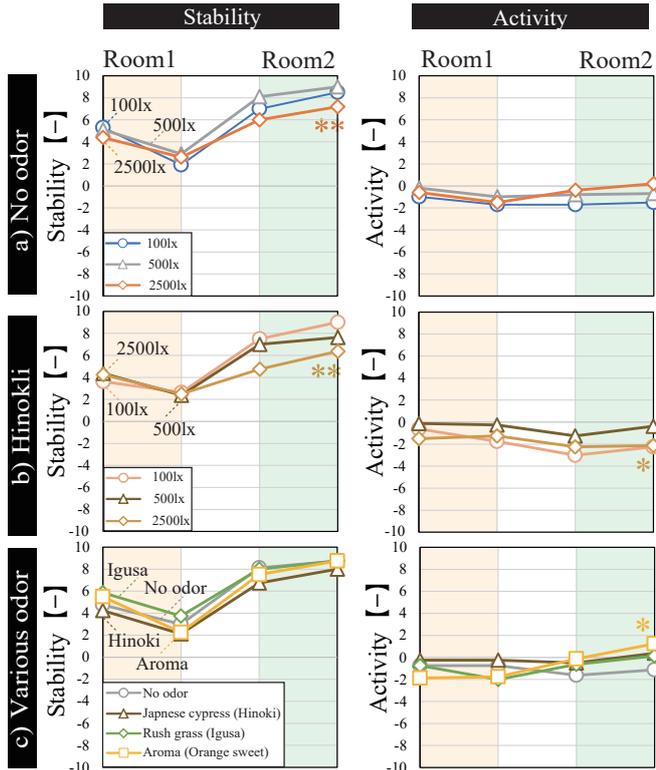


Fig. 10 Stability and Activity

境を不快に感じる可能性が示された。また、アロマ条件が最も快適側に評価されていたが、有意差は見られなかった。

3.2 印象評価

におい環境と照明環境、室内環境全体の印象評価 (R2-start) の結果を Fig. 5、Fig. 6、Fig. 7 に示す。異なる照度におけるにおいの印象評価について、照度が低いと無臭条件ではにおい環境の印象を暗く評価する傾向が見られた (Fig. 5a)。ヒノキ条件でも (Fig. 6a)、100 lx の条件でにおい環境を不健康で雰囲気暗いと評価していることから、照明環境がにおいの印象評価に影響がある可能性が示唆された。照明環境の印象評価では、照度の影響により多くの項目で有意差が見られた。「堅い-柔らかい」、「不自然な-自然な」など、ヒノキ条件では有意差が見られたが、無臭条件では差が見られなかった項目があり (Fig. 5b), Fig. 6b)、におい環境が照明環境の印象に影響を及ぼしている可能性も見られた。室内環境全体の印象評価では、照度の影響により差が出ている項目が多数あり、加えて、照明環境と室内環境全体の印象評価の結果が同様の項目について多くの有意差が見られることから (Fig. 5c), Fig. 6b)、室内環境の評価に照明環境が大きく影響していることが示された。500 lx におけるにおい条件の印象評価では (Fig. 7)、アロマ条件で多く項目でポジティブ側に評価されており、アロマが心理的に良い影響を与えることが示唆された。室内環境全体の印象評価では、アロマ条件で室内環境をより上品

でくつろげると評価しており、い草条件ではより深みのある、さわやかな印象であると評価していた。その他の印象評価でも有意差が見られたが大きな差は見られず、照明環境に比べ、におい環境が室内環境全体の印象評価に及ぼす影響は相対的には小さいと考えられる。

3.3 照明環境の明るさ感

Fig. 8 に照明環境の明るさ感の主観評価を示す。照度が高いと明るさ感も高くなる傾向が見られた。におい条件間に有意差は見られず (Fig. 8c)、においが照明の明るさ感に与える影響は殆どないことが示された。

3.4 リラックス・リフレッシュ・集中しやすさ・快不快度

Fig. 9 にリラックスしやすさ、リフレッシュしやすさ、集中しやすさ、快不快度 (筆記作業)、快不快度 (休憩) の結果を示す。リラックスしやすさでは無臭条件、ヒノキ条件では 2500 lx 時に評価が低く、有意差も見られたため、照度が高いとリラックスしにくいことが示された。リフレッシュしやすさでは条件間に有意差は見られなかった。集中しやすさでは無臭条件では、100 lx 時に評価が低く、低照度では集中しにくい可能性が示されたが、ヒノキ条件時では照度による影響はほとんど見られなかった。筆記作業を想定した快不快度では、100 lx 条件の評価が低く、休憩空間を想定した場合は 2500 lx 条件の評価が低い結果となった。全ての項目で、におい環境による影響はあまり見られなかった。

3.5 安定度・活性度

Fig. 10 に TDMS 気分尺度の安定度と活性度の結果を示す。全ての条件で、室 2 に移動後、安定度が上昇しており、2500 lx の条件では安定度が有意に低い結果となった。先行研究では、休憩時活性度が低くなる傾向が確認されたが、本実験では休憩時における活性度の低下は見られなかった。休憩時に雑誌を読んだことが影響していると考えられる。

おわりに

本報では、作業空間と休憩空間を模擬した空間で被験者実験を実施し、におい・照明の複合環境が心理量に与える影響を報告した。室内環境の印象には照明が大きな影響を与えていることや、アロマが室内環境に良い印象を与えることが示された。今後は、複合環境の影響を調べるために、さらに分析を重ねていく必要がある。なお、本研究は大阪大学工学研究科倫理委員会の承認を得て、実施した。

【参考文献】

- 1) 関紅美花：オフィス共用空間における身体活動促進及び休憩が知的生産性に与える影響 (第2報) 心理量・人体生理・知的生産性に及ぼす影響, 空調調和・衛生工学会大会 学術講演論文集, pp.373-376, 2019.8
- 2) Brinckenkamp, R., Zillmer, E.: d2 Test of Attention, Hogrefe & Huber Publishers, 1998

休憩空間におけるにおい・照明環境が在室者の心理・生理反応に及ぼす影響
(その2) 皮膚温度・心拍数・脳波の分析

Influence of Odor and Lighting Environment in Relaxation Space on Psychological and Physiological Response of Occupants

(Part2) Analysis of Skin Temperature, Heart Rate and Electroencephalogram

○近藤 弘基 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学)
竹村 明久 (摂南大学) 小林 知広 (大阪大学) 藤江 智暉 (大阪大学)
池田 馨 (パナソニック株式会社) 伊藤 雅人 (パナソニック株式会社)
丸山 博 (パナソニック株式会社)

Koki KONDO*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Narae CHOI*¹
Akihisa TAKEMURA*² Tomohiro KOBAYASHI*¹ Tomoki FUJIE*¹
Kaoru IKEDA*³ Masato ITO*³ Hiroshi MARUYAMA*³
^{*1} Osaka University ^{*2} Setsunan University ^{*3} Panasonic Corporation

WELLNESS design for offering comfortable and healthy space has begun to receive great attention in office design. Because a relaxation space is also an important space for improving productivity, many studies have focused on the indoor environment of the relaxation space. However, most studies have investigated a single environmental variable and there is insufficient information on the psychological and physiological influence of the combined indoor environment. This study focused on the combined indoor environment of the relaxation space and the psychological and physiological responses under different odor and lighting environments were examined. This paper reports the measured results of physiological responses.

はじめに

近年、オフィスの設計では、居住者にとって快適で健康な空間を目指し、WELLNESSに配慮した設計が注目されている。空気・熱・光などの環境要因を制御し、快適かつ健康で、知的生産性の向上が期待される執務空間が設計されており、それに伴い、休憩空間の多様化も進みつつある。様々な環境要因が複合した環境が、オフィスの執務者に及ぼす影響に関する研究は、以前から多く行われているが、複合環境を有した休憩空間が居住者の心理・生理反応に及ぼす影響に関する研究はまだ少なく、特に生理反応については、十分な知見がない。

そこで本研究では、においと照明の複合環境に着目し、休憩時におけるにおい・照度条件を変化させ、その複合環境が心理・生理反応に及ぼす影響を解明することを目的としている。前報¹⁾では、本研究にて行った被験者実験の概要と心理反応の結果について報告した。本報では生理反応の結果について報告する。

1. 実験概要

実験概要については前報¹⁾で述べたとおりである。本実験の結果のデータを平均する際に、条件毎の被験者が同じとなるように調整した。調整後の実験条件と被験者

Comparison of illuminance				Comparison of odor			
	100lx	500lx	2500lx		100lx	500lx	2500lx
No odor	10	10	10	No odor	8	8	8
Japanese cypress(hinoki)	8	8	8	Japanese cypress(hinoki)	8	8	8
Rush grass(igusa)	8	8	8	Rush grass(igusa)	8	8	8
Aroma(Orange sweet)	8	8	8	Aroma(Orange sweet)	8	8	8

Table 1 Experimental conditions and the number of participants

数との関係を Table 1 に示す。また、実験のタイムスケジュールを Fig. 1 に示す。

2. 生理反応測定概要

生理反応を定量化する目的で、鼻先と額の皮膚温、心電、呼吸 ((株) クレアクト, バイオシグナルプラス・プロを使用) 及び脳波 ((株) ミユキ技研, ポリメイトミニ AP108 およびポリメイトポケット MP208 を使用) を測定した (200Hz)。一般に、鼻皮膚温はストレス状態で低下する²⁾。また、ストレス負荷があるほうが RRI が短く心拍数が大きい³⁾。脳波は国際式 10-20 法に従い、Fp1・Fp2 (前頭極部)、O1・O2 (後頭部) を測定し (1000Hz)、FFT を施して β 波 (14 ~ 30Hz) を α 波 (8 ~ 13Hz) で割った β/α を求めた。

3. 実験結果・考察

鼻額皮膚温度差・心拍数の被験者平均を Fig. 2 に示す。結果では測定した値を 1 分毎に平均した値を示している。

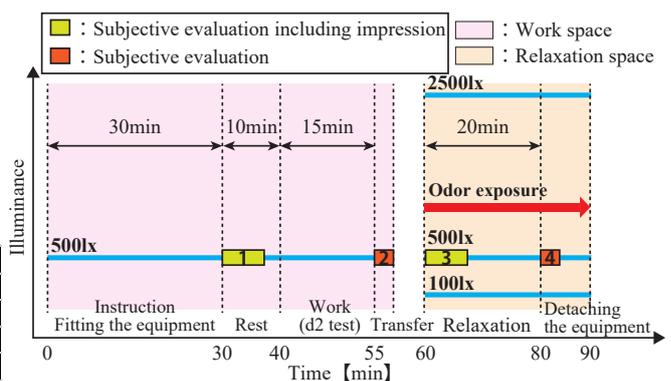


Fig. 1 Time schedule

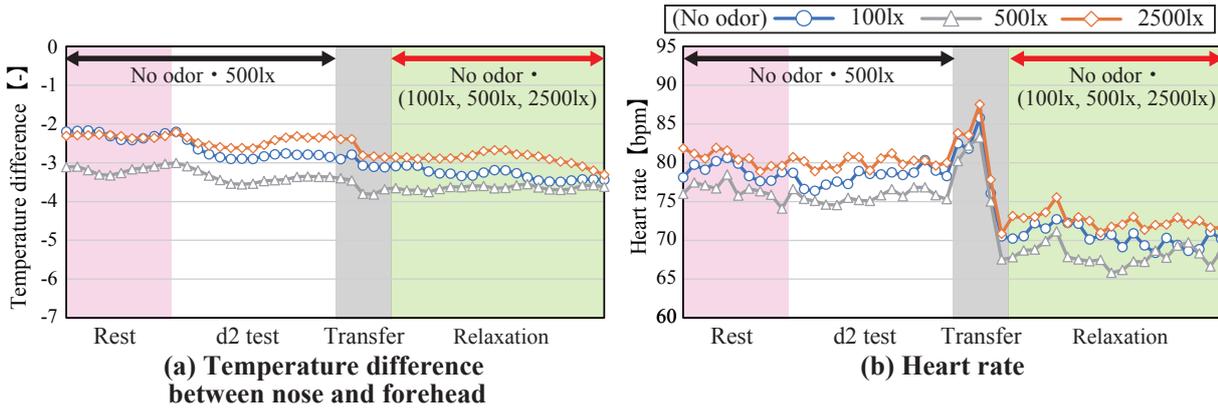


Fig. 2 Temperature difference and heart rate (Comparison of illuminance during no odor) [n=10]

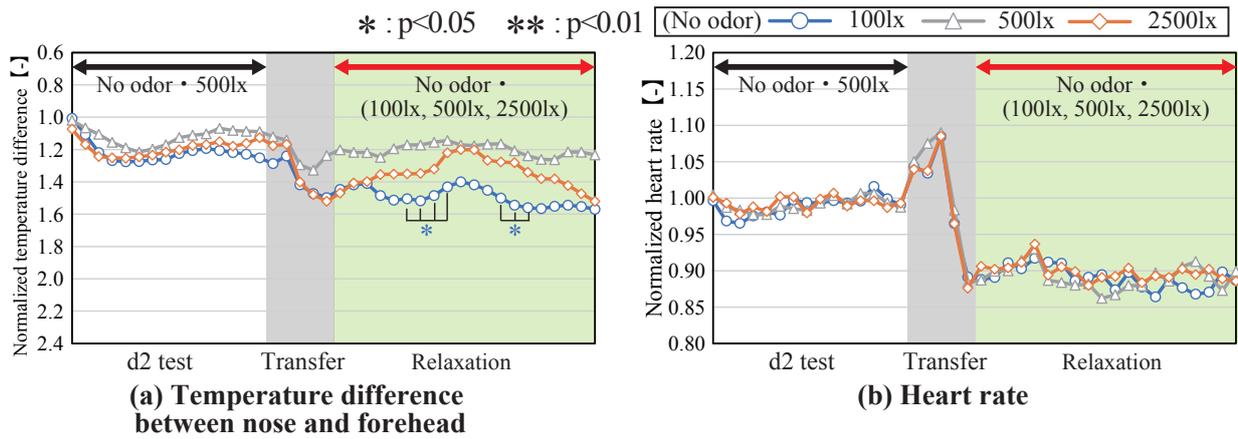


Fig. 3 Normalized temperature difference and heart rate (Comparison of illuminance during no odor) [n=10]

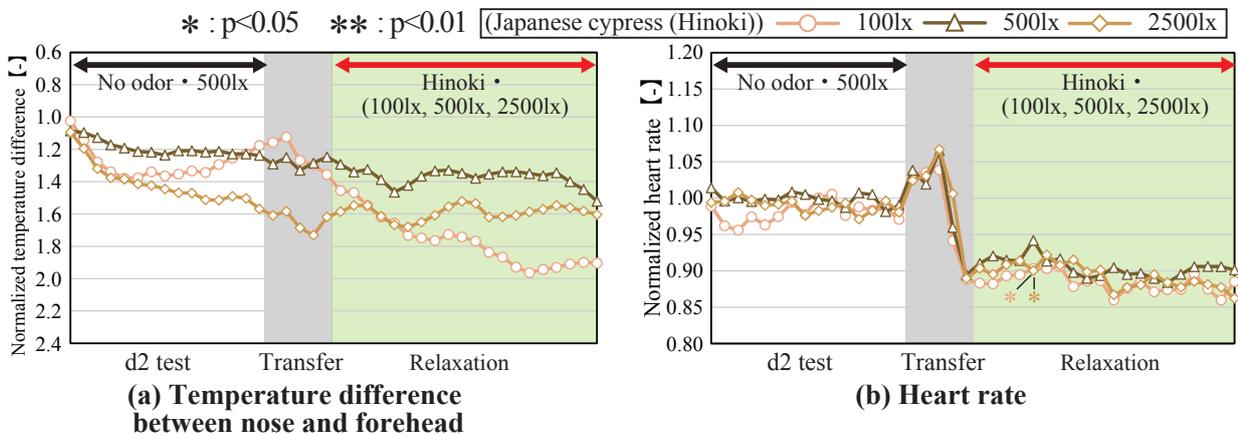


Fig. 4 Normalized temperature difference and heart rate (Comparison of illuminance during japanese cypress) [n=8]

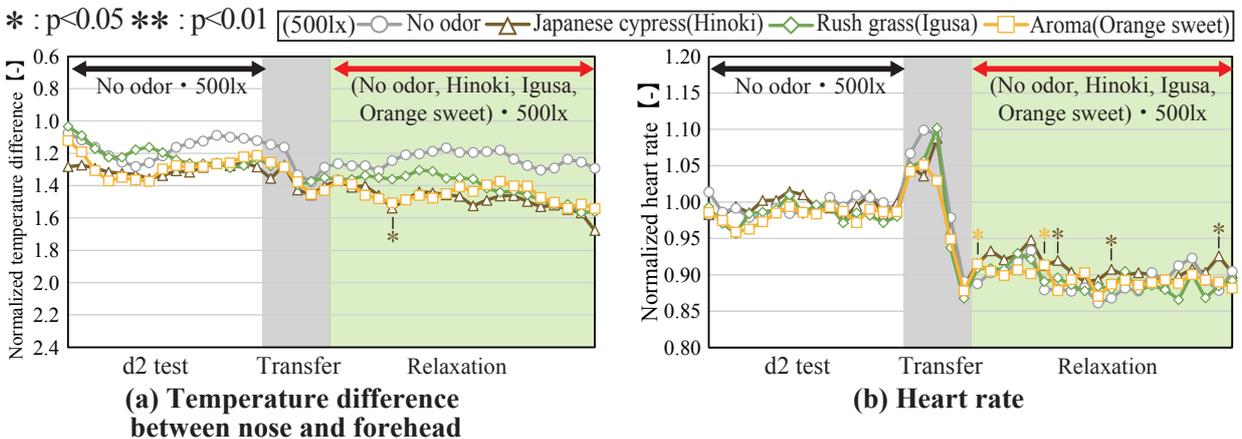


Fig. 5 Normalized temperature difference and heart rate (Comparison of odor during 500lx) [n=8]

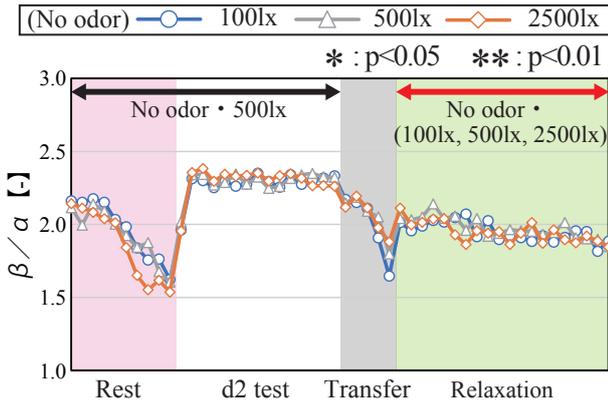


Fig. 6 β/α ratio of electroencephalogram
(Comparison of illuminance during no odor) [n=10]

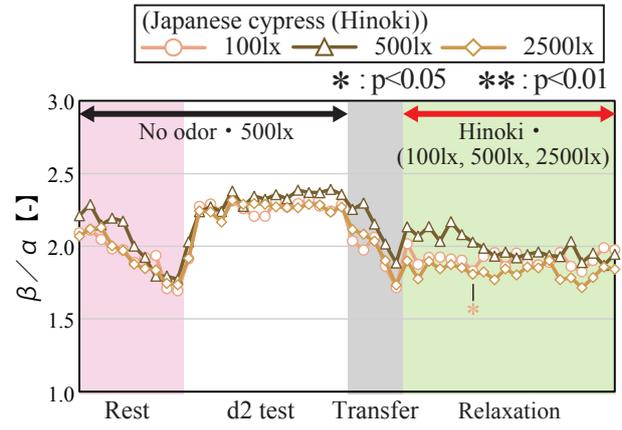


Fig. 7 β/α ratio of electroencephalogram
(Comparison of illuminance during japanese cypress) [n=8]

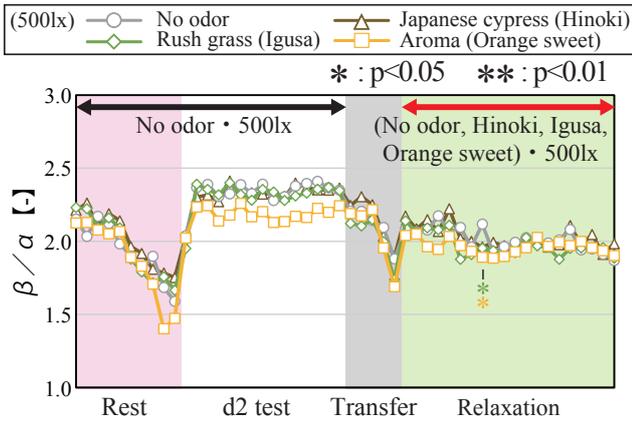


Fig. 8 β/α ratio of electroencephalogram
(Comparison of odor during 500lx) [n=8]

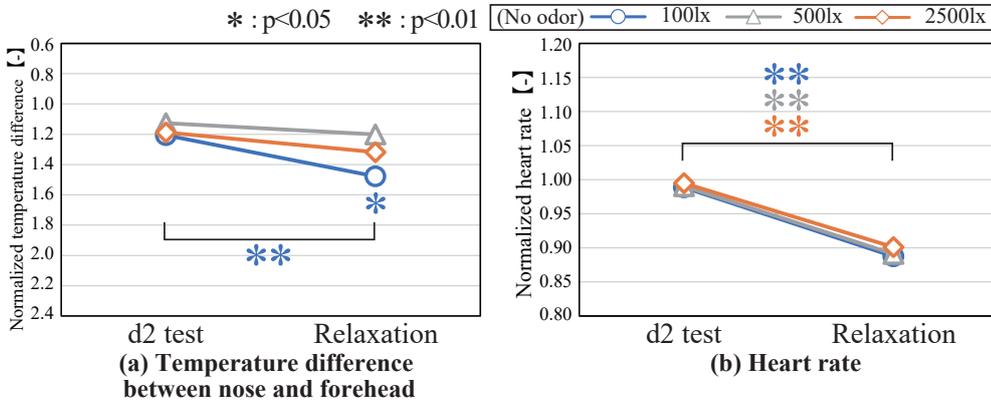


Fig. 9 Change of time averaged normalized temperature difference and heart rate
(Comparison of illuminance during no odor) [n=10]

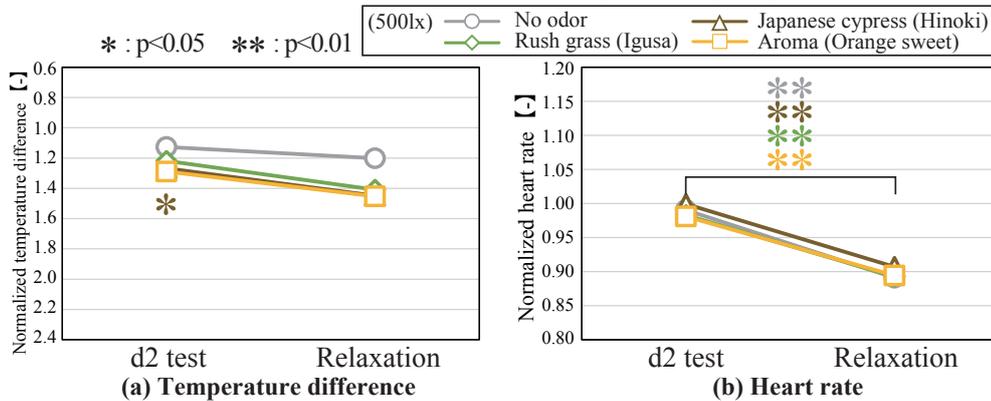


Fig. 10 Change of time averaged normalized temperature difference and heart rate
(Comparison of odor during 500lx) [n=8]

る。皮膚温度差は、d2テスト時に比べて休憩時の方が大きくなっていた。被験者はストレスを感じていた可能性がある。もしくは、既往研究では鼻皮膚温は覚醒感との関連も示唆されていたため、覚醒していたために鼻皮膚温が低下したとも考えられる。休憩時は雑誌を読んでいるため、それが覚醒につながった可能性がある。心拍数は、d2テスト時に比べて休憩時の方が小さくなっており、既往研究と同様の傾向が見られ、被験者はリラックスしていたと考えられた。また、皮膚温と心拍数は条件を変化させていない時点から値が異なっていた。そのため、各値を安静10分間を平均した値で割って基準化

した。その結果を Fig. 3、Fig. 4、Fig. 5 に示す。休憩時の「におい無し」または500lxの値とそのほかの条件の値との間で、1対の標本を対象としたt検定を行った。「におい無し」時の休憩時の基準化皮膚温度差で、100lxが他の照度よりも大きくなっている傾向が見られ、低照度の方がストレス負荷を受けている可能性が示唆された (Fig. 3)。雑誌を読む際に照度が低いことがストレスの原因になった可能性がある。また、「ヒノキ」時でも有意差は見られないものの同様の傾向が見られた (Fig. 4)。基準化心拍数は、「ヒノキ」と「アロマ」が「におい無し」よりも大きくなっている部

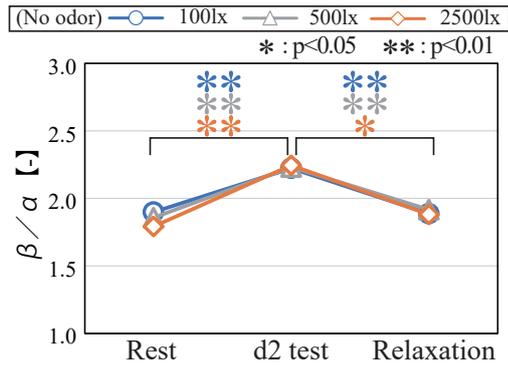


Fig. 11 Change of time averaged β/α ratio of electroencephalogram (Comparison of illuminance during no odor) [n=10]

分が見られ、統計的にも有意差があった (Fig. 5)。「ヒノキ」や「アロマ」があるほうがわずかに活性化していると考えられた。

O1・O2の脳波の β/α の平均値の被験者平均を Fig. 6、Fig. 7、Fig. 8に示す。結果では測定した値を1分毎に平均した値を示している。また、皮膚温・心拍数の時と同様にt検定を行った。 β/α のにおいや照度の条件間の値にはほぼ違いは見られず、統計的にも有意差はほとんどなかった。休憩時の脳波に与えるにおいや照度の影響は小さいと考えられた。

作業時と休憩時の生理反応の違いと、休憩時の条件間の生理反応への影響の違いを見るために、安静・d2テスト・休憩の各時点での生理量を時間平均した。その結果を Fig. 9、Fig. 10、Fig. 11、Fig. 12に示す。隣り合う時点の値の間および「におい無し」または500lxの値とそのほかの条件の値との間で、1対の標本を対象としたt検定を行った。Fig. 9、Fig. 10を見ると、心拍数は全ての条件でd2テスト時と休憩時の間に有意差が見られた。しかし、皮膚温度差は、「におい無し」時の100lxはd2テスト時と休憩時の間には有意差が見られたものの、そのほかの照度やにおいでは有意差は見られなかった。また、「におい無し」時の基準化鼻額皮膚温度差に関して、休憩時に100lxが500lxよりも有意的に大きくなっており、100lx時によりストレス負荷がかかっている可能性が示唆された。さらに、休憩時のにおい条件間に有意差は見られず、休憩時のにおいが鼻額皮膚温度差や心拍数に与える影響は小さかったと考えられた。Fig. 11を見ると、脳波は、「におい無し」時に関して、 β/α は概ね安静時とd2テスト時、d2テスト時と休憩時の間には有意差が見られた。ただ、照度条件を変化させている休憩時では照度条件間に有意差は見られなかった。また、Fig. 12に関して、多くの項目で安静時とd2テスト時、d2テスト時と休憩時の間に有意差が見られた。しかし、休憩時のにおい条件間に有意差は見られず、脳波に与える影響も小さかったと考えられた。

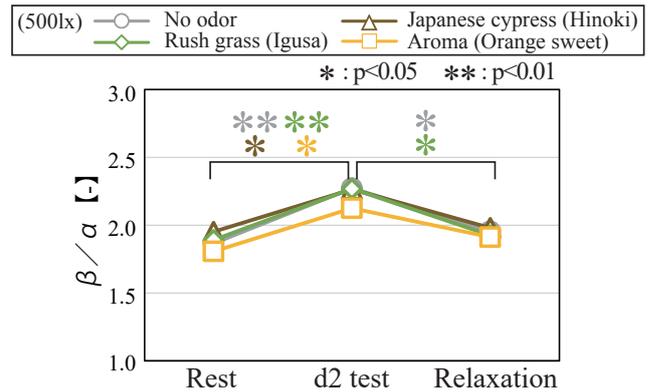


Fig. 12 Change of time averaged β/α ratio of electroencephalogram (Comparison of odor during 500lx) [n=8]

おわりに

本研究は、においと照明の複合環境に着目し、休憩時におけるにおい・照度条件を変化させ、その複合環境が心理・生理反応に及ぼす影響を解明することを目的としている。本報では、生理反応の結果について報告した。皮膚温度差は、d2テスト時に比べて休憩時の方が大きくなっており、被験者はストレスを感じていたか、覚醒していたと考えられた。休憩時は雑誌を読んでいるため、それが覚醒につながった可能性がある。また、心拍数は、d2テスト時に比べて休憩時の方が小さくなっており、被験者はリラックスしていたと考えられた。におい無し休憩時の基準化皮膚温度差で、100lxが他の照度よりも大きくなっていく傾向が見られ、低照度の方がストレス負荷を受けている可能性が示唆された。雑誌を読む際に照度が低いことがストレスの原因になった可能性がある。また、基準化心拍数は、「ヒノキ」と「アロマ」が「におい無し」よりも大きくなっていく部分が見られ、統計的にも有意差があり、「ヒノキ」や「アロマ」があるほうがわずかに活性化していると考えられた。脳波の β/α のにおいや照度の条件間の値にはほぼ違いは見られず、統計的にも有意差は概ねなかった。なお、本研究は大阪大学工学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。

【参考文献】

- 1) 藤江智暉, 山中俊夫, 崔ナレ, 竹村明久, 小林知広, 近藤弘基, 池田馨, 伊藤雅人, 丸山博: 休憩空間におけるにおい・照明環境が在室者の心理・生理反応に及ぼす影響 (その1) 実験概要および主観評価の分析, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2021.3 (掲載予定)
- 2) 吉田倫幸, 菊本誠, 松本和夫: 白色雑音に対する鼻部皮膚温と主観的状態の対応, 生理心理学と精神生理学, 13(1), pp. 29-38, 1995
- 3) 松本佳昭, 森信彰, 三田尻涼, 江鐘偉: 心揺らぎによる精神的ストレス評価法に関する研究, ライフサポート学会, 22, pp. 105-111, 2013

香り環境下における学習効率に関する研究
(その6) 間欠的香り噴霧時における主観評価に関する検討
Learning Performance in Odor Environment with Aroma Oils
(Part6) Study of Subjective Evaluation of Odor under Intermittent Spraying

○平野 雅人 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学)

竹村 明久 (摂南大学) 小林 知広 (大阪大学)

Masato HIRANO^{*1} Toshio YAMANAKA^{*1} Narae CHOI^{*1}

Akihisa TAKEMURA^{*2} Tomohiro KOBAYASHI^{*1}

^{*1}Osaka University ^{*2}Setsunan University

It is known that odor has a psychological effect, and it is often used to change one's mood, such as aromatherapy. Many studies have also reported that odor affects cognitive functions, indicating that the odor environment could improve learning performance in the learning space. In our previous research, it was revealed that the aroma of lemon might have a positive impact on learning performance and subjective evaluation. However, odor adaptation was observed because the participants were exposed to the odor continuously. In this study, the odor intensity and preference under intermittent aroma spraying with different intervals and concentrations were examined.

1. はじめに

近年ウェルネス建築への関心が高まり、室内環境の快適性や知的生産性の向上が注目されており、その一つの方法として、オフィスの執務室や休憩室に香りを取り入れる事例がある。一方で、学習空間に香りを取り入れた実用例はほとんどなく、学習時の香り環境が学生に及ぼす影響については未解明である。

本研究では、学習空間における香り環境の有効性の検証と、最適な噴霧方法の提案を目的とし、パネル実験により検討を行う。本報では、香りの噴霧間隔と濃度変化が与える影響に着目し、間欠噴霧時の香りへの順応特性と主観評価を調べた結果を報告する。

2. 実験概要

本実験は2020年12月～2021年1月にかけて、本学学内の実験室にて実施した。パネルは全員非喫煙者で、嗅覚テストに合格した18歳～28歳の本学学生21名(男性12名、女性9名)を採用した。また、パネルには時間に応じて適切な報酬を支払った。

実験は実験室内に設置した、PET製フィルムで覆われたステンレス製のチャンバー(7.65m³)で行った。実験チャンバーの平面図及び断面図をFig.1に示す。室内の換気は、実験室内の空気をポンプで活性炭に通し、無臭の空気を約90m³/hで給気した。サーキュレーターを2台設置し、室内に香りを攪拌させた。室内の温熱環境による影響がないことを確認するために、室中央部にアメニティメーター(京都電子工業株式会社製、AM-101)を設置し、PMVを測定した。

2.1 実験条件

使用した香りについては、既往研究²⁾において嗜好度の高かったオレンジスイートの精油を採用した。香りの噴霧には、1秒単位でディフューザーの噴霧時間を調整することのできる、業務用アロマディフューザー(アットアロマ社製、all-in-one-type)を用いた。

実験のタイムスケジュールをFig.2に示す。インストラクションの音声をヘッドホンから流し、実験を進めた。1回90分間の実験で、1人あたり2回行った。香りに対する主観評価を1条件につき32分間行い、1回あたりに2条件実施した。噴霧条件の順番をパネルごとに変えることで条件間の順序効果を考慮した。

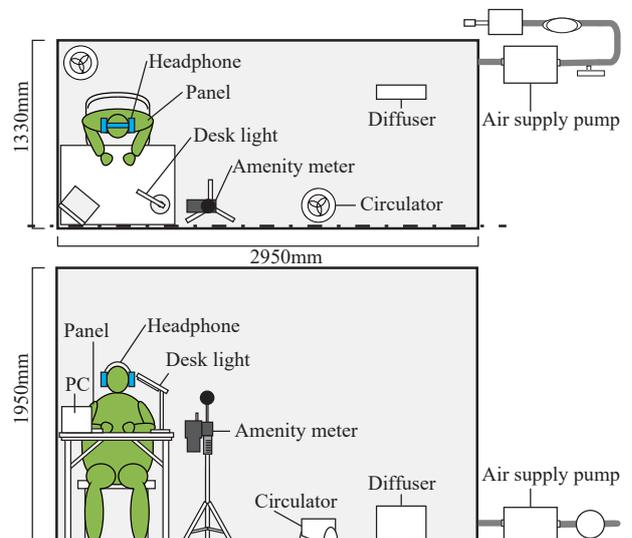


Fig.1 Plan of Experimental Chamber

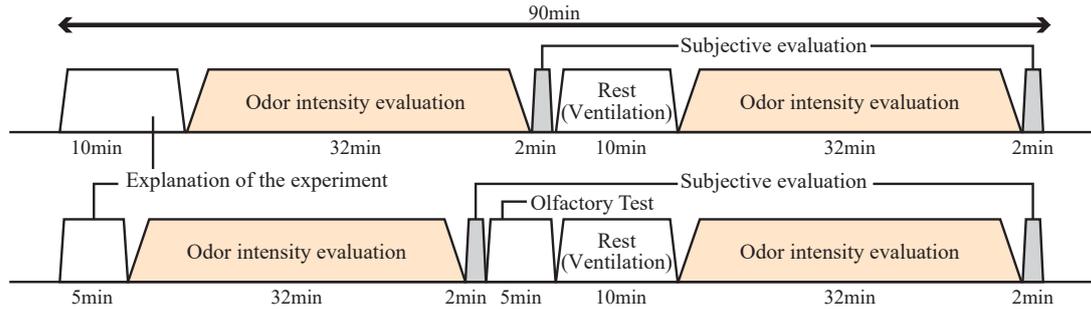


Fig.2 Time Schedule of Experiments

Table 1 Experimental Conditions

	Spray Rate[mg/sec]	Spray Interval[sec]	Time of Spraying[sec]	Average Concentration of indoor air[mg/m ³]	Peak Concentration of indoor air[mg/m ³]
Basic Conditions (5min,5sec)	0.932	300	5	0.622	0.968
Conditions(1) (10min,7sec)	0.932	600	7	0.434	0.978
Conditions(2) (10min,10sec)	0.932	600	10	0.624	1.366
Conditions(3) (53sec,3sec)	0.415	53	3	0.923	1.002

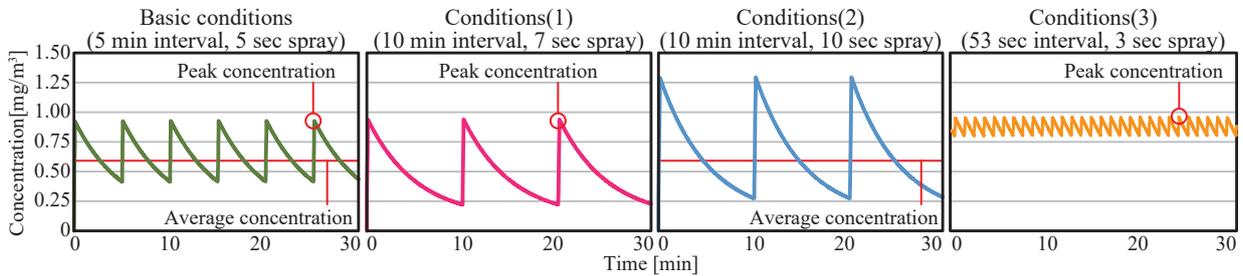


Fig.3 Changes in Odor Concentration of Indoor Air in the Experimental chamber

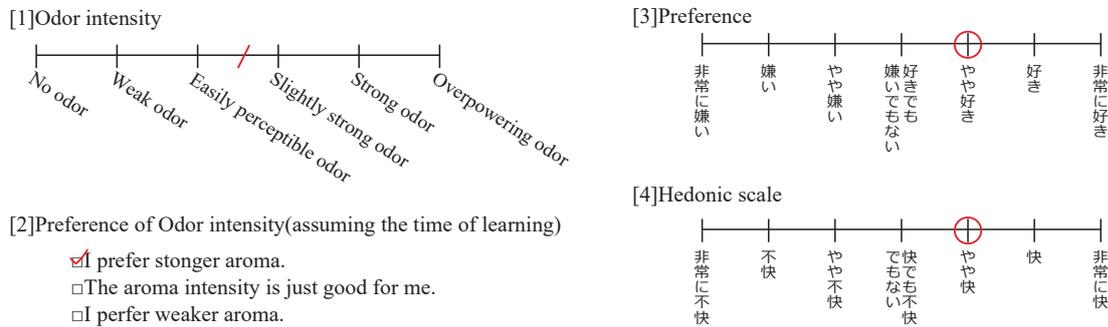


Fig.4 Subjective Evaluation Scale

2.2 噴霧条件

香りの噴霧条件を Table 1 に示す。ここで、間欠噴霧の香りの噴霧間隔については、5 秒間の香り噴霧に対し、換気量を 90m³/h としたとき、嗅覚閾値まで香りが減衰する時間を予備実験より検討し、5 分の噴霧間隔を基本条件とした。

また、5 分間の基本条件とピークの臭気濃度が等しい 10 分間隔 7 秒間の香り噴霧を比較条件 (1)、平均濃度 (総噴霧量) が等しい 10 分間隔 10 秒間の香り噴霧を比較条件 (2) とした。連続的な曝露を模擬した条件と比較するために、ピークの臭気濃度を基本条件に合わせた 53 秒周期 3 秒間の香り噴霧を比較条件 (3) とした。噴霧間隔を短くし濃度変化を小さくするために運転モードを変えて噴霧量を減らした。噴霧された香りが瞬時一様拡散されることを仮定し、式 1 により香りの濃度変化について検討したものを Fig.3 に示す。

$$Cr = Cro \times e^{-nt} + \frac{M}{nV} (1 - e^{-nt}) \quad \dots(1)$$

Cr: 臭気濃度 Cro: t=0 の臭気濃度
 n: 換気回数 M: 噴霧量 [mg/sec]

2.3 主観評価項目

主観評価項目を Fig.4 に示す。臭気強度の変化を調べるために、30 秒に 1 回の頻度で臭気強度の評価を 32 分間行った。時間の経過による香りの感じ方の変化も調査するために、上記に加えて嗜好度や快・不快度の評価をさせた。ここで、香りの強さに対する嗜好度 (評価項目 [2]) を「欲求度」と定義する。

また、上記の 32 分間の主観評価終了直後に、実際の学習行為を想定した場合の「香り環境」に対する受容度を調査するために、①教室で講義を受けると想定したとき、②自習室で自習をすると想定したとき、③自宅で勉強をすると想定したときについて評価させた。

3 結果・考察

3.1 香り環境に対する受容度の結果

学習時を想定した香り環境に対する受容度の結果を Fig.5 に示す。平均値を比較すると、全ての項目で比較条件 (2) の受容度が最も高い結果となった。また最低値についても比較条件 (2) がどの条件よりも高いことから、多くのパネルにとって比較条件 (2) が学習時に最も受け入れられやすい噴霧条件だと考えられる。

3.2 基本条件における臭気強度、欲求度の結果

全パネルにおける基本条件の臭気強度及び欲求度の結果を Fig.6 に示す。左側縦軸が臭気強度、右側縦軸が欲求度を表す。全体的に時間の経過とともに臭気強度が下がる傾向はあまり見られず、香りが間欠的に噴霧されていたことにより、嗅覚順応が軽減していたと考えられる。

パネル 7、10、13、14、15 に着目すると、香りの濃度変化に対応した臭気強度の変化をしており、臭気強度が上昇するときに欲求度が低下する傾向がみられた。パネル 3、8、12 に着目すると、香りが減衰したときも香りを感じ、欲求度にはほとんど変化が見られなかったため、間欠噴霧の濃度変化の影響を

受けにくい傾向があると示唆される。

一方で、パネル 1、5 に着目すると、香りの濃度変化の影響を受けず、臭気強度が大きく変動し、欲求度については臭気強度の影響を受ける傾向がみられた。

斉藤ら³⁾は連続曝露における臭気強度の経時変化に対して 5 種類に分類した結果を報告したが、間欠的な曝露における知見は不十分である。そこで本実験では、前述した臭気強度結果の特徴より、パネル 15 のように香りの濃度変化に敏感な「敏感型」とパネル 8 のように臭気強度の変動が小さい「不変型」、パネル 5 のように香りの濃度変化の影響を受けず臭気強度の変動が大きい「変動型」の 3 種類に分類し、検討を行う。

3.3 分類ごとの主観評価結果の比較

上記で分類した 3 つのパターンの一例として、パネル 5、8、15 の 3 名の臭気強度と欲求度の結果を Fig.7 に、臭気強度と快・不快度の結果を Fig.8 に示す。横軸が経過時間、左側縦軸が臭気強度であり、右側縦軸がそれぞれ欲求度と快・不快度を表す。

比較条件 (3) では緩やかに臭気強度が低下していることからわずかに順応を確認できた。全体的に快・不快度は高く、香りの噴霧を知覚して臭気強度が急上昇したときに欲求度と同様に低下する傾向が見られた。

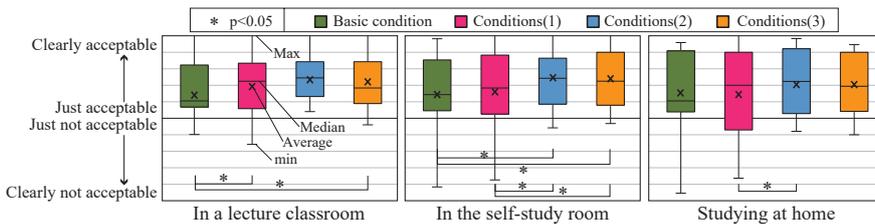


Fig.5 Acceptability of Odor Environment

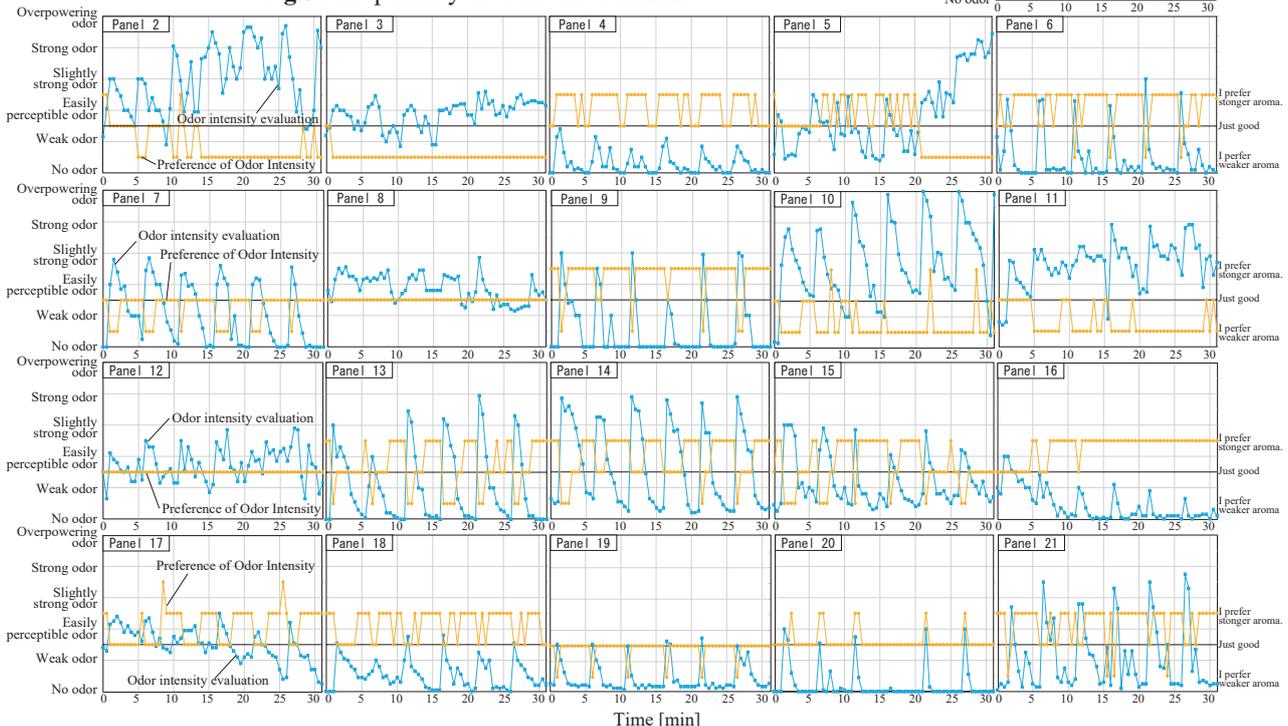


Fig.6 Odor Intensity and Preference of Odor Intensity of Basic Condition

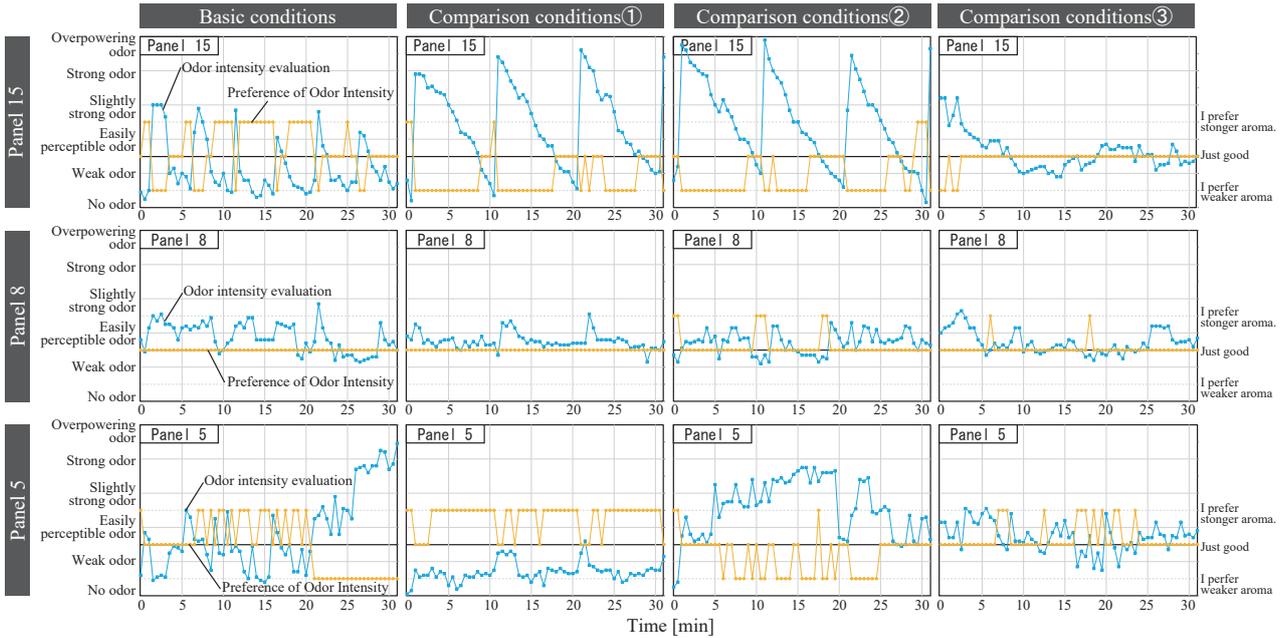


Fig.7 Odor Intensity and Preference of Odor Intensity of all Conditions

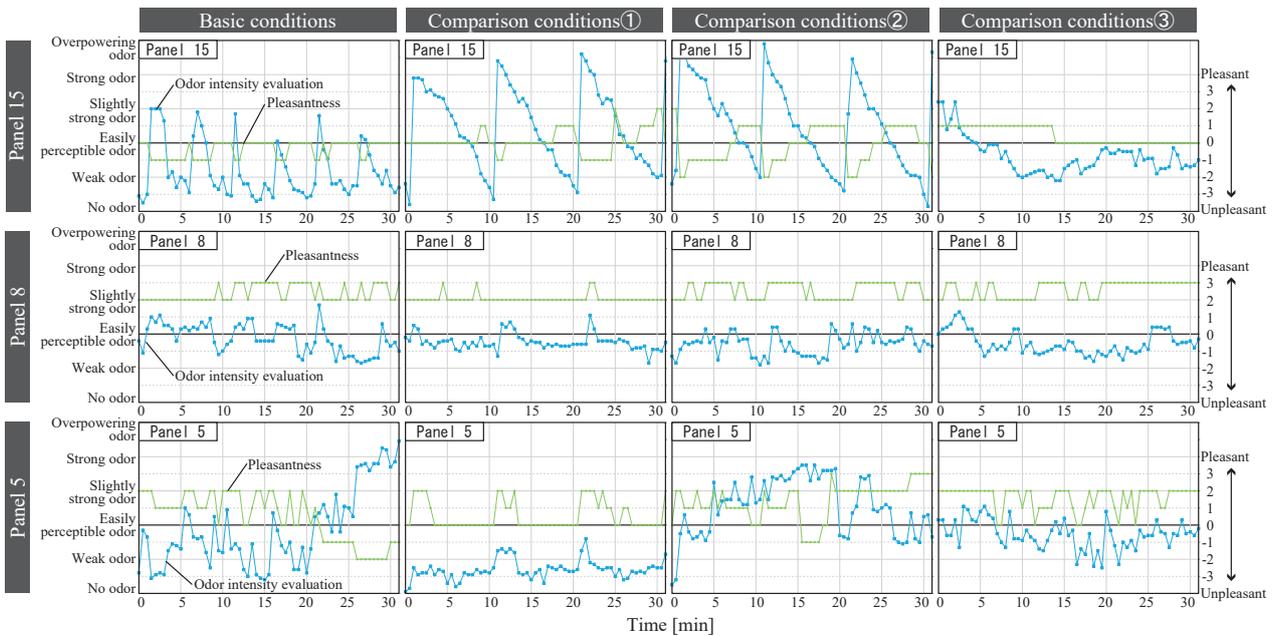


Fig.8 Odor Intensity and Pleasantness of all Conditions

4. おわりに

本報では、香りを間欠的に噴霧した環境下における主観評価の変化について、パネル実験により検討を行った。臭気強度結果から、「敏感型」、「不変型」、「変動型」の3つのパターンに分類して考察した。欲求度や快・不快度については、全体的に臭気強度が急上昇した際に低下する傾向がみられた。また、学習時を想定した受容度の結果では、10分周期10秒噴霧の比較条件(2)で最も評価が高く、多くの学生にとって受け入れられやすい香り環境を形成できている可能性が考えられる。今後は、実際に学習行為をさせ、間欠噴霧時の香り環境が知的生産性や学習時の心理評価に与える影響について検討を行う所存である。

なお、本研究は大阪大学工学研究科倫理委員会の承認を得ている。

【謝辞】

本研究は、ダイキン工業(株)との共同研究であり、関係各位に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 平野、山中、崔、竹村、小林、衛藤：香り環境下における学習効率に関する研究(その4)香りの種類が学習効率に及ぼす影響、令和元年度空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、2020.3
- 2) 崔、衛藤、山中、竹村、小林：気中噴霧アロマ精油による香りが学習効率と印象評価に及ぼす影響、室内環境学会学術大会講演要旨集、pp.96-97、2019.12
- 3) 齊藤、飯尾、小早川、後藤：持続提示する臭気に対する感覚的強度の多様な時間依存性、におい・かおり環境学会誌、No.35、Vol.1、pp.17-21、2004