

夏季の寝室における温熱環境調節パターンと居住環境
 ー大阪の集合住宅を対象とした分析ー

Thermal Control Use Patterns during Summer Sleep and Living Environment
 - Analyses of Apartments in Osaka -

○陳宇航（大阪市立大学） 梅宮典子（大阪市立大学） 山形胡桃（大阪市立大学） 小林知広（大阪市立大学）
 橘良樹（大阪市立大学） 中山裕介（大阪市立大学） 福村薫美（大阪市立大学）
 白本雄大（大阪市立大学） 喬蔚（大阪市立大学）

Yuhang CHEN*¹ Noriko UMEMIYA*¹ Kurumi YAMAGATA*¹ Tomohiro KOBAYASHI*¹
 Yoshiki TACHIBANA*¹ Yusuke NAKAYAMA*¹ Kurumi FUKUMURA*¹
 Yudai SIRAMOTO*¹ Wei QIAO*¹
 *¹ Osaka City University

1) Residents of apartments facing eastward use air conditioners (AC). Those facing westward use natural ventilation (NV). Residents of sleeping rooms facing southward use AC. Those facing northward use NV. 2) Residents of narrow and crowded apartments use AC. 3) Residents using AC all night have difficulty with condensation, odors and mold. 4) Residents in noisy environments use AC. 5) Residents anxious about security use AC. 6) Residents who use electric fans in addition to NV report lower satisfaction with the apartments than those who use only NV. 7) Residents who use AC report higher satisfaction with sleeping rooms than those who use NV.

1. はじめに

橘ら^{文1)}は大阪の公団・公社集合住宅居住者を対象に3年にわたり夏季の寝室と温熱環境調節に関する測定調査を行い、睡眠時に全時間窓を開放する居住者のほうが全時間冷房を使用する居住者よりも温熱環境は暑い側にあるが睡眠の質が高く、温熱感覚には差がないことを示した。盛夏期以外を含む影響が考えられるため、2017年は盛夏期に限定して追加調査を実施した。本報は睡眠時の冷房使用や通風利用等の温熱環境調節パターンのあいだで、住戸属性、寝室属性、エアコン属性を比較する。

2. 方法

2017年7～8月に大阪市内の集合住宅63住戸において各7日連続で寝室の温度(10分間隔)と湿度を測定し、起床時の温熱感覚や睡眠感と、30分間隔の冷房使用や窓開・閉、寝室の在・不在、睡眠・起床の申告を取った。睡眠の質は4段階15尺度のOSA得点^{文2)}で評価する。

3. 寝室温熱環境

3.1 調節パターンの出現率

睡眠中の冷房、通風、扇風機の全時間使用/一時的使用/不使用の3段階計27パターンの出現率は、全時間冷房のみ使用(以下○××)30.8%、一時的に冷房使用(△××)14.3%、全時間窓開放+扇風機使用(×○○)10.8%、全

時間窓開放(×○×)10.3%、冷房、通風、扇風機すべて不使用(×××)5.0%であった。

3.2 睡眠時の温熱環境と調節パターン (Fig.1)

一晚平均の寝室気温は、冷房を使用する○××や△××のほうが×○○、×○×より低い。外気温には差がない。

睡眠時の冷房設定温度は、○××と△××は27～28℃が多く、28℃以下は△××が○××より多い。冷房一時使用は全時間使用する場合より冷房の設定温度が低いといえる。

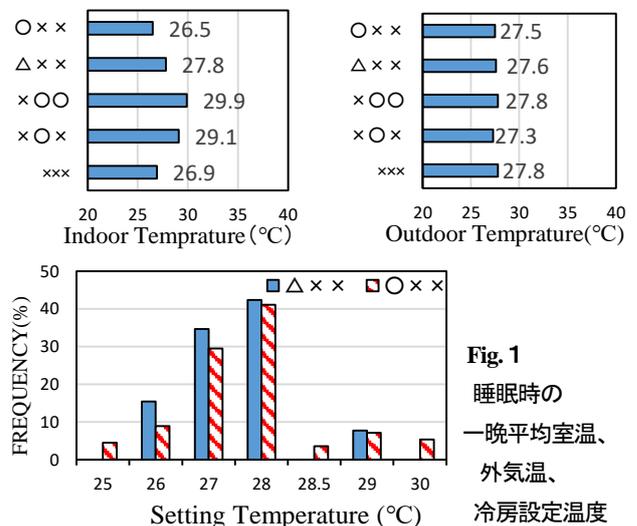


Fig. 1

睡眠時の
 一晚平均室温、
 外気温、
 冷房設定温度

3.3 寝室における温熱感覚と調節パターン (Fig.2)

起床時に申告した昨夜の温熱感覚は、○××と△××が×○○と×○×より、○××は△××より、「涼しい」。冷房使用が通風利用より、冷房全時間使用が冷房一時使用より、「涼しい」側にある。

○××、△××、×○×は「快適」が多く、×○○は「やや不快」が多い。また×○×は「我慢できた」が多く、×○○は「我慢できない時があった」が多い。通風に扇風機を併用する場合、快適感や受容度がよくないといえる。

4. 住戸属性と調節パターン

4.1 住戸の基本属性と調節パターン (Fig.3)

住戸面積は×○×が狭く、居住階に顕著な差はない。方位は○××と△××に東が、×○○と×○×は西が多い。居住人数は○××2.9人、△××2.4人、×○○と×○×2.0人である。東向き住戸が冷房を使用し、西向き住戸が通風を利用する傾向がある。また、住戸が狭く居住人数が多い住戸が冷房を使用する傾向がある。

4.2 住戸の住環境主観評価と調節パターン (Fig.4)

風通しは○××が△××より「よい」が多く、×○×が×○○より「よい」が多く「悪い」が少なく、×○×が最もよい。冷房全時間使用住戸が一時使用住戸より風通し「よい」、通風のみ住戸が通風に扇風機を併用する住戸より風通し「よい」と評価する傾向がある。

結露は○××に「よく発生する」がににおは×○○に「こもりにくい」が多い。カビは○××と△××が×○○と×○×より「発生しやすい」。全時間冷房使用住戸が

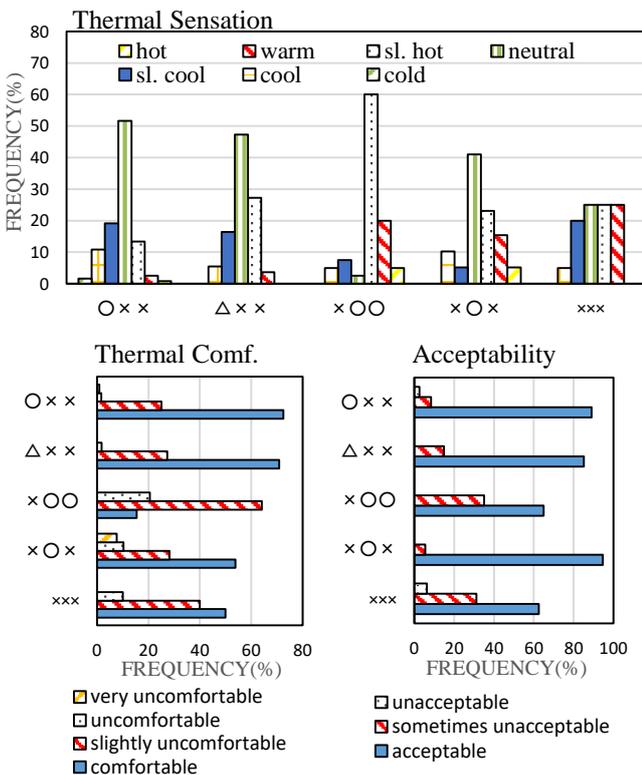


Fig.2 昨夜の寝室における温熱感覚

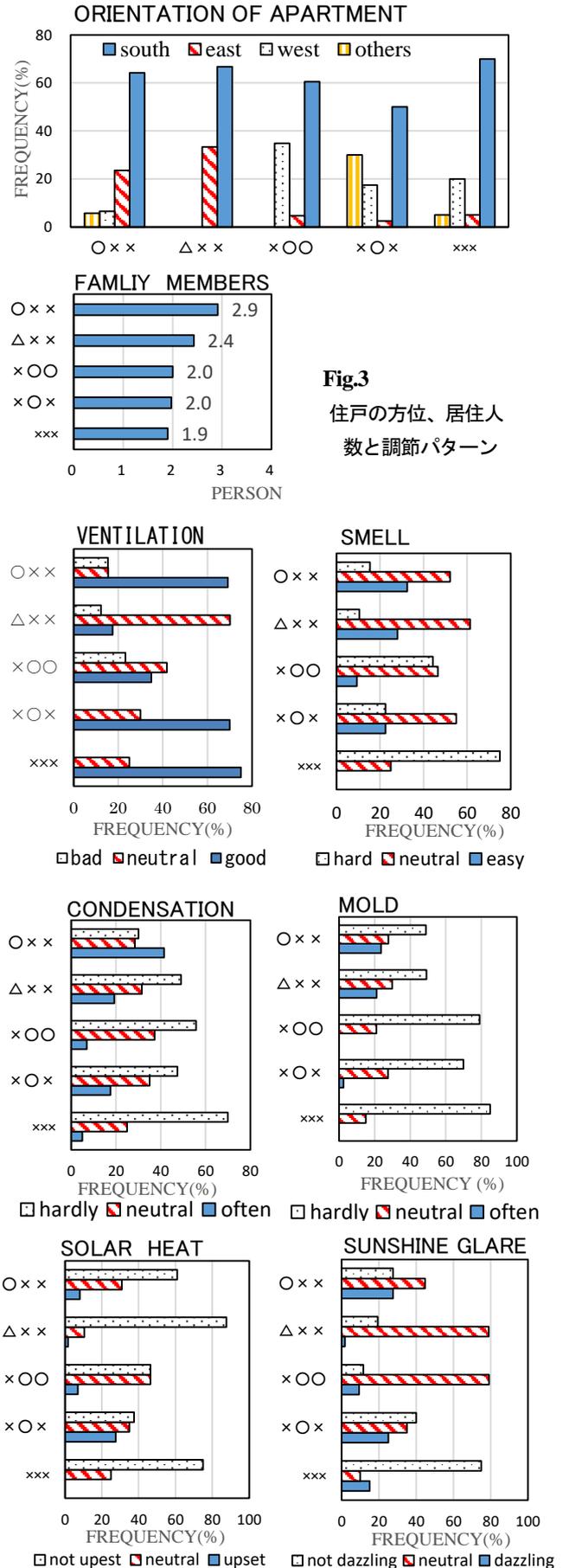


Fig.3 住戸の方位、居住人数と調節パターン

Fig.4 住戸の住環境主観評価と調節パターン (続く)

結露、において、カビが発生しやすいと評価する傾向がある。

日射熱は〇××と△××に「わずらわしくない」が多く、×〇〇が×〇×より「わずらわしい」が少ない。日射熱は、冷房を使わない住戸が使う住戸より「わずらわしい」、通風のみ住戸が通風に扇風機を併用する住戸より「わずらわしい」と評価する。

日差しは〇××が△××より「まぶしい」。冷房全時間使用住戸が一時使用住戸より日差しが「まぶしい」と評価する。

外の騒音は〇××と△××が×〇〇と×〇×より「うるさい」が多い。隣戸や上下階の騒音は〇××と△××が×〇〇と×〇×より「うるさい」が多く「静か」が少ない。冷房使用住戸が外や棟内の騒音を「うるさい」と評価する傾向がある。

防犯は〇××と△××が×〇〇と×〇×より「気をつけている」が多く「あまり気にしていない」が少ない。冷房使用住戸が防犯に「気をつけている」、通風利用住戸が「気にしていない」。

住環境の全般的満足度は〇××が△××より「満足」が多く、×〇〇が×〇×より「満足」が少ない。冷房全時間使用住戸が一時使用住戸より住環境に「満足」で、通風のみ住戸が通風に扇風機を併用する住戸より住環境に「満足」である。

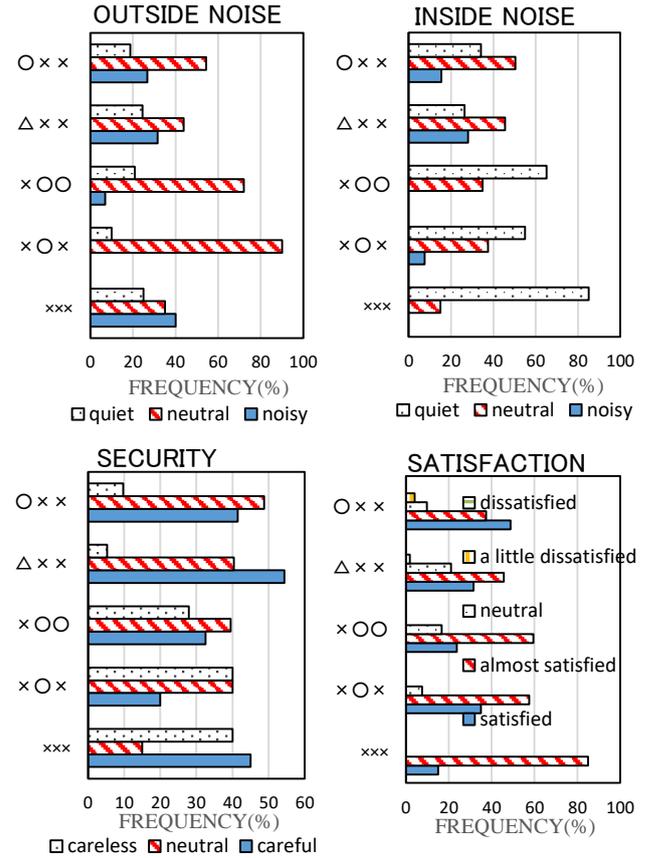


Fig.4 住戸の住環境主観評価と調節パターン

5 寝室属性と調節パターン (Fig.5~6)

冷房使用の寝室には南向きが多く、通風利用の寝室には北向きが多い。

冷房全時間使用の寝室が一時使用の寝室より、風通しが「よい」。また、通風のみ住戸が通風に扇風機を併用する寝室より、風通しが「よい」と評価する。

冷房使用の寝室は冷房が「効きやすい」、通風利用の寝室が「効きにくい」と評価する。

冷房全時間使用の寝室が冷房一時使用の寝室より、結露「よく発生」、において「こもりやすい」が多い。通風のみ住戸が通風に扇風機を併用する寝室より、結露「ほとんどない」が多くにおいて「こもりにくい」が少ない。冷房使用の寝室が通風利用の寝室よりカビが「発生しやすい」。

冷房全時間使用の寝室が一時使用の寝室より、日射熱が「わずらわしい」。

外や寝室外の騒音については、冷房使用の寝室が「うるさい」、通風利用の寝室が「普通」と評価する。防犯については、冷房一時使用の寝室が「気をつけている」が多く「あまり気にしていない」が最も少ない。通風利用のみ住戸が防犯を「あまり気にしていない」が多い。

冷房使用の寝室が寝室に「満足」が多く、通風利用の寝室が「やや不満」が多い。

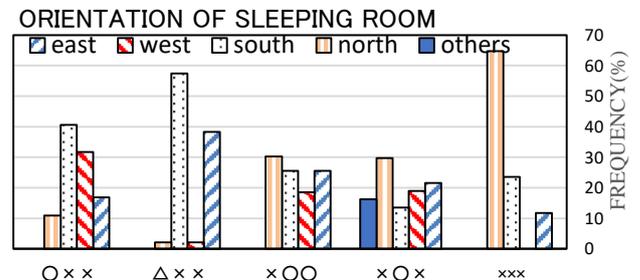


Fig.5 寝室の方位と調節パターン

6. 寝室のエアコンの属性と調節パターン (Fig.7)

エアコン使用年数の平均は〇××が 6.7 年、△××が 5.3 年、×〇〇が 5.2 年、×〇×が 6.8 年で、全時間冷房使用と全時間通風利用が長い。

エアコン満足度は×〇〇が「ほぼ満足」が多く、×〇×が「満足」が多い。調節パターンは日々の実態でありエアコン満足度は「この夏」の評価を回答しているが、冷房全時間使用や冷房一時使用よりも全時間通風利用や全時間通風に扇風機併用のほうがエアコンに満足と回答する傾向がある。

冷房使用の場合のエアコンからの気流の当て方は、冷房全時間使用で全員が直接身体に当てないが、冷房一時使用には「直接身体に当てる」もある。

7. まとめ

大阪の集合住宅 63 戸を対象に、盛夏期の睡眠に関する温熱環境測定と申告調査を実施し、睡眠時における温熱環境調節パターンと、住戸・寝室・エアコン属性との関係を分析した結果、1)東向き住戸が冷房使用し西向き住戸が通風利用、南向き寝室が冷房使用し北向き寝室が通風利用、2)狭い住戸、居住人数が多い住戸が冷房使用、3)全時間冷房使用する住戸や寝室は結露、におい、カビの問題がある、4)冷房使用住戸や寝室は騒音がうるさい、5)冷房使用の住戸・寝室は防犯を気にしている、6)通風に扇風機併用が通風のみより寝室満足度が低い、7)冷房使用の寝

室が通風利用の寝室よりエアコン満足度が高い、等の傾向を明らかにした。

参考文献

- 1) 橋ら：夏季の寝室における冷房や通風利用パターンによる睡眠の質の違い、空・衛近畿論文集, 46, 2017年
- 2) 山本ら：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
- 3) 山形ら：盛夏期における就寝時からおよび起床時までの寝室温熱環境の変化と温熱感覚や睡眠の質との関係空・衛近畿論文集, 47, 2018年投稿中

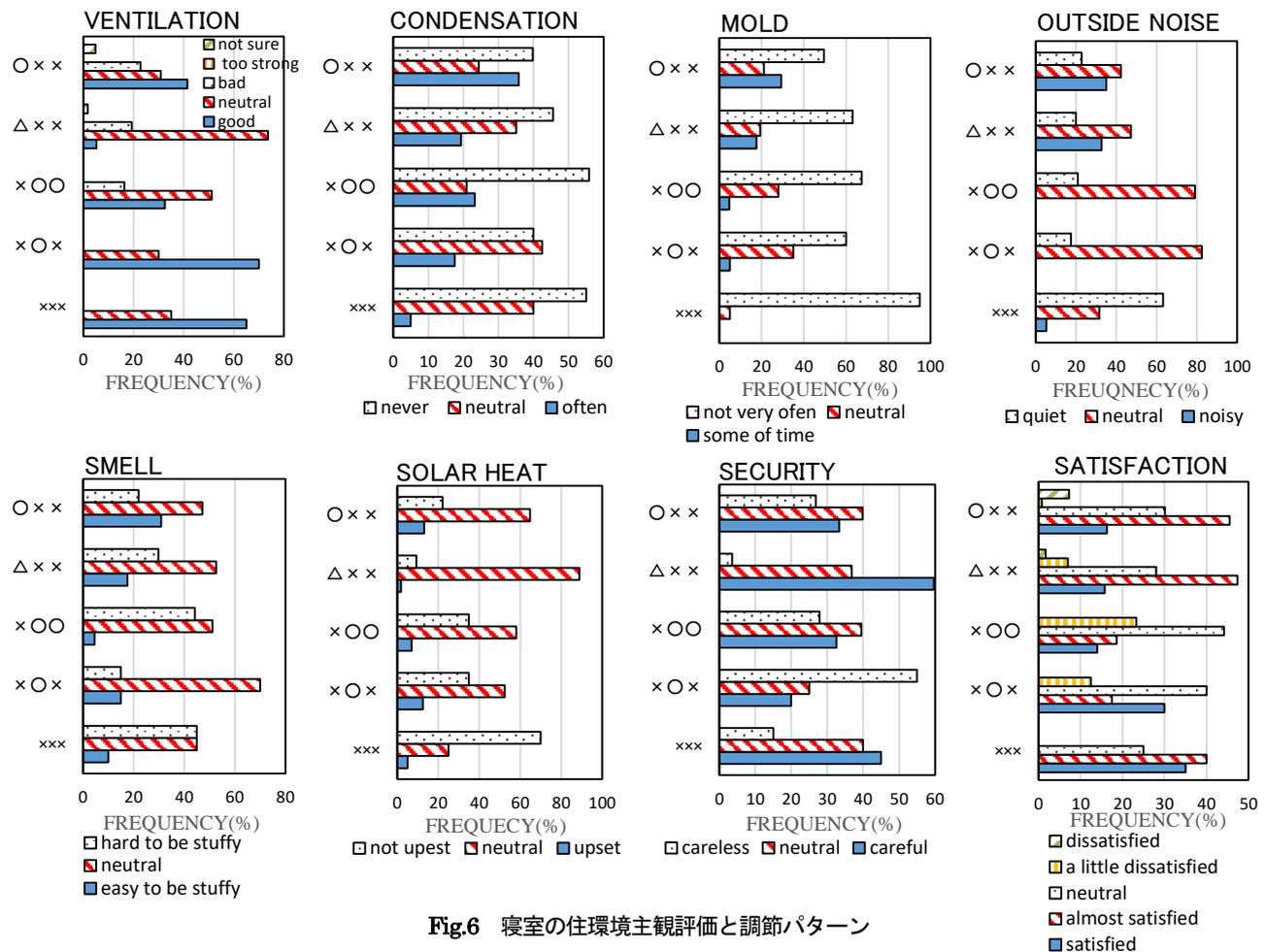


Fig.6 寝室の住環境主観評価と調節パターン

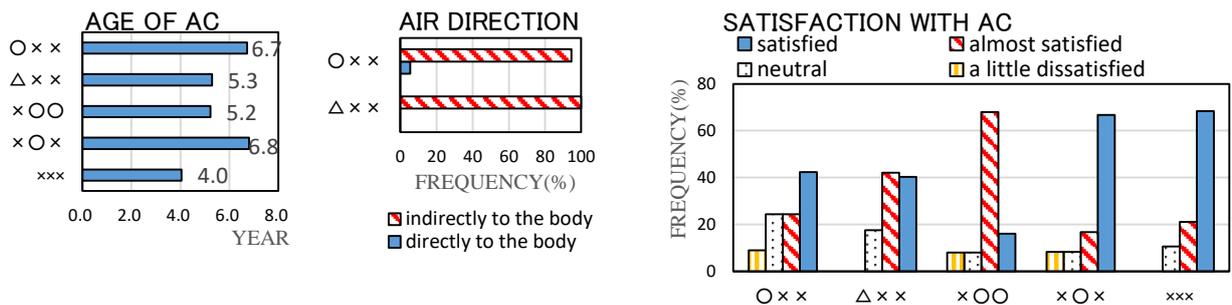


Fig.7 エアコン使用年数、エアコン風向、およびエアコン満足度と調節パターン

盛夏季における就寝時および起床時までの
 寝室温熱環境の変化と温熱感覚や睡眠の質との関係
 -大阪の集合住宅を対象とした調査

**Relation between thermal environment change and evaluation of thermal sensation and
 sleep quality in bedrooms during peak summer
 -Survey of Apartments in Osaka**

○山形胡桃 (大阪市立大学) 梅宮典子 (大阪市立大学) 小林知広 (大阪市立大学)

橘良樹 (大阪市立大学) 中山裕介 (大阪市立大学) 福村薫美 (大阪市立大学)

白本雄大 (大阪市立大学) 喬蔚 (大阪市立大学) 陳宇航 (大阪市立大学)

Kurumi YAMAGATA*¹ Noriko UMEMIYA*¹ Tomohiro KOBAYASH*¹ Yoshiki TACHIBANA*¹ Yusuke
 NAKAYAMA*¹ Kurumi FUKUMURA*¹ Yudai SIRAMOTO*¹ Wei QIAO*¹ Yuhang CHEN*¹

*¹ Osaka City University

When ACs are used all night, WBGT decreases after the beginning of sleep. The decrease range is within 0.2°C for high Sleep Quality residents. WBGT decreases during 30 min after the beginning and remains 0.2°C lower than the beginning for middle SQ residents. WBGT decreases during 60 min after the beginning and stays 0.4°C lower than the beginning for low SQ residents. When natural ventilation is used all night, WBGT is 0–0.2°C higher than the end for thermally comfortable residents. It is 0.4°C lower at 2 hr before the end and increases toward the end for uncomfortable residents.

1. 背景と目的

近年、熱帯夜数が増加する一方^{文1)}、地球温暖化対策や節電が求められるなど、夏季の睡眠時における冷房使用のあり方が問われている。橘ら(2017)^{文2)}は7月末~9月初めの実測調査にもとづき、温熱環境調節行為パターンとして出現頻度の高い^{ア)全時間冷房、イ)全時間窓開放、ウ)冷房一時使用を比較して、1)室内温熱環境はイ>ウ>ア、2)アゆの温冷感には差がない、3)睡眠の質はイ>ア、等を明らかにした。ここで温熱環境には一晩平均値を用いているが、本研究は温熱環境の時間的推移に着目し、就床時からおよび起床時までの温熱環境の時間的変化によって睡眠の質や温熱感覚の主観的評価にどのような違いがあるかについて分析したので報告する。}

2. 方法

大阪の集合住宅居住者 63 名を対象に、7 日間にわたり寝室の枕元にボタン電池型ロガーと湿度計を設置し、温度は 10 分間隔、湿度は就床時と起床時に記録する。室内の温熱環境指標には自然湿球温度 T_w と黒球温度 T_g から(1)式で定義される WBGT^{文3)}は、実測した気温と相対湿度から換算^{文2)}した。この際、気温には 10 分毎の実測値、気温は就床時と起床時の平均値をその晩の値として用いた。

$$WBGT = 0.7 \cdot T_w + 0.3 \cdot T_g \quad \dots (1)$$

被験者は毎朝起床後、前晩の睡眠の質 (OSA 調査) や睡眠時の温熱感覚を申告し、睡眠・起床、寝室の在・不在、寝室の窓の開・閉、冷房や扇風機の使用・不使用(寝室に限定せず)についても、30 分刻みで申告する。

日別の分析対象者数と日平均外気温の推移に下降低下上昇のトレンドはなく、盛夏期に毎日人数の偏りなく測定できたといえる (Fig. 1)。

3. 分析対象の構成

年齢は 27~88 歳、男女比は 0.56 である (Fig. 2)。睡眠の質を示す OSA 得点は平均 52.3 点で分布する (Fig. 3)。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(x)」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 123 日、冷房一時使用 57 日、全時間窓開放+扇風機使用 43 日、全時間窓開放 43 日である (Fig. 4)。

4. 就床時からの WBGT の時間的推移

調節行為のパターンごとに OSA を 25、75% タイル値で下位、中位、上位の 3 段階に、睡眠時熱的快適感を快、不快の 2 段階に分ける。ほぼ全員が就寝している時間帯を対象に、就寝時の WBGT を起点として、睡眠時の各時刻の WBGT から就床時の WBGT を引いた値 (就床時 WBGT 差) の推移を考察する。

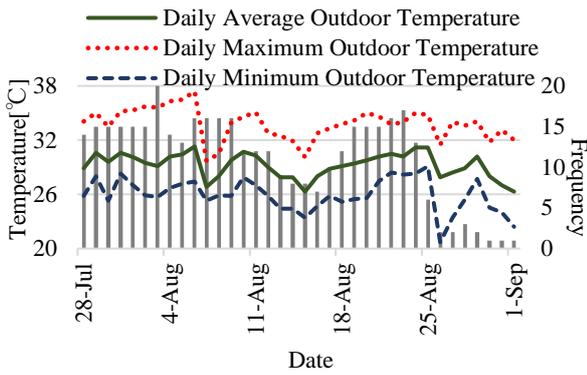


Fig.1 Daily mean outdoor temperature and measured periods

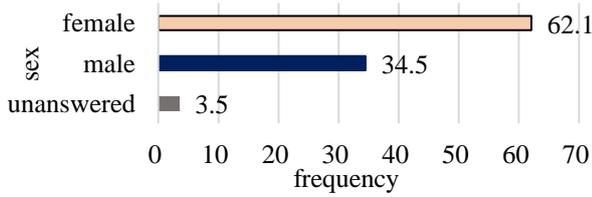


Fig.2 Gender proportion

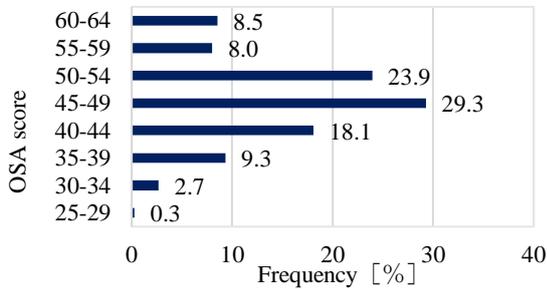


Fig.3 Distribution of OSA score

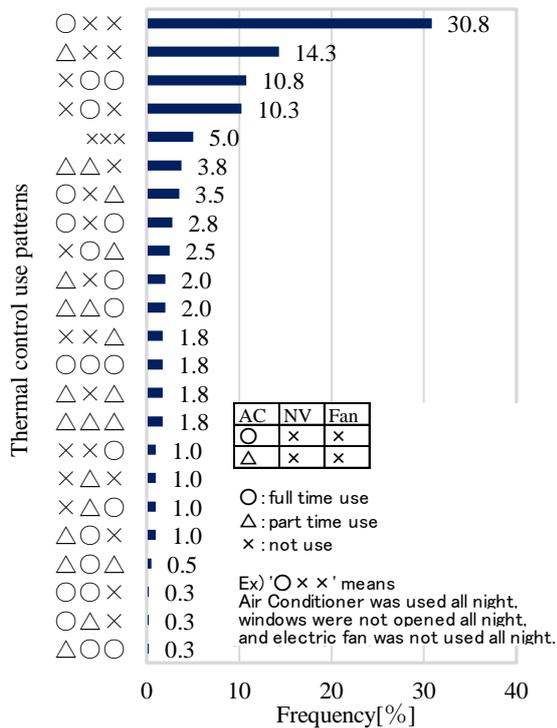


Fig.4 Distribution of thermal control use pattern

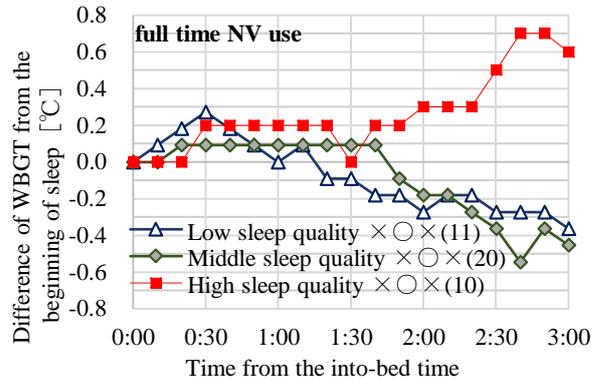
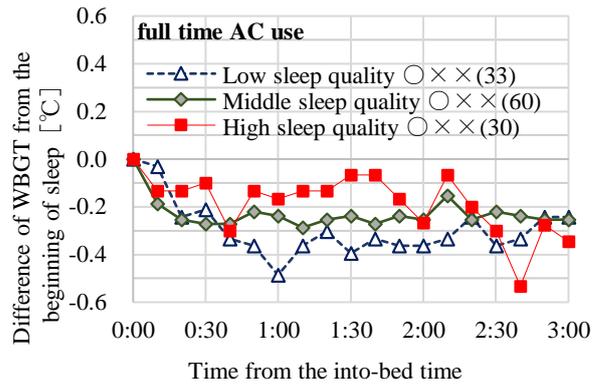


Fig.5 WBGT change since the beginning of sleep and OSA score
 ※Number in () shows the number of nights

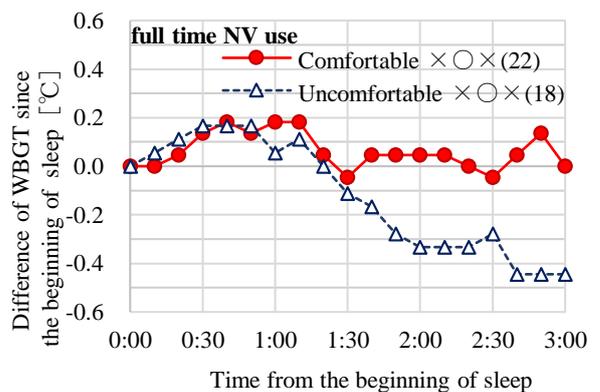
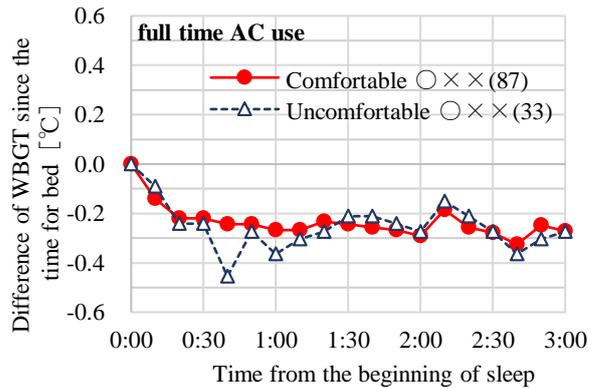


Fig.6 WBGT change since the beginning of sleep and thermal comfort

4.1 睡眠時の WBGT の推移と睡眠の質の関係 (Fig. 5)

(1) 全時間冷房使用 (○××) の場合

睡眠時に全時間冷房を使用した晩について、就床後、WBGT は下降したのち一定になる。就床時との差は、OSA 上位では 0.1℃、中位では 0.2℃、下位では 0.4℃程度である。差は、OSA 上位では 15 分、中位では 30 分、下位では 60 分でほぼ一定になる。OSA 上位>中位>下位の順に、就床時からの WBGT の下降が小さく、早く一定になる。睡眠時に全時間冷房を使用する場合、就寝時からの WBGT の低下が小さく、早く一定になるほど睡眠の質が高いといえる。

(2) 全時間窓開放 (×○×) の場合

睡眠時に全時間窓を開放した晩について、OSA 中位と下位では、WBGT は就床後いったん上昇したのち下降する。中位では 1 時間 40 分後、下位では 30 分後に就床時 WBGT 差が下降し、それぞれ就床から 1 時間 50 分後、1 時間 20 分後以降は就床時よりも WBGT が低くなる。一方、OSA 上位では WBGT は就床後 3 時間のあいだ上昇を続ける。睡眠時に全時間窓を開放する場合、睡眠の質は就床時から WBGT が下降する場合に低く、上昇する場合に高いといえる。

4.2 睡眠時の WBGT の推移と熱的快適感の関係 (Fig. 6)

(1) 全時間冷房使用 (○××) の場合

睡眠時に全時間冷房を使用した晩について、快、不快ともに WBGT は就床後 30 分のあいだに 0.2℃下降し、その後ほぼ一定で推移する。全時間冷房を使用する場合、就床後の WBGT の推移と睡眠時熱的快適感には特に関係がないといえる。

(2) 全時間窓開放 (×○×) の場合

睡眠時に全時間窓を開放した晩について、快、不快とも就床後 1 時間半までは同じように推移し、就床後 40 分に就床時より 0.2℃高くなり、就床後 1 時間 10 分から 30 分にかけて 0.2℃下降する。その後、熱的快と不快のあいだに違いがあらわれ、快では就床時と同じになり、不快では就床時より 0.2℃~0.4℃低い。WBGT の変動幅も不快のほうが大きい。睡眠時に全時間窓を開放する場合、熱的快適と不快のあいだには就寝後 1 時間半以降の WBGT に違いがあり、1 時間半後も WBGT が下降を続ける場合に熱的に不快になるといえる。

なお温冷感や熱的受容度によっては、冷房使用でも窓開放でも、就床時からの WBGT の推移に違いはない(図略)。

5. 起床時までの WBGT の時間推移

各時刻の WBGT から起床時の WBGT を引いた「起床時 WBGT 差」について、ほぼ全員が就寝している時間帯における推移を考察する。

5.1 睡眠時の WBGT の推移と睡眠の質の関係 (Fig. 7)

(1) 全時間冷房使用 (○××) の場合

睡眠時に全時間冷房を使用した晩について、OSA 得点に

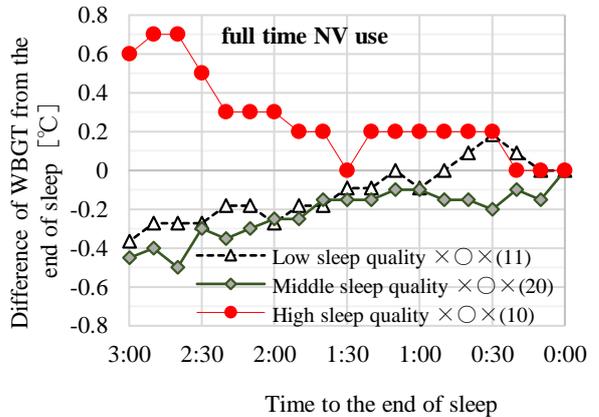
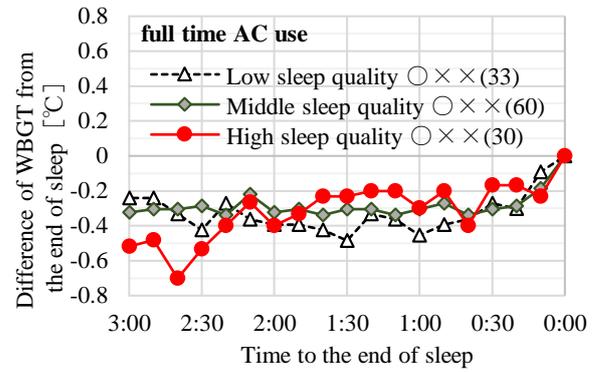


Fig.7 WBGT change to the end of sleep and OSA score

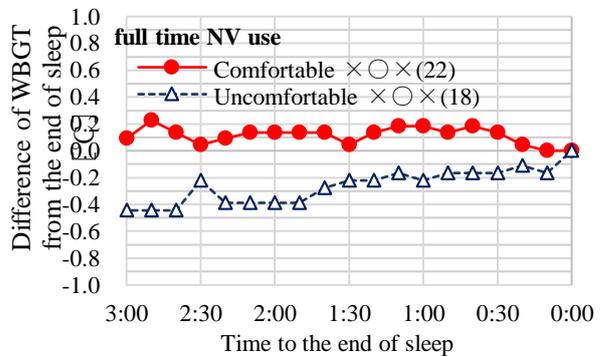
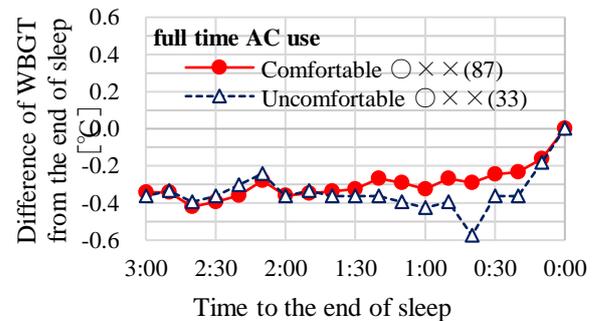


Fig.8 WBGT change to the end of sleep and thermal comfort 関わらず、起床前 3 時間の WBGT は起床時よりも低い。いずれも起床前約 30 分から上昇を始める。起床前 3 時間では、OSA 上位であるほど起床時との差が小さいが、起床前 1 時間 40 分で逆転し、以降はほぼその順番で推移を続ける。睡眠時に全時間冷房を使用する場合、起床前 1 時間半より前は睡眠の質が高いほど起床時との差が小さいが、

その後は睡眠の質が高いほど起床時との差が大きい。

(2) 全時間窓開放 (×○×) の場合

睡眠時に全時間窓を開放した晩について、OSA 上位は起床 3 時間前+0.6°Cで、+0.7°Cまで上昇した後下降し、1 時間 50 分以降はおおよそ+0.2°C、20 分前に±0.0°Cとなる。中位は-0.5°Cから少しずつ上昇を続ける。常にマイナスの値をとる。下位は-0.4°Cから 30 分前に+0.2°Cとなり、その後下降する。変動幅は上位 0.7°C、中位 0.5°C、下位 0.6°Cである。

5.2 睡眠時の WBGT の推移と熱的快適感の関係 (Fig. 8)

(1) 全時間冷房使用 (○××) の場合

睡眠時に全時間冷房を使用した晩について、起床前 1 時間 30 分前は快不快で起床時 WBGT の推移に違いはない。快では、起床の 1 時間 30 分よりは起床時より 0.3°C低くほぼ一定で、起床 30 分前から徐々に上昇する。不快では起床時より 0.4°C低く一定で、起床の 40 分前に起床時より 0.6°C低い値を示し、その後起床時にむけて上昇する。睡眠時に全時間冷房を使用する場合、快よりも不快の方が起床までの WBGT の変動幅が大きいといえる。

(2) 全時間窓開放 (×○×) の場合

睡眠時に全時間窓を開放した晩について、起床前 3 時間において、起床時 WBGT 差は快が±0.0°C～+0.2°C、不快が-0.4°C～±0.0°Cである。全時間冷房使用の場合と同様に、快より不快が起床までの WBGT の変動幅が大きい。

なお温冷感や熱的受容度によっては、冷房使用でも窓開放でも、起床時までの WBGT の推移に違いはない(図略)。

6. 外気温と冷房使用時間率の関係

一晩ごとの睡眠時間に対する冷房使用時間の割合を測定日ごとの被験者間で平均した「日平均冷房使用時間率」、被験者が睡眠中の外気温を一晩ごとに平均し、測定日ごとに平均した「日平均睡眠時外気温」について考察する。ここで、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。例として 7 月 27 日 18 時～7 月 28 日 18 時を 7 月 28 日と定義し、外気象データは 7 月 27 日 0 時～24 時の値を用いる。湿度は就寝時と起床時の平均を測定日の値として用いる。

冷房使用率は 8 月 15 日までは外気温が高い日に高いが、16 日～21 日は外気温が高い日に低い(Fig. 9)。分析対象者が 3 人以下となる 26 日以降を除くと、冷房使用率との相関係数の P 値は日平均 0.10、日最低 0.24、日最高 0.06、睡眠時日平均 0.42 である。冷房時間率は日最高外気温で二次回帰すると $r^2=0.27$ である。睡眠時の冷房使用率は、日最高外気温が 33°C程度のときに低い (Fig. 10)。

7. まとめ

大阪の集合住宅居住者 63 人を対象に盛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、睡眠時に全時間冷房を使用した場合と全時間窓を開放した場合について、就寝時および

起床時を起点および終点とする推移を分析し、OSA 得点で表した主観的な睡眠の質の上位中位下位のあいだで、および起床時に評価した睡眠時の寝室の熱的快適感の快と不快のあいだで、就寝時からおよび起床時までの WBGT の推移に違いがあることを明らかにした。1) 全時間冷房使用では、就寝時からの WBGT の低下が小さく早く一定になるほど睡眠の質が高い。全時間窓開放では、2) 熱的に快適のほうに就寝後の WBGT の変化が小さく、3) 起床時にむけて睡眠の質が上位では WBGT が下降するのに対して中位や下位では上昇する。

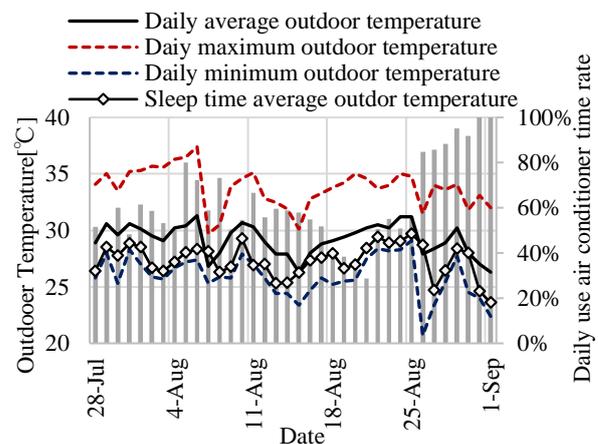


Fig.9 Daily use air conditioner time rate and outdoor temperature

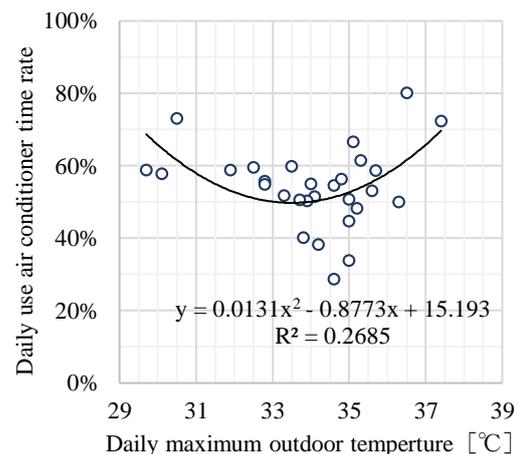


Fig.10 Daily use air conditioner time rate and maximum outdoor temperature

参考文献

- 1) 気象庁, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, 平成 29 年 10 月 1 日閲覧
- 2) 橋良樹ほか、空・衛近畿論文集, 46, A-56, 2017 年 3 月
- 3) 日本生気象学会、日常生活における熱中症予防指針, 2013 年
- 4) 陳宇航ほか、空・衛近畿論文集, 47, 2018 年投稿中

屋外での着座による局所刺激が接触温冷感に与える影響

Influence of Local Stimulation on Contact Thermal Sensation in Outdoor Sitting

○安田翔陽(大阪府立大学) 林大輝(大阪府立大学) 木下進一(大阪府立大学)
吉田篤正(大阪府立大学) 荘保伸一(越井木材工業) 赤尾早紀(越井木材工業)
Shoyo YASUDA*¹ Daiki HAYASHI*¹ Shinichi KINOSHITA*¹ Atsumasa YOSHIDA*¹
Shinichi SHOHO*² Saki AKAO*²
*¹ Osaka Prefecture University *² Koshii & Co.,Ltd.,

Subject experiments on contact thermal sensation in sitting were conducted in outdoor space and artificial climate chamber. High correlation was obtained between seat surface heat flux and contact thermal sensation when receiving thermal stimulation under hot environment. We obtained the effect of thermophysical properties of chair material on contact thermal sensation. When receiving cold stimulation in cold environment, this correlation did not appear clearly in comparison with hot environment due to the large contact thermal resistance through clothing. We couldn't find the influence of contact thermal sensation on whole body thermal sensation on sitting.

1. 緒言

近年、室内空間では温冷感の改善のため、パーソナル空調や座面など接触部を介しての熱移動を考慮した熱制御が注目されている。屋外空間でも日除けや窓フィルムなど適応策としての熱環境制御が検討される機会が増えている。屋外スタジアムにおいても快適性の向上を目指して木製椅子の導入が進められている。

本研究では、人工気候室および屋外空間にてプラスチック座面および木製座面を日向に設置し、着座を伴う被験者実験を行い、座面から臀部への局所刺激量と温冷感との関わりを検証した。臀部接触温冷感の支配要因、接触温冷感と全身温冷感および快適感との関わり、温刺激と冷刺激の感受性の差、接触熱抵抗の影響を明らかにすることを目的とする。

2. 実験場所および方法

人工気候室（大阪府立産業技術研究所）での実験は、2017年11月30日および12月1日、屋外（大阪府立大学中百舌鳥キャンパス建物屋上）での夏季の実験は2017年7月27日～8月10日の3日間、冬季の実験は2017年12月22日および2018年1月19日に行った。

人工気候室での実験では、夏季の暑熱環境を想定し、気温を30℃、相対湿度を50%、静穏、メタルハライドランプを用いて照射日射量を800 W/m²とし、座面表面温度を50℃および55℃に調整した。屋外実験では座面温度の調整を行っていない。風の弱い、天候の安定した日に実施した。

座面からの刺激量を評価するために、座面温度を熱電対、その熱流束を熱流板、臀部温度(冬季は衣服温度も測定)をサーミスタにより測定した。被験者の心理申告として、ASHRAEの温冷感指標に基づき^[1]、線形尺度として

臀部温冷感、全身温冷感および快適感を3分毎に取得した。

実験プロトコルを図1、本実験に用いた申告表を図2に示す。被験者は健康な男子大学生および大学院生の7人を対象とした。着座時間は、夏季の実験が18分、人工気候室および冬季の実験が9分とした。なお被験者実験は大阪府立大学工学研究科倫理委員会で承認された手続きに従い実施した。



Fig.1 Experiment protocol



Fig.2 Thermal sensation and thermal comfort vote

3. 実験結果および考察

3.1 夏季の屋外での実験 (温刺激)

夏季の屋外での実験で取得した座面熱流束(座面から臀部への方向を正)、座面表面温度、臀部温度、臀部温冷感、全身温冷感の経時変化の一例を図3に示す。座面の初期温度は51.8℃であった。

座面熱流束は着座直後に最大となり、その後0に収束した。臀部温度および座面表面温度は緩やかに平衡温度に収束した。18分後にも両者に温度差があり、接触熱抵抗が示唆される。全身温冷感、快適感には大きな変化は

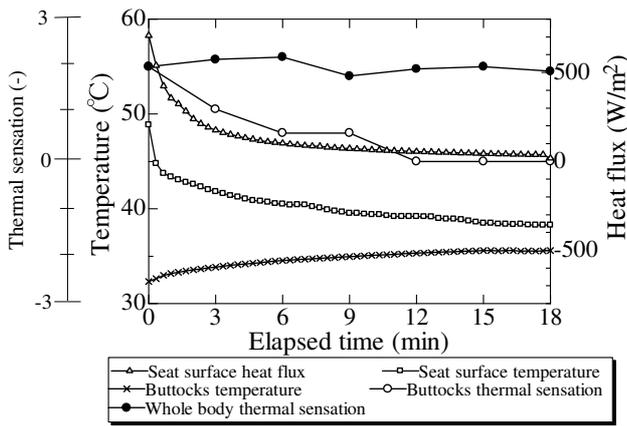


Fig.3 Temporal change of environmental factors and physiological amounts in outdoor atmosphere in summer at plastic seat for subject d

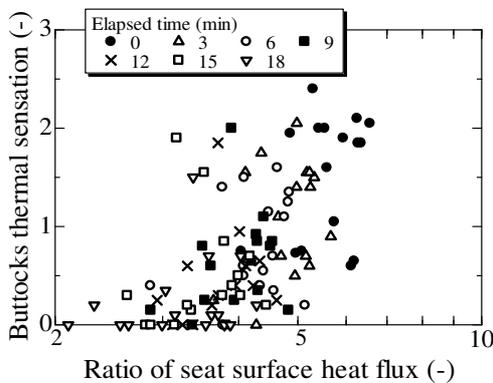


Fig.4 Correlation between seat surface heat flux and buttocks thermal sensation in outdoor atmosphere in summer

認められなかった。

式(1)に示す感覚量と刺激量に関する Fechner の法則^[2]を用いて座面熱流束と臀部温冷感との関係を調べる。

$$E = K \log |S| \quad (1)$$

ここで、 E は感覚量(臀部温冷感)、 S を刺激量(座面熱流束)、 K を定数とする。人工気候室での実験により得られた結果に対して式(1)に基づいて考察する。図4に両者の関係を示す。横軸の座面熱流束は 1W/m^2 で規格化した。

両者の関係には相関が得られた。相関係数は $R=0.614$ であった。しかし着座時間が長くなると、座面熱流束が小さくなり、臀部温冷感も中立の申告値に近い値となっている。そこで以下に示す Weber の法則を適用する。

$$\Delta S/S = \text{constant} \quad (2)$$

ここで、元の刺激の大きさを S 、人間が識別できる刺激の閾値を ΔS とする。本研究では局所刺激と接触温冷感を評価するために行っているので、着座時間の増加につれて座面熱流束の変化量が小さくなり、人間が認知できる閾値を下回ったと考え、臀部温冷感の申告値が3分前の申告値と比較して変化量が 0.2 以下のデータを考察対象

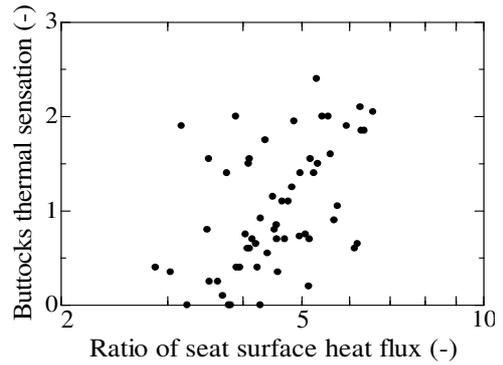


Fig.5 Correlation between seat surface heat flux and buttocks thermal sensation in outdoor atmosphere in summer after removing data

から外した。その後得られた結果を図5に示す。Weberの法則を用いることで人間が認知できない刺激量のデータを取り除くことができたと考えられる。

3.2 人工気候室での実験 (温刺激)

実験条件を統一するために人工気候室にて実験を行った。屋外での実験結果を踏まえ、着座時間を9分に縮めた。人工気候室での実験においても、座面熱流束など測定項目の経時変化は図3と同様の結果となった。

人工気候室での実験で得られた、 $50(\text{C})$ に設定したプラスチック座面と木製座面に着座した時の座面熱流束と臀部温冷感の有意差検定の結果を図6、図7に示す。座面熱流束は座面の種類によって有意差があったが、臀部温冷感に着座時間が長くなると有意差がなくなるという結果が得られた。

3.2の夏季の屋外での実験結果と比較した座面熱流束

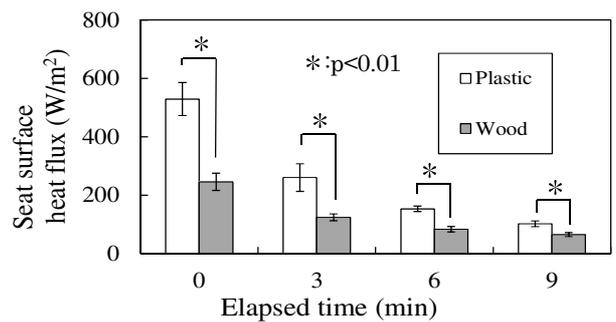


Fig.6 Difference in seat surface heat flux by chair material

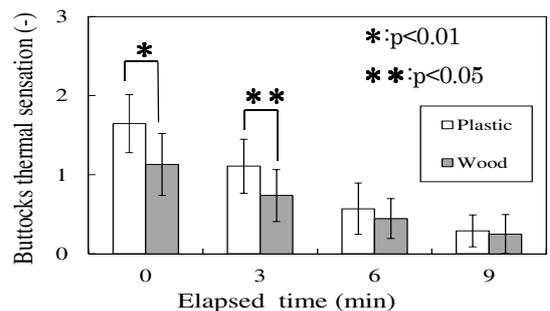


Fig.7 Difference in buttocks thermal sensation by chair material

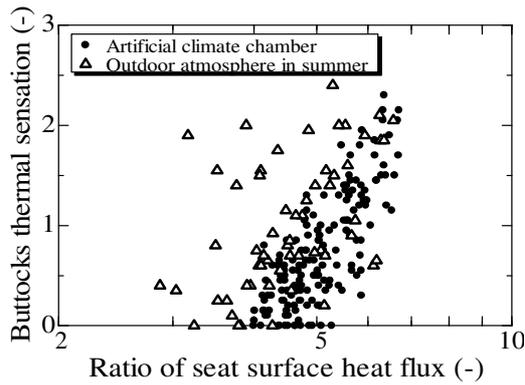


Fig.8 Correlation between seat surface heat flux and buttocks thermal sensation in artificial climate chamber and outdoor atmosphere

と臀部温冷感の関係を図 8 に示す. ただし 3.2 の夏季の屋外での実験結果の整理方法と同様に, Weber の法則を適用した. 人工気候室のデータに関しては, 座面熱流束と臀部温冷感の間には高い相関が得られた. 相関係数は $R=0.793$ であった. 人工気候室に比べて屋外で測定されたデータの方がバラつきが大きい, 臀部温冷感と座面熱流束の間にはほぼ同じ相関が認められる.

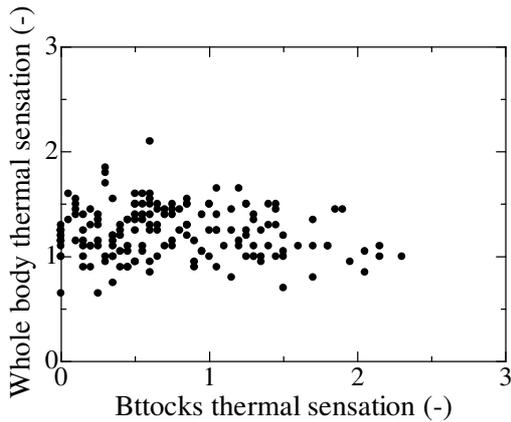


Fig.9 Correlation between whole body thermal sensation and buttocks thermal sensation in artificial climate chamber

臀部温冷感が全身温冷感に影響を与えているかを検討した. 全身温冷感と臀部温冷感の関係を図 9 に示す. 着座後に臀部温冷感が変化したにも関わらず全身温冷感の温冷感には変化が認められず, 臀部温冷感が全身温冷感に影響を与えないことが明らかになった. 全身快適感も同様の傾向を示した. この理由としては, 日射量が座面熱流束より大きく, その熱を受ける面積も日射の方が大きいために全身温冷感および全身快適感を決定するときに日射が支配的であったためであると考えられる.

3.3 冬季の屋外での実験 (冷刺激)

この実験で取得した座面熱流束(座面から臀部へ)の方向を正), 座面表面温度, 臀部温度, 臀部衣服温度, 臀部温冷感, 全身温冷感の経時変化の一例を以下の図 10 に示

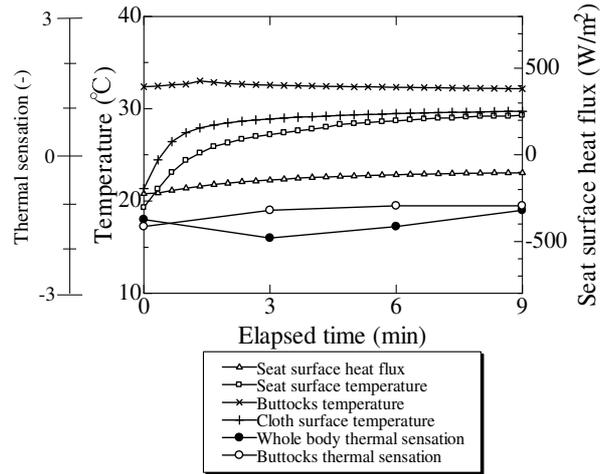


Fig.10 Temporal change of environmental factors and physiological amounts in field atmosphere at wood seat for subject g in winter

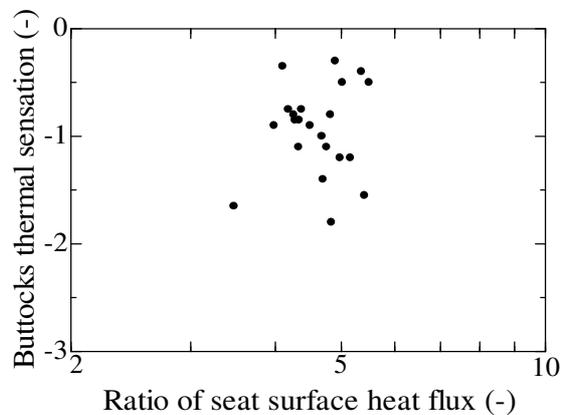


Fig.11 Correlation between buttocks thermal sensation and seat surface heat flux in outdoor atmosphere in winter

す. 座面の初期温度は $19.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ であった. 夏季の実験と冬季の実験では季節が異なるため, 衣服に違いがあった. 夏季の clo 値は 0.3, 冬季の clo 値は 1.0 であった. そのため接触熱抵抗が夏季より大きいと予想され, 夏季と同じような温度差であるにも関わらず, 座面熱流束は小さく, それに伴い臀部温冷感も夏季より変化量は小さかった. 臀部衣服温度および座面表面温度は徐々に平衡温度に近づいたが, 臀部温度は変化しなかった.

座面熱流束と臀部温冷感の関係を図 11 に示す. ただし 3.2 の夏季の屋外での実験結果の整理方法と同様に, Weber の法則を適用した. 冷刺激に対しては, 座面熱流束と臀部温冷感の関係は負の相関が読み取れるが, 明確ではなかった. この理由として衣服の接触熱抵抗の違いが示唆される.

4. 数値計算

熱物性の異なる半無限固体が接触した時の熱移動現象について考える. 接触面付近の模式的な温度分布と座標系を図 12 に示す.

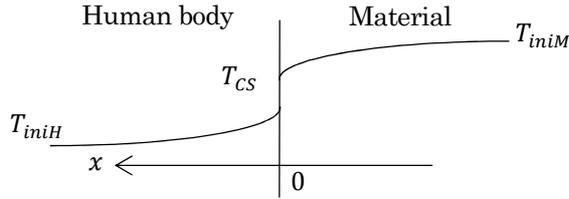


Fig.12 Temperature distribution around contact surface between human body and material

人体と材料の温度をそれぞれ T_H °C, T_M °Cとすると、それぞれの内部での熱拡散現象を記述する非定常1次元熱伝導方程式を以下に示す。添え字H, Mはそれぞれ人体、物体側の物理量を表す。

$$\frac{\partial^2 T_H(t, x)}{\partial x^2} = \frac{C_H \rho_H}{\lambda_H} \frac{\partial T_H(t, x)}{\partial t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 T_M(t, x)}{\partial x^2} = \frac{C_M \rho_M}{\lambda_M} \frac{\partial T_M(t, x)}{\partial t} \quad (4)$$

ここで、 C は比熱容量 $J/(kg \cdot K)$, ρ は密度 kg/m^3 , λ は熱伝導率 $W/(m \cdot K)$ とする。境界条件として、(a) 人体と材料の接触面での熱流束が等しい、(b) 接触面から十分に離れた位置での温度が一定（初期温度）を適用して、式(3), (4)を解くと、人体と材料の接触面での熱流束 $q(t)$ を求めることができる。初期温度は人体と材料のそれぞれで一樣とする。接触熱抵抗 R が0の場合は、

$$q(t) = \frac{\eta_M}{\sqrt{\pi t}} (T_{iniM} - T_{CS}) = \frac{\eta_M}{\sqrt{\pi t}} \frac{T_{iniM} - T_{iniH}}{1 + \frac{\eta_M}{\eta_H}} \quad (5)$$

ここで、 η は熱浸透率 $J/s^{1/2} \cdot m^2 \cdot ^\circ C$, T_{CS} は接触面温度 $^\circ C$ を表す。本実験ではベンチに着座した際に衣服等による接触熱抵抗が無視できないと考えられる。接触熱抵抗 R がある場合には、人体と材料の接触面温度に差が生じる。接触面での熱流束、即ち座面熱流束を以下に示す。

$$q(t) = \frac{\frac{\eta_H \eta_M}{\sqrt{\pi t}}}{\frac{R \eta_H \eta_M}{\sqrt{\pi t}} + \eta_H + \eta_M} (T_{iniM} - T_{iniH}) \quad (6)$$

接触熱抵抗 R を変化させ、座面熱流束の実験値にフィッティングさせ、座面での接触熱抵抗を決定する。図12にその一例を示す。人工気候室で座面初期温度が55°Cの木製椅子に着座した場合の座面熱流束である。着座20秒後以降のデータを検討対象とした。この場合には接触熱抵抗は0.024 $K \cdot m^2/W$ と決定された。

座面の種類と接触熱抵抗の関係を、人工気候室と冬季の実験結果を用いて調べた。その結果を図13, 図14に示す。温刺激の場合は座面の種類による有意差があったが、冷刺激の場合、有意差はなかった。被験者による接触熱抵抗の違いはなかった。冬季には接触熱抵抗が大きく、臀部温冷感を感じにくくなったためと思われる。

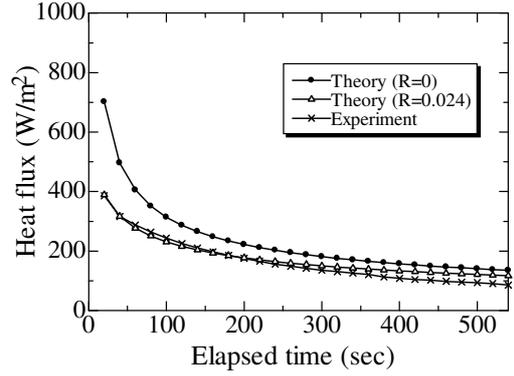


Fig.12 Comparison of calculated results and experimental data in heat flux as a function of contact thermal resistance

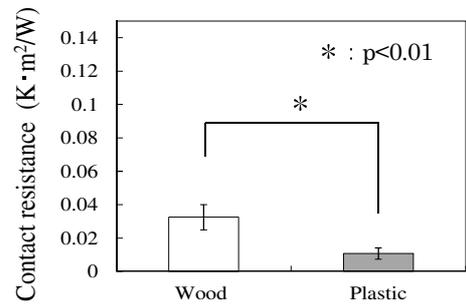


Fig.13 Difference in contact thermal resistance by chair material in artificial climate chamber

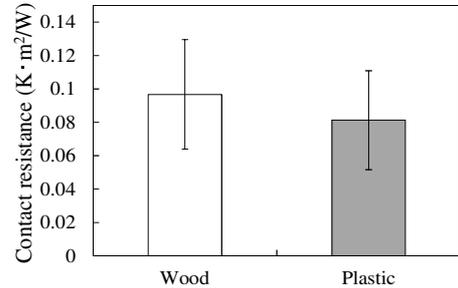


Fig.14 Difference in contact thermal resistance by chair material in field atmosphere in winter season

5. 結言

- ・本研究から、局所刺激である座面熱流束の大きさから、接触温冷感(臀部温冷感)を予測することができる。温刺激と冷刺激に対する臀部温冷感の感受性の違いを明らかにすることはできなかった。
- ・臀部への局所刺激が全身の温冷感および快適感に与える影響は無視できる。
- ・数値計算から、接触熱抵抗を考慮した座面熱流束を算出し、臀部温冷感を予測する可能性を示した。

参考文献

[1] ASHRAE; ASHRAE handbook fundamentals, (2005).
 [2] Gustav Fechner; Elements pf Psychophysics ; Henry holt editions in psychology Vol.1(1966) 112-198.

暑熱環境における日射，代謝のステップ変化に対する人体温冷感の予測

Prediction of Thermal sensation for Step Change of Solar Irradiation and Metabolic Rate under Hot Environment

○林 大輝 (大阪府立大学) 安田 翔陽 (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) 島崎 康弘 (岡山県立大学)

Daiki HAYASHI*¹ Shoyo YASUDA*¹ Atsumasa YOSHIDA*¹

Shinichi KINOSHITA*¹ Yasuhiro SHIMAZAKI*²

*¹ Osaka Prefecture University

*² Okayama Prefecture University

Subject experiments were performed to investigate the relation between physiological response and outdoor thermal sensation with temporal change of radiation and exercise in summer. It was confirmed the skin temperature changed with time delay by change of metabolic rate. In this situation, the strongest correlation was recognized between metabolic rate analyzed by expiration and thermal sensation. Under the condition of solar radiation heating, the strong correlation was recognized between skin temperature change and thermal sensation change. We proposed the thermal sensation prediction formula under radiation and metabolic rate change by multiple regression analysis using physiological factors obtained from subject experiments.

1. 緒言

都市域では暑熱期の熱環境の悪化が著しく，熱中症などの健康被害の報告もされている。屋外での熱負荷はふく射輸送が支配的になる。そのふく射環境は場所により異なり，日向，日陰で大きな熱負荷の差が生じる。人々の実生活では，歩く，走る，止まるなどを繰り返し行っているため運動状態による人体への負荷の差も考慮しなければならない。このような，屋外での非定常性を考慮した温熱快適指標は少ない。世界的にも先進国では約15%，途上国では約30%が屋外で過ごしている^[1]。そのため，屋外での温熱環境の非定常性を考慮した温熱快適性指標の構築が望まれている。

2. 実験方法および場所

被験者周囲の環境条件の測定項目として，気温，相対湿度，風速，周囲のふく射量の測定を行った。被験者の生理情報として，皮膚温（7点），深部温度（直腸温），心拍数，呼吸代謝量，局所発汗量，体重変化の測定を行った。局所発汗量を7部位で測定し，平均皮膚温の算出と同じ加重平均して全身発汗量とした。測定は大阪府立産業技術研究所内の人工気候室および大阪府立大学中百舌鳥キャンパス内の建物中庭で実施した。

被験者はTシャツ，半ズボン，白色スニーカーを共通の衣服として着衣した。衣服の断熱性を示すclo値は0.3を用いた。温冷感は-3「非常に寒い」～0「中立」～+3「非常に暑い」を線形尺度で3分毎に申告させた。被験者は健康な22歳から25歳の男子大学生，大学院生を対象とした。被験者の情報を表1に示す。被験者は実験場所に移動する1時間前から待機室に移動し，食事，行動

の制限を行った。待機室は空調をかけており室温は26°Cに設定した。被験者を指定の衣服に着替えさせた後，実験場所に移動し20分間程度周囲環境への順化を行った。被験者実験は大阪府立大学工学研究科倫理委員会で承認された手続きに従い実施した。

Table.1 Subject information

Subject	Height [cm]	Weight [kg]	Body surface area[m ²]	Age [-]
a	168	67	1.76	23
b	165	52	1.56	24
c	173	75	1.89	23
d	178	73	1.90	22
e	180	70	1.89	22
f	173	95	2.09	22
g	165	58	1.63	22

(a) 代謝量が時間変動する場合

実験プロトコルは，6分毎に立位安静-トレッドミルでの歩行を繰り返し行なった。歩行速度は実生活の歩行を想定した4km/h(45W, 約3MET)と6km/h(70W, 約4MET)の2種類を行った。実験はいずれも日射が照射された状態で実施された。

人工気候室での周囲環境条件は，気温 30.5[°C]，相対湿度 42.9[%]，風速 0.10[m/sec]，日射量 746[W/m²]とした。人工照明により照射日射量を制御した。屋外実験は，2017/8/23~8/31 までの，日射の安定した弱風，晴天日に

行った。被験者数は人工気候室6名，屋外実験では条件により6名あるいは3名である。

(b) ふく射量が時間変動する場合

ふく射負荷のあるエリア（日向エリア）と隣接するふく射負荷のないエリア（日陰エリア）の移動によりふく射量のステップ変化を与えた。実験プロトコルは，ステップ変化の時間間隔を3分，6分，9分の3種類を行った。

人工気候室での周囲環境条件は，気温 30.2[°C]，相対湿度 41.9[%]，風速 0.13[m/sec]，日射量 919[W/m²]とした。屋外実験は，2017/8/23～9/1 までの，日射の安定した弱風，晴天日に行った。被験者数は人工気候室6名，屋外実験では条件により6名あるいは3名である。

(c) 代謝量とふく射量の両方が変化する場合

実験は大阪府立大学中百舌鳥キャンパス内の駐輪場と隣接する樹林が両側に配置されたプロムナードで行った。被験者は実験中に日向エリア（駐輪場）と日陰エリア（プロムナード）の移動によってふく射量の変化を，立位安静状態と往復歩行運動の切り替えによって代謝量の変化を与えた。歩行速度は4km/hとした。実験のプロトコルを図1に示す。

実験は，2017/9/26～9/30 までの，日射の安定した弱風，晴天日に行った。被験者数は3名である。

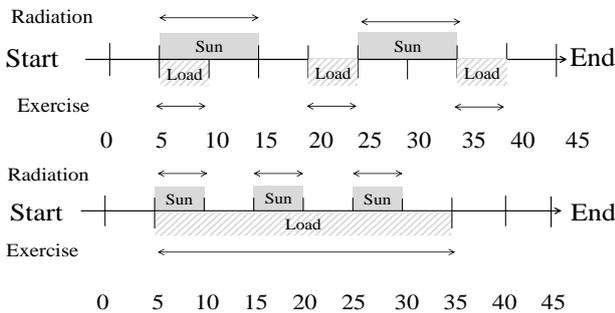


Fig.1 Experiment protocol

3. 実験結果および考察

非定常状態の温冷感に影響する因子として以下を検討する。負荷を与える前の定常状態にある被験者の生理量を初期値とし，平均皮膚温の初期値からの偏差を T'_{skin} [°C]，各心理申告間の皮膚温の変化量を ΔT_{skin} [°C] と定義する。

(a) 代謝量変化が時間変動する場合

人工気候室での実験結果を以下に示す。図2に被験者平均の平均皮膚温の時間変化 T'_{skin} を示す。平均皮膚温は運動開始後にやや遅れて上昇し，運動終了直後にやや遅れて下降する傾向を示した。運動負荷が大きい場合（6km/h）にはこの傾向は明瞭である。深部温度は歩行速度が大きい場合には上昇傾向が認められ，人体への熱負荷が蓄積していることが示唆される。深部体温は時間遅れを伴い変化することを示した。

図3に被験者平均の全身発汗量の時間変化を示す。発汗量は被験者により個人差が認められるが，時間変化は同じであった。発汗現象は運動に対し素早い応答をするとしており^[2]，本実験でも発汗量は運動開始直後に上昇した。その後の変化は小さく，温冷感には運動開始後の初期に影響を与えていると推察される。なお，前述の方法で局所発汗計の測定値から求められた全身発汗量を時間積算した測定期間中の総発汗量と実験前後での体重変化から求めた総発汗量の差は最大で8.2%，最小で3.7%であった。

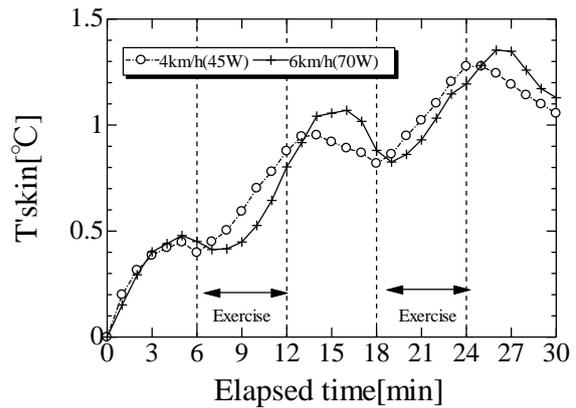


Fig.2 Temporal changes of average skin temperature T'_{skin} under load of exercise

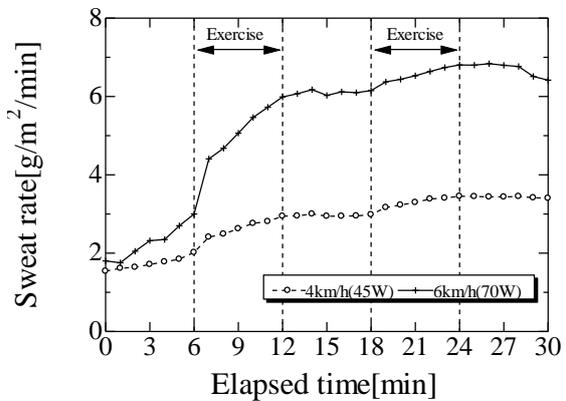


Fig.3 Temporal changes of sweat rate under load of exercise

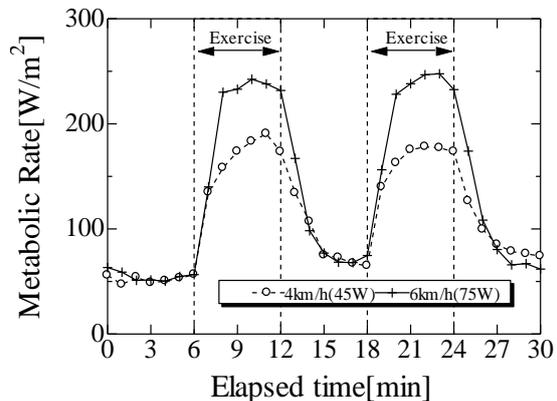


Fig.4 Temporal changes of metabolic rate under load of exercise

図4に被験者平均の代謝量の時間変化を示す。呼吸から得られる代謝量は、運動に対し時間遅れなく変化に追随し、運動強度により代謝量が変化した。人工気候室で実施された被験者実験の代謝量と温冷感の相関を図5に示す。相関係数は $R=0.72$ であった。代謝量が時間変動する場合、温冷感に最も影響を与えるのは代謝量であった。

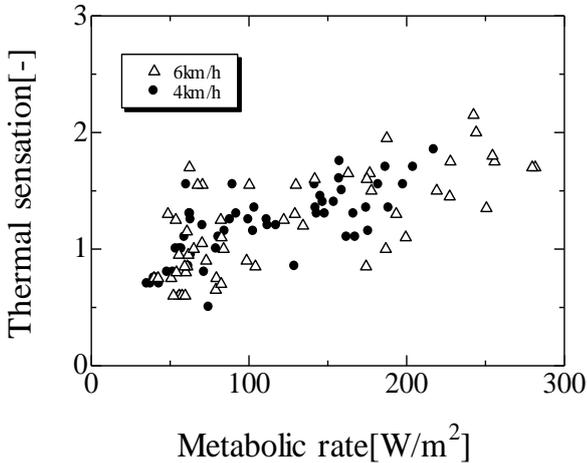


Fig.5 Relation between metabolic rate and thermal sensation under load of exercise

(b) ふく射量が時間変動する場合

屋外実験での実験結果を以下に示す。図6に平均皮膚温の時間変化の測定例を示す。平均皮膚温はふく射負荷（日向）の増加により直ちに上昇し、ふく射の負荷の減少（日陰）に伴い直ちに低下した。皮膚温はステップ変化するふく射量に対して一時遅れ系で表現できる結果が得られた。

図7に屋外での被験者実験における皮膚温の時間変化 ΔT_{skin} と温冷感の変化量の相関を示す。図中には先行研究^[3]の測定値も併記した。両者には強い線形相関が認められた。相関係数は $R=0.80$ であった。皮膚温の時間変化が温冷感の変化に対して重要な因子であることが明らかになった。深部温度は、屋外実験では変化は小さかったが、ふく射による負荷が大きかった人工気候室で行った実験では増加傾向を示した。

4. 生理量による非定常温冷感の予測

定常状態ではこれまでに、皮膚温や深部温度の生理量や人体周りの熱収支である人体熱負荷量^[4]で評価することができた。前述の実験結果から非定常温冷感と生理量の間にある一定の相関があることを示してきた。この結果から生理量によって非定常温冷感を予測できるという仮説のもとに、生理量を説明変数とした重回帰分析による温冷感の算出を行った。重回帰分析の説明変数として T'_{skin} , ΔT_{skin} , T'_{cor} に加え、代謝量の初期値からの偏差 M [W/m^2], 発汗量の変化量 S [$g/min/m^2$]を対象とした。ここで T'_{cor} は

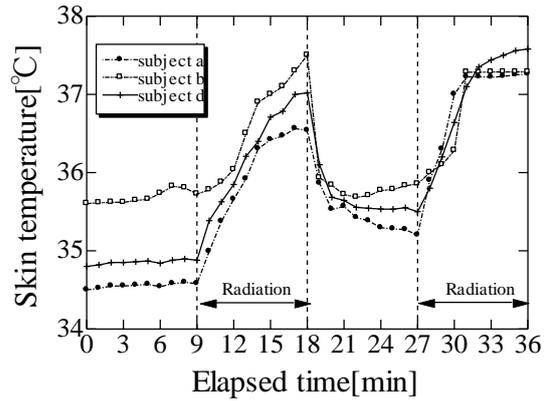


Fig.6 Temporal changes of average skin temperature under load of radiation

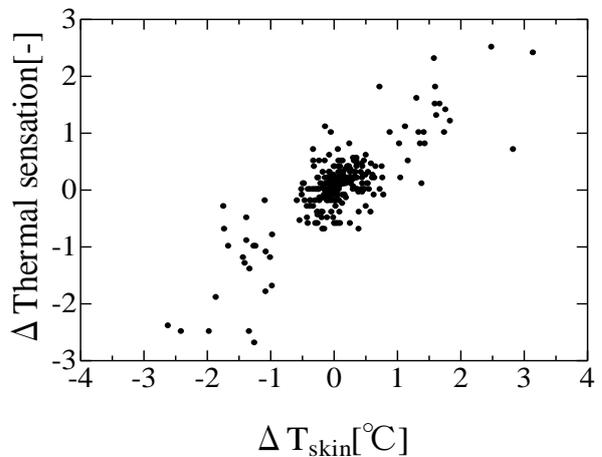


Fig.7 Relation between average skin temperature change and thermal sensation change under load of radiation

深部温度の初期値からの偏差を表す。説明変数の p 値が $p > 0.05$ 以上の説明変数は除いた。

代謝量、ふく射量がそれぞれ変化する場合の非定常温冷感予測式を以下に示す。

$$\Delta PTS(Met) = 0.00242 \times M' + 0.183 \times \Delta T_{skin} \quad (1)$$

$$\Delta PTS(Rad) = -0.0065 \times T'_{skin} + 0.68 \times \Delta T_{skin} \quad (2)$$

ここで $\Delta PTS(Met)$ は代謝変化時の初期温冷感からの偏差、 $\Delta PTS(Rad)$ はふく射変化時の初期温冷感からの偏差である。該当する全実験を対象として、図8、図9にそれぞれの回帰式から予測される温冷感の偏差 ΔPTS と実験時の被験者の申告により得られた温冷感の偏差 ΔTS の相関を示す。それぞれ相関係数は $R_{Metabo}=0.76$, $R_{Rad}=0.64$ となり、相関が得られた。それぞれの変化が独立して温冷感を変化させると仮定し式(1)と式(2)を線形結合させることで非定常温冷感を予測することができると考えられる。しかし、両式には ΔT_{skin} が含まれており、単純な線形結合では皮膚温の変化量の項が多重計算となるため、両式の ΔT_{skin} に影響度を考慮した重みをかける必要があると

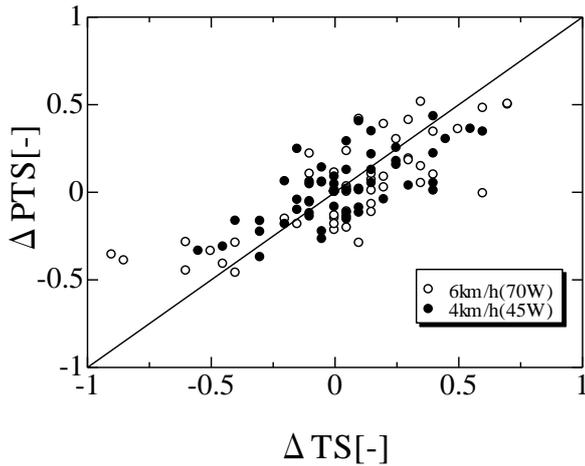


Fig.8 Correlation of measured data and predicted values of thermal sensation under load of exercise

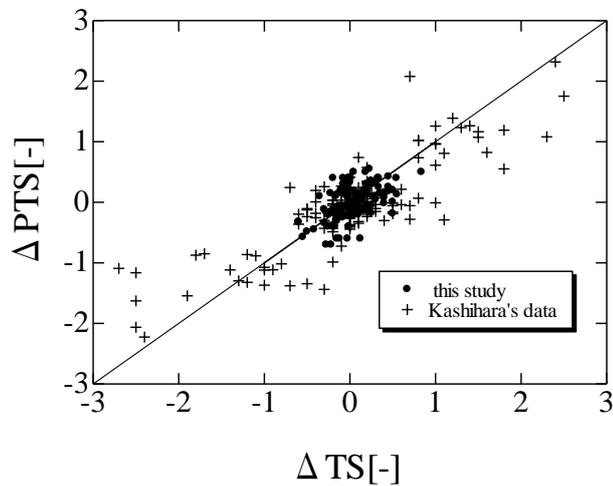


Fig.9 Correlation of measured data and predicted values of thermal sensation under load of radiation

考えられる。本実験では、ふく射、代謝量からの影響度が半分ずつであると仮定し、 ΔT_{skin} の項に 1/2 の係数をかけたものを、式(3)に示すように代謝量とふく射量の両者が増加する場合の非定常温冷感予測式とした。

$$\begin{aligned}
 PTS(Met + Rad) &= \Delta PTS(Met) + \Delta PTS(Rad) \\
 &= 0.00242 \times M' - 0.103 \times T'_{skin} \\
 &\quad + 1/2(0.183 + 0.810) \times \Delta T_{skin} \quad (3)
 \end{aligned}$$

ここで $\Delta PTS(Met+Rad)$ は初期温冷感からの偏差である。図 10 にふく射、代謝が両方変化する実験における被験者の温冷感申告値の偏差と式(3)の予測温冷感の偏差の時間変化の例を示す。該当する全実験の予測温冷感と被験者の温冷感の相関を図 11 に示す。相関係数は $R=0.65$ と概ね被験者の温冷感申告値と近い値をとり、代謝変化、ふく射変化の個々の非定常実験より得られた予測式を線形結合させることで両方が変化する複合的な変化にも適応できたと考えられる。

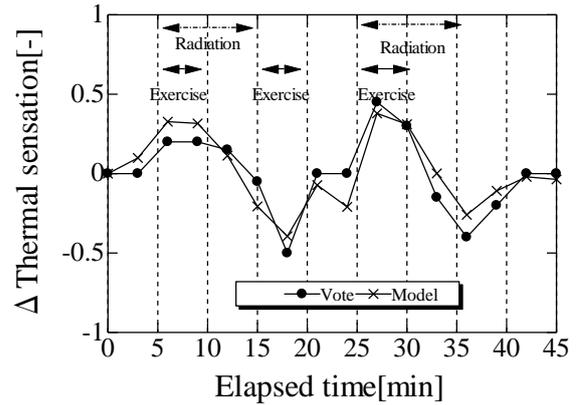


Fig. 10 Comparison between measured and predicted temporal changes of thermal sensation

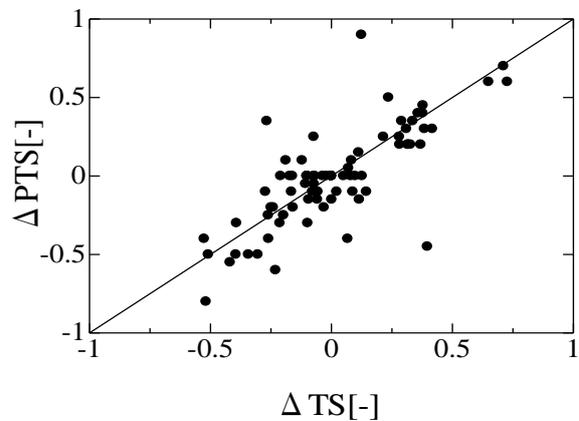


Fig.11 Correlation of measured data and predicted values of thermal sensation in outdoor under load of exercise and radiation

5. 結言

本研究では非定常環境下で屋外温熱環境の評価指標の構築に向けて、被験者実験を実施した。

- ・代謝量が増加する場合、平均皮膚温と温冷感の間には時間遅れの関係が認められた。呼気代謝量が温冷感に最も相関が高かった。
- ・ふく射量が増加する場合、被験者の平均皮膚温の変化量と温冷感の変化量の間には強い相関関係が認められた。
- ・重回帰分析により生理量の変化と温冷感の変化を結びつける予測式の算出を行った。生理量を説明変数として非定常温冷感が予測できた。

参考文献

- [1] WHO Air Quality Guidelines Global Update , p.63, (2005)
- [2] 小川徳雄, 「運動と発汗」, 体力科学, 45, pp.289-300, (1996)
- [3] 樫原健太ら, 「ふく射と運動の負荷が時間変化する場合温冷感予測法検討」, 空気調和・衛生工学会第 44 回近畿支部学術研究発表会, pp.212-215, (2014)
- [4] 島崎康弘, 「人体熱負荷量に基づく温熱快適性指標の提案」日本冷凍空調学会論文集, .26-1, pp.113-120, (2009)

樹木周りのふく射・熱移動特性に及ぼす
葉群の構造の影響に関する研究

Study on Effect of Foliage Structure on Thermal Environment around Trees

○金澤 英樹 (大阪府立大学) 木下 進一 (大阪府立大学) 吉田 篤正 (大阪府立大学)

Hideki KANAZAWA*¹ Shinichi KINOSHITA*¹ Atsumasa YOSHIDA*¹

*¹ Osaka Prefecture University

In this study, heat budget of isolated plant unit is numerically evaluated with thermal plant model including radiation transfer model for net radiation and transpiration model for latent heat transfer. Latent heat transfer related to transpiration on leaf surface can be evaluated by Jarvis model. Net radiation of foliage is evaluated by solving the Ross's radiation transfer equations and sensible heat transfer is by difference between the net radiation and latent heat transfer. In the prediction of net radiation of foliage, CG model with software AMAP is applied to decision of structure parameters which are included in Ross's equations.

1. はじめに

近年、都市部において深刻化するヒートアイランド現象の緩和策のひとつとして緑化が知られている。緑化の効果として、蒸散作用による大気顕熱負荷の抑制、日射の遮蔽などが期待されている。緑化による熱的快適性を構築するうえで、一般に植えることのできる樹種は制限されており、費用対効果の観点からも、個々の樹木と周辺大気と間の熱交換特性を把握し、効果的に配置するのが理想である。単木の熱収支評価に関連する蒸散量実測として、Granier法を応用した測定¹⁾や近年では大型重量計を応用した例²⁾が挙げられるが、実際の都市空間において実測するのは困難と考える。

本研究では、街路樹のような孤立樹木を対象として、その周囲との熱交換特性を数値的に評価するためのモデルについて検討する。詳細構造を表現した樹木のCADモデルから、樹木の構造をパラメータ化し、Rossのふく射輸送モデル³⁾、Jarvisモデル⁴⁾を援用し、その熱収支を評価することを考える。

2. 樹木の熱収支モデル

樹木モデルを考える上で、森林のような形態なら、高さ方向に一次的に、道路に沿って密に植えられた街路樹であれば、二次的に扱うことができるが、孤立樹木では三次元的となる。孤立樹木の熱収支を考える上で、図1のように樹木周りの空間を立方体格子に細分化する。孤立樹木の根の中心部を原点とする。それぞれの微小体積要素内の熱輸送を解析することにより樹木全体の熱収支を評価することを考える。

樹木モデルには、樹形や葉形、葉のつき方などの樹種特性までCGモデルとして描画可能なソフトウェアであ

るAMAP (Atelier of Modeling of Architecture of Plants) によって生成されたCADモデルを用いる。AMAPの植物モデルは幹・枝の表面および葉面のポリゴンデータで構成されており、そのデータから葉面要素のみを抽出し、要素ごとの面積および法線ベクトルを求めることができる。これらの葉面要素を、体積要素毎に仕分けし、それぞれにおける葉面積密度 $a(x)$ および葉面配向関数 $g(x, \hat{r}_L)$ を算出する。 x は体積要素の位置ベクトル、 \hat{r}_L は葉面の法線ベクトルである。葉面配向関数は体積要素内に含まれる総葉面積に対する、 \hat{r}_L の方向を向いた葉面の総面積として表現でき、次式が成り立つように正規化されている。

$$\frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} g(x, \hat{r}_L) d\omega_L = 1 \quad (1)$$

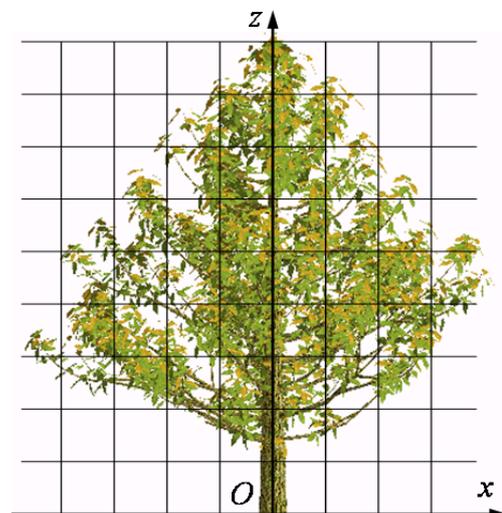


Fig.1 Discretization of space around a isolated tree

熱収支のバランスは、正味ふく射、葉面大気間の顕熱輸送および潜熱輸送および葉群等への伝導熱輸送で表現できる。葉面の表裏の温度差は小さいと考え伝導熱輸送を無視し、正味ふく射と顕熱輸送・潜熱輸送がバランスすると考える。葉面の蒸散に関わる潜熱輸送は Jarvis モデルにより評価することとする。正味ふく射は次節の Ross の放射輸送方程式により評価でき、顕熱輸送はそれらの差から評価するものとする。潜熱輸送の予測において葉温 T_L が必要であり、葉面からの赤外放射も葉温の関数である。本研究では葉面での熱収支が満足されるように、反復解法によって葉温を決定する。

2.1 Ross の放射輸送方程式および正味ふく射

正味ふく射を評価するためには、短波放射成分については直達日射、散乱日射および樹冠内での散乱光を、長波放射成分については大気放射を含む周囲からの熱放射および葉面からの熱放射を考慮する必要がある。短波放射については光合成有効放射域 (PAR) と近赤外域 (NIR) の2領域に分けて解析を行う。基礎は次の通りである。

$$r_d \frac{\partial i_d(x, r_d)}{\partial x} = -a(x)G(x, r_d)i_d(x, r_d) \tag{2}$$

$$r_j \frac{\partial I(x, r)}{\partial x_j} = a(x)\{-G(x, r)I(x, r) + \int_{\omega=4\pi} \Gamma(x, r, r')\{i_d(x, r') + I(x, r')\}d\omega'\} \tag{3}$$

$$r_j \frac{\partial i_{lr}(x, r)}{\partial x_j} = a(x)\left\{-G(x, r)i_{lr}(x, r) + \frac{\varepsilon}{\pi}G(x, r)\sigma(T_L + T_A)^4 + \frac{1-\varepsilon}{\pi} \int_{\omega=4\pi} \Gamma_R(x, r, r')i_{lr}(x, r')d\omega'\right\} \tag{4}$$

$$G(x, r) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega=2\pi} g(x, r_L)(r \cdot r_L)|d\omega' \tag{5}$$

$$\Gamma(x, r, r') = \frac{T}{\pi} \Gamma_T(x, r, r') + \frac{R}{\pi} \Gamma_R(x, r, r') \tag{6}$$

$$\Gamma_T(x, r, r') = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_L=2\pi} g(x, r_L)H[(r \cdot r_L)(r' \cdot r_L)]d\omega_L \tag{7}$$

$$\Gamma_R(x, r, r') = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_L=2\pi} g(x, r_L)H[-(r \cdot r_L)(r' \cdot r_L)]d\omega_L \tag{8}$$

$$H[f] = f \text{ if } f \geq 0 \quad H[f] = -f \text{ if } f < 0 \tag{9}$$

ここで r はふく射光線の方向ベクトル、 i_d および I はそれぞれ短波放射の直達成分と散乱成分、 i_{lr} は長波放射、 G は葉群の減衰係数、 Γ は葉群の散乱関数、 T および R はそれぞれ短波放射に対する単一葉面の透過率および反射率である。葉面での反射および透過はそれぞれ半球方向に一様であるとする。 ε は葉面の赤外放射率、 ω は立体角、 T_A は 0°C に対する絶対温度である。

境界条件として、全天日射、大気放射および地表面放射が必要であり、日射は直散分離する必要がある。全天日射および大気放射は、適当な地域・時期の気象データを用いて、Erbs モデルにより直達日射、散乱日射、Brant

のモデルにより大気放射を推定する。地表面放射については、地表面の日射反射率、赤外放射率および地表面温度が必要であり、地表面温度は地中温度、地中熱伝導率、地表面での熱伝達率、風速、気温の情報から熱収支を満足するように与えるとする。これらの基礎式および境界条件から得られたふく射強度分布から、各体積要素表面でのふく射熱流束を算出し、その発散から葉面で吸収される正味ふく射を評価するものとする。

2.2 潜熱輸送量

潜熱輸送量は各セルの蒸散量を Jarvis モデルに基づいて算出する。Jarvis モデルで予測できる気孔コンダクタンスは光合成有効放射束密度 (光量子量)、葉面温度および葉面飽差の関数として表される。

$$g_s = g_{s\max} f_1(Q) f_2(D) f_3(T) \tag{10}$$

$$g_{s\max} f_1(Q) = g_{s\max} Q / \left(Q + \frac{g_{s\max}}{a} \right) \tag{11}$$

$$f_2(D) = 1 - bD \tag{12}$$

$$f_3(T) = \left(\frac{T - T_L}{T_0 - T_L} \right) \left(\frac{T_H - T}{T_H - T_0} \right)^{\frac{T_H - T_0}{T_0 - T_L}} \tag{13}$$

各体積要素に含まれる葉面に照射される光量子量は、前節で求められるふく射強度から葉面配向を考慮しつつ、次式で評価する。

$$Q = \alpha \left\{ i_{d,PAR} H(-r_L \cdot r_d) + \int_{4\pi} I_{PAR} H(-r_L \cdot r) d\omega_L \right\} \tag{14}$$

Table 1 Identified parameters of Jarvis model

Species	$g_{s\max}$	a	b	T_0
Cinamomum camphora	1.57	0.04	0.022	29.54
Ginkgo	0.56	0.99	0.017	34.58
Populus	9.99	0.005	0.019	18.90
Quercus glauca	0.93	0.93	0.016	13.28

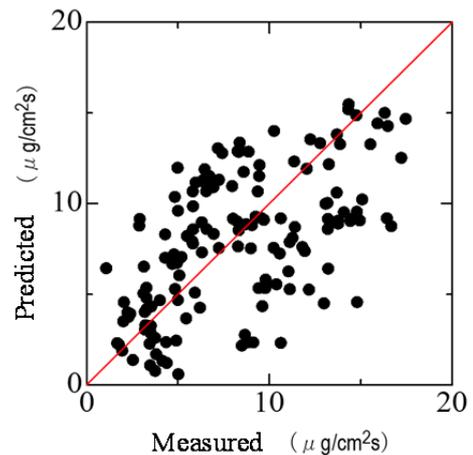


Fig.2 Comparison between measured and predicted transpiration

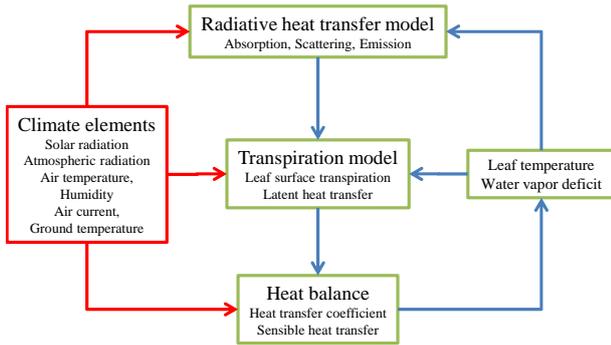


Fig.3 Relationship of heat budget in local volume element.

Q は光量子量 ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$), α は単位換算係数である。Jarvis モデルの未知パラメータ ($g_{\text{max}}, a, b, T_0$) については、測定データから非線形最小二乗法を用いて求めた値を用いる。

潜熱輸送量 IE は、葉面の気孔コンダクタンスおよび境界層コンダクタンスと葉面と大気との間の水蒸気密度差から得られる蒸散量 J_p [$\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$]に気化熱および葉面積密度、葉面配向関数、体積要素体積を乗ずることで得られる。

なお今回大阪府立大学内の 11 種の樹木を対象とし、拡散型ポロメータを用いて蒸散量を測定し、同時に測定された光量子量、葉面温度、気温、飽差から Jarvis モデルのパラメータを求めている。結果の一部を表 1 に示す。またクスノキについて測定された蒸散量と同定したパラメータに基づく予測値との相関を図 2 に示す。

2.3 顕熱輸送量

顕熱輸送量に関しては以下の式で表される。

$$H = 2a(x)h(U_{\text{air}})(T_l - T_{\text{air}})\Delta V \quad (15)$$

なお、 H は体積要素における顕熱輸送量[W]である。 h は葉面の対流熱伝達率で Daudet らの測定⁵⁾より、風速 U_{air} [m/s]の関数として次式で与えられる。

$$h(U_{\text{air}}) = 6.79 + 5.99U_{\text{air}} \quad (16)$$

一方、顕熱輸送量は体積要素における正味ふく射 Rn と潜熱輸送量 IE との釣り合いから、次式により葉面温度が求められる。

$$T_l = \frac{Rn - IE}{2a(x)h(U_{\text{air}})\Delta V} \quad (17)$$

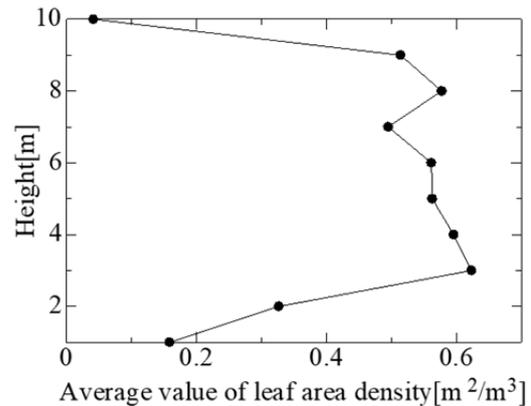
葉面温度は樹冠部からの長波放射、蒸散速度にそれぞれ影響するため、反復計算により求めることになる。図 3 に熱収支を構成する正味ふく射、潜熱輸送量、顕熱輸送量ならびに葉面温度の関連について模式的にまとめる。

3. まとめ

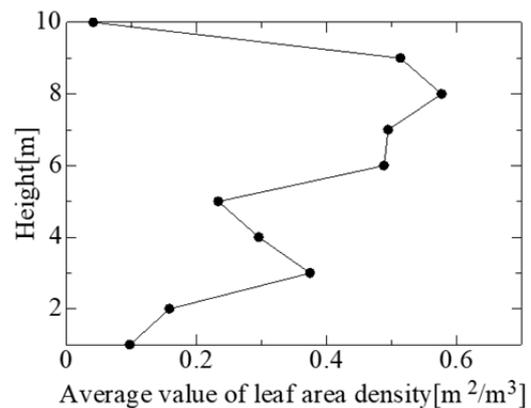
孤立樹木を対象として、その周囲との熱交換特性を数値的に評価するためのモデルについて検討した。今後は図 1 に示す葉群を対象として、夏季の標準的な天候における熱収支を評価する。特に (1) 図 4 に示すような樹形を変えずに葉面積密度を変化させ、葉面積指数に対する日射遮蔽効果、(2) 蒸散パラメータを意図的に変化させ、樹木の蒸散特性が、周囲の大気との間での熱交換特性に及ぼす影響について評価する予定である。

参考文献

- 1) A. Yoshida, Y. Kataoka, K. Nii, S. Kinoshita, Field Measurement of the Energy Budget for an Isolated Plant Unit, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.7-2, 2012, pp.142-150.
- 2) 清野友規, 浅輪貴史, 梅干野晃, 清水克哉, 都市緑化樹木を対象とした大型重量計による単木蒸散量の計測と樹木の形態的・生理的特徴に基づく分析, 日本建築学会環境系論文集, 80(713), 2015, pp.599-608.



(a) Original structure



(b) Half leaf surface density

Fig.4 Leaf surface density of tree crown of calculation objects.

- 3) 平岡久司, Ross の植物群落内放射輸送方程式の拡散近似開放に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 495, 1997, pp.31-36.
- 4) P.J.Jarvis, The interpretation of the variation in leaf water potential and stomatal conductance in canopies in the field, Phil. Trans. R.soc. Lond. B. 273, 1976, pp.593-610.
- 5) F.A.Daudet, J.Silvestre, M.I.Ferreira, C.Valancogne, F. Pradelle, Leaf boundary layer conductance in a vineyard in Portugal Agricultural and Forest Meteorology, 89, 1998, 255-267.

居住者属性が睡眠・食事・仕事・学業の生活時間へ与える影響の統計分析 Statistical analysis of the influence of socio-demographics condition on sleep, meal, work and school time use

○岡田 健志 (大阪大学) 山口 容平 (大阪大学) 下田 吉之 (大阪大学)
Takeshi OKADA*¹ Yohei YAMAGUCHI*¹ Yoshiyuki SHIMODA*¹
*¹ Osaka University

This paper conducted a statistical analysis on the relationship between socio-demographic condition and time use for sleeping, eating, working and school activity. Time use was expressed by the probability of starting activity at each time of day modelled by logistic regression and the duration of activity modelled by survival analysis. The result revealed that how to use time differs depending on life stage, business category, and feature of occupant's residence. Occupants are expected to live according to business, residence, and their surrounding environment. Also, they tend to use life time depending on their socio-demographics condition.

はじめに

生活時間とは時間の使い方を指す。生活時間は古くから全国レベルでの調査が行われており、代表的なものに総務省統計局による社会生活基本調査がある。当調査は国民の社会生活の実態を明らかにすることを目的として5年に1回行われるもので、全国20万人から生活時間と世帯構成や年齢・性別などの個人属性が収集されている。時間の使い方については生活行為を20種に区分し、連続する2日分について自己申告される。このデータを使用することによってどのような属性を持つ人がどのように時間を使っているか知ることができる。

エネルギー分野では生活時間データを用いて住宅居住者の生活行為を模擬し、生成された生活行為スケジュールに基づいてエネルギー需要を推計する試みが行われている。生活時間データを用いた生活行為スケジュール生成には谷本ら⁽¹⁾、Widenら⁽²⁾、Wilkeら⁽³⁾、Yamaguchiら⁽⁴⁾の手法がある。それぞれ生活時間データに基づいて行為の生起や生起した行為の継続時間を表す方法、それらを表す確率分布の設定方法等に特徴がある。しかし、これらの生活行為モデルでは計算対象となる居住者の居住地、職種、ライフステージ等の居住者属性が十分に考慮されておらず、生活行為スケジュールの多様性が表現されてこなかった。そこで本研究では、睡眠・食事・仕事・学業の行為を対象として、居住者属性が生活時間へ与える影響を明らかにすることを目的とする。生活行為は時刻別の行為生起確率と行為継続時間により模擬し、それぞれと居住者属性の関係性をロジスティック回帰、生存時間分析により統計解析する。

1. 分析方法

1.1 生活時間データ

本研究は平成18年度に行われた総務省社会生活基本調査⁽⁵⁾の結果得られた生活時間データと、回答者の属性の個票を用いる。平成18年度調査は全国の約8万3千世帯の10歳以上の世帯員約20万人を対象として行われ

たものである。調査期間は平成18年10月20日現在で行い、生活時間の配分についての調査は10月14日から10月22日までの9日間のうちから、調査区ごとに指定した連続する2日間としている。本調査では、調査対象日において実施した生活行為をあらかじめ設定されたカテゴリーの中から回答者が選択する方式を採用しており、欠損は存在しない。本研究で対象とした行為の内容一覧をTable.1に示す。

Table.1 Target action and definition

Activities	Examples and/or notes
Sleep	Time from going to bed till getting up
Meals	Include drinking before or after meals.
Work	Work for pay or profit Includes helping family business. Rest between work time should be classified according to the activity actually done.
Schoolwork	Studying by students at school, such as high school, college and university Homework is included.

1.2 行為開始確率の統計解析

本研究では、対象生活行為の時刻別開始確率 p_t を(1)式に示すロジットモデルにより回帰する($t=1\sim 24$)。

$$\ln \frac{p_t}{1-p_t} = \beta_{0,t} + \sum_{i=1}^n \beta_{i,t} x_i \quad (1)$$

$\beta_{0,t}$ は時刻 t における切片、 $\beta_{i,t}$ は時刻 t における説明変数 x_i の偏回帰係数を表す。各対象行為の開始確率は(1)式を変形して(2)式のように求められる。

$$p_t = \frac{1}{1 + \exp\{-(\beta_{0,t} + \sum_{i=1}^n \beta_{i,t} x_i)\}} \quad (2)$$

1.3 行為継続時間

生活行為継続時間は、行為が生起してから行為が終了するまでの時間数として定義する。生活時間データでは連続した行為の時間数をカウントすることで継続時間を定量化することができる。解析には生存時間分析⁽⁶⁾を用いた。開始された時刻ごとに継続時間を算出して分析を行った。 Du を居住者の行為継続時間を表す確率変数とし、

ある時刻 t に開始された行為の継続時間をとすると、生存関数は継続時間 Du が d_t 以上となる確率として定義され、(3)で表される。

$$S(d_t) = Pr[Du > d_t] \tag{3}$$

回帰分析にはハザード関数を用いる。ハザード関数は、継続時間 d_t まで行為終了しないという条件で継続時間 d_t になった瞬間終了する条件付確率を表す。つまり継続時間のハザード関数 $h(d_t)$ は(4)式で表すことができる。

$$h(d_t) = Pr[Du = d_t | Du \geq d_t] \tag{4}$$

またコックス回帰では、すべての説明変数をゼロとした時のハザード関数を基準ハザード $h_0(d_t)$ とし、(5)式のように個々の説明変数を持つ個人の継続時間を推定する。

$$h(d_t) = h_0(d_t) \exp\left(\sum_{i=1}^n \beta_{i,t} x_i\right) \tag{5}$$

ここで x_i は説明変数であり $\beta_{i,t}$ は回帰係数である。生存関数 $S(d_t)$ は基準ハザード関数に対応する基準生存関数 $S_0(d_t)$ とコックス回帰分析で得られた予測子を用いて(6)のように表すことができる。

$$S(d_t) = S_0(d_t) \exp\left(\sum_{i=1}^n \beta_{i,t} x_i\right) \tag{6}$$

なお、回帰分析後には、サンプルの偏りによるハザード関数の偏向を平準化するため、カーネル平滑化を行った。

1. 4 分析対象の類型化と説明変数の選択

上記のように各回帰モデルでは説明変数が回帰対象に及ぼす影響を考慮することができる。本研究では居住者属性を説明変数とする。ただし、回帰分析では説明変数である居住者属性が回帰対象に共通の影響を持つことを仮定することから、本研究では生活時間データを時間の使い方が大きく異なると考えられる平日・休日の区分、男女の区分、加えて Table. 2 に示すライフステージ区分に分類し、別々に回帰モデルを作成した。なお、学生区分については性別を考慮せず、小学生・中学生・高校生・大学生の4区分として分類する。そのほかの居住者属性は説明変数として扱う。独身男性類型で考慮した居住者属性を Table. 3 に示す。説明変数は大きく就業形態、通勤時間、年齢、都市階級、職種、家族構成に分類されている。なお、表中の「※」が記されている変数は各類型区分の基準変数とし、回帰分析では説明変数として投入していない。

Table. 2 Criteria for classification by life stage

Division	Description	
Student	Elementary	Elementary school student
	Junior	Junior high school student
	High	High school student
	University	University student
Single	One without children and spouses	
Couple	Married person without children	
Caring child	Married person with unemployed children under 30 years old	
Living with children	Married people who do not have unemployed children under 30 but have other children	

Table. 3 Variable considered in single male type

Variable	Dummy variable	Description
Employment situation	Fulltime※	People mainly working
	Part-time	Working in one's spare time
	No job	People who are not working
Commuting time	Shorter than 30 min ※	One way commuting time is less than 30 minutes
	30 to 60 min	One way commuting time is 60 to less than 30 minutes
	60 to 120 min	One way commuting time is 120 to less than 60 minutes
	120 minutes or more	One way commuting time more than 120 minutes
	Not subject	People who are not working
Age	Teenager	~19 years old
	20 to 29 years old	20 to 29 years old
	30 to 44 years old	30 to 44 years old
	45 to 59 years old	45 to 59 years old
	60 to 74 years old	60 to 74 years old
	75 years old or older	Over 75 years old
City size	Mega city	City with population over 1 million
	Middle city※	City with population of 150,000 to less than 1 million
	Small city	City with population of 50,000 to less than 150,000
	Mini city	City with population of less than 50,000
	Village	Town and villages
Business category	Professional/Technical work	※Ministry of Health, Labor and Welfare Classification of Occupational Classification
	Administrative business	
	Office work	
	Sales business	
	Security business	
	Primary industry	
	Transportation/Communication business	
	Production process/Labor business※	
	Other business	
Not subject	People who are not working	
Household composition	Nuclear family	Couple and their children
	3 generations family	Couple and their parents and children
	One parent	One parent with children
	Living alone※	Living alone
	Other household composition	Other household composition
	Unknown	Unknown household composition

2. 行為開始確率の統計解析結果

ライフステージによる類型区分別の睡眠開始時刻割合の積み上げ分布を Fig1 に示す (Table.4 参照)。結果は各類型の基準ケースを示している。図より、大学生の約 50%は 0 時から 3 時の間に睡眠を開始している。子と同居類型は約 90%が 0 時までには就寝している。他の類型でも異なる割合を示していることから、ライフステージによって睡眠開始時刻に傾向があると考えられる。

次に、(2)式から特定の居住者属性を持つ人の行為開始確率を算出し、変数区分別に開始時刻の割合を算出した。Fig 2 に独身男性類型の職種別の仕事行為、Fig 3 に独身男性類型の通勤時間別の食事行為、Fig 4 に独身男性類型の職種別の睡眠行為、Fig 5 に大学生類型の都市階級別の学業行為を示す(Table.4 参照)。それぞれの行為について、食事の行為開始時刻は朝食を、仕事、学業の行為開始時刻は午前を想定している。考察する変数区分以外はすべて基準ケースである。Fig2 では職種によって仕事開始確率が異なることが分かる。このことから職種によって仕事を開始する時刻が異なると考えられる。Fig3 から分かるように、通勤時間が長い程、朝食を摂る時間が早い。また、通勤時間が短い程朝食を摂らない割合が高い。このことから、人々は通勤時間に合わせた時刻に食事を摂ると考えられる。Fig4 より、職種の違いによって睡眠行為を開始する時刻が変わることが分かる。農林漁業の従事者は 20 時から 3 時の間に睡眠をとらない確率が約 30%ある。他の職種についても、それぞれ固有の睡眠開始時刻割合を示している。このことから居住者は職種に合わせた睡眠行為を実施すると考えられる。Fig5 より都市階級の違いによって学業を開始する時刻に差異が生じていることが分かる。人口が 100 万人以上の都市に住む居住者は 5 時から 13 時以外の学業開始割合が約 20%ある。町村の居住者は 13 時以前にほとんど学業を開始している。このことから、都市階級によって学業行為の傾向があると考えられる。

Table.4 List of case in the figure

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
Fig1	University	Living with children	Caring children	Couple	Single
Fig2	Transportation Communication	Primary industry	Security business	Sales business	Office work
Fig3	120 min or more	60 to 120 min	30 to 60 min	Shorter than 30 min	
Fig4	Transportation Communication	Primary industry	Security business	Sales business	Office work
Fig5	Village	Mini City	Small City	Middle City	Mega City

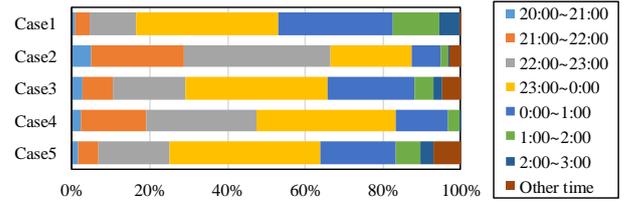


Fig 1 Stacked distribution of sleep start probabilities by time

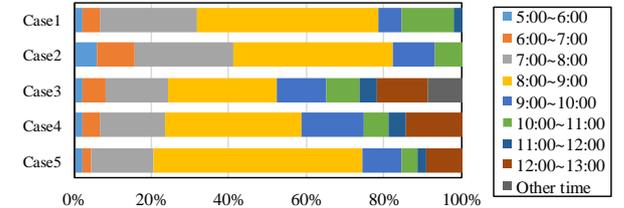


Fig 2 Stacked distribution of work start time of single male by business category

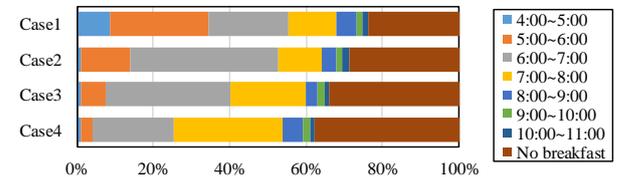


Fig 3 Stacked distribution of breakfast start time of single male by commuting duration

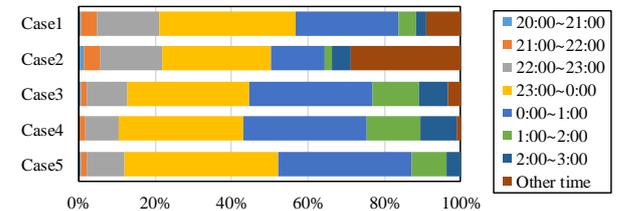


Fig 4 Stacked distribution of sleep start time of single male by business category

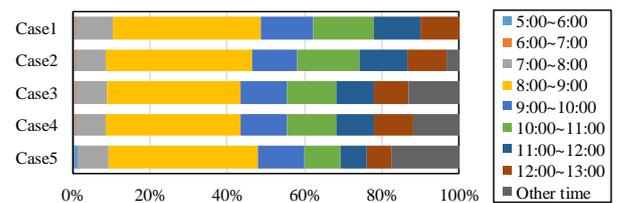


Fig 5 Stacked distribution of school work start time of male students by city size

3. 行為継続時間の統計解析結果

ライフステージ別の睡眠継続時間割合の積み上げ分布を下の Fig 6 に示す。なお、示している分布は 0 時から 1 時の間に開始された睡眠の分布である。学生類型は大学生としている。図よりライフステージ別に継続時間が異なる。大学生類型、子と同居類型に属する 90%以上の居住者の睡眠時間は 6 時間以内となっているが、大学生類型は約 50%で 4~5 時間の睡眠時間であるのに対し、子と同居類型は 1 時間以内の睡眠が 20%程度と短い睡眠が

存在する。夫婦類型と独身類型に属する居住者は6時間以内の睡眠の割合が約75%と同程度であるが、独身類型の居住者は3時間以内の睡眠が20%程度存在する。以上から、ライフステージによって睡眠継続時間に傾向があると考えられる。

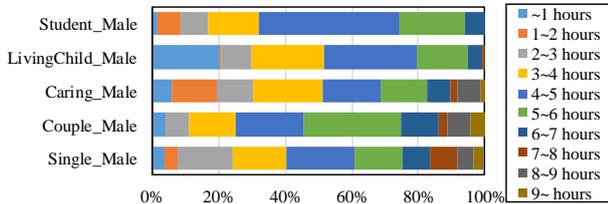


Fig 6 Stacked distribution of sleep duration by life stage (Start time=0:00~1:00)

想定する居住者属性の変数を(6)に代入することで、その居住者の継続時間の生存関数を算出することができる。例として、独身男性類型の睡眠継続時間の積み上げ分布を Fig 7, Fig 8, Fig 9 に示す。Fig 7 は家族構成別の睡眠継続時間分布を示している。この図から、家族構成が異なることによって継続時間に差異が表れることが分かった。傾向として、一人暮らしが短くなり、続いて核家族、三世帯家族が長くなった。Fig 8 は家族構成別の朝食継続時間分布を示している。一人暮らし、核家族の朝食継続時間分布は変わらなかったが、三世帯家族は他の家族構成に比べて長い傾向にあることが分かる。Fig 9 は職種別の仕事継続時間分布を示している。職種の違いは仕事の継続時間に差異をもたらしていた。短い傾向にあるのは販売の職業従事者で、続いて農林漁業の職業、事務的職業従事者となっている。このことから職種によって仕事の継続時間に傾向があると考えられる。

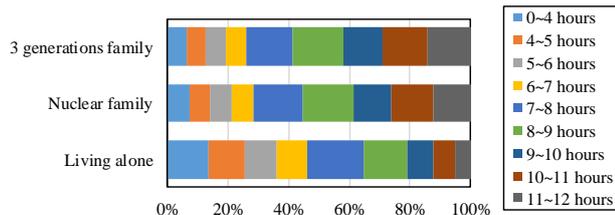


Fig 7 Stacked distribution of sleep duration by household composition (Start time=21:00~22:00, type is Single male.)

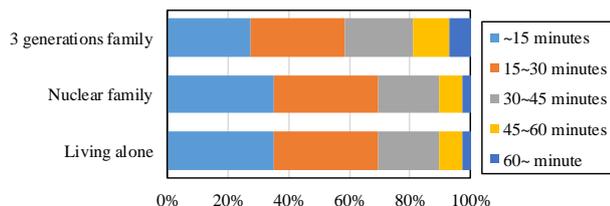


Fig 8 Stacked distribution of breakfast duration by household composition (Start time=18:00~19:00, type is Single male.)

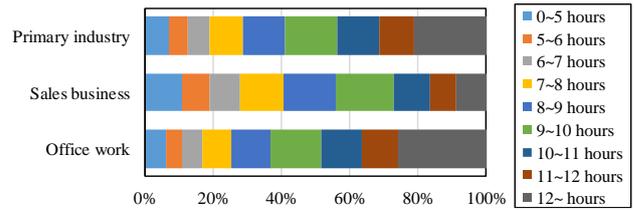


Fig 9 Stacked distribution of work duration by business category (Start time=9:00~10:00, type is Single male.)

4. まとめ

本研究は、睡眠、食事、仕事、学業を対象として、居住者属性が生活時間へ与える影響を統計解析した。生活時間のパラメータとして行為の開始確率と行為継続時間を用意し、前者についてはロジスティック回帰、後者については生存時間分析を用いて統計解析を行った。回帰分析はライフステージを基準として類型化し、類型区分ごとに関連すると思われる居住者属性を説明変数とすることで多様な居住者属性を考慮した。結果から、ライフステージ、職種、居住地の特性によって生活時間の使い方傾向があることが分かった。

謝辞

本研究は JST CREST (JPMJCR15K4) の支援を受けたものである。

参考文献

- 1) 谷本潤, 相良博喜, 萩島理, 前田哲彦, 岩井雄志, エネルギー計算に用いる生活スケジュールに関する研究, 空気調査・衛生工学会論文集, pp.19-24, (2007)
- 2) Widén, Joakim, Andreas Molin, and Kajsa Ellegård. 2012. "Models of Domestic Occupancy, Activities and Energy Use Based on Time-Use Data: Deterministic and Stochastic Approaches with Application to Various Building-Related Simulations." Journal of Building Performance Simulation 5 (1): 27-44
- 3) William O'Brien, H. Burak Gunay, Farhang Tahmasebi and Ardeshir Mahdavi, "A preliminary study of representing the inter-occupant diversity in occupant modelling", Journal of Building Performance Simulation, pp.509-526, (2016)
- 4) Yohei Yamaguchi and Yoshiyuki Shimoda, "A stochastic model to predict occupants' activities at home for community-/urban-scale energy demand modelling", Journal of Building Performance Simulation, pp.565-581(2017)
- 5) 総務省統計局, 平成 20 年 3 月, 平成 18 年社会生活基本調査報告 第 1 巻 全国 生活時間編, 日本統計協会
- 6) 菅原ますみ(2014) 『銃弾データの分析 II イベント生起のモデリング』朝倉書店

夏期におけるフレイル高齢者の室内温熱環境の実態調査 Research on Indoor Thermal Environment of the Frail Elderly in Summer

○城戸 千晶 (奈良女子大学)

久保 博子 (奈良女子大学)

Chiaki KIDO*¹ Hiroko KUBO*¹*¹ Nara Women's University

The influence of indoor thermal environment on residents is clarified. However, previous papers were almost focused on the active elderly. The purpose of this study was to clarify actual thermal environment of the frail elderly by measuring air temperature and humidity in living room and bedroom. The results were follows, the frail elderly lived in high air temperature as well as the active elderly, and wake after sleep onset was increased as air temperature in bedrooms was high. Not only the use of air-conditioner but also housing structure and years after building had a great influence on indoor environment.

1. 背景および目的

高齢者における熱中症の多くが住宅内で発生する¹⁾など、室内温熱環境が居住者に与える影響が明らかとなっており、その健康影響が懸念されている。これまで高齢者を対象とした室内温熱環境に関する研究はなされてきた^{2) 3)}が、そのほとんどが元気な高齢者を対象としており、介護予防が必要とされるようなフレイル高齢者を対象とした実測調査は少ない。フレイル(虚弱)は後期高齢者が要介護へ移行する最大の原因である⁴⁾といわれており、フレイル高齢者は元気高齢者に比べて外出頻度が低く、自宅での生活時間が長いことを考慮すると、高齢者が健康な生活を送るためにもフレイルを対象とした調査が必要であるといえる。

そこで本研究では、介護予防教室に通所するフレイル高齢者における室内温熱環境の実態を把握することを目的とした。

2. 方法

Table1 に実測調査概要を示す。2017年8月14日~25日の間にそれぞれ1週間、調査対象者の自宅にて行った。温熱環境として、居間(日中滞在している部屋)および寝室(普段睡眠をとっている部屋)の温湿度をサーミスタ温度計(エスペックミック株式会社製)により連続測定した。また、日中の活動量や睡眠中の体動は3軸加速度センサーが内蔵された腰部装着型の活動量計(株式会社アコズ製スリープモニターFS-760)を用いて連続測定した。

Table2 に調査対象者の概要を示す。対象者は、奈良県在住の介護予防教室に通所する高齢男女8名(平均年齢80.6±4.5歳、要支援1~2またはそれ相当)とし、2017年7月~9月に通所していた高齢者のうち、同意の得ら

れた方に協力していただいた。

Table3 に調査対象者の住宅の概要および居間と寝室で用いられていた冷房機器を示す。住宅構造はM1以外が

Table.1 Outline of field survey

Period	For a week from 14 August to 25 August 2017	
Participants	8 elderly participating the care prevention program	
Place	in their house (Living rooms and bedrooms)	
Measurements	Environment	Living room air temperature [every 20 minutes] / relative humidity [every 20 minutes]
		Bedroom air temperature [every 20 minutes] / relative humidity [every 20 minutes]
	Activity	Body movement [every 2 minutes]
	Others	Questionnaire of Living environment and Lifestyle

Table.2 Physical characteristics of participants

Participants	Age(years)	Height(cm)	Weight(kg)	BMI
Mean	80.6	159.2	56.6	22.2
SD	4.50	8.12	17.11	5.55
Max	88	168.5	94.4	33.7
Min	76	146.6	39.6	14.2

Table.3 Details of participants' house

Participants	House form	Construction*1	Years after building (years)	Cooling system*2	
				Living room	Bed room
M1	Apartment	SRC	45	◇	◇
M2	Detached house	W	40	○	—
M3	Detached house	S	30	○◇	◇
M4	Detached house	P-S	42	○	○
M5	Detached house	P-W	40	○◇	○◇
M6	Detached house	W	8	●	○
W1	Detached house	W	40	●◇	◆
W2	Detached house	W	53	○◇	●

*1 SRC : Steel reinforced-concrete house, W : Japanese traditional wooden house, P-S and P-W : Prefabricated house with steel and wood

*2 ● : Air conditioner, ◆ : Electric fan

Solid and open symbols : Frequency of cooling system is high and low

一戸建てであり、築年数は40年以上が多かった。また冷房機器は、ほとんどの部屋においてエアコンまたは扇風機が使用されていたが、M1だけがエアコンを使用せず、居間では扇風機のみを使用し、寝室では冷房機器を使用せずに窓を開放することで暑さ対策を行っていた。

3. 結果および考察

3.1 日中における居間の温熱環境

Fig. 1 に全被験者における日中居間温度の経時変動を、Fig. 2 に居間温湿度の平均値を湿り空気線図上に示す。

住宅熱環境評価基準⁵⁾(夏期・高齢者: $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 、60~80%)と比較すると、過半数が基準値よりも高い環境で生活していた。なかでも扇風機のみ使用していたM1は、常に $29 \sim 33^\circ\text{C}$ の環境で過ごしていた。在室中エアコンをずっと使用していたM3・M6は、 $25 \sim 28^\circ\text{C}$ と比較的涼しい環境で過ごしていた。エアコンをつけたり消したりしていた他の5名については、エアコンを使用すること

で温度の下降が見られ、基準内に入る傾向があった。また平均値に着目すると、基準内に入っていたのは48例中9例のみであった。

3.2 睡眠中における寝室の温熱環境

Fig. 3 に全被験者における睡眠中寝室温度の経時変動を、Fig. 4 に寝室温湿度の平均値を湿り空気線図上に示す(M5のみ2晩欠測)。

温度を住宅熱環境評価基準⁵⁾(夏期・高齢者: $25 \pm 2^\circ\text{C}$)、湿度を許容範囲⁶⁾(50~60%)と比較すると、温度については、ほとんどが基準値よりやや高めの $27 \sim 28^\circ\text{C}$ 付近を推移していたが、冷房機器を使用していなかったM1については、ほぼ 30°C 以上の環境で終夜過ごしていた。湿度については、全体的に基準値より高い傾向にあったが、これは測定期間中の天候が曇天もしくは雨天が多かったためだと考えられる。また平均値に着目すると、54例のうち基準内に入っていたものはいなかった。

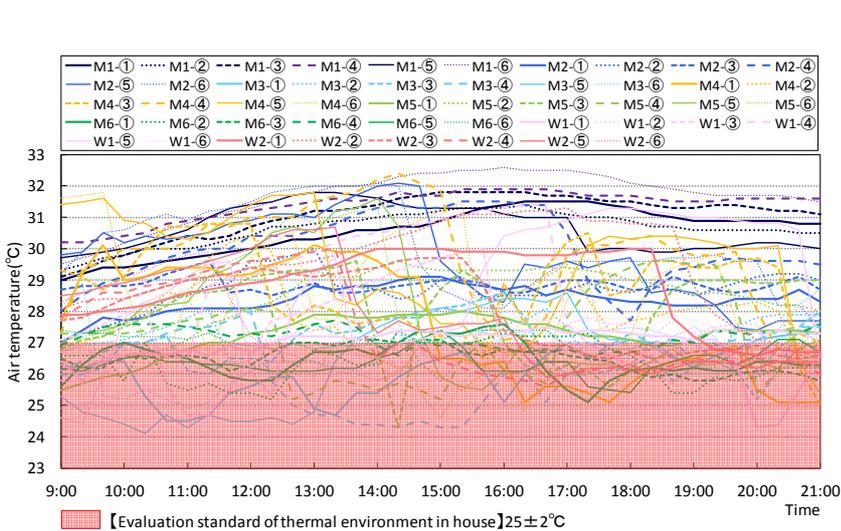


Fig.1 The change in living room air temperature during daytime

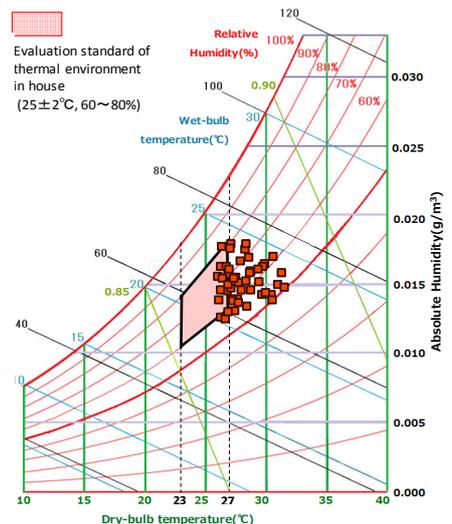


Fig.2 Relationship between air temperature and absolute humidity in living room (in psychrometric chart)

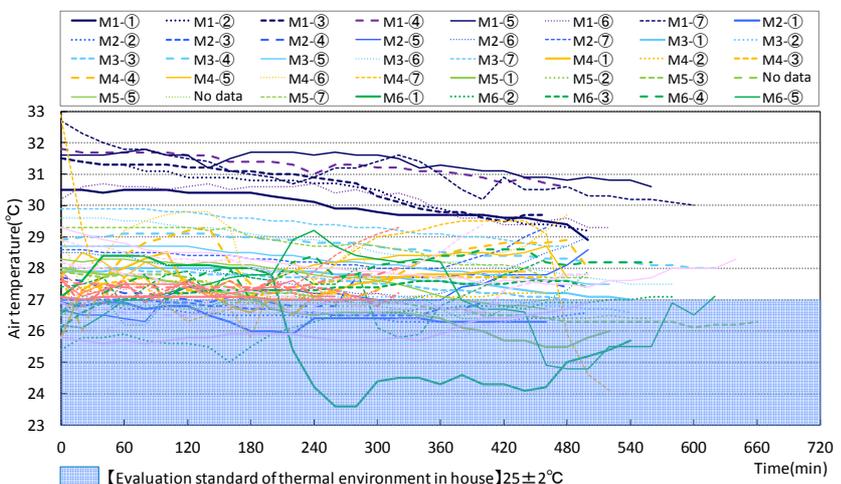


Fig.3 The change in bedroom air temperature during sleep

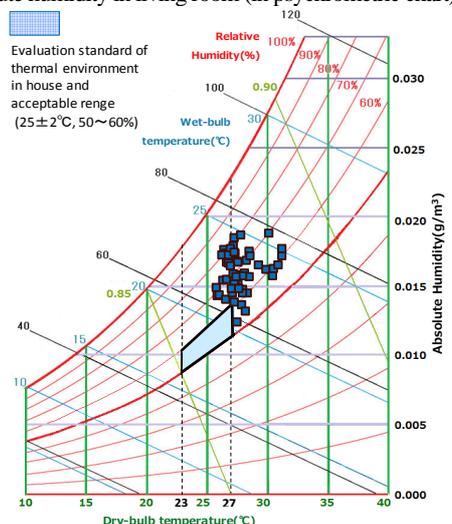


Fig.4 Relationship between air temperature and absolute humidity in bedroom (in psychrometric chart)

3.3 室内温熱環境の検討—元気高齢者との比較

Fig. 5 に比較対象として、本調査と同じ奈良県在住の活動的で元気な高齢者 (n=10、平均年齢 75.5±4.5 歳) を対象とした実測調査にて得られた居間および寝室温湿度を湿り空気線図上に示す。なお比較対象とした調査は、本調査とほぼ同時期である 2017 年 8 月 17 日～25 日のうち 4 日間、調査対象者の自宅にて行った。

元気高齢者においても、居間および寝室の温湿度は基準値を超えていた。よって本調査対象であるフレイル高齢者と元気高齢者の間では、室内温熱環境には大きな差はみられず、どちらも高温多湿な環境下で生活する傾向にあった。

3.4 室内温熱環境と外気温の関係

Fig. 6 に居間および寝室温度と外気温における測定期間中の平均値、標準偏差、最大値、最小値を示す。なお、外気温は気象庁のデータを用いた。

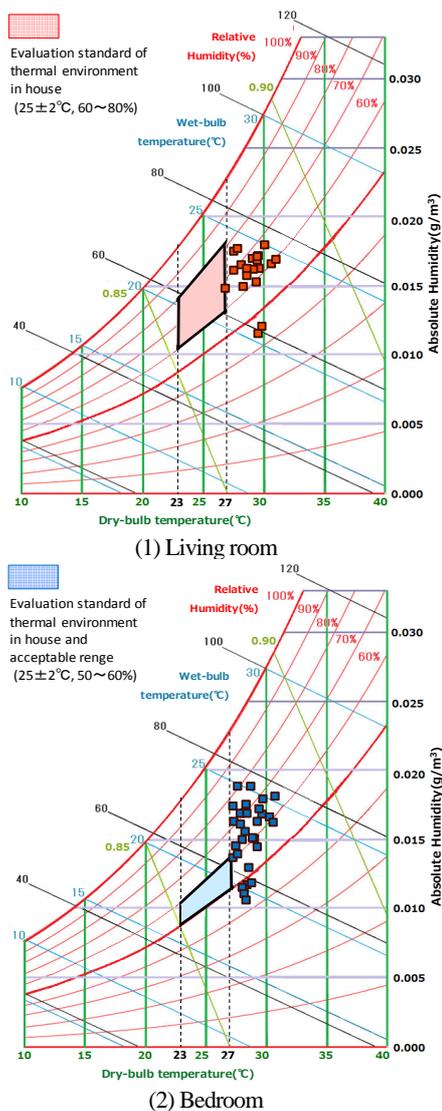


Fig.5 Relationship between air temperature and absolute humidity in bedroom (in psychrometric chart)

居間温度は外気温よりも低くなる傾向にあり、M2・M4 宅では 0.5℃～1℃、M3・M6・W1・W2 宅では 2.6～3.2℃ 低くなっていたが、基準内に入っていたのは M3・M6 宅のみであった。一方、冷房機器の使用が扇風機だけであった M1 宅のみ、居間温度が外気温よりも高くなっていた。また居間温度と外気温の差、外気温に対する居間温度の変動幅には住宅間で差があった。

寝室温度はどの住宅においても外気温より高くなる傾向があり、1.7～4.7℃高かった。これは日中に住宅へ蓄積された熱が夜間になっても放熱されず、熱が残っていたためだと考えられる。

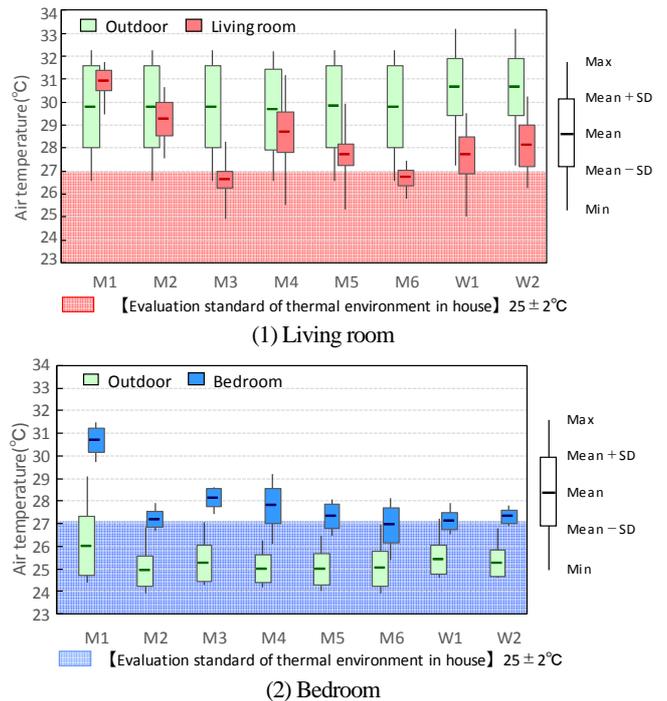


Fig.6 Indoor and outdoor air temperatures (Mean, SD, Max., and Min.)

3.5 室温変動率と室温上昇度の関係

Fig. 7 に室温変動率と室温上昇度の関係を、築年数や住宅構造、エアコン使用の有無とあわせて示す。室温変動率は (居間温度の日較差) / (外気温の日較差)、室温上昇度は (居間温度平均値) - (外気温平均値) により求め、どちらも値が小さいほど断熱性能に優れ、外気に対して室内を涼しい状態に保つことができたと評価した⁷⁾。

室温変動率に着目すると、M6 宅が最も低かった。M6 宅は築 8 年であることから、次世代省エネルギー基準 (平成 11 年基準) を満たしており、省エネルギー対策等級 4 に相当する断熱がなされていると考えられる。一方、築 40 年以上である M4・M5・W1・W2 宅は室温変動率が高かった。これらの住宅は築年数から考えると旧省エネルギー基準 (昭和 55 年基準) を満たしておらず、断熱がなされていないため、室温変動率が高くなったと推察される。

また、M1・M2 宅については築 40 年以上であるものの、室温変動率が比較的低く、断熱性能に優れているように見えるが、M1 宅は室温が外気温よりも高かったこと、M2 宅は外気温との差が小さかったことを考慮すると、断熱性能に優れているとは言いがたい。

室温上昇度に着目すると、エアコンを使用していた住宅で低くなる傾向があったことから、エアコンの使用により室温の上昇を抑えることができていたと考えられる。一方、エアコンを使用していなかった M1 宅は、外気温よりも居間温度が高かったことから室温上昇度が 0 を超えた。M1 宅は室温変動率が低く、住宅構造が集合住宅であることを踏まえると、住宅の熱容量が大きく、日中の熱が蓄積されていたうえに、室内がエアコンにより冷やされなかったことが原因であると推察される。

以上から、居住者のエアコン使用の有無のみならず、築年数や住宅構造が室内温熱環境に影響していると考えられる。

3.6 睡眠への影響

Fig. 8 に寝室温度と睡眠中の姿勢変更回数、8 分以上起きていた中途覚醒回数の関係を示す。

寝室温度が高くなるほど、姿勢変更回数および中途覚醒回数が有意に増えた。これは、暑さや発汗から寝返りや目覚めてしまう頻度が多くなったためだと考えられる。中途覚醒による睡眠妨害は睡眠の質を低下させる⁷⁾との報告があることから、高温環境下では睡眠の質に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

4. まとめ

フレイル高齢者の居間および寝室温湿度は、住宅熱環境評価基準と比較すると高値を示す傾向にあり、元気高齢者と比較しても大きな差はみられなかった。また居間および寝室温度を外気温と比較すると、居間温度は外気温よりも低くなる一方で、寝室温度は外気温よりも高くなる傾向にあった。これは日中に住宅へ蓄積された熱が夜間になってもうまく排出されずに残っていたためだと考えられる。また室内温熱環境は住宅間で差があり、居住者のエアコン使用の有無のみならず、築年数や住宅構造が大きく影響していることが明らかとなった。さらに、寝室温度が高くなるほど睡眠中の姿勢変動回数および中途覚醒回数が増える傾向にあり、睡眠の質に影響を及ぼしている可能性が示唆された。

室内温熱環境は日中の活動量に影響を及ぼす可能性がある⁸⁾との報告もあることから、今後は日中活動量との関連についても検討する予定である。

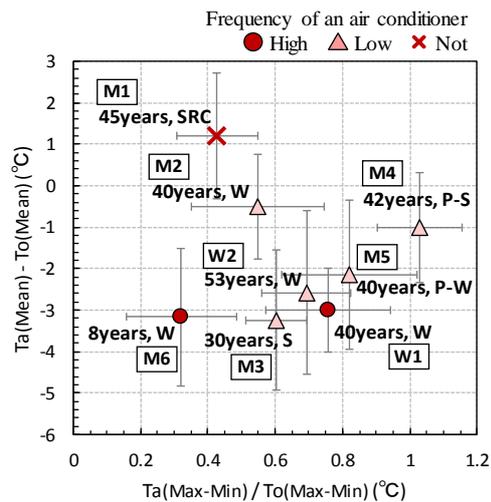


Fig.7 Relationship between the fluctuation factor of room temperature and the difference in mean air temperature of indoor and outdoor

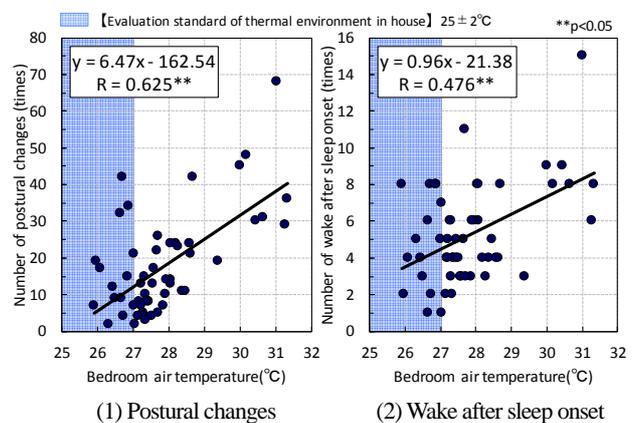


Fig.8 Relationship between bedroom air temperature and Number of postural changes and wake after sleep onset

参考文献

- 1) 東京消防庁：熱中症に注意！, Retrieved February 6, 2018, available from <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/life/topics/201505/heat.html>
- 2) 荒井秀典：フレイルの意義, 日本老年医学会雑誌, 51(6), 497-501, 2014-11
- 3) 亀ヶ谷佳純, 久保博子, 他：夏期の寝室温熱環境が高齢者と若齢者の終夜睡眠に与える影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 169-172, 2013
- 4) 秋山佳代, 久保博子, 他：夏期の寝室温熱環境が高齢者と若齢者の終夜睡眠に与える影響(その2), 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 265-268, 2014
- 5) 高齢者生活熱環境研究会, 1991 改訂
- 6) 梁瀬度子：睡眠学ハンドブック, 日本睡眠学会編, 環境と睡眠, 97-100, 1994
- 7) Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K: Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly, International Journal of Biometeorology, 54(4), 401-409, 2010
- 8) 森郁恵, 都築和代, 他：窓の断熱改修が住宅の温熱環境と高齢者の生活および健康に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第79巻第706号, 1061-1069, 2014

スーパーマーケットにおける温熱環境・設備使用に関する実態調査 Survey on Thermal Environment and Use of HVAC System in Grocery Store

○浅野 智司 (京都大学) 伊庭 千恵美 (京都大学)
 銚井 修一 (京都大学) 土居 信一 (関西電力)
 Satoshi ASANO*¹ Chiemi IBA*¹ Shuichi HOKOI*¹ Shinichi DOI*²
 *¹ Kyoto University *² Kansai Electric Power Co., INC.

There are over 20,000 grocery stores in Japan, and they are essential for people. However, many grocery stores have problems both in thermal environment and air-conditioning control; such as the large ununiformity of temperature caused by leakage of cool air from refrigerated open showcases, or frequent opening/closing of the entrance. Furthermore, unintended condensation often occurs in this kind of store, causing mould problems. The purpose of this study is to propose appropriate solutions to improve the thermal environment in grocery store in terms of food sanitation, energy-saving, and indoor comfortableness. As the first step, the thermal environment and use of HVAC system in grocery store located in Kansai area were surveyed, and the actual situation was revealed.

1. はじめに

本格的なスーパーマーケットが日本に初めて誕生してから60年以上が経過し¹⁾、今や全国には20,000を超えるスーパーマーケットが存在する²⁾。私たちの生活にスーパーマーケットは必要不可欠と言っても過言ではない。

しかし食品スーパーでは、開放型の冷凍・冷蔵設備から生じる冷気漏れや出入口の頻繁な開閉によって、その室内の温湿度にはムラがでやすい。それは結露で床面が濡れることによる買い物客の転倒やカビの発生にもつながり、様々な人が利用するうえに食品を扱うスーパーマーケットでは特に注意が必要である。また商品鮮度への影響を危惧して³⁾過剰な冷房が行われる場合も多く、省エネ面でも問題を抱えている。さらに買い物客と従業員の滞在時間の差が大きいことから、両者の熱的快適性を持たせることは簡単ではない。

このように食品スーパーでの空気環境の最適化は、衛生面、省エネ、快適性と、様々な問題の解決につながる。本研究では最適化への第一歩として、関西圏内の食品スーパーで温湿度や消費電力を測定し、食品スーパーの温熱環境や設備使用に関する実態調査を行った。

2. 調査概要

2.1 測定対象建物

測定対象は関西圏内の食品スーパーである。建物平面の概要をFig.1に示す。買い物客は店舗南東の出入口から入店し、店舗を反時計回りに周回して再び出入口から退店するよう設計されている。スーパーマーケットの営業時間は2017年10月31日までが9:00~22:00、2017

年11月1日から9:00~21:00である。

2.2 対象店舗の空調・冷蔵冷凍設備

対象店舗の空調室外機の一覧をTable.1に、室内機の設置位置をFig.1に示す。ビル用マルチエアコン(EHP)が店内に4系統とバックヤードに4系統、外気処理空調機(OEHP)が店内に2系統設置され、室外機はともに店舗屋上に設置されている。

Table.1にはそれぞれの定格消費電力も示す。この店舗ではデマンド制御による省エネ制御が実施される場合があり、その場合は消費電力が一定に抑えられる。

換気設備としては、天井換気システムが設置され、天井裏の温湿度に応じた自動運転がなされており、店内8か所に設置されている天井扇から、天井裏を通して屋外に排気が行われている。また店舗南側と北側にある厨房にも換気扇は設置されており、従業員によって厨房の使用時を中心に排気が行われる。

Table.1 Outdoor unit of air conditioner

	Section	Rated power consumption[kW]		
		Cooling	Heating	
EHP-1	Sales floor, Grocery	19.2	17.7	in Store
EHP-2	Cash desk, Rest area, Windbreak room, W.C.	33.6	30.6	
EHP-3	Warehouse of sea food, meat, Sushi, and household dish	8.07	8.33	Back yard
EHP-4	Warehouse of agricultural products	3.46	3.33	
EHP-5	Meat, Delicatessen	4.31	4.02	in Store
EHP-6	Delicatessen, Bakery	10.2	9.95	
EHP-7	Computer room, Office	7.6	6.94	Back yard
EHP-8	Dressing room, Resting room	5.63	6.05	
OEHP-1	Outdoor air Processing for east side	19.2	17.7	
OEHP-2	Outdoor air Processing for west side	19.2	17.7	



Fig.1 Store plan

冷蔵冷凍設備としては、売場に冷凍機内蔵型のもと冷蔵機別置型のショーケースが、バックヤードに冷蔵、冷凍庫が設置されている。冷蔵機別置型のショーケースの室外機の一覧を Table.2 に示す。ショーケースの設置位置を室外機番号に対応させて Fig.1 に示している。室外機番号の①、②、③が冷蔵、④、⑤、⑥が冷凍設備となっている。

2.3 調査項目

店内各所の温湿度，空調設備と冷蔵・冷凍ショーケースの消費電力を2017年5月1日から2018年1月末まで1分インターバルで測定した。空調設備については氷蓄熱式空調を除く機器を，冷蔵・冷凍ショーケースは冷蔵機別置型のショーケースを測定対象とした。また店内の換気性状を調べるため，2017年7月31日から8月28日まで店内外5か所で温度・湿度・CO₂濃度を5分インターバルで，2017年8月2日から8月28日まで風除室と屋外の差圧を1分インターバルで測定した。なお風除室売場側の自動ドア1か所が全開運用となっており，風除室と売場の気圧は同等とみなした。温湿度，CO₂濃度，内外差圧の計測箇所を Fig.1 に示す。

3. 調査結果

3.1 温熱環境調査

(1) 温度

夏期と冬期の代表時期1週間について，魚売場(①, ②), 肉売場(③, ④), 冷凍食品売場(⑤, ⑥)の各ショーケース上下での温度推移を Fig.2 と Fig.3 に示す。測定点の高さはショーケース上部で200cm，ショーケース下部で

Table.2 Outdoor unit of refrigerated open showcases

	Application	Type	Output[kW]	Refrigerant
①	Agricultural products	Refrigeration	Air-cooling	29.2 7.3×3+7.3 R-404A
②	Drinks, Sweets	Refrigeration	Air-cooling	25.5 7.3+9.1+9.1 R-404A
③	Meat, Fresh fish, Stockroom	Refrigeration	Air-cooling	21.9 7.3×2+7.3 R-404A
④	Frozen food	Freezing	Air-cooling	14.6 7.3+7.3 R-404A
⑤	Ice cream	Freezing	Air-cooling	3.7 3.7 R-404A
⑥	Stockroom	Freezing	Air-cooling	9.1 9.1 R-404A

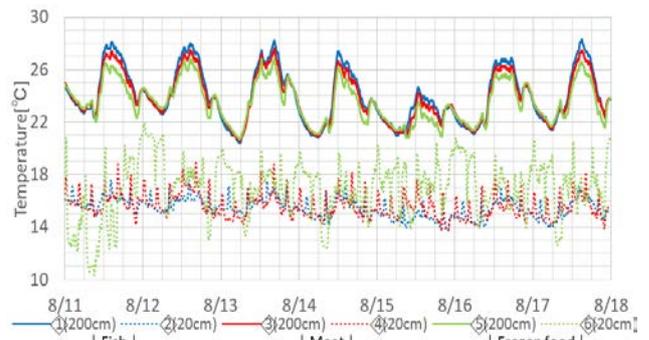


Fig.2 Vertical temperature difference at refrigerated open showcase in summer

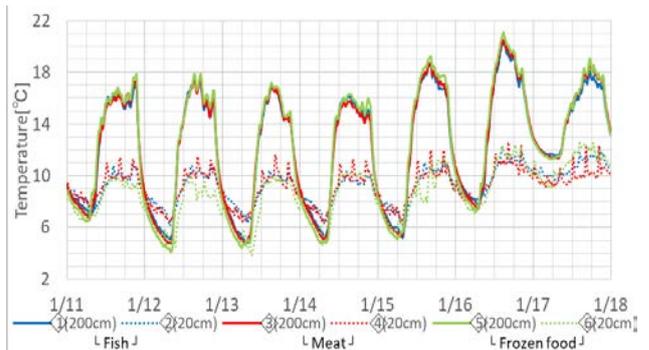


Fig.3 Vertical temperature difference at refrigerated open showcase in winter

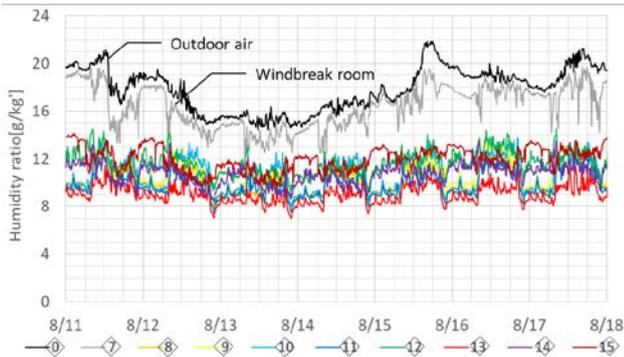


Fig.4 Humidity ratio in various places of the store

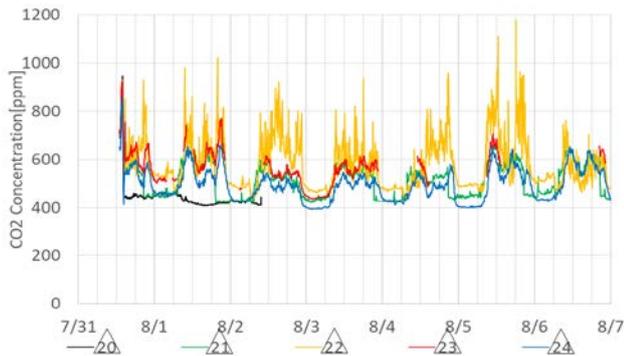


Fig.5 CO₂ concentration in various places of the store

20cmである。夏期では一日中、冬期でも営業時間中はショーケース下部の温度は低くなり、営業時間ではショーケースの上下で6~10℃もの温度差となっている。ショーケースのデフロストによってショーケース下部では温度変動が激しいが、売場による温度の違いは大きくない。

(2) 絶対湿度

夏期の代表時期 10 日間の店内の絶対湿度の推移を Fig. 4 に示す。外気や風除室の絶対湿度に対し、除湿がなされている店内の絶対湿度は低く保たれる。店内の絶対湿度は、営業時間中では差が小さいが、営業時間外では営業時間よりも絶対湿度が上昇する売場と下降する売場の二つに分かれる様子が見られる。

(3) CO₂濃度

夏期の CO₂濃度の推移を Fig. 5 に示す。レジ、店内の CO₂濃度は午前中と夕方頃に値が上昇することが多く、買い物客数が増加する時間帯と一致することから、店内の滞在人数と関係があると考えられる。営業時間中のバックヤードでは値が特に大きい。測定点が作業机の上に位置していたため、従業員の接近によって値の上昇を招いた可能性が示唆される。店外換気扇下では基本的に店内と同じ推移であるが、夕方頃に値が大きく減少して外気の CO₂濃度と近づくような場合も見られ、換気扇が停止したことによるものと考えられる。なお外気の CO₂濃度は、機器不調のため最初の 2 日間しか測定できていないが、店外換気扇下の CO₂濃度は外気と同程度となった。

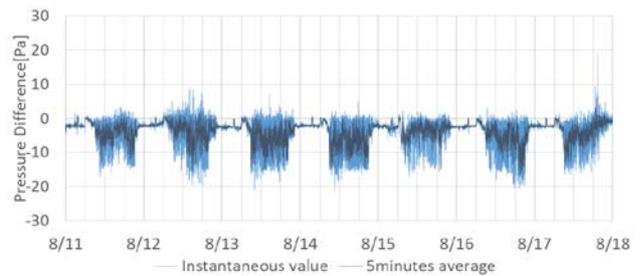


Fig.6 Pressure difference between windbreak room and outdoor

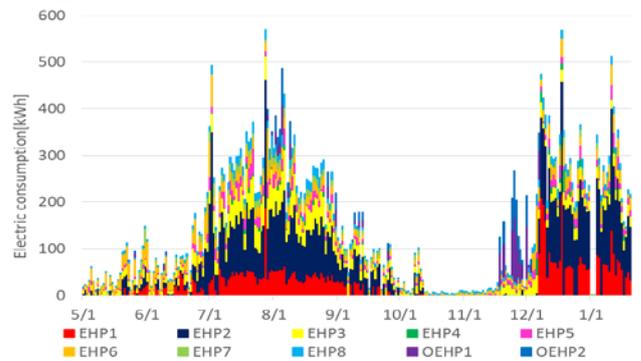


Fig.7 Daily cumulative value of electric consumption of each air conditioner's outdoor unit

(4) 内外差圧

夏期の風除室と外気の圧力差の推移を Fig. 6 に示す。風除室の圧力が外気の圧力より高いときを正圧とする。営業時間外では圧力差は小さい一方で、営業時間中は風除室が負圧傾向になっている。これは建物周囲の風の影響や換気扇からの排気によるもので、天井換気扇に加えて厨房換気扇も作動する時間帯で圧力差が大きく、夏期には高温多湿の外気の流入で冷房負荷が増大するとともに、結露の原因にもなっていると考えられる。

3.2 消費電力調査

(1) 空調設備

空調による消費電力の推移を Fig. 7 に示す。夏期と冬期の電力消費がかなり大きい。レジや風除室を空調する EHP2、売場やグロッサリーを空調する EHP1 の消費電力は夏期でも冬期でも大きく、買い物客が立ち入らないバックヤードの EHP7 や EHP8 では比較的空調が抑えられている。夏期では水産・畜産作業場を空調する EHP3 の消費電力も大きい。低温の状況が望ましい作業場のため冬期の暖房は控えられ、冬期の消費電力は大きくない。

(2) 冷蔵・冷凍ショーケース

冷蔵・冷凍ショーケースによる消費電力の室外機ごとの推移を Fig. 8 に示す。室外機 5 や室外機 6 のアイスクリーム売場やバックヤードの冷凍庫では消費電力が小さくほぼ一定であるのに対し、他の室外機では夏期で大きくなる。この理由に、室外機 5 は扉付きや平置き型の冷凍ショーケース、室外機 6 は気密性の高い扉で閉じられ

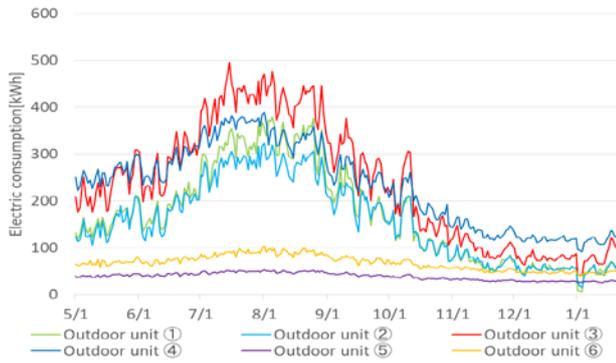


Fig.8 Daily cumulative value of electric consumption of each showcase's outdoor unit

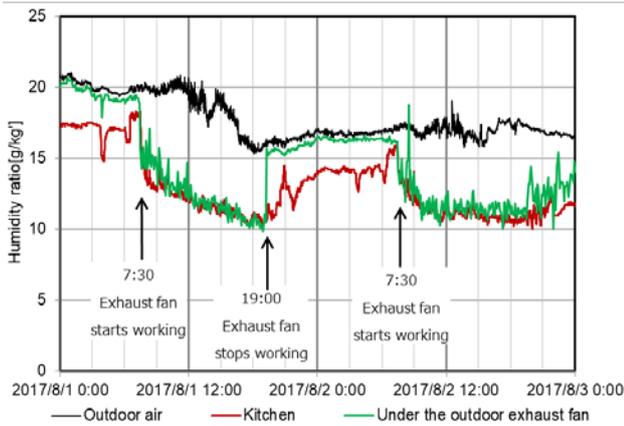


Fig.9 Humidity ratio change around exhaust fan

た冷凍庫であり、冷氣漏れが少ないことが考えられる。

4. 結果からの考察

4.1 絶対湿度とCO₂濃度

Fig. 9 に外気、調理室、店外換気扇下の絶対湿度の推移を示す。換気扇が作動すると店外換気扇下の絶対湿度が調理室と同程度に低下する。これはCO₂濃度と同様の結果であり、換気扇の作動によると考えられる。また、換気扇が営業時間中に長時間作動されており、その差圧への影響も示唆される。

4.2 外気温度と消費電力

外気温の日平均と、空調設備による消費電力の日積算値の関係を Fig. 10 に、冷蔵・冷凍ショーケースによる消費電力の関係を Fig. 11 に示す。

空調設備は日平均温度が20℃を超える場合、もしくは10℃を下回る場合に消費電力が増加し、15℃から20℃の範囲にあるときはほとんど電力を消費しない。

冷蔵・冷凍ショーケースの消費電力は外気温の日平均と密接に関係があり、日平均温度が上昇するとともに消費電力が増加する。日平均温度が10℃を下回る日では消費電力は400kWhに抑えられるが、日平均温度が30℃になる日では1600kWhにもなり、4倍もの電力を要することが示された。

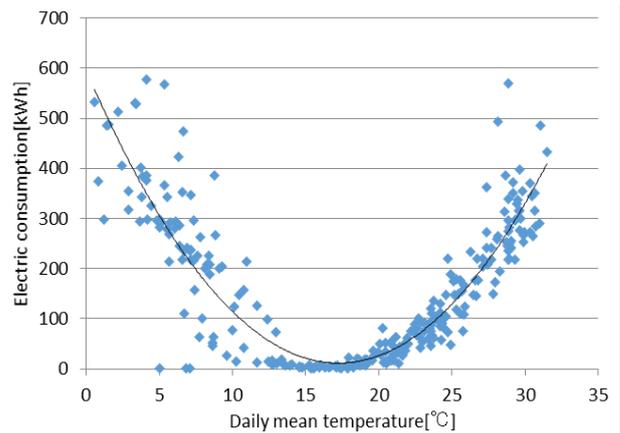


Fig.10 Correlation between daily mean temperature and daily cumulative value of electric consumption of air conditioner

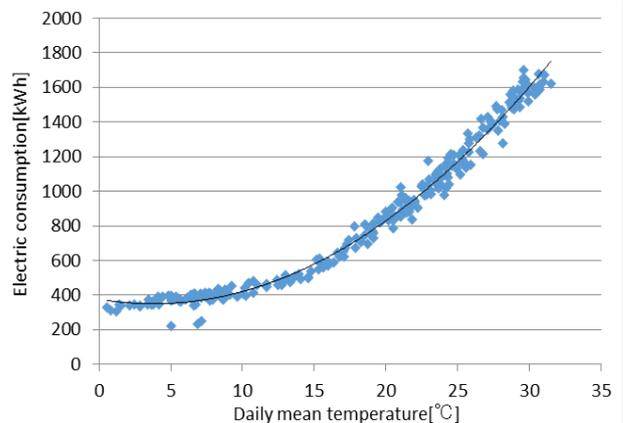


Fig.11 Correlation between daily mean temperature and daily cumulative value of electric consumption of refrigerated open showcases

5. まとめ

スーパーマーケットにおける温熱環境・設備使用に関する実態調査を行い、温熱環境のムラや消費電力の季節変動を明らかにした。空調設備や冷蔵・冷凍ショーケースの消費電力には、外気温との強い関係性を確認できた。今後はこれらの問題点の有効な解決策を考案し、スーパーマーケットの空気環境の改善に向けて取り組みたい。

謝辞

本研究を進めるにあたって、対象としたスーパーマーケットの関係各位から多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 瀬岡和子：昭和 30 年代におけるスーパーマーケットの誕生と「主婦の店」運動—吉田日出男と中内功を中心に—、社会科学、第44巻、第1号、pp.1-2、2014
- 2) 一般社団法人新日本スーパーマーケット協会：スーパーマーケット店舗数、2018年1月
- 3) 東京都環境局都市地球環境部計画調整課：スーパーマーケットの省エネルギー対策、pp.6、2013

放射モデルを組み込んだ CFD モデルによる
放射空調使用時の室内の温熱環境と居住者の快適性の推定

Evaluation of indoor thermal environment and the degree of comfort of radiant cooling system using radiation-coupled CFD

○青野 真和 (大阪大学) 松尾 智仁 (大阪大学)
嶋寺 光 (大阪大学) 近藤 明 (大阪大学)

Masakazu AONO*¹ Tomohito MATSUO*¹ Hikari SHIMADERA*¹ Akira KONDO*¹

*¹ Osaka University

Radiant cooling ceiling systems have been proven to potentially provide an improved thermal comfort environment. In this paper, two different CFD simulations were conducted: one had a radiant cooling system and the other didn't have it. The results of CFD simulation with the radiant cooling system was generally consistent with existing experimental data. The indoor thermal environments were evaluated from the viewpoints of both thermal comfort and energy consumption by comparing the two CFD simulations. The results showed that the radiant cooling system could decrease Mean Radiant Temperature (MRT) and had the potential to reduce energy consumption.

はじめに

居住者の温熱環境は、気温、相対湿度、風速、放射温度、着衣量、運動量の6要素から構成される。このうち後者2つは居住者側のパラメータであるため、空調機器は残りの4つを制御する。温熱環境の基準として、MRT、PMV、SET*、といった指標が存在する。これらの基準を満たし、より快適な温熱環境を実現するために空調設備の重要性が増しているが、従来の対流式の空調では着衣量と運動量に加えて、放射温度もほとんど制御できない。

放射空調は、放射伝熱を利用して冷房を行う空調システムである。放射空調の利点は、室内の鉛直温度勾配が小さいこと、対流空調でみられる吹出し風が直接当たることで発生する熱的不快感が発生しないこと、室内の放射温度を低下させることができるためそれほど気温を下げなくても快適性を確保できることがあげられる¹⁾²⁾。そのため、新しい空調システムとして、放射温度を制御できる放射空調の利用が検討されている。

本研究では、放射空調の使用時と非使用時における室内温熱環境を、CFDを用いてシミュレーションし、比較することで、快適性とエネルギー消費の2つの観点から放射空調の効果を定量的に評価する。

1. モデルの検証

1.1 計算条件

本研究では Catalina et al.¹⁾による測定実験(以下、文献)を参考にモデルを作成した。室内の大きさは

3.1m×3.1m×2.4m で外側を壁に覆われており、天井面には低温の放射冷房パネルが設置されている。Fig.1 に形状モデルと計算メッシュを示す。

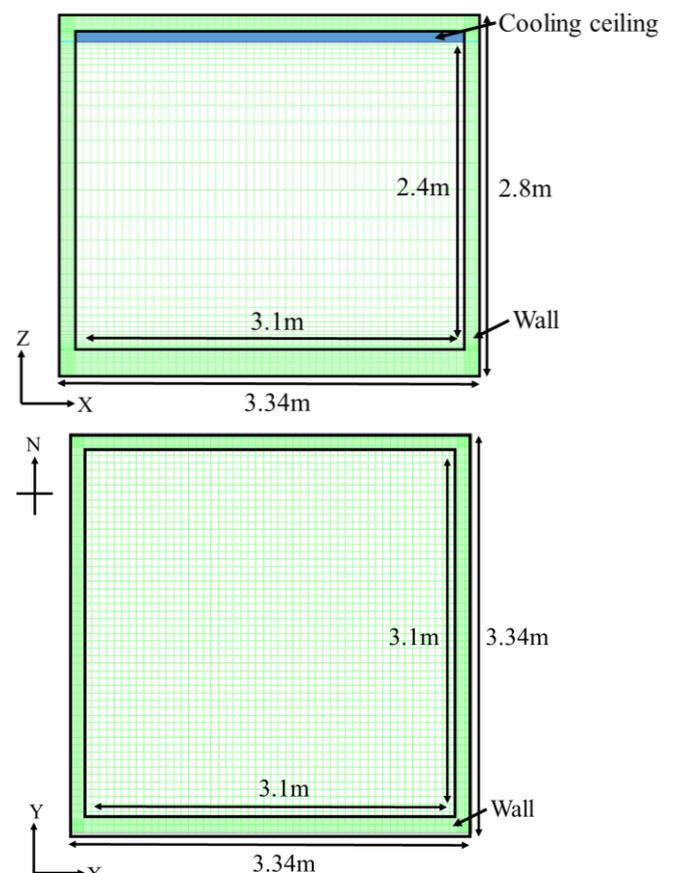


Fig. 1 The shape of the room and grid setting

吸い込み、吹き出し口は存在しない。モデルの室内に熱負荷はないが、壁面外側の温度を固定することで、壁面を通じた貫流熱が存在する。壁の厚みや物性値は文献の値を用いた。総メッシュ数は427,128（室内120,000）である。CFDシミュレーションにはOpenFOAM4.0を使用した。壁面（固体）と室内空気（流体）を連成し、流体については圧縮性定常流れ、層流を仮定し、壁面については放射熱伝達を考慮した。計算条件は、壁面の平均表面温度が文献によるものと等しくなるように、壁面外側の境界温度を44°C、放射パネルと天井の間の温度を17.6°Cに設定し、壁面の放射率は1.0とした。

1.2 計算結果

計算によって得られた、各壁面の表面温度と、室内の気温と風速（ベクトルの大きさ）の鉛直分布を文献の結果と比較することにより、作成したモデルの検証を行った。Fig.2に各壁面の表面温度の比較、Fig.3、Fig.4に気温と風速の鉛直分布をそれぞれ示す。

CFDでは、放射伝熱に対して床面内の熱伝導を過大評価している可能性、また室内の不安定な流れの影響により、室温を過小評価している可能性があるが、壁面の表面温度はほぼ一致しており、全体として文献の結果の傾向をとらえることができた。

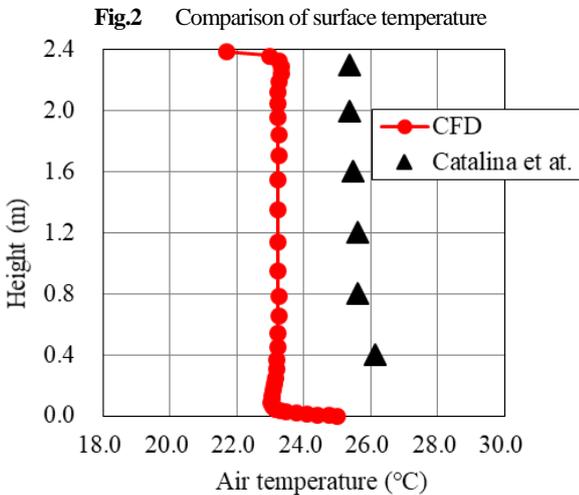
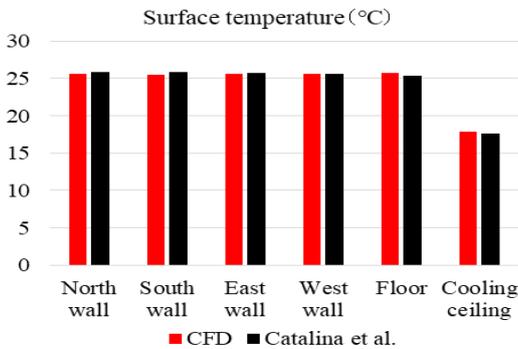


Fig.3 Comparison of vertical air temperature distribution

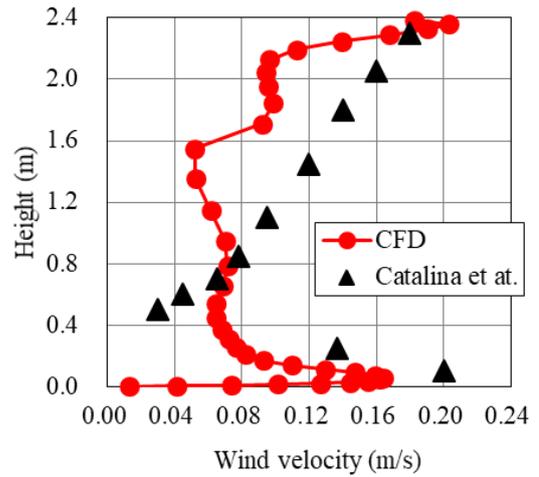


Fig.4 Comparison of vertical wind speed distribution

2. 放射空調使用時と非使用時の比較

2.1 計算条件

1. で述べたモデルを一部変更し、Fig.5に示す二つの吹き出し口（inlet）と吸い込み口（outlet）を組み込んだ。吹き出し口からは、壁に向けて下方に45°で吹き出している。放射空調使用時（radiant）と、非使用時（no-radiant）の比較を行うために、天井の温度と、吹き出し空気の温度を変化させた。

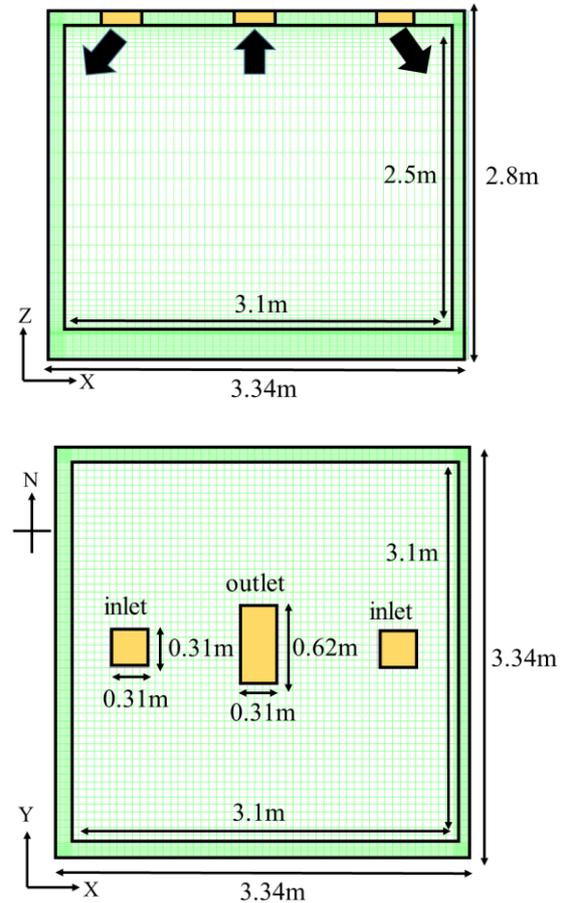


Fig.5 Inlet, outlet and grid setting

radiant では放射冷房パネルを仮定して、天井の温度を 17.6°C とし、吹き出し温度を 20.0°C に決定した。no-radiant は、室内の平均気温が radiant の結果と等しくなるように吹き出し温度の条件を変更し、 18°C に決定した。以上の条件で radiant と no-radiant の比較を行った。

2.2 計算結果

2つのシミュレーションの結果、室内の平均気温は放射空調使用時に 20.8°C 、非使用時に 21.0°C であり、ほぼ等しい状態にすることが出来た。その時の室内の中央断面での気温の分布、風速（ベクトルの大きさ）の分布を、Fig.6-9 に示す。Fig.6, 7 は、放射空調使用時、非使用時の気温の結果、Fig.8, 9 は放射空調使用時、非使用時の風速の結果である。放射空調使用時、非使用時ともに室内に大きな気温の差はみられなかったが、放射空調使用時は壁面近くの気温が低くなっていることがわかる。風速は、どちらも吹き出し口と吸い込み口以外ではほとんど流れが無かった。

Fig.10 に鉛直方向の平均気温の分布を比較したものを示す。ASHRAE によって定められる快適な室内環境の基準³⁾によると、高さ 0.1m と 1.7m で気温の差が 3°C 以内と定められている。その基準は両方のシミュレーションで満たされており、気温の鉛直分布は均一であるといえるが、放射空調使用時のほうが鉛直方向の温度差は小さかった。Fig.11 には鉛直方向の平均風速分布の比較を示す。高さ 0.3m ~ 2.0m までは差がみられなかったが、床と天井付近では、放射空調使用時には非使用時に比べ風速が小さくなるという結果が得られた。

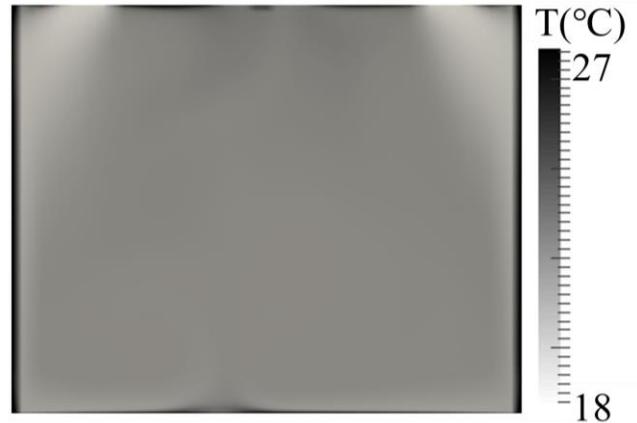


Fig. 7 Temperature distribution at central section of the room (no-radiant)



Fig. 8 Wind speed distribution at central section of the room (radiant)



Fig. 6 Temperature distribution at central section of the room (radiant)



Fig. 9 Wind speed distribution at central section of the room (no-radiant)

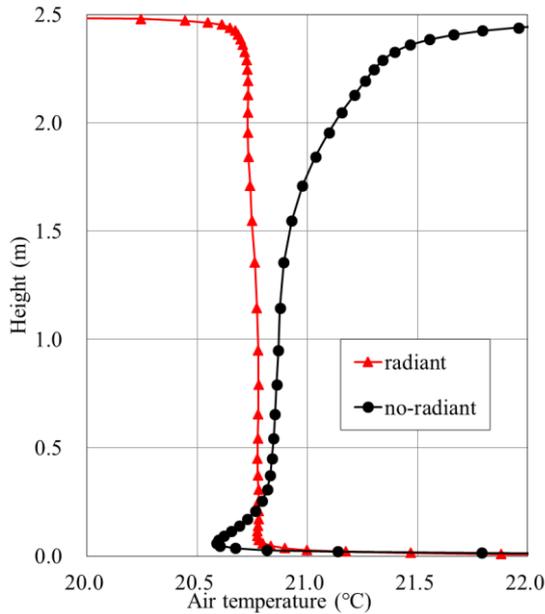


Fig. 10 Vertical distribution of average air temperature

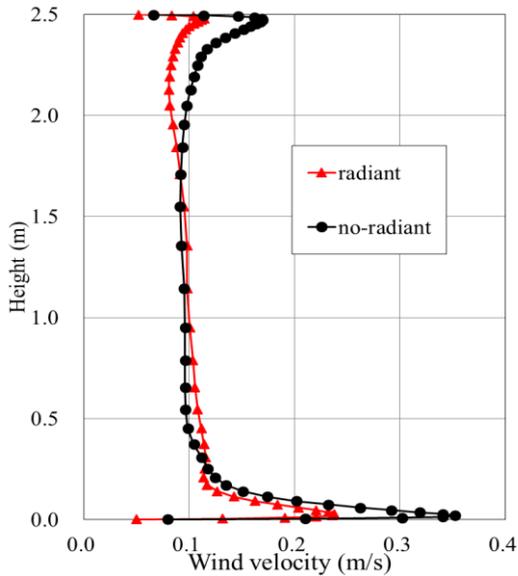


Fig. 11 Vertical distribution of average wind speed

次に、各壁の表面温度を面積で重み付き平均することで、平均放射温度である MRT (Mean Radiant Temperature) を算出し比較した。その結果を **Table.1** に示す。放射空調使用時は、放射パネルからの放射伝熱により、壁面や床面が冷やされるため、MRT が放射空調非使用時に比べ、約 6°C 低くなった。これにより、2 つの結果の室温はほとんど等しいが、放射空調使用時の居住者はより涼しく感じることができる。またその時の冷房による除去熱量を算出し比較した結果を **Table.2** に示す。除去熱量は、放射空調使用時は 427.2 W、非使用時は 619.0 W であり放射空調使用時のほうが小さかった。

Table.1 Surface temperature and MRT

	Surface(Area)	radiant	no-radiant
Surface temperature (°C)	Floor (9.61m ²)	23.6	27.4
	Northwall (7.75m ²)	23.6	28.6
	Southwall (7.75m ²)	23.6	28.5
	Eastwall (7.75m ²)	23.6	28.4
	Westwall (7.75m ²)	23.6	28.5
	Ceilig (9.61m ²)	17.7	27.9
MRT (°C)		22.5	28.0

Table.2 Removed heat by cooling system

		radiant	no-radiant
Removed heat by cooling ceiling (W)	Radiation	297.1	-
	Convection	50.9	-
Removed heat by supply air (W)		79.2	619.0
Total (W)		427.2	619.0

3. 結論

冷房時に室内の平均気温を等しくする条件で、放射空調システム使用時と非使用時を比較した結果、以下のことが示された。

- 放射空調システムを使用時と非使用時では室内の温度分布はどちらも均一であり、鉛直方向の気温の差もほとんど見られない。
- 放射空調システムは、従来の対流式空調と異なり放射温度を下げる効果がある。
- 放射空調システム使用時のほうが、冷房による除去熱量が小さい。

以上のことから、対流空調に加えて放射空調を使用することで、より効率的に快適な室内温熱環境が得られる場合がある。

今後の課題としては、室温の過小評価の改善を考慮する必要がある。また、MRT に加え快適性指標での比較を行うことで、居住者の快適性を定量的に評価することができる。

参考文献

- 1) Catalina T, Virgone J, Kuznik F: Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimentation study in a test room equipped with a cooling ceiling, *Building and Environment*, Vol 44, No 8, pp.1740-1750, 2009
- 2) Chiang W-H, Wang C-Y, Huang J-S: Evaluation of cooling ceiling and mechanical ventilation systems on thermal comfort using CFD study in an office for subtropical region, *Building and Environment*, Vol 48, pp.113-127, 2012
- 3) ASHRAE. ASHRAE fundamentals handbook. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Inc.; 2009.

公的賃貸住宅を対象とした CFD による冬期の環境改善効果の検証

Verification by CFD of Environmental Improvement Effect for Public Apartment

○松嶋 洸樹 (立命館大学) 近本 智行 (立命館大学)

李明香 (立命館大学)

Koki MATSUSHIMA*¹ Tomoyuki CHIKAMOTO*¹ MyongHyang LEE *¹

*¹ Ritsumeikan University

In this study, we evaluate the thermal environment for each repair site using CFD. The purpose of this research is to improve the living environment of the staircase-type house to be analyzed. Analysis results revealed that high insulation and high airtightness of the bathroom and toilet windows can ease the risk of improving the living environment of the staircase type dwelling unit and the risk of accidents in houses such as heat shock.

はじめに

現在日本全国に存在する住宅総数は約 6063 万戸ある。その内、共同住宅^{注1)}は約 2029 万戸存在しており、膨大なストックとなっている。中でも、公的賃貸住宅は約 344 万戸存在している^{文1)}。築年数が経過した公的住宅の中には断熱性能が低いものも多く現存している。また、公的住宅には高齢者が居住しているケースも多く、ヒートショック等の住宅内事故の危険性も高い。このような住宅は低所得者層のセーフティネットとなっている背景もあることから家賃等で改修費用を賄うことが難しいため低コストでの改修が望まれている。既報^{文2, 3)}では、旧省エネ基準を満たさない断熱性能の階段室型公的住宅(以下、階段室型)を対象として窓ガラスの複層化、外壁や玄関扉への高断熱化を行うことで、室内温熱環境の改善や人体への負荷低減を確認することができた。しかし、より低コストでの改修を実現するために効果の大きい改修部位を明らかにする必要がある。

本研究では、①冬期における温熱環境実測調査を行い、実居住住戸における温熱環境の評価を行う。そして、②断熱性能の低い階段室型において窓、外壁等に部分的に高断熱化を行った場合の温熱環境の改善効果を数値流体シミュレーション(以下、CFD)を用いて検証する。本研究の目的として、効果の大きい改修部位を明らかにし、ヒートショックの危険性が回避できるとされるトイレ・浴室の室温を 17°C 以上、暖房室-非暖房室間の温度差を 3~5°C 未満にするための最低限必要な性能の評価を行う。また、低所得者層のセーフティネットとなっている公的住宅に対する改修案の提案を行い、居住環境の改善と住宅ストックの有効利用につなげる。

1. 温熱環境実測調査

1.1 実測調査概要

実測調査では、大阪府住宅供給公社が管理する階段室型を対象とする。Fig.1 に実測対象の平面図、Table.1 に対象建物概要を示す。階段室型は旧省エネ基準を満たさず、導入されている設備は台所の換気扇のみ(第3種機械換気)である。実際の住戸における温熱環境を把握するため、実居住住戸における冬期の温熱環境の把握を行う。実測期間は冬期:2014年2月22日から3月11日とした。

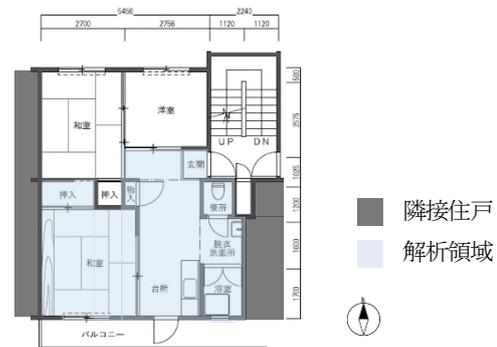


Fig.1 Plan of staircase apartment

Table.1 Outline of the Apartment Building

築年数	40年
専有面積	49.23㎡~51.19㎡
構造	鉄筋5階建て
住戸	階段室型集合住宅
室形式	北入住戸(3DK)

1.2 実測調査結果

階段室型の代表日を2014年2月24日とし、各室の温度分布を示す(Fig.2)。居室温度では、南側に位置する和室、DKが非空調時においても北側居室よりやや室温が高くなる傾向が見られた。階段室型に暖房機器の使用に依

じ室温が上昇している。室温と外気温に大きな温度差がある場合、暖房を消した直後に室温が急激に低下している。階段室型では日中は20℃程度で居住していることが分かる。浴室の温度は外気温の変動に伴い推移している。階段室型は浴室に窓を持っているため外気温の影響を受けていると考えられる。浴室使用時には暖房している南側和室と浴室で8~9℃ほどの温度差があり、ヒートショックの危険性が考えられる。

2. CFD 解析

2.1 解析対象

Fig.1 に解析対象の平面図、Fig.2 に解析モデルを示す。解析対象は大阪府 N 市に位置する階段室型公的賃貸住宅の住戸（中間階）である。本解析では南側和室、ダイニングキッチン（以下、DK）、廊下、トイレ、脱衣室、浴室を解析領域としている。

2.2 解析ケース

Table.3 に解析ケースを示す。Case. 0 は階段室型住戸の無断熱の解析ケースとし、Case. 1-1、Case. 1-2 はそれぞれ窓面の断熱強化、南側壁面の断熱強化を行った際の解析ケースとする。ここでの断熱強化は内部・外部温度を固定してケース毎に熱貫流率を設定し壁面内表面温度を算出したものを温度境界条件として与えている。Case. 2 は実居住住戸に対して過年度実施した断熱改修工事（Fig.4）を再現した解析ケースとしている。断熱性能以外の解析条件を統一するため Fig.4 の①②⑦⑧については境界条件に含めない。Case. 3 では H25 省エネ基準を満たす程度の断熱性能を階段室型に適応した解析ケースとしている。

2.3 換気・隙間風の条件

Table.4 に風量を示す。換気・隙間風の条件では、玄関及び窓からの隙間風を考慮する。解析領域内への流入温度は先述の実測値（外気温度）の4.4℃とする。

2.4 内部発熱条件

Table.5 に内部発熱量を示す。各室の照明の発熱及び人体の発熱を考慮している。人体の発熱は階段室型住戸の実測調査で実際に居住していた2人を想定している。

2.5 暖房条件

Table.6 に暖房条件を示す。南側和室においてエアコン暖房（660m³/h）を想定し、室内に暖房気流が到達するように下向き45°に吹き出した。



Fig.4 Outline of insulation renovation

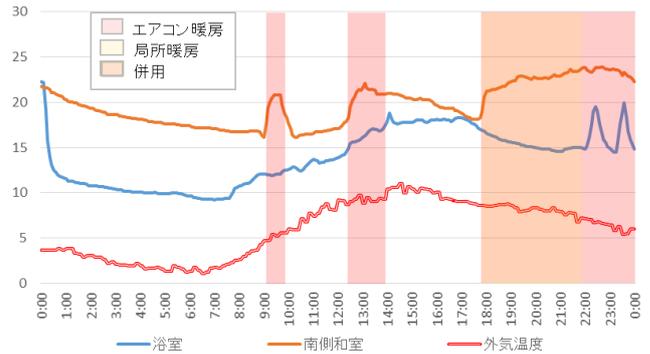


Fig.2 Temperature transition [°C] (Middle floor / 2014/2/24)

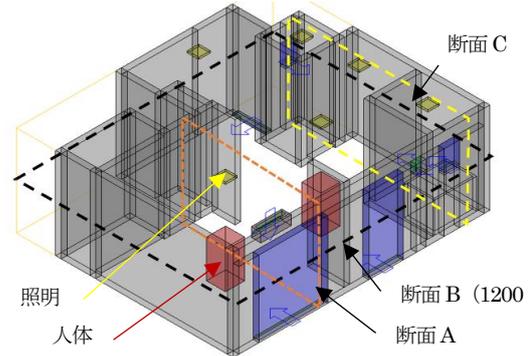


Fig.3 CFD modeling

Table.2 Analysis conditions

CFDコード	STREAM V13
乱流モデル	標準k-εモデル（高レイノルズ）
解析選択	流れ、乱流、熱、輻射、定常解析
解析領域	6.726m (x) × 5.675m (y) × 2.4m (z)
メッシュ分割数	135 (x) × 114 (y) × 60 (z)
壁面条件	対数則

Table.3 Temperature boundary condition [°C]

	壁面		窓面	玄関扉	建具	天井面	床面	
	東西	南	北	南北	北			
外部温度	16	4.4	12	4.4	4.4	12	16	
内側表面温度	Case. 0	16	8.2	14.7	8.56	9.6	14.7	16
	Case. 1-1	16	8.2	14.7	13	9.6	14.7	16
	Case. 1-2	16	15.4	14.7	8.56	9.6	14.7	16
	Case. 2	16	13.4	14.7	11.6	8.3	14.7	16
Case. 3	16	15.4	15.8	13	13	15.8	16	

Table.4 Air volume of drafts [m³/h]

	無断熱	断熱改修	H25省エネ基準
玄関	41.04	41.04	10.26
南側和室	47.15	23.57	23.57
DK	23.6	13.34	13.34
トイレ	8.21	2.05	2.05
浴室	32.83	8.21	8.21

Table.5 Internal calorific value [W]

	照明	人体	合計
DK	70	50	120
南側和室	70	50	120
脱衣所	27	-	27
浴室	27	-	27
トイレ	54	-	54
廊下・玄関	54	-	54

Table.6 Heating condition

	給気温度	吹き出し方向	吹き出し風量	吸い込み風量
南側和室	34℃	下向き45°	660m ³ /h	660m ³ /h

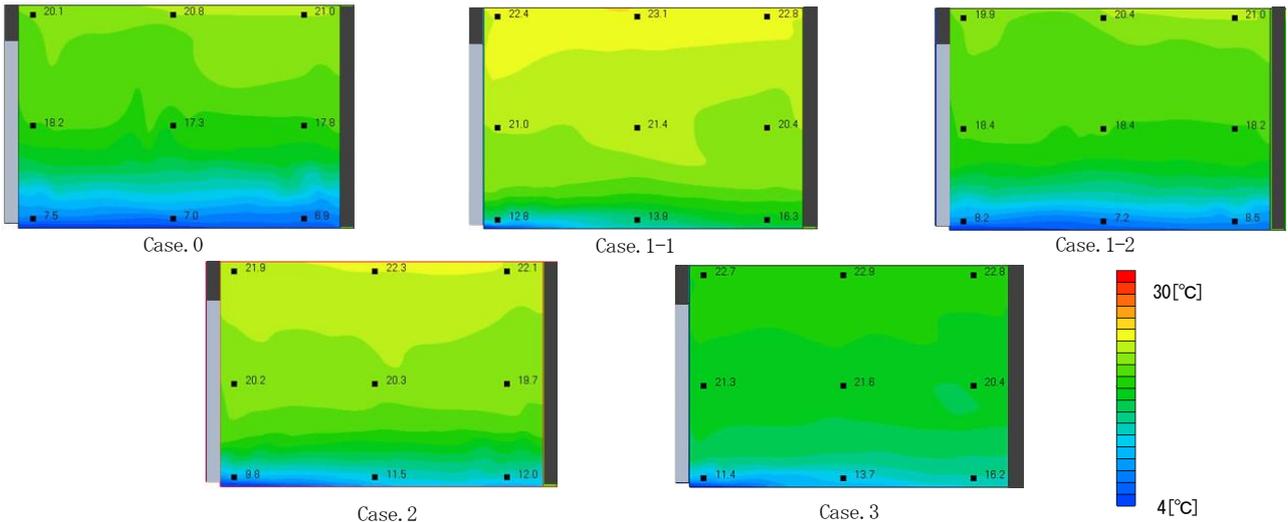


Fig.5 Temperature distribution (Section A)

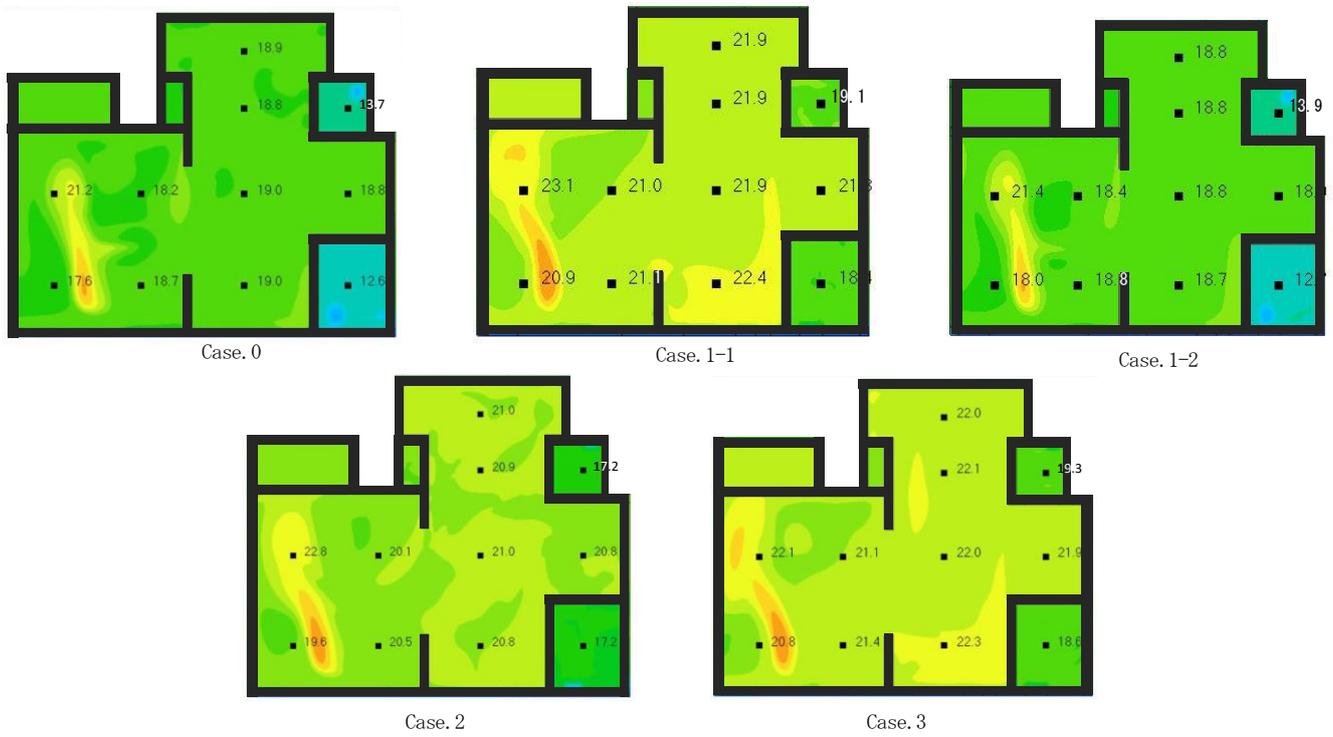


Fig.6 Temperature distribution (Section B)

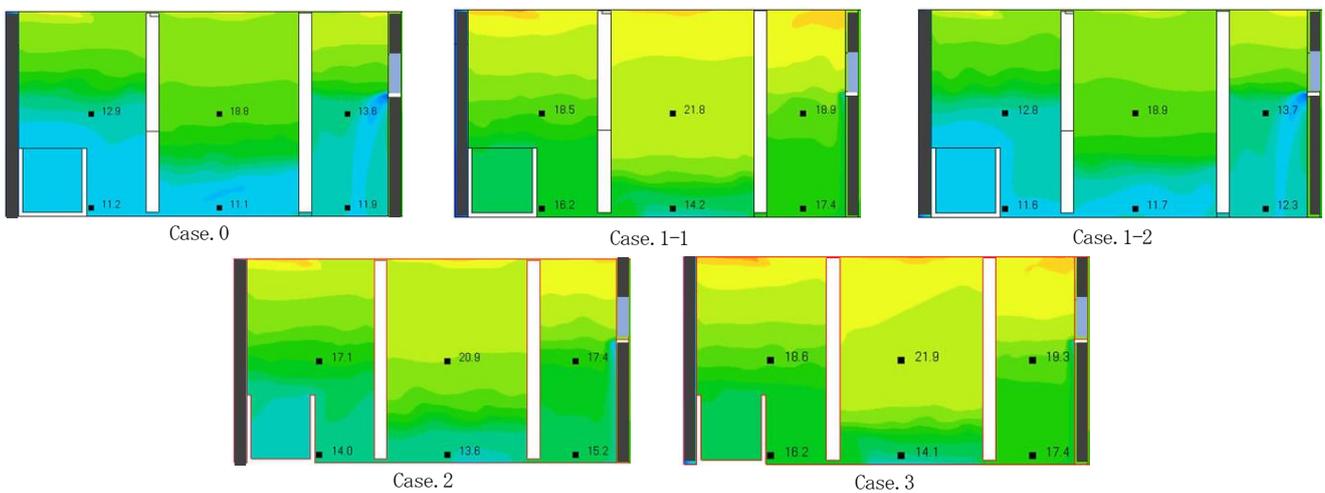


Fig.7 Temperature distribution (Section C)

2.6 解析結果

Fig.6 に各解析ケースにおける断面 A (Fig.3) の温度分布を示す。無断熱の Case.0 では隙間風の影響で床近傍に冷気が溜まり、上下温度に差がみられる。過年度実施した断熱改修相当の Case.2 では複層ガラス化・サッシの取替による効果が大きく、Case.0 と比較して室全体の温度が上昇しているとともに床近傍の温度にも改善が見られる。しかし、インテリア側の床近傍温度も 12.0°C と床近傍に冷気が溜まっている。H25 省エネ基準相当の断熱性能を持つ Case.3 では窓周りの気密性能の向上により室全体の温熱環境が改善されている。インテリア側での床近傍温度も 16.2°C にまで改善している。窓のみを断熱強化した Case.1-1 でも Case.3 と同様に室全体の温熱環境に改善が見られたことから窓の断熱強化の効果が大きいと考えられる。一方で、外壁に面する壁面を断熱強化した Case.1-2 では Case.0 と比較してそれほど環境が改善されていない。壁面の断熱強化だけでは環境改善の効果は小さいと考えられる。

Fig.6 に高さ 1200 mm 地点の平面温度分布 (断面 B) を示す。Case.0 ではトイレ・浴室の室温が低く、居室との温度差が約 9°C あった。Case.2 では浴室やトイレの窓面を複層化していることもあり、居室との温度差が大幅に改善されている。Case.3 や Case.1-1 でも居室と浴室の温度差が 3°C 未満となり同様に窓の複層化が環境改善に大きく寄与していると考えられる。Case.1-2 では壁面の断熱強化の効果は薄く、目立った環境の改善は見られなかった。

Fig.7 に浴室、脱衣室、トイレの断面温度分布 (断面 C) を示す。解析対象の街談室型住戸は浴室、トイレに窓があるため外気の影響を大きく受けている。窓を高断熱化・高气密化していない Case.0 と Case.1-2 では浴室、トイレに冷気が溜まっており、脱衣室の床近傍温度の低さにも影響していると考えられる。一方で、窓を高断熱・高气密化した Case.1-1、Case.3 では浴室、トイレの室温が大幅に改善されていることが確認された。既報の断熱改修相当の Case.2 においても無断熱の Case.0 と比較して改善が見られた。

Fig.8 に南側和室から浴室までの経路の温度変化を示す。Case.0、Case.1-2 では脱衣室と浴室との温度差は 6°C 程度あることが確認された。一方で、Case.1-1、Case.2、Case.3 においては脱衣室-浴室間の温度差が 3°C 程度にまで改善されている。また、浴室の室温も 17°C を超えており、ヒートショックの危険性が緩和されたと考えられる。

3. まとめ

本研究では、温熱環境実測調査において冬期における実居住住戸の温熱環境の把握すること、CFD 解析で効果の大きい改修部位を明らかにすることを目的とした。

本報で得られた知見を以下に示す。

1. 実測調査では主要居室と浴室との温度差が小さくなくヒートショックの危険性が緩和されているとは言えない。
2. CFD 解析では、窓の断熱強化が効果的であることが分かった。浴室やトイレに窓を持つ階段室型では窓の断熱強化によりヒートショックの緩和が考えられる。

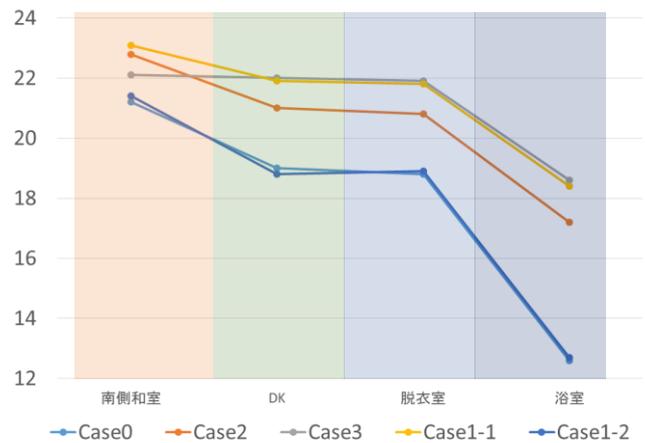


Fig.8 Temperature transition [°C]

注釈

- 注 1) 共用部分を有し、複数住戸が一体となったものを指す。
- 注 2) LDK 住戸は台所とそれに隣接した和室を一体化する改修を行った住戸形式とし、方位は配置により東西に最大 20° 傾きがあるが概ね方位通りである。
- 注 3) 工事費は全箇所のご合計費として計上した。
- 注 4) 共通で空気層 3mm とした。
- 注 5) 浴槽は実験用仮設置のため工事費を除く。

参考文献

- 文 1) 総務省統計局：平成 25 年住宅・土地統計調査
- 文 2) 荻野ら：既存階段室型住宅における温熱環境調査 (その 1) アンケート調査による冬期の温熱環境, 2014 年度日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, pp. 321-322, 2014/9
- 文 3) 田邊ら：同題 (その 2) 冬期の温熱環境に関する実居住世帯の調査及び改修による効果検証, 2014 年度日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, pp. 323-324, 2014/9
- 文 4) 松嶋ら：片廊下型と階段室型の公的住宅における温熱環境と住まい方調査 (その 3) 夏期の実居住住戸における温熱環境調査, 2017 年度日本建築学会大会 (中国) 学術講演会, pp. 543-544, 2017/8
- 文 5) 松嶋ら：同題 (その 1) 夏期・冬期における温熱環境と住まい方のアンケート調査, 日本建築学会大会 (九州) 学術講演梗概集, pp. 368-369, 2016/9
- 文 6) 横田ら：住宅の性能向上と脱衣室・浴室暖房によるヒートショック緩和に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (鹿児島), pp. 17-20, 2016/9

外付けブラインドの遮熱・通風性能が住宅内環境に与える影響評価に関する研究

Study of the Effect on Indoor Environment by Cross Ventilation and Solar Shading of the External Blind

○高井 健次 (福井大学)

Kenji TAKAI*¹*¹ Fukui University

吉田 伸治 (奈良女子大学)

Shinji YOSHIDA*²*² Nara Women's University

In this paper, effects of installing an external blind on indoor thermal environment were evaluated using a field observation. A comparison between the indoor thermal environment of two small building models were carried out in this observation. In Case A, the external blind was installed to the whole openings of the building, while the blind was not in Case B. Through investigating results of the observation, it has been clarified that although installing the external blind slightly weakens the wind velocity in the building, this enables us to improve the indoor thermal comfort by shading solar radiation.

1. 研究背景・目的

住宅に侵入する熱エネルギーは開口部である窓を通過したものがその大半を占めるといわれており、夏期－中間期のような暑い時期を快適に過ごすには、開口部の防暑対策が必要不可欠である。その対策の一つに挙げられるのが「外付けブラインド」の利用である。日本の住宅にはまだ広く普及していないが、その遮熱・通風性能は、温熱環境の面から対策手段として有効であることが予想される。加えて歩行者ら外部の視線を遮断する効果も存在し、室内環境の改善が期待できる (Fig. 1)。しかし、この遮熱に着目した研究が行われる一方で、通風性能も加味した総合的な検討はほとんど確認できない。住宅利用の場合、高層ビルとは異なり開口部の日射遮蔽はもちろんのこと、適度に窓を開け空気の流れを促すことも重要な要素である。住宅の防暑を考える上で、遮熱と通風を切り離して考えることは出来ない。

以上より本研究では、外付けブラインドの設置が住宅内の温熱環境形成に及ぼす影響について、遮熱・通風双方を加味した検討から把握することを目的とする。それらが在室者の快適性に与える影響を実測より評価することで、ブラインドの価値を見出したい。

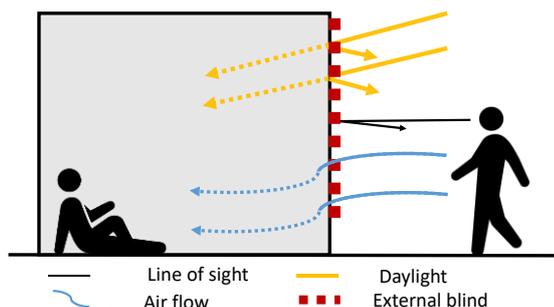


Fig.1 Effects of external blinds on indoor environment

2. 実測概要

中間期の屋外実測により、外付けブラインドの有無が室内空間の温熱快適性に与える影響について把握する。

2.1 実測対象

2017年9月14日～9月15日、滋賀県近江八幡市にある0社工場敷地内にて、2棟の実験棟を利用した比較実測を行った (Fig. 2)。対象とする実験棟は地上一階建ての建物であり、5330×4420×2400 [mm] の内寸法をもつ (Fig. 3)。仕様として勝手口 (北側に配置) を除く全ての開口部に外付けブラインドが設置されている。実験棟は周囲に高い建物の無い平地に立地する。二棟は間隔10m程度離れた位置関係にあり、建物方位は東西南北が各壁面に正対している。二棟の屋外条件が等しいものとして以下の計測を行った。

2.2 実測条件

Fig. 4 に実験棟室内に設けた各測定機器の平面配置を示す。室内温度 (●P) をT型熱電対、室内風速 (△Q) を多点風速計、垂直面日射量 (☆S) を小型日射計、室中央の室温、風速、グローブ温度をアメニティーター (■R) より測定した。各測定点を床面高さ1100mmに配置し、熱電対に関しては開口部断面上のみ鉛直方向に各5点を設けた。また実験棟近くに設置された気象計 (地上高3m, 10m) から、屋外の気温、湿度、風向風速、日射量等データを取得した。ブラインドの有無による比較のため、実験条件として開口部全ての外付けブラインドを角度60°で固定したケースを実験棟A、窓を完全に開放した基準ケースを実験棟Bと想定した (以降、前者をブラインド60°、後者を装飾なしと呼び、詳細をTable1に記す)。これらはどちらも網戸を開けた状態にした。通風を効率よく行うため、東窓と北勝手口は閉じ、西と南のみ窓を開放した状態で計測した。

3. 実測結果

3.1 室内温熱環境の把握

日中(10:00~18:00)における実測結果を報告する。Fig. 5 に日中温熱環境の推移を表す。計測開始 10 時より屋外気温は上昇、並びに日射量は増加し、気温は 12 時(26.1℃)、日射量は12時半(912W/m²)でピークに達した。その後、日射量は著しく減少し、13 時以降は気温、日射量共に 18 時頃に渡り減少した。これより屋外気温・日射の影響が最も大きい 12 時半の時間帯を基準として、以降 2 時間毎に Fig. 4 の測定点配置に従い 2 ケースを比較した。全データ 1 秒間隔のサンプリングより、測定温度は対象時刻の瞬時値、風速・日射量はその 10 分間平均で算出。屋外気象計より日中屋外風向は北(11°)を示した。

Fig. 6 に 12:30 における南北断面鉛直温度分布を示す。全ての測定点において常に外付けブラインドを用いた室内温度の方が装飾なしよりも低いことが分かる。各測定ポール位置における高さ方向のケース間温度差の平均値は、P11 : 0.57℃、P8 : 0.55℃、P4 : 0.78℃、P1 : 2.20℃であった。この時間帯は南開口部から侵入する日射影響が大きく(Table. 2)、P1 地点、特に床面周辺で著しい温度差(3.6℃差)が確認できる。装飾なしの場合、日射遮蔽効果が期待できないため、太陽高度の高い 12 時半の時間帯では、窓面近傍の床あたりに直接的な影響を受ける。一方日射影響の少ない室中央に近づくに従い双方の温度差は減少する。窓面近傍の日射遮蔽性能が室内温度分布に影響すること、温度上昇の抑制に繋がることが分かる。

Fig. 7 より床面高さ 1100 mm における 12:30 の室内風速の変化を確認する。全体的にブラインド利用時の室内風速が装飾なしを下回っており、ブラインドによる抵抗が流入風速を減衰させることが分かる。南開口部付近では、室外から室内 Q1 ~ 風速の低下率は装飾なし側で 20%、ブラインド 60° 側で 32%を示しその影響が顕著に表れた。また Q1 から室内側へ進むに従い風速が次第に低下し、その後 Q8, Q11 で安定化することから、室中央では窓面近傍に比べ風速抵抗の影響を受け難いことが分かる。

Fig. 8~Fig. 11 には順に 14:30、16:30 の各南北断面における鉛直温度分布と風速分布を併せて示す。温度分布について着目すると、12:30 から 14:30、16:30 へと時間が経過するにつれて室温が低下するとともに、ブラインド 60° と装飾なしの温度差が小さくなっていく傾向が確認できる。14:30 までは双方の温度差が 1℃程度に保たれていたが、16:30 にはその差がほとんどない状態となった。防暑対策が必要な屋外気温・日射量の多い時間帯において、ブラインドの高い遮熱性能を確認した。次に風速分布を確認すると、どの時間帯においても装飾なしの室内風速がブラインド 60° の場合を上回る結果となり、ブラインドによる風速の抵抗を確認した。一方で風速の低下率をみると、14:30 では装飾なし側 16%に

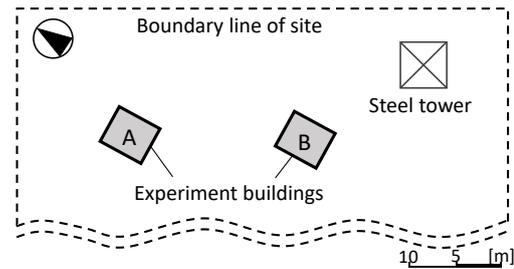


Fig.2 Site of measuring object

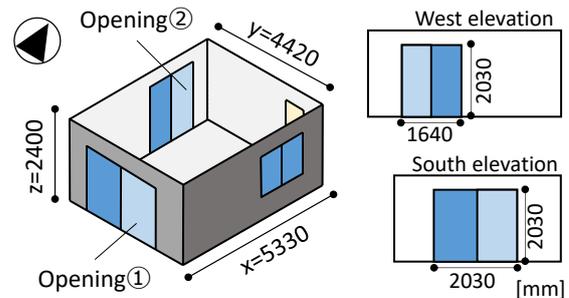


Fig.3 Measuring object and elevations of opening

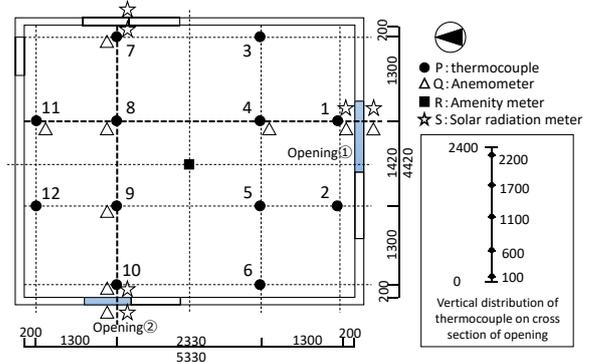


Fig.4 Plan of measuring equipments

Table 1 Actual measurement conditions

condition	window type	specification of opening	angle[°]
caseA	double sliding window	External blind	60
caseB	West and South are constantly released	No decoration	—

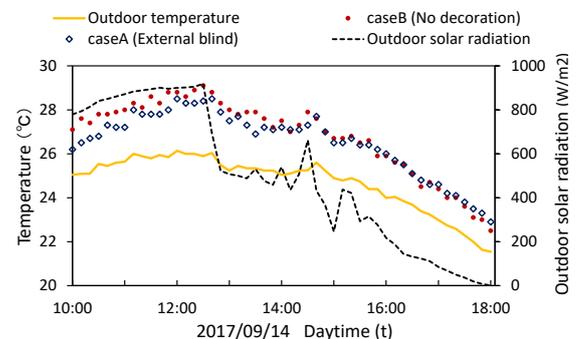


Fig.5 Time variations of thermal environmental elements of indoor and outdoor spaces

対しブラインド 60° 側 22%、16:30 では装飾なし側 7% に対しブラインド 60° 側 : 14%であった。時間帯により室外風速の変動はあるものの、ブラインドによる風速の低下率は 10%程度の差に留まることが確認された。

3.2 日中の快適性評価

ここでは通風・遮熱性能を総合的に判断することを目的として、ブラインドの有無による室内の快適性評価を行った。Fig. 12、Fig. 13に室内中央におけるPMV(予想平均温冷感申告)とSET*(標準新有効温度)の比較を示す。PMVの算出には、在室者の代謝率を1.0Met、着衣量を0.5cloと設定した。Fig. 12を確認すると、10時~14時頃までブラインド60°が装飾なしのPMV値を上回っている。この間のPMV平均値は順に0.084、0.65であり、常に0.5以上の差がある。どちらも快適域と言えるものの、ブラインド60°側の快適優位性がより窺える結果となった。Fig. 13でも、10時~14時の時刻で概ねブラインド側のSET*が低い値を示し、室内体感温度が良好であることが分かった。この間の室内気温差はFig. 5より0.5°Cに止まるが、SET*ではブラインド側:26.1°C、装飾なし:24.9°Cと1.2°Cの体感温度差を確認できた。ブラインドによる室内流入風速の低下はあるものの、日射遮蔽によ

るMRTの抑制効果が大きいことで総合的に室内の快適性が向上したと考えられる。また、PMV、SET*ともに、14時以降は次第に数値差が小さくなり、18時までには二つの差は殆どなくなった。これは14時半以降の著しい屋外日射量の低下に伴っている(Fig. 5)。これにより室内温度・

Table 2 Incident solar radiation on the vertical openings

12:30	[W/m2]	Outside of south	Inside of south	Outside of west	Inside of west	Outside of east	Inside of east
caseA (External blind)		688.6	72.95	504.1	52.32	174.5	30.3
caseB (No decoration)		698	688.5	439.7	215.5	161.4	62.9

14:30	[W/m2]	Outside of south	Inside of south	Outside of west	Inside of west	Outside of east	Inside of east
caseA (External blind)		278.82	53.042	605.99	57.474	165.86	18.503
caseB (No decoration)		378.42	362.36	637.45	624.04	146.49	59.574

16:30	[W/m2]	Outside of south	Inside of south	Outside of west	Inside of west	Outside of east	Inside of east
caseA (External blind)		62.726	14.977	105.52	14.567	71.651	6.4741
caseB (No decoration)		79.411	70.774	109.67	99.053	62.425	24.389

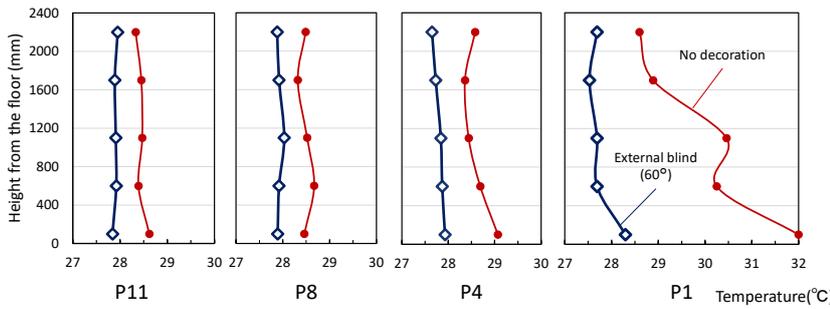


Fig.6 Vertical distributions of air temperature in north-south section (12:30)

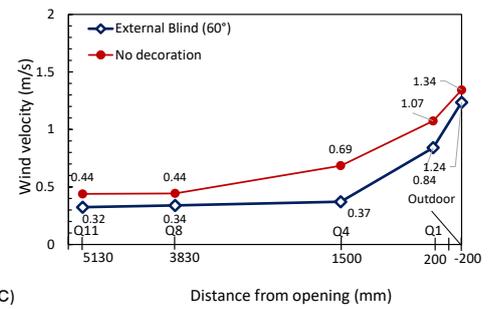


Fig.7 Distributions of wind velocity (12:30)

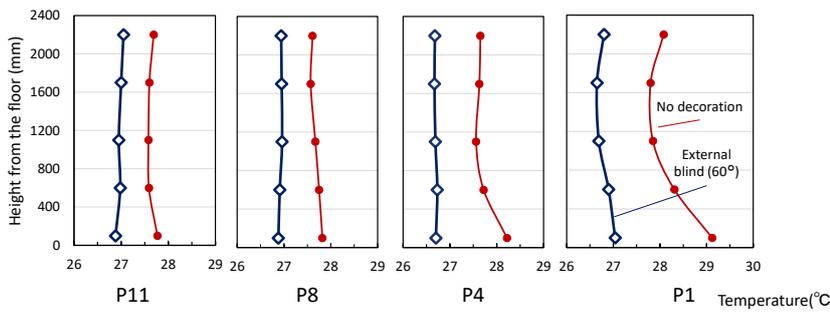


Fig.8 Vertical distributions of air temperature in north-south section (14:30)

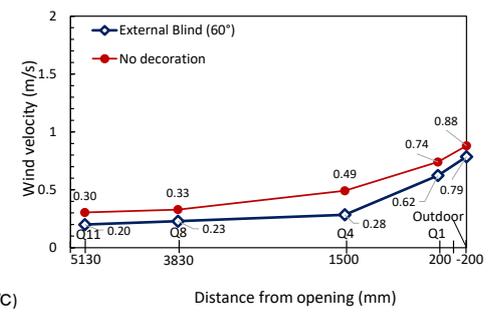


Fig.9 Distributions of wind velocity (14:30)

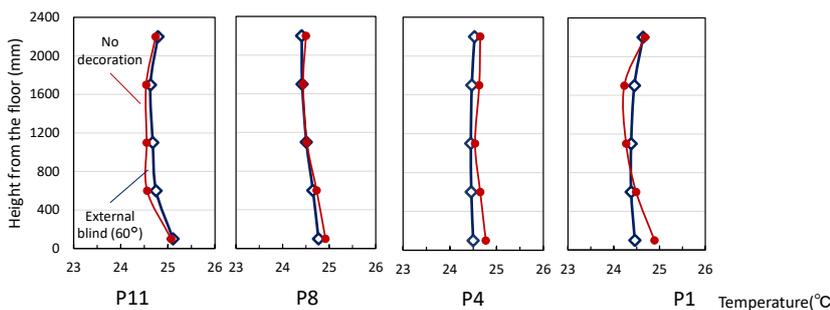


Fig.10 Vertical distributions of air temperature in north-south section (16:30)

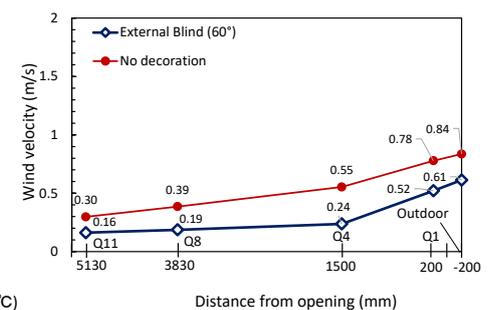


Fig.11 Distributions of wind velocity (16:30)

MRT が 14 時以前より低下し、二棟の室内温度差が徐々に小さくなったことが要因に挙げられる。加えて 14 時以前と以降の室内中央平均風速を確認したところ、装飾なしでは 0.36 から 0.32 m/s に対し、ブラインド 60° では 0.32 から 0.19 m/s へと低下した。そのため風速差の開口部からの熱損失も影響したとみられる。

次に、ブラインドによる通風性能が室内環境に与える影響の把握を目的として、気流の乱れについて検討した。風速の標準偏差: SD_v 、平均風速: \bar{v} のとき、乱れ強度 I を以下の式で定義する。

$$I = \frac{SD_v}{\bar{v}} \times 100 \quad [\%] \quad \dots(\text{式 } 1)$$

室内風速の標準偏差と平均値は日中に 1 秒間隔で測定した風速値から 10 分平均により算出した。Fig. 14(1)に Q8(室内中央付近)の平均風速と乱れ強度の関係を記す。日中の乱れ強度 I は、装飾なし 57% に対しブラインド 60° で 62% の割合を示した。また Fig. 14(2)には窓面近傍の測定点である Q1 での結果を同様に示す。こちらも乱れ強度は前者 53%、後 51% と若干ブラインド 60° 側の I 値が高く、他の風速測定点においても似たような傾向が確認できた。これよりブラインドの利用は数パーセント程度、室内気流の乱れを強めることが明らかになった。また、対象とする平均風速に差があるものの、低風速の室内側の方が窓面近傍より気流の乱れが強まることも確認できた。波のある気流感が心地よいと感じる場合もあれば、この乱れが睡眠効率を下げるとの見解³⁾もある。ブラインドによる乱れ強さが在室者にどう影響するか、今後検討していく必要がある。

4. まとめ

- (1) 外付けブラインドの日射遮蔽性能は室内温度上昇抑制に効果があり、特に屋外気温・日射量の多い時間帯に効果が顕著に表れた。一方でブラインドによる室内風速の低下率は、装飾なしと比べて 10% 前後に留まった。
- (2) 外付けブラインドは通風環境において室内への流入風速を低下させるが、高い日射遮蔽性能により総合的に日中の室内快適性向上効果 (PMV, SET*) が確認できる。

今後も外付けブラインドの性能を把握するため、今回得た実測結果を基に CFD による詳細な解析、気流の乱れが在室者にどのような快・不快感を与えるか被検者を用いた実験等に繋げることが今後の課題である。

【参考文献】

- 1) 三好達也 山口仁士 富田健司: 開口部の仕様が異なる窓面近傍の熱環境について—夏期実測報告—, 東急建設技術研究所報 No. 38 (2012 年度)
- 2) 小林美和: 通風と日射遮蔽を考慮した開口部の防暑性能に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会 学術講演会論文集 平成 17 年(2), 1065-1068, 2005-07-25
- 3) 三宅絵美香: 気流の変動が睡眠に及ぼす影響に関する研究,

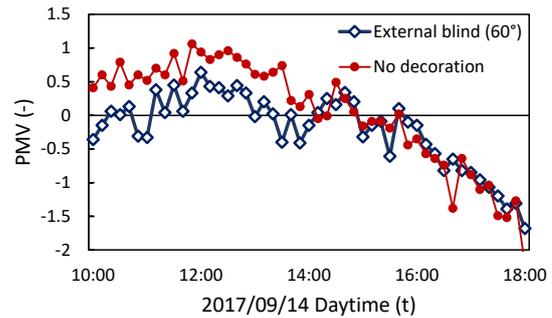


Fig.12 Time variations of PMV

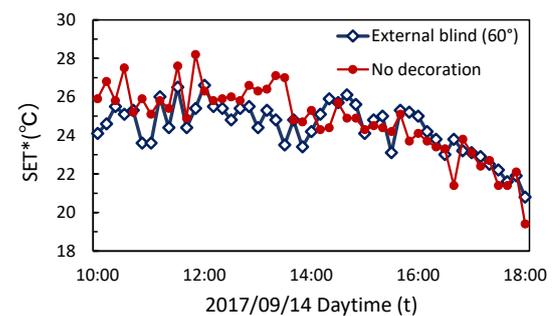
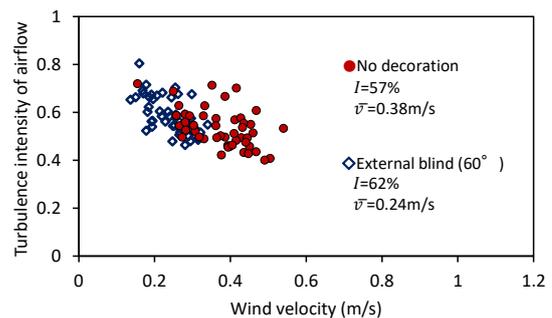
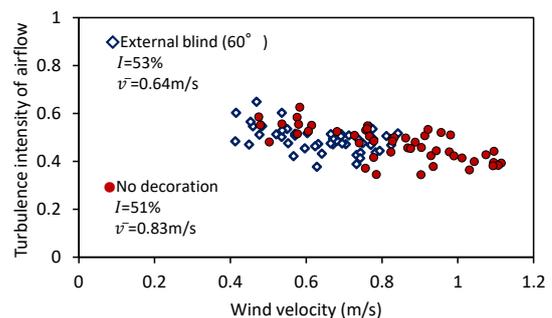


Fig.13 Time variations of SET*



(1) Center of the room (Q8)



(2) Near the surface of the southern window (Q1)

Fig.14 Relationship between turbulence intensity of airflow and wind velocity

空気調和・衛生工学会大会 学術講演論文集 2014. 6(0), 21-24, 2014

【謝辞】 本研究の遂行に当たり久保田修一氏、酒巻芙蓉氏、平塚鉄也氏(オイレス ECO 株式会社)には多大な助力を得た。ここに深く感謝の意を表す。

連成数値解析による熱線再帰性反射フィルム貼り付け窓の最適配置に関する研究

Study on optimal arrangement of the window with heat ray retro-reflective film using numerical analysis

○宮垣 春香 (奈良女子大学)

吉田 伸治 (奈良女子大学)

Haruka MIYAGAKI*¹ Shinji YOSHIDA*¹

*¹ Nara Women's University

In this paper, we investigated the optimum arrangement of installing windows with near infrared rays retro-reflective film (RRF) on radiant environment for pedestrians. Three patterns of window area ratio in exterior surface of a building were compared in this study:25%,50%,67%. We evaluated the optimum arrangement by differences of radiant environmental elements between when installing the windows with RRF and when using the wall greening. Through the investigation, it was estimated that effects of installing windows with RRF are larger than those of using the wall greening when installing the windows to at least 50% of window area to the western exterior surface of a building.

1. はじめに

近年、夏季の建物冷房負荷削減の対策として建物外皮の高反射率が注目されている。この対策のひとつであり窓面に貼り付けられる遮熱フィルムは、窓での鏡面反射日射の建物近傍への照射が、街路空間の放射ならびに暑熱環境を悪化させる点が懸念されている。これを改善する方策として、従来、壁面緑化、保水性建材等の壁面への対策が導入されてきた。さらに近年では、入射日射の大半を建物外表面上方へ反射させる再帰性反射フィルムが提案され、遮熱フィルムとの比較による設置効果の検証が行われている。今後、このフィルムを貼り付けた窓を建築計画、設計に導入する際の費用、外観等の制約により、窓、壁どちらか一方にのみ対策を講じる場合、各々の面積率によって選択されるべき対策が異なることが予想される。しかし、窓や壁の面積率を考慮した再帰性反射フィルムと壁面の外被対策の効果の比較、再帰性反射フィルム導入の指針に関する検討は未だ不十分である。そこで本研究では、壁に施す外被対策として代表的な壁面緑化を取り上げ、放射伝熱解析によって、窓や壁の面積率を考慮した再帰性反射フィルム貼り付け窓と壁面緑化の建物近傍の放射熱環境に及ぼす影響を比較、検討することを目的とする。

2. 解析概要

2.1 解析対象

Fig. 1 に解析対象を示す。解析には、東京の新橋を想定した 30m 立方の建物、街路が東西(x)、南北(y)方向に均等に並ぶ街区モデルを用いる。街区モデルの中心に対象建物を配置し、Fig. 1 中に点線で示す建物周りの 60m×60m の区画を対象街区とする。対象建物は階高 4m の 8F 建ての事務所ビルを想定している。建物外表面は、対象建物の西

面のみ窓、壁の条件を配置し、対象建物の西面以外と対象

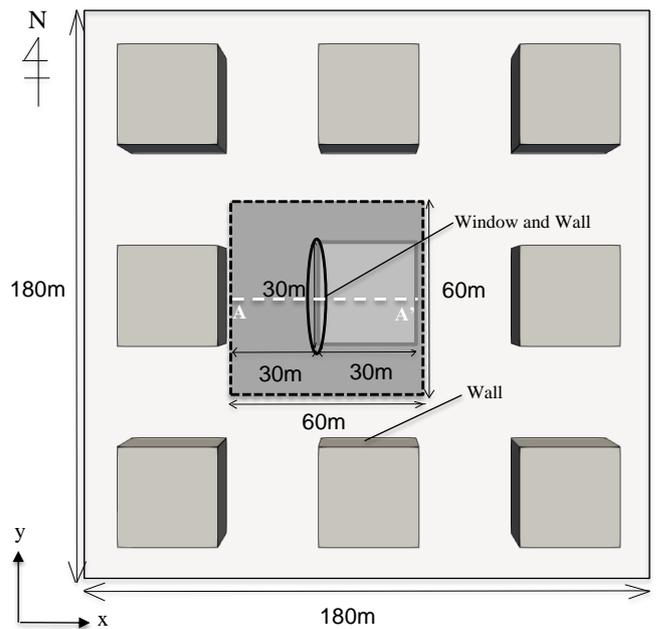


Fig. 1 Study area

Table1 Computational cases

	wall	window	rate of the window area(%)	the length of the window (mm)
Case1-1	Concrete	HSF	25	1000
Case1-2	Greening	HSF		
Case1-3	Concrete	RRF		
Case2-1	Concrete	HSF	50	2000
Case2-2	Greening	HSF		
Case2-3	Concrete	RRF		
Case3-1	Concrete	HSF	67	2700
Case3-2	Greening	HSF		
Case3-3	Concrete	RRF		

以外の建物の外表面を壁として解析を行った。

2.2 解析ケース

対象建物西向き外表面についてケース設定を行った。Table1に解析ケース、Fig2にケースごとの対象建物1階断面のイメージ図を示す。Case1では高窓(高さ1000mm)の解析を行う。これに対し、Case2では腰高窓(高さ2000mm)を想定、Case3では掃き出し窓(高さ2700mm)を想定する。各ケースの窓面積率はCase1から順に25,50,67%に相当する。上階も同様の仕様としておりCase2を一例に対象建物外表面のイメージをFig.3に示す。更に、各ケースに対して窓と壁の外被対策の種類別に、コンクリート(Concrete)壁、遮熱フィルム(Heat shading Film(HSF))貼り付け窓を用いる場合を基準ケースとし、壁に壁面緑化(Wall Greening)を施すケース、窓に再帰性反射フィルム(Retro-reflective Film(RRF))貼り付け窓を施すケースの全9ケースを設定した。

2.3 解析条件

酷暑が続いた真夏日として、2010年7月23日の気象条件を対象に解析を行った。東京の気象庁で観測された気象データを用い、対象日前日(7/22)6時~対象日翌日(7/24)0時までの計42時間に渡る気象条件を対象に解析を行った。Fig.4に7月23日の気象条件の一例として、全天日射量、大気放射量、直達日射率、雲量(グラフ右縦軸に合わせ10で除した値)、気温、相対湿度の時間変化を示す。23日の気象条件は、12時~14時頃で全天日射量は約900W/m²、約14時頃に気温が約35°Cでピークとなっている。その他、解析手法の詳細については文献1、文献2を参照されたい。

3. 解析結果

3.1 建物外表面からの反射日射の地表面への入射量分布

Fig.5に代表してCase2-1,2-2,2-3の2010年7月23日14時における窓面からの反射日射の地表面への入射量分布を示す。また、これのA-A'断面に沿った分布をFig.6に示す。対象建物近傍の値が特に大きく、Case2-1,2-2では約120W/m²の分布を示す。一方、再帰性反射フィルム貼り付け窓を設置したCase2-3では約60W/m²と、他のケー

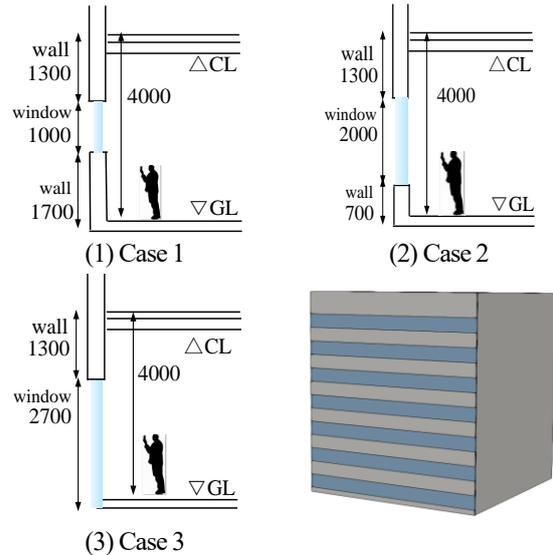
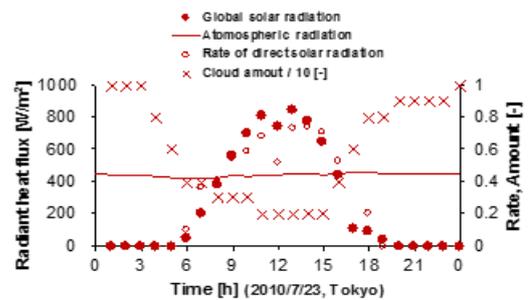
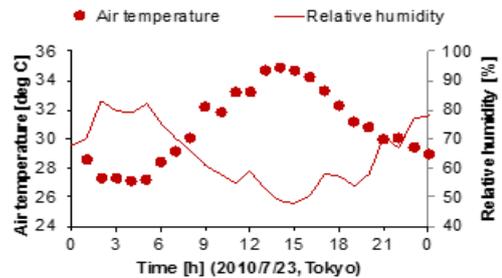


Fig.2 1F cross-section Fig.3 Image of building facade (Case2)



(1) Global solar radiation, atmospheric radiation, rate of direct solar radiation, and cloud amount rate



(2) Air temperature, relative humidity
Fig.4 Time variations of weather conditions

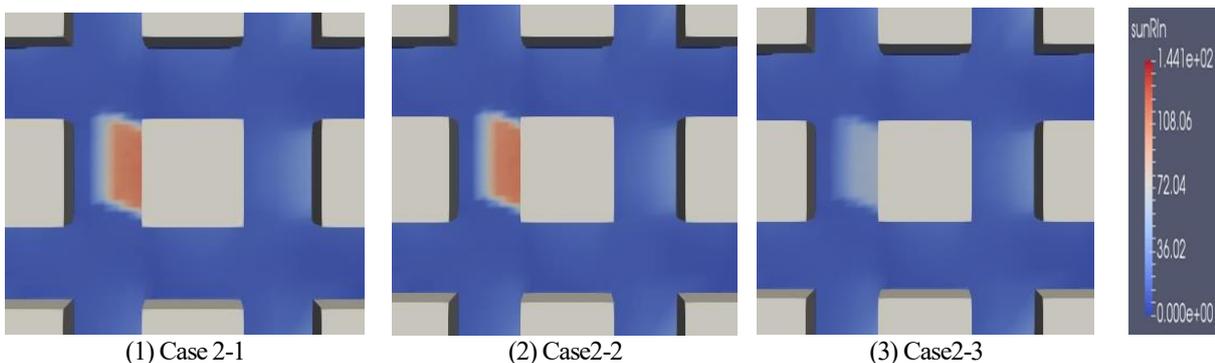


Fig.5 Distributions of incident solar radiation reflected from the western surface of a building on ground surface (2010/7/23 14:00)

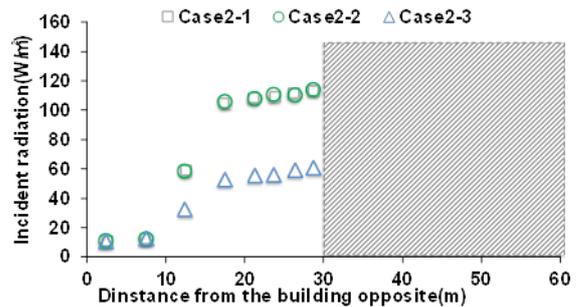
スの半分程度まで減少しており、再帰性反射フィルムの設置効果がわかる。次に、窓面積率の差異に注目すると、どの窓面積率においても、対策無しの基準ケース(Case1-1, 2-1, 3-1)と壁面緑化を施したケース (Case 1-2, 2-2, 3-2) の窓近傍の値が大きく、窓面積率の増加に伴い、このピークが高まる。これは反射日射量が壁面に比べて大きい窓面の影響が強まるためと考えられる。さらに対策の有無に着目すると、再帰性反射フィルム貼り付け窓のケースで入射日射量の低減が確認できる。建物近傍において Case 2-1, 2-2 は約 120W/m²、Case 3-1, 3-2 は約 140W/m²を示し、Case 2-3, 3-3 はどちらも約 60W/m²であることから他 2 ケースとそれぞれを比較すると再帰性反射フィルムの入射日射量の低減効果が窓面積率の増加に伴い増大しており、再帰性反射フィルムの暑熱環境緩和の効果が確認できる。

3.2 対象建物外表面温度

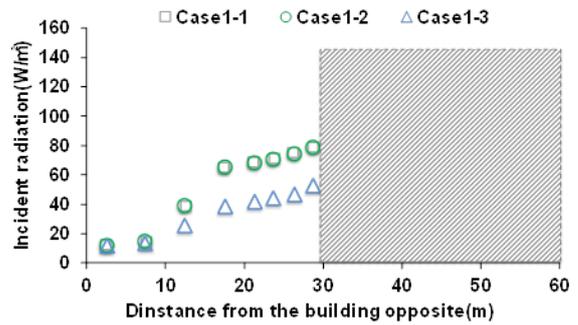
Fig. 7 に同日の窓と壁の条件を与えた対象建物西向き外表面温度の鉛直分布を示す。本解析では、階毎の窓、壁要素内を分割していないため、図中の値は窓、壁各要素の中心位置での値のみを表すため、どのケースにおいても値の増減を横 V 字状に繰り返す分布を示す。遮熱フィルム窓面で約 40°C、コンクリート壁面で約 41°Cを示す。これに対し、壁面緑化を施した面では約 36°Cを示し、コンクリート面より約 5°Cも低い。これは壁面緑化の植栽による蒸発散の影響のためである。一方、再帰性反射フィルムを貼り付けた窓面では約 42°Cと最も高い値となった。これは、ガラスに同フィルムを貼り付けたことにより、日射吸収率が増加するためである。以上の結果より、壁面緑化は壁面の建物外表面温度を下げることで建物近傍の暑熱環境を緩和する効果があることが確認された。

3.3 MRT 分布

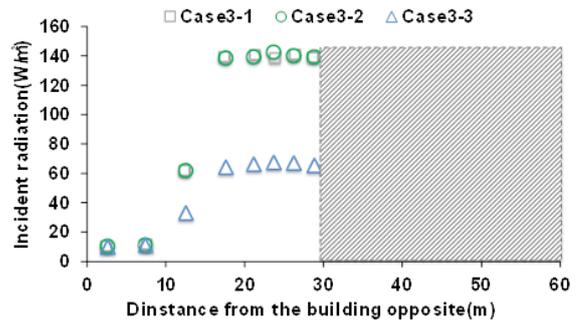
Fig. 8 に同日の Fig. 1 中の A-A'に対応する MRT の水平分布を示す。地表面への入射日射量の分布と同様に人々の歩行空間の建物近傍から 10m までの範囲において高い値を示し、どの窓面積率においても遮熱フィルム貼り付け窓



(1) Case 1 (Window area: 25%)



(2) Case 2 (Window area: 50%)



(3) Case 3 (Window area: 67%)

Fig. 6 Horizontal distributions of incident solar radiation reflected from the western surface of a building on ground surface at the A-A' section (2010/7/23 14:00)

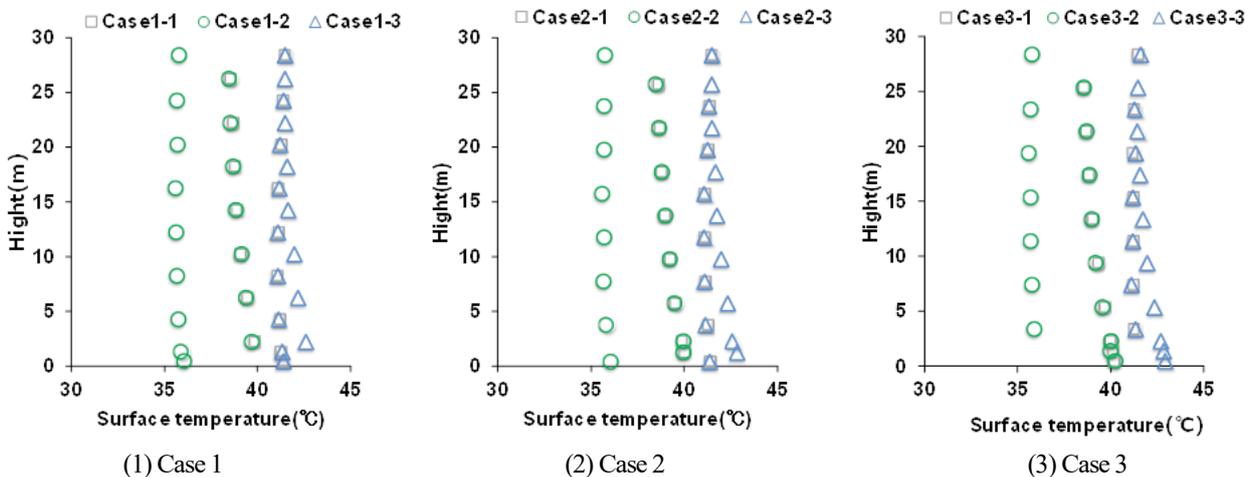


Fig. 7 Vertical distributions of surface temperature of the western surface of a building (2010/7/23 14:00)

とコンクリート壁を用いた対策無しのケース(灰色線)が最も高温となる。Case 1 ではケース間の差がほとんど見られないものの、Case 2, 3 の再帰性反射フィルム窓のケース (Case2-3, 3-3)、では建物近傍で他の 2 ケース (具体的には Case 2-1, 2-2, 並びに Case 3-1, 3-2) との差が見られ、再帰性反射フィルム貼付け窓の MRT 低減効果が確認できる。最後に、各々の対策技術の導入による窓近傍 (窓から 1.25m) における MRT の低下を比較したものを Fig. 9 に示す。ここでは、基準ケース (Case *- 1) の MRT の値から対策ケース (Case *-2, *-3) の値を引いたものを示しており、値が大きいほど、対策の実施による MRT の低下が大きいことを表す。Case1 の窓面積率 25% の場合では、壁面緑化の敷設効果が約 1.3°C、再帰性反射フィルム貼付け窓の設置効果が約 1.2°C であり、壁面緑化の方が僅かに MRT の

低下が大きい結果となった。これに対し、窓面積率 50% の Case 2 においては、壁面緑化の効果が約 0.8°C、再帰性反射フィルムのそれが約 2.4°C の値を示し、同フィルム貼付け窓の設置効果が壁面緑化の効果を上回る結果となった。さらに窓面積率を 67% にまで増やした Case 3 における壁面緑化、再帰性反射フィルム窓の効果は、各々約 0.1°C、約 2.8°C の値を示し、壁面緑化の敷設効果は殆ど無い結果となった。以上の分析により、再帰性反射フィルム貼付け窓が壁面緑化に比べ有効となる窓面積率の下限は 25~50% の範囲内にあると考えられる。

4. まとめ

- 1)窓面積率の増加に伴い、再帰性反射フィルムの地表面への再入射日射量の低減効果の増大、歩行空間の暑熱環境緩和の効果が確認された。
- 2)窓面積率が 50%以上を占める場合では、再帰性反射フィルムの MRT 低下の効果が大きく、窓面積率 25% の場合壁面緑化の効果が僅かに大きいことから再帰性反射フィルムが有効となる窓面積率の下限は 25~50% にある。
- 3)今後は SET*, WBGT を算出し両者の比較を行い、両者の効果の比較、検討を進めることが課題である。

参考文献

[1] 弓野, 吉田他: 指向性反射を考慮した放射伝熱シミュレーションによる熱線再帰性反射フィルムの評価 (その 2) 指向性反射を考慮した放射伝熱解析手法の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D1, 899-900, 2014.8.
 [2] 吉田, 弓野他: 指向性反射を考慮した放射伝熱解析手法による屋外温熱環境評価に関する研究 (その 2) 2D キャニオン空間への再帰性反射フィルム貼付け窓の設置が放射熱環境に与える影響, 日本建築学会大会近畿支部研究報告集, 56, 241-244, 2016.6.

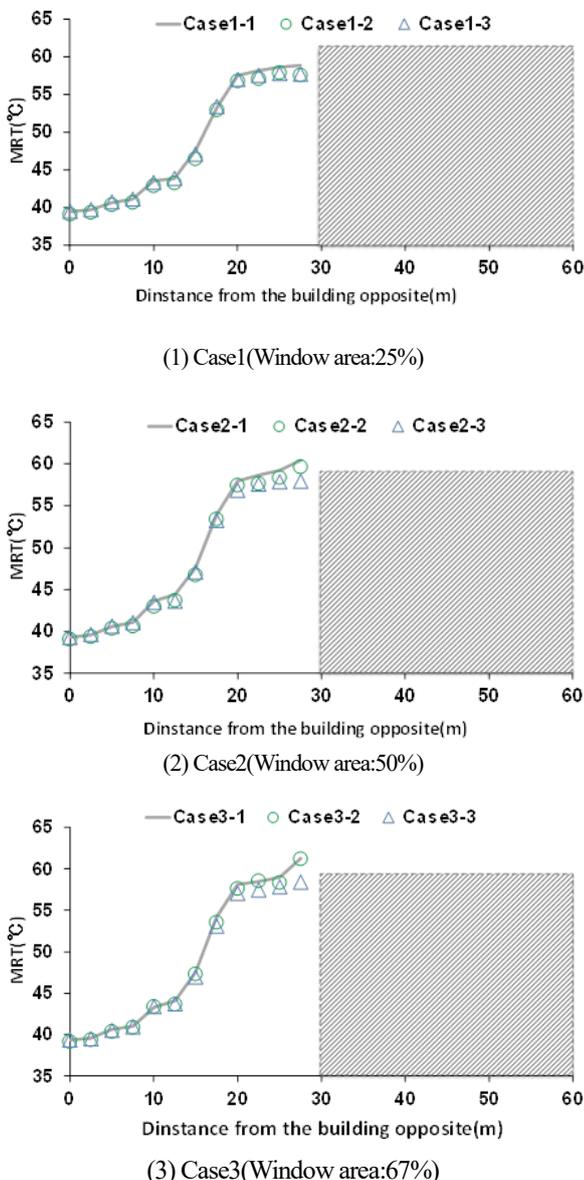


Fig. 8 Horizontal distributions of the MRT for an entire body for pedestrians (A-A') (2010/7/23 14:00)

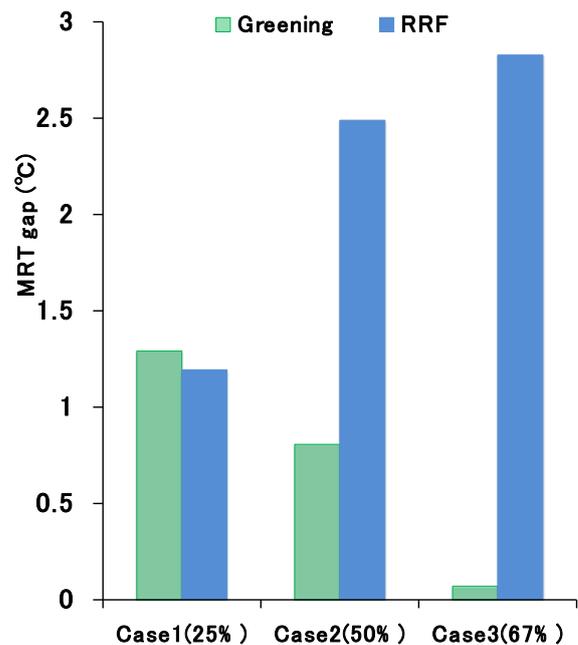


Fig. 9 Comparison between effects of adapting countermeasure techniques on the MRT for pedestrians

MVOC 成分臭の主観評価

Sensory Evaluation of MVOC Odor

○ 竹村 明久 (摂南大学) 津田 晴佳 (摂南大学)

Akihisa TAKEMURA* Haruka TSUDA*

* Setsunan University

MVOC (Microbial Volatile Organic Compound) is one of the indoor air pollutant which generated from microbes such as molds. In many cases fungi breed in invisible places, for example on the back of furniture or on the backside of walls, thus it's very difficult to deal with the sources of MVOCs. Therefore, ventilation is very effective for the MVOC. In this study, it was intended to calculate ventilation requirements for satisfying a comfortable odor concentration. Firstly, the sensory evaluation experiment was conducted on seven MVOCs. Secondly, the value of the degree of hedonics "-0.5" was set to the allowable limit, and the odor concentration corresponding to the limit was calculated. Finally, ventilation requirements for a comfortable odor environment were estimated. Consequently, it was revealed the amounts of ventilation were extremely small with respect to the ventilation requirements of the Building Standards Law.

1. はじめに

室内の気になるにおいによく挙げられるカビ臭は、壁体内部や天井裏、押入れやエアコン内部、家具の裏側など、発生に気づきにくい場合が多く、発生自体を完全に防ぐことは難しい。微生物由来揮発性有機化合物 (Microbial Volatile Organic Compounds; MVOC) は、カビ (真菌) や細菌の発する化学物質であるが、他の VOC の室内空気濃度低減によって、相対的に空気中の存在が問題化されるようになった。一方で、通常の換気環境下で人体影響のある濃度までは上昇しないとも考えられることから、本研究では、「カビくさい」不快な室内環境を防ぐための換気の程度を把握して、過剰でない換気量設定を把握することを目的として実施した MVOC 成分の主観評価実験結果について報告する。

2. MVOC の主観評価実験

鍵ら¹⁾は、培地で生育する真菌のうち、*C. cladosporioides*、*P. pinophilum*、*A. niger* とそれぞれの混合体の MVOC 発生量を測定した。検出された MVOC のうち、複数真菌からの検出が確認されたと報告された

Table 1 Odor concentration for Sensory Evaluation Expt.

	Odor concentration [-]				
1-Octen-3-ol	3.1	3.1x10	1.0x10 ²	1.0x10 ³	1.0x10 ⁵
3-Octanone	1.2	3.7	1.2x10	1.2x10 ²	1.2x10 ⁴
3-Octanol	1.7	1.7x10	5.8x10	5.8x10 ²	5.8x10 ⁴
	Odor concentration [ppm]				
Acetaldehyde	1.5x10 ⁻³	1.5x10 ⁻²	1.5x10 ⁻¹	1.5	4.0x10
Acetone	4.2x10	1.3x10 ²	4.2x10 ²	1.3x10 ³	5.0x10 ³
Isoamyl alcohol	1.7x10 ⁻³	1.7x10 ⁻²	1.7x10 ⁻¹	1.7	9.0x10
Isobutyl alcohol	1.1x10 ⁻²	1.1x10 ⁻¹	1.1	1.1x10	2.1x10 ²

1-Octen-3-ol、3-Octanone、3-Octanol、Acetaldehyde、Acetone、Isoamyl alcohol、Isobutyl alcohol の 7 種を本研究での対象臭気とした。

2.1 MVOC 原臭の臭気濃度の把握

永田ら²⁾が測定して公開した閾値に含まれない物質で、かつ検知管が市販されていない 1-Octen-3-ol、3-Octanone、3-Octanol は、体積濃度を知ることが困難であるため、三点比較式臭袋法に基づく原臭臭気濃度測定を行った。実験は、2017 年 11 月 6 日から 10 月 3 日に本学実験室にて室温 21.1 ~ 25.9°C、湿度 51 ~ 70% の条件下で行った。原臭は、無臭空気 10L を封入した試料採取袋に 1-Octen-3-ol と 3-Octanol については 100[μL]、3-Octanone については 60[μL] の試薬液を注入して十分に揮発させて作成した。パネルは、嗅覚検査に合格した学生 8 名 (男性 5 名、女性 3 名、平均 20.6 歳) とした。

測定された原臭の臭気濃度は 1-Octen-3-ol は 3.1

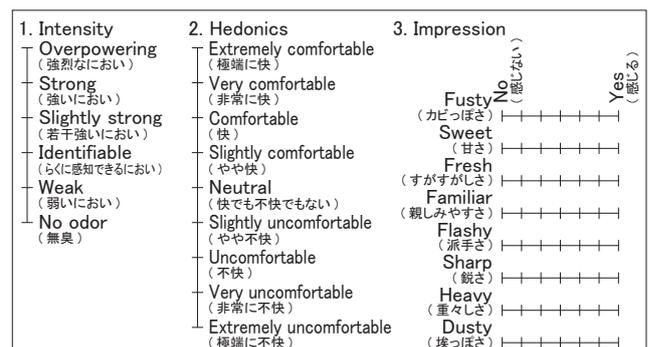


Figure 1 Evaluation scales

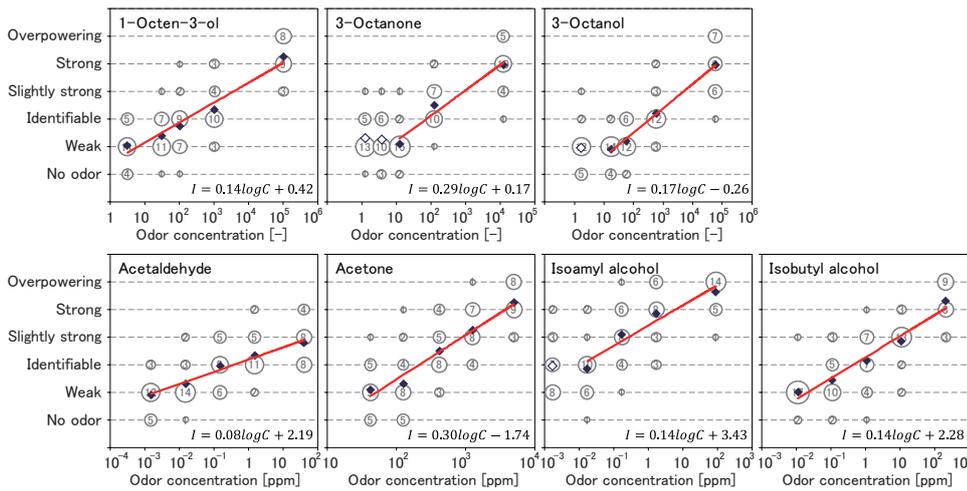


Figure 2 Relationship between concentration and intensity

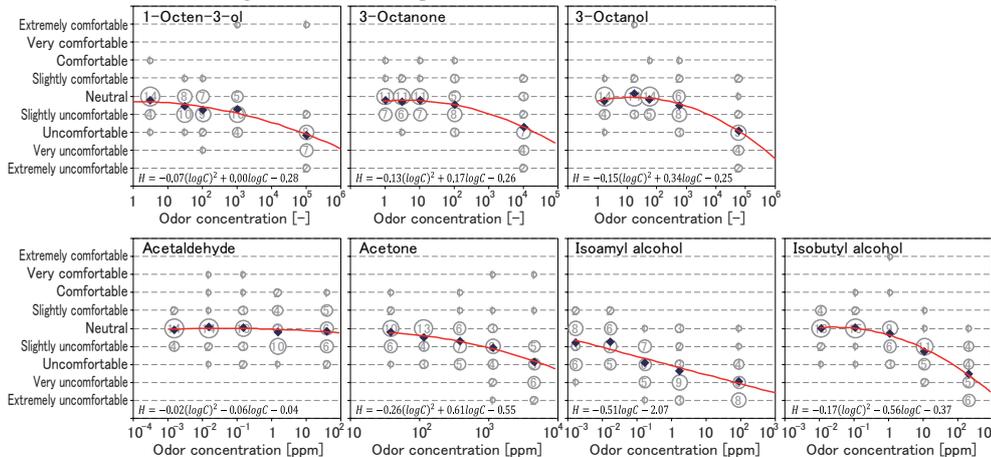


Figure 3 Relationship between concentration and hedonics

× 10⁶[-], 3-Octanone は 3.7 × 10⁵[-], 3-Octanol は 1.7 × 10⁶[-] だった。

2.2 主観評価実験概要

実験は、2017年11月21日から11月30日に本学実験室にて室温 19.1 ~ 22.6℃、湿度 22 ~ 49% の条件下で行った。提示試料は、表 1 に示す 5 段階の濃度に調製した 7 種の MVOC として、それぞれ 10L 試料採取袋に封入して順不同に提示した。なお、表 1 上段の 3 種の MVOC は臭気濃度表記、下段の 4 種は体積濃度表記とした。実験参加者は嗅覚検査合格者である学生 20 名(男性 10 名、女性 10 名、平均年齢 21.4 歳)とした。評価項目は、図 1 に示す臭気強度、快・不快度、およびカビ臭のある空間の臭気の影響評価に関連すると考えた 8 項目(「カビっぽさ」、「甘さ」、「すがすがしさ」、「親しみやすさ」、「派手さ」、「鋭さ」、「重々しさ」、「埃っぽさ」)とした。なお、本研究は本学の人を対象とする研究倫理審査委員会で承認済で、参加者には適切な謝礼金を支払った。

2.3 結果と考察

図 2 に、濃度と臭気強度の関係を示す。横軸は、上段の 3 物質は臭気濃度、下段の 4 物質は体積濃度を示し、縦軸は臭気強度である。円の面積で度数を示し、

プロットは平均値、線分は最小二乗法に基づく回帰式を示す。3-Octanone、3-Octanol、Isoamyl alcohol には白抜きプロットがあるが、これらは直上濃度と同程度の臭気強度だったことから回帰に含めなかったことを示す。傾向としては、上段では 3-Octanone の傾きがやや大きく、下段では Acetone の傾きがやや大きい、いずれもプロットと回帰線はよく一致し、濃度と臭気強度の対数値は線形関係であることがわかる。

図 3 に濃度と快・不快度の関係を示す。横軸は図 2 と同様で、縦軸は快・不快度である。円の面積は度数、プロットは平均値を示し、線分は濃度の対数の 2 次式を用いた最小二乗法

による回帰線を示す。いずれもプロットと回帰線は比較的良好に一致したが、Isoamyl alcohol のみ濃度の 2 乗項の係数が 0、すなわち 1 次式での回帰になった。この回帰は一般的ではなく妥当性は今後詳しく検討する余地が残されるが、次の検討における一定の不快度における濃度の算出のために試験的に導入した。傾向としては、いずれの臭気でも低濃度では中庸評価で高濃度では不快側評価の傾向だったが、Acetaldehyde では高濃度でも不快側評価の割合が少なく、平均値は高濃度でも中庸程度だった。

図 4, 5 に濃度と印象の関係を示す。横軸は図 2 と同様で、縦軸は印象の各尺度である。円の面積は度数、プロットは平均値を示す。

カビっぽさ評価では、いずれの臭気でも概ね濃度が高いほどカビっぽさを感じる傾向にあった。

甘さ評価では、1-Octen-3-ol や Isoamyl alcohol、Isobutyl alcohol のように濃度が高いほど甘さを感じない臭気と、3-Octanone、Acetaldehyde のように甘さを感じる臭気、3-Octanol、Acetone のように濃度との相関が見られない臭気に分けられた。

すがすがしさ評価では、いずれの臭気でも濃度が高いほどすがすがしさを感じる傾向にあった。

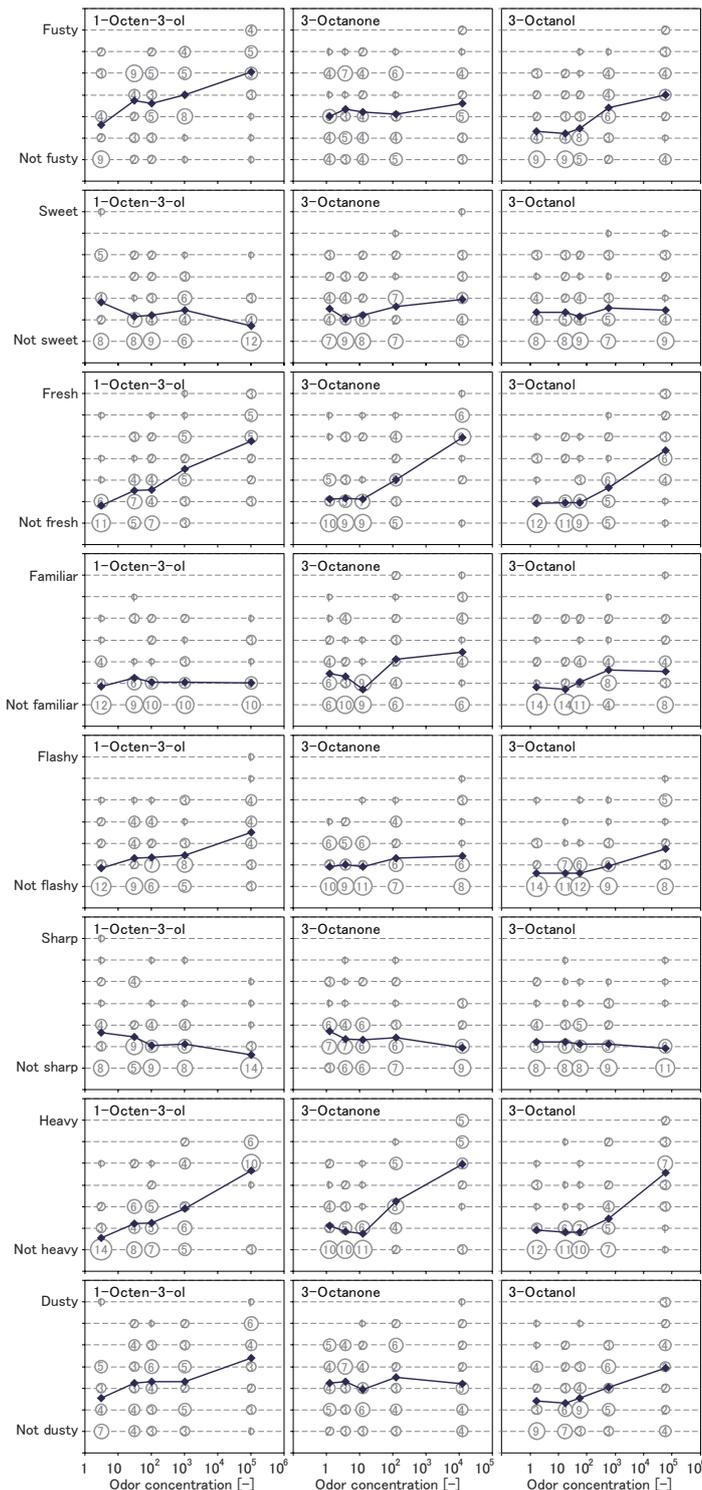


Figure 4 Relationship between concentration and impression scales (1-Octen-3-ol, 3-Octanone, 3-Octanol)

Acetaldehyde を除けば、傾きは非常に大きく、すがすがしさ評価の濃度依存の高さが示された。

親しみやすさ評価では、多くの臭気で親しみやすさが急に高くなる濃度域を有し、Acetone、Isobutyl alcohol のようにそれより高濃度では評価が低下する臭気と、3-Octanone、3-Octanol のように比較的高濃度でも評価が低下しない臭気とが見られた。Isoamyl alcohol のみ、濃度が高いほどわずかに親しみやすさ

が低下する傾向だった。

派手さ評価では、3-Octanone と Acetaldehyde は濃度に依らずほぼ同程度の派手さ評価だったが、他の5臭気では、濃度が高いほど派手さを感じる傾向にあった。

鋭さ評価では、Acetaldehyde のみ濃度が高いほど鋭さを感じる傾向にあったが、他の6臭気では、反対に鋭さは感じない傾向にあった。

重々しさ評価では、全ての臭気で濃度が高いほど重々しさを感じる傾向にあった。Acetaldehyde の傾きが他の6臭気よりはやや緩やかで、この傾向も含めて、濃度とすがすがしさの関係に非常に近い傾向だった。

埃っぽさ評価では、3-Octanone と Acetaldehyde は、濃度に依らずほぼ横ばいの傾向だったが、他の5臭気では濃度が高いほど埃っぽさを感じる傾向にあった。評価の絶対値は全濃度を通してやや高いものの、この傾向は、濃度と派手さ評価の関係に近かった。

3. 不快でない MVOC 濃度維持に必要な換気量

3.1 3 試料の体積濃度の推定

1-Octen-3-ol、3-Octanone、3-Octanol について、他の4物質と同様に体積濃度で表記するため、以下の方法で体積濃度を推定した。まず、原臭作成時に注入した試薬液が全て10Lの試料採取袋内で揮発したと仮定して、注入量と3試薬の密度、分子量から、原臭の体積濃度を推定したところ、1-Octen-3-ol は1450[ppm]、3-Octanone は860[ppm]、3-Octanol は1410[ppm] だった。これらの原臭濃度を臭気濃度で除して算出された3物質の嗅覚閾値濃度推定値は、1-Octen-3-ol は 4.7×10^{-4} [ppm]、3-Octanone は 2.3×10^{-3} [ppm]、3-Octanol は 8.1×10^{-4} [ppm] となった。

3.2 許容限度の必要換気量の算出

図3で算出した濃度と快・不快度の近似式を用いて、快・不快度-0.5(「快でも不快でもない」と「やや不快の中間」)をMVOCの許容限度とみなしたうえで、許容限度を満たす必要換気量を算出した(表2)。

算出には、①単一物質ごとの必要換気量算出としたこと、②鍵ら¹⁾のチャンバー内発生量が外径100[mm]サイズのシャーレ3枚からの発生だったとして、面積あたりの発生量が同一として、室内の壁1.0[m²]から発生した室内を想定したこと、および、③鍵ら¹⁾のデータから各物質の経時的最大発生量を計算に用いたこと、④換気によって室内に導入される外気MVOC濃度は全て0[ppm]としたことの4点を前提条件としたう

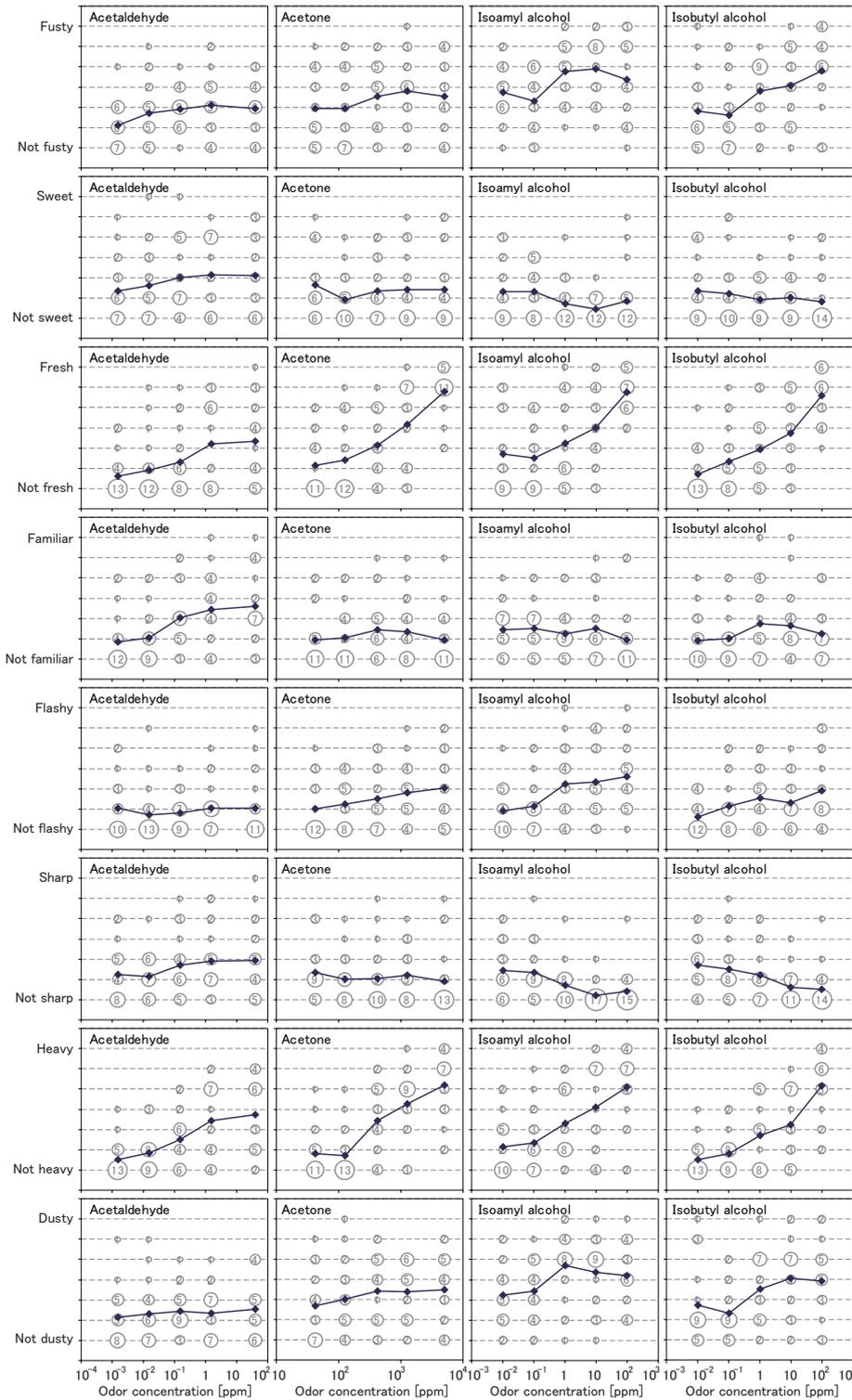


Figure 5 Relationship between concentration and impression scales (1-Octen-3-ol, 3-Octanone, 3-Octanol)

Table 2 Ventilation requirement to achieve a comfortable environment by MVOC

MVOC	Maximum emission rate [ug/h](Kagi ¹⁾)	Molecular weight [g/mol]	Emission rate for calculation [m3/h]	Threshold of uncomfort [ppm]	Ventilation requirement [m3/h]
1-Octen-3-ol	0.085	128.21	8.52×10^{-10}	0.0261	3.27×10^{-8}
3-Octanone	0.01	128.22	1.00×10^{-10}	0.352	2.85×10^{-10}
3-Octanol	0.01	130.23	9.87×10^{-11}	0.708	1.39×10^{-10}
Acetaldehyde	0.49	44.05	1.43×10^{-8}	2334	6.13×10^{-12}
Acetone	0.54	58.08	1.20×10^{-8}	188	6.37×10^{-11}
Isoamyl alcohol	0.93	88.15	1.36×10^{-8}	0.000825	1.64×10^{-5}
Isobutyl alcohol	0.2	74.12	3.47×10^{-9}	1.64	2.12×10^{-9}

えて、発生量を許容濃度で除した定常濃度計算によって必要換気量とした。表2は、左列から、鍵ら¹⁾の測定における各物質のシャーレ3枚からの最大発生量、分子量、上記の想定条件で算出された室内MVOC発生量、図3から算出した許容限度のMVOC濃度、および許容限度を満たすための必要換気量を示す。いずれのMVOCについても、非常に小さな必要換気量が算出された。すなわち、建築基準法を満たす換気量が設定され、導入外気が室に一樣に供給されていればMVOCによる不快愁訴は生じないと考えられる。一方で、室内におけるカビ臭がにおい問題として取上げられる場合があるが、それらは室内の空間的濃度分布の存在、または複数のMVOCの混合に伴う不快度の相乗効果が原因である可能性がある。前者については、換気による導入外気の室内分布の確認が必要である。後者については、今後の検討が必要と考える。

4. おわりに

室内の悪臭としてよく挙げられるカビ臭に含まれるMVOCについて、実験で得た主観評価と既往研究におけるガス発生量データを基に、許容限度を達成するための必要換気量を試算した。必要換気量は著しく小さいことがわかったが、室内悪臭問題の愁訴は多くあることから、室内のMVOCの空間的分布によって、高濃度の部分が生じた場合に不快評価になると推測した。

参考文献

- 1) 鍵直樹, 柳宇, 池田耕一: 真菌の培地環境とMVOC発生特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集D-2, pp. 879-882, 2008
- 2) 永田好男, 竹内教文: 三点比較式臭袋法による臭気物質の閾値測定結果, 日本環境衛生センター所報 No. 17, pp. 77-89, 1990

香りと気流の複合評価に関する研究
 (その1) 複合評価と香り・気流評価の比較

Study on Hedonics Evaluation of Aroma on Airflow
 Part 1 Relationship among Airflow-Aroma Evaluation, Airflow Evaluation and Aroma Evaluation in Autumn

○ 南田 高希 (摂南大学) 竹村 明久 (摂南大学)
 杉本 泰世 (パナソニックエコシステムズ) 脇山 雄多 (パナソニックエコシステムズ)

Koki MINAMIDA*1 Akihisa TAKEMURA*1 Yasuyo SUGIMOTO*2 Yuta WAKIYAMA*2
 *1 Setsunan University *2 Panasonic Ecology Systems Co., Ltd.

It will be necessary to utilize a combination of fragrance and airflow in order to create a more comfortable living environment. Thus three experiments were conducted: evaluation of orange sweet essential oil as aroma experiment, evaluation of air flow of tower fan as air flow experiment and evaluation of both stimuli as composite experiment. There was a difference in the reduction of the time series of aroma intensity between aroma-only exposure and composite exposure with aroma and airflow. In the impression "sense of stability" evaluation, the difference between the evaluation of the steady wind condition and the fluctuation wind condition was slightly observed.

1. はじめに

室内で積極的に快適性を得るため、アロマや柔軟剤・芳香剤など、香りの活用の気運が上昇しつつある。今後の可能性としては、さらなる快適性の追求のため、香りのみならず、その他の環境要素との複合的な快適環境を創造するための提案が求められると考えられる。本研究では、室内空間での香り曝露に加えて気流が存在する場合に、両者の相乗効果や相殺効果を含めた複合的な快適性について明らかにすることを最終目標とする。本報は、香り評価と気流評価のための適切な因子の選定と、秋期実験で得られた香り評価と気流評価から見出される双方の相互影響の把握を目的とする。

2. 香りと気流の印象評価のための因子抽出

香りと気流の快適性評価を得る実験を考えるにあたって、評価指標の整理が必要と考えた。香りと気流の強さと快・不快のほかに、両者を複合した曝露時の詳細な影響を見るためには印象評価の活用

が有用と考えたことから、本研究にて用いる香りや気流発生機器を用いて、それぞれの曝露刺激を適切に表現するための印象評価用語を抽出するための実験を実施した。

2.1 香り曝露実験

実験は、2017年9月20日～21日に本学実験室で実施した。室の温湿度は25.2～28.3[℃]、湿度は42～51[%RH]だった。実験参加者は、嗅覚検査(T&Tオルファクトメータ)合格者の本学学生13名(平均21.1歳、男性10名、女性3名)とし、香り試料は一般的に容認性が高いとされている柑橘類の香りから、オレンジスイート精油を選定した。試料は、試料採取

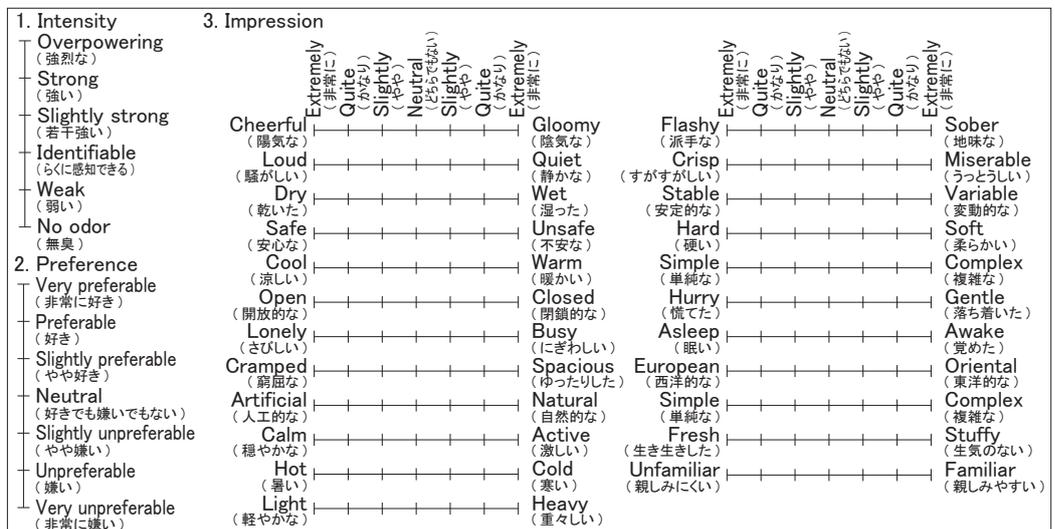


Figure 1 Evaluation Scale of Aroma and Air flow

袋（近江オドエアーサービス、10L、PET製）に封入した原臭と、原臭の30倍および300倍希釈の計3濃度条件を準備し、濃度の昇順ののち2巡目は降順として計6回の試料提示・評価とした。なお、原臭は10Lの無臭空気を入れた試料採取袋に精油液を0.14[mL]注入して十分に希釈して作製した。試料提示は2分間隔で連続して行い、検臭間には鼻での十分な深呼吸を実験参加者に指示した。

評価項目は、表1に示す通り、香りの強さ、嗜好のほかに印象として23対を設定した。

香りの強さ評価は図2の通りで、濃度条件間には平均強度で0.5～1段階の差が見られた。23対の印象評価を基に、最尤法・バリマックス直交回転にて因子分析を実施して、表1に示す2因子（「活発感」、「清涼感」）を得た。代表形容詞対には、「活発感」因子には「派手な－地味な」と「眠い－覚めた」を、「清涼感」因子には「単純な－複雑な」と「軽やかな－重々しい」の計4対を選定した。

2.2 気流曝露実験

実験は、2017年7月26日～8月12日に本学実験室で実施した。室の温湿度は25.6～28.5[°C]、湿度は50～61[%RH]だった。実験参加者は、本学学生12名（平均21.1歳、男性9名、女性3名）とし、曝露刺激は遠心型タワーファン（アピックスインターナショナル製）2台の気流として、同機の3種の設定風量（Low, Middle, High）を昇順ののち2巡目で降順とした計6刺激とした。実験参加者は、20[cm]間隔で並列させた2台のファンの中点から1.5[m]離れた座席に着座して、ファンに正対して2分間ずつの気流曝露を受けた。なお、実験参加者の着衣は半袖シャツと長ズボンに統一した。

評価項目は、表1の香りの強さ評価尺度について、「無臭」を気流を対象とした「無風」と置換したほかは表1と同一とした。

気流の強さ評価は図3の通りで、設定風量間には平均強度で約0.5段階の差が見られた。23対の印象評価を基に、最尤法・バリマックス直交回転にて因子分析を

実施して、表2に示す4因子（「自然感」、「安定感」、「軽快感」、「開放感」）を得た。代表形容詞対には、「自然感」因子には「人工的な－自然的な」を、「安定感」因子には「安定的な－変動的な」を、「軽快感」因子には「すがすがしい－うっとうしい」を、「開放感」因子には「閉鎖的な－開放的な」の計4対を選定した。

3. 香りと気流の曝露実験

3.1 実験概要

香りと気流の曝露実験は、香りのみ提示して評価させる「香りのみ」実験と、気流のみ提示して評価させる「気流のみ」実験、および双方を同時提示する「複合」実験の3実験で構成した。いずれの実験でも、室温への順応を目的として、21.0～23.0[°C]の室内で20分間の待機時間を設けた。待機中は、実験の説明と10分間の知的作業¹⁾を実施した。

実験は、2017年11月17日～12月1日に本学実験室で実施した。室の温湿度は17.3～24.6[°C]、湿度は28～49[%RH]だった。実験参加者は、本学学生20名（平均21.4歳、男性10名、女性10名）とし、3実験全てに参加した。

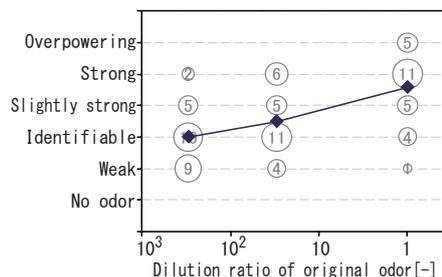


Figure 2 Relationship between dilution ratio and aroma intensity

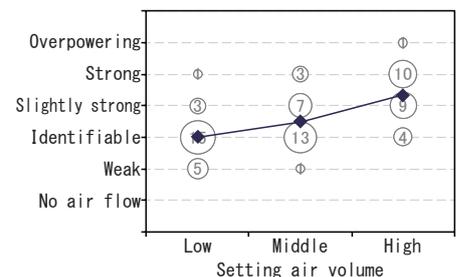


Figure 3 Relationship between setting air volume and air flow intensity

Table 1 Factor analysis result of aroma and air flow experiments

(1) Aroma experiment			(2) Air flow experiment				
Impression	“Active”	“Fresh”	Impression	“Natural”	“Stable”	“Light”	“Open”
Flashy - Sober	0.95	-0.11	Artificial - Natural	0.85	-0.04	-0.37	0.08
Cheerful - Gloomy	0.84	-0.12	Loud - Quiet	0.82	0.19	-0.30	0.19
Lonely - Busy	-0.80	0.07	Calm - Active	-0.82	-0.23	0.36	-0.21
Loud - Quiet	0.81	-0.31	Flashy - Sober	0.78	0.34	-0.16	0.21
Asleep - Awake	-0.77	0.16	Hurry - Gentle	0.75	0.31	-0.41	0.17
Hurry - Gentle	0.77	-0.28	Lonely - Busy	-0.66	-0.26	0.23	-0.30
Calm - Active	-0.74	0.34	Cramped - Spacious	0.64	0.17	-0.36	0.17
Fresh - Stuffy	0.64	0.25	Asleep - Awake	-0.59	-0.54	0.13	-0.26
Open - Closed	0.47	0.31	Fresh - Stuffy	0.58	0.23	0.10	0.12
Dry - Wet	0.45	0.16	Hard - Soft	0.57	0.30	-0.52	0.13
Hot - Cold	0.41	-0.14	Cheerful - Gloomy	0.53	0.27	-0.12	0.32
Hard - Soft	0.36	-0.24	Simple - Complex(2nd)	-0.14	-0.75	0.41	0.15
Cramped - Spacious	0.24	-0.10	Simple - Complex(1st)	-0.09	-0.73	0.39	0.13
Simple - Complex(2nd)	0.16	0.83	Stable - Variable	-0.27	-0.67	0.27	-0.14
Simple - Complex(1st)	0.08	0.82	Cool - Warm	0.37	0.64	0.15	0.20
Crisp - Miserable	-0.13	0.78	Hot - Cold	-0.38	-0.63	0.03	-0.35
Light - Heavy	0.00	0.69	Crisp - Miserable	-0.20	-0.01	0.68	-0.12
Stable - Variable	-0.11	0.54	Safe - Unsafe	-0.52	-0.24	0.60	0.21
Cool - Warm	-0.12	0.51	Light - Heavy	-0.38	-0.31	0.59	0.09
Artificial - Natural	0.21	-0.41	European - Oriental	0.05	0.35	-0.55	0.26
Unfamiliar - Familiar	0.17	-0.34	Unfamiliar - Familiar	0.42	0.16	-0.43	0.20
Safe - Unsafe	-0.04	0.33	Dry - Wet	0.27	0.01	-0.22	0.74
European - Oriental	0.03	-0.09	Open - Closed	0.21	0.08	0.02	0.69
Contribution ratio	0.26	0.17	Contribution ratio	0.28	0.15	0.14	0.08
Cumulative contribution ratio	0.26	0.43	Cumulative contribution ratio	0.28	0.44	0.57	0.66

*Shaded adjectives means selected scales

気流の曝露刺激は、「気流のみ」、「複合」とも、前章と同一のファン2台の気流として、交流電源の時系列電圧調整をPCR-500M（菊水電子工業製）で行って風量を調節した。曝露刺激には定常風 (C0) 条件とゆらぎ風 (FL) 条件の2条件を設定して、PCR-500Mを用いて、50.0[V] でファン起動後、C0 条件では 67.4[V] で一定の電圧を10分間ファンに供給し、FL 条件では屋外風に似せた時系列変動パターン（変動範囲 59.3 ~ 76.9[V]、平均 67.3[V]、SD4.2[V]）にプログラムした電圧を10分間ファンに供給した。両条件の時系列電圧データを図4に示す。また、特にFL 条件では、起動直後に気流の認識のため一時的に高い電圧の時間を設けた。そのため、両条件とも評価の開始は曝露開始20秒後とした。実験参加者は、両条件とも図5のように2台のファンの中央から1.5[m]離れた位置にファンに正対して着席して、C0 条件では着座位置で平均 0.58[m/s] (SD:0.09[m/s])、FL 条件では平均 0.55[m/s] (SD:0.09[m/s]) の刺激を曝露された。

香りの曝露には、オレンジスイート精油を用いた。「複合」では図5のように上記の2台のファン間の後方に設置したアロマディフューザ（アロモア、生活

の木製）をファンの気流に乗せるためにチャンバー内に設置し、10[s] の精油の噴霧と 50[s] の休止を繰り返しながら間欠運転させた。実験参加者は図5の位置で着座して、気流とともに香り試料を曝露された。

「香りのみ」では、予備検討にて香りの強度が「複合」開始時と同等と判断された濃度である、ディフューザ3台で計40[s] (10[s] を4回) 噴霧したのちに十分な室内空気の攪拌を行って室に香りが充満した環境を曝露環境とした。別室で室温 (20[°C] 程度) に順応させた実験参加者を息を止めさせて入室させて、図5と同位置の座席に着座させてから呼吸を再開させて、10分間の連続曝露とした。

評価項目は図6の通りで、「気流のみ」、「香りのみ」は図7に示す項目を評価させ、「複合」では気流を対象とした評価には図6を、香りを対象とした評価には図7の項目を評価させた。尺度はいずれも連続カテゴリ尺度として、線分内の任意の位置に評価可能とした。また、評価は指示時点直前の約30秒間の刺激に対して行うよう予め指示し、評価開始0.5, 5.5, 10.5分後の3回評価させた。また、実験前後には唾液アミラーゼモニタ（ニプロ製）による唾液アミラーゼ測

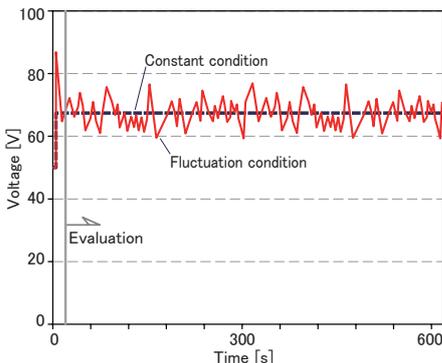


Figure 4 Setting voltage for air flow

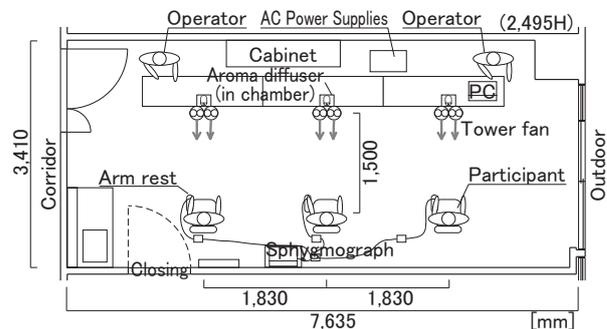


Figure 5 Top view of experimental environment

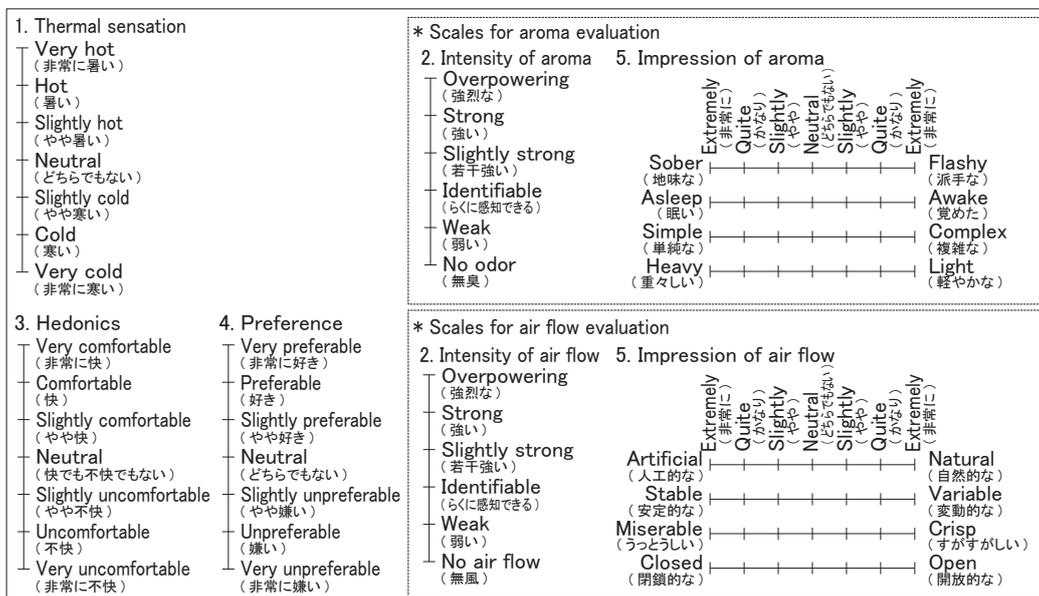


Figure 6 Evaluation scales

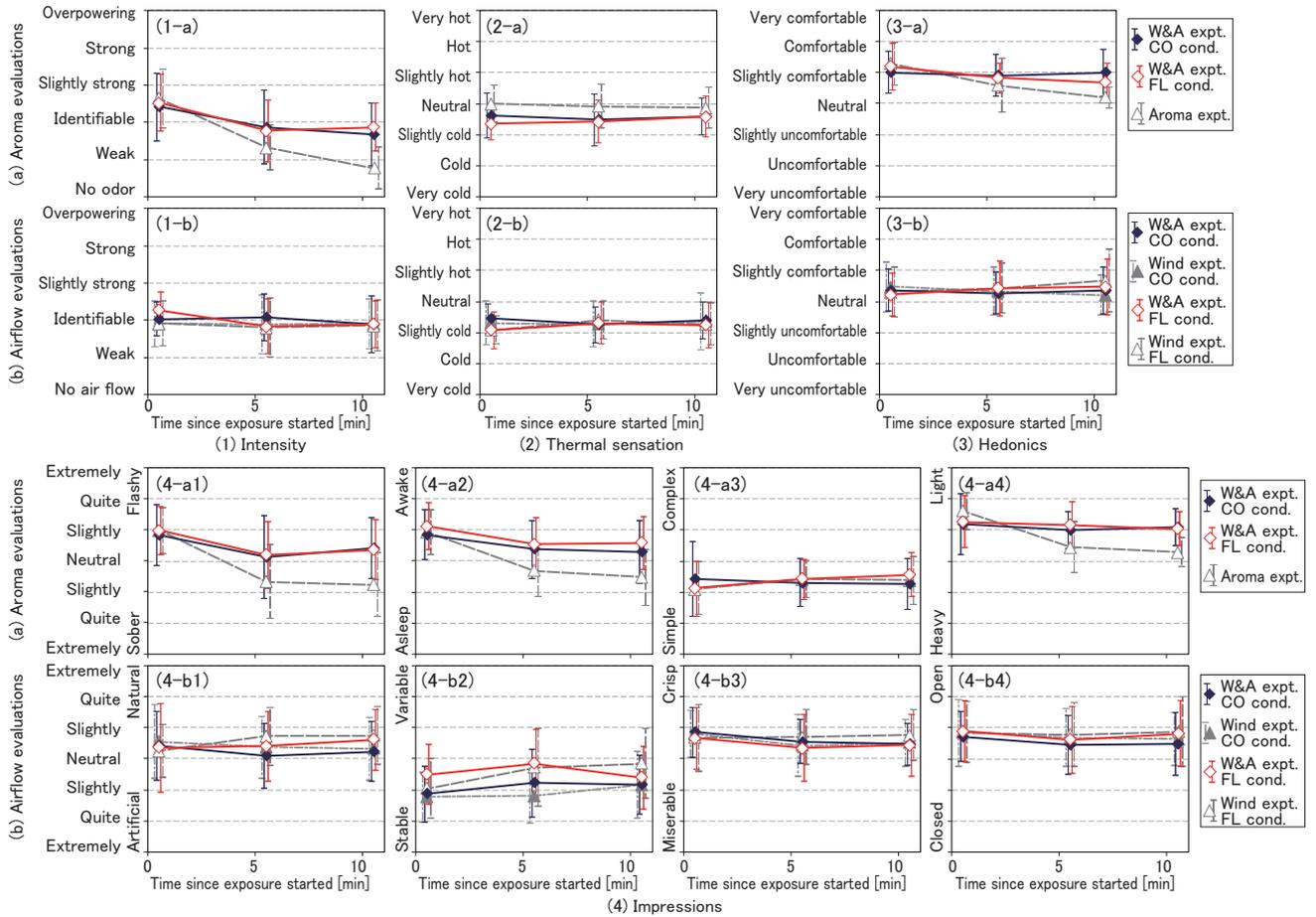


Figure 7 Comparison of Evaluations among experiments

定と、刺激曝露中には脈波測定器（ニホンサンテック製）の連続測定を行った。

3.2 香りと気流の心理評価

図7に時系列の心理評価平均値を示す。横軸は評価開始からの時間を、縦軸は心理評価尺度を示す。上段(a)は評価対象が香りの図を、下段(b)は気流の図を示し、評価させた項目のうち、香りと気流に関する(1)強さ、(2)温冷感、(3)快・不快、(4)印象4項目を掲載した。また、図中(a)には「香りのみ」と「複合」のCO・FL条件を併記し、(b)にはCO・FL条件の「気流のみ」、「複合」を併記した。

香りの強さ評価(1-a)では、「香りのみ」で経時的に評価が低下した。順応に由来する傾向と考えるが、「複合」では低下幅は小さかった。評価開始時点の強度は「香りのみ」と「複合」で一致したものの、間欠的な香り発生と連続的な気流の曝露だったため、曝露濃度が時系列的には上昇と低下を繰り返したと推測され、順応の程度を小さくしたと考えられる。気流の強さ評価(1-b)では気流への順応の影響にあたる傾向は見られなかった。

温冷感評価(2)では、気流曝露を伴わない(a)の「香り」のみ中庸評価で、他の条件は全て「やや寒い」に近い評価だった。気流曝露に対して評価されたと

考えられる。経時的な変動は小さかった。

香りの快・不快評価(3-a)では、「複合」FL条件と「香りのみ」では経時的に低下した。前述の順応のためと考えられる。一方で、「複合」CO条件は、(1-a)では「複合」FL条件と近い順応傾向だったが、(3-a)では経時的低下はなかった。気流の快・不快評価(3-b)は、時間経過に依らずわずかに快側評価だった。

印象評価(4)では、香り評価(4-a)で経時的に中庸評価となり、強さ評価との相関が推定された。気流評価(4-b)では、「安定感」(4-b2)以外は中庸に近く、気流の印象評価の難しさが示された。

全体を通して、「複合」と「香りのみ」、「気流のみ」の3実験の評価差は、香りの強さ(1-a)に起因すると推測される箇所以外では明確には示されなかった。

CO条件とFL条件の差異も、香りの快・不快(3-a)と気流の「安定感」(4-b2)以外には見られなかった。

4. おわりに

香りと気流の複合刺激曝露の基礎的検討として、香り及び気流の印象評価の因子を抽出し、代表尺度を提示した。

参考文献

- 1) 竹村明久：室内の香りが知的作業成績とストレスの関係に及ぼす影響，平成28年室内環境学会学術大会講演要旨集，pp. 308-309，2016

においのマスキング効果に関する基礎的研究
(その2) 混合臭の臭気濃度と主観評価の濃度比間比較

Basic Study on Odor Masking Effect
(Part2) Comparison of Odor Concentration and Sensory Evaluation of Mixed Odor among
Mixed Concentration Ratios

○ 矢野 拳士 (摂南大学) 竹村 明久 (摂南大学)

Kenshi YANO* Akihisa TAKEMURA*

* Setsunan University

The body odor is not so harmful to the human health. Thus it is very fruitful that the uncomfortable odor environment due to the body odor would be improved by using the "masking effect" without the excess energy consumption by ventilating. Mixed odor samples made of the cypress oil and the chemical materials contained in a body odor were measured their odor concentrations by participants and evaluated their odor intensity, impressions, hedonics and acceptability. Consequently, it was found that the combination and the mixing ratio of odors effected on their odor evaluations.

1. はじめに

前報¹⁾では、不快な室内におい環境を必要以上の換気を伴わずに改善する一手法としてマスキングの活用を提案しながら、体臭を木材香でマスキングする場合の主観評価実験と混合臭閾値測定を実施した結果、臭気の混合比が評価に及ぼす影響が示唆された。本報では、混合濃度比をパラメータとしたマスキング効果の検討、および異なる体臭想定物質と木曾ヒノキ精油の混合臭の主観評価に関する検討について報告する。

2. 混合臭の臭気濃度測定

実験は、2017年10月30日と11月6日に本学実験室にて室温20.0～25.7[°C]、湿度30～40[%]の条件下で実施した。実験参加者は、嗅覚検査(T&Tオルファクトメータ)合格者である学生10名(平均21.1歳、男性9名、女性1名)だった。検臭試料は木材香として前報¹⁾と同じ木曾ヒノキ精油(Kc)を、体臭想定物質としてMethylheptenone(Mh)を設定し、Kcは無臭空気10L入りの試料採取袋(近江オドエアーサービス、10L、PET製)に0.14[mL]の精油を揮発させた原臭を、Mhは10L袋に20[μL]の試薬液を揮発させた原臭を作成した。混合比は前報¹⁾の測定値を参考に、表1に示すよう1:5、1:2、2:1、5:1の4段階の臭気濃度比になるよう調製した。試料採取袋(近江オドエアーサービス、10L、PET製)に作製した4段階の混合臭と、木材臭Kcおよび体臭想

定物質Mhの計6試料の臭気濃度を、三点比較式臭袋法に基づいて測定した。

6試料について、10名の閾希釈倍数の対数値から上下1名をカットした平均値を図1に示す。横軸は10L試料採取袋へのKc原臭の注入量を示し、縦軸は臭気濃度(閾希釈倍数)である。図中のプロット(◇)が測定値で、川田ら¹⁾の測定値(◆)を併記した。原臭Kcの臭気濃度は15136、Mhは30903だったため、注入量と臭気濃度が比例すると仮定して、図中に破線でそれぞれの臭気濃度を示した。混合臭Kc_Mhは、概ねKcとMhより高い臭気濃度だったが、混合比5:1のKc最大注入量条件では混合臭がKcを下回った。混合比2:1もKcに近い臭気濃度だったことから、混合比でKcが勝る場合にはKcが臭気濃度を支配する可能性が示唆されるが、前報¹⁾の測定値も含めて考えると、まだ検討の余地が残る。一方で、例えば混合比1:2条件の臭気濃度550は、Kc(59)

Table 1 Mixing ratios

Mixed ratios of Kc & Mh	Injection volume of original odor to 10L air bag [mL]	
	Kc	Mh
1:5	15	38
1:2	39	38
2:1	155	38
5:1	387	38

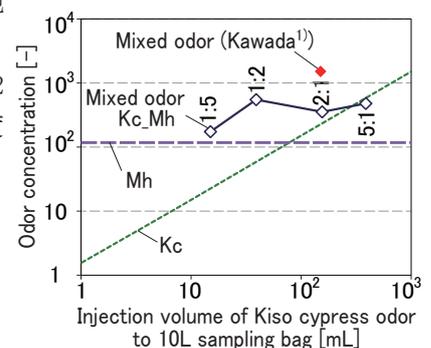


Figure 1 Comparison of odor concentration among various mixing ratios of mixed odor and each odor

とMh(117)の和でも積でもないことから、今後様々なケースに関してこれらのデータを充実させることで、現象の解明に繋がると考える。

3. 混合臭の主観評価

3.1 実験概要

2017年11月16日から11月29日に本学実験室にて室温16.9～23.6℃、湿度25～46%の条件下で行った。試料臭気は、表2内の記号で示した計18条件(混合臭8条件と、その構成臭気10条件)をラテン方格に基づく順に評価させた。体臭想定物質Mhと木材臭Kcの組合せは表1と同一である。他の体臭想定物質として、瀬谷ら²⁾、山田ら³⁾、池田ら⁴⁾の体臭分析結果を参考に、2-ethyl-1-hexanol(2E)、2-nonanone(2N)、Decanal(De)、Nonan acid(No)の4種を選定して、それぞれ「弱におい」から「らくに感知できるにおい」程度の濃度になるよう調製して、Kc3条件(臭気濃度151相当)と混合した。実験参加者は学生20名(男性11名、女性9名、平均年齢21.5歳)とし、全員を嗅覚検査合格者とした。評価項目は、図2に示す臭気強度、快・不快度、印象5項目と許容の可否とし、許容の可否については長時間そのにおいのする室にいることを想定させた上で回答させた。なお、本研究は本学の人を対象とする研究倫理審査委員会で承認済で、参加者には適切な謝礼金を支払った。

3.2 臭気強度評価

図3に各条件の臭気強度評価を示す。左図は、MhとKcの混合比間比較で、横軸がKcの臭気濃度を、縦軸は臭気強度を示す。水平線分はMhの評価、折れ線(■)はKcのみの評価、折れ線(◇)は両者の混合臭の評価で、それぞれの標準偏差を併記した。また、多重比較の結果、混合臭との間に有意差が検出された条件を示した。Kcの評価は、臭気濃度の対数と線形関係にあり、Weber-Fechner則によく合っていた。混合臭Mh_Kcは、KcのみとMhのみよりも高い評価だったが、Kcのみよりも濃度-強度関係の傾きが小さい傾向にあった

ため、混合臭のKc濃度が高いほどKcの評価に近い傾向を示した。

図3の右図は、体臭想定物質とKcの組合せ間比較で、横軸が体臭想定物質の種類を、縦軸は臭気強度を表す。水平線分はKc3の評価を表し、体臭想定物質(■)と混合臭(◇)の評価を比較した。体臭想定物質は、概ね「弱におい」から「らくに感知できる」程度の範囲内であった。混合臭はいずれも体臭想定物質より高い評価だったが、2E_Kc3、2N_Kc3およびNo_Kc3はKc3とほぼ同程度だった。

3.3 印象評価

図4に各条件の印象評価を示す。(1)はMhとKcの混合比間比較で、横軸がKcの臭気濃度を、縦軸は5種の印象評価を示す。水平線分はMhの評価、折れ線(■)はKcのみの評価、折れ線(◇)は両者の混合臭の評価で、それぞれの標準偏差を併記した。また、多重比較の結果、混合臭との間に有意差が検出された条件を示した。「親しみ」では、Mh_KcはKc、Mhそれぞれより低評価だった。「新鮮さ」と「温かさ」では、Mh_KcとKcがほぼ一致した。「さわやかさ」では、Mh_Kcは濃度条件ごとにKcとMhのいずれかに近い傾向を示した。「複雑さ」では、Kcは濃度比が高いほど評価がわずかに高い傾向であるのに対して、Mh_Kcは右下がり傾向だった。「新鮮さ」と「温かさ」からは、

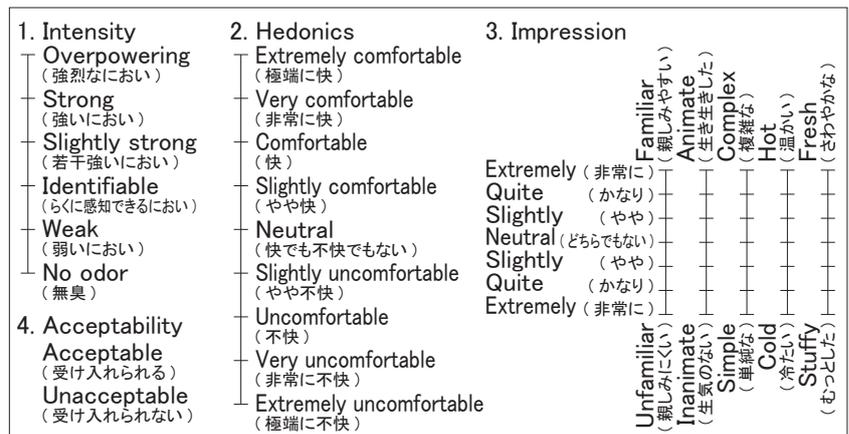


Figure 2 Scales of sensory evaluation

Table 2 Mixed conditions

	Injection volume of original odor to 10L air bag [mL] [Odor concentration [-]]	
	Body odor materials	Kiso cypress
Mh_Kc1	38 [117] (Mh)	15 [23] (Kc1)
Mh_Kc2		39 [59] (Kc2)
Mh_Kc4		155 [235] (Kc4)
Mh_Kc5		387 [586] (Kc5)
2E_Kc3		20 (2E)
2N_Kc3	10 (2N)	100 [151] (Kc3)
De_Kc3	20 (De)	
No_Kc3	100 (No)	

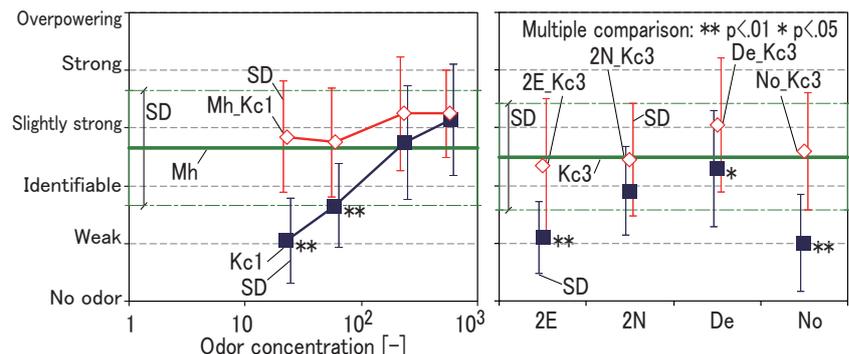
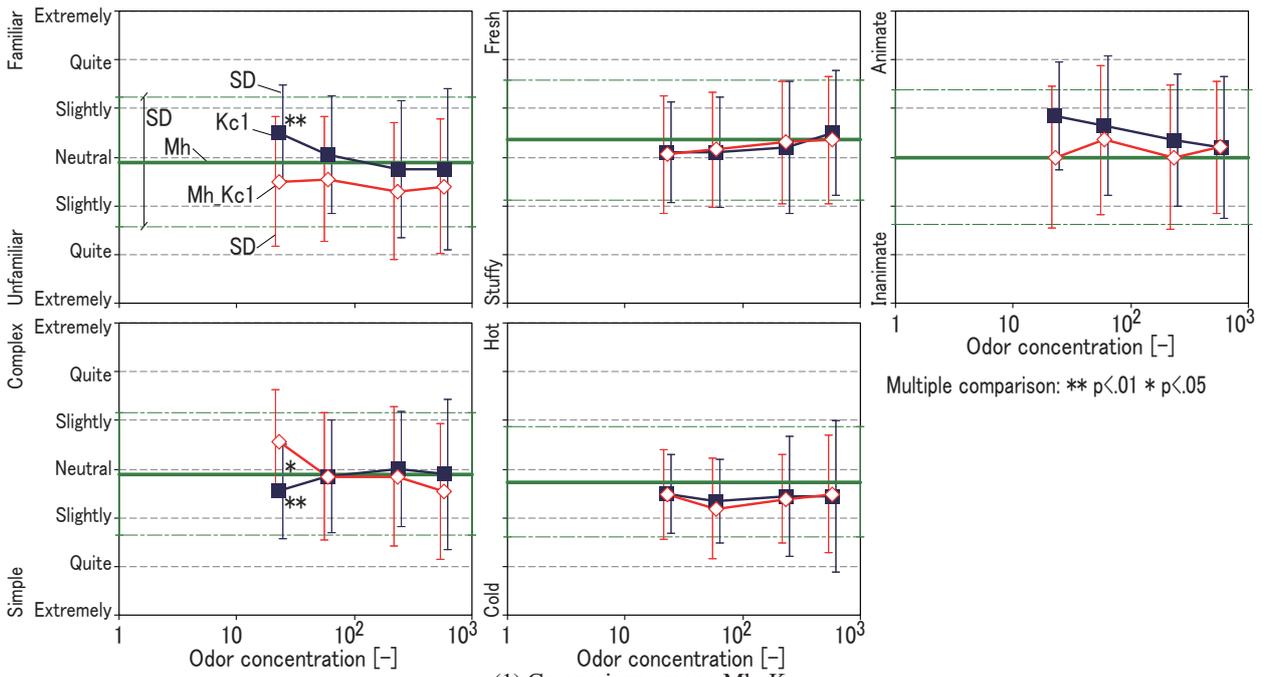
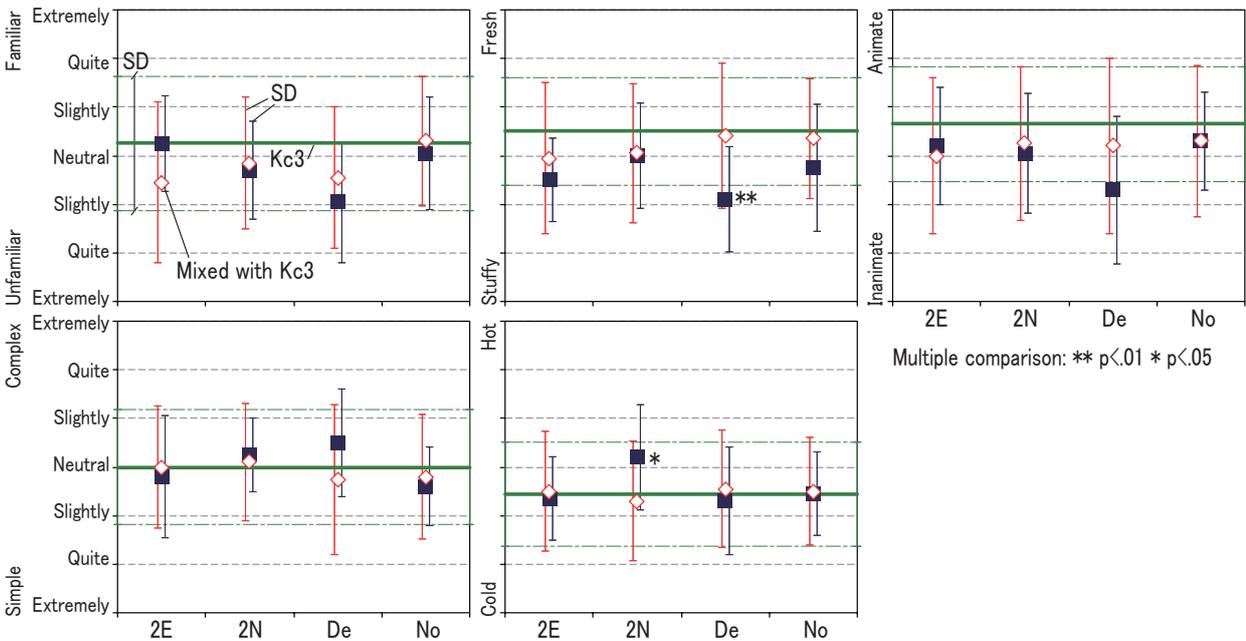


Figure 3 Comparison of intensity among mixed odor, Kc and materials of body odor



(1) Comparison among Mh_Kcs



(2) Comparison among Mh_Kcs

Figure 4 Comparison of impressions among mixed odor, Kc and materials of body odor

混合臭 Mh_Kc の印象評価に対して Kc が支配的と考えられるが、「さわやかさ」からは印象項目によっては Mh の影響も大きいと推測され、「親しみ」と「複雑さ」からは Kc、Mh と質の異なる混合臭と認識された可能性が示唆された。以上のことから、混合臭の印象評価は、評価項目ごとに構成成分の評価への影響が異なる可能性がある。また、Mh と Kc の組合せでは「親しみ」がそれぞれの評価よりも低いことから、Mh と Kc の組合せの使用にあたっては注意が必要だろう。

図 4(2) は、体臭想定物質と Kc の組合せ間比較で、横軸が体臭想定物質の種類を、縦軸は 5 種の印象評価を表す。水平線分は Kc3 の評価を表し、体臭想定物質

(■) と混合臭 (◇) の評価を比較した。「親しみ」では、2E_Kc3 が 2E、Kc3 より低評価だったが、その他の組合せでは体臭想定物質に近い傾向が見られた。「新鮮さ」と「複雑さ」、「温かさ」では、混合臭は比較的 Kc3 に近い評価だった。「さわやかさ」でも Kc3 よりやや低評価だが、混合した体臭想定物質の評価傾向に依らず同程度の評価だった。詳細な傾向としては、「新鮮さ」以外では検定による有意差は検出されなかったが、De_Kc3 がいずれの評価項目でも Kc3 に近い評価であった。3.2 で De_Kc3 のみが Kc3 より高い臭気強度だったことを鑑みると、De_Kc3 は臭気強度こそ Kc3 より高いものの、臭気の質としては Kc3 に近く、

De が Kc3 でマスクングされやすい臭気であると推定できる。

3.4 快・不快度評価

図5に各条件の快・不快度評価を示す。左図は、MhとKcの混合比間比較で、横軸がKcの臭気濃度を、縦軸は快・不快度を示す。水平線分はMhの評価、折れ線(■)はKcのみの評価、折れ線(◇)は両者の混合臭の評価で、それぞれの標準偏差を併記した。また、多重比較の結果、混合臭との間に有意差が検出された条件を示した。最低濃度条件(Mh_Kc1)ではMh、Kc1より低評価だが、Kc2, 4, 5との組合せではKcに近い評価傾向を示した。MhとKc1の評価が近いために判断が困難だが、総じて混合臭の快・不快度は、Kc2, 4, 5ではKcが卓越していると推定できる。

図5の右図は、体臭想定物質とKcの組合せ間比較で、横軸が体臭想定物質の種類を、縦軸は快・不快度を表す。水平線分はKc3の評価を表し、体臭想定物質(■)と混合臭(◇)の評価を比較した。混合臭は、体臭想定臭の評価に依らず概ねKc3に近い評価だった。体臭想定臭の方がKc3よりも高い評価だった2E、Noの2条件でも、混合臭2E_Kc3とNo_Kc3は両条件より低評価だったKc3と同程度だった。

3.5 容認性評価

図6に各条件の非容認率を示す。非容認率とは、許容の可否評価で「受け入れられない」と回答した評価者数を全評価者数で除した値である。左図は、MhとKcの混合比間比較で、横軸がKcの臭気濃度を、縦軸は非容認率を示す。水平線分はMhの評価、折れ線(■)はKcのみの評価、折れ線(◇)は両者の混合臭の評価である。また、Fischerの確率検定の結果、混合臭との間に有意差が検出された条件を示した。Kcは臭気濃度が高いほど非容認率が高く、Kc4, 5で50%だったのに対し、Mhは55%とわずかに高かった。Mh_Kc1はKc1より非常に高い非容認率で、Mhと同程度だったのに対して、Mh_Kc2はKc2より高いもののMhを下回り、混合臭条件中では最低値だった。Mh_Kc4、Mh_Kc5は、Kcよりやや高かったが、MhおよびKcと同程度だった。有意差は検出されなかったが、4条件の中では、Mh_Kc2でマスクング効果が最大だったと

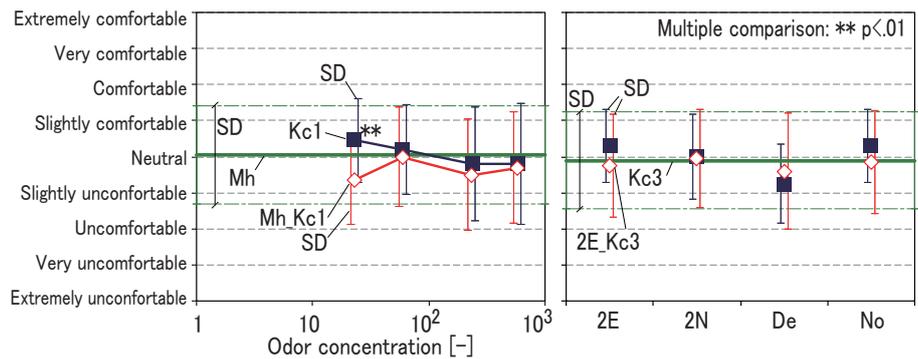


Figure 5 Comparison of hedonics among mixed odor, Kc and materials of body odor

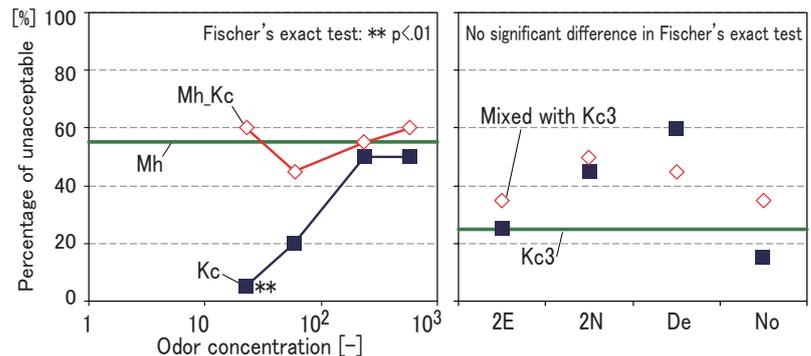


Figure 6 Comparison of acceptability among mixed odor, Kc and materials of body odor

判断できる。

図6の右図は、体臭想定物質とKcの組合せ間比較で、横軸が体臭想定物質の種類を、縦軸は非容認率を表す。水平線分はKc3の評価を表し、体臭想定物質(■)と混合臭(◇)の評価を比較した。いずれの混合臭も、Kc3より非容認率は高かった。De_Kc3のみ、体臭想定臭Deより非容認率が低く、2E_Kc3、2N_Kc3およびNo_Kc3は、体臭想定臭およびKc3より非容認率は高かった。4条件の中では、De_Kc3でマスクング効果が最大だったと判断できる。

4. おわりに

濃度比をパラメータとした混合臭および4種の体臭想定物質を用いた混合臭の臭気濃度測定と主観評価実験から、マスクング効果の性質の把握を試みた。引続き詳細の解明に取り組む所存である。

参考文献

- 川田莉穂, 竹村明久: においのマスクング効果に関する基礎的研究(その1) 木材香を用いた体臭想定物質のマスクング効果の検討, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集(pdf), 2017
- 瀬谷共美, 永井伸夫, 田村照子: 衣服に付着した体臭成分のガスクロマトグラフマスペクトルによる分析, 繊維製品消費科学 Vol. 51 No. 4, pp. 333-337, 2010
- 山田響子, 山中俊夫, 竹村明久, 甲谷寿史, 桃井良尚, 相良和伸, 高橋亮太: 嗅覚の非正常応答に関する基礎的研究(その12) 臭気曝露実験におけるパネルの評価特性, 平成26年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 第7巻, pp. 29-32, 2014
- 池田馨, 山中俊夫, 竹村明久, 相良和伸, 甲谷寿史, 桃井良尚: 在室者による空気汚染質の評価手法に関する研究(その3) 三点比較式臭袋法を用いた体臭閾値測定と成分定量分析, 日本建築学会近畿支部研究報告集 第56号 環境系, pp. 269-272, 2016

香水の商業的性設定と主観評価に基づく性別感の比較

Comparison of Gender for Perfume between Labeled by Suppliers and Evaluated by Consumers

○ 森 風馬 (摂南大学) 竹村 明久 (摂南大学)

Fuma MORI* Akihisa TAKEMURA*
* Setsunan University

Recently, it has been generally accepted that users wear a perfume different from the gender set by the suppliers. In this study, participants smelled commercial perfumes and evaluated their intensity, hedonics and five impressions; "beauty", "sweetness", "thickness", "gaiety" and "gender", with concentrations of perfumes as a parameter. "Gender" impression was mainly considered. It was found that the type and the concentration of perfume effected on the "gender" evaluation by users. Depending on the concentration, there were cases that "gender" evaluations by participants were different from the gender set by the suppliers.

1. はじめに

「香害」という語が造られたように、近年は生活空間での香り活用が一般化する半面、香りの使用が他者に悪影響を及ぼす場合も多くなった。中でも香水は生活環境で古くから使用されており、使用者と同空間内の他者への影響は大きいと容易に想像できるが、香り評価を濃度をパラメータとして検証した研究はほとんどない。また、服装における性別観念が中庸化したり交差したりする価値観が許容される時代となり、香水についても販売者の想定とは異なる性別の使用者が活用する場面も一般的に受容されつつある。香水の印象がどのような性別感であるかを明らかにすることは、今後の室内での活用が見込まれる芳香の印象評価のメカニズムを把握する一端となり有意義だろう。本研究では、市販香水の濃度をパラメータとした主観評価の整理と、販売者とユーザーの印象、特に香水を感じる性別感の比較を目的とする。

2. 実験概要

実験は、2017年11月6日から11月30日に本学実験室にて室温18.0～23.5℃、湿度20～67%の条件下で行った。試料とした香水は、予備検討にて選定した表1の7種とした。メーカーの性別設定の内訳は、

ナイルの庭 (NL) がユニセックス、ウルトラマリン (UM) が男性用で、他の5種は女性用だった。全ての香水は、10[L]の無臭空気に0.1[mL]の液を揮発させた原臭を基本に、表1の希釈倍数4段階の濃度条件を設定して、ラテン方格に基づく順に実験参加者に評価させた。評価に際して、実験参加者には各試料の製品名とメーカーの設定性別は告知しなかった。実験参加者は嗅覚検査合格者である学生50名(平均年齢21.6歳、男性25名、女性25名)とし、実験時の調査によって香水使用者は17名、非使用者は33名と判明した。評価項目は、図1に示す香りの強さ、快・不快、お

Table 1 Perfumes

Note	Fragrance	Supplier	For	Symbol	Dilution ratio
Citrus	Un jardin sur le nil	HERMES	Unisex	NL	10 ² , 3*10 ² , 10 ² , 1
Single Floral	Rosarium Eau de Parfum RX	Shiseido	Women	RS	10 ⁴ , 10 ³ , 10 ² , 1
Floral bouquet	Eau de Classy	Vasilisa	Women	CL	10 ⁴ , 10 ³ , 10 ² , 1
Floral green	Eau de Toilette	COACH	Women	CO	10 ⁴ , 10 ³ , 10 ² , 1
Floral aldehyde	N°5 PARFUM	CHANEL	Women	N5	10 ² , 10 ³ , 10 ² , 1
Chypre	Insense Ultramarine	Givenchy	Men	UM	10 ² , 10 ³ , 10 ² , 1
Oriental	Guipure & Silk	Jeanne Arthes	Women	GS	10 ² , 3*10 ² , 10 ² , 1

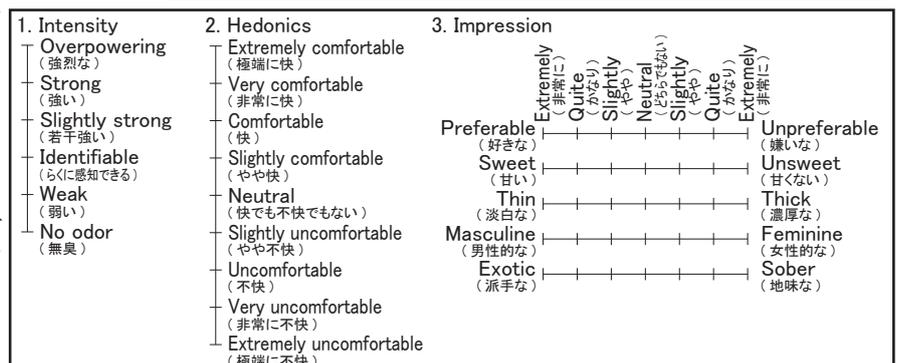


Figure 1 Evaluation scales

よび予備検討の因子分析にて抽出された香水評価の4因子(「美しさ」、「甘さ」、「濃厚感」、「派手さ」)から印象5項目(4因子の代表尺度「好きな一嫌いな」、「甘い一甘くない」、「淡白な一濃厚な」、「派手な一地味な」と「性別感」尺度として「女性的な一男性的な」とした。また、上記のうち10名(男女5名)には同実験を2回実施して評価の再現性を確認した。なお、本研究は本学の人を対象とする研究倫理審査委員会で承認済で、参加者には適切な謝礼金を支払った。

3. 結果と考察

再現性確認のための10名の評価は、平均値が全ての評価項目でほぼ一致したため、本実験における再現性は確認できた。

3.1 濃度と評価の関係

基本的な香水評価の評価傾向を把握するため、まず濃度と

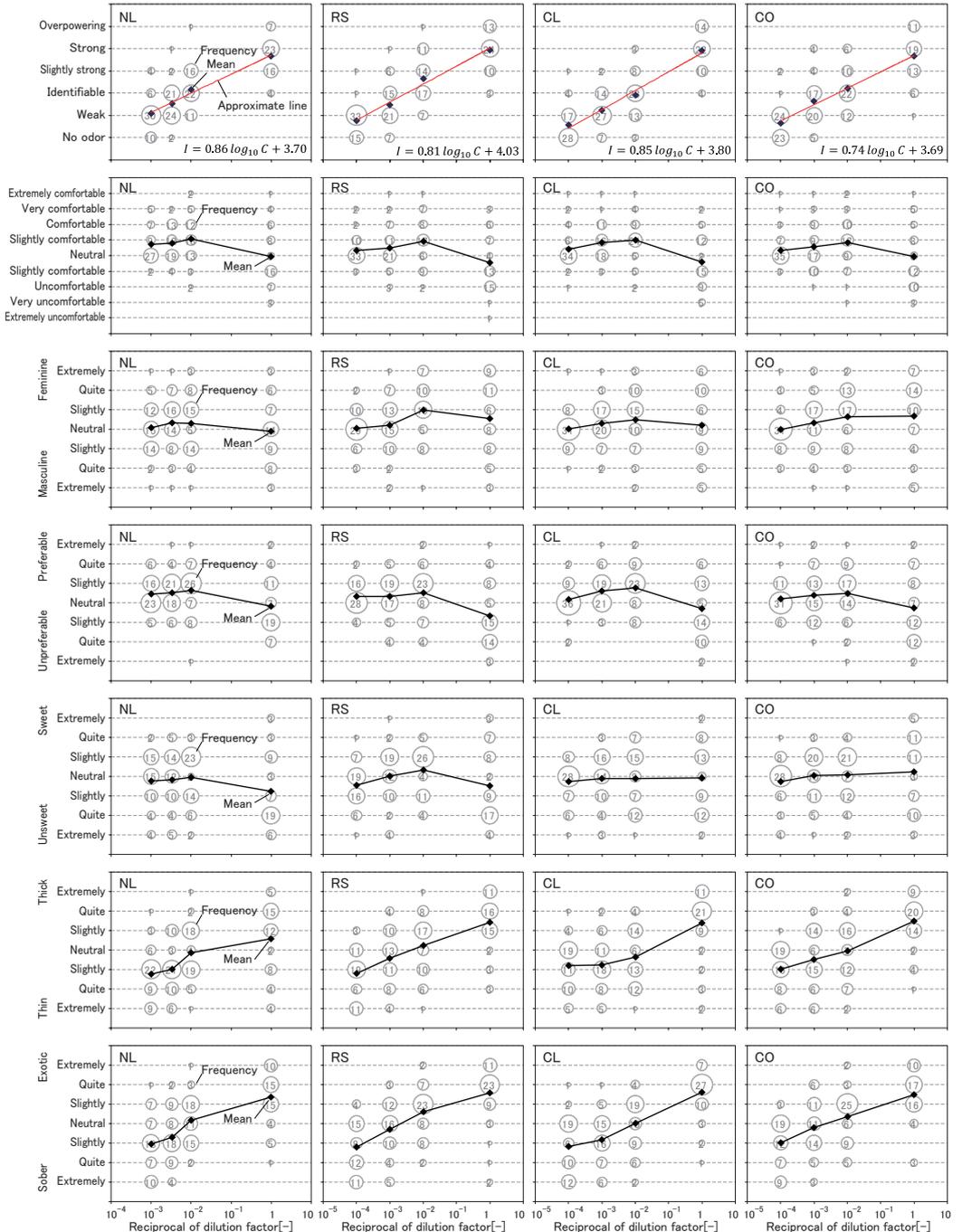


Figure 2 Relationship between concentration of perfume and each evaluation (NL, RS, CL, CO Conditions)

評価の関係を検討した。図2,3に濃度と各評価の関係を示す。横軸は希釈倍数の逆数を、縦軸は各評価尺度を示し、プロットが平均値、円の面積が度数を示す。最上段の濃度と香りの強さの関係では、同関係にWeber-Fechner則が成立つと仮定して平均値4点に対する近似を行った結果を併記した。

濃度と香りの強さとの関係では、濃度の対数と香りの強さの関係は概ね線形関係にあり、Weber-Fechner則に従うことがわかる。N5とUMの傾きが低い以外は、ほぼ同程度の傾きだった。

濃度と快・不快の関係では、NL、RS、CL、COは低濃度から濃度が高いほど快側評価だったが、原臭(希

釈倍数1)では中庸評価だった。一方で、N5、UM、GSは単調減少傾向であり、原臭は不快側の評価だった。ただ、いずれの香水も、高濃度では評価のばらつきが非常に大きい傾向にあった。

濃度と「性別感」の関係では、多くの香水で濃度が高いほど「女性的」側の評価が多い傾向だった。一方で、ユニセックスのNLは全濃度で「性別感」は男女均等に評価されたほか、女性用のN5も同様の傾向だった。男性用のUMは、中濃度域で「男性的」側の評価が多かったが、高濃度では「女性的」側評価がやや多かった。女性用のRSやCLでも、高濃度では「男性的」側の評価が多く、平均値は中庸付近にあった。

これらから、ユーザー評価として高濃度の香水は一般的には「女性的」と捉えられやすい傾向は見られたが、女性用香水であっても香水によっては「男性的」と捉えられやすい製品も「男性的」にも「女性的」にも捉えられる製品もあり、他者に与える「性別感」の印象には香水の種類の影響が大きいことがわかった。さらに、男性用香水であっても濃度によっては「女性的」と捉えられる場合があるなど、香水の「性別感」評価には、濃度の影響が大きいことがわかった。

濃度と「美しさ」の関係では、全香水で高濃度は嫌い側の評価だった。NL、RS、CL、COは低濃度から濃度が高いほど好き側評価だったが、N5、UM、GSは単調減少傾向だった。

濃度と「甘さ」の関係では、NL、RS、N5は低濃度では右上がり、高濃度では右下がりの傾向だった。COとGSは、単調増加だった。香水間の傾向差が最も顕著に見られた。

濃度と「濃厚感」の関係では、全香水で濃度が高いほど濃厚側の評価だった。ほぼ濃度の対数と「濃厚感」は線形関係にあり、香りの強さと「濃厚感」の相関が高いことが示唆された。

濃度と「派手さ」の関係は、濃度と「濃厚感」の関係と類似した傾向を示した。

3.2 「性別感」と他の評価との関係

ユーザー評価としての「性別感」が如何なる背景で決定されるのかをより詳しく推定するために、「性別感」と他の評価項目との関係を検討した。図4に「性別感」と他の評価項目との関係を示す。

横軸は香りの強さおよび印象の4項目を示し、縦軸は「性別感」とした。円の面積は度数を示し、図中に相関係数を併記した。

香りの強さと「性別感」の関係では、相関係数からは多くの香水でほぼ無相関と判断されたが、GSのみわずかに正の相関がうかがえた。評価の分布傾向を詳細に見ると、全ての香水で、低強度では中庸の「性別感」に評価が集中し、高強度は大きなばらつきがあった。男性用のULのみ、高強度で「男性的」側評価が多く、ユニセックスのNLを含む他の6香水では「女性的」側の評価がやや多かった。NL以外では、メーカー

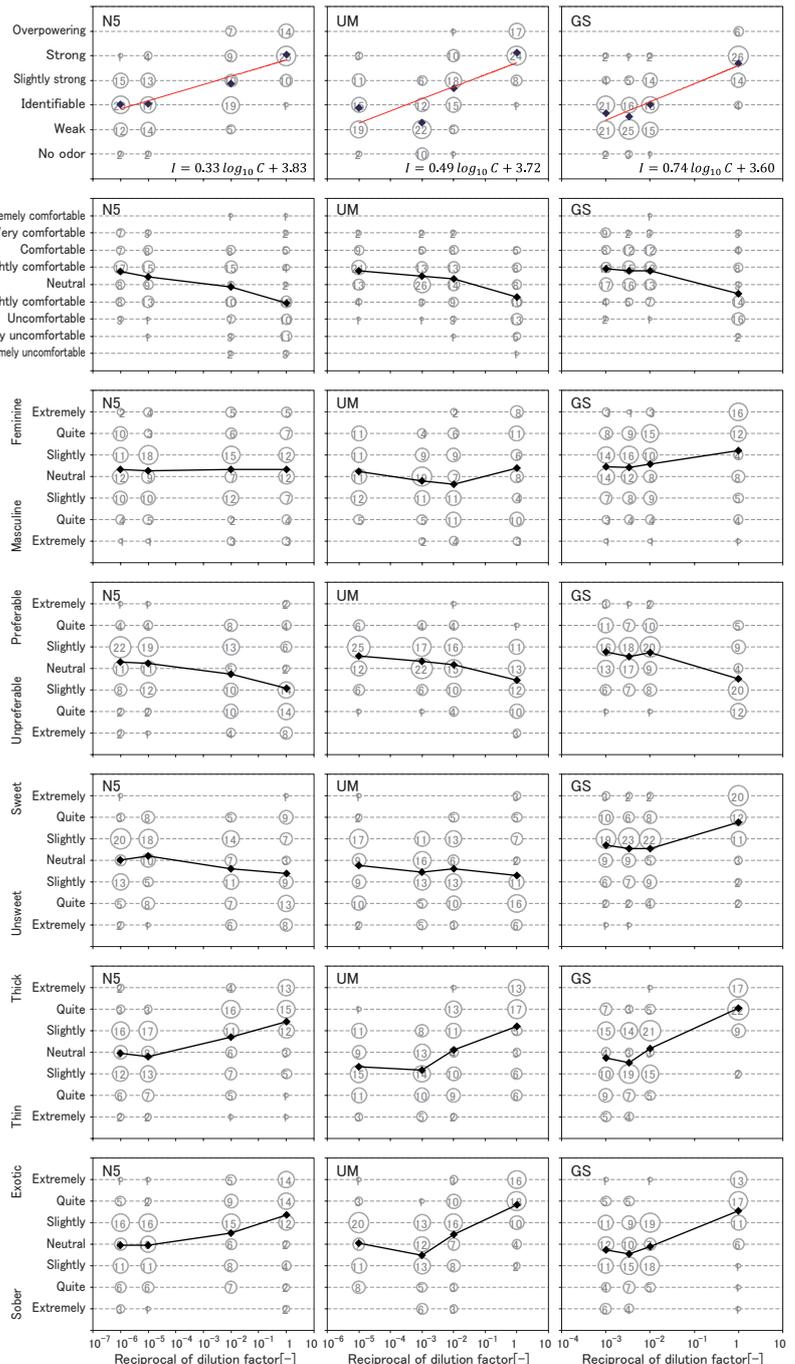


Figure 3 Relationship between concentration of perfume and each evaluation (N5, UM, GS Conditions)

の設定性別通りの「性別感」評価だったと言える。

「美しさ」と「性別感」の関係では、NL、RS、N5では相関係数から弱い正の相関がうかがえた。相関係数に関わらず、多くの香水で「好き」側評価では「女性的」側評価が多い傾向が見られたが、男性用のUMでは「好き」側評価で「男性的」側評価も「女性的」側評価と同程度見られた。

「甘さ」と「性別感」の関係では、相関係数からCL以外では比較的高い正の相関がうかがえた。CLは、「甘い」側評価で「男性的」側評価が一定数見られたことから相関係数が低く算出されたと考えられ、「甘い」

と「男性的」がつながって評価されるCLの印象の特徴と言える。他の香水では、概ね「甘い」ほど「女性的」、「甘くない」ほど「男性的」と評価されたが、RS、CL、N5、UMのように、「甘くない」側評価で「女性的」側評価が見られた香水もあった。特に、男性用のUMで「甘くない」と「女性的」がつながって評価された点は興味深い。

「濃厚感」と「性別感」の関係では、相関係数から全ての香水で弱い正の相関がうかがえた。評価の分布傾向としては、「濃厚な」側評価では「女性的」側評価が多く見られた。一方で、「淡泊な」側評価でも「女性的」側評価が多く見られたことから、傾きが正の二次関数的な関係だった香水が多かったと言える。ユニセックスのNLは「濃厚感」評価に関わらず「性別感」は広く分布した。また、女性用のGSのみ正の相関が他と比べて強く、「濃厚

な」ほど「女性的」な香水と言えた。また、男性用UMでも、「濃厚」側では「女性的」評価が多い傾向にあった。

「派手さ」と「性別感」の関係では、相関係数からGSは比較的高い正の相関が、RS、CO、N5では弱い正の相関がうかがえた。NL、CL、UMはほぼ無相関だったが、ユニセックスのNLは「派手さ」評価が中庸付近に集中したことと、「派手さ」評価に関わらず「性別感」が均等に分布したためと考えられる。少数ずつだが、「派手」側と「地味」側の評価では「男性的」側の評価が多く見られ、「派手さ」と「性別感」の関係の個人差が大きいことがわかる。CLは「地味」側評価では「性別感」が中庸である一方で、「派手」側評価で「女性的」側が多いものの「男性的」側も一定

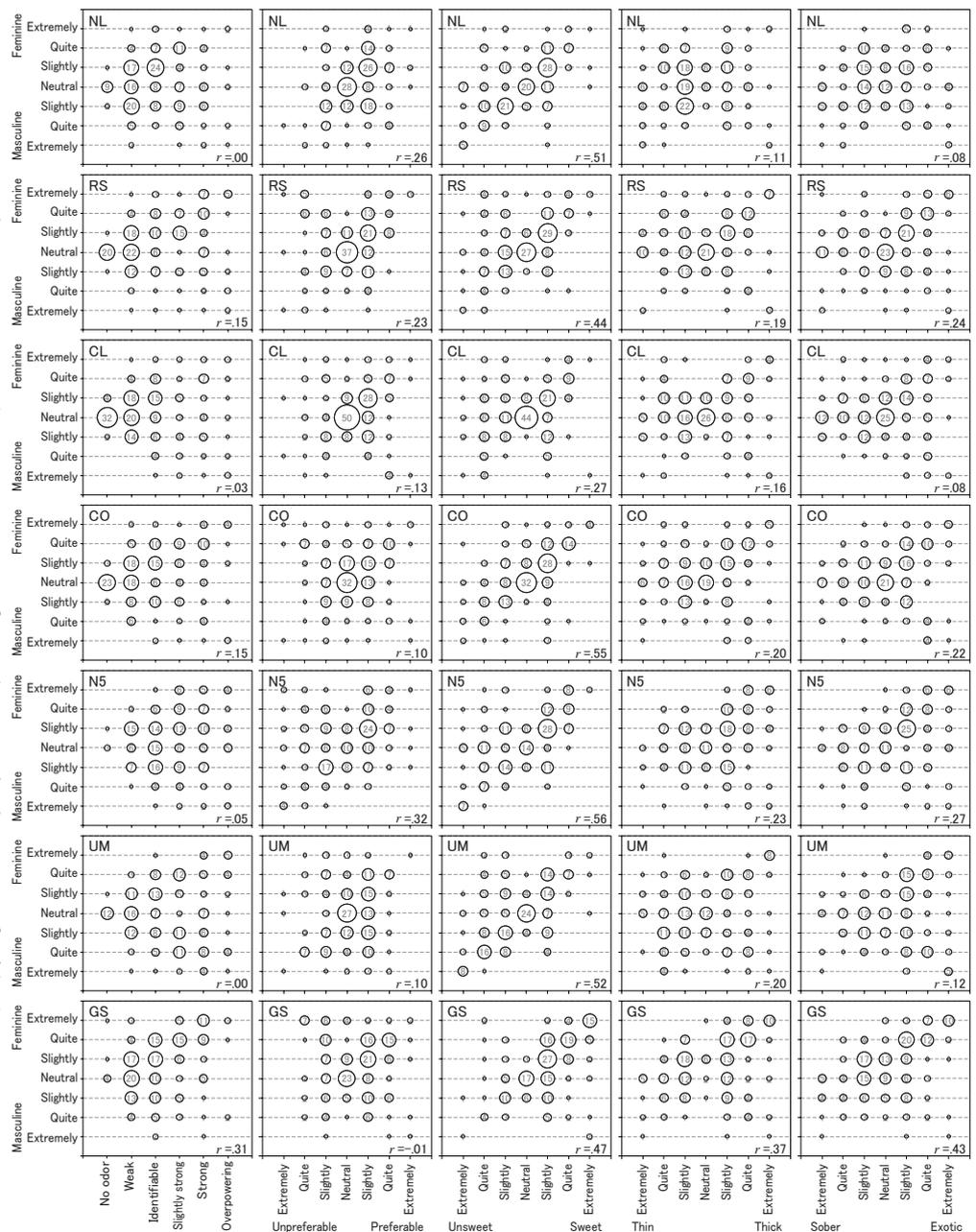


Figure 4 Relationship between "gender" impression and each scale

数見られたことが要因と言える。それぞれ少数だが、RS、CO、N5、GSの女性用香水でも、「派手」側評価で「男性的」評価が見られた。

4. おわりに

濃度をパラメータとした香水の強さ、快・不快、印象評価の検討を行った。特に、印象の「性別感」を中心に考察を行い、香水の種類と濃度が「性別感」に大きな影響を及ぼすこと、および、濃度によっては、メーカーの設定性別通りに「性別感」が捉えられないことがわかった。「性別感」と他の評価項目間関係からは、香水の特徴がうかがえ、メーカーの性別設定と評価傾向が一致する場合も見られた。本研究では評価者属性としての性別や香水使用の有無間の評価傾向比較も行ったが、次報以降で報告したい。

消・脱臭剤のノズル噴霧による臭気除去効果に関する基礎的研究
 (その 17) 小流量微細噴霧型二流体ノズルによる仰角 45° 噴霧時のミスト噴霧性状

Deodorizing Effect of Deodorant Mist Sprayed with a Misting Nozzle
(Part 17) Characteristics of Mist Spraying at Elevation Angle of 45 Degrees by Fine Spray Type
Two-Fluid Nozzle with Small Flow Rate

○福ヶ野 拓也 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
 甲谷 寿史 (大阪大学)

Takuya FUKUGANO*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Hisashi KOTANI*¹

*¹ Osaka University

In hospital, odor is basically reduced by increasing air change rate. If it is possible to decrease odor by using deodorant, air change rate can be decreased, which makes a contribution to energy conservation. This study focuses on prediction of the deodorizing effect of mist sprayed with a nozzle. In this paper, the author reports the results of measuring the mist particle diameter and velocity near the nozzle orifice with PDA and the results of PIV measurement of the behavior of the mist when sprayed at an elevation angle of 45 degrees in order to investigate the spray characteristics of the nozzle used.

はじめに

本研究では、悪臭が問題となる病室においてノズル噴霧による消・脱臭法を導入することで、臭気除去のための換気回数を減らし、省エネルギー化を図ることを目的としている。既報¹⁾²⁾ではノズルを天井に設置し、噴霧流の挙動や消臭効果について検討されていたが、天井にノズルを設置するのは手間がかかり、またノズルを天井に設置するが故に居住域までミストを到達させるために比較的大流量かつ大粒径で噴霧していたため、室内の相対湿度が大きく上昇し床が濡れるという問題が発生し実際の居住空間では適用が困難であった。本報より小流量で非常に微細なミストを噴霧することができるノズルを用いて仰角 45° で居住域に噴霧することを検討する。本報では用いたノズルの噴霧特性を把握すべくノズル口付近のミスト粒径および速度を PDA で計測した結果と、仰角 45° で噴霧した時のミスト速度の推移を PIV で計測した結果を報告する。

1. ノズル付近におけるミスト粒径・速度の計測

位相ドップラー法 (PDA:Phase Doppler Anemometer) を用いてノズル近傍におけるミストの粒径分布および速度分布を計測する。本研究では Table.1 に示す充円錐型二流体ノズルを仰角 45° 方向に噴霧する A 社製のミスト噴霧器を用いた。

Table.1 Specification of Nozzle

Manufacture	KYORITSU GOKIN Co.,LTD.
Model number	KSMME04-10-13 SP
Spray pattern	Full cone
Nozzle hole diameter	0.4[mm]
Fluid pressure	0.3[MPa]
Initial flow rate of mist	29[ml/min]
Initial flow rate of air	1.38[1.38Nm ³ /h]
Spray angle	18[deg]



1.1 実験方法

実験は大空間の実験室で行い、空調は行わず外気温湿度の変動に伴い、室温は 11.3℃～13.9℃で変化し、相対湿度は 45%RH～53%RH で変化した。実験室内の風速は約 0.03m/s で、ノズル口付近でのミスト速度にはほとんど影響はないものと考えられる。本実験ではノズルより 50ppm に希釈した次亜塩素酸水を噴霧した。本実験では PDA (DANTEC DYNAMICS, FiberPDA System) を用い、測定点を通するミストの粒径および速度

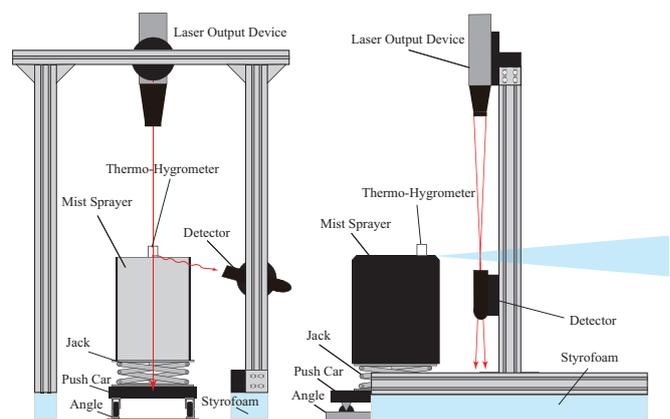


Fig.1 Layout of Measuring Equipment

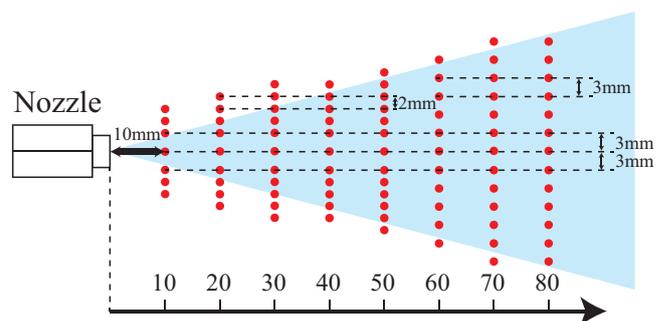


Fig.2 Measuring Point

を同時計測した。実験機器構成を Fig.1 に示す。仰角 45° 方向に噴霧されるミストを PDA で計測するのは困難であるため、ノズル近傍では初速度の影響が大きく水平方向に噴霧しても結果に影響はほとんどないと考え、水平方向に噴霧した。設けた測定点を Fig.2 に示す。各測定点においてミストを 10000 個サンプリングした。

1.2 ミスト速度分布

Fig.3 にそれぞれの測定点を通過した全ミストの速度の平均値およびそれらを正規分布回帰したグラフを示す。ノズル口中心軸上での速度に着目すると、ノズルから 10mm のところでは約 70m/s と非常に大きな速度を有していることが分かるが、ノズルから 40mm の距離までに大きく減衰しており、ノズルから 50mm 以降では 20 ~ 10m/s とおおよそ速度減衰は小さい。ノズル口付近では空気抵抗の影響を非常に強く受けることが分かる。また正規分布の近似曲線を見ると、ノズル口直近では速度の分布は正規分布とはやや相違があるが、ノズル口から 40mm 以降では非常によく正規分布に近似できているといえる。充円錐型二流体ノズルより噴出されるミストの速度分布は、ノズル口より少し離れると正規分布に近似できるといえる。Fig.4 に示すように正規分布の特性長の推移を見ると、線形的に増加していることが読み取れ、

一般的な噴流の特性と一致しているといえる。PDA で計測した速度はミストの水平成分の速度であり、実際の運動方向の速度ではないが、Fig.5 に示すように運動方向の角度（水平方向を 0° としたとき）を算出すると、最もノズルから離れた 80mm の位置でも 1.0° 以下の角度であり、PDA で計測した速度データを運動方向の速度と見なしてもほとんど問題ないことが確認され、同時に重力の影響をほとんど受けていないことも確認された。

1.3 ミスト粒径分布

Fig.6 にそれぞれの測定点を通過した全ミストからザウター平均径を算出した粒径分布を示す。ザウター平均径とは、表面積重みづけ平均した粒子径のことであり、定義式を付録の式 (1) に示す。ノズル口中心軸上には粒径の小さなミスト、そして外縁部には粒径の大きなミストが分布していることが分かる。しかしノズルから離れるにつれて、ノズル口中心軸上と外縁部におけるミスト粒径の差が小さくなっており、分布が徐々に均一化されていくことが分かる。また Fig.7 にノズル中心軸上におけるミストのザウター平均径の推移を示す。ノズル口より 40mm 以降ではおおよそグラフが線形的に増加していく傾向が示唆される。ミストが空気中を移動するにつれて、微小粒子が蒸発したりミスト同士が衝突して粒径が増加することによるものと考えられる。

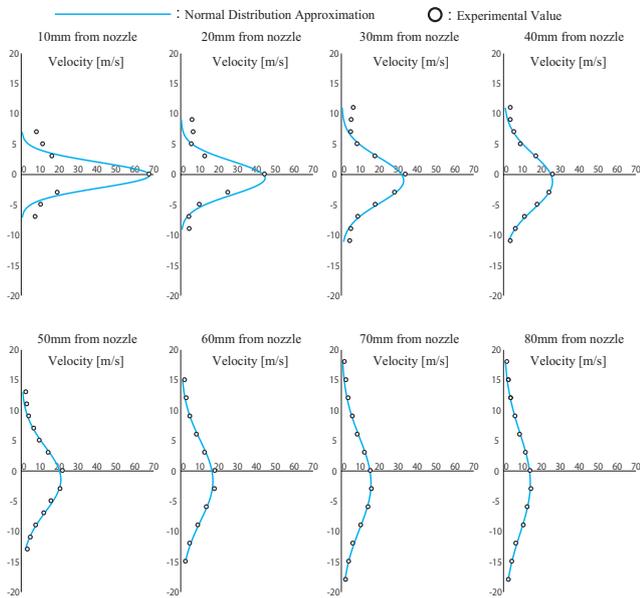


Fig.3 Distribution of Average Velocity

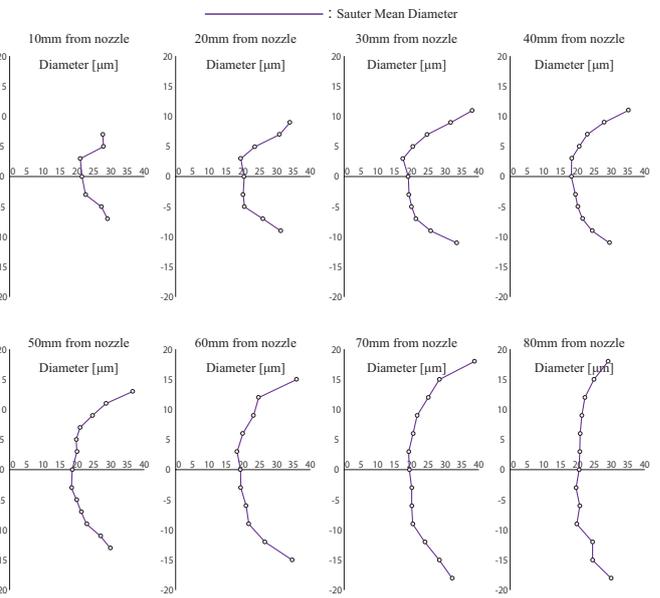


Fig.6 Distribution of Sauter Mean Diameter

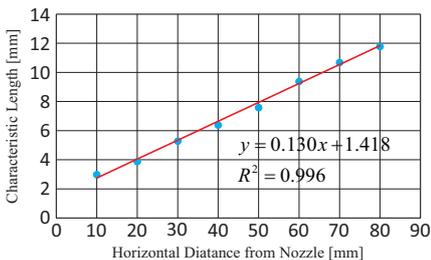


Fig.4 Characteristic Length

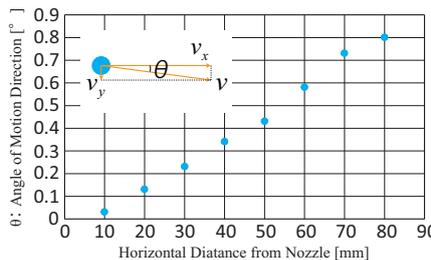


Fig.5 Angle of Motion Direction

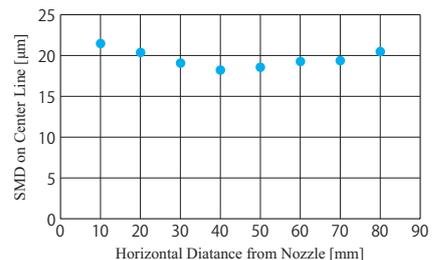


Fig.7 Sauter Mean Diameter on Center Line

1.4 ミスト流量分布

測定されたミストが完全な球形であると仮定し、粒径や測定に要した時間から測定点を通過したミストの単位時間あたりの流量を求めて得られた分布を Fig.8 に示す。Fig.3 の速度分布と似た分布を示しており、充円錐型二流体ノズルより噴出されるミストの流量分布は正規分布に近似できるといえる。

2. ノズル遠方における噴霧流中ミスト速度の計測

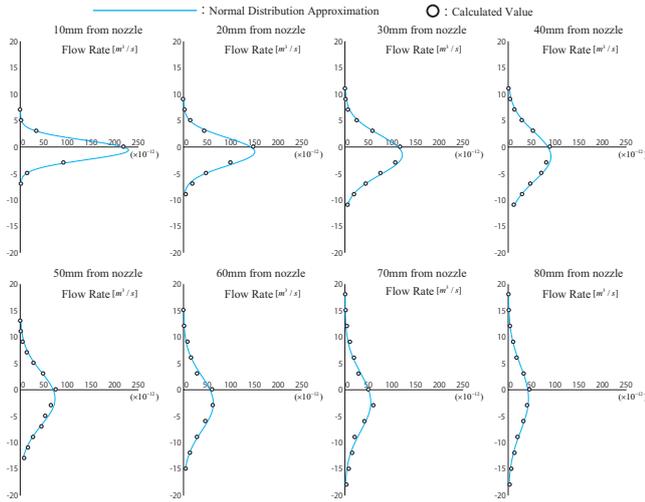


Fig.8 Distribution of Mist Flow Rate

粒子画像流速測定法 (PIV:Particle Image Velocimetry) を用いて、1章で述べた PDA を用いた計測では調べられなかったノズル遠方におけるミスト速度分布を計測する。

2.1 実験方法

実験は大阪大学構内の人工気候室で行い、湿度調整するために循環運転にて空調した。給気風速を抑えるために給気口に比較的目的が粗い布を貼ることで、室内の風速はおおよそ 0.02m/s と非常に静穏な環境が形成された。室内の温度は 20°C 一定に保ち、相対湿度は 20%RH と 50%RH で変化させた。本実験ではノズルより 50ppm に希釈した次亜塩素酸水を噴霧した (1章と同様)。Fig.9, Fig.10, Table.2 にそれぞれ、実験室平面図、カメラによる撮影領域、PIV の詳細を示す。Fig.10 に示すようにカメラの撮影領域に関しては 400mm×300mm の領域を①、

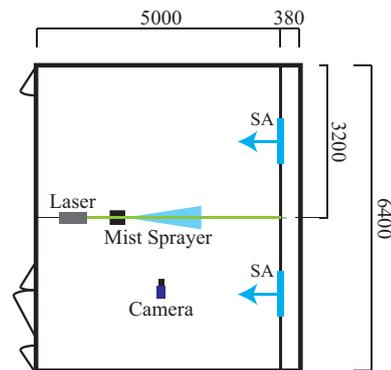


Fig.9 Laboratory Plan

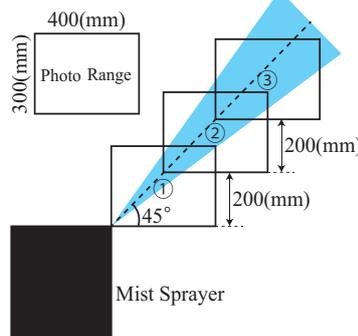


Fig.10 Photo Range

②、③の計3つ設けた。それぞれの撮影領域の左下を噴霧流の中心が重なるようにしている。レーザー照射間隔 dt については、その領域内を運動するミストの速度を考慮して、撮影領域①では 50μs、撮影領域②および③では 500μs で測定した結果を使用している。

2.2 結果

PIV により得られた値の精度を把握しておく必要があるため、PDA による実験を行ったノズル近傍を含む撮影領域①において、PDA による結果と PIV による結果を Fig.11 にて比較した (PDA による結果を真値と考える)。両者の値は非常に近く、誤差は 5% 程度であったため、比較的高い精度を有していると言える。Fig.12 に撮影領域①②③での速度コンター図を示す。比較的ノズル近傍では噴流形状が確認できるが、撮影領域③においては噴霧流の端では速度の分布が乱れ、周囲の空気と同化していく様子が確認できる。Fig.13 にノズル口より仰角 45° のラインに沿ったミスト速度の推移を示す。Fig.3 の結果とも合わせ、噴出直後の大きな速度もおおよそノズル口より 200mm の位置では 5m/s 以下に達し、その後は緩やかに速度が減衰していく様子が分かる。Fig.14 にノズル口からの各距離における速度分布を示す。グラフは時計回りに 45° 回転させてある。正規分布による近似も非常によく一致しており、ノズル遠方においても速度分布は正規分布を維持することが分かる。しかし正規分布の中心の推移から、用いたミスト噴霧器は実際には

Table.2 PIV Conditions

Device	Camera	ImageProX 2M
	Laser	Nd:YAG Laser:DPIV-L50
	Number of Sheet	100
Image	Interval(μs)	① 50 ②,③ 500
	Resolution(pixel)	1600×1200
	Software	Davis 8.3(La Vision GMBH 社)
Condition	Method	Direct Cross Correlation Method
	Region	Pass1:64×64 Pass2:32×32
	Overlap(%)	50%

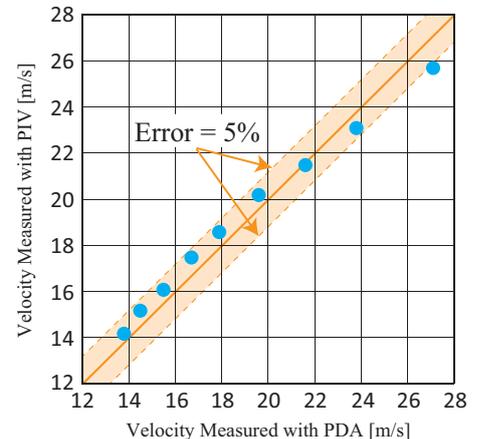


Fig.11 Accuracy Verification of PIV Measurement (50%RH)

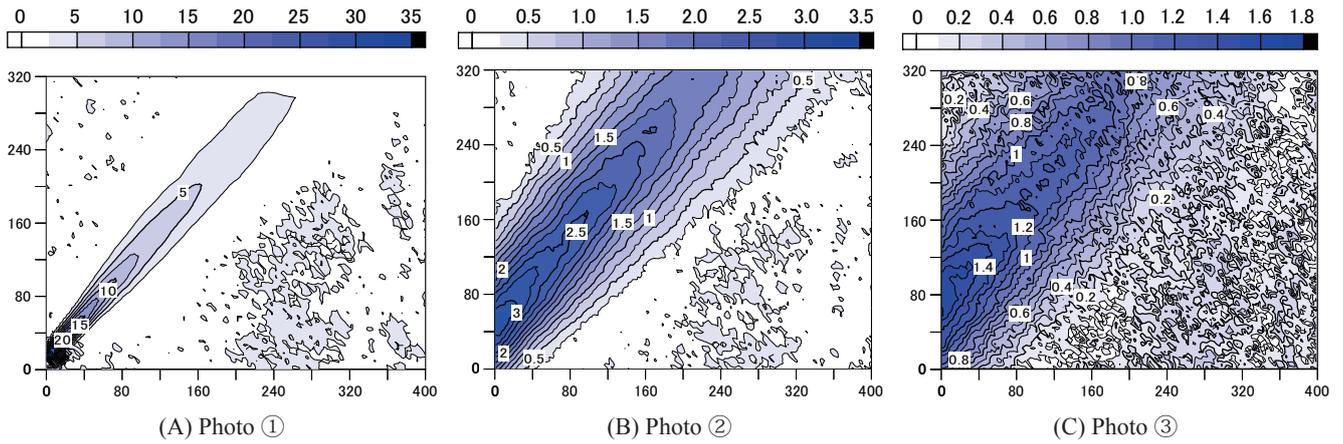


Fig.12 Contour Plot of Velocity (50%RH)

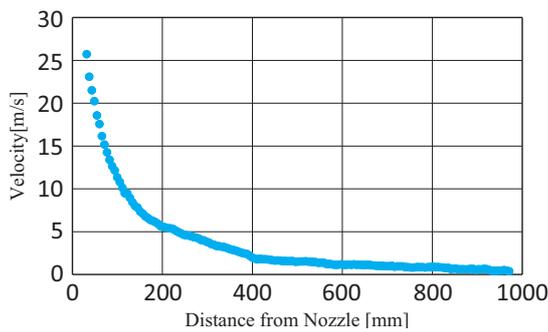


Fig.13 Change of Velocity on Center Line of Nozzle (50%RH)

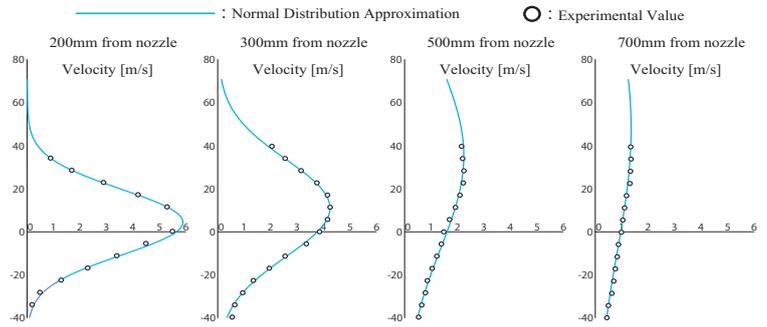


Fig.14 Distribution of Velocity (50%RH)

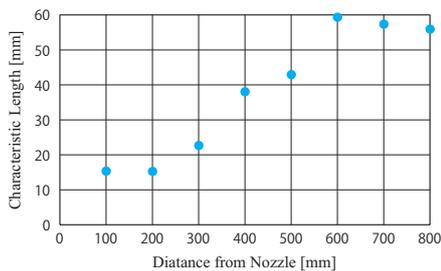
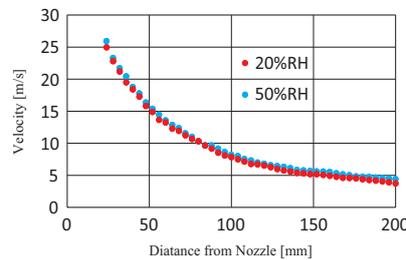
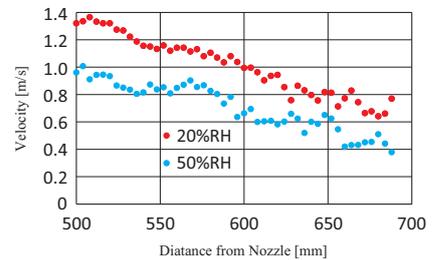


Fig.15 Characteristic Length (50%RH)



(A) Distance from 0mm to 200mm



(A) Distance from 500mm to 700mm

Fig.16 Comparison by Relative Humidity

仰角 45° を少し超える角度で噴霧してしまっていることが判明した。Fig.15 に示すノズル口から 100mm 遠方における正規分布の特性長を見ると、ノズル口より 600mm 以降では特性長が線形的に増加せず、ノズルから離れすぎると正規分布に近似できなくなることが示唆される。それはFig.12の(C)で示したコンター図からも示唆され、噴霧流の端が周囲の空気によって乱されるので正規分布が崩れてしまうものと考えられる。Fig.16 に相対湿度の変化による速度分布の差異を示す。両湿度で、比較的ノズル付近では速度は一致していたが、ノズル遠方では相対湿度 50%RH 時の方がより速度が小さく、空气中を運動するにつれてより減衰していることが分かる。

おわりに

本報では、小流量微細噴霧型二流体ノズルを仰角 45° 方向に噴霧させたときのミスト粒径およびミスト速度を PDA および PIV を用いて計測し、ミストの粒

径分布および速度分布を把握することができた。仰角 45° 噴霧時の噴霧流のモデル化、および同ノズルを用いた臭気除去効果を把握することを今後の目標とする。

備考

$$(1) \quad d_{32} = \frac{\sum N_i d_i^3}{\sum N_i d_i^2}$$

d₃₂: ザウター平均径 [μm]
N_i: 粒径が d_i の粒子の個数 [-]

謝辞

実験に当たり、マイコム株式会社よりミスト噴霧器のご提供をいただいたことを深く感謝いたします。また、本研究は JSPS 科研費 JP15H02279 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 西田敏宏, 山中俊夫, 甲谷寿史, 桃井良尚, 相良和伸: 消・脱臭剤のノズル噴霧による臭気除去効果に関する基礎的研究 (その 16) 一流体ノズルを用いた次亜塩素酸水の噴霧粒径が室内メチルメルカプタンの濃度減衰に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術講演会講演論文集, 2017.3
- 2) 安井さおり, 山中俊夫, 甲谷寿史, 桃井良尚, 相良和伸, 大森啓充: 上記同題 (その 4) 下方噴霧流挙動のモデル化及び臭気除去効果予測への応用, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術講演会講演論文集, pp.357-360, 2012.9

グラスウールダクトの熱・湿気性状と防臭に関する研究
 (第2報)実大ダクトモデル実験と放湿特性測定
**Research on Hygrothermal Performances and Mitigating Odor Generation
 of Fibrous Glass Duct Systems**
(Part2)Results for a Full Scale Duct Model and Desorption Characteristics

芝池 英樹 (京都工芸繊維大学) ○砂辺 泰山 (京都工芸繊維大学)
 白戸 正美 (マグ・イゾバー)

Hideki SHIBAIKE*¹ Taizan SUNABE*¹ Masami SHIRATO*²

*¹ Kyoto Institute of Technology *² MAG-ISOVER K.K.

In order to clarify the critical humidity for Fibrous Glass Duct (FGD) systems under field operations in which odor and amines are not released, experiments on a step sorption and a natural desorption of FDG board specimens have been conducted. The quantitative relation between the released odor concentration in a box and moisture content of FGD board specimens have been evaluated for the natural desorption and the step sorption as well. The higher amines concentration have been monitored in the natural desorption process. Also, a real scaled duct model has been constructed and an experimental results of humidification and dehumidification on the FDG system has been illustrated. At relative humidity of 75% for the air in the FDG Duct, the released amines and odor concentration have not been detected.

1. はじめに

グラスウールダクト (以下 FGD と略称) システムは高密度 (64kg/m³) で成形されたガラス繊維板を加工した空調用ダクトである。FGD は軽量で耐震性が高く、加工や施工が容易であり、加えて連続で一様な優れた断熱性や遮音性も持ち合わせている空調用ダクト材である。近年、断熱性や気密性は米国では建築の省エネルギー化を達成する上での重要な一指標として注目されている。一方、吸湿性や、吸湿に伴う異臭の発生等、ダクト材としては欠点となりうる性質もみられる。そこで、これらの欠点を回避する適正な運用のための許容最大相対湿度 (含水率) の決定が喫緊の課題である。FGD 板の断熱性能や耐久性能、強度を担保するだけでなく、カビや微生物の繁殖を抑制し、搬送空気の質を維持する上でも、この上限値は必要不可欠である。しかし、我が国では FGD 板の運用に関する基準が未整備であり、実測データ等を活用して設計用境界条件を確立し、FGD の運用時の最大相対湿度の予測法を示す必要がある。ただし、バインダー成分を変更・調整してトリメチルアミン((CH₃)₃N, 以下 TMA と略称)の溶出を抑え、異臭が出難い製品も既に市場で流通している。

既報¹⁾では、実測や湿潤の実験室実験を報告した。実測では、FGD システムを運用している福岡県福津市のシネコンの同規模の上映室 2 室を対象とした。給・排気系統に温・湿度ロガーを設置し、ダクト周辺温・湿度等の変動性状を明らかにし、異臭クレーム発生時の状況を分析した。

本報では、FGD の吸・放湿性状を考慮した適正な湿度運用範囲 (概ね Hygroscopic 域) を明らかにし、異臭発生の回避を目的とする。実験室実験と実大ダクトモデルでの実験の検討結果を報告する。即ち、FGD 供試体の相対湿度や含水率とアミン類の発生濃度に関する実験結果と、実大ダクトモデル内部の空気の加湿・乾燥による FGD 板の温・湿度変動や異臭の発生に関する実験結果を示す。

2. グラスウールの吸放湿特性

吸湿性を持たない無機質素材を用いた繊維材であるグラスウールは、繊維表面やバインダーが水蒸気を吸着するため、湿潤環境に置かれた場合にわずかな吸湿性を示し、放湿プロセスでは無機質素材やバインダーに吸着した水蒸気が解放されるため、速やかな放湿となる³⁾。異臭の発生に関しては、液水を介在してバインダー成分から異臭物質が合成され、付着した水蒸気に結合し、グラスウールからの放湿とともに発臭すると考えられる。

3. 実験室実験 (ステップ加湿励振実験)

FGD 試験体を用いて、湿潤状態下での含水量とアミン類発生状況を計測する実験室実験を 3 度行った。第 2・第 3 実験では、バインダーを改良したボード (以下新ボードと呼称) と、従来のボード (以下旧ボードと呼称) 双方の試験体を用意し、比較も行った。第 1・第 2 実験は既報¹⁾にて報告しており、本報では第 3 実験に関して報告する。

3.1 試験体・使用機器

試験体は、寸法 250mm×175mm、呼び厚さ 25mm、体積

1.09×10⁻³ m³のFGDを、新・旧ボードともに5体ずつ用いた。試験体は予めシリカゲル(ナカライテスク社製(青色中粒)乾燥重量1000g)と共に密閉容器内に22日間放置し乾燥させた。試験体の重量推移を測定し、連続する3日間での重量減少が0.03g以下となったため、この状態を絶乾状態とした。各試験体の絶乾重量を、Table.1に示す。

密閉容器は第2実験と同様、ポリプロピレン製、寸法W385×D500×H300mm、容積0.058 m³。温・湿度測定には、今回から高精度なデルタオーム社製温・湿度計ロガー「HD9817T1」を用いた。アミン類の濃度計測はガステック社製気体採取器「GV-100」および短時間用ガス検知管「No.180L」を用い、100ml吸引を2回で計測。同検知管ではアミン類の詳細な成分特定は困難で、検出されたアミン類がどの程度TMAを含むかは確認できていない。

3.2 実験方法

密閉容器内に蒸留水500gを入れたトレー2つ(計1000g)を置く。その上に乾燥させた試験体を、一定間隔をあけて立てて並べる。室温23K一定に保たれた室内に容器を放置し、容器内の温・湿度を1分間隔、アミン類濃度、試験体の含水率の経時変動を各々約1日間隔で計測した。計

測期間は2017年12月29日から2018年2月1日まで。

3.3 実験結果

Figure.1に密閉容器内のアミン類濃度と、試験体の容積基準質量含水率の推移を示す。Figure.2は、3種類のグラスウールの平衡含水率比較である。Integra ZKF-032, Integra AP Supra-035の曲線は、海外の物性値で密度は各々32.5kg/m³, 115kg/m³, FGDボードの値はJIS A1475による国内測定値⁴⁾である。Figure.3に容器内空気と、容器の雰囲気の温・湿度推移を示す。相対湿度のスパイク状の減少は、試験体の重量測定に伴う容器の蓋の開閉による。

新ボードが旧ボードより吸湿による質量増加が早いこと、旧ボードが4kg/m³程度で平衡状態に達しているのに対し新ボードでは7kg/m³程度であり、含水量自体にも差が見られることを確認。両ボードとも試験体1, 2には初期の質量減少が見られるが、これは暖房空気の当たり方が原因で、容器の配置変更で解消した。アミン類濃度に関して、新ボードでは湿潤開始から12時間後に濃度が大きく上昇した。しかしTMA由来の異臭はなく、代わりに特有の薬品臭が確認できた。一方、旧ボードでは1ppm強で安定して推移した後、緩やかに上昇した。1月1日には

Table.1 Weights of Dried Specimens

Specimen#	New FGD Board	Old FGD Board
1	81.83g	76.98g
2	87.39g	84.75g
3	91.60g	98.48g
4	90.60g	77.27g
5	90.96g	94.16g

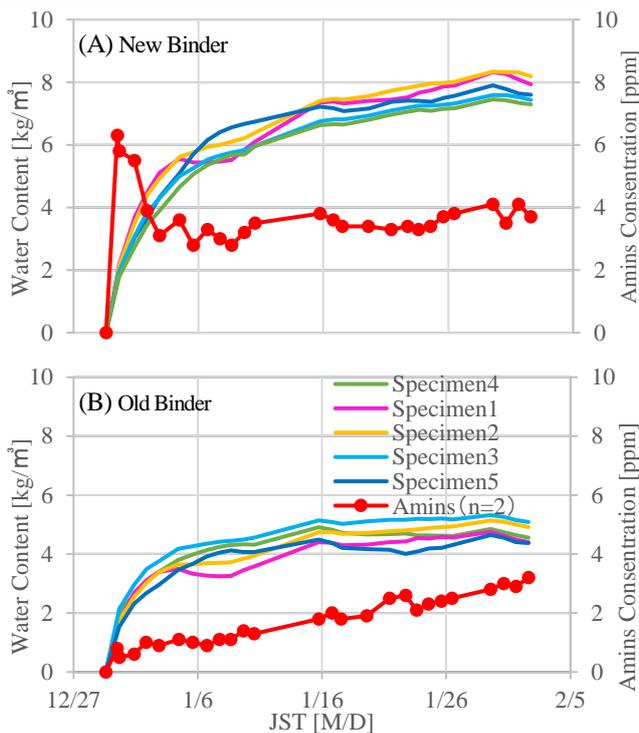


Figure.1 Profiles of Water Content and Amines Concentration

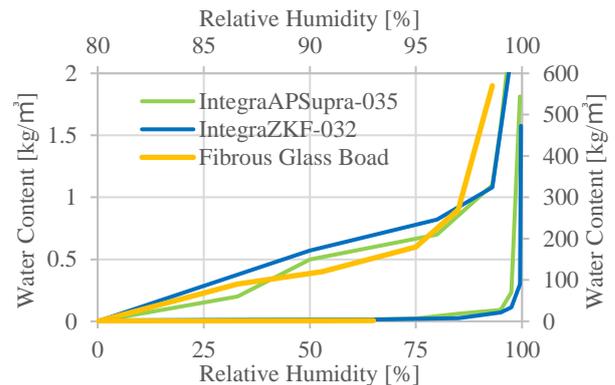


Figure.2 Sorption Isotherm for Fibrous Glass Boards

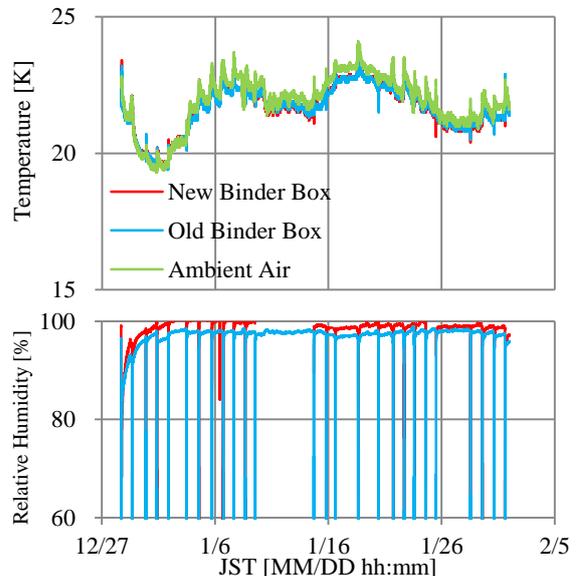


Figure.3 Profiles of Temperature and Relative Humidity in Boxes

TMA 由来の異臭発生を認めたが、アミン類濃度に目立った変化はなく、異臭の発生の定量化はできなかった。これらの結果は第2実験と同傾向で、再現性を確認した。

異臭の性質が新旧ボードで異なっているため、専門機関に発生気体のイオンクロマトグラフィー分析を委託し、異臭の成分同定を試みたところ、旧ボードにのみ TMA の超微量な存在を認めたが、定量化には至らなかった。

4. 実験室実験（自然放湿実験）

FGD から水蒸気が放出される際に、同時にアミン類気体や異臭が発生していることの確認を目的としている。

4.1 実験方法

前述の加湿励振実験で用いた、含水した状態の試験体5体だけを密閉容器に入れて放置した。使用容器・機器は加湿励振実験と同じ。容器内の温・湿度を1分間隔、アミン類濃度、試験体の含水率の経時変動を約1日間隔で計測した。計測期間は2018年2月1日から2月21日まで。

4.2 実験結果

Figure.4 に密閉容器内のアミン類濃度と、試験体の容積基準質量含水率の推移を示す。Figure.5 に容器内空気と、容器の雰囲気温・湿度推移を示す。両ボードとも徐々にアミン類濃度が高くなり、最高で10ppm 近い高濃度となっている。これは加湿励振実験時より高い値であり、主に含水後の放湿時にアミン類が発生していることを確認した。含水率は滑らかに減少し、旧ボードでは2月19日には相対湿度80%を下回ったが、アミン類濃度は依然8ppm 超の高い値であり、異臭発生も継続していた。一度湿潤したグラスウールでは、その後乾燥してもアミン類や異臭が継続して発生するようである。異臭防止には、グラスウールの湿潤を防ぐ臨界含水率を定めることが重要である。

5. 実大ダクトモデルを用いた実験

5.1 実大ダクトモデルの概要

実態に近い環境で実験を行うため、新ボードを用いて実験用実大ダクトモデルを製作した。寸法とセンサ配置を Figure.6 に示す。風道内は風速1.5m/s、容積2.591 m³。ダクト内には松下電器産業社製気化式加湿器「FE-14KFW」2台とオイルヒーターを設置した。給・排気ダンパを全開、循環ダンパを全開とし、輸送空気を循環させながら約2週間加湿・加熱すると、ダクト内の温度は25K で一定、相対湿度は Figure.7 のようになった。特に SA の相対湿度は75%程度まで上昇したが、アミン類や異臭の発生は見られなかった。そこで、グラスウール内に焦点を当て、更に相対湿度に上昇させるため、以下の実験を行った。

5.2 実験概要

風道内が高湿度状態のときの FGD ボードの温・湿度性状を調べるため加湿実験を行った。給・排気ダンパを全開、循環ダンパを全開とし、輸送空気を循環させた。給・排気口はより気密となるようビニールで塞いだ。炭酸ガスを用いたトレーサーガス法で換気回数を2度測定し、

0.22 h⁻¹ と 0.31 h⁻¹ となった。ファンによる送風を行いつつ内部空気を加湿・加熱し、雰囲気には冷房を入れダクト外皮表面を冷やすことで、FGD 内の含水率上昇を狙った。FGD 内の相対湿度が十分に上昇した時点で加湿を止め、給・排気ダンパを全開、循環ダンパを1/3開として乾燥させた。この際にダクト内空気や FGD 内の温・湿度経時変化とアミン類濃度を測定した。実験は2018年1月30日、2月3日、2月13日に計3回行った。

5.3 実験結果

Figure.8 は、2月13日に実施した実験での温・湿度推移である。FGD 内の相対湿度は、風道内空気より若干遅れているが、放湿開始から3時間程度で20%台まで迅速に乾燥しており、2. で述べたグラスウールの吸湿特性を裏付ける結果が得られた。アミン類濃度は、検知管の100ml 2回吸引では反応が見られず、10回吸引を実施しても1ppm 程度の検出であった。このため実際に発生していた濃度は0.1ppm 以下と考えられる。また、実験室実験で見られた薬品臭の発生は、排気では確認できなかった。これらの結果は、前2回の実験でもほぼ同様であった。

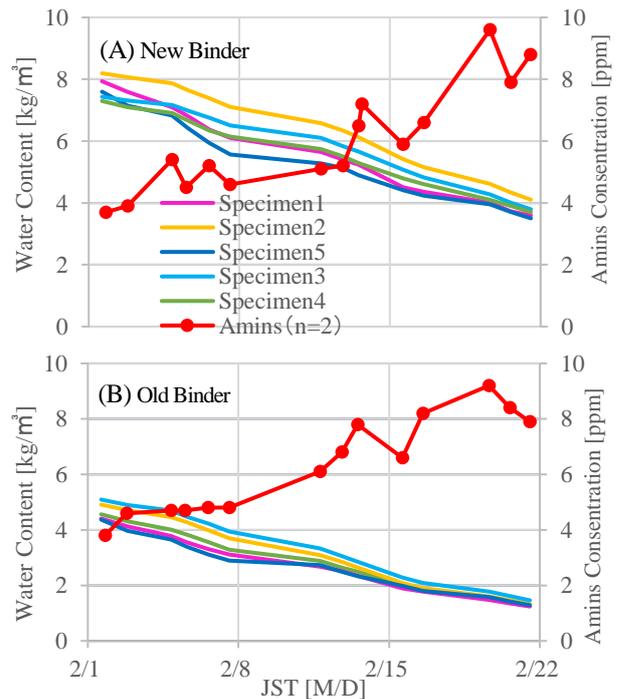


Figure.4 Profiles of Water Content and Amines Concentration

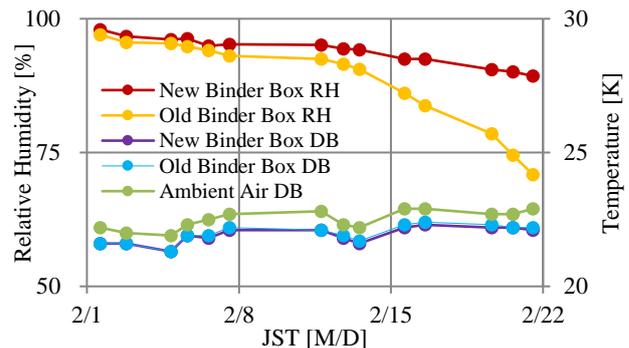


Figure.5 Profiles of Temperature and Relative Humidity in Boxes

実験室実験で用いた試験体と同じ寸法で、ダクトモデル外壁からサンプルを切り出し、3度目の実験の加湿前後で重量を比較した。重量増加は0.51gで、容積基準質量含水率に換算すると0.5g/m³程度の僅かな含水であった。この場合、FGDボードの表面は相対湿度90%超まで上昇したものの、内部まで含めた平均相対湿度は60%程度であり、アミン類気体や薬品臭が生じなかったのは含水が充分でなかったためと考えられる。

6. まとめ

FGDボードの適正な運用相対湿度上限を明らかにし、異臭発生を回避するために、吸湿および放湿の実験室実験と実大ダクトモデルでの実験の検討結果を報告した。今回の加湿励振(吸湿)追実験では、既報と同傾向の結果をより高精度に再現できた。自然放湿実験では、FDGボードが水蒸気の放出と共にアミン類や異臭を発生していることを確認した。また、吸湿時よりも放湿時により高濃度なアミン類を発生することが分かった。ダクトモデルでの実験では、風道内空気の相対湿度75%ではアミン類や異臭が発生しないことが分かったが、発生臨界相対湿度

の特定は出来なかった。乾燥過程では、グラスウールの平衡含水率の特徴に起因する迅速な湿度減衰が見られた。

今後の課題として、ダクトモデル内部空気をさらに高湿度にした湿潤・乾燥実験の実施、および高精度検査法を模索して新ボードでの異臭成分同定を考えている。

謝辞

営業施設での実測への協力に加えて、機材や情報等を惜しみなくご提供戴いた関係各位に、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 砂辺泰山, 他3名, グラスウールダクトの温・湿度性状と防臭に関する研究, 空気調和・衛生工学会第46回近畿支部学術研究発表会論文集(大阪) A-70, 2017
- 2) 砂辺泰山, 他3名, グラスウールダクトの温・湿度性状と防臭に関する研究, 平成29年空気調和・衛生工学会大会学術研究発表会論文集(高知) B-50, 2017
- 3) グラスウールダクト工業会・マグ・イゾペール社, 空調ダクトに使用するグラスウールダクトの吸湿性について, 2016
- 4) 建材試験センター, 品質性能試験報告書 #15A3855号, 2016.

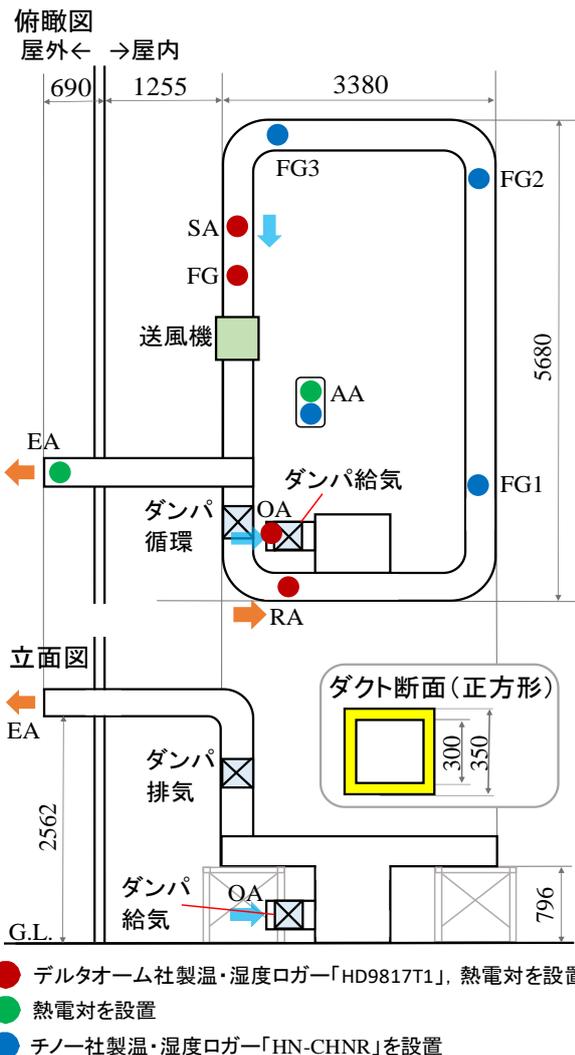


Figure.6 The Duct Model Geometry and Sensors

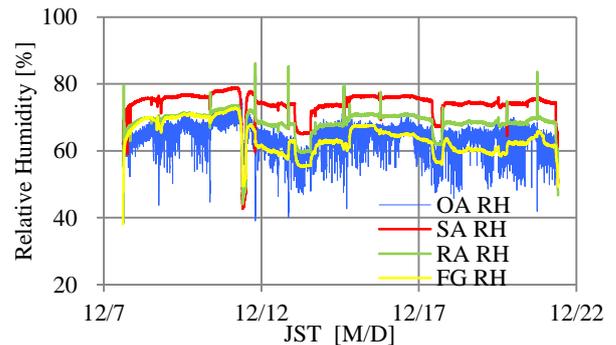


Figure.7 Profiles of Relative Humidity in Duct Model

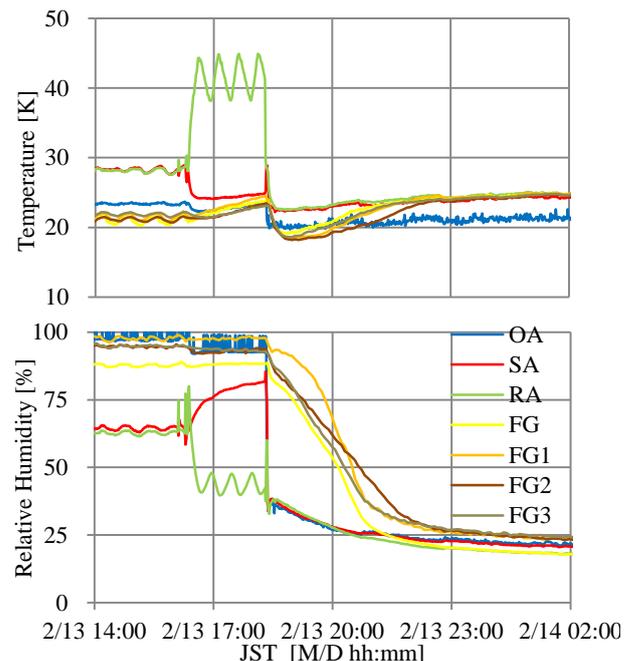


Figure.8 Profiles of Temperature and Relative Humidity in Duct Model

室内臭気質が在室者の主観評価・知的生産性に及ぼす影響

(その1) 臭気質が在室者の主観評価に及ぼす影響

Influence of Indoor Odor on Subjective Evaluation and Workplace Productivity of Occupants

(Part1) Influence of Odor Quality on Subjective Evaluation of Occupants

○ 大久保 滉平 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学) 竹村明久 (摂南大学)

甲谷 寿史 (大阪大学) 吉本 梨紗 (大阪大学)

Kohei OKUBO^{*1} Toshio YAMANAKA^{*1} Akihisa TAKEMURA^{*2}

Hisashi KOTANI^{*1} Lisa YOSHIMOTO^{*1}

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

In Japanese non-residential buildings, CO₂ concentration kept under 1000 ppm has been prevented room environment from air pollution. However, we are recently exposed to wide variety of odor. It is the purpose of this study to make clear the difference of the process of olfactory adaption due to odor. This paper shows the results of the exposure experiment to body odor and wood odor by using subjective evaluation and forecasting model evaluation based on olfactory adaptation model.

はじめに

室内の空気環境は CO₂ 濃度を 1000ppm 以下に保つことで維持されている。しかし、近年では、オフィスなどでかおり空調の導入など、様々な臭気に曝露する機会が増加しており、求められる知覚空気質にも変化が生じている。それ故に、室内空気質について評価手法を確立することが求められ、在室者が体臭を含む臭気に曝露された際の反応についての検討は有意義である。

本研究では体臭や木材臭の曝露を想定した被験者実験を実施し、主観評価を用いた嗅覚順応過程における臭気強度の経時変化の測定、知的作業テストを用いた完全順応後の臭気質が知的生産性に及ぼす影響の検討を行った。

本報では、被験者実験で実施した主観評価の結果を報告すると共に、山中らが提案した嗅覚応答モデル¹⁾の適用の可能性について検討した結果について報告する。

1. 在室者を発生源とした臭気質評価

1.1 実験概要

実験は 2018 年 1 月 10 日～2018 年 2 月 1 日にかけて実施した。実験を行うにあたり、T&T オルファクトメーター試験に合格し、正常な嗅覚を有すると認められた 20～24 歳の本学学生 11 名をパネルとして採用し、2 グループに分け、A (男子 2 名、女子 3 名)、B (男子 3 名、女子 2 名) とした。ただし、グループ A では 4 日目で男子 1 名が欠席し、グループ B では 2 日目で女子 1 名が交代したため、次報²⁾の平均値からは除いた。

実験場所は本学学内にある実験室である。実験室内にある容積 7.65m³ のチャンバーにパネル 5 名を入室させ、知的作業タスクを実施した。室内空気汚染物の指標は CO₂ 濃度を用い、チャンバーの臭気の濃度が均一になるようサーキュレーターを、木材臭条件においてのみ臭気の発生源と

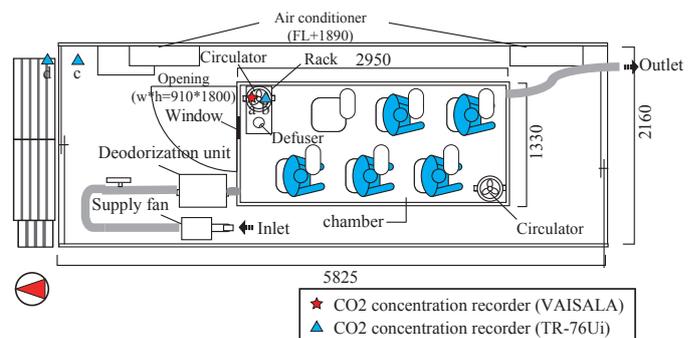


Fig. 1 Laboratory plan

してディフューザー (無印良品社製 AD-SD2) を配置した。温湿度及び CO₂ 濃度は、小型 CO₂ 濃度計 (VAISALA 社製 GM70, T&D 社製 TR-76Ui) を用いて連続測定を行った。実験室平面図及び各測定位置を Fig. 1 に示す。

CO₂ 濃度の上昇過程で臭気作成室内空気の臭気強度について評価させ、実験条件として設定した濃度まで上昇させた後、ファンの流量を調整し、CO₂ 濃度を定常化させた。実験条件は CO₂ 濃度 1500ppm で追加臭気なしを基準条件、CO₂ 濃度 5000ppm を体臭条件、CO₂ 濃度 1500ppm に加え吉野ひのき (インセント社製) の精油を発生させた木材臭条件の計 3 条件とした。作業への習熟の確認のため、基準条件を 2 度行い、基準条件 1、木材臭条件、体臭条件、基準条件 2 の順で、両グループとも延べ 4 日実施した。実験条件を Table 1 に示す。

1.2 実験手順

(1) インストラクション

パネルには前日に、においの強い食事は避けるなどの注意をさせた。また、実験開始前に隣の実験室で空気質評価及び知的作業テストの実施方法に関する指示を行った。

Table 1 List of experimental condition

Condition	CO ₂ concentration	Additional odor
Standard condition 1	1500ppm	Nothing
Wood odor condition	1500ppm	Nothing
Body odor condition	5000ppm	Aroma oil (Yoshino Hinoki)
Standard condition 2	1500ppm	Nothing

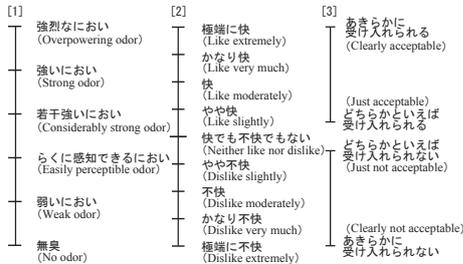


Fig. 2 Evaluation scale

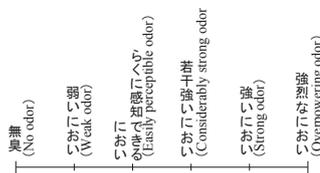


Fig. 3 Evaluation scale

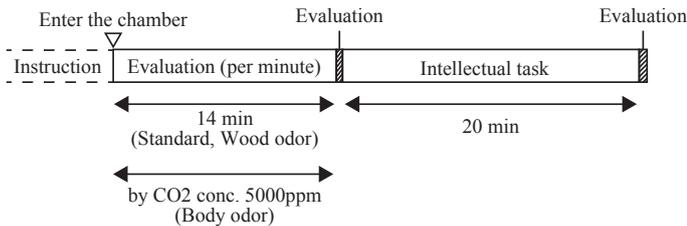


Fig. 4 Time schedule

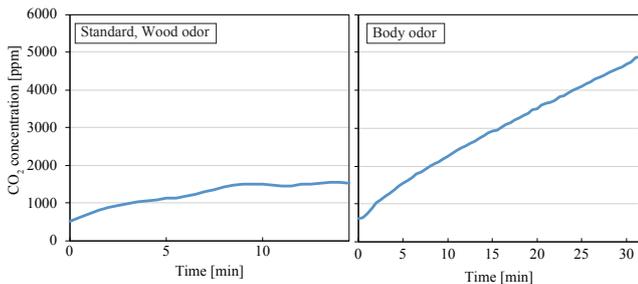


Fig. 5 Example of CO₂ conc. change

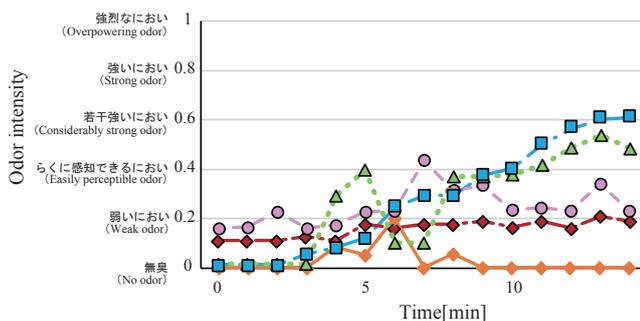


Fig. 6 Evaluation of each panel

(2) 嗅覚順応過程における空気質評価

パネルがチャンバーに入室した直後から、CO₂ 濃度の上昇過程において、1 分ごとに室内空気質を評価させた。CO₂ 濃度が 1500ppm の基準条件、木材臭条件では定常状態以降も評価を継続し、計 15 回評価させた。体臭条件では CO₂ 濃度が 5000ppm に達するまで評価させた。評価尺度として Fig. 2 に示す臭気強度について連続カテゴリー尺度を用いた。

(3) 知的作業前後の空気質評価

知的作業の前後で室内空気質を Fig. 3 に示す臭気強度、快不快度、受容度の 3 項目について評価させた。(2) とは異なり、評価尺度はカテゴリー尺度とした。

(4) 知的作業テスト

知的生産性の測定のためのテストを行った。テストについての詳細は次報²⁾で報告する。

実験手順のタイムスケジュールイメージを Fig. 4 に示す。

2. 結果と考察

2.1 CO₂ 濃度と臭気強度との関係

基準条件、木材臭条件の CO₂ 濃度の測定結果の例として基準条件を実施した 1 月 10 日及び、体臭条件を実施した 1 月 24 日の測定点 a における CO₂ 濃度測定結果を Fig. 5 に示す。基準条件、木材臭条件では CO₂ 濃度 1500ppm まで上昇した後、定常状態を保ったことが、体臭条件では CO₂ 濃度 5000ppm まで上昇し続けたことが確認できる。

室内空気質の個人の評価の例として、1 月 10 日に行った基礎条件での経過時間ごとの臭気強度の変化を Fig. 6 に示す。評価傾向は横ばいもしくは右上がりであり、CO₂ 濃度が定常状態になった以降も臭気強度が上昇したパネルもいて、傾向の個人差は大きかった。また、パネル 2 名は入室直後にも有臭と評価したことから、室が無臭ではなかった可能性がある。

各条件における臭気強度の例として B グループの基準条件 1、木材臭条件、体臭条件の評価の平均を Fig. 7 に示す。木材臭条件において入室後の急激な臭気強度の上昇が確認できる。また、体臭条件において CO₂ 濃度が上昇していたにも関わらず、10 分以降多少の上下はあるが臭気強度は緩やかに減衰した。これは、体臭濃度の上昇よりも嗅覚順応による臭気強度低下が優位になったためと考えられる。

2.2 知的作業前後の空気質評価

知的作業テスト前後の主観評価の差異を Fig. 8 に示す。前後差がほぼ見られなかったことから知的作業テスト前に順応が完了していたことが確認できた。また、木材臭条件、体臭条件で、快不快度は「快でも不快でもない」、受容度は受容側に評価される傾向にあったことが分かった。

3. インパルス応答関数を適用した嗅覚順応モデル

3.1 既往研究の嗅覚順応モデル

山中ら¹⁾は嗅覚の変化を閾値の変化によるものと仮定し、曝露濃度と臭気強度の間に Weber-Fechner 則を

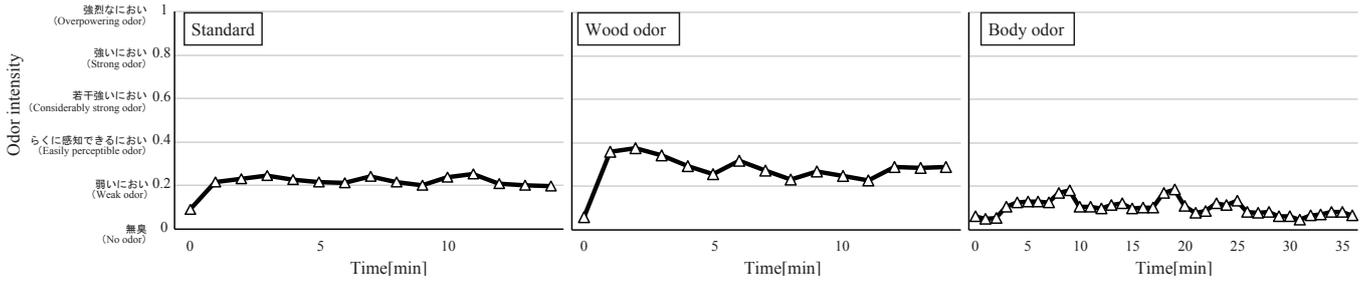


Fig. 7 Mean evaluation in each condition

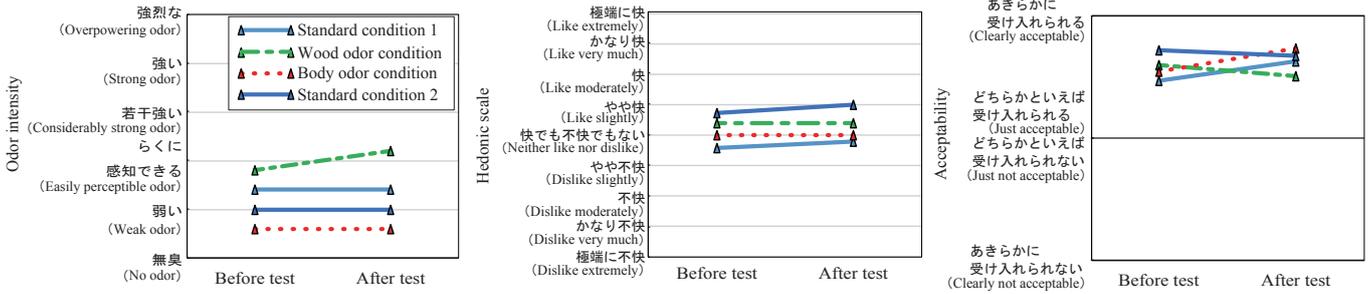
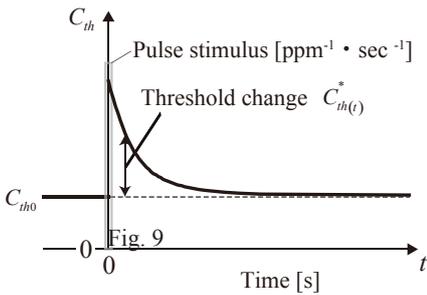


Fig. 8 Mean evaluation in each condition before and after test



Concept of threshold change after pulse of stimulus

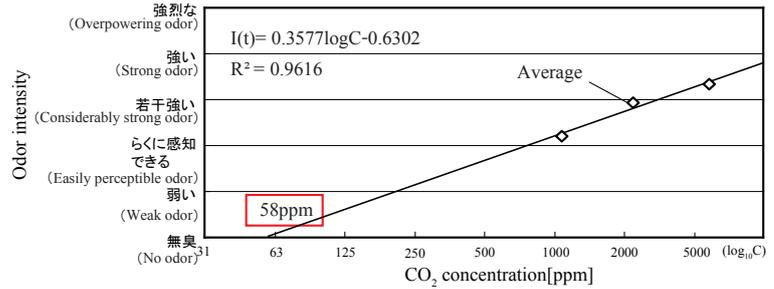


Fig. 10 Relationship between odor intensity and CO₂ concentration in body odor³⁾

適用することによって、時刻 t [s] における臭気強度 $I(t)$ を曝露濃度 $C(t)$ 、閾値上昇量 $\Delta C_{th(t)}$ 、非順応状態での閾値濃度 C_{th0} 、比例定数 k_c を用いて (Eq.1) のように表した。

$$I(t) = k_c \log_{10} C(t) - k_c \log_{10} C_{th0} \quad (\text{Eq.1})$$

閾値上昇量 $\Delta C_{th(t)}$ は Fig. 9 のようなインパルス応答の積み重ねであると考え、(Eq.2) に示す応答関数 $C^*_{th(t)}$ を用いて (Eq.3) のように表せる。

$$C^*_{th(t)} = \alpha \cdot e^{-\beta t} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\Delta C_{th(t)} = \int_0^t C_{(t-\tau)} C^*_{th(\tau)} d\tau \quad (\text{Eq.3})$$

α, β は定数、 τ [s] は時刻 t [s] から遡る時間を表している。非順応状態では $\Delta C_{th(0)} = 0$ なので、(Eq.1) は (Eq.4) と表すことができる。

$$I(t) = k_c \log_{10} \frac{C(t)}{C_{th0} + \Delta C_{th(t)}} \quad (\text{Eq.4})$$

既往研究³⁾における Fig. 10 の関係から、 $k_c = 0.358$ 、 $C_{th0} = 58$ [ppm] を得た。

(Eq.1) ~ (Eq.3) より、定常時の臭気強度は (Eq.5) と表せる。

$$I_{(x)} = k_c \log_{10} \frac{C_{(x)}}{C_{th0} + \frac{\alpha}{\beta} C_{(x)}} \quad (\text{Eq.5})$$

嗅覚順応過程の評価においてパネルの順応が完了していると仮定し、定常時の曝露濃度 $C_{(x)}$ を実測値の平均値、臭気強度 $I_{(x)}$ を後半 3 回の評価の平均値を用いて定めることによって、応答関数の係数 α/β を算出した。グループ A, B の実験条件ごとの $C_{(x)}$ 、 $I_{(x)}$ 、 α/β を Table 2, 3 に示す。

3.2 嗅覚順応モデルの適用

嗅覚順応モデルの予測値と実験結果に対し、最小二乗法による近似を行い、嗅覚順応モデルを基準条件、体臭条件の実験結果に適用した。グループ A, B について、係数 α, β 及び実験値と嗅覚順応モデルによる予測値の比較を Fig. 11, 12 に示す。

Table 2 Value of α/β (GroupA)

Condition(GroupA)	α/β	$C_{(x)}$	$I_{(x)}$
Standard condition 1	0.0235	1017	0.392
Body odor condition	0.164	4428	0.269
Standard condition 2	0.323	1084	0.152

Table 3 Value of α/β (GroupB)

Condition(GroupB)	α/β	$C_{(x)}$	$I_{(x)}$
Standard condition 1	0.225	1050	0.198
Body odor condition	0.603	4334	0.075
Standard condition 2	0.185	997	0.220

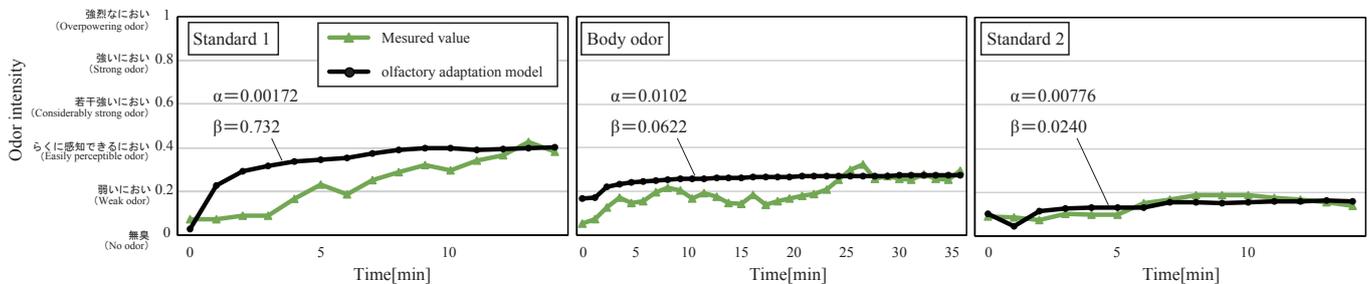


Fig. 11 Comparison between measured value and olfactory adaptation model (GroupA)

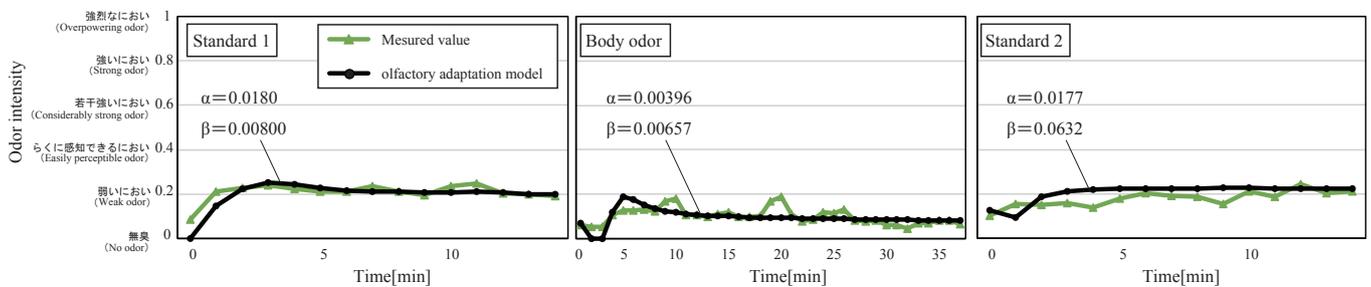


Fig. 12 Comparison between measured value and olfactory adaptation model (GroupB)

3.3 実験値との比較

臭気濃度の上昇過程において嗅覚順応モデルの予測値は実測値と多くの条件で一致しなかった。A グループの基礎条件2、B グループの基礎条件1、体臭条件とは概ね一致しているように見られるが、応答関数の係数 α, β が大きく異なった。係数 α, β は、本来臭気の種類に対して概ね一つであるべきと考えることから、嗅覚順応モデルの確立にはさらに実験によるデータの蓄積と検証が必要である。

おわりに

本報では体臭濃度の上昇過程において臭気強度の経時変化を測定し、山中ら¹⁾による嗅覚順応モデルを用いた検討を行ったことに加え、知的作業テスト前後の主観評価を測定した。順応過程での臭気強度評価傾向の個人差は大きく、作業前後での評価には変化がないことが分かった。また、嗅覚順応モデルには実験結果との相関が見られなかったこ

とから、正確な予測にはより多くのデータの蓄積が求められる。

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。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 JP15K14076 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 山中俊夫, 竹村明久, 甲谷寿史, 桃井良尚, 相良和伸, 永井雄喜: 嗅覚閾値の非定常応答に基づく嗅覚順応モデル, 日本建築学会環境系論文集, 第 79 巻 第 702 号, pp.655-662, 2014 年 8 月
- 2) 吉本梨紗, 山中俊夫, 竹村明久, 甲谷寿史, 大久保滉平: 室内臭気質が在室者の主観評価・知的生産性に及ぼす影響 (その 2) 臭気質が在室者の様々な知的作業に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2018.3 (掲載予定)
- 3) 吉本梨紗, 山中俊夫, 竹村明久, 甲谷寿史, 桃井良尚, 相良和伸, 田中大輔, 杉山茂弘, 井上正志, 池田馨: 在室者から発生する知覚空気汚染質の評価に関する研究 (その 6) 在室者特性が臭気強度・閾濃度に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-41, 2017.3

室内臭気が在室者の主観評価・知的生産性に及ぼす影響
(その2) 臭気質が在室者の様々な知的作業に及ぼす影響

Influence of Indoor Odor on Subjective Evaluation and Workplace Productivity of Occupants
(Part 2) Influence of Odor Quality on Various Intellectual Task of Occupants

○ 吉本 梨紗 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学) 竹村 明久 (摂南大学)
甲谷 寿史 (大阪大学) 大久保 滉平 (大阪大学)

Lisa YOSHIMOTO*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Akihisa TAKEMURA*²

Hisashi KOTANI*¹ Kohei OKUBO*¹

*¹ Osaka University *² Setsunan University

These days, it becomes an active area of research to improve workplace productivity of occupants. We have made a study on influence of body odor on sensory evaluation, but there is sufficient possibility that indoor air quality affects workplace productivity. This paper shows the results of intellectual task we imposed on subjects to make it clear how odor quality affect workplace productivity of occupants and we also consider which task is suitable for measuring it.

はじめに

国内では、室内空気環境を快適に維持するために CO₂ 濃度を 1000 ppm 以下に保つという一元的な値が設けられているが、年齢や国籍、発汗状態か否かなどの在室者の属性や状態が室内に発生する体臭に及ぼす影響が大きいと考えられたため、池田ら¹⁾は、主観評価と機器分析から在室者特性が体臭に及ぼす影響を明らかにした。ここで検討したのは在室者由来の生体発散物のみであったが、室内には様々な臭気が存在するため、実空間を想定する場合には臭気質による影響の検討が必要である。

また近年、室内環境を制御することで在室者の知的生産性を向上させようとする研究が盛んである。竹村²⁾はオフィスを想定した香り環境での作業に関する検討を行い、個人ごとに影響が異なる可能性を示唆した。そこで本研究では被験者実験を行い、空間内の臭気質ごとに在室者の知的作業に及ぼす影響を把握することを目的とし、同時に個人差についても考察を行った。また、知的生産性の向上具合について測定方法や指標が未だ明確に確立されていないことを踏まえ、定量的かつ信頼性の高い測定方法について検討した。

本報では前報³⁾に引き続き、被験者実験にて在室者に課した知的作業テストの成績結果について報告する。

1. 知的生産性の評価方法

1.1 概要

知的生産活動を構成する情報処理・収束的思考・拡散的思考・リラククス・リフレッシュ・フォーマル/インフォーマルコミュニケーションの7つの behavior⁴⁾のうち、時間割合で過半となる前3者の定量評価を試みた。「収束的思考」タスクとして加算テスト⁵⁾を、「情報処理」タスクとして d2 テスト⁶⁾を、「拡散的思考」タスクとし

てマインドマップテストおよび単語作成テスト⁷⁾を被験者に課した。被験者は着座状態で加算テスト、d2 テスト、マインドマップテスト、単語作成テストの順に実施した。知的作業テストのタイムスケジュールを Fig. 1 に示す。

1.2 知的作業テスト

(1) 加算テスト⁵⁾

加算テストの問題は2桁+2桁の足し算で、A4用紙1枚に45問印刷し、6枚をセットにして配布する。問題の難易度にはムラが生じないように繰上げの有無を調整した。書き損じた場合は訂正線を引かせ、訂正数としてカウントした。回答時間は5分とし、正答率・訂正率で成績を評価した。

(2) d2 テスト⁶⁾

d2 テストとはドライバーの運転適性とスキルを測定するためにドイツで開発され、現在では集中力と反射神

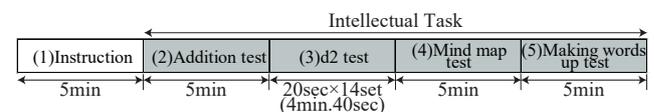


Fig. 1 Time schedule

1	d	d	p	d	d	d	p	p	d	p	d	d	d	d
2	p	d	p	p	d	d	d	d	p	d	p	d	d	p
3	d	d	d	d	p	p	d	p	d	p	p	p	d	p
4	d	d	p	d	d	d	p	p	d	p	d	d	d	d
5	p	d	p	p	d	d	d	d	p	d	p	d	d	p

Fig. 2 A part of d2 test paper

Table 1 The list of themes of mind map test

	①基準条件1 (Standard 1)	②木材臭条件 (Wood odor)	③体臭条件 (Body odor)	④基準条件2 (Standard 2)
お題 Themes	学校 school	人間 human	交通 traffic	仕事 job

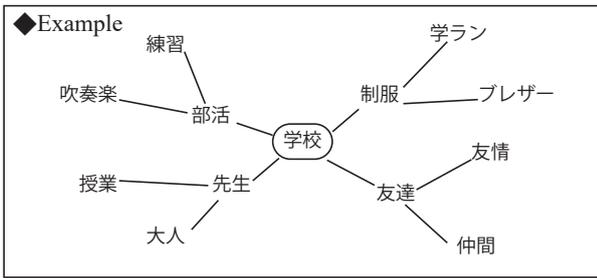


Fig. 3 The example of mind map test

Table 2 The list of letters of making words up test

	①基準条件1 (Standard 1)	②木材臭条件 (Wood odor)	③体臭条件 (Body odor)	④基準条件2 (Standard 2)
お題の文字 The letters	にうそあ つほすな もいきた	わえみあ やすほに んいひそ	たいみう ゆのもち ひあほし	こあのえ ゆまきす といさせ

◆Example

にうそあつほすなもいきた

- 上記の12文字から2文字以上の単語を作成してください。
- 固有名詞・地名・人名などは禁止です。(にほん、ねやがわ、やまだ、近くの心理の名前 など)
- 濁点、半濁点に置して使用するは可能です。(例：はーび、ひーび など)
- 小文字にできるものは、小文字で使用可能です。(例：やーや など)
- 伸ばしたり、同じ文字をつつの単語で使用するは禁止です。(例：のーと、ばな など)
- 評価は作成回数と単語が長いほど点数が高い総合評価です。(得点 (例) : 2文字<4文字)
- 丁寧語の使用は禁止しますが、意味が大きく異なるものは良いとする。(禁止例：おゆ など)

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Fig. 4 The example of making words up test

経を測定する目的でヨーロッパ各地で最も広く用いられている作業テストの一つである⁸⁾。A4用紙1枚にdとpで構成された658文字(47文字×14行)を印刷し、配布する(Fig. 2)。文字には上もしくは下に1から4個の点が付いており、被験者には2つの点がついたdの文字のみをできるだけ多く見つけ、斜線で印をつけるよう伝えた。各行20秒の制限時間が設けられ、達成率(総回答数÷総数)およびミス率((見落とし数+誤答数)÷総回答数)で成績を評価した。

(3) マインドマップテスト

マインドマップテストは紙面の中央にお題が書かれたA4用紙1枚を配布し、そのお題から連想される言葉を棒線をつなぎ、時間内に思いつく限り記述させる方法である(Fig. 3)。回答時間は5分とし、回答数で成績を評価した。与えたお題の一覧をTable 1に示す。

(4) 単語作成テスト⁷⁾

単語作成テストはFig. 4のようなA4用紙1枚を配布し、与えた平仮名12字から2字以上の有意な単語を作成する方法である。本研究では、地島ら⁷⁾の手法に改良を加え、提示した12字を、子音を8字、母音を3字、小文字利用可能字を1字で構成した。被験者には字数が多い方が評点が高いことを伝えて動機付けした。回答時間は5分とし、作成された単語の文字数で成績を評価した。与えたお題の文字の一覧をTable 2に示す。

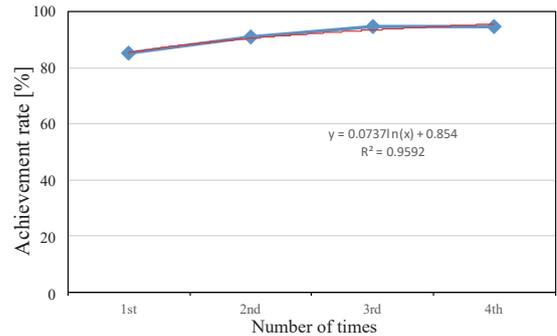


Fig. 5 The passage of achievement rate on d2 test

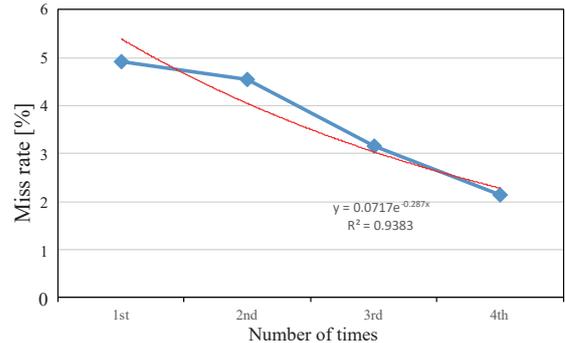


Fig. 6 The passage of miss rate on d2 test

2. 習熟度に関する検討

2.1 概要

前述したようなタスクを行った場合、その成績は回を重ねるごとに上昇することが考えられた。そこで、各テストに対する慣れの影響を考慮に入れるため、本研究では各テストに対する習熟度の検討を行った。

実験は2018年1月26日～2月10日のうち各人4日間実施した。被験者は1.の実験に参加していない21～25歳の大学生10名(男性3名、女性7名)とした。タイムスケジュールと用いたテスト内容は1.の実験と同一とした。作業環境としては大学の教室を利用し、十分な照度が確保できる場所で行った。

2.2 検討結果

今回の被験者10名から算出したd2テストの達成率、ミス率の推移をFig. 5、Fig. 6に青線で示す。これに対し、習熟度合いを近似的に示す曲線(以降習熟曲線)を引くことができる。習熟度は最初急激に上昇した後、横ばい状態になることが予想されるので対数曲線で近似した。これをFig. 5、Fig. 6に赤線で示す。習熟曲線は、達成率に対しては

$$s = s_0 \cdot \log(x) + a$$

の形にすると最も残差が少ないことがわかった。ここでsはその回の達成率、 s_0 、aは係数、xは実施回数(～4)である。今回の被験者から算出したFig. 5の場合、 $s_0 = 0.0737$ 、 $a = 0.854$ であり、 $R^2 = 0.9592$ であった。またミス率に対しては

$$k = k_0 e^{bx}$$

の形にすると最も残差が少ないことがわかった。ここで

kはその回のミス率、 k_0 、 b は係数、 x は実施回数(～4)である。今回の被験者から算出した Fig. 6 の場合、 $k_0=0.0717$ 、 $b=-0.287$ であり、 $R^2=0.9383$ であった。加算テストの正答率・訂正率・総回答数に対しても同様に習熟曲線を算出した。

3. 結果と考察

3.1 収束的思考タスク(加算テスト)

前章の習熟度を基にした習熟度補正^{注)}後の加算テストの正答率と訂正率の結果を Fig. 7 に、総回答数の結果を Fig. 8 に示す。各項目について、習熟度の影響がない「基準条件1」に対する「木材臭条件」、「体臭条件」での有意差を確認するため、正答率および訂正率ではフィッシャーの正確確率検定を、総回答数では平均値の差の検定(t検定)を行った。黒の縦線分は標準偏差を表している。いずれにおいても「基準条件」との有意差は確認できなかった。また傾向を見てみると、正答率において条件間で特に差が見られなかった。これに対し訂正率は「基準条件」で最も高くなり、「木材臭条件」で最も低くなる傾向が見られた。また総回答数を比較すると「体臭条件」では「基準条件」とあまり差がなく、「木材臭条件」で最も回答数が多くなった。これは前報³⁾で「木材臭条件」における快不快度評価が快側に寄っていたことを踏まえると、作業者に快感を与える臭気はその収束的思考の向上に寄与する傾向にあると考えられる。

3.2 情報処理タスク(d2テスト)

前章の習熟度を基にした習熟度補正^{注)}後のd2テストの達成率とミス率の結果を Fig. 9 に示す。3.1と同様にフィッシャーの正確確率検定を行ったが、どちらの項目でも有意差は確認できなかった。この程度の作業水準では空気質が作業結果にあまり影響を及ぼさなかった可能性がある。また傾向を見てみると、達成率は「体臭条件」で比較的低い傾向にあり、ミス率は「体臭条件」で比較的高い傾向が見られた。これは前報³⁾で「体臭条件」における快不快度評価で不快側の評価が見られたことを踏まえると、作業者に不快感を与える臭気はその情報処理タスクに悪影響を及ぼす傾向にあると考えられる。

3.3 拡散的思考タスク(マインドマップテスト、単語作成テスト)

マインドマップテストおよび単語作成テストの結果を Fig. 9、Fig. 10 に示す。黒の縦線分は標準偏差を表している。どの条件においても標準偏差が大きく、個人差が大きい。またどちらのテストにおいても1回目に行った「基準条件」よりも4回目に行った「基準条件」の方が成績が低下している。同条件同テストにおける成績は、その習熟性により成績が上昇することが考えられる。したがってこれは個人によるお題の得意・不得意の影響が大きいことが示唆され、習熟度曲線の適用が非常に困難である。よってこれら2つのテストの成績結果は習熟より

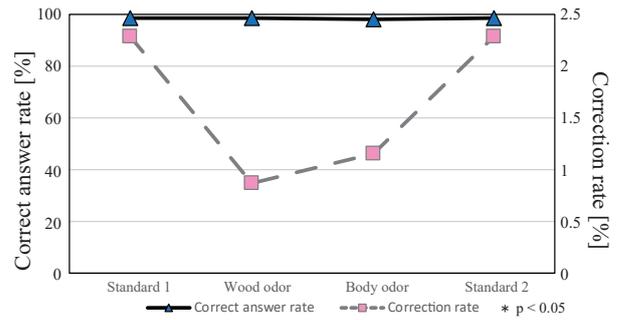


Fig. 7 The performance of adding test

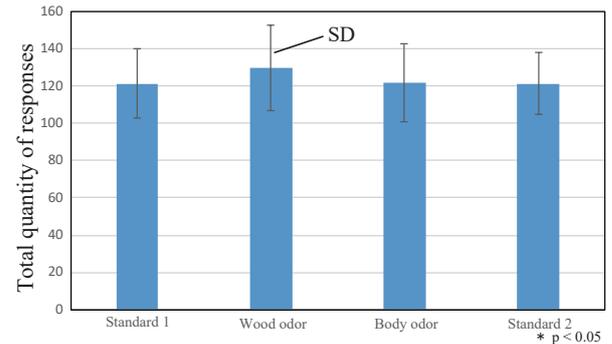


Fig. 8 Total quantity of responses of adding test

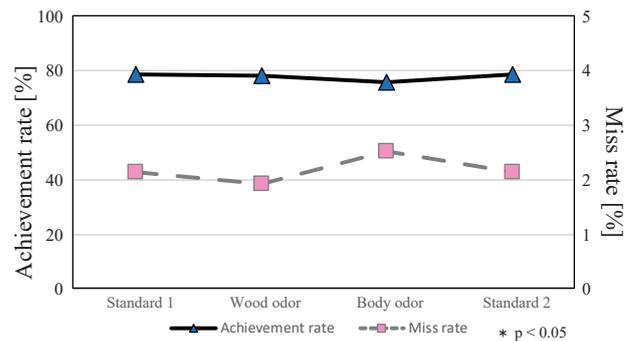


Fig. 9 The performance of d2 test

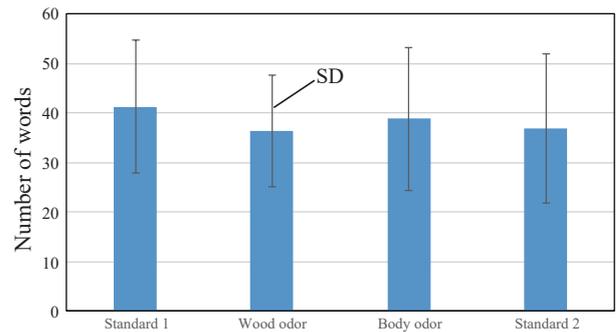


Fig. 10 The performance of mind map test

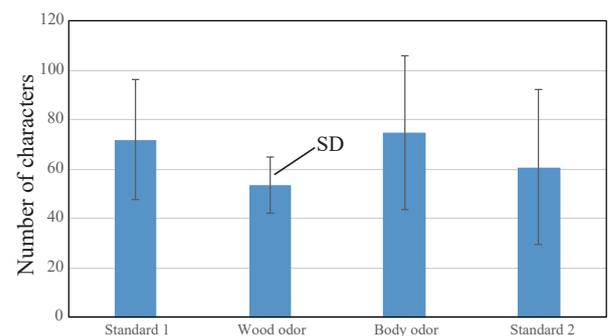


Fig. 11 The performance of making words up test

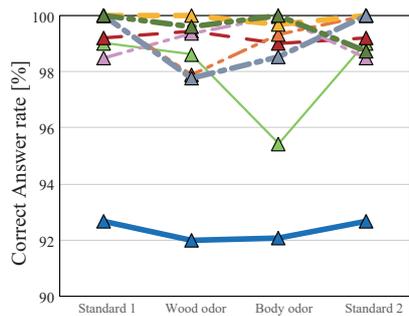


Fig. 12 Individual correct answer rate of adding test

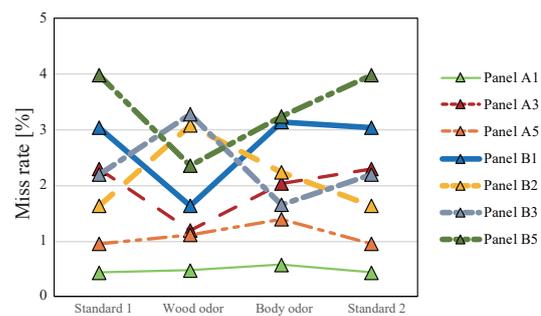


Fig. 13 Individual miss rate of d2 test

も問題に強く依存し、習熟度の影響を避けられない本実験方法には適さないと考えられる。傾向としては「木材臭条件」に比べて「体臭条件」で比較的成绩が上昇し、これは収束的思考および情報処理と異なる傾向である。Yerkes-Dodson の法則によると、テストの成績は覚醒水準及びテストの特性に基づき、比較的軽度な不要素は作業効率の向上に効果的である⁹⁾¹⁰⁾。この事が今回「体臭条件」で成績が上昇した要因の一つであると考えられる。

3.4 被験者ごとに見られる特徴

今回のような被験者実験においては個人間の差が大きいと考え、パフォーマンスの発揮に個性を見出すことを目的にパネル別の成績を比較した。その例として Fig. 12 に加算テストにおける正答率の個人成績を、Fig. 13 に d2 テストにおけるミス率の個人成績を示す。Fig. 12 を見ると、パネル A3, B1, B2 は条件間であまり差が見られないのに対し、パネル A1 は「体臭条件」のみ、他条件より 3.5% 程度低かった。これに対してパネル A5, B3 のように「体臭条件」よりも「木材臭条件」で成績が低下した被験者もいた。同様に Fig. 13 を見ると、パネル A3, B1, B5 のように「木材臭条件」で成績が低下し、「体臭条件」で成績が上昇した被験者もいれば、これとは反対にパネル B2, B3 のように「木材臭条件」で成績が上昇し、「体臭条件」で成績が低下した被験者もいた。Fig. 7-Fig. 11 のように全員の平均をとると差が不明瞭であるが、被験者によっては臭気質により作業効率が変動する可能性もあり、その個性に合わせて選択できる多様な空間を用意することの意義は大きいと考えられる。

【参考文献】

- 1) 池田, 山中, 竹村, 甲谷, 桃井, 相良, 田中, 杉山, 井上, 吉本: 在室者から発生する汚染質の評価手法に関する研究 (その 6) 在室者の体臭制御がにおいの主観評価に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, A-41, 2017.3
- 2) 竹村: 室内の香りが知的作業成績とストレスの関係に及ぼす影響, 平成 28 年室内環境学会学術大会講演要旨集, pp.308-309, 2016
- 3) 大久保, 山中, 竹村, 甲谷, 吉本: 室内臭気質が在室者の主観評価・知的生産性に及ぼす影響 (その 1) 臭気質が在室者の主観評価に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2018.3 (掲載予定)
- 4) 国土交通省: 知的生産性研究委員会報告書, pp.12-17, 2013.3
- 5) 黒木, 山中, 甲谷, 桃井, 樋口, 安藤: 高層オフィスビルにおける分散型ワークスペースの知的生産性・快適性に関する研究 (その 3) 各ワークスペースでの知的生産性, 日本建築学会大会 (近畿) 学術講演梗概集, 2014 (環境工学 1), pp.47-48, 2014.9

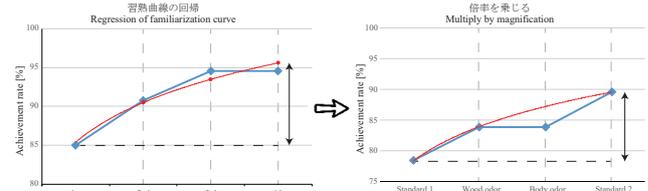
おわりに

本報では、異なる臭気質の暴露条件下で知的作業テストを実施し、臭気質が在室者の知的生産性に及ぼす影響について検討を行った。また知的生産性の測定において、客観的かつ信頼性の高い手法の確立を目的に、本実験で使用した作業テストの妥当性についても検討した。臭気質間で統計的有意差は確認できず、本実験程度の作業水準では空気質が作業結果にあまり影響を及ぼさなかった可能性があり、より高度な作業を与える必要がある。臭気質によっては実施作業の内容が異なると、その影響の表れ方に相対する傾向が見られた。多様な空間を設けることで在室者の選択の幅を広げるだけでなく、知的生産性の向上を促す可能性がある。

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。また、本研究は JSPS 科研費 JP15K14076 の助成を受けたものである。

注)

図の様に 2. の習熟曲線を用いて、2 回目・3 回目の基準条件の結果の値を推定し、その推定値との差異を、各条件の影響度とみなした。



【謝辞】

本研究のテスト作成にあたりまして、資料をご提供いただきました黒木友裕氏 (株式会社竹中工務店) および伊香賀俊治先生 (慶応義塾大学 教授) に深謝いたします。

- 6) Brinckenkamp, R., Zillmer, E.: d2 Test of Attention, Hogrefe & Huber Publishers, 1998
- 7) 地島, 竹村: 木質精油の香りが知的作業成績とストレス・精神疲労の関係に及ぼす影響, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 第 23 巻, 第 2 号, pp.91-95, 2017.3
- 8) 矢藤, 廣瀬, Wallon, P., Mesmin, C., Jobert, M.: d2-R テストを用いた日本人小学生の視覚的注意の測定 - 心理学的臨床検査としての日本への導入を目指して, パーソナリティ研究, 第 23 巻, 第 2 号, pp.91-95, 2014.5
- 9) Duffy, E.: The psychological significance of the concept of arousal or activation, Psychol. Rev., pp. 265-275, 1957
- 10) Zhang, X. Wargocki, P. Lian, Z. Thyregod, C.: Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance, Indoor Air. 2017, Jan;27(1), pp. 47-64, 2017

実験による室内上下温度差が床堆積花粉の再飛散に対する影響分析に関する研究 Investigation on effects of vertical differences of temperature in a chamber on re-entrainment of pollens accumulating on a floor using experiment

○安永悦世 (奈良女子大学)

吉田伸治 (奈良女子大学)

Etsuyo YASUNAGA *¹ Shinji YOSHIDA *¹*¹ Nara Women's University

Recently, increase in number of patients with cedar pollen allergy has become a serious problem in Japan. This study was aimed to assess effects of vertical differences of temperature on re-entrainment of pollens accumulating on a floor using a constant temperature and humidity room. Three vertical profiles of air temperature and two phases of walking speed were used for setting the experimental condition for re-entrainment of pollens. Through investigating results of the experiment, it has been clarified that effects of the walking speed to the re-entrainment of the pollens was larger than those of the vertical difference of air temperature.

1. はじめに

近年アレルギー疾患の増加が問題視されている。アレルゲンを保有したスギ花粉粒子は室内に搬入あるいは侵入し、しばらくの間空中浮遊した後落下して床に堆積する。堆積した粒子は直接あるいは再飛散後、呼吸に伴い吸入されることによりアレルゲン物質としての作用を引き起こす。これらの課題に対して、大橋ら^{1, 2)}は床面に堆積した粒子の歩行に伴う再飛散のメカニズムを把握するための基礎実験を行い、床面被覆の違いが粒子の飛散に及ぶ影響を検討している。しかし、この実験は温湿度を制御しない断熱性の低いチャンバーで行われていた。一般に空間の温度場は浮力の発生に作用すると考えられ、こ

れが粒子の再飛散にも影響すると予想されるが、これに関する定量的な知見は不十分である。本研究は人工気候室内に敷設したホットカーペットからの発熱に伴い生じる床表面と室内空気との温度差が床堆積花粉の再飛散に与える影響を分析することを目的とする。

2. 実験概要

実験は2017年11月、12月に奈良女子大学E棟2階温熱実験室(W407×D302×H230(cm))にて行われた。実験ケースをTable1に示す。床面の加熱にはホットカーペット(株式会社山善, YZC-300FL, 1950×2350 mm)を使用し、温度調節機能を用いて空気温度との温度差を調節した。実験では模擬花粉粒子として石松子(APPIE 標準粉体、

Table1 Experimental conditions

case	Level of temperature control	Number of walking steps/min
1	OFF	90
2	3 (hot)	90
3	5 (very hot)	90
4	OFF	120

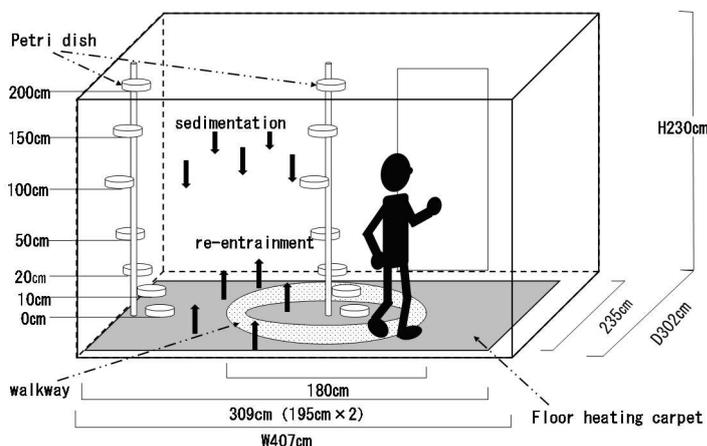
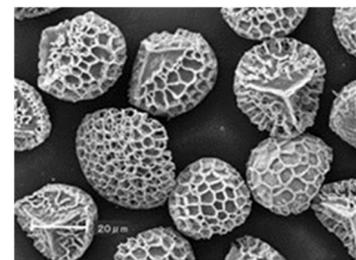
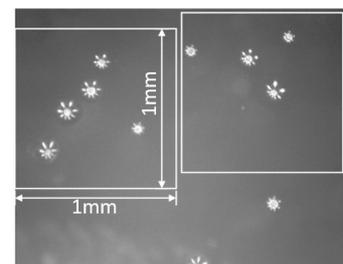


Fig.1 Simplified diagram of the experiment



(1) Reprinted from web site of APPIE



(2) Photograph with a Digital microscope

Fig.2 Microphotograph of lycopodium

平均粒径 35 μm) を使用した。床堆積花粉は歩行により再飛散することを想定し、1回の実験で1名が歩行した。歩行者の差異の影響を確認するため、2名の歩行による実験を行った。また、再現性の確認のため、case1~3は2回ずつ、case4は1回の実験を行った。測定項目は温度と落下粒子数で、室中央・壁際それぞれの床上0 cm, 10 cm, 20 cm, 50 cm, 100 cm, 150 cm, 200 cmの14点と、温度については床表面2点も測定した。粒子の捕集方法は落下法で、ワセリンを塗布したスライドガラスをシャーレに載せ、このシャーレを実験室中央、壁際に7段階の高さに設置した。なお、捕集面上を別の捕集面が遮蔽することの無い様に配慮した。

2.1 実験手順

Fig.1に実験の簡略図を示す。実験室を23°C、50%RHに制御した後空調を停止し、カーペットからの加熱を開始した。加熱開始から1時間後、ドーナツ状の歩行路(1周約5.6m)上に石松子を8g散布し、歩行者はその上をスリッパ着用にて10分間歩行した。歩行終了30分後にシャーレを回収し、デジタル顕微鏡でスライドガラスを撮影した。スライドガラス1枚当たり約30枚の顕微鏡写真に対して目視による計数を行い、1 cm^2 当たりの粒子数を推定した。fig.2は実際の顕微鏡写真である。

3. 実験結果

(1) 室内空気温度の鉛直分布

Fig.3に歩行者A, Bについて室中央の歩行開始時とサンプル回収時の温度分布を示す。サンプル回収時の室中央温度分布に着目すると、case1では、特に歩行者Bの結果において床面に近い位置で温度が低く、高さの上昇に伴い空気温度も昇温する傾向が見られる。床面温度と200 cmでの温度差は、歩行者A, Bともに約1.5°C(2回の実験の平均)となった。床面を加熱する条件であるcase2, 3は床面から20 cmの範囲では高さの上昇に伴い温度が降温し、逆に20 cmより上方では高さの上昇に伴い昇温する傾向がみられる。程度に差はあるものの、高温な床面から離れるに従い空気温度が低下する温度境界層が形成されていると考えられる。床面温度と200 cmでの温度との差についてcase2では、歩行者A, Bで各々約4°C, 約3.5°C、同様にcase3では歩行者A, Bともに約9°Cとなった。歩行テンポを上げるcase4は、温度条件はcase1と同じであり、上下温度差は歩行者A, Bともに約1°Cとなった。

(2) 落下粒子の鉛直分布

Fig.4に歩行者A, Bそれぞれの室中央・壁際での落下粒子の鉛直分布を示す。室中央・壁際ともにどの高さでもcase4の落下粒子数が多い結果となった。また、例としてcase4に着目すると、歩行者A, Bともに室中央では落下粒子数の一番多い値が約1000個/ cm^2 であるのに対し、壁際では1100個/ cm^2 以上の値を示し、壁際での落下粒子が室中央より多いことが分かる。

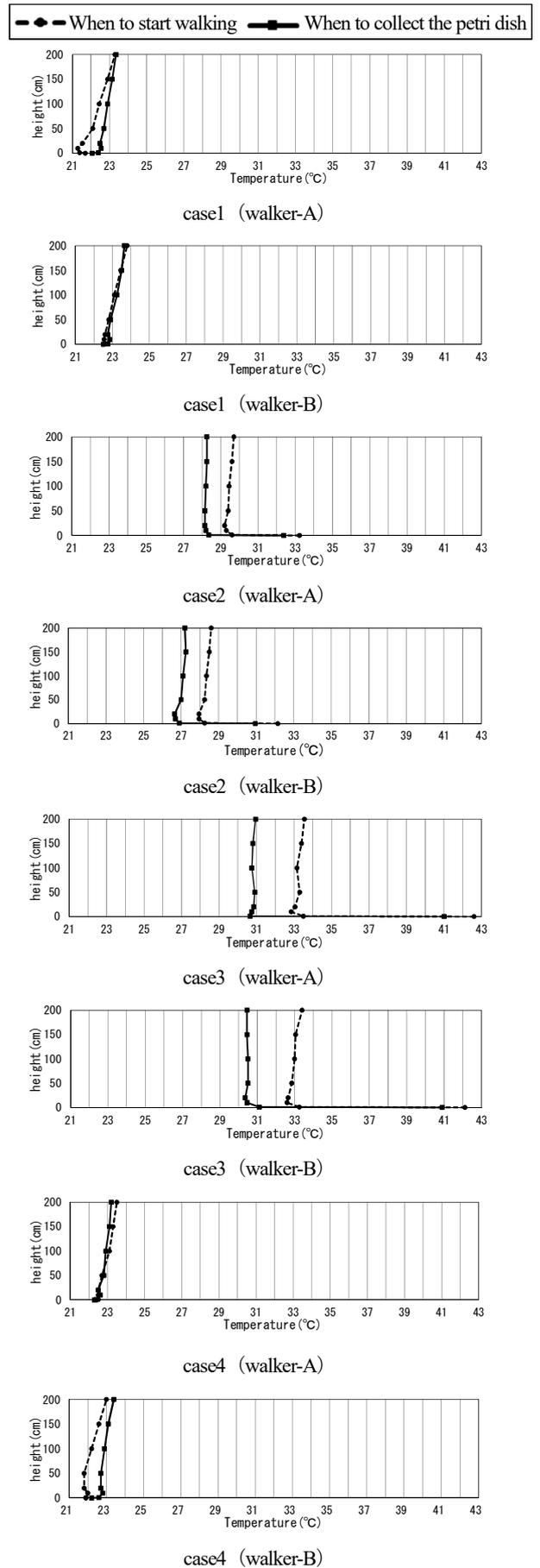


Fig.3 Vertical differences of temperature at the center of the chamber

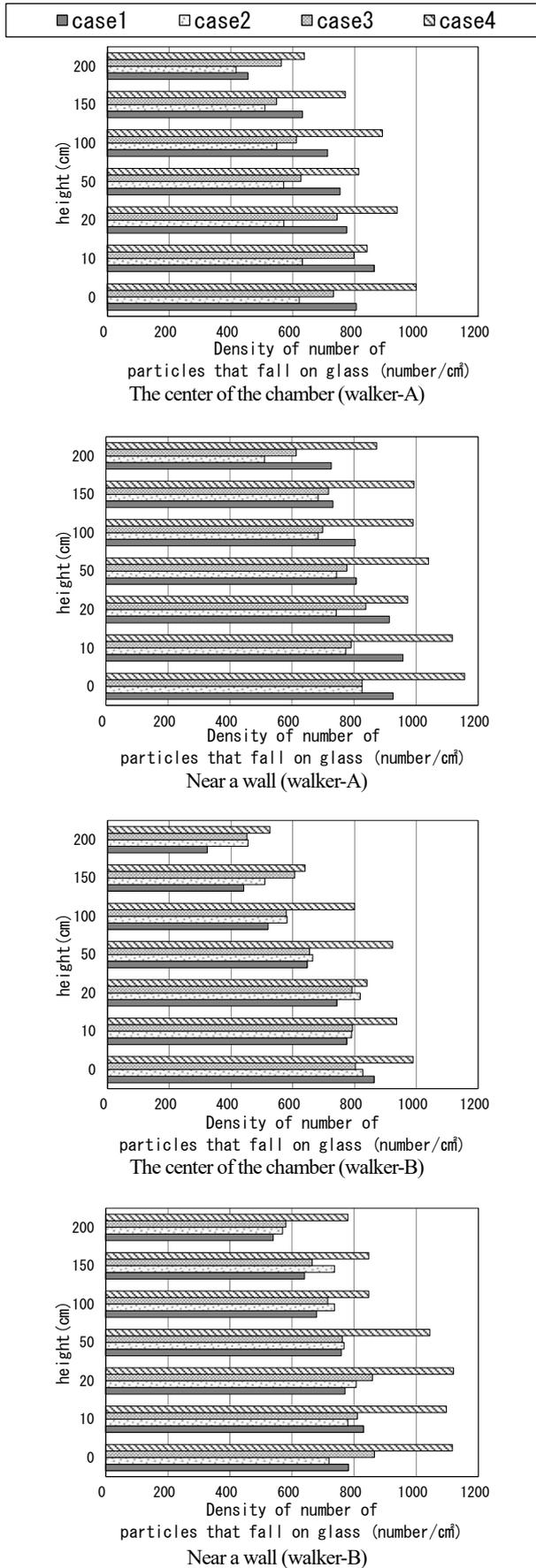


Fig.4 Vertical distributions of density of number of particles that fall on glass

(3) 室内上下温度差・歩行テンポと再飛散指数 PI の関係
 本稿では、落下粒子の再飛散量の評価指標として筆者らが考えた再飛散指数 PI (particle index) を用いて、Fig.4 の結果をさらに分析する。PI は、高さ 0~200 cm の間の落下粒子数の積算値を高さ方向に平均した値であり、式(1) の様な定義となる。

$$PI = \frac{\int_0^H p(z) dz}{H} \tag{1}$$

PI : 再飛散指数 [(個/cm²)・cm/cm]

p(z) : 高さ z cm での落下粒子数 [個/cm²]

H : 捕集シャーレの最高の高さ [cm] (= 200)

この定義より、PI が大きいことは、床から離れ再飛散した粒子が多いと判断される。

a. 室内上下温度差と PI

サンプル回収時の床面温度と室中央 200 cm の空気温度を代表温度とし、温度差を算出した。歩行者ごとに、室中央・壁際各々の実験 1 回目、2 回目の結果の平均を Fig.5 に示す。歩行者 A の結果では、壁際は温度差 -2℃ (case1) で PI が約 800、温度差 4℃ (case2) で PI が約 690、温度差 9℃ (case3) で PI が約 730 である。室中央では case1~3 の PI が各々約 680、約 540、約 620 の値を示し、室中央・壁際ともに中間の温度差に相当する case2 の値が小さい。この傾向は、室中央の方が顕著に見られる。

一方、歩行者 B については、室中央・壁際ともに case1 に対して case2, 3 が少し PI の値が大きい結果となった。具体的には、室中央の case1~3 の PI が各々約 540、約 600、約 620 を示し、壁際でも各々、約 690、約 730、約 720 を示した。しかし、その増加の大きさは、case3 の値は case1 の約 1.05~1.14 倍程度と僅かの増加に留まることがわかる。

以上をまとめると、床面と空気温度差の増加が再飛散に与える影響は小さい結果となった。

b. 歩行テンポと PI

歩行者毎の室中央・壁際における歩行テンポと PI の関係を Fig.6 に示す。歩行テンポは case1 で 90 歩/min と case4 で 120 歩/min を設定した。歩幅の違いから、90 歩/min の時歩行者 A で 3183m/hour、歩行者 B で 2880m/hour、120 歩/min の時歩行者 A で 4244m/hour、歩行者 B で 3840m/hour であった。まず、歩行者 A の結果に着目する。壁際においては、case1 (90 歩/min) の PI が約 800、case4 (120 歩/min) のそれが約 1000 の値を、同様に室中央では case1 で約 680、case4 で約 800 を示した。歩行者 B についても、壁際の各々のケースの値は、約 690、約 920、室中央では各々約 540、約 760 の PI の値を示した。この歩行テンポの増加に伴い、case4 の PI は case1 のその約 1.18~1.41 倍程度の値を示しており、歩行者 A・B ともに歩行テンポの増加が、PI を大幅に増加させる結果となった。

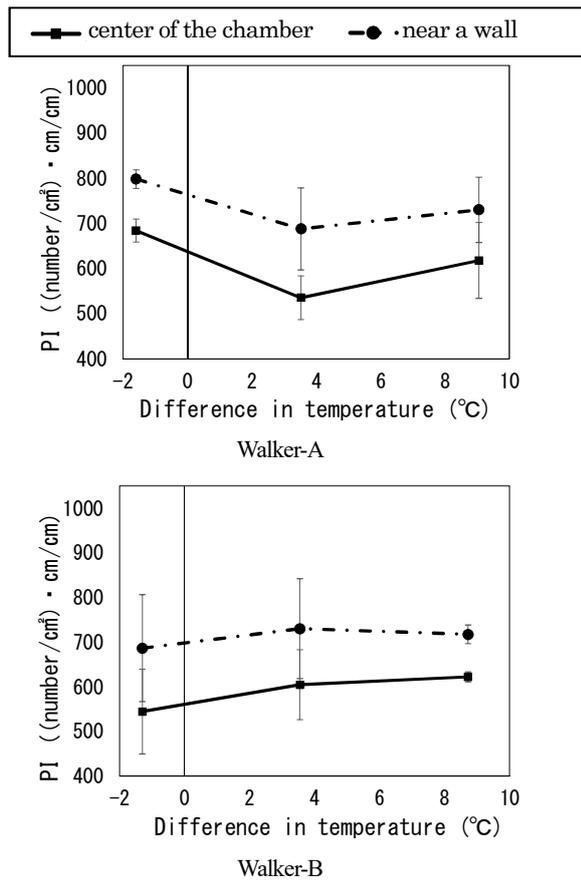


Fig.5 Relationship between PI and the difference in temperature

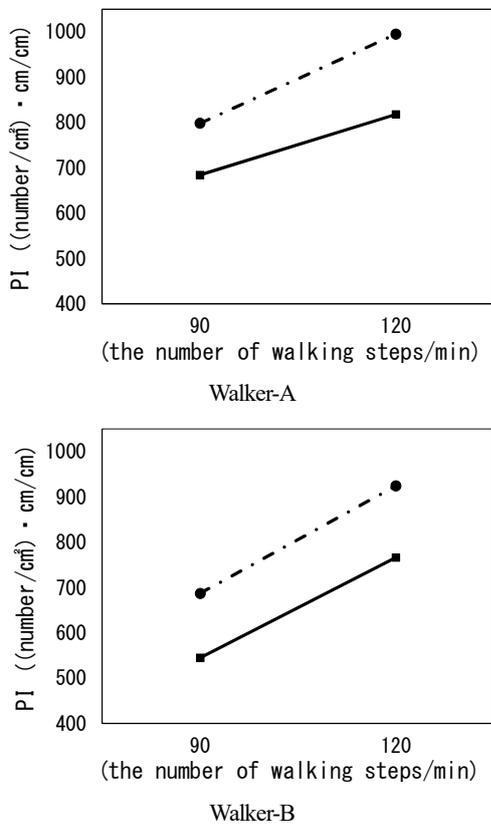


Fig.6. Relationship between PI and the number of walking steps per minute

c. 結果の考察

本節 a, b の分析より、床面と空気に温度差を大きくするよりも歩行強度を大きくする方が、再飛散量が増えることがわかった。本節の最後に上述の様な結果となった原因を考察する。

粒子の移動には、粒子自身の重力と浮力の関係で決定づけられる沈降速度と床面の加熱により生じる上昇流による移流の影響の双方が作用すると考えられる。前者について、終末沈降速度は式(2)で示される³⁾。

$$V_{rs} = \frac{(\rho_p - \rho_g)d^2g}{18\eta} \tag{2}$$

ただし、gは重力加速度、 ρ_p は粒子密度、 ρ_g は気体の密度、 η は粘性係数であり、 $d > 1 \mu m$ で $Re < 1.0$ とする。気体の密度 ρ_g は、浮力の影響を考慮するために入れてあるが、一般に粒子密度(本稿では、石松子 $1.05g/cm^3$)の方が気体密度(本稿では、空気 $0.001293g/cm^3$)よりも遥かに大きいので、床面加熱に伴う空気温度の昇温による ρ_g の減少の影響は非常に小さいと考えられる。本研究では、後者の影響により上方への粒子の輸送に変化が生じると期待したが、特に被験者 A の実験結果に配慮するとこの影響はそれほど大きくなかったものと推察される。

4. まとめ

実験結果から、以下にまとめを述べる。

1. デジタル顕微鏡を用いて計数した結果、推定された落下粒子数は、室中央に比べて壁際の方が多し傾向が見られた。
2. 床面と空気の温度差により生じた浮力が作用して起こる上昇気流が、床堆積粒子の再飛散に与える影響は今回の実験では見られなかった。
3. 床面と空気の温度差を大きくすることよりも、歩行強度を大きくすることの方が再飛散量を増やすのに大きな影響を与えることが明らかとなった。

本研究で床面と室内空気の温度差が再飛散に与える影響を見る事ができなかった原因について、実験を行う際の床面加熱のタイミングや歩行のタイミング、発塵の方法、粒子の捕集方法、または各ケースの件数、サンプル数など、今後も検討する余地が多くあると考えられる。また、実験で起こった現象を把握するために CFD 解析を行うことも挙げられる。

参考文献

- 1) 大橋えり：スギ花粉による室内環境汚染の防止に関する基礎研究-室内存在量把握と建築的防止策-, 福井大学学位論文, 2010
- 2) 竹内健一郎：歩行による床面に堆積する粉体粒子の再飛散に関する研究, 福井大学卒業論文, 2005
- 3) ウィリアム・C・ハインズ、早川一也 監訳：エアロゾルテクノロジー, 1985

風洞実験による2次元ストリート・キャニオン内の
気流と温度の空間分布に関する研究

Wind tunnel experiment 2 dimensional Street Canyon Study on spatial distribution of airflow and temperature

○福井 彩奈 (摂南大学) 家門 隆太 (摂南大学)

森山 正和 (摂南大学) 河野 仁 (兵庫県立大学名誉教授)

Ayana FUKUI*¹ Ryuta KAMON*¹ Masakazu MORIYAMA*¹ Hitoshi KOUNO*²

*¹ Setsunan University *² Professor emeritus at University of Hyogo

One of the environmental problems is the heat island phenomenon. The heat island phenomenon is a phenomenon in which the temperature in the city becomes higher than the surroundings. In this research, we aim to know the characteristics of temperature distribution in the street canyon by the influence of heat from waste heat of automobile by wind tunnel experiment. Also, by increasing the width of the road and raising the building height, how the wind flows changes, it is also aimed to know how the heat stagnates.

1. 研究背景及び目的

環境問題の一つとしてヒートアイランド現象が挙げられる。ヒートアイランド現象は、都市の気温が周囲よりも高くなる現象のことである¹⁾。都市における日射熱や自動車の排熱などにより建物の影響で風が弱まり、熱が滞留する空間「陽だまり効果」と同じ様な現象がよくみられる。本研究では、風洞実験によりストリート・キャニオン内における、自動車の排熱からの熱の影響による温度分布の特徴を知ることを目的とする。また、道路幅を広くし建物高さを高くすることで風の流れ方はどう変わり、熱がどのように停滞するのかを知ることも目的とする。

2. 実験方法

都市の風は乱流を想定し、角材4本を建物の模型として用い、面発熱体は自動車の排熱を想定して実験を行う。模型(角材 60mm×60mm×300mm)を風洞内に設置し、面発熱体を2枚並べスチレンボードに貼り、発熱がある場合とない場合の条件で測定を行う。

2.1 風洞実験装置の概要

実験装置の測定部の長さ、高さ、幅は3m、30cm、30cmである。風の流れはハニカム側からモーター部に向かって流れており、ダイヤルで風速を調節することができる。模型の上流に粗度ブロックとブレードを配置し、都市の乱流を再現した²⁾。

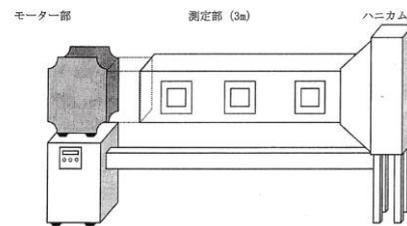


Fig.1 Wind tunnel experiment device detailed view

2.2 実験条件

建物の影響を受けていない上空の温度を reference (下面から24 cmの位置)として、発熱体が置いてある建物と建物の間の空間の中で、X軸方向とZ軸方向に測定位置を(X軸方向3点)×(Z軸方向4点)として合計12点測る。また、建物模型の高さ(H)を2倍にしたもの(X軸方向3点×Z軸方向8点、Fig. 3)と、建物と建物の間(W)を2倍にしたもの(X軸方向5点×Z軸方向4点、Fig. 4)測定する。この3パターンを基本形として温度と風速を測定する。

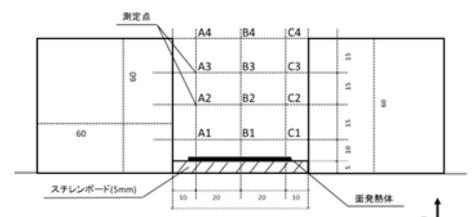


Fig.2 Measurement point H/W=1.0

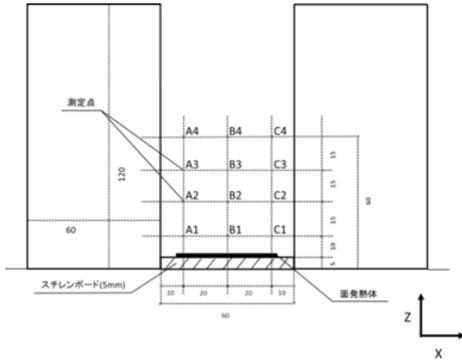


Fig.3 Measurement point H/W=0.5

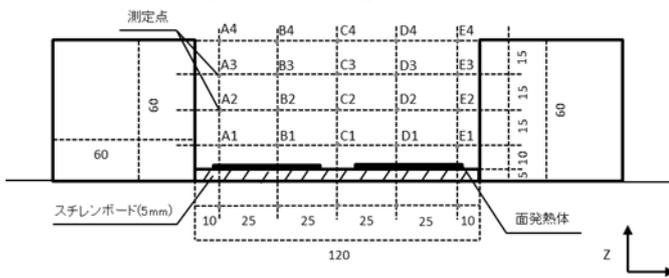


Fig.4 Measurement point H/W=2.0

2.2 測定機器・面発熱体

クリモマスター (KANOMAX MODEL6543-21) は、風速・風温・湿度を同時測定でき、さらに不快指数・風量や露点の演算が可能である。今回、クリモマスターで測定するのは風速である。記録は各点 1 秒間 120 回。風速は 3.0m/s とした。

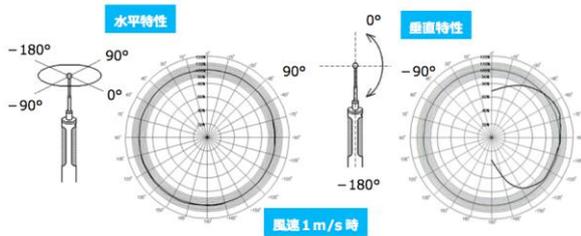


Fig.5 Directional characteristics of probe³⁾

空気温度を測るための熱電対とデータロガーは、異なる材料の 2 本の金属線を接続して 1 つの回路 (熱電対) をつくり、ふたつの接点に温度差を与えると、回路に電圧が発生するという現象がおきる。よって、その電位差を温度として表してくれるデータロガー (mini LOGGER GL820) を使用した。

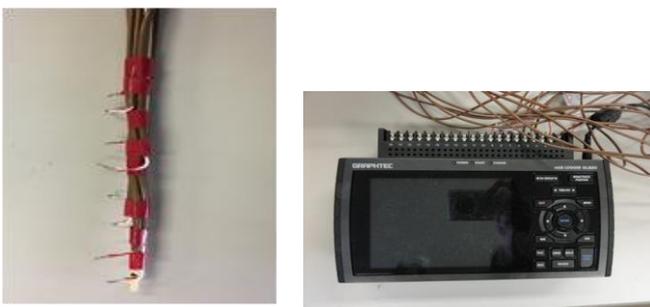


Fig.6 Left: Thermocouple Right: Date logger

スチレンボードは断熱材 (面発熱体を貼る道路) として使用した。また、面発熱体の大きさは 70mm×45mm である。1 枚につき 9V500mA (直列回路) で発熱させている。

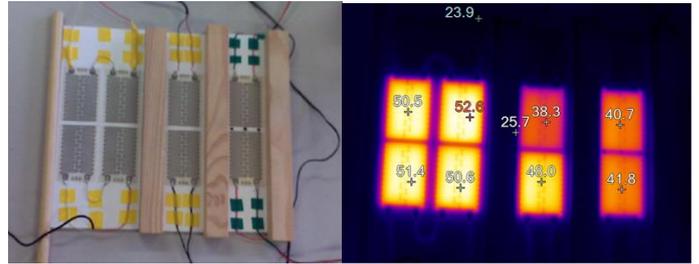


Fig.7 Left: Surface heating element Right: Surface temperature of planar heating element taken by radiation camera

3. 実験結果及び考察

風洞で実験を行い、H/W=1.0、0.5、2.0 で 12 点、24 点、24 点の発熱あり、発熱なしの各点の風速と温度をグラフ化し、reference との風速比と温度差をコンターに示して考察した。また、H/W=0.5 の風速を測定する場合、クリモマスターの長さが足りないため半分の高さ (下から 6.0cm) で測定した。以下の図は、各パターンの風の動きの予想 Fig である。

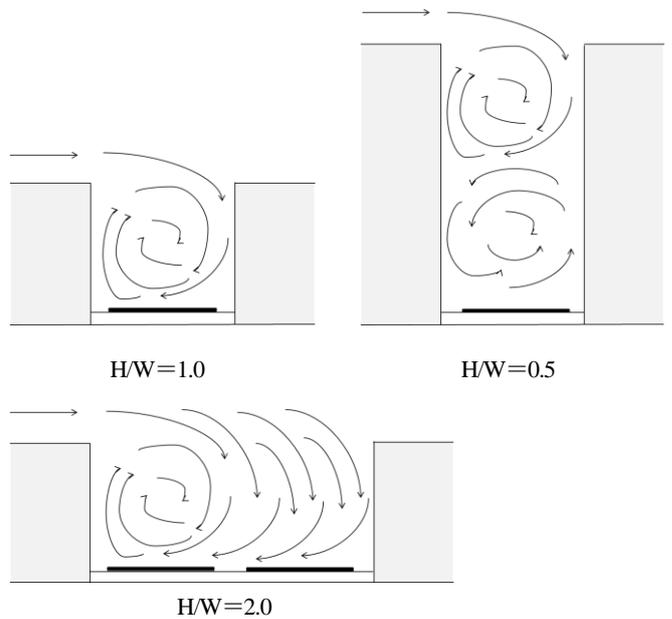


Fig.8 Wind movement⁴⁾

3.1 H/W=1.0 の場合

H/W=1.0 の場合、Fig. 8 に示すように中心に風が時計回りに流れていることが予想した。風速比においては発熱ありなしともに右側が強く、右側から左側に連れて風速が弱くなり、B2 が一番弱くなっていた。さらに、温度差のコンターにおいては A1 が最も高く、その要因として面発熱体で暖められた空気が風上から風下へと流されて A1 に熱が滞留したと考えた。

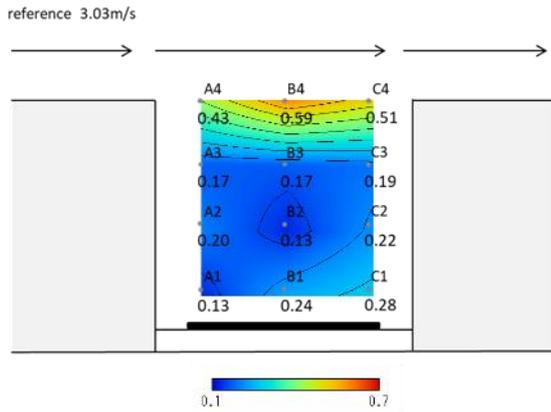


Fig.9 H/W=1.0 Contour of the wind velocity ratio between the wind velocity at each point and the reference when there is heat generation (measured value / reference)

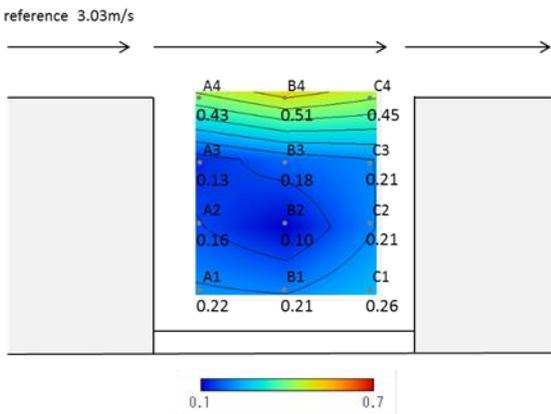


Fig.10 H/W=1.0 Contour of wind velocity, reference and wind velocity ratio at each point when there is no heat generation (measured value / reference)

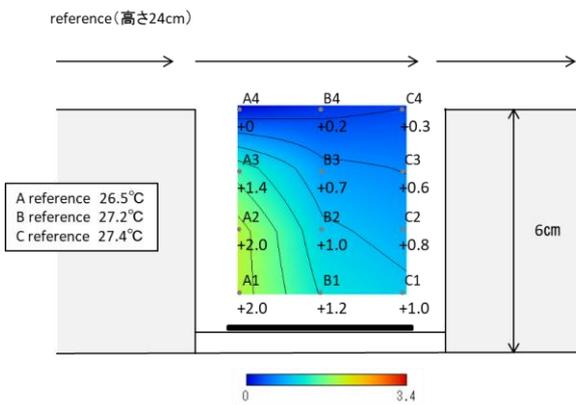


Fig.11 H/W=1.0 Contour of temperature difference when there is heat (measured value - reference)

3.2 H/W=0.5 の場合

H/W=0.5 の場合には、Fig. 8 に示すように、風の動きは上部に時計回りの渦ができ、下部には反時計回りの渦ができると予想した。風速比については、上から下に連れて風速比が小さくなっており、一番下が最も小さかった。しかし温度差においては、予想していた場所と反対の位

置が高くなっていた。実験結果からは風上が高いため、不安定な風が流れていたと考える。このことから、既存のデータとは異なる1つの時計回りの大きな渦ができていることも唆されるが、今回の実験において風速比のデータが十分に得られていないため今回の実験の結果を1つのデータとして提示することは難しいと考える。

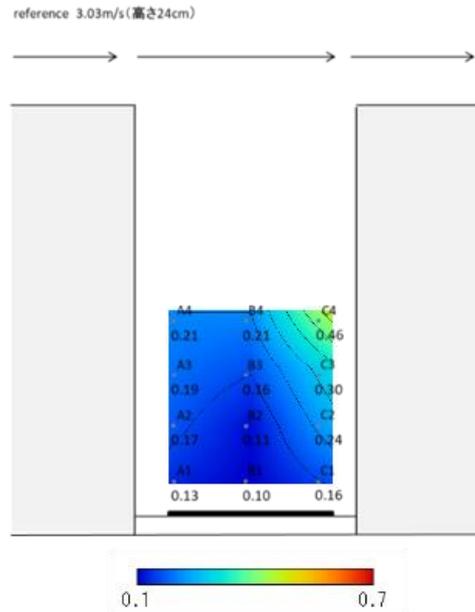


Fig.12 H/W=0.5 Contour of the wind velocity ratio between the wind velocity at each point and the reference when there is heat generation (measured value / reference)

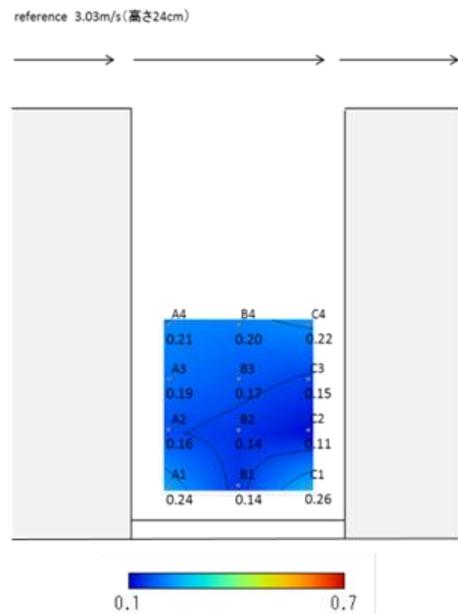


Fig.13 H/W=0.5 Contour of wind velocity, reference and wind velocity ratio at each point when there is no heat generation (measured value / reference)

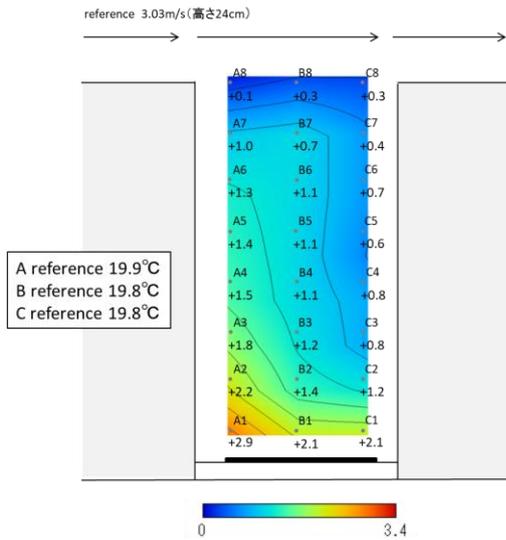


Fig.14 H/W=0.5 Contour of temperature difference when there is heat (measured value - reference)

3.3 H/W=2.0 の場合

H/W=2.0 の場合、Fig. 8 に示すように、風上からの風の流れたと風下に渦ができると予想した。また風速比においては、ストリート・キャニオン内全体において1つの渦ができているのではなく、右側の風速が強く左側につれて弱くなっており、道路幅が2倍になったとしても風は時計回りに流れていた。温度差においては、右側から運ばれた暖かい空気が左側に流れてA1に滞留していた。風速比と温度差の結果から、左側にH/W=1.0と同様な渦が発生しているのではないかと考えた。また、発熱がない場合については、発熱がある場合と同様に、右側の風速が強く左側につれて弱くなっていったことから、既存のデータのような風の動きをしていると考える。

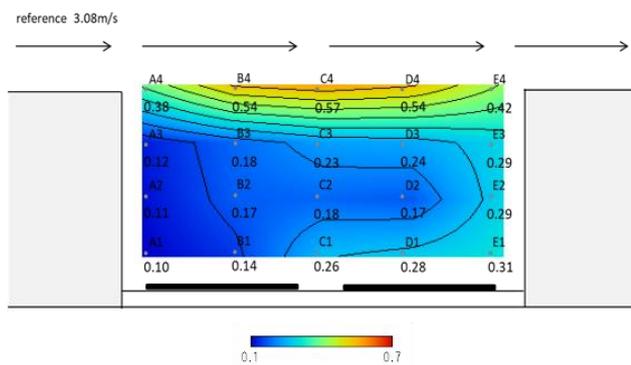


Fig.15 H/W=2.0 Contour of the wind velocity ratio between the wind velocity at each point and the reference when there is heat generation (measured value / reference)

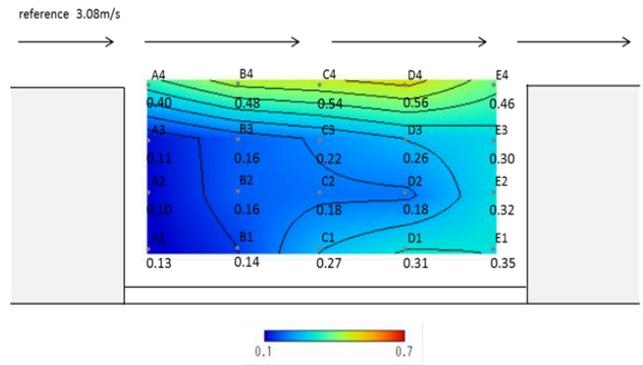


Fig.16 H/W=2.0 Contour of wind velocity, reference and wind velocity ratio at each point when there is no heat generation (measured value / reference)

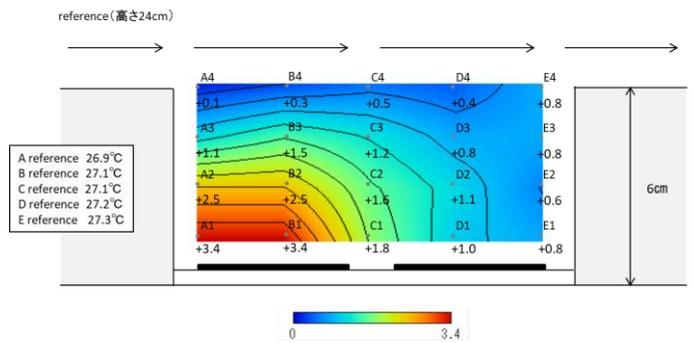


Fig.17 H/W=2.0 Contour of temperature difference when there is heat (measured value - reference)

4. 結論

以上の結果から、異なるアスペクト比の風の動きと温度分布の特徴を知ることができ、温度分布の特徴として熱が風に運ばれて滞留する場所がヒートアイランドの原因であると考えた。それにより、温度上昇する場所の風の通り道を作ること都市部の温度上昇が抑制されると考え、ヒートアイランド現象の対策につながると考えている。また実験を行った中で、自動車の排熱だけが温度上昇に関係するのではなく、日射などからの影響もあると考えた。

参考文献

- 1) 気象庁：ヒートアイランド現象
http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr_faq/01/qa.html
- 2) stream and vortexes in the urban canopy layer and transport of motor vehicle exhaust gas, H.Kono and K.Kusunoki, International Journal of Environment and Pollution, Vol.25, NO1/2/3/4, 177-190, 2005
- 3) クリモマスター (KANOMAX MODEL6543-21)
http://www.kanomax.co.jp/product/index_0003.html
- 4) T.R. Oke, G Mills, A Christen and J. A.Voogt, URBAN CLIMATES, Cambridge University Press, 2017, pp.88-89.

建物高さのばらつきが都市の風通し環境に及ぼす影響に関する研究

The influence of building height variation on the ventilation environment of the city

○武内 勇貴 (神戸大学)

竹林 英樹 (神戸大学)

Yuki TAKEUCHI *¹ Hideki TAKEBAYASHI *¹*¹ Kobe University

In this study, the relation between urban block characteristics and wind environment in street canyon is analyzed in Berlin with low building density and low building height variation. In the urban block with higher building height in Berlin, wind is hard to flow into the street canyon. Therefore, in the urban block with larger building height variation, wind velocity ratio is not so high even in the parallel road to upper wind direction. The improvement possibility of the urban ventilation is confirmed by introducing wind from parallel road to perpendicular road in the urban block with low building height variation.

1. はじめに

ヒートアイランド対策の一つとして、風を市街地内に誘導することが検討されている。具体的な対策の実践には、街区特性、街路形態と街路空間の風環境の分析が必要であり、様々な都市で検討されてきた。

義江ら¹⁾は、グロス建蔽率、道路幅、建物高さなどとともに、建物高さのばらつきが風環境に影響を及ぼすことを明らかにした。増田ら²⁾は、中密度で建物高さのばらつきの大きい大阪の街区を対象に、道路幅などの街路形態、グロス建蔽率などの街区特性が街路空間の風通し環境に及ぼす影響を分析した。

本研究では、低密度で建物高さのばらつきの小さいベルリンの街区を対象に、街区特性、街路形態と街路空間の風通しの関係を分析し、大阪での検討結果と比較した。特に、建物高さのばらつきが街路空間の風通し環境に及ぼす影響を分析した。

2. 大阪とベルリンの街区特性

大阪とベルリンの中心市街地の建築物の概要を Table 1 に示す。ベルリンは、主に建物高さが 30m 以下の建物で構成されており、比較的低密度であり、建物高さのばらつきが小さい。

3. 風環境の分析

街区特性、街路形態と街路空間の風通しの関係を分析するために、CFD による数値計算を行った。

3.1 計算領域と格子間隔

計算対象領域は、ベルリンの特徴的なグロス建蔽率 25%~30% の 14 街区を選定した。Fig. 1 に計算対象地域、Fig. 2 にグロス建蔽率の頻度分布を大阪と比較して示す。建物高さには、google earth より得た 3 次元モデルデー

タを用いた。Fig. 3 に計算領域の平面図を示す。Area1 が計算対象領域、Area2 が解析対象領域である。解析領域内の流れが計算領域の設定の影響を受けないように、解析領域よりも広い計算領域を設定した。水平方向の格子間隔は、解析対象領域内は 1m、解析対象領域外で徐々に広がる不等間隔とし、鉛直方向は最高建物高さまでを 1m、それ以上は徐々に広がる不等間隔とした。

3.2 計算方法

$k-\epsilon$ 型 2 方程式乱流モデルを用いた。流入境界は観測値を参照して基準高さ 10m の風速を 4.3m/s として 1/4 べき乗則で与えた。主風向は西である。流出境界は自由流入流出条件、上空境界・側面境界は free-slip 条件、地面・壁面境界は一般化対数則条件とした。

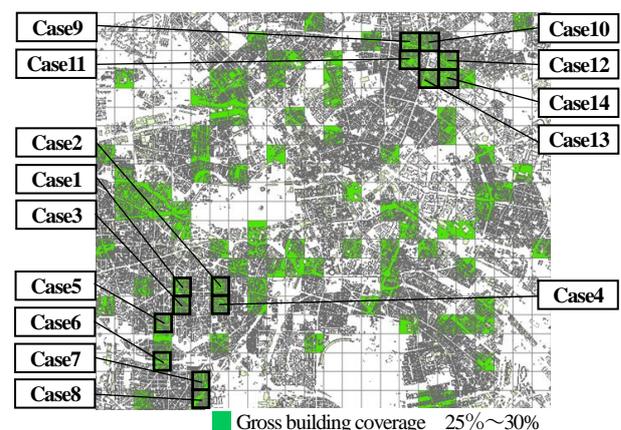


Fig.1 Objective site in Berlin

Table.1 Outline of urban block characteristics in Berlin and Osaka

	Berlin	Osaka
Mean building height	19.18m	14.43m
Most frequent gross building ratio	25-30%	35-40%
Building height variation	0.06m	0.25m

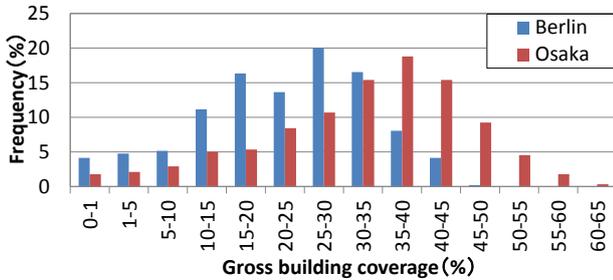


Fig.2 Frequency of gross building coverage ratio in 500m x 500m

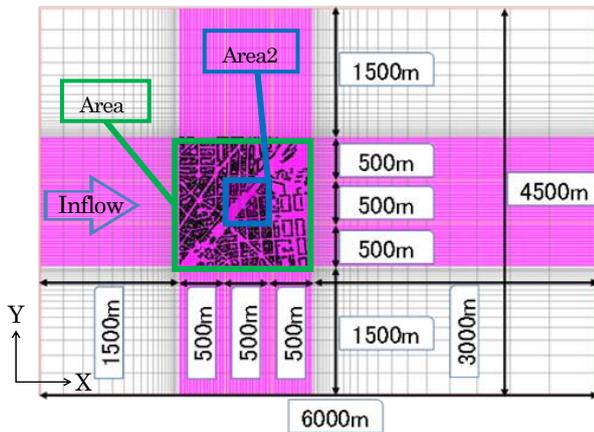


Fig.3 Example of calculation area

3.3 計算方法

3.3.1 解析方法

建物、道路データと計算結果を重ね合わせ、道路ごとに風環境を考察した。道路の分類は、上空の主風向との角度に応じて、平行道路、22.5°道路、45度道路、67.5度道路、直交道路とした。解析には高さ2mの計算結果を上空風速で除した風速比を用いた。上空風速は、流入風として設定した基準高さ43m(大阪の研究と同じ)における風速6.4m/sである。

3.3.2 道路幅、周辺建物高さの影響

道路方向ごとの道路幅、周辺建物高さで平均風速比の重回帰分析の結果をTable.2に示す。平行道路では、重決定係数が他の道路方向より大きく、偏回帰係数より、道路幅が大きくなると、周辺建物高さが低くなると、風速比は増加する傾向が確認された。ただし、大阪市では周辺建物高さの増加と共に風速比が増加する傾向にあった。45°道路でも、重決定係数が他の道路方向より若干

大きく、道路幅が大きくなると風速比は増加する傾向が確認された。その他の道路方向では、道路幅や周辺建物高さにより風速比を説明することは困難であった。平行道路における道路幅、周辺建物高さで風速比の関係を、大阪の結果と比較してFig.4とFig.5に示す。

Table.2 Multiple regression analysis result between street width, building height and wind velocity ratio in each classified street

	Number of roads	Determination coefficient R ²	Partial coefficient of street width	Partial coefficient of building height
Parallel street	79	0.370	0.008	-0.007
22.5 degrees inclined street	40	0.002	0.002	-0.001
45 degrees inclined street	49	0.244	0.006	-0.001
67.5 degrees inclined street	39	0.109	0.003	-0.009
Perpendicular street	87	0.018	-0.002	-0.001

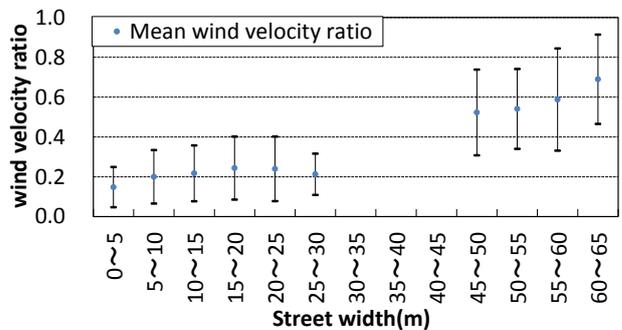
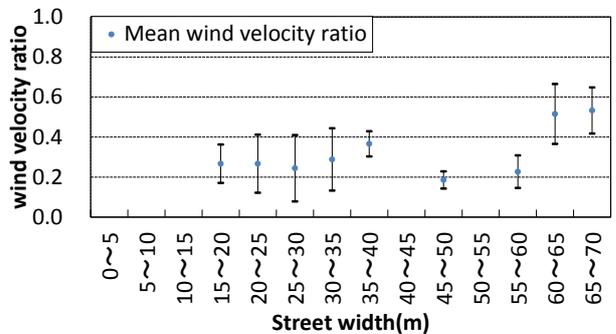


Fig.4 Relationship between street width and wind velocity ratio on the street parallel to upper wind (above: Berlin, below: Osaka)

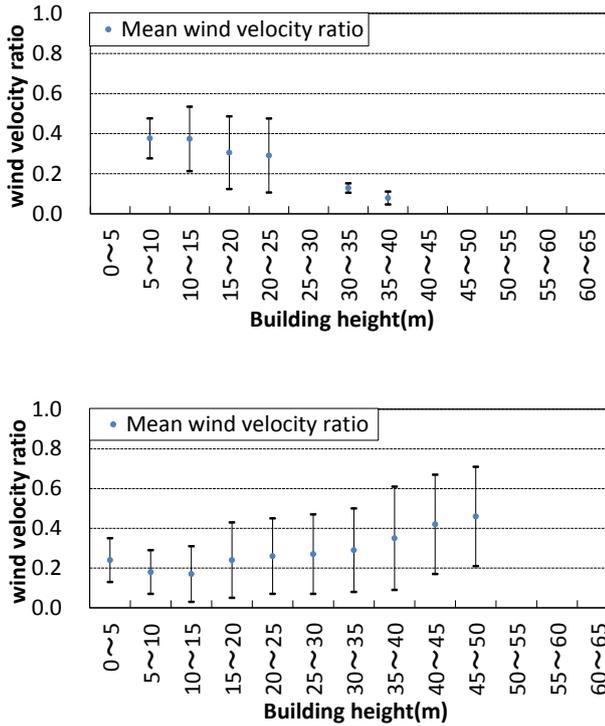


Fig.5 Relationship between building height and wind velocity ratio on the street parallel to upper wind (above: Berlin, below: Osaka)

3.3.3 グロス建蔽率の影響

ベルリンと大阪の平行道路及び直交道路におけるグロス建蔽率と平均風速比の関係を Fig. 6 に示す。対象とする道路方向は平行道路及び直交道路とした。

平行道路では、両都市ともにグロス建蔽率が増加すると平均風速比は減少する。ベルリンでは、グロス建蔽率が20%増加すると平均風速比は0.15程度減少し、その傾向は大阪より大きい。直交道路では、ベルリンではグロス建蔽率が増加すると平均風速比は増加するが、大阪では若干減少する。

ベルリンの平行道路では、平均風速比のばらつきが大きい。道路幅の影響であると考えられる。そこで、解析対象領域内に広幅員道路（幅員40m以上）を含まない場合のグロス建蔽率と平均風速比の関係を Fig. 7 に示す。両都市ともに、広幅員道路を含む場合の平均風速比は若干大きい。広幅員道路を含まない場合でも、風速比にばらつきが見られ、建物高さのばらつきによると考えられる。

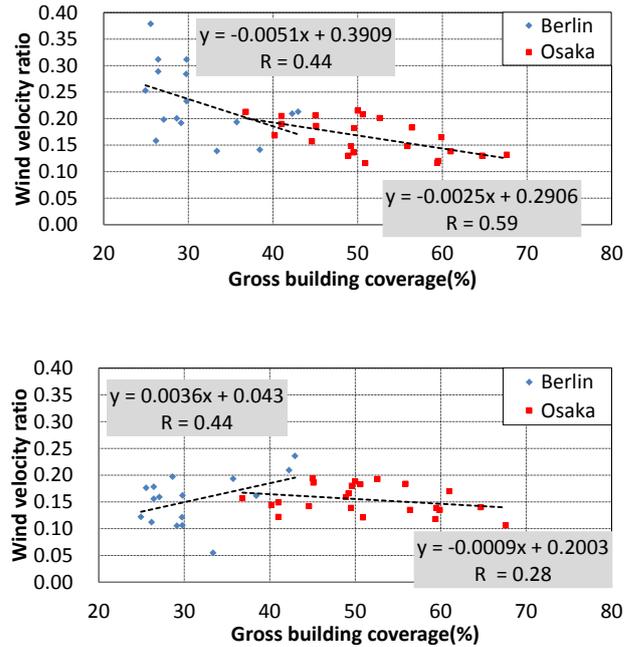


Fig.6 Relationship between gross building coverage and wind velocity ratio (above: parallel street, below: perpendicular street)

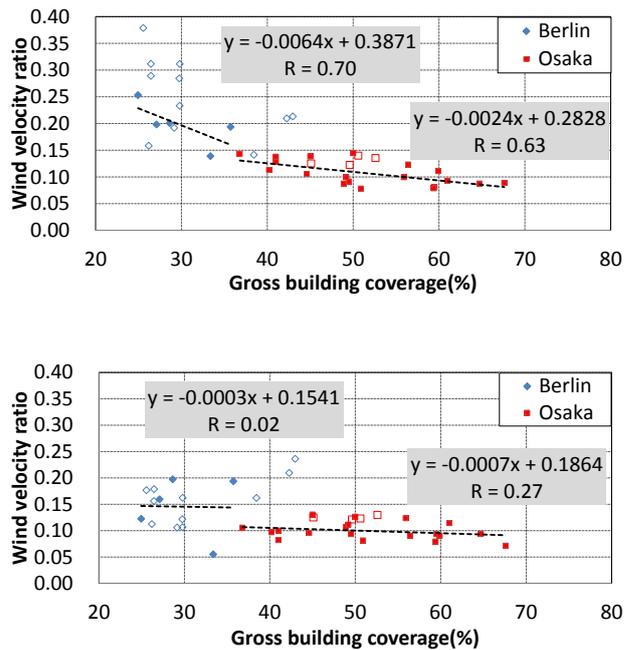


Fig.7 Relationship between gross building coverage and wind velocity ratio (Excluding streets over 40 m wide) (above: parallel street, below: perpendicular street)

3.3.4 建物高さのばらつきの影響

以下の建物高さのばらつきを示す指標²⁾、式(1)、式(2)を用いて、建物高さのばらつきと平均風通比の関係を分析した。

$$\text{Variation in height} = \frac{\sum_i^n S_i |h_{ave} - h_i|}{S \cdot h_{ave}} \quad (1)$$

$$h_{ave} = \frac{\sum_i^n S_i \cdot h_i}{\sum_i^n S_i} \quad (2)$$

ここで、*variation in height*: 建物高さのばらつき、 S_i : 各建物の面積 [m²]、 S : 敷地面積 [m²]、 h_{ave} : 面積加重平均の建物高さ [m]、 h_i : 各建物の高さ [m]、 n : 対象地区の建物戸数である。

ベルリンの特徴的な街区（グロス建蔽率 25-30%）における平行道路の建物高さのばらつきと平均風速比の関係を Fig. 8 に示す。道路方向によらず、建物高さのばらつきが増加するほど、平均風速比が減少する。低密度の都市の一般的な街区では、建物高さのばらつきが大きいほど風通しが悪化すると考えられる。

ベルリンの比較的高密度な街区（グロス建蔽率 35-50%）における平行道路の建物高さのばらつきと平均風速比の関係を Fig. 9 に示す。大阪市の研究結果と比較する。平行道路では、両都市ともに建物高さのばらつきが増加するほど、平均風速比が減少する。建物高さのばらつきにより生じる渦の影響で、水平方向の風が弱められると考察される。

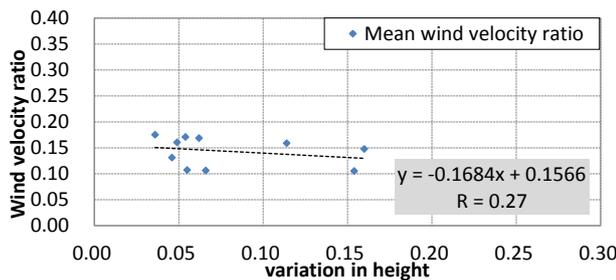
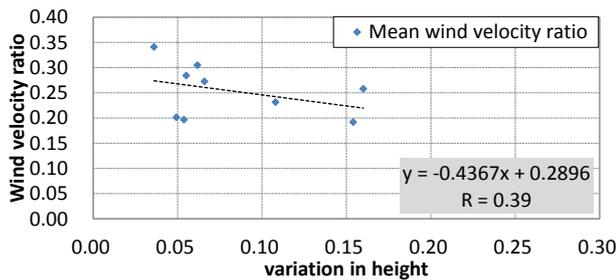


Fig.8 Relationship between building height variation and mean wind velocity ratio in Berlin in the case of 25-30% gross building coverage ratio (above: parallel street, below: perpendicular street)

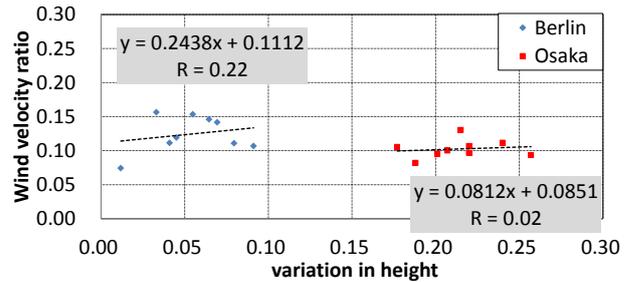
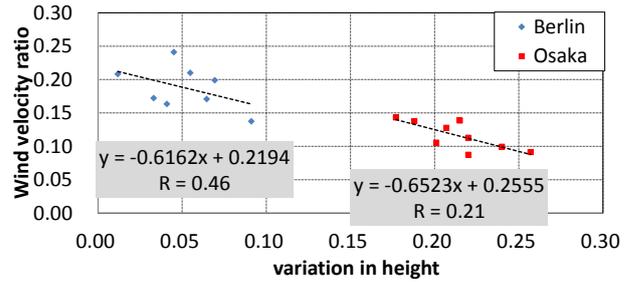


Fig.9 Relationship between building height variation and mean wind velocity ratio in the case of 35-50% gross building coverage ratio (above: parallel street, below: perpendicular street)

4. 結論

本研究では、CFD シミュレーションによりベルリンの街区を対象として街区特性、街路形態と街路空間の風通しの関係を分析し、建物高さのばらつきが大きい大阪での検討結果と比較した。

建物高さが比較的均一なベルリンでは、建物高さが高いと風が街路空間に流入し難くなり、平行道路では建物高さのばらつきが大きくても風速比は小さくなる。

低密度な都市では、建物高さのばらつきを増加させずに、周辺建物高さが低く、幅員の大きい平行道路からの風を取り入れることで都市の風通しを改善させることができる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 16H04464 の助成を受けた。

参考文献

- 1) 義江龍一郎, 田中英之, 白澤多一, 小林剛, 高層密集市街地における建物群の形態が歩行者レベルの風速・気温分布に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, 第 627 号, 661-667, 2008. 5
- 2) 増田恭大, 山田俊明, 竹林英樹, 森山正和, 街路形態が街路空間の風通し環境に及ぼす影響に関する研究, 空気調和・衛生工学会近畿支部 平成 21 年度学術研究発表会論文集, 223-226, 2010. 3