

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

**Evaluation Method for Perceived Air Pollution Caused by Human Bioeffluents
(Part 6) Influence of Body Odor Control of Occupants on Subjective Evaluation of Odor**

○池田 馨 (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)
桃井 良尚 (大阪大学) 相良 和伸 (大阪大学) 田中 大輔 (三菱重工業株式会社)
杉山 茂広 (三菱重工業株式会社) 井上 正志 (三菱航空機株式会社) 吉本 梨紗 (大阪大学)

Kaoru IKEDA^{*1} Toshio YAMANAKA^{*1} Akihisa TAKEMURA^{*2} Hisashi KOTANI^{*1}
Yoshihisa MOMOI^{*1} Kazunobu SAGARA^{*1} Daisuke TANAKA^{*3}
Shigehiro SUGIYAMA^{*3} Masashi INOUE^{*4} Lisa YOSHIMOTO^{*1}

^{*1} Osaka University ^{*2} Setsunan University ^{*3} Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. ^{*4} Mitsubishi Aircraft Corporation

It is specified in Japanese code that CO₂ concentration in non-residential buildings should not be more than 1000 ppm. CO₂ concentration standard is an index to determine ventilation requirements for visitors not to feel uncomfortable due to the body odor when they enter a room. It is the purpose of our study to clarify olfactory evaluation of body odor. Accordingly, this paper shows results of occupants' and visitors' evaluation of body odor in cases of body odor control and uncontrol. And we also conducted an experiment even under the condition that occupants sweated. The present results provide the difference between occupants and visitors and experimental conditions.

はじめに

現在、日本の建築物の室内環境はCO₂濃度を1000ppm以下に保つことで維持されている。呼吸由来のCO₂は体臭強度の指標とされ、CO₂濃度基準は外来者が入室した際に不快に感じない程度の換気量を要求するものである。しかし、CO₂と体臭の発生量の比は、入浴後の経過時間、着衣の汚れの程度、化粧品などの香料の種類、発汗状態、年齢など多くの要因に依存しており、いかなる状態でもCO₂濃度1000ppmが同じ体臭強度となるわけではないと考えられる。

既報¹⁾では嗅ぎ窓式無臭室法と入室法により主観評価実験を行い、評価手法について検討した。その結果、両手法において在室者と外来者間に評価の差を確認したが、評価手法と在室者の体臭制御の双方が異なったため手法間の比較が難しかった。

そこで今回は嗅ぎ窓式無臭室法で在室者の体臭を制御した「ミニマム条件」、衣服や入浴に制限を設けない「無制御条件」、夏季想定空間で運動させた「発汗条件」の3条件で実験を行った。既報²⁾では、体臭コントロールの有無による体臭成分の差異を確認した。本報では、在室者から発生する空気汚染質の曝露実験を行い、体臭制御による評価の違い、在室者・外来者の評価の相違に関する考察を行った。

1. 実験概要

実験は2016年10月13日～11月22日に実施した。T&Tオルファクトメータ試験で正常な嗅覚を有すると認められた18～25歳の本学学生16名(男子8名女子8名、非喫煙者)を各日6名ずつ外来者パネルとし、それ以外に22～25歳の本学学生6名(男子3名女子3名、非喫煙者)を体臭発生源となる在室者として採用した。純粋な人体

由来の体臭とシャンプーや化粧品など後から付加された臭気を含む体臭、発汗を伴った体臭を比較するため、「ミニマム条件」(10月13,27日、11月22日)と「無制御条件」(10月20日)、「発汗条件」(10月22日)の3条件で測定を行った。「ミニマム条件」では、在室者に実験の前日からの強い食事をとらない、支給した無香料のシャンプー・コンディショナー・ボディウォッシュを用いて入浴する、実験当日に化粧品や整髪料を使用しない等の制限を設けた。また、実験時には麻が主材の衣服を着用させた。「無制御条件」では普段どおりの格好で実験に参加させ、「発汗条件」ではミニマム条件の制御に加えチャンパー入室前に夏季を想定した35℃70%の空間に10分間滞在させ、そのうち5分間踏み台昇降運動させた。

実験はFig.1に示す本学学内の隣接する2つの実験室で行った。一方の実験室内にある容積7.65m³のチャンパー

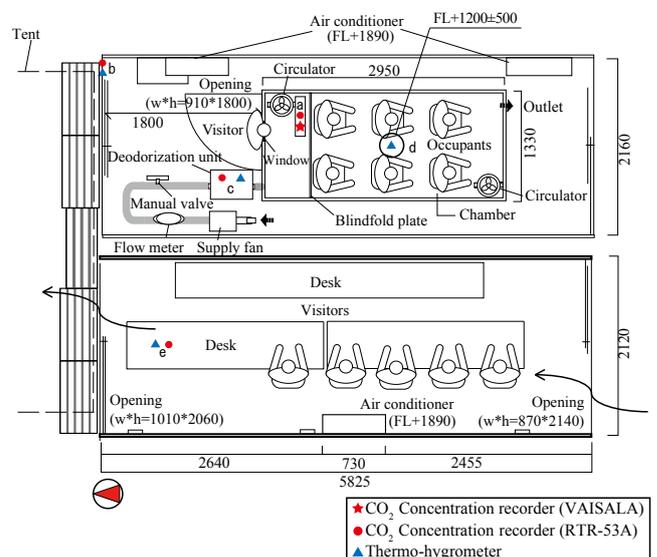


Fig. 1 Laboratory plan

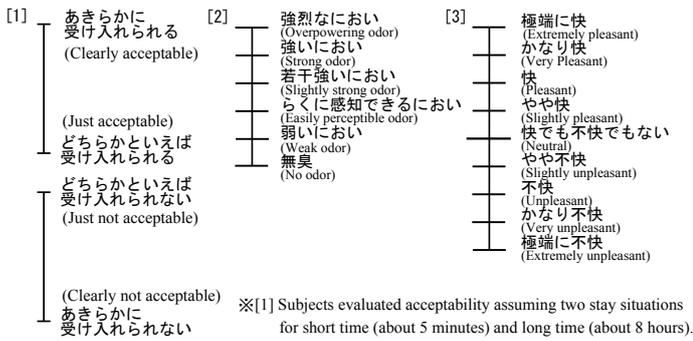


Fig. 2 Evaluation sheet

に体臭発生源として在室者 6 名を入室させた。空気汚染質のレベルを表す指標として CO₂ 濃度を用いる。温湿度及び CO₂ 濃度は、小型温湿度計 (T&D 社製 RTR-53A)、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。

外来者がチャンバー内空気について評価する CO₂ 濃度は、換気ファンをまわして定常状態とした 1500, 2650, 5000 ppm の 3 通りとした。在室者には上記 3 濃度に加え CO₂ 濃度上昇の過程で 1080, 1270, 1800, 2170, 3260, 4030 ppm においても評価させた。外来者には 1 人ずつチャンバーのある隣室に移動させて、嗅ぎ窓から臭気作成室内に顔を入れて検臭を行わせた後に評価させた。実験中は控室内の CO₂ 濃度が上昇しないように、常時窓を開放して換気を行った。評価は Fig. 2 に示す評価尺度に記入させた。なお、受容度については 5 分程度の短時間と 8 時間程度の長時間の 2 通りの滞在を想定して評価させた。

■実験手順

(1) 臭気 の 作成

在室者入室後、Fig. 1 の測定点 a における CO₂ 濃度が所定の濃度に達すると換気ファンを動作させ手動バルブの調整によって臭気作成室内の CO₂ 濃度を定常化させた。

(2) インストラクション

外来者には嗅ぎ窓からチャンバー内に顔を入れ自然な呼吸を 2 回する等、検臭方法に関して指示を与えた。また、臭気は数名が滞在する室の空気においてであることも告知した。これは実験の途中で人のにおいだと気づかれることにより、評価に影響が出るのを防ぐためである。在室者・外来者ともに評価の仕方・タイミング等に関する指示も行った。

(3) CO₂ 濃度上昇過程における在室者による空気質評価

在室者には CO₂ 濃度上昇の過程でチャンバー内の空気質について評価させた。

(4) CO₂ 濃度定常状態での空気質評価

換気ファンを動作させ所定の濃度で CO₂ 濃度を定常化したチャンバー内の空気質について在室者・外来者に評価させた。外来者には、待機中のコンテナから在室者側コンテナへの移動途中で外気中で数回深呼吸させた。その後 Fig. 3 に示すように嗅ぎ窓からチャンバー内に顔を十分に入れて検臭を行わせた後、すぐに評価させた。ま

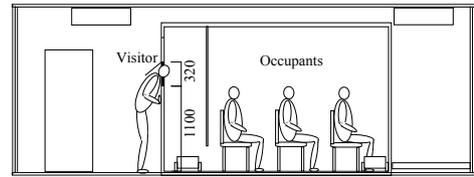


Fig. 3 Method of exposing to odor

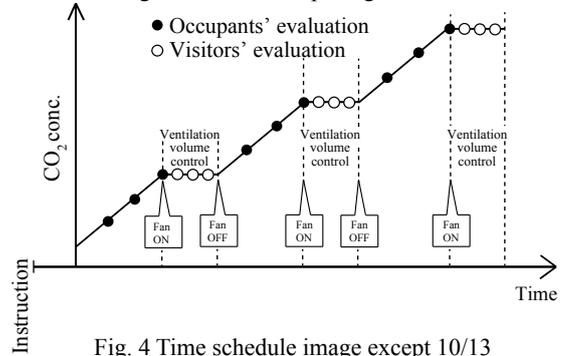


Fig. 4 Time schedule image except 10/13

た外来者には各濃度で 10 月 13 日は 1 人につき 1 回ずつ (のべ 6 回)、10 月 13 日以外の実験日は 1 人につき 3 回ずつ (のべ 18 回) 評価させた。

(5) 外来者による空気質についての自由記述

外来者に検臭後、控室に戻りチャンバー内の空気質について自由に記述させた。

タイムスケジュールイメージを Fig. 4 に示す。

2. 実験結果

2.1 CO₂ 濃度制御

Fig. 1 の測定点 a における CO₂ 濃度変化の一例として、10 月 13 日の CO₂ 濃度測定結果を Fig. 5 に示す。在室者が入室を完了した時点から CO₂ 濃度は上昇し、ファンの発停によって所定濃度に維持できている。

2.2 「ミニマム条件」における実験の再現性

実験の再現性を確認するため、「ミニマム条件」で 3 回試験を実施した。CO₂ 濃度と臭気強度、快・不快度、受容度の 3 日間の平均値の関係を Fig. 6 に示す。横軸は CO₂ 濃度 [ppm]、縦軸は評価値、縦線分は 95% 信頼区間を示す。ただし、95% 信頼区間は在室者は 6 名 3 日間の 18 データ、外来者評価は 6 名 1 回 (10 月 13 日) の 6 データと 6 名 3 回 2 日間 (10 月 27 日、11 月 22 日) の 36 データをあわせた 42 データをそれぞれ 18 名 1 回、42 名 1 回のデータとして算出した。どの評価尺度においても信頼区間が 1 尺度未満に収まっており、再現性が確保できたといえる。また各実験日における給気の CO₂ 濃度は、10

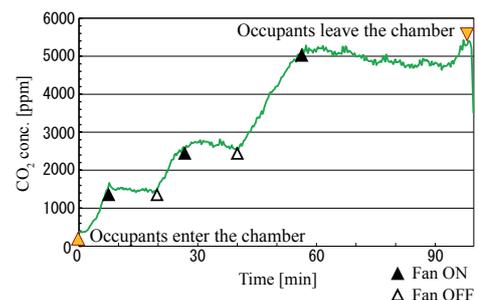


Fig. 5 Example of CO₂ conc. change

月 13 日 432 ppm, 10 月 27 日 434 ppm, 11 月 22 日 518 ppm, 10 月 20 日 479 ppm, 10 月 22 日 489 ppm である。

2.3 CO₂ 濃度と臭気強度との関係

CO₂ 濃度と各条件の臭気強度の関係を Fig. 7 に示す。横軸は CO₂ 濃度 [ppm], 縦軸は臭気強度である。在室者と外来者の評価について平均値の差の検定 (t 検定) を行った。ただし、10 月 27 日、11 月 22 日における外来者評価は 6 名 3 回の 18 データを 18 名 1 回として算出した。

全条件を通して、在室者と外来者の評価は「らくに感知できる」を境に差が見られた。在室者外来者間では「発汗条件」の 2650 ppm 以外の濃度で有意差を得た。外来者評価を見ると、CO₂ 濃度の上昇に伴い臭気強度が上がり、最終的に約一段階臭気強度は上昇した。それに対し在室者の評価は実験を通してほぼ横ばいである。すべての評価値は外来者の臭気強度が在室者を上回っており、在室者には順応の影響が見られた。

在室者は「発汗条件」で初期臭気強度をやや高めに評価したことから汗のにおいに関しては強めに知覚することがわかる。外来者は「ミニマム条件」で若干低く評価しており化粧品や衣服、汗のにおいが付加されると臭気強度を強く知覚することがわかった。

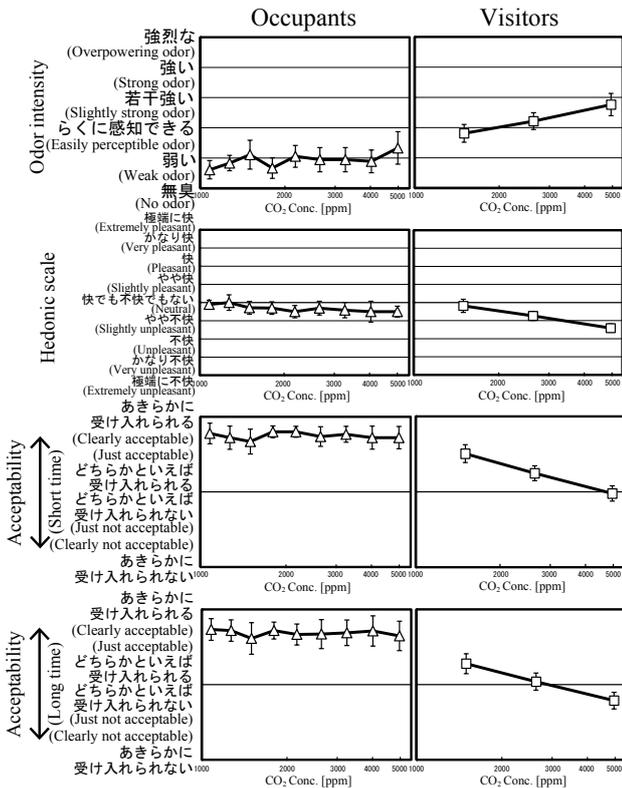


Fig. 6 Mean evaluation of three days and statistical reliability

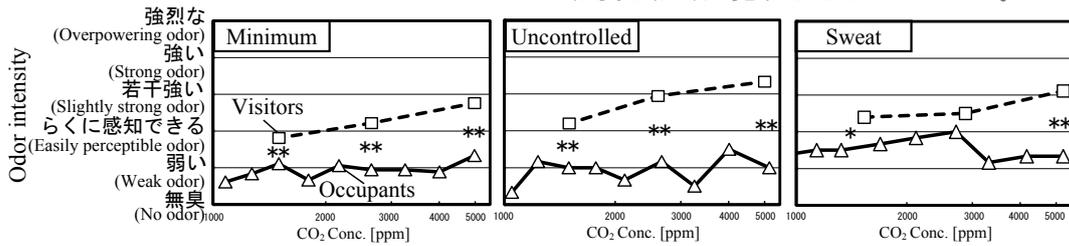


Fig. 7 Comparison between conditions of evaluation of odor intensity

** p < 0.01
* p < 0.05

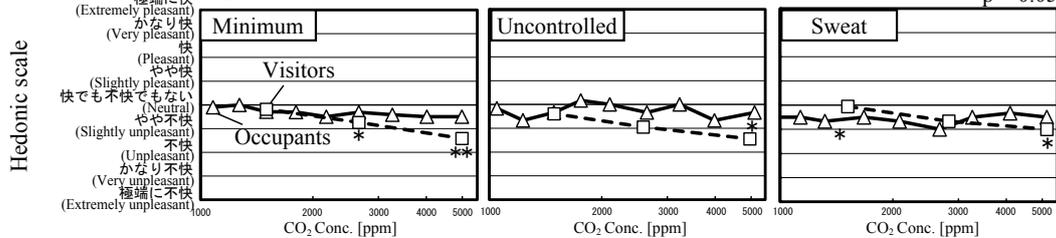


Fig. 8 Comparison between conditions of evaluation of hedonic scale

** p < 0.01
* p < 0.05

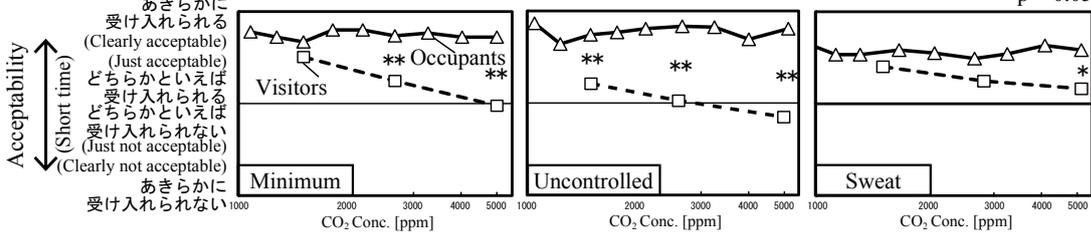


Fig. 9 Comparison between conditions of acceptability for short time

** p < 0.01
* p < 0.05

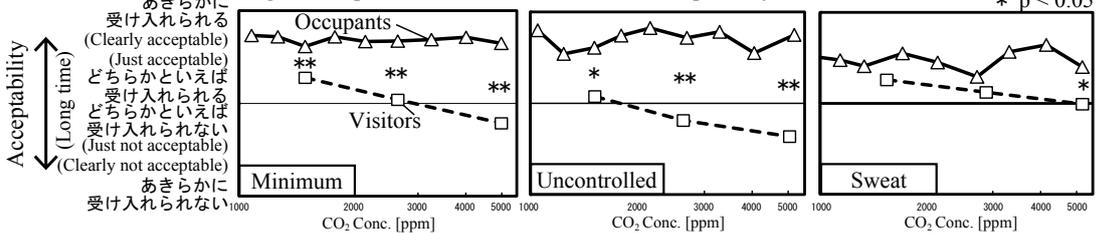


Fig. 10 Comparison between conditions of acceptability for long time

** p < 0.01
* p < 0.05

Table 1 Quantitative analysis of chamber indoor air

(μg/m³)

Detection ingredient	Blank (No ventilation)	Blank (With ventilation)	Minimum			Uncontrolled	Sweat
			2016/10/13	2016/10/27	2016/11/22	2016/10/20	2016/10/22
Folmaldehyde	4.6	2.6	7.7	7.4	9.9	17	12
Acetaldehyde	1.6	1.5	3.2	2	26	5.7	4.1
Toluene	4.0	ND(<0.8)	ND(<0.8)	ND(<0.9)	5.1	0.93	ND(<0.9)
Xylene	0.92	ND(<0.8)	ND(<0.8)	ND(<0.9)	1.9	0.85	ND(<0.9)
Ethylbenzene	0.82	ND(<0.8)	ND(<0.8)	ND(<0.9)	2.5	ND(<0.8)	ND(<0.9)
Styrene	ND(<0.8)	ND(<0.8)	ND(<0.8)	ND(<0.9)	2.7	0.95	ND(<0.9)
p-Dichlorobenzene	ND(<0.8)	ND(<0.8)	0.89	1.4	1.5	2.5	ND(<0.9)
Nonanal	3.9	4.5	12	14	10	20	6.8
n-Tetradecane	1.5	1.7	3.0	1.5	1.1	2.7	1.2
DBP	0.86	0.92	ND(<0.8)	ND(<0.9)	ND(<0.8)	1.3	ND(<0.9)
DEHP	ND(<1.4)	2.4	1.5	3.6	ND(<1.4)	2.8	1.8
TVOC	18	31	100*	220*	220*	170*	150*
Butanol	1.7	ND(<1.0)	ND(<1.0)	ND(<1.1)	ND(<1.0)	ND(<1.0)	ND(<1.1)
Hexanal	ND(<1.0)	ND(<1.0)	1.4	ND(<1.1)	1.2	3.2	ND(<1.1)
α-Pinene	ND(<1.0)	ND(<1.0)	ND(<1.0)	ND(<1.1)	ND(<1.0)	ND(<1.0)	ND(<1.1)
Octanal	ND(<1.9)	ND(<1.9)	2.2	ND(<1.1)	ND(<1.0)	5.7	ND(<2.1)
Limonene	ND(<1.0)	ND(<1.0)	1.3	16	ND(<1.0)	2.1	12
Decanal	3.2	4.1	7.6	12	9.3	22	5.7
Levomenthol	ND(<1.0)	ND(<1.0)	1.1	4.2	1.3	3.6	6.6
Nonenal	ND(<1.0)	ND(<1.0)	1.1	5.4	3.2	2.0	2.8
Isovaleric acid	ND(<1.9)	ND(<1.9)	ND(<1.9)	3.7	2.5	ND(<1.9)	1.9
n-Butyric acid	ND(<1.9)	ND(<1.9)	ND(<1.9)	ND(<2.1)	3.6	ND(<1.9)	ND(<2.1)
6-Methyl-5-Hepten-2-one	ND(<1.0)	1.6	3.7	2.1	4.6	7.3	ND(<2.1)
3-Methyl-2-Hexenoic acid	ND(<0.8)	ND(<0.8)	ND(<0.8)	ND(<1.1)	ND(<0.8)	ND(<0.8)	ND(<1.1)

※ Analysis by Kaneka Techno Research Corporation

2.4 CO₂ 濃度と快・不快度との関係

CO₂ 濃度と各条件の快・不快度との関係を Fig. 8 に示す。横軸は CO₂ 濃度 [ppm], 縦軸は快・不快度である。臭気強度と同様、快・不快度も t 検定を行った。

全条件を通して、在室者外来者ともに「快でも不快でもない」近辺に評価した。有意差があらわれた濃度もあったが、臭気強度ほど在室者と外来者の評価に差は見られなかった。外来者評価を見ると、CO₂ 濃度の上昇に伴い若干不快側に移行する傾向が見られ、在室者の評価は実験を通してほぼ横ばいであった。

2.5 CO₂ 濃度と受容度との関係

CO₂ 濃度と各条件の受容度との関係を Fig. 9, 10 に示す。横軸は CO₂ 濃度 [ppm], 縦軸は受容度である。臭気強度、快・不快度と同様の t 検定を受容度についても行った。

全条件で外来者は在室者よりも受け入れられない側に評価した。特に「無制御条件」では外来者在室者間の差が顕著であった。在室者評価はどの条件においても受け入れられる側でほぼ横ばいであるが、「発汗条件」では他条件に比べて若干受け入れられない側に評価しており、臭気強度との相関が見られた。外来者評価は CO₂ 濃度の上昇に伴い受け入れられない側に移行する傾向が見られた。5 分間と 8 時間の滞在を想定させた受容度を比較すると、在室者の評価はそれほど変わらないのに対して、外来者は長時間の受容度でやや受け入れられない評価となった。

2.6 チャンバー内空気の定量分析

体臭に含まれる成分の定量化を行うため、各条件 5000 ppm 時のチャンパー内空気の分析を行った。また換気無し、有りの両条件で在室者不在時の Blank も定量分析した。定量分析の結果を Table 1 に示す。表中の ND は定量下限を、“*” は検量線範囲を超えたため、検量線を外挿して定

量値を算出したことを示している。分析の結果、岩下ら³⁾の研究で体臭成分として同定された Nonanal, Decanal が本実験でも両条件で検出された。Blank 換気無しの場合、換気有りと比較して Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Butanol を検出した。実験室由来の VOC 成分であり、換気ありの場合は希釈効果で検出下限値以下になったと考えられる。人由来成分として Nonenal が検出された。Nonenal は、加齢臭の一成分とされていると同時にストレス臭成分であるため、25 歳以下の在室者からも検出されたと考えられる。「ミニマム条件」と「発汗条件」を比較すると Folmaldehyde が発汗の場合に増加していた。

おわりに

本報では嗅ぎ窓式無臭室法によって在室者から発生する汚染質についての主観評価実験を行った。臭気強度や受容度で外来者と在室者の評価値の差を確認した。定量分析結果からは実験日によってチャンパー内に存在した成分や量について違いを確認し、この違いが各条件の主観評価の違いに影響したと考えられる。

参考文献

- 1) 池田馨, 山中俊夫, 竹村明久, 甲谷寿史, 桃井良尚, 相良和伸, 山田響子: 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 2) 嗅ぎ窓を用いた無臭室法による評価, 平成 26 年度空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 89 - 92, 2015. 3
- 2) 池田馨, 山中俊夫, 竹村明久, 甲谷寿史, 桃井良尚, 相良和伸: 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 5) 三点比較式臭袋法を用いた体臭閾値測定と各希釈倍数における臭気強度評価, 平成 28 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 第 7 巻, pp. 101 - 104, 2016. 9
- 3) 岩下剛, 日比野貴生: VOC 濃度による体臭臭気強度の評価 体臭による知覚空気汚染に関する研究 (その 2), 日本建築