

香りをを用いたマスキングによるうるささ低減効果

Reduction Effect of Annoyance by Masking with Drink Flavor

○ 竹村 明久 (摂南大学) 小見山 海希 (摂南大学)

Akihisa TAKEMURA* Kaiki KOMIYAMA*

* Setsunan University

In this study, it was investigated the reduction effect of annoyance by masking with drink flavors. Twenty participants in their twenties were sniffed drink flavors, which were fruits, teas and coffee provided at a coffee shop, with hearing the crowded sound or the white noise. They evaluated loudness, noisiness and impressions of sound. Corrected loudness and noisiness evaluations used the regression curve of the sound adaptation were compared between two sounds and between eight flavors. Moreover, the evaluations were compared among twenty participants. Consequently, it was revealed the meaningfulness of sound maybe effect on the loudness evaluation, and the effect of flavor on the noisiness evaluation was different each participant.

1. はじめに

書店に併設された喫茶スペースが一般的になりつつあるが、喫茶専門店よりも周囲が騒々しい環境になりがちである。一方で、そのような空間に人が集って読書等の作業を行う姿も多く見かける。島貫ら¹⁾が述べているように、本来は静音環境下でのパフォーマンスが最大であることは自明である。合原ら²⁾は異なる感覚に注意を向けることでおのの強さ評価が低下する可能性を指摘している。有香空間では周辺騒音への不快度が低下して、集中しやすい環境なのだろうか。本研究では、喫茶スペースで提供される香りが騒音に対する不快感を低減する可能性について明らかにすることを目的とする。

2. 騒音への順応の検討

2.1 実験概要

騒音の連続曝露は、順応による反応低下をもたらす可能性が想定されたことから、順応の程度を把握する検討を行った。2018年10月1日から12日に、図

ささ評価に音の持つ情報量が関係する可能性を考慮して、情報量の少ないホワイトノイズ(以降 Wn)と情報量の多い枚方 T-site3F のブックカフェで60秒間サンプリングした雑踏音(以降 Zt)の2種を5分間繰返し再生とした。実験参加者は学生15名(男性11名、女性4名、21-22歳)とした。室中央の机の上にスピーカ(CREATIVE 製 INSPIRE T6300 の5.1ch)を設置して、実験参加者席で60[dB]となるよう音量を調整した。内装材は、天井が吸音板、壁が石膏ボード、床がプラスチックタイルの一般的な会議室仕様だった。予定外の騒音を避けるために、室内の空調と換気扇は停止し、廊下からの声や物音がないように会議室外側には貼紙をした。

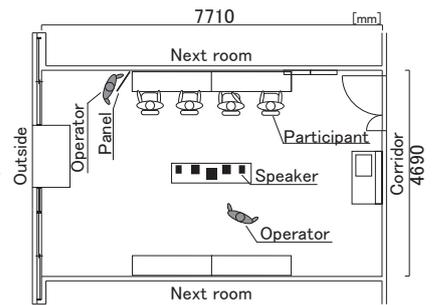
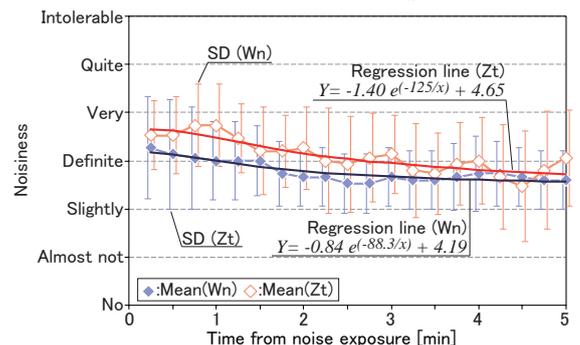
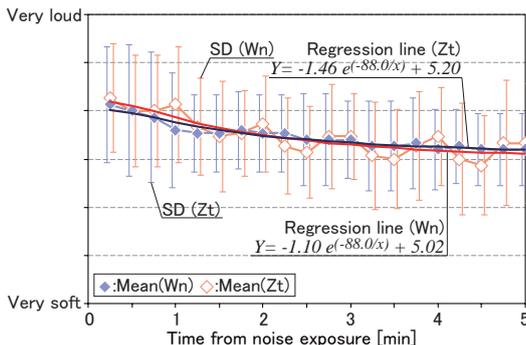


Figure 1 Plan view of experimental room

1に示す会議室で2種の騒音を曝露する実験を実施した。曝露騒音は、辻村ら³⁾による学習作業時の環境音の情報量の知見を参考に、音のうる



また、実験時間と授業の終始を知らせる放送が重ならないように実施時刻を計画した。評価の指示には、A4用紙にMS明朝体90ptで「評価して下さい」と印刷したパネルを15秒おきに無言で提示した。評価項目は、音の大きさ（非常に小さいから非常に大きいまでの7段階）とうるささ（全く、ほとんど、少し、うるさい、かなり、非常に、耐えられないくらいの7段階）とした。

2.2 順応の補正值

図2,3に騒音曝露開始後5分間の音の大きさ評価とうるささ評価を示す。横軸は騒音曝露開始からの時間、縦軸は音の大きさ評価とうるささ評価を示す。図中プロットは15名の平均評価、縦線分は標準偏差を示す。図中の式は、時系列の15名の平均評価を基に最小二乗法を用いて導出した時間-評価関係の近似式で、十分な時間経過後に一定値に漸近することを仮定して指数近似とした。実曲線で示した近似線は、平均値プロットと比較的よく合致した。

3. 音と香りの同時提示実験

3.1 実験概要

実験は、2018年11月7日から11月20日に、前章と同じ会議室で学生20名（男性14名、女性6名、平均21.5歳）を対象に実施した。実験室の温度は20.8~27.1℃、湿度は33~47%だった。香り試料は、予備検討の結果を基に、表1に示す8試料とした。8試料は、音評価への影響が異なる可能性を想定して、「刺激群」、「甘さ群」、「刺激・甘さ群」、「その他群」の4群に分類した。試料は、いずれも内容物が視覚的に判別できないようテープを巻いた15[mL]褐色瓶に5[mL]程度の香料液または茶葉や粉末等を封入して作

Table 1 Aroma samples and groups

Symbol	Aroma	Symbol	Group
Cr	No (noise only)		
Le	Lemon essence	ST	Stimulating
Pe	Peppermint essence		
Gf	Grape flavor	SW	Sweet
Yf	Yogurt flavor		
Lb	Lactobacillus beverage	SS	Sweet & Stimulating
Df	Dry fruits tea		
Rt	Roasted tea & rice	OT	Other
Cf	Coffee ground		

成した。騒音に関する提示・評価方法は前章と同様とした。実験スケジュールは図4の通りで、まずはWn騒音曝露開始から90秒待機させた後に香り試料なし（以降Cr）の評価をさせ、続いて60秒後に最初の香り試料を褐色瓶で提示して、検臭時の香りと音の評価を指示した。以降は、90秒の待機と60秒間の評価時間を繰り返して、8試料の評価終了後、5分程度の休憩を挟んだのち、同スケジュールでZt騒音曝露実験を実施した。香り試料はパネルごとに異なる提示順とした。評価項目は図5に示す項目とした。

3.2 香り評価

図6に香りの強さ評価の条件間比較を示す。横軸が条件、縦軸が香りの強さ尺度、プロットは平均値で縦線分が標準偏差を示す。香り提示のないCrは全員が無臭と回答し、Gfでは最も高い「若干強い」程度、Rtでは最も低い「らくに感知できる」よりやや弱い評価だったが、概ね条件間は1段階程度の差異だった。図7は香りの嗜好評価の条件間比較を示し、縦軸が香りの嗜好尺度であるほかは図6と同様である。評価の平均値はいずれの条件も好き側にあった。PeとDfは中庸に近い評価で、Gfが最も高評価だった。

3.3 音評価の20名平均値に基づく検討

図8に音の大きさ評価の香り条件間比較を示す。横軸は香り条件、縦軸は音の大きさ尺度とした。プロットは、音の大きさへの順応の影響を図2の近似式に基づいて全てCr条件評価時点（騒音曝露開始90秒後）に補正した20名平均値で示した。縦線分は標準偏差である。騒音Wnでは、DfやGf、YfなどでCrに近い強さだったほかはいずれもCrよりやや弱い傾向だったが、Crとのt検定の有意差は見られなかった。

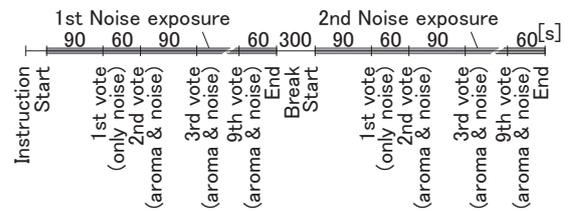


Figure 4 Time schedule

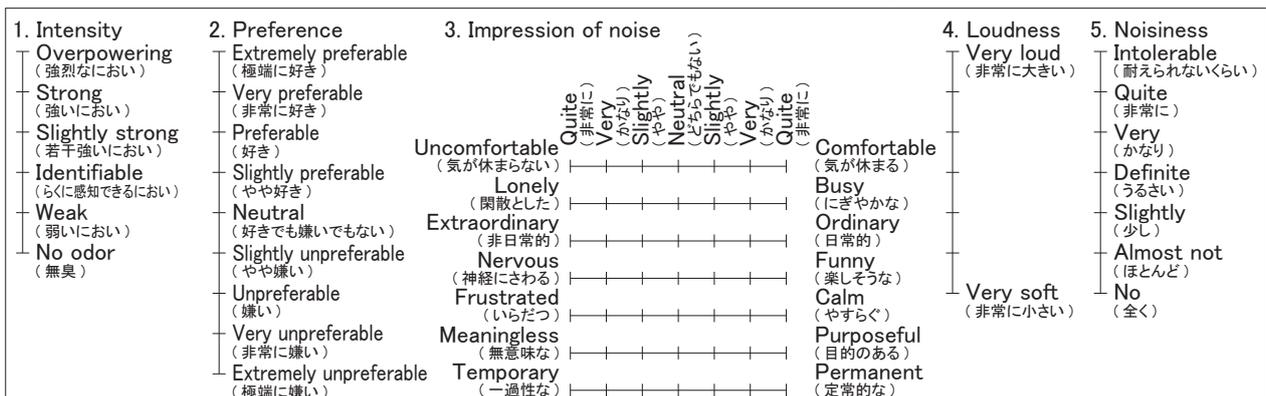


Figure 5 Evaluation scales

騒音 Zt では、いずれの香り条件も Cr より高い傾向だったが、Cr との t 検定では有意差は検出されなかった。騒音 Wn と Zt では、香りが音の大きさ評価に及ぼす影響は異なる可能性がある。

図 9 はうるささ評価の香り条件間比較で、プロットは図 3 の近似式に基づいて全香り条件を Cr 条件評価時点の順応状態に補正した 20 名平均値で示した。騒音 Wn では、Yf, Df が Cr よりやや高い傾向、Lb など半数程度の香り条件で Cr より低い傾向だった

が、いずれも Cr との t 検定では有意差が検出されなかった。騒音 Zt では、いずれの香り条件も Cr より高く、Le, Df は約 1 段階の差が見られたが、Cr との t 検定では有意差は検出されなかった。有意差はなかったが、騒音の質によって、複合評価に対する香りの影響は異なる可能性がある。いずれも、個人差が大きかったことから、以降は実験参加者ごとの傾向を確認することにした。

3.3 音評価の実験参加者ごとの傾向

図 10 に 20 名の音の大きさ評価に関する Cr (音のみ) と 8 種の香り条件間の比較を示す。チャートの中央側が音が小さく、外側が大きく評価されたことを示す。実線は Cr、点線で香り条件の評価を示し、図中の Pn は実験参加者番号を示す。全員に共通する傾向は見られなかつ

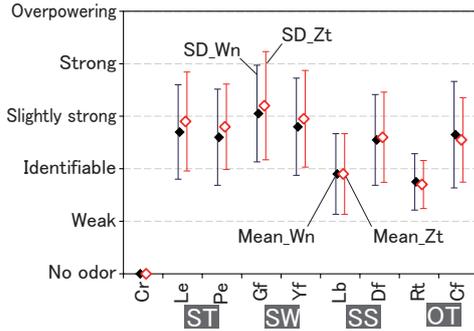


Figure 6 Intensity evaluation of aroma

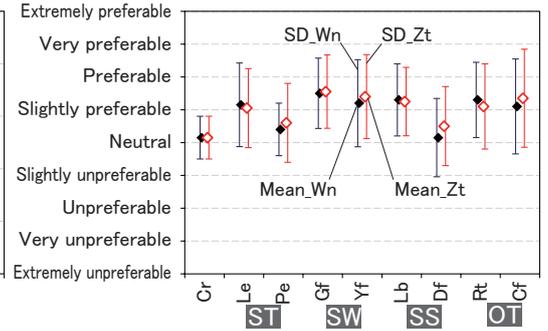


Figure 7 Preference evaluation of aroma

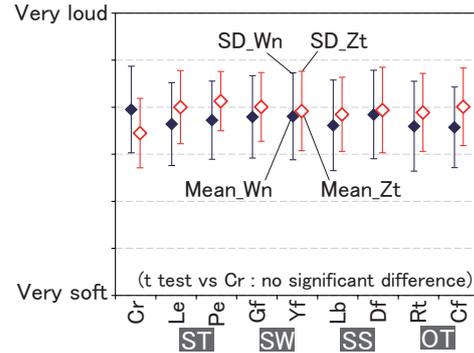


Figure 8 Comparison of loudness evaluation

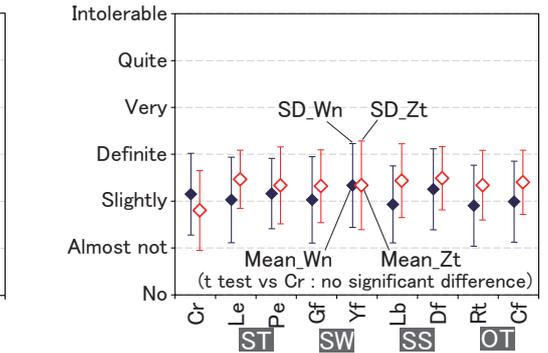


Figure 9 Comparison of noisiness evaluation

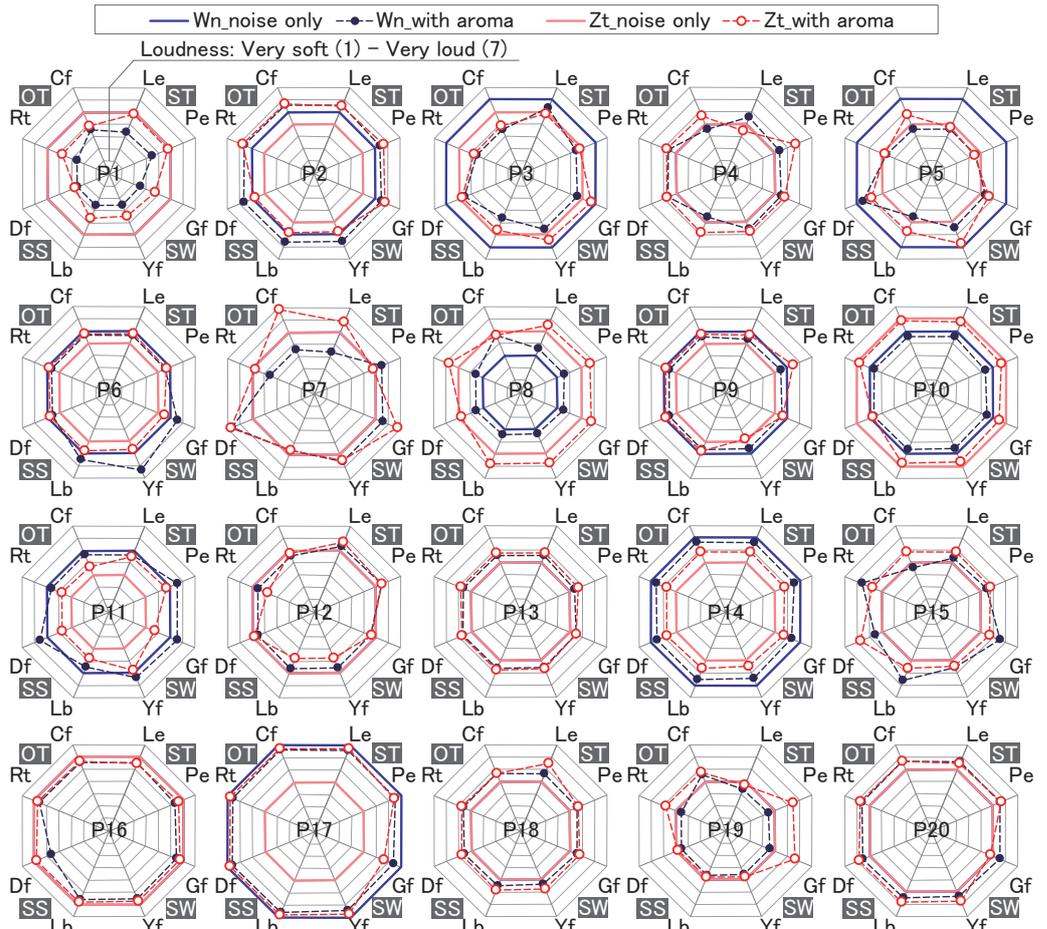


Figure 10 Comparison of loudness evaluation among noise and aroma conditions in each participant

たことから、傾向を分類することにした。まず、2 騒音とも Cr より概ね低評価だったのは P1, 3、高評価だったのは P2, 4, 6, 8, 11, 13, 15, 18, 20、2 騒音とも Cr と差異なしは P10, 16、騒音ごとに傾向が異なったの

はP5, 7, 9, 12, 14, 17, 19 だった。音の大きさ評価に及ぼす香りの影響について、騒音の質に依存する実験参加者が半数弱いたことがわかる。また、騒音 Zt では Cr より香り条件が低評価だった実験参加者はほぼいなかったことから、物音や話し声など音から連想される情報量が多い Zt は香りの付加による音の大きさ評価の低下は難しかったと推測される。

次に香り条件に着目すると、条件に関わらず、ほぼ一定の評価だったのは P9, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 20 だったが、一部の香り条件で影響が見られた者も含まれ、各実験参加者で

評価への影響が大きく異なる傾向が見られた。

図 11 に 20 名のうるささ評価に関する Cr (音のみ) と 8 種の香り条件間の比較を示す。図の見方はチャートの軸がうるささ評価尺度である以外は図 10 と同様である。ここでも全員に共通する傾向は見られなかったことから、傾向を分類することにした。2 騒音とも Cr より概ね低評価だった P1, 3, 5, 10、高評価だった P2, 4, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 17, 18, 20、及び騒音ごとに傾向が異なった P11, 12, 16, 19 に分類された。音の大きさ評価 (図 10) と比べて、騒音の内容に関わらず香り付加によってうるささ評価が低下した実験参加者は多かったものの、反対に両騒音ともうるささ評価が上昇した実験参加者も過半数に達するなど人数が多かった。

次に香り条件に着目すると、条件に依らずほぼ一定の評価だったのは P14, 16, 17, 18, 20 で、音の大きさ評価 (図 10) と比べて香り条件ごとに評価への影響が異なる傾向は強い。うるささ評価が音の質評価と快・不快評価を包含すると考えられることから、音の印象評価が香りの印象評価の影響を強く受けた可能性や、音と香りの 2 つの手がかりによって想起される評価すべき曝露状況が実験参加者の快・不快の閾値

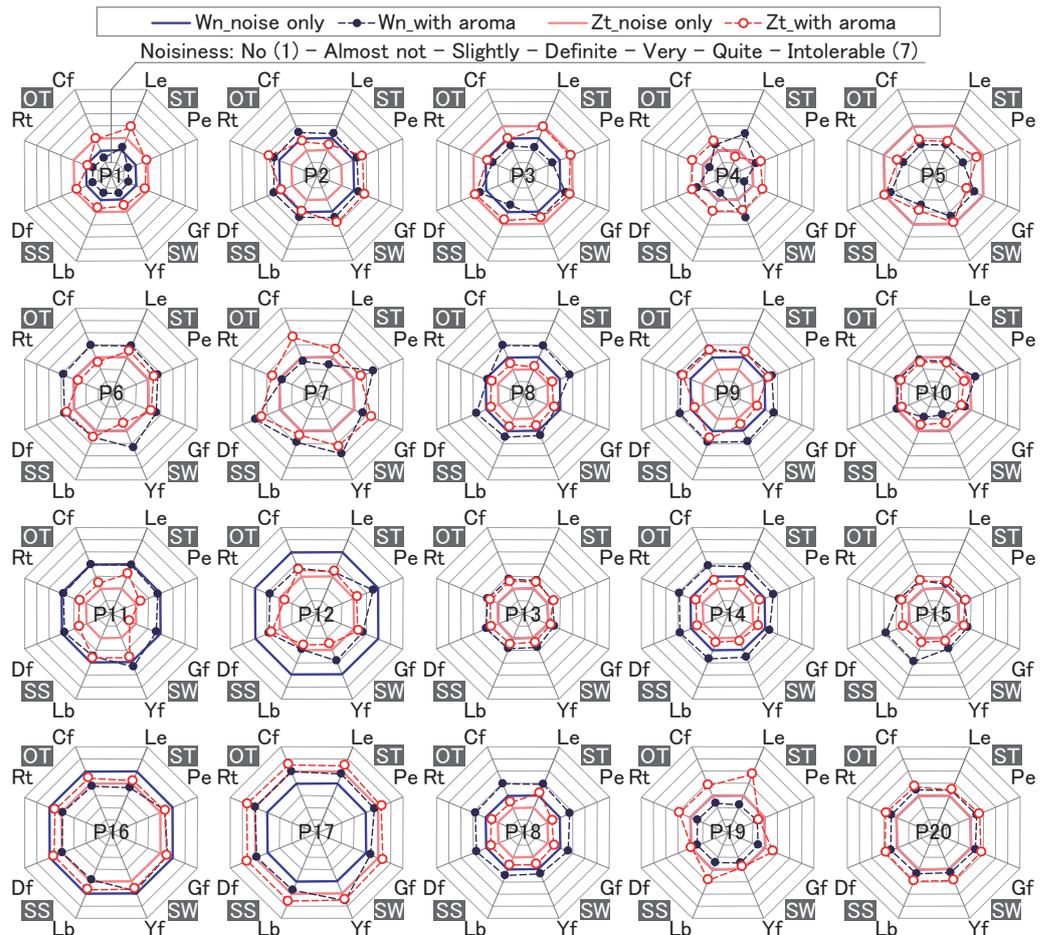


Figure 11 Comparison of noisiness evaluation among noise and aroma conditions in each participant

を変動させた可能性などが推測される。総合的には、うるささ評価への香り付加の影響としては、騒音種よりも個人間の差が卓越すると考えられた。

4. おわりに

本報では、音の大きさ評価とうるささ評価における香り付加の影響を検討した。音の連続曝露が想定されたことから、音に対する順応の程度をモデル化したうえで、音と香りの複合曝露実験を行い、音の大きさ評価については騒音の質または音の持つ情報量が香り付加に伴う評価の増減に影響が大きい可能性があること、および、うるささ評価では騒音や香り種よりも評価する人の感覚や解釈の差異が大きな影響を及ぼす可能性があることがわかった。今後は、実験で併せて評価させた音の印象評価結果との照合などから、より詳細な音と香りの複合評価メカニズムについて検討を進めたい。

参考文献

- 1) 島貫陽平, 後藤広太郎: 音の種類の違いは集中力に影響を与えるのか, 北海道心理学研究 vol. 40, p. 24, 2017
- 2) 合原妙美, 岩下剛: 空気質評価への注意喚起が臭気強度及び許容度の申告値に及ぼす影響, 日本建築学会環境系論文集 Vol. 567, pp. 87-91, 2003
- 3) 辻村壮平, 上野佳奈子: 教室内音環境が学習効率に及ぼす影響, 日本建築学会環境系論文集 Vol. 653, pp. 561-568, 2010

三点比較式臭袋法における吸入濃度に基づく最適吸引法に関する研究 (その8) 吸引手法と閾値および手法経験の有無と吸引量の関係

Proposal for Optimum Sniffing Method Based on Odor Concentration in Triangle Odor Bag Method (Part8) Relationship between Olfactory Threshold and Suction Methods, and Suction Air Volume and Experience of Measurement Method

○ 前田 遼介 (摂南大学) 竹村 明久 (摂南大学) 堀江 昌朗 (摂南大学)

Ryosuke MAEDA* Akihisa TAKEMURA* Masaaki HORIE*

* Setsunan University

Threshold measurement by the triangle odor bag method was conducted to compare among three suction methods, those were the self-suction method, the discharge-suction method and the cannula method. Threshold value by the self-suction method was higher than that by the discharge-suction method in the first time. In the self-suction method, participants were adapted to the method and were able to sniff lower concentration with each sniffing trial. Moreover, suction airflow volume was also measured to compare between experienced and inexperienced participants. Inexperienced participants suctioned and discharged larger volume than those by experienced participants. Consequently, it was guessed that the discharge-suction method was relatively higher accuracy than the self-suction method in the first trial of participants.

1. はじめに

悪臭防止法で採用されている嗅覚閾値測定法である三点比較式臭袋法の精度向上を目標として、筆者らはこれまでに、シミュレーションと実験の両面から三点比較式臭袋法の吸引濃度や測定閾値への吸引手法の影響を検討してきた¹⁻³⁾。既報²⁾では実験に基づく吸引手法間の測定閾値間比較を検討したが、再現性の確認などが不十分であった。本報では、パネル(実験参加者)の繰返し測定における再現性を含めた吸引手法間の閾値比較や三点比較式臭袋法経験の有無が吸引傾向に及ぼす影響について報告する。

2. 閾値測定概要

2018年9月23日から11月5日に23.0～26.4℃、34～59%RHの環境の実験室で三点比較式臭袋法を実施した。パネルは嗅覚検査合格済の学生6名(男4名、女2名、平均20.7歳)とした。試料は、室内臭気を想定したAcetoneとEthyl acetateの2種とした。吸引手法として、公定法の自己吸引法(鼻あてを用いて袋内臭気を呼吸で吸出して検臭する:SS条件)と押し出し吸引法(鼻あてを用いず袋内臭気を押し出して検臭する:DS条件)に加えて、検臭臭気の外気との混合が起きにくい提案法として医療用カニューラ(中村医科製)を用いたカニューラ法(CS条件)の3条件を設定し、SS・DS条件では教示によって吸引時間が1s検臭と3s検臭となるように指示した2パターンを設けた。また、以上の各条件を3回実施した。条件

表を表1に示す。

3. 結果と考察

3.1 測定閾値の個人内変動

3回実施した閾値測定結果を図1～6に示す。本節では各図内(1)の6名3回の全測定結果に着目して述べる。図は横軸がパネル及び試行回数、縦軸が閾値濃度の対数値を示す。黒塗りプロットは1s条件、白抜きプロットは3s条件の各パネルによる試行3回の平均値で縦線分が標準偏差である。各パネルの閾値の対数値について1sと3s条件間のt検定を実施したが、全組合せで有意差は検出されなかった。

図1はSS_AC条件の結果で、1sが3sより低濃度だったパネルが3名、3sが低濃度のパネルが3名いた。標準偏差もいずれの指示時間が長いかはパネルによって異なったことがわかる。図2はSS_EA条件を示し、1s条件の方が低いパネルが4名見られた。4名中3名はSS_AC条件と同傾向だった。

図3はDS_AC条件を示し、1s条件の方が低かったパネルが2名、3sが低かったパネルが1名で、SS_AC条件とは傾向が異なった。図4はDS_EA条件だが、

Table 1 Conditions of triangle odor bag method

Condition	Method	Material	Instruction
SS_AC	Self suction	Acetone	1s, 3s
SS_EA	Self suction	Ethyl acetate	1s, 3s
DS_AC	Discharge & suction	Acetone	1s, 3s
DS_EA	Discharge & suction	Ethyl acetate	1s, 3s
CS_AC	Suction with cannula	Acetone	No
CS_EA	Suction with cannula	Ethyl acetate	No

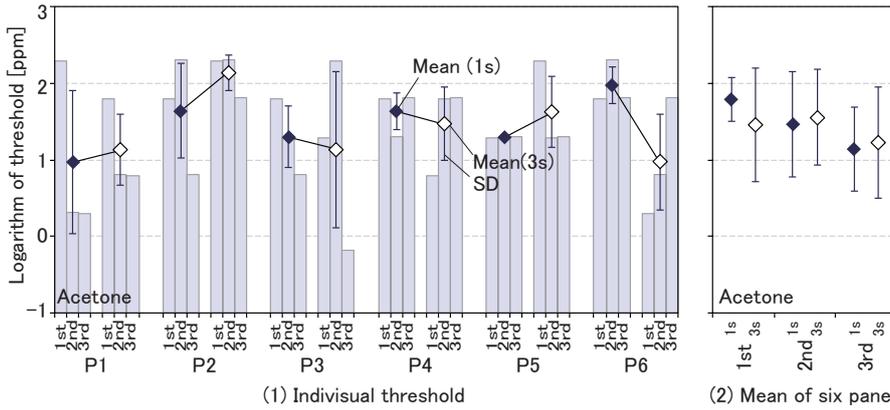


Figure 1 Comparison of threshold between suction time conditions in SS method (AC)

1s、3s 条件間でほとんど差は見られなかった。

図 5 は CS_AC 条件を示し、個人内変動を示す標準偏差は SS・DS 条件よりやや小さいが、閾値が非常に高い傾向にあった。図 6 の CS_EA 条件も同様で、さらに標準偏差の非常に大きなパネルが複数見られ、検臭が困難だったことがうかがえる。

3.2 平均値の試行回数間比較

本節では図 1～6 の (2) に着目して述べる。横軸は試行回数及び 1s、3s の指示時間で、プロットは 6 名の平均値、縦線分で標準偏差を示す。いずれも Bonferroni の多重比較を実施し、有意差の検出された組合せに*印を付した。

図 1 の SS_AC 条件では、有意差は見られなかったものの 1s 条件は試行回数ごとに低下する傾向を示した。図 2 の SS_EA 条件は、3s 条件で有意差が検出されたほか、1s 条件でも有意差は見られないものの右下がりの傾向だった。

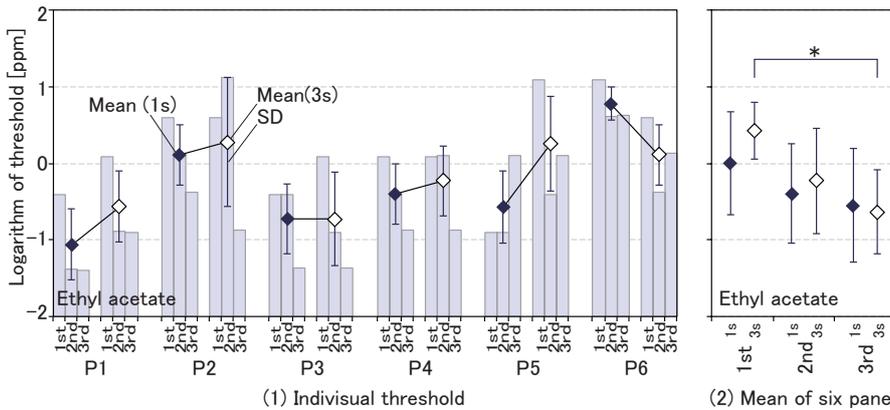


Figure 2 Comparison of threshold between suction time conditions in SS method (EA)

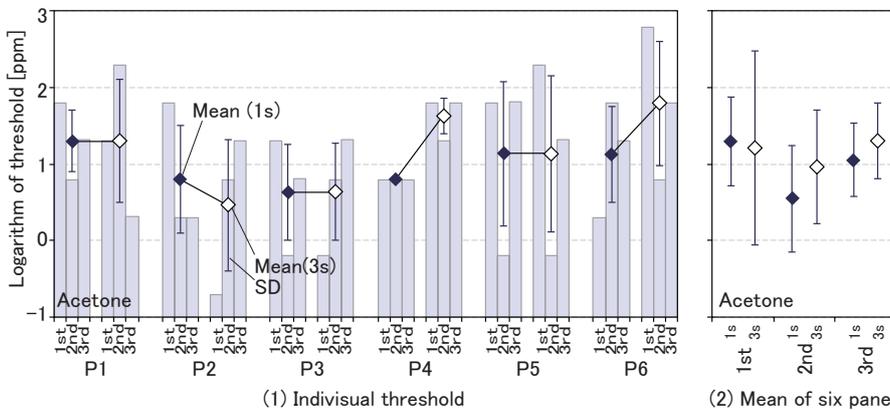


Figure 3 Comparison of threshold between suction time conditions in DS method (AC)

図 3 の DS_AC 条件では、1s、3s 条件とも 2 回目に最低濃度だった。図 4 の DS_EA 条件では 3s 条件で有意差が検出されたほか、1s でもわずかに右下がり傾向だった。

図 5 は CS_AC 条件を示し、2 回目に最低濃度で、図 6 の CS_EA 条件と同傾向だった。

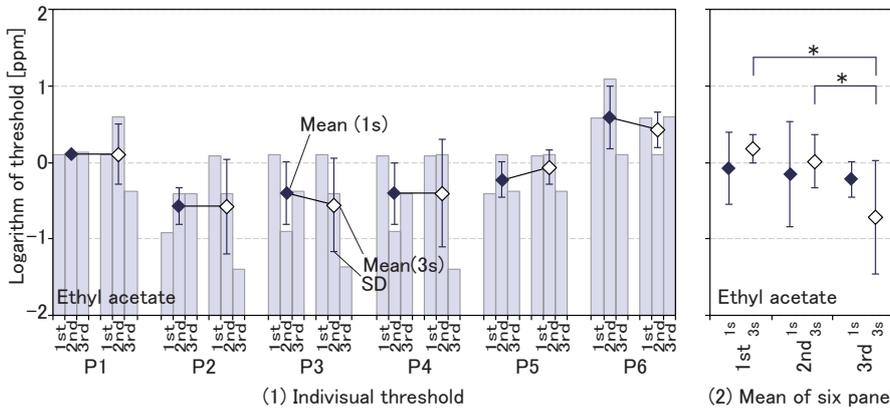


Figure 4 Comparison of threshold between suction time conditions in DS method (EA)

以上から、自己吸引法 (SS 条件) は習熟による測定値の変動が予想され、三点比較式臭袋法初心者は押し吸引法 (DS 条件) の方が 1 回目から高精度の測定を行なえる可能性が示唆された。

4. 吸引手法間の閾値比較

図 7 に 6 名 3 回の平均閾値の手法間比較を示す。横軸が試

行回数及び手法条件、縦軸が閾値の対数値を示す。プロットは6名3回の平均閾値で縦線分が標準偏差である。Acetone、Ethyl acetateとも、CS条件と他の条件との間にBonferroniの多重比較で有意差が検出された。平均値で見れば、Acetoneでは自己吸引法(SS)が押し吸引法(DS)よりわずかに高い閾値だったが、Ethyl acetateでは反対の傾向だった。いずれも大きな差異ではなく、押し吸引法でも公定法の自己吸引法に相当する測定閾値であったことがわかる。また、当初は鼻腔内への臭気の吸引濃度が高いと考えて提案したカニューラ法(CS)だったが、他条件よりかな

り高い閾値となった。器具の固有臭(無臭空気を十分に通過させて対策を取った)や管路の細さに伴う吸引への抵抗の高さが問題点として浮き彫りになった。

5. 吸引・押し出し量測定概要

吸引量や押し出し量の個人差あるいは手法間比較のため、吸引・押し出し量の測定を2018年11月1日と27日に実施した。実験参加者は、三点比較式臭袋法経験者として前述のパネル6名、対照者として同法未経験の学生6名(男5名、女1名、平均21.8歳)の計12名として、気体用流量センサ(FD-A50:KEYENCE製)を用いて図8に示す方法で自己吸引量と押し出し量を測定した。さらに、教示として1sと3sで吸引・押し出しするよう指示を与えて測定を行い、表2に示す計4条件について流量を得た。なお、測定には臭気ではなく室内空気を用いた。

6. 結果と考察

6.1 測定経験の有無の比較

紙面の都合上、図9に測定結果の一例のみ示す。横軸が測定開始からの経過時間、縦軸が時間あたり吸引・押し出し量を示し、左図が三点比較式臭袋法経験者、右図が非経験者の吸引・押し出し傾向である。図の例では、吸引については概ね指示通りの時間で実施されたが、他の実験参加者では、図の押し出しのように1秒押し出しの指示に対して3秒間押し出すなど個人差の大きい傾向にあった。最大流量についても個人差が大きかった。図9に示した時間あたりの流量を積分して総流量を求めて図10にまとめた。図中(1)は吸引2条件、(2)は押し出し2条件で、横軸が実験参加者(Pn: 経験者、Cn: 非経験者)及び時間指示条件、縦軸が総流量を示し、プロットが6名の平均値、縦線分で標準偏差を示す。なお、経験者群と非経験者群間のt検定では有意差は検出されなかった。

図中(1)から、有意差はなかったものの、経験者群の方が非経験者群より吸引量が少ない傾向が把握できる。経験者は、検臭にそれほど多量の臭気が必要としないことがわかる。また、特にP3で多量の吸引だったことを除けば、経験者は1sと

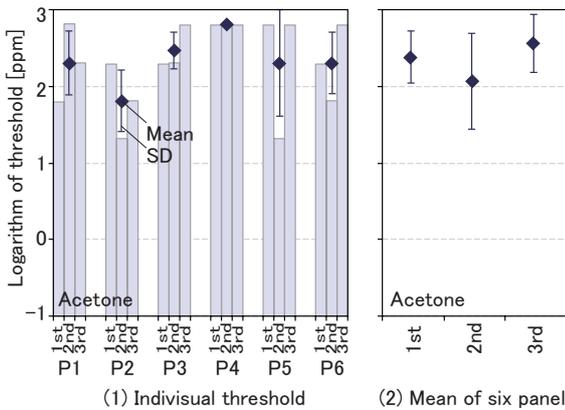


Figure 5 Comparison of threshold between suction time conditions in CS method (AC)

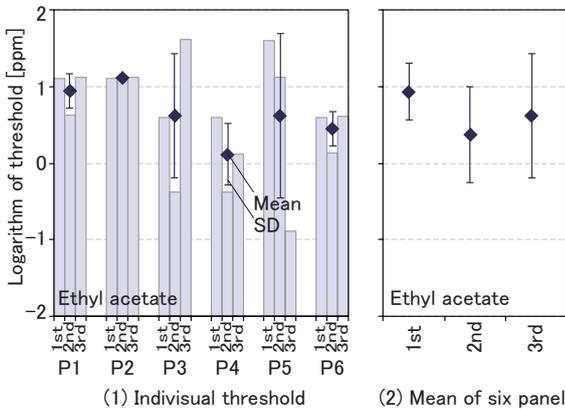


Figure 6 Comparison of threshold between suction time conditions in CS method (EA)

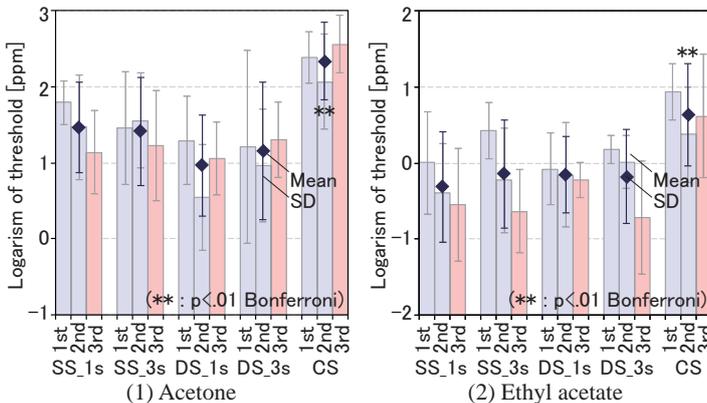


Figure 7 Comparison among conditions of suction methods

Table 2 Conditions of volume measurement

Condition	Measured flow	Instruction
S_1s	Suction	1s
S_3s	Suction	3s
D_1s	Discharge	1s
D_3s	Discharge	3s

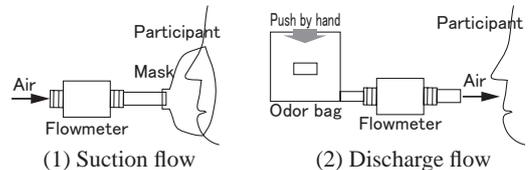


Figure 8 Measurement methods of airflow volume

3s の指示に対してそれほど吸引量の差異は大きくはなく、三点比較式臭袋法で通常自分が行う検臭方法を想定した吸引方法を採用した可能性がある。一方で、非経験者では指示に忠実に行動したことで、1s と 3s の吸引量の差が大きかったと推測される。

図中 (2) から類似の傾向が読み取れるが、1s の指示条件では、経験者と非経験者の差異は小さかった。3s 条件でも、P2 が非常に少量だったことを除けば比較的経験者と非経験者の差異は小さく、押し出し量については初心者でも熟練者と同程度の傾向となる可能性が高い。

6.2 吸引量と閾値の相関

図 11 に 2 章で測定した閾値と 5 章で測定した経験者の吸引量との関係を示す。図中 (1) は Acetone, (2) は Ethyl acetate について示しており、横軸が吸引量、縦軸が自己吸引法の閾値の対数とした。黒塗りプロットは 1s 指示条件、白抜きプロットは 3s 指示条件で各 6 名 (経験者のみ)、延べ 12 名分の散布図とした。図中の r は相関係数を示す。

図中 (1) では相関係数が非常に低いものの、右上がりとの傾きの傾向が見て取れる。すなわち、いずれも吸引量が少ないほど閾値濃度が低い傾向である。これは、森山ら³⁾の提示した「吸引量を押し出し量で除した比が小さいほど、鼻腔内に吸引される臭気濃度が高い」とした傾向と同一である。一方で、図中 (2) は、右下のプロットによって負の相関係数とはなったものの、それ以外はほとんどが縦方向への分布であり、吸引量と閾値濃度の関係はそれほど高くないと予想される。以上のことから、吸引量に関わらず、嗅上皮における吸入臭気への生理学的反応性の物質間差や人の個体差が嗅覚閾値への影響には支配的なのではないかと考えられる。

7. おわりに

本報では、三点比較式臭袋法を用いた閾値測定と、吸引・押し出し流量測定との両面から、吸引手法間の精度の比較を行なった。また、吸引・押し出し流量の測定手法経験者・非経験者間の比較から、同法初心者と熟練者の測定閾値の傾向の予想を行った。全体を通して、押し出し吸引法は

自己吸引法よりも初心者による測定でも遜色ない精度で実施できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 例えば 山川和希, 堀江昌朗, 竹村明久, 増井公貴: 三点比較式臭袋法における吸入濃度に基づく最適吸引法に関する研究 (その 1) 吸引濃度予測のための簡易予測手法に関する検討, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集 (pdf), 2016
- 2) 竹村明久, 堀江昌朗, 藤本佑佑: 三点比較式臭袋法における吸入濃度に基づく最適吸引法に関する研究 (その 6) 吸引流量と閾値測定に基づく吸引法間比較, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.17-20, 2017
- 3) 森山甲太郎, 堀江昌朗, 竹村明久: 三点比較式臭袋法における吸入濃度に基づく最適吸引法に関する研究 (その 6) 経験者と未経験者の吸引および排出流量実測値を用いた臭気濃度評価, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.157-160, 2018

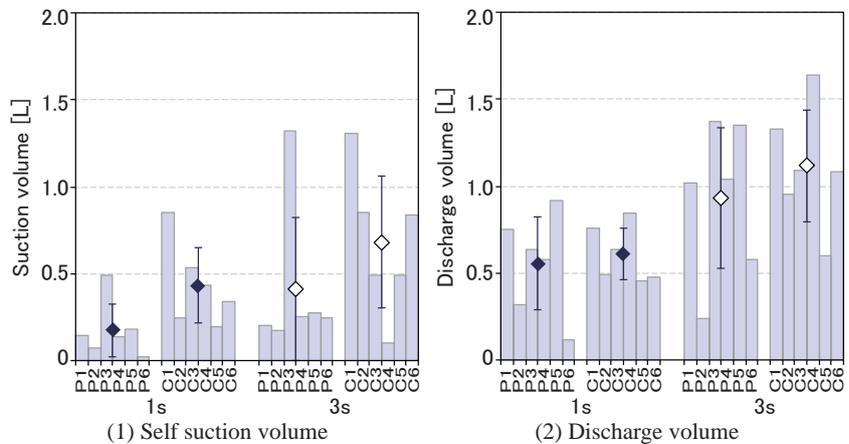
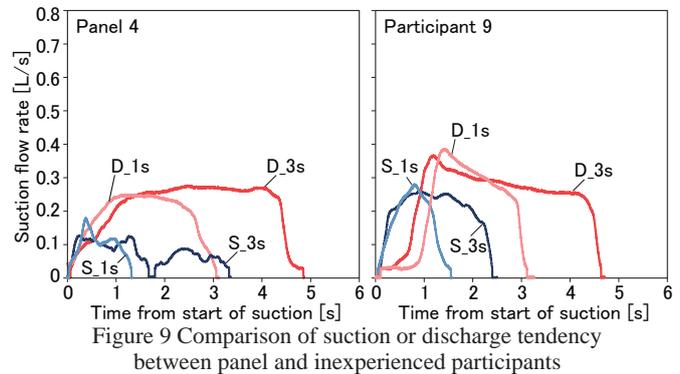


Figure 10 Comparison of suction or discharge volume between panel and inexperienced participants

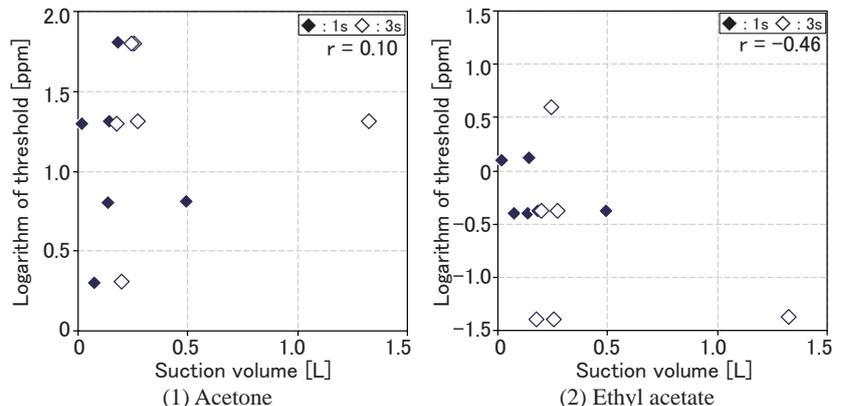


Figure 11 Correlation between suction volume and threshold by six panel

香りが短時間仮眠後の作業効率に及ぼす影響 (その1) 作業成績の習熟度検討と香り条件間比較

Effect of Aroma on Work Performance after Short Nap (Part1) Examination of Proficiency in Work Performance and Comparison among Aroma Conditions

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

Koki MINAMIDA*¹ Akihisa TAKEMURA*¹ Yuta WAKIYAMA*² Yasuyo SUGIMOTO*²

*1 Setsunan University *2 Panasonic Ecology Systems Co., Ltd.

It's clearly that short nap effects on work performances. However, it hasn't been cleared the effect of short nap with aroma. Thus, the experiment was conducted that participants napped in the dark booth with three aroma conditions, which were orange, clove and control (no aroma diffused). They also worked two mental works, which were d2 test and Word creating test. Consequently, the decrease rate of errors in d2 test after the nap with clove aroma was smaller than those of orange and control.

1. はじめに

現在、日本では超高齢化社会となつて、働き手が減少していることから、オフィスにおける知的生産性の向上が重要とされている。しかし、昼の眠気はどうしても避けられない。昼に眠くなるのは概半日リズム (circasemidian rhythm) による12時間周期による影響と考えられている¹⁾が、近年では、睡眠時間の減少傾向に伴う睡眠習慣の崩壊も影響していると考えられる。眠気は作業効率抑制の一つとして挙げられており、仮眠室を設けるオフィスも近年では増えている。そこで、近年の香り活用の気運の高まりと同様に、仮眠時に香りを活用することでさらなる好影響を得ることができるのではないかと考える。本研究では、香りの嗜好性が仮眠前後における心理状態や知的作業に及ぼす影響の検討を目的とし、仮眠実験で嗜好度別に心理評価と知的作業を行わせた。本報では知的作業結果を示す。

2. 知的作業

国土交通省の知的生産性研究委員会報告書²⁾において、個人の知的生産性の検討について「情報処理」と「知識創造」に分類している。そのため、吉本ら³⁾の研究を参考とし、「情報処理」にd2テストを「知識創造」では単語作成テストの2種類を用いることとした。

2.1 d2 テスト

d2テストは視覚的注意を測定することができる作業として、臨床現場や基礎研究において、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ひとつ

である。dとpの上下に付けられた点を識別し、上下の合計に2つの点があるdの文字に斜線を入れることで集中度合いを知るテストである。テストの用紙例を図1に示す。

本研究ではA3用紙1枚にdとpで構成された940文字(1行に47文字×20行)を印刷し、行内を左から15秒間で、可能な範囲まで2つの点がついたdのみに斜線を引くように実験参加者に指示した。

評価方法として、行内で最後に斜線が引かれた文字から次の正答文字の1つ前の文字までの文字数を回答数とし、20行の回答数を合計した総回答数を、940文字(総数)で割った達成率[総回答数/総数]、及び正答文字を見落としした数(見落とし数)と正答文字ではない文字に斜線を引いた数(誤答数)を足し、総回答数で割ったものをミス率[(見落とし数+誤答数)/総回答数]とし、それぞれ算出した。

2.2 単語作成テスト

単語作成テストはひらがな12文字から2字以上の有意な単語を作成するテストである。提示した12字

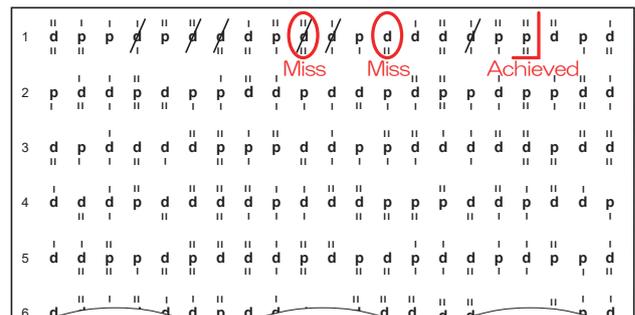


Figure 1 Example of d2 test

は、子音 8 文字と母音 3 文字、小文字利用可能文字 1 字で構成した。テストの概要を図 2 に示す。なお、実験参加者には字数が多いほど評点が高いことを伝えることより、長い文字数の単語を作るように動機づけした。

評価方法には、時間内に作成した文字の総数を算出する方法と、高い字数ほど高い点数として合計得点を算出する方法が想定された。しかし、作業結果をみると、2 文字の単語が占める割合が圧倒的に高い傾向が見られた。2 文字の作成には、提示した隣り合う文字を組み合わせるだけで文字が作成できることから、「情報処理」に近い作業だったと考えられ、本研究では、この作業は「情報処理」と「知識創造」の 2 面を含む作業であると考えた。そこで、本研究では作業成績を単語作成総数で示すことにした。

3. 実験の流れ

知的作業では習熟が見られることが明らかなことから、実験参加者には事前に 10 回分の d2 テストと単語作成テストを行わせた。また、見知らぬ場所で眠ることへの不安感などが影響し、実験時に眠れない可能性があったため、事前に暗室で仮眠を 2 回体験させた。また、実験時には嗜好度の高い香り（オレンジピター条件）と低い香り（クローブパッド条件）、香りなしの対照条件の計 3 条件を用いた。

実験は 2018 年 11 月 27 日～2019 年 1 月 11 日に本学実験室で実施した。暗室内の温度は 20.8～25.5[°C]、湿度は 19.1～44.1[%RH] だった。また、実験参加者は嗅覚検査（T&T オルファクトメータ）合格者の学生 9 名（平均 21.1 歳、男性 4 名、女性 5 名）とし、3 条件全てに参加させた。また、実験参加者ごとに曜日と時間は固定とし、曝露する条件順は実験参加者ごとにランダムとした。

図 3 に暗室及び前室の平面図を図 4 に実験の流れを示す。実験室は前室と暗室で構成され、前室に入室後、靴を脱がせて作業用座席に着座させ、心理評価と知的作業を行わせた。心理評価として、昨晚の睡眠時刻、今朝の起床時刻、合計睡眠時間と現在の気分や体調に関する 5 項目に関する評価を行わせたのち、知的作業の d2 テストと単語作成テストをそれぞれ 5 分間行わせた。その後暗室に入室させ、正面に正対した照明 2 台から 160 cm 離れたリクライニングチェア（座面と背もたれの内角 120°）に着座させた後に

目を開けた状態で 1 分程度待機させた。そして、リクライニングチェア背面に設置したディフューザと照明の起動が仮眠開始の合図とした。なお、暗室は第 3 種換気とし、排気口の換気扇と暗室内の空気を攪拌するためのサーキュレータ 2 台は連続稼働とした。

仮眠の入眠フェーズでは照明とディフューザを稼働、その後の仮眠フェーズでは稼働させず、起床フェーズには照明、ディフューザ及び起床音（平均 51[dB]）のボサノバを発生させるスピーカを稼働させた。なお、仮眠中は脳波の連続測定を行った。計 22 分間の仮眠後、暗室から退出して作業用座席へ移動させ、心理評価と 5 分ずつの 2 種の知的作業を行わせて実験終了とした。仮眠後の心理評価としては現在の気分や体調についての 5 項目、入眠時と起床時での暗室の環境に対する各 4 項目、仮眠についての 5 項目、暗室に対する印象として小木曾ら⁴⁾の研究より選定した評価項目と仮眠に影響すると考えられた計 20 項目、総合的な評価としての 2 項目を評価させた。

4. 実験結果

知的作業では、個人内変動と習熟度が人によって大きく異なるため、近似を用いることで、各実験参加者の近似式を算出した。



Figure 2 Example of Word creating test

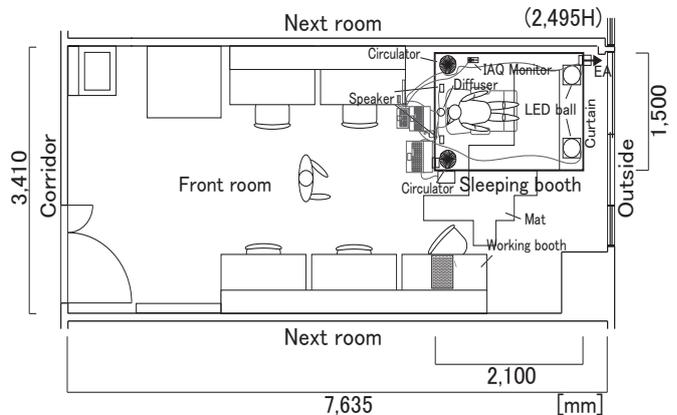


Figure 3 Sleeping booth in laboratory

	Start		In the sleeping booth (EEG Mes.)					Finish	
	Sens. vote & 2 tests	Enter	Rest	Start to nap	Nap	Wake up	Exit	Sens. vote & 2 tests	
Environmental controls			Dim lighting Diffused Aroma			Light, aroma, music			
Others	PMV, temperature and humidity measurements and ventilation (EA only) in the sleeping booth								

Figure 4 Time schedule

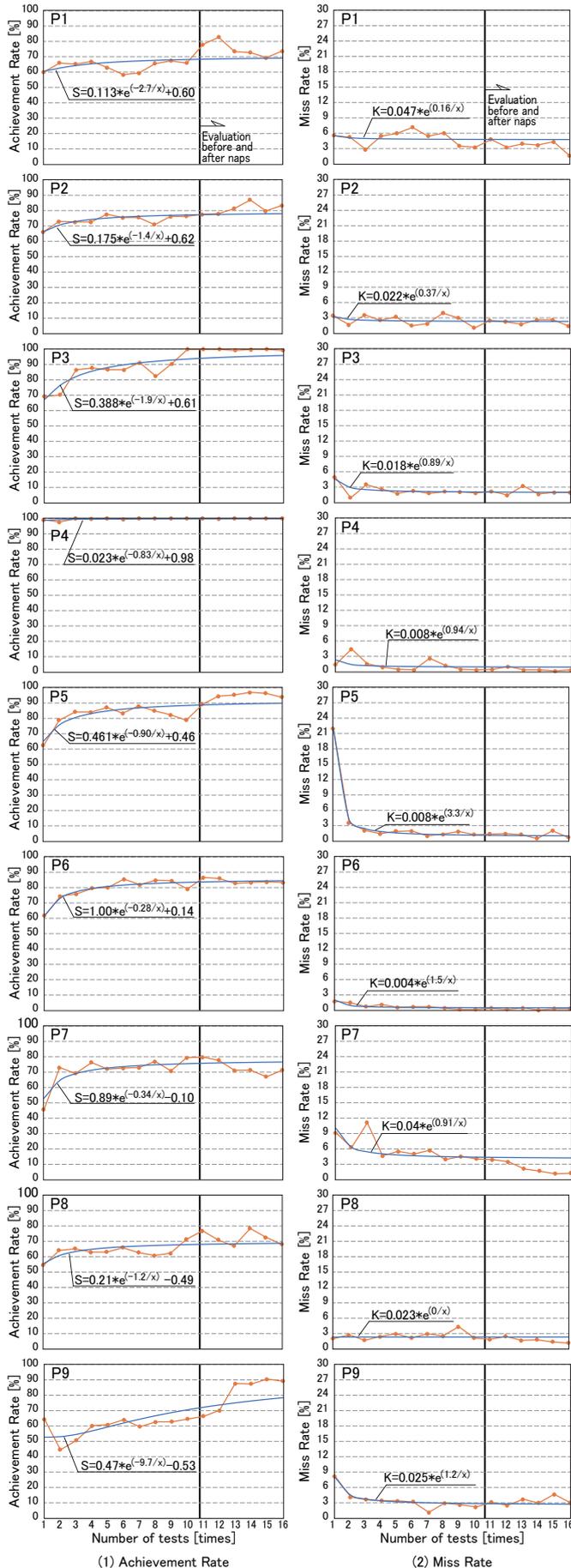


Figure 5 Learning curve of d2 test

4.1 d2 テスト

まず、事前に行わせた 10 回分より達成率、ミス率の習熟曲線を最小二乗法に基づき以下の式 (1) と式 (2) で算出した。

$$S = a * e^{(-b/x)} + c \quad \text{式(1)}$$

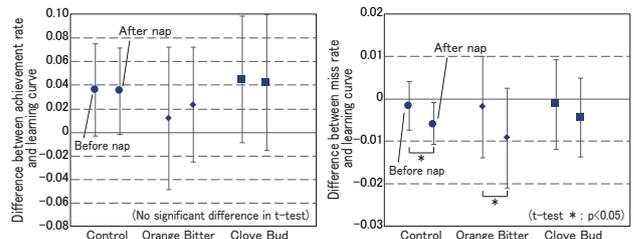
S : 達成率 [%] x : 実験回数 [回]
 a : 係数 [-] * 制約条件
 b : 係数 [-] $a+c \leq 1$ $b \geq 0$
 c : 係数 [-]

$$K = a * e^{(b/x)} \quad \text{式(2)}$$

K : ミス率 [%] x : 実験回数 [回]
 a : 係数 [-] * 制約条件
 b : 係数 [-] $b \geq 0$

しかし、実験開始以降で作業の習熟が見られ、習熟曲線と大きく乖離していたため、仮眠前に行わせた 11, 13, 15 回目の作業も習熟曲線に含めた。試験回数ごとの達成率とミス率、及び習熟曲線を図 5 に示す。9 名の実験参加者 (P1-9) について、横軸が試験回数、縦軸を達成率及びミス率で示した。いずれも、ほとんどの実験参加者に習熟が見られた。習熟曲線と大きく外れていた場合があったが、問題の難易度は等しいため、習熟曲線の乖離は個人内変動とみなし、仮眠や香りの影響をプロットと曲線の差から求められると考えた。

図 5 におけるプロットと習熟曲線の差に関する仮眠前後の香り条件間比較を図 6 に示す。横軸は実験条件ごとの仮眠前後を、縦軸は実験値と近似値の差で示す。達成率では対照条件とクローブバッド条件がオレンジビター条件よりも高いが、いずれも正值であることから近似値より高いことがわかる。各条件における仮眠前後のプロットを比較すると、対象条件とクローブバッド条件ではほとんど変化は見られなかった。これに対し、オレンジビターでは上昇し、仮眠前のプロットが他の 2 条件よりも低いためではないかと考えられる。また、いずれも仮眠前後に有意な差は見られなかった。次にミス率を見ると、いずれの条件も習熟曲線よりプロットの方が低いため、負の値で示された。また、仮眠前後の変化では、3 条件ともにミス率の減少がみられた。t 検定の結果、対照条件、オレンジビター条件で $p < 0.05$ において有



(1) Achievement rate

(2) Miss rate

Figure 6 Comparison of achievement rate and miss rate among aroma conditions

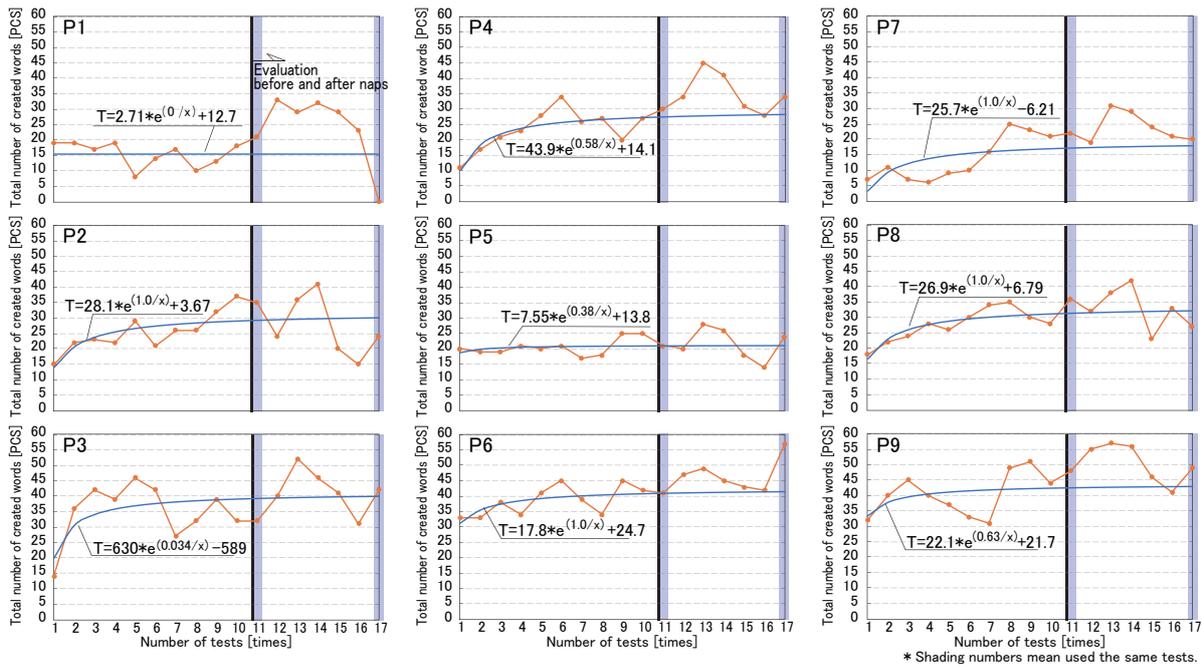


Figure 7 Learning curve of Word creating test

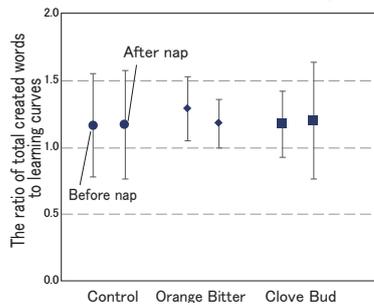


Figure 8 Comparison of the total number of created words among aroma conditions

意差が見られた。しかし、クローブバッド条件では有意差は見られなかったことから、仮眠の際に嗜好度が低い香りがあることで仮眠後の集中力の回復に影響を及ぼす可能性があることが示唆された。

4.2 単語作成テスト

d2テストと同様に事前に行われた10回分の試験より、次の式(3)で算出した。

10回以降を含めた試験回数ごとの単語作成総数と、

$$T = a * e(-b/x) \tag{3}$$

T : 単語作成総数 [個] x : 実験回数 [回]
 a : 係数 [-] * 制約条件
 b : 係数 [-] 0 ≤ b ≤ 1

習熟曲線を図7に示す。習熟が見られる実験参加者はいるものの、プロットと習熟曲線が大きく異なった。この要因としては問題の難易度と個人内変動の2点が考えられた。そのため、後日に17回目として実験参加者に11回目と同様の問題を行わせた。11回目と17回目の単語作成総数比較をしたところ、系統的な影響は見られなかったことから問題の難易度よりも、個人内変動による影響が大きいと考えた。そこで、仮眠前後の単語作成総数の比較を行うことで、仮眠

の影響を見られると考えた。

そこで、図7におけるプロットと習熟曲線の差に関する仮眠前後の香り条件間比較を図8に示す。横軸は実験条件を縦軸に実験値を近似値で除した値で示す。仮眠前の平均値はいずれも近似式より高い値だったため1以上の値であり、オレンジビター条件が他の2条件よりもやや高かった。仮眠後では、対照条件とクローブバッド条件で仮眠前より若干の上昇が見られ、オレンジビター条件は低下したが、3条件の値がほぼ同値だった。各条件の仮眠前後でt検定を行ったが有意差は見られなかった。このことから、単語作成テストでは仮眠による作業効率の上昇は見られなかったと言える。

5. おわりに

香り環境下での仮眠と前後での心理評価と知的作業の実験を行い、仮眠前後の作業成績向上は、「情報処理」の作業でのみでみられた。今後は、今心理評価の解析を行い、作業成績と比較し、香り嗜好性が仮眠に及ぼす影響を検討したい。

本研究は、パナソニックエコシステムズ株式会社との共同研究である。研究を進める上で多大なご尽力を頂いた脇山雄多氏、杉本泰世氏に深謝致します。

参考文献

- 1) 井上雄一：眠気の科学-そのメカニズムと対応-：株式会社朝倉書店, p. 88, 2012
- 2) 国土交通省：知的生産性研究委員書, p. 12, pp. 23-24, 2013
- 3) 吉本梨紗, 山中俊夫, 竹村明久, 甲谷寿史, 大久保滉平：室内臭気が生産性の主観評価・知的生産性に及ぼす影響(その2) 臭気質が生産性の様々な知的作業に及ぼす影響, 平成28年室内環境学会学術大会講演要旨集, pp. 308-309, 2016
- 4) 小木曾定彰, 乾正雄：Semantic Differential (意味微分)法による建物の色彩効果の測定, 日本建築学会論文報告集, pp. 105-113, 1961

CO₂濃度変化が執務者の酸素化ヘモグロビン濃度及び TOI に与える影響 The Effect of Changes in CO₂ Concentration on Officer's Oxygenated Hemoglobin Concentration and TOI

○黒田 裕亮 (立命館大学) 近本 智行 (立命館大学) 三村 凌央 (佐藤総合計画)

Yusuke KURODA*¹ Tomoyuki CHIKAMOTO*¹ Ryouto MIMURA*²

*¹ Ritumeikan University *² AXS SATOW INC.

Although carbon dioxide is a gas not perceived, it is thought that high concentrations of carbon dioxide have an influence on the human body. There is a possibility of lowering concentration ability and promoting drowsiness. It may influence productivity and learning efficiency. We conducted experiments to measure the amount of work and the physiological psychology of the worker, using a laboratory that can constantly control temperature and humidity

はじめに

CO₂は知覚しない気体ではあるが、高濃度の CO₂ が人体に影響を及ぼす^{文1)}と考えられており、人体に影響を及ぼさない程度の CO₂ 濃度であっても、生産効率や学習効率^{文2)}などに影響を及ぼす可能性がある。また、オフィスや学校などにおいて、室内環境質の向上に関する評価指標としてプロダクティビティ (作業効率) といった概念^{文3)}も注目されている。しかし、建築環境という面から、室内 CO₂ 濃度と執務者の知的生産性との関連性に着目した研究は少ない。CO₂ 単体の影響として捉えるためには、被験者実験結果を統計処理上で独立因子と扱う^{文4)}、あるいは他の環境因子を変化させずに CO₂ 濃度のみを変化させる環境下での被験者実験を実施することが必要である。

そこで本研究では、室内 CO₂ 濃度が定常になった状況を想定し^{注1)}、執務者の作業量と生理心理量を同時に測定する実験室実験を行った。その結果から CO₂ 濃度が作業性と生理心理量に及ぼす影響を検証することを目的としている。さらに、室内の CO₂ 濃度が人の呼気によって比較的短時間で上昇するため、非定常状態の検証も必要と考えた。CO₂ 濃度が短時間で変化する状況を想定し、非定常状態の CO₂ 濃度環境における作業性と生理心理量を同時に測定する実験室実験も行った。その結果を定常状態の結果と比較し、傾向に違いがあるかどうか検討する。

また、温度の違いに対して CO₂ 濃度変化がどの程度の影響をもっているかの検討も行う。

1. 被検者実験概要

1.1 実験空間

実験は、立命館大学びわこくさつキャンパス内にある恒温恒湿室実験室にて行った。Fig. 1 に示すように、幅 2060mm、奥行 2080mm、天井高 2700mm の空間である。

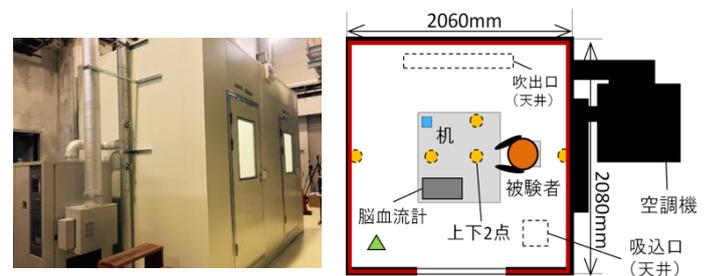


Fig. 1 Experimental space

Table.1 Environmental measurement items

凡例	測定項目	測定点数(床面からの高さ)	測定機器
●	室内温湿度	6点(700mm×1点、850mm×1点、1000mm×1点、1700mm×3点)	CO ₂ 計おんどり
	CO ₂ 濃度		
▲	室内温湿度	1点(1000mm)	アメニティメータ
■	O ₂ 濃度	1点(700mm)	酸素モニタ

1.2 測定項目

Table.1 に実験時の環境測定項目を示す。Fig. 1 に示した測定点において、アメニティメータ、CO₂計を用いて温度、湿度、CO₂濃度測定を行った。生理量として、血圧・脈拍と唾液アミラーゼ^{注2)}を測定した。また、被験者の安全面を考慮して O₂濃度の測定も行った。

1.3 実験手順・ケース

定常状態の被験者は健康な成人男子学生 5 名とし、前日の睡眠時間を十分に確保させ、飲酒を禁止とした。実験は、中間期を想定し 2017 年 10 月 3 日～11 月 6 日の間に 1 名あたり 5 ケースずつの計 25 ケース実施した。実験手順を Fig.2 に示す。まず、被験者を環境に順応させるため、測定①を行った後 30 分間安静にさせた。次に、測定②を行った後 60 分間タイピング作業をさせた。その後、測定③を行った後 15 分間安静にさせた。実験ケースは Table.2 に示す通りで、Case.1 (600ppm) を基準ケースとした。室内濃度が異なる Case.2 (1500ppm) と Case.3 (3500ppm)、

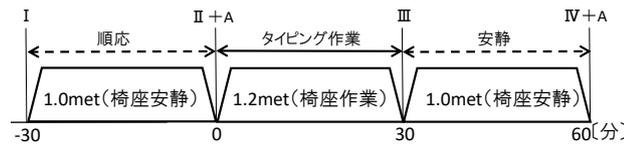
さらに室内温度は Case.1 (25℃) と同様でマスクを着用して作業をする Case.4^{注3)}、室温が 27℃の Case.5 の 5 ケースを行った。

非常定状態の被験者は健康な成人男子学生3名とした。1名あたり 2 ケースずつの計 6 ケース実施した。実験手順は Fig.3 に示す。実験ケースは Table.2 に示す通りで、Case.6 (600ppm→1500ppm) と Case.7 (600ppm→3500ppm) の非常定ケースとした。0分から30分にかけて濃度を上昇させ、30分から60分までは下降させている。



測定①	血圧・脈拍測定、アミラーゼ測定
測定②	血圧・脈拍測定、アミラーゼ測定、アンケート(前半)
測定③	血圧・脈拍測定、アミラーゼ測定、アンケート(後半)

Fig.2 Experimental procedure (stationary)



測定点	測定内容
I	入室+測定機器取付+血圧、脈拍、唾液アミラーゼ測定
II	血圧、脈拍、唾液アミラーゼ測定+アンケート申告
III	血圧、脈拍、唾液アミラーゼ測定
IV	血圧、脈拍、唾液アミラーゼ測定+アンケート申告
A	自覚症状調べ記入

Fig.3 Experimental procedure (nonstationary)

Table.2 Experiment case

条件 ケース	空気質環境		温熱環境		光環境	パフォーマンス 客観評価
	CO ₂ 濃度 [ppm]	マスク着用	温度 [°C]	相対湿度 [%]	机上面照度 [lx]	
Case.1	600	なし	25	50	750	タイピング
Case.2	1500					
Case.3	3500					
Case.4	600	あり	27	50	750	
Case.5	600					
Case.6	600→1500	なし	25	50	750	
Case.7	600→3500					

1.4 生理・心理反応測定

Table.3 に生理量測定機器を示す。生理量は手首式血圧計、赤外線酸素モニタ (TOI^{注4)}、 Δ O₂Hb^{注5)}、 Δ HHb、 Δ cHb)、唾液アミラーゼモニターを用いて計測した。また、Table.4 に主観評価として用いた温冷感・快適感のアンケート項目を示す。眠気や集中度などの項目については0~10の評価で申告させた。

2. 結果

2.1 主観評価(心理反応)

Fig.4 にタイピング作業前後の空気環境に対する満足度を示す。CO₂は知覚しない気体であるため、ケース間で有意な差はみられなかった。Fig.5、Fig.6 に作業前後の眠気感申告と倦怠感申告、Fig.7 に4項目(空気環境、眠気感、倦怠感、集中度)の作業前後の増減率を示す。眠気感や倦怠感、集中度は Case.3 と Case.4 において差がみられ、Case.4 で 47.6%増加し、Case.3 で 32%増加した。倦怠感や集中度は Case.4 において差がみられ 37.5%増加した。集中度の増減率は Case.4 が最も大きく 24%減少した。また、Fig.8 に Case.6 と Case.7 の4項目(空気環境、眠気感、倦怠感、集中度)の測定点IIからIVへの増減率を示す。眠気感や倦怠感で増加傾向、集中度と作業効率で減少傾向が見られた。

Table.3 Physiological quantity measuring equipment・item

	測定機器	測定項目
人体反応	赤外線酸素モニタ (NIRO-200)	Δ O ₂ Hb (酸素化ヘモグロビン濃度変化)
		Δ HHb (脱酸素化ヘモグロビン濃度変化)
		Δ cHb (総ヘモグロビン濃度変化)
	唾液アミラーゼモニター (CM-3.1)	TOI (組織に含まれるO ₂ Hbの割合)
	手首式血圧計 (HEM-6310F)	唾液 α アミラーゼ活性値
		最高血圧
		最低血圧
		脈拍数

Table.4 Questionnaire item

明るさ (暗すぎる、やや暗すぎる、適当、やや明るすぎる、明るすぎる)
温冷感 (寒い、やや寒い、適当、やや暑い、暑い)
発汗 (非常に汗ばむ、汗ばむ、やや汗ばむ、発汗なし)
空気環境 (0:悪い→10:良い)
リラックス度 (0:緊張→10:リラックス)
眠気 (0:なし→10:あり)
倦怠感 (0:なし→10:あり)
集中度 (0:なし→10:あり)
作業効率 (0:低い→10:高い)

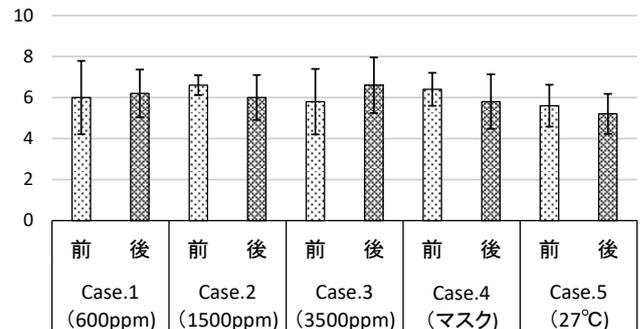


Fig.4 Air environmental satisfaction before and after work

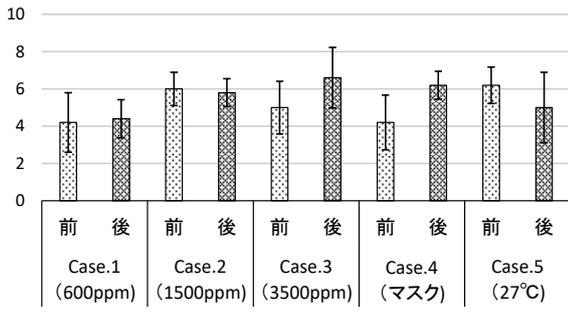


Fig.5 Sleepiness before and after work

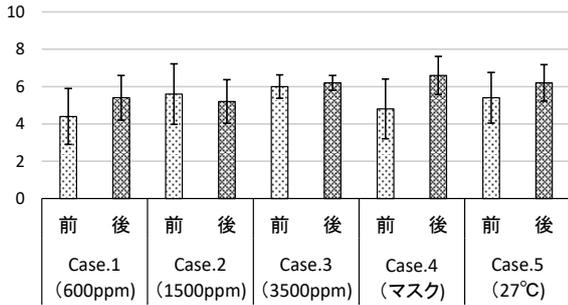


Fig. 6 Fatigue before and after work

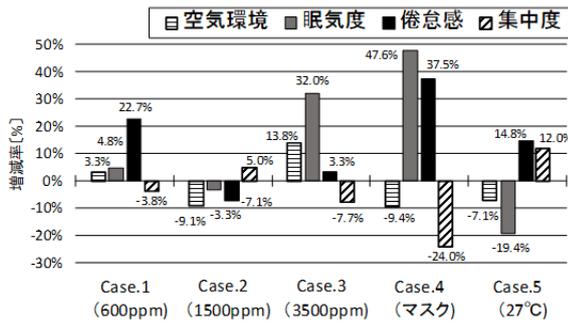


Fig.7 Increase / decrease of subjective evaluation before and after work (steady state)

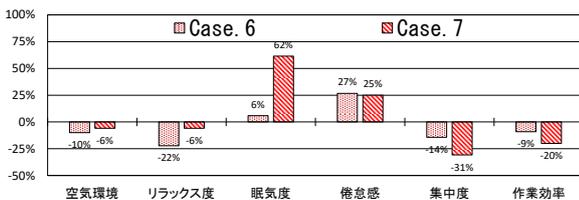


Fig.8 Increase / decrease of subjective evaluation before and after work (nonstationary)

2.2 タイピング結果 (作業効率)

Fig.9 は Case.1 を基準とした、タイピング作業の総入力文字数と CO₂濃度の関係を示す。Case.4 で作業中に被験者が吸気している CO₂濃度を 5000 ppm^{注6)} と仮定している。これ以降の図でも同様に扱う。CO₂濃度が高くなるにつれて作業量は減少傾向にある。また、Fig.10 にタイピング作業の正解入力文字数と CO₂濃度の関係を示す。正解入力文字数は総入力文字数から誤入力文字数を除いた数である。Fig.9 と同様に CO₂濃度が高くなるにつれて正解入力文字数は減少傾向にあることがわかる。

Fig.11 は総入力文字数における誤入力文字数の割合と CO₂濃度の関係を示している。CO₂濃度が高くなるにつれて誤入力率は増加傾向にある。Fig.12 に各ケースの誤入力率を示す。Case.5 は基準ケースより 1.0%高く、Case.4 は基準ケース (Case.1) より 3.3%高い。本研究の環境設定の範囲内では、温度の違いよりも CO₂濃度の違いの方が作業に及ぼす影響は大きいことが分かった。

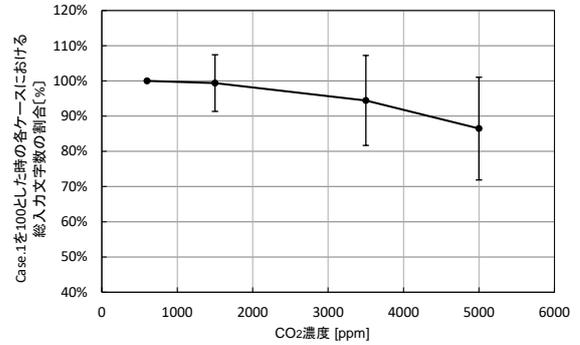


Fig. 9 Relationship between working volume and CO₂

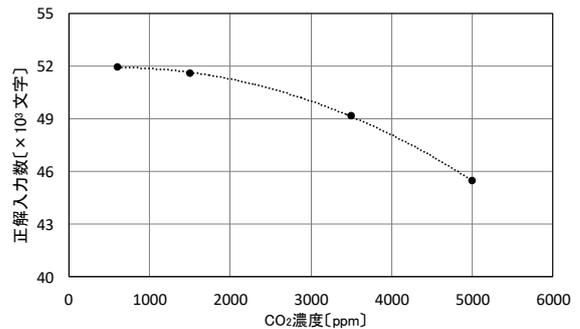


Fig.10 Relationship between number of correct input character and CO₂ concentration

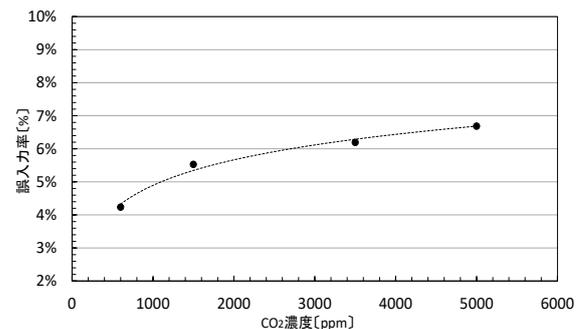


Fig. 11 Relationship between False input rate and CO₂ concentration

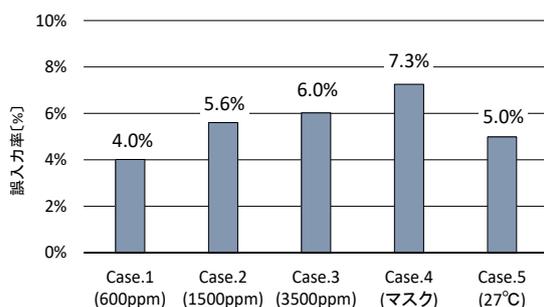


Fig. 12 False input rate — by case

2.3 脳内代謝量結果 (生理反応)

Fig.13 はタイピング作業の総入力文字数と TOI 値の関係を示す (定常)。TOI 値はタイピング作業中の平均値である。作業量は高濃度のケースになるにつれて減少しており、TOI 値も同様の傾向がみられる。

Fig.14, 15 に TOI 変化量を示す (非定常)。CO₂流入開始直前の TOI 値 (%) を 0 と置き、そこからの増減値である。3 分間を平均した結果を示している。Case.2 に対して Case.6 は 12~15 分あたりから 24 分にかけて緩やかな上昇が見られる。また、Case.3 に対して Case.7 は開始直後から上昇が見られた。一方で、Case.1 より TOI はタイピング作業によっても上昇する。そこで作業をしない安静状態で CO₂濃度を上昇 (ステップアップ) させた場合に脳内代謝量に反応があるか追加実験を行った。その結果、Case.6 と同様のステップアップでは約 12 分経過後、Case.7 と同様のステップアップでは約 3 分経過後に TOI の上昇が見られた。その時の CO₂濃度は約 1300ppm であることが分かった (Fig.16)。

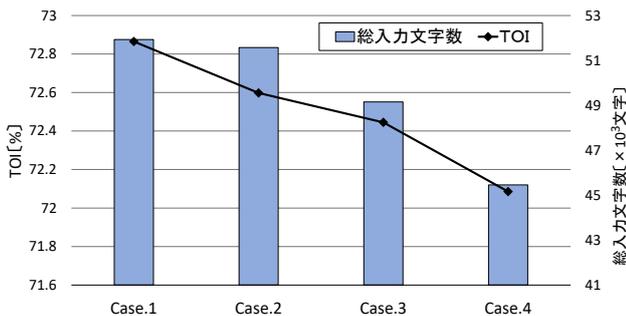


Fig.13 Relationship between working volume and TOI — by case

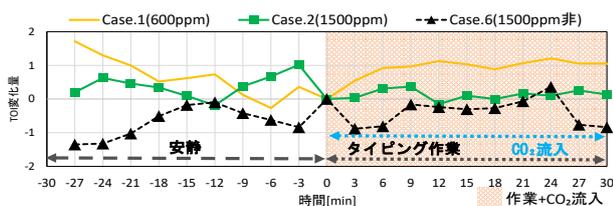


Fig.14 Change amount of TOI — 1500ppm Stationary / nonstationary comparison

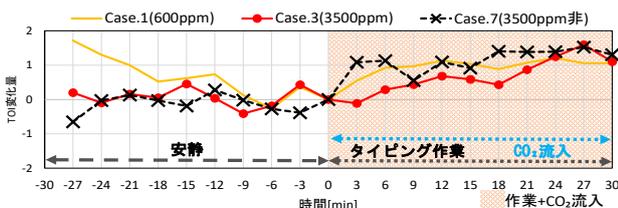


Fig.15 Change amount of TOI — 3500ppm Stationary / nonstationary comparison

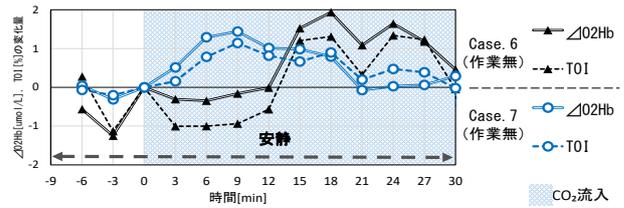


Fig.16 Change amount of ΔO₂Hb, TOI — Additional Experiment

3. まとめ

- 1) 主観評価の結果から、眠気感や倦怠感が作業前後で大きくなる傾向が見られた。
- 2) タイピング作業の結果では、作業量は CO₂濃度が高くなるにつれて減少傾向になり、CO₂濃度が執務者の作業性に影響を及ぼしていることが示唆された。
- 3) 作業量と TOI 値が関係している可能性があることが分かった。また、CO₂濃度の変化と ΔO₂Hb、TOI 変化が関係していることも示唆された。

【謝辞】

本研究は、三村凌央氏 (元立命館大学) の修士論文および阿部俊貴氏 (元立命館大学) の卒業論文として実施しました。また、本研究を進めるにあたってシャープ株式会社 山田博久様、小路紘史様に多大なご協力を頂きました。記して感謝申し上げます。

【注釈】

- 注1) 一人入室約 30 分~60 分経過で呼気周辺約 1200~1500ppm、密閉された会議室に大勢入室約 30 分~60 分経過で約 3500ppm 以上の定常状態になる状況を想定とした。
- 注2) 測定データのうち 52% のデータ値が 10kU/L 未満となり、信頼性が確認できなかったため本研究の分析対象から除外した。
- 注3) マスク着用によって 3500ppm 以上の高濃度 CO₂ を吸気させるケースとした。
- 注4) TOI (脳循環状態) はヘモグロビンの酸素飽和度を示し、脳循環状態を把握することができる。
- 注5) 酸素と結合したヘモグロビンはオキシヘモグロビン (酸素化ヘモグロビン)、酸素と結合していないヘモグロビンはデオキシヘモグロビン (脱酸素化ヘモグロビン) と呼ばれ、間接的な脳機能の指標になるといわれている。
- 注6) 本実験では、マスクはサージカルタイプを使用し、マスク内に気積を設け、外縁部は密着させて装着させた。マスクの気積を約 150ml、呼気に含まれる CO₂濃度を 3.5%、室内の CO₂濃度を 0.06%、マスクの漏れ率を 50% と仮定した。

【参考文献】

- 文1) 高橋正好、二酸化炭素と人体、安全工学 37、352-357、1998
- 文2) 三村ら、教室の学習環境と学習効果に関する研究 (第4報) 移転後の夏期・中間期・冬期における学習環境と学習効果に関する調査検証、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第8巻、pp.405-408、2016年9月
- 文3) 金子ら、現地実測による温熱・空気環境質が学習効率に及ぼす影響の検討-学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究 (その1)、日本建築学会環境系論文集、第606号、pp.43-50、2006年
- 文4) 三村ら、教室の学習環境と学習効果に関する研究 (第7報) 移転後の新校舎における温熱・光環境及び空気環境の質が学習効率に及ぼす影響の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.173-17
- 文5) 金子ら、実験室実験による温熱・空気環境質が学習効率に及ぼす影響の検討-学習環境におけるプロダクティビティ向上に関する研究 (その2)、日本建築学会環境系論文集、第611号、pp.42-52、2007年
- 文6) 岩下ら、被験者のワークモチベーションが異なる温熱環境における作業パフォーマンスへ及ぼす影響、日本建築学会環境系論文集、第609号、pp.71-77、2006年11月

化学反応モデルを組み込んだ CFD モデルを用いたストリートキャニオン内の大気質の解析 Analysis of Air Quality in Street Canyon by Using Chemistry-Coupled CFD Model

○澤田 真吾 (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)

Shingo SAWADA*¹ Tomohito MATSUO*¹ Hikari SHIMADERA*¹ Akira KONDO*¹*¹ Osaka University

In urban area, roadside air pollution is still exists. In order to evaluate the roadside air pollution, it is required to consider the both of chemical reaction and shape of buildings. In this study, a CFD model coupled with a chemical reaction model was used to simulate roadside air quality in an idealized street canyon. I conducted a set of air quality simulations using the chemistry-coupled CFD model with different aspect ratio (building height), wind speed, and emission intensity of pollutants, and evaluated the influence of them on air quality in the street canyon. The results showed that NO titration was more dominant phenomenon on the O₃ concentration than the photolysis of NO₂. In addition, as aspect ratio increased or wind speed decreased, NO_x concentration in the street canyon increased.

はじめに

都市部では、沿道大気汚染がいまだ存在している。わが国では、高度経済成長期に大気汚染が顕著になり、さらに自動車が普及したため複合的な大気汚染が生じた。これに対し、環境基準の設定など公害防止対策が施され、硫黄酸化物による汚染は大幅に改善された。しかし、道路沿道では自動車排ガス由来の窒素酸化物 (NO_x) や粒子状物質 (PM) による大気汚染がいまだに存在している¹⁾。

大気汚染に関する研究で広く使用されている化学反応を含む大気質モデルの多くは、メソスケール領域に適応しているため、格子解像度が1~数十 kmと粗く²⁾、沿道大気汚染を評価することが出来ない。一方、数値流体力学 (CFD) モデルでは、高い空間分解能で都市ブロック規模の気流と大気濃度シミュレーションを行うことができる。しかし、従来の CFD モデルの多くは化学反応を考慮していない。

本研究では、ストリートキャニオン内における NO_x やオゾン (O₃) といった汚染物質の動態をシミュレーションするために、CFD ツールボックス OpenFOAM に化学反応モデル CBM-IV³⁾を組み込んだモデルを開発した。ストリートキャニオンを対象にアスペクト比、風速、汚染物質の排出強度を変更して、大気汚染濃度に与える影響を評価した。

1. 計算条件

1.1 計算領域

計算領域は、Fig.1 に示すように x, y, z 方向に 920 m, 920 m, 240 m、解析領域は、計算領域中央の x, y, z 方向

に 140 m, 110 m, 80 m の範囲とした。総要素数は約 10 万である。1つの建物は幅 40 m, 奥行き 40 m, 高さを 40 m とした。建物は計算領域の中央付近に 4 つ配置し、建物の間に南北方向に幅 40 m の道路、東西方向に幅 10 m の道路を配置した。また、南北方向の中央 20 m を車道とし、その両端 10 m を歩道とした。汚染物質は、車道の地上から高さ 1.5 m の空間に排出されるとした。実際の計算は、東西方向道路の中央に対称境界条件を設置し、片側だけの計算を実施した。

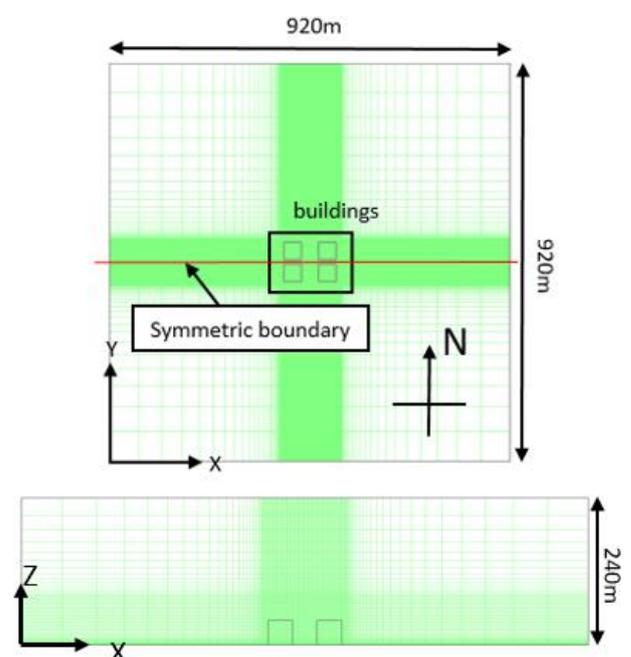


Fig.1 Calculation area

1.2 計算条件

式(1)に示すべき乗則を用いて、風速の境界条件を決定した。風向は東向きに固定した。

$$V_Z = V_Z(Z/Z_R)^{\frac{1}{n}} \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 V_Z 、 V_R はそれぞれ地上からの高さ Z m、 Z_R m における風速を表し、 n は大気安定度によって変化する。ここでは、 $V_Z = 10$ m、 $n = 0.25$ とした。

排出量は、JATOP の排出インベントリデータベース⁴⁾から大阪府梅新南交差点周辺の2010年7月～8月の時間別排出量から算定した。道路におけるNOx 排出強度の時系列変化を Fig.2 に示す。

汚染物質の側面境界濃度は、大気質モデルCMAQの計算結果⁵⁾をもとに、2010年7月1日～2010年8月31日の期間のCMAQの鉛直第1層の1時間値の平均値から算定した。NO、NO₂、O₃ 濃度の時間平均値の時系列変化を Fig.3 に示す。側面境界濃度は鉛直方向に一様とした。

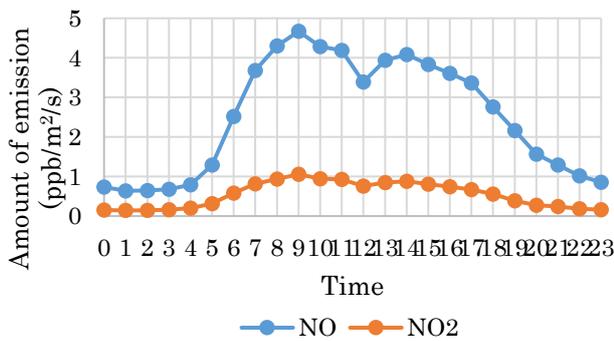


Fig.2 Average emissions per hour

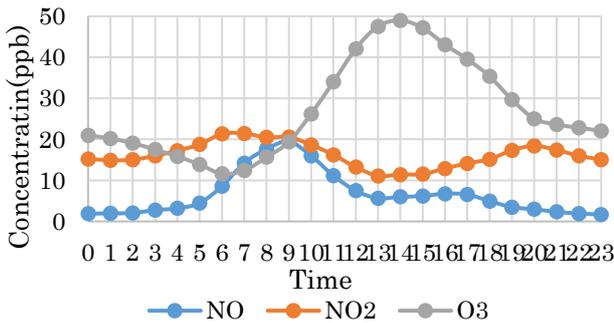


Fig.3 Average concentration of side boundary per hour

1.3 計算ケース

各計算 Case の概要を Table.1 に示す。変更点以外の部分については変更せずに Base Case と同じものを用いるとする。解析では、各 Case を3つの Group に分けて比較を行う。Group1 を Case1, Case2, Group2 を Case3, Case4, Group3 を Case5, Case6 とする。また、すべての group に Base Case は含まれているものとする。

Table.1 Overview of cases

Case name	Aspect ratio	Reference Velocity	Time
Base Case	1	3 m/s	9:00
Case1	0.5	3 m/s	9:00
Case2	2	3 m/s	9:00
Case3	1	2 m/s	9:00
Case4	1	4 m/s	9:00
Case5	1	3 m/s	12:00
Case6	1	3 m/s	20:00

2. 結果と考察

今回の検証では、対象領域は南北方向で対称であるので、対称境界を用いて南側半分だけを計算したが、以下の表示では全体を示す。本計算では境界条件が一定のため速度場、濃度場は定常状態となることが予想されたが、実際には周期的な変動を伴う準定常状態となったため、周期の数倍の期間で時間平均をとった結果を定常状態とみなして分析した。

以下の示す図は、 $z = 1.5$ m(歩行者レベル)、 $y = 435$ m(南側の建物の中心) の断面図である。

2.1 アスペクト比の違い (Group1)

Group1 における風向、風速を Fig.4 に示す。アスペクト比が増すと、平面図における渦の数が増えることがわかる。また、立面図に関しては Base Case でキャニオン内に1つの時計回りの渦が1つできていることがわかる。

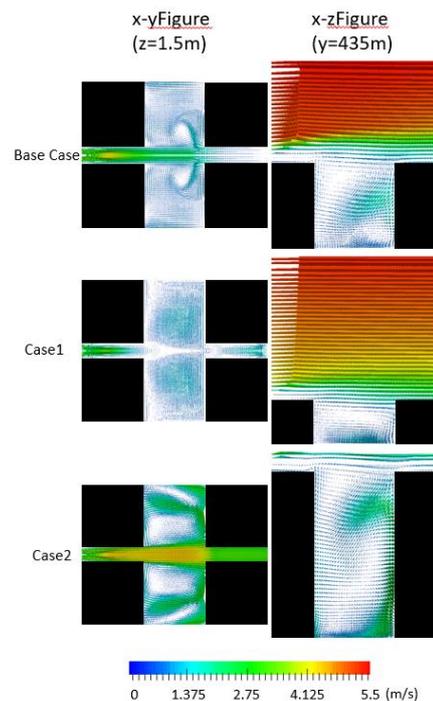


Fig.4 Wind direction and wind speed in Group1

次に Group1 の NO, NO₂, O₃ の濃度分布を Fig.5 に、道路全体の汚染物質濃度の鉛直プロファイルを示す。Fig.5 の平面図から渦の中心付近の風速が遅いところで NOx 濃度が高くなっていることがわかる。また、Fig.5 の立面図から渦の下方の風下側で上昇するときに急激に風速が落ちることが原因で NOx の濃度はキャニオンの底部で高くなった。また、Fig.6 から、アスペクト比が大きくなるにつれてキャニオン外部へ向かう風が弱まったため、NOx 濃度が高くなった。また 3Case ともタイトレーション効果によって、NO 濃度が高いところで O₃ 濃度が低くなっている。

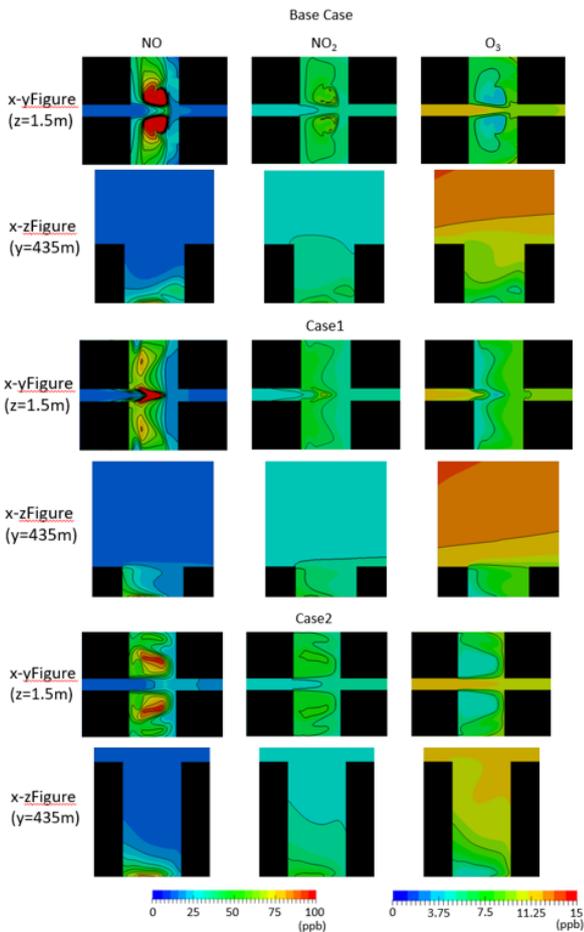


Fig.5 Concentration of pollutants in Group1

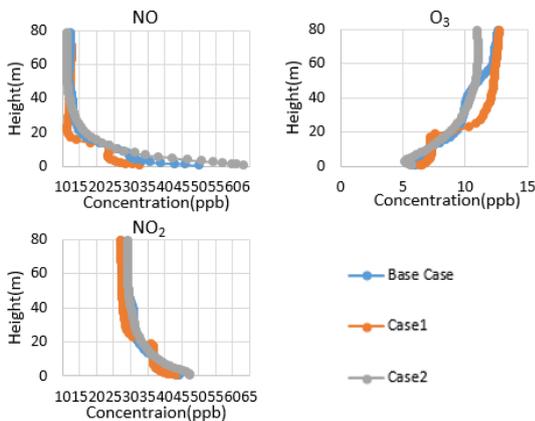


Fig.6 Concentration of pollutants in Group1 of vertical profile

2.2 風速の違い (Group2)

流れ場については、風速が変化したのみで Base Case の場合とほぼ同様となった。

次に Group2 の NO, NO₂, O₃ の濃度分布を Fig.7 に、道路全体の汚染物質濃度の鉛直プロファイルを示す。濃度の分布に関しては、Base Case とほとんど同じであり、濃度だけが異なった。Fig.8 より風速が増すにつれてキャニオン内の風速が速くなり、効率よく NOx をキャニオンの外へ追い出せたため、キャニオン内の NOx 濃度は小さくなったと考えられる。Case4 に着目すると、風速が増したことで外部から供給される O₃ の量が増加し、NO タイトレーション効果がより進んだためキャニオンの底の NO₂ 濃度が NO 濃度よりも大きくなっている。

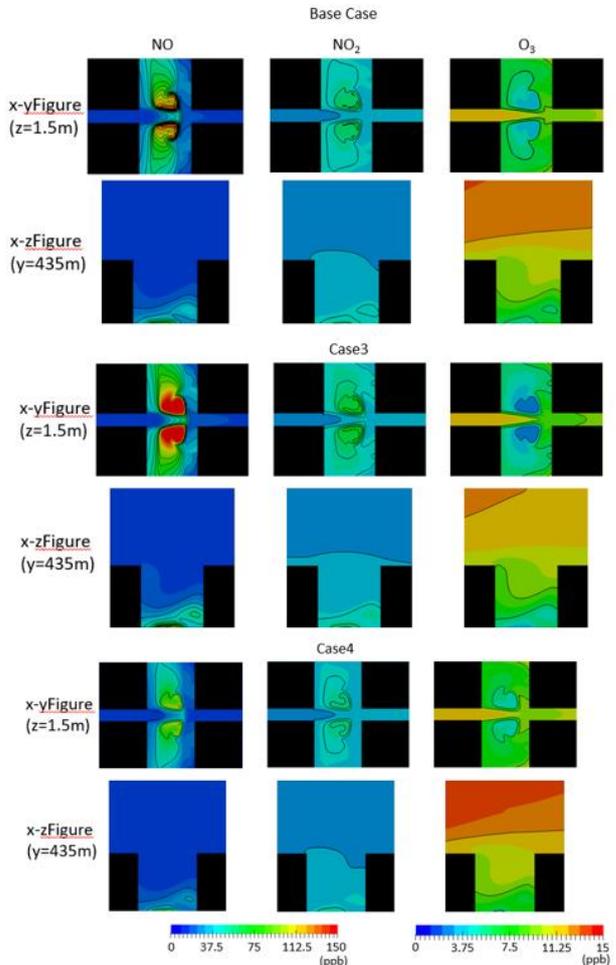


Fig.7 Concentration of pollutants in Group2

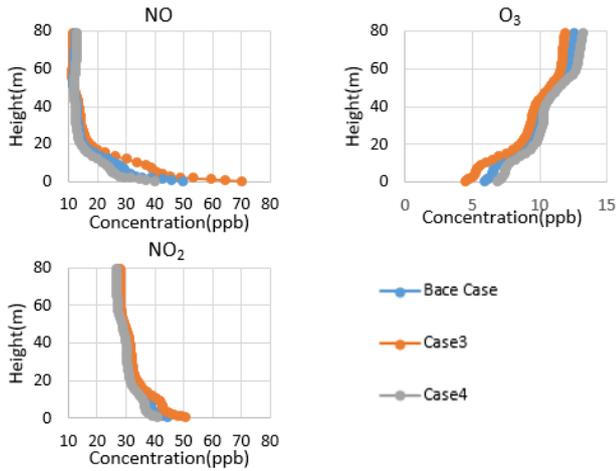


Fig.8 Concentration of pollutants in Group2 of vertical profile

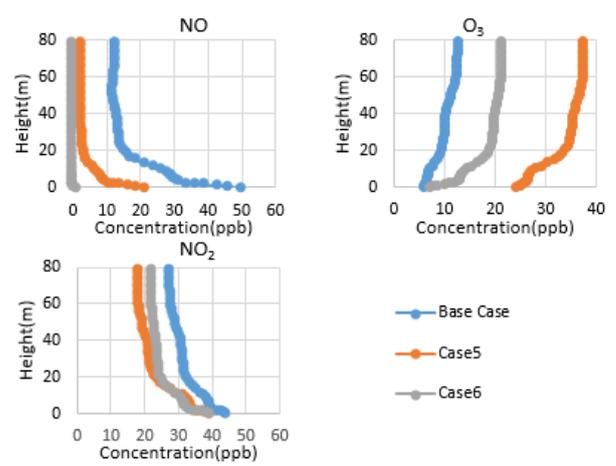


Fig.10 Concentration of pollutants in Group3 of vertical profile

2.3 境界濃度・排出強度の違い (Group3)

Group3 の NO, NO₂, O₃ の濃度分布を Fig.9 に、道路全体の汚染物質濃度の鉛直プロファイルを図.10 に示す。Case6 で明らかに NO の濃度が小さくなっている。これは単純に排出量が減っているからだけではなく、太陽が沈んでいるため NO₂ の光化学反応による NO の生成が起らず、タイトレーションによる NO の消費のみが起っているためである。

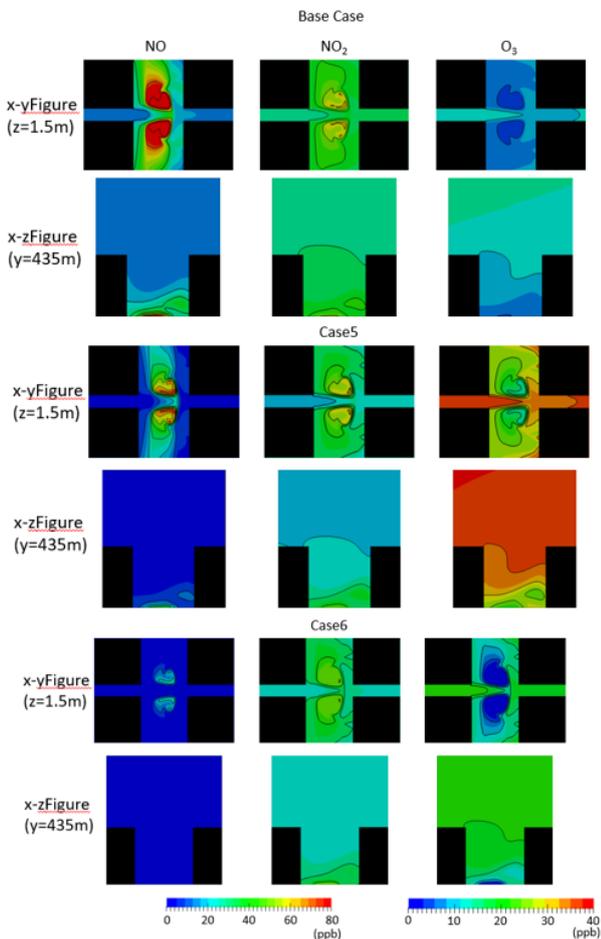


Fig.9 Concentration of pollutants in Group3

3. 結論

本研究では、道路沿道の大気質を詳細に評価するため、一般の大気質モデルよりも高い空間分解能を扱うことのできる CFD モデルに化学反応モデルを組み込んだ。また、アスペクト比 (建物高さ)、風速、汚染物質の境界条件と排出量を変化させて、それらがストリートキャニオン内の大気汚染に与える影響を評価した。

本研究の結論を以下にまとめる。

- アスペクト比が大きいほど、また風速が小さいほど、キャニオン内の NO 濃度は増加した。
- 境界濃度と排出強度が下がると、キャニオン内の NO 濃度も減少した。
- 化学反応を考慮したことで、キャニオンでは、NO₂ の光分解に比べて、NO のタイトレーションが常に優勢であることがわかった。

参考文献

- 1) 島正之: 自動車排出ガスによる大気汚染の健康影響, 千葉医学 81, 1-9, 2005.
- 2) Pedro Jiménez, René Parra, Santiago Gassó, José M. Baldasano: Modeling the ozone weekend effect in very complex terrains: a case study in the Northeastern Iberian Peninsula, Atmospheric Environment 39, 429-444, 2005
- 3) Michael W. Gery, Gary Z. Whitten, James P. Killus, Marcia C. Dodge: A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling, Journal of Geophysical Research 94, D10, 12925-12956, 1989.
- 4) (一財) 石油エネルギー技術センター, JATOP 技術報告書「自動車排出量推計」JPEC-2011AQ-02-06, 2011.
- 5) 嶋寺 光, 深水 健吾, 松尾 智仁, 近藤 明: 大気質モデルによるオゾン濃度再現性の水平格子解像度依存性, 日本気象学会 2017 年度秋季大会, P131, 2017.

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
(第18報) 小流量微細噴霧型二流体ノズルを用いた次亜塩素酸水噴霧による
メチルメルカプタンの脱臭性能

**Deodorizing Effect of Deodorant Mist Sprayed with a Misting Nozzle
(Part18) Deodorization Performance of Methyl Mercaptan by Mist Spraying with
Hypochlorous Solution utilizing Fine Spray Type Two-Fluid Nozzle with Small Flow Rate**

○鈴木 悠太 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
小林 知広 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学)
福ヶ野 拓也 (大阪大学)

Yuta SUZUKI^{*1} Toshio Yamanaka^{*1} Tomohiro KOBAYASHI^{*1}

Narae CHOI^{*1} Takuya FUKUGANO^{*1}

^{*1}Osaka University

In hospital and elderly facilities, 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 experimental results of deodorizing effect by fine spray type two - fluid nozzle with small flow rate and the effect of deodorizing effect by gaseous hypochlorous.

はじめに

本研究は、病室や高齢者施設において問題となっている臭気に対して、消・脱臭剤をノズル噴霧することにより、臭気除去のための換気量を減らし、空調負荷を削減することで省エネ化を図ることを目的としている。既報¹⁾では、一流体ノズルを天井に設置し、天井面からの噴霧による臭気除去効果について検討してきたが、設置に手間がかかり、比較的大流量・大粒径で噴霧するため、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た。そこで前報²⁾から小流量で微細なミストを噴霧することが出来る二流体ノズルを用いて仰角45°で居住域に噴霧するノズルに変更した。そこで本報では同ノズルを用いて臭気が充満した実験室に噴霧を行い、消・脱臭剤の臭気除去効果について実験した結果を報告する。また実験室内の温度を変化させたことによる臭気除去量への影響についても報告する。また、ミスト蒸発後の次亜塩素酸による臭気除去効果について検証した結果も合わせて報告する。

1. 臭気物質・噴霧薬剤の選定

病室における主な臭気は居住者の体臭や排泄物臭のよるものであり、本報ではこれら臭気的主要因と言われているメチルメルカプタン (CH_3SH 、分子量 48.11) を臭気物質として用いる。実験では無色透明なメチルメルカプタンナトリウム (CH_3SNa 分子量 70.02) 15% 水溶液 0.1ml を完全に揮発させ、臭気物質を発生させた。

噴霧薬剤としては酸化剤として働く濃度 250ppm の

次亜塩素酸水 (HClO 、分子量 52.458) を用いている。次亜塩素酸水とメチルメルカプタンは次亜塩素酸水のミスト内部で化学反応し、消臭されると考えられる。

2. 次亜塩素酸水噴霧による臭気除去効果の検討

2.1 実験概要

実験は2019年1月8日から1月26日にかけて大阪大学構内のコンテナ内の無臭室にて行った。実験室の平面図を Fig.1 に示す。コンテナ内には室容積 8.0[m³] の無臭室が設置されており、実験中コンテナ内の空調は行わず、無臭室の温度を4台のヒーターで調節する。また、無臭室には活性炭装置付きファンより約 10[m³/h] 無臭空気を給気する換気方式を用いて換気を行っている。実験中、2台のサーキュレーターを「強」で運転しており、室内の空気は十分に混合していると言える。

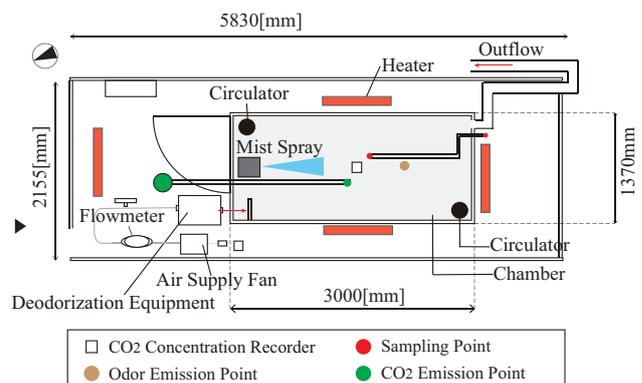


Fig.1 Floor Plan

2.2 実験方法

実験タイムスケジュールを Fig.2 に示す。無臭室を十分に換気した後、ヒーターを用いて無臭室内の温度を条件温度に設定する。その後、約 10[m³/h] で換気を行いながら、無臭室内に 100°C に加熱されたステンレス製のシャーレに臭気物質を 0.1ml 滴下し密閉すると同時に CO₂ ガスを室内に充満させる。CO₂ ガスは無臭室の換気量を測定するために使用している。臭気物質が揮発した後、シャーレの蓋を開け、臭気を室内に充満させると同時に消・脱臭剤を噴霧する。この時点を実験開始時の t=0[min] とした。噴霧は居住域での仰角 45° 方向へのノズル噴霧を行った。実験開始後、0 ~ 5[min] までの 30[s] 間隔で計 11 回、無臭室外からテフロンチューブを通してポンプ（近江オドエア製、DC1-N5 型、誘引流量 50[L/min]）により室内の空気をにおい袋（近江オドエア製、容量 3L）に捕集し、濃度分析器（オーラルクロマ CHM-2、NISSHA エフアイエス製）を用いて臭気の濃度を測定した。また各におい袋につき 3 回臭気の濃度を測定し、その平均値を測定値として使用した。実験は無臭室内温度 11°C ~ 26°C の間の 7 条件で行った。実験条件を Table1 に示す。濃度分析器に感度の低下がみられたため、スパンガスを用いた較正実験を行い、較正結果を考慮し、測定値を補正したものを実験値として扱うこととする。較正結果を Fig.3 に示す。

Table1 Experiment Condition

Deodorant Mist Spraying Experiment	
Experiment Condition	Indoor Temperature[°C]
Case 1	11
Case 2	15(twice)
Case 3	16
Case 4	17(twice)
Case 5	20
Case 6	23
Case 7	26

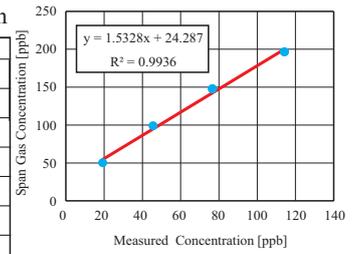


Fig3 Calibration Result

2.3 相当換気量

各実験条件において全く同じ濃度のメチルメルカプタンを発生させることは難しい。そこで各実験結果を比較するため、得られた臭気の濃度の減衰曲線を式 1 で回帰し、噴霧による消・脱臭効果がどれだけの換気回数に相当するか（相当換気回数）を算出することで次亜塩素酸水のもつ臭気除去効果の指標とする。

$$C_r = C_{r0}e^{-nt} \quad (1)$$

無臭室の換気回数は式 2 で回帰し、それぞれの減衰の大きさを n で表現した。

$$C_r = C_0 + (C_{r0} - C_0)e^{-nt} \quad (2)$$

この時、式 1 で外気汚染物濃度 C_{r0} は 0 とした。ここで C_r は室内汚染物濃度 [ppb]、C₀ は無臭室外汚染物濃度 [ppb]、C_{r0} は初期室内汚染物濃度 [ppb]、n は相当換気回数 [1/h]、t は時間 [h] である。本報では、得られたメチルメルカプタンの相当換気回数から CO₂ の換気回数の差をとることで、消・脱臭剤噴霧によって除去された臭気除去量を把握する。

3. 実験結果

実験結果（室内メチルメルカプタン濃度、室内 CO₂ 濃度、室内温湿度）を Fig.4~6 に示す。メチルメルカプタンと CO₂ の濃度の結果の図には測定値と共に、測定値に最小二乗法を適用して回帰した曲線を示す。室内の温湿度に関しては実験中の CO₂ 濃度・温湿度測定器で測定した値を使用している。また全ての実験条件で得られた結果を Table2 に示す。

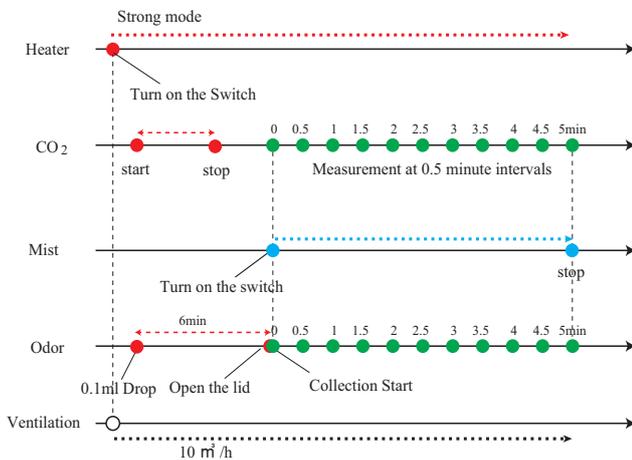
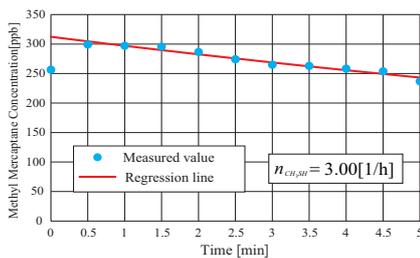
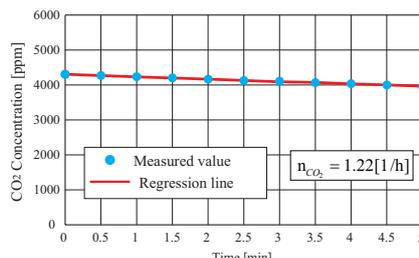


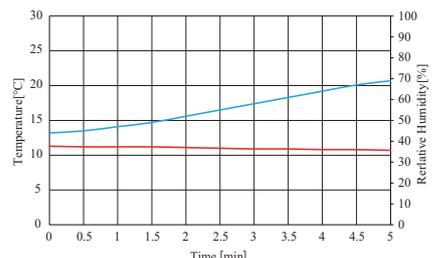
Fig.2 Experimental Time Schedule



a) Indoor Methyl Mercaptane Concentration



b) Indoor CO₂ Concentration



c) Indoor Temperature and Relative Humidity

Fig.4 Experiment Result of Case 1

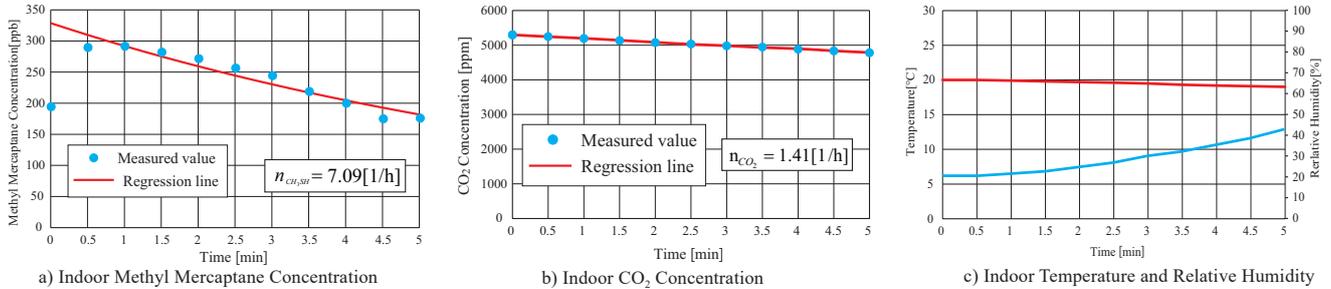
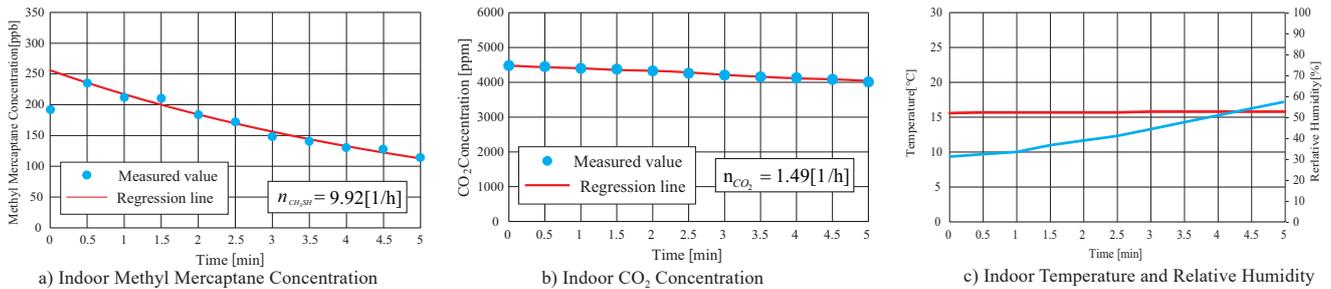


Fig.6 Experiment Result of Case 5

Table2 Experiment Result

Experimental Condition	Average Temperature[°C]	Average Relative Humidity[%]	Sprayed Mist Amount[g/min]	Equivalent Air Change Rate of Methyl Mercaptan [1/h]	Air Change Rate of CO ₂ [1/h]	Equivalent Air Change Rate of Deodorant Mist Spray [1/h]
11	11.01	55.55	7.57	3.00	1.22	1.78
15	14.87	37.27	9.95	5.55	1.14	4.41
15	15.02	59.64	8.97	4.81	1.30	3.51
16	15.84	47.36	8.71	9.92	1.49	8.43
17	16.99	39.00	7.38	7.74	1.53	6.21
17	16.94	40.00	7.67	5.61	1.31	4.30
20	19.55	29.73	8.68	7.09	1.41	5.68
23	23.03	27.73	7.63	2.05	1.36	0.69
26	25.93	21.45	8.75	6.02	1.66	4.36

結果より、各条件において臭気の相当換気回数が CO₂ の換気回数を上回り、次亜塩素酸水による臭気除去効果を確認することが出来た。しかし、相当換気量を見てみると、最も効果の出た条件でも 67.4[m³/h] であり、換気に比べて十分な消臭効果とは言い難く、消・脱臭剤の使用方法については工夫が必要であると考えられる。

次に、次亜塩素酸水による臭気の相当換気回数と室内平均温度の関係を Fig.7 に、室内平均相対湿度と次亜塩素酸水による臭気の相当換気回数の関係を Fig.8 に示す。Fig.7、Fig.8 より次亜塩素酸水による臭気除去効果と室内温度に、臭気除去効果と相対湿度に相関は見られなかった。しかし、一般に化学反応の反応速度は温度が高いほど速くなることが知られているため、本報では、ミストの蒸発する速度に影響する室内の相対湿度が各実験条件で異なっていたため、温度と相対湿度の二つの影響がお互いに打ち消しあってしまったことが原因と考えられる。また、実験中室内は 10[m³/h] で換気を行っていたが、CO₂ の換気回数にばらつきがみられた。Fig.9 にミスト噴霧量と臭気の相当換気回数との関係を示す。Fig.9 より実験中の噴霧量にばらつきがみられることから実験データの精度の向上が求められる。

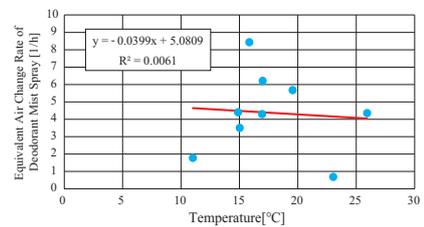


Fig.7 Correlation between Temperature and Equivalent Air Change Rate of Deodorant Mist

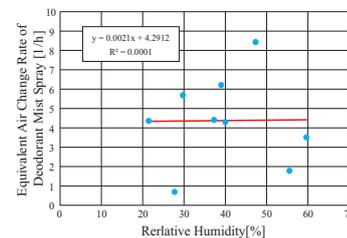


Fig.8 Correlation between Relative Humidity and Equivalent Air Change Rate of Deodorant Mist

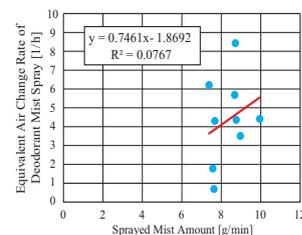


Fig.9 Correlation between Spray Mist Amount and Equivalent Air Change Rate of Deodorant Mist

4. ミスト蒸発後の次亜塩素酸の消・脱臭性能の検討

4.1 実験の目的

近年の研究で次亜塩素酸水が蒸発した後、気体状の次亜塩素酸には除菌効果があることが明らかとなっているが消臭効果についての研究は少ない。そこで本報では気体状次亜塩素酸の消臭効果を検証する実験も行った。

4.2 実験方法

実験は2章と同様の無臭実験室にて行った。平面図を Fig.10、実験手順を Fig.11 に示す。換気は行わなかったが実験室に漏気が発生していたため CO₂ ガスを発生させ実験室の漏気の影響を考慮した。実験手順は2章と概ね同じであるが、次亜塩素酸水を噴霧した後に臭気を室内に充満させた。その後1分から30分までの計14回の時点で室内の空気をにおい袋に捕集し、各におい袋から3回臭気の濃度を濃度分析器（オーラルクロマ CHM-1 NISSHA エフアイエス製）で測定し、その平均値を実験値として用いた。実験条件を Table3 に示す。

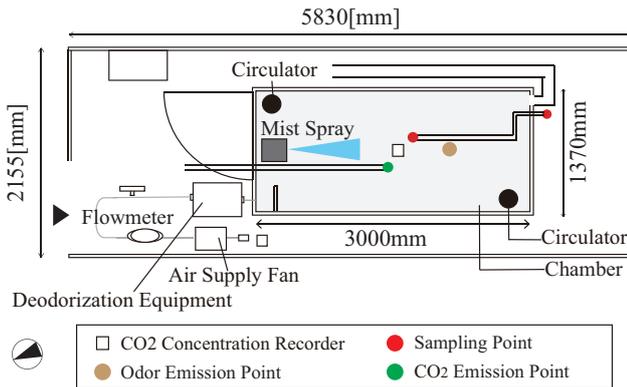


Fig.10 Floor Plan

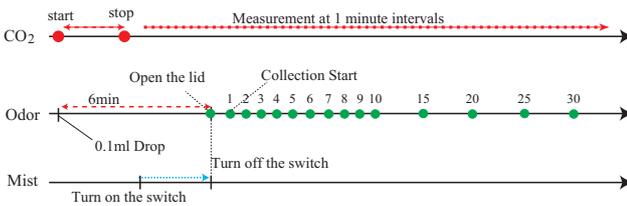


Fig.11 Experiment time schedule

Table3 Measurement Result

Experimental Condition	Spray Amount [g]
One minute Spray	9.01
Two minute Spray	14.65
Three minute Spray	22.02

5. 実験結果

実験結果を Table4 に示す。Table4 より気体状の次亜塩素酸には臭気除去効果があることが示唆される。また、実験前半に臭気の減衰量が大きいことに注目し、(1分～5分)と後半に(6分～30分)にわけて回帰を行った結果を Fig.12 に示す。

Table4 Experiment Result

Experimental Condition	n_{CH_2SH}	n_{CO_2}	Equivalent Air Change Rate of Deodorant Mist $n_{CH_2SH} - n_{CO_2}$	Spray Amount [g]
One minute Spray	0.51 [1/h]	0.27 [1/h]	0.51 - 0.27 = 0.24 [1/h]	9.01
Two minute Spray	0.67 [1/h]	0.29 [1/h]	0.67 - 0.29 = 0.38 [1/h]	14.65
Three minute Spray	1.06 [1/h]	0.43 [1/h]	1.06 - 0.43 = 0.63 [1/h]	22.02

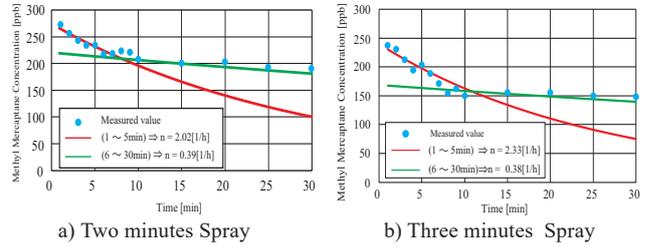


Fig.12 Experiment Result

Fig.12 より実験前半に大きな臭気の減衰が確認され、前半に化学反応によって臭気が除去されたことが示唆される。しかし、得られた相当換気回数に室容積を乗じた相当換気量は 18[m³/h] 程度であり、その効果は非常に小さいことが分かった。また、同様の実験を測定器（オーラルクロマ CHM-2,NISSHA エフアイエス製）を変えて行った。Fig.13 に全ての実験条件での噴霧量と臭気除去効果の結果を示す。

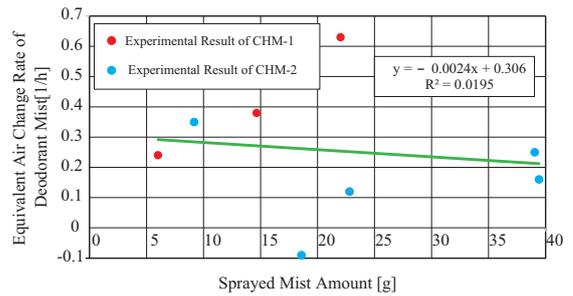


Fig.13 Relation between Spray amount and Equivalent Air Change Rate of Deodorant Mist

おわりに

本報ではミスト噴霧による臭気除去効果について検証した結果および気体状の次亜塩素酸の臭気除去効果について検証した結果を報告した。どちらも臭気を除去する効果は見られたものの換気に比べ十分な消臭効果とは言えず、使い方に制限がある結果となった。

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。

なお、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

- 鈴木克治：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 15) 一流体ノズルからの弱酸性次亜塩素酸水溶液のミスト噴霧による消臭効果、平成 28 年度空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、第 7 巻、pp5-8
- 福ヶ野拓也：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、平成 29 年度空調調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、A-80

香り環境下における学習効率に関する研究
(その1) 読書および単語暗記作業におけるパフォーマンス
Learning Performance in Odor Environment with aroma oils
(Part1) Influence on Reading and Memory Task Performance

○ 衛藤 文 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
 崔 ナレ (大阪大学) 竹村 明久 (摂南大学)
 小林 知広 (大阪大学)

Aya ETO*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Narae CHOI*¹

Akihisa TAKEMURA*² Tomohiro KOBAYASHI*¹

*¹Osaka University *²Setsunan University

Since the olfactory system was proven to be closely related to the limbic structures which support emotion, long-term memory and motivation, the psychological and the physiological effects of the essential oils have widely researched in various fields. The purpose of this research is to examine that if odor environment given by essential oil has positive effects on learning performance. In this paper, the influence of rosemary essential oil is investigated using both the subjective evaluation and objective tasks.

はじめに

嗅覚は人間にとって重要な感覚であり、香りによる心理的効果は昔から利用されてきた。1990年代、人間がにおいを感じる嗅覚のメカニズムが明らかになり、嗅覚が情動・意欲・記憶などと深く関連する大脳辺縁系につながっていることがわかった。科学的にもにおいの心理効果の可能性が示されたことにより、様々な分野においてにおいが人間に与える心理的・生理的効果を検証するための研究が活発に行われており、既往研究により、香りと記憶力に強い関係があることが報告されている¹⁾。また、近年香り空調等を導入し、室内環境を制御することで知的生産性を向上させようという研究が盛んである。本研究では、学習空間に対し、香り環境の導入可能性を調べるために、被験者実験を行うことで香り環境が学習効率に与える影響の検討および学生の学習空間の香りにおける受容性を調査する。

1. 実験概要

実験は2018年12月17日～2019年2月1日にかけて実施した。嗅覚テストに合格した19～26歳の本学学生31名(男子17名、女子14名)をパネルとして採用し、噴霧を行わない群(以下、噴霧なし)と香り噴霧を行った群の2群に振り分け、各パネル当たり

Table 1 Experiment conditions

	The First Test			The Second Test			Elapsed Days	
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Average	Min,Max
Control (No Atomizing)	7	8	15	7	7	14	38.9	31,44
Rosemary	10	6	16	7	5	12	40.2	37,44

1~2回実験を実施した。パネル間の個人差を最小化するために、パネルは工学部または工学研究科所属の学生に限定した。参加人数の詳細をTable.1に示す。なお、パネルは全員非喫煙者であり、パネルには適切な報酬を支払った。実験は大阪大学学内の小会議室にて行った。実験室の概要をFig.1に示す。

香りは既往研究により、覚醒効果があり記憶力を向上させるとされている²⁾ローズマリー(生活の木社製、ローズマリー・シネオール)を使用した。また香りの噴霧には圧縮空気微粒子式アロマディフューザー(生活の木社製、アロモア)を用い、弱モード(10秒噴霧、50秒休止の繰り返し運転)で稼働した。室内に香りを十分拡散させるため、部屋の各隅にサーキュ

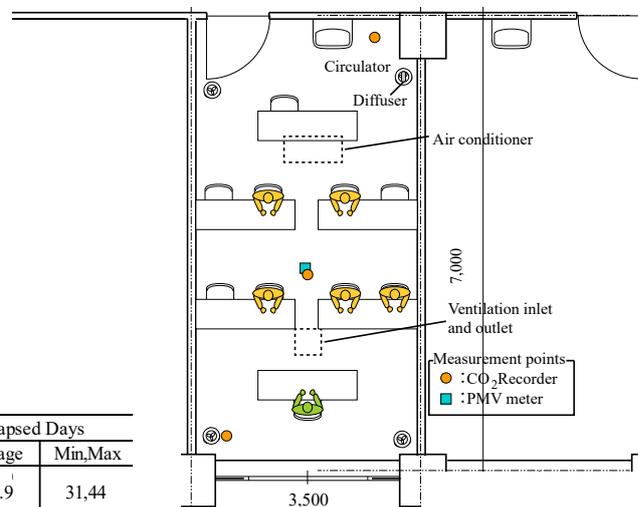


Fig.1 Plan of experimental room

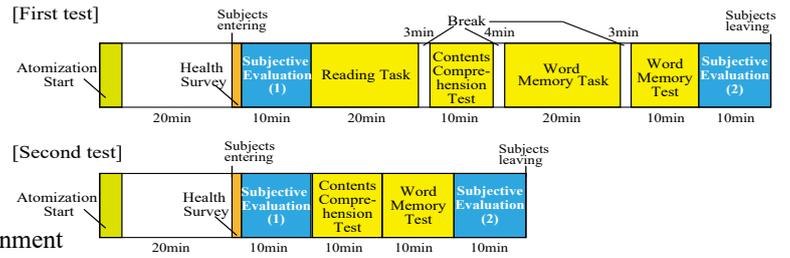
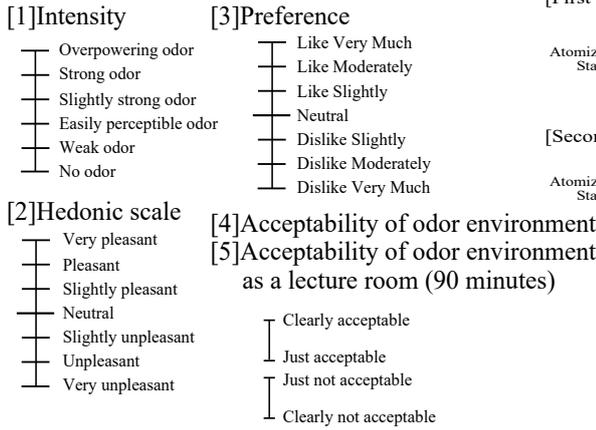


Fig.2 Time schedule

を設定することで室内温度の調整を行った。温熱環境による影響がないことを確認するため、室内の中央部にアメニティメーター（京都電子工業株式会社製、AM-101）を設置し、各実験時の PMV を測定した。

実験タイムスケジュールを Fig.2 に示す。入室前に予め実験室内に香りの噴霧を開始し、入室直後主観評価を行った。実験に対する注意事項などのインストラクションは入室前に実験室の外部で行った。

入室直後にパネルの体調などに関する調査を行い、室内の香りや印象に関する主観評価を入室後と退室前の計 2 回行った。

(1) インストラクション

パネルには前日ににの強い食事は避けるなどの指示をした。実験への意欲的な参加を促すために、インストラクション時、成績上位 3 名には賞品がある旨を伝えた。

(2) 主観評価項目

香りの主観評価項目として、[1] においの強さ、[2] 快不快度、[3] 嗜好度、[4]、[5] 受容度、[6] 印象、[7] リフレッシュ度・リラククス度・集中度、[8] 空間に対する印象評価、[9] 全体の快不快度、[10] 学習意欲を採用した。[4]、[5] の受容度については、におい環境自体における受容度と講義時の約 90 分間学習空間に滞在することを想定した場合の受容度が異なる予想し、これら両方における受容度を尋ねる項目をそれぞれ設けた。各評価項目を Fig.3 に示す。

(3) 読書課題・外国語暗記課題

本実験では学習行為を想定し、既往研究³⁾を参考に 2 種類の課題を用いた。読書課題では、配布した書籍（「独楽の科学 回転する物体はなぜ倒れないのか」山崎詩郎著、講談社ブルーバックス、著作権承認済）を 20 分間読ませた後、内容の理解度テスト（計 11 問）を行った。偶然による正解を防ぐために、5 つの選択肢から 2 つを回答させ、完答時のみを正解として扱った。なお、読書スピードは個人によって異なるため、作業終了までの読了位置を記録させて、それ以降の未読部分に関する設問に対しては、回答しても採点対象外とした。

外国語暗記課題では、全員が判読できる英語アルファベットで表記され、学習経験が殆どないと予想さ

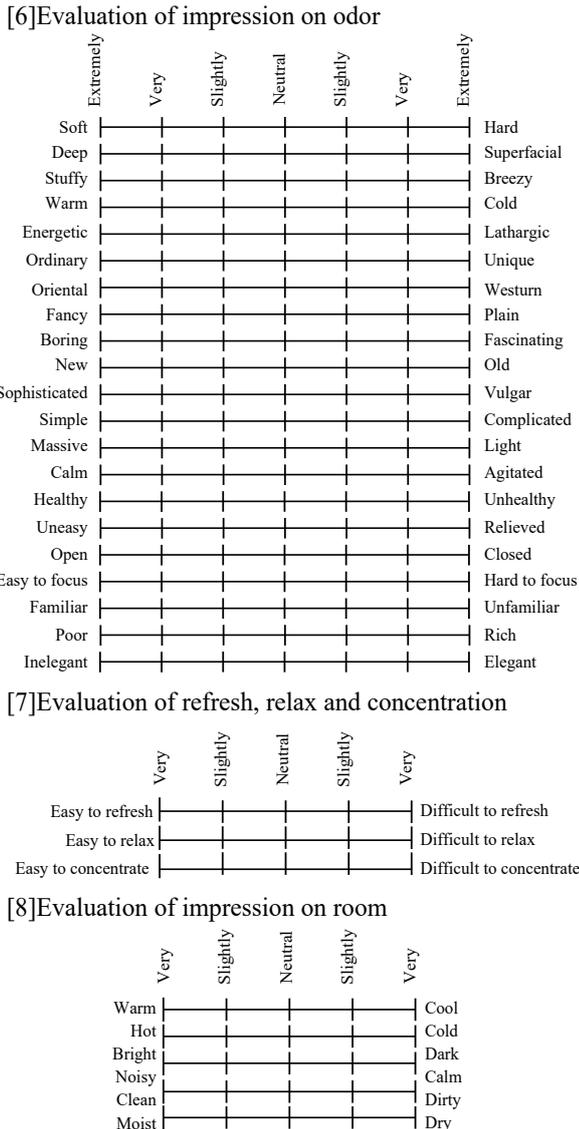


Fig.3 Scales for Subjective Evaluations

レーターを配置し、香り噴霧に用いたディフューザーはサーキュレーターの上部に設置した。また、実験中は実験室内に小型 CO2 濃度計（T&D 社製、TR-76Ui）を水平方向に 3 台、鉛直方向に 3 台設置し、空気が十分攪拌されていることを CO2 濃度分布測定により確認した。室内の換気は強モード（設備容量：100m³/h）で行い、空調機（パッケージ型エアコン）の温度

れたエスペラント語を採用した。暗記する単語とともに会話文を添えたリストを提示し、20分間暗記時間を設けたあと、登場語の和訳テストを行った。なお、実験時には提示した言語が何であるかは知らせず、実験後に何の言語であるかを記述回答させた。正解だったパネル1名についてはエスペラント語の学習経験者の可能性ありと判断し、結果から除外した。

また、香り環境の暗記効率と記憶定着に関する影響を調べるために、さらに約1ヶ月後に再度テストを行った。なお、テストを再度行うことについてはパネルには事前に知らせていない。初回テストから再テストまでの経過日数の最大・最小値および平均値をTable 1に示す。なお、初回テストのみに参加したパネルが噴霧なし条件に2名、ローズマリー条件に3名の計5名存在し、これらのデータについては除外せず、そのまま掲載した。

2. 結果と考察

2.1 においの強さ、快不快度、嗜好度、受容度評価

初回テストの課題およびテスト後に行った主観評価における結果をFig.4に示す。横軸は評価尺度、縦軸は各評価項目を表す。各項目について、噴霧なし条件とローズマリー条件の平均値間でt検定を行った。

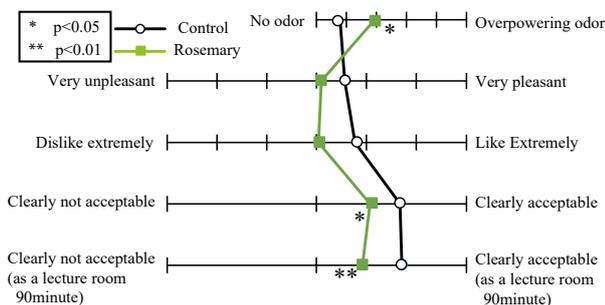


Fig.4 Evaluation of odor intensity, hedonic scale, preference and acceptability

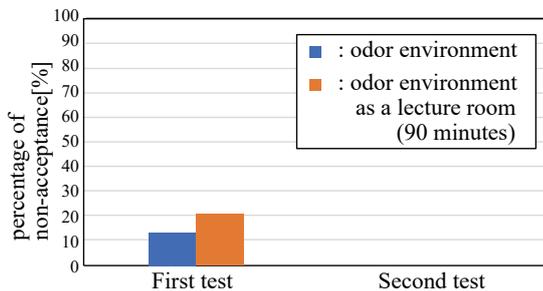


Fig.5 Non-acceptance rate (Rosemary)

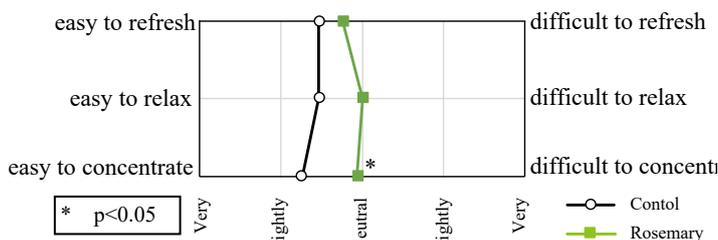


Fig.7 Evaluation of refresh, relax and concentration

快不快度、嗜好度、受容度の全ての項目でローズマリー条件が噴霧なし条件に比べ評価が低くなった。

また、受容度に関して、ローズマリー噴霧時における、におい環境に対する受容度および学習環境を想定した際の非容認率の評価結果をFig.5に示す。

初回テストの結果に着目すると、ローズマリーの香りは、におい環境としては受け入れられても、学習時の環境としては受け入れられない傾向がみられた。一方、再テスト時の非容認率を初回テスト時と比較すると、両項目で減少した。初回テスト時は一度嗅いだにおいであるため、非容認率が下がったと考えられる。今回は香りの種類が1種類であったため、他の香りでも検討を行う必要がある。

2.2 においの印象評価

においの印象評価の結果をFig.6に示す。噴霧なし条件と比較した際にローズマリー条件では「生き生きした」、「個性的な」、「派手な」、「雑然とした」などの

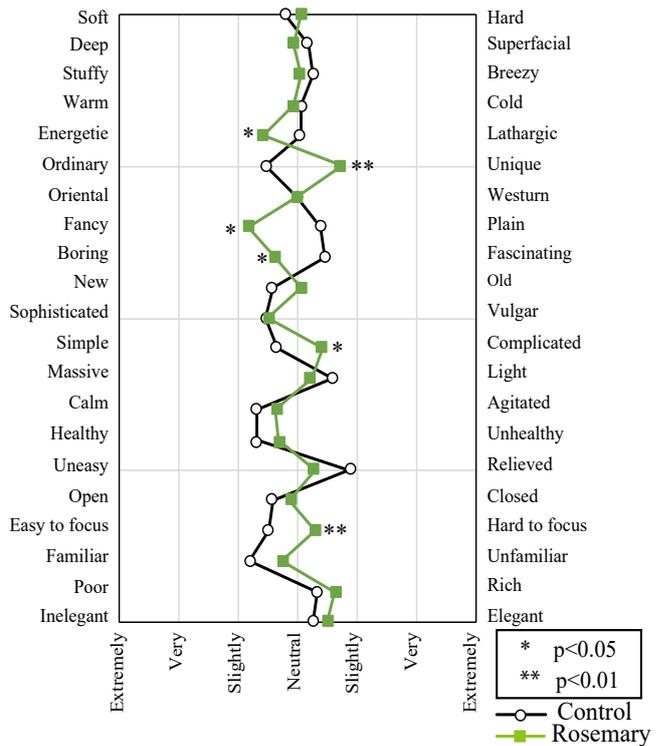


Fig.6 Evaluation of impression on odor

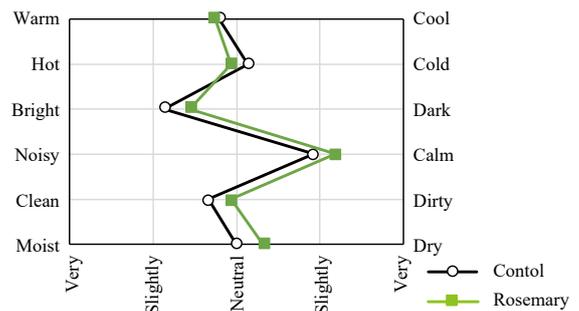


Fig.8 Evaluation of impression of room

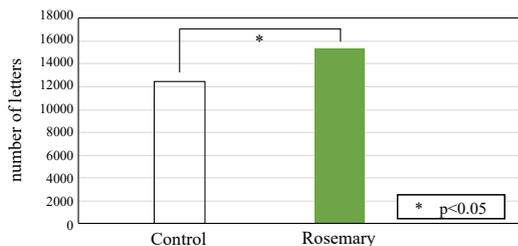


Fig.9 Performance of reading task

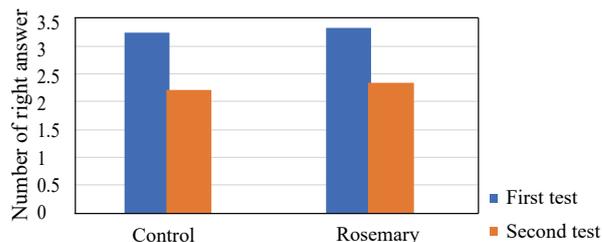


Fig.10 Performance of reading test

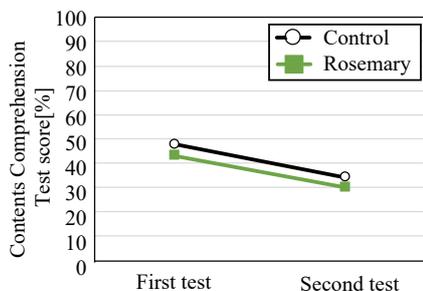


Fig.11 Contents Comprehension Test score

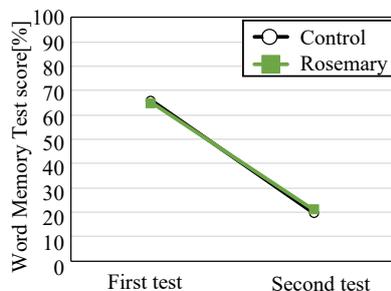


Fig.12 Word Memory test score

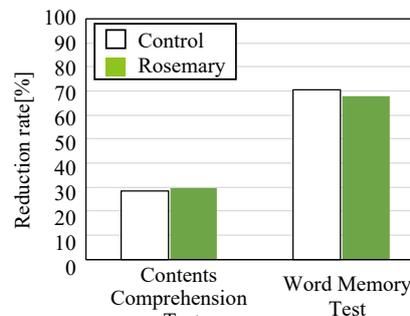


Fig.13 Reduction rate

項目で有意差がみられたことから、これらの用語がローズマリーの香りの特徴を表すことが考えられる。学習空間では落ち着いて集中できる環境が求められることを考えると、先述の学習環境に対する非容認率の要因がにおいの印象と関連がある可能性が考えられる。

2.3 リフレッシュ・リラックス・集中度評価

ローズマリー条件と噴霧なし条件における評価結果を Fig.7 に示す。3 項目すべてでローズマリー条件は中央の「どちらでもない」側の評価となった。

2.4 空間に対する印象評価

空間に対する印象評価の結果を Fig.8 に示す。ローズマリーの噴霧により、「静かな」、「乾いた」側の印象であったが、いずれの項目でも t 検定による有意差がなかったことからローズマリーは空間に対する印象に与える影響は小さかったと考えられる。

2.5 作業課題成績

読書課題における読了文字数、内容理解テストの正答数、正答率をそれぞれ Fig.9,10 及び Fig.11 に示す。ここで、読書の正答率とは、正答数を各パネルの読了位置までで回答可能な問題数で除した割合であり、分母は個人ごとに異なる。Fig.9 の通り、読了文字数は噴霧なし条件よりローズマリー条件が多く、t 検定で有意差もみられた。一方、Fig.10 の読後設問の正答数および Fig.11 の正答率では、両条件の差はわずかであった。読む量が多いからと言って必ずしも正答率が高いわけではないことがわかる。

単語暗記の正答率を Fig.12 に示す。単語については噴霧なし条件とローズマリー条件で差はほとんど見られなかった。再テスト時の成績と比較すると、初回テスト時の 30% 程度まで正答率が低下した。

両課題に対し、初回テストと再テストの正答率を比較した際の減少率を Fig.13 に示す。読書課題に比べ、単語暗記課題は減少率が 40 ポイントの差があることがわかる。いずれの課題に対しても、約 1 ヶ月の経過により正答率は低下しているが、噴霧なし条件とローズマリーで低下の度合いに差がみられないことから、今回の条件では記憶力に及ぼす影響はないと考えられる。

おわりに

本報では、被験者実験を行い、香り噴霧が学習効率に及ぼす影響および、学生の学習空間における香りへの受容性について検討を行った。今回用いたローズマリーに関しては、におい環境としては受け入れられるが、学習環境としては受け入れられない傾向にあることが分かった。

また、学習効率を検討するにあたり、今回は読書と単語暗記の 2 種類を作業課題とし検討を行った。読書量については香りがある条件の方が多という結果が得られたものの、正答率や単語暗記については大きな差は見られなかった。

なお、本実験は大阪大学工学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。

【参考文献】

- 1) Bjorn et al : Odor Cues During Slow-Wave Sleep Prompt Declarative Memory Consolidation, Science Vol.315, pp.1426-1429, 2007.3
- 2) Mark Moss et al : AROMAS OF ROSEMARY AND LAVENDER ESSENTIAL OILS DIFFERENTIALLY AFFECT COGNITION AND MOOD IN HEALTHY ADULTS, International Journal of Neuroscience Vol.113, pp. 15-38, 2003.1
- 3) 青木勇大、小久保隆之、辻村壮平、山田由紀子：騒音下における作業の違いによる妨害間に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.833-834, 2005.9

においと温熱環境が主観評価及び知的生産性に及ぼす影響 (その1) 臭気濃度測定及び臭気強度・快不快度の検討

Influence of Odor and Thermal Environment on Subjective Evaluation and Workplace Productivity (Part 1) Measurement of Odor Concentration, Odor Intensity and Hedonic Scale

○近藤 弘基 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学) 竹村 明久 (摂南大学)
小林 知広 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学) 吉本 梨紗 (大阪大学)
Koki KONDO*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Akihisa TAKEMURA*²
Tomohiro KOBAYASHI*¹ Narae CHOI*¹ Lisa YOSHIMOTO*¹

*¹ Osaka University *² Setsunan University

Recently, investigations of improving workplace productivity in offices by diffusing aroma have been focused. However, we have little knowledge about influence of odor on subjective evaluation and workplace productivity under a low/high temperature environment. This paper shows the results of odor concentration and the quantification of odor emission rate of essential oil atomizer. Moreover, we consider the influence of odor and thermal environment on subjective evaluation.

はじめに

近年の嗅覚における研究で、特定のアロマを嗅ぐことでリラックス効果などを得られる可能性があることが分かっている¹⁾。この効果に着目し、オフィスなどでアロマを噴霧し知的生産性の向上を図り、労働時間の短縮化により空調の使用を少なくしようとする動きがある。さらに、アロマは身体的効果だけでなく、人の温冷感のような心理的要因にも影響を及ぼすと報告されている²⁾。温冷感に影響を及ぼし、熱適快適性を改善できれば空調の温度制御を抑制できる。

しかし、高・低温環境でにおいが知的生産性・主観評価に及ぼす影響に関する研究はあまり見られない。そこで本研究では、温度制御をした人工気候室で精油用噴霧器によりにおいを噴霧する被験者実験を行い、知的生産性・主観評価に及ぼす影響について検討した。また、本研究で用いる精油用噴霧器は発生量が定量化されておらず明らかにする必要がある。本報では、精油用噴霧器により噴霧されたアロマの臭気濃度を三点比較式臭袋法で測定した結果と発生量の定量化について報告する。また、においと温熱環境が主観評価に及ぼす影響の検討について報告する。

1. 実験概要

本研究では、噴霧するにおいとして、人にリラックス効果を与えると報告されている¹⁾ラベンダー、ミス率の低下に影響を及ぼすと報告されている³⁾ジャスミンを採用した。また、熱的快適性の改善という観点から温冷感に影響を及ぼすと報告されている²⁾スペアミントを採用した。さらに、悪臭が知的生産性に及ぼす影響に関する既往の研究はあまり見られないため、悪臭としてメチルメルカプタンを採用した。また、におい有り条件との比較として噴霧無し条件も行った。噴霧には精油用噴霧器((株)生活の木製, アロマ圧縮空気式)を用い、噴霧

は強モード(20秒噴霧、40秒休止の繰り返し)で行った。メチルメルカプタンは在室者への健康影響の観点から、閾値濃度より少し高い濃度になるようにメチルメルカプタンナトリウム15%水溶液を水で希釈して噴霧した。

1.1 三点比較式臭袋法による臭気濃度測定手法

実験は2019年1月31日～2月4日のうち、3日間実施した。パネルは嗅覚テストに合格し、正常な嗅覚を有する21歳～24歳の本学学生9名(男性7名、女性2名)を採用した。いずれのパネルも喫煙習慣はなかった。

におい試料の採取は、大阪大学吹田キャンパス内にあるにおい実験室(コンテナを改造したもの、以降コンテナ)で行った。コンテナ内全面はステンレス板と無臭テープで覆っている。試料の作成は、コンテナにある臭気作成室内(ステンレス製)を、ポリエチレンテレフタレートフィルムで区切った容積0.39m³の空間で行った。臭気作成室の換気量は1m³/hを目標として設定した。噴霧したにおいが均一になるようにサーキュレータを臭気作成室内の空間に配置した。実験中のCO₂濃度及び温湿度は小型CO₂濃度計((株)ティアンドデイ製, TR-76Ui)を用いて連続測定を行った。コンテナ内平面図および測定点位置をFig. 1、断面図をFig. 2に示す。換気量を制御するため、給気装置にある超音波流量計で流量を確認しながらファン流量を調整した。また、においは前述の4試料に加えてローズマリー精油も測定した。

噴霧したにおいの濃度が定常の状態5ℓのサンプリングバッグ(近江オドエアーサービス(株)製)にサンプリングポンプ(近江オドエアーサービス(株)製, AC型)で1分間サンプルを採取した。これは、噴霧器が20秒噴霧、40秒休止の周期で動作するので、空間の平均濃度に近い臭気を採取するためである。

三点比較式臭袋法は窓を開けて換気した会議室で行った。希釈倍数については、事前の検討により臭気濃度が

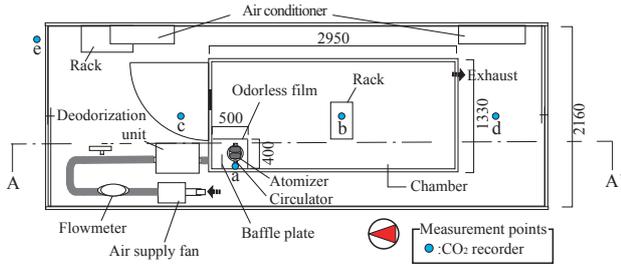


Fig. 1 Laboratory plan

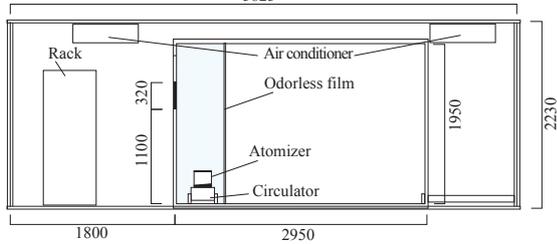


Fig. 2 Laboratory section

低いにおいもあると予想されたため、低濃度の臭気濃度を測定しやすいように2倍系列の希釈倍数で行った。

1.2 主観評価及び知的生産性についての実験概要

本実験は2018年10月17日～11月8日のうち、15日間実施した。パネルとして25歳以下の本学学生46名(男性23名、女性23名)を採用した。なお、パネルは全員非喫煙者であり、パネルには適切な報酬を支払った。服装は条件を統一するため長袖・長ズボン・靴下着用(0.5clo)を指定した。

実験は大阪大学の人工気候室で行った。気候室の排気風量は全条件で一定(420m³/h)とした。また、湿度制御は行わなかった。実験中の温湿度及びCO₂濃度は、小型温湿度計((株)ティアンドデイ製, RTR-53A)、小型CO₂濃度計((株)ティアンドデイ製, TR-76Ui)を用い、PMVとSET*はPMV計(京都電子工業(株)製, AM-101)を用いて連続測定を行った。排気CO₂濃度はCO₂濃度計(ヴァイサラ(株)製, GM70)を用いて連続測定を行った。気候室内平面図と測定点位置をFig. 3に示す。

温度条件は、低温環境を想定して16℃、中立温度環境を想定して24℃、高温環境を想定して32℃の計3条件で実施した。メチルメルカプタンは悪臭でパネルに不快感を与える可能性があったため、複数回行わず24℃条件のみ実施した。各パネルの実験参加日数は不統一である。実験条件と参加人数の関係をTable 1に示す。

実験タイムスケジュールをFig. 4に示す。入室直後にパネルの体調などに関する調査を行い、においや空間に関する主観評価及びd2テストは計3回行った。ただし、d2テストの1・2回目は練習として実施し、結果や考察では3回目のd2テストの成績のみを用いた。d2テストの内容については次報⁴⁾で報告する。

においの主観評価実験における評価項目として、においの強さ、印象、快適性、嗜好性、刺激度等がある。本実験ではにおいの評価項目として[1]印象、[2]受容度、

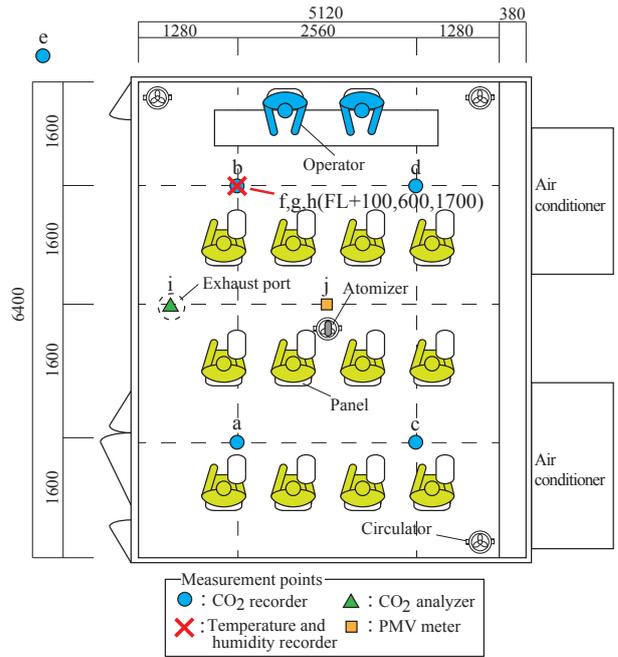


Fig. 3 Experimental chamber plan

Table 1 Experimental conditions and the number of participants

	No atomizing	Spearmint	Jasmin	Lavender	Methyl mercaptan
16℃	11	14	8	18	
24℃	13	18	11	9	19
32℃	15	13	13	13	

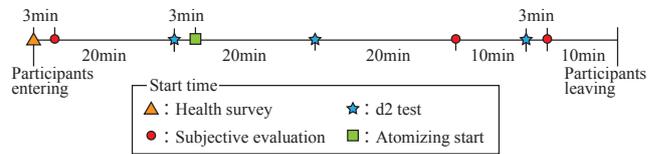


Fig. 4 Time schedule

[3]臭気強度、[4]快・不快度、[5]嗜好性を採用した。また、におい以外に知的生産性へ影響を与える要素を調査するため、[6]空間に対する印象評価とパネル自身の[7]パフォーマンス評価を評価項目として採用した。各評価項目の例をFig. 5に示す。

2. 結果と考察

2.1 閾値を基にした発生量算定

パネルごとの臭気濃度測定結果をFig. 6に示す。においによって個人間で差が大きいものと小さいものがあった。「スペアミント」「メチルメルカプタン」は、あまり個人間で差がないのに対し、「ジャスミン」「ラベンダー」では個人間で大きな差があった。「ジャスミン」「ラベンダー」に関しては、パネルbが非常に高い希釈倍数まで正解しており、パネルbはこれらにおいて敏感であると考えられる。しかし、その他の条件ではパネルbは他のパネルとあまり変わらない希釈倍数での正解だった。また、パネルaは「メチルメルカプタン」で最も成績が良いのに対し「ジャスミン」で最下位の成績だった。パネルcは「ローズマリー」「スペアミント」で最も成績が良いのに対し「ジャスミン」で最下位の成



Fig. 5 Scales for subjective evaluations

績だった。パネルごとに、高い嗅覚閾値を示すのはお
 いによって異なると考えられる。

条件ごとの臭気濃度測定結果を Fig. 7 に示す。「ロー
 ズマリー」が最も高く「メチルメルカプタン」が最も低
 かった。「メチルメルカプタン」は閾値濃度より少し高
 い濃度に希釈していることや、精油ではないメチルメル
 カプタンナトリウム水溶液を精油用噴霧器で噴霧してい
 ることから臭気濃度が低くなったと考えられる。

本研究では精油用噴霧器の発生量定量化のために、
 OER(Odor Emission Rate)[m³/min] を用いた。OER は、
 臭気濃度に換気量 [m³/min] を乗じて得られる。Table 2
 に各においの OER を示す。臭気作成に用いた噴霧器は
 2 つであり、噴霧器が 1 つの場合の OER も同時に算出
 した。OER は「ローズマリー」が最も高く、他のにお
 いと非常に大きな差があった。また、主観評価実験で用
 いたにおいの中では「ラベンダー」が最も高かった。

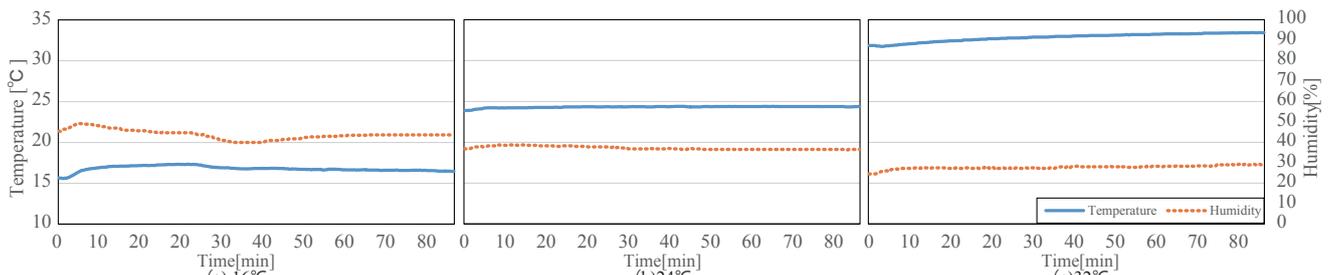


Fig. 8 The example of temperature and humidity temporal change

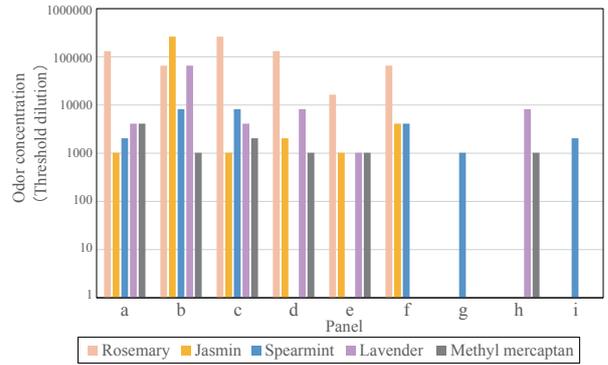


Fig. 6 Odor concentration of each panel

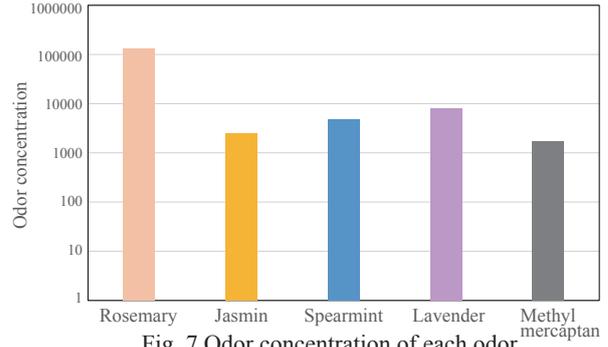


Fig. 7 Odor concentration of each odor

Table 2 Odor emission rate of each odor

	Odor concentration	Ventilation rate [m ³ /min]	Odor emission rate[m ³ /min]	
			Two essential oil atomizers	One essential oil atomizer
Rosemary	128825	0.0259	3338	1669
Jasmin	2427	0.0221	54	27
Spearmint	4842	0.0153	74	37
Lavender	8128	0.0162	131	66
Methyl mercaptan	1718	0.0205	35	18

2.2 主観評価実験結果

噴霧無し条件の気候室内温湿度経時変化を Fig. 8 に示
 す。この値は、気候室内測定点 a, b, c, d の値を平均し
 たものである。温度は想定した値に概ね制御できた。ま
 た、湿度は特に制御を行っていないため各条件ごとに値
 は異なるが、実験を通して概ね一定であった。また、気
 候室でのにおいの臭気濃度を Table 3 に示す。

(1) 温度の違いによる影響

温度による影響の違いを見るために、各におい条件ご
 との評価結果を Fig. 9 に示す。図中データにはにおい噴
 霧後、つまり 2 回目の評価のみを用いた。また、各項目
 の値と「噴霧なし」の値との間で t 検定を行った。

評価を見ると、「噴霧無し」では 32°C で臭気強度が最
 も高く、受容度・快不快度・嗜好度は悪い評価側に寄

Table 3 Odor concentration in experimental chamber

	Odor emission rate[m ³ /min]	Ventilation rate[m ³ /min]	Odor concentration
Jasmin	26.8	7	3.8
Spearmint	37.1	7	5.3
Lavender	65.6	7	9.4
Methyl mercaptan	17.6	7	2.5

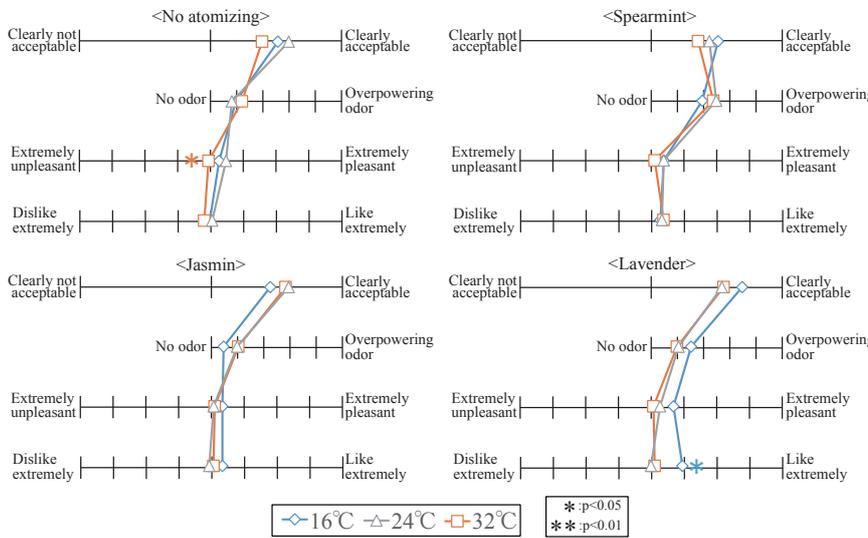


Fig. 9 Evaluation of acceptability, odor intensity, hedonic scale, preference of each temperature

ていた。「スペアミント」では、温度による違いはあまり見られなかった。「ジャスミン」では16°Cで臭気強度が最も低く、受容度は悪い評価側に寄っており、反対に快不快度・嗜好度は良い評価側に寄っていた。「ラベンダー」では16°Cで臭気強度が最も高く、受容度・快不快度・嗜好度は良い評価側に寄っていた。「スペアミント」「ジャスミン」は16°Cで最も臭気強度が低いのに対し、「ラベンダー」は16°Cで最も臭気強度が高かった。臭気強度に温度条件が影響を与えている可能性があり、その影響はにおいによって異なっている。

(2) においの違いによる影響

においによる影響の違いを見るために、各温度条件ごとの評価結果を Fig. 10 に示す。図中データにはにおい噴霧後、つまり2回目の評価のみを用いた。また、各項目の値と「噴霧無し」の値との間でt検定を行った。

評価を見ると、16°Cでは「スペアミント」が最も臭気強度が高かったが、受容度・快不快度・嗜好度は「ラベンダー」のほうが良い評価側に寄っていた。「ジャスミン」は全ての項目で他のにおいより悪い評価側に寄っていた。24°Cでは、16°Cと同様に「スペアミント」が最も臭気強度が高かった。受容度は「メチルメルカプタン」が最も良く、「スペアミント」が最も悪い評価側に寄っていた。また、快不快度・嗜好度はにおいによる差はあまりなかった。32°Cでも「スペアミント」が最も臭気強度が高かった。受容度は「スペアミント」が最も悪く、「ジャスミン」「ラベンダー」が最も良い評価側に寄っていた。また、快不快度・嗜好度は、におい条件間の差異はあまりなかった。

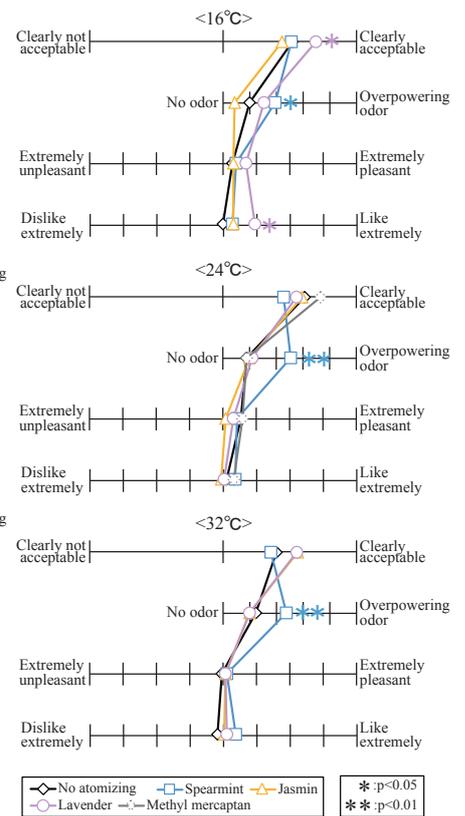


Fig. 10 Evaluation of acceptability, odor intensity, hedonic scale, preference of each odor

おわりに

本報では、精油用噴霧器により噴霧されたアロマの臭気濃度を測定し、精油用噴霧器の発生量定量化を行った。また、においと温熱環境が主観評価に及ぼす影響を検討した。OERは「ローズマリー」が最も高く、他のにおいと非常に大きな差があった。主観評価に関しては、16°Cでにおいの違いによる差が最も見られた。「スペアミント」「ジャスミン」は16°Cで最も臭気強度が低いのに対し、「ラベンダー」は16°Cで最も高く、温度条件が臭気強度に影響を与えている可能性があり、その影響はにおいによって異なっている。今後は、においや温度の条件を増やして実験を行い、さらなるデータの収集と検討が必要である。

なお、本研究は大阪大学工学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。

【参考文献】

- 1) 浅野智絵美, 伊藤輝子, 川野直子: グレープフルーツおよびラベンダーの匂い刺激による生理・心理機能への影響, 日本味と匂学会誌, Vol. 16, pp. 633-636, 2009. 12
- 2) 吉江幸子, 菊池史倫, 京谷隆, 潮木知良, 川崎たまみ, 遠藤広晴, 池田佳樹: 暑熱環境において香気が温冷感に及ぼす影響, 鉄道総研報告, Vol.31, No.11, pp. 41-46, 2017
- 3) 岩崎基行: においによる快適空間づくり, 臭気の研究, 27巻5号, pp. 255-259, 1996. 9
- 4) 吉本梨紗, 山中俊夫, 竹村明久, 小林知広, 崔ナレ, 近藤弘基: においと温熱環境が主観評価及び知的生産性に及ぼす影響(その2) 印象評価およびd2テストを用いた知的生産性の検討, 空調調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, 2019. 3 (掲載予定)

においと温熱環境が主観評価及び知的生産性に及ぼす影響
 (その2) 印象評価および d2 テストを用いた知的生産性の検討

**Influence of Odor and Thermal Environment
 on Subjective Evaluation and Workplace Productivity
 (Part 2) Evaluation of Impression and Wotkplace Productivity with the Use of d2 Test**

○ 吉本 梨紗 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学) 竹村 明久 (摂南大学)
 小林 知広 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学) 近藤 弘基 (大阪大学)

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

Tomohiro KOBAYASHI*¹ Narae CHOI*¹ Koki KONDO*¹

*¹ Osaka University *² Setsunan University

Recently, it becomes an active area of research to improve not only comfortableness of occupants but also workplace productivity in the design of offices and schools. We should conduct the experiments in complex environment for closer to real space. This paper shows the results of sensory evaluation and intellectual task to make it clear how odor and thermal environment affect workplace productivity of occupants and we also consider how proficiency of task influences its results.

はじめに

近年、オフィスや学校等の設計において、在室者の快適性のみでなく、更に知的生産性の向上を求める研究が盛んである¹⁾。そういった実験がなされる場合、温熱・光・視環境といった様々な要素の中から1つの環境条件のみに着目されがちであるが、実空間において我々はそれら複数の要素が互いに影響しあう複合環境の中で生活をしており、その影響を十分に調査する必要がある。

本研究では温熱環境と臭気曝露という2つの条件を変化させた被検者実験を行い、主観評価と知的生産性に及ぼす影響について検討した。西原ら²⁾は精神作業を対象とする場合、単に作業成績のみでは知的生産性に与える影響を評価することは難しいとしている。覚醒やモチベーション等の心理的な要因も重要な要素の1つであると考えられ、特に個人差が考えられやすい臭気を対象とする場合には、主観評価を用いた検討が非常に重要である。前報では³⁾、本研究にて行った被検者実験の概要と主観評価の結果について報告した。本報では引き続き主観評価の結果を報告すると共に、知的作業テストの結果と習熟度が及ぼす影響の検討について報告する。

1. 実験概要

実験概要については前報³⁾で述べた通りである。実験条件を Table 1 に、タイムスケジュールを Fig. 1 に示す。知的生産活動を測定する手法として本研究では d2 テスト⁴⁾を実施した。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1つである⁵⁾。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、パネルには 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。通常このテストには 1 行各 20 秒の制限時間が設けられているが、本研究ではより高度なタスクを課すため、1 行の制限時間を 12 秒に設定した。成績は達成率 (総回答数 ÷ 総数) およびミス率 ((見落とし数 + 誤答数) ÷ 総回答数) で評価した。

Table 1 Experiment conditions

	No atomizing	Spearmint	Jasmin	Lavender	Methyl mercaptan
16°C	10/19 (Fri.) M:8 F:6 Total:11	10/24 (Wed.) M:8 F:6 Total:14人	10/30 (Tue.) M:7 F:1 Total:8人	11/5 (Mon.) M:6 F:13 Total:18	
24°C	10/20 (Sat.) M:6 F:7 Total:13	10/25 (Thu.) M:8 F:10 Total:18	10/27 (Sat.) M:6 F:5 Total:11	10/31 (Wed.) M:5 F:4 Total:9	11/8 (Thu.) M:7 F:12 Total:19
32°C	10/18 (Thu.) M:8 F:7 Total:15	10/29 (Mon.) M:7 F:6 Total:13	10/26 (Fri.) M:6 F:7 Total:13	11/7 (Wed.) M:7 F:6 Total:13	

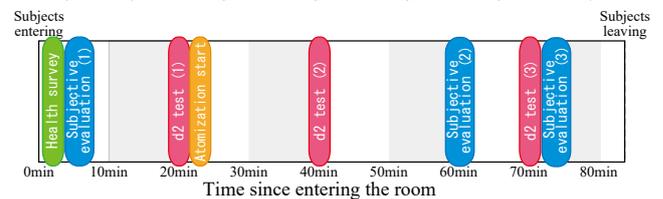


Fig. 1 Time schedule

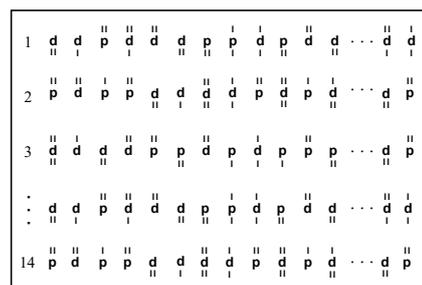


Fig. 2 A part of d2 test paper

2. 習熟度に関する検討

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と考えられた。そこで本実験前に事前練習を各人 10 回実施した。その 10 回の値に対し、習熟度合いを近似的に示す曲線 (以降習熟曲線) を各パネルに対し、引くことができる。習熟度は最初急激に上昇した後、横ばいになることが予想されたので指数関数を用いて近似を行った⁶⁾。習熟曲線は、達成率に対しては実施回数の増加に伴い個人で異なる上限値 (~ 100%) に限りなく近づくと考えた為、式 1 で近似した。

$$r_a = (100 - k_1 - k_2)(100 - e^{-k_3 n}) + k_1 \quad \dots (式 1)$$

ここで r_a はその回の達成率、 k_1 、 k_2 、 k_3 は係数、 n は実施回数である。ただし達成率が 100% を超えることは無

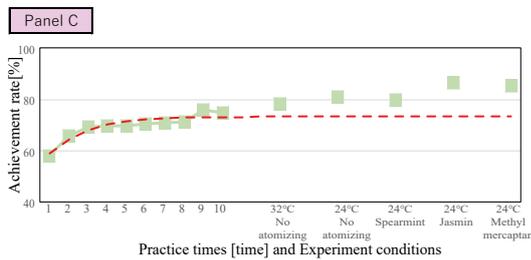


Fig. 3 The example of achievement rate excluded of d2 test

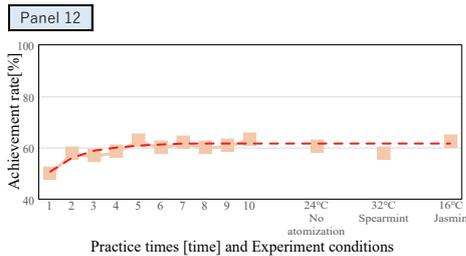


Fig. 4 The example of achievement rate included of d2 test

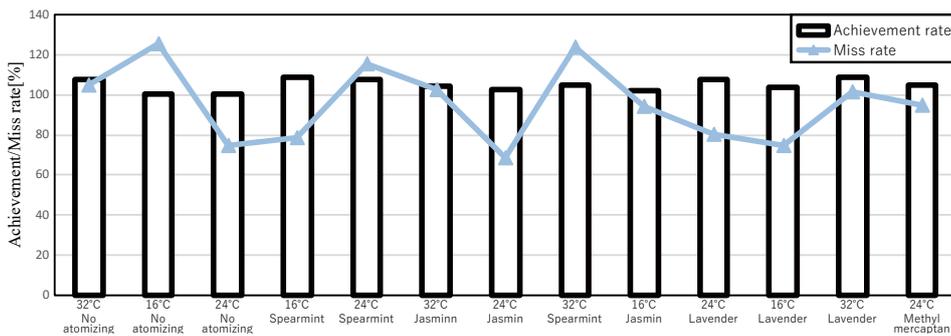


Fig. 5 The results of d2 test arranged in order of experiments

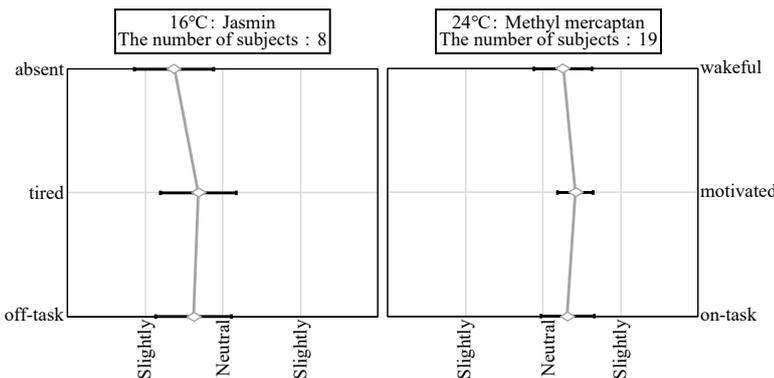


Fig. 6 The example of comparison of 95% confidence interval

いので $k_1 \geq 0$ の条件を与える。またミス率に対しては実施回数の増加に伴い個人で異なるミス率 (0% ~) に限りなく近づくと考えた為、式 2 で近似した。

$$r_m = t_1 e^{-t_2 n} + t_3 \quad \dots (式 2)$$

ここで r_m はその回のミス率、 t_1 、 t_2 、 t_3 は係数、 n は実施回数である。ただしミス率が 0% を下回ることは無いため、 $t_3 \geq 0$ の条件を与える。

事前練習の 10 回に本実験の d2 テストの実施回数を加えた値を n に代入した値を用いて本実験の結果を基準化した。ただし Fig. 3 のように 10 回の練習以降も実験条件に関わらず習熟を続けていると考えられるパネルがいた為、それらのデータは本実験の結果から取り除いた。本実験の結果に採用したデータの例を Fig. 4 に示す。Fig. 5 に d2 テストの達成率・ミス率の結果を、実験を実施した順に並べた図を示す。最も中盤に実施した「24°C ジャスミン条件」を基準に、その前後の結果を比較すると、特に後半で達成率が高い、もしくはミス率が低いということはなく、概ね習熟度の影響は考慮できたとと言える。

3. 結果と考察

3.1 参加者数が異なる条件間の心理評価の信頼区間の比較

本実験では実験日によってパネル数が異なり、1 度の実験に最低で 8 人、最高で 19 人のパネルが参加した。そこで実験の参加パネル数が評価値のばらつきに及ぼす影響を把握する為、各実験での自己パフォーマンス評価の平均値の 95% 信頼区間を Fig. 6 に示す。参加者 8 人の条件に比べ、19 人の時の方が 95% 信頼区間は狭く、パネル数が約 2.5 倍であれば信頼区間は約 0.5 倍であった。

各実験日共に一番ばらつきの大
 きい「ぼんやりとした・覚醒
 している」の項目で、信頼区間は
 8 人の際は ± 0.5 段階程度、19
 人の際は ± 0.4 段階程度である。

3.2 における印象評価結果

各温度条件ごとの、における
 印象評価結果を Fig. 7 に示す。

ここで示す評価値は各実験時の
 2 回目の評価を、各条件の参加

パネル数で平均したものである。各項目の平均
 値と噴霧無しでの平均値との間で t 検定を行っ
 た。16°C 条件ではラベンダーで「温かい・冷
 たい」の項目で温かい側へ有意差が見られた
 ことから、ラベンダーは温かい印象を与える
 臭気であることが考えられる。また「開放的な・
 閉鎖的な」の項目ではいずれの臭気も開放的
 な側への印象を与えている。また 32°C 条件で
 は「むっとした・さわやかな」の項目ではラ
 ベンダーとスペアミントがさわやかな印象を与

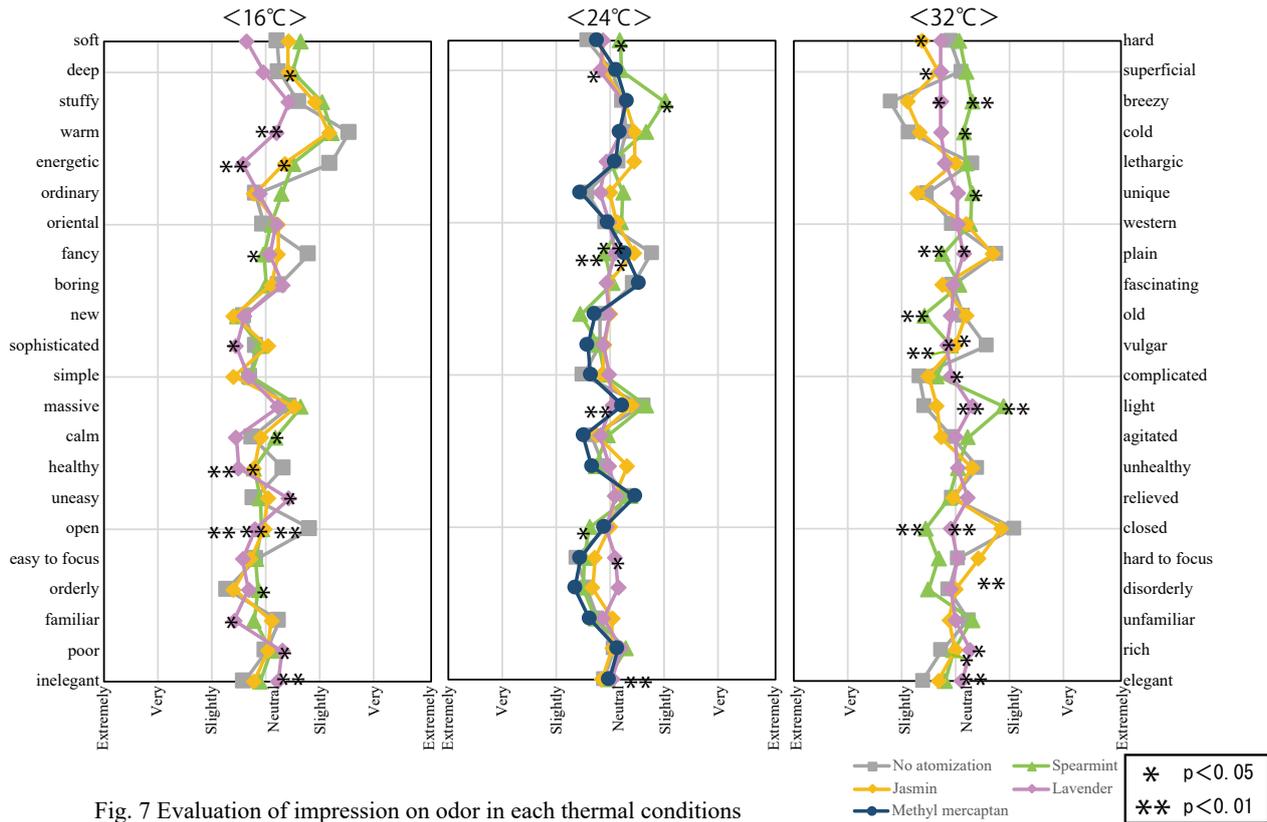


Fig. 7 Evaluation of impression on odor in each thermal conditions

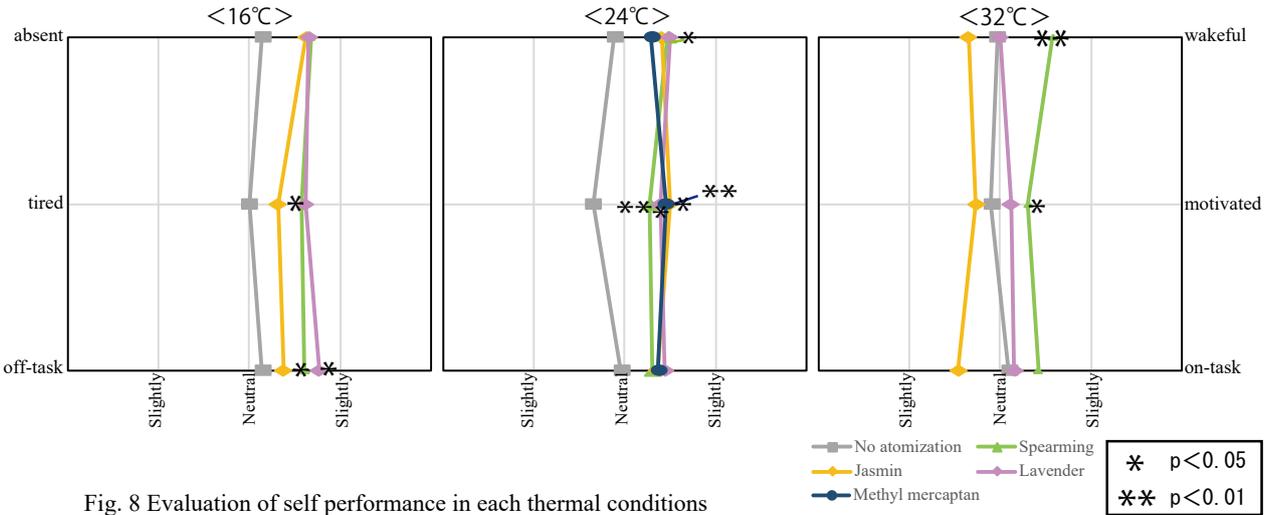


Fig. 8 Evaluation of self performance in each thermal conditions

えており、特にスペアミントはp値が0.01を下回っている。他にもスペアミントは「温かい・冷たい」の項目で冷たい側へ有意差が見られており、気温が高い場合にスペアミントのにおいを噴霧することで在室者の持つ気温が高い印象を和らげ、空調負荷を軽減することができる可能性がある⁷⁾。スペアミントはその他の項目でも32°C条件では多くの有意差が見られ、気温が高い方がその印象効果が多く得られる傾向にあると考えられる。いずれの臭気も噴霧無しに比べ、「上品な・下品な」の項目では上品な側に有意差が見られた。16°C条件では特にラベンダーで多くの項目にて有意差が見られているのに対し、32°C条件ではスペアミントで多くの項目にて有意差が見られた。このことから、臭気と温度との複合効果の存在が考えられる。

3.3 自己パフォーマンス評価結果

各温度条件ごとの自己パフォーマンス評価結果をFig. 8に示す。評価値は3.2と同じ処理を施した。16°C条件ではスペアミントにて「やる気がある・疲れている」項目でやる気がある側に、「集中している・集中していない」項目で集中している側に有意差が見られた。ラベンダーでも集中している側へ有意差が見られた。その他の項目でも、有意差は見られないものの、どの臭気においても噴霧無しに比べ、やや覚醒側へ寄る傾向が見られる。24°C条件ではいずれの臭気でも噴霧無しとの間に、やる気がある側への有意差が見られている。32°C条件ではスペアミントで特に覚醒側へ有意差が見られる。反対にジャスミンは噴霧無しに比べ、有意差は見られないものの、ぼんやりしている・疲れている・集中していない

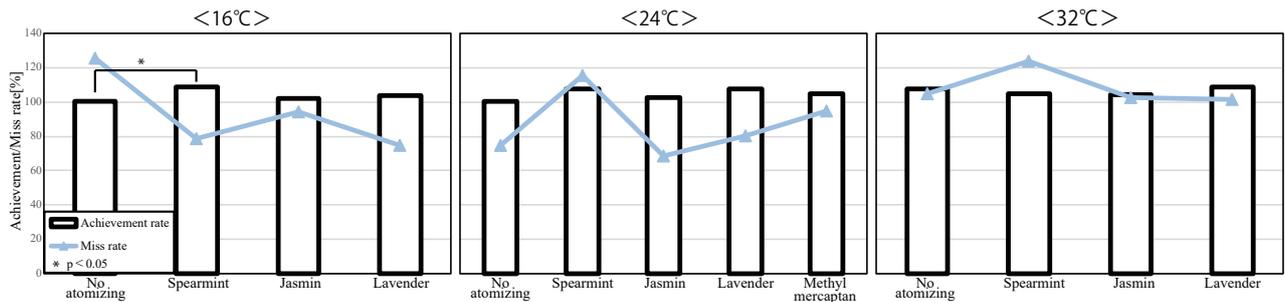


Fig. 9 The performance of d2 test

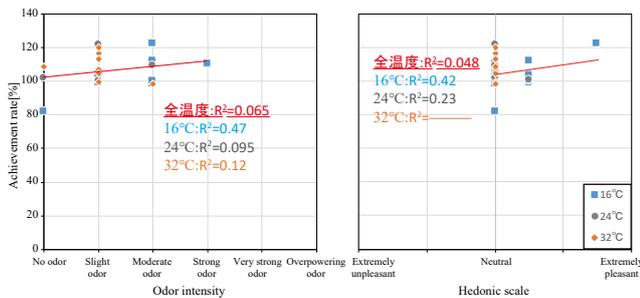


Fig. 10 The example of the correlation between subjective evaluation and performance of d2 test

といった不覚醒側へ寄っている傾向が見られた。周囲の環境に合わせた噴霧が、覚醒効果に有効だと示唆された。

3.4 d2 テスト結果

2. で示した習熟曲線を基にした基準化後の d2 テストの達成率とミス率の結果を Fig. 9 に示す。24°C 噴霧無し条件にて達成率が 100% に近く、習熟度の考慮は概ねできていると考えられるが、ミス率は 80% 程度となっており、今後更なる検討が必要である。16°C 条件でのみ、噴霧無しに比べスペアミントにて達成率が有意に増加した。その他の温度条件ではスペアミントでミス率が噴霧無し条件に比べ増加している。どの温度条件でも概ね臭気を噴霧することで達成率は増加しているが、24°C・32°C 条件にてミス率ではあまり臭気の効果があるとは言えない。ただし 16°C 条件では噴霧無しに比べミス率が低下しており、においの効果は温度が低い時に表れやすいことが示唆された。

3.5 主観評価と d2 テスト結果の相関

心理的影響と知的作業の関係を把握することを目的に、主観評価と d2 テストの結果の相関を検討した。その一例として、ラベンダー条件における結果を Fig. 10 に示す。縦軸は d2 テストの達成率 [%]、横軸は臭気強度もしくは快・不快度である。図中に全温度で算出した決定係数と、温度別に算出した決定係数を示している。32°C

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 西原，田辺：中程度の高温環境下における知的生産性に関する研究，日本建築学会環境系論文報告集，68(568)，pp. 33-39, 2003
- 3) 近藤，山中，竹村，小林，崔，吉本：においと温熱環境が主観評価及び知的生産性に及ぼす影響（その 1）臭気濃度測定及び臭気強度・快不快度の検討，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，2019. 3（掲載予定）
- 4) Brinckenkamp, R. and Zillmer, E. : d2 Test of Attention, Hogrefe & Huber Publishers, 1998

条件では快・不快度にて全パネルが「快でも不快でもない」と評価したため、決定係数を算出できなかった。今後更に濃度条件を増やした検証が必要である。全温度条件から相関を取ると、決定係数は 0.1 以下と非常に小さい値となるが、温度条件ごとに分けて比較すると、特に 16°C 条件にて、その決定係数は 0.4 を上回った。臭気強度との相関を表した図を見ると、その値は 24°C・32°C 条件の値を大きく上回ることから、ここでもおの効果が温度の低い時に最も表れていることがわかり、3.4 と似た傾向を示した。しかし 32°C 条件における値は 24°C 条件の値を若干上回っており、傾向を正確に把握する為には、今後更なるデータの蓄積が必要である。

おわりに

本報では、被検者実験を行い、臭気と温熱環境が在室者の主観評価と知的生産性に及ぼす影響を考察した。また、d2 テストを実施する上で習熟の影響を考慮する手法についても検討した。主観評価では特に、スペアミントとラベンダーにて有意差が見られた。またその影響の表れ方は温度によって異なり、温度と臭気の複合効果が確認できた。臭気を噴霧することで在室者の覚醒レベルを高めることができる可能性がある。d2 テストの結果から、においの効果は温度が低い時に、より表れることが示唆され主観評価と d2 テスト結果の相関からも似た傾向が見られた。d2 テストの習熟度の検討において、達成率では概ね考慮できているものの、ミス率ではより一層の検討が必要であると考えられる。今後は濃度条件や臭気の種類を増やし、更なるデータの収集と蓄積が求められる。

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】

本研究の d2 テスト作成にあたり、ご助言いただきました Pawel Wargocki 氏（デンマーク工科大学）に深謝いたします。

- 5) 矢藤，廣瀬，Wallon, P., Mesmin, C. and 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
- 6) 船田，船田，洪川：正答数による習熟曲線と事象関連電位の個人差に関する研究，人間工学，第 50 巻，Supplement 号，pp. 326-327, 2014
- 7) 安田，野城，馬郡，稲垣，飯沼，古口：天然成分のアロマを活用した執務環境の快適性に関する研究，日本建築学会環境系論文報告集，2010，pp. 83-84, 2010. 9

大学施設内のマイクロバイオームの実態に関する調査研究
 (第2報) 便所・エレベータ内および研究室内細菌叢の実態調査
Research on Actual State of Microbiome in University Facilities
(Part 2) Survey on Microbiome in Toilet, Elevator and Laboratory

○福ヶ野 拓也 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
 小林 知広 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学)
 Takuya FUKUGANO*¹ Toshio YAMANAKA*¹ Tomohiro KOBAYASHI*¹ Narae CHOI*¹
 *¹ Osaka University

In facilities where many people gather, such as schools, hospitals and public facilities, air infection and contact infection are problematic. In this research, by analyzing microbiomes existing in the air and the surfaces of fittings in the building space at the DNA level, we will clarify the characteristics of the bacteria in the building space and their propagation pathways. In this report, we report the results of investigation of microbiome in the toilet, elevator, and laboratory in a certain building in Osaka University in both summer and winter.

はじめに

学校や病院、高齢者施設などの多くの人々が集まる施設において、空気感染や接触感染などのヒト-環境-ヒト間での感染により多くの人々が健康被害を受けたという報告が絶えない。直近でも、秋田県大仙市内の某特別養護老人ホーム内で職員と入所者など合わせて計26人がインフルエンザA型に集団感染し、2019年1月5日に入所者の女性が1人死亡したという報告がなされている。

本研究は建築空間内において空気中および建具などの表面に存在するマイクロバイオーム(微生物叢)をDNAレベルで解析することで、それぞれの対象空間中に存在する細菌の特徴およびそれらの伝搬経路について考察することを目的とし、本報では2017年12月(冬期)の大阪大学構内の某建物での調査結果に加え、2018年7月(夏期)の同建物での調査結果も併せて報告する。

1. 測定概要

測定は大阪大学構内の某建物内とし、冬期の測定では7階および8階男子便所とエレベータを対象とし、夏期の測定では8階男子便所とエレベータ、そして研究室を対象とした。Fig.1にこれら諸室を含む平面図(サンプル採取箇所も記載)を示す。まずは冬期の測定について説明を行う。Fig.2に測定スケジュールを示す。2017年12月4日の19:00にサンプル表面をアルコール除菌し、そこから1週間放置した後の2017年12月11日18:00~22:00にサンプル採取を行った。そこから8階男子便所にて1週間次亜塩素酸水を噴霧し、7階男子便所では1週間放置し、2017年12月18日18:00~20:00に便所のみでサンプル採取を行った。噴霧の方法については既報¹⁾を参照されたい。既報¹⁾でDNA解析では除菌効果の確認ができないことが分かったため、本報では除菌に

Table.1 Equipment used by each measurement

temperature, relative humidity, CO ₂ concentration	
measuring equipment	thermo-hygrometer (T&D RTR-53A, T&D RTR-576)
floating bacteria	
measuring equipment	air pump (Shibata Science LTD. MP-Σ500N II), PTFE 0.3 Filter
adhered bacteria	
measuring equipment	swab

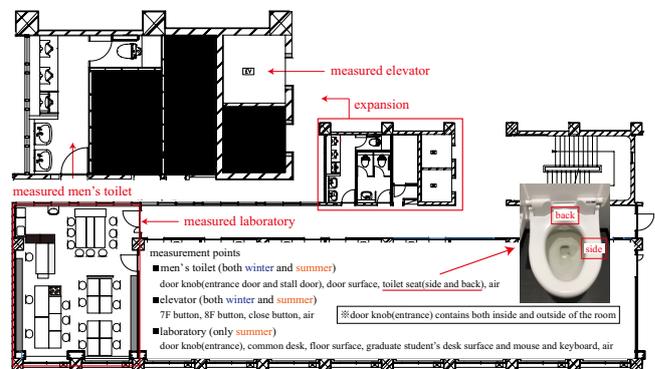


Fig.1 8th floor plan & measurement points

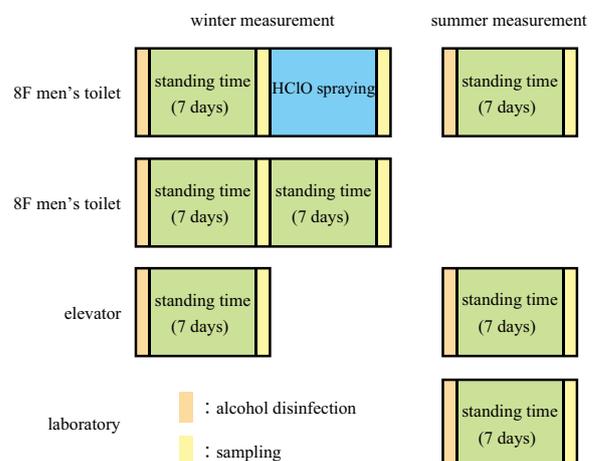


Fig.2 Measurement schedule

についての考察は行っていない。続いて夏期の測定について、2018年7月23日23:00にサンプル表面をアルコール除菌し、そこから1週間放置した後の2018年7月30日17:00～22:30にサンプル採取を行った。Table.1に測定項目と用いた機器を示す。冬期夏期の両測定において、温湿度とCO₂濃度をアルコール除菌時からサンプル採取までの期間継続的に計測をした。浮遊微生物および付着微生物の拭き取りサンプリングの手法は既往論文²⁾に従った。採取したサンプルは、工学院大学へ冷凍輸送し、DNAの抽出以降の全行程を委託した。

2. 測定結果

2.1 環境測定結果

バックグラウンドの温湿度データの平均値をTable.2に示す。便所やエレベータは非空調室であるため、夏は高温多湿で冬は低温低湿となっていた。研究室内は学生が在室している間は空調されているため、温湿度は高くなりすぎたはいなかった。

2.2 獲得データ量

Fig.3およびFig.4にそれぞれ冬、夏の各サンプル採取箇所でのリード数を示す。リード数とはDNA断片の塩

基配列の単位で、獲得データ量を表す。PCRによる増幅が同時に行われなかったサンプルどうしはリード数の比較ができないため、Fig.3とFig.4間でリード数の比較はできないことに注意されたい。Fig.3の冬期の結果では7階便所および8階便所のサンプルを取り扱っているが、便所の同じ箇所でも階が異なればリード数に大きく差が生じており、階によって使う人の性質や使われ方の違いなどにより菌数や菌叢に差が生じることが示唆される。またFig.4では研究室でのサンプルも含まれており、リード数を見れば研究室内のサンプルのリード数は相対的に小さく、不特定多数の人が使用する便所やエレベータ内のサンプル(空気を除く)のリード数は相対的に大きいことが分かる。多くの人に利用される(触れられる)箇所では細菌の付着が促進される可能性が考えられる。また冬期でも夏期でも便座(後ろ)のリード数が比較的高いことが分かる。前報¹⁾でも述べたように、この箇所では人の糞便に多量に含まれる腸内に生息する

Table.2 Average temperature, humidity and CO₂ concentration

		8F toilet		7F toilet		elevator		laboratory	
		winter	summer	winter	summer	winter	summer	winter	summer
average	temperature (°C)	15.8	31.2	15.1		15.8	32.0		27.0
	humidity (%RH)	37.3	59.0	35.2		29.0	54.4		65.3
	CO ₂ (ppm)	521	391	485		×	×		745

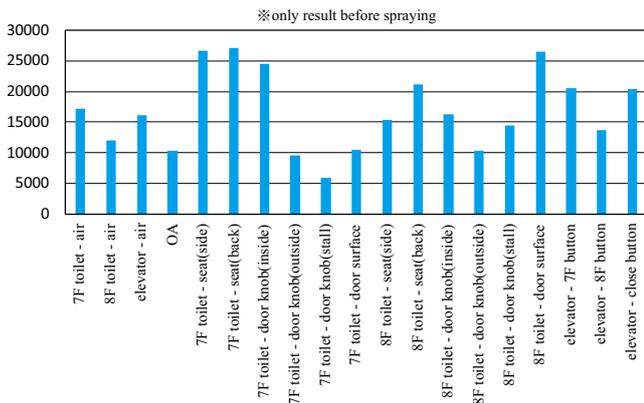


Fig.3 The number of lead (the number of bacteria) of each sample in winter

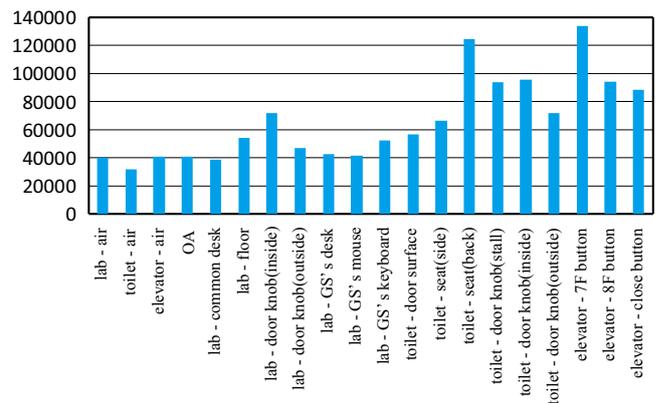


Fig.4 The number of lead (the number of bacteria) of each sample in summer

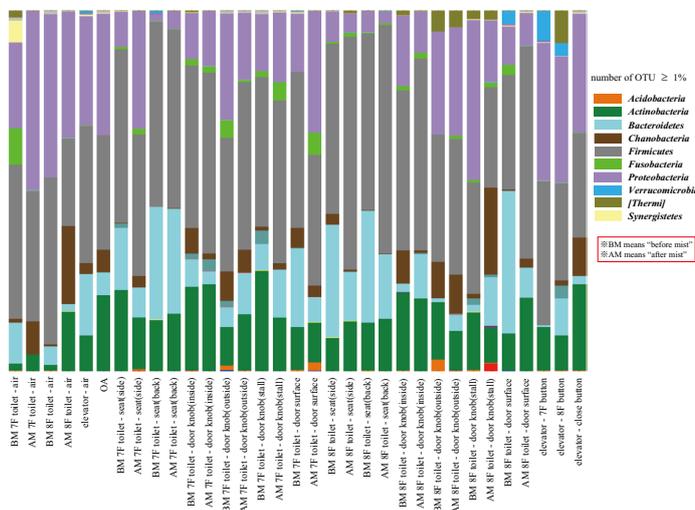


Fig.5 Composition ratio focusing on phylum of each sample in winter

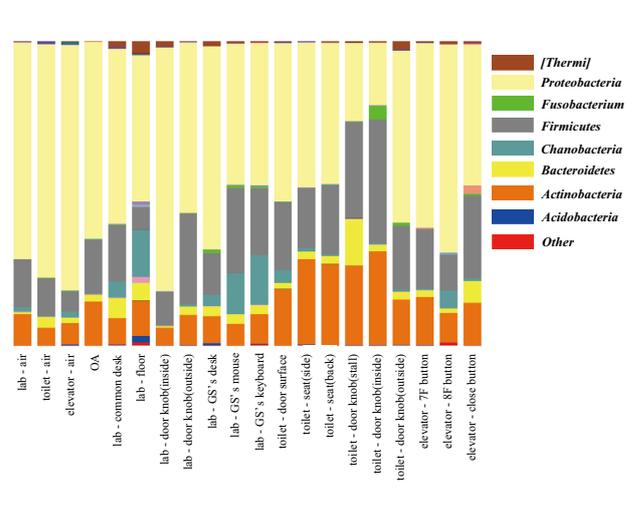
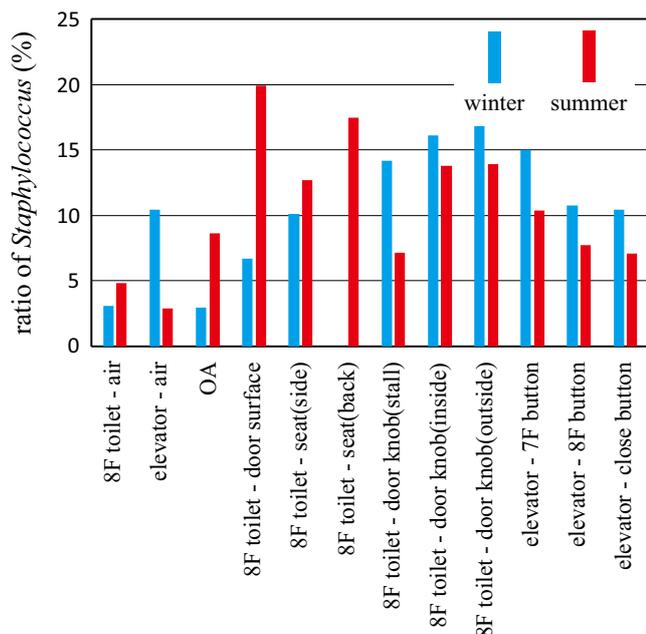


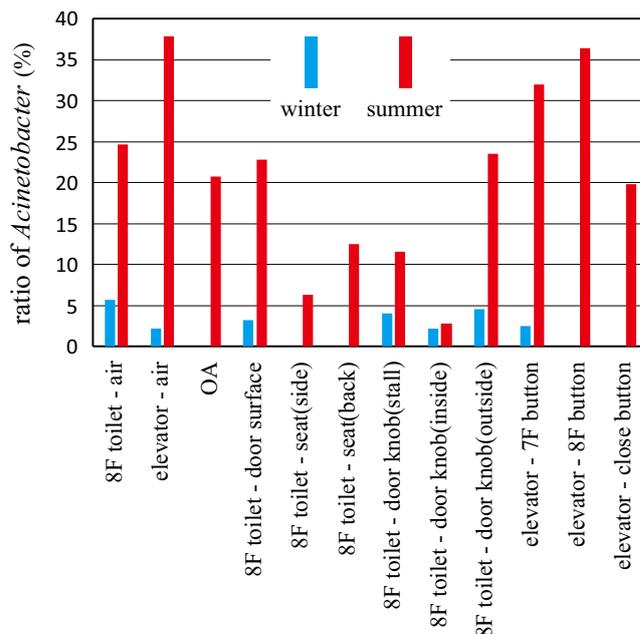
Fig.6 Composition ratio focusing on phylum of each sample in summer

Fig.7 Ratio of *Staphylococcus* of each sample in winter and summer

細菌が、検出された全ての細菌の中で30%～40%と非常に高い割合を占めていた。

2.3 検出された細菌の組成比

Fig.5、Fig.6にそれぞれ冬期および夏期に採取したそれぞれのサンプルで検出された細菌の「門」に着目した組成比を示す(細菌は「門」⇒「綱」⇒「目」⇒「科」⇒「属」⇒「種」と分類される)。冬期(Fig.5)では *Firmicutes* 門の検出が最も高いことが分かった。この *Firmicutes* 門に分類される細菌の中では *Staphylococcus* 属(ブドウ球菌属: ヒトから分離されることが多い常在細菌であり、大部分は非病原性であるが、黄色ブドウ球菌、表皮ブドウ球菌、腐性ブドウ球菌の3種はヒトに対する病原性を持つ。)の検出割合が最も高かった。この *Staphylococcus* 属の両季節における各サンプルでの検出割合を Fig.7 に示す。夏期でも冬期と同様に比較的高い割合で検出されており季節による差異は特に見られなかった。また夏期(Fig.6)では冬期とは異なり *Proteobacteria* 門の検出割合が最も高いことが分かった。この *Proteobacteria* 門に分類される細菌の中では *Acinetobacter* 属(アシネトバクター属: 土壌や川、人の皮膚などに広く存在する細菌であり、*A.baumannii* など健康な人にはほとんど影響はないが、入院患者など免疫が弱い人が感染すると肺炎などを起こし、重症化する恐れがある日和見感染症を引き起こす細菌も含まれている。)の検出割合が最も高かった。この *Acinetobacter* 属の両季節において各サンプルでの検出割合を Fig.8 に示す。夏期では非常に高い割合で検出されているにも関わらず、冬期ではほとんど検出されていないことが分かる。香港で行われた研究³⁾でも *Acinetobacter* 属は冬期に比べて夏期に

Fig.8 Ratio of *Acinetobacter* of each sample in winter and summer

おいて高い割合が被検者の皮膚上で検出されていたことも併せて、*Acinetobacter* 属は季節による影響を受け、夏期の建築空間内で高い割合で検出される可能性が高いと考えられる。

2.4 サンプル採取箇所ごとの菌叢の関係性

Fig.9に夏期サンプルの主座標解析の結果を示す。ユークリッド距離の代わりに類似度(相同性)を用いるため、相関性の高いものどうしが近く配置するようにプロットされる。Fig.9(A),(C)から院生のマウスと院生のキーボードの菌叢が他のサンプルとは類似度が低いことが分かる。研究室内の他のサンプルとは異なり、サンプルを採取したマウスとキーボードは基本的にそれを使用する1人の院生しか触れないため、個人によって掌に付着する菌叢に差があることが示唆される。個人個人の保有菌叢の違いは、生活習慣などによるものと考えられる。また、(B),(C)から研究室の床面も他のサンプルに比べ菌叢の類似度が低いことが分かる。今回のサンプルで唯一手で触れることはなく、足で踏まれる面であることが原因であると考える。床面からは唯一 *Rickettsiella* 属が検出された。この細菌はダニ等の節足動物に寄生し、病原性を持つ種も含まれている。床面のみで検出されたことはダニ等がハウスダストとなり床に堆積していたからであると考えられる。さらに(A),(B)から便所内にある什器のサンプルもまた他のサンプルに比べ菌叢の類似度が低いことが分かる。腸内細菌などの排泄に関わる細菌が検出されていることが原因と考えられる。唯一個室内のドアノブからは *Campylobacter* 属も検出され、これは夏期の食中毒菌として知られる *C.jejuni* や *C.coli* を含む。これらは糞便に含まれるため、排泄

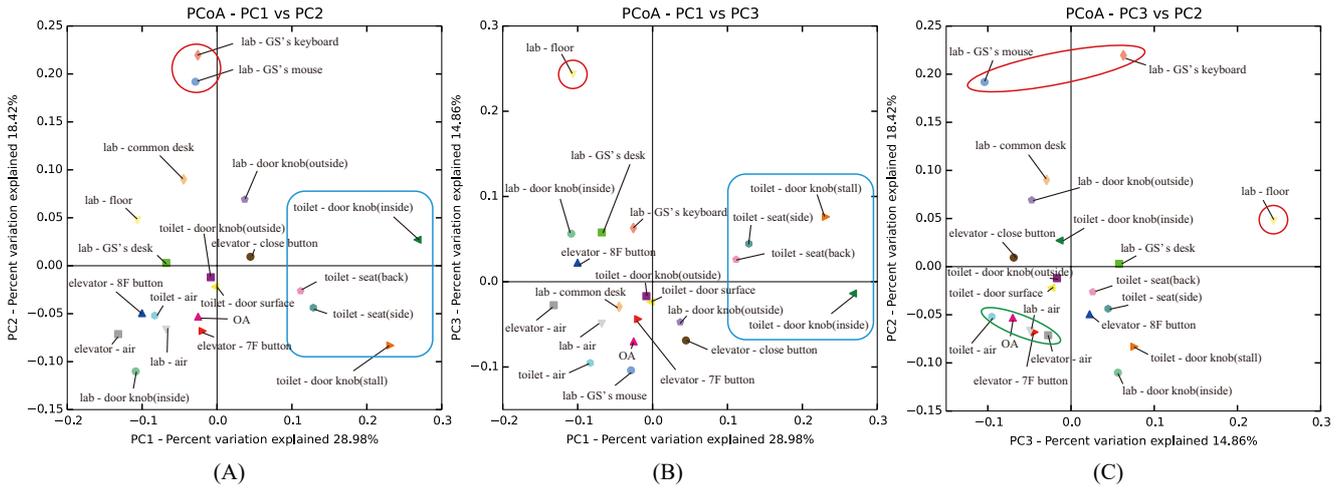


Fig.9 Principal coordinates analysis of each sample in summer

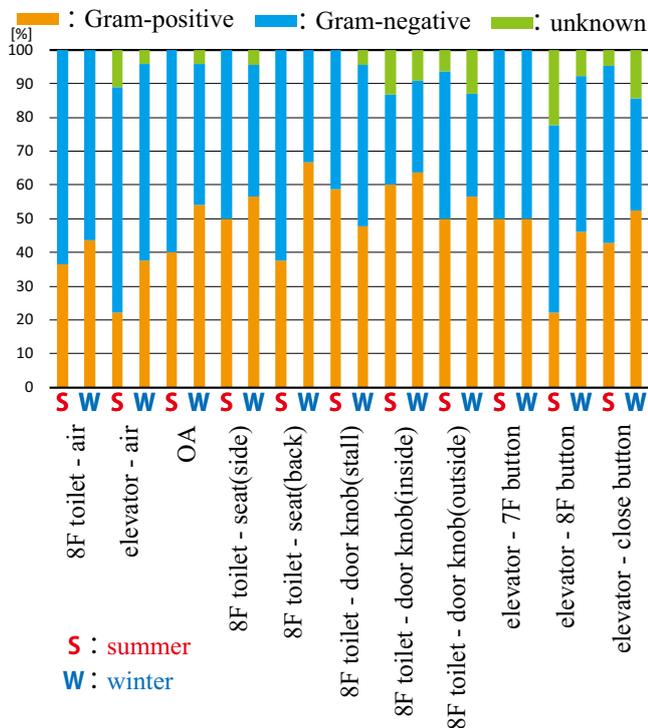


Fig.10 Gram staining of bacteria from each sample in winter and summer

により手に付着し、そのままドアノブに転移したと考えられる。最後に浮遊菌のサンプル（空気中のサンプル計4つ）どうしの類似度が非常に高いことが分かる。換気計画により、建物内の空気が諸室を経由して流れるからであると考えられる（例：外気→研究室→廊下→便所→排気）。

2.5 検出された細菌のグラム染色性

Fig.10に両季節の各サンプルで検出された細菌のグラム染色性を示す。両季節の測定で共通するサンプルのみを抜粋しているため研究室での結果は含まれていない。グラム陰性菌は細胞壁にエンドトキシンを含み、微量でも体内に取り込んでしまうと発熱する恐れがあることで知られている。グラム陽性菌とグラム陰性菌は概ね同程度検出されているが、冬期

に比べ夏期の方がグラム陰性菌の検出割合が大きいことが分かる。これは夏期に最も高い割合で検出された *Proteobacteria* 門に分類される細菌がグラム陰性菌に分類されることが主な原因であると考えられる。

3. おわりに

本報では、本学構内にある建物内の男子便所、エレベータ、および研究室において、浮遊微生物と付着微生物を冬期と夏期の2回に分けてサンプルをして解析を行った。結果、各季節で検出された細菌には共通点や相違点が見られた。また、床からは *Rickettsiella* や便所個室ドアノブからは *Campylobacter* など、サンプル採取箇所の性質に起因すると考えられる細菌が検出された。今後は2018年7月に大阪市内の診療所で採取したサンプルのデータを分析し考察を行っていく。

謝辞

DNA抽出・精製と解析会社への送付については、工学院大学柳研究室の全面的なご協力を頂いた。またデータ整理に当たっては、同大学柳教授および瀬戸氏からご助言を頂いた。ここに記して感謝申し上げます。また実験に当たり、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。本研究は科学研究費助成事業挑戦的研究 JPH17828444 (開拓) (研究代表者：加藤信介) による。

参考文献

- 1) Takuya FUKUGANO, Toshio YAMANAKA: Research on Actual State of Microbiome in University Facilities (Part 1) Influence on Microbiome in Toilet and Elevator by Deodorant / Disinfectant sprayed, SHASE Convention Academic Lecture Outline A-39
- 2) U YANAGI, Shinsuke KATO, Miku HATANAKA: Establishing the monitoring method of respiratory system pathogen in built environment - Part 1 the study outline, sampling and DNA analysis method, AIJ Convention Academic Outline 41417
- 3) Y. W. CHU, C. M. LEUNG, E. T. S. HOUANG, K. C. NG, C. B. LEUNG, H. Y. LEUNG, AND A. F. B. CHENG: Skin Carriage of Acinetobacters in Hong Kong, JOURNAL OF CLINICAL MICROBIOLOGY, Sept. 1999, p. 2962-2967

時変動するエアコン吹出し気流のCFD解析手法に関する研究
 (その5) X型プローブによる4方向吹き出しPACからの気流特性の把握

CFD Analysis on Unsteady Airflow in Room with Air-conditioner, Part5 Measurement of Airflow Pattern from Four-way Packaged Air-conditioner with X-type Hot-wire Probe

○安田 智一 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)
 小林 知広 (大阪大学) 崔 ナレ (大阪大学)

Norikazu YASUDA¹ Toshio YAMANAKA^{*1} Tomohiro KOBAYASHI^{*1} Narae CHOI^{*1}

^{*1}Osaka University

Packaged air-conditioner is widely introduced into buildings in Japan in recent years. Simplified estimate method of airflow in room with air-conditioner makes energy saving planning more easily and more effectively. To analyze an unsteady airflow, non-steady analysis is needed. The purpose of this study is to make a simplified CFD analyze method which can regard an unsteady airflow as a steady airflow by using averaged wind speed and wind direction and turbulence statistics. In this paper, airflow pattern of four-way packaged air-conditioner was clarified.

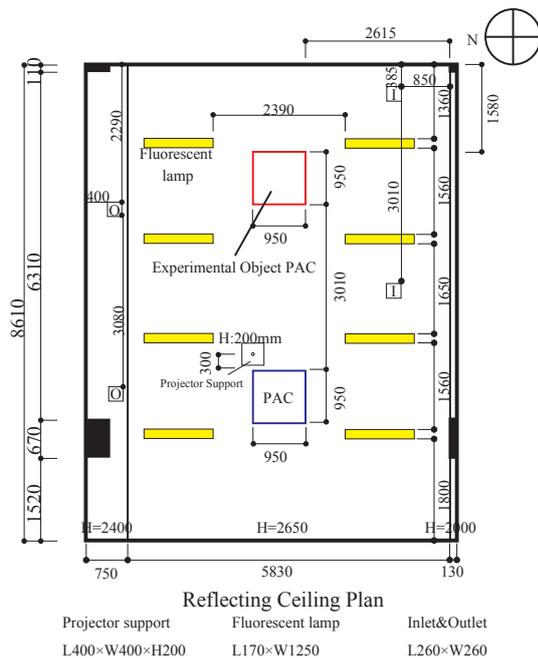
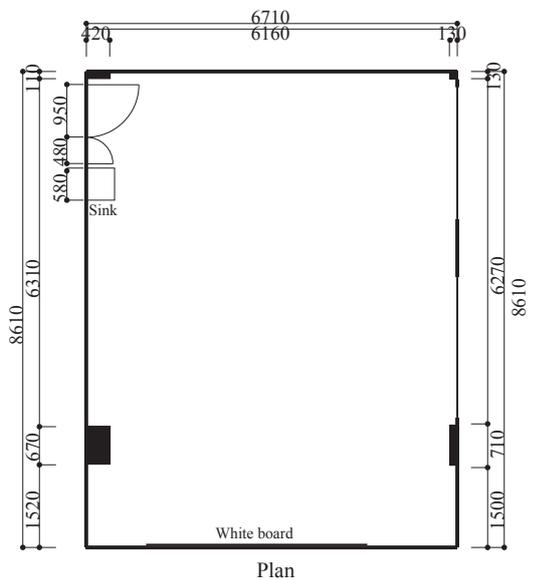


Fig.1 Plan and Reflected Ceiling Plan of Experiment Room

1. はじめに

近年、地球環境保全の観点から、省エネ法が制定されたように、快適な室内環境をより効率的に生み出そうとする動きが活発化している。現在、多くの日本の建物にパッケージエアコン（以下PACと略す）が導入されており、PACの風向モードの1つにスイングモードがあるが、CFD解析でスイング気流を扱う場合非定常解析が必要となってくる。その解析時間は長く、実務上の障害となりうるため、風速・風向の時間平均値を用いることで生み出されるモデルによって、解析時間の短縮・概ね正確な解析結果を得ることが本研究の目的である。前報^{*1}および前々報^{*2}では2方向吹き出しPACを対象に実験を行い、その吹き出し気流の再現をCFD及び噴流式によって試みた。本報では、より一般的に建物に導入されている4方向吹き出しPACの吹き出し気流の気流性状の把握実験を行った結果を報告する。

2. 実験室概要

実験室平面図および天井伏図を Fig.1 に示す。実験室には Fig.2 のような二つの4方向吹き出しPACが取り付けられているが、西側PACの側にプロジェクターサポートが取り付けられており、吹き出し気流に大きな影響を及ぼすと考えられたため、本実験では、室東側に設置されているエアコンを測定対象とした。このPACの天井伏



Fig.2 Experimental Object PAC

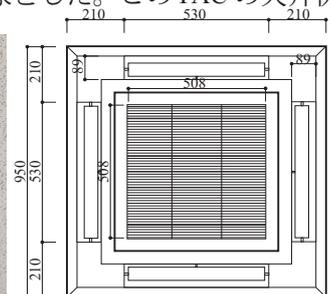


Fig.3 Plan of PAC

図および性能の概要を Fig.3 および Table 1 に示す。当該エアコンの運転モードは送風・冷房・暖房・自動の計4種類ある。吹出し風量設定は強、中、弱、静の計4種類ある。また、風向モードには風向が固定されているものが5種類(それぞれをモード1~モード5と名づける)、周期的に風向が変化するスイングモードの計6種類の設定がある。本報では、対象 PAC の吹出し気流のそれぞれの風向固定モードの風向、X 型プローブの角度特性把握実験、熱線風速計による各測定点での風速測定実験を行った結果を報告する。

Table1 Ability of the PAC

Air Conditioning Mode	Fan, Cooling, Heating, Auto	
Air Volume(m ³ /min)	Strong mode	34
	Normal mode	30
	Weak mode	25
	Calm mode	20
Airflow Direction (°)	Mode1	30
	Mode2	35
	Mode3	45
	Mode4	55
	Mode5	60
	Swing Mode	30~60

Table2 Ability of Thermal Anemometer

Thermal Anemometer Model	KANOMAX Model 6501
Velocity Range[m/s]	0.01~30
Accuracy	±2% or 0.02m/s

Table3 Experimental Condition

Measuring Time[s]	30
Measuring frequency[Hz]	1
Air Volume Setting	Strong Mode
Temperature[°C]	13

Table4 Airflow Direction

Airflow Direction	Experiment[°]	Catalog[°]
Mode1	46.7	30
Mode2	50.7	35
Mode3	57.2	45
Mode4	62	55
Mode5	67.2	60

3. 吹出し風向測定実験

3.1 実験目的

本実験の目的は、各風向モードでの吹出し風向に関する情報はカタログ値にあるものの、実際の風向はどのようなものであるのかを明らかにすること、CFD 解析を行う際に必要である情報の獲得である。本実験で得られた風向の結果を確認し、後述の熱線風速計を用いた対象 PAC の吹出し気流の風速測定実験を行う際に必要である、X 型プローブの設置角度の検討に用いた。

3.2 実験概要

本実験での風向の測定方法を説明する。まず、Fig.3 に示す風速測定点にて Fig.4 に示す熱式風速計を用い風速を測定する。次に、各風速測定断面での最大風速を持

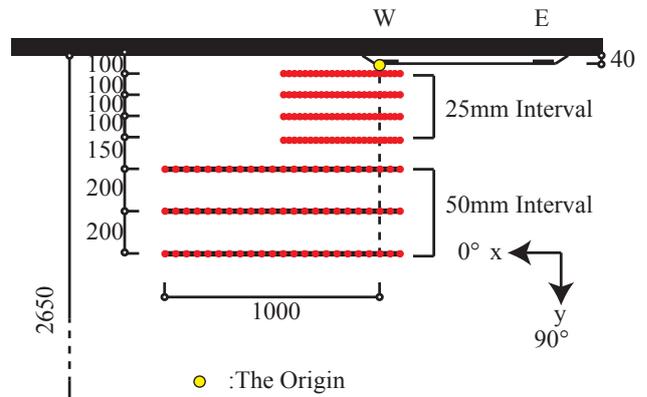


Fig.4 Airflow Velocity Measuring Point



Fig.5 Measuring Airflow Direction

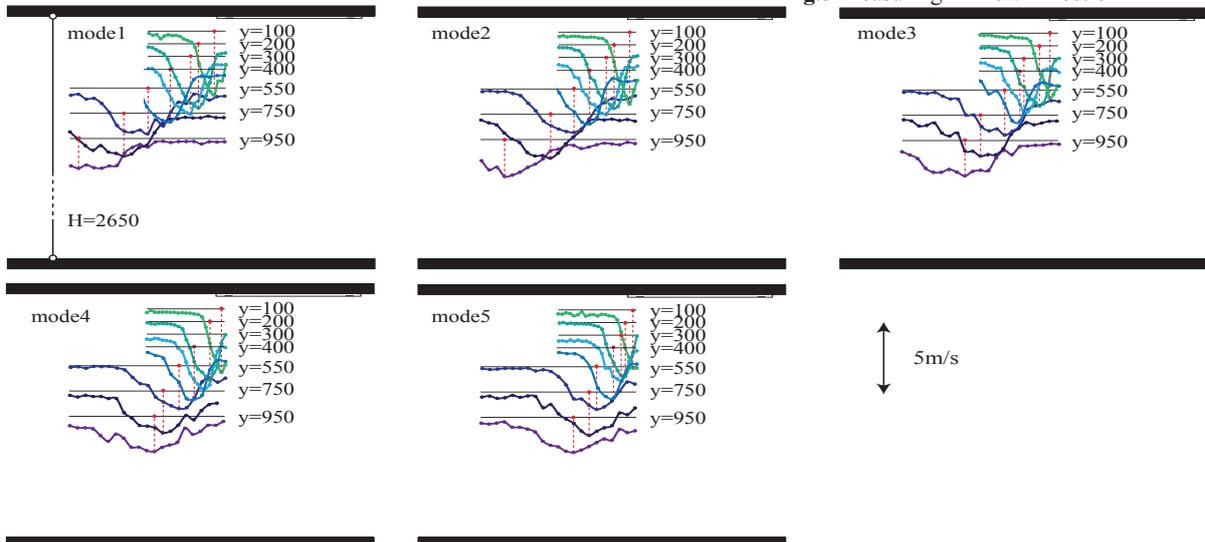


Fig.6 Measured Wind Velocity

つ測定点の座標を明らかにする。そして、Fig.4の黄色い点を原点としたときの各最高風速測定点の距離の差の合計が最も小さくなるように吹出し角度を計算する。測定の様子を Fig.5 に示す。風速の測定に用いた熱式風速計の仕様については Table2 を参照されたい。実験条件を Table3 に示す。今回用いた熱式風速計のプロープには多少の指向性があったため、その点を考慮しながら測定を行った。

3.3 実験結果

各風速測定点での風速測定結果を Fig.6 に示す。また Fig.6 内に測定結果から算出された風向をまとめた表が Table4 である。カタログ値に示される風向と測定結果の風向には最大約 17° の差がみられた。また、測定結果より、風速は中心軸方向に最大風速を持ち、中心軸から距離が離れるにつれて風速が小さくなること明らかになった。また、吹出し口からの距離が大きくなるにつれて、各測定断面での最大風速の値も小さくなることわ

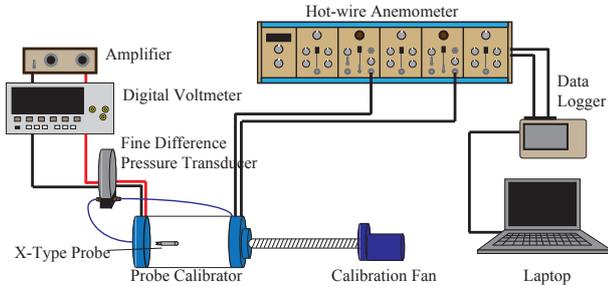


Fig.7 Hot-wire Anemometer Layout
 Table5 Instrument of Anemometer

Hot-wire Anemometer	CTA Anemometer	KANOMAX Model 1011
	Linearizer	KANOMAX Model 1014
Probe Calibration		KANOMAX Model 1065
Amplifier		PA501
Digital Multimeter		ADCMT 7351E
Pressure Transducer		Validyne DP4514A3S4D
Data Logger		KEYENCE NR2000
X-type Probe		KANOMAX Model 0252R-T5

かった。今回の風向測定結果を今後の本研究で用いる 4 方向吹出し PAC の吹出し風向として用いる。

4. X型プロープの角度特性把握実験

4.1 実験目的

本実験では、後述の熱線風速計による風速測定実験における X 型プロープの設置角度検討の材料獲得のために、較正用風洞を用いて様々な角度から一様流を吹かせ、X 型プロープの応答を把握する実験を行った。本章ではその実験の概要と実験結果を示す。

4.2 実験概要

Fig.7 に熱線風速計を用いる際の機器の配置図を、Table5 にそれぞれの機器の型番を示す。今回用いた較正用風洞は、内部に取り付けられた X 型プロープの向きを鉛直方向を回転の軸として回転させることができる。本実験では、10m/s、5m/s、2m/s の一様流に対して正対するようにプロープを取り付けたときの取り付け角度を 0 度と設定とし、±80 度まで 5 度刻みでプロープを傾け測定し、そのときの熱線風速計の応答を記録した。角度の設定を Fig.8 に、実験条件を Table6 に記す。また、今回用いた X 型プロープの 2 つの熱線をチャンネル 1、チャンネル 2 と呼ぶことにする。以下の式で風速を算出した。

$$E_1 = \alpha U \sin(45^\circ + \theta)$$

$$E_2 = \alpha U \sin(45^\circ - \theta)$$

$$\alpha = \frac{10}{U_{max}}$$

- E_1 :チャンネル1出力
- E_2 :チャンネル2出力
- α :交換係数
- U :瞬間風速
- U_{max} :最大風速

4.3 実験結果

実験結果を Fig.9 に示す。左から順に、±80 度の方向から吹かせた時に計測した合成風速、チャンネル 1 とチャンネル 2 が測定した風速、各熱線の測定風速を合成することで得られる風向をプロットしたグラフになる。

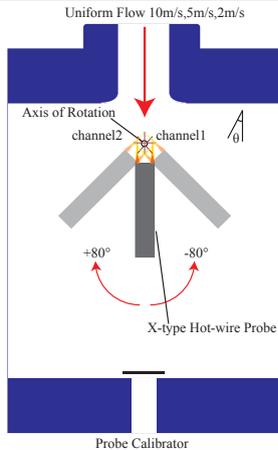


Fig.8 Degree of Probe

Table6 Experimental Condition

Measurement Frequency[Hz]	1000
Measurement Time[s]	60
Measurement Degree[°]	±80
Air Velocity[m/s]	10,5,2

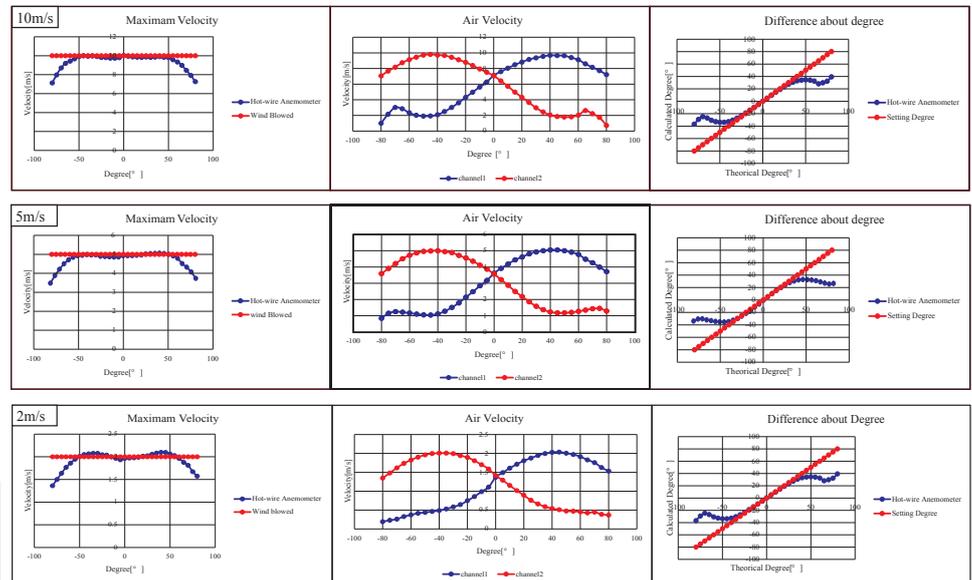


Fig.9 Result of Degree Characteristic Experiment of Hot-wire Anemometer

風速 10m/s 吹かせたときの合成風速のグラフに着目すると、絶対値が 60 以上の角度に設置すると合成風速の値が小さくなるのが分かる。対して風速 2m/s 吹かせたときの合成風速のグラフに着目すると、±30 度付近から風速を正確に測定できていない。このことから、測定する風速によってプローブの角度特性が変化することが分かった。また、測定によって得られる風向に関するグラフをに着目すると、測定する風速の大小は差ほど影響がなく、正確に角度が測定できるレンジは ±30 度程度であることが分かった。

本実験の結果および前述の風向測定実験の結果から、熱線風速計のプローブの設置角度は水平方向を 0 度としたときに、PAC の方向を向くように仰角 45 度に定める。

5. 熱線風速計による吹出し気流の風速測定実験

5.1 実験目的

本実験では、実験対象のパッケージエアコンのモード 3 の吹出し気流の風速を、X 型プローブを取り付けた熱線風速計によって測定を行った。実験の目的は、今後行う CFD での境界条件としての利用および精度検証を行う際の情報の獲得である。

5.2 実験概要

本実験では、風速を測定する吹出し口は、事前の風量測定実験にて、4 つの吹出し口のうち最も多くの風量を吹出していた西側に開口を持つ吹出し口で行った。風速測定点は Fig.4、用いた機器のモデルは Table5 を参照されたい。Fig.10 に風速測定の様子を示す。本実験の実験条件を Table7 に示す。前述の通り、プローブの角度は 45 度傾け PAC の方向を向くよう設定した。



Fig.10 Measuring Air Velocity

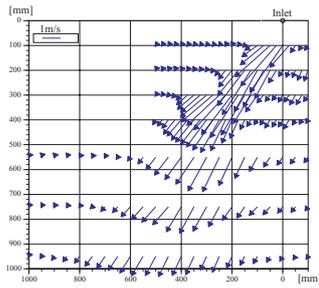


Fig.11 Measured Airflow Velocity

5.3 実験結果

モード 3 の吹出し気流の熱線風速計による風速測定結果を Fig.11 に示す。クリモマスターを用いた風向測定実験の結果同様、吹出し口からの距離が大きくなるまたは吹出し気流の中心軸から離れた時に風速が小さくなっていることが分かる。また、X 型プローブで測定した風向と、クリモマスターによる風向測定実験によって得られた風向には、熱線風速計によるものは 58.2 度、クリモマスターによるものは 57.2 度と大きな差がないことから、クリモマスターによる風向測定結果が概ね信用できる結果であることが分かった。Fig.12 に x 方向、y 方向の風速の標準偏差を示す。ただしこの値は、z 軸方向の風速の変動成分を含むため、実際の値よりも大きく算出していると考えられる。

6. おわりに

本報では 4 方向吹出し PAC を対象に、風向測定実験と風速測定実験、X 型プローブを対象に角度特性実験を行った結果を報告した。今後は吹出し口からより離れた位置での風速の測定、スイングモードの気流の測定、今回獲得した風速・風向のデータを用いた PAC 吹出し気流の CFD 解析での再現を試みることを予定している。

参考文献

- 1) 中井奈保子、山中俊夫、安田智一：時変動するエアコン吹出し気流の CFD 解析手法に関する研究（その 3）乱流統計量・開口形状による拡散性の検討、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp309~312,2018.9.12
- 2) 安田智一、山中俊夫、中井奈保子：時変動するエアコン吹出し気流の CFD 解析手法に関する研究（その 4）吹出し気流に対する噴流式の適用の検討、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp313~316,2018.9.12

Table7 Experimental Condition

Temperature[°C]	9.5
Air Volume Setting	Strong Mode
Airflow Direction Mode	Mode 3
Probe Direction	45° toward to PAC

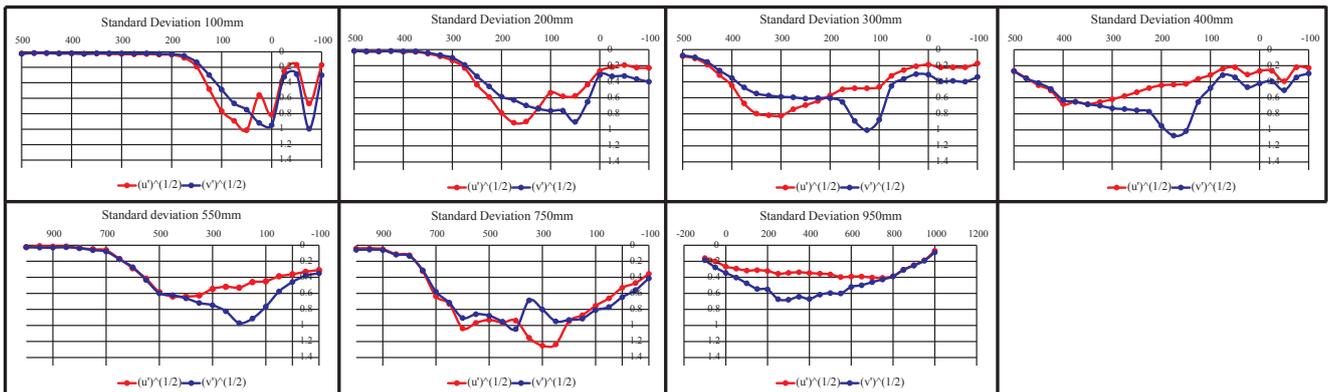


Fig.12 Standard Deviation

空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会
RC造高断熱京町家の熱・湿気性状に関する研究
(第1報) WUFI Plus による性能予測と気密測定結果

**Hygrothermal Performances of a SOHO Building with EIFS RC Envelopes in Kyoto
(Part 1) Blower Door Results and Numerical Evaluations by WUFI Plus**

技術フェロー 芝池 英樹 (京都工芸繊維大学) 学生会員 ○伍賀 誠治 (京都工芸繊維大学)
学生会員 水野上 徹 (京都工芸繊維大学)

Hideki SHIBAIKE*¹ Seiji GOKA*¹ Tohru MIZUNOUE*¹

*¹ Kyoto Institute of Technology

A two storied RC ramen structure with EIFS continuous insulation on RC envelopes has been numerically examined on the temporal profiles of the indoor thermal comfort, the total and sensible heat loads and frequency distributions of air conditioning loads. Blower door test results has been integrated into the numerical calculations. However the total air conditioning load could be decreased by adapting the high performing envelope insulation, the sensible heat ratio has gotten increased and the dehumidification process become tough.

1. はじめに

伝統的な京町屋では、内部と外部の繋がりを保ち、採光や通風に様々な工夫を凝らすことで快適な住環境が形成されてきた。例えば、坪庭や天窓での採光、および通り庭による通風等が挙げられる。これらを活用することで、エネルギー消費を抑えつつ快適性を求める仕組みが存在していた。しかし、近年の世界的な気候変動と都市部の過密化に起因して、冷暖房が不可欠といえる洛内の気候条件では、京町屋の外皮の断熱・気密性能を向上させないと、冷暖房エネルギー消費量を増大させることが危惧される。特に、期間蒸暑な気候が極まりつつ感じられる現況では、冷房・除湿負荷削減への配慮が不可欠である。

本報では、RC造の新築住宅・事務所併設建物 (SOHO) に関して、湿式外断熱で連続断熱された外皮の断熱性能、第1種換気システムの顕熱回収装置の動作の有無、室内温・湿度設定値等が、屋内温熱快適性や冷暖房の顕熱・全熱負荷に及ぼす影響について定量的に検討する。計算には、建物竣工時に ASTM E1827-96¹⁾ に準拠して実測した気密性能を考慮し、建物の非定常熱・湿気同時移動を計算できる Windows アプリケーション WUFI Plus を用いる。

2. WUFI Plus の計算方法^{2), 3)}

Windows アプリケーション WUFI Plus は、単方位外皮の1次元非定常熱・湿気同時移動の数式モデルを、複数方位の外皮に応用して、建物内多数室での非定常温・湿度変動と空調負荷変動、および外皮内の温・湿度変動等の定量的検討を可能にする数値予測ツールである。

3. モデル住宅の概要

計算対象の建物は、居住者計4名(夫婦と子ども2名)、延床面積 329.5m²、室容積 1081.7m³、外皮面積 1010.9m² のRC造2階建の住宅兼オフィスである。奥行が間口の約5倍あり東西に長く、オフィス用東棟と住宅用西棟からなる典型的町屋平面であるが、本報では東西棟・上下階を区分せず単室としてモデル化する (Figure.1 参照)。

内部発熱(対流熱、放射熱)や水蒸気発生量に関しては、建築環境・省エネルギー機構(以下 IBEC と略称)が想定した居住者の1時間毎の生活スケジュール⁴⁾から作成し、平日と休日の2パターンで設定している。本報では計算簡略化のために、モデル住宅は単一ゾーンとした。室内の設定温度は 20-25°C、設定湿度は 40-60%とした。

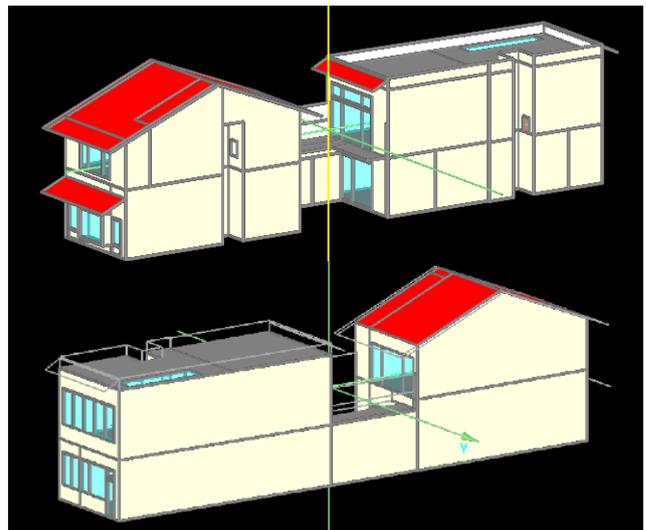


Figure.1 Overview of the model house in WUFI Plus 3.1.1.0

4. 気密測定

ASTME1827-96に基づき、加圧 50Pa 時の漏出量と減圧 50Pa 時の漏入量を測定 (Figure.2 参照) し、その平均値より各種気密特性値を算出した。差圧 50Pa 時の平均漏気回数は 1.02 (1/h)、外皮単位面積あたりの漏気量は 1.09 (m³/m²・h) となり、PHIUS+ 2015 の適合基準値 0.91m³/m²・h (=0.05cfm/ft²) を若干上回った。また、9.8Pa 減圧時の相当すきま面積 (C 値) は 2.2cm²/m² となり、次世代省エネ基準の寒冷地推奨値 2cm²/m² に迫る値となった。なお、差圧 3Pa 時の換気回数は 0.11 (1/h) であり、これが以下の WUFI Plus 計算で考慮される。

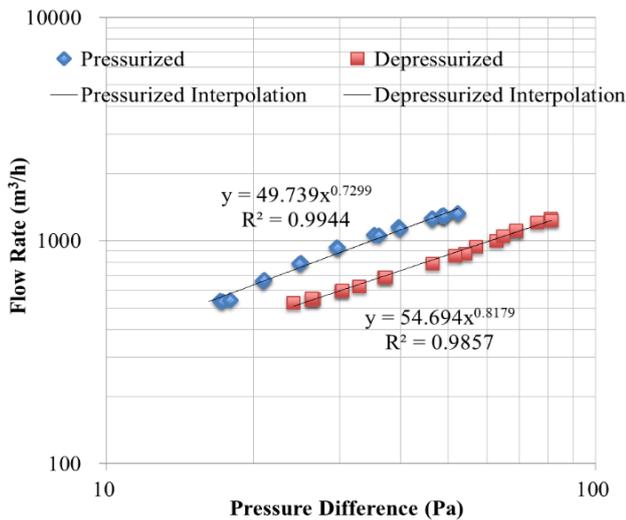


Figure.2 Relations between air flow rates and pressure differences

5. 計算条件と計算結果

5.1 計算条件

計算期間は 1 年間 (助走期間約 1 ヶ月経過後、2018 年 11 月 1 日から 2019 年 11 月 1 日まで) とする。3. で述べたモデル住宅を①現状、②顕熱回収装置 (HRV) を設置しない場合、③建物外皮の断熱性能を上げた場合、④室内設定温度を 18-27°C、設定相対湿度を 40-70% に各々した場合の計 4 ケースで比較し、PMV や空調負荷性状への影響を検討する。なお、以下の検討以外にも、現状は東西軸の主方位を南北軸に変更して比較したが目立った差異は見られなかったため説明は省いた。

5.2 快適指標:PMV

Figure.3 に①現状の PMV を示す。-0.5 < PMV < +0.5 の範囲が、PPD (予測不満足者率) が 10% 以下の快適推奨域とされる。通年 clo 値を 0.70、Met 値を 1.0 (着席休息時) と設定したため、冬場がやや寒いと感じられる結果となった。②、③、④も同様のグラフを作成したが、特筆すべき差異は見られなかったため省略する。

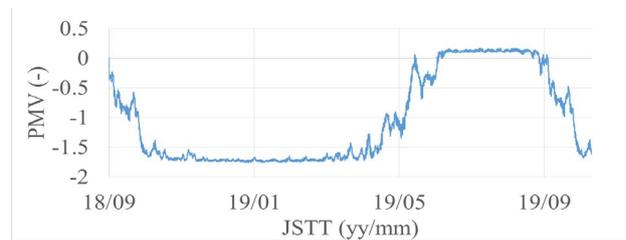


Figure.3 Annual profile of predicted mean vote

Table.1 Thermal performances of building envelop assemblies

	Part	Insulation	SHGC (-)	U-Value (W/m ² ・K)	U _A -value (W/m ² ・K)
Current	RC 1F Floor East	XPS*1 100mm		0.09	0.48
	RC 1F Floor West	XPS 100mm		0.09	
	RC Flat Roof	XPS 100mm		0.28	
	RC Sloped Roof	PU*2 130mm		0.16	
	RC EIFS	EPS*3 110mm		0.33	
	RC Bay Window	GW*4 155mm		0.19	
	Window (1F [exc. West] +Top Light)	-	0.37	3.83	
	Window (1F West+2F)	-	0.37	2.68	
Fine	RC 1F Floor East	XPS 200mm		0.07	0.34
	RC 1F Floor West	XPS 200mm		0.07	
	RC Flat Roof	PF*5 100mm		0.20	
	RC Sloped Roof	PF 130mm		0.14	
	RC EIFS	dena EPS*6 110mm		0.25	
	RC Bay Window	GW 155mm		0.19	
	Window (1F+Top Light)	-	0.31	2.33	
	Window (1F West+2F)	-	0.21	1.76	

*1 押出法ポリエチレンフォーム (熱伝導率 λ=0.03W/m・K) *2 ポリウレタン (熱伝導率 λ=0.025W/m・K) *3 ビーズ法ポリエチレンフォーム (熱伝導率 λ=0.04W/m・K) *4 グラスウール (熱伝導率 λ=0.04W/m・K) *5 フェノリックフォーム (熱伝導率 λ=0.021W/m・K) *6 Material for dena construction [German Energy Agency] (熱伝導率 λ=0.03W/m・K)

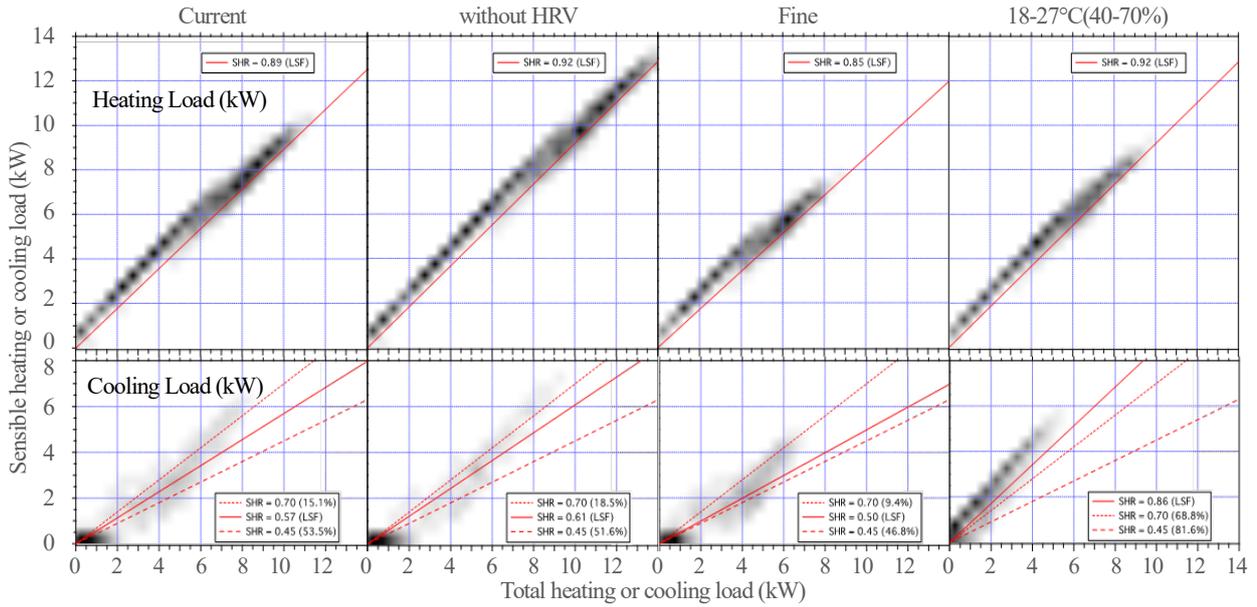


Figure.4 Relations between total and sensible loads in winter and summer

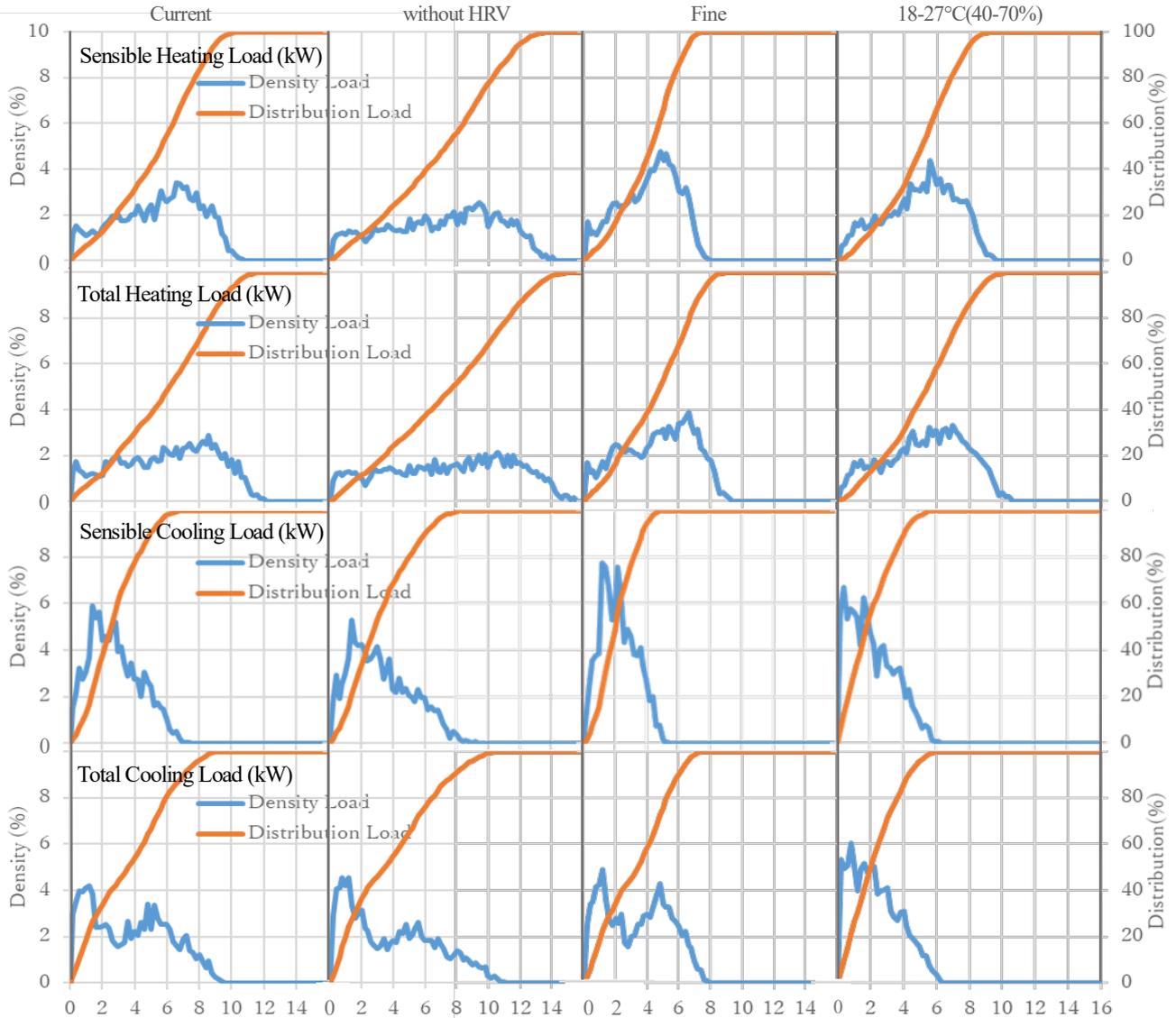


Figure.5 Frequency distribution for sensible and total loads in winter and summer

5.2 外皮性能の向上

モデル住宅の建物外皮性能を上げて、現状と比較する。**Table.1**に現状と変更後の建物外皮性能レベルを示す。各部分で外皮性能を上げることで外皮平均熱貫流率(U_A 値)は25%ほど削減できた。現状より空調負荷が抑えられていること、顕熱比が0.7を超える全熱負荷の発生率は9.4%と少なく、潜熱非が高くエアコンでの冷房・除湿に厳しいことが分かる(**Figure.4, Figure.5**)。外皮断熱性能向上は主として顕熱負荷削減に作用し、潜熱負荷削減にはあまり効かないためであり、**Figure.6**においても潜熱負荷が大略変化なく、空調負荷が削減される結果となっている。また、顕熱暖房負荷は20%の削減された(**Table.2**)。

5.3 顕熱回収装置の有無

顕熱回収装置のある第一種換気システム(HRV)の空調負荷削減効果を検討した。熱回収装置が動作しない場合の第一種換気システムでは、空調負荷が大きいことが分かる(**Figure.4**)。暖房負荷は粗一様に0から14kWまで分布しており(**Figure.5**)、単位面積あたりの暖房負荷がおおよそ100kWh/m²を示している(**Table.2**)。この状況では、外気が直接室内に給気されるため、暖房室でも寒さを感じることや、厳寒期には給気口付近で発生した結露水が滴下して室内を汚損し、放置するとカビが発生する危険性もある。一方、熱回収型換気装置は、新鮮な外気を排気と熱交換させ給気温を環気温に近づけるので、冷暖房で快適に保たれた室内温熱環境を損なわずに、屋内空気質が維持できる。顕熱回収機能のある換気装置(HRV)が設置されている現状では、設置されていないものに比べて暖房負荷が25%程度削減されている(**Table.2**)。

5.4 温・湿度の設定

室内設定温度を18~27°C、設定相対湿度を40~70%に変更した場合を比較すると、現状より緩やかな室内温・湿度を許容するため、その負荷は現状より抑制されている。冷房期の顕熱比が向上し、エアコンでの冷房・除湿処理の目安と言える顕熱比0.7を超える全熱負荷出現率が68.8%となり、エアコン冷房・除湿に適している(**Figure.4**)。また、単位面積あたりの期間冷房・除湿負荷も他のケースよりも抑制されており(**Table.2**)、顕熱比が上がり、潜熱比が下がっている(**Figure.6**)。

Table.2 Seasonal accumulations of sensible and total loads per floor area (kWh/m²)

	Cooling		Heating	
	Sensible Heat	Total Heat	Sensible Heat	Total Heat
Current	15.5	30.4	72.3	80.2
w/o HRV	17.2	32.6	99.9	107.8
Fine	12.2	26.9	51.4	59.3
18-27	8.7	10.7	55.5	60.0

6. まとめ

建物の非定常熱・湿気性状を数値予測できる Windows アプリケーション WUFI Plus 3.1.1.0 を用いて、高断熱 RC 造外皮を想定した京町屋の単室に関して、第一種換気装置の熱回収機能の有無、外皮の断熱性能や設定温・湿度の違いによる、室内温熱快適性、空調負荷(冷・暖房、除湿・加湿)、全熱負荷に占める顕熱比等への影響を検討した。

RC 外皮の断熱性能向上により空調負荷削減効果が期待できるが、全熱負荷に占める顕熱比が下がり、エアコン除湿には厳しくなることを明らかにした。

外皮の高断熱化は、主として外皮顕熱負荷削減に作用し、潜熱負荷削減には効かないため、潜・顕分離空調等の導入検討が必要となる。また、内装材の調湿効果などを活用して、外皮の高断熱化を図った場合にも、全熱負荷抑制と、潜熱比抑制を同時に達成する方法の検討を要する。さらに、今回は HRV の効用検討に留まったが、多数室化した下流室の室内環境等に関して、全熱回収型 (ERV) も含めて、中間期・夏期のバイパス回路による外気冷房効果も考慮した検討が今後の課題として残る。

参考文献

- 1) ASTM Intentional, Standard Test Methods for Determining Airtightness of Building Using an Orifice Blower Door, 2007.
- 2) H.M. Künzle, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and two dimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag, 1995.
- 3) H.M. Künzle, Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope, Solar Energy 78, 2005.
- 4) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構, 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説.

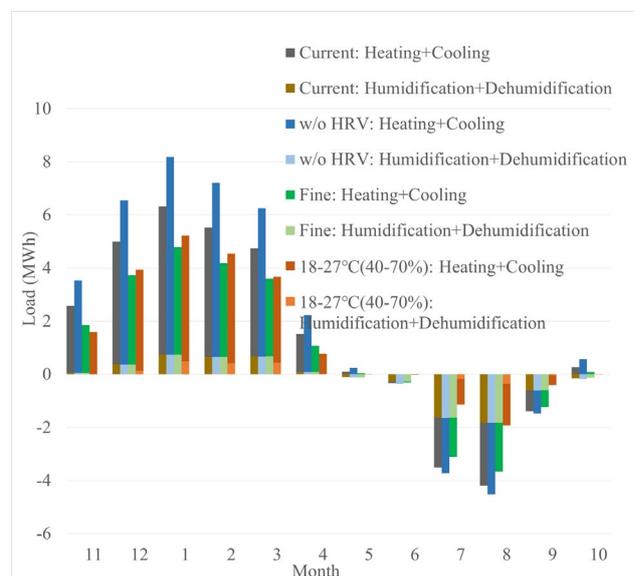


Figure.6 Monthly profiles of total and sensible air conditioning loads

寒冷気候に適した超高断熱・高気密住宅の熱・湿気性能に関する数値シミュレーション (その3) 単室計算による熱回収換気の空調負荷削減効果の検討

Numerical Simulations on Energy and Moisture Control Characteristics for the High Performance Detached Houses Designed for the Cold Climate Zone (Part3) Impacts of HRV or ERV evaluated through a Single Zone Condition

技術フェロー 芝池 英樹 (京都工芸繊維大学) 学生会員 ○松本 舞 (京都工芸繊維大学)
学生会員 水野上 徹 (京都工芸繊維大学)

Hideki SHIBAIKE*¹ Mai MATSUMOTO*¹ Tohru MIZUNOUE*¹

*¹ Kyoto Institute of Technology

In this paper, a detached timber framed model house with three kinds of building envelop performances on thermal insulation and airtightness have been examined by using WUFI Plus 3.1, that is, the hygrothermal building simulation application, on their annual air conditioning loads for heating/cooling and humidification/dehumidification as well. The specified climate data is the AmeDAS reference year of Sapporo, Tokyo or Fukuoka.

Reduction effects on annual air conditioning loads have been observed remarkably by using the heat recovery type ventilation system. They work particularly effective during the heating period when the difference of indoor and outdoor temperature become large. Regarding the better switching criteria on outside air cooling, temperature difference, enthalpy difference and both have been compared. Criteria of temperature and enthalpy difference could effectively reduce cooling and dehumidification loads by 27% and 30% in total respectively for Sapporo weather condition.

1. はじめに

温室効果ガスの排出削減は喫緊の課題であり、これまで我が国では努力目標だった省エネルギー基準が、2020年以降の新築建物では義務化され、住宅のエネルギー性能への関心は増々高まっている。また、省エネルギー性能向上と屋内の温熱快適性を両立させる高品質な屋内環境が消費者ニーズを形成し、高断熱・高気密住宅の需要が増えている。住宅内エネルギー消費量の約30%は暖房負荷が占めるという統計があり、早急なエネルギー性能向上策が望まれる。過度な暖房、もしくは冷房・除湿は年間空調負荷を増大させるが、快適性を脅かす室内温・湿度設定では、冷・暖房エネルギー消費量の予測結果が実態を反映せず、削減効果を過大評価する危険性がある。

本研究では、空調(冷・暖房、除・加湿)負荷抑制の観点から、超高断熱・高気密住宅の断熱・気密性能、熱回収型換気装置等が空調負荷削減にもたらす効果を、建物の非定常熱・湿気同時移動を計算できる Windows アプリケーション WUFI Plus Ver3.1 を用いて数値的に検討する。即ち、3都市(札幌、東京、福岡)での立地を想定した総2階建て陸屋根木造戸建住宅モデルリに関して、外皮の断熱・気密レベルと空調負荷(冷・暖房、除湿・加湿)の関係、さらに換気熱回収の有無、外気冷房の有無が空調負荷

削減にもたらす効果を検討する。外皮断熱・気密性能レベルは、高性能から降順で PHIUS+ 2015(Passive House Institute US)基準、札幌版次世代住宅基準²⁾の Standard Level、次世代省エネ基準の3種類を設定する。

2. WUFI Plus の計算方法^{3), 4)}

Windows アプリケーション WUFI Plus は、単方位外皮での1次元非定常熱・湿気同時移動の数式モデルを基礎とし、複数方位の外壁、屋根および床等に応用して、建物内多数室での非定常温・湿度変動と空調負荷変動、および外皮内の温・湿度変動等の定量的検討を可能にする数値予測ツールである。室内各室のCO₂濃度予測も可能である。さらに、風力・浮力・機械換気等による多数室換気計算も連成させることができる。本報(その3)では、単室での温・湿度と空調負荷の非定常変動を検討する。

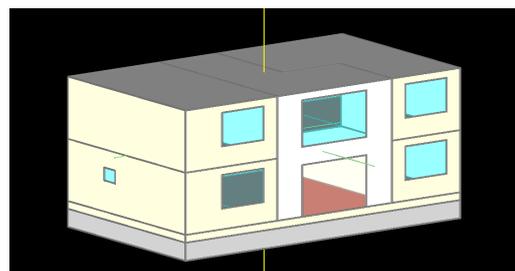


Figure.1 Overview of the model house in WUFI Plus 3.1

3. モデル住宅の概要

計算対象とした住宅モデルは、「北の住まいの熱環境計画」2015年版¹⁾に示された木造戸建住宅モデルをもとに作成した。120mm角の在来軸組工法を前提に、居住者は計4名(夫婦と子供2名)、延床面積118.42m²、室容積333.98m³である(Figure.1参照)。内部発熱(対流熱、放射熱)や水蒸気発生量等に関しては、建築環境・省エネルギー機構(以下IBECと略称)が想定した居住者の1時間ごとの生活スケジュール⁵⁾から作成し、平日と休日の2パターンで設定している。モデル住宅のゾーニング(平面図はFigure.2参照)は、元は台所、居間、和室、浴室、洗面所、一階トイレ、一階ホール、二階トイレ、二階ホール、寝室、子供室、クローゼットに一階天井裏および屋根裏を加えた計14ゾーンに分かれていたが、計算の簡略化のため本報(その3)では全1ゾーンとし、次報(その4)で

は、居間、和室、主寝室、子供部屋、階段室、床下、排気筒の計7ゾーンに統合して計算している。建物外皮の断熱・気密レベルは各基準を参考に、性能の異なる3種類の外皮構成を設定する。外皮性能レベルに関してはTable.1に、使用する顕熱および全熱回収型換気装置(HRVおよびERV)の顕熱・潜熱回収率はTable.2に、検討比較を行うケースに関してはTable.3に各々示す。なお、気密性能はASTM E1827-96⁶⁾の換算法に基づいてPHIUS+2015は差圧50Paでの外皮単位面積当たりの漏気量(0.05cfm/ft²=0.91m³/m²h)から、札幌版次世代住宅基準では9.8Pa減圧時の相当すきま面積C値(1cm²/m²)から指数0.65を用いて、各々差圧5Pa時の漏気回数を求めて使用している。室内の設定温度は20-25°C、設定湿度は40-60%とした。

Table.1 Thermal performances of building envelop assemblies

	U _A -Value(W/m ² K)	C-Value(cm ² /m ²)
PHIUS+2015	0.15	0.1
Standard level ²⁾	0.28	1
MLIT 2016 Level	0.87	5

Table.2 Energy Recovery Performance

	Sensible Heat-Recovery Efficiency	Effective Moisture Recovery Efficiency
ERV	0.78	0.65
HRV	0.87	—

Table.3 Computational conditions for each cases

Case#	City	Envelop Level	Ventilation System	Bypass Ventilation	Case#	City	Envelop Level	Ventilation System	Bypass Ventilation
1			Balanced	×	13			Balanced	×
2	Sapporo		HRV	×	14	Sapporo	Standard Level ²⁾	HRV	×
3			ERV	×	15			ERV	×
4			ERV	○	16			ERV	×
5			Balanced	×	17			Balanced	×
6	Tokyo	PHIUS+2015	HRV	×	18	Tokyo		HRV	×
7			ERV	×	19			ERV	×
8			ERV	○	20		MLIT 2016 Level	ERV	×
9			Balanced	×	21			Balanced	×
10	Fukuoka		HRV	×	22	Fukuoka		HRV	×
11			ERV	×	23			ERV	×
12			ERV	○	24			ERV	×

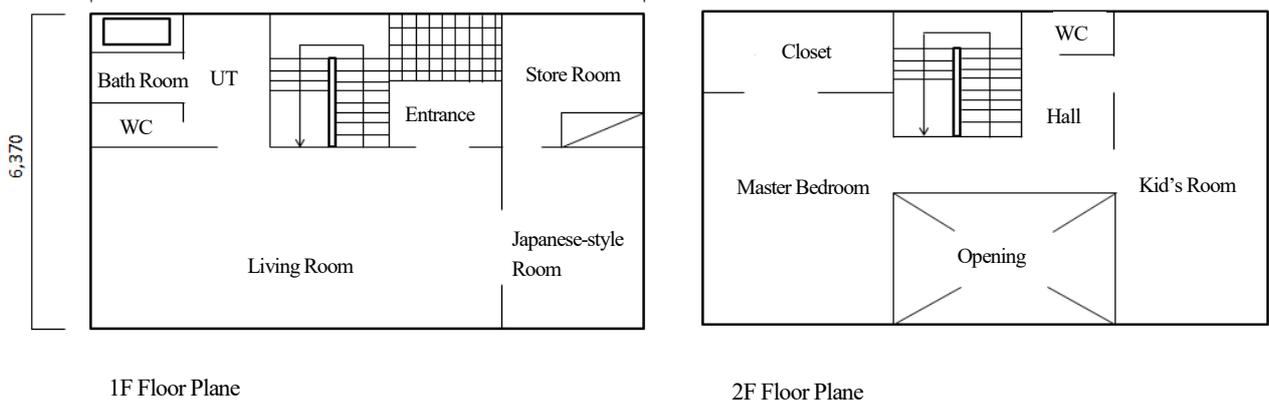


Figure.2 Floor Plans of the Model House

4. 外皮の断熱・気密性能の空調負荷削減効果

計算期間を1年間(助走期間約1ヶ月経過後、2017年11月1日から2018年11月1日まで)として、3.で述べた3種類の外皮構成を採用したモデル住宅に対して、換気装置の熱回収回路が空調(顕熱+潜熱)負荷削減に与える効果を比較する。

4.1 換気システムの顕熱および全熱回収装置の効果

熱回収装置のある第一種換気システム(HRV・ERV)の空調負荷削減効果を検討した。熱回収装置のない第一種換気システムでは、外気が直接室内に給気されるため、暖房室でも寒さを感じたり、厳寒期には給気口付近で発生した結露水が滴下して室内を汚損し、放置するとカビが発生する危険性もある。一方、熱回収型換気装置は、新鮮な外気を排気と熱交換させ給気温を環気温に近づけるので、冷暖房で快適に保たれた室内温熱環境を損なわずに、屋内空気質が維持できる。熱回収機能のある換気装置(HRV・ERV)により冷・暖房に必要な顕熱・潜熱負荷は削減され、外皮の断熱・気密性能が向上するほど大きな効果が得られる。PHIUS+2015モデルの計算結果をFigure.3に示す。

4.2 バイパス換気への切り替えによる外気冷房効果

バイパス回路による外気冷房(以下NPと略称)と全熱回収(ERV)の自動切換えによる冷房負荷削減効果を、3都市のPHIUS+2015モデルで比較した。温度差、エンタルピー差、もしくはその両方での自動切り替え効果を検討した(計算手順はFigure.4参照)。冷房・除湿負荷、各削減量、NP実行積算時間をTable.5に示す。NP切替を温度差で判定する場合、冷房負荷が発生した時間で、外気温が室温より2℃以上低いときは熱回収せずに、外気をそのまま取り入れ、通常時の2倍の風量で換気する。同様にエンタルピー差による判定では、冷房負荷発生時に外気のエンタルピーが室内のものより0.5kJ/kg以上低いときに、温度とエンタルピーの両方で判定する場合は、どちらも条件を満たすときにNPを行う(詳しい算出手順はFigure.4参照)。

いずれの地域においても温度判定によりNPを選択実施したケースでは除湿負荷は増加してしまうが、顕熱負荷の削減量が大きい結果となった。札幌では合計で3割ほど、東京と福岡では1割ほど削減できた。エンタルピー判定によりNPを選択実施したケースでは、冷房・除湿負荷の両方を削減することが可能で、いずれの地域でも合計では温度差判定の削減量を上回る結果となった。温度差とエンタルピー差の両方判定によりNPを選択実施したケースでは、NPの実行時間が2割ほど減少し、エンタルピー判定の結果を僅かに下回った。

4.3 外皮断熱・気密性能による合板含水率変動への影響

3都市におけるPHIUS+2015モデルの、最も風雨にさらされる(札幌:西、東京・福岡:北)外壁の外装下地材(吹込みグラスウール外側に配置される構造用合板)の5年間の含水率変動をWUFI Pro6.1で計算し、外皮の断熱・気密性能による影響を比較検討した。断熱・気密性能が高いほど下地材含水率は早く減少しており、これらの断熱・気密性能では、構造用合板の耐久性を脅かすような影響は観られず、健全な減少を示した(Figure.6参照)。

5. まとめ

建物の熱・湿気性状を数値予測できるWindowsアプリケーションWUFI Plus 3.1.1.0を用いて、断熱・気密性能の異なる3種類の木造外皮を想定した戸建て住宅単室モデルに関して、札幌、東京、福岡の3都市で、換気装置の熱回収機能の有無、外気冷房の利用と判定基準の違い(温度差、エンタルピー差、または両方の制御)による空調負荷(冷・暖房、除湿・加湿)削減効果を数値的に検討した。熱回収型換気システムの空調負荷削減効果は、何れの断熱・気密性能の外皮でも顕著に表れた。室内外温度差が大きい暖房期間において特に有効に作用している。温度差、エンタルピー差、または両方の判定による外気冷房の選択実施に関しては、札幌での効果が最も大きく、冷房および除湿負荷の合計で、温度差判定では27%、エンタルピー差判定では30%の削減効果が得られた。

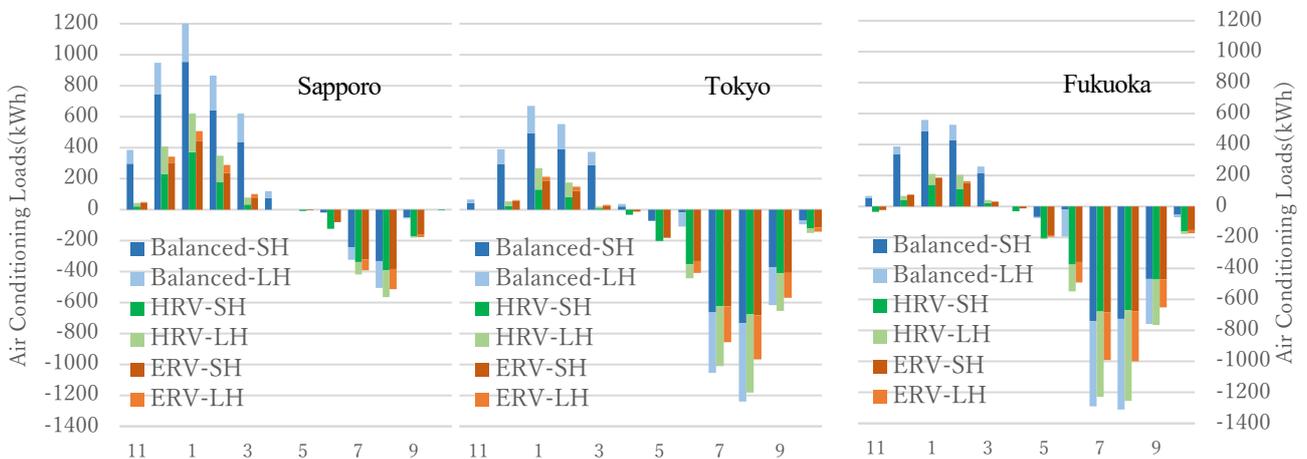


Figure.3 Monthly Profiles of Total Airconditioning Loads for Each Cases

Table.5 Airconditioning Loads (Sensible and Latent) in Cooling Season

City	Brief Description	Cooling Load	Cooling Load	Dehumidification	Dehumidification	Accumulated
		(kWh)	Reduction (kWh)	Load (kWh)	Load Reduction (kWh)	Hours of NP (h)
Sapporo	ERV normal	953	-	218	-	-
	ERV DB	574	379	276	-58	1270
	ERV EP	597	356	217	1	1261
	ERV DB&EP	606	347	221	-3	1075
Tokyo	ERV normal	2364	-	782	-	-
	ERV DB	2028	336	869	-87	1287
	ERV EP	2074	290	765	17	1262
	ERV DB&EP	2082	282	778	4	1013
Fukuoka	ERV normal	2537	-	970	-	-
	ERV DB	2192	345	1113	-58	1384
	ERV EP	2245	292	959	11	1281
	ERV DB&EP	2251	286	967	3	1089

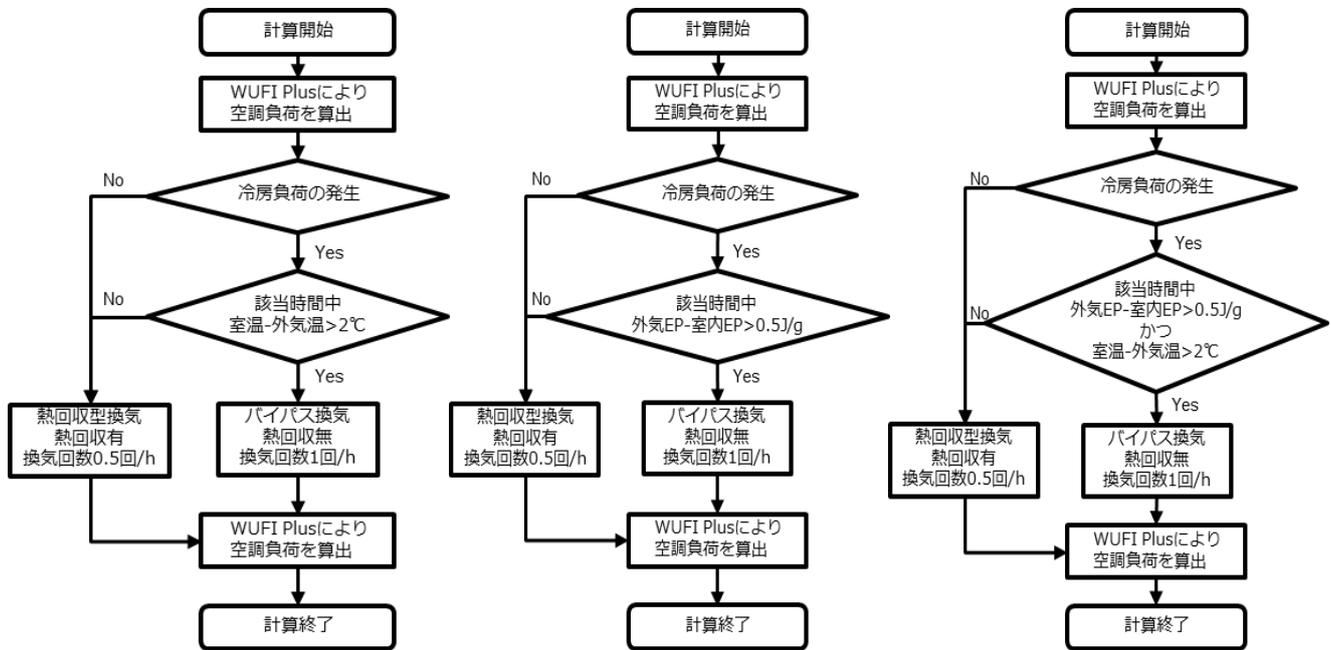


Figure.4 Calculation Flowchart of NP

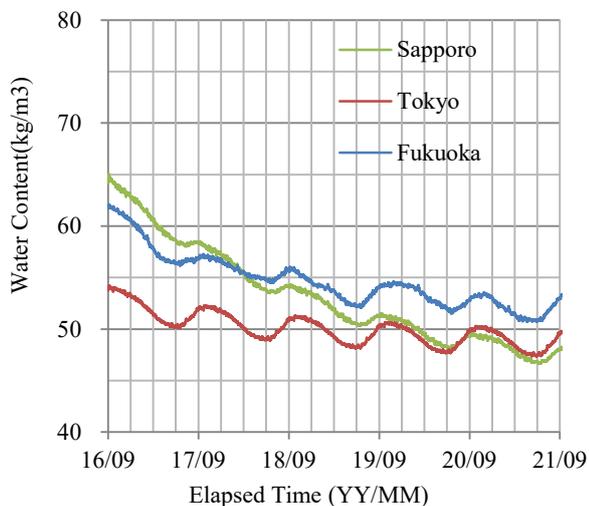


Figure.5 Long Term Variations of Water Content in Plywood

参考文献

- 1) 一般社団法人北海道建築技術協会, 北の住まいの熱環境計画 2015年, 2015.
- 2) 札幌市ホームページ, 札幌版次世代住宅基準について, <http://www.city.sapporo.jp/toshi/jutaku/10shien/zisedai/ai/zisedai.html>.
- 3) Künzel, Harywig M, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and twodimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag, 1995.
- 4) 2) H.M. Künzel, Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope, Solar Energy 78, 2005.
- 5) 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構, 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説.
- 6) ASTM Intentional, Standard Test Methods for Determining Airtightness of Building Using an Orifice Bloewr Door, 2007.

寒冷気候に適した超高断熱・高気密住宅の熱・湿気性能に関する数値シミュレーション (その4) 換気経路を考慮した多数室計算による室内環境の検討

Numerical Simulations on Energy and Moisture Control Characteristics for the High Performance Detached Houses Designed for the Cold Climate Zone (Part4) Results on the Multi Zones Condition by the Air Flow Network Model

技術フェロー 芝池 英樹 (京都工芸繊維大学) 学生会員 ○水野上 徹 (京都工芸繊維大学)
学生会員 松本 舞 (京都工芸繊維大学)

Hideki SHIBAIKE*¹ Tohru MIZUNOUE*¹ Mai Matsumoto*¹

*¹ Kyoto Institute of Technology

In residential buildings, the ventilation system and air flow routes are important since they affect IAQs and air conditioning loads closely. As the ventilation systems to be examined, the balanced ventilation, the exhaust ventilation and the hybrid natural ventilation driven by the heating and outdoor wind velocity in winter. In this thesis, air conditioning loads, PMV, and CO₂ concentration in building envelopes with three kinds of ventilation system are simulated by WUFI Plus 3.1.

As the result, following conclusions are to be conducted. The natural ventilation is induced the more air volume and the larger ventilation loads than the balanced or the exhaust ventilation. For the exhaust ventilation, air conditioning loads with supply air inlets installed near the ceiling level can be reduced more than those installed close to the floor level.

1. はじめに

温室効果ガスの排出削減は喫緊の課題であり、住宅のエネルギー性能への関心が増々高まりを見せ、高断熱・高気密住宅が全国で普及し増加している。しかし、蒸暑地域で断熱・気密性能だけを単純に向上させると、夏期・中間期のオーバーヒートにより冷房・除湿負荷を増大させ、暖房負荷削減量を上回り、在来住宅よりも年間空調(加湿・暖房+除湿・冷房)エネルギー消費量を増やす危険性がある。住宅の室内温熱快適性を維持しつつ、空調負荷を削減するための鍵が換気である。住宅における換気方式と流路の定量的計画は室内環境改善と空調負荷削減の要点と言える。換気方式としては、第一種換気や第三種換気が一般的であるが、寒冷地域では暖房期に室内外温度差や風力を主な駆動力とするパッシブ換気(自然換気)も利用されている(空気の流れは Figure.1 を参照)。これらの換気方式に関しては実測・計算両面から報告されているが、同一条件での比較検討はされていない。

そこで本報(その4)では、多数室建物の熱・湿気性状を数値予測する WUFI Plus 3.1.1.0 の Air Flow モデルを用いて、外界気象条件を札幌とし、上記3種類の換気方式に対する複数室での換気風量、室内熱・湿気性状、空調負荷、室内環境(二酸化炭素濃度、PMV)および設備費用などの経済性を検討する。さらに第三種換気における給気口取り付け高さの違いが室内環境に与える影響を札幌と東京の2地点で比較する。

2. WUFI Plus の計算方法^{1), 2)}

Windows アプリケーション WUFI Plus は、単方位外皮での1次元非定常熱・湿気同時移動の数式モデルを、複数方位の外壁、屋根および床等に応用して、建物内多数室での非定常温・湿度変動と空調負荷変動、および外皮内の温・湿度変動等の定量的検討を可能にする数値予測ツールである。室内各室の CO₂ 濃度予測も可能である。さらに、風力・浮力・機械換気等による多数室換気計算も連成させることができる。なお、Air Flow では給気温度の設定ができないため、本報(その4)では熱回収型換気装置を用いた場合、前処理ゾーンを設けて、収束計算を行った(計算手順の詳細は Figure.2 を参照)。

3. モデル住宅の概要

計算対象とした住宅モデルは、本研究のその(1)で作成した木造戸建住宅モデルと同一である。詳細はその(3)で説明した通りである。検討ケースの外皮性能や空調条件、検討内容は Table.5 にまとめて示す。

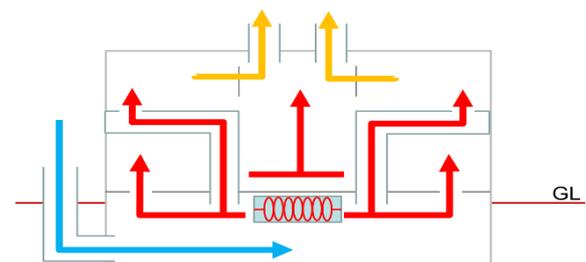


Figure.1 Air Flow Paths for Natural Ventilation

Table.1 List of Computational Conditions

Ventilation System	City	U _A -Value (W/m ² K)	Heating Recovery	Air Conditioning	Calculation Term	Consideration
Balanced Ventilation	Sapporo	0.27 (Standard Level ³⁾)	ERV	All Day	4 months 2018/11/18 2019/4/1	Air conditioning Load(Heating and Humidification), PMV, PMV, CO ₂ , Cost For Each Ventilation System
Exhaust Ventilation			-			
Natural Ventilation						
Exhaust Ventilation	Sapporo	0.27		Intermittent Operation	1 year	Air conditioning Load and CO ₂ For Each height of SA port
	Tokyo	0.86 (MLIT 2016 Level)				

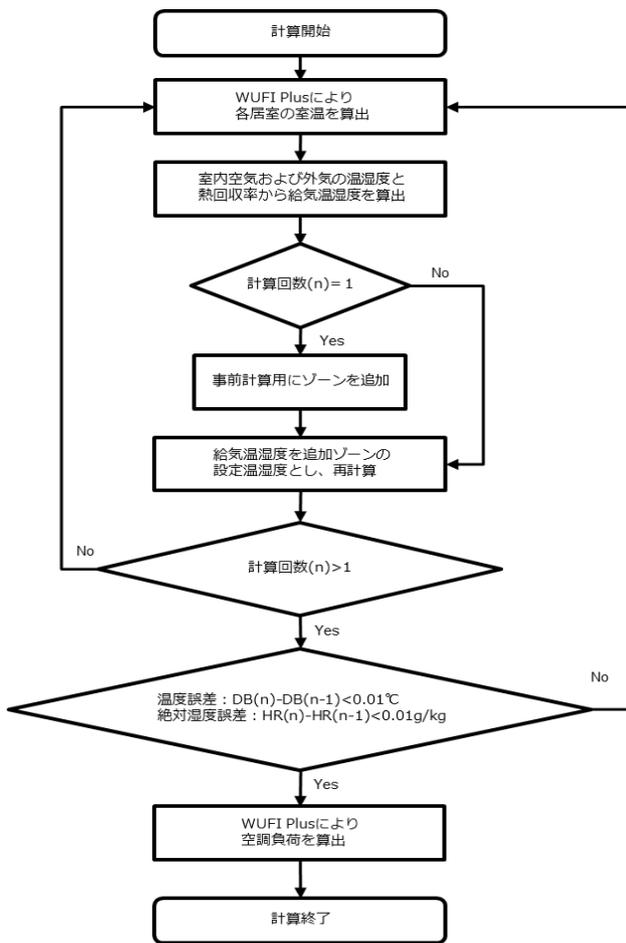


Figure.2 The Calculation Flow for the ERV in the Airflow Model

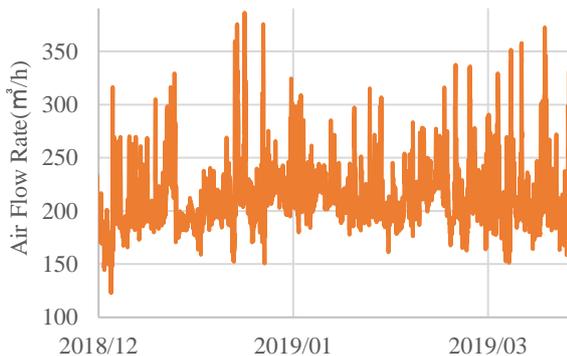


Figure.3 Air Flow Rate Profile for the Natural Ventilation

4. 換気システムの数値評価

計算期間は、1 か月の助走期間を経た後の 2017 年 12 月 1 日から 2018 年 4 月 1 日までの 4 か月間とする。パッシブ換気方式での季節の変化に伴う第三種換気への移行定義が不明確なため、暖房期間のみを限定した。1.で述べた3種類の換気システムのモデル住宅 を使用して数値評価を行い、それぞれの換気システムが 空調負荷対してどのような影響を与えるのかを検討する。さらにパッシブ換気の住宅モデルにおいては建物全体の換気量が十分にあるかなどを検討する。

4.1 換気装置の熱回収装置の効果

パッシブ換気モデルはパッシブ換気システム設計・施工マニュアル⁴⁾をもとに作成した。外界気象条件を札幌とした、札幌版次世代住宅基準スタンダード仕様の住宅モデルを用いてパッシブ換気方式における建物全体の換気量を算出した。(Figure.3を参照)

次に換気方式ごとの空調負荷(建物全体)を月積算でまとめたものを Figure.4 と Table.2 に、各階の PMV は Figure.5 に、初期費用と年間費用を足し合わせたグラフは Figure.6 に示す。空調負荷は第一種換気が最も少なく、次いで第三種換気であった。PMV ではパッシブ換気は1, 2階で差が大きく、コスト面では初期費用ではパッシブ換気が最小で、第一種換気が最大であったが、年間の暖房負荷を考慮に入れると10年未満で生涯費用が逆転することも確認された。

4.2 第三種換気における給気口取り付け高さの検討

第三種換気における給気口取り付け高さが室内環境および空調負荷にどう影響するか数値予測を用いて、札幌(次世代住宅基準)と東京(2016年度次世代住宅基準)の2カ所で検討する。検討する給気口取り付け高さは、各フロアレベルから30cm,60cm,120cm,180cm,210cmとする。月積算の空調負荷を Figure.7, 排気ゾーンから離れ、条件の厳しい1階和室の二酸化炭素濃度を Figure.8 にまとめた。空調負荷は給気口取り付け高さが高いほど少なく、反対にCO₂濃度は大きくなる事が確認された。

Table.2 Monthly Air Conditioning Load in Winter (MWh)

Month	Balanced		Exhaust		Natural	
	Heat	Humid.	Heat	Humid.	Heat	Humid.
12	1.6	0.2	2.1	0.3	2.4	0.4
1	2.0	0.3	2.6	0.4	2.8	0.5
2	1.6	0.2	2.1	0.3	2.3	0.5
3	1.3	0.2	1.8	0.3	2.2	0.5
total	6.5	0.9	8.5	1.4	9.7	1.9

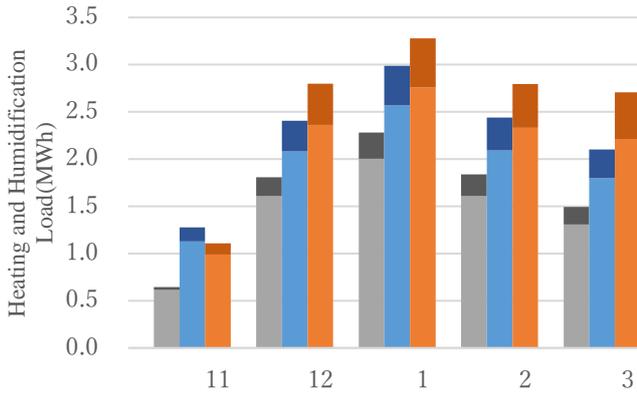


Figure.4 Monthly Air Conditioning Load in Winter

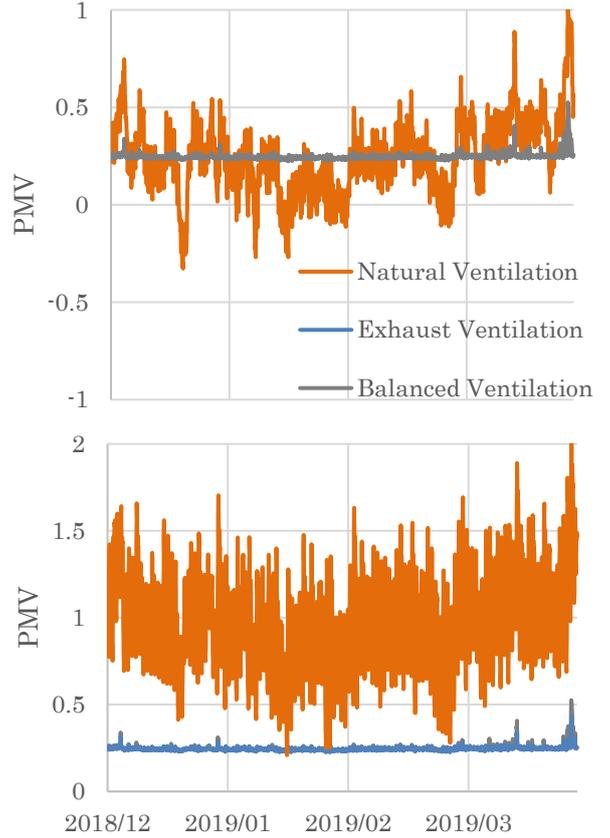


Figure.5 PMV Profiles (Top:2F, Bottom:1F)

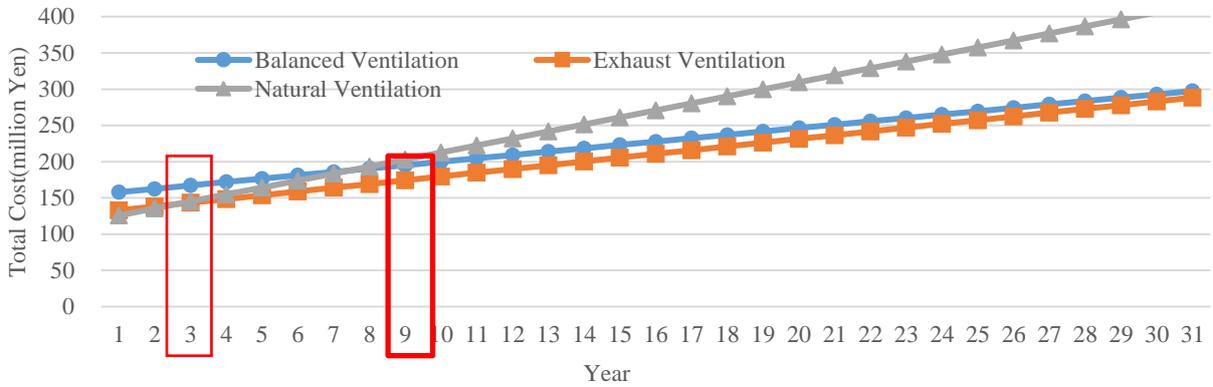


Figure.6 Long-term Perspective on Accumulated Costs for Three Ventilation Systems

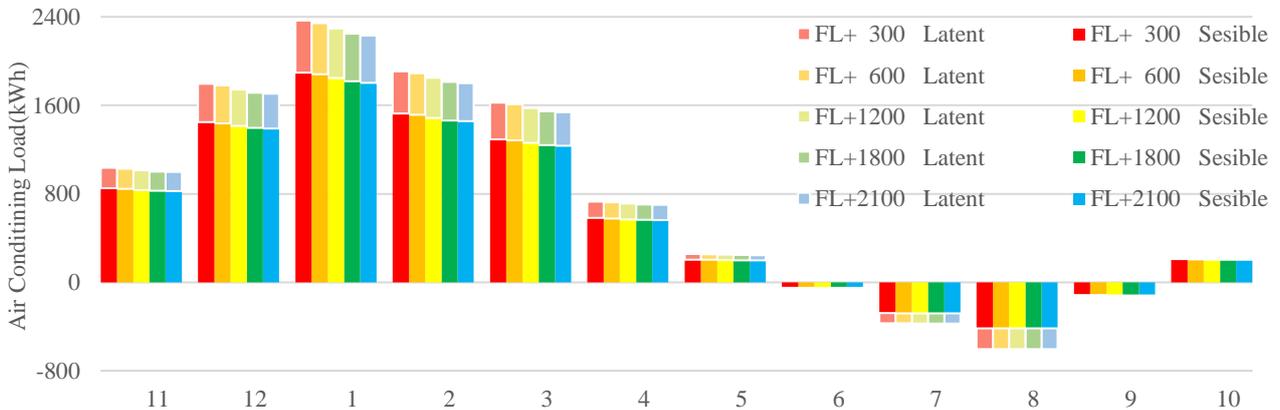


Figure.7 Annual Profiles of Monthly Air Conditioning Loads

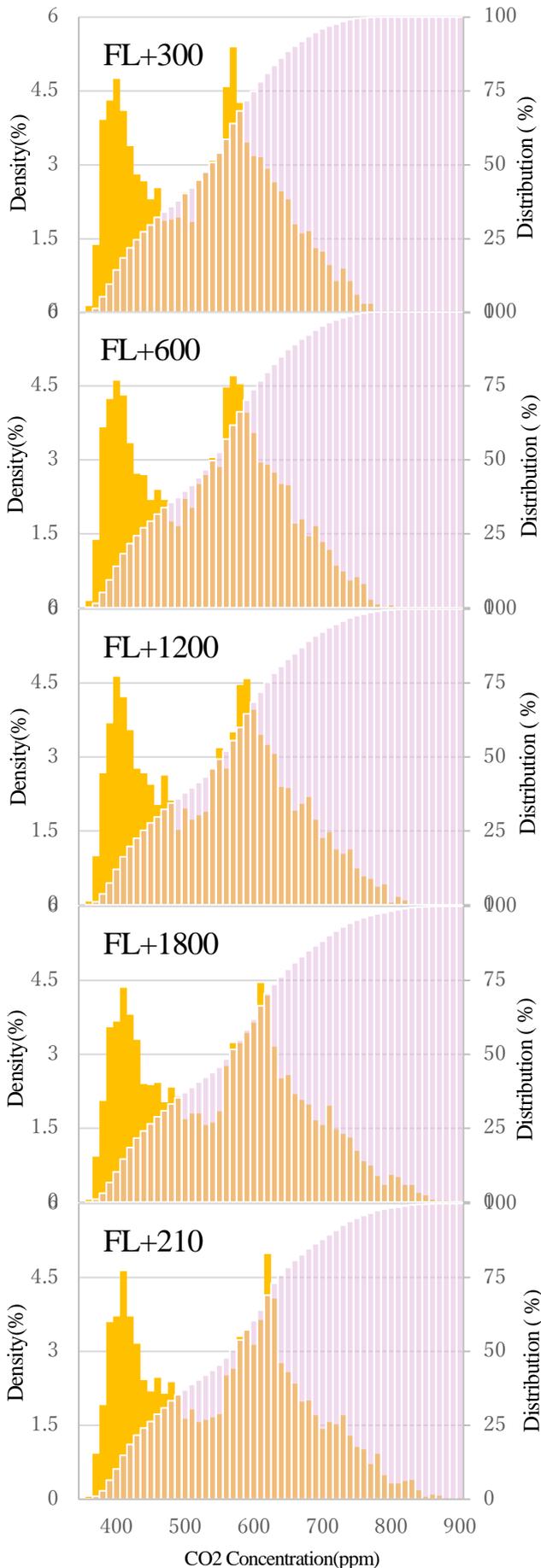


Figure.8 Frequencies for CO2 Concentrations in a Leeward Zone

5. まとめ

本報では、総2階建て木造住宅(戸建て)多数室モデルに関して、札幌・東京の拡張 AmeDAS 標準年毎時気象データを利用し、換気方式による空調負荷(冷・暖房, 除湿・加湿)削減効果について、多数室での非定常熱・湿気・空気移動と空調負荷変動, および外皮内の非定常熱・水分同時移動の数値評価が出来る Windows アプリケーション WUFIPlus3.0 の AirFlow 機能等を活用して検討した。

第4章では第一種換気方式, 第三種換気方式, パッシブ換気方式の比較を行った。パッシブ換気方式では他の2方式に比べ換気量が平均1.2倍程に増加し換気過多となり, 換気負荷が増えることが分かった。第一種換気方式および第三種換気方式における PMV (温熱快適性) は1, 2階で差は無く, 快適域で安定しているが, パッシブ換気方式では時間変動が激しく, 1階は「1:やや暑い」を平均に ± 0.5 程度の変動幅をめぐり激しく変わる。パッシブ換気方式は温度差による浮力を主な駆動力としており, 床下の給気予熱温度を下げると換気量が不足し, もしくは2階の温度上昇が担保できなくなるためである。各換気方式の経済評価に関しては, 初期費用はパッシブ換気方式が最も安く, 次に第三種換気方式, 第一種換気方式となり, 暖房や換気の運用コストを加味すると10年未満で逆転する試算が得られた。なお今回の経済評価では, 各換気方式のメンテナンス費用を無視しており, 考慮した評価は今後の課題である。

次に札幌と東京の第三種換気方式を採用した次世代基準モデルに関して, 自然給気口取り付け位置の影響を検討した。給気口設置位置が高くなるほど, 換気量が抑制され暖房負荷は減少するが, 一方で室内での二酸化炭素濃度は許容範囲内で上昇する。換気量の変化は, 主として冬期における室内外温度差によるものであり, 室内外温度差が大きくなる寒冷地域での影響が大きく, 温度差の小さい温暖地域では変化が少なくなる。札幌では5%ほど暖房・加湿負荷が減少し, 東京では1%の減少に留まった。

参考文献

- 1) Künzel, Harywig M, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and twodimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag, 1995.
- 2) H.M. Künzel, Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope, Solar Energy 78, 2005.
- 3) 札幌市ホームページ, 札幌版次世代住宅基準について, <http://www.city.sapporo.jp/toshi/jutaku/10shien/zisedai/zisedai.html>.
- 4) 北海道立北方建築総合研究所, パッシブ換気システム設計・施工マニュアル, 2005

半地下空間における結露性状の解析 (その1) 地盤と接する室の熱湿気性状の把握

Analysis of Condensation in Semi-Underground Space (Part 1) Study on Hygrothermal Behavior of Room in Contact with Ground

○長野 洋太 (神戸大学)

高田 暁 (神戸大学)

Yota NAGANO*¹ Satoru TAKADA*¹*¹ Kobe University

In this paper, to understand quantitatively the thermal and moisture behavior of the semi-underground space, based on measurement of temperature and humidity in an uninhabited dwelling unit, an analysis for the room in contact with the ground was performed considering heat capacity of ground, moisture absorption/desorption of the wall and moisture transfer from ground. It was shown that the moisture transfer from ground through the wall in contact with ground rises humidity in the room in winter and the wall apart from ground absorbs moisture in summer effectively acting as moisture capacity.

1. はじめに

半地下空間は、土地の有効活用の観点から収蔵庫や居室として利用されるが、結露、カビの生育が問題となりやすい。原因として地盤の熱容量の影響や地盤内水分の室空気への移動の影響で室が高湿化することが挙げられる。この問題を解決するために、半地下空間の熱湿気性状の量的な把握が必要である。地下空間はコンクリート壁体で構成されることが多く、比較的大きな湿気容量を有することから、コンクリート壁体の吸放湿特性を考慮した上で、地盤との熱水分の授受を検討する必要があると考えられる。これまでに、地下室を対象とした温湿度の実測調査¹⁾、壁体の吸放湿²⁾や地盤内の水分移動³⁾を考慮した熱湿気解析がなされているが、地盤から室空気への水分移動を考慮した検討は少ない。小椋ら⁴⁾は完全埋設型の地下実験棟を対象とした温湿度解析を行っているが、半地下型では地盤と接しない壁の吸放湿の影響を考慮する必要がある。

本論文では、無人の半地下空間を対象とした温湿度の実測調査を行うとともに、地盤の熱容量及び地盤内水分の室空気への移動、コンクリート壁体の吸放湿の影響を考慮した温湿度解析を行い、半地下空間の熱湿気性状を量的に把握することを目的とする。

2. 半地下空間の温湿度実測調査

対象住戸は、傾斜地に建つRC造の集合住宅内にあり、2つの階からなるメゾネット型の一住戸である。対象住戸の北側と東側の外壁、上階の床の一部と下階の床全面が

地盤と接している(図1)。入居者がいない状態が続いており、調査開始の時点で、地盤側の壁表面を中心に窓近傍の壁、天井にもカビの発生が確認されている。夏型・冬型の結露が混在し、その結果カビの発生を招いたと推定される。この半地下型住戸内の複数点で温湿度を測定した。

対象住戸内の絶対湿度の年平均値が外気より高く、西端室と上階の東端室を比較すると、地盤に近い室ほど絶対湿度が高い傾向がある(図2)。また、対象住戸が無人で、人の生活に伴う水蒸気の発生がなく、地盤に近い室ほど絶対湿度の年平均値が高い。以上より、地盤内の水分が室空気へ移動し、室内湿度に影響を与えていることが分かる。

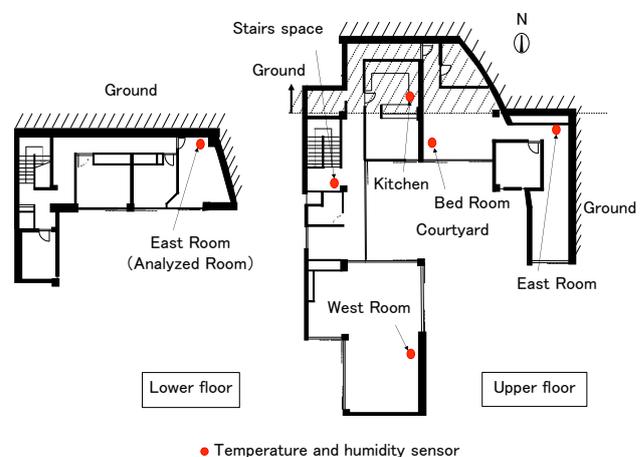


Fig.1 Plan of the measured dwelling unit

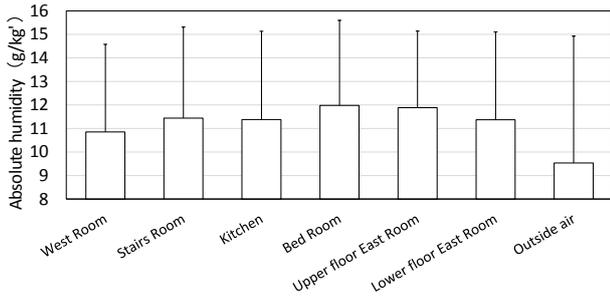


Fig.2 Annual average of absolute humidity and standard deviation (measured)

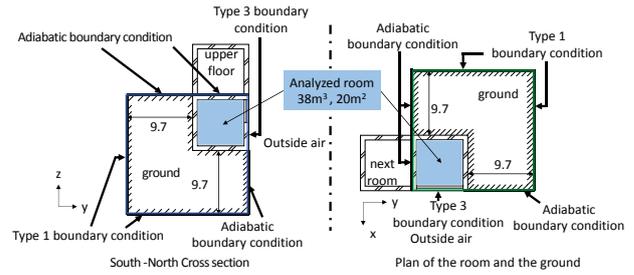


Fig.4 Object of analysis (Cross section and plan)

3. 対象室の温湿度解析

3.1 計算方法

対象室の熱湿気性状を量的に明らかにするため、壁体の吸放湿、地盤の熱容量及び地盤内水分の室空気への移動を考慮した温湿度解析を行う。

実測対象住戸の下階の東端室を解析対象室とする。対象室は、床・東壁・北壁で地盤と接し、その割合は室の表面積の50%である(図3、4)。壁体はコンクリート壁体と内装材からなる多層壁である(図5)。南壁に窓があり、カーテンがあいている。窓が閉め切られており、換気回数を0.2(回/h)とする。

室を構成する材料の法線方向に1次元の熱水分同時移動方程式を適用し、室空気の熱水分収支式を連立させて解く。地盤には、3次元の熱伝導方程式を適用する(表1)。

地盤は深さ9.7m地点を平均外気温で一定とする。地下外壁コンクリートの地盤側表面において、コンクリート壁体の地盤側表面に第1種境界条件として、相対湿度98%に対応する含水率を一定値で与える⁵⁾(表2)。助走計算によって得た周期的定常解を初期条件とする。

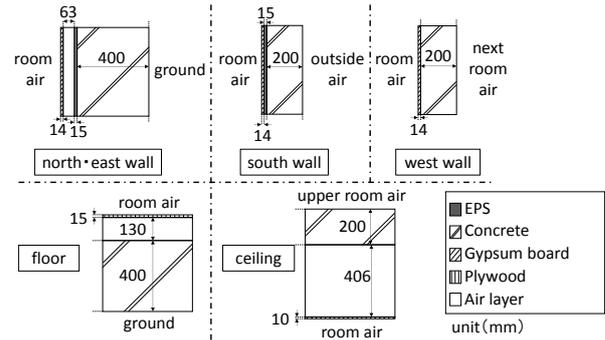


Fig.5 Composition of the wall, floor and ceiling

Table.1 Equations applied in analysis

Ground	3 dimensional heat transfer analysis
Concrete	1 dimensional heat and moisture (liquid and vapor transfer are considered) transfer analysis
Gypsum board	1 dimensional heat and vapor transfer analysis (hygroscopic)
Plywood	
EPS	

Table.2 Boundary condition

		Boundary condition (heat: h, moisture: m)
East, north and lower end of the ground	h	Annual average of outside air temperature is given
West, south and upper end of the ground domain	h	Adiabatic
Concrete surface in contact with ground	h	Contact with the other material
	m	Constant moisture content correspond to relative humidity 98% is given
Concrete surface exposed to air	h	Equation (1)
	m	Equation (2)
Boundary between concrete and thermal insulation	h	Equation (1)
	m	Equation (2)

$$\left[-\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x}\right]_s = \alpha(\theta_{air} - \theta_s) + H_s \quad (1)$$

$$\left[-\lambda' \frac{\partial X}{\partial x}\right]_s = \alpha'(X_{air} - X_s) \quad (2)$$

記号 θ : 温度(°C), λ : 熱伝導率(W/m/K), α : 熱伝達率(W/m²/K), H_s : 表面発熱(W/m²), X : 絶対湿度(kg/kg³), λ' : 湿気伝導率(kg/m/(kg/kg³)), α' : 湿気伝達率(kg/m²/(kg/kg³)), x : 座標(m)

添字 s : 表面, air : 空気

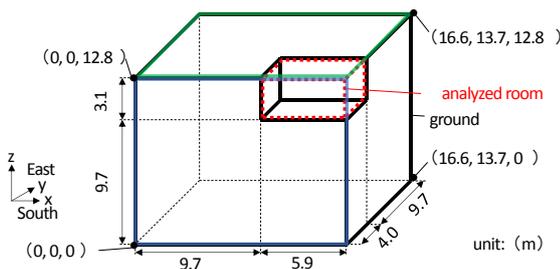


Fig.3 Object of analysis (room and ground)

3.2 計算結果

室空気の温湿度の計算値は、対象室内の実測結果を概ね再現した(図6)。室を構成する壁表面や外気から室空気への熱・水分の移動量を月ごとに示す(図7)。熱に関して、室空気への地盤と接する壁(東壁、北壁)と床は、室空気に対して4月から9月まで吸熱し、10月から翌年

3月まで放熱しており、地盤と接しない壁より吸放熱量が大きい。地盤の熱容量の影響である。外気と接する窓及び外気との換気を通じて、4月から9月まで外気から室空気へ、10月から翌年3月まで室空気から外気へ熱が移動する。熱の移動に関して、換気より窓の影響が大きい。水分に関して、地盤と接する壁は室空気の絶対湿度が高い7、8月を除き、室空気に対して放湿する。年間を通して見ると、放湿量が吸湿量より大きく、地盤内水分が室空気へ移動していることが分かる。壁の吸湿量が比較的多い7月を除き、室空気から外気へ水分が移動する。地盤と接するコンクリート壁体内の含水率は、地盤内水分の影響を受けるため、地盤と接していないものより高く(図8)、室空気の絶対湿度が最も高い8月に、最も高くなり、逆に2月に最も低くなる(図8)。壁から室空気への放湿量が主として室空気の絶対湿度によって変化するためである。地盤と接しない壁(西壁)は、6、7月に吸湿し、9月から12月にかけて放湿する。また、そのコンクリート壁体内の含水率は、中心部まで年変動を示しており、室の湿気容量として機能し、室空気の絶対湿度の年変動に影響を与えていると言える。

4. 考察

4.1 地盤と建物の間を断湿条件にした場合

地盤内水分の移動が室内湿度に影響していることを示したが、地盤と建物の間を断湿条件とした解析を行い、これを量的に確認する。

室温の計算値は、基準条件と差がない(図略)。絶対湿度の計算値は、地盤内水分の室空気への移動が考慮されないため、通年で低くなり、相対湿度が80%以下である(図9)。対象室の熱湿気性状を解析によって再現するためには、地盤内水分の室空気への移動を考慮する必要があることは明らかである。

4.2 地盤の水分状態が異なる場合

対象室が常水面より上にある場合、常水面高さが地下室の温湿度に及ぼす影響は小さい⁴⁾ため、本解析では、地下コンクリート外壁の地盤側表面に、一定の含水率を与えることで、地盤内水分の室空気への移動を考慮している。その含水率の感度解析を行う。飽和含水率(相対湿度100%、図10)、および相対湿度95%(に対応する含水率地盤内の相対湿度が通年で99%を下回らないという既往研究⁵⁾の結果より)を境界条件とした場合について検討する。

室温の計算値は、基準条件と差がない(図略)。室内空

気の相対湿度の計算値は、基準条件との差が小さい(図9)。地盤と接するコンクリート壁体内の含水率分布は、年変動の幅に比べて条件間の差が大きい(図11)が、絶対湿度分布は、年変動の幅に比べて、条件間の差が小さい(図略)。コンクリートの平衡含水率曲線(図10)において、高含水率では相対湿度の変化に対して含水率が大きく変化するためである。コンクリート壁体から内装材や空気層を介した室空気への水分移動は絶対湿度差による水蒸気移動であるため、地盤内水分の室空気への移動量の差は小さい(図12)。このように、地盤からの水分移動を考慮する際に定める、地下外壁の地盤側表面の相対湿度の境界条件の差が、室空気の温湿度に及ぼす影響は、小さいことが分かる。

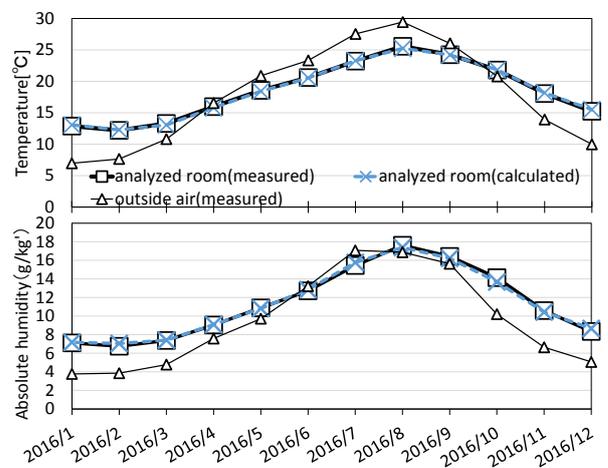


Fig.6 Monthly average temperature and absolute humidity of analyzed room (calculated, measured)

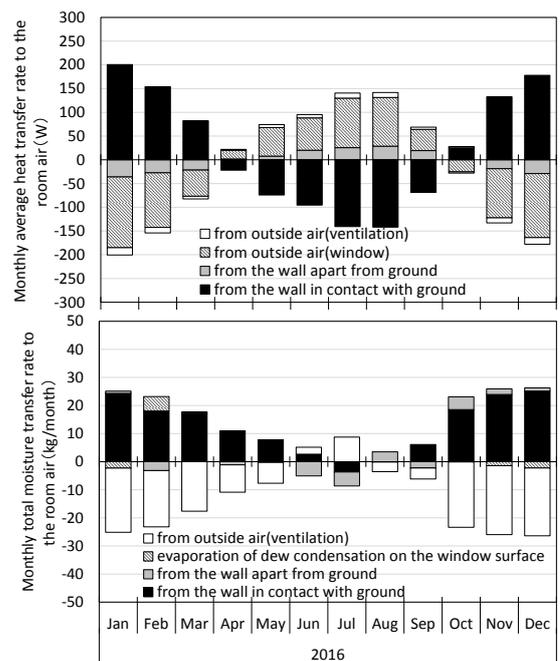


Fig.7 Monthly Heat and moisture transfer rate to the room air (calculated)

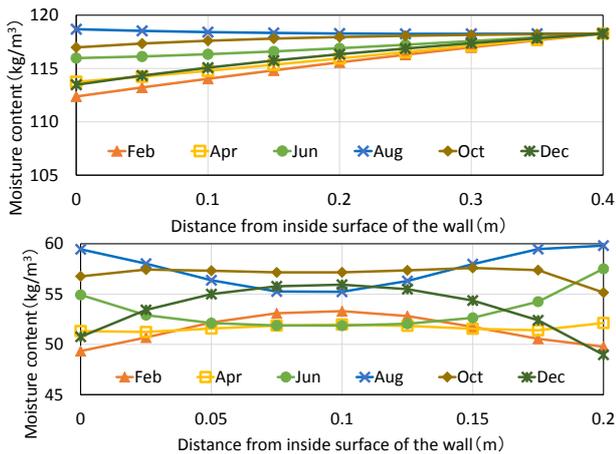


Fig.8 Monthly average moisture content in the concrete wall in contact with ground and apart from ground (calculated)

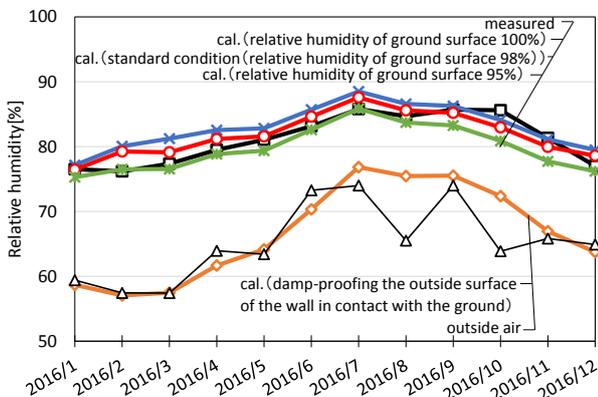


Fig.9 Monthly average relative humidity of analyzed room (calculated, measured) (standard condition, relative humidity 100% and 95% condition, damp-proofing outside surface of wall in contact with ground)

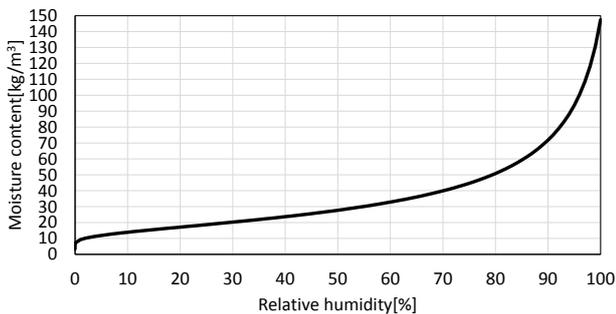


Fig.10 Equilibrium moisture content curve of concrete

5. まとめ

室を構成する壁や床の半分を地盤で覆われた、無人の半地下空間を対象として、地盤の熱容量・地盤内水分の室空気への移動・コンクリート壁体の吸放湿の影響を考慮して、半地下空間の熱湿気性状を解析し、対象室の温湿度の実測結果を再現した。対象室において、地盤と接する壁

を通じた、地盤内水分の室空気への移動が、冬期の高湿度環境の主要因となっていること、地盤と接しないコンクリート壁体の室空気からの吸湿が、夏期に湿度上昇を抑制する要因となっていることを示した。

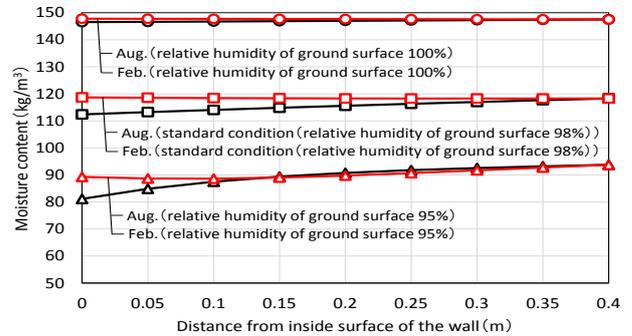


Fig.11 Monthly average moisture content in the concrete wall in contact with ground (calculated) (relative humidity of ground surface 100%, 98%, 95%)

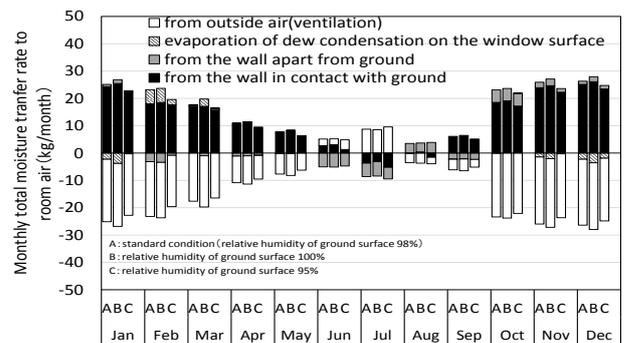


Fig.12 Monthly total moisture transfer to room air (calculated) (relative humidity of ground surface 100%, 98%, 95%)

参考文献

- 1) H. Zhang, J. Liu, C. Li, Z. Lian, Long-term investigation of moisture environment in underground civil air defence work, *Indoor and Built Environment*, 26, 6, pp. 744-757, 2017.7
- 2) 榎藤尚, 井上隆, 地下室の温熱環境に関する研究 ドライエリア付き地下室の温熱環境と結露, *日本建築学会関東支部研究報告集*, pp. 33-36, 1991
- 3) H. Janssen, J. Carmeliet, H. Hens, The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground, *Building and Environment* 39, 7, pp. 825-836, 2004.7
- 4) 小椋大輔, 松本衛, 自然状態下における地下構造物の熱・湿気性状の解析—壁体防湿層配置及び常水面深さの影響—, *日本建築学会計画系論文集*, 第529号, pp. 23-29, 2000.3
- 5) 小椋大輔, 寺島貴根, 水畑雅行, 松本衛, 完全埋設型地下室及び周辺地盤の熱・湿気性状の年間実測, *日本建築学会計画系論文集*, 第536号, pp. 35-41, 2000.10

半地下空間における結露性状の解析 (その2) 夏期及び冬期における結露の対策

Analysis of Condensation in Semi-Underground Space (Part 2) Countermeasure against Condensation in Summer and Winter

○高田 暁 (神戸大学)

長野 洋太 (神戸大学)

Satoru TAKADA*¹ Yota NAGANO*¹*¹ Kobe University

Based on the numerical analysis program developed to analyze heat and moisture behavior in an uninhabited room in contact with the ground in Part 1, the countermeasures against condensation in summer and winter in the semi-underground space were studied. It was shown that both the increase in ventilation in winter and the damp-proofing inside the surface of the wall in contact with the ground are effective, decreasing humidity in winter, and that in case of the damp-proofing inside the surface, the moisture capacity of the concrete walls apart from the ground reduces the increase in humidity in summer.

1. はじめに

完全埋設型地下室を対象とした既往研究¹⁾において、夏型結露の対策として、地下外壁の地盤側表面の断湿(外断湿)が有効であるとされている。これは、室を構成するコンクリート壁体を室の湿気容量として機能させつつ、地盤との湿氣的連続性を断つ方法である。しかし、外断湿を既存の建物に施工することは容易でない。そこで、地下外壁の室内側表面の断湿(内断湿)について検討する。完全埋設型地下空間における地下外壁の内断湿は、室の湿気容量を低下させ、夏型結露の悪化につながるかとされている¹⁾。しかし、半地下空間の場合、地盤と接していないコンクリート壁体が室の湿気容量として十分に機能すれば、夏型結露の悪化が生じないと考えられるため、量的な検討の余地がある。本論文では、半地下空間の夏型及び冬型結露を改善することを目的とし、無人の半地下空間を対象とした温湿度解析によって、地下外壁の内断湿が対象室の結露性状に及ぼす影響を、冬期の換気量を増やすという対策の影響と合わせて検討する。また、対象室の管理方法や使われ方が変化しても、対策が適用可能であるかを検討するため、対象室の換気量がより大きい場合や、室内に熱湿気発生がある場合についても検討する。

2. 計算方法

前報で示した、地盤内水分の室空気への移動、壁体の吸放湿、地盤の熱容量を考慮した半地下空間の熱湿気性状の解析モデルを用い、換気条件の変更や断湿層の追加

が温湿度環境に及ぼす影響を検討する。対象室は、壁や床の50%が地盤に覆われている。カビ生育の可能性の評価としてカビ指数²⁾を用いる(表1)。

冬期の窓面結露の一般的な対策である換気の促進が、対象の半地下空間の結露性状に及ぼす影響について検討するために、基準条件において窓面結露が生じた10月から翌年の4月までの換気量を、0.2(回/h)から0.3(回/h)、0.5(回/h)に増加させる計算を行う(表2)。

地盤との湿氣的連続性を断つ方法として、地下外壁の内断湿が半地下空間の結露性状に及ぼす影響を検討する。地盤と接するコンクリート壁体の室内側表面(前報の図5)に完全断湿条件を適用する(表2)。

3. 計算結果

3.1 冬期の換気促進

換気回数を0.2(回/h)から0.5(回/h)に増加させた場合、室温の計算値は2月に0.5°C低下したがその他の時期への影響は小さい(図略)。換気回数が大きいほど、室の相対湿度が低下し、2月の相対湿度は、基準条件の79%から、換気回数0.3(回/h)で72%、0.5(回/h)で65%まで低下する(図1)。また、換気回数が大きいほど、窓面結露量が減少し、換気回数0.3(回/h)で、0.1(kg/m²)以下に抑えることが出来る(図2、図3)。これは、窓で生じた結露水が滴下しない量であるとされている⁴⁾。また、カビ指数が通年で低下する(図1)。コンクリート壁体内の含水率については、冬期の換気促進により地盤と接しない壁が乾燥し(図4)、夏期の吸湿量が増加する(図

3)。換気回数0.5 (回/h) の条件でも、5月から10月にかけてはカビが生育しやすい環境である。

Table.1 Fungal index and extent of fungal growth³⁾

FI: Fungal index	Extent of fungal growth
$7 \leq FI < 20$	Xerophilous molds germinate in a week
$20 \leq FI < 35$	Mid-humid molds germinate in a week
$35 \leq FI$	A cycle of asexual reproduction of Xerophilous mold is performed in a week

Table.2 Countermeasures

	Ventilation rate	Damp-proofing inside surface of concrete wall in contact with ground	Heat and moisture generation in the room
Standard	0.2(1/h)	—	Nothing
Case 1-1	Increase in 0.3 (1/h) from Oct. to Apr.	—	Nothing
Case 1-2	Increase in 0.5 (1/h) from Oct. to Apr.	—	Nothing
Case 2	0.2 (1/h)	Included	Nothing
Case 3-1	1.0 (1/h)	—	Nothing
Case 3-2	1.0 (1/h)	Included	Nothing
Case 4-1	1.0 (1/h)	—	70 (W) 20 (g/h)
Case 4-2	1.0 (1/h)	Included	70 (W) 20 (g/h)

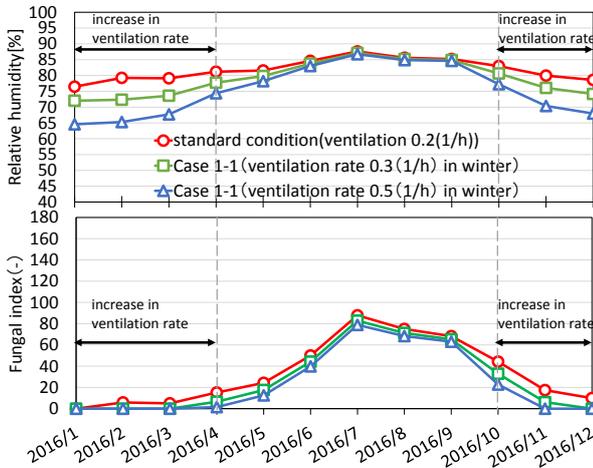


Fig.1 Monthly average relative humidity and fungal index of the room air (standard, increase in ventilation rate to 0.3, 0.5 (1/h) in winter)

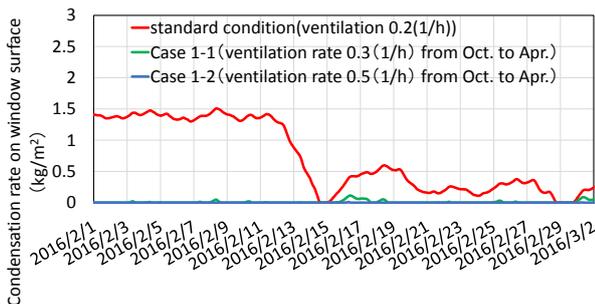


Fig.2 Condensation rate on window surface (calculated) (standard, increase in ventilation rate to 0.3, 0.5 (1/h) in winter)

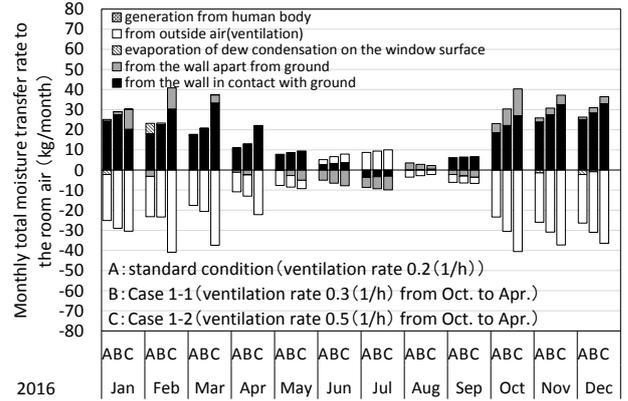


Fig.3 Monthly total moisture transfer rate to the room air (standard, increase in ventilation rate to 0.3, 0.5 (1/h) in winter)

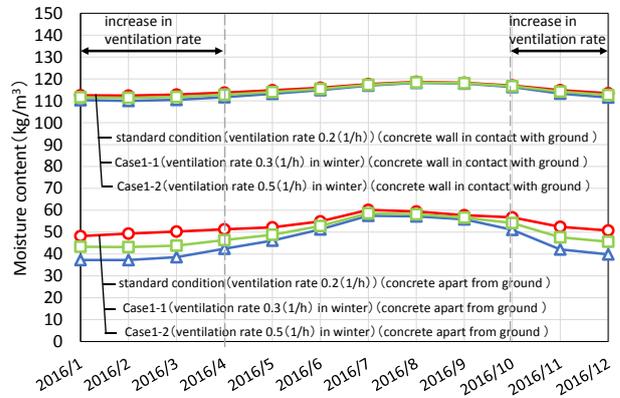


Fig.4 Average moisture content of inside surface of concrete wall in contact with ground and concrete wall apart from ground (standard, increase in ventilation rate to 0.3, 0.5 (1/h) in winter)

3.2 地下外壁の内断湿

地下外壁の内断湿によって、1年を通し相対湿度・カビ指数が低下し、窓面結露が生じなくなる。2月の相対湿度は49%まで低下している(図5)。地盤内水分の室空気への移動が遮断され、地盤と接する壁から室空気への放湿量が減少するためである(図6)。また、室空気の相対湿度が87%と最も高い7月に、相対湿度82%まで低下した。カビ指数も低下しており(図5)、夏型結露の悪化は生じない。対策前と比べ、冬期に地盤と接しない壁が乾燥し、7月に室空気からの吸湿量が増加するためである(図6, 7)。地盤と接するコンクリート壁体内の含水率は、対策後も年間を通してほぼ一定である(図7)。7月から10月にかけて、依然としてカビが生育しやすい環境であり、除湿が有効と思われる。

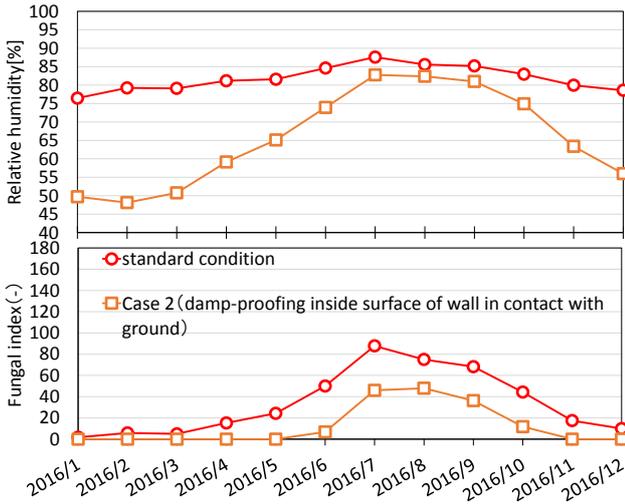


Fig.5 Monthly average relative humidity and Fungal index of the room air (standard, damp-proofing inside surface of wall in contact with ground)

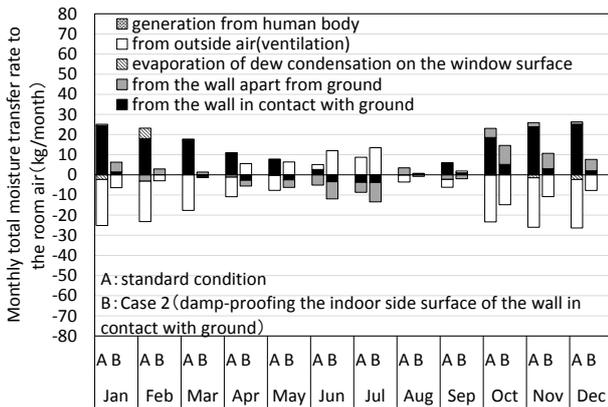


Fig.6 Monthly total moisture transfer rate to the room air (standard, damp-proofing inside surface of wall in contact with ground)

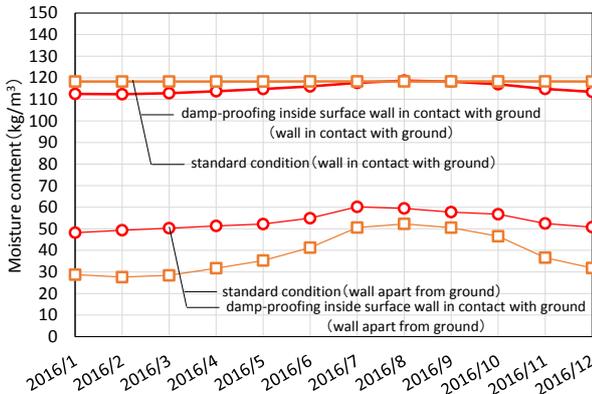


Fig.7 Monthly average moisture content of inside surface of concrete wall in contact with ground and concrete wall apart from ground (standard, damp-proofing inside surface of wall in contact with ground)

4. 考察

4.1 対象室の管理・使用方法が変わる場合

対象室は無人であり、室内に人為的な熱湿気発生がない。また、強制換気が行われていない。対象室の管理方法や使用方法が変わった場合に、地下外壁の室内側表面の断湿によって、夏型結露が悪化しないかを検討する必要がある。対象室が機械換気によって管理される場合を想定し、換気回数 1.0 (回/h) の条件について検討する。さらに、居住状態を想定し、室内で熱湿気発生 (70 (W)、20 (g/h) と強制換気 (1.0 (回/h)) がある条件について検討する。

換気回数 1.0 (回/h) の場合、2月の相対湿度が62%まで低下し、窓面結露が生じない。さらに、地下外壁の内断湿によって、相対湿度が46%まで低下し、カビ指数が通年で低下する(図8)。地盤と接する壁から室空気への放湿量が減少しているため、冬期には湿度が低下するが、7月の水分の移動量には差がない(図9)。

居住状態を想定した熱湿気発生 (70 (W)、20 (g/h)) と強制換気 (1.0 (回/h)) がある場合、8月の室温が25℃から27℃まで上昇する(図10)。換気量も増加させているため、冬期の室温の変化は小さい。また、2月の相対湿度が59%まで低下し、窓面結露が生じない。さらに、地下外壁の内断湿によって、46%まで低下する(図10)。7月には、地盤と接しない壁の室空気からの吸湿量が増加する一方、外気への移動量が減少しており、地下外壁の内断湿が夏期の湿度に及ぼす影響は小さい(図11)。

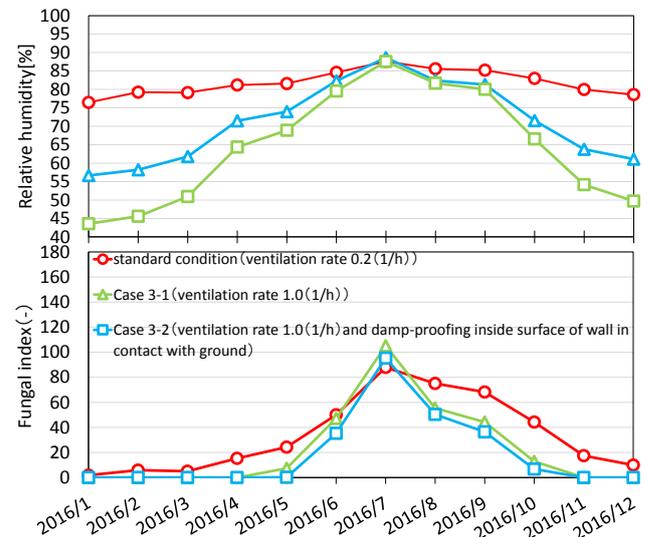


Fig.8 Monthly average relative humidity and fungal index of the room air (standard, damp-proofing inside surface of wall in contact with ground) (ventilation rate 1.0(1/h))

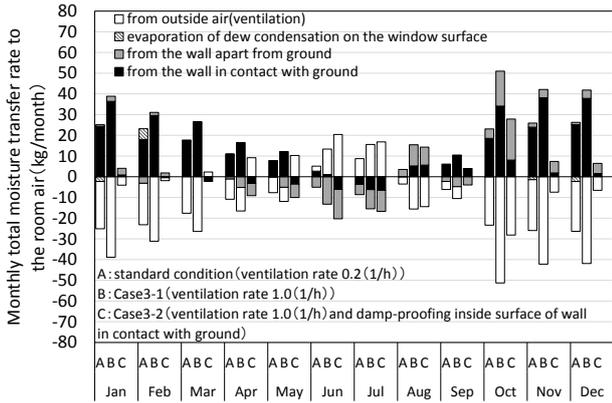


Fig.9 Monthly total moisture transfer rate to the room air (standard, damp-proofing inside surface of wall in contact with ground) (ventilation rate 1.0(1/h))

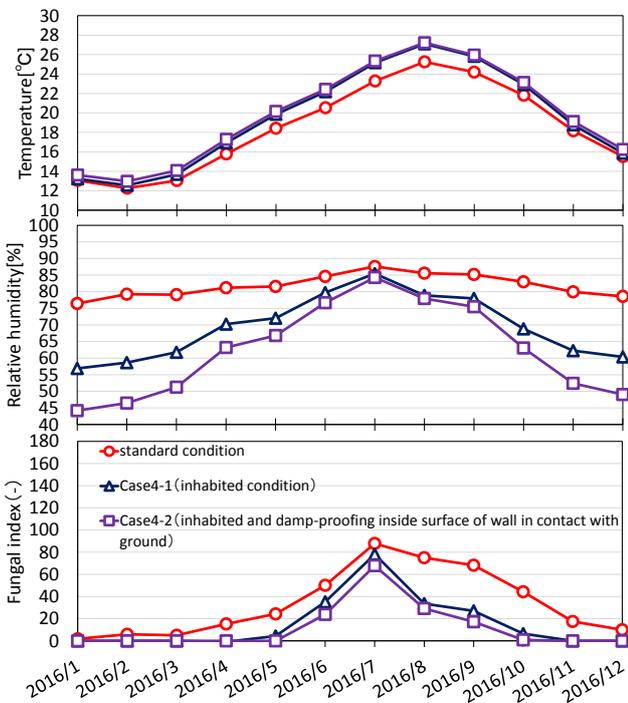


Fig.10 Monthly average temperature and relative humidity, fungal index of the room air (standard, damp-proofing inside surface of wall in contact with ground) (habited condition)

4.2 地下外壁の内断湿に関する未検討事項

本解析において、壁体内の熱水分移動は法線方向のみの1次元系で計算しているが、現実には、コンクリート壁体は隅角部を介して繋がった一つの躯体であり、壁体間の熱水分移動が生じる。そのため、地盤と接する壁を内断湿することによって、地盤内水分が隅角部を通じて地盤と接していない壁へ移動する量が増加する可能性があり、量的な検討が必要である。

この対策によって、夏型結露を悪化させないためには、

地盤と接しない壁の吸放湿が重要である。今回の検討で、対象の室は壁や床の半分が地盤に覆われているが、より地盤と接する割合が大きい地下空間への適用には検討が必要である。

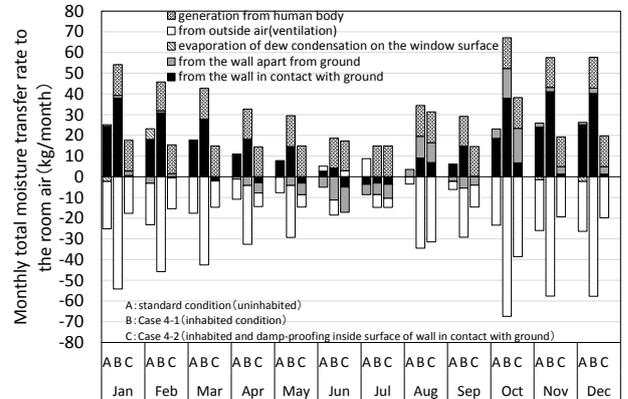


Fig.11 Monthly total moisture transfer rate to the room air (standard, damp-proofing inside surface of wall in contact with ground) (habited condition)

5. まとめ

無人の半地下空間を対象として、地盤の熱容量・壁体の吸放湿・地盤内の水分の室空気への移動を考慮した解析を行い、対象室の夏型及び冬型結露の対策について検討した。対象の半地下空間において、地下外壁の室内側表面を断湿することで、地盤との湿氣的連続性を断つことで、冬型結露を改善できることを示した。冬期に地盤と接しないコンクリート壁体が乾燥する影響で、夏期に室空気からの吸湿量が増加するため、既往研究で指摘されていた夏型結露の悪化が生じないことを示し、さらに、対象室の管理・使用の方法が変わっても、対策による夏型結露の悪化が生じないことを示した。

参考文献

- 1) 小椋大輔, 松本衛, 自然状態下における地下構造物の熱・湿気性状の解析—壁体防湿層配置及び常水面深さの影響—, 日本建築学会計画系論文集, 第529号, pp. 23-29, 2000. 3
- 2) 日本防露設計研究会, 住宅の結露防止 防露手法の基礎から防露設計法まで, 学芸出版社, pp. 22-23, 2004. 3
- 3) 香西里美, 立松宏一, 本間義規, 鈴木大隆, 羽山広文, 菊田弘輝, 竣工初年度における基礎断熱床下空間に関する熱水分同時移動解析, 日本建築学会技術報告集, 第16巻, 第33号, pp. 563-568, 2010. 6
- 4) 今仲雅之, 池田哲朗, 吸放湿材が住宅室内温熱環境に及ぼす影響に関する研究 年間における開口部結露とカビ被害の軽減効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 187-188, 2017. 8

実態調査に基づく中小規模建物の最適な省エネルギー改修の提案方法に関する研究 Research on the Optimum Method of Suggesting Energy Saving Refurbishment for Small and Medium-sized Buildings Based on Actual Survey

○稲生 晴大 (神戸大学) 竹林 英樹 (神戸大学)

Seidai INABU*¹ Hideki TAKEBAYASHI*¹

*¹ Kobe University

In this research, a hearing survey to a local construction company was carried out on the objective buildings for energy conservation renovation. And an annual thermal load reduction was calculated when various renovation menus were introduced into the objective buildings. Based on the consideration of the results, we examined optimal energy saving renovation for small and medium existing buildings.

1. はじめに

一般的に既存建物は新築と比べて省エネルギー性能が低いため、省エネルギー化は重要かつ急務である。一方で既存建物の最適な省エネルギー改修には、建物の熱負荷計算などの専門的な知識や技術が必要であるが、規模の小さい建物の改修を行うことが多い地域の工事会社には負担が大きい。地域の工事会社が省エネルギー改修を行う建物において、効率的な省エネルギー改修方法を検討することは、今後小規模な工事会社が改修を行う際に参考となる可能性が高い。

本研究では地域の工事会社が省エネルギー改修の対象とする建物の特徴をヒアリングにより調査し、選定された建物に対して様々な省エネルギー改修メニューを導入した場合の年間熱負荷削減効果を算出した。その結果を考察し、地域の工事会社が対象とする既存建物に対する最適な省エネルギー改修方策を検討した。

2. 代表建物の選定

2.1 ヒアリング調査

中小規模の既存建物の改修工事を行っている工事会社に、省エネルギー改修の対象となる建物に関するヒアリング調査を行った。調査結果の整理内容を表1に示す。

ヒアリング対象の工事会社は、防水改修工事を行う築15年以上の建物を省エネルギー改修工事提案の目安としている。建物の省エネルギー性能は築年数が大きいほど低い傾向があるため、竣工からある程度経過している建物が対象として挙げられる。2006年に省エネ法が改正され、2000 m²以上の建物に省エネ性能の届け出義務が課せられた。従って、それ以降に竣工した建物の外皮性能は高いと想定される。そこで、それ以前に建てられた建物を省エネルギー改修提案の対象としている。

非住宅の建物においては、建物の使用者の中に決済権を持つ人物が存在する建物対象となりやすい。コンビニエンスストアやスーパーマーケットなど、使用者の中に決済権を持つ人物がいない建物では、地域の工事会社からの提案が困難な場合が多い。

住宅においては、集合住宅が対象として挙げられる。集合住宅は定期的に大規模修繕工事を行うため、その際に省エネルギー改修の提案を行いやすく、床面積あたりの工事費用も戸建住宅より抑制される。

2.2 建物の選定

ヒアリング結果に基づいて具体的な検討対象建物が選定された。非住宅の冷凍倉庫、物流倉庫、公民館、工場、及び、集合住宅A、集合住宅Bが選定された。この中で

Table.1 Objective buildings based on the results of interviews with local construction company

Subject	Indication	Interview results
Construction year	More than 15 years	Propose according to waterproof renovation
Objective (Non-residential)	Authority owner lives	Propose directly to owner
Objective (Residential)	Periodic renovation is carried out	Propose according to renovation of outer wall, etc.

Table.2 Relationship between the total floor area of objective buildings and energy-saving standards

Total floor area	Non-residential	Residential
More than 2,000 m ²	Duty to confirm <i>Cold storage, logistics warehouse</i>	Duty to report <i>Apartment house A,B</i>
300 to 2,000 m ²	Duty to report <i>Community center, Factory, Office</i>	
Less than 300 m ²	Duty of effort	

現行の省エネ基準適合義務範囲に含まれるのは冷凍倉庫、物流倉庫であるが、見直し後は公民館、工場、事務所が含まれる。各建物の延べ床面積と省エネ基準適合義務範囲との関係を表2に示す。

3. 現状の熱負荷の分析

選定した代表建物の熱負荷を熱負荷・熱源シミュレーションソフト EnergyPlus を用いて算出した。気象条件は、神戸地方気象台（神戸市中央区）で観測された2017年の気象データより与えた。

対象建物の部材構成や使われ方を設定し、現状の熱負荷を算出した。使われ方に関する実態調査は冷凍倉庫、物流倉庫、事務所で行った。実態調査に基づき、冷凍倉庫の照明が多いこと、事務所の人員が基準値より少ないことなどを反映させた。その他の建物は文献¹²⁾に基づき設定した。また換気条件は文献³⁾に基づき必要換気量を与えたが、工場のみ建築物衛生指針⁴⁾に基づき設定した。各建物における年間空調負荷を図1に、単位面積当たりの年間空調負荷を図2に示す。

冷凍倉庫、物流倉庫、事務所においては貫流負荷の割合は全体の半分以上を占め、支配的であるといえる。またその他の建物においても貫流負荷は小さくない。ゆえに地域の工事会社が対象とする建物において、外皮の省エネルギー改修を検討すべきであると考えられる。

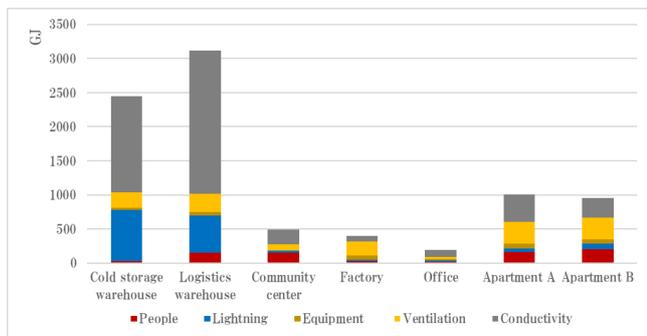


Fig.1 Annual air conditioning load of each objective building

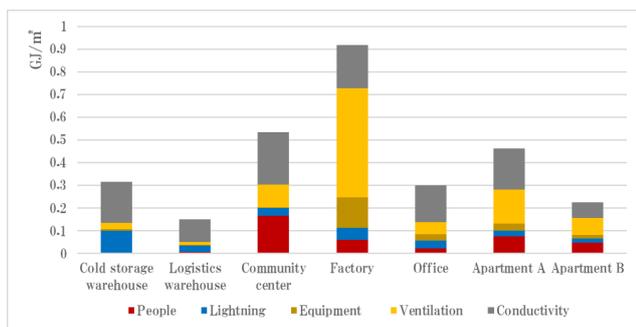


Fig.2 Annual air conditioning load per unit area of each objective building

4. 省エネルギー改修による空調負荷削減効果

4.1 改修方法

ヒアリングに基づき改修メニュー選定した。遮熱改修においては、屋根、壁、床の日射反射率を40%から60%に向上させ、窓には遮熱フィルムを貼付した。ヒアリングによって得られた改修方法を表3に、各部材の熱物性を表4に、窓の遮蔽特性を表5に示す。また断熱改修を行った際の各部材の熱貫流率の変化を図3に、全ての改修メニューを導入した場合の各建物の熱貫流率の変化を図4に示す。

Table.3 Renovation methods based on the interviews

Componet	Insulation	Shielding
Wall	Install polystyrene foam	Coating cool paint
Roof	Install urethane foam	Coating cool paint
Floor	Install glass wool	None
Window	Replace to double glazing	Applying shield film

Table.4 Thermal properties of wall, roof, floor and window

Componet	Element	Thickness (mm)	Thermal conductivity (W/m²K)
Wall	Coating	2	0.35
	Polystyrene form	30	0.03
Roof	Waterproof sheet	2	0.42
	Urethane foam	30	0.03
Floor	Plasterboard	12.5	0.17
	Glass wool	30	0.04
Window	Double glazing	6.8 (x2)	0.9 (x2)
	Air gap	12	0.15 (m²K/W)

Table.5 Shielding properties of window

Property	No shielding	Shielded
Solar heat gain coefficient	0.85	0.578
Visible light transmittance	0.898	0.69

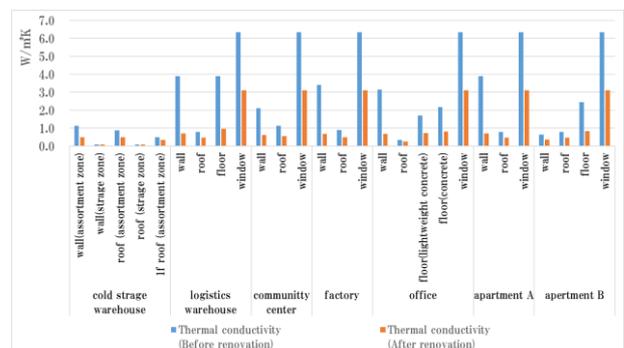


Fig.3 Changes in thermal conductivity of each element due to insulation renovation

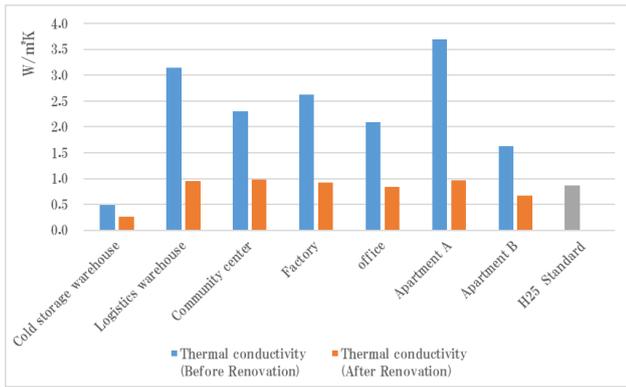


Fig. 4 Changes in the average thermal conductivity of the outer skin of each objective building by insulation renovation

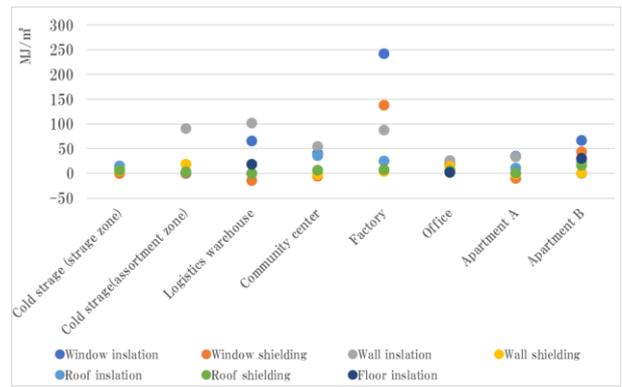


Fig.6 Annual air conditioning load reduction per unit area by each renovation menu

4.2 改修結果

各対象建物における改修メニュー別の年間空調負荷削減率、単位面積当たりの削減量を図5、6に示す。

壁の断熱は効果的であり、年間空調負荷削減率は集合住宅Aで36%となった。壁の遮熱は方位に依存し、東西の壁面積が大きい建物で効果が大きい。

窓の改修は効果が大きく、集合住宅Bのように外皮性能の高い建物でより効果的である。窓の遮熱は方位に依存し、東西の窓面積が大きい建物で効果が大きい。工場は西面にのみ窓を持つため、窓の断熱、遮熱ともに単位面積当たりの空調負荷削減量が最も大きい。

屋根の断熱による削減率、単位面積当たりの削減量は、屋根の貫流率が最も大きい公民館で最大となった。改修前から屋根の断熱性能の高い建物が多く、全体を通して年間熱負荷削減効果は壁より小さい。

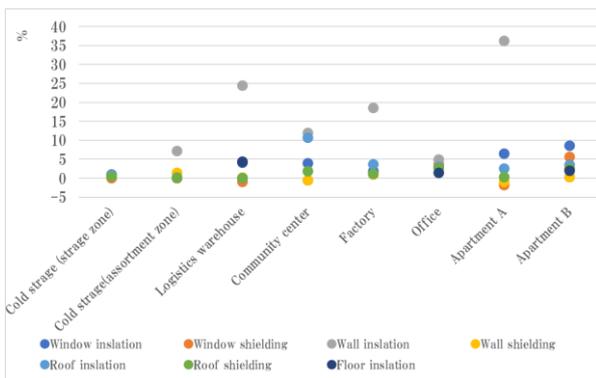


Fig.5 Annual air conditioning load reduction rate by each renovation menu

5. 適切な省エネルギー改修方法の提案

以上の検討結果に基づき、小規模な工事が実施する省エネルギー提案の流れを以下に整理する。はじめに対象建物の選定を行い、続いて改修方法を選定する。

ヒアリング結果に基づき、対象建物の選定フローを図7に整理した。築年数、住宅・非住宅、使用者の決済権、をヒアリング等により確認し、対象建物が選定される。

熱負荷計算により算出した熱負荷削減効果の大きい順に改修方法の選定フローを図8に整理した。1)窓の断熱改修は最も大きな熱負荷削減効果が得られるため、単層ガラスを使用している場合には優先される。2)東西面の窓の遮熱を行うと夏期の空調負荷が大きく削減される。3)外壁の断熱性能の低い建物での断熱改修が有効なため、断熱材の有無を確認する必要がある。3)東西壁面では遮熱が推奨される。4)屋根改修は壁と同様に断熱性能を確認して検討する。4)遮熱の効果は低いが、施工しやすいため、屋根の断熱性能が低く、屋根面積の大きい建物には有効である。5)ピロティ床のある建物では断熱改修の効果が得られるため、余裕があれば検討する。

各改修部位における年間熱負荷削減量を表6に示す。屋根、壁、床の改修メニューは様々な種類が想定されるが、ヒアリング調査に基づいて選定したメニューを用いた。省エネ改修による年間熱負荷、及び、一次エネルギー消費量の削減量の簡易算定式(式1、2)が算出された。

$$L = (R_i + R_r) A_r + (W_i + W_r) A_w + (G_i + G_r) A_g + F_i A_f \quad (1)$$

$$E = K (0.2778 L/C) \quad (1MJ=0.2778kWh \text{ より}) \quad (2)$$

L : 年間熱負荷削減量(MJ)

R_i, R_r : 屋根の断熱、遮熱改修による削減量(MJ/m²)

W_i, W_r : 壁の断熱、遮熱改修による削減量(MJ/m²)

G_i, G_r : 窓の断熱、遮熱改修による削減量(MJ/m²)

F_i : 床の断熱改修による削減量(MJ/m²)

A_r, A_w, A_g, A_f : 屋根、壁、窓、床の改修面積(m²)

E : 年間一次エネルギー削減量(MJ)

K : 一次エネルギー換算係数(=9.97MJ/kWh)

C : 年間平均空調 COP(=2.9)

Table.6 Renovation step and annual air conditioning load reduction

Step	Component	Menu	Element	Reduction (MJ/m ²)
1	Window	Insulation	Single glazing (East and west)	241.9 (Factory)
			Single glazing (North and south)	18.8 (Office)
2	Window	Shielding	Single glazing (East and west)	138.2 (Factory)
3		Wall	Insulation	Cocrete
	ECP		26.2 (Office)	
	ALC		12.8 (Cold strage)	
3'	Wall	Shielding	Cocrete	59.4 (Factory)
			ECP	20.4 (Office)
			ALC	6.7 (Cold strage)
4	Roof	Insulation	Concrete	36.4 (Comminity)
4'		Shielding	Concrete	6.4 (Comminity)
5	Floor	Insulation	Concrete	30.5 (Appartment B)
			Light concrete	2.7 (Office)

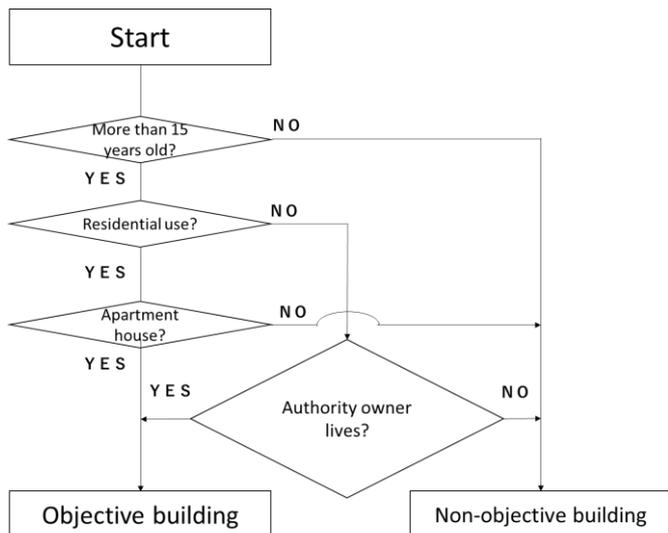


Fig.7 Flow of objective building selection

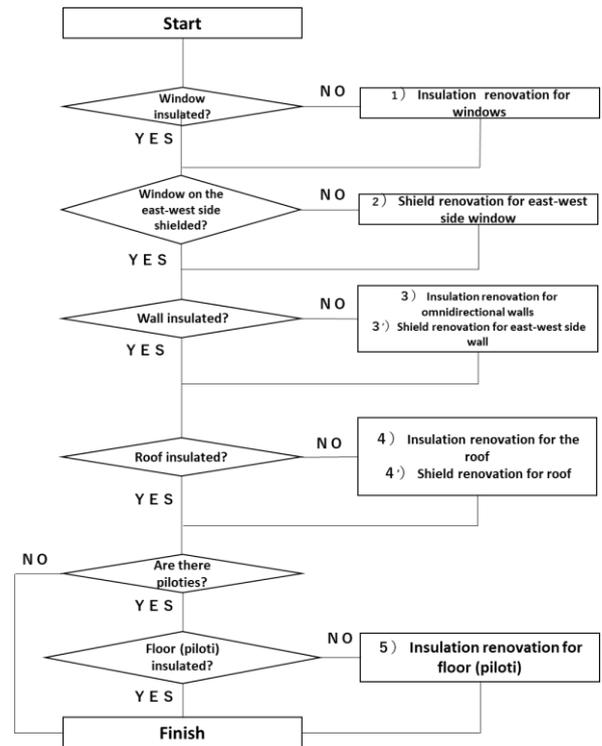


Fig.8 Flow of renovation menu selection

6. 結論

地域の工事会社へのヒアリング結果に基づき、省エネルギー改修の対象建物の選定方法を検討し、改修メニューに応じた熱負荷削減量を算出した。算出結果に基づき、省エネルギー改修方法の選定フローを整理した。地域の工事会社においても簡易に熱負荷削減効果を予測し、改修工事を提案できると考えられる。

謝辞 ヒアリングに協力頂いた山陽建材工事株式会社に謝意を表します。

参考文献

- 1) 空調調和・衛生工学会編, 空調調和設備計画設計の実務の知識 (1995)
- 2) 空調調和・衛生工学会編, 熱負荷の仕組み (2009)
- 3) 三菱電機株式会社, 必要換気量の求め方, (http://www.mitsubishielectric.co.jp/ldg/ja/air/guide/support/knowledge/detail_01.html)
- 4) テラル株式会社, 参考資料風量計画, (http://www.teral.info/pdf/t_catalog/366/file.pdf)

温泉未利用熱の面的利用システムに関する研究
-熱源水ネットワークシステムと集中型の熱供給システムの導入効果の比較-
Study on area-wide unused hot spring heat utilization system
-Comparison of introduction effects between heat source water network system and heat
source plant system-

○ 終本 一成 (大阪市立大学)	鍋島 美奈子 (大阪市立大学)
西岡 真稔 (大阪市立大学)	中尾 正喜 (大阪市立大学)
三毛 正仁 (総合設備コンサルタント)	澤部 孝一 (総合設備コンサルタント)
澤田 紗奈 (総合設備コンサルタント)	

Naoyoshi KOH*¹ Minako NABESHIMA*¹ Masatoshi NISHIOKA*¹
 Masaki NAKAO*¹ Masahito MIKE*² Koichi SAWABE*² Sana SAWADA*²
 *¹ Osaka City University *² Sogo Setsubi Consulting Co.,Ltd

Recently area-wide unused hot spring heat utilization system is thought to contribute energy reduction for hot water supply. In this study, a heat source water network system utilizing hot springs and drainage is proposed and compared introduction effects with a heat source plant system which is the existing area-wide unused hot spring heat utilization system. As a result, it was confirmed that the heat source water network system has larger effect of reducing the primary energy consumption than the heat source plant system under all winter conditions simulated in this study.

1. 研究背景・目的

1.1 研究背景

近年、未利用のエネルギーとして太陽光、風力、水力、その他自然界に存在する熱等の再生可能エネルギーが注目されており、その有効活用への期待が高まっている。設備面では給湯用に化石燃料を用いたボイラーを使用している場合が多く、高効率のヒートポンプ(以後「HP」)を用いた給湯システムもあまり普及していない。特に我が国は全国に27,000以上の源泉井戸が分布しており、そのうち温度が42°C以上の源泉井戸が約52%存在するため温泉熱の未利用エネルギーとしてのポテンシャルは高い。しかし高温源泉を保有する温泉施設では温泉熱の有効利用はせずに大気への放熱により浴場での利用温度まで調温することが多い。また浴場の排湯からの熱回収もほとんど行われていない。

1.2 研究目的

本研究では温泉熱(源泉および排湯の熱)に着目し、エネルギーの有効利用による温泉地域全体での省エネルギー化を促進させるため、温泉熱の新たな面的利用方法として「熱源水ネットワークシステム(以後「熱源水NWS」)を提案し、既存の面的利用システムである「集中型の熱供給システム」と導入効果を比較する。本研究では熱源水NWSと集中型の

熱供給システム、温泉熱利用を行わない「個別給湯システム」のモデルを構築し、給湯熱需要量に対する温泉熱利用量(以後「温泉熱比」)を変えた場合の3つのシステムの一次エネルギー消費量(以後「PEC」とシステムCOP)の比較を行う。

1.3 各システムの導入を検討する街区

本研究ではある街区に各システムを導入した際の導入効果を比較する。対象街区には10軒の温泉宿があると想定し、10軒の宿は大規模温泉宿と小規模温泉宿の2種類あり、それぞれ5件ずつ10軒の宿が街区に350mに等間隔で並んでいるとする。大規模温泉宿は源泉を所有し、小規模温泉宿は源泉を持たずに源泉を購入しているという条件を設定する。また給湯熱需要量は給湯熱需要量原単位¹⁾に各宿の延床面積(大規模温泉宿11,500m²、小規模温泉宿2,160m²)を乗じて算出する。本研究では年間を通じて給湯熱需要量が最も大きい冬期の検討をおこなう。

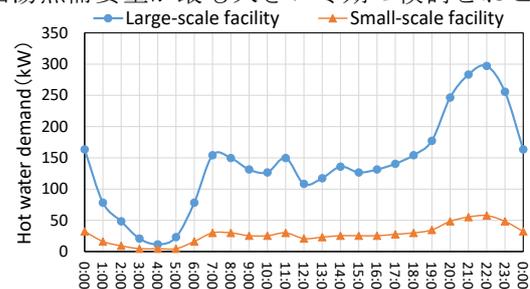


Fig.1 Aging of hot water demand in a day

2. 各システムの概要

本研究では Modelica 言語で記述された一次元動的シミュレーションが可能となるシミュレーションツール「Dymola[®]」を使用する。モデル内の機器は Modelica Buildings Library 内のモデルを使用する。

2.1 熱源水ネットワークシステムの概要

熱源水 NWS は温泉地域において複数の温泉宿を基幹ネットワーク配管(以後「基幹 NW」)で接続し、温泉・排湯と熱交換した熱源水を循環させ各施設に融通し、HP 給湯機の熱源として利用するシステム (Fig.2) である。大規模温泉宿内のシステム (Fig.3) は排湯熱を回収する排湯用熱交換器、水熱源給湯 HP、源泉熱を回収する源泉用熱交換器、施設内配管内の熱源水で上水を予熱する上水加温用熱交換器、基幹 NW と熱授受を行う熱交換器を配管 (以後「施設内配管」) で接続して構成されている。小規模温泉宿内のシステム (Fig.4) は大規模温泉宿内から源泉用熱交換器を除いたシステムである。温泉熱は施設内での利用を優先し、余剰分を基幹 NW に供給することを基本とする。本研究における「施設内配管温度」とは Fig.3 と Fig.4 の T1 とする。システム内の制御については Table 1 に示す。

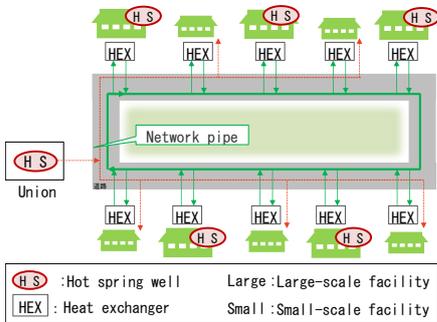


Fig.2 Block introduced heat source water network system

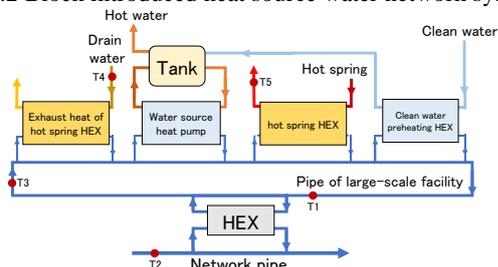


Fig.3 System diagram of large-scale facility

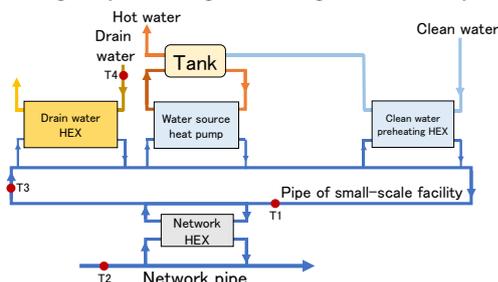


Fig.4 System diagram of small-scale facility

Table 1 List of controlled objects

Controlled objects	Control contents
Network HEX	T1 - T2 > 3 : Start heat exchange T1 - T2 < 1 : Stop heat exchange
Drain water HEX	T3 - T4 > 4 : Start heat exchange T3 - T4 < 2 : Stop heat exchange
Hot spring temperature after passing hot spring HEX	T5 is constantly controlled at 45°C by PID control

2.2 集中型の熱供給システムの概要

このシステムは、複数の温泉施設が建ち並ぶ地域において 1 ケ所(または数ヶ所)に熱源プラントを設け、高温源泉から得られる熱で上水を加熱し、温泉と給湯用温水を供給するシステムである。本システムの各温泉宿では熱源プラントから給湯用温水が供給されるため給湯機を所持しなくても良い。本研究における集中型の熱供給システムでは、プラントから源泉を持たない小規模温泉宿に温泉を供給するとともに、給湯用の 60°C 温水を供給する。本システムでは各宿の給湯熱需要をプラントに設置された HP のみで賄うことができない場合を想定し、プラント内に補助熱源として重油を用いたボイラーを設ける。また、温泉組合のプラント内の源泉は、小規模温泉宿の温泉需要を満たす十分な湯量があるものとする。

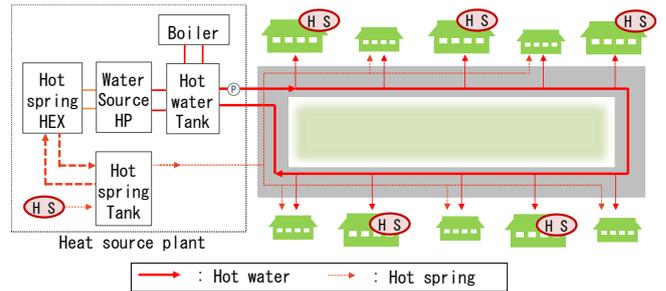


Fig.5 Block introduced heat source water plant system

2.3 個別給湯システムの概要

個別給湯システムはここまで紹介したシステムのような HP による温泉の熱利用は一切せず、各宿の給湯熱需要量をボイラーのみで賄うシステムとする。

Table 2 Rated output of boilers in individual hot water supply system (kW)

Individual hot water supply system	Boiler	Large	300
		Small	60

3. ベースモデルの与条件

康らが行った実測調査²⁾で得た群馬県の実在する大規模温泉宿と小規模温泉宿の源泉流量、温度等を与条件として熱源水 NWS と集中型の熱供給システムのモデルに与えたものを「ベースモデル」とする。前述の実測結果より、決定した与条件を Table 3 に示す。熱源水 NWS のベースモデルでは熱利用する源泉流量は大規模温泉宿一軒当たり 2.7kg/s とする。集中型の熱供給システムでも熱利用する源泉流量を等しくするため、プラントで熱利用する源泉流量を 2.7kg/s×5=13.5kg/s とする。排湯流量はそれぞれの宿

で Fig.6 のような日変動を与える。

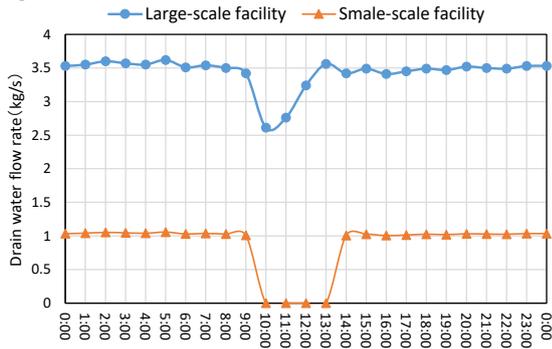


Fig.6 Aging of drain water in a day (Result of actual survey²⁾)

Table 3 Boundary conditions of base model

	Heat source water network system		Heat source plant system
	Large-scale facility	Small-scale facility	
Hot spring temperature	53°C	53°C	53°C
Hot spring flow rate	2.7 kg/s per Large-scale facility 2.7 kg/s × 5 = 13.5 kg/s	—	13.5 kg/s
Drain water temperature	38°C	38°C	38°C
Drain water flow rate	Refer to Fig 8		—
Clean water temperature	10°C	10°C	10°C

Table 4 Rated output of equipment in base model (kW)

Equipment	Type	Rated output (kW)		
		Large ^{※1}	Small ^{※2}	
Heat source water network system	HP	150	30	
	Hot spring HEX	90		
	Drain water HEX	Large ^{※1}	73	21
		Small ^{※2}	26	5
	Clean water preheating HEX	Large ^{※1}	26	5
Heat source water plant system	HP	900		
	Hot spring HEX	452		

※1: Large-scale facility ※2: Small-scale facility

4. 熱源水 NWS ベースモデルのシミュレーション結果

Fig.7 に大規模・小規模温泉宿の施設内配管温度と基幹 NW 温度の 1 日の推移、Fig.8 に 7 時から 9 時までの推移を示す。熱源水 NWS の大規模温泉宿と小規模温泉宿との間の熱授受を確認する。各宿の Fig.9 と Fig.10 に示す熱収支は施設内配管へ入る熱を正の値で示し、施設内配管からの出る熱を負の値で示す。熱収支で示す値は施設内配管に係る各熱交換器の交換熱量と HP の熱源水側交換熱量である。Fig.9 と Fig.10 に示す文字の定義は Table 5 に示す。Fig.8 の時間帯では施設内配管温度と基幹 NW が 40°C 程度まで上昇したため、どちらの宿も 38°C の排湯からの放熱は無かった。また、Fig.9 と Fig.10 より大規模温泉宿は基幹 NW に放熱し、小規模温泉宿は基幹 NW から熱を得ているという関係が確認された。8:30 の時点で小規模温泉宿の施設内配管と基幹 NW 温度の差が 3°C 以上となり、20 分後に小規模温泉宿の施設内配管温度が上昇している。これは Table 1 に示す制御が正しく動作していることを表している。

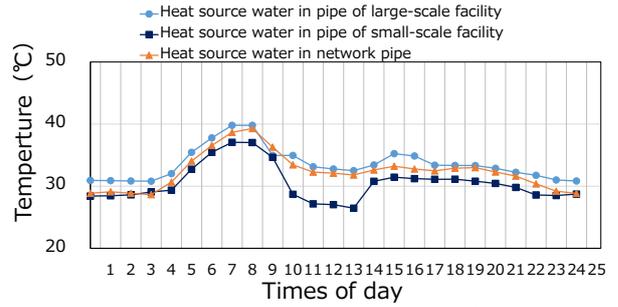


Fig.7 Heat source water temperature in pipe of facilities and network

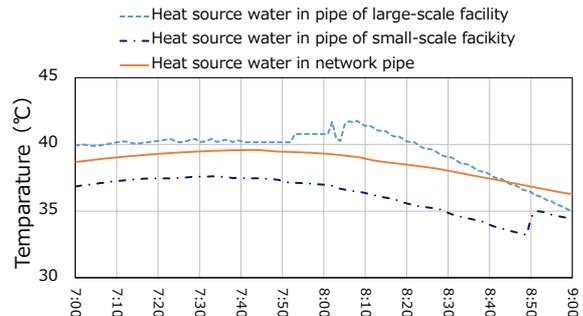


Fig.8 Heat source water temperature in pipe of facilities and network at 7 ~ 9AM

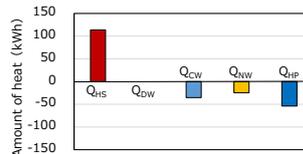


Fig.9 Heat balance in large-scale facility at 7 ~ 9AM

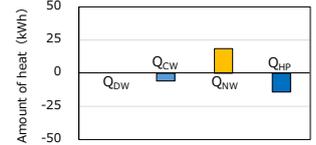


Fig.10 Heat balance in small-scale facility at 7 ~ 9AM

Table 5 Character definition

Q_{HS}	: Amount of heat from hot spring (+)
Q_{DW}	: Amount of heat from drain water (+)
Q_{CW}	: Amount of heat to clean water preheating HEX (-)
Q_{HP}	: Amount of heat to HP (-)
Q_{NW}	: Heat exchange with network
	Amount of heat from network to a facility (+)
	Amount of heat from a facility to network (-)

5. 温泉の利用熱量変えた条件でのシミュレーション

給湯熱需要量に対する温泉熱利用量の比率（以後「温泉熱比」とする）を変えた条件でシミュレーションを行う。目的は以下の 2 点である。

- (目的1) 温泉熱比を変えた条件の熱源水 NWS の PEC、システム COP を比較
- (目的2) 温泉熱比を変えた条件の 3 つのシステムの PEC とシステム COP 比較

$\alpha = Q_H / Q_d$	(1)
α	: Ratio of using amount of hot spring heat to hot water demand
Q_H	: Using amount of hot spring heat (kW)
Q_d	: Hot water demand (kW)

5.1 温泉熱比を変えた条件一覧

温泉熱比（給湯熱需要量に対する温泉熱の比率）を変えた条件の一覧を Table 6 に示す。Table 6 の「HS/D」が温泉熱比の値を表している。条件名は Case①～⑤となっており、各 Case の熱源水 NWS と集中型の熱供給システムの源泉の利用熱量は同じで

ある。Case④がベースモデルとなっている。各 Case で熱利用する排湯と源泉の流量が異なる。Table 6 に示す「Hot spring」は源泉の利用熱量を示し、源泉温度を 53℃、熱利用し終えた源泉温度(源泉基準温度)は 45℃として算出している。源泉流量を決定すると源泉利用熱量が導出できる。各 Case のモデルには源泉基準温度が 45℃となるように制御を設けている。Table 6 に示す「Drain water」は排湯の利用熱量を示し、排湯温度は 38℃、排湯基準温度は 33℃として算出している。排湯流量を決定すると排湯利用熱量が導出できる。また各 Case で温泉熱比を変化させる際に源泉流量と排湯流量の比がベースモデルと同じになるように変化させている。排湯基準温度に制御は設けていないため、熱利用温度差を 5℃と仮定して排湯利用熱量を計算している。ただし、各 Case の施設内配管の温度によって排湯利用熱量は変化するため、シミュレーション結果の排湯利用熱量は異なる。

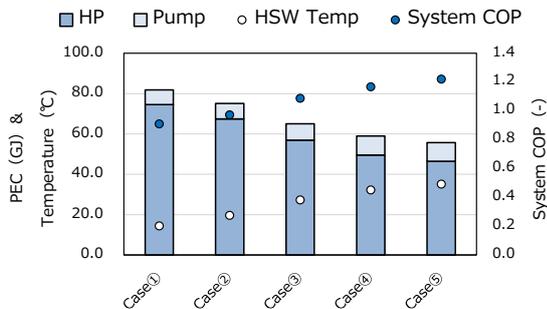
Table 6 Simulation conditions

	Heat source water network system			Heat source water plant system			Hot water demand [GJ/day]
	Hot spring heat [GJ/day]		HS/D※2	Hot spring heat [GJ/day]		HS/D※2	
	Hot spring	Drain water		Hot spring	Drain water		
Case①	5.1	15.8	1/3.5	5.1	-	1/14	71.2
Case②	8.7	18.5	1/3	8.7	-	1/8.2	71.2
Case③	21.7	20.8	1/2	14.5	-	1/5	71.2
Case④	39.1	40.7	1	39.1	-	1/1.8	71.2
Case⑤	57.9	54.5	1.5	57.9	-	1/1.2	71.2

※1: Using amount of hot spring heat
 ※2: Ratio of using amount of hot spring heat to hot water demand

5.2 目的 1 のシミュレーション結果

熱源水 NWS の各条件のシステム COP と PEC のシミュレーション結果を Fig.11 に示す。シミュレーションは年間を通じて給湯負荷の大きい冬期のある 1 日で行った。Fig.11 より、温泉熱比 HS/D の大きさに比例して基幹 NW 温度が上昇し、システム COP が大きくなることが確認された。温泉熱比が 1/3 以下になると施設内配管温度の低下により、システム COP が 1.0 を下回ることがわかった。

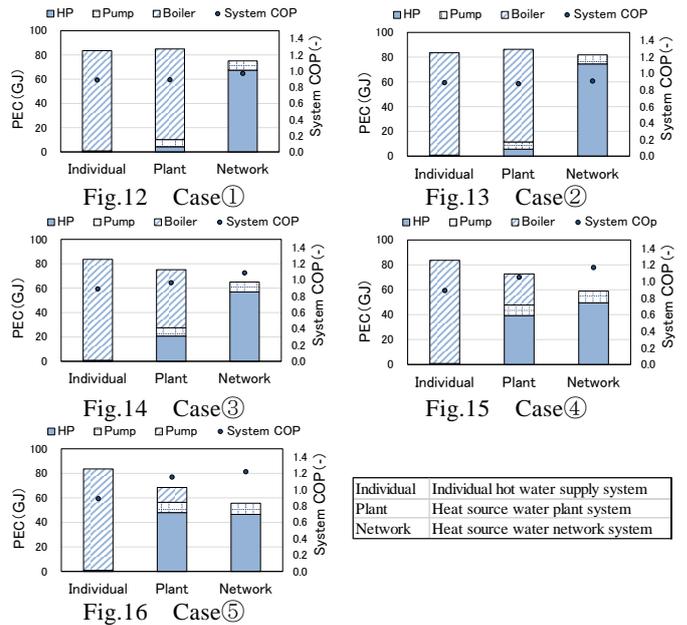


※HSW Temp: Heat source water temperature in pipe of a facility in a day on average
 Fig.11 Aging of System COP and PEC

5.3 目的 2 のシミュレーション結果

Fig.12~Fig.16 より温泉熱比が大きくなるに伴っ

て 2 つのシステムに対する熱源水 NWS の PEC 削減量が高くなることが確認された。これは熱源水ネットワークシステムが集中型の熱供給システムに対して源泉だけでなく、排湯の熱も利用できることに起因する。温泉熱比が最も小さい Case①では熱源水 NWS の PEC の削減量は集中型の熱供給システムに対して 5.2%、個別給湯システムに対しては 2.1%となった。温泉熱比が最も大きい Case⑤では熱源水 NWS の PEC の削減量は集中型の熱供給システムに対して 19%、個別給湯システムに対しては 33.4%となった。



6 本研究のまとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 熱源水 NWS では温泉の熱利用量の増加に伴って各宿の施設内配管温度が上昇し、PEC が削減され、システム COP が増加する。
- (2) 冬期では本研究でシミュレーションした全ての温泉熱比条件において熱源水 NWS は集中型の熱供給システムと個別給湯システムに対して PEC の削減効果がある。

[あとがき]この成果は独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託業務の結果得られたものです。

参考文献

- 1) 都市ガスコージェネレーションの計画・設計と運用
 発行所：公益社団法人 空気調和・衛生工学会 平成 27 年 3 月 25 日(初版第 1 刷発行)
- 2) 康尚義ほか「温泉と排湯を利用した熱源水ネットワークシステムの構築(第 2 報)宿泊施設の温泉・給湯需要および排湯温度に関する実測調査」空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集第 10 巻 2016 年 9 月

空調利用を目的とした帯水層蓄熱の研究

(第4報)夏期・冬期の蓄熱量・流量を平衡させる運用方法の検討

**Study on Aquifer Thermal Storage System for Space Cooling and Heating
(Part4)-Investigation of operation method to balance heat storage and flow rate during summer
and winter-**

○竹口 智也 (大阪市立大学) 西岡 真稔 (大阪市立大学)
鍋島 美奈子 (大阪市立大学) 中尾 正喜 (大阪市立大学)
中曾 康壽 (大阪市立大学)

Tomoya TAKEGUCHI*¹ Masatoshi NISHIOKA*¹ Minako NABESHIMA*¹
Masaki NAKAO*¹ Yasuhisa NAKASO*¹

*¹ Osaka City University

Thermal energy storage air conditioning system utilizing aquifer can contribute to energy conservation by using ground thermal energy and waste heat from buildings. In order to continuously operate the aquifer storage system, it is important to keep the heat storage amount and accumulated water flow rate to the aquifer in equilibrium in summer and winter. In this research, by utilizing the dimensionless temperature, we established a method to decide the control method of the following year that can improve the equilibrium state from the operation record of the previous year.

1. 研究背景・目的**1.1 研究背景**

震災による電力供給不足を背景にエネルギー政策の見直しがされており、省エネルギーの社会の推進、再生可能エネルギー、未利用エネルギーの活用などが重要視されている。また、エネルギーの需要密度の高い大都市域は、その大部分が沖積平野に位置しており、その足元に広がる地下水で満たされた帯水層は熱的な利用価値が高い。そこで、2本の熱源井戸を構築する事で、帯水層を低価格・大容量の蓄熱槽とし、効率的に熱エネルギーを冷暖房の熱源として利用する帯水層蓄熱空調システムに着目し、研究を行う。

1.2 帯水層蓄熱空調システム

帯水層蓄熱空調システムは、地下水を冷暖房の熱源として利用するとともに、冷暖房時に発生する冷温排熱を地下水に与え、地下の帯水層に蓄熱し季節を跨いで利用することにより大幅なCO₂削減、省エネルギー効果が期待できる。また夏期においては、温排熱を地下水に与えることで、大気中に排出しないことからヒートアイランド現象の緩和策としても期待ができる。

1.3 研究目的

これまで2016年には兵庫県高砂製作所内にある井戸を対象に実用を想定した大規模な蓄熱実験を行い、2017年には大阪市うめきた地区において同様に蓄熱

実験を行った。実験の結果、実用を想定した大規模な蓄熱でも70%以上の熱回収率が得られる事を確認した。また、大東⁽¹⁾らはModelica言語を用いたシミュレーションツールを用いて設備側を含めたモデルを構築し、省エネ効果の把握、運転制御、運転スケジュールの確立を行った。これらの事から、帯水層蓄熱空調システムは実用化の段階まで発展してきており、今後の課題としてシステムを持続的に安定して運用していく手法を確立していくことが挙げられる。持続的に蓄熱利用を行うには、帯水層の年間地中蓄熱量と各冷房・暖房期の積算還水流量を平衡させ続ける事が必要となる。この課題に対して本研究では、帯水層への年間熱収支、季節ごとの積算揚水量を予測しつつ、運用制御条件を毎年逐次変更するような運用手法について数値シミュレーションを用いて検討する。前年の運転実績より帯水層の年間地中蓄熱量、各井戸の冷暖房期の積算流量の不均衡を調べ、翌年の運用制御を決定する。つまり、年間サイクルで前年の運用結果を翌年の運用方法にフィードバックする手法である。

2. シミュレーションモデル、運用制御**2.1 帯水層円筒形モデル**

本研究では、伊藤ら⁽²⁾が作成した帯水層円筒形モデルによって、帯水層の温度応答を計算する。帯水層円筒形モデルは、7点の前提条件があり、その中で重要

な点を 2 点示す。Table 1 に帯水層円筒形モデルに設定したパラメータを示す。

- ① 帯水層の広域的な自然地下水流速は 0 m/s とする。
- ② 上下の不透水層への水の浸透はないが、熱伝導による不透水層への熱損失は考慮する。

2.2 建物負荷

本研究では、建物で発生する負荷うち稼働時間の長いベース部分を本システムで処理すると仮定した。そのため、設定した冷凍機の冷却能力 700kW の約 3 倍の負荷が発生する延床面積 24000m² の業務施設を想定した。ベース部分以外の負荷は他の熱源システムで処理する。文献⁽³⁾の負荷原単位を参考に設定した夏期(6月~9月)の冷房負荷を Figure 1 に示す。また暖房負荷(12月~3月)についても、文献を参考に同面積の業務施設で発生する負荷を Figure 2 のように設定した。本検討では、暖房負荷も冷凍機により処理するため、冷凍機の暖房能力である 850kW までを本システムで処理する。本研究では、Figure 1、Figure 2 の月ごとの負荷が毎日繰り返し続くと仮定してシミュレーションを行う。

2.3 運転スケジュール、運転制御

運転スケジュールを Figure 3 に示す。12月~3月を冬期、6月~9月を夏期とし、他は停止期間とする。運転パターンは以下に示す 3 つである。揚水量の上限は 100t/h とし、それを超える場合は還水温度を成り行きとする。

①冬期暖房+冷水蓄熱(Figure 4)

暖房負荷の発生する 12月~3月に、負荷を冷凍機で処理し、地下水を熱源水として利用すると同時に冷排熱を地下水に与え、冷水を蓄熱する運転である。還水揚水温度差一定になるように流量を制御する。

②冬期冷却塔蓄熱(Figure 5)

暖房負荷のない時間帯および冬期夜間の外気温度が低い時、冷却塔を使って冷水を製造し、冷水井戸に地下水を還水する運転である。アプローチ温度は 5℃と設定する。日本の気象条件は一般的に冷房負荷に比べ、暖房負荷は小さいため、負荷のバランスを平衡させる目的の運転である。

③夏期熱源水利用(Figure 6)

冷房負荷の発生する 6月~9月に、冬期の冷水蓄熱分により冷却水を冷却すると同時に温排熱を帯水層に蓄熱する運転である。還水温度一定となるように流量を制御する。

Table 1 Initial condition of aquifer cylindrical model

Parameters		Unit	Input value
Common	Initial ground temperature	[°C]	18.1
	Calculation range	[m]	200
	Porosity	[-]	0.35
	Approximate dispersion length	[m]	0.1
Aquifer	Thickness	[m]	9
	Specific heat	[J/kgK]	3180
	Thermal conductivity	[W/mK]	3.5
Impermeable layer	Thickness	[m]	4
	Thermal conductivity	[W/mK]	1.28
water	Specific heat	[J/kgK]	4180
	Thermal conductivity	[W/mK]	0.59

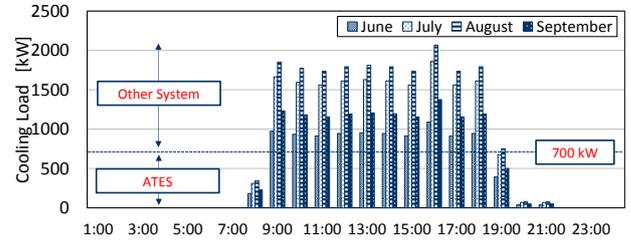


Figure 1 Cooling load in Summer

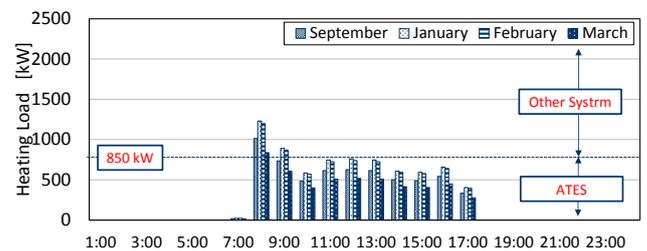


Figure 2 Heating Load in Winter

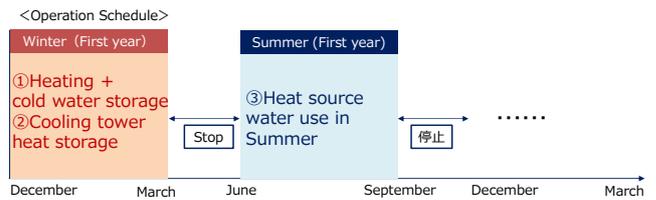


Figure 3 Annual operation

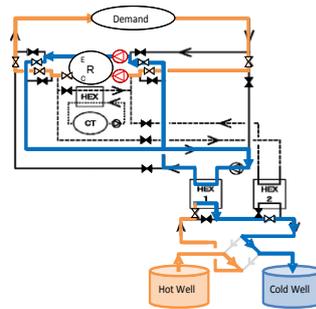


Figure 4 Heating + coldwater storage

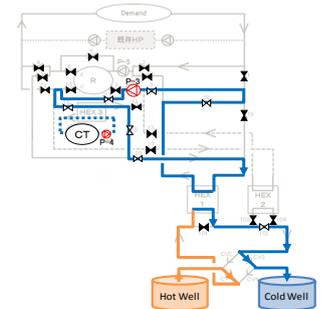


Figure 5 Coolingtower heat storage

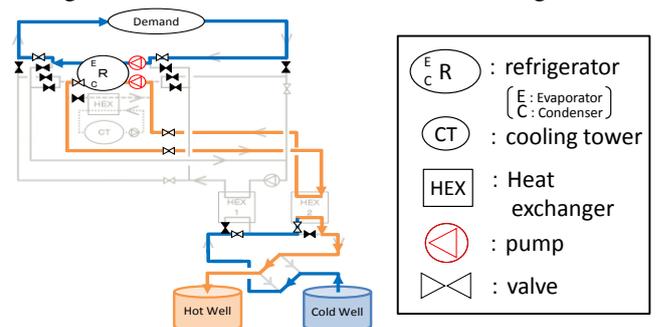


Figure 6 Heat source water use in Summer

2.4 流量を平衡させる運用方法の検討

本研究で与条件とした暖房負荷と冷房負荷は釣り合っており、従って温熱と冷熱の蓄熱量も釣り合わない。そこで温熱蓄熱量の不足分を冷却塔蓄熱により補い平衡させる。一方、積算流量は平衡しないので、翌年度以降に平衡させることにする。以下では、前年の積算流量実績値から翌年の流量の目標値 $Q_{well,w}^n$ と $Q_{well,s}^n$ を決めて、翌年の流量の制御パラメータ (冬期還水温度 $T_{i,cold}^n$ と夏期還水温度 $T_{i,hot}^n$) を決定する手法について検討する。

前提条件として、前年の運転実績から、熱源機の平均 COP、夏期還水温度 $T_{i,hot}$ が分かっているとす。熱交換器 (井戸側) と冷凍機 (負荷側) との熱収支より式(1)、式(2)に整理し、還水揚水温度差 $\Delta T_{well,w}^n$ と $\Delta T_{well,s}^n$ を決定する。同様に、前年の運転実績から式(4)により、無次元揚水温度 T_p' を求める。

ところで、揚水温度 $T_{p,hot}$ 、 $T_{p,cold}$ は揚水が進むにつれて温度が変化し初期地下水温度へ徐々に近づく。また揚水温度は、その前シーズンの還水温度によっても変わる。そこで、既往研究⁽⁴⁾に倣って、式(3)に示す無次元温度 T_p' を用いることとし、その平均値 $\overline{T_p'}$ を期間代表値とする。次に、式(5)と式(7)より、期間平均揚水温度 $\overline{T_{p,hot}}$ 、 $\overline{T_{p,cold}}$ (平均揚水温度) を得て、最終的に、翌年に設定すべき還水温度 $T_{i,cold}^n$ と $T_{i,hot}^n$ が決定される。以上の手順を Figure 9 にまとめる。

期間積算流量を 6 万 t ~ 15 万 t と変えて、還水温度 13°C の固定条件で運転した場合の T_p' を Figure 7 (左図) に、また積算流量を 10 万 t 固定として、還水温度 6°C ~ 23°C で変えた場合の T_p' を Figure 7 (右図) に示す。シミュレーションは地下水流動解析ソフトであ FEFLOW を用いて、Table 2、Table 3 に示す初期条件、地盤モデルで 4 ヶ月 (121 日) の還水揚水を行った。その結果、積算流量による T_p' の変化は僅かであり、また還水温度の影響も無く、前年度の実績をもとに翌年度の還水温度を決定する際に用いるパラメータとしては十分な精度であるといえよう。以上より、本研究では平均無次元揚水温度 $\overline{T_p'}$ を 0.7 とした。

2.5 運用のケーススタディ

前述の運用方法を用いて、前年度の運用結果を用い、翌年度の運用を決定し、流量平衡を実現する事を確認する。1 年目は初期地下水温を揚水するため特殊である事から、2 年目以降の結果に対し平衡状態を維持していく事とする。Table 4 の基本運転条件で 1 年目を運転すると、地中蓄熱量と積算流量は Figure 8 になる。冬期夏期で地中蓄熱量はバランスしたが、積算流量は夏期が冬期に比べ小さくなった。翌年の積算流量を決めるにあたり、①積算流量の大きい冬期に夏期の積算流量を合わせる、②積算流量の少ない夏期に冬期の積

算流量を合わせる、③冬期夏期の平均値で合わせるなどが考えられる。①②の場合、サイクルを重ねるごとに積算流量が冬期夏期共に大きくなり続ける、もしくは小さくなり続ける事が考えられるため、本研究では③冬期と夏期の平均値で合わせる事とし、冬期、夏期共に平均の 83813t にする。その場合、前述の手法を用いて制御パラメータである冬期還水温度 $T_{i,cold}^n$ 、夏期還水温度 $T_{i,hot}^n$ を計算するとそれぞれ 14.9°C、は 22.2°C となった。

Table 2 Initial condition of FEFLOW

Parameters	Unit	Input value
Initial groundwater level	[m]	-1.6
Initial ground temperature	[°C]	18.1
Groundwater flow velocity	[m/year]	0
Dispersion length	[m]	1
Porosity	[-]	0.3

Table 3 Ground model

Depth[m]	Layer thickness[m]	Classification	Permeability coefficient[m/s]	Thermal conductivity[W/mK]	specific heat[J/kgK]
0					
	48.5	Clay layer	1.0×10^{-8}	1.28	3060
-48.5					
	9	Aquifer	5.0×10^{-4}	3.5	3182
-57.5					
	15	Clay layer	1.0×10^{-8}	1.28	3060
-72.5					

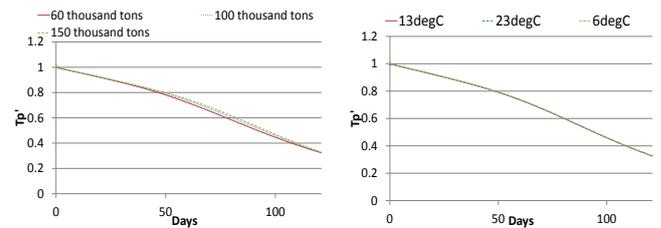


Figure 7 Relation between accumulated flow rate and return water temperature and T_p'

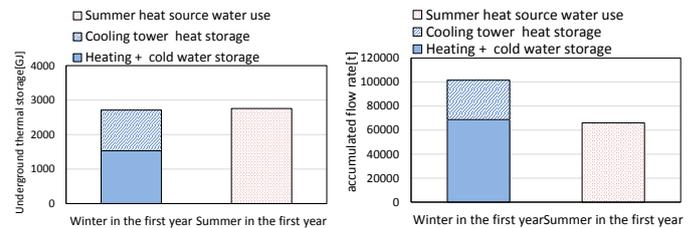


Figure 8 Annual thermal storage and integrated flow rate

Table 4 Basic operating condition

Operation pattern	Control method
Heating + cold water storage	Hot well 18°C → cold well 13°C $\Delta t = 5^\circ\text{C}$
Cooling tower heat storage	Driving at less than 8°C of outdoor air wet bulb temperature
Summer heat source water use	Coldwell 13°C → Hotwell 23°C

$$\Delta T_{well,w}^n = (Demand_w - \frac{Demand_w}{COP_w}) / (c\rho_w Q_{well,w}^n) \quad (1)$$

$$\Delta T_{well,s}^n = (Demand_s + \frac{Demand_s}{COP_s}) / (c\rho_w Q_{well,s}^n) \quad (2)$$

$$T_p' = \frac{(T_p - T_0)}{(T_i - T_0)} \quad (3)$$

$$\overline{T_p'} = \frac{1}{N} \sum_k \frac{T_{p,k} - T_0}{T_{i,k} - T_0} \quad (4)$$

$$\overline{T_{p,hot}} = \overline{T_p'} (T_{i,hot} - T_0) + T_0 \quad (5)$$

$$\overline{T_{i,cold}}^n = \overline{T_{p,hot}} - \Delta T_{well,w} \quad (6)$$

$$\overline{T_{p,cold}} = \overline{T_p'} (\overline{T_{i,cold}} - T_0) + T_0 \quad (7)$$

$$\overline{T_{i,hot}}^n = \overline{T_{p,cold}} + \Delta T_{well,s} \quad (8)$$

ΔT_{well} : Refrigerated pumping water temperature difference (°C),
 Demand: Accumulated period Demand (kW), COP: Average COP, $c\rho_w$: Specific heat of water (J/g · K), Q_{well} : Accumulated period injection water flow rate (t), T_p' : Dimensionless pumping water temperature, T_i : Injection temperature (°C), T_0 : Initial ground temperature (°C), T_p : Pumping temperature (°C), P : Heat source equipment power consumption (kW), $T_{i,hot,last}$: Injection temperature in last summer (°C), $\overline{T_{i,CT}}$: The average temperature during storage of the cooling tower (°C)

Subscript i : injection, p : pumping, w : winter, s : summer, $cold$: cold well, hot : hot well Superscript n : next year

シミュレーションを行った結果を Figure 10 に示す。冬期に対する夏期の積算流量の割合が1年目に-35%であるのに対し、2年目は+3%と不均衡は大きく改善する事が出来た。2年目の冬期積算流量は 77880t、夏期積算流量は 80413t となり、目標とした積算流量 83813t に対し冬期 7%、夏期 4%の誤差であった。2年目冬期の冷却塔蓄熱量が減少している理由として、1年目に初期地下水温である地下水をくみ上げているのに対し、2年目は1年目の夏期に蓄熱された温水をくみ上げている事から、還水揚水温度差が大きくなる事で減少したと考えられる。

3. まとめ

本研究で検討した手法により、数%の誤差はあるものの、前年度の積算流量の不均衡を解消する方向に翌年の積算流量を操作できた。また、本研究では、翌年の積算流量を決定する際、前年の冬期と夏期の積算還水流量の平均値で合わせる事としたが、省エネ効果、井戸間の干渉に関しては考慮していない。よって、積算流量、地中蓄熱量をバランスさせつつ、さらに省エネ効果、井戸間の干渉を考慮し、より省エネとなる翌年の制御を決定していく手を検討していく事が今後の課題となる。

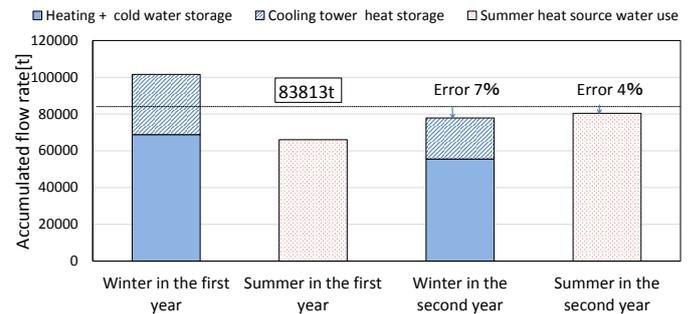


Figure 10 Accumulated flow rate in each period

【謝辞】

本研究は、環境省の平成 28 年度 CO2 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「帯水層蓄熱のための低コスト高性能熱源井とヒートポンプのシステム化に関する技術開発」の一環で行ったものであり、研究を行うにあたり協力賜った皆さまに感謝の意を表します。

【参考文献】

- (1)大東ら:空調利用を目的とした帯水層蓄熱の研究 (第3報) 季節間蓄熱における冬期冷却塔蓄熱と夏期冷水予冷の検討, 空気調和衛生工学会論文集,2018年3月
- (2)伊藤ら:帯水層を利用した昼夜間蓄熱システムの研究 - 帯水層の温度応答を予測する集中定数モデルの構築 -, 空気調和・衛生工学会近畿支部発表論文集,2011年,3月
- (3)社) 空気調和・衛生工学会, CGS 設計に関する研究
- (4)Christine doughty, Goran hellstrom, and chin fu tsang : A Dimensionless Parameter Approach to the Thermal Behavior of an Aquifer Thermal Energy Storage System. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 18, NO.3, PAGES 571-587, JUNE 1982

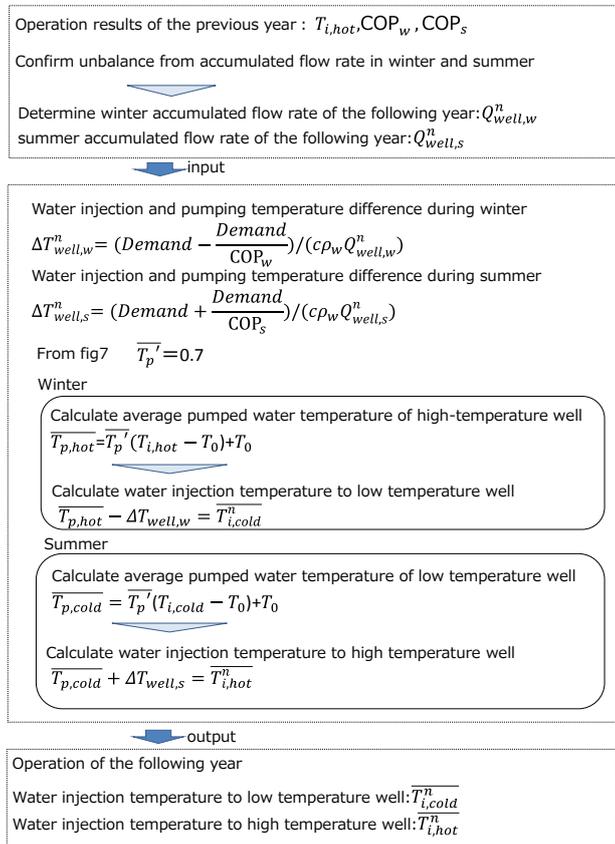


Figure 9 Procedure of prediction method

既存大学における効果的な自然換気手法に関する研究 Study on Effective Natural Ventilation Method in University Campus

○西村 峻 (摂南大学) 大橋 巧 (摂南大学)

Ryo NISHIMURA*¹ Takumi OHASHI*¹

*¹ Setsunan University

Natural ventilation is an effective method for reducing energy. However, it is unknown whether Setsunan University has proper operation of natural ventilation. This research investigates how natural ventilation is performed and evaluates it from the viewpoint of PMV. Furthermore, simulation was performed to investigate whether PMV is improved by changing the aperture ratio. As a result, it became clear that PMV is improved by optimizing operation. Since the air conditioning system of the target facility is a central heat source system, the stoppage period of the air conditioner must be uniform and it turned out that 19~26 °C is appropriate.

1. はじめに

自然換気は空調エネルギーを削減するうえで、有効な手法の一つであり、最新のオフィスビルでも活用する事例が増えつつある。常翔学園摂南大学寝屋川キャンパスでも中間期は熱源を停止し、窓や扉を開閉する自然換気の運用がなされているが、現状では一律の空調停止期間を定めるなど、快適性の観点から適切な自然換気がなされているか不明である。

そこで本研究では、摂南大学 12 号館を対象として、自然換気の運用状況を調査し、シミュレーションにより PMV の観点から適切な運用がなされているか評価した上で、最適な運用方法を明らかにすることを目的とする。また、現状の空調期間を延長短縮の可能性があるか検討する。

2. 研究対象施設

本研究では摂南大学理工学部住環境デザイン学科が利用する 12 号館を対象とする。12 号館は地上 7 階建、1993 年 3 月 10 日竣工で、築後 25 年が経過した建物である。

Fig. 1 に寝屋川キャンパスの配置図、下記に 12 号館の建物構成を示す。平面上の長辺は南北に面しているが、主軸は時計回りに約 30 度傾いた方角となっている。5~7 階は、主に住環境デザイン学科が使用している。

- ・ 1 階 実験室, 熱源機械室, 電気室
- ・ 2 階~4 階 講義室
- ・ 5 階 製図室, デザイン工房
- ・ 6 階~7 階 研究室, 教授室

本研究では、窓がない 1 階は研究対象から除外した。2~4 階に関しては、講義室を代表して 3 階の 1233 教室を対象にシミュレーションを実施した。7 階は在室率が高

い研究室や教授室があるが、南面と北面の違いによる PMV 変化を評価するため、南側に面する准教授室と北側に面する研究室を研究対象として設定した。3 階および 7 階の平面図を、Fig. 2, 3 に示す。

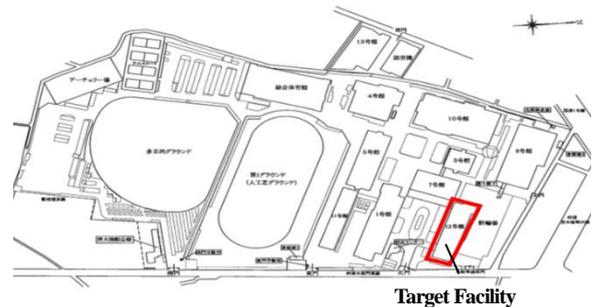


Fig.1 Plot Plan of Setsunan University

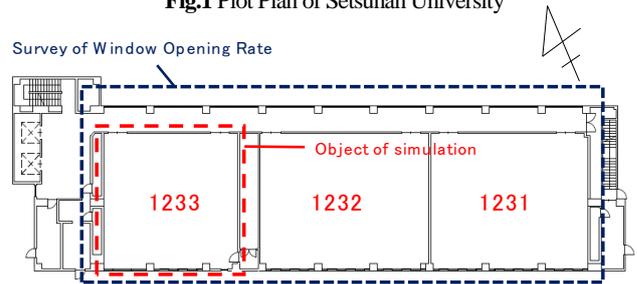


Fig.2 3rd Floor Plan

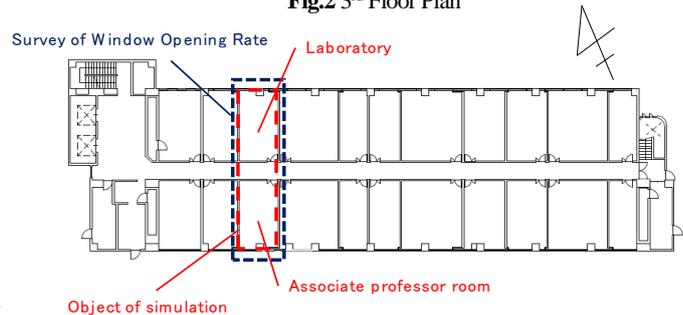


Fig.3 7th Floor Plan

3. 現状の自然換気運用調査

3.1 12号館の空調・熱源停止期間

寝屋川キャンパスでは、省エネルギー化を目的に、主として中間期に一齐空調停止期間が設定されている。なお12号館の空調はガス式の中央熱源方式が採用されているが、試運転および残寒・残暑時の急な空調運転要請に対応できるよう、熱源の停止期間は一齐空調停止期間よりも若干短く設定されている。Fig. 4に2017年の空調および熱源停止期間を示す。1月1日～4日、8月11日～19日、12月28日～31日は講義が行われていないため、評価の対象外とする。

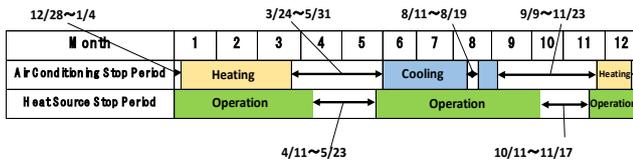


Fig.4 Air Conditioning and Heat Source Stopping Period

3.2 窓・扉の開閉率調査

現状の自然換気の運用状況を確認するため、2018年10月11日(木)～17日(水)の平日5日間において、各室の窓および扉の開閉率を調査した。調査は目視で行い、窓は外部から(Fig. 5)、廊下側の扉は各階を巡回して調査した。調査は講義時間中に行い、各時限の講義開始後30分後とした。

Fig. 6, 7に3階の3講義室、および7階の准教授室と研究室の1週間の開閉率を平均化した結果を示す。なお開閉率は、窓および扉を全て開とした場合に対する面積比を表す。1233教室は開閉率が高く自然換気が盛んに行われていると考え、後に行うシミュレーションの代表室とした。なお、1233教室で最も開閉率が高かったのは4限で、その平均値は窓：36%、扉：50%であった。7階については、日射の当たりにくい北側に面する研究室は南側の准教授室に比べ開閉率が低い傾向が見られた。開閉率が最も高かった時間は3限の准教授室で窓：40%、扉：30%であった。



Fig.5 Survey of Window Opening Rate (Left; North, Right; South)

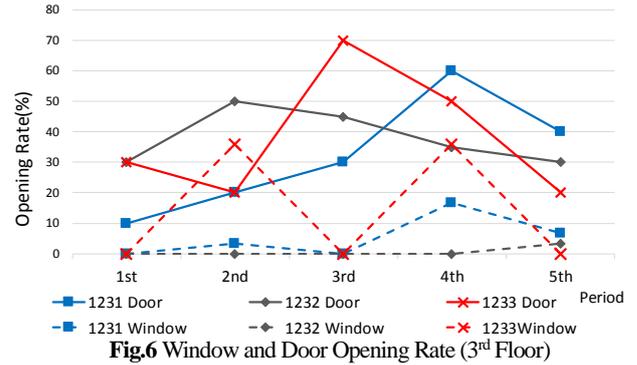


Fig.6 Window and Door Opening Rate (3rd Floor)

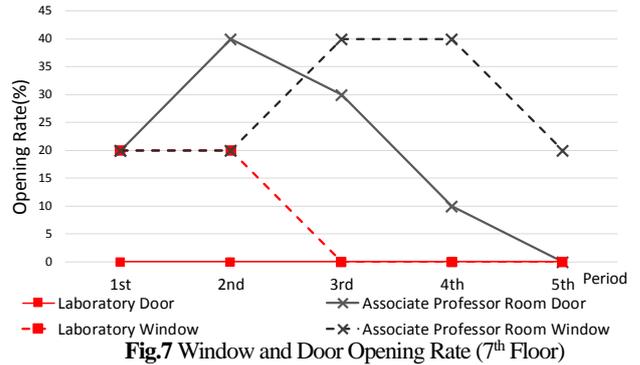


Fig.7 Window and Door Opening Rate (7th Floor)

3.3 自然換気時の室温実測調査

自然換気時の実際の室温変化を確認するため、南面と北面で顕著な温度差があると推察された7階の准教授室と研究室において、実測調査を行った。実測は中間期の2日間(10月18日、22日)の各9時～18時で行い、事前に設定した開閉率で窓および扉を開閉させ、室温の変化をみた。室温は部屋の中央部とし、計測にはおんどとり(TR-72Ui)を使用した。1日目は両室とも終日、窓の開閉率100%、扉の開閉率50%とし、2日目は1～2時間ごとに開閉率を変化させた。

Fig. 8, 9に2日間の実測結果を示す。なお図内の外気温は気象庁「大阪府大阪市」地点¹⁾の温度を示す。

1日目(開閉率一定)の実測結果(Fig. 8)から、北面と南面では平均して3.0℃、最大3.7℃もの室温の差が確認でき、日射の有無が室温に大きな影響を及ぼしていると推察される。また北面の研究室の室温は、午前中は外気温とあまり差がないが、午後は2室とも外気温より高くなっており、躯体や家具等による蓄熱の影響が考えられる。

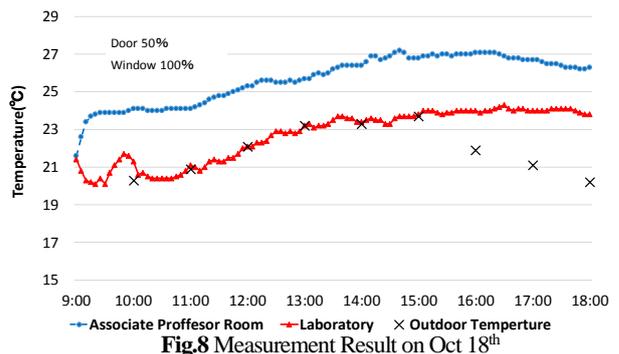


Fig.8 Measurement Result on Oct 18th

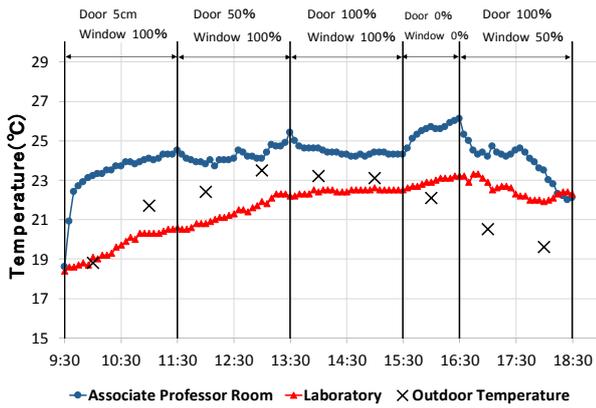


Fig.9 Measurement Result on Oct 22th

2日目(開口率変化あり)の実測結果 (Fig. 9) より、午前中は開口率を徐々に大きくしているが、開口率が上がるタイミングで特に准教授室の温度上昇が抑制できており、自然換気の有効性が確認できる。また 15:30~16:30 では窓・扉とも全閉としているが、この時間帯は室温が上昇しており、日射が当たる南面の准教授室で顕著である。その後、再び開口率を上げると、温度上昇が緩和されている。

4. シミュレーションによる自然換気運用評価

4.1 シミュレーション概要および入力条件

本研究ではシミュレーションツール BEST 専門版を用いて各種の評価を行った。Table. 1 に主な入力条件を示す。

Table.1 Simulation Condition

Human Schedule, Conditions	AM9:00~PM6:00 Population Density 0.3[Number of Persons/m ²] Metabolic Rate 1.2met Amount of Clothing (Summer) 0.6clo (Winter) 1.0clo
Equipment Conditions	3rd floor : 0.0 [W/m ²] , 7th floor : 0.4 [W/m ²]
Lighting Schedule, Conditions	AM9:00~PM7:00 12.7[W/m ²]
Skin Material Conditions	Outer Wall : No Insulators Roof : Urethane Foam 30mm
Window Conditions	Single Flat Glass 6mm
Opening Rate	100% Door 100% Window 100%
	0% Door 0% Window 0%
	Present Situation 3rd Floor Door50% Window 36%
	Present Situation 7th Floor Door 30% Window 40%

4.2 シミュレーション結果

Fig. 10~12 に 1233 教室, 研究室, 准教授室のシミュレーション結果を示す。各図とも中間期(空調停止期)の平日 10 時~18 時における 1 時間ごとの外気温と PMV の関係を示している。

各室とも、外気温が上がるにつれ PMV も上昇し、開口率が高いほど PMV が低くなる傾向が確認できる。現状の開口率では、ISO-7730 で快適域として推奨される $-0.5 < PMV < +0.5$ に収まる時間は 1233 教室で 35.0%, 研究室で 28.2%, 准教授室で 36.1%, $-1.0 < PMV < +1.0$ に収まる時間は 1233 教室で 63.0%, 研究室で 52.3%, 准教授室で 62.0%の値に留まっている。

室ごとの違いに着目すると、1233 教室と准教授室は、

研究室に比べて同じ外気温でも PMV の幅が広がっているが、この要因としては、1233 教室は開口面積が相対的に大きいこと、准教授室および 1233 教室は南面に面し、日射の有無による室温変動の影響を受けやすいことなどが考えられる。

方位以外の条件が全く同じである研究室と准教授室とを比較すると、特に外気温が低い時間において、北側に面し外壁面に日射が当たらない研究室は、開口率の多寡に関わらず、寒く不快な域に達する割合が高いことが確認できる。

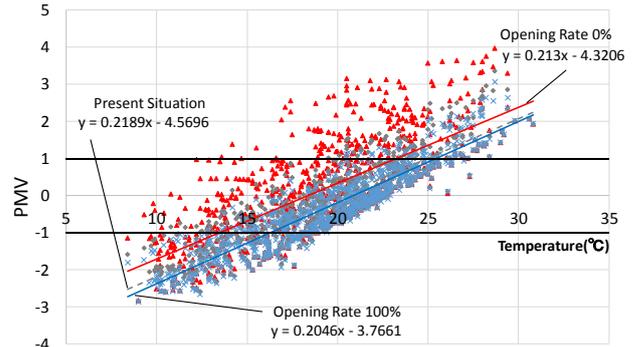


Fig.10 Relation between PMV and Outdoor Temperature (1233 Lecture Room)

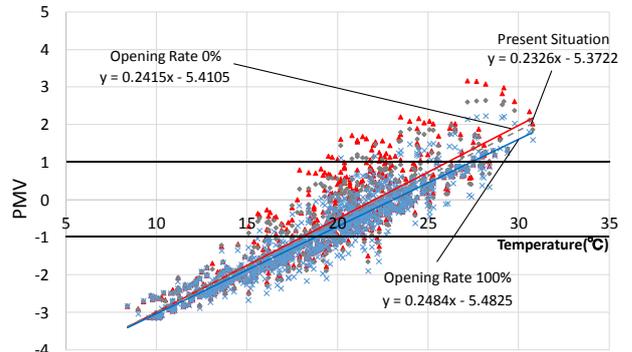


Fig.11 Relation between PMV and Outdoor Temperature (7th Floor Laboratory)

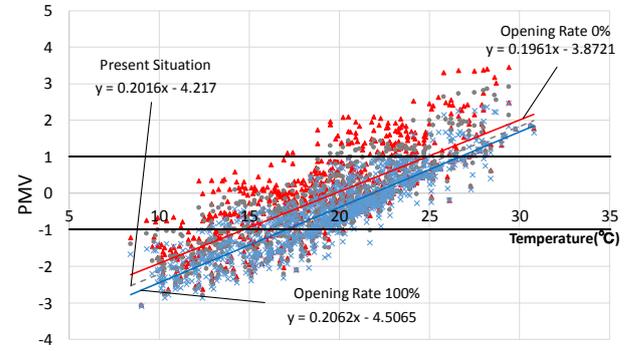


Fig.12 Relation between PMV and Outdoor Temperature (7th Floor Associate Professor Room)

次に、Fig. 13~15 では、各室において、外気温 1 度ごとに $-1.0 < PMV < +1.0$ の範囲に収まる確率を求めた。ここ

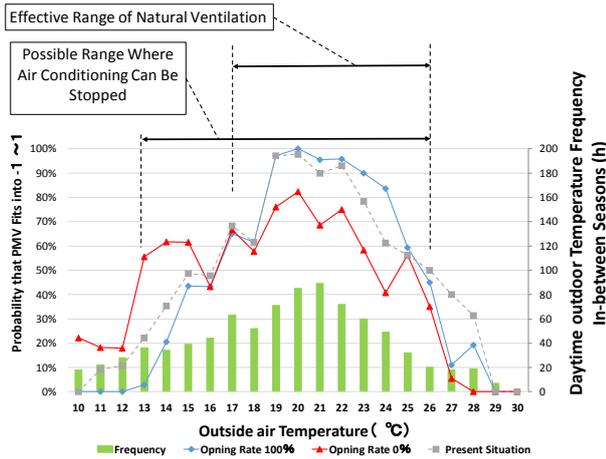


Fig.13 Probability of Comfortable Range (1233 Lecture Room)

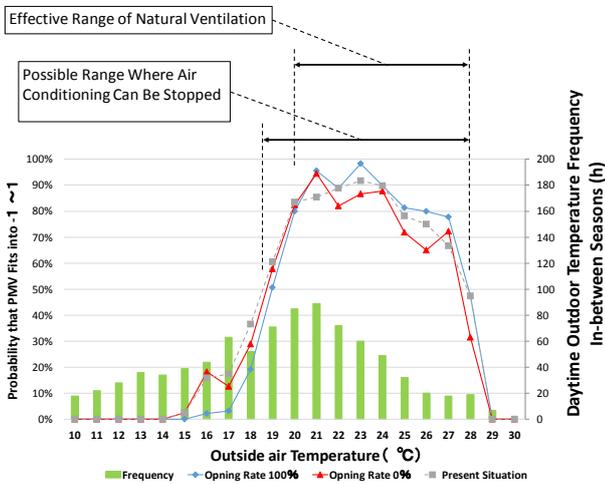


Fig.14 Probability of Comfortable Range (7th Floor Laboratory)

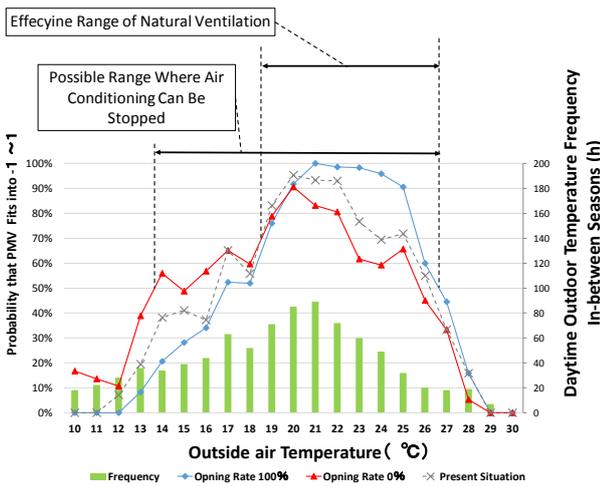


Fig.15 Probability of Comfortable Range (7th Floor Associate Professor Room)

で、開口率 0%より現状の開口率もしくは開口率 100%の方がこの確率が高くなる温度帯は、窓や扉を開けることで PMV が改善されることから、自然換気が有効に働く温度帯であると考えられる。また、開口率を調整することで、この快適範囲に収まる確率が 50%以上ある時、空調

停止が可能であると見なし、その範囲を図示した。

日射の当たる 1233 教室および准教授室の結果から、特に外気温が低い場合においては、窓や扉を閉じた方が、PMV が改善される傾向がみられ、開口率をうまくコントロールすることで、空調停止期間が広がる可能性が示唆される。一方、北面に位置する研究室では、開口率を変化させても、他の 2 室に比べて快適性にさほど影響を与えないことがわかる。

Fig. 16 には、Fig13~15 に示した自然換気が有効な外気温の範囲、および空調停止が可能な外気温の範囲を室別に示した。室ごとにその範囲に差異があることが確認できる。なお、12 号館は中央熱源方式のため空調停止期間は棟全体で一律の期間を設定する必要があるが、図に示すとおり 19℃~26℃とすることが妥当であると考えられる。

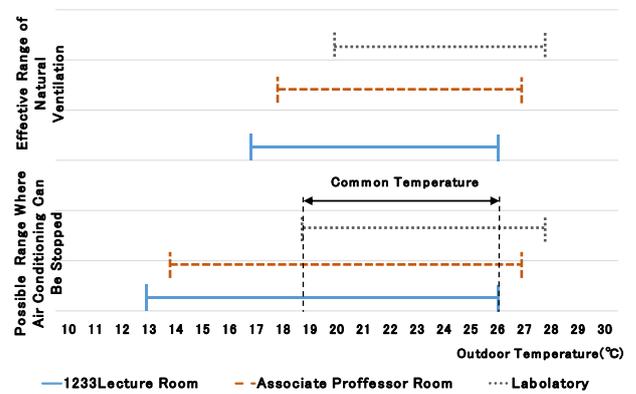


Fig.16 Summary of Simulation Results

5. まとめ

摂南大学 12 号館を対象として、自然換気の運用状況を調査し、シミュレーションにより PMV の観点から各種の評価を行った。得られた主な知見を以下に示す。

- ・実測調査の結果、自然換気時、同じ開口率でも北面と南面の室では最大 3.7℃の差が生じる。また開口率の変化は、特に日射の当たる南面の室において室温に大きな影響を与える。
- ・外気温が低い時間帯においては、窓や扉を閉じた方が、PMV が改善される傾向がみられ、開口率をうまくコントロールすることで、空調停止期間が広がる可能性が示唆される。
- ・室によって、自然換気が有効な外気温や、空調の停止が可能な外気温に差があるが、中央熱源方式となる 12 号館における一斉空調停止は、外気温が 19℃~26℃程度の範囲が妥当であることを確認した。

参考文献

1) 国土交通省, 気象庁 WEB サイト,
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
 (2018. 10 閲覧)

CFD 解析による冬期事務所室内の上下温度差を緩和する空調制御手法に関する研究 (第 1 報) 天井・床吹出し空調の併用効果の評価

Study on HVAC system to mitigate vertical difference of air temperature in an office building during winter season using CFD analysis-

Evaluation on effects of hybrid use of air supplies from both the under floor and the ceilings-

小笠原 碧 (奈良女子大学) 吉田 伸治 (奈良女子大学)

Midori OGASAWARA*¹ Shinji YOSHIDA*¹

*¹Nara Women`s University

In the interior space of winter, a vertical difference of air temperature is generated due to downward airflow generated at the window surface and heating. Although under floor air supply HVAC system is attracted as a countermeasure to this problem, the air volume increases and more energy is required. Hence, we investigated the hybrid HVAC system combined with upper ceiling and under floor air supply systems using CFD analysis software. In the present analysis, we investigated four computational cases in which the allocation rate of air supply from the upper ceiling and the under floor was changed. Through the examination, it was clarified that the system only using the hybrid system can mitigate both the vertical difference of air temperature and the energy consumption.

1. はじめに

冬期の室内では、窓からの冷気の侵入によるコールドドラフト、暖房時に天井に設けられた吹出し口から放出された高温暖気での室内上部での対流に伴う上下温度差が発生しやすい。また天井から暖気を吹き出す際、吹き出した暖気が居住域に到達せず吸込み口に吸い込まれるショートサーキットが起こる。この問題を減らす暖房の手段として、床吹出し空調があげられる。しかし床吹出し空調にすると風量が増加し、その動力として天井吹出しより多くのエネルギーが必要になる。そこで天井吹出し空調のみ、床吹出し空調のみのケースに加え、床吹出し空調と

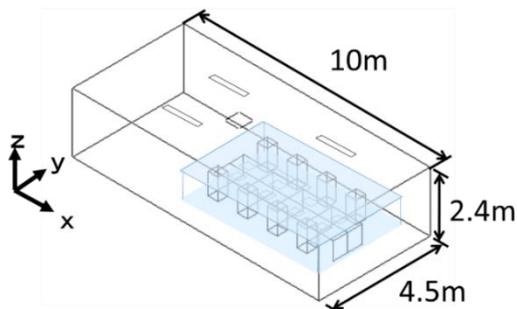
天井吹出し空調の併用 (ハイブリット空調) の場合も検討し、上下温度差緩和と風量削減が両立可能か明らかにするため解析を行う。

2. 解析概要

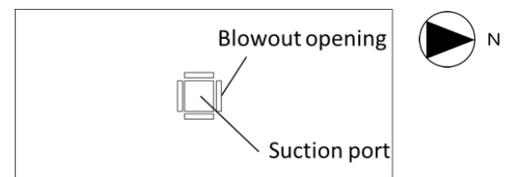
本解析では、オフィス空間を想定したモデルを用いて、天井吹出し空調、床吹出し空調、両方のハイブリット空調を用いた場合のそれぞれの室内温熱環境を分析する。

2.1 解析対象

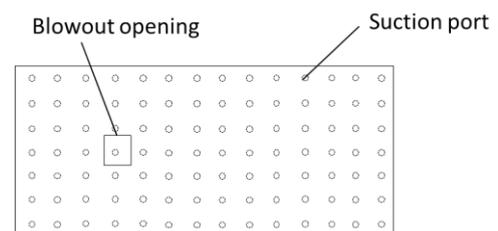
本解析では、事務所ビル中間階のペリメータゾーン近傍の作業空間をモデル化した。図 1 に解析モデルを示す。



(a) Analysis model axonometry



(b) Ceiling cassette air conditioning layout



(c) Floor blowing air conditioning layout

Fig.1 Analysis model

天井吹き出し空調を用いるケース(case1, 2, 4)は4方向天井カセット空調を1台、床吹き出し空調を用いるケース(case3, 4)では吹き出し口1つ当たりの有効開口面積を0.0097 m²とし、112個配置した。尚、床吹き出し空調の吹き出し口は本来、円形状であるが、本解析では、直交格子を採用しており、メッシュ数削減のため、正方形として作成した。南面は外気と接しており、空間内には、人、机、PCを各々設置した。

2.2 解析ケース

解析ケースを表1に示す。本解析では、4つの解析ケースを設ける。case1は天カセのみの基本ケースとする。case2はcase1の吹き出し温度より5℃下げ、風量を増やした場合である。case3は床吹き出し空調を用いる場合である。case4は天カセと床吹き出し空調のハイブリット空調とし、投入熱量の配分を1:1とする。全てのケースにおいて吹き出し空気温度、風量は、暖房設定室温を23℃とするために室内に供給する必要のある熱量を最大熱負荷

計算に基づく算出結果より設定した。

2.3 解析条件

解析条件をまとめて表2に示す。Xmax面、Ymin面、Ymax面を対称境界とする。解析条件の詳細は表2に示す。外気温は3℃、外気側の壁の熱貫流率は3W/m²・Kと

Table.1 Analysis cases

	Ratio of air supply		Total air volume(m ³ /h)	Blowout temperature(°C)	
	upper ceiling	under floor			
case1	100%	0%	176.8	33	
case2	100%	0%	353.6	28	
case3	0%	100%	884.016 (7.893 × 112/pieces)	25	
case4	50%	50%	673.44 (Ceiling 192.4/Floor 4.295 × 112/pieces)	28	25

Table.2 Analysis conditions

code		STREAM V14	
Analysis area		10 × 4.5 × 2.4m	
Total Number of Cells		376992=154(x) × 72(y) × 34(z)	
Turbulent model		Standard k-ε model	
Boundary condition	Inlet	Flow regulation	
	Outlet	Flow regulation	
	Walls	wall:no slip symmetry/free slip	
	heat	Xmin:3°C Other:adiabatic condition	
heat generation	human	71W/person × 8person	
	light	20W/m ²	
	PC	15W/m ²	

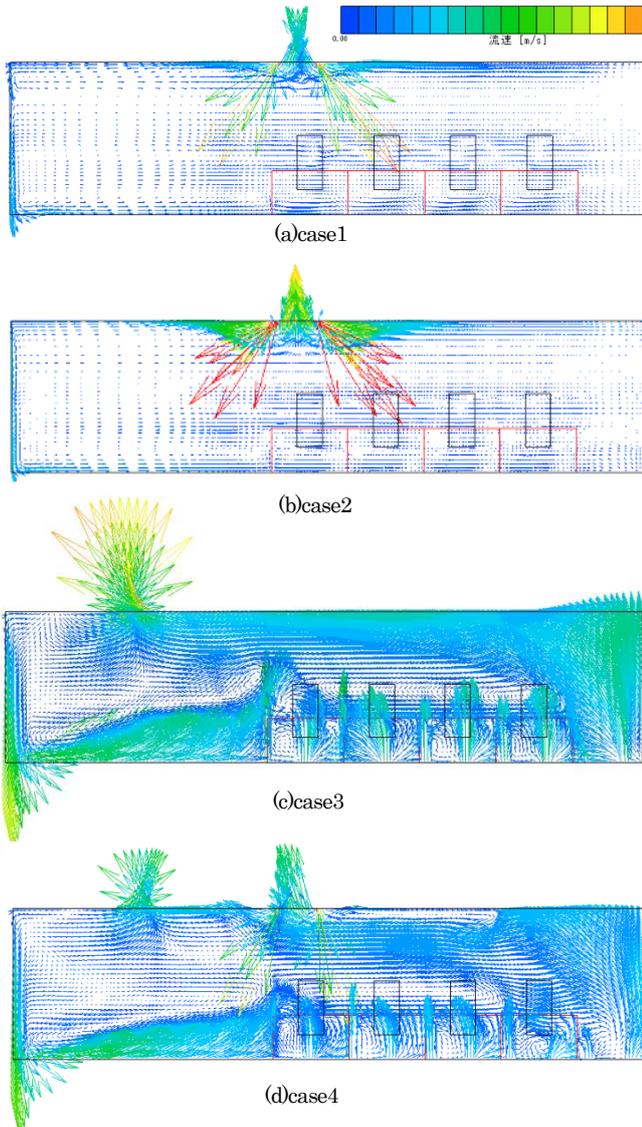


Fig.2

Distribution of wind velocity vector in vertical section (Y=2.25m)

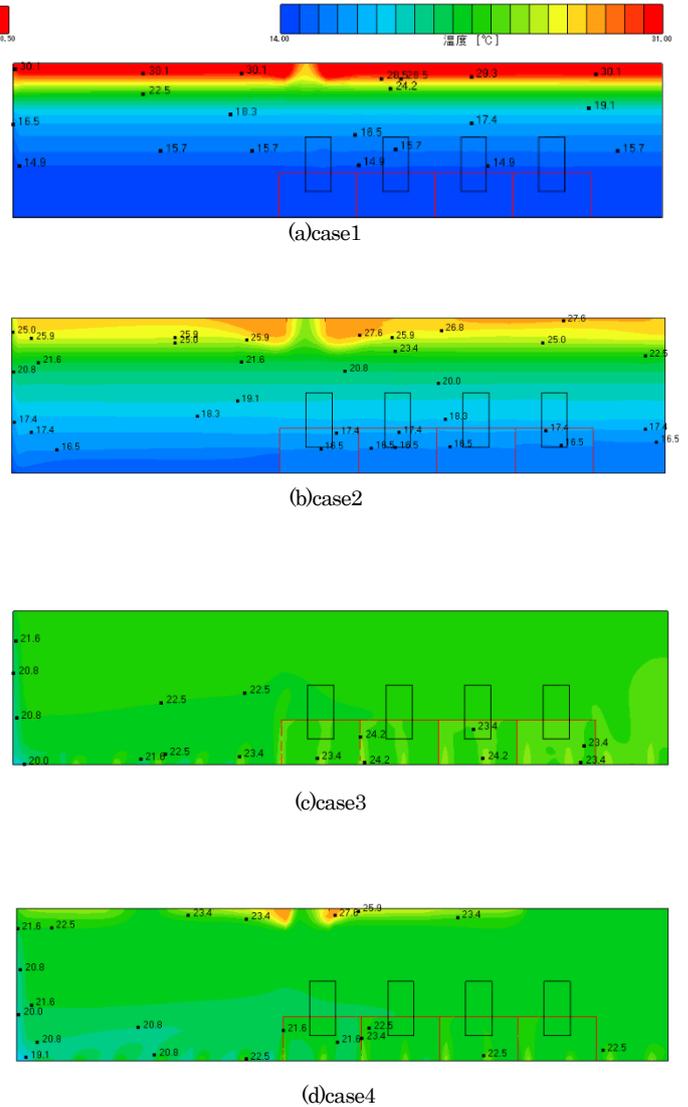


Fig.3

Distribution of air temperature in the vertical section (Y=2.25m)

し、日射は考慮していない。乱流モデルは標準 $k-\epsilon$ モデルを採用した。

3. 解析結果

3.1 風速ベクトル分布

図2に解析領域中央を長手方向に切断した鉛直断面における風速ベクトル分布の比較を示す。天カセのみのケース(case1、case2)と床吹出し空調を用いたケース(case3、case4)を比較する。天カセのみのケースは、吹き出し口から斜め下方向と、横方向に流れている。天井付近以外の風速は小さく、部屋全体の空気の循環は見られない。これらに対し床吹出し空調を用いたケースでは、空間全体で反時計回りに循環流が生じる。外壁に沿って下降気流が生じており、床吹き出し口からの流れもその影響を受け、室奥へと流れる。また、室奥側(対称境界の X_{max} 面付近)で上昇気流が生じており、ペリメータ天井付近に設けられた吸込み口に向かう流れが生じる。天カセのみのケースにおいて、下降気流は足元温度を下げる原因となるが、床吹出し空調を用いたケースにおいては、室内全体の空気の循環を促す効果があると言える。case3、case4は形成される流れ場の傾向は近いが、case4は天カセの吹き出しと吸込み口があるため、 X_{max} 面から床吹き吸込み口へ向かう流れが少し手前で途切れている。

3.2 温度分布

図3に図2と同じ切断面における温度分布のケースごとの比較を示す。天カセのみのケース(case1、case2)は温度成層が形成されている。吹き出し空気が高温・低風量のcase1は、天面付近は約 30°C まで温まっているが、人がいる範囲(高さ $0\text{ cm} \sim 125\text{ cm}$)では $14 \sim 17^{\circ}\text{C}$ ほどであり、暖房の効果がほぼ現れていない。吹き出し温度低温・大風量のcase2も、人がいる範囲は 20°C 以下であり、暖房効果は不十分である。case3、case4は上下温度差の小さいほぼ均一な分布となっており、特にcase3は人がいる範囲においても目標温度の 23°C をほぼ満たしている。case4は床吹出し空調の風量がcase3より少ないため、外壁側や人がいる範囲の温度がcase3よりわずかに低い。温度分布からは、case3が最も均一で目標温度にも近い結果となった。

3.3 流線

図4に各ケースの吹き出し口からの流線図を示す。case1、case2の流線図を見ると、天カセからの吹き出し空気はほぼ天井付近でしか流れていない。天井に沿った外壁側への流れは壁に沿って温度を下げながら下降する。このような吹き出し空気の動きが、天井付近は高温・床付近は低温の様な温度分布を形成する原因となると考えられる。case3の流線図では床からの吹き出し空

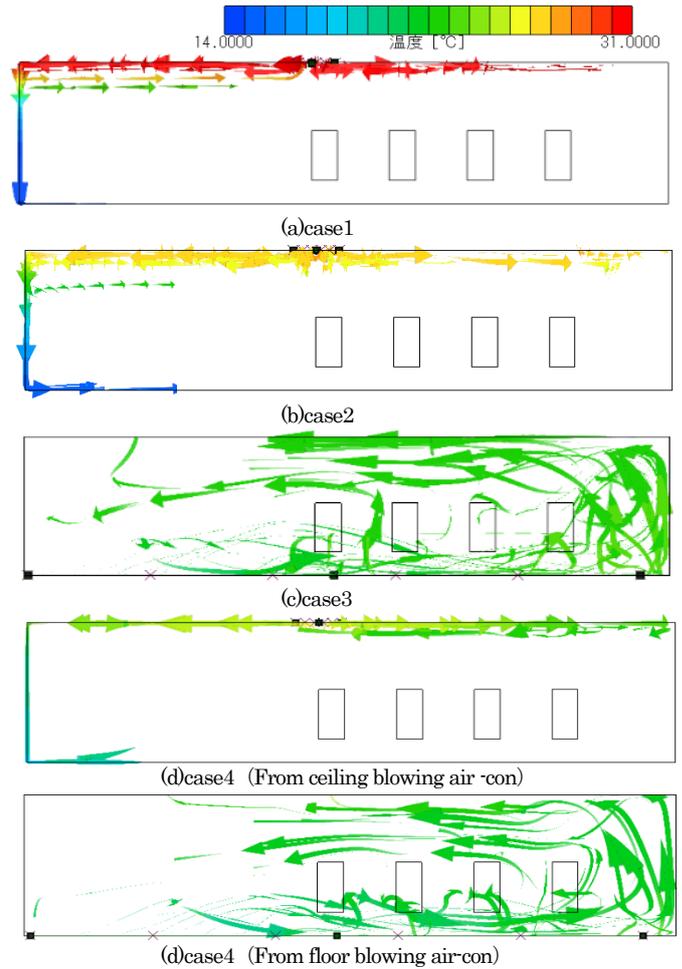


Fig.4 Distributions of streamlines in the vertical section

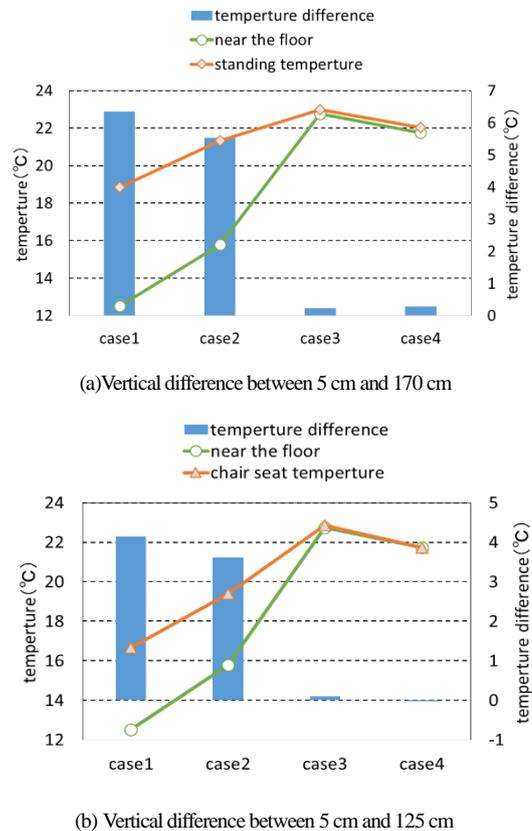


Fig.5 Comparison of vertical difference of air temperature

気が室内全体を反時計回りに流れている。case4の流線図は天カセからと床吹きからの流れを各々示した。天カセからの流れはcase1、case2と同様に天井付近に偏っているが、床吹き出しの流れによって室内全体の空気が循環し、図3(d)の様な均一に近い温度分布になったと考えられる。

3.4 人近傍の上下温度差

図5に人近傍の上下温度差を5cmと170cm、5cmと125cmの高さの温度と温度差をケースごとに比較したグラフを示す。170cmは立位の人頭付近、125cmは立位の人頭付近を想定している。左の軸はその高さの温度の値を示し、右の軸は温度差の値を示している。5cm・125cm・170cmの温度はタスク域の範囲(図1)において、それぞれ0~5cm、120~125cm、165~170cmと5cmの厚みをとった範囲の体積平均温度を用いている。図5(a)から、case1、case2は立位における上下温度差が約6℃、case3、case4は約0.2℃である。図5(b)から、case1、case2は椅子座における上下温度差が約4℃、case3、case4はほぼ差がない。ISO-7730では0.1mと1.1mの温度差が3℃以内、ASHRAE55では0.1mと1.7mの温度差が3℃以内になることを推奨しており、case1、case2はそれらを満たしていないが、case3、case4は満たしている。また天カセのみのケースはタスク域まで暖房の効果が届き難く、上下温度差も生じる。case3、case4の平均温度が約22℃であるのに対して、case1は床付近が約13℃、椅子座頭部は約17℃、立位頭部は約18℃であり、人がいる高さの平均温度自体が低い。床吹き出し空調を用いる場合は、タスク域において目標温度23℃に近くなり、上下温度差もほぼ生じない結果となった。

3.5 快適範囲との比較

図6に室温と足元温度の関係における快適範囲のグラフを示す。グラフの直線より上、黄色の範囲に収まっていれば快適に感じる可能性が高い。このグラフは文献4において本学内人工気候室における足元温度と室温の違いにおける快適感についての実験をもとに作成されたものである。今回の解析のcase1~case4における、タスク域0~5cmと120~125cmの体積平均温度を、それぞれ足元温度、室温として結果をプロットした。case1、case2は足元温度、室温ともに低く、快適範囲には含まれず離れた位置にプロットされた。case3は快適範囲内に含まれ、case4は範囲内には含まれなかったものの、快適範囲に非常に近い結果であった。

この結果から、case3が最も快適な可能性が高く、case1、case2は快適とは言い難いことが分かった。

4.まとめ

冬期の室内上下温度差を緩和する空調制御手法の提案を目的としてCFD解析を行った。本解析により得られた

知見を以下に示す。

1) 天カセのみで空調制御を行った場合、吹き出し空気が天井面に沿って流れ室内上部に偏って空気が循環するため、天井付近の温度が高くなり、足元温度との差が大きくなる。

2) 床吹き出し空調を用いる場合、下降気流は室内全体の空気の循環を促す原因となり、室内は均一に近い温度分布となる。

3) 床吹き出し空調のみの場合は、足元と室温の関係において快適範囲内にあり、今回の解析ケースにおいて最も快適である。

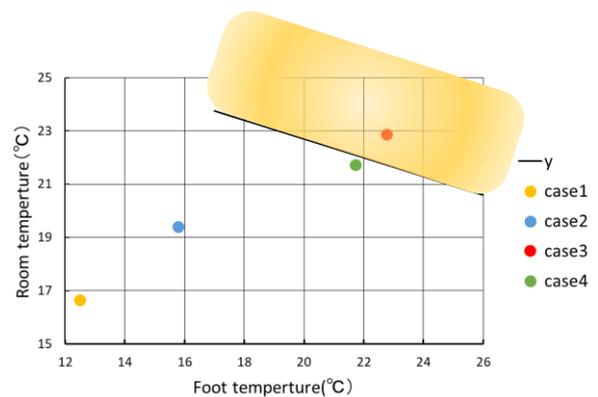


Fig.6 Comfortable range at room temperature and foot temperature

参考文献

- 1) 大西正宜, 乾孝士, 大和義昭, 建築設備 基本を学ぶ, 学芸出版社, 2015
- 2) 杵本恵, CFD解析による冬期事務所建物内の上下温度差を緩和する空調制御手法に関する研究, 奈良女子大学生生活環境学部住環境学科卒業論文, 2018
- 3) ASHRAE Fundamentals, 1997
- 4) 金子美紀, 中間期における上下温度差が温熱快適性に及ぼす影響について, 奈良女子大学生生活環境学部卒業研究心身健康学専攻, 2019