空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

蒸暑気候における折鋼板屋根の断熱・気密・防露性能の向上に関する研究
（その１）保温改修 工法の計算と実測での比較

Research on Improving Hygrothermal and Air-tightness Performances of Corrugated Steel Roofs in Mixed Climate Zones - Numerical Comparison on Various Thermal Retrofits with In-situ Natural Exposure Monitoring

芝池　英樹（京都工芸繊維大学）　○　カイリナ　ビンティ　カマルル　アドラン（京都工芸繊維大学）
Hideki SHIBAIKE *1　Khairina Binti KAMARUL ADLAN *1
*1　Kyoto Institute of Technology

Metal roofing without good insulation could cause serious issues on condensation and thermal performance, especially in mixed climate zones. Improvement on hygrothermal performance is essential for metal roof since roof is one of the most significant components for affecting hygrothermal performance in the building. Better hygrothermal performance and air-tightness as well, ensures significantly decreased HVAC loads and can provide impactful design for low-energy and sustainable buildings envelope options. In order to find out the best solution, research on hygrothermal performance of various countermeasures on corrugated steel roofs are numerically analyzed and In-situ monitored for mixed climate zones.

1. Introduction

Roof is one of the most significant components for affecting thermal and moisture performances in a building. The roof is the building surface that receives the greatest amount of solar radiation in general, with more than 60% of heat transfer occurs through the roof regardless of weather.[1)]

A roofing material market survey conducted in Japan addresses that the roofing material market size in 2019 increased by 1.3% from the previous year, with metal roofing materials driving the market. Moreover, share by material in Japan's domestic roofing material market in 2019 shows that metal roof has the highest percentage share, which is 64.1%.[2)] Therefore, it can be presumed that metal roofing is widely used in Japan and its usage will increase in the future, mainly in residential buildings, warehouses and factories.

Metal roofing are known for its durability, low-cost, minimal maintenance and longevity. However, metal roofing without good insulation causes serious condensation and thermal issues. In mixed climate zones of Japan, freezing and dew condensation during the winter and rainy season are troublesome and frequent incidental problems that bother builders and facility managers, and an affordable solution is long-awaited. In order to find out the most affordable solution, analyses on hygrothermal performances of various countermeasures of building envelopes, with special focus on corrugated steel roofs are to be investigated for mixed climate zones. Various insulation materials and shapes of metal corrugated roofs as well are to be analyzed for both retrofitting and new construction. The windows application THERM7.8[3)] is applied for computational configuration and performance evaluation for roofs with various insulation strategies. Besides, in-situ monitoring with real scaled specimens is carried out on the building of Meiko Kensho, Co. Ltd. in Fukui.

With improved hygrothermal and air-tightness performances of metal roofs, HVAC loads can be reduced significantly and impactful design options for low-energy buildings and sustainable building envelopes can be provided. This is beneficial on the long-term energy and cost reduction with the lower emission and overall environmental impact.

2. Outline of Computational Method

The two-dimensional steady-state heat conduction occurred in folded-plates steel roofs are examined by THERM7.8 software[3)] provided by LBNL. The Windows application THERM is mathematically modeled by the finite-element method and features built-in heat transfer analysis. Materials can be manipulated under steady state heat conduction and irregular shaped cavities for radiation heat transfer can be handled as well. The calculation results can be viewed in several forms, including U-factors, isotherms and heat-flux vectors.

3. Computational Geometries and Conditions

Improvement on thermal performances for both renovation and new construction are evaluated for several variations of computational geometries. Renovation or retrofitting is a metal

roof repair process consisting of double layer corrugated steel, where the existing metal on a building is overlaid with another layer. However retrofitting results have been examined certeinly, newly built roof geometries consist of the single corrugated layer are to be illustrated since this manuscript has a limited space.

The first option is to select insulation materials such as Fiberglass, Lami-pack SD-S and PEF™. Lami-pack is an air cap with double-sided aluminum foil while PEF™ is self-adhesive polyethylene foam. Only PEF is directly taped on interior surface of roof. As an example, the geometry with 12mm Fiberglass is as shown in **Fig.1**. The next parameter is to select air cavity without ventilation or with slight ventilation. The last option is to select short-wave and long-wave radiation parameters for regular or highly reflective surface (Sipoface paint).

For winter calculations, the temperature is set at 10 ˚C for indoor and -18 ˚C for outdoor. These temperature values are extracted from THERM software. The thermal property and thickness for each material is as shown in **Table.1**. Boundary condition parameters are shown in **Table.2**. Frame Cavity for non-ventilated and slightly ventilated has no conductivity and emissivity value assigned.

4. Computational Results

Although there is temperature contour and heat-flux vectors results illustrated for each geometry, only the effective U-factor comparison is shown in **Fig.2** because of limited space. In the figure, the following abbreviations are used; that is, FG25: 25mm Fiberglass, FG12: 12mm Fiberglass, Lami-P: 4mm Lami-pack SD-S, PEF: 4mm PEF, Naked: no insulation, SIPO: Sipoface coating on exterior surface, NoSIPO: surface just as is, SV: slightly-ventilated air cavity and NV: sealed air cavity.

U-factor is regularly defined in one-dimensional shape. However, these cases consist of two-dimensional geometries where interior and exterior boundaries have different accumulated lengths. In order to compare cases, the shortest length is adapted to convert the two-dimensional results into effective U-factors.

Results shows that FG25 result has the best performance, followed by FG12, Lami-P, PEF and Naked. Sipoface has only little influence on effective U-factor since cases are only applied to nighttime situation. However, NV shows slightly better performances than SV.

5. Purpose of In-situ Monitoring

Since computational conditions adapted in this thesis need to be validated for its applicability, In-situ monitoring is carried out in order to make precise comparisons. The parts that are difficult to parameterize by calculations can be confirmed with actual measurement, such as temporal variation impacts on solar radiation, long-wave radiation, temperature and relative humidity.

The field monitoring is done in Meiko Kensho's research building. In the research building, dew condensation occurred on the indoor side of the metal folded plate roof and a conventional heat insulation measure that is PEF tape, is used. However, after a certain period of time, the PEF will deteriorate and peel off. Even if the existing PEF is peeled off, the PEF tape construction is performed again, and the peeling is repeated in about 10 years.

In order to find a more durable and economical alternative, excellent dew protection measures are to be investigated. As monitoring and actual measurement is done in the research building, the peeled PEF is not repaired.

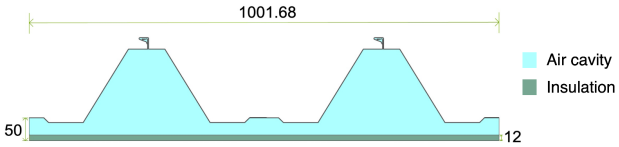


Fig. 1 Two-dimensional cross-section of folded-plate steel roof with 12mm Fiberglass (mm)

Table.1 Material Properties

Material	Thickness [mm]	Conductivity [W/mK]	Emissivity [-]
Galvanized Steel	0.8	45	0.23
Fiberglass	25・12	0.04	0.9
Lami-pack	4.0	0.034	0.09
PEF™	4.0	0.031	0.9
Sipoface	0.2	0.09	0.23

Table.2 Boundary Conditions

Boundary Condition	Convection		Radiation	Relative Humidity, Humidity Ratio
	Temperature	Film Coefficient		
Exterior Surface	-18˚C	26W/m^{2}K	Automatic Enclosure	50%, 0.4
Interior Surface	10˚C	3.29W/m^{2}K	Automatic Enclosure	50%, 3.8

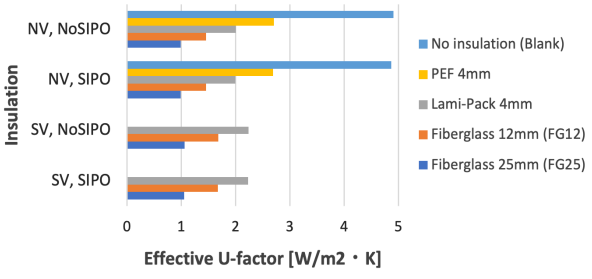


Fig.2 Effective U-factors for folded-plates steel roofs

6. Monitored Roof Sections and Hygrothermal Sensors

Fig.3 shows eight different dew measures being tested. Abbreviations and application method are as listed below,

1. Blank [ASIS] (No insulation)
2. PEF [PEF] (Taped onto plate)
3. Lami-Pack SD-S [LAMS] (Below plate)
4. Corrugated Plastics [COPL] (Below plate)
5. Fiberglass [FGMT] (Below plate)
6. Urethane Board [PUFB] (Below plate)
7. Solar Panel [CVPV] (Above plate)
8. White sheet [CVWS] (Above plate)

The insulation material 3, 4, 5 and 6 in **Fig.3** will be closed back and the air gap between insulation and metal plate will be slightly ventilated. **Fig.4** shows location and names of sensors while **Fig.5** shows the various meters on rooftop.

Fig. 3 Tested Specimens for Various Countermeasures

7. Monitored Performance Results

For observation results, on 23rd December at 8.30am, there was no dew on metal plate's interior surface for PEF, CVPV and CVWS. Next, LAMS, COPL, FGMT and PUFB were thinly covered with ice, while ASIS is heavily condensed.

For metal plate's exterior side, snow remained mostly on South-faced slopes of only FGMT, PUFB and COPL sections. It can be thought that FGMT, PUFB and COPL's air cavity gap between metal plate and insulation material is well sealed with lesser thermal and moisture leakage.

Moreover, snow was accumulated much more on South-faced slope surface as shown in **Fig.6** even though South-faced slope surface is warmer and receives sunlight while North-faced slope surface is in the shadow and colder by touch. This may be caused by nighttime radiation and radiative cooling.

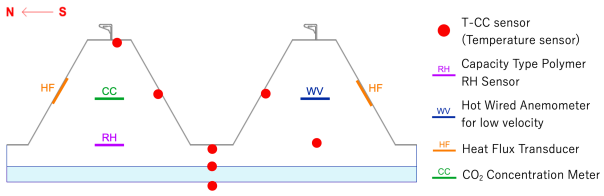


Fig.4 Location of sensors on metal plate roof

Fig.5 Flat metal plate specimen and Weather Monitoring Tower

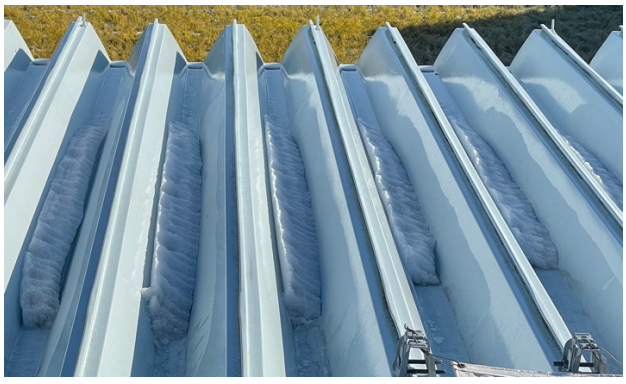


Fig.6 Snow remains on South-faced Slopes

Only results between 22th until 24th December 2021 for Blank, Solar Panel and White sheet is shown in **Fig.7**, **Fig.8** and **Fig.9**

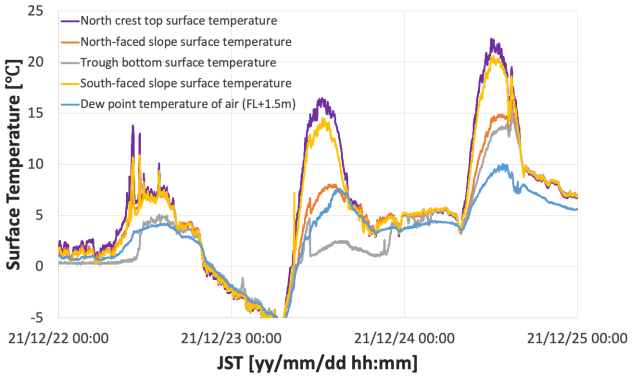


Fig.7 Surface and Dew Point Temperatures for the Bare Roof

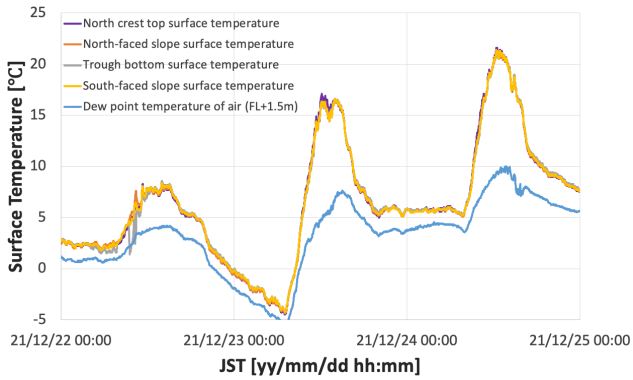


Fig.8 Surface and Dew Point Temperatures for the Roof w/ PV Panels

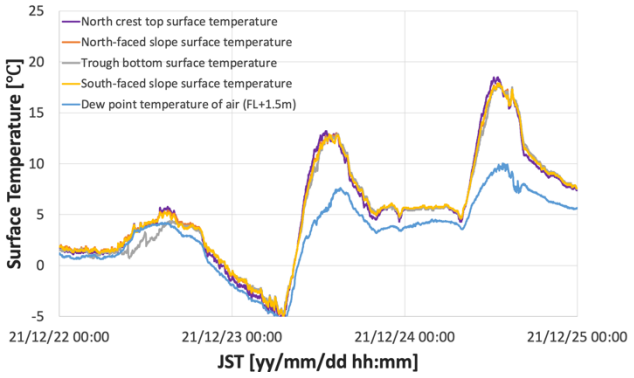


Fig.9 Surface and Dew Point Temperatures for the Roof w/ White Sheet

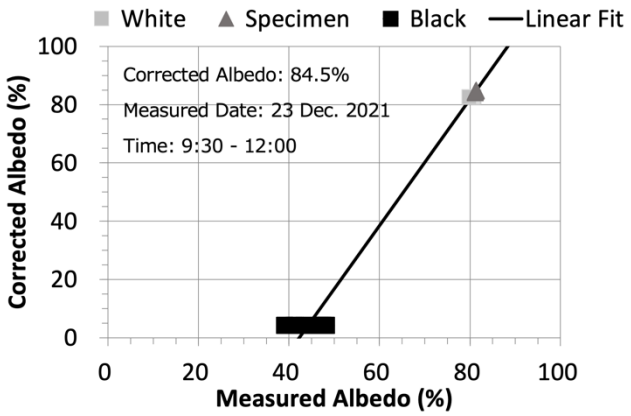


Fig.10 Relation between measured and identified albedo, corrected with black (4.3%) and white (82.6%) sheets

respectively. Blue line indicating dew point temperature need to be lower than other temperatures to avoid condensation. Result shows that when PUFB is compared to COPL, COPL is better. Meanwhile, when CVPV is compared with CVWS, the CVPV is better. Overall, Solar Panel shows the best dew performance than other sections. This is maybe because the solar panel acts as a good barrier between the outside air and the metal plate.

Fig.10 show results where the measured solar reflectance for the flat surface was calibrated with a white and black sheet whose solar reflectance are known in advance, and compared with the solar reflectance in the manufacturer's catalogue value (Sipoface). The identified solar reflectance value for Sipoface paint is 84.5%, shows very good agreement with the catalogue value of 84%.

8. Conclusion

Analysis on hygrothermal performance of various countermeasures on folded-plates steel roofs were investigated for mixed climate zones and In-situ natural exposure performance monitoring under severe winter conditions were carried out to support numerical results. Results show that Solar Panel and White Sheet Covers demonstrate better performances in reducing the impacts of night radiation on the roofs. Sipoface paint and non-ventilated air cavity assist the performance improvement of metal roof as well.

Acknowledgement: Authors express sincere gratitude to people involved for their cooperation and support on this experimental project.

References

1) The impact of roofing material on building energy performance, Badiee, Ali Publication: ProQuest Dissertations And Theses; Thesis (M.S.C.E.)--The University of Alabama at Birmingham, 2015.; Publication Number: AAT 1587036; ISBN: 9781321701029; Source: Masters Abstracts International, Volume: 54-04.; 98 p., Publication Date: 2015

2) Survey on the roofing material market (2020), Yano Research Institute Ltd., 2020/10/2

3) THERM 7 NFRC Simulation Manual NFRC Publication Dates: May 2015, January 2016, July 2016 Original Simulation Manual, THERM6.3 NFRC Simulation Manual, Publication Dates: January 2011, June 2013, July 2013, and January 2014

4) Arasteh, D. K. Finlayson, E. U., and Huizenga, C. 1994. "WINDOW 4.1: A PC Program for Analyzing Window Thermal Performance in Accordance with Standard NFRC Procedures." LBL Report 35298. Berkeley, CA.

5) Finlayson, E.U., Mitchell, R., Arasteh, D., Huizenga, C., Curcija, D.. 1998. "THERM 2.0: Program Description, A PC Program for Analyzing the Two-Dimensional Heat Transfer Through Building Products". LBL-37371 Rev 2.

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

高断熱・高気密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究
（その 8）多数室換気モデルにおける換気装置・建材性能の効果検討
Hygrothermal Simulations on a High Performing Single Family House with Traditional Timber Framed Modular Panels (Part 8) Evaluations on Ventilation Systems and Building Material Performances by the Multi-zonal Ventilation Network Model

○伍賀　誠治（京都工芸繊維大学）　　芝池　英樹（京都工芸繊維大学）
Seiji GOKA*1　Hideki SHIBAIKE*1
*1　Kyoto institute of technology

In this manuscript, dynamic hygrothermal simulations dealing for multiple zones in a building which implement interzonal airflow networks are numerically analyzed by using the Windows application WUFI ® Plus with the airflow function. The computational object is a high performing single-family detached house with traditional timber framed modular panels to be built in Chiba Prefecture. Under the intermittent air conditioning situation, the influences of moisture buffering insulating material infilled in the partition walls are examined in details. Results illustrate impacts on the autonomous indoor hygrothermal quality controls and the reduction of AC loads as well.

１．はじめに

住宅における空調負荷削減効果や屋内温熱快適性を評価した報告は多数存在するが、各室通風量は一定値で与えられるケースが多い。しかし、現実の各室通風量は、屋内の熱・湿気性状や屋外の風向・風速に依存し、熱・湿気・空気輸送の連成問題として評価する必要がある。

上述のような背景を踏まえ、既報[1]では、建物の非定常熱・湿気同時移動に加え、多数室間通風量も逐次予測可能な Windows アプリケーション WUFI® Plus Ver.3.2（以下 WUFI Plus と表記）[2),3)]の Airflow 機能を用いて、多数室換気回路網における各種建築的方策、および顕熱・全熱回収型換気装置等の組み合わせ効果を、空調・換気の上流室・下流室の熱・湿気・空気質性状および空調（暖房・加湿、冷房・除湿）負荷の数値予測により検討してきた。

本報では、千葉県旭市に新築予定の木造大型パネル工法を用いた高断熱・高気密平屋住宅モデルに関して、住宅内部の間仕切り壁の中空層に調湿断熱材（GUTEX）を充填することによる屋内の熱・湿気性状および空調負荷への影響について検討する。一日の温・湿度変動の大きい部分間欠空調を検討対象とし、特に非空調時の上流室の間仕切り壁の熱・湿気流に着目する。

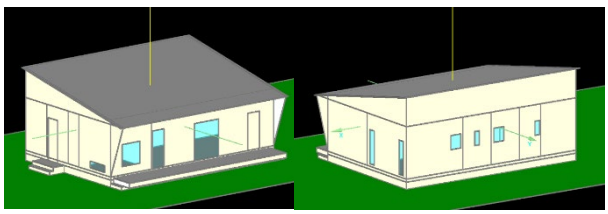


Fig.1 Overview of the model house in WUFI Plus 3.2

２．建物概要

千葉県旭市に新築予定の木造軸組大型パネル住宅を検討対象とし、Google Sketchup を用いて作成した 3D マスモデルを WUFI Plus にインポートした（**Fig.1**）。

多数室換気計算における計算負荷を軽減するため、比較的簡易な換気回路網である平屋住宅を選定している。延床面積は 79.5 m^2、室容積は 300.0 m^3、外皮面積は 297.9 m^2 である。断熱性能は、建物外皮にグラスウールおよびネオマフォームを用いており、屋根、壁、床、窓の熱貫流率は各々0.111、0.177、0.248、1.33 W/m^2・K、外皮平均熱貫流率（U_A 値）は 0.343 W/m^2・K である。

住宅平面は給排気の観点より、居住域 6 ゾーン（寝室［MBR］、子ども室、LDK、トイレ、ウォークインクロゼット［WIC］、洗面所＋風呂）と非居住域 2 ゾーン（床下、小屋裏）の合計 8 ゾーンで構成している（**Fig.2**）。

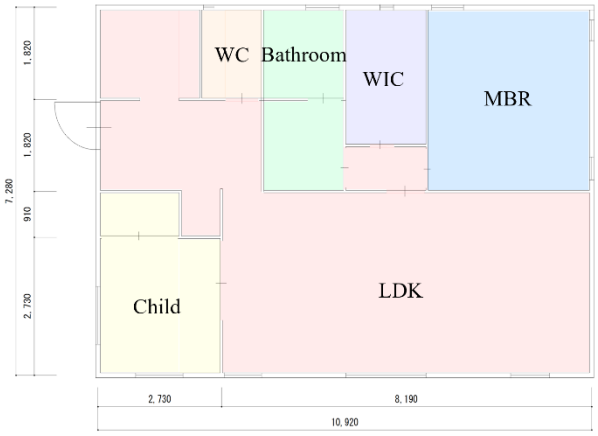


Fig.2 Plan of the model house

3．計算条件

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

内部負荷（対流・放射熱、水蒸気量、CO2 量）は、居住者を計 4 名（夫婦、娘、息子）とし、IBEC が想定した住宅の毎時の生活スケジュール[4]と建物種類別居住者負荷発生量[5]から作成し、冬期平日・休日、夏期平日・休日、中間期平日・休日の 6 パターンで設定する。

換気には第三種換気システムを採用している。換気ルートは **Fig.3** の通りであり、各ゾーンはドアのアンダーカットで LDK に連結している（**Fig.2** 参照）。各ゾーンにおける CO2 発生量から給・排気風量（**Table.1**）を設定するが、WUFI Plus の Airflow 計算ではこの風量は各室の温・湿度および屋外の風向・風速等により毎時変化する。窓を開ける等の人為的な換気はないものとする。

空調は局所間欠空調とし、上流室（寝室、子ども室、LDK）に各 1 台ずつ設置し、居住者が各ゾーンに在室しているときのみエアコンが作動する。エアコンの作動スケジュール（**Fig.4**）は平日・休日の 2 パターンを設定している。冷房期間を 4 月 30 日～10 月 13 日、暖房期間を 10 月 18 日～4 月 25 日として、上流室の温度が 20～25℃、相対湿度が 40～65%を満たすよう運用する。

Table.1 Designated average airflow rates

Zone	Room	Volume	SA		EA	
		[m³]	[m³/h]	[1/h]	[m³/h]	[1/h]
1	Bedroom	38.0	78.0	2.1	-	-
2	Children's room	26.1	65.0	2.5	-	-
3	LDK+α	123.6	62.0	0.5	62.0	0.5
4	WIC	14.3	-	-	21.0	1.5
5	Bathroom	19.0	-	-	86.0	4.5
6	WC	7.1	-	-	36.0	5.0
7	Attic	71.9	-	-	-	-
SUM		300.0	205.0	0.68	205.0	0.68

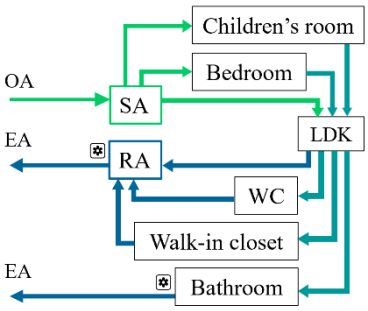


Fig.3 Multi zonal airflow network

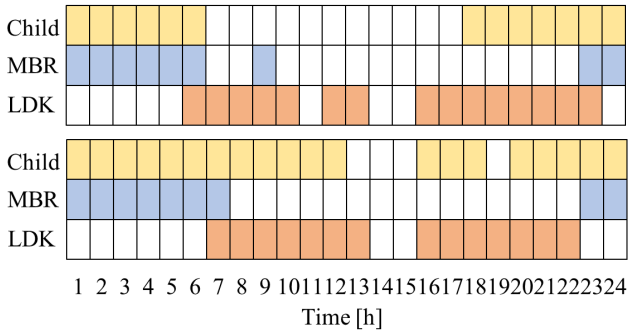


Fig.4 AC schedule (Top: Weekday, Bottom: Holiday)

4．調湿材の選定

WUFI Plus 計算に先立って、間仕切り壁に充填する調湿断熱材を選定した。調湿性能が期待できる建材として、

① セルロースファイバー
② 木質繊維断熱材 GUTEX
③ 木質繊維断熱材 Pavaflex
④ 羊毛繊維断熱材 Swisswool

の 4 種を検討候補に挙げた。各建材の水蒸気拡散抵抗係数と含水量のグラフを **Fig.5**、**Fig.6** に示す。相対湿度 40～80%の範囲における含水量の変化量が最も大きい GUTEX を調湿性能のある建材として計算に用いた。

間仕切り壁の構成は **Fig.7** の通りであり、石こうボード 12.5mm で GUTEX100mm を挟んでいる。

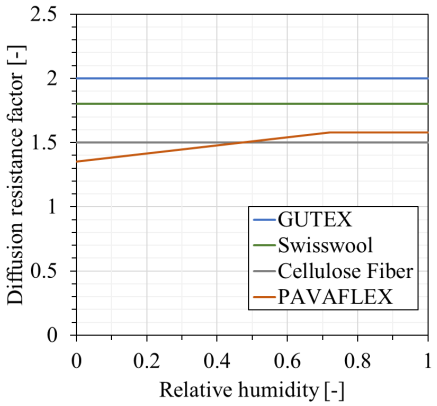


Fig.5 Water vapor diffusion resistance factor (μ)

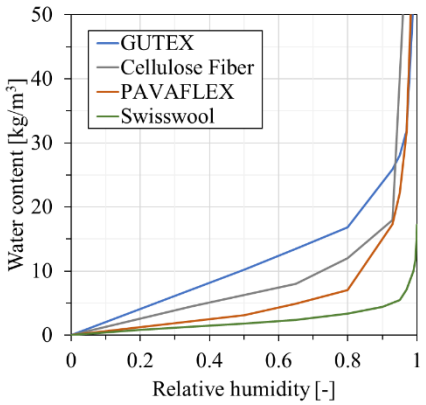


Fig.6 Moisture storage function

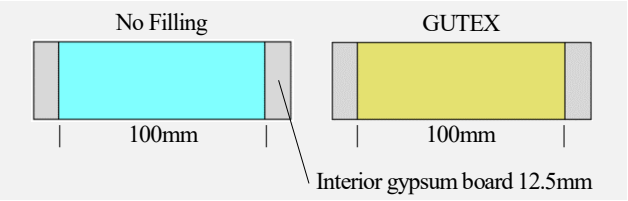


Fig.7 Assembly of partition walls

５．計算結果

高断熱・高気密平屋住宅モデルに関して、WUFI Plus の Airflow 機能を用いた多数室換気計算をした。間仕切り壁の中空層に調湿断熱材（GUTEX）を充填した場合の、局所間欠空調下の間仕切り壁の熱・湿気流、各室温・湿度および屋内温熱快適性（PMV）、空調負荷を数値予測し、充填しない場合（No Filling）との比較をした。

最高気温生起日を含む 3 日間の、LDK と寝室間の間仕切り壁の寝室側表面の熱流および湿気流の時間変動を **Fig.8** に示す。非空調時は両ケースともに間仕切り壁が吸いこむ方向に熱・湿気流が移動している。充填なしの熱・湿気流が大きいのは、間仕切り壁を貫流して隣接ゾーン（LDK）へ熱・湿気が移動する影響だと考えられる。GUTEX 充填の場合は、空調停止直後は吸湿するが、一定時間経つと吸湿が鈍化している。これは GUTEX が間仕切り壁の熱・湿気の貫流を抑制しているため、寝室側から GUTEX の許容限界まで蓄積したため、それ以上吸湿しなかったと考えられる。

最高気温生起日を含む 1 週間の寝室の温度・絶対湿度・相対湿度の時間変動を **Fig.9** に示す。15 時を過ぎると充填なしの方が温度・絶対湿度ともに低くなる。これは先述の GUTEX の吸湿量が減少する時間に対応している。一方で同時刻の相対湿度は充填なしに対して GUTEX 充填は低い傾向にある。温度、絶対湿度に依存するため、温度が高い分だけ相対湿度が抑制されたと考えられる。また、PMV を **Fig.10** に示す。空調時は最高気温生起日でも -0.5 ＜PMV＜0.5 の快適域内であるが、非空調時は快適域外となり、その変動にも温度・絶対湿度の影響が見られた。

1 月および 7 月の非空調時の上流各室の平均温度およ

Table.2 DB and HR averages for non-AC period (No Filling)

	Janualy		July	
	DB [°C]	HR [g/kg]	DB [°C]	HR [g/kg]
MBR	14.9	3.9	26.1	14.4
Children	16.0	4.0	26.3	14.7
LDK	17.4	4.9	25.4	13.1

Table.3 DB and HR averages for non-AC period (GUTEX)

	Janualy		July	
	DB [°C]	HR [g/kg]	DB [°C]	HR [g/kg]
MBR	14.1	3.8	26.3	14.5
Children	15.3	3.9	26.4	14.7
LDK	17.5	4.9	25.4	13.3

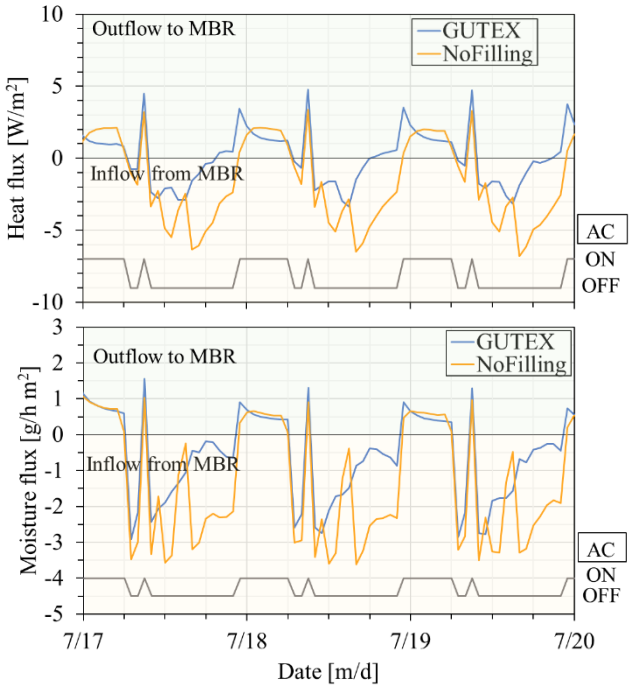


Fig.8 Heat and moisture fluxes on partition surface (MBR)

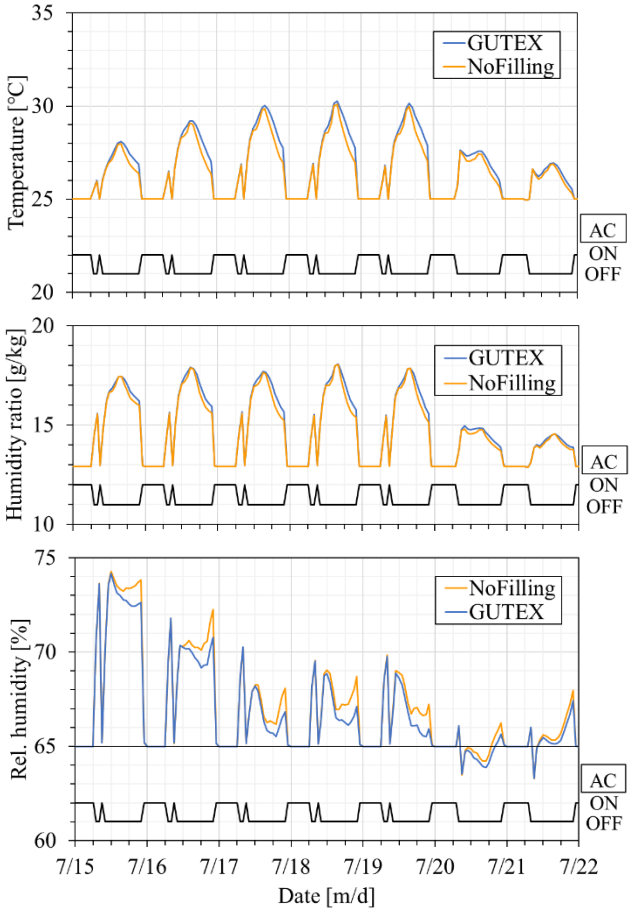


Fig.9 DB, HR and RH in the peak summer week (MBR)

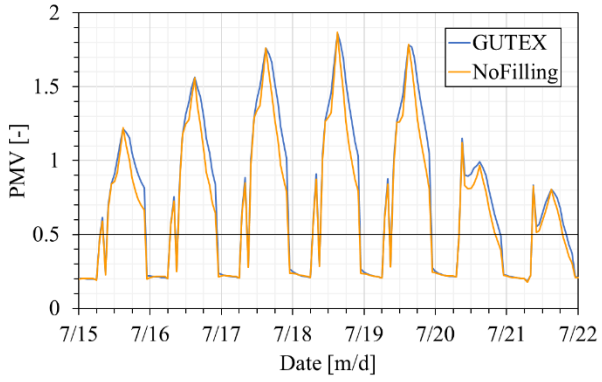


Fig.10 PMV in the peak summer week (MBR)

び絶対湿度を **Table.2**、**Table.3** に示す。7 月の平均温・湿度は充填なしに対し、寝室と子ども室の平均温度が高く、寝室と LDK の平均絶対湿度が高かった。

最高気温生起日を含む 1 週間の、寝室における冷房および除湿負荷の時間変動を **Fig.11** に示す。GUTEX 充填時は空調作動直後、特に 23 時の負荷が充填なしに比べて冷房負荷が増加し、また同時刻の除湿負荷も僅かに増加している。この増加も GUTEX の吸湿が抑制された時刻に対応し、その分負荷が増加したと考えられる。

単位面積当たりの年間空調負荷を **Table.4**、**Table.5** に示す。充填なしに対して、寝室における負荷は加湿負荷以外が増加した。子ども室においては暖房・加湿負荷の削減、冷房負荷の増加が見られ、LDK では、全ての負荷が削減された。これらの数値により、充填なしでは LDK が寝室、子ども室に熱および湿気を供給していたと考えられる。年間空調時間を **Table.6**、**Table.7** に示すが、空調負荷と類似した増加および減少の傾向が見られた。

６．まとめ

千葉県旭市に新築予定の木造大型パネル工法を用いた高断熱・高気密平屋住宅モデルに関して、WUFI Plus の Airflow 機能を用いた多数室換気計算をした。間仕切り壁の中空層に調湿断熱材（GUTEX）を充填した場合の、局所間欠空調下の間仕切り壁の熱・湿気流、各室温・湿度および屋内温熱快適性（PMV）、空調負荷を数値予測し、充填しない場合（No Filling）との比較をした。

充填なし（中空）の場合は、間仕切り壁を貫流して隣接ゾーンへ熱・湿気が移動する。その一方で GUTEX 充填の場合は、貫流を抑制するため、空調停止直後は吸湿するが、一定時間経過により GUTEX の許容限界で吸湿が鈍化する。また GUTEX 充填の場合の上流各室における平均温度および絶対湿度は、充填なしに比べ高い傾向にあり、調湿材による屋内の温・湿度調整および空調負荷削減効果は、今回の検討条件では微弱となった。

参 考 文 献

1) 伍賀誠治, 芝池英樹, 高断熱・高気密軸組パネル住宅の熱・湿気性状に関する研究（その７）多数室換気モデルにおける全熱・顕熱回収換気の計算結果, 空気調和・衛生工学会大会学術講演, D-5, 2021.

2) H.M.Künzel, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and two-dimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag, 1995.

3) H.M.Künzel, Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope, Solar Energy 78, 2005.

4) 財団法人建築環境・省エネルギー機構, 住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説

5) K.Ahmed・J. Kurnitski・B. Olesen, Data for occupancy internal heat gain calculation in main building categories, Data in Brief, 15, 1030-1034, 2017.

Table.4 Annually accumulated AC loads (No Filling, [kW/m^2])

	Heating	Humid	Cooling	Dehumid
MBR	11.4	1.2	1.1	3.1
Children	8.5	1.3	3.2	3.9
LDK	19.3	5.7	16.9	7.9
SUM	39.1	8.1	21.2	14.9

Table.5 Annually accumulated AC loads (GUTEX, [kW/m^2])

	Heating	Humid	Cooling	Dehumid
MBR	11.9	1.1	1.2	3.2
Children	8.3	1.1	3.4	3.9
LDK	18.9	5.6	15.9	7.6
SUM	39.1	7.8	20.6	14.7

Table.6 Annually accumulated AC period (No Filling, [h])

	Heating	Humid	Cooling	Dehumid
MBR	1606	878	591	1085
Children	2242	1454	1555	1658
LDK	2013	1657	1855	1399

Table.7 Annually accumulated AC period (GUTEX, [h])

	Heating	Humid	Cooling	Dehumid
MBR	1627	824	602	1110
Children	2287	1323	1542	1635
LDK	2009	1607	1814	1347

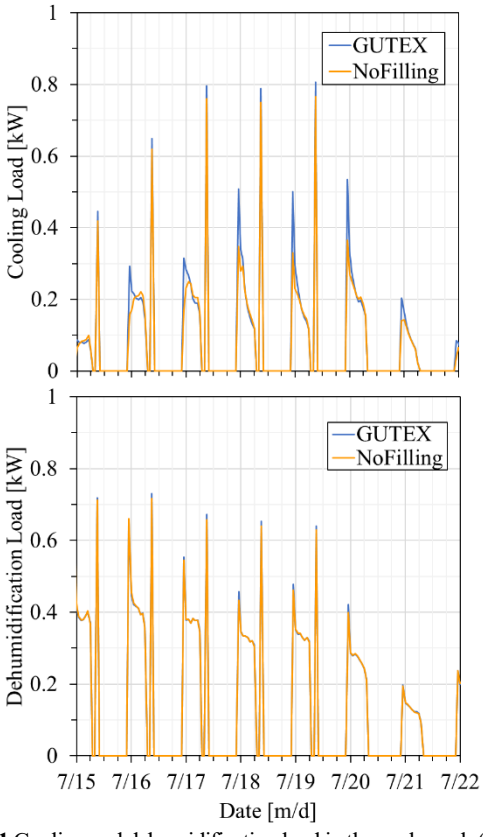


Fig.11 Cooling and dehumidification load in the peak week (MBR)

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

木製外装を施したRC建造物の環境システム解析

Environmental System Analysis of RC Buildings with Wooden Exterior

○瀬戸口　悠（大阪府立大学）　　木下　進一（大阪府立大学）
吉田　篤正（大阪府立大学）　　荘保　伸一（越井木材工業株式会社）
内藤　俊介（越井木材工業株式会社）
Yu SETOGUCHI *1　Shinichi KINOSHITA *1　Atsumasa YOSHIDA *1
Shinichi SHOHO *2　Shunsuke NAITO *2
*1 Osaka Prefecture University　*2 Koshii & Co. Ltd.

The purpose of this study is to verify the thermal insulation performance of existing RC buildings with wooden exteriors in cold climates, Yonezawa city library. The surface temperature and the heat flux on wall and window surfaces and the indoor thermal environment was measured for a long term. We made a model of the Yonezawa city library, in order to calculate numerical value by using the data.

1．はじめに

近年, 問題となっている地球温暖化の緩和策として, 住宅・建造物の省エネルギー対策への関心が高まっている. 建物外皮の高断熱化は住宅・建造物の省エネルギー対策として有効であると考えられ，その中でも外断熱工法は空調負荷低減につながると期待されている．それと合わせて，カーボンニュートラルな特性や調湿性にすぐれており，また燃えても強度が落ちにくいという性質を持つ木材は熱伝導率が低いため，被覆材料として使用することが外皮の断熱性能を高める手段の一つとして有効であると考えられている. これまでに, 木製外装を用いて建物とその周辺を被覆したときの熱移動特性と空調負荷の検証を目的とした一連の研究が行われており，ミニチュアモデル, モデル棟, 既存建物と実験対象の規模を拡大して実験が進められてきた. [1][2]本研究ではその過程の中で, 既存の建造物の中でも寒冷地における木製外装を施した建物の断熱性能の検証を目的とし，長期間測定されたデータを用いて数値計算を行うためのモデル化を行った.

2．測定概要

山形県米沢市に建設されたRC造5階建ての米沢図書館(以下，図書館)を測定対象とした．図書館の寸法は東西南北全て約50m，高さ約20mとなっており，2階から5階は吹き抜け構造になっている．外壁はほぼ全面で木製外装が施されており，構造は木材外装 100mm，空気層65mm, ポリスチレンフォーム15mm, RC壁250mmとなっている．窓ガラスの構造はLow-Eガラス6mm，空気層12mm，フロートガラス6mmとなっている．天井面の構造は防水層(ポリ塩化ビニル)1.5mm，硬質ウレタンフォーム 50mm，スラブ(RC)150mm，空気層(天井懐)350mm, 不燃積層石膏ボード12.5mm, ロックウール化粧吸音板9.0mmとなっている．図書館4階の東，南，西面の木製外装，RC躯体の外側内側，窓ガラス，及び2階の北面の窓ガラスの外側内側にT型熱電対及び熱流束計を設置した. 気象データは屋上で測定しており, 測定項目は風速，風向，全天日射量，赤外放射量，紫外放射量，気温，相対湿度，黒球温度である.

3. 測定結果

3.1 壁面温度，熱流束

測定結果の1つとして図書館東側壁面の木製外装外側・内側表面，空気層，RC壁外側・内側表面，室内の各温度について，約1か月間の日変化の同時刻平均の推移を図1に示す．測定データは2020年12月23日から2021年1月27日のものである．木製外装外側から室内へ向かうにつれ，時間による温度変化及び標準偏差は小さくなっており，室内温度はほぼ一定になっている．また，図書館東側壁面の木製外装外側・内側，RC壁外側・内側の各熱流束の日変化の同時刻平均の推移を図2に示す．木製外装外側からRC壁外側へ向かうにつれ負の値が小さくなっていることから，室内側からの熱流出が低減されていることが分かる.

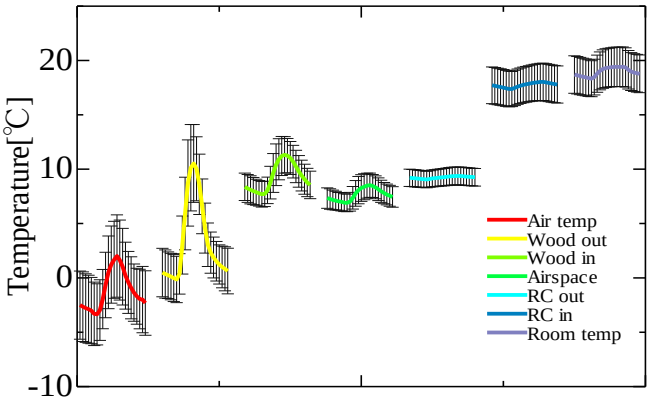


Fig. 1 Diurnal change of surface temperature on wall (east 2020/12/23～2021/1/27)

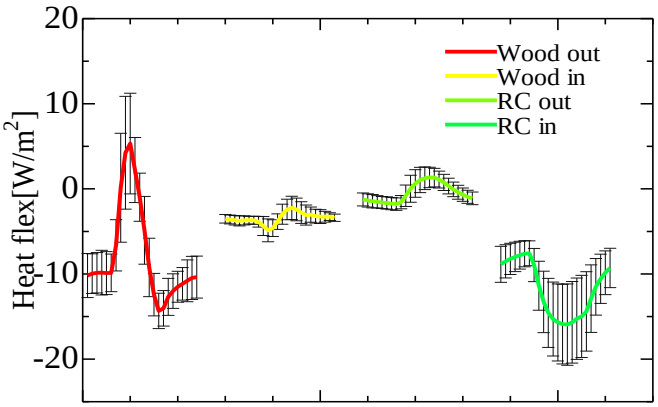


Fig. 2 Diurnal change of surface temperature on wall (east 2020/12/23～2021/1/27)

3. 2 熱流出量

建物の断熱性の評価を行うために，各壁面における熱流量を測定結果から算出した．東，西，南側壁面ではRC内側，窓面では室内側にそれぞれ設置された熱流計の測定値から熱流量を算出した．北側壁面の熱流量は建物の北側に位置する部屋の室温を別途測定し，外気温との温度差と壁の熱貫流率から算出した．天井面については，天井表面と屋上床面との温度差と天井を構成する各要素の熱伝導率から算出した．1 階床面の熱流量については床面近傍に設置した温湿度ロガーの測定値と過去に測定されている山形の地中温度(深度 5m)の値を用い，1 次元非定常熱伝導方程式に基づいて算出した．建物地下については深度 5mまでコンクリート構造であると仮定して，RC の密度，比熱，熱伝導率の値を物性値として与えた．上記で算出した熱流量に各面の面積をかけた，各季節の 1 日で流出する熱流量 (kWh)を図 3 に示す．壁面の各方角と窓，天井，床面からの熱流量をそれぞれ示す．2020 年夏季，2021 年冬季の天井面，床面，2019 年冬季の天井面はデータ欠測している．冬季に関しては，窓面からの熱流出の値が他の値に比べて大きくなっている．また，東，南，西，北の壁面の熱流出量を比べると，西面の熱流出が他の 3 面より大きくなっている．また夏季には床面を除いて，熱流出の値が 0 に近い値もしくはマイナスの値になっていることから，冬季と比べて外気が室内に与える影響は小さいことが分かる．

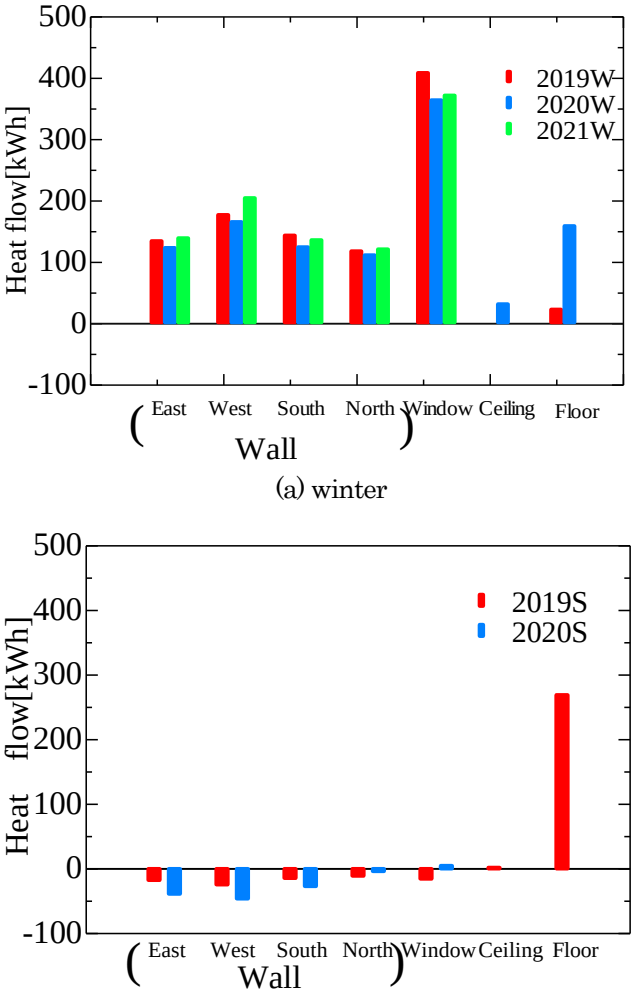


Fig.3 Heat flow on each side

4. 解析モデル

以下の図 4 に，数値解析の際に使用する RC 建造物の解析モデルを示す．東西南北に約 50m，高さ約 20m のボックスモデルを想定し，壁面，窓面，天井面の面積と室内設定温度は図 5 のように想定する．各壁面の壁，窓，カーテン，窓枠の構造は上下に一様とし，室温は室内で一様となっている．壁体の各物性値を表 1 に示す．壁体，窓ガラス，窓枠の厚さと熱貫流率を表 2 に示す．各面要素の面積を表 3 に示す．表 3 から窓，窓枠の面積は壁面の面積と比べて小さいが，表 2 より熱貫流率（U 値）が壁面と比べて大きいので，建物全体の熱流出に与える影響は十分に大きいので考慮する必要がある．

Table 1 Thermophysical property of wall

Wall	Density [kg/m³]	Specific heat [J/(kg･K)]	Thermal conductivity [W/(m･K)]	Thermal diffusivity [m²/s]
Wood	367	1455	0.081	1.53E-07
Airspace	1.18	1007	0.026	2.21E-05
Polystyrene foam	28	1255	0.037	1.06E-06
RC	2100	1050	2.3	1.04E-06

Table 2 U value

	Thickness [mm]	U value [W/(m²･K)]
Wall	430	0.503
Window	24	1.8
Window frame	24	6.66

Table 3 Area of each part of library

Area[m²]	East	West	South	North	Sum
Wall	495	574	349	449	1868
Window	233	152	195	106	686
Window frame	21.0	21.4	25.4	4.8	72.6
Ceiling	-				970

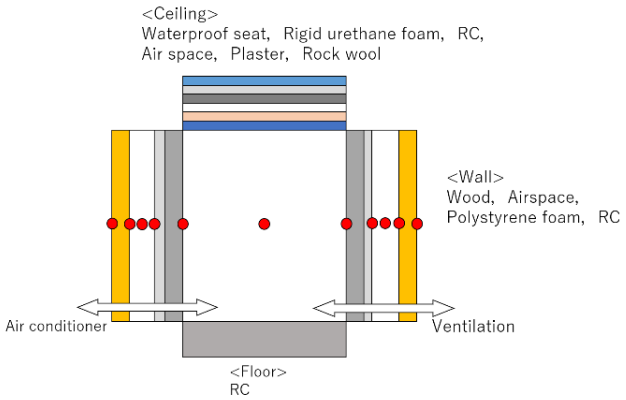


Fig.4 Analysis model (1)

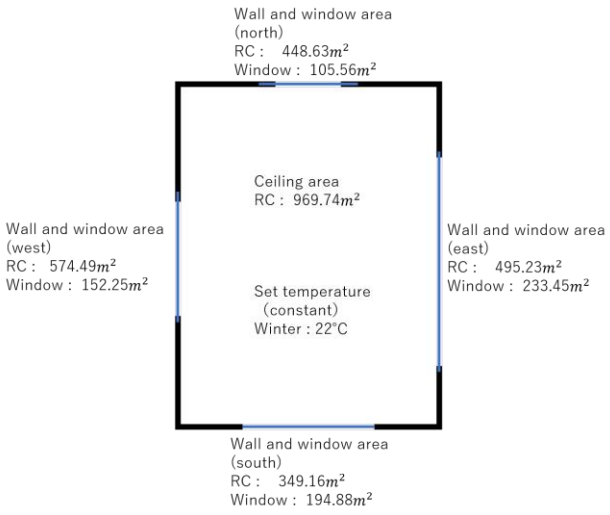


Fig.5 Analysis model (2)

全ての面要素は固体層や空気層からなっており，固体層内部は差分化し一次元熱伝導方程式を立て連立させて，それぞれの表面温度を算出する．

各面要素の外気境界では，太陽からの正味ふく射，外気による対流熱伝達，層内部からの伝導伝熱を考慮する．また，固体層内部，固体層同士の境界では伝導伝熱のみを考慮する．固体層と空気層の境界では向かい合う固体層とのふく射熱交換，空気層による対流熱伝達，層内部からの伝導伝熱を考慮する．室内は黒体とし，放射率 1 の物体としてふく射熱交換を考慮する．

窓ガラスは日射取得型（Low-E 膜が室内側）であり，日射は吸収率を 0，遠赤外線は，透過率を 0 とする．また，ふく射による熱の授受は表面に集中すると仮定する．カーテンは窓面前のみにあり，窓面全てを覆っていると想定する．カーテンの厚さは 0 であり，窓を透過した光エネルギーを一点で全て吸収すると仮定する．

窓枠はアルミニウム 24mm と想定し，窓枠と窓面の熱の授受はないものとする．また壁面やカーテン面と同じように 1 つの面要素として扱う．

室内空間は各面からの貫流熱，各面からのふく射熱，室内発熱，換気による顕熱潜熱の流入出，空調機による暖房冷房に伴う顕熱の流入出を考慮する．

5. 数値計算結果

上記のようなモデルで数値計算を行うことにより，各面要素の層境界面の温度の出力結果を，以下の図 6～図 9 に示す．外気環境の入力値は，米沢図書館屋上で計測した日射量，赤外放射量，外気温，風速の時間平均となっている．また天井面，壁面，窓面，窓枠の初期値は全て室内の空調機設定温度（22℃）になっており，地下温度の初期値は 1 月の深度 5 メートルの山形地中温度[3]としている．データは 2020 年 12 月 23 日から 28 日の値を用いている．また図の壁面，窓面，窓枠面温度は東側壁面のものである．

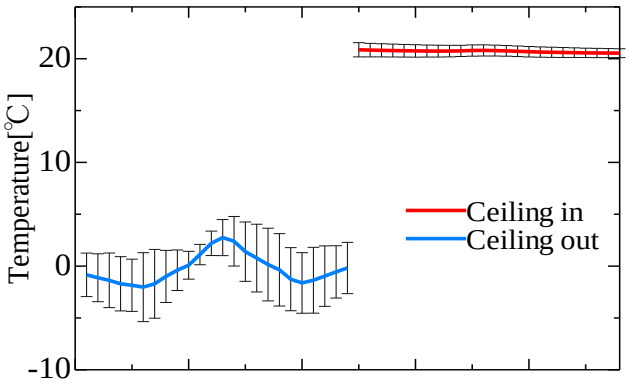


Fig.6 Temperature of ceiling

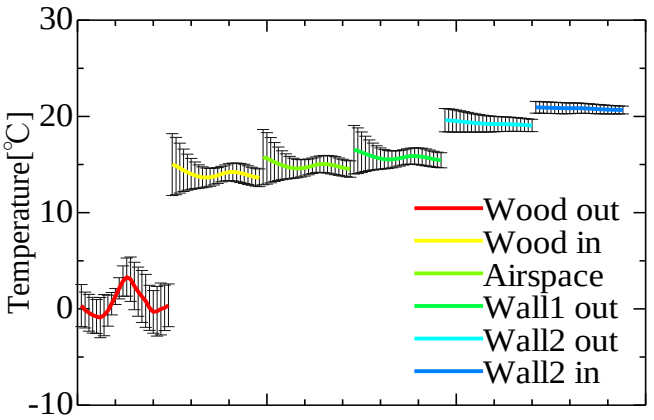


Fig.7 Temperature of wall (East)

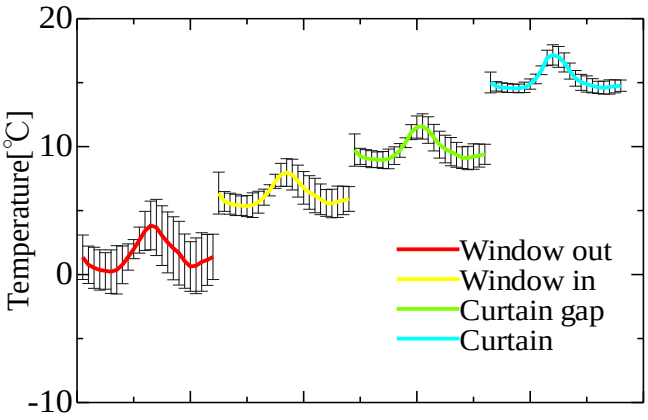


Fig.8 Temperature of window (East)

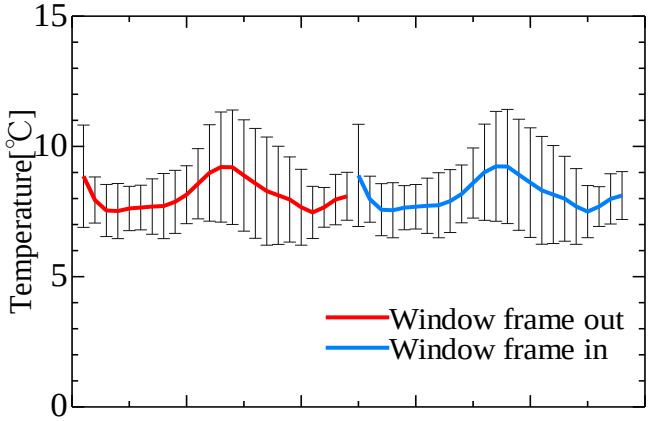


Fig.9 Temperature of window frame (East)

天井面外側に比べて内側の温度変化や標準偏差が小さくなっており，内側は室内設定温度に近い値が出力されている．壁面や窓面でも木製外装の内側と外側では内側の方が温度変化や標準偏差は小さく，また壁面に関しては室内へ向かうにつれ設定温度に近づき，壁面と室内との境界面では温度推移はほぼ一定となっている．窓枠に関しては外側内側では温度分布がほとんど変わらないという結果になった．

6. 結言

木製外装外側に比べて木製外装内側の時間による温度変化及び標準偏差は小さくなっており，また RC 壁に対しても同じことが言えることから木製外装や RC 壁の断熱性を読み取ることができる．

木製外装外側に比べて内側の熱流束の変化や標準偏差が小さいことから木製外装の断熱性が読み取ることができる．

今回構築したモデルでは面要素同士のふく射熱交換や空調による潜熱の流入出を考慮していないため，それを考慮したうえで数値計算した結果と，実測値とを比較しプログラムの整合性を確認する必要がある．

参考文献

[1] 荘保伸一，朝倉靖弘，吉田篤正，木下進一；熱処理木材を使った木製外装による建物模型を用いた断熱性能の評価 日本建築学会技術報告集, Vol.22, No.52, pp.871-874, (2016-10).

[2] Atsumasa Yoshida, Shinichi Shoho, Shinichi Kinoshita,Evaluation of Reduction Effect on Thermal Load Inside and Outside of Concrete Building with Wooden Decoration by Numerical Analysis,The 11th Nordic Symposium on Building Physics (NSB2017), Paper No. 104, Web-page (6 pages), Trondheim, Norway, (2017-6).

[3] 農林水産省；「地中温度に関する資料，農業気象資料第 3 号」(1982).

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

冷房設定温度が吸放湿材貼付による省エネルギー効果に及ぼす影響
Influence of Air-Conditioning Temperature Setting for Cooling on the Power Consumption Amount due to Applying Hygroscopic Material

○廣岡　志穂（大阪市立大学）　　岸本　嘉彦（大阪市立大学）
Shiho HIROKA*1　Yoshihiko KISHIMOTO*1
*1　Osaka City University

In order to evaluate influence of air-conditioning temperature setting for cooling on the power consumption due to applying hygroscopic material, numerical calculations were carried out. The conclusions were as follows.

In both cold and warm districts, the power consumption decreases due to hygroscopic material even in case total heat load increases due to ones. For improvement the energy-saving effect of applying hygroscopic materials, it is effective to use the cooling at night when moisture absorption occurs in district with small heat load, to use the cooling during the day when moisture desorption occurs in district with large heat load.

1．研究背景と目的

吸放湿材として多孔質材料を室内側表面に配置した場合に，吸放湿材がルームエアコン(以下「AC」と記す)の冷房負荷に及ぼす影響について，概念図を **Fig. 1** に示す。吸放湿材の調湿効果は AC に対して必ずしも有利に働くわけではなく，潜熱負荷の増加と顕熱負荷の減少が同時に発生し，一般に全熱負荷としては増加する可能性が高い[1)]。しかし近年，空調機容量に対し冷房顕熱負荷が低い場合においては，吸放湿材の併用によって AC の消費電力量が減少する例が報告されている[2)]。つまり，寒冷地のような冷房顕熱負荷の低い地域では省エネルギー効果を示す可能性がある。

また，一般に住宅の熱負荷計算を行う際，地域によらず同一の運転スケジュールや設定温度によるシミュレーションが使用される。しかし，実際の冷房利用実態として，設定温度や運転スケジュールは地域や世帯によって異なる[3)]。そのため，実際の吸放湿材と AC の併用による省エネルギー効果を把握するためには，利用実態を考慮した計算条件による検討が必要である。

以上より，本研究では，冷房設定温度が吸放湿材による省エネルギー効果に及ぼす影響に着目し，寒冷地と温暖地の両地域において，吸放湿材の併用が省エネルギー効果を生む要因について明らかにすることを目的とする。

2．計算条件と検討方法

計算対象住宅は，**Fig. 2** に示す 1 室モデルと想定した木造平屋住宅とする。**Table 1** に壁体に用いた材料物性値を示す。また，本研究では軟質繊維板を吸放湿材とし，吸放湿材の最大効果を把握するため，室内側表面全面に軟質繊維板を貼付した。

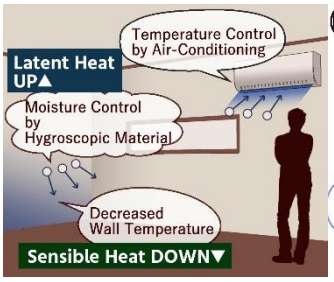


Fig. 1　Relationship between AC and hygroscopic material

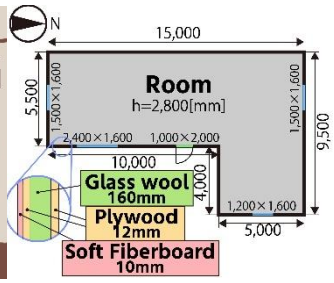


Fig. 2 Object of calculation (Floor plan)

Table 1 Material properties

Material	Volumetric specific heat [kJ/m^{3}K]	Thermal conductivity [W/mK]	Moisture conductivity [kg/mh(kg/kg')]	Hygroscopic properties κ [kg/m^3(kg/kg')]	Hygroscopic properties ν [kg/m^{3}K]
Soft fiberboard	311.5	0.064	0.0177	8148	3.33
Malti-layered glass	1.95	0.072	0	–	–
Glass wool	20.1	0.049	0.0979	–	–
Plywood	1165.6	0.1	0	–	–

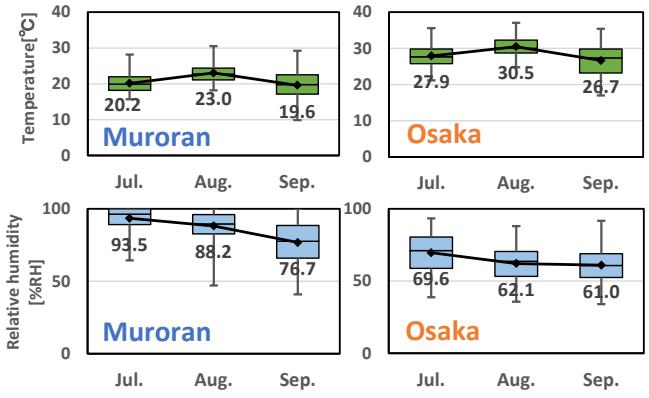


Fig. 3 Outdoor temperature and humidity (in *Muroran* and *Osaka*)

居住者は，成人男性 2 名，成人女性 2 名からなる 4 人家族を想定した。生活パターンについては，平日，休日を設定し，前報[4]の計算条件を参考とした。

AC 運転については，室温が設定温度を超える場合に AC が自動的に運転される終日運転を想定し，設定温度 20[℃]から 30[℃]まで 1[℃]ごとの 11 条件と，終日 AC の運転をしない条件を加えた計 12 条件とした。また，窓は終日閉じているものとし，0. 5[回/h]の強制換気を与えた。

外界条件については，温暖地として大阪府大阪市，寒冷地として北海道室蘭市を対象地域とし，拡張アメダス気象データから 2010 年 6 月 1 日～9 月 30 日の温度，相対湿度，絶対湿度，日射量を用いた。各地点の外気温湿度の四分位と平均値を **Fig. 3** に示す。

数値計算には，熱水分同時移動方程式(κ–νモデル)を用いた。吸放湿材については，壁体表面の湿気伝達率を 0 とした場合を「吸放湿なし」，15.2[kg/m²h(kg/kg')]とした場合を「吸放湿あり」と定義する。

AC の解析モデルについては，時々刻々の空調処理熱量に応じて，凝縮器，蒸発器における冷媒温度および COP を算出可能とする空調モデル[5]を用いた。解析に用いた AC の諸元を **Table 2** に，それに基づく冷房負荷と COP の関係を **Fig. 4** に示す。消費電力量については，時々刻々の空調処理全熱量をそれに対応する COP で除すことにより得られる。計算期間は 2010 年 6 月 1 日～9 月 30 日，6 月を助走期間として，7 月 1 日～9 月 30 日の 3 ヵ月間を検討対象とした。

3．冷房設定温度と吸放湿材が処理熱量や消費電力量に及ぼす影響

吸放湿材貼付による各 AC 処理熱量(顕熱，潜熱，全熱)の増加量を **Fig. 5** に示す。処理顕熱量について，室蘭市では大阪市より減少率が高く，各月において平均外気温より約 4[℃]高い設定温度にて減少量が最大となる。また，大阪市の 8 月以外では，設定温度を上昇させるほど減少量が増加することがわかる。

処理潜熱量の増加量が最大となる設定温度は，室蘭市の 7，8，9 月，大阪市の 7 月では，平均外気温とほぼ等しい。大阪市の 8，9 月については，設定温度による増加量の変動はまばらであるが，増加率としては比較的低い。

処理全熱量について，吸放湿材貼付による増加量は約-50～+150[MJ]となり，算出される増加率は-15～+5[%]程度であった。

吸放湿材貼付による各月の消費電力増加量・増加率を **Fig. 6** に示す。以降，値が負の場合は，減少量，減少率と称す。減少量は，室蘭市より大阪市において多いが，減少率は，大阪市より室蘭市において高い。これは，室蘭市における消費電力量が大阪市より少ないため，減少量がわずかでも消費電力減少率としては相対的に上昇したと考

Table 2 Specifications of AC

Capacity	Min.	Rated	Max.
Cooling load[kW]	0.8	4	4.3
Electric energy consumption[W]	165	1835	2000

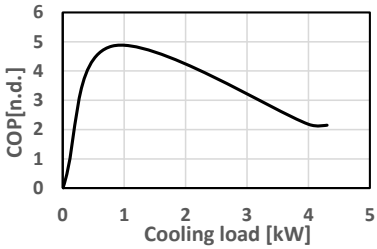


Fig. 4 Relationship between cooling load and COP

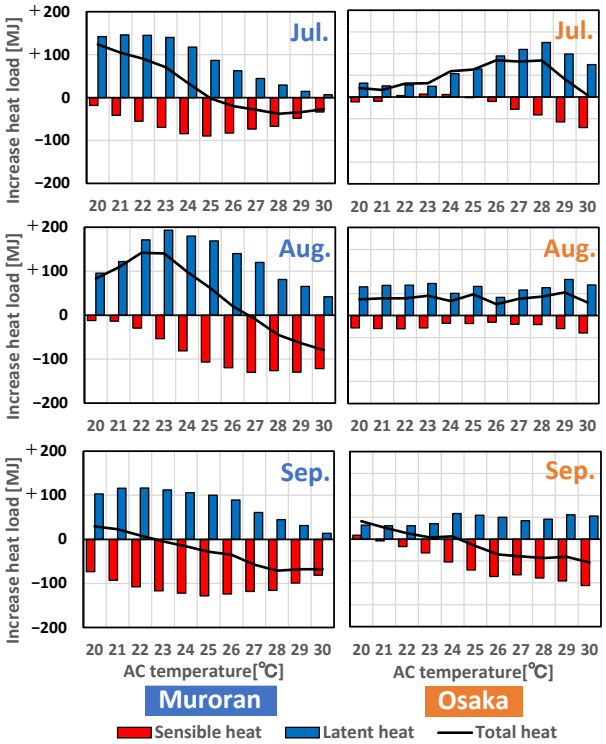


Fig. 5 Variation of increase of heat load due to AC temperature

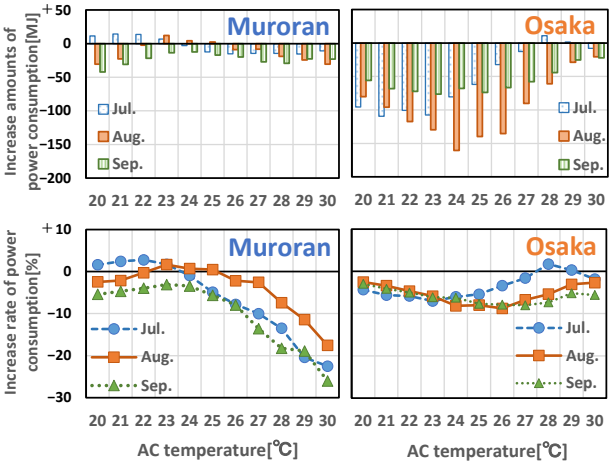


Fig. 6 Variation of increase of heat load due to AC temperature (upper : increase amounts, lower : increase rate)

えられる。

以上より，**Fig. 5** の全熱増加量と **Fig. 6** の消費電力増加量を比較すると，寒冷地と温暖地の両地域において，吸放湿材の貼付によって処理全熱量が増加する場合でも，消費電力量としては減少していることがわかる。

4．冷房と吸放湿材の併用による省エネルギー効果の要因

本章では，吸放湿材による省エネルギー効果の発生要因を明らかにするために，寒冷地と温暖地における COP の出現頻度分布や経時変化を検討する。

4. 1　冷房設定温度の影響

室蘭市と大阪市のそれぞれについて，設定温度が 20, 25, 30[℃]の条件における 8 月の COP 出現頻度分布を **Fig. 7** に示す。ここでは吸放湿なしの条件（図中"not HM"）に着目して検討する。

設定温度 20[℃]の場合の室蘭市において 3[n.d.]付近(以下，「a 点」)と 5[n.d.]付近(以下，「b 点」)に COP の出現頻度のピークがある。図には示していないが，この条件下では冷房が昼間にのみ運転しており，COP が低い a 点は昼間の冷房運転時，COP が高い b 点は運転時より高効率となる冷房発停時の COP がそれぞれ現れたものである。

設定温度 20[℃]の場合の大阪市において，1.5[n.d.]付近(以下，「c 点」)と 3.5[n.d.]付近(以下，「d 点」)に COP の出現頻度のピークがある。図には示していないが，この条件下では冷房はほぼ終日運転しており，COP が低い c 点は日中の冷房運転時，COP が高い d 点は夜間もしくは涼しい日における冷房運転時の COP が現れたものである。

設定温度を上昇させると，室蘭市の場合，昼間の冷房運転時間が減少するため，c 点から徐々に出現頻度が減少していることがわかる。大阪市の場合，暑い昼間ではなく涼しい夜間の冷房運転時間が減少するため，b 点から徐々に出現頻度が減少している。その結果，設定温度の上昇に伴い室蘭市の平均 COP は上昇するが，大阪市の平均 COP は低下する。

また，室蘭市と大阪市において，外気温度と設定温度の差が減少するほど同時刻の COP は上昇するため，a 点，b 点，c 点および d 点の COP は平均外気温度付近の設定温度において最大値を示す。

4. 2　吸放湿材の影響

Fig. 7 より，4.1 項で述べた各出現頻度ピークについて，吸放湿材を貼付すると(図中"HM")，COP が低い a 点や c 点は高効率側に，COP が高い b 点や d 点は低効率側に移動していることがわかる。

ここで，室蘭市における，冷房運転の処理全熱量，消費電力量および COP の日変動の一例(8 月 26 日～27 日の 48 時間)を **Fig. 8** に示す。また，吸放湿ありの条件における各時刻の吸放湿量の正負により判定し，吸放湿材が放湿・吸湿している時間帯についても併記する。

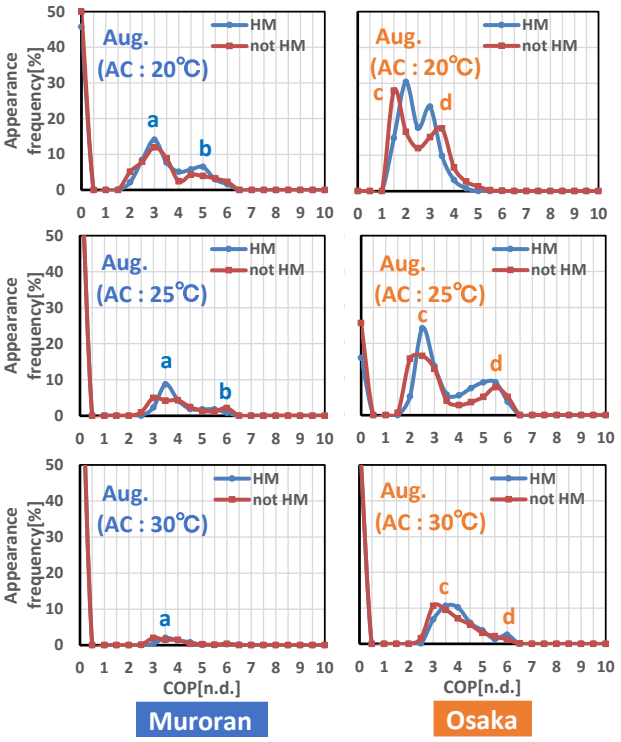


Fig. 7 Appearance frequency distribution of COP at each AC temperature (Aug.)

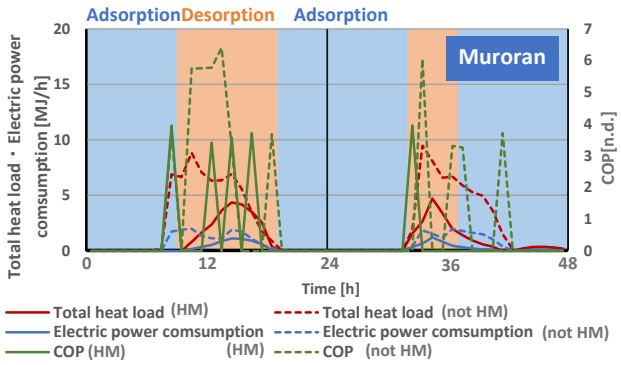


Fig. 8 History of total heat load, electric power consumption, and COP in *Muroran* (Aug.)

Fig. 8 より，既往研究[2]と同様に，吸放湿材が放湿する昼間では，処理全熱量が減少した。しかし，吸湿に転じた夜間では，冷房は運転していないため，吸放湿材の有無に関わらず処理全熱量はほぼ 0 である。つまり，積算処理熱量は減少する。また，吸放湿なしの場合，昼間の運転時には COP は 6[n.d.]付近(前述の b 点)となるが，吸放湿ありの場合は 3.5[n.d.]付近(前述の a 点)に低下する。結果として，処理全熱量が小さい地域では，吸放湿ありの条件において消費電力量が吸放湿なしの条件より常に小さくなることにより，COP が低下としても，終日，吸放湿材貼付による省エネルギー効果を得られる可能性がある。

同様に，大阪市における，冷房運転の処理全熱量，消費電力量およびCOPの日変動の一例(8月10日～11日の48時間)を **Fig. 9** に示す。**Fig. 8** と同様に，吸放湿ありの条件における各時刻の吸放湿量の正負により判定し，吸放湿材が放湿・吸湿している時間帯についても併記する。

室蘭市と同様に，吸放湿材が放湿する昼間では，処理全熱量は減少し，一方で，吸湿に転じる夜間では増加する。つまり，積算処理熱量は増加する。また，吸放湿材の貼付によりCOPは昼間に上昇し，夜間に低下するため，大阪市とは定性的傾向が逆になる。結果として，消費電力量は，処理全熱量の増減と同様に，吸放湿材の貼付によって昼間は増加し，夜間は減少する。つまり，処理全熱量が大きい地域では，夜間よりも昼間の冷房運転時間の比率が高いほど，省エネルギー効果を得られる可能性がある。

そこで，室蘭市と大阪市において，COP変動の定性的傾向が吸放湿材貼付効果により逆になる要因について検討するために，室蘭市と大阪市におけるAC処理熱量とCOPの関係を示した模式図を **Fig. 10** に示す。

室蘭市は処理熱量が小さい地域であるため，**Fig. 10** のようにCOPが最大となる処理熱量よりも小さい範囲においてACが運転する頻度が多い。そのため，昼間の放湿による処理熱量の減少は，室蘭市では冷房運転時の平均COPを低下させる。一方，大阪市は処理熱量が大きい地域であるため，COPが最大となる処理熱量よりも大きい範囲においてACが運転する頻度が高い。よって，大阪市の冷房運転においては，昼間の放湿による処理全熱量の減少は平均COPを低下させ，夜間の吸湿による処理熱量の増加は平均COPを上昇させる。

したがって，吸放湿材貼付による省エネルギー効果は，寒冷地のように処理熱量が小さい地域の場合，吸湿が生じる夜間での冷房利用において効果が高く，温暖地のように処理熱量が大きい地域の場合，放湿が生じる昼間での冷房利用において効果が高くなると説明できる。

５．まとめ

本研究では，寒冷地および温暖地の両地域において，吸放湿材とACを併用した空調システムを採用した戸建住宅を対象とし，冷房設定温度が吸放湿材貼付効果，すなわち調湿効果および省エネルギー効果に及ぼす影響について数値解析により検討した。そして，吸放湿材の有無や冷房設定温度が室内の水分移動や熱負荷に与える影響を把握し，吸放湿材貼付によって得られる調湿効果および省エネルギー効果が増減する各要因について考察した。以下に結果を示す。

1) 寒冷地，温暖地ともに，吸放湿材の併用によって処理全熱量が増加する場合でも，消費電力量は減少した。
2) 吸放湿材による省エネルギー効果と冷房設定温度の関係には，処理熱量の増減に伴うCOPの定性的傾向が大きく影響している。処理熱量が小さい場合は吸湿，処理熱量が大きい場合は放湿によってCOPが増加する。そのため，吸放湿材貼付による省エネルギー効果を上昇させるためには，寒冷地のように処理熱量が小さい地域では吸湿が生じる夜間の冷房利用が効果的であり，温暖地のように処理熱量が大きい地域では放湿が生じる昼間の冷房利用が効果的である。

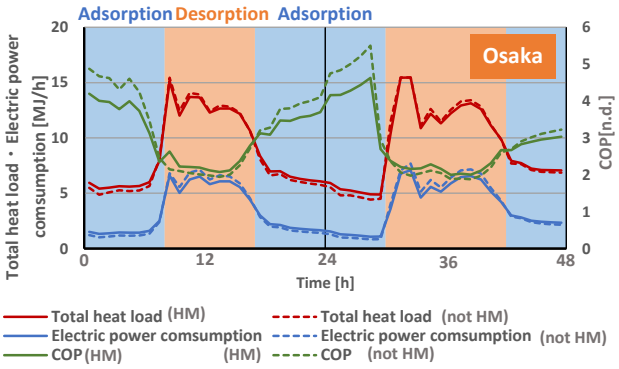


Fig. 9 History of total heat load, electric power consumption,and COP in *Osaka* (Aug.)

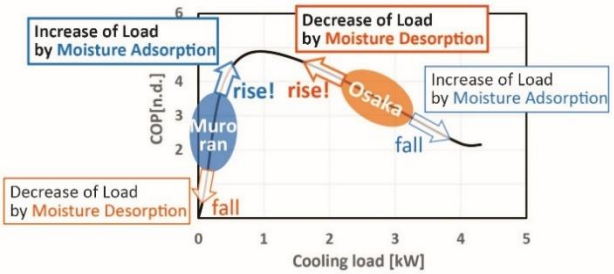


Fig. 10 Schematic diagram of variation of heat load and COP in cold and warm districts

参 考 文 献

1) 坂本 雄三，松尾陽，永井明寛，金垣龍：「潜熱負荷と湿度変動に及ぼす室内備品類の吸放湿性に関する研究　その2 シミュレーションによる吸放湿材の影響に関する検討」，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp. 317-318，1996.
2) 巽佑介，小椋大輔：「吸放湿材が室内温湿度性状および空調負荷に及ぼす影響の検討」，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp. 239-240，2014.
3) 岸本嘉彦，梅宮典子：「寒冷地の住宅における冷房発停生起条件に関する研究」，第49回空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，A42，2020.
4) 佐藤亮太，高橋光一，岸本嘉彦：「寒冷地の戸建住宅における冷房・自然換気の利用実態に基づく吸放湿材の省エネルギー効果の検討」，日本建築学会大会学術講演概論集，D-2，pp. 193-194，2017.
5) 上野剛，宮永俊之，占部亘，北原博幸:家庭用エアコンの熱源特性モデルの開発・その1　冷房時モデル，電力中央研究所報告，pp1-18，2010.

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

蒸暑気候における折鋼板屋根の断熱・気密・防露性能の向上に関する研究
（その２）倉庫の折鋼板屋根の各種保温改修工法に関する性能評価

Research on Improving Hygrothermal and Air-tightness Performances of Folded Plate Steel Roofs in Mixed Climate Zone (Part2) Numerical Comparison of Hygrothermal Performances on a Warehouse with Various Thermal Retrofits

芝池　英樹（京都工芸繊維大学）　カイリナ　ビンティ　カマルル　アドラン（京都工芸繊維大学）
○　水上 明日香（京都工芸繊維大学）

Hideki SHIBAIKE *1 Khairina Binti KAMARUL ADLAN *1 Asuka MIZUKAMI *1

*1 Kyoto Institute of Technology

The lower the solar absorption rate and the higher the emissivity, the higher the cooling capacity, but the dehumidifying capacity does not always increase. Considering the heat insulation performance, it is better to choose one with low solar absorption rate and emissivity so that you can spend the whole year under comfortable conditions.

１.はじめに

近年、グローバルな気候変動の影響も有りエアコンの使用頻度が増加しており、それに伴って夏期の消費電力も増加している。また新型コロナ感染拡大防止のためにE-Commerce が急速に拡大し，それを支える物流倉庫も急増している。倉庫内で働く労働者を暑熱環境から保護し、作業効率や快適性を確保し消費電力の抑制を両立させるため、外皮への高反射塗料塗布による冷房負荷削減効果の数値評価を目指した。

本研究では木造平屋建てモデル倉庫に関して、外皮の日射吸収率、放射率の変化に焦点を絞り、建物の熱・湿気性状をシミュレーションできる Windows アプリケーション WUFIPlus 3.2.0.1 を用いて数値的に検討する。

２．モデル建造物と内部発熱の概要

計算対象の建造物は所在地を東京もしくは福井とする、延床面積 324.615 ㎡、室容積 1265.04 ㎥、外皮面積 963.95 ㎡の木造平屋建ての典型的な倉庫である（計算の簡略化のために室内からは柱を取り除いている）。外皮平均熱貫流率(U_A値)は 2.93W/㎡・K とする。

内部発熱や水蒸気発生の条件については労働者１名、フォークリフト１台（労働時間は一日のうち 8 時から 12 時、13 時から 17 時、土日休日）として Table.1 の通りに設定する。

労働者の水蒸気発生については夏季で 195.7g/h、冬季で 198.7g/h であるが、東京の場合は 5 月から 10 月を夏

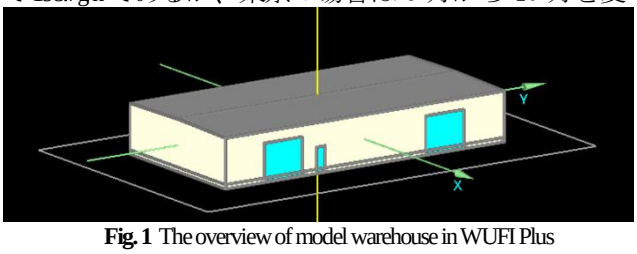


Fig. 1 The overview of model warehouse in WUFI Plus

３.計算条件

計算期間は 2016 年 10 月 1 日から 2017 年 10 月 1 日（助走期間は二週間）とし、外界気象条件は東京と福井の拡張 AMeDAS 標準年を用いる。地盤温度は地下 50cm の温度、湿度を適用し、建造物の外皮には JIS K 5675:2011「屋根用高日射反射率塗料」が規定する日射反射率に適合する実在する塗料と、架空の日射吸収率、放射率を持つ塗料を使用する（Table.2）。

本研究では二つのケースに分けて計算を行っている。①内部発熱無エアコン無、②内部発熱有エアコン有換気有である。

換気については 8 時から 20 時にかけて 0.5 ㎥/h の自然換気を行い、冷房除湿についてはそれぞれ 30℃、相対湿度 80%を超えた場合に作動する。

Table.1 Heat gain parameters

	Heat convection [W/h]	Heat radiation [W/h]
Human	39.3	33.3
Forklift	502	502
Light	1350	1350
Plug load	0.375	0.375

Table.2 Solar absorption / emission

	Short wave radiation absorption [-]	Long wave emissivity, surface to outer air [-]
No.1	0	0
No.2	0.106	0.877
No.3	0.16	0.23
No.4	0.158	0.922
No.5	0.2	0.9

４.温湿度変動と冷房除湿負荷変動

Figure2 から Figure14 は①と②の結果をグラフ化した

ものである（左福井　右東京）。Figure2 より室温は外気温と全天日射に影響を受け、日射吸収率が高いほどその日の最高温度が高くなり、放射率が高いほどその日の最低気温が低くなる。また、日射吸収率を 0.1 上げるごとに年間最高気温が約 5.25℃、平均気温が 1.38℃上がり、放射率を 0.1 上げるごとに平均気温が 1.13℃、年最低気温が 1.38℃低下する。ただしこの数値はあくまで目安である。絶対湿度と相対湿度については日射吸収率と

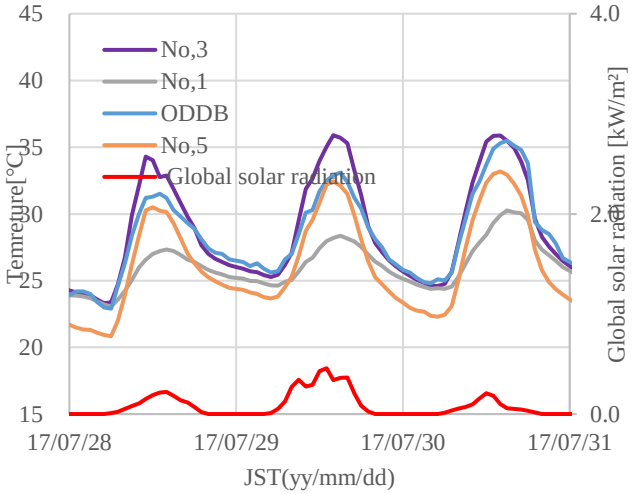


Fig. 2 temperature with no air condition and no loads in Fukui

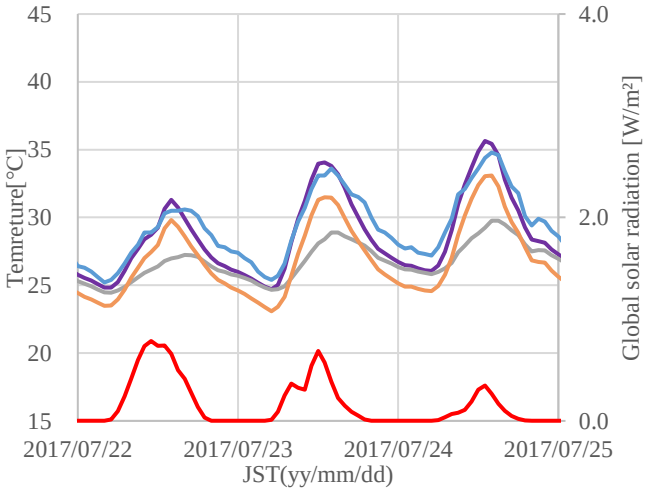


Fig. 3 temperature with no air condition and no loads in Tokyo

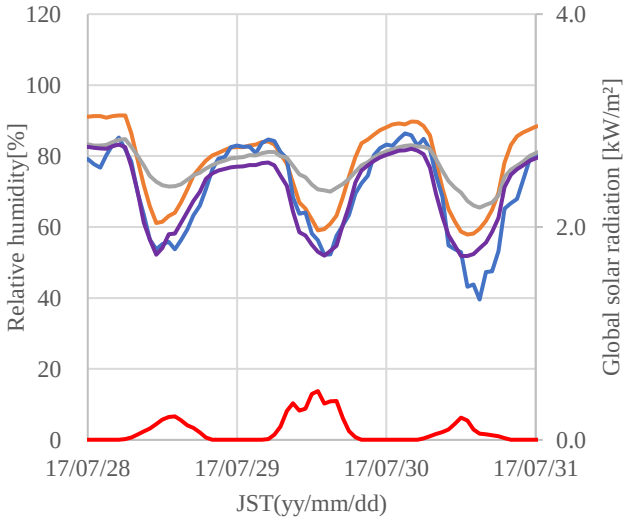


Fig. 4 Relative humidity with no air condition and no loads in Fukui

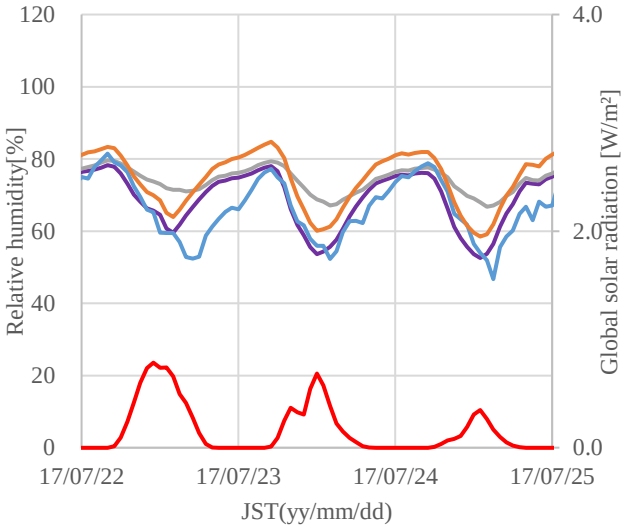


Fig. 5 temperature with no air condition and no loads in Tokyo

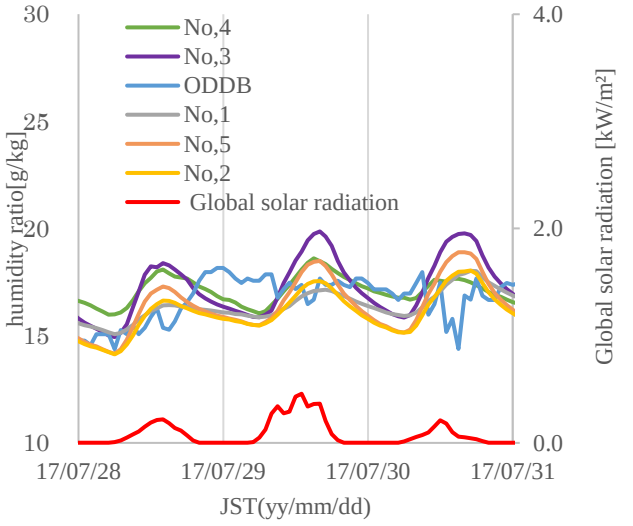


Fig. 6 humidity ratio with no air condition and no loads in Fukui

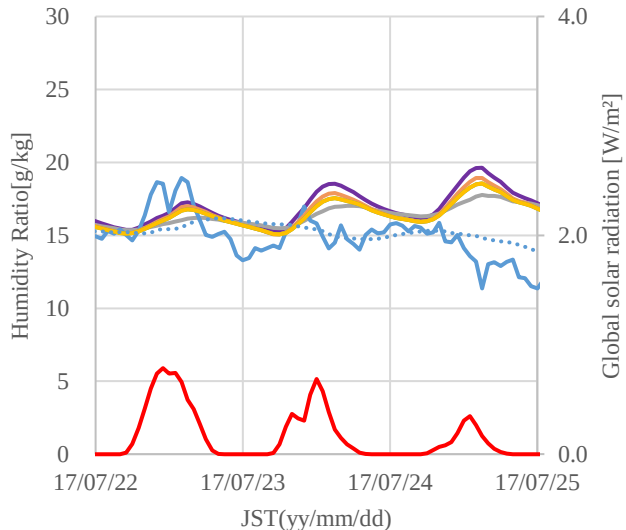


Fig. 7 humidity ratio with no air condition and no loads in Tokyo

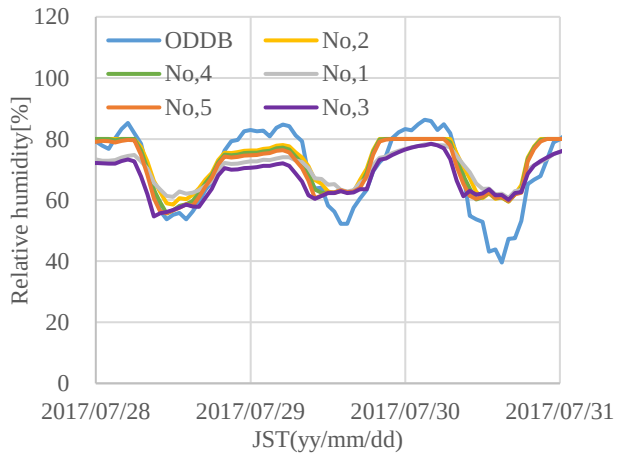


Fig. 7 Relative humidity with air condition and loads in Fukui

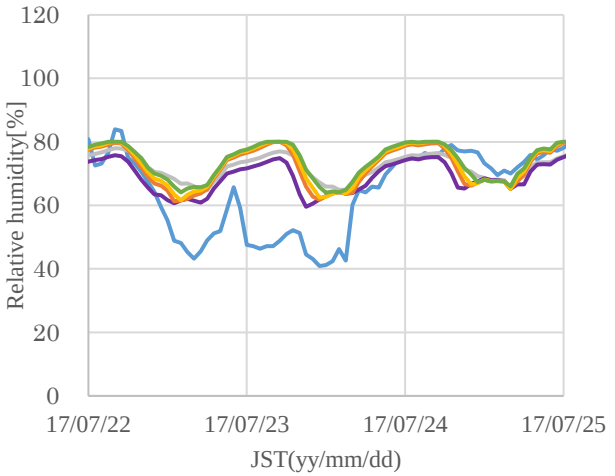


Fig. 8 Relative humidity in no air condition and no loads in Tokyo

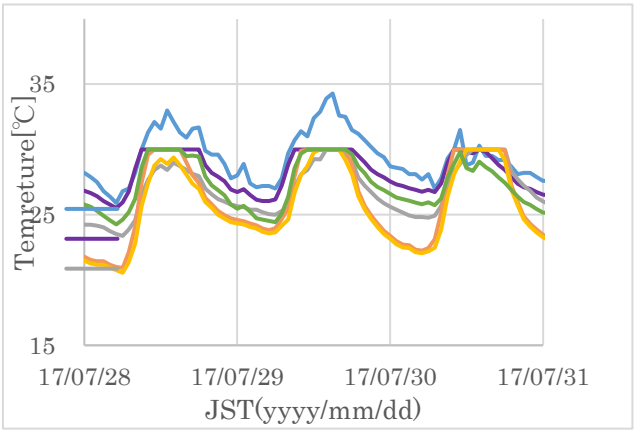


Fig. 9 temperature with air condition and loads in Fukui

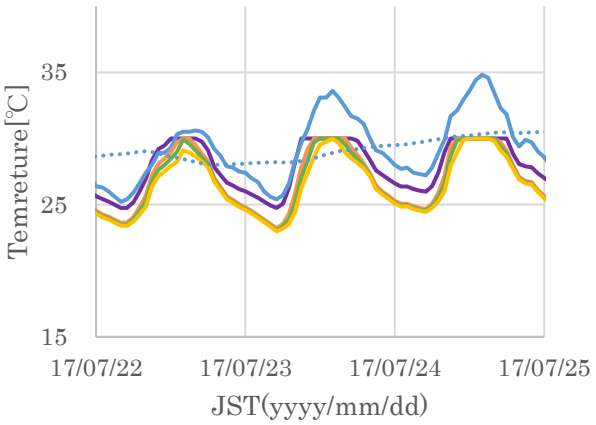


Fig. 10 temperature with air condition and loads in Tokyo

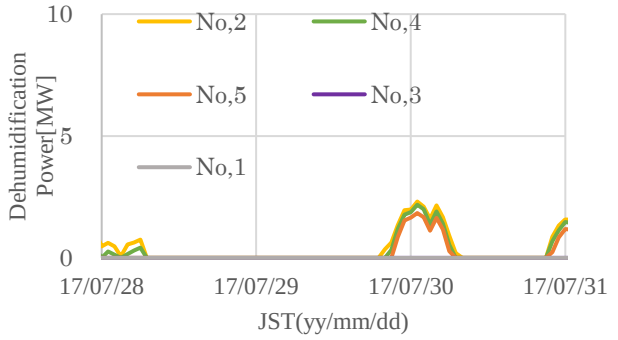


Fig. 11 Dehumidification power with air condition and loads in Fukui

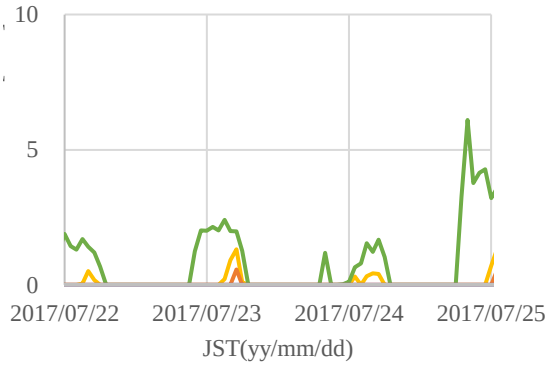


Fig. 12 Dehumidification power with air condition and loads in Tokyo

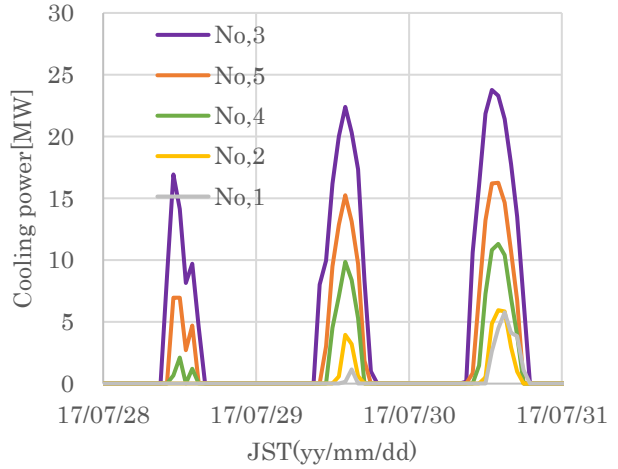


Fig. 13 Cooling power with air condition and loads in Fukui

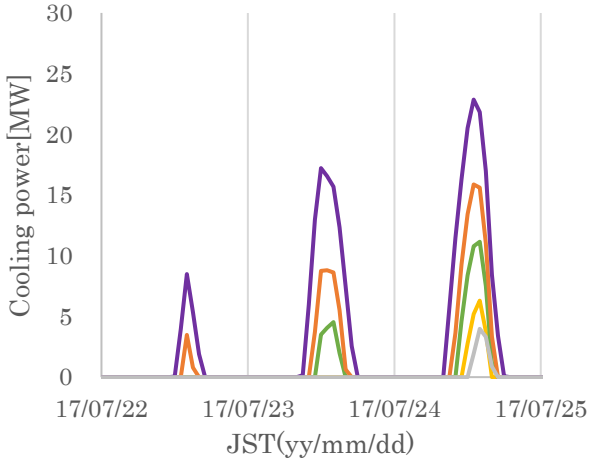


Fig. 14 4Cooling power with air condition and loads in Fukui

放射率の違いによるはっきりした関連は見られなかった。ただし日射吸収率が高いほど絶対湿度の年間平均は上がる傾向にある。内部発熱がない場合は inner heat source の部分が無くなる。

Figure14 と 15 は②の条件の時の福井にある No, 1 と No, 3 の年間の熱利得と熱損失を表にしたものだが、他の塗料もこの傾向に従う。コンクリート金鏝押さえの床からの熱損失が大きく、ほとんどの条件において室温が外気温を下回るのはこれが原因だと推測される。

Figure11～14 は空調設備を稼働させた時に消費したエネルギーのグラフである。Figure14 を見ると No, 3 の条件の時、冷房負荷が強くなっているため、No, 3 の時の条件が一番空調効率が悪いように見えるが、Table3 の結果を見ると No, 3 が一番空調設備を使っていないと分かる。

５、外皮の年間熱損失について

Figure6 は②の条件の時の福井にある No, 1 の年間の熱利得と熱損失を表にしたものだが、他の塗料もこの傾向に従う。コンクリート金鏝押さえの床からの熱損失が大きく、ほとんどの条件において室温が外気温を下回るのはこれが原因だと推測される。

6, まとめ

日射吸収率が低く放射率が高いほど冷房能力が上がるが、除湿能力が上がるとは限らない。断熱性能なども考慮した時、日射吸収率と放射率はともに低いものを選んだ方が年間を通して快適な条件で過ごせる。

参 考 文 献

1) Ahmed, K., Kumitski, J, & Olesen, B. W. (2017). Data for occupancy internal heat gain calculation in main building categories. Data in Brief, 15, 1030-1034. https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.10.036

2) Christian Taber, Donald Colliver, “Simulated Impact of Energy Codes Thermal Comfort in Heated-and-Ventilated Only Warehouses”, ASHRAE Journal, December2018, p2,

3) 比留川　伸司、平成 24 年度､塗料の省エネルギー性能評価法調査、Vague、2014 年、No.134、p4、

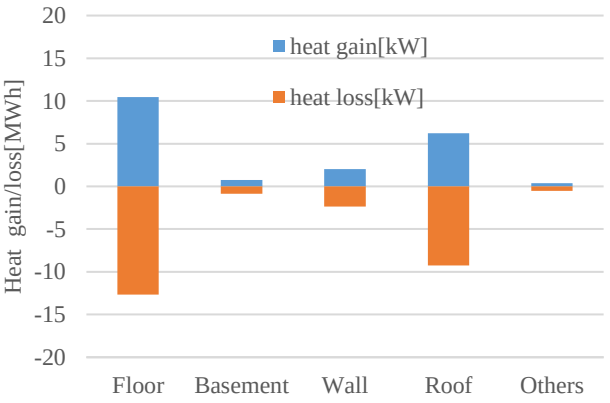


Fig. 15 annual eat gain/loss in Fukui (No,1)

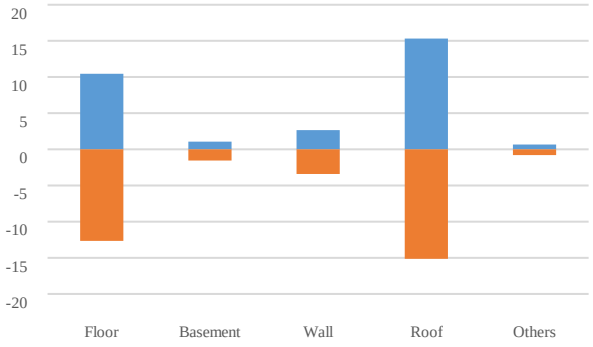


Fig. 16 annual heat gain/loss in Fukui (No,3)

Table3. Air conditioning power in Tokyo

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Cooling power [MW]	0.25	0.33	4.04	0.96	1.86
Dehumidification power [MW]	0.33	1.44	0.14	1.23	1.00
Cooling+Dehumidification power [MW]	0.58	1.77	4.18	2.19	2.86
Usage time [h]	457	1285	567	1227	1153

Table4. Air conditioning power in Fukui

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Cooling power [MW]	0.04	0.10	3.29	0.55	1.29
Dehumidification power [MW]	0.81	2.95	0.50	2.57	2.15
Cooling+Dehumidification power [MW]	0.85	3.04	3.78	3.12	3.44
Usage time [h]	813	2678	906	2503	2272

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

寒冷地用高断熱・高気密住宅の熱・湿気性状に関する研究
－ 寒冷気候での性能評価
Hygrothermal Simulations on a High Performing Detached House with Traditional Timber Frame Designed for Cold Climate Zone – Performance Evaluations for Cold Climate Zone

技術ﾌｪﾛｰ　芝池　英樹（京都工芸繊維大学）
伍賀　誠治（京都工芸繊維大学）　　○清水　亮吾（京都工芸繊維大学）
Hideki SHIBAIKE *1　Seiji GOKA *1　Ryogo SHIMIZU *1
*1　Kyoto Institute of Technology

Applying the Windows application WUFI® Plus Ver.3.2, the high performing two storied single family house has been numerically evaluated for the three types of mechanical ventilation systems (HRV, ERV and NRV) to be utilized. The model house was designed and constructed for the cold climate zone which has a large south opening intended for passive use of solar heat gain and the thicker insulation layers of fiberglass for both the cavity infill and exterior attached layer.
Regarding the sensible heat load for air conditioning, HRV shows particularly effective reduction for heating load, but the less effect on cooling load. On the other hand, ERV shows the greater reduction on the sensible and latent load for air conditioning.

１．はじめに

我が国では、近年気候変動対策として国を挙げての CO_2 排出量削減を目的とした立法や施策が矢継ぎ早に推進されている。建築の分野でも、2015 年に採択された「パリ協定」に従い、2030 年度までに日本の住宅・建築分野における CO_2 排出量を 40%削減する目標が定められた。これに伴い、2019 年には「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」が改正され、建築分野での省エネルギー化は漸く義務化で進んでいる。

本報では、建物の非定常熱・湿気同時移動が予測可能な Windows アプリケーション WUFI® Plus Ver.3.2（以下 WUFI® Plus と表記）[1),2)]を用いて、太陽熱のパッシブ利用を意図して南面大開口を採用し寒冷地用に設計・建設された高断熱・高気密住宅 [3)]をモデル化し、室内温・湿度や冷・暖房負荷の変動性状を予測する。完成住宅では第 3 種換気システムが採用されているが、数値予測では 3 種類の機械換気システム（熱回収無しの第 3 種換気 : NRV、バイパス回路が有り顕熱のみ 90%回収する熱回収換気 : HRV、バイパス回路が有り顕熱 70%、潜熱 40%を回収する全熱回収換気 : ERV）の効果を比較し、室内温・湿度や冷・暖房の潜・顕熱負荷変動に与える影響を明らかにする。

２．計算対象となる高断熱・高気密住宅の概要

計算対象とする建物は、延床面積 124.2 m^2、室容積 527.2 m^3、総外皮面積 415.87 m^2 の２階建て住宅である（**Fig.1** 参照）。南側外皮には、殆ど壁がなく、巨大な高性能窓が置かれていることが大きな特徴である。

今回は、計算の簡略化のために 1 階、2 階、床下空間を区別せず 1 ゾーンとし計算を実施する。屋根・外壁共に GW による充填・外張り断熱を採用しており、外皮の平均熱貫流率は約 0.19 W/m^2K となっている。室内の設定温度は 20~25℃、設定湿度は 40~65%とする。内部発熱は夫婦と子供二人の 4 人家族を想定し、夏、冬、中間期に対して、各々平日と休日の 2 パターンを設け、合計 6 パターンを使用して計算する。

３．計算条件

計算期間は、助走期間を 1 週間設け、11 月 01 日から翌年 10 月 31 日までの 1 年間とする。

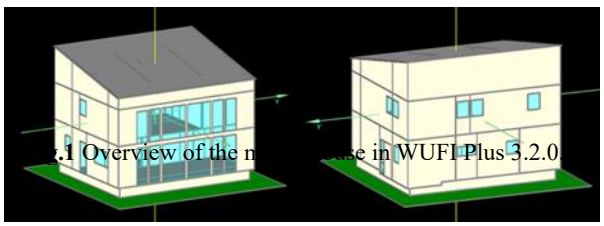


Fig.1 Overview of the n[illegible]se in WUFI Plus 3.2.0

外界気象データには、建設地に近い秋田県秋田市の拡張アメダス標準年を用いる。

南面する大開口部には、日射熱によるオーバーヒートを避けるためにブラインドが設けられている。①11/01~02/01 の期間は 07:00~17:00 の間だけブラインドを全開し、1 日の残りの時間は全閉とする。②05/18~10/08 の期間は 5:00~19:00 の間は 30%開放し残りの時間は全閉、①、②の期間外では 6:00~18:00 の間ブラインドを全開し、残り時間は全閉とする。

換気は機械換気でのみ行い、ブラインドと同様に室温が上がりすぎてしまうことを避けるために換気量を調整した。③2019/04/24~2019/06/07 と④2019/09/15~2019/10/24 の期間は夜間（18:00 から翌日の 9:00 まで）に換気量を 320 ㎥/h に増やし、それ以外の時間帯は 263.6 ㎥/h とする。また、③、④以外の期間の換気量は 24 時間常に 263.6 ㎥/h で一定に設定する。

４．計算結果

計算期間で外気温が最も下がった 2019/01/17 の前後 1 週間では暖房が作動し、室内温度は NRV、HRV、ERV の間に大きな温度差は見られなかったが、室温が 20℃を超えるときはわずかだが HRV が ERV と NRV よりも気温が高くなっている（**Fig.2**）。この時の絶対湿度は室温と同じように約 6g/kgDA ほとんど一定の値を取っていた。しかし、顕熱負荷を比較したところ、HRV が最も顕熱負荷が小さく、続いて ERV、NRV の順番に負荷が大きくなっていることがわかった（**Fig.3**）。特に HRV は NRV と比べて顕熱負荷が半分ほどに軽減されていることがわかる。潜熱負荷を見ていくと、NRV と HRV はほとんど同じ値を取っているのに対して、ERV はほかの 2 種類よりも低い値を取っていることがわかる。

最も外気温が上がった 2019/08/02 の前後は冷房が作動して最も寒い日と同様に、3 種類の換気方式に温度差はほとんど見られなかった（**Fig.4**）。顕熱負荷は 3 種類とも大きな差はないものの、暖房期と同じように HRV、ERV、NRV の順番で負荷が大きくなっていることがわかった（**Fig.5**）。NRV と HRV の潜熱負荷はほとんど同じ変動をしているのに対し、ERV はほかの 2 種よりも負荷が小さく抑えられていることがわかる。

日射量が最も多い 2019/06/12 の前後 1 週間では NRV が他の換気方式よりも室温が低く、ERV と HRV には差が見られなかった（**Fig.6**）。顕熱負荷を比較すると最寒日や最暑日とは順番が入れ替わり、NRV、ERV、HRV の順に負荷が大きくなっていた（**Fig.7**）。また、この期間ではでは加湿・除湿がともに 0 であり、潜熱負荷は生じなかった。そこでこの期間の相対湿度と絶対湿度を調べたところ、NRV、ERV、HRV の 3 種とも大きく変動していることがわかった（**Fig.8 Fig.9**）。絶対湿度が高い場合は 3 種類の差はあまりないが、絶対湿度が急激に低下したときは ERV、HRV、NRV の順に変化が小さくなっている。

最後に単位面積当たりの顕熱負荷・潜熱負荷の合算値をからそれぞれの空調負荷を比較してみる（**Fig.10**）。暖房と除湿の合算値では NRV がほかの 2 種類よりも 2~3 倍ほどの負荷がかかってしまっている結果となった。しかし、冷房と加湿の合算値を見ると ERV と NRV はほとんど差がなく、HRV が最も負荷が大きいことがわかった。結果的に全体を通してみると、NRV、HRV、ERV の順に空調負荷が小さくなっていくという結果となった。

５．まとめ

建物の非定常熱・湿気同時移動が予測可能な Windows アプリケーション WUFI® Plus Ver.3.2 を用いて、太陽熱のパッシブ利用を意図して南面大開口を採用し寒冷地用に設計・建設された高断熱・高気密住宅をモデル化し、3 種類の換気熱回収方式に応じる顕・潜熱空調負荷や室内温・湿度の変動性状の違いを比較検討した。

顕熱空調負荷に関しては、HRV は特に暖房負荷削減に有効なことが確認できたが、冷房負荷に関しては暖房負荷ほどの効果が見らない。一方で、全熱回収する ERV は冷房・除湿負荷と暖房・加湿負荷の何れでも NRV（熱回収無しの第 3 種換気方式）よりも

大きな負荷削減効果が得られた。また、日積算日射量が最大となる 6 月 12 日を含む 1 週間では、冷房負荷の順序が NRV＜ERV＜HRV と逆転し、バイパス回路による外気冷房が好ましいことが分かる。

最後に、計算対象とした高断熱・高気密住宅は南面窓面積が過大なため、冬期は開口部を貫流する熱損失が大きく保温効果は十分発揮されず、夏期は射入日射量でオーバーヒートしている。ブラインド等よる日射遮蔽や適切な外気冷房の応用により、さらなる空調負荷削減が期待できる。また、期間暖・冷房負荷の簡易計算で Passive 建築評価が可能な WUFI® Passive 機能で計算される冷・暖房負荷と、精算された冷・暖房負荷の一致度の検証は今後の課題である。さらに外皮の外表面寸法によるモデルと国内では一般的に利用されている柱芯によるモデルの冷・暖房負荷の差異についても検討予定である。

謝辞　計算モデル選定に際して試作住宅新築工事竣工図を提供し、完成物件見学を受諾戴いた西方設計関係各位に感謝します。

参考文献

1）　H.M.Künzel, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components One- and two-dimensional calculation using simple parameters, IRB Verlag, 1995.

2）　H.M.Künzel, Simulation of indoor temperature and humidity conditions including hygrothermal interactions with the building envelope, Solar Energy 78, 2005.

3) 西方里見，西方設計試作住宅新築工事竣工図（Private Communication），2016.

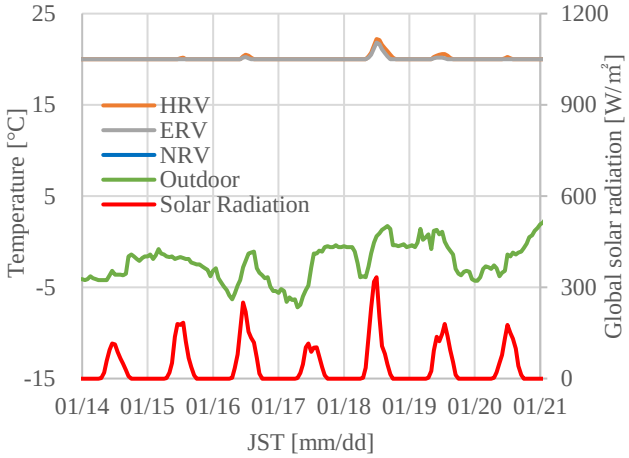


Fig.2 Temperature profiles in severe winter week

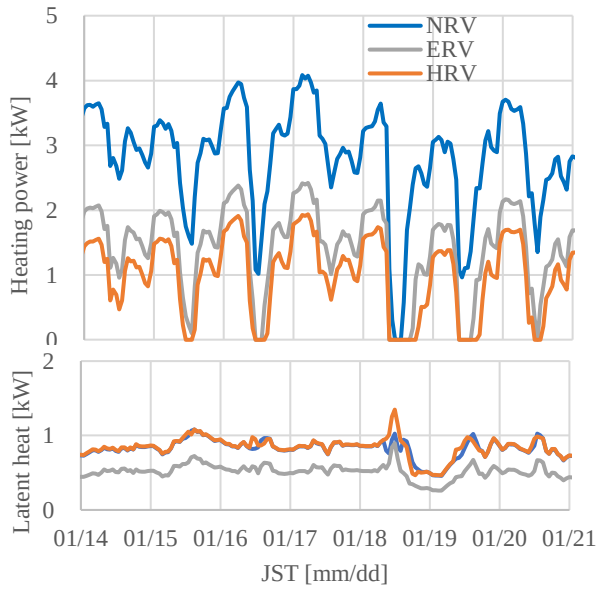


Fig.3 Heating power and Latent heat in severe winter week

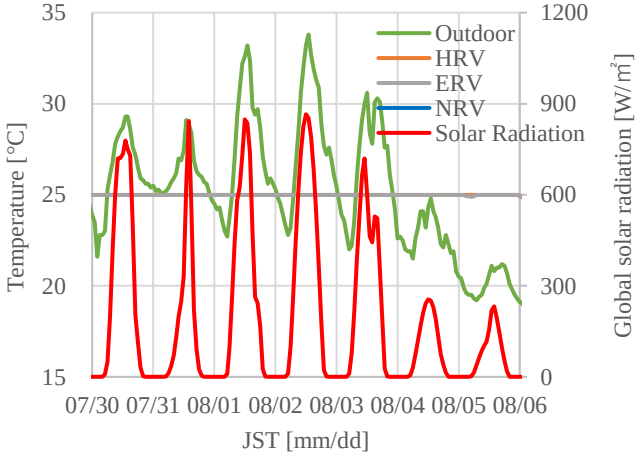


Fig.4 Temperature profiles in hot summer week

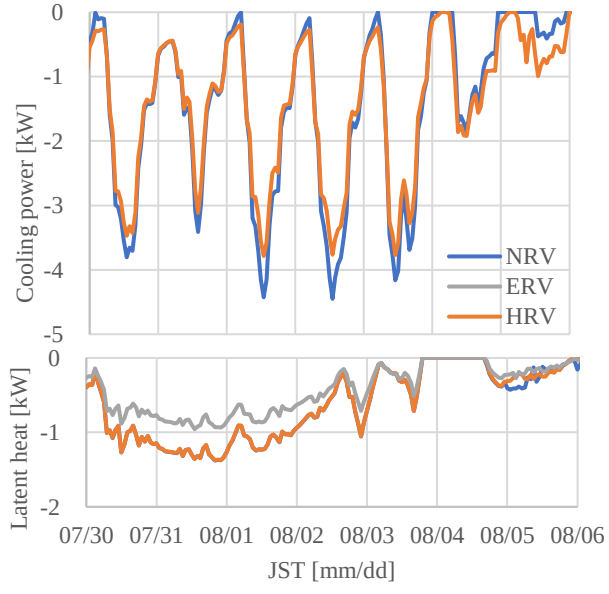


Fig.5 Cooling power and Latent heat in hot summer week

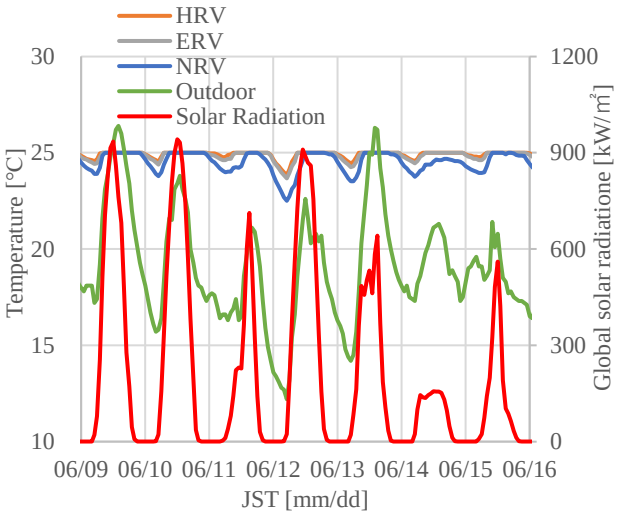


Fig.6 Temperature profiles in summer solstice

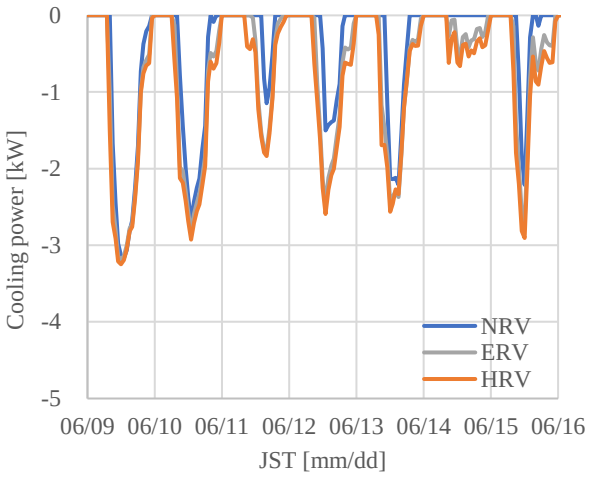


Fig.7 Cooling power in summer solstice

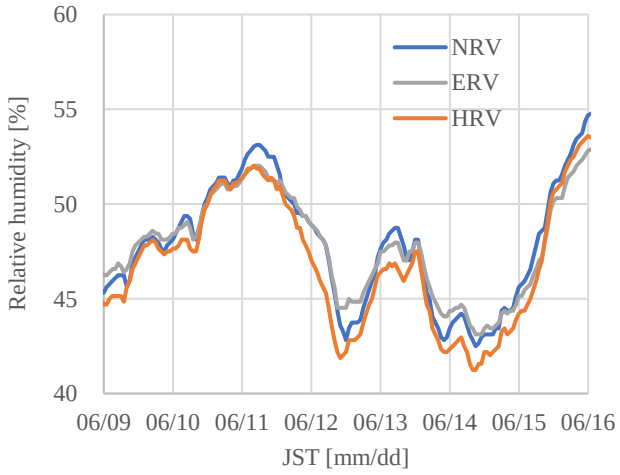


Fig.8 Relative humidity in summer solstice

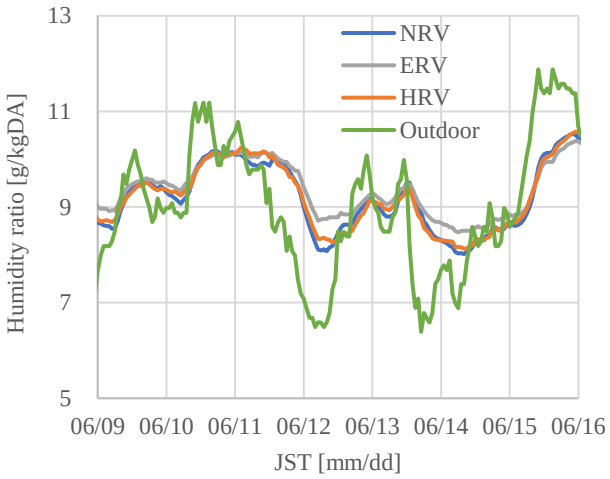


Fig.9 Humidity ratio in summer solstice

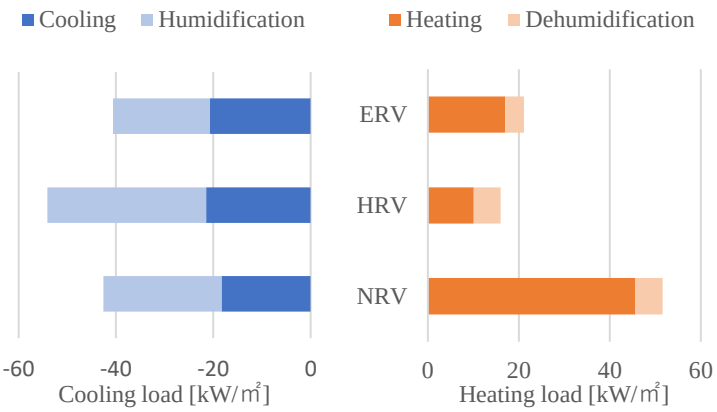


Fig.10 Cooling and Heating load

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

休憩空間における室内環境変化が在室者のリラックス・リフレッシュ効果に与える影響
（その１）照明・気流・におい環境の変化が心理反応に及ぼす影響
Influence of Indoor Environmental Changes in Relaxation Space on Relaxation and Refreshment Effects of Occupants
(Part 1) Influence of Lighting and Wind,Odor Changes on Psychological Response

○宗　菜津未　（大阪大学）　山中　俊夫　（大阪大学）　崔　ナレ（大阪大学）
竹村　明久　（摂南大学）　小林　知広　（大阪大学）藤江　智暉（大阪大学）
池田　馨　（パナソニック株式会社プロダクト解析センター）
Natsumi SO[*1]　Toshio YAMANAKA[*1]　Narae CHOI[*1]　Akihisa TAKEMURA[*2]
Tomohiro KOBAYASHI[*1]　Tomoki FUJIE[*1]　Kaoru IKEDA[*3]
[*1] Osaka University　[*2] Setsunan University　[*3] Panasonic Analysis Center,Panasonic Corporation

Since proper break between office work is helpful in decreasing work-related stress and fatigue, a break space in office is also an important place to create healthy and productive workplace environment. However, there are relatively few studies focused on the break space compared to ones focused on work space. In this study, experiments were carried out to investigate the influence of the break space's indoor environment on occupants' psychological and physiological responses. To examine whether change in indoor environment during break positively affect occupants' responses and productivity, lighting, odor and air movement conditions were intentionally changed before the end of the break.

はじめに

オフィスで長時間、連続的に働いていると、集中力が低下し、作業効率に悪影響を及ぼすとされているが作業の合間に休憩を挟むと、その後の作業の効率が上がるという効果があり、近年では勤務中の休憩が推奨されてきている。[1)] しかし、休憩空間の環境がその後の作業効率や、在室者の心理・生理反応に与える影響についての研究はあまり行われていない。本研究は､在室者の快適性･生産性が向上する休憩環境の提案を目的とする。本実験では、休憩中の照明・におい・気流条件を変化させ、在室者の心理・生理反応および休憩後の作業効率を測定した。その結果から、休憩中の室内環境の変化が在室者をリラックス状態からリフレッシュ状態に移行させ、休憩後の作業効率向上につながる可能性について検討する。

1. 実験概要

実験は本学学内の作業空間と休憩空間を設けた実験室で行った（**Fig.1**）。パネルには本学学生の男性 5 名（22 ～ 24 歳）女子 4 名 (21 ～ 24 歳) を採用した。実験スケジュールを **Fig.2** に示す。作業空間で説明を行い、パネルに脳波測定機器を取り付けた。1 回目の心理評価後、d2 テスト 2 枚と数独、さらにその後 d2 テスト 2 枚の合計 15 分間を実施した (作業 (1))。2 回目の心理評価後、休憩空間で 10 分間休憩させた。休憩のうち最初の 8 分間は自然の映像を見て過ごさせ、以降この状態をリラックス状態とする。8 分後、休憩時の環境変化が在室者の心理・生理反応、休憩後の生産性に与える影響を調べるため、残りの 2 分間は照明 (L)、気流 (W) におい (O) のいずれか、もしくは全て (A) を変化させた。以降この状態をリフレッシュ状態とする。また比較のため、リラックス状態で 10 分間過ごす条件 (R) と、休憩が無く約 45 分間続けて作業を行う条件 (T) についても実験を行った。休憩後 3 回目の心理評価を実施した後、作業空間に移動し、休憩前と同様に d2 テストと数独を 15 分間実施した (作業 (3))。最後に 4 回目の心理評価を行った。

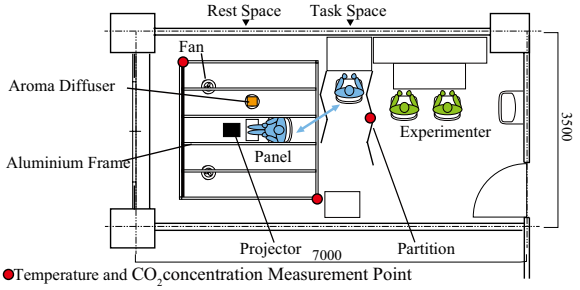


Fig. 1 Experimental room plan

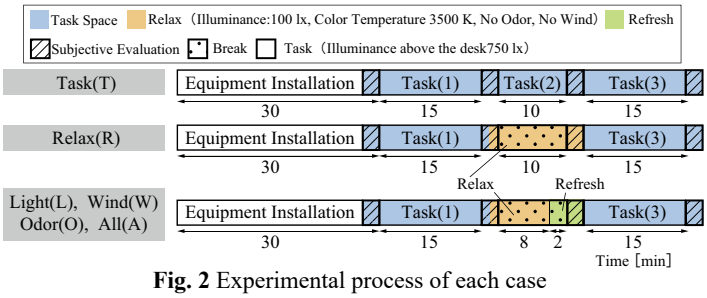


Fig. 2 Experimental process of each case

Table1 Environmental conditions of each phase

		Illuminance(lx)	Color Temperature(K)	Wind	Odor
Task(1)(2)(3)		750	3900	Calm	No Aroma
Relax		100	3500	Calm	No Aroma
Refresh	Light(L)	3500	5700	Calm	No Aroma
	Wind(W)	100	3500	Fan	No Aroma
	Odor(O)	100	3500	Calm	Peppermint
	All(A)	3500	5700	Fan	Peppermint

Table2 List of measurement items

Contents	Item
Environment	Temperature・Humidity・CO_2concentration
Psychological Responce	Relaxation・Refreshment・Fatigue
	Two-Dimentional Mood Scale（Stability・Activity）
	Odor Intensity ・Odor Pleasantness・Odor Preference
	Brightness・Glareness・Light Comfort・Pleasantness of Air Movement
	Pleasantness of Overall Environment
Physiological Responce	Heart Rate・EEG
Task	Processed Rate of d2test・Persentage of Errors of d2test

実験室の換気量や温湿度、CO_2 濃度は適切に管理を行い、全条件でほとんど差がないことを確認した。日光の影響を避けるため、実験室の窓は遮光フィルムで覆った。作業空間は、机上面照度を 750 lx、色温度 3900 K に統一し、パーティションで区切った。休憩空間に 1 辺 2.4 m のアルミフレームを設置し、照度と色温度が変更可能な電球を取り付けた。リラックス状態の休憩環境は顔面照度 100 lx、色温度 3500 K、においの噴霧無し、気流無しの条件で統一した。実験条件を **Table1** に示す。リフレッシュ状態で照明が変化する条件では、照度を 100 lx から 3500 lx 、色温度を 3500 K から 5700 K に変化させた。におい変化条件ではペパーミントの精油を噴霧し、気流変化条件では扇風機により気流を発生させた。心理・生理反応の測定項目を **Table2** に示す。生理反応として、心電、胸部温度 (㈱ TDK、Silmee Bar type Lite) 及び脳波 (㈱ミユキ技研 ,MP208) を測定し、心理反応としてアンケートを回答させた。脳波は国際式 10-20 法に従い O1O2(後頭部) を測定した。

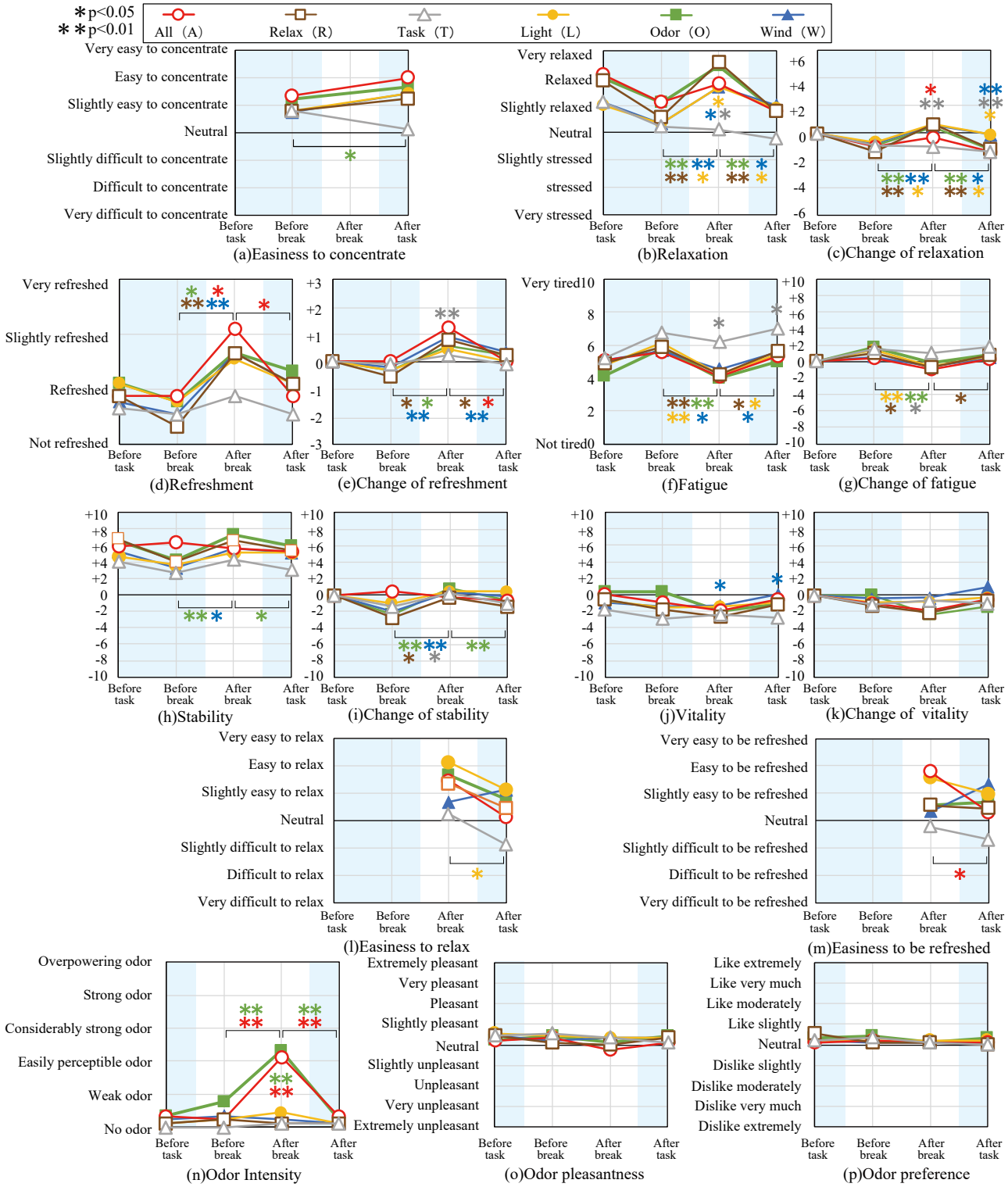


Fig. 3-1 Result of subjective evaluation (mean value of all panels)

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

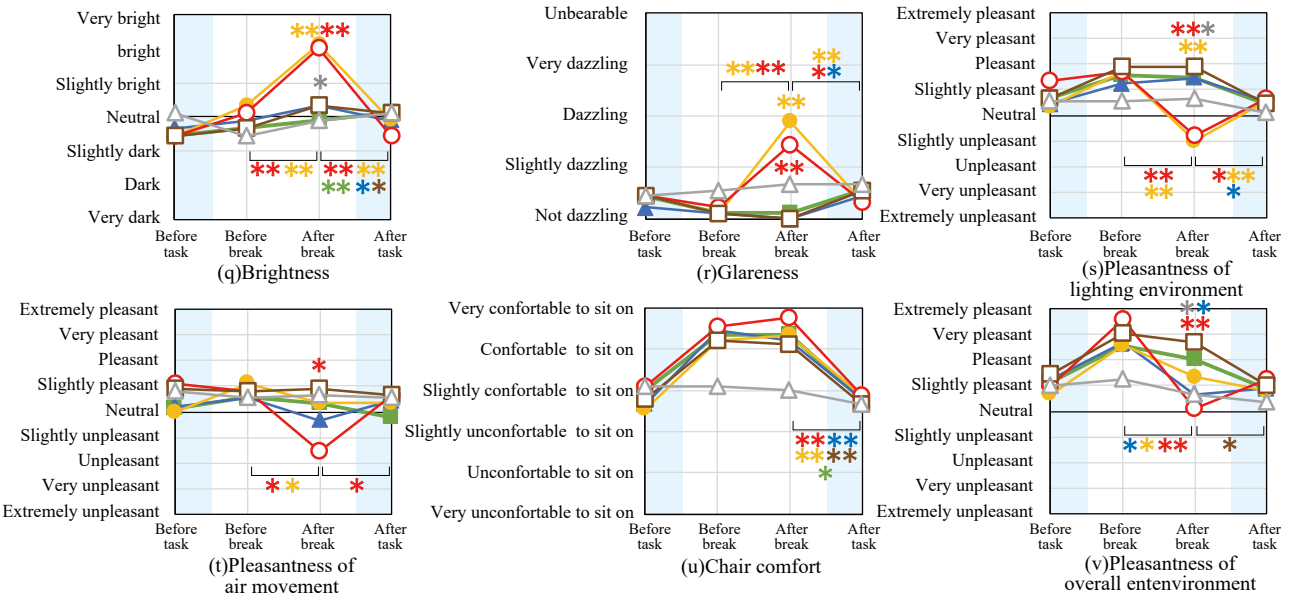


Fig.3-2 Result of subjective evaluation (mean value of all panels)

Table3 TDMS(Two Dimentional Mood Scale)

	Not at all	A little	Slightly	Moderately	Quite a bit	Extremely
Calm	0	1	2	3	4	5
Irritated	0	1	2	3	4	5
Lethargic	0	1	2	3	4	5
Energetic	0	1	2	3	4	5
Relaxed	0	1	2	3	4	5
Nervous	0	1	2	3	4	5
Listless	0	1	2	3	4	5
Lively	0	1	2	3	4	5

2. 実験結果と考察

本報では測定項目のうち心理反応について考察を行う。**Fig.3** に全主観評価項目における全パネルの平均値を示す。主観評価項目の中には、2 回目の評価を作業空間で行ったものと休憩空間で行ったものがあり、**Fig.3** で水色に塗られている箇所は作業空間で回答された結果ある。心理反応に関する主観評価の一つに二次元気分尺度 (TDMS)[2](アイエムエフ㈱、TDMS-ST for academic) **(Table3)** を用いた。TDMS は 8 項目を 6 段階尺度で評価するもので、それらの回答を元に以下の式で安定度と活性度を算出できる。安定度は (落ち着いた)+(リラックスした)−(イライラした)−(ピリピリした) また、活性度は (活気にあふれた)+(イキイキした)−(無気力な)−(だらけた) で表される。

2. 1 休憩の有無による心理反応への影響

Fig.3(a) より、休憩無しの条件 (T) のみ集中力が低下していることが分かる。また実験開始時の値を基準としたリラックス度及びリフレッシュ度の変化量 **(Fig.3(c)(e))** を見ると、作業後の主観評価で条件 (T) が最も低い結果となっている。さらに、**Fig.3(g)** の疲労度の変化量の結果でも、条件 (T) で最も疲労度が上昇していた。このことから、作業でパネルに負荷がかかり、休憩で心理的な疲労から回復することが分かった。

2. 2 休憩中の環境変化による心理反応への影響

Fig.3(b) のリラックス度に着目すると、休憩前と休憩後の主観評価の変化量において、休憩を挟んだ 5 条件

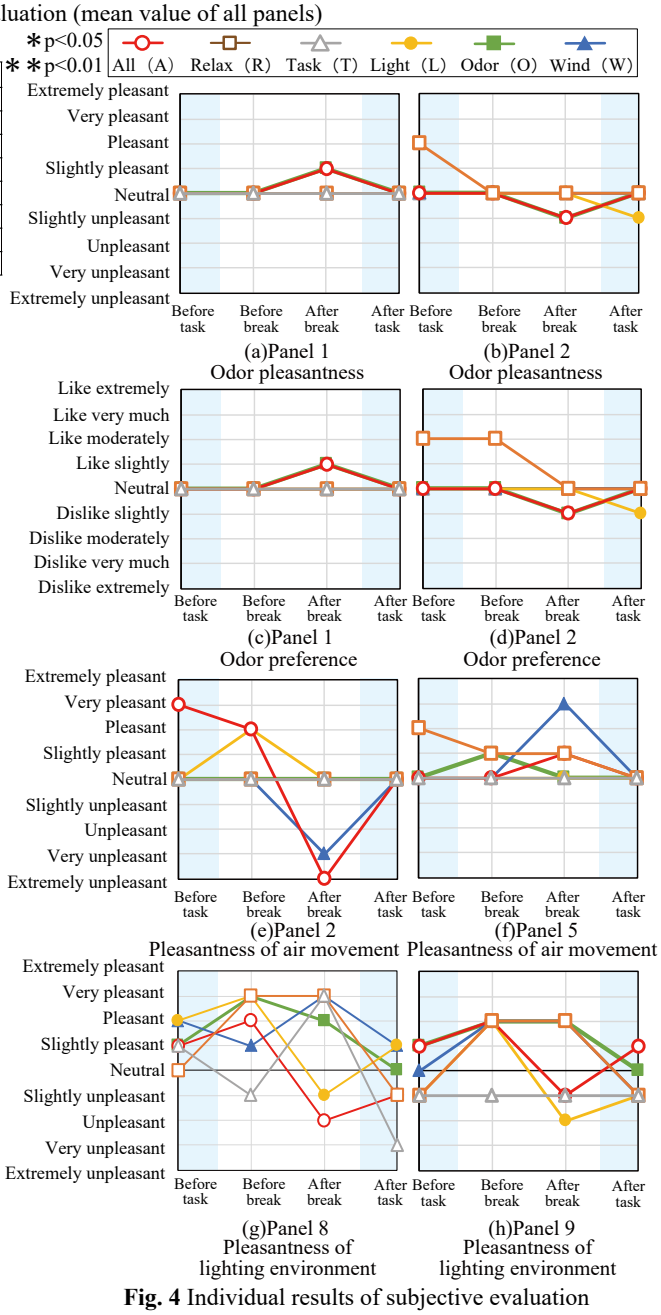


Fig. 4 Individual results of subjective evaluation

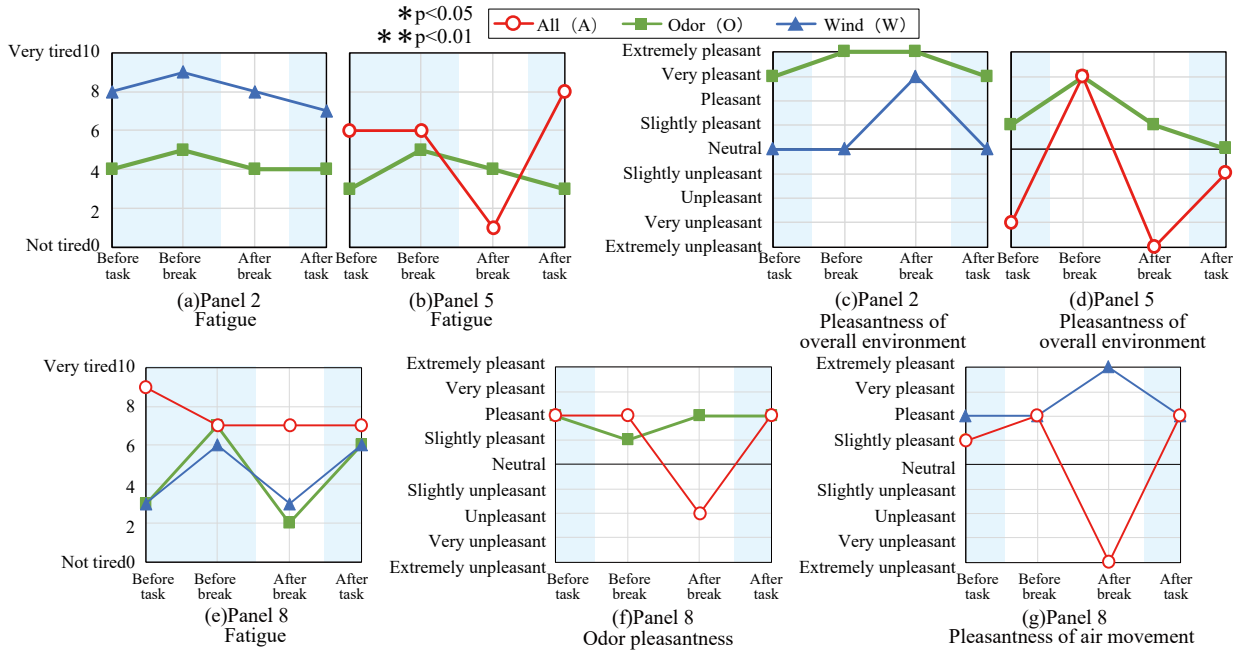


Fig. 5 Correlation between fatigue level and psychological reaction

のうち条件 (R) は最も傾きが大きく、条件 (A) は最も傾きが小さい。また、**Fig.3(v)** の室内環境の快・不快度より、休憩前と休憩後の主観評価で条件 (A) だけ大幅に低下している。このことから、休憩中における大きな環境変化は在室者がリラックスし辛いと感じ、不快に思う可能性が示された。**Fig.3(o)** のにおいの快・不快度と **(p)** のにおいの嗜好度に注目すると、においを変化させた条件 (O) と条件 (A) と、その他の条件の結果の間にあまり違いが見られないが、この 2 項目はパネルによって両側に回答が分かれやすく、平均したことで打ち消しあったと思われる。例として **Fig.4(a)(b)** にパネル 1 と 2 のにおいの快・不快度、**(3)(4)** ににおいの嗜好度を示す。パネル 1 はペパーミントのにおいを比較的好み快適と感じている一方、パネル 2 はにおいを嫌い、やや不快と感じている。**Fig.3(t)** 気流の快・不快度より、休憩後条件 (W) と条件 (A) は不快側に評価されているが、**Fig.4(e)(f)** 気流の快不快度より、パネル 2 は不快と感じている一方でパネル 5 は快と感じている。この項目に関しては多くのパネルが気流を不快と回答したが、数人のパネルが快と回答しており、気流に関しても平均だけでなく個人間の差を重要視する必要がある。**Fig.3(s)** の照明の快・不快度を見ると、休条件 (L) と条件 (A) は休憩後他の条件より不快寄りになっている。パネルごとの例として **Fig.4(g)(h)** に示すパネル 8 とパネル 9 の回答を見ると、いずれも **Fig.3-2(s)** の平均値と類似の傾向だった。照明の快・不快度においては条件 (L) と条件 (A) の休憩前後に評価が上昇したパネルは見られなかった。

2. 3 初期疲労度による心理反応への影響

同一パネルにおいても初期値が大きく異なる項目があり、その一つが疲労度である。疲労度の初期値の差による、その他の主観評価項目への影響について考察する。**Fig.5(a)(b)** にパネル 2 とパネル 5 の疲労度を、**Fig.5(a)(b)** に室内環境の快・不快度を示す。**Fig.5(a)(b)** から、パネル 2 は作業前の時点で条件 (W) が条件 (O) より疲労度が 4 段階高く、パネル 5 は条件 (A) が条件 (O) より 3 段階高い。また **Fig.5(c)(d)** から、パネル 2 は作業前の時点で、条件 (O) が条件 (W) より室内環境の快・不快度が 3 段階高く、パネル 5 は条件 (O) が条件 (A) より 4 段階高い。次に、**Fig.5(e)** に示すパネル 8 の疲労度から、条件 (O) と条件 (W) に比べて条件 (A) では作業前の時点で疲労度が 6 段階高い。さらに **Fig.5(f)** のにおいの快・不快度では、同じにおいを噴霧したにも拘わらず、2 回目から 3 回目の主観評価にかけて条件 (O) では上昇し条件 (A) では低下している。**Fig.5(g)** の気流の快・不快度も同様の回答となっており、パネルの体調や精神状態が優れず実験前から疲労度が高い日は、同じ室内環境でも不快と感じやすくなる可能性が示唆された。

おわりに

本報では作業間の休憩の有無、もしくは休憩中の環境要素の変化による心理反応への影響について報告した。全パネルに同じ傾向の影響を与えた要素は照明だった。パネルによって傾向は異なるがにおいや気流も影響を与え、同一パネルでも初期段階の疲労度によってその後の心理反応に大きな差が見られた。なお、本研究は大阪大学工学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。

【謝辞】
本研究はパナソニック株式会社との共同研究であり、関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】

1) 関紅美花：オフィス共用空間における身体活動促進及び休憩が知的生産性に与える影響（第 2 報）心理量・人体生理・知的生産性に及ぼす影響，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 ,pp.373-376,2019
2) Sakairi, Y. , Nakatsuka, K. and Shimizu, T.: Development of the Two-Dimensional Mood Scale for self-monitoring and self-regulation of momentary mood states, Japnanese Psychological research, 55, pp. 338- 349, 2013

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

休憩空間における室内環境変化が在室者のリラックス・リフレッシュ効果に与える影響 （その２）照明・気流・におい環境の変化が生理反応に及ぼす影響

Influence of Indoor Environment Changes in Relaxation Space on Relaxation and Refreshment Effects of Occupants (Part 2) Influence of Lighting and Wind, Odor Changes on Physiological Response

○藤江　智暉（大阪大学）　山中　俊夫（大阪大学）
崔　ナレ（大阪大学）　竹村　明久（摂南大学）
小林　知広（大阪大学）　宗　菜津未（大阪大学）
池田　馨　（パナソニック株式会社プロダクト解析センター）

Tomoki FUJIE[*1]　Toshio YAMANAKA[*1]　Narae CHOI[*1]　Akihisa TAKEMURA[*2]
Tomohiro KOBAYASHI[*1]　Natsumi SO[*1]　Kaoru IKEDA[*3]
[*1] Osaka University　[*2] Setsunan University　[*3] Product Analysis Center,Panasonic Corporation

Recently, the importance of human health and well-being has been emphasized, as in the case of the WELL Building Standard. In office design, the environmental design of break spaces is attracting attention because taking effective break can enhance workplace productivity. This study aims to investigate the influence of the change in the indoor environment during break on occupants' performance. Both the psychological and physiological responses of participants were observed under five different conditions of indoor break environment and the responses without break were also examined for comparison.

はじめに

近年、WELL 認証の様に人間の健康面が重要視されている。また、オフィス設計では執務者が快適な休憩時間を過ごすことが知的生産性の向上につながるため、休憩空間の環境設計が注目されている。休憩空間の室内環境に関しては、既に研究[1)]が行われているが、休憩空間での複合環境が利用者の心理・生理や知的生産性に及ぼす影響についてはまだ解明されていない。本研究は、在室者の快適性・生産性が向上する休憩環境の提案を目的とし、本実験では、休憩空間の照明・におい・気流環境に着目し、その複合環境、または複合環境の変化が利用者の心理・生理反応および休憩後の作業効率に与える影響を検討する事を目的とする。前報[2)]では、本研究にて行った被検者実験の概要と心理反応の結果について報告した。本報では生理反応の結果と作業成績の結果について報告する。

1. 実験概要

実験概要については前報[2)]で述べた通りである。

2. 生理量測定項目

生理反応を定量化する目的で、脳波 ((株) ミユキ技研 , ポリメイトミニ AP108 およびポケット MP208 を使用) を測定した。脳波は国際式 10-20 法に従い、O1・O2 (後頭部) を測定し、FFT を施してα波 (8 ～ 13 Hz) とβ波 (13 ～ 30 Hz) のパワー値 (μV^2)、α波およびβ波のパワー値をα波とβ波、θ波 (4 ～ 8 Hz)、δ波 (0.5 ～ 4 Hz) それぞれのパワー値の総和で割ったα波含有率、β波含有率、β波のパワー値をα波のパワー値で割ったβ/αを求めた。なお、作業課題時などの集中が必要なときにβ/αは増加する[3)]とされる。

3. 作業項目

本実験では作業として d2 テスト[4)]と数独を行った。d2 テストは、上下に 1 ～ 4 個の点が付いた d と p の 47 文字、14 行で構成されており、文字の上下の点が合計 2 つの d の文字に斜線で印をつける。テスト 1 回の内容は、各行 12 秒の制限時間で 14 行続けて実施する。前報[2)]の実験スケジュールに示す、作業 (1)、作業 (2)、作業 (3) における作業時間中のスケジュールは以下の通りである。作業 (1)、(2) では d2 テストを 2 回解かせた後に、数独を行い、その後 d2 テストを再度 2 回解かせた。作業 (3) では d2 テストを 1 回解かせた後に、数独を行い、その後 d2 テストを再度 1 回解かせた。これらを組み合わせることで、条件 (T) では d2 テスト 10 回、条件 (T) 以外では d2 テストを 8 回実施した。

4. 実験結果と考察

4.1 脳波

考察にあたっては、時間平均をした結果については条件 (R) と他の条件間、リラックス状態とリフレッシュ状態、リフレッシュ状態と作業 (2) の間で t 検定を行った。また、全条件で、作業 (1) の評価はいずれの条件でも環境条件は同じであることから比較対象とせず、作業 (1) 以降の評価のみ条件間比較を行った。

O1・O2 の脳波のβ/αの平均の被験者平均を **Fig. 1**、α

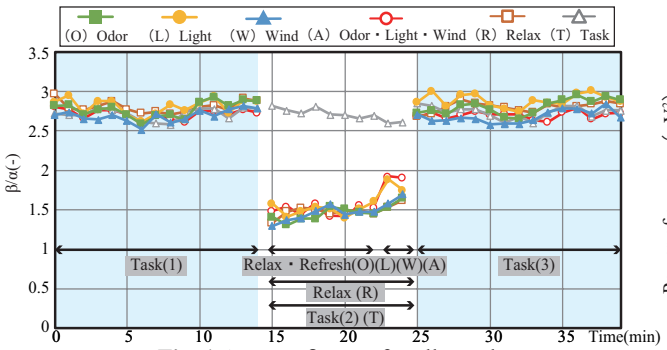


Fig. 1 Average β per α for all panels

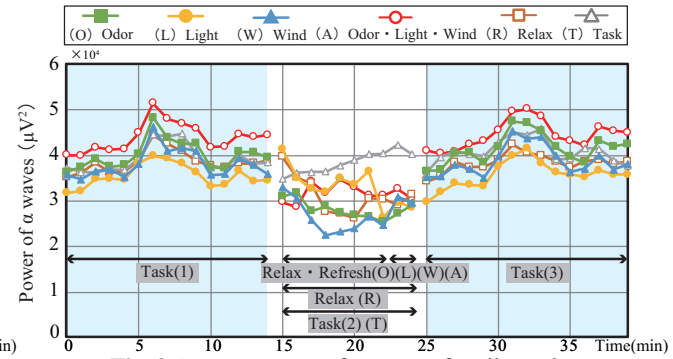


Fig. 2 Average power of α waves for all panels

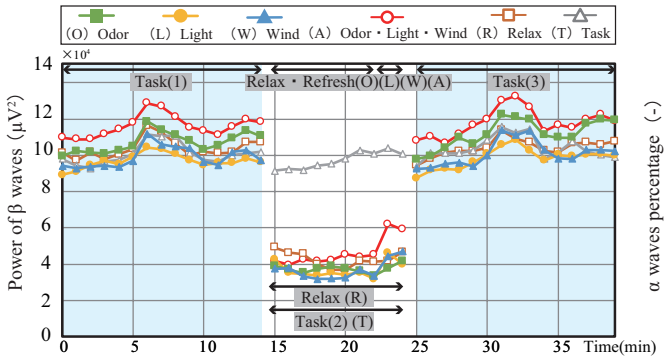


Fig. 3 Average power of β waves for all panels

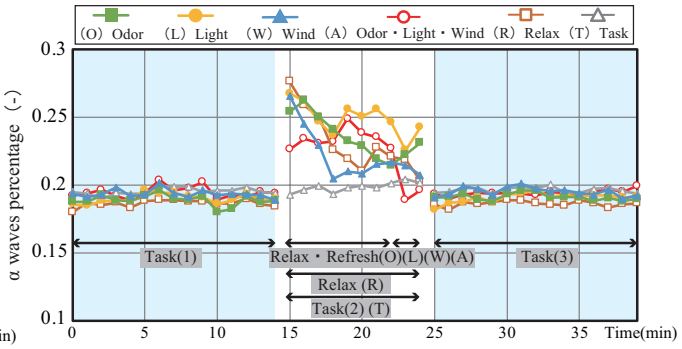


Fig. 4 Average the percentage of α waves for all panels

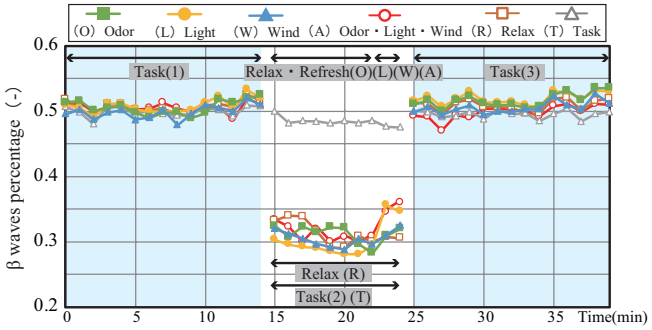


Fig. 5 Average the percentage of β waves for all panels

波のパワー値の被験者平均を **Fig. 2**、β 波のパワー値の被験者平均を **Fig. 3**、α 波の含有率の被験者平均を **Fig. 4**、β 波の含有率の被験者平均を **Fig. 5** に示す。脳波は実験中連続測定 (1000Hz) しており、1 分毎に平均した値を示している。プロットは 1 分間平均を示しており、0 ～ 14 点目は作業 (1)、15 ～ 22 点目はリラックス、23 ～ 24 点目はリフレッシュ (条件 (R) では 15 ～ 24 点目はリラックス、条件 (T) では 15 ～ 24 点目は作業 (2))、25 ～ 39 点目は作業 (3) である。

既往研究と同様に、β/α の値が d2 テスト時に比べて休憩時では減少しており、被験者は休憩時はリラックスしていたと考えられる。また、条件 (L) は条件 (R) と比較して、β/α 、β 波含有率の値がリフレッシュ開始時に上昇していることから、照明環境を変化させた影響により、被験者が覚醒状態になっていた可能性が考えられる。また、条件 (A) では、β/α 、β 波含有率の値がリフレッシュの 2 分間で上昇しており、照明環境のみを変化させるよりもにおい・照明・気流環境を変化させた方が覚醒状態を維持できる可能性が示された。(**Fig. 1,Fig. 5**)。数独を解いている時間帯は脳波のパワー値が α 波、β 波ともに上昇しているが、α 波・β 波含有率は作業中一定しているため、数独を解いている間は脳波全体のパワー値が上昇したと考えられる (**Fig. 2~5**)。

行動による生理反応の違いと、休憩時の条件間の生理反応への影響の違いを見るために、各結果を作業 (1)・リラックス・リフレッシュ・作業 (3)((O)、(A)、(L)、(W)) の各時点での生理量を時間平均した。なお、条件 (T) では休憩がないため、作業 (3) における測定結果をリラックス・リフレッシュ時の結果と比較した。条件 (R) でも同様にリラックス後半の 2 分間をリフレッシュ条件の結果と比較した。その結果を **Fig. 6**、**Fig. 7**、**Fig. 8**、**Fig. 9**、**Fig. 10** に示す。

β/α の値は条件 (A) の休憩後の時点で、リラックス時と比較して、リフレッシュ時は値が有意に上昇しており、環境変化の影響で覚醒度が上昇していることが確認された (**Fig. 6**)。β 波のパワー値は、リラックス時からリフレッシュ時にかけて、(A) は有意に上昇していた。そのため、におい・気流・照明の変化が被験者の β 波のパワー値の上昇につながった可能性が考えられる (**Fig. 8**)。α 波含有率は、リラックス時からリフレッシュ時にかけて、条件 (A)、(R) は有意に減少していた。条件 (A) については、α 波のパワー値は有意に変化していなかったため、β 波のパワー値などが上昇したために、相対的に α 波の含有率が減少した可能性が示された (**Fig. 9**)。β 波含有率は、リラックス時からリフレッシュ時にかけて、条件 (L)、(R) は有意に上昇していた。また、リフレッシュ時についても条件 (L)、(A) では条件 (R) と比較して有意に上昇し

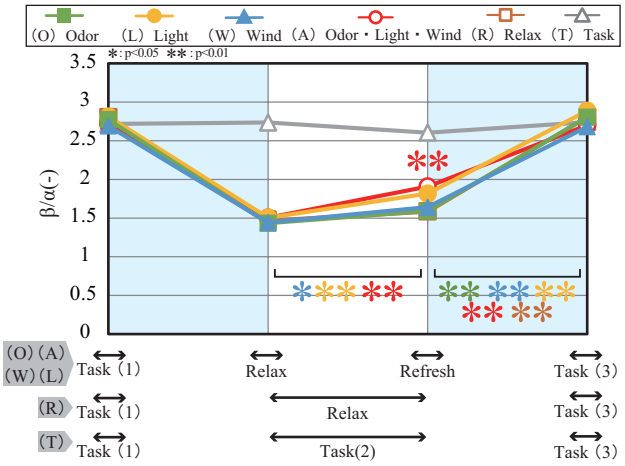


Fig. 6 Change of average β per α for all panels

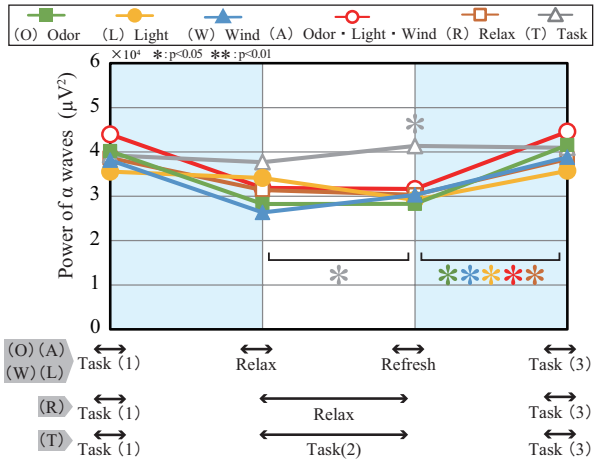


Fig. 7 Change of average power of α waves for all panels

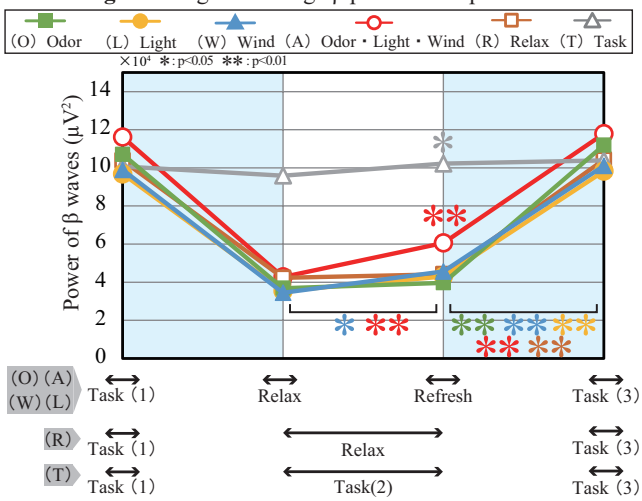


Fig. 8 Change of average power of β waves for all panels

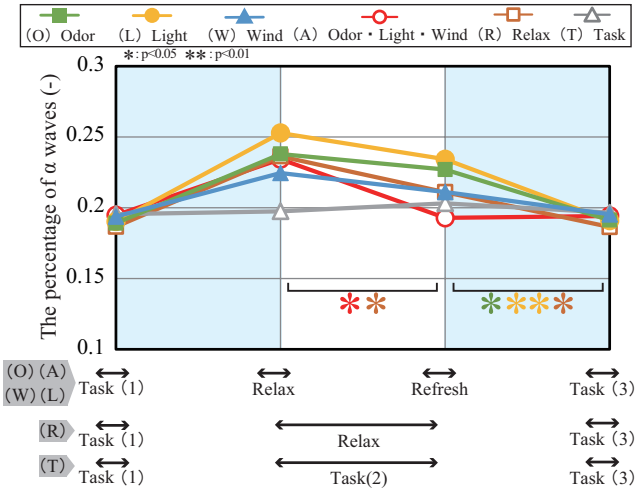


Fig. 9 Change of average the percentage of α waves for all panels

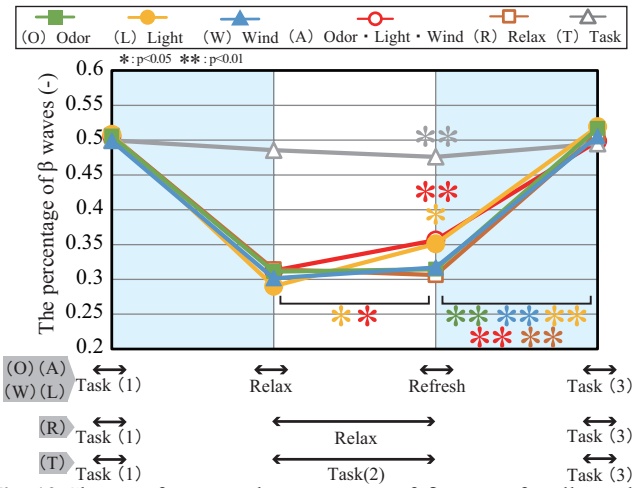


Fig. 10 Change of average the percentage of β waves for all panels

ていた。この結果から、照明の変化、または、におい・気流・照明の変化が被験者のβ波の含有率の上昇につながった可能性が考えられる（**Fig. 10**）。

4. 2 作業成績

d2 テストは、達成率及びミス率で評価した。達成率とは、総回答数を総文字数で割った値、ミス率は間違えた文字数を総回答数で割った値を d2 テスト 1 枚ごとに算出し、各条件で全被験者平均したものを結果として採用した。考察にあたっては、条件 (R) と他の条件間、作業 (1) での d2 テスト 4 回の成績の平均値を前半平均、作業 (2) での d2 テスト 4 回の成績の平均値を後半平均として前半と後半の平均の間で t 検定を行った。

Fig. 11、**Fig. 12** に作業成績として d2 テスト 8 回 (条件 (O)(L)(W)(A)(R))、または 10 回 (条件 (T)) の達成率、ミス率を示す。達成率の 2 回目と 3 回目では、全ての条件において達成率が上昇している結果が得られた。この原因として、d2 テストの 2 回目と 3 回目の間に数独を被験者に解かせた影響があると考えられる。数独については、実験終了後に行ったアンケートで数独が楽しかったと回答した被験者が多く、楽しい作業を行うことが、その後の作業成績を向上させる可能性が示された。しかし、d2 テストの 8 回目と 9 回目の間にも被験者に数独を解かせているが、この時点では作業成績が向上しておらず、作業による疲れの影響も考えられる（**Fig. 11**）。

達成率とミス率について、作業前半の平均値と作業後半の平均値の比較を行った結果を **Fig. 13**、**Fig. 14** に示す。達成率については、作業 (1) と作業 (3) について、条件 (O)、(L)、(W)、(A) では、有意に達成率が上昇していた。一方で、条件 (R)、(W) では達成率が有意に上昇しておらず、休憩時に環境要素を変化させた影響で達成率が向上した可能性が示された（**Fig. 13**）。ミス率に

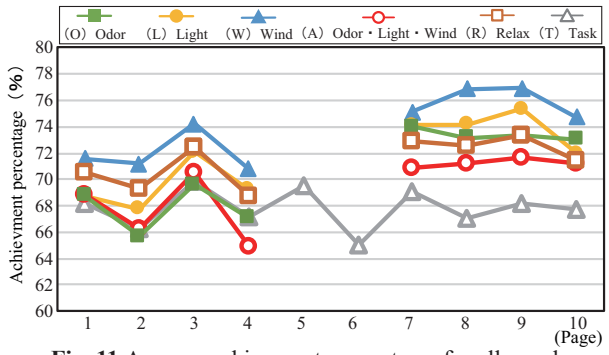


Fig. 11 Average achievment percentage for all panels

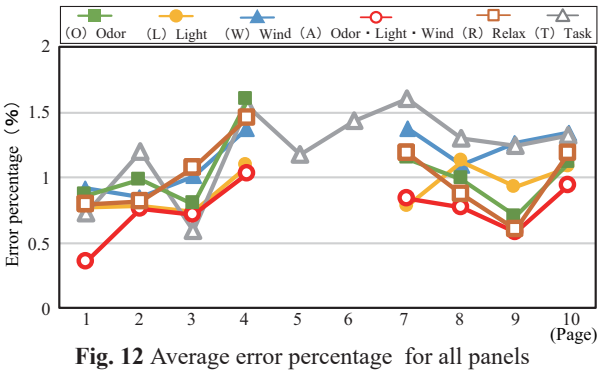


Fig. 12 Average error percentage for all panels

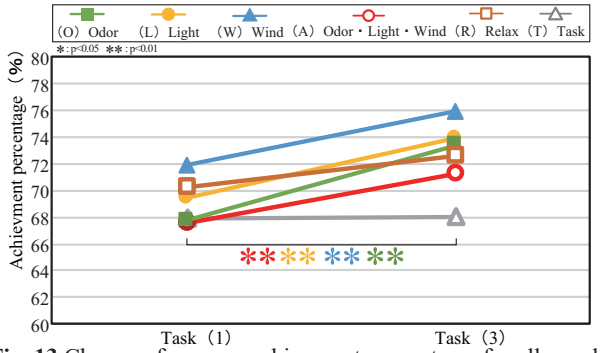


Fig. 13 Change of average achievment percentage for all panels

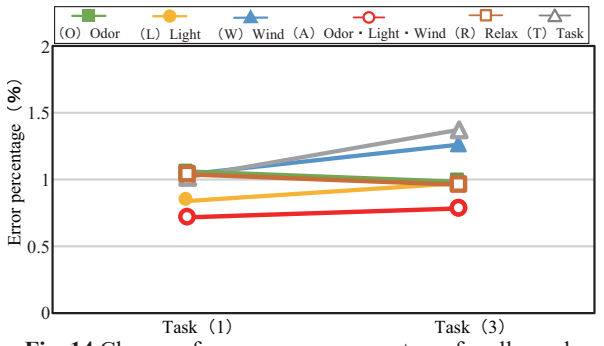


Fig. 14 Change of average error percentage for all panels

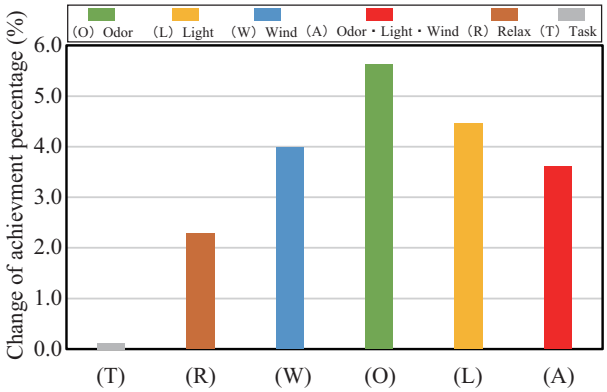


Fig. 15 Change of achievment percentage (Task(3)-Task(1))

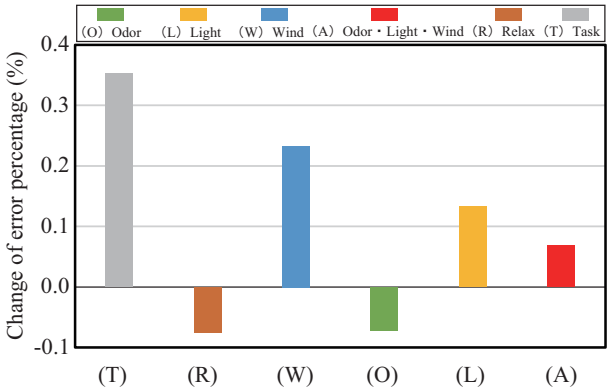


Fig. 16 Change of error percentage (Task(3)-Task(1))

ついては、全条件間について有意差が見られず、環境要素の変化や休憩の有無では作業のミス率には影響が少ない可能性が示された（**Fig. 14**）。

達成率とミス率について前半と後半の変化量を検討するために各条件でそれぞれ後半から前半を引いた値を **Fig. 15**、**Fig. 16** に示す。達成率の変化量については、作業 (1) と作業 (3) について、条件 (O)、(L)、(W)、(A)、(R) では、条件 (T) と比較して達成率が上昇しており、休憩が達成率の上昇につながった可能性が示された（**Fig. 15**）。ミス率の変化量では、条件 (T) がミス率の増加量が最も高かった。また、条件 (R)、(O) ではミス率が減少しており、他の条件と比較してミス率が低くなる可能性が示された（**Fig. 16**）。

5. おわりに

本報では作業間の休憩の有無、もしくは休憩中の環境要素の変化による生理反応・作業成績への影響について報告した。休憩中の全環境変化・照明変化・気流変化・におい変化が被験者の覚醒度の上昇や作業の達成率の向上につながる可能性が示された。今後は、心理量・生理量・作業成績の関連性の検討や、条件間の統計分析を進め、最適な休憩環境を考察していく。なお、本研究は大阪大学工学研究科倫理委員会の承認を得て、実施した。

【謝辞】
本研究は、パナソニック（株）との共同研究であり、関係者各位に謝意を表します。

【参考文献】

1) 伊藤稔：休憩時の照明環境がリラックス度に与える影響の検証，同志社大学ハリス理化学研究報告 59(4), pp.211-216, 2019,1
2) 宗ら：休憩空間における室内環境変化が在室者のリラックス・リフレッシュ効果に与える影響（その1）照明・気流・におい環境の変化が心理反応に及ぼす影響，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，2022.3（掲載予定）
3) 平井ら：簡易脳波計による学習時の思考と記憶の比較分析，マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集，pp.1441-1446, 2013.7
4)Brinckenkamp, R., Zillmer, E.:d2 Test of Attention, Hogrefe & Huber Publishers, 1998

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

ABW 指向型のオフィスにおける執務空間が 知的生産性と心理・生理量に及ぼす影響に関する研究 （第１報）建物概要と中間期及び夏期における被験者実験

Effects of Workplace in ABW-Office on Intellectual Productivity, Psychological and Physiological Response Part 1 Building Summary and Analysis of Subject Experiment in the Middle and Summer

○田 中 哲 平（立命館大学）　近 本 智 行（立命館大学）
坂 田 英 昭（コニカミノルタ株式会社）　小 林 佑 輔（竹中工務店）
Teppei TANAKA*1 Tomoyuki CHIKAMOTO*1 Hideaki SAKATA*2 Yuusuke KOBAYASHI*3
*1 Ritsumeikan University *2 KONICA MINOLTA, INC. *3 Takenaka Corporation

In this study, we will investigate the effects of different work environments on intellectual productivity and communication in an Activity-Based-Working (ABW) oriented B-site office of Company A, which has multiple workspaces with different settings for the purpose of improving productivity and health. In this paper, we use a subject experiment and report on the effects of different work environments on the intellectual productivity and physiological and psychological quantities of the subjects in the ABW office, based on the outline of the building where the subject experiments were conducted and the results of objective and subjective evaluations of the subject experiments conducted in the middle and summer periods.

はじめに

我が国の「働き方改革」では生産年齢人口の減少などを受け、生産性や健康性の向上が重要な課題の一つとして挙げられている[1)]。また、企業にとっても執務者の生産性向上は重要な課題であり、建築分野では知的生産性向上のための環境形成の検討がなされてきた[2)]。

実際に運用されているオフィスにおける執務者の知的生産性や健康性に関する研究ではアンケート調査が多く、被験者実験を実施する研究は途上である。学生被験者実験によって権藤ら[3)]は心理・生理・知的生産性の一日の変動がある可能性を示し、小川ら[4)]はオフィス内歩行活動が知的生産性向上に寄与する可能性を示した。

本研究では、執務空間の設えの違いに着目し、生産性や健康性の向上を目的とした異なる設えの執務空間を複数有した Activity-Based-Working（以下、ABW）[注1] 指向型の A 社 B サイトの新棟オフィスにおいて、執務環境の違いが知的生産性と心理・生理量およびコミュニケーション量に与える影響について明らかにする。

本報では、被験者実験を実施した建物の概要、中間期と夏期に実施した被験者実験の概要、被験者実験での知的生産性客観評価および主観評価の結果から、ABW オフィスと従来型オフィスを比較して、異なる執務空間が被験者の知的生産性と心理量に与える影響について報告する。

１．建物概要

本研究の対象とした B サイト内の 2 棟は、従来型の研究オフィスである南棟（以下、旧棟）と、2020 年に竣工した ABW 指向型の研究オフィスである北棟（以下、新棟）である。旧棟には従来型の会議室（H 地点）や共用部ミーティングスペース（G 地点）などがある。

一方、新棟にはフリーアドレス型の流動的かつ交流を促進する働き方を目指して、さまざまな設えをしたミーティングスペース・ワークプレイスを設けている。大小さまざまな会議室（D・F 地点）や自然との接点を生む開放的なテラス（A 地点）がある。特に共用スペースには、フレキシブルな働き方が可能なワークプレイスが複数（B・C・E 地点）あり、社員が自由に働く場所を選択できる。また交流促進の場を設けることで、社員同士や来訪者との自発的な交流を促している。

本研究では新棟のこうした特徴的な執務空間を 6 つ選び、旧棟のいわゆる従来型の執務空間 2 つを比較のために含めた合計 8 つの執務場所で、執務空間の違いが知的生産性と生理・心理量に与える影響を明らかにすることを目的とした被験者実験を行った。

Table1 Outline of Experiments

Category	Details
Target	4 University Students (age.22~23)
Experiment Period	2~5, March, 2021 / 13~14, Sep., 2021
Experiment Points	8 Points
Clothes	Short Sleeve Shirt, Suit Trousers

2．被験者実験概要

2.1　実験概要

Table1 に実験概要を示す。22 歳～23 歳の大学生男性 4 名を対象とした。中間期の実験を 2021 年 3 月に、夏期の実験を 2021 年 9 月に実施し、A 社 B サイト内の 8 か所の執務場所で被験者実験を行った[注 2]。被験者は非喫煙者で習慣飲酒[注3]のない標準体型[注4]とし、半袖シャツとスーツパンツを着用し、0.5clo で統一した。 **Table4** に実験ケースを、**Fig.1** にケース内のスケジュールを示す。実験者が執務場所を指定するケース（Case 1, Case 2）と被験者が執務場所を自由に選択できるケース（Case 3, Case 4）のそれぞれについて個人のケース（Case 1, Case 3）とグループのケース（Case 2, Case 4）を設け、**Table4** に示す異なる条件のケースで実施した。

Table2 に測定項目を示す。ケース中、被験者は 5 分間の模擬集中作業と 7.5 分間の模擬創造作業を行い、模擬作業終了後にアンケートを行った。

2.2　執務場所の概要

Table3 に執務場所の概要を示す。A・B 地点は旧棟、C～H 地点は新棟にあり、新棟の実験地点はいずれも設計段階で ABW を目的とした設えを取り入れた執務場所である。中間期の実験では新棟 6 か所を対象の執務場所で、夏期の実験では新棟 4 か所と旧棟 2 か所の計 6 か所の執務場所で被験者実験を行った。

A～F 地点は新棟、G・H 地点は旧棟の執務場所である。A 地点は屋外のテラス席、B 地点は西側窓面に接する食堂のファミレス席、C 地点は共用スペースにあるテーブル席、D 地点は北側窓面に接する会議室、E 地点は共用スペースにあるハイカウンター席、F 地点は窓のない和風会議室、G 地点は共用部会議スペース、H 地点は窓のない会議室である。

Table2 Measurements List

Subjects	Evaluation items		Evaluation Method
Intellectual Productivity	Objective WEf	Concentration WEf	Typing Test
		Creation WEf	Mind Map Test
	Subjective WEf	Concentration WEf	Questionnaire Survey
		Creation WEf	Questionnaire Survey
Psychological Quantity	WEn Satisfaction Level (Table 6)		Questionnaire Survey
Physiological Quantity	Biodata (Table 5)		Biosensor Survey
Communication Evaluation	Conversation Time		Conversation Recording
WEn Evaluation	Environmental Measurement (Table 8)		Measurement by Equipment

※ WEf means Work Efficiency,　WEn means Work Environment

Table3 Working Place List

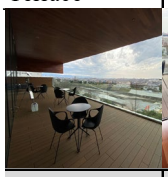
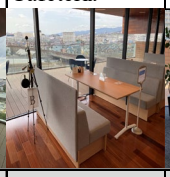
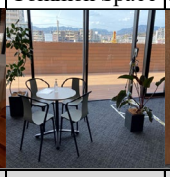
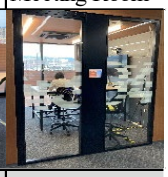
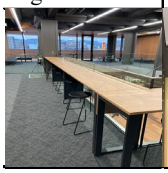
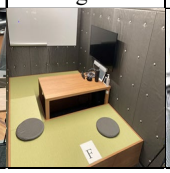
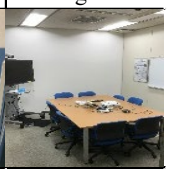
A	B	C	D
Newilding (North Building)			
4th Floor, East	4th Floor, East	3rd Floor, North	3rd Floor, North
Terrace	Cafeteria	Common Space	Meeting Room
			
E	F	G	H
Newilding (North Building)		Old Building (South Building)	
3rd Floor, Center	3rd Floor, South	1st Floor, North	2nd Floor, North
High Counter	Meeting Room	Meeting Space	Meeting Room
			

Table4 Experimental Conditions

	Select Points	Group / One Person	Times in the Case
Case 1	Disable	One Person	12 / 12
Case 2	Disable	Group	15 / 8
Case 3	Able	One Person	2 / 2
Case 4	Able	Group	11 / -

Table5 Biodata Measurement and Analysis List

Biodata List		Analysis List	
Heart Rate	[bpm]	Heart Rate	[bpm]
RR Interval	[msec]	Heart Rate Standard Deviation	[-]
Amplitude	[-]	RR Interval	[msec]
Amount of body movement	[-]	RR Interval Standard Deviation	[-]
Posture	[-]	r-MSSD	[msec]
Skin Temperature	[℃]	pNN50	[%]
		Posture	[-]
		LF	[msec]
		HF	[msec]
		LF/HF	[-]

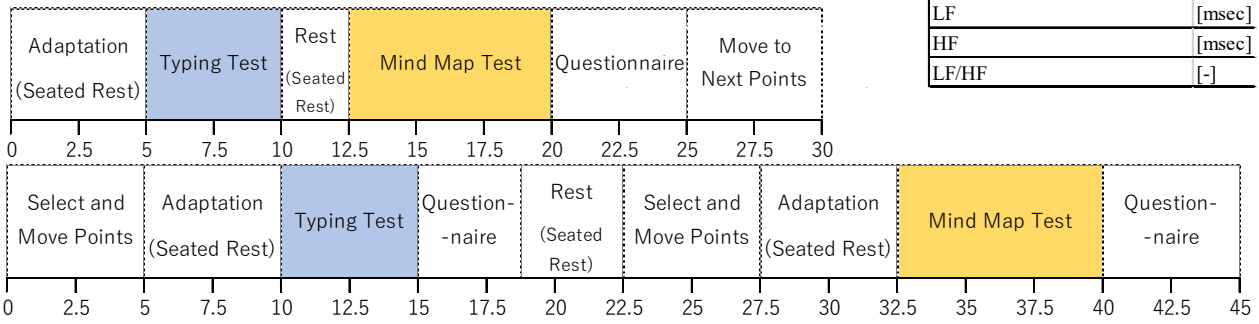


Fig.1 Time Schedule of Experiments

2. 3　測定項目

2. 3. 1　知的生産性（客観評価）

知的生産性の客観評価として作業効率の測定を実施した。作業は集中模擬作業と創造模擬作業の 2 種類とした。集中作業成績を測るための模擬作業として 5 分間のタイピングを実施した。集中作業成績は 5 分間の総文字数[注5]を用いる。また、創造作業成績を測るための模擬作業として 7.5 分間のマインドマップ[注6]を実施した。創造作業成績はマインドマップの有効回答数[注5]を用いる。

2. 3. 2　知的生産性（主観評価）

知的生産性の主観評価として、被験者に作業効率の主観申告値をたずねるアンケートを実施した。最も作業効率が良い状態を 100%、最も悪い状態を 0%としたときの、被験者の該当ケースでの作業効率を 0～100%で回答した（以下、主観作業効率とする）。

2. 3. 3　心理量

執務環境の満足度について **Table6** に示す項目（-3.不満～3.満足：7 段階で回答）のアンケート調査を実施した。

2. 3. 4　生理量

被験者の胸部に生体センサ[注7]を取り付け、**Table5** に示す生理量測定項目及び生体センサ付属のソフトウェアで心拍系および交感神経系指標を算出した。

2. 3. 5　環境測定

Table3 に示す各執務場所の代表点において環境測定を行った。環境測定項目を **Table8** に、三脚に設置した測定機器を **Fig.3** に示す。

2. 4　中間期実験と夏期実験の相違点

中間期実験では **Table3** に示すすべての組み合わせで実施できたのに対し、夏期実験では Case4 を実施しなかった[注8]。また実験対象とした執務場所について、中間期は A～F 地点、夏期は C～H 地点とした。さらに、夏期実験は、中間期実験の被験者 4 名のうち 1 名を変更して実施した。

Table6 Questionnaire List and Results (Average)

Subject	A (n=24)	B (n=20)	C (n=64)	D (n=77)	E (n=55)	F (n=39)	G (n=12)	H (n=12)
Heatness	-1.30	2.00	1.97	2.00	1.71	1.77	2.58	2.25
Air Flow	-0.48	0.90	1.14	1.21	1.13	0.95	1.33	1.33
Sunlight	-0.04	1.45	1.90	1.60	1.16	0.92	0.92	0.75
Brightness	0.48	2.15	1.98	2.74	1.96	2.28	2.00	2.67
Loudness	-1.65	1.80	0.43	1.46	0.29	1.97	-1.00	1.25
Smell	0.35	-0.80	0.74	0.82	0.71	1.15	1.83	2.08
Wideness	0.43	2.25	0.65	2.38	1.76	1.69	2.08	2.33
Height	2.65	2.75	2.49	1.68	2.69	1.74	1.83	2.08
View	2.17	1.80	1.73	1.61	1.24	0.10	0.42	0.42
Surface	1.48	2.15	1.78	2.07	2.16	1.97	0.75	1.42
Color	1.70	2.20	1.90	2.02	2.00	1.95	0.42	1.33
Synthesis	-0.74	1.90	1.82	2.52	1.75	1.92	1.25	1.92
Average	0.42	1.71	1.55	1.84	1.55	1.54	1.20	1.65

-3　+3

Table7 Test results and significance probability by building

WEf List		New Bldg.	Old Bldg.	Difference	Significant Probability
Objective WEf	Concentration WEf	50.35	46.51	3.844	0.07467*
	Creation WEf	50.43	46.05	4.381	0.04165**
Subjective WEf	Concentration WEf	65.68	59.04	6.640	0.08773*
	Creation WEf	69.50	62.29	7.208	0.03517**

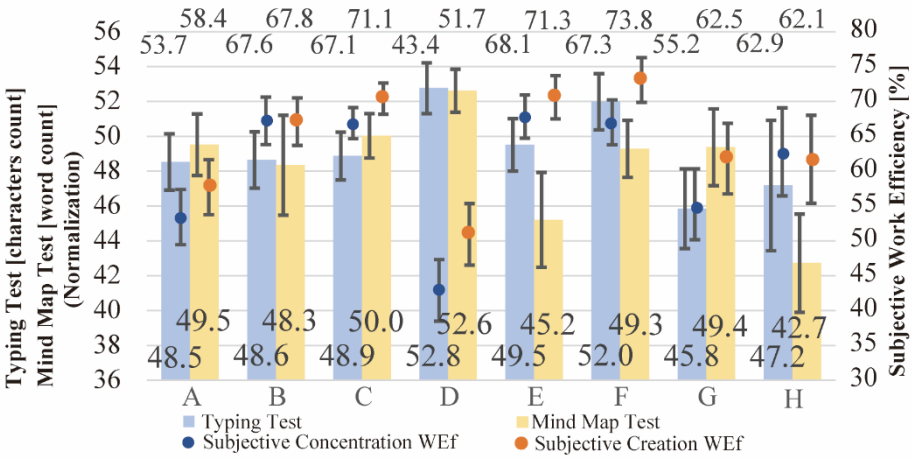


Fig.2 Work Efficiency Test Results and Subjective Work Efficiency

Table8 Environments Measurement List

Subjects	Height [mm]	Equipment	Time (interval)	Installation Method
Temperature	FL+100,600,1100	KN-Labs Thermochron	24 Hours (2 min.)	Fixed to a Tripod
Globe Temp.	FL+1100	TandD RTR-53A	24 Hours (2 min.)	Fixed to a Tripod
Relative Humidity	FL+1100	TandD RTR-576	24 Hours (2 min.)	Fixed to a Tripod
CO_2 Concentration	FL+1100	TandD RTR-576	24 Hours (2 min.)	Fixed to a Tripod
Wind Speed	FL+1100	KEM AM-101	9AM ~ 5PM (30 min.)	Fixed to a Tripod
Noise (Background)	FL+1100	RION NL-42EX	9AM ~ 5PM (30 min.)	Place it on the Desk
Illuminance	(Top of Desk)	SATO SHOJI LX-28SD	9AM ~ 5PM (30 min.)	Place it on the Desk

Fig.3 Measurement with a Tripod

３．被験者実験の結果と考察

A・B 地点は中間期の実験結果を、C～F 地点は中間期と夏期の実験結果[注9]を、G・H 地点は夏期の実験結果をそれぞれ示す。

3.1　知的生産性（客観評価）

Fig.2 に、地点別の集中作業成績・創造作業成績およびそれぞれの主観作業効率を示す。表中のデータラベル下段が作業成績、上段が主観作業効率である。**Table7** に旧棟・新棟別の平均作業成績と有意確率を示す。旧棟（G・H 地点）の集中作業成績・創造作業成績の平均値がそれぞれ 46.5 ポイント、46.0 ポイントであり、新棟（A～F 地点）の平均値がそれぞれ 50.4 ポイント、50.4 ポイントであり、いずれの作業でも新棟が旧棟よりそれぞれ 3.9 ポイント、4.4 ポイント高い結果が得られた[注10]。新棟と旧棟で、集中作業成績（p=0.074*）は有意な差があるとは言えないが、創造作業成績（p=0.041**）で有意な差があると言える。

3.2　知的生産性（主観評価）

主観作業効率については、旧棟の集中作業効率・創造作業効率の平均値がそれぞれ 59.0%、62.3%であり、新棟の平均値がそれぞれ 65.7%、69.5%であり、いずれの作業効率でも新棟が旧棟よりそれぞれ 6.7%、7.2%高い結果が得られた[注10]。新棟と旧棟で、集中作業効率（p=0.087*）は有意な差があるとは言えないが、創造作業効率（p=0.035**）は有意な差があるといえる。

3.3　心理量

Table6 に、地点別のアンケート回答の平均値を示す。旧棟全体の平均値は 1.43 ポイント、新棟（屋外の A 地点を除く）全体の平均値は 1.64 ポイントで、執務環境の満足度の全体平均値は新棟が旧棟より 0.21 ポイント高い結果となった。A 地点は屋外空間で、且つ実験期間の平均気温が約 10.0℃であったため屋外での執務には適しておらず、執務環境の満足度は著しく低くなった。

４．まとめと今後

本報では、執務空間の違いが知的生産性と心理・生理量に及ぼす影響を明らかにすることを目的として行った被験者実験の概要と、知的生産性評価結果及び生理・心理量の分析結果を示し、以下の知見が得られた。

1) ABW 指向型オフィスである新棟と従来型オフィスである旧棟について、知的生産性評価での作業効率の客観評価、主観評価の両方で新棟が旧棟より良い作業成績と主観作業効率が得られた。またその有意性は集中作業より創造作業でより高い結果が得られ、ABW 指向型オフィスで特に創造作業の知的生産性が向上している可能性が示唆された。
2) 心理量である執務環境の満足度について、新棟が旧棟よりも高く、新棟の執務環境満足度についても ABW 指向型オフィスが従来型オフィスより良好であることが確認できた。

本報では、執務空間の違いによって生じた差が、どのような生理・心理・環境的要因で生じたかまでは明らかにできなかった。今後は、本報で報告できなかった地点別のコミュニケーション量、生理量および環境測定の結果とケース別の知的生産性及び生理・心理量の関係を明らかにする。

謝 辞

本研究の遂行にあたり被験者実験にご協力いただいた皆様に深く感謝の意を表す。また本研究は、コニカミノルタビジネスアソシエイツ（株）から学校法人立命館への受託研究費により実施した。本実験に多大なご協力を頂いた倉澤香織様、小林健之様、栗飯原述宏様はじめ社員の皆様に深く感謝の意を表す。

注 釈

注1　ABW のはっきりとした定義はないが、本研究では、Engelen5) らを参考に「執務内容に応じた環境で働くことができる働き方」と定義した 6)。定義によれば ABW は自宅やカフェ、電車などオフィス外の勤務空間を含めるが、本研究ではオフィス内のみを対象とした。
注2　新型コロナウイルス感染防止のため、被験者は実験 1 週間前に PCR 検査を受け陰性を確認した。またすべての実験ケースで被験者は不織布マスクを正しく着用し、1m 以上の身体的距離を確保した。
注3　習慣飲酒とは、「週に 3 日以上、飲酒日 1 日あたり清酒換算で 1 合以上飲酒する人」と定義されている（厚生労働省国民健康・栄養調査）
注4　標準体型は BMI が 18.5 以上 25.0 未満とした。
注5　個人の能力差を排除するため、個人ごとに偏差値を算出し、それら偏差値を作業成績として扱い、地点別に集計した。（個人偏差値）=50＋10×（作業成績－被験者毎の平均値）／（被験者毎の標準偏差）。
注6　与えられた単語から連想される単語を書き出して棒線でつなぐ作業。時間内に回答した単語の数（有効回答数）で評価
注7　生体センサは TDK 社 Silmee Bar Type Lite を用いた。
注8　実験期間中に新型コロナウイルスの感染が急拡大し、実験期間を短縮したため。
注9　中間期実験と夏期実験を同一の実験としてケースを合算して分析した。
注10　独立したサンプルの t 検定を実施。p は有意確率である。*：$p < 0.10$、**：$p < 0.05$

参 考 文 献

1) 厚生労働省：「働き方改革」の実現に向けて https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000148322.html（入手日:2021.12.24）
2) 知的生産性研究委員会：平成 23 年度知的生産性委員会報告書, 2012
3) 権藤 他：屋外を模擬した会議空間における心理・生理および知的生産性に関する被験者実験（第 1 報）実験概要と心理等に日変動, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2020.9
4) 小川 他：オフィス内歩行活動による知的生産性向上効果に関する被験者実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2016.9
5) Lina Engelen 他 ：Is activity-based working impacting health, work performance and perceptions? A systematic review. Building Research and Information, 2018.3
6) 千本 他：Activity-Based Working を採用したメガプレートオフィスにおける執務者満足度と知的生産性に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 86 巻 788 号 p. 818-828, 2021.10

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

室内の CO_2 濃度が人の生産性と生理心理量に及ぼす影響に関する研究
—タイピング・計算による作業性・疲労度の検証—
Study on the effect of indoor CO_2 concentration on human productivity, physiological and psychological quantity
-Verification of workability and fatigue level by typing and calculation-

○坂井　遥祐（立命館大学）　近本　智行（立命館大学）　具島　豊治（パナソニック株式会社）
湯淺　明子（パナソニック株式会社）　信長　賢輝（パナソニック株式会社）
Yosuke SAKAI*1　Tomoyuki CHIKAMOTO*1　Toyoji GUSHIMA*2　Akiko YUASA*2　Masaki NOBUNAGA*2
*1　Ritsumeikan University　*2　Panasonic Corporation

In this study, subject experiments were conducted to clarify the effect of indoor CO_2 concentration on workability and to investigate the relationship between indoor CO_2 concentration and physiological psychological amount. As a result, it was shown that the error rate of the workability test tended to increase depending on the CO_2 concentration, and the concentration ratio tended to decrease. It was also suggested that pulse affects PCO_2.

1．はじめに

CO_2は人間には知覚されないガスであるが、高濃度であれば人間の健康に影響を及ぼすと言われている。実際に 50000ppm を超えるなど、非常に高濃度の CO_2 ではめまいや頭痛など健康上のリスクをもたらす可能性がある（許容可能な室内空気質のための換気、ASHRAE Standard 62.-2016)。また、CO_2濃度は執務者のパフォーマンスにも影響を与える可能性があり[文1) 文2)]、筆者らは 5000ppm 以下を対象に、CO_2濃度が作業性に与える影響や生理メカニズムに与える影響を調査してきた[文3) 文4)]。

そこで引き続き本研究では、室内の CO_2濃度が作業性に及ぼす影響と生理心理量との関係性を明確化することを目的とし、CO_2濃度を 30 分間で緩やかに上昇させた実験①と 5 分間で急上昇させた実験②の計 2 パターンの被験者実験を実施した。本稿ではまず、実験①の概要と結果について記述し、その後実験②について記述する。

2．実験①（CO_2濃度 30 分上昇）概要

2.1　実験条件

実験①は 2021 年 1、2 月に、立命館大学びわこくさつキャンパス内にある恒温恒湿室にて行った。被験者は健康な男子大学生３名である。

2.2　実験ケース

実験ケースを Table.1 に示す。また、CO_2濃度の変化のイメージを Fig.2 に示す。CO_2濃度は 30 分間かけ緩やかに上昇させていき、すべての実験において、誤差が 100ppm 以内に収まるよう濃度を制御した。

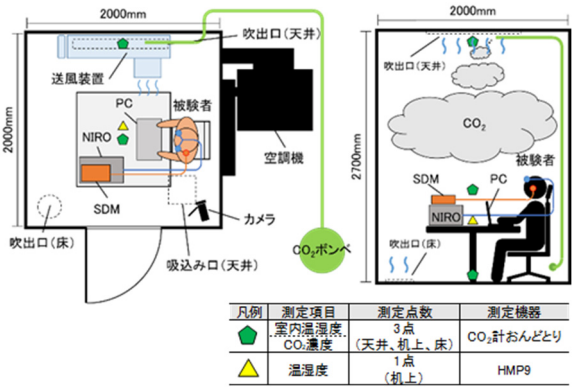


Fig.1 Laboratory (Experiment ①)

Table.1 Experimental case (Experiment ①)

	CO_2濃度	温度	相対湿度	着衣量	状態
case1-1	600ppm	25℃	50%RH	0.8clo	椅座
case1-2	1000ppm				
case1-3	2000ppm				
case1-4	3500ppm				

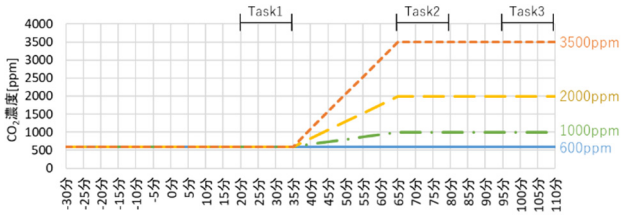


Fig.2 CO_2 concentration (Experiment ①)

2.3　作業性テスト

作業性テストとして、100 マス計算とタイピングを実施した。100 マス計算はケース毎に問題を変更しているが、難易度が統一されるよう全て 2 桁×1 桁で構成し、解く順序も固定した。また、タイピングはフリーソフトである

「TypeLighter」を使用した。

2.4　測定項目

生理量の測定項目を Table.2 に示す。また、心理量の調査として、Table.3 に示した項目でアンケートと Table.4 に示した項目で自覚症しらべ[注1)]を実施した。

Table.2 Measurement item (Experiment ①)

機器名	測定項目	測定部位
SDM（経皮的血液ガスモニタリング）	PCO_2（血中二酸化炭素分圧）	耳たぶ
	SpO_2（動脈血酸素飽和度）	
	PR（脈拍数）	
ニロモニタ NIRO-200（赤外線酸素モニタ装置）	ΔO_2Hb（酸素化ヘモグロビン濃度変化）	額
	TOI（組織に含まれるO_2Hbの割合）	
サーモクロン	平均皮膚温（7点法）	額など7点
手動式血圧計 HEM-6324T	血圧	上腕

Table.3 Questionnaire items (Experiment ①)

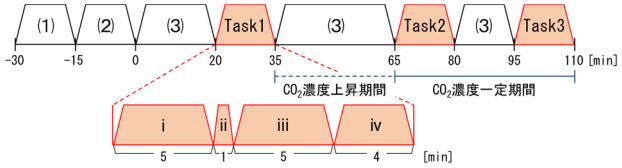
カテゴリー	内容	評価方法
環境的項目	明るさ／温冷感／湿度感／気流感／温熱環境満足度	7段階評価
	発汗	4段階評価
	よどみ感／空気環境満足度	7段階評価
心理的項目	ストレス	7段階評価
	集中度	7段階評価

Table.4 Awareness Questionnaire items (Experiment ①)

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

2.5　実験手順

タイムスケジュールを Fig.3 に示す。濃度上昇前、上昇直後、上昇の 30 分後の計 3 回において、Task（作業性テストと主観申告）を実施した。



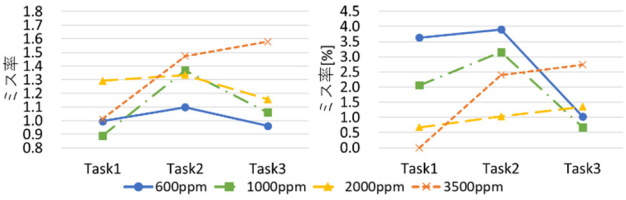
(1)測定機器装着　(2)作業性テスト練習　(3)安静期間（椅座安静1.0met）
ⅰ.１００マス計算　ⅱ.休憩　ⅲ.タイピング　ⅳ.主観申告
※実験開始時間を0minとして表記　※Task1, 2, 3はすべて同じ内容

Fig.3 Time schedule (Experiment ①)

3．実験①（CO_2濃度 30 分上昇）結果

3.1　作業性テスト結果

タイピングと 100 マス計算のミス率の平均値を Fig.4 に示す。タイピングの結果においては、3 回目（濃度上昇の 30 分後）に 3500ppm のみでミス率が高い値を示した。100 マス計算においては、3500ppm で濃度上昇前に比べ上昇後にミス率が増加した。しかし、600、1000、2000ppm では CO_2濃度による影響は確認できておらず、CO_2濃度と生産性の関係を調査するためには、もう少し CO_2濃度を高く設定した実験を実施する必要があると考えられる。

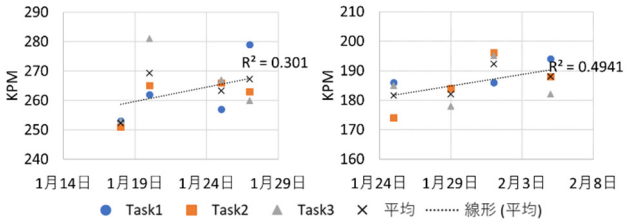


a. Typing　　b. 100 squares calculation

Fig.4 Error rate of workability test (Experiment ①)

3.2　慣れの影響

タイピングにおける KPM（1 分間当たりの入力キー数）と実験日の関係を Fig.5 に示す。被験者 A、B において、実験回数を重ねる度に被験者の KPM が上昇する傾向が確認できた。これは実験を重ねる毎に、被験者が作業に対し徐々に慣れていったことが原因であると考えられる。



a. sub. A　　b. sub. B

Fig.5 KPM × Day (Experiment ①)

4．実験②（CO_2濃度 5 分急上昇）概要

4.1　実験条件

実験①で知見された結果を考慮して、慣れの影響を限りなく排除し濃度負荷を大きくする等の改善をした実験②を実施した。

実験②は 2021 年 3～12 月に同実験室で行い、被験者は健康な男子大学生 7 名（2、3 サイクル目は 5 名）である。

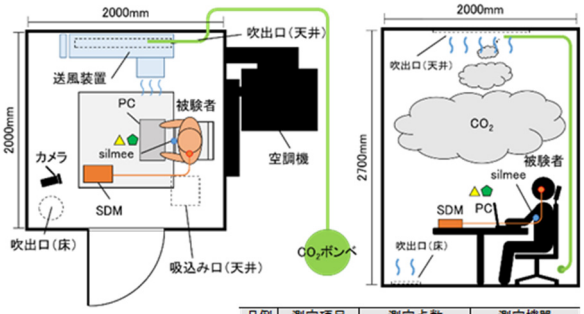


Fig.6 Laboratory (Experiment ②)

4.2　実験ケース

実験ケースを Table.5 に示す。また、CO_2濃度の変化のイメージを Fig.7 に示す。実験①では 30 分間かけ緩やかに上昇させていったが、CO_2濃度による負荷を増やすため、実験②では 5 分間で急上昇させた。また、実験②では同様の実験を同一被験者で計 3 サイクル実施した。1 サイ

クル目は600ppmと3500ppmまたは5000ppmの2ケースを実施し、2、3サイクル目はTable.5の通り計4ケースで実験を行った。

Table.5 Experimental case (Experiment ②)

	CO_2濃度	温度	相対湿度	着衣量	状態
case2-1	600ppm	25℃	50%RH	0.8clo	椅座
case2-2	1500ppm				
case2-3	3500ppm				
case2-4	5000ppm				

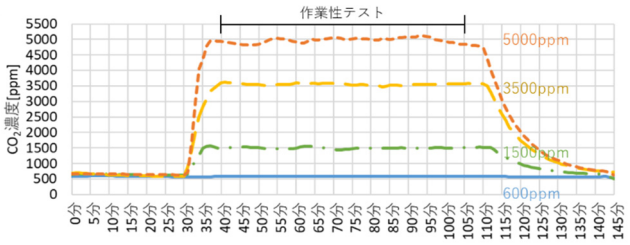


Fig.7 CO_2 concentration (Experiment ②)

4.3 作業性テスト

生産性を測るための作業性テストとして、実験②では作業負荷を増やすため、60分間のタイピングと5分間の100マス計算を実施した。なお、テストの慣れを防ぐため、初回の実験前に計3回の作業テストを行ってもらい、実験前にも5分間タイピングの練習を実施した。

4.4 測定項目

生理量の測定項目を Table.6 に示す。実験②では、SDMに加え、生体センサを用いて生理量を実測した。主観申告は実験①の内容にリフレッシュ感を追加し、4回目の主観申告時に回答してもらった。

Table.6 Measurement item (Experiment ②)

機器名	測定項目	測定部位
SDM （経皮的血液ガスモニタリング）	表2と同様	耳たぶ
silmee （生体センサ）	心拍数	胸部
	R-R間隔	
	呼吸間隔	
	体動	
手動式血圧計 HEM-6324T	表2と同様	上腕

Table.7 Questionnaire items (Experiment ②)

カテゴリー	内容	評価方法
環境的項目	表3と同様	表3と同様
心理的項目	ストレス	7段階評価
	集中度 ※3回目のみ	7段階評価
	リフレッシュ感 ※3回目のみ	7段階評価

4.5 実験手順

実験手順はFig.8の通りであり、計4回の主観申告と60分間のタイピング、5分間の100マス計算を実施した。

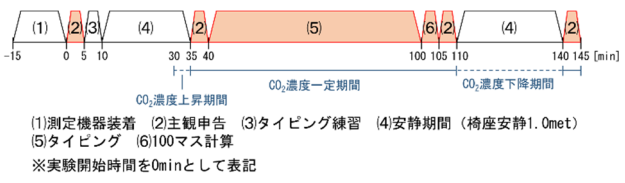
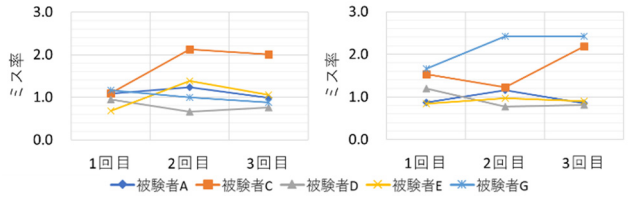


Fig.8 Time schedule (Experiment ②)

5. 実験②（CO_2濃度5分急上昇）結果

5.1 作業性テスト結果

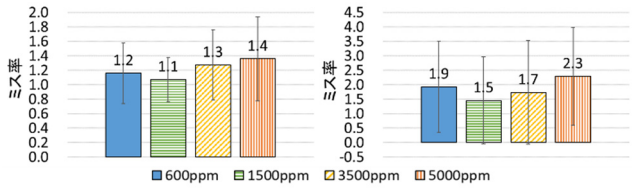
全3サイクルのタイピングのミス率を回数毎に並べたものをFig.9に示す。なお、a. 低CO_2濃度は600ppmの結果、b. 高CO_2濃度の被験者A、Cは3500ppm、被験者D、E、Gは5000ppmの結果である。被験者D以外においては回数を重ねる毎にミス率が減少するというような現象は見られないことから、慣れの影響を少なくすることができていると考えられる。同様に100マス計算においても被験者E以外では慣れの影響は見られなかった。



a. Low CO_2 concentration　b. High CO_2 concentration

Fig.9 Error rate × Day (Experiment ②)

全3サイクルのタイピングのミス率（総ミス数/総ワード数）の平均値と100マス計算のミス率（ミス数/総回答数）の平均値をFig.10に示す。タイピングにおいては、600ppmに対し3500ppmで約10%、5000ppmでは約17%ミス率が増加しており、CO_2濃度が上昇することによりミス率が増加する傾向が確認された。100マス計算では、1500ppmから5000ppmにかけCO_2濃度が上昇することにより、ミス率が増加する傾向が確認された。

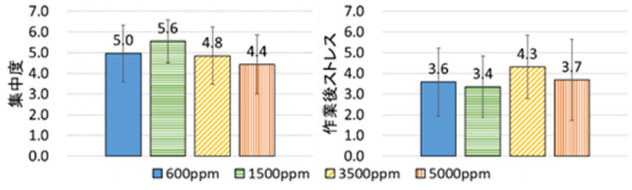


a. Typing　b. 100 squares calculation

Fig.10 Error rate of workability test (Experiment ②)

5.2 心理量結果

主観申告の結果をFig.11に示す。600ppmに対し5000ppmで約11%集中度が低下し、高CO_2濃度において集中度が低下する傾向が確認された。その他の主観申告に関しては、CO_2濃度による差異は確認できなかった。



a. Concentration ratio　b. stress of after work

Fig.11 Questionnaire results (Experiment ②)

また、ねむけ感の結果をFig.12に示す。これは全サイクルの結果の平均値である。被験者毎による差は大きいが、濃度上昇直後の2回目では5000ppmで、作業性テスト後の3回目では3500ppmでねむけ感が最も大きくなった。したがって、わずかではあるが高濃度においてねむ

け感が大きくなることが確認できた。

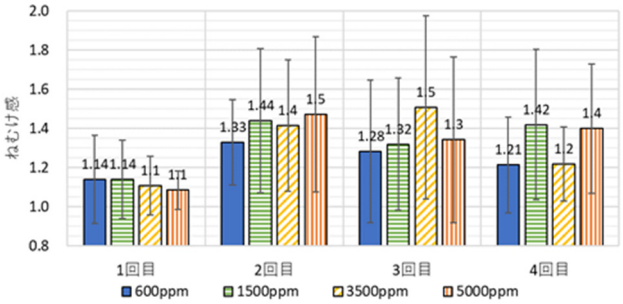


Fig.12 Sleepiness results (Experiment ②)

5. 3　生理量結果

生理量として実験中PCO_2を測定したが、CO_2濃度とPCO_2の結果に関係性は見られなかった。仮に外気のCO_2濃度が5000ppmの場合、吸気中のCO_2分圧は3. 8mmHgとなる。それに対して肺胞内の全圧は 760mmHg、酸素分圧は約100mmHgと言われており、肺胞内のガス交換に関わる分圧に対し、吸気中のCO_2分圧は小さい値であるため、本実験のCO_2濃度では直接的なPCO_2への影響は少ない可能性が考えられる。一方、被験者 C においては全ケースにおいて一時的にPCO_2が下降する現象が見られた。実験中撮影していた動画を確認すると、PCO_2が下降したタイミングで被験者が深呼吸または欠伸をしており、それがPCO_2に影響したものと考えられる。

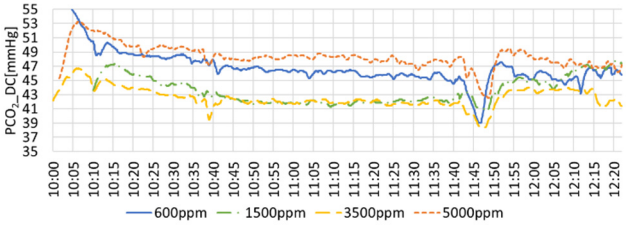
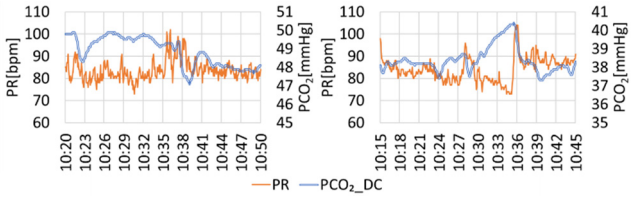


Fig.13 PCO_2 (sub. C)

また、全ての実験において PR の上昇に伴いPCO_2が低下する挙動が確認できた。この現象は2019年度に実施した既往研究[文4)]においても同様の傾向が確認できている。PR が高くなることにより血流がよくなり、血中CO_2濃度の低い新鮮な血液が流れてきたと考えられる。



a. sub. C（5000ppm）　　b. sub. G（5000ppm）

Fig.14 PR × PCO_2

また、全ての被験者において濃度上昇後の主観申告を行うタイミングでPRが上昇する傾向が見られた。しかし、低濃度においても同じような挙動が示されたため、CO_2濃度の影響よりも、リラックス状態からアンケートや作業性テストという緊張状態に移行したことが原因であると考えられる。

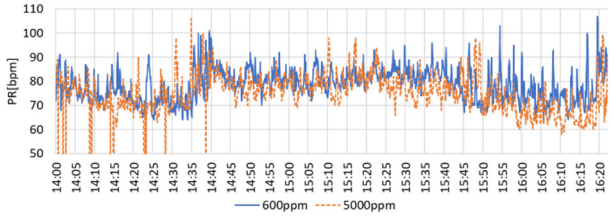


Fig.15 PR (sub. E)

6．まとめ

CO_2濃度を30分間で上昇させた実験①と、CO_2濃度を5分間で急上昇させた実験②を行い、結果は以下のようになった。

1)CO_2濃度が高くなると、タイピング、100マス計算の両方でミス率が大きくなる傾向が示された。タイピングにおいては、600ppmに対し5000ppmで約17%ミス率が増加した。

2)CO_2濃度が高くなると、集中度が低下する傾向が示された。600ppmに対し5000ppmにおいては約11%集中度が低下した。

3)個人差はあるが、高CO_2濃度においてねむけがわずかに大きくなることが確認できた。

4)PRがPCO_2に影響を与えることが示唆された。

注 釈

1) 調査票は日本産業衛生学会産業疲労研究会による。各25項目の質問を5つの群（Ⅰ群：ねむけ感、Ⅱ群：不安感、Ⅲ群：不快感、Ⅳ群：だるさ感、Ⅴ群：ぼやけ感）に分別しそれぞれを平均することにより、疲労状況を評価することができる。

参 考 文 献

1) U. Satish, et al. “Is CO_2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to- Moderate CO_2 Concentrations on Human Decision- Making Performance”, Environ Health Perspect (2012)

2) J. G. Allen et al. “Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments”, Environmental Health Perspectives, 124-7 (2016)

3) Tomoyuki CHIKAMOTO, Ryouto MIMURA, “Influence of Carbon Dioxide Fluctuation and Thermal Environment on Workability”, Physiology and Psychology, CLIMA 2019

4) 坂井遥祐ほか、「ヒューマンファクターを組み込んだ空調システム・制御システムの構築（その19）室内のCO_2濃度が血中CO_2濃度と他の生理量に及ぼす影響」、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第3巻、pp. 101-104、(2020)

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

自動車運転を意図した高負荷知的作業効率に香りが及ぼす影響

Effect of Aroma on Stressful Mental Work Performance Intended to Drive a Car

○ 竹村　明久（摂南大学）　山田　大輔（摂南大学）

Akihisa TAKEMURA Daisuke YAMADA
Setsunan University

It was necessary to measure the driving ability better by a mental work, thus the "d2R2 test" was proposed as a improved driving ability test based on the "d2 test". The "d2R2" test was conducted by twenty participants in four smell conditions, those were the lemon oil, the lavender oil, the fragrance for vehicle and only water as a control. Consequently, there was a significant difference in the multiple comparison among smell conditions about the achievement rate. On the other hand, there were large individual differences in the error rate, and it was considered that a more accurate mental work method was necessary.

1. はじめに

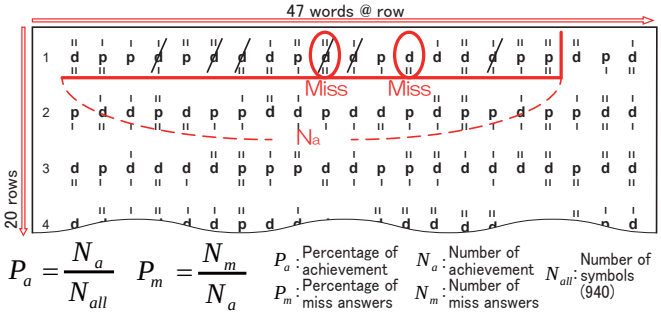
自動車運転は、安全運行と危険回避のための高い注意力と処理・判断能力が求められる作業である。しばらく続く人口分布の高齢化と昨今の高齢者による自動車事故報道の状況を照らせば、運転能力の簡易評価の整備は喫緊に必要で、さらに運転席周辺の香り付加などによる環境制御による事故の低減ができるならば有意義だろう。総合的な運転能力の評価の要素には、Dahlia[1]が参考になる。認知、視覚、身体能力、脳機能、運転適性・態度が項目に挙がり、実運転の記録とシミュレータによるデータが基とされている。一方で、それらの手法の準備はコストやスペース面で困難であり、机上の知的作業で代用できるなら簡便である。d2 テスト[2]は、ドイツで運転適性確認を目的に開発された机上知的作業で、視覚的注意状態を評価できるとして近年では運転以外の作業環境評価にも用いられる。一方で、筆者らの既報[3]などでは、オリジナルの d2 テストの設定手法には時間内に行ごとの記号確認を完遂する回答者がいて作業負荷として軽いことがわかっており、行内の制限時間設定を短く変更するなどして対応してきた背景がある。

本報では、運転を想定して作業負荷をさらに高める方向に d2 テストのルールを追加した作業を実施した場合の回答者への負荷の程度を把握することと、その作業を有香空間で実施した場合の作業成績への影響を把握することの 2 点を目的として実験を行った結果について報告する。

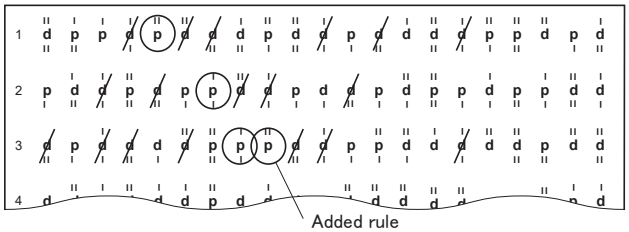
2. 高負荷知的作業の検討

2. 1 実験概要

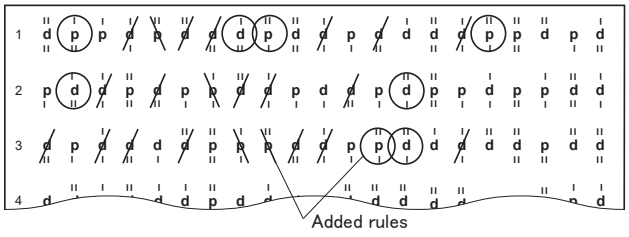
オリジナルの d2 テスト[2]は、47 行 14 列（計 658 個）の d または p の記号列の各記号に 1 ～ 4 の点が付されていて、1 行につき 20 秒の制限時間内に、左端からできるだけ多く d に 2 点が付された記号のみに斜線を記入し、20 秒経過後に次の行に進ませることを繰返す方法（計 280 秒）である。筆者らは、既報[3]の予備検討にて、達成率（Pa：達成数を総記号数で除した値）が 100% となった回答者が複数いたことから、図 1(1) に示す 47 行 20 列（計 940 個）で行内の制限



(1) d2 test R0 (d2R0)



(2) d2 test R1 (d2R1)



(3) d2 test R2 (d2R2)

Figure 1 Improved d2tests

時間を 15 秒に短縮した作業（計 300 秒）を用いてきた（以降「d2R0」と呼ぶ）。本報では、作業にかかるさらなる負荷増大を目的として、より多くの判断が必要となるようにした作業を 2 種類作成した。図 1(2)の「d2 テスト R1（以降「d2R1」）」は、「d2R0」のルールに加えて 2 点が付された p 記号に丸を付すルールを加えた作業で、図 1(3) の「d2 テスト R2（以降「d2R2」）」は、「d2R0」のルールのうち 2 点の付された d 記号には右上がり斜線を記入するように限定したうえで、2 点の付された p 記号に右下がり斜線を記入することと、3 点の付された d または p 記号に丸を記入することを課した作業である。

この 3 作業について 15 名（F6, M9）の学生が取り組んだが、5 名実施時点で「d2R1」は難易度や評価が「d2R2」以下であったことから「d2R0」と「d2R2」の 2 作業の比較に切り替えた。評価は、達成率（達成総数を全記号数で除した値（Pa））とミス率（ミス総数を達成総数で除した値（Pm））のほか、主観評価として「時間が長く感じた」、「作業量が多く感じた」、「冷静に作業することができた」、「疲労を感じた」、「判断力が問われた」、「注意力が問われた」、「繊細さが問われた」、「瞬発力が問われた」、「集中力が問われた」、「集中力が持続した」の 10 項目について、「そう思わなかった」、「少しそう思わなかった」、「どちらでもない」、「少しそう思った」、「そう思った」の 5 段階で回答させた。

2.2 評価結果

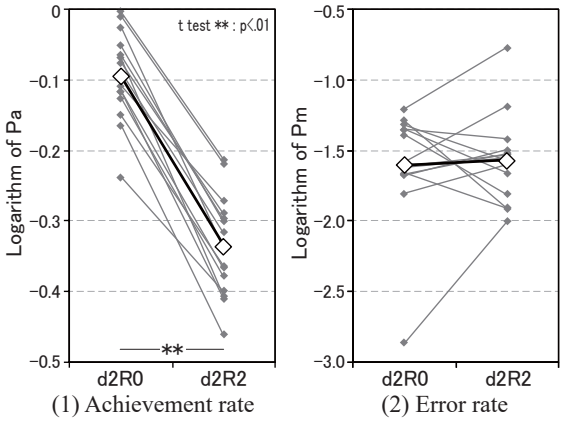
図 2 に達成率（Pa）とミス率（Pm：ミス数を達成数で除した値）に関する「d2R0」と「d2R2」間比較を示す。横軸は両テスト、縦軸に (1) 図では Pa、(2) 図では Pm の対数値をとった。灰塗プロットが個人データで、白抜きプロットが平均値である。(1)Pa では、「d2R2」の方が全回答者で達成率が低く、t 検定でも有意差が検出された。(2)Pm では「d2R2」の方が高い回答者が約半数だったが、平均値ではわずかに「d2R2」の方が高く、t 検定の有意差は検出されなかった。達成数が減少したことから、「d2R2」の作業負担は「d2R0」より大きかったことがわかる。また、ミス率に関しては「d2R0」と変わらないことから、作業難易度が著しく高かったわけではないと推定できる。

図 3 に作業に対する主観評価の 2 作業間比較を示す。横軸が評価項目と 2 作業、縦軸が尺度で円の面積で度数を、プロットで平均値を示す。図中には 2 作業間の t 検定結果を併記した。「d2R2」の方が高く、かつ有意差の検出された評価項目には「作業量が多く感じた」、「疲労を感じた」、「判断力が問われた」、「注意力が問われた」、「集中力が問われた」があり、「d2R2」の方が低く、かつ有意差の検出された「冷静に作業することができた」、「集中力が持続した」の項目と合わせて、運転を想定した場合に要求される能力や曝される状況により近い作業であろうと判断した。

3. 香り噴霧環境下での作業実験

3.1 実験概要

実験は 2021 年 10 月 12 日～ 11 月 16 日に本学実験室にて 17 ～ 25℃、35 ～ 65%RH の条件下で実施し、嗅覚検査に合格した 20 名（男女 10 名ずつ、20 ～ 22 歳）が参加した。実験では、香り噴霧のない室で事前に説明を終えたのちに、実験参加者斜め前方の机上に置かれた水噴霧式アロマディフューザから予め香り噴霧を開始した室に引率して着座させてすぐに知的作業を開始させた。作業は「d2R2」を 5 分間実施した。作業後に主観評価を行わせて 1 条件の実験を終了とした。評価項目は、香りに関して「においの強さ」、「快・不快」、「好き・嫌い」、「むっとした」、「温かい」、「どっしりした」、「親しみやすい」、「受け入れられる」の 8 項目、運転環境を想定して「リラックスしやすい」、「集中できる」の 2 項目として、作業自体に関しては、2.1 節と同じ 10 項目とした（図 4）。4 つの香り条件を設定して、異なる日に実験参加者ごとに順不同で実施した。用いた試料はレモン（Le）とラベンダー（Lv）の市販製油（インセント製）と自動車用芳香剤（Fv、



(1) Achievement rate　(2) Error rate
Figure 2 Comparison of Pa and Pm between d2R0 and d2R2

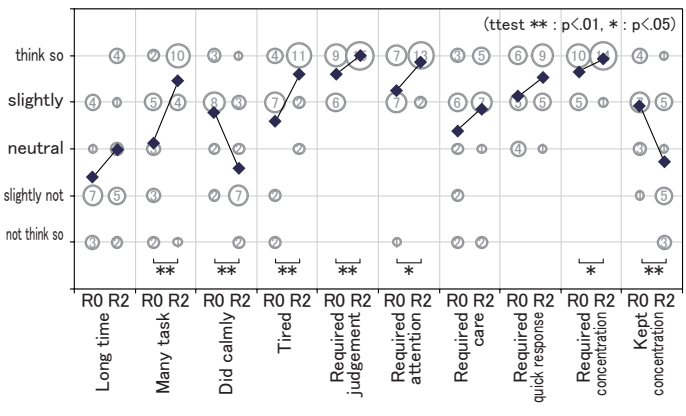


Figure 3 Comparison of sensory evaluations between d2R0 and d2R2

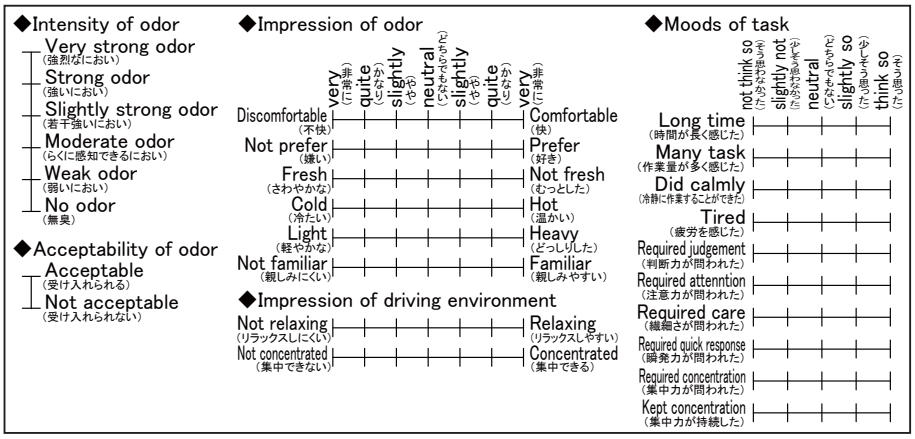


Figure 4 Scales of evaluation items

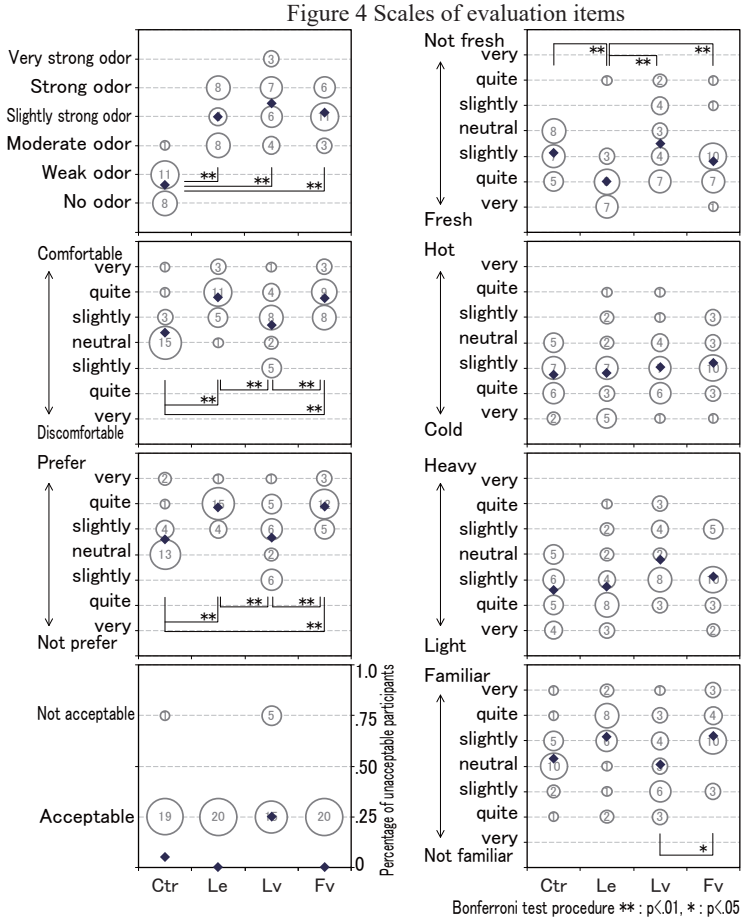


Figure 5 Comparison of smell evaluations among smell conditions

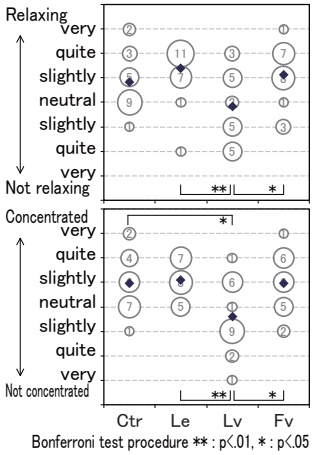


Figure 6 Comparison of driving environment among smell conditions

サックススカッシュ：オートバックスセブン製）で、150mL の水道水の入ったディフューザに 2 精油は約 0.2mL、自動車用芳香剤は約 0.5mL 滴下して噴霧した。さらに、水道水のみ噴霧する条件（Ctr）も実施した。なお、本報では作業自体の主観評価の結果については割愛する。

3.2 香りおよび運転環境想定評価

図 5 に香りの心理評価を示す。いずれの評価項目も横軸は香り条件、縦軸が各項目の尺度（「受け入れられる」のみ非許容者を全回答者で除した非容認率を併記）とした。円の面積で度数、プロットは平均値を示し、多重比較結果を併記した。「においの強さ」は有香 3 条件はほぼ同評価で、「快・不快」と「好き・嫌い」はいずれも平均値はポジティブ側だったが、Lv のみネガティブ側評価者が含まれた。印象項目から Lv は「むっとした」と「どっしりした」が唯一高かったので、これらと相関があったと考えられる。

図 6 に運転環境想定評価を示す。いずれも横軸は香り条件、縦軸が各項目の尺度で円の面積で度数、プロットは平均値を示し、多重比較結果を併記した。2 項目とも香りの「快・不快」や「好き・嫌い」評価との相関が推定される評価傾向で、香りとして比較的ネガティブに評価された Lv が 2 評価項目とも最も低評価だった。「リラックスしやすい」評価と「集中できる」評価が並立することには解釈の難しさが残った。

3.3 作業成績

作業成績は 2 章と同様に達成率（Pa）とミス率（Pm）で評価した。図 7 に指標算出方法を示す。図は実験参加者 No.4 の例で、横軸は習熟のための事前の 10 回の反復練習と 11 ～ 14 回目に経験した香り条件を示し、縦軸は達成率である。曲線は事前実施の 10 回分の成績から導出した習熟曲線で、11 ～ 14 回目の成績は、実測値（Pa）を該当回の習熟曲線値（Pra）で除して達成率指標とした。ミス率指標も同様の算出方法である。

図 8 に上記指標を用いた作業成績の香り条件間比較を示す。横軸が香り条件、縦軸は達成率指標 Pa/Pra またはミス率指標 Pm/Prm（ミス率実測値とミス率習熟曲線該当値の比）の対数値で、プロットは 20 名平均値とし、多重比較結果も示した。(1) 達成率では Ctr より高い平均値は Fv のみだった。Le は図 5 でにおいとして最も快側評価かつ図 6 で運転環境として

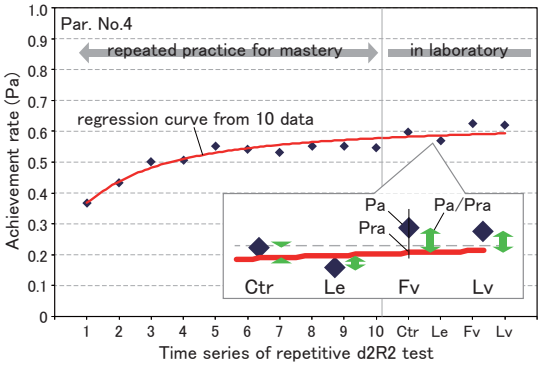
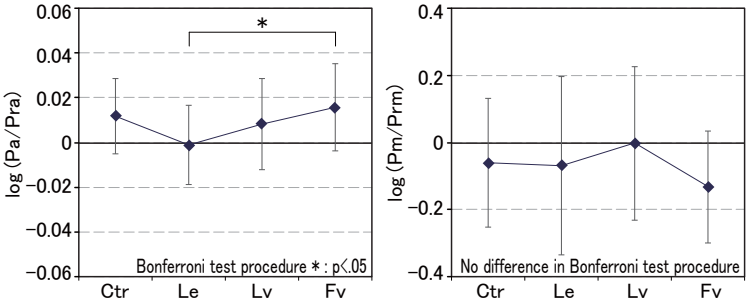


Figure 7 Calculation method of work performance



(1) Achievement rate index (2) Error rate index

Figure 8 Comparison of performances among smell conditions

最も集中できる側評価だった一方で達成率は最低だった。(2) ミス率は Lv で最大、Fv で最小だったが有意差は見られなかった。図 8 のみで見ると、Fv が達成率最大かつミス率最小で作業には最も適した香りであったことを示している。

3. 4 作業成績と香りおよび運転環境想定評価の相関

作業成績への寄与として香りの質と運転環境のいずれの影響かを見るべく、図 9 に香りの「快・不快」および「好き・嫌い」評価と運転環境を想定させた 2 評価と、作業の達成率およびミス率指標の相関を示す。図の横軸は各主観評価尺度で、縦軸は上段 (1) が達成率指標の対数値、下段 (2) がミス率指標の対数値とした。プロットは香り 4 条件を統合した 80 データで示し、相関係数を併記した。いずれも高い相関は見られず香りと作業環境の比較はできないが、相対的に達成率指標と香りの「好き・嫌い」、運転環境想定の「集中できる」はわずかに高い相関が見られた。作業達成度が高かった場合に集中した自覚があったため、「集中できる」評価が高かったと考えられるが、その場合には香りの「好き・嫌い」がある程度は影響したと考えることができる。一方で、ミス率指標は縦軸スケールからもわかる通り個人差が大きく、香りの心理的側面の影響は見出せず、この点は「d2R0」作業を実施した既往研究[3]と同じ傾向である。今後の「d2R2」への要改良点は、ミスへの注意力を表現する側面をより鮮明にすることだと考えられる。

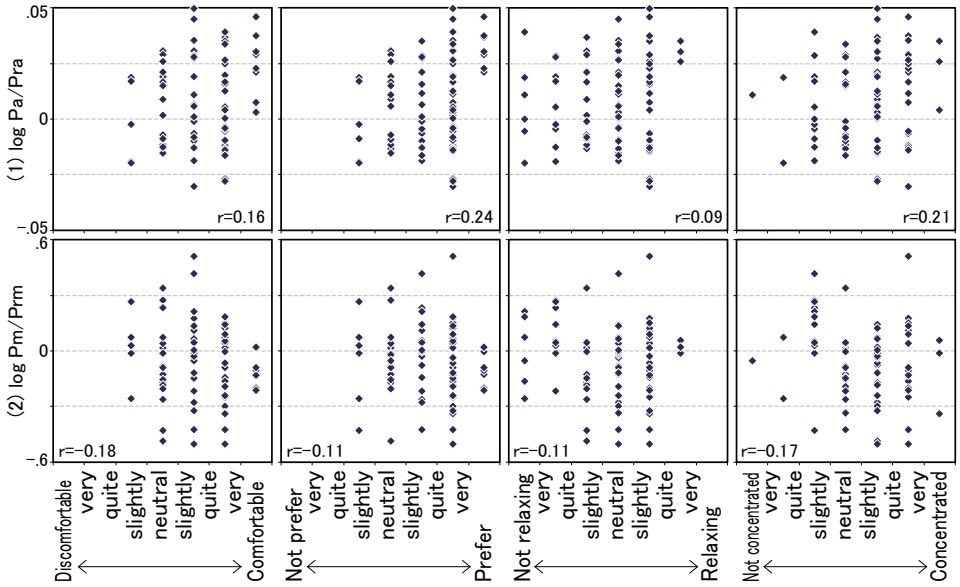


Figure 9 Relationships between performances and smell/driving environment evaluations

作業環境への香りの影響については、特定の香りでの研究例は多く見られ、どの香りが集中力を上げるかなどの香りの薬理効果的側面が取り沙汰されがちであるが、上記のような香りの主観評価が影響する可能性は香りの心理的側面が作業環境向上に寄与する可能性を示すとも考えられ興味深い。

4. おわりに

本報では、運転状況により近い高負荷知的作業の試作と、それを用いた香りと知的作業との関係の検討実験について述べた。試作作業は、従来より高度な能力を要求する手法と考えられたが、香り環境下での作業ではミス率指標の個人差が大きい問題は残った。香り環境下での高負荷知的作業への影響としては、達成率にはある程度の影響は見られた。心理評価と達成率指標間には相対的にわずかに高い相関が見られた。なお、本研究は本学理工学部の人を対象とする研究倫理審査の承認を得て実施した。

参考文献

1) R. Brickenkamp and E. Zillmer: The d2 Test of Attention, Hogrefe & Huber Publishers, 1998
2) 山岸未沙子, 稲上誠, 田中貴紘, 米川隆, 河野直子, 佐藤稔久, 赤松幹之, 青木宏文：高齢ドライバの運転評価に向けた運転特性データベース, 人間工学 Vol. 56 No. 1, pp. 1-10, 2020
3) 例えば、南田高希, 竹村明久, 杉本泰世, 脇山雄多：香りが短時間仮眠後の作業効率に及ぼす影響（その 1）作業成績の習熟度検討と香り条件間比較, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集（pdf）, 2019

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

香り環境下における学習効率に関する研究
（その 8）自習室におけるアロマオイルの種類と学習効率に関する検討
Learning Performance in Odor Environment with Aroma Oils
(Part8) Study of the Type of Aroma Oils in the Study Room and Learning Performance

○平野　雅人（大阪大学）　山中　俊夫（大阪大学）　崔　ナレ（大阪大学）
竹村　明久（摂南大学）　小林　知広（大阪大学）　福本　柊一郎（大阪大学）
Masato HIRANO[*1]　Toshio YAMANAKA[*1]　Narae CHOI[*1]
Akihisa TAKEMURA[*2]　Tomohiro KOBAYASHI[*1]　Shuichiro FUKUMOTO[*1]
[*1]Osaka University　[*2]Setsunan University

Recently, there have been an increasing number of cases of incorporating odor in order to improve comfort and productivity in architectural spaces. However, there are few examples of incorporating odor into school learning spaces. Therefore, in this study, experiments were conducted to find an efficient spraying method for odor. In this paper, the results of subjective evaluations for students who used the self-study room where the odor was sprayed zere analysed. Compared to the control conditions, the odor environment with essential oil was significantly more preferable and pleasant, and tended to reduce fatigue.

1. はじめに

近年、働き方改革の推進により、室内作業の効率化が益々求められているなか、室内環境の要素として、快適性だけでなく、知的生産性の向上が注目されている。そのため現在では、リラックスや記憶力向上の効果が報告されている“香り”を、会社の執務室や休憩空間に取り入れる事例が増えてきている。一方で、学校の学習空間に香りを取り入れた実用例はほとんど見られない。そこで、本研究では、学習空間に適した香りの導入方法の提案を目的とし、パネル実験により検討を行う。既報[1), 2)]では香りの種類に着目した実験を行い、レモンの香りで主観評価、学習効率共に高評価の結果が得られた。また、香りの間欠噴霧に着目をした実験を行い、順応の軽減や疲労度の軽減を報告した。本報では、新キャンパスの自習室に試験的にアロマを噴霧させ、自習室を利用した学生の調査から、香り環境が学習効率及び室内環境の評価に及ぼす影響を考察した結果を報告する。

2. 実験概要

本実験は 2021 年 11 月～ 12 月にかけて、本学新キャンパスの自習室にて実施した。パネルについては自習室を利用する外国語学部の学生を対象に募集し、1 時間以上の自習室の利用を参加条件とした。パネルには Google フォームでの回答の際にインフォームドコンセントによる同意を得て、適切な報酬を支払った。

自習室の平面図を **Fig.1** に示す。自習室にはブース席、グループ席、ハイデスク席、ソファ席があり、利用する学生には任意の席で自習させた。また、自習室は細長い平面形状のため、図中の 2 箇所にディフューザー (アットアロマ社製、all-in-one-type) を設置し香りを噴霧した。自習室の天井には空調によるドラフト軽減を目的とした膜天井が用いられており、予備実験でうまく香りが撹拌されなかったため、サーキュレータ (ダイキン工業社製、MPF08WS-W) をディフューザーの手前に配置した。使用したディフューザー及びサーキュレータとその配置を **Fig.2** に示す。

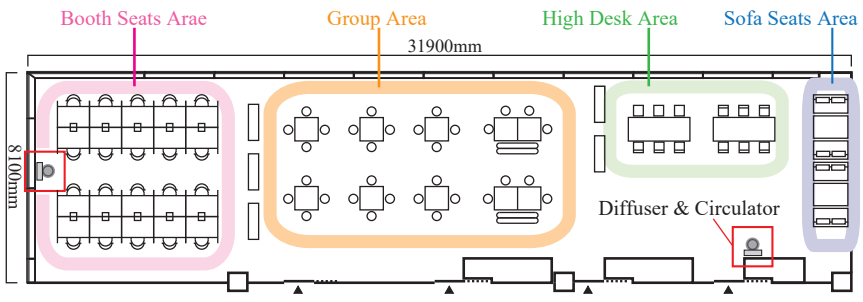


Fig.1 Plan of Study Room

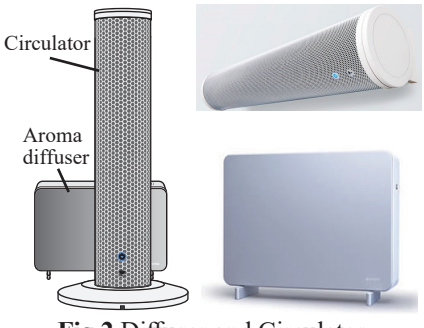


Fig.2 Diffuser and Circulator

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

2.1 実験条件

本実験では、香りの種類と間欠噴霧の噴霧周期をパラメータとして実験条件の設定を行い、1 日 1 条件ずつ実施した。実験条件の詳細を **Table 1** に示す。

使用したアロマについては、既報 [1] で用いたレモン (LE 条件)、ローズマリー (RM 条件)、ペパーミント (PM 条件) に加え、ラベンダー (LA 条件)、ヒノキ (CY 条件)、ゼラニウム (GE 条件)、ユーカリ (EU 条件)、ベルガモット (BE 条件)、ティートリー (TT 条件) の計 9 種類のアロマとした。また、比較のために、事前に香りを噴霧しないと告知した無臭条件 (CO 条件) と、香りの噴霧を行わないことを告知しない無臭条件 (N_CO 条件) を設定した。においの強さについては、予備実験により臭気強度が「らくに感知できるにおい」程度となるように噴霧時間を調整した。間欠噴霧の噴霧周期については、既報 [2] で最も受容度の高かった 10 分周期を採用し、比較のために 30 分周期の 2 条件とした。ここで、香りの噴霧停止の 10 分間で香りの濃度が十分減衰すると仮定し、両条件で香りの濃度による影響を除くために、同一の香りでは同じ噴霧時間とした。

2.2 主観評価項目

本実験では自習室の入室時と退室時の 2 回、Google フォームにより主観評価を行う。主観評価項目を **Fig.3** 及び **Fig.4** に示す。入室時はパネルの属性に加え、香りに対する項目として、嗜好度、快不快度、臭気強度、受容度の 4 項目をについて評価させた。退室時については、香りに対する 4 項目に加え、学習効率に影響を及ぼすと予想される作業の捗り度、疲労度、体感時間の 3 項目についても評価をさせた。

3 結果・考察

3.1 香り環境に対する非容認率

各条件における香り環境に対する非容認率の結果を **Fig.5** に示す。ここで、受容度の評価で受け入れられない側に評価した人数の割合を非容認率とする。多くの香り条件で入室時に比べて退室時で非容認率が低下する傾向が見られた。また、10 分周期の PM 条件では非容認率が高かった。PM 条件でガムや湿布のにおいを連想したという回答が多く見られたことから、学習環境に適していないものを想起させる香りであったことが原因であると考えられる。

Table 1 Experimental Conditions

Aroma Condition	Time of Spraying[sec]	10 minutes cycle				30 minutes cycle			
		Male	Female	Non-answer	Total	Male	Female	Non-answer	Total
Lemon (LE)	30	17	24	1	42	16	25	1	42
Rosemary (RM)	15	22	31	2	55	14	22	0	36
Peppermint (PM)	20	26	32	0	58	21	36	0	57
Lavendar (LA)	15	14	27	0	41	17	34	0	51
Cypress (CY)	20	12	26	1	39	17	31	0	48
Geranium (GE)	20	17	31	0	48	21	31	0	52
Eucalyptus (EU)	20	21	31	0	52	18	37	1	56
Bergamot (BE)	20	18	38	1	57	16	34	0	50
Tea Tree (TT)	20	18	22	1	41	14	34	0	48
Anounced Control (CO)	-	19	33	0	52	-	-	-	-
Control not Anounced (N_CO)	-	14	45	0	59	-	-	-	-

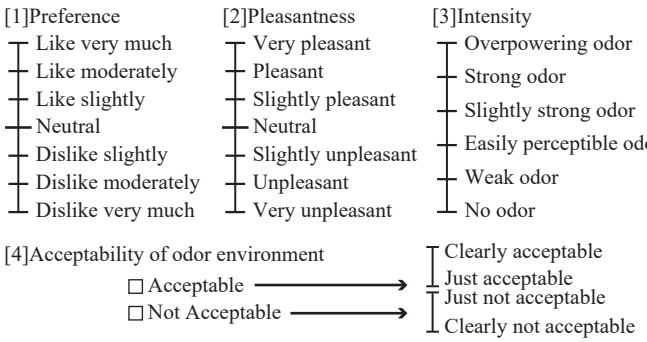


Fig.3 Subjective Evaluation Scales for Odor

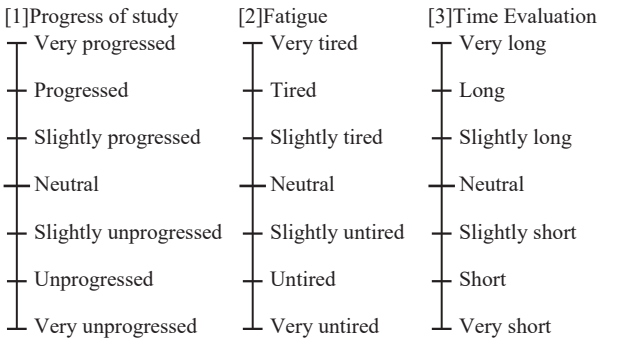


Fig.4 Subjective Evaluation Scales for Learning Performance

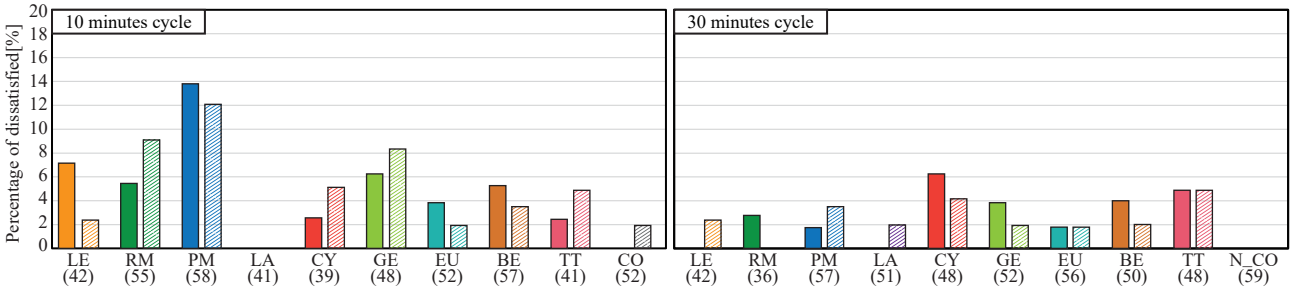


Fig.5 Percentage of Dissatisfied

3. 2 各条件における主観評価結果の比較

各条件における主観評価結果の平均値の比較を **Fig.6** に示す。CO 条件の平均値と比較した t 検定の結果についても図中に示す。

香りに対する項目については、多くの香り条件で有意に高い結果が得られた。特に臭気強度の結果では入室時と退室時の変化がほとんど見られなかったことから、間欠噴霧により順応を軽減できていると示唆される。また、学習効率に関する項目では、捗り度と体感時間で香り条件の方が高い結果となった一方で、疲労度については無臭条件と香り条件でほとんど差は見られなかった。

噴霧周期の比較では、10 分周期の香り条件間でばらつきがみられた一方で 30 分周期の香り条件は比較的ばらつきが小さいことや、受容度については 30 分周期の方が高いことから、曝露頻度が少なくても十分香りによる効果が得られる可能性が考えられる。

3. 3 パネルの属性が主観評価に及ぼす影響

一般的に、香りに対する感じ方には個人差の影響を大きく受けるとされているため、3. 2 のような平均値の比較だけでは不十分だと考えられる。そこで、性別や受容度といったパネルの属性による分類分けを行い、主観評価結果の比較を行う。

男女別で比較した主観評価結果のうち、代表として 30 分周期の RM 条件の結果を **Fig.7 a)** に示す。RM 条件では、女性の方が男性に比べてポジティブ側の評価となった。また、臭気強度については男性の方が有意に高く、GE 条件、EU 条件、TT 条件でも同様の傾向の傾向が見られた。一方で､受容度については､RM 条件の他にも、ほとんどの条件で女性の方が有意に高い結果となった。したがって、比較的香りに慣れているとされる女性にとっては、香りを強く感じることはなく、受け入れられやすい傾向にあることが示唆される。

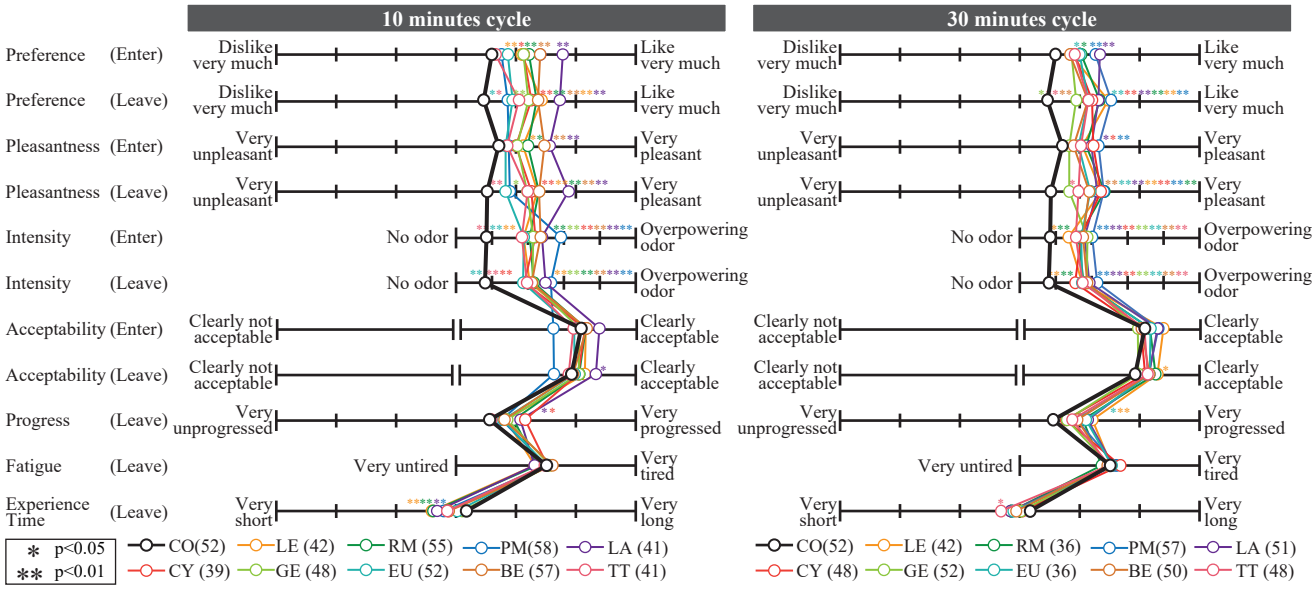


Fig.6 Resluts of Subjective Evaluation

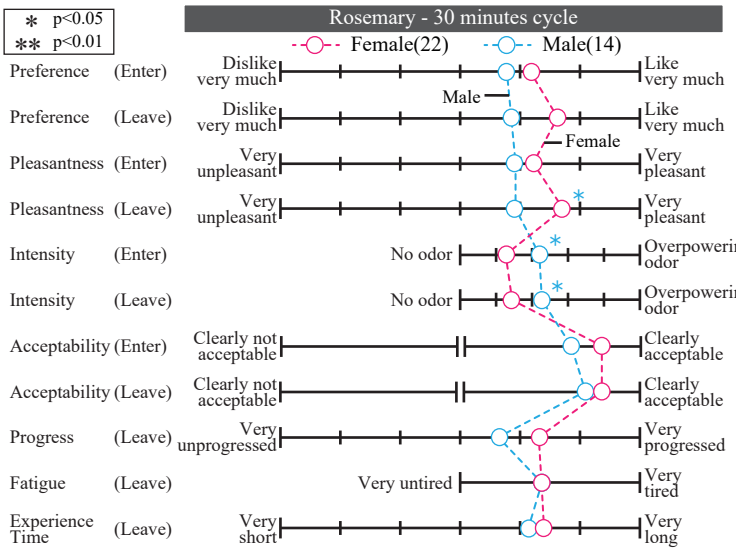


Fig.7 a) Subjective Evaluation Compared by Gendar in RM - 30min Cycle

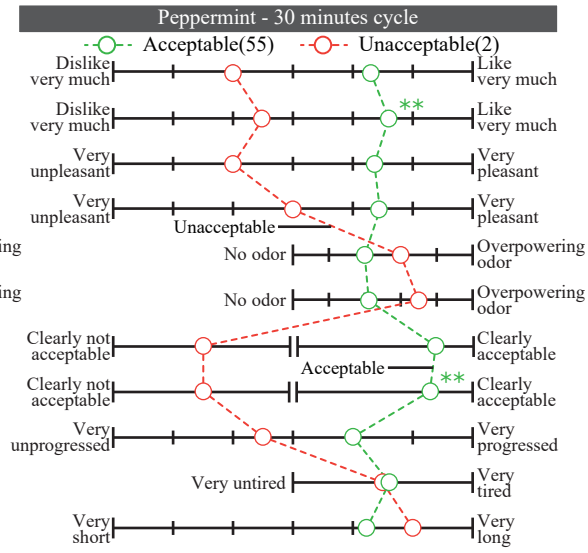


Fig.7 b) Subjective Evaluation Compared by Acceptability of PM - 30min Cycle

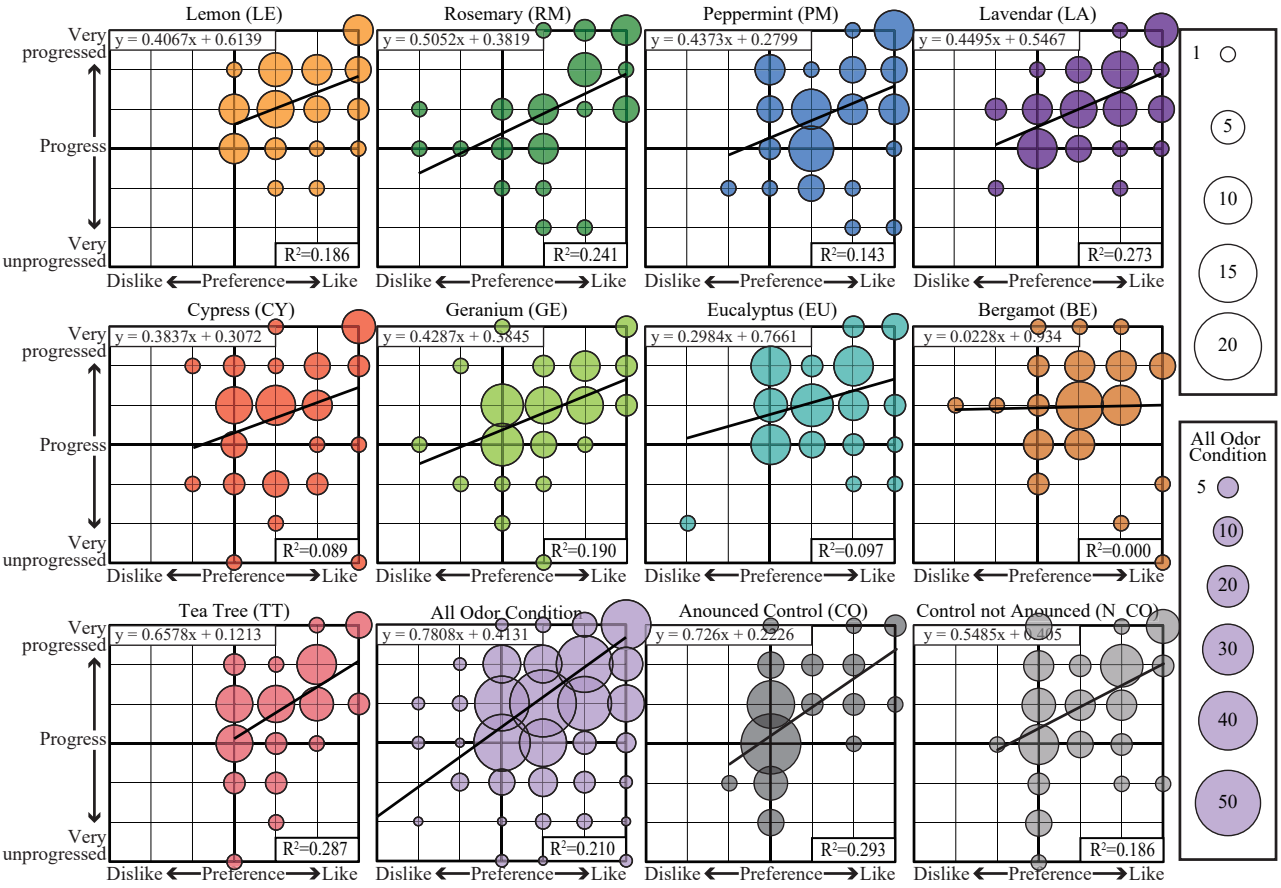


Fig.8 The Rerationship between Preference and Progress

次に、受容度別で比較した主観評価結果のうち、代表として30分周期のPM条件の結果を**Fig.7 b)**に示す。受け入れられないと回答した群については、ほとんどの項目でネガティブ側の評価となり、臭気強度は高い結果となった。このような傾向は他の香り条件でもみられ、香りを受け入れらないと感じる人にとっては、香り環境をネガティブに捉える傾向があり、学習効率にも影響を及ぼすことが予想される。また、受容度が低くなったのは、噴霧されるにおいを強いと感じることが1つの要因と考えられるため、香りの噴霧するときは香りの濃度の検討も重要であるといえる。

3.4 嗜好度が捗り度に及ぼす影響

香りに対する評価が学習効率にも影響を及ぼす可能性があると考え、嗜好度と捗り度に着目をして検討を行う。30分周期の条件における退室時の嗜好度と捗り度の関係を**Fig.8**に示す。BE条件を除いた全ての条件で好きと感じるほど捗り度が上昇する傾向が見られた。また、CO条件では嗜好度と捗り度が中立側の評価をしているパネルが多かったのに対し、N_CO条件では香りを噴霧していないにも関わらず嗜好度の高いパネルがいたことから、単に自習室由来のかすかなにおいや他の在室者によるにおいを感じていただけでなく、香りが噴霧されていると思い込むことで嗜好度や捗り度が上昇したことが原因である可能性も考えられる。

4 おわりに

本報では、香りの種類と間欠噴霧の噴霧周期に着目をして、自習室に試験的に香りを噴霧し、利用した学生の心理評価や学習効率に及ぼす影響について調査した。香りの噴霧しない条件に比べると、多くの香り条件で嗜好度や快不快度は有意に高い結果となった。一方で、香りを受け入れられないと回答する学生も見られ、においの強さが原因の1つであると示唆された。男女で結果を比較すると、女性の方が香りを受け入れられやすい傾向がみられた。また、嗜好度と捗り度の関係では、嗜好度と捗り度に相関があることを確認した。今後は長期的な運用を目指し、長期的な香りの曝露が及ぼす影響について調査を行う所存である。

なお、本研究は大阪大学工学研究科倫理委員会の承認を得ている。

【謝辞】

本研究は、ダイキン工業(株)との共同研究であり、関係各位に謝意を表します。

【参考文献】

1) 平野、山中、崔、竹村、小林：香り環境下における学習効率に関する研究(その5)香り環境が心理評価及び学習効率に及ぼす影響、令和2年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、G-18、2020.9
2) 平野、山中、崔、竹村、小林：香り環境下における学習効率に関する研究(その7)間欠的に噴霧した香りが学習時の主観評価に及ぼす影響、令和3年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、G-28、2021.9

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

においの繰り返し順応経験が嗅覚反応に及ぼす影響
（その１）ローズマリー精油の繰り返し曝露による嗅覚反応

Influence of Repeated Odor Adaptation Experience on the Olfactory Response
(Part1)Olfactory Adaptation after Repeated Exposures to Rosemary Essential Oil

○福本　柊一郎（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）　平野　雅人（大阪大学）
Shuichiro FUKUMOTO[*1] Masato HIRANO[*1]　Toshio YAMANAKA[*1]　Narae CHOI[*1]
Akihisa TAKEMURA[*2]　Tomohiro KOBAYASHI[*1]　Masato HIRANO[*1]
[*1]Osaka University　[*2]Setsunan University

In recent years, odor has been attracting attention as a new added value to the indoor environment because it is considered to have a positive effect on occupants' mood and performance. In architectural spaces where odor environment is created, occupants are exposed to the odor for a relatively long period. However, the influence of the long-term exposure of the odor to occupants has yet to be made clear. In this study, experiments were conducted using rosemary aroma to investigate the influence of the repeated exposure of the odor on occupants' odor threshold and subjective evaluation.

1. はじめに

近年の研究では、室内に噴霧した精油や香料の香りが心理評価や知的生産性に影響を及ぼすことが報告されている。[1] そこで、建築設備として香り空調等を導入し、室内環境を制御しつつも知的生産性の向上させる事例が増えてきている。ここで、香りを建築空間に導入する上では、長期的な香りの曝露が想定されるが、長期的な香りの曝露を受けた際の人体への影響については研究例が少なく、未解明な部分が多い。

そこで、本研究では、香り環境を長期的に運用するための検討として、繰り返される香りの曝露が香りの感じ方の変化に及ぼす影響について調査した。本報では、曝露頻度に着目をして、ローズマリー精油の繰り返し曝露による嗅覚反応への影響について報告する。

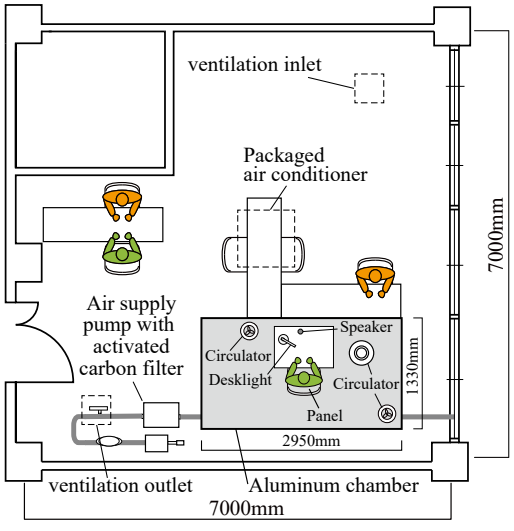


Fig.1 Plan of Study Room

2. 実験概要

本実験は 2022 年 1 月～ 2 月の期間で実施し、本学学生 19 名 (男性 9 名、女性 10 名) をパネルとし、参加時間に応じて適切な報酬を支払った。実験は実験室内に設置したアルミニウム製チャンバーで行った。室由来のにおいの影響を小さくするため換気を十分行い、チャンバー内を無臭フィルムで覆うことで漏気による影響も考慮した。実験室平面図を **Fig.1** に示す。

2. 1 曝露条件

本実験では、長期的なにおいの曝露を繰り返しの結果、生じる順応に焦点を当て、「曝露頻度」に着目して実験を行った。順応がほぼ完了する時間を 3 分間と想定し、3 分間の曝露を 9 回繰り返す。総曝露回数の決定においては、竹村らの研究 [2] において 1- ブタノールの希釈水を 15 回検臭した実験で 1 回目の検臭と比較して 5 ～ 10 回目以降で臭気強度評価が低下する傾向が見られたと報告されていることと、パネルの負担を考慮して、9 回とした。

曝露頻度の条件を **Table. 1** に、および各条件のタイムスケジュールを **Fig.2** に示す。1 日 1 回の曝露を 9 日連続で繰り返す条件 A、1 日 3 回の曝露を 3 日連続で繰り返す条件 B、1 日 9 回の曝露を行う条件 C の 3 条件とした。各条件の検臭間隔は、順応の回復を目的とし、条件 B で 2 時間、条件 C で 1 時間とした。

Table 1 Experimental Conditions

Case	Exposure Frequency	Experiment Days	Time Interval
Case A	1 time / 1day	9 days	-
Case B	3 times / 1day	3 days	2 hours
Case C	9 times / 1day	1 day	1 hour

2. 2 評価項目

本実験では、一般的に曝露されるような中濃度の香りに対する臭気強度だけでなく、嗅覚閾値 (香りを感じ取れる最小濃度) の変化についても評価を行った。さらに、Ferdenzi[3] らは、においの繰り返し曝露により快不快度が中立側に変化したと報告したため、嗜好度と快不快度も評価を行った。評価方法を Fig.2 に示す。また、本実験で曝露させる香りは、日常生活での曝露頻度が少ないと想定され、既往研究 [4] でも用いられたローズマリーの精油を採用した。

臭気強度、嗜好度、快不快度は、順応させる 3 分間で 1 分ごとにローズマリーの香りに対して評価を行わせた。香りの曝露方法については、コットンにローズマリー精油を 1 滴垂らし、チャンバー内でその揮発成分を曝露装置により直接嗅がせる方法とした。曝露装置の詳細を Fig.4 に示す。曝露装置でにおいを嗅ぐ際は、Fig.5 に示すように曝露装置を手に持ち、ファンからの気流に乗ったにおいを嗅がせた。

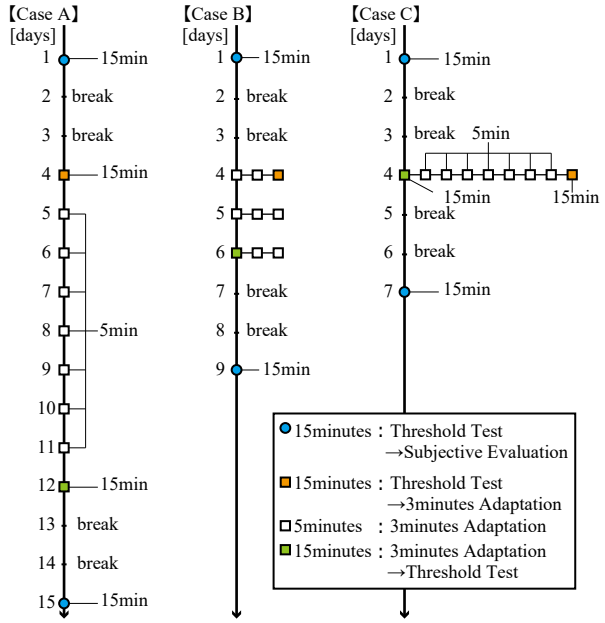


Fig.2 Detailed Time Schedule

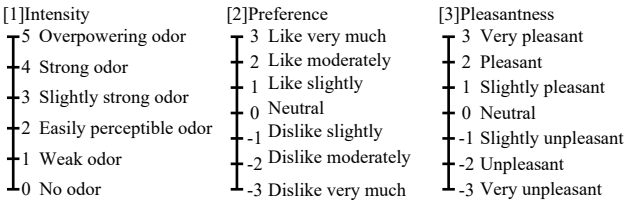


Fig.3 Subjective Evaluation Scales

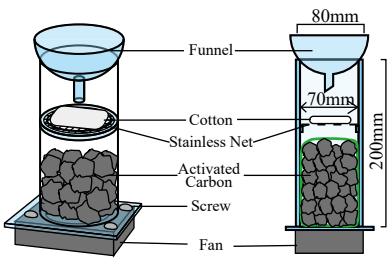


Fig.4 Detailed of Exposure Equipment

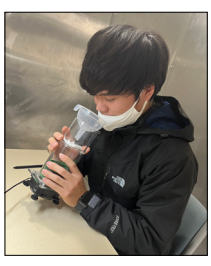


Fig.5 Expose Method

2. 3 閾値の測定手法

閾値の測定については、チャンバー外で行った。また、順応させるローズマリーの精油と、順応をさせないにおいとの比較を行うために、ローズマリーに含まれない成分で、嗅覚テストの基準臭にも用いられているスカトールについても測定を行った。2 種類のにおいに対して、3 倍系列で希釈させた溶液を用意し、1 つの濃度に対して 5-2 法 (5 本の紙の棒からにおいのついた 2 本を選ぶ方法) による検査を 2 回行うことで閾値濃度を測定した。初期濃度に対して 2 回とも正解であれば、不正解になるまでより低濃度の溶液に対して繰り返し検査を行い (下降法)、初期濃度に対して 1 回以上不正解となれば 2 回正解となるまで濃度を上昇させて検査を行う方法 (上昇法) とした。

次に、閾値の計算方法について示す。検査の最終濃度における 5-2 法の結果が 2 回とも不正解であった場合、2 回正解した濃度 (C_{0i}) と 2 回不正解だった濃度 (C_{1i}) の間に閾値が存在すると考え、式 (1) により閾値を算出した。

$$X_i = \frac{(\log C_{1i} + \log C_{0i})}{2} \quad (1)$$

検査の最終濃度における 5-2 法の結果が 1 回正解 1 回不正解の場合、かろうじでその濃度で嗅ぎ分けられるとして、式 (2) により閾値を算出した。

$$X_i = \log C_{0i} \quad (2)$$

2. 4 実験スケジュール

各条件のタイムスケジュールを Fig.6 に示す。順応の影響だけでなく、その後の嗅覚の回復の影響についても考慮するために、ローズマリーのアロマを曝露させる実験の前後 3 日間にも閾値測定及び臭気強度評価を行った。実験条件によって実施日数が異なるが、1 条件当たり合計で 11 回の実験を実施し、Fig.2 にも示す通り、各条件で行う作業は同様とした。

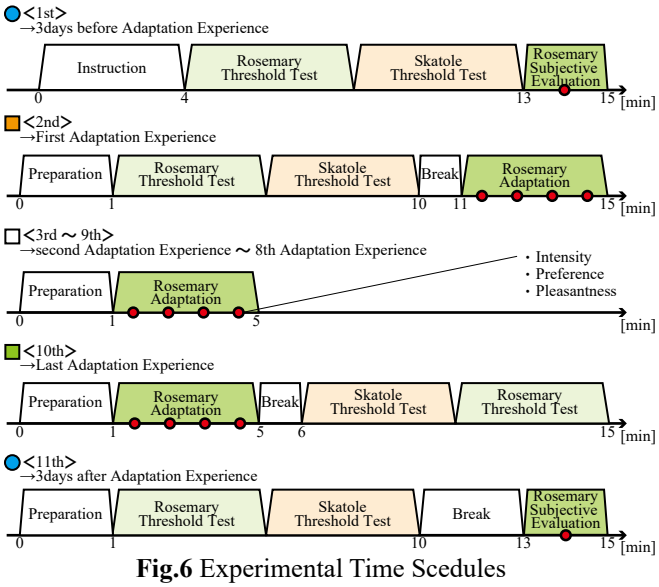


Fig.6 Experimental Time Scedules

4. 実験結果と考察

4. 1 各パネルの主観評価結果の比較

臭気強度、嗜好度、快不快度の主観評価結果を時間軸（回数）に対して Fig.8~10 に示す。臭気強度は 2 回目以降は 3 分間の噴霧中、多くのパネルで指数関数的に臭気強度が減衰していることから順応していることが分かる。ただ、パネル 1 については順応をせず臭気強度の変動がみられた。全パネルで 3 分間の曝露では「無臭」程度までは順応せず、各パネルで順応の下限値や減衰幅が異なっていた。既往研究[5]で述べられたように、香りの感じ方には数パターン存在すると考えられ、嗅覚特性で分類分けを行うと更なる検討ができると考える。

嗜好度の結果については、低頻度、長期間の条件になるにつれて、評価が中立側に変化する傾向が見られた。

4. 2 各条件の主観評価平均

各条件の主観評価平均を Fig.11 に示す。臭気強度においては、短い期間の条件では順応の下限値が低下する傾向がみられる。

嗜好度については長期間の条件 A において嗜好度が低下する傾向がみられた。一方で、1 日だけの条件 C では嗜好度の変化があまり見られなかった。快不快度については、嗜好度と同様に長期間の条件になるにつれて評価が低下する傾向がみられた。また、順応中に次第に快不快度の評価が上昇する傾向も見られた。嗜好度、快不快度で評価が低下する傾向については、短期間の条件では見られなかった。したがって、長期間におけるほど香りの繰り返し曝露が香りの感じ方及ぼす影響が大きいと考えられる。

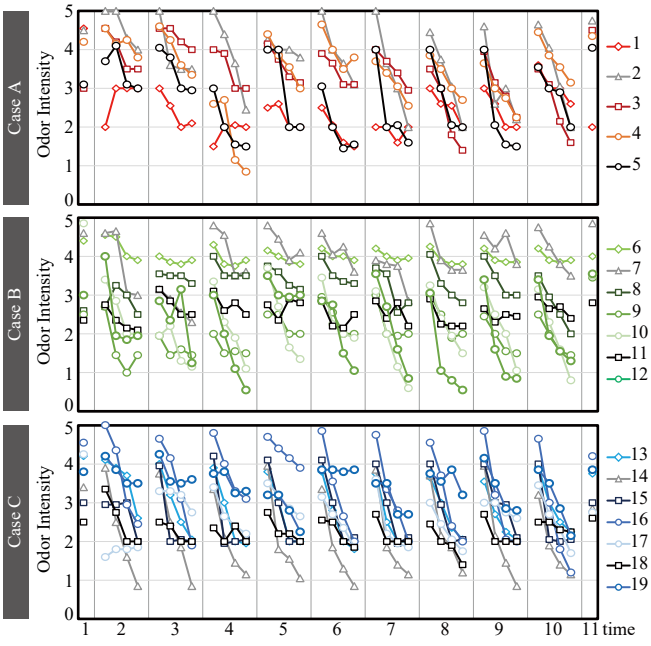


Fig.7 Change of Odor Intensity

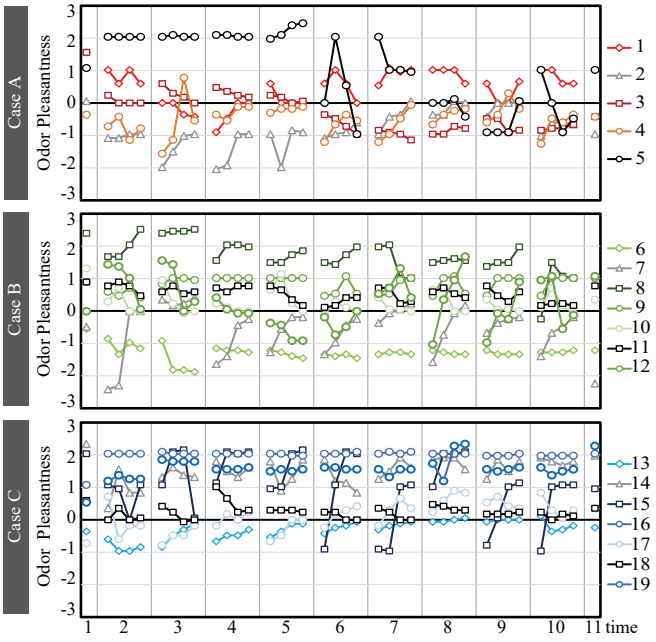


Fig.8 Change of Odor Pleasantness

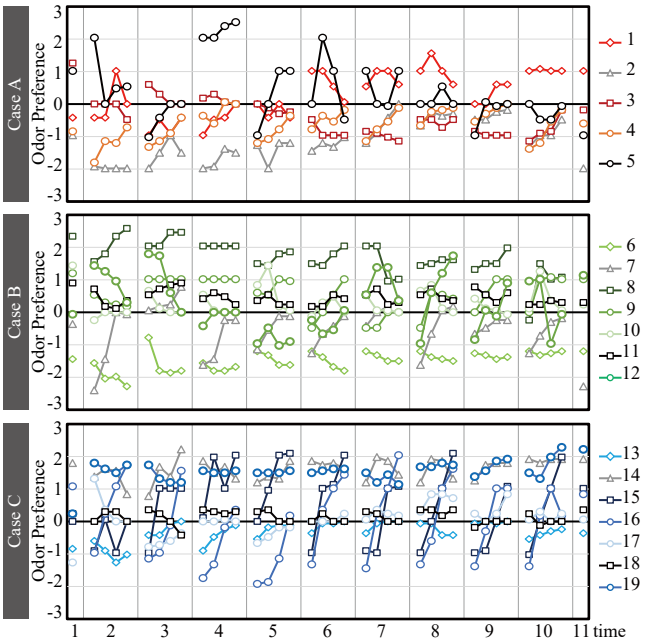


Fig.9 Change of Odor Preference

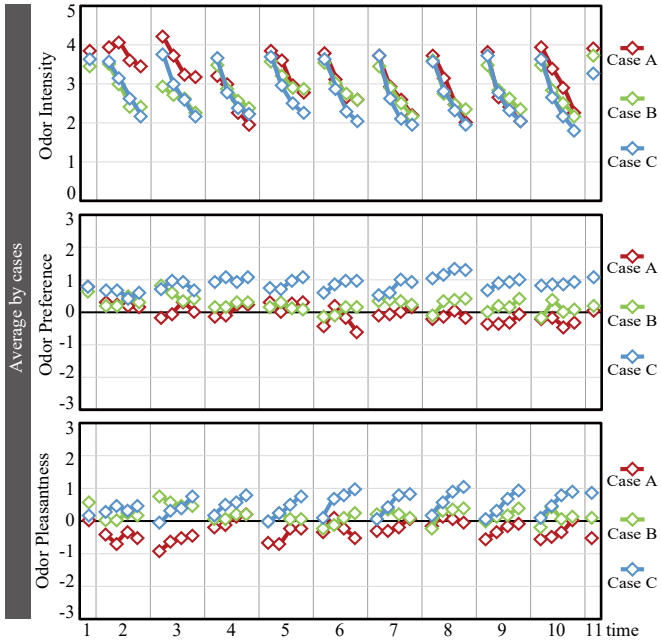


Fig.10 Average of Subjective Evaliation by Cases

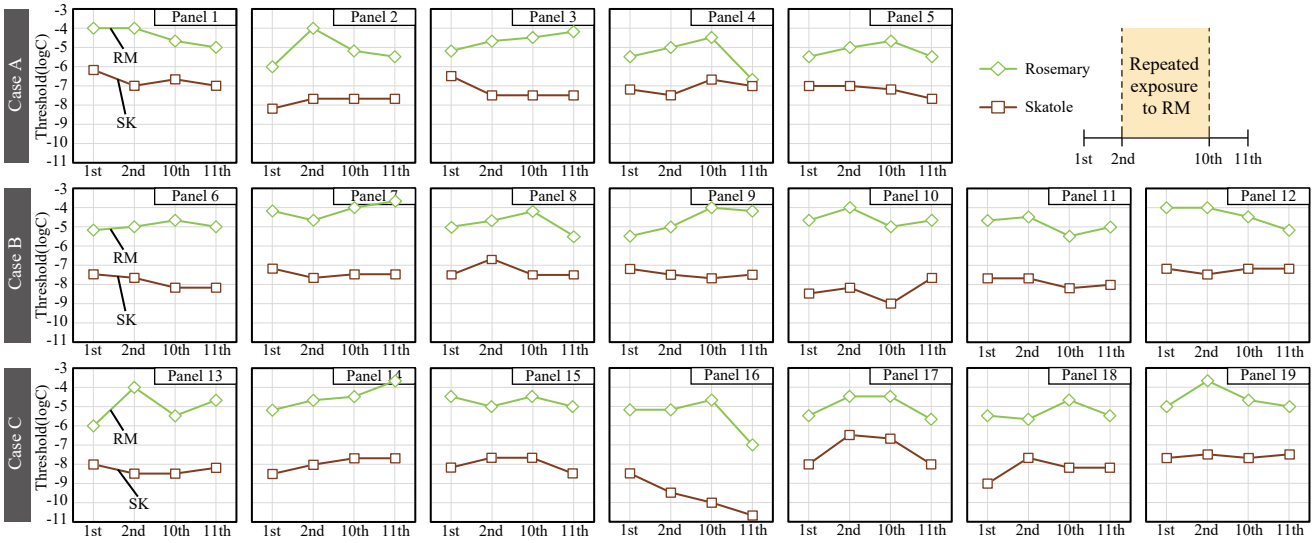


Fig.11 Change of Odor Threshold

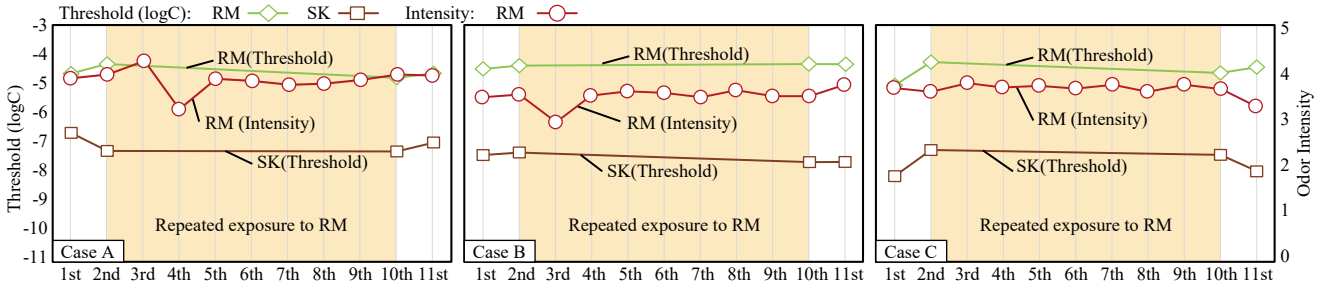


Fig.12 Change of Threshold and Intensity

4. 4 閾値の測定結果

ローズマリーとスカトールの閾値の各パネルの測定結果を Fig.11 に示す。1 回目と 2 回目は全員 3 日間空いており、この期間中にローズマリーの曝露はなかったと考えられるため、嗅覚感度の変化についてはローズマリーとスカトールで同様の変化が見られると予想した。しかし、ローズマリーの閾値については、多くのパネルが 1 回目から 2 回目にかけて上昇する結果となった一方で、スカトールの閾値については、2 回目の測定で上昇するパネルもいれば下降するパネルも見られた。ローズマリーとスカトールは全く異なる成分で構成されていることから、香りの種類や特性が閾値の変化に影響している可能性が考えられる。

2 回目から 10 回目の変化については、曝露の有無による差が生じると予想された。条件 A のパネル 3 や条件 B のパネル 6、パネル 9 に関しては曝露を行ったローズマリーでは閾値の上昇が見られ、曝露を行わなかったスカトールでは閾値が低下していることから、香りの繰り返し曝露による長期的な順応の傾向がみられた。一方で、条件 B のパネル 10 やパネル 11、条件 C のパネル 14 やパネル 17 はローズマリーもスカトールも同様の閾値の変化が見られた。また、その他のパネルにおいては各パネルで異なる変化をしているため、繰り返し順応が閾値変動へ及ぼす影響については個人差やの要素も大きいと考えられ、明確な一般的傾向を得ることができなかった。

閾値と臭気強度の各条件の平均値の比較を Fig. 12 に示す。閾値についてはいずれの条件下でも繰り返し暴露によるとみられる上昇は見られない。一方、臭気強度に関しては条件間で差異があるが、その順位と暴露期間とは対応していない。閾値や臭気強度の変動傾向にパネルによる差異が見られたことから、平均値から条件間の差異を把握することは困難と考えられる。

5. おわりに

本報では、香りの繰り返しが閾値やにおいの感じ方に与える影響を調べるため、ローズマリー精油を用いて、順応の繰り返しの頻度を条件に、パネル実験を実施した。今後は、より多くの条件の繰り返し曝露頻度と期間についてパネル数を増やして検討を行う所存である。

【謝辞】

本研究は、ダイキン工業 (株) との共同研究であり、関係各位に謝意を表します。

【参考文献】

1) 高橋、加藤、樋口、石黒、天野、谷 : 香り・においが知的作業時・安静時の執務者の心理・生理に与える影響、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.453-456、2010.9
2) 竹村、光田、棚村 : 臭気強度評価に繰返し訓練が及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.797-798、2013.8
3) Ferdenzi, C.、Poncelet, J.、Rouby, C.、Bensafi, M.:Repeated exposure to odors induces affective habituation of perception and sniffing、frontiers in Behabioral Neuroscience、pp.1-10、2014.10
4) 平野、山中、崔、竹村、小林、衞藤 : 香り環境下における学習効率に関する研究 (その 4) 香りの種類が学習効率に及ぼす影響、令和元年度 (第 49 回) 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、A-40、2020. 3
5) 平野、山中、崔、竹村、小林 : 香りが学習効率に及ぼす影響に関する研究 (その 6) 香りの間欠噴霧時におけるにおいの心理的評価、日本建築学会 2021 年度近畿支部研究報告集、pp.217-220、2021.06

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

冷房空間における室内外気温の実態調査に基づく設定温度緩和の可能性に関する研究

Study on Possibility of Relaxation of Set Temperature Based on the Actual Condition Survey of Indoor and Outdoor Air Temperature in the Cooling Space

○上 田　沙 弥 香（神戸大学）　　竹 林　英 樹（神戸大学）　　吉 田　尚 人（神戸大学）
Sayaka UEDA*1　Hideki TAKEBAYASHI*1　Naoto YOSHIDA*1
*1　Kobe University

If the concept of the adaptive model can be applied to commercial facilities where the user does not directly adjust it, the set temperature may be relaxed. This paper considers the actual state of the indoor temperature during cooling in an underground mall. In addition, a subject experiment was conducted in an underground mall to examine the possibility of relaxing the set temperature according to the outside air temperature. As a result, it was considered that the indoor temperature could be relaxed to about 26℃ to 30℃ when the outside temperature was 28℃ in the passage.

1．はじめに

居住者が温熱環境を調節できるオフィスや住宅などでは，自然通風下の室内中立温度は月平均外気温度に応じて変化する Adaptive model[1)]の適用が研究されている．管理者が空調機器を運転し，利用者は直接調節しない地下街や商業施設などでも Adaptive model の考え方の適用が可能であれば設定温度緩和の可能性がある．神戸市三宮地下街の通路部分において 2019 年 7 月，8 月に実施した温熱環境実測と通行人を想定した被験者実験の先行研究[2)]では．通行人の温冷感や快適感には，その場の環境だけではなく経路の違いが影響することが確認された．

本研究では，対象地下街における測定データに基づいて外気温と室内温度の関係を分析した．また，一般的なスーパーマーケットにおける測定データと比較して，地下街の冷房時の室内温度の実態を考察した．その上で，対象地下街の店舗部分において被験者実験を実施し，外気温に対する利用者が許容できる室温を明らかにすることで，外気温に応じた設定温度緩和の可能性を検討した．

2. 冷房時の室内温度の分析

2.1　対象地下街の概要

神戸市の三宮地下街を対象とした．対象エリアはホーム&ライフ，シティエレガンス，スイーツメイトと，南北公共通路である．対象エリアの範囲を図 1 に示す．

2.2　外気温と室内温度の関係

地下街に設置した温度計(TandD RTR-502)の配置を図 2 に示す．外気温は気象庁のデータ[3)]を用いた．通路代表点（通路），通路開口部付近代表点（通路開口部），店舗代表点（店舗）の 2020 年 7 月 1 日から 10 月 31 日の 10:00～20:00 の 10 分ごとの外気温と室内温度の関係を図 3～図 5 に示す．通路と通路開口部では，外気温と室内温度の間に強い相関が確認され，外気温が上昇すると室内温度も上昇する．それぞれの回帰式より通路では外気温が 30℃の時に 27.9℃，外気温が 20℃の時に 25.4℃，通路開口部では外気温が 30℃の時に 29.4℃，外気温が 20℃の時に 24.1℃となる．これに対して，店舗では外気温との相関は確認されず，室内温度は 22℃から 26℃の間で安定していた．

2.3　地下街と一般的なスーパーマーケットの測定データの比較

大阪府内の食料品と日用雑貨を取り扱う某スーパーマーケットと比較した．スーパーマーケットに設置した温度計の配置を図 6 に示す．出入口付近は S01，S14，レジ台付近は S07，S10，冷凍陳列台付近は S02，S03，S11，S12 の温度計のデータを用いた．外気温と地下街，スーパーマーケットの室内温度の関係を図 7，図 8 に示す．

外気温が 30℃の時，スーパーマーケットは出入口付近でも 26℃以下であるが，地下街通路開口部では 27℃～32℃程度になり，外気温の影響を受けている．地下街店舗は外気温の影響を受けにくく，22℃～26℃と安定している．スーパーマーケットは地下街店舗より設定温度が低いため 18℃～26℃と低温側に幅が広がっている．

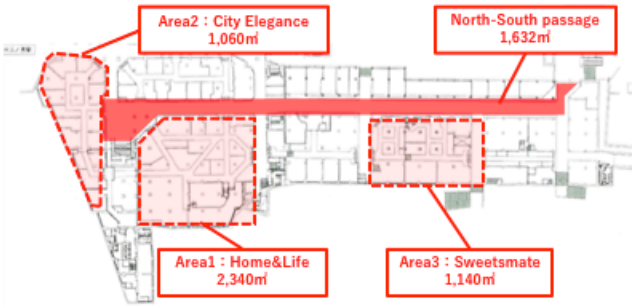


Fig.1 Target areas

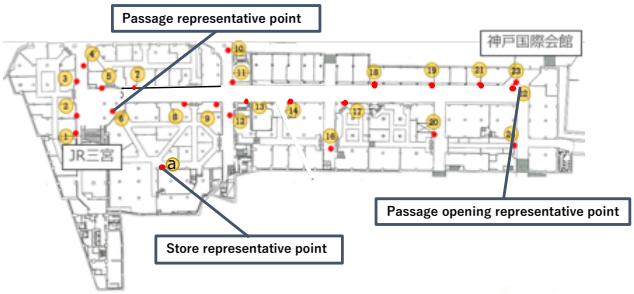


Fig.2 Thermometer layout (underground mall)

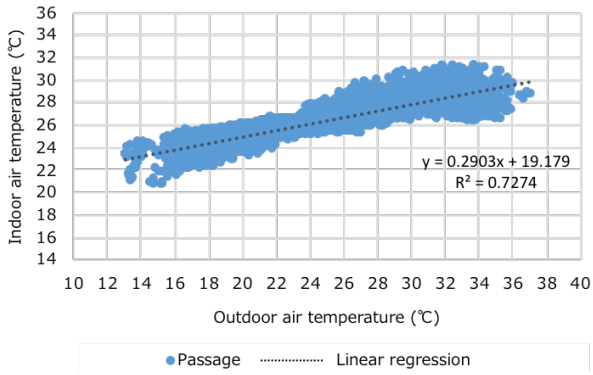


Fig.3 Relationship between outside air temperature and indoor air temperature (passage)

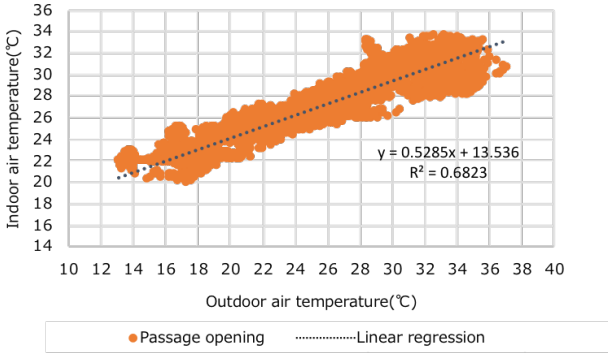


Fig.4 Relationship between outside air temperature and indoor air temperature (passage opening)

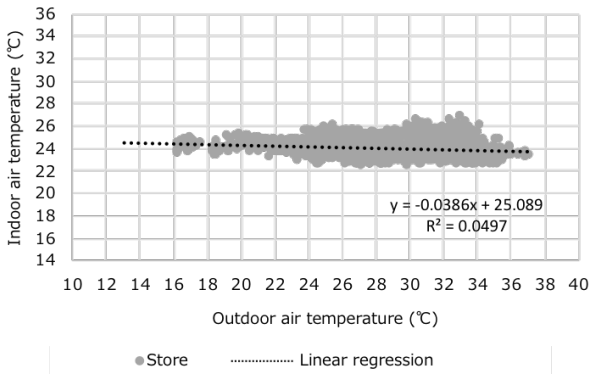


Fig.5 Relationship between outside air temperature and indoor air temperature (store)

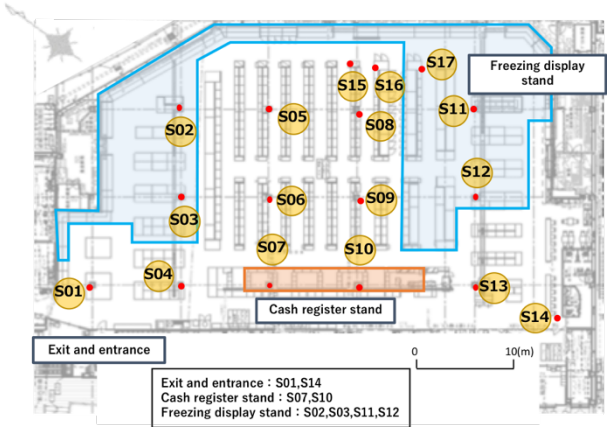


Fig.6 Thermometer layout (Supermarket)

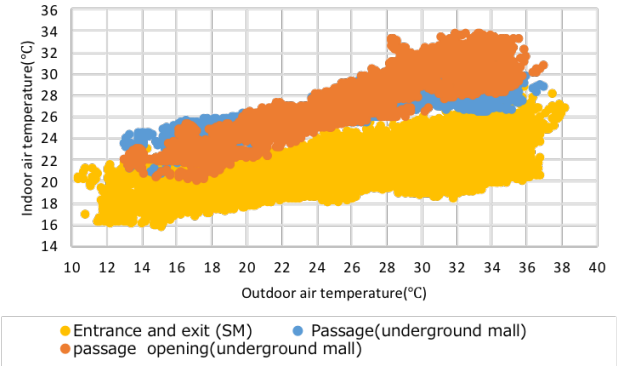


Fig.7 Relationship between outside air temperature and indoor air temperature (Entrance and exit, Passage, Passage opening)

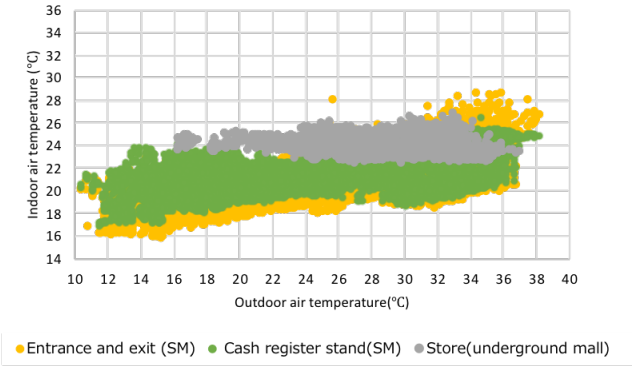


Fig.8 Relationship between outside air temperature and indoor air temperature (Entrance and exit, Cash register stand, Store)

3. 地下街における被験者実験

3.1 被験者実験の概要

被験者実験は 2020 年 8 月 12 日及び 8 月 31 日に行った．店員にはヒアリング調査を実施した．地下街店舗の 3 つのエリア（ホーム&ライフ，シティエレガンス，スイーツメイト）において実施した．一日を通して同じ店員にヒアリングを行った．被験者は，客を想定し，南北通路で 5 分間待機した後に店舗に移動し，5 分間自由に歩き回った後に申告した．調査内容は温冷感，快適感，許容性の 3 項目で，温冷感，快適感は-3～+3 の 7 段階，許容性は許容できる，できないの 2 段階で申告した．測定地点とヒアリング対象店舗を図 9 に示す．

3.2 被験者実験の結果と考察

各エリアでの気温と店員，被験者の温冷感の申告結果の関係を図 10～図 12 に示す．8 月 12 日と 8 月 31 日の申告結果を合わせた結果である．被験者の申告は，一つの申告を除き，「やや暑い」，「どちらでもない」，「やや寒い」のいずれかであり，各エリアで大きな差はなかった．店員の申告は，ホーム&ライフとスイーツメイトにおいて「とても暑い」，「暑い」があった．気温に関わらず「とても暑い」の申告があり，気温と店員の申告にあまり関係が確認されない．店員の温冷感の申告には，着衣量や運動量などの業態の違いが影響を与えていると考えられる．

3.3 店舗と通路での申告の比較

2019 年 7 月と 8 月に対象地下街の通路で行った被験者実験の結果と比較して考察する．店舗代表点は，ホーム&ライフの申告地点である．通路，通路開口部，店舗における温冷感の申告結果を図 13 に示す．店舗の室内温度は 26℃以下で，通路より低く「とても暑い」，「暑い」の申告は確認されない．通路では「暑い」の申告があるが，室内温度との関係は確認されない．また，通路と通路開口部の申告に明確な差はない．室内温度が 27℃～30℃程度になっても，大部分の申告が「やや暑い」，「どちらでもない」，「やや寒い」のいずれかであった．滞在時間の短い通路では室内温度の許与範囲は広いと考察された．

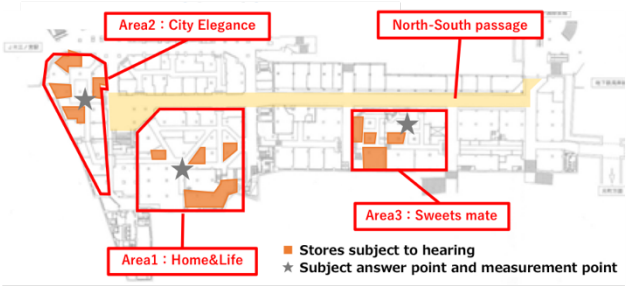


Fig.9 Measurement points and stores subject to hearing

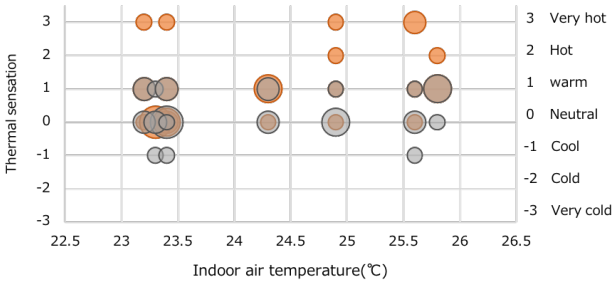


Fig.10 Relationship between indoor air temperature and thermal sensation (Home & Life)

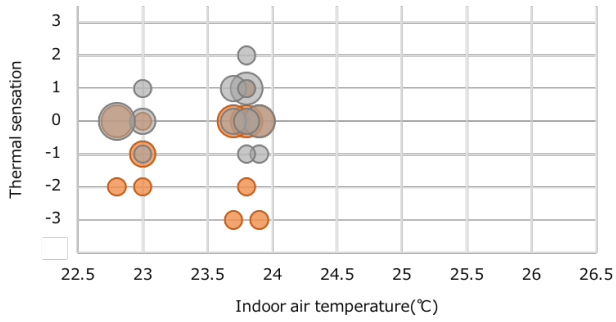


Fig.11 Relationship between indoor air temperature and thermal sensation (City Elegance)

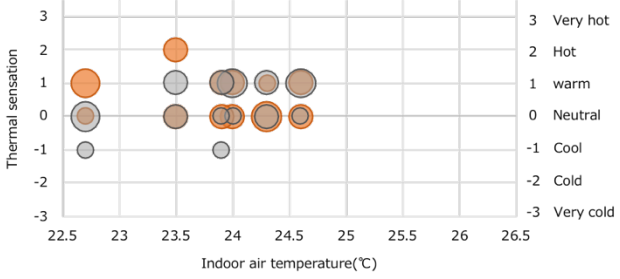


Fig.12 Relationship between indoor air temperature and thermal sensation (Sweets mate)

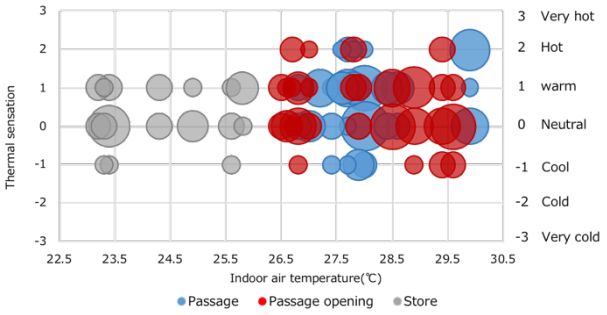


Fig.13 Relationship between indoor air temperature and thermal sensation (Passage, Passage opening, Store)

4. 地下街の空調制御の設定温度緩和の可能性

熱的中立温度を Griffiths 法[4]を用いて算出した．申告地点別の外気温と室内温度，熱的中立温度を図 14～図 16 に示す．通路と通路開口部付近では，一部の熱的中立温度が室内温度より少し低温側にプロットされる．現在の通路の室内温度は利用者にとって少し温度が高い状態であると評価される．通路の室内温度は外気温の影響を受けており，外気温に応じて室内温度が緩和されている実態が確認される．通路では外気温が 28℃の時に室内温度を 26℃～30℃程度まで緩和できる．店舗では熱的中立温度は室内温度とほぼ一致しており，室内温度 22℃～26℃で利用者にとって適切に空調されている．

5. 結論

対象地下街の通路では，夏期は 26℃～34℃になり，外気温の影響を強く受けていた．店舗では外気温との相関は確認されず，室内温度は 22℃から 26℃の間で安定していた．地下街における被験者実験より，滞在時間の短い通路部分では室内温度の許与範囲は広いと考察された．通路においては，外気温に応じた室内温度緩和が行われている実態が確認された．通路では外気温が 28℃の時に室内温度を 26℃～30℃程度まで緩和でき，店舗では室内温度 22℃～26℃で利用者にとって適切に空調されていると考察された．

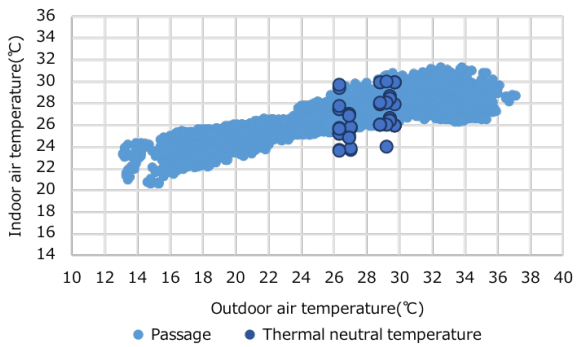


Fig.14 Outdoor air temperature and indoor air temperature, thermal neutral temperature (Passage)

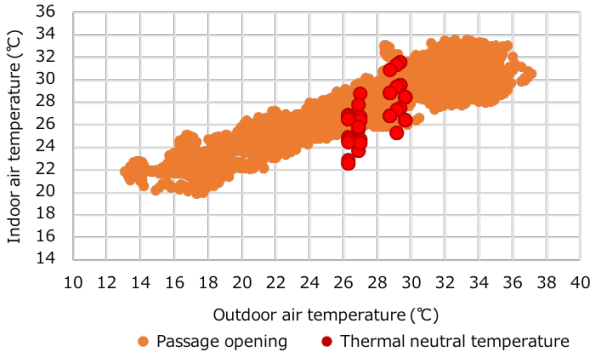


Fig.15 Outdoor air temperature and indoor air temperature, thermal neutral temperature (Passage opening)

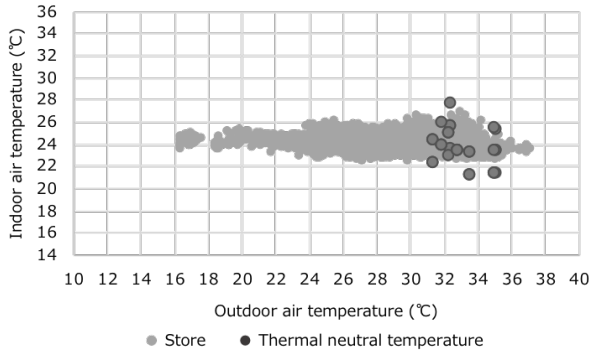


Fig.16 Outdoor air temperature and indoor air temperature, thermal neutral temperature (Store)

謝辞　本研究は，環境省 C02 排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業の人流・気流センサを用いた屋外への開放部を持つ空間の空調制御手法の開発・実証の一環として実施した．協力頂いた関係者の皆様に謝意を表します．

参 考 文 献

1) ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, (2013)
2) 上田沙弥香，竹林英樹，経路に注目した屋外への開放部を持つ地下街における温冷感の申告調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.2373-2374，(2020)
3) 気象庁，各種データ・資料 https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html
4) Griffiths I., Thermal comfort studies in buildings with passive solar features. Field studies, Report to the Commission of the European Community ENS35-090 UK, (1990)

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

コロナ禍における冷房使用時間の変化に関係する要因
—大阪の集合住宅を対象とした分析
Factors relating to cooling duration change in Osaka apartments under the COVID-19 pandemic

○大前　尚輝（大阪市立大学）　　梅宮　典子（大阪市立大学）
孫　琳（大阪市立大学）　　朝岡　勇登（大阪市立大学）
Naoki OHMAE*1　Noriko UMEMIYA*1　Lin SUN*1　Yuto ASAOKA*1
*1　Osaka City University

The purpose of this paper is clarification of factors related to cooling duration changes during the COVID-19 pandemic. Then we analyzed results of a questionnaire distributed to Osaka apartment residents. Results revealed that thermal constitution, comfort and rhythm of life, awareness of heat stroke, the amount of solar heat received and airtightness of the dwelling unit, and the frequency of air conditioning use in a normal year were all relevant factors. Furthermore, changes in lifestyle during the COVID-19 pandemic, such as telecommuting and frequency of going out, were also related.

１．背景と目的

2019 年 12 月以降に中国武漢市で確認された新型コロナウイルスは, 世界的な感染拡大を引き起こし, 2021 年12月の現在においても収束の兆しが見えない[1)] (Fig. 1)。

国内においても, 2020 年 1 月 15 日に国内で初の感染者が確認され, 3 月の政府による学校の休校要請に引き続き, 4 月 7 日には国内初となる緊急事態宣言が発令される事態となった。

2015 年の国連気候変動枠組条約締約国会議(COP21)で採択されたパリ協定や2021 年の COP26 により, 産業革命と比較した平均気温上昇を 1.5℃以下とする目標が採択され, 脱炭素社会の実現が国際的に喫緊の課題とされた一方で, わが国においてはコロナ禍において, 不要不急の外出の自粛や新型コロナウイルスの感染に対する恐怖感, 在宅勤務の推奨などから在宅時間が伸び, 家庭のエネルギー使用が増加したというデータもある[2)]。

本研究は, 以上の背景をふまえ, コロナ禍における家庭の冷房使用時間の変化に着目して, 1)回答者属性, 2)コロナ禍における生活の変化, 3)平年の冷房使用, 4)住戸属性の観点から, 冷房使用時間が増加した要因を考察する。

２．方法

大阪市住吉区を中心とする, 駅から徒歩圏内の市街地に建つ 6 階～15 階建て片廊下型 RC 造の家族向け集合住宅 31 棟（分譲 25, 賃貸 6）を調査対象とした。2021 年 3 月に集合ポスト投函にて住棟の全住戸にアンケート票 2093 通を配布した。無記名式で 3 月～5 月にかけて郵送で 189 通を回収した。

主な調査項目は, 1)回答者基本属性のほか, アンケート記入時の健康状態, 耐暑性, 耐寒性, 冷え性などの温熱的体質, 生活の規則性や朝型夜型などの生活習慣, 自然指向, 環境配慮, 節電などの環境意識・習慣, 2)住戸基本属性のほか, 日当り, 騒音, 湿気やカビなど住環境主観評価, 3)平年における, 冷房使用状況として使用頻度, 居間と各個室別の使用時間, 設定温度, 性能満足度, 4)コロナ禍における, コロナ禍のニュースへの関心, 在宅勤務や外出頻度などの生活の変化, 平日の在宅時間, お金や心や時間のゆとり, 電気料金, 気分, 睡眠の質である。

2020 年の夏の平均気温は, 平年より 7 月が 1.7K 低く, 8 月が 1.7K, 9 月が 0.6K 高い。最高気温は, 平年より 7 月が 2.2K 低く, 8 月が 2.0K, 9 月が 0.5K 高い[3] (Table. 1)。

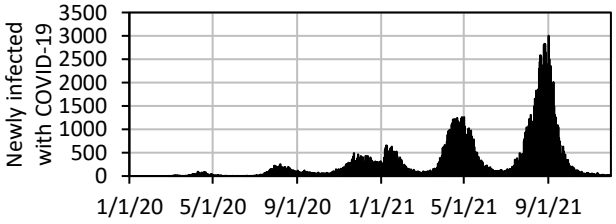


Fig.1 Number of newly infected people in Osaka

Table.1 daily mean temperature in Osaka

Osaka	Average[℃]			Maximum[℃]		
	JUN.	AUG.	SEP.	JUN.	AUG.	SEP.
2020	26.0	30.7	25.8	29.6	35.7	30.0
normal	27.7	29.0	25.2	31.8	33.7	29.5
diff	-1.7	1.7	0.6	-2.2	2.0	0.5

2021 年 3 月～4 月は, 大阪府のコロナ新規感染者数が 3 月 1 日の 56 人から 4 月に最大 1242 人に達し, 第 4 波の時期と重なる。2020 年夏は, 初の緊急事態宣言の解除後で, 「GO TO キャンペーン」などで, 疲弊した経済の再興が図られていたが, 7 月には再び新規感染者が増加し 29 日に 1000 人を超えるなど, 第 2 波が深刻化していた。

3．調査対象の構成

3.1　回答者属性

回答者は平均年齢61. 0 才, 40 代17. 3%, 50 代16. 8%, 60 代 26. 3%, 70 代 16. 8%で, 女性 60. 6%, 有職者 52. 0%, アンケート記入時の健康状態は「良好」26. 1%, 「普通」60. 2%である。体質として, 暑さ耐性「強い」22. 4%, 「弱い」26. 4%, 寒さ耐性「強い」19. 5%, 「弱い」28. 7%, 冷え性「あり」37. 8%, 「なし」29. 7%である。生活時間「規則的」73. 7%, 「やや不規則」29. 7%, 食事時間「規則的」68. 0%, 「やや不規則」21. 6%, 生活の時間型「朝型」64. 4%, 「夜型」27. 6%である。

環境意識として, 「夏はできるだけ冷房に頼らず自然の風で過ごしたい」, 「節電を心掛けている」, 「熱中症に気を付けている」に「非常にあてはまる」, 「あてはまる」の合計は, 76. 7%, 88. 9%, 97. 8%である。

3.2　住戸属性

居住年数 10 年未満 45. 6%, 10～20 年 32. 8%, 20～30 年 16. 4%, 平均居住階数 5. 8 階, 住戸方位は南 61. 3%, 東 44. 8%, 西 37. 6%, 日当り「よい」70. 5%, 外の騒音「気になる」27. 6%, 「静か」11. 5%, 湿気やにおい「こもりやすい」15. 8%, 「こもりにくい」57. 3%である。

3.3　コロナ禍における意識と習慣(Fig. 2)

調査時期である 2021 年 3 月～4 月において, コロナ禍に関するニュースに「関心がある」91. 5%, 生活の変化として, 本人が在宅勤務に「なった」26. 6%, 家族が在宅勤務に「なった」25. 2%である。外出頻度は「減った」90. 4%である。うつ・不安障害に「なった」20. 4%である。時間, お金, 心のゆとりはそれぞれ「ある」48. 9%, 11. 8%, 20. 7%, 「ない」18. 9%, 35. 6%, 25. 9%である。コロナ禍の在宅時間から平年の在宅時間を引いた値が「増えた」16. 9%であり, 増加の平均値は 4. 5 時間である。

3.4　コロナ禍における冷房費

5 月と 8 月の電気料金の差を冷房費として扱う。ただし 82. 5%は 2020 年 5 月が 8 月より電気料金が多かった。これらを除いた冷房費の平均±s. d. は 4615±3150. 2 円で, 2000 円台が最も多く 18. 2%を占める。

4．平年における居間の冷房使用状況

4.1　使用時間, 設定温度, 性能満足度(Fig. 3)

居間における冷房使用時間は平均 7. 4±6. 77 時間で, 5 時間と 6 時間が 12. 5%である。冷房設定温度は平均 25. 4 ±2. 07℃で, 24℃が 10. 1%, 25℃と 26℃が 18. 0%, 27℃が 21. 6%, 28℃が 14. 4%である。冷房性能満足度は「満足」が 78. 8%, 「不満」が 3. 7%である。

4.2　冷房使用時間, 設定温度, 満足度の関係(Fig. 4)

使用時間は 2 時間から 10 時間, 設定温度は 24℃から 28℃に集中する傾向がある。設定温度と性能満足度は弱い正の相関があり, 設定温度が高いほど性能満足度が下がる傾向がある。使用時間と性能満足度は相関がない。

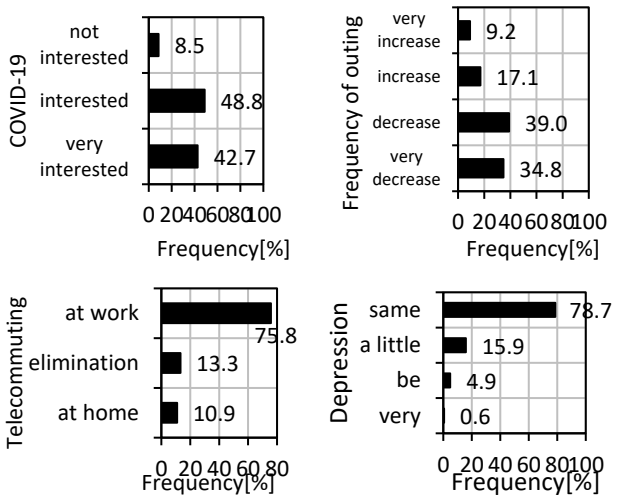


Fig.2 questions about COVID-19 pandemic

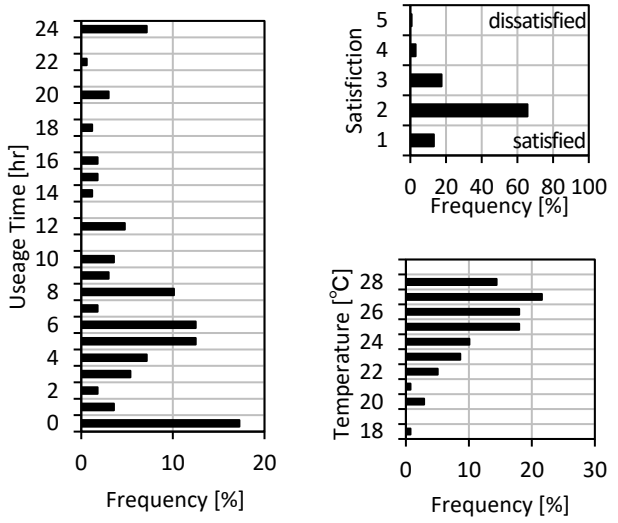


Fig.3 Cooling usage status

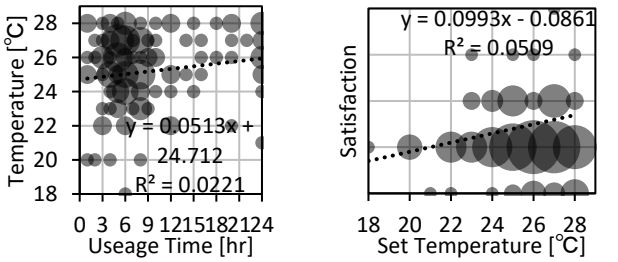


Fig.4 Relationship of cooling usage status

５．冷房使用時間の変化と関係する項目

5.1　冷房使用時間の変化

コロナ禍における冷房使用時間が平年と比べて 5 段階評価で「長くなった」10.7%,「少し長くなった」16.6%,「同じ」72.8%である。以降,「長くなった」と「少し長くなった」の合計を「増加」として扱う。

5.2　回答者属性(Fig.5)

女性(p=.0058), 寒さに弱い(.0004),冷え性(.0016),暑さに弱い(.0358),生活時間夜型(.0315),食事時間不規則(.0332),生活時間不規則(.0954)のほうが増加する。

熱中症予防意識が高い(.0003),自然風指向性が高い(.0025),節電意識が低い(.0209)ほうが,使用時間が増加する。その他の環境意識について関係は弱い。年齢,職業,健康状態は関係しない。

5.3　住戸属性(Fig.6)

窓方位西(p=.0365)が,使用時間が増加する。面積,居住階数は関係しない。カビ発生しやすい(.0153),室内で日差しまぶしい(p=.0239), 湿気や臭いこもりやすい(.0469), 外の騒音が気になる(.0859), 日当りよい(.1358),外の空気汚れている(.1883)ほうが,増加する。住戸の風通し,日射熱の煩わしさ,治安は関係しない。

5.4　平年の冷房使用状況(Fig.7)

平年の冷房使用頻度が高い(p=.0190),平年の冷房使用時間が長い(.0254)ほうが使用時間が増加する。設定温度,冷房指向性は関係しない。

5.5　コロナ禍に関する意識や生活の変化(Fig.8)

5.5.1　コロナ禍に関する意識

コロナ禍に関するニュースへの関心は関係しない。

5.5.2　コロナ禍による生活の変化

家族が在宅勤務になった(p<.0001),運動不足になった(.0001),コロナ禍の在宅時間が増加した(.0353),外出頻度が減った(.0057)ほうが,使用時間が増加する。回答者本人が在宅勤務になった,収入の変化は関係しない。

5.5.3　ゆとり・うつ・不安障害

コロナ禍でうつ・不安障害になった(p=.0027),心のゆとりがない(.0084),お金のゆとりがない(.1147),時間のゆとりがない(.1753)ほうが,使用時間が増加する。

5.5.4　気分状態((Profile of Mood State) (Fig.9)

POMS は,気分状態を 65 尺度によって評価する調査法である。尺度は C:混乱,F:疲労,V:活気,A-H:怒り-敵意,D:うつ,T-A:緊張-不安の因子に分類される[4]。因子ごとに 2 尺度ずつ選んで調査時の気分を評価した。「ぐったりする」(p=.0795),「考えがまとまらない」(.0903),「気が張り詰める」(.0938),「心の中で憤慨する」(.1225),「気持ちが沈んで暗い」(.1289),「疲れた」(.1456)では,冷房使用時間が増加するが,関係はそれほど強くない。

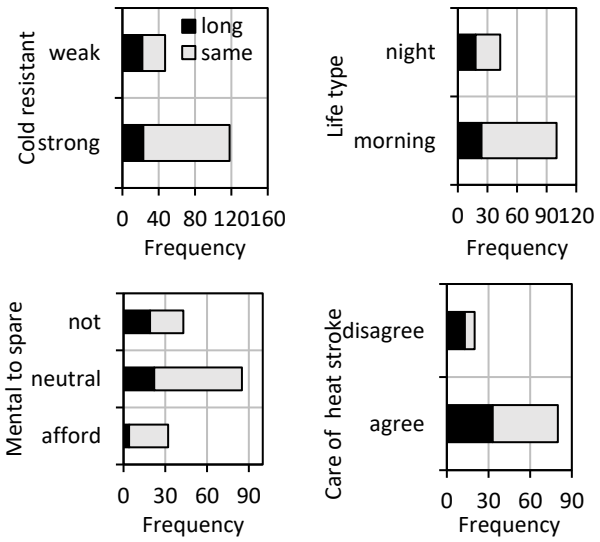


Fig.5 Relationship with respondent attributes

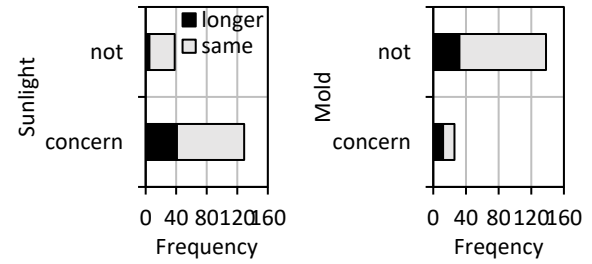


Fig.6 Relationship with dwelling attributes

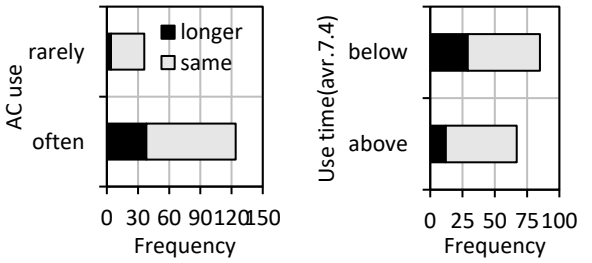


Fig.7 Relationship with normal year cooling usage

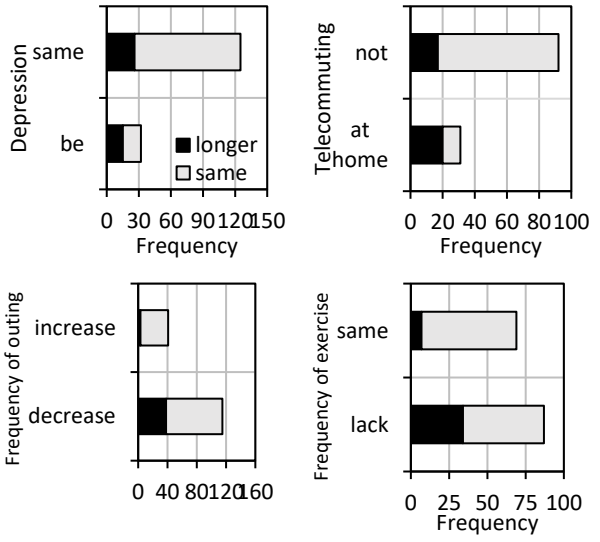


Fig.8 Relationship with COVID-19 influences

5.5.5 睡眠の質(Fig.10)

OSA 睡眠評価法では,睡眠の質を起床時眠気,入眠・睡眠維持,夢見,疲労回復,睡眠時間の 5 因子に関する 16 対の尺度で評価する[5]。入眠・睡眠維持因子と睡眠時間因子は全尺度で差がない。「疲れが残っている」(p=.0016),「身体がだるい」(.0585),「夢は見ない」(.0657」,「悪夢は見ない」(.1253),「ストレスを感じる」(.1793)で増加する。

6．結論

大阪市内の集合住宅 189 戸を対象に,2020 年夏のコロナ禍における冷房使用時間の増加について分析した。1)冷房使用時間はコロナ禍において「長くなった」10.7%,「少し長くなった」16.6%,「同じ」72.8%,2)「長くなった」+「少し長くなった」と「同じ」で差がある項目(と向き)は,差が強い順に,家族が在宅勤務(あり),運動不足(なった),熱中症予防意識(あり),寒さ耐性(弱い),冷え性(あり),自然風指向性(高い),うつ・不安障害(なった),外出頻度(減った),性別(女性),心のゆとり(なし),カビ(発生),平年の冷房使用頻度(高い),節電意識(低い),室内の日差し(気になる),平年の冷房使用時間(長い),生活型(夜型),食事時間(不規則),暑さ耐性(弱い),窓方位(西),湿気や臭い(こもりやすい)である。外の騒音(気になる),生活時間(不規則),お金のゆとり(ない),日当り(よい),時間のゆとり(ない)外の空気(汚れている)も少し関係がある。3)年齢,職業,健康状態,住戸面積,居住階数,風通し,日射,防犯性,　冷房設定温度,冷房指向性,収入変化,コロナの関心,冷房設定温度,冷房指向性は冷房使用時間の変化と関係しない。4)緊張・不安,うつ,怒り・敵意,活気,疲労,混乱のすべての気分因子において,気分状態が悪いほうが冷房使用時間が増加,5)起床時眠気,夢見,疲労回復の因子において,睡眠の質が悪いほうが冷房使用時間が増加する。入眠・睡眠維持と睡眠時間の因子は冷房使用時間の変化と関係しない。

以上より,温熱的体質が弱い・生活が不規則である・ゆとりがない・熱中症意識が高い人ほど,日射受熱量が多い・気密性が高い住戸ほど,平年の冷房使用量が多いほど,コロナ禍の冷房使用時間が長くなる傾向がある。

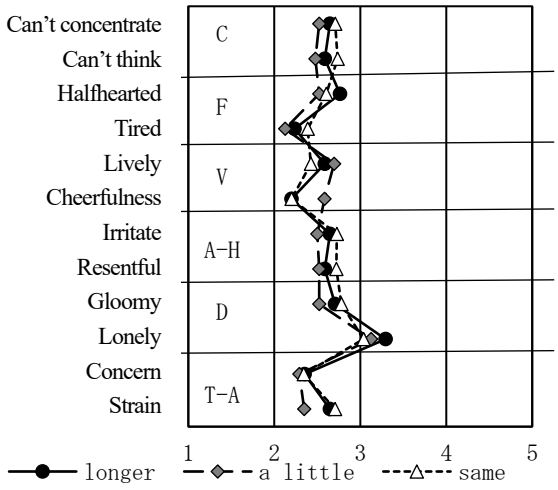


Fig.9 Profile of mood state (POMS)

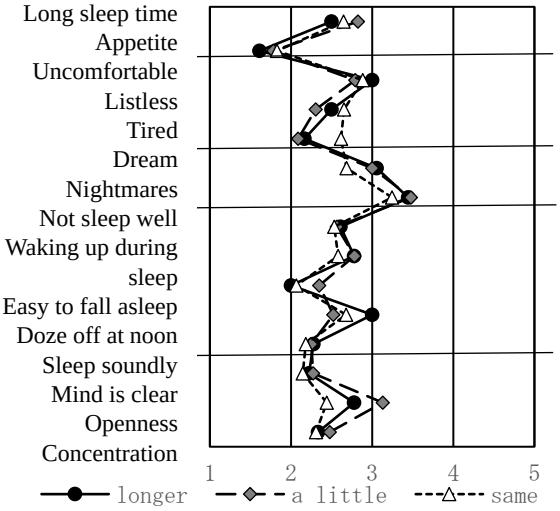


Fig.10 Sleep Quality (OSA)

Table.2 Factors relating to cooling duration change

Item	p=	Item	p
Telecommuting (family member)	.0001	Luck of exercise	.0001
Careful of heat stroke	.0003	Not resistant to cold	.0004
Sensitivity to cold	.0016	Prefer the natural wind	.0025
Be depressed	.0027	Less frequency outing	.0057
Woman	.0058	No room in our heart	.0084
Concerned about mold	.0153	High frequency of cooling in normal year	.0190
Awareness of power saving	.0209	Concerned about the sun	.0239
Long cooling time in normal year	.0254	Night owl	.0315
Irregular meal time	.0332	Not resistant to hot	.0358
Windows face west	.0365	Build up moisture and odors	.0469

参考文献

1) 厚生労働省：新型コロナウイルス感染症について https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/open-data.html
2) 高瀬幸造,永倉直武,井上隆,新型コロナウイルス感染拡大防止を目的とした行動変容が都内の全電化集合住宅のエネルギー消費量に与えた影響,日本建築学会技術報告集,2021 年 2 月,27(65),pp.303-308
3) 気象庁 https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/
4)横山和仁,荒記俊一,日本版 POMS 手引,金子書店,1994 年
5) 山本由華史,田中秀樹,高橋美紀,山崎勝男,阿住一雄,白川修一郎,中高年・高齢者を対象とした OSA 睡眠調査票(MA 版)の開発と標準化,脳と精神の医学,10,pp.401-409,1999 年

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

季節順化が暑熱環境下の生理反応に及ぼす影響の基礎的検討
Fundamental Study on the Influence of Seasonal Acclimatization on Physiological Responses in Hot Environments

○瀬川　紘生（大阪府立大学）　安田　龍介（大阪府立大学）
吉田　篤正（大阪府立大学）　木下　進一（大阪府立大学）
Hiroki SEGAWA*1　Ryusuke YASUDA*1　Atsumasa YOSHIDA*1　Shinichi KINOSHITA*1
*1　Osaka Prefecture University

To investigate the effect of seasonal acclimatization in hot season, we conducted subject experiments and evaluated the difference in physiological response. The differences in physiological response between before/after and during acclimatization were not significant overall but there were known trends in some subjects. We also evaluated the effect of acclimatization on thermal load using a numerical model. The acclimatization was represented by the changes in basal metabolic rate and setpoint temperature. Changes in basal metabolic rate had little effect on the thermal load, on the other hand, changes in setpoint temperatures have a significant effect on it.

1．　はじめに

近年，ヒートアイランド現象による都市部の高温化や冷房の普及に伴う人体の適応能力の低下による熱中症の増加が問題となっている．人体に加わる熱負荷は気象条件のような外的要因だけでなく，体調や運動状態といった内的要因にも大きく依存する．内的要因の一つには暑熱順化と呼ばれる一定期間，暑熱暴露することで暑熱に対応した生理変化を起こす作用がある．暑熱順化は暴露期間とその発現作用により長期／季節／短期に区別されるが，中でも季節順化は我々の日常生活の中で形成と解消が繰り返される生理変化であり熱負荷を正しく評価する上で重要である．

既往の研究では暑熱環境下における生理応答の季節による違いについて実験的に評価されており[1)]，夏季における発汗量の増加，鼓膜温度の低下，熱負荷による皮膚温度の上昇率の低下等が知られている他，人体熱収支の基本要素である基礎代謝量も季節変化することが報告されている[2)]．

本研究では被験者実験により暑熱期の前後における生理応答の変化を把握し，数値モデルを用いて季節順化による熱負荷の違いを評価することを目的とする．

2．　実験方法

2･1　実験概要

被験者実験は大阪府立大学（大阪府堺市）内の人工気候室（縦1.97m，横2.1m，高さ1.97m）にて男性6人を対象に行った．被験者の体格データをTable 1 に示す．季節順化の時期区分は2021年 6月3～24日を順化前，2021年7月27日～9月3日を順化中,2021年 11月2～5日を順化解消後とみなした．

2･2　実験条件

人工気候室の温度設定は熱的中立（25℃），低負荷（32℃），高負荷（35℃）の3種類，湿度設定はいずれも60 %とした（Table 2）．なお人工気候室は１室でありステップ状の環境変化を与えることができないため,Phase 2と3は被験者が人工気候室に入室した状態で気温設定を変更した．

Table 1　Subject data

	Height [cm]	Weight [kg]	Age [y.o.]	BMI
A	159	62	24	24.5
B	167	82	24	29.4
C	170	62	23	21.5
D	172	87	22	29.4
E	162	53	22	20.2
F	178	75	25	23.7

Table 2　Protocol of experiments

Phase	Time [min]	Environment setting	Air temperature [℃]		Relative humidity [%]
			Low	High	
1	0~30	Comfortable	25		60
2	30~90	Hot	32	35	
3	90~120	Comfortable	25		

2･3　実験方法

実験の測定開始時刻は 10 時から 15 時の間とし，体温

の日内変動の影響を避けるため開始時刻は被験者毎に同一とした．被験者は実験日前日からアルコール摂取を控え，また，測定開始の３時間以上前から絶食とした．被験者は，測定開始の１時間前に気温 25 ℃に空調設定された待機室に移動し，白色Ｔシャツ，白色半ズボン，サンダルを着用（着衣量 0.3 clo），排泄及び 300g の水分摂取を済ませ，測器装着の後，座位安静状態で待機とした．測定は立位安静状態で行った．

生理量は，皮膚温度(7 点：額，上腕，手甲，腹，大腿，下腿，足甲)，深部体温（直腸温度，耳内温度)，代謝量，発汗量（体重変化量，局所発汗量)，心拍数，および血流量を計測した．皮膚温度と深部温度は 10 秒間隔，心拍数は 20 秒間隔，血流量は 1 秒間隔で測定，体重は3 分間隔で測定した．代謝量は測定開始から 15 分，45 分，105 分後に，20 秒間隔で 3 分間測定を行った．

Table 3　Measurement instrument

Items	Instrument
Skin temperature [°C]	Gram LT-ST08-12
Rectum temperature [°C]	Gram LT-ST08-11
Tympanic temperature [°C]	DBTL-S
Metabolic rate [W/m2]	VO2000 S&ME
Heart beat [bpm]	CorTemp Date Recorder 262K
Blood flow [g/min/100g]	ADVANCE ALF2
Sweat rate [g/min/m^2]	Rousette Strategy SNT-200
Weight [g]	AND GP-100K

３．　実験結果

３・１　測定結果

低負荷および高負荷ケースにおける周囲環境要素の測定結果の例をFig.1に示す．Taは気温，Tgは黒球温度，RHは相対湿度を示す．気温は中立から暑熱状態には約15分で達しており，一方，暑熱状態から中立へは30分以上かけて低下している．実験開始から 90分時点での気温は高負荷ケースで34.4±0.3℃，低負荷ケースで31.7±0.2℃となっており，それぞれのケースにおいて与えられた暑熱負荷の差は小さいことがわかる．

以後各ケースについて，順化前(Be)/順化中(Ac)/順化解消後(Af)，低負荷(L)/高負荷(H)を表す英字インデックスで示す．また，低負荷実験は発汗量が少なかったため，順化解消後は行っていない．

３・２　暑熱環境における季節順化前後の発汗応答

発汗の指標として体重変化率(=体重減少量／初期体重)を用いた．ただし，測定開始から30分間の体重変化は不感蒸泄と考え30分から120分までの体重変化量を評価している．高負荷ケースにおける被験者ごとの体重変化率をFig.2に示す．BMIの低い被験者A,C,E,Fの4人中Fを除く3人で発汗量の増加がみられた．BMIの高い被験者B,Dは他の被験者より発汗は多いが，順化中の発汗の増加は見られなかった．なお，被験者Bは順化中でのPhase1の体重変化率が大きく，暑熱負荷を与える前から発汗が開始されていた可能性がある．

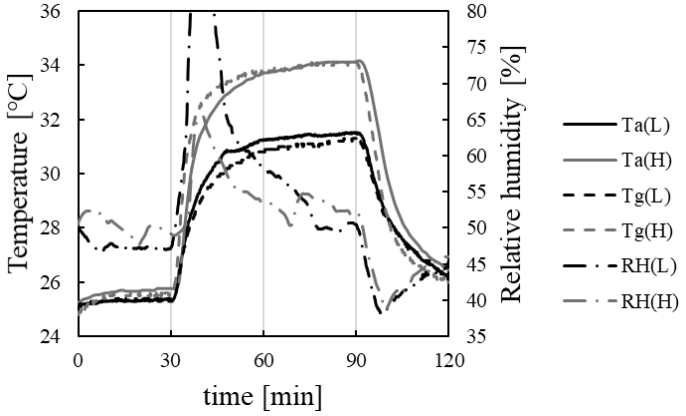


Fig.1　Variation of Ta, Tg and RH during subject experiment.

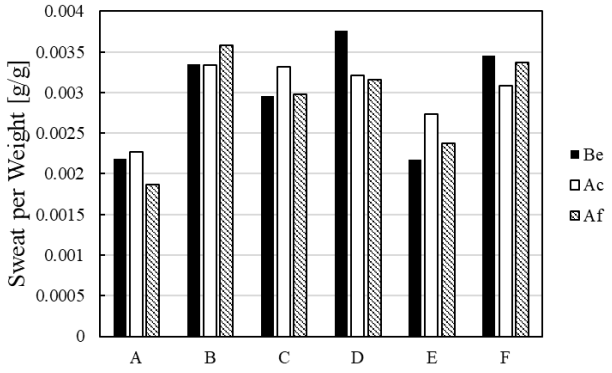


Fig.2 Total sweat ratio for each subject.

３･３ 中立環境における季節順化前後の生理要素の比較

既往研究[2)]では，基礎代謝量は4月に最高，10月に最低の一峰性の曲線に変化し，そのピークは気温の変動より約2か月遅れで現れると報告されている．熱的中立な安静状態である実験開始から15分後に計測した代謝量の変化をFig.3に示す．被験者A,Eは順化解消後に最も低くなっており既往の知見と同様の傾向となった．被験者D,Fは順化中に最も低くなり遅れの期間が短い結果となっている．被験者B,Cは順化中に最も高くなった．また，順化前と順化中，順化前と順化解消後に統計的な有意な差はなかった．

季節順化の傾向が明瞭に見られない原因を探るため，測定開始から 30 分間（Phase1）における直腸温度の平均値と日平均気温の関係を被験者ごとに調べた（Fig.4）．なお，直腸温度は各被験者の順化前の平均値を基準とし，基準値からの変化幅(ΔTcr)で評価している．また，Fig.4の実線は大阪府堺市の日平均気温，破線は前 7 日間の移動平均気温を示している．6 月から 8 月前半にかけて気温が上昇するに伴い直腸温度が低下しているケースが多

く見られるが，8 月 2 週目から 3 週目にかけて気温が低下しており，直腸温度の低下幅が縮小していることがわかる．したがって，本年度の暑熱順化は 6 月から 7 月に形成されたものの，8 月中旬は気温低下により一時的に解消された可能性がある．

また，本研究では被験者ごとに実験の実施時刻を統一していたが，生活リズム（特に起床時間）が一定でない被験者については，体温の日変化が深部温度の季節変化の外乱要素となっている可能性が考えられる．そこで，各被験者について起床後の経過時間と深部温度の関係を調べた．起床から実験開始までの経過時間と，Phase1 における直腸温度の平均値の関係を Fig.5 に示す．図中の破線は Duffy ら[3]が被験者実験（成年男性 101 名，18－30 才）で得た直腸温度の概日リズムの近似直線である．本実験結果においても起床後の時間が経過しているほど深部温度が高くなる傾向が見られた．そこで，起床後の体内リズムの影響による直腸温度の時間変化率は Duffy らの結果と同じと仮定し，各直腸温度から同じ経過時間における Duffy らの温度を差し引くことで経過時間の影響を取り除いた．さらに被験者ごとに全期間の平均値を求め，それに対する偏差（$\Delta T_{cr}'$）の季節変化を調べた．結果を Fig.6 に示す．被験者 B, C, E, F は下に凸の形になっており被験者 A は逆に 8 月に最も高くなっている．一方，被験者 D は時期が進むにつれて直腸温度が下がる結果となった．

以上から直腸温度は体内リズムの影響があることがわかり，そのほかの生理要素も体内リズムの影響により順化の傾向が明瞭に見られなかった可能性がある．

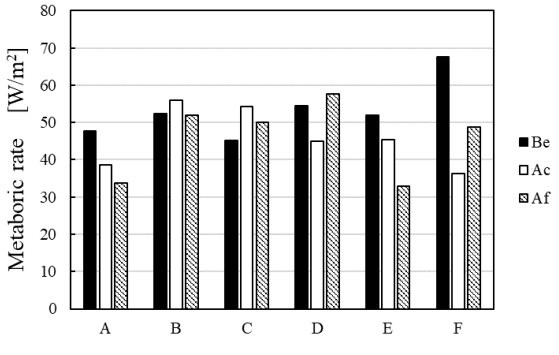


Fig.3. Metabolic rate for each subject.

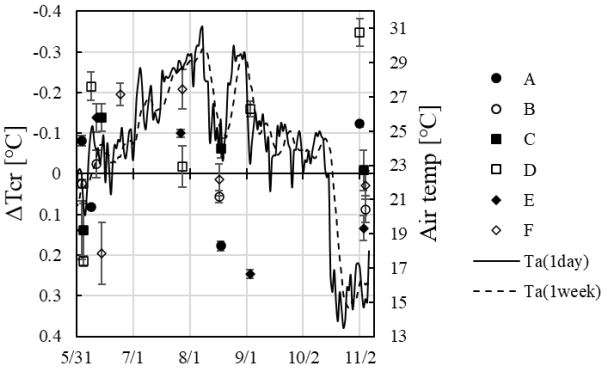


Fig.4 Relationship between ΔT_{cr} and daily mean temperature.

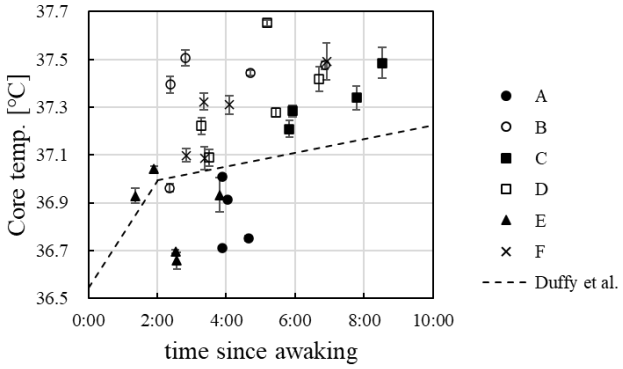


Fig.5 Relationship between core temperature and elapsed time since awaking

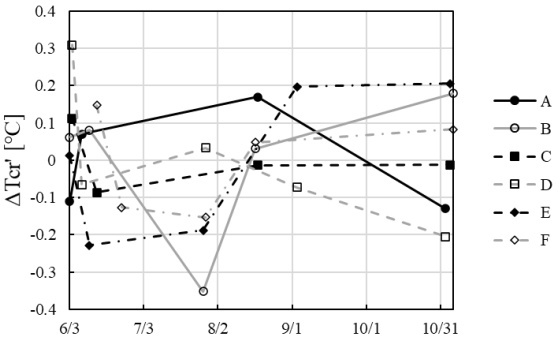


Fig.6 Seasonal changes in core temperature corrected with circadian rhythms

4． モデル解析

人体熱数値モデルである JOS-3 モデル[4]を用いて順化の影響を評価した．まず順化前の被験者実験結果を対象にセットポイント温度を調整することで熱的に中立な生理状態の再現を行った(Fig.7)． Phase1, 2での平均皮膚温度は概ね再現できたがPhase3での環境温度の低下による皮膚温度の低下は実験値と差が生じている．

基礎代謝量およびセットポイント温度の季節変化が季節順化の原因とみなし，生理応答および熱負荷に及ぼす影響を調べた．それぞれ変化させた場合の深部温度を Fig.8に，発汗率をFig.9に，人体熱をFig.10に示す．人体熱負荷は代謝産熱，機械仕事損失，正味ふく射，潜熱・顕熱損失の総和を人体に流入する熱流束として表したものである．シンボルはそれぞれDefaultを未順化，Met,−10％が基礎代謝量を10％低下した場合，Setpt,−0.2℃が深部温度のセットポイント温度が0.2℃低下した場合，Acが基礎代謝量10%低下と深部体温のセットポイント温度が0.2℃低下の両方を行った場合の生理応答である．基礎代謝量の変化量は島岡ら[2]の年変動を参考に，セットポイント温度はSato[5]らの直腸温度に対する発汗閾値を参考に設定した．基礎代謝量の変化は生理応答にほとんど影響を及ぼさず季節順化への寄与は

小さいことがわかった．一方，セットポイント温度は熱的中立状態での深部温度，暑熱負荷時の深部温度の変化幅に大きな影響を及ぼした．セットポイント温度の低下は発汗開始の早期化と発汗量の増加を引き起こし，人体からの潜熱放出を増大させる．この効果は代謝量の季節変動に比べて人体熱負荷への寄与が非常に大きい．

５． まとめ

既往の知見から，順化の効果として深部温度および代謝量の低下，発汗量の増加が予想されたが，結果はその傾向が一部の被験者で見られる程度で順化前/順化解消後と順化中で有意な差はなかった．季節順化の傾向が明瞭に見られなかった原因として， 8月中旬は天候不順により気温が例年より低くなっており，季節順化が解消された，もしくは，順化が起こらなかった可能性，および，生活リズム（特に起床時間）が一定でない被験者の影響が考えられる．

人体熱数値モデルを用いた評価では，基礎代謝量の変化の影響は小さく，一方，セットポイント温度の変化は発汗のタイミングおよび発汗量を通じて熱負荷に大きな影響を及ぼす結果が得られた．

謝辞

被験者として協力して頂いた方々に謝意を表する．また，本研究を進めるにあたって人工気候室の提供および助言を頂いた大阪府立大学の飛田国人准教授に謝意を表する．本研究の費用の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金（1740082）が充てられた．

参 考 文 献

1) Nakamura, Y., Okamura, K., “Seasonal Variation of Responses under Identical Heat Stress”, Human Science, 17(5) (1998) 167-172.
2) 島岡章，町田和彦，熊江隆，菅原和夫，倉掛重精，岡村典慶，末宗淳二郎，「基礎代謝の季節変動について」，日生気誌，24(1) (1987) 3-8.
3) Duffy, J.F., Dijk, D.-J., Klerman, E.B., Czeisler, C.A., “Later endogenous circadian temperature nadir relative to an earlier wake time in older people”, Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 275 (1998) R1478-R1487.
4) Takahashi, Y., Nomoto, A., Yoda, S., Hisayama, R., Ogata, M., Ozeki, Y., Tanabe, S., ” Thermoregulation model JOS-3 with new open source code”, Energy & Buildings, 231 (2021) 110575.
5) Sato, H., Ohashi, J., Matsuda, K., Iwanaga, K., “Seasonal variation in sweating threshold of men”, Annals Physiol. Anthrop., 6(1) (1987) 33-36.

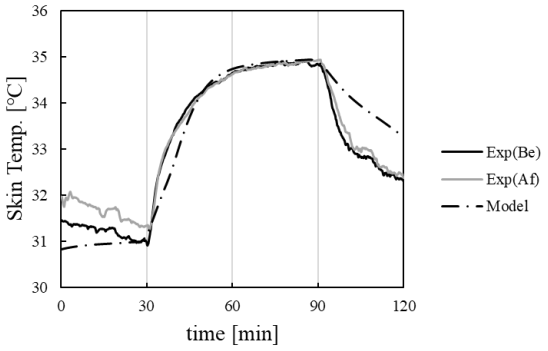


Fig.7 Comparison of mean skin temperature between model and experimental results.

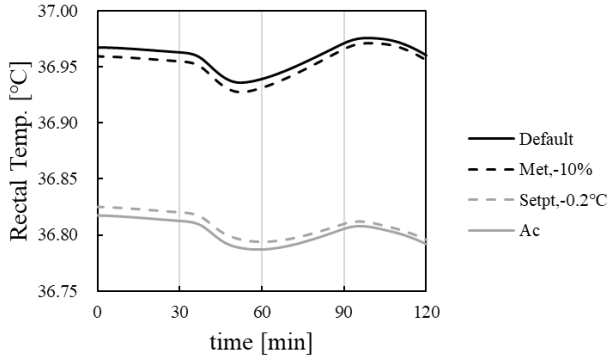


Fig.8 Change in core temperature by the acclimatization effect.

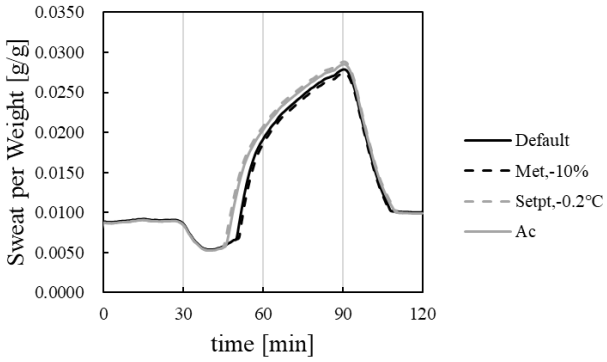


Fig.9 Change in sweat ratio by the acclimatization effect.

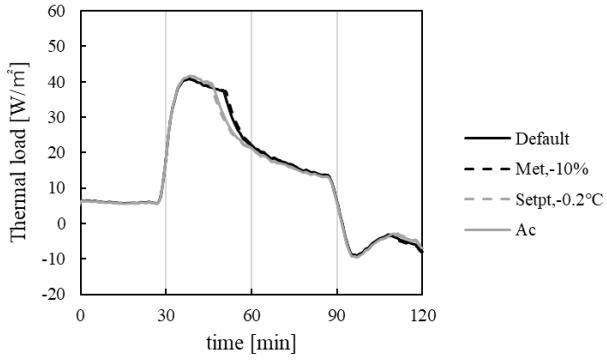


Fig.10 Change in thermal load by the acclimatization effect.

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

扇風機の所有台数に関係する住環境要因
Housing environment factors related to the number of electric fans owned

○朝岡　勇登（大阪市立大学）　梅宮　典子（大阪市立大学）　林　小勇（大和ハウス工業）
Yuto ASAOKA*1　Noriko UMEMIYA*1　Xiaoyong　Lin*2
*1 Osaka City University　*2 DAIWA HOUSE INDUSTRY

Synopsis：Electric fans can do some excellent things, but the numbers of their shipments have decreased. The author investigated the number of electric fans owned by respondents using questionnaire surveys administered in 2004, 2011, and 2017. Results elucidated the following: 1) Between 2004 and 2011, the difference in the number of fans owned was greater for respondents who had lived in a residence for fewer than seven years than for those who had lived someplace more than seven years. 2) Differences in the number of fans owned are related to sunlight, security awareness, Neighborhood noise, humidity and odor, mold, insects, solar heat, and sun glare.

1. 研究の背景と目的

扇風機にはエアコンより優れた点があり、そのうちの1つに節電ができる、といった利点がある。東日本大震災後の2011年4月には、家電量販店で節電機能付きの扇風機が売れ始めた。同年の5月に政府が企業の15%の節電目標を打ち出すと、複数台扇風機を購入する人が続出し、購入制限を設けるも店頭では売り切れ状態が続いた[1)]。そのため、扇風機の輸入台数[2)]は2009年では954万台、2010年では769万台であったが2011年では1724万台と前年の約2.25倍に登り、国内での扇風機不足に対抗した。

扇風機の研究として、既報[3) 4) 5)]では1)扇風機は起床中では通風と併用されるが就寝中は関係がなく、冷房の補助で使用される、2) 冷房を使いたくない、節電をしたい、などの理由からやむを得ず扇風機を使っている、3) 扇風機は快適感を得るためというよりも、騒音や熱、眩しさなどの不快感を和らげるために使用される、4) 扇風機所有台数は扇風機や起床中の通風利用増加で増加し、冷房使用増加で減少することを明らかにした。

2011年に扇風機の出荷台数が急増して家庭の扇風機所有台数が増えた。このとき、扇風機の増加にはどのような要因が関係していたのか。所有台数には上限があり、十分な扇風機台数が確保できていれば増加率は低いと想像できる。本報は2004年と2011年の調査データを用いて、住宅における扇風機の所有台数の増加要因として、冷房や扇風機や自然通風など夏季の温熱環境調節行為の頻度や、居住者による住環境評価について分析したので報告する。

2. 調査方法

2004年、2011年および2017年に大阪市住吉区周辺の6～14階建て、片廊下型の家族向け集合住宅の3年とも同じ住棟26棟にアンケート票を配布し、2004年257通、2011年185通、2017年191通を回収した（回収率16.3%、11.1%、10.4%）。入居1年未満は住みこなしができておらず回答の信頼性が低いとして分析から除外した。分譲と賃貸、民間と公的が偏らないように配布時に調節した。調査項目は、1)住戸属性、2) 住環境評価、3)回答者属性、4)扇風機、冷房、通風の利用程度、5)扇風機とエアコンの所有台数、ほかである。

本報は扇風機の所有台数と住環境との関係に注目する。住環境の評価項目としては、風通し、日当たり、外の視線、外の空気、防犯意識、外の騒音、上下階や隣戸の騒音、結露、湿気やにおいのこもりやすさ、カビの多さ、虫の発生、冷房暖房の効き、日射熱の煩わしさ、日差しの眩しさの計15項目とする。

3. 調査対象の構成

居住階は平均6.1±標準偏差3.4階、住戸面積は50～69 ㎡が54.3%、居間を含めて4室が72.6%、ベランダの主な方位は南62.2%、東32.7%、西32.5%、平成2年以前築12.2%、平成3～11年築72.2%、平成12年以降築15.6%で、分譲54.9%対賃貸45.1%、民間52.8%対公的47.2%である。扇風機は平均1.8±s.d.1.02台で、1台39.6%、2台35.2%、3台12.8%、エアコンは2.2±s.d.1.00台で1台22.2%、2台38.5%、3台27.9%である。年齢は54.6±s.d.16.0歳、世帯人数2.5±s.d.1.1人、男性37．2%、職業は有職%35.3%、無職30.3%、専

業主婦 19. 6%である。

4. 調査年ごとの扇風機の所有台数 （図 1）

扇風機所有台数は、2004 年が 1. 71 台、2011 年が 1. 99 台、2017 年が 2. 04 台である。2011 年と 2017 年の扇風機所有台数に有意な差はないが、2004 年と 2011 年の扇風機所有台数には有意な差がある（p=. 002）。本報では 2004 年と 2011 年の扇風機所有台数の差に着目する。既報[3)]から扇風機は起床中では通風と併用されるが就寝中は関係がなく、冷房の補助で使用されるため、各温熱環境調節行為を使う側と使わない側に分類して要因と台数との関係を調べる。所有台数には居住年数の影響が考えられるため、居住年数を 2004～2011 年のあいだに住み始めた場合の 7 年未満と、2004 年以前に住んでいる場合の 7 年以上に分類して調査年別に扇風機所有台数を分析した。その結果、居住 7 年以上では 2004 年 1. 82 台、2011 年 1. 91 台で有意な差がないのに対し、7 年未満では 2004 年 1. 58 台、2011 年 2. 19 台で有意な差がある（p<. 0001）。居住年数が長い住戸では 2004 年時点で扇風機をすでに必要台数所有していたので 2011 年で増やす必要がなく、居住年数が短い住戸が扇風機を多く購入し、2011 年には居住年数が長い住戸以上に扇風機を所有したと言える。

居住年数が所有台数に影響することから、居住年数を考慮して、扇風機所有台数の変化を分析する。

5. 住環境評価と扇風機台数の増加との関係

本章では居住年数 7 年未満を対象とする。扇風機、冷房、自然通風についてそれぞれ、使う側と使わない側に分けて住環境評価と扇風機台数との関係を調べる。ここで使う側とは、冷房と扇風機については使用頻度 5 段階のうち「非常によく使う」と「よく使う」の合計、通風については窓開放頻度 4 段階のうち起床中は「開けておくことが多い」、就寝中は「開けておくことが多い」と「日による」の合計を指す。また以下で「台数が増加する」とは、2004 年より 2011 年の台数が多いことを意味する。

5. 1 日当たり （図 2）

扇風機を使う側では、日当たりが良い方が 2004 年より 2011 年に扇風機台数が多い（p=. 0159）。冷房を使わない側と、起床中に通風を使う側においては、日当たりが良い方が扇風機台数が増加する（p=. 0279, =. 0054）。起床中に通風を使わない側においては、日当たりが悪い方が扇風機台数が増加する（p<. 0001）。扇風機を使う側や日中を含む起床中に通風を使う側においては、夏季に日当たりが良い場合に日射受熱量が多く室内温熱環境が悪くなる。扇風機によって緩和を目指したと考えられる。

5. 2 防犯意識 （図 3）

扇風機を使う側では、防犯に気をつけている方が扇風機台数が増加する（p=. 0117）。冷房を使う側、冷房を使わない側、起床中に通風を使う側、就寝中に通風を使わない側においては、防犯に気をつけている方が扇風機台数が増加する（p=. 0297, =. 0503, =. 0048, =. 001）。冷房については使う側と使わない側の両方において扇風機台数が増えている。冷房の使用頻度によって防犯意識と扇風機台数との関係が変わらない。すなわち、冷房使用にかかわらず、防犯に気をつけている方が扇風機台数が増加したことを意味する。

5. 3 上下階や隣戸の騒音 （図 4）

扇風機を使う側では「静か」の場合に扇風機台数が増加する（p=. 0104）。冷房を使う側、起床中に通風を使う側、使わない側、就寝中に通風を使う側においては、「静か」の場合に扇風機台数が増加し（p=. 0354, =. 0356, =. 0079=. 0312, =. 0007）、就寝中に通風を使わない側においては、

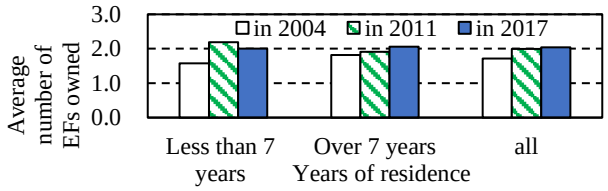


Figure 1 Average number of EFs owned by survey year

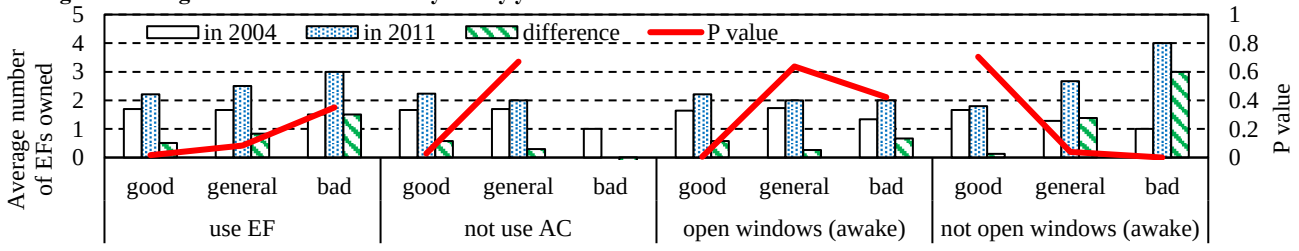


Figure 2 Relationship between sunlight and average number of fans owned (Less than 7 years of residence)

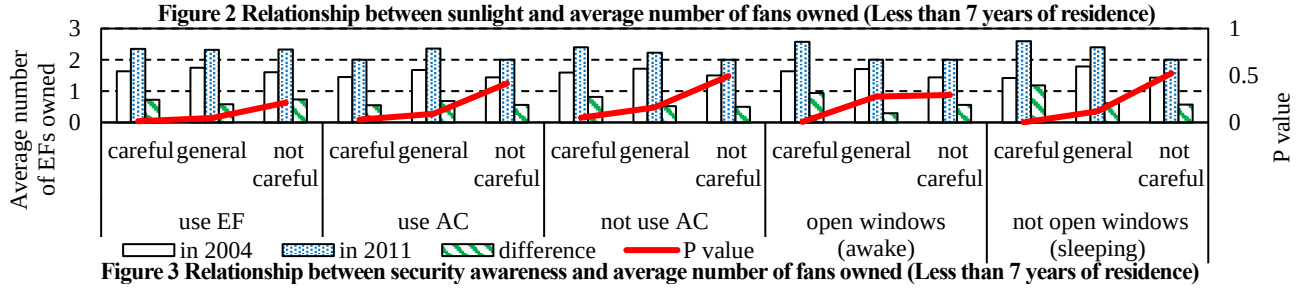


Figure 3 Relationship between security awareness and average number of fans owned (Less than 7 years of residence)

「うるさい」場合に扇風機台数が増加する（p=. 0003）。起床中に通風を使う側と使わない側の両方において扇風機台数が増えている。起床中の通風の頻度によって上下階や隣戸の騒音と扇風機台数との関係は変わらない。すなわち、通風利用にかかわらず、上下階や隣戸の騒音が静かな方が扇風機台数が増加したことを意味する。なお騒音については外の騒音についても訊いているが、外の騒音は扇風機台数の変化と関係がない。

5.4　湿気やにおいのこもりやすさ（図 5）

扇風機を使う側では、湿気やにおいがこもりにくい方が台数が増加する（p=. 0234）。冷房を使う側と起床中及び就寝中に通風を使う側においては、湿気やにおいがこもりにくい方が扇風機台数が増加する（p=. 0149, =. 0105, =. 0221）。起床中に通風を使わない側においては湿気やにおいがこもりやすい場合のみで台数が増加する（p=. 0453）。扇風機を使う側、起床中に通風を使う側においては、日中は扇風機と通風を併用していると考えられる。窓が開いているので湿気やにおいがこもりにくいと考えられる。

5.5　カビの発生しやすさ（図 6）

扇風機を使う側では、カビが普通及び少ないで台数が増加する（p=. 0036, =. 0182）。冷房及び就寝中の通風の使わない側、起床中の通風を使う側においては、カビが少ない方が扇風機台数が増加する（p=. 011, =. 0236, =. 0063）。扇風機を使う側や冷房を使わない側、起床中に通風を使う側においては、日中は扇風機と通風を併用していると考えられる。室内の湿気が屋外に放出され、カビの発生が少なくなったと考えられる。

5.6　虫の多さ（図 7）

扇風機を使う側では、虫がいない方が台数が増加する（p=. 0027）。冷房を使わない側、起床中及び就寝中の通風を使う側と使わない側においては、虫がいない方が扇風機台数が増加する（p=. 0157, =. 0104, =. 0363, =. 0349, =. 0099）。起床中及び就寝中に通風を使う側と使わない側の両方において扇風機台数が増えている。通風の頻度によっ

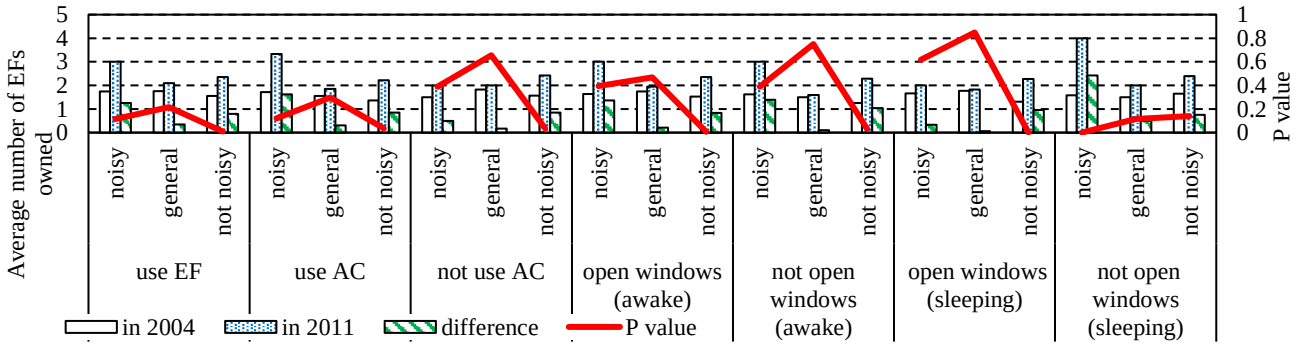


Figure 4 Relationship between Neighborhood noise and average number of fans owned (Less than 7 years of residence)

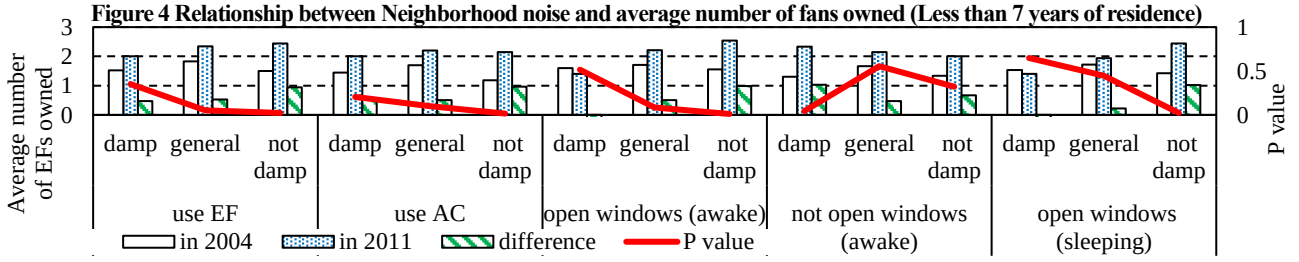


Figure 5 Relationship between humidity and odor and average number of fans owned (Less than 7 years of residence)

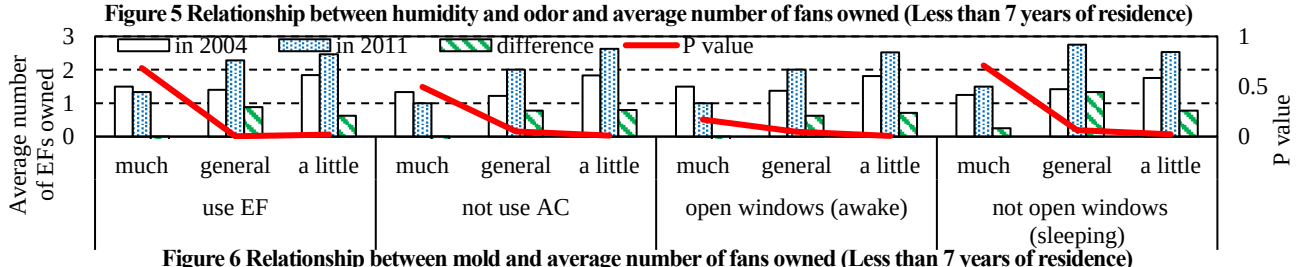


Figure 6 Relationship between mold and average number of fans owned (Less than 7 years of residence)

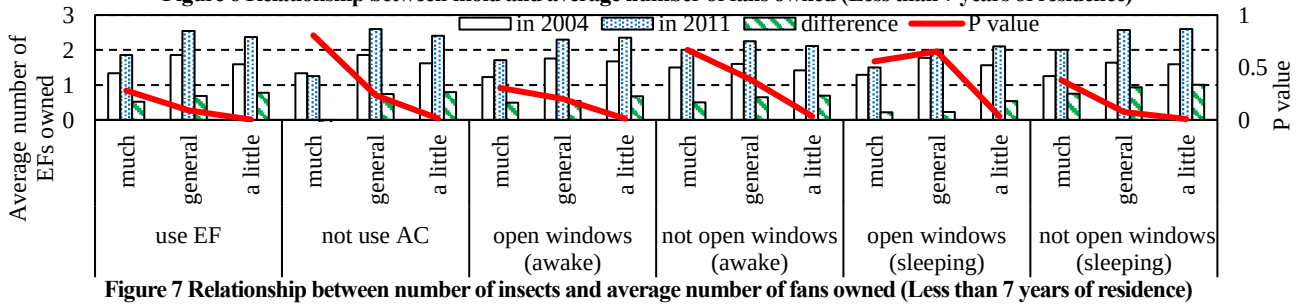


Figure 7 Relationship between number of insects and average number of fans owned (Less than 7 years of residence)

て虫の多さと扇風機台数との関係は変わらない。すなわち、昼夜の通風利用にかかわらず、虫がいない方が扇風機台数が増加したことを意味する。

5.7　日射熱のわずらわしさ（図8）

扇風機使う側では日射熱がわずらわしい方が台数は増加する（p=.0029）。冷房の使う側及び使わない側、起床中の通風使う側、就寝中の通風使わない側においては、日射熱がわずらわしい方が扇風機台数が増加する（p=.0286, =.043, =.0085, =.0048）。冷房を使う側と使わない側の両方において扇風機台数が増えている。冷房の頻度によって日射熱のわずらわしさと扇風機台数との関係は変わらない。また、扇風機を使う側や日中を含む起床中に通風を使う側においては、夏季に日射熱がわずらわしい場合に日射受熱量が多く室内温熱環境が悪くなる。すなわち、冷房使う側では冷房と扇風機の併用、冷房使わない側では通風と扇風機の併用によって緩和を目指したと考えられる。

5.8　日差しの眩しさ（図9）

扇風機を使う側では日差しが眩しい方が台数が増加する（p=.0144）。冷房と起床中の通風を使う側、就寝中の通風を使わない側において、日差しが眩しい方が扇風機台数が増加する（p=.0149, =.0728, =.0029）。扇風機を使う側や冷房を使う側、日中を含む起床中に通風を使う側においては、夏季に日差しが眩しい場合に日射受熱量が多く室内温熱環境が悪くなる。すなわち、扇風機を冷房や通風との併用によって緩和を目指したと考えられる。

6.　結論

大阪の集合住宅633戸について、2004年と2011年の調査をもとに、扇風機所有台数と住環境評価との関係を冷房、自然通風、扇風機を使う側と使わない側で比較した。

1)　扇風機台数は、居住7年未満のほうが顕著に増加する。居住7年未満で2004年より2011年の扇風機台数が増加したのは、2)扇風機を使う側では、日照、防犯、隣戸騒音、湿気やにおい、カビ、虫の評価が良い場合、日射熱や日差しの評価が悪い場合、3-1)冷房を使う側では、防犯、隣戸騒音、湿気やにおいの評価が良い場合、日射熱や日差しの評価が悪い場合、3-2)冷房を使わない側では、日照、防犯、隣戸騒音、カビ、虫の評価が良い場合、日射熱の評価が悪い場合、4-1)起床中に通風を使う側では、日照、防犯、隣戸騒音、湿気やにおい、カビ、虫の評価が良い場合、日射熱や日差しの評価が悪い場合、4-2)起床中に通風を使わない側では、隣戸騒音や虫の評価が良い場合、日照や湿気やにおいの評価が悪い場合、5-1)就寝中に通風を使う側では、隣戸騒音、湿気やにおい、虫の評価が良い場合、5-2)起床中に通風を使わない側では、防犯、カビ、虫の評価が良い場合、隣戸騒音、日射熱や日差しの評価が悪い場合である。

参考文献　1) 朝日新聞 節電の夏、扇風機品切れ 全社員に1台、まとめ買い続出 2011.7.7 http://www.asahi.com/special/10005/TKY201107070231.html 2022.2.17 閲覧　2)財務省貿易統計 https://www.customs.go.jp/toukei/info/ 2021.2.17 閲覧 3)朝岡勇登ほか：夏季の住宅における冷房、扇風機、および自然通風の使用程度の相互関係，2020年度空・衛近畿論文集，A-43，2021年 4) 朝岡勇登ほか：扇風機、冷房、通風の使用に関係する住戸属性や住環境，2021年度日本建築学会近畿支部研究報告集．環境系 5) Yuto Asaoka : Relations among numbers and degrees of use of air-conditioners, electric fans, and natural ventilation in urban areas, Healthy Buildings 2021-America

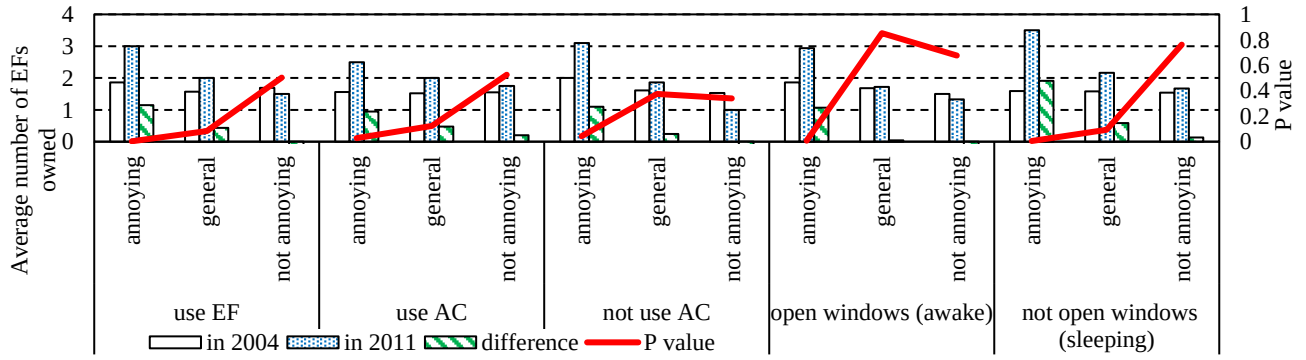


Figure 8 Relationship between solar heat and average number of fans owned (Less than 7 years of residence)

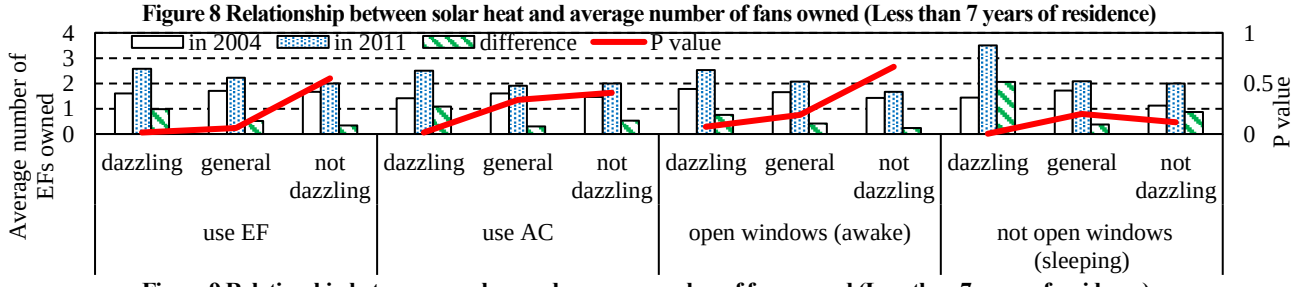


Figure 9 Relationship between sun glare and average number of fans owned (Less than 7 years of residence)

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

日傘による熱ストレス軽減効果の検証
Evaluation of Thermal Stress Reduction Effect by Using Parasol

○永井　賢人（大阪府立大学）　　吉田　篤正（大阪府立大学）　　木下　進一（大阪府立大学）
Kento NAGAI *1　Atsumasa YOSHIDA *1　Shinichi KINOSHITA *1
*1　Osaka prefecture University Engineering

In this study, the effect of a parasol on reducing thermal stress was evaluated by subject experiments in the summer season and numerical calculations using a thermoregulation model. In standing condition, body core temperature, mean skin temperature, sweat rate, heart rate, and thermal sensation were lower under the parasol than in the sun. In the walking condition, only the sweat rate was lower under the parasol than in the sun. When the shielding area of direct solar radiation was only upper body, the sweating rate and the core temperature increased slightly compared to whole body shielding.

１．はじめに

ヒートアイランド現象に対する屋外での適応策として日除けやミスト冷却などが挙げられる．夏季の屋外において人体の熱負荷はふく射負荷が支配的であり，日除けによる日射遮蔽は熱ストレス軽減において有効的であると考えられる．近年，日除けの中で持ち運びがしやすく個人で取り組みやすいという点から日傘が注目されている． 渡辺ら[1)]の研究では日傘下での MRT，UTCI の低下が明らかにされている．

本研究では夏季の屋外で被験者実験を行い，日傘による日射遮蔽が人体の生理応答に及ぼす影響を評価した．また，JOS-3 モデル[2)]を用いた数値解析からも日傘の効果について検証した．

２．屋外での被験者実験

2.1　被験者，実験場所および測定項目

被験者は 21-25 歳の健康な男子大学生 14 名(身長 173.3±6.4cm, 体重 67.6±10.6kg, BMI22.5±3.5)を対象にした．実験は大阪府立大学中百舌鳥キャンパス B4 棟中庭で実施された．その床はウッドデッキ（日射反射率 0.23，赤外放射率 0.88）であった．実施期間は 2020，2021 年 5～9 月の 10 時から 15 時であった．

実験時の測定項目を表 1 に示す. ふく射は日向, 日傘, 建物陰の 3 か所をいずれも高さ 1.0m に固定し測定を行った．表面温度も同様に 3 か所と日傘のかさの温度を測定した. 心理申告は温冷感を-3～0(中立)～+3 の線形尺度で記入を行った. 使用した日傘は直径 109cm で表面と裏面が異なる素材でできており，表面：ベージュ色，ポリエステル 100%，日射反射率 0.65，赤外放射率 0.89，裏面：黒色，ポリウレタン 100%，日射反射率 0.01，赤外放射率 0.92 であった．また，日射透過率は 0 であった．日傘の高さは露先が 1.8m になるよう三脚も用いて固定し，被験者は日傘を手に持たず，固定した日傘の下に位置するようにした．

Table.1 Measurement items

Environment component	
Item	Interval
Solar and Infrared radiation (6 direction), Wind speed，Surface temperature(parasol, floor，wall)，Globe temperature	5s
Air temperature, Relative humidity	60s
Physiology response	
Item	Interval
Skin temperature(7point：head, arm, hand, abdomen, thigh, leg, foot)，Core temperature (rectum)	10s
Heart beats rate	20s
Blood flow	5s
Weight	-*1
Metabolic rate	-*2
Psychological response	
Item	Interval
Thermal sensation	3min

*1　at 0,24,36,48,72min　*2　20-23, 44-47, 68-71min

2.2　実験方法

被験者は，実験前日の夕食以降の食事を制限した．被験者は実験場所に移動する 1 時間前から気温 26℃に設定された待機室に移動し，食事及び運動の制限を行った．被験者毎の体内の水分量を同等にするために排泄及び 300g の水分摂取を行った．被験者が待機室に入室後，被験者の体重及び衣服の重量を測定し，着衣量 0.3clo の白色 T シャツ，白色半ズボン，サンダルを着用した．

実験プロトコルを図 1 に示す．24-48min で 2 種類のふく射強度（日向，日傘）と運動強度（立位，歩行）を組み合わせた 4 種類の実験を行った．実験中被験者は常に南を向いており，日傘下では被験者は全身が日傘の陰に入るように位置した．歩行はトレッドミルを使用し，歩行速度は 4km/h (3.0mets)とした．

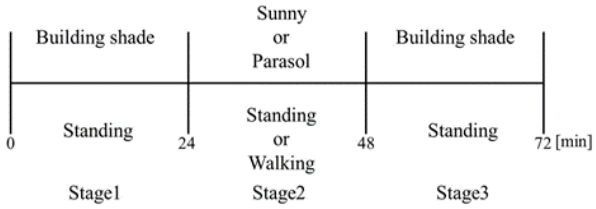


Fig.1 experiment protocol

2. 3　実験結果および考察

実験時の屋外環境は気温が 28.3℃～38.3℃と幅広く，全天日射量，湿度，風速は 911±34W/m2，33.2±8.3%，1.0±0.5m/s であった．晴天日を選び行ったため，日ごとの全天日射量の差は少ない．各場所での平均放射温度は日向 60.7±4.7℃，日傘下 44.9±3.6℃，建物陰 36.7±3.3℃であった．日向は直立日射量が多いために他 2 つと比べて高い．日傘下は建物陰と比べて遮蔽面温度が高い，遮蔽面積の違いにより周囲地面が高温であるため，赤外放射量が増加し，放射温度が高くなっている．太陽に対して正対した地表から浮いている直方体(1.2×0.4×0.2m)の各面に入射するふく射量（日射量＋赤外放射量）としてそれらを平均して算出した．

図 2 に 24-48min の深部温上昇量を示す．立位条件では日傘で深部温度上昇が軽減されており，相関直線から実験時の平均気温である 34℃の場合に 0.07℃低下している．日傘の日射遮蔽により蓄熱が抑えられたためと考えられる．一方で歩行条件では差が確認できなかった．深部温度の測定位置が直腸であったため，歩行により温度が上昇しやすかったためと考えられる．

図 3 に平均皮膚温上昇量を示す．深部温同様に立位条件では平均で 0.53℃の差があり有意な差があったが，歩行で 0.13℃低下しているが有意な差ではなかった．

図 4 に 24-48min の発汗量を示す．今回実験中の体重減少を発汗量とし，それを体重で割った体重減少割合を縦軸として．これによって個人の体格差の標準化を行った．発汗量は深部温同様に 34℃での相関直線から立位条件で日傘の使用により 40%の減少，歩行条件で 19%減少した．立位条件では深部温，皮膚温ともに低下しているため，熱放散応答である発汗も減ったと考えられる．一方で，歩行条件では深部温，皮膚温に差がなかったが発汗量には差があった．日傘によって頭部のふく射量が大きく遮蔽されており，頭部深部温が低下したために発汗量が減少したと示唆される．

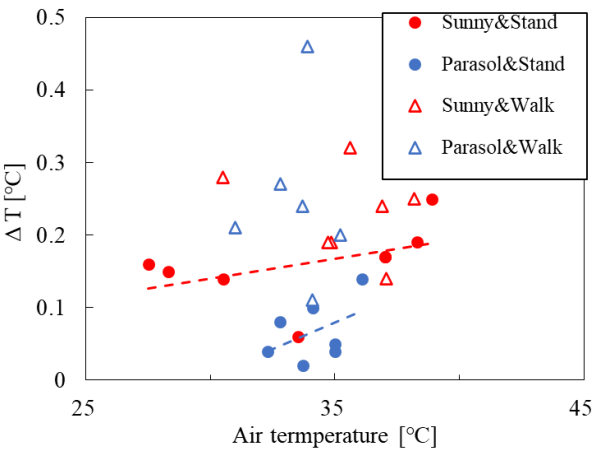


Fig.2 Core temperature increase (24-48min)

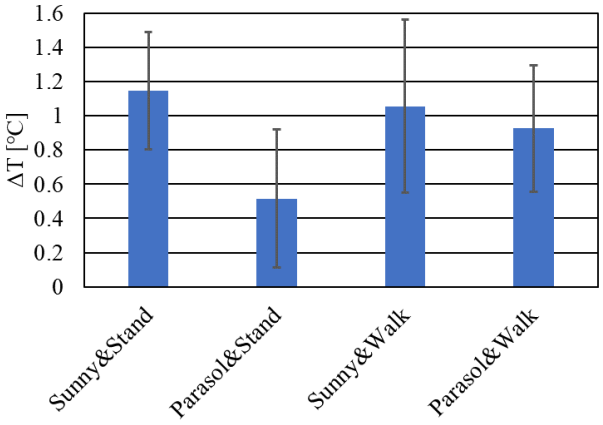


Fig.3 Mean skin temperature increase(24-48min)

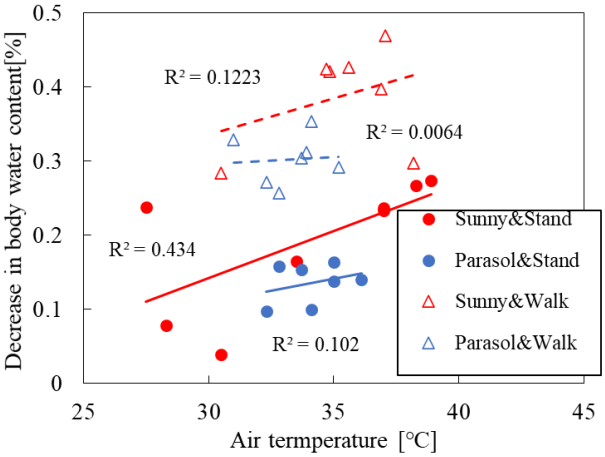


Fig.4 Decrease in body water content (24-48min)

図 5 に心拍数変化示す．44-48min の平均心拍数を 20-24min の平均心拍数で割った値である．立位条件で日向では心拍数が上昇する傾向にあり，日傘では心拍数が変わらないもしくは低下する傾向にあった．血流を介して体内深部の熱を体表面に逃がす熱放散応答が暑熱曝露によって行われたため，心拍数が日向で増加下と考えれ

る．日傘ではふく射負荷が建物陰と大きく変わらないため心拍数が変化しなかったと考えられる．

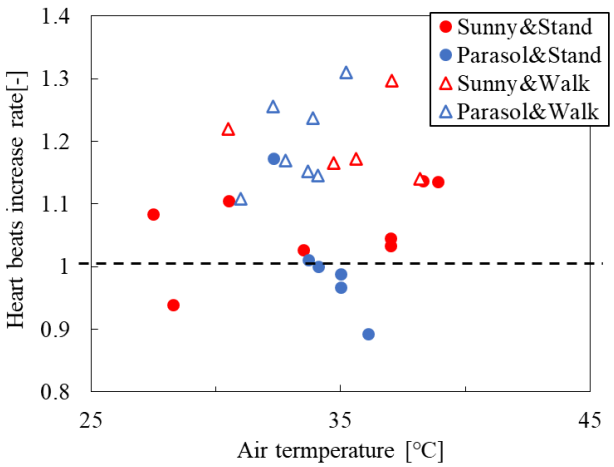


Fig.5 Heart bets increase rate (24-48min/0-24min)

図 6 に温冷感を示す．24-48min の平均温冷感である．また，折れ線は各実験条件の平均気温である．立位条件では日傘の方が平均気温が少し高いが温冷感は低くなっており，有意な差があった．感覚量にも影響することが確認できた．歩行条件でも温冷感は日傘の方が低くなっているが，日向では平均気温が 2℃近く高く，気温による影響が大きいと考えられる．

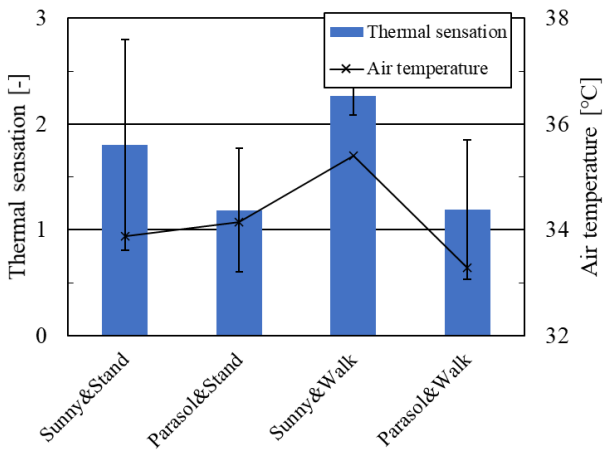


Fig.6 Thermal sensation (24-48min mean)

3．人体熱モデルを用いた数値解析

3. 1　実験との検証比較

数値解析には JOS-3 モデルを用いた．日傘下では人体の部位によりふく射負荷が異なる．同モデルは体を 17 部位(Head, Neck, Chest, Back, Pelvis, RL-Shoulder, Arm, Hand, Thigh, Leg, Foot)に分割しており，各部位での熱負荷計算が可能である．まず，実験との比較検証のため，表 2 の解析条件で計算を行った．平均放射温度はふく射各成分と日傘，地面，天空に対しての形態係数から算出したところ，日向では 57℃，日傘では 41℃，建物陰では 30℃となった． 測定結果と比較すると日向 3℃低下，日傘 4℃低下，建物陰 7℃低下であり，少し低い傾向となった．

Table.2 Input parameters for experiment comparison

	-60 - 0min	0 - 24min	24 - 48min	48 - 72min
Air temp	26℃	28~38℃	28~38℃	28~38℃
Radiation temp	26℃	30℃	Sunny 57℃ Parasol 41℃	30℃
Relative humidity	40%	40%	40%	40%
Wind speed	0.1m/s	1.0m/s	1.0m/s	1.0m/s
Physical activity ratio	1.2mets	1.2mets	Stand 1.2mets Walk 3.0mets	1.2mets

図 7 に 24-48min の日向歩行条件と日傘立位条件の発汗量を示す．計算の 20%以内に収まるデータが日向歩行条件では 2 つ，日傘立位条件では 4 つと高熱負荷・低熱負荷条件どちらでも確認できた．また，気温が 34℃前後の場合に 4 条件で最も計算に当てはまるデータが多かった．

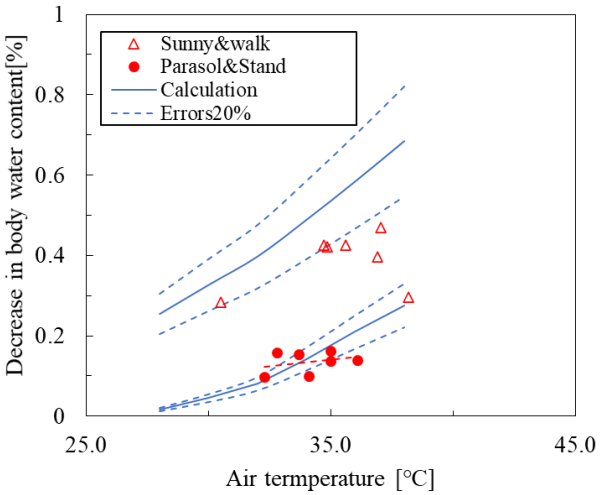


Fig.7 Sweat comparison in two conditions

図 8 に日傘立位条件の気温 34℃での腰部の深部温変化を示す．被験者実験の平均値と比較すると実験開始時の深部温度に差があるものの 24min 以降の温度変化傾向は同じであり，実験終了時の温度はほとんど同じ値となった. 図 9 に歩行条件での腰部と頭部の深部温変化を示す. 48 分時の頭部の深部温は日向で 37.82℃，日傘で 37.65℃であり 0.17℃の差が生じていた．日傘により頭部のふく射負荷が軽減されたことによるものと考えられる．被験者実験では直腸深部温，皮膚温に差がなかったのにも関わらず，発汗量に差が生じたが解析から頭部の深部温の差によるものと示唆される．

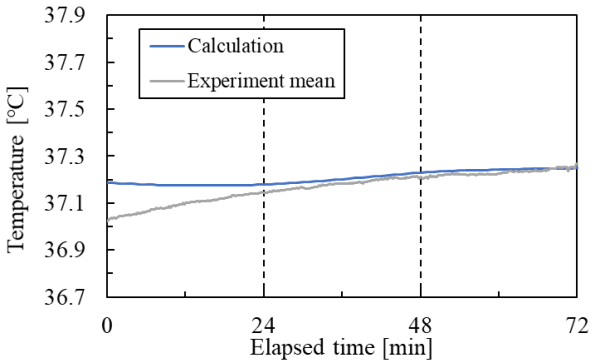


Fig.8 Pelvis core temperature change

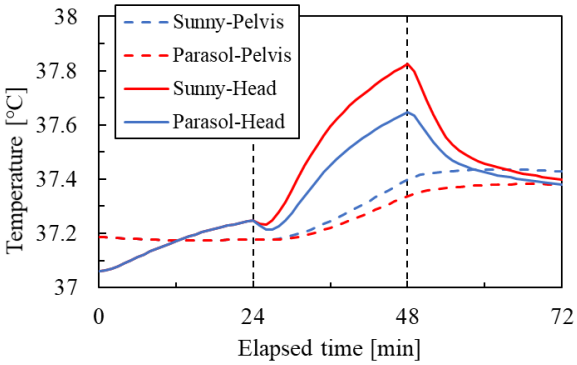


Fig.9 Pelvis and head core temperature change

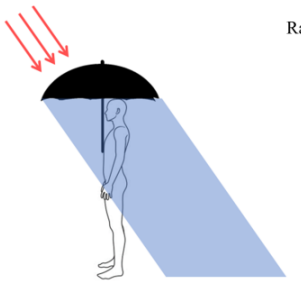
3. 2　上半身のみの遮蔽の場合

図 10 に示す遮蔽部位が上半身のみの半身遮蔽の場合の解析を行った．解析条件は表 2 同様のプロトコルで行い，半身遮蔽の場合の放射温度は計算上 47℃であった．また，気温は 34℃，運動強度は立位のみとした．図 11 に発汗量を示す．日向では 0.33%，半身遮蔽で 0.16%，全身遮蔽で 0.14%の水分損失であった．日向と比較すると半身遮蔽と全身遮蔽の差は十分小さいものである．図 12 に Pelvis 深部温の変化を示す．72min 時の深部温は日向で 37.28℃，半身遮蔽で 37.25℃，全身遮蔽で 37.25℃であった．半身遮蔽と全身遮蔽で深部温変化はほとんど差がないことがわかる．以上から半身の遮蔽のみでも十分な熱負荷軽減効果があることが確認できた．

4．結言

日傘使用により立位条件では深部温, 皮膚温, 発汗量, 心拍数，温冷感に，歩行条件では発汗量に有意な差があることから日傘による熱ストレス軽減効果を確認できた．

人体熱モデルを用いた数値解析から日傘使用により歩行時の頭部深部温の低下が示唆された．上半身のみの遮蔽であっても全身を遮蔽した場合との差は小さく十分な熱負荷軽減効果が確認できた．



Rate of area exposed to direct solar radiation

Body part	Rate[-]
Hand	0.17
Thigh	0.81
Leg	1.00
Foot	1.00
Others	0.00

Fig.10 only upper body shielding image and rate of area exposed to direct solar radiation

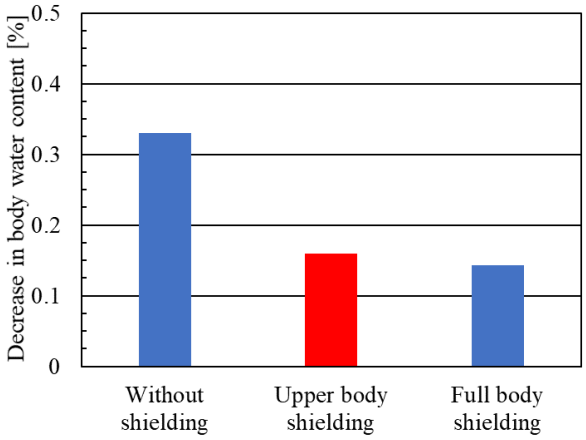


Fig.11 Decrease in body water content in 3 conditions (24-48min)

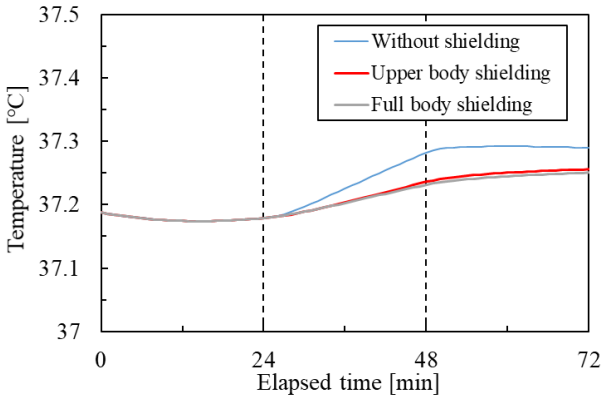


Fig.12 Pelvis core temperature change in 3 conditions

謝辞

本研究を進めるにあたり，専門的なアドバイスをくださった関西大学の河端隆志教授，大阪府立大学の飛田国人准教授に感謝申し上げます．また，本研究の費用の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金（1740082）が充てられた．

参考文献

1）渡邊慎一，石井仁，日傘による暑熱環境緩和効果の実証的研究，日本生気象学会雑誌，56(4)，2020，133-144.

2）Yoshito Takahashi, et al., Thermoregulation model JOS-3 with new open source, Energy and Buildings, 231, 2021-6-15, 10.1016/j.enbuild.2020.110575.

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

大阪の集合住宅における暖房器具の併用状況
Status of Use of Heating Equipments in Apartment Houses in Osaka

○孫　琳（大阪市立大学）　　梅宮　典子（大阪市立大学）
Lin SUN*　Noriko UMEMIYA*
*　Osaka City University

A questionnaire survey was administered to 189 residents of family-oriented housing complexes in Osaka in 2021. Their statuses of use of heating equipment were analyzed. Respondents were classifiable into seven clusters according to the status of use of heating equipment, such as 1) a cluster that only uses air conditioner for heating (percentage: 23.8%), 2) a cluster that uses both the air conditioner and kotatsu heater or hot carpet (16.5%), 3) a cluster that uses gas floor heating equipment (14.3%), and 4) a cluster that uses both the air conditioner and electric stove or gas fan heater (10.6%).

１．背景と目的

2020 年に全国 2 人以上世帯では世帯当たりエアコン保有台数が 3.18 台に達しており [1]、住宅におけるエアコン使用のパーソナル化が進む中で、個人の温熱環境調節にはどのようなタイプがあるのか、各タイプはどのような特徴を持つのか。

既報 [2) 3)]では夏季の温熱環境調節行為として冷房、扇風機、自然通風の使用頻度にもとづき個人を類型化し、各類型の個人属性や住戸属性の特徴を明らかにした。

本報は冬季の温熱環境調節行為として暖房器具の使用実態を調査して、暖房器具の併用状況にもとづく個人の類型化について検討する。

２．方法

大阪市の家族向き集合住宅 37 棟を対象に、2021 年 3 月 22 日～4 月 6 日と 4 月 13 日～5 月 7 日にアンケート調査を行い、189 通を回収した（回収率 9.0%）。

住戸属性、回答者属性、冬季と夏季の温熱環境調節行為について尋ねる。暖房器具は 13 種類(Fig.1)を挙げて、所有台数、日使用時間、エアコン暖房の使用頻度と使用時間および設定温度、使用期間、暖房時期の光熱費意識、5 月と 1 月と 2 月の電気、ガスの料金と使用量などを訊く。

３．調査対象の構成

調査対象は平均 60.9±s.d.15.5 才、60 代が最多で 26.3%、次いで 40 代が 17.3%、50 代と 70 代がともに 16.8%で、女性が 60.6%、有職 52.6%、無職 20.0%、専業主婦 29.1%、世帯人数 2.3±1.1 人、面積 70～89 ㎡が 26.5%と最多、居住階 5.8±6.4 階、主な方位は南 59.1%、東 30.1%、西 10.8%、竣工年は H3 年以前 6.9%、H4-10 年 40.2%、H11 年以降 52.9%で、分譲が 69.4%である。

４．暖房器具の所有状況と使用状況

13 種の暖房器具の室ごとの（居間、個室 1、個室 2 までとする）所有の有無と日使用時間を訊いた。Fig.1 に住戸の暖房器具所有率を示す。居間、個室 1、個室 2 のいずれかの部屋において暖房器具を所有する場合を、その住戸が「所有」するとする。

所有率はエアコンは 98.9%と最も高い。次いで、電気ストーブ、ホットカーペット、電気こたつ、ガス床暖房は 20%を超えている。電気毛布、ガスファンヒーター、電気ストーブは 18.5%、17.5%、15.3%である。ガスストーブは 4.8%、灯油ストーブは 3.7%で、ほとんど所有されていないことが明らかになった。

Fig.2 に暖房器具の使用率を示す。部屋別の使用率について、ある暖房器具についてその部屋の回答された使用時間が 0 時間を超えればその部屋は「使用」、0 時間または使用時間が無回答の場合は「不使用」と見なす。居間の使用率は「居間の使用住戸数/全住戸数（189）」で算出する。同様に、個室 1（2）の使用率は「個室 1(2)の使用住戸数/全住戸数」で算出する。居間では、エアコン暖房の使用率が 57.1%と暖房器具のなかで最も高い。次いで、こたつ、ホットカーペット、電気ストーブ、ガスファンヒーターは 15%を超え、ガス床暖房は 14.3%である。ただしガス床暖房は他の器具と比べ入居後の設置が難しい。

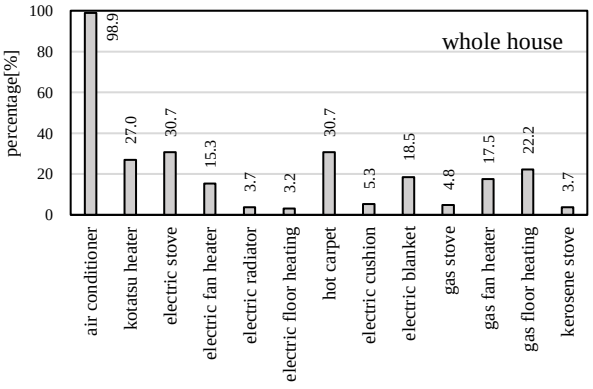


Fig.1　Ownership rate of heating equipment

電気ファンヒーターが 6. 4%で、電気ラジエーター、電気床暖房、電気座布団、電気毛布、ガスストーブ、灯油ストーブの使用率は 5%未満である。

個室の使用率は、個室 1 と個室 2 にエアコンは 39. 2%と 20. 6%と最も高い。次いで、個室 1 に電気座布団は 9. 5%で電気ストーブは 7. 9%、個室 2 に電気毛布は 5. 3%を占める。それ以外の使用率は 5%未満である。

住戸全体の使用率について、居間、個室 1、個室 2 のいずれかの部屋において使用時間が 0 時間を超える場合を、住戸全体で「使用」とする。住戸全体の使用率を使用住戸率として、「使用住戸数/全住戸数」で算出する。エアコンが 69. 3%と最も高い。次いで、こたつ、電気ストーブ、ホットカーペットは 20%を超え、ガスファンヒーター、ガス床暖房、電気毛布、電気ファンヒーターは 10%を超える。電気ラジエーター、電気床暖房、電気座布団、ガスストーブ、灯油ストーブの使用住戸率は 5%未満である。

5. 暖房器具の併用状況

5. 1　暖房器具の併用状況の分類

5. 1. 1　エアコンの使用に着目する場合

エアコンの使用に着目して、使用状況を「エアコンのみ使用」、「エアコンと他の器具を併用」、「エアコン不使用」に分類する。Fig. 3 に出現率を示す。

エアコン暖房を使わない割合は、居間で 4 割、住戸全体で 3 割である。一方で、エアコン暖房のみの割合は、居間でも住戸全体でも 2 割前後である。住戸全体では半数がエアコンに他の暖房器具を併用している。江本ら [4] が 2007 年関東地域で実施した web 調査ではエアコンを暖房に使用しない住戸は 30. 4%で、本研究とほぼ同じである。しかし、江本らの調査ではエアコン暖房のみの割合が 9. 1%で、本研究より低い。地域や住戸形式が異なるが、年代の影響もあると思われる。

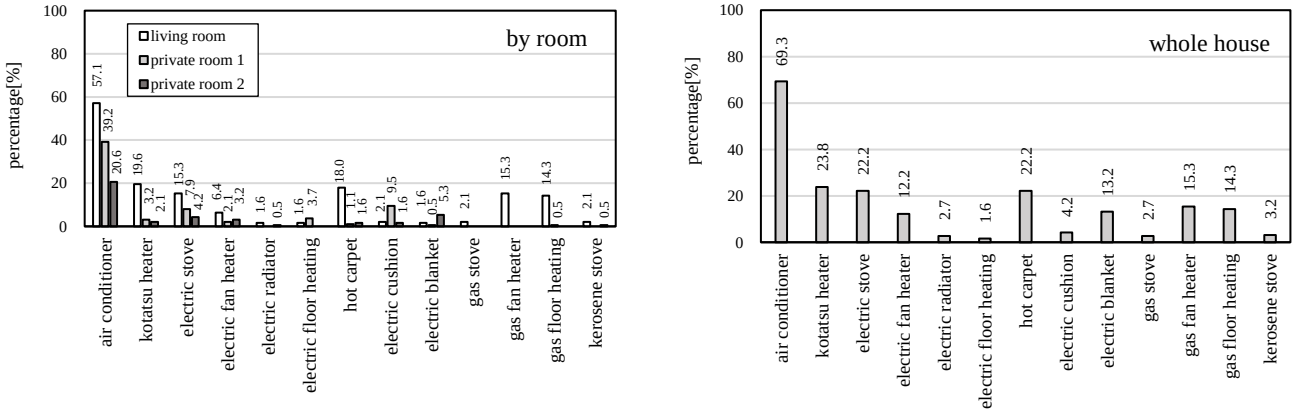


Fig.2　Usage rate of heating equipment

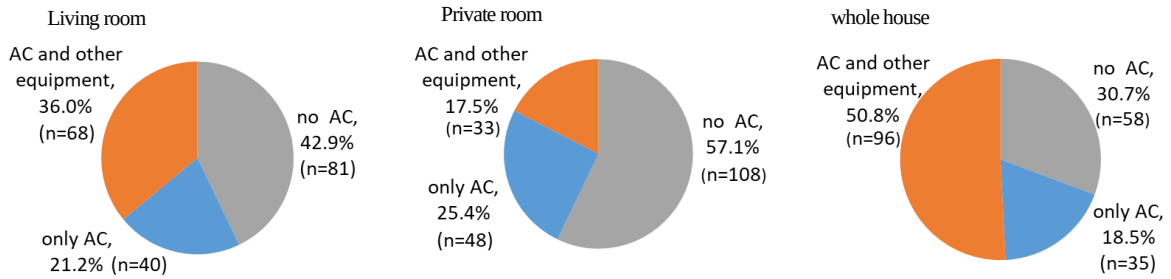


Fig.3　Heating equipment usage patterns focused air conditioners use

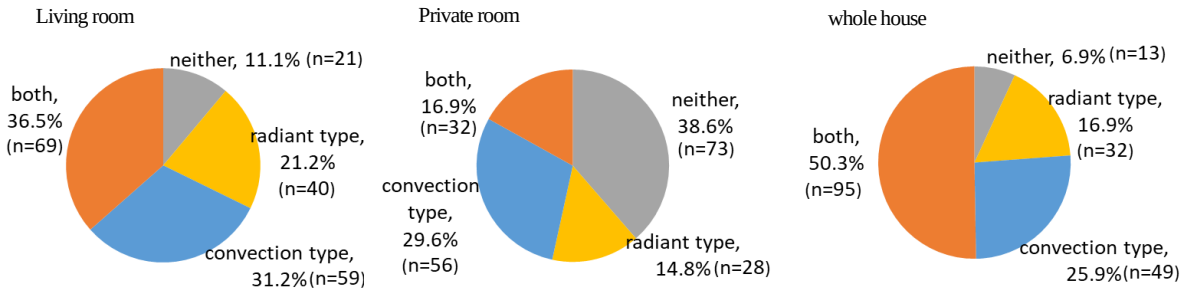


Fig.4　Heating equipment usage patterns divided into convection type and radiant type

5. 1. 2　対流式と放射式に分ける場合

暖房方式によって「対流のみ」、「放射のみ」、「両方使う」、「どちらも使わない」に分類し、Fig. 4 に出現率を示す。ここでエアコン、電気ファンヒーター、ガスファンヒーターは対流式に、こたつ、電気ストーブ、電気ラジエーター、ホットカーペット、電気座布団、電気毛布、電気床暖房、ガスストーブ、ガス床暖房、灯油ストーブは放射式に分類した。

居間でも住戸全体でも、対流式のみが放射式のみより多く、対流式と放射式を併用する場合が最も多い。住戸全体では半数以上が併用している。

5. 1. 3　電気式とガス式に分ける場合

暖房器具の燃料によって、「電気のみ」、「ガスのみ」、「電気とガスを併用」、「どちらも使わない」に分類する。灯油は無視する。Fig. 5 に出現率を示す。

居間でも個室でも住戸全体でも、「電気のみ」が約 6 割を占める。「ガスのみ」は、居間で 13.2%、住戸全体で 5.3%にすぎない。「電気とガスを併用」は、居間では 17.9%、住戸全体では 26.1%である。住戸全体は居間より、「ガスのみ」の割合が低く、「電気とガス併用」の割合が高い。

床暖房の所有率は 22.2%であるが、床暖房が単独で使われる割合は、居間で 4.8%、住戸全体で 1.6%である。床暖房が他の暖房器具と併用される割合は、居間でも住戸全体でも、単独で使われるよりさらに低い。

5. 1. 4　エアコン、電気式、ガス・灯油式、接触採暖器具、床暖房に分類する場合

A.エアコン、B.電気式：電気ストーブ、電気ファンヒーター、電気ラジエーター、C.ガス・灯油式：ガスストーブ、ガスファンヒーター、灯油ストーブ、D.接触採暖器具：こたつ、ホットカーペット、電気座布団、電気毛布、E.床暖房：電気床暖房、ガス床暖房の 5 分類とする

Fig. 6 に、居間と住戸全体における各分類の併用パターンの出現状況を示す。A~E の順で、「使用する」を「1」、「使用しない」を「0」として表記する。居間でも住戸全体でも、「エアコンのみ」（10000）が最も高く、居間で 21.2%、住戸全体で 18.5%である。5%を超えるのは居間

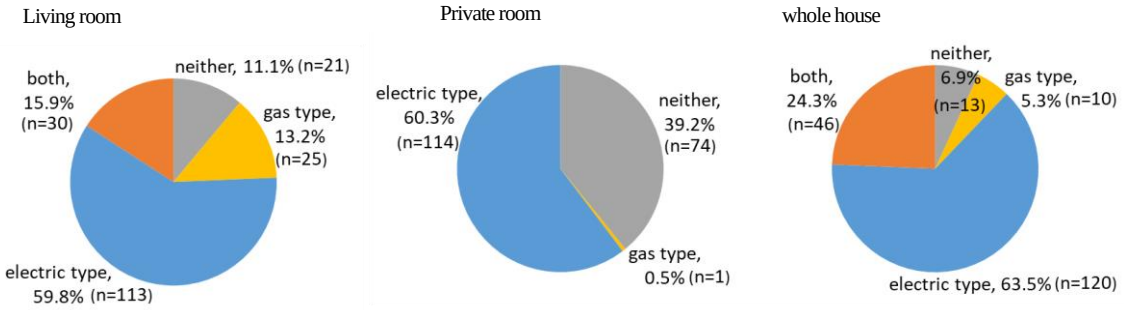
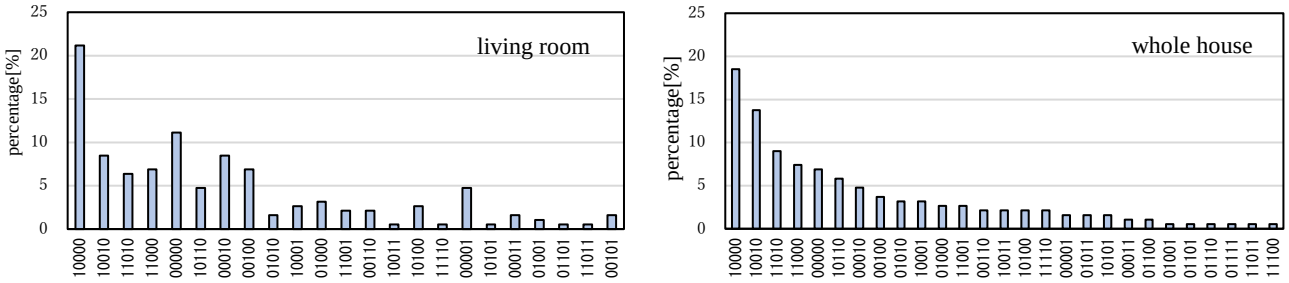
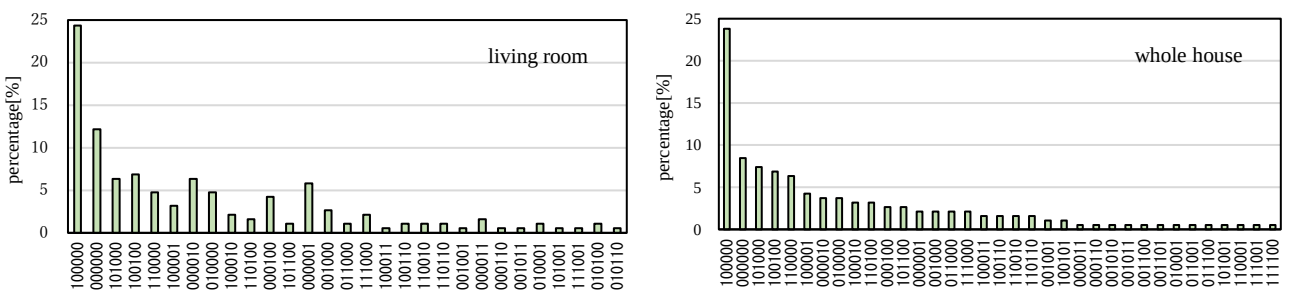


Fig.5　Heating equipment usage patterns divided into electric type and gas type



"Use" is denoted as "1" and "Do not use" is denoted as "0" in the following order: air conditioner, electric type, gas/kerosene type, contact warmer, and floor heating.

Fig.6　Heating equipment usage patterns divided into type A-E



"Use" is denoted as "1" and "Do not use" is denoted as "0" in the following order: air conditioner, kotatsu, electric stove, electric carpet, gas fan heater, and gas floor heating.

Fig.7　Main six heating equipment usage patterns

で 7 パターン、住戸全体で 6 パターンである。

接触採暖器具が単独で使われる割合は、居間 8.5%、住戸全体で 4.8%である。接触採暖器具は居間ではエアコンと併用が 8.5%、エアコン＋電気暖房器具と併用が 6.4%である。住戸全体ではエアコンと併用が 13.8%、エアコン＋電気暖房器具と併用が 9.0%である。接触採暖器具が単独で使われることは少ないが、エアコンやその他の暖房器具と併用される場合は多いと言える。

5.2 主な 6 種類の暖房器具の併用パターン

居間における使用率が 10%を超えるエアコン、こたつ、電気ストーブ、ホットカーペット、ガスファンヒーター、ガス床暖房の 6 種類の暖房器具を「主な暖房器具」とし、その併用パターンの出現状況を Fig.7 に示す。居間でも住戸全体でも、「エアコンのみ」が突出して多いものの、２割強にとどまる。エアコンは、ホットカーペットや電気ストーブなどと併用されている。

6 種類の暖房器具をいずれも使わないのは、居間で 12.2%、住戸全体で 8.5%である。暖房使用時間すべて未回答の 5 人を除くと、居間で 9.8%、住戸全体で 6.0%である。

住戸全体のほうが居間より併用パターンが多く、個々のパターンの割合が低く、分布が分散している。

６．暖房器具の使用類型

暖房器具の使用類型は、Fig.7 の住戸全体における主な 6 種類の暖房器具の併用パターンを用いて決める。Table.1 に、暖房使用類型の器具併用パターンと出現率を示す。「使用する」を「1」、「使用しない」を「0」として併用パターンを表記する。

W1- エアコン（AC）のみを使用(n=45、23.8%)、W2-AC にこたつ又はホットカーペットを併用(n=31、16.5%)、W3-AC に電気ストーブ又はガスファンヒーターを併用(n=20、10.6%)、W4- AC に他 2 種類以上を併用(n=19、10.0%)、W5- ガス床暖房を使用（ガス床暖房以外の暖房器具を使う場合も含む）(n=27、14.3%)、W6- AC を使わずこたつ又はホットカーペットを使用(n=12、6.3%)、W7-AC を使わず電気ストーブ又はガスファンヒーターを使用(n=12、6.3%)の W1～W7 の 7 類型に分類する。7 類型以外の「その他」について、「何も使わない」と「AC を使わず W6 と W7 の器具の両方を使う」に分ける。

以上の類型は、W1 の「AC のみ」、W2、W3、W4 の「AC とその他併用」、W5 の「ガス床暖房使用」、W6、W7 の「AC を使わない」とその他に集約することができる。

７．まとめ

大阪市の家族向き集合住宅を対象に 2021 年春に調査を行い、189 人の暖房器具の使用状況を調べた結果、居間における使用率が 10%を超えるエアコン、こたつ、電気ストーブ、ホットカーペット、ガスファンヒーター、ガス床暖房の 6 種類の暖房器具を「主な暖房器具」として、その併用状況により以下の 7 類型が抽出できた。1）エアコン暖房のみ使用（出現率 23.8%）、2）エアコン暖房にこたつ又はホットカーペットを併用（同 16.5%）、3）エアコンに電気ストーブ又はガスファンヒーターを併用（10.6%）、4）エアコンに他 2 種類以上を併用（10.0%）、5）ガス床暖房を使用（14.3%）6）エアコンを使わずこたつ又はホットカーペットを使用（6.3%）7）エアコンを使わず電気ストーブ又はガスファンヒーターを使用（6.3%）。

参 考 文 献

1）内閣府：消費動向調査、2021 年、2）孫琳ら、空衛・近畿、A-46、2019 年、3）孫琳ら、空衛・近畿、A-42、2020 年、4）江本ら、日本建築学会技術報告集、16 巻 33 号、pp.585-588、2010 年

Table.1 Clusters according to the status of use of heating equipment

cluster	percentage [%]	air conditioner	kotatsu heater	electric stove	hot carpet	gas fan heater	gas floor heating
W1	23.8	○	×	×	×	×	×
W2	16.5	○	○	×	×	×	×
		○	×	×	○	×	×
		○	○	×	○	×	×
W3	10.6	○	×	○	×	×	×
		○	×	×	×	○	×
W4	10.0	○	×	○	○	×	×
		○	○	○	×	×	×
		○	×	×	×	×	×
		○	×	×	○	○	×
		○	○	×	○	○	×
		○	○	○	○	×	×
W5	14.3	–	–	–	–	–	○
W6	6.3	×	○	×	×	×	×
		×	×	×	○	×	×
W7	6.3	×	×	×	×	○	×
		×	×	○	×	×	×
		×	×	○	×	○	×
others	14.3	×	○	○	×	×	×
		×	×	×	○	○	×
		×	×	○	○	×	×
		×	○	○	○	×	×
		×	×	×	×	×	×
		×	○	○	×	×	×

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

地下街入場者数の時間変化の特徴の分析

Analysis of Characteristics of Time Change in The Number of Underground Street Visitors

黒川 遥輝(神戸大学)　竹林 英樹(神戸大学)
Haruki KUROKAWA*1 Hideki TAKEBAYASHI*1
*1 Kobe University

The Sannomiya Underground Street is used for commuting to school, commuting, and leisure. In this study, we analyzed the actual measurement data of the number of underground passage visitors and examined the characteristics of time change. As a result, the human flow data measured in the underground mall had the possibility of effective use for efficient air conditioning planning and operation, store sales strategy, event attracting customers strategy, etc.

はじめに

本研究の対象施設である三宮地下街は，JR，阪急，阪神，ポートライナー，市営地下鉄の三宮駅や，高速バス，路線バス乗り場などの主要公共交通機関に接続している．従って，地下街内の商業施設の利用者だけでなく，各駅や周辺の商業施設などを結ぶ連絡通路として通学・通勤・レジャーなどの利用者にも利用されている．その利用状況は，利用者の特性とともに，降水や気温などの気象条件の影響も受けていると想定される．それらの要因は，地下街の空調，店舗の営業，イベントにも影響を与る．そのため，地下街で計測された人流データには，効率的な空調計画や運用，店舗の営業戦略，イベントの集客戦略などへの有効活用が期待される．

佐土原ら[1]は，屋内公共空間において人の行動を人流センサで計測し，歩行者数，歩行速度やばらつき，歩行方向の混在度などを分析した．歩行速度は曜日とエリア，歩行者数はイベントに関係することを示した．

金子ら[2]は，大型商業施設においてAIを用いて人流，客層を計測，予測し，空調設備のフィードフォワード制御により空調過剰運転によるエネルギーロスの削減を検討した．エリア毎の在館人数予測に基づいて外気負荷を低減し，快適性を保ったまま省エネルギーを実現している．

早川ら[3]は，人流・気流センサを用いた屋外への開放部を持つ空間の空調制御手法を検討した．三宮地下街の公共通路部分をグリッドに分割し，設置したLRFによる人流データをもとに，ニューラルネットワーク法によって人流を予測した．予測された人流に基づいて各グリッドへの吹出風量を制御し，通常運転を行った基準日から42.5%の電力消費量削減効果を示した．外気を最大限利用した場合は44.6%の削減効果を示した．

本研究では，新型コロナウイルス感染拡大前から拡大後までの長期間において，地下街通路入場者数の実測データを分析し，時間変化の特徴を考察した．

1. 分析の概要

1.1 分析対象施設の概要

本研究では，神戸市中央区三宮地下街を対象とした．対象施設の概要をTable.1に示す．検討対象は南北 180m の公共通路で，周辺の主要施設に接続している．地下街通路の地図をFig.1に示す．

Table. 1 Outline of objective area

Total floor area [m^2]	19,109
Passage area [m^2]	2,622
Service (Passage)	6:00~24:00

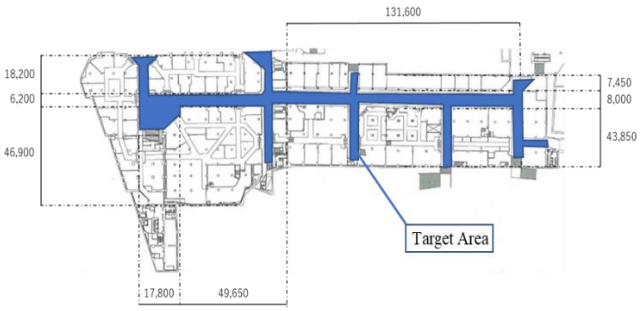


Fig. 1 Passage area

1.2　測定概要と分析期間

地下街通路への入場者数の計測に用いたカメラの設置位置を Fig.2 に示す．Fig.2 の A～G で計測された人数の合計を地下街の入場者数とする．分析期間は，2018 年 7 月 27 日から 2020 年 9 月 20 日までの 787 日間のうち，データ欠損のある 103 日を除いた 684 日間である．

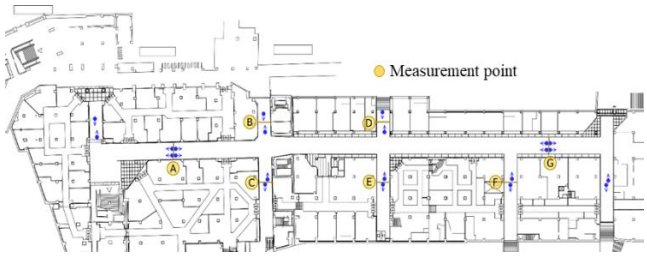


Fig. 2 Measurement point

1.3　分類方法

まず，6：00～24：00 の 18 時間の地下街通路入場者数を 15 分毎の 72 次元の多変量データとみなし，主成分分析を行う．出発行列には相関行列を用いた．固有値が 1 以上になる主成分を採用する．その結果，累積寄与率が高くなり，72 個の変数のばらつきの大部分は少数の主成分で説明される．次に主成分得点を計算し，その得点を用いて階層クラスター分析を行う．サンプル間距離にはユークリッド距離を用い，グループ間平均連結法により分類する．得られたデンドログラム（樹形図）より，3～10 個のグループ数となるように一定の距離で線引きを行い，グループに分類した[4)]．

2. 入場者数の分類と考察

2.1　クラスター分類の結果

9 つのクラスター毎の分類日数を Table.2 に示す．クラスター毎の特徴を考察するために，曜日（平日，休日，祝日），季節（春，夏，秋，冬），雨（有，無），新型コロナウイルス感染拡大(前，後)との関係を Table.3 に整理した 5)．合計 684 日のうち 647 日 (94.6%) がクラスター1，2，3 に集中している．そして曜日，新型コロナウイルス感染拡大の項目（Table.3 の赤字）にクラスターの違いが顕著に表れた．

Table. 2 Number of classification days per cluster

Cluster1	87days (12.7%)
Cluster2	198days (28.9%)
Cluster3	362days (52.9%)
Cluster4	4days (0.6%)
Cluster5	1days (0.1%)
Cluster6	11days (1.6%)
Cluster7	13days (1.9%)
Cluster8	4days (0.6%)
Cluster9	4days (0.6%)
Total	684days (100%)

Table. 3 Number of days per cluster

	Day			Season				Rain		Pandemic	
	Work week	Weekend	Holiday	Spring	Summer	Autumn	Winter	Absence	Presence	Before	After
1	67	10	10	42	16	19	10	50	37	25	62
2	19	145	34	26	62	56	54	120	78	167	31
3	362	0	0	59	103	111	89	193	169	305	57
4	0	3	1	1	2	0	1	3	1	4	0
5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
6	0	11	0	3	4	2	2	1	10	11	0
7	13	0	0	1	1	1	10	9	4	13	0
8	1	3	0	0	0	0	4	4	0	4	0
9	0	4	0	0	0	0	4	3	1	4	0

2.2　クラスター1，2，3 の分析

Fig.3 にクラスター1，2，3 の平均入場者数の時間変化を示す．平日のクラスター1，3 は時間変化の特徴がほぼ同じで，朝と夕方に通勤，通学のピークが確認

される．ピーク時の入場者数は，緊急事態宣言後のクラスター1 は約 1,000 人，宣言前のクラスター3 は約 2,500 人であり，緊急事態宣言により約 6 割減少したが時間変化の傾向は変化しない．休日・祝日のクラスター2 では，15：30～15：45 に約 2,500 人のピーク入場者数となり，緊急事態宣言前の平日のクラスター3 の朝と夕方のピーク入場者とほぼ同じである．休日・祝日では，緊急事態宣言前後の区分が明確に表れなかった．

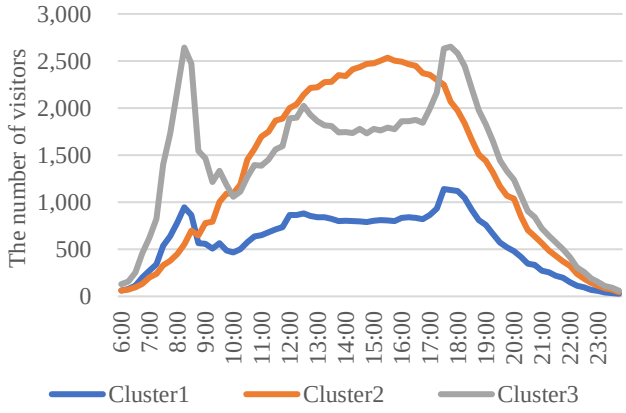


Fig. 3 Time change in the average number of visitors to the cluster1～3

2.3　クラスター4~9 の分析

クラスター4 は，全て緊急事態宣言前の休日・祝日であり，みなとこうべ海上花火大会が 19：30～20：30 に神戸ルミナリエが開催され（点灯時間 17：00～21：30），078 という参加型フェスティバルが 11：00～21：00 に開催された．休日・祝日のクラスター2 とクラスター4 の平均入場者数の時間変化を Fig.4 に示す．大規模イベントの影響で午後から夕方以降にかけてクラスター4 の入場者数が増加した．クラスター5 は午後から大規模な台風 20 号が神戸市を直撃した．平日のクラスター3 とクラスター5 の平均入場者数の時間変化を Fig.5 に示す．台風の影響により夕方以降の入場者数が大幅に減少した．クラスター6 は，全て休日である．11 日中 10 日は降雨が確認され 10 日中 6 日は日中に降雨があった．休日・祝日のクラスター2 とクラスター6 の平均入場者数の時間変化を Fig.6 に示す．降雨の影響で日中の入場者数が増加したと考えられる．クラスター7 は，全て平日である．13 日中 10 日が神戸ルミナリエの開催日である．緊急事態宣言前の平日のクラスター3 とクラスター7 の平均入場者数の時間変化を Fig.7 に示す．神戸ルミナリエの影響により夕方から夜間の平均入場者数が大幅に増加した．クラスター8 は，全て神戸ルミナリエの開催日である．4 日中 3 日間は休日である．休日・祝日のクラスター2 とクラスター8 の平均入場者数の時間変化を Fig.8 に示す．神戸ルミナリエの影響により夕方から夜間の平均入場者数が大幅に増加した．クラスター9 は全て神戸ルミナリエの開催日である．休日・祝日のクラスター2 とクラスター9 の平均入場者数の時間変化を Fig.9 に示す．神戸ルミナリエの影響により夕方から夜間の平均入場者数が大幅に増加した．

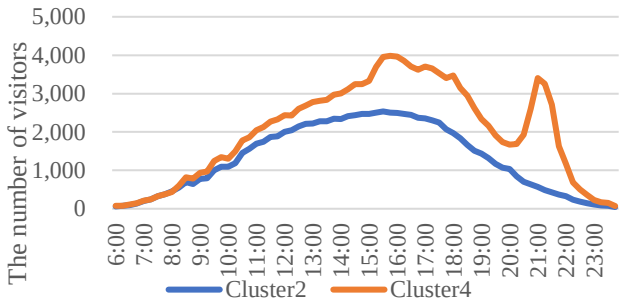


Fig. 4 Time change in the average number of visitors to the cluster2，4

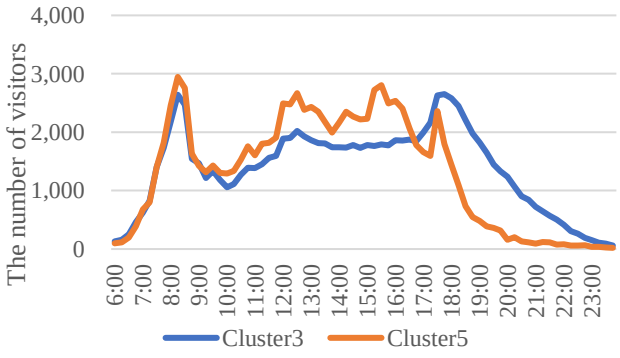


Fig. 5 Time change in the average number of visitors to the cluster3，5

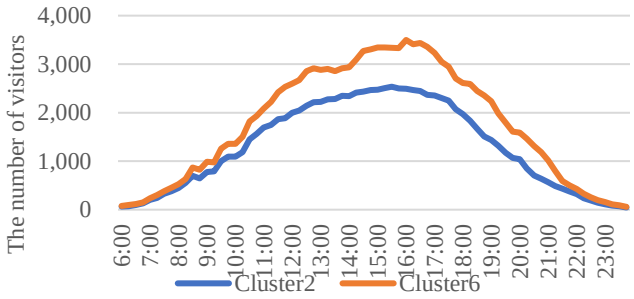


Fig. 6 Time change in the average number of visitors to the cluster2，6

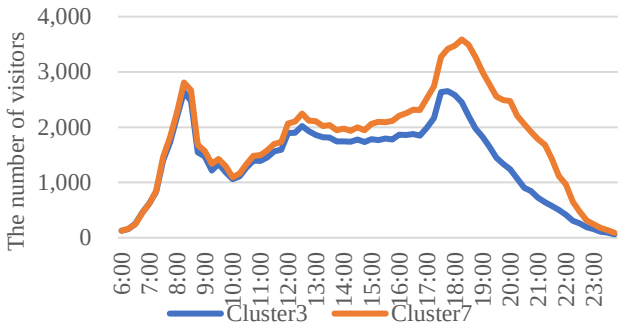


Fig. 7 Time change in the average number of visitors to the cluster3，7

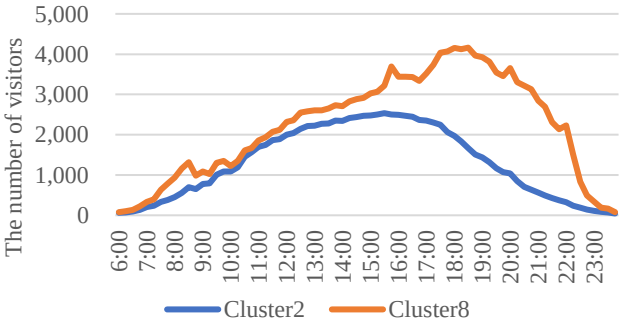


Fig. 8 Time change in the average number of visitors to the cluster3，5

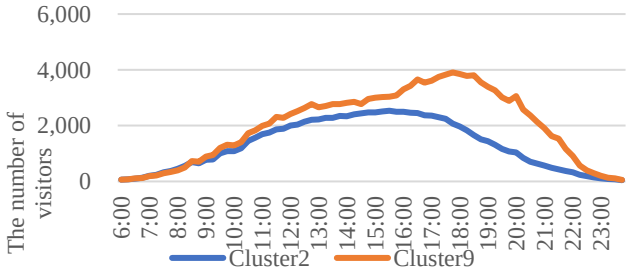


Fig. 9 Time change in the average number of visitors to the cluster2，9

3. 結論

本研究では，入場者数の時間変化は大きく 3 つに分類された．新型コロナウイルス感染拡大前の平日，拡大後の平日，休日・祝日である．感染拡大後の平日は，入場者数が 6 割減少したが，時間変化の特徴は変化しなかった．地下街周辺で開催された大規模イベントの影響で特定の時間に入場者数が大きく増加する様子が考察された．降雨や台風などの気象条件の影響も確認された．入場者数の時間変化の特徴は，入場者数の増減に合わせた効率的な空調計画や店舗の営業戦略，イベントの集客戦略などに有効活用できる可能性がある．

謝辞

本研究は，2017 から 2020 年度の「環境省 CO_2排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業」として「人流・気流センサを用いた屋外への開放部を持つ空間の空調制御手法の開発・実証」の一環として実施した．協力頂いた関係者の皆様に謝意を表します．

参 考 文 献

1) 佐土原聡，谷光清，佐藤裕一，地球環境未来都市研究 その 58 屋内公共空間におけるミクロスケールの人流計測結果の解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-I，2243-2244，2020

2) 金子研，橋本達也，廣川純一，AI による解析を利用した快適性を損なわない省エネルギー空調方式の提案と検証，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集第 6 巻，293-296，2020

3) 早川慶朗，竹林英樹，鈴木義康，進藤宏行，鶴見隆太，人流・気流センサを用いた屋外への開放部を持つ空間の空調制御手法の開発・実証，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-II，1211-1212，2019

4) 柳井晴夫，丸井英二 多変量解析ハンドブック，株式会社現代数学社，70-80，224-242，1986

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

寝室における就床前の冷房使用が寝室の温熱環境および睡眠の質に及ぼす影響

Effects of using air conditioning before bedtime on thermal environment and sleep quality in bedrooms

○吉 見　周（大阪市立大学）　　梅 宮　典 子（大阪市立大学）
Shu YOSHIMI*1　Noriko UMEMIYA*1
*1　Osaka City University

For this study, we used data from 1176 nights of surveys administered to 168 residents of an apartment complex in Osaka City from 2015 to 2017 and 2019. The survey included sleep quality using the OSA sleep questionnaire, behavioral records at 30-min intervals (regarding use of air conditioning and opening and closing of windows), and bedroom temperature at 10-min intervals. This study analyzed changes in the thermal environment from 2 hr before bedtime to 4 hr after bedtime. The purpose was clarification of air conditioning use effects before bedtime on 1) sleep quality, 2) thermal environment, and 3) temperature sensitivity, and to identify conditions for good sleep.

１．背景と目的

熱帯夜が増加する中で[文1)]、夏季寝室の温熱環境調節は容易ではなく、冷房だけでは解決できない。筆者ら(2020)は、夏全体の大阪の集合住宅での実態調査に基づき、温熱環境調節パターンや寝室の方位、温熱環境の時間変化や睡眠の質を分析し、1)出現頻度は(ｱ)全時間冷房のみが22.3%で、(ｲ)全時間通風のみが14.3%で、(ｳ)冷房一時使用のみが12.1%、2)(ｱ)(ｲ)ともに就床時からのWBGTの上昇が小さいほど睡眠の質は高い、3)西向き寝室で(ｱ)なら、終夜他の向きの寝室よりもWBGTが高い推移を示す。などを明らかにしている。[文2)] このように既往研究では、睡眠全体に着目した研究がされており、就床前の寝室の温熱環境と睡眠の質や睡眠中の温熱環境との関係についての研究はほとんどされていない。そこで本研究では、就床前の冷房使用に着目して、1)睡眠の質、2)温熱環境 3)温冷感、への影響を分析し、良い睡眠を得るための就床前の冷房使用の条件を明らかにすることを目的とする。

２．方法

大阪都市部の集合住宅を対象とし、各住戸連続7日、寝室温度は10分間隔、湿度は就床前と起床時に記録した。居住者には冷房や扇風機の使用、窓開・閉、寝室の在室、睡眠の30分間隔の記録と、起床時の前晩の睡眠の質5段階15尺度（OSA）と熟睡感や温熱感覚を申告してもらった。7月末から9月中旬に2015年44戸308晩、2016年37戸259晩、2017年58戸406晩、2019年29戸203晩のうち、測定中に1)ストレス「非常にあった」、2)健康状態「不良」、3)2歳以下の子供と就寝、4)OSA総合得点の97.5%タイル値（62.4点）以上と2.5%タイル値（35.2）以下の晩、5)睡眠時間が3時間以下、就寝時間が20時以前、起床時間が3時以前の極端な睡眠をしている晩、を除いた815晩について分析した。盛夏期である8月15日前後は少ないが、夏全体にわたってほぼ偏りなく分布している(Fig.1)。

3．分析対象の構成

分析対象は25～88歳、平均58.1±16.3歳の男性50名（41.0%）、女性72名（59.0%）である。（Fig.2）。冷房使用晩数（出現率）は、396晩（48.5%）である。温熱環境調節行為としての冷房使用、窓開放、扇風機使用の各3種類について、就床から4時間までの時間に対する行為の時間率「全時間(○)」「一時(△)」「不使用(×)」の3段階をかけた計27パターンについて、全時間冷房使用が316晩（38.7%）、冷房一時使用が80晩（9.8%）。冷房を使用した晩の中でも就床前から冷房を使用していた晩は、全時間冷房使用で267晩（85.0%）、冷房一時使用で49晩（64.5%）である。(Fig.3、Fig.4) 睡眠の質を表すOSA得点は、60～62.4点が42晩（5.0%）、55～59点が89晩（10.5%）、50～54点が230晩（27.1%）、45～49点が276晩（32.6%）、40～44点が152晩（17.9%）、35.2～39点が59晩（7.0%）である。(Fig.5) 就床時刻の平均は、23：20±1：24で、起床時刻は、6：27±1：21で、睡眠時間は7時間7分±1時間36分である。(Fig.6 Table.1)

４．就床前の冷房使用

本報は、就床前の冷房使用についての分析を行うので、全時間冷房使用の晩の就床前2時間から就床後4時間までの室温の変動について分析する。

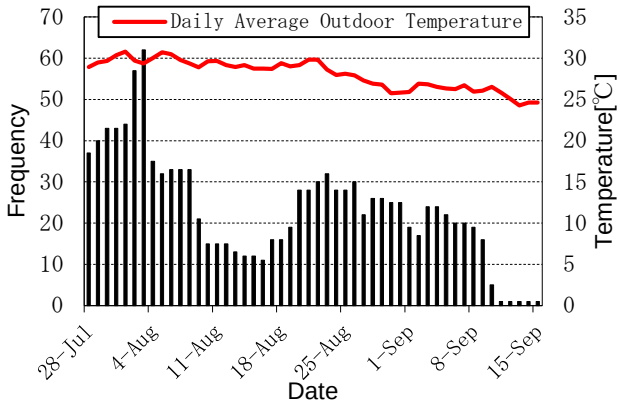


Fig.1 Daily mean outdoor temperature and measured periods

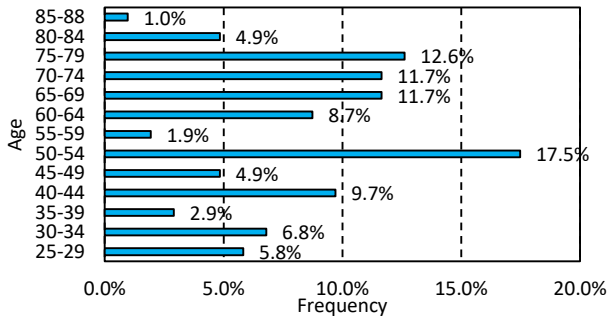


Fig.2 Age propotion

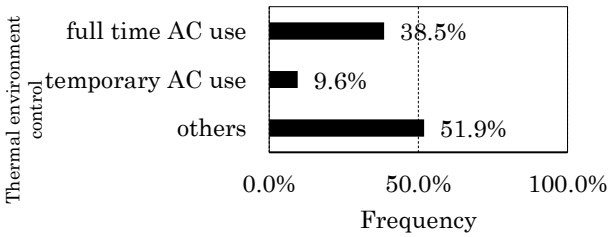


Fig.3 Frequency distribution of cooling use during sleep

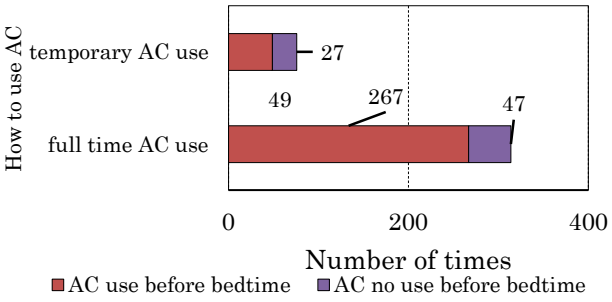


Fig.4 Cooling bedrooms before bedtimes

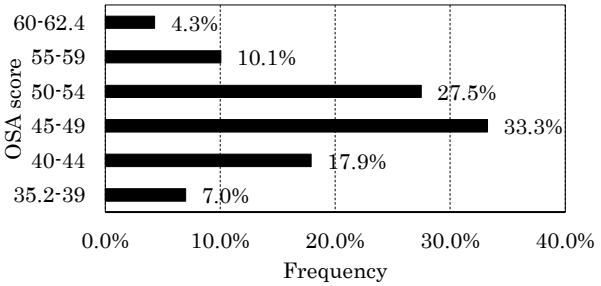


Fig.4 Frequency distribution of OSA total score

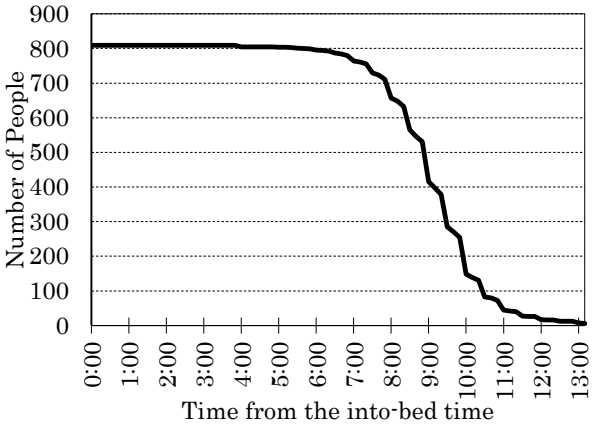


Fig.6 Changes of number of sleepers

Table.1 Bedtime, wake-up time and Sleep Duration

	Into-bedtime	wake-up time	Sleep Duration
Average	23:27	6:31	7:06
s. d.	1:09	1:17	1:17
Min	20:30	3:20	3:10
Max	4:00	13:20	13:20

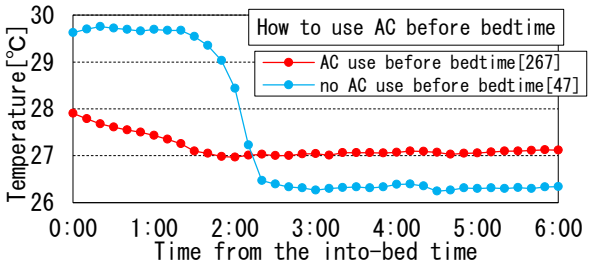


Fig.6 Temperature changes since 2hours before beginning sleep and how to use AC before bedtime

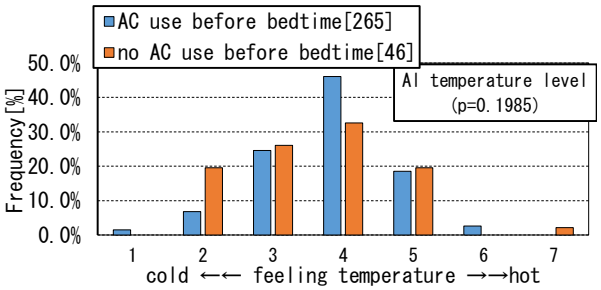


Fig.7a Thermal sensation by AC use before bedtimes

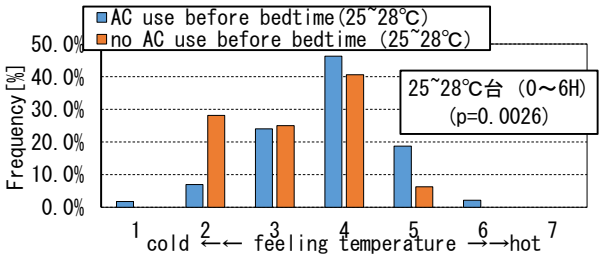


Fig.7b Thermal sensation by AC use before bedtime(for mean bedroom temperature of 25~28℃ during 0~6H)

5. 就床前の冷房使用の有無による温熱環境の変化

冷房使用開始から設定温度まで下降するまでにかかる時間は約1時間程度であるので、本研究では「就床前ACあり（以下ACあり）」を就床の1時間以上前から就床時まで寝室で冷房を使用していることと定義する。なお、寝室とは用途が固定された室とは限らず、居間が寝室になる場合もある。「ACあり」は「就床前ACなし（以下ACなし）」と比べて、就床2時間前から就床から4時間後までの全体での気温の変動が少ない。「ACなし」は就床前30分から急激に下降し、「ACあり」より約0.5℃低い。(Fig.6)冷房設定温度は「ACあり」27.4℃、「ACなし」27.1℃で差はない(p=0.1180)(図略）。

6. 就床前の冷房使用による温冷感の変化

温冷感は、1が寒い側7が暑い側で、一晩に対する評価である。温冷感の平均値は、温度レベルを考慮しない場合「ACあり」が3.81、「ACなし」が3.60で有意な差はない（p=0.1985）(Fig.7a)、就床2時間前から就床後4時間までの室温平均値で出現率が全体の84.1%を占める主要な温度帯である25～28℃台に限定すると「ACあり」が3.80、「ACなし」が3.25で「あり」の方が暑い(p=0.0026)(Fig.7b)。これは、暑い晩には就床前から冷房を使うことが多かったためと考えられる。あるいは、「ACなし」は就床と同時または直前に冷房を開始しており就床後の温度の低下幅が大きいため、就床2時間前から就床後4時間までの室温平均値が同程度であっても涼しく感じたためと考えられる。

7. 就床前の冷房使用と睡眠の質の関係

7.1 OSA総合得点 OSA総合得点の平均点は、「ACあり」が48.30点、「ACなし」が47.53点であり、「ACあり」の方が高いが、有意な差はない(p=0.3857)。出現率84.1%を占める主要な温度帯（0～6Hの平均気温が25～28℃台）に限定しても有意な差はない(p=0.7087)(Fig.8a, b)。すなわち、就床後4時間の全時間にわたって冷房を使用する場合、就床の1時間以上前からの冷房使用の有無は一晩のOSA総合得点には影響しない。

7.2 OSA各因子得点 **a)第一因子（起床時眠気）** 平均値は、「ACあり」が47.52点、「ACなし」が47.63点で有意な差はない(p=0.9223)。**b)第二因子（入眠と睡眠維持）** 平均値は、「ACあり」が47.61点、「ACなし」が47.08点で有意な差はない(p=0.6916)。 **c)第三因子（夢み）** 平均値は、「ACあり」が49.88点、「ACなし」が46.96 点で就床前に冷房を使用したほうが有意に睡眠の質が高い（p=0.0454)。 **d)第四因子（疲労回復）** 平均値は、「ACあり」が47.71点、「ACなし」が48.34点で有意な差はない(p=0.5525)。 **e)第五因子（睡眠時間）** 平均値は、「ACあり」が46.79点、「ACなし」が45.72点で有意な差はない(p=0.4695)。(Fig.8c)

以上より、就床前の冷房使用はOSA得点の中でも第三因子（夢見因子）にのみ影響すると言える。

7.3 総合的な睡眠の質「総合的な睡眠の質」として「1非常に良かった」「2 良かった」「3 悪かった」「4 非常に悪かった」の4段階で尋ねた。平均値は、「ACあり」が2.03、「ACなし」が2.09で有意な差はない(p=0.5842)（図略）。就床の1時間以上前からの冷房使用の有無は一晩の睡眠の質にほとんど影響しないと言える。

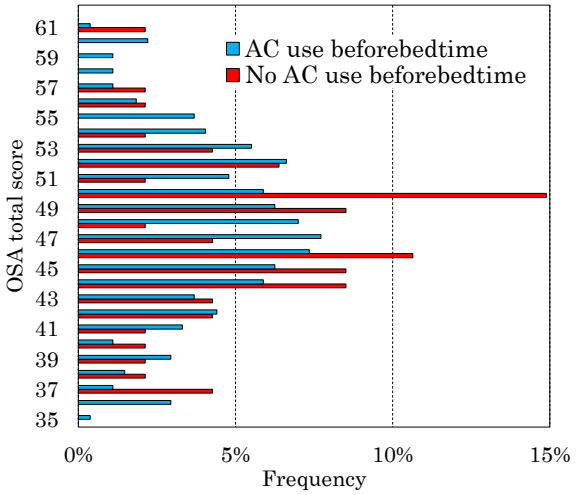


Fig.8a OSA score and how to use AC before bedtime

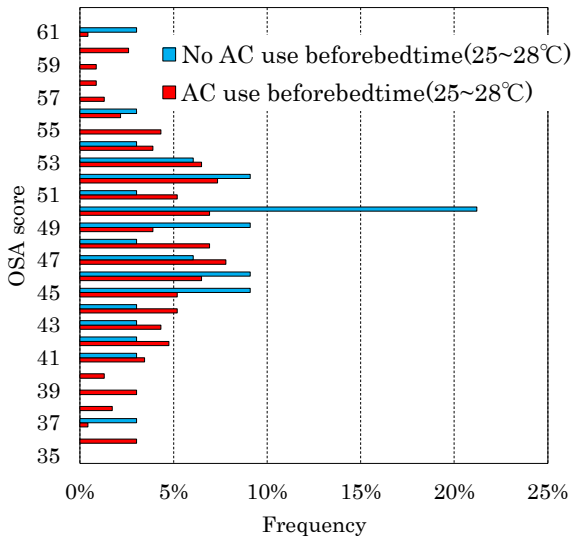


Fig.8b OSA score and how to use AC before bedtime

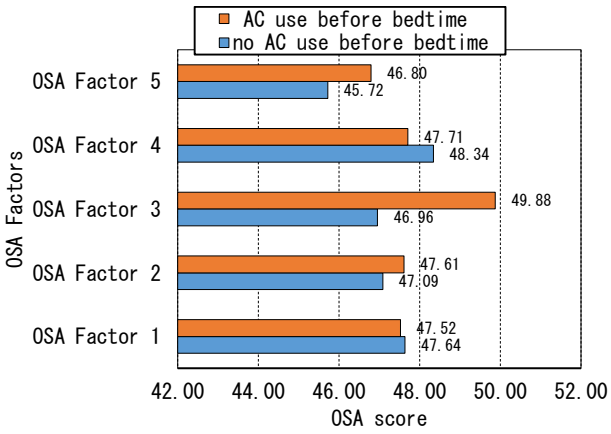


Fig8c OSA factor score by AC use before bedtimes

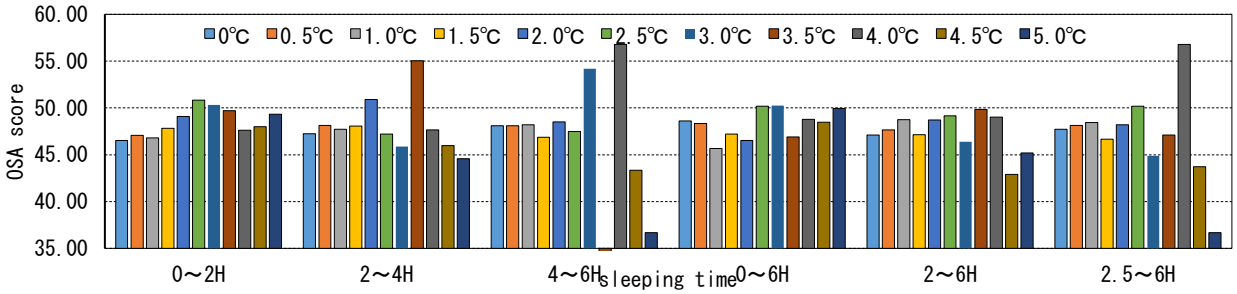


Fig.9c OSA score and temperature change

8. 就床前の室温の変動幅と睡眠の質の関係

就床前の冷房によって室温が急に下がることの睡眠の質への影響を検討するために、Fig.9a に就床 2 時間前から就床まで（0～2H）における寝室気温の低下幅（最大値－最小値）ごとの 0～2H の寝室気温の平均値の分布を、Fig.9b に 0～2H の寝室平均気温と OSA 総合得点の平均値、標準偏差の関係を示す。

Fig.9b から、温度帯ごとで OSA 総合得点の平均値は変わるが、Fig.9a によると 0～2H における寝室気温の低下幅 0℃から 2.5℃に対する 0～2H における寝室気温平均値の分布は、低下幅による偏りがない。また、低下幅 0℃から 2.5℃に対する 0～2H における寝室気温の平均値は、27.4℃から 28.0℃のあいだに分布しており、差がない。よって、0～2H の寝室気温の平均値の高低と低下幅は関係がないと言える。

Fig.9c は、就床の 2 時間前を 0 として、各時間帯における寝室気温の低下幅ごとの OSA 総合得点の平均値を示す。「0～2H」では、低下幅が大きくなるにつれ OSA 総合得点が高くなり、低下幅 2.5℃のとき最高になる。0-2H 以外の時間帯では、低下幅と OSA 得点に一定の関係はない。よって就床前 2 時間の室温の低下幅は睡眠の質に影響を及ぼすと言える。一方、7.で述べたように就床 1 時間前からの寝室気温の急激な低下は睡眠の質に影響を及ぼさない。新井ら（2005）は、室温を V 字型に制御するほうが一定に保つより深部体温を大きく低下させて深い睡眠を誘導できること[文3)]、垣鍔ら（2011）は体温のサーカディアンリズムを考慮して就寝時の室温を変化させる方が一定に保つより睡眠の質がよいこと[文4)]をいずれも実験から明らかにしている。本報では、就寝前 2 時間の間に寝室を冷房して気温を 2.5℃下げる場合に睡眠の質が最もよいことを実態調査から明らかにした。

9. 結論

大阪市の集合住宅居住者 123 名の 815 晩を対象に夏季に寝室の温湿度実測と申告調査を行い、就床前の冷房使用と前の晩に関する睡眠の質や温熱環境や温冷感との関係を分析した。1)就床から 4 時間の全時間にわたって冷房を使用した 316 晩のうち 267 晩（85.0%）が就床の 1 時間以上前から寝室を冷房している。就床から 4 時間の全時間にわたって冷房を使用した晩について、2)就床の

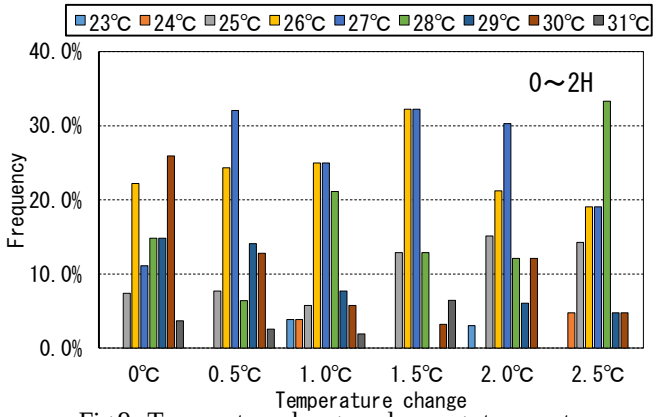


Fig.9a Temperature change and average temperature

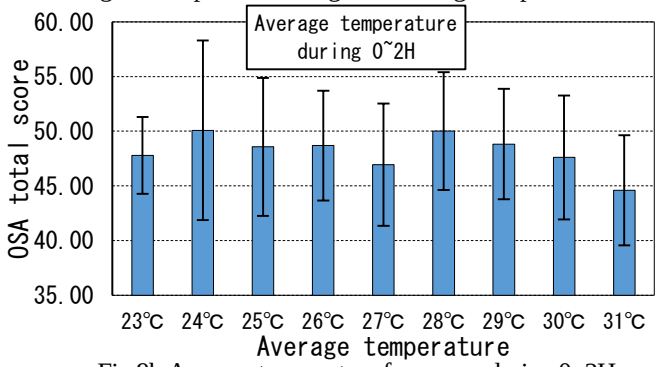


Fig.9b Average temperature frequency during 0~2H

1 時間以上前から寝室で冷房を使用した晩は使用しない晩より、就床後の室温が高い、3）就床前 2 時間から就床後 4 時間のあいだの室温の平均値が 25～28℃台の晩に限定すると、就床前に冷房を使用した晩のほうがしない晩より「暑い」、4）OSA 総合得点は、就床の 1 時間以上前から寝室で冷房していた晩はしていない晩と差がないが、夢見因子の得点は使用した晩のほうが有意に良い、5)就床の 2 時間前から就床までの寝室気温の低下幅が 0℃から 2.5℃の範囲においては、低下幅が大きい晩ほど OSA 総合得点が高い。

注 注 1）測定日は 18 時開始で定義し、前日の 0 時開始の外気象データと対応させる。湿度は就床時と起床時の平均。

文献 1)気象庁 http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html, 日常生活における熱中症予防指針 令和 2 年 12 月 6 日閲覧 2) 吉見ほか、方位による夏季の寝室の温熱環境、温熱感覚、および睡眠の質の比較、空・衛・近畿、A-51、2021 年 3)新井ほか、温熱環境制御による快眠誘導 睡眠中の環境温度の動的制御による「深部体温」、「睡眠深度」コントロール、日本生理人類学会誌 Vol.10 特別号(1) 第 53 回大会要旨集、24-25、2005 年 6 月 4)垣鍔ほか、体温のサーカディアンリズムを考慮した夏期の睡眠時の温熱環境条件の評価、日本生理人類学会誌 Vol.15,No.3、57-63、2010 年 8 月

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

夏季における温熱環境、温熱環境調節、温熱感覚、および睡眠の質の週別推移
Weekly Variation of Thermal Environment, Thermal Control Use, Thermal Comfort, and Sleep Quality during Summer

○盛 国 菜 穂（大阪市立大学）　梅 宮 典 子（大阪市立大学）
吉 見 周（大阪市立大学）　朝 岡 勇 登（大阪市立大学）
Naho MORIKUNI*1 Noriko UMEMIYA*1 Shu YOSHIMI*1 Yuuto ASAOKA*1
*1 Osaka City University

Synopsis This survey assessed thermal environments, thermal control use, thermal comfort, and sleep quality based on questionnaires and weekly warm temperature surveys of 502 evenings in apartment houses of Osaka. 1) The rate decreases gradually at air conditioner (AC) use time. The rate changes parallel to natural ventilation (NV); it is approximately 10% lower at use of electric fan (EF) time. 2) The outdoor temperature is constant in relation to use of AC, but it gradually decreases use of NV. 3) The thermal sensation of AC changes to “neutral”; that of NV changes to “hot”. 4) A feeling of perspiration during AC use gradually changes to “no perspiration”. 5) Sleep quality associated with the use of AC tends to improve gradually, but that of NV has no tendency shown by the week.

１．背景と目的

夏季睡眠時の冷房使用に関して山形ら（2019）は、冷房使用日誌と寝室温熱環境の実測調査にもとづいて、睡眠時の冷房使用、通風利用、扇風機利用についてそれぞれ、睡眠中の全時間にわたって使用、一時的に使用、不使用の 3 通り、すなわち 3^3=27 パターンの出現状況を大阪市内の 6 階～15 階建ての RC 造片廊下型の家族向け集合住宅 63 住戸を対象に調べた。それによると、全時間冷房使用が 30.8%、一時的な冷房使用が 14.3%など就寝時に冷房を使用するパターンが 67.0%あるのに対し、全時間通風利用が 10.3%、全時間通風と扇風機を併用が 10.8%あり、通風も多く利用されている実態が明らかにされている[1)]。陳ら（2019）は 5 年間にわたる調査をもとに、寝室温熱環境、冷房使用や通風利用などの温熱環境調節の選択、睡眠の質（OSA 得点）や温冷感において、盛夏期と残暑期を比較して、1)盛夏期には通風利用が冷房使用より睡眠の質がよい、2)睡眠の質が温熱環境（SET*）と関係するのは、残暑期に冷房を使用した場合のみ、など、夏季の時期によって違いがあることを示している[2)]。

全国 13 地点における 1 地点あたり平均の熱帯夜数は、1910～1939 年の約 9 日と比べ、1991～2020 年では約 23 日と増加している[3)]。高温化によって睡眠の質の低下が懸念されるなかで、夏季に外気象をうまく利用して睡眠の質を確保するには冷房と通風をどう使い分ければいいのか。本報は、睡眠時の内外温熱環境、温熱環境調節、温熱感覚、および睡眠の質について、温熱環境調節のパターンも考慮して、週別の推移の実態を明らかにする。

２．方法

大阪市と堺市に立地する 6 階建て～15 階建ての RC 造片廊下型の家族向け集合住宅として協力者を募集し、2015 年 44 戸、2016 年 37 戸、2017 年 63 戸、2019 年 29 戸を対象として、寝室の温熱環境と冷房使用日誌を分析する。被験者は 7 晩にかけて各自寝室の頭部近傍に温湿度計を設置し、30 分単位で冷房、扇風機、窓開閉、寝室の在不在、睡眠を冷房使用日誌に記録し、起床時に前夜の温熱感覚や睡眠の質（OSA 睡眠調査票[4)]）を申告する。

本報では、入居 1 年以内、乳幼児と就寝、極端な夜型、温湿度計の設置位置が不適、測定された温熱環境と日誌の申告が明らかに異なる、などの晩を除き、73 戸の 502 晩を分析する。

３．調査対象の構成

3.1 回答者と調査対象住戸

年齢は平均 50.8 才、標準偏差 14.3 才、50 才台が最多で 26%を占める。男性は 37%、職業は有職 70.7%、無職 6.7%、専業主婦 16%である。住戸面積は 60.7±12.6 ㎡、居住階数は平均 6.0 階、標準偏差 3.5 階、住戸のベランダ方位は南 64%、東 18.7%、西 13.3%、北 4%、寝室の方位は、南 43.0%、東 18.1%、西 14.6%、北 15.1%である。築年は 1992 年以前（旧省エネ基準）44%、1992 年～1999 年以前（新省エネ基準）29.3%、1999 年～2019 年まで（次世代省エネ基準）26.7%である。

3.2 外気温の日別推移

図 1 に、5 年合計の調査期間と日平均外気温の 5 年平均値の日別推移を示す。外気温は 8 月 22 日まで横ばい

で、その後下降している。既報で陳らは8月22日までを盛夏期、23日以降を残暑期と区切っている[5]。本報では7月28日から8月3日までの第1週から9月8日から9月14日までの第7週まで、夏季を7週に区切る。

3.3 睡眠の質

図2にOSAの得点分布を示す。平均値はOSA総合48.7、起床時眠気48.7、入眠・睡眠維持47.8、疲労回復48.9である。OSA総合は45–50に集中しており、起床時眠気は50以上が多く、入眠・睡眠維持は50–55が最多であるが35–50にも多い。疲労回復はベル状に分布する。

3.4 温熱感覚

図3に起床時に申告した前晩の寝室温熱環境の評価の分布を示す。温冷感は「どちらでもない」が最も多い。熱的快適感は「快適」が最も多い。湿度感は「湿っている」が多いのに対し、発汗感は「かいていない」が多い。

3.5 温熱環境調節パターンの出現頻度

図4に、30分刻みで申告した冷房使用日誌にもとづいて、冷房、通風、扇風機について、睡眠時の全時間にわたって使用した場合を○、タイマーなどで一時的に使用した場合を△、使わなかった場合を×として、$3^3=27$通りの温熱環境調節パターンの出現頻度を多い順に示す。

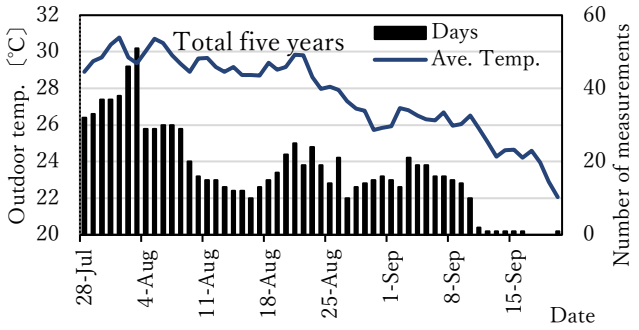


Fig. 1 Change of daily mean outdoor temperature and number of measurements

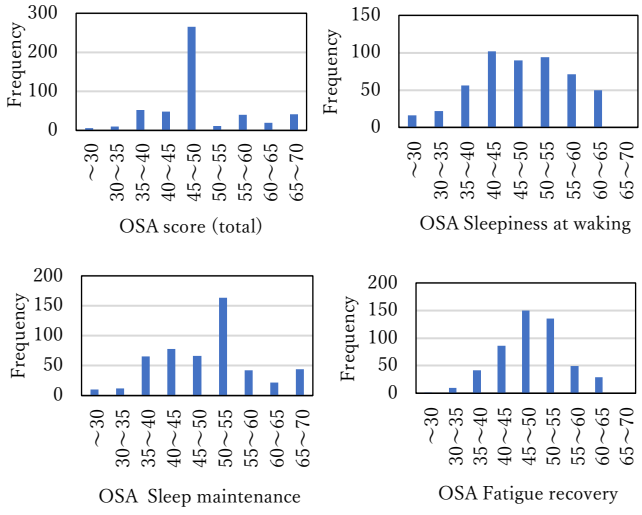


Fig. 2 Distribution of OSA scores

図の縦軸の記号は冷房、通風、扇風機の使用についてこの順に、全時間使用を○、一時使用を△、不使用を×として示している。例えば「○××」は冷房のみを全時間使用したパターンを表す。「○××」が最も多く、全体の約30%を占める。それに次いで「×○×」「△××」が多い。上位4つのパターンはいずれも扇風機が不使用である。

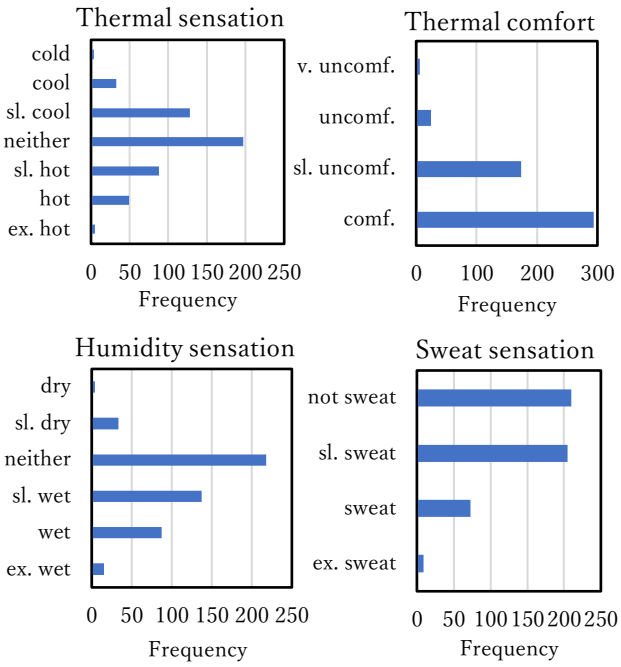


Fig. 3 Distribution of thermal sensation

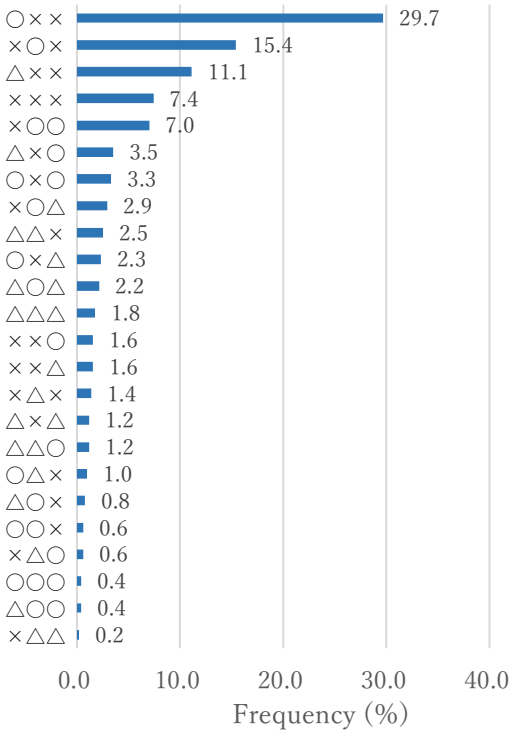


Fig. 4 Distribution of thermal control patterns

4．週別推移

4.1　温熱環境調節パターンの出現度数の週別推移

図 5 に、各週の測定晩数と、「○××：全時間冷房使用」、「×○×：全時間通風利用」、「○××：全時間冷房使用かつ通風不使用」、「×○＊：全時間冷房不使用かつ通風利用」の出現晩数の推移を示す[注 1)]。測定晩数は第 1 週 178 晩から週ごとに減少して第 5 週 47 晩、第 6 週 23 晩、第 7 週 9 晩となる。**図 1** で日平均外気温が低下を始める 8 月 22 日頃は第 4 週に含まれる。パターン別では、第 1 週の約 40 晩から減少し第 7 週にはほぼ 0 晩となる。第 2～6 週では「○××」の晩数が最も多い。

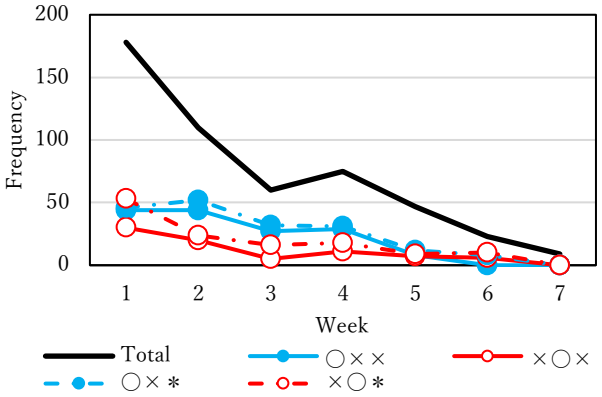


Fig.5 Change of frequency of the patterns

4.2　使用時間率の週別推移

図 6 に、冷房使用日誌をもとに、冷房、通風、扇風機の使用時間が睡眠時間に占める割合の推移を示す。各晩の睡眠時における外気温の平均値である睡眠時平均外気温の推移も示す。冷房使用時間率は第 1 週の 48.7%から第 2 週に 57.9%となり、第 3 週 57.6%、第 4 週 55.8%と微減のあと、第 5 週に 37.1%に急減し、第 6 週は 39.7%第 7 週に 13.6%となる。第 2 週から第 3 週にかけてを除いて、外気温の変化に連動している。通風利用時間率は外気温と関係なく 25%～45%で上下動する。扇風機使用時間率は、通風利用時間率と平行して約 10%低く推移する。扇風機が通風と併用されていることが推定できる。

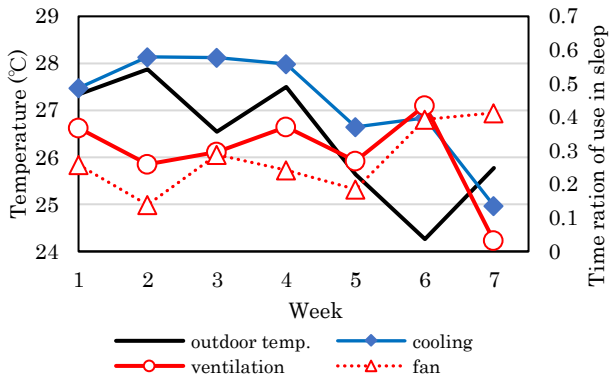


Fig.6 Change of time ratio of control use

4.3　全時間冷房使用と全時間通風利用の比較

全時間冷房使用かつ通風と扇風機不使用（以降「○××」）と、冷房不使用かつ通風全時間使用扇風機不使用（以降「×○×」）の週別推移を比較する。

4.3.1 温熱環境

4.3.1.1　睡眠時外気温（図 7） ○××は約 1.5K しか低下しないが、×○×は 2 週目から 6 週目までに 28.2℃から 23.5℃まで 4.7K 低下する。○××では外気温に関係なく冷房使用を選択していると言える。

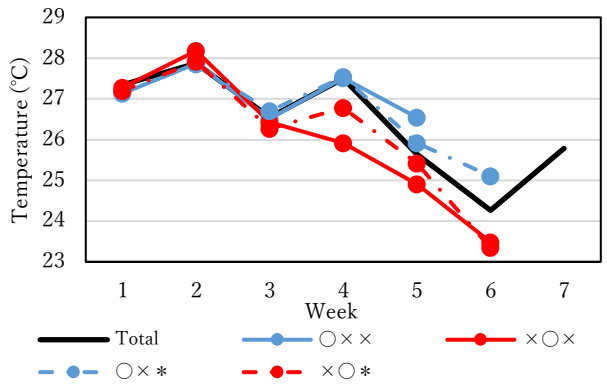


Fig.7 Change of outdoor temperature during sleep

4.3.1.2　寝室温熱環境（図 8）気温：○××は週によらず 26℃台で、×○×は 2 週目の 29.7℃から 6 週目の 26.0℃まで 3.7K 低下する。5 週目に×○×と○××で同じになる。**WBGT**[6]：6 週目まで 26～27℃のので推移し、ほぼ変化がない。4 週目の 27.0℃から 7 週目の 25.4℃にかけて 1.6K 低下する。**SET＊**（代謝量は 0.9met、着衣量は申告から [7]、風速は冷房を使用していない場合と通風は 0.2m/s、冷房使用した場合と扇風機は同様に強中弱で 2.5m/s、1.2m/s、0.3m/s）：第 1 週から第 4 週まで 25～26℃の間でほぼ一定、第 4 週の 25.6℃から第 6 週の 23.9℃にかけて低下、第 7 週に 25.7℃に上昇する。SET＊と WBGT は平行に推移し、第 1 週から第 5 週まで約 1.5K の差で SET＊が低く推移する。○××はどの週も WBGT との差がほぼ一定で、×○×は第 1 週は WBGT より約 2K 高いが、週と共に差は縮まり、第 5 週には同じになる。

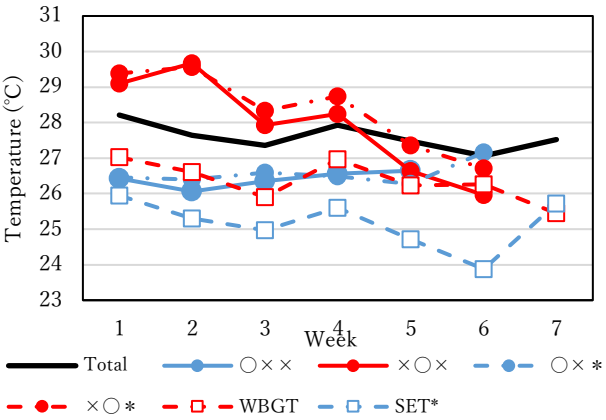


Fig.8　Change of bedroom temperature during sleep

4.3.2　温熱感覚

4.3.2.1　温冷感（図 9）○××は 2 週目から 5 週目にかけて熱的中立に近づく。×○×は 4 目に涼しい側になるが全体としては暑い側に変化する。4.3.2.2　発汗感（図 10）○××は 1 週目から 5 週目にかけて「かいていない」が 43.5%から 91.7%まで単調に増加する。全時間冷房では夏から秋にかけて発汗能力が徐々に低下したと推定できる。×○×では発汗感は上下変動し、週によるトレンドがない。

4.3.3　睡眠の質

4.3.3.1　全時間冷房使用（図 11）OSA 総合得点は 1 週目から 3 週目まで 48 点前後で変化がないが、4 週目から 5 週目にかけて 50 点まで急上昇し全時間通風の得点に近づく。日平均外気温の変化に平行していると言える。因子別得点は上昇傾向にあるが、睡眠維持因子は 3 週目から 5 週目にかけて約 2 点低下し週によるトレンドはない。

4.3.3.2　全時間通風利用（図 12）OSA 総合得点は、45 点から 53 点の間で変動し、週によるトレンドはない。

５．結論

大阪の集合住宅での 73 住戸 502 晩の寝室温熱環境の実測と申告をもとに温熱環境、内外環境調節、温熱感覚、睡眠の質の週別推移を分析した。

1)冷房使用時間率は週につれ減少するが、通風利用時間率は 25%～45%で上下動し週によるトレンドはない。

2) 睡眠時外気温は全時間冷房使用の晩は週によりあまり低下せず外気温に関係なく冷房を使用していると言える。

3)睡眠時寝室温は全時間冷房では週によりあまり変化せず、全時間通風では第 1 週の 29.1℃から第 5 週の 26.6℃と全時間冷房と同程度まで低下する。

4)温冷感は第 2 週から第 6 週にかけて、全時間冷房では 3.3 から 4 に変化、全時間通風では 4.3 から 2.8 を上下動し週によるトレンドはない。

5)全時間冷房の発汗感は第 2 週の 3.5 から第 5 週の 3.9 に徐々に「かいていない」ほうに変化、一定の温熱環境に対して発汗機能が徐々に変化したことを示す

6)OSA 総合得点は全時間通風では 46.1 から 53.3 を変動し、全時間冷房は第 2 週 48.1 から第 5 週 50.1 まで向上する。

注

1)「＊」は、扇風機使用の○△×を無視することを表す。

参考文献

1) 山形ほか、空衛・近畿・論文集、A65、2018 年
2) 梅宮ほか、日本生気象学会雑誌、56 (3)、S43、2019 年
3) 気象庁, 大雨や猛暑日など(極端現象)のこれまでの変化, 2021 年
4) 山本ほか, 脳と精神の医学, 10, 401-409, 1999 年
5) 陳宇航ほか、建築・近畿・論文集、153-156、2019 年
6) 日本生気象学会、熱中症予防指針 Ver.2、2013 年
7) Ergonomics of the thermal environment- Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble ISO9920:1995

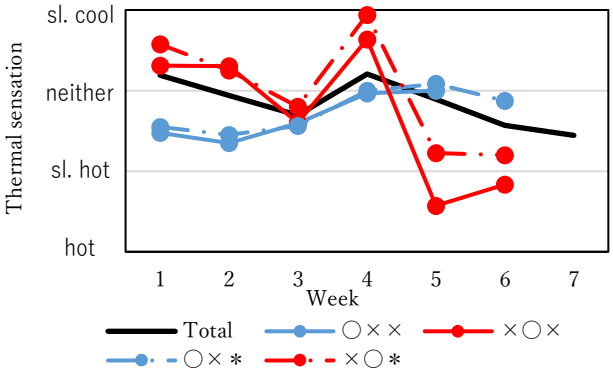


Fig. 9 Change of thermal sensation

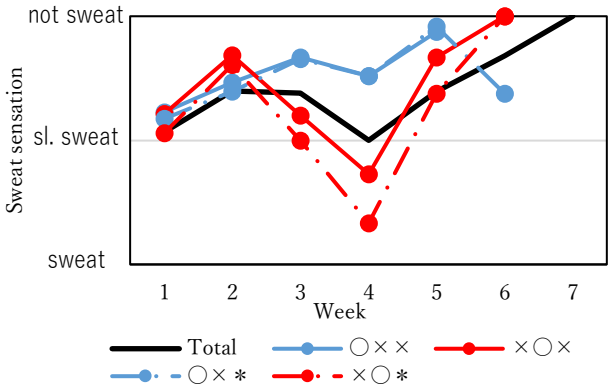


Fig. 10 Change of sweat sensation

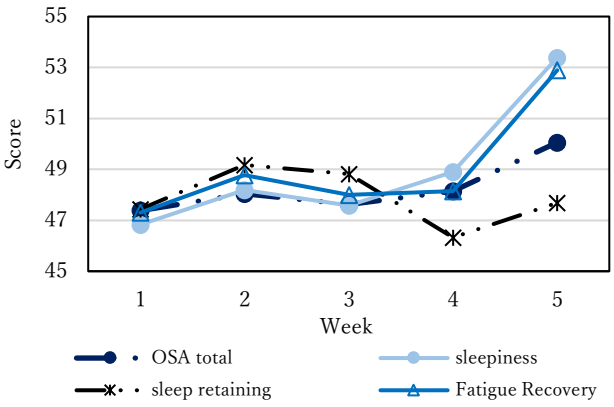


Fig. 11 Change of OSA score (Air-conditioning)

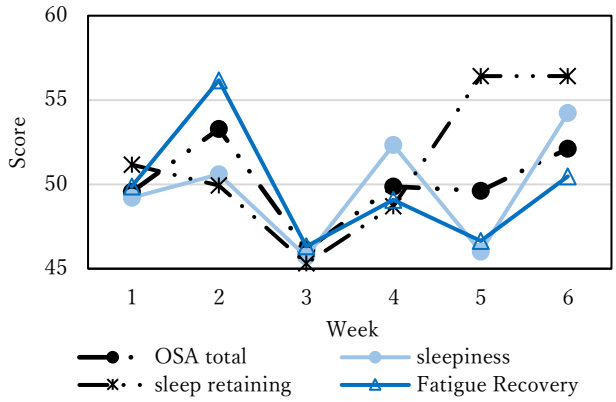


Fig. 12 Change of OSA score (Natural ventilation)

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

入浴後の室内温度・気流環境の違いが人体生理・心理量に及ぼす影響

The Effect of Indoor Thermal Environment and Airflow on Physiological and Psychological Response after Bathing

学生会員　○辻　　健 太（立命館大学）　　非 会 員　　古 橋　拓 也（三菱電機）
正 会 員　　李　　明 香（立命館大学）　　非 会 員　　峯 澤　聡 司（三菱電機）
非 会 員　　陸　茉 莉 花（三菱電機）

Kenta TSUJI*1　Takuya FURUHASHI*2　Myonghyang LEE*1
Satoshi MINEZAWA*2　Marika RIKU*2
*1 Ritsumeikan University　*2 Mitsubishi Electric Co. Ltd.

Several studies have been conducted on the sense of warmth and comfort during bathing; however, studies on the effect of room temperature and airflow conditions after bathing are few. A bath adaptation human thermal model was developed and the effects of different thermal environments on the physiological and psychological parameters of subjects who spent time in these environments after bathing were investigated in summer and winter. Results of the summer experiment indicated that a higher sense of comfort was obtained by applying wind for 30 minutes after bathing than with the use of a low temperature setting; however, the physiological quantity returned after the wind, lowering the sense of comfort. For the winter experiment, a vertical temperature distribution occurred in the laboratory, and a correlation was observed between the coldness of the feet and the sense of comfort. It was also suggested that the difference between the trunk and obliterated skin temperatures was related to sleepiness.

1．はじめに

住宅内行動の 1 つである入浴には、入浴後、代謝の亢進により、夏期にはのぼせが持続し、冬期には湯冷めすることが考えられる。一方、入浴による身体の温まりを就寝時刻まで維持することは、心地よい睡眠に繋がるとされており[文1)]、入浴後に過ごす室内の温熱環境は非常に重要である。これまでに入浴後の過ごし方に着目した研究として、輿水ら[文2)]は、冬期、室温が 20℃以上であれば湯温に関わらず体温の低下が生じにくいことを提唱している。しかし、入浴後における夏期の気流環境の違いや冬期の上下温度分布に着目した研究や、人体熱モデルを用いて、生理量を詳細に分析した研究はほとんどされていない。

そこで本研究では、被験者実験と人体熱モデルによる数値シミュレーションにより、入浴後に過ごす室内の温熱環境の違いが、人体に及ぼす影響を検討する。眠気と生理量の関係では、末梢皮膚温度が体幹皮膚温度に対して、相対的に上昇し、その皮膚温度差の上昇のタイミングが睡眠への導入と関係深い[文3,4)]とされており、被験者実験から、皮膚温度の変化と眠気感および快適感との関係を分析する。人体熱モデルでは、実験では測定できない産熱や熱放散、快適感に影響を与えるぬれ面積率といった生理量の変化を分析し、実験による心理量との関係を明らかにする。

2．被験者実験の概要

2-1　実験条件

本実験は、2021 年 8 月～9 月（夏期）、11 月～12 月（冬期）にかけて、滋賀県草津市内のマンションにて行った。被験者は健康な 20 代男子学生 3 名を対象とし、着衣量は夏期 0.5clo（半袖＋長ズボン）、冬期 0.8clo（長袖＋長ズボン）とした。実験空間及び環境測定項目を Fig.1 に示す。

2-2　実験 case

実験 case は Table.1 に示す通りで、夏期には、全 case 湯温を統一し、S-3 では、入浴後から 30 分間実験室にて、

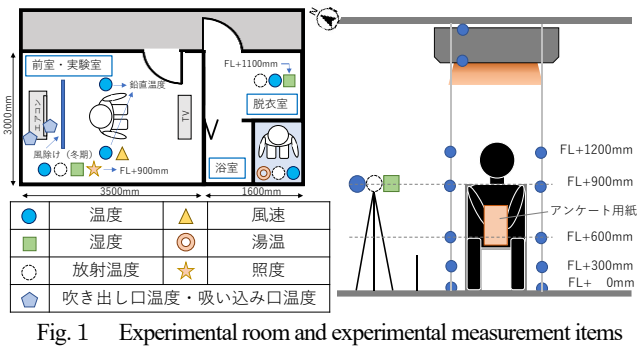


Fig. 1　Experimental room and experimental measurement items

上半身へエアコンによる風当てを行った。冬期は、湯温及び入浴後に滞在する実験室の設定温度の違いによる人体への影響を検討した。

Table. 1　Experimental case in summer(Left) and in winter(Right)

case	湯温	実験室設定温度	風当て
S-1	38℃	28℃	-
S-2		26℃	
S-3		28℃	上半身

case	湯温	実験室設定温度
W-1	38℃	20℃
W-2	41℃	20℃
W-3		24℃

2-3　実験手順

実験手順を Fig.2 に示す。被験者には、まず 30 分間実験室にて安静にしてもらい、その間に測定機器の取り付けを行った。その後、脱衣室にて水着に着替え、10 分間入浴を行い、入浴の際は胸骨下までお湯に浸かり、胸上部・肩・手・首・頭はお湯に濡らさないこととした。また、入浴時には口頭でアンケートを行った。入浴後は、脱衣室にて、用意した着衣に着替えた後、実験室にて 120 分間椅座安静にしてもらった。実験室滞在時は用意した DVD を視聴し、入室直後から 10 分間は 2 分おきに、その後は 10 分おきに計 17 回アンケートを行った。アンケート項目は Table.2 に示す通りで、生理量の測定では、深部温度、皮膚温度、発汗量、心拍数、皮膚血流量、血圧を測定し、Hardy-DuBois の 3 点法により平均皮膚温度を算出した。

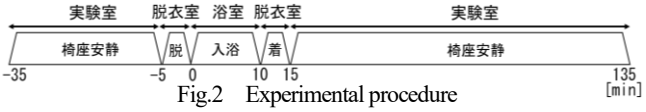


Fig.2　Experimental procedure

Table.2　Category scales for Psychological quantity

項目	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
温冷感	寒い	涼しい	やや涼しい	中立	やや暖かい	暖かい	暑い	
快適感	非常に不快	不快	やや不快	中立	やや快適	快適	非常に快適	
眠気感				感じない	あまり感じない	やや感じる	感じる	非常に感じる

3．被験者実験結果

Table.3 に人体周辺環境の測定結果[注1)]を示す。Fig.3 に夏期における実験室入室後からの温冷感と快適感の結果、Fig.4 に平均皮膚温度の推移、Fig.5 に S-3 の発汗量の推移を示す。また、Fig.6 に冬期における鉛直温度、心理量と各部位皮膚温度の時間平均の推移、Fig.7 に末梢皮膚温度（足）と快適感の関係、Fig.8 に体幹皮膚温度（胸部）と末梢皮膚温度（手）の差と眠気感との関係[注2)]を示す。

夏期は、Fig.3 より、入浴後に風当て（30 分間）を行った S-3 では、設定温度が低い S-2 よりも涼しく感じ、風当てを行うことで快適感を高く維持できることが確認できた。一方で、Fig.4 から、S-3 において風当て終了後から平均皮膚温度が上昇し始め、それに伴い温冷感の上昇、快適感の下降がみられる。S-1 においても、入室後から平均皮膚温度の上昇がみられるが、快適感は上昇している。つまり、平均皮膚温度の前時刻からの変化量が大きいほど、快適感に影響を及ぼす可能性が考えられる。また、Fig.5 から、被験者 3 名中 2 名に、風当て終了後から再び発汗が生じたため、発汗量の増加も快適感の低下の要因の一つとして考えられる。

Table.3　The average of thermal environment

	浴室	脱衣室	実験室（人体周辺温度・風速）						
	湯温[℃]	温度[℃]	温度（FL+）[℃]					風速（FL+）[m/s]	
			1200mm	900mm	600mm	300mm	0mm	900mm	300mm
S-1	38.2 ±0.1	29.4 ±0.8	27.6±0.3	27.4±0.2	27.4±0.2	27.2±0.2		0.08±0.03	0.05±0.03
S-2			25.5±0.5	25.4±0.5	25.5±0.5	25.3±0.5		0.10±0.02	0.02±0.01
S-3			27.1±0.2	27.1±0.2	27.1±0.2	26.9±0.2		0.87±0.07	0.11±0.01
W-1	37.6 ±0.2	19.0 ±1.1	20.3±0.5	20.3±0.5	20.2±0.6	19.8±0.6	19.2±0.5	0.01以下	0.05±0.03
W-2	40.5 ±0.2								
W-3			23.7±0.4	23.6±0.4	23.3±0.2	22.4±0.5	21.1±0.7		

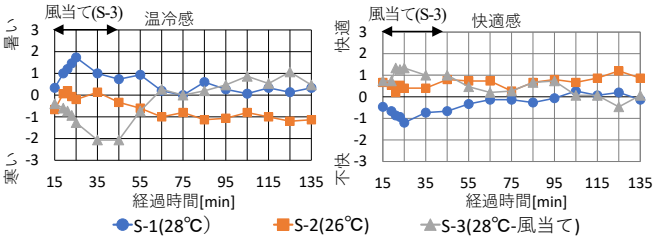


Fig.3　Thermal sensation and thermal comfort in summer experiment

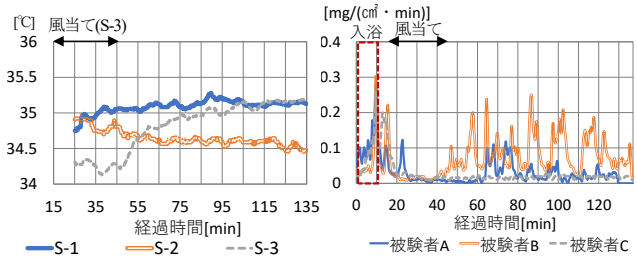


Fig.4　Mean skin temperature in summer experiment (Left)

Fig.5　Amount of sweating in summer experiment (S-3) (Right)

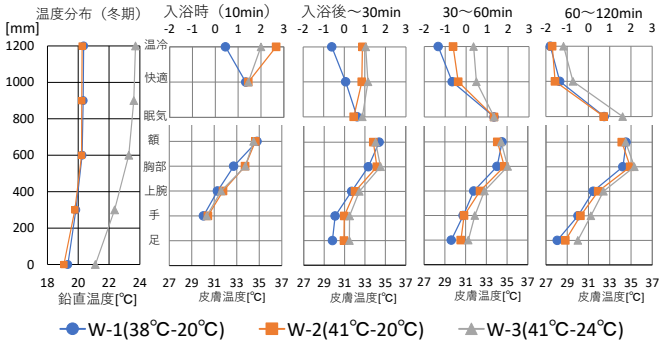


Fig.6　The average of psychological quantity and skin temperature in winter experiment

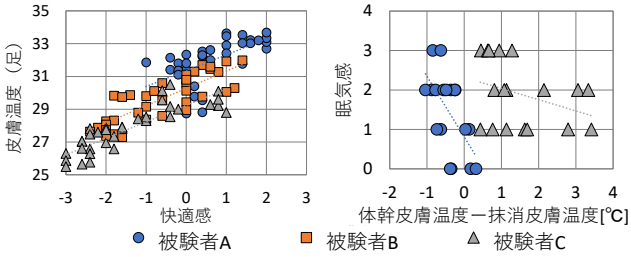


Fig.7　The relationship between foot skin temperature and thermal comfort in winter experiment (Left)

Fig.8　Temperature difference between peripheral and body trunk skin temperatures and drowsiness in winter experiment (Right)

冬期は、Fig.6 より、入浴後から 30 分間は、室温に関係なく、湯温が高い S-2,S-3 の快適感が高いが、30 分以降は室温の影響により快適感に差がみられた。また、冬期特有の上下温度分布が生じ、鉛直方向で最大 3℃温度差が見られ、部位ごとに皮膚温度が異なる。そこで、各部位の皮膚

温度と快適感との関係を確認したところ、Fig.7 から、3case とも足の皮膚温度と快適感との間に相関がみられた。つまり、足元の温度を高く維持することで、快適感も維持できる可能性が示唆された。さらに Fig.8 から、被験者 3 名のうち 2 名において、胸部と手の皮膚温度差が 0 に近づく、または手の皮膚温度が胸部よりも高くなるほど眠気が強くなる。入浴による温もりを維持している時間帯は眠気を誘発しやすくなり、実験室温度の影響を受け、手の皮膚温度が低下し始めると眠気が弱まる[注3)]ことが示唆された。なお、眠気との関係が考えられる深部温度、心拍数は本実験では入浴後からの変化がみられなかった。

4．人体熱モデルの入浴への適応

4-1　入浴モデルへの設定変更

本研究では、田辺らによる人体熱数値計算モデル COM を[文4) 注4)]用いて、既往研究[文5) 文6)]を参考に、入浴に対応したモデル化を行った。モデルを作成するにあたって行ったプログラムの変更項目および変更内容を Table.4 に示す。本モデルにおける人体の状態は、入浴時と入浴以外の行動時の 2 つに分かれる。Fig.9 に示す通り入浴時は全身浴を想定し、人体 17 部位を湯に浸かる部位（浸水部位）と浸からない部位（空気中部位）に分割した。胸部と背中は、浸水部分と空気中部分が混在するため、浸水部分と空気中部分の体表面積比を 7:3 とし、温度・放射温度の境界条件、対流熱伝達率を変更した。浸水部位では湯との対流熱交換を行うとして、対流熱伝達率を 236.7 W/(m^2・K)とし、また、湯中では放射の影響がないものとして放射熱伝達率を 0 W/(m^2・K)とした。入浴時の皮膚表面からの蒸発熱損失は、湯中および浴室内の高湿度の空気中では蒸発が小さいと仮定し、浸水部位、空気中部位ともに 0 W/ m^2 とした。皮膚血流量は、入浴時の最大値が各部位の基礎血流量の 5 倍を超えないように制御した[文7)]。本モデルでは入浴による身体の濡れを考慮しておらず、出浴時に身体を拭くことを想定している。

Table.4　Change items

項目		変更内容
対流熱伝達率	空気中部位	変更なし
	浸水部位	236.7W/(㎡・K)
放射熱伝達率	空気中部位	変更なし
	浸水部位	0W/(㎡・K)
蒸発熱損失	空気中部位	0W/㎡
	浸水部位	0W/㎡
皮膚血流量	空気中部位	最大値を基礎血流
	浸水部位	量の 5 倍に制御

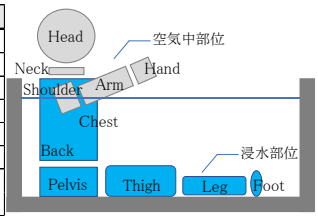


Fig.9　Bathing model conceptual diagram

4-2　実験値と計算値の比較

被験者実験の皮膚温度と人体熱モデルの Skin 温度の比較により、作成した入浴モデルの精度検証を行った。Table.4、5 に入力条件[注2)]を、Fig.10、11 に各部位の皮膚温度の結果を示す。実験では、解析条件の 17 部位ごとに測定していないため、人体周辺の入力値は、実験室における温度、風速は人体を高さ方向に 5 分割した測定値を各部位に与えた。実験室における湿度、放射温度および脱衣室、浴室における温度、湿度、放射温度、風速は代表点 1 点の測定値を各部位に与えた。Fig.10 から、夏期の結果では、入浴開始から実験終了までの傾向が概ね一致しており、精度が確認できた。一方で、Fig.11 から、冬期の結果では、入浴による皮膚温度の上昇は概ね一致しているが、実験室入室後、実験では皮膚温度が上昇しているのに対し、計算では下降している。その原因として、入浴によって副交感神経が優位に働き、血管の拡張が生じることで皮膚温度が上昇する一連の生理メカニズムが人体熱モデルには組み込まれていないからだと考える。

Table.5　Input condition (S-3)

	馴化室	脱衣室	浴室		実験室	
行為	安静	着脱衣	入浴		安静	
			湯中	空気中	風当てあり	風当てなし
温度[℃]	26.7	28.9	38.4	29.6	27.0	
湿度[%]	69.1	70.2	100		71.2	
放射温度[℃]	27.4	28.2	—	30.3	27.8	
風速[m/s]	0.05	0.05	—	0.05	1.0	0.05
代謝量[METs]	1.0	1.0	1.2		1.0	
着衣量合計[clo]	0.46	0.05	0.05		0.46	

Table.6　Input condition (W-3)

	馴化室	脱衣室	浴室		実験室
行為	安静	着脱衣	入浴		安静
			湯中	空気中	
温度[℃]	20.8	19.3	40.5	24.0	23.1
湿度[%]	45.7	60.6	100.0		45.6
放射温度[℃]	20.9	21.3	—	23.3	21.8
風速[m/s]	0.05	0.05	—	0.05	0.05
代謝量[METs]	1.0	1.0	1.2		1.0
着衣量合計[clo]	0.7	0.1	0.1		0.7

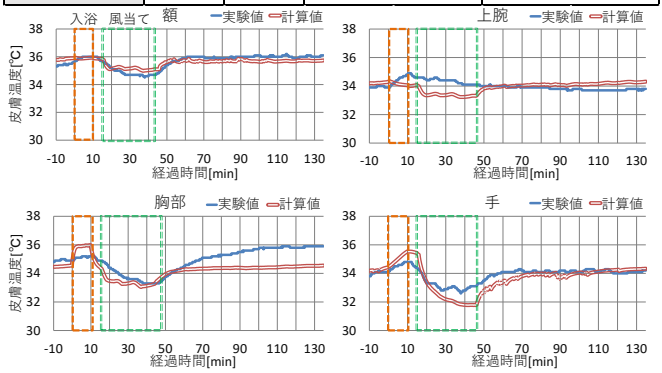


Fig.10　Comparison of experimental and calculated values(S-3)

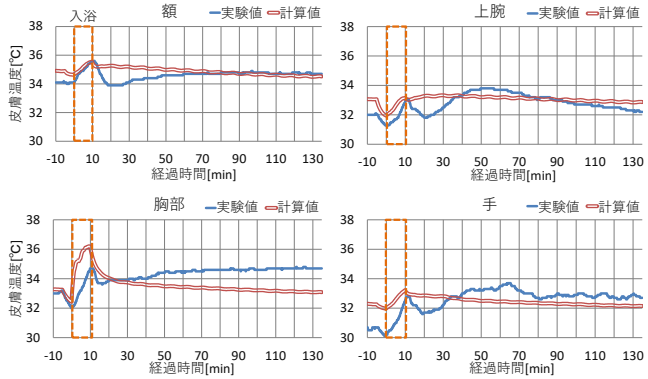


Fig.11　Comparison of experimental and calculated values(W-3)

5．人体熱モデルによる数値シミュレーション

5-1　解析概要

3 章の夏期実験結果より、温熱環境をステップ的に変化させることで、生理量が急激に変化し、その変化度合いが快適感に影響を及ぼす可能性が示唆された。そこで、入浴後の室内の温度・気流環境を緩やかに変化させ、環境変化に伴う皮膚温度、放熱・産熱量、ぬれ率といった生理量の変化と快適感との関係を明らかにする。

5-2　解析case

Table.7 に解析 case 及び人体周辺温度・風速を示す。夏期実験 S-1 に対応する case A を基準とし、case B は室温を 26℃に設定、case C～E は人体周辺温度・風速、またはその両方を入室時の設定値から 30 分後の設定値に向けて線形に変化させ、計 5case 解析を実施した。解析時間は、実験時間と同様であり、浴室、脱衣室の温熱環境及び、その他の入力条件は Table.3 に示す実験値をもとに設定した。

Table.7　Calculation case

	条件	人体周辺温度（全部位）[℃]			風速（風当て部位）[m/s]		
		入室時点	変化[℃/s]	30分後	入室時点	変化[m/s/s]	30分後
caseA	夏期実験S-1	28	-	28	0.05	-	0.05
caseB	夏期実験S-3	26	-		1.0	-	1.0
caseC	温度変化	26	0.01		0.05	-	0.05
caseD	風速変化	28	-		1.0	-0.005	0.05
caseE	風速＋温度変化	26	0.01		1.0	-0.005	0.05

5-3　解析結果

Fig.12 に実験室入室から 30 分以降の放熱・産熱量の合計、Fig.13 に実験室入室後からのぬれ率の推移、Fig.14 に実験室入室時刻を基準とした平均皮膚温度の変化を示す。

Fig.12~14 から、風当て・温度変化終了時（入室から 30 分後）の放熱量は caseC,D で差はみられない。一方で、風速が徐々に小さくなる case D では、風速が一定値を超えて弱くなる時点において放熱が抑制されることでぬれ率、皮膚温度が上昇していると考えられる。S-3 に対応する caseB では、風当て後の放熱量が他の case よりも少ないため、実験において生理量が再び上昇したことにつながったと考えられる。また、ふるえによる産熱量も多く、夏期実験 S-3 においても風当て中に寒いという主観申告もあったため、必要以上に人体を冷却した可能性が高い。

6．まとめ

本研究では、被験者実験と人体熱モデルによる数値シミュレーションを行い、入浴後に過ごす室内の温熱環境の違いが人体に及ぼす影響を検討した。

夏期の実験結果から、入浴後に風当てをすることで、温冷感の低下、快適感を高く維持できることが確認できたが、風当て後に生理量が再び上昇し、それに伴い快適感の低下がみられた。また、解析結果から、入浴後に風当てを行うまたは、設定温度を下げる場合、緩やかに風速、温度を下げることで、生理量の変化も小さくなり、快適感が維持できる可能性が示唆された。

冬期の実験結果から、足元の温度を高く維持すること

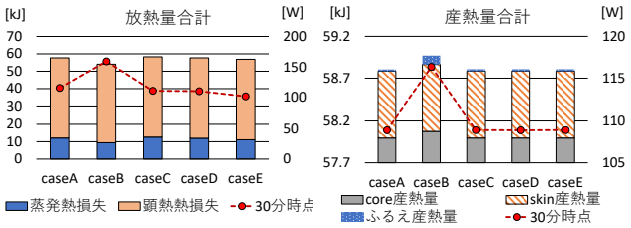


Fig.12 Total heat release and heat production after 30 minutes from entering the laboratory

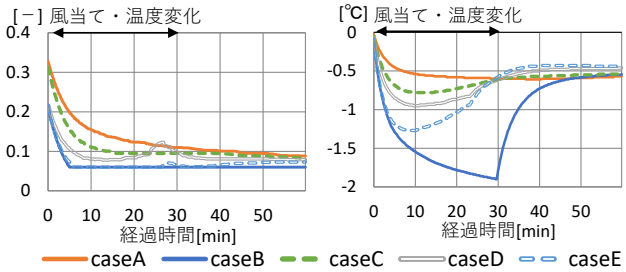


Fig.13　Wetted area ration　　Fig.14　Mean skin temperature

で、入浴後の快適感を維持できることが確認できた。眠気と生理量との関係においては、入浴後から、60 分の間は入浴による温もりによって、体幹皮膚温度と末梢皮膚温度の温度差と眠気の関係がみられた。

注釈

1）温度、湿度は FL+900m 地点の鉛直温度、風速は各高さの測定結果の実験時間平均とした。照度・色温度は、実験開始から終了まで快適範囲内で一定に保たれていたため、心理量への影響は考えないとした。
2）実験室入室直後から 60 分までの結果を示す。また、眠気を感じていない被験者 1 名は対象外とした。
3）人体熱モデル COM は、人体を 17 の部位に分割しモデル化しており、各部位別に温熱環境 6 要素（温度・放射温度・相対湿度・風速・着衣量・代謝量）を境界条件として入力することで、不均一かつ非定常状態にある温熱環境に暴露された人間の生理量を予測する。
4）手の皮膚温度が低下することで、体幹と末梢の皮膚温度差が大きくなり、眠気感が低下する傾向がみられた

参考文献

1）奥水他：湯温及び室温が入浴にともなう人体反応に及ぼす影響に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1996. 9
2）大野他：中高年者を対象とした冬期入浴後の熱的快適性に関する研究、人間と生活環境、第 7 巻、第 1 号、pp. 40-47、1999
3）内山他：ヒトの体温調整と睡眠、日温気物医誌、第 78 巻、第 1 号、2014.11
4）田辺他：温熱環境評価のための人体熱数値計算モデル COM の開発、日本建築学会環境系論文集、第 599 号、pp. 31-38、2006. 1
5）芹川他：被験者実験による省エネルギーな入浴方法の検討と人体モデルによる入浴時間の予測に関する研究、日本建築学会環境系論文集、第 77 巻、第 682 号、pp. 987-996、2012. 12
6）杉本他：入浴時の熱中症リスク低減に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2010. 9
7）芹川他：水まわり空間を中心とした省エネルギー性と快適性に関する研究-浴槽入浴による熱移動に関する被験者実験とシミュレーション、日本建築学会環境系論文集、第 77 巻、第 673 号、pp. 143-151、2012

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022. 3. 11）

住宅における稼働電気温水器の実態把握と置き換えによる省エネ効果の検討

Understanding the actual status of operating electric water heaters in houses and investigation of the energy-saving effects of replacing them

○太 田　周 彰（住宅みちしるべ）　　小椋　大輔（京都大学）
Noriaki OTA*1　Daisuke OGURA*2
*1　Jutaku Michishirube Co. Ltd.　*2　Kyoto University

We estimate the number of electric water heaters in operation in households, and estimate the energy-saving effects of replacing these with heat pump water heaters. The estimations of 10 regions in Japan are carried out. It was found that the effect of simply replacing the electric water heaters owned by 7% of all households would be to reduce the energy consumption of all households by about 3% in Japan.

はじめに

現在､我が国においては2050年のカーボンニュートラルに向けた取り組みの検討が行われている。経済産業省が2021年10月に発表した第6次エネルギー基本計画では、2050年に住宅・建築物のストック平均でZEH・ZEB基準の水準の省エネルギー性能が確保されていることを目指す[1)]としており、既存住宅への対応が急務となっている。2019年に資源エネルギー庁が発表したZEHの定義では、再生可能エネルギー等を除き、基準一次エネルギー消費量から20%以上の一次エネルギー消費量を削減した住宅[2)]を要求性能としており、既存住宅においてもこれを上回ることが望ましいと考えられる。ここで言う、基準一次エネルギー消費量とは基準仕様にて算出された一次エネルギーを指す。

また､資源エネルギー庁による2021年度の発表によると 2019 年度の世帯当たりのエネルギー消費割合は給湯が 28.8%となっており[3)]、給湯におけるエネルギー効率の改善は重要である。

基準仕様にて定められた給湯設備は石油瞬間式（従来型）給湯器、ガス瞬間式（従来型）給湯器としており、ここからの 20%以上の一次エネルギー消費削減を目標とすることが望ましいと考えられる。一方でこの基準仕様よりも省エネルギー性能に劣る電気温水器は Fig.1 に示すように現時点においても新規で製造・出荷[4)]され続けており、減少には至っていない。

以上から、本報では電気温水器の一次エネルギー消費量を確認し、既存住宅において稼働していると考えられる電気温水器の総数を推計することを試み、これを同じ電力を稼働源としている電気ヒートポンプ給湯器に置き換えた場合の省エネルギー効果を試算する。

１．推計方法

1.1　推計の手順

本報における推計手順を Fig.2 に示す。地域毎の標本調査による電気温水器の所有割合を全世帯の所有割合と仮定して電気温水器の稼働数を推計する。これに各地域の世帯当たりの給湯器置き換えによる消費エネルギー削減効果を掛けて全体の効果を求める。各地域の世帯当たりの置き換え効果の算出にはエネルギー消費性能計算プログラム住宅版[5)]ver3.1.2 （以下、WEB プログラム）を用いた。算出に必要な変数は気候区分と世帯の延床面積であり、後述する推計値を用いた。

1.2　家庭部門 CO_2 排出実態統計調査による所有割合

電気温水器の稼働割合を推計するために、毎年度環境省が実施している、家庭部門 CO_2 排出実態統計調査の平成31年度確報データ[6)]を用いた。この調査は、店舗等併用住宅以外の住宅に住む世帯で原則 20 歳以上を対象とし、住民基本台帳からの無作為抽出での 6,500 世帯と、インターネット調査モニターからの有意抽出による

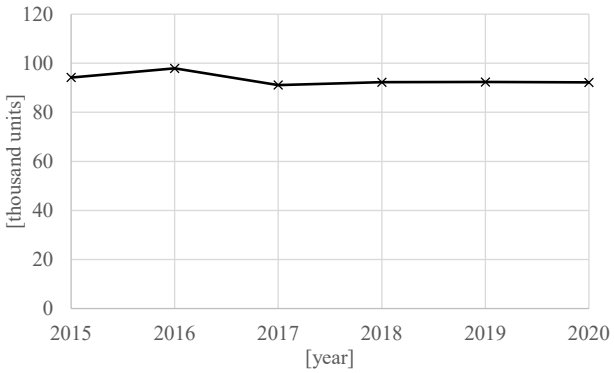


Fig.1 Production volume of electric water heaters

Step.1	Extraction of electric water heater ownership rate by sample survey in each region
Step.2	The ownership rate is multiplied by the number of households in each region to calculate the estimated number of possessions
Step.3	Calculated energy savings per household when switching from electric water heater to heat pump water heater based on the typical climate classification of each region and average household floor space.
Step.4	Multiply the values for each region obtained in steps 2 and 3 to calculate the estimated replacement effect for that region.

Fig.2 Estimation procedure

Table.1 Number of surveyed households by city class by region, upper-side is investigator's survey, lower-side is internet survey, 1), 2), 3) is level of city[5)]

Region	1)	2)	3)	Total
Hokkaido	220	200	140	560
	208	208	148	564
Tohoku	180	240	180	600
	184	242	169	595
Kanto-Koshin	480	520	80	1,080
	488	519	81	1,088
Hokuriku	220	220	120	560
	216	211	122	549
Tokai	220	360	80	660
	218	360	88	666
Kinki	300	400	60	760
	304	389	65	758
Chugoku	200	280	100	580
	202	276	104	582
Shikoku	220	140	180	540
	223	137	179	539
Kyusyu	280	220	160	660
	287	210	158	655
Okinawa	120	240	140	500
	125	241	138	504
Total	2,440	2,820	1,240	6,500
	2,455	2,793	1,252	6,500

6,500 世帯を選定している。Table.1 に層設定された地方10区分と都市階級3区分で分けられた調査世帯数を示す。都市階級とは 1) 都道府県庁所在市（東京都は区部）及び政令指定都市、2) 人口 5 万人以上の市、3) 人口 5 万人未満の市及び町村である。

今回使用する調査データは給湯器の種類について回答を得ているもので、平成 31 年 4 月から令和 2 年 3 月に転居・増築・建替を行った世帯などは除外されており、各地方区分の人口比率に従うよう調整された集計世帯数を利用した。Table.2 A, B に各地区の集計世帯数と電気温水器使用割合を示す。表より特に中国地方や四国地方において、電気温水器の所有割合が多いことが分かる。

Table.2 A is number of households counted, B is percentage of electric water heaters owned, C is number of households, D is average gross total floor area per dwelling unit, E is climate classification

Region	A	B (%)	C	D (m^2)	E
Hokkaido	899	10.7	2,471,140	90.8	2
Tohoku	932	6.4	3,507,928	114.5	4
Kanto-Koshin	1,625	4.3	21,306,099	82.5	6
Hokuriku	835	9.6	2,027,849	132.0	5
Tokai	977	7.7	6,225,301	101.3	6
Kinki	1,087	5.7	9,223,157	87.8	6
Chugoku	889	14.7	3,125,540	102.1	6
Shikoku	797	13.3	1,629,887	102.6	7
Kyusyu	981	9.6	5,589,912	91.4	7
Okinawa	639	8.4	612,749	75.8	8
Total	9,660	7.0	55,719,562	92.2	-

1.3 各地区の世帯数と平均延べ面積の把握方法

各地区における世帯数を把握するために、5 年ごとに行われる国勢調査の令和2年国勢調査結果[7)]を利用する。集計された地方区分ごとの世帯数を Table.2 C に示す。

各地区の 1 住戸当たりの平均延べ面積を把握するために、5 年ごとに行われる住宅・土地統計調査の平成 30 年結果[8)]を利用する。一戸建と長屋建、共同住宅の 3 種に分けて集計されており、都道府県毎のそれぞれの比率と 1 住戸当たりの平均延べ面積を用いた。これに令和 2 年国勢調査結果の都道府県別世帯数を利用し、各地区の住戸当たり平均延べ面積を求めた。この結果を Table.2 D に示す。電気温水器の所有割合が多い、中国・四国地方では、全国平均を上回る住戸面積である。

1.4 各地区における設計一次消費エネルギーの試算

各地区の代表的な気候区分を都道府県の県庁所在地の気候区分を基に決定した。各地区に定めた代表的な気候区分を Table.2 E に示す。

各地区の代表的な気候区分と各地区の住戸当たり平均延べ面積を用いて、WEB プログラムで、まず電気温水器を所有する世帯の給湯における設計一次消費エネルギーと基準一次消費エネルギーを求め、次に電気ヒートポンプ給湯器、潜熱回収型給湯器とした場合の設計一次消費エネルギーを求めた。WEB プログラムでは、日平均給水温度を気候区分による外気温度から定めている。住戸面積によって仮想住居人数を決定[9)]し、これと台所、浴室シャワー、洗面における水栓の種類による給湯量、浴槽の湯はり量によって、日平均給水温度と外気温から

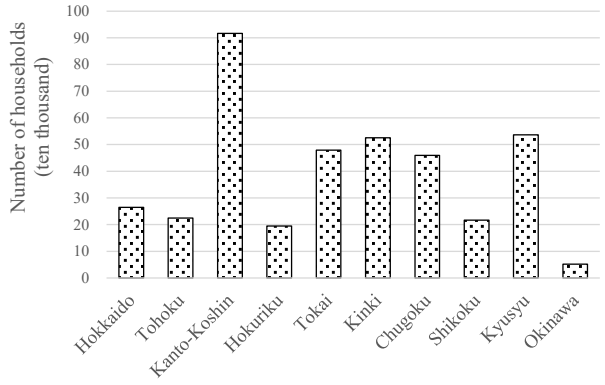


Fig.3 Number of households that own electric water heaters by region

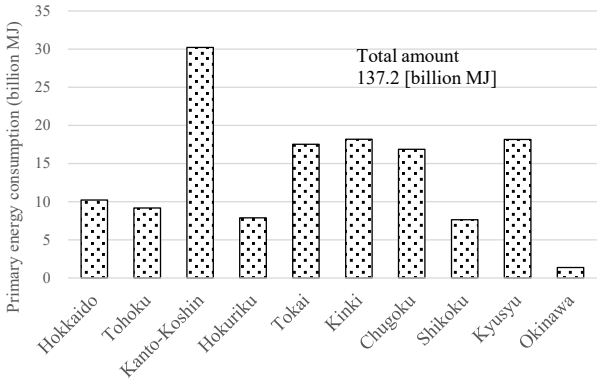


Fig.6 Reduction in primary energy consumption by replacing electric water heaters in each region

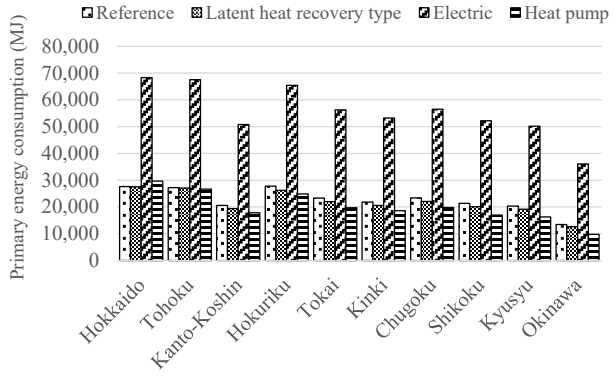


Fig.4 Primary energy consumption of hot-water supply facilities, per household, Latent heat recovery water heaters are kerosene-fired in Hokkaido and Tohoku, and gas-fired in other regions.

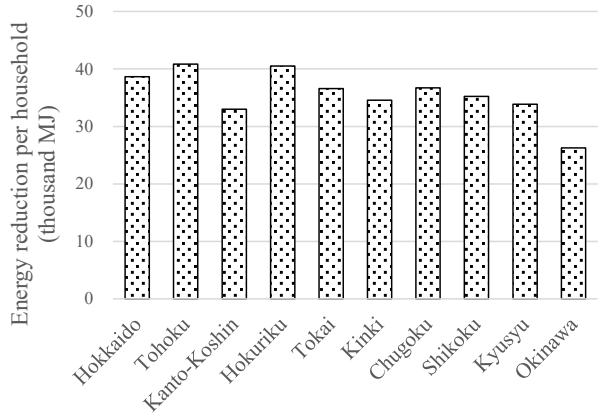


Fig.5 Hot water heater replacement effect by region per household

それぞれの基準給湯量[10]を定めている。今回は給湯器のみの置き換え効果を試算するため、水栓、配管方式、浴槽の保温措置は全て評価しないとしてデフォルト値を用いた。浴槽の沸かし直しによる給湯熱負荷は仮想住居人数と日平均外気温によって定められており、今回は追い炊きを有りとした。

また、熱源機は電気ヒーター給湯器と電気ヒートポンプ給湯器（CO_2 冷媒）（太陽熱利用設備を利用しないもの）をそれぞれの地区毎に設定し、両者の給湯設備設計一次エネルギー消費量の差を置き換えて効果を評価する。潜熱回収型給湯器は基準仕様に合わせて北海道と東北において石油式とし、その他の地域においてはガス式とした。

２．推計結果

各地区の電気温水器を所有する世帯数を Fig.3 に示す。電気温水器を所有する世帯数は、全国で 387 万世帯程度あり、全世帯の約 7%にも及ぶ。所有割合は最も少ないにも関わらず(Table.2B)、所有台数が最も多いのは関東甲信地方であることが分かる。各地区における 1 世帯当たりの一次エネルギー消費量の計算結果を Fig.4 に示す。電気温水器を使用している家庭では、基準一次エネルギー消費量の倍程度のエネルギー消費量であることが分かる。これを電気ヒートポンプ給湯器に置き換えた場合、北海道、東北においては基準一次エネルギー消費量と同等程度、その他の地区では基準一次エネルギー消費量の 20%削減と同等程度となる。どの地区においても電気温水器を置き換えることは省エネルギーを実現するうえで重要であることが分かる。また、基準仕様を潜熱回収型に置き換えた場合、北海道において石油潜熱回収型給湯器の方が電気ヒートポンプ給湯器より若干設計一次エネルギー消費量が少ない。これはある一定以上の寒冷地の場合、電気ヒートポンプ給湯器が十分に性能を発揮できないことに起因する。

次に電気温水器を電気ヒートポンプ給湯器に置き換えた場合の各地区における 1 世帯あたりの置き換えによる削減量を Fig.5 に示す。沖縄のみやや置き換え効果が低いが、その他の地区は大きく変わらない。各地区における置き換えによる総削減量を Fig.6 に示す。置き換え効

果が大きいのは関東甲信で、世帯数が最も多いことに起因しており、関東甲信における置き換え促進が重要課題である。東海、近畿、中国、九州においても、他の地区の倍程度の置き換え効果が見られ、これらの地区においても置き換えを促進することが必要である。また、総削減量を日本全世帯で分割すると 2,463[MJ/1 世帯]の削減となる。これは令和元年における世帯当たりの最終エネルギー消費量 30,809[MJ/1 世帯] [3]を、電力の一次エネルギー換算係数 0.369[11]を用いて一次エネルギー換算した場合の約 3%に当たる。

3．まとめ

カーボンニュートラルを実現するにあたって、給湯にかかる一次エネルギー消費量の削減は重要課題である。本報ではその中で、給湯設備の一次エネルギー削減における課題として、現状でも電気温水器がある一定の割合存在しており、地区別にみると、特に関東甲信、東海、近畿、中国、九州地方において置き換えによる削減効果が高いことを明らかにした。ただ、これ以外の地区においても電気温水器の利用を止めていくことが重要であることに変わりはなく、仮に全ての電気温水器を電気ヒートポンプ給湯器に置き換えた場合は家庭部門におけるエネルギー消費を 3%程度削減できる効果がある。また、2 地域以北の寒冷地においては、石油潜熱回収型給湯器を利用することで更なる省エネルギー化も可能であるが、将来的なカーボンニュートラルを見据えた採用が望まれる。以上から現在でも稼働する電気温水器については有効な対策を講じる必要がある。

本報では、特に給湯器における省エネルギー化に着目した。給湯については給湯器による省エネルギー化の他に台所や浴室シャワー水栓、洗面水栓における置き換え効果も高く、こちらの効果の推計も行う予定である。更に民生部門において冷暖房・給湯・照明・換気以外の住宅計画時に考慮されていない厨房や動力に関する省エネルギー化の課題についても検討を行う予定である。

謝辞

最後に，本研究の遂行にあたりご助言頂いた松尾設計室の松尾和也氏に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

1） 経済産業省資源エネルギー庁: 第 6 次エネルギー基本計画, pp. 30, 2021. 10
2） 経済産業省資源エネルギー庁: ZEH の定義(改訂版) ＜戸建住宅＞, pp. 3, 2019. 2
3） 経済産業省資源エネルギー庁: 令和元年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2021) HTML 版, 第 2 部,第 1 章, 第 2 節, 2 家庭部門のエネルギー消費の動向
4） 経済産業省: 経済産業省生産動態統計年報 機械統計編, 31 民生用電気機械器具, 2015~2020
5） 国立研究開発法人建築研究所: エネルギー消費性能計算プログラム住宅版, https://house.lowenergy.jp/
6） 環境省: 平成 31 年度（令和元年度）家庭部門の CO_2 排出実態統計調査
7） 総務省統計局: 令和 2 年国勢調査 人口等基本集計, 2020. 10
8） 総務省統計局: 平成 30 年住宅・土地統計調査. 2018. 10
9） 国立研究開発法人建築研究所: 平成 28 年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報（住宅）現行版:2. 1, 第二章, 第一節, 2021. 7
10) 国立研究開発法人建築研究所: 平成 28 年省エネルギー基準に準拠したエネルギー消費性能の評価に関する技術情報（住宅）現行版:2. 1, 第七章, 2021. 10
11) エネルギーの使用の合理化等に関する法律施行規則: 別表第三

空気調和・衛生工学会近畿支部
学術研究発表会論文集（2022.3.11）

暑熱対策設備の技術評価手法に関する検討
Study of Technology Evaluation Method of Facilities for Adaptation to Hot Environment

山口和輝（大阪府立大学）　木下進一（大阪府立大学）　吉田篤正（大阪府立大学）
Kazuki YAMAGUCHI*1　Shinichi KINOSHITA*1　Atsumasa YOSHIDA*1
*1 Osaka Prefecture University

Recently, we are effected by global warming and heat island phenomenon and it increase number of heatstroke patient. Summarize equipment is in the spotlight. Technical method for summarize equipment is not yet established. Purpose of this study is to establish technical method for summarize equipment. I wondered if I could use Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) used as an indicator of heat stroke prevention. In this study, I make experiments with measuring instrument on the market. Censer without radiation shield influenced by the sun.

1. はじめに

近年，気候変動やヒートアイランド現象の影響により，夏季の暑熱環境は厳しさを増しており，熱中症患者の増加や快適性の低下など人々の生活に影響を及ぼしている．そこで町中の暑さ対策として，各種日除けやドライミスト等の暑熱対策設備が設置されてきているが，それら設備の暑さ対策，熱中症対策効果について，その評価指標ならびに評価手法は，まだ十分に確立されていない．本研究では一般的な熱中症対策指標である WBGT を指標とすることを考えた．Keatisuwan ら[1]は，同じ WBGT であっても気温の高い条件のほうが皮膚温・直腸温上昇度が高く，発汗蒸発量が多く，かつ運動時の心拍数には有意な差がないものの，運動後の心拍数の戻りが遅いことが示され，よりストレスが多いことを示している．また都築らの研究[2]では，WBGT は皮膚温度や発汗量などの温熱生理や温熱感覚とも SET*よりも相関が高いと報告されている．本研究では、市販の WBGT 計により暑熱対策設備を想定した屋外空間の WBGT 測定を行い，各測器の特性の評価ならびにそれらを用いた環境評価とその手法を検討した．

2. 実測概要

大阪府立大学中百舌鳥キャンパス B4 棟の中庭と人工気候室にて，2021 年 9 月中旬から 10 月下旬にかけて市販の WBGT 測定器 3 種(T，A，M)各 2 台による同時測定を行った．測定器は，すべて黒球・温湿度センサ型で構成されており，黒球サイズは測器 A, B, C それぞれ 15mm, 75mm、50mm であり，測器 B については黒球の大きさを考慮して補正された値が記録されるが、測器 C は換算を行っていない．すべての測器は JIS B 7922 準拠とされており，測器 A，B，C のクラスはそれぞれ 1.5，2，1.5 である．それぞれ測器の仕様を表 1 に示す．

Table.1 Performance of each measuring instrument

model	A	B	C
class	1.5	2	1.5
WBGT	0～60°C ±1.5°C（15～40°C）	0～50°C ±2.0°C	0～59°C ±1.5°C
Globe Temperature	0～80°C ±0.5°C（20～60°C） （φ150mm，unknown）	0～80°C ±0.5°C （φ75mm，thermistor）	0～80°C ±0.6°C （φ50mm，thermistor）
Humidity	10～90% ±3%（30～90%，25°C） （unknown）	10～90% ±5%（20～90%，25°C） ±7%（10～19.9%，25°C） （capacitance type sensor）	1～99% ±3%(20～80%) ±5%(other) （capacitance type sensor）
Temperature	0～60°C ±0.5°C（20～50°C） （unknown）	0～50°C ±0.6°C （thermistor）	0～50°C ±0.8°C （thermistor）

2.1　人工気候室での各測器内の器差評価

大阪府立大学内の人工気候室にて，2021 年 10 月下旬に次のように気温および相対湿度の設定条件を変えて室内環境の測定を行い，測器間の器差を評価した．それぞれ A1, A2, B1, B2, C1, C2 とする．市販 WBGT 計による気温，相対湿度，黒球温度の測定と湿球温度，WBGT の算出に加えて，風速を超音波風速計を用いて同時に測定した．

(1) 条件 1

相対湿度 60%一定，気温 20℃，25℃，30℃

(2) 条件 2

気温 25℃一定，相対湿度 40%，60%，80%

2.2　屋外実験

中庭において 1800 ㎜×2700 ㎜，高さ 1700 ㎜のテント 2 張りを設置し，テント下と隣接する日向において，テントの膜材およびテント下の条件を変えて測定を行った．なお市販 WBGT 計による気温，相対湿度，黒球温度の測定と湿球温度，WBGT の算出に加えて，日向で上下東西南北 6 方向からの長短波放射，風速の測定を行った．

(1) 条件 1　テントの膜材

使用した膜材は 3 種類で，それぞれ色目は緑，白，黒である．緑の膜材については透過性を有しており，白および黒についてはほぼ透過性はない．

(2) 条件 2　ファンの設置

テント下にファン(羽根径 43.5 ㎝，4 枚，最大風速 118m/min)を 2 台設置し，風量を 3 段階に変えて測定を行った．ファンは測器から 1.5m の距離に設置し，日向とテント下どちらも風速計を設置し風速の測定を行った．このとき日向の風速計がファンの影響を受けないように配置した．なおこの時のテント幕は緑幕を使用した．

3. 結果

3.1　人工気候室内での実験

日射のない人工気候室内での測定では各測器のセンサの性能の違いによる器差を調べたが，相対湿度以外に大きな差は見られなかった．測器 A と測器 T との差は，気温が 0.1℃未満，黒球温度も最大でも 0.2℃未満だったが，相対湿度は最大で 10%の差がみられ，湿球温度で最大 2.5℃，WBGT で最大 1.5℃の差がみられた．測器 C と測器 A との差は，気温が最大 0.3℃ほど，黒球温度も最大 0.5℃近く，相対湿度は最大 5%ほど，湿球温度で最大 1.5℃ほどの差がみられた．相対湿度の精度が重要と考えられる．なお同じ種類の測器間での誤差は全パラメータにおいて大きな差は見られず，WBGT の差で最大でも 0.2℃以下であった．

3.2　屋外実験

緑幕，白幕，黒幕全ての実験日において日最高 WBGT が，日本生気象学会の定める指標において危険ラインとされている 31℃を超えていた．全実験日において日最高 WBGT を記録した時間が含まれる 11 時半～12 時半の日射が比較的安定した時間帯 30 分程度のデータを抜き出し，その平均値をグラフに示す．白幕の実験日における日向とテント下の気温，相対湿度の値を図 1，2 に示す．

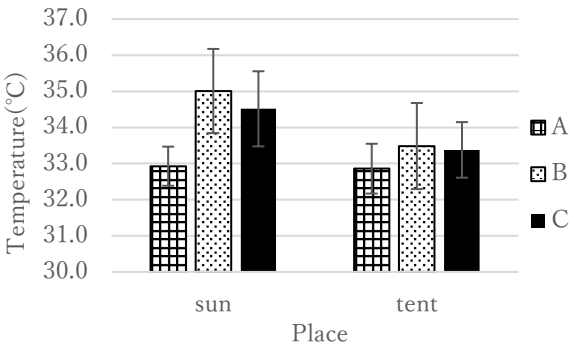


Fig.1 Temperature under the sun and tent

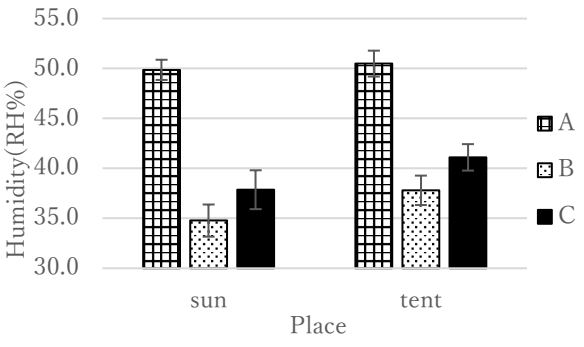


Fig2 Humidity under the sun and tent

日射の強い日向のほうが気温，相対湿度，黒球温度の器差がそれぞれ大きくなっている．

気温の器差に関しては，測器 A は放射除けがあるため，日向とテント下の値の差がほとんどなく，測器 B と測器 C は放射除けがないため，センサが放射の影響を受けることで測器 A に比べて過大評価につながり，日射の強い日向の値がテント下に比べて大きくなることで日向とテント下でも差が生まれたと考えられる．

相対湿度の器差に関しては温度に大きく依存するため，測器 B と測器 C はセンサ自体が受ける放射の影響に加え，気温の差が相対湿度にも影響してテント陰より日向のほうが測器 A との差が大きくなっていると考えられる．

放射環境との関係を見るために MRT との関係を図 3．4 に示す．

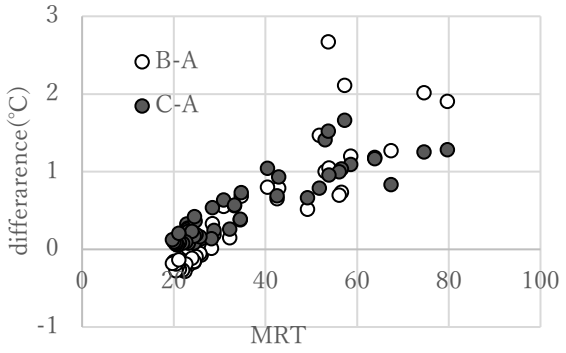


Fig.3 The relationship between temperature and MRT

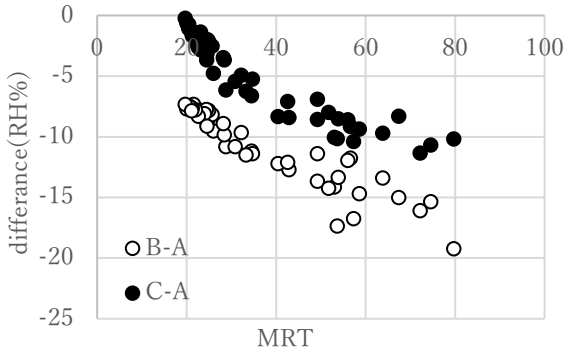


Fig.4 The relationship between humidity and MRT

測器 B，測器 C ともに MRT が大きくなるにつれて，気温は測器 A より過大評価し，相対湿度は過小評価している．相関係数は，気温については，測器 B と測器 A の差が 0.89，測器 C と測器 A の差が 0.91 とどちらも強い正の相関がみられ，相対湿度については，測器 B と測器 A の差が-0.94，測器 C と測器 A の差が-0.93 と強い負の相関がみられた．

つまり放射除けのない測器 B と測器 C は明らかに放射の影響を受けていると言える．

式(1)(2)の係数を見ると，気温自体は WBGT の 1 割と影響が少ないが，WBGT の 7 割を占める湿球温度の算出に気温と相対湿度の値が使われているため，この 2 つの値の差は WBGT に大きな影響を及ぼす．このことから気温センサ，相対湿度センサが放射除けに覆われていることが必須と考えられる．

黒球温度については，測器 C の黒球温度の値が，黒球サイズによる換算を行われておらず，そのままの値では黒球温度に測器 A と最大 5℃以上の差がみられたため，別で測定した風速の値を使用して直径 150 ㎜黒球温度への換算を行った．換算式を次に示す[3]．

$$t_{g150} = t_a + [(1 + 1.13v_a^{0.6}d^{-0.4})(t_{gd} - t_a)/(1 + 2.41v_a^{0.6})]$$

ただし，T_{g150}：直径 150 ㎜黒球温度(℃)，t_a：乾球温度(℃)，t_{gd}：直径 d ㎜黒球温度(℃)，v_a：風速(m/s)である．換算前後の測器 C の値も含めて図 5 にグラフを示す．

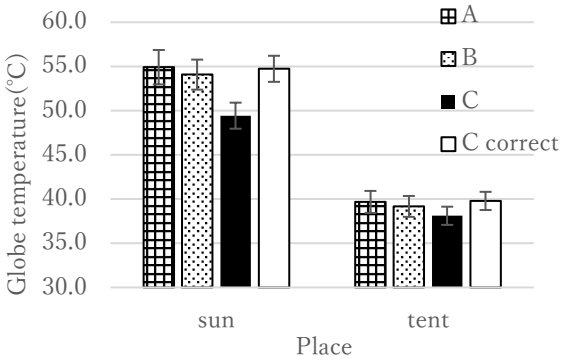


Fig.5 Globe temperature under the sun and tent

換算を行うことで黒球温度の差はほとんどなくなり，異なる条件においても最大でも 1.5℃以下となった．

図 1.2.5 と同じ時間帯における各条件の日向とテント下での WBGT の平均値を図 6 および図 7 に示す．

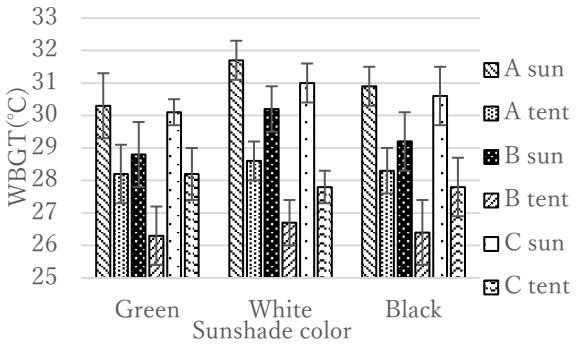


Fig.6 WBGT under the sun and tent in three different tent curtains

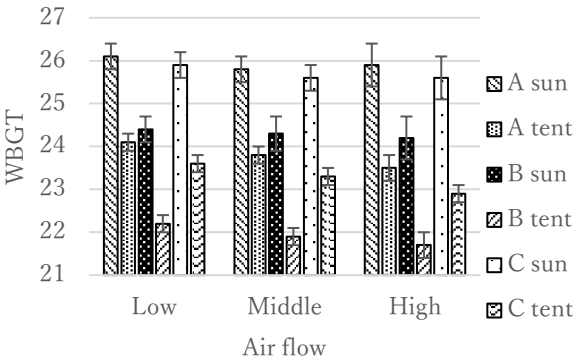


Fig.7 WBGT under the sun and tent at three levels of wind speed

日除けによる WBGT 低減効果は，テントの色の違いによらず確認され，日射量や風速の条件が異なるため純粋な比較はできないが，透過性がなく，反射率が高い白色膜による WBGT 低減効果が比較的大きく測定された．また，テント+ファンによる WBGT 低減効果も，ファンの強さによらず確認され，ファンの強さが強くなるほど WBGT 低減効果は比較的大きく測定された．このことから，日射低減や送風ファンによる暑熱軽減効果を WBGT によって評価することは可能だと考えられる．

WBGT の測定値は機種ごとに差が生じ，WBGT 低減効果も，測器 T と比べ，測器 A，M のほうが課題に評価される傾向にあった．

3.3 比較

日射のない人工気候室内での測定では各測器のセンサの性能の違いによる器差を調べたが相対湿度以外に大きな差は見られず，相対湿度についてはセンサの性能次第で最大 10%もの差がみられた．なお，同じ種類の測器間での誤差は全パラメータにおいて大きな差は見られず，WBGT についても差は最大でも 0.2℃以下となった．その一方，日射の強い日向での測定では，放射除けのない測器が放射の影響を受けることで，気温の過大評価，相対湿度の過小評価，それによる湿球温度，WBGT の過小評価につながった．放射除けの有無による WBGT の値の差は，最大 1℃近くとなり，WBGT 軽減効果の差は最大で 0.5℃以上見られた．

このことから，放射除けのある WBGT 測定器であれば，同じ測器 2 台で日向と暑熱対策設備内での同時測定を行うことで，暑熱軽減効果を WBGT 低減効果によって示すことが可能だと考えられる．

5. 結言

本研究では，大阪府立大学中百舌鳥キャンパス B4 棟中庭において，市販の WBGT 計により暑熱対策設備を想定した屋外空間の WBGT 測定を行い，各測器の特性の評価ならびにそれらを用いた環境評価とその手法を検討した．その結果として知見を得たことを次に示す．

・センサが放射の影響をうけると，正しい値を測定することができないため，センサが放射除けに覆われていることが必須である．

・相対湿度の値が湿球温度に大きな影響を及ぼすため，相対湿度センサの精度が重要であると考えられる．

・今回の結果から WBGT 測定器 2 台で日向と暑熱対策設備内での同時測定を行うことで，暑熱軽減効果を WBGT 低減効果によって示すことが可能だと考えられる．

参考文献

[1] Keatisuwan W.， Ohnaka T.， Tochihara Y. 1996. Physiological Responses of Men and Women during Exercise in Hot Environments with Equivalent WBGT, Appl Hum Sci, 249/258

[2] 都築和代，磯田憲生，夏季における日射のある屋外温熱環境が運動時の人体に及ぼす影響，人間と生活環境，16(1)，1/9，2009

[3] Graves KW.(1974) Globe thermometer evaluation.Am Ind Hyg Assoc J;35:115-24.