

複合的な室内環境条件における知的生産性の向上と省エネルギーの両立を目指した研究
(第一報) 実執務空間における夏期の主観および客観評価分析

Study on the Compatibility between Improvement of Intellectual Productivity and Energy Saving in Complex Indoor Environment Conditions - Analysis of Subjective and Objective Evaluation of the Real Work Space in Summer

○妹尾 将司 (関西電力) 山口 弘雅 (関西電力)
田中 宏明 (日建設計) 藤井 拓郎 (日建設計)
山口 峻 (日建設計) 林立也 (千葉大学)
福井 あかり (日建設計) 曹 立嫻 (千葉大学)

Masashi SENOO*¹ Hiromasa YAMAGUCHI*¹ Hiroaki TANAKA*² Takuro FUJII*²

Takashi Yamaguchi*² Tatsuya HAYASHI*³ Akari FUKUI*³ Lishyan TSAO*³

*¹ The Kansai Electric Power Co, Inc *² Nikken Sekkei Ltd *³ Chiba University

The authors conducted environmental measurement and questionnaire survey to consider the better indoor environment for improvement intellectual productivity, and performed cross analysis. As the result of the analysis, it was confirmed a correlation between level of impact on intellectual productivity and level of satisfaction against thermal environment, air environment and space. It was suggested that improvement level of satisfaction increase intellectual productivity.

はじめに

近年、企業の競争力向上、従業員のメンタルヘルス損失防止の観点等から、組織の知的生産性向上が重要であるとの認識が高まりつつある。一方で、オフィスの設計及び施設運用において知的生産性の向上効果を客観的手法により定量的に評価した事例は少ない。また、業務部門における抜本的な省エネルギーの推進は喫緊の課題であるが、省エネルギー対策が知的生産性の低下につながる場合もあり、知的生産性と省エネルギー性を両立させる技術の確立が求められている^{文1)}。そこで、本研究では執務者の知的生産性に対して最適な室内環境の検討を行うことを目的に、空調設備と照明設備の設定条件に着目し、オフィス空間を対象として、室内環境計測とアンケート調査を実施した。

1. 研究内容

建築・設備の仕様・性能により実現される環境が、知的生産性に与える影響を確認することを目的に、某企業の本社ビルと支店において、室内環境実測、執務者の方を対象とした主観アンケート調査、および学生を被験者とした単純作業成績・集中度等の計測を実施した。

2. 室内環境実測の概要

2.1 実測場所・期間

調査対象建物の概要を表1に示す。本社ビルでは30階を、支店では1~3階の執務室を対象に実測を行う(図1に写真)。実測期間は本社では2018/7/17~8/9、支店

表1. 実測対象建物の概要

	本社	支店
延べ床面積	106,000 m ²	1,281 m ²
竣工年	2006年10月	1979年8月
階数	地上41階、地下5階	地上3階、地下1階
構造	S造、一部SRC・RC造	RC造

表2. 本社ビルの室内環境設定条件

設定条件	①現状条件	②快適条件
室温設定	27.5℃ (湿度成り行き)	25.5℃ (湿度成り行き)
照度設定	500 lx	750 lx

表3. 支店の室内環境設定条件

設定条件	①現状条件	②快適条件
室温設定	27.5℃ (湿度成り行き)	25.5℃ (湿度成り行き)

では2018/7/18~8/10の約4週間である。執務時間は平日の8:50~17:30となっている。

2.2 設定条件

実測期間の前半2週間は普段の室内環境設定条件(表2,3①現状条件)とし、後半2週間は快適条件(表2,3②快適条件、室温:現状設定-2℃、照度:現状設定+250lx)に変更する。照度変更は本社のみで実施した。

2.3 計測項目

計測項目とその配置を表4、図2に示す。なお、屋外の温度、湿度計測については、本社ではBEMSデータを

活用し、支店では屋上に計測器を設置して連続計測した。

3. 執務者アンケート概要

本社ビル30階、支店1〜3階で勤務している社員を対象にアンケート調査を行い、執務環境に対する満足度や業務の知的生産性への影響度などを質問する。

3.1 調査日

室内環境実測の前半(①現状条件)、後半(②快適条件)のそれぞれの最終日にアンケートの案内をメールで配信し、実測期間中の執務空間や勤務状況を振り返り Web 上にて回答してもらう。

3.2 アンケート内容

- (1) 個人属性アンケート 性別、年齢層、役職、職種、座席位置、勤務時間について匿名で回答してもらう。
- (2) 主観作業効率アンケート 執務空間の温熱環境、空気環境、光環境および音環境に対する主観的な満足度や室内環境が業務の知的生産性へ及ぼす影響度について、それぞれ5段階で評価する。

4. 単純作業成績・集中度計測概要

実測期間中の代表日に被験者実験を実施する。被験者は本社ビルで4名、支店で3名とする。

4.1 作業内容

タブレット端末を用いた三桁加算を45分間、2セット行う。必ず繰り返り上がりが含まれるものとし、難易度はほぼ均一の問題である。終了後に環境満足度、作業への影響度を評価するアンケートに回答してもらう。作業は本社ビル30階のリフレッシュスペース、支店2階の打ち合わせスペースでそれぞれ行う。

4.2 計測項目

頭部動作(代表者2名)、心電図(代表者1名)、および鼓膜温度(全員)の計測を行う。温度と照度については室内環境実測で得られたデータのうち単純作業成績計測を行った場所付近のものを使用するが、当該場所では照度の条件変更は行っていない。

5. 実測及びアンケート結果

5.1 室内環境実測

実測結果を表5に示す。数値は、執務時間(平日、8:50〜17:30)中に執務室の全計測点で計測した値を平均したものである。設定条件変更により温度は1.1度から2.7度の範囲で低下がみられ、それに伴いPMV値も快適側に推移した。支店の条件①ではフロアごとの温度の差が大きかった。湿度、CO₂濃度、騒音値、風速については大きな差はなかった。照度は設定変更した本社ビルにおいて200lx程度高くなった。

5.2 執務者アンケート

条件①、②の両方に回答した方のみを分析の対象とする。有効回答数は本社で118人、支店で27人であった。表6に執務者アンケートの結果を示す。本社ビルでは設定条件変更により満足度、知的生産性への影響度ともに

増加した。支店1階のアンケート回答者数は少なかったため、2、3階の結果をみると、温熱環境満足度、空気環境満足度と知的生産性への影響度が増加傾向にあった。

表4. 計測項目

	室内計測項目	計測高さ (m)	計測位置・計測日
室内	温度、湿度、CO ₂ 濃度、騒音値	机上面高さ	図2(常時)
	気流速、照度		図2(代表日)
	上下温度分布	0.1、0.6、1.1、2.0	図2(常時)
	PMV	0.6	—
室外	温度、湿度	1.1	常時
	CO ₂ 濃度		代表日



図1 執務室写真 本社(左)、支店2階(右)

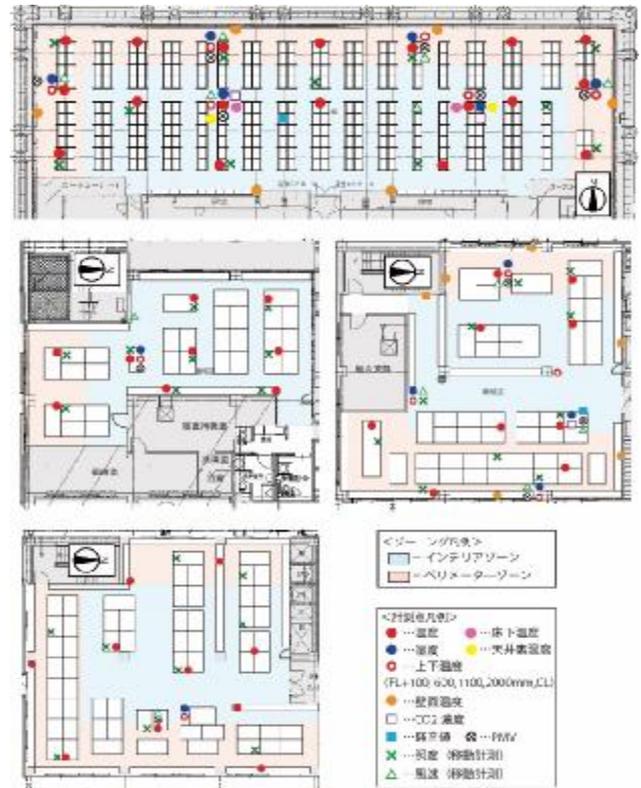


図2 計測位置 本社(上)、支店1階(中左)、2階(中右)、3階(下)

表5 室内環境実測結果一覧

		本社ビル			
		30階	1階	2階	3階
温度 (°C)	条件①	26.8	27.0	25.8	28.2
	条件②	25.5	25.7	24.7	25.5
湿度 (%)	条件①	62.0	59.0	54.8	56.6
	条件②	59.8	58.8	56.0	55.9
CO ₂ 濃度 (ppm)	条件①	925	-	917	-
	条件②	875	-	866	-
騒音値 (dB)	条件①	53.3	-	59.4	-
	条件②	53.3	-	59.3	-
PMV (-)	条件①	0.66	0.54	0.21	0.68
	条件②	0.35	-0.18	0.20	0.23
風速 (m/s)	条件①	0.10	0.21	0.23	0.28
	条件②	0.11	0.24	0.14	0.20
照度 (lx)	条件①	682	509	678	651
	条件②	871	486	659	629

5.3 単純作業成績・集中度計測

被検者実験の結果(平均値)を表7に示す。被験者の人数が少ないため数値は参考になるが、条件①から条件②へ変更した後、温熱環境満足度と作業能力への影響度が顕著に高くなっている。頭部動作計測から算定した非安定率^{※2)}は、頭部姿勢が平均±10°の基準範囲外にあった割合であり、集中度の指標とする。非安定率との相関はいずれの項目でもみられなかった。LF/HFは心電計測から導いたもので、値が大きいほどストレスがかかっている可能性が示唆される。正答数が増えるほどLF/HF値が大きくなる傾向があり、作業成績が良い場合でも高いストレスを受けている可能性がある。室温と正答数、室温と温熱環境満足度にはほどほどの相関があり(それぞれR=0.64、R=0.47)、有意差がみられた。照度と正答数、照度と光環境満足度には相関関係はみられなかった。

6. 調査結果を用いたクロス分析

6.1 環境満足度と知的生産性への影響の相関

表8は執務者アンケートの集計結果から、知的生産性への影響度と各環境の満足度との相関関係をそれぞれ示したものである。温熱環境満足度、空気環境満足度および空間環境満足度と知的生産性への影響度との間に相関関係がみられた。温熱環境満足度と空気環境満足度には比較的強い相関関係(相関係数 R=0.61(本社)、0.68(支店))がみられる。また、図3に本社ビル、支店の両条件における生産性低下要因(複数回答可)の積み上げグラフを示す。本社、支店とも温熱環境の不满要因が低下している一方、照度を高くした本社では光環境の不满要因に大きな変化はなかった。低下要因の関係する環境満足度と知的生産性への影響度との相関が高くなっており、不满要因を改善すれば知的生産性が高くなる可能性が示された。執務空間に関する不満は、本社ビルで「執務室の出入扉の出入りが多く、開閉音が大いいため気になる」、支店で「執務室が狭い、老朽化している」などの不満が多く挙げられた。音環境は、条件①から条件②にかけて、低下要因を申告する数が増えたが、主には「他人の電話」「他人の会話」などで増加数が多く、今回の実測における変更条件とは別の原因から増加したと想定される。

6.2 座席位置ごとの満足度

図4のように本社ビル30階の執務室を東側、中央、西側とインテリアゾーン、ペリメーターゾーンにそれぞれ分け、温熱環境、光環境について実測結果とアンケート結果について分析する。

(1) 温熱環境(図5) インテリアゾーンの温度は場所によらずほぼ一定であり、平均温度は条件①で26.5度、条件②で25.2度であった。ペリメーターゾーンの温度は西側と東側で高くなった。設定条件変更後、満足度は全体的に高くなる傾向がみられたが中央のペリメーターゾーンの満足度のみ下がった。条件②では不満要因として

表6 執務者アンケート結果一覧

	本社ビル 30階	支店			
		1階	2階	3階	
温熱環境満足度	条件①	3.09	2.00	2.46	2.17
	条件②	3.52	2.00	2.92	2.85
空気環境満足度	条件①	3.34	3.50	2.54	2.67
	条件②	3.82	3.50	2.75	2.69
光環境満足度	条件①	3.61	2.00	3.38	3.58
	条件②	3.76	2.50	3.33	3.15
音環境満足度	条件①	3.52	3.00	2.85	2.50
	条件②	3.64	3.50	2.33	2.54
空間満足度	条件①	3.48	3.00	2.31	1.83
	条件②	3.63	3.50	2.25	2.08
知的生産性への影響度	条件①	2.97	2.50	2.46	2.08
	条件②	3.32	3.00	2.50	2.38

※満足:5、やや満足:4、どちらともいえない:3、やや不満:2、不満:1(満足度)
※高めてくれる:5、やや高めてくれる:4、どちらともいえない:3、やや低下させている:2、低下させている:1(影響度)

表7 単純作業成績・集中度計測結果(平均値)一覧

	本社ビル	支店	
正答数(問/45min)	条件①	521.5	569.0
	条件②	589.9	691.8
温熱環境満足度	条件①	2.63	2.17
	条件②	4.25	3.33
空気環境満足度	条件①	3.75	3.50
	条件②	4.00	3.33
光環境満足度	条件①	3.63	2.83
	条件②	3.00	3.00
作業能力への影響度	条件①	3.13	1.83
	条件②	3.88	3.33
非安定率(%)	条件①	0.55	15.2
	条件②	3.01	1.21
LF/HF	条件①	1.75	1.70
	条件②	2.42	1.80
室温(°C)	条件①	26.8	26.3
	条件②	25.5	24.0
照度(lx)	条件①	-	840
	条件②	573	672

表8 知的生産性への影響度との相関関係

	温熱環境	空気環境	光環境	音環境	空間環境
本社	0.61	0.42	0.28	0.19	0.48
	<.0001	<.0001	<.0001	0.0031	<.0001
支店	0.62	0.50	0.30	0.33	0.58
	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

※上段に相関係数R、下段にp値を示す。

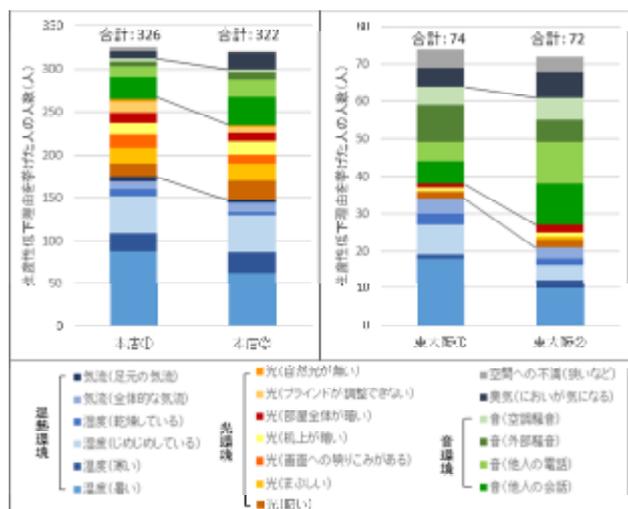


図3 知的生産性を低下させている環境要因

「寒い」または「やや寒い」と回答した人の割合が増え、特に中央のインテリアゾーンでその傾向が多く

みられ、さらに女性にその回答が多かった。図6に、西側、中央、東側の温度と温熱環境満足度の相関を示す。西側、東側では「寒い」「やや寒い」の申告がないため、相応な相関がみられるが、中央では不満要因が暑いと寒いに割れており、温度と満足度の相関は低くなる。

(2)光環境 インテリアゾーンの照度は場所によらずほぼ一定であり、平均照度は条件①で542lx、条件②で660lxであった。設定条件変更後、満足度はインテリアゾーンでは高くなったが、ペリメーターゾーンの西側では低くなった。インテリアゾーンのみを分析したところ、机上面の明るさと光環境満足度、光環境満足度と知的生産性への影響度の間に弱い相関がみられたが、照度との相関はいずれの項目でもみられなかった。ペリメーターゾーンの知的生産性を低下させている要因としては「窓からの光がまぶしく、パソコン画面が見づらい」「西日がまぶしい」などの不満が挙げられた。

7. まとめ

- ・年齢層、役職、職種および勤務時間の違いによる環境満足度、知的生産性への影響度の差はみられなかった。
- ・女性の回答者が男性に比べて少なかったため、全体としては性別による環境満足度、知的生産性への影響度の差はみられなかったが、本社ビルの条件②のアンケートでは「寒い」または「やや寒い」と回答した女性の割合は男性よりも多かった。
- ・条件②に設定変更後、中央のインテリアゾーン・ペリメーターゾーンで「寒い」または「やや寒い」と回答した人が多かった。
- ・本社ビルにおいてインテリアゾーンではペリメーターゾーンよりも安定した室内環境が得られることが実測から確かめられた。
- ・照度が高くなると光環境満足度は上がる傾向にあるが、照度と光環境満足度、照度と知的生産性への影響度の間に相関関係はみられない。
- ・温熱環境満足度、空気環境満足度および空間満足度と知的生産性への影響度との間に相関関係がみられた。
- ・全体の不満要因の中で大きな割合を占めている不満要因ほど、知的生産性への影響度との相関が高くなっており、不満要因を改善すれば知的生産性が高くなることが示唆された。
- ・今回の実測では室内温度を現状設定-2度の設定条件としたが、最適な温度はさらに検討が必要である。
- ・単純作業成績・集中度計測から、室温と正答数、室温と温熱環境満足度にはほどほどの相関関係があること、照度と正答数、照度と光環境満足度には相関関係はみられないという結果が得られたが、室内環境実測および執務者アンケートの結果と整合性のとれる結果であった。

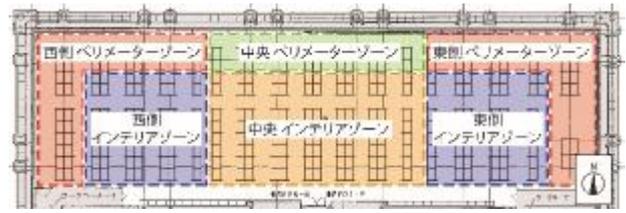


図4 本社ビル 座席位置によるゾーニング

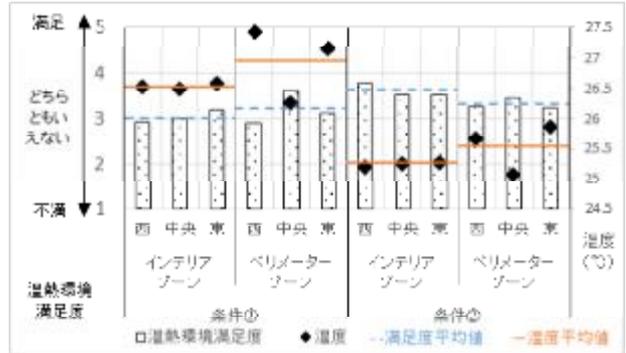


図5 空間別・条件別の温度と温熱環境満足度 (本社ビル)

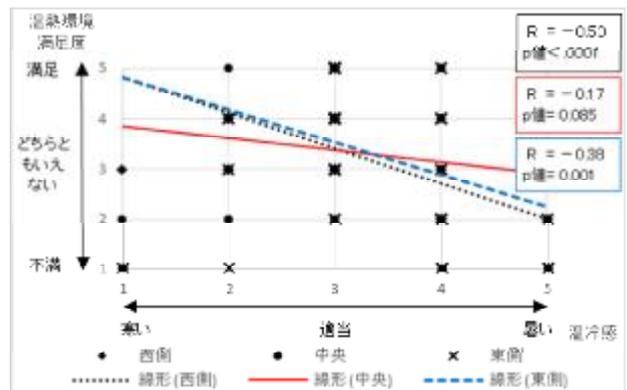


図6 座席位置ごとの温冷感と温熱環境満足度の相関

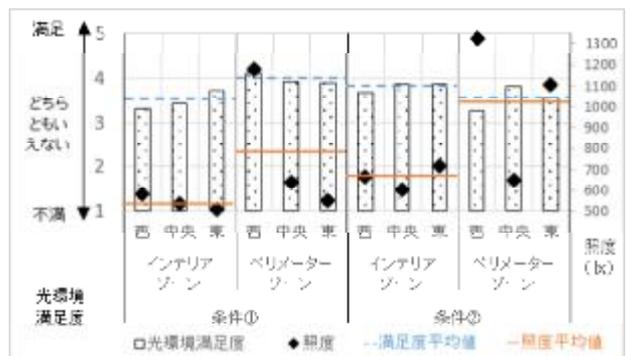


図7 空間別・条件別の照度と光環境満足度 (本社ビル)

【参考文献】

文1) 金子ら、複合的な室内環境条件における知的生産性の向上と省エネルギーの両立を目指した研究 (第1, 2報)、空気調和衛生工学会大会学術講演論文集、p389-396、2018 (名古屋)

文2) 桑名ら、個室ブース内での単純作業における集中状態と頭部動作の相関に関する研究、空気調和衛生工学会大会学術講演論文集、p421-424、2016 (鹿児島)

葉菜類栽培用温室内の作業性に関する研究

- 栽培作業台高さが作業効率、全身温冷感、疲労度に与える影響 -

Study on workability inside a greenhouse for reef vegetables

-Effect of cultivation work table height on work efficiency, whole thermal sensation and fatigue degree-

○山田 侑輝 (大阪市立大学)

鍋島 美奈子 (大阪市立大学)

西岡 真稔 (大阪市立大学)

北川 康孝 (東レ建設株式会社)

大橋 良之 (東レ建設株式会社)

Yuuki YAMADA*¹ Minako NABESHIMA*¹ Masatoshi NISHIOKA*¹Yasutaka KITAGAWA*² Yoshiyuki OOHASHI*²*¹ Osaka City University *² TORAY Construction Co., Ltd.

Recently it is known that high floored sand cultivation that can cultivate in easy work and high productivity. This study shows that comparisons of workability due to the difference in the height of the cultivation work table. As a result, it was confirmed that 3.9 more color balls can be arranged when the height of the cultivation work table is 90 cm than when the height of the table is 55 cm. In addition, the burden of psychological condition became smaller when the cultivation work table height was 90 cm than when the height was 55 cm, and each was quantitatively evaluated.

はじめに

現在、農業分野では生産性や施工性に優れている高床式砂栽培農業が注目されている。高床式砂栽培農業の特徴として地面で作業を行っていた従来のビニルハウス農業と比べると、腰付近の高さで作業ができるため、体への負担が少ないことなどがあげられるが、これらの利点は抽象的、定性的なものである。茂木ら¹⁾は立位作業時に作業台を使用する場合の作業台高さの最適値を主観評価によって肘高差が 10cm であることを明らかにした。しかし作業に関する主観評価は作業高さでしか評価されておらず、要因として考えうる疲労度や全身温冷感といった心理量や生理量の分析はしていない。

そこで本研究では2018年度の10月から12月のビニルハウス内の温熱環境や作業効率や生理量、心理量を計測し、これらの相互関係を分析する。高床式砂ベッドの高さは、栽培する作物や作業者に応じて高さを変えることができる。本報では、砂ベッドの高さを腰付近の高さである 90cm と、腰をかがめて作業する高さである 55cm の 2 条件とし、各条件で実験結果に差があるか否かについて明らかにする。なお、今回の実験では評価指標や実験方法の妥当性を検討する必要があるため、被験者数を限定した予備的な実験と位置付けている。

1 実験概要

1.1 作業内容

実験は2018年10/11~12/04の5日間に被験者3名の参加により実施した (Table 1, Fig. 1)。作業効率を計測するための模擬作業として、苗を定植する代わりに赤、黄、青、緑の4色のカラーボールを砂ベッドに置いていくものとした。また、作業効率の評価方法としては被験者に実験直前に以下の Fig. 2 のようにカラーボールがランダムに配置されている用紙を渡し、5分間でこの配置通りにカラーボールを正確に砂ベッドに配置できた個数で評価した。また、回数を経ることによる慣れを防ぐため、カラーボールには1~9の数字のシールが貼っており、縦の列のカラーボールの数字を足し合わせた合計を各列の下枠内に記入し、ここで計算に間違いがあった場合カラーボールの個数を1つ減らすものとする。

1.2 計測項目

本実験で計測する項目を Table 2 に示す。ここで、生理量計測項目に示されている L/H は自律神経のバランス、CCVTP は自律神経の活動量を意味する。また、心理量計測項目は Fig. 4 のようにカテゴリ尺度を用いて被験者の主観申告として得る。

• Experiment Schedule

10/11, 10/24, 11/13, 11/22, 12/04 Perform each experimental condition twice a day

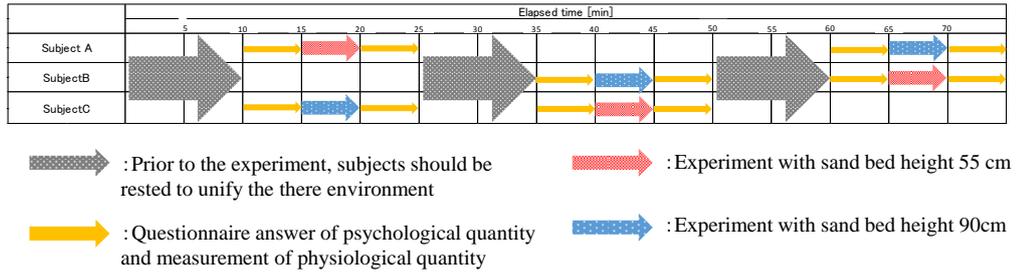


Fig. 1 Experiment schedule

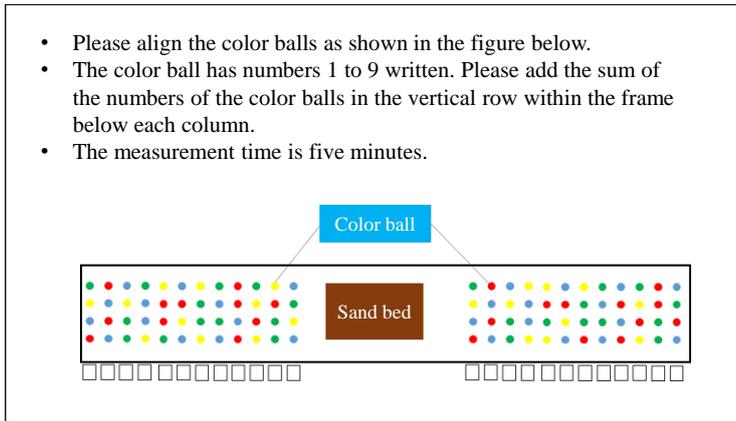


Fig. 2 Instructions for measuring work efficiency (An example)

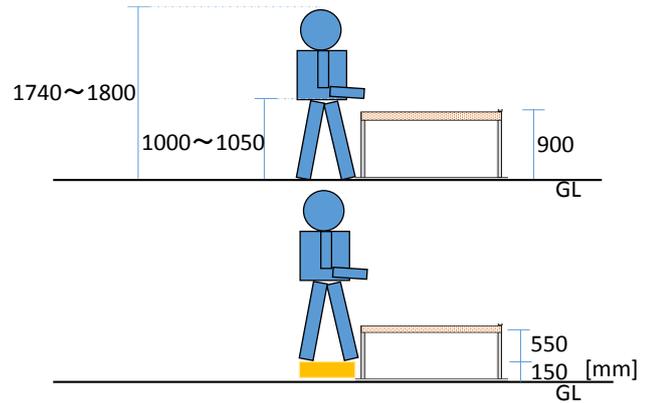


Fig. 3 Image of experiment

Table 1 Subject features

	subject		
	A	B	C
age	22		
sex	male		
height [cm]	177	174	180
body weight [kg]	63	75	63
body surface area [m ²]	1.8	1.9	1.8

Table 2 Measurement item

	Measurement item
Thermal environment	Dry bulb temperature
	Relative Humidity
	Globe Temperature
	Wind speed
Work efficiency	Number of color balls
Psychological condition	Whole thermal sensation
	Fatigue degree
	Tolerance
Physiological condition	L/H
	CCVTP

Table 3 Measurement interval and measurement height of thermal environment

Thermal environment		
Measurement item	Measurement interval	Measurement height
Dry bulb temperature	10sec	150cm
Relative Humidity		
Globe Temperature	1sec	200cm
Wind speed		

Questionnaire

2018 / (:) subject : A B C D

■ Please circle the applicable number.

- whole thermal sensation
 - Very cold
 - cold
 - cool
 - Slightly cool
 - Neither
 - Slightly warm
 - warm
 - hot
 - Very hot
- fatigue degree
 - very tired
 - tired
 - Neither
 - not very tired
 - not tired
- Can you accept this temperature and humidity environment?
 - Unacceptable
 - Somewhat unacceptable
 - Somewhat acceptable
 - acceptable

Fig. 4 Questionnaire form for measuring psychological condition

2 実験結果

2.1 作業効率と砂ベッド高さの関係について

全実験の全被験者の砂ベッド高さごとの正確に配置できたカラーボールの個数の平均の結果を Fig. 5 に示す。これより砂ベッド高さが55cmの時よりも90cmの方が3.9個多く配置し、有意水準1%で有意差ありとなった。同様に砂ベッド高さごとの計算の正解率の平均を Fig. 6、カラーボール配置の正解率の平均を Fig. 7 に示す。これより、砂ベッド高さが55cmの時よりも90cmの方が計算の正解率は2.1ポイント大きくなり、カラーボール配置の正解率は0.7ポイント大きくなった。

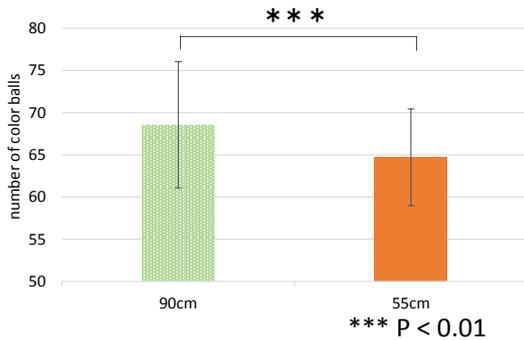


Fig. 5 The average of the total number of color balls of all subjects

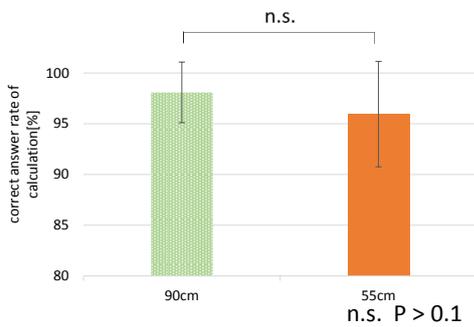


Fig. 6 Average of the correct answer rate of calculation of all subjects

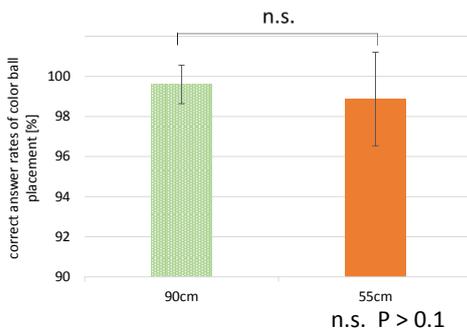


Fig. 7 Average of correct answer rates of color ball placement of all subjects

2.2 心理量と砂ベッド高さの関係について

全実験の全被験者の砂ベッド高さごとの心理量の変

化量(実験前 - 実験後)のそれぞれの項目についての結果を Fig. 8~Fig. 10 に示す。全身温冷感(whole thermal sensation)は砂ベッド高さ90cmの時よりも55cmの時の方が0.5ポイント小さい値となり、より暑い側へと変化した。同様に疲労度(fatigue degree)についてもみると0.8ポイント大きい値となり、より疲れたことを示した。また、許容度(tolerance)についてもみると0.3ポイント大きい値となり、より許容できない環境へと変化した。全身温冷感と疲労度については有意水準1%で、許容度については有意水準10%で有意差ありとなった。

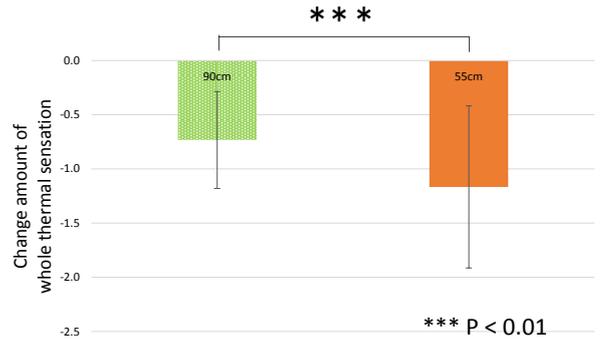


Fig. 8 The average of the change amount of whole thermal sensation of all subjects

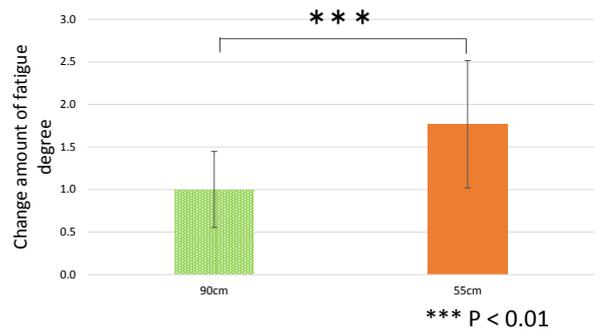


Fig. 9 The average of the change amount of fatigue degree of all subjects

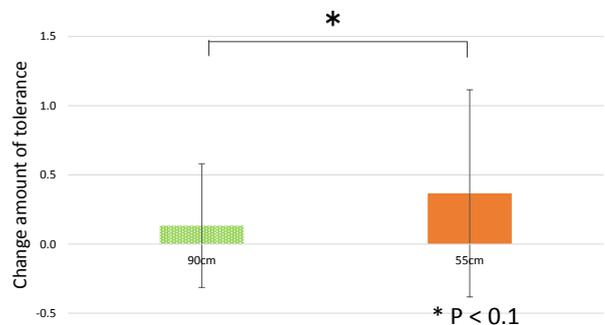


Fig. 10 The average of the change amount of tolerance of all subjects

2.3 生理量と砂ベッド高さの関係について

2.3.1 疲労度と砂ベッド高さの関係について

実験の前後で L/H と CCVTP を計測したが、精神的ストレスによる疲労度を測る指標であるので、短時間の実験で作業台高さの違いを評価するには適していなかった。本報では結果の記載を省略する。今後は実験中も連続的に計測が可能な項目に変更したい。

2.3.2 代謝量の上昇について

代謝量は人の温冷感を決める重要な要素の一つである。実験前後で被験者 3 名全員の全身温冷感申告と SET* の関係を Fig. 11 に示す。SET* と全身温冷感申告の相関係数 $r = 0.83$ であり、強い線形関係がみられた。これより、全身温冷感が 1 ポイント上昇するごとに SET* は約 1.7°C 上昇する関係式 (formula 1) が得られた。この関係式を用いて、10 月 11 日の被験者 A の砂ベッド高さ 55cm 時 1 回目の SET* と代謝量の算出方法を Fig. 12 に示す。実験の前後で ΔTSV は 2 ポイントあったので、SET*_{ca} は $22.6 + 1.7 \times 2 = 25.9^\circ\text{C}$ になると予想されるが、代謝量 (58W/m²) を実験前後で変化しないと仮定して算出する SET*a は 22.9°C であり、約 3K の差が生じていた。この場合、実験を行うことにより代謝量 M_{ca} が上昇することを考慮すれば、SET*_{ca} の方が妥当であると考えた。実験後の代謝量を未知数として、M_{ca} を逆算すると砂ベッド高さ 55cm 時の全被験者の平均は 180.5 W/m²、90cm 時の全被験者の平均は 152 W/m² となった。これより代謝量の上昇量は砂ベッド高さ 55cm 時の方が 90cm 時に比べ 28.5 W/m² 大きくなった。

3 まとめ

- 作業効率については有意水準 1% で砂ベッド高さ 90cm 時の方が 3.9 個多くカラーボールを配置できることが確認できた。
- 全身温冷感は砂ベッド高さ 90cm の時よりも 55cm の時の方が 0.5 ポイント小さい値となり、より暑い側へと変化した。同様に疲労度についてしてみると 0.8 ポイント大きい値となり、より疲れたことを示した。また、許容度についてしてみると 0.3 ポイント大きい値となり、より許容できない環境へと変化した。
- 全身温冷感の変化量から推察される実験後の代謝量は砂ベッド高さ 55cm 時に 180.5 W/m²、90cm 時に 152 W/m² となり 28.5 W/m² の違いが生じていたことが分かった。
- 今後の課題として、実験中も連続的に計測が可能な生理量の計測が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 茂木伸之 他 「立位作業時における作業面高の最適値と調節範囲に関する研究的実験」 労働科学 No.2 pp.33-39 2013 年

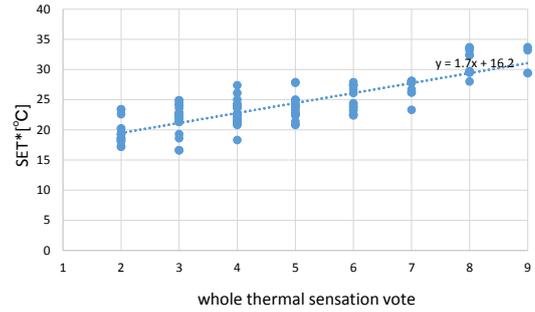


Fig. 11 Relationship between whole thermal sensation and SET *

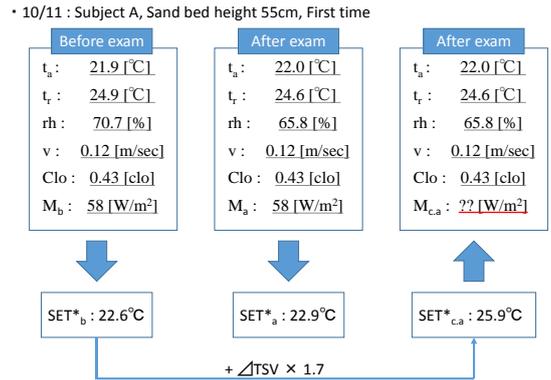


Fig. 12 Image diagram for calculating M_{ca}

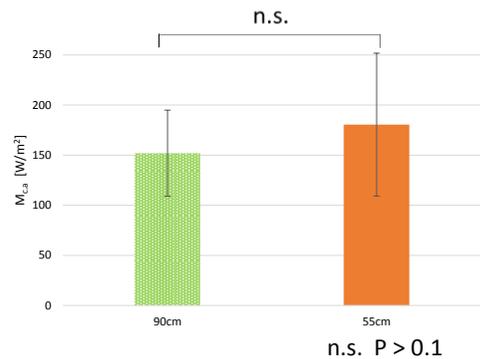


Fig. 13 The average of M_{ca}

○ 記号の説明

$SET^*_{ca} = SET^*_b + 1.7 \times \Delta TSV$ formula 1	
t_a : Temperature [°C]	rh : Relative humidity [%]
M : Metabolic rate[W/m ²]	t_g : Globe temperature [°C]
t_r : Average radiation temperature [°C]	v : Wind speed [m/s]
Clo : Clothing amount [clo]	TSV : Whole thermal sensation vote
ΔTSV : Increase point of whole thermal sensation vote	ΔM : Increase in Metabolic rate [met]
Subscript b : Various quantities before the experiment	Subscript a : Various quantities after the experiment
Subscript c.a : Various quantities by calculation after experiment	

A-47

チレンフォーム断熱材)とした。本研究では断熱材形状や設置位置、温床線位置を変えて分析を行うので、分析対象の加温・保温法の略称を Table. 1 の記号を用いて決めることとする。従来の底面で保温する方法は平板形状断熱材(記号 P)を砂層下側(記号 B)に設置し、温床線を砂層下部(記号 L)に設置するので保温法の略称は PBL である。分析を行う際、定植位置を原点、水平方向を x 軸、鉛直方向を z 軸とし、砂層温度の評価範囲は $x=0\sim 150(\text{mm})$ 、 $z=0\sim -100(\text{mm})$ とした。

2.2 温床線加熱に適した保温法の検討

ここでは冬季夜間を想定し、温床線加熱に適した断熱材形状の検討を行う。まず Fig. 3 に示す、従来保温法 PBL と断熱材を上部に設置する PTC、TUC の比較を行う。定植位置の鉛直温度分布を Fig. 4 に示す。結果として根域の平均温度は PBL が最も高くなった。そこで断熱材の設置が容易な PTC を改良することにより、PBL と同程度の根域温度を目指した。まず断熱材を根域側へ伸ばすことで、冷たい空気と接する面積を少なくし、また効率的に根域を加温するために、温床線位置を近づけた。断熱材を伸ばすことにより作物の成長する空間を圧迫することが考えられるので、断熱材を薄くすることで成長する空間を確保した。これらの改良を加えた保温法を Fig. 5、定植位置の温度分布を Fig. 6 に示す。略称の第一文字目の添え字として記号 t を入れることで、断熱材が薄いことを表す。改良後の P_tTU では PBL と同程度の根域温度となった。さらに温床線を下方に移動した P_tTC にすることで根域温度が上昇した。また、根域から離れた場所は保温する必要が無いと考え、不必要な断熱材を削り、削った断熱材の一部を温床線の右側に埋め込んだ L_tTC で更なる温度上昇が見られた。

Table. 1 Symbols used for abbreviation of case settings

1st letter	Shape of Thermal Insulation	2nd letter	Position of Thermal Insulation	3rd letter	Position of Heater
X	No Thermal Insulation	X	No Thermal Insulation	X	No Heater
P	Plate Shape	T	Top Part of Sand	U	Upper Part of Sand
T	Trapezoidal Shape	B	Bottom Part of Sand	C	Center of Sand
L	L Shape	U	Upper Part of Sand	L	Lower Part of Sand

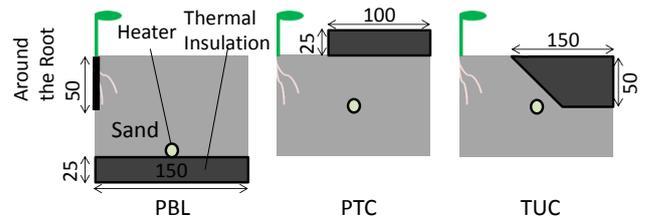


Fig. 3 Simulation model of PBL, PTC and TUC

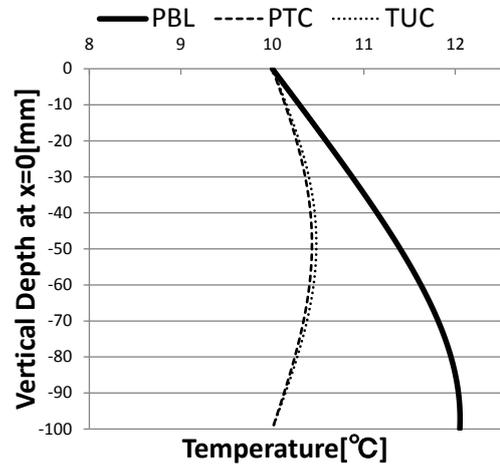


Fig. 4 Vertical temperature distribution at planting position

Mean temperature around the root: PBL 10.7°C PTC 10.3°C TUC 10.3°C

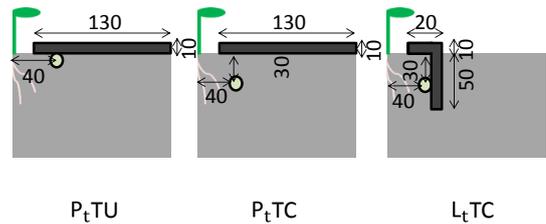


Fig. 5 Simulation model of P_tTU , P_tTC and L_tTC

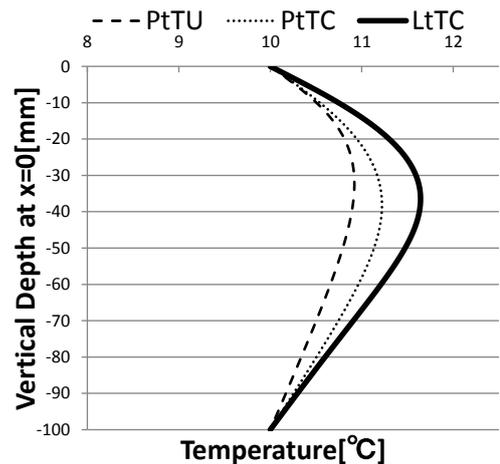


Fig. 6 Vertical temperature distribution at planting position

Mean temperature around the root: P_tTU 10.7°C P_tTC 10.9°C L_tTC 11.2°C

2.3 日射受熱を加味した保温法の検討

ここまでは、夜間を想定し、断熱材を砂層上部に設置し、温床線の加熱が根域に効率的に伝わる断熱材形状を検討してきたが、日中では日射による砂層表面の加熱による砂層の昇温も存在する。しかし、断熱材を砂層上部に設置することによって、日射の砂層表面の加熱に影響を与えることが考えられる。そこで断熱材を砂層上部に設置することによる影響を、従来法であり、砂層表面が露出している PBL と、PBL と同程度の保温効果を持つ PtTU、最も温床線加熱を根域で効率的に保温することができる LtTC の 3 種類で比較を行う。冬季日中のビニルハウス内を想定し、Fig. 7 に境界条件を示す。シミュレーションより得られた定植位置における鉛直温度分布を Fig. 8 に示す。砂層表面が露出している PBL が最も高い根域温度であり、断熱材で砂層表面を覆っている PtTU が最も低い根域温度となった。LtTC は PBL ほどではないが、砂層表面の一部が露出しているため、PBL と LtTC の中間程度の根域温度となった。日射の影響を考えると砂層表面が露出しているほど根域温度が高くなることが分かったので、砂層表面に断熱材を設置する場合は LtTC のように砂層表面の一部を露出しているものや、日射を透過する断熱材であることが望ましいと考えられる。

3 農場における冬季実験

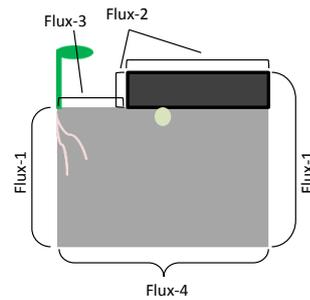
3.1 実験概要

冬季夜間のシミュレーション結果で PBL と PtTU が同程度の保温効果を持つことが分かったので、PBL と PtTU と同じ形状の砂ベッドを作り、砂層に小松菜を定植し、定植位置における鉛直温度分布の比較を行うことでシミュレーション結果と同じになるかを確かめた。また冬季日中のシミュレーションでは PBL の方が PtTU よりも根域温度が高い結果が得られたので、定植位置における鉛直温度分布の比較を行うことでシミュレーション結果と同じになるかを確かめた。また収穫重量を比較することで、どちらの保温効果が高いかを確かめた。

3.2 実験結果

実験期間(12/18~1/24)のうち 1/14 における、シミュレーション条件と同じく日射の影響がない 6 時の砂層の鉛直温度分布を Fig. 9 に示す。砂層表面では PtTU の方が温度が高くなり、シミュレーション結果とは違い、根域の平均温度が PtTU の方が 0.9℃高くなった。この理由としては PBL の温床線位置がシミュレーション条件と 10mm 程

度ずれている場所があることや、PBL は砂層表面全体が露出しているため蒸発しやすい条件となっていることがあげられる。シミュレーション結果との逆転はあったものの、PtTU は少なくとも同程度の根域に適した保温作用があることが分かった。また 1/14 でシミュレーション条件と同じく、日射の影響がある 14 時における砂層の鉛直温度分布を Fig. 10 に示す。根域温度はシミュレーション同様、日射の影響により PBL の方が高い結果となり、冬季日中では根域保温に適しているのは PBL となった。



Flux -1 (Complete thermal insulation)	Heat flux 0W/m ²
Flux -2	Sol-air temperature 25.9 °C Combined heat transfer coefficient 11.0 W/(m·K) Solar absorptivity 0.8
Flux -3	Sol-air temperature 29.5 °C Combined heat transfer coefficient 11.0 W/(m·K) Solar absorptivity 0.6
Flux -4	Sol-air temperature 15 °C Combined heat transfer coefficient 11.0 W/(m·K) Solar absorptivity 0.6

Fig. 7 Boundari Condition

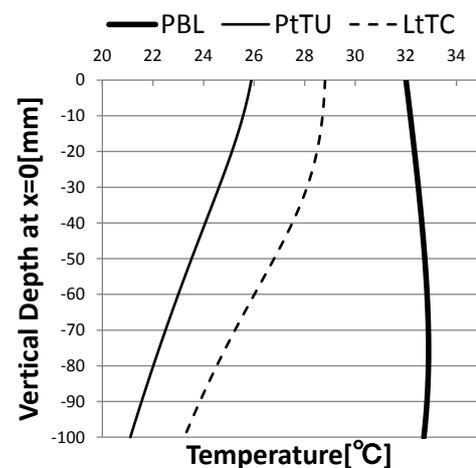


Fig. 8 Vertical temperature distribution at planting position

Mean temperature around the root: PBL 32.4°C PtTU 24.8°C LtTC 28.1°C

A-47

また Table. 2 に示すように、積算温度と収穫重量は PBL の方が大きくなった。日中では日射によって砂層表面が加熱され、PBL の方が高い根域温度をとっていたからであると考えられる。日中の日射による昇温を利用するためには、砂層表面が露出している L₁TC を用いることや、砂層表面に設置する断熱材を透明にすることなどの改善をすれば、この問題を解決できよう。

4 農場における夏季実験

4.1 実験概要

PTX と DUX、砂層に断熱材と温床線を設置しない XXX の 3 種類の砂ベッドを作り、定植位置における鉛直温度分布の比較を行う。断熱材を砂層上部におくことで、日射による砂層表面の加熱による昇温を抑制することを目的とする。

4.2 実験結果

実験期間(9/14-9/25)のうち 9/19 の日中の温度が最も高くなる 14 時における砂層の鉛直温度分布を Fig. 11 に示す。砂層表面では XXX の温度が最も高くなり、PTX と DUX は同程度の温度となった。また根域温度も XXX は PTX と DUX よりも 2.3℃ 高くなった。よって冬季とは異なり、断熱材を砂層上部に設置すれば、日射による砂層のオーバーヒート抑制に、有効であることが分かる。

5 まとめ

- シミュレーションにより、温床線を用いた砂ベッド加温に際して、根域の保温に適した断熱材形状を探索した結果として、L₁TC を提案した。
- シミュレーションと同じ条件の実験を行うことで、冬季は日中の日射が重要であり、不透明断熱材による砂層表面の断熱は砂層温度低下を招くことが分かった。夏季では、その逆で不透明断熱材の砂層表面の断熱により、砂層のオーバーヒート抑制することが可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 稲葉直美ほか：冬季における農業用ビニルハウスの効率的な暖房方式に関する研究(第 1 報)高床式砂ベッドの加温と保温作用の実験的検証 空調調和・衛生工学会近畿支部学術講演論文集 pp.132-135 2015 年 3 月
- 2) Karban, P., Mach, F., Kús, P., Pánek, D., Doležel, I.: Numerical solution of coupled problems using code Agros2D, Computing, 2013, Volume 95, Issue 1 Supplement, pp 381-408, DOI 10.1007/s00607-013-0294-4

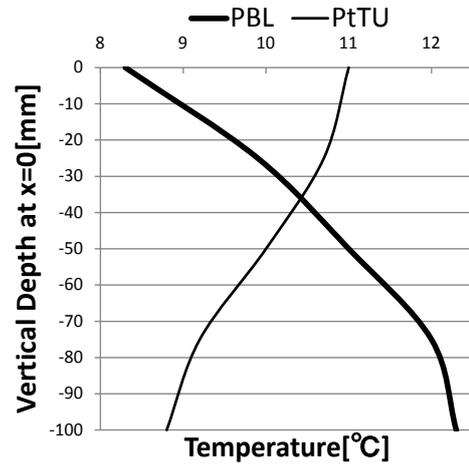


Fig. 9 Vertical temperature distribution at planting position
 Mean temperature around the root: PBL 9.7°C PtTU 10.6°C

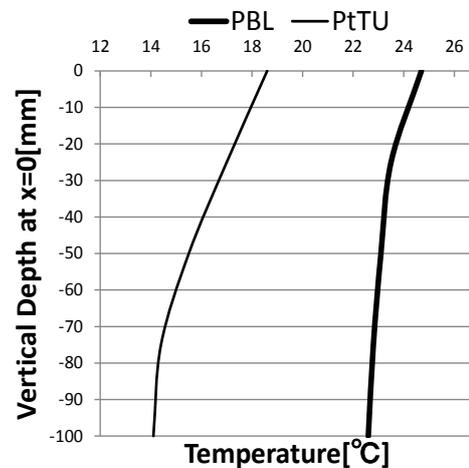


Fig. 10 Vertical temperature distribution at planting position
 Mean temperature around the root: PBL 23.8°C PtTU 17.0°C

Table. 2 Accumulated temperature and harvest weight

Actual measurement period: Dec 18-Jan 24 Cumulative air temperature 367.6°Cday

	PBL	PTU
Accumulated Temperature [°Cday]	600.1	571.0
Harvest Weight [g/share]	52.6	48.9

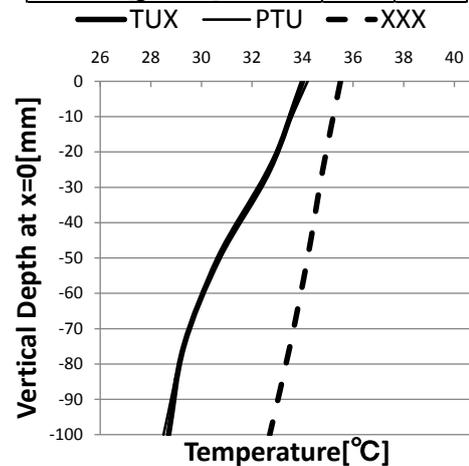


Fig. 11 Vertical temperature distribution at planting position
 Mean temperature around the root: TUX 32.5°C PTX 32.5°C XXX 34.8°C

眼の乾燥感の低湿度に対する非定常応答 眼球表面での熱水分移動に基づく検討

Transient response of sensation of dryness at eyes to low humidity Study based on heat and moisture transfer at ocular surface

○大塚 伸 (神戸大学) 高田 暁 (神戸大学)

Shin OTSUKA*¹ Satoru TAKADA*¹

*¹ Kobe University

Complains about dryness at eyes are sometimes made under low humidity environment. This study aims to explain and predict it. From the subject experiments, it was found that the ocular surface temperature decreased due to evaporation of tear in low humidity environment, and that decrease in tear break up time and increase in sensation of dryness at eyes were synchronized. Furthermore, it is known that break up time correlates with tear film thickness. Therefore the sensation of dryness at eyes could be explained by tear film thickness calculated from the heat and moisture transfer model for eyeball.

1. はじめに

冬期における室内の低湿度環境下で生じる眼の乾燥感や不快感は、眼球表面の涙液量が減少し、それを人体が察知して生じている¹⁾と考えられる。本論文では低湿度に曝露する被験者実験²⁾と、眼球の熱水分移動解析³⁾によって、眼の乾燥感の要因を明らかにすることを目的とする。

2. 低湿度環境下の被験者実験

2.1 実験方法

低湿度 (26°C, 10% or 30%RH) に曝露する被験者実験²⁾を、男女計 25 名に対して行った。なお、30%RH 条件は、25 名中の 8 名のみに対して行った。低湿度に対する眼球表面温、眼の乾湿感、快適感申告値および BUT (tear break up time : 涙液層破壊時間) の非定常応答を調べる。

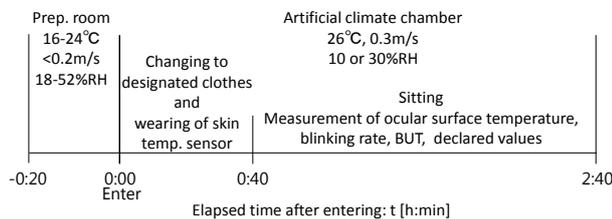


Fig.1 Schedule of subject experiment

実験スケジュールを図 1 に、乾湿感および快適感申告値のスケールを図 2 に示す。実験は人工気候室で行い、気温と相対湿度を、床上 90cm, 10 秒間隔で測定した (Espec, RT-14)。皮膚温は、Hardy & DuBois の 7 点法に基づく 7 点を 10 秒間隔で測定した (Gram, LT-8)。眼球表面温は、赤外線カメラ (Avio, TVS-700) を用いて 5 分間隔で測定

した。BUT はビデオカメラ (Panasonic, HC-V480MS) の映像より、眼を開けておくよう指示した後、眼が開いている時間を 5 分間隔で測定した (図 3)。

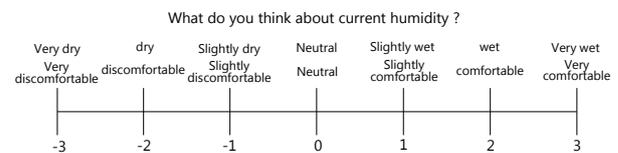


Fig.2 Scale of declared values of sensation of dryness and comfort

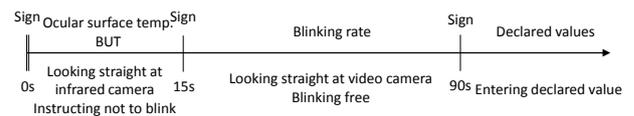


Fig.3 Schedule to measure at intervals of 5 minutes

2.2 実験結果

図 4 に眼球表面温と平均皮膚温、BUT、眼の乾湿感、快適感申告値の経時変化を示す。これは全被験者についての平均値と標準偏差である (10%RH については 25 名、30%RH は 8 名である)。眼球表面温が 26°C10%RH 環境下で 2 時間の間に 0.6°C 低下した。一方、30%RH では約 0.2°C 低下した。26°C10%RH 条件での眼球表面温の低下幅は、平均皮膚温と比べて大きい。このことは、各被験者のデータについてもほぼ当てはまることを確認している。従って、26°C10%RH の環境では涙液蒸発によって眼球表面温が低下していると考えられる。

BUT は、10%RH の場合に 30%RH の場合に比べて約 1 秒短かった。乾湿感申告値は 10%RH の場合に 30%RH 条件に

比べ乾燥側であった。快適感申告値は、乾湿感申告値と同様に 10%RH 条件で 30%RH の場合より不快側であった。

10%RH では低湿度曝露開始から 2 時間経過以降に乾燥感、不快感が弱まるのと同期して BUT が増加する。(30%RH の乾湿感申告値は、ばらつきが大きく BUT との関係がみられなかった。) BUT は、涙液の安定性の指標⁵⁾とされており、眼の乾燥感および不快感と連動していると考えられる。

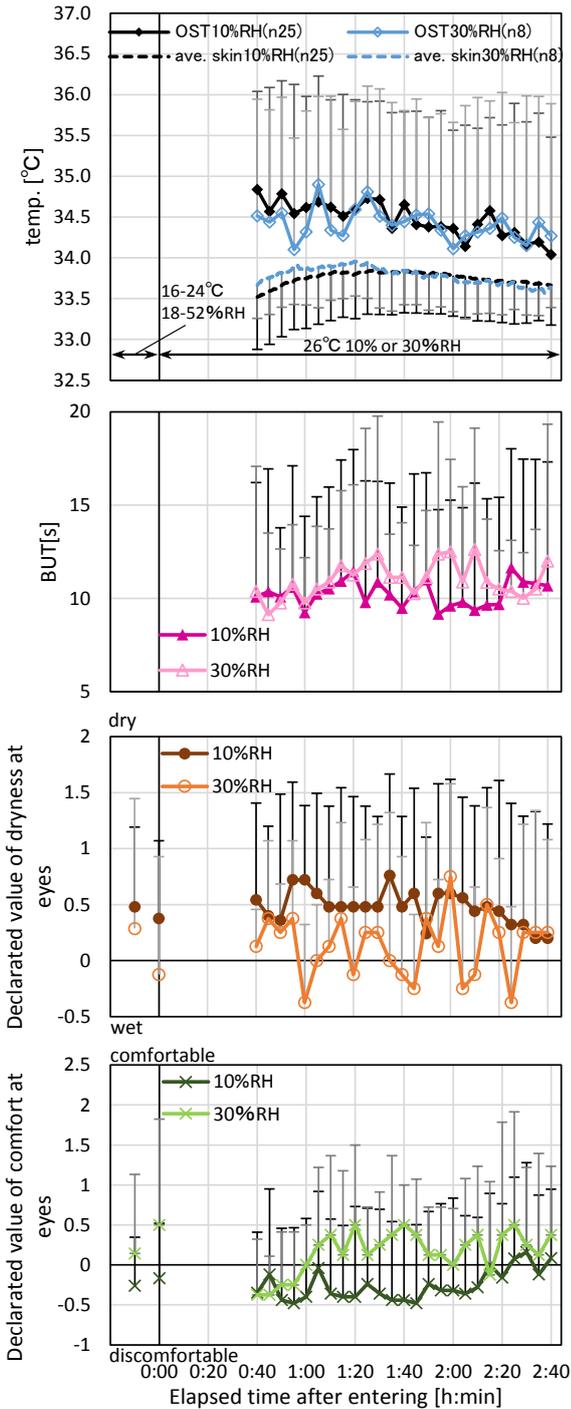


Fig.4 Result of experiment under exposure to 10%RH and 30%RH (Ocular surface temperature, Break up time, Dryness and comfort at eyes)

図 5 に、眼の乾燥感および不快感の申告値の変化が比較的顕著であった被験者 B (ソフトコンタクトレンズ)、N (裸眼, ドライアイ), U (裸眼)の結果を示す。眼球表面温は、いずれの被験者についても時間とともに低下した。BUT および申告の経時変化のパターンは被験者により異なるが(途中で上がったり下がったりする場合がある) BUT の低下とともに眼の乾燥感、不快感が強まる傾向が多く、多くの被験者にみられた。

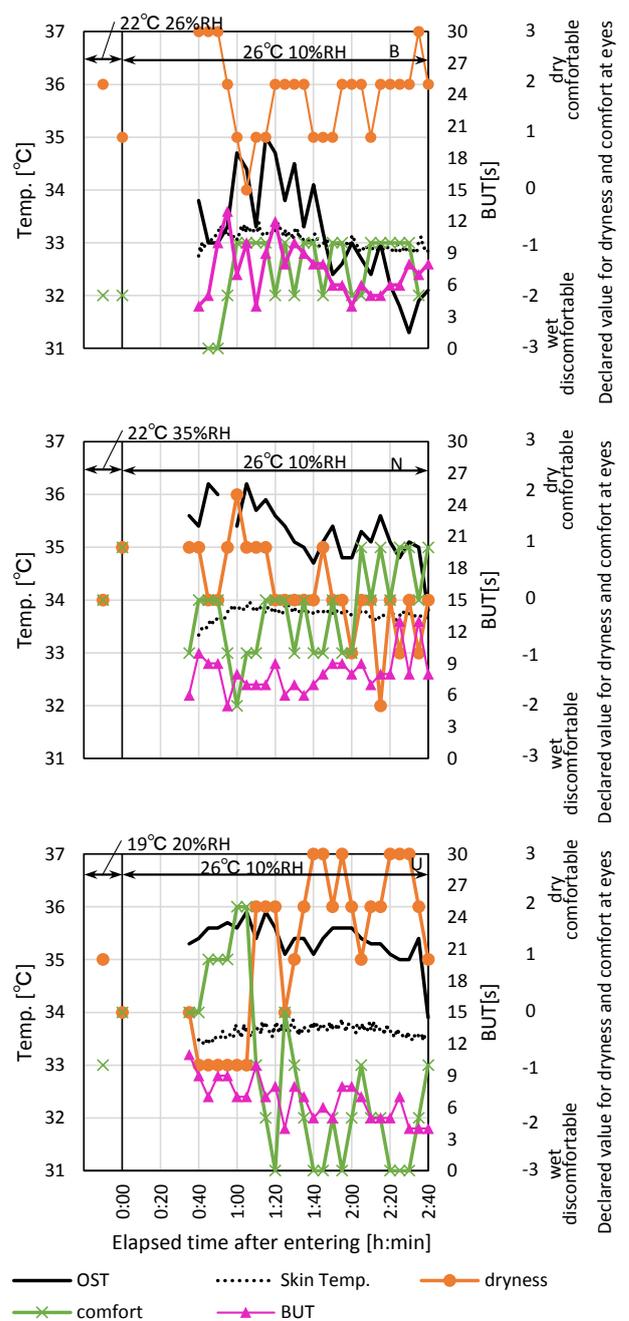


Fig.5 Result of experiment for Subject B, N, U

3. 眼球表面での熱水分移動解析

3.1 解析方法

本論で用いる眼球および涙液の熱水分移動解析モデル

は、既に提案している眼球伝熱モデル³⁾に涙液の収支式を追加したものである。まず、熱に関して、1次元系で近似的に表した眼に対する非定常熱伝導方程式((1)式)を、表面(x=L)熱流を(2)式で与え、奥(x=0)の温度をStolwijk model⁴⁾モデルの頭部深部温で与えるという境界条件のもとに解く。(2)式では対流・放射熱損失、涙の蒸発による熱損失を考慮している。初期条件は、前室の温湿度条件に対する定常解を入室時 t=0 において与える。一方、(2)式の $X_{eye,s}$ は、眼球表面温に於ける飽和絶対湿度を涙液の水層と油層の界面に与え、油層の湿気抵抗、表面での湿気伝達を考慮した油層表面での水分収支式((4)式)を用いて決定する。ただし、涙の水層と油層の界面の絶対湿度は、蒸気圧降下を考慮する((5)式)。

基礎式は以上であるが、別途、涙液水層の収支式((6)式)により涙液層の厚さを計算する。 h_{eye} は、蒸発量 q'_{eye} と涙腺からの供給量から涙点への排出量を差し引いた正味の補給量 p'_{eye} によって決定する。(8)式は、基準条件を $7\mu m$ ⁵⁾とし、涙液層の厚さが基準条件より減少すると補給量が増えるという式である(図7)。(9)式は、涙液層の厚さが $7\mu m$ であった場合の涙液の正味補給量であり、基準条件(26°C50%RH, 静穏気流, 眼球表面温 35°C)において(7)式で計算した蒸発水分流である。

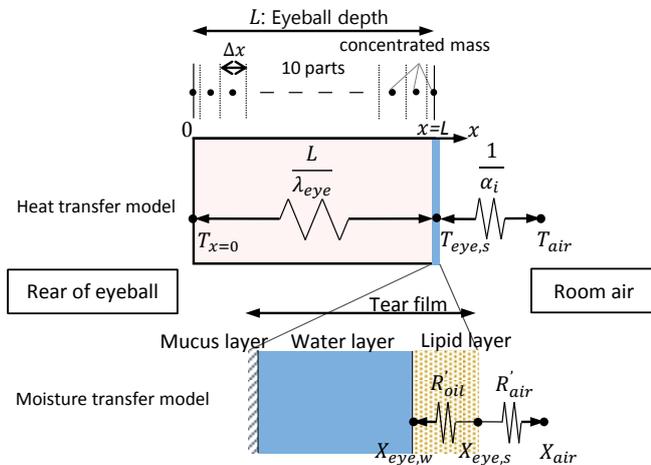


Fig.6 Model of heat and moisture transfer in and around eyeball

眼球の熱収支式

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

眼球表面での熱流

$$q|_{x=L} = \alpha_i (T_{eye,s} - T_{air}) + \frac{r}{R'_{air}} (X_{eye,s} - X_{air}) \quad (2)$$

眼球の奥の温度

$$T_{x=0} = T_{head,core} \quad (3)$$

涙液層表面の水分収支式

$$0 = \frac{1}{R'_{oil}} (X_{eye,w} - X_{eye,s}) + \frac{1}{R'_{air}} (X_{air} - X_{eye,s}) \quad (4)$$

但し

$$X_{eye,w} = \varphi \cdot X_{sat}(T_{eye,s}) \quad (5)$$

涙液水層の収支式

$$\rho \frac{dh_{eye}}{dt} = -q'_{eye} + p'_{eye} \quad (6)$$

蒸発水分流

$$q'_{eye} = \frac{X_{eye,s} - X_{air}}{R'_{air}} \quad (7)$$

補給水分流

$$p'_{eye} = \frac{p'_{eye,max} \times p'_{eye,0}}{p'_{eye,0} + (p'_{eye,max} - p'_{eye,0}) e^{(h_{eye} - h_0)}} \quad (8)$$

$$p'_{eye,0} = \frac{X_{eye,s,0} - X_{air,0}}{R'_{air,0}} \quad (9)$$

$$p'_{eye,max} = k \times p'_{eye,0} \quad (10)$$

[記号] c: 比熱[J/(kg·K)], ρ: 眼球と涙液の密度[kg/m³], T: 温度[K], t: 時間[s], x: 眼の奥からの距離[m], λ: 眼球の熱伝導率[W/(m·K)], q: 熱流[W/m²], α_i: 総合熱伝達率[W/m²·K], r: 気化熱(35°C)[J/kg], R'_{air}: 空気の湿気伝達抵抗[m²·s·(kg/kg(DA))/kg], R'_{oil}: 涙液油層の湿気伝達抵抗, φ: 涙液水層の相対湿度, h_{eye}: 涙液層の厚さ[m], q'_{eye}: 涙液の蒸発水分流[kg/m²·s], p'_{eye}: 涙液の正味補給水分流[kg/m²·s], p'_{eye,max}: 最大の補給水分流, p'_{eye,0}: 涙液層の厚さが $7\mu m$ ⁵⁾のときの補給水分流, h₀: 涙液層の基準厚さ[m], X_{eye,s,0}: 26°C50%RHの眼球表面絶対湿度, X_{air,0}: 26°C50%RHの絶対湿度, R'_{air,0}: 静穏気流での湿気伝達抵抗, k: 涙液の正味補給量の調整係数
 [添え字] eye,s: 涙液(油層)表面, eye,w: 涙液水分層と油相の境界, head,core: 頭部深部, oil: 油層, air: 周囲空気, sat: 飽和絶対湿度

Table.1 Value used for calculation

c	ρ	λ	α _i	r(35°C)	R' _{air}
4217	1000	3.0	7.75/8.68*	2.41 × 10 ⁶	323/248*
φ	p' _{eye,max}	p' _{eye,0}	h ₀	X _{eye,s,0}	X _{air,0}
0.55	6.8 × 10 ^{-5**}	6.8 × 10 ⁻⁶	7 × 10 ⁻⁶	0.0130	0.0107
R' _{air,0}	k				
323	10				

*t < 0/t ≥ 0, **A tentative value

Table.2 condition of calculation

	R'oil	
	t < 0	t ≥ 0
R1000	1000	1000
R100	1000	100
R1000_100	1000	Eq. (11)

$$R'_{oil} = 1000 - \frac{1000-50}{9600} t \quad (11)$$

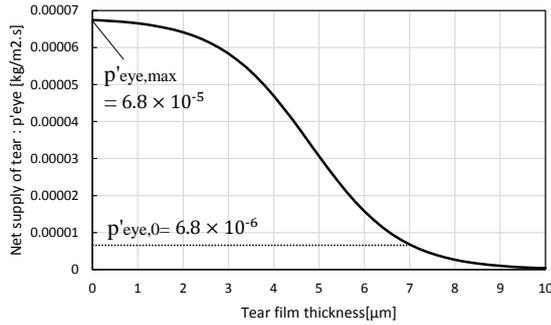


Fig.7 Net supply of tear as a function of tear film thickness

3.2 解析結果

図 8 に、被験者 U について行った解析の結果を示す。涙液油層の湿気抵抗 R'_{oil} を一定値で行った眼球表面温の計算値 (R1000) は、低湿度曝露中に約 0.5°C 上昇した。前室より人工気候室の気温が高いためであり、眼球表面温が皮膚温とともに上昇する傾向にある。油層の湿気抵抗を小さくした場合 (R100)、低湿度曝露開始後すぐに低下し、その後はほとんど一定であり、実験結果を再現できない。そこで、油層の湿気抵抗を(11)式に示すように時間とともに低下させた R1000_100 の解析結果は、2 時間低下し続けるという実験値の傾向を再現できた。

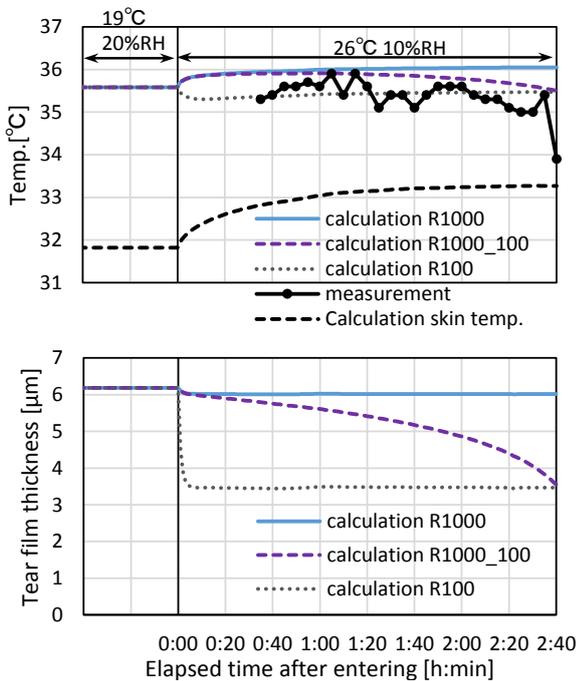


Fig.8 Result of calculation for Subject U

涙液層の厚さは、 R'_{oil} を一定にした場合 (R1000)、低湿度曝露直後に約 0.2 μm 低下し、その後は下がらなかった。 R'_{oil} を時間とともに低下させると、時間とともに低下し低湿度曝露中に約 2.5 μm 低下した (R1000_100)。

4. 考察

図 5 に示したように、眼球表面温、BUT の低下と乾燥感、不快感の増加が連動する傾向がみられる。BUT は、低湿度環境下で減少することが報告⁶⁾されていること、涙液層の厚さの低下と BUT の減少には関連がある⁷⁾と考えられていることから、涙液層の厚さに基づき眼の乾燥感を予測する可能性が示唆される。

5. まとめ

低湿度環境下で生じる眼の乾燥感、不快感の要因を明らかにするため、26°C10%、30%RH に被験者を曝露する実験と眼球表面での熱水分移動解析を行い以下の結論を得た。

- (1) 26°C10%RH 条件の被験者実験の結果より、眼球表面温は低湿度環境下で涙液蒸発により低下することが示された。また、涙液層破壊時間 (BUT) が短い場合に眼の乾燥感、不快感が強まる傾向がみられた。
- (2) 眼の熱水分移動解析によって、眼球表面温が低湿度時に低下する傾向を再現するには、涙液油層の湿気抵抗を時間とともに下げる必要があることを示した。また、涙液層の厚さの予測モデルを提案し、涙液油層の湿気抵抗を時間とともに低下させると、涙液層の厚さが時間とともに低下する結果を得た。
- (3) 涙液の安定性の指標といわれる涙液層破壊時間と涙液層の厚さが対応すると考えられることから、涙液層の厚さによって眼の乾燥感、不快感を予測する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) P Wolkoff et al. Eye complaints in the office environment: precorneal tear film integrity influenced by eye blinking efficiency, *Occup. Environ. Med.*, 62(1), pp.4-12 2005.
- 2) 高田 暁. 室内湿度の下限値に関する研究 被験者実験による低湿度に対する心理反応の検討, 空気調和・衛生工学会平成 30 年度学術講演会講演論文集第 6 巻, pp.305-308, 2018.
- 3) 伊藤好崇, 高田 暁. 眼の乾燥感に与える温熱環境の影響に関する研究 眼球表面温度の測定と予測モデルの検討, 空気調和・衛生工学会平成 27 年度学術講演会講演論文集第 6 巻, pp.129-132, 2015.
- 4) Stolwijk, J. A. J. A mathematical model of physiological temperature regulation in man, NASA-Langley, 1971.
- 5) 大鹿ら編. 眼科臨床に必要な解剖生理, 文光堂, 63-68, 2004.
- 6) Ali A. Abusharha, E. Ian Pearce. The effect of low humidity on the human tear film, *Cornea*(32), 429-434, 2013.
- 7) E. Hosaka et al. Interferometry in the evaluation of precorneal tear film thickness in dry eye, *Am. J. Ophthalmol.*, 151(1), 18-23, 2011.

実測に基づく外気 WBGT からの冷房使用率および窓開放率の推定

Estimate of measured thermal control using air conditioners and windows ratio by outdoor WBGT during summer-autumn

○渡部 麗杏(大阪市立大学) 梅宮 典子(大阪市立大学)

Reia WATABE^{*1} Noriko UMEMIYA^{*1}

^{*1}Osaka City University

For heatstroke preservation, using air conditioners and open windows is necessary for adequate ventilation. The ultimate goal is creating a barometer that can properly evaluate the advisability of cooling use and open windows. The present study analyzed the relation between using air conditioners and window opening and indoor-outdoor WBGT during summer-autumn. 1) When outdoor WBGT is less than 21°C, the AC ratio starts increasing. 2) When outdoor WBGT is greater than 26°C, the AC ratio is steady at about 55%. 3) When outdoor-indoor WBGT is -4K, the WO ratio is maximum. 4) AC and WO ratios can be estimated by outdoor WBGT.

1. 背景と目的

2018年の夏は「災害」と表現されるほどの暑さ^{注1)}となり、全国における熱中症による救急搬送人員数は、2017年のおおよそ2倍となった^{注2)}。熱中症予防のために、冷房の適切な利用が呼びかけられた。しかし、温熱環境条件によっては、通風のみでも暑さをしのぐことができると考えられる。本研究は、冷房使用および通風利用の適否を適切に判断するための指標の作成を最終目標とする。本報は、冷房の使用・不使用と窓の開・閉の実測データを用いて、外気 WBGT からの冷房使用率と窓開放率の推定について報告する。

井上ら(2005)³⁾は、夏季から秋季にかけて、住宅における冷房使用と窓開放の温熱環境調節行為を 20 秒間隔で測定記録し、室温や外気温との関係の分析を行い、1) 外気温 31°C が通風による温熱環境調節行為の限界点、2) 外気温が室温よりも 5K 前後低いときに窓開放が最も盛ん、3) 室温 28°C と 29°C の間に温熱環境調節の境がみられる、等を明らかにした。本研究では、気温だけでなく、湿度、日射量、風速も考慮して暑熱環境の総合指標 WBGT を用いて、室内外の温熱環境と冷房使用や窓開閉等、居住者による温熱環境調節行為の選択との関係を、1) 外気 WBGT、2) 室内 WBGT、3) 内外 WBGT の差に着目して分析する。

2. 方法

大阪市内の 11 階建て集合住宅の同じ間取りで、エアコン 1 台、居住者 1~2 人の小規模住戸(Fig.1)において、20 秒間隔で温熱環境調節行為と温熱環境のデータを分析する。在・不在は玄関の開閉スイッチや照度から判定

し、在宅時のデータのみを分析対象とする。冷房使用は冷房吹出し温度から判定し、窓開・閉は全開口部にマグネットスイッチを設置して連続記録した。複数ある開口部のうち 1 つでも開放されている場合を「開放」、全閉の場合を「閉鎖」と定義する。屋外環境は大阪市立大学屋上の気象観測システムの気温、湿度、日射量、風速のデータを用いる。

外気 WBGT は(1)式²⁾から、室内 WBGT は生気象学会指針³⁾により気温と湿度から推定する。

$$WBGT = 0.735 \times T_a + 0.0374 \times RH + 0.00292 \times T_a \times RH + 7.619 \times SR - 4.557 \times SR^2 - 0.0572 \times WS - 4.064 \quad \dots(1)$$

T_a : 気温(°C), RH : 湿度(%), SR : 日射量(kW/m²), WS : 風速(m/s)

分析期間は、全住戸合計の冷房使用時間率の季節推移(Fig.2)をもとに、冷房使用が盛んな冷房期(C)、冷房使用が減少する冷房終了期(LC)、冷房がほとんど使用されない中間期(NV)に分ける。本報は冷房期から冷房終了期(C-LC 期)について分析する。温熱環境調節行為は、冷房使用と窓開放の組み合わせから Table.1 の 4 分類とする。

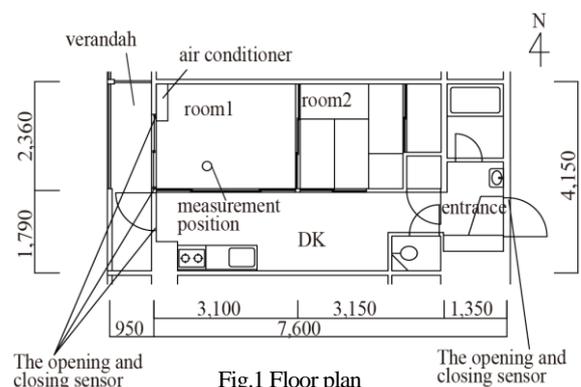


Fig.1 Floor plan

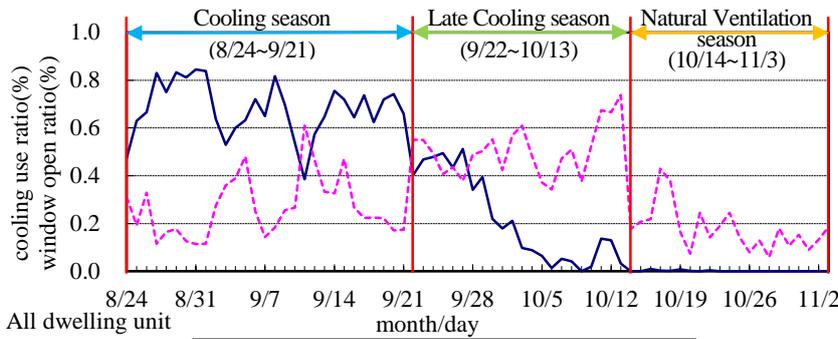


Fig.2 Daily mean ratio of AC use and window opening

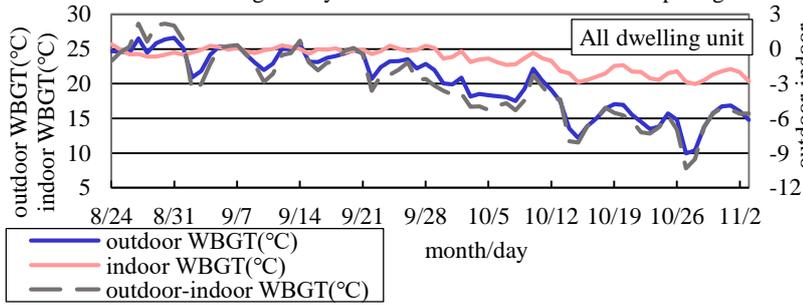


Fig.4 Transition of indoor and outdoor WBGT

		Cooling	
		use	not use
Window	open	AW	WO
	close	AC	FR

Table.1 Classification of thermal control

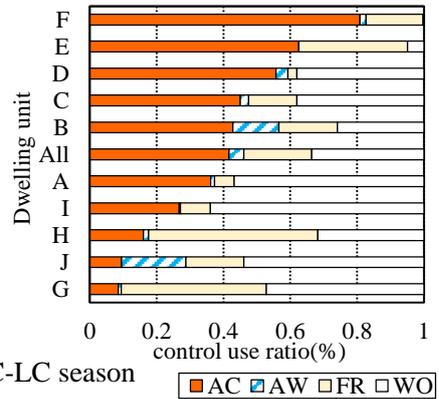


Fig.3 Control use ratio by dwelling unit

3. 調節行為選択率の出現状況

Fig.3 に、C-LC 期の在宅時において、20 秒ごとに判定した AC(冷房使用)、AW(冷房使用+窓開放)、WO(窓開放)、FR(冷房不使用+窓閉鎖)の 4 種類の温熱環境調節行為の選択率を住戸別に示す。住戸合計(All)に比べて、住戸 D、E、F は冷房選択率が特に高く、G、H、I、J は特に低い。All より AC が高い住戸 B、C、D、E、F を冷房使用頻度の高い住戸、All より AC が低い住戸 A、G、H、I、J を冷房使用頻度の低い住戸とする。最も WO が高いのは、住戸 I であり、低いのは住戸 F である。住戸 B と住戸 J は AW が他の住戸に比べて高い。FR は住戸 G、H で高く、住戸 D が最も低い。

4. 室内外温熱環境の推移

Fig.4 に、内外 WBGT の季節推移を示す。外気 WBGT は、LC になると徐々に下がり、室内 WBGT は、C-LC 期は 25°C 付近にあり、NV 期以降下がる。室内 WBGT は外気 WBGT ほど低下せず、20°C までに保たれている。

5. 調節行為と室内外温熱環境(住戸合計)

Fig.5~Fig.7 に WBGT の外気、室内、内外差の出現頻度を住戸合計で示す。いずれも正規分布し($p < 0.01$)、外気 WBGT は C 期で 23°C、LC 期で 21°C が最多、室内 WBGT は C 期と LC 期で 25°C が最多、内外差は、C 期で -2.5K、LC 期で -4K が最多である。C-LC 期で、出現頻度が 3% を超える範囲は、外気 WBGT で 17~28°C、室内 WBGT で 21~27°C、内外差で 6~1.5K である。以降、出現頻度が 3% 以上の範囲について考察する。

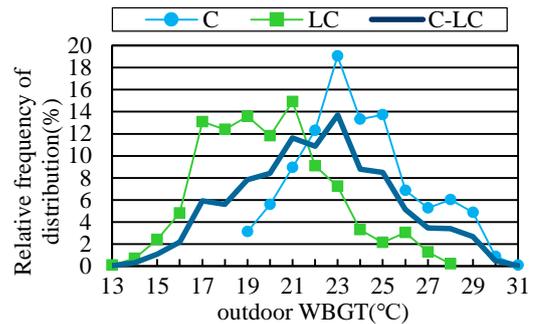


Fig.5 Relative frequency of distribution (%) outdoor WBGT

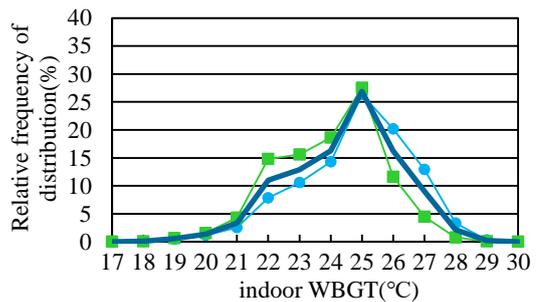


Fig.6 Relative Frequency of distribution (%) indoor WBGT

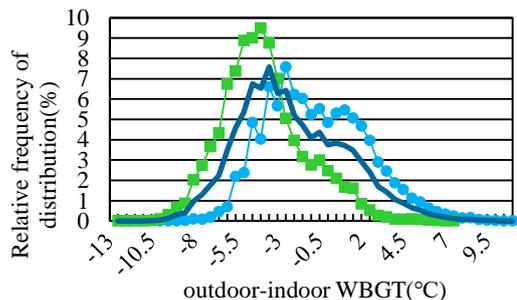


Fig.7 Relative frequency of distribution (%) outdoor-indoor WBGT

Fig.8 に内外 WBGT と温熱環境調節行為の選択率の関係を示す。

(1)外気 WBGT ACは25℃まで外気 WBGT が高いほど一定の割合で高く、26℃以上は約55%で一定である。WOは25℃まで外気 WBGT が高いほど一定の割合で低くなり、26℃以上は約25%で一定である。FRは20℃まで外気が高いほど低くなり、21℃以上は約15%で一定である。AWは20℃以上で約5%前後で一定である。

(2)室内 WBGT ACは21~23℃まで、約35%前後の一定であり、24~26℃のとき50%以下の範囲で室内 WBGT が高いと徐々に高くなり、27℃のとき少し下がる。WOは21~22℃のとき約47%で一定で、23℃以上のとき室内 WBGT が高いと徐々に低くなる。FRは23℃まで高くなり、24℃以上は約23%前後で一定である。AWは22℃まで低くなり23℃以上は5%以下の一定である。

(3)内外 WBGT の差 ACは外気 WBGT が室内 WBGT より高くなるほど高くなる。WOは4Kに最大の50.3%となる。外気 WBGT が室内 WBGT より高くなるほど、徐々にFRが低く、AWが高くなる。

6. 調節行為と室内外温熱環境(住戸比較)

Fig.9 に内外 WBGT と選択率の関係を3区間移動平均で示す。

(1)外気 WBGT C-LC期において、すべての住戸で17℃から21℃のときACは上がり始め、外気 WBGT が高いとACは上昇傾向にある。WOは、住戸E、Fを除き、17℃から21℃の範囲内にピークをもち、住戸E、F、Gを除き、22℃から25℃のとき減少傾向にある。

(2)室内 WBGT 室内 WBGT が23℃以上のとき、冷房使用頻度の低い住戸と住戸Eでは、ACは減少傾向にあり、住戸Eを除く冷房使用頻度の高い住戸では、ACは上昇傾向がある。室内 WBGT が23℃以上のとき、住戸A、E、G、I、JではWOは上昇傾向にあり、住戸B、C、D、HではWOは減少傾向にある。

(3)内外 WBGT の差 外-内が-2.5K以下のとき、冷房使用頻度の低い住戸では、ACが0.1以下であり、住戸E、Fを除くすべての住戸で、-2.5K以下の範囲にWOはピークをもち、外-内が-2K以上のとき、冷房使用頻度の低い住戸では、ACが上昇し始め、WOが住戸Gを除き緩やかに下降する。外-内の差が0.5K以上のとき、ACは上昇傾向があり、WOは住戸Gを除き下降傾向がある。

7. 外気 WBGT からの調節行為の選択率の推定

Fig.10 に各住戸のACの選択率の平均値に対する1標準偏差を示す。6.から、外気 WBGT に対してACは、21℃と25℃のとき変化がみられる。外気 WBGT が21℃のとき、1標準偏差は0.26で、ACの選択率は、0.04以

上0.57以下である。この範囲内に住戸E、F、Jを除く住戸が含まれている。外気 WBGT が25℃のとき、1標準偏差は0.26で、ACの選択率は、0.31以上0.84以下である。ACはおおむね全住戸、住戸合計いずれも外気 WBGT が高いとACは高い傾向があり、住戸間で似た傾向を示す。冷房使用の選択率は1標準偏差の範囲内に含まれ、外気 WBGT から推定できる可能性がある。

Fig.11 に各住戸のWOの選択率の平均値に対する1標準偏差を示す。6.で述べたように、外気 WBGT に対してWOは、21℃と25℃のとき変化がみられる。外気 WBGT が21℃のとき、1標準偏差は0.29で、WOの選択率は、0.16以上0.75以下の範囲内にある。外気 WBGT が25℃のとき、1標準偏差は0.18で、WOの選択率は0.03以上0.39以下の範囲内にある。WOは、住戸E、Fを除き、外気 WBGT が21℃以上のとき、外気 WBGT が高いと低くなる傾向があり、住戸合計のWOの選択率の変化と似た傾向を示す。窓開放の選択率は、1標準偏差の範囲内に含まれ、外気 WBGT から推定できる可能性がある。

8. 結論

住戸合計では、1)ACは25℃まで外気 WBGT が高いほど高く26℃以上は約55%一定、WOは25℃まで外気 WBGT が高いほど低く、26℃以上は約25%一定、2)ACは室内 WBGT が21~23℃まで35%前後一定、24℃以上で室内 WBGT が高いと徐々に高く、WOは21~22℃まで約47%一定で23℃以上は室内 WBGT が高いほど低い、3)外気 WBGT が室内 WBGT より高くなるほどACは高く、WOは外-内が4Kで最大となる。住戸別では、4)外気 WBGT が17~21℃のときACが上がり始め、22~25℃のとき住戸E、F、Gを除き、WOは減少傾向にある。冷房使用頻度の低い住戸では、5)外気 WBGT が室内 WBGT より2.5℃以上低いとき、ACが低く、WOが高い、6)外気 WBGT が室内 WBGT より2℃以上高いとき、冷房を使用し始め、窓開放の選択率は低くなる。外気 WBGT に対して、7)各住戸の冷房使用および窓開放の選択率は、住戸合計の選択率と似た傾向を示し、各住戸のそれぞれの選択率の平均値に対する1標準偏差の範囲内におおむね含まれ、外気 WBGT から冷房使用および窓開放の選択率を推定できる可能性がある。

注 1) 大阪では、8月の平均気温は、平年より0.9℃高い。^{文4)}
 2) 5月から9月の全国における熱中症による救急搬送人員数の累計は2018年で95,137人、2017年で52,984人であった^{文4)}。
 参考文献 1) 井上ら：空・衛・近、153-156、2005年
 2) 小野ら：日生気誌、50(4)、147-157、2014年
 3) 日本生気象学会：日常生活における熱中症予防指針、2012年
 4) 気象庁 <https://www.jma.go.jp/jma/index.html> 2018年10月30日閲覧
 5) 総務省消防庁 <http://www.fdma.go.jp/> 2018年10月30日閲覧

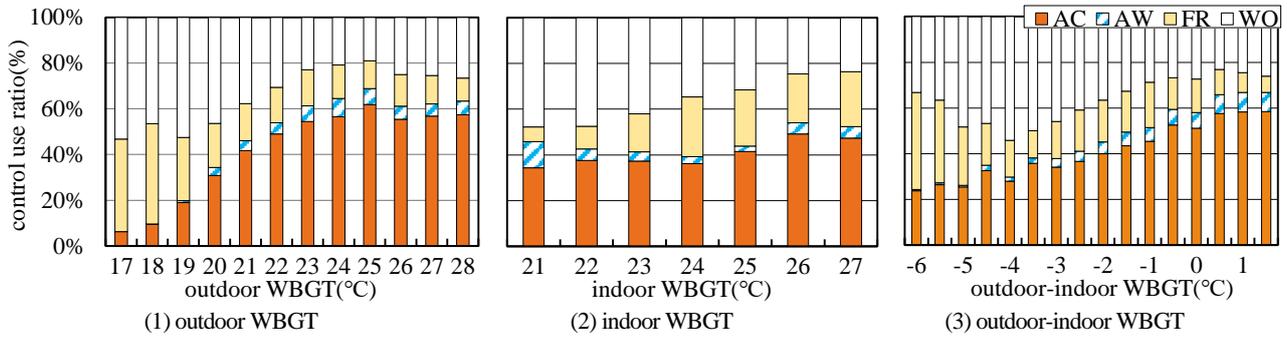


Fig.8 Control use ratio by all dwelling unit indoor and outdoor WBGT

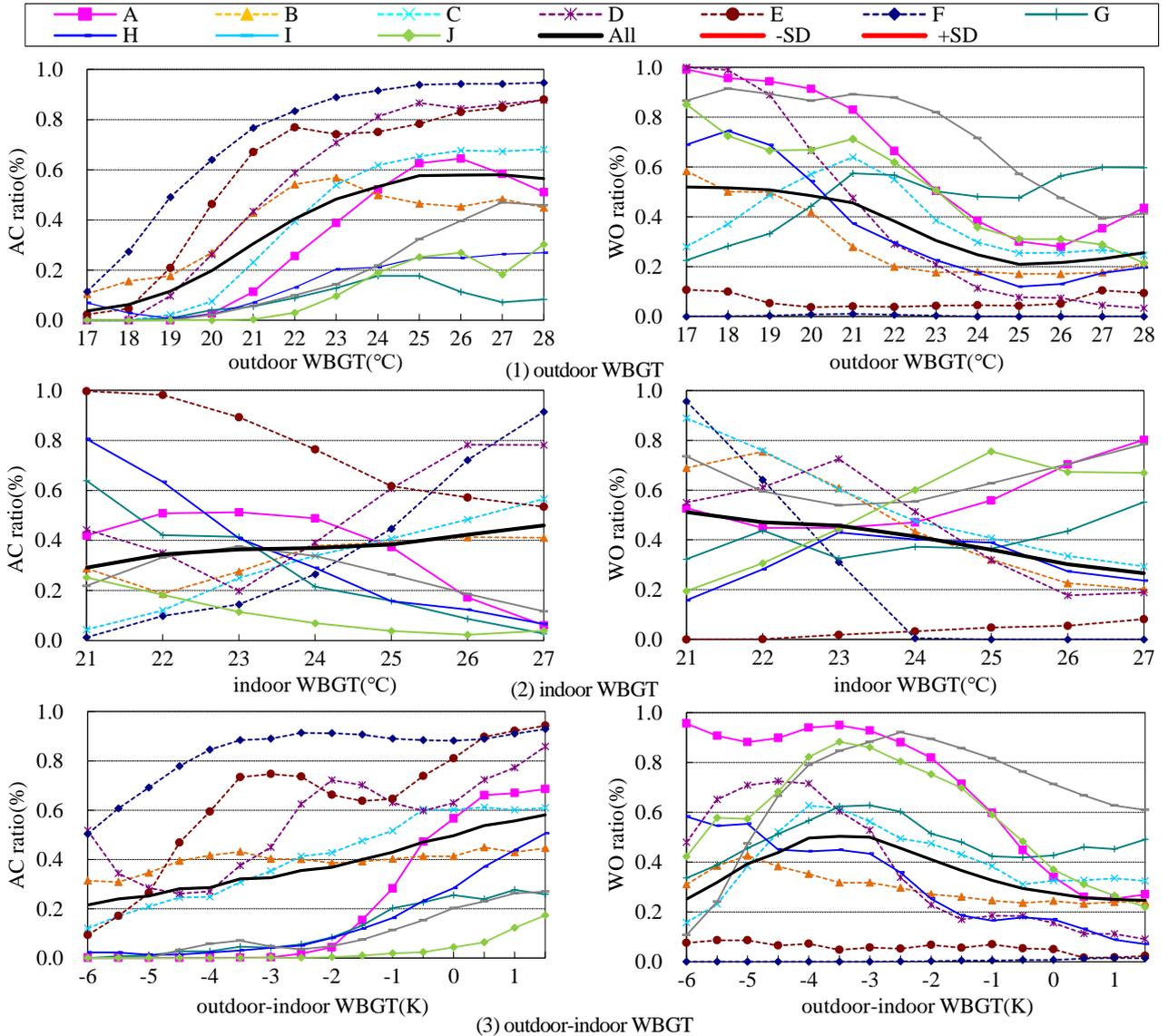


Fig.9 Cooling use ratio and Window opening ratio for indoor and outdoor WBGT

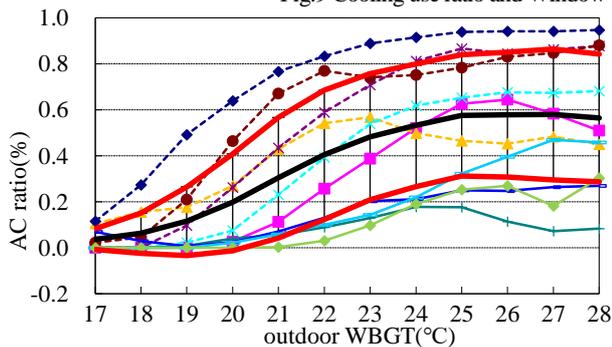


Fig.10 outdoor WBGT and Cooling use ratio

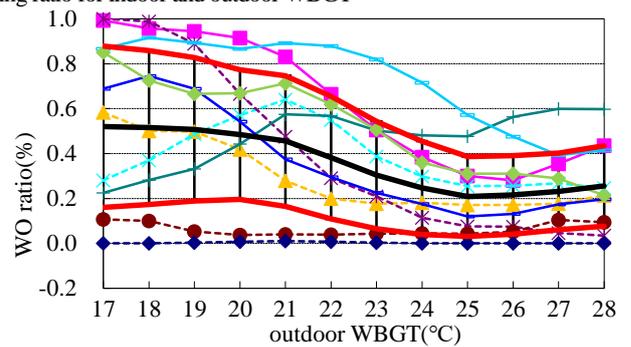


Fig.11 outdoor WBGT and Window opening ratio

睡眠時における冷房の一時的使用の実態に関する研究

—その1 一時使用が生起する要因

Actual states of partial air conditioner use during sleep in summer

Part I – Causes of partial use

○陳 宇航 (大阪市立大学) 梅宮 典子 (大阪市立大学)

藤本 育菜 (大阪市立大学) 鈴木 充法 (大阪市立大学) 福村薫美 (大阪市立大学)

Yuhang CHEN*¹ Noriko UMEMIYA*¹Ikuna FUJIMOTO *¹ Mitsunori SUZUKI*¹ Kurumi FUKUMURA*¹*¹ Osaka City University

In this survey, the temporary cooling use is compared with the total time use to reach a subjective assessment of the outdoor temperature thermal environment, the resident attributes, the living environment of the dwelling unit and the bedroom as an occurrence factor based on 2014–2017 for 185 dwelling units in Osaka. 1) The thermal environment of the outside air is not related to how the air conditioner is used. 2) Higher "temporary use" is associated with stronger consciousness towards the environment and the conservation of energy conservation and the action to do so. 3) The subjective residential environment is a major cause of "temporary use."

1. 背景と目的

近年、地球温暖化と都市高温化によって都市部の熱帯夜数が増加し¹⁾、夏季の睡眠の質の確保が難しくなっている。こうしたなか、本研究は、睡眠時の冷房の一時的使用に着目する。大阪の集合住宅を対象とした調査では、一晩中冷房を使うのは31.5%で、27.9%は冷房を一時的にしか使わず、38.6%は冷房を全く使っていなかった²⁾。冷房の一時的使用には、入眠時にタイマーを設定する場合、中途覚醒して冷房を使用する場合、逆に中途覚醒して冷房を切る場合などの種々のパターンが考えられるが、その実態は必ずしも明らかでない。また一時的な利用の理由も、暑さ以外にも冷えなどの熱的不快や、冷房費の節約などが想像されるが、実態は不明である。

そこで本研究は2014年から2017年まで大阪の集合住宅185住戸を対象に実施した寝室の温湿度の測定とOSA調査票による睡眠の質の測定、生活習慣や環境意識に関するアンケート調査のデータを対象に、冷房の一時的な使用の実態を明らかにする。その1(本稿)では、一時使用が生起する要因として、外気温熱環境、居住者の体質や心身の体調、環境意識、冷房使用に対する考え方や冷房使用時期の電気料金に対する意識、光熱費の節約習慣、住戸の方位や階数、断熱水準などの住戸属性、寝室の使用状況や寝具・寝衣、居住者による住戸や寝室の住環境主観評価について、全時間使用と比較する。その2(次稿)では、タイマーの設定時間や睡眠途中で手動で停止、睡眠途中で手動で運転などの発停のタイミング、設定温度などの一時的使用の実態を把握し、一時的使用が寝室の温熱環

境や温熱感覚、睡眠の質、およびエネルギー使用(冷房費)に及ぼす影響について、全時間使用と比較する。

以下、冷房の睡眠時における全時間使用を「全使用」、一時的使用を「一時使用」と表記する。

2. 調査方法

2-1 測定調査

大阪市と堺市の集合住宅を対象に、2014年36人、2015年27人、2016年23人、2017年56人の居住者の協力を得て、測定とアンケート調査を実施した。2014年～2016年は公団・公社賃貸住宅が対象であり、2017年は分譲集合住宅も含んでいる(公団・公社住宅は分析対象の90.6%、分譲住宅は9.4%)。寝室の温度は10分間隔で自動記録し、湿度は就寝前と起床時に居住者が読み取り記入する。1住戸につき測定は連続7日とした。8月上旬の夏の最も暑い時期では2015年が最も高かったが、盆以降の8月

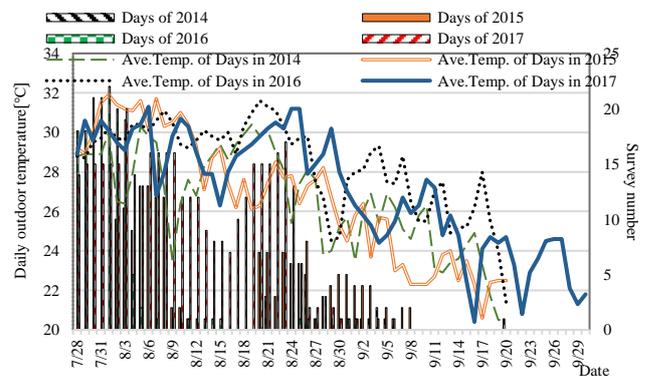


Figure.1 Change of daily outdoor temp. and survey number

後半からは2016年が最も高かった。Fig.1に4年間の日別の調査人数と外気温の日平均、最高、最低値の推移を示す。2017年は盛夏にも調査できている。

2.2 申告調査

冷房や扇風機の使用、窓開・閉、寝室の在室、睡眠時間帯については30分間隔で「冷房使用日誌」(以下「日誌」)に記入する。また、毎朝起床時に前晩の睡眠の質をOSA申告票に記入し、睡眠時の温熱感覚や中途覚醒の有無と回数と理由、寝衣や寝具や寝具のかぶりかた、睡眠前日の日中における体調や疲れ状態、熱的温冷感や快適感や受容度、冷房や扇風機や通風の使用状況を申告する。別途、住戸の面積、方位、階数、日当たりや風通しや騒音などに関する住戸と寝室の居住者による主観評価などの住戸属性と、年齢、性別、職業、体質・体調、環境意識や習慣などの居住者属性も調査した。

得られたのべ153戸153人ののべ760晩のうち、1)ストレスが「非常にあった」、2)健康状態が「不良」、3)睡眠が悪い側でかつ悪い理由が温熱環境以外、4)2歳以下の子と就寝の場合は温熱環境以外の影響が大きいと考えられるため除き、のべ142戸142人ののべ622晩を分析する。

2. 睡眠時の温熱環境調節の実態

冷房使用日誌に基づいて、冷房使用、扇風機使用、窓開放時間の睡眠時間に対する割合を求めた。温熱環境調節3種類に対してそれぞれ全時間使用、一時使用、不使用の3通り合計27通りの出現状況をFig.2に示す。最も多い調節パターンは、扇風機や通風は使わず全時間冷房を使うパターンで、25.5%を占める。ついで冷房や扇風機は使わず全時間通風を使うが14.2%、扇風機や通風は使わず一時的に冷房を使うが12.2%、冷房、扇風機、通風すべて使わずが8.2%、全時間にわたり扇風機と通風を両方使うが7.9%と続く。6位以下は5%を切っている。本報は冷房使用のみに着目し、冷房使用時間率に基づいてデータを冷房全使用、一時使用、不使用の3群に分ける。それぞれ37.7%、24.7%、37.7%である。

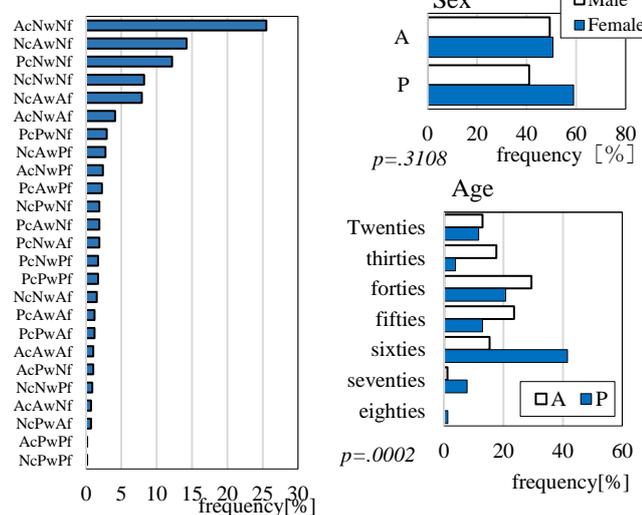


Figure.2 Thermal control use patterns

3. 一時使用の生起する要因

3.1 睡眠時における外気温熱環境

外気の温度・湿度には大阪管区气象台のデータを用い、各協力者の各日の睡眠時間帯における平均値を求めた。一時使用と全使用の外気温平均値はそれぞれ27.6°Cと27.4°Cであり、差はない(p=.2282)。湿度はそれぞれ78.0%と77.0%であり、差はない(p=.973)。絶対湿度は18.0g/kgと17.7g/kgであり、10%有意水準では差がある(p=.0503)。全使用か一時使用かは外気温とは関係がないといえる。湿度については、一時使用のほうが外の湿気が少し高いといえる。

3.2 居住者属性

(1) 基本属性、出身地 (Fig.3) 回答者の性別による有意な差はない(p=.3108)。年齢の平均値と標準偏差は、一時使用49.9±14.3才、全使用46.0±11.3才で、年長のほうが一時使用が多い(p=.0002)。全使用は40代が最も多く、一時使用は60代が最も多い。職業による差はあり(p=.0071)、主婦は一時使用が多いが無職は全使用が多い。出身地による差もあり(p=.0095)、全使用は関西以外の出身者が最多であるが一時使用は大阪出身者が最多で、70.3%を占める。

(2) 体質 (Fig.4) 体質は自己申告によるが、発汗傾向に差があり(p<.0001)、全使用は「汗かきではない」が最多であるのに対し一時使用は「少し汗かき」が最多である冷え性にも差があり(p<.0001)、全使用は「冷え性でない」が最多であるのに対し一時使用は「あまり冷え性でない」が最多である。一時使用に冷え性が多い。一方「暑がり」や「寒がり」は、一時使用と全使用の一様性検定のp値はそれぞれ、.7864、.2095で、特に「暑がり」による差がない。暑がりであるから冷房を全時間使用するとは言えない。体質としては汗かきや冷え性が一時使用の要因である。

(3) 7日間の体調とストレス、POMS(Fig.5) 4段階での体調には差がない(p=.1481)。3段階でのストレスは全使用のほうが「ある」(p=.0381)。

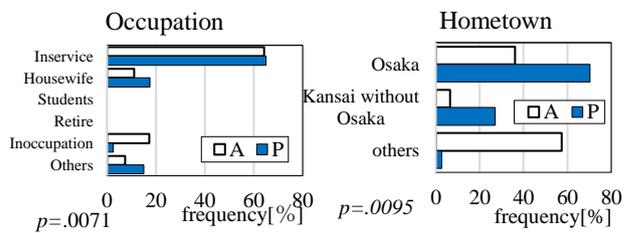


Figure.3 Basic attributes

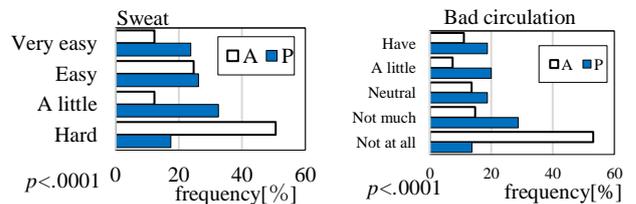


Figure.4 Constitution

Figure.3 Basic attributes

気分状態を POMS 緊張・不安、抑うつ・落ち込み、怒り・敵意、活気、疲労、混乱の各因子に 2 尺度ずつあてはめた得点で表すと、一時使用 10.6±5.3、全使用 12.5±5.4 で、一時使用のほうが気分がよい ($p=.0011$)。また全時間が「心の中で憤慨する」($p<.0001$)、一時使用が「生き生きする」($p<.0001$)で差が強い。

(4)環境意識・習慣 (Fig.6) 環境意識では、「自然の風で過ごしたい」、「暑さ寒さには敏感な方だと思う」、「原子力発電に頼りたくない」、「都市高温化を実感している」、「地球温暖化問題に関心がある」、「電気料金の値上げ値下げが気になっている」はいずれも $p<.0001$ で一時使用が強く、「震災の前は節電していなかった」が $p=.0061$ 、「室内でも外のつながりが感じられる方がよい」が $p=.0001$ 、「自然の中の暮らしにあこがれるのである」が $p=.0016$ で、環境意識が高いほど、一時使用が強い。

一方、「熱中症を気にしている」($p=.1024$)、「洗剤など、環境にやさしい商品を使う」($p=.8787$)、「自宅の照明の省エネに気を配っている」($p=.3226$)、には差がない。冷房使用積極派は一時使用の 14.1%、全使用の 30.8%である ($p=.0008$)。冷房の電気代意識は差があり ($p<.0001$)、一時使用、全使用とも「気になるが仕方ない」が最多で過半

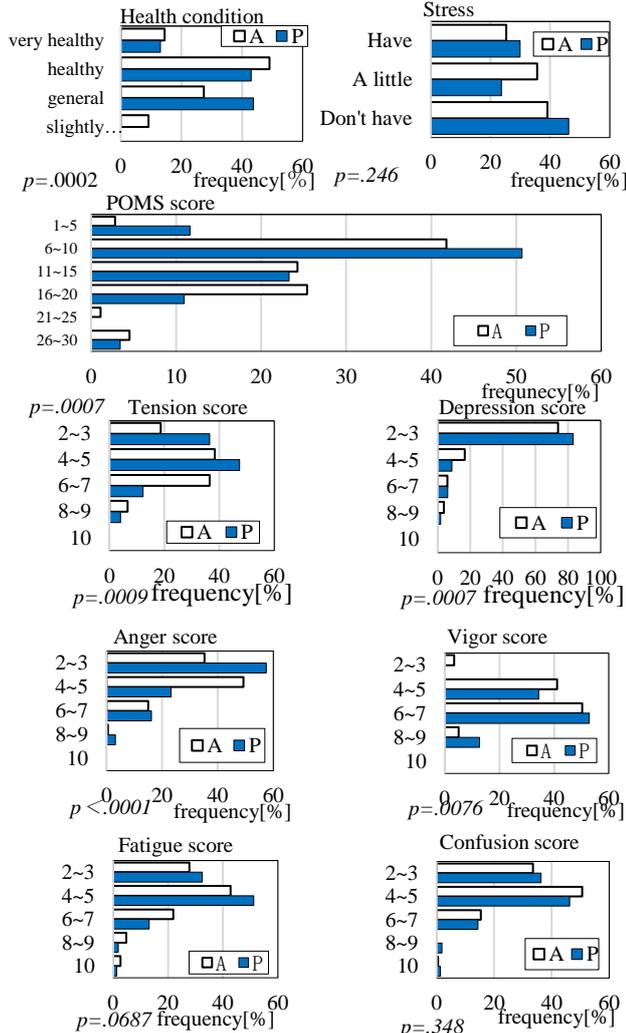


Figure.5 Health, stress and POMS scores

を占めるが、一時使用の 2 位が「気になるので節約」(23.0%) に対し、全使用の 2 位は「気になるほど電気代がかからない」(29.8%) で、一時使用のほうが気にしている。世帯年収は回答率が 17.4% であるが全使用 474.4 万、一時使用 341.8 万で差がある ($p=.0159$)。節約意識や経済的理由も一時使用の要因といえる。習慣では、一時使用のほうが「衣類や寝具による温度調節をこまめにしている」が、「節水」や「節電」の習慣はない (いずれも $p<.0001$)。

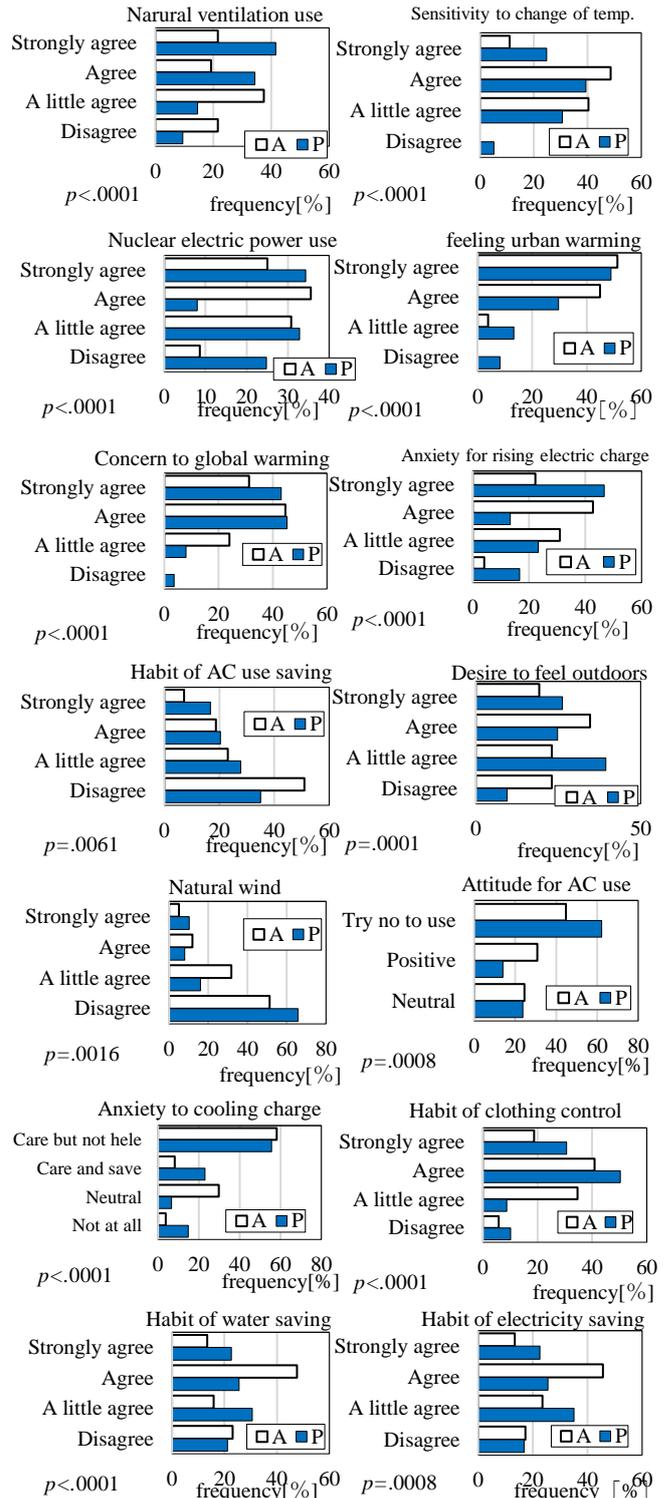


Figure.6 Environmental consciousness and habits

3.3 住戸属性

住戸面積は全使用 61.95 m²、一時使用 60.29 m²で差がない ($p=.19$)。階数は全使用 5.88 階、一時使用 5.14 階で ($p=.0412$)、全時間が高い。世帯人数は全使用 2.23 人、一時使用 2.36 人で差がない ($p=.3496$)。

竣工年にもとづき省エネ基準 3 段階に分けると、平成 11 年以降、平成 4-11 年、平成 3 年以前の順で新しいほうが一時使用が多い ($p<.001$)。断熱性が高いほうが一時使用が多いといえる。前述の一時使用と全使用の選択と関係があった年齢、収入、汗かき、冷え性体質、「自然の風で過ごしたい」「暑さ寒さに敏感」「衣服などでこまめに温度調節」「外との繋がりを感じたい」「温暖化に関心がある」の環境意識、「節水」「節電」の習慣、ストレス、POMS 得点、不安、抑うつ、活気、疲労、混乱得点は断熱水準と相関が弱いので、断熱性は直接一時使用と関係し、断熱性がよいと冷房一時的な使用だけで温熱環境が保持できる可能性を示唆する。

住環境主観評価では、一時使用のほうが日当たりが悪く、冷房の効きが良く ($p=.002$, $p=.0344$)、結露が少ない ($p=.0003$)。日射熱が煩わしくなく、日射がまぶしくなく ($p<.0001$)、風通しやカビの発生には差がない。

(Fig.7) 寝室の評価では、一時使用のほうが眺めがよく ($p=.0051$)、外気がきれい、冷房の効きが良く、湿気や匂いがこもりにくく (ともに $p<.0001$)、日射熱が煩わしくなく ($p=.0195$)、日当たりが悪く ($p=.0096$) 防犯に「気を付けている」 ($p=.0012$) (Fig.8)。

寝室の風通しや結露に差はない。住戸も寝室も、風通しには差がない。

4. 結論

大阪の集合住宅居住者を対象に 4 年にわたり夏季の寝室温熱環境測定と睡眠に関するアンケート調査を行い、142 戸ののべ 616 晩について、睡眠時に冷房を全時間使用する場合と一時的に使用する場合を比較した結果、1) 睡眠時の外気温熱環境は、冷房全使用か一時使用かにはほとんど関係しない。2) 居住者の暑さ耐性や寒さ耐性は全使用か一時使用かに関係しないが、汗かきや冷え性であるほど、一時使用の傾向がある。一時使用のほうが 3) ストレスがなく、4) 収入が低く電気代を気にしており、5) 環境意識が高く衣服や寝具の調節をこまめにする。節電や節水の習慣は全使用のほうがある。一時使用のほうが住戸の 6) 居住階数が低く断熱性が高く、7) 日当たりが悪く冷房の効きがよく結露が少ない。8) 一時使用のほうが寝室の眺めがよく、外気がきれい、冷房の効きがよく、湿気やにおいがこもりにくく、日射熱がわずらわしくなく、日差しがまぶしくなく、防犯に気を付けている。寝室の結露しやすさには差がない。

参考文献 1) <https://www.jma-net.go.jp/osaka/kikou/ondanka/ondanka-osaka3.html> 2) 橘良樹ほか: 夏季の寝室における冷房や通風利用パターンによる睡眠の質の違い, 空・衛・近畿論文集, A-56, 2017 年 3) 藤本ほか, 空・衛近畿論文集, A51, 2019 年 (投稿中)

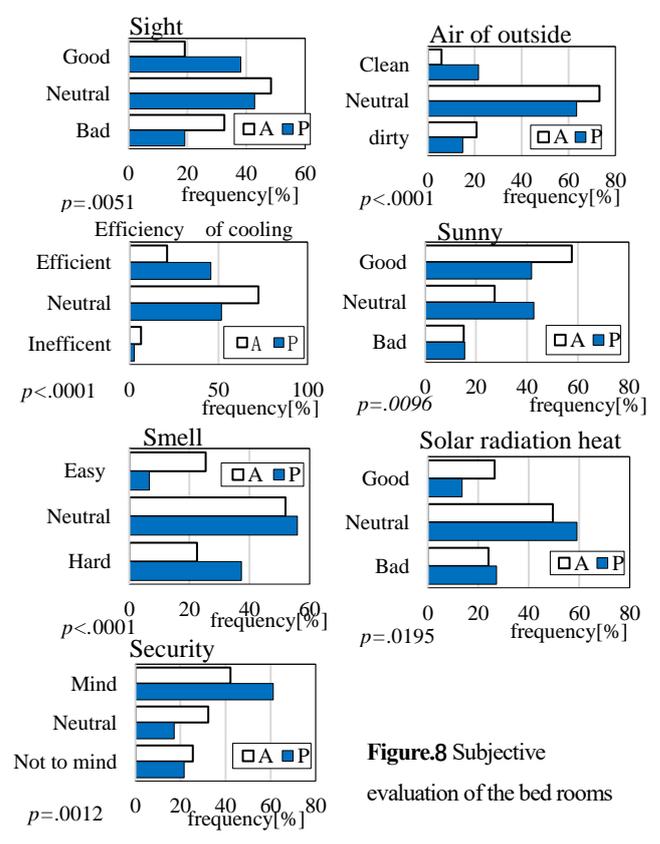
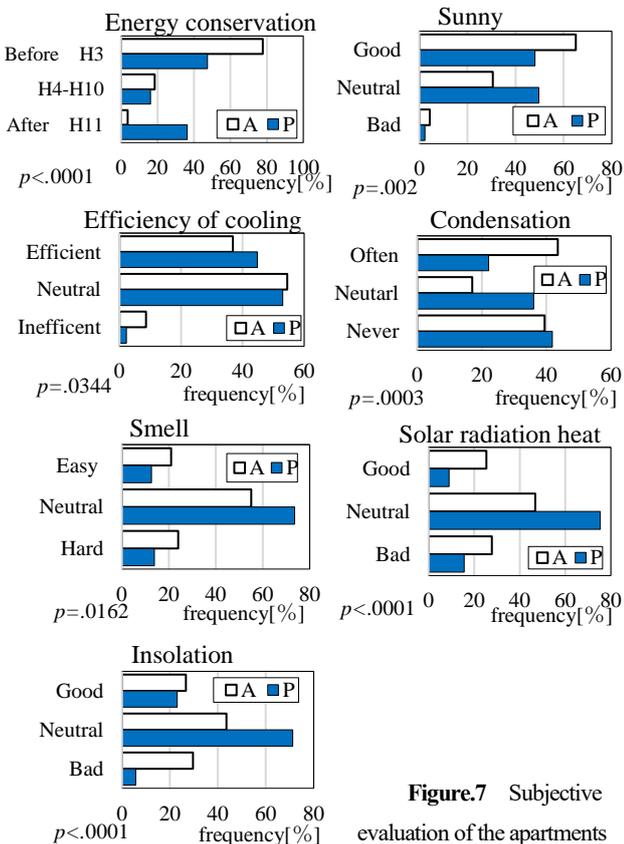


Figure.7 Subjective evaluation of the apartments

Figure.8 Subjective evaluation of the bed rooms

睡眠時における冷房の一時的使用の実態に関する研究
—その2 温熱環境、温熱感覚及び睡眠の質への影響
Actual states of partial air conditioner use during sleep in summer
- Effects of partial use

○藤本 育菜 (大阪市立大学) 梅宮 典子 (大阪市立大学)
陳 宇航 (大阪市立大学) 鈴木 充法 (大阪市立大学) 福村薫美 (大阪市立大学)

Ikuna FUJIMOTO*¹ Noriko UMEMIYA*¹

Yuhang CHEN *¹ Mitsunori SUZUKI*¹ Kurumi FUKUMURA*¹

*¹ Osaka City University

This survey revealed partial air conditioner(AC) use during sleep in summer and compared effects of “partial use(P)” to one of “all time use(A)” that based on respondents 33 a total of 209 days for 4 years of “A” and 23 a total of 137days of “P”. The setting time of off timer of AC is 3hours most. The room absolute humidity of “P” is higher than “A”, and the humidity sensation and the amount of perspiration is higher than. The room temperature is higher than, but the thermal sensation has a tendency to feel cooler than. The OSA total score and “sleepiness on rising” is higher than.

1. 背景と目的

前報(その1)では、夏季睡眠時に冷房を一時的に使用する要因を明らかにするために、外気温熱環境や居住者の体質・体調や環境意識・習慣、住戸や寝室の階数や方位、築年数、居住者による住環境評価について、睡眠時に冷房を全時間使用する場合と比較した。本報(その2)では、まず冷房の一時的な使用の実態を明らかにし、一時的使用による寝室温熱環境、温熱感覚、睡眠の質への影響を、全時間使用の場合と比較する。冷房全時間使用は33人209晩、一時的使用は23人137晩の2014年～2017年のデータを用いる。

1. 冷房一時使用の実態

冷房使用日誌に基づく各協力者の各日における睡眠時間に対する冷房使用時間の割合(冷房使用率)は、100%の「冷房全使用」と0%の「冷房不使用」がともに37.7%、それ以外の「冷房一時使用」が24.7%である。

一時使用のうち、入眠時からあるいは入眠前から寝室で使用していた冷房を、タイマーで停止する場合は61.2%、睡眠途中で手動で停止する場合は18.0%である。他には、睡眠途中タイマー停止で手動で運転発が7.2%、睡眠途中タイマーで停止して手動で運転発して停止が7.2%、入眠時冷房を使用せず途中で手動で運転発4.3%、タイマーで停止になる前に手動で停止が1.4%、入眠時冷房を使用せず途中で手動で運転発し停止する場合0.7%である。

タイマーの冷房停止予約設定時間は、3時間が21.5%

で最多、ついで1時間と5時間が18.3%で、比較的一様に分布している(図1)。平均3.6時間である。

全使用と一時使用のあいだで、冷房設定温度に差はない(図2)(平均値の差のt検定で $p=0.492$)。エアコンの風量には差があり($p=.023$)、「弱」は一時使用、「強」、「中」は全使用の方が多い(図3)。扇風機使用程度と窓開放程度の申告によると、一時使用の方が扇風機を使用し、窓を開放する(図4、5)($p=.0003$, $p<.0001$)。一時使用の掛け布団の種類はタオルケットなど薄めの傾向があり(図6)($p=.0002$)、布団のかぶりかたは、気が付いたら被っていなかったが多い。(図7)($p=.0002$)。寝衣のクロ値は0.29(図8)($p=.0231$)。寝衣の種類は半袖半ズボン、半袖長ズボンや長袖長ズボンの傾向ある(図9)($p=0.0034$)。冷感シーツの使用は全使用18.13%、一時使用40.77%で、一時使用の方が多い($p<.0001$)。寝室でともに寝た人数は全使用0.84人、一時使用0.51人で、一時使用のほうが少ない(図10)($p=.0001$)。床に布団かベッドかは、一時使用のほうが布団の傾向がある(83.12%)($p=0.0037$)。

2. 冷房一時使用の影響

2.1 睡眠時の寝室温熱環境

睡眠時平均寝室気温は全使用のほうが低く26.6°C、一時使用は28.1°C($p<.001$)である(図11)。相対湿度には有意な差はないが絶対湿度は全使用0.0139kg/kg、一時使用0.0151kg/kg($p<.001$)で一時使用の方が○%高い(図12)(図13)。気温と湿度から推定した室内WBGTは、全使用23.9°C、一時使用25.1°Cである(図14)($p<.001$)。一

時使用のほうが室温が高く、平均値の差は 1.5℃である。

2.2 睡眠時温熱感覚

(1) 温熱感覚

温冷感は一時使用の方が「涼しい」(図 15) ($p=.0563$) 一時使用の方が気温で 1.5K、WBGT で 1.2K 高いにも関わらず一時使用のほうが「涼しい」。熱的快適感、熱的受容度は p 値が $p=.180$ 、 $.216$ である。(図 16) (図 17) ($p=.180$ 、 $.216$)。湿度感 7 段階評価は一時使用の方が「湿っていた」側に分布し ($p=.0021$) (図 18)、発汗量 4 段階評価は一時使用の方が多いと回答する ($p=.0011$) (図 19)。一時使用のほうが絶対湿度が高い事実と評価の向きが一致している。

(2) 冷房使用後の温熱感覚の変化

冷房使用后、温熱感覚は一時使用の方が、温冷感は「涼しくなった」(図 20)、熱的快適感「快適になった」(図 21)、熱的受容度は「我慢できるようになった」(図 22) 傾向がある (それぞれ $p=.0035$ 、 $.0003$ 、 $.0001$)。

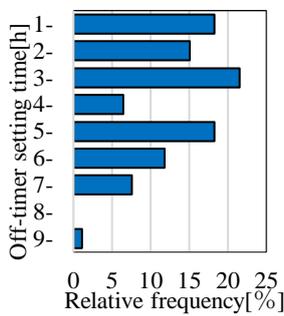


Figure.1 Off-timer setting time

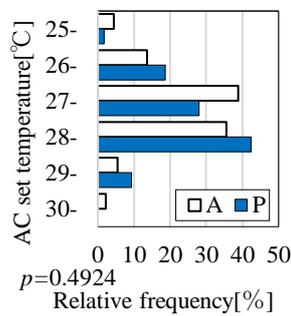


Figure.2 AC set temperature

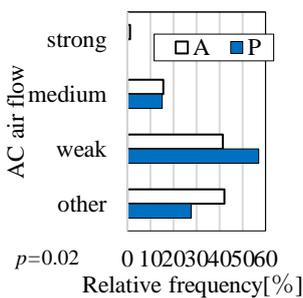


Figure.3 AC air flow

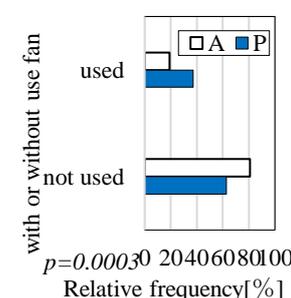


Figure.4 with or without use fan

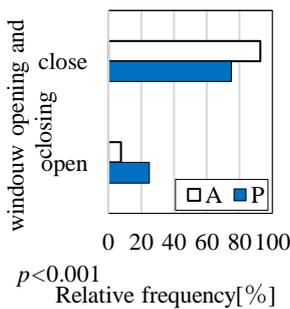


Figure.5 window opening and closing

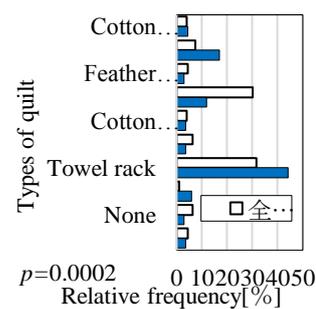


Figure.6 Types of quilt

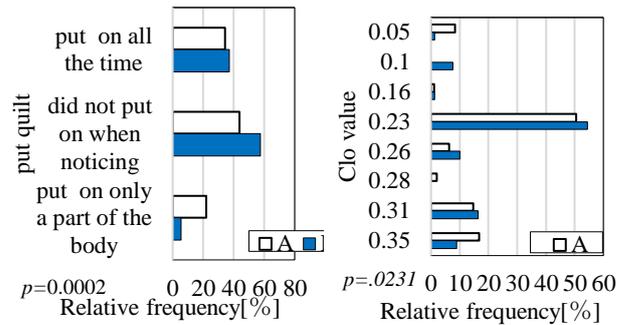


Figure.7 How to put quilt

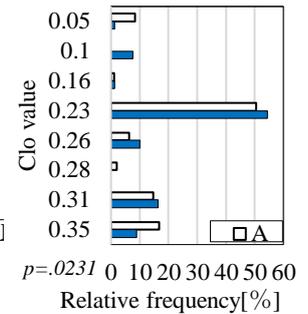


Figure.8 Clo value of sleepwear

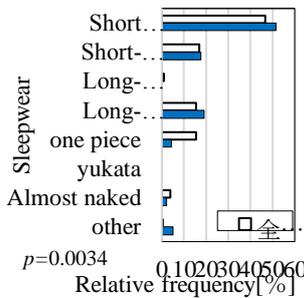


Figure.9 Type of sleepwear

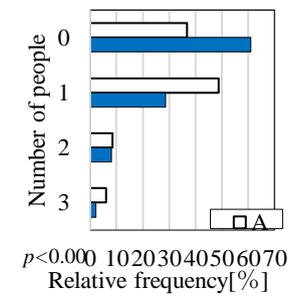


Figure.10 Number of people sleeping together

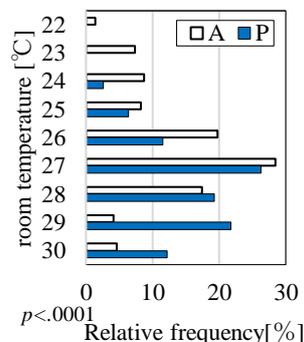


Figure.11 Average room temperature during sleep

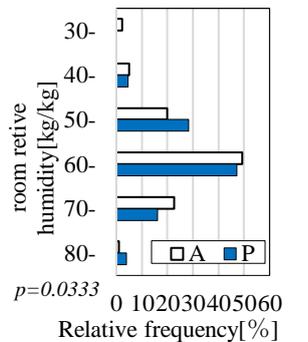


Figure.12 Average room relative humidity during sleep

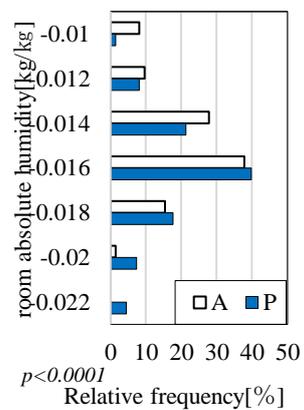


Figure.13 Average room absolute humidity during sleep

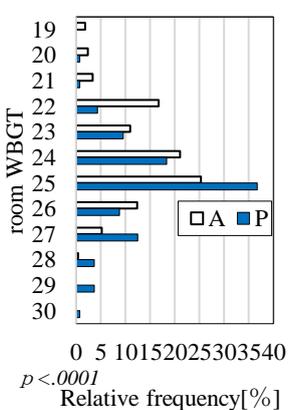


Figure.14 Average room WBGT during sleep

2.3 睡眠の質

(1) 中途覚醒

中途覚醒回数は全使用 0.63 ± 0.83 回、一時使用 0.91 ± 1.03 回で一時使用の方が多 (図 23)。その理由が暑さであるのは一時使用が多い ($p < .001$)。

(2) OSA 得点

測定期間における睡眠の質は起床後に OSA 睡眠評価をおこなう。15 項目のアンケートから『起床時眠気』、『入眠および睡眠維持』、『夢見』、『疲労回復』、『睡眠時間』の 5 因子の質を得点化し、さらに 5 因子の得点を平均することで、OSA 総合得点を算出できる。

OSA 総合得点は全使用が 50.0 ± 5.76 点、一時使用が 51.1 ± 6.52 点である (図 24)。「一時使用」は、35-45 点の点数が低い範囲での分布が高いが、55 点以上の高い点数のでも高い。「一時使用」は、強い偏りがなく分散している。一時使用の方が睡眠の質がよい ($p = .111$)。起床時眠気因子得点は全使用 50.15 点、一時使用 52.09 点で、一時使用の方が高い ($p = .041$) (図 25)。50 点以下は比較的「全使用」が高く、50-55 点は「全使用」が高い。それを境に 55 点以降は「一時使用」の方が高い。入眠と睡眠維持因子得点 (図 26) と夢み因子得点 (図 27) では一時使用と全使用で差がないが (それぞれ $p = .789$, $p = .343$)、疲労回復因子得点 (図 28) と睡眠時間因子得点 (図 29) は一時使用と全使用のあいだで差がある ($p = .156$, $p = .152$)。

(4) 総合的な睡眠の質 (感想)

睡眠の質は OSA の他に、総合的な睡眠の質を 0 段階で尋ねている。「非常によかった」は一時使用の方が高い ($p = .0533$) (図 30)。

2.4 冷房費

8 月と 5 月の電気料金の差を冷房費と定義する。冷房費には世帯人数が影響すると予想されるため、単身世帯のみで比較すると平均値は、全使用 1874 円 ($n = 12$)、一時使用 1268 円 ($n = 11$) で、一時使用のほうが安く ($p = .0003$)、差は 32% である。

2.5 測定期間中の気分

測定期間中の気分について POMS の 65 尺度から各因子 2 対ずつ、合計 12 対を評価させた。これらの内、有意な差が見られたのは、『陽気な気持ち』、『考えがまとまらない』、『心の中で憤慨する』、『つかれた』、『生き生きする』、『気がはりつめる』、『あれこれ心配だ』、『孤独でさびしい』の 8 項目である。有意な差が見られなかったのは『いらいらする』、『気持ちが沈んで暗い』、『物事に気乗りがしない』、『集中できない』の 4 項目である。

3. まとめ

大阪市と堺市の集合住宅居住者を対象にアンケート調査と測定調査を行った結果、睡眠時の冷房一時使用の影響について以下のことを明らかにした。1) 全使用より室内絶対湿度は高く、湿度感や発汗量も多い。2) 全使用よ

り室温は高いが、温冷感は「涼しい」と感じる傾向がある。

3) 睡眠の質を表す OSA 総合点は良く、「起床時眠気因子」も良い。中途覚醒回数は多いが、OSA「入眠と睡眠維持因子」に差はない。

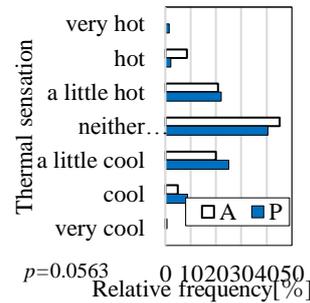


Figure.15 Thermal sensation when sleeping

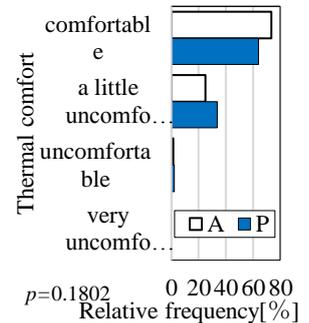


Figure.16 Thermal comfort when sleeping

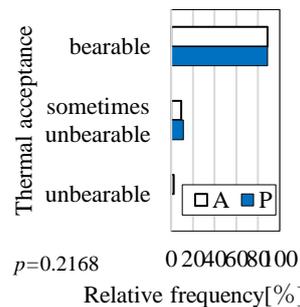


Figure.17 Thermal acceptance when sleeping

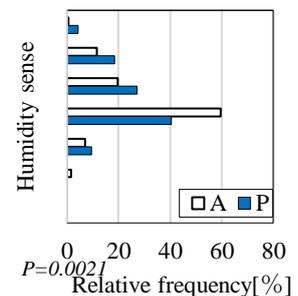


Figure.18 Thermal acceptance when sleeping

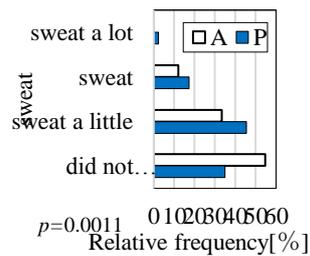


Figure.19 sweat when sleeping

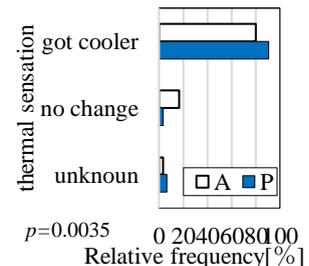


Figure.20 thermal sensation

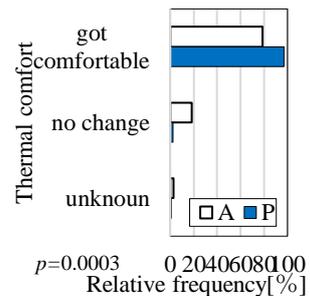


Figure.21 Thermal comfort

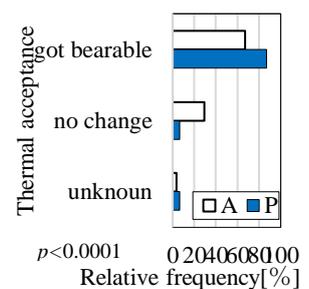


Figure.22 Thermal acceptance

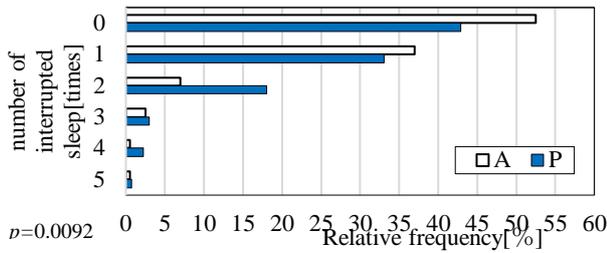


Figure.23 Number of interrupted sleep [times]

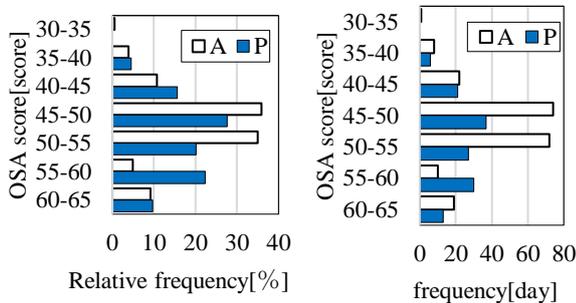


Figure.24 OSA score

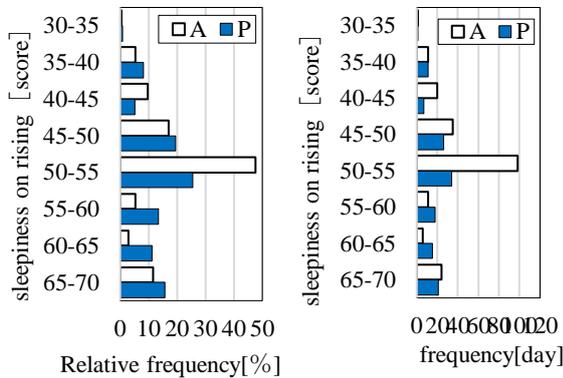


Figure.25 sleepiness on rising

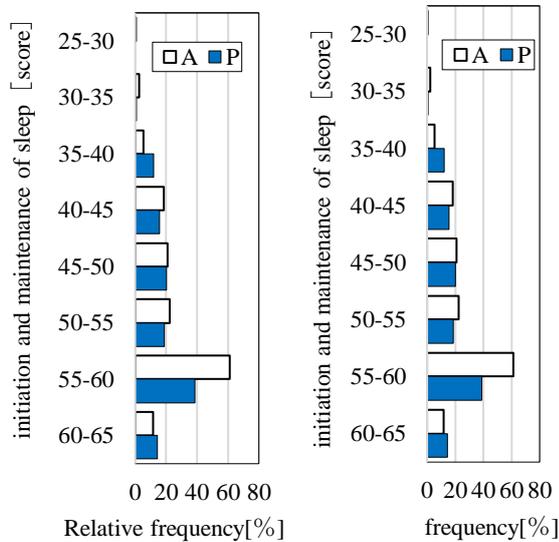


Figure.26 initiation and maintenance of sleep

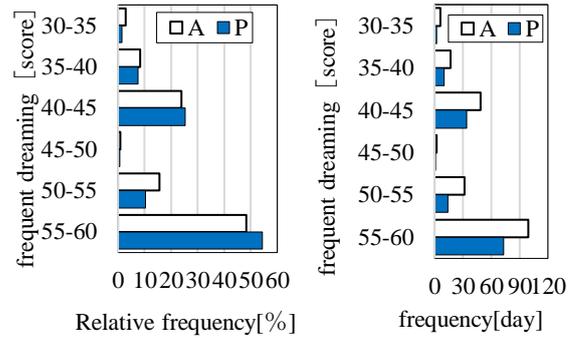


Figure.27 frequent dreaming

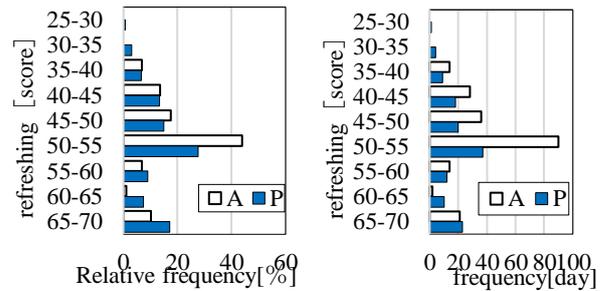


Figure.28 refreshing

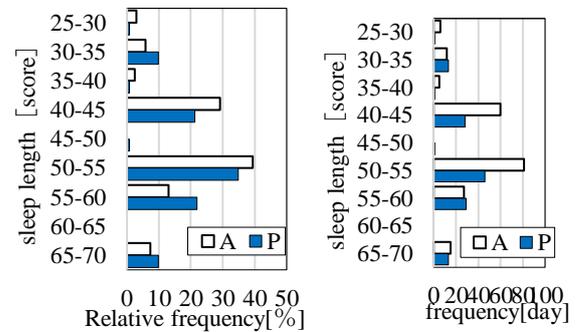


Figure.29 sleep length

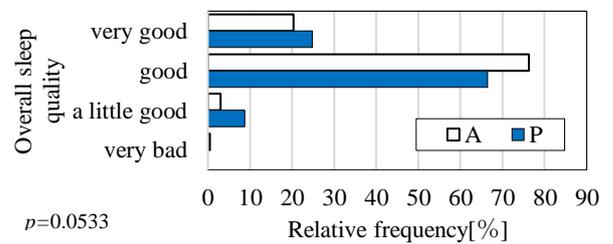


Figure.30 Overall sleep quality

参考文献

- 1) <https://www.jma-net.go.jp/osaka/kikou/ondanka/ondanka-osaka3.html>
- 2) 橘良樹ほか: 夏季の寝室における冷房や通風利用パターンによる睡眠の質の違い, 第46回空・衛・近畿・学術研究発表会論文集, A-56, 2017年3月
- 3) 陳ほか, 睡眠時における冷房の一時的使用の実態に関する研究— その1 一時使用が生起する要因, 空・衛近畿, A51, 2019年(投稿中)

高齢者の冷房使用の実態
大阪の集合住宅における調査

Air conditioner use in summer of geriatric population-Survey of apartment occupants in Osaka

○遠藤 立城(大阪市立大学) 梅宮 典子(大阪市立大学) 林 小勇(大阪市立大学)

渡部 麗杏(大阪市立大学) 孫 琳(大阪市立大学)

Tatsuki ENDO*¹ Noriko UMEMIYA*¹ Xiaoyong LIN*¹ Reia WATABE*¹ Rin SON*¹

*¹ Osaka City University

The summer of 2018 was a hot summer. Heat stroke of elderly people became an important social problem in Japan. This study revealed in 2004, 2011, and 2017 that air conditioner use, cooling consciousness, and environmental consciousness differ depending on age and different era. Results elucidated the following for elderly people compared to young people: 1) They do not use air conditioners. 2) They have high energy-conservation consciousness, but do not mind electricity bills for cooling. 3) They have high environmental consciousness. 4) They tend to keep windows open, but show opposite tendencies of young people. 5) Although differences exist in consciousness, no difference was found in electric energy consumption for cooling.

1. 研究の背景と目的

2018年夏は「災害級の暑さ」と評され^{文1)} 平年より関西では1.6℃高く、5-9月の熱中症搬送人数は2017年の2倍に近い92,710人であった。2010年には最高気温35℃を超えるいわゆる猛暑日が31日に達し、熱中症によって1700人が死亡し、気象台は連日、適切な冷房の使用を呼びかけた。搬送者の約半数、死亡者の8割近くが65歳以上であり、発症場所は住居が最も多く約4割を占めていた。しかしエアコンは最近でこそ例えば大阪では1世帯

が2~3台のエアコンを所有しているが、1980年のエアコン普及率は39.2%であり、冷房はぜいたくで、電気代が高く、身体によくない、というイメージを持ち続けている高齢者は多いと思われる。また、高齢になりエアコンによる冷えが体質的に耐えられない可能性や、高齢で収入が低く冷房費を気にして使用を控える可能性もある。筆者らは2004年に大阪の集合住宅26棟の居住者約300人を対象に、冷房使用に関する調査を実施し、その後2011年にも同じ住棟を対象に、同じ設問と選択肢の調査票を配布して震災の影響を分析した^{文2)}。今回2017年にも調査を実施し、本稿はこれら3回の調査のデータを用いて、年齢に着目し、高齢と若齢のあいだで、1)冷房の使いかたにはどのような違いがあるのか、2)冷房に対する意識にはどのような違いがあるのか、3)それら的高齢者と若齢者の違いは3回の調査のあいだでどのように変化したのか、について分析する。

Table 1 Number of distribution and collection

	所有状況	築年	2004年			2011年			2017年			
			配布数	回収数	回収率%	配布数	回収数	回収率%	配布数	回収数	回収率%	
1	公・賃貸	1991	11	120	26	21.7	118	19	16.1	93	3	3.2
			11							67	8	11.9
2	公・賃貸	1991	14	55	10	18.2	53	2	3.8	42	3	7.1
3	公・賃貸	1991	8	70	7	10.0	65	4	6.2	40	4	10.0
4	公・賃貸	1992	12	56	3	5.4	42	3	7.1	36	3	8.3
5	公・賃貸	1994	14	55	8	14.5	55	5	9.1	39	11	28.2
6	公・賃貸	1994	14	89	22	24.7	100	11	11.0	62	13	21.0
7	公・賃貸	1997	14	150	27	18.0	136	20	14.7	147	3	2.0
8	公・賃貸	1999	13	134	22	16.4	135	14	10.4	118	17	14.4
9	公・賃貸	1999	13	55	8	14.5	75	10	13.3	86	10	11.6
10	公・分譲	1994	6	70	14	20.0	67	15	22.4	60	15	25.0
11	民・分譲	1973	7	132	28	21.2	129	14	10.9	110	11	10.0
12	民・分譲	1990	9	60	11	18.3	60	5	8.3	60	5	8.3
13	民・分譲	1995	11	99	17	17.2	76	9	11.8	100	20	20.0
13	民・分譲	1995	11	99	17	17.2	76	9	11.8	70	8	11.4
14	民・分譲	1995	8	45	7	15.6	42	4	9.5	34	3	8.8
15	民・分譲	1996	7	38	11	28.9	38	2	5.3	35	3	8.6
16	民・分譲	1996	8	90	8	8.9	90	7	7.8	89	5	5.6
17	民・分譲	1998	14	80	15	18.8	79	10	12.7	77	10	13.0
18	民・分譲	2000	14	70	8	11.4	55	9	16.4	59	11	18.6
19	民・分譲	2001	6	30	6	20.0	30	3	10.0	30	0	0.0
20	民・分譲	2002	12	41	10	24.4	40	5	12.5	36	3	8.3
21	民・分譲	2002	6	30	4	13.3	32	7	21.9	25	3	12.0
21	民・分譲	2002	6	30	4	13.3	32	7	21.9	28	3	10.7
22	民・分譲	2004	11	30	2	6.7	30	5	16.7	25	4	16.0
23	民・賃貸	1985	7	27	3	11.1	25	1	4.0	25		0.0
24	民・賃貸	1989	6	80	5	6.3	82	2	2.4	70	3	4.3
25	民・賃貸	1996	8	60	4	6.7	58	5	8.6	50	6	12.0
26	民・分譲	2002	14	39	8	20.5	53	5	9.4	27	5	18.5
				1934	315	16.7	1873	212	11.3	1740	193	11.1

2. 調査方法

2.1 調査対象 対象住棟は大阪市内南部に立地する6~14階建て、片廊下型の家族向け集合住宅26棟で、民間と公的、賃貸と分譲をともに含んでいる。居住年数1年未満は住みこなしが不十分で回答の信頼性が低いとみて除外し、2004年257通、2011年185通、2017年178通を分析対象とする。表1に、3回の調査の配布数と回収数を住棟ごとに示す。

夏季の気温は、2004年7月は平年よりやや暑い、それ以外は平年並みであった^{文1)}。

2.2 エネルギー使用量 電気料金体系は、2004年と2011年はほとんど同じであるが、震災以降、値上げと値下げが実施され、図1に示すように、2017年は高くなっている²⁾。そこで、電力使用量の回答率が低かったことも考慮して、電気料金ではなく電気料金を2011年の電力使用量に換算して、エネルギー使用量の指標とする。冷房使用電力量は、1年のうち冷房を最も使う8月の電力使用量から最も使わない5月の電力使用量を引いた値とする。

2.3 「高齢」の定義 各調査の回答者の平均年齢は、2004年46.6歳、2011年54.3歳、2017年62.0歳で、平均年齢の差が調査の実施時期の間隔とほぼ等しいことから、3回の回答者の世代はほぼ同じであるといえる。中央値は50、60、65歳である。

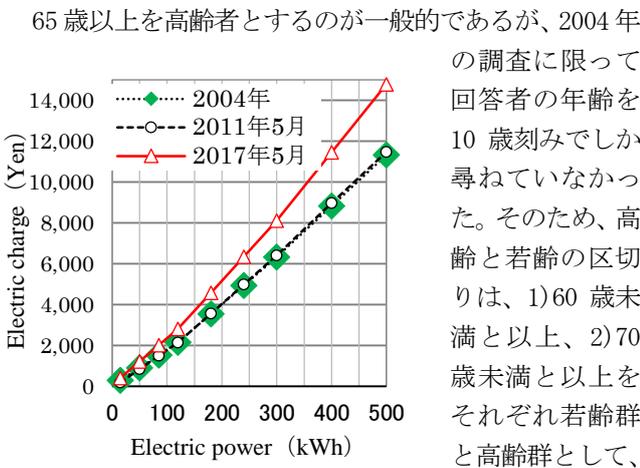


Figure 1 Change of electric charge

の調査に限って回答者の年齢を10歳刻みでしか尋ねていなかった。そのため、高齢と若齢の区切りは、1)60歳未満と以上、2)70歳未満と以上をそれぞれ若齢群と高齢群として、

2 通りについて分析

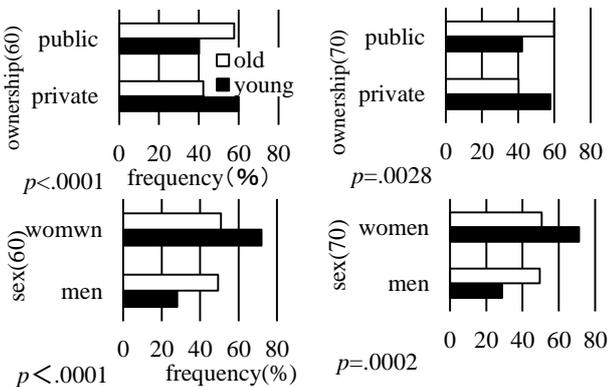


Figure 2

Table 3 Difference of attributes of between age

section		2004	2011	2017	Total	
60 years old	Younger	181	87	74	342	n
		39.1	46.0	47.3	45.3	Mean
	Older	74	95	101	270	n
		64.7	69.9	72.8	70.9	Mean
70 years old	Younger	223	140	112	475	n
		43.0	52.9	53.3	48.4	Mean
	Older	32	42	63	137	n
		71.0	77.1	77.5	75.8	Mean

をおこなう。各調査における若齢群と高齢群の人数と群平均年齢を表2に示す。70歳で区切ると、高齢群の人数が若齢群の3分の1より少なくなる。また高齢群の平均年齢は3回でほぼ同じであるが、若齢群の平均年齢は調査によって異なる。

3. 回答者属性の年齢比較 図2に、回答者の基本属性と体質を若齢と高齢で比較する。表3に、若齢群と高齢群の違いの検定結果のp値を示す。60歳区切りでは、高齢群は若齢群に比べ、公的住宅が多く、男性が多く、健康状態が悪く、風邪をひきにくい。70歳区切りでは、風邪の引きやすさには差はない。全体的に60歳区切りのほうが70歳区切りより若齢と高齢の差が大きいが、出現頻度の大小が逆転する項目はない。暑がり、寒がり、冷え性傾向に差はない。有意水準10%でみると、住戸面積に差があり、高齢の方が70才区切りで4㎡広いが冷房には影響は与えられないと考えられる。

4. 温熱環境調節行為の年齢比較

4.1 冷房使用状況

冷房使用程度は60歳区切りでは高齢群が低く若齢群が高い。60歳区切りでは年々差が拡大し若齢群が冷房を使うようになってきている。70歳区切りでは若齢群と高齢群に有意な差はない(図3)。睡眠時の冷房は、3調査合計では60歳、70歳区切りとも、「非常によく使う」は若齢群のほうが多く、「使わない」は高齢群のほうが多い(図4)。冷房性能満足度や冷房設定温度には、60歳、70歳区切り

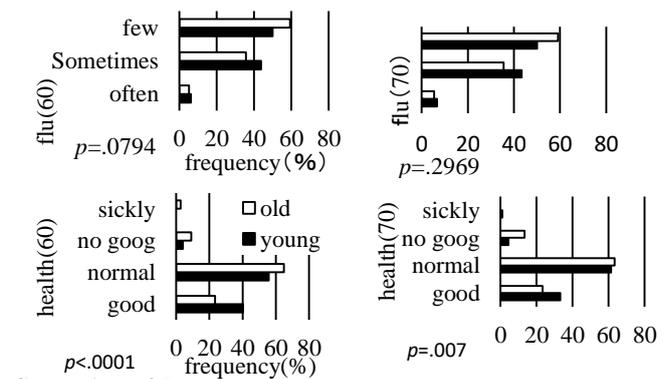


Figure 3

Table 2 Number and mean age for each age group

Survey item	60 years old	70 years old
Dwelling area	0.0915	0.0401
Ownership	<.0001	0.0082
Sex	<.0001	0.0002
Heat tolerance	0.4364	0.8619
Cold tolerance	0.1683	0.2124
Bad circulation	0.1836	0.826
Catching flu	0.0794	0.2969
Health condition	<.0001	0.007

とも、若齢群と高齢群に有意な差はなかった(図略)。窓・ドア開放頻度は、4段階の回答を2段階に集約して示す(図5、6)。起床中は、60歳区切りでは2004年と2011年は年齢差がないが、2017年は若齢群が高齢群より有意に閉が多い。70歳区切りでは2004年、2011年、2017年でいずれも若齢群と高齢群に有意な差がない。就寝中は、60歳区切りでは2004年は若齢群が高齢群より開が多く2011年には年齢差はなく、2017年は高齢群のほうが開が多く逆転している。70歳区切りでは、3回の調査とも若齢群と高齢群で差がない。

4.2 冷房使用電力量 冷房使用電力量は3調査合計で、60歳区切りでは平均値は高齢群140.3kWh、若齢群186.1kWhで、若齢群が大きく($p=.0005$)、70歳区切りも同じく高齢群132.5kWh、若齢群175.1kWhで、若齢群が大きい($p=.008$)。群により居住人数が異なるため(図7)、居住人数(10歳未満を除く)別の冷房電力量を居住人数1~3人ごとに比較する。60歳、70歳区切りとも若齢群と高齢群で冷房電力量に差はない(図8)最も低

いp値は60歳区切りの2世帯で0.1056である。なお冷房電力量は1人世帯(n=82)に対して2人世帯(n=175)は1.54倍、3人世帯(n=84)は2.40倍である。調査別で比較しても、同じ世帯人数どうしでは、若齢群と高齢群のあいだに冷房電力量に差はなかった。

5. 環境意識の年齢比較

3調査合計では、60歳、70歳区切りとも、高齢群のほうが「環境に優しい商品」を使い、「地球温暖化」に関心がある($p=.0004, .0014$), ($p=.137, .350$)。一方、60歳70歳区切りとも、「体力がない人は節電しなくて良い」は有意でないものの賛成は若齢群が多いことから高齢は節電を意識している($p=.337, .1984$) (図9)「節電」習慣は、60歳70歳区切りとも、2011年のみ差があり高齢群が節電する($p=.013, .021$) (図10)。「節水」習慣は、60歳70歳区切りとも、2017年のみ高齢が節水する($p=.498, .295, .111$) ($p=.328, .140, .147$) (図11)。

冷房使用時期の電気料金意識は、4段階の回答を2段階に集約して示す(図12)。60歳70歳区切りとも、2004

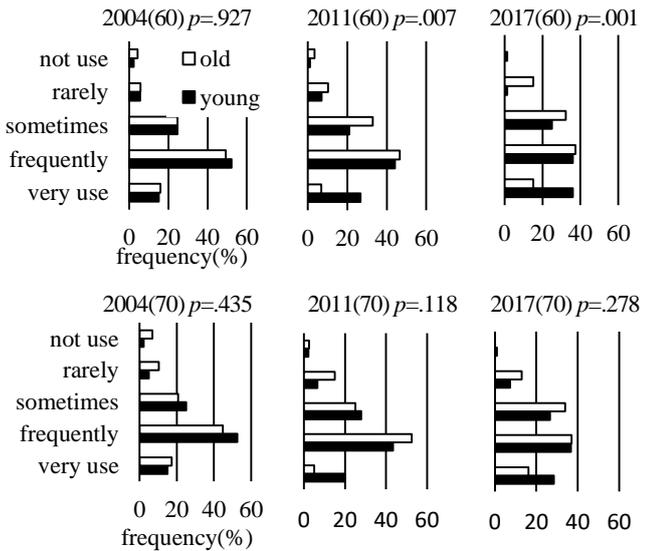


Figure 3 Cooling degree of use

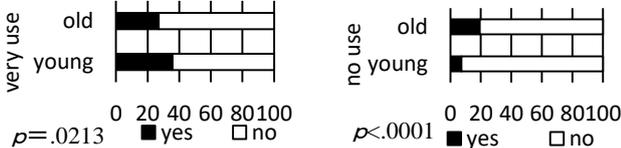


Figure 4 AC use during sleep (in total)

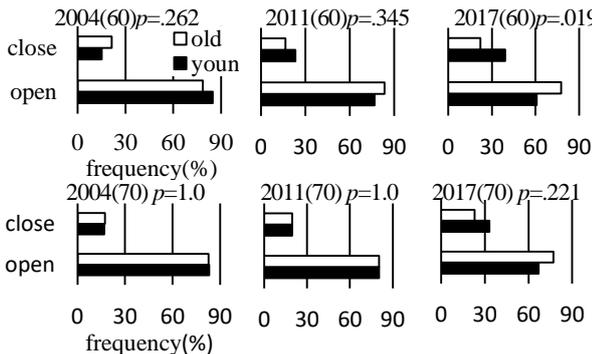


Figure 5 Window situation during awake

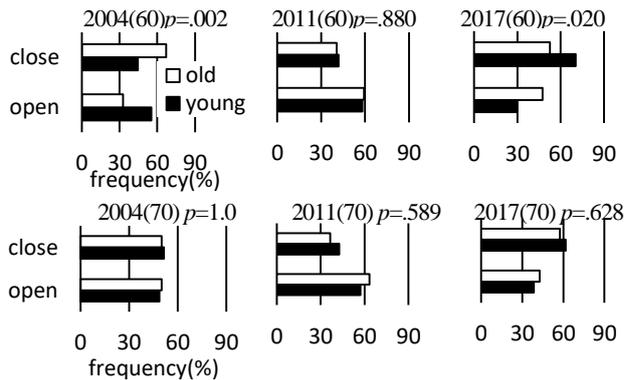


Figure 6 Window situation during sleep

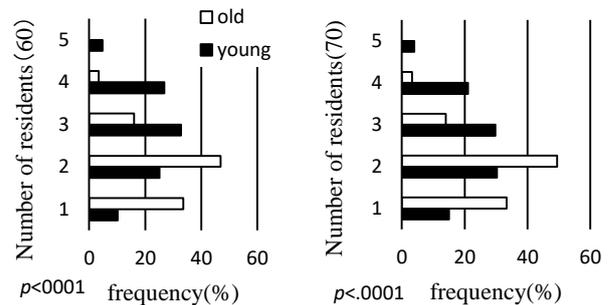


Figure 7 Number of residents

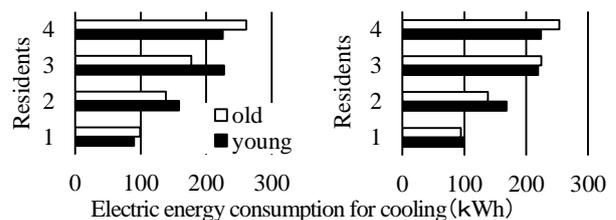


Figure 8 Cooling usage per household

年のみ年齢差があり高齢者のほうが「気にならない」。年齢差は年々減少する。(p=.019,.055,.575)、(p=.0028,.682,.559)。

冷房指向性は、60歳区切りでは2004年に消極派が多く、2011年に若齢に積極派が増え年齢差が拡大したが2017年は高齢に積極派が増え年齢差がなくなる。(p=.104,.0003,.374)(p=.069,.172,.754)これはエアコンを贅沢と捉える高齢が減少していると考えられる。70歳区切りでは2004年に高齢の96.6%が消極派であるが、2011年は60歳区切りの高齢に比べ消極派が低いことから70代以上に消極的は少なく翻意したと捉えられる(図13)環境意識も電気料金と同じく世帯人数からの影響を考慮して、居住人数別に比較する。60歳70歳区切りとも、3調査とも、1人、3人世帯では年齢差が弱く2人世帯では差が強い(図略)。2人世帯の同居人は回答者と同年代が多いことが関係すると思われる。

6. 結論

1)冷房使用程度は60歳区切りは高齢が低く若齢が高いが、若齢が年々使うように変化し年齢差が拡大、70歳区切りは年齢差なし、2)窓開放程度は起床中は、60歳区切りは2017年のみ年齢差があり、若齢が高齢より「閉」、

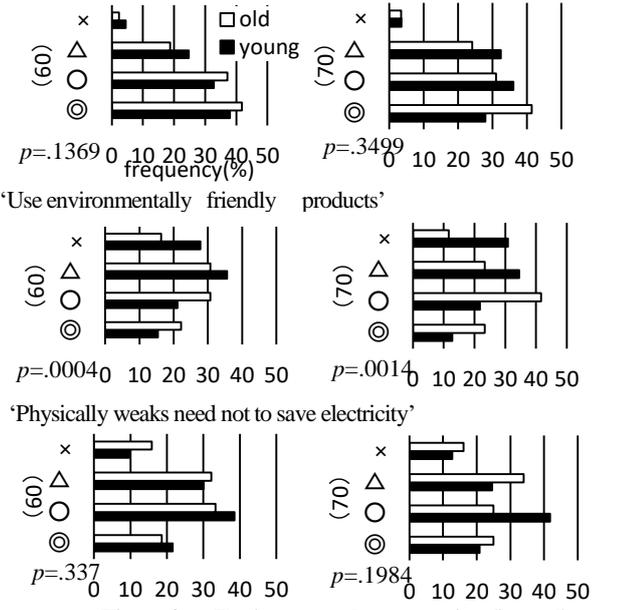


Figure 9 Environmental conservation (in total)

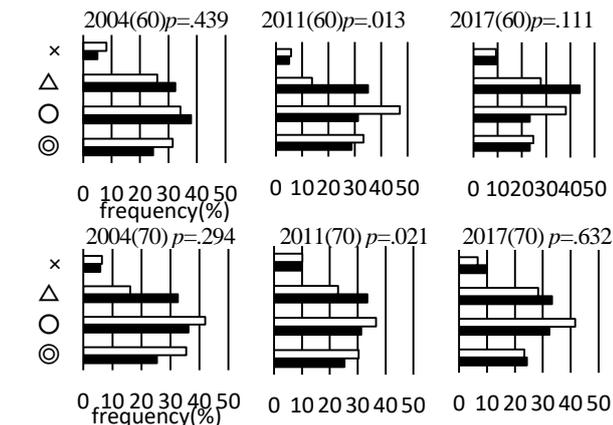


Figure 10 Consciousness of power saving

70歳区切りは年齢差なし。就寝中は、60歳区切りは2004年は若齢のほうが「開」、2011年は年齢差なし、2017年は高齢のほうが「開」。70歳区切りでは年齢差なし、3)冷房電力量に年齢差なし、4)高齢のほうが環境に優しい製品を使い、温暖化に関心、節水、節電。5)冷房費意識の年齢差は2004年のみあり差は年々縮小。高齢のほうが「気にならない」。6)冷房消極派が年々減少し、2011年も消極派は減少し続け2017年は高齢に積極派が増え年齢差消失、70歳区切りは年齢差なし。

参考文献 1) 気象庁 <https://www.jma.go.jp/jma/index.html> 2) 林小勇ら：震災後の節電下における家庭の冷房使用の意識と実態 大阪市の集合住宅を対象とした夏季の温熱環境調節に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第81巻, 第727号, pp. 785-794, 2016年9月. 3) 関西電力 <https://www.kepco.co.jp/>

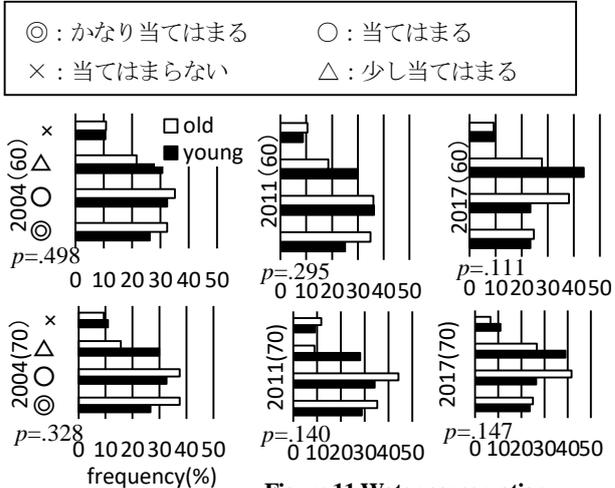


Figure 11 Water conservation

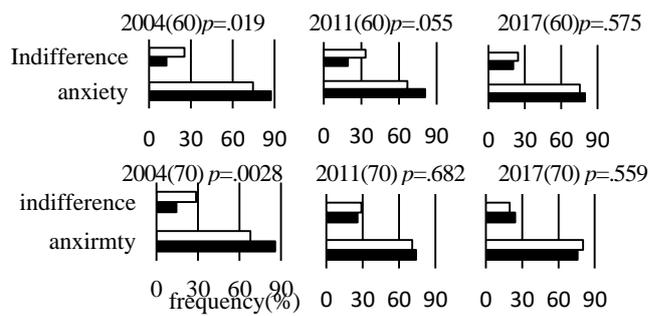


Figure 12 Cooling electricity bill

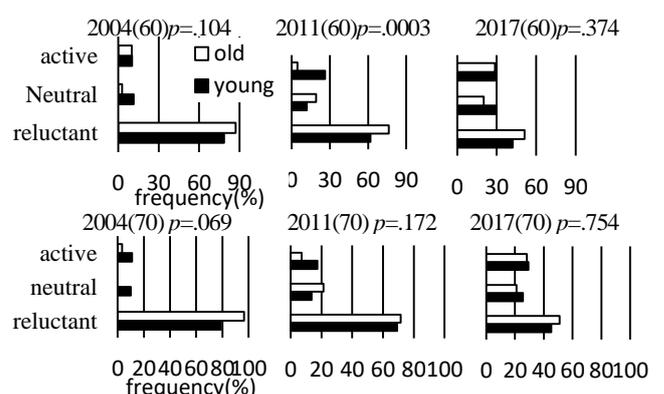


Figure 13 Directivity of cooling

夏季における睡眠の質に寝室方位および住戸断熱性が及ぼす影響

Effects of bedroom directions and dwelling insulation levels on summer sleep quality

○鈴木 充法 (大阪市立大学) 梅宮 典子 (大阪市立大学) 福村 薫美 (大阪市立大学)

藤本 育菜 (大阪市立大学) 陳 宇航 (大阪市立大学)

Mitsunori SUZUKI* Noriko UMEMIYA* Kurumi FUKUMURA*

Ikuna FUJIMOTO* Yuhang CHEN*

* Osaka City University

We investigated the effects of bedroom directions and dwelling insulation levels on sleep quality in summer for 188 apartment houses in Osaka. 1) In the bedroom directions, sleep quality is lowest in the east, but highest in the north. In the dwelling insulation levels, sleep quality is lowest before H3, but highest after H11. However, it varies depending on the condition: whether to use cooling or not, whether the outside air temperature is high or low. 2) Bedroom direction has a greater influence on sleeping: in the north dwelling unit, dwelling insulation levels more strongly influence sleep quality than units of other directions.

1. 背景と目的

大阪の熱帯夜数は、2010年に最多の55日に達し、過去14年で最も少ない2015年においても25日が観測されるなど、近年、特に都市部では夏季における睡眠の質の確保が難しくなっており、その対策は喫緊の課題となっている。中山ら(2016)は、夏季における住戸の熱的性能と睡眠の質の関係に着目し、温熱環境の実測とアンケート調査をおこない、1)住戸の断熱水準が低いと、暖冷房が「効きにくい」住戸において、居住者が起床時に回答するOSA睡眠調査票による睡眠の質のうち、疲労回復因子得点が低い、2)東向きの寝室では、日射熱が「煩わしい」場合や室内に差し込む日射しが「眩しい」場合に、入眠・睡眠維持因子得点が低い、3)冷房頻度が低いと、住戸の断熱水準や冷房設定温度が疲労回復因子得点と関係する、4)冷房を使用しないと、寝室方位が入眠・睡眠維持因子得点と関係する、などのことを明らかにした²⁾。調査では8月上旬～中旬の盛夏期のデータが少なかったため、外気温が低い条件における結果に偏っている可能性は残る。そこで本研究は、盛夏期を主に2年の調査を追加したので報告する。

2. 調査の概要

対象は大阪の集合住宅居住者で、7晩連続で寝室枕元の室温と湿度を記録し、寝室在室や睡眠、冷房使用等を30分単位で日誌に記入する。睡眠の質は起床後OSA睡眠調査票に申告する。4年間765晩188住戸を調査した。図1

に調査期間における各日の調査数と外気温の推移を示す。

OSA得点は、起床時眠気、入眠・睡眠維持、疲労回復等5因子の得点を平均し、高得点ほど睡眠の質が高い。

本研究は、1)日射遮蔽性能に關係する寝室方位と、2)築

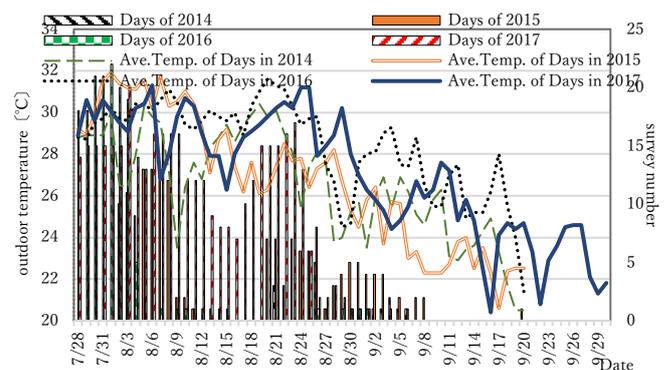


Figure.1 Change of daily survey number and outside temperature

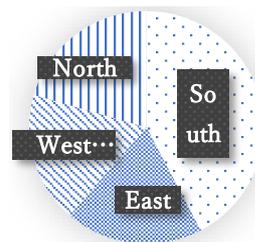


Fig.2 Distribution of bedroom direction

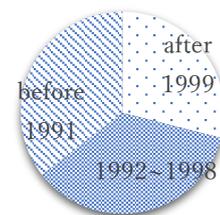


Fig.3 Distribution of insulation level

年数から推定した断熱水準を住戸の熱的性能として、OSAとの関係を分析する。図2に分析対象の寝室方位、図3に断熱水準の分布を示す。断熱性の分布はほぼ均等である。

居住者による住環境主観評価のうち、住戸の日当たり、日差しの眩しさ、暖房の効き、外気の汚れの4項目と、回答者属性のうち、暑さ耐性、寒さ耐性、冷え性、ストレスの程度、冷房費意識、POMS得点(気分)の6項目、合計10項目は、睡眠の質と単独で直接の関係があった。そのためOSAの比較にあたってはこれらの個々の影響を緩和するためにそれぞれ二分し、外気温も睡眠時平均外気温の中央値である27.3°C未満と以上で、冷房も使用と不使用で二分する。なお以下において「」は、居住者による主観的評価であることを示す。

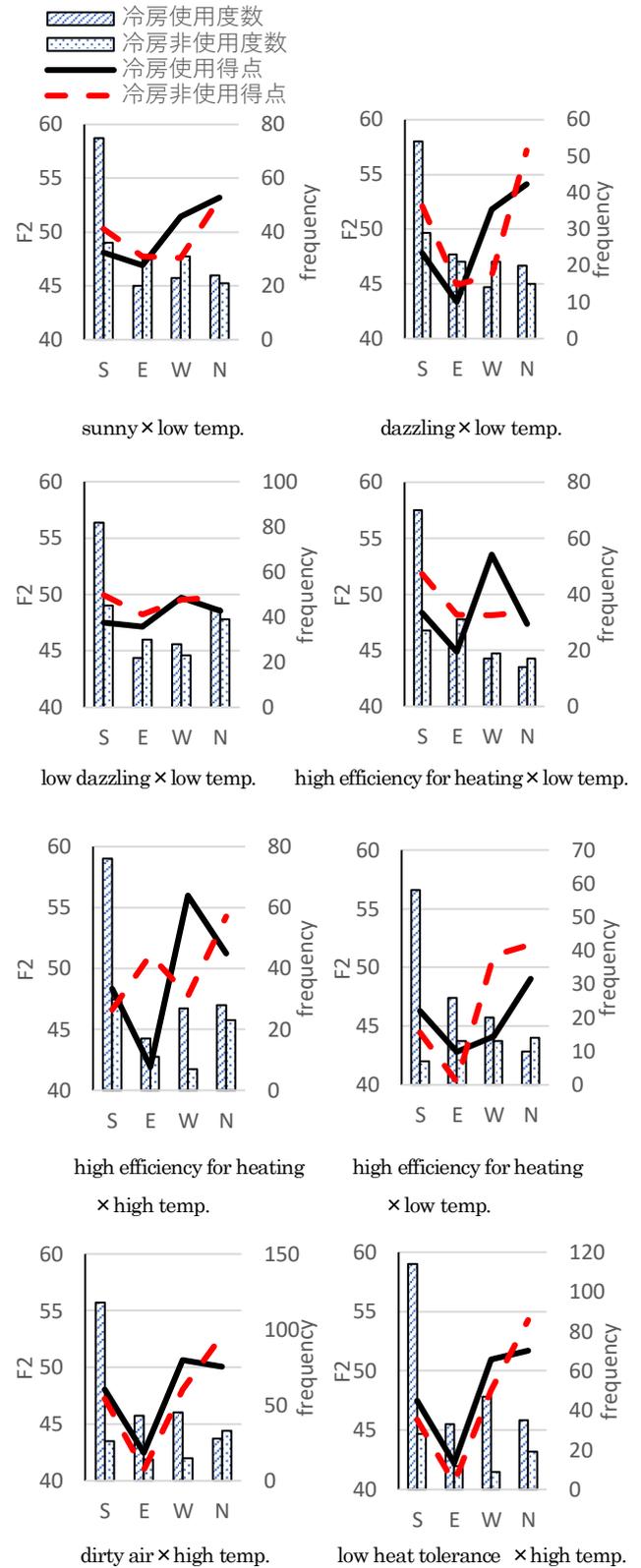
3. 寝室方位と入眠・睡眠維持因子得点 (図4)

寝室の方位は、OSAのF2:入眠・睡眠維持因子の得点と関係が強い。

3.1 寝室環境の主観評価 3.1.1 「日当たり」 図4の各図は、横軸に住戸方位南、東、西、北を示し、それぞれの方位について、折れ線グラフがOSA得点(左軸)を、棒グラフがその方位のデータ個数(右軸)を示す。折れ線グラフのうち実線は冷房を使う晩について、破線は使わない晩についての睡眠の質(OSAのFactor2:睡眠維持因子)の得点を表す。各方位の左の棒は冷房を使う晩について、右の棒は冷房を使わない晩のデータ数であり、考察する歳にデータ数の方位によるばらつきを確認するために参考として示す。

図の下のタイトルの low, high は、睡眠時平均外気温の中央値である27.3°C未満と以上を表す。例えば「Sunny × low」は、日当たりの「よい」寝室において、外気温が27.3°C未満の晩のOSA得点について示す。住環境主観評価は3段階で尋ねており、回答を二分するにあたっては、3つの選択肢の回答数が二等分に近くなるように、少ない回答を合計して2段階に集約した。寝室の日当たりの「良い」住戸では、外気温が低い晩に、方位によってOSA(睡眠維持)得点の差がある。3.1.2 「窓から差し込む日射しの眩しさ」 日射しが「眩しい」とは、日射が室内に射入して室を暖めることを意味する。室内の日差しの「眩しさ」の有無によるOSAの方位差は弱く、外気温が低い晩の方がOSAの方位差は強い。「眩しい」住戸は外気温が高く冷房しない晩の方がする晩よりOSAの方位差が強い。外気温が高い晩に冷房しない場合は、方位差はない。

3.1.3 暖房の「効き」 暖房の効きが「よい」住戸の方が、方位によるOSAの差が強い。さらに、暖房が「効きやすい」住戸のうちでは、西向き住戸がOSA得点が高い。暖房の効きが「よい」住戸では方位差は見られない。暖房が「効きやすい」住戸で西向きがOSAが高いのは、冷房する場合である。冷房する晩の方がしない晩よりOSA得



'high' or 'low' in figures mean higher or lower outdoor temperature during sleep.

Figure 4 Bedroom direction and maintenance of sleep score (continued)

点の方位差が強い。暖房の効きが「よい」とは、住戸の断熱性能が高いことを意味し冷房の効きもよいと思われる。

3.1.4 外気の「汚れ」 外気が「汚ない」住戸で外気温が高い晩は、冷房の使用不使用に関わらず、OSA 得点は東向き住戸が低い。**3.2 居住者の体質・体調** 体質・体調も3段階での回答を二分する。**3.2.1 暑さ耐性** 体質として、暑さに「弱い」居住者が外気温が高い晩に冷房しない場合、OSA 得点は東向き住戸が低く北向き住戸が高い。**3.2.2 寒さ耐性** 寒さに「強い」居住者が外気温が低い晩に冷房する場合、OSA 得点は東向き住戸が低い。外気温が高い晩に冷房しない場合、OSA 得点は南向き住戸が低く北向き住戸が高い。**3.2.3 冷え性** 冷え性が「ある」居住者が外気温が高い晩に冷房する場合、OSA 得点は東向きと西向き住戸が低く、南向きと北向き住戸が高い。冷え性が「ない」居住者が冷房する場合、外気温の高低に関わらず、OSA 得点は西向き住戸が高い。**3.3 ストレス** ストレスが「ない」居住者が外気温が高い晩に冷房する場合、OSA 得点は東向き住戸が低い。外気温が高い晩に冷房しない場合、OSA 得点は北向き住戸が高い。**3.4 冷房費意識** 冷房時期の電気料金が「気になる」居住者が外気温が低い晩に冷房しない場合や、外気温が高い晩に冷房する場合に、OSA 得点は東向き住戸が低い。

4. 住戸の断熱性能と疲労回復 (図5)

住戸の断熱性は省エネルギー法の改正に合わせて竣工年によって平成4年と平成11年で区切って3段階とする。断熱性はOSAのF4:疲労回復因子得点と関係が強い。

4.1 寝室環境の主観評価
4.1.1 「日当たり」 日当たりが「よい」住戸では、外気温の高い晩に冷房しない場合、新しい住戸が古い住戸より疲労回復が高い。**4.1.2 「窓から差し込む日射しの眩しさ」** 「眩しい」住戸では、外気温に関わらず、冷房する場合、新しい住戸が疲労回復が高い。**4.1.3 暖房の「効き」** 効きが「よい」住戸で外気温が低い晩に冷房しない場合、新しい住戸が疲労回復が高い。**4.1.4 「外気の汚れ」** 「汚ない」住戸では、外気温の高い晩に冷房する場合、新しい住戸が疲労回復が高い。
4.2 居住者の体質
4.2.1 「暑さ耐性」 暑さに「弱い」居住者が外気温が高い晩に冷房する場合、新しい住戸が疲労回復が高い。**4.2.2 「寒さ耐性」** 寒さに「強い」居住者が外気温が高い晩に冷房しない場合、古い住戸が疲労回復が高い。**4.2.3 「冷え性」** 冷え性が「ない」居住者が外気温の高い晩に冷房する場合、古い住戸が疲労回復が高い。
4.3 「ストレス」 ストレスが「ない」居住者が外気温の低い晩に冷房しない場合、新しい住戸が疲労回復が高い。

5. まとめ

寝室方位によって入眠・睡眠維持に差があるのは、1) a) 外気温が低い晩、b) 外気温が高い晩に冷房しない場合、2) a) 室内で日射しが「眩しい」住戸で外気温が高い晩に冷房しない場合、b) 暖房の効きが「よい」住戸で

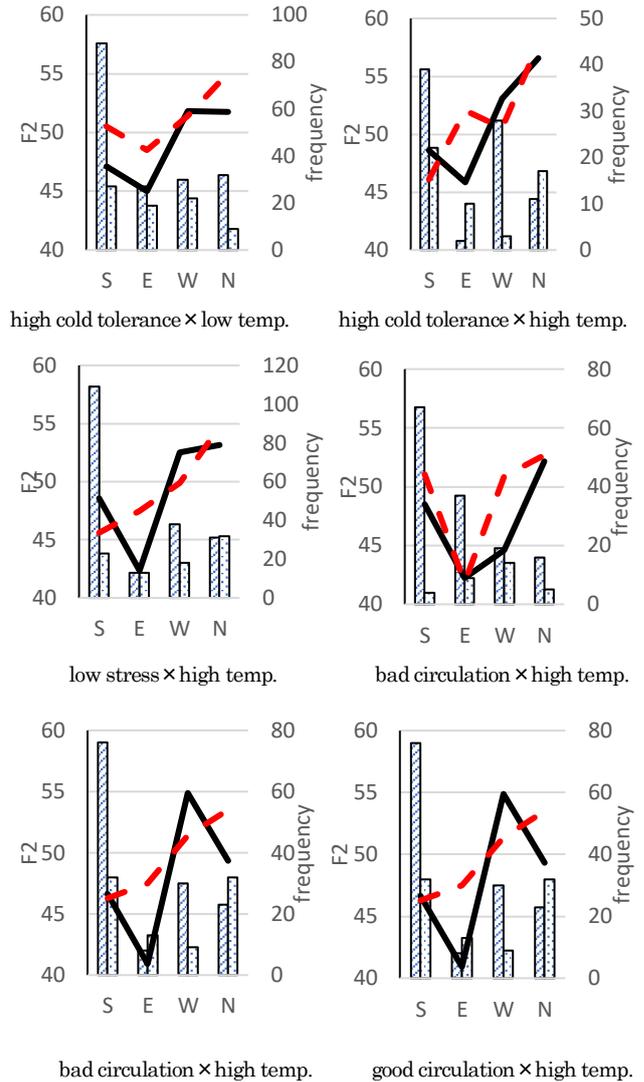
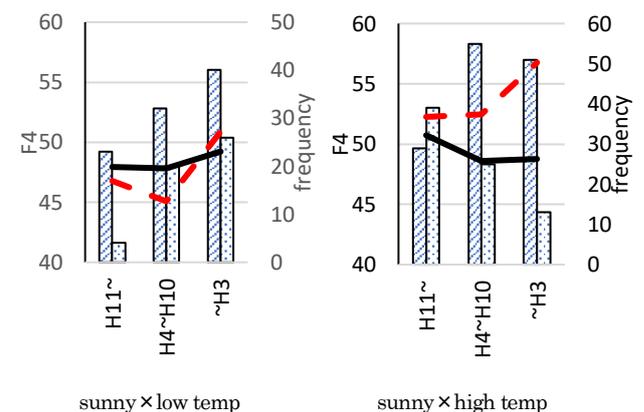
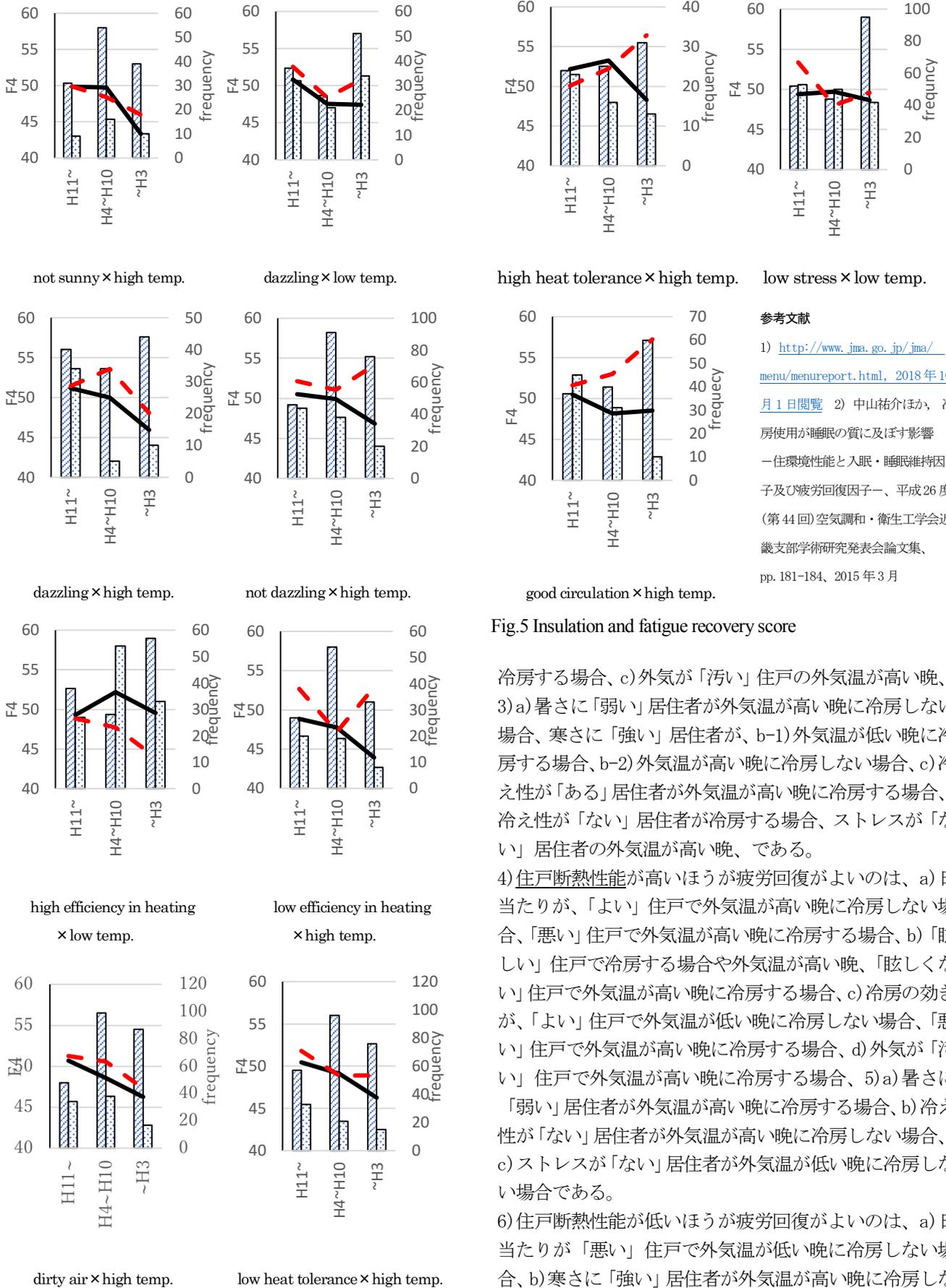


Fig.4 Bedroom direction and sleep maintenance score



'high' or 'low' in figures mean higher or lower outdoor temperature during sleep.

Fig.5 Insulation level and fatigue recovery score
 (continued)



参考文献
 1) <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, 2018年10月1日閲覧
 2) 中山祐介ほか, 冷房使用が睡眠の質に及ぼす影響—住環境性能と入眠・睡眠維持因子及び疲労回復因子—, 平成26年度(第44回)空調調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集, pp. 181-184, 2015年3月

Fig.5 Insulation and fatigue recovery score

冷房する場合、c)外気が「汚い」住戸の外気温が高い晩、3) a)暑さに「弱い」居住者が外気温が高い晩に冷房しない場合、寒さに「強い」居住者が、b-1)外気温が低い晩に冷房する場合、b-2)外気温が高い晩に冷房しない場合、c)冷え性がある」居住者が外気温が高い晩に冷房する場合、冷え性が「ない」居住者が冷房する場合、ストレスが「ない」居住者の外気温が高い晩、である。

4) 住戸断熱性能が高いほうが疲労回復がよいのは、a) 日当たりが、「よい」住戸で外気温が高い晩に冷房しない場合、「悪い」住戸で外気温が高い晩に冷房する場合、b) 「眩しい」住戸で冷房する場合や外気温が高い晩、「眩しくない」住戸で外気温が高い晩に冷房する場合、c) 冷房の効きが、「よい」住戸で外気温が低い晩に冷房しない場合、「悪い」住戸で外気温が高い晩に冷房する場合、d) 外気が「汚い」住戸で外気温が高い晩に冷房する場合、5) a) 暑さに「弱い」居住者が外気温が高い晩に冷房する場合、b) 冷え性が「ない」居住者が外気温が高い晩に冷房しない場合、c) ストレスが「ない」居住者が外気温が低い晩に冷房しない場合である。

6) 住戸断熱性能が低いほうが疲労回復がよいのは、a) 日当たりが「悪い」住戸で外気温が低い晩に冷房しない場合、b) 寒さに「強い」居住者が外気温が高い晩に冷房しない場合、c) 冷え性で「ない」居住者が外気温が高い晩に冷房する場合である。

Fig.5 Insulation level and fatigue recovery score

性別・年齢・職業および体質と夏の温熱環境調節行為との関係 —温熱調節に関わる変数のカテゴリー化

Relation between Sex, Age, Occupation and Constitution and Thermal Control Use during Summer — Categorization of Variables about Thermal Control

○孫 琳 (大阪市立大学) 梅 宮 典 子 (大阪市立大学)

福村 薫美 (大阪市立大学) 遠藤 立城 (大阪市立大学) 渡部 麗杏 (大阪市立大学)

Lin SUN* Noriko UMEMIYA* Kurumi FUKUMURA* Tatsuki ENDOU* Reia WATABE*

* Osaka City University

Five questionnaire surveys were administered to Osaka residents during 2004–2014. Variables related to summer thermal control were categorized. 1) Categories of the frequency of summer thermal control were adjusted because of differences between five surveys. Frequency of AC use and frequency of electric fan use were classified respectively into five categories. Frequency of window opening was classified respectively into four categories during daytime and during sleep. 2) Cooling set temperatures were classified into seven categories in increments of 1°C from ‘23°C or lower’ to ‘29°C or higher’. 3-a) Relation between the cooling cost and the number of family members, ACs, and individual rooms were analyzed. 3-b) After eliminating the influence of data for children under 10 years old, cooling costs were classified into 14 categories.

1. 背景と目的

2017年に全国の冷房用エアコンの普及率は91.1%を超えて、世帯あたりエアコンの保有台数は2.81に達している¹⁾。個室ごとにエアコンを設置するのが一般的になり、冷房使用がパーソナル化になっている。一方、地球環境問題を背景にエネルギー消費量の減少が強く求められている。そこで冷房使用者の個人属性および体質を考慮して、快適性を満足した上で省エネルギーを探ることが必要となっている。

既往研究²⁾は2004年から2014年にかけて大阪の集合住宅居住者を対象に実施した5回のアンケート調査を合計して、回答者を年齢、性別、職業および体質に基づき類型化し、温熱調節行為との関係を分析する。体質の強い男性は通風を最も利用して冷房を最も使わず設定温度が最も高い、体質が弱い女性は扇風機を最も使わない、などのことが示されている。

本研究は既往研究と同じデータを使い、温熱環境調節行為によって被験者を類型化し、複数の類型と個人属性の年齢、性別、職業および体質との関係を分析する。今回の研究では1)温熱調節行為の頻度に関しては、調査によりカテゴリーの数や表現が異なるため、統一したカテゴリーを作成する 2)設定温度のカテゴリー化 3)冷房費における世帯人数などによる調整方法について検討する。

2. 使用するデータ

表1に5回の調査を示す。目的は異なるがいずれも大

阪市内およびその近郊に立地する集合住宅の居住者を対象にしている。この5回を合計して、1616人を対象とする。

調査項目は基本属性、生活スタイル、環境意識、住環境主観評価、住戸属性と温熱環境調節行為において共通している。表2に、本研究の分析に使用する項目の個人属性と温熱調節行為を示す。冷房費を分析するために、家族人数、エアコン台数、個室数も使用する。冷房設定温度の上限値と下限値の平均値を「冷房設定温度」、8月と5月の電気料金の差を「冷房費」と定義する。

Table.1 Data used in this Research

Name	Recovery	Year	Main Objects
A ³⁾	290	2004	Mid-to-high-rise collective housing in Southern Osaka
B ⁴⁾	297	2006	The super-high-rise collective housing resident around Osaka
C ⁵⁾	314	2011	The collective housing resident of southern Osaka
D ⁶⁾	363	2012	The collective housing resident of southern Osaka
E ⁷⁾	352	2014	Public rental collective housing in Osaka and Sakai
Total	1616		

Table.2 Survey Items

Classification	Survey items
Respondents attribute	age, sex, occupation, tolerance to heat, tolerance to coldness, Resistance to a cold, sensitivity to coldness
Thermal environment regulation act	air conditioner use frequency, air conditioning preset temperature (a maximum, a minimum), fan use frequency, windows open frequency (day, night), electricity charges (May, August)

3. 調節行為の頻度のカテゴリー化

3.1 冷房使用頻度 3.1.1 カテゴリー化

カテゴリー数は調査Eのみ6、他は5なので、5に統合する(表3)。調査Eの「時々使う」は「たまに使う」に、「あまり使わない」は「ほとんど使わない」に、調査B、C、Dの「持っていない」と調査Eの「使わない」や「日中は留守」は「まったく使わない」に読み替える。

調査D、Eは日中と就寝中を分けて訊いており、調査A~Cと統合するために日中と就寝中を統合する。表4の3つの方法を検討し、1) 日中「1:非常によく使う」で就寝中「4:ほとんど使わない」、2) 日中「4:ほとんど使わない」で就寝中「1:非常によく使う」、3) 日中「3:たまに使う」で就寝中「5:まったく使わない」、4) 日中「5:まったく使わない」で就寝中「3:たまに使う」を統合する。表5に各方法で統合後の割合を示す。方法1と2で異なるのは1) 日中「1:非常によく使う」で就寝中「4:ほとんど使わない」と2) 日中「4:ほとんど使わない」で就寝中「1:非常によく使う」の扱いである。方法2は「2:よく使う」、「3:たまに使う」の割合が調査A~Cと近いので、方法1より良いとみなす。次に方法2と3で異なるのは、1) 日中「3:たまに使う」で就寝中「5:まったく使わない」、2) 日中「5:まったく使わない」で就寝中「3:たまに使う」の扱いである。方法2と3は「4:ほとんど

使わない」の出現割合がほぼ同じであるが、方法3は「3:たまに使う」の出現割合が調査A~Cと近いので、方法3のほうが良いとみなす。すなわち方法3が最も良いといえる。

3.1.2 調査間の比較 図1に方法3による統合後の分布を示す。5調査合計では「非常によく使う」と「よく使う」の合計が60.7%である。調査A、Dは「非常によく使う」と「よく使う」の合計が66.9%、67.1%で、他の調査より高い。調査Aは京都議定書の発効以前であること、調査Dは95%が分譲住宅であることが関係している可能性がある。調査Eは「非常によく使う」と「よく使う」の合計が48.7%で他の調査より低い。対象が公的賃貸であることが関係している可能性がある。

3.2 扇風機使用頻度 3.2.1 カテゴリー化 カテゴリー数は調査B、Cのみ6、他は5なので、調査B、Cの「持っていない」と「まったく使わない」を統合し、5カテゴリーとする(表6)。調査Dの「持っていない」と調査Eの「使わない」は「まったく使わない」に、調査Eの「時々使う」は「たまに使う」に読み替える。

調査D、Eは日中と就寝中を分けて訊いており、冷房頻度と同様に3とおりで統合する。表7に統合後の割合を示す。方法2は方法1より「2:よく使う」、「3:たまに使う」の割合が調査A~Cに近いので、方法1より良いとみなす。方法3と2の「4:ほとんど使わない」の割合は近

Table.3 Options of Frequency of AC Use

Survey	1	2	3	4	5	6
A	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	まったく使わない	
B	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	持っていない	
C	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	持っていない	
D	日中	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	持っていない
	就寝中	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	持っていない
E	日中	非常によく使う	よく使う	時々使う	あまり使わない	使わない
	就寝中	非常によく使う	よく使う	時々使う	ほとんど使わない	使わない

Table.4 Integration Method of Frequency During Day and Sleep

method 1		During Sleep				
		1	2	3	4	5
During Day	1	非常によく使う	よく使う	よく使う	たまに使う	たまに使う
	2	よく使う	よく使う	よく使う	たまに使う	たまに使う
	3	よく使う	よく使う	たまに使う	たまに使う	たまに使う
	4	たまに使う	たまに使う	たまに使う	ほとんど使わない	ほとんど使わない
	5	たまに使う	たまに使う	たまに使う	ほとんど使わない	まったく使わない
method 2		During Sleep				
		1	2	3	4	5
During Day	1	非常によく使う	よく使う	よく使う	よく使う	たまに使う
	2	よく使う	よく使う	よく使う	たまに使う	たまに使う
	3	よく使う	よく使う	たまに使う	たまに使う	たまに使う
	4	よく使う	たまに使う	たまに使う	ほとんど使わない	ほとんど使わない
	5	たまに使う	たまに使う	たまに使う	ほとんど使わない	まったく使わない
method 3		During Sleep				
		1	2	3	4	5
During Day	1	非常によく使う	よく使う	よく使う	よく使う	たまに使う
	2	よく使う	よく使う	よく使う	たまに使う	たまに使う
	3	よく使う	よく使う	たまに使う	たまに使う	ほとんど使わない
	4	よく使う	たまに使う	たまに使う	ほとんど使わない	ほとんど使わない
	5	たまに使う	たまに使う	ほとんど使わない	ほとんど使わない	まったく使わない

Table.5 Ratio of Frequency of AC Use after Integration

frequency of ac use	Ratio (%)				Survey A.B.C
	Survey D.E				
	method 1	method 2	method 3		
非常によく使う	14.3	14.3	14.3	15.5	
よく使う	42.8	44.6	44.6	46.4	
たまに使う	29.6	27.9	26.1	26.6	
ほとんど使わない	11.1	11.1	12.9	9.0	
まったく使わない	2.1	2.1	2.1	2.5	

Table.6 Options of Frequency of Electric Fan Use

Survey	1	2	3	4	5	6
A	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	まったく使わない	
B	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	まったく使わない	持っていない
C	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	まったく使わない	持っていない
D	日中	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	持っていない
	就寝中	非常によく使う	よく使う	たまに使う	ほとんど使わない	持っていない
E	日中	非常によく使う	よく使う	時々使う	ほとんど使わない	使わない
	就寝中	非常によく使う	よく使う	時々使う	ほとんど使わない	使わない

Table.7 Ratio of Frequency of Electric Fan Use after Integration

frequency of electric fan use	Ratio (%)			
	Survey D.E			Survey A.B.C
	method 1	method 2	method 3	
非常によく使う	20.0	20.0	20.0	21.4
よく使う	36.0	38.7	38.7	42.6
たまに使う	30.2	27.5	24.2	21.5
ほとんど使わない	6.9	6.9	10.2	5.5
まったく使わない	6.9	6.9	6.9	9.0

いが、方法3は「3:たまに使う」の割合が調査A~Cに近い。冷房頻度と同様に統合すればよいと考えられ、方法3が2より良いとみなす。すなわち方法3が最も良い。

3.2.2 調査間の比較 図2に方法3による統合後の分布を示す。5調査合計では「非常によく使う」と「よく使う」の合計が61.7%である。調査Cで「非常によく使う」が33.1%と高いのは、震災後の節電の関係と思われる⁸⁾。

3.3 窓開放頻度の調査間の比較 窓開放頻度は、5調査で同じ選択肢であり、調整の必要はない。図3に日中と就寝中の窓開放頻度の分布を示す。すべての調査では、日中は「開けておくことが多い」が約60%を占めるが、就寝中は約40%である。

4. 冷房設定温度のカテゴリー化

4.1 カテゴリー化 図4に冷房設定温度の分布を示す。下限は24~28℃、上限は25~29℃、平均設定温度は24~28℃がそれぞれ90.5%、92.1%、90.6%で90%レンジを超えている。その間を1℃刻みとし、上下に1カテゴリー加え7カテゴリーとする。

4.2 調査間の比較 図5にカテゴリー化した後の分布を示す。調査Aは設定温度が低いデータが多い理由は、3.1.2と同様に京都議定書の発効であると思われる。

5. 冷房費のカテゴリー化 **5.1 冷房費と世帯人数、AC台数、個室数**

使われない可能性があるACや個室に比べ、世帯人数は冷房費と関係づけやすく、個人の調節行為を対象とする本研究では1人当たりの冷房費で分類する。

図6に、世帯人数、AC台数、個室数ごとに、世帯冷房費の平均値とSDを示す。2~4人世帯は単身世帯の1.66、2.24、2.24倍、2~4台世帯は1台世帯の1.49、1.81、2.04倍、2~4室世帯は1室世帯の1.83、2.45、2.30倍である。世帯冷房費はAC台数につれて増えるが、3人と4人世帯の冷房費ほぼ同じ、3室世帯が4室世帯より多い。

図7に世帯人数、AC台数、個室数の関係を示す。いずれも同数及びマイナス1の度数が最も多く、56.6%、68.4%、69.4%である。世帯人数とAC台数の関係が最もばらつく。

1) 2人世帯はAC2台が39.2%、AC3台が30.8%である。3人と4人世帯のAC台数の割合はほぼ同じで、3台が37.6%と39.3%、2台が30.9%と28.0%である。2) 2~4人世帯は3室が最多で、64.2%、73.7%、80.2%である。3) 2室世帯ではAC2台が42.3%、AC3台が20.8%、3室世帯では3台が36.0%、2台が33.9%である。

5.2 10才未満の扱い 10歳未満の子供は一般に冷房を個人で使う機会が少ないと考えられるため、世帯人数から除く。調査A~Cと異なり調査D、Eでは家族の年齢を訊いておらず、0才代の人数が不明であるため、下記の方法で除く。

図8に調査A~Cの各世帯に占める10歳未満の割合を示す。調査A~Cでは1~2人世帯にはほとんどいないので、調査D、Eも同様と仮定して1~2人世帯のデータは使用する。調査A~Cでは3~5人世帯にいる割合がそれぞれ25.3%、57.3%、47.0%であることから、調査D、Eも同様に高いと思われる。調査D、Eの3人以上の割合が12.4%と少ないため、3人以上は除くこととする。

図9に、上記により得られたデータについて、世帯人数ごとの世帯冷房費の平均とSDを示す。冷房費の平均は2~4人世帯は単身世帯の1.68、2.29、2.28倍であり、10歳未満を除く前とほぼ同じである。10歳未満の有無に関わらず、3人世帯が4人世帯になっても、世帯冷房費は変わらない。

5.3 冷房費の分布 1,000円以下を500円、1,000~10,000円を1,000円、10,000円以上を2,000円刻みとして図10に分布を示す。10,000円以上は5%に満たない。調査Aは9,000円以上が12.7%と多い。

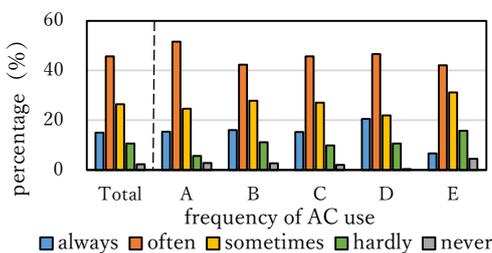


Fig.1 Frequency of AC Use

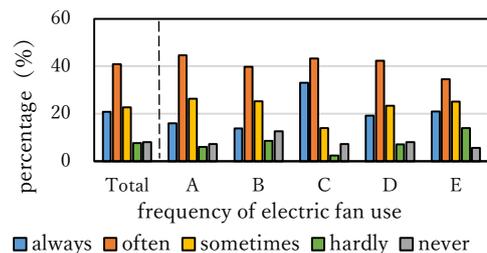


Fig.2 Frequency of Electric Fan Use

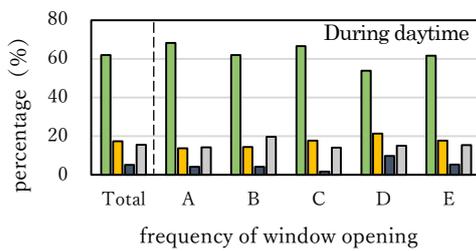


Fig.3 Frequency of Window Opening

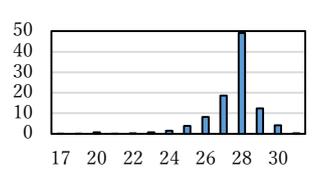
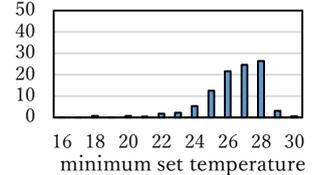
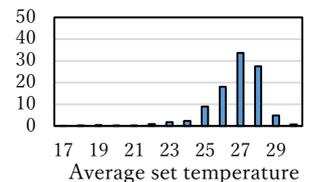
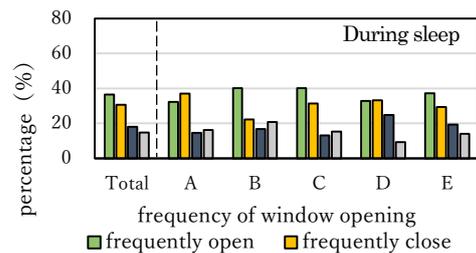


Fig.4 AC Set Temperature

6. まとめ

温熱環境調節に関して過去の5調査のデータを用いてメタ解析をおこなうにあたり、1) 冷房と扇風機の使用頻度は「非常によく使う」「よく使う」「たまに使う」「ほとんど使わない」「まったく使わない」に統合可能、2) 冷房設定温度は、下限は23℃未満、上限は29℃以上として統合可能、3) 冷房費は、2~4人世帯は単身世帯の1.66、2.24、2.24、AC 2~4台世帯は1台世帯の1.49、1.81、2.04倍、個室2~4室世帯は1室世帯の1.83、2.45、2.30倍、4) 10才未満を除いても、3人世帯の冷房費は4人世帯と同じ。

AC 2台と3台の割合は、5-1) 2人世帯は39.2%と30.8%、3人世帯は30.9%と37.6%、4人世帯は28.0%と39.3%、5-2) 個室2室世帯は42.3%と20.8%、3室世帯は33.9%と36.0%である。

文献 1)内閣府：消費動向調査、2018 2)張氷ら：空衛・近畿、A-66、2015、3)林小勇ら：建・近畿、第45号、81-84、2005 4)野村裕紀ら：空衛・近畿、A-1、1-4、2007 5)坂根達也ら：空衛・近畿論文集、A-65、263-266、2011 6)坂根達也ら：空衛・近畿論文集、A-63、173-176、2013 7)橋良樹ら：空衛・近畿論文集、A-65、2015 8)扇風機、売れ行き好調、政府の節電策追い風、増産急ぐ、朝日新聞、2011年5月22日

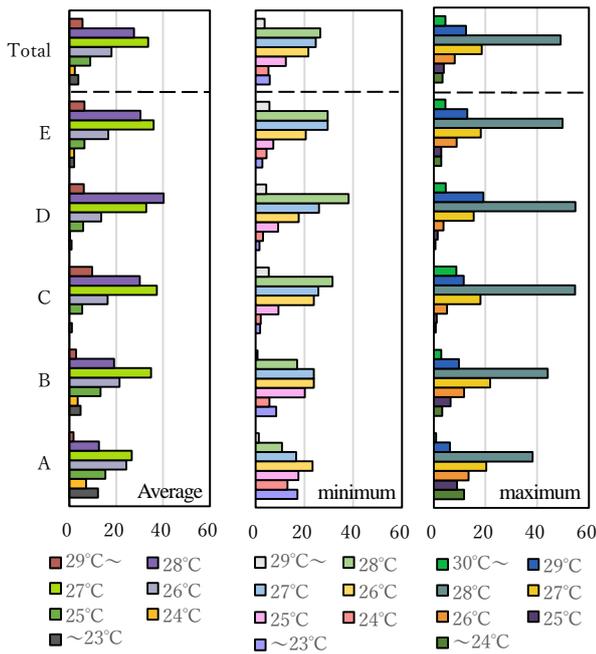


Fig.5 AC Set Temperature of each Category

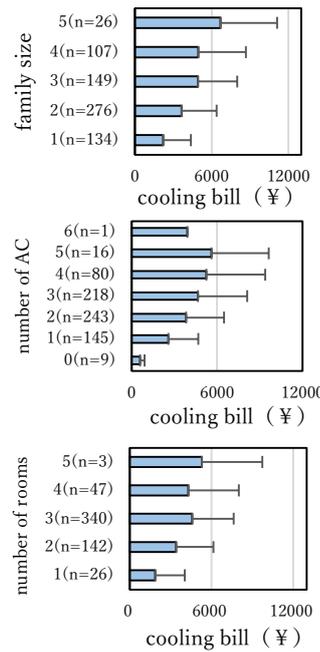


Fig.6 Average Value and SD of Cooling Bill

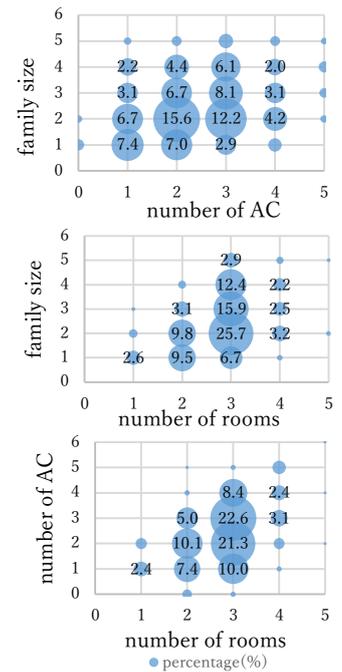


Fig.7 Relation between Family Size, Number of AC, Number of Rooms

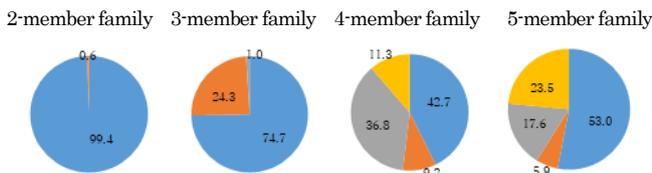


Fig.8 Ratio of Children under 10 years old

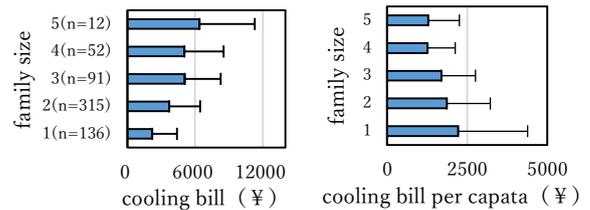


Fig.9 Average Value and SD of Cooling Bill without Children under 10 years old

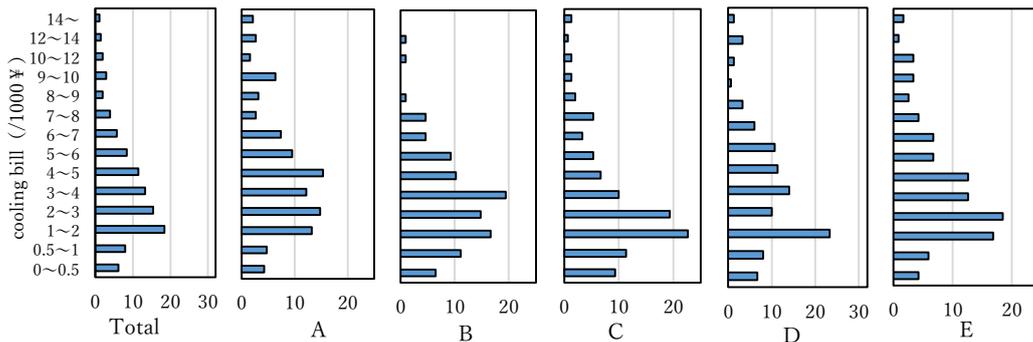


Fig.10 Cooling Bill

ダイキン工業テクノロジー・イノベーションセンターの計画と運用実績

Plan and Operation Results of Daikin Technology and Innovation Center

○川田 康介 (日建設計)

田中 宏昌 (日建設計)

杉原 浩二 (日建設計)

松井 伸樹 (ダイキン工業)

Kosuke KAWADA*¹ Hiromasa TANAKA*¹ Koji SUGIHARA*¹ Nobuki MATSUI*²*¹ Nikken Sekkei Ltd. *² Daikin Industries Ltd.

1 はじめに

本建物は、空調メーカーの主要工場内に「技術開発拠点」を建設するプロジェクトである。国内の3つの拠点の研究・開発技術者約700名を1カ所に集約することにより、内外部とのコラボレーションによる環境技術のオープンイノベーションの創出（「協創」）を目的として建設された。図1に建物配置図、写真1に建物外観を示す。

2 建物概要・設備概要

表1に建物概要・設備概要を示す。建物は、研究者700人が研究・事務作業を行うオフィスエリア（約20,000m²）と、世界最高レベルの実験施設を備える実験エリア（約28,000m²）で構成される。TICプロジェクトのコンセプトである「オープンイノベーション」を具現化するために、様々な形でコミュニケーションが自然発生的に生まれるような「場」を設けることに腐心した。以下にその取り組みの一例を示す。

- ・部門の壁を越えた協創活動をサポートする60m角の「メガフロアオフィス」と、ダイバーシティのある議論を誘発させるオフィス中央部に配置された「ワイガヤステージ」
- ・世界からの技術・研究者を迎え入れ、多様な空間での様々な知的アクティビティが誘発される「知の森」と「フューチャーラボ」
- ・研究活動を最大限加速させる、拡張性とフレキシブル性を高めた間仕切り壁の少ない「大空間実験室」
- ・四季折々の変化のある植生、花の香り、水音による技術者への癒しの場として、そして近隣住民に開放し企業の地域貢献の取組みとして設けられた「TICの森」

本プロジェクトのために開発した空調機器が性能を最大限発揮できるように、またイノベーションを生み出す研究環境として最適な空間づくりを目指して、設備計画を行った。本プロジェクトの設備システムの導入手法として特徴的なのは、単なる高効率機器などの設備（アクティブ手法）の導入ではなく、設備機器をこれまで以上に省エネかつ快適な空間が提供できるようにパッシブ手法を組み合わせて導入していることである。

さらに、建物竣工後のエネルギー分析による運用最適化と、さらなる省エネ機器開発のためのデータ提供を目的として見える化システムを充実させた。



図1 建物配置図



写真1 建物外観

表1 建物概要・設備概要

所在地	大阪府摂津市
建物種別	研究所/事務所
地域・地区	工業地域/第2種中高層住居専用
防火対象物	消防法施行令別表第1 15項
構造・階数	S/SRC 地下1階、地上6階、塔屋2階
敷地面積	396,666m ²
建築面積	11,839m ²
延床面積	47,911m ² (オフィス棟; 20,222m ² 、実験棟; 27,689m ²)
[空調設備]	
熱源設備 (オフィスゾーン)	空冷HPマルチエアコン; 3,263kW、 水冷HPマルチエアコン; 168kW
(実験ゾーン)	空冷HPマルチエアコン; 3,722kW、 空冷HPモジュールチラー; 1392kW×2台、 ターボ冷凍機; 1,407kW
空調換気設備 (オフィスゾーン)	空冷HPマルチエアコン+調湿HP外気処理機
(実験ゾーン)	空冷HPマルチエアコン+回転式全熱交換器 (一部外気処理空調機)
[衛生設備]	
給水設備	受水槽+加圧給水ポンプ方式
給湯設備	局所給湯方式
排水方式	汚水雑排水分流式/実験排水中和処理設備/ 雨水ろ過設備/ブライン漏洩監視
都市ガス設備	中圧; ボイラ、低圧; 厨房、シャワー、給湯
衛生器具設備	LEED対応超節水器具
[電気設備]	
受変電設備	工場内特高受変電設備より高圧受電 (オフィスゾーン/2,750kVA、実験ゾーン/21,000kVA)
発電機設備	非常用/ガスエンジン; 低圧500kVA
照明設備	オフィス; LED(タスクアビメント方式)
太陽光発電	300kW (うち30kW; 太陽光追尾型架台付き)
[防災設備]	
消火設備	屋内消火栓、屋外消火栓、連結送水管、 スプリンクラー、移動式粉末消火設備、防火水槽
排煙設備	機械排煙

3 環境計画

オフィスエリアは、空調メーカーの最新研究施設として、高度な省エネ性能の達成とワークプレイスにおける快適な室内環境創出を追求すると同時に、最新空調技術の実証実験の場として機能するよう計画した。具体的には、「Neo-Active method」、「Lab Carbon Management」、「Top Level Energy and Environment」の3つ方針を掲げ、これに沿って具体的なシステムを構築した。図2にオフィスの環境断面図を示す。

3.1 Neo-Active method

図3にZEB化のアプローチを示す。一般的なアプローチは、パッシブ手法により、出来るだけ建物自体の負荷を減らし、高効率機器などのアクティブ手法によりその負荷を効率よく処理して消費エネルギーを最小化し、最後に再生可能エネルギーによって消費エネルギーをキャンセルする方向に近づける方法が一般的である。本計画では、アクティブ手法の一つである空調メーカーの建物であることから、設計段階から設計者と研究者の打合せを綿密に行い、建築計画と融合させた自然エネルギーを最大限活用するアクティブ技術 (= Neo-Active method) を開発し、パッシブ手法と再生可能エネルギーとのベストミックスにより ZEB 化の達成を目指した。

例えば、オフィス中央部の写真2の「ガラスダクト」は、奥行き深いオフィスに建物上端から最短ルートで多量の外気を導入することが可能で、搬送動力の削減と外気冷房によって空調負荷を削減する。さらに、ダクト素材をガラスにすることにより、日光利用と研究者のコミュニケーションのための見通しを確保した。アクティブ手法の高効率化のために、パッシブ手法に工夫を凝らして実現させた Neo-Active method の一つである。

3.2 Lab Carbon Management

「最先端の空調機器を開発する研究者自らが入居する研究所」であることに着目し、カーボンマネジメントの手法として「Lab Carbon Management」を掲げた。これは、利用者である研究者にも BEMS データを開放し、彼ら自身も性能検証に参画し、検証のスピードを飛躍的に加速させることを意図している。さらに、ここで得た知見をヒントに省エネ機器の開発とグローバル展開により、地球規模のローカーボン化を目指すものである。図4に、Lab-Carbon Management の概念図を示す。

室内環境やエネルギー評価は、(年間等の)一定期間のデータで評価されるのが一般的である。Lab-Carbon Management では、「今何が起きているのか」を知ることが出来るよう、リアルタイム性を重視した。例えば、エネルギー分析においては、標準値、シミュレーションによる理論値、実測の3つのエネルギーをリアルタイムで「見える化」できるシステムとし、温度、湿度、在室、CO₂濃度といった室内環境も表示している。

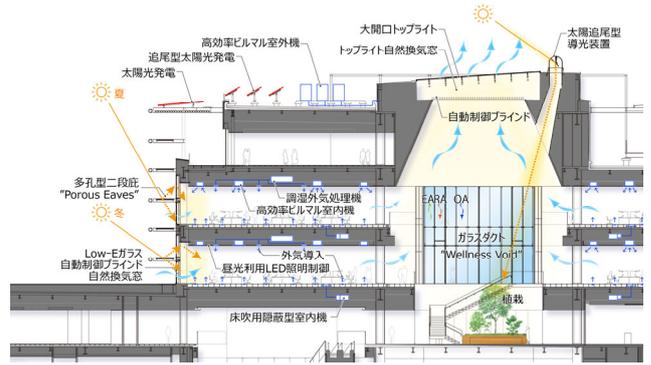
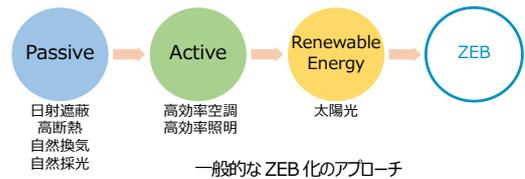


図2 オフィス環境断面図



一般的なZEB化のアプローチ

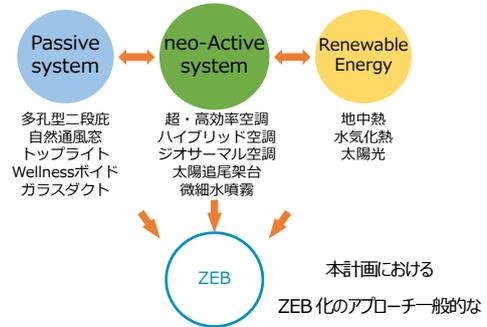


図3 低炭素化(ZEB化)アプローチ

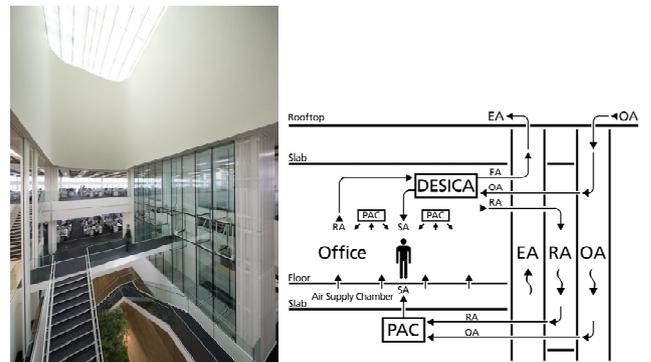


写真2 建物内写真 (写真正面: ガラスダクト)

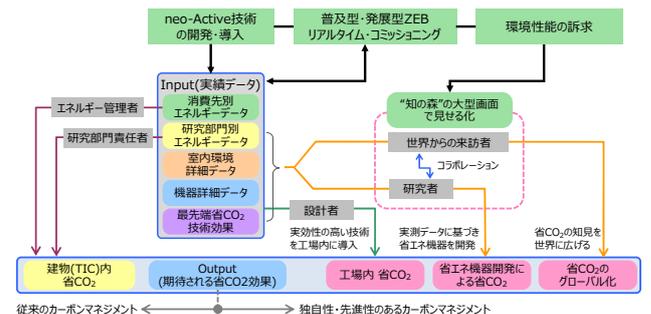


図4 Lab carbon Management の概念

標準ビル(省エネを導入していないビル)、理論ビル(本建物が設計想定通り適切に運用された状態)のエネルギー消費量を、実測された諸条件を入力値としてエネルギーシミュレーションを実施、随時これらの結果とエネルギー実測値を比較できるようにした。これにより標準的な建物と比較した省エネ率、各種省エネ手法の稼働状況を随時確認出来る。機器の ON-OFF や、内部発熱等の入力条件が、想定値ではなく実態に基づいてシミュレーションされている点が従来と大きく異なっている。図 5 に、エネルギー比較の概念図を示す。

3.3 Top Level Energy and Environment

設計段階では、各種省エネ手法導入による効果をエネルギーシミュレーションソフト ESUM により検証し、年間一次エネルギー消費量は、標準ビル (Baseline) は 1,861MJ/m²年、計画 (Proposed) は 567 MJ/m²年という結果となった。これより、削減目標を 70%に設定した。また、LEED でのエネルギー評価として Energy Plus でもシミュレーションを実施した。Proposed は、507 MJ/m²年となり、ESUM とほぼ同様の結果となった。Baseline の結果は、1279 MJ/m²年となり、ESUM の結果と大きく異なるが、これは、LEED 標準ビルは、ASHRAE 90.1 に準拠しており、ある程度の省エネ手法が導入されていることによる。図 6 にシミュレーション結果の比較を示す。

米国発の建物環境性能評価 LEED-NC (新築) (v.2009) の認証取得に取り組んだ。高効率エアコンによる省エネルギー、水の効率的利用、計画の革新性などで高得点を獲得し、最高ランクのプラチナランク (スコア=85/110) を取得した。図 7 にスコアの内訳を示す。

4 オフィスの空調計画

オフィス空調は普及型の省エネシステムを志向し、最新の高効率ビル用マルチエアコン+ヒートポンプデシカント調湿外気処理機システムを採用している。図 8 にオフィス空調システムを示す。4・5 階のメガフロアの中央に給排気還気用ガラスダクトと冷媒配管シャフトを配置し、建築計画と一体となって空気や冷媒の搬送動力低減を図っている。また、室内機の選定においてはファン効率の高いカセット形を採用し、省エネ性向上を徹底させる配慮を行っている。4・5 階のメインオフィスにおいては、複数の空調モードを選択可能なシステムとし、天井カセット形ベースの天井吹きモードに加えて、隠蔽ダクト形室内機による床吹きモードも備えている。自然換気モード、自然換気+外気冷房モード、ハイブリッド空調モードも備えており、個別分散方式においても自然エネルギー利用を積極的に行っている。自然換気は有効表示ランプを室内に設置し、窓操作は手動として、自然換気の給排気ルートは、手動開放の窓に加え、トップライトの換気窓を開放する計画としている。

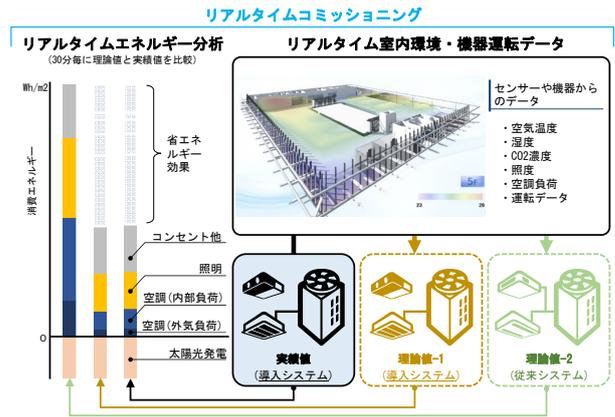


図 5 Lab-Carbon Management におけるエネルギー比較の概念図

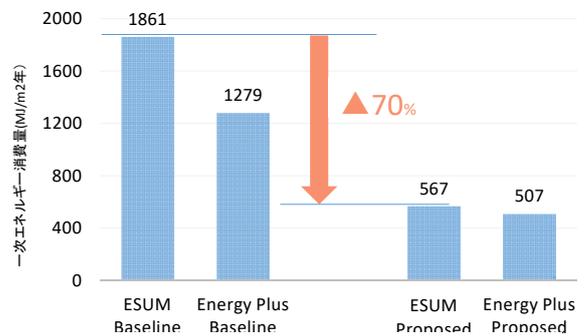


図 6 基準 (Baseline) と対象ビル (Proposed) のエネルギーシミュレーション結果の比較



図 7 LEED スコア内訳

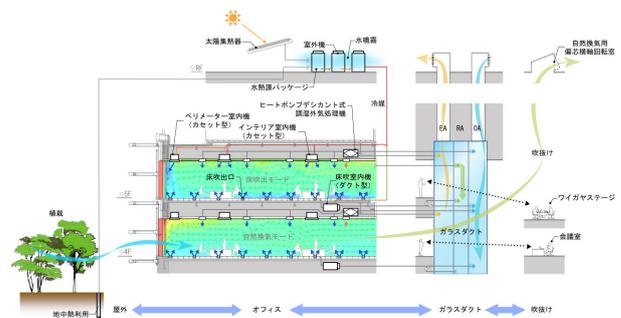


図 8 オフィス空調システム

表2 2016年度2017年度年間一次エネルギー消費量・創出量比較(オフィス棟全体)

[MJ/m²年]

	H25省エネ基準	実績補正なし						実績補正あり						
		2016年度		2017年度		前年比		2016年度		2017年度		前年比		
		削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率	削減率		
空調・換気	1,025	283	72%	271	74%	(12)	1%	207	80%	198	81%	(8)	1%	
照明	391	111	72%	106	73%	(5)	1%	69	82%	69	82%	0	0%	
給湯・衛生	50	10	80%	8	83%	(1)	3%	10	80%	8	83%	(1)	3%	
昇降機	36	20	45%	20	45%	0	0%	20	45%	20	45%	0	0%	
コンセント	406	350	14%	345	15%	(5)	1%	350	14%	345	15%	(5)	1%	
太陽光発電	0	(160)	-	(173)	-	(13)	-	(160)	-	(173)	-	(13)	-	
コンセント含む 全負荷評価	合計 グロス 合計 ネット	1,908 1,908	772 613	60% 68%	749 577	61% 70%	(23) (36)	1% 2%	655 495	66% 74%	640 468	66% 75%	(14) (27)	1% 1%
コンセント 除外評価	合計 グロス 合計 ネット	1,502 1,502	423 263	72% 82%	405 232	73% 85%	(18) (31)	1% 2%	305 145	80% 90%	296 123	80% 92%	(9) (22)	1% 1%

5 一次エネルギー消費量実績

表2と図9に、平成25年省エネ基準モデル計算値(計算使用プログラム: BEST)と、2016年度(2016年4月~2017年3月)、2017年度(2017年4月~2018年3月)の実績値の比較を示す。実績値については、実績データを補正なしで評価したケース【実績補正なし】と、平成25年省エネ基準モデルと比較するために、省エネ計算モデル計算条件として設定されている運転時間に合わせて空調と照明エネルギーを補正したケース(事務室の空調時間は7~21時に補正など)【実績補正あり】の両ケースを評価することとした。本報において、評価対象とするエネルギー消費量の単純合計値をグロス、太陽光発電分を差し引いたものをネットとする。なお、評価対象外を考慮するコンセント・サーバー機器・厨房機器を指す。また、本報の評価における「空調」にはサーバー用空調、厨房用空調等を全て含むものとしている。

オフィス棟全体のエネルギー評価【実績補正あり】において、2017年度の年間一次エネルギー消費量実績は、合計(グロス)で640MJ/m²年・削減率66%となり、太陽光発電量を差し引いた合計(ネット)では468MJ/m²年・削減率75%となった。前年度と比較をするとネットでは、27MJ/m²年の削減となった。空調は198MJ/m²年・81%削減、照明は69MJ/m²年・82%削減となった。(表2, 図9)また、コンセント負荷を評価対象外とした場合、合計(グロス)で296MJ/m²年・削減率80%となり、太陽光発電量を差し引いた合計(ネット)では、123MJ/m²年・削減率92%となり、前年度の数値145 MJ/m²年・削減率90%を上回る結果となった。

6 まとめ

ZEB 指向省エネルギーオフィスのエネルギー評価のまとめとして、図10に、ZEBチャート(参照: 空調調和・衛生工学会「ZEBの定義と評価方法について」)における本オフィス棟のプロットを示す。コンセント負荷を除外した場合、【実績補正なし】は合計(ネット)85%削減のnearly-ZEB レベルIIに、【実績補正あり】は合計(ネット)92%削減のnearly-ZEB レベルIとなった。

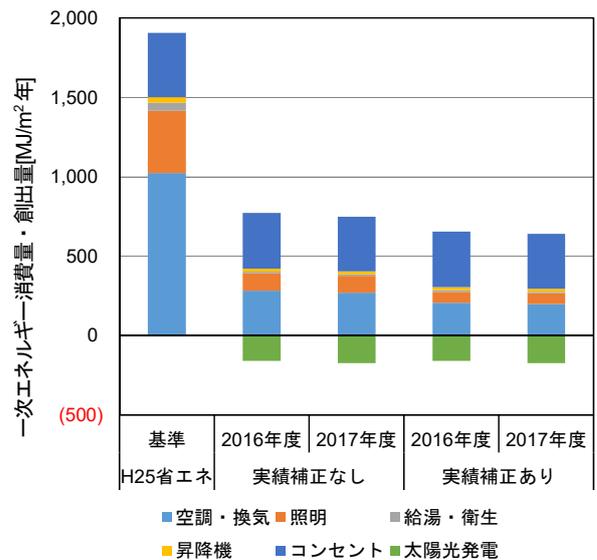


図9 2016年度2017年度年間一次エネルギー消費量・創出量比較(オフィス棟全体)

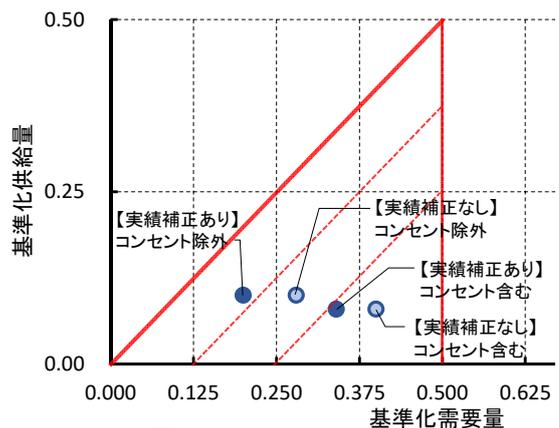


図10 ZEBチャート

【参考文献】

- 1) 田中, 桃井, 宇高, 松田, 松井, 西村, 坂井, 杉原, 辻本, 川田ら, ZEB 指向省エネルギーオフィスにおける個別分散型空調とエネルギーマネジメントシステムの開発と性能検証・評価 第1報~第10報 空調調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 2017.9, 2018.9

【謝辞】

本研究にご協力をいただきましたダイキン工業様並びに関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

設計施工 BIM の FM 展開事例

Examples of BIM-FM created by the collaboration between design and construction teams

○吉田 淳 (竹中工務店) 金坂 敏通 (竹中工務店) 西村 泰弘 (竹中工務店)
鈴木 智宏 (ダイキン工業) 平野 徹 (ダイキン情報システム)

Jun YOSHIDA*¹ Toshimichi KANESAKA*¹ Yasuhiro NISHIMURA*¹ Tomohiro SUZUKI*² Toru HIRANO*³

*¹ Takenaka Corporation *² Daikin Industrys, Ltd. *³ Daikin Information Systems Co. Ltd.

1. はじめに

近年、生産性向上や建物形状の複雑化による納まり検証を目的に設計・施工 BIM モデルの作成が一般化されつつある。しかしながらその BIM モデルは、建物の設計・施工時の利用に限定され、作り手（施工者）の手段にとどまっているのが現状である。

本プロジェクトは空調メーカー：ダイキン工業の保養所増築工事において、設計施工で利用した BIM モデルを中央監視 D-BIPS と連携して、竣工後の運用段階で活用する取り組みを行ったので、その概要を紹介する。

2. BIM-FM モデルの取組スキーム

BIM モデルの FM 展開において、障害となるのがデータ量である。設計から施工段階に進むにつれ、鉄骨・下地等詳細な部材データまで入力していくため、BIM 利用に合せた高性能 PC の導入が必要となる。これを改善するため、運用段階に利用するデータを設備主体とし、建築モデルを Sureface モデルまで簡略化して導入することで操作性を向上させた。図-1 にモデルデータ構成を示す。

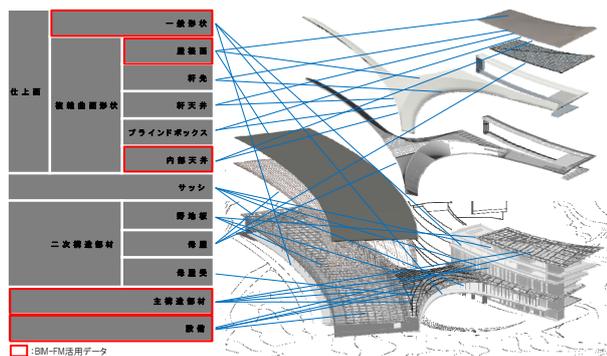


図-1 3D モデルデータ構成

3. BIM-FM モデルの取組

BIM モデルを FM に有効利用するため、以下4点に着目して、運用時の利便性の向上を図った。

① 空調設備系統毎の見える化 (図-2)

各設備系統の属性を 3D モデルに入力して、バルブやダンパーの影響範囲を見える化することで、建物維持管理と緊急時の対応に役立てられる。各設備機器をメンテナンスする際に操作する必要があるバルブ等をモデルで系統表示することで、誤操作防止とより分かりやすい竣工図として活用できる。

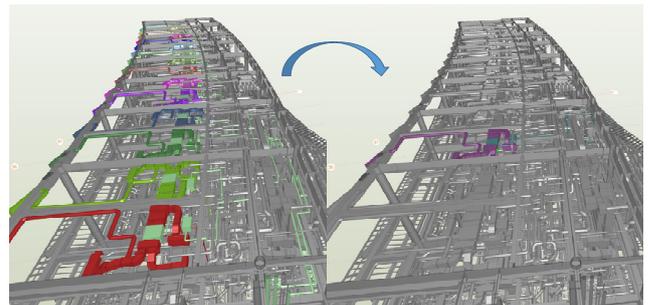


図-2 機器系統の見える化 (例：PAC25 系統)

② 取扱説明書のリンク

取扱説明書 PDF を製品 BIM モデルにリンクしておくことで、膨大な竣工データからの検索ではなく、BIM データ上で位置を確認しながら、迅速に必要な情報を引き出すことを可能とした。

③ 設備機器台帳と BIM モデルのリンク (図-3)

製品 BIM モデルと設備機器管理台帳をリンクさせることで、台帳に記載されたメンテナンス履歴等を参照しながら製品 BIM モデルへアクセスすることができ、保全計画に役立たせる事が出来る。

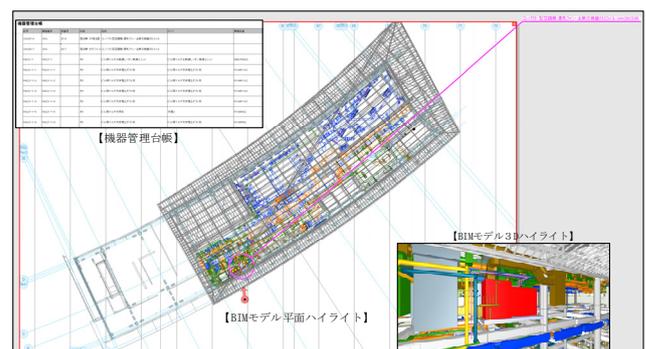


図-3 設備台帳とモデルリンク (例)

④ タブレットによる現地での見える化

BIM モデルを現地で活用するため、タブレットへデータを移行できるシステムを開発した。これにより、スムーズに情報にアクセスすることを可能とした。

4. 今後の展開

今後、導入案件を増やしていき、さらなる活用方法の検討、IoT 技術によるビッグデータの活用等を検討し、さらなる BIM 浸透に貢献していきたい。

事務所におけるエネルギーマネジメントを活用した省エネルギー改修事例 Examples of energy-saving renovation in office take advantage of energy management.

○杉山 侑司 (株安井建築設計事務所) 小林 陽一 (株安井建築設計事務所)
 寺井 千佳 (株安井建築設計事務所)

Yuji SUGIYAMA*¹ Youichi KOBAYASHI*¹ Chika TERAI*¹

*¹ YASUI ARCHITECTS & ENGINEERS, INC.

1. はじめに

安井建築設計事務所本社ビルは1970年に竣工し、既に48年を経過している。この間、2回の熱源機器更新工事を実施している。今回3回目の熱源更新に際し、快適な執務環境の実現及び大幅な省エネルギー化を目指して、エネルギーマネジメントシステム(以下、EMS)を含めた空調・照明における設備改修を実施した。

2. 設備改修の施策

2.1 空調方式

従来空調方式はガス吸収冷温水機(351kW×2基)の中央熱源による各階空調機単一ダクト方式であったが、GHP個別空調を導入し、中央熱源(ガス吸収冷温水機282kW×1基に更新)による空調機は主として外気負荷を賄う方式とした。これにより約2.7%の省エネ化を見込んだ。

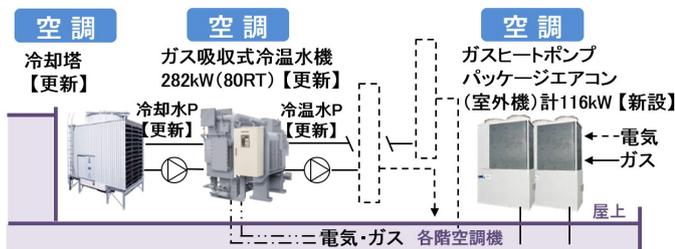


Fig.1 Air conditioning system after the update

EMSを介して遠隔で計測、制御を行っている。計測ポイントは受電電力1点、空調13点、照明97点の計111点とし、制御ポイントは空調1点、照明14点、蓄電池1点の計16点で実施した。

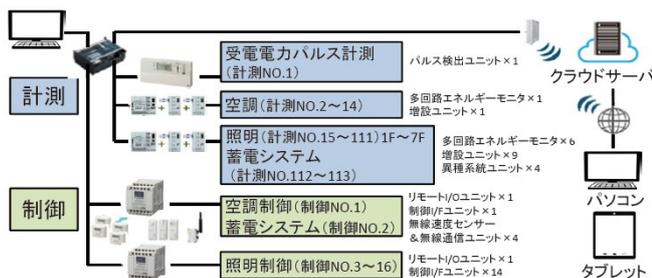


Fig.2 System diagram of measurement and control

2.2 エネルギーマネジメント

空調運転制御はEMSによる遠隔操作でGHP室内温度設定を行うとともに、1時間に5分から10分空調を停止し、送風する運転方式を導入した。これにより約2.5%の低減効果を見込んだ。

また、照明設備改修は3~6階のベース照明を全てLED照明に更新し、各机にLEDデスクライトを導入した。昼休み、定時後等の時間外にタスクアンビエント照明システムを採用することにより、約14.7%の省エネ化を見込んだ。

それに加え、11.2kWhの蓄電池システムを導入し、系統連系(ピーク時間帯放電)+災害時BCP対策(専用コンセント)を実施した。これにより電力平準化時間帯(7~9, 12~3月8:00~22:00)の電力使用量の25%削減を見込んだ。

3. 省エネルギー改修実績

2017年度実績として二次エネルギー消費量の省エネ化は計画時17.5%に対し20.9%、うちEMSによるものは計画時2.6%に対し4.2%となった。

今回の省エネルギー改修では、EMSを含め約20%の省エネルギー化を実現することができた。

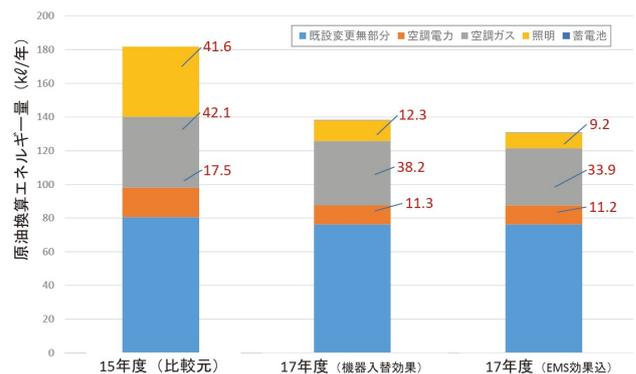


Fig.3 Energy reduction effect

4. まとめ

今回の設備改修において2017年度実績20.9%の省エネ化を実現することができた。また、EMSに関して4.2%の省エネ化を実現した。今後も計測データに基づき室内温度設定、空調運転時間の調整等を行い、より快適で省エネルギーに優れた事務所を目指して運用改善を実施していく。

異なる熱負荷特性を有する大空間工場における適材適所空調 Design of HVAC System in Large Space Factory with Various Heat Load Characteristics

○佐藤 祐輔 (鹿島建設) 堀江 宏 (鹿島建設)

Yusuke SATO*¹ Hiroshi HORIE*¹

*¹ Kajima Corporation

1. はじめに

空調のリーディングカンパニーとしてグローバルに事業展開するダイキン工業の新工場における導入省エネルギー技術並びに空調計画について紹介する。

1.1 建築概要

場所：大阪府堺市
 階数：地上2階
 建物高さ：13.7m
 延べ面積：約19,000m²
 用途：工場、事務所



写真1 外観

1.2 主な導入技術

本計画は、「工場まるごとショールーム」をコンセプトに、省エネルギーを追求しつつ工場内作業環境にも配慮した建築設備計画を行った。

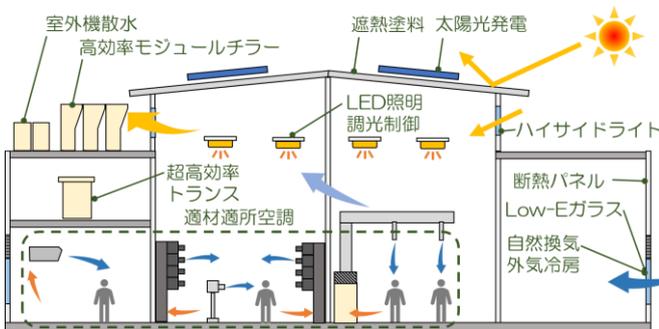


図1 主な導入技術

2. 熱負荷特性がエリア毎に異なる工場の空調計画

空調の省エネルギーと快適な作業環境を実現するために、各生産エリアの熱負荷特性および作業者の作業範囲の分析から3つのエリアに仕分けし、エリア毎に適材適所の空調方式を計画した。エリア1は機器発熱が少なく作業範囲が広域のため周囲環境を空調するアンビエント方式とした。一方、エリア3は作業範囲が限定されるが

生産エリア	エリア1	エリア2	エリア3
生産機器発熱	少	少	多
作業範囲	広範囲	限定	限定
空調方式 (ビル用マルチ)	アンビエント (工場用天井形)	タスク&アンビエント (マルチキューブ)	タスク (床置ダクト形)
処理対象熱負荷	人体/照明/機器/建物	人体/照明/機器/建物	人体

図2 生産エリア毎の作業・熱負荷特性と空調方式

生産機器発熱が多いため、省エネルギーの観点からタスク空調のみとした。エリア2は生産機器発熱が少なく作業範囲が限定されることからアンビエント空調と個別に気流、設定温度等が選択できるタスク空調を計画した。



写真2 マルチキューブエアコン (左:アンビエント、右:タスク)

3. 大空間への対応

生産エリアは13mの高天井、床面積11,000m²の大空間であり、熱負荷の異なる生産エリアに間仕切りは無い。そのため、生産発熱が多くアンビエント空調の無いエリア3から発熱の少ないエリア1,2に対して熱の流入を抑制するため、外調機での熱処理外気はエリア1,2側からの導入とした。また、工場内上部の熱溜まりが作業域に下降しないよう頂部にて排気を取る換気計画とした。

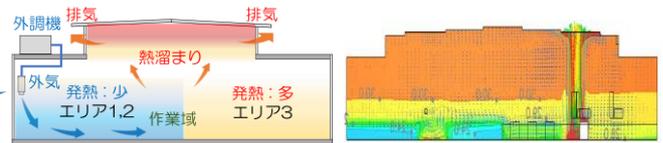


図3 換気計画の考え方

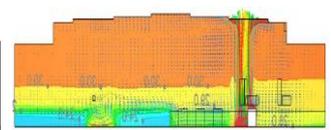


図4 工場内のCFD解析

4. 運用開始後の工場内温度分布

昨年、堺市において最高外気温が最も高かった8/22の工場内温度の時系列変化を示す。作業域(エリア1,2,3)は25~28℃で推移、工場上部は30~33℃で推移しており、工場上部は熱溜まりとなり作業域が効率的に冷房されていることが分かる。

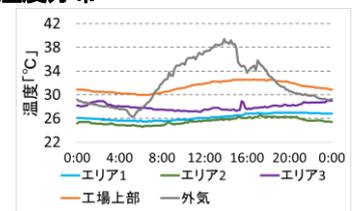


図5 工場内温度 2018/8/22

5. まとめ

大空間かつエリア毎に異なる熱負荷特性を有する工場の適材適所空調について紹介した。運用開始後においても良好な工場内温度環境を実現できた。

謝辞

本計画の設計施工にあたり、多大なご支援ご指導を賜りましたダイキン工業株式会社の皆様へ心より御礼申し上げます。

水の相変化を考慮した CFD モデルの構築および室内温熱環境の推定

Estimation of Indoor Thermal Environment Considering Water Phase Change by CFD Model

○河田 憲 (大阪大学) 松尾 智仁 (大阪大学)

嶋寺 光 (大阪大学) 近藤 明 (大阪大学)

Ken KAWADA*¹ Tomohito MATSUO*¹ Hikari SHIMADERA*¹ Akira KONDO*¹*¹ Osaka University

In order to improve indoor thermal environment, it is important to estimate and control the humidity distribution. However, existing CFD models generally do not have the ability to evaluate the phase change of water in indoor environment. In this study, a CFD model with the phase change was developed, and qualitatively validated by a set of numerical experiments. The model was used to evaluate indoor thermal environment of virtual office with 3 kinds of humidifiers which have different humidifying method. The results indicated that the vaporization caused by humidifier decrease the indoor air temperature, and different humidifying method caused different temperature and humidity distribution.

はじめに

衛生的かつ快適な室内温熱環境の構築のために湿度分布の把握は重要である。低湿度環境では風邪やインフルエンザなどの感染リスクが高まり、高湿度環境ではダニやカビ起因のハウスダストが発生し、ぜんそくなどのリスクが高まる。したがって室内湿度を適切に制御する必要がある。しかし、既往の CFD モデルは水の相変化を考慮していないため、水の相変化による室内の温湿度の変化を正確に考慮することができない。本研究では、CFD モデルに水の相変化を考慮した水分輸送モデルを導入することにより新たな室内温湿度の推定手法を提案する。そして単純な室内環境を用いて導入したモデルの定性的評価による結果検証を行ったのち、オフィスを模した 3 次元空間を対象として加湿器の種類別での室内温熱環境評価を行った。

1. 計算モデル

1.1 水分輸送モデル

CFD シミュレーションには OpenFOAM4.0 を使用した。OpenFOAM4.0 に組み込む水分輸送モデルには数値気象予測に用いるために Kessler¹⁾ によって開発されたモデルを用いた。このモデルは、液体の水を空气中に滞留し続ける雲水と降水となって空気中か

ら落下する雨水の 2 種類に分類し、これに水蒸気を加えた三相による相変化を考慮している。モデル式を式(1)~(4)に示す。

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla M - \frac{\partial VM}{\partial z} + K_{eff} \nabla^2 M + AC + CC - EP_M \quad (1)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla m - wG + K_{eff} \nabla^2 m - AC - CC - EP_m \quad (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla q + K_{eff} \nabla^2 q + EP_M + EP_m \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla T + \alpha_{eff} \nabla^2 T + \frac{1}{C_p \rho} (Q_p + Q_o) \quad (4)$$

t は時間、 M は雨水量、 m は雲水量、 q は水蒸気量である。 \mathbf{v} は風速ベクトル、 V は雨水の落下速度、 K_{eff} は実効拡散係数、 w は鉛直下向き正の風速、 G は生成関数、 AC は雲水から雨水へのオートコンバージョン、 CC は雨水が雲水を捕集する効果、 EP_M と EP_m は雨水と雲水の蒸発である。また、 ρ は空気の密度、 T は温度、 α_{eff} は実効温度拡散率、 C_p は定圧比熱、 Q_p は蒸発による潜熱、 Q_o は外部からの加熱量である。

1.2 加湿器モデル

本研究では、気化式加湿器、加熱式加湿器、超音波式加湿器の 3 種類を用意した。気化式加湿器は水

を含んだフィルターに吸い込み空気を通させて加湿する。モデルでは吸込み空気を断熱的に飽和させる。加熱式加湿器は水を加熱して蒸発させ、吸い込み空気と混合させて吹き出すことで加湿する。モデルでは吸い込み空気を加熱した上で断熱的に飽和させる。空気を断熱的に飽和させる場合には式(5)を満足するような Δq を収束計算により求める。

$$q + \Delta q = qs_{(T-\Delta T)}$$

$$\Delta T = \frac{h}{C_p} \Delta q \tag{5}$$

q は吸込み空気の水蒸気混合比、 Δq は蒸発量、 T は温度、 ΔT は温度変化、 $qs_{(T)}$ は温度 T における飽和混合比、 h は蒸発潜熱である。超音波式加湿器は水を微細な水滴である雲水として空気中に放出し、それが蒸発することで加湿される。

2. モデル検証 (Case1)

2.1 モデル検証用の計算領域

モデル検証用の領域として Fig.1 に示す計算領域を用いた。計算領域は、x, y, z, 方向に 6 m, 10 m, 3 m で、総要素数は約 18 万である。また、Fig.2 に計算領域の中心に配置した加湿器モデルの概要を示す。x=3 m の断面での温度、水蒸気混合比、雲水混合比、雨水混合比分布図による結果比較を行う。

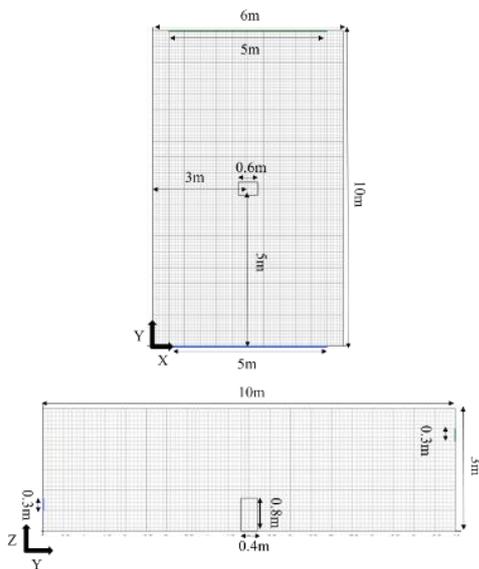


Fig.1 Calculation area (Case 1)

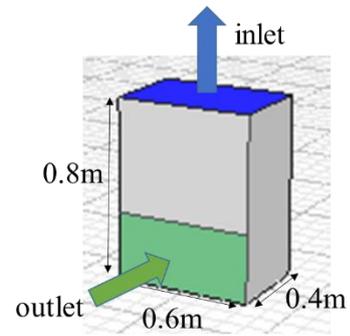


Fig.2 Humidifier model

2.2 境界条件

それぞれの計算 Case での加湿器モデルの概要を Table.1 に示す。

Table.1 Overview of humidifier conditions

Case name	Case1-a	Case1-b-v	Case1-b-s	Case1-b-u	
	2-a	2-b-v	2-b-s	2-b-u	
Case detail	Water phase change	×	○	○	
	type	vaporizing		Steam	
	Water condition	Vapor			Cloud water
	Amount of humidification	Humidify up to RH 100% of the inlet air			1.0×10^4 kg/s
	Amount of heating	—		800W	—

室内環境の温度を 25 °C、水蒸気混合比を 0.01 kg/kg とする。空調、加湿器の吹出口の境界条件を Table.2 に示す。

Table.2 Boundary condition (Case1)

	Temperature	25 °C
Air supply from air conditioning	Wind velocity	1.0 m/s
	Flux	2.5 m ³ /s
	Moisture content	0.01 kg/kg
Air supply from Humidifier	Wind velocity	0.1 m/s
	Flux	0.24 m ³ /s

2.3 モデル検証結果

Fig.3 に室内気温および水蒸気混合比の鉛直断面図を示す。Case1-a は水の相変化を考慮していないため加湿量と室内気温に相関はない。Case1-b-v では加湿器内で水が蒸発し潜熱が奪われ室内空気より低温の空気が放出される。その低温空気の飽和混合比が

放出され、空気への加湿量が少ない。Case1-b-s では加湿器内で水を加熱するため、放出される空気は高温で飽和混合比も大きい。Case1-b-u では Fig.4 に示す通り加湿を雲水により行う。放出された雲水の一部は雨水へと相変化するが、多くは蒸発するため潜熱が発生し気温が下がる。加えて飽和混合比以上の水分を放出するため気温変化が顕著である。

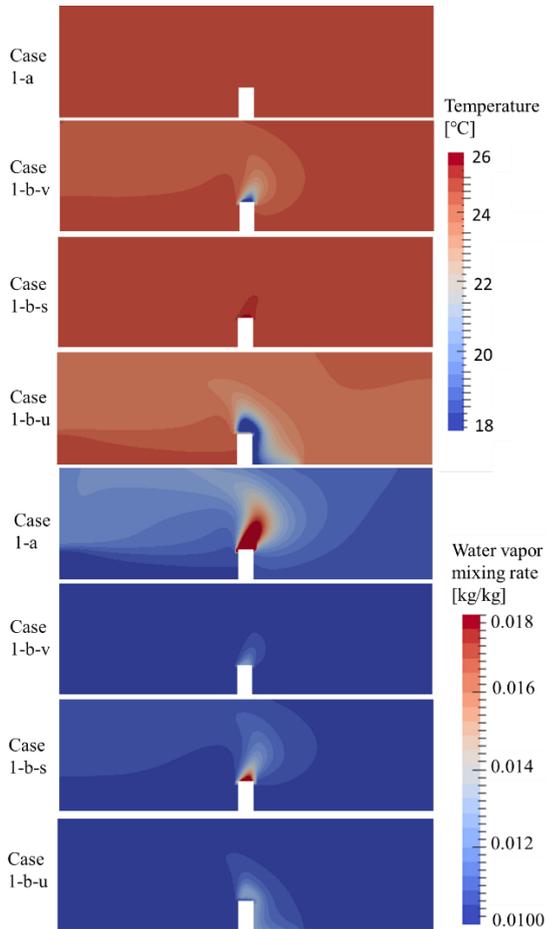


Fig.3 Indoor temperature and water vapor mixing rate in Case1
 (x = 3 m)

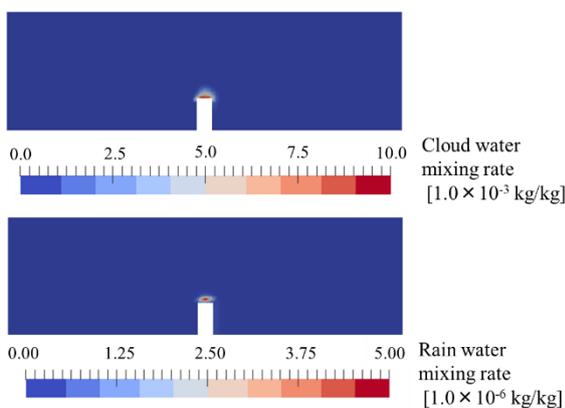


Fig.4 Cloud water mixing rate and rain water mixing rate in Case1-b-u (x = 3 m)

3. 温熱環境の推定 (Case2)

3.1 温熱環境推定用の計算領域

開発したモデルを用いて Fig.5 に示すオフィスを模した計算領域における室内温熱環境の推定を行う。この領域内で Fig.2 に示す加湿器モデルを 5 つ配置した。加湿器モデルの概要は Table.1 と同じ条件を用いる。要素数は約 326 万である。鉛直方向に不均等格子を採用しており、空調設備や加湿器の吹出口、吸込口付近では格子サイズが小さい。

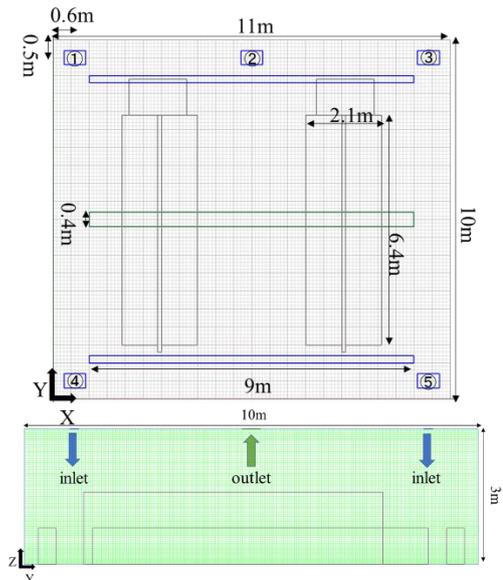


Fig.5 Calculation area (Case2)

3.2 境界条件

Case2 では冬の乾燥した季節を想定し、外気条件は気象庁のデータ²⁾をもとに2017年12月から2018年2月の3か月間の平均気温 7.2 °C、平均相対湿度 59%とした。空調機器は取り込んだ外気の絶対湿度は変化させず、温度を 25 °Cまで高めるものと仮定して室内相対湿度を 18%とした。空調機器および加湿器吹出口の境界条件を Table.3 に示す。

Table.3 Boundary condition (Case2)

		Temperature	25 °C
Air supply from air conditioning	Wind velocity	1.0 m/s	
	Flux	3.6 m ³ /s	
	RH	18 %	
Air supply from Humidifier	Wind velocity	0.1 m/s	
	Flux	0.24 m ³ /s	

3.3 温熱環境評価結果

オフィス内の人間の呼吸域の高さである $z = 1.2 \text{ m}$ での分布図を調べる。Fig.6, Fig.7 より Case2-a では相変化が考慮されないで室内温度は変化しない。Case2-b-v では空気温度より低い温度で水蒸気が放出され、低温空気の飽和水蒸気量が放出されるため相対湿度は小さい。Case2-b-s では加湿器内から高温空気が放出されるため、下降気流が生じず $z = 1.2 \text{ m}$ の面まで加湿された空気が広がった。高温空気の飽和水蒸気量が放出されるので供給水蒸気量が大きくなる。Case2-b-u では排出された雲水の蒸発潜熱の影響により加湿器付近で気温が低下し下降気流が生じるため、加湿された空気が広がりやすく加湿器付近の地面では温度低下および相対湿度の上昇が生じた。加湿器の種類による温熱環境の変化があることが知見として得られた。

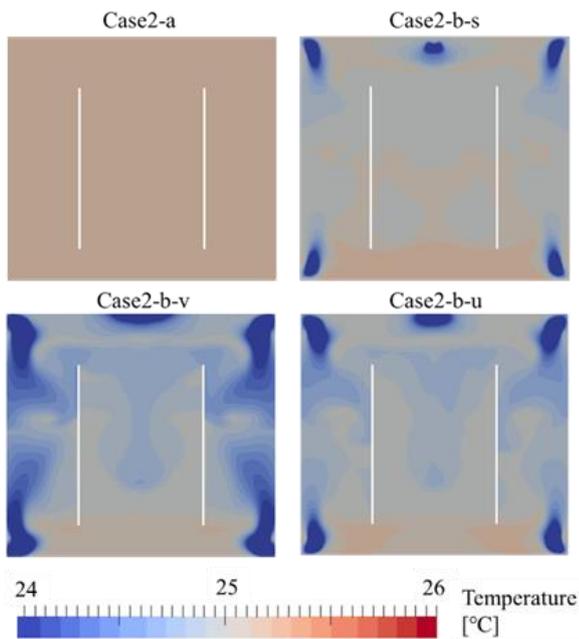


Fig.6 Indoor temperature in Case2 ($z = 1.2 \text{ m}$)

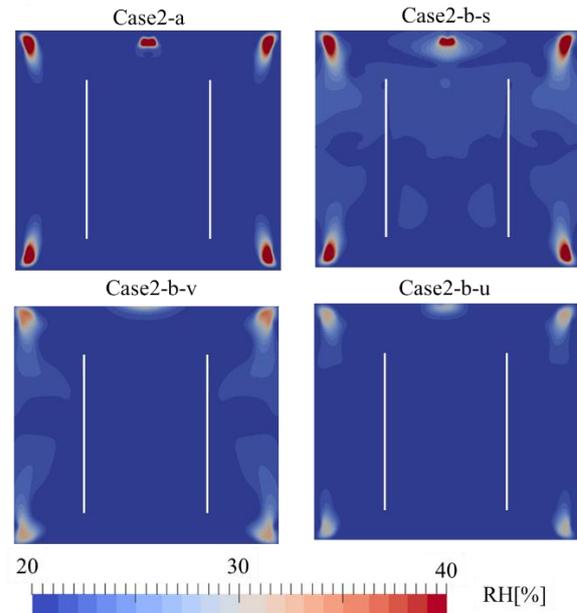


Fig.7 Indoor RH in Case 2 ($z = 1.2 \text{ m}$)

4. 結論

本研究の結論を以下にまとめる。

- 水分輸送モデルを CFD モデルに導入し、水の状態変化をモデルにより表現できることが検証により証明され、室内温湿度の推定が可能となった。
- 使用する加湿器の種類により気化式加湿器では蒸発潜熱により空気が冷やされ下降気流が生じ、加熱式加湿器では高温水蒸気が放出され相対湿度が大きく上昇し、超音波式加湿器では雲水による蒸発潜熱が大きく下降気流も激しいので加湿器付近の温度低下が激しく相対湿度がより増加した。

参考文献

- 1) E. Kessler, On the Distribution and Continuity of Water Substance in Atmospheric Circulations, Meteorological Monographs, Vol.10(32), pp.1-84,1969
- 2) 気象庁, 過去の気象データ検索, http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=45&block_no=47674&year=2018&month=&day=&view=a2, 最終閲覧日: 2019/02/08

データ同化を用いた室内熱源分布の逆推定

An Inverse Method to Estimate Indoor Heat Source Distribution Using by Data Assimilation

○柿花 諒太郎 (大阪大学)

松尾 智仁 (大阪大学)

嶋寺 光 (大阪大学)

近藤 明 (大阪大学)

Ryotaro KAKIHANA*¹ Tomohito MATSUO*¹ Hikari SHIMADERA*¹ Akira KONDO*¹*¹ Osaka University

To estimate indoor thermal environment is crucial for creating a comfortable environment. The indoor temperature distribution depends on the location and heat generation of heat sources. In this study, a numerical experiment was conducted to validate the applicability of the data assimilation method called SR method to estimate the location and heat generation of heat sources. In the experiment, the location and heat generation were estimated by the “observed” temperature, and the influence of the height of observation points. The result indicated that the estimation accuracy of SR method increases when the observation captures the characteristic of the temperature distribution.

1. はじめに

快適な室内環境を構築するためには室内の温度、風速、圧力場、湿度といった室内環境の状態を把握する必要がある。室内温度分布の把握には室内に存在する熱源の位置と発熱量を把握することが必要である。室内において考えられる熱源は人、照明器具、電機製品、暖房器具などが挙げられるが、これらの配置と発熱量を事前に把握することは難しい¹⁾。

そこで、本研究は室内温熱環境を把握するために、データ同化法を用いて未知の熱源の発熱量を高精度に推定することを目的とする。データ同化とは観測値を用いて数値シミュレーションを修正する手法である。本研究では観測された温度から熱源の位置と発熱量を逆推定している。熱源と観測された温度との間の線形関係を利用した逆推定手法は複数あり¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾、呼び名も様々である。本研究においては、線形関係を利用した逆推定手法をSR法と呼ぶ。

本研究では松尾ら²⁾の数値実験で用いられた計算領域を参考に、境界条件や温度観測点位置の高さを変更し、温度観測点位置のSR法による熱源推定に対する影響を検証した。

2. SR法について

本研究で用いたソース・レセプター関係は式(1)で表される。

$$Aq = \Delta T \quad (1)$$

ここで、 A はソース・レセプター関係を表す行列。 q は熱源分布を表すベクトル、 ΔT は観測点のある位置における、熱源が無い場合を基準としたときの温度上昇を表す

ベクトルである。熱源の数を N 、温度センサの数を M とすると、 A は $M \times N$ の行列である。

熱源がない場合の温度分布、および熱源1つだけが1単位の発熱をした場合の温度分布をCFDシミュレーションによって求めることで、行列 A を求めることができる。例えば、 n 番目の熱源が1単位の発熱をした場合に、各温度センサにおいて温度上昇 ΔT が観測されたとき、ソース・レセプター関係は式(2)で表される。

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{1,n} & \cdots & a_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ a_{m,1} & \cdots & a_{m,n} & \cdots & a_{m,N} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{M,1} & \cdots & a_{M,n} & \cdots & a_{M,N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta T_1 \\ \vdots \\ \Delta T_m \\ \vdots \\ \Delta T_M \end{pmatrix}$$

$$\Leftrightarrow a_{1,n} = T_1, a_{2,n} = T_2, \dots, a_{M,n} = T_M \quad (2)$$

ここで、 $a_{m,n}$ は行列 A の成分、 T_m は位置 m における温度である。1から N までのすべての熱源について、1単位の発熱をしたときの温度上昇を求めることで、行列 A のすべての成分を求めることができる。

行列 A が既知である場合、未知の熱源の組み合わせ q' とそのときの温度上昇 $\Delta T'$ の関係は、式(3)で表される。

式(3)を解けば q' が得られる。そこで、式(4)のように評価関数を定義し、式(5)に示す最急降下法により評価関数を最小化する熱源の組み合わせを繰り返し計算により探索する。式(5)中の勾配は、式(6)により求められる。

$$Aq' - \Delta T' = 0 \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{2}(Aq' - \Delta T')^T(Aq' - \Delta T') \quad (4)$$

$$q'_{k+1} = q'_k - \frac{\partial I}{\partial q'} \Big|_{q'=q'_k} \quad (5)$$

$$\frac{\partial I}{\partial q'} = (A)^T(Aq'_k - \Delta T') \quad (6)$$

ここで、 $(\cdot)^T$ は行列またはベクトルの転置であり、 q'_k はk回目の繰り返し計算における q' である。

SR法の適用では、行列Aの算出のためにN+1回のCFDシミュレーションを行う必要がある(N個の熱源のそれぞれ1つだけが存在する場合と、熱源の存在しない場合)。一方、Aが算出された場合、任意の $\Delta T'$ から速やかに q' を求めることができる。つまり、事前計算を行っておくことで、観測点から温度情報を得ると、熱源ベクトルを推定することができる。

本研究での、観測データから未知の熱源分布と室内の温度分布を推定するための手順を以下に示す。

- 1) 未知の熱源のそれぞれについて、熱源が無い場合と熱源1つだけが1単位の発熱をする場合についてCFDシミュレーションを行い、式(2)より行列Aを求める。
- 2) 室内の温度観測データからベクトル $\Delta T'$ を求め、式(5)より未知の熱源分布 q' を推定する
- 3) 推定した熱源分布を用いてCFDシミュレーションを行い、熱源分布と温度分布を求める。

3. 数値シミュレーション

3.1 計算対象領域

発熱量未知の熱源が設置された3次元室内空間を対象に、SR法によって得られた温度情報から各熱源の発熱量について逆推定を行った。

対象領域をFig.1に示す。領域は7.5 m 四方、高さ2.6 mである。東西をX方向、南北をY方向、鉛直方向をZ方向とし、床面南西端に原点を取った。

室内には1 m 四方の熱源が4つあり、天井中央には4方向吹き空調機室内機がある。境界条件をTable.1に示す。

また、観測点の配置をFig.2に示す。観測点のX・Y方向の配置は松尾ら²⁾の先行研究と同様であり、Z方向の配置は1.2m, 1.6m, 2.0m, 2.4mと変更した。なお、観測誤差はないものとした。

なお、数値シミュレーションでは熱源4と熱源2・4が発熱しているケースを計算し、それぞれをケース1、ケース2とする。

3.2 計算条件

CFDシミュレーションには、オープンソースCFDツ

ルボックスであるOpenFOAMのバージョン2.3を適宜修正して用いた。非圧縮性定常流れを仮定し、ブシネスク近似により浮力を表現した。乱流モデルには標準k-εモデルを用いた。支配方程式は運動方程式、連続の式、熱の保存式である。また、渦粘性、乱流拡散を考慮するために乱流エネルギー、散逸率の保存式を用いた。対流項の離散化には2次精度風上差分法(線形風上法)を、拡散項の離散化には2次精度中心差分法を用いた。速度と圧力の連成解法にはSIMPLE法を用いた。

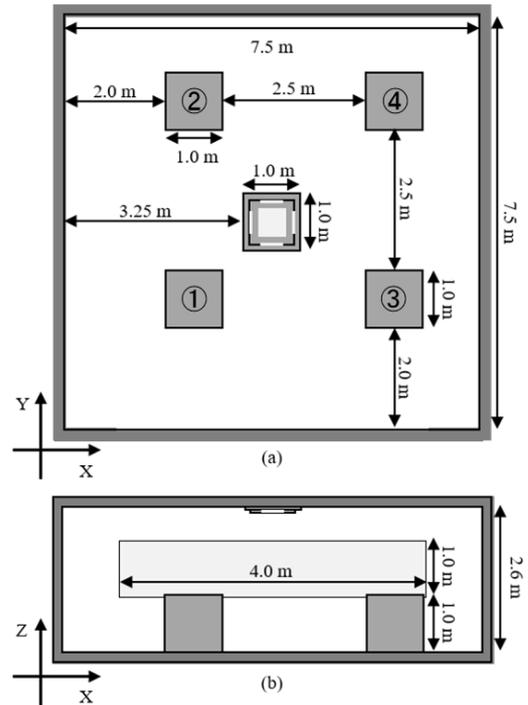


Fig.1 Calculation domain

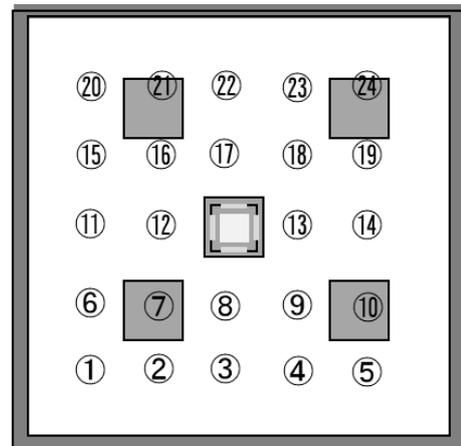


Fig.2 Observation points

Table.1 Boundary conditions

Boundary	Boundary condition
Inlet	Velocity: 0.99 m/s Direction: 45° Temperature: 293K
Outlet	Guage pressure: 0 Pa
Walls	Velocity: No slip Temperature: 303K
Hot boxes	Velocity: No slip Heat generation: 600 W

4. 結果

Fig.3 および Fig.4 にそれぞれケース 1 とケース 2 について SR 法を用いた発熱量推定の結果, Fig.5 および Fig.6 にそれぞれケース 1 とケース 2 の発熱量について, 正解値と推定値の RMSE を示す。

Fig.3 および Fig.5 よりケース 1 における発熱量推定は観測位置をどの高さにとっても推定結果は概ね良好である。しかし高さが 2.4m の場合, つまり観測点位置が天井付近にある場合は熱源4の発熱量は過少評価されており, 熱源 1・2・3 でも発熱していると推定された。これは天井付近では熱が溜まりやすく, 温度分布が均等になりやすいことから, 高さ 2.4m で得られる温度分布はどの熱源の寄与によるものであるか判別しがたくなった影響であると考えられる。

Fig.4 および Fig.6 によるとケース 2 における発熱量推定は, 観測点位置の高さが 1.2m, 1.6m のとき推定精度は他の高さに比べ良かった。一方, 観測点位置の高さが 2.0m のとき, 熱源 1・3 は発熱していないにもかかわらず, 発熱していると推定され, その発熱量も他の観測点位置による結果と比べ大きくなった。発熱している熱源の数が増え, 観測点位置が高くなると部屋全体が温かくなり, 温度分布が一様になりやすく, 熱源による温度分布への寄与がわかりにくくなり, 推定精度は悪くなると考えられる。

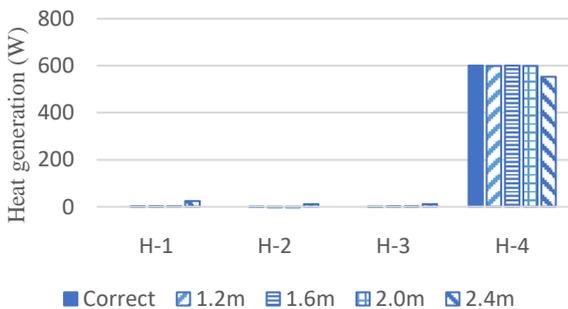


Fig.3 Estimation result of Case 1 with each observation height (The vertical axis shows the heat generation, the horizontal axis shows the heat source location. H means a heat source.)

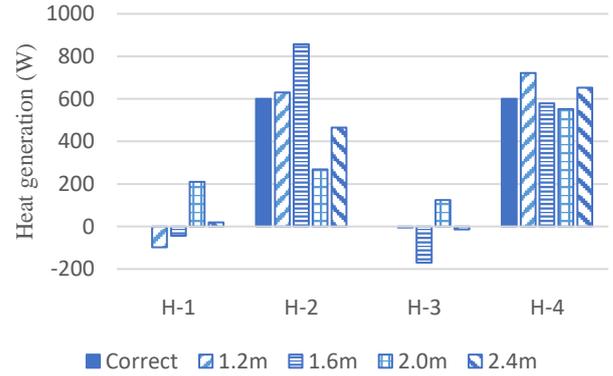


Fig.4 Estimation result of Case 2 with each observation height (The vertical axis shows the heat generation, the horizontal axis shows the heat source location. H means a heat source.)

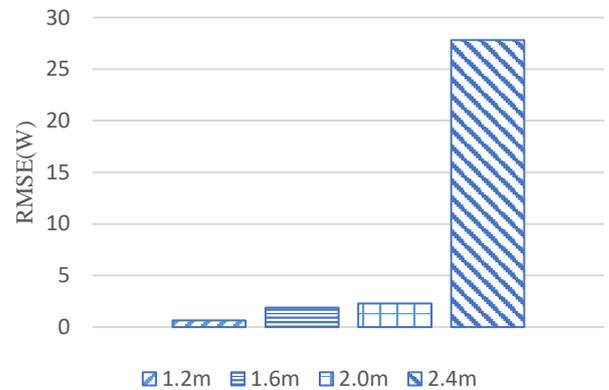


Fig.5 RMSEs between correct and estimated heat generations of Case 1 with each observation height

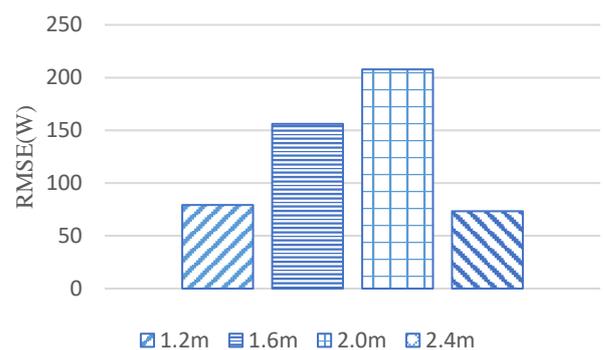


Fig.6 RMSEs between correct and estimated heat generations of Case 2 with each observation height

したがって, 精度よく発熱量を推定するためには, 観測点を設置する際に, 設置する高さの温度分布を考慮する必要がある。Fig.7 と Fig.8 にケース 1 とケース 2 における, 観測点を設置した各高さでの正解温度分布の水平断面図を示す。

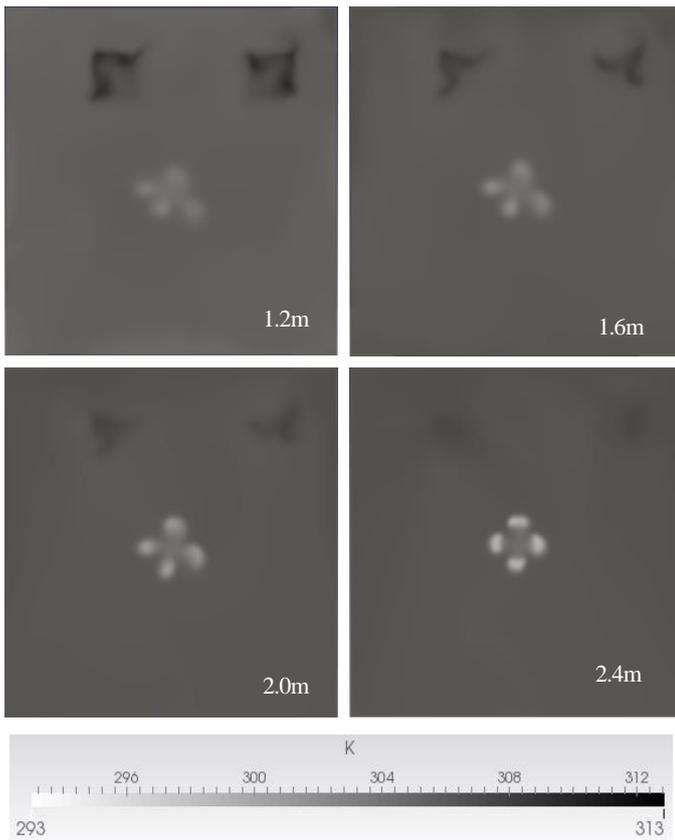


Fig.7 Horizontal section of temperature distribution at each height of Case1

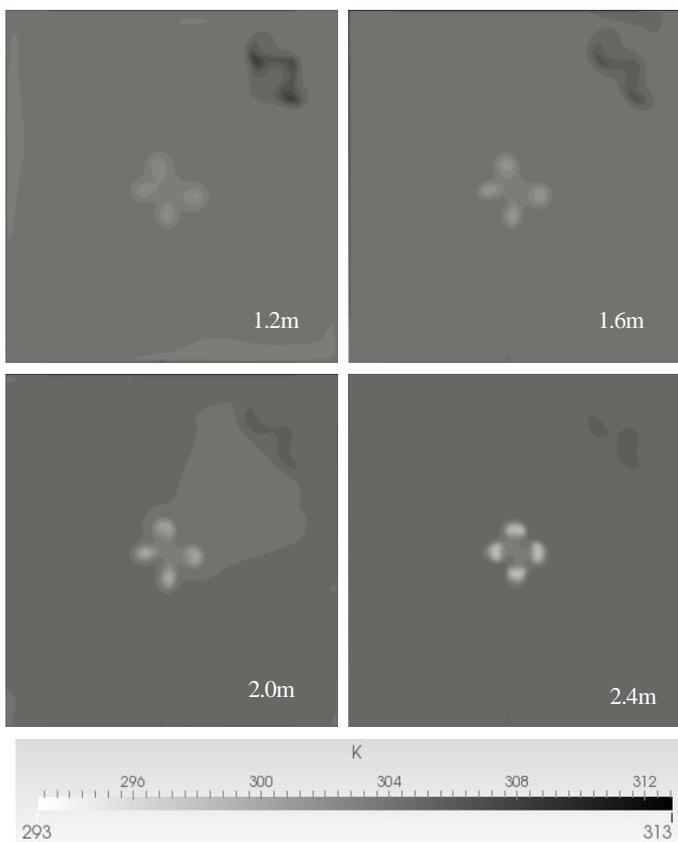


Fig.8 Horizontal cross section of temperature distribution at each

height of Case2

Fig.7 および Fig.8 より、観測点の位置が低いとき、熱源付近で温度が高く、それ以外の場所では低いという温度分布が明瞭に捉えられるため、熱源の寄与が分かり易くなっている。一方、観測点位置が高くなると、温度分布は一樣に近づき、観測点位置が低いときに比べて熱源の寄与が分かりにくくなっている。温度分布に与える各熱源の寄与が捉えにくくなったことが、観測点位置が高いほど推定精度が低下する原因であると考えられる。

特にケース2において、観測点高さが1.6mを超えたあたりで温度分布が一樣になり、熱源の寄与が分かりにくくなっている。そのため、高さが高くなるにつれて Fig.4 や Fig.6 のように推定精度は悪くなったと考えられる。

5. まとめ

本研究ではソース・レセプター関係を用いたデータ同化法である SR 法を用いて、1つの熱源が発熱している場合と2つの熱源が発熱している場合について熱源の発熱量と発熱箇所の推定を行った。

数値シミュレーションの結果、発熱量と発熱箇所を概ね精度良く推定することができたが、熱源が2つある場合、観測精度が低下した。また、観測点位置が高くなるにつれ得られる温度分布が一樣に近づき、熱源の寄与が見えにくくなるため推定精度が落ちることが示唆された。

今回の結果を踏まえ、今後は発熱量や発熱箇所の変更による推定精度の違いや熱源推定に適した観測点位置の検討が必要となる。

参考文献

- 1) Lei, L., Xue, Y., Zheng, W., Yang, J.: An inverse method based on CFD to determine the temporal release rate of a heat source in indoor environments, *Applied Thermal Engineering*, Vol 134, pp.12-19, 2018
- 2) 松尾智仁, 近藤明, 嶋寺光, 塩地純夫, 小松明. 連続的データ同化法 (VCA 法) を用いた室内環境推定手法の開発 (第7報) ソース・レセプター関係を用いた初期推定場の作成. 平成29年度空気調和衛生工学会大会, 名古屋, 2018
- 3) 加藤信介, 小林光, 村上周三. 不完全混合室内における換気効率・温熱環境形成効率評価指標に関する研究 第2報——CFDに基づく局所領域の温熱環境形成寄与率評価指標の開発. *空気調和・衛生工学論文集*, Vol.69, pp.39-47, 1998
- 4) Lei, L., Wang, S., Zhang, T.: Optimal specification of target temperature points for inverse design of an indoor thermal environment, *Building and Environment*, Vol 92, pp 518-527, 2015
- 5) Lei, L., Wang, S., Zhang, T.: Inverse determination of wall boundary convective heat fluxes in indoor environments based on CFD, *Energy and Buildings*, Vol 73, pp 130-136, 2014

実測による屋外温熱環境が空間利用に与える影響に関する研究

Study on effects of thermal environment in outdoor space on utilization of space
using field measurement

○溝 口 明日香 (奈良女子大学) 吉 田 伸 治 (奈良女子大学)

Asuka MIZOGUCHI*¹ Shinji YOSHIDA*¹*¹ Nara Women's University

In this paper, the effects of the outdoor thermal environment on the adaptive behaviors for pedestrians were investigated using field observation. The meteorological conditions and the adaptive behaviors were measured in the courtyard in Nara Women's University in the summer and the autumn seasons in 2018. In this study, we evaluate the following four adaptive behaviors: (1) passing through a shaded area, (2) use of a parasol, (3) walking the side of the courtyard shaded by trees, and (4) wearing a short-sleeve shirt. From the examination of the observed data, it was clarified that the adaptive behaviors for pedestrians are more affected by the global solar radiation than the SET*.

1. はじめに

近年ヒートアイランド現象に伴い劣悪となった街路内の夏季暑熱環境を緩和するため、街路樹植栽や保水性舗装等の対策案が提案されている。しかしそれらの対策には相応なコストを要する。そのため生活者自身が暑熱環境に適応する対策も必要である。人間の環境への適応には生理的適応と行動的適応があり、室内空間に比べて温熱環境が遥かに劣悪な夏季の屋外空間では、着衣変更や日傘の使用、日影への避難等の行動的適応が作用する割合が大きいと考える。しかし温熱が人体に与える生理的影響に関する研究は多いものの、行動的適応に関する検討はわずかである^{文1)}。そこで本研究では屋外温熱環境と人間の行動的適応の関係を研究する一例として実測調査を行った。

2. 方法

2.1 実測対象・実測期間

Table.1 に実測概要を、Fig.1 に実測対象を示す。2018年7月24日～7月27日と11月13日～16日の計8日間、奈良女子大学の中庭周辺にて人の通行量が多いと期待される授業間の休み時間の時間帯に実測を行った。池と学生会館間の北側の道は緑陰に覆われており、池と学術情報センター間の南側の道は建物の影になる場所と日射が入射する場所が形成されている。

2.2 実測方法

中庭周辺の温熱環境は、池の東側で日向になっている箇所「温(Thermal measurement point) I」池の北側で緑陰になっている箇所「温II」の2箇所で Fig.1 の項目を計測した。「温 I」では黒色グローブ球によるグローブ温度

に加えて、肌色グローブ球と灰色グローブ球も同時に用いてグローブ温度を計測し、MRT の算出に用いている。適応行動の撮影の様子は Fig.2 に、温熱環境の実測の様子は Fig.3 に示す。歩行者の移動や滞在については、中庭周辺の4点「写(Photo) I～IV」に設置したカメラの撮影画像から歩行者数や適応行動を集計した。気象条件には奈良女子大学 E 棟の屋上での計測値(温湿度・放射量・風向風速)と奈良地方気象台での観測値を参照した。

Table.1 Summary of measurement

dates	2018/7/24~27(summer)・11/13~16(autumn)
time	10:30~10:40, 12:10~13:00, 14:30~14:40
Measurement item	Temperature, Relative Humidity, Globe Temperature (Thermocouple)
of thermal	Global solar radiation (Pyranometer)
	Wind speed (micro anemometer)
Adaptive behavior	Camera shooting (Five-second frame shooting, 4 places)

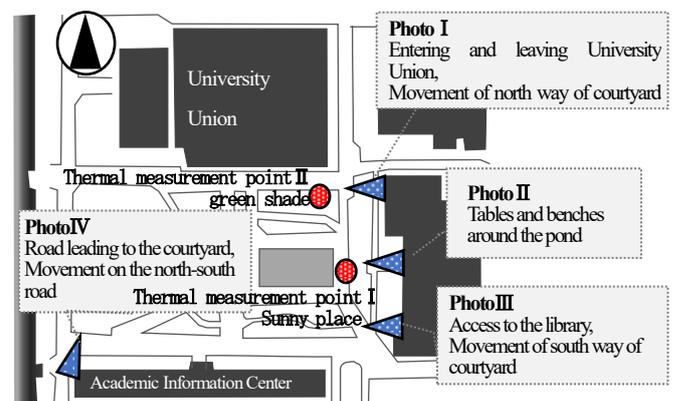


Fig.1 Measurement position, shooting target of fixed point shooting

3. 結果および考察

3.1 気象条件

Fig.4に奈良女子大学E棟屋上で計測した8日間の気温と全天日射量を示す。夏期では、4日間いずれも気温は最高気温が14時頃に35~37℃、最低気温は明け方に25~28℃、全天日射量は最高約900W/m²に達する猛暑日となった。秋期において、最高気温が最も高かったのは11/16の18.0℃、最高気温が最も低かったのは11/14の13.9℃であった。気象庁による2018年10月の奈良の平均最高気温は22.2℃であったことから、実測を行った11月の4日間は月平均より4~8℃程度も最高気温が低い日が続いた。

3.2 適応行動の定義

本研究では暑熱環境に対する適応行動として「同じ道の中での日影への避難」、「日傘の使用」、「日影の多い別経路への変更」、「着衣の変更」があると考えた。これらの適応行動の起こりやすさを示す頻度をそれぞれ「日影通行率(RPS)」、「日傘使用率(RUP)」、「北側通行率(RPN)」、「半袖着用率(RWS)」とし、算出方法をTable.2に示す。

日影通行率 RPS は日影を通行した人数と全通行人数の比である。この日影通行率は、日向と日影の両方がある中庭南側の道を撮影対象とした「写IIIIV」から得られたデータを使用した。日傘使用率 RUP は日影を差していた人数と全通行人数の比で、日傘をもっているが差していない人は日傘使用者には含まれない。この日傘使用率は「写I IIIIV」の結果を使用している。北側通行率 RPN は中庭北側の道の通行人数と中庭北側・南側の合計人数の比である。中庭北側の通行人数は「写I」からの結果を、中庭南側の通行人数は「写III」からの結果を使用している。半袖着用率 RWS は半袖を着ていた人数と全通行人数の比で、袖が0~7分丈の衣服、あるいは8分丈以上でも袖まくりをしているものは半袖と見なしている。

3.3 歩行者の行動の傾向

歩行者数や適応行動の推移の例として、Fig.5に7月25日「写III」の10分毎の歩行者の人数と適応行動の関係を示す。

歩行者数は12:10~12:20の時間帯が特に多くなっている。これは授業の終了時刻(12:10)直後であるために教室から食堂や次の時限の講義室等への移動によるものである。また通行者数に関わらず、日影通行者の割合は50~70%、日傘使用者の割合は25~40%となっている。実測8日間の全時間帯における通行者数と各適応行動の関係をFig.6に示す。通行人数が多いと周辺に日傘を差している人が多いために日傘の使用が促されることや日影が狭いために日向通行を回避できないことも考えられたが、Fig.5,6にて通行人数と各適応行動率の対応が見られ

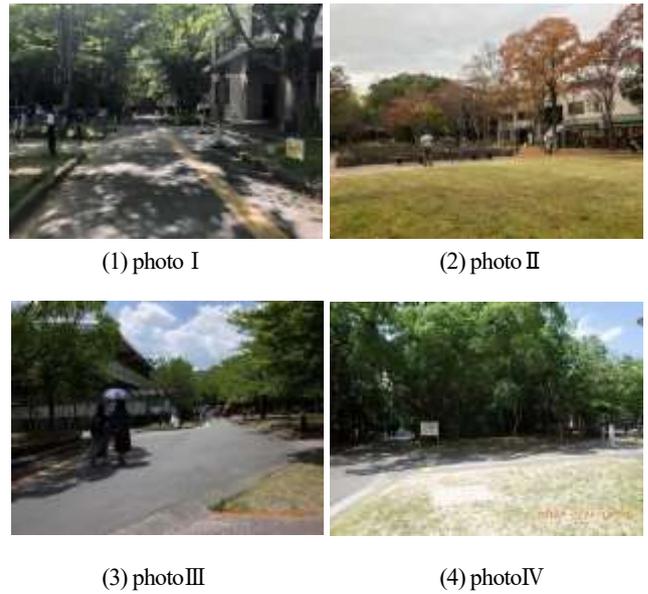


Fig.2 photographed image at each photographing point



Fig.3 State of thermal measurement (Sunny place, Green shade)

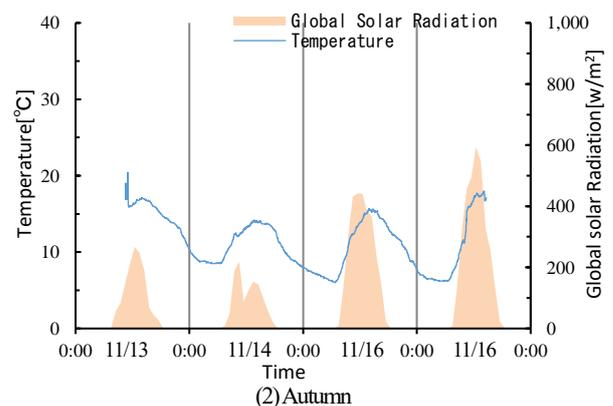
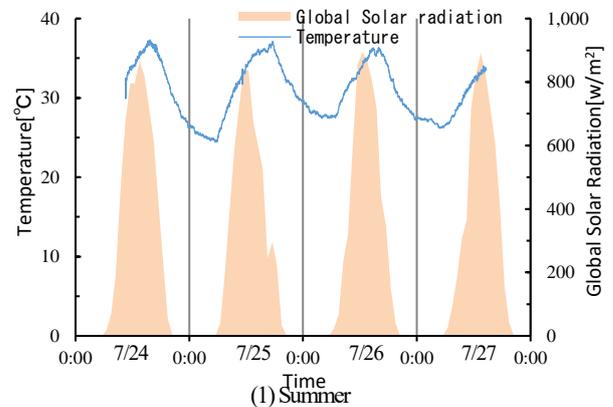


Fig.4 Diurnal variations of weather conditions

ず、適応行動の起こりやすさは通行者数の影響をあまり受けていないことが分かる。

3.4 温熱環境条件と適応行動の関係

温熱指標に全天日射量(Global Solar Radiation, 以降 GS と示す)と新標準有効温度 SET*を使用し、温熱条件と適応行動の関係を分析する。SET*は各時間の環境条件(温湿度, MRT, 風速)に60分暴露後の温熱生理諸量を Two-node Model を用いて計算し、代謝量 2.0met (3.2km/h の歩行)、着衣量 0.6clo (夏期)、1.0clo (秋期)を想定している。適応行動について、本稿では「同じ道の中での日影への避難」、「日傘の使用」、「日影の多い別経路への変更」に関して示す。Fig.7には各適応行動率のプロットに近似線と相関係数 R²を掲載している。

(1) 同じ道の中での日影への避難 Fig.7(1)(2)において夏期では全天日射量や SET*の増加に伴った日影通行率の増加が確認できた。相関係数 R²は全天日射量の場合で 0.43、SET*の場合で 0.07 と、全天日射量の方が大きくなっている。そのため日影選択には体感温度よりも日射量の与える影響が大きく、体感温度ではなく空の眩しさや日向と対比した日影の濃さなどの視界から得た情報によって日影選択を行うと考えられる。一方秋期では、温熱環境条件と日影通行率の相関は見られなかった。日射が強く気温も高い夏期とは異なり、暑くないために日影を通る必要がない、あるいは寒いため日向を好んで通行している人もいる可能性が示唆される。さらに秋期は夏期よりも太陽高度が低く、影が広がるため、日影を通りたくなくても寒さを我慢して通る可能性、全天日射量が 100~300W/m²程度の場合には日向と日影の差が小さいために、通過する場所が日向であるか日影であるかを意識していない可能性が考えられる。そのため、全天日射量の値が小さい場合に 60~70%の人は日向を通行し、全天日射量の増加に伴い日影通行率は指数関数状に上昇することが考えられる。SET*の値が小さい場合には日向を好んで通行する人もいる可能性から、SET*の増加に伴い日影通行率は放物線状に上昇すると考えられる。

(2) 日傘の使用 Fig.7(3)(4)より、夏期では全天日射量や SET*の増加に伴って日傘使用率が上昇する傾向がやや見られたものの相関は低い。日傘を日常的に使用する人は紫外線を防ぐ意識が高いため、日射量が低くてもより暑熱環境を緩和できる日傘の使用を心がけるためと考えられる。また夏実測中の SET*は約 40~50℃の範囲に分布していたが、Fig.8 より SET*が上記の範囲では常に体感温度が非常に高いため、日傘使用率に差が生じていない可能性もある。さらに SET*が約 50℃と非常に高い場合でも日傘使用者の割合は最大 40%程度であり、奈良女子大学の学生のうち 60%以上の人は酷暑中でも日傘を使用しないことが分かる。日傘を使わない人は日傘の持

Table.2 Summary of evaluation indexes for adaptive behavior by pedestrians in this study

Rate of passing through a shaded area(RPS) = $E/N \times 100$ N: Number of pedestrians E: Number of pedestrians passing through the shaded area
Rate of using a parasol(RUP) = $P_u/N \times 100$ P _u : Number of pedestrians putting a parasol up
Rate of passing the northern side of the courtyard shaded by trees(RPN) = $N_n/(N_n+N_s) \times 100$ N _n : Number of pedestrians passing the northern side of the courtyard (green shadow road) N _s : Number of pedestrians passing the southern side of the courtyard without the shade by trees
Rate of wearing a short-sleeve(RWS) = $S/N \times 100$ S: Number of people wearing short sleeves

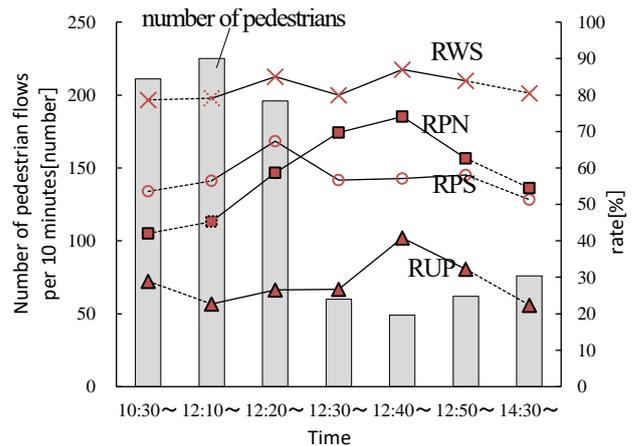


Fig.5 Time variations of number of behavior by pedestrians on July 25th

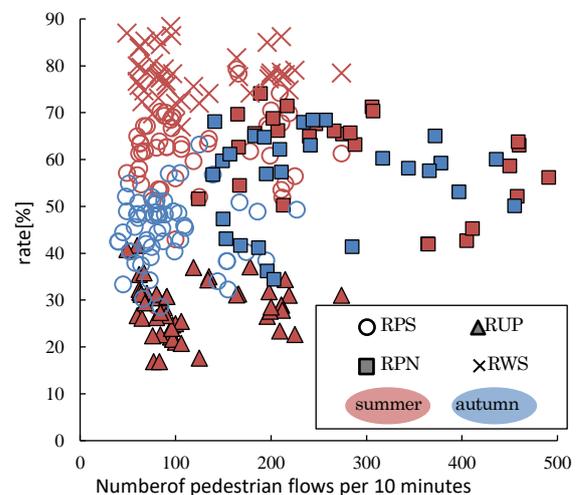


Fig.6 Correlation between number of walkers and adaptive behaviors

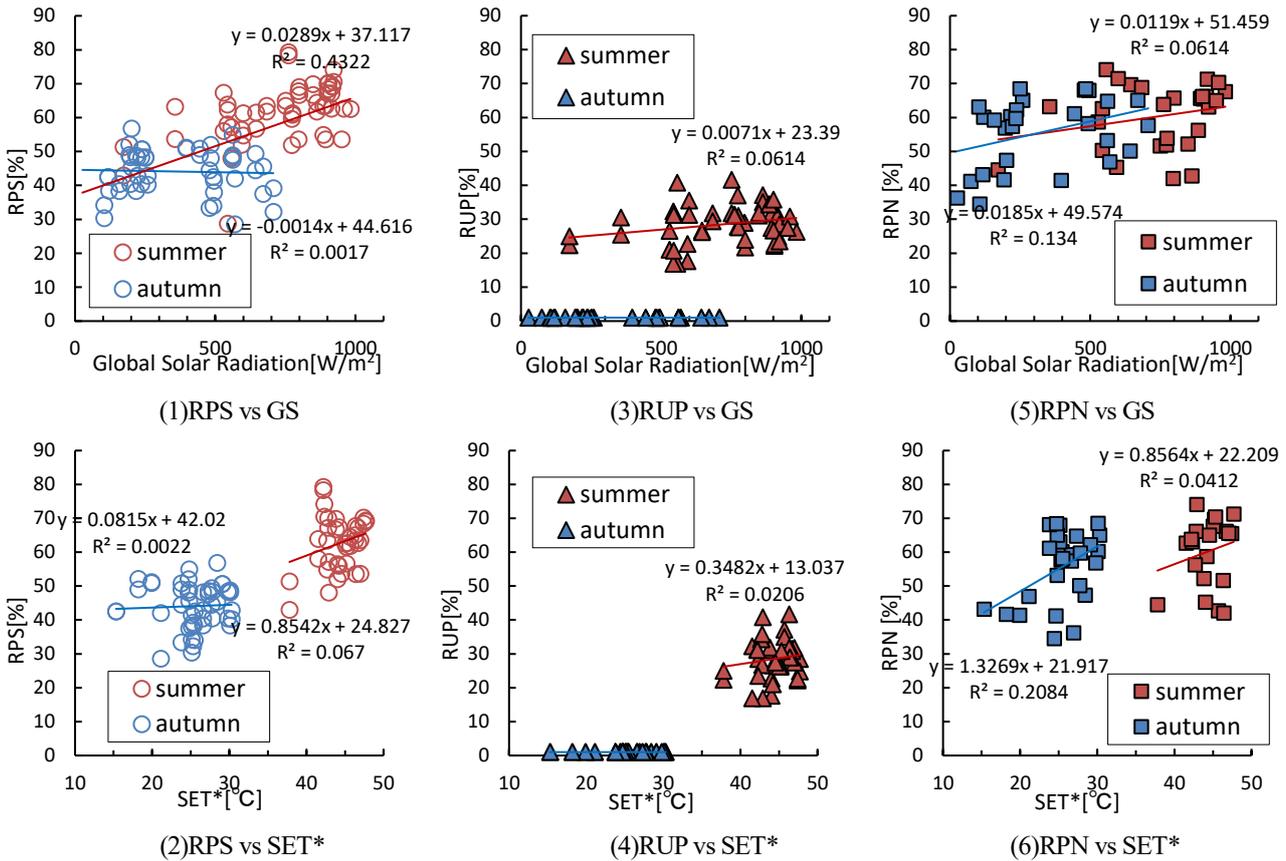


Fig.7 Relationship between thermal indices and incidence of adaptive behaviors

ち運びを面倒に感じたり、大学内での移動は最長5分程度であるため暑さを我慢したりしている可能性が考えられる。

(3) 日影の多い別経路への変更 Fig.7(5)(6)において、夏期と秋期の結果を比較した際に、北側通行率の分布している範囲は夏期の方がやや高い。つまり緑陰の多い中庭北側の道の通行率は秋期より夏期の方が高いため、温熱条件による経路変更も有りうる。しかし本報では「日影の多い別経路」とは中庭北側の道を差しており、中庭北側には学生会館があり昼休みの時間帯に利用者が増えるため、昼の時間帯には温熱環境が劣悪でない場合でも北側通行率は上昇することが懸念される。

なお、先述した様に本実測で得られた結果の相関係数 R^2 は研究当初の想定よりも低い結果となった。その要因の一つとして計測されたデータ数がまだ十分ではないこと、すなわち本研究で行った夏実測が稀に見る酷暑、秋実測は寒さを感じる晩秋であったため、これらの環境条件の中間にあたる環境条件下での計測データが含まれないことが考えられる。この点が今後の課題であることは明白であるが、本稿では現時点で得られた結果を基に整理した。

3.5 まとめと課題

1) 屋外温熱環境と適応行動の関係を考察する一例として温熱環境と歩行者の行動を実測した。

2) 温熱環境の悪化に伴った適応行動の増加を確認した。また全天日射量や SET^* が各適応行動に与える影響の程度は適応行動の種類によって異なった。

3) 夏期と秋期では、適応行動の傾向に差が見られることより、温熱環境の季節的な変化に伴って、生活者の日射に対する意識が変化すると考えられる。

4) 暑熱順化前(5月下旬~6月)と順化後(9月~10月)では行動の傾向が異なることが考えられる。今年度は天候等の都合で上記の日程の実測を行うことができなかったが、順化前後での検討の余地がある。

$SET^*(^{\circ}C)$	温冷感	快適感
40	非常に暑い	非常に不快
35	暑い	
30	暖かい	不快
25	やや暖かい	快適
20	— 快適 —	
15	やや涼しい	
10	涼しい	やや不快
5	寒い	不快
0	非常に寒い	

Fig.8 Correspondence between SET^* and thermal sensation

参考文献

1) 吉田伸治: 屋外歩行者の温熱生理特性と機能・空間心理特性を考慮した環境設計手法の開発(その1) 夏季屋外環境条件が歩行者の適応行動に与える影響の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, 431-434,

吹出気流からの移流と拡散に着目した室内温熱環境分布予測モデルの構築に関する研究

Development of a Prediction Model of Indoor Thermal Environment Distribution Focusing on Advection and Diffusion Heat Transfer from Outlet Airflow

○ZOU Sijia (立命館大学) 近本 智行 (立命館大学)
 李 明香 (立命館大学)
 Sijia ZOU*¹ Tomoyuki CHIKAMOTO*¹ Myonghyang LEE *¹
 *¹ Ritsumeikan University

To make task/ambient air-conditioning system (TAC) more efficiently, it's necessary to predict the air and temperature distribution in room precisely. In this paper, a prediction model of indoor thermal environment distribution was constructed by focusing on advection and diffusion heat transfer from outlet airflow. The results of accuracy validation of the proposed model by comparing with CFD simulation results would be shown in this paper. When the prediction model is not sufficiently accurate, a correction function is required to modify the estimated values. In summary, to create a simplicity prediction model which could make TAC more efficiently was the purpose of this study.

はじめに

近年、省エネ性と快適性を向上させる為に、室内の完全拡散を前提としない居住域空調が提案されている。しかし、室内の温熱環境に対する把握が不十分であることが原因で、過冷却や冷却不足などの問題点が発生してしまう。居住域空調が追求している省エネ性効率が低くなる上に、執務者に不快感を与え、作業効率まで影響を与えてしまう^{文1)}。これらの問題の解決案として、室内の温度・気流分布を正確に推定できる簡易な予測ツールの開発が進められている。

本研究は、室内における熱の動きや吹出し気流の気流場に着眼し、オフィス空間を対象とした簡易な温熱環境分布予測モデルの構築を行った。既報^{文2)}では、実際のオフィス空間を模擬した解析領域において、構築した予測モデルの実用性について精度検証を行った。しかし、吹出し気流の気流場を計算するモデルは斜め下向きの吹出し気流場を正確に予測できず、熱量計算も精度が低い結果となった。これらの結果を踏まえて、本研究では、解析領域を下向きに吹出すような空間に簡略化し、より基礎的な気流場で吹出し気流の計算モデルの精度検証を行う。また、計算モデルの精度が低い場合に対して、補正関数の構築について提案する。

1. 温熱環境予測モデルの概要

1.1 温熱環境予測モデルの構築

室内の温熱環境は、主に気流の動きによって運ばれる熱量(移流熱)と、空気の乱れによって運ばれる熱量(拡

散熱)に形成される。これらの熱は室内の気流の動きによる計算することができる。また、室内の気流分布は主に空調から吹出した気流によって決めることが多い。

そこで、本研究は図1に示した温熱環境予測モデルの提案を行った。吹出し気流の気流場を計算する一次噴流モデル(Primary Jet Model、以下PJMとする)に基づき、移流・拡散熱の計算モデルと組み合わせることによって、室内の温熱環境を予測する。

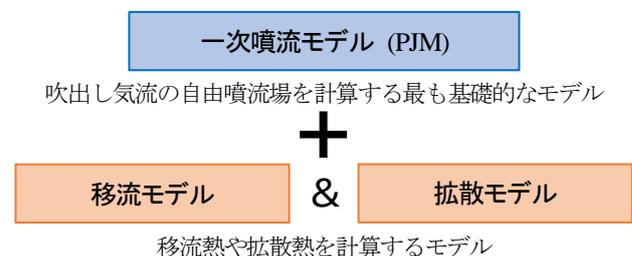


Fig.1 Outline of the prediction model proposed in this paper.

本温熱環境予測モデルの予測対象は、吹出口である程度で決定された単位空間とする。境界部はあくまで仮想境界で、この単位空間を連続させることで、様々な大きさの空間をシミュレートできると期待される。

1.2 一次噴流モデルの概要

自由噴流とは空間が十分に広く、周壁の影響を受けない時の吹出し口から乱流噴流のことである。A. Koestler^{文3)}が提案した一次噴流モデルはこのような吹出し気流の自由噴流場を計算する最も基礎的なモデルである。また、本研究で使われた吹出し口はグリッド型であるため、吹出し気流の自由噴流場は線源から二次元的に広が

る平面噴流となり、図2に示す。このような自由噴流を計算する一次噴流モデルは下の式で示す。

1) 吹き出し鉛直距離 Z における風速 V_Z :

$$\frac{V_Z}{V_0} = \sqrt{K \frac{H_0}{Z} \left[1 \pm 1.6 \frac{A_r}{\sqrt{K}} \left(\frac{Z}{H_0} \right)^{3/2} \right]^{1/3}} \quad (1)$$

2) 吹き出し鉛直距離 Z における風量 Q_Z :

$$\frac{Q_Z}{Q_0} = \sqrt{2} \frac{V_0}{V_Z} = \sqrt{\frac{2}{K} \frac{Z}{H_0}} \quad (2)$$

3) 吹き出し気流場の中心軸から距離 R における風速 V_R :

$$\frac{V_R}{V_Z} = \exp \left[-\frac{\pi}{2} \left(K \frac{R}{Z} \right)^2 \right] \quad (3)$$

V_0 : 吹き出し風速 [m/s] Q_0 : 吹き出し風量 [m³/s]
 H_0 : 吹き出し口幅(短辺) [m] K : 吹き出し口定数 (=4.3)
 g : 重力の加速度 (=9.8) [m/s²] A_r : アルキメデス数 (= $g\beta\Delta t_0 H_0 / V_0^2$)
 Z : 吹き出し口からの鉛直距離 [m] β : 気体熱膨張率 (=1/300) [1/°C]
 R : 吹き出し気流場の中心軸からの距離 [m]
 Δt_0 : 鉛直距離 Z における気流と吹き出し気流の温度差 [°C]

しかし、実際の室内気流分布では、吹き出し気流だけではなく、壁の近傍の壁面温度による温めた上昇流(下降流)など様々な気流が存在する。一次噴流モデルは吹き出し気流の気流場だけを計算するモデルのため、吹き出し気流以外の気流場の影響を考慮できない。従って、一次噴流モデルの吹き出し自由噴流場を予測する精度を検証する上に、吹き出し気流で室内全体の気流場を決めるといふ予測モデルの構築発想の可能性も検証するべきである。つまり、吹き出し気流は室内全体の気流分布をどのぐらい占めているか、どの程度で代表できるかを検証する必要がある。

2. 研究概要

2.1 研究手順

本研究では、まず、CFD を用いたシミュレーション結果と比較することによって一次噴流モデルの精度検証を行う。そして、精度検証の結果に基づき、移流モデルと拡散モデルの構築を行う。また、一次噴流モデルで室内全体の気流分布を十分に予測できない場合は、予測値を修正するための補正関数を構築する。

2.2 解析領域・解析ケース

本研究で構築した解析領域は図3に、解析領域の境界設定は表1に示している。これは吹き出し口を鉛直下向きに吹くように設定された最も基礎的な空間である。また、自由噴流を確保するため、吹き出し口は空間の中央部分に設置し、天井から 20 cm を離れている。

解析ケースを表2に示す。非等温解析ケースでは、オフィス空間における執務時と非執務時の人体や機器の発熱負荷を考慮し、床にそれぞれ 36W/m²、10W/m² の発熱量を与えた。

3. 一次噴流モデルの精度検証

3.1 検証項目

本研究では、解析領域を鉛直方向に 6 等分に分割する。

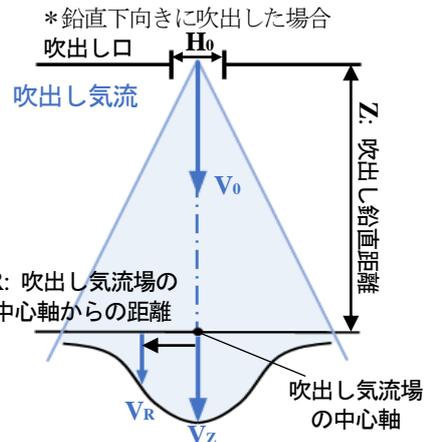


Fig.2 The free jet field of grid-type outlet when it blows out vertically.

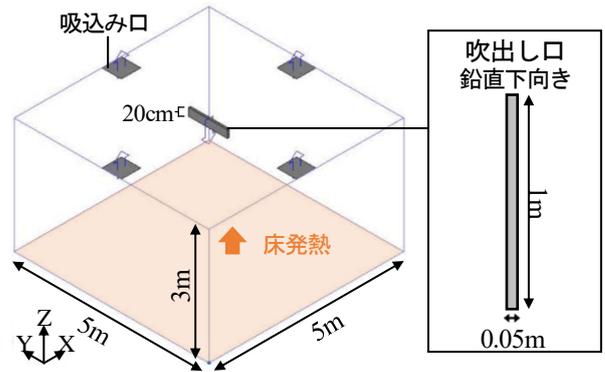


Fig.3 Analysis area built in this paper.

Table.1 Analysis conditions of CFD simulation.

解析領域	5.0m(X)×5.0m(Y)×3.0m(Z)
メッシュ数	約 2.1 百万メッシュ
乱流モデル	k-ε 乱流モデル
壁面境界	Zmax: 流入、流出条件 他の壁: フリースリップ
流入条件	吹き出し口 1 個: 0.05m(X)×1.0 m(Y) 流入量 = 540 [m³/h]
流出条件	吸込み口 4 個: 0.5m(X)×0.5m(Y) 流出量 = 135 [m³/h]×4
温度境界	吹き出し温度: 19 [°C] 床発熱: 36 [W/m²], 10 [W/m²]

Table.2 Analysis cases.

ケース	吹き出し条件 ^{注1)}	吹き出し温度	床発熱
Case A	$V_0 = 3.0$ [m/s]	等温解析	
Case B	$k_{in} = 0.045$ [m²/s²]	19 [°C]	36 [W/m²]
Case C	$\epsilon_{in} = 0.017$ [m²/s³]	19 [°C]	10 [W/m²]

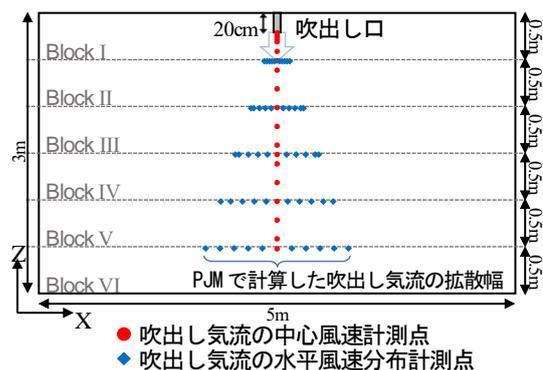


Fig.4 The measurement points of analysis items.

精度検証の際は、一次噴流モデルを用いて吹出し気流の風速分布と各ブロック層に通過した風量を算出し、その結果をCFDシミュレーション結果と比較する。

比較項目の計測点を図4に示す。水平風速分布の計測点について、まず、吹出し気流場が広がる最大幅を式(3)で算出する。そして、各ブロック層において、吹出し気流の中心から最大幅までの計11箇所の測定点を設けた。また、水平に広がった風速分布 V_R が中心風速の5%になった位置は吹出し気流の広がる最大幅と決定する。

3.2 精度検証結果

以下、CFDの解析結果の値をCFD解析値と呼び、PJMで計算した結果の値をPJM計算値と呼ぶ。また、鉛直下向きの風速は正とする。

(1) 吹出し気流の風速分布の結果

全てのケースにおいて、吹出し気流の中心風速をPJM計算値はCFD解析値より過小に予測したが、水平風速分布について精度が高い結果が得られた。本研究では、代表としてCaseAの結果のみ図5に示す。

(2) 各ブロック層に通過した風量の結果

風量の検証結果を図6に示す。主流風量とは一次噴流モデルで計算した吹出し気流の拡散最大幅範囲内の風量のことである。吹出し気流の主流風量について、PJM計算値はCFD解析値と比べ、精度高い結果が得られた。しかし、主流風量と各ブロック層における総風量の比較結果では、大きな差があると見られる。つまり、一次噴流モデルは吹出し気流の主流範囲まで予測できるが、二次噴流^{注2)}を含んだ室内全体の気流場を十分に予測できないことが確認された。しかし、室内総風量の値は温熱環境予測モデルの精度と大きな関係を持つため、吹出し気流から室内全体の総風量を計算するための風量補正モデルを考慮しなければならない。

4. 風量補正モデルの構築

4.1 風量補正モデルの構築

本研究は、空間の境界設定に着目し、空間の拡大や縮小による総風量の変化はある比例な関係を持つではないかという構築の発想が考えられた。この構築の実用可能性を検証するため、CaseAに基づき、XY軸方向に空間を拡大・縮小した9ケースを検討した。(表3)

4.2 構築の実用可能性を示した検証結果

空間の大きさによる総風量の変化について、全ケースで解析を行ったが、本研究では代表して3ケースのみ結果を図7に掲載する。総風量のCFD解析値とPJM計算値において、Case1では差が小さいが、Case5とCase8のように空間を拡大すると差が大きく見られた。このことから、空間を拡大するほど、吹出し気流以外の二次流による影響が大きくなり、室内全体の総風量が増加するこ

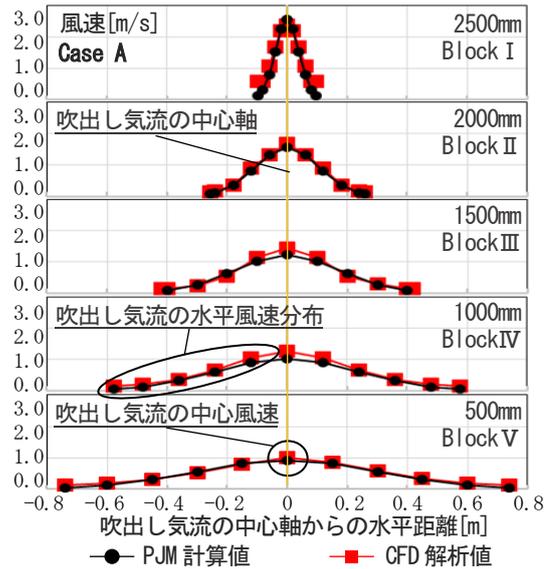


Fig.5 Validation results about velocity distribution of outlet airflow.

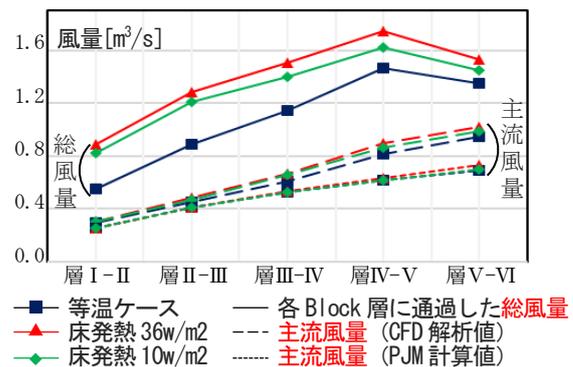


Fig.6 Validation results about volume of outlet airflow (Temperature).

Table.3 Analysis cases.

Case	解析領域 (X*Y*Z)
1	2.5m*2.5m*3.0m
2	2.6m*2.6m*3.0m
3	2.7m*2.7m*3.0m
4	3.0m*3.0m*3.0m
5	4.0m*4.0m*3.0m
A	5.0m*5.0m*3.0m
7	6.0m*6.0m*3.0m
8	7.0m*7.0m*3.0m
9	10.0m*10.0m*3.0m

Table.4 Data of A(x,1).

Case	A(x)[m²]	A(x,1)
1 基準	6.3	1.00
2	6.8	1.08
3	7.8	1.25
4	9.0	1.44
5	16.0	2.56
A	25.0	4.00
7	36.0	5.76
8	49.0	7.84
9	100.0	16.00

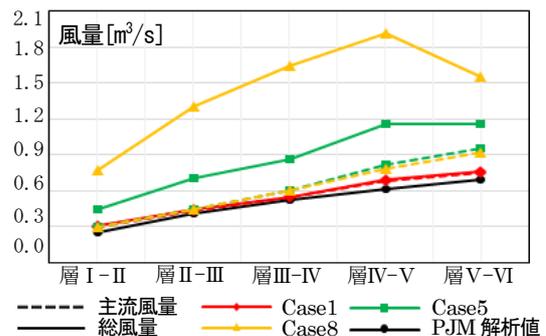


Fig.7 Validation results about volume of outlet airflow (Area).

とが考えられる。

また、二次噴流があまり発生しない(総風量と主流風量がほぼ一致した) Case1を基準ケースとして、空間を拡

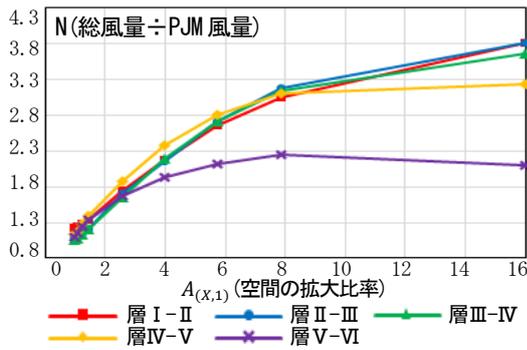


Fig.8 Change in total air volume due to expansion of space.

Table.5 Error of correction model.

Case	境界面	$A_{(X,1)}$	$Q_{(X,n)}$ [m³/s]	$Q_{(CFD)}$ [m³/s]	誤差
1	層 I-II	1.00	0.25	0.31	0.06
	層 II-III		0.41	0.45	0.04
	層 III-IV		0.52	0.55	0.03
	層 IV-V		0.61	0.69	0.08
	層 V-VI		0.69	0.75	0.06
4	層 I-II	1.44	0.34	0.33	-0.01
	層 II-III		0.56	0.50	-0.06
	層 III-IV		0.71	0.63	-0.09
	層 IV-V		0.84	0.85	0.01
	層 V-VI		0.95	0.93	-0.02
7	層 I-II	5.76	0.69	0.67	-0.02
	層 II-III		1.13	1.11	-0.01
	層 III-IV		1.43	1.42	-0.02
	層 IV-V		1.69	1.72	0.03
	層 V-VI		1.91	1.48	-0.43
9	層 I-II	16.00	0.95	0.95	0.01
	層 II-III		1.54	1.56	0.01
	層 III-IV		1.97	1.91	-0.06
	層 IV-V		2.32	1.99	-0.33
	層 V-VI		2.62	1.46	-1.16

大による総風量の変化の比例関係を検討するうちに、図8のような関係性が観察された。総風量の CFD 解析値と主流風量の PJM 計算値の比を N (総風量 ÷ PJM 風量) としたとき、全てのケースにおける空間の拡大による N 値の変化がほぼ一致する結果が得られた。また、床近傍の層 V-VI の境界面は他の境界面とは異なる結果となった原因は床面における衝突気流等の影響を大きく受けるためであると考えられる。つまり、周辺の影響を受ける床近傍の境界面を除き、空間の大きさと総風量の相変化関係から風量補正モデルを構築できる可能性があることが示された。

4.3 二次流量モデル

4.2 節の検証結果を踏まえて、空間の境界設定から風量補正モデルの構築発想の可能性が確認された。空間が拡大するほど、総風量が増加することから、対数関数の相変化傾向と同じであると考えられるため、下記のような補正モデル式を構築し、二次流量モデルと呼ぶ。

$$\frac{Q_{(X,n)}}{Q_{PJM(n)}} = \log A_{(X,1)} + 1 \quad (4)$$

$Q_{(X,n)}$: Case(X)での層 $n-1$ の境界面に通過する総風量[m³/s]
 $Q_{PJM(n)}$: 層 $n-1$ の境界面に通過する PJM 風量[m³/s]
 $A_{(X,1)}$: Case(X)でのブロック境界面積 $A_{(X)}$ と $A_{(1)}$ の比率
 $A_{(1)}$: 二次流が発生しない基準空間である。

この式は、基準空間から拡大した面積の倍率と PJM 風量から総風量を予測するものである。また、基準空間の決め条件として、吹出し気流の自由噴流が床面における拡散最大面積は床面積と同じである場合の空間とする。

4.4 二次流量モデルの精度検証

表5に室内二次流モデルの式で予測した総風量 CFD 解析値の比較を示す。全ケースで精度を検証したが、本研究では代表として4ケースのみ結果を掲載する。

CFD 解析値とモデル式で予測した風量の値の差を誤差として扱う。ほとんどのブロック境界面で誤差 0.1 m³/s 以下で高い精度が得られたが、床面に近い層 V-VI の境界面では誤差が大きくなった。また、空間を非常に拡大した Case9 では、層 IV-V の境界面で誤差が少し見られた。

5. 移流モデル・拡散モデル

二次流量モデルで求めた室内総風量を用いて、下記の熱量計算モデルによる室内温熱環境を予測する。また、拡散熱量を予測する際に、乱流レイノルズ数の計算も行う。

1) 移流熱計算式

$$\sum U_n \times C_p \rho \times (T - T_{ref}) \times A \quad (5)$$

2) 拡散熱計算式

$$\sum C_p \rho \frac{(v_t + v)}{\sigma_\theta} \times \frac{\Delta T}{\Delta s} \times A \quad (6)$$

3) 乱流レイノルズ式: Rt

$$Rt = k^2 / \nu \times \varepsilon \quad (7)$$

U_n : 平均風速[m/s] T : ブロック境界面平均温度[°C]
 T_{ref} : 吸込み温度[°C] A : ブロック境界面面積[m²]
 ν_t : 乱流拡散係数 (= 1.5×10^{-5})
 σ_θ : 乱流プラントル数 (= 0.9) Δs : 隣接するブロック中心点の距離[m]
 ε : 乱流消失率[m²/s³] k : 乱流エネルギー[m²/s²]

6. まとめ

本報では、一次噴流モデルと移流・拡散熱計算式で構成された室内温熱環境予測モデルの概要説明と、一次噴流モデルの精度検証を行った。また、精度が低い場合の補正モデルの構築を検討した。

- 一次噴流モデルは、吹出し気流の風速分布や主流風量を精度良く予測できた、吹出し気流は室内全体の気流場を代表できないことが確認された。
- 吹出し気流から室内総風量を予測する為、空間の大きさと総風量の関係性に着目した二次流量モデルの構築を提案した。床近傍の境界面に対する補正が対応できないため、今後、課題としてする必要がある。
- 今後、補正モデルが導入した熱量計算の検証を行う。

参考文献

文1) 戸河里敏(ほか): 「大空間の空調・熱環境設計手法の研究その1」日本建築学会計画系論文報告集, 427(0), 9-19, 1991
 文2) ZOUSjia (ほか): オフィス空間に利用可能な室内温度分布の予測モデル式の検討(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp.659-660, 2018年9月
 文3) 空調調和・衛生工学会: 空調調和・衛生工学便覧 第14版 空調調和設備編, pp.12-14, 2010
 注1) 吹出し乱流条件: $k_{in} = 1/2 (U_m/10)^2$, $\varepsilon_{in} = 0.09 L (k_{in})^{3/2}$
 k_{in} : 吹出し気流の乱流エネルギー[m²/s²]; ε_{in} : 吹出し気流の乱流消失率[m²/s³]; U_m : 初期風速[m/s]; L : 長さスケール(=吹出し口の短辺幅-0.05)[m]
 注2) 二次噴流: 本研究は室内の吹出し気流以外の上昇流などを二次噴流とする。

ブリーズラインを用いた暖房時窓近傍の熱環境制御に関する研究
(第1報) 自由場における吹出し気流の温度・風速の三次元分布

Study on Thermal Environmental Control Using the Breeze Line Diffuser Near the Window
During the Heating Period

(Part I) Three-Dimensional Distribution of Temperature and Wind Velocity of Outlet Air Flow
in Free Field

○盛 紹宇 (大阪大学)

山中 俊夫 (大阪大学)

小林 知広 (大阪大学)

袁 継輝 (大阪大学)

加藤 正宏 (鹿島技術研究所)

弓野 沙織 (鹿島技術研究所)

Shaoyu Sheng*¹

Toshio YAMANAKA*¹

Tomohiro KOBAYASHI*¹

Jihui YUAN*¹

Masahiro KATOH *²

Saori YUMINO *²

*¹ Osaka University *² KAJIMA Technical Research Institute

Space near the window is usually be complained about the temperature environment which is easily be affected by heat transfer and radiation. To improve the thermal comfort of perimeter zone, fan and breeze line diffuser is widely used though it is always designed by cooling usage. In this research, performance of breeze line diffuser is analyzed by heating usage. The diffuser is set up in a free field, temperature and wind velocity distribution in target space is measured and sort out the result by graph in section. Data collected in this experiment will be used to build the CFD model later which simulated the outlet air of breeze line diffuser.

1. はじめに

窓近傍の空間では、窓表面に発生する自然対流と放射の影響を受け、不均一な温熱環境となりやすく、熱的不快感が懸念される。それに対して、窓近傍環境を改善するため、インテリアとペリメータの空調システムを分け、ペリメータに負荷処理用の吹出口を設けることが多いが、制気口の選定は主にペリメータの冷房負荷処理を目的としてのみ行なわれ、暖房時上下温度差の緩和、コールドドラフトの防止などに関する検討が不足している。本研究では、ペリファンの末端として広範囲に用いられているブリーズライン型ディフューザの暖房時の窓近傍温熱環境を CFD により予測する手法の開発を行なうため、吹き出し気流の P.V 法やモーメントム法によるモデル化を目的として、その吹き出し気流性状の把握のため、本報では、ブリーズライン型ディフューザを自由場に設置し、等温及び暖房吹き出しの温度条件での吹き出し気流の温度と風速分布を実験で把握し、CFD の境界条件データ、精度検証の比較データを得たので報告するものである。

2. 実験概要

実験は 3m×3m の天井付き、自由場と見なせる大空間

を有する大阪大学内の実験室で行った。今回実験の対象としたシステム天井用のブリーズライン型ディフューザを Fig.1 に示す。

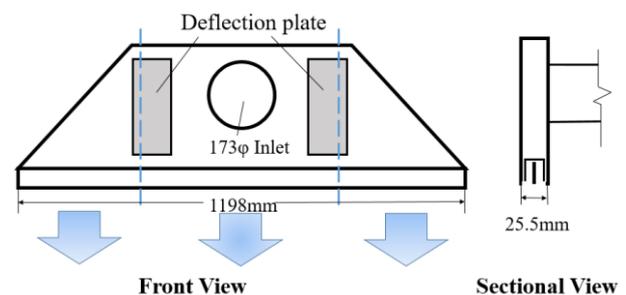


Fig.1 Detail view of the breeze line diffuser

Fig.2 のように、高さ 3m の天井の中心にディフューザを取り付け、ダクトファンとダクトヒータを用いて、温風を出す。吹き出し風量を把握、調整できるように、直管部に超音波流量計、吸込みの所に VD ダンパーを設置された。今回の実験では、ダクトは全部保温材付き、暖房吹き出し温度差 $\Delta 8^{\circ}\text{C}$ (吹出口と吸込口)、風量 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ の基準で、吹き出し面と対象空間の風速と温度分布を測定した。

3. 測定方法・条件

3.1 測定方法

(1) 吹き出し面の温度、風速測定

吹き出し面の長さ方向を三分割し、各分割面の中心位置に熱電対を固定、計3点の温度を連続測定する。吹き出し面の長さ方向を10cmごとで12点、幅方向三分割で3点、計36点でクリモマスターを用いて移動測定し、各点の60秒間平均風速を記録する。

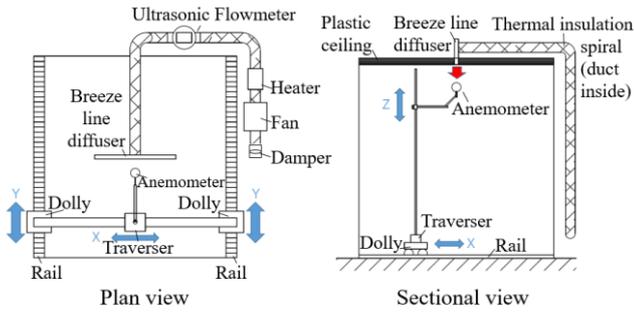


Fig.2 Overview of outlet and measurement system

(2) 対象空間の温度、風速測定

ディフューザ中心の真下の地面点を原点として、天井面に対して鉛直方向をz軸とし、平行な面をxy面として座標設定を行って、超音波風速計と熱電対で各測定点30秒間平均値を取って、空間全体のベクトル風速と温度分布を移動測定する。xy方向は電動トラバサとレールを用いて、z方向は手で先端にセンサーが付けたポールを移動する (Fig.2)。

測定は Fig.3 に示す、x方向11点 (中心と±0.2、0.4、0.6、1.0、1.5m)、y方向4点 (中心-0.2、0.2、0.4m) とz方向7点 (FL+0.6、1.1、1.7、2.2、2.5、2.7、2.9m)、計11×4×7=308点で行った。

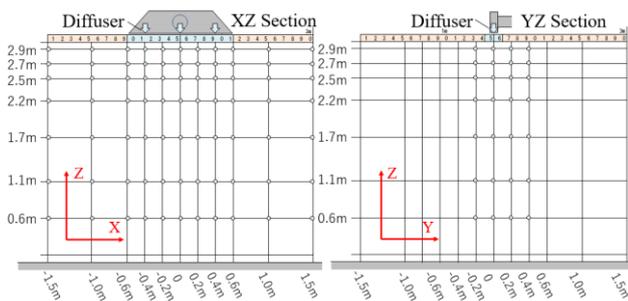


Fig.3 Overview of measurement point

(3) 吸込口、実験室の温度測定

吸込み温度はVDダンパーの中心に熱電対1点、実験室の温度は対象空間近傍の同じ場所高さ別 (0.1、0.6、1.1、1.7、2.2、2.5、2.7、2.9m) 熱電対8点で連続測定する。

3.2 測定条件

本実験では、 $\Delta 8^\circ\text{C}$ の温風を吹き出すケースとそれの比較としての等温吹き出すケース、二つのケースで行った。移動測定の前に、吹き出し面の風速分布 (10 cmごと、

60秒平均) を測定する。各ケースの移動測定と同時に、吹き出し温度と実験室の温度分布も連続測定した。そして、Fig.4より、実験過程中200 m³/hの風量と $\Delta 8^\circ\text{C}$ の温度差がよく保証した。Fig.5は吹出口面暖房時の風速分布を示す。全吹き出し面平均風速から計算した風量 (風速2.04m/s×面積0.0305 m²) は約223 m³/hで、200 m³/hの流量計測定値と概ね一致している。高さ別の室温変化はFig.6に示すように、測定時間中に変動しているため、移動測定値を補正する必要があると考えられる。

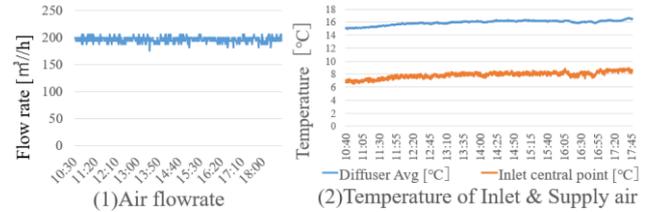


Fig.4 Air flowrate and inlet(Damper) & outlet(Diffuser) temperature during the measurement

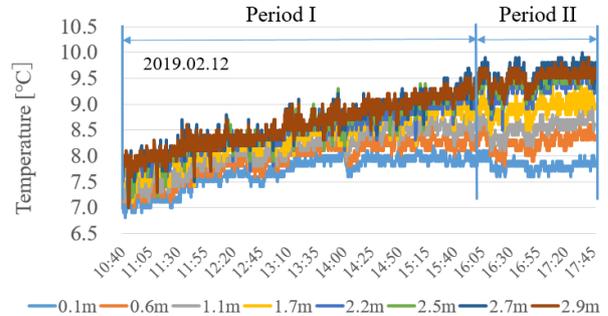


Fig.6 Temperature distribution in laboratory

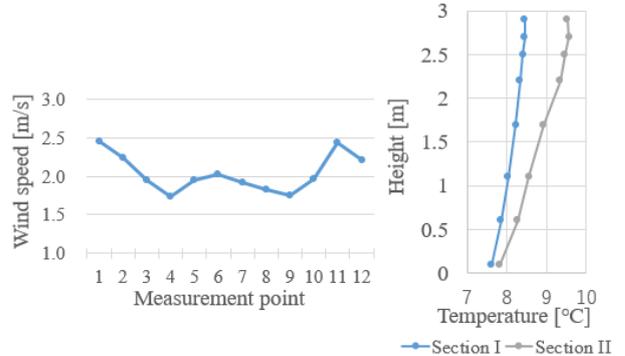


Fig.5 Diffuser's wind speed distribution (Heating condition)

Fig.7 Average temperature distribution in two section

3.3 温度変化補正方法

今回の移動測定はディフューザ近傍から地面への順番で、全測定点に8時間程度を要する。移動測定中の室内温度変化の影響を受け、温度測定の精度が懸念される。それに対し、実験室内温度変化測定の予備実験の結果より、Fig.6に示す一日中各高さの温度と鉛直方向温度分布変化が最も小さい時間帯 (10:30am~17:30pm) に実験を行った。この時間帯の中に10:30am~16:00pm (2.9m高さ~1.6m高さの測定) をPeriod I, 16:00pm~17:30pm (1.1mと0.6m高さの測定) をPeriod IIに分けて、各

Period の平均温度分布を計算した。Fig.6 と Fig.7 より、1.6m高さ以上の温度が均一的に上昇する一方、1.6m高さ以下の温度上昇速度がだんだん小さくなる。それに対し、今回の温度分布は16:00pm時の分布を基準として、1.6m高さ以上の測定は全部 Period I に済ませて、結果を測定時間と温度変化率で修正した。

温度変化率について、Period I に測定した各断面 (2.9m高さ~1.6m高さ) の温度上昇速度は均一と見られ、最大1.5°C上昇したが基準条件として、測定値を以下の式に代入して補正を行う。

$$\theta_p^* = \theta_p - \frac{t_{16} - t}{t_{16} - t_0} \times (\theta_{Pr16} - \theta_{Pr0})$$

- θ_p^* : corrected temperature at point P [°C]
- θ_{Pr} : the temperature of reference point at the same height as measurement point P [°C]
- t : elapsed time from the start of section I[s]
- 16: 16:00
- 0: start time of measurement

1.6m以下の測定点は Period II の時間帯に行い、温度変化が小さいため、補正しないとする。

4. 実験結果と分析

4.1 風速分布

各点のデータより、Fig.8 に示す断面を分け、風速分布図を作成した。X断面はディフューザの垂直方向、Y断面はディフューザの水平方向、0 はディフューザ中心を通過する意味である。

(1)Y面における風速分布

Fig.8より等温吹出しは0.25m/sの風速がディフューザの真下の床面近傍まで到達する一方、非等温吹出しは浮力の影響で、1.7m以下の居住域に風速が到達しづらい。また、气流速度はディフューザの長手方向の両端が大きく、中心が小さいの分布特性があって、Fig.5の吹出し面速度分布によるものとか考えられる。Fig.9の非等温吹出しケースのディフューザ近傍の气流広がり角度は等温のケースより大きいことも証明した。そして、非等温のケースの風向は非等温ケースのような下向きではなく、高さ1.5m以下の風向が不安定で、吹出し气流があまり到達しないが原因と見られる。

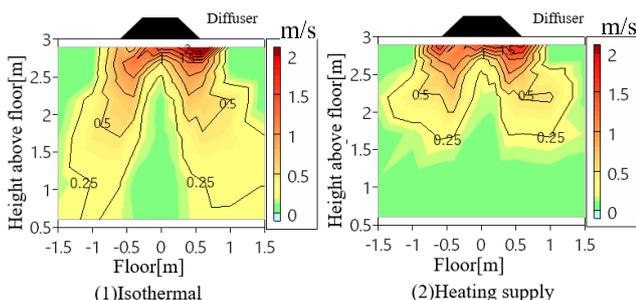


Fig.8 Scalar wind speed of section Y0

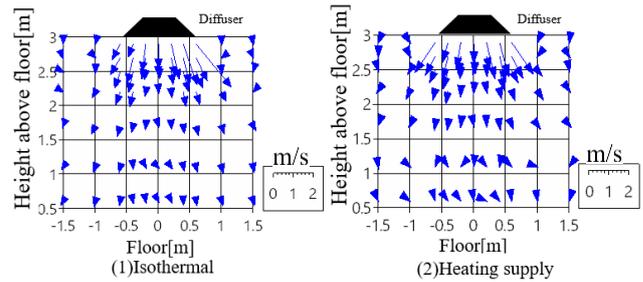


Fig.9 Vector velocity of section Y0

(2) X面における風速分布

Fig.10 と Fig.11 を比較すると、いずれのケースでも、ディフューザ両端の風速と到達範囲は中心部より大きく、気流は真下に行くことなく両方に広がる。暖房吹出しは浮力の影響で、広がっている程度が等温より大きい。等温吹出し気流は0.2m/s程度の風速がディフューザの真下だけでなく、長手水平方向0.4m離れた床面近傍まで到達した。それに対し、暖房吹出し気流は0.2mの幅、1.7m高さ以上の範囲しか影響があまりないが、2m高さ以上の気流拡散範囲が等温より広い。Fig.12 と Fig.13 より、等温と暖房吹出し両方ともX-1.0断面に0.2m/s以上速度の気流が到達したが、気流の高さ方向の分布に大きな違いがあった。ディフューザ中心から1.5mを離れた、断面X-1.5まで到達気流はあまりないことでわかる。

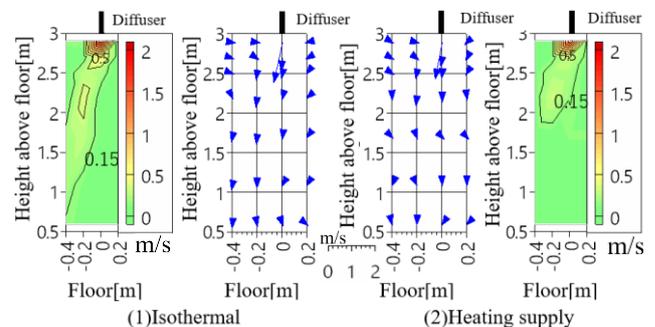


Fig.10 Velocity of section X0

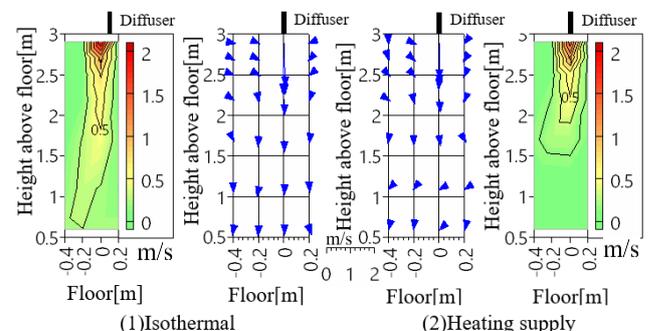


Fig.11 Velocity of section X-0.6

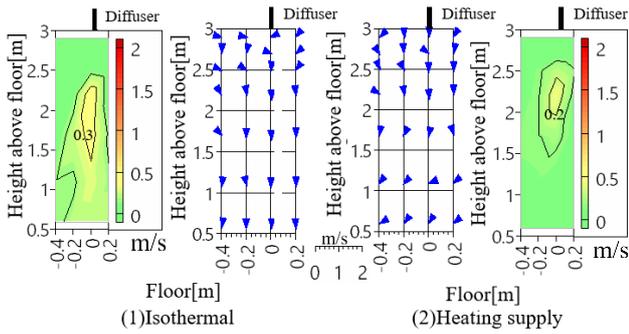


Fig.12 Velocity of section X-1.0

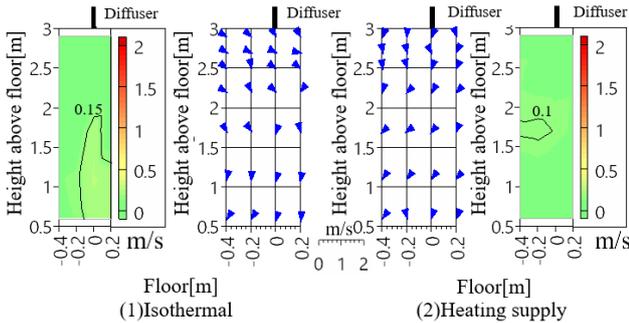


Fig.13 Velocity of section X-1.5

4.2 温度分布

(1) Y 面における温度分布

Fig.14 に示すように、等温吹出しは温度分布に与える影響がなく、吹出しなしの温度分布と同じである。それに対して、暖房吹出では上下温度差が形成されている。気流分布の影響で、ディフューザ両端の 10℃以上の温度分布区域は中心より広い。吹出し温度は吹出し面の 16℃ から 0.5m離れた位置まで急に約 11℃に低下するが、その後の変化は緩やかになり、1.7m高さでは約 10℃、居住域全体は約 8.5℃の温度であり、居住域で生じていると考えられる。

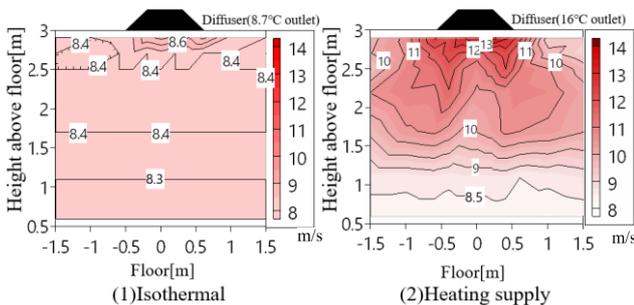


Fig.14 Temperature distribution of section YO

(2) X 面における温度分布

Fig.15 に X0、X-0.6、X-1.0、X-1.5 四つの断面の温度分布を示す。風速分布と似ているような、ディフューザ中心から離れた断面から見ると、Fig.15 に示すよう、ディフューザの長手方向の中心断面の高い温度面積は両端断面の面積より小さいことが分る。X0～X-1.0 の断面では約 2.2m高さの温度は上部の温度より高く、温風が中心

から横方向に拡散し、上昇していると考えられる。この影響は X-1.0 断面の中上部にも少しだけ見られ、気流分布の結果 (Fig.12- (2)) と合ってる。X-1.5 断面では、上昇気流はあまり見られない。約 11℃の温風気流は X-1.0 断面を通過したが、X-1.5 断面までは届かなかったといえる。しかし、顕著な高温気流が無くても、一番遠い断面 (X-1.5) まで、温度成層が見られ、1.7m高さ以下はディフューザの真下と同様の温度分布があるとみることができる。

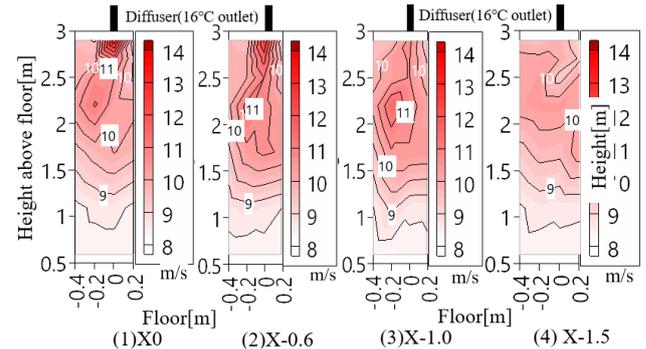


Fig.15 Temperature distribution of section X

5. まとめ

本論文では、システム天井用のブリーズライン型ディフューザを対象として、等温・非等温の 2 つのケースで吹出し近傍の風速・温度分布を詳細に測定した。また、吹出の長さ方向の風速分布を確認した。

暖房吹き出しのケースでは温度成層が生じた。吹出気流が到達する床面 1.7mまでは温度勾配が大きいが、居住域である床上 1.7m以下では勾配は緩やかであった。

等温のケースでは、風速 0.25m/s 以上の領域が床まで達した一方、暖房吹き出しのケースでは床上 1.7mまでとなり、吹出気流の到達距離に大きく違いが見られた。

次報では、同じ風量条件のまま、ディフューザ内のガイドの位置を調整し、吹出し面積を減らした状態で風速・温度分布を測定した結果を報告する予定である。

参考文献

- 1) 加藤正宏、弓野沙織、小林裕：暖房時窓近傍の温熱環境に関する基礎的検討(その4)窓面冷却時の温度・風速の詳細測定、日本建築学会論文集, pp257-258, 2017-07
- 2) 戸河里敏、早川真、荒井良伸：大空間・アトリウムの熱環境計画手法(その3)全面的にトップライトを有するアトリウムの熱環境の実測・解析、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, B-67, 昭和 63 年

日除けを利用した熱ストレス低減に関する基礎的研究 Fundamental Study on Heat Stress Reduction by Using Awning

○千種 成尚 (大阪府立大学)

中 拓真 (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)

Narihisa CHIGUSA*¹ Takuma NAKA*¹ Atsumasa YOSHIDA*¹ Shinichi KINOSHITA*¹

*¹ Osaka Prefecture University

In this study, we evaluated the heat stress under sunshine and awning using 2 node model as human body thermal model. Calculations were carried out under the sun and awning of various radiation characteristics. From this calculation result, heat stress under each condition was investigated. In addition, we investigated the influence of changes in temperature, relative humidity, and wind speed on the heat stress reduction effect of awning. To evaluate the heat stress in these calculations, we investigated the relation between the radiation characteristics of awning and the heat stress from the calculation result using the human thermal load.

1. 緒言

近年ではヒートアイランド現象が進行しており、都市空間の暑熱化が顕著である。都市空間における熱環境の悪化による健康被害が報告されている¹⁾。暑熱化に対する適応策の一つとして日除けの設置を取り上げることができる。日除けの設置により日除け下における日射量が減少し、人体が受けるふく射量が減少することで、熱ストレスが低減されると考えられる。本研究では、夏季の屋外空間を想定し、日除けのふく射特性と日除け下の人体への熱ストレスの軽減効果の関係を、人体熱モデルを用いた数値解析により検討する。気温、風速、湿度の周辺環境が熱ストレスの軽減効果に与える影響についても考察を行う。

2. 解析対象および解析方法

図1に示すように、日除けおよびその下に無限に広が

る空間に、人が立位安静状態で、長時間滞在する場合を対象とする。日射量、気温などの外部熱環境は時間的に一定とする。日除けによる人体熱ストレス低減効果を検討するため、同一の外部熱環境にある日向空間との比較を行う。人体熱モデルとして2-nodeモデル²⁾を採用し、熱ストレスとして人体熱負荷量(後述)による評価を行う。図1の S は日射量、 L は赤外放射量、 H は顕熱流束、 G は地中の熱伝導を表している。

日除け温度および地表面温度を求めるための基礎式を以下に示す。

$$\left\{ 1 - \rho_s - \frac{\tau_s(1 - \rho_G + \tau_s \rho_G)}{1 - \rho_s \rho_G} \right\} S_1 + \varepsilon_s L_1 + \varepsilon_s \varepsilon_G \sigma(T_G^4 - T_s^4) - \varepsilon_s \sigma T_s^4 = 2h_c(T_s - T_{air}) \quad (1)$$

$$\frac{\tau_s(1 - \rho_G)}{1 - \rho_s \rho_G} S_1 + \varepsilon_s \varepsilon_G \sigma(T_G^4 - T_s^4) = h_c(T_G - T_{air}) + G \quad (2)$$

$$(1 - \rho_G)S_1 + \varepsilon_G(L_1 - \varepsilon_G \sigma T_G^4) = h_c(T_G - T_{air}) + G \quad (3)$$

式(1)は日除け面の熱収支を表す。式(2), (3)はそれぞれ日除け下および日向の地表面の熱収支を表す。これらの式を満足する各表面温度を求める。日除け素材の厚みはなく、日射および赤外放射の授受が考慮される。日除け面および地表面は乾いた面とする。地表面の材料は木材(ウッドデッキ)とし、地表面下の厚さ50mmの温度を一定(=29.3°C)とする。

夏季の日中を想定し、全天日射量800W/m²、全天赤外放射量400W/m²、太陽高度57°とする。標準状態として、気温30°C、風速0.5m/s、相対湿度30%とする。ウツ

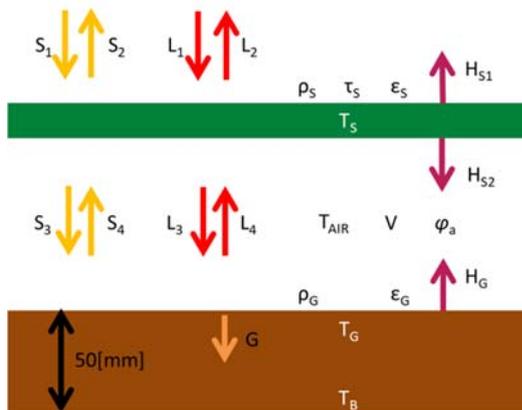


Fig.1 Calculation model of radiation environment.

ドデッキの熱伝導率は $0.081\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ とする. 対流熱伝達率は, ユルゲスの式 $h_c = 5.3 + 3.6v$ により計算した. v は風速[m/s]とする. 地面の日射反射率は 0.16, 赤外放射率は 0.88 とする.

上述で得られた表面温度, 日射および赤外ふく射の受熱量を人体熱モデルの 2-node モデルに代入し, 平均皮膚温, 深部温度, ぬれ面積率を求める. 平均放射温度 (MRT) は, 人体を直方体モデルとして扱い, 天空, 地表面, 日除けから人体へのふく射束 (日射および赤外ふく射) を各面で求めることにより算出される. 直方体モデルは高さ 1.2m, 横幅 0.4m, 奥行き 0.2m であり, 上面の位置が地表面から 1.8m となるよう設置する. 人体表面の日射反射率は 0.3, 赤外放射率は 0.98 とする.

人体熱モデルにより人体表面におけるふく射, 顕熱, 潜熱の各輸送成分 (熱流束) が最終的に得られる. 正味の熱流束に当たる人体熱負荷量³⁾を以下の式で求め, 熱ストレスとの評価指標として用いる.

$$F_{load} = M - W - R_{net} - C - E \quad (4)$$

ここで, R_{net} は正味ふく射量, C は顕熱損失量であり, 呼吸顕熱損失および皮膚からの顕熱損失を考慮している. また, E は潜熱損失量であり, 呼吸中に含まれる水分による潜熱損失, 不感蒸泄熱, 発汗による潜熱損失を考慮している. 代謝量 M は $80\text{W}/\text{m}^2$, 機械仕事量 W は 0 とする. 人体熱負荷量の値を用いて人体温冷感⁴⁾を求めた. 人体温冷感 PTS と人体熱負荷量 F_{load} との関係式を以下に示す.

$$PTS = 0.0146 \times F_{load} - 0.748 \quad (5)$$

3. 計算結果および考察

3.1 日除けのふく射特性の効果

気温 30°C における日除け下の人体熱負荷量に対する日除けの日射透過率および日射吸収率の影響を図 2 に示す. 横軸および縦軸はそれぞれ日除けの日射透過率および日射吸収率である. 日除けの日射透過率および吸収率が小さくなる, つまり日射反射率が高くなるほど人体熱負荷量が小さくなる. 一方, 日射反射率が低くなると人体熱負荷量が大きくなるが, その条件で日射透過率が高い場合と, 日射吸収率が高い場合とを比較すると, 前者の方が人体熱負荷量の増加に対する効果が大きいと考えられる. 日除けの日射透過率および日射吸収率について, それぞれ 0.2, 0.2 のときを Case a1, 0.7, 0.2 のときを Case a2, 0.2, 0.7 のときを Case a3 とし, Case a1 と Case a2 ならびに Case a1 と Case a3 のそれぞれにおける, 人体熱負荷量, 日除けからの透過日射, 日除けならびに地表面からの赤外放射の違いを図 3 に表す. それぞれを ΔF_{load} , ΔS , ΔL_s , ΔL_g とする. Case a1 と Case a3 の差から, 日射透過

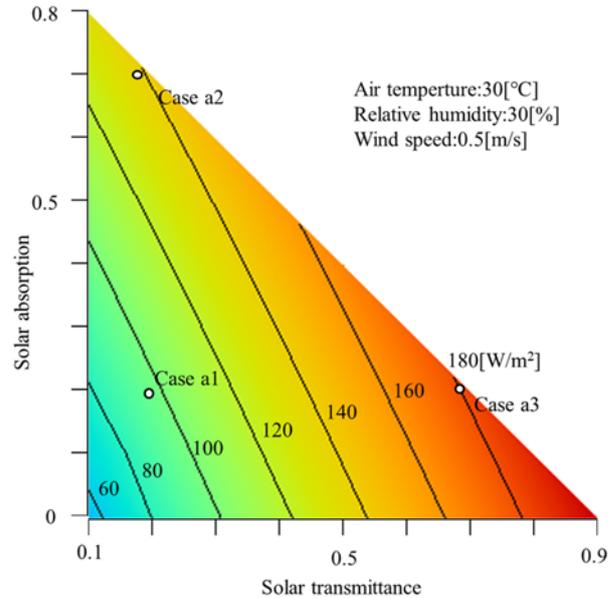


Fig.2 Effect solar transmittance and absorptance of awning on human thermal load.

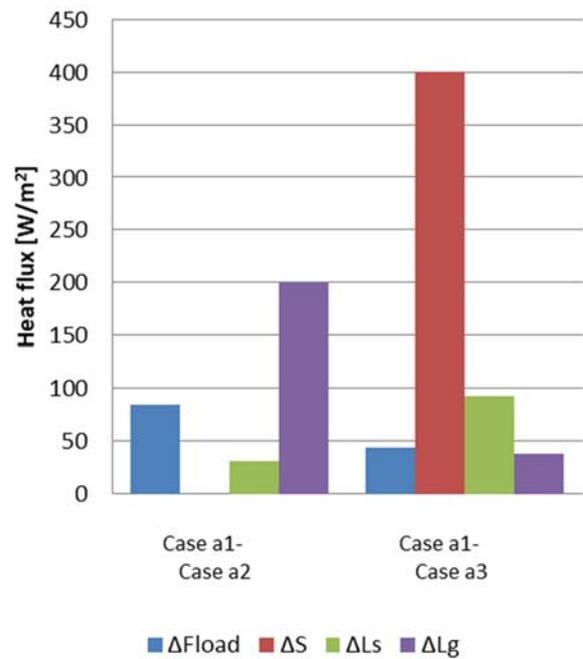


Fig.3 Difference of thermal load.

率が高くなることによる透過日射量の増加と, それに伴う地表面温度の上昇ならびに赤外放射量の増加が人体熱負荷量に及ぼす影響の方が, 日射吸収率が増加することによる人体熱負荷量への影響と比べて大きくなる事が分かる. なお, 気温 30°C での日射における人体熱負荷量は $170.4\text{W}/\text{m}^2$ となった. 図 4 は Case a1 に対する, Case a2 および Case a3 の人体温冷感の差を表しており, 透過日射が増加することによる温冷感への影響も大きくなる事が分かる.

3.2 外部環境の影響

日除け下の熱環境に関して、気温 30℃、風速 0.5m/s、相対湿度 30%を基本条件として、気温、相対湿度および風速の影響に関する解析を行った。日除けの日射透過率および日射反射率はそれぞれ 0.2、0.2 とした。

まず、気温のみを 25℃に変化させた場合の人体への熱ストレスに与える影響を評価し、気温 25℃の場合と 30℃の場合の日除けなしの日向と日除け下の比較を示す。Case b1 は気温 25℃日向、Case b2 は気温 25℃日除け下、Case b3 は気温 30℃日向、Case b4 は気温 30℃日除け下を

表している。

日向の条件での計算の結果、気温 25℃の日向における人体熱負荷量は 161.7W/m²、気温 30℃の日向では 170.4W/m² であり、気温が 5℃上昇したことによる日向での人体熱負荷量の増加は 8.7W/m² である。これに対して、日除け下における気温が 5℃上昇したことによる日除け下での人体熱負荷量の増加は 24.7W/m² で、気温が上昇することにより日除けの熱ストレス低減効果が減少すると考えられる。

次に、相対湿度のみ 10%および 50%に変化させた場合

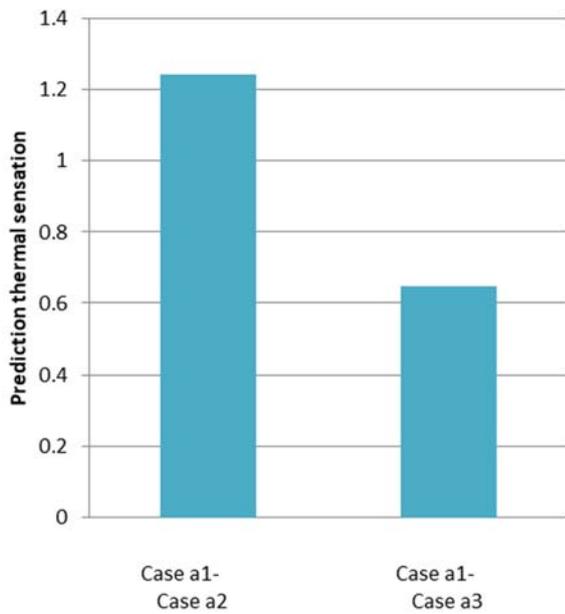


Fig.4 Difference of predicted thermal sensation.

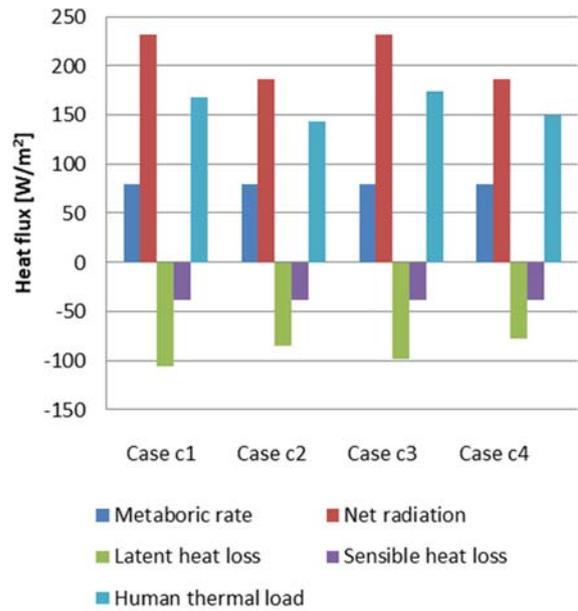


Fig.6 Effect of relative humidity.

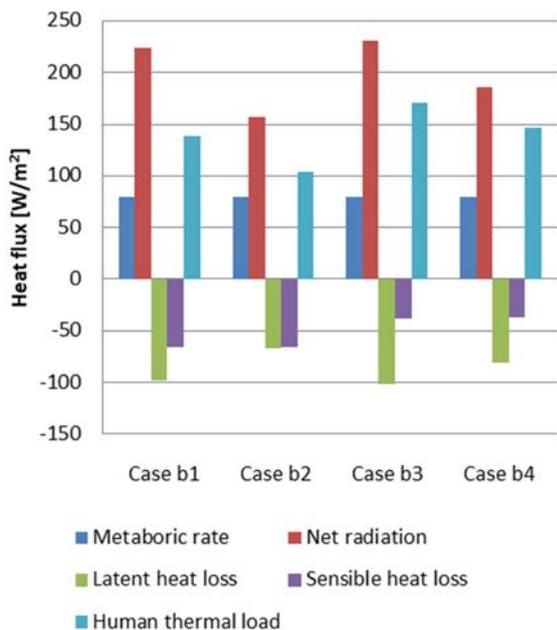


Fig.5 Effect of air temperature.

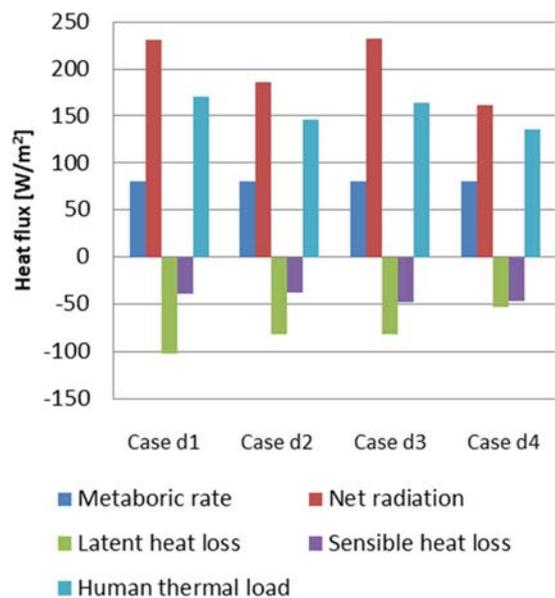


Fig.7 Effect of wind speed.

の比較をし、相対湿度の違いが人体への熱ストレスに与える影響を評価した。ここで Case c1 は相対湿度 10% 日向, Case c2 は相対湿度 10% 日除け下, Case c3 は相対湿度 50% 日向, Case c4 は相対湿度 50% 日除け下を表している。

相対湿度 10% の場合の日除けの熱ストレス低減効果は 23.6W/m^2 であったのに対し、相対湿度 50% では 23.8W/m^2 であった。このことから、相対湿度は日除けの熱ストレス低減効果には、この範囲において、大きな影響を与えないことがわかった。

最後に、風速のみ 1.0m/s に増加させた場合と基本状態とを比較することにより、風速変化が人体への熱ストレスに与える影響を評価した。ここで Case d1 は風速 0.5m/s 日向, Case d2 は風速 0.5m/s 日除け下, Case d3 は風速 0.5m/s 日向, Case d4 は風速 1.0m/s 日除け下を表している。

風速が 0.5m/s の場合の日除けの熱ストレス低減効果は 20.8W/m^2 であったのに対し、風速 1.0m/s の場合は 28.7W/m^2 であった。このことから、風速が上昇するにつれて熱ストレス低減効果は増加することがわかった。

4. 結言

- ・人体熱負荷量は日射透過率が増えれば増加し、日射反射率が増えれば減少する。
- ・日除けの日射透過率が高くなると、透過日射の増加と、それに伴う地表面温度の上昇ならびに地表面からの熱放射の増加によって、人体熱負荷量は増加、人体温冷感が暑い側に移動する。
- ・気温が上昇すると、日除けによる熱ストレス低減効果は減少する。
- ・相対湿度の変化は日除けの熱ストレス低減効果に大きな影響を与えない。
- ・風速が上昇することにより、日除けによる熱ストレス低減効果は増加する。

参考文献

- 1) 環境情報科学センター, 平成 17 年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書, 環境省, 2006
http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/reports.html (参照 2019-2-1-15:13).
- 2) 国立環境研究所, 温暖化に関するアンケート調査(平成 15 年度実施)
http://www.nies.go.jp/archiv-impact/jp_quest.html (参照 2019-2-1-15:13).
- 3) A. P. Gagge, J. A. J. Stolwijk, Y. Nishi ; "An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response", ASHRAE Transactions, 77, [1] (1971) 247-262.

4) 島崎康弘, 「人体熱収支に基づく人間温冷感覚を用いた屋外温熱環境評価」, 大阪府立大学博士論文, 2010.

建物外皮の日射反射特性が都市環境及び建物空調負荷に与える影響に関する研究
 (その1) 建物外皮の日射反射率が周辺気温及び建物空調負荷に及ぼす影響
 Study on Influence of Solar Radiation Reflective Characteristics of Building Envelopes on
 Urban Environment and Air-conditioning Heat Load of Buildings
 (Part1) Influence of Solar Reflectance of Building Envelopes on Ambient Air Temperature
 and Air-conditioning Heat Load of Buildings

○北風 晴都 (大阪大学) 袁 繼輝 (大阪大学)
 山中 俊夫 (大阪大学) 小林 知広 (大阪大学)
 永村 一雄 (大阪市立大学)
 Haruto KITAKAZE*¹ Jihui YUAN*¹ Toshio YAMANAKA*¹
 Tomohiro KOBAYASHI*¹ Kazuo EMURA*²
 *¹Osaka University *²Osaka City University

Recently, in order to mitigate the urban heat island phenomenon and reduce the building cooling heat load, it has been common to apply the highly reflective (HR) building envelopes to deal with this phenomenon. However, the application of HR envelopes has possibility of worsening the outdoor environment due to its diffusive reflection characteristic of solar radiation. It is lack for describing how much the HR envelopes will affect the outdoor thermal environment. Therefore, this study aims to report the influence of the solar reflectivity of building envelopes on outdoor thermal environment and indoor heat load by CFD analysis.

はじめに

近年、都市のヒートアイランド現象の緩和と建物冷房負荷削減のため建物外皮の高反射化が一般的となっている。しかし、建物外皮の高反射材の適用は、日射の反射により建物周辺の温熱環境を悪化させる可能性も懸念される。高反射外皮が屋外温熱環境にどれだけの影響を与えているのか記した研究は少ない。そこで本研究では、CFD解析により建物外皮の反射率が屋外温熱環境及び室内熱負荷に与える影響を報告する。

1 CFD 解析概要

1.1 解析対象

解析対象の建物は、大阪大学、吹田キャンパスの工学部棟の一部 (34.8°N,135.5°E) である。対象建物群の面積はS1棟,MI~M4棟を含むおよそ190m×170mで、建物群の高さは、およそ6m~30mである。

Table. 1 Analysis Condition

CFD code	STREAM V14(RC2)	
Turbulence model	Standard k-ε model	
Algorithm	SIMPLER	
Discretization Scheme	QUICK	
Area of CFD analysis	X(400m)×Y(400m)×Z(200m)	
Number of meshes	2,935,140 (212×195×71)	
Boundary Condition	Xmin	Fixed temperature, Power law (Exponent recipractal(n)=5)
	Xmax	Natural outflow boundary
	Ymin	Fixed temperature, Power law (Exponent recipractal(n)=5)
	Ymax	Fixed temperature, Natural outflow boundary
	Zmin	Fixed temperature, Free slip
	Zmax	Fixed temperature, Free slip
Heat transfer coefficient	$h_c=15.38[W/m^2K]$	
Solar condition	July 31 st , 12:00, in Osaka (73.4°, -4°) (ASHRAE2013 Handbook)	
Global solar radiation	930.5W/m ²	
Building indoor temperature	24°C	
Initial temperature of inflow	28.9°C(based on weather station database of Osaka, Japan)	
Wind speed	2.8m/s at 24m above the ground (based on weather station database of Osaka, Japan)	
Wind direction	Southwest	

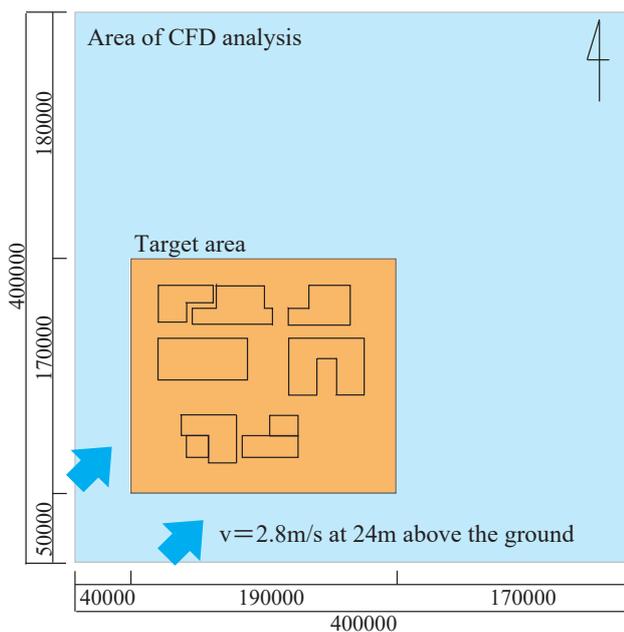


Fig. 1 Plan of CFD Model (buildings of Graduate school of Engineering of Osaka University Suita Campus)

1.2 解析条件

Fig.1 に CFD モデルの平面図、Table 1 に詳細な解析条件および境界条件を示す。解析領域は解析対象への周囲の影響を考慮して 400m×400m×200m とした。気象データは大阪の 7 月 31 日の気象台のデータの 30 年 (1981 ~ 2010 年) の平均値¹⁾ を使用した。ただし、日射条件のみは ASHRAE Handbook 2013 に基づいた大阪の日射量を使用した。熱境界条件について、解析領域は成り行き、空気と地面及び建物との対流熱伝達率 α_c は便宜上、以下のユルゲスの式 (屋外、粗面)²⁾ に風速 $v=2.8\text{m/s}$ を代入することにより算出し、 $15.38\text{W/m}^2\text{K}$ とした。

$$\alpha_c = 5.3 + 3.6v \quad (v \leq 5)$$

Fig.2 に本解析の概要図を示す。本解析では、建物の室内温度を 24°C 一様とし、建物外皮 (屋根・壁面) の日射反射率を変化させることにより、屋外温熱環境への影響の分析を試みた。

建物外皮の日射反射率 ρ は 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 をそれぞれ変化させ 5 ケースで解析を行った。

日射については直達日射、散乱日射の両方を考慮しており、日射が建物外皮及び地表面に当たると拡散反射するものとした。また建物外皮、地表面の長波長放射率については全て 0.9 に設定している。

地面については表面をアスファルト、内部を有機質土を用いて、地面深層部を 15°C とすることで模擬した。地面、壁面、屋根面についての詳細な物性値²⁾ については Table 2 に示す。

Fig.3 にそれぞれ (a)X-Y 面, (b)X-Z 面, (c)Y-Z 面のメッシュ図を示す。

2 結果と考察

2.1 周辺温熱環境

Fig.4 に日射反射率 0.5 の条件での地面から高さ 1.5m での (a) 風速コンター図、(b) 風速ベクトル図を示す。また Fig.5 に地面から 1.5m の高さの空気温度・WBGT (湿球黒球温度)・MRT (周壁平均放射温度) の水平分布・断面分布 (X=110m) を示す。いずれの日射反射率の条件でも風速・温度・WBGT・MRT 分布は概ね同様の分布であったため、日射反射率 0.5 での分布を掲載した。

ここで WBGT とは、熱中症を予防する目的で提案された指標であり、算出の際に必要な相対湿度は 70% (大阪の 7 月 31 日の気象台のデータの 30 年 (1981 ~ 2010 年) の平均値) を用いた。

風速と気温・WBGT の水平分布は比較的一致しており、風速が弱まっている建物の後流域で、空気温度・

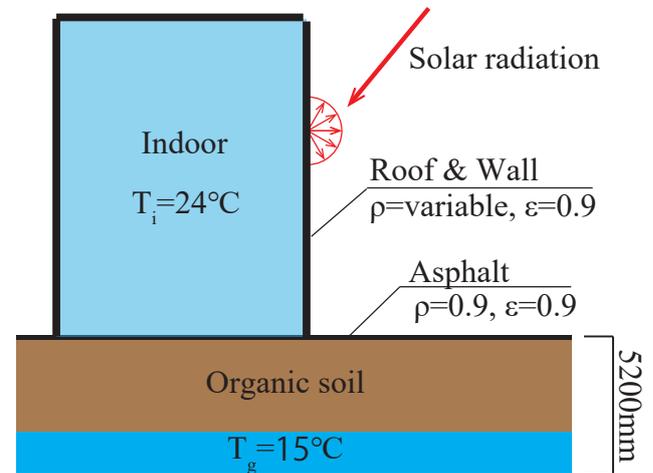


Fig. 2 Schematic Diagram of CFD Model

Table 2 Physical Property of CFD Model

Ground	d [mm]	λ [W/mK]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg · K]
Asphalt	200	0.74	2120	920
Organic soil	5000	0.70	1340	1700

Roof	d [mm]	λ [W/mK]	h_c [W/m ² K]
Outdoor	-	-	15.38
Vinyl chloride resin	3	0.16	-
Mortar	20	1.3	-
Concrete	300	1.2	-
Glass wool	15	0.051	-
Plywood	10	0.15	-
Indoor	-	-	6

Wall	d [mm]	λ [W/mK]	h_c [W/m ² K]
Outdoor	-	-	15.38
Mortar	20	1.3	-
Concrete	200	1.2	-
Insulation board	30	0.041	-
Plywood	10	0.15	-
Indoor	-	-	17

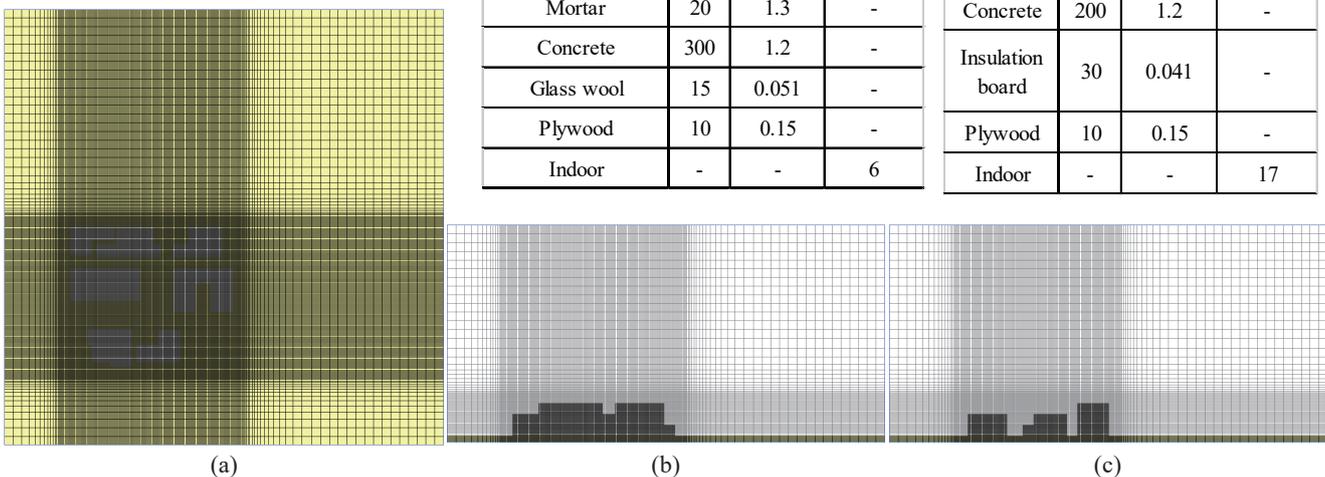


Fig. 3 View of (a) X-Y, (b) Y-Z and (c)X-Z planes in CFD simulation

WBGT ともに高い値となっていることがわかる。また、WBGT に関しては日陰部分以外は、危険とされる $31^{\circ}\text{C}^{4)}$ を超えていることがわかった。

空気温度分布に関しては、日陰部分が建物の交流域であることもあり、温度の低下は見られなかった。しかし WBGT の分布に関しては、日陰部分で温度が低下しており、日射の影響が大きいと考えられる。

次に断面分布に着目し隣棟間隔の違いによる空気温度・WBGT・MRT への影響を考察する。空気温度に関しては分布が一様になっており隣棟間隔の影響はないと考えられる。WBGT に関しても日陰となる建物北側は温度が低下しているが、隣棟間隔による影響はないと考

えられる。MRT に関しては、隣棟間隔の大きい中央建物南側では、非常に高くなっているのに対し、隣棟間隔の小さい中央建物北側では 7°C 程度の低下がみられる。そのため隣棟間隔が MRT に与える影響は大きいと考えられる。

日射反射率が温度・WBGT・MRT に与える影響を考察するため、各日射反射率条件でのそれぞれの平均値を算出し、Fig.6 に示す。ここでの平均値は Fig.1 の対象領域（黒枠）の地面高さ 1.5m での値を平均したものである。全ての日射反射条件において空気温度は 32.9°C で、WBGT は 32.7°C で概ね一定の値をとっているため、建物外皮の日射反射率が、空気温度と WBGT に与える影

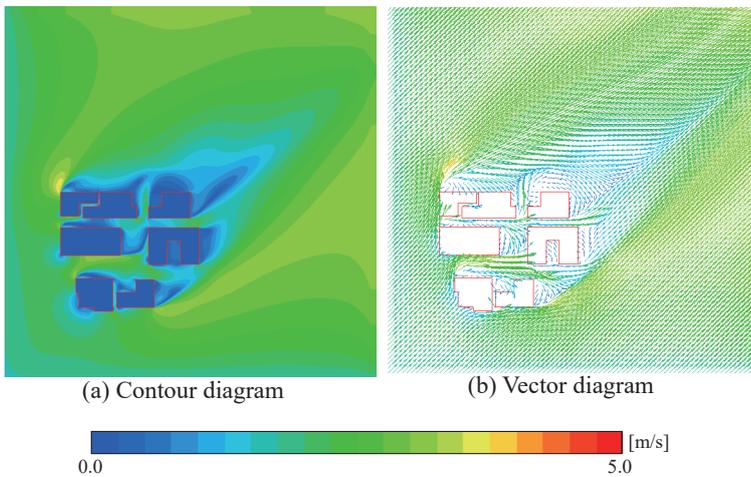


Fig. 4. Wind speed distribution of Horizontal section at 1.5m above the ground under solar reflectivity of 0.5

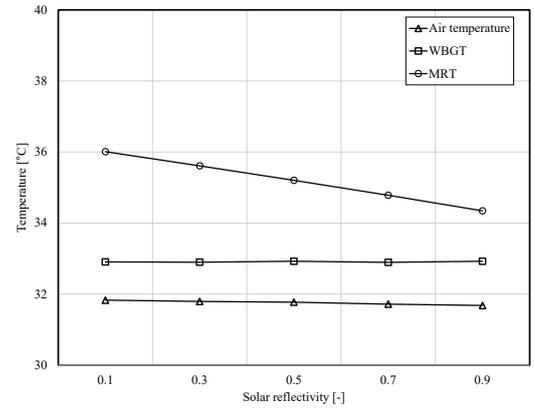


Fig. 6. Average air temperature, WBGT, and MRT distribution of under different solar reflectivity

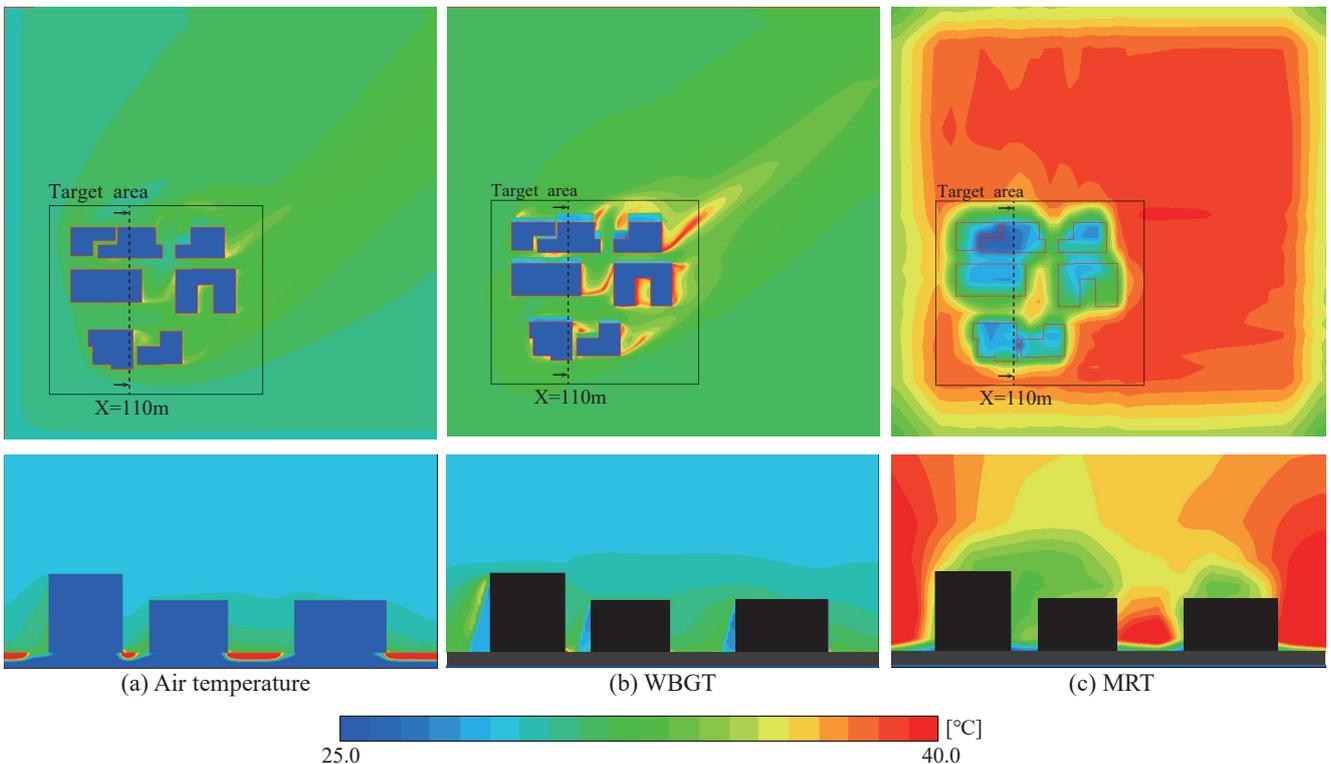


Fig. 5. Average outdoor air temperature and WBGT, MRT distribution of Horizontal section at 1.5m above the ground and cross section at X=110m under solar reflectivity of 0.5

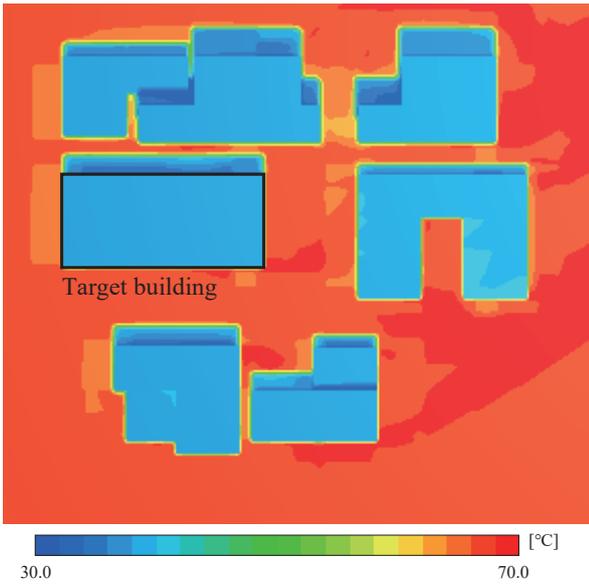


Fig. 7 Surface temperature distribution under solar reflectivity of 0.5

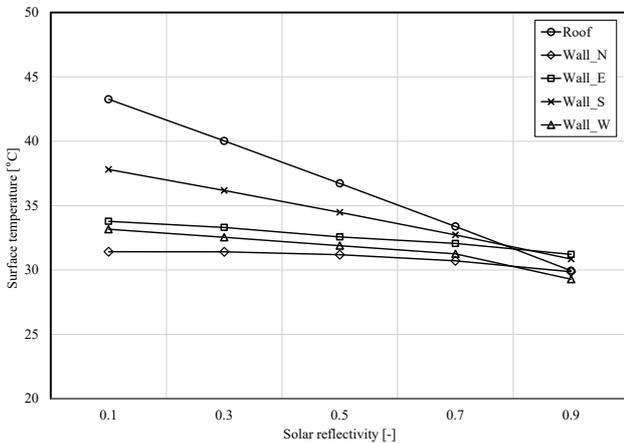


Fig. 8 Average surface temperature of target building under different solar reflectivity

響は小さいと考えられる。一方で MRT に関しては、日射反射率が 0.1 の条件に比べて、0.9 の条件では約 1.7°C 下がっている。そのため建物外皮の日射反射率が MRT に与える影響は大きいと考えられる。

Fig.7 に日射反射率 0.5 での表面温度の分布を示す。いずれの日射反射率の条件でも表面温度分布は概ね同様の分布であったため、日射反射率 0.5 での分布を掲載した。建物壁面・日陰部分の表面温度はおよそ 30°C ~ 45°C であった。また建物の後流域側で高温となっており、風速の影響も少し見られた。

Fig.8 に建物表面日射反射率と対象建物の平均表面温度を示す。ここでは、Fig.7 の対象建物（黒枠）の屋根面・東西南北の各壁面の表面温度を平均している。反射率の増加に伴い、表面温度の低下幅は屋根面が最も大きく、次いで南面が大きく、北・東・西面は比較的同様であった。

2.2 建物への熱流束

Fig.9 に各日射反射率条件での建物表面日射反射率と

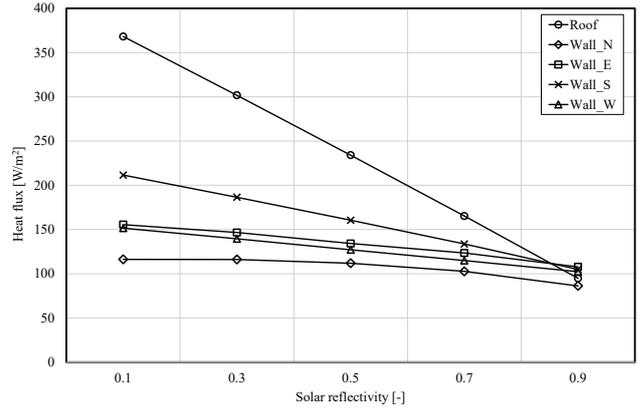


Fig. 9 Heat flux of of target building under different solar reflectivity

対象建物への平均熱流束の関係を示す。平均表面温度と概ね同様の傾向を示し、日射反射率の増加による表面温度の低下幅は屋根面が最も大きく、次いで南面が大きく、北・東・西面は比較的同様であった。従って、ピーク冷房負荷が予想される南中時高反射材の適用は建物屋根面と南壁面で特に効果的であることがわかった。

3 まとめ

本論文では以下の知見が得られた。

- ・風速が弱まる建物の後流域で、空気温度・WBGT ともに高い値となる。
- ・隣棟間隔が MRT に与える影響は大きい。
- ・建物外皮の日射反射率が MRT に与える影響は大きく、日射反射率が 0.1 の条件に比べて、0.9 では約 1.7°C の低下がみられた。
- ・反射率の増加に伴い、表面温度と熱流束の低下幅は屋根面が最も大きく、次いで南面が大きく、北・東・西面は比較的同様であった。
- ・ピーク冷房負荷が予想される南中時、高反射材の適用は建物屋根面と南壁面に効果的である。

今後は、実測を通してモデルの精度検証と精度向上を行い、異なる季節・時間帯での解析を通して日射反射特性が周辺温熱環境に与える影響を考察する所存である。

【参考文献】

- 1) 気象庁 HP:<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 2) 大学課程建築環境工学, 伊藤勝三・中村洋・櫻井美政・松本衛・檜崎正也 共著 (1978), オーム社, pp.157
- 3) Jihui Yuan et al: Proposal for optimum combination of reflectivity and insulation thickness of building exterior walls for annual thermal load in Japan, *Building and Environment* (2016), Vol.103, pp.228-237
- 4) 環境省の熱中症予防情報サイト : <http://www.wbgt.env.go.jp/>

PCM(潜熱蓄熱材)すだれを用いた防災用テントの熱環境改善に関する研究
—夏季、冬季における屋外の実大実験とシミュレーション—

Study on Improvement of Thermal Environment of Disaster Tent with PCM bamboo blind.
— Full scale experiment and simulation in outdoor at summer and winter—

○奥田 尚史 (大阪電通信大学)

添田 晴生 (大阪電通信大学)

Hisashi OKUDA*1 Haruo SOEDA*1

*1 Osaka Electro-Communication University

In this study, full scale experiment of tents were carried out in order to improvement of thermal environut of disaster tent. It was confirmed that the air temperature inside the tent with aluminum sheets is lower than the tent without aluminum sheets by 2.2°C in the daytime at summer. It was confirmed that the air temperature inside the tent with heat insulation is higher than the tent without heat insulation sheets by 2.1°C in the toward evening at winter. As a simulation result, it was found that the air temperature of tent is lower by 3°C in the daytime at summer and higher by 3°C in the toward evening at winter that MEPCM using of weight is 60kg .

1. はじめに

本研究では、地震などの災害発生後に安全とプライバシーを確保する為に使用される防災用テントの熱環境改善を目的としている。研究例として断熱材を用いた例^[1]があるが、我々は蓄熱密度の大きい PCM(潜熱蓄熱材)の利用方法に着目して研究を行っている。そこで防災時に使えるように収納の容易さ、持ち運び易さを考え、蓄熱ブラインドの研究^[2]を参考に日本に古くからあるすだれに注目し、マイクロカプセル(MEPCM)をすだれに充填した PCM すだれを製作した。この PCM すだれの熱的性能について調べることを目的としている。

これまでの報告において^{[3]~[5]}、屋内でテントを模擬した段ボールを用いて赤外線電球で加熱し PCM すだれの熱環境改善に関する実験を行い、「SCIENCE-Macro」^[6]を用いてシミュレーションでの再現を行った。また、自然環境での実験を行い、PCM すだれの熱的性能を確かめ、屋外のシミュレーションの検討を行った。その結果、昼間において PCM すだれの潜熱の吸収により、段ボールのみに比べて内部中心温度を最大 2.4°C 低く、夕方においては段ボールのみに比べて内部中心温度を最大 1.2°C 高く、1°C 以上高く維持する時間は 72 分間であった。一方シミュレーションにおいて、朝方から昼間にかけての PCM が融解している時間は、潜熱の吸収による温度上昇抑制が再現出来ていたが、昼間から夕方にかけての PCM が凝固している時間は、潜熱の放熱による温度下降抑制があまり再現できていなかった。

本報では、テントを用いた実大実験を行い、実大実験における PCM すだれの熱的性能を確かめ、実大実験を元に

シミュレーションを行う。

2. 実大実験条件



Fig. 1 Picture of experimental apparatus

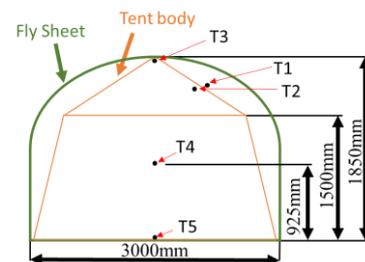


Fig. 2 Schematic diagrams of experimental apparatus

熊本地震の際にテント村で実際に使われたテントと同じモデルのテントを使用して実験を行った。Fig. 1 に実験装置の写真、Fig. 2 にテントの実験装置の概略を示す。

実験の方法として、テント(奥行 3000mm, 幅 3000mm, 高さ 1850mm)を 2 つ用意し、それぞれテント 1, 2 とした。T 型熱電対をテントの東側表面 T₁、東側裏面 T₂、内部上 T₃、内部中心 T₄、内部床面 T₅ に設置し、外気温、全天日射量

は大学内にある気象観測装置から取得している。テント設置場所は大阪電気通信大学寝屋川キャンパス D 号館屋上、A 号館屋上で、テントが他の設置物に日射が遮られないように設置をした。



Fig. 3 MEPCM, (Left) For summer, (Right) For winter

Table. 1 MEPCM characteristics

	Melting temp (°C)	Solidification temp (°C)	Latent heat (kJ/kg)
For summer	34~37	38~23	195
For winter	18~26	21~17	120

Fig. 3 に夏、冬季用 MEPCM の実物写真を示す。また、Table. 1 にそれぞれの MEPCM^[7]の融点、凝固点、潜熱量を示す。これらは DSC の測定結果を用いている。

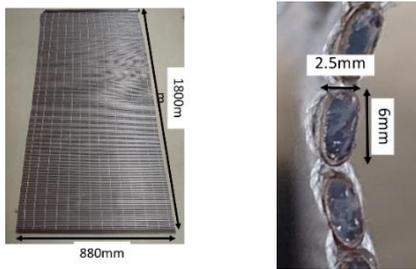


Fig. 4 PCM bamboo blind

Fig. 4 にプラスチック製のすだれに MEPCM を充填した PCM すだれを示す。すだれ 1 本の長さ 880mm、厚さ 2.5mm、幅 6mm であり、連なって全長 1800mm となっている。実験では夏、冬季共に床面以外の 4 面に 1 枚ずつ設置しており、計 4 枚用いている。1 枚当たりの夏季用の PCM 質量は約 0.87kg、冬季用の PCM 質量は約 1.6kg となっている。

Table. 2 Case study

	Tent1	Tent2
Case1	Aluminum sheet	—
Case2	Aluminum sheet+PCM	Aluminum sheet
Case3	Fly sheet	Fly sheet+Heat insulation
Case4	Fly sheet+Heat insulation	Fly sheet+Heat insulation+PCM

実験のケーススタディを Table. 2 に示す。夏季の Case 1 では、アルミシート(長さ 2130mm、幅 1370mm、厚さ 0.012mm)を 4 枚用いて、テントの床以外のシート面積の約半分を日射遮蔽することの検討を行い、Case 2 で夏季用 PCM すだれがどのくらい効果があるかを確認する。Case

3 は冬季を想定して、ニードルパンチカーペットを断熱材として用いて入口面、床面以外の 3 面の断熱を検討する。そして、Case 4 で冬季用 PCM すだれの効果を確認する。

3. 結果

3.1. Case1 (夏季、アルミシートの日射遮蔽の効果)

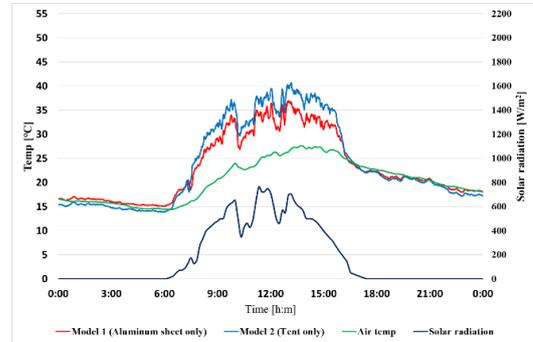


Fig. 5 Comparison of air temperature inside the tent with Aluminum sheet and without Aluminum sheet

2018 年 10 月 18 日に行ったテント 1(アルミシート)とテント 2(テントのみ)の内部中心温度を Fig. 5 に示す。テント 1 はアルミシートで日射遮蔽を行っているのでテントのみに比べて最大で 5.2°C、6 時から 18 時までの 12 時間は平均で 2.2°C 低くなっている。しかし、朝晩はテントのみに比べてアルミシートを取り付けた方が約 1°C 高くなっている。これは、アルミシートの放射率がテント表面より低いため、テント内部の熱が逃げにくくなっていると考えられる。この結果より、朝晩は温度が 1°C 上がってしまうが、昼間の効果が大きいので夏季においてアルミシートによる日射遮蔽は有効であると考えられる。

3.2. Case2 (夏季、PCM すだれの効果)

Case2 については実験を行った時期的な問題で、テントの内部温度、外気温共に夏季用 PCM の融解温度を大きく下回ったため、効果の確認が行えなかったためここでは省略する。

3.3. Case3 (冬季、断熱材の効果)

2019 年 2 月 5 日に行ったテント 1(フライシート+断熱材)とテント 2(フライシート)の内部中心温度を Fig. 6 に示す。朝から昼間にかけて断熱材を取り付けたテントはフライシートのみと比べて、内部中心温度が遅れてゆっくりと温度上昇していることが分かる。昼間 10 時~16 時はフライシートのみと比べて、断熱材を取り付けたテントの方が平均約 2.1°C 高くなっている。夕方の気温が下がる時間ではフライシートのみと比べて、断熱材を取り付けたテントの方がゆっくりと温度が下がっている。そのため大きな温度差が確認できる。しかし、朝晩の温度が変わっていない。原因として、この実験を行っている時は、

両テントの床面温度に差が生じていた。屋上に設置しているフライシートをみのテントが、下の部屋からの暖房の影響を受けた可能性が考えられた。その影響で、夜間は同じ温度になったと考えられる。

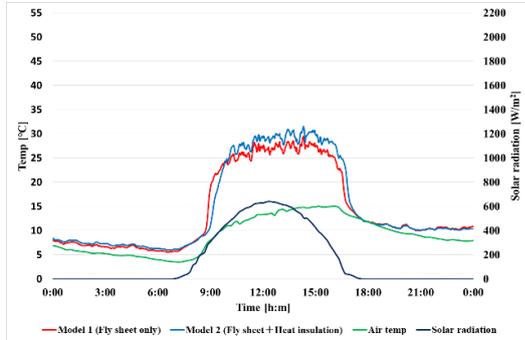


Fig. 6 Comparison of air temperature inside the tent without Heat insulation and with Heat insulation

3.4. Case4 (冬季、PCM すだれの効果)

Case4 については、PCM すだれを用いて冬季の実験を行ったが、PCM すだれの効果を検証できる実験条件が整わなかったため、ここでは省略する。

4. 数値シミュレーション

PCMすだれを用いた実大実験をシミュレーションで再現するために、熱負荷計算コード「SCIENCE-Macro」^[6]を用いた。本コードはCFDを用いた室内熱気流環境解析コード「SCIENCE」の気流計算部のみを省略し、各室毎に1点の温度で代表させて計算を行う。さらに、PCMの融解、凝固を考慮した熱伝導計算を組み込んでおり、計算の詳細は文献^[7]に示している。体積固相率 f を用いるものとし、融解・凝固を考慮した一次元非定常熱伝導方程式は式(1)のように表される。

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \rho L_a \frac{\partial f}{\partial t} \quad \dots(1)$$

5. シミュレーション条件

次に、熱負荷計算コード「SCIENCE-Macro」を用いて、実大実験をシミュレーションで再現する。実際のテントのような特殊な形を再現することが困難であるため、実際のテント体積が同じになるようにシミュレーションモデルは立方体として扱うことにした。テント内の3次元空間に対して、5×5×5分割でメッシュを切り、気流解析を省略して、テント内一点の温度で代表させた。放射解析メッシュについても5×5×5分割とした。また、テント、その表面にPCMすだれ、さらにはテント下にある地面は、1次元方向のみの熱伝導現象を扱い、初期温度ならびに、テントの境界条件である気温はそれぞれ気象観測装置の

外気温を用いた。0.125mm厚のテントシートに関しては熱収支に異常が起きたので、1.25mmとして1次元方向に3分割とした。壁の厚みを変更することについて元の壁の熱抵抗値が 5.43×10^{-4} から 5.43×10^{-3} になるが、自然対流の対流熱伝達率が $2W/(m^2 \cdot K)$ 程度と小さく、対流熱伝達抵抗が $0.5(m^2K)/W$ と大きいため、無視することができる。屋上の地面は厚さ300mmのコンクリートスラブとし、スラブ境界温度を外気温として、熱伝導計算を行った。また、実験値を元にシミュレーションを行い、室温が一致するように日射吸収率を求めた結果、テントのみの場合の日射吸収率は0.67、アルミシートを取り付けた場合の日射吸収率は0.35となった。また、放射率については、テントシートは0.9、アルミシートは0.1として、アルミシートの面積比率からアルミシートを用いた場合の平均放射率は0.48とした。また、大気放射を考慮して計算を行っている。全日射量は実験値から天空日射、直達日射に分離した値を用いた。

各材質の熱物性値はTable. 3に示した値を用いた。また、夏、冬季のMEPCMの融解凝固開始終了温度は、Table. 1に示したものとし、冬季用の密度、熱容量、熱伝導率は測定を行っていないので、夏季用と同様とした。PCMすだれ4枚分のシミュレーションではPCM質量は夏、冬季用共に冬季に用いたPCMすだれの質量に合わせて6.4kgとした。

ケーススタディとして、Case1は夏季の2018年8月4日の気象データを用いて、PCMすだれのシミュレーションを行った。Case2は冬季の2018年12月25日の気象データを用いて、PCMすだれのシミュレーションを行った。

Table. 3 Thermal Properties

	Unit	Tent	Concrete	MEPCM
Density	[kg/m ³]	1600	2200	795
Specific heat	[kJ/kg·K]	1.33	0.86	2.24
Thermal conductivity	[W/m·K]	0.23	1.7	0.175

6. シミュレーション結果

6.1. 夏季のPCMすだれの効果(2018/8/4)

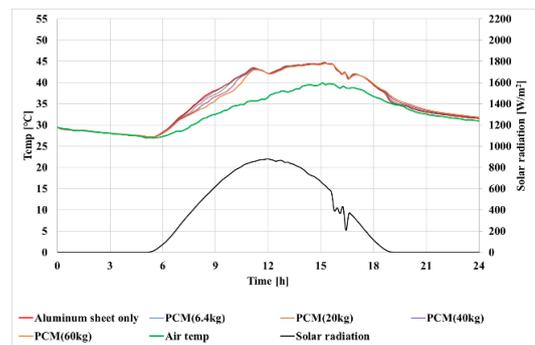


Fig. 7 Air temperature inside the tent with PCM bamboo blind (For summer) 2018/8/4

テントにアルミシートのみをかけた場合とアルミシート+PCM すだれ(PCM 質量 6.4kg)をかけた場合のシミュレーションを行い、さらに PCM 質量を 20kg、40kg、60kg と変化させた。テント内部中心温度の結果を Fig. 7 に示す。PCM の質量を増やすと潜熱吸熱、放熱の効果がみられることが分かる。アルミシートのみと比べて、昼間に約 1°C 温度を下げるのに必要な PCM 質量は 20kg であり、60kg まで入れるとようやく約 3°C 下がることを確認した。

6.2. 冬季の PCM すだれの効果(2018/12/25)

テントのみと PCM すだれ 4 枚分(6.4kg)、20kg、40kg、60kg の内部中心温度シミュレーション結果を Fig. 8 に示す。結果から、PCM の質量を増やすと潜熱吸熱、放熱の効果が大きくなることを確認できた。フライシートのみと比べて、夕方に約 1°C 温度を上げるのに必要な PCM 質量は 10kg であり、PCM を 60kg まで用いることでテントのみと比べて、ようやく約 3°C 高くなることを確認した。

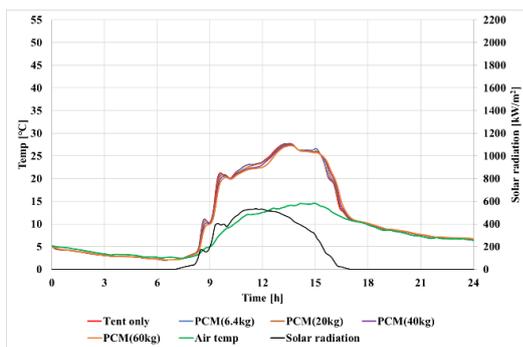


Fig. 8 Air temperature inside the tent with PCM bamboo blind
 (For winter) 2018/12/25

7. まとめ

本報では、防災用テントの熱環境改善を目的としてテントを用いた実大実験を行い、シミュレーションを行った。夏季における検討としてアルミシートを用いて日射遮蔽を行い、さらにそこに PCM すだれを用いた実験を行った。一方、冬季における検討として、パンチカーペットを断熱材として断熱実験を行い、さらに PCM すだれを用いた実験を行った。また、その実験結果を用いてシミュレーションを行った。以下に得られた知見を示す。

(実大実験)

- ・アルミシートによる日射遮蔽を行うことで、テント室温が最大で 5.2°C、平均で 2.2°C 低くなることを確認した。
- ・断熱材としてパンチカーペットをテントに覆いかぶせることにより、昼間のテント室温が平均約 2.1°C 高くなることを確認した。

(シミュレーション)

- ・夏季は夏用 PCM すだれを用いた場合、昼間のテント室温を約 1°C 温度を下げるのに必要な PCM 質量は

20kg であり、60kg まで入れると PCM すだれを用いない場合に比べて、ようやく約 3°C 下がることを確認した。

- ・冬季は冬用 PCM すだれを用いた場合、夕方のテント室温を約 1°C 温度を上げるのに必要な PCM 質量は 10kg であり、PCM を 60kg まで用いることで PCM すだれを用いない場合に比べて、ようやく約 3°C 高くなることを確認した。

今後としては、実大実験の Case 4 では実験条件が整わなかったため省略したが、PCM の潜熱らしき効果が一部確認できた。そのため、時期的な問題などで確認することのできなかった PCM すだれの実験を行い、シミュレーションが妥当であるか検証することが望まれる。また、PCM すだれの新たな利用方法を見つけていきたい。

謝辞

冬季用 PCM すだれに使用したマイクロカプセル PCM を提供頂いた JSR 株式会社に心から感謝申し上げます。

参考文献

- [1] P. Manfield, Modelling of a Cold Climate Emergency Shelter: Prototype and Comparison with the United Nations Winter Tent, Martin Centre, Cambridge, 2000.
- [2] 草間友花, 石戸裕二, ほか: 潜熱蓄熱材を適用した蓄熱ブラインドによる日射利用空調システムに関する研究第 2 報, 空気調和・衛生工学会論文集, No.224, pp1-8, 2015.11
- [3] 奥田尚史, 添田晴生, PCM(潜熱蓄熱材)すだれを用いた防災用テントの熱環境改善に関する研究—模型実験による基礎的検討—, 第 46 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-74, 2016.3.15
- [4] 奥田尚史, 添田晴生, PCM(潜熱蓄熱材)すだれを用いた防災用テントの熱環境改善に関する研究—模型実験とシミュレーションの比較—, 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会講演論文集, C-69, 2017.9.15
- [5] 奥田尚史, 添田晴生: PCM(潜熱蓄熱材)すだれを用いた防災用テントの熱環境改善に関する研究—夏季における屋外の模型実験とシミュレーションの比較—, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会, A-39, 2018.3.13
- [6] 添田晴生, 鳴海大典, 羽原宏美: CFD 簡略化による熱負荷計算の精度向上に関する検討 第 1 報—SCIENCE-Macro の概要と SMASH との比較, 空気調和・衛生工学会論文集, No.183, pp.67-75, 2012-6
- [7] 葛木大輔, 添田晴生: マイクロカプセル潜熱蓄熱材 (MEPCM) を用いた複合材料の非定常熱伝導—実験と数値計算との比較—, 日本機械学会 第 19 回環境工学総合シンポジウム 2009 講演論文集, pp.463-466, 2009