

実態調査に基づく事務用途室の外皮性能が室内空気環境に与える影響に関する分析

外皮性能 パリメータ 衛生管理基準 事務所 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 建築環境工学研究室 実測 室内空気環境 1180075 笹岡俊介 指導教員：田島昌樹

1 はじめに

近年、建築物衛生法による特定建築物を対象とした空気環境の定期測定において衛生管理基準<sup>[1]</sup>を満たしていない割合(以下、不適合割合)が増加傾向にあり、特に事務所ではその傾向が顕著である<sup>[2]</sup>。事務所は特定建築物の使用用途として最も高い割合を占めており、その多くが延べ面積 5000 m<sup>2</sup>未満の中小規模建築物に含まれる。中小規模事務所について山口ら<sup>[3][4][5]</sup>は延べ面積の小さい事務所ほど床面積あたりの窓面積(以下、開口部比率)と、パリメータ面積(以下、パリメータ比率)が大きくなり、外皮からの熱負荷が室内の温熱環境に大きな影響をもつ傾向にあることを明らかにしている。また室内空気環境と外皮性能との分析には CFD 等の数値計算が用いられることもあるが、複数の事務所を対象とした測定から室内空気環境と外皮性能を分析した事例は少ない。

以上のことから、本研究では事務用途室を対象として実態調査を実施し、外皮性能と室内空気環境の関係について分析することを目的とする。

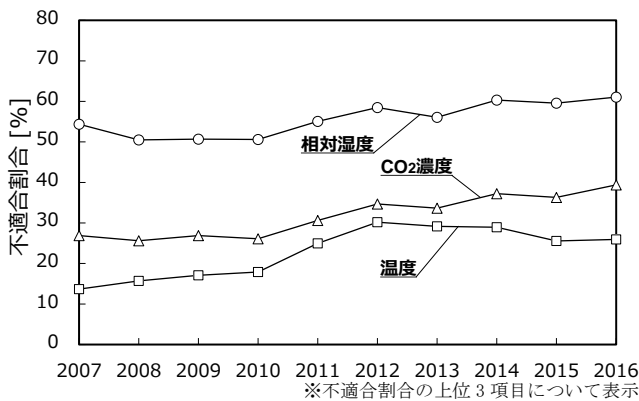


図1 定期測定における不適合割合(事務所) [6]

2 研究概要

複数の事務用途室を対象に室内空気環境の測定を行い、規基準に基づいた室内空気環境の評価を行った。また測定と同時に執務者の着衣量や節電行為の有無などのヒアリングと外皮性能や床面積などの対象室属性の収集を行い、それらの関係性を分析した。対象室の概要と測定期間を表1に、測定項目と測定箇所を表2に、本研究で使用する室内空気環境の指標と基準値を表3に示す。

表2 測定項目と測定箇所

測定項目	測定器	測定箇所
WBGT [°C]	HI-2000SD	室中央 床上 75~150cm
温度 [°C]		
相対湿度 [%RH]		
グローブ温度 [°C]		
湿球温度 [°C]		
CO <sub>2</sub> 濃度 [ppm]	RVR-52	同上
風速 [m/s]	SWA-03	同上
足元温度* [°C]	RTR-53A	室中央 床上 10cm
消費電力 [W]	KNS-WP-WL	補助冷暖房器具周辺

※冬季のみ測定

表3 室内空気環境指標と基準値

指標	基準値	規基準
温度 <sup>[1]</sup>	17~28°C	建築物衛生法 衛生管理基準
相対湿度 <sup>[1]</sup>	40~70%RH	
CO <sub>2</sub> 濃度 <sup>[1]</sup>	1000ppm 以下	
上下温度差 <sup>[9]</sup>	3°C以内	ASHRAE Standard
WBGT <sup>[10]</sup>	26°C以下* <sup>1</sup>	ISO 7243
PMV <sup>[11]</sup>	±0.5°C以内* <sup>2</sup>	ISO 7730

※1: 中程度代謝率で熱に順化していない人を想定  
※2: PMV については推奨値

表1 対象室の概要と測定期間

建物	名称	所在地	省エネ地域区分 <sup>[7]</sup>	室 PAL* [MJ/m <sup>2</sup> 年]	PAL* 基準値 <sup>[8]</sup> [MJ/m <sup>2</sup> 年]	空調制御方式	床面積 [m <sup>2</sup> ]	座席数 [人]	主開口方位	測定期間		
										夏期		冬期
										2016年	2017年	2017年
①	A	高知県	6	410	470	個別	68	11	南	7/29~8/5	8/30~9/6	2/6~2/13
②	B			595			132	6	北			
③	C			444			38	2	南			
④	D			487						東		
⑤	E			487						東		
⑥	F			491			34	3	西	9/21~10/7	8/30~9/7	
⑦	G	533	中央	371	54	東						
⑧	H	7	7	319	450	個別	95	16	西*	9/21~10/7	8/30~9/7	2/14~2/22
⑨	I			508			165	16	南			

※採光のための中庭はあるが直達日射は侵入しない

### 3 測定結果

室内空気環境の測定データのうち、業務時間(8:30～17:30)のデータを抽出して衛生管理基準値との比較を行った。測定結果の例として2017年夏期、2017年冬期の各対象室の空気温度、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度を図2～7に示す。図中には基準値の範囲をグレーで示し、箱ひげ上部の数字に平均値、括弧内に基準値に対する適合割合を示す。

#### 3.1 空気温度

図2より夏期の空気温度の平均値は全対象室で基準値を満たしていたが、D、E、Iは基準値上限の28℃を超える時間帯が比較的多く、中でもEは適合割合が最も低い結果となった。冷房設定温度と空気温度の平均値を比較すると、G、Hは空気温度の平均値が設定温度より低い結果であった。

図3より冬期の空気温度の平均値は全対象室で基準値を満たしており、適合割合も90%以上を示している。しかしながら、Iは最低温度が14℃付近と基準値を大きく下回る時間帯もみられた。

#### 3.2 相対湿度

図4より夏期の相対湿度の平均値は全対象室で基準値を満たしていた。

図5より冬期の相対湿度の平均値は全対象室で基準値を満たしておらず、特にB、C、D、E、Fは適合割合が0%という結果であった。加湿器を使用していた室と使用していない室で分類し、平均値の差の検定(Welchのt検定)を行ったところ両者には有意な差がない(p=0.45)という結果となった。

#### 3.3 CO<sub>2</sub>濃度

図6より夏期のCO<sub>2</sub>濃度の平均値は全対象室で基準値を満たしていたが、G、Iは一時的に1000ppmを超える時間帯がみられた。

図7より冬期のCO<sub>2</sub>濃度の平均値は全対象室で基準値を満たしていたが、A、D、G、Iは一時的に1000ppmを超える時間帯がみられた。

A、G、Iは夏期、冬期ともにCO<sub>2</sub>濃度が高くなっており、在室者密度が比較的高いことが一因と考えられる。

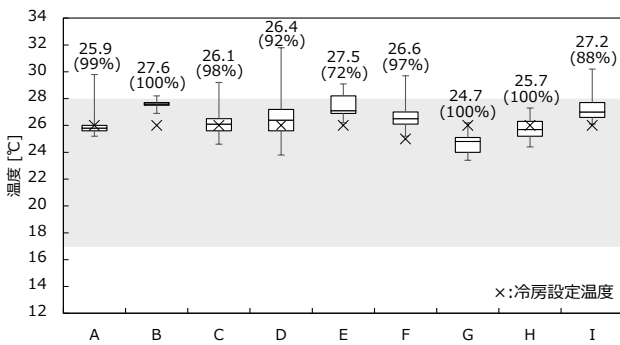


図2 空気温度 (2017年 夏期)

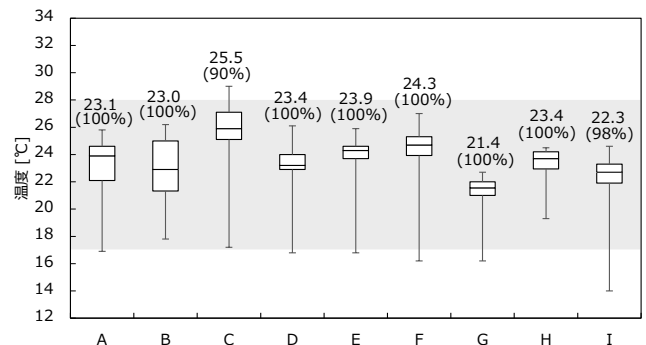


図3 空気温度 (2017年 冬期)

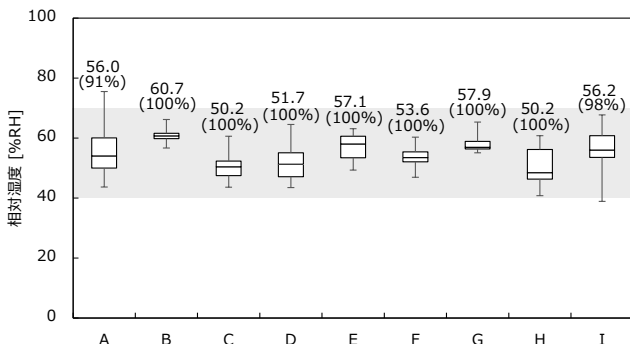


図4 相対湿度 (2017年 夏期)

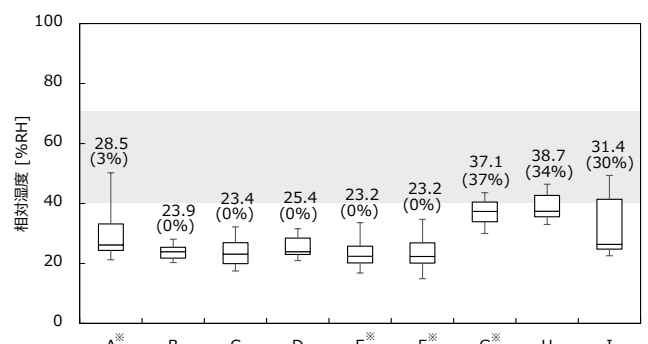


図5 相対湿度 (2017年 冬期)

※:加湿器を使用していた対象室

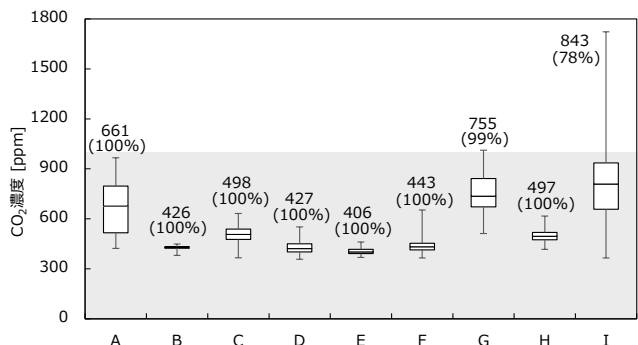


図6 CO<sub>2</sub>濃度 (2017年 夏期)

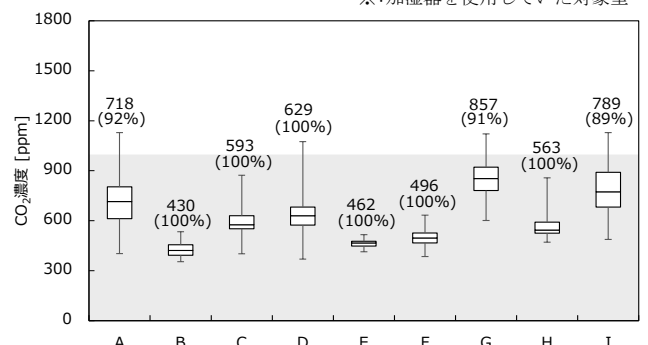


図7 CO<sub>2</sub>濃度 (2017年 冬期)

## 4 外皮性能が室内空気環境に与える影響

### 4.1 室 PAL\*の算定手法

対象室の外皮性能を評価する指標として建築物省エネ法で定められた PAL\*を用いた。PAL\*は建物全体の年間熱負荷係数を表す指標であり、式(4-1)～(4-3)で示すことができる。なお本研究では室を対象としているため、室あたりの年間熱負荷係数として式(4-2)に示す PAL\*<sub>i</sub> を室 PAL\*として使用した。また計算には国立研究開発法人建築研究所が公開している「エネルギー消費性能プログラム(非住宅版) Ver. 2. 4」<sup>[12]</sup>の標準入力法を用いた。

$$PAL^* = \frac{\sum_i^n PAL^*_i}{n} \quad (4-1)$$

PAL\*:年間熱負荷係数[MJ/m<sup>2</sup>・年]

PAL\*<sub>i</sub>:対象室 i における年間熱負荷係数[MJ/m<sup>2</sup>・年]

n:室数

$$PAL^*_i = \frac{Q_p}{A_p} \quad (4-2)$$

Q<sub>p</sub>:ペリメータゾーンの年間熱負荷[MJ/年]

A<sub>p</sub>:ペリメータゾーンの床面積[m<sup>2</sup>]

$$Q_p = Q_c + |Q_h| \quad (4-3)$$

Q<sub>c</sub>:冷房負荷[MJ/年]

Q<sub>h</sub>:暖房負荷[MJ/年]

### 4.2 分析概要

外皮性能値として室 PAL\*、開口部比率、およびペリメータ比率を用い、室内空気環境との関係について分析した。業務時間の全測定データを用いて外皮性能値と室内空気環境指標の単回帰分析から得られた決定係数を表 4、5 に示す。両者に負の相関がみられるものは括弧付きで示し、決定係数の高いものほどセルを濃色とした。

### 4.3 室 PAL\*と室内空気環境の関係

ここでは室内空気環境を表す指標として WBGT および PMV について室 PAL\*との関係を分析した結果を示す。表 6 に示すように、各対象室の室 PAL\*を PAL\*基準値以下(#1)と基準値超(#2)に分類し、これら 2 グループの WBGT の箱ひげ図を夏期と冬期に分けて図 8 に示す。夏期の WBGT の平均値は両グループとも基準値内ではあるが、#1 は 21.1℃と低く、#2 は一部 26℃を超える結果となった。冬期の平均値は #1 の方が 1℃高かった。Welch の t 検定では夏期と冬期ともに両グループに有意な差(p<0.01)がみられた。

分類した 2 グループの PMV の箱ひげ図を夏期と冬期に分けて図 9 に示す。夏期の PMV の平均値は両グループとも推奨範囲内に収まっていたが #2 は適合割合が 50%で最大値は 2.0 を上回る結果となった。冬期は #1 の適合割合が #2 より低くなるが、室内はより暖かい結果を示した。Welch の t 検定では夏期と冬期ともに両グループに有意な差(p<0.01)がみられた。

表 4 外皮性能値と室内空気環境指標の決定係数(夏期)

	室 PAL*	開口部比率	ペリメータ面積比率
空気温度	0.1244	(0.3948)	(0.0089)
相対湿度	0.1972	0.0003	(0.3585)
絶対湿度	0.2951	(0.0675)	(0.3229)
WBGT	0.2890	(0.1986)	(0.2051)
PMV	0.1326	(0.3993)	(0.0685)
CO <sub>2</sub> 濃度	(0.0042)	0.3200	(0.0183)

括弧は両者に負の相関があるものを示す  
決定係数の高いものほどセルを濃色とした

表 5 外皮性能値と室内空気環境指標の決定係数(冬期)

	室 PAL*	開口部比率	ペリメータ面積比率
空気温度	(0.0978)	(0.2137)	0.1739
足元温度	(0.0042)	(0.6395)	(0.0124)
上下温度差	(0.0645)	0.0397	0.2531
相対湿度	(0.1715)	0.1050	(0.1655)
絶対湿度	(0.4050)	0.0242	(0.1104)
WBGT	(0.7132)	(0.0764)	0.0182
PMV	(0.1309)	(0.1210)	0.1380
CO <sub>2</sub> 濃度	(0.0015)	0.6191	(0.0000)

括弧は両者に負の相関があるものを示す  
決定係数の高いものほどセルを濃色とした

表 6 PAL\*基準とペリメータ比率による分類

	呼称	境界	対象室
PAL*基準による分類	#1	PAL*基準値以下	A, C, H
	#2	PAL*基準値超	B, D, E, F, G, I
ペリメータ比率による分類	#3	ペリメータ比率 100%未満	B, G, H, I
	#4	ペリメータ比率 100%以上	A, C, D, E, F

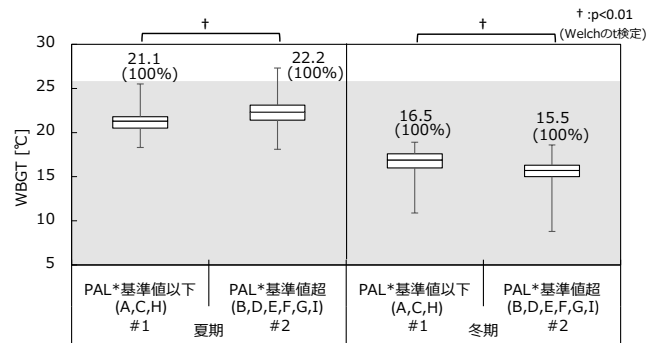


図 8 WBGT(室 PAL\*による分類)

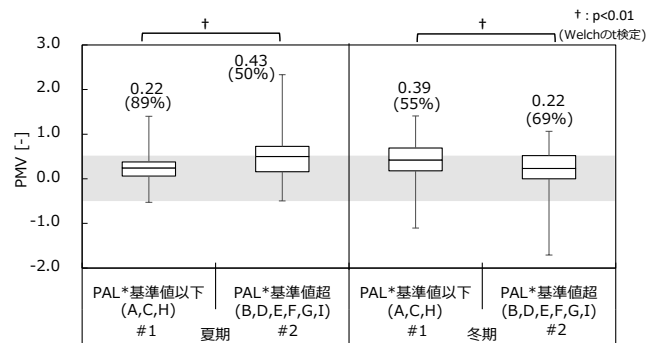


図 9 PMV(室 PAL\*による分類)

#### 4.4 開口部比率と室内空気環境の関係

表 4、5 において開口部比率と相関が見られた室内空気環境指標は、夏期は空気温度と PMV および CO<sub>2</sub> 濃度であり、冬期は足元温度と CO<sub>2</sub> 濃度であった。各対象室の冬期の足元温度の平均値と開口部比率の関係をプロットしたものを図 10 に示す。両者は決定係数 0.6395 と強い相関がみられた。回帰線から比較的外れている対象室 E、I は開口部比率に対して足元温度は低いが、足元ヒーターが使用されていない室であった。

#### 4.5 ペリメータ比率と室内空気環境の関係

表 4、5 においてペリメータ比率と相関がみられた室内空気環境指標は、夏期は相対湿度と絶対湿度であり、冬期は上下温度差であった。各対象室の冬期の上下温度差の平均値とペリメータ比率の関係をプロットしたものを図 11 に示す。両者は決定係数 0.2531 の相関がみられた。対象室 C は足元ヒーターを使用しているが上下温度差は平均値で 5℃ 近く生じていた。

ペリメータ比率が 100% 以上<sup>註1</sup>の対象室は室全体がペリメータゾーンであるため、外気による室内空気環境への影響が大きくなったと考えられる。そのため表 6 に示すように、ペリメータ比率 100% 未満 (#3) か 100% 以上 (#4) かで分類した 2 グループの上下温度差について図 12 に示す。平均値は #3 が基準値を満たしていたが #4 は 3.5℃ と基準値を上回り最大値は 8℃ を超え、適合割合が 35% と低い結果となった。Welch の t 検定を行ったところ両グループに有意な差 (p<0.01) がみられた。

#### 5 おわりに

本研究では複数の事務用途室を対象に室内空気環境の測定を行い、測定結果と対象室属性や執務者の行為との関係を分析することで以下の結果を得た。

- (1) 室内空気環境の実測結果から温度、CO<sub>2</sub> 濃度は夏期、冬期ともに概ね基準値を満たしていたが、冬期の相対湿度は全対象室で適合割合が低く、全国的傾向と同じく課題がみられた。
- (2) 室 PAL\*が基準値以下の室は基準値超の室と比較して WBGT の平均値が夏期は 1℃ 低く、冬期は 1℃ 高くなる結果となった。また基準値超の室は夏期の PMV の適合率が 50% で最大値は 2.0 を上回り、熱的中立域よりも暖かい傾向を示し、冬期は基準値以下の室と比較して適合割合が高く熱的中立域に測定値が多い結果となった。
- (3) 開口部比率と足元温度に強い相関があり、開口部比率が高いほど足元温度は低くなる傾向がみられた。
- (4) ペリメータ比率と上下温度差に相関がみられ、ペリメータ比率が 100% 以上の室は上下温度差の平均値が 3℃ を上回り、100% 未満の室に比べて 1.5℃ 程度高い結果となった。

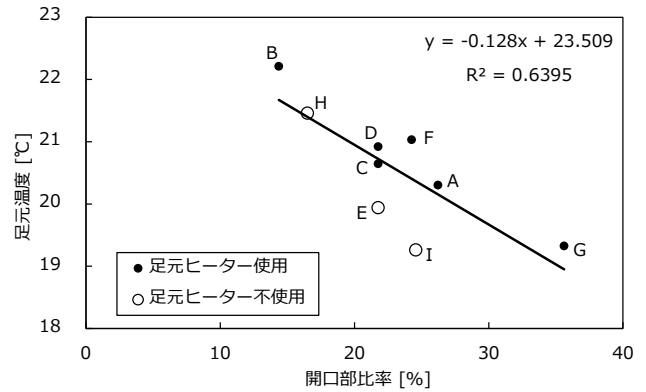


図 10 冬期の開口部比率と足元温度の関係

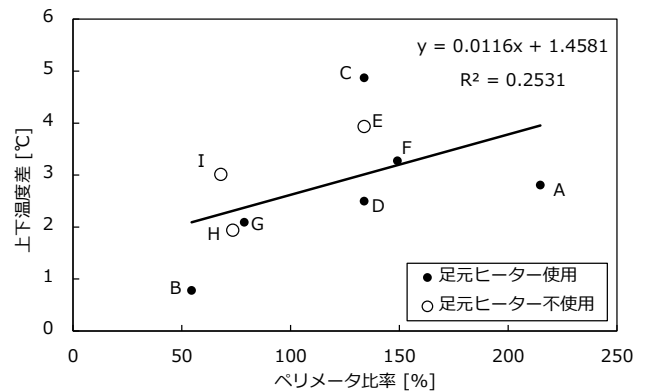


図 11 冬期のペリメータ比率と上下温度差の関係

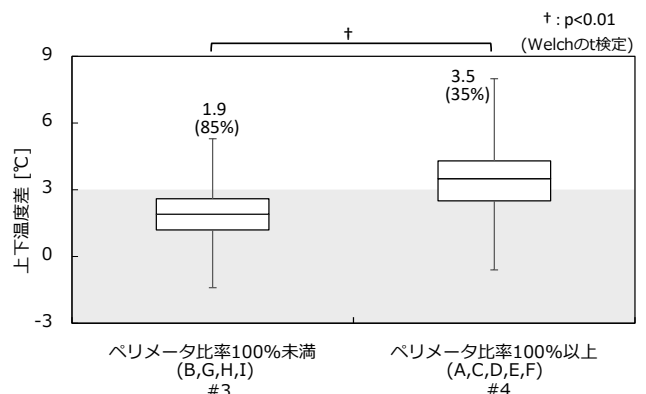


図 12 冬期の上下温度差(ペリメータ比率による分類)

註1: ペリメータ比率は床面積に対するペリメータ面積であり、ペリメータ面積は外周長×5m で計算し屋根とピロティ面積をそのまま算入するため、算定したペリメータ比率は 100% 以上になる場合がある。

〈参考文献・本研究に関する既発表論文〉

- [1] 厚生労働省: 建築環境衛生管理基準, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikats-u-eisei10/>, 2018.1 取得
- [2] 大澤元毅ほか: 「建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究」〈課題番号: H20 - 健危 - 一般- 009〉, 平成 21 年~22 年度総括・分担研究報告書, 2011.3
- [3] 山口容平 下田吉之 西端康介 濱根潤也 菱 西山満 今井和哉 三瀬農士: 中小規模オフィスのエネルギー消費特性把握(その 2), 空気調和・衛生工学会学術研究発表会論文集, pp187-190, 2010.3
- [4] 山口容平 下田吉之 西端康介 濱根潤也 永山紗弥子 西山満 今井和哉 三瀬農士: 中小規模オフィスのエネルギー消費実態把握とエネルギーマネジメント(その 3) (その 4), 空気調和・衛生工学会学術研究発表会論文集, pp261-264, 265-268, 2011.3
- [5] 山口容平 下田吉之 西端康介 濱根潤也 永山紗弥子 西山満 今井和哉 三瀬農士: 小規模事務所ビルにおける冬期暖房負荷と室内温度分布, 空気調和・衛生工学会論文集, pp1-9, 2013.8
- [6] 総務省: 衛生行政報告例, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=00001031469>, 2018.1 取得
- [7] 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構: 省エネルギー地域区分, <http://www.jjj-design.org/area/index.html>, 2018.1 取得
- [8] 建築物省エネ法に基づく基準の整備について, <http://www.mlit.go.jp/common/001109817.pdf>, 2018.1 取得
- [9] ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- [10] ISO 7243: Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)
- [11] ISO 7730: Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for the Thermal Comfort
- [12] 国立研究開発法人 建築研究所 建築物のエネルギー消費性能に関する技術情報, <http://www.kenken.go.jp/becc/index.html>, 2018.1 取得