

修 士 論 文

事務用途室を対象とした 室内空気環境の評価手法に関する研究

Study on the Evaluation Method of Indoor Air Environment for Office rooms

高知工科大学大学院
工学研究科基盤工学専攻

中 川 克 也

2018 年 2 月

平成 29 年度 修士論文

事務用途室を対象とした
室内空気環境の評価手法に関する研究

高知工科大学大学院

工学研究科基盤工学専攻 社会システム工学コース

建築環境研究室 1205100

中川 克也

指導教員 田島 昌樹 准教授

副指導教員 中根 英昭 准教授

論文要旨

建築物における室内空気環境の衛生的な維持管理を目的として、「建築物における衛生環境の確保に関する法律（1970）」では、特定建築物を対象とした建築物環境衛生管理基準の諸項目についての定期測定を2か月に1度以上の頻度で実施するように規定されている。空気環境に関する管理基準の項目は浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度、気流、ホルムアルデヒドであるが、近年、温度、相対湿度、二酸化炭素について、基準に適合していない割合が上昇傾向にある事が指摘されており、特に事務所においてはその傾向が顕著である。この背景には、2002年の建築物衛生法の改正による特定建築物の適用範囲の拡充と空調方式として個別方式を採用する建物が増えたこと、また省エネルギーへの関心の増加により、クールビズ、ウォームビズ等の節電行動が盛んに行われるようになったことなどが考えられている。

本論文では室内空気環境の維持・向上を目的として特定建築物の中で最も数の多い事務所における室内空気環境の問題点の把握の容易化や在室者への啓発が容易な室内空気環境の評価手法を作成・提案し、複数の対象室において評価の試行を行った。本論文が提案する評価手法は基準評価（空気温度、相対湿度、気流、CO₂濃度についてのそれぞれの評価値を相乗平均し評価する）、安全性評価（夏期には WBGT について熱的安全性を評価、冬期には相対湿度について人体への非温熱的影響を評価する）、温冷感評価（PMV による PPD について評価する）の3項目によるベクトル量から総合評価値を0～100点として算定するものであり、これら3項目は室内空気環境の維持管理において重要とされる複数の項目に基づいて客観的な基準を設けている。

本評価手法による試算については2016年度の夏期および冬期、2017年度の夏期に行った高知県を中心とする事務用途室10室への室内空気環境の実態調査結果を用いており、室内空気環境の総合評価値は2016年度の夏期において10対象室の内、全ての対象室が平均値で許容と設定した基準80点を超えており、概ね良好な室内空気環境である結果であったが、2016年度の冬期においては9対象室の内、7対象室が平均値で80点を下回った。冬期における総合評価値の低下は主に基準評価値が低いことが原因であり、その中でも相対湿度の評価値が低いことが原因であった。

また、2016年度の夏期において仮想節電効果の合計値が低い対象室と高い対象室の空気温度、グローブ温度、相対湿度、絶対湿度、CO₂濃度、WBGT、PMV に対して統計的に有意な差が見られ、空気温度、相対湿度、CO₂濃度、PMV については基準値への適合割合についても統計的に有意な差が見られる結果であった。仮想節電効果の合計値と総合評価値との相関については強い負の相関が見られ（決定係数は0.5624）、仮想節電効果の合計値が低い対象室と高い対象室の総合評価値について統計的に有意な差がある結果を得た。

Abstract

The Act on Maintenance of Sanitation in Buildings of Japan requires measuring indoor air environment in the Specific Buildings more than once in two months in Japan. However, in recent years, research results given by Ministry of Health, Labour and Welfare, show measurement values of temperature, relative humidity and concentration of carbon dioxide have not met the reference values, particularly in offices. The reason is considered as that due to the amendment of the Act, expansion of application of the specific buildings and rooms employing individual HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) control system. In addition, energy conservation behaviors such as Cool Biz and Warm Biz due to increased interest in energy conservation are also considered to be one of reasons.

In this study, in order to be maintained and improved the indoor air environment by occupants, evaluation method of indoor air environment which makes it easier to grasp the problem of indoor air environment are proposed, and trial results of evaluation in multiple target rooms are shown.

The evaluation method proposed in this study is to calculate an Overall Evaluation Value as 0 to 100 points from the vector quantity according to the three items of a Standard Evaluation Value (geometric mean of the evaluation values of air temperature, relative humidity, air flow, and CO₂ concentration), a Safety Evaluation Value (the evaluation value of the thermal safety of WBGT in cooling period and the value obtained nonthermal effect on human body by relative humidity in heating period), and a Thermal Comfort Evaluation Value (the evaluation value of the thermal comfort for PPD by PMV).

These three indexes are consisted of several items considered to be important for maintain the indoor air environment, objective standard are set and evaluated respectively.

In order to perform calculation using this evaluation method, investigation of indoor air environment by real measurement in 10 office rooms, which locate mainly in Kochi Prefecture, is conducted during cooling and heating period in 2016 and cooling period in 2017.

The result of the Overall Evaluation Value of the indoor air environment during cooling period in 2016 shows that all the target rooms exceeded 80 points, which is roughly a good indoor air environment. However, in the heating period, the mean value of the Overall Evaluation Value of 7 rooms of 9 target rooms shows below 80 points. The decrease in the Overall Evaluation Value during heating period was mainly due to the low Standard Evaluation Value, among which the cause is low evaluation value of relative humidity.

In addition, statistically significant differences were found in air temperature, globe temperature, relative humidity, specific humidity, CO₂ concentration, WBGT and PMV between target rooms with low total estimated power saving effect and high total effect during cooling on 2016. Also, statistically significant differences were found in the conformity rate with respecting to the reference value of air temperature, relative humidity, CO₂ concentration and PMV.

A strong negative correlation was found between the total estimated power saving effect and the Overall Evaluation Value of the indoor air environment. Also, statistically significant differences are found in Overall Evaluation Value between target rooms with low total estimated power saving effect and high total effect during cooling on 2016.

目次

論文要旨	I
目次	I
第1章：序論	1
1.1 はじめに.....	1
1.2 本研究の目的と概要.....	3
1.3 本論文の構成.....	4
第1章 引用・参考文献	6
第2章：室内空気環境に関する基礎的事項	7
2.1 はじめに.....	7
2.2 温熱環境の基礎的事項.....	7
2.3 温熱環境に関する既存の評価指標.....	11
2.4 用語の定義.....	16
2.5 おわりに.....	17
第2章 引用・参考文献	18
第3章：室内空気環境の評価手法の作成	19
3.1 はじめに.....	19
3.2 事務所における室内空気環境の評価方法.....	19
3.3 事務所における室内空気環境の評価手法の作成.....	21
3.3.1 基準評価.....	23
3.3.2 安全性評価.....	45
3.3.3 温冷感評価.....	49
3.4 おわりに.....	51
第3章 引用・参考文献	52
第4章：室内空気環境の実態調査	55
4.1 はじめに.....	55
4.2 実態調査概要.....	55
4.3 実測結果.....	57
4.3.1 温度.....	57
4.3.2 湿度.....	61
4.3.3 風速.....	65

4.3.4	CO ₂ 濃度.....	67
4.3.5	WBGT.....	69
4.3.6	PMV.....	72
4.4	おわりに.....	74
第4章 引用・参考文献		76
第5章：室内空気環境と対象室・執務者の属性との関係性の分析		77
5.1	はじめに.....	77
5.2	空調方式との関係性.....	77
5.3	補助冷暖房機器との関係性.....	80
5.3.1	加湿器.....	80
5.3.2	電気ヒーター.....	86
5.4	節電行為との関係性.....	99
5.5	外皮性能との関係性.....	107
5.5.1	室PAL*と室内空気環境の関係	112
5.5.2	開口部比率と室内空気環境の関係.....	114
5.5.3	ペリメータ比率と室内空気環境の関係.....	114
5.6	おわりに.....	117
第5章 引用・参考文献		119
第6章：室内空気環境の評価		121
6.1	はじめに.....	121
6.2	本研究で作成した評価手法による室内空気環境の評価.....	121
6.3.1	基準評価値.....	121
6.3.2	安全評価評価値.....	131
6.3.3	温冷感評価.....	133
6.3.4	総合評価値.....	135
6.3	本研究で作成した評価手法による評価値と仮想節電効果との関係性.....	137
6.3.1	基準評価値との関係について.....	137
6.3.2	安全性評価値との関係について.....	139
6.3.3	温冷感評価値との関係について.....	139
6.3.4	総合評価値との関係について.....	139
6.3.5	合計仮想節電効果が低い対象室と高い対象室における各評価値について の統計分析	141

6.4 おわりに.....	144
第7章：総括	145
7.1 本論文のまとめ.....	145
7.2 研究の総括と今後の展望.....	149
謝辞	110

図目次

図 1-1 全国特定建築物立入検査等状況調査による事務所における空気環境測定項目別の 不適合割合の推移（衛生行政報告例報告例 ^[1-5] を基に作成した）	2
図 1-2 本論文の構成	5
図 2-1 人体の熱平衡 ^[2-1] より引用)	7
図 2-2 PMV と PPD の関係	14
図 3-1 夏期の空気温度における日本と諸外国の規基準（ ^[3-1] ^[3-3] を基に作成） ^{[3-1-C]~[3-1-L]}	28
図 3-2 冬期の空気温度における日本と諸外国の規基準（ ^[3-1] ^[3-3] を基に作成） ^{[3-1-C]~[3-1-L]}	28
図 3-3 夏期における空気温度の評価値	30
図 3-4 冬期における空気温度の評価値	31
図 3-5 相対湿度における非温熱的影響の範囲および日本を含む諸外国の規基準	35
図 3-6 通年における相対湿度の評価値	37
図 3-7 CO ₂ 濃度の評価値	40
図 3-8 気流に関する日本を含む諸外国の規基準（夏期）	42
図 3-9 気流に関する日本を含む諸外国の規基準（冬期）	42
図 3-10 夏期における風速の評価値	44
図 3-11 冬期における風速の評価値	44
図 3-12 夏期における WBGT を用いた安全性の評価値	47
図 3-13 冬期における相対湿度を用いた安全性の評価値	48
図 3-14 PMV(予想平均申告)と PPD(予想不満足者率)の関係	49
図 3-15 PMV による PPD を用いた温冷感の評価値	50
図 4-1 空気温度（2016 年度・夏期・業務時間）	58
図 4-2 空気温度（2017 年度・夏期・業務時間）	58
図 4-3 空気温度（2016 年度・冬期・業務時間）	60
図 4-4 上下温度差（2016 年度・冬期・業務時間）	60
図 4-5 相対湿度（2016 年度・夏期・業務時間）	61
図 4-6 相対湿度（2017 年度・夏期・業務時間）	62
図 4-7 相対湿度（2016 年度・冬期・業務時間）	62
図 4-8 絶対湿度（2016 年度・夏期・業務時間）	63
図 4-9 絶対湿度（2017 年度・夏期・業務時間）	64
図 4-10 絶対湿度（2016 年度・冬期・業務時間）	64
図 4-11 風速（2016 年度・夏期・業務時間）	65
図 4-12 風速（2017 年度・夏期・業務時間）	66
図 4-13 風速（2016 年度・冬期・業務時間）	66

図 4-14	CO ₂ 濃度（2016 年度・夏期・業務時間）	67
図 4-15	CO ₂ 濃度（2017 年度・夏期・業務時間）	68
図 4-16	CO ₂ 濃度（2016 年度・冬期・業務時間）	68
図 4-17	WBGT（2016 年度・夏期・業務時間）	70
図 4-18	WBGT（2017 年度・夏期・業務時間）	70
図 4-19	WBGT（2016 年度・冬期・業務時間）	71
図 4-20	PMV（2016 年度・夏期・業務時間）	72
図 4-21	PMV（2017 年度・夏期・業務時間）	73
図 4-22	PMV（2016 年度・冬期・業務時間）	73
図 5-1	WBGT, PMV 相関図（2016 年度・夏期・業務時間）	78
図 5-2	WBGT, PMV 相関図（2017 年度・夏期・業務時間）	78
図 5-3	WBGT, PMV 相関図（2016 年度・冬期・業務時間）	79
図 5-4	対象室 A における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化	81
図 5-5	対象室 E における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化	81
図 5-6	対象室 F における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化	81
図 5-7	対象室 G における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化	82
図 5-8	対象室 H における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化	82
図 5-9	各対象室における加湿器の使用時間割合と湿度との関係	83
図 5-10	対象室 A における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係	84
図 5-11	対象室 E における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係	84
図 5-12	対象室 F における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係	84
図 5-13	対象室 G における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係	84
図 5-14	対象室 H における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係	84
図 5-15	加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度	85
図 5-16	空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 A）	87
図 5-17	空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 B）	87
図 5-18	空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 C）	87
図 5-19	空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 D）	88
図 5-20	空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 F）	88
図 5-21	空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 G）	88
図 5-22	各対象室における電気ヒーター使用時間割合と温度との関係	89
図 5-23	対象室 A における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係	91
図 5-24	対象室 B における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係	91
図 5-25	対象室 C における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係	91
図 5-26	対象室 D における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係	91
図 5-27	対象室 F における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係	91

図 5-28	対象室 G における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係	91
図 5-29	全ての対象室における電気ヒーター使用時と不使用時の空気温度	93
図 5-30	全ての対象室における電気ヒーター使用時と不使用時の足元温度	93
図 5-31	全ての対象室における電気ヒーター使用時と不使用時の上下温度差	93
図 5-32	全ての対象室における起動時、停止時の空気温度（始業、終業時を除く）	93
図 5-33	全ての対象室における起動時、停止時の空気温度（始業、終業時を除く）	93
図 5-34	全ての対象室における起動時、停止時の空気温度（始業、終業時を除く）	93
図 5-35	電気ヒーターの起動時および停止時における空気温度と足元温度	95
図 5-36	電気ヒーターの起動時および停止時における上下温度差	95
図 5-37	電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における空気温度	97
図 5-38	電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における足元温度	97
図 5-39	電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における上下温度差	98
図 5-40	各設備の電力量比率（ ^[5-16] より引用）	100
図 5-41	合計仮想節電効果と空気温度	103
図 5-42	合計仮想節電効果と相対湿度	103
図 5-43	合計仮想節電効果と絶対湿度	103
図 5-44	合計仮想節電効果と CO ₂ 濃度	103
図 5-45	合計仮想節電効果と風速	103
図 5-46	合計仮想節電効果と WBGT	103
図 5-47	合計仮想節電効果と PMV	103
図 5-48	合計仮想節電効果と PPD	103
図 5-49	#c1 と#c2 の温度	105
図 5-50	#c1 と#c2 のグローブ温度	105
図 5-51	#c1 と#c2 の相対湿度	106
図 5-52	#c1 と#c2 の絶対湿度	106
図 5-53	#c1 と#c2 の CO ₂ 濃度	106
図 5-54	#c1 と#c2 の WBGT	106
図 5-55	#c1 と#c2 の PMV	106
図 5-56	WBGT（室 PAL*による分類）	112
図 5-57	PMV（室 PAL*による分類）	113
図 5-58	冬期の開口部比率と足元温度の関係	114
図 5-59	冬期のペリメータ比率と上下温度差の関係	115
図 5-60	冬期の上下温度差（ペリメータ比率による分類）	116
図 6-1	各対象室における基準評価値（2016 年度・夏期・業務時間）	122
図 6-2	各対象室における基準評価値（2016 年度・冬期・業務時間）	122

図 6-3	各対象室における空気温度の評価値（2016 年度・夏期・業務時間）	124
図 6-4	各対象室における空気温度の評価値（2016 年度・冬期・業務時間）	124
図 6-5	各対象室における相対湿度の評価値（2016 年度・夏期・業務時間）	126
図 6-6	各対象室における相対湿度の評価値（2016 年度・冬期・業務時間）	126
図 6-7	各対象室における風速の評価値（2016 年度・夏期・業務時間）	128
図 6-8	各対象室における風速の評価値（2016 年度・冬期・業務時間）	128
図 6-9	各対象室における CO ₂ 濃度の評価値（2016 年度・夏期・業務時間）	130
図 6-10	各対象室における CO ₂ 濃度の評価値（2016 年度・冬期・業務時間）	130
図 6-11	各対象室における安全性評価値（2016 年度・夏期・業務時間）	132
図 6-12	各対象室における安全性評価値（2016 年度・冬期・業務時間）	132
図 6-13	各対象室における温冷感評価値（2016 年度・夏期・業務時間）	134
図 6-14	各対象室における温冷感評価値（2016 年度・冬期・業務時間）	134
図 6-15	各対象室における総合評価値（2016 年度・夏期・業務時間）	136
図 6-16	各対象室における総合評価値（2016 年度・冬期・業務時間）	136
図 6-17	合計仮想節電効果と基準評価値の平均値（2016 年度・夏期）	138
図 6-18	仮想節電効果と空気温度の評価値（2016 年度・夏期）	138
図 6-19	仮想節電効果と相対湿度の評価値（2016 年度・夏期）	138
図 6-20	仮想節電効果と CO ₂ 濃度の評価値（2016 年度・夏期）	138
図 6-21	仮想節電効果と気流の評価値（2016 年度・夏期）	138
図 6-22	合計仮想節電効果と安全性評価値の平均値（2016 年度・夏期）	140
図 6-23	合計仮想節電効果と温冷感評価値の平均値（2016 年度・夏期）	140
図 6-24	合計仮想節電効果と総合評価値の平均値（2016 年度・夏期）	140
図 6-25	空気温度の評価値（#c1 と #c2）	142
図 6-26	相対湿度の評価値（#c1 と #c2）	142
図 6-27	CO ₂ 濃度の評価値（#c1 と #c2）	142
図 6-28	風速の評価値（#c1 と #c2）	142
図 6-29	基準評価値（#c1 と #c2）	143
図 6-30	安全性評価値（#c1 と #c2）	143
図 6-31	温冷感評価値（#c1 と #c2）	143
図 6-32	総合評価値（#c1 と #c2）	143

表目次

表 2-1	さまざまな活動の代謝量（ ^[2-1] より引用）	8
表 2-2	衣服の熱抵抗値（ ^[2-2] より引用）	9
表 2-3	ASHRAE7 段階温冷感申告尺度（ ^[2-1] より引用）	12
表 2-4	各条件に対応した WBGT の基準値（JIS Z8504 ^[2-7] を参考に作成）	15
表 2-5	建築物環境衛生管理基準における空気環境の基準 ^[2-8]	16
表 3-1	建築物環境衛生管理基準における空気環境の基準 ^[3-3]	25
表 3-2	「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」における管理基準の提案値 ^[3-2] ^[3-2-A]	25
表 3-3	諸外国の温熱環境ガイドライン（ ^[3-1] を参考に作成） ^{[3-1-C]~[3-1-G]}	26
表 3-4	諸外国の温熱環境ガイドライン（ ^[3-1] を参考に作成） ^{[3-1-H]~[3-1-L]}	26
表 3-5	夏期における空気温度の評価値	30
表 3-6	冬期における空気温度の評価値	30
表 3-7	「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」における相対湿度の推奨値	33
表 3-8	1970 年以前に発表された相対湿度と健康影響に関する報告	33
表 3-9	相対湿度の評価値	37
表 3-10	「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」における CO ₂ 濃度の基準	39
表 3-11	換気設備のグレードと二酸化炭素濃度の許容限度（ ^[3-2] を参考に作成）	39
表 3-12	CO ₂ 濃度の評価値	40
表 3-13	夏期における気流の評価値	43
表 3-14	冬期における気流の評価値	43
表 3-15	各条件に対応した WBGT の基準値（JIS Z8504 ^[3-13] を参考に作成）	45
表 3-16	夏期における WBGT を用いた安全性の評価値	47
表 3-17	冬期における相対湿度を用いた安全性の評価値	47
表 3-18	PMV、PPD および温冷感評価値	50
表 4-1	対象室の概要	56
表 4-2	測定期間	56
表 4-3	各測定項目、使用した測定器および測定箇所	56
表 5-1	加湿器を使用していた対象室の概要	80
表 5-2	各対象室における加湿器の日平均消費電力および使用時間割合	83
表 5-3	電気ヒーターを使用していた対象室の概要	86
表 5-4	各対象室における電気ヒーターの日平均消費電力、使用時間割合および各温度	89
表 5-5	モデルビルの設備仕様（ ^[5-16] より引用）	100
表 5-6	夏期における節電対策と仮想節電効果	101
表 5-7	全対象室における節電対策の実施の有無と合計仮想節電効果	101
表 5-8	合計仮想節電効果による対象室の分類	104

表 5-9	各対象室における PAL*算定のための入力条件.....	108
表 5-10	外壁の仕様.....	109
表 5-11	窓の仕様.....	109

第 1 章

序論

第1章：序論

1.1 はじめに

日本の建築物における室内環境の維持管理についての法制度は、この50年余りの間で形作られてきた。戦後、経済の急速な発展、都市へ人口の集中、建築技術の進歩等に伴い、都市部を中心に大規模な建築物が多数建設され、多くの人々が建築物の中で一日の大半を過ごすようになった。それと同時に、不適切な建築物の維持管理に起因した健康への影響被害に関する報告が増加し、その対策として1970年に「建築物における衛生環境の確保に関する法律^[1-1]」（以下、「建築物衛生法」という）が制定されることとなった。これは公衆衛生の向上及び増進を目的とした法律で、具体的には建築物環境衛生管理基準^[1-2]を規定し、空気環境の調整、給水および排水の管理、清掃、ねずみ・昆虫等の防除に関し、環境衛生上良好な状態を維持するために必要な措置について定めたものである。空気環境に関しては、浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度、気流に対して管理基準が定められ、2002年にはホルムアルデヒドの管理基準が追加される形で今日まで用いられてきた。

しかし、近年、温度、相対湿度、二酸化炭素について、建築物環境衛生管理基準に適合していない割合（以下、不適合割合）が上昇傾向にある事が指摘されており、特に事務所においてはその傾向が顕著である^[1-3]。この不適合割合の上昇傾向の背景について、大きく2つの事柄が考えられる。

1つは2002年の建築物衛生法の改正^[1-4]である。これにより特定建築物^{註1-1)}の適用範囲が拡充されたこと^{註1-2)}、また空調方式として個別方式が対象となったこと^{註1-3)}が考えられる。

もう1つは、地球温暖化問題・省エネルギー対応等の環境配慮型の建築物への関心の増加により、クールビズ、ウォームビズ等の節電行動が盛んに行われたことが考えられる。

註1-1) 特定建築物とは建築基準法に定義された建築物であり、特定用途（興行場、百貨店、集会場、図書館、博物館、美術館、遊技場、店舗、事務所、学校（研修所を含む））に使用される延べ床面積が3000m²以上である建築物（ただし、学校教育法第1条に定められている学校（小学校、中学校）については8000m³以上であること）^[1-1]

註1-2) 「特定用途に供される延べ床面積が3000m²以上である建築物のうち、特定用途以外の用途に供される部分の延べ面積が特定用途に供される部分の延べ面積の10%を超える建築物を新たに特定建築物の対象に加えること。」^[1-4]

当時の政令では、特定の用途以外に用いる部分の面積が特定の用途に用いる部分の面積の10%を超える建築物（以下、「10%除外規定適用建築物」とする）については、特定建築物の対象から除外されていたが、建築物の大型化・複合用途化が進むにつれ、特定用途部分の延べ床面積が非常に大きいにもかかわらず、特定建築物に該当しない10%除外規定適用建築物が増加した。

10%除外規定適用建築物についての実態調査では、特定建築物と比較して、建築物環境衛生管理基準の不適合割合が高く、利用者の健康への影響が懸念される場合があるとの結果が出ていたことから特定建築物の範囲の見直しが行われたとされている。

また近年、日本の事務所では労働環境の多様化により、執務者の関心が空気環境の衛生性にとどまらず、快適性や知的生産性へ拡張していることが考えられる。

つまり、執務者（特に空気調和設備が個別方式の事務所における執務者）は衛生性や快適性を含む室内空気環境や節電対策への関心がある一方で、室内空気環境への十分な理解がなされず、維持管理において規基準に合った運用が行われていない現状があるといえる。

以上より、今後、日本の事務所における室内空気環境の維持・向上を実現するためには、衛生性や快適性を含む室内空気環境について専門的知識を必要としない（執務者にも理解しやすい）室内空気環境の評価手法が求められる。

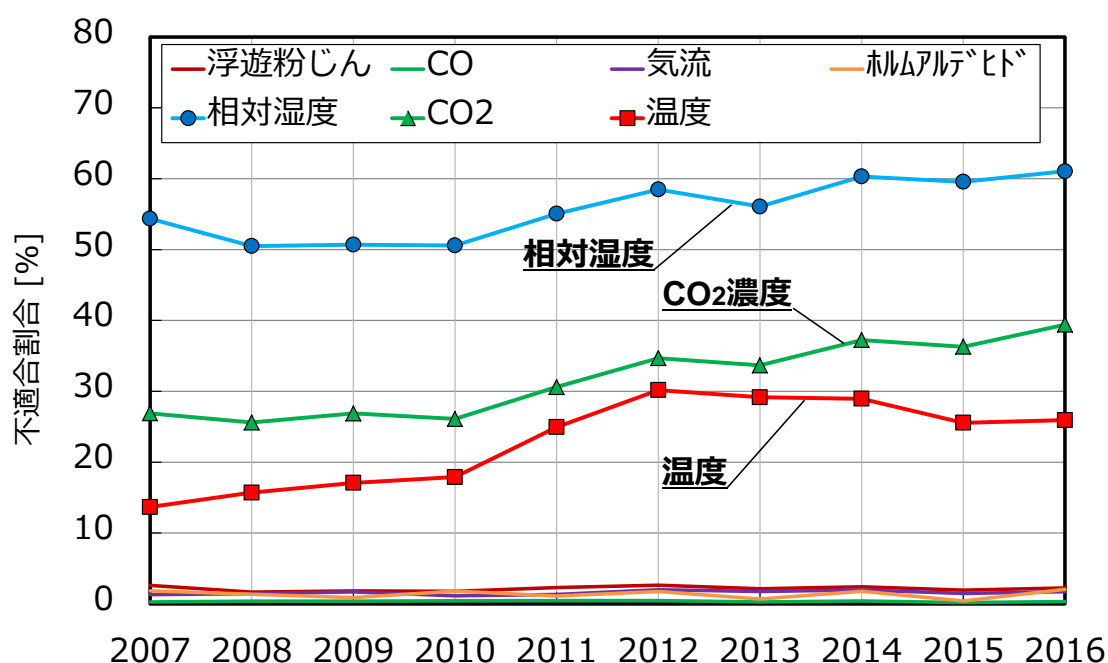


図 1-1 全国特定建築物立入検査等状況調査による事務所における空気環境測定項目別の不適合割合の推移（衛生行政報告例報告例^[1-5]を基に作成した）

註 1-3) 「建築物環境衛生管理基準に従って空気環境の調整を行わなければならない空気調和設備及び機械換気設備について、中央管理方式の設備に限定している規定を削除すること。」^[1-4]
 当時、特定建築物の空気調和設備及び機械換気設備の維持管理については、中央方式（詳細は第2章にて述べる）の設備が一般的であったが、家庭用のルームクーラーとして利用されていた「中央方式以外の空気調和設備（各居室において個別に管理する方式）」が、技術改良等により比較的規模の大きな建築物においても導入されるようになってきたこと、それらの建物が建築物環境衛生管理基準の適用外とされているために、室内空气の汚染や十分な湿度管理が行われていない等の問題が指摘されていたことが、見直しの理由とされている。

1.2 本研究の目的と概要

前節に述べたとおり、日本の事務所では衛生性や快適性を含む室内空気環境の維持・向上が求められており、そのためには、建物の管理者だけでなく執務者（特に個別方式を採用している事務所における執務者）に室内空気環境を理解し、規基準に合った運用をしてもらうための評価指標が必要である。

本研究では、室内空気の衛生性や快適性に関する既存の評価指標を組み合わせ、専門的知識を必要としない評価指標を作成、提案すること、また複数の対象室への試行により対象室や執務者がもつ属性と室内環境との関係性を分析することを目的とする。

まずは室内空気環境に関する国内外の規基準の整理を行い、日本の事務所に合う室内空気環境の評価指標を作成する。つぎに複数の対象室において室内空気環境の実測調査を行う。また、室内空気環境の実測結果と対象室の属性について分析を行う。最後に、作成した評価指標による室内空気環境の評価試行を行う。

以上より、本研究では以下の項目について検討を行っている

- ① 室内空気環境に関する国内外の規基準の整理
- ② 室内空気環境の評価指標の作成
- ③ 複数の対象室における室内空気環境の実態調査
- ④ 室内空気環境と対象室、執務者の属性との関係性の分析
- ⑤ 室内空気環境の評価試行

1.3 本論文の構成

本論文は序論と総括を含む7つの章で構成されている。図1-2に本論文の構成を示す。以下に各章の概要を示す。

第1章「序論」では、研究の背景、目的、概要および本論文の構成を示している。

第2章「室内空気環境に関する基本事項」では、温熱環境の基本事項や既往の評価指標、事務所を対象とした温熱環境に関する既往の研究、用語の定義を示している。

第3章「室内空気環境の評価手法の作成」では、事務所を対象とした室内空気環境の評価方法を示し、室内空気環境の評価手法を作成する。また、評価式を構成する各項目について現在の日本の基準についての調査や諸国外の規基準を調査し、評価式を作成する。

第4章「室内空気環境の実態調査」では、2016年度の夏期、冬期および2017年度の夏期において複数の事務用途室を対象に行った室内空気環境の実態調査の結果を示す。

第5章「室内空気環境と対象室・執務者の属性との関係性の分析」では、4章に示した室内空気環境の結果について対象室や執務者が持つ属性との関係性についての分析結果を示す。

第6章「室内空気環境の評価」では、3章で作成した室内空気環境の評価式を用いて、4章で行った実測結果について評価を行う。また、評価値と属性との関係性についての分析結果を示す。

第7章「総括」では、本論文のまとめと研究の総括および今後の課題について言及する。

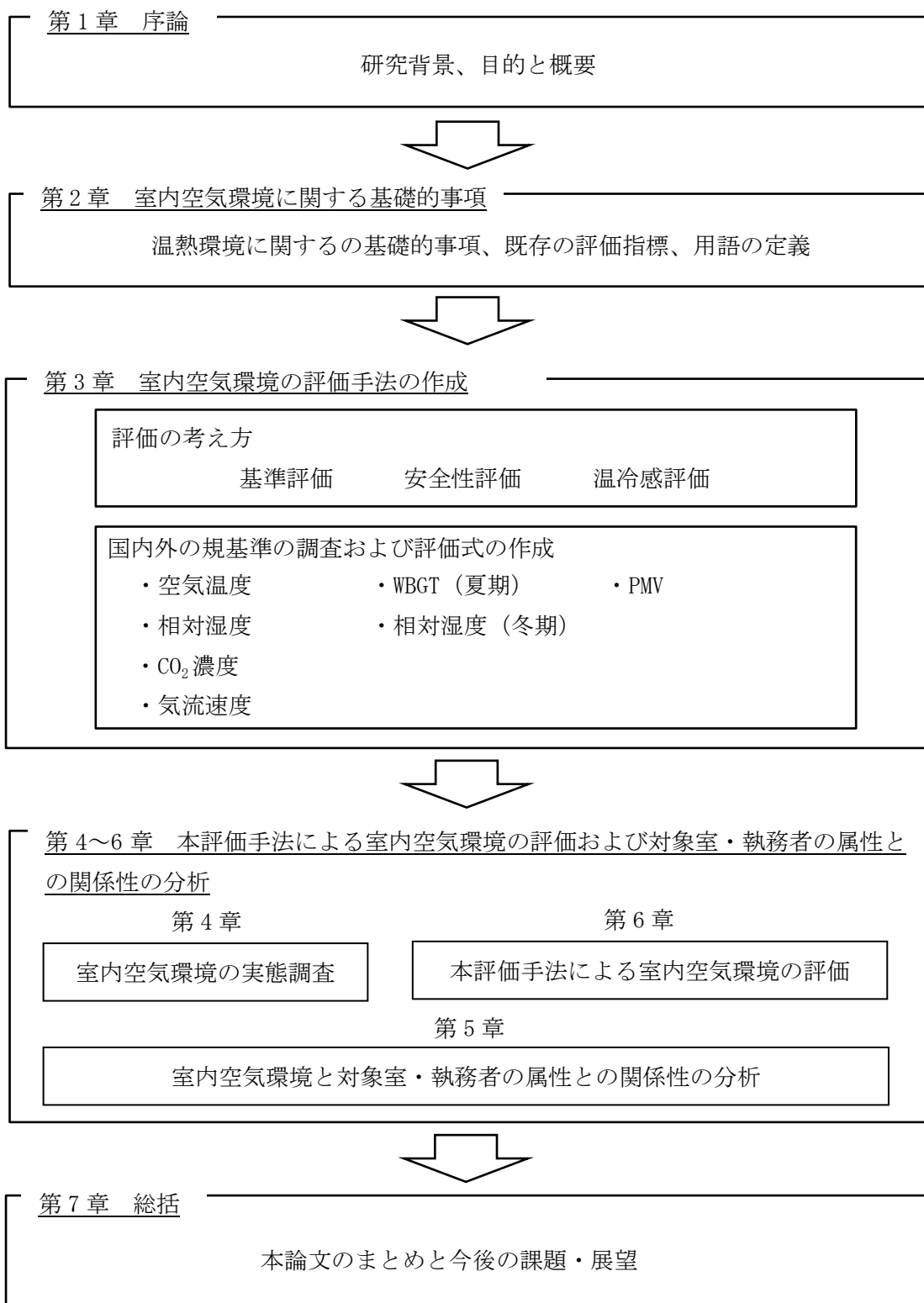


図 1-2 本論文の構成

第1章 引用・参考文献

- [1-1] 総務省：建築物における衛生的環境の確保に関する法律, http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=345AC1000000020&openerCode=1#115, 2017.12 取得
- [1-2] 厚生労働省：建築環境衛生管理基準, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsueisei10/>, 2017.12 取得
- [1-3] 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
- [1-4] 厚生労働省：建築物衛生法関連政省令改正の概要, <http://www.mhlw.go.jp/topics/2002/12/tp1218-2a.html>, 2017.12 取得
- [1-5] 総務省：衛生行政報告例, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=00001031469>, 2017.12 取得

第 2 章

室内空気環境に関する基本事項

第2章：室内空気環境に関する基礎的事項

2.1 はじめに

今日まで様々な温熱環境の評価指標が作成され、使用されてきた。そこで本章は温熱環境に関する基礎的事項および温熱環境に関する既存の評価指標、事務所の温熱環境に関する既往の研究を整理し、以後の取り扱いの基本とすることを目的とする。また、本論文中使用した用語から、特に定義を明確にする必要があるものを示す。

2.2 温熱環境の基礎的事項

人体は体内で産生した代謝熱をほどよく外部環境に逃がして熱平衡を保ち、深部体温を一定に保っている。図 2-1 に人体の熱平衡を示す。体内で産生された熱 ($M-W$) が、放射 (R)、対流 (C)、蒸発 (Es)、呼吸 (RES)、接触伝導 (K) より外部に放熱される。人間は外部に仕事することによって、代謝量 (M) の一部は体内で発熱されない。そのため、産熱は代謝量から外部仕事 (W) を引いたものになる。しかし、一般的な事務作業などでは外部仕事が 0 となる。

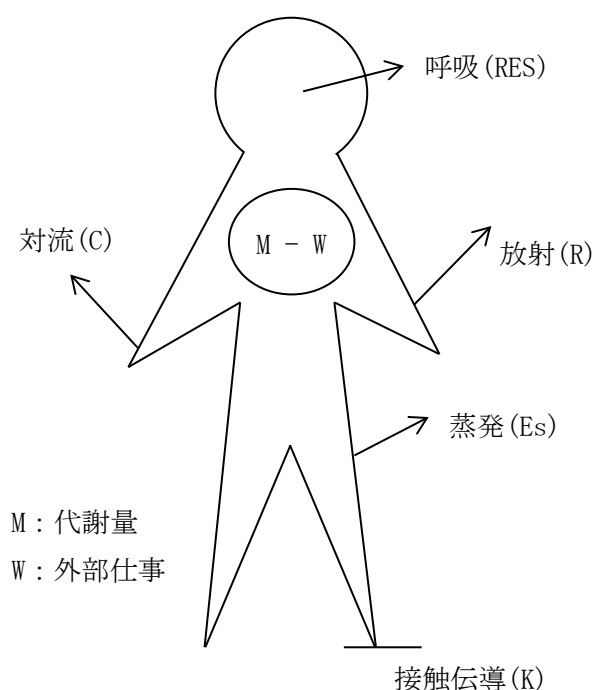


図 2-1 人体の熱平衡^[2-1]より引用

人体と環境との熱交換に影響を与える要素は温熱環境要素と呼ばれ、環境側は空気温度、放射温度、気流、湿度の4要素、人体側は代謝量、着衣量の2要素である。以下にそれぞれの要素について空気調和・衛生工学便覧^[2-1]より引用し、説明する。

(1) 代謝量

人体の代謝量は、メット (met) という単位で表される。1met は、椅座安静状態の代謝量で 58.2W/m^2 である。表1に様々な活動の代謝量を示す。通常の事務作業時は1.1～1.2metである。本論文では事務所における活動の代謝量を1.2metと仮定する。以下に様々な活動の代謝量について表2-1に示す。

表2-1 さまざまな活動の代謝量 (^[2-1]より引用)

活動	[met]
休息時	
寢床時	0.7
安静時	0.8
椅座静位	1.0
起立時	1.2
歩行	
3.2km/h	2.0
4.8km/h	2.6
6.4km/h	3.8
事務作業時	
読書・椅座静位	1.0
タイプ・ワープロ	1.1
ファイル整理・椅座	1.2
ファイル整理・立位	1.4
歩き回る	1.7
物を運ぶ・持ち上げる	2.1

(2) 着衣量

衣服の断熱性は、クロ (clo) という単位で表され、1clo は $0.155\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ と定義されている。clo 値の算定については Olsen が個々の衣服の熱抵抗の積算により算出する方法 (式 2-1) ^[2-2] を提案している。また、衣服の熱抵抗値について表 2-2 に示す

$$I_{cl} = \sum_i I_{clu,i} \quad (2-1)$$

I_{cl} : 衣服の合計熱抵抗 [clo]

$I_{clu,i}$: 衣服 i の有効熱抵抗 [clo]

表 2-2 衣服の熱抵抗値 (^[2-2]より引用)

Garment Description ^a	$I_{clo, P}$ clo	Garment Description ^a	$I_{clo, P}$ clo
Underwear		Coveralls	0.49
Men's briefs	0.04	Suit Jackets and Vests (Lined)	
Panties	0.03	Single-breasted (thin)	0.36
Bra	0.01	Single-breasted (thick)	0.44
T-shirt	0.08	Double-breasted (thin)	0.42
Full slip	0.16	Double-breasted (thick)	0.48
Half slip	0.14	Sleeveless vest (thin)	0.10
Long underwear top	0.20	Sleeveless vest (thick)	0.17
Long underwear bottoms	0.15	Sweaters	
Footwear		Sleeveless vest (thin)	0.13
Ankle-length athletic socks	0.02	Sleeveless vest (thick)	0.22
Calf-length socks	0.03	Long-sleeved (thin)	0.25
Knee socks (thick)	0.06	Long-sleeved (thick)	0.36
Panty hose	0.02	Dresses and Skirts	
Sandals/thongs	0.02	Skirt (thin)	0.14
Slippers (quilted, pile-lined)	0.03	Skirt (thick)	0.23
Boots	0.10	Long-sleeved shirtdress (thin)	0.33
Shirts and Blouses		Long-sleeved shirtdress (thick)	0.47
Sleeveless, scoop-neck blouse	0.12	Short-sleeved shirtdress (thin)	0.29
Short-sleeved, dress shirt	0.19	Sleeveless, scoop neck (thin)	0.23
Long-sleeved, dress shirt	0.25	Sleeveless, scoop neck (thick)	0.27
Long-sleeved, flannel shirt	0.34	Sleepwear and Robes	
Short-sleeved, knit sport shirt	0.17	Sleeveless, short gown (thin)	0.18
Long-sleeved, dress shirt	0.34	Sleeveless, long gown (thin)	0.20
Trousers and Coveralls		Short-sleeved hospital gown	0.31
Short shorts	0.06	Long-sleeved, long gown (thick)	0.46
Walking shorts	0.08	Long-sleeved, pajamas (thick)	0.57
Straight trousers (thin)	0.15	Short-sleeved, pajamas (thin)	0.42
Straight trousers (thick)	0.24	Long-sleeved, long wrap robe (thick)	0.69
Sweatpants	0.28	Long-sleeved, long wrap robe (thick)	0.48
Overalls	0.30	Short-sleeved, short robe (thin)	0.34

^a "Thin" garments are summerweight, "Thick" garments are winterweight ^b Knee-length

(3) 空気温度

空気温度は、暑さや寒さの度合いを表す指標として最も広く用いられている。しかし、単体では情報が不足しているため、他の環境要素と組み合わせて空気温度を拡張する指標が考案されてきた。湿度を考慮した湿球温度、放射を考慮したグローブ温度^{註 2-4)}などがあり、現在も温熱環境評価に使用されている。

(4) 放射温度

放射環境を表現するために、平均放射温度（MRT:Mean Radiant Temperature）という概念が用いられる。平均放射温度とは、実際の不均一な放射場において、在室者が周囲環境と放射熱交換を行うのと同量の放射熱交換を行うような、均一温度の仮想閉鎖空間の表面温度である。平均放射温度には、人体と周囲との形態係数が考慮されている。式(2-2)に平均放射温度の定義を示す。また、この平均放射温度は別途、グローブ温度、空気温度、風速から式(2-3)により概算できることが知られている。

$$MRT = \sqrt[4]{\sum \varphi_i (t_i + 273)^4} - 273 \quad (2-2)$$

MRT : 平均放射温度 [°C]

t_i : i 番目の周壁・天井・床面などの表面温度 [°C]

φ_i : i 番目の周壁・天井・床面などと人体の形態係数 [-]

$$MRT = t_g + 2.37\sqrt{v}(t_g - t_a) \quad (2-3)$$

t_g : グローブ温度 [°C]

v : 風速 [m/s]

t_a : 温度 [°C]

(5) 気流

人体が動いている場合は、動きも含めた相対気流として定義される。平均風速のみでなく、気流の乱れが温冷感に影響を与えることが知られるようになった。室内気流測定評価のためには、平均風速のみならず、気流の標準偏差を同時に測定することが勧められる^[2-3]。

(6) 湿度

湿度は温冷感に影響を与えるとともに、低湿度・高湿度では人体に熱的不快感とは別の不快感を与える。また、室内空気質（Indoor Air Quality:IAQ）との関係で、湿度が問題となることがある。衛生的な問題も含めて、総合的に考慮する必要がある。

註 2-1) グローブ温度計で測った温度である。グローブ温度計は銅板製で直径 15cm の球（外表面はつや消し黒塗り）の中空の中心部に温度計を挿入した機器。

2.3 温熱環境に関する既存の評価指標

人間は、温熱環境要素を個々に区別して暑い寒いを感じているのではなく、それらが複合した結果を感じている。これまで温熱環境要素の複合影響を単一の指標で表現するための数々の提案がなされてきた。「第14版 空気調和・衛生工学便覧 1 基礎編」^[2-1]を参考とし、その代表的なものに関して以下にまとめる。

(1) 作用温度

1940年ギャッジによって提案された。人体は現実の環境下で、周囲空間との間で対流と放射による熱交換を行っている。これと同じ量の熱を交換するような、均一温度の閉鎖空間の温度を作用温度といい、式のように表現される。空気温度と平均放射温度の対流熱伝達率と、線形放射熱伝達率の重み付け平均で表される。

$$t_o = \frac{h_c t_a + h_r t_r}{h_c + t_r} \quad (2-4)$$

- t_o : 作用温度 [°C]
- t_a : 空気温度 [°C]
- t_r : 平均放射温度 [°C]
- h_c : 人体の対流熱伝達率 [°C]
- h_r : 人体の線形放射熱伝達率 [°C]

(2) 等価温度

作用温度では、人体が発熱体であるという点を考慮していないため、気流による冷却効果は評価できない。等価温度は1929年にイギリス建築研究所においてDuftonが、Eupatheostatという発熱円柱装置を開発したことにさかのぼる。

また、Bedfordは暖房環境下における実測結果より、空気温度・放射温度・気流速度・を用いて、等価温度を算出する方法を提案した。式(2-5)はBedfordによる等価温度の計算式である。

Madsenは着衣量の影響を考慮した等価温度について、式(2-6)を提案している。人体形状を考慮した、サーマルマネキンによる温熱環境評価も等価温度による環境評価と原理的には同じである。

$$t_{eq} = 0.522t_a + 0.478t_r - 0.2\sqrt{v}(37.7 - t_a) \quad (2-5)$$

$$t_{eq,m} = 0.55t_a + 0.45t_r \frac{-0.24 - 0.75\sqrt{v}}{1 + I_{cl}} (36.5 - t_a) \quad (2-6)$$

- t_{eq} : 等価温度 [°C]
- $t_{eq,m}$: Madsenによる修正等価温度 [°C]
- v : 平均風速 [m/s]

(3) サーマルマネキン

人体形状をした発熱体を用いて、各部位からの熱損失量を測定し温熱快適性を評価することが行われている。サーマルマネキンは着衣熱抵抗の測定のために開発され、測定法の標準化が行われてきた。これに加えて、近年温熱環境評価に応用されるようになっている。

(4) 快適方程式と PMV (Predicted Mean Vote)

・快適方程式

快適方程式は Fanger によって提案され、人体の熱的中率温度を予測する式である。

熱的中率になるためには、熱平衡とともに、平均皮膚温と皮膚による蒸発熱損失量がある適当な範囲になければならないとされるが、快適方程式では、式 (2-7)、(2-8) に示すように熱的中率時の平均皮膚温と皮膚による蒸発熱損失量が代謝量の関数になると考えている。これにより人体に関する熱平衡式は温熱 6 要素で表現され、式 (2-9) のようになる。また、各要素は式 (2-10) ～ (2-15) のように表される。

Fanger の快適方程式では、人体に対する対流熱伝達率は、Winslow による式 (2-16) が使用され、着衣量面積比は式 (2-17) が使用されている。

・PMV

PMV は快適方程式と同時に Fanger によって提案された熱的中率に近い状態の人体の温冷感を予測する指標であり、人体に関する熱平衡式と 1300 人におよぶ被験者実験の結果に基づいている。温熱環境の 6 要素を代入すると、その条件で、大多数の人が感じる温冷感を数値として表現する。表 2-3 にそのスケールを示す。この尺度は ASHRAE7 段階温冷感申告尺度と呼ばれる。^[2-4]

また、PMV は 1984 年に ISO7730^[2-5] として国際規格化されている。

表 2-3 ASHRAE7 段階温冷感申告尺度^[2-1]より引用)

PMV	温冷感	
+3	暑い	(Hot)
+2	暖かい	(Warm)
+1	やや暖かい	(Slightly warm)
0	どちらでもない	(Neutral)
-1	やや涼しい	(Slightly cool)
-2	涼しい	(Cool)
-3	寒い	(Cold)

PMV は人体の熱負荷 (L) に基づき算出される。式 (2-9) の左辺から右辺を引いて、式 (2-18) のように人体の熱負荷が求められる。式 (2-13) ～ (2-15) 中の着衣外表面温度 t_{cl} は式 (2-19) より求める。

PMV は式 (2-20) より算出される。

$$t_s = 35.7 - 0.028(M - W) \quad (2-7)$$

$$E_s = 0.42(M - W - 58.15) \quad (2-8)$$

$$(M - W) - E_d - E_s - E_{re} - C_{re} = K = R + C \quad (2-9)$$

$$E_d = 3.05 \cdot 10^{-3}(5733 - 6.99(M - W) - Pa) \quad (2-10)$$

$$E_{re} = 1.7 \cdot 10^{-5}M(5867 - Pa) \quad (2-11)$$

$$C_{re} = 0.0014M(34 - t_a) \quad (2-12)$$

$$K = (t_s - t_{cl}) / -0.155I_{cl} \\ = (35.7 - 0.028(M - W) - t_{cl}) / 0.155I_{cl} \quad (2-13)$$

$$R = 3.96 \cdot 10^{-8}f_{cl}((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) \quad (2-14)$$

$$C = f_{cl} \cdot h_c(t_{cl} - t_a) \quad (2-15)$$

$$\left. \begin{array}{l} h_c = 2.38|t_{cl} - t_a|^{0.25} \\ \text{あるいは} \\ h_c = 12.1\sqrt{v} \end{array} \right\} \text{大きい値を採用する} \quad (2-16)$$

$$\left. \begin{array}{l} f_{cl} = 1.00 + 0.2I_{cl}, \text{ at } I_{cl} \leq 0.5clo \\ f_{cl} = 1.05 + 0.1I_{cl}, \text{ at } I_{cl} \geq 0.5clo \end{array} \right\} \quad (2-17)$$

- M : 代謝量 [W/m²]
 W : 機械的仕事量 [W/m²]
 E_d : 不感蒸せつ量 [W/m²]
 E_s : 発汗による蒸発熱損失量 [W/m²]
 E_{re} : 呼吸による潜熱熱損失量 [W/m²]
 C_{re} : 呼吸による顕熱損失量 [W/m²]
 K : 衣服を通る顕熱損失量 [W/m²]
 R : 放射熱損失量 [W/m²]
 C : 対流熱損失量 [W/m²]

$$L = (M - W) - E_d - E_s - E_{re} - C_{re} - R - C \quad (2-18)$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) \\ - 0.115I_{cl}\{3.96 \times 10^{-8}f_{cl}\{(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4\} + f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)\} \quad (2-19)$$

$$PMV = L(0.303e^{-0.036M} + 0.028) \quad (2-20)$$

$$PPD = 100 - 95\exp[-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)] \quad (2-21)$$

また、Fanger は PMV と予想不満足者率 (Predicted Percentage of Dissatisfied:PPD) の関係を提案している。(式 2-21)

ISO7730 では、快適域として、PMV、PPD の値で、 $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$ 、 $\text{PPD} < 10\%$ を推奨している。

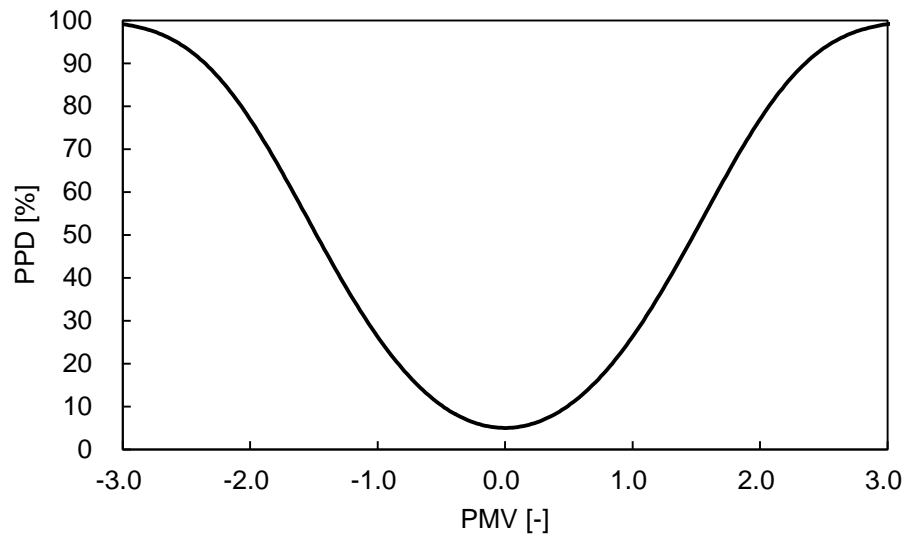


図 2-2 PMV と PPD の関係

(5) WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature)

WBGT は、温熱環境下の熱ストレスを評価する指標であり、米軍兵士の熱中症予防のために作成され、Yaglou らにより 1957 年に提案された実験式となっている。WBGT は乾球温度、自然換気状態の湿球温度、グローブ温度を測定することで、温熱環境の基本要素、温度、湿度、気流、放射の影響を加味して暑熱環境ストレスを総合的に評価する指標であり、屋外や屋内で太陽照射のない場合は式 (2-22)、(2-23) により求められる。

WBGT は暑熱労働環境評価で広く用いられており、ISO7243^[2-6]として国際規格化されている。また、ISO7243 は技術的内容及び規格票の様式を変更することなく翻訳され、JIS Z8504^[2-7]となっている。

屋外、太陽照射のない場合における WBGT の算定式

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.2t_g + 0.1t_a \quad (2-22)$$

屋内、太陽照射のない場合における WBGT の算定式

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.3t_g \quad (2-23)$$

WBGT：WBGT 指数[°C]

t_{nwb} ：自然換気状態の湿球温度[°C]

t_g ：黒球温度（グローブ温度）[°C]

t_a ：乾球温度[°C]

表 2-4 各条件に対応した WBGT の基準値 (JIS Z8504^[2-7]を参考に作成)

区分	代謝率範囲 M [W/m ²]	WBGT 基準値[°C]	
		熱に順化している人*	熱に順化していない人*
0 安静	M ≤ 65	33	32
1 低代謝率	65 < M ≤ 130	30	29
2 中程度代謝率	130 < M ≤ 200	28	26
3 高代謝率	200 < M ≤ 260	25 (26)**	22 (23)**
4 極高代謝率	M > 260	23 (25)**	18 (20)**

備考 これらの数値は最高直腸温度 38°C を許容限度として設定されている。

*熱に順化していない人とは、作業する前の週に毎日熱にさらされていなかった人をいう。

**括弧内の数値は、気流を感じる時の基準値を示す。

2.4 用語の定義

・建築物環境衛生管理基準

本論文においては建築物衛生法に示された建築物環境衛生管理基準の内、空気環境の基準を指し示す。以下に、建築物衛生法に示された建築物衛生管理基準について説明する。

特定建築物の所有者、占有者その他の物で当該特定建築物の維持管理について権原を有する者は、建築物衛生法に規定される「建築物環境衛生管理基準」に従って当該特定建築物の維持管理をしなければならないと規定されている。

この「建築物環境衛生管理基準」は、「空気環境の調整、給水及び排水の管理、清掃、ねずみ、昆虫等の防除その他環境衛生上良好な状態を維持するのに必要な措置について定め」と規定されており、高い水準の快適な環境の実現を目的とした基準であり、適合していないという理由だけで、直ちに行政措置や罰則の対象となるわけではない。ただし、建築物環境衛生管理基準について違反があり、かつ、その特定建築物内の人の健康を損なうおそれが具体的に予見されるような事態が生じた場合には、都道府県知事は改善命令等を出することができる。また、事態が緊急性を要する場合については、都道府県知事は、当該事態がなくなるまでの間、関係設備等の使用停止や使用制限を課することができる。

また、特定建築物以外の建築物であっても、多数の者が使用、利用するものについては、建築物環境衛生管理基準に従って維持管理をするように努めなければならない（法第四条第三項）こととされており、いわゆる努力義務が課せられている。

表 2-5 建築物環境衛生管理基準における空気環境の基準^[2-8]

項目	基準
浮遊粉じんの量	0.15mg/m ³ 以下
一酸化炭素の含有率	10ppm以下 (特例として外気がすでに10ppm以上ある場合には20ppm以下)
二酸化炭素の含有率	1000ppm以下
温度	一 17℃以上28℃以下 二 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
相対湿度	40%以上70%以下
気流	0.5m/秒以下
ホルムアルデヒド	0.1mg/m ³ (0.08ppm以下)

2.5 おわりに

本章では、本論文において重要となる温熱環境の基礎的事項や既往の評価指標、用語について整理した。

次章では、事務所における室内空気環境の評価方法および評価値の設定を行い、評価指標の作成を行う。

第2章 引用・参考文献

- [2-1] 空気調和・衛生工学会：第14版 空気調和・衛生工学便覧 1 基礎編，2010
- [2-2] ASHRAE：ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, p 9.9, 2013
- [2-3] ISO 7726:Ergonomics of the Thermal environment-Instruments for measuring physical quantities, 1998
- [2-4] ASHRAE：ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, p9.12, 2013
- [2-5] ISO 7730:1994:Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort
- [2-6] ISO 7243:2017, Hot environments- Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)
- [2-7] JIS Z8504:1999：人間工学-WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価-温熱環境
- [2-8] 厚生労働省：建築環境衛生管理基準, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>, 2017.12 取得

第 3 章

室内空気環境の総合評価指標の作成

第3章：室内空気環境の評価手法の作成

3.1 はじめに

本論文の大目的は事務所における室内空気環境の維持・向上であり、そのためには執務者に室内空気環境について理解してもらうことが重要であることは第1章にて述べてきた。また前章において、温熱環境に関する基礎的事項や既往の評価指標についてとりまとめた。本章では、本論文における事務所の室内空気環境の評価方法を述べると共に、室内空気環境に関する国内外の規基準の整理を行い、事務所における室内空気環境の維持向上に資するための評価指標を作成する。

3.2 事務所における室内空気環境の評価方法

近年、事務所において建築物衛生法に定められた空気環境の測定項目の内、特に温度、相対湿度、二酸化炭素の含有率について不適合割合が増加傾向にあることから、それらの改善が求められている。

本論文において提案する室内空気環境の評価指標の目的は、事務所における室内空気環境について執務者の理解を深め、室内空気環境の維持・向上に資することである。

そのため、評価に必要とする項目は建物の維持管理上、入手可能な項目として、建築物衛生法による定期測定項目とする。ただし、建築物衛生法による定期測定の温熱環境に関する項目は空気温度、相対湿度、気流速度であり、温熱6要素の内の環境側4要素である放射温度以外を満たす。また人体側2要素である着衣量や活動量は事務所であることから推定することが可能であり、残りの放射温度が把握できれば、温熱6要素をすべて把握することが可能となる。これによりPMVやWBGTを算定し、温冷感や安全性を評価することが可能となる。本論文では建築基準法に定められた定期測定項目に放射温度を追加することを提案すると共に、温熱6要素から事務所の室内空気環境を評価する指標を提案する。

以上のことから、本論文における事務所の室内空気環境の評価指標は①基準値評価値、②安全性評価値、③温冷感評価値の3軸によるものとする。以下に、本論文における各評価値の定義を示す。

①基準評価値

環境衛生管理基準をどの程度満たしているかについて 0～100 点の間で定量的に評価した値。評価項目は建築物衛生法に定められた定期測定項目の内、特に不適合割合が高いとされる温度、相対湿度、二酸化炭素に気流を加えた 4 項目である。

②安全性評価値

安全性について 0～100 点の間で定量的に評価した値。夏期は熱中症の危険性を示す WBGT を用いた評価を、冬期は湿度による非温熱的影響による評価を行う。

③温冷感評価値

温冷感について PMV による PPD を用いて 0～100 点の間で定量的に評価した値。

3.3 事務所における室内空気環境の評価手法の作成

前項にて事務所の室内空気環境の評価についての考えを示した。本項では、事務所の室内空気環境の評価手法および基準評価、安全性評価、温冷感評価について、それぞれ評価式を作成した。なお、この評価手法は既往の評価指標による評価結果を組み合わせ、室内空気環境について定量的に示すものであることから、各評価項目の定量的な評価については表 3-1 に示す共通の基準を設け設定した。

表 3-1 評価値の設定における共通の基準

評価値	評価値の設定における共通の基準
100 点	推奨される基準値
80 点	許容される基準値(複数の許容値が存在する場合における上限値)
50 点	許容値が複数存在する場合における下限値
0 点	いずれの基準値に対しても許容されない値

以下に、本論文における室内空気環境の評価式を示す。

$$|\vec{I}_O| = \sqrt{\frac{I_{st}^2 + I_s^2 + I_c^2}{3}} \quad (3-1)$$

I_O : 総合評価値[点]

I_{st} : 基準評価値[点]

I_s : 安全性評価値[点]

I_c : 温冷感評価値[点]

総合評価値 I_O は基準評価値 I_{st} と安全性評価値 I_s 、および温冷感評価値 I_c の3軸によるベクトルの大きさを示している。なお、基準評価値、安全性評価値、温冷感評価値はそれぞれ0～100点の間で示されるため、通常の3次元ベクトルの式では総合評価値を0～100点の間で示すことができない。そこで I_{st}^2 、 I_s^2 、 I_c^2 を3で割る事で総合評価値を0～100点の間で示す。

以下に、基準評価値の算定式を示す。なお、各項目の評価については次節にて述べる。

$$I_{st} = \sqrt[4]{I_\theta \times I_{RH} \times I_V \times I_{CO_2}} \quad (3-2)$$

I_θ : 温度の評価値[点]

I_{RH} : 相対湿度の評価値[点]

I_V : 気流速度の評価値[点]

I_{CO_2} : CO_2 濃度の評価値[点]

基準評価値は温度、相対湿度、気流、 CO_2 濃度の評価値の相乗平均から算定する。相乗平均とする理由は2つあり、ひとつは基準評価の項目に0点となる項目がある場合に基準評価値を0点すること、もう一つは相加平均 \geq 相乗平均であることである。これは本論文における室内空気環境の評価指標の目的が、建築基準法により定められた定期測定における基準値不適合割合の増加傾向を改善すること、を含むためである。

以下に、安全性評価値、温冷感評価値の算定式を示す。

夏期

$$I_S = I_{WBGT} \quad (3-3)$$

冬期

$$I_S = I_{RH} \quad (3-4)$$

$$I_C = I_{PPD} \quad (3-5)$$

I_{WBGT} : WBGT の評価値[点]

I_{RH} : 相対湿度の評価値[点]

I_{PPD} : PMV による PPD の評価値[点]

安全性評価値は夏期に熱中症の危険性を示す WBGT による評価値、冬期に相対湿度による評価値とし、温冷感評価値は PMV による PPD の評価値とする。なお、それぞれの評価については 3.3.2 および 3.3.3 にて述べる。

3.3.1 基準評価

前項にて基準評価は、温度、相対湿度、気流、CO₂濃度の評価値の相乗平均から算定すると述べた。本節では、基準評価の評価項目である温度、相対湿度、気流、CO₂濃度のそれぞれの項目について評価値を算定する式を作成した。

なお、式の作成にあたっては東による論文^{[3-1] [3-2]}（引用・参考文献として^{[3-1-A~3-1-R] [3-2-A]}を挙げているが、当該論文が入手困難であるため孫引きである）から環境衛生管理基準の設定の背景、諸外国の規基準に関して引用し、整理を行った。表 3-2 に建築物環境衛生管理基準における空気環境の基準、表 3-3 に「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」における管理基準の提案値、表 3-4、3-5 に諸外国の温熱環境ガイドラインを示す。

建築物環境衛生管理基準に示されている温度、相対湿度、気流、CO₂濃度の基準は、「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」^{註 3-1) [3-1-A]}が基盤となっており、この報告書では、ビルディング、すなわち閉鎖された建築物の内部において、最小限 8 時間以上継続的に労働する人体に対し、安全、健康、快適性（選択制）、能率を目的として管理基準が検討されている。^[3-1-B]

空気温度、相対湿度、CO₂濃度、気流における基準の設定根拠については、それぞれの項目において後述する。

また、諸外国における規基準については東による論文^{[3-1] [3-1-C]~[3-1-L]}から引用し、以下にまとめる。

- ・米国労働省の労働安全衛生局(Occupational Safety and Health Administration)は OSHA Technical Manual において事務所における温湿度のガイドラインを勧告しており、温度の制御範囲は 20℃～24.4℃としている。ただし、この数値は規制値ではない。^[3-1-D]

- ・カナダには温熱環境基準に関連する法規はないが、労働安全衛生センター(Canadian Centre for Occupational Health and Safety:CCOHS)が労働環境における温熱快適性に関してガイドラインを示している。^[3-1-E]

温度については一般的に 21～23℃の範囲内に維持することが推奨される。夏期に外気温度がこの範囲より高い時は、屋外と外気との温度差を最小限にするために、少し高い温度に空調を設定することが望ましい。

相対湿度は約 50%に維持されると、オフィス内の労働者は呼吸器系への影響をほとんど受けて一般に快適である。しかし、湿度がさらに高くなると、特に気密性の高い建物内では細菌やカビの成長を助長する。

気流速度については 0.25m/s 以下では、長期間の集中力が要求される仕事であっても深刻な注意力の低下を起こさない。

註 3-1) 昭和 40 年度厚生科学研究補助金により、社団法人空気調和・衛生工学会に研究が委託され、同学会は、建築学、衛生工学、医学などの学者で組織する委員会を立ち上げ、欧米先進諸国の制度等も参考にして研究を進め、1966 年 3 月に「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」（委員長：小林陽太郎 氏）が報告された。^[3-2]

カナダ規格協会(CSA)の CSA Z412-00「オフィス人間工学」において、カナダのオフィス環境において要求される温度と湿度が示されている。これらの値は ASHRAE Standard 55-2004 に基づいて作成されており、およそ 80%の人々が快適感を示す温度範囲とされている。来られの基準はカナダ学術研究会議も推奨している。

- ・フィンランド環境省 (Ministry of the Environment) の住宅建築局 (Housing and Building Department) が所管している建築基準法 (National building code) の part D2 に温熱環境基準が規定されている^[3-1-G]

- ・中国では、国家環境保護総局 (State Environmental Protection Administration: SEPA)、衛生部 (Ministry of Health)、国家品質監督検査検疫総局 (General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine) の3つの行政機関が共同で室内空気質基準 (GB/T18883-2002) 22)を公布し、2003 年 3 月 1 日に施行された。住宅とオフィスの室内空気質に対する評価に適用され、室内空気質基準、室内空気試料採取、モニタリング方法が規定されている。^[3-1-H]

- ・中国の香港特別行政区では、香港政府が設置した省庁間室内空気質管理グループ (inter-department Indoor Air Quality Management Group: IAQMG) が、2003 年 9 月にオフィスと公共の場を対象とした室内空気質管理の指針 (Guidance Notes for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places) を公表した。^[3-1-I] 相対湿度の基準は、日本の建築物衛生法の基準値が採用されている。

- ・1995 年、シンガポール環境省は、室内空気質ガイドラインを策定するため技術諮問委員会を立ち上げた。そして、環境省環境疫学研究所 (Institute of Environmental Epidemiology, Ministry of the Environment: IEEMH) がその報告書を公表した。^[3-1-J] この報告書で公表された室内空気質ガイドラインは、空調設備を有するオフィスビルが対象施設となっており、ビル関連疾患やシックビルディング症候群が考慮されている。

- ・ニュージーランドでは、オフィスの温熱快適性に関して、労働省 (Department of Labour) が Health and Safety in Employment Regulations 1995 で規定している。^[3-1-L] 室温については、夏期と冬期、職場での活動量で基準を分けているが、相対湿度の基準はいずれも 40～70%としている。

表 3-2 建築物環境衛生管理基準における空気環境の基準^[3-3]

項目	基準
浮遊粉じんの量	0.15mg/m ³ 以下
一酸化炭素の含有率	10ppm以下 (特例として外気がすでに10ppm以上ある場合には20ppm以下)
二酸化炭素の含有率	1000ppm以下
温度	一 17℃以上28℃以下 二 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
相対湿度	40%以上70%以下
気流	0.5m/秒以下
ホルムアルデヒド	0.1mg/m ³ (0.08ppm以下)

表 3-3 「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」における管理基準の提案値^{[3-2][3-2-A]}

項目	基準
浮遊粉じんの量	0.2mg/m ³ 以下
一酸化炭素の含有率	20ppm
二酸化炭素の含有率	1500ppm
温度	外気温度との差は原則として7℃以内とし、下記の範囲を基準とする。 ・冷房を行う場合 22～28℃ ・暖房を行う場合 17～25℃
相対湿度	55以上70%以下
気流	・冷房の場合 0.25m/s以下 ・暖房の場合 0.30m/s以下

表 3-4 諸外国の温熱環境ガイドライン（^[3-1]を参考に作成）^{[3-1-C]～[3-1-G]}

		アメリカ		カナダ	イギリス	フィンランド
		保健省	労働安全衛生局	規格協会	健康安全局	環境省
		PHS Facilities Manual	Technical Manual	CSA Z412-00	Guidance	National Building Code
温度[°C]	夏季	21.1～26.7	20～24.4	24.5～28 (30%RH) 23～25.5 (60%RH)	13～30	23*
	冬季	18.3～20.0		20.5～25.5 (30%RH) 20～24 (60%RH)		21*
相対湿度 [%RH]	夏季	-	20～60	-	-	45 (21°C)
	冬季					
気流 [m/s]	夏季	-	-	-	-	-
	冬季					

*通常の居室の温度は 25°C を超えないこと、外気温度が最大 5 時間平均で 20°C 以上の場合、この基準値を最大 5°C 超過可能

表 3-5 諸外国の温熱環境ガイドライン（^[3-1]を参考に作成）^{[3-1-H]～[3-1-L]}

		中国	香港特別行政区		シンガポール	オーストラリア	ニュージーランド
		環境保護総局	IAQMG		環境省	雇用・職場関係者	労働省
		GB/T18883-2002	Guidance Notes for the Management		Guidelines	Guidelines	Health and Safety in Employment Regulations
			Excellent Class	Good Class			デスクワーク中心の職場
温度[°C]	夏季	22～28	20～25.5	<25.5	22.5～25.5	23～26	19～24
	冬季	16～24				20～24	18～22
相対湿度 [%RH]	夏季	40～80	40～70	<70	-		40～70
	冬季	30～60					
気流 [m/s]	夏季	0.3	<0.2	<0.3	≤0.25	≤0.25	0.1～0.2
	冬季	0.2					

(1) 空気温度

日本および諸外国における空気温度の規基準についてとりまとめた結果の内、夏期についての規基準を図 3-1、冬期についての規基準を図 3-2 に示す。なお、建築物環境衛生管理基準については提案値である夏期 22～28℃、冬期 17～25℃を示す。

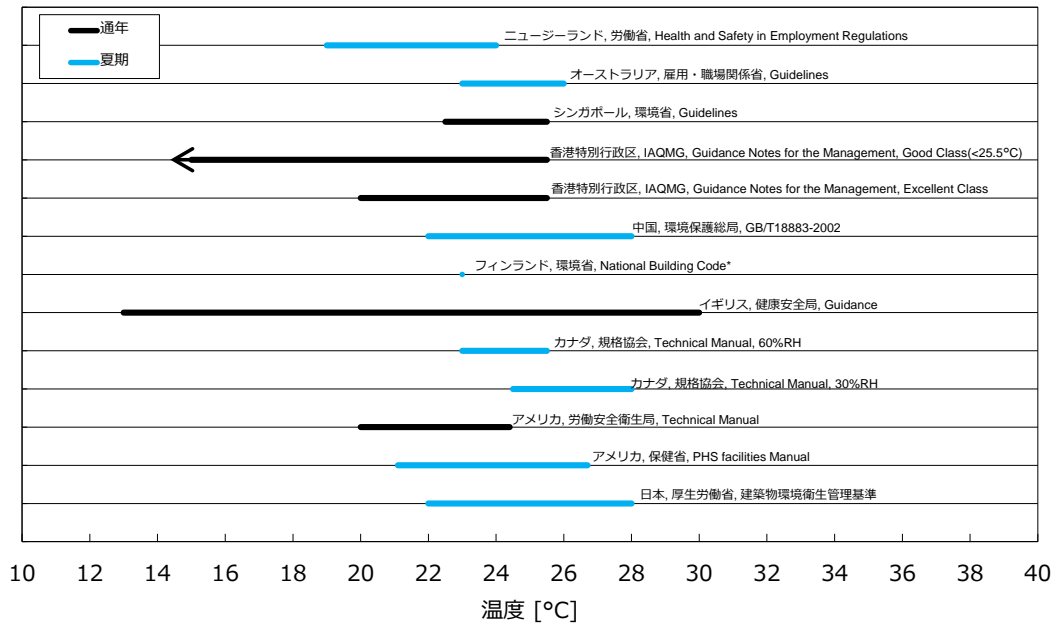
①建築物環境衛生管理基準における空気温度の基準設定の根拠

建築物環境衛生管理基準における空気温度の基準は「17℃以上 28℃以下」とされているが、これは「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」が基となっており、この研究を踏まえ、環境衛生管理基準として、「外気温度との差は原則として 7℃以内とし、冷房を行う場合、22～28℃、暖房を行う場合、17～25℃」が提案されている。^[3-2]

以上のことから、現在の建築物環境衛生管理基準における空気温度の基準「17℃以上 28℃以下」は冷房時においては 22～28℃、暖房時においては 17～25℃と解釈することができる。

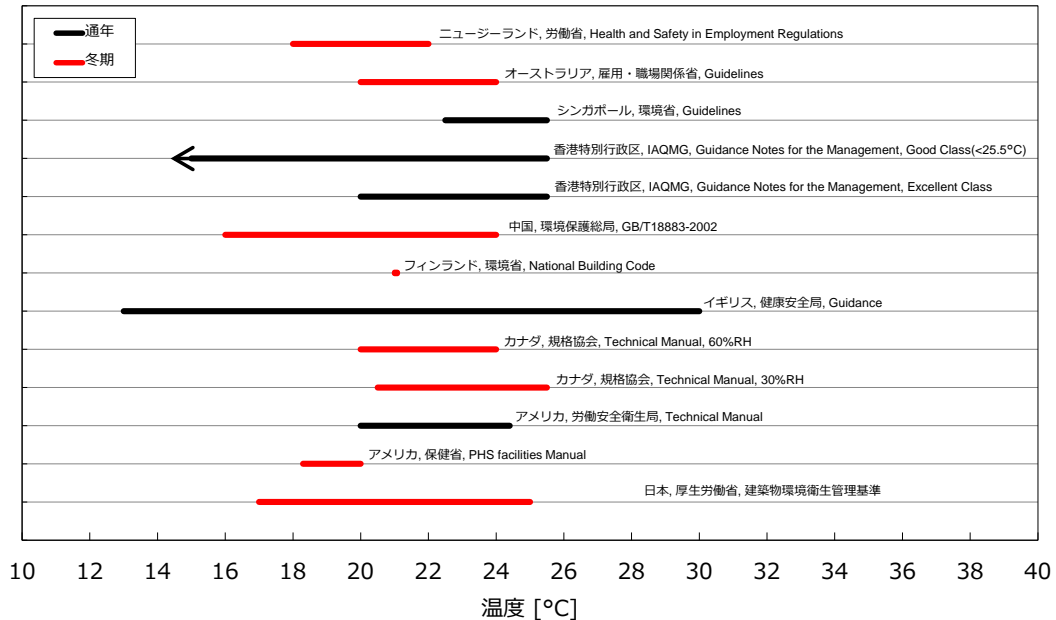
②日本および諸外国における空気温度の規基準

空気温度における日本と諸外国の規基準について夏期と冬期それぞれ図 3-1、3-2 に示す。なお、建築物環境衛生管理基準の範囲については前述したとおり、夏期 22℃～28℃、冬期 17℃～25℃に分けて示した。



*通常の居室の温度は 25℃を超えないこと、外気温が最大 5 時間平均で 20℃以上の場合、この基準値を最大 5℃超過可能

図 3-1 夏期の空気温度における日本と諸外国の規基準（^[3-1]^[3-3]を基に作成）^[3-1-C]～^[3-1-L]



*通常の居室の温度は 25℃を超えないこと、外気温が最大 5 時間平均で 20℃以上の場合、この基準値を最大 5℃超過可能

図 3-2 冬期の空気温度における日本と諸外国の規基準（^[3-1]^[3-3]を基に作成）^[3-1-C]～^[3-1-L]

③空気温度の評価値の設定および評価式の作成

夏期と冬期それぞれにおいて空気温度の評価値を設定した。表 3-6 に夏期の評価値、表 3-7 に冬期の評価値を示す。また、図 3-3 に夏期と冬期を合わせた評価値を示す。

・夏期

夏期における空気温度の評価基準点として「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」において夏期の基準値として提案された範囲の下限值 22℃、上限値 28℃（現在の建築物環境衛生管理基準における上限値）を 80 点、その中間値である 25℃を 100 点に設定した。

また、これらの評価基準点について線形補完を行った結果を図 3-3 に示す。線形補完によって作成された夏期の空気温度の評価式は以下のようになる。

$$t_a < 22^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = 0 \quad (3-5)$$

$$22^\circ\text{C} \leq t_a < 25^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = \frac{20}{3}x - \frac{200}{3} \quad (3-6)$$

$$25^\circ\text{C} \leq t_a \leq 28^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = -\frac{20}{3}x + \frac{800}{3} \quad (3-7)$$

$$t_a > 28^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = 0 \quad (3-8)$$

・冬期

夏期と同様に評価基準点として、「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」において冬期の基準値として提案された範囲の下限值 17℃（現在の建築物環境衛生管理基準における下限値）、上限値 25℃を 80 点、その中間値である 25℃を 100 点に設定した。また、現在の建築物環境衛生管理基準における上限値 28℃を 50 点に設定した。評価値を設定する空気温度は建築物環境衛生管理基準および提案値を用いた。

これらの評価基準点について線形補完を行った結果を図 3-4 に示す。線形補完によって作成された冬期の空気温度の評価式は以下のようになる。

$$t_a < 17^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = 0 \quad (3-9)$$

$$17^\circ\text{C} \leq t_a < 21^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = 5x - 5 \quad (3-10)$$

$$21^\circ\text{C} \leq t_a \leq 25^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = -5x + 205 \quad (3-11)$$

$$25^\circ\text{C} \leq t_a \leq 28^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = -10x + 330 \quad (3-11)$$

$$t_a > 28^\circ\text{C} \quad I_{t_a} = 0 \quad (3-12)$$

表 3-6 夏期における空気温度の評価値

空気温度[°C]	評価値	備考
<22	0	
22	80	提案値 ^[3-2]
25	100	中間値
28	80	提案値 ^[3-2] 、建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
>28	0	

表 3-7 冬期における空気温度の評価値

空気温度[°C]	評価値	備考
<17	0	
17	80	提案値 ^[3-2] 、建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
21	100	中間値
25	80	提案値 ^[3-2]
28	50	建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
>28	0	

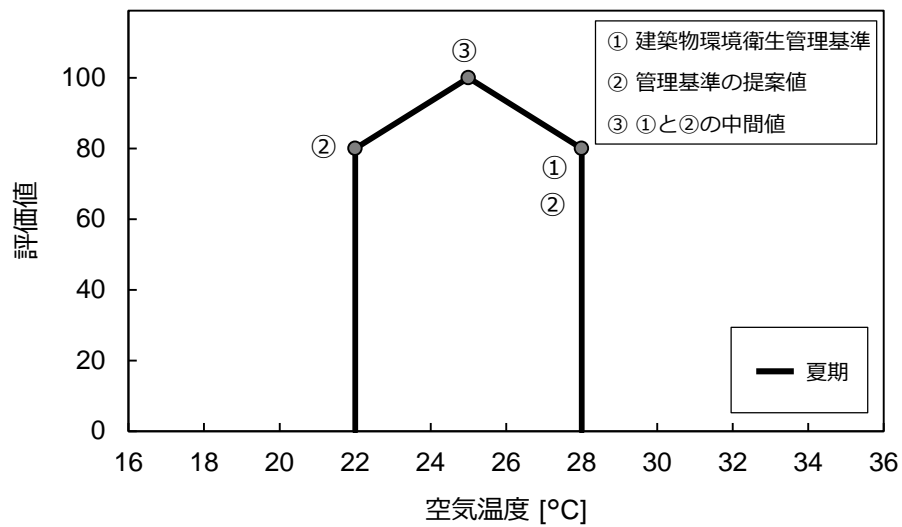


図 3-3 夏期における空気温度の評価値

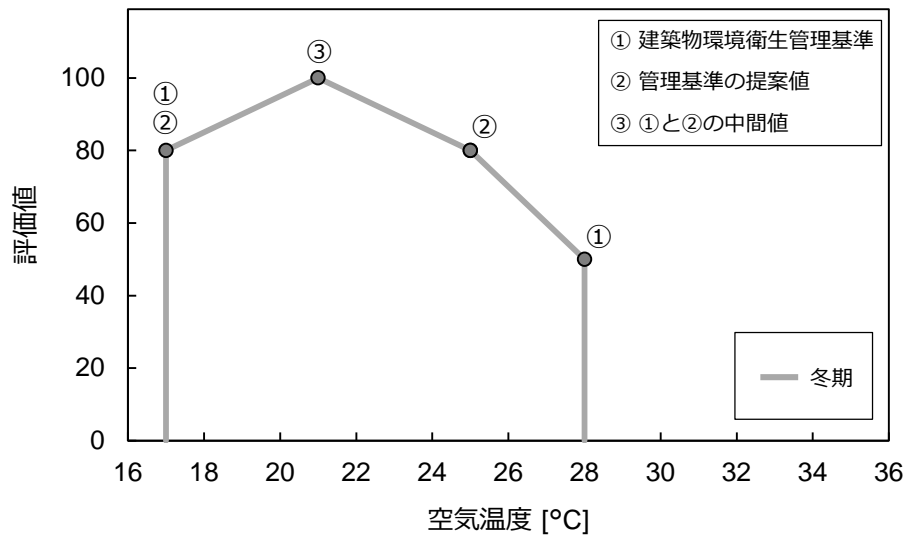


図 3-4 冬期における空気温度の評価値

(2) 相対湿度

①建築物環境衛生管理基準における相対湿度の基準設定の根拠

建築物環境衛生管理基準は「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」が基となっていることは前述したとおりであるが、湿度の基準の設定についてそこでは 1951 年 3 月発行の DIN 1946 Versammlungsräumen (会議区域の換気システムに関する基準) における許容限度 (冬期の最低限度 35%、夏期の最高限度 70%) が参考例としてあげられている。ただし、乾燥のし過ぎの場合は咽喉の粘膜を痛めて障害を起こしやすくなることから、推奨値として 55%~70% (人体に対し夏期は少湿、冬期は多湿が望ましい) を提案している。

建築物環境衛生管理基準は「40%以上 70%以下」であり、提案値の上限値がそのまま採用されているが、下限値が異なっている。これについては報告書作成以降、さらに議論がなされたと推測される。^[3-1]

その下限値の根拠について東^[3-1]は以下のように推測している。

健康に関連した相対湿度の下限值については、建築物衛生法施行令が公布された 1970 年以前に、相対湿度と各種ウイルスの死滅率や感染価等との関連性が報告^{[3-1-M][3-1-Q]}されていた。Hemmes らの研究では、相対湿度が 40%を超えるあたりからインフルエンザウイルスの死滅率が急激に上昇していた。一方、ポリオウイルスの死滅率は、50%あたりから急激に減少していた。Harper らの研究では、インフルエンザウイルスの生存率、は相対湿度約 35%と比べると約 50%で大きく低下していた。一方、ポリオウイルスの生存率は相対湿度約 50%に比べると約 80%で大きく上昇した。これらのデータより、インフルエンザに関しては、相対湿度の下限值が 40%と判断できる。ポリオに関しては、高湿度下で生存率が上昇するが、1960 年代、不活化ワクチンの定期接種の導入によって、日本ではポリオ患者が激減していた。従って、これらの研究結果をもとに、相対湿度の下限值として 40%を採用したと考えられる。

表 3-8 「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」における相対湿度の推奨値
(^[3-1]より引用)

段階	数値	備考
推奨値	55～70%	人体に対し夏期は少湿、冬期は多湿が望ましい
許容限度の例	夏期 最高限度 35%	
	冬期 最低限度 70%	

表 3-9 1970 年以前に発表された相対湿度と健康影響に関する報告
(^[3-1]より引用) ^{[3-1-M]～[3-1-R]}

分類	概要	出典
ウイルスの死滅率	インフルエンザウイルスの死滅率は 50～90%RH において高く、15～40%RH において低かった。ポリオウイルスでは 50～65%RH を超えると死滅率が低下した。	Hemmes et al 1960, 1962
ウイルスの生存率	牛痘ウイルスの生存率は約 80%RH でやや低下した。インフルエンザウイルスの生存率は約 35%RH と比べると約 50%RH で大きく低下した。ベネズエラ脳炎ウイルスの生存率は相対湿度による大きな差は観察されなかった。ポリオウイルスの生存率は約 50%RH に比べると約 80%RH で大きく上昇した。	Harper 1961, 1963
ウイルスの感染価	インフルエンザウイルスの感染価の減少率は 20%RH と比べると 84%RH は約 1.5 倍であった。ポリオウイルスでは逆に約 2～3 倍高かった。	Buckland et al 1962
総説	世界保健機関（WHO）の報告書である。高湿度では汗の蒸発を制限して放熱を遅らせる。乾燥した空気は軌道の粘膜を乾燥させて不快感を起こす。また、微生物と塵埃の気道粘膜での濾過作用に影響する。これらのことから、30%RH～60%RH を推奨している。	Goromosov 1968

②相対湿度による非温熱的影響の範囲

湿度は温冷感に影響を与えるとともに、低湿度、高湿度では人体に非温熱的影響を与える。低湿度では鼻腔の乾燥、ドライアイ、静電気などの問題が生じる。高湿度では皮膚のぬれ率増加による不快感、カビなどの問題が生じる。

湿度における非温熱的影響について田辺の論文^[3-4]から引用し、以下に示す。

- ・鼻腔の乾燥 : 室内の相対湿度が 25%以下になると鼻腔の乾燥を知覚する。乾燥によりゴミや微生物の除去が困難になり、細菌やウイルスが長く生存し、風邪を引きやすくなる。
- ・ドライアイ : 乾燥環境によっておこるドライアイの症状は低相対湿度、速い気流下でおこる。眼の乾燥には個人差があるが、相対湿度 20%～30%では、コンタクトレンズに付着する塵が多くなり、不快感が大きくなる。
- ・皮膚 : 快適な相対湿度は 23℃、70%のときである。
- ・ダニ : アレルギーを引き起こす。ダニの繁殖の最適環境は気温 25℃、相対湿度 80%である。
- ・カビ : 喘息発作の原因になる。カビが繁殖しやすい湿度はおおむね高相対湿度で、70%から 85%の間で多くのカビが繁殖する。しかし、ダニ・カビの成長に関しては、室内温湿度のみではなく、壁面近傍、壁面の温湿度影響によるところが大きい。
- ・ウイルス : 空気感染は、媒介となるウイルスの湿度への反応が様々であり、普遍的なパターンはない。
- ・静電気ショック : 防ぐためには相対湿度の下限を 30%～40%にする必要がある。英国の冬季の実測例では 35%を境に静電気ショックが多くなっている。

②日本および諸外国における相対湿度の規基準

相対湿度における非温熱的影響の範囲および日本を含む諸外国の規基準を図 3-5 に示す。

日本の建築物環境衛生管理基準は非温熱的影響の範囲を外れる形で設定されていることが分かる。

上限値については WHO、アメリカの労働安全衛生局における Technical Manual、中国環境保護総局 GB/T18883-2002（冬期）が 60%、中国環境保護総局 GB/T18883-2002（夏期）が 80%という基準値を設けており、その他日本の建築物環境衛生管理基準、香港特別行政区 Guidance Notes for the Management、ニュージーランド Health and Safety in Employment Regulations は 70%と設定している。

また、下限値については WHO と中国環境保護総局 GB/T18883-2002（冬期）が 30%、アメリカの Technical Manual が 20%という基準を設けており、その他は 40%としている。

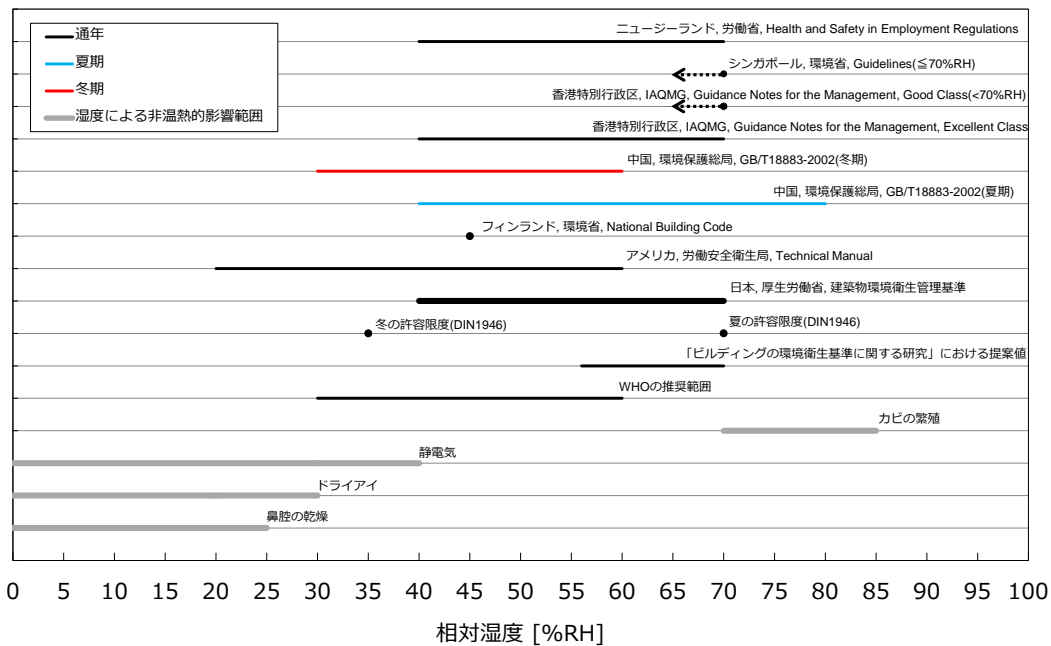


図 3-5 相対湿度における非温熱的影響の範囲および日本を含む諸外国の規基準

([3-1][3-3][3-4]を基に作成) [3-1-C]～[3-1-L]

③相対湿度の評価値の設定および評価式の作成

相対湿度における非温熱的影響の範囲および日本を含む諸外国の規基準を基に、通年における相対湿度の評価値を設定した。表 3-10 に相対湿度と評価値を示す。

一般的に夏期は湿度が高く、冬期は湿度が低いため、高湿度、低湿度それぞれにおける人体への非温熱的影響を評価することで通年における相対湿度の評価値を設定した。

相対湿度の評価基準点として WHO の推奨範囲の下限値 30%RH を 50 点、「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」において冬期の最低限度として示された 35%RH を 80 点、現在の建築物環境衛生管理基準において下限値とされる 40%RH および WHO 推奨範囲の上限値 60%RH を 100 点、現在の建築物環境衛生管理基準において上限値とされる 70%RH を 80 点として設定した。

また、これらの評価基準点について線形補完を行った結果を図 3-6 に示す。線形補完によって作成された相対湿度の評価式は以下のようになる。

$RH < 30\%$	$I_{RH} = 0$	(3-9)
$30\% \leq RH \leq 35\%$	$I_{RH} = 6x - 130$	(3-10)
$35\% \leq RH \leq 40\%$	$I_{RH} = 4x - 60$	(3-11)
$40\% \leq RH \leq 60\%$	$I_{RH} = 100$	(3-10)
$60\% \leq RH \leq 70\%$	$I_{RH} = -2x + 220$	(3-11)
$RH > 70\%$	$I_{RH} = 0$	(3-12)

表 3-10 相対湿度の評価値

相対湿度[%RH]	評価値	備考
<30	0	
30	50	WHO 推奨範囲 ^[3-1-R]
35	80	提案値 ^[3-1]
40	100	建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
60	100	WHO 推奨範囲 ^[3-1-R]
70	80	建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
>70	0	

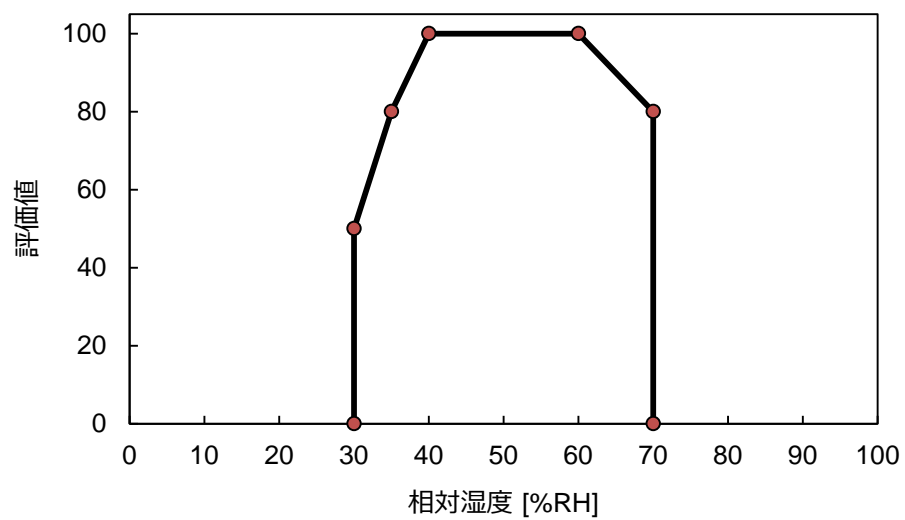


図 3-6 通年における相対湿度の評価値

(3) CO₂濃度

①建築物環境衛生管理基準におけるCO₂濃度の基準設定の根拠

建築物環境衛生管理基準におけるCO₂濃度の基準は「1000ppm以下」とされているが、温度や相対湿度と同様に、この基準は「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」が基となっている。表3-11に「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」におけるCO₂濃度の基準を示す。

CO₂濃度の基準値として許容限度、推奨値、目標値の3段階が示されており、これらの値はACGIH^{註3-1)}、日本産業衛生学会許容濃度部会の勧告値^[3-5]、ソ連の許容濃度、日本公衆衛生協会の公害問題に関する答申(1956)、日本薬学会協定試験法における普通室内空気試験成績判定基準、文部省学校環境衛生基準^[3-6]を勘案されて提示されたものである。^[3-2]

また、山中^[3-8]は二酸化炭素濃度の上限値1000ppmの根拠について以下のように述べている。

- ・CO₂濃度1000ppmはCO₂の毒性によって決められたものではなく、人間の呼気由来のCO₂を対象とした体臭強度の代表的指標である
- ・嗅覚は順応(疲労)することから、在室者は体臭に順応し数分でニオイを感じなくなるため、外来者評価による体臭強度の指標である
- ・ビルディング環境衛生基準検討委員会の当初の案では、換気設備グレードに応じてCO₂濃度の基準を変えるという案があった(詳細を表3-12に示す)
- ・アメリカ(ASHRAE:米国暖房冷凍空調学会)をはじめ各国の換気基準の源流になったのはPettenkoferの論文(1858年)であり^[3-8-A]、Pettenkoferは人による空気汚染はCO₂濃度の増加に伴うため、長時間在室する室でのCO₂濃度は700ppm、通常の室では1000ppmを提唱した

註3-1) 「American Conference of Governmental Industrial Hygienists(アメリカ合衆国産業衛生専門官会議)」(1938年創立)は、政府機関に産業衛生専門官として従事していること等を正会員の入会資格とする社団法人であり、活動の一環として、化学物質の許容濃度について勧告値を公表している。^[3-7]

表 3-11 「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」における CO₂ 濃度の基準

([3-2] より引用)

	CO ₂ 濃度
許容限度	5000ppm*
推奨値	1500ppm**
目標値	1000ppm

*ACGIH、日本産業衛生学会における許容濃度^{註 3-2)}

**文部省（現 文部科学省）学校環境衛生基準

表 3-12 換気設備のグレードと二酸化炭素濃度の許容限度（[3-2] を参考に作成）

設備の等級	設備の組み合わせの内容										CO ₂ 濃度の許容限度 [ppm]
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
11	○										700～1000
10	○			○							
9		○									
8		○		○							
7			○	○	○						
6			○	○		○	○			○	1000～1500
5			○	○		○	○	○	○		
4			○	○	○	○	○			○	
3			○	○	○	○	○	○	○		
2			○	○	○	○		○	○	○	1500～2000
1			○	○	○	○	○	○	○	○	

0:機械的換気設備なし 1:簡易な機械換気設備(壁付換気扇) 2:エア・ダクトによる機械換気設備
 3:加熱装置(直燃式は除外) 4:加湿装置(空気洗浄型以外のもの) 5:冷却装置 6:減湿装置
 7:空気洗浄(加湿、減湿)装置 8:空気ろ過装置 9:吸収・吸着装置

②日本および諸外国における CO₂ 濃度の規基準

SHASE-S-102-2011^[3-9]では、住宅や事務所などの居室における室内空気汚染の設計基準濃度について記述しており、総合指標として CO₂ 濃度が 1000ppm、単独指標としては 3500ppm とされている。また 1000ppm は建築物衛生法を参考、3500ppm はカナダの基準を参考としている。

二酸化炭素そのものの健康への影響が現れる最低濃度は 7000ppm といわれ、カナダでは住宅における室内環境基準として 3500ppm という値が設定されているため、この値を CO₂ 濃度の単独指標の設計基準濃度として採用している。

註 3-2) 許容濃度とは、労働者が 1 日 8 時間 1 週間 40 時間程度、肉体的に激しくない労働強度で有害物質に曝露される場合に、有害物質の平均曝露濃度がこの数値以下であれば、ほとんどすべての労働者に健康上の悪い影響が見られないと判断される濃度であるとされている。また、曝露時間が短い、あるいは労働強度が弱い場合においても、許容濃度を越える曝露は避けるべきであるとされている。なお、曝露濃度とは、呼吸保護具を装着していない状態で、労働者が作業中に吸入するであろう空気中の有害物質の濃度とされる^[3-5]

③評価式の作成

CO₂濃度は季節による変化はないことから通年におけるCO₂濃度の評価値を設定した。表3-13にCO₂濃度と評価値を示す。

評価値の設定は「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」において推奨値として提案された値1500ppmを80点、「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」においては目標値とされ、現在、建築物環境衛生管理基準の値である1000ppmを100点、CO₂濃度の単独指標とされる3500ppm以上を0点とした。また、これらをCO₂濃度の評価基準点とし線形補完を行った結果を図3-7に示す。線形補完によって作成されたCO₂濃度の評価式は以下のようになる。

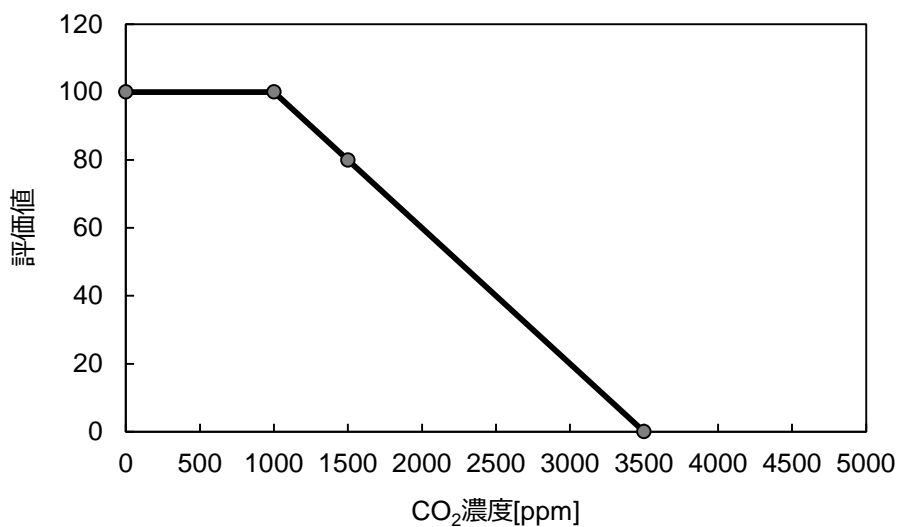
$$CO_2\text{濃度} \leq 1000\text{ppm} \quad I_{CO_2} = 100 \quad (3-13)$$

$$1000\text{ppm} \leq CO_2\text{濃度} \leq 3500\text{ppm} \quad I_{CO_2} = -\frac{1}{25}x + 140 \quad (3-14)$$

$$CO_2\text{濃度} > 3500\text{ppm} \quad I_{CO_2} = 0 \quad (3-15)$$

表 3-13 CO₂濃度の評価値

CO ₂ 濃度[ppm]	評価値	備考
≤1000	100	建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
1500	80	提案値 ^[3-2] 、学校環境衛生基準 ^[]
≥3500	0	SHASE-S-102-2011 ^[3-9]

図 3-7 CO₂濃度の評価値

(4) 気流

①建築物環境衛生管理基準における気流の基準設定の根拠

建築物環境衛生管理基準における気流の基準は「0.5m/s 以下」とされているが、温度や相対湿度、CO₂濃度と同様に、この基準は「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」が基となっている。この研究では「冷房の場合 0.25m/s 以下、暖房の場合 0.30m/s 以下」を提案しているが、日本人向きに提案された居住域許容風速 0.5m/s 以下が採用されたと考えられる。

②日本および諸外国における気流速度の規基準

気流に関する日本および諸外国の規基準について、夏期を図 3-8、冬期を図 3-9 に示す。

温熱環境の評価法に関する ISO7730^[3-10]では、PMV と PPD を規定しているが、在室者の 80% が受け入れられる環境であることを推奨するのみで、それぞれの温熱 6 要素に関する推奨値は Standard として明記されていない。ただし、Standard の一部ではないものの、AnnexA において上下温度分布、床温度、ドラフトなどに関する夏期と冬期の推奨値を示している。平均風速は夏期において 0.25m/s 未満、冬期において 0.15m/s 未満であることを推奨している。^[3-11]

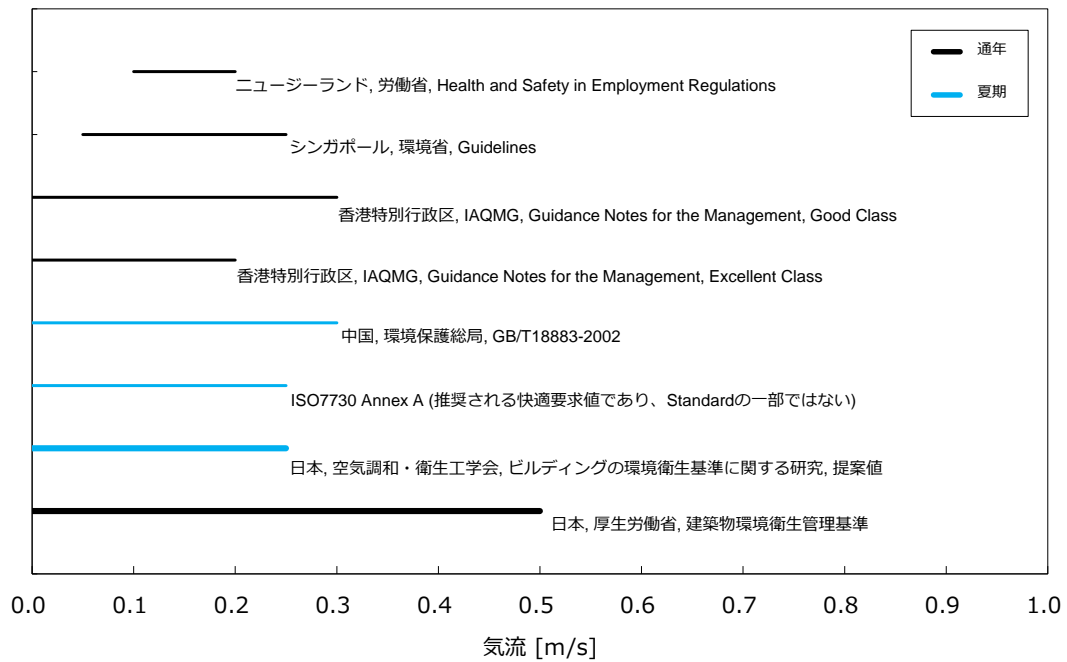


図 3-8 気流に関する日本を含む諸外国の規基準（夏期）

（[3-1] [3-3] [3-4] [3-10] を基に作成） [3-1-C] ～ [3-1-L]

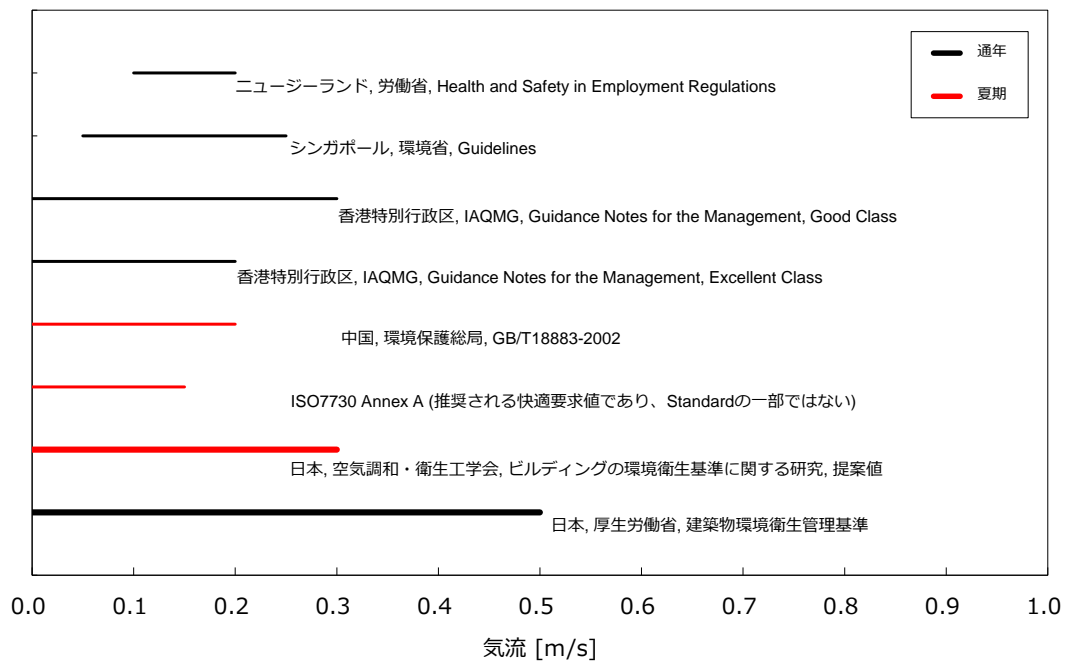


図 3-9 気流に関する日本を含む諸外国の規基準（冬期）

（[3-1] [3-3] [3-4] [3-10] を基に作成） [3-1-C] ～ [3-1-L]

③評価式の作成

夏期と冬期それぞれにおいて気流の評価値を設定した。表 3-14 に夏期における気流の評価値、表 3-15 に冬期における気流の評価値を示す

・夏期

評価値の設定は「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」において提案された値 0.25m/s を 100 点、建築物環境衛生管理基準の値である 0.5m/s を 80 点、0.5m/s を超える場合を 0 点とした。また、これらを気流の評価基準点とし線形補完を行った結果を図 3-10 に示す。線形補完によって作成された CO₂ 濃度の評価式は以下のようになる。

$$v \leq 0.25\text{m/s} \quad I_v = 100 \quad (3-16)$$

$$0.25\text{m/s} \leq v \leq 0.5\text{m/s} \quad I_v = -80x + 120 \quad (3-17)$$

$$0.5\text{m/s} < v \quad I_v = 0 \quad (3-18)$$

・冬期

評価値の設定は「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」において提案された値 0.3m/s を 100 点、建築物環境衛生管理基準の値である 0.5m/s を 80 点、0.5m/s を超える場合を 0 点とした。また、これらを気流の評価基準点とし線形補完を行った結果を図 3-11 に示す。線形補完によって作成された CO₂ 濃度の評価式は以下のようになる。

$$v \leq 0.3\text{m/s} \quad I_v = 100 \quad (3-19)$$

$$0.3\text{m/s} \leq v \leq 0.5\text{m/s} \quad I_v = -100x + 130 \quad (3-20)$$

$$0.5\text{m/s} < v \quad I_v = 0 \quad (3-21)$$

表 3-14 夏期における気流の評価値

気流 [m/s]	評価値	備考
<0.25	100	
0.25	100	提案値 ^[3-2]
0.5	80	建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
>0.5	0	

表 3-15 冬期における気流の評価値

気流 [m/s]	評価値	備考
<0.3	100	
0.3	100	提案値 ^[3-2]
0.5	80	建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
>0.5	0	

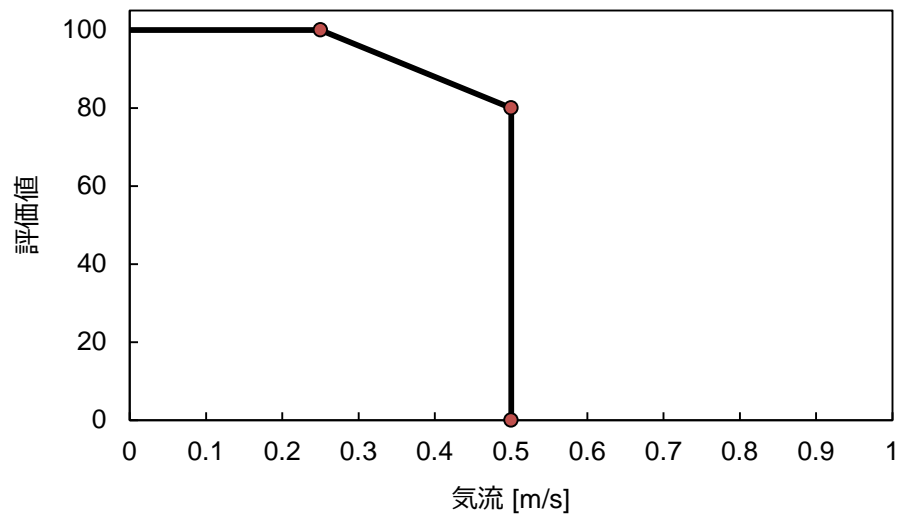


図 3-10 夏期における風速の評価値

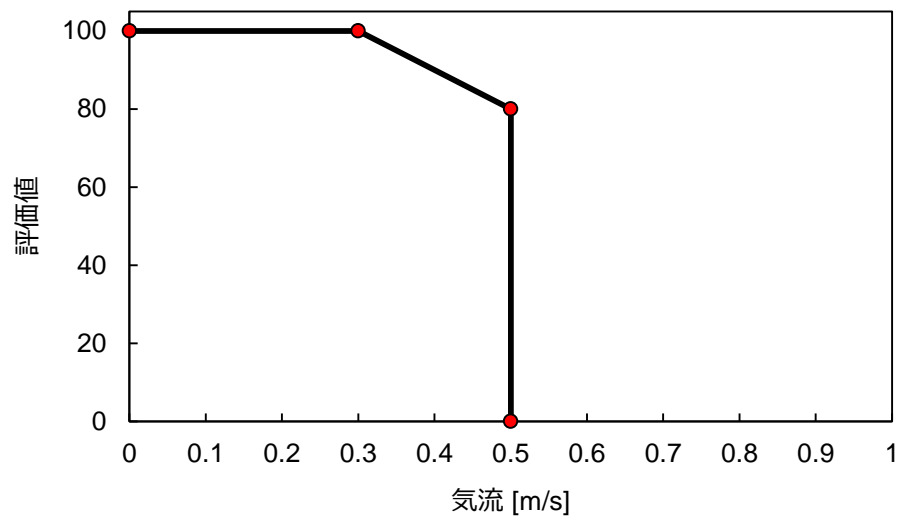


図 3-11 冬期における風速の評価値

3.3.2 安全性評価

安全性について0～100点の間で定量的に評価を行う。夏期については熱中症の危険性を示すWBGTを用いる。また、冬期については相対湿度による非温熱的影響の評価を行う。

・夏期

夏期の安全性評価については熱中症の危険性を示すWBGTを用いる。

2章で述べたように、WBGTは暑熱労働環境評価で広く用いられており、ISO7243^[3-12]として国際規格化されている。また、ISO7243は技術的内容及び規格票の様式を変更することなく翻訳され、JIS Z8504^[3-13]となっている。

表 3-16 各条件に対応した WBGT の基準値 (JIS Z8504^[3-13] を参考に作成)

区分	代謝率範囲 M [W/m ²]	WBGT 基準値[°C]	
		熱に順化している人*	熱に順化していない人*
0 安静	$M \leq 65$	33	32
1 低代謝率	$65 < M \leq 130$	30	29
2 中程度代謝率	$130 < M \leq 200$	28	26
3 高代謝率	$200 < M \leq 260$	25 (26)**	22 (23)**
4 極高代謝率	$M > 260$	23 (25)**	18 (20)**

備考 これらの数値は最高直腸温度 38°C を許容限度として設定されている。

*熱に順化していない人とは、作業する前の週に毎日熱にさらされていなかった人をいう。

**括弧内の数値は、気流を感じる時の基準値を示す。

・冬期

冬期の安全性評価については相対湿度を用いる。特に、冬期は多くの事務所において低湿度環境が課題としてあげられ、その非温熱的影響は3.3.1に示した通りである。

②評価式の作成

夏期と冬期それぞれにおいて安全性の評価値を設定した。表 3-17 に夏期における WBGT を用いた安全性の評価値、表 3-18 に冬期における相対湿度を用いた安全性の評価値を示す

・夏期

評価値の設定は JIS Z8504 に定められた WBGT の基準値を基に行った。WBGT の評価基準点として、「代謝率区分が高代謝率、熱に順化していない人、気流を感じない時における基準値」22℃を 100 点、「代謝率区分が中程度代謝率、熱に順化していない人における基準値」26℃を 80 点、「代謝率区分が低代謝率、熱に順化していない人における基準値」29℃を 0 点と設定した。また、これらの評価基準点について線形補完を行った結果を図 3-12 に示す。線形補完によって作成された WBGT の評価式は以下のようになる

$$WBGT \leq 22^{\circ}\text{C} \quad I_s = 100 \quad (3-22)$$

$$22^{\circ}\text{C} \leq WBGT \leq 26^{\circ}\text{C} \quad I_s = -5x + 210 \quad (3-23)$$

$$26^{\circ}\text{C} \leq WBGT \leq 29^{\circ}\text{C} \quad I_s = -\frac{80}{3}x + \frac{2320}{3} \quad (3-24)$$

$$29^{\circ}\text{C} < WBGT \quad I_s = 0 \quad (3-25)$$

・冬期

評価基準点として、WHO の推奨範囲である 30%RH を 50 点、「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」において冬期の許容限度として提案された 35%RH を 80 点、建築物環境衛生管理基準である 40%RH を 100 点、WHO の推奨範囲である 60%RH を 100 点、建築物環境衛生管理基準である 70%RH を 80 点と設定した。また、これらの評価基準点について線形補完を行った結果を図 3-13 に示す。線形補完によって作成された WBGT の評価式は以下のようになる。

$$RH < 30\% \quad I_s = 0 \quad (3-26)$$

$$30\% \leq RH \leq 35\% \quad I_s = 6x - 130 \quad (3-27)$$

$$35\% \leq RH \leq 40\% \quad I_s = 4x - 60 \quad (3-28)$$

$$40\% \leq RH \leq 60\% \quad I_s = 100 \quad (3-29)$$

$$60\% \leq RH \leq 70\% \quad I_s = -2x + 220 \quad (3-30)$$

$$RH > 70\% \quad I_s = 0 \quad (3-31)$$

表 3-17 夏期における WBGT を用いた安全性の評価値

WBGT[°C]	評価値	備考
<22	100	
22	100	高代謝率、熱に順化していない人、 気流を感じない時における基準値
26	80	中程度代謝率、熱に順化していない 人における基準値
29	0	低代謝率、熱に順化していない人 における基準値
>29	0	

表 3-18 冬期における相対湿度を用いた安全性の評価値

相対湿度[%RH]	評価値	備考
<30	0	
30	50	WHO 推奨範囲 ^[3-1-R]
35	80	提案値 ^[3-2]
40	100	建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
60	100	WHO 推奨範囲 ^[3-1-R]
70	80	建築物環境衛生管理基準 ^[3-3]
>70	0	

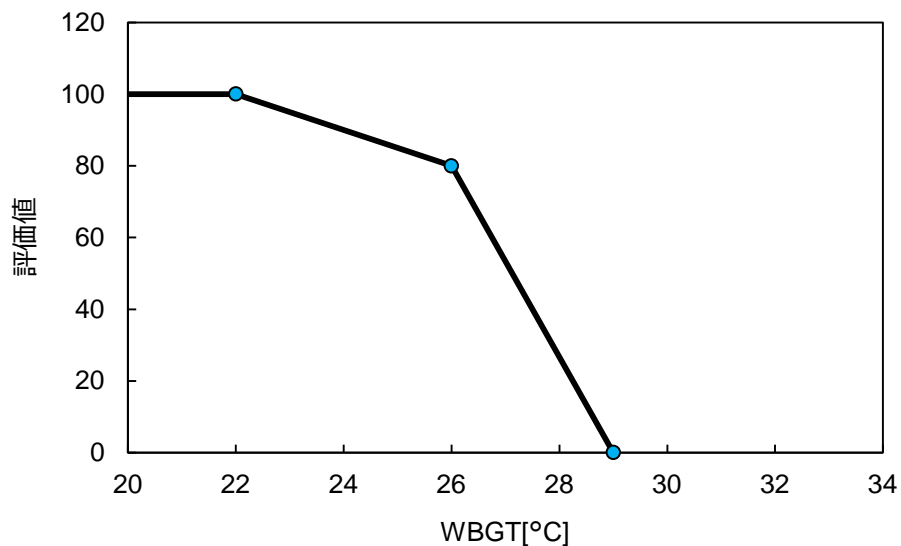


図 3-12 夏期における WBGT を用いた安全性の評価値

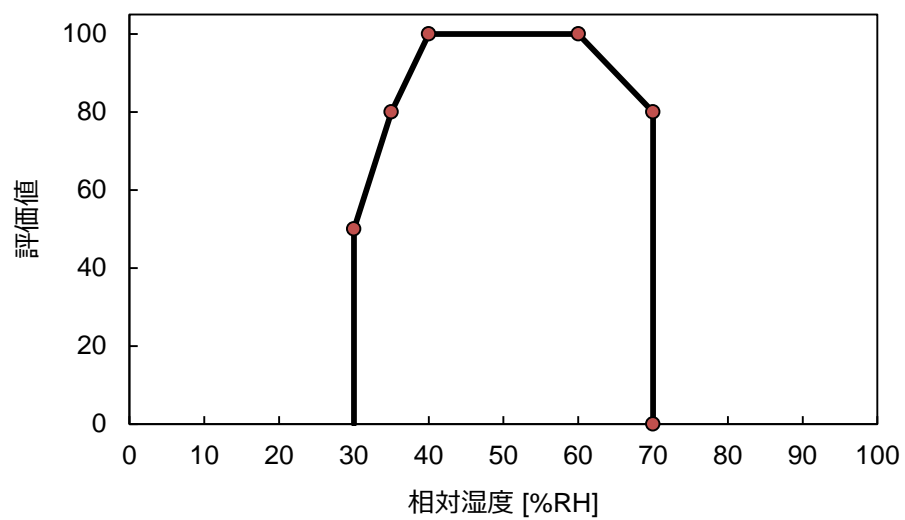


図 3-13 冬期における相対湿度を用いた安全性の評価値

3.3.3 温冷感評価

温冷感についてはPMVによるPPDを用いて0～100点の間で定量的に評価を行う。

(1) 基準値

2章で述べたようにFangerはPMVとPPDの関係を提案しており、ISO7730^[3-10]では快適域としてPMV、PPDの値で $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$ 、 $\text{PPD} < 10\%$ を推奨していることから、これを基準値として用いる。

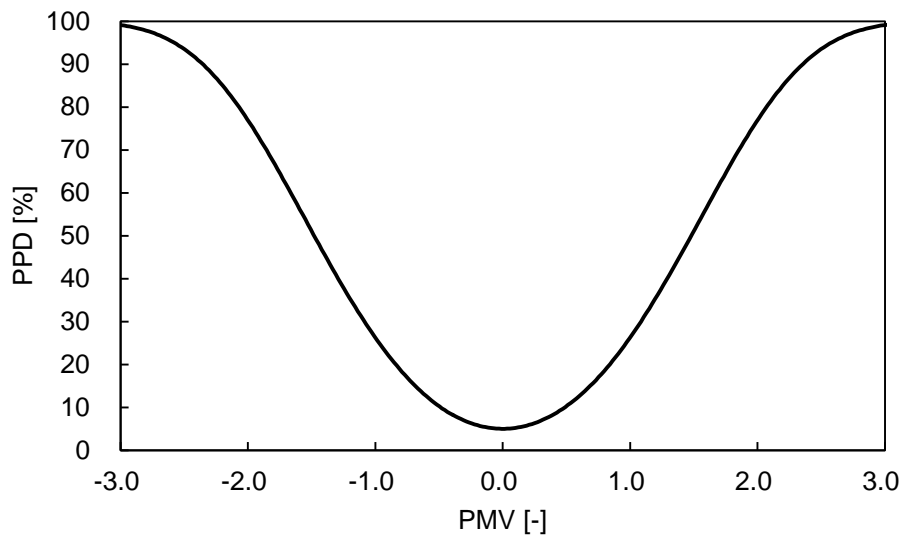


図 3-14 PMV(予想平均申告)とPPD(予想不満足者率)の関係

(2) 評価式の作成

PPDはPMV=0の熱的中立状態においても個人差等によりPPDが5%である。そこでPMV=0、PPD=5%の時に100点とし、評価式は式(3-32)とした。なお、PMV、PPDの算定方法は2.3(4)で示した通り、それぞれ式(2-20)、(2-21)とする。表3-19にPMV、PPDおよび温冷感評価値、図3-15にPPDを用いた温冷感の評価値を示す。

$$I_{PPD} = 105 - PPD \quad (3-32)$$

表 3-19 PMV、PPD および温冷感評価値

PMV[-]	PPD[%]	評価値[点]	備考
+2.0	75	30	Warm ^[3-13]
+1.5	50	55	
+1.0	25	80	Slightly warm ^[3-13]
+0.5	10	95	ISO7730 推奨範囲 ^[3-10]
0.0	5	100	Neutral ^[3-13]
-0.5	10	95	ISO7730 推奨範囲 ^[3-10]
-1.0	25	80	Slightly cool ^[3-13]
-1.5	50	55	
-2.0	75	30	Cool ^[3-13]

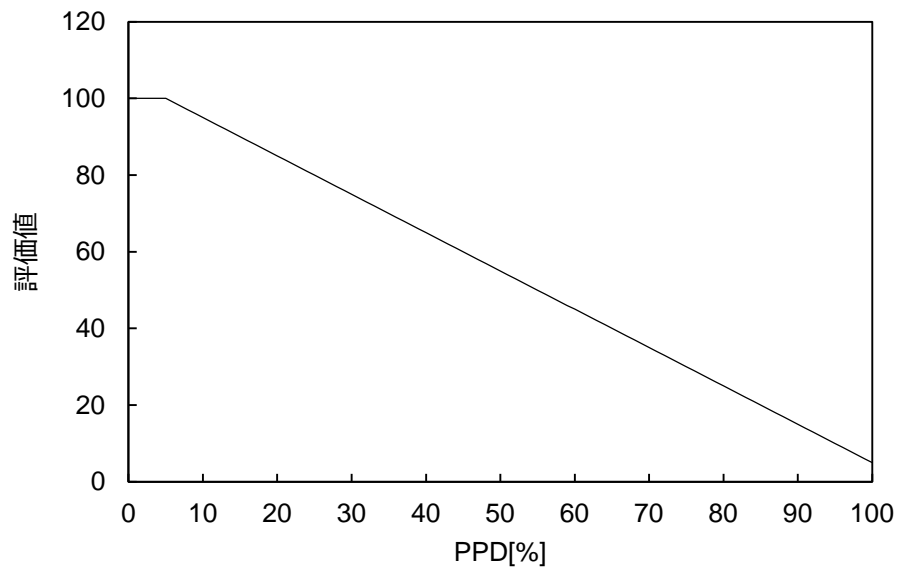


図 3-15 PMV による PPD を用いた温冷感の評価値

3.4 おわりに

本章では、本論文における事務所の室内空気環境の評価方法について述べると共に、室内空気環境に関する国内外の規基準の整理を行い、事務所における室内空気環境の維持・向上に資するための評価指標を作成した。本章のまとめを以下に示す。

- 1) 事務所における室内空気環境の評価手法として基準評価値、安全性評価値、温冷感評価値の3項目によるベクトル量から算定される総合評価値(0~100点)を提案した
- 2) 基準評価値は空気温度、相対湿度、気流、CO₂濃度についてのそれぞれの評価値を相乗平均した値である
- 3) 安全性評価値は夏期にはWBGTについて熱的安全性を評価した値、冬期には相対湿度について人体への非温熱的影響を評価した値である
- 4) 温冷感評価値はPMVによるPPDについて評価した値である
- 5) 空気温度、相対湿度、気流、CO₂濃度の各評価式については建築物環境衛生管理基準の設定の経緯および諸外国の規基準に関して整理を行い、客観的基準に基づいて評価基準点を設定し、それらを線形補完することで作成した。
- 6) WBGTの評価式はJIS Z8504に示されている基準値について事務所における作業量等を考慮することで評価基準点を選定し、それらを線形補完することで作成した。
- 7) PMVの評価式は、PMVとPPDの関係をを用いて作成した

次章では、複数の事務用途室を対象に夏期および冬期において室内空気環境の実態調査を行った結果について示す。

第3章 引用・参考文献

- [3-1] 東賢一：室内環境における湿度基準と居住者への健康影響問題，<http://www.kinki-shasej.org/upload/pdf/situn.pdf>，2017.11 取得
- [3-2] 東賢一：建築物環境衛生管理基準の設定根拠の検証について，http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/kenkou/seikatsu-eisei/gijutukensyuukai/dl/h23_3.pdf，2017.12 取得
- [3-3] 厚生労働省：建築環境衛生管理基準，<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>，2017.12 取得
- [3-4] 田辺新一：住宅における温熱的快適性の評価，日本物理学会誌，54 巻，一般社団法人日本物理学会，p440-448，1999
- [3-5] 日本産業衛生学会：許容濃度等の勧告（2015 年度），産業衛生学雑誌 57 巻，p150，2015（http://joh.sanei.or.jp/pdf/J57/J57_4_07.pdf，2017.12 取得）
- [3-6] 文部科学省：学校環境衛生基準，http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2010/04/08/1292465_02.pdf，2017.12 取得
- [3-7] 厚生労働省：用語集，<http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11305000-Roudouki-junkyokuanzeneiseibu-Kagakubushitsutaisakuka/0000028185.pdf>，2017.12 取得
- [3-8] 山中俊夫：Q.46 二酸化炭素濃度の上限値，建築技術，771 号，p134，2014.4
- [3-9] 社団法人空気調和・衛生工学会：SHASE-S 102-2011 換気基準・同解説，2012.2
- [3-10] ISO 7730：Moderate Thermal Environments - Determination of the PMV and PPD indices and Specification of the Conditions for the Thermal Comfort
- [3-11] 社団法人 空気調和・衛生工学会：SHASE-M-0006-2005 建築室内環境・設備システム性能評価方法の標準化研究「室内環境測定マニュアル」，p170，2005.11
- [3-12] ISO 7243：Hot environments- Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature)
- [3-13] JIS Z8504:1999：人間工学-WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価-温熱環境
- [3-14] ASHRAE：ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS，p9.12，2013

[3-1]、[3-2]、[3-8]において引用された文献において入手困難のため孫引きとしたものを以下に示す。

- [3-1-A] 小林陽太郎：ビルディングの環境衛生基準に関する研究，昭和40年度厚生科学研究，1966
- [3-1-B] 東賢一，内山巖雄：建築物環境衛生管理基準の設定根拠の検証について，建築物環境衛生管理に関する調査研究平成22年度研究報告書，財団法人ビル管理教育センター，2011
- [3-1-C] Department of Health & Human Services: PHS Facilities Manual, Volume II, Real Property Management and Facilities Services, 2005
- [3-1-D] Occupational Safety and Health Administration: OSHA Technical Manual, TE D 01-00-015, SECTION III: CHAPTER 2, 1999
- [3-1-E] Canadian Centre for Occupational Health & Safety: Thermal Comfort for Office, 2007
- [3-1-F] Health and Safety Executive: Thermal comfort in the workplace - Guidance for employers -, 1999
- [3-1-G] Ministry of the Environment, Housing and Building Department: Indoor Climate and Ventilation of Buildings Regulations and Guidelines 2003, part D2, National building code, 2002
- [3-1-H] State Environmental Protection Administration: Indoor Air Quality Standard, GB/T18883-2002, 2002
- [3-1-I] Indoor Air Quality Management Group: Guidance Notes for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places, 2003
- [3-1-J] Institute of Environmental Epidemiology, Ministry of the Environment: Guidelines for Good Indoor Air Quality in Office Premises, First edition, 1996
- [3-1-K] Commonwealth of Australia: Air-Conditioning and Thermal Comfort in Australian Public Service Offices, 1995
- [3-1-L] Department of Labour: TEMPERATURE in places of work, Wellington, New Zealand 3730GF0, 1997
- [3-1-M] Hemmes JH, Winkler KC, Kool SM: Virus survival as a seasonal factor in Influenza and poliomyelitis. Nature 188: 430-431, 1960.
- [3-1-N] Hemmes JH, Winkler KC, Kool SM: Virus survival as a seasonal factor in Influenza and poliomyelitis. Antonie van Leeuwenhoek 28 (1): 221-233, 1962.
- [3-1-O] Harper GJ: Airborne micro-organisms survival test with 4 viruses. Journal of Hygiene 59: 479-486, 1961.

- [3-1-P] Harper GJ: The Influence of Environment on the Survival of Airborne Viruses Particles in the Laboratory. Archives of Virology 113: 64-71, 1963.
- [3-1-Q] Buckland FE, Tyrree DAJ: Loss of infectivity on drying various viruses. Nature 195: 1063-1064, 1962.
- [3-1-R] Goromosov MS: The physiological basis of health standards for dwellings. Public Health Papers No. 33, World Health Organization, Geneva, 1968.
- [3-2-A] 竹中浩治: 建築物衛生管理法 (略称) 案について, 空気清浄 7 (2): 1-5, 1969
- [3-8-A] John E. Janssen: The V in ASHRAE: An Historical Perspective, ASHRAE Journal, Vol. 36, No. 8, 1994

第 4 章

室内空気環境の実態調査

第4章：室内空気環境の実態調査

4.1 はじめに

近年、建築物衛生法に規定された定期測定において建築物環境衛生管理基準^[4-1]の不適合割合が増加傾向にあり、特に相対湿度、温度、CO₂濃度についてはその傾向が顕著となっている。^[4-2]また、これら3項目の不適合割合は節電要請が開始された2011年度において相対湿度の不適合割合が50%を超えるなど変化が見られ、節電行為による建築物衛生環境の変化が示唆されている。

本章では2011年以降初めて節電要請がなされなかった2016年度の夏期^[4-3]、冬期^[4-4]および2017年の夏期^[4-5]において、特に今まで取得の事例数が少ない高知県の事務所を中心に室内空気環境の連続測定を行った。また、併せて各対象室の執務者1名に対して、対象室で行われている節電行為に関するヒアリング調査を行った。

4.2 実態調査概要

7建物10室の事務用途室を対象に室内空気環境の連続測定を行った。対象室の概要を表4-1、測定期間を表4-2に示す。

測定項目は本論文で作成した評価指標の項目となる温度、相対湿度、CO₂濃度、グローブ温度、風速であり、冬期においては追加項目として足元温度、および執務者が使用している補助暖房機器の消費電力を測定した。なお、風速については5秒間の平均値を10回記録した。測定間隔については消費電力を1分、その他の項目を5分とした。各測定項目、使用した測定器および測定箇所について表4-3に示す。

また、対象室の属性として、測定期間中における空調設定温度や実施している節電項目、使用している補助冷暖房機器などについてヒアリングを行った。なお、ヒアリングを行った節電対策の項目についての詳細と結果は第5章に示す。

表 4-1 対象室の概要

建物	名称	所在地	省エネルギー 地域区分 [4-6]	空調制御方 式	床面積[m ²]	在室者数 [人]	主開口方位
①	A	高知県	6	個別	68	11	南
②	B	高知県	6	個別	132	1	北
	C	高知県	6	個別	38	2	南
③	D	高知県	6	個別	38	2	東
	E	高知県	6	個別	38	2	東
	F	高知県	6	個別	34	3	西
④	G	高知県	6	中央	371	44	東
⑤	H	高知県	7	個別	98	16	西
⑥	I	高知県	7	個別	166	16	南
⑦	J	東京都	6	中央	625	115	南東

表 4-2 測定期間

建物	名称	測定期間		
		夏期		冬期
		2016 年度	2017 年度	2016 年度
①	A	7/29～8/5	8/30～9/6	2/6～2/13
②	B	7/29～8/5	8/23～8/30	2/6～2/13
	C	7/29～8/5	8/23～8/30	2/6～2/13
③	D	7/29～8/5	8/23～8/30	2/6～2/13
	E	7/29～8/5	8/23～8/30	2/6～2/13
	F	7/29～8/5	8/23～8/30	2/6～2/13
④	G	9/21～10/7	9/11～9/20	2/6～2/13
⑤	H	9/21～10/7	8/30～9/7	2/14～2/22
⑥	I	9/21～10/7	8/30～9/7	2/14～2/22
⑦	J	8/29～9/9		

表 4-3 各測定項目、使用した測定器および測定箇所

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 ₂ 濃度 [ppm]	KNS-CO2S	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	補助冷暖房機器

*冬期のみ測定

4.3 実測結果

取得データの内、業務時間のものを抽出して整理を行った。以下に夏期(2016年度の結果と2017年度の結果)と冬期(2016年度の結果)を示す。

箱ひげ図は図中に基準の範囲をグレーで示す。なお、温度、相対湿度、CO₂濃度は建築物環境衛生管理基準の範囲、PMVはISO7730^[4-7]による推奨範囲を示す。箱ひげ図上の数字は各対象室の平均値、括弧内の数字は各基準値への適合割合を示す。

4.3.1 温度

(1) 空気温度

・2016年度の夏期

各対象室の空気温度について2016年度夏期の結果を図4-1に示す。なお、主な空調設定温度については、測定終了時に執務者あるいは施設管理者へヒアリングを行った結果である。

平均値は全ての対象室が建築物環境衛生管理基準の値を満たしていたが、中でも対象室B、E及びJは27℃を超えており比較的に高い結果であった。

基準値への適合割合はE、Jを除くすべての対象室において90%以上となっており、特に対象室Eは67%と他の対象室に比べて適合割合が低い結果であった。

主な空調設定温度については個別方式の対象室が25℃もしくは26℃であり、中央方式の対象室が28℃であった。空調設定温度と空気温度の平均値を比較すると、対象室F、G、Jにおいて空気温度の平均値が設定温度より低い結果であった。

また、対象室B、E、Gは平均値と空調設定温度に2℃以上の差が見られた。それぞれの要因については対象室の属性を考慮すると以下のように考えられる。

対象室B: 執務者数が1名であるのに対して床面積が100m²以上と広く、室内には空調機が2台あるものの、稼働させていたのは1台のみであった。そのため、空調機1台では空調能力が不足しており、設定温度まで温度が下がらなかったと考えられる。

対象室E: 対象室の主開口方位は東であり、午前中に日射が差し込み空気温度の上昇を招くことが要因と考えられる。なお、対象室Eと同じ建物、同じ室面積、同じ主開口方位である対象室Dは、日射が差し込む午前中に空調の設定温度を21度とし、午後から設定温度を26℃に変更していた。

対象室G: 空調方式が中央方式であるため施設管理者へ設定温度のヒアリングを行ったが、申告された設定温度と実際に運用されていた設定温度に差があると考えられる。

・2017年度の夏期

各対象室の空気温度について2016年度夏期の結果を図4-2に示す。

主な空調設定温度や空気温度の平均値、基準値への適合割合は概ね2016年度の結果と同様であった。

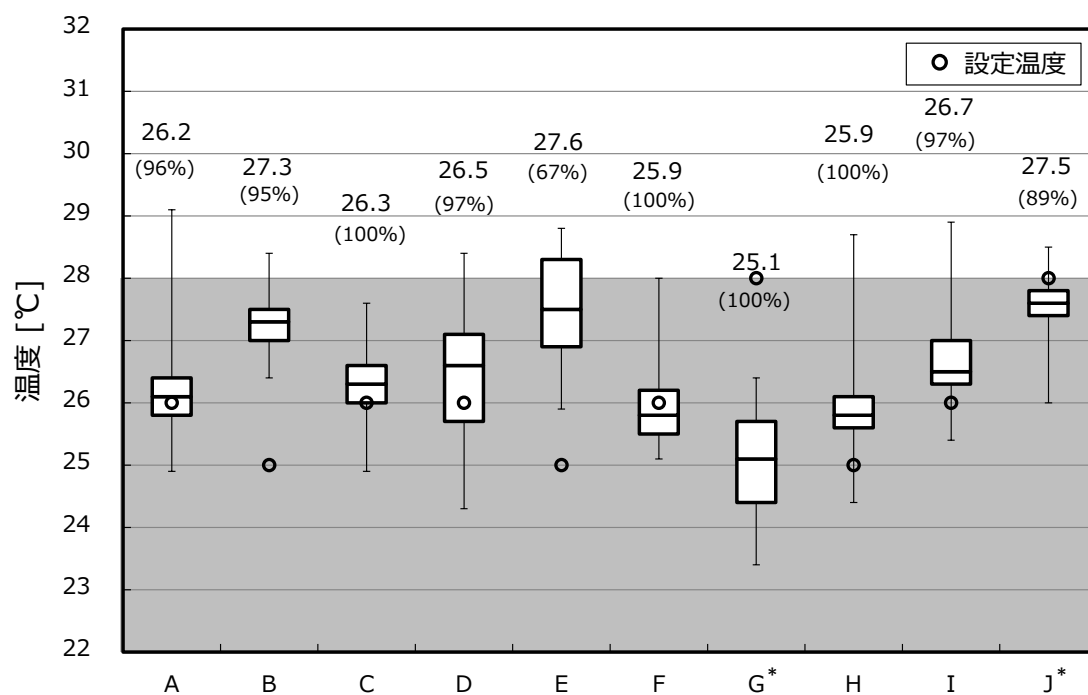


図 4-1 空気温度 (2016 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

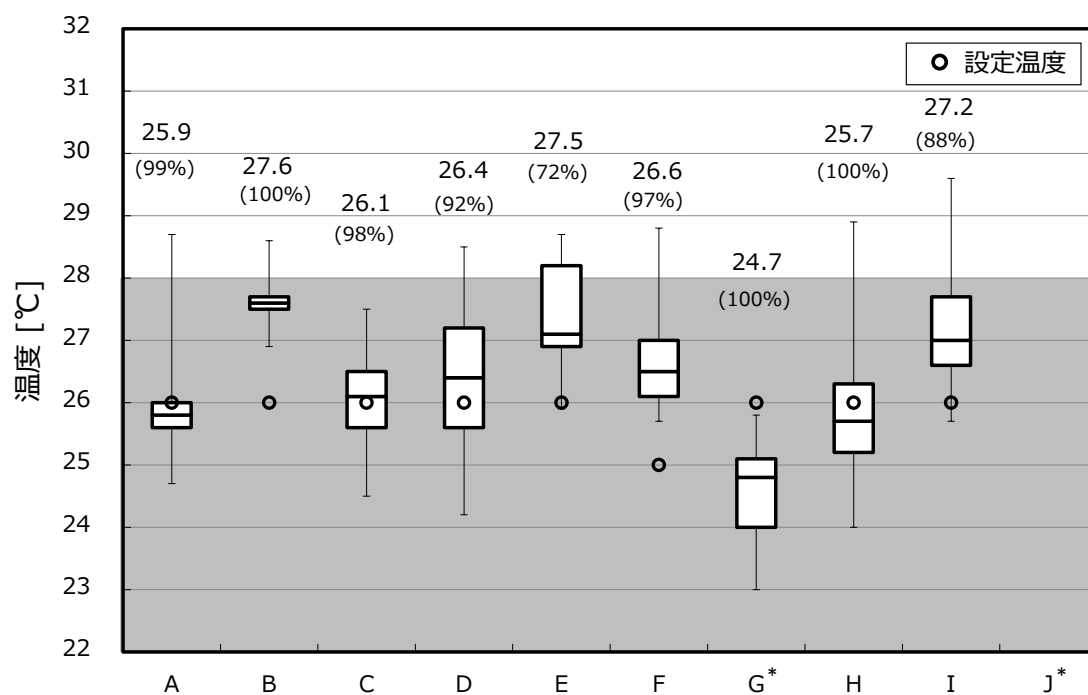


図 4-2 空気温度 (2017 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

・2016 年度の冬期

各対象室の空気温度について 2016 年度夏期の結果を図 4-3 に示す。

空気温度の平均値は全ての対象室が建築物環境衛生管理基準の値を満たしていたが、最低値は H を除く全ての対象室において 17℃を下回る結果であった。対象室毎に比較すると空調方式が中央方式である対象室 G が 21.4℃で最も低く、個別方式の対象室 C が 25.5℃で最も高い結果であった。

主な空調設定温度については対象室にばらつきが見られ、個別方式の対象室の中でも対象室 A や C は 27℃、対象室 I は 21℃であった。空調設定温度と空気温度の平均値を比較すると、対象室 E、F、G、I において空気温度の平均値が設定温度より高い結果であった。

また、対象室 A における空気温度の平均値は空調設定温度より 4℃以上低い結果であり、外皮性能による影響が考えられる。

(2) 上下温度差

室内の上下温度分布について ASHRAE Standard 55-2004^[4-8]では在室者のくるぶしの高さ
と頭の高さの温度差が 3℃以内になることを推奨している。

本論文では空気温度と足元温度の差を上下温度差とする。なお、対象室 A、B、C、D、F、G では執務者の足元付近において電気ヒーターを補助冷暖房機器として使用していた。本調査では電気ヒーターの消費電力を測定しているが、その結果と足元温度等についての分析結果は 5.3.2 に示す。

2016 年度冬期における各対象室の上下温度差の結果を図 4-4 に示す。

対象室 C、E、F、I において上下温度差の平均値が基準値である 3℃を超える結果となった。その内、対象室 C と F は足元付近において電気ヒーターを使用していた。

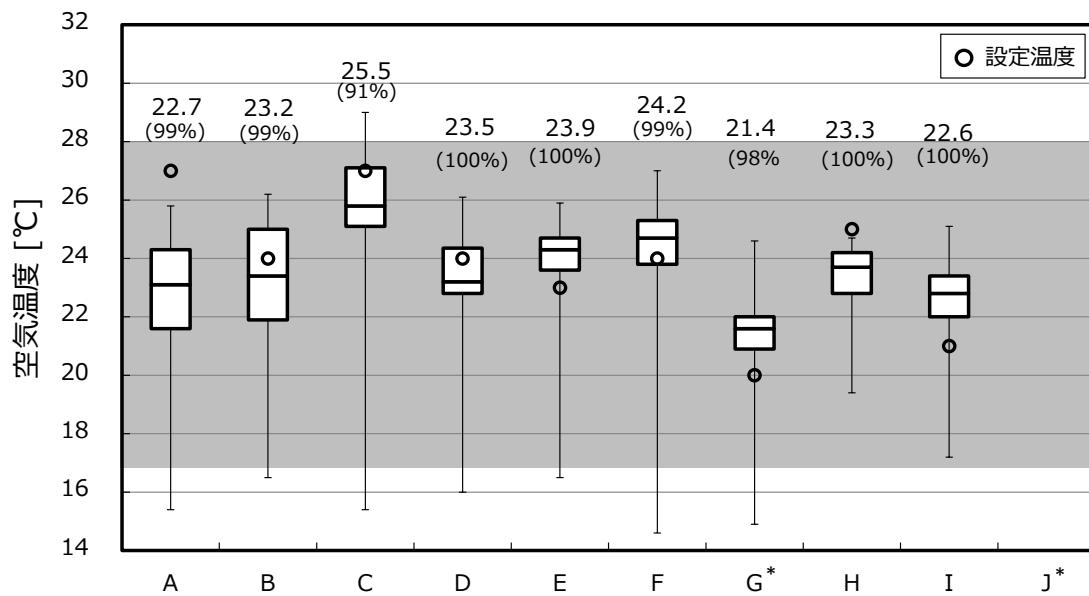


図 4-3 空気温度（2016 年度・冬期・業務時間）

*空調制御方式が中央方式である対象室

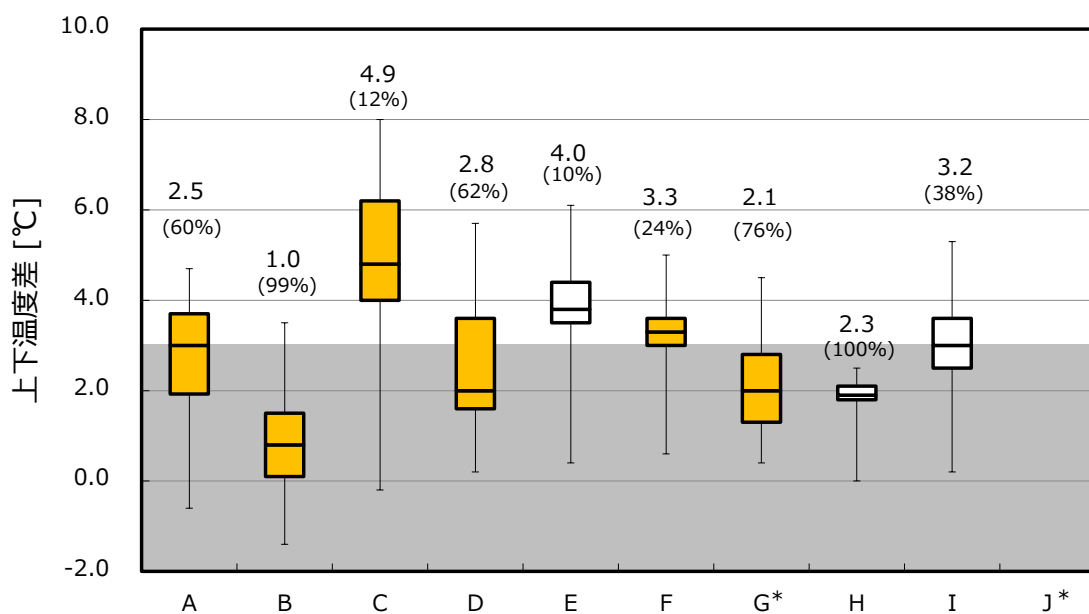


図 4-4 上下温度差（2016 年度・冬期・業務時間）

注：電気ヒーターを使用している対象室の結果をオレンジに着色している

*空調制御方式が中央方式である対象室

4.3.2 湿度

2016年度の夏期における各対象室の相対湿度について箱ひげ図を図4-5、同様に2017年度の夏期の結果を図4-6、2016年度冬期の結果を図4-7に示す。

また、絶対湿度について2016年度夏期の結果を図4-8、2017年度夏期の結果を図4-9、2016年冬期の結果を図4-10に示す。

(1) 相対湿度

・2016年度の夏期

平均値は全ての対象室が基準値を満たしていたが、43%RHと低い対象室Aや69%RHと高いIなど対象室の差が見られた。また基準値への適合割合は、ほとんどの対象室が概ね基準値を満たしていたが、対象室Iのみが45%と過半数を満たさない結果となった。

・2017年度の夏期

平均値は2016年度同様に全ての対象室が基準値を満たしていた。また対象室による差はあまり見られなかった。基準値への適合割合は、全ての対象室が過半以上を満たしている結果であった。

・2016年度の冬期

平均値は全ての対象室が基準を満たしていない結果であった。基準値への適合割合については対象室B、C、D、E、Fが0%であった。対象室A、E、F、G、Hは加湿器を使用していたが、対象室A、E、Fは相対湿度が低い結果であった。

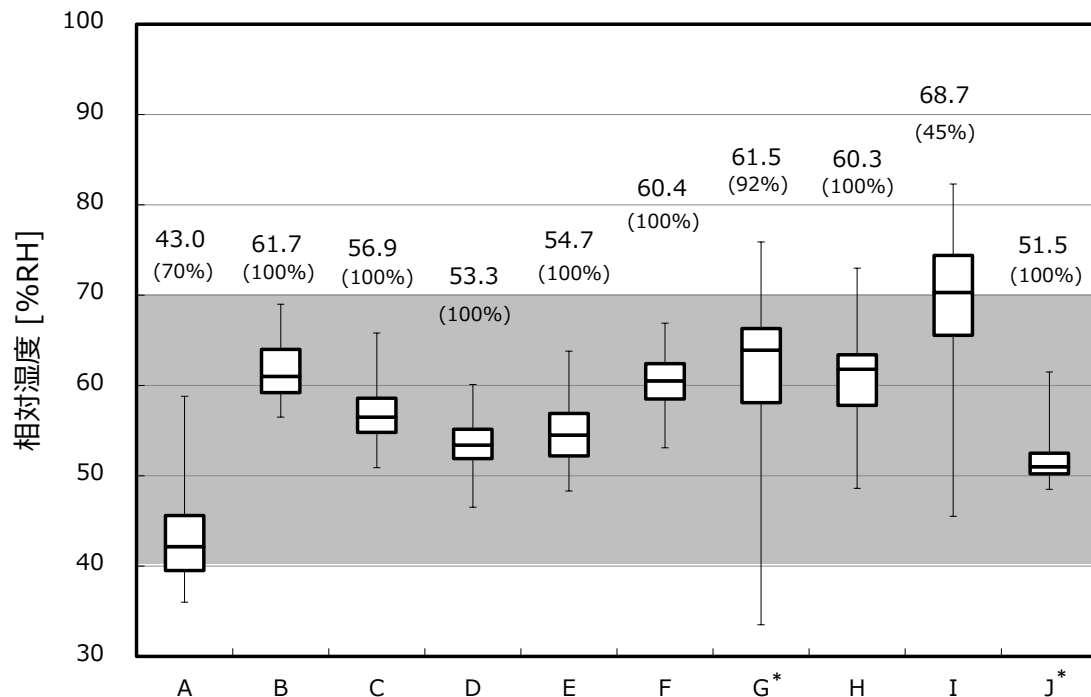


図4-5 相対湿度（2016年度・夏期・業務時間）

*空調制御方式が中央方式である対象室

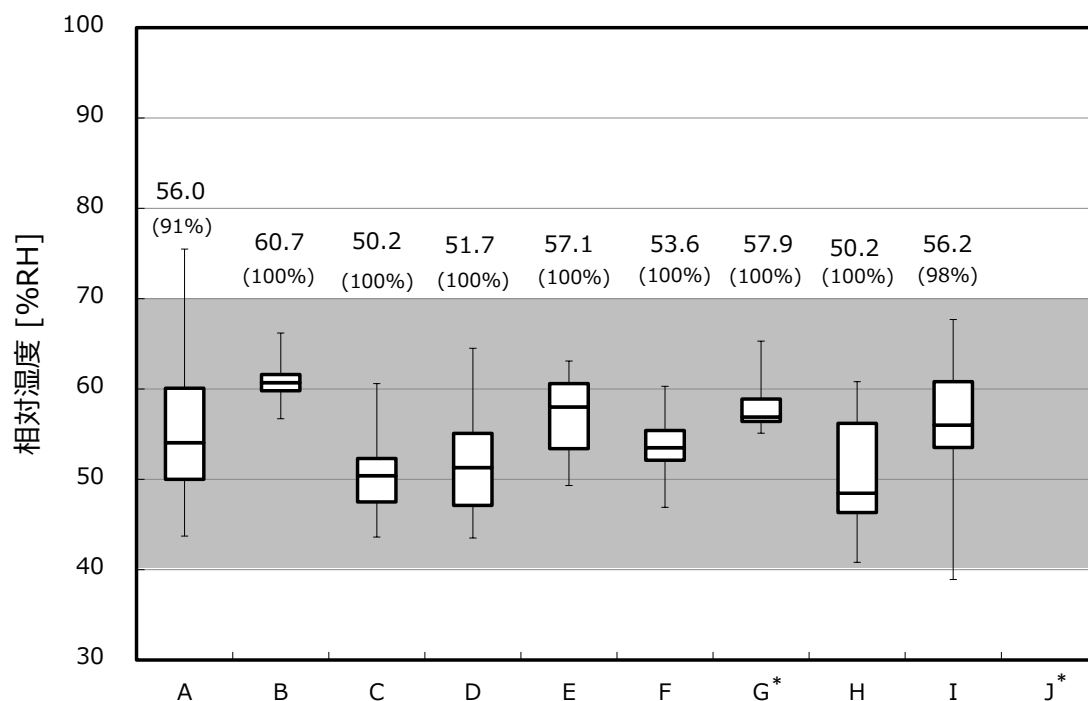


図 4-6 相対湿度 (2017 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

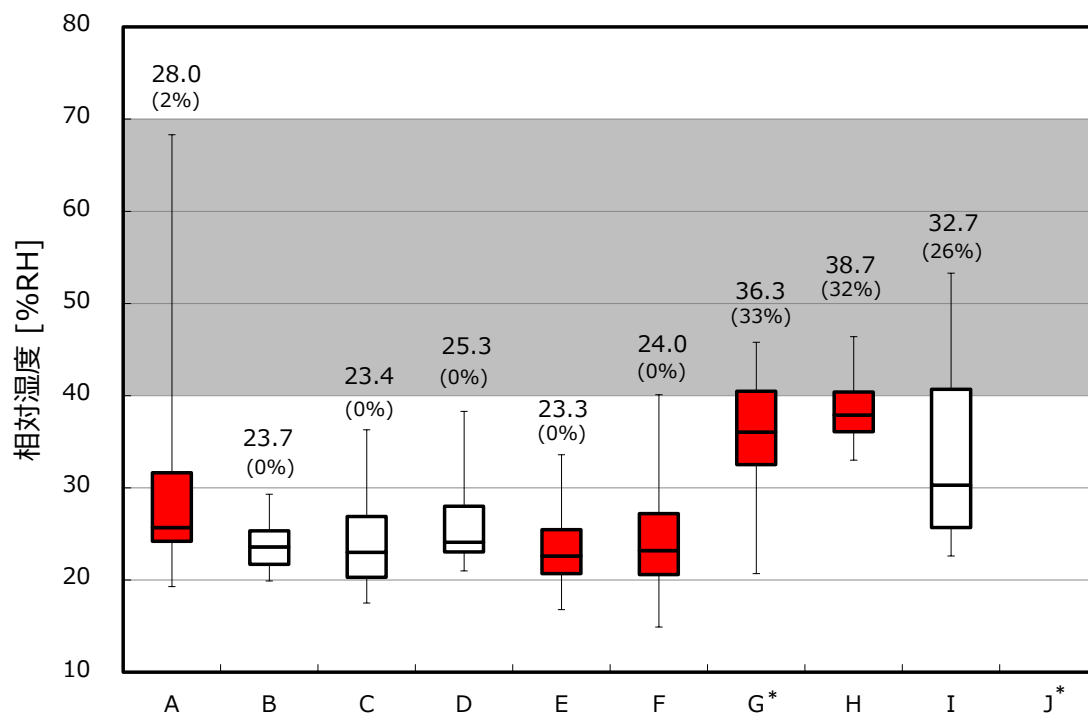


図 4-7 相対湿度 (2016 年度・冬期・業務時間)

注：加湿器を使用している対象室の結果を赤色に着色している

*空調制御方式が中央方式である対象室

(2) 絶対湿度

・2016年度の夏期

平均値では対象室 A が低く、対象室 I が高い結果であり、相対湿度と同様の傾向を示した。

・2017年度の夏期

概ね2017年度夏期の相対湿度と同様の傾向を示した。

・2016年度の冬期

概ね相対湿度と同様の傾向を示した。建築物環境衛生管理基準の下限値(空気温度 17℃、相対湿度 40%RH)における絶対湿度 4.8g/kg(DA)と各対象室の平均値を比較すると、対象室 B、C、D、E、F においてを下回る結果であった。

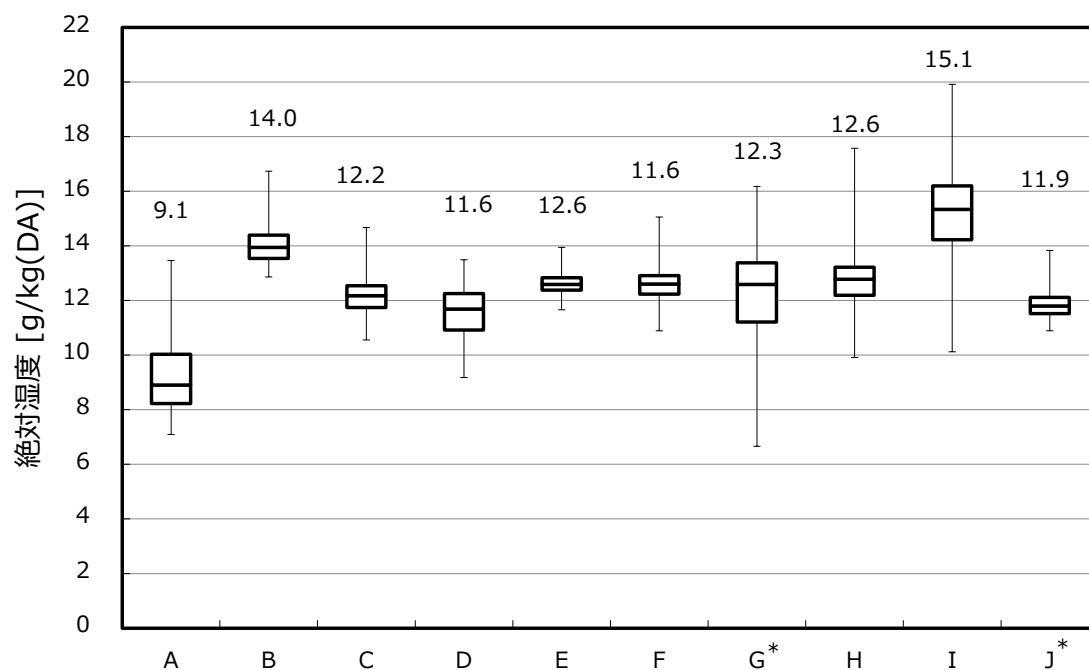


図 4-8 絶対湿度 (2016 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

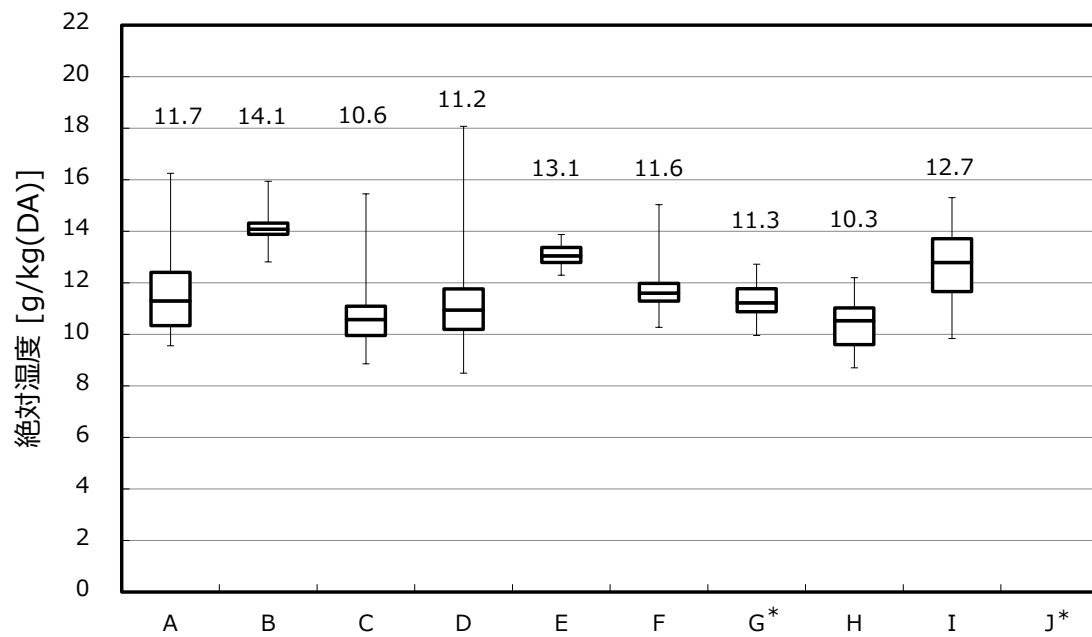


図 4-9 絶対湿度 (2017 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

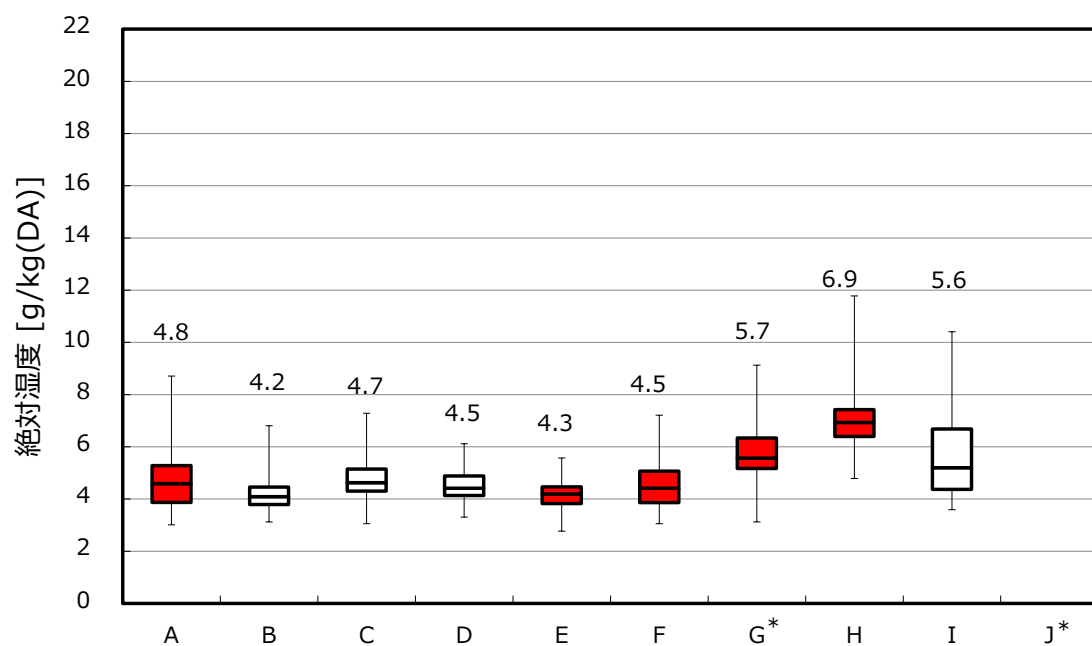


図 4-10 絶対湿度 (2016 年度・冬期・業務時間)

注：加湿器を使用している対象室の結果を赤色に着色している

*空調制御方式が中央方式である対象室

4.3.3 風速

各対象室の風速について2016年度夏期の結果を図4-11、2017年度の夏期結果を図4-12、2016年度冬期の結果を図4-13に示す。

・2016年度の夏期

平均値では全ての対象室が基準値である0.5m/s未満であったが、最大値付近では対象室Iでは一時的に0.5m/sを超える結果が見られた。なお、対象室Fはサーキュレーターを使用しており、対象室G、Jは執務者のデスク上に小型扇風機が設置していた。

・2017年度の夏期

2016年度夏期と同様に平均値は全ての対象室が基準値を満たしていたが、最大値付近では対象室Iが一時的に基準値を超える結果であった。なお、対象室B、Cはサーキュレーターを使用しており、対象室Gは執務者のデスク上に小型扇風機を設置していた。

・2016年度の冬期

平均値では全ての対象室が基準値である0.5m/s未満であり、夏期の結果と比較するとやや小さい結果であった。なお、対象室Gは執務者のデスク上に小型扇風機を設置していた。

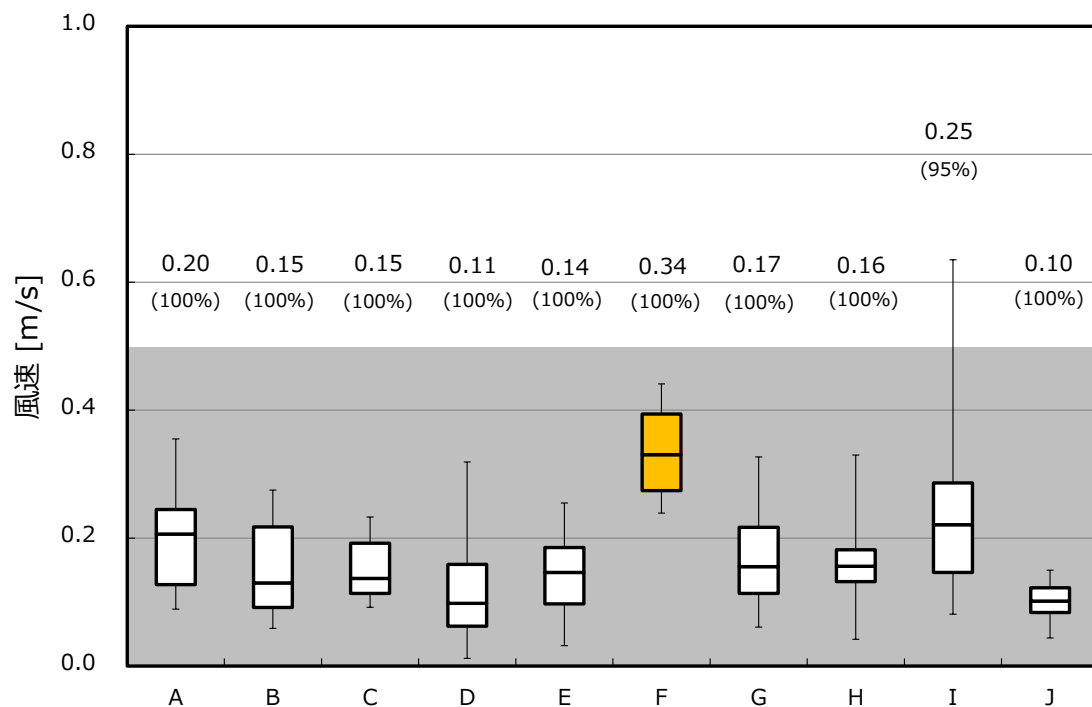


図4-11 風速（2016年度・夏期・業務時間）

注：サーキュレーターを使用している対象室の結果をオレンジ色に着色している
*空調制御方式が中央方式である対象室

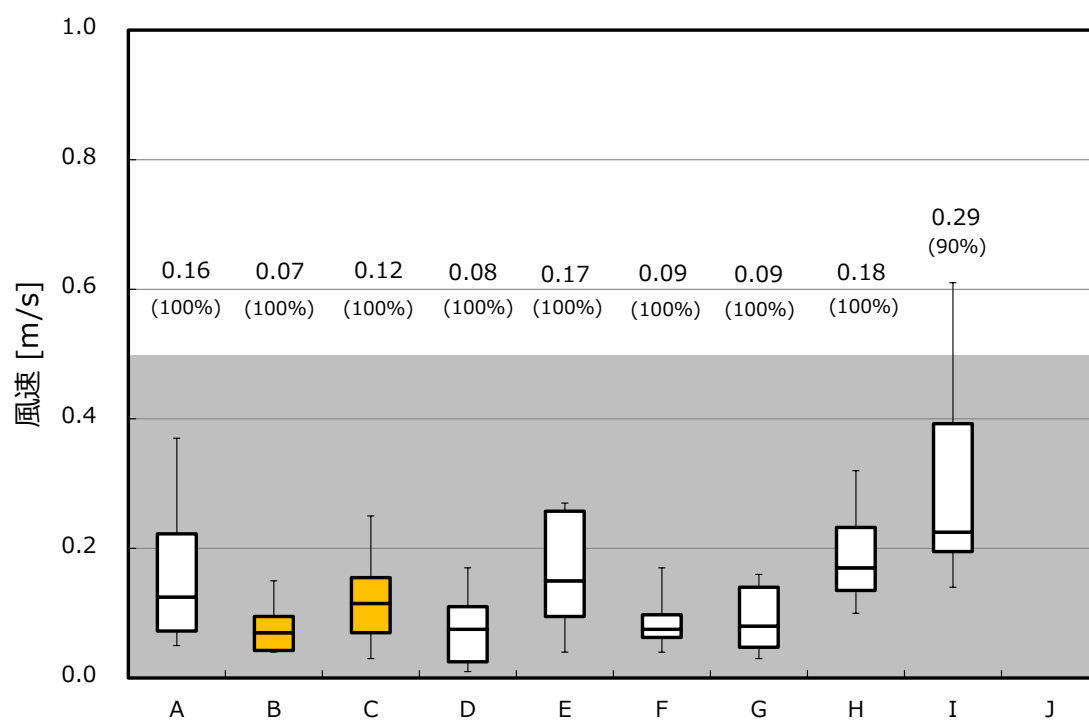


図 4-12 風速 (2017 年度・夏期・業務時間)

注：サーキュレーターを使用している対象室の結果をオレンジ色に着色している
*空調制御方式が中央方式である対象室

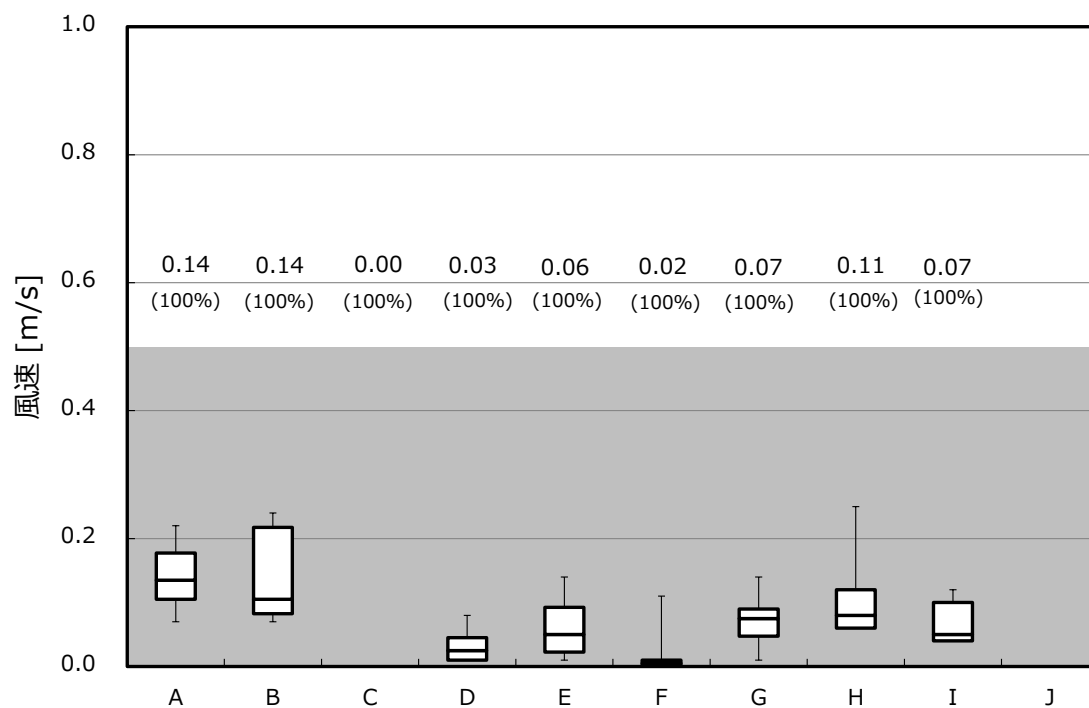


図 4-13 風速 (2016 年度・冬期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

4.3.4 CO₂濃度

2016年度の夏期における各対象室のCO₂濃度について結果を図4-14、同様に2017年度夏期、2016年度冬期の結果を図4-15、図4-16に示す。

・2016年度の夏期

平均値では全ての対象室が基準値を満たしていたが、対象室A、G、IおよびJは一時的に基準値を超える結果が見られた。特に大きく基準値を超えた対象室Iについては、執務者へのヒアリングにより測定期間中に一時的に在室者数が増え、会議が行われたことがわかっているため、その時間に基準値を超えたと考えられる。

基準値への適合割合は全ての対象室において過半以上を満たしている結果であった。

・2017年度の夏期

2016年夏期と同様に、平均値では全ての対象室が基準値を満たしていたが、対象室A、G、Iは一時的に基準値を超える時間帯が見られた。基準値への適合割合は全ての対象室において過半以上を満たしている結果であった。

・2016年度の冬期

平均値では全ての対象室が基準値を満たしていたが、対象室A、D、G、Iは一時的に基準値を超える時間帯が見られた。基準値への適合割合は2016年夏期、2017年夏期と同様に全ての対象室において過半以上を満たしている結果であった。

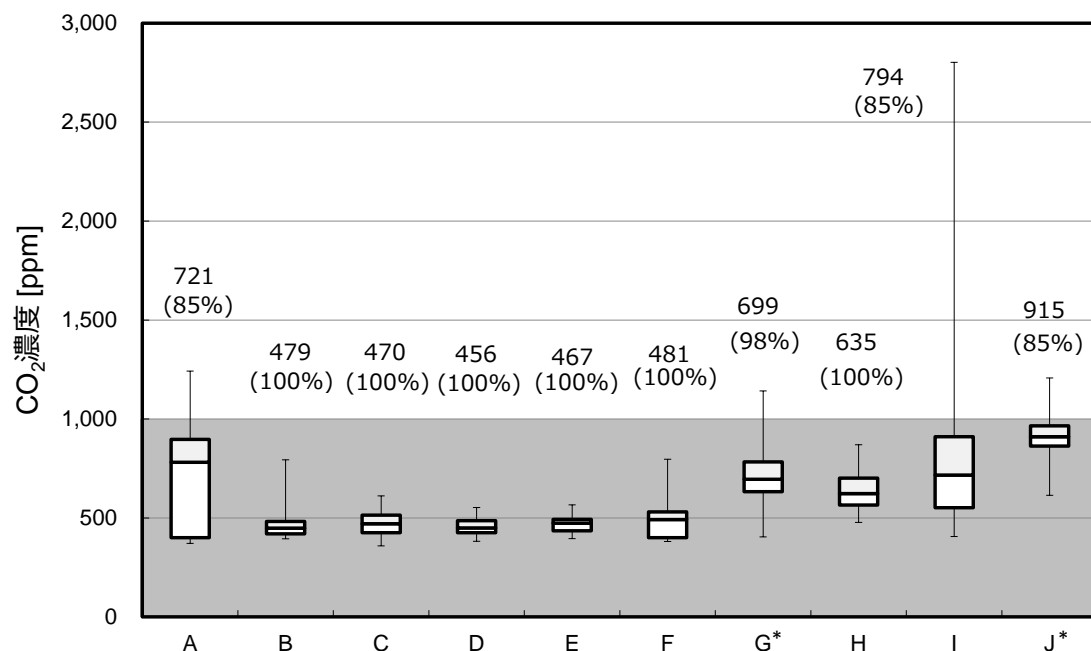


図4-14 CO₂濃度 (2016年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

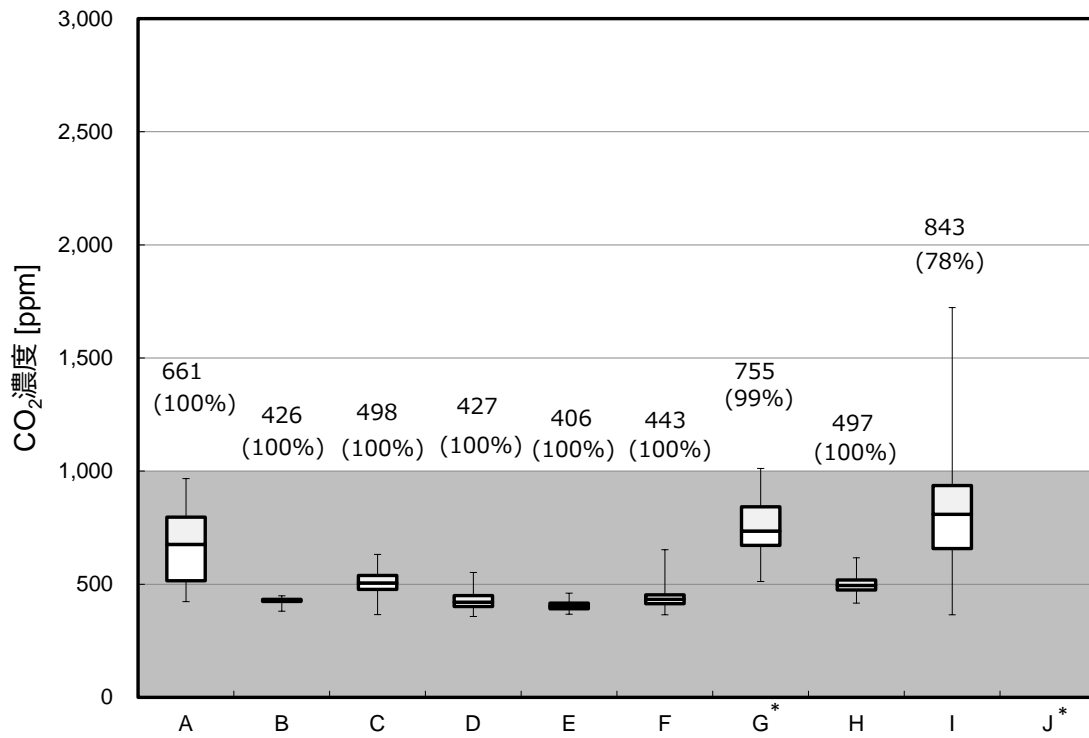


図 4-15 CO₂ 濃度 (2017 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

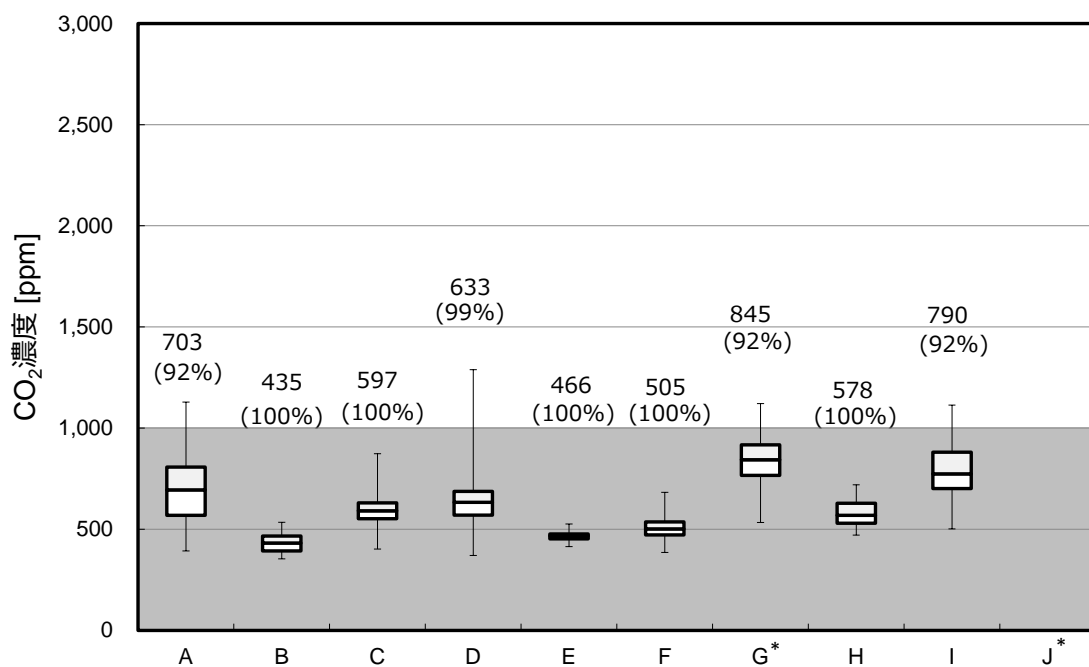


図 4-16 CO₂ 濃度 (2016 年度・冬期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

4.3.5 WBGT

評価指標は JIS Z8504 に示された基準値の内、事務所として想定しうる活動量から代謝率区分は1 低代謝率と2 中程度代謝率とし、熱に順化していない人の基準値である 26℃、29℃とした。

2016 年度の夏期における各対象室の WBGT について結果を図 4-17、同様に 2017 年度夏期、2016 年度冬期の結果を図 4-18、図 4-19 に示す。

表 4-4 各条件に対応した WBGT の基準値 (JIS Z8504^[4-10]より引用し作成)

区分	代謝率範囲 M [W/m ²]	WBGT 基準値[℃]	
		熱に順化している人*	熱に順化していない人*
0 安静	$M \leq 65$	33	32
1 低代謝率	$65 < M \leq 130$	30	29
2 中程度代謝率	$130 < M \leq 200$	28	26
3 高代謝率	$200 < M \leq 260$	25 (26)**	22 (23)**
4 極高代謝率	$M > 260$	23 (25)**	18 (20)**

備考 これらの数値は最高直腸温度 38℃を許容限度として設定されている。

*熱に順化していない人とは、作業する前の週に毎日熱にさらされていなかった人をいう。

**括弧内の数値は、気流を感じる時の基準値を示す。

・2016 年度の夏期

平均値でみると全ての対象室において熱中症の危険性はほとんどない結果であった。最大値付近では対象室 I において、26℃を超える時間があり、活動量によっては熱中症の危険性がある結果であった。

・2017 年度の夏期

平均値でみると 2016 年度夏期と同様に全ての対象室において熱中症の危険性はほとんどない結果であった。最大値付近では対象室 D において 26℃を超える時間があり、活動量によっては熱中症の危険性がある結果であった。

・2016 年度の冬期

平均値、最大値付近ともに熱中症の危険性はほとんどない結果であった。

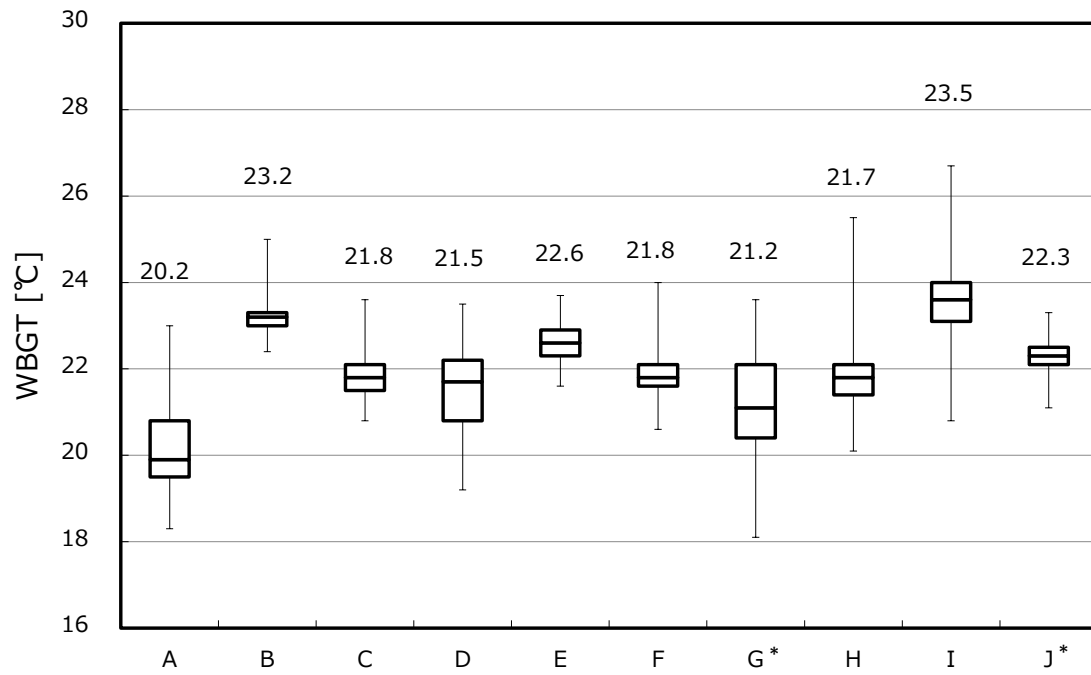


図 4-17 WBGT (2016 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

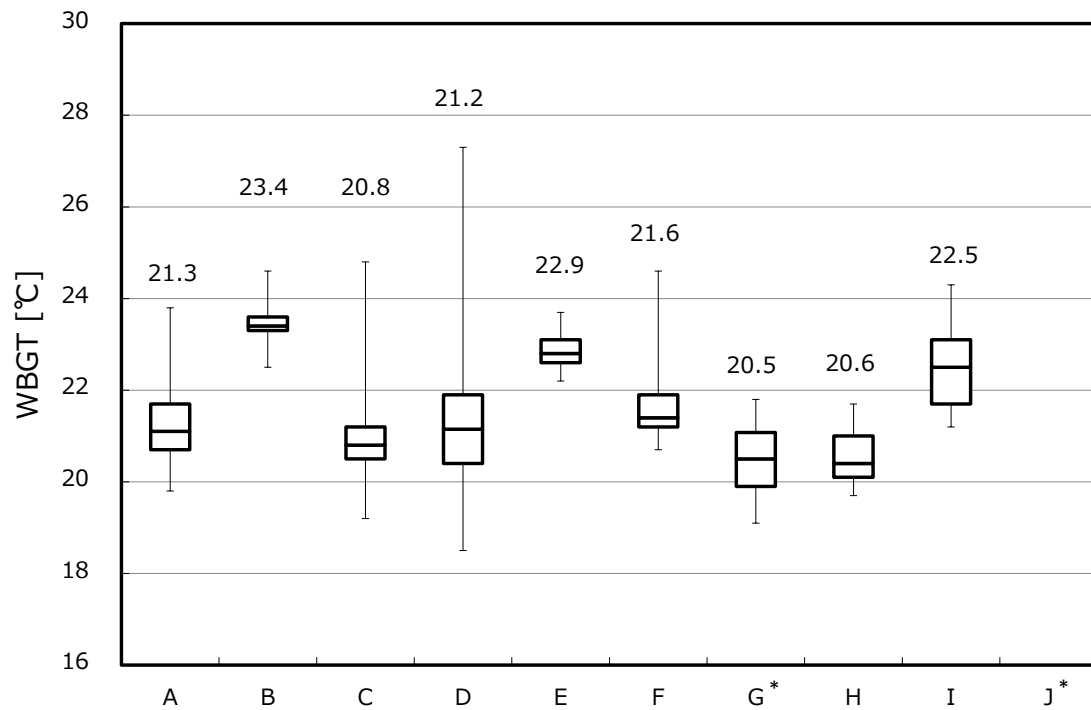


図 4-18 WBGT (2017 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

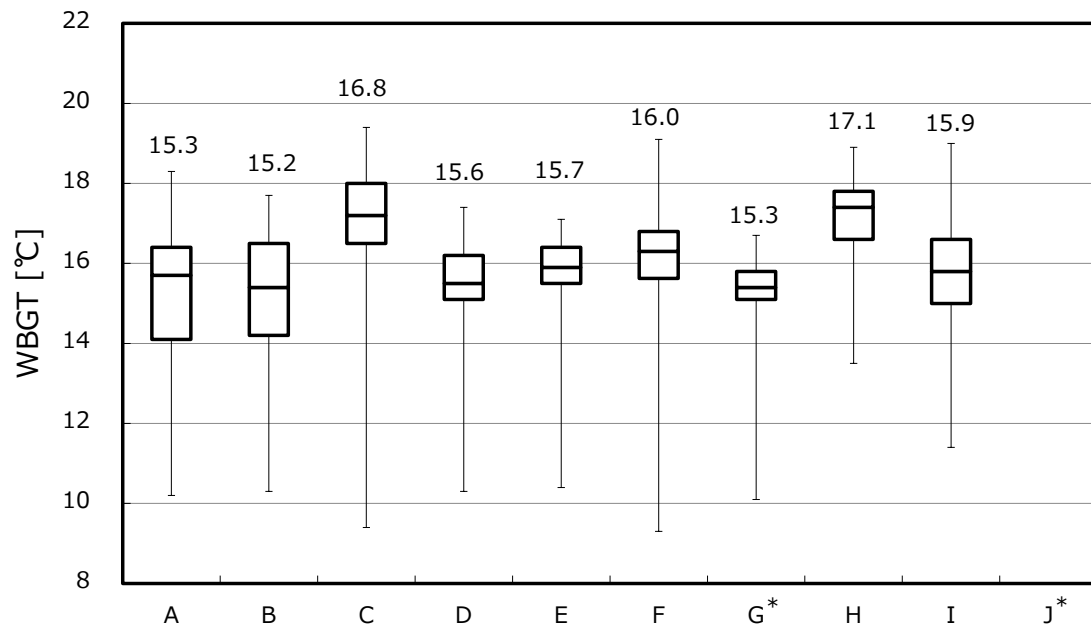


図 4-19 WBGT (2016 年度・冬期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

4.3.6 PMV

2016年度の夏期における各対象室のPMVについて結果を図4-20、同様に2017年度夏期、2016年度冬期の結果を図4-21、図4-22に示す。なお、PMVの算定に必要な c_{lo} 値については夏期を $0.5^{[4-11]}$ 、冬期を $1.0^{[4-11]}$ 、Met値は夏期、冬期ともに $1.2^{[4-11]}$ と設定した。なお、ISOの推奨範囲 $^{[4-12]}$ は $-0.5 < PMV < +0.5$ である。

・2016年度の夏期

平均値は対象室B、D、E、I、JにおいてISOの推奨範囲である0.5を上回る結果となった。対象室A、F、Gは0付近であり概ね良好な環境であると言える。推奨範囲への適合割合については対象室A、F、G、H、において80%を超えており、対象室B、E、Jについては10%以下であった。

・2017年度の夏期

平均値は対象室B、D、E、Fにおいて0.5を上回る結果となった。2016年夏期と比較すると対象室FにおいてPMVが0.7以上高くなっており、これは風速の低下と空気温度の上昇による影響であると考えられる。推奨範囲への適合割合については対象室A、G、Hが80%以上であり、対象室Bにおいては10%以下であった。

・2016年度の冬期

平均値は対象室CにおいてISOの推奨範囲を超える結果となった。これは空気温度による影響であると考えられる。推奨範囲への適合割合については対象室C、Fを除くすべての対象室において過半数を満たしていた。

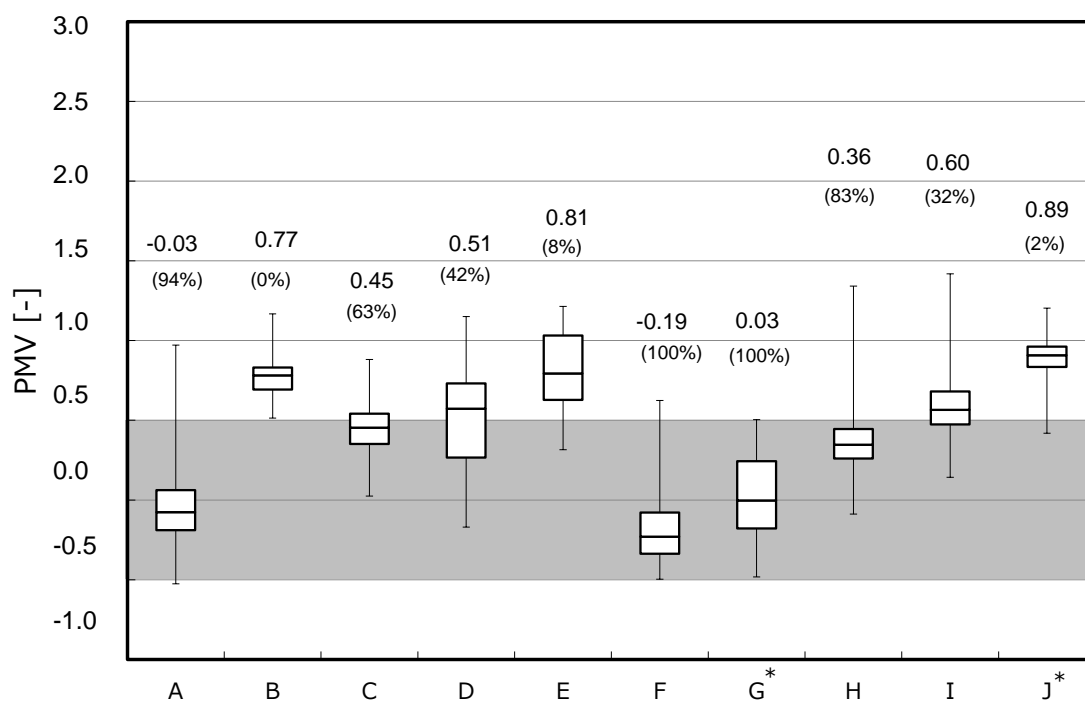


図4-20 PMV (2016年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

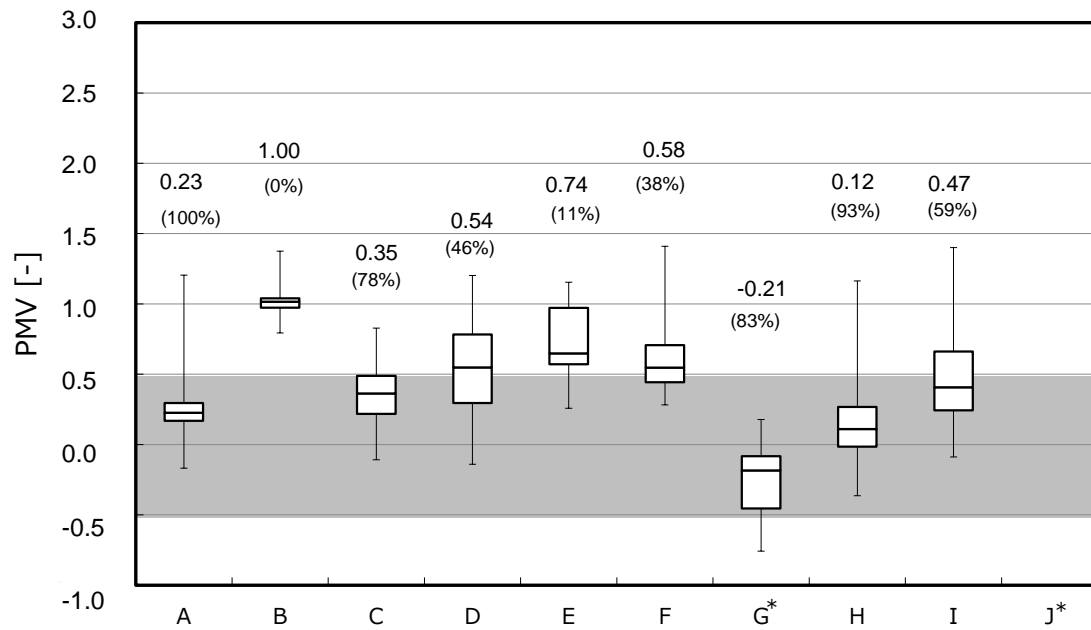


図 4-21 PMV (2017 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

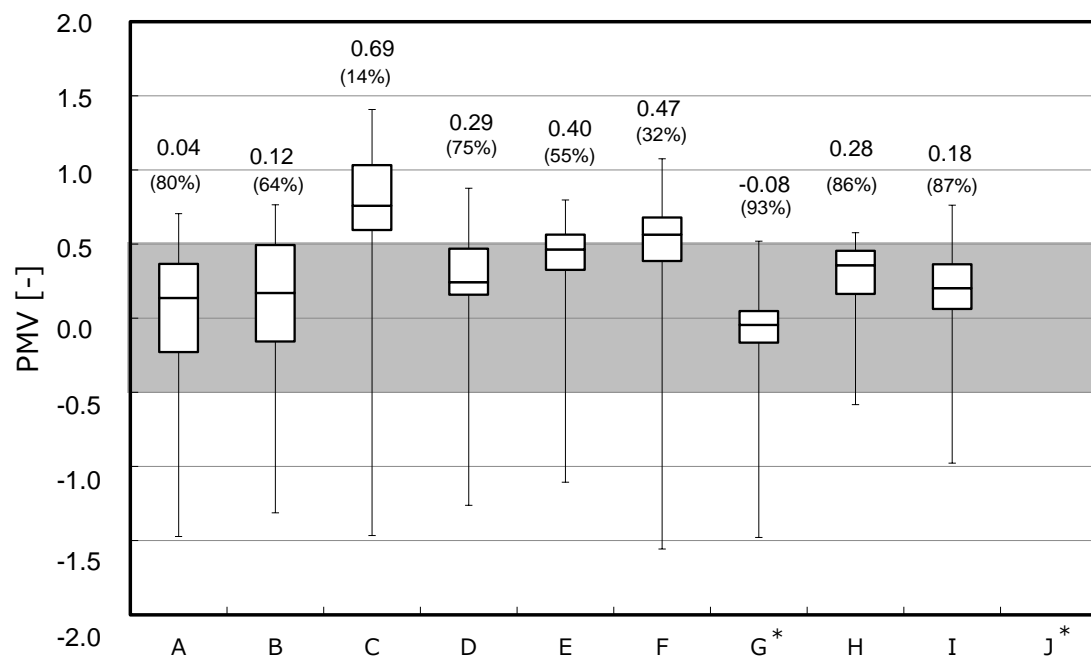


図 4-22 PMV (2016 年度・冬期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

4.4 おわりに

本章では、2011 年以降初めて節電要請がなされなかった 2016 年度の夏期、冬期および 2017 年の夏期において、特に今まで取得の事例数が少ない高知県の事務所を中心に室内空気環境の連続測定を行った結果を示した。本章で得られた知見を以下に記す。

- 1) 空気温度について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準 17℃～28℃を満たしており、10 対象室の内、8 対象室の基準値適合割合は 90% 以上であった。2017 年度の夏期についても平均値や基準値への適合割合は同様の結果が得られた。2016 年度の冬期については全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準の値を満たしていたが、最低値については対象室 H を除く全ての対象室において 17℃を下回る結果であった。
- 2) 相対湿度について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準 40%RH～70%RH を満たしてしていたが、43%RH と低い対象室 A や 69%RH と高い I など対象室の差が見られた。基準値への適合割合は、ほとんどの対象室が概ね基準値を満たしてしていたが、対象室 I のみが 45%と過半数を満たさない結果となった。2017 年度の夏期には 2016 年度同様に全ての対象室が基準値を満たしており、また対象室による差はあまり見られなかった。基準値への適合割合は、全ての対象室が過半以上を満たしている結果であった。2016 年度の冬期には全ての対象室が平均値において基準を満たしていない結果であり、基準値への適合割合については対象室 B、C、D、E、F が 0%であった。また、対象室 A、E、F、G、H は加湿器を使用していたが、対象室 A、E、F は相対湿度が低い結果であった。
- 3) 風速について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準 0.5m/s を満たしてしていたが、最大値付近では対象室 I が一時的に 0.5m/s を超える結果が見られた。2017 年度の夏期については 2016 年度の夏期とほぼ同様の結果であった。2016 年度の冬期について平均値において基準値が 0.5m/s 未満であり、夏期の結果と比較するとやや小さい結果であった。
- 4) CO₂ 濃度について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準 1000ppm を満たしてしていたが、対象室 A、G、I および J は一時的に基準値を超える結果が見られた。2016 年度の冬期、2017 年度の夏期についても 2016 年度の夏期と同様に平均値では基準値を満たしているものの一時的に基準値を超える対象室が複数見られた。
- 5) WBGT について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において熱中症の危険性はほとんどない結果であったが、最大値付近では対象室 I において、26℃を超える時間が見られ活動量によっては熱中症の危険性がある結果であった。2017 年度の夏期についても 2016 年度の夏期と同様に全ての対象室が平均値において熱中症の危険性はほとんどない結果であったが、対象室 D において最大値付近で 26℃を超える時間が見られた。
- 6) PMV について 2016 年度の夏期には測定対象室の半数が平均値において ISO の推奨範囲

である 0.5 を上回る結果であった。推奨範囲への適合割合については対象室 A、F、G、H、において 80%を超えており、対象室 B、E、J については 10%以下であった。2017 年度の夏期にはほとんどの対象室が 2016 年度の夏期の結果と同様であったが、対象室 F は平均値が 0 付近から 0.5 を超える結果となっており、空気温度の上昇と風速の低下が影響していると考えられる。2016 年度の冬期には対象室 C を除くすべての対象室の平均値が推奨範囲内であり、適合割合については対象室 C、F を除くすべての対象室が過半数を満たしていた。

次章ではこれらの室内空気環境の結果について、各対象室や執務者が持つ属性との関係性について分析を行う。

第4章 引用・参考文献

- [4-1] 厚生労働省：建築環境衛生管理基準，<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>，2017.12 取得
- [4-2] 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
- [4-3] 首相官邸：「2016年度夏季の電力需給対策について」，http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_supply/20160513/taisaku.pdf，2017.12 取得
- [4-4] 首相官邸：「2016年度冬季の電力需要対策について」，http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_supply/20161028/taisaku.pdf，2017.12 取得
- [4-5] 首相官邸：「2017年度夏季の電力需要対策について」，http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_supply/20170512/taisaku.pdf，2017.12 取得
- [4-6] 一般社団法人 建築環境・省エネルギー機構：省エネ基準による地域区分，http://www.jjj-design.org/?page_id=599，2017.12 取得
- [4-7] ISO 7730:1994:Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort
- [4-8] ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
- [4-9] 社団法人 空気調和・衛生工学会：SHASE-M-0006-2005 建築室内環境・設備システム性能評価方法の標準化研究「室内環境測定マニュアル」，p170，2005.11
- [4-10] JIS Z8504:1999：人間工学-WBGT（湿球黒球温度）指数に基づく作業者の熱ストレスの評価-温熱環境
- [4-11] 空気調和・衛生工学会：第14版 空気調和・衛生工学便覧 1 基礎編，2010
- [4-12] ISO 7730:1994:Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort

第 5 章

室内空気環境と対象室および執務者の属性との関係 性の分析

第5章：室内空気環境と対象室・執務者の属性との関係性の分析

5.1 はじめに

前章では複数の事務用途室を対象とした室内空気環境の実態調査の結果を示した。本章では、その結果についてさらに対象室や執務者の属性との関係性を分析する。

5.2 空調方式との関係性

空調方式に着目して室内空気環境について分析する。また、本節では室内空気環境として安全性を示す WBGT と温冷感を示す PMV の相関図から分析を行う。

各対象室の業務時間内における WBGT と PMV の関係について2016年度夏期の結果を図5-1、2016年冬期の結果を図5-2、2017年度夏期の結果を図5-3に示す。なお、プロットは各対象室の平均値とする。

・2016年度夏期

空調方式が中央方式の対象室 G と J において、空調設定温度の高い J と低い G に差が見られる結果となった。対象室 G は WBGT 値が十分に低く、PMV の値も 0 に近いことから、良好な室内環境であったと考えられる。一方、対象室 J は節電の影響により WBGT や PMV の値が比較的に高い結果であった。

空調方式が個別方式の対象室は、一定の傾向は見られず、ばらついている結果であった。これは主に執務者が空調の設定温度を自由に操作していたことが原因であると考えられる。特に、対象室 B、E、I については WBGT と PMV が比較的に高い結果であった。

また回帰線から離れている A は南と東に主開口があり、室全体がペリメータゾーンとなるため日射負荷により除湿が促進され WBGT が小さくなったと考えられる。I は相対湿度が高いため WBGT が高くなったと考えられる。

・2017年度夏期

2016年度夏期と同様に、空調方式が中央方式の対象室 G は WBGT 値が十分に低く、PMV の値も 0 に近いことから、良好な室内環境であったと考えられる。

空調方式が個別方式の対象室もまた、2016年夏期と同様に一定の傾向は見られず、ばらついている結果であった。特に、対象室 B、E については2016年夏期と同様に WBGT と PMV が比較的に高い結果であった。また、対象室 F は2016年夏期の結果と比較すると PMV が高くなっており、これは空気温度の影響が大きいと考えられる。

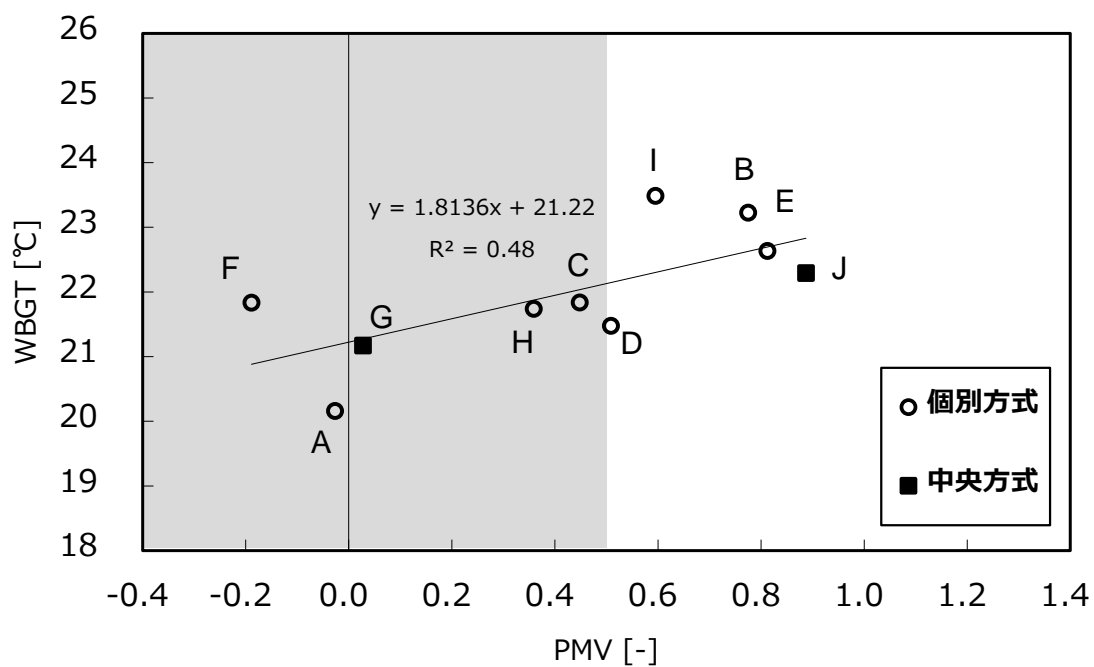


図 5-1 WBGT, PMV 相関図 (2016 年度・夏期・業務時間)

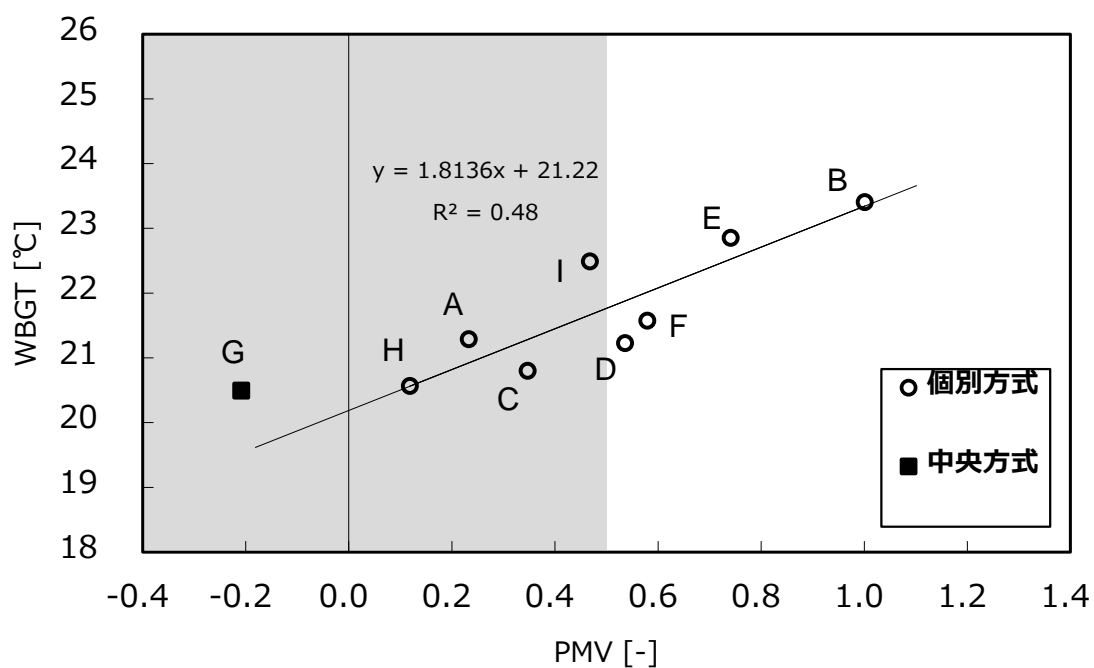


図 5-2 WBGT, PMV 相関図 (2017 年度・夏期・業務時間)

・2016 年度冬期

空調方式が中央方式の対象室 G は WBGT 値が十分に低く、PMV の値も 0 に近いことから、良好な室内環境であったと考えられる。

空調方式が個別方式の対象室については空調設定温度が高い C を除く対象室が PMV について基準内であった。回帰線から最も離れている H は相対湿度が高いために WBGT が高くなったと考えられる。

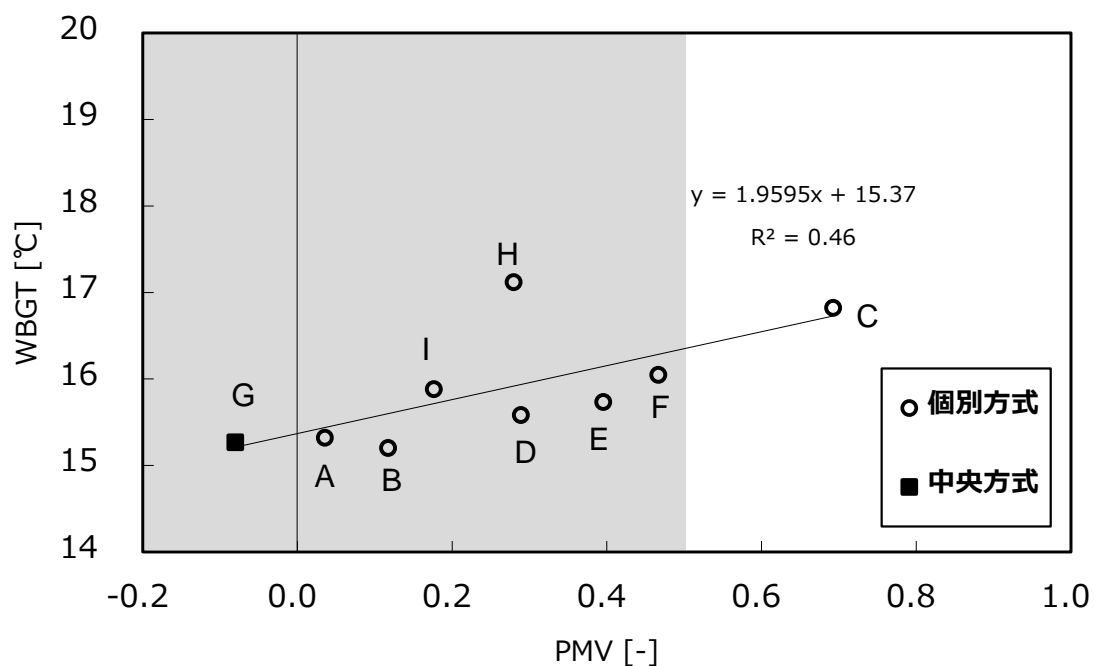


図 5-3 WBGT, PMV 相関図 (2016 年度・冬期・業務時間)

5.3 補助冷暖房機器との関係性

本節では、4章にて示した室内空気環境の実態調査において補助冷暖房機器（加湿器、電気ヒーター）を使用していた対象室の室内空気環境について分析を行った。

5.3.1 加湿器

2016年度冬期において加湿器を使用していた対象室の概要を表5-1に示す。

表5-1 加湿器を使用していた対象室の概要

建物	名称	空調制御方式	床面積[m ²]	在室者数[人]	主開口方位
①	A	個別	68	11	南・東
③	E	個別	15	2	東
	F	個別	15	3	西
④	G	中央	400	44	南・東
⑤	H	個別	98	16	西

(1) 各対象室における加湿器の消費電力と絶対湿度の時系列変化

各対象室における絶対湿度と消費電力の時系列変化を図5-4～5-8に示す。

ほとんどの対象室は始業時に作動させ、終業時に加湿器を停止させていた。中には12時頃に離席などを理由に停止させ、13時頃から再び作動させている対象室も見られた。

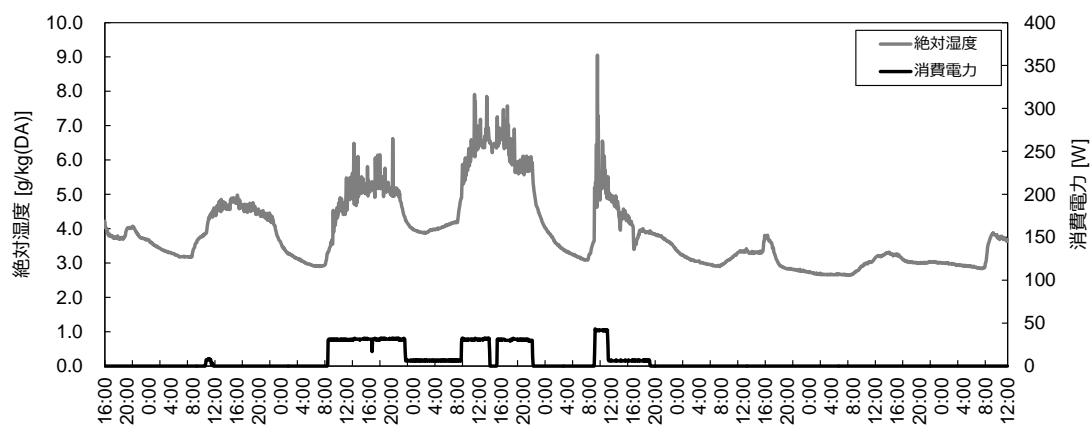


図 5-4 対象室 A における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化

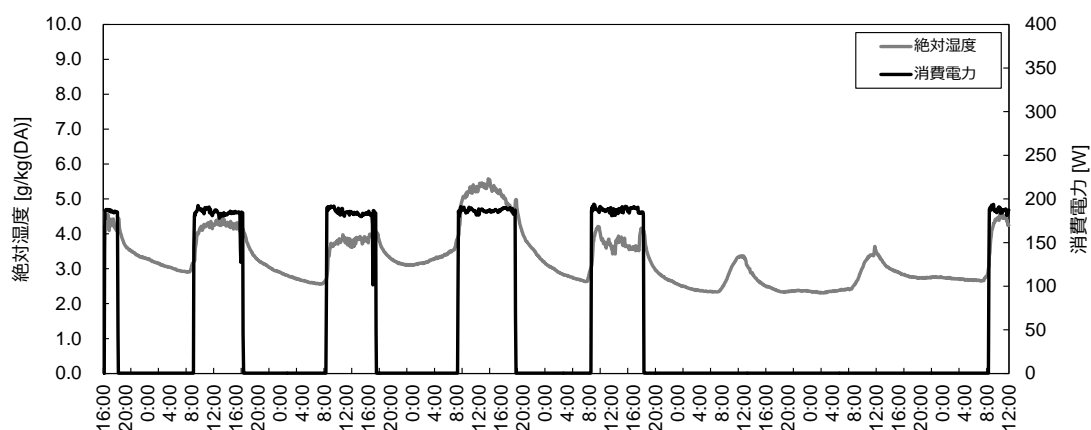


図 5-5 対象室 E における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化

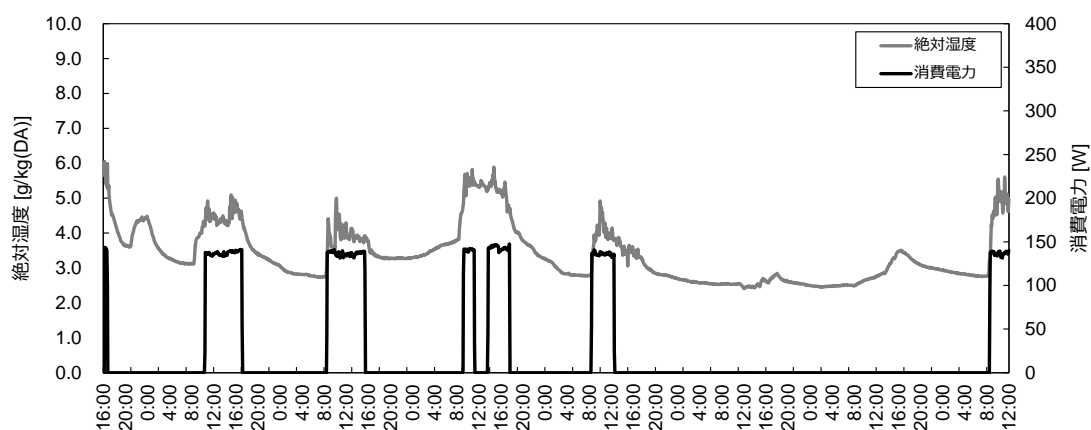


図 5-6 対象室 F における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化

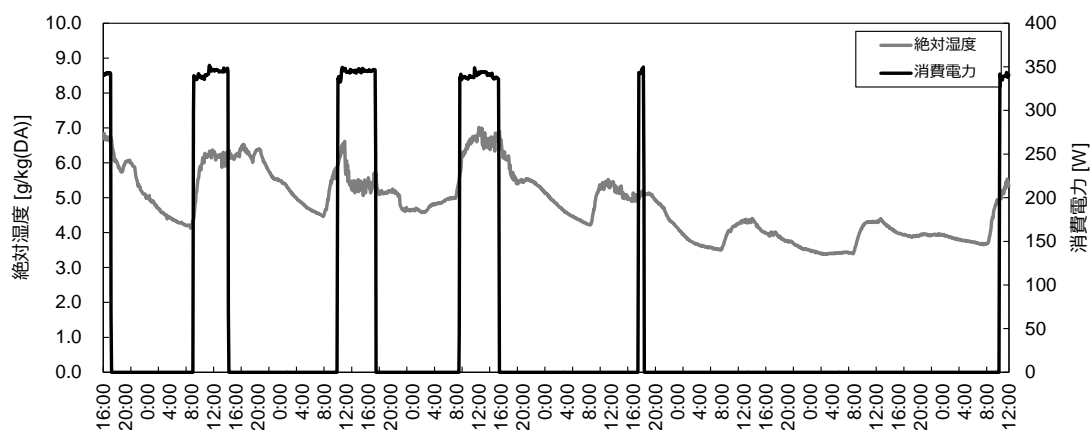


図 5-7 対象室 G における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化

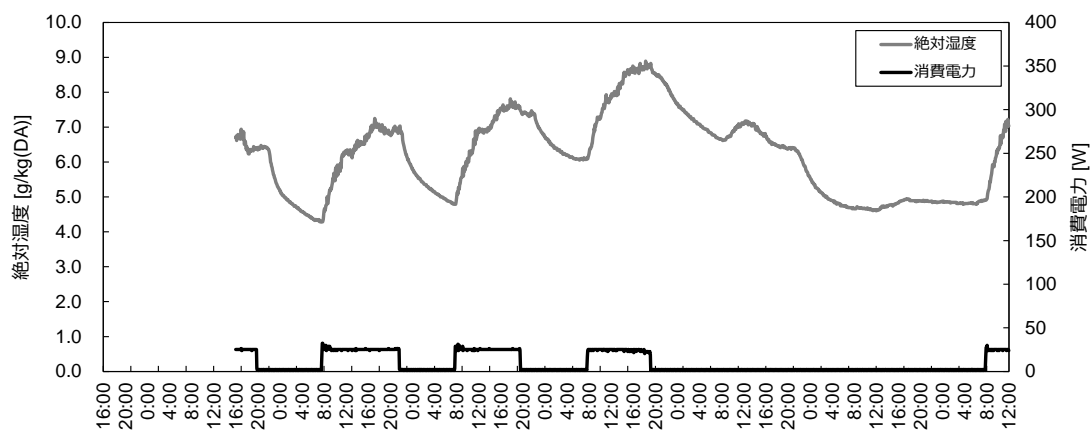


図 5-8 対象室 H における絶対湿度および加湿器の消費電力の時系列変化

(2) 各対象室における使用時間割合と湿度の関係

表 5-2 に各対象室における加湿器の日平均消費電力および使用時間割合を示す。なお、日平均消費電力は業務時間内における稼働時の平均値である。また、図 5-9 に各対象室における加湿器の使用時間割合と湿度との関係を示す。なお、各プロットは日平均値である。

表 5-2 各対象室における加湿器の日平均消費電力および使用時間割合

名称	A	E	F	G	H
平均消費電力* [W]	32	186	138	342	25
使用時間割合 [%]	51 (30W)**	96 (160W)**	66 (120W)**	58 (300W)**	99 (24W)**
相対湿度 [%RH]	28.5	23.2	23.2	37.1	38.7
絶対湿度 [g/kg(DA)]	4.99	4.23	4.35	5.86	6.95

*測定期間中の業務時間内における稼働時の平均値

**括弧内は閾値を示す

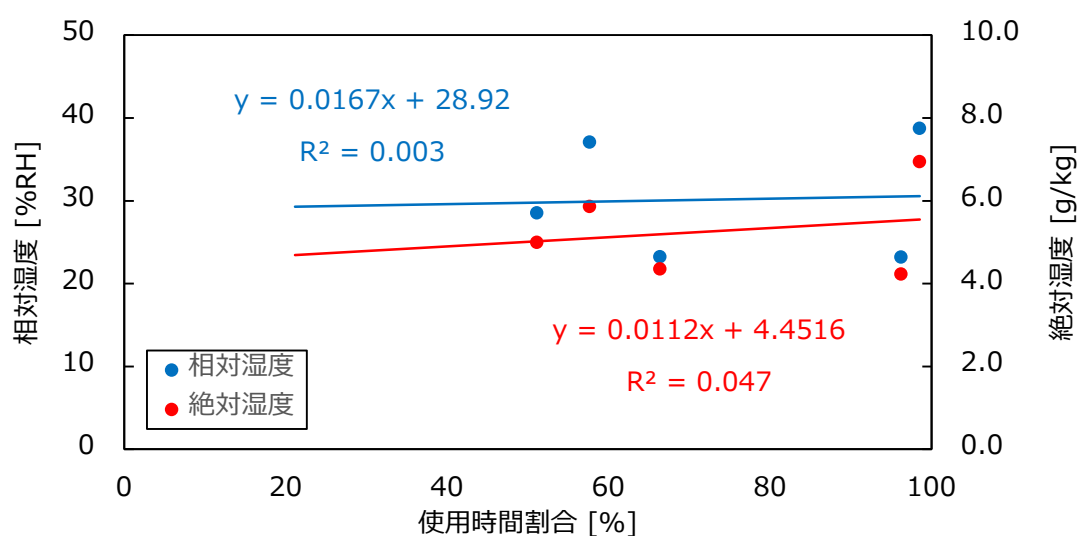


図 5-9 各対象室における加湿器の使用時間割合と湿度との関係

傾きについて見ると相対湿度、絶対湿度はともに正の相関であるが、決定係数について見ると相対湿度は 0.003、絶対湿度は 0.047 となり、ともに加湿器の使用時間割合との相関は小さい結果となった。

(3) 各対象室における消費電力と絶対湿度の関係

各対象室における絶対湿度と消費電力の関係について図 5-10～図 5-14 に示す。

いずれの対象室においても加湿器の消費電力と絶対湿度との相関は小さい結果であった。

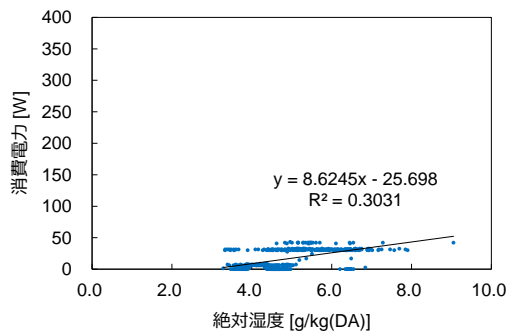


図 5-10 対象室 A における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係

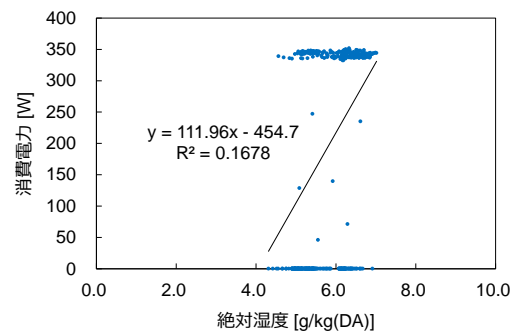


図 5-13 対象室 G における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係

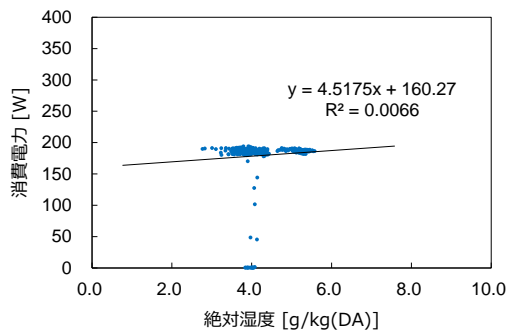


図 5-11 対象室 E における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係

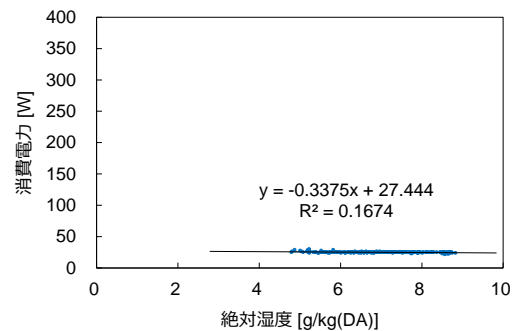


図 5-14 対象室 H における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係

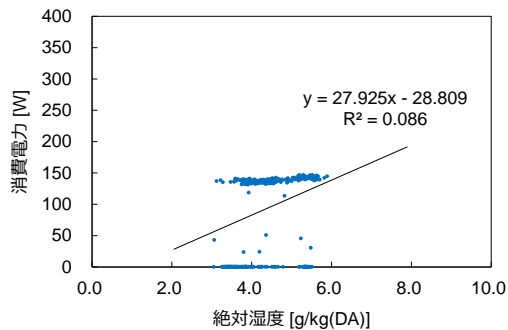


図 5-12 対象室 F における絶対湿度および加湿器の消費電力の関係

(4) 加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度

4章にて示した室内空気環境の実態調査において加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度について検討を行った。

加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度を図5-15に示す。箱ひげ図上の数値は平均値、括弧内は基準値への適合割合とする。なお、建築物環境衛生管理基準における温度と相対湿度の下限値は17℃、40%RHであり、その時の絶対湿度は4.8g/kg(DA)であることから、4.8g/kg(DA)以上を基準値とした。

また、加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度について統計検定を行った。検定方法については室内空気環境のデータが正規分布、等分散でないことから、正規性、等分散性を仮定しない検定として知られるBrunner-Munzel検定^(註5-1)を統計解析ソフトRにより行った。

平均値、基準への適合割合ともに加湿器を使用している対象室の方が、加湿器を使用していない対象室に比べ、大きくなった。

Brunner-Munzel 検定では加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度に有意な差が見られた($p < 0.01$)。また、適合割合についても有意な差が見られる結果であった($p < 0.01$)。

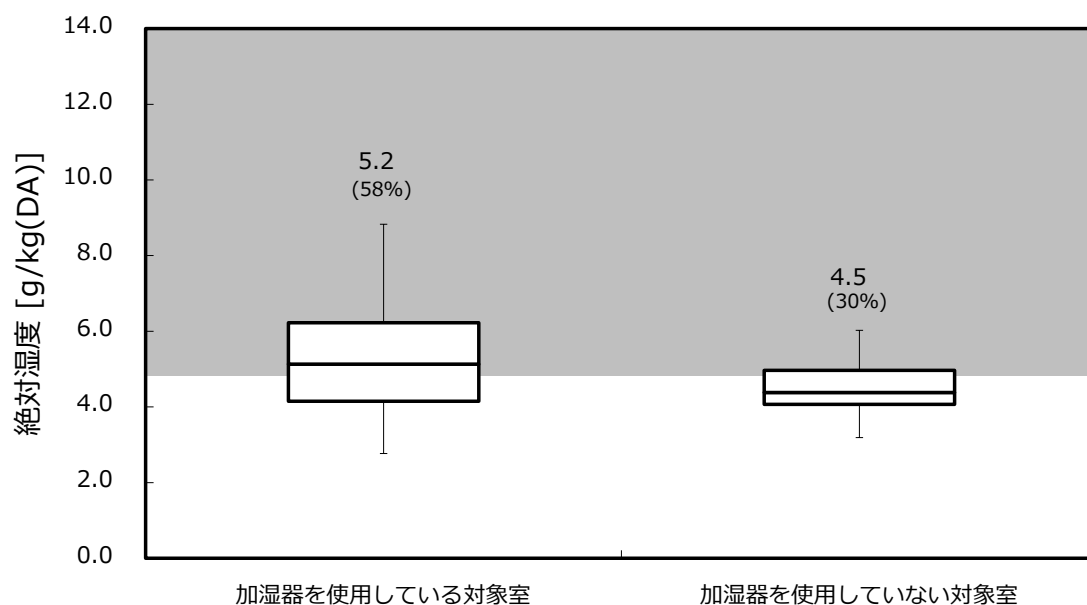


図5-15 加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度

(註5-1) 対応のない2群間の量的検定手法であり、正規性を仮定しないノンパラメトリックな手法である。統計解析ソフトRのlawstatパッケージにあるbrunner.munzel.test()により検定を行った。^{[5-1][5-2][5-3]}

5.3.2 電気ヒーター

2016年度冬期において電気ヒーターを使用していた対象室の概要を表5-3に示す。

表5-3 電気ヒーターを使用していた対象室の概要

建物	名称	空調制御方式	床面積[m ²]	在室者数[人]	主開口方位
①	A	個別	68	11	南・東
②	B	個別	115	1	北
	C	個別	15	2	南
③	D	個別	15	2	東
	F	個別	15	3	西
④	G	中央	400	44	南・東

(1) 各対象室における電気ヒーターの消費電力と空気温度、足元温度の時系列変化

各対象室における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の時系列変化を図5-16～5-21に示す。

- ・電気ヒーターの消費電力の時系列変化から、ほとんどの対象室が実測期間中、毎日使用している結果であったが、対象室AとGでは使用していない日も見られた。
- ・対象室B、D、Fは終日電気ヒーターを使用していたのに比べて、対象室A、C、Gでは午前のみ、午後のみ使用しているなど電気ヒーターの使い方に差が見られた。
- ・対象室DやFでは消費電力にいくつかの段階がみられ、特に始業時など温度の低い時間において消費電力が高く、温度が安定すると消費電力が低くなっていることから、温度によって強弱の設定を使い分けていると推測される

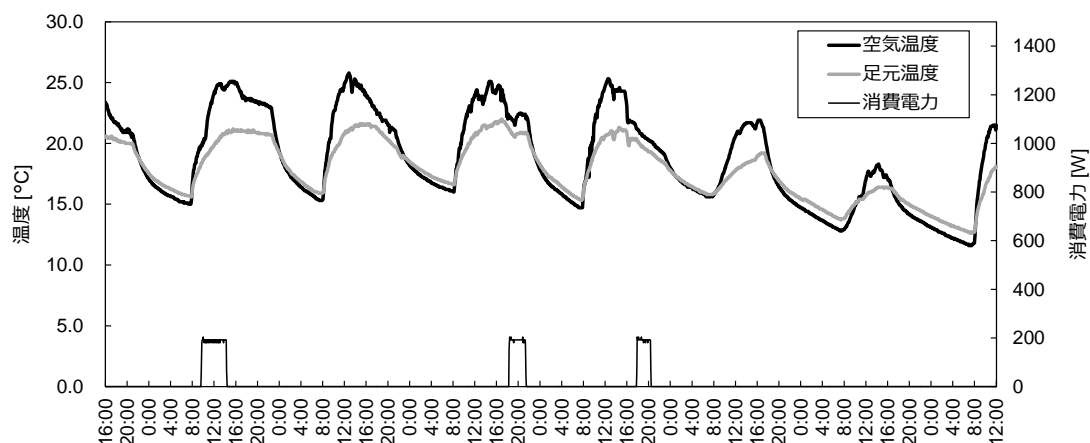


図 5-16 空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 A）

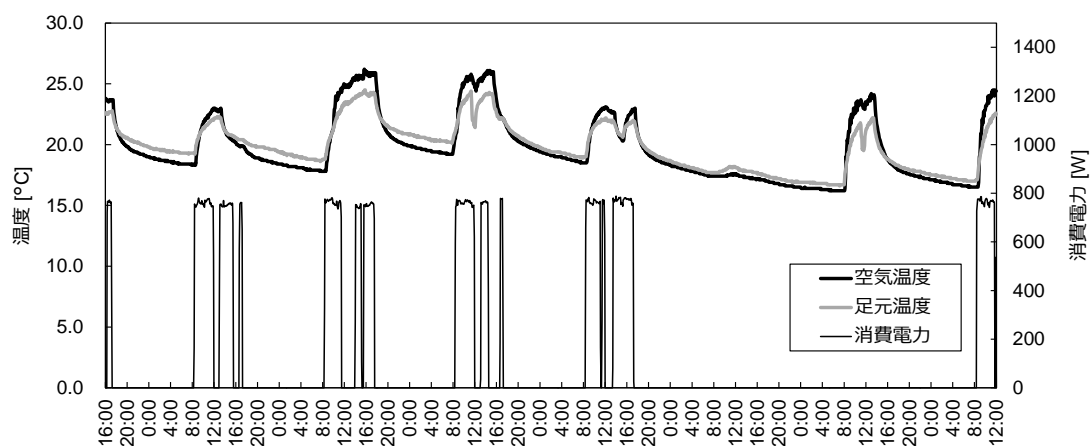


図 5-17 空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 B）

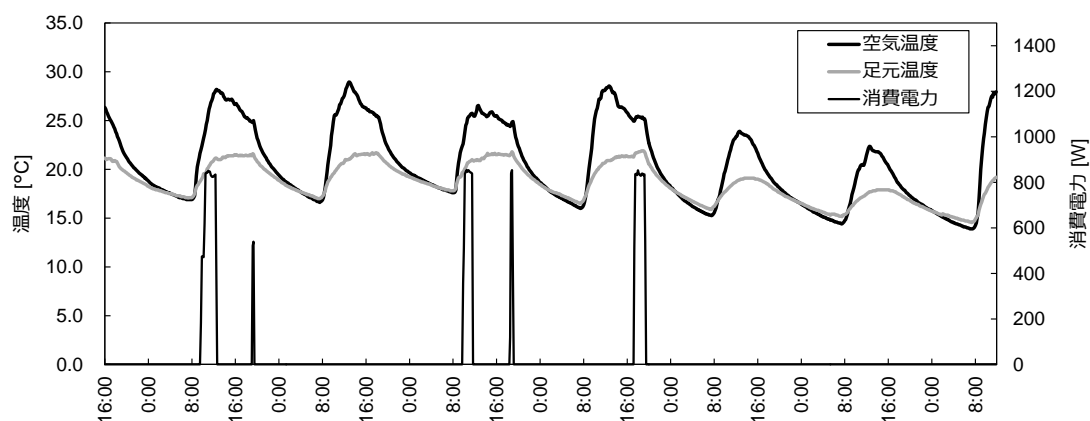


図 5-18 空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 C）

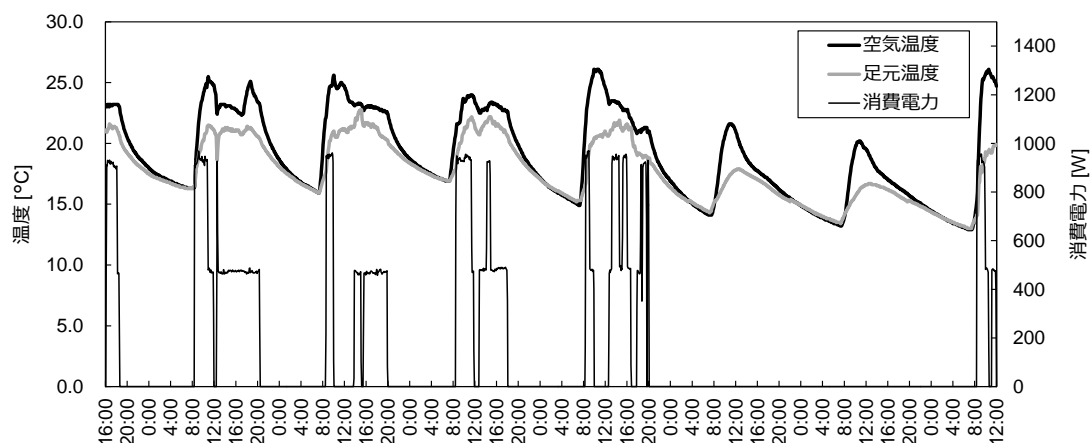


図 5-19 空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 D）

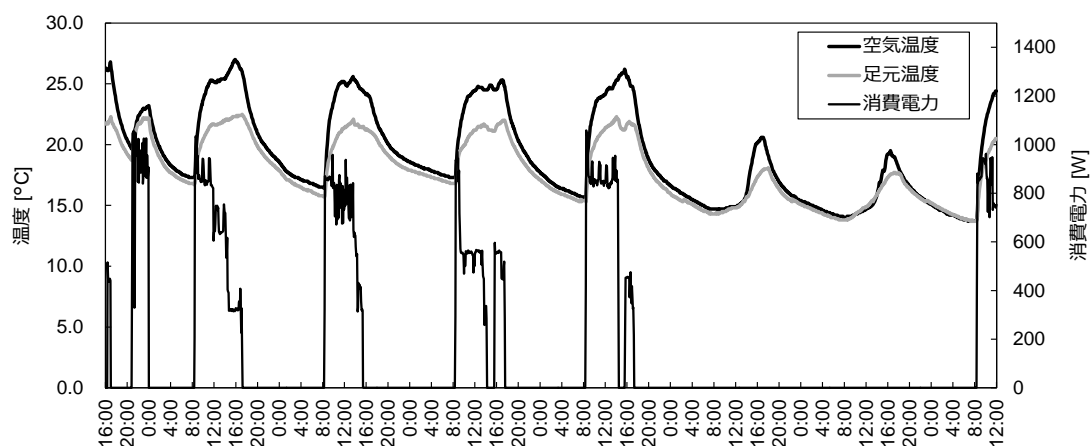


図 5-20 空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 F）

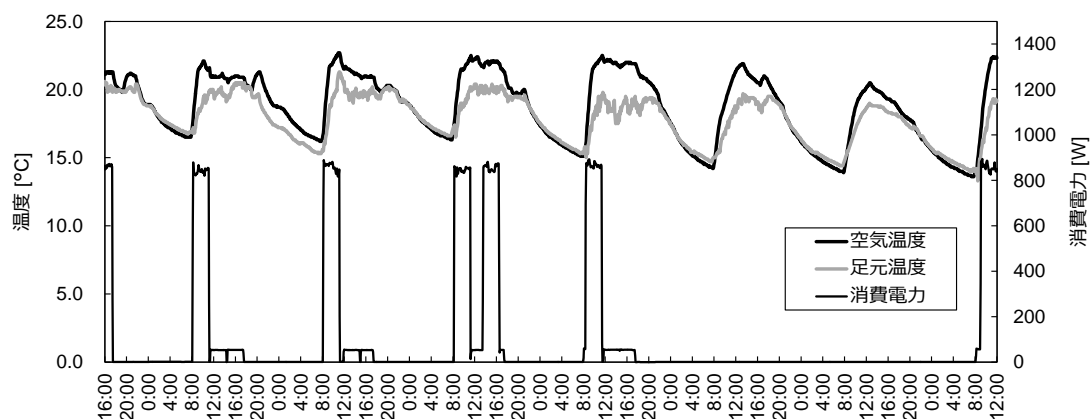


図 5-21 空気温度、足元温度および電気ヒーターの消費電力の時系列変化（対象室 G）

(2) 電気ヒーターの使用時間割合と空気温度、足元温度、上下温度差との関係

表 5-4 に各対象室における電気ヒーターの日平均消費電力および使用時間割合を示す。なお、日平均消費電力は業務時間内における稼働時の平均値である。また、図 5-22 に各対象室における電気ヒーターの使用時間割合と空気温度、足元温度、上下温度差との関係を示す。なお、各プロットは日平均値である。

表 5-4 各対象室における電気ヒーターの日平均消費電力、使用時間割合および各温度

名称	A	B	C	D	F	G
平均消費電力*[W]						
使用時間割合 [%]	18 (100W)**	69 (700W)**	11 (800W)**	74 (400W)**	86 (300W)**	39 (800W)**
空気温度 [°C]	23.1	23.0	25.5	23.4	24.3	21.4
足元温度 [°C]	20.3	22.2	20.6	20.9	21.0	19.3
上下温度差 [°C]	2.81	0.78	4.87	2.50	3.28	2.09

*測定期間中の業務時間内における稼働時の平均値

**括弧内は閾値を示す。

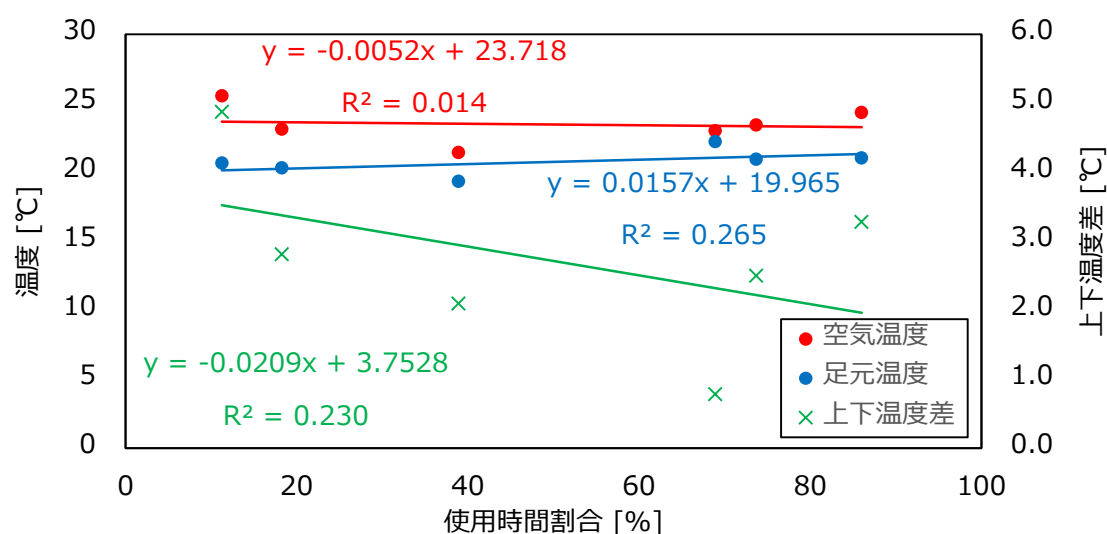


図 5-22 各対象室における電気ヒーター使用時間割合と温度との関係

・空気温度は負の相関、足元温度は正の相関、上下温度差は負の相関を示しており、決定係数は空気温度が 0.014、足元温度が 0.265、上下温度差が 0.230 であることから、使用時間割合と空気温度の相関はほとんど見られないものの、足元温度ではやや正の相関が、上下温度差ではやや負の相関がみられることがわかった。

以上のことから、使用時間割合が高いほど足元温度が高くなり、上下温度差が小さくなることで良好な温度環境になると考えられる。

(3) 各対象室における電気ヒーターの消費電力と空気温度、足元温度の関係

各対象室における空気温度、足元温度と消費電力の関係について図 5-23～5-28 に示す。

- ・全ての対象室において空気温度、足元温度と消費電力にはほとんど相関が見られなかった。
- ・対象室 D、F には消費電力にいくつかの段階がみられ、強弱の設定ができるものだと考えられる

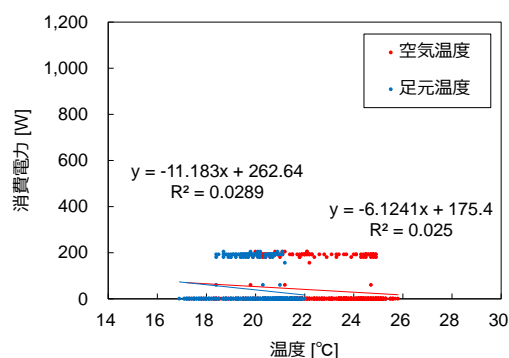


図 5-23 対象室 A における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係

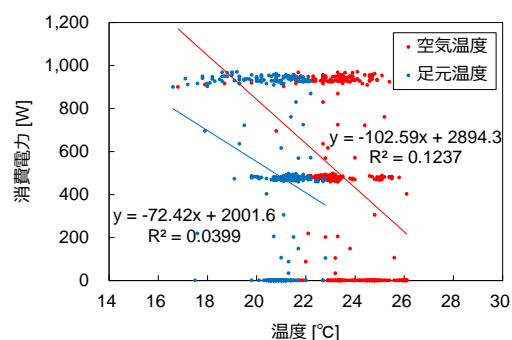


図 5-26 対象室 D における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係

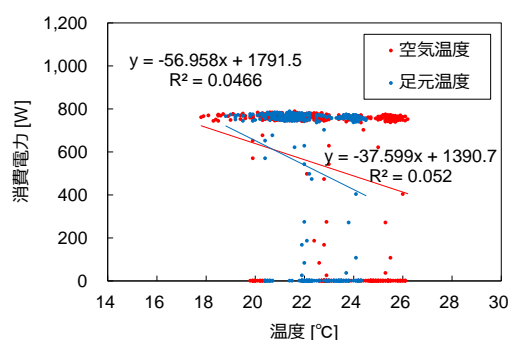


図 5-24 対象室 B における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係

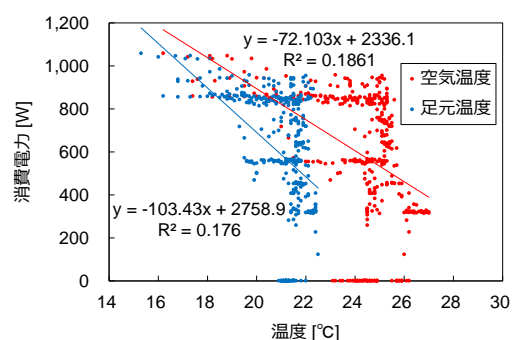


図 5-27 対象室 F における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係

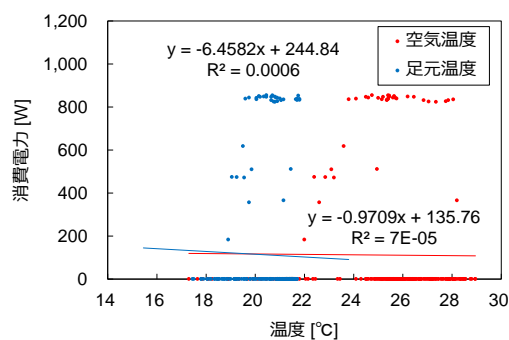


図 5-25 対象室 C における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係

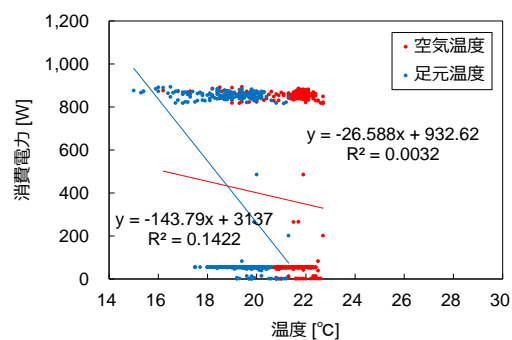


図 5-28 対象室 G における空気温度、足元温度と電気ヒーターの消費電力の関係

(3) 電気ヒーター使用時、不使用時の空気温度、足元温度、上下温度差

電気ヒーターを使用している全ての対象室において業務時間内に電気ヒーターを使用している時間および使用していない時間に分類し、空気温度、足元温度、上下温度差についてヒストグラムを作成した。また、ヒストグラムの結果より起動時、停止時における正規分布曲線を作成した。空気温度について図 5-29、足元温度について図 5-30、上下温度差について図 5-31 に示す。

空気温度、足元温度、上下温度差においてヒストグラムより作成した正規分布曲線について見ると、空気温度と上下温度差に差が見られ、足元温度にはあまり差が見られない結果であった。

(4) 電気ヒーター起動時、停止時の空気温度、足元温度、上下温度差

電気ヒーターを使用している全ての対象室の業務時間内において電気ヒーターの起動時、停止時における空気温度、足元温度、上下温度差についてヒストグラムを作成した。ただし、始業時、および終業時における起動時、停止時の結果は除いた。また、ヒストグラムの結果より起動時、停止時における正規分布曲線を作成した。空気温度について図 5-32、足元温度について図 5-33、上下温度差について図 5-34 に示す。

空気温度、足元温度、上下温度差においてヒストグラムより作成した正規分布曲線について見ると、空気温度と上下温度差に差が見られ、足元温度にはあまり差が見られない結果であった。

・電気ヒーター使用時、不使用時について

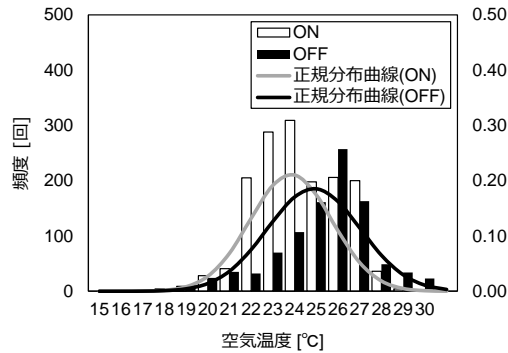


図 5-29 全ての対象室における電気ヒーター使用時と不使用時の空気温度

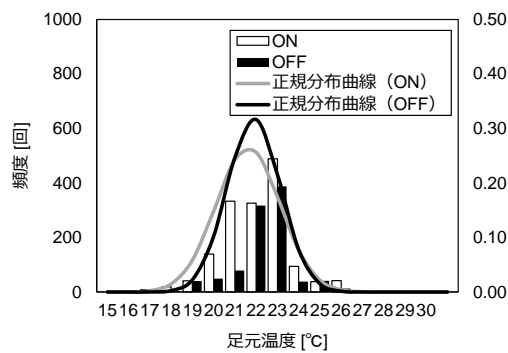


図 5-30 全ての対象室における電気ヒーター使用時と不使用時の足元温度

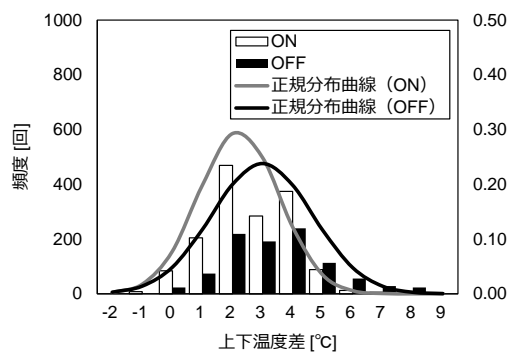


図 5-31 全ての対象室における電気ヒーター使用時と不使用時の上下温度差

・電気ヒーター起動時、停止時について

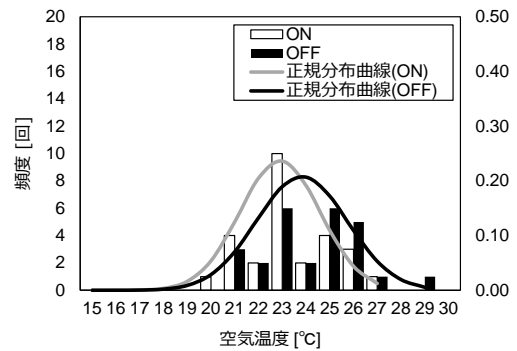


図 5-32 全ての対象室における起動時、停止時の空気温度（始業、終業時を除く）

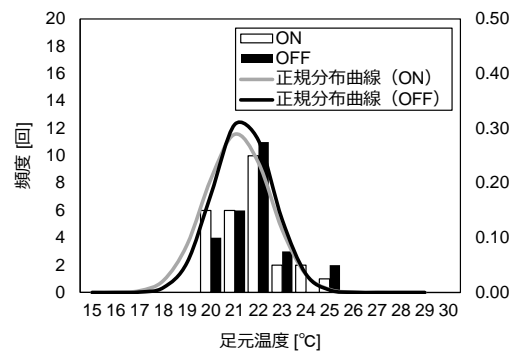


図 5-33 全ての対象室における起動時、停止時の空気温度（始業、終業時を除く）

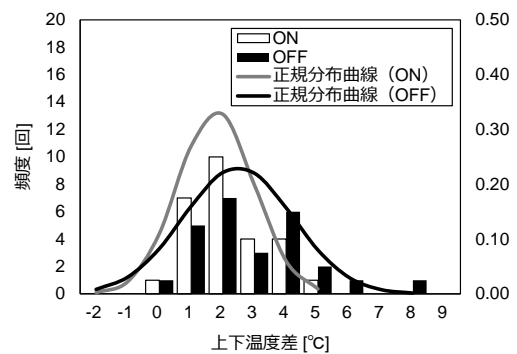


図 5-34 全ての対象室における起動時、停止時の空気温度（始業、終業時を除く）

電気ヒーターの起動時および停止時における空気温度と足元温度についての箱ひげ図を図 5-35、上下温度差についての箱ひげ図を図 5-36 に示す。箱ひげ図上の数値は平均値、括弧内は基準値への適合割合とする。なお、空気温度の基準値は建築物環境衛生管理基準における 17℃～28℃、上下温度差の基準値は ISO7730 の、AnnexA において推奨値とされる 3℃以内とする。

また、電気ヒーターの起動時と停止時における空気温度、足元温度、上下温度差について統計検定を行った。検定方法については室内空気環境のデータが正規分布、等分散でないことから、正規性、等分散性を仮定しない検定として知られる Brunner-Munzel 検定を統計解析ソフト R により行った。

- ・ 空気温度

平均値について電気ヒーター起動時より停止時が大きい結果となった。

Brunner-Munzel 検定では電気ヒーター起動時と停止時において有意な差は見られなかった ($p=0.07$)。

- ・ 足元温度

平均値について電気ヒーター起動時より停止時が大きい結果となった。

Brunner-Munzel 検定では起動時と停止時において足元温度に有意な差は見られなかった ($p=0.51$)

- ・ 上下温度差

平均値について電気ヒーター起動時より停止時が大きい結果となった。また、基準値への適合割合は停止時より起動時が大きい結果となった。

Brunner-Munzel 検定では起動時と停止時において上下温度差に有意な差は見られなかった ($p=0.13$)。また、基準値への適合割合についても有意な差は見られなかった ($p=0.11$)。

以上のことから、執務者が電気ヒーターを起動あるいは停止する際の要因として空気温度、足元温度、上下温度差に有意な差はないと言える。

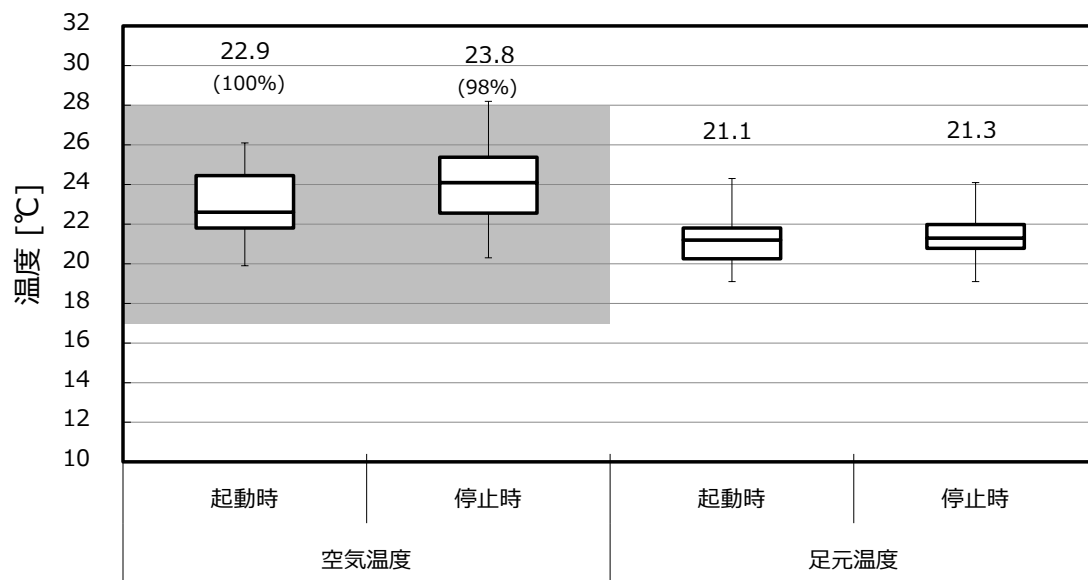


図 5-35 電気ヒーターの起動時および停止時における空気温度と足元温度

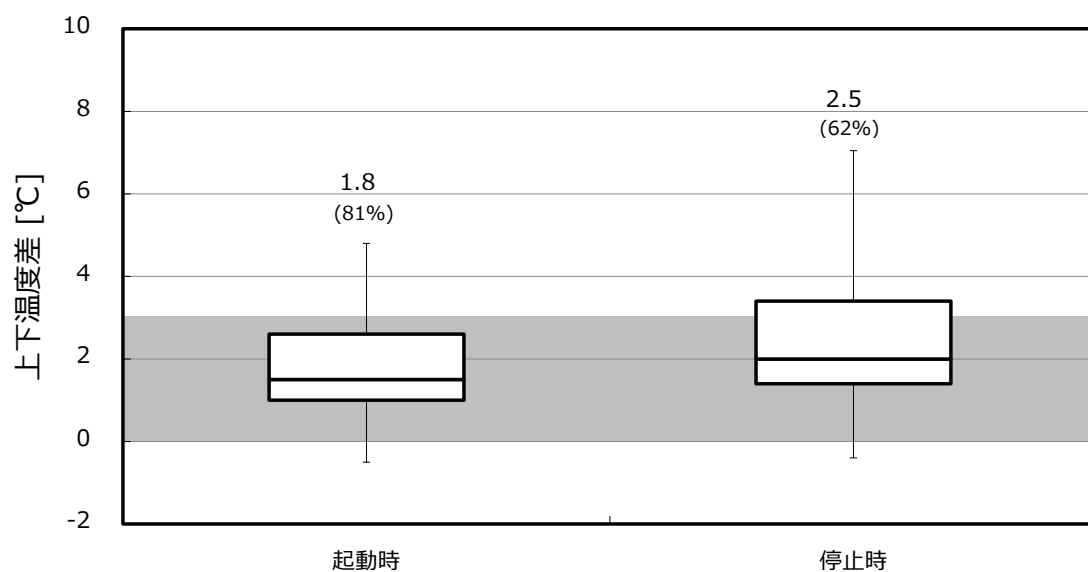


図 5-36 電気ヒーターの起動時および停止時における上下温度差

(5) 電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における温度

4章にて示した室内空気環境の実態調査において加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における空気温度、足元温度、上下温度差について検討を行った。

電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における空気温度、足元温度、上下温度差を図5-37～図5-39に示す。箱ひげ図上の数値は平均値、括弧内は基準値への適合割合とする。なお、空気温度の基準値は建築物環境衛生管理基準における17℃～28℃、上下温度差の基準値はISO7730の、AnnexAにおいて推奨値とされる3℃以内とする。

また、電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における空気温度、足元温度、上下温度差について統計検定を行った。検定方法については室内空気環境のデータが正規分布、等分散でないことから、正規性、等分散性を仮定しない検定として知られるBrunner-Munzel検定を統計解析ソフトRにより行った。

・空気温度

平均値について電気ヒーターを使用している対象室が大きい結果となったが、基準値への適合割合は使用していない対象室が1%高い結果であった。

Brunner-Munzel検定では電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室において有意な差が見られた($p < 0.01$)。また、適合割合についても有意な差が見られる結果であった($p < 0.01$)。

・足元温度

平均値について電気ヒーターを使用している対象室が大きい結果となった。

Brunner-Munzel検定では電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室において足元温度に有意な差が見られた($p < 0.01$)。

・上下温度差

平均値について電気ヒーターを使用している対象室が使用していない対象室より小さい結果となった。また、基準値への適合割合は使用している対象室が使用していない対象室より高い結果となった。

Brunner-Munzel検定では電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室において上下温度差に有意な差が見られた($p < 0.01$)。また、基準値への適合割合についても有意な差が見られる結果であった($p < 0.01$)。

以上のことから、電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室では空気温度については平均値が0.3℃上昇、上下温度差については平均値が0.3℃低下、基準値への適合割合が6%上昇するなど、比較的良好な温度の環境であると言えるが、空気温度の上昇により28℃を基準値への適合割合の低下する恐れがあると言える。

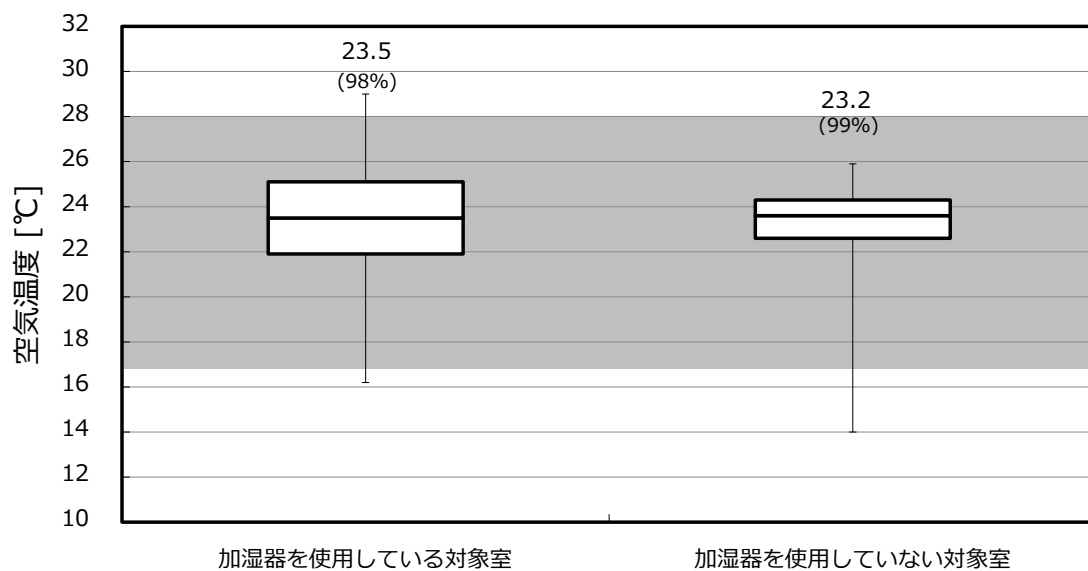


図 5-37 電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における空気温度

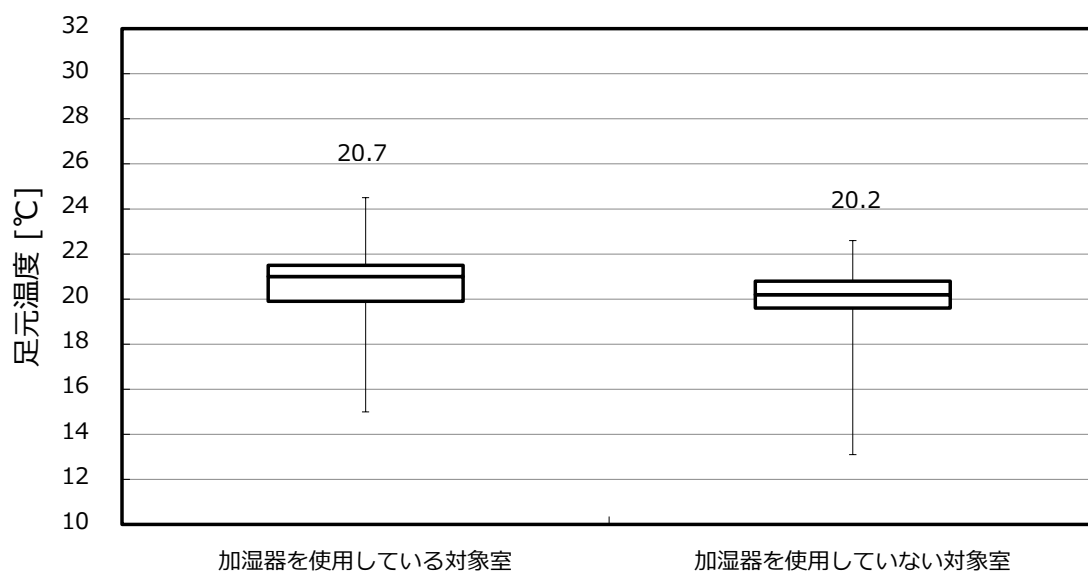


図 5-38 電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における足元温度

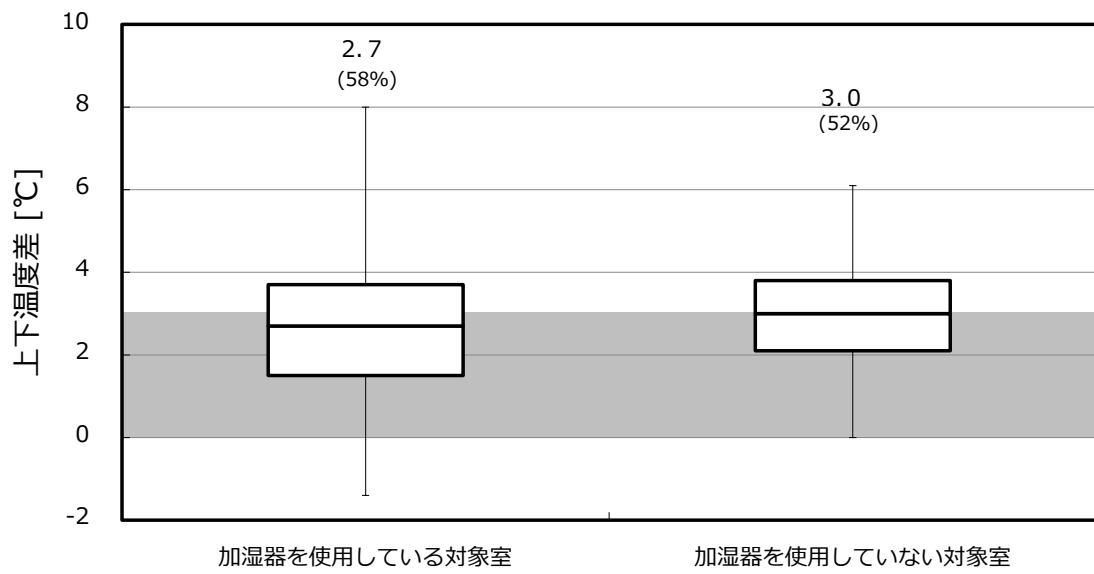


図 5-39 電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における上下温度差

5.4 節電行為との関係性

東日本大震災にともなう電力需給対策として 2011 年度の夏季から 2015 年度の冬季まで節電要請^{[5-4][5-5]}がなされ、事務所において節電による室内空気環境の影響について様々な報告がなされている。^{[5-6][5-7][5-8]}

また、4 章に示した室内空気環境の実測調査は 2011 年以降初めて節電要請がなされなかった 2016 年度の夏期^[5-9]および冬期^[5-10]、2017 年度の夏期^[5-11]が対象である。

本節では、室内空気環境の実態調査の結果について、同調査時にヒアリングによって把握した各対象室における節電行為との関係性を分析した。

事務所における節電行為については経済産業省^{[5-12][5-13]}や空気調和・衛生工学会^[5-14]、省エネルギーセンター^[5-15]などが具体的な対策を示しているが、本論文では、節電行為とその効果を定量的に示している社団法人建築設備技術者協会による「中小業務用ビルの節電対策と効果の定量把握 2012 年版」^[5-16]を参照し、仮想節電効果 S_a という考え方により節電行為を定量的に把握する。以下に仮想節電効果の定義および算定方法を示す。

仮想節電効果とは、ある節電対策を実施した場合、ビル全体に占める仮想の節電効果という。^[5-16]節電対策の項目、対策項目ごとの節電効果、仮想節電効果の算定については資料^[5-16]を参考とした。以下に仮想節電効果の算定式を示す。

$$S_a = E_p \times S_p \quad (5-1)$$

S_a : 仮想節電効果[%]

E_p : 各設備電力量比率[%]

S_p : 対策分類ごとに占める節電効果[%]

各設備の電力量比率 E_p の設定については一般財団法人省エネルギーセンター「事務所ビルのエネルギー消費の特徴」の 20,000m²以下のエネルギー消費原単位のデータから類推し、設定されており、各設備の電力削減効果 S_p は、モデルビルにおいて設備仕様を設定し、機器採用率等から設定されている。^[5-13]図 5-40 に各設備の電力量比率、表 5-5 にモデルビルの設備仕様を示す。

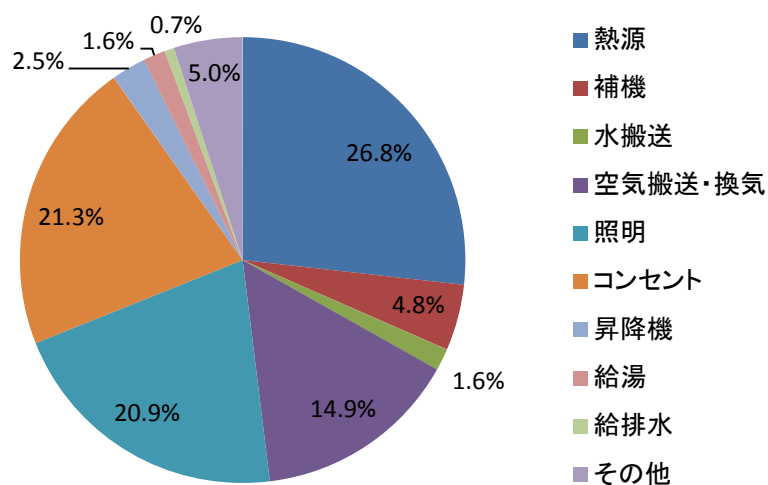

図 5-40 各設備の電力量比率（^[5-16]より引用）

表 5-5 モデルビルの設備仕様（^[5-16]より引用）

項目	仕様
	延床面積 5000m ²
【ビルの形態】	貸事務所主体 1F 店舗 2～9F 事務所（テナント） B1F 駐車場 倉庫 機械室
【設備システム】	屋上キュービクル、火報盤、防災盤、中央監視盤、自家発電機
電気	照明器具：専用部、直付コンフォート（40W×2） ELV ホール 埋込型（20W×4） 廊下 DL
空調	各階：空冷ヒートポンプ PAC＋全熱交換機 機械排煙 1 系統 熱源＋補機＋水搬送 273kW 空気搬送 31kW 換気 10kW
給排水	受水槽＋高架水槽方式、屋内消火栓、連結送水管、電気湯沸器 洗面所（電気温水器）、洗浄機能付き便座
【契約電力】	300kW

節電対策の項目は実施するものによって以下のように分類できる。

- ①執務者による節電対策
- ②建物管理者による節電対策
- ③建物オーナーの設備改修、更新による節電対策

この内、本論文では各室における節電対策を把握することを目的としていることから、①執務者による節電対策、②建物管理者による節電対策を対象とする。また、対策項目については、事務室内機器、照明設備、空調設備を対象とする。

表 5-6 に夏期における節電対策項目と仮想節電効果を示す。また、表 5-7 に 2016 年の夏期実測時において各対象室が実施していた節電対策の結果を示す。

表 5-6 夏期における節電対策と仮想節電効果

項目番号		対策項目	仮想節電効果 S_a [%]
S1	事務室内機器	待機電力の削減・こまめな電源 OFF	1.62
S2		省エネ性能の高い機器 OA 機器等導入	1.28
S3	照明	こまめな消灯	1.88
S4		机上照明への変更	11.85
S5		全般照明のランプの間引き	9.41
S6	空調	自然換気の採用	26.6
S7		室内温度設定の変更 (28℃)	3.3
S8		保守・メンテナンスによる効率改善	0.9
S9		空調の部分運転	6.7

表 5-7 全対象室における節電対策の実施の有無と合計仮想節電効果

項目番号	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9		
対象室	実施の有無 [1:実施している 0:実施していない]									各対象室の 実施項目数 [項目]	合計仮想節電効果 [%]
A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.6
B	1	0	1	0	1	0	0	0	1	4	19.6
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
D	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	3.5
E	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	3.5
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
G	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2	4.9
H	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.6
I	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	28.2
J	1	0	1	1	1	0	1	0	0	5	28.0
各項目の 実施件数[件]	8	0	4	1	2	1	2	0	1		

(1) 合計仮想節電効果と室内空気環境の各項目との関係性の分析

合計仮想節電効果と空気温度の平均値との関係について図 5-41 に示す。また、相対湿度、絶対湿度、CO₂濃度、風速、WBGT、PMV、PPD についても同様に合計仮想節電効果との関係を図 5-42～5-48 に示す。

- ・ 空気温度

合計仮想節電効果と空気温度の平均値にやや相関が見られ、決定係数は 0.2966 であった。

- ・ 相対湿度

合計仮想節電効果と相対湿度の平均値に相関はほとんど見られず、決定係数は 0.1028 であった。

- ・ 絶対湿度

合計仮想節電効果と絶対湿度の平均値にやや強い正の相関がみられ、決定係数は 0.3402 であった。

- ・ CO₂濃度

合計仮想節電効果と CO₂濃度の平均値にやや強い正の相関がみられ、決定係数は 0.3862 であった。

- ・ 風速

合計仮想節電効果と風速の平均値に相関はほとんどみられず、決定係数は 0.0188 であった。

- ・ WBGT

合計仮想節電効果と WBGT の平均値に強い正の相関がみられ、決定係数は 0.4754 であった。

- ・ PMV

合計仮想節電効果と PMV の平均値にやや強い正の相関がみられ、決定係数は 0.3833 であった。

- ・ PPD

合計仮想節電効果と PPD の平均値に強い正の相関がみられ、決定係数は 0.441 であった。

以上のことから、合計仮想節電効果と室内空気環境の各項目についての関係性の分析では WBGT、PPD の平均値について強い正の相関が見られ、次いで PMV、CO₂濃度、絶対湿度の平均値にやや強い相関がみられる結果であった。また、風速、相対湿度の平均値についてはほとんど相関が見られない結果であった。

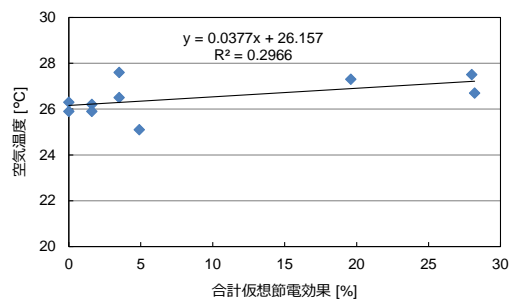


図 5-41 合計仮想節電効果と空気温度

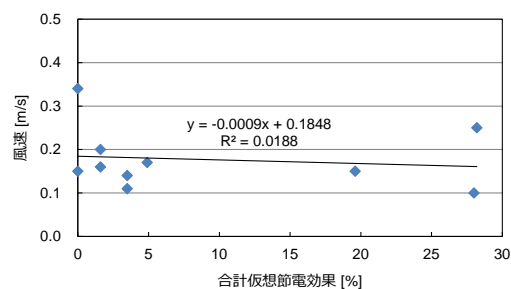


図 5-45 合計仮想節電効果と風速

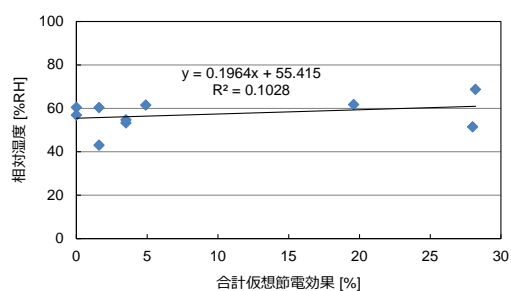


図 5-42 合計仮想節電効果と相対湿度

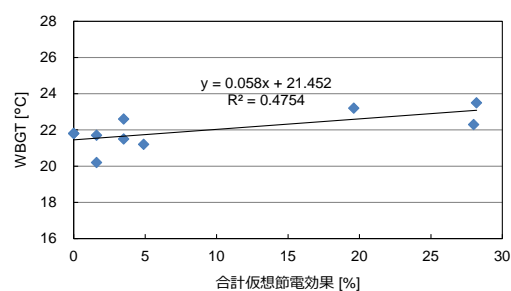


図 5-46 合計仮想節電効果と WBGT

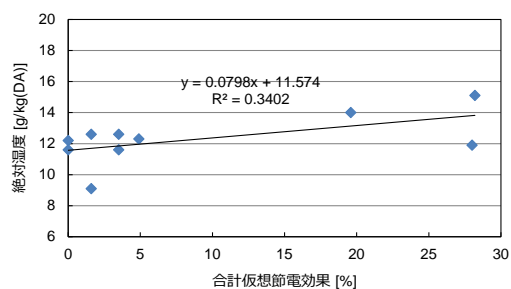


図 5-43 合計仮想節電効果と絶対湿度

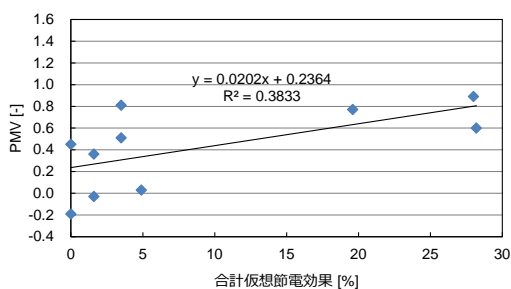


図 5-47 合計仮想節電効果と PMV

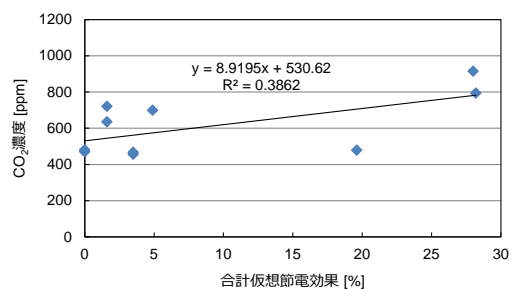


図 5-44 合計仮想節電効果と CO₂ 濃度

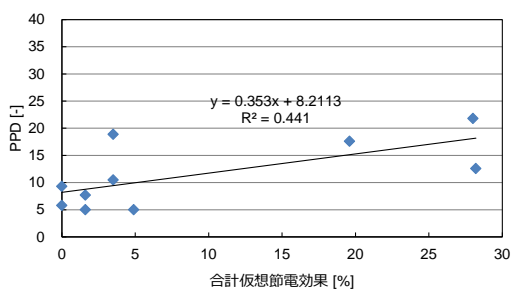


図 5-48 合計仮想節電効果と PPD

(2) 合計仮想節電効果の高い対象室と低い対象室における室内空気環境との関係性の分析

合計仮想節電効果から測定対象室を表 5-8 のように 2 群へ分類し、室内空気環境の各項目について統計検定を行った。

検定方法については室内空気環境のデータが正規分布、等分散でないことから、正規性、等分散性を仮定しない検定として知られる Brunner-Munzel 検定を統計解析ソフト R により行った。

2 群における温度、グローブ温度、相対湿度、絶対湿度、CO₂濃度、WBGT、PMV について図 5-57～5-63 に示す。

表 5-8 合計仮想節電効果による対象室の分類

Class	仮想節電効果の合計値[%]	対象室
#c1	0~15	A, C, D, E, F, G, H
#c2	15~30	B, I, J

・ 空気温度

平均値については合計仮想節電効果の低い#c1 に比べて合計仮想節電効果の高い#c2 の方が高い結果となった。Brunner-Munzel 検定では#c1 と#c2 の 2 群間に有意な差が見られた。 $(p<0.01)$ また、基準値への適合割合においても#c1 と#c2 に有意な差が見られた $(p<0.01)$

・ グローブ温度

平均値については空気温度と同様に、#c1 に比べて#c2 の方が高い結果となった。Brunner-Munzel 検定では#c1 と#c2 の 2 群間に有意な差が見られた。 $(p<0.01)$

・ 相対湿度

平均値については空気温度と同様に、#c1 に比べて#c2 の方が高い結果となった。

Brunner-Munzel 検定では 2 群間に有意な差が見られた。 $(p<0.01)$ また、基準値への適合割合においても有意な差が見られた。 $(p<0.01)$

・ 絶対湿度

平均値については空気温度と同様に、#c1 に比べて#c2 の方が高い結果となった。

Brunner-Munzel 検定では 2 群間に有意な差が見られた。 $(p<0.01)$

・ CO₂濃度

平均値については空気温度と同様に、#c1 に比べて#c2 の方が高い結果となった。

Brunner-Munzel 検定では 2 群間に有意な差が見られた。 $(p<0.01)$ また、基準値への適合割合においても#c1 と#c2 に有意な差が見られた。 $(p<0.01)$

・ WBGT

平均値については空気温度と同様に、#c1 に比べて#c2 の方が高い結果となった。

Brunner-Munzel 検定では2群間に有意な差が見られた。(p<0.01)

・ PMV

平均値については空気温度と同様に、#c1 に比べて#c2 の方が高い結果となった。

Brunner-Munzel 検定では2群間に有意な差が見られた。(p<0.01) また、基準値への適合割合においても#c1 と#c2 に有意な差が見られた。(p<0.01)

以上より、仮想節電効果の高い対象室と低い対象室において空気温度、グローブ温度、相対湿度、絶対湿度、CO₂濃度、WBGT、PMV のすべての項目に統計的に有意な差がみられ、空気温度、相対湿度、CO₂濃度、PMV の基準値への適合割合についても統計的に有意な差がみられたことから、仮想節電効果の低い対象室は高い対象室に比べて室内空気環境が良好となると考えられる。

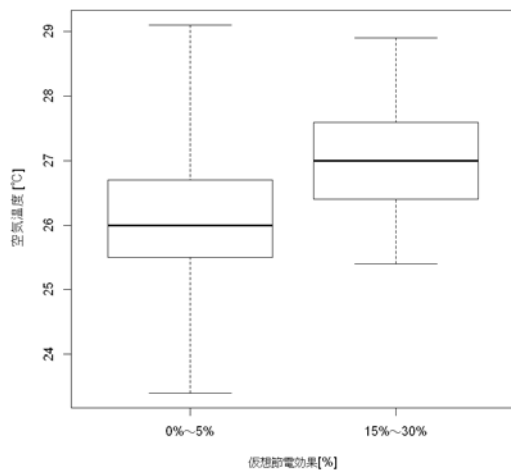


図 5-49 #c1 と#c2 の温度

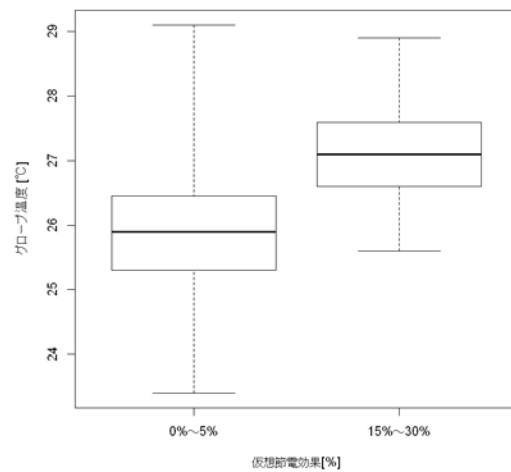


図 5-50 #c1 と#c2 のグローブ温度

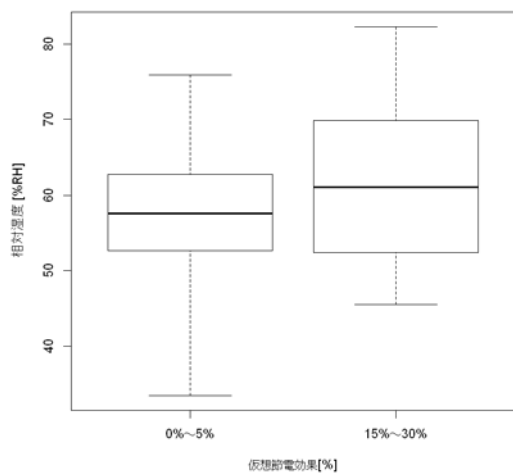


図 5-51 #c1 と#c2 の相対湿度

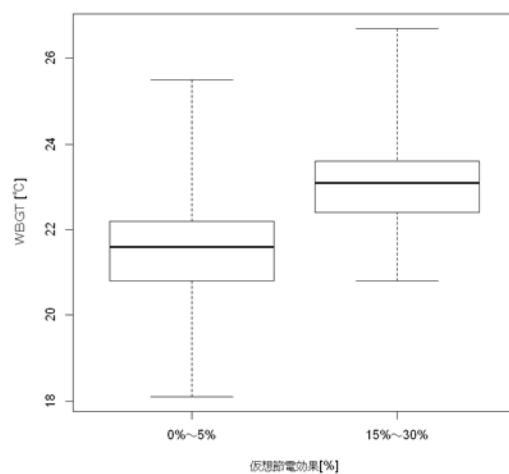


図 5-54 #c1 と#c2 の WBGT

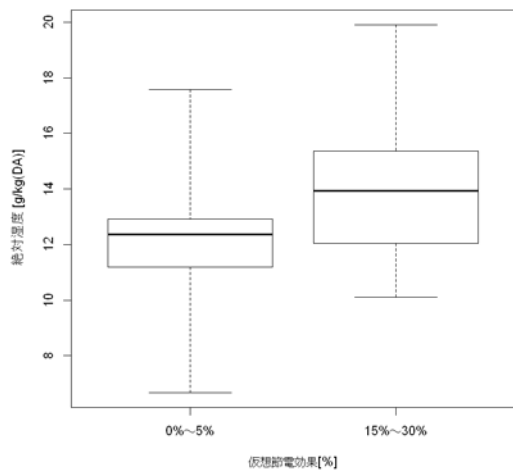


図 5-52 #c1 と#c2 の絶対湿度

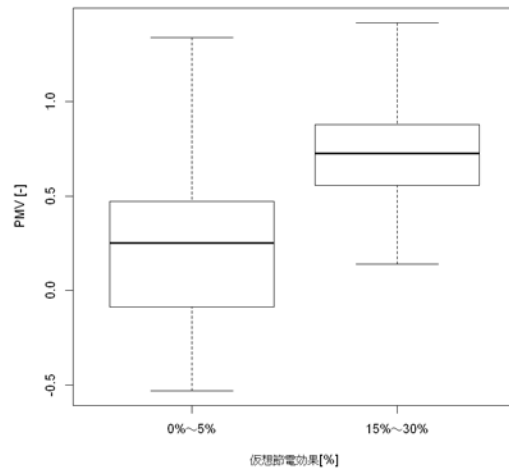


図 5-55 #c1 と#c2 の PMV

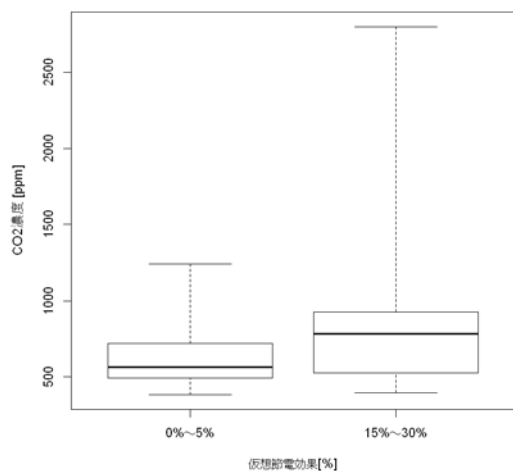


図 5-53 #c1 と#c2 の CO₂ 濃度

5.5 外皮性能との関係性

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 m²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^{[5-17][5-18][5-19]}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、床面積あたりのペリメータ面積(以下、ペリメータ比率)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。

本節では室内空気環境の実態調査の結果について各対象室の外皮性能との関係性を分析した。

対象室の外皮性能を評価する指標として先に延べた開口部比率やペリメータ比率の他に、建築物省エネ法^[5-20]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(5-2)～(5-4)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(5-2)に示す PAL*_i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」^[5-21]の標準入力法を用いた。

$$PAL^* = \frac{\sum_i^n PAL^*_i}{n} \quad (5-2)$$

PAL*:年間熱負荷係数[MJ/m²・年]

PAL*_i:対象室 i における年間熱負荷係数[MJ/m²・年]

n:室数

$$PAL^*_i = \frac{Q_p}{A_p} \quad (5-3)$$

Q_p:ペリメータゾーンの年間熱負荷[MJ/年]

A_p:ペリメータゾーンの床面積[m²]

$$Q_p = Q_c + |Q_h| \quad (5-4)$$

Q_c:冷房負荷[MJ/年]

Q_h:暖房負荷[MJ/年]

室 PAL*を算定のための入力条件を表 5-9、外壁の仕様を表 5-10、窓の仕様を表 5-11 に示す。

表 5-9 各対象室における室 PAL*算定のための入力条件

室名	階	室面積 [m ²]	階高 [m]	天井高 [m]	方位	日除け 効果係数	外壁の 仕様	窓の 仕様	外皮面積 [m ²]	窓面積 [m ²]	ブラインド
A	1	68.2	4.7	2.7	南	1	W3, W5	I	141.8	17.9	有
B	3	131.7	4.4	3	北	1	W2	I	63.1	18.9	有
C	4	38.0	3.9	2.7	南	1	W1	I	39.3	8.3	有
D	4	38.0	3.9	2.7	東	1	W1	I	39.3	8.3	有
E	4	38.0	3.9	2.7	東	1	W1	I	39.3	8.3	有
F	4	34.1	3.9	2.7	西	1	W1	I	39.3	8.3	有
G	1	371.3	4.5	3	北東	1	W3	I	263.1	130.5	有
H	3	95.0	3.9	2.5	日陰	1	W5	I	54.4	15.7	有
I	1	164.6	3.6	2.7	南	1	W2	II	80.5	40.4	有

表 5-10 外壁の仕様

外壁名称	建材名称	厚み [mm]
W1	せっこうボード	12.5
	密閉中空層	17.5
	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種	25
	吹付け硬質ウレタンフォーム A種 3	25
	コンクリート	125
	押出成型セメント板	60
W2	せっこうボード	10
	コンクリート	250
	せっこうボード	25
	密閉中空層	60
	れんが	100
W3	せっこうボード	10
	コンクリート	180
	せっこうボード	25
	密閉中空層	93
	れんが	100
W4	ロックウール化粧吸音板	9
	せっこうボード	12.5
	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種	25
	コンクリート	150
	押出成型セメント板	60
W5	せっこうボード	12.5
	密閉中空層	17.5
	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 1種	50
	吹付け硬質ウレタンフォーム A種 3	25
	コンクリート	125
	押出成型セメント板	60

表 5-11 窓の仕様

窓の名称	建具の種類	ガラスの種類	熱貫流率 $[W/(m^2 \cdot K)]$	日射熱取得率 $[-]$
I	アルミ	単板ガラス	5.8 ^[5-22]	0.82 ^[5-22]
II	アルミ	二層複層ガラス	3.3 ^[5-22]	0.79 ^[5-22]

また、各対象室において算定した室 PAL*の結果および、開口部比率、ペリメータ比率を表 5-12 に示す。

表 5-12 各対象室の外皮性能

建物	名称	室 PAL* [MJ/m ² 年]	PAL*基準値 ^[5-23] [MJ/m ² 年]	開口部比率 [%]	ペリメータ比率 [%]
①	A	410	470	26.2	212.0
②	B	595		14.4	54.5
	C	444		21.8	133.8
③	D	487		21.8	133.8
	E	487		21.8	133.8
	F	491		24.3	149.1
④	G	533	450	35.6	78.7
⑤	H	319		16.5	73.5
⑥	I	508		24.6	67.9

各対象室の外皮性能と室内空気環境の結果について単回帰分析から得られた決定係数について夏期を表5-13、冬期を表5-14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。なお、室内空気環境のデータは業務時間内の平均値を用いており、夏期については2016年度、2017年度の結果を合わせたものである。

表5-13 各対象室の外皮性能と室内空気環境の決定係数（夏期）

	室 PAL* [MJ/m ² 年]	開口部比率 [%]	ペリメータ比率 [%]
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 ₂ 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5-14 各対象室の外皮性能と室内空気環境の決定係数（冬期）

	室 PAL* [MJ/m ² 年]	開口部比率 [%]	ペリメータ比率 [%]
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 ₂ 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

5.5.1 室 PAL*と室内空気環境の関係

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*との関係性を分析した。表 5-15 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、ペリメータ比率を 100%未満(#3)と 100%以上(#4)に分類した。#1 と#2 の 2 グループについて WBGT の箱ひげ図を図 5-56 に、PMV の箱ひげ図を図 5-57 に示す。

表 5-15 室 PAL*とペリメータ比率による各対象室の分類

	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

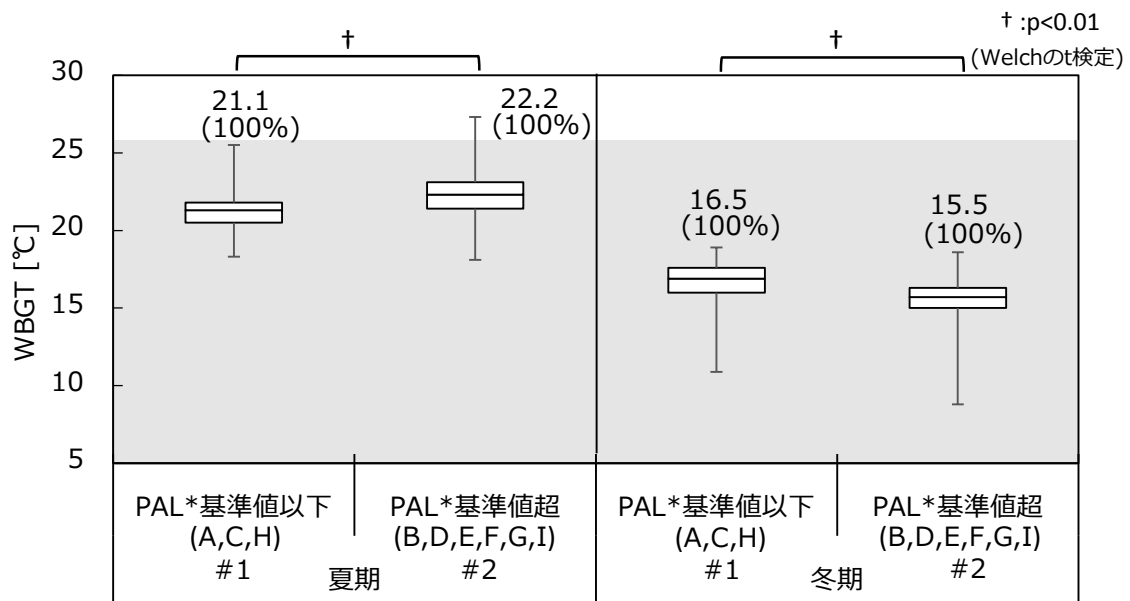


図 5-56 WBGT (室 PAL*による分類)

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。

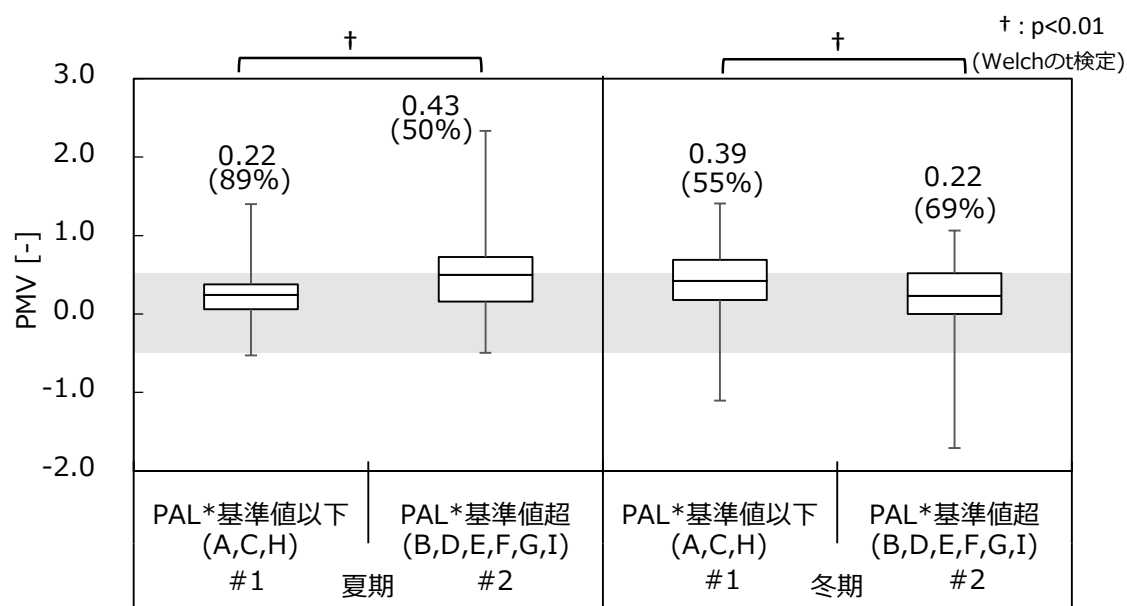


図 5-57 PMV (室 PAL*による分類)

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。

5.5.2 開口部比率と室内空気環境の関係

表 5-13、5-14 において開口部比率と相関が見られた室内空気環境の指標は、夏期は空気温度と PMV および CO₂ 濃度であり、冬期は足元温度と CO₂ 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 5-58 に示す。

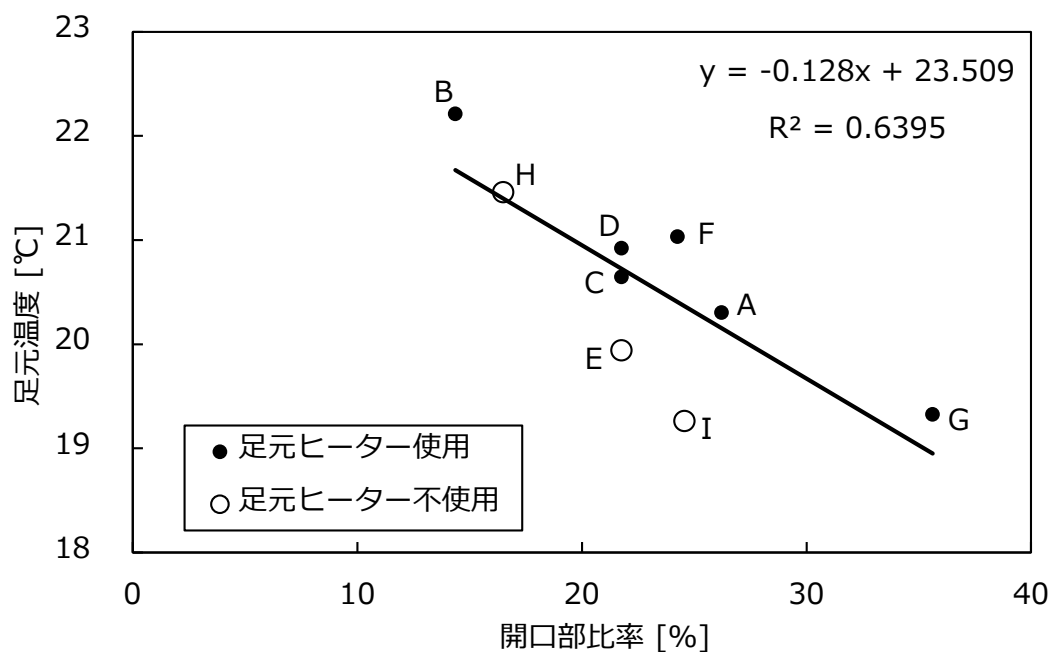


図 5-58 冬期の開口部比率と足元温度の関係

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、足元ヒーターが使用されていない室であった。

5.5.3 ペリメータ比率と室内空気環境の関係

表 5-13、5-14 においてペリメータ比率と相関が見られた室内空気環境の指標は、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 5-59 に示す。

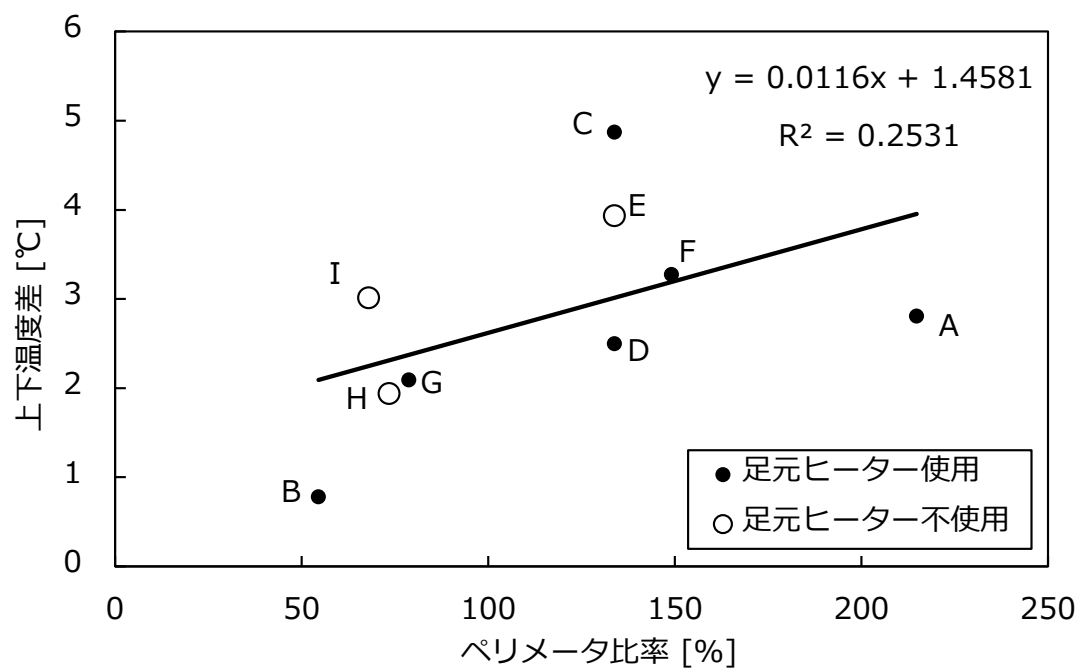


図 5-59 冬期のペリメータ比率と上下温度差の関係

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°C 近く生じていた。

ペリメータ比率が 100%以上^{註 5-1)}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 5-15 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 5-60 に示す。

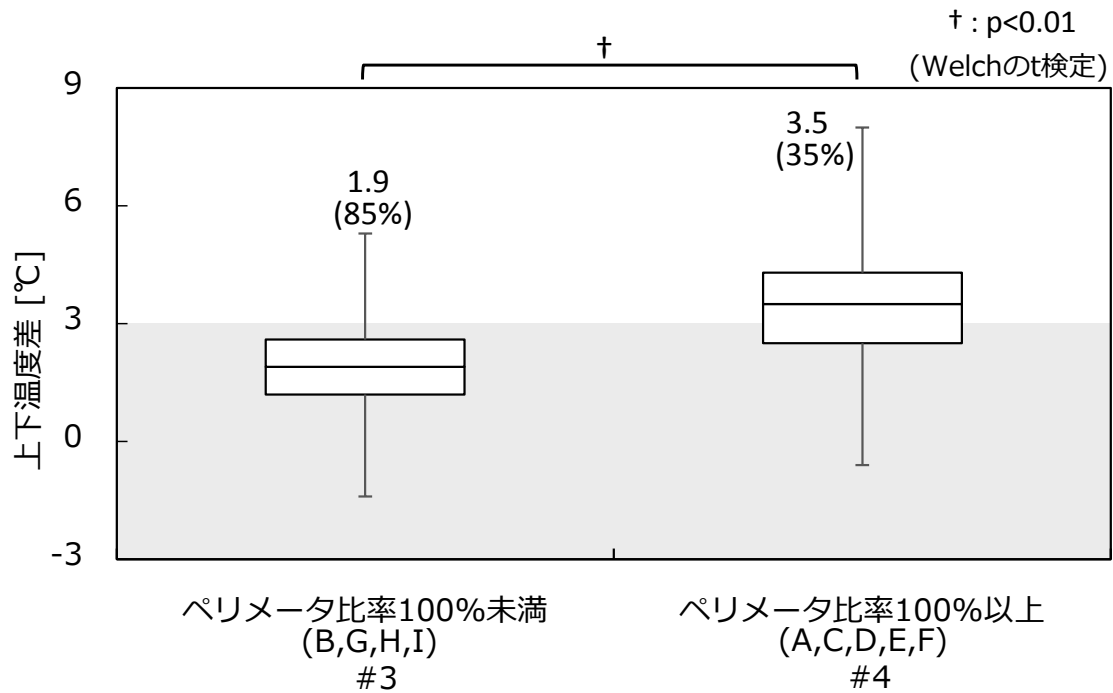


図 5-60 冬期の上下温度差（ペリメータ比率による分類）

平均値は#3 が基準値を満たしていたが #4 は 3.5°C と基準値を上回り最大値は 8°C 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。

註 5-1) 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。

5.6 おわりに

本章では、4章にて示した複数の事務用途室における室内空気環境の実態調査の結果について空調方式との関係性や補助冷暖房機器の使用の有無との関係性、節電行為との関係性について分析を行った。本章で得られた知見を以下に記す。

- 1) 空調方式との関係性の分析について 2016 年度の夏期および冬期、2017 年度の WBGT と PMV の相関図から分析を行った。2016 年度の夏期については空調方式が中央方式の対象室 G と J において、空調設定温度の高い J と低い G に差が見られる結果となった。対象室 G は WBGT 値が十分に低く、PMV の値も 0 に近いことから、良好な室内環境であったと考えられる。一方、対象室 J は節電の影響により WBGT や PMV の値が比較的に高い結果であった。空調方式が個別方式の対象室は、一定の傾向は見られず、ばらついている結果であった。これは主に執務者が空調の設定温度を自由に操作していたことが原因であると考えられる。特に、対象室 B、E、I については WBGT と PMV が比較的に高い結果であった。2017 年度の夏期については 2016 年度の夏期と同様に、空調方式が中央方式の対象室 G は WBGT 値が十分に低く、PMV の値も 0 に近いことから、良好な室内環境であったと考えられる。空調方式が個別方式の対象室もまた、2016 年度の夏期と同様に一定の傾向は見られず、ばらついている結果であった。2016 年度の冬期は空調方式が中央方式の対象室 G は WBGT 値が十分に低く、PMV の値も 0 に近いことから、良好な室内環境であったと考えられ、空調方式が個別方式の対象室については空調設定温度が高い C を除く対象室が PMV について基準内であった。
- 2) 加湿器の使用と湿度との関係性の分析については 2016 年度の冬期において加湿器を使用している対象室における加湿器の消費電力と絶対湿度の関係性、使用時間割合と相対湿度、絶対湿度との関係、および加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度について分析を行った。加湿器の消費電力と絶対湿度については各対象室において相関は見られず、また加湿器の使用時間割合と絶対湿度についても関係性は見られなかった。加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度については平均値、基準への適合割合ともに加湿器を使用している対象室の方が、加湿器を使用していない対象室に比べ高い結果であり、Brunner-Munzel 検定では加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度に有意な差が見られた ($p < 0.01$)。また、適合割合についても有意な差が見られる結果であった ($p < 0.01$)。
- 3) 電気ヒーターの使用と空気温度、足元温度、上下温度差の関係性については 2016 年度の冬期において電気ヒーターを使用している対象室における電気ヒーターの消費電力と空気温度、足元温度、上下温度差の関係性、使用時間割合と温度の関係性、電気ヒーター使用時、不使用時と温度の関係性、電気ヒーターの起動時、停止時と温度の関係について分析を行った。使用時間割合と温度の関係性については、足元温度とやや正の相関が、上下温度差とはやや負の相関がみられ、使用時間割合が高いほど足元温

度が高くなり、上下温度差が小さくなることで良好な温度環境になると考えられる。電気ヒーターの消費電力と温度との関係性については全ての対象室において空気温度、足元温度と消費電力にほとんど相関が見られなかった。電気ヒーター使用時、不使用時と温度の関係性については、ヒストグラムから作成した正規分布曲線より使用時と不使用時の空気温度と上下温度差について差が見られた。また、起動時、停止時と温度についても同様にヒストグラムから作成した正規分布曲線では空気温度と上下温度差について差が見られた。起動時、停止時と温度の関係性について Brunner-Munzel 検定を行った所、空気温度 ($p=0.07$)、足元温度 ($p=0.51$)、上下温度差 ($p=0.13$)、全てにおいて有意な差は見られなかった。電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における温度との関係性については、Brunner-Munzel 検定の結果、空気温度、足元温度、上下温度差にすべてに有意な差が見られ、空気温度、上下温度差の基準値への適合割合についても統計的に有意な差が得られた。

- 4) 節電行為との関係性の分析については各対象室が夏期に実施していた節電行為から仮想節電効果の合計値を算定し、室内空気環境との関係性を分析した。合計仮想節電効果と WBGT、PPD の平均値について強い正の相関が見られ、次いで PMV、CO₂ 濃度、絶対湿度の平均値にやや強い相関がみられる結果であった。風速、相対湿度の平均値についてはほとんど相関が見られない結果であった。また、合計仮想節電効果の高い対象室と低い対象室に分類し、室内空気環境の各項目について統計的に分析を行った所、空気温度、グローブ温度、相対湿度、絶対湿度、CO₂ 濃度、WBGT、PMV のすべての項目に有意な差がみられ、空気温度、相対湿度、CO₂ 濃度、PMV については基準値への適合割合についても有意な差がみられたことから、仮想節電効果の低い対象室は高い対象室に比べて室内空気環境が良好となる傾向が見られた。
- 5) 外皮性能との関係性の分析については室 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。開口部比率については足元温度と強い相関があり、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。ペリメータ比率については上下温度差との相関がみられ、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。

次章では 4 章に示した室内空気環境の結果を用いて 3 章にて作成した室内空気環境の評価手法の試算を行った結果について対象室・執務者の属性との関係性の分析を行う。

第5章 引用・参考文献

- [5-1] Brunner-Munzel 検定, https://rpubs.com/hoxo_m/57550, 2018.1 取得
- [5-2] Brunner-Munzel 検定, <https://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/stat/brunner-munzel.html>, 2018.1 取得
- [5-3] マイナーだけど最強の統計的検定 Brunner-Munzel 検定, http://d.hatena.ne.jp/hoxo_m/20150217/p1, 2018.1 取得
- [5-4] 経済産業省：2015 年度冬季の電力需給対策について, http://www.meti.go.jp/setsuden/pdf/151030/151030_01a.pdf, 2017.12 取得
- [5-5] 経済産業省：2015 年度夏季の電力需給対策について, http://www.meti.go.jp/setsuden/pdf/150522/150522_01a.pdf, 2017.12 取得
- [5-6] 電力中央研究所：事務所における 2011～2014 年夏の節電の実態-東日本大震災以降の定点調査-, 電力中央研究所報告 Y14013, 2015.4
- [5-7] 電力中央研究所：東日本大震災後の事務所節電行動の継続状況(2013 年版)-3 か年のアンケート調査の比較-, 電力中央研究所報告 Y14013, 2015.4
- [5-8] 田辺新一, 對馬聖菜, 内海 慧, 平岡雅哉, 弘本真一, 菰田英晴, 森 勇司：震災前後のオフィスにおける執務者意識と執務環境 その2：震災後3年間の継続調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2014, p53-54, 2014.9
- [5-9] 首相官邸：「2016 年度夏季の電力需給対策について」, http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_supply/20160513/taisaku.pdf, 2017.12 取得
- [5-10] 首相官邸：「2016 年度冬季の電力需要対策について」, http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_supply/20161028/taisaku.pdf, 2017.12 取得
- [5-11] 首相官邸：「2017 年度夏季の電力需要対策について」, http://www.kantei.go.jp/jp/singi/electricity_supply/20170512/taisaku.pdf, 2017.12 取得
- [5-12] 経済産業省：冬期の節電メニュー（事業者の皆様）, http://www.meti.go.jp/setsuden/pdf/151030/151030_01f.pdf, 2017.12
- [5-13] 経済産業省：冬期の節電メニュー（事業者の皆様）, http://www.meti.go.jp/setsuden/pdf/150522/150522_01f.pdf, 2017.12
- [5-14] 空気調和・衛生工学会：業務用建築における節電メニューと留意点, <http://www.shasej.org/topics/shinsaikanren/c1.gyuomuyou%20fuyu%20V303.pdf>, 2017.12
- [5-15] 省エネルギーセンター：冬の工場・ビルにおける節電対策, <https://www.eccj.or.jp/whatsnewj/2014win/fac.html>
- [5-16] 社団法人建築設備技術者協会：中小業務用ビルの節電対策と効果の定量把握 2012 年版, <http://www.jabmee.or.jp/news/中小ビルの節電対策パンフレット2012年版.pdf>, 2017.12 取得
- [5-17] 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

- [5-18] 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, 中小規模オフィスビル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
- [5-19] 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
- [5-20] 国土交通省: 建築物省エネ法のページ http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/jutakukentiku_house_tk4_000103.html, 2018.1 取得
- [5-21] 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
- [5-22] 国土交通省 国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人 建築研究所: 平成28年度省エネルギー基準関係技術資料 エネルギー消費性能計算プログラム(非住宅版)解説 Ver.2.4(2017年10月), http://www.kenken.go.jp/becc/documents/building/Manual/webprov2_manual_20171010.pdf, 2018.1 取得
- [5-23] 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

第 6 章

室内空気環境の評価

第 6 章：室内空気環境の評価

6.1 はじめに

本章では第 4 章における複数の事務用途室を対象とした室内空気環境の実態調査の結果について、第 3 章で作成した室内空気環境の評価手法による評価を行い、執務者・対象室の属性との関係性の分析を行う。

6.2 本研究で作成した評価手法による室内空気環境の評価

第 3 章で作成した室内空気環境の評価指標による評価結果を示す。各項目の点数は許容される基準について 80 点、推奨とされる基準について 100 点として設定している。

6.3.1 基準評価値

各対象室の基準評価値について 2016 年度夏期の結果を図 6-1、2016 年度冬期の結果を図 6-2 に示す。

・2016 年度夏期

最大値は全ての対象室において 90 点を超える結果となった。

平均値は対象室 E が 64.8 点、対象室 I が 43.8 点と低い結果であったが、その他の対象室は 80 点を超える結果となっていた。

最小値は対象室 C と F が 90 点を超えており、その他の対象室が 0 点となる結果であった。

・2016 年度冬期

最大値は対象室 B を除く全て対象室が 80 点を超える結果となった。

平均値は対象室 G と H が 90 点を超え、その他の対象室は 50 点を下回る結果であった。特に、対象室 B、C、D、E、F の平均値は 10 点以下であり、夏期よりも対象室間に差が見られる結果であった。

最小値は対象室 H が 80 点を超えており、その他の対象室が 0 点であった。

夏期、冬期ともに平均値が 80 点を超える対象室については基準評価が概ね良好であると言えるが、最小値が 80 点を下回る対象室については、許容とする基準値を下回る時間帯がある事に留意する必要がある。また、特に冬期については 9 対象室の内、5 対象室の平均値が 10 点以下となっており、空気温度、相対湿度、風速、CO₂ 濃度のいずれかの項目に対して運用面で留意する必要がある。

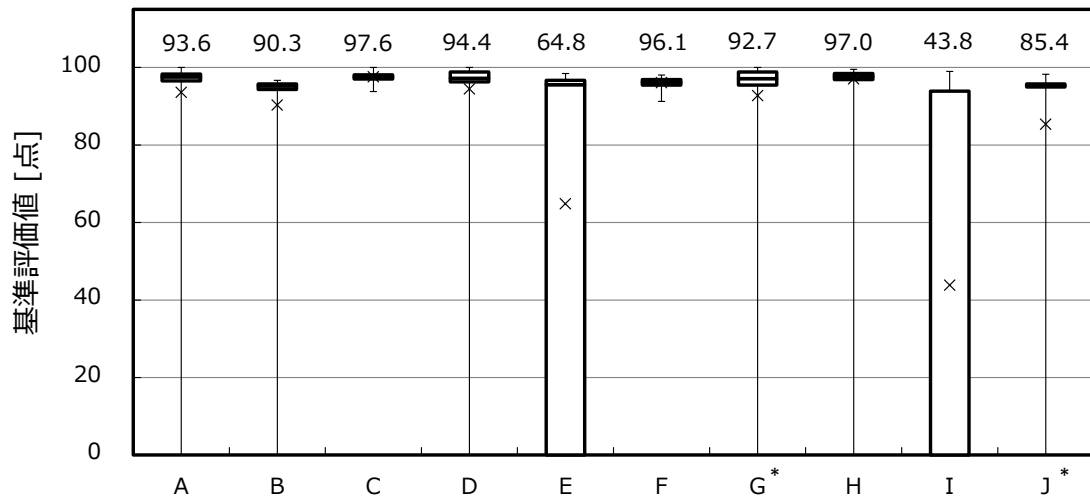


図 6-1 各対象室における基準評価値（2016 年度・夏期・業務時間）

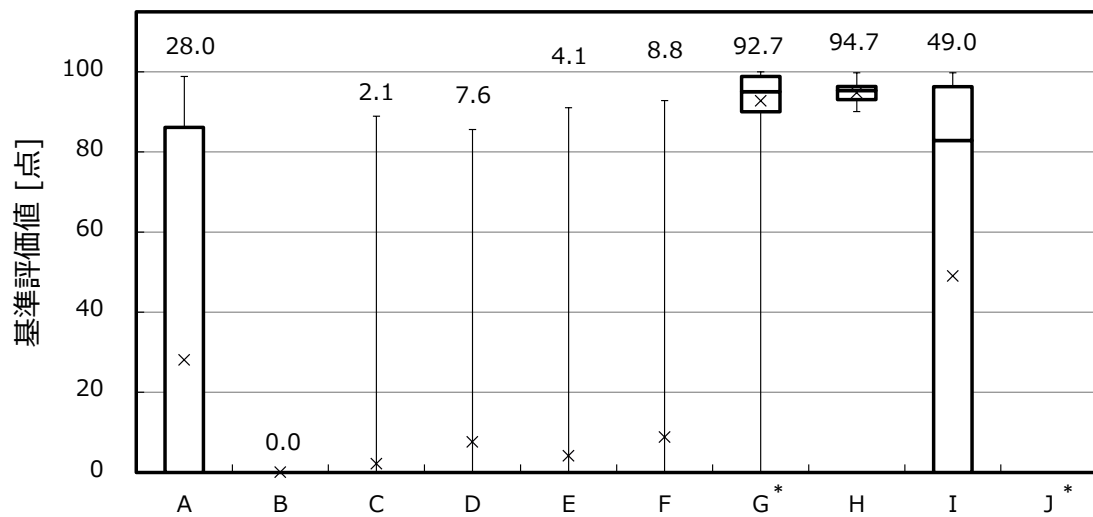


図 6-2 各対象室における基準評価値（2016 年度・冬期・業務時間）

(1) 空気温度の評価値

各対象室の空気温度の評価値について 2016 年度夏期の結果を図 6-3、2016 年度冬期の結果を図 6-4 に示す。

・ 2016 年度夏期

最大値は全ての対象室において 90 点を超える結果となった。

平均値は対象室 E が 57.8 点、対象室 J が 74.7 点であり、その他の対象室は 80 点を超える結果となっていた。

最小値は対象室 C、F、G が 80 点を超えており、その他の対象室は 0 点であった。

・ 2016 年度冬期

最大値は全て対象室において 90 点を超える結果となった。

平均値は対象室 C が 67.1 点であり、その他の対象室は推奨値として設定した 80 点を超える結果となっていた。

最小値は対象室 H と I が 80 点を超えており、その他の対象室が 0 点であった。

夏期、冬期ともに平均値が 80 点を超える対象室については空気温度が概ね良好であると言えるが、平均値が 80 点を下回る対象室については、業務時間内の空気温度に注意が必要である。

また、最小値が 80 点を下回る対象室については、許容とする基準値を下回る時間帯がある事に留意する必要がある。

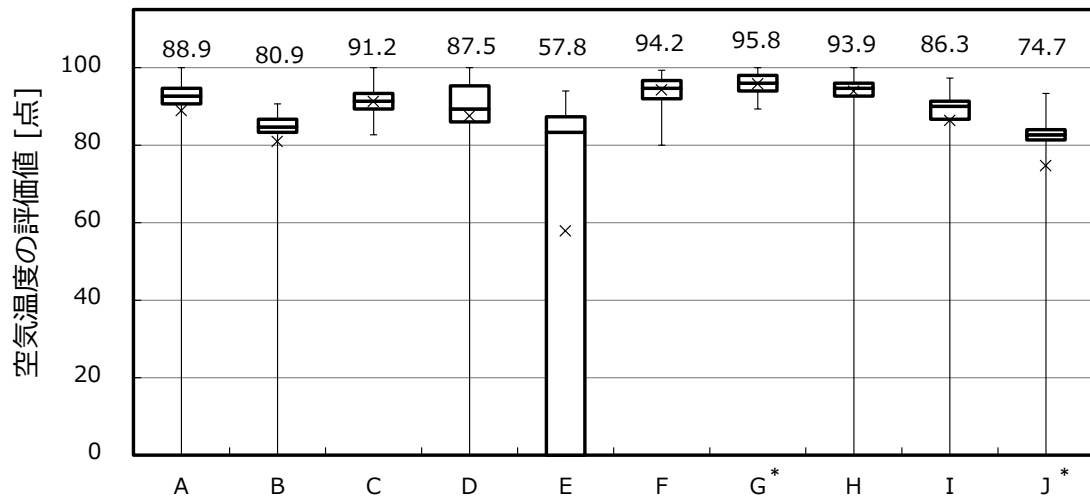


図 6-3 各対象室における空気温度の評価値 (2016 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

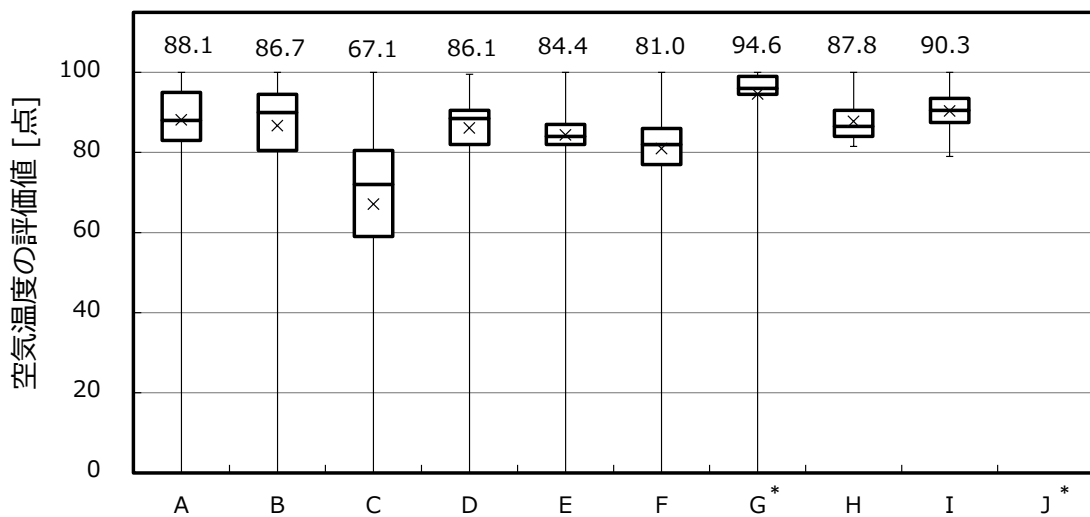


図 6-4 各対象室における空気温度の評価値 (2016 年度・冬期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

(2) 相対湿度の評価値

各対象室の相対湿度の評価値について2016年度夏期の結果を図6-5、2016年度冬期の結果を図6-6に示す。なお、冬期において対象室A、E、F、G、Hは加湿器を使用していた。

・2016年度夏期

最大値は全ての対象室において100点であった。

平均値は対象室Eが44.4点であり、その他の対象室は80点を超える結果となっていた。

最小値は対象室G、H、Iが0点であり、その他の対象室は80点を超えていた。

・2016年度冬期

最大値は対象室A、G、H、Iにおいて100点であったが、対象室B、C、D、E、Fは80点未満であった。

平均値は対象室G、Hが80点を超えており、その他の対象室は50点未満であった。特に対象室B、C、D、E、Fは平均値が10点未満となっていた。

最小値は全ての対象室において80点を下回っており、対象室G、Hを除くすべての対象室は0点であった。

夏期、冬期ともに平均値が80点を超える対象室GとHは相対湿度について概ね良好であると言えるが、平均値が80点を下回るその他の対象室については、業務時間内の相対湿度に注意が必要である。

また、最大値が80点を下回る対象室B、C、D、E、Fは、加湿器等により十分な加湿を行うなど改善の必要がある。

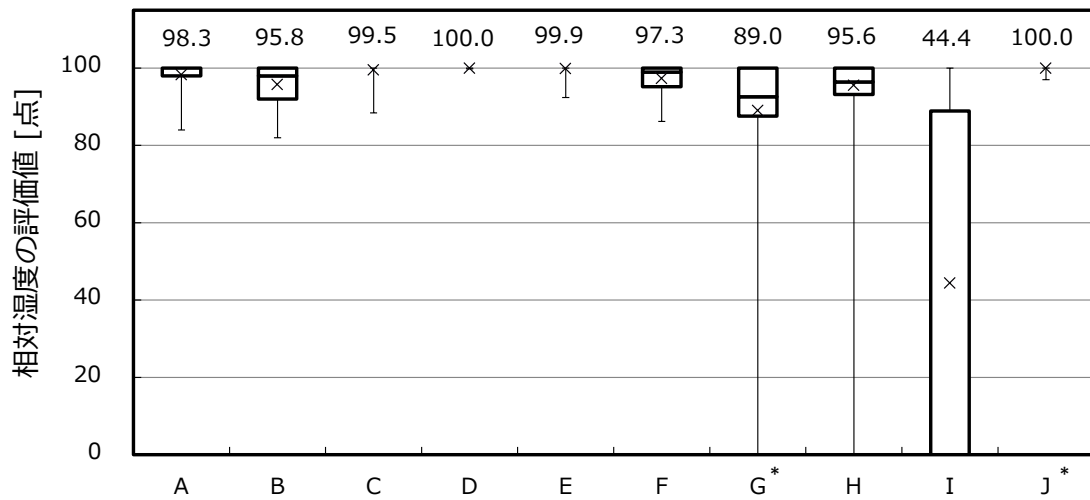


図 6-5 各対象室における相対湿度の評価値 (2016 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

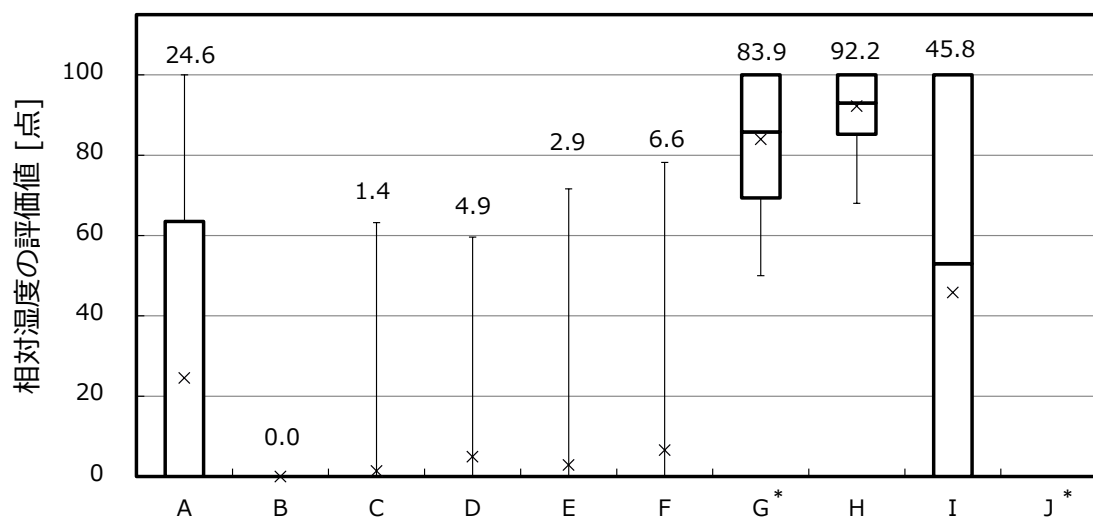


図 6-6 各対象室における相対湿度の評価値 (2016 年度・冬期・業務時間)

注:対象室 A、E、F、G、H は加湿器を使用していた

*空調制御方式が中央方式である対象室

(3) 風速の評価値

各対象室の風速の評価値について 2016 年度夏期の結果を図 6-7、2016 年度冬期の結果を図 6-8 に示す。なお、夏期において対象室 F はサーキュレーターを使用、対象室 G と J は執務者のデスク上に小型扇風機を設置していた。また、冬期において対象 G は執務者のデスク上に小型扇風機を設置していた。

・2016 年度夏期

最大値、平均値は全ての対象室において 90 点を超える結果であった。

最小値は対象室 I が 0 点であり、その他の対象室は 80 点を超えていた。

・2016 年度冬期

最大値、平均値、最小値は全ての対象室において 100 点であった。

夏期、冬期ともに全ての対象室において風速の評価値の平均値が 90 点を超えており、概ね良好であると言える。対象室 I は夏期の業務時間内において最小値が 0 点となる時間帯がある事に留意する必要がある。

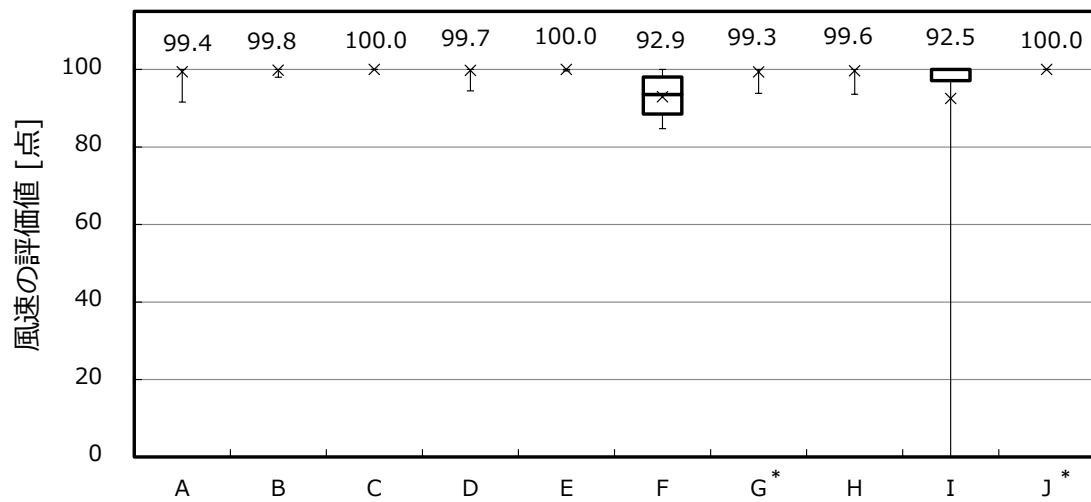


図 6-7 各対象室における風速の評価値 (2016 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

注:対象室 F はサーキュレーターを使用しており、対象室 G、J は執務者のデスク上に小型扇風機を設置していた

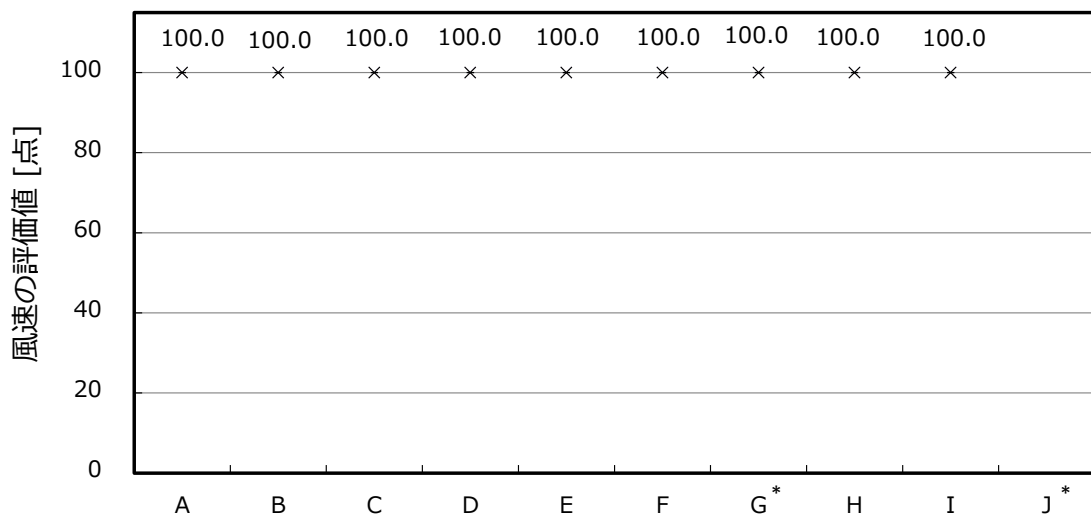


図 6-8 各対象室における風速の評価値 (2016 年度・冬期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

注:対象室 G は執務者のデスク上に小型扇風機を設置していた

(4) CO₂ 濃度の評価値

各対象室の CO₂ 濃度の評価値について 2016 年度夏期の結果を図 6-9、2016 年度冬期の結果を図 6-10 に示す。

- ・ 2016 年度夏期

最大値、平均値は全ての対象室において 90 点を超える結果であった。

最小値については対象室 I が 80 点を下回り、その他の対象室は 80 点を超えていた。

- ・ 2016 年度冬期

最大値、平均値、最小値は全ての対象室において 80 点を超えていた。

夏期、冬期ともに全ての対象室において CO₂ 濃度の評価値の平均値が 90 点を超えており、概ね良好であると言える。対象室 I は夏期の業務時間内において最小値が 80 点を下回る時間帯がある事に留意する必要がある。

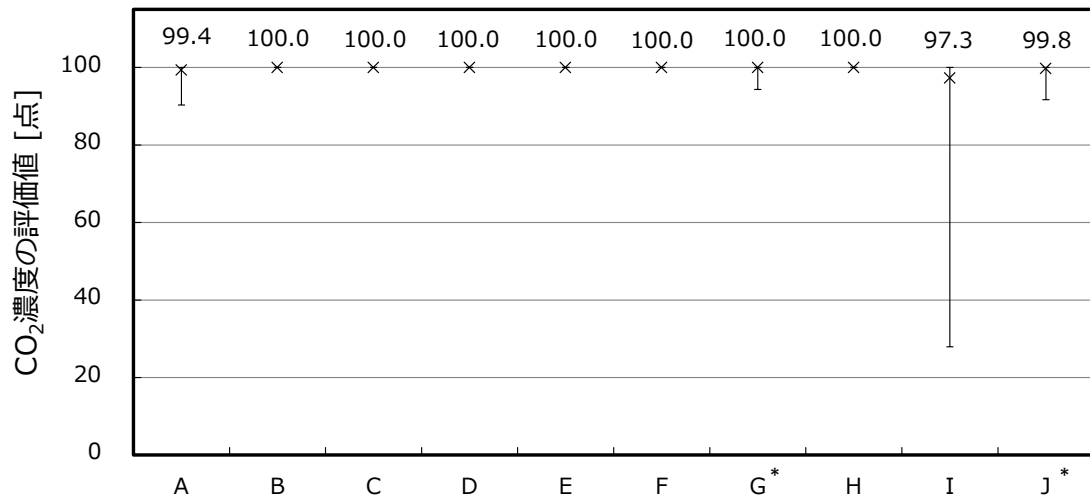


図 6-9 各対象室における CO₂ 濃度の評価値 (2016 年度・夏期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

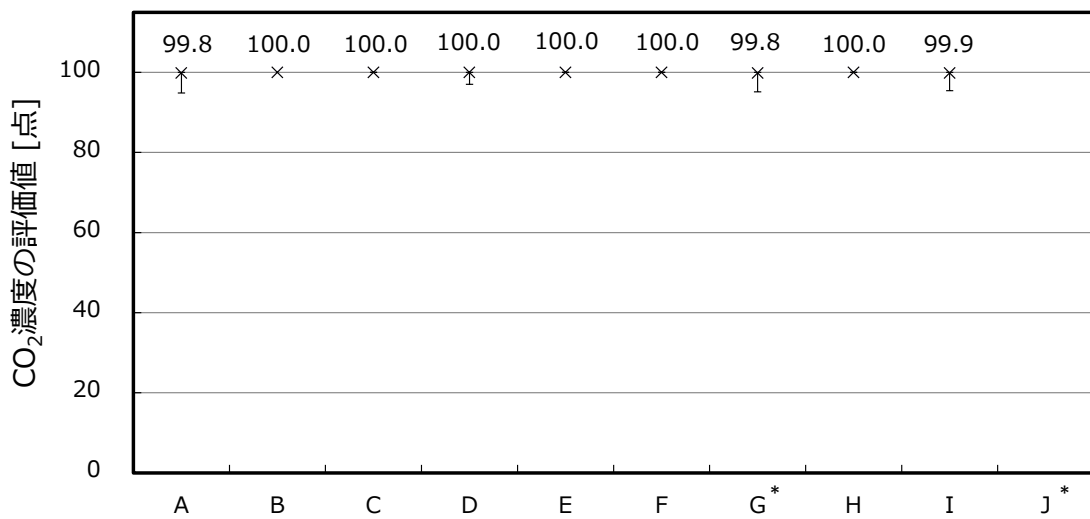


図 6-10 各対象室における CO₂ 濃度の評価値 (2016 年度・冬期・業務時間)

*空調制御方式が中央方式である対象室

6.3.2 安全評価評価値

各対象室の安全評価値について 2016 年度夏期の結果を図 6-11、2016 年度冬期の結果を図 6-12 に示す。なお、夏期の安全性評価は WBGT についての評価、冬期の安全性評価は相対湿度についての評価である。

・2016 年度夏期

最大値、平均値は全ての対象室において 90 点を超える結果であった。

最小値については対象室 I が 80 点を下回り、その他の対象室は 80 点を超えていた。

・2016 年度冬期

最大値は対象室 A、G、H、I において 100 点であったが、対象室 B、C、D、E、F は 80 点未満であった。

平均値は対象室 G、H が 80 点を超えており、その他の対象室は 50 点未満であった。特に対象室 B、C、D、E、F は平均値が 10 点未満となっていた。

最小値は全ての対象室において 80 点を下回っており、対象室 G、H を除くすべての対象室は 0 点であった。

夏期の安全性評価は WBGT による評価であり、対象室 I は業務時間内に一時的に 80 点を下回る時間帯が見られたことに留意する必要がある。

冬期の安全性評価は相対湿度による非温熱的影響の評価であり、平均値が 80 点を下回るその他の対象室については、業務時間内の相対湿度に注意が必要である。

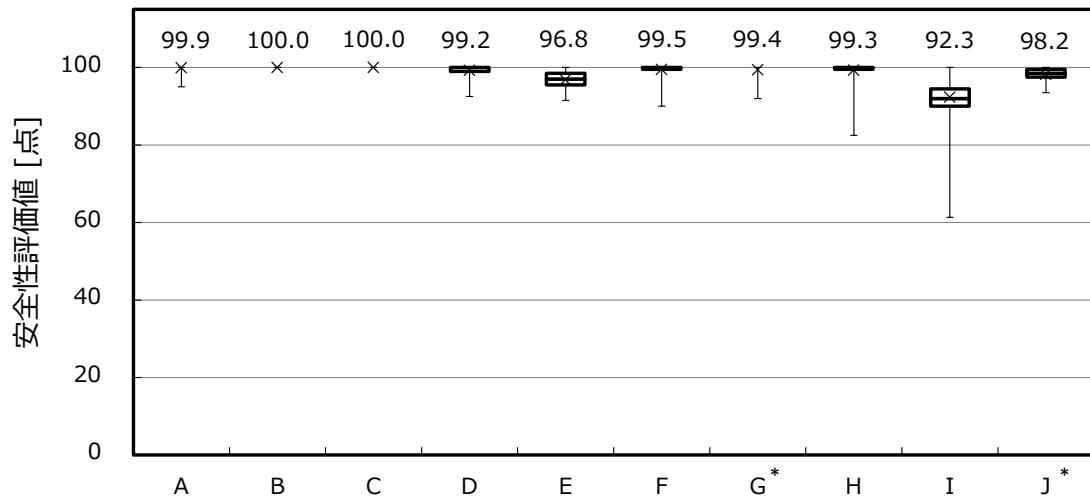


図 6-11 各対象室における安全性評価値（2016 年度・夏期・業務時間）

*空調制御方式が中央方式である対象室

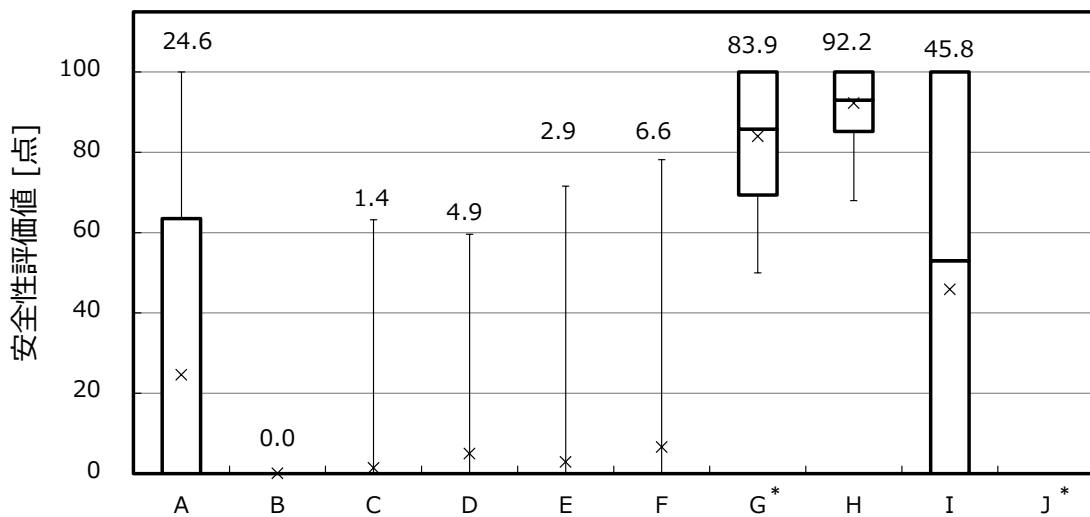


図 6-12 各対象室における安全性評価値（2016 年度・冬期・業務時間）

*空調制御方式が中央方式である対象室

注:対象室 A、E、F、G、H は加湿器を使用していた

6.3.3 温冷感評価

各対象室の温冷感評価値について 2016 年度夏期の結果を図 6-13、2016 年度冬期の結果を図 6-14 に示す。温冷感評価値は PMV により算定された PPD（予想不満足者率）についての評価値である。

・ 2016 年度夏期

最大値は全ての対象室において 90 点を超える結果であった。

平均値は全ての対象室において 80 点を超える結果であった。

最小値は対象室 C、F、G において 80 点を超え、その他の対象室は 80 点を下回る結果であった。

・ 2016 年度冬期

最大値は全ての対象室において 100 点であった。

平均値は全ての対象室において 80 点を超える結果であった。

最小値は対象室 H が 80 点を超えており、その他の対象室が 80 点を下回る結果であった。

全ての対象室において夏期、冬期ともに平均値が 80 点を超えており温冷感については概ね良好であると言えるが、最小値が 80 点を下回り、評価値が低くなる対象室については、そのような時間帯がある事に留意する必要がある。

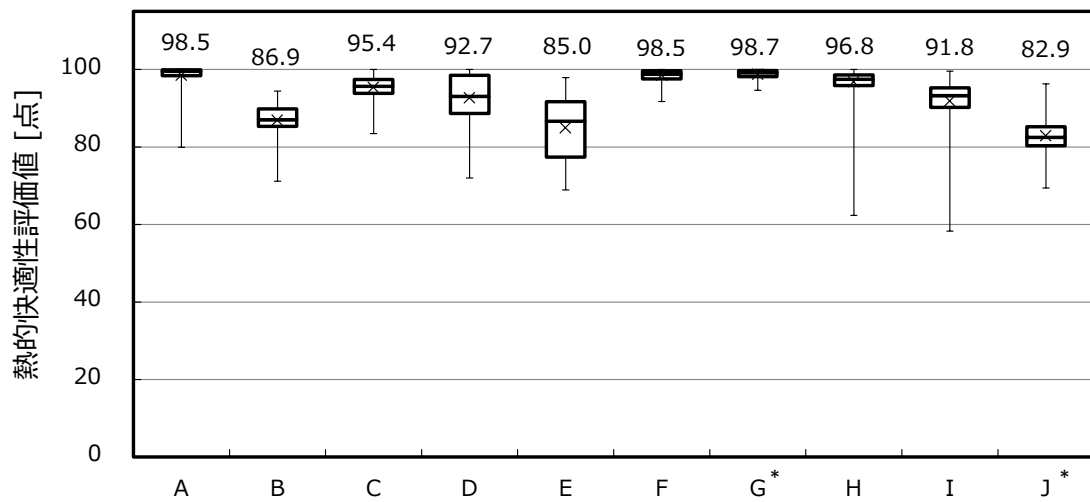


図 6-13 各対象室における温冷感評価値（2016 年度・夏期・業務時間）

*空調制御方式が中央方式である対象室

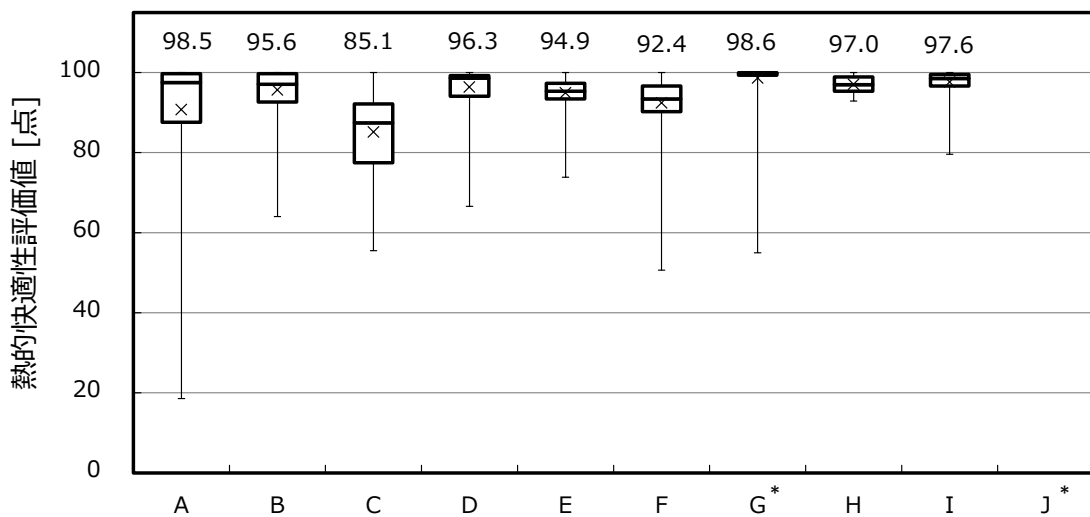


図 6-14 各対象室における温冷感評価値（2016 年度・冬期・業務時間）

*空調制御方式が中央方式である対象室

6.3.4 総合評価値

各対象室の安全評価値について 2016 年度夏期の結果を図 6-15、2016 年度冬期の結果を図 6-16 に示す。

- ・ 2016 年度夏期

最大値は全ての対象室において 90 点を超える結果であった。

平均値は全ての対象室において 80 点を超える結果であった。

最小値は対象室 C、F において 80 点を超え、その他の対象室は 80 点を下回る結果であった。

- ・ 2016 年度冬期

最大値は B を除く全ての対象室において 80 点を超える結果であった。

平均値は対象室 G、H において 80 点を超え、その他の対象室は 80 点を下回る結果であった。

最小値は対象室 H が 80 点を超えており、その他の対象室が 80 点を下回る結果であった。

夏期については全ての対象室において平均値が 80 点を超え、おおむね良好な室内空気環境であると言える。

冬期については対象室 G、H の平均値が 80 点を超え、おおむね良好な室内空気環境であると言えるが、他の対象室については課題が見られる可能性がある。

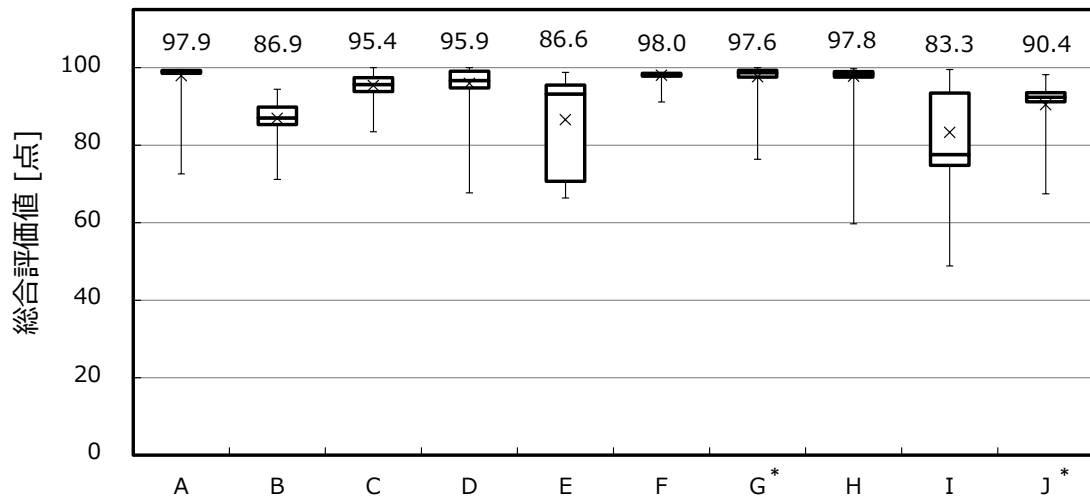


図 6-15 各対象室における総合評価値（2016 年度・夏期・業務時間）

*空調制御方式が中央方式である対象室

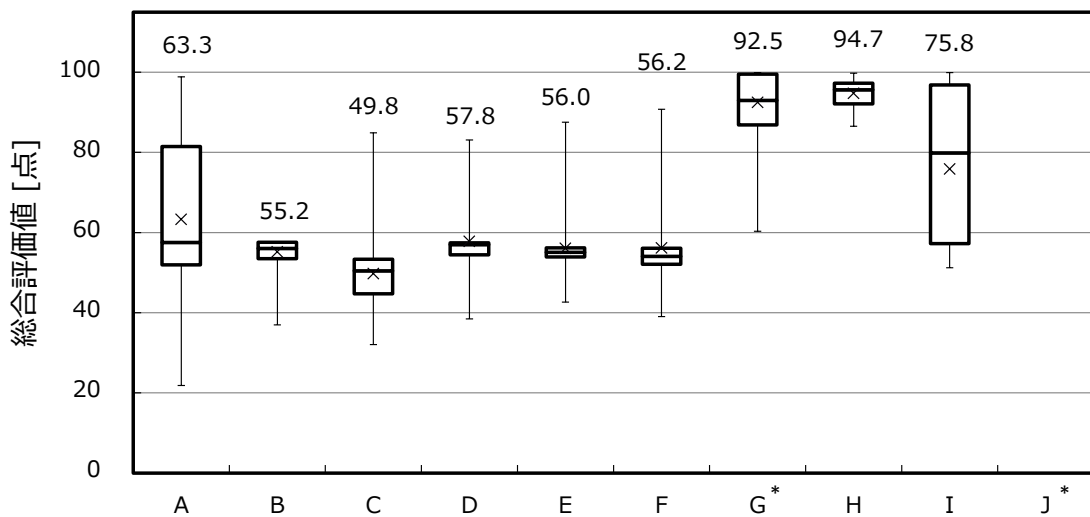


図 6-16 各対象室における総合評価値（2016 年度・冬期・業務時間）

*空調制御方式が中央方式である対象室

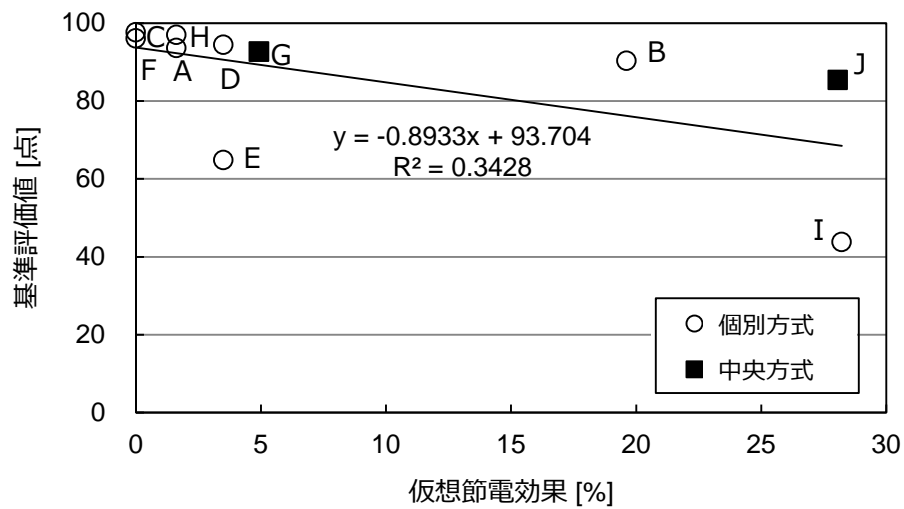
6.3 本研究で作成した評価手法による評価値と仮想節電効果との関係性

各対象室の合計仮想節電効果と評価値（基準評価値、安全性評価値、温冷感評価値、総合評価値）との関係性について分析を行った。

6.3.1 基準評価値との関係について

合計仮想節電効果と基準評価値について図 6-17 に示す。また、空気温度の評価値、相対湿度の評価値、CO₂ 濃度の評価値、気流の評価値と合計仮想節電効果について図 6-18～6-21 に示す。

基準評価値と合計仮想節電効果について、やや負の相関が見られた（決定係数 0.3428）対象室 B、J は合計仮想節電効果がおよそ 20%を超えているが、基準評価値の平均値は 80 点を超えており、良好であるといえる。一方、対象室 E、I は基準評価値が低い結果であり、E は空気温度の評価値、I は相対湿度の評価値が低いことが分かった。



6.3.2 安全性評価値との関係について

合計仮想節電効果と安全性評価値について図 6-22 に示す。

安全性評価値と合計仮想節電効果にやや負の相関が見られた。(決定係数 0.3508)
全ての対象室において安全性評価値の平均値が 80 点を超えており、良好であった。
その中でも対象室 I は比較的に安全性評価値が低く、対象室 B は高い結果であった。

6.3.3 温冷感評価値との関係について

合計仮想節電効果と温冷感評価値について図 6-23 に示す。

温冷感評価値と合計仮想節電効果にやや負の相関が見られた。(決定係数 0.4172)
全ての対象室において安全性評価値の平均値が 80 点を超えており、良好であると言える。
その中でも対象室 E は温冷感評価値が低い結果であり、対象室 G と I は比較的に温冷感評価値が高い結果であった。

6.3.4 総合評価値との関係について

合計仮想節電効果と総合評価値について図 6-24 に示す。

総合評価値と合計仮想節電効果にやや負の相関が見られた。(決定係数 0.5624)
その中でも対象室 E については総合評価値が低い結果であり、E は基準評価値、特に空気温度の評価値が低いことが分かった。

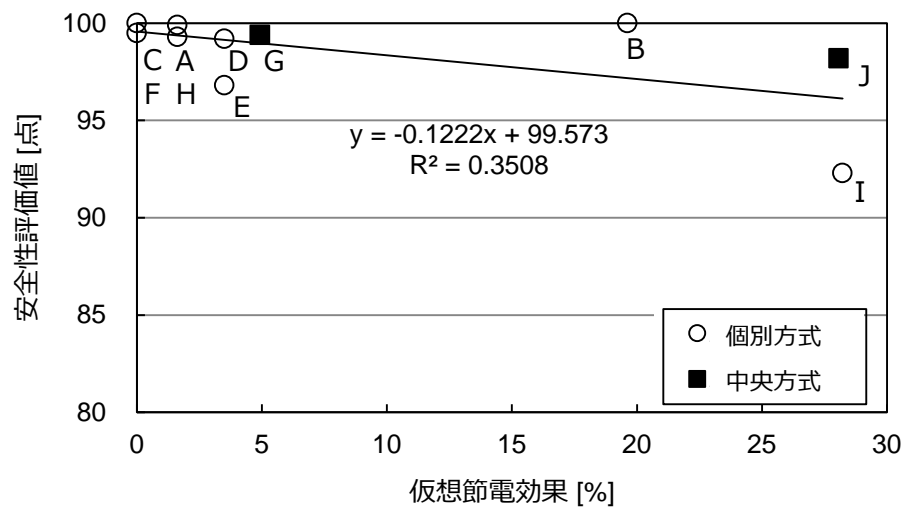


図 6-22 合計仮想節電効果と安全性評価値の平均値 (2016 年度・夏期)

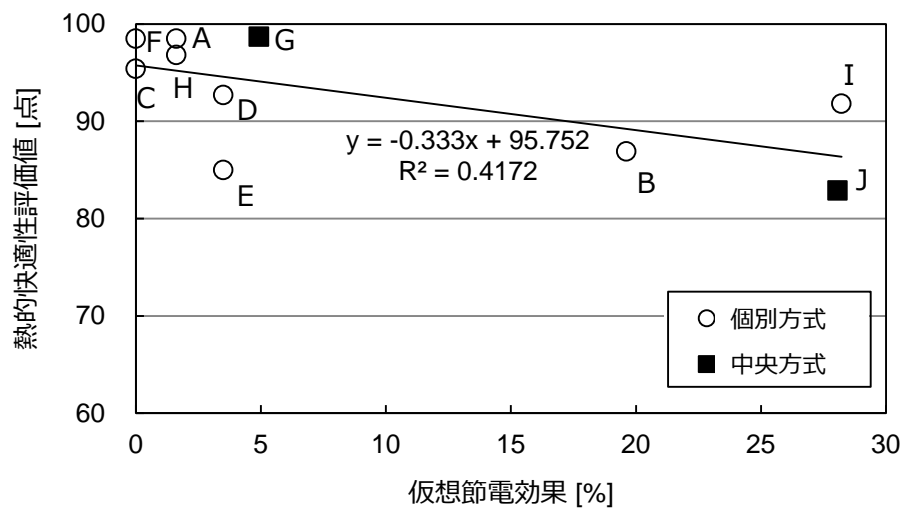


図 6-23 合計仮想節電効果と温冷感評価値の平均値 (2016 年度・夏期)

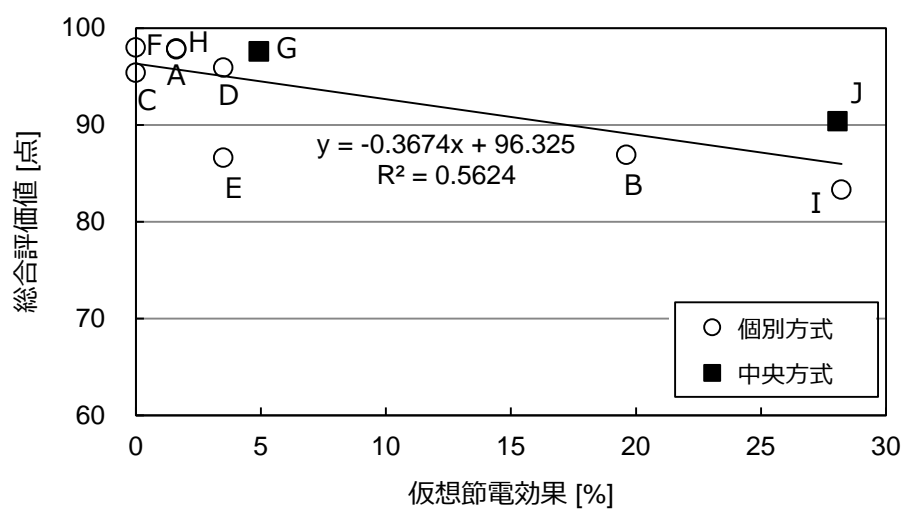


図 6-24 合計仮想節電効果と総合評価値の平均値 (2016 年度・夏期)

6.3.5 合計仮想節電効果が低い対象室と高い対象室における各評価値についての統計分析

5.4 にて示した合計仮想節電効果の低い#c1 と高い#c2 の対象室について、空気温度の評価値、相対湿度の評価値、CO₂ 濃度の評価値、風速の評価値、基準評価値、安全性評価値、温冷感評価値、総合評価値について分析を行った。図 6-25～6-32 に#c1 と#c2 における各評価値の箱ひげ図を示す。また、統計検定として Brunner-Munzel 検定を行った。

合計仮想節電効果の低い#c1 と高い#c2 では全ての評価値の平均値において合計仮想節電効果が低い#c2 が高い点となった。

また、Brunner-Munzel 検定では風速の評価値を除く全ての評価値において統計的に有意な差が得られた。(風速の評価値は $p=0.9787$ 、その他の評価値はいずれも $p<0.01$)

以上のことから、合計仮想節電効果の低い#c1 と高い#c2 では風速の評価値を除くすべての評価値に差が見られ、仮想節電効果の低い#c1 の室内空気環境は良好であると考えられる。

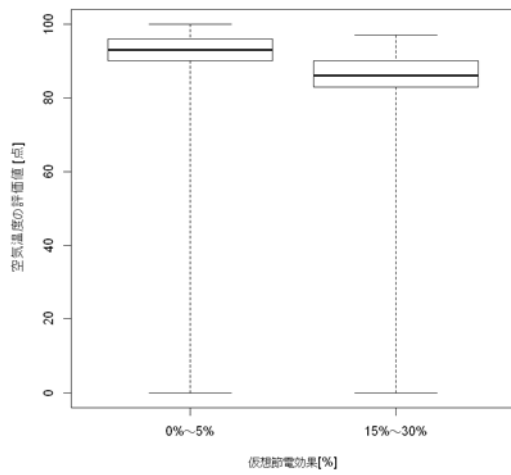


図 6-25 空気温度の評価値（#c1 と#c2）

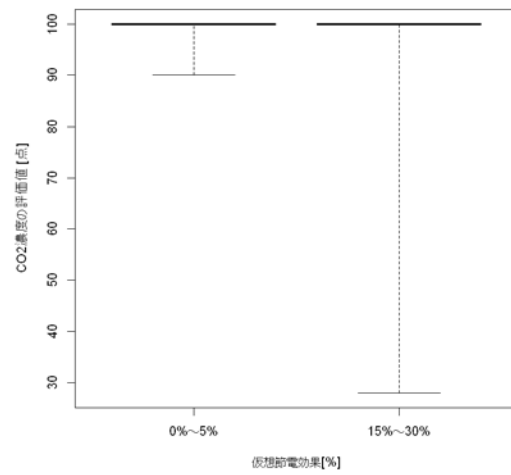


図 6-27 CO₂ 濃度の評価値（#c1 と#c2）

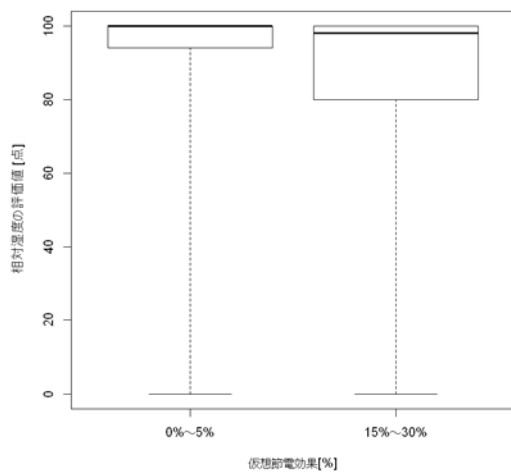


図 6-26 相対湿度の評価値（#c1 と#c2）

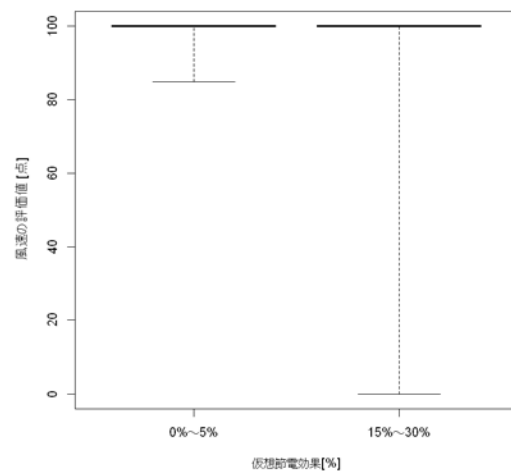


図 6-28 風速の評価値（#c1 と#c2）

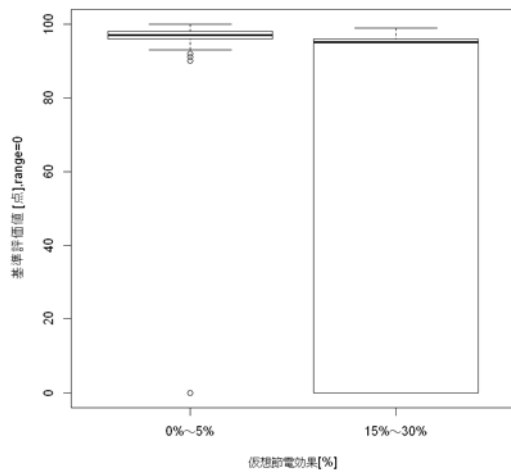


図 6-29 基準評価値 (#c1 と#c2)

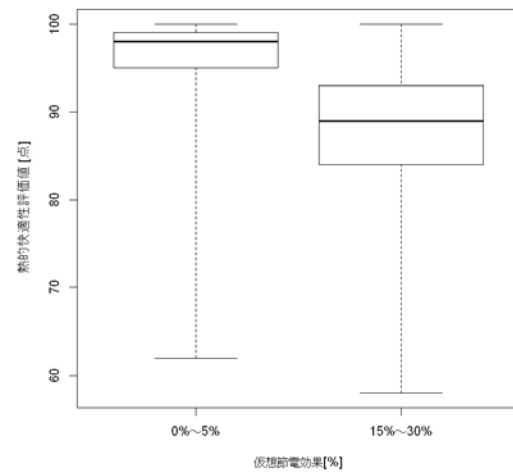


図 6-31 温冷感評価値 (#c1 と#c2)

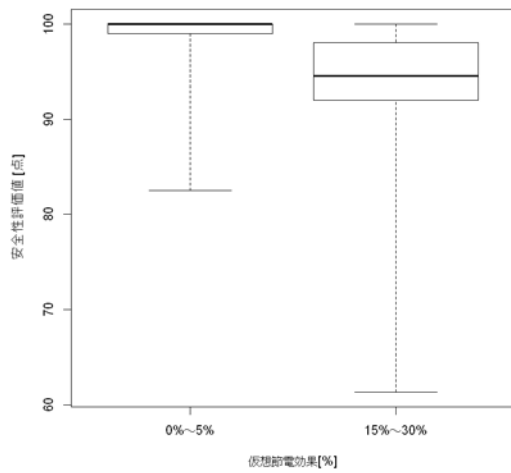


図 6-30 安全性評価値 (#c1 と#c2)

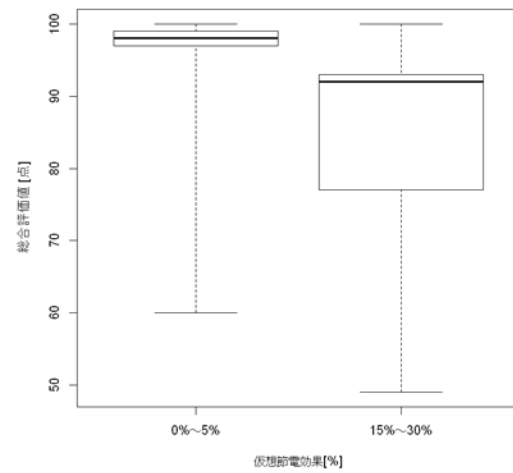


図 6-32 総合評価値 (#c1 と#c2)

6.4 おわりに

本章では第 4 章における複数の事務用途室を対象とした室内空気環境の実態調査の結果について、第 3 章で作成した室内空気環境の評価手法による評価を行い、また仮想節電効果との関係性について分析を行った。本章で得られた知見を以下に記す。

- 1) 本研究で作成した評価手法による総合評価値について夏期は全ての対象室において平均値が 80 点を超え、おおむね良好な室内空気環境であり、冬期は対象室 G、H の平均値が 80 点を超え、おおむね良好な室内空気環境であると言えるが、他の対象室は課題が見られる可能性がある。
- 2) 評価手法による各評価値と仮想節電効果との関係性の分析では基準評価値、安全性評価値、温冷感評価値、総合評価値に負の相関がみられ、その中でも総合評価値の平均値が合計仮想節電効果ともっとも強い負の相関を示した（決定係数 0.524）。
- 3) 合計仮想節電効果の低い対象室と高い対象室における各評価値についての統計分析では合計仮想節電効果が低い対象室が全ての評価値の平均値において高い評価値を示した。また、Brunner-Munzel 検定では風速の評価値を除く全ての評価値において統計的に有意な差が得られたことから合計仮想節電効果の低い対象室と高い対象室では仮想節電効果の低い対象室の室内空気環境の方が良好であると考えられる。

第 7 章

総括

第7章：総括

7.1 本論文のまとめ

本論文では室内空気環境の維持・向上を目的として特定建築物の中で最も数の多い事務所における室内空気環境の問題点の把握の容易化や在室者への啓発が容易な室内空気環境の評価手法を作成・提案し、複数の対象室において評価の試行を行った。以下に第6章までの各章の要点をまとめる。

第1章「序論」では研究の背景として、建築物における室内空気環境の衛生的な維持管理を目的として、「建築物における衛生環境の確保に関する法律（1970）」では、特定建築物を対象とした建築物環境衛生管理基準の諸項目についての定期測定を2か月に1度以上の頻度で実施するように規定されているが、近年、空気環境に関する管理基準の項目の内、温度、相対湿度、二酸化炭素について、基準に適合していない割合が上昇傾向にある事が指摘されており、特に事務所においてはその傾向が顕著であるとされていることを述べた。また、その要因としては2002年の建築物衛生法の改正による特定建築物の適用範囲の拡充と空調方式として個別方式を採用する建物対象となったこと、また省エネルギーへの関心の増加により、クールビズ、ウォームビズ等の節電行動が盛んに行われるようになったことなどが考えられていることを示した。

続いて本論文での目的を述べ、特定建築物の中で最も数の多い事務所における室内空気環境の問題点の把握の容易化や在室者への啓発が容易な室内空気環境の評価手法を作成・提案し、複数の対象室において評価の試行を行うことを示した。

第2章「室内空気環境に関する基礎的事項」では温熱環境に関する基礎的事項および既存の評価指標について整理した。また、本論文中で使用した用語から、特に定義を明確にする必要があるものについて示した。

第3章「室内空気環境の評価手法の作成」では本論文における事務所の室内空気環境の評価方法を述べると共に、室内空気環境に関する国内外の規基準の整理を行い、事務所における室内空気環境の維持向上に資するための評価手法を作成した。本論文における提案する評価手法および評価式の作成について以下に示す。

- (1) 事務所における室内空気環境の評価手法として基準評価値、安全性評価値、温冷感評価値の3項目によるベクトル量から算定される総合評価値（0～100点）を提案した。
- (2) 基準評価値は空気温度、相対湿度、気流、CO₂濃度についてのそれぞれの評価値を相乗平均した値である。
- (3) 安全性評価値は夏期には WBGT について熱的安全性を評価した値、冬期には相対湿度について人体への非温熱的影響を評価した値である。
- (4) 温冷感評価値は PMV による PPD について温冷感を評価した値である。
- (5) 空気温度、相対湿度、気流、CO₂濃度の各評価式については建築物環境衛生管理基準の設定の

経緯および諸外国の規基準に関して整理を行い、客観的基準に基づいて評価基準点を設定し、それらを線形補完することで作成した。

- (6) WBGT の評価式は JIS Z8504 に示されている基準値について事務所における作業量等を考慮することで評価基準点を選定し、それらを線形補完することで作成した。
- (7) PMV の評価式は、PMV と PPD の関係を用いて作成した。

第 4 章「室内空気環境の実態調査」では 2016 年度の夏期、冬期および 2017 年の夏期において、特に今まで取得の事例数が少ない高知県の事務所を中心に室内空気環境の連続測定を行った結果を示した。本章で得られた知見を以下に記す。

- (1) 空気温度について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準 17℃～28℃を満たしており、10 対象室の内、8 対象室の基準値適合割合は 90%以上以上であった。2017 年度の夏期についても平均値や基準値への適合割合は同様の結果が得られた。2016 年度の冬期については全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準の値を満たしていたが、最低値については対象室 H を除く全ての対象室において 17℃を下回る結果であった。
- (2) 相対湿度について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準 40%RH～70%RH を満たしてしていたが、43%RH と低い対象室 A や 69%RH と高い I など対象室の差が見られた。基準値への適合割合は、ほとんどの対象室が概ね基準値を満たしてしていたが、対象室 I のみが 45%と過半数を満たさない結果となった。2017 年度の夏期には 2016 年度同様に全ての対象室が基準値を満たしており、また対象室による差はあまり見られなかった。基準値への適合割合は、全ての対象室が過半以上を満たしている結果であった。2016 年度の冬期には全ての対象室が平均値において基準を満たしていない結果であり、基準値への適合割合については対象室 B、C、D、E、F が 0%であった。また、対象室 A、E、F、G、H は加湿器を使用していたが、対象室 A、E、F は相対湿度が低い結果であった。
- (3) 風速について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準 0.5m/s を満たしてしていたが、最大値付近では対象室 I が一時的に 0.5m/s を超える結果が見られた。2017 年度の夏期については 2016 年度の夏期とほぼ同様の結果であった。2016 年度の冬期について平均値において基準値が 0.5m/s 未満であり、夏期の結果と比較するとやや小さい結果であった。
- (4) CO₂ 濃度について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において建築物環境衛生管理基準 1000ppm を満たしてしていたが、対象室 A、G、I および J は一時的に基準値を超える結果が見られた。2016 年度の冬期、2017 年度の夏期についても 2016 年度の夏期と同様に平均値では基準値を満たしているものの一時的に基準値を超える対象室が複数見られた。
- (5) WBGT について 2016 年度の夏期には全ての対象室が平均値において熱中症の危険性はほとんどない結果であったが、最大値付近では対象室 I において、26℃を超える時間が見られ活動量によっては熱中症の危険性がある結果であった。2017 年度の夏期についても 2016 年度の夏期と同様に全ての対象室が平均値において熱中症の危険性はほとんどない結果であったが、対象室 D において最大値付近で 26℃を超える時間が見られた。
- (6) PMV について 2016 年度の夏期には測定対象室の半数が平均値において ISO の推奨範囲である 0.5 を上回る結果であった。推奨範囲への適合割合については対象室 A、F、G、H、において 80%を超えており、対象室 B、E、J については 10%以下であった。2017 年度の夏期にはほとんどの対

対象室が2016年度の夏期の結果と同様であったが、対象室Fは平均値が0付近から0.5を超える結果となっており、空気温度の上昇と風速の低下が影響していると考えられる。2016年度の冬期には対象室Cを除くすべての対象室の平均値が推奨範囲内であり、適合割合については対象室C、Fを除くすべての対象室が過半数を満たしていた。

第5章「室内空気環境と対象室・執務者の属性との関係性の分析」では4章にて示した複数の事務用途室における室内空気環境の実態調査の結果について空調方式との関係性や補助冷暖房機器の使用の有無との関係性、節電行為との関係性について分析を行った。本章で得られた知見を以下に記す。

- (1) 空調方式との関係性の分析について2016年度の夏期および冬期、2017年度のWBGTとPMVの相関図から分析を行った。2016年度の夏期については空調方式が中央方式の対象室GとJにおいて、空調設定温度の高いJと低いGに差が見られる結果となった。対象室GはWBGT値が十分に低く、PMVの値も0に近いことから、良好な室内環境であったと考えられる。一方、対象室Jは節電の影響によりWBGTやPMVの値が比較的に高い結果であった。空調方式が個別方式の対象室は、一定の傾向は見られず、ばらついている結果であった。これは主に執務者が空調の設定温度を自由に操作していたことが原因であると考えられる。特に、対象室B、E、IについてはWBGTとPMVが比較的に高い結果であった。2017年度の夏期については2016年度の夏期と同様に、空調方式が中央方式の対象室GはWBGT値が十分に低く、PMVの値も0に近いことから、良好な室内環境であったと考えられる。空調方式が個別方式の対象室もまた、2016年度の夏期と同様に一定の傾向は見られず、ばらついている結果であった。2016年度の冬期は空調方式が中央方式の対象室GはWBGT値が十分に低く、PMVの値も0に近いことから、良好な室内環境であったと考えられ、空調方式が個別方式の対象室については空調設定温度が高いCを除く対象室がPMVについて基準内であった。
- (2) 加湿器の使用と湿度との関係性の分析については2016年度の冬期において加湿器を使用している対象室における加湿器の消費電力と絶対湿度の関係性、使用時間割合と相対湿度、絶対湿度との関係、および加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度について分析を行った。加湿器の消費電力と絶対湿度については各対象室において相関は見られず、また加湿器の使用時間割合と絶対湿度についても関係性は見られなかった。加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度については平均値、基準への適合割合ともに加湿器を使用している対象室の方が、加湿器を使用していない対象室に比べ高い結果であり、Brunner-Munzel検定では加湿器を使用している対象室と使用していない対象室における絶対湿度に有意な差が見られた ($p < 0.01$)。また、適合割合についても有意な差が見られる結果であった ($p < 0.01$)。
- (3) 電気ヒーターの使用と空気温度、足元温度、上下温度差の関係性については2016年度の冬期において電気ヒーターを使用している対象室における電気ヒーターの消費電力と空気温度、足元温度、上下温度差の関係性、使用時間割合と温度の関係性、電気ヒーター使用時、不使用時と温度の関係性、電気ヒーターの起動時、停止時と温度の関係について分析を行った。使用時間割合と温度の関係性については、足元温度とやや正の相関が、上下温度差とはやや負の相関がみられ、使用時間割合が高いほど足元温度が高くなり、上下温度差が小さくなることで良好な温度環境になると考えられる。電気ヒーターの消費電力と温度との関係性については全ての対

象室において空気温度、足元温度と消費電力にほとんど相関が見られなかった。電気ヒーター使用時、不使用時と温度の関係性については、ヒストグラムから作成した正規分布曲線より使用時と不使用時の空気温度と上下温度差について差が見られた。また、起動時、停止時と温度についても同様にヒストグラムから作成した正規分布曲線では空気温度と上下温度差について差が見られた。起動時、停止時と温度の関係性について Brunner-Munzel 検定を行った所、空気温度($p=0.07$)、足元温度($p=0.51$)、上下温度差($p=0.13$)、全てにおいて有意な差は見られなかった。電気ヒーターを使用している対象室と使用していない対象室における温度との関係性については、Brunner-Munzel 検定の結果、空気温度、足元温度、上下温度差にすべてに有意な差が見られ、空気温度、上下温度差の基準値への適合割合についても統計的に有意な差が得られた。

- (4) 節電行為との関係性の分析については各対象室が夏期に実施していた節電行為から仮想節電効果の合計値を算定し、室内空気環境との関係性を分析した。合計仮想節電効果と WBGT、PPD の平均値について強い正の相関が見られ、次いで PMV、CO₂ 濃度、絶対湿度の平均値にやや強い相関がみられる結果であった。風速、相対湿度の平均値についてはほとんど相関が見られない結果であった。また、合計仮想節電効果の高い対象室と低い対象室に分類し、室内空気環境の各項目について統計的に分析を行った所、空気温度、グローブ温度、相対湿度、絶対湿度、CO₂ 濃度、WBGT、PMV のすべての項目に有意な差がみられ、空気温度、相対湿度、CO₂ 濃度、PMV については基準値への適合割合についても有意な差がみられたことから、仮想節電効果の低い対象室は高い対象室に比べて室内空気環境が良好となる傾向が見られた

第6章「室内空気環境の評価」では第4章における複数の事務用途室を対象とした室内空気環境の実態調査の結果について、第3章で作成した室内空気環境の評価手法による評価を行い、また仮想節電効果との関係性について分析を行った。本章で得られた知見を以下に記す。

- (1) 本研究で作成した評価手法による総合評価値について夏期は全ての対象室において平均値が80点を超え、おおむね良好な室内空気環境であり、冬期は対象室 G、H の平均値が80点を超え、おおむね良好な室内空気環境であると言えるが、他の対象室は課題が見られる可能性がある。
- (2) 評価手法による各評価値と仮想節電効果との関係性の分析では基準評価値、安全性評価値、温冷感評価値、総合評価値に負の相関がみられ、その中でも総合評価値の平均値が合計仮想節電効果ともっとも強い負の相関を示した(決定係数0.524)。
- (3) 合計仮想節電効果の低い対象室と高い対象室における各評価値についての統計分析では合計仮想節電効果が低い対象室が全ての評価値の平均値において高い評価値を示した。また、Brunner-Munzel 検定では風速の評価値を除く全ての評価値において統計的に有意な差が得られたことから合計仮想節電効果の低い対象室と高い対象室では仮想節電効果の低い対象室の室内空気環境の方が良好であると考えられる。

7.2 研究の総括と今後の展望

本研究では室内空気環境の維持・向上を目的として特定建築物の中で最も数の多い事務所における室内空気環境の問題点の把握の容易化や在室者への啓発が容易な室内空気環境の評価手法を作成・提案し、複数の対象室において評価の試行を行った。本論文が提案する評価手法は基準評価（空気温度、相対湿度、気流、CO₂濃度についてのそれぞれの評価値を相乗平均し評価する）、安全性評価（夏期にはWBGTについて熱的安全性を評価、冬期には相対湿度について人体への非温熱的影響を評価する）、温冷感評価（PMVによるPPDについて熱的な快適性を評価する）の3項目によるベクトル量から総合評価値を0～100点として算定するものであり、これら3項目は室内空気環境の維持管理において重要とされる複数の項目に基づいて客観的な基準を設けている。

本評価手法による試算については2016年度の夏期および冬期、2017年度の夏期に行った高知県を中心とする事務用途室10室への室内空気環境の実態調査結果を用いており、室内空気環境の総合評価値は2016年度の夏期において10対象室の内、全ての対象室が平均値で許容される基準80点を超えており、概ね良好な室内空気環境である結果であったが、2016年度の冬期においては9対象室の内、7対象室が平均値で80点を下回った。冬期における総合評価値の低下は主に基準評価値が低いことが原因であり、その中でも相対湿度の評価値が低いことが原因であった。

また、2016年度の夏期において仮想節電効果の合計値が低い対象室と高い対象室の空気温度、グローブ温度、相対湿度、絶対湿度、CO₂濃度、WBGT、PMVに対して統計的に有意な差が見られ、空気温度、相対湿度、CO₂濃度、PMVについては基準値への適合割合についても統計的に有意な差が見られる結果であった。仮想節電効果の合計値と総合評価値との相関については強い負の相関が見られ（決定係数は0.5624）、仮想節電効果の合計値が低い対象室と高い対象室の総合評価値について統計的に有意な差がある結果を得た。

最後に本研究の今後の展望を以下に記す。

(1) 事務所における室内空気環境の実測結果のさらなる蓄積

本研究では10対象室において室内空気環境の連続測定を行いその結果について分析を行ったが、対象室の属性や執務者の属性と室内空気環境との関係性について統計的な分析を進めるためにはさらなるデータの蓄積が必要である。

(2) 時系列変化に伴う室内空気環境の変化についての分析

本論文の中では室内空気環境の結果について、測定期間中における業務時間内のデータの平均値と基準値への適合割合に着目し分析を行ったが、室内空気環境は時系列変化を伴うものであり、時間による室内空気環境の変化の特徴についての検討も行いたい。

(3) 評価カルテの作成

専門的知識を有しない執務者が執務空間の室内空気環境について十分に理解できるようなデザインの評価カルテを作成することで、本研究において提案する評価手法の目的である在室者への啓発の容易さによる室内空気環境の維持・向上を実現したい。

謝辭

謝辞

本論文は2016年から2年間在籍した高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻の修士課程において、所属する建築環境工学研究室での研究成果をもとに修士論文としてまとめたものです。

事務用途室における室内空気環境の実態調査にあたっては、執務者の方々に大変お世話になりました。記して謝意を表します。

研究室の皆様には研究活動中および論文執筆中に様々なご協力をいただき、また日々の議論を通して多くの知識や示唆を頂きました。特に実測データの整理・分析にあたっては、4年生の笹岡俊介氏の多大な貢献がありました。厚くお礼申し上げます。

そして本研究を進めるにあたり、主指導教員である高知工科大学システム工学群 田島昌樹准教授には多大なるご指導とご助言とを賜りました。本研究を論文としての形に成せるようになりしたのも、常日頃から私を温かく見守ってくださった田島先生のお陰であります。ここに深甚なる感謝の意を表します。

最後に高知工科大学並びに、田島研究室のより一層の発展を祈念して謝辞に代えさせていただきます。

2018年2月 中川克也