

令和5年度厚生労働科学研究費補助金
(健康安全・危機管理対策総合研究事業)
分担研究報告書

2. 室内環境に関する現場調査

研究代表者	金 勲	国立保健医療科学院	上席主任研究官
分担研究者	鍵 直樹	東京工業大学	教授
分担研究者	中野 淳太	法政大学	教授
分担研究者	下ノ菌 慧	国立保健医療科学院	研究員

研究要旨

2年目では10件(北海道2件、関東近郊6件、近畿圏2件)で16室を対象に小型測定器の設置、空気環境6項目測定、化学物質濃度・浮遊微粒子個数濃度の夏期及び冬期測定を実施した。

本章1節：建物の断熱性能や空調設備が異なる10件の建物概要を示した。

本章2節：空気環境管理項目6項目のうち、温度、相対湿度、気流について現場立入測定を実施した。2種の空気環境6項目測定器(ビル管セット)を用いて各室15～30分間測定した。ガラス面積率が大きい建築物においては夏期に28°Cを超過する場合があります、冬期は相対湿度が40%RHを下回る建築物もある。2種の空気環境6項目測定器の差の平均値は温度が0.3K、相対湿度が4%RH、気流が0.02m/sであり、相対湿度は測定機器によって40%RHの適・不適合が分かれる建築物もあったことから、精度管理が重要である。

本章3節：ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値物質を中心に調査した。TVOC暫定目標値(400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を超過する建築物が1件のみあったが、個別物質はそれぞれの指針値以下であった。

本章4節：浮遊粉じん濃度及び浮遊粒子状物質6粒径の計測結果を報告した。浮遊粉じんはいずれの建物も管理基準濃度0.15 mg/m^3 に比べると低濃度であり、計測機器間では平均0.0058 \pm 0.0068 mg/m^3 の差が見られた。6粒径浮遊粒子状物質では、全体的に1.0 μm 以下の小さな粒子では室内濃度(IA)が外気(OA)より低い傾向が見られる一方、5 μm 以上の粒子においては室内(IA)が外気(OA)より高くなる室がより増える傾向を示した。

本章5節：COの外気濃度は約0.1ppm、室内CO濃度も0.1ppm程度と大差なく、室内CO濃度は外気由来によるものと判断された。いずれも管理基準値に比べると低い水準であった。CO₂に関しては外気濃度平均400ppm程度に対して、室内平均は389～989ppm程度と管理基準1000ppmを上回る建物はなかった。機器による測定平均値の差が見られ、COは0.03 \pm 0.05ppm、濃度差の範囲は0～0.02ppm、CO₂は38 \pm 24ppm、濃度差範囲は0～87ppmであった。

本章6節：室内濃度平均は2～3EU/m³、濃度分布は定量限界異界～10EU/m³程度まで幅広い。既往研究の室内濃度は1.0EU/m³以下が多い結果に比べやや高い濃度となった。外気の湿度が高く、雨天の日は外気ET濃度が高い傾向が見られた。

本章7節では、ASHRAE(アメリカ暖房冷凍空調学会)のASHRAE55の最新版(2023年)の文献調査を行い、5件の建築物においてASHRAE55に準拠した温熱環境評価を行った。旧版(2020年版)から「居住者の温熱調整レベル」が追加され、パーソナル空調など個人による温度調節を前提とした空調システムが導入されている場合は2023年版に基づいて評価する必要がある。結果、室中央のインテリアと窓近傍のペリメータを比較したときに、大差が見られない建物がある一方、ペリメータで上下温度差が大きくなり、放射環境の分布が大きくなる建物も見られた。空調設備のほか外皮断熱性能も把握する必要がある。

研究協力者	
原山 和也	アズビル (株)
橋本 翔	ダイダン (株)

2-1. 建物概要

A. 研究目的

本研究では、10 件の建築物を対象に小型測定器による二酸化炭素（以降、CO₂）濃度、温湿度、粒径 2.5μm 以下の微小微粒子状物質（以降、PM_{2.5}）の測定ならびに建築物衛生法で定められる立入測定を実施する。温度は外皮断熱仕様、相対湿度は加湿量、CO₂濃度は換気風量、PM_{2.5}濃度はフィルター性能に大きく影響されることから、本節では 10 件の建物概要を整理する。

B. 研究方法

建物の各種データは担当者へのヒアリング若しくは建築図面から収集した。収集した項目は建物概要として立地・竣工年月・延床面積・階数・軒高・構造、室概要としてフロア・室面積・天井高・室容積・床材を調査した。外皮断熱仕様は外壁・屋根・1 階床・サッシ別に種類と厚さを調査した。空気調和設備は空調方式・空調吹出位置・空調能力・空調風量・台数・フィルター性能・加湿方式・加湿量・換気風量を調査した。

C. 研究結果

建物概要の調査結果を表 2-1-1 と表 2-1-2 に示す。立地は北海道 2 件、関東近郊 6 件、近畿圏 2 件の計 10 件であり、1 件あたり最大で 2 フロアの測定を行った。竣工年月は最も古い建物が I であり、最も新しい建物が C であった。A ビルが 1551m²、C ビルが 1113m²、I ビルが 1368m² であり特定建築物には該当しない。その他の建物は延床面積 3000m² 以上であり、特定建築物に該当する。測定対象室の床面積は最小が 92.9m² (B-1)、最大が 1555m² (E) であり、E・F は比較的大平面のプランとなっている。関東近郊の外皮断熱仕様は外壁に 15mm 程度の断熱材が施工されているが、北海道は外壁に 100mm の断熱材が施工されるなど高い外皮性能を有している。特に C は ZEB (net Zero Energy Building) を達成している建物である。

なお、サッシには低放射ガラスを採用している建物が多い。空調設備は一部パッケージエアコンが採用されているが、いずれの建物でも中央管理室から発停・制御を行う方式であった。また、D・F にはペリメータ部の熱処理のためにファンコイルユニット方式が併用されていた。空調吹出し位置は A・C・F・G-1 が床、B・D・E・G-2・H・I・J が天井であった。

D. まとめ

本節では、測定対象とした 10 件の建物の概要を示した。本研究では、10 件を対象に小型測定器による CO₂濃度・温湿度・PM_{2.5}濃度の測定、建築物衛生法に準じた空気環境測定、放射熱環境測定を行う。また、BEMS データの収集や特定建築物に該当する D・E・F・G・H では、建築物衛生法に係る定期検査結果のデータを収集し、これらの比較検証により、小型測定器や BEMS データが建築物衛生管理に利用できる条件を明らかにする予定である。

なお、表 2-1-1 と表 2-1-2 の建物記号は以降の章・節で共通の記号とする。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

表 2-1-1 建物概要 1

建物記号		A-1	A-2	B-1	B-2	C	D-1	D-2	E	F
建物概要	立地	埼玉県三芳町		北海道旭川市		北海道札幌市	埼玉県和光市		神奈川県藤沢市	神奈川県藤沢市
	竣工年/月	1992 / 03		2002 / 04		2021 / 06	2002 / 04		2006 / 11	
	延床面積(m ²)	1 551.0		8 356.0		1 113.2	15 978.7		17 863.5	9 132.1
	階数(地上/地下)	3 / 0		4 / 1		2 / 0	8 / 1		7 / 0	5 / 0
	軒高(m)	12.08				11.86	33.05		32.3	21.6
	構造	RC		S+RC		RC	SRC	RC	S一部RC	
室概要	フロア	2	3	1	4	2	1	4	2	2
	室面積(m ²)	354.0	354.0	92.9	164.8	259.2	97.2	104.4	1555.2	1305.0
	天井高(m)	2.7	2.7	3.0	2.8	4.35	2.7	2.6	2.8	2.8
	室容積(m ³)	955.9	955.9	278.6	461.4		262.4	271.4	4 370.1	3 654.0
	床材	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)	OA(コンクリート下地)
外皮断熱仕様	外壁	15mm(種別不明)		現場発泡ウレタン 100mm		ビーズ法ポリスチレンフォーム保温板特号 100mm			吹付硬質ウレタンフォーム 15mm	
	屋根	硬質ウレタンフォーム 25mm		押出法ポリスチレンフォーム 3種 150mm		押出法ポリスチレンフォーム保温板 3種 100mm			硬質ウレタンフォーム保温板 2種 2号 30mm	
	1階床	30mm(種別不明)				押出法ポリスチレンフォーム保温板 3種 100mm			押出法ポリスチレンフォーム保温板 3種 b	
	サッシ	熱線吸収フロートガラス		Low-E 複層ガラス		Low-E 二層複層ガラス (4+16+4) ※空気層不明			Low-E 二層複層ガラス (6+A6+6)	南: Low-E 二層複層ガラス (6+A12+6.8) 北: 熱線反射ガラス
空調設備	空調方式	外気処理エアコン+水熱源パッケージエアコン (中央管理)		中央式放射冷温水パネル+個別パッケージエアコン (中央管理+個別管理)		全面床染み出し空調+床放射空調による置換空調(中央管理)	AHU (CAV) + FCU(中央管理)		AHU (VAV)	AHU (VAV) + FCU
	空調吹出位置	床		天井		床	天井		天井	床
	空調能力(kW)	冷房: 11.2 暖房: 12.5		冷房: 42 暖房: 466×2		冷房: 27 暖房: 22			冷房: 329 暖房: 268	冷房計: 1407 暖房計: 1144
	空調風量(m ³ /h)	1 920		-		4 000				
	台数	各 2	各 2	PAC: 2	PAC: 2	1	FCU: 4	FCU: 2	3	
	フィルタ(外調)	比色法 65%				質量法 80%				
	フィルタ(空調)	ロングライフ		-		比色法 65%			比色法 90% 質量法 82	計数法 87% 質量法 38%
	加湿方式	蒸発式		なし		気化式			水気化式	水気化式
	加湿量(kg/h)	2.9		なし		2.4×3				
換気風量(m ³ /h)	500×2		パッシブ換気 (冬期) 2 000 (冬期以外)		960					

表 2-1-2 建物概要 2

建物記号		G-1	G-2	H-1	H-2	I-1	I-2	J
建物概要	立地	千葉県印西市		東京都千代田区		大阪府吹田市		大阪府摂津市
	竣工年/月	1993 (2019 改修)		2018 / 02		1974 / 02		2015 / 11
	延床面積(m ²)	39 150.9		9 810.16		1 368.2		47 912
	階数(地上/地下)	4 / 1		13 / 1		4 / 0		6 / 1
	軒高(m)	18						39.9
	構造	RC		地上 S, 地下 SRC				S 一部 SRC
室概要	フロア	1	3	4	6	2	2	5
	室面積(m ²)	1 195.4	491.9	507.9	211.2	計 189.0		1 199.0
	天井高(m)	2.6	2.6	2.8	2.8			3.5
	室容積(m ³)	3 108.0	1 278.9	1 422.1	591.4			4 196.5
	床材	タイル カーペット	タイル カーペット	OA床 50mm, スラブ 165mm	OA床 50mm, スラブ 165mm			OA床コンク リート下地
外皮断熱仕様	外壁	押出法ポリスチレンフォーム 断熱材 25mm		現場発泡ウレタン 20mm				スチレン発砲板 25mm
	屋根	押出法ポリスチレンフォーム 断熱材 25mm		硬質ウレタン保温材 20mm				
	1階床	フェノールフォーム断熱材 20mm						
	サッシ	PWG ガラス(10+A8+10)		Low-E 二層複層ガラス (8+A12+8)				Low-E 複層 ガラス(Ar)
空調調和設備	空調方式	AHU (CAV)	放射冷温水 パネル + チルドビーム + FCU	AHU (CAV, VAV)				空冷マルチ エアコン + ヒートポンプ式 デンカント 外気処理方式
	空調吹出位置	床	天井	天井		天井		天井
	空調能力(kW)	冷房: 191.2 暖房: 125.4	冷房: 64.3 暖房: 100.3	冷房: 計 92.8 暖房: 計 64.3	冷房: 37.5 暖房: 27.4			PZ: 6+7 IZ: 12+13
	空調風量(m ³ /h)	47 340	11 200	12 600	4 700			
	台数	6	冷放射パネル 184 枚 + チルドビーム 28 台 + FCU5 台	5	2			
	フィルタ(外調)	比色法 65~90		-				標準
	フィルタ(空調)	質量法 20		NBS65% + AFI80%				標準
	加湿方式	気化式		自然蒸発式				DESICA
	加湿量(kg/h)	20	15.2	31.0	14.0			9.44×6
	換気風量(m ³ /h)	4 660	2 000	2 250	1 000			1000×6

2-2. 温度、相対湿度、気流

A. 研究目的

建築物衛生法では、延床面積が 3000m² 以上の特定建築物において、空気調和設備・機械換気設備を設けている場合の空気環境の基準が定められている。空気調和設備を設けている場合の空気環境の基準は浮遊粉じんの量が 0.15mg/m³ 以下、一酸化炭素（以降、CO）の含有率が 6ppm 以下、二酸化炭素（以降、CO₂）の含有率が 1000ppm 以下、温度が 18°C 以上 28°C 以下、相対湿度が 40%以上 70%以下、気流が 0.5m/s 以下と定められており、2 か月以内ごとに 1 回の測定が義務付けられている。

本研究では、小型測定器や BEMS 等による自動測定によるデータの精度を検証することを主目的としているが、はじめに、その精度検証のベンチマークとして建築物衛生法に係る測定方法による測定を行った。本節では、10 件で測定した温度、相対湿度、気流速度の結果を報告する。

B. 研究方法

測定機器概要を表 2-2-1 に示す。測定には柴田科学株式会社製の室内環境測定セット IES-5000 と日本カノマックス株式会社製のオートビル III Model 2100 を用いた。測定原理はいずれも同一の方式である。また、温度・CO₂（at 1000ppm）・浮遊粉じんの測定精度はいずれも同等であるが、CO（at 6ppm）の測定精度は IES-5000 の方が高く、相対湿度・気流の測定精度は Model 2100 の方が高い。

測定日時を表 2-2-2 と表 2-2-3 に示す。測定は A・B・C ビルが 2023 年 8 月、D・E・F ビルが 2023 年 8 月と 2024 年 2 月、G ビルが 2023 年 8 月と 2024 年 2 月、H ビルが 2023 年 9 月と 2024 年 2 月、I・J ビルが 2024 年 3 月に実施した。各建物の平面概要図と測定点を図 2-2-1～図 2-2-15 に示す。水色部が測定対象室を示しており、赤プロットが測定点を示している。測定は室内・屋外ともに 15～30 分間程度の測定を行い、内 10 分間の平均値で整理した。

表 2-2-1 測定機器概要

測定機器	室内環境測定セット：IES-5000	オートビルセット III：Model 2100
	(柴田科学株式会社)	(日本カノマックス株式会社)
測定原理	温度	白金抵抗体抵抗式
	相対湿度	高分子薄膜静電容量式
	気流	ブリッジ平衡型定温度差動作方式（熱線方式）
	CO	定電位電解方式
	CO ₂	非分散型赤外線方式
	浮遊粉じん	光散乱方式
測定範囲	温度	-10～60°C
	相対湿度	5～95%
	気流	0.05～2.00m/s
	CO	0～100ppm
	CO ₂	0～10000ppm
	浮遊粉じん	0.000～4.000mg/m ³
測定精度	温度	全域±0.5°C
	相対湿度	±4%RH @25°C
	気流	全域±0.2m/s
	CO	0～10ppm：±2.5ppm 10.1～100ppm：±5ppm
	CO ₂	0～2000ppm：±50ppm 2001～5000ppm：±100ppm 5001～10000ppm：±500ppm
	浮遊粉じん	±10%
		白金測温抵抗体方式
		静電容量式
		熱線方式
		電気化学方式
		非分散型赤外線方式
		光散乱方式
		-20～60°C
		2～98%
		0.05～5.00m/s
		0.1～500 ppm
		0～5000 ppm
		0.001～10.000mg/m ³
		±0.5°C
		2～80%：±2.0% RH 80～98%：±3.0% RH
		0.05～0.99m/s：±0.02m/s 1.00～5.00m/s：指示値の±2%又は0.015m/sのいずれか大きい方
		指示値の±3%又は±3ppmのいずれか大きい方 @20°C
		指示値の±3%又は±50ppmのいずれか大きい方 @20°C
		±(指示値の10%+1)カウント

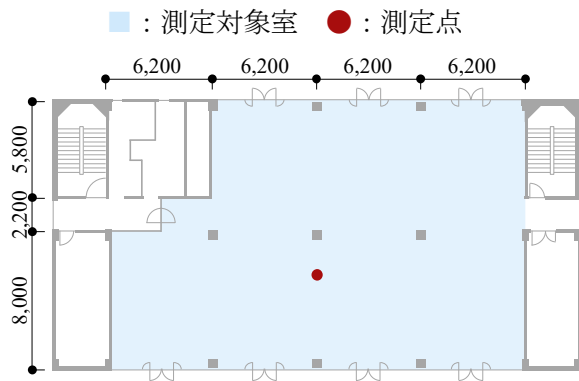


図 2-2-1 Aビル 2階平面概要図

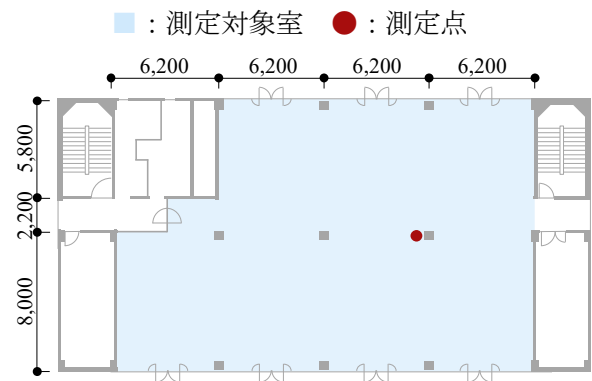


図 2-2-2 Aビル 3階平面概要図

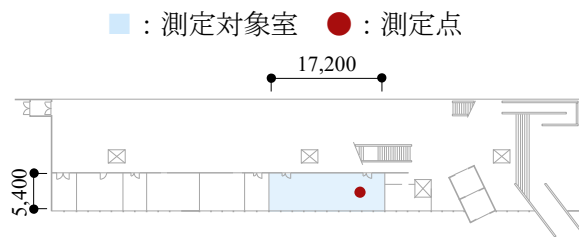


図 2-2-3 Bビル 1階平面概要図

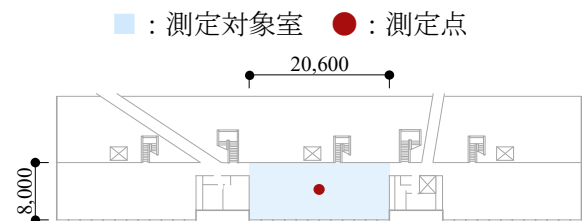


図 2-2-4 Bビル 3階平面概要図

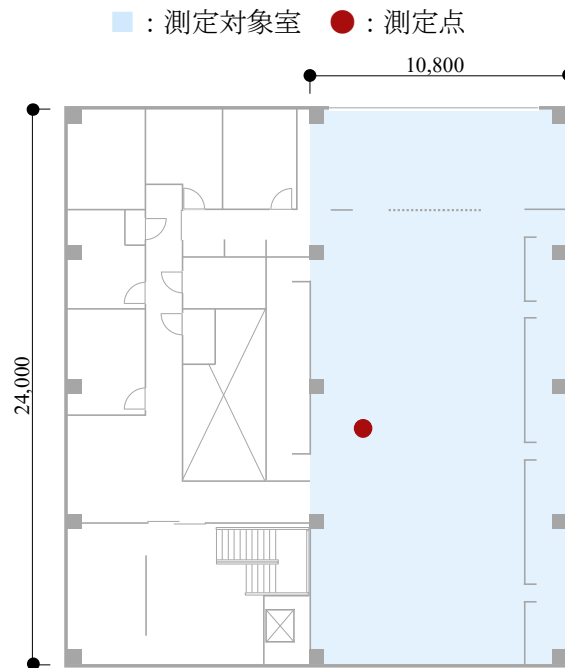


図 2-2-5 Cビル 2階平面概要図

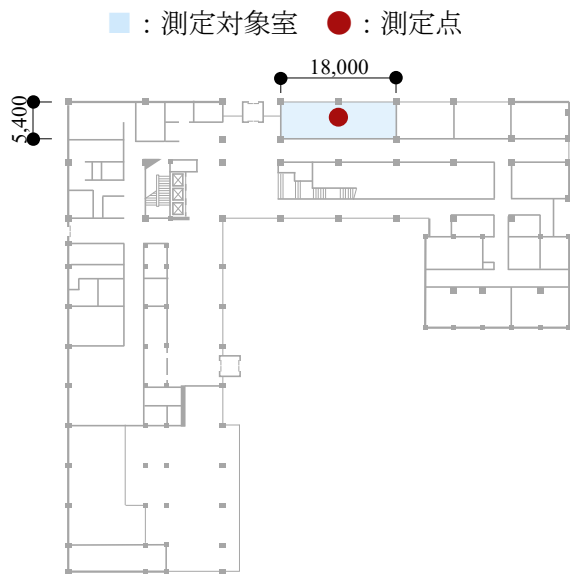


図 2-2-6 D ビル 1 階平面概要図

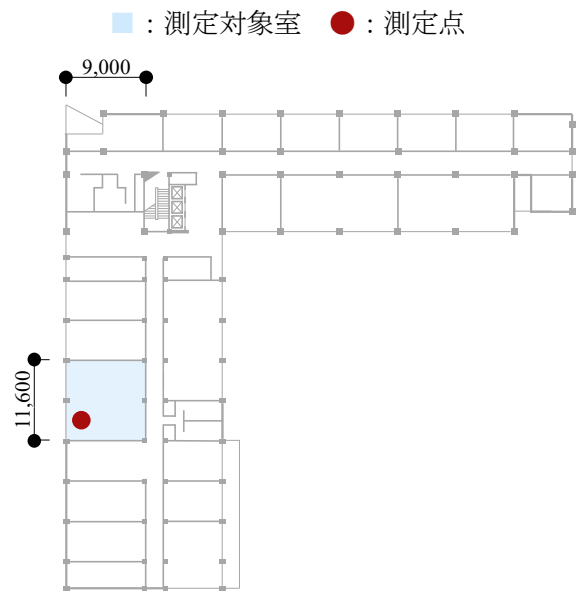


図 2-2-7 D ビル 4 階平面概要図

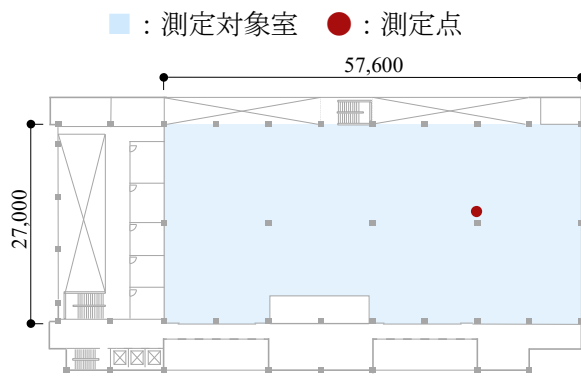


図 2-2-8 E ビル 2 階平面概要図

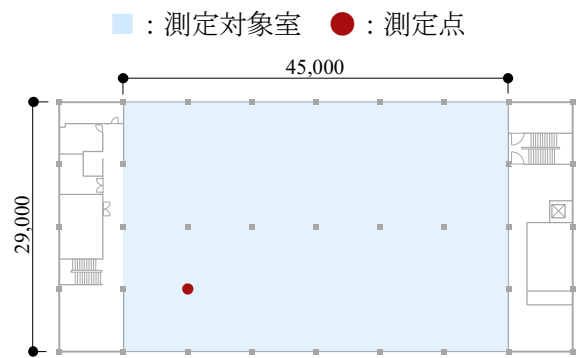


図 2-2-9 F ビル 2 階平面概要図

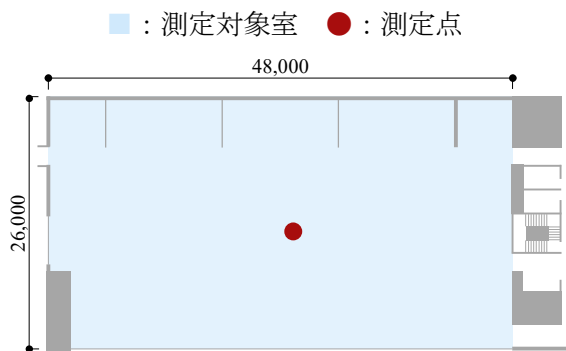


図 2-2-10 G ビル 1 階平面概要図

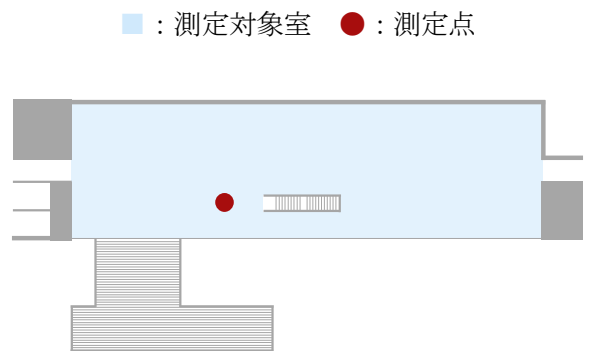


図 2-2-11 G ビル 3 階平面概要図

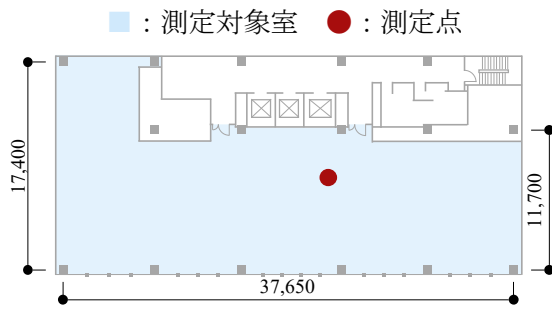


図 2-2-12 Hビル 4階平面概要図

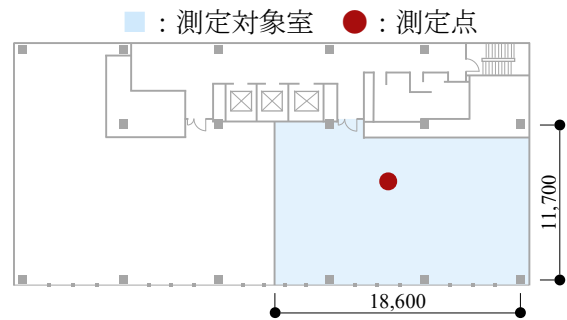


図 2-2-13 Hビル 6階平面概要図

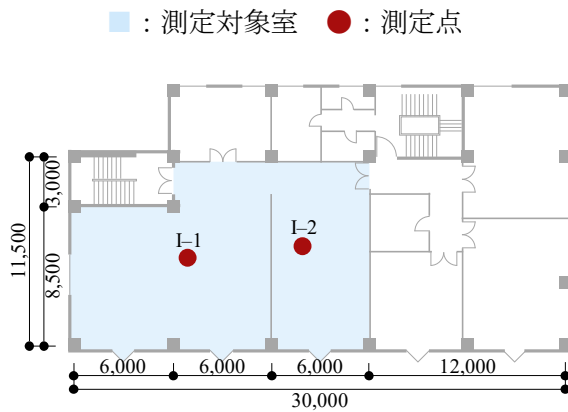


図 2-2-14 Iビル 2階平面概要図

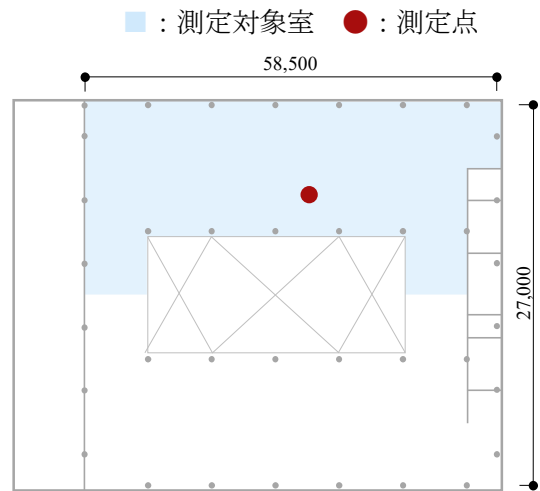


図 2-2-15 Jビル 5階平面概要図

表 2-2-2 測定日時 (2023 年夏期)

建物記号	A-1	A-2	B-1	B-2	C	D-1	D-2	E	F	G-1	G-2	H-1	H-2
測定日	8/31		8/23		8/24	8/31		8/28	8/28	8/28		9/4	
分析開始時刻	14:25	14:50	14:40	15:10	10:10	10:35	11:30	15:40	16:40	10:35	09:55	14:30	15:10
分析終了時刻	14:35	15:00	14:50	15:20	10:20	10:45	11:40	15:50	16:50	10:45	10:05	14:40	15:20

表 2-2-3 測定日時 (2024 年冬期)

建物記号	D-1	D-2	E	F	G-1	G-2	H-1	H-2	I-1	I-2	J
測定日	2/22		2/29	2/29	2/29		2/22		3/5		3/5
分析開始時刻	14:40	15:35	09:50	10:55	16:00	16:25	10:35	9:25	10:25	11:00	13:55
分析終了時刻	14:50	15:45	10:00	11:05	16:10	16:35	10:45	9:35	10:35	11:10	14:05

C. 研究結果

C.1. 温度

夏期における温度の測定結果を図 2-2-16 に示す。1 分間隔の測定値に大きな変動は見られておらず、測定前の前室測定の影響はないと考えられる。B-1 では測定前半 5 分は 28°C 以上となっているが、測定後半 5 分は 28°C 未満となっている。これは、パッケージエアコンの気流の影響と考えられる。また、B-2 と G-2 は外皮ガラス面積が大きく日射熱の影響が大きく 28°C を超えており、特に B-2 の測定日の最高外気温度は 34.9°C (15:00) であったことから室内温度は 32°C 程度まで上昇している。その他の建築物では特定建築物に該当しない A-2 を除いて建築物環境衛生管理基準値を満たしていた。

冬期における温度の測定結果を図 2-2-17 に示す。I-2 では比較的小規模な室であったことからパッケージエアコンの影響により、10 分間の測定内で変動が大きい、その他の建築物では 1 分間隔の測定値に大きな変動は見られておらず、測定前の前室測定の影響はないと考えられる。I-1 と I-2 において 21°C 程度まで低下する時間帯があるものの、すべての建築物で環境衛生管理基準値を満たしていた。

C.2. 相対湿度

夏期における相対湿度の測定結果を図 2-2-18 に示す。相対湿度は温度の影響も受けるが、いずれの測定においても IES-5000 の測定値が Model 2100 の測定値と比較して高い傾向が見られた。この影響により、B-1 と F では Model 2100 の測定値は建築物環境衛生管理基準値を満たしているものの、IES-5000 の測定値は満たしていない状況が発生した。その他の建築物ではいずれの測定機器においても建築物環境衛生管理基準値を満たしていた。

冬期における相対湿度の測定結果を図 2-2-19 に示す。夏期と同様にいずれの測定においても IES-5000 の測定値が Model 2100 の測定値と比較して高い傾向が見られた。この影響により、D-1 と I-1 では Model 2100 の測定値は建築物環境衛生管理基準値を満たしているものの、IES-5000 の測定値は満たしていない状況が発生した。I-2 ではいずれの測定機器においても

40%以下であったが、その他の建築物では建築物環境衛生管理基準値を満たしていた。

C.3. 気流

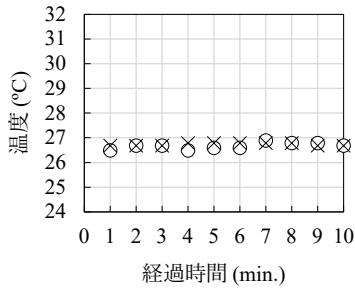
夏期における気流の測定結果を図 2-2-20 に示す。空調方式や空調吹出位置・換気口位置の影響も大きく、B-1・B-2・D-1・D-2・G-2 では 0.1~0.2m/s の時間帯が多いものの、その他の建築物では 0.1m/s 以下の時間帯が多い。

冬期における気流の測定結果を図 2-2-21 に示す。H-1 と J では 0.1~0.2m/s の時間帯が多いものの、その他の建築物では 0.1m/s 以下の時間帯が多い。

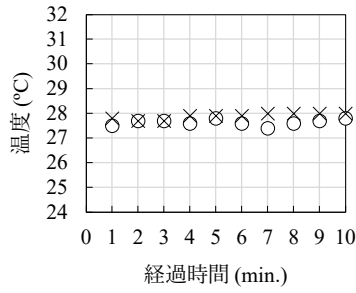
C.4. 10 分間平均値

夏期の 10 分間平均値を図 2-2-22、冬期の 10 分間平均値を図 2-2-23 に示す。建築物衛生管理基準値に着目すると、温度は夏期の B-2、相対湿度は夏期の B-1 と F・冬期の D-1 と I-1 と I-2 が不適となっているが、その他の建築物では適合していた。また、測定機器間の差に着目すると、温度は最大で 0.6K (夏期の B-1 と B-2)、相対湿度は最大で 7%RH (冬期の D-1)、気流は最大で 0.05m/s (冬期の J) の差が生じており、夏期・冬期含めた全平均では温度が 0.3K、相対湿度が 4%RH、気流が 0.02m/s の差であった。

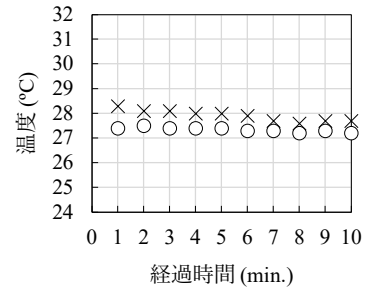
○IES-5000 ×Model 2100



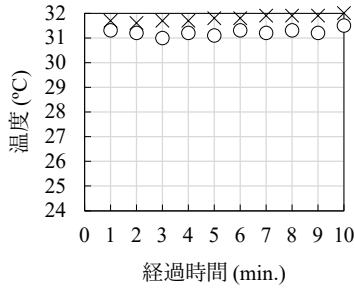
(1) A-1



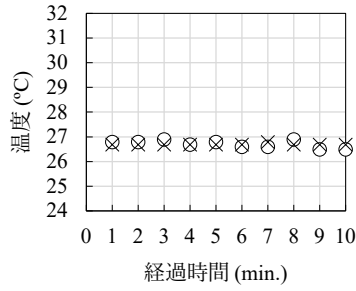
(2) A-2



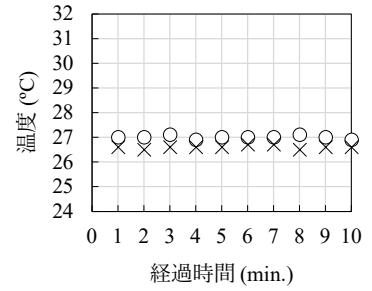
(3) B-1



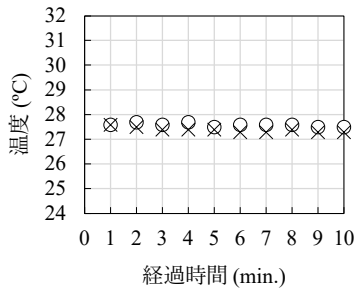
(4) B-2



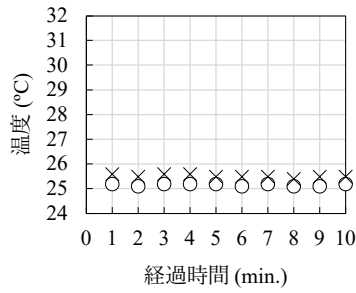
(5) C



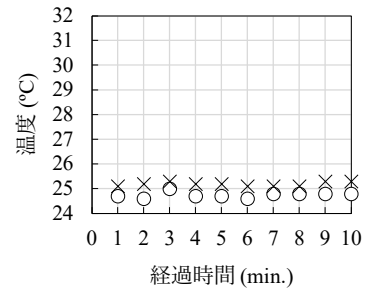
(6) D-1



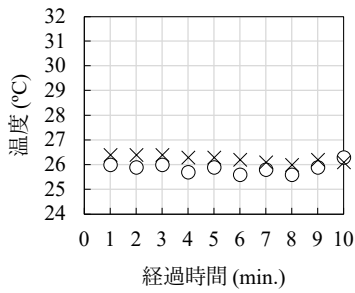
(7) D-2



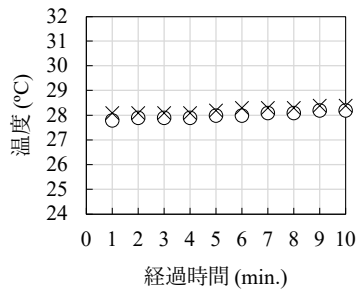
(8) E



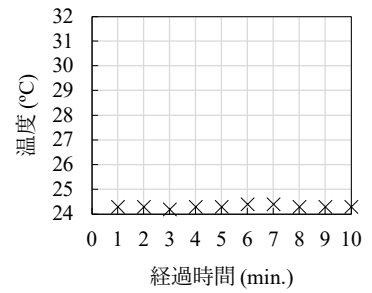
(9) F



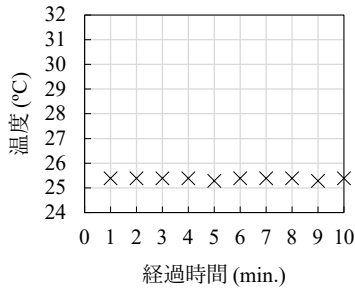
(10) G-1



(11) G-2



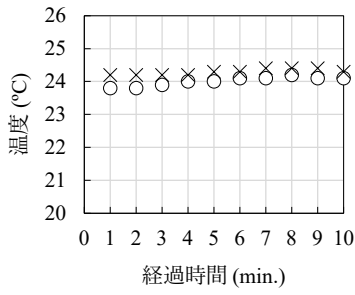
(12) H-1



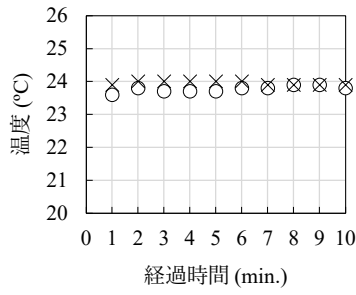
(13) H-2

図 2-2-16 温度 (夏期)

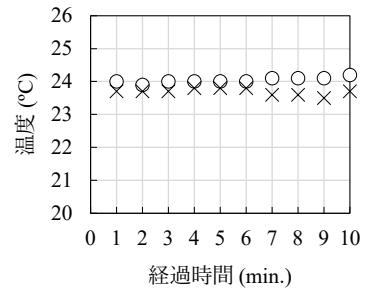
○IES-5000 ×Model 2100



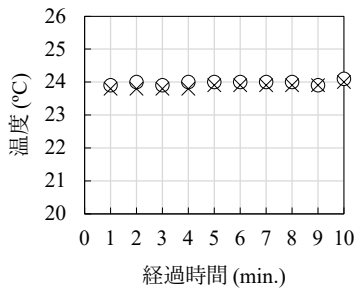
(1) D-1



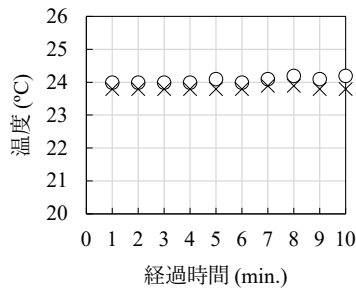
(2) D-2



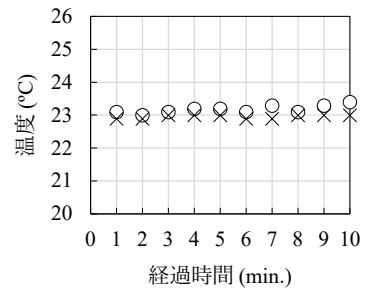
(3) E



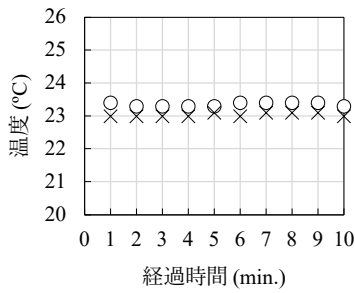
(4) F



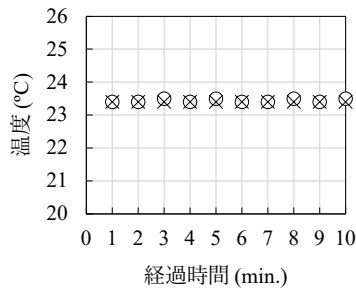
(5) G-1



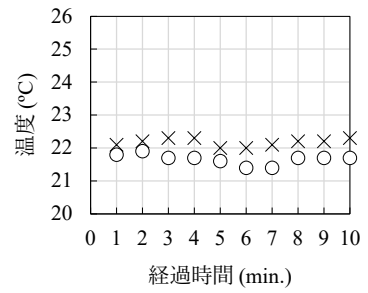
(6) G-2



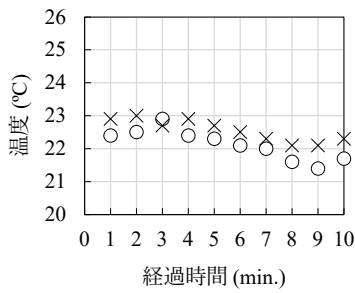
(7) H-1



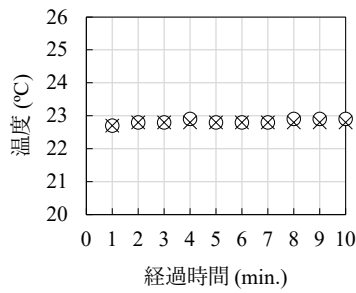
(8) H-2



(9) I-1



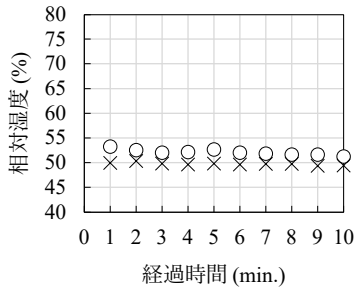
(10) I-2



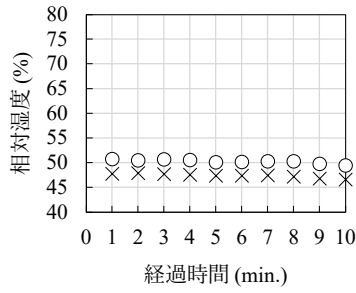
(11) J

図 2-2-17 温度 (冬期)

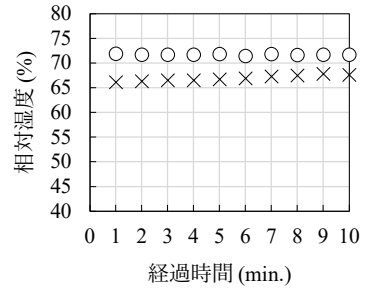
○IES-5000 ×Model 2100



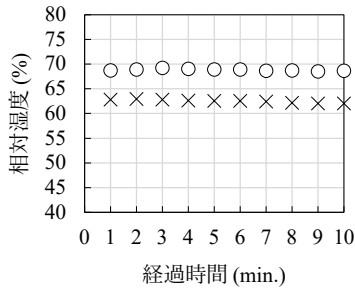
(1) A-1



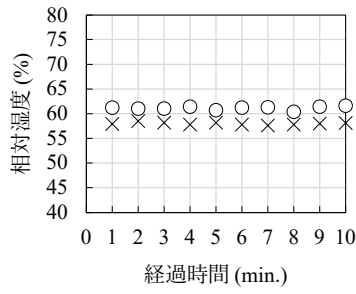
(2) A-2



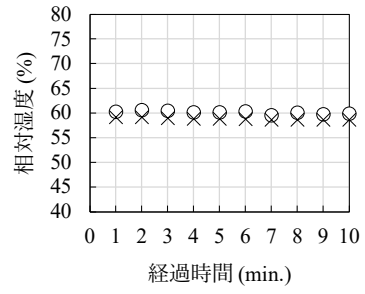
(3) B-1



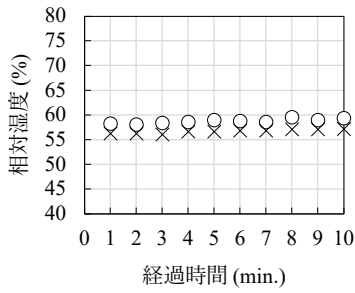
(4) B-2



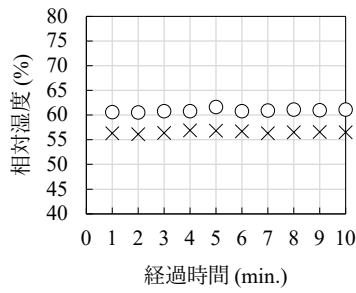
(5) C



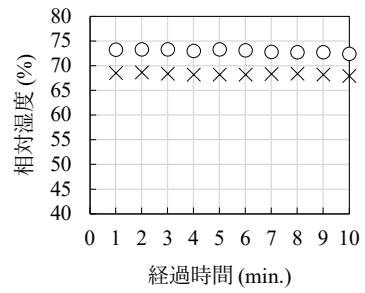
(6) D-1



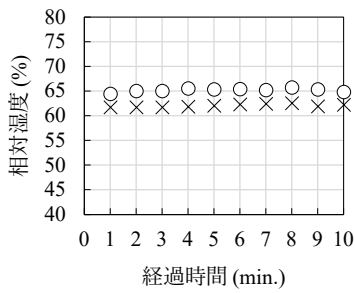
(7) D-2



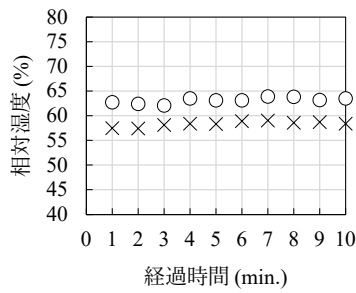
(8) E



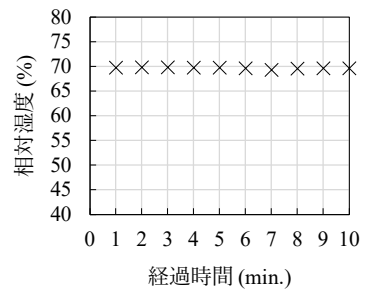
(9) F



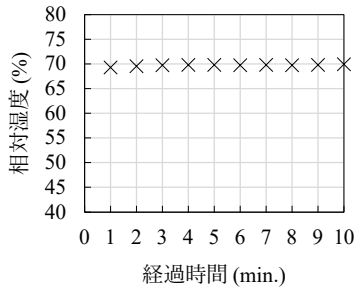
(10) G-1



(11) G-2



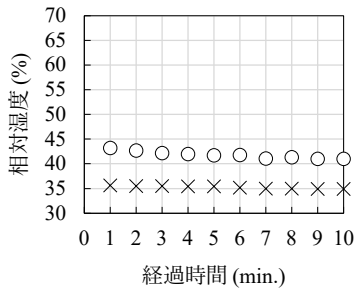
(12) H-1



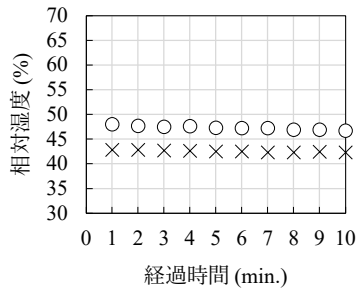
(13) H-2

図 2-2-18 相对湿度 (夏期)

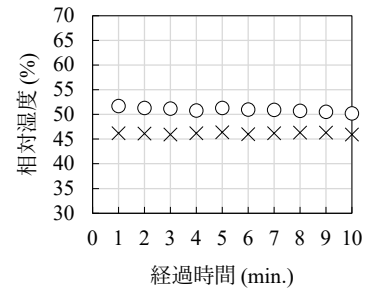
○IES-5000 ×Model 2100



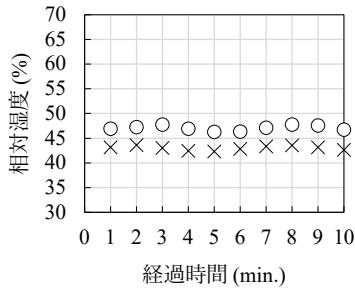
(1) D-1



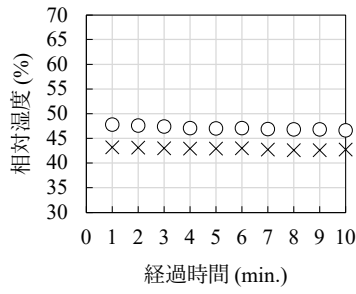
(2) D-2



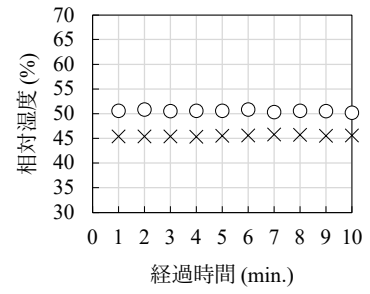
(3) E



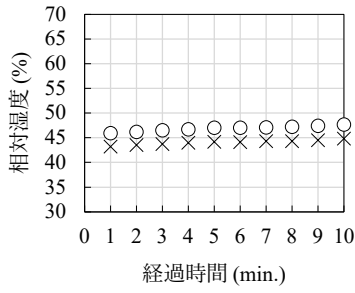
(4) F



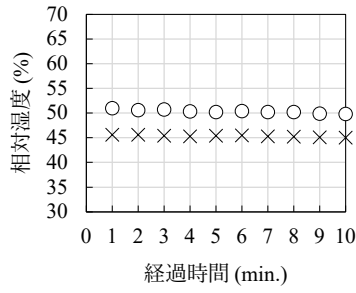
(5) G-1



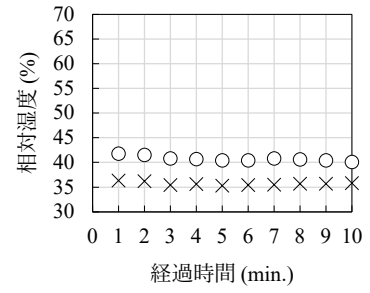
(6) G-2



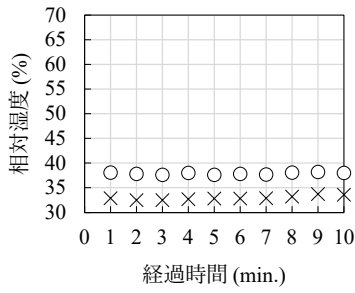
(7) H-1



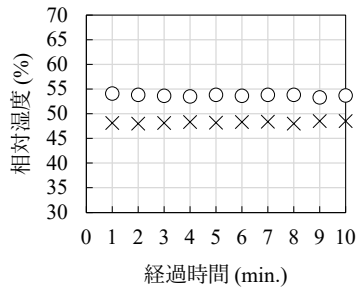
(8) H-2



(9) I-1



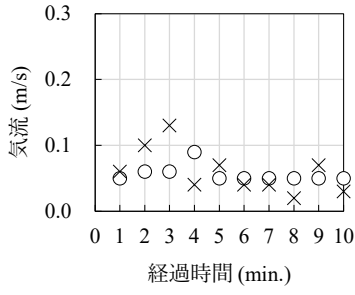
(10) I-2



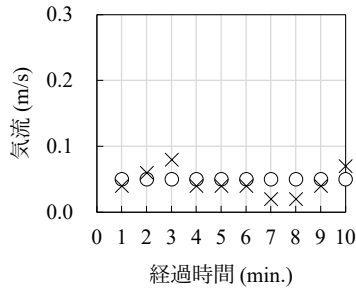
(11) J

図 2-2-19 相対湿度 (冬期)

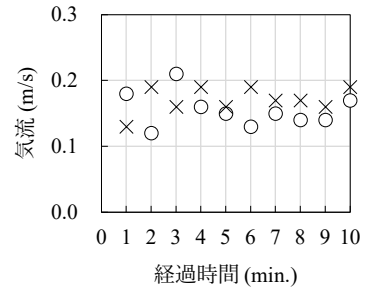
○IES-5000 ×Model 2100



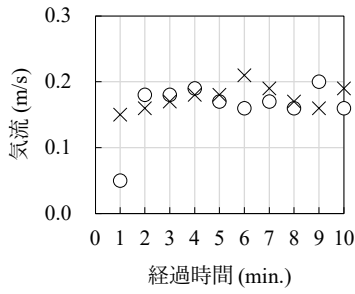
(1) A-1



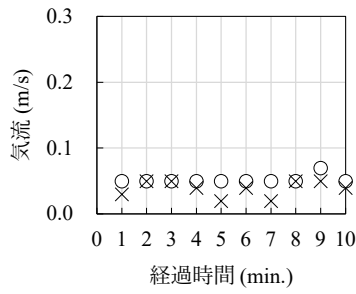
(2) A-2



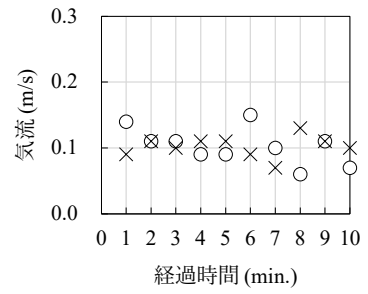
(3) B-1



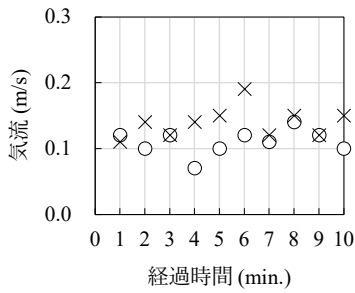
(4) B-2



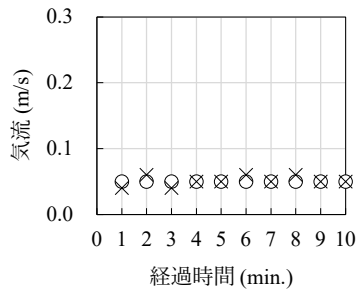
(5) C



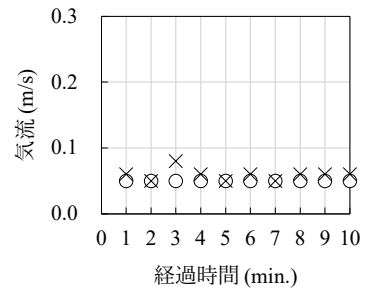
(6) D-1



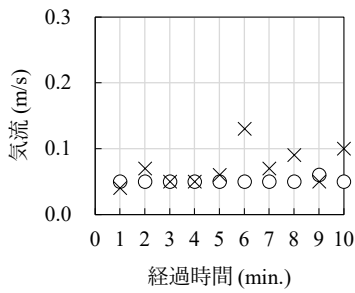
(7) D-2



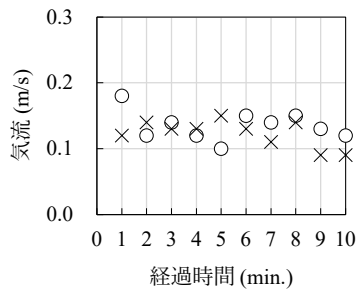
(8) E



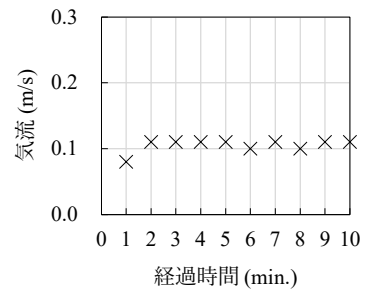
(9) F



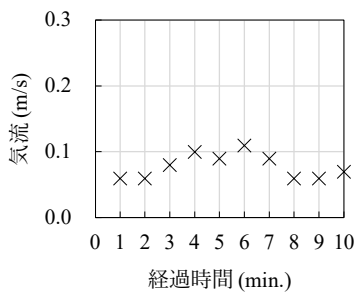
(10) G-1



(11) G-2



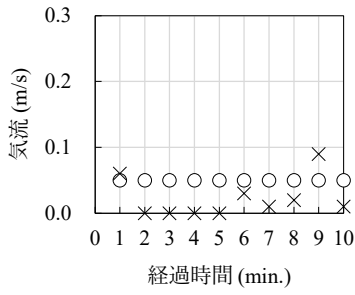
(12) H-1



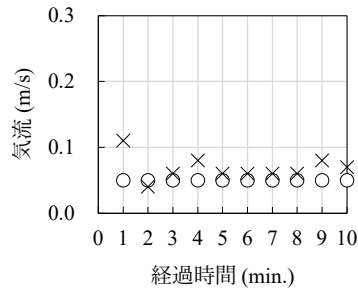
(13) H-2

図 2-2-20 気流 (夏期)

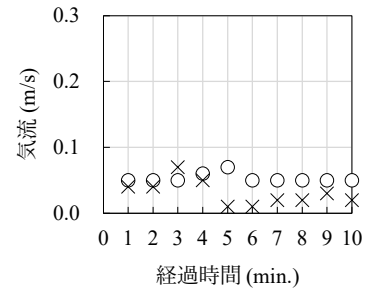
○IES-5000 ×Model 2100



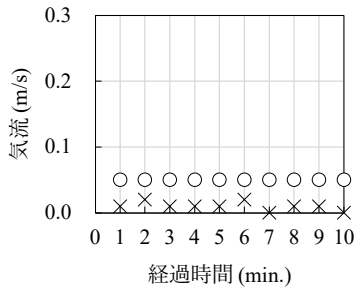
(1) D-1



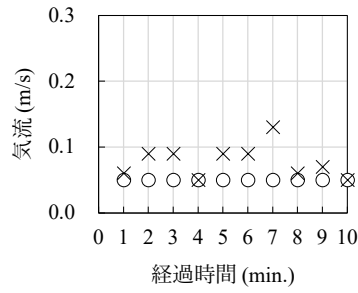
(2) D-2



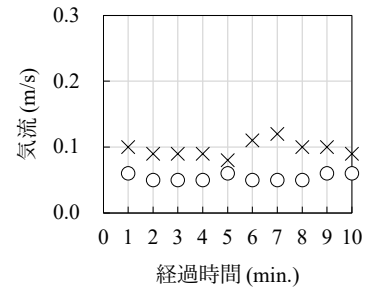
(3) E



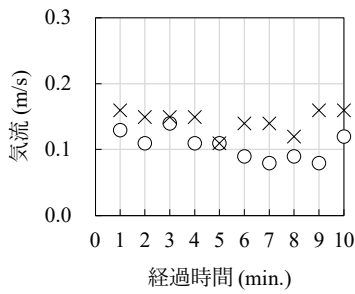
(4) F



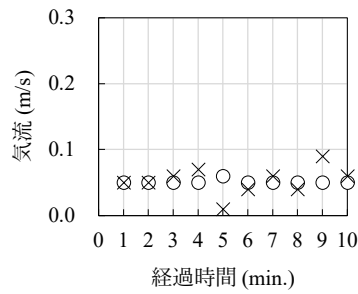
(5) G-1



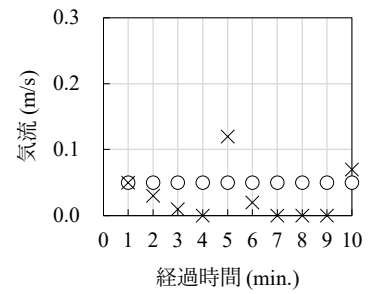
(6) G-2



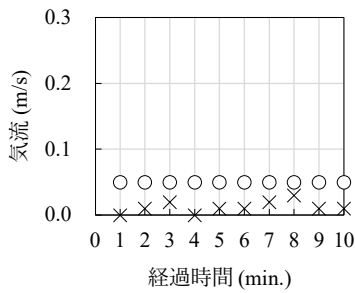
(7) H-1



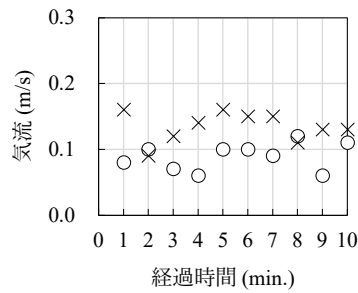
(8) H-2



(9) I-1

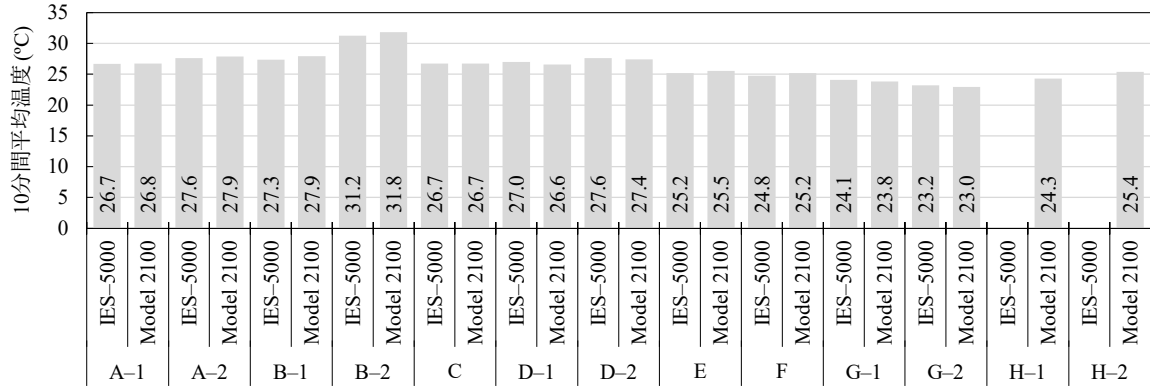


(10) I-2

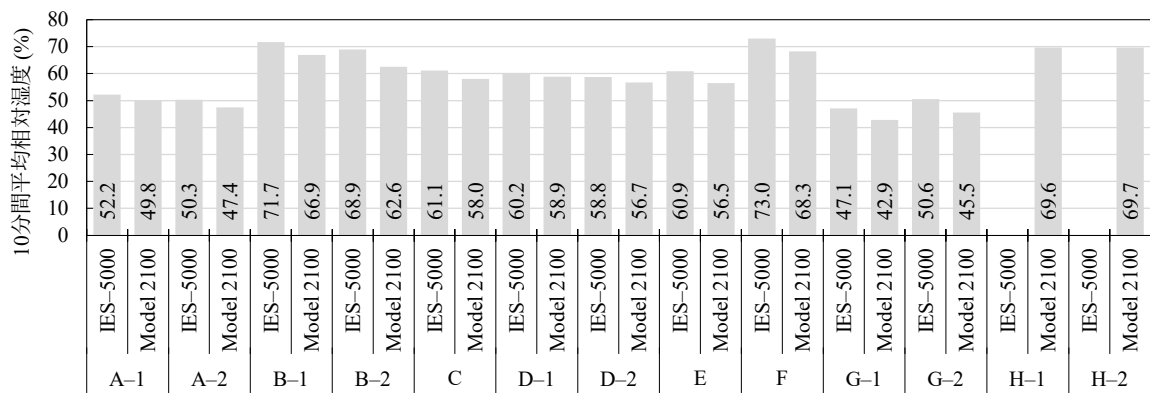


(11) J

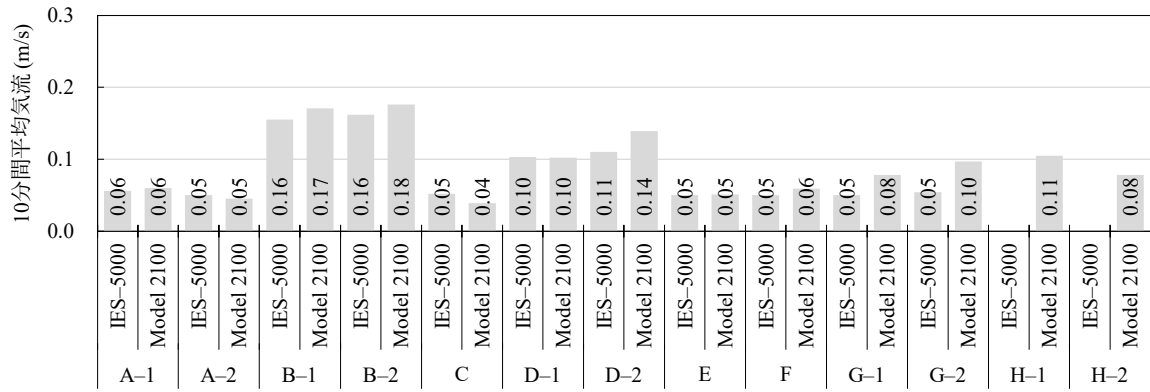
図 2-2-21 気流 (冬期)



(1) 温度

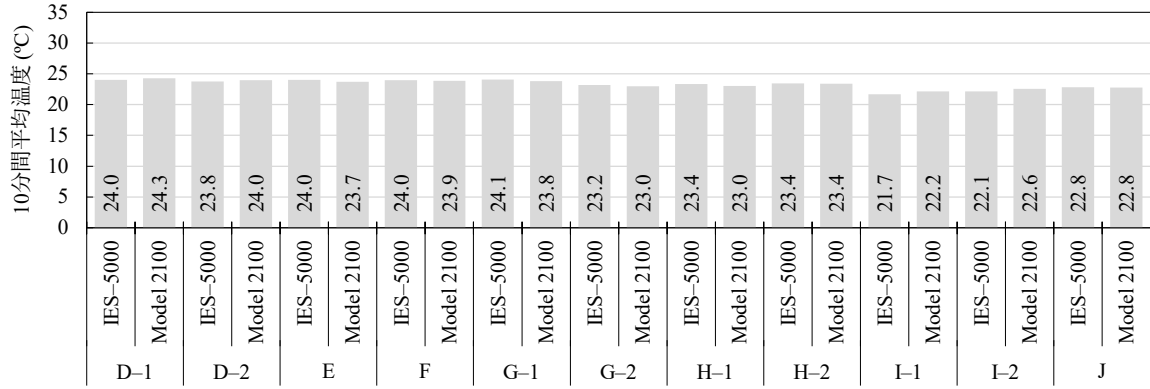


(2) 相对湿度

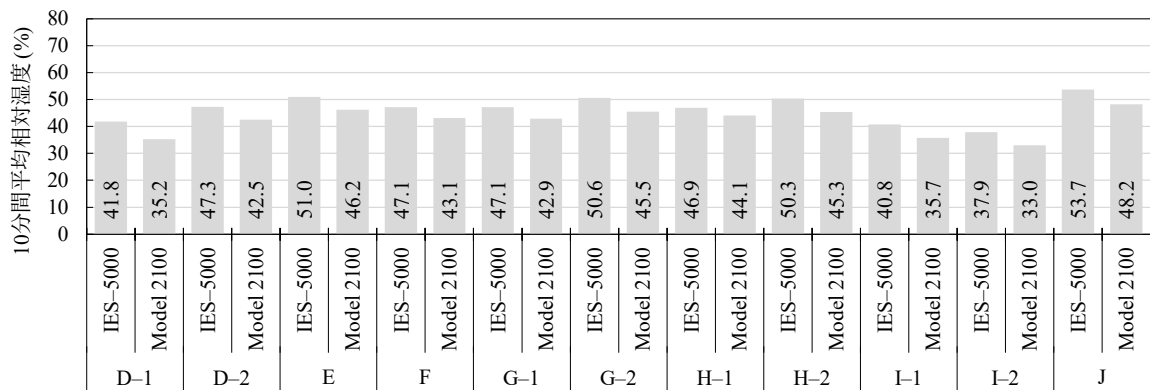


(3) 気流

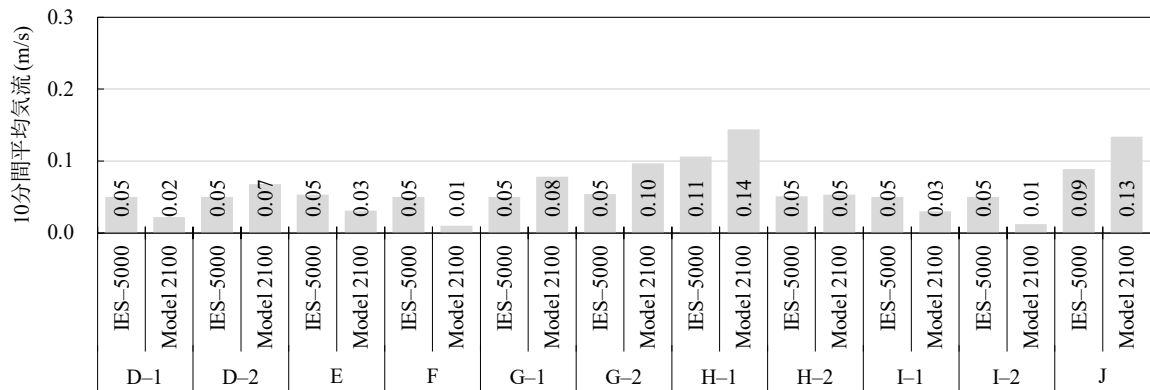
図 2-2-22 夏期測定結果 (10 分間平均値)



(1) 温度



(2) 相对湿度



(3) 気流

図 2-2-23 冬期測定結果 (10 分間平均値)

D. まとめ

本節では、10件の建物を対象として建築物衛生法に係る測定方法による測定を行い、温度、相対湿度、気流速度の結果を示した。多くの建築物で建築物環境衛生管理基準値を満たしていたが、相対湿度は測定機器によって適合・不適合が分かれる建築物があったため、測定機器の精度も重要であると考えられる。なお、測定機器による差の平均値は温度が0.3K、相対湿度が4%RH、気流が0.02m/sの差であった。

E. 参考文献

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

3. 著書

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

2-3 化学物質濃度(VOCs 及びカルボニル化合物)

A. 研究目的

建築物環境衛生管理基準におけるホルムアルデヒドの基準値は、100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。シックハウスに関連して表 2-3-1 のようにホルムアルデヒドを含む 13 物質が厚生労働省により濃度指針値が、TVOC については暫定目標値が定められているが、建築物衛生法においてホルムアルデヒド以外は基準値にはなっていない。特定建築物では、建築物環境衛生管理基準により二酸化炭素濃度を基準に適切な換気が行われていることが確認できることや、室内の化学物質発生源が住宅ほど多くないこと、設計換気量が住宅より多いことから化学物質濃度は低いと考えられている。

その他の物質として、2-エチル-1-ヘキサノール(2E1H)は、塩ビ建材や接着剤、塗料などの建材から発生し、眼、皮膚への刺激、中枢神経系などに影響を与え、健康被害をもたらすことが指摘されている¹⁾。また、2E1H は特異臭があるため、建物内での悪臭の原因にもなり得る。これまで 2E1H は室内では未規制であったが、多くの建物で検出されるようになり、中には高濃度で検出される室内も存在することから、厚生労働省は 2017 年 4 月に、2E1H を揮発性有機化合物の室内濃度に関する指針値に追加する改定案を示し、指針値を 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と定める予定であった²⁾。しかし、2018 年 12 月の第 23 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会において、対策を講ずるにあたり科学的知見のさらなる収集が必要であり、また技術的観点から実効性に疑義のある値が提案されている可能性があるとの意見や、国際動向も踏まえて、指針値案は見直されることになった³⁾。さらに、2024 年 2 月 22 日の第 26 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会において、初期リスク評価を行った結果、国内における実態調査により測定された室内空気中の 2-エチル-1-ヘキサノール濃度が維持される限りは、人健康影響(一般毒性、生殖発生毒性、発がん性)に関するリスクは高くないと考えられる、としている⁴⁾。しかし、この検討会で参照している実態調査は、住宅となっており、建築物につい

ては別途検討する必要があると考えられる。なおこの検討会では、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールモノイソブチレート(テキサノール)、2,2,4-トリメチル-1,3-ペンタンジオールジイソブチレート(TXIB)においても同様の初期リスク評価を行っており、現在の住宅の室内濃度が維持されれば、人健康影響に関するリスクは高くはないとしている。

ここでは、事務所建築物における化学物質濃度の現状を把握するため、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

表 2-3-1 化学物質の濃度指針値

揮発性有機化合物	室内濃度指針値
ホルムアルデヒド	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.08 ppm)
アセトアルデヒド	48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.03 ppm)
トルエン	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppm)
キシレン	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
エチルベンゼン	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.88 ppm)
スチレン	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.05 ppm)
パラジクロロベンゼン	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
テトラデカン	330 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.04 ppm)
クロルピリホス	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.07 ppb) 小児の場合 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.007 ppb)
フェノブカルブ	33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.8 ppb)
ダイアジノン	0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.02 ppb)
フタル酸ジ-n-ブチル	17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.5 ppb)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6.3 ppb)
TVOC (暫定目標値)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

B. 研究方法

対象とした建築物は表 2-1-1 と表 2-1-2 に示した建築物 A から J の北海道、埼玉県、東京都、神奈川県、大阪府にある事務所建築物である。建築によっては同じ建築物内で異なるフロアの居室 2 箇所を測定対象とし、同じ部屋で複数箇所において測定対象としているところもある。

2023年8月から2024年3月において行った。

建築物衛生法によるホルムアルデヒドの測定については、2・4-ジニトロフェニルヒドラジン (DNPH) 捕集-高速液体クロマトグラフ法により測定する機器、4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1・2・4-トリアゾール(AHMT)法により測定する機器又は厚生労働大臣が別に指定する測定器とされている。

厚生労働省による通知「室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法について」によれば、ホルムアルデヒド濃度の指針値制定にあたっては、一般的な人達における明らかな刺激感覚を防ぐことを指標として、30分平均値で0.1 mg/m³を指針値とすることが適当である、としている。

建築物衛生法においても、ホルムアルデヒド測定のタイミングを、新築、増築、大規模の修繕又は大規模の模様替えを完了し、その使用を開始した時点から直近の6月1日から9月30日までの間に1回と規定している。これは、ホルムアルデヒドの発生が新しい建材から多く発生すること、温度上昇に伴って多く発生することを意識したものである。なお、ホルムアルデヒドの量の測定結果が管理基準を超過した場合は、空気調和設備又は機械換気設備を調整し、外気導入量を増加させるなど、室内空气中におけるホルムアルデヒドの量の低減策に努める必要がある。さらに、翌年の測定期間中に1回、再度、当該測定を実施することが必要となる。

測定時間についての規定はないものの、上述のように30分平均値で0.1 mg/m³を指針値としていることから、30分の平均値が求められると考えられる。厚生労働大臣が別に指定する測定器においても、30分のサンプリング時間での測定値の一致を求めている。ただし、特定建築物などの室内においては、空調条件が定常であれば、室内濃度は定常状態となっているものと考えられる時点でのサンプリングを行うことを考慮することが重要である。

表 2-3-2 に示すように、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなどのカルボニル化合物については、DNPH カートリッジを用いて30 L 捕集 (30min at 1.0L/min) を行い、HPLC により12成分の定量分析を行った。トルエンなど

VOCs については、Tenax-TA 充填捕集管を用いて9 L 捕集 (30min at 300 mL/min) し、GC/MS により45成分の定量を行った。なお、TVOCの算出には、C6 (ヘキサン) からC16 (ヘキサデカン) に検出したピークをトルエン換算して算出した。

表 2-3-2 空气中化学物質の測定概要

測定項目	内容
アルデヒド類	DNPH カートリッジ 30L (at 1.0L/min) 溶媒抽出-HPLC
VOCs	Tenax-TA 9L (at 300 mL/min) 加熱脱着-GC/MS

C. 研究結果および考察

各測定点における化学物質濃度を表 2-3-3 に示す。

アルデヒド類であるホルムアルデヒド、アセトアルデヒドは建築物衛生法の基準値 100 µg/m³ 及び厚生労働省指針値 48 µg/m³ に対し指針値を超過する室はなかった。室内濃度が外気濃度よりやや高くなっているが、普段の室内濃度レベルであり、室内に発生量の高い汚染源は存在しないと考えられる。

VOCs の中からも厚生労働省指針値を超過する物件はなく、TVOC 暫定目標値を上回る物件が1件存在した。

厚生労働省で指針値が定められている13物質中、室内の建材からの発生源としてトルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、テトラデカンが検出されたが、濃度としては低い水準であり、厚生労働省指針値を超えた物質はなかった。また、室内の持ち込みとなる防虫剤から発生するパラジクロロベンゼンについては検出限界以下であった。

TVOC も暫定目標値 400 µg/m³ を超える物件が1件あったが、厚生労働省の指針となっている物質については、それぞれ指針値以下であり、指針値以外の物質の濃度が高いことによった。建築物 C については、2E1H 濃度が比較的高い値で検出された。その他の高濃度の物質として

表 2-3-3 揮発性有機化合物の測定結果

	B (2023/8/23)			C (2023/8/24)			G (2023/8/28)				F (2023/8/28)		
	B-1	B-2	OA	C		OA	G-1 West	G-1 East	G-2	OA	F		OA
				Peri	Inferior						East	West	
Formaldehyde	21.5	12.0	3.7	5.8	11.2	8.5	15.3	15.2	21.5	4.2	11.2	10.2	2.2
Acetaldehyde	11.0	1.0	4.0	13.2	14.2	6.0	13.0	12.5	12.7	6.7	31.8	29.2	4.5
Benzene						0.8							
Toluene	2.0			7.7	7.4	9.1	3.8	3.4	4.3		0.5	0.7	
Ethylbenzene	7.3	2.6		4.9	4.7	2.0	3.7	3.2	4.5		0.8	0.4	
Xylene	7.5	2.5		5.7	4.4	4.2	4.2	3.6	4.4		1.5		
Styrene	5.3	1.2		4.6	3.7	1.3	2.5	1.9	2.5		1.0	0.3	
p-dichlorobenzene													
Tetradecane	1.2			3.5	2.5			0.5	0.8	2.2			
2E1H	8.8	2.3		69.1	57.2		31.7	38.8	30.0		4.9	3.8	
TVOC	104.3	36.2		411.2	357.2	32.4	225.3	148.7	257.4	16.8	43.0	35.8	11.9

	F (2023/8/28)			D (2023/8/31)				A (2023/8/31)		
	F	South	OA	D-1 West	D-1 East	D-2	OA	A-1	A-2	OA
Formaldehyde	6.7	7.7	2.2	12.8	13.2	14.7	2.3	7.2	8.5	2.7
Acetaldehyde	32.7	27.2	4.5	7.5	7.7	6.5	4.2	10.8	9.2	3.8
Benzene										
Toluene	1.9	1.5		1.2	1.2	1.1		1.8	1.7	
Ethylbenzene	0.6	0.9		0.8	0.7	0.5		1.8	2.0	
Xylene	0.8	1.5		1.5	1.3	0.4		1.5	2.2	
Styrene		1.0		0.8	0.8	0.3		0.7	1.3	
p-dichlorobenzene										
Tetradecane	1.4	1.8		8.0	8.1	0.8			0.6	
2E1H	118.4	135.1		10.1	10.7	10.0		72.0	91.7	
TVOC	174.0	195.5	5.8	53.8	58.8	39.5	0.4	104.1	138.1	0.4

	H (2023/9/4)				H (2024/2/22)			D (2024/2/22)		
	H-1	H-1 Center	H-2	OA	H-1	H-2	OA	D-1 West	D-2	OA
Formaldehyde	9.3	9.2	10.7	6.5	3.7	6.3	0.0	5.7	7.3	0.0
Acetaldehyde	8.3	8.0	6.5	7.2	5.3	10.7	3.3	4.2	4.3	3.8
Benzene							0.6			0.5
Toluene	2.6	3.2	2.8	3.6	1.8	1.3	1.4	2.7	2.3	1.9
Ethylbenzene	1.0	1.5	1.5	1.8	0.5	0.4	0.3	1.1	0.8	0.4
Xylene	1.6	3.6	0.9	1.4	0.5	0.3		1.4	0.7	0.3
Styrene	1.1	2.1	0.5	0.6	0.6			1.2		
p-dichlorobenzene										
Tetradecane	1.0	1.0	0.8		0.2			0.5	0.3	
2E1H	4.5	5.3	2.8	1.2	1.0	0.8		2.4	3.5	
TVOC	46.9	52.3	28.0	21.8	14.2	10.1	6.4	25.1	18.7	6.8

	F (2024/2/29)		F (2024/2/29)		G (2024/2/29)			I (2024/3/5)			I (2024/3/5)	
	E	OA	North	OA	C-1 West	G-2	OA	I-1	I-2	OA	I-1	OA
Formaldehyde	9.7	0.0	4.8	0.0	8.2	9.0	0.0	5.2	4.2	0.0	8.0	0.0
Acetaldehyde	8.0	4.3	25.8	4.3	5.7	8.3	4.3	6.2	5.8	4.2	7.0	4.3
Benzene		0.4		0.4			0.3	0.4	0.5			0.8
Toluene	1.5		2.2		1.3	1.2		2.0	2.1		2.4	1.9
Ethylbenzene	0.4		0.5		0.6	0.6		0.4	0.4		0.8	0.7
Xylene	0.3		1.1		0.7	0.6		0.5	0.5		0.6	0.4
Styrene					1.0	0.7					0.9	
p-dichlorobenzene												
Tetradecane			0.3									
2E1H	1.5		25.4		6.4	4.9		1.0	0.8		2.4	
TVOC	11.2	3.6	45.1	3.6	50.5	30.3	0.3	14.8	8.5	2.7	48.2	8.1

注：空欄は検出限界以下

は、アルカン類検出されていたことによるものである。昨年度 TVOC 濃度が高濃度となった建築物 E, F については、400 µg/m³ 以下となっていた。この建築物は同じ敷地内に立地し、昨年度は敷地内で工事が行われており、その汚染物質が室内に侵入したものと考えられる。

2E1H 濃度については、建築物 A, C, F で検出され、特に建築物 F において高濃度で検出された。建材からの 2E1H 発生には、一次発生と二次発生が知られている。一次発生は建材の製造中に含有された 2E1H が発生することを示す。二次発生は、コンクリートなどの下地に施工した塩ビ建材や接着剤に含まれる可塑剤のフタル酸ジエチルヘキシル (DEHP) がコンクリートに含まれるアルカリ水溶液によって加水分解されることで 2E1H を生成し、発生することを示す。タイルカーペットや塩化ビニルがコンクリート下地に直接敷かれている部屋では、2E1H の濃度が高いと報告されており⁵⁾、室内の 2E1H 濃度が高い原因として二次発生を挙げているものが多く、コンクリート下地の含水率に着目した研究が多くなされている。通常の事務所用途の建築物においては、床にタイルカーペットが敷かれており、床の下地はタイル地、コンクリートスラブ、金属製・コンクリート製・プラスチック製 OA フロアの 5 種類に分類することができる。

建築物 A, B, D においては、コンクリート製 OA フロアであることを確認しており、上述のコンクリート下地による二次生成物の可能性が考えられる。F については木質 OA フロアであったため、上述の分類以外の下地の影響についても、検討が必要である。

D. まとめ

事務所建築物における化学物質濃度の現状を把握するため、ホルムアルデヒドを含む厚生労働省の指針値に示されている物質を中心にアクティブ法を用いて実測調査を行った。

結果として、基準値であるホルムアルデヒドおよび化学物質の指針値については、濃度を超過する建物はなかった。TVOC 濃度については、1 件の建築物において暫定目標値を超過し、厚生労働省の指針値は低濃度であるものの、

2E1H 及び芳香族炭化水素類の濃度が高濃度であったことが原因である。今後は夏期の測定とともに、発生源の検討を行う。

E. 参考文献

- 1) 東賢一, 池田耕一, 久留飛克明, 中川雅至, 長谷川あゆみ, 森有紀子, 山田裕巳: 建築に使用される化学物質事典, 株式会社風土社, 2006.5.1
- 2) 厚生労働省 医薬・生活衛生局医薬品審査管理課化学物質安全対策室: 第 21 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会 議事録, 2017.
<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000166151.html> (参照: 2021.1.28)
- 3) 厚生労働省 医薬・生活衛生局医薬品審査管理課化学物質安全対策室(2018): 第 23 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会 議事録,
https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000166151_00002.html (参照: 2021.1.28)
- 4) 厚生労働省 医薬局医薬品審査管理課: 化学物質安全対策室第 26 回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会 議事録,
<https://www.mhlw.go.jp/content/001231839.pdf>, (参照: 2024.5.3)
- 5) 上島通浩, 柴田英治, 酒井潔, 大野浩之, 石原伸哉, 山田哲也, 竹内康浩, 那須民江: 2-エチル-1-ヘキサノールによる室内空気汚染 室内濃度, 発生源, 自覚症状について, 日本公衛誌 52(12), pp. 1021-1031, 2005

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

2-4 浮遊粉じん及び浮遊微粒状物質

A. 研究目的

建築物衛生法における空気中粒子濃度に関する室内基準は、浮遊粉じん濃度 0.15 mg/m^3 以下と設定されている。ここでの浮遊粉じんは粒径 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子となるが粉じん計のカットオフ径に関する定義の違いから PM10 とは少し異なる。

また、環境省が定める大気環境基準は PM2.5 の1年平均が $15 \mu\text{g/m}^3$ 以下、1日平均が $35 \mu\text{g/m}^3$ と設定されているが、室内基準は存在しない。

本研究では、特定建築物における室内浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter) 濃度データの蓄積と実態把握を行い、その特徴について検討する。

B. 研究方法

浮遊粉じん測定にはビル管セットと呼ばれる建築物衛生管理基準 6 項目を同時測定できる IES-5000 (SIBATA 社製) 及び Model 2100 (Kanomax 社製) を用いた。

粒径別の浮遊粒子濃度は Particle Counter (Kanomax Model 3889) を用いて、6 粒径 (0.3 、 0.5 、 1.0 、 3.0 、 5.0 、 $10 \mu\text{m}$) に対する個数濃度を計測した。

浮遊粉じん、粒径別浮遊粒子ともに1分間の計測を15分間～30分間連続で行い、濃度が安定していると考えられる計測開始4分後から終了2分前までのデータを平均して用いた。

C. 測定結果

図 2-4-1 に浮遊粉じん濃度を、図 2-4-2 に室内浮遊粒子の個数濃度積算値を、図 2-4-3 及び図 2-4-4 に代表粒径の個数濃度分布を示す。また、図 2-4-5 に粒径別 IO 比 (室内濃度/外気濃度) の結果を示す。

C.1. 浮遊粉じん濃度

浮遊粉じん濃度 (図 2-4-1) は小数第三位までが最大有効数字であるが、ここでは差を比較するために小数第4位までを記した。

浮遊粉じんの夏期における外気濃度平均は IES-5000 (SIBATA 社) が $0.0166 \pm 0.0077 \text{ mg/m}^3$ 、Model 2100 (Kanomax 社) が $0.0090 \pm 0.0085 \text{ mg/m}^3$ であり、室内濃度平均はそれぞれ

$0.0034 \pm 0.0043 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.0020 \pm 0.0023 \text{ mg/m}^3$ であった。また、冬期における外気濃度平均は IES-5000 (SIBATA 社) が $0.0143 \pm 0.0093 \text{ mg/m}^3$ 、Model 2100 (Kanomax 社) が $0.0050 \pm 0.0042 \text{ mg/m}^3$ であり、室内濃度平均はそれぞれ $0.0118 \pm 0.0195 \text{ mg/m}^3$ 、 $0.0050 \pm 0.0098 \text{ mg/m}^3$ であった。

いずれも管理基準濃度 0.15 mg/m^3 に比べると低濃度であり、管理基準を上回る建物はなかった。

両機器間の測定値平均の差は $0.0058 \pm 0.0068 \text{ mg/m}^3$ であった。IES-5000 が Model-2100 より若干高い値を示しているが、IES-5000 は低濃度域で敏感に数値を表すが Model 2100 は低濃度では測定値が 0 と表示されることが原因である。

C.2. 浮遊粒子状物質濃度

個数濃度の積算値 (図 2-4-2) として、空調や換気設備による部分的な低減効果があるため、建物 B 及び建物 I を除けば全体的には外気 (OA) が室内濃度 (IA) より高い傾向を示す。

一方で、夏期の B_1F、B_3F、D_1F 及び冬期の I_2F Office は室内濃度と外気濃度がほぼ同じかやや高く、特に $1.0 \mu\text{m}$ 以下の細かい粒子濃度が高いことから OA 機器や冬期の個別式加湿器など発生源があると考えられる。

殆どの場合、室内濃度は外気濃度よりは低くなっているが、外気濃度に追従して増減しており、外気の影響を受けている。

個数濃度は粒径が小さな粒子の濃度が高く、大きな粒径の粒子濃度は低い、典型的な濃度分布を示している。

C.3. 浮遊粒子状物質の IO 比

IO 比としては、小さな粒径の粒子においては IO 比 < 1 が多く、外気より室内で低く維持されている。一方、 $5 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ の大きな粒子では IO 比 > 1 の室内が増加している。

室内における大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多いと濃度が高くなる。

粒子の除去性能は中性能フィルターが導入されている中央式がよりよいとされている^{2),3)}。

特に夏期 B_1F は全ての粒径において IO 比 > 1 と他の建物とは異なる傾向を示している。同じ建物の 3F ではそのような傾向は見えないが小さな粒径では IO 比が 1 に近い値を示してい

ることから、フィルターなどによる粒子状物質の浄化は行われておらず、外気の影響と室内発生分共に室内濃度に影響していると考えられる。冬期の I_2F Office でも同様な傾向が見られるが、在室密度が高いことと建築年数が古く換気設備が古いことが原因と考えられる。

なし

3. 著書

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

D. 結論

浮遊粉じん濃度は、いずれも管理基準濃度 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$ に比べると低濃度であった。測定機器間では平均 $0.0058 \pm 0.0068 \text{ mg}/\text{m}^3$ の差が見られた。

6 粒径を対象にした浮遊粒子状物質測定では、全体的に $1.0\mu\text{m}$ 以下の小さな粒子では室内濃度 (IA) が外気 (OA) より低い傾向が見られる一方、 $5\mu\text{m}$ 以上の粒子においては室内 (IA) が外気 (OA) より高くなる室がより増える。細かい粒子は外気由来であり空調経路で一部除去されるため室内濃度は外気より低くなることが一般的な傾向である一方、大きな粒子は人工的に生成されることが多く、在室者密度が高く室内での活動が多くなると濃度が高くなることがある。

但し、一部室内における $1.0\mu\text{m}$ 以下の細かい粒子濃度が高い測定個所もあり、OA 機器や個別式加湿器などの影響が考えられた。殆どの場合、室内濃度は外気より低くなっており、外気濃度に追従して増減している。

E. 参考文献

- 1) 環境省：微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書：粒子状物質の特性について、2008
- 2) 鍵直樹：事務所建築物における PM2.5 濃度の実態と室内外濃度比、空気清浄、54(4)、258-262、2016
- 3) 小林健一、金勲、鍵直樹ほか：中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究、令和元年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）、2020.3

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表

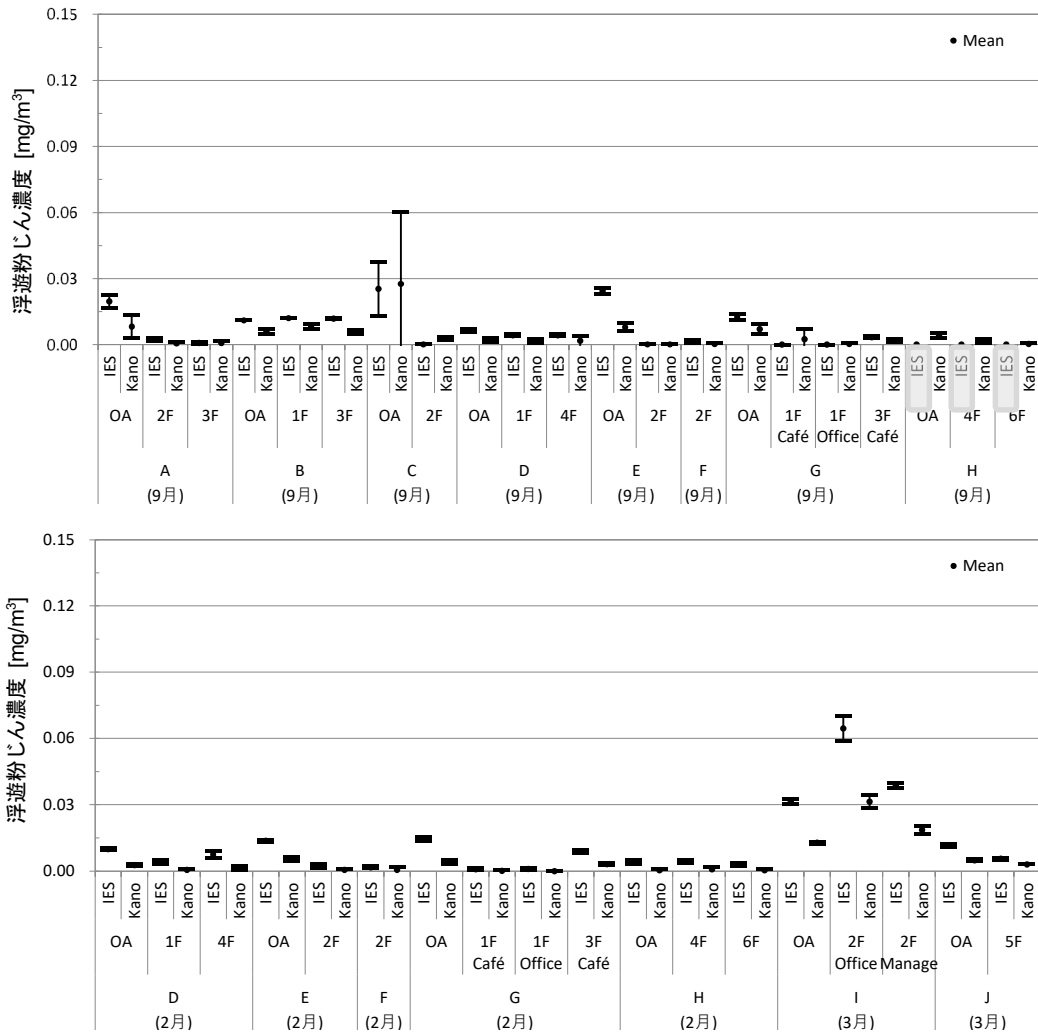


図 2-4-1 立入測定による浮遊粉じん濃度測定結果
「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」
※ 陰影部分は測定無し

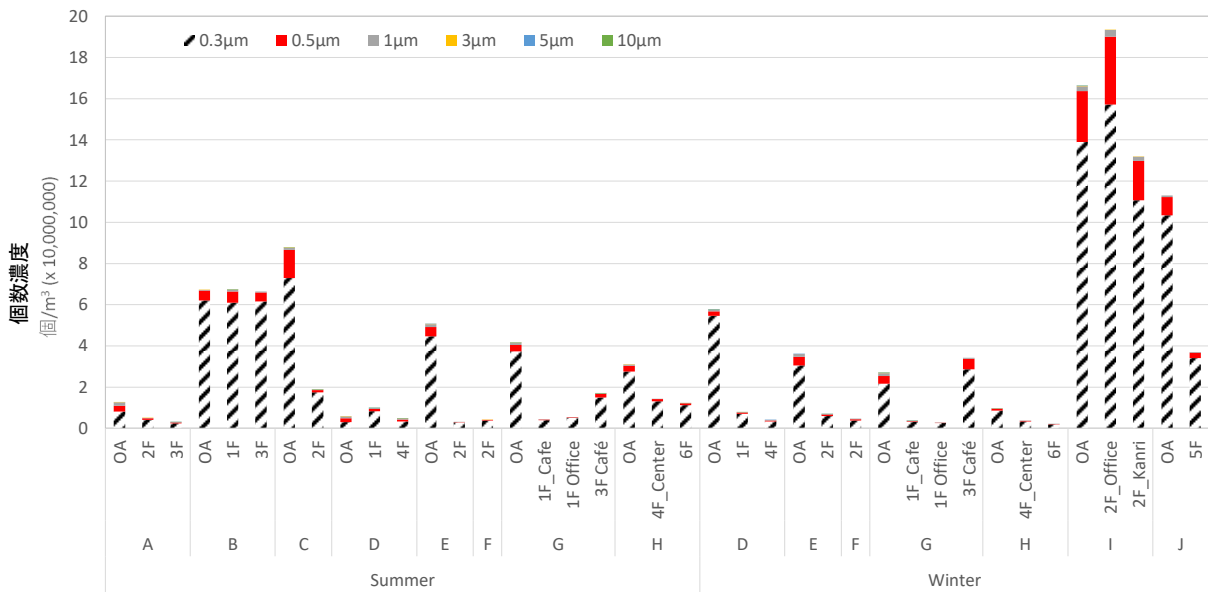


図 2-4-2 室内浮遊粒子の個数濃度積算値

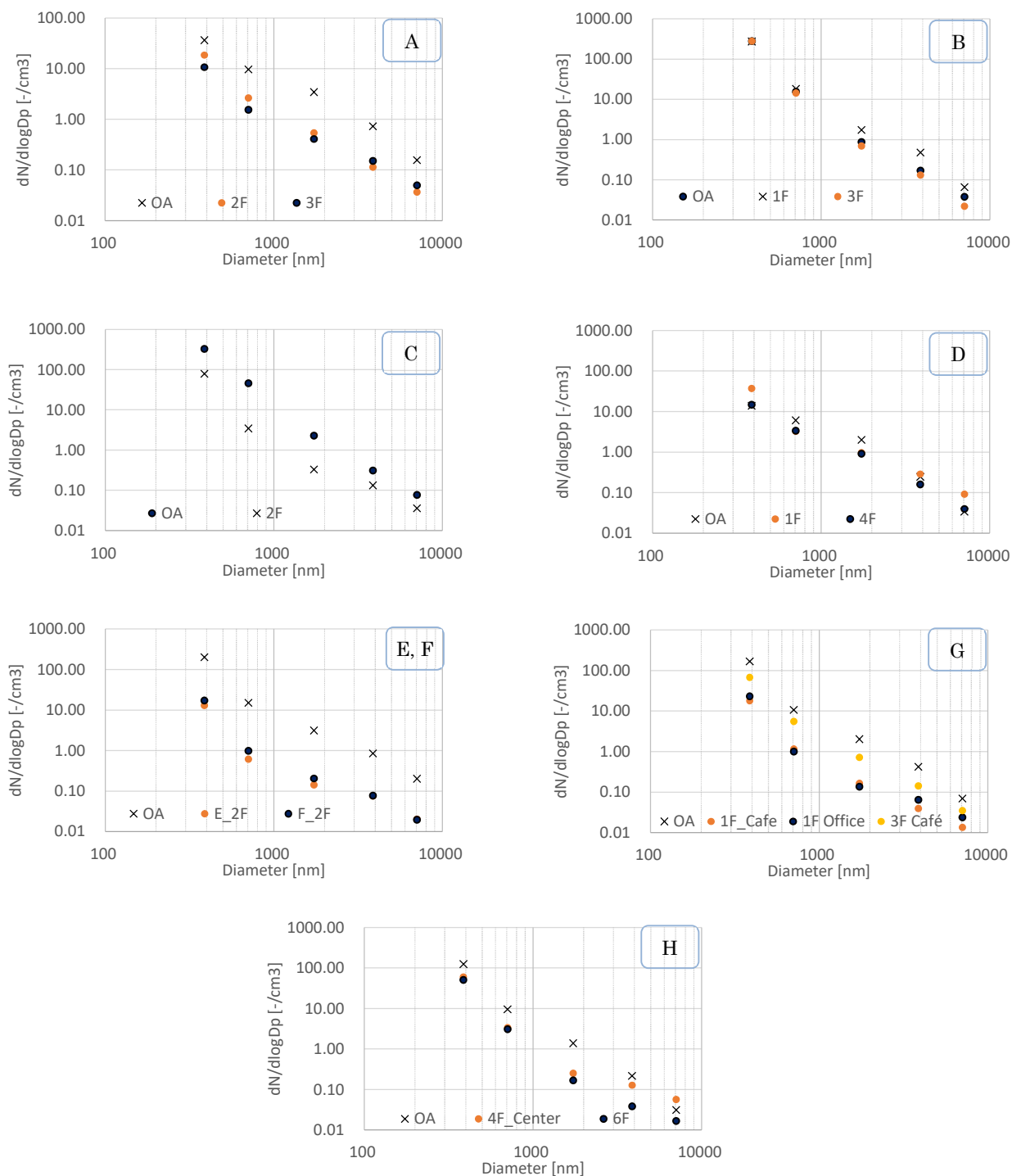


図 2-4-3 代表粒径の個数濃度分布 (夏期)

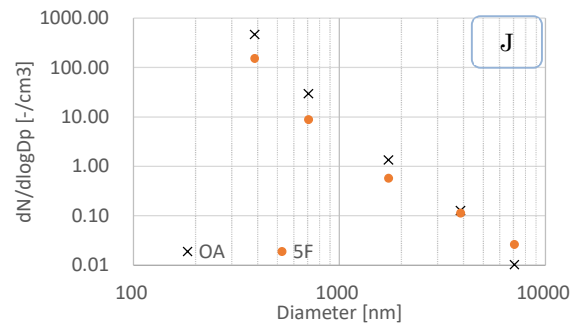
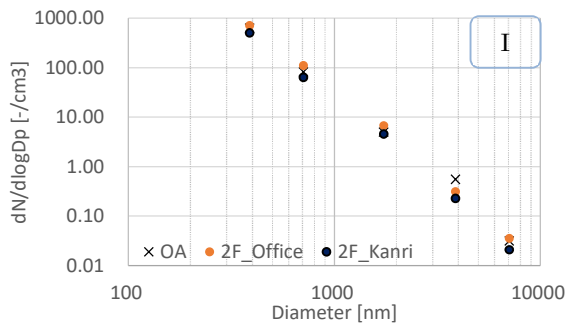
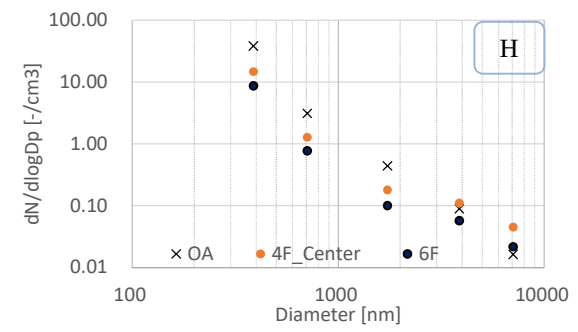
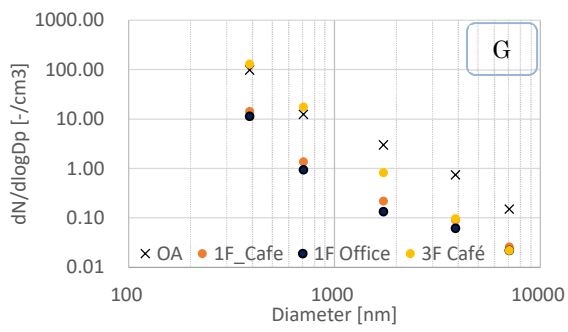
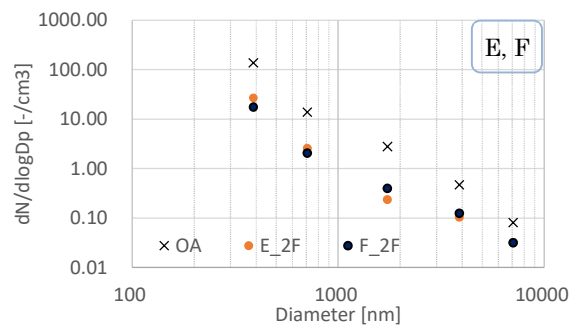
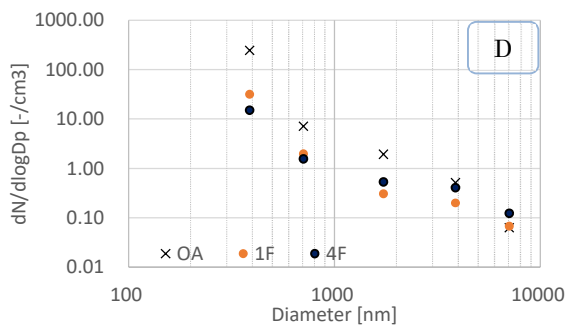


図 2-4-4 代表粒径の個数濃度分布 (冬期)

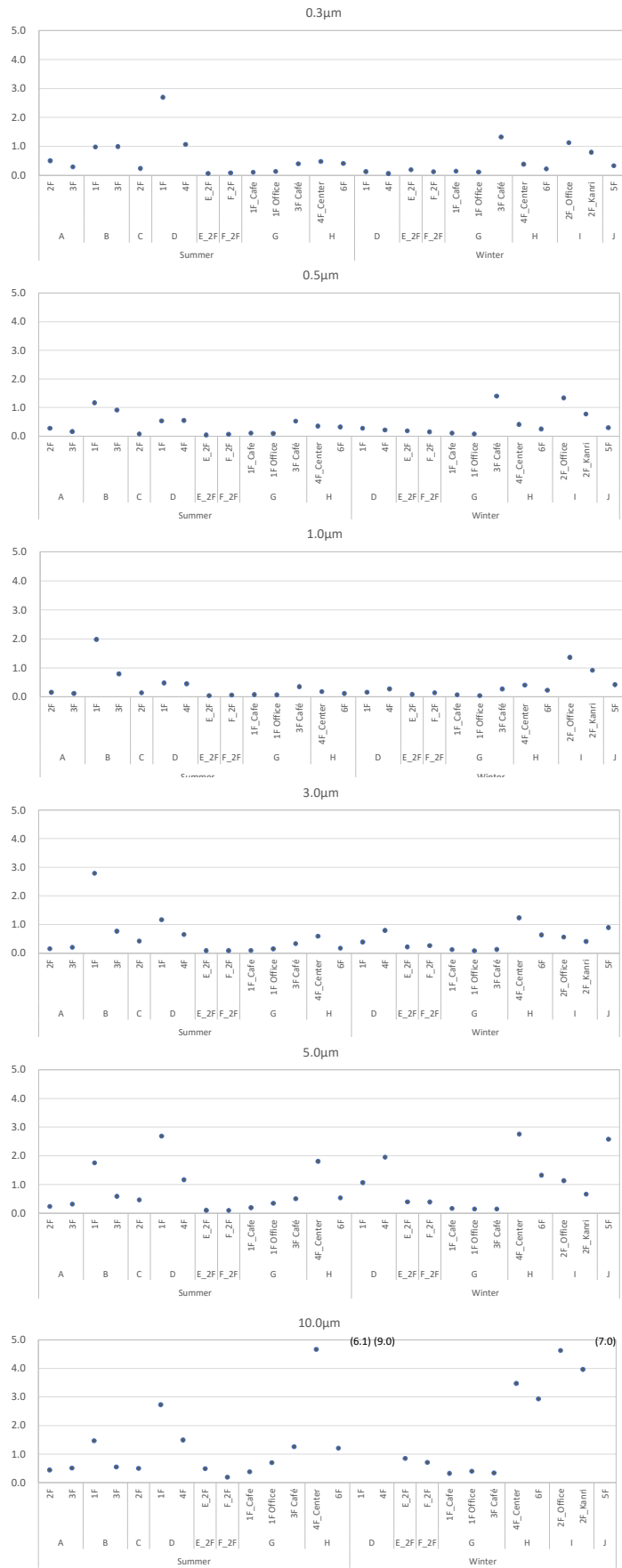


図 2-4-5 粒径別 IO 比 (室内濃度 / 外気濃度)

2-5. 一酸化炭素及び二酸化炭素濃度

A. 研究目的

建築物衛生法における一酸化炭素 (CO) 及び二酸化炭素 (CO₂) 濃度に関する基準は、CO が 6ppm 以下、CO₂ は 1000ppm 以下と設定されている。CO は人体有害性から設定されている反面、CO₂ は換気の指標として設定されている。CO 濃度は従来の 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) だったものを令和 4 年 4 月から 6ppm 以下と引き下げると共に特例規定を廃止した¹⁾。

本研究では、特定建築物における CO 及び CO₂ 濃度データの蓄積と実態把握を行い、その特徴について検討する。

B. 研究方法

測定方法としては、両方とも検知管方式若しくはそれと同程度以上の性能を有する測定器を用いて測定することを可としている。

本研究では、浮遊粉じん測定にはビル管セットと呼ばれる建築物衛生管理基準 6 項目を同時測定できる IES-5000 (SIBATA 社製) 及び Model 2100 (Kanomax 社製) を用いた。

両測定器ともに、CO 濃度に関しては定電位電解方式、CO₂ 濃度に関しては非分散型赤外線 (NDIR) 方式を採用している。

ガス濃度は 1 分間の計測を 20 分間連続で行い、濃度が安定する計測開始 8 分後から終了 2 分前までの 10 分間のデータを平均して用いた。

但し、建物 H (9 月) に対しては IES-5000 の較正上の問題により欠測となっている。

C. 測定結果

図 2-5-1 に CO 濃度を、図 2-5-2 に CO₂ 濃度の測定結果を示す。また、集計表を表 2-5-1 に示す。

C.1. 一酸化炭素濃度

外気濃度平均は夏期 IES-5000 (SIBATA 社) が 0.12 ± 0.01 ppm、Model-2100 (Kanomax 社) が 0.10 ± 0.00 ppm、冬期はそれぞれ 0.12 ± 0.01 ppm、 0.10 ± 0.00 ppm であった。室内 CO 濃度はいずれも管理基準値に比べると低い水準であり、季節による違いも殆どみられなかった。

外気濃度と室内濃度が等しく、室内 CO 濃度

は外気由来によるものと判断される。

機器による測定値の差は 0.03 ± 0.05 ppm であった。特に Model 2100 は測定値にばらつきが殆ど見えない特徴があったが、測定感度の違いによるものと考えられる。

C.2. 二酸化炭素濃度

外気濃度平均は夏期 IES-5000 (SIBATA 社) が 378 ± 14 ppm、Model-2100 (Kanomax 社) が 447 ± 43 ppm、冬期はそれぞれ 438 ± 12 ppm、 437 ± 5 ppm であった。

室内 CO₂ 濃度平均は夏期 IES-5000 (SIBATA 社) が 665 ± 145 ppm、Model 2100 (Kanomax 社) は 710 ± 141 ppm であった。冬期はそれぞれ 752 ± 107 ppm、 777 ± 104 ppm であった。

平均値、最大値共に管理基準 1000ppm を上回る建物はなく、いずれの建物も 1000ppm より低いレベルで管理されていたが、最大値としては 989ppm が観察され、管理基準に近いところで制御されている物件もあった。室内濃度の最小値として 389ppm が観察された室があったが、在室者が殆どいない状況であった。

機器による測定値平均の差は 38 ± 24 ppm、濃度差の範囲は 0~87ppm と、IES-5000 より Model 2100 が全体的に高い濃度を示していた。ガスセンサーはゼロガスとスパンガスによる校正による誤差や測定機器によるセンサー特性も考えられる。

D. 結論

一酸化炭素 (CO) 及び二酸化炭素 (CO₂) 濃度管理基準は、それぞれ 6ppm 以下及び 1000ppm 以下であった。

CO の外気濃度は約 0.1 ppm、室内 CO 濃度も 0.1ppm 程度と大差なく、室内 CO 濃度は外気由来によるものと判断された。いずれも管理基準値に比べると低い水準である。

CO₂ に関しては外気濃度平均 400ppm 程度に対して、室内平均は 389~989ppm 程度であった。

管理基準 1000ppm を上回る建物はなく、いずれの建物も 1000ppm より低いレベルで管理されていたが、1000ppm に近い物件も存在していた。

機器による測定平均値の差が見られ、CO は 0.03 ± 0.05 ppm、濃度差の範囲は 0~0.02ppm、

CO₂は 38±24ppm、濃度差範囲は 0～87ppm であった。

校正による誤差や、機器によるセンサー感度の違いが見られた。

E. 参考文献

1) 厚生労働省、建築物環境衛生管理基準について、<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsueisei10/> (accessed on 2024.3.20)

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

1) 金 勲、下ノ菌 慧、増田 貴則、三好 太郎、鍵 直樹、海塩 渉、中野 淳太、樺田 尚樹、建築物衛生法の空気環境衛生管理に向けた小型連続測定センサーの活用に関する検討、第 82 回日本公衆衛生学会総会；2023.10.31-11.2；つくば。抄録集 O-21-1-5、p. 319.

2) 金勲、鍵直樹、富田怜、海塩渉、下ノ菌慧、中野淳太。建築物衛生法における建築物環境衛生管理手法の再考（第1報）建築物環境衛生管理におけるデジタル技術の活用及び小型 CO₂ センサーの精度。令和 5 年度空気調和・衛生工学会；2023.9.6-8；福井。同学術講演論文集。E-46 p.185-188.

3) 海塩渉、鍵直樹、富田怜、金勲、下ノ菌慧、中野淳太。建築物衛生法における建築物環境衛生管理手法の再考（第2報）空気環境管理へのビルエネルギーマネジメントシステム活用手法の検討。令和 5 年度空気調和・衛生工学会；2023.9.6-8；福井。同学術講演論文集。E-47 p.189-192.

3. 著書

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

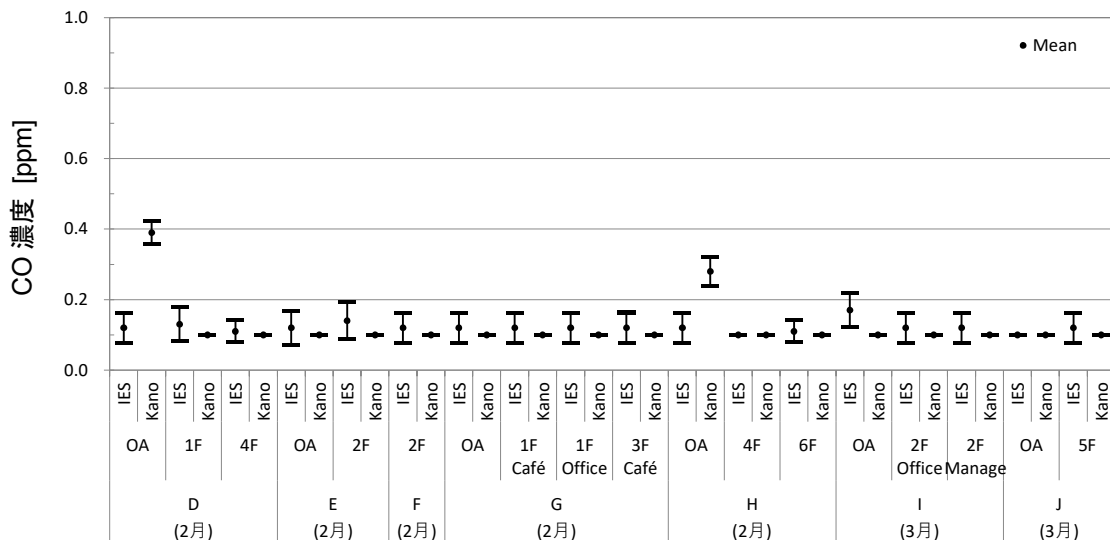
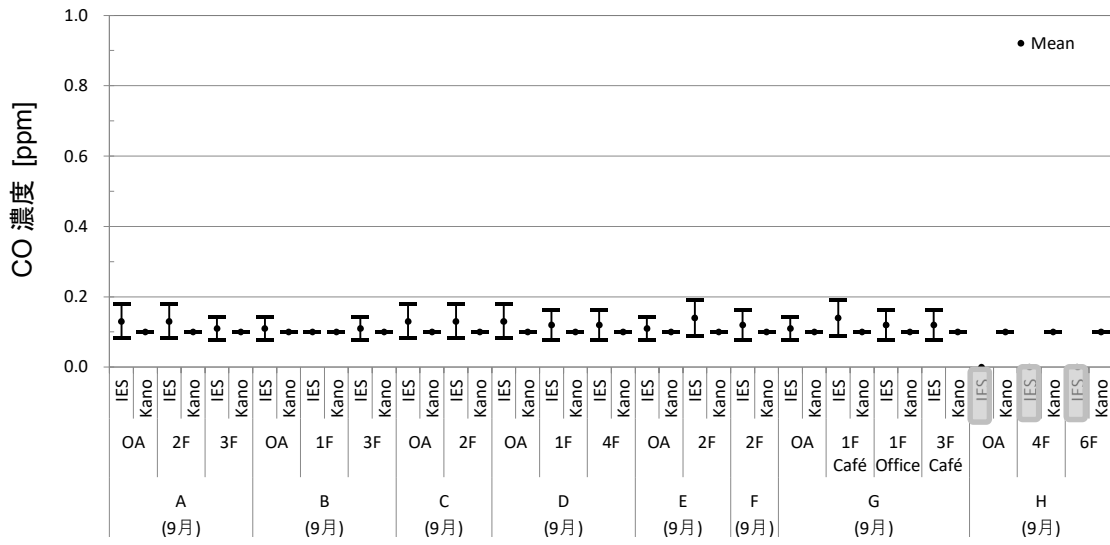


図 2-5-1 立入測定による CO 濃度測定結果
 「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」

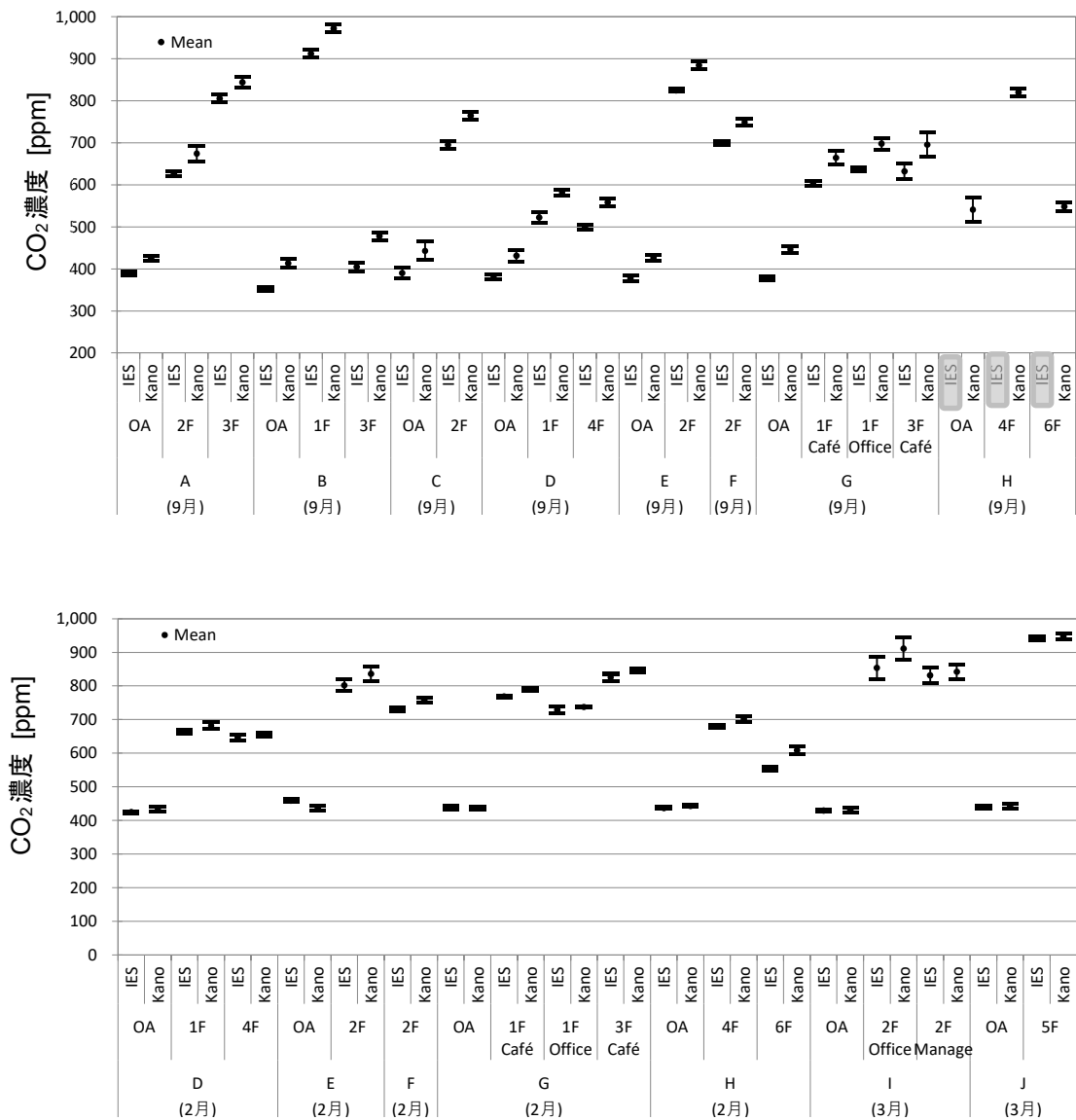


図 2-5-2 立入測定による CO₂ 濃度測定結果
「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」

表 2-5-1 立入測定による CO 及び CO₂ 濃度測定結果の集計
 「IES : IES-5000 (SIBATA 社)、Kano : Model 2100 (Kanomax 社)」

		Summer				Winter			
		IES		Kano		IES		Kano	
		IA	OA	IA	OA	IA	OA	IA	OA
CO [ppm]	Mean	0.12	0.12	0.10	0.10	0.12	0.13	0.10	0.18
	SD	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.13
	Max	0.20	0.20	0.10	0.10	0.20	0.20	0.10	0.40
	Min	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
CO ₂ [ppm]	Mean	655	378	710	447	752	438	777	437
	SD	145	14	141	43	107	12	104	5
	Max	923	413	989	587	952	463	959	453
	Min	389	347	463	401	545	421	591	419
浮遊粉じん [mg/m ³]	Mean	0.0034	0.0166	0.0020	0.0090	0.0118	0.0143	0.0050	0.0050
	SD	0.0043	0.0077	0.0023	0.0085	0.0195	0.0093	0.0098	0.0042
	Max	0.0120	0.0420	0.0160	0.1060	0.0740	0.0330	0.0360	0.0130
	Min	0.0000	0.0060	0.0000	0.0010	0.0000	0.0030	0.0000	0.0000

2-6 エンドトキシン（細菌内毒素）

A. 研究目的

建築物環境衛生管理項目ではないが、空調機や加湿器などは微生物の汚染源になり得ることから、細菌汚染の指標としてエンドトキシン（Endotoxin；以下 ET）濃度の測定を行っている。

細菌の測定には培養法、ATP（adenosine triphosphate；アデノシン三リン酸）法、r-PCRを用いた DNA 解析などが利用されているが、現場測定にはいずれも長短がある。

一方、換気指標の CO₂ 濃度や化学物質汚染指標の TVOC のように、微生物に関してもそのような指標の存在は室内環境における汚染状況や環境改善の面で大変有意義であり、空气中細菌濃度や汚染度の指標として ET 濃度に着目して室内濃度の実態を調べている。

B. 研究方法

B.1. 調査対象

調査対象は前項「2-1」の建物概要で説明しているが、夏期はオフィスビル 8 施設（室内 20ヶ所＋外気 7）、冬期はオフィスビル 7 施設（室内 17ヶ所＋外気 6）であった。対象ビルの建築・設備の概要および測定日は表 2-1-1、表 2-1-2 および表 2-2-2、表 2-2-3 に示している。

夏期測定は 2023 年 8～9 月、冬期測定は 2024 年 2 月～3 月に行った。

B.2. 調査方法

B.2.1. 空気サンプリング

図 2-6-1 に捕集用フィルター及び空気サンプリング風景を示す。空気試料として微生物の培地吸引では 100L を用いることが多く、ET サンプリングでも 100L（30min at 3.3L/min）を吸引・捕集した。

捕集用フィルターは直径 47mm の MCE フィルター（Mixed Cellulose Ester Membrane Filter）である。捕集後は ET フリーの γ 線滅菌試験管に回収し冷暗所で保管する。分析時には蒸留水（注射用水；ET フリー）を添加し、ポルテックスミキサーで攪拌した後、上澄み液を分注・分析した。



図 2-6-1 捕集フィルター及びサンプリング

B.2.2. 濃度分析

分析装置として Toxinometer ET-7000（和光純薬）を用いて、吸光比濁法による定量計測を行った。リムルテスト（Limulus test）ではライセート（Limulus amoebocyte lysate）試薬と反応させた ET のゲル化に伴う濁度変化をカイネティック比濁法で測定し、検量線に基づいて定量した。ET 濃度が高いとゲル化反応が速く、低いと遅くなることを原理としている。

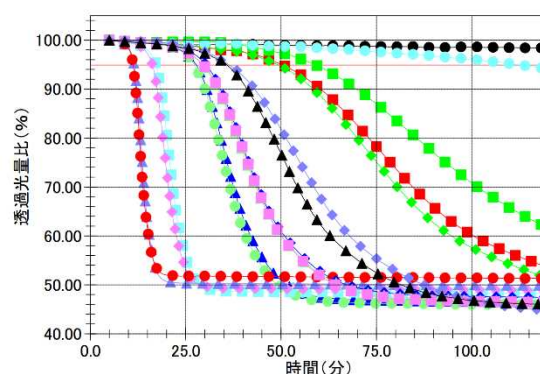


図 2-6-2 試料分析のタイムコース

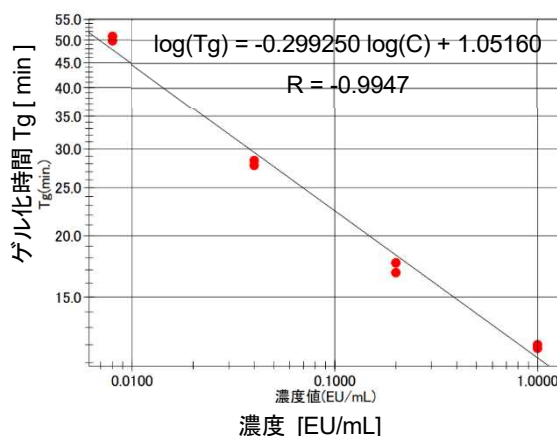


図 2-6-3 検量線例（4点、5倍稀釈）

図 2-6-2 はカイネティック比濁法のタイムコースであるが、ゲル化に伴う透過光量比変化を計測し測定開始から設定閾値 (94.9% at 37.0°C) に達するまでの時間 (T_g: ゲル化時間) で ET 濃度が決定される。

定量のための検量線は、1.0、1/5、1/25、1/125 (=0.008) EU/mL の 4 段階の濃度標準を用いて作成した。

濃度単位としては、「EU/m³」: 空気単位容積当たり濃度、EU は Endotoxin Unit (ET 活性値) である。

C. 測定結果

図 2-6-4 に夏期及び冬期の空気中 ET 濃度の測定結果を示す。

外気濃度 (OA) は半数程度が 1.0EU/m³ 以下であったが、残り半数程度は最大で 6 EU/m³ 超えが観察され、全体平均は夏期 1.8±2.1EU/m³、冬期 2.1±2.6EU/m³ とやや高くなっている。

外気濃度は土壌や森林が多い地域特性、季節や雨・相対湿度・風などの気候による影響で変動するが、都心部では 1.0EU/m³ 以下が多い¹⁾²⁾。今回の測定でも、夏期 D 及び G は湿度が高く、冬期 H 及び I は雨の日であった。

室内濃度ではばらつきがあり、夏期に定量限界以下～6.5EU/m³ まで、冬期は定量限界以下～9.7EU/m³ まで幅広く分布していた。室内濃度平均は夏期 2.0±1.9EU/m³、冬期 2.8±2.4EU/m³ であった。特定建築物におけるオフィス室内濃度は 1.0EU/m³ 以下が多い¹⁾²⁾と報告されているが、今回はそれよりやや高い室内が多い結果となった。夏期の D や冬期の H、I のように外気濃度が高い場合は外気由来による濃度上昇と考えられるが、冬期の D のように外気は低い室内濃度が高い場合は室内の発生源 (汚染源) が考えられる。

水道水を用いた加湿では水道水に含まれた ET が検出されることがあり、やや高くなる。また、個別式の超音波加湿器を使用する場合は、加湿器内の細菌汚染による濃度上昇で高濃度になることがある¹⁾²⁾。

IO 比 (室内濃度/外気濃度) は夏期 2.2±2.9、冬期 11.7±16.8 と冬期が大きくなっている。室内側に濃度上昇の原因がある物件が多数存在し

ていることになるか、冬期に特に IO 比が高くなったのは外気濃度が極端に低い測定日があり相対的に IO 比が高く算定されたためである。

D. 結論

室内濃度平均は 2～3EU/m³、濃度分布は定量限界異界～10EU/m³ 程度まで幅広い。既往研究の室内濃度は 1.0 EU/m³ 以下が多い結果に比べやや高い濃度となった。

外気の湿度が高く、雨天の日は外気 ET 濃度が高い傾向が見られた。

一方、夏期より冬期の室内濃度平均がやや高く、IO 比は冬期が顕著に高くなっている。冬期は、室内で加湿器の使用や換気量の低下など ET 濃度を高める要素が存在することも想定されるが、IO 比が顕著高くなったのは冬期は外気濃度が低い物件が多数存在するため相対的に IO 比が高く算定されたためである。

E. 参考文献

- 1) 金勲、柳宇、鍵直樹、東賢一、Lim Eunsu、大澤元毅、林基哉、エンドトキシンの室内環境濃度、日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境系)、pp.719-722、2016.8.
- 2) 金勲、柳宇、鍵直樹、東賢一、林基哉、大澤元毅、空気中エンドトキシン濃度と浮遊細菌濃度に関する基礎的研究、日本建築学会環境系論文集、Vol.83 No.749、2018.7 ; pp.581-588.

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし
3. 著書
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定含む)

予定なし

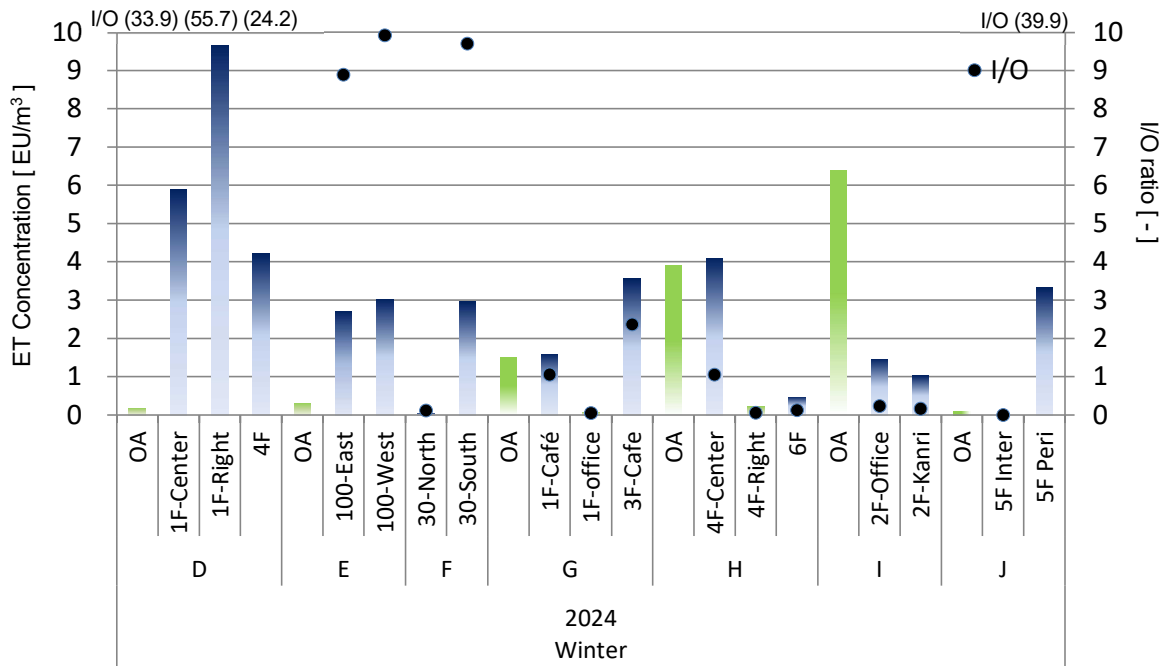
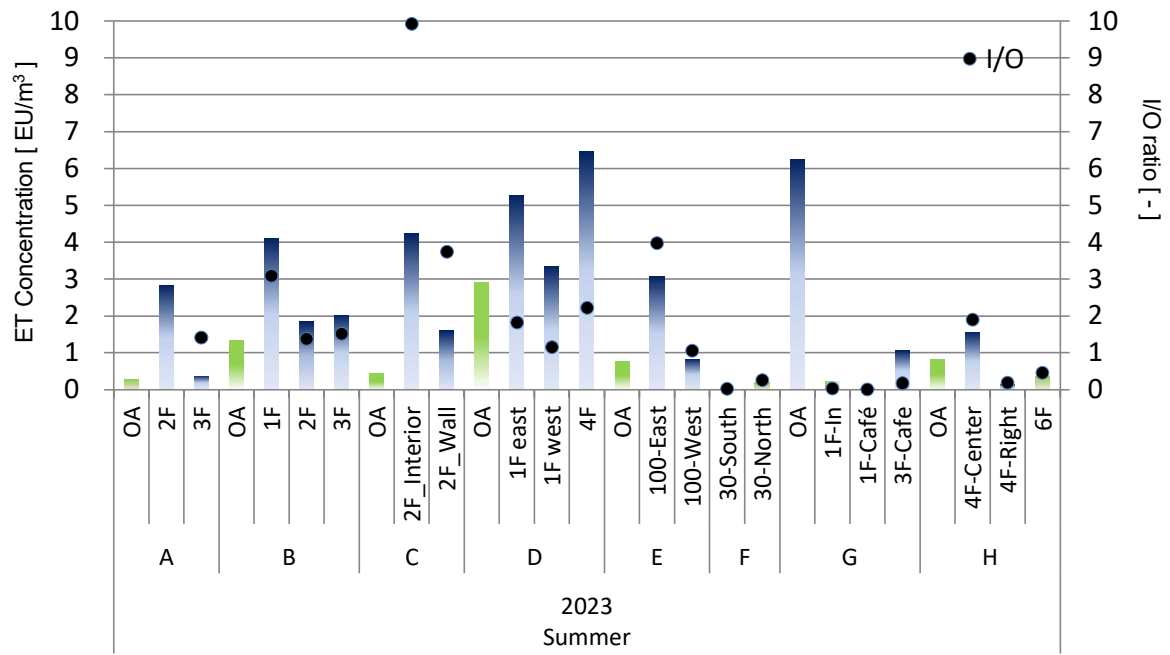


図 2-6-4 ET 濃度測定結果

2-7 ASHRAE 55-2023 に準拠した手法による温熱環境評価

A. 研究目的

本研究では、まず米国暖房冷凍空調学会の温熱環境基準である ASHRAE 55 の最新版、2023 年版の文献調査を行った。また、気候、季節、建物仕様の異なる建築物の実測調査を行い、ASHRAE55-2023 に準拠して室内温熱環境評価を行った。季節による室内温熱環境特性の違いを把握するためのセンサ位置や測定条件の課題を明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

まず ASHRAE 55 基準の最新版である ASHRAE 55-2023 の文献調査を行い、2020 年版からの温熱環境評価方法の変更点を整理した。

次に、同測定基準に基づき、北海道、埼玉県、千葉県における計 5 件の建物について、環境測定を行った。測定対象建物を表 2-7-1 に示す。いずれも BEMS により室内環境データの記録とモニタリングを行っていた。

建物によっては、複数フロアを対象とした。快適性基準では執務者が滞在している、または滞在すると想定される居住域を評価対象に選定することとなっている。そのため、以下の基準で各フロアについて最低 2 点以上の測定点を設けた。環境特性の把握に必要と判断された場合は、同様の基準で追加の測定点を選定した。

- ・部屋または空間の中央かつ座席近傍となる点 (インテリア : i の測定点)
- ・最も大きな窓の中央から 1m 以内かつ座席近傍となる点 (ペリメータ : p の測定点)

各建物測定点を図 2-7-1~図 2-7-5 に示す。また、建物ごとの測定点数と調査日を表 2-7-2 に示す。

測定項目は空気温度、相対湿度、微小面放射温度、および気流速度とした。

空気温度と相対湿度は、居住域の代表となる以下の 4 点で 15 分間記録し、最後の 30 秒間の平均値を代表値とした。

- ・ 0.1m くるぶし
- ・ 0.6m 座位体中心
- ・ 1.1m 座位頭部・立位体中心
- ・ 1.7m 立位頭部

各空間の最も大きな窓のある方向を正面とし、高さ 1.1m にて上下左右前後の 6 方向について微小面放射温度を計測した。5 分間計測し、最後の 30 秒の平均を代表値とした。微小面放射温度は、微小平面に入射する放射束が実環境と同等になる均一な黒体閉空間の内表面温度である。逆となる 2 方向を測定することで、非対称放射温度による不均一環境の局所不快を評価できる。また、6 方向を測定し、重み付け平均

表 2-7-1 測定対象建物概要

	立地	竣工年/月	構造	延床面積 (m ²)	階数 (地上/地下)	測定階	室面積 (m ²)	天井高(m)	空調方式	空調吹出位置
A	埼玉県三芳町	1992/3/1	RC	1 551.0	3 / 0	2	354	2.7	外気処理エアコン+水熱源PAC	床
						3	354	2.7		
B	北海道旭川市	2002/4/1	S+RC	8 356.0	4 / 1	1	92.9	3	放射冷温水パネル+個別PAC	天井
						4	164.8	2.8		
C	北海道札幌市	2021/6/1	RC	1 113.2	2 / 0	2			床染出し空調+床放射	床
D	埼玉県和光市	2002/4/1	SRC	15 978.7	8 / 1	1	97.2	2.7	定風量単一ダクト方式+FCU方式	天井
			RC			4	104.4	2.6		
G	千葉県印西市	1993竣工 2019改修	RC+SRC	39 150.9	4/0	1	1195	2.8	定風量単一ダクト方式	床
						3	492	2.8	放射冷温水パネル+FCU	天井

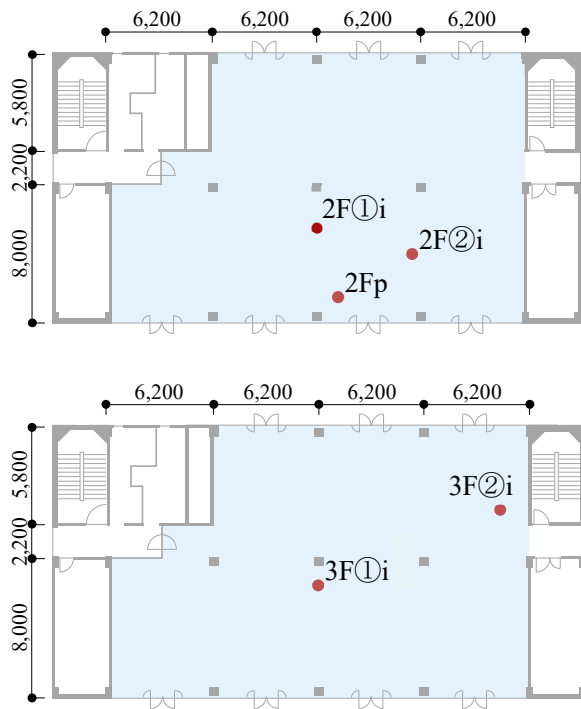


図 2-7-1 Aビル測定点 (上:2階、下:3階)

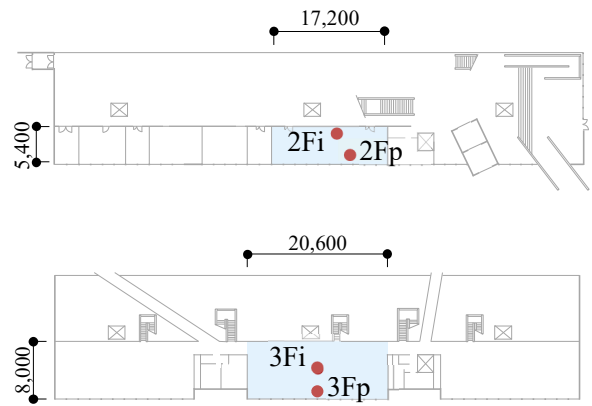


図 2-7-2 Bビル測定点 (上:2階、下:3階)

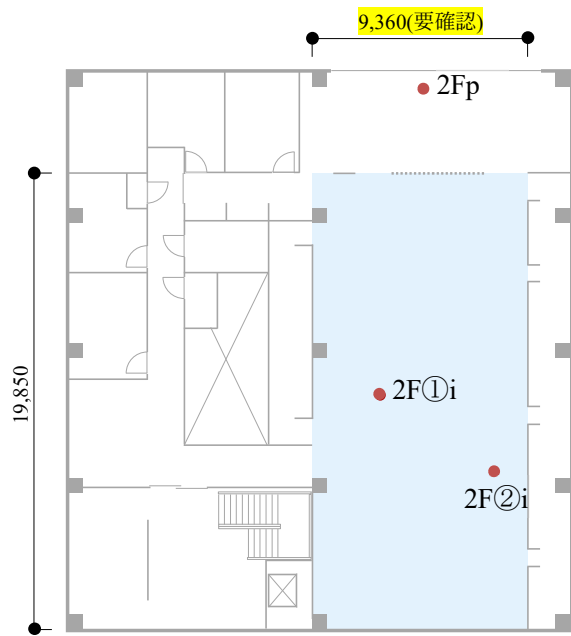


図 2-7-3 Cビル測定点 (2階)

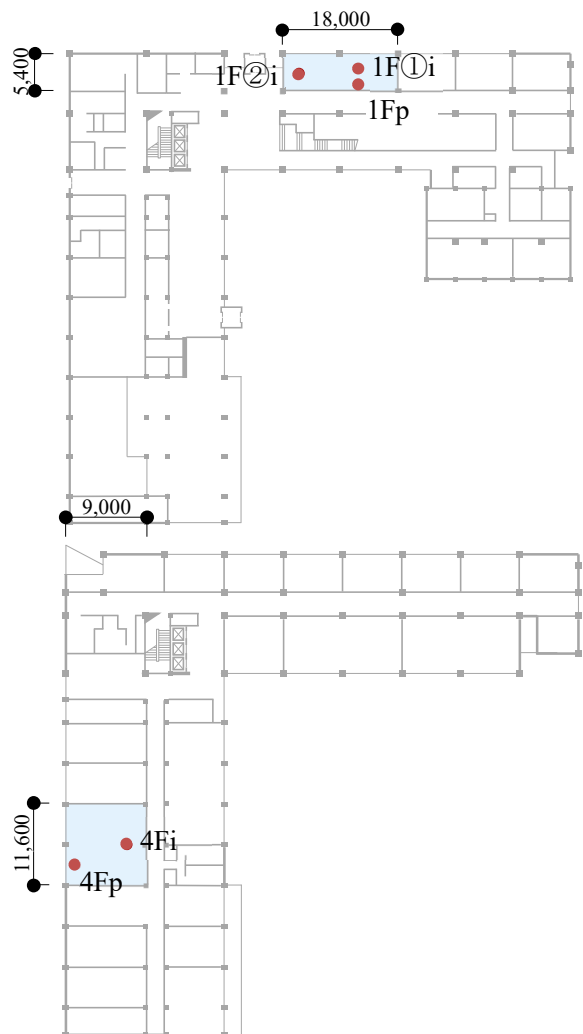


図 2-7-4 Dビル測定点 (上:1階、下:4階)

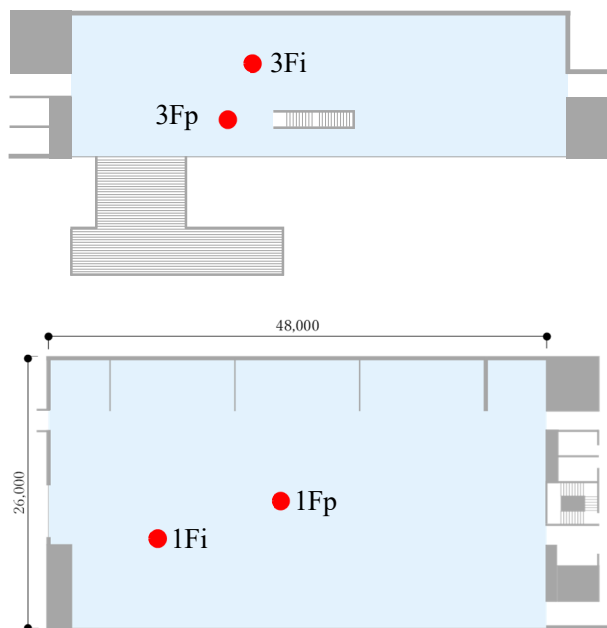


図 2-7-5 Gビル測定点（上:3階、下:1階）

をすることで人体の形状を考慮した平均放射温度を求めることができる。座位の執務者が主であるため、以下の式を用いて平均放射温度を求めた。

$$t_{pr} = \frac{0.18(上+下)+0.22(右+左)+0.30(前+後)}{2(0.18+0.22+0.30)}$$

また、高さ 1.1m にて気流速度を 3 分間計測し、その最大値、平均値、最小値を記録した。

表 2-7-2 調査日と測定点数

建物	測定対象階	測定点数	調査日
A	2F	3	2023/2/17
	3F	3	2023/8/31
B	1F	2	2023/8/23
	3F	2	
C	2F	3	2023/8/24
D	1F	3	2023/8/31
	4F	2	2024/2/22
G	1F	2	2024/2/29
	3F	2	

C. 研究結果

C.1. 文献調査

2020年版と2023年版の変更点は7.3における「居住者による環境調節レベル」が追加された点であり、その他の変更点はなかった。

温熱環境評価に使用される測定器の精度は、建築物衛生法に指定される仕様よりも高いことがわかった。今後、IoT センサを建築物衛生管理以外の用途（快適環境管理・設備の運転管理・エネルギー管理等）に用いることが想定される場合は、ASHRAE 55 基準に推奨されるのと同等の精度が望まれる。

室内を代表とする測定点の選定方法は、室中央だけでなく、極端な環境になると思われる点を追加で測定することが推奨されている。測定高さも1点ではなく、在室者の典型的な姿勢（立位・座位）に応じた3点を測定することとなっている。

パーソナル空調など、個人による環境調節を前提としたシステムでは、2023年度版に基づいた評価の検討が必要である。

BEMS による連続的データで評価する場合も通常の評価と同等の精度を持つ機器の使用が推奨されている。評価項目としては、室温変動や勤務時間中における快適範囲の不適（逸脱）時間を評価することとなっている。

IoT センサを用いることでセンサの設置の自由度が高まり、それらの連続的なデータ収集も簡便に行えるようになる。一方で、多くのデータを分析し、その結果を判断するための目安も必要となる。先行する基準を参考に、実際の測定データを分析することでIoTを活用した建築物衛生管理手法の課題を整理していく。

C.2. Aビルの測定結果

図 2-7-6 に高さ 1.1m における空気温度を示す。調査時の外気温は 32°C を超えていたが、すべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。場所による差も小さく、最大の差は 2Fp と 3Fi ①で 1°C であった。

図 2-7-7 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。衛生管理基準の 40% 付近の値が多く、全測定点の平均値は 43.1% であった。

図 2-7-8 に高さ 1.1m における気流速度を示す。いずれの測定点でも 0.10 m/s を下回ってお

り、問題は見られなかった。

図 2-7-9 に 6 面微小面放射温度の結果を示す。他の方向と比較して上方向が高く、下方向が低い傾向が見られ、特に 3F でその傾向が顕著であった。床吹き出し方式のために床付近が冷え、天井付近の空気温度が高かったためと考えられる。

図 2-7-10 に空気温度の上下温度差を示す。3 階で足下 (0.1m) に比べて 1.7m の温度が高くなる傾向が見られ、3Fp と 3F②i で ASHRAE55 基準の推奨値である 3°C に達していた。

図 2-7-11 に相対湿度の垂直分布を示す。いずれの測定点のどの高さでも差は見られなかった。

C.3. B ビルの測定結果

図 2-7-12 に高さ 1.1m における空気温度を示す。夏季は上限の 28°C を超える測定点が 4 点中 3 点見られた。夏季測定日は記録的猛暑であり、特にアトリウムと仕切られずに連続していた 3 階で約 32°C に達していた。

図 2-7-13 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。夏季は全ての測定点で基準値を満たしていた。

図 2-7-14 に高さ 1.1m における気流速度を示す。いずれの測定点でも管理基準値の 0.5 m/s を大幅に下回っており、問題は見られなかった。

図 2-7-15 に 6 面微小面放射温度の結果を示す。ペリメータの窓面に当たる前方向が高くなっており、下方向が低くなる傾向が見られた。

図 2-7-16 に空気温度の上下温度差を示す。1 階ペリメータの高さ 0.1m を除き、垂直方向に均質な温熱環境が形成されていた。

図 2-7-17 に相対湿度の垂直分布を示す。空気温度の低かった 1 階ペリメータの高さ 0.1m を除き、建物で高さ方向の差は 5%未満であった。

C.4. C ビルの測定結果

図 2-7-18 に高さ 1.1m における空気温度を示す。いずれの季節もすべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。

図 2-7-19 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。いずれの測定点でも概ね管理基準値を満たしていた。

図 2-7-20 に高さ 1.1m における気流速度を示す。いずれの測定点でも管理基準値の 0.5 m/s を大幅に下回っており、問題は見られなかった。

図 2-7-21 に 6 面微小面放射温度の結果を示す。ほぼ均一であったが、床染み出し空調のため、床面が冷え、下方向が低くなる傾向が見られた。

図 2-7-22 に空気温度の上下温度差を示す。高さ 0.1m の空気温度が低く、2F①i では高さ 1.7m と比較して 3.3°C 低かった。

図 2-7-23 に相対湿度の垂直分布を示す。空気温度の低い高さ 0.1m は若干高めであったものの、高さ方向の差は 5%未満であった。

C.5. D ビル 1F の測定結果

図 2-7-24 に高さ 1.1m における空気温度を示す。調査時における夏季外気温は 33°C を超え、冬季外気温は 6°C を下回っていたが、すべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。

図 2-7-25 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。冬季は衛生管理基準値の 40% を若干下回っていたものの、夏季は基準値を満たしていた。

図 2-7-26 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。いずれの測定点でも管理基準値の 0.5 m/s を大幅に下回っており、問題は見られなかった。

図 2-7-27 に夏季の、図 2-7-28 に冬季の 6 面微小面放射温度の結果を示す。冬季はいずれの測定点でも上方向と下方向の放射温度差が最も大きく、ペリメータでは 2.4°C であった。夏季は 6 方向でほぼ均一であった。

図 2-7-29 に空気温度の上下温度差を示す。冬季は 1F の測定点で高さ 0.1m と 1.7m の上下温度差が 2.5°C を越えていた。最大の温度差は 1F ペリメータの 3.3°C であった。断熱性の低い建物で天井から暖房給気を行い、室内空気の十分な攪拌が行われない場合に、上下温度差が大きくなりやすい。このようなケースでは空調運用による改善は困難なため、サーキュレータ等で室内空気を攪拌する等の対策が望まれる。夏季は高さ方向の温度差は見られなかった。

図 2-7-30 に相対湿度の垂直分布を示す。冬季の 1F ペリメータの高さ 0.1m と 1.7m で最大 7% の差が見られたが、他の測定点では 5% 程度であった。

C.6. D ビル 4F の測定結果

図 2-7-31 に高さ 1.1m における空気温度を示す。すべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。

図 2-7-32 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。いずれの季節も全ての測定点で基準値を満たしていた。

図 2-7-33 に高さ 1.1m における気流速度を示す。いずれの測定点でも管理基準値の 0.5 m/s を大幅に下回っており、問題は見られなかった。

図 2-7-34 に夏季の、図 2-7-35 に冬季の 6 面微小面放射温度の結果を示す。いずれの季節も上下方向の放射温度差が最も大きく、冬季のペリメータで最大 2.4℃の差が見られた。夏季は 2℃弱であった。

図 2-7-36 に空気温度の上下温度差を示す。冬季はすべての測定点で高さ 0.1m と 1.7m の上下温度差が ASHRAE 55 推奨値の 3℃を下回っていた。

図 2-7-37 に相対湿度の上下湿度差を示す。いずれの季節でも全ての測定点で高さ方向の差は 5%未満であった。

C.7. G ビルの測定結果

図 2-7-38 に高さ 1.1m における空気温度を示す。すべての測定点で衛生管理基準を満たしていた。

図 2-7-39 に高さ 1.1m における相対湿度を示す。冬季であったが、全ての測定点で基準値を満たしていた。

図 2-7-40 に高さ 1.1m における気流速度を示す。いずれの測定点でも 0.15 m/s 未満であり、問題は見られなかった。

図 2-7-41 に 6 面微小面放射温度の結果を示す。3F のペリメータはガラスに面した前方向が低く、最も高かった上方向との差が 2.0℃であった。1F のペリメータはアトリウムのガラス面の下であったが、極端に低い放射温度は見られなかった。

図 2-7-42 に空気温度の上下温度差を示す。すべての冬季測定点で高さ 0.1m と 1.7m の上下温度差が 1℃以下であった。

図 2-7-43 に相対湿度の垂直分布を示す。いずれの季節でも全ての測定点で高さ方向の差は 5%未満であった。

D. まとめ

本節では、ASHRAE55-2023 基準に準拠した温熱環境の実測調査を行い、実際の空間での温

熱環境特性を明らかにする上で、IoT センサの設置位置や測定条件の課題を探った。

ASHRAE 55 基準は 2023 年に改定版が公開されたが、2020 年版からの変更点は「居住者による環境調節レベル」が追加された点であり、その他の変更点はなかった。パーソナル空調など、個人による環境調節を前提としたシステムでは、2023 年度版に基づいた評価の検討が必要である。

同測定基準に基づき、北海道、埼玉県、千葉県における計 5 件の建物について、環境測定を行った。空気温度、湿度、気流速度について、概ね全ての測定点で衛生管理基準を満たしていた。しかし、調査時に記録的な猛暑となった北海道の建物では、階によって空気温度が 31℃を超える場合もあった。今後、いわゆる寒冷地でも夏季の外気温上昇が見込まれ、熱負荷が冷房能力の想定を超えることも考えられる。対策に向けた注意喚起が望まれる。

室中央のインテリアと窓近傍のペリメータを比較したときに、大差が見られない建物がある一方、ペリメータで上下温度差が大きくなり、放射環境の分布が大きくなる建物も見られた。室内温熱環境に影響を与えるのは空調条件だけでなく、建築外皮の断熱性能、遮熱性能、熱容量の影響を無視できない。衛生管理基準では建築物の熱性能に関して考慮することが求められていないものの、空気環境の管理には建物の特性を把握しておく必要がある。

ASHRAE 55 基準に基づいた温熱環境評価を行うことで、建築物および空調方式の特性を踏まえた温熱環境の特徴を知ることができる。居室の代表点における高さ 1 点の測定のみでは、問題点の特定が困難である。

E. 参考文献

ASHRAE: ASHRAE Standard 55-2023, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE, 2023

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表

なし

3. 著書

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定含む）

予定なし

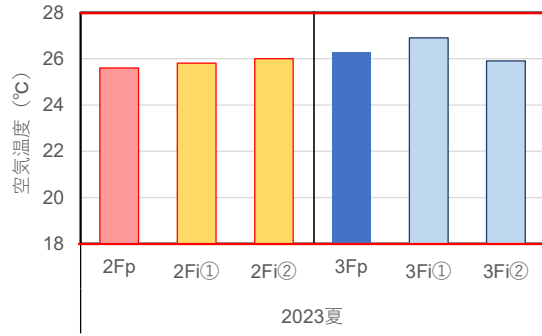


図 2-7-6 Aビル空気温度 (高さ 1.1m)

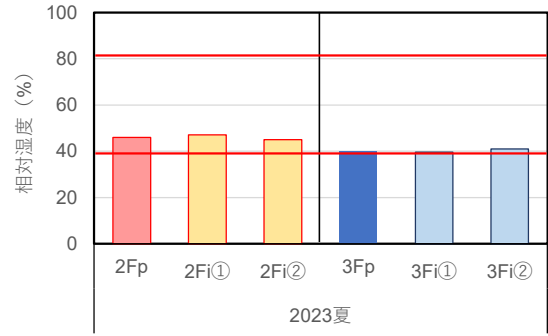


図 2-7-7 Aビル相対湿度 (高さ 1.1m)

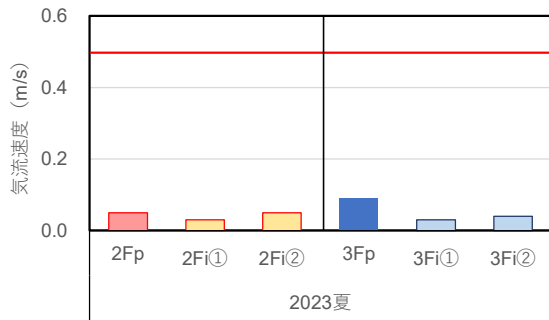


図 2-7-8 Aビル気流速度 (高さ 1.1m)

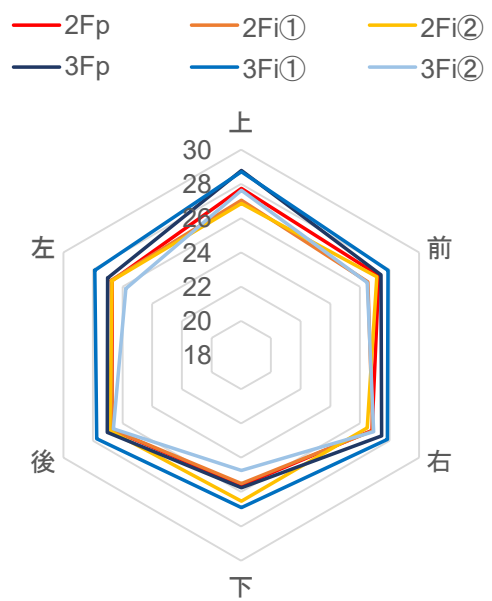


図 2-7-9 Aビル微小面放射温度 (夏季)

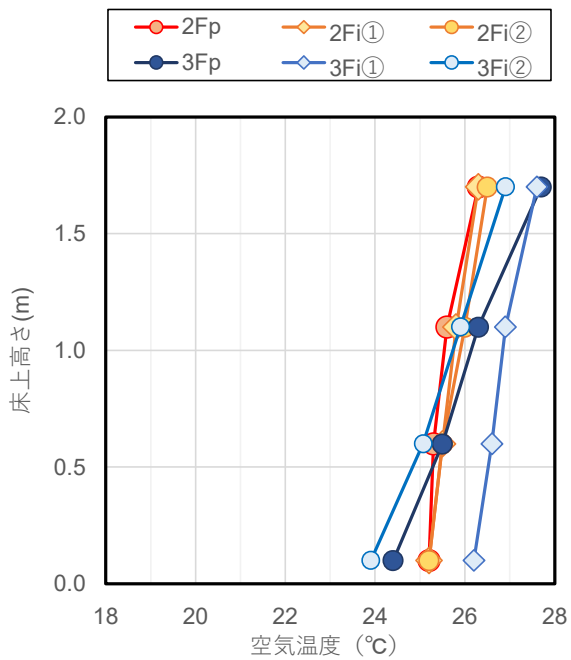


図 2-7-10 Aビル 上下温度差

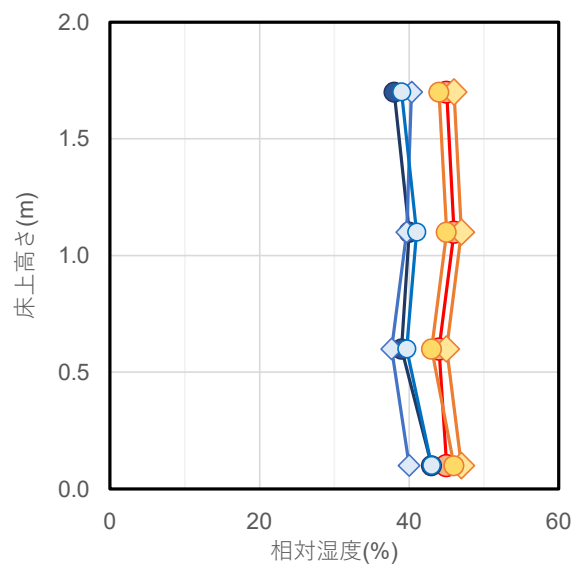


図 2-7-11 Aビル 上下湿度差

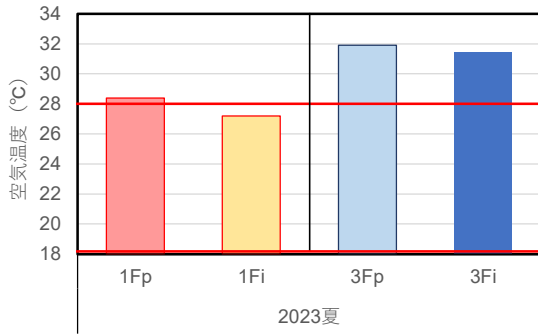


図 2-7-12 B ビル空気温度 (高さ 1.1m)

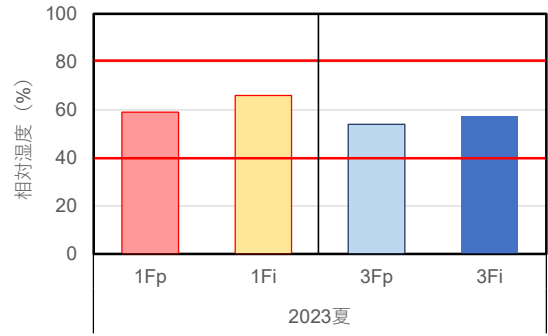


図 2-7-13 B ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

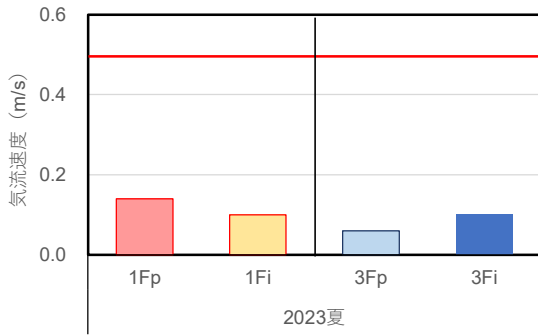


図 2-7-14 B ビル気流速度 (高さ 1.1m)

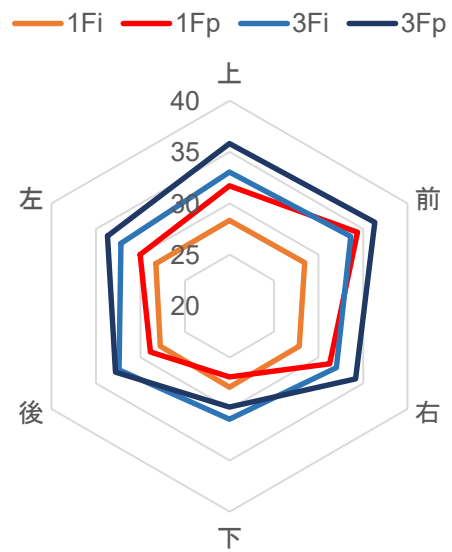


図 2-7-15 B ビル微小面放射温度 (夏季)

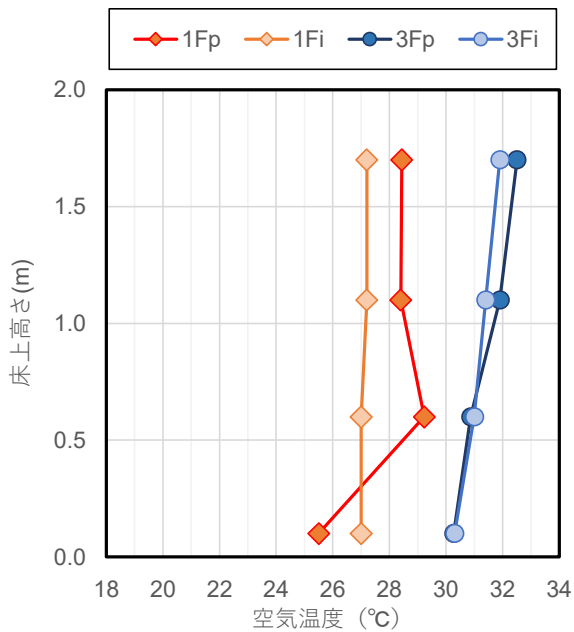


図 2-7-16 B ビル上下温度差

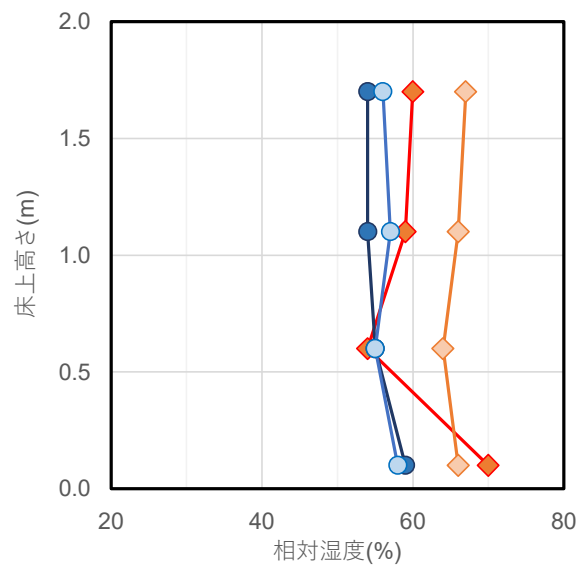


図 2-7-17 B ビル上下温度差

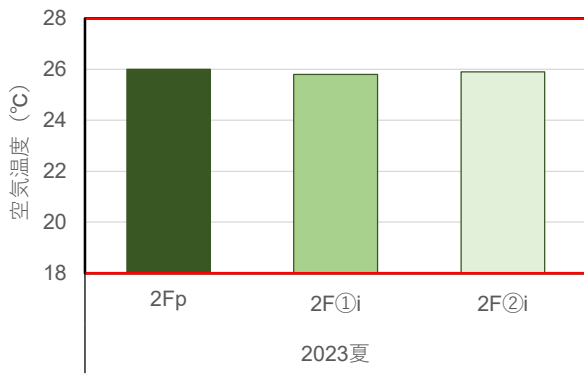


図 2-7-18 Cビル空気温度 (高さ 1.1m)

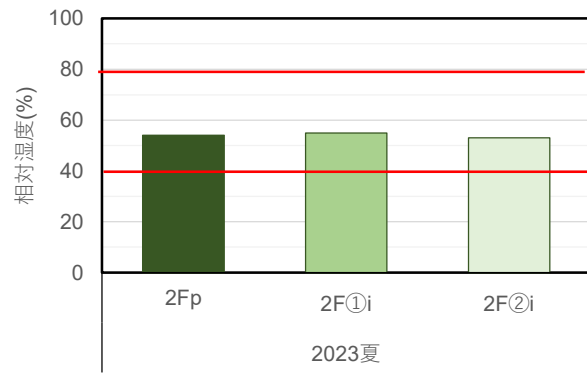


図 2-7-19 Cビル相対湿度 (高さ 1.1m)

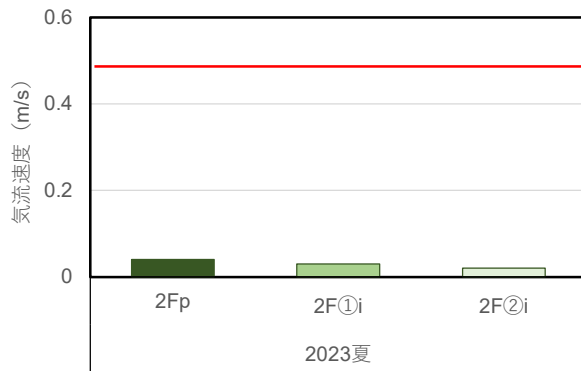


図 2-7-20 Cビル気流速度 (高さ 1.1m)

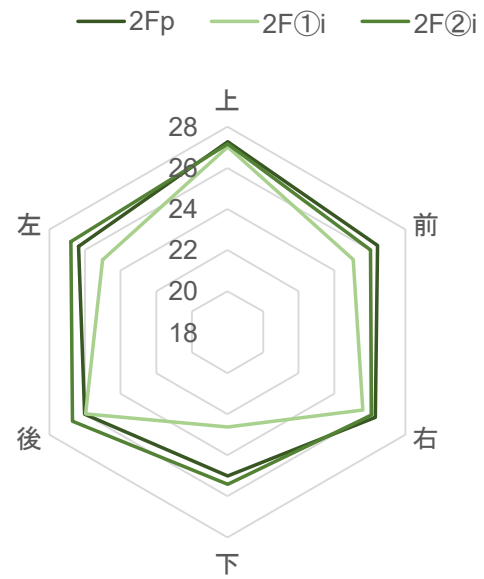


図 2-7-21 Cビル微小面放射温度 (夏季)

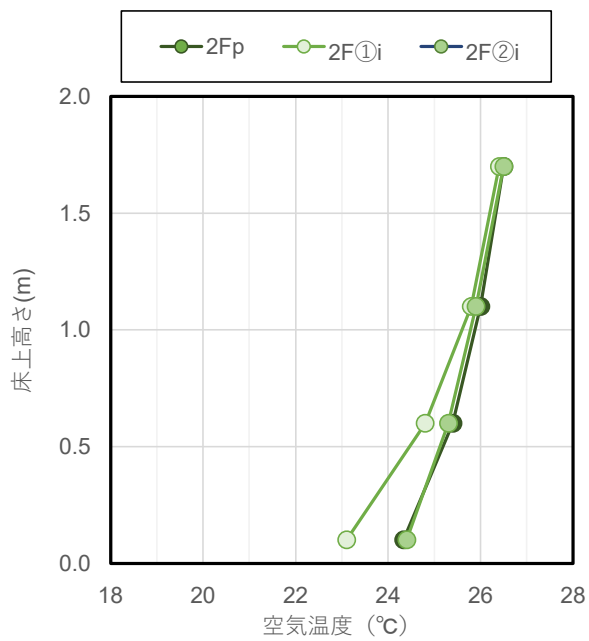


図 2-7-22 Cビル上下温度差

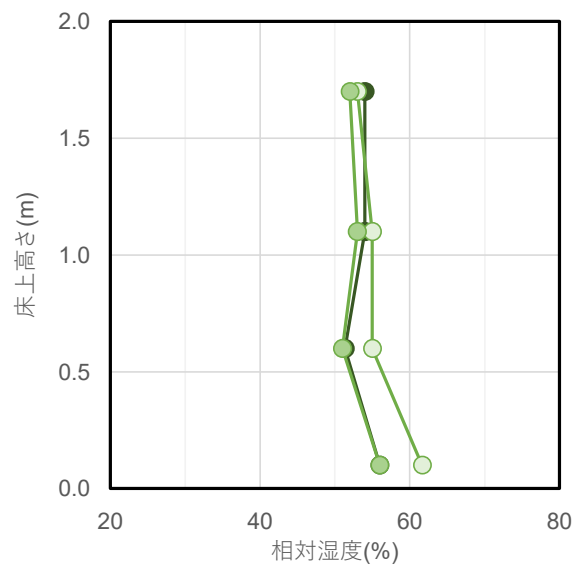


図 2-7-23 Cビル上下湿度差

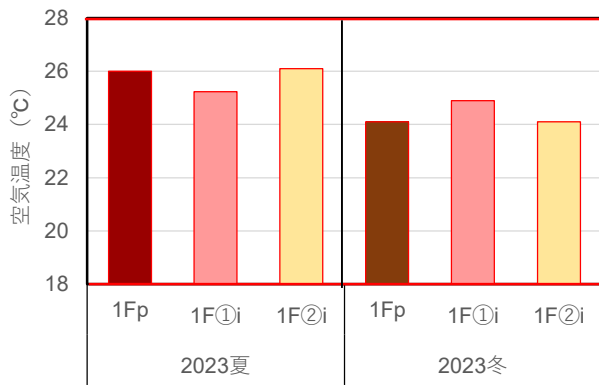


図 2-7-24 Dビル 1F 空気温度 (高さ 1.1m)

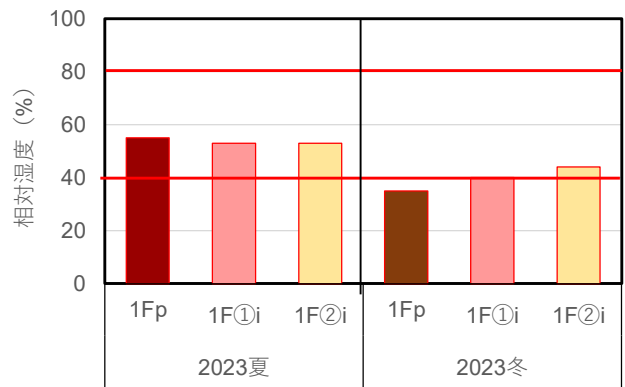


図 2-7-25 Dビル 1F 相対湿度 (高さ 1.1m)

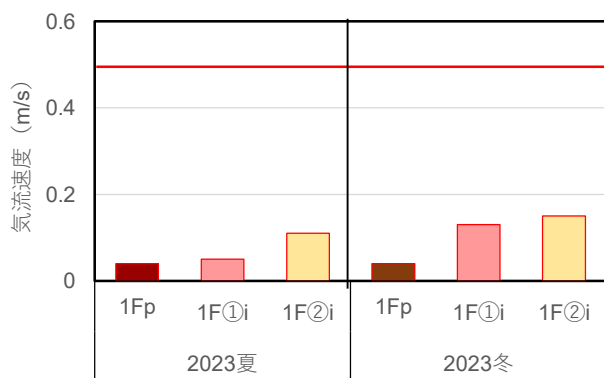


図 2-7-26 Dビル 1F 気流速度 (高さ 1.1m)

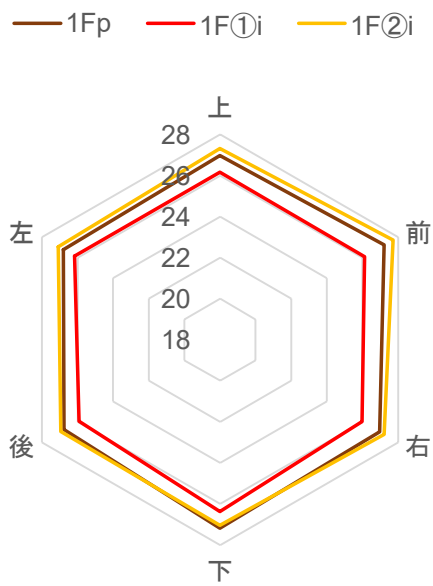


図 2-7-27 Dビル 1F 微小面放射温度 (夏季)



図 2-7-28 Dビル 1F 微小面放射温度 (冬季)

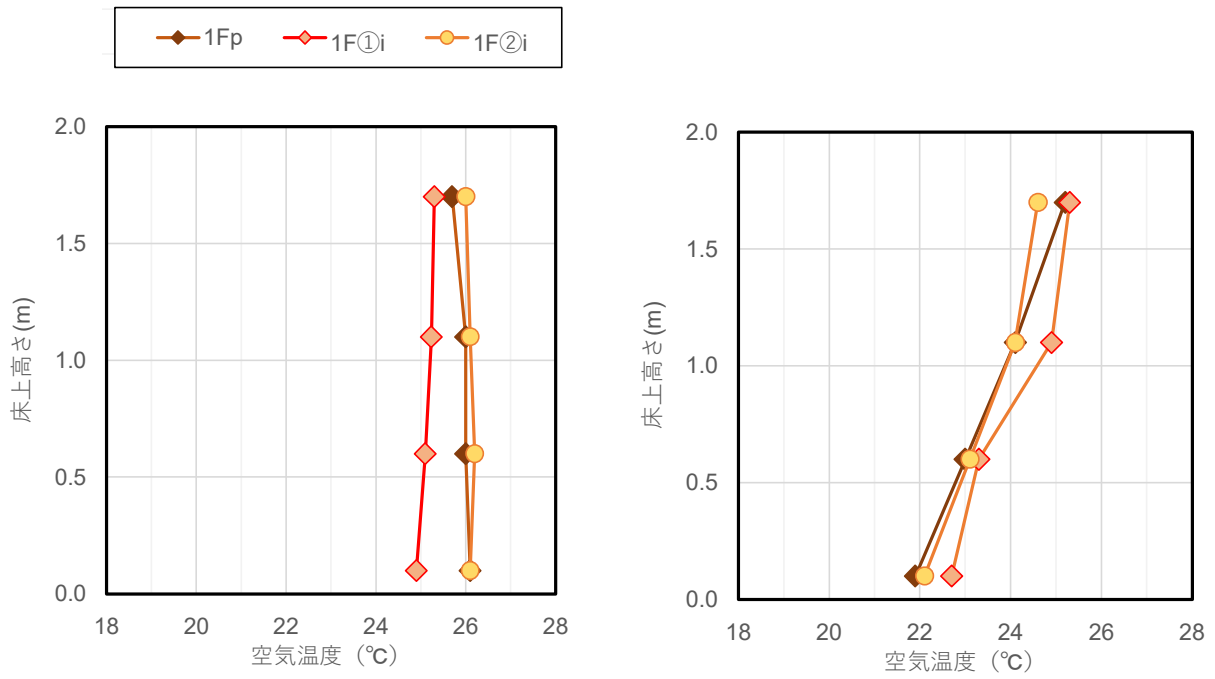


図 2-7-29 Dビル 1F 上下温度差 (左：夏季、右：冬季)

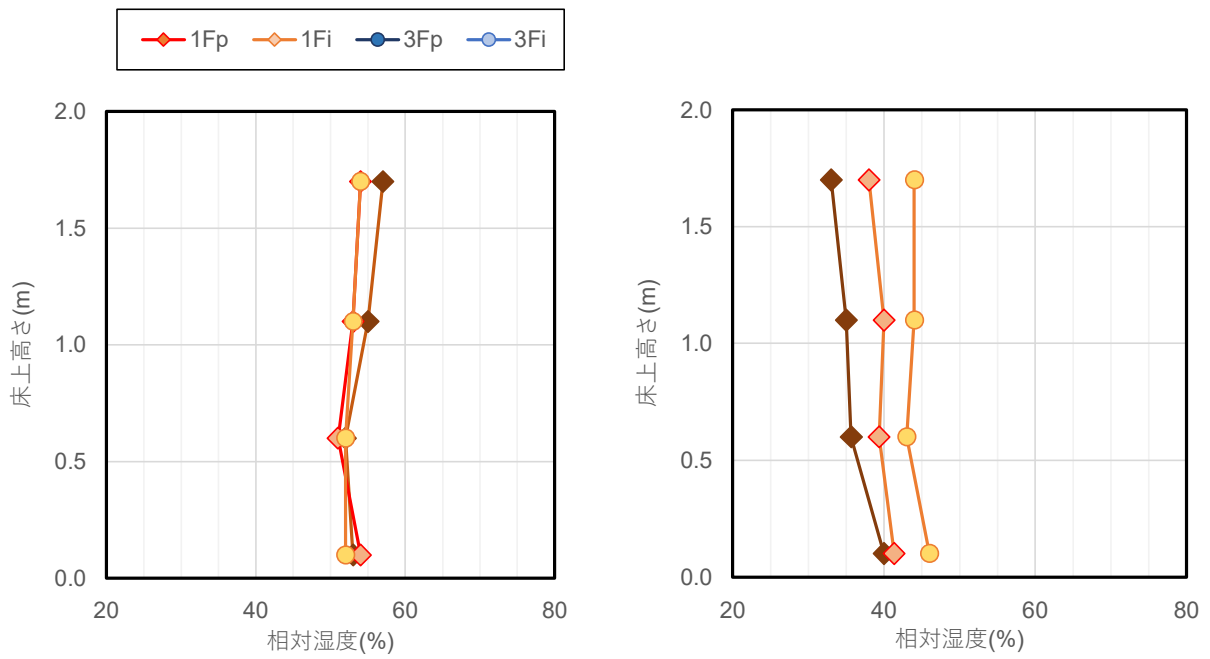


図 2-7-30 Dビル 1F 上下湿度差 (左：夏季、右：冬季)

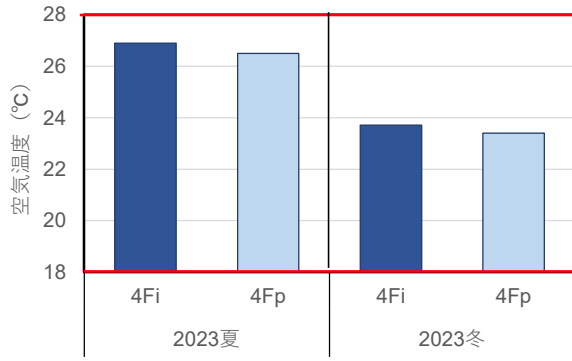


図 2-7-31 Dビル 4F 空気温度 (高さ 1.1m)

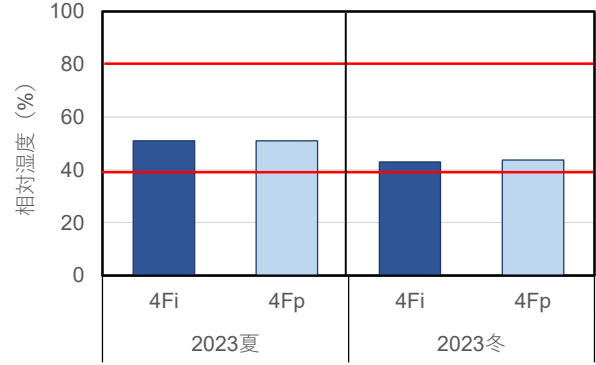


図 2-7-32 Dビル 4F 相対湿度 (高さ 1.1m)

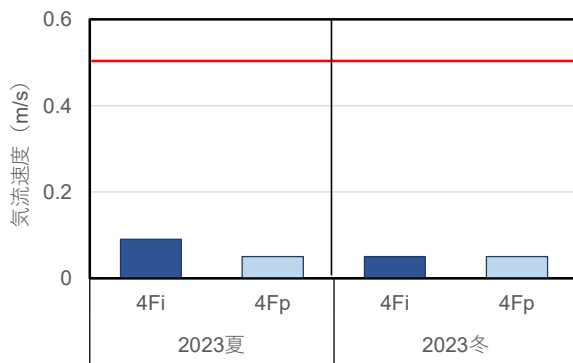


図 2-7-33 Dビル 4F 気流速度 (高さ 1.1m)

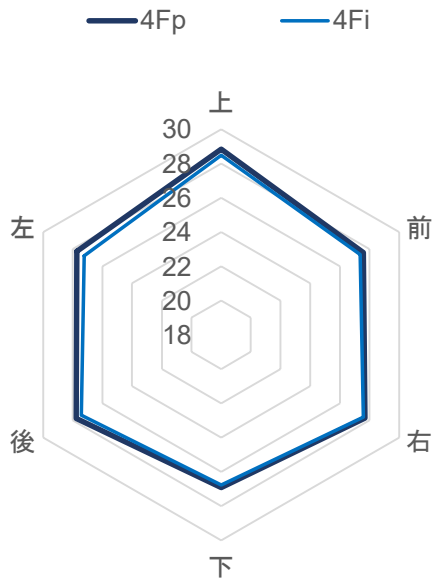


図 2-7-34 Dビル 4F 微小面放射温度 (夏季)

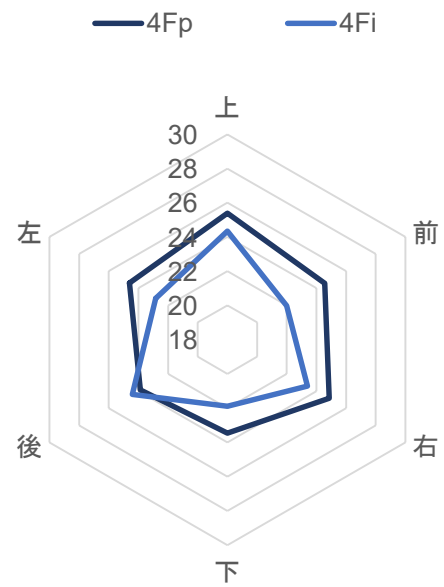


図 2-7-35 Dビル 4F 微小面放射温度 (夏季)

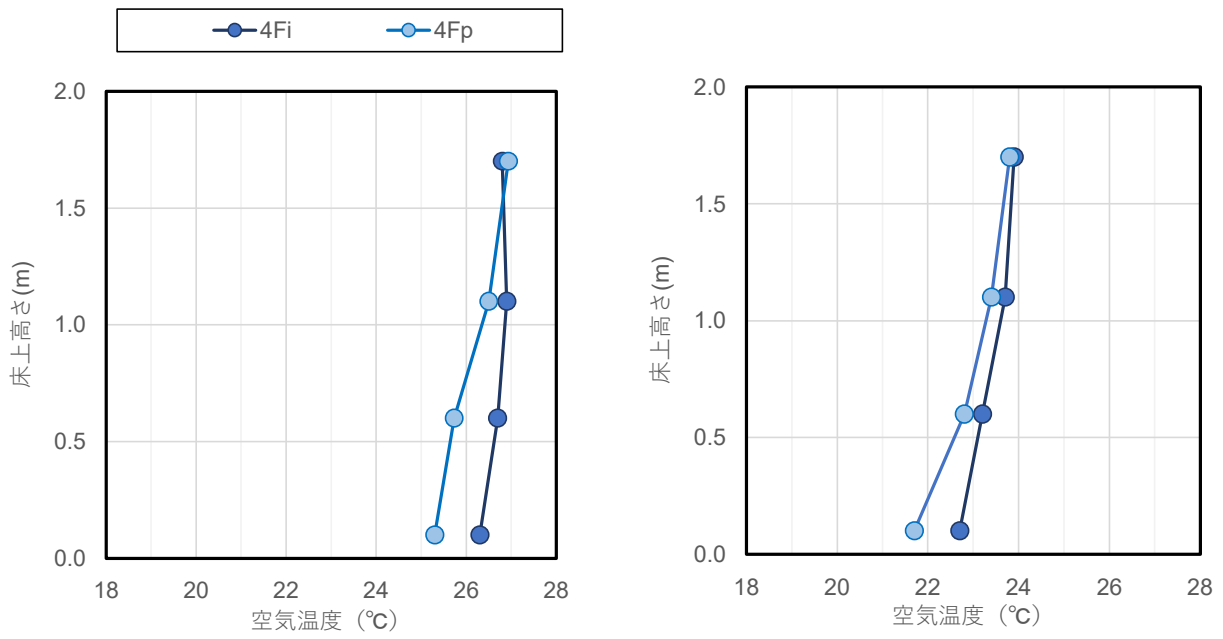


図 2-7-36 Dビル4F上下温度差 (左：夏季、右：冬季)

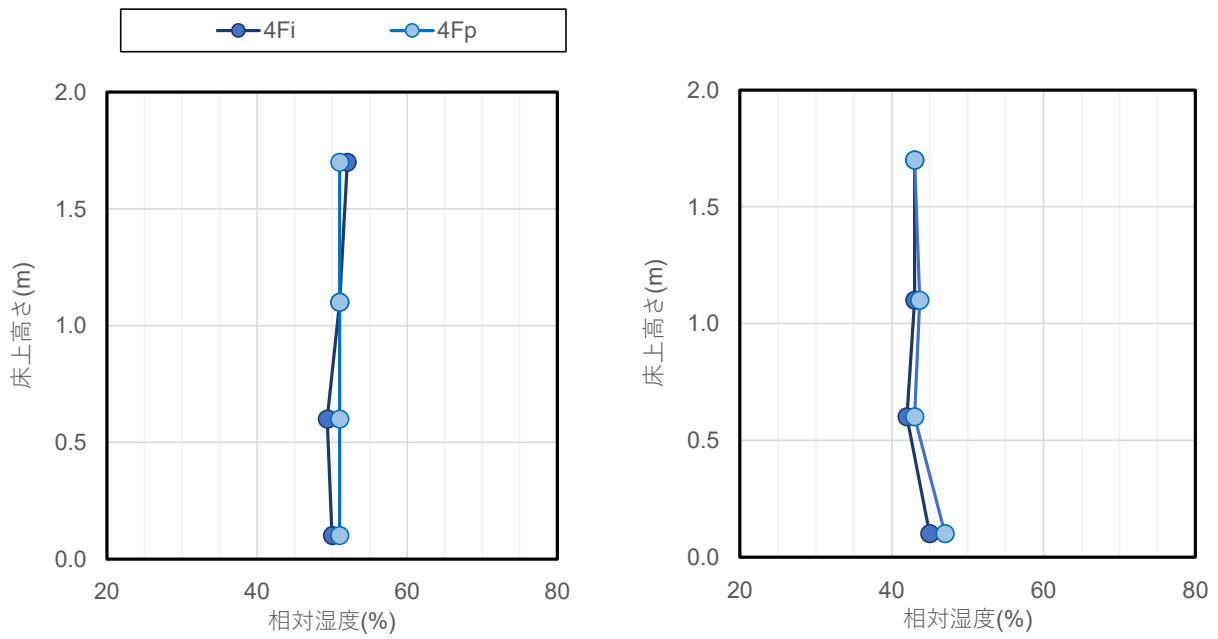


図 2-7-37 Dビル4F上下湿度差 (左：夏季、右：冬季)

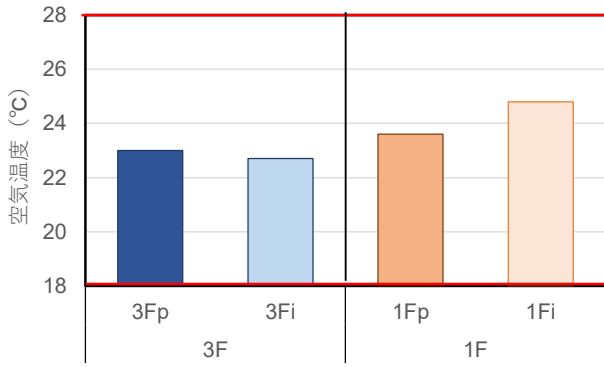


図 2-7-38 G ビル空気温度 (高さ 1.1m)

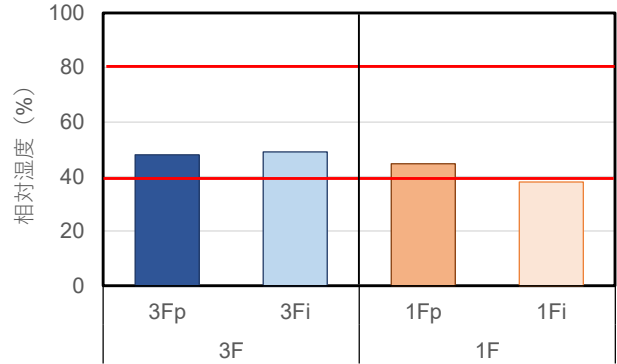


図 2-7-39 G ビル相対湿度 (高さ 1.1m)

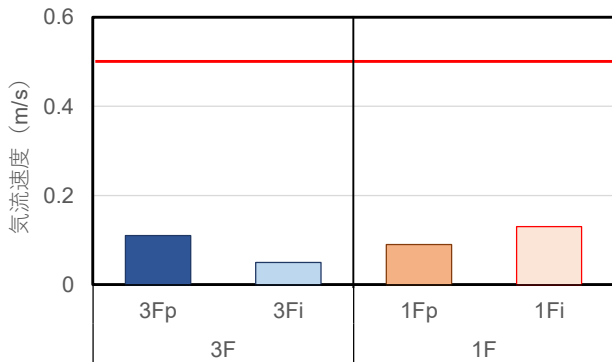


図 2-7-40 G ビル気流速度 (高さ 1.1m)

— 3Fp — 3Fi — 1Fp — 1Fi

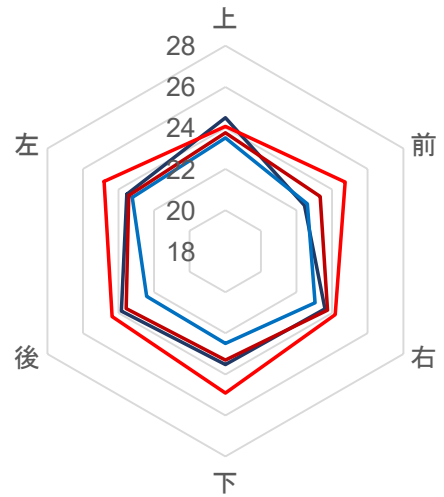


図 2-7-41 G ビル微小面放射温度 (冬季)

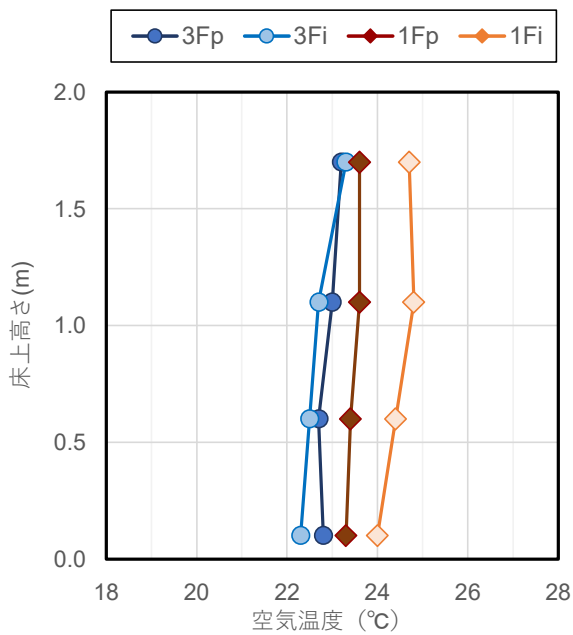


図 2-7-42 G ビル上下温度差

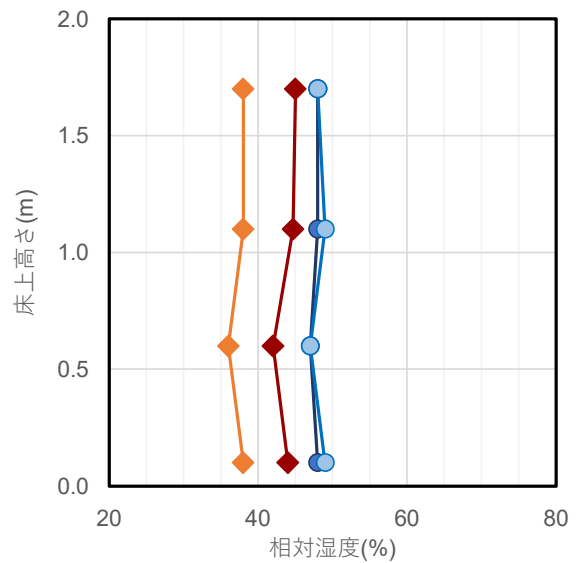


図 2-7-43 G ビル上下湿度差

付録

ASHRAE 55-2023 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy

環境測定による熱的快適性評価手法に関連する部分の抜粋

ASHRAE 55 は、ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）の温熱環境に関する基準であり、2023年版が最新となっている。用語の定義や熱的快適条件に関する推奨値について解説されているが、既存建築物の評価方法に関する記述もある。中でも建物管理に使われる BAS (building automation system。日本の BEMS に相当) による環境評価法も解説されており、連続測定値を用いた管理に参考になるため、関連部分を翻訳した。

7. 既存建築物における熱的快適性評価

7.3 測定方法

7.3.2 建築物内の環境測定点

a.平面 滞在者が滞在している、または滞在すると想定される代表点を選定する。同じ建築物内で類似した空間を複数評価する場合は、代表的な空間を1つ選定してよい。

滞在者の位置が不明な場合は、測定点は以下の2条件を満たすこととする。

- 1. 空間の中央
2. 各壁の中央から 1m 以上内側。窓のある外壁の場合は、最も大きな窓の中央から 1m 内側

最も極端な環境になる、またはそうなること

が想定される点でも測定を行う。(例: 窓、吹出口、隅角部、出入り口近傍で、滞在が想定される点)

b.床上高さ 滞在者が着座している場合は、空気温度と気流速度を 0.1m、0.6m、1.1m で測定する。滞在者が立っている場合は、空気温度と気流速度を 0.1m、1.1m、1.7m で測定する。作用温度または PMV を求める場合は、座位は 0.6m、立位は 1.1m で評価する。床表面温度が不快要因になると想定される場合は、接触温度計または赤外線温度計で測定する。

非対称放射を評価する場合は、その影響をうける居住者の位置にて、微小面温度差が最大となる方位を選定する。

7.3.3 環境測定のタイミング（一部抜粋）

測定時間は2時間以上とし、評価対象期間(年、月、日)の代表となる滞在時間帯、または滞在時間中において影響が大きいと判断された時間帯に実施する。

測定間隔は、空気温度・平均放射温度・湿度は5分以下、気流速度は3分以下とする。

居住者による環境調節レベルの評価は、6.1節の要求事項に適合しているかを評価する。調節手段へのアクセス性、応答速度、および PMV の影響の大きさを含め、第 6.1.1 項の要求事項に適合していること。

7.3.4 測定機器の仕様

測定機器は、表 7-1 に示す測定範囲と精度を満たすこととする。空気温度センサは、周囲からの放射の影響を防ぐ。

Table 7-1 Instrumentation Measurement Range and Accuracy

Table with 3 columns: Quantity, Measurement Range, Accuracy. Rows include Air temperature, Mean radiant temperature, Plane radiant temperature, Surface temperature, Humidity, relative, Air speed, and Directional radiation.

Table 5-12 Limits on Temperature Drifts and Ramps

Time Period, h	0.25	0.5	1	2	4
Maximum Operative Temperature t_o Change Allowed, °C (°F)	1.1 (2.0)	1.7 (3.0)	2.2 (4.0)	2.8 (5.0)	3.3 (6.0)

7.3.5 BEMS データによる環境評価

7.3.5.1 測定点 BEMS に用いる室内環境センサは、7.3.2 に指定される測定点と比較できる点に設置する。

7.3.5.2 分解能 BEMS の室内環境センサの分解能は、空気温度は 0.5°C 以下、湿度は ±5% とする。

7.3.5.3 測定時間 測定間隔 15 分未満で 30 日以上、室内環境の変動を記録できるものとする。

7.3.5.4 関連情報 室内環境評価と同じ期間の設備の運転状況、給還気温度、冷温水温度等を記録する。

7.4 評価方法 (抜粋)

7.4.2 環境測定データによる評価 以下に示す 7.4.2.1 または 7.4.2.2 により評価する。

7.4.2.1 特定の時間帯における快適性を評価する場合

a. 全館空調の建築物

1. 居住空間は、本基準の 5.3 で示される PMV または SET の快適域で評価する。

2. 局所不快は、本基準の 5.3.5 で示される許容範囲で評価する。

b. 滞在者が窓開けにより環境調節を行う建築物 (省略)

7.4.2.2 一定の期間における快適性を評価する場合

7.4.2.1 に示す手法を用い、対象期間の在室時間帯における快適域の不適時間数 (exceedance hour: EH) を評価する。

7.4.2.2.1 EH は PMV または adaptive model を用いて評価する：

a. 任意の期間の在室時間帯について、不適時間数を積算する

b. (adaptive model に関する記述のため、省略)

c. 時間の単位は h とする。在室時間に対する不適時間の割合を用いてもよい。

7.4.2.2.2 不適時間数は、快適域、室温変動、局所不快等について求めてもよい。

【参考】

5.3.4 室温変動

5.3.2.1 適用範囲 本項で解説する室温変動は、居住者自身による制御によらないものとする

5.3.4.2 周期的変動 15 分未満の周期的な作用温度の変動は、振幅が 1.1°C を越えないようにする

5.3.4.3 非周期的変動 単調で非周期的な作用温度の変動、または 15 分を超える周期的変動は、以下の表の範囲を超えないようにする