

平成26～28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. 健康危機に対応した環境衛生の実態と管理項目の検討

分担研究者	柳 宇	工学院大学建築学部	教授
分担研究者	東 賢一	近畿大学医学部	准教授
分担研究者	鍵 直樹	東京工業大学大学院	准教授
分担研究者	金 勲	国立保健医療科学院	主任研究官

研究要旨

建築物の管理者及び利用者に対するアンケート調査と室内環境の測定調査を実施し、建築物における衛生的環境の維持管理の実態、建築物利用者の健康状態及び職場環境等の実態を把握することによって、これらの要因に影響する維持管理上の課題を明らかにするものである。

多くの建物において、温度、CO₂濃度は基準値を満足していたが、相対湿度に関しては基準値である40%RHを下回る建物があり、絶対湿度としては22℃、45%RHを満足するための0.0073[kg/kg(DA)]より低く加湿不足にあった。CO₂濃度は1000ppm未満で管理されており、換気量の試算から設計基準とされている30～35m³/(h・人)より多い建築物が多く、十分な換気能力を有していることが明らかになった。総合温冷感（PMV）評価から、室内負荷の大きなオフィスビルでは秋期や冬期の様な暖房負荷時よりは夏期の冷房負荷時により厳しい環境にあることが分かった。浮遊細菌・真菌では殆どが学会管理規準を下回り、I/O比から中央式空調の建物がより空気質により有利であることが再確認された。マイクロバイーム調査では、ヒトに対して病原性を有する種が検出されることがあった。

室内PM2.5濃度は0.002～0.03 mg/m³程度と大気基準を下回っていた。同一建物内の濃度は概ね同様の値を示しており、室内での発生源のほか、空調方式の種類より検討することで、外気からの侵入する微粒子を処理する空調機（フィルタ）の特性が関係しているものと考えられた。エンドトキシン濃度は殆どが0.5 EU/m³未満と濃度は低く、外気濃度が室内濃度より高い傾向を示している。但、冬期に限った汚染源が存在するオフィスがあり、同時に採取した加湿水のET濃度測定結果から新しい水道水より高い濃度が確認された。

職場環境と在室者の健康に関する調査では、上気道症状では温度の低下、相対湿度の低下、絶対湿度の低下との間に有意な関係がみられた。冬期の相対湿度は管理基準の40%を下回るオフィスが大半であったことから、冬期の湿度低下が上気道症状のリスクを高めている原因となっている可能性が考えられた。CO₂に関する近年の複数のエビデンスは生理学的変化及びSBS関連症状との関係を示しているが、CO₂によるものか他の汚染物質との混合曝露によるものかはさらなる検証が必要（特に長期間曝露の影響）ではあるが、建物内のCO₂の室内濃度を1000ppm以下の低濃度に抑えることで、これらの健康影響を防止できると考えられる。

研究協力者

大澤元毅	国立保健医療科学院
林 基哉	国立保健医療科学院
開原典子	国立保健医療科学院
奥村龍一	東京都健康安全研究センター
河野彰宏	大阪市役所生活衛生課

2.健康危機に対応した環境衛生の実態と管理項目の検討

近年、建築物の多様化及び省エネルギー対応などより、建築物衛生法の管理基準に適合しない建築物が増加している^{1,2)}。また、微生物及び超微小粒子など建築物に関わる汚染要

因も変化してきており、監視方法及び管理基準を含めた環境衛生管理のあり方を検討する必要があると考えられる。

このような背景を踏まえ、本研究では、特定建築物における室内環境の測定調査を実施すると共に建築物の管理者及び利用者に対するアンケート調査を行い、建築物における衛生的環境の維持管理の実態、建築物利用者の健康状態及び職場環境等の実態を把握する。

そして、オフィス環境に起因すると思われる健康障害の実態と職場環境との関連性、建築物利用者の健康及び職場環境に影響する可能性のある維持管理上の課題を明らかにする。

現在、建築物衛生法に基づく環境衛生管理基準の測定及び点検は、6回/年実施することとなっている。事務所労働者の症状に関するリスク要因、維持管理上の問題を明らかにするためには、年間を通じた縦断調査が必要である。そこで、本調査では、調査事務所数を全国数地点の数十件程度に絞ったうえで、2年間（2ヶ月ごとに中間評価を実施）の前向き縦断調査を実施している。そして、事務所に勤務する従業員の症状に関するリスク要因と建築室内環境における維持管理上の問題点について、より高い科学的エビデンスを得る。

本研究で得られた成果は、建築物における衛生的環境を確保するうえで、今後の建築物に必要な管理基準及び監視方法等のあり方に関する施策の立案に寄与するものである。

本章の構成として、「2-1 建築物における衛生環境の実態と管理項目」では温湿度・CO2濃度・総合温熱感（PMV）、微生物、化学物質、PM2.5、エンドトキシンの測定結果を纏めた。また、「2-2 アンケートと環境要素の関係」では、測定結果とアンケート結果を相関分析し室内衛生環境と健康との関連性について検討した結果を報告する。

2-1 温湿度・CO2濃度・PMV

A. 調査対象ビルの概要

表 2-1-1 に調査対象ビルの概要と測定時期を示す。測定対象 ID について、頭文字 O のビルは大阪、T のビルは東京にあるオフィスビルを示している。また、空調方式について、

AHU はエアハンドリングユニットの略、PAC はパッケージ型空調機、HEX は全熱交換器を指している。一人当たりの占有床面積について、一般に設計値として 5[m²/人]の値を用いられるが、本調査の対象の殆どはそれより大きく、最大でその 5 倍の値であった（冬期 T-18）。

表 2-1-1 調査対象ビルの概要

測定日	測定対象ID	空調方式	対象床面積 [m ²]	在室者数 [人]	一人当たり占有 床面積[m ² /人]
冬季					
2016/1/15	T-05	AHU+ダクト	922	78	12
2015/12/22	T-06	PAC+HEX	92	7	13
2015/12/22	T-17	AHU+ダクト	737	60	12
2016/1/15	T-18 (2カ所)	PAC+HEX	422・645	16・58	26・11
2015/12/22	T-19 (2カ所)	AHU+ダクト	1152	120・41	10・28
2016/2/23	O-02 (3カ所)	AHU+ダクト	180・248・200	22・36・26	8・7・8
2016/2/24	O-03 (3カ所)	AHU+ダクト	136・66・102	12・21・12	11・3・8
2016/2/24	O-04	PAC+HEX	119	8	15
2016/2/24	O-05 (5カ所)	AHU+ダクト	368	41・34・44・66・21	9・11・6・18
2016/2/23	O-06	AHU+ダクト	194	10	19.4
2016/2/23	O-08 (4カ所)	PAC+HEX	186	9・9・14・16	20・20・13・11
夏季					
2016/8/2	T-05	AHU+ダクト	922	63	15
2016/8/2	T-06	PAC+HEX	92	11	8
2016/8/3	T-17	AHU+ダクト	737	70	11
2016/8/2	T-18 (2カ所)	PAC+HEX	422・645	24・58	18・11
2016/8/3	T-19 (2カ所)	AHU+ダクト	1152	121・40	10・29
2016/8/9	O-02 (3カ所)	AHU+ダクト	180・248・200	21・39・18	9・6・11
2016/8/8	O-03 (3カ所)	AHU+ダクト	136・66・102	16・12・10	9・6・10
2016/8/8	O-04	PAC+HEX	119	11	11
2016/8/9	O-05 (5カ所)	AHU+ダクト	368	40・28・51・59・22	9・13・7・6・17
2016/8/9	O-08 (4カ所)	PAC+HEX	186	14・8・10・7	13・23・19・27
秋季					
2016/11/9	T-19 (2カ所)	AHU+ダクト	1285・668	136・55	9・12
2016/10/17	O-05 (5カ所)	AHU+ダクト	217・316・316 ・207・253	23・70・74 ・29・34	9・5・4・7・7
2016/10/17	O-03 (3カ所)	AHU+ダクト	109・148・90	12・13・10	9・11・9
2016/10/17	O-08 (4カ所)	PAC+HEX	244・178・169・56	18・6・11・9	14・30・15・6
2016/10/18	O-02 (3カ所)	AHU+ダクト	169・229・141	23・43・18	7・5・8

B. 測定項目と測定方法

測定は1年間の連続測定と季節別の立ち入り測定であった。1年間の連続測定において、室内温湿度・CO2・グローブ温度に関する20分間の連続測定を行った。温湿度とCO2濃度に温湿度・CO2センサー（Thermo Recorder TR-72U T&D社製）、グローブ温度に直径75mmのグローブ温度計を用いた。東京と大阪の外気温度について、温湿度データロガー（ハイグロクロン、KNラボラトリーズ製）を用いた20分間の連続測定を行った。

C. 結果

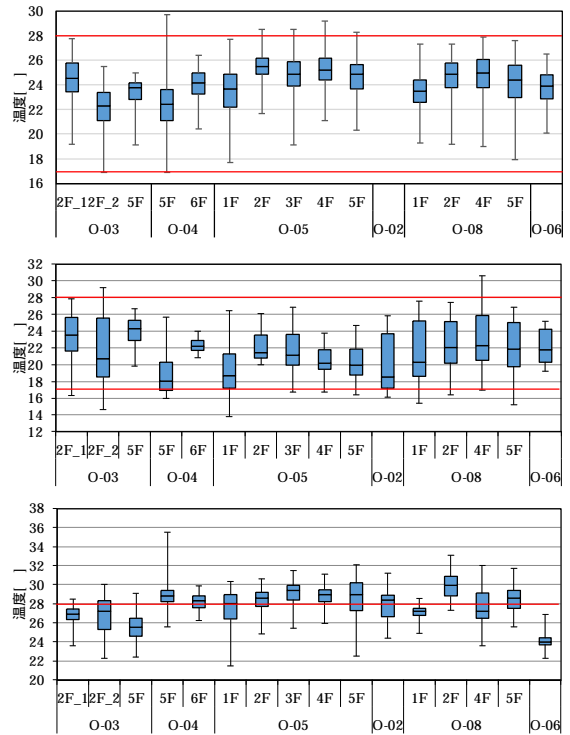
C.1 温度

図 2-1-1 と図 2-1-2 のそれぞれに東京と大阪の秋季・冬季・夏季の代表月の温度の四等分値（最大値、75%タイル値、中央値、25%タイル値、最小値）分布を示す。図は就業時間帯の温度を抽出して作成したものである（以

後に示す四等分値は同様である)

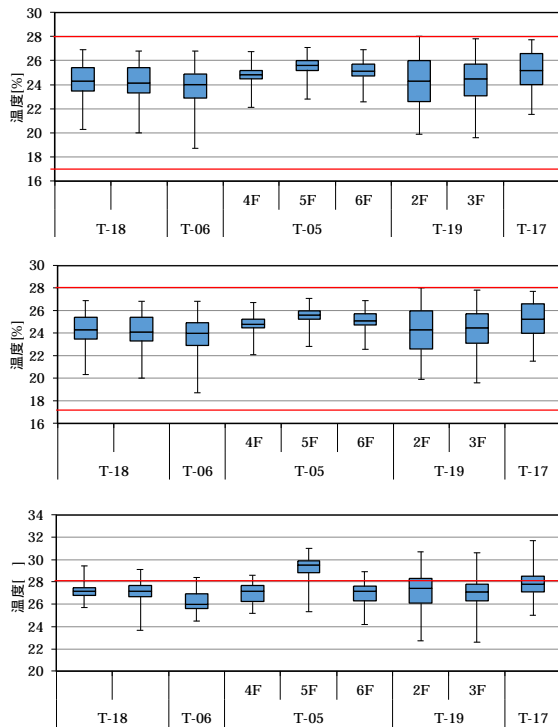
東京では、夏季の T-05 の温度の殆どは管理基準値の 28 を上回っていた。同ビルのほかのフロアの温度が適正に管理されていることを勘案すれば、測定センサーの近傍に発熱機器があり、その影響を受ける可能性があると思われる。一方、他の全ての対象室内の温度は管理基準値の 17~28 の範囲に制御されていた。

大阪では、秋季と冬季の室内温度は概ね管理基準値を満足しているが、夏季の室内温度は 16 室のうちの 10 室の中央値が 28 を超えていた。さらに、75%のタイル値は 30 に達している対象室は少なくないことから、夏季における温度の適正な管理が必要であることが窺えた。



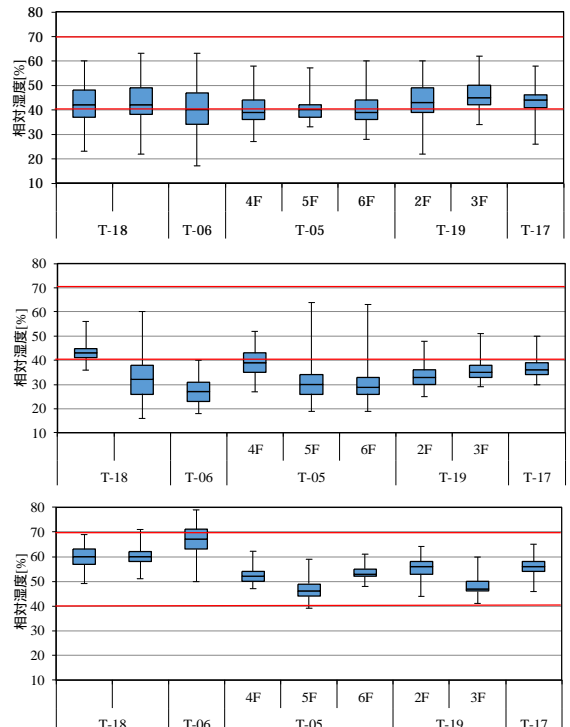
上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-2 季節別の室内温度の分布（大阪）



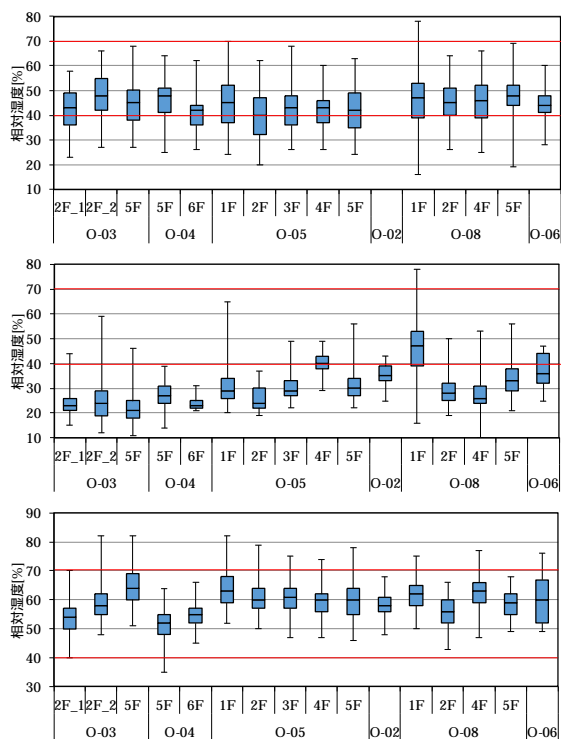
上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-1 季節別の室内温度の分布（東京）



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-3 季節別の室内相対湿度の分布（東京）



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）
 図 2-1-4 季節別の室内相対湿度分布（大阪）

C.2 相対湿度・絶対湿度

図 2-1-3 と図 2-1-4 のそれぞれに東京と大阪の秋季・冬季・夏季の代表月の相対湿度の四等分値分布を示す。

東京では、秋季の中央値または 25% タイル値が管理基準値下限の 40% を下回る対象室が多く見られた（9 室中 6 室）。さらに、冬季では、T-18- を除いた対象室の相対湿度の 75% タイル値（T-05-4F は中央値）が 40% を下回っており、冬季の低湿度問題が再確認された。夏季では、個別空調方式の T-06 の室内相対湿度の 75% タイル値が管理基準値上限の 70% を上回ったが、ほかは概ね良好であった。

大阪では 秋季の 25% タイル値が 40% を下回る対象室が散見された（15 室中 8 室）。冬季では、16 室中の 2 室の中央値のみが 40% を上回った。さらに、16 室中の 11 室の相対湿度の中央値が 30% 以下であった。夏季では、最大値が 70% を上回ったものの、75% タイル値が管理基準値を満足した。

ここでは、冬季における低湿度について検討してみる。一般に、冬期の温湿度の設計条

件は 22 と 45% である。それを満足するために、室内の絶対湿度を 0.0073 [kg/kg(DA)] 以上に加湿する必要があるが、図 2-1-5 と図 2-1-6 に示しているように、絶対湿度が低く（赤い線：0.0073 [kg/kg (DA)]）、加湿不十分であることが明らかになった。

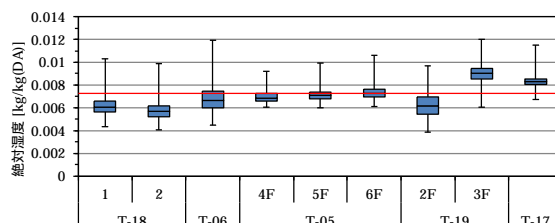


図 2-1-5 季節別の室内絶対湿度分布（東京）

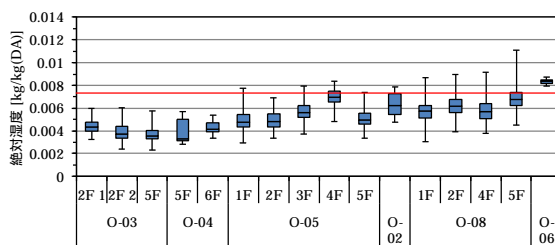
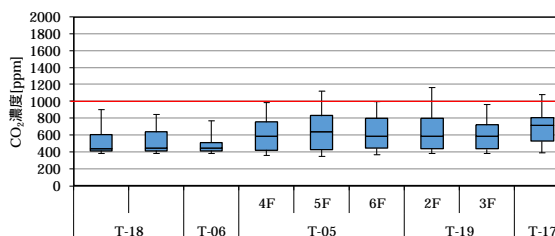
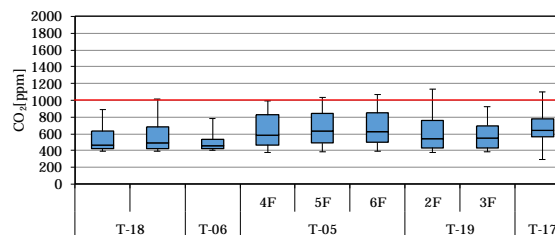
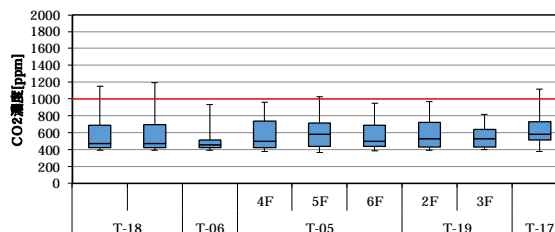
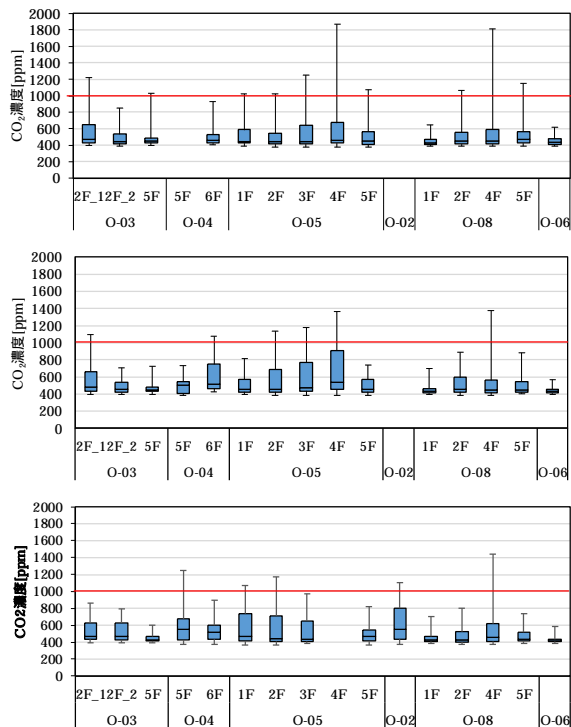


図 2-1-6 季節別の室内絶対湿度分布（大阪）



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）
 図 2-1-7 季節別の CO₂ 濃度分布（東京）



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-8 季節別の CO₂ 濃度分布（東京）

C.3 CO₂ 濃度

図 2-1-7 と図 2-1-8 のそれぞれに東京と大阪の秋季・冬季・夏季の代表月の相対湿度の四等分値分布を示す。季節を問わず、最大値は管理基準値の 1000ppm を超えるもので、全ての中央値が 1000ppm を大きく下回った。

前述した独立行政法人統計情報センターで公表されているオフィスの不適率は 30% 以上であったが、本調査では全て管理基準値を満足した（二酸化炭素濃度については、1 日の平均値が管理基準値を満足すればよいことになっている）。ここでは、代表週の二酸化炭素濃度経時変化特性の測定結果について述べる。

図 2-1-9 に中央方式空調を有する T05 ビル 4 階の 1 週間の CO₂ 濃度と温度の測定結果を示す。図中の赤色で塗りつぶされている日は休日（土日）で、緑色で塗りつぶされている時間帯（9:00~18:00）は執務時間帯を示している。

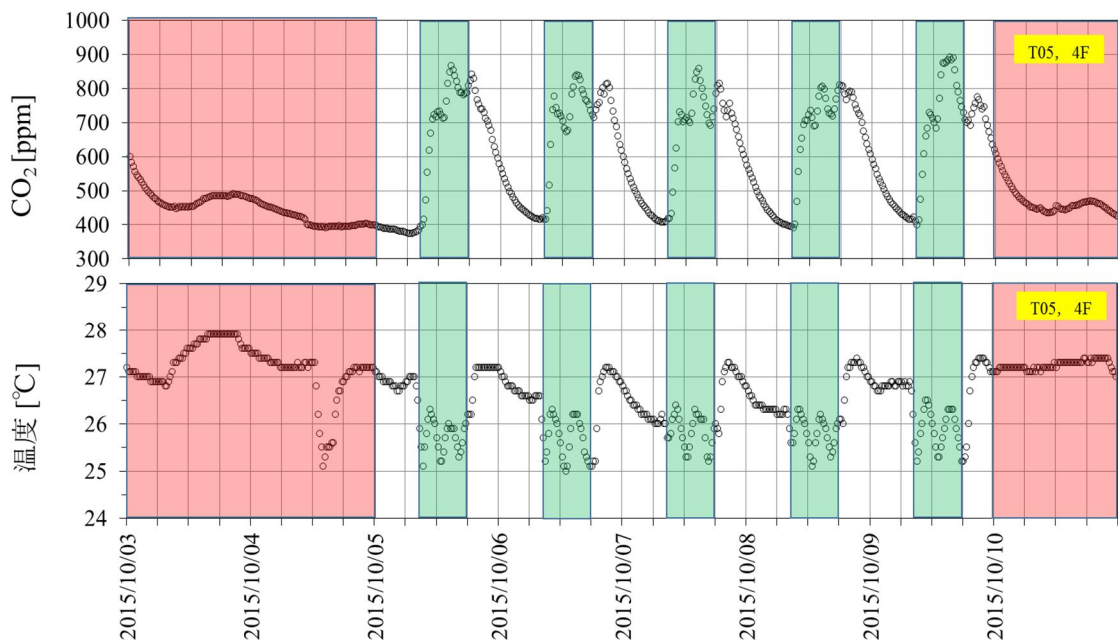


図 2-1-9 温度・CO₂ 濃度の経時変化（T05，4 階）

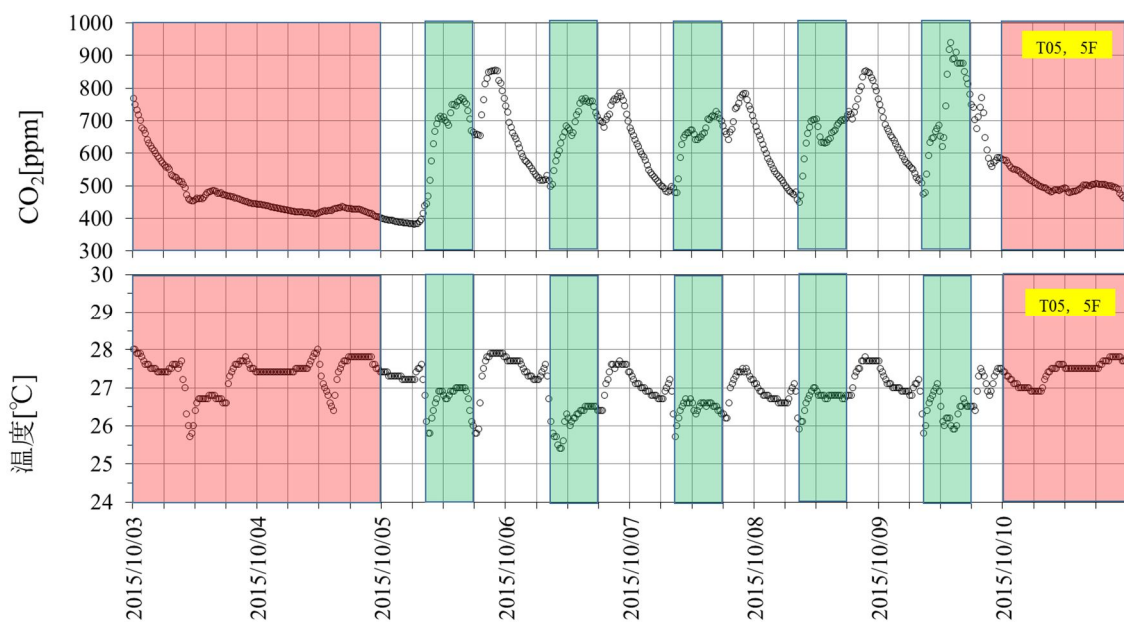


図 2-1-10 温度・CO₂濃度の経時変化 (T05, 5階)

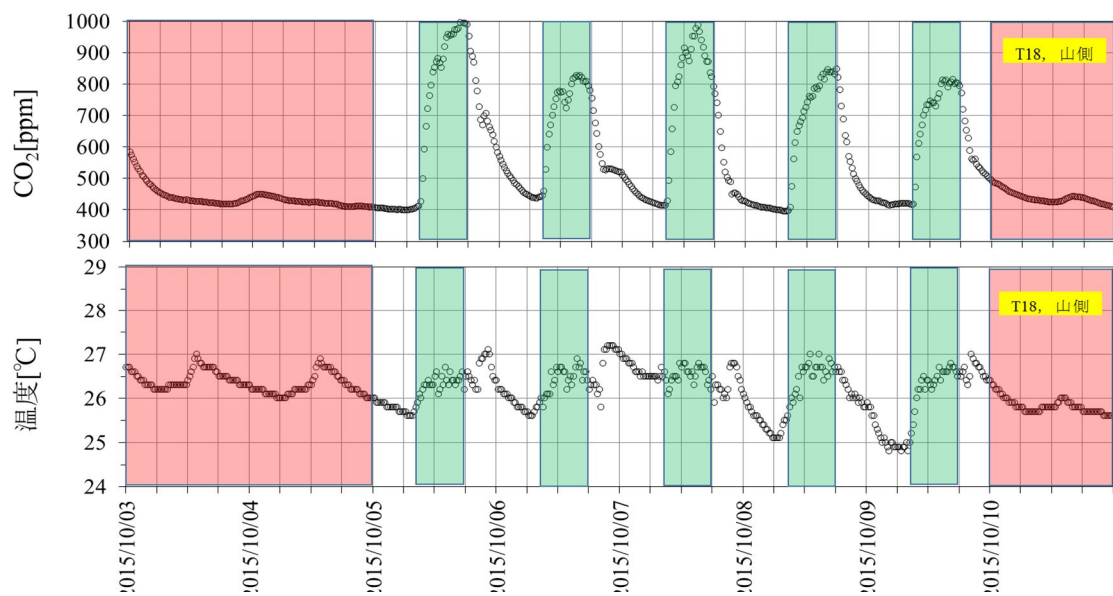


図 2-1-11 温度・CO₂濃度の経時変化 (T18, 山側)

図 2-1-9 から、始業時から CO₂ 濃度が上昇し、およそ 900ppm に達したときに換気量が多くなり、室内 CO₂ 濃度が 900ppm 超えないように制御されていることが確認された。

筆者らは年 4 回の立ち入り測定を行っており、立ち入り測定時の在室者 90 名の条件で、一人当たりの CO₂ 発生量を 20L/h、室有効容積率 90%と仮定すると、図 2-1-9 の濃度の上昇値からフィッティング法¹⁾を用いて算出した換気回数は 1.4~2.0 回/h、換気量は 4300~

6200m³/h (48~69m³/(h・人)) であることが明らかになった。なお、この換気量は設計外気量の 5100 m³/h (西側 3100 m³/h 東側 2000 m³/h) と同程度であった。

また、8:30 頃には AHU の立ち上がりに伴い室温が徐々に低下し、就業時間帯に室内温度が設定温度の 25.5 を中心とした±0.5 の範囲内によく制御されていることが確認された。

図 2-1-10 に T05 ビルの 5 階における同時期

の測定結果を示す。CO₂濃度については前述した4階と同様に、始業時から上昇していたが、室内濃度およそ900ppmを超えないように制御されていた。また、日によって室内CO₂濃度は800ppmを超えないようになっていた。本建物のCO₂制御センサーが空調機械室内の空調機直近の還気ダクト内に設置されており、また、毎年1回センサーの精度を確認していることから、上記の室内濃度が制御設定濃度の900ppmを下回る場合は室内濃度測定センサーの近傍に在室者が少なかった可能性が示唆された。また、CO₂濃度の測定値から求めた換気回数は1.5-1.9回/h(換気量:4600~5900m³/h)であり(在室率50%との仮定で²⁾)、設計換気量と同程度であった。

一方、室内温度は26~27の範囲で変動していた。

図2-1-11に個別方式空調を有するT18ビル山側執務室のCO₂濃度と温度の測定結果を示す。当該ビルは室内CO₂濃度が1000ppmを超えないようによく制御されていることが分かった。一方、室内温度については27を超えないように制御されているが、始業時からのCO₂濃度の上昇に伴い温度も上昇していた。このビルの外気取り入れが全熱交換器を介して(外気冷房時では、バイパスで生外気を導入している)導入されており、前述したT05ビルのような空調機を介しての導入ではないため、外気の導入が室内の温度上昇に繋がったものと考えられる。

また、CO₂濃度の測定値から求めた換気回数は1.2-1.8回/h(換気量:2320~3480m³/h, 36~54m³/(h・人))であり、十分な外気が取り入れられていた。

CO₂濃度が低いのは制御方法と一人当たりの床面積、すなわち一人当たりの気積が大きいことが寄与している。前述したT05ビルの4階とT18ビルの山側において年4回の立ち入り測定を行った。2015年10月20日に行った測定時のそれぞれの在室者数90名と65名を用いると、一人当たりの占有面積はそれぞれ10.2m²/人と9.9m²/人になり、オフィスビルの設計値5m²/人の倍になる。なお、東京都の調査の結果でもオフィスビルの一人当たりの

占有面積は10m²になっており、本研究の調査対象と同様である。

T05ビル4階とT18ビルの山側室内のCO₂濃度制御センサーの設定値をそれぞれ900ppmと1000ppmとし、外気濃度を450ppmと仮定すると一人当たりの必要外気量はそれぞれ44m³/hと36m³/hになる。前述したフィッティング法による計算結果では、T05とT18の外気導入量は4300~6200m³/h(48~69m³/(h・人))と2320~3480m³/h(36~54m³/(h・人))であり、十分な外気が取り入れられていることが明らかになった。

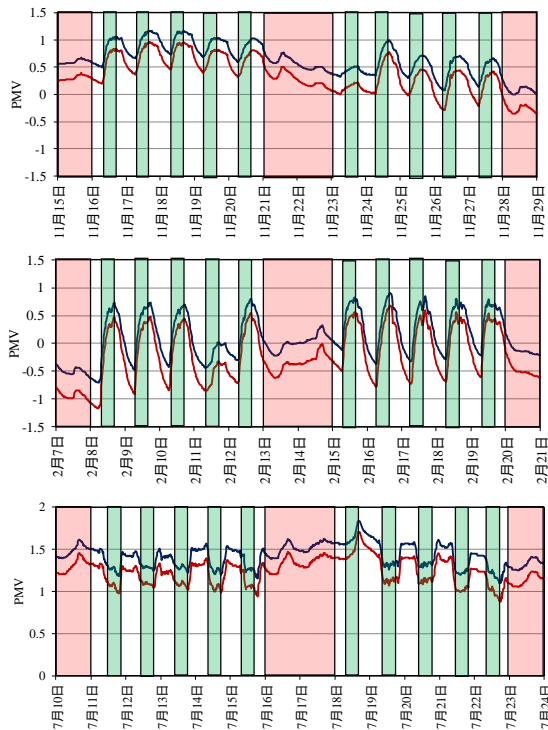
C.4 PMV(総合温冷感)

PMV(predicted mean vote)は平均予測申告値であり、環境4要素(温度、相対湿度、気流速度、平均放射温度)と人間側の2要素(着衣量と活動量)の計6要素から構成される指標であり、温熱快適性の指標として国際規格ISO7730に採用されている。一般にPMV値は下記の5段階で評価されている。

- +2: 暖かい(Warm)
- +1: やや暖かい(Slightly warm)
- 0: 中立(Neutral)
- 1: やや涼しい(Slightly cool)
- 2: 涼しい(Cool)

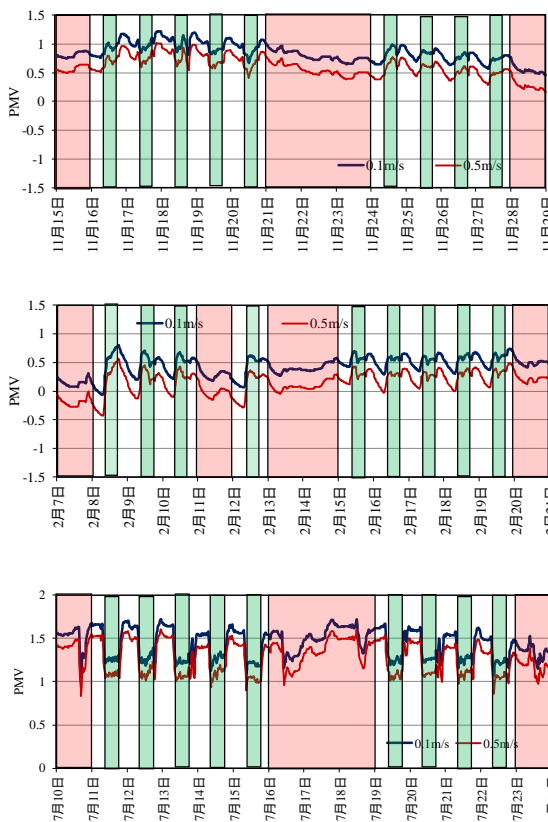
ここでは、温度、相対湿度、MRT(グローブ温度より算出)の測定値と、Met値(1.2)とClo値(0.8)の設定値を用いてPMVを算出した。なお、気流速度を測定していなかったため、速度0.1m/sと0.5m/sの条件を用いた。すなわち、実際のPMV値は風速0.1m/sと0.5m/sの間にあると推測できる。

図2-1-12に例として、T18(山側)の秋季・冬季・夏季の代表週のPMVの経時変化を示す。図中の赤色塗りつぶしている日は休日、緑色で塗りつぶしている箇所は執務時間帯を示す。



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-12 季節別 PMV の変化（T18 山側）



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-13 季節別 PMV の変化（T05 5 階）

秋季では、日によって異なるが、PMV 値は空調の立ち上がり時の-0.5~+0.5 から上昇し、執務時間帯では 0~+1 の範囲にあり、概ね良好であった（予測不快者率 PPD：20%以下）。冬季では、執務時間帯の PMV 値は-0.5~+0.5 の範囲にあり、PPD は 10%以下であった。夏季では、執務時間帯の PMV 値は+1~+1.5 の範囲にあり、PPD は 30%から 40%強であり、室内温度が 27 と高めに設定されていることが一因であると考えられる。

一方、夏季の室内温度が高く測定された T-05（図 2-1-1）の夏季の執務時間帯の PMV 値は T-18 と同じく +1~+1.5 の範囲にあった（図 2-1-13）。

D. 参考文献

- 1) 柳 宇, 吉野 博, 他 6 名：中国における居住環境と児童の健康障害との関連性に関する調査研究 第 4 報 室内 CO₂ 濃度の実態と CO₂ 濃度測定値を用いた換気量の算出, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.993-994, 2015
- 2) 上田博嗣, ほか：省エネルギー技術を複合導入したオフィスの運用実績に基づく評価, (第 5 報) 建物概要および照明制御の室内への影響と省エネ効果の実態, 2006 年空気調和・衛生工学会研究大会論文集, pp.1357-1360, 2006

2-2 生菌・細菌叢（マイクロバイオーム）

2-2-1 生菌

A. 測定方法

季節別の立ち入り測定の測定項目，使用した測定器，および測定場所を表 2-2-1-1 に示す。浮遊細菌と浮遊真菌の測定に SCD 培地と DG18 培地を用い，吸引量を 100L（100L/min×1min）とした。また，浮遊細菌と真菌の測定に粒径別浮遊粒子濃度の測定も同時・同箇所で行った。

室内と屋外の粒径別浮遊粒子濃度と CO・CO₂ 濃度において，1 分間隔計 30 分間の連続測定を行った。

表 2-2-1-1 測定項目・測定対象・測定場所

測定項目	測定機器	測定場所		
		室内	外気	吹出口
浮遊細菌・真菌	バイオサンプラー MBS-1000,ミドリ安全製			
浮遊粒子	パーティクルカウンター KR12A,リオン製			
CO・CO ₂	IAQモニター Model 2210			-

B. 結果

B.1 浮遊細菌

図 2-2-1-1 に冬季の浮遊細菌濃度を示す。全てが日本建築学会 AIJES-2013-A02 の管理規準である 500cfu/m³ を満足する結果となったが，T-18，T-19 2F の浮遊細菌濃度がおよそ 450cfu/m³ と他の測定対象の 2 倍以上の高い値となった。そのため，2016 年冬季に追跡調査を行った。その結果，加湿水中の細菌は 3~8×10⁴cfu/ml，加湿器近傍と室中央の空中の浮遊菌濃度はそれぞれ 2305cfu/m³ と 160cfu/m³ であり，加湿水中で増殖した細菌が室内空中に飛散したことが確認された。当該ビル使用した加湿器は床置き方の超音波加湿器で，毎日終業後換水し，翌朝加湿器の電源を入れるとのことであるが，一晩で加湿水中の遊離塩素が亡くなり，細菌が増殖した結果に繋がったと考えられる。

図 2-2-1-2 に冬季の浮遊細菌濃度の I/O 比を示す。図中塗りつぶしているのは個別方式空調を表している。上記の T-18 は室内汚染源があるため，I/O 比が 9.6 であり，顕著に高かった。ほかの 22 箇所中 I/O 以上になったのは

11 箇所であった。また，空調方式別についてみると，中央方式は 15 箇所中 6 箇所（40%），個別方式は 8 箇所中 6 箇所（75%）の I/O 比が 1 以上であった。個別方式では，外気の侵入量は比較的多いことが I/O 比の上昇に寄与したものと考えられる。

図 2-2-1-3 に夏季の浮遊細菌濃度を示す。全ての測定対象は AIJES-2013-A02 の管理規準値を満足した。また，O-04 の浮遊細菌濃度がおよそ 350cfu/m³ と他の測定箇所と比較して高い結果となった。

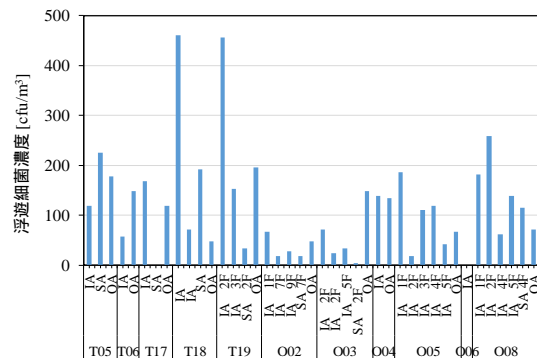


図 2-2-1-1 浮遊細菌濃度（2015 年度冬季）

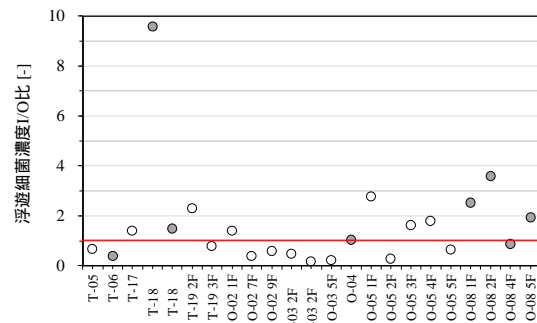


図 2-2-1-2 浮遊細菌濃度 I/O 比（2015 年度冬季）

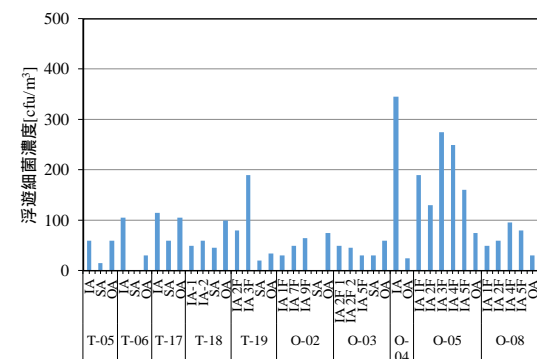


図 2-2-1-3 浮遊細菌濃度（2016 年度夏季）

図2-2-1-4に夏季の浮遊細菌濃度のI/O比を示す。前述した冬季と同様に、図中塗りつぶしているのは個別方式空調を表している。上記のO-04のI/O比が14であり、最も高かった。ほかの22箇所中I/O以上になったのは14箇所であった。また、空調方式別についてみると、中央方式は15箇所中9箇所（60%）、個別方式は冬季と同じように8箇所中6箇所（75%）のI/O比が1以上であった。

B.2 浮遊真菌

図2-2-1-5に冬季の浮遊真菌濃度を示す。T-06の室内（IA）とO-05の3Fの室内（IA）を除いた全ての対象室の室内と給気が日本建築学会 AIJES-2013-A02の管理規準である50cfu/m³を満足する結果となった。ヨーロッパのあるワーキンググループ（EC Concerted Action 613）は、下記の提案をしている。O-05の3Fの室内 *Aspergillus* sp.の濃度は562cfu/m³、そのI/O比も10以上になっていることから（図2-2-1-6）、更なる調査が必要である。

- ・病原性真菌（*Aspergillus fumigatus* など）、毒素生産する真菌（*Stachybotrys atra* ,*toxigenic Aspergillus* , *Penicillium* spp. , *Fusarium* spp.）の存在は好ましくない。
- ・*Cladosporium* spp. または *Alternaria* spp.以外に1種類の真菌が50cfu/m³以上であれば、更なる調査が必要。

図2-2-1-7に夏季の浮遊真菌濃度を示す。T-06の室内、T-18の室内、O-05の室内（IA-5）、O-08全ての室内の浮遊真菌濃度は50cfu/m³を超えたが、I/O比の全てが1以下になっており、外気の影響を受けたものと考えられる。

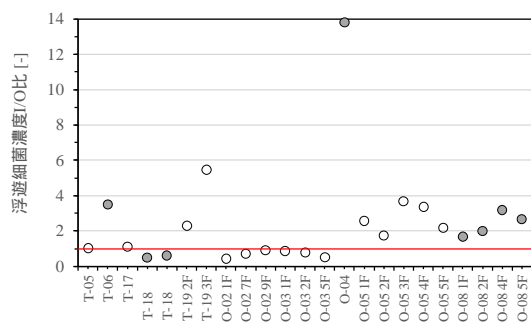


図2-2-1-4 浮遊細菌濃度I/O比
(2016年度夏季)

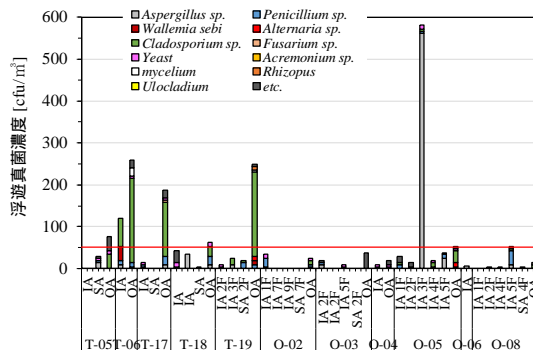


図2-2-1-5 浮遊真菌濃度（2015年度冬季）

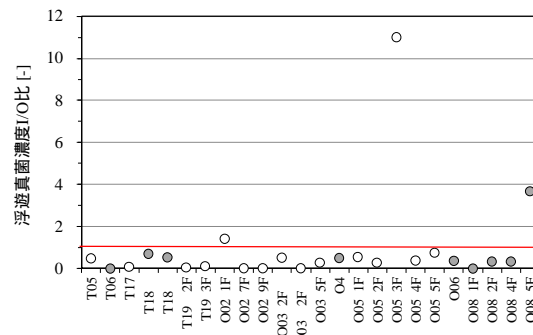


図2-2-1-6 浮遊真菌濃度I/O比
(2015年度冬季)

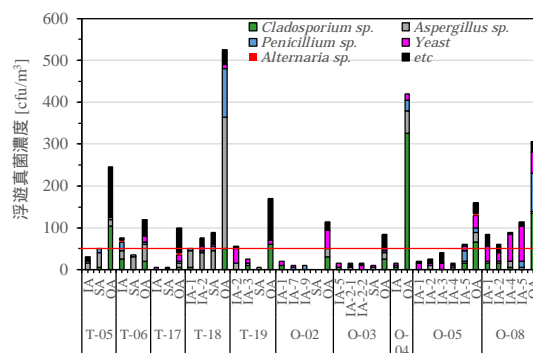


図2-2-1-7 浮遊真菌濃度（2016年度夏季）

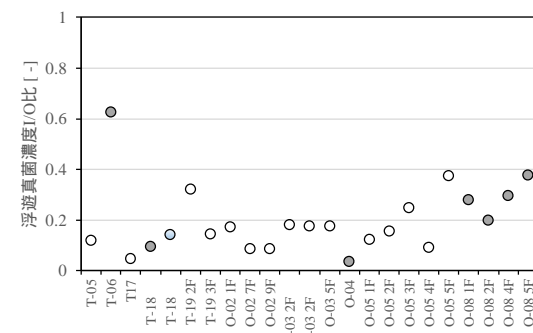


図2-2-1-8 浮遊真菌濃度I/O比
(2016年度夏季)

2-2-2 細菌叢（マイクロバイオーム）

A. 背景及び研究目的

環境マイクロバイオームに関しては、この数年国際学会などでの発表が見られるようになった。1980~1990年代では、ターゲット細菌のDNA解析が報告され、建築物内のマイクロバイオームの研究は1995~2000年代に行われていた。筆者らが2009年にアメリカシラキユスで開かれたHealthy Building国際会議で関連研究発表を聴講したことは記憶に新しい。2010年から次世代シーケンサーによる解析結果報告が見られるようになった。

国内では、環境微生物のDNA解析について四元ら¹⁾、柳ら²⁾が建築環境中の調査結果を報告している。これは培養した微生物から分離された生菌であり、マイクロバイオーム解析までには至っていない。いわゆるメタゲノム（Metagenome）解析は、培養のプロセスを経ずに、環境サンプルから直接に回収したDNAを解析するもので、99%以上培養できないとされている微生物のDNAも解読できる。

B. 測定方法

本研究では、前記の生菌測定（培地法による細菌と真菌の測定）と同時に細菌叢の測定も行った。測定には、S社のAir Check:XR5000とPTFE0.3 Filterを使用した。Air Checkは、空気サンプルを吸引するエアポンプである。本研究での測定の際には、3ℓ/minで1時間測定しサンプリング量を180ℓとした。解析方法は下記の通りである。

フィルターより各サンプルのバクテリアのDNAを抽出する。

Nucleo Spin 740952.50の説明通りに抽出したサンプルよりDNAを精製する。（キットにはNecleo Spin Tissueを使用する）この後の作業は、2015年と2016年で異なる。

・2015年

次世代シーケンサーにかけるための前処理として16SrRNA Amplification Protocol version4_13の行程通りに行った。

Thermal CyclerにかけDNAを増幅させる。

T社にて次世代シーケンサーによる解読

・2016年

サンプル中のDNA濃度を増やすために、次世代シーケンサーにかけるための前処理としてNested PCR(2段階PCR)を行った。

Nested PCRの後、ラベリングをするために、再度PCRにかけた。

ラベリングの後、サンプルに混ざっている阻害要因となる物質を取り除くためビーズ精製を行った。

F社にて、次世代シーケンサーによる解読

C. 結果

表2-2-2-1に2015年秋期、2016年冬期・夏期において、室内、屋外、両方から検出された細菌の門、綱、目、科、属の数をそれぞれ示す。ここでは1%の割合を占める細菌を対象とした。図2-2-2-1に2016年冬季と夏季に検出された細菌属とその割合を示す。

表 2-2-2-1 検出された細菌

	門	綱	目	科	属
2015年秋期					
室内	2	5	7	29	44
屋外	1	2	5	15	21
両方	5	10	20	23	26
合計	8	17	32	67	91
2016年冬季・夏季					
室内	3	8	13	26	36
屋外	1	5	9	21	24
両方	10	17	24	31	28
合計	14	30	46	78	88

検出された割合の高かった細菌の主な特徴は下記に示す通りである。なお、2015年秋期では*Lactobacillus* spp.が、2016年冬期・夏期では*Staphylococcus* spp.が、それぞれ最も高い割合で検出された。

・*Corynebacterium* spp.(コリネバクテリウム属): 好気性または通性嫌気性の桿菌、短桿菌であり、ヒトの皮膚に存在する種もあり、日和見感染菌を有する種を含む。

・*Staphylococcus* spp.(ブドウ球菌属): ヒトから分離されることの多い通性嫌気性球菌であり、黄色ブドウ球菌などヒトに対して病原性を有する種を含む。

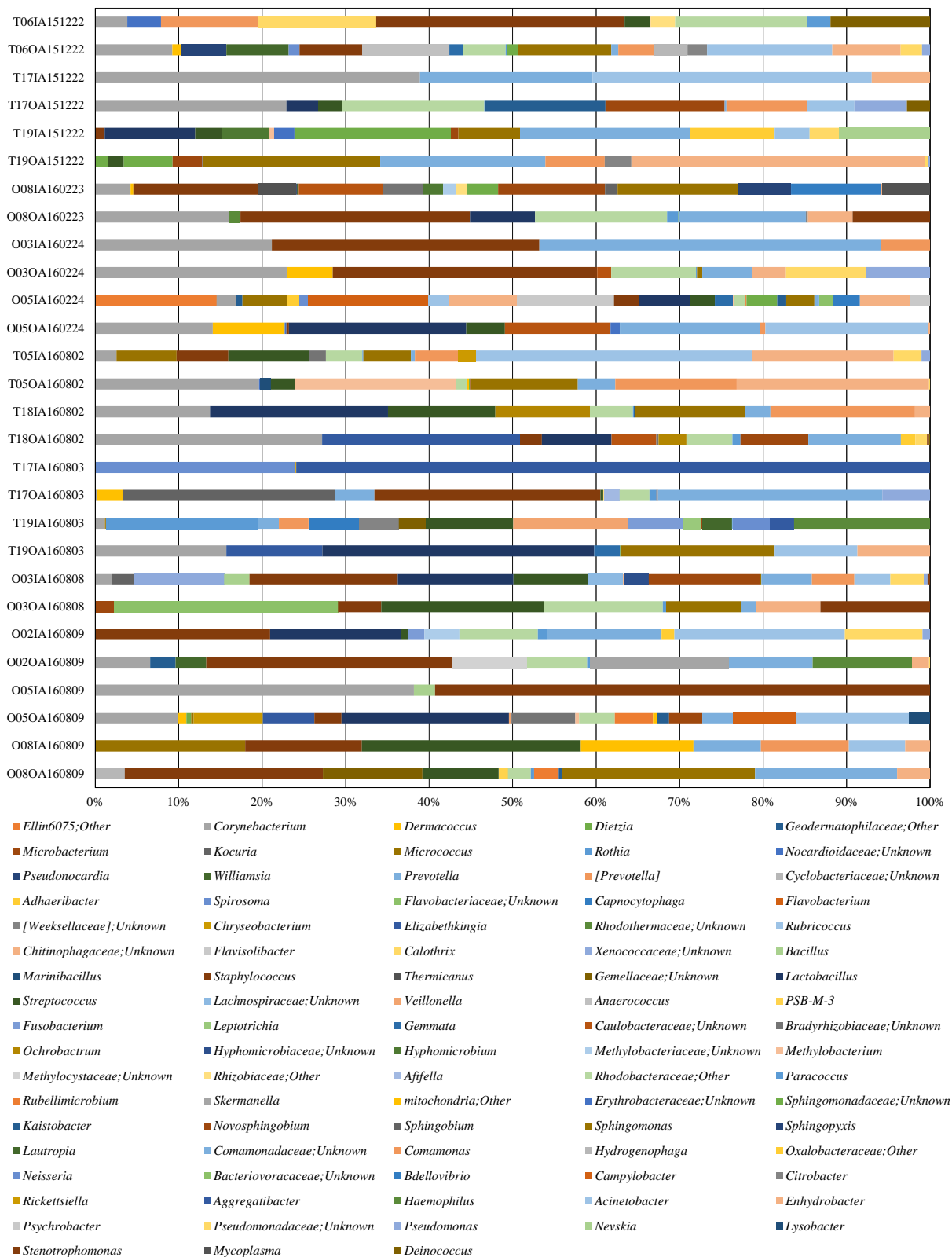


図 2-2-2-1 検出された細菌属とその割合

・ *Lactobacillus* spp.(ラクトバシラス属) : いわゆる乳酸菌であり、発酵食品に使用され、ヒトの腸内にも存在する。通性嫌気性桿菌である。

・ *Sphingomonas* spp.(スフィンゴモナス属) : 好気性桿菌であり、水中や土壌などいたるところに生息する。日和見感染菌を有する種を含む。

・ *Acinetobacter* spp.(アシネトバクター属) : 好気性短桿菌であり、自然界に広く分布する。日和見感染菌を有する種を含む。

・ *Pseudomonas* spp.(シェードモナス属) : 好気性桿菌であり、自然界に広く分布する。緑膿菌という日和見感染菌を有する種を含む。

検出された属の生育特性、発生源、病原性、菌種を図 2-2-2-2、図 2-2-2-3、図 2-2-2-4、図 2-2-2-5 にそれぞれ示す。

また、2016 年冬期・夏期の解析では種まで解析された細菌もあり、それらの中にヒトに対して病原性有する種も検出された。

今回の測定で検出されたヒトに対して病原性を有する種とその病原性を表 2-2-2-2 に示す。ヒトに対して病原性を有する種が検出されたのは、全て夏期のサンプルであった。また、多くがヒトの口腔等の常在菌であり、特に乳幼児や高齢者等の免疫力の低いヒトに対して感染症を引き起こす日和見感染菌であった。

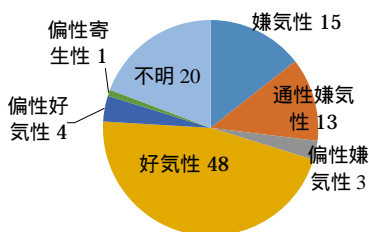


図 2-2-2-2 生育特定

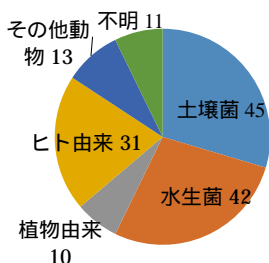


図 2-2-2-3 発生源

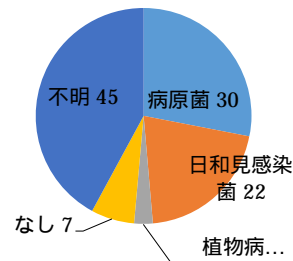


図 2-2-2-4 病原性

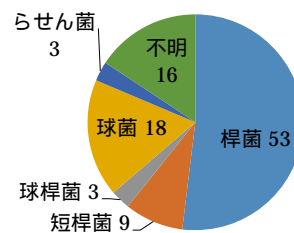


図 2-2-2-5 形状

表 2-2-2-2 検出された病原性を有する菌種

種 (species)	病原性	検出場所
<i>Elizabethkingia meningoseptica</i>	主に新生児に高い致死率で髄膜炎を引き起こす菌として知られている。人から人への感染は一般的に起きないとされている。	東京18夏期屋外 東京17夏期室内 東京19夏期屋外 大阪05夏期室内
<i>Haemophilus influenzae</i>	乳幼児の敗血症や髄膜炎、急性喉頭蓋炎などの侵襲性感染症の起原菌となることが多い。	東京19夏期室内
<i>Haemophilus parainfluenzae</i>	頻度は少ないが喉頭蓋炎、髄膜炎、感染性関節炎、咽頭炎などの起原菌となる。	東京19夏期室内
<i>Prevotella nigrescens</i>	慢性歯周病、急性壊死性潰瘍性歯肉炎、妊娠時における歯肉炎および根尖性歯周炎など口腔領域の感染症の起原菌となる。	東京19夏期室内
<i>Rothia mucilaginosa</i>	易感染性宿主においてまれに菌血症、髄膜炎、肺炎などの感染症の起原菌となる。	東京19夏期室内
<i>Veillonella parvula</i>	混合感染(同時に2種類以上の病原菌に感染すること)により、日和見感染を引き起こす。	東京19夏期室内

D. 参考文献

- 1) 四本瑞世・緒方浩基 : DNA 塩基配列解析法を利用した室内微生物の同定, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010
- 2) 柳 宇, 四本瑞世, 杉山順一, 緒方浩基, 鍵直樹, 大澤元毅 : 高齢者福祉施設における室内環境に関する研究, 第 1 報—遺伝子解析法を用いた微生物汚染実態詳細調査の結果, 空気調和・衛生工学会論文集, No.215, pp.19-26, 2015

2-3 化学物質

A. 研究目的

建築物における室内化学物質については、建築物環境管理基準においてホルムアルデヒドの基準値が、 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ とある。厚生労働省によりその他の化学物質の指針値が定められているが、特に建築物衛生法においては基準値とはなっていない。現状では特定建築物では、建築物衛生法により二酸化炭素濃度を基準とすることで、適切な換気が行われていることから、また室内の発生源が住宅ほど多くないことから、化学物質濃度としては低い値となっていることが考えられる。そこで、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、厚生労働省の指針値に示されている物質を中心に実測調査を行った。

B. 研究方法

B.1 調査対象

対象とした建築物は、前述のとおり事務所となっている。2015年夏期から、2016年秋期までに、各建築物において、夏期、中間期、冬期及び翌年の開始季節の計4回の測定を行った。

B.2 調査方法

化学物質として、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、 $1 \text{ L}/\text{min}$ で計30Lの捕集を行い、HPLCにより定量分析を行った。トルエンなどVOCについては、Tenax捕集剤を用いて捕集し、GC/MSにより分析を行った。捕集時間は両者とも30分であり、参考まで外気の捕集も行った。なお、TVOCの算出には、ヘキサンから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。

C. 研究結果及び考察

各測定点における各化学物質の最小、平均、最大値について、表 2-3-1 に示す。ホルムアルデヒドの基準値及びその他の厚生労働省による指針値、TVOCの暫定目標値を上回ることはなく、十分に低い値となっていた。

表 2-3-1 化学物質濃度の概要 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

	Min.	Mean	Max.
ホルムアルデヒド	4.7	15.2	32.9
アセトアルデヒド	2.2	10.0	23.8
ベンゼン	0.4	1.1	2.3
トルエン	0.9	13.5	57.7
エチルベンゼン	1.0	4.7	21.4
キシレン	0.5	5.9	19.0
スチレン	1.6	2.7	4.4
p-ジクロロベンゼン	0.7	4.2	35.3
テトラデカン	0.5	2.5	20.8
TVOC	5.9	110.7	351.0

D. まとめ

今回の実測においては、季節に関わらず何の建築物においてもホルムアルデヒドの基準値及び厚生労働省の室内化学物質指針値、TVOC暫定目標値を上回る建物はなかった。

2-4 室内 PM_{2.5}

A. 研究目的

建築物衛生法で規定されている浮遊粉じん (SPM)の中でも特に粒径 2.5 μm 以下の微小粒子 PM_{2.5} に関しては、吸入されると呼吸器系深部にまで達し、人の健康に大きな影響を与えると報告されている¹⁾。人は日常生活の大半を室内で過ごす²⁾とされており、室内空气中の微粒子濃度を把握することは、健康影響を評価する上で重要である。大気環境においては、PM_{2.5} に関する環境基準が 1 年平均が 15 μg/m³ 以下、1 日平均が 35 μg/m³ と規定されているものの、室内環境についてはない。この理由として、室内における微粒子の特性に関する知見は少ないこともさることながら、室内で利用できる PM_{2.5} の測定方法が確立されていないことが原因と考えられる。大気で用いられる測定機械は大型で、大流量の捕集を行うものが主流で、室内に適用するには課題がある。そこで本研究では、室内環境でも適用可能な PM_{2.5} の複数の装置による測定方法について検討すると共に、事務所建築物における室内 PM_{2.5} の実態を明らかにし、特に空調方式による室内 PM_{2.5} 及び粒径別粒子の特徴について検討する。

B. 研究方法

B.1 測定方法の特性把握

シウタスインパクト (粒径別に捕集する機械) による粒子捕集 (秤量法) から得る PM_{2.5} 濃度と、他の装置による測定値の相関を把握するため、室内において 5 日間の連続測定を 1 サイクルとし、計 4 回行った。測定項目、測定装置を表 2-4-1 に示す。相対質量濃度測定は、相対濃度計として光散乱の技術を利用した可搬型の装置を用いた。PM_{2.5} の濃度測定が可能な DustTrak (TSI 社製 DRX 8533) と、2.5 μm カットオフインパクトを吸引口に取り付けた 2 種の粉じん計 (日本カノマックス製 3621, 柴田科学製 LD-5) を用いて行った。どちらも、光散乱法を用いており、1 分毎の濃度を記録するものである。

シウタスインパクトでは、浮遊粒子を表 2-4-2 に示すように 5 段階分級し、PTFE フィ

ルタで捕集した。フィルタを電子天秤で秤量し、捕集前後の重量差と捕集流量から質量濃度を算出した。更に、室内外捕集粒子を走査電子顕微鏡・エネルギー分散型 X 線分析装置 (SEM-EDS) を用いて形状観察と組成分析を行った。

粒子捕集測定の日程に合わせ、同室において室内外の濃度測定を行った。室内は連続測定、外気は各日 10, 13, 16, 22 時の 4 回、約 10 分間サンプリングした。測定中在室者はおらず、外気測定時のみ人の出入があった。

表 2-4-1 計測装置の種類と概要

Element	Target	Measuring device
Number concentration	Dp>0.3, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 (μm)	OPC(RION/KC52)
Particle size distribution	5.94nm<Dp<224.7nm	SMPS(TSI/3080)
	10nm<Dp<433nm	PAMS(KANOMAX/3300)
Relative mass concentration	Dp<2.5μm	DustTrak(TSI/8533)
		Piezobalance dust meter (KANOMAX/3521)
		Digital Dust Meter (SHIBATA/LD-5)
Particle composition	Particle collection	Sioutas Cascade Impactor(SCI)
	Shape observation	SEM(KEYENCE/VE-9800)
	Composition analysis	EDS(EDAX/Genesis XM2)

表 2-4-2 シウタスインパクトの分級特性

stage	Aerodynamic size range(μ m)
1	> 2.5
2	1.0-2.5
3	0.5-1.0
4	0.25-0.5
5	0.25 <

B.2 建築物室内における測定

対象とした建築物は、前述のとおり事務所となっている。2015 年夏期から、2016 年秋期までに、各建築物において、夏期、中間期、冬期及び翌年の開始季節の計 4 回の測定を行った。なお、T-20~T-23 は、上述とは追加で測定を行った物件である。

PM_{2.5} の測定には、多くの既往の研究において用いられている可搬型の PM_{2.5} 計 (TSI DustTrak DRX 8533) を用いることとした。この装置は、光散乱法を用いており、1 分毎の濃度を記録するものである。ただし、粒子の性状によりこの機器が表示する濃度と実際の質量濃度は異なることが知られており、換算係数を乗じて濃度とするのが一般的である。本研究においては、この係数を大気で通常用いられている 0.38 として表示する。測定につ

いては、各対象部屋において30分程度の計測を行った。また、PM_{2.5}濃度の測定と並行して、浮遊粒子の粒径分布の特性を把握するため、粒径0.3 μm以上の粒子をパーティクルカウンタ(リオン, KR-12A)により粒径別粒子の個数濃度測定を行った。更には、超微粒子の粒径別個数濃度(粒径約800 nm以下)についても、可搬型粒径分布測定器(日本カノマックス, PAMS)を用いて計測した。

C. 結果

C.1 測定方法の特性

秤量法による質量濃度分布を図2-4-1に示す。一般的に質量濃度分布には微小粒径側の0.2-0.3 μm付近と大粒径側の10 μm付近の2箇所にピークがあるといわれているが、今回の結果では微小粒径側のピークが確認できた。図2-4-2に秤量法とDustTrak, デジタル粉じん計の相関を示す。デジタル粉じん計は秤量法と概ね一致したが、DustTrakは秤量法の2倍以上と過大な結果となった。DustTrakについては、計数値を1としていることから、過大評価しており、適切な計数値を用いることにより、測定可能と考えられる。図2-4-3にDustTrakとデジタル粉じん計の連続測定を行った際のそれぞれのデータの相関を示す。デジタル粉じん計とDustTrakの変動の大小については一致しており、相対的な濃度変動を捉えることは可能と考えられる。また、捕集した粒子をSEM-EDSで形状観察と分析を行った。図2-4-4に示すように粒径が小さくなるにつれ丸みを帯びた粒子が多く確認された。成分としてはO, Na, Si, S, Cl, Kが室内外共に検出され、室内への外気影響があることが考えられる。

市販されているPM_{2.5}計については、室内PM_{2.5}に適合した計数値を設定することができれば、十分に使用できるものと考えられる。また、浮遊粉じん測定に用いられている粉じん計にPM_{2.5}のインパクタを装着することによっても、カウント値を読み取り、適切な計数値を設定することができれば、測定することは可能である。いずれにしても、室内における秤量法などを用いた質量濃度の測定と併

用測定を行うことにより、係数値を求めることが必要である。

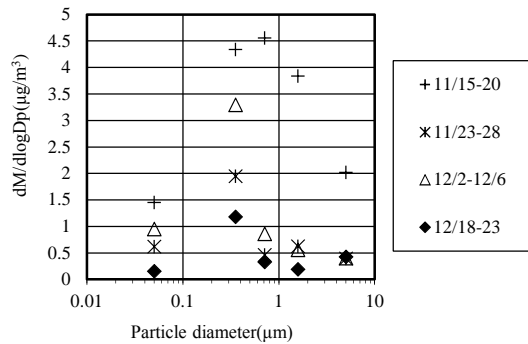


図2-4-1 秤量法による粒径別質量濃度

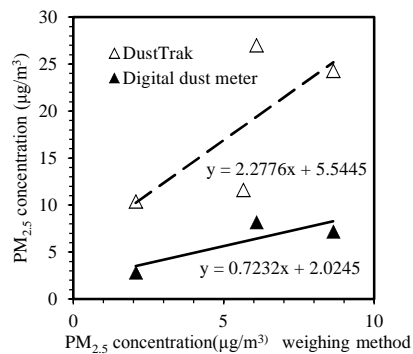


図2-4-2 秤量法とPM_{2.5}計の相関

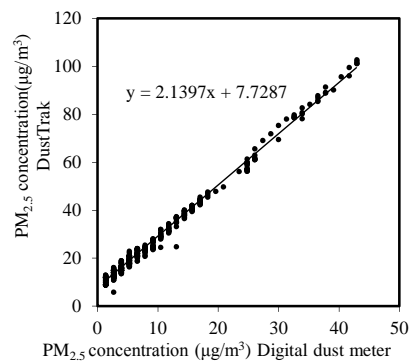
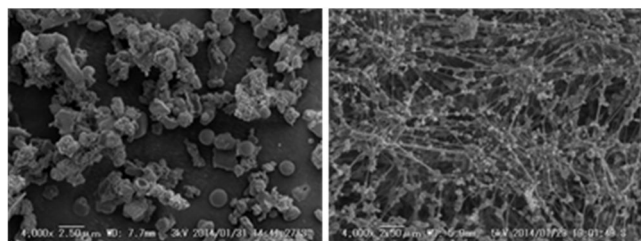


図2-4-3 PM_{2.5}計と粉じん計の相関



a) 1.0-2.5 μm b) $-0.25 \mu\text{m}$

図2-4-4 シウタインパクタにより捕集された粒子のSEM画像

C.2 建築物室内における測定結果

図2-4-5に各室内におけるPM_{2.5}濃度の測定結果，及び室内と外気濃度の比を表すI/O比を示す。同一建物において複数箇所を計測している測定点では，概ね同様の濃度となっていたため，平均値として示す。今回の測定箇所においては，冬期のT18，T19及びO08を除いてPM_{2.5}濃度が0.002～0.03 mg/m³程度となり，大気の基準値の「1日平均値が35 μg/m³以下」を下回る結果となった。T18，T19

及びO08については，卓上の超音波式の加湿器を使用しており，そのため測定器に影響を与えたものと考えられる。図2-4-6にはこれらの卓上加湿器を使用している物件を除いたPM_{2.5}濃度及びI/O比を示す。大気基準の年平均値の15 μg/m³を超過する建物があった。I/O比については，0.1から1を超過する値となった。O05については，居住者の多さから，室内での発生量が多いこと，O08については，個別空調建物であり，全熱交換換気

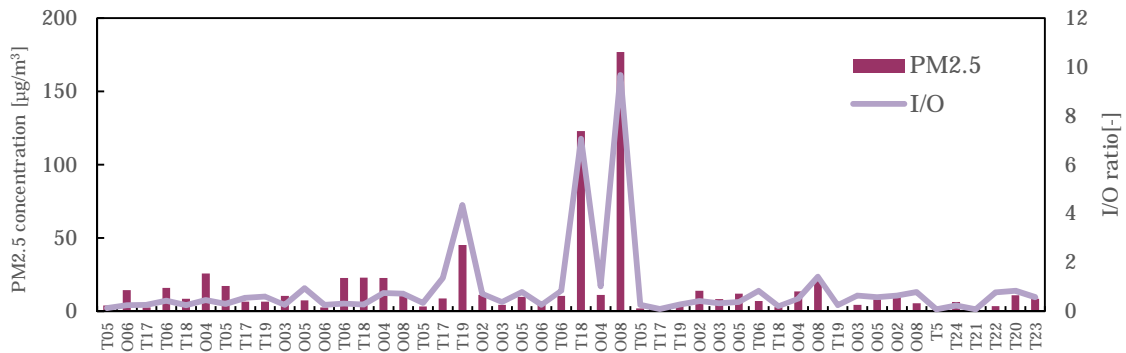


図 2-4-5 各建築物のPM_{2.5}濃度とI/O比

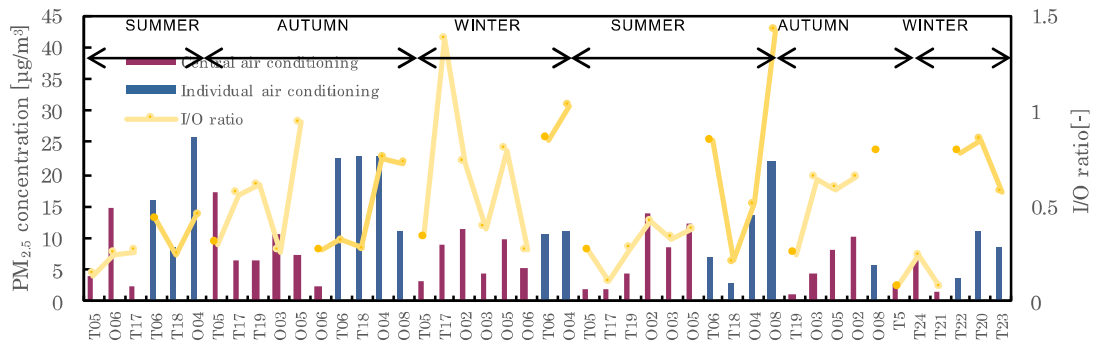


図 2-4-6 各建築物のPM_{2.5}濃度とI/O比 (T18,T19, O08 のデータを除いたもの)

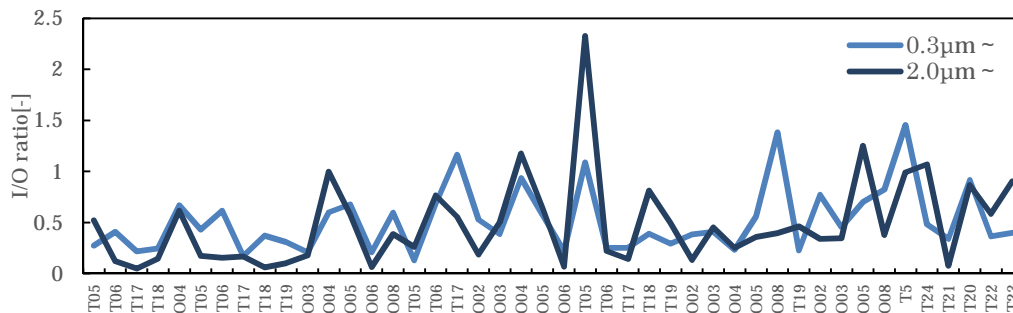


図 2-4-7 パーティクルカウンタによる浮遊微粒子のI/O比

扇のエアフィルタの透過率が大きいことによるものと考えられる。一方、I/O 比の低い T05, T17, O06, O03 については、中央方式であった。

以上のように、室内PM_{2.5}濃度については、室内での発生源がある場合、また外気からの侵入により、その濃度が高くなる可能性がある。特に建物により濃度、I/O 比が建物により同様の傾向を示していることから、外気からの侵入、外調機等の特性によるものが考えられる。

図2-4-7には、各計測点における粒径0.3 μm 以上及び 2 μm 以上の粒径別個数濃度による I/O 比を示す。PM_{2.5}の I/O 比の傾向と同様に、O05 及び O08, また 2016 年夏期の T05 が高くなっていた。また粒径 2 μm 以上と粒径 0.3 μm 以上では、粒径 0.3 μm 以上の方が高い値となるが多かった。エアフィルタの捕集効率は粒子の粒径によって大きく異なり、粒径 0.3 μm 前後においてはフィルタの最大透過粒径となるので、特に個別方式においては、この粒径範囲の外気の侵入が多いことが考えられる。室内における粉じんの粒径別質量濃度分布は、微小粒径側での粒径 0.2-0.3 μm 付近にピークが存在することが確認されており、この主ピークがPM_{2.5}を占めていることから、この粒径範囲を除去することが室内 PM_{2.5} の制御には重要となってくる。一方、粒径 2 μm 以上の方が高い値となっていたところは、人員由来の発生源が多いことから、室内での発生によるものと考えられる。

今回対象とした建築物の空調方式として、中央方式と個別方式に分類している。主に中央方式は空調機に中性能フィルタを用いているのに対し、個別方式は粗じんフィルタのみであることが多い。図 2-4-8 は、PM_{2.5} 濃度、粒径 0.3 μm 以上、2.0 μm 以上の個数濃度の I/O 比を、空調方式別に示したものである。なお、卓上加湿器を使用していた物件の冬期のデータについては、この統計値には考慮していない。各項目値について、個別空調方式の方が中央式よりも I/O 比が高くなっており、空調機、即ちエアフィルタによる外気処理の影響を受けていることが示唆される。

さらに、超微粒子を含む粒径別の個数濃度から、空調方式を中央方式と個別空調方式に分類し、粒径別に I/O 比の平均値を示したものを図 2-4-9 に示す。図より、個別空調方式の方が粒径別 I/O 比がほぼすべての粒径に対して高いという結果が得られた。これは、主に個別空調方式では、空調機内に粗じんフィルタのみであることが多いのに対して、中央方式では、粗じんフィルタに中性能フィルタを追加しているため、このような差が得られたと考えられる。

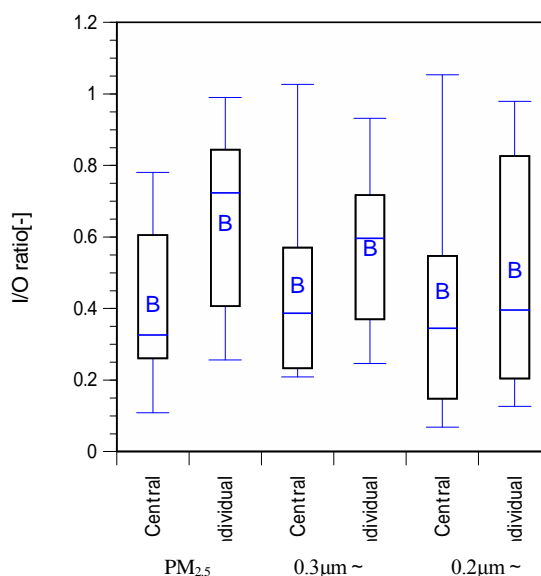


図 2-4-8 空調方式別の浮遊微粒子の I/O 比

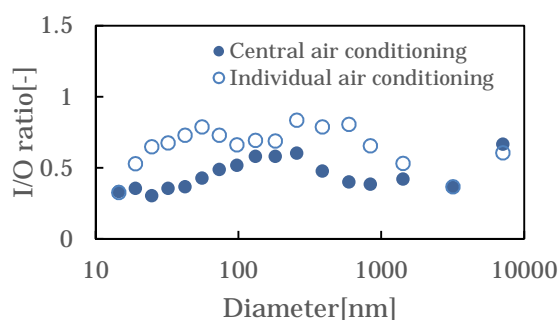


図 2-4-9 空調方式毎の粒径別 I/O 比

D. まとめ

建築物内での PM_{2.5} の計測については、大気でも用いられているような大型で、大捕集量のものは適さない。既存の粉じん計に PM_{2.5} 用のインパクトを装着したもの、可搬型の

PM_{2.5}計を利用するのが現実的であるが、それぞれの装置特有の計数値を決定する必要がある。従来の粉じん計と同様に建築物内で計数値に関する検討が進められれば、室内におけるPM_{2.5}の測定は可能と考えられる。

室内PM_{2.5}濃度の測定の結果、0.002～0.03 mg/m³程度となり、大気の基準である「1日平均値が35 μg/m³以下」は下回った。また、I/O比については、同一建物内の濃度は概ね同様の値を示しており、室内での発生源のほか、空調方式の種類より検討することで、外気からの侵入する微粒子を処理する空調機（フィルタ）の特性が関係しているものと考えられた。

E. 参考文献

- 1) 坂本和彦：環境大気とディーゼル排気，空気清浄，41-1，4-13，2003
- 2) I.K.Koponen et al.: Indoor air measurement campaign in Helsinki, Finland 1999 the effect of outdoor air pollution on indoor air, Atmospheric Environment, 35, 1465-1477, 2001.
- 3) 鍵直樹，柳宇，西村直也：事務所ビルにおける室内浮遊微粒子の特性とPM_{2.5}濃度の実態調査，日本建築学会技術報告集，第18巻，第39号，pp. 613-616，2012.6

2-5 エンドトキシン (細菌)

A. 研究目的

エンドトキシン (Endotoxin, 以下 ET) は微生物 (グラム陰性菌) の細胞壁成分であり, 細胞壁の破壊により放出される。ET は内毒素, リポ多糖 (LPS), 外因性発熱物質 (Exogenous pyrogen) とも知られる。微生物の中でも真菌及び陽性グラム群生物を除く陰性グラム群生物に限定され, グラム陰性菌には大腸菌, サルモネラ, 腸内細菌科, ヘリコバクター, レジオネラなど真正細菌の大部分が属するため, 実質的に ET は水, 空気, 土壌などあらゆる生活環境に存在する。

特に大腸菌は微生物汚染でよく言及される細菌であり, 空気感染するレジオネラは建築・設備分野で関心の高い細菌でもある。

生活周辺でも水・食品などの細菌基準は厳格に管理されているが, 室内環境における微生物 (カビ・細菌) 濃度に関しては学会規準¹⁾があるものの社会的効力を持つ指針や基準は未だに定まっていない。微生物は培養法が基本となるため, 結果導出までは時間を要し, 捕集から培養・同定に至るまでの誤差も大きいことに加え, 濃度と健康影響との関係がはっきりしていないことがその原因と考えられる。

微生物汚染度の同定のために ATP (adenosine triphosphate; アデノシン三リン酸) 法や個数濃度測定機なども紹介されているがまだ確立した方法とは言えず, 最近 PCR 法を用いた DNA 解析など先端技術も導入されつつある。分野, 目標とする結果, 費用や現場適用など目的によって何を選ぶかが決まるが, 例えば換気指標の 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, 空気中細菌濃度や汚染度の指標として ET 濃度に着目している。

B. 空気捕集フィルター及び分析法の確立

空気捕集にはゼラチンフィルター及び MCE フィルター (Mixed Cellulose Ester Membrane Filter) に空気を吸引・通過させ捕

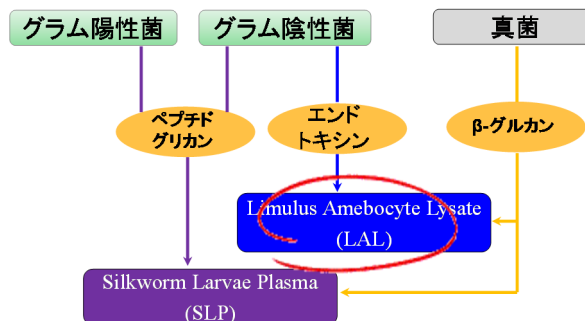


図 2-5-1 ET 特異的リムルス試験

集する方法を用いた。捕集フィルターは PBS 液に溶出させて不活性化・保管した後, 分析を行ったが, ゼラチンフィルターと PBS 溶液共にゲル化干渉が確認された。

そのため, 反応干渉に関するブランク試験を行い, 表 2-5-1 に示すよう MCE フィルター及び蒸留水 (ET フリー注射用水) が干渉無く分析できることを確認した。

表 2-5-1 フィルタブランク試験

内容	Tg	濃度	稀釈倍率
Gel-Wat X10	5.6	50.06	10
Gel-Wat X10	7.2	22.02	10
Gel-Wat X100	10.2	70.52	100
Gel-Wat X100	14.4	22.85	100
Gel-Wat X1000	27.6	27.25	1000
Gel-Wat X1000	34.8	12.77	1000
MCE-Wat X10	>120	-	10
MCE-Wat X10	>120	-	10
MCE-Wat X100	>120	-	100
MCE-Wat X100	>120	-	100

ここで, Gel×10 及び MCE×10 は各フィルターを蒸留水 (注射用水) 10ml に溶出, Gel×100 及び MCE×100 は Gel×10 と MCE×10 を蒸留水で更に 10 倍稀釈したものである。

C. 現場測定法

C.2.1 空気サンプリング

図 2-5-2 に捕集用フィルター及び現場測定風景を示す。空気試料として微生物の培地吸引では 100L を用いることが多い。本研究における ET サンプリングでは, 直径 47mm の MCE フィルターに 100L (at 3.0L/min) を吸引・捕集した。捕集したフィルターは γ 線滅



図 2-5-2 MCE フィルター及び測定風景
菌試験管に保管，蒸留水（注射用水；ET フリー）を添加し，ボルテックスミキサーで撹拌した後，上澄み液を分注・分析した。

B.2.2 濃度分析

分析装置として Toxinometer ET-5000（和光純薬）を用いた。日本薬局方及び FDA 認証分析法にはゲル化法・比濁法・比色法の 3 つがあるが吸光比濁法は精度が高く定量しやすい利点があり，1~0.001EU/mL の広範囲・高感度で検出できるため環境中汚染程度を測定するのに適合している。

リムルステスト（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する。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。

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）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。定量のために，1.0，1/8，1/64，1/512(=0.00195)EU/mL の 4 段階の濃度標準を

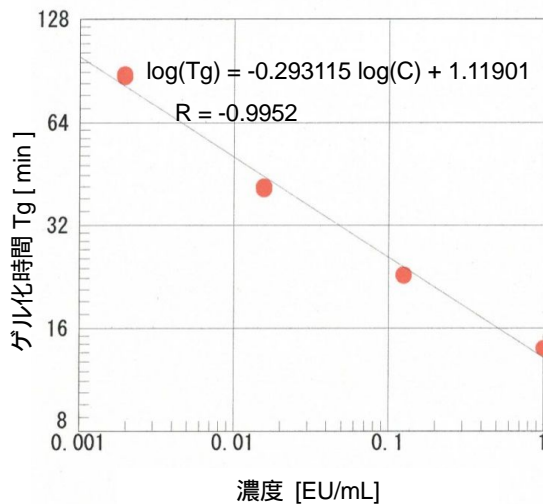


図 2-5-3 検量線例（4 点，8 倍稀釈）

用いて検量線例を図 2-5-3 に示す。濃度単位としては，「EU/m³」：空気単位容積当たり濃度を用いる。EU は Endotoxin Uni(ET 活性値) のことである。

C. 研究結果及び考察

ET 濃度測定結果について，表 2-5-2 に全季節における統計値を示すが，冬期 1 施設のみ測定した結果が高い値を示したため全体平均を引き上げていることから表 2-5-3 には冬期を除いた測定結果を示す。また，図 2-5-4 に大阪測定結果を，図 2-5-5 に東京測定結果を示す。棒グラフは ET 濃度であり，図中の●印は I/O 比である。

全体的に室内濃度は殆どが 0.5 EU/m³ 未満であり，1.0 EU/m³ を超える測定点は 3 点のみであった。一方，外気濃度が室内濃度より高い傾向を示している。

表 2-5-2 全季節における ET 濃度
(16 測定，OA：16，IA：39)

		OA	Indoor Air	I/O
Tokyo	Max	1.05	2.69	5.5
	Min	0.28	< L.D.	-
	Mean	0.49	0.49	1.0
	S.D.	0.26	0.89	1.8
Osaka	Max	0.98	1.04	7.1
	Min	0.05	< L.D.	-
	Mean	0.36	0.15	1.2
	S.D.	0.34	0.23	1.8
Whole	Mean	0.41	0.25	1.2
	S.D.	0.31	0.52	1.8

表 2-5-3 夏期及び秋期の ET 濃度
(15 測定，OA：15，IA：37)

		OA	Indoor Air	I/O
Tokyo	Max	1.05	0.41	0.9
	Min	0.28	< L.D.	-
	Mean	0.49	0.10	0.2
	S.D.	0.29	0.13	0.3
Osaka	Max	0.98	1.04	7.1
	Min	0.05	< L.D.	-
	Mean	0.36	0.15	1.2
	S.D.	0.34	0.23	1.8
Whole	Mean	0.41	0.14	1.0
	S.D.	0.32	0.21	1.7

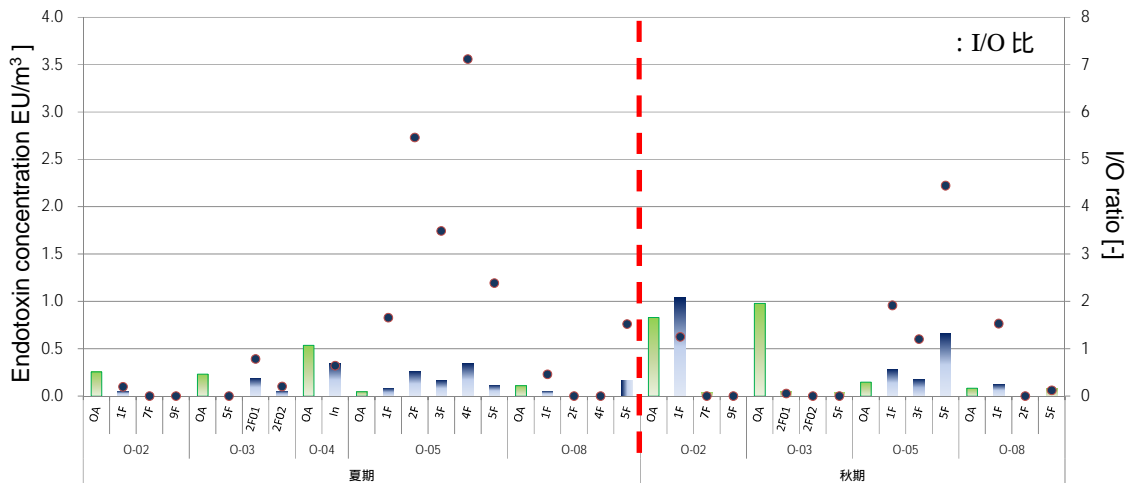


図 2-5-4 大阪地域オフィスの ET 測定結果

室内濃度で 1.0 EU/m³ を大きく超えるオフィスは T018 の冬期濃度であり、夏期は低濃度であったことから冬期限定の汚染源が存在すると推察される。

東京・大阪共に外気は夏期より秋期の平均値が高いが一部測定点における高い濃度が全体平均を引き上げているため、現段階では外気濃度の季節による違いを述べることはできない。

全季節平均では東京の室内濃度が 0.49 EU/m³ と外気と同じ値を、大阪は外気 0.36 EU/m³ に対して室内 0.15 EU/m³ と低くなっている。全体的には室内 0.25 EU/m³、外気 0.41 EU/m³ と室内濃度が低い。冬期 (T018) の測定結果を除くと室内と外気濃度の差は更に広がる。

オフィスでは I/O 比 1.0 もしくはそれ以下が多く外気濃度より室内濃度が低い傾向を示しているが、たまに高い I/O 比を示す場合があるため全体平均値としては I/O 比 1.2 となっている。冬期 T018 を除いても 1.0 と室内外の比が同じ値となるが、これは外気に対する室内濃度の比率を更に平均したため生じる数値上の問題であり、外気に比べ室内濃度が高い傾向を有していることを意味しているわけではない。

細菌は室内に汚染源がない限り人間が主たる発生源となるため室内濃度が高い事が予想されるが、オフィスの在室密度が低いことに加え空調による濃度低減が原因と考えられる。

冬期の T018 測定結果では、外気濃度 0.49

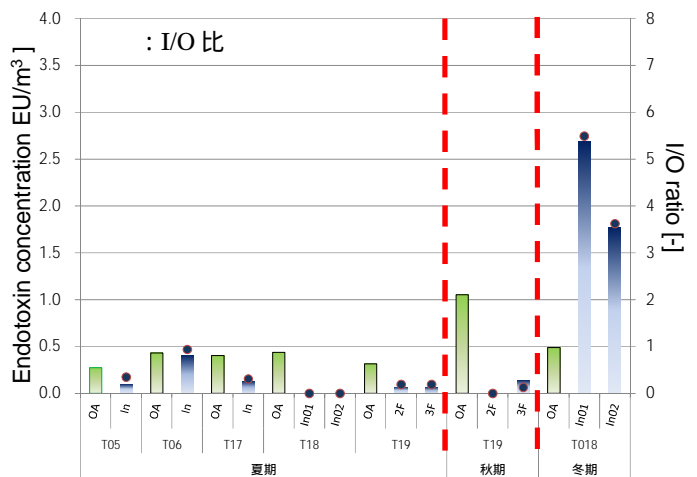


図 2-5-5 東京地域オフィスの ET 測定結果 EU/m³ と室内濃度に比べて有意に低く、内部汚染が疑われる。測定日に加湿器に入っている水を採用し ET 濃度を測定した結果を図 2-5-6 に示す。

加湿器 5 台からの採取水は 25 ~ 42EU/mL (平均 34.9EU/mL) と図 2-5-7 に示す水道水の濃度に比べて高い。図 2-5-7 は水道水に対する ET 濃度測定結果であり、蛇口から新しく受けた水は最も綺麗な状態では 4 EU/mL 程度で安定し高くても 20 EU/mL 程度になることが確認されている。また、同図では水を受けて密封保管すると時間経過と共に指数関数的に濃度が増加するのが分かる。これによると、加湿水の ET 濃度は 2 日 ~ 3 日程度保管した水と等しい濃度となっている。当施設では前日夕方に加湿器の水を替え、翌日に加湿器を運転していることと加湿器内部に汚れの可能性が原因と考えられる。

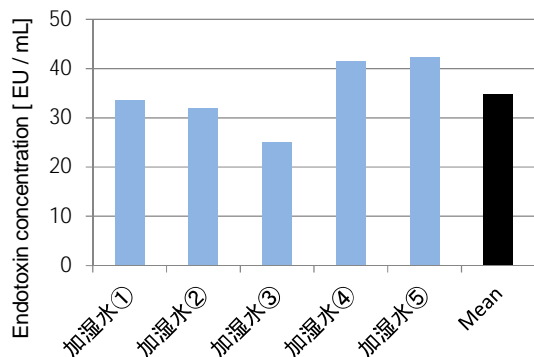


図 2-5-6 加湿水の ET 濃度
(施設 T018 の加湿器 5 台から採取)

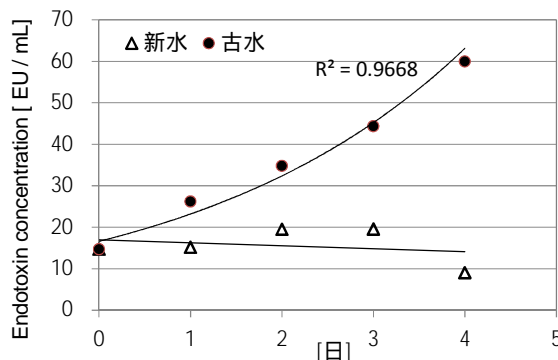


図 2-5-7 水道水中 ET 濃度の変化

D. まとめ

オフィスにおける室内 ET 濃度は殆どが 0.5 EU/m³ 未満であり、外気濃度が室内濃度より高い傾向を示している。高齢者施設や一般住宅では数～数十 EU/m³ を超える濃度も観察される²⁾ことからオフィス内濃度は低いと言える。特定建築物におけるオフィス環境は在室密度が低いことに加え、空調による換気とフィルターリングが濃度低減に寄与していると考えられる。

結果の中で 1.0 EU/m³ を超える測定点は 3 点、特に冬期実測で室内濃度が 1.0 EU/m³ を大きく超える施設が 1 施設 (室内測定点 2 点) あったが、同施設における夏期結果は低濃度であったことから冬期に限った汚染源が存在すると考えられる。同時に採取した加湿水の ET 濃度測定結果から新しい水道水より高い濃度が確認されたため水の管理により気を配る必要がある。

冬期 ET 濃度の上昇に関しては今後更に測定を行い検証してゆく必要がある。

ET は体内に直接摂取される場合はなるべく低い濃度が望ましいが、あらゆる環境に存在する細菌は必ずしも濃度が低いのが望ましいとは限らない。特に、薬剤、化学物質、カビなど、細菌の環境濃度に影響し得る他のリスク要素も多く存在する。

空気試料のリアルタイム PCR による DNA 解析結果からは、約 100 属の菌が室内・屋外共通して検出されたが、*Actinomycetospora*、*Nevskia* など 20 種近くは室内のみで検出され、外気ではなく人体由来の特定菌が室内に多く存在することが確認されている。ET はこのような菌種の同定はできず、定量値として表すしかない限界はあるが、真正細菌の殆どをグラム陰性菌が占めることから ET 濃度が高いことは細菌汚染度合いも高いと推定できる。

現段階における本試験法の限界性としては、菌種の同定ができない、菌種による ET 発生量の違いが明確でない、培養法と比較したデータがないため既存の cfu (colony forming unit) との相関が示されていない、ET 濃度と人体影響の相関が明確でない、ことなどが挙げられる。

上述した課題は残っているが、環境中細菌汚染の分かりやすい試験法や指標が望まれるなか、ET 濃度は現場測定や分析の利便性・精度などの面から室内環境における空气中細菌汚染の指標として十分活用の可能性が期待できることから、今後更なる研究と検証を行っていく。

E. 参考文献

- 1) 日本建築学会環境規準 AIJES-A0002-2013, 微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理規準・同解説, 2013.
- 2) 金勲, 空气中細菌濃度とエンドトキシン, 空気清浄, 54 巻 4 号, 20-24, 2016.11.

2-6 高層建築物における煙突効果と空気質

A. 研究目的

一般的に高層建築ではエレベータシャフト及び階段室などの竪穴区画を通して鉛直方向での圧力差が生まれ、煙突効果が発生する。これまで自然エネルギー利用換気システムの研究が活発に行われ、多くの建築で煙突効果現象を利用した自然換気システムが導入されている。しかし一方で、煙突効果により生じる鉛直方向の圧力差が発生要因となる不具合を生じる事例が増えている。煙突効果現象が要因となる不具合として、外気の流入、エレベータ扉・階段扉の風切音、エレベータ扉、階段扉の開閉障害などが挙げられる。そして、それらに関して従来から多くの検討がなされており、対応策も提案されている¹⁾²⁾。

一方で、煙突効果現象による気流が起因となる汚染空気の拡散及び移流も懸念される。煙突効果現象が発生要因となる竪穴区画内の上昇気流により、下層階の使用空気が竪穴区画へ流れ込み、そこから上層階へ移動する現象の発生が想定される。実際に上層階での下層階からの臭気の拡散等が確認されている³⁾が、煙突効果の汚染移流に対する影響を検討されていない。

そこで、今回一般的な高層建築における空気質の悪化と建築内の鉛直方向の変位の関係に一貫性を持った傾向が見られるかどうかを検討した。煙突効果が要因となる建物内部の上昇気流による汚染の拡散への影響を明らかにするため、測定階の高さと汚染物質濃度の相関性を評価した。

B. 方法

B.1 東京都特定建築物実測データの分析

先に使用した東京都の立ち入り検査による東京都内の特定建築物実測データを用いて分析を行った。実測データのうち、地上15階以上の事務用途建築85件を抽出し、測定階の高さと汚染濃度との関係を表す2変数について、下記のパターンに分け、それぞれのパターンにおける2変数の相関性の有無を検討した。

1) 汚染濃度(CO₂濃度, CO濃度, 粉じん濃

度)と測定階

- 2) 汚染濃度(CO₂濃度, CO濃度, 粉じん濃度)と建築の軒高に対する測定点の相対的な高さ(測定場所の階数/最上階の階数)
- 3) 中性帯の位置における汚染濃度(CO₂濃度, CO濃度, 粉じん濃度)を1とした時のその他の階における相対的な汚染濃度と建築の軒高に対する測定点の相対的な高さ(測定場所の階数/最上階の階数)

上記のそれぞれのパターンにおけるパラメータ同士の相関関係を確認するため、各パターンにおける2つパラメータを2変数としてPearsonの積率相関係数rを次に示す式により算出した。この係数の正負が相関関係の正負を示し、係数の絶対値の大きさが相関関係の強さを示す。

また、パターン³⁾に関して、中性帯は既往研究⁴⁾を参照して建物全体の0.2~0.3程度の高さとし、その範囲内の汚染濃度を基準とした際他階の汚染物質濃度を算出した。

Pearson Product-Moment Correlation Coefficient

$$r = \frac{\text{the Covariance of the Two Variables}}{\text{the Product of Standard Deviations}}$$
$$= \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

X_i, Y_i : Two Variables, n : Number of Values

B.2 高層オフィスビルにおける実測調査

高層建築内部の空気環境を把握するため、実在の高層建築を対象として、室内空気質の実測調査を行った。実測対象の建築は都内の地上14階建て延べ床面積20,580.88m²のオフィスビルである。1階は駐車場、エントランス、2階は受付及び会議室で構成される。また、3階から12階までは事務室として使用されており、ほぼ同様の平面計画で構成されている。3階から12階までの基準階平面図を図2-6-1に示す。エレベータシャフト、階段室及

びトイレがいずれも北側設けられる偏心コアの計画となっている。北面中央にあるエレベータシャフト及びコア区画の両端に設けられている階段室が縦穴区画として上下階を接続している。事務室はエレベーターホールと直接接続されておりその境界部分に扉は設けられていない。

この建物の基準階のうち 4, 5, 6, 8, 10, 12 階において空気環境調査を行った。測定項目は温湿度, CO₂ 濃度, CO 濃度, PM_{2.5} 濃度及び, 空気中の粒子個数とした。温湿度, CO₂ 濃度, CO 濃度は IAQ Monitor(Kanomax Inc.) を用いて計測し, 30 秒周期の平均値を 5 分間にわたり記録した。PM_{2.5} 濃度は Dust Track (TSI Inc.) を用いて 60 秒ごとの平均値を記録した。また, 粒子個数は Particle Counter (Rion Co., Ltd.) を用いて 2.81 L 中の粒径別の粒子個数を計測した。

上記の測定を 4, 5, 6, 8, 10, 12 階における図 2-6-1 に示されるエレベーターホールとオフィスエリアの境界部一点で実施した。また実測調査は夏期 (2015/8/20), 中間期 (2015/10/20), 冬期 (2016/1/20) の 3 度にわたり同様に行った。

また, CO₂ 濃度は在室人数の影響を受けるため, 10/20, 1/20 の調査の際には各測定階における測定時の在室人数も計測した。

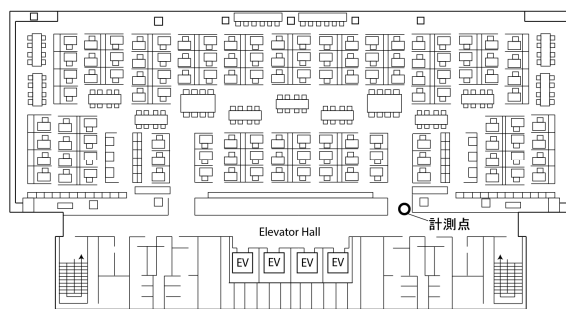


図 2-6-1 基準階平面図及び空気質計測点

C. 結果及び考察

C.1 東京都特定建築物実測データの分析

パターン 1) ~ 3) の汚染物質との 2 変数の散布図をそれぞれ図 2-6-2 ~ 図 2-6-4, 図 2-6-5 ~ 図 2-6-7, 図 2-6-8 ~ 図 2-6-10 に示す。また, それぞれのグラフの下部に 2 変数の相関係数

を示す。ただし, 粉じん濃度を表す散布図における, 他の値から大きく外れた値となっているプロットについては, 外れ値として除外した上で相関係数を算出した。

概して, 汚染物質濃度と汚染物質濃度との間に強い相関関係は見られなかった。しかしながら, パターン 2) の CO₂ 濃度と粉じん濃度に関してはわずかに正の相関性が見られ, 特に二酸化炭素に関して上層階での濃度が比較的高くなる傾向を示した。

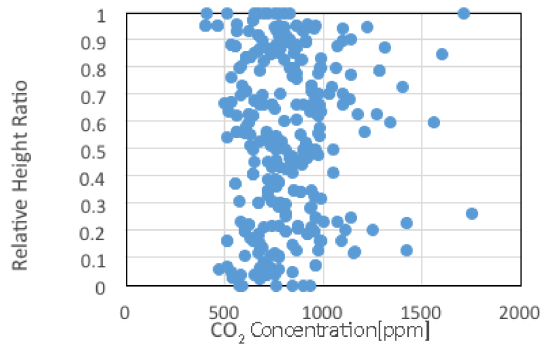
また, パターン 3) に関しては, いずれのケースにおいても負の方向の相関が見られた。当パターンに関しては, 高層ビルの中性帯付近では上層部, 下層部と比較して換気回数が相対的に少なくなるケースが多い。そのため, CO₂ 濃度などの室内に一定速度以上で発生する汚染源がある物質に関して, 汚染物質の室内での滞留時間が長く, 局所的に濃度が高く計測されるケースが多くある。そのため, 中性帯付近と考えられる下から 0.2 ~ 0.3 の高さの汚染濃度を基準として比較した場合, 上層部よりも濃度が高く計測され, 負の相関が見られたと考えられる。

実測対象建物の在室人数及び換気システム等はそれぞれ異なることから, 今回の分析により傾向の一般性を評価することは難しいが, これらの傾向が正しいものと仮定した場合, 他のケースにおいて強い正の相関が見られなかった要因について以下のように考察した。

パターン 1) に関して正の相関が見られなかった理由として, 85 件ある建築全てに関して, 高さのパラメータを同一の測定階の高さとして評価したことに要因があると考えた。基本的に高層建築内部の外部開口との境界における差圧の分布は下層では負圧となり上層では正圧となる。そのため, 煙突効果が要因となる上層階と下層階間の空気質の差異について検討する上では測定点の絶対的な高さは重要ではなく, それぞれの軒高を基準とした相対的な高さを用いて検討しなければならない。

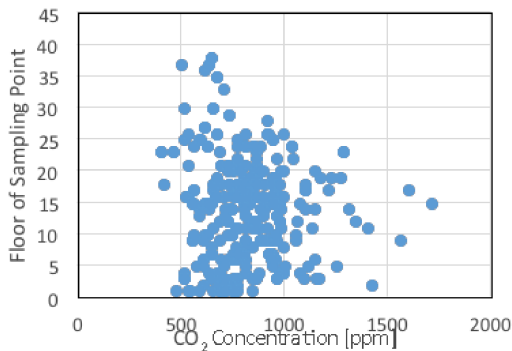
また, パターン 2) に関して, CO 濃度の上層部での濃度の増加傾向が確認されなかった要因として, 発生源の偏りが原因であると考

えられる。CO₂ 及び粉じん濃度は発生速度の違いはあるが、在室人数及び室の使用用途に応じて建築内での汚染源は多く存在する。その一方で CO は厨房及び駐車場などの強力な汚染源からの発生による影響がある。そのため、建築全体での CO の発生源の分布に偏りがあるため、全体的に一貫した傾向が見られなかったものと考えられる。



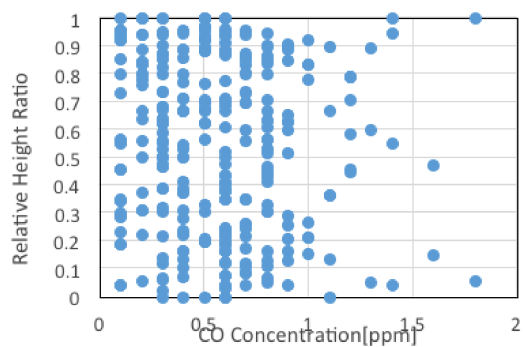
$$r = 0.0569$$

図 2-6-5 測定階相対高さ と CO₂ 濃度の関係



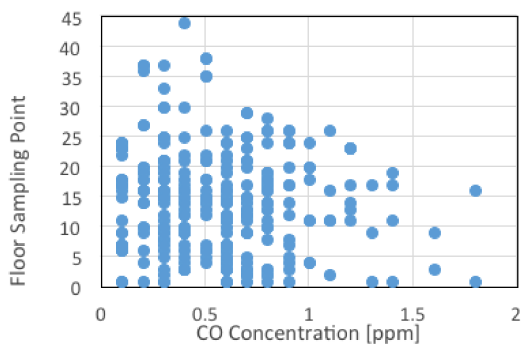
$$r = -0.1002$$

図 2-6-2 測定階と CO₂ 濃度の関係



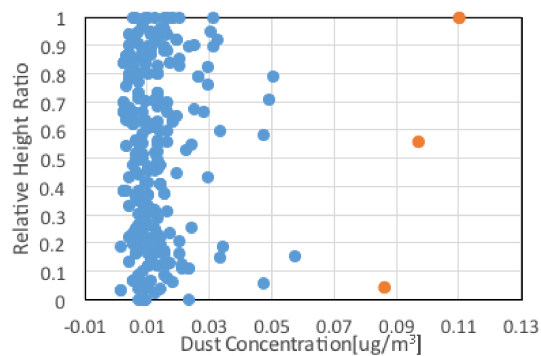
$$r = -0.00889$$

図 2-6-6 測定階相対高さ と CO 濃度の関係



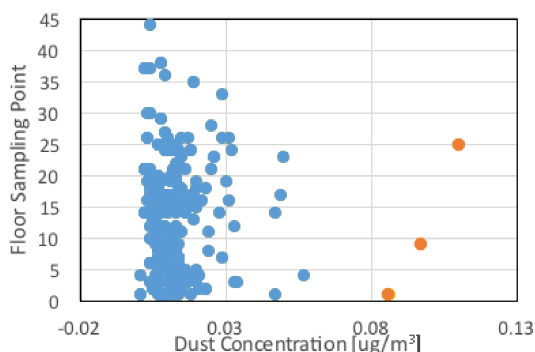
$$r = -0.10925$$

図 2-6-3 測定階と CO 濃度の関係



$$r = 0.028046$$

図 2-6-7 測定階相対高さ と 粉じん濃度の関係



$$r = -0.00536$$

図 2-6-4 測定階と 粉じん濃度の関係

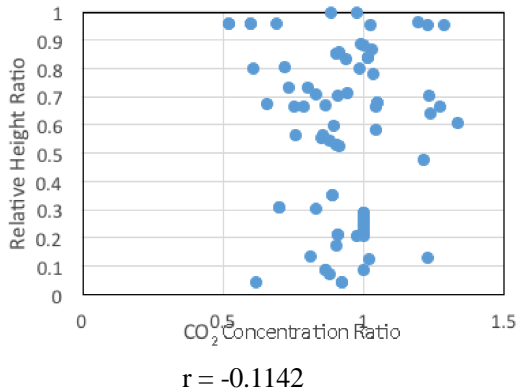


図 2-6-8 測定階相対高さや中性帯を基準とした CO₂ 濃度の関係

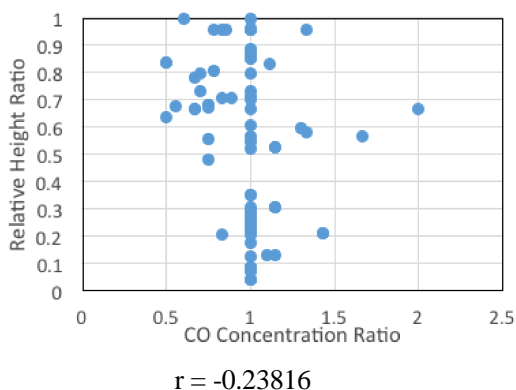


図 2-6-9 測定階相対高さや中性帯を基準とした CO 濃度の関係

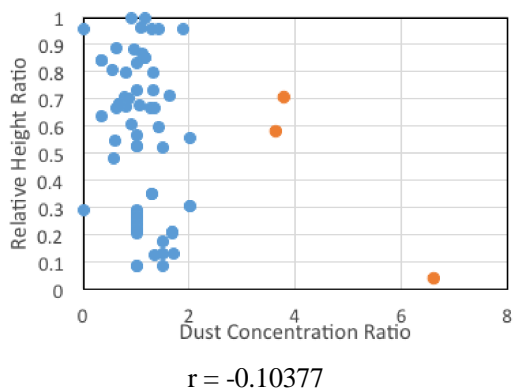


図 2-6-10 測定階相対高さや中性帯を基準とした粉じん濃度の関係

C.2 高層事務所ビルにおける実測調査

10/20, 1/15 の実測時の各室の在室人数を表 2-6-1 に示す。また, CO₂ 濃度と測定階との関係を図 2-6-11 に示す。階毎の在室人数のばらつきはあるが, CO₂ 濃度と測定階との関係に

着目すると夏期, 中間期, 冬期ともに同様の傾向を示した。いずれの実測結果においても, ビルの中層付近で局所的な濃度の上昇が確認された。その後上階に行くにつれ減少するが, 8 階以上で再度濃度上昇の傾向がみられた。

粒径 1.0 μm 以上の粒子の 1 m³ 当たりの個数と測定階との関係を図 2-6-12 に示す。粒子個数に関しては実測値の測定階との関係は測定日時によりばらつきが見られたが, いずれのケースにおいてもビルの中層付近で局所的な濃度の上昇が確認された。

PM_{2.5} 濃度と測定階との関係を図 2-6-13 に示す。PM_{2.5} 濃度の挙動は Particle Counter により計測された粒子個数とほぼ同様の傾向を示した。8 月の測定時点では最上階における PM_{2.5} 濃度が局所的に大きく計測されたが, 10 月における測定結果に着目すると粒子個数測定結果と同様に 12 階における濃度は 10 階部分よりも低く計測された。そのため 8 月の測定時には最上階において一時的な PM_{2.5} 濃度の上昇があったことが予想できる。

3 つの計測機器により計測された結果から, 概して, 上層階での汚染濃度増加の傾向が確認された。下層階からの汚染空気の上層階への移流が, 上層階での汚染濃度の増加に起因していることが予想される。また, 高層ビルの中層付近では縦穴区画と室間の差圧の正負が入れ替わる中性帯となり, 上層階, 下層階と比較して換気回数が低くなることにより CO₂ 濃度, 粉じん濃度が局所的に上昇したと考えられる。

なお, 今回実測の対象とした建物では室内の CO₂ 濃度を基準とした自動換気制御システムが利用されている。室内の CO₂ 濃度が一定を上回った際には自動的に室内の換気が行われる。そのため, 今回計測された結果にもその影響が及んでいる可能性がある。

表 2-6-1 実測時 (10/20 , 1/15) の
各室の在室人数

the Number of People in Each Room		
Floor	20-Oct	15-Jan
12	79	70
10	78	77
8	62	86
6	76	72
5	91	78
4	96	87

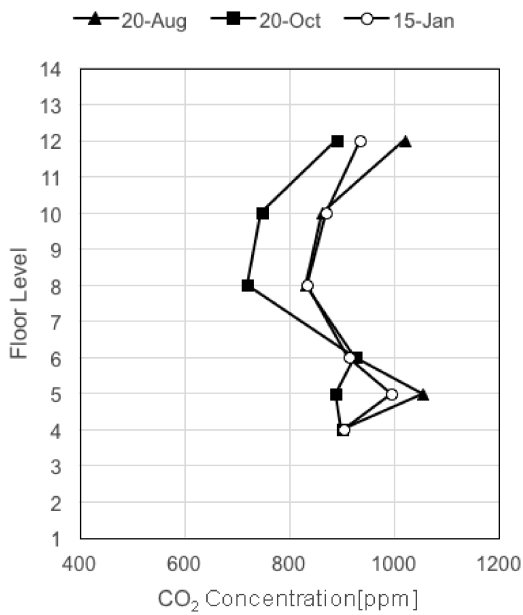


図 2-6-11 測定階と二酸化炭素濃度の関係

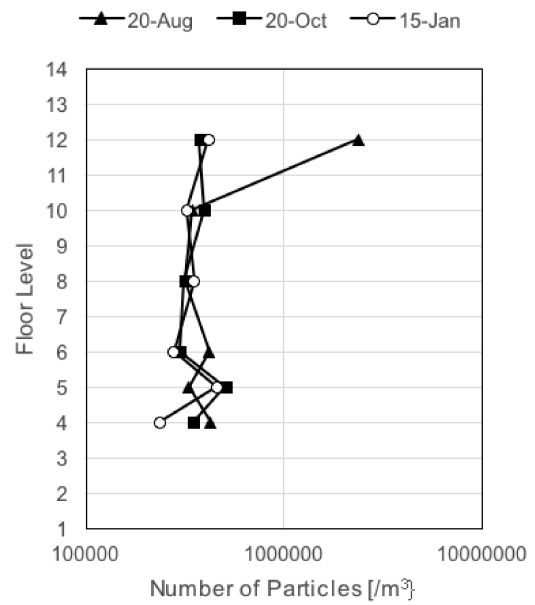


図 2-6-12 測定階と 1m³ あたりの
粒子個数の関係

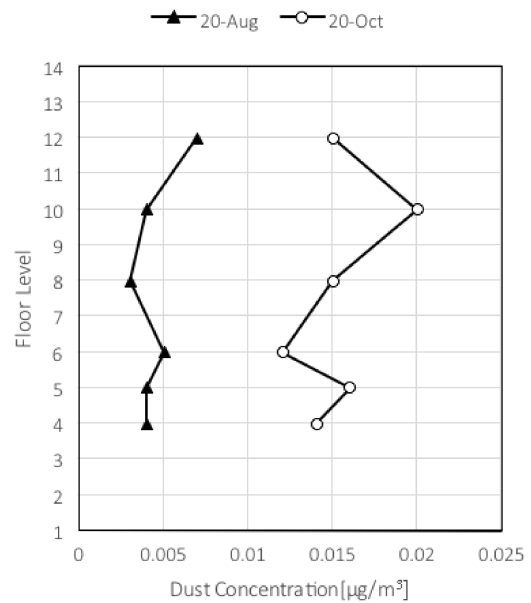


図 2-6-13 測定階と粒子濃度の関係

D. まとめ

東京都の立ち入り検査時の空気環境測定結果及び事務所ビルにおける実測調査より、煙突効果による上層階での空気質悪化の可能性を検討した結果、上層階での汚染濃度増加の傾向が確認され、下層階からの汚染空気の上層階への移流が、上層階での汚染濃度の増加が示唆された。

E. 参考文献

- 1) 早川真, 戸河里敏: 煙突効果現象の解明と各種障害への対応: 高層事務所建物の煙突効果の研究(その1), 日本建築学会計画系論文報告集, 第387号, 42-52, 1988
- 2) 四宮直人, 高田暁, 牛尾智秋: 高層ビル全体の換気性状の予測に関する研究, 38th Symposium on Human-Environment System, 33-36, 2015
- 3) 諏訪好英: 高層建築物における煙突効果(原因と対策技術), 日本機械学会熱工学コンファレンス2014 講演論文集, 2014
- 4) 古城雄一, 諏訪好英, 矢部周子: 煙突効果による隙間風の実測と換気回路網計算の比較(その1) 竪穴の扉圧力差と風量の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 677-678, 2013

2-7 アンケート結果と環境要素の関係

A. 研究目的

近年、建築物の多様化や省エネルギー対応などより、建築物衛生法の管理基準に適合しない建築物が増加している^{1),2)}。また、微生物や超微小粒子など建築物に関わる汚染要因も変化してきており、監視方法や管理基準を含めた環境衛生管理のあり方を検討する必要があると考えられる³⁾。

このような背景を踏まえ、本研究では、建築物の管理者や利用者に対するアンケート調査と室内環境の測定調査を実施し、建築物における衛生的環境の維持管理の実態や、建築物利用者の健康状態や職場環境等の実態を把握する。そして、オフィス環境に起因すると思われる健康障害の実態と職場環境との関連性や、建築物利用者の健康や職場環境に影響する可能性のある維持管理上の課題を明らかにする。

平成 25 年度までの厚生労働科学研究費による調査では、2 回（夏冬）の断面調査を実施した。その結果、建物室内関連症状の有症率は、1990 年代に調査された米国の大規模オフィスビルほどではないが、日本でも少なからず残っており、温湿度環境、薬品や不快臭、ほこりや汚れ、騒音、居室の改装、温湿度や二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準に対する不適合との関係等の可能性が示唆された⁴⁾。

現在、建築物衛生法に基づく環境衛生管理基準の測定及び点検は、6 回 / 年実施することとなっている。事務所労働者の症状に関するリスク要因や、維持管理上の問題を明らかにするためには、平成 25 年度までの調査で行った 2 回の断面調査だけでは十分とは言えない。年間を通じた縦断調査が必要である。そこで、本調査では、調査事務所数を全国数地点の数十件程度に絞ったうえで、2 年間（2 ヶ月ごとに中間評価を実施）の前向き縦断調査を実施する。そして、事務所に勤務する従業員の症状に関するリスク要因と建築室内環境における維持管理上の問題点について、より高い科学的エビデンスを得る。なお、1999 年頃より、温湿度や二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準の不適合率が増加していること

から、相対湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関する近年のエビデンスの文献レビューを実施したので、その結果もあわせて報告する。

本研究で得られた成果は、建築物における衛生的環境を確保するうえで、今後の建築物に必要な管理基準や監視方法等のあり方に関する施策の立案に寄与するものである。

B. 研究方法

B.1 建築物利用者の職場環境と健康に関する実態調査（縦断調査）

B.1.1 研究デザイン

自記式調査票⁴⁾を調査対象の企業に配付し、郵送にて回収を行った。建築物の管理者または事務所の責任者に対しては「建築物の維持管理状況の調査」（管理者用調査）、事務所の従業員に対しては「職場環境と健康の調査」（従業員用調査）を実施した。管理者用調査では、事務所及び事務所が入居する建築物の維持管理状況などを質問する。従業員用調査では、職場環境と健康状態などを質問した。また、あわせて建築物環境衛生管理の空気環境項目（温湿度、一酸化炭素、二酸化炭素、浮遊粉じん）、揮発性有機化合物や粒子状物質の気中濃度、真菌や細菌の気中濃度、気中やダスト中のエンドトキシンを測定した。

調査票によるアンケートは 2 ヶ月に 1 回、温湿度は連続測定、その他の項目は 4 ヶ月に 1 回の頻度で実施した。

B.1.2 調査対象

東京都と大阪市に所在する事務所用途の特定建築物を調査対象とした。東京都の特定建築物は多数なため、延床面積 1 万平方メートル以上の特定建築物を調査対象とした。

調査対象の事務所を選定するにあたり、東京都健康安全研究センタービル衛生検査係と大阪市生活衛生課を通じた情報公開請求で得た情報をもとに、実態調査依頼書を建築物管理者に送付した。調査依頼は、大阪市 1543 施設、東京都 1582 施設であり、大阪市と東京都に届け出されている全ての施設に調査依頼書を郵送した。調査依頼書の発送は、平成 27

年1月20日に実施した。そして、調査への協力可能との回答が得られた事務所を訪問し、調査に関する詳しい説明と調査への協力依頼を個別に実施した。

B.1.3 自記式調査票

管理者用及び従業員調査票は、平成23～25年度の研究で使用した調査票⁴⁾を簡略化して使用した。従業員調査票は、米国環境保護庁⁵⁾、米国国立労働安全衛生研究所⁶⁾、欧州共同研究⁷⁾によるシックビルディング症候群の質問票を参照し、低湿度でのVDU(visual display unit)作業、超微小粒子、微生物汚染などの近年懸念される諸問題や職業性ストレス⁸⁾を考慮した調査票とした。従業員調査票は、個人属性、職場環境、健康状態(23症状、15既往疾患歴)、職場の空気環境の状態、職業性ストレスの状態などの質問で構成されている。

B2 温湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関する近年のエビデンス

温湿度と二酸化炭素の環境衛生管理基準の設定根拠に関しては、既報で報告済みである^{9),10)}。本研究では、その報告の概要を示したうえで、相対湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関して近年の知見に関する文献検索を行った。国立情報学研究所論文情報ナビゲータ(CiNii)、独立行政法人科学技術振興機構のJ-Dream IIIによる科学技術関連の文献検索(1975年以降の文献を収載)、米国国立医学図書館のPubmedによる医学関連の文献検索(原則として1950年以降の文献を収載)、インターネット検索によるホームページからの情報収集及び関連資料の入手、既存の書籍および上記検索で入手した文献や資料に掲載されている参考文献等を入手した。

(倫理面での配慮)

本研究のアンケート調査は、国立保健医療科学院研究倫理審査委員会の承認(承認番号NIPH-IBRA#12077、平成26年10月16日承認)を得て実施した。

C. 研究結果および考察

C.1 建築物利用者の職場環境と健康に関する実態調査（縦断調査）

C.1.1 調査実施および単純集計結果

東京都と大阪市に所在する事務用途の特定建築物を対象に，東京都と大阪市の協力のもと，大阪市 1543 施設，東京都 1582 施設の調査依頼を行った。その結果，東京都 5 件，大阪市 6 件の事務所から実態調査（調査フロア数 24 調査対象者数 648 名）の協力を得た。

平成 27 年 6 月から順次，アンケート調査と室内環境の測定調査を実施した。アンケート調査への協力が得られたのは，483 名（男性 53.4%，女性 46.6%）であった。調査実施期間の総配布数 4520 件に対し，平成 29 年 2 月 15 日時点での回収数は 1802 件（回収率 39.9%）であり，無効回答の 2 件を除くと有効回答数は 1800 件（回収率 39.8%）であった。以下，平成 29 年 2 月 15 日時点におけるデータ集計及び解析結果を示す。

表 2-7-1 調査実施時期

建物	調査フロア数	2015				2016						2017
		6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	2
T017	1											
O006	1											
O004	1											
T006	1											
T005	1											
T018	2											
T019	2											
O008	4											
O003	3											
O005	5											
O002	3											

○：アンケート配布，温熱環境・二酸化炭素濃度の連続測定

◎：室内空気汚染物質の測定

表 2-7-2 調査建物の概要

	所在地	建物の用途	延床面積 (m ²)	空調方式	喫煙対応
T017	東京都	事務所	50,000以上	中央方式	禁煙
O006	大阪市	事務所兼IT	10,000～50,000	中央・個別併用	禁煙
O004	大阪市	事務所	5,000～10,000	個別方式	分煙（別室）
T006	東京都	事務所兼展示場	10,000～50,000	中央・個別併用	分煙（別室）
T005	東京都	事務所	10,000～50,000	中央・個別併用	禁煙
T018	横浜市	事務所	10,000～50,000	個別方式	禁煙
T019	東京都	事務所	50,000以上	個別方式	禁煙
O008	大阪市	事務所	3,000～5,000	個別方式	禁煙
O003	大阪市	事務所	3,000～5,000	中央・個別併用	分煙（別室）
O005	大阪市	事務所	10,000～50,000	中央・個別併用	禁煙
O002	大阪市	事務所	5,000～10,000	個別方式	禁煙

表 2-7-3 回答者の基本属性

項目	男性	女性	合計	
年齢	20代	11 (4.8%)	15 (7.2%)	26 (6.0%)
	30代	34 (15.0%)	77 (37.0%)	111 (25.5%)
	40代	81 (35.7%)	86 (41.3%)	167 (38.4%)
	50代	81 (35.7%)	24 (11.5%)	105 (24.1%)
	60代以上	20 (8.8%)	6 (2.9%)	26 (6.0%)
	計	227	208	435
職業	管理職	81 (31.6%)	26 (11.6%)	107 (22.3%)
	専門職	31 (12.1%)	24 (10.7%)	55 (11.5%)
	技術職	41 (16.0%)	22 (9.8%)	63 (13.1%)
	営業職	22 (8.6%)	1 (0.4%)	23 (4.8%)
	企画・事務職	75 (29.3%)	143 (63.8%)	218 (45.4%)
	秘書・書記	0 (0.0%)	2 (0.9%)	2 (0.4%)
	その他	6 (2.3%)	6 (2.7%)	12 (2.5%)
	計	256	224	480

C.1.2 従業員の SBS 関連症状

SBS 関連症状としては、毎週 1~3 日または毎日かほとんど症状を呈し、かつ職場を離れると良くなると回答したものとした。SBS 関連症状は、より多くの諸症状をカバーしており、米国環境保護庁が使用している NIOSH の 5 つの主症状を用いた。表 1 - 4

に米国 EPA 及び米国 NIOAH の基準による

主症状の有症率の経時変化を示す。全調査期間を通じた有症率は、目の症状 23.1%、一般症状 20.1%、上気道症状 12.9%、下気道症状 1.4%、皮膚症状 3.5%であった。いずれか 1 つ以上の症状を有するものは、全期間を通じて 37.1%であった。

表 2-7-4 SBS 関連症状の有症率 (NIOSH および USEPA のクライテリア)

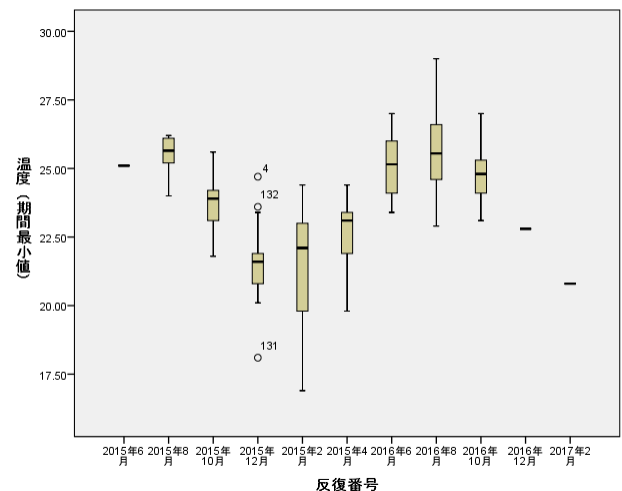
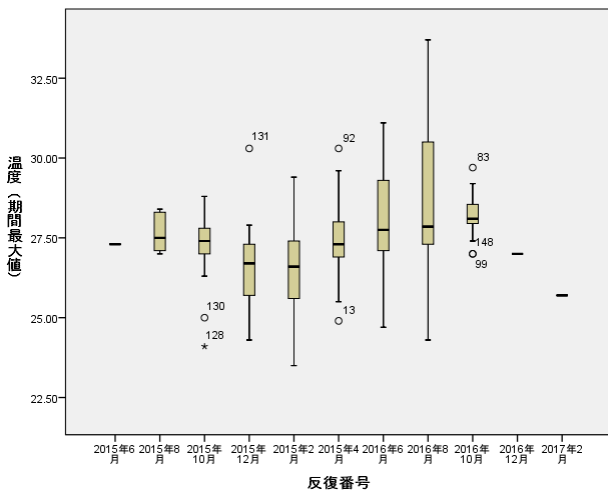
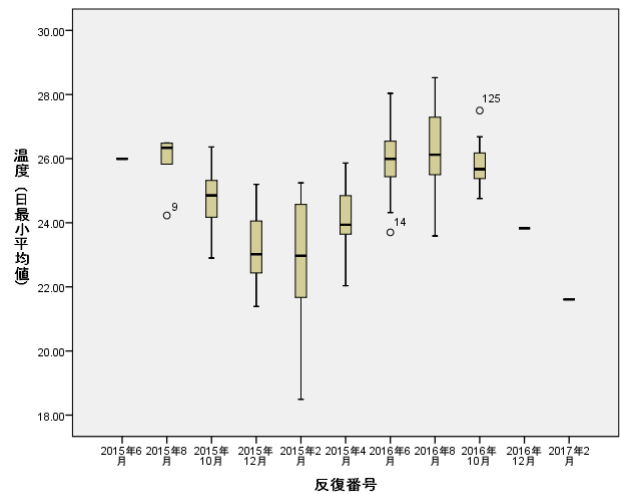
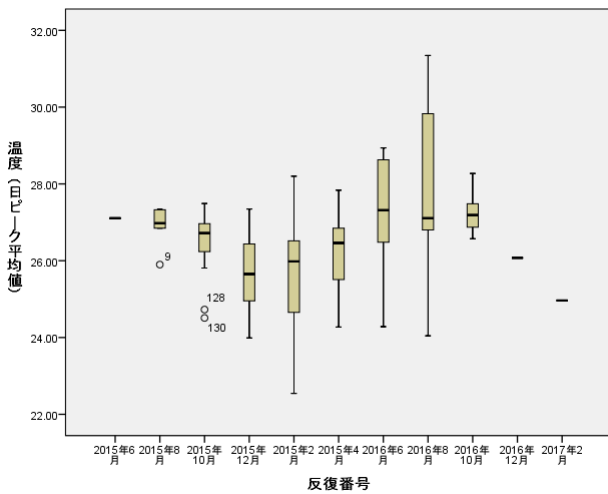
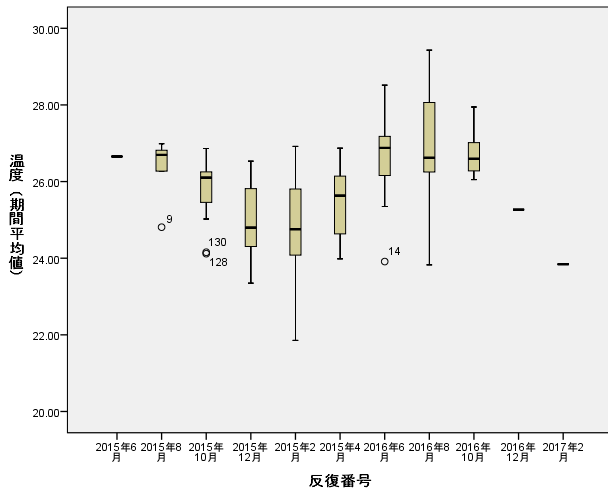
調査時期	フロア数	回答数	目の症状	一般症状	上気道症状	下気道症状	皮膚症状	全体
2015.6	24	22	28.6%	38.1%	28.6%	4.5%	4.5%	52.4%
2015.8	24	134	24.8%	19.5%	16.7%	0.7%	3.0%	42.1%
2015.1	24	349	23.9%	22.8%	12.0%	1.4%	4.0%	38.4%
2015.12	24	267	21.4%	20.2%	15.5%	1.5%	3.0%	36.1%
2016.2	24	264	25.1%	22.1%	13.4%	1.1%	3.8%	38.7%
2016.4	24	202	24.6%	19.5%	15.9%	1.0%	5.0%	39.5%
2016.6	24	207	23.6%	19.9%	9.9%	1.5%	4.3%	34.8%
2016.8	24	191	21.7%	15.9%	8.3%	1.6%	2.1%	34.5%
2016.1	24	127	19.0%	15.4%	10.0%	2.4%	1.6%	32.8%
2016.12	24	14	14.3%	7.1%	14.3%	0.0%	0.0%	21.4%
2017.2	24	9	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
全期間	24	1786	23.1%	20.1%	12.9%	1.4%	3.5%	37.1%

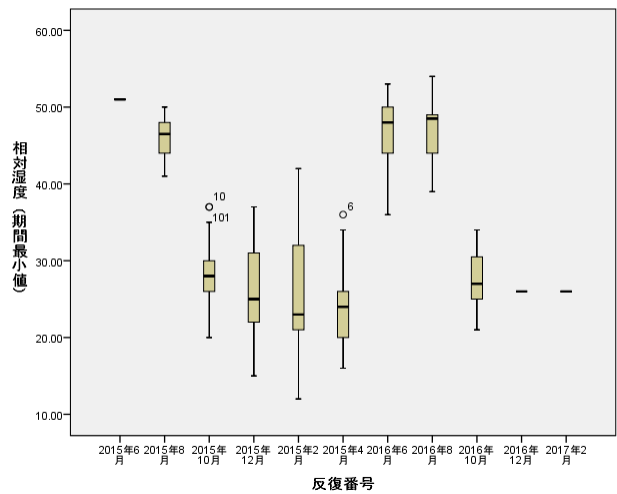
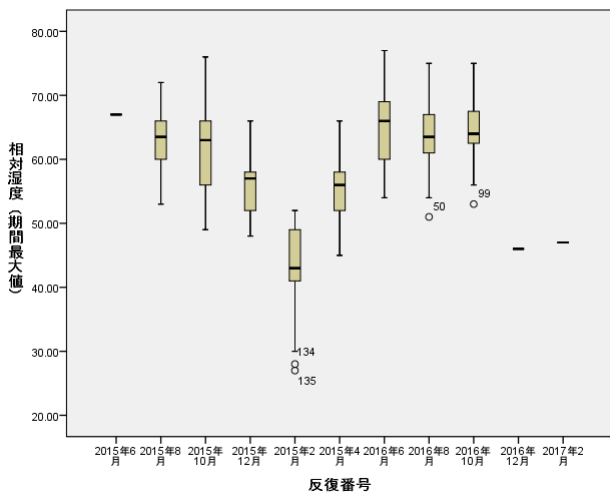
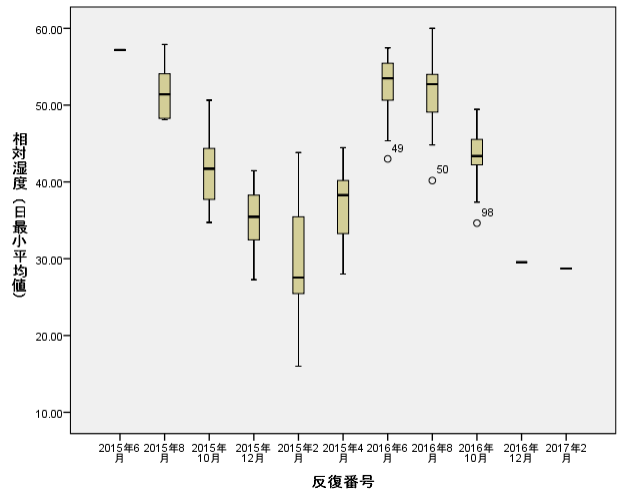
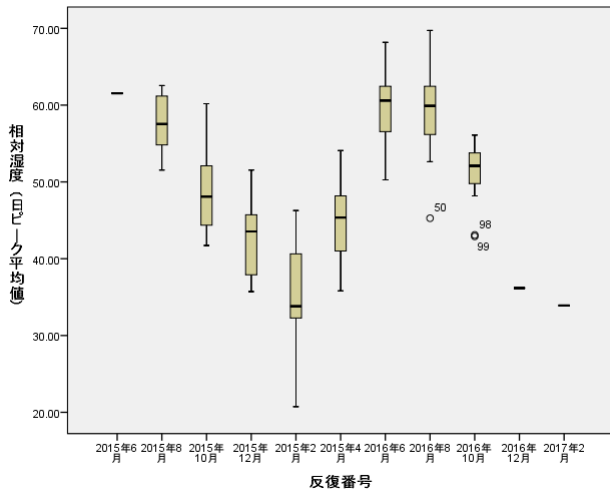
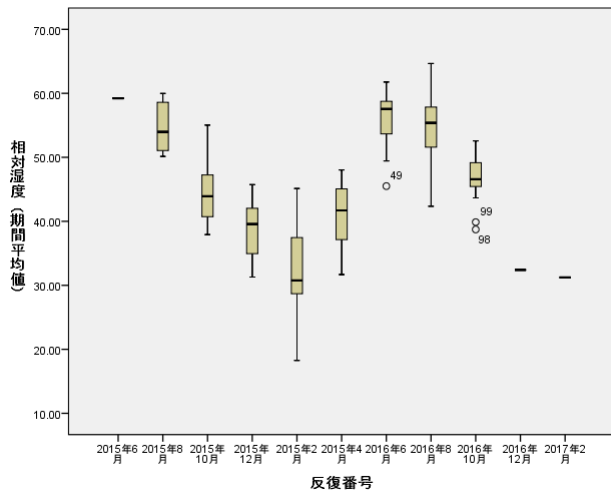
全体：いずれか 1 つ以上の症状を有する

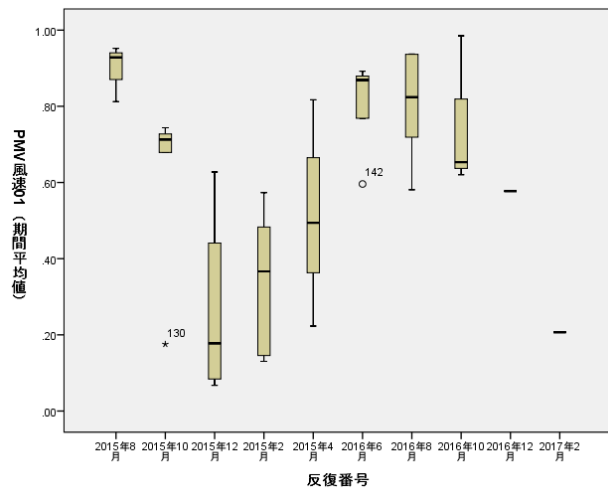
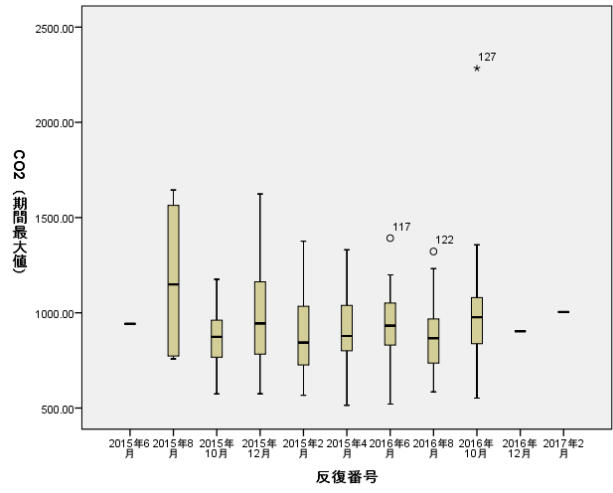
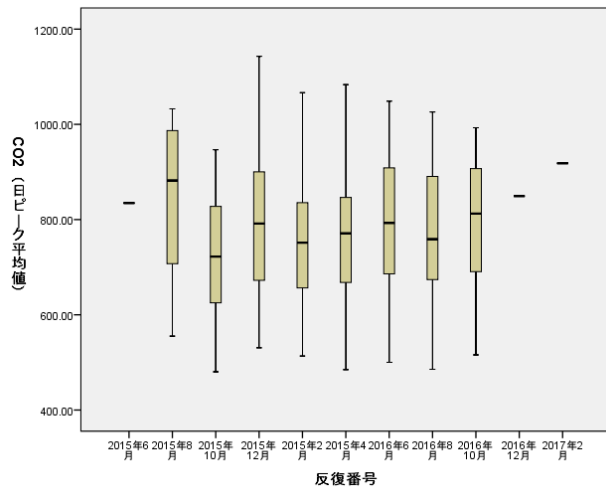
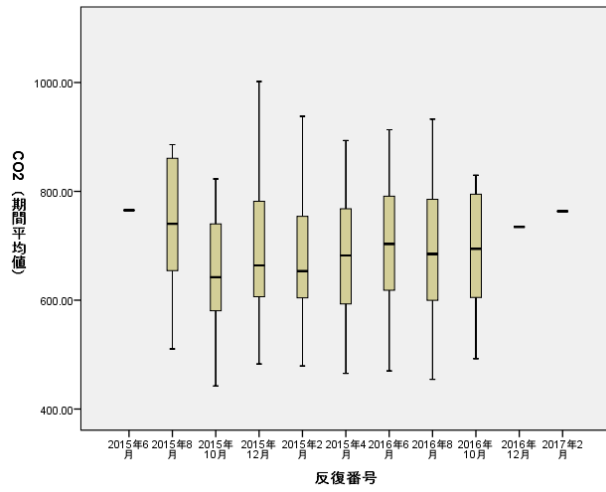
C.1.3 空気環境結果（連続測定データの一部のみ抜粋）

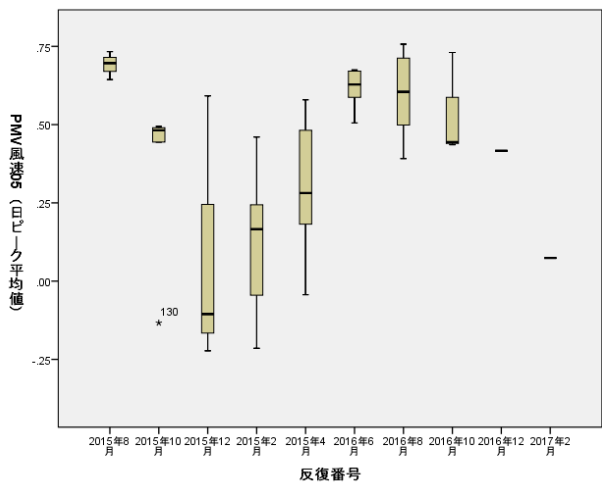
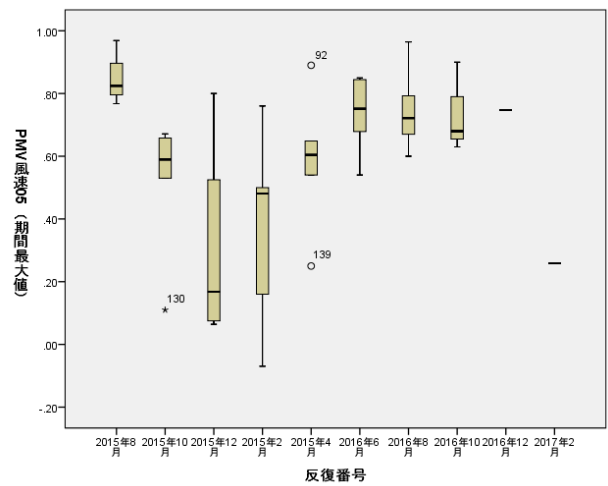
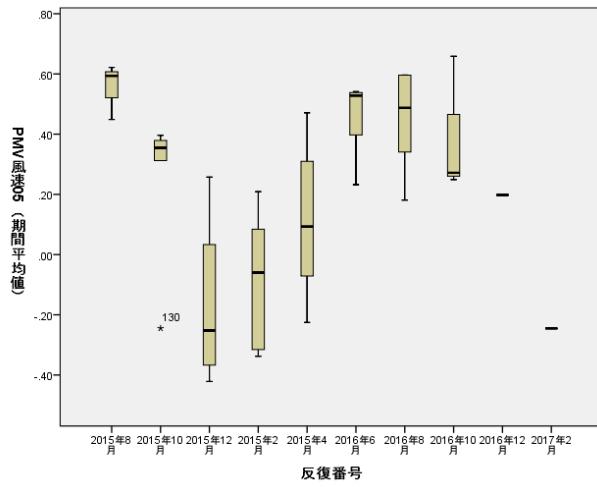
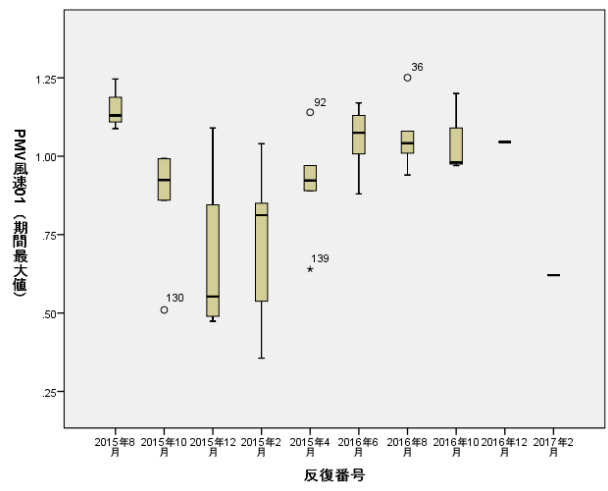
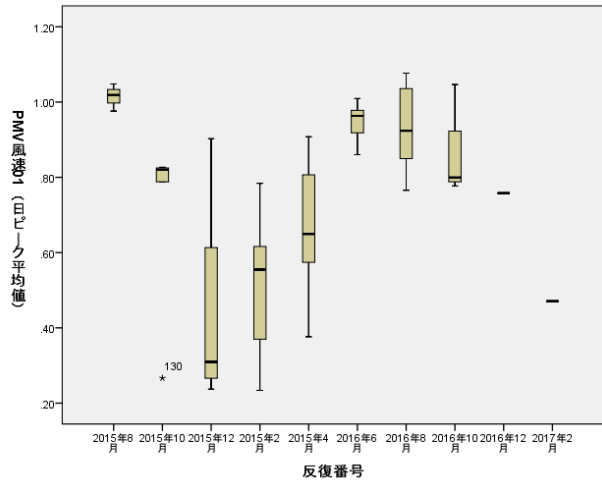
各調査時期における温熱および二酸化炭素濃度の測定結果を下図に示す。データの集計

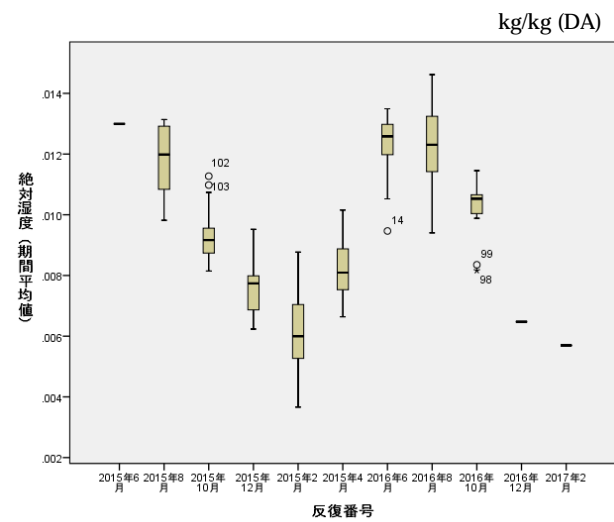
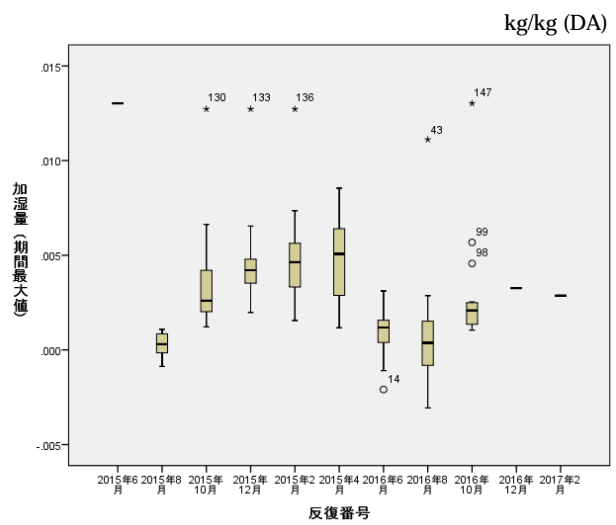
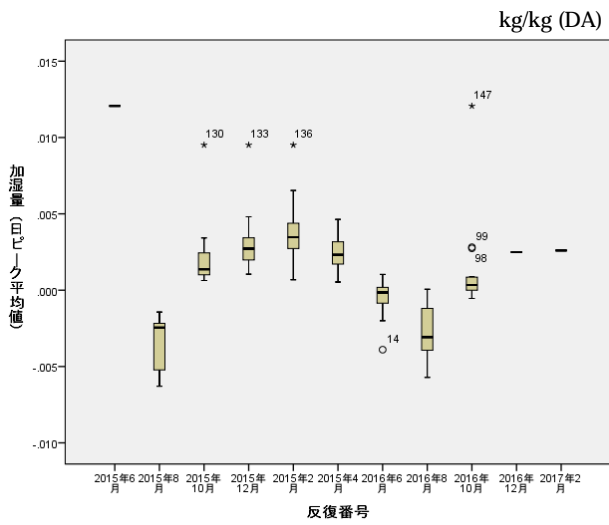
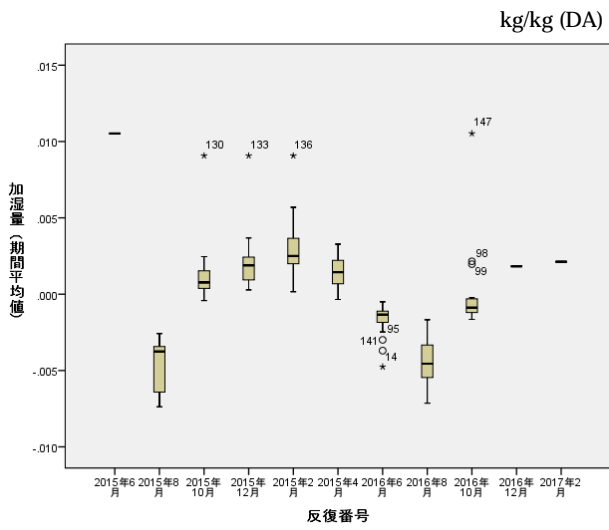
は、アンケート配布日の前後5日間の合計11日間の就労時間帯(午前9時から午後5時)における連続測定データをもとに行った。

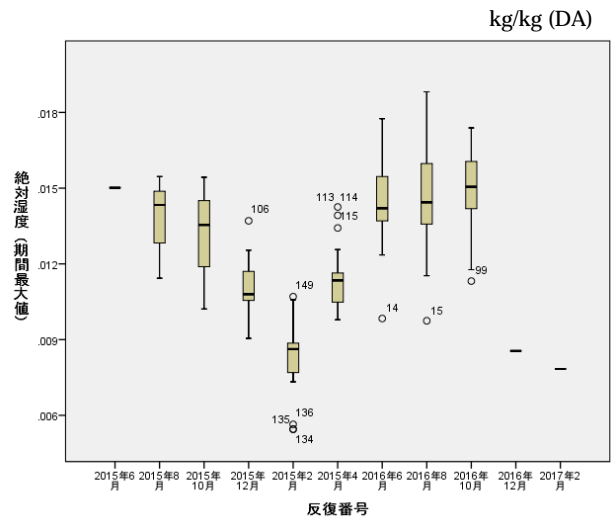
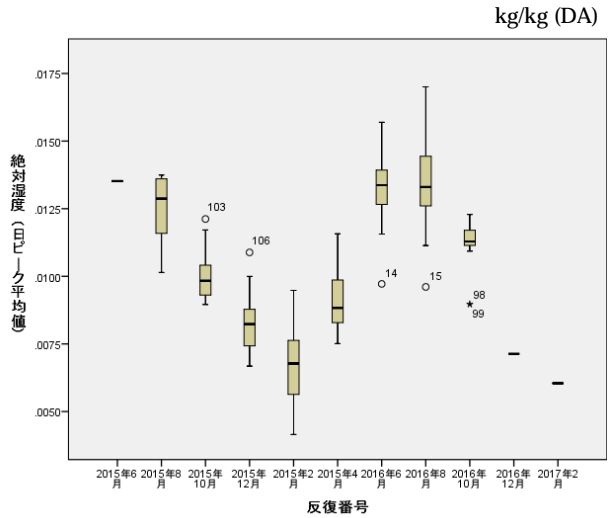












PMV 計算条件
(ヒトが感じる温冷感の指標)

- ・ 風速 : 0.1 m/s , 0.5 m/s
- ・ 着衣量 : 0.8 clo
- ・ 代謝量 : 1.2 met
- ・ 平均放射温度(MRT) = グローブ温度 + 2.35√
風速 (グローブ温度 - 室温)

ISO7730 における PMV の推奨値は -0.5 ~ 0.5

C.1.4 従業員の症状に關与する要因の解析

職場環境に強い疑いのある SBS 関連症状について、主症状に対して影響のある要因の解析を行った。本調査では、反復測定による縦断調査を実施したことや、SBS 関連症状に影響する要因を解析することから、ロジスティックリンクによる一般化線形混合モデル (Generalized Linear Mixed Model: GLMM) による解析を行った。また、反復測定による被験者内変動には複合対称性の共分散構造を仮定して解析を行った。なお、下気道症状と皮膚症状は有症率が低いため解析から除外した。

今年度の解析においては、各 SBS 関連症状について、性別、年齢、喫煙、職種に関して GLMM による単変量解析を実施し、その後因子を追加した GLMM による多変量解析を実施した。

モデルに投入した因子は単変量解析で $p < 0.2$ であった基本属性因子と連続測定データ (温度、湿度、二酸化炭素、PMV、加湿量、絶対湿度) とし、今年度の解析は各因子の影響のスクリーニングを目的とした。詳細な解析は次年度以降に実施する。職場環境の主観評価、職業性ストレス、空気質測定データ、建物要因等の他の要因の影響や、これらの要因の関連性等についても、次年度以降に継続して詳細な解析を実施する。以下、目の症状、一般症状、上気道症状の結果を示す。女性のほうが各 SBS 関連症状のオッズ比が高かった。年齢では上気道症状で若い世代になるほどオッズ比が高かった。職種では企画・事務職のオッズ比が目の症状と上気道症状で高かった。秘書/書記はデータ数が小さいため今後の解析ではその他に含める予定である。

表 2-7-5 基本属性に関する単変量解析の結果

		目の症状	一般症状	上気道症状
性別 (女性)		4.07 (2.74-6.05)**	2.80 (1.92-4.08)**	3.96 (2.44-6.42)**
年齢 ¹⁾	60代以上	0.73 (0.24-2.28)	0.42 (0.13-1.34)	0.48 (0.14-1.70)
	50代	0.45 (0.19-1.02)	0.48 (0.22-1.05)	0.29 (0.12-0.74)**
	40代	0.83 (0.39-1.78)	0.83 (0.40-1.69)	0.42 (0.18-0.98)*
	30代	0.95 (0.43-2.12)	1.01 (0.48-2.12)	0.61 (0.26-1.45)
	20代	Ref.	Ref.	Ref.
喫煙	毎日	0.87 (0.50-1.52)	0.90 (0.52-1.55)	0.81 (0.41-1.58)
	時々	0.46 (0.17-1.27)	1.12 (0.47-2.68)	0.59 (0.17-2.01)
	過去あり	0.60 (0.38-0.94)*	0.76 (0.49-1.19)	0.86 (0.51-1.46)
	なし	Ref.	Ref.	Ref.
職種	その他	2.24 (0.61-8.14)	2.97 (0.85-10.4)	4.41 (0.99-19.7)
	秘書/書記	13.3 (1.22-144)*	1.45 (0.11-18.6)	112 (6.87-1856)**
	企画/事務	2.36 (1.42-3.90)**	2.19 (1.35-3.56)**	4.87 (2.45-9.69)**
	営業	0.53 (0.16-1.76)	0.78 (0.27-2.20)	1.84 (0.46-7.31)
	技術	1.04 (0.54-2.04)	0.94 (0.49-1.83)	1.52 (0.61-3.79)
	専門	1.27 (0.66-2.47)	1.07 (0.55-2.10)	1.17 (0.44-3.13)
	管理	Ref.	Ref.	Ref.

※時間 (調査期間) で調整、年齢は初回アンケート回答時、オッズ比 (95%CI)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

表 2-7-6 室内空気質（連続測定データ）に関する多変量解析の結果

	L単位	目の症状	一般症状	上気道症状
温度（期間平均値）	1	1.07 (0.91-1.24)	0.98 (0.84-1.14)	0.85 (0.70-1.02) ⁺
温度（日最大平均値）	1	1.07 (0.92-1.25)	0.95 (0.82-1.11)	0.90 (0.74-1.09)
温度（日最小平均値）	1	1.03 (0.92-1.15)	0.98 (0.88-1.10)	0.79 (0.65-0.96)*
温度（期間最大値）	1	1.01 (0.89-1.15)	0.99 (0.88-1.13)	1.02 (0.86-1.21)
温度（期間最小値）	1	1.05 (0.96-1.14)	0.96 (0.88-1.05)	0.88 (0.79-0.98)*
相対湿度（期間平均値）	10%	0.98 (0.84-1.15)	0.94 (0.80-1.10)	0.80 (0.65-0.98)*
相対湿度（日最大平均値）	10%	0.98 (0.83-1.15)	0.94 (0.80-1.10)	0.80 (0.66-0.99)*
相対湿度（日最小平均値）	10%	0.98 (0.84-1.15)	0.94 (0.80-1.10)	0.79 (0.65-0.96)*
相対湿度（期間最大値）	10%	0.98 (0.83-1.16)	0.96 (0.81-1.13)	0.87 (0.70-1.08)
相対湿度（期間最小値）	10%	1.00 (0.87-1.16)	0.95 (0.82-1.09)	0.80 (0.67-0.96)*
CO ₂ （期間平均値）	100ppm	1.01 (0.85-1.20)	0.99 (0.83-1.17)	1.16 (0.94-1.44)
CO ₂ （日最大平均値）	100ppm	1.00 (0.87-1.15)	0.99 (0.86-1.13)	1.12 (0.96-1.33)
CO ₂ （期間最大値）	100ppm	0.99 (0.91-1.07)	0.98 (0.91-1.07)	1.06 (0.96-1.17)
PMV風速01（期間平均値）	0.1	1.03 (0.93-1.14)	0.96 (0.87-1.06)	-
PMV風速01（日最大平均値）	0.1	1.04 (0.93-1.16)	0.96 (0.86-1.07)	-
PMV風速01（期間最大値）	0.1	1.03 (0.92-1.15)	0.97 (0.87-1.08)	-
PMV風速05（期間平均値）	0.1	1.03 (0.94-1.12)	0.97 (0.89-1.06)	-
PMV風速05（日最大平均値）	0.1	1.03 (0.94-1.13)	0.97 (0.88-1.06)	-
PMV風速05（期間最大値）	0.1	1.02 (0.93-1.13)	0.97 (0.89-1.07)	-
加湿量（期間平均値）	0.001	1.02 (0.97-1.07)	1.04 (0.99-1.09)	1.07 (1.00-1.13)*
加湿量（日最大平均値）	0.001	1.02 (0.97-1.07)	1.04 (0.99-1.09)	1.07 (1.00-1.13)*
加湿量（期間最大値）	0.001	1.01 (0.96-1.07)	1.03 (0.98-1.09)	1.06 (0.99-1.13)
絶対湿度（期間平均値）	0.001	1.00 (0.93-1.07)	0.97 (0.91-1.04)	0.90 (0.83-0.98)*
絶対湿度（日最大平均値）	0.001	1.00 (0.93-1.06)	0.97 (0.91-1.04)	0.91 (0.84-0.99)*
絶対湿度（期間最大値）	0.001	0.99 (0.93-1.06)	0.98 (0.91-1.04)	0.95 (0.88-1.03)

※時間（調査期間）、性別、年齢、職種で調整（目の症状では喫煙を追加調整）、年齢は初回アンケート回答時、オッズ比（95%CI）、+ p < 0.1, * p < 0.05, ** p < 0.01, L単位（Logistic 増加単位）

目の症状と一般症状ではこれらの因子で有意な関係はみられなかった。上気道症状では温度の低下、相対湿度の低下、絶対湿度の低下との間に有意な関係があった。加湿量の増加と上気道症状との間に有意な関係があったが、相対湿度や絶対湿度と加湿量は反比例の関係にあることから、本質的な原因は湿度の

低下と考えられた。冬期の相対湿度は建築物環境衛生管理基準値の40%を下回るオフィスが大半であったことから、冬期の湿度低下が上気道症状のリスクを高めている原因となっている可能性が考えられる。今後はこのことに関する詳細な解析を実施する。

表 2-7-7 諸外国における温熱環境基準

温熱環境因子	単位	米国保健省	米国労働安全衛生局	カナダ規格協会	英健康安全局	フィンランド環境省	中国環境保護総局	香港特別行政区		シンガポール環境省	オーストラリア雇用・職場関係省	ニュージーランド労働省		
								最良質	良質			デスクワーク中心の職場	活動量の多い職場	
室温	夏季	°C	21.1~26.7	20~24.4	24.5~28 (30%RH) 23~25.5 (60%RH)	13~30	23*	22~28	20~25.5	< 25.5	22.5~25.5	23~26	19~24	16~21
	冬季		18.3~20.0		20.5~25.5 (30%RH) 20~24 (60%RH)		21*					16~24	20~24	18~22
相対湿度	夏季	% RH	-	20~60	-	-	45 (21°C)	40~80	40~70	< 70	≤ 70	-	40~70	40~70
	冬季						30~60							
気流	夏季	m/s	-	-	-	-	0.3	< 0.2	< 0.3	≤ 0.25	≤ 0.25	0.1~0.2	0.2	
	冬季						0.2							

* 通常の居室の温度は25°Cを越えないこと、外気温が最大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 2-7-8 近年のエビデンスに基づく相対湿度の推奨範囲

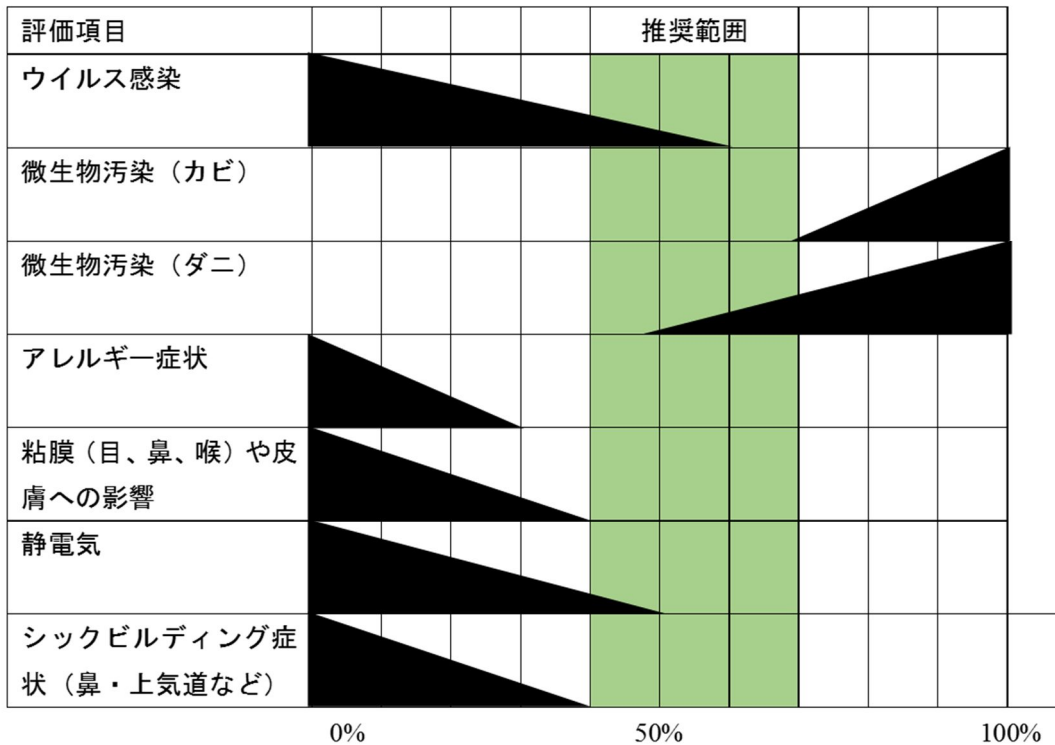


表 2-7-9 諸外国における二酸化炭素濃度の室内空気質ガイドライン

諸外国(公表年)	室内濃度の指針値	対象
ノルウェー厚生省(1999)	1000 ppm(最大値) ※ 室内空気汚染の指標	居住空間
カナダ保健省(1995)	1000 ppm ※ 換気の指標	オフィス環境
カナダ保健省(1987)	3500 ppm以下 (許容可能な長期曝露範囲)	居住空間
シンガポール環境省(1996)	1000 ppm(8時間平均) ※ 換気の指標	空調設備を有するオフィスビル
中国香港特別行政区(2003)	最良質:800 ppm(8時間平均) 良 質:1000 ppm(8時間平均)	機械換気や空調設備を有する建物や閉鎖空間
中国環境保護総局(2002)	1000 ppm(24時間平均)	住宅とオフィス
韓国環境部(2003)	1000 ppm	大規模店舗、医療機関等
台湾環境保護庁(2012)	1000 ppm(8時間平均)	

表 2-7-10 ドイツ連邦環境庁による室内空気中の二酸化炭素濃度のガイダンス値

二酸化炭素濃度	健康と衛生上の評価	留意点
1000 ppm以下	無害(harmless)とみなされる	処置の必要なし
1000 ~ 2000 ppm	有害性が上昇する(elevated)	換気状況の確認と改善(外気導入量や換気効率の増加等)
2000 ppm以上	許容できない(unacceptable)	必要に応じて追加措置を試みる

表 2-7-11 二酸化炭素濃度と健康等への影響(ANSES 2013 に追加・加筆)

室内と大気中のCO ₂ の濃度差	既往の疫学及び毒性学的研究より	職業曝露限界値(VLEP)
d CO ₂ :400ppm以下 優れたIAQ		
d CO ₂ : 400-600ppm 平均レベルのIAQ	850ppm以上 d CO ₂ 450ppm以上 SBS症状が増加 (Erdmann and Apté 2004) (Wargocki et al 2000)	
d CO ₂ : 600-1000ppm 中程度IAQ	1000ppm以上 d CO ₂ 600ppm以上 ・学校の子どもの喘息関連 症状の増悪 (Simoni et al 2010) ・数時間で成人の精神運 動機能(意思決定や問題 解決)への影響 (Satish et al 2012)	
d CO ₂ : 1000ppm超 低レベルのIAQ	10000ppmに22日曝露した成人 で代謝性侵襲(血中Caや尿中磷 濃度の低下)(Gray et al 1950) 追加 10000ppm以上 中程度の身体負荷の健康な 成人における呼吸性アシ ドーシス 出現(30分曝露) (DFG 2012) 肺でガス交換が低下し体内にCO ₂ が滞留、血液脳門を 通じて急速に拡散する。急性では頭痛、錯乱嗜眠等、緩徐 では記憶喪失、睡眠障害、日中の過度な眠気等を生じる。	5000ppm以上 フランスや諸外国の8時 間平均値(ACGIH, NIOSH, OSHA等) 10000-30000ppm 諸外国の短時間曝露 限界値(同上)

表 2-7-12 二酸化炭素濃度と健康等への影響のまとめ

CO ₂ 濃度	生理変化	精神運動機能	症状	室内基準等
500 ppm以上	pCO ₂ , 心拍数, 心拍変動, 血圧, 末梢血液循環		700 ppm以上でシックビルディング症候の症状	
1,000以上		認識能力 (意思決定, 問題解決)	学童の喘息症状の増悪	居住空間における室内空気質指針値
5,000 以上				労働環境基準 (8時間加重平均値TAW)
10,000 以上	呼吸数増加, 呼吸性アシドーシス, 代謝性侵襲 (血中Caや尿中燐濃度の低下), 脳血流増加, 分時換気量増加			
50,000 以上	めまい, 頭痛, 混乱, 呼吸困難			
100,000 以上	激しい呼吸困難に続き, 嘔吐, 失見当, 高血圧, 意識消失			労働環境基準 (短時間限界値STEL)

- ・血液の pH 低下や CO₂ 増加は, ヘモグロビンから酸素を離れやすくする
- ・血液中の CO₂ 増加では炭酸脱水酵素の働きで水素イオンと重炭酸イオンを生成

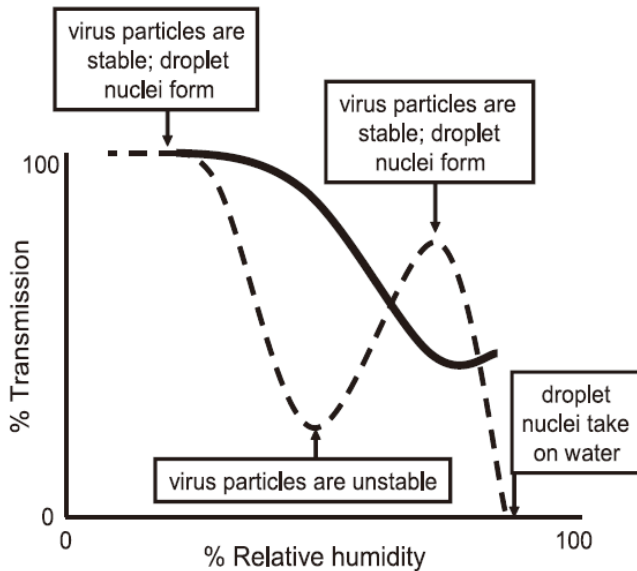
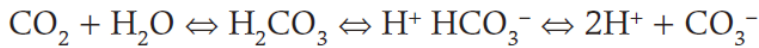


Figure 6. Variation of Transmission Efficiency with Relative Humidity: A Model

図 2-7-1 温湿度とインフルエンザウイルス感染 (モルモットの実験より, Lowen 2007)

D. 総括

建築物利用者の職場環境と健康に関する実態調査については、東京都と大阪市に所在する事務用途の特定建築物を対象に、東京都5件、大阪市6件の事務所から協力（調査フロア数24、調査対象者数約648名）を得たうえで、平成27年6月から平成29年2月までアンケート調査と室内環境の実測調査に関する縦断調査を実施した。その結果、上気道症状では温度の低下、相対湿度の低下、絶対湿度の低下との間に有意な関係がみられた。冬期の相対湿度は建築物環境衛生管理基準値の40%を下回るオフィスが大半であったことから、冬期の湿度低下が上気道症状のリスクを高めている原因となっている可能性が考えられた。解析途上にある室内空気汚染物質等の他の室内空気質因子を含め、今後はさらに詳細な解析を実施する。

相対湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関する近年のエビデンスをレビューした結果、低湿度におけるインフルエンザウイルスの活性、高湿度におけるカビやダニなどの微生物の増殖、低湿度におけるアレルギーや粘膜刺激症状の増悪、低湿度におけるヒトでの静電気ショック、低湿度におけるSBS症状のリスクの増大等の相対湿度の健康等への影響に関する近年の複数のエビデンスは、現在の環境衛生管理基準である40%～70%が適正な範囲であることを示していた。

二酸化炭素に関する近年の複数のエビデンスが、1000ppm程度の低濃度域における二酸化炭素濃度の上昇と生理学的変化（二酸化炭素分圧、心拍数等）及びシックビルディング症候群（SBS）関連症状との関係を示している。

生理学的変化は二酸化炭素によるものと考えられるが、SBS症状については二酸化炭素によるものか、他の汚染物質との混合曝露によるものかはさらなる検証が必要（特に長期間曝露の影響）ではあるが、建物内の二酸化炭素の室内濃度を1000ppm以下の低濃度に抑えることで、これらの健康影響を防止できる。

近年、1000ppm程度の低濃度の二酸化炭素

そのものによる労働生産性（意思決定能力や問題解決能力）への影響が示唆されており、今後のさらなる検証が求められる。

1999年頃から温湿度や二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準の不適合率が増加しているが、これらの増加が生じている原因として、省エネルギー対応が関わっているとの報告がある。具体的な例としては、空調機や換気設備の誤った使用方法による外気の導入不足、加湿器や空調機や換気設備のメンテナンス不良など、空気調和設備の維持管理に関わる問題が主な原因としてあげられている^{57),58)}。従って、これらの維持管理に関わる問題に対するさらなる対応が必要と考えられる。

E. 参考文献

- 1) 大澤元毅ら：建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究，平成21～22年度総括・分担総合研究報告書，厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業，2011年3月。
- 2) 大澤元毅ら：建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究，平成21年度総括・分担総合研究報告書，厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業，2010年3月。
- 3) 東 賢一．建築室内環境に関連する症状とそのリスク要因—日本におけるシックビルディング症候群の現状—．保健医療科学 63(4):334-341, 2014.
- 4) 大澤元毅ら．建築物環境衛生管理及び管理基準の今後のあり方に関する研究，平成25年度総合研究報告書，厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業，2014年3月。
- 5) US Environmental Protection Agency: A standardized EPA protocol for characterizing indoor air quality in large office buildings. Washington, D.C., US Environmental Protection Agency, 2003.
- 6) National Institute for Occupational Safety and Health: Indoor Air Quality and Work Environment Symptoms Survey, NIOSH Indoor Environmental Quality Survey.

- Washington, DC: NIOSH, 1991.
- 7) Andersson K: Epidemiological approach to indoor air problems. *Indoor Air* 4 (suppl): 32–39, 1998.
 - 8) 厚生労働省: 職業性ストレス簡易調査票, 2005.
 - 9) 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.
 - 10) 東 賢一, 内山巖雄. 建築物環境衛生管理基準の解説と近年の知見. *ビルと環境*, No. 134, pp. 4–17, 2011.
 - 11) 小林陽太郎, 他. 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.
 - 12) ビル管理教育センター. ビルの環境衛生管理. 厚生大臣指定建築物環境衛生管理技術者講習会・テキスト, 1971.
 - 13) Goromosov MS. The physiological basis of health standards for dwellings. Public Health Papers No. 33, World Health Organization, Geneva, 1968.
 - 14) 大澤元毅ら. 建築物環境衛生管理及び管理基準の今後のあり方に関する研究. 平成24年度総括・分担研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 厚生労働省, 東京, 2013.
 - 15) 齊藤宏之ら: 冬季オフィス環境における低湿度と自覚症状との関連性. 平成27年室内環境学会学術大会抄録集, pp. 222–223, 2015.
 - 16) Sohaffer FL, Soergel ME, Straube DC. Survival of Airborne Influenza Virus: Effects of Propagating Host, Relative Humidity, and Composition of Spray Fluids. *Archives of Virology* 51,263–273, 1976.
 - 17) 中山幹男, 齊藤恵子. インフルエンザウイルスの感染価に及ぼす相対湿度の影響. *BMSA 会誌* 20 (3): 77–80, 2009.
 - 18) Fanger PO. Air humidity, comfort and health. Proceedings of the 16th International Congress of Refrigeration 5: 255–259, 1983.
 - 19) Baughman AV, Arens EA. Indoor Humidity and Human Health--Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity-Influenced Indoor Pollutants. *ASHRAE Transactions* 102: 193–211, 1996.
 - 20) Reinikainen LM, Jaakkola JJK. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air* 13: 344–352, 2003.
 - 21) 輿水ヒカル, 栃原 裕, 池田耕一. 加湿器導入による冬期の工場勤務者の温熱快適性および主観的評価の変化に関する調査研究. 日本建築学会計画系論文集, No. 552. pp. 9–14, 2002.
 - 22) 木村裕和, 稲次俊敬, 小河 宏. 最近のカーペットの問題点. *繊維機械学会誌* 55 (3): 4–12, 2002.
 - 23) 井上猛司, 松尾義輝 (1978) 静電気対策に必要な温湿度管理とその設計. *電設工業* 24 (4): 57–62
 - 24) Reinikainen LM, Jaakkola JJK, Seppänen O. The Effect of Air Humidification on Symptoms and Perception of Indoor Air Quality in Office Workers: A Six-Period Cross-Over Trial. *Archives of Environmental Health* 47 (1): 8–15, 1992.
 - 25) 堤 仁美, 田辺新一, 針ヶ谷純吉, 井口泰男, 中村 元. 蒸暑環境から冷房空間への入室時において湿度が快適性・知的生産性に及ぼす影響に関する被験者実験. 日本建築学会環境系論文集, 第609号, pp. 15–21, 2006.
 - 26) Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity. *Journal of Physiological Anthropology* 25 (1): 7–14, 2006.
 - 27) Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity in Young and Elderly Men. *Journal of Physiological Anthropology* 25 (3): 229–238, 2006.
 - 28) 堤 仁美, 田辺新一, 針ヶ谷純吉, 井口泰

- 男, 中村 元. 蒸暑環境から冷房空間への入室時において湿度が快適性・知的生産性に及ぼす影響に関する被験者実験. 日本建築学会環境系論文集, 第 609号, pp. 15–21, 2006.
- 29) Tsutsumi H, Tanabe S, Harigaya J, Iguchi J, Nakamura G. Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment. *Building and Environment* 42 (12): 4034–4042, 2007.
- 30) Wolkoff P, Kjærgaard SK. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International* 33 (6): 850–857, 2007.
- 31) Wolkoff P. “Healthy” eye in office-like environments. *Environmental International* 34 (8): 1204–1214, 2008.
- 32) Lowen AC, Mubareka S, Steel J, Palese P. Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. *PLoS Pathog* 3(10):1470–1476, 2007.
- 33) Hanley BP, Borup B. Aerosol influenza transmission risk contours: a study of humid tropics versus winter temperate zone. *Virol J* 7:98, 2010.
- 34) Jaakkola K, Saukkoriipi A, Jokelainen J, Juvonen R, Kauppila J, Vainio O, Ziegler T, Rönkkö E, Jaakkola JJ, Ikäheimo TM; KIAS-Study Group. Decline in temperature and humidity increases the occurrence of influenza in cold climate. *Environ Health* 13(1):22, 2014.
- 35) Ikäheimo TM, Jaakkola K, Jokelainen J, Saukkoriipi A, Roivainen M, Juvonen R, Vainio O, Jaakkola JJ. A Decrease in Temperature and Humidity Precedes Human Rhinovirus Infections in a Cold Climate. *Viruses* 8(9). pii: E244, 2016.
- 36) IRK (Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden). Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 51 (11): 1358–1369, 2008.
- 37) Rice SA: Health effects of acute and prolonged CO₂ exposure in normal and sensitive populations. Second annual conference on carbon sequestration, Alexandria, VA, 2003.
- 38) Seppänen OA, Fisk WJ, Mendell MJ. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air* 9(4):226-252, 1999.
- 39) Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM. Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data. *Indoor Air* 10(4):246-257, 2000.
- 40) Erdmann CA, Apte MG. Mucous membrane and lower respiratory building related symptoms in relation to indoor carbon dioxide concentrations in the 100-building BASE dataset. *Indoor Air* 14(Suppl 8):127-134, 2004.
- 41) Norbäck D, Nordström K. Sick building syndrome in relation to air exchange rate, CO₂, room temperature and relative air humidity in university computer classrooms: an experimental study. *Int Arch Occup Environ Health* 82(1):21-30, 2008.
- 42) Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, Norback D, Wieslander G, Nystad W, Canciani M, Sestini P, Viegi G. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. *Eur Respir J* 35(4):742-749, 2010.
- 43) Satish U, Mendell MJ, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D, Streufert S, Fisk WJ. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environ Health Perspect* 120(12):1671-1677, 2012.

- 44) Tsai DH, Lin JS, Chan CC. Office workers' sick building syndrome and indoor carbon dioxide concentrations. *J Occup Environ Hyg* 9(5):345-351, 2012.
- 45) ANSES: Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé. RAPPORT d'expertise collective, 2013.
- 46) 東 賢一: 小児の中毒 II - 4 .重金属による中毒 鉛. *小児科臨床*, 第 65 巻増刊号, pp. 1501-1508.
- 47) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Physicochemical risk factors for building-related symptoms: thermal conditions and combined exposure to indoor air pollutants. *Proceedings of the 14th international conference of Indoor Air Quality and Climate*, 7 pages, in press, 2016.
- 48) MacNaughton P, Spengler J, Vallarino J, Santanam S, Satish U, Allen J. Environmental Perceptions and Health before and after Relocation to a Green Building. *Build Environ* 104:138-144, 2016.
- 49) Vehviläinen T, Lindholm H, Rintamäki H, Pääkkönen R, Hirvonen A, Niemi O, Vinha J. *J Occup Environ Hyg* 13(1):19-29, 2016.
- 50) Kajtár L, Herczeg L. Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work. *IDŐJÁRÁS* 116(2):145-169, 2012.
- 51) Starcke K, Brand M. Decision making under stress: a selective review. *Neurosci Biobehav Rev* 36(4):1228-1248, 2012.
- 52) Satish U, Mendell MJ, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D, Streufert S, Fisk WJ. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environ Health Perspect* 120(12):1671-1677, 2012.
- 53) Allen JG, MacNaughton P, Satish U, Santanam S, Vallarino J, Spengler JD. Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments. *Environ Health Perspect* 124(6):805-812, 2016.
- 54) Zhang X, Wargocki P, Lian Z. Human responses to carbon dioxide, a follow-up study at recommended exposure limits in non-industrial environments. *Build Environ* 100:162-171, 2016.
- 55) Zhang X, Wargocki P, Lian Z, Thyregod C. Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance. *Indoor Air* 27(1):47-64, 2017.
- 56) Zhang X, Wargocki P, Lian Z. Physiological responses during exposure to carbon dioxide and bioeffluents at levels typically occurring indoors. *Indoor Air* 27(1):65-77, 2017.
- 57) 中川晋也ら: 特定建築物における二酸化炭素濃度不適率上昇の原因と対策. *東京都健康安全研究センター研究年報 第 62 号*, pp. 247-251, 2011.
- 58) 労働者健康福祉機構広島産業保健推進センター: 冬季における事務所の湿度環境の実態と改善方策に関する研究. *平成 22 年度調査研究報告書*, 2011.

