

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

建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究

平成 28 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 大澤 元毅
平成 29 (2017) 年 3 月

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

建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究

平成 28 年度 総括研究報告書

研究代表者 大澤 元毅

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

建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究

平成 28 年度 分担研究報告書

平成二十八年年度 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

建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究

研究代表者 大澤元毅

目 次

・ 総括研究報告書	
建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究	・・・1
大澤 元毅	
・ 分担研究報告書	
1 ． 建築物における空気環境の衛生管理の現状	・・・7
柳 宇	
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	・・・13
2-1 建築物における衛生環境の実態と管理項目	
2-1-1 温湿度・CO ₂ 濃度・PMV	
柳 宇	
2-1-2 生菌	
柳 宇	
2-1-3 細菌叢（マイクロバイーム）	
柳 宇	
2-1-4 化学物質	
鍵 直樹	
2-1-5 室内 PM2.5	
鍵 直樹	
2-1-6 エンドトキシン	
金 勲	
2-2 アンケート結果と環境要素の関係	
東 賢一	
3 ． 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案	・・・51
3-1 空気環境の不適率上昇傾向に関する分析と調査	
林 基哉・開原 典子	
3-2 建築物衛生管理の監視手法のあり方	
大澤 元毅	

平成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）
総括研究報告書

建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究

研究代表者 大澤 元毅 国立保健医療科学院 主任研究官

研究要旨

建物の大規模化、用途の複合化、建築設備の変化などに対応するため、建築物における衛生的環境の確保に関する法律（以下、建築物衛生法）による監視技術にも多様化、高度化が不可欠である。一方近年、同法の特定建築物における建築物環境衛生管理基準を満足しない割合（以下、不適率）の改善が進まないなど懸念される状況が続き、維持管理手法、環境監視方法・体制などの環境衛生管理のあり方が問われている。

本研究は、建築物における環境衛生管理に着目して、この現状の把握及び問題点の抽出、原因の究明、対策の検討等を体系的に実施し、公衆衛生の立場を踏まえた、今後の建築物環境衛生管理に関する行政監視のあり方について提案を行おうとするものである。

本年度は、特定建築物における衛生管理基準への適合状況（不適率）について、最新の全国のデータをもとに地域別等の要因分析を行った。また、事務用途の特定建築物を対象として、既往の環境衛生管理基準項目に新たな項目候補を加えた詳細な実態調査を実施し、管理項目改善のための情報を収集した。さらに、建築物の管理者及び利用者に対するアンケート調査を室内環境の測定調査に併せて実施し、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した。また、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。さらに、行政報告資料の吟味及び、自治体担当者へ行政監視の実情に関するアンケート調査を行い、不適率変化の機序について分析した。最後に、明らかとなったこれら成果に基づき、知見を総合してこれからの監視手法のあり方について提案を述べた。

本研究では、建築物衛生管理技術者及び建築物利用者に対して建築環境及び健康影響等に関するアンケート調査を実施した。個人の情報が得られないようにするとともに、解析は匿名化されたデータを用いて統計的処理を行った。なお、その他の調査については、建築物を対象としており、個人を対象とした調査や実験を含まない。また、研究で知り得た情報等については漏洩防止に十分注意して取り扱うとともに、研究以外の目的では使用しない。

研究分担者

林 基哉	国立保健医療科学院
金 勲	国立保健医療科学院
開原 典子	国立保健医療科学院
東 賢一	近畿大学医学部
鍵 直樹	東京工業大学大学院
柳 宇	工学院大学建築学部

研究協力者

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
斎藤 敬子	(公社)日本建築衛生管理教育センター
鎌倉 良太	(公社)日本建築衛生管理教育センター
杉山 順一	(公社)日本建築衛生管理教育センター
築城 健司	(公社)日本建築衛生管理教育センター
下平 智子	(公社)全国ビルメンテナンス協会

A.研究目的

近年、建物の大規模化、用途の複合化、建築設備の変化などにより、建築物衛生法による監視技術にも多様化、高度化が求められている。一方、特定建築物における建築物環境衛生管理基準を満足しない割合「不適率」の改善が進まないなど、維持管理手法、環境監視方法などの環境衛生管理のあり方が問われている。

本研究は、建築物における環境衛生管理に着目して、この現状の把握及び問題点の抽出、原因の究明、対策の検討等について体系的に整理し、公衆衛生の立場を踏まえた、今後の建築物環境衛生管理に関する監視のあり方について提

案を行おうとするものである。

B. 研究方法

以下のサブテーマに分けて進めた。

B.1 建築物における空気環境の衛生管理の現状

B.1.1 全国特定建築物立ち入り調査

本研究では、これまでの研究結果を踏まえて、厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査のデータを用いた全国都道府県の不適率の最新動向について解析を行った。使用したデータは、衛生関係諸法規の施行に伴う各都道府県、保健所設置市、特別区における建築物衛生の実態を把握することを目的とし、厚生労働省が毎年集計を行っているもので、独立行政法人統計情報センターから公表されている、日本全国 47 都道府県および 62 政令市の特定建築物立ち入り検査結果である。

用途は興行場、百貨店、店舗、事務所、学校、旅館、その他と分かれている。本研究では、空気環境について行った解析の結果を報告する。建築物の維持管理項目ごとに調査件数及び不適件数の集計を行っており、本研究では平成 8 年度から平成 27 年度までの間に集計されている不適率の推移をまとめた。また、不適率の高い二酸化炭素、温度、相対湿度について都道府県別にその不適率分布を求め、平成 25 年度と平成 27 年度の比較を行った。

B.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

東京及び大阪に建つオフィスビル 11 建物において、年間連続測定と季節別の立入測定を行った。また、併せて建築物の管理者及び利用者に対するアンケート調査を実施し、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。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。

B.2.1 実測調査

調査対象は上記の 11 建物である。詳細は分担研究報告書を参照いただきたい。

B.2.1.1 温湿度・CO₂濃度・PMV

年間連続測定に併せて、室内温湿度・CO₂・グローブ温度に 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、グローブ温度に直径 75mm のグローブ温度計を用いた。

外気温度にも、温湿度データロガーを用いた。

B.2.1.2 生菌

季節別の立ち入り測定では、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併せ、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は、1 分間隔計 30 分間の連続測定を行った。

B.2.1.3 細菌叢(バイオーム)

本研究の測定では、S 社の Air Check:XR5000 と PTFE0.3 Filter を使用した。前者は、空気サンプルを吸引するエアポンプである。3ℓ/min で 1 時間測定しサンプリング量を 180ℓ とした。

解析では、採取・抽出したバクテリアの DNA を次世代シーケンサーで解読して細菌の検出と分類を行った。

B.2.1.4 化学物質

本研究では、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、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。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、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

B.2.1.5 室内 PM_{2.5}

本研究では、事務所建築物における室内 PM_{2.5} の実態を明らかにするため、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した。

PM_{2.5} の測定には、可搬型で光散乱法を用いた

PM2.5 計 (TSI DustTrak) を用いた。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から、本研究においては、大気で通常用いられている係数を用いて換算し表示する。測定は、各対象室 30 分程度の計測を行った。また、PM2.5 濃度測定と並行して、浮遊粒子の粒径分布の特性を把握するため、粒径別粒子の個数濃度測定を行った。さらに、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を用いて計測した。

B.2.1.6 エンドトキシン

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、グラム陰性菌は、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。換気指標の CO₂ 濃度や化学物質汚染指標の TVOC のように、室内環境における空气中細菌濃度や汚染度など、微生物による汚染状況や環境改善の面で有意義な総合指標としての活用をめざして、ET 濃度に着目して研究を行っている。対象とした建築物は、前項と共通のオフィスビルで、2015 年夏季から、2016 年秋期までに、各建築物において、夏季、中間期、冬季及び翌年の開始季節の計 4 回の測定を行った。なお、本報では H27 年度報告書で述べたフィルタと保存液の干渉を完全に排除した、2016 年 8 月以降の夏季・秋期・冬季の測定結果について報告する。(調査方法については分担報告書を参照)

B2.2 建築物利用者の職場環境と健康に関する実態調査

B2.2.1 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)

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。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。

自記式調査票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。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。調査票は、平成 23 ~ 25 年度の研究で使用した調査票を簡略化して使用した。

B2-2-2 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

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。本調査では、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の入手を行い、平成 27 年度の報告以降の調査結果をとりまとめた。

B.3 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案

B.3.1 空気環境の不適率上昇傾向に関する分析と調査

特定建築物における空気環境の不適率の上昇傾向の機序を明らかにするために、特定建築物に関する行政報告データを用いた分析、特定建築物の空気環境に関する自治体へのアンケート調査、を実施した。

では、1996 年度から 2014 年度の行政報告データの、特定建築物施設数、調査（報告徴取、立入検査）数、不適数を用いて、空気環境に関する不適率上昇傾向の機序に関する分析を行った。

では、平成 28 年 12 月～平成 29 年 1 月に、全国の生活衛生の担当者（都道府県、政令市、中核市、保健所設置市）に、建築物環境衛生における空気環境の測定に関する質問紙を郵送にて配布し、配布数 142 に対し、131 票（92.3%）の有効回答を得た。調査項目は、報告徴取について（報告様式の有無、物件の選定理由、報告内容に関する不備の内容、報告内容に基づく不適合の判断）立入検査について（物件選定の理由、頻度の増減、実施時期、空気環境測定を行う場合に難しいと思うこと、結果に基づく不適合の判断、空気環境測定 6 項目内で不適合の判断が難しいと思う項目）行政報告例に計上する立入検査と報告徴取に関する内容について（不適合数の割合、立入検査に計上している物件内の空気環境測定の程度、立入検査に計上している物件における空気環境測定以外の内容）等の 3 項目である。

B.3.2 建築物衛生管理の監視手法のあり方

本課題で収集整理された情報を基礎に、現地を訪れ、見聞してえられた知見を総合的に勘案して、現状課題の洗い出しと整理・分析を行い、効果的で合理的な監視手法のあり方について提言を行う。

（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、H26.10.16 承認）を得て実施した。なお、その他の調査については、建築物を対象としており、個人を対象とした調査や実験を含まない。また、研究で知り得た情報等については漏洩防止に十分注意して取り扱うとともに、研究以外の目的では使用しない。

C. 結果及び考察

東京の測定対象では夏季の室温が管理基準値 28 を上回っている物件があったが、事務機器などの発熱による影響と考えられ、他の全ての対象室の温度は管理基準値の 28 以下で制御されていた。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。また、第 3 四分位数（75percentile）が 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。

東京では、秋季における相対湿度の中央値または第 3 四分位数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）。冬季は、殆どの建築物で第 3 四分位数が 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、個別空調方式を採用している一部建築物で第 3 四分位数が管理基準値上限の 70%を上回ることがあったが、他は概ね良好であった。

大阪では、秋季に低湿度を示す物件が一部に存在し（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%以下と低湿度環境となっていた。

絶対湿度としては 22 、45%RH を満足するための絶対湿度 0.0073 [kg/kg(DA)]より低く加湿不足にあることが明らかになった。

本調査で対象とした建築物では CO₂ 濃度 1000ppm 未満で管理されていた。在室者率、一人当たりの CO₂ 発生量、室有効容積率などを仮定して試算すると換気量は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。

東京地域の建築物を対象に行った総合温冷感評価において、秋期における 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）。冬期は、執務時間帯の PMV 値は-0.5~+0.5 の範囲にあり、PPD は 10%以下と良好な環境であった。夏季には、執務時間帯の PMV 値は+1~+1.5 と 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原因と考えられる。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季の冷房負荷時により厳しい環境にあることが分かった。

浮遊細菌濃度では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、冬期の浮遊細菌濃度が高い建物が 2 件あり加湿水が汚染源であることが確認された。

中央方式より個別方式の建物での I/O 比 1 以上の割合が高かった。

浮遊真菌濃度において、冬期では学会管理規準である 50cfu/m³ を満足し、夏季の一部室で 50cfu/m³ を超えたが I/O 比の全てが 1 以下と、外気の影響によるものだった。

細菌叢（マイクロバイーム）の調査では、秋期には *Lactobacillus* spp が、冬期及び夏期には *Staphylococcus* spp. が、それぞれ最も高い割合で検出された。他に *Corynebacterium* spp.(コリネバクテリウム属)、*Staphylococcus* spp.(ブドウ球菌属)、*Lactobacillus* spp.(ラクトバシラス属)、*Sphingomonas* spp.(スフィンゴモナス属)、*Acinetobacter* spp.(アシネトバクター属)、*Pseudomonas* spp.(シェードモナス属)が検出されている。ヒトに対して病原性を有する種が検出されている。多くは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。

室内 PM2.5 濃度は 0.002~0.03 mg/m³ 程度であり、大気基準である「1 日平均値が 35 µg/m³ 以下」は下回っていた。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。

オフィス室内 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。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。

D. まとめ

空調分野における新技術の普及や建物の外皮性能の多様化などから、温度・湿度・気流の他に在室者の温熱感に影響する要素を含めた評価が必要になってくることも考えられる。室内温熱環境をより適切に評価するための指標として、温熱総合指標である PMV および SET*などを用いた評価も考慮すべきであろう。

また、特定建築物での浮遊粉じん濃度は低く抑えられているが、花粉、PM2.5 やナノ粒子など新たに考慮する必要がある環境要素も登場している。省エネルギーと関連した換気量の問題から CO₂ の管理基準濃度についても議論がされているところであり、社会要求には対応すべきであるが、短期間では露呈しない健康・衛生の観点からは安易に対応できる問題でもない。

日々進歩する技術と高まる社会要求に応えながら健康・衛生・快適性に加え生産性までを考慮できる室内環境作りのため今後も建築物環境衛生管理基準に関するエビデンスを蓄積すると共にそのあり方について提言していく。

平成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

1. 建築物における空気環境の衛生管理の現状

分担研究者 柳 宇 工学院大学建築学部 教授

研究要旨

独立行政法人統計情報センターで公表されている、日本全国47都道府県および62政令市の特定建築物立ち入り検査結果について解析した。H27年度の研究報告では震災前後の各項目の不適率について調べ、相対湿度、二酸化炭素濃度、温度の3項目の不適率が震災後により高くなっていることを明らかにし、地域による不適合率の現状を把握した。

本年度はH27年度までの特定建築物立ち入り検査結果データベースを元に不適率の推移と現状について調査した。

結果、浮遊粉塵濃度、一酸化炭素、気流の不適率平均は低い水準で留まっている。一方、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率においては、省エネ法改定（平成11年度）と建築物衛生法改定の翌年（平成15年度）、東日本大震災時（平成23年度）に不適率が急増する傾向を示していた。

相対湿度は空気環境6項目中最も不適率の高い項目であり、用途を問わず上昇し続けている。建物全体の不適率は、平成8年度の約20～35%が、平成27年度は40～60%までに上昇した。

二酸化炭素濃度は、とくに学校と事務所の上昇が著しく、平成8年度の10%程度だった不適率が平成27年には3倍近い37%になった。

温度は、用途を問わず全て上昇し続け、平成8年度の10%前後から平成27年度の20～40%までに上昇した。本研究に用いたデータは季節の情報が入っていないため、冬期の低湿度による不適率がもっと高くなっていると考えられる。

また、ホルムアルデヒド濃度の不適率は、調査実施開始のH15年度からH26年度まで全体的に不適率が6%以内となっていたが、H27年度では百貨店の不適率は9.7%に上昇している。

不適率の高い相対湿度、温度、二酸化炭素濃度の3項目の都道府県別の不適率について検討を行った結果、全国的には震災後に高くなりつつあることは明らかである。また近年、不適率が常に上位になっている地域は宮城県・神奈川県・愛知県（二酸化炭素濃度）、高知県・香川県（温度と相対湿度）であり、原因究明と改善策を施す必要がある。

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
鍵 直樹 東京工業大学
東 賢一 近畿大学
金 勲 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
齋藤敬子 (公社)日本建築衛生管理教育センター
鎌倉良太 (公社)日本建築衛生管理教育センター
杉山順一 (公社)日本建築衛生管理教育センター
築城健司 (公社)日本建築衛生管理教育センター
下平智子 (公社)全国ビルメンテナンス協会

1. 建築物における空気環境の衛生管理の現状

建築物衛生法では対象となる特定建築物においてその環境衛生管理基準値が定められており、温度、相対湿度、二酸化炭素濃度、一酸化炭素、気流、浮遊粉塵の6項目について2カ月以内ごとに1回測定することになっている。近年、温度、相対湿度、二酸化炭素の濃度の不適率が上昇する傾向にあることは本研究の関連研究で既に報告している。

本研究では、これまでの研究結果を踏まえて、厚生労働省から公表された全国の立ち入り調査のデータを用いた全国都道府県の不適率の最新動向について解析を行った。

A. 調査方法

本研究では独立行政法人統計情報センターで公表されている、日本全国47都道府県および62政令市の特定建築物立ち入り検査結果を用いた。このデータは衛生関係諸法規の施行に伴う各都道府県、保健所設置市、特別区における建築物衛生の実態を把握することを目的とし、厚生労働省が毎年集計を行っているものである。用途は興行場、百貨店、店舗、事務所、学校、旅館、その他と分かれている。本研究では、空気環境について行った解析の結果を報告する。

集計は建築物の維持管理項目ごとに調査件数及び不適件数を行っており、本研究では平成8年度から平成27年度までの間に集計されている不適率の推移をまとめた。また、不適率の高い二酸化炭素、温度、相対湿度について都道府県別にその不適率分布を求め、平成25年度と平成27年度の比較を行った。

B. 結果

B.1 空気環境項目別の不適率の経年変化

図1-1に空気環境6項目の不適率の経年変化を示す。二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率においては、3回の顕著な上昇が見られた。1回目は平成11年度（相対湿度）、2回目は平成15年度（温度、相対湿度、二酸化炭素濃度）、3回目は平成23年度（温度、相対湿度、二酸化炭素濃度）であった。それぞれは省エネ法改定と建築物衛生法改定の翌年、東日本大震災の年と重なる。

図1-2に浮遊粉塵濃度の不適率を示す。不適率

の平均は3%程度と低い傾向にある。また、用途別の不適率の差もほとんど見られない。

図1-3に一酸化炭素の含有率の不適率を示す。不適率の平均は1%未満と低い傾向にあり、とくに大きな変化が見られない。不適率の用途別の差もほとんど見られない。

図1-4に二酸化炭素濃度の不適率を示す。旅館を除けば、軒並みに上昇し続けている。中では、とくに学校と事務所の上昇が著しく、平成8年度の10%程度に比べ、平成27年は3倍超えの37%になった。

図1-5に温度の不適率を示す。用途を問わず、全ては不適率が上昇し続けている。建物全体においては、平成8年度の10%前後から平成27年度の20~40%に上昇した。なお、学校において、H27年度の不適率は前の年度より8%の低減が

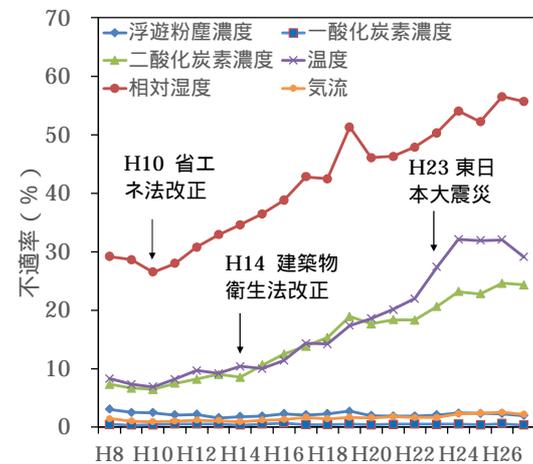


図1-1 空気環境6項目不適率の経年変化

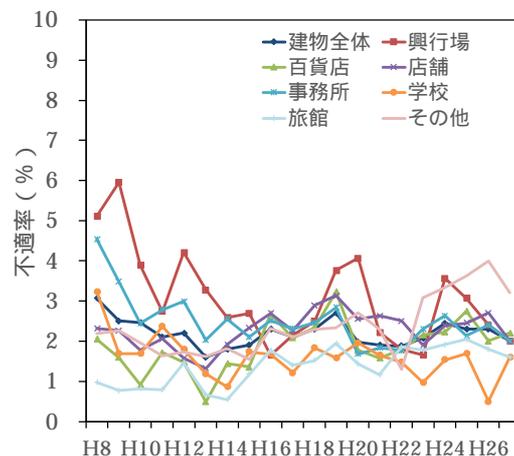


図1-2 用途別浮遊粉塵の不適率

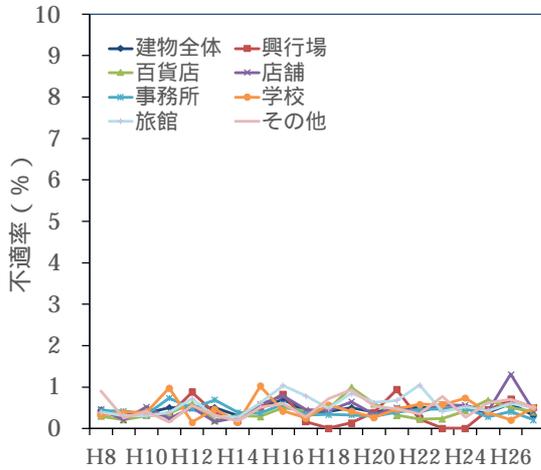


図 1-3 用途別一酸化炭素濃度の不適率

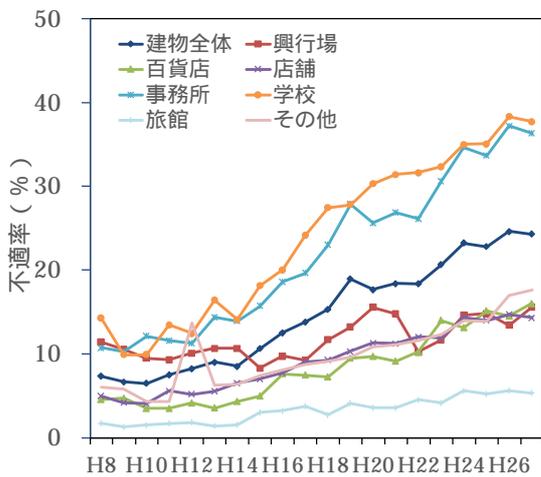


図 1-4 用途別二酸化炭素濃度の不適率

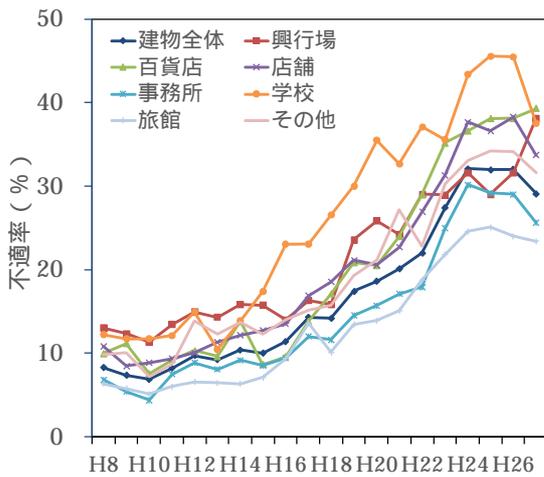


図 1-5 用途別温度の不適率

見られ、空調の普及が一因であると考えられる。一方、興行場において、H27 年度の不適率は前年度より約 7%の上昇が見られ、その原因の究明が必要である。

図 1-6 に相対湿度の不適率を示す。相対湿度は空気環境 6 項目中最も不適率の高い項目である。また、温度と同様に、用途を問わず、全ての不適率は上昇し続けている。建物全体の不適率においては、平成 8 年度の約 20~35%であったが、平成 27 年度は 40~60%までに上昇した。なお、本研究に用いたデータは季節の情報が入っていないため、冬期の低湿度による不適率が高くなっていると考えられる。

図 1-7 に気流の不適率を示す。不適率は 1~3%と低い傾向にあった。また、用途別の不適率の差もほとんど見られない。

図 1-8 にホルムアルデヒド濃度の不適率を示す。調査実施開始の H15 年度から H26 年度まで全体的に不適率が 6%以内となっていたが、H27 年度では、百貨店の不適率は 9.7%に上昇した。

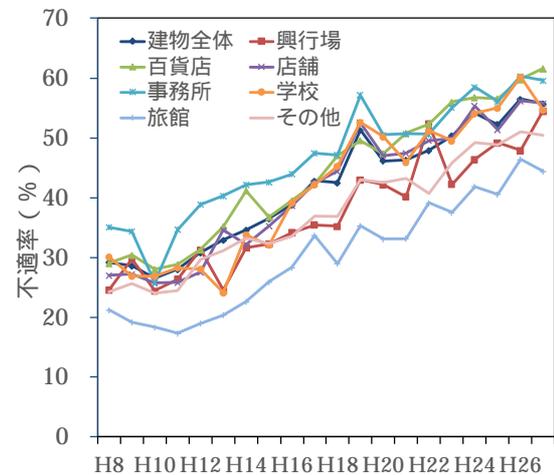


図 1-6 用途別相対湿度の不適率

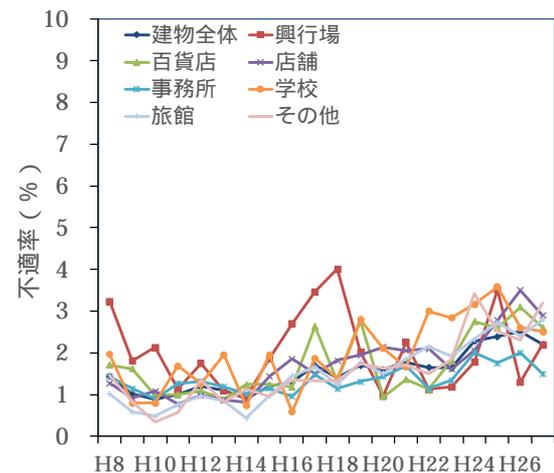


図 1-7 用途別気流速度の不適率

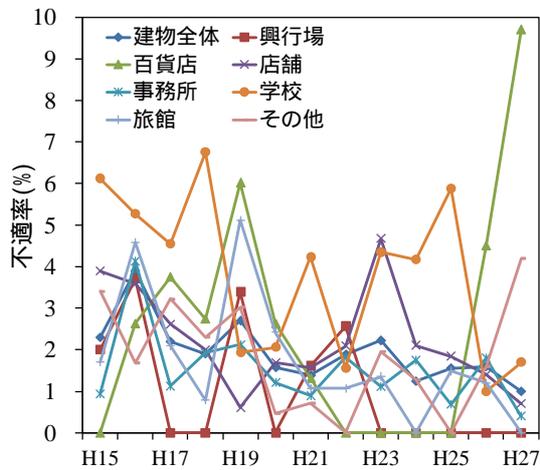


図 1-8 用途別ホルムアルデヒドの不適率

B.2 地域別の不適率結果

(1) 二酸化炭素・温度・相対湿度不適率

前述した通り、平成 8 年度から平成 27 年度までの集計データのトレンドより、二酸化炭素、温度、相対湿度の不適率が上昇し続けていることが明らかになった。ここでは、近年この 3 項目の都道府県別の不適率について検討を行った。

図 1-9 に平成 27 年度の都道府県別二酸化炭素の不適率を示す。上位 3 位の不適率は H25 年度と同様であり、固定化されている懸念がある。

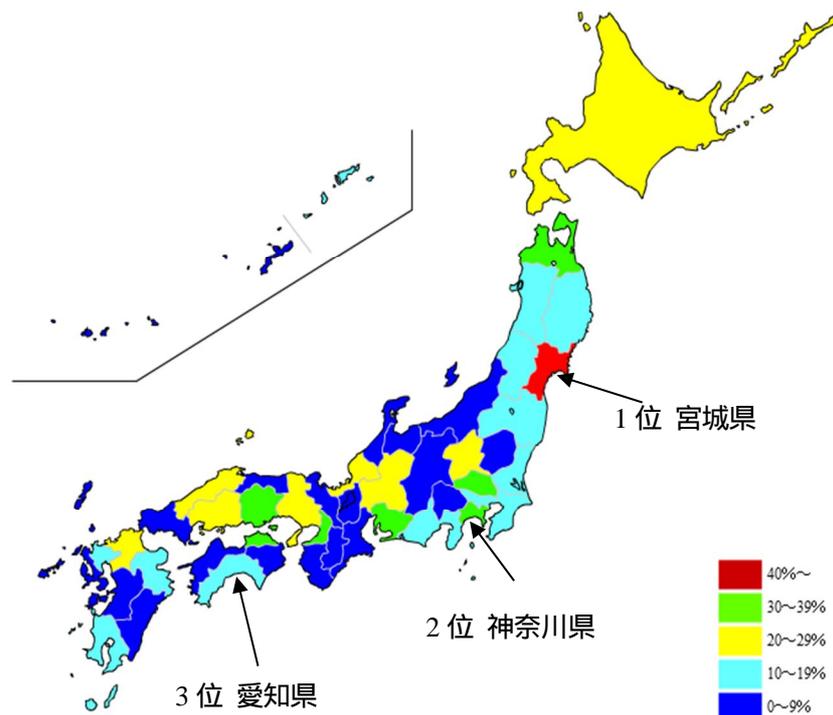


図 1-9 地域別二酸化炭素濃度の不適率 (H27 年度)

1 位：宮城県；2 位：神奈川県；3 位：愛知県。

図 1-10 に平成 27 年度の都道府県別温度の不適率を示す。上位 3 位は次の通りである。

1 位：高知県；2 位：群馬県；3 位：香川県。

平成 25 年度不適率の上位 3 県は岐阜県 (1 位)、高知県 (2 位)、香川県 (3 位) であったため、岐阜県は改善され、群馬県は上昇した結果になっている。

図 1-11 に平成 27 年度の都道府県別相対湿度の不適率を示す。上位 3 位の不適率は下記の通りである。

1 位：高知県；2 位：香川県；3 位：宮城県。

平成 25 年度の不適率の上位 3 県は沖縄県 (1 位)、神奈川県 (2 位)、宮城県 (3 位) であったため、沖縄県と神奈川県が改善したのに対して、高知県と香川県の不適率は上昇した。

以上の結果より、近年二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率が常に上位になっている宮城県・神奈川県・愛知県 (二酸化炭素濃度)、高知県・香川県 (温度と相対湿度) について、その原因を究明し、改善策を施す必要があると考えられる。

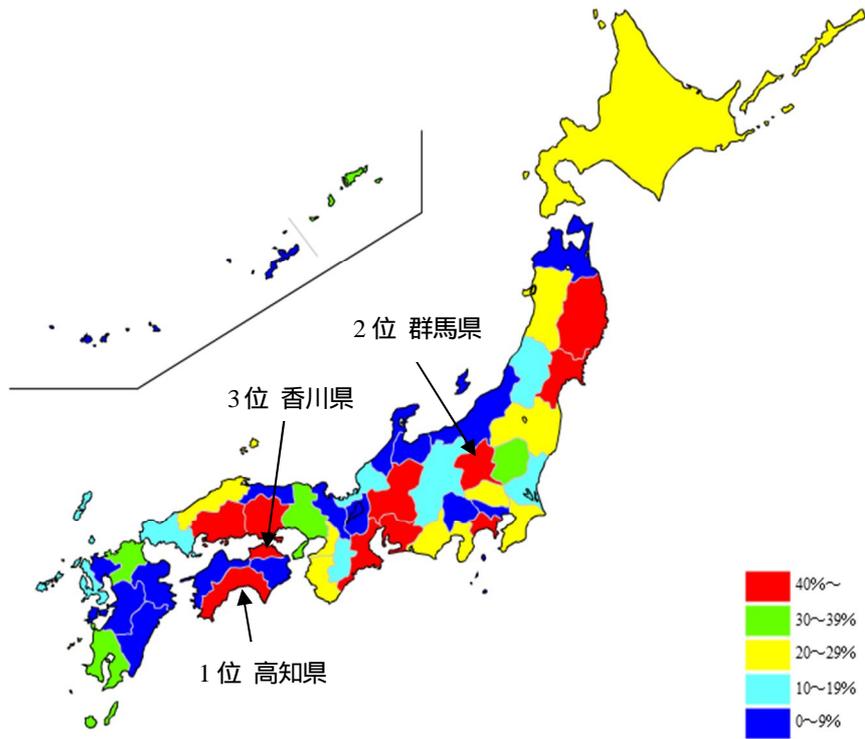


図 1-10 地域別温度の不適率 (H27 年度)

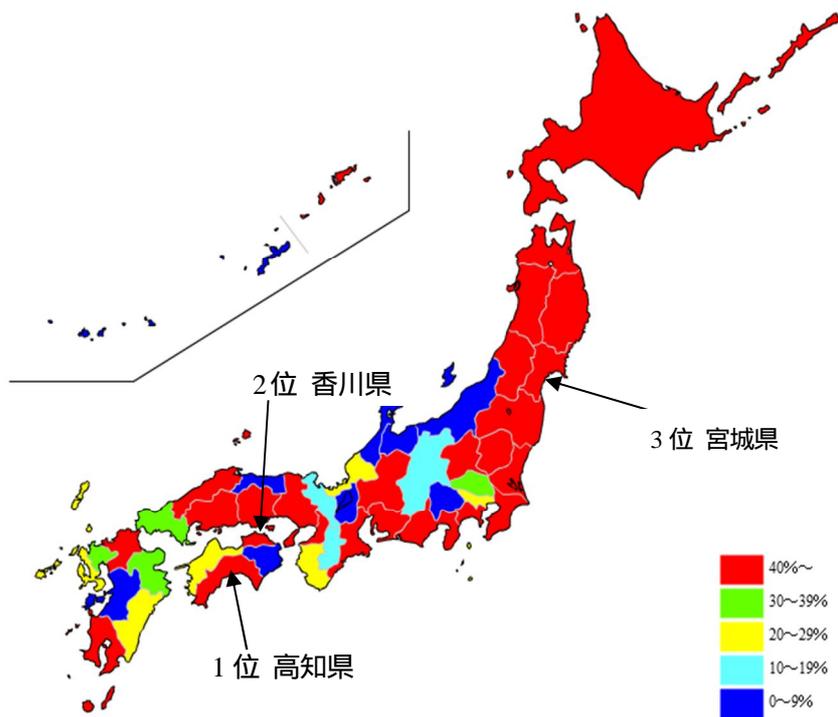


図 1-11 地域別相対湿度の不適率 (H27 年度)

C. まとめ

本研究では独立行政法人統計情報センターで公表されている、平成 8 年から平成 27 年度までの日本全国 47 都道府県および 62 政令市の特定建築物立ち入り検査結果について解析した。

本年度は H27 年度までの特定建築物立ち入り検査結果データベースを元に不適率の推移と現状について調査した。

結果、浮遊粉塵濃度、一酸化炭素、気流の不適率平均は低い水準で留まっている。一方、二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率においては、省エネ法改定（平成 11 年度）と建築物衛生法改定の翌年（平成 15 年度）、東日本大震災時（平成 23 年度）に不適率が急増する傾向を示していた。

相対湿度は空気環境 6 項目中最も不適率の高い項目であり、用途を問わず上昇し続けている。建物全体の不適率は、平成 8 年度の約 20～35% が、平成 27 年度は 40～60% までに上昇した。

二酸化炭素濃度は、とくに学校と事務所の上昇が著しく、平成 8 年度の 10% 程度だった不適率が平成 27 年には 3 倍近い 37% になった。

温度は、用途を問わず全て上昇し続け、平成 8 年度の 10% 前後から平成 27 年度の 20～40% までに上昇した。本研究に用いたデータは季節の情報が入っていないため、冬期の低湿度による不適率をもっと高くなっていると考えられる。

また、ホルムアルデヒド濃度の不適率は、調査実施開始の H15 年度から H26 年度まで全体的に不適率が 6% 以内となっていたが、H27 年度では百貨店の不適率は 9.7% に上昇している。

不適率の高い相対湿度、温度、二酸化炭素濃度の 3 項目の都道府県別の不適率について検討を行った結果、全国的には震災後に高くなりつつあることは明らかである。また近年、不適率が常に上位になっている地域は宮城県・神奈川県・愛知県（二酸化炭素濃度）、高知県・香川県（温度と相対湿度）であり、原因と改善策を施す必要がある。

平成 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た。

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

2-1 建築物における衛生環境の実態と管理項目

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³⁾。

このような背景を踏まえ、本研究では、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。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。

「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・PMV、微生物、化学物質、PM_{2.5}、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。

2-1-1 温湿度・CO₂濃度・PMV

A. 調査対象ビルの概要

表 2-1-1-1 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 2-1-1-1 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。

表 2-1-1-2 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			-

一方、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 2-1-1-2 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。

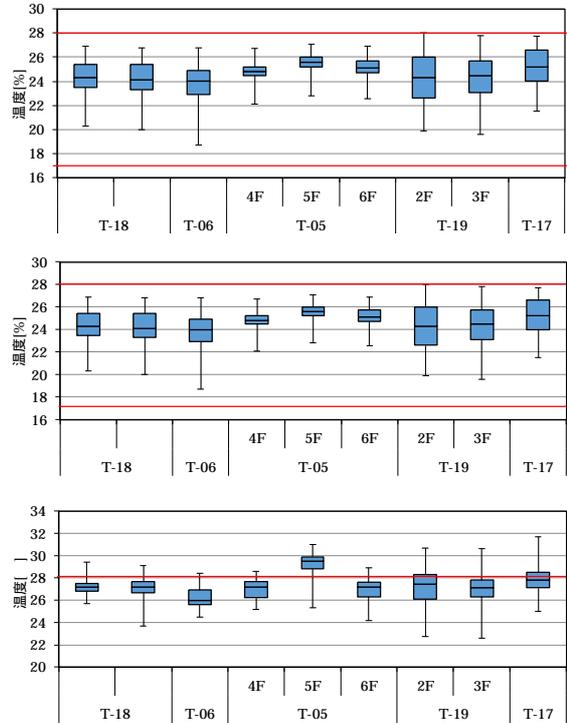
C. 結果

C.1 温度

図 2-1-1-1 と図 2-1-1-2 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)。

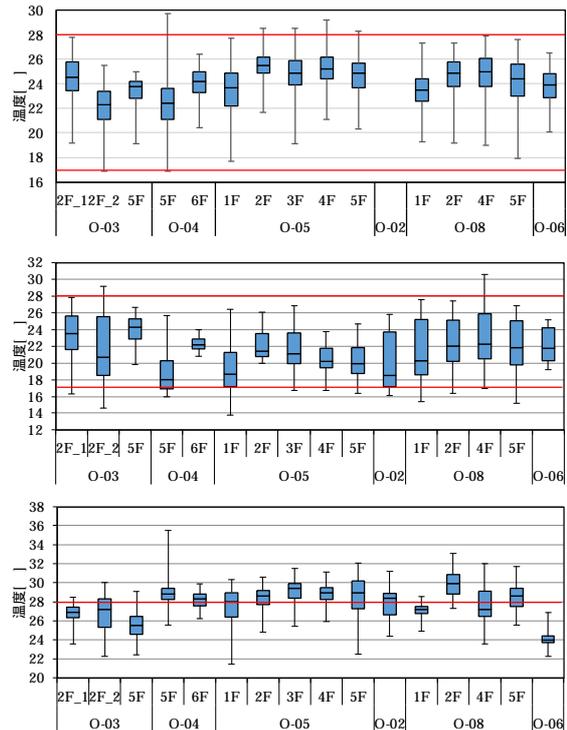
東京では、夏季の T-05 の温度の殆どは管理基準値の 28 を上回っていた。同ビルのほかのフロアの温度が適正に管理されていることを勘案すれば、測定センサーの近傍に発熱機器があり、その影響を受ける可能性があると思われる。一方、他の全ての対象室内の温度は管理基準値の 17~28 の範囲に制御されていた。

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。



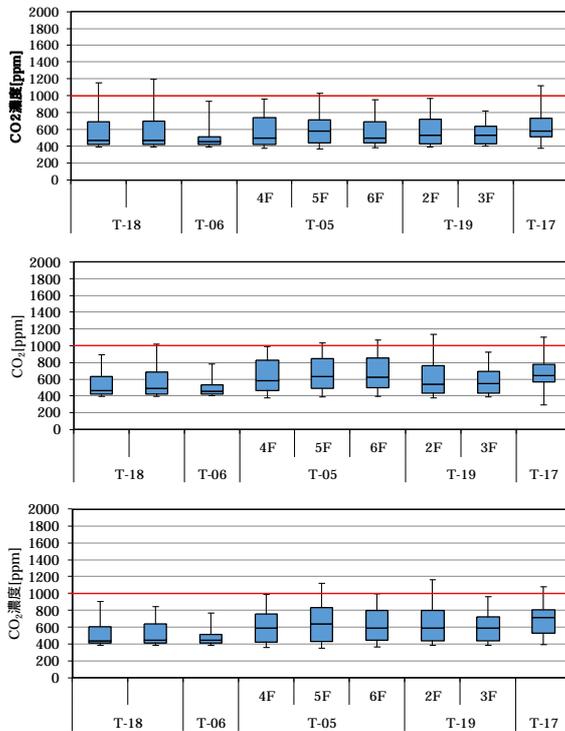
上：秋季(11月); 中：冬季(2月); 下：夏季(7月)

図 2-1-1-1 季節別の室内温度の分布(東京)



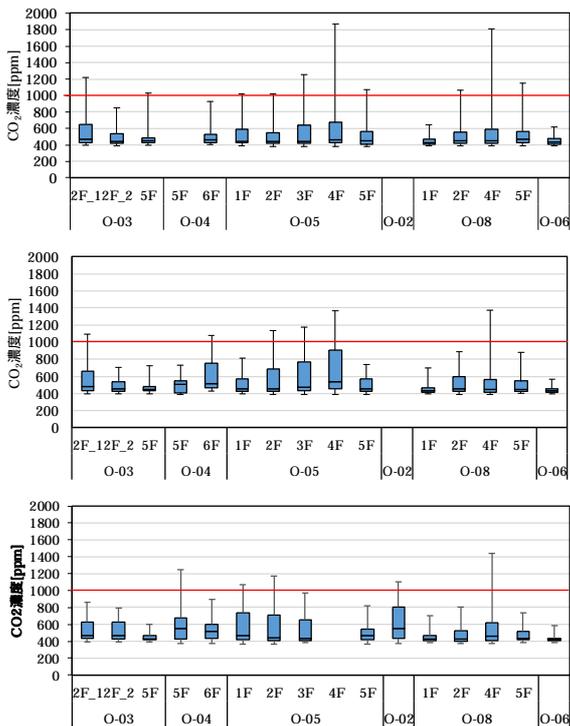
上：秋季(11月); 中：冬季(2月); 下：夏季(7月)

図 2-1-1-2 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 2-1-1-7 季節別の CO₂ 濃度分布（東京）

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 2-1-1-5 と図 2-1-1-6 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。



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）
 図 2-1-1-8 季節別の CO₂ 濃度分布（東京）

C.3 CO₂濃度

図 2-1-1-7 と図 2-1-1-8 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 2-1-1-9 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 1-2-9 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 2-1-1-9 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。

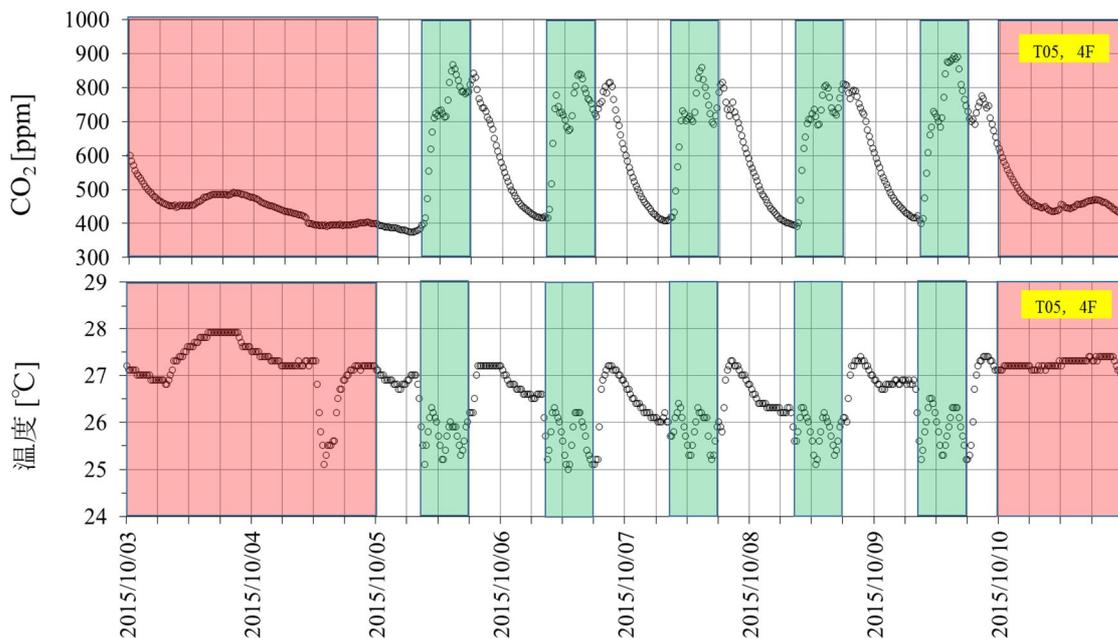


図 2-1-1-9 温度・CO₂濃度の経時変化（T05，4階）

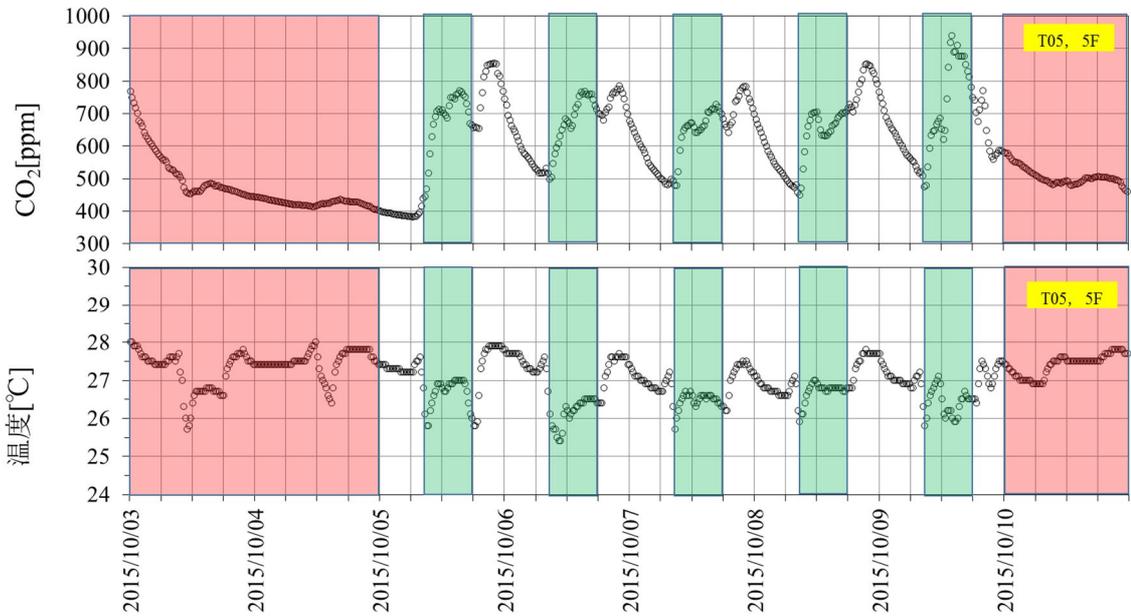


図 2-1-1-10 温度・CO₂濃度の経時変化 (T05, 5階)

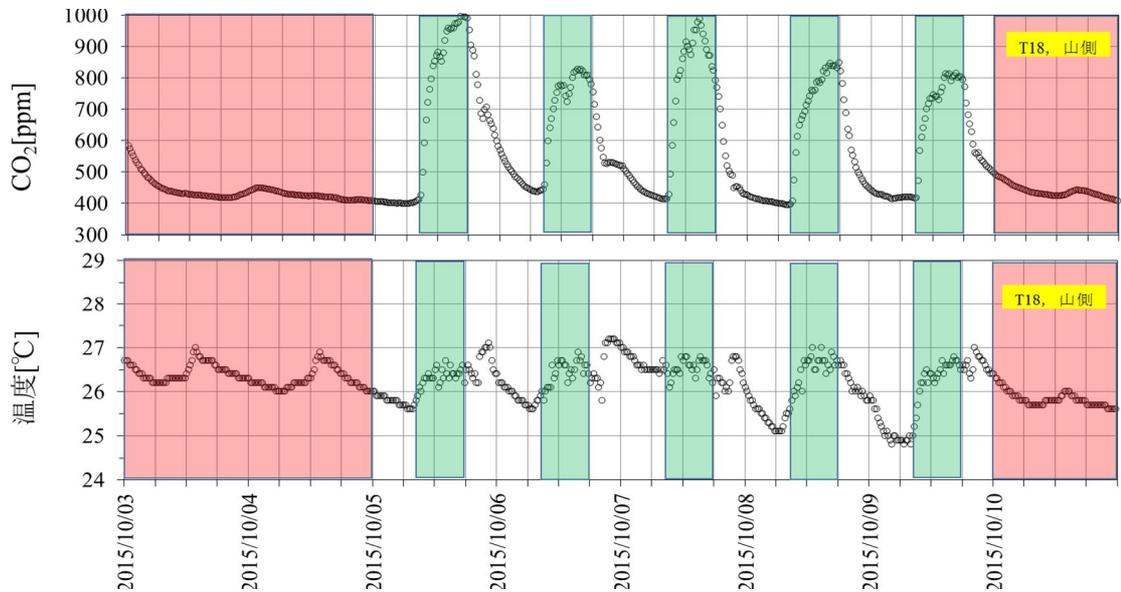


図 2-1-1-11 温度・CO₂濃度の経時変化 (T18, 山側)

図 2-1-1-10 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：4600~5900 m³/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 2-1-1-11 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。

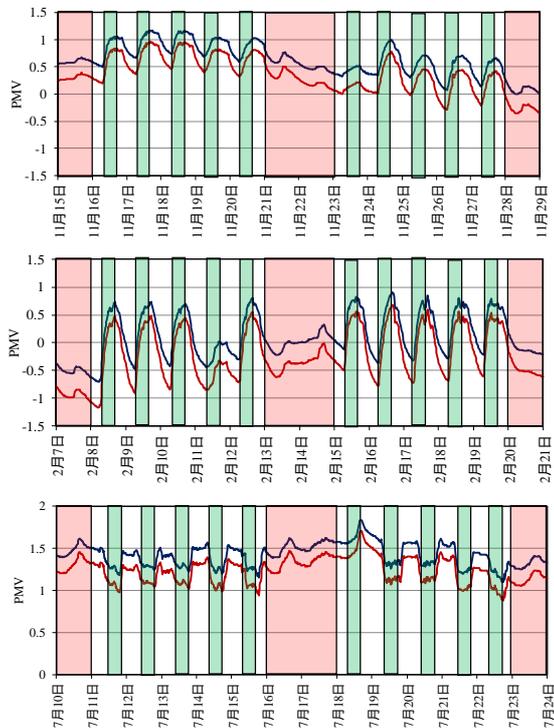
また、CO₂ 濃度の測定値から求めた換気回数は 1.2-1.8 回/h（換気量：2320～3480m³/h、36～54m³/(h・人)）であり、十分な外気が取り入れられていた。

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。

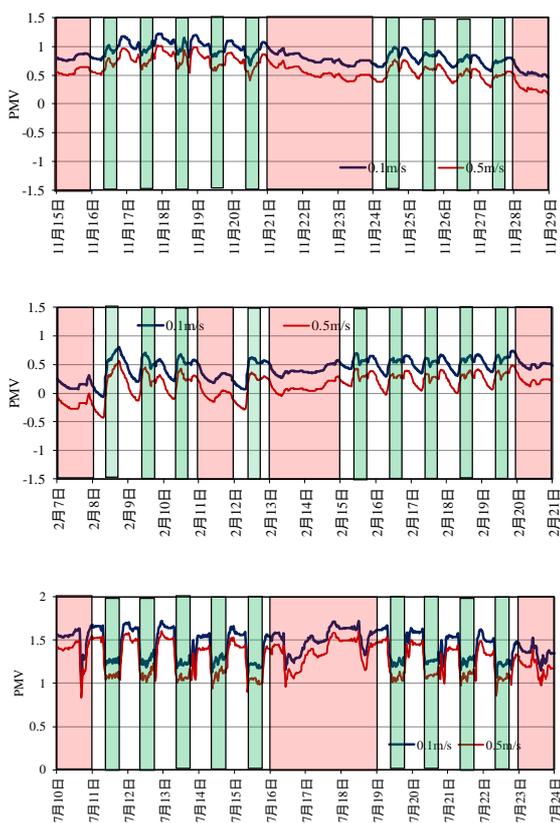
T-05 ビル 4 階と T18 ビルの山側室内の CO₂ 濃度制御センサーの設定値をそれぞれ 900ppm と 1000ppm とし、外気濃度を 450ppm と仮定すると一人当たりの必要外気量はそれぞれ 44m³/h と 36m³/h になる。前述したフィッティング法による計算結果では、T05 と T18 の外気導入量は 4300～6200m³/h（48～69m³/(h・人)）と 2320～3480m³/h（36～54m³/(h・人)）であり、十分な外気が取り入れられていることが明らかになった。

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。



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）
図 2-1-1-12 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 2-1-1-13 季節別 PMV の変化（T05 5 階）

- +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2-1-1-12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。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)。冬期では、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2-1-1-1)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2-1-1-13)。

2-1-2 生菌

(1) 浮遊細菌

図 2-1-2-1 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 $500\text{cfu}/\text{m}^3$ 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 $450\text{cfu}/\text{m}^3$ 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 $3\sim 8\times 10^4\text{cfu}/\text{ml}$ 、加湿器近傍と室中央の空中の浮遊菌濃度はそれぞれ $2305\text{cfu}/\text{m}^3$ と $160\text{cfu}/\text{m}^3$ 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 2-1-2-2 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 2-1-2-3 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 $350\text{cfu}/\text{m}^3$ と他の測定箇所と比較して高い結果となった。

図 2-1-2-4 に冬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。

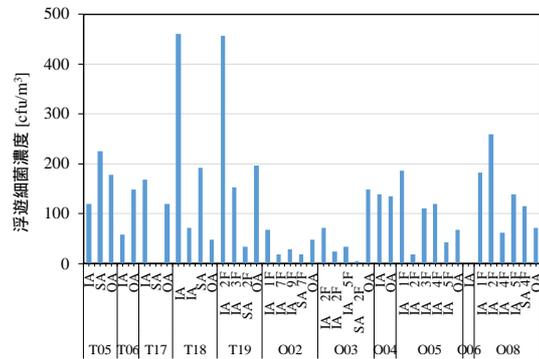


図 2-1-2-1 浮遊細菌濃度 (2015 年度冬季)

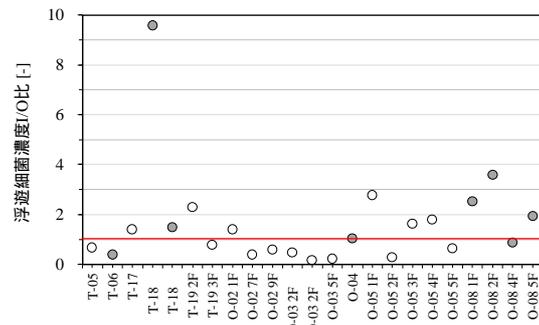


図 2-1-2-2 浮遊細菌濃度 I/O 比 (2015 年度冬季)

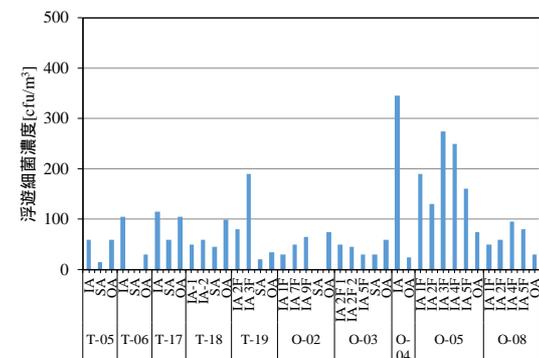


図 2-1-2-3 浮遊細菌濃度 (2016 年度夏季)

(2) 浮遊真菌

図 2-1-2-5 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 $50\text{cfu}/\text{m}^3$ 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 $562\text{cfu}/\text{m}^3$ 、その I/O 比も 10 以上になっている

ことから（図 2-1-2-6）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 2-1-2-7 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。

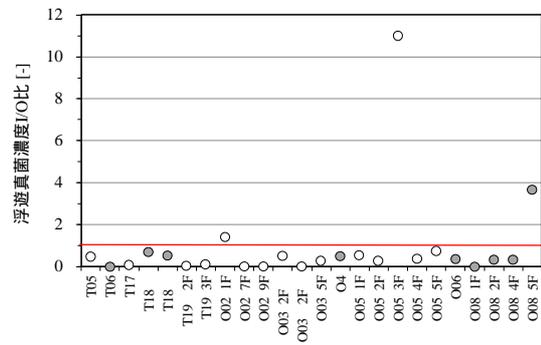


図 2-1-2-6 浮遊真菌濃度 I/O 比
（2015 年度冬季）

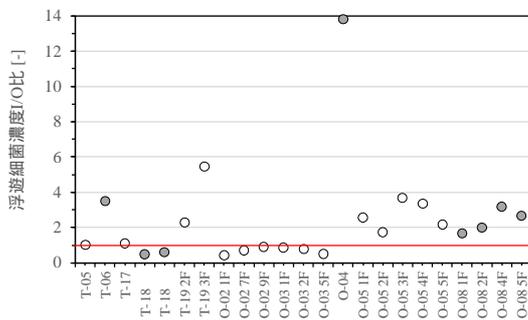


図 2-1-2-4 浮遊細菌濃度 I/O 比
（2016 年度夏季）

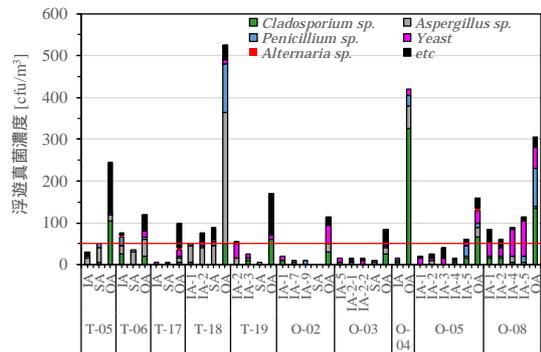


図 2-1-2-7 浮遊真菌濃度（2016 年度夏季）

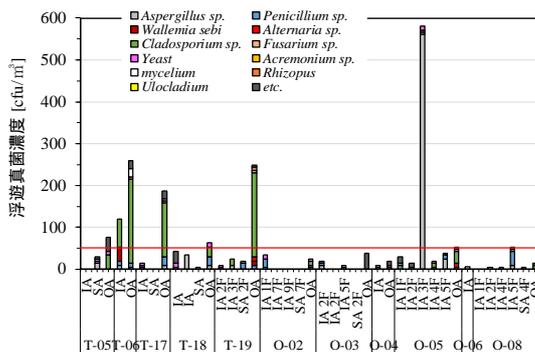


図 2-1-2-5 浮遊真菌濃度（2015 年度冬季）

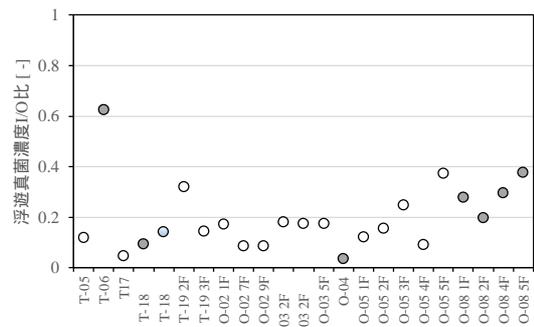


図 2-1-2-8 浮遊真菌濃度 I/O 比
（2016 年度夏季）

2-1-3 細菌叢（マイクロバイーム）

（1）背景

環境マイクロバイームに関しては、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³⁾、柳ら⁴⁾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。

（2）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Nucleo 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

（3）結果

検出された細菌

表2-1-3-1に2015年秋季、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2-1-3-1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 2-1-3-1 検出された細菌

	門	綱	目	科	属
2015年秋季					
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年秋季では*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。

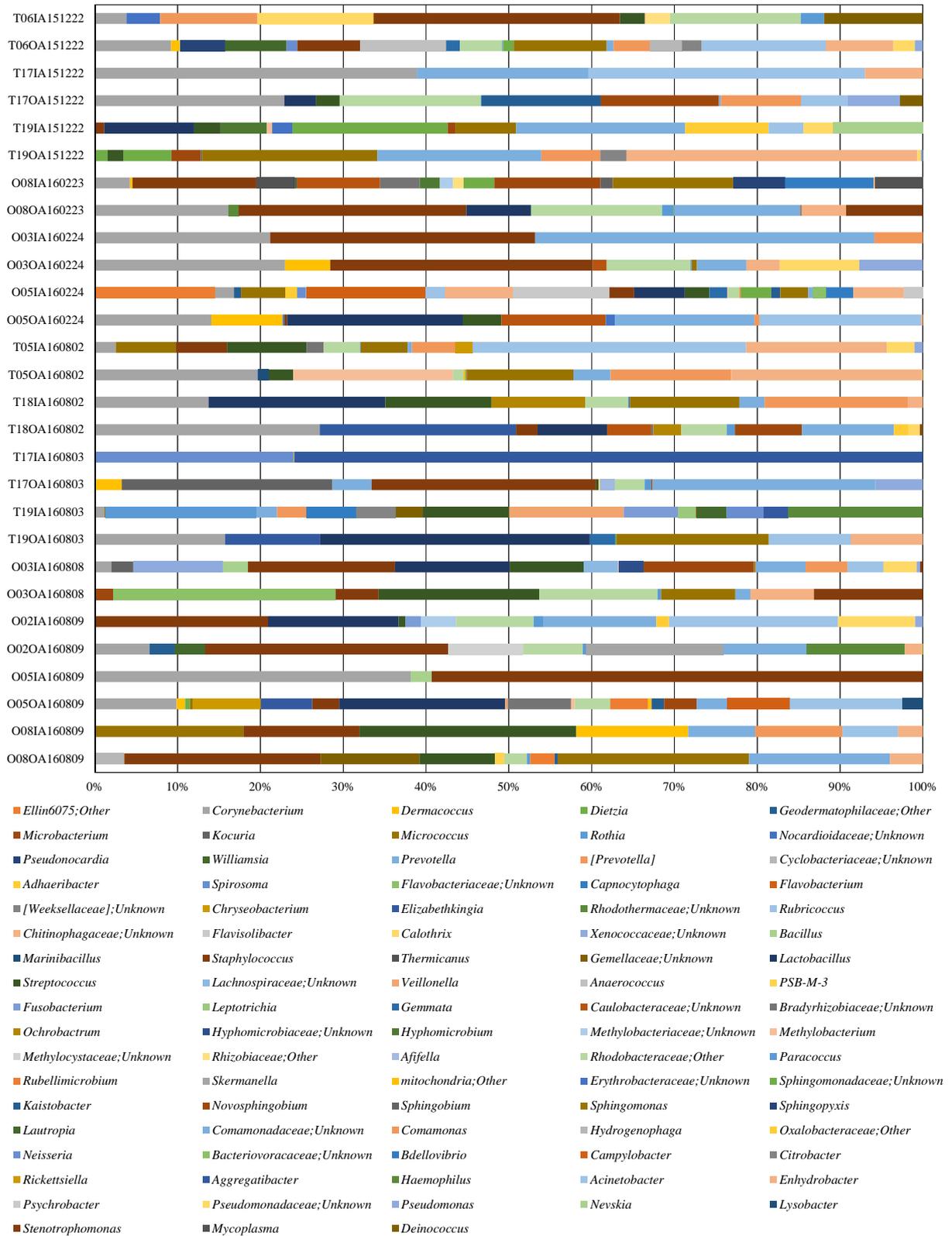


図 2-1-3-1 検出された細菌属とその割合

・ *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 2-1-3-2，図 2-1-3-3，図 2-1-3-4，図 2-1-3-5 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 2-1-3-2 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。

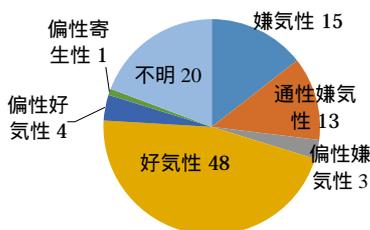


図 2-1-3-2 生育特定

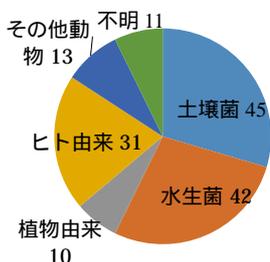


図 2-1-3-3 発生源

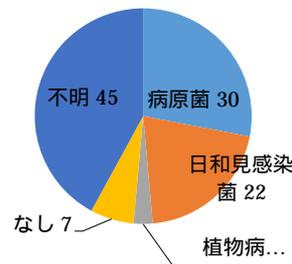


図 2-1-3-4 病原性

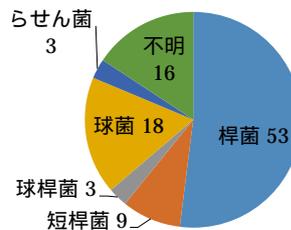


図 2-1-3-5 形状

表 2-1-3-2 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因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、咽頭炎などの起因菌となる。	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因菌となる。	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因菌となる。	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

2-1-4 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2-1-4-1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 2-1-4-1 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。

2-1-5 室内PM_{2.5}

A. 研究目的

浮遊粒子に関する建築物室内の基準は、建築物衛生法で $10 \mu\text{m}$ 以下の粒子を対象として $0.15 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以下と設定されている。一方、大気環境ではPM_{2.5}を対象として1年平均が $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、1日平均が $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と設定されているが、建築物室内のPM_{2.5}に関する基準はない。粒子は粒径毎に挙動が異なるため、粒径分布を考慮して検討することが重要である。そこで本研究では、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 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。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。

B.2 調査方法

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. 研究結果及び考察

図2-1-5-1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

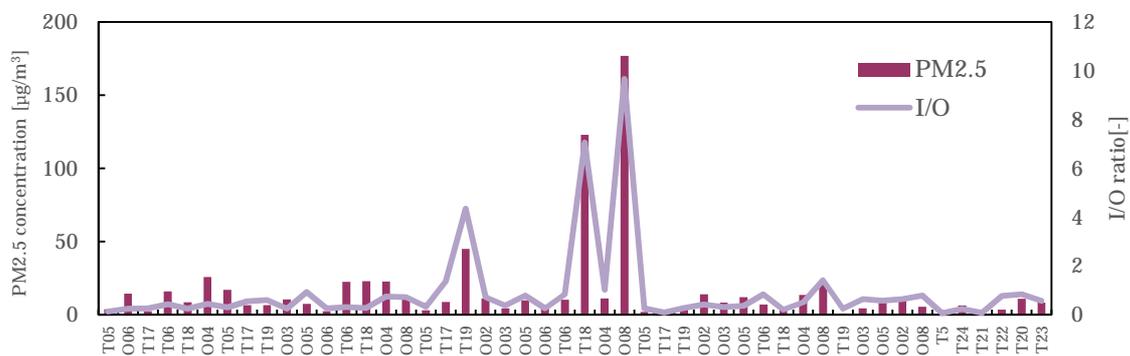


図 2-1-5-1 各建築物のPM_{2.5}濃度とI/O比

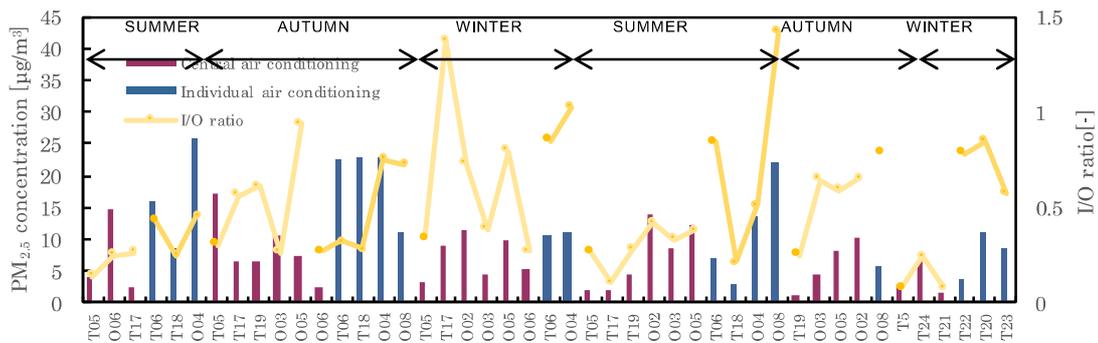


図 2-1-5-2 各建築物のPM_{2.5}濃度とI/O比 (T18, T19, O08のデータを除いたもの)

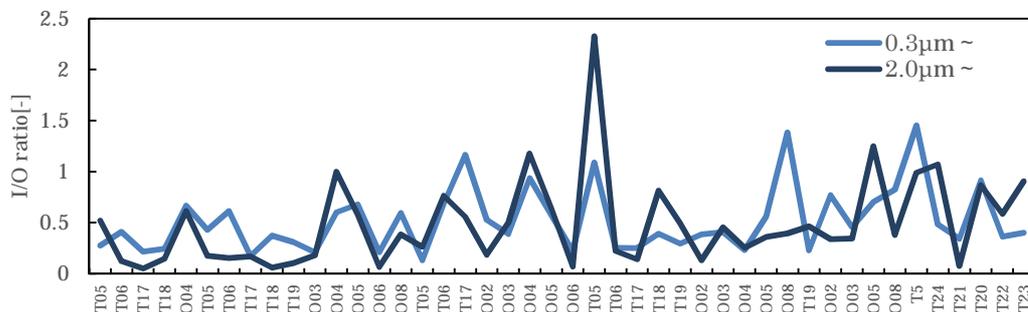


図 2-1-5-3 パーティクルカウンタによる浮遊微粒子のI/O比

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 2-1-5-2 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 2-1-5-3 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ことが多かった。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 2-1-5-4 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 2-1-5-5 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。

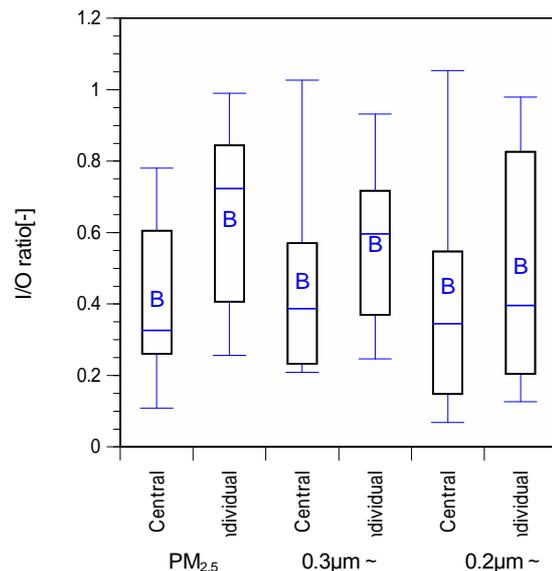


図 2-1-5-4 空調方式別の浮遊微粒子の I/O 比

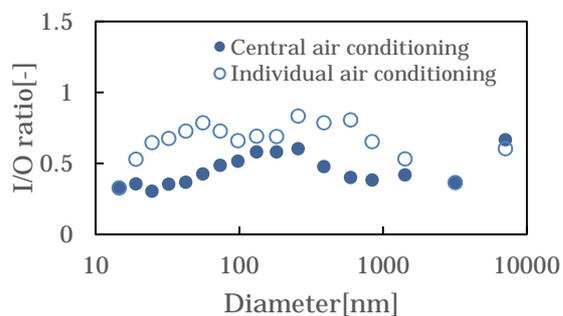


図 2-1-5-5 空調方式毎の粒径別 I/O 比

D. まとめ

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。

2-1-6 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、空气中細菌濃度や汚染度の指標として ET 濃度に注目している。

B. 研究方法

B.1 調査対象

対象とした建築物は、前述のとおりのおフィスビルであり、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。H27 年度報告書で述べているが、フィルター種類と保存液の干渉が確認されているため、本報ではそれらの干渉を完全に排除した、2016 年 8 月以降の夏期・秋期・冬期の測定結果について報告する。

B.2 調査方法

B.2.1 空気サンプリング

図 2-1-6-1 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（Mixed Cellulose Ester Membrane Filter）に 100L（at 3.0L/min）を吸引・捕集した。捕集したフィルターは線滅菌試験管に保管、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。



図 2-1-6-1 MCE フィルター及び測定風景

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。

表 2-1-6-1 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 2-1-6-2 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

表 2-1-6-3 季節別 ET 濃度

		OA			Indoor Air			I/O Ratio		
		Summer	Autumn	Winter	Summer	Autumn	Winter	Summer	Autumn	Winter
Tokyo	Mean	0.37	1.05	0.49	0.11	0.07	2.23	0.28	0.06	4.56
	S.D.	0.07	-	-	0.14	-	-	0.32	-	-
Osaka	Mean	0.24	0.51	/	0.11	0.21	/	1.50	0.88	/
	S.D.	0.19	0.46	/	0.12	0.32	/	2.14	1.33	/
Whole	Mean	0.41			0.25			1.17		
	S.D.	0.31			0.52			1.81		

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

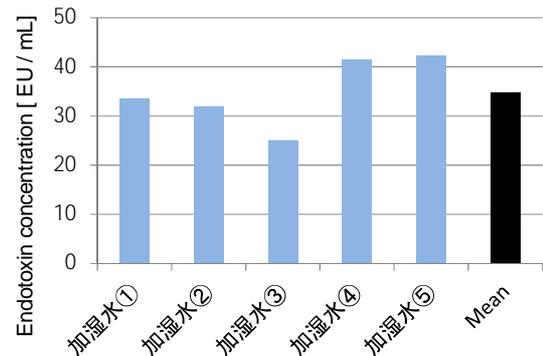


図 2-1-6-5 加湿水の ET 濃度
(加湿器 5 台から採取)

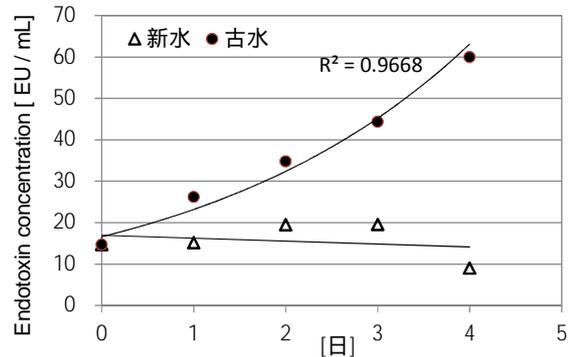


図 2-1-6-6 水道水中 ET 濃度の変化

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取し ET 濃度を測定した結果を図 2-1-6-5 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 2-1-6-6 に示す水道水の濃度に比べて高い。図 2-1-6-6 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 以下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。T018 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、また加湿器内部に汚れがあることが原因と見られる。

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。

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 件 (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思われる。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。

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転実績に基づく評価、(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
- 3) 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
- 4) 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

2-2 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(SBS)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。

B.2 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)}。本調査では、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。なお、平成27年度にも本調査を実施し、その結果を報告している。平成28年度は、平成27年度の報告以降の調査結果をとりまとめた。

(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所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（調査フロア一数 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 2-2-1 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 2-2-2 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 2-2-3 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2-2-4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 2-2-4 SBS関連症状の有症率（NIOSHおよびUSEPAのクライテリア）

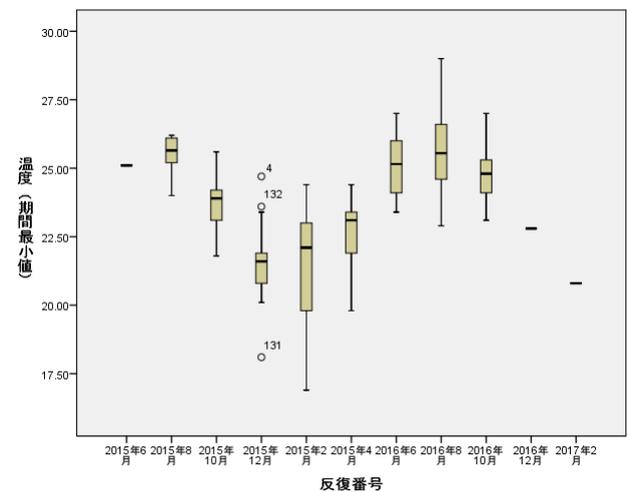
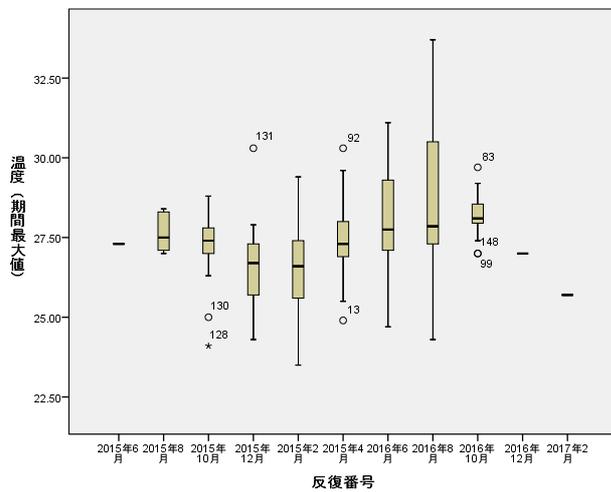
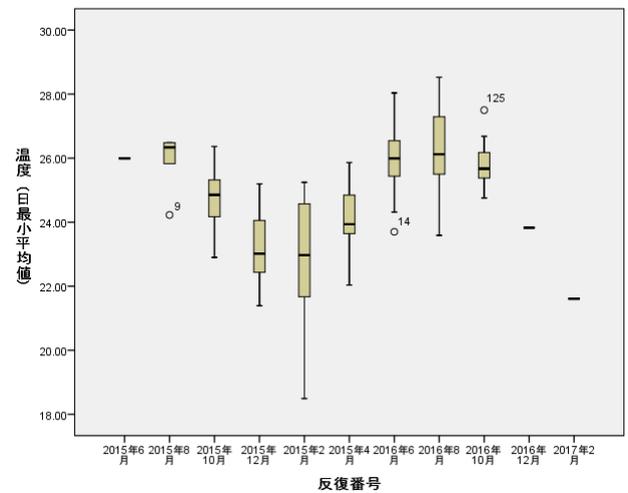
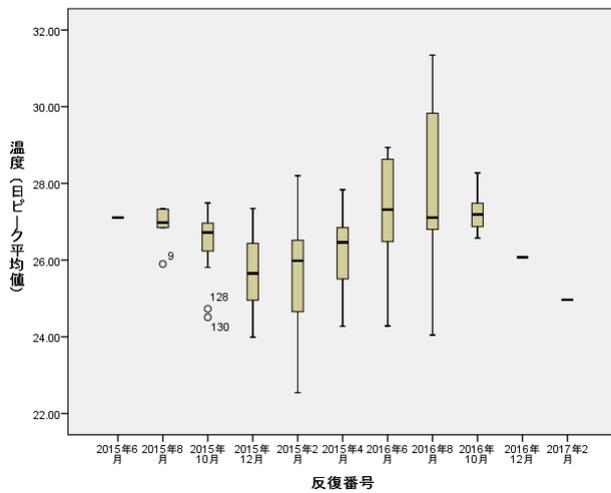
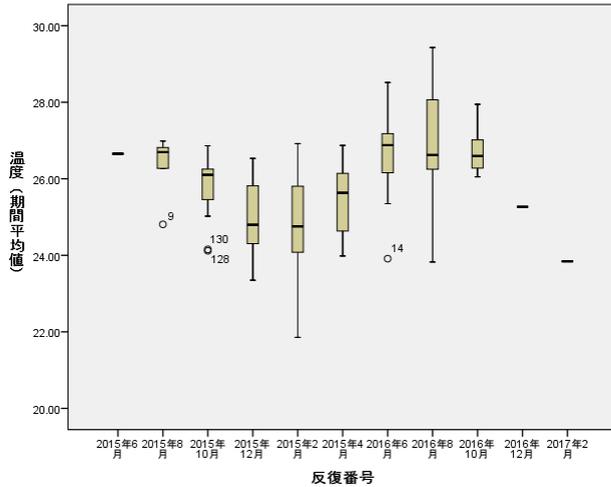
調査時期	フロア数	回答数	目の症状	一般症状	上気道症状	下気道症状	皮膚症状	全体
2015.6	24	22	28.6%	38.1%	28.6%	4.5%	4.5%	52.4%
2015.8	24	134	24.8%	19.5%	16.7%	0.7%	3.0%	42.1%
2015.1	24	349	23.9%	22.8%	12.0%	1.4%	4.0%	38.4%
2015.12	24	267	21.4%	20.2%	15.5%	1.5%	3.0%	36.1%
2016.2	24	264	25.1%	22.1%	13.4%	1.1%	3.8%	38.7%
2016.4	24	202	24.6%	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%

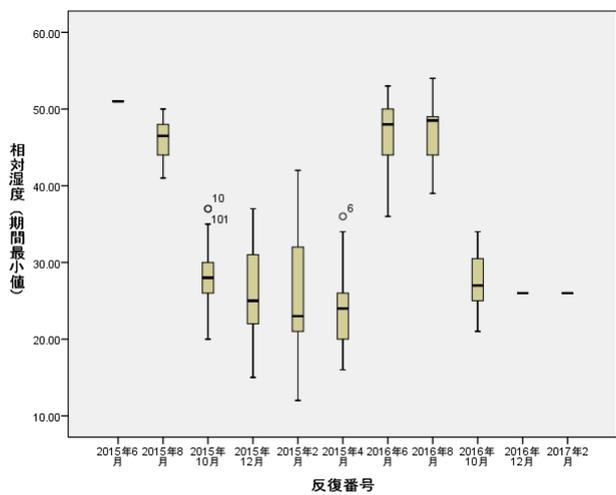
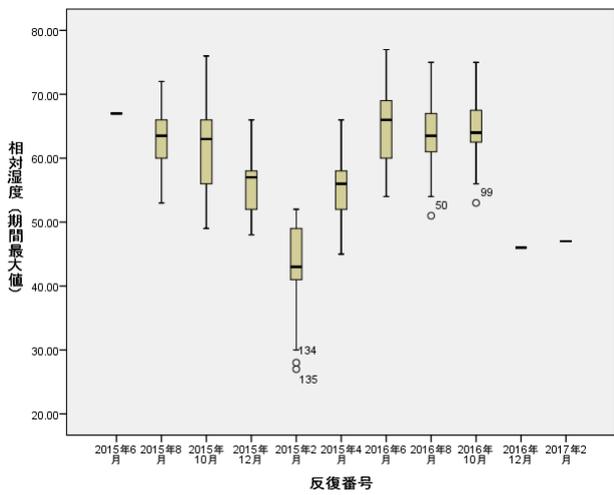
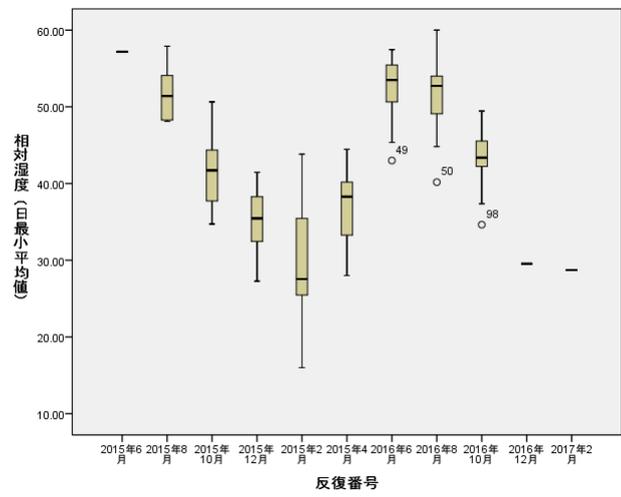
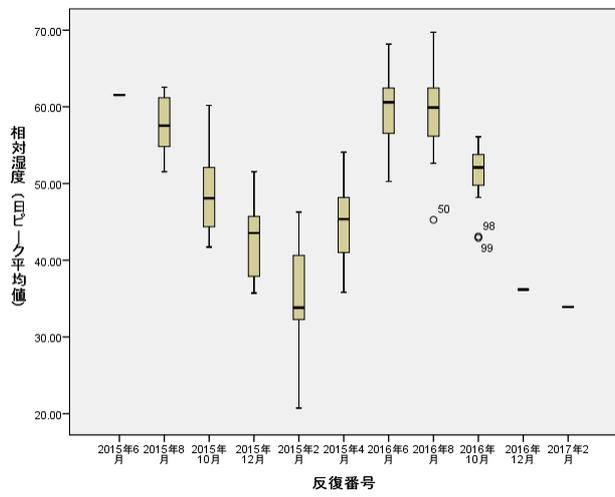
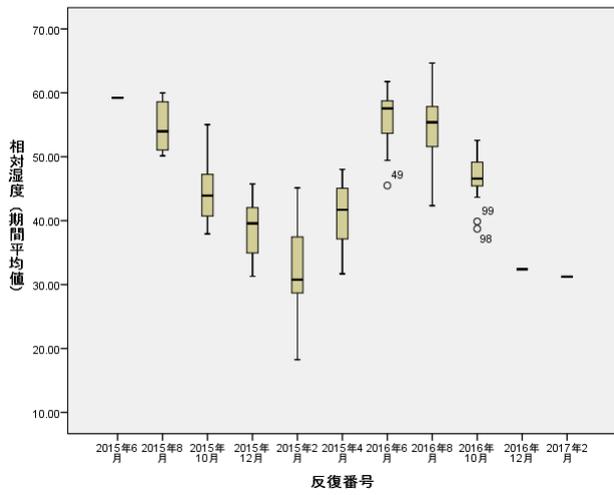
全体：いずれか1つ以上の症状を有する

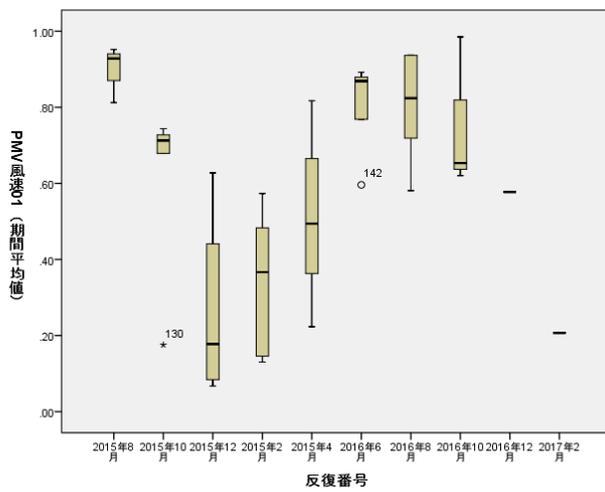
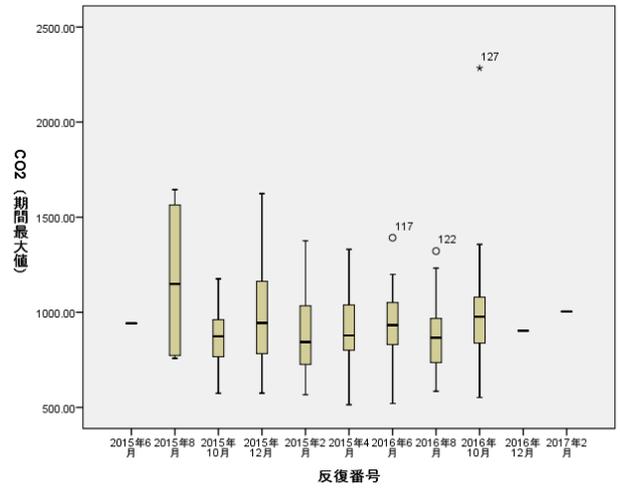
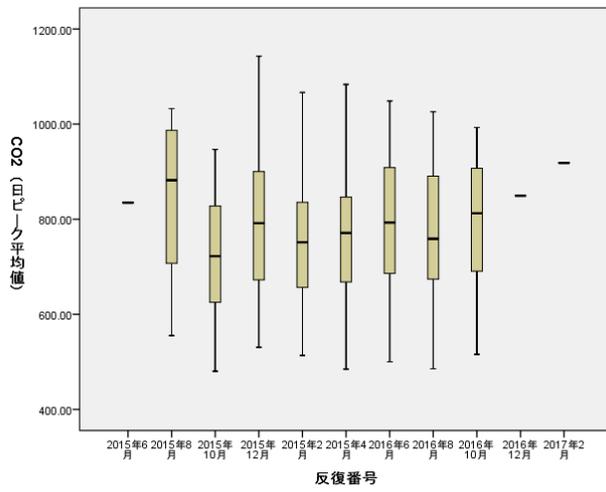
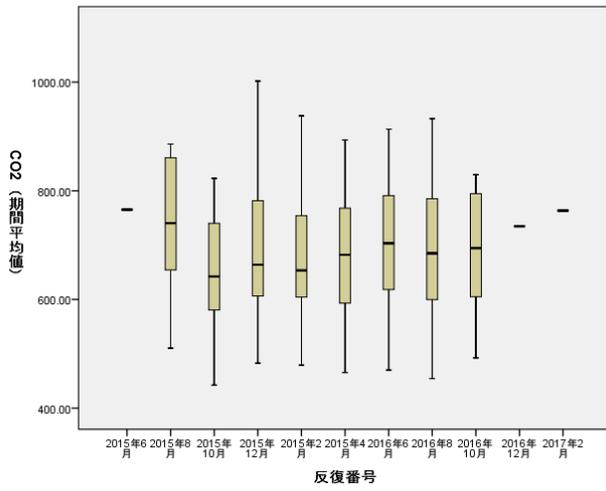
C.1.3 空気環境結果（連続測定データの一部のみ抜粋）

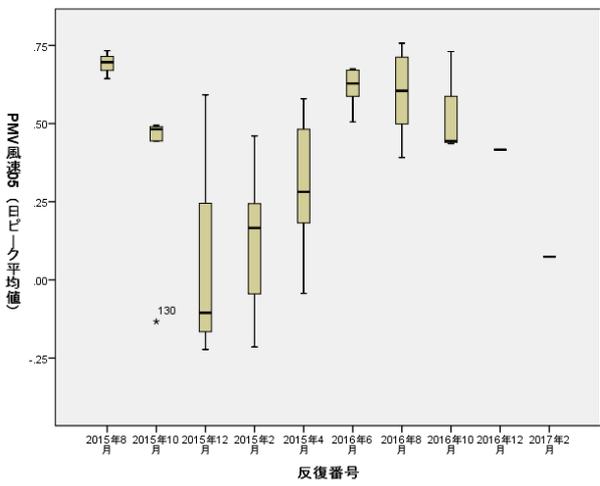
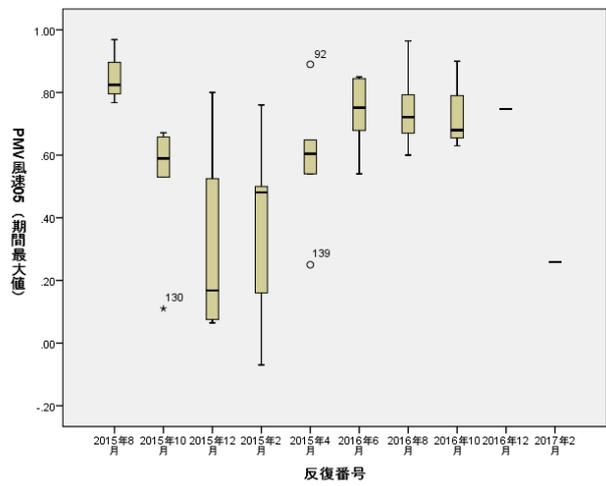
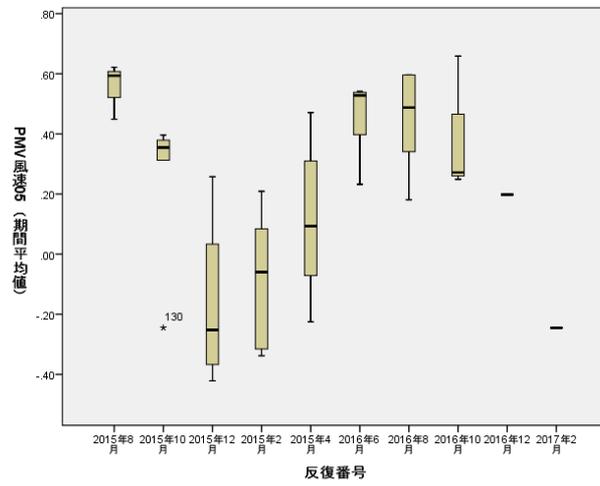
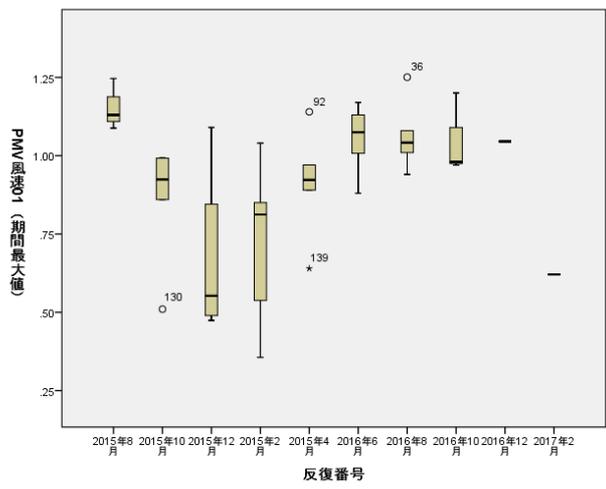
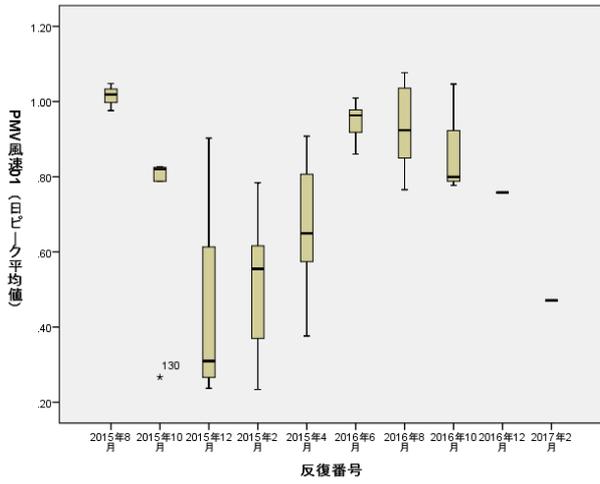
各調査時期における温熱および二酸化炭素濃度の測定結果を下図に示す。データの集計

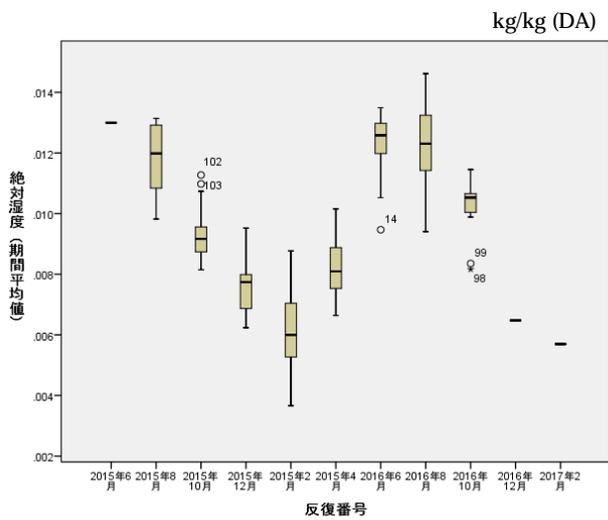
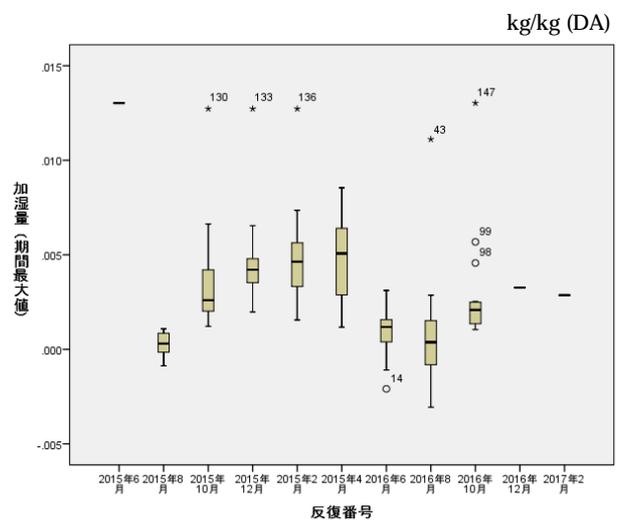
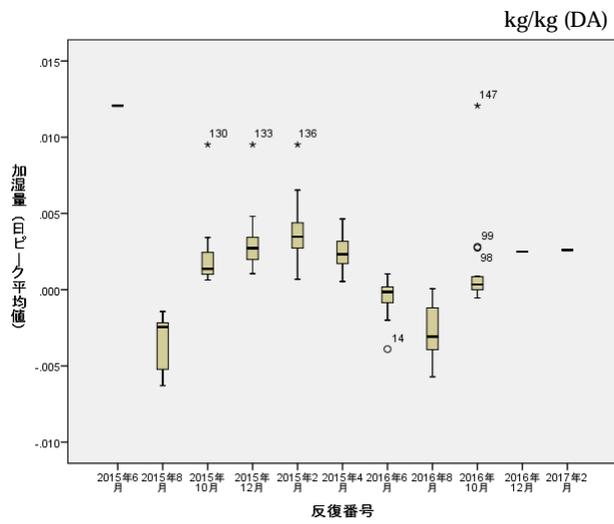
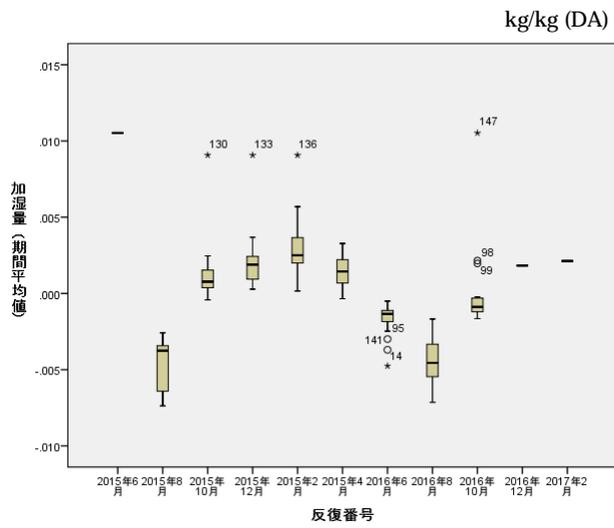
は、アンケート配布日の前後5日間の合計11日間の就労時間帯(午前9時から午後5時)における連続測定データをもとに行った。

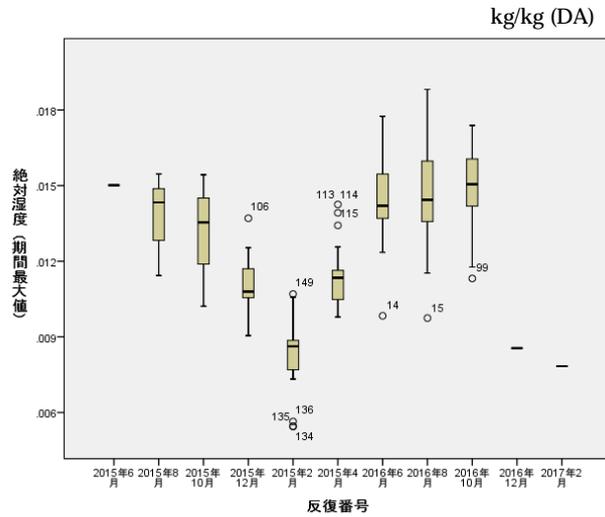
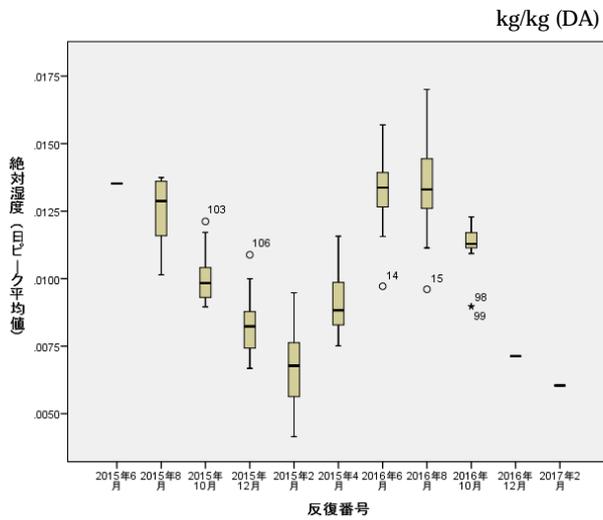












※PMV 計算条件

(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 従業員の症状に関与する要因の解析

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 2-2-5 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 2-2-6 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)*
CO2（期間平均値）	100ppm	1.01 (0.85-1.20)	0.99 (0.83-1.17)	1.16 (0.94-1.44)
CO2（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)
CO2（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。

C.2 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

C.2.1 二酸化炭素

低濃度の二酸化炭素による生体影響に関する平成 27 年度報告書以降の知見を以下に示す。

従来は 5000ppm 以下の二酸化炭素濃度では血中の二酸化炭素に影響はないと予測されていた。しかし最近の研究によると、500～4000ppm の低濃度域でも血中の二酸化炭素分圧は上昇し、その領域で心拍変動の変化（交感神経刺激の上昇）と末梢血液循環の増加が生じると報告されている（MacNaughton et al 2016; Vehviläinen et al 2016）。

このことは、600～5000ppm の他の研究でも確認されており、1500ppm 以上数時間の曝露では、600ppm に比べて血圧上昇や心拍数の上昇が報告されている（Kaitar 2012）。

自律神経系の機能障害は、認識システム等の様々な健康への影響や、方策策定能力やワーキングメモリの低下（Starcke et al 2012）に関連するが、このような低濃度域における意思決定能力の低下（Satish et al 2012）や認識機能への影響（Allen et al 2016）が近年報告されている。

Allen によると、環境条件（VOCs、換気、二酸化炭素を強制導入等）を制御したオフィスで24名の男女を用いて6日間勤務で認識機能に関するテストを行ったところ、VOCs と二酸化炭素（対照群に比べて 945ppm 群と 1400ppm 群）はそれぞれ独立した影響を示した（Allen et al 2016）。

MacNaughton によると、一般ビル（約 1000ppm）、2種のグリーンビルのオフィスで24名の男女を用いて2週間健康影響に関する評価を行った（TVOC と二酸化炭素を強制導入）ところ、気道・目・皮膚症状、頭痛、認識・感覚影響等の症状の数が有意に増加及び心拍数の有意な上昇が 1000ppm でみられた（MacNaughton et al 2016）。

Zhang によると、10名の被験者、2.5時間で500及び5000ppm（強制導入）の部屋での二酸化炭素曝露では、急性症状（上記とほぼ同じ）認識機能への影響はみられなかった

が、呼気終末二酸化炭素分圧（ETCO₂）では差がみられた（Zhang et al 2016, BA）。

また Zhang によると、25名の被験者、255分間二酸化炭素濃度（強制導入）とヒト由来の汚染物質（bioeffluents）を制御（外気導入量増）した部屋（二酸化炭素濃度 500, 1000, 3000ppm）では、bioeffluents 含む 3000ppm の条件で頭痛、疲労、眠気への影響がみられ、bioeffluents 含む 1000ppm の条件で認識機能への影響がみられた（Zhang et al 2017a, IA）。

また上記の実験においては、bioeffluents 含む 1000ppm 以上の条件で α -アミラーゼ活性の有意な増加がみられ、bioeffluents 含む 3000ppm の条件で拡張期血圧及び経鼻的ピークフローの有意な減少がみられた。ETCO₂ と心拍数の増加は bioeffluents 含む含まないに限らず、いずれも二酸化炭素濃度（二酸化炭素濃度 500, 1000, 3000ppm）に依存して上昇した（Zhang et al 2017b, IA）。

Zhang らの実験では、1000ppm では bioeffluents による影響を受けていると報告しているが、これに関する化学的な定性及び定量的な根拠は示されておらず、bioeffluents とはどのようなもので、どのような生体への作用を示すのかについて明らかにしたうえで、本実験結果でみられたヒトへの影響との関係を明らかにする必要がある。

C.2.2 相対湿度（絶対湿度を含む）

これまで低湿度におけるインフルエンザウイルス活性の増加が報告されてきた。近年は、動物への曝露実験による感染力の研究が報告されており、低湿度ではウイルスを含む飛沫核の安定性が高いことから感染力が高いと考えられている（Lowen et al 2007, Hanley et al 2010）。また、疫学研究においては、インフルエンザ発症前の温度と絶対湿度の平均値、温度と絶対湿度の低下率を比べた場合、温度よりも絶対湿度、平均値よりも低下率がインフルエンザの発症リスクに強く関係していることが示唆されている（Jaakkola et al 2014）。

一般的な風邪の症状を引き起こすライノウイルスについても、インフルエンザウイルス程ではないが、温度と絶対湿度の低下とウイ

ルス感染リスクとの関係が疫学研究で示唆されている (Ikäheimo et al 2016)。

表 2-2-7 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や尿中磷濃度の低下), 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

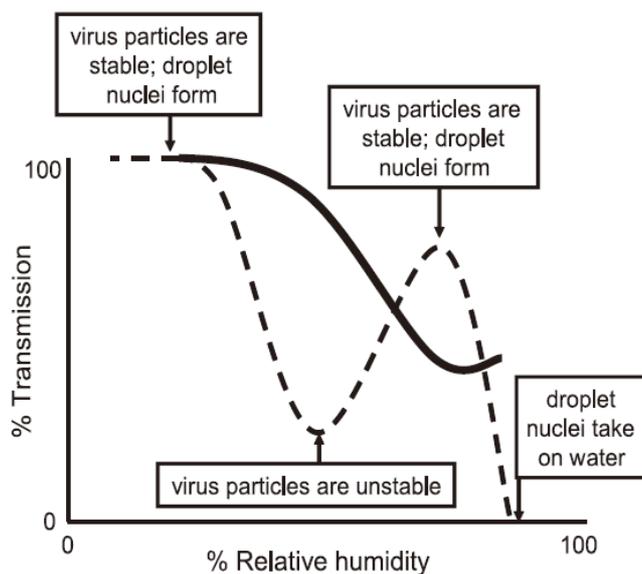
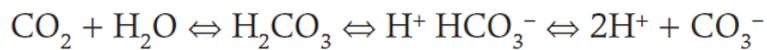


Figure 6. Variation of Transmission Efficiency with Relative Humidity: A Model

図 2-2-1 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。

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SBS関連症状との関係を示していた。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と考えられた。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。

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) 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.
- 12) Vehviläinen T, Lindholm H, Rintamäki H, Pääkkönen R, Hirvonen A, Niemi O, Vinha J. *J Occup Environ Hyg* 13(1):19–29, 2016.
- 13) Kajtár L, Herczeg L. Influence of carbon-dioxide concentration on human

- well-being and intensity of mental work. *IDŐJÁRÁS* 116(2):145–169, 2012.
- 14) Starcke K, Brand M. Decision making under stress: a selective review. *Neurosci Biobehav Rev* 36(4):1228–1248, 2012.
 - 15) 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.
 - 16) 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.
 - 17) 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.
 - 18) 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.
 - 19) 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.
 - 20) 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.
 - 21) Hanley BP, Borup B. Aerosol influenza transmission risk contours: a study of humid tropics versus winter temperate zone. *Virol J* 7:98, 2010.
 - 22) 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.
 - 23) 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.

平成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

3. 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案

研究代表者	大澤 元毅	国立保健医療科学院	主任研究官
分担研究者	林 基哉	国立保健医療科学院	統括研究官
分担研究者	開原 典子	国立保健医療科学院	主任研究官

研究要旨

特定建築物における空気環境の不適率の上昇傾向の機序を明らかにするために、特定建築物に関する行政報告データを用いた分析、特定建築物の空気環境に関する自治体への質問紙調査を実施した。

行政報告データの分析では、1996年度から2014年度の行政報告データの、特定建築物施設数、調査（報告徴取、立入検査）数、空気環境に関する不適数を用いて、不適率上昇傾向の機序に関する分析を行った。その結果、報告徴取及び立入検査を含む調査数の全国合計値は、2007年以降増加傾向にあり、その主な要因として、一部の自治体で報告徴取を大幅に導入したことが挙げられること、調査数が増加した自治体の浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、気温、相対湿度、気流の不適率の増加傾向が顕著であることが明らかとなった。

特定建築物の空気環境に関する自治体への質問紙調査の結果分析から、報告徴取・立入検査ともその様式から得られる情報の程度に差のあること、報告徴取・立入検査後の不適合の判断にも差のあること等が明らかになるとともに、建築物衛生管理の監視手法のあり方の一助となる知見を得た。今後、より詳細な調査分析によって不適率上昇傾向の機序を明らかにする必要がある。

H26～28まで3年間、特定建築物の実測調査・統計データ解析・在室者アンケート・自治体アンケートなどを行ってきた。現状把握は衛生管理基準への適合状況（不適率）をターゲットとし、複数の資料を参照しながら、経年変化、地域性について要因分析を行った。

また、事務用途の特定建築物を対象に、実態調査と執務者の健康影響調査を併せて行い、被害状況に関する資料を収集した。管理項目である温度、湿度、気流、浮遊粉じん、CO、CO₂、ホルムアルデヒドに加え、エンドトキシン、PM_{2.5}、PMVなど新たな項目候補を加えた調査法改善の試行、行政実務者へのアンケートなどとりまぜて情報を収集するとともに、換気・乾燥の機序等についても検討した。

明らかとなったこれら成果に基づき、知見を総合してこれからの監視手法のあり方及び、上記の多様な課題に対処するには、建築物衛生法に係る環境衛生管理（監視・指導・啓発・審査・立入り）規定の見直しと行政監視体制の整備、並びに人材開発の推進をについて提案した。

研究協力者

柳 宇	工学院大学建築学部
東 賢一	近畿大学
鍵 直樹	東京工業大学大学院
金 勲	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

3. 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案

3-1 空気環境の不適率上昇傾向に関する分析
と調査

A. はじめに

特定建築物における空気環境の不適率の上昇傾向の機序を明らかにするために、特定建築物に関する行政報告データを用いた分析、特定建築物の空気環境に関する自治体への質問紙調査を実施した。

B. 行政報告データの分析

1996年度から2014年度の行政報告データの、特定建築物施設数、調査(報告徴取、立入検査)数、不適数を用いて、空気環境に関する不適率上昇傾向の機序に関する分析を行った。以下に分析結果を示す。

図3-1-1に示すように、特定建築物施設数は、直線的に平均 807 (施設/年)の速度で増加している。また、図3-1-2に示すように、自治体によって、施設数は大きく異なるが、いずれの自治体においても、増加傾向が見られる。

図3-1-3に、調査(報告徴取、立入検査)数の推移を示す。1996年から2006年までは、行政報告データの「立入検査」の数を用い、2007年から2009年までは、「立入検査回数」、2010年から2014年は、「報告徴取」及び「立入検査等回数」を用いている。調査数は、2006年までは若干の減少傾向が見られ、2007年から2009年に増加している。また、2010年以降は、報告徴取と立入検査の合計が、若干増加する傾向を示している。建築物衛生法は2003年に改正されているが、調査数の増加は2007年以降で時間差がある。各自治体における対応の時間差が反映していることによると考えられる。

図3-1-4及び図3-1-5に、各自治体の調査数の

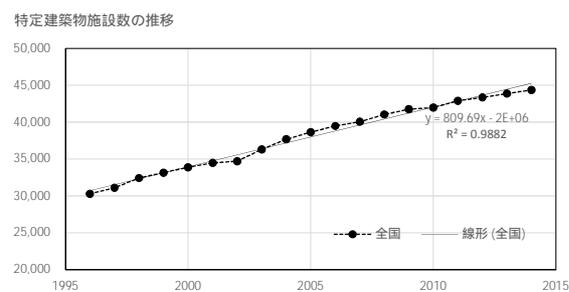


図3-1-1 特定建築物施設数の推移(1996-2014)

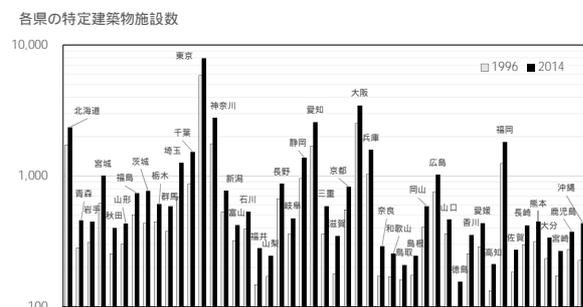


図3-1-2 各自治体の特定建築物施設数 (1996, 2014)

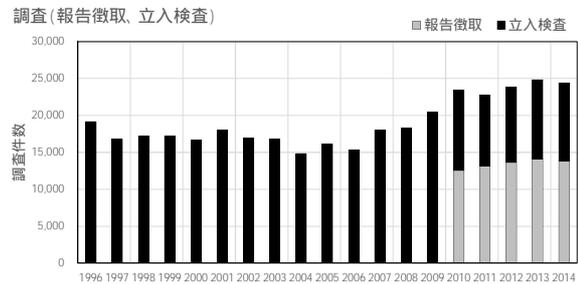


図3-1-3 調査数(報告徴取、立入検査)の推移増減傾向を示す。図3-1-4は、1996年から2014年の調査数を最小二乗法で直線近似を行い、その傾き(調査数/年)を示したもので、調査数の増減の程度を示している。増加傾向が顕著である自治体は、北海道、岡山、神奈川、秋田、大阪、愛知、福岡などである。また、減少傾向が比較的顕著である自治体は、東京、埼玉、京都である。図3-1-5は、2007年から2014年の変化である。この場合は、増加傾向が顕著である自治体は北海道、神奈川、岡山、大阪、福岡、愛知などである。また、減少傾向が比較的大きい自治体は、埼玉である。

以上のように、調査数の増減傾向は一部の自治体で突出している状況が確認される。

図3-1-6に、全国の調査数、増加傾向が顕著である、北海道、愛知、大阪、神奈川、岡山、福岡、減少傾向が見られる埼玉の推移を示す。1996年から2006年までは、大阪と愛知は変動を伴って減少する傾向をも持ち、その他は概ね安定している。2007年から2012年の間に、自治体によって増加が始まる年は異なるが、顕著な増加が見られ、その後安定する推移となっている。これらの自治体における調査数の増加が、全国の調査数が2007年以降に増加した主な要因となっていると考えられる。

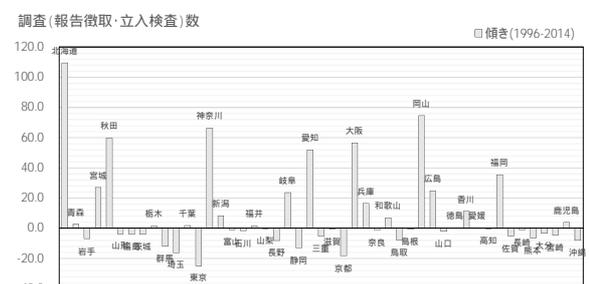


図3-1-4 各自治体の調査数増減傾向 (1996-2014)

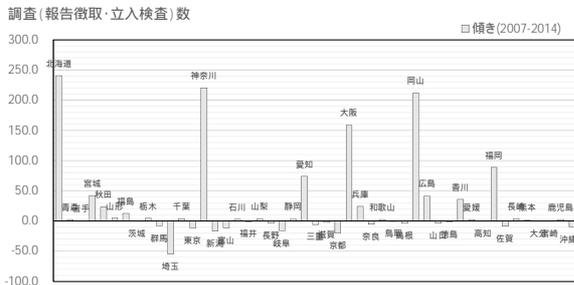


図 3-1-5 各自治体の調査数増減傾向 (2007-2014)

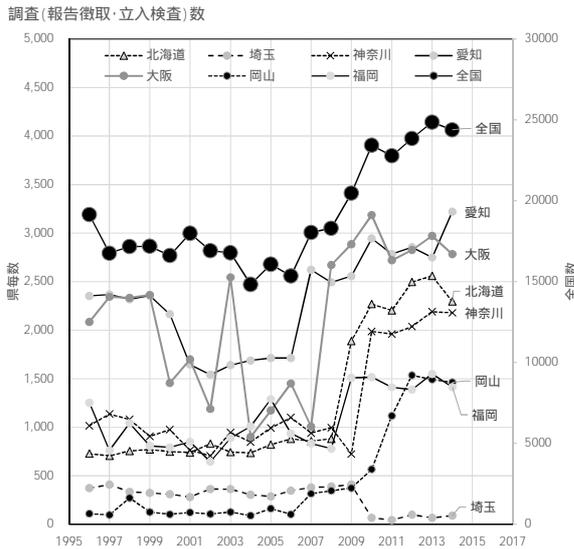


図 3-1-6 顕著な傾向を有する自治体の調査数推移

次に、空気環境に関する不適率上昇の機序に関する分析として、不適数の増減傾向を用いた。各自治体の不適数の増減傾向の状況を見ることで、全国の不適数の増加に強く影響している自治体が存在するかを確認することとした。

図 3-1-7 に、ホルムアルデヒドの調査数及び不適数の推移を示す。ホルムアルデヒドの調査数は、非常に少ないとともに、調査数と不適数のいずれも減少傾向にある。図 3-1-8 に、自治体ごとのホルムアルデヒド不適数の増減傾向を示す。減少傾向が比較的大きい自治体は、神奈川県、東京都、千葉県、宮城である。図 3-1-9 に、全国及び、上記の自治体の不適率の推移を示すが、全国、神奈川県、東京都、千葉県は、若干の減少傾向が見られ、宮城は大きく変化している。調査数が少ないために、ホルムアルデヒドの自治体ごとの傾向を確認することは難しいと考えられる。



図 3-1-7 ホルムアルデヒドの調査・不適の件数 (2007-2014)

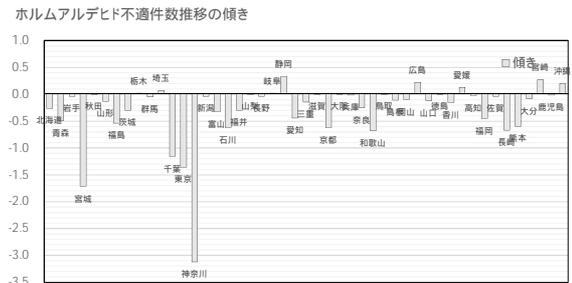


図 3-1-8 ホルムアルデヒド不適数の増減傾向 (2007-2014)

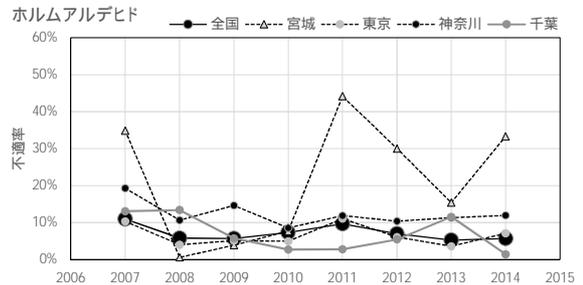


図 3-1-9 ホルムアルデヒドの不適数に顕著な傾向を有する自治体の不適率推移 (2007-2014)

図 3-1-10 に、浮遊粉じんの調査数及び不適数の推移を示す。調査数は安定している。不適数は 2007 年から 2014 年の期間全体では概ね安定しているが、2008 年に減少し 2012 年に増加している。図 3-1-11 に、自治体ごとの浮遊粉じんの不適数の増減傾向を示す。増加傾向が大い自治体は、愛知、福岡、北海道である。また、減少傾向が比較的顕著である自治体は、新潟、神奈川県、埼玉、和歌山である。図 3-1-12 に、全国及び、上記の自治体の不適率の推移を示すが、全国は若干の増加傾向、愛知、北海道、福岡は増加傾向を示している。また、新潟は 2008 年に急激な減少を示している。



図 3-1-10 浮遊粉じんの調査・不適の件数 (2007-2014)

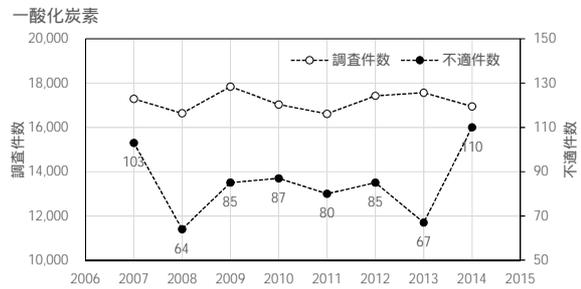


図 3-1-13 一酸化炭素の調査・不適の件数 (2007-2014)

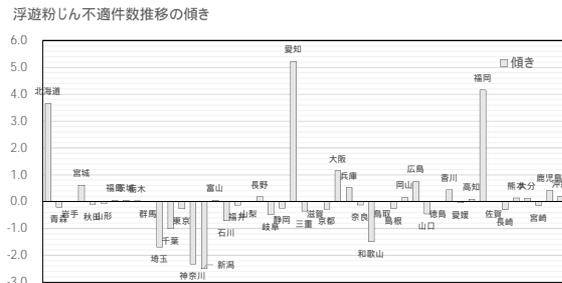


図 3-1-11 浮遊粉じん不適数の増減傾向 (2007-2014)

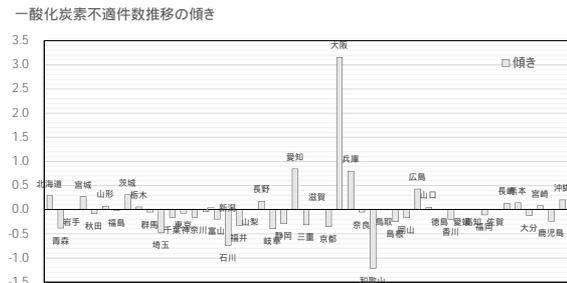


図 3-1-14 一酸化炭素不適数の増減傾向 (2007-2014)

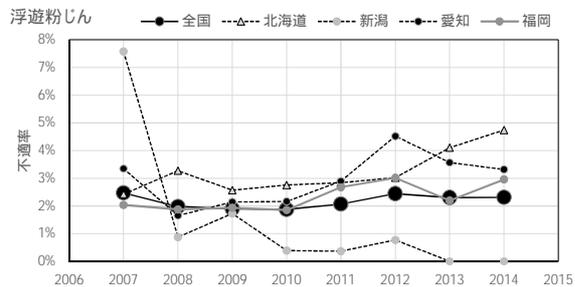


図 3-1-12 浮遊粉じんの不適数に顕著な傾向を有する自治体の不適率推移 (2007-2014)

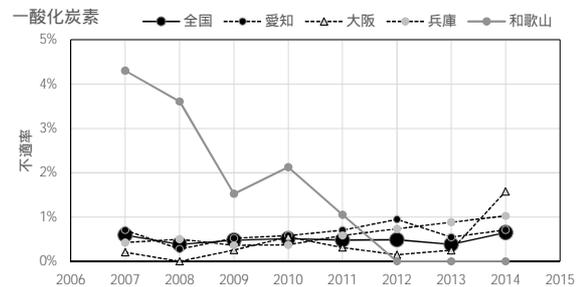


図 3-1-15 一酸化炭素の不適数に顕著な傾向を有する自治体の不適率推移 (2007-2014)

図 3-1-13 に、一酸化炭素の調査数及び不適数の推移を示す。調査数は安定している。不適数は 2007 年から 2014 年の期間全体では概ね安定しているが、2008 年に減少し 2014 年に増加している。図 3-1-14 に、自治体ごとの一酸化炭素の不適数の増減傾向を示す。増加傾向が大きい自治体は大阪で、若干大きい自治体は愛知、兵庫である。また、減少傾向が比較的顕著である自治体は、和歌山、石川、埼玉である。図 3-1-15 に、全国及び、上記の自治体の不適率の推移を示すが、全国は概ね安定しており、大阪、愛知、兵庫は増加傾向を示している。また、和歌山は減少傾向である。

一酸化炭素の発生源には喫煙が挙げられる。喫煙は浮遊粉じんも発生するため、浮遊粉じん

と一酸化炭素の不適数の傾向には関係がある可能性がある。2つの汚染物質について、愛知では増加傾向、和歌山では減少傾向を示している。

図 3-1-16 に、二酸化炭素の調査数及び不適数の推移を示す。調査数は安定しているが、不適数は期間全体を通じて上昇傾向を示している。また、2009 年と 2012 年の上昇が顕著である。図 3-1-17 に、自治体ごとの二酸化炭素不適数の増減傾向を示す。増加傾向が大きい自治体は愛知、大阪、福岡、北海道である。また、減少傾向が比較的顕著である自治体は、埼玉、新潟である。図 3-1-18 に、全国及び、上記の自治体の不適率の推移を示すが、全国は、不適数と同様に増加傾向を示している。また、愛知、大阪、



図 3-1-16 二酸化炭素の調査・不適の件数 (2007-2014)



図 3-1-19 気温の調査・不適の件数(2007-2014)

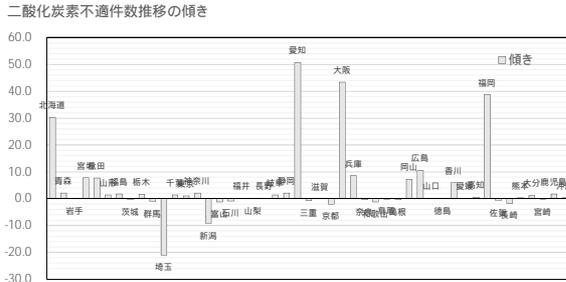


図 3-1-17 二酸化炭素不適数の増減傾向 (2007-2014)

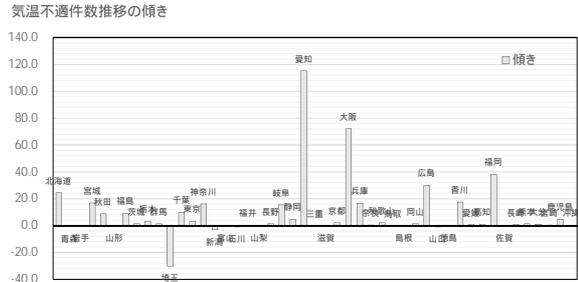


図 3-1-20 気温不適数の増減傾向 (2007-2014)

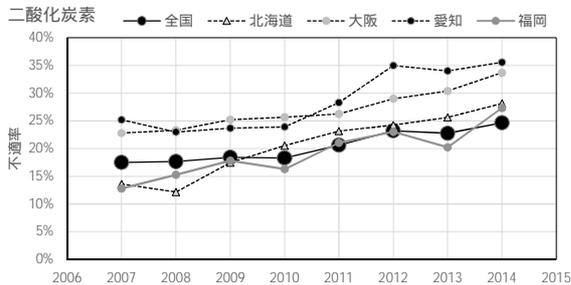


図 3-1-18 二酸化炭素の不適数に顕著な傾向を有する自治体の不適率推移 (2007-2014)

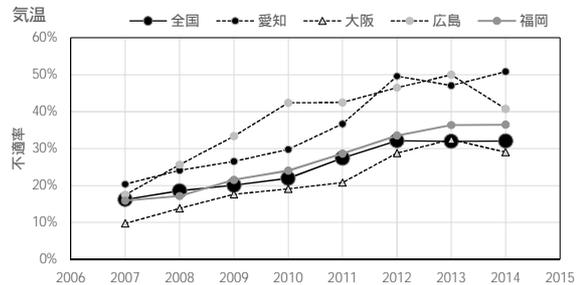


図 3-1-21 気温の不適数に顕著な傾向を有する自治体の不適率推移 (2007-2014)

福岡、北海道は、いずれも増加傾向を示している。

図 3-1-19 に、気温の調査数及び不適数の推移を示す。調査数は安定しているが、不適数は、2009 年まで上昇し、その後安定している。図 3-1-20 に、自治体ごとの気温不適数の増減傾向を示す。増加傾向が大きい自治体は愛知、大阪であり、比較的大きい自治体は、福岡、兵庫である。また、減少傾向が比較的顕著である自治体は、埼玉である。図 3-1-21 に、全国及び、上記の自治体の不適率の推移を示すが、全国は、不適数と同様の推移を示している。愛知、大阪、福岡、兵庫は、いずれも全国の場合に類似した推移を示している。

図 3-1-22 に、相対湿度の調査数及び不適数の推移を示す。調査数は安定しているが、不適数は、2008 年に減少して 2009 年に増加し、2012 年に増加している。図 3-1-23 に、自治体ごとの相対湿度不適数の増減傾向を示す。増加傾向が大きい自治体は、愛知、福岡、広島、北海道、大阪である。また、減少傾向が比較的顕著である自治体は、埼玉である。図 3-1-24 に、全国及び、上記の自治体の不適率の推移を示すが、全国は 期間全体を通じて増加傾向を示している。愛知、福岡、広島、北海道、大阪は、期間全体を通じて増加傾向を示しているが、広島では 2009 年、その他では 2012 年の増加が顕著である。



図 3-1-22 相対湿度の調査・不適の件数 (2007-2014)



図 3-1-25 気流の調査・不適の件数(2007-2014)

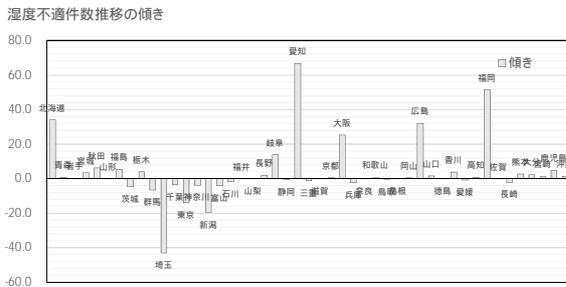


図 3-1-23 相対湿度不適数の増減傾向 (2007-2014)

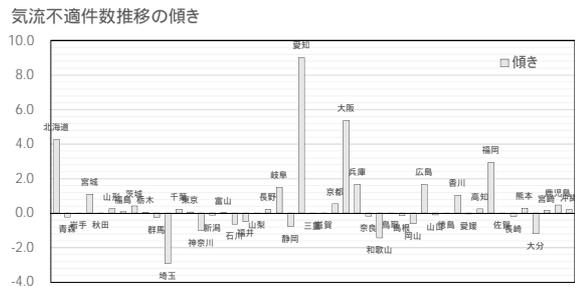


図 3-1-26 気流不適数の増減傾向 (2007-2014)

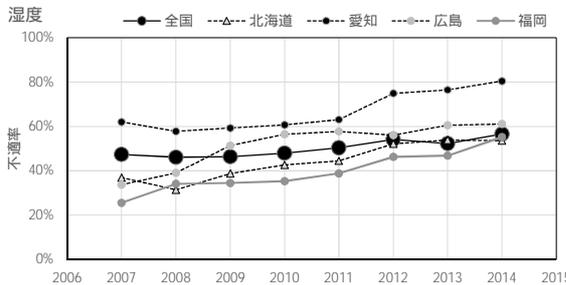


図 3-1-24 相対湿度の不適数に顕著な傾向を有する自治体の不適率推移 (2007-2014)

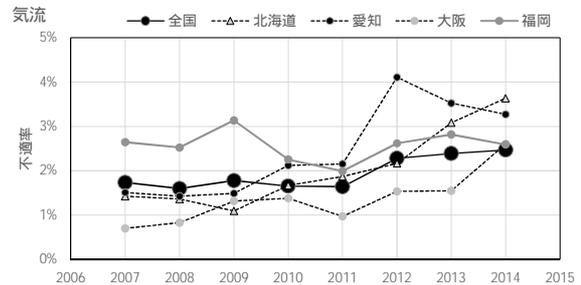


図 3-1-27 気流の不適数に顕著な傾向を有する自治体の不適率推移 (2007-2014)

図 3-1-25 に、気流の調査数及び不適数の推移を示す。調査数は安定しているが、2012 年に増加している。図 3-1-26 に、自治体ごとの気流不適数の増減傾向を示す。増加傾向が大きい自治体は、愛知、大阪、北海道、福岡である。また、減少傾向が比較的顕著である自治体は、埼玉である。図 3-1-27 に、全国及び、上記の自治体の不適率の推移を示すが、全国は、期間全体を通じて増加傾向を示している。愛知、大阪、北海道、広島は、期間全体で増加傾向を示しているが、福岡では見られない。

図 3-1-28 に、全自治体の調査数の増減傾向及び各空気環境基準不適数の増減傾向の関係を示す。調査数の増減は、ホルムアルデヒド以外の

空気環境項目の増減傾向と正の相関がある。また、ホルムアルデヒド以外の空気環境項目の増減傾向は相互に正の相関関係がある。調査数の増加傾向が強い自治体において不適数の増加傾向が強いことを示している。同時に、調査数の増加傾向が小さい自治体では、不適数の増加傾向が小さいことを示している。

図 3-1-29 ~ 図 3-1-32 に、調査数の増減傾向と不適数の増減傾向の関係を示している。図 3-1-29 に示すホルムアルデヒド不適率の増減傾向は、調査数の増減傾向に対して負の相関 ($R^2=0.13$) となっている。図 3-1-30 ~ 図 3-1-32 に示す空気環境項目では、正の相関 ($R^2=0.14 \sim 0.38$) となっている。

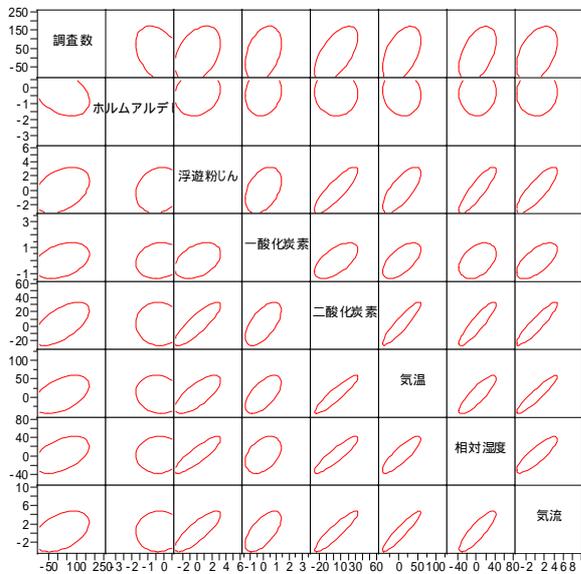


図 3-1-28 調査数の増減傾向及び各空気環境基準不適数の増減傾向の関係

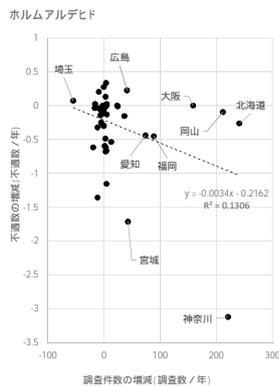


図 3-1-29 ホルムアルデヒドの調査数の増減傾向と不適率の増減傾向の関係

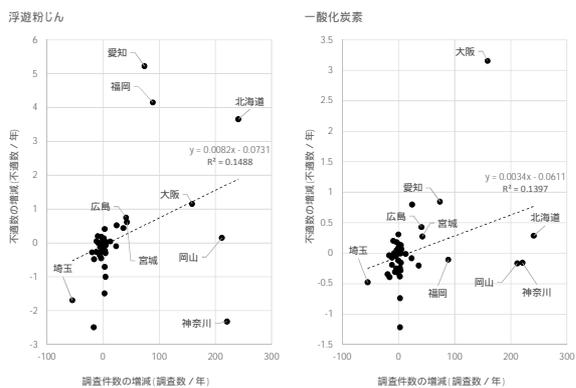


図 3-1-30 浮遊粉じん及び一酸化炭素の調査数の増減傾向と不適率の増減傾向の関係

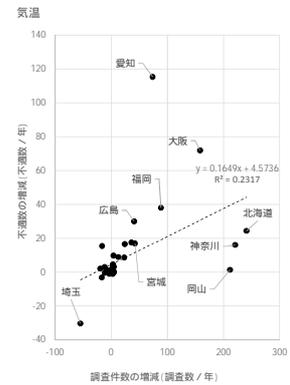
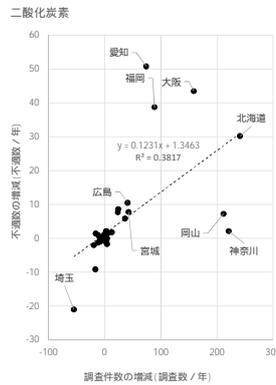


図 3-1-31 二酸化炭素及び気温の調査数の増減傾向と不適率の増減傾向の関係

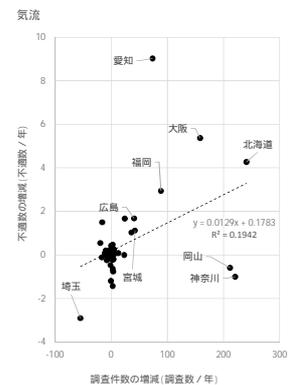
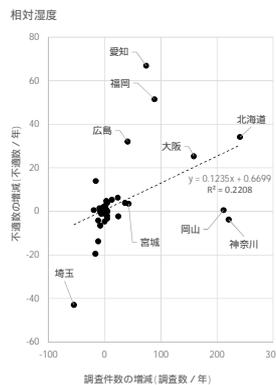


図 3-1-32 相対湿度及び気流の調査数の増減傾向と不適率の増減傾向の関係

以上のように、調査数の増減傾向が不適数の増減傾向に関係していることが明らかとなったため、調査数の増減が不適数の増減にどのような影響を与えるかを考察するために、調査数の増減傾向が強い自治体における、報告徴取数と立入検査数の推移を確認した。

図 3-1-33 の左に、顕著な不適数の増減傾向は見られないが調査数が最も多い東京都における調査数の内訳を示す。調査件数は 2007 年から 2008 年に減少したが、その後大略安定している。2010 年以降は、報告徴取数と立入検査数に関する数値が記載されているが、それらの合計値は、2009 年と大きく変わっていない。図 3-1-33 の右には、調査数が減少した例として埼玉県について示している。埼玉県では、2010 年に大幅に減少しており、その後の報告徴取数が非常に低い状況である。

図 3-1-34 ~ 図 3-1-36 に、調査数の増加傾向が強い自治体の調査数の推移を示す。増加の推移

は自治体によって異なるが、いずれの場合も2010年以降の報告徴取の割合が多い。これらの自治体では、報告徴取を導入することで、調査数が増加していることが確認される。

図3-1-37に、調査数の増減傾向と報告徴取及び立入検査の増減傾向の関係を示す。報告調査数の増加傾向が強い自治体では、報告徴取の増加傾向が強いとともに立入検査の減少傾向が強いことが確認される。

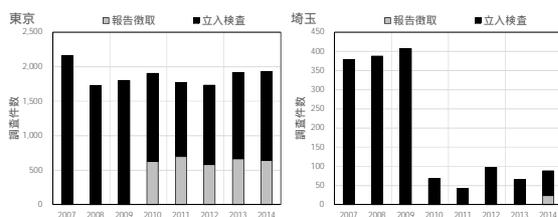


図3-1-33 東京都及び埼玉県調査数の推移

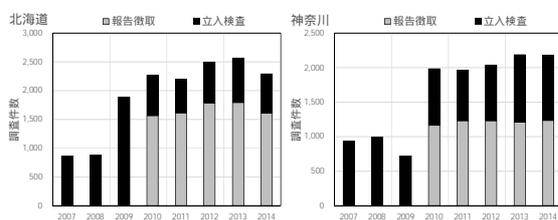


図3-1-34 北海道及び神奈川県調査数の推移

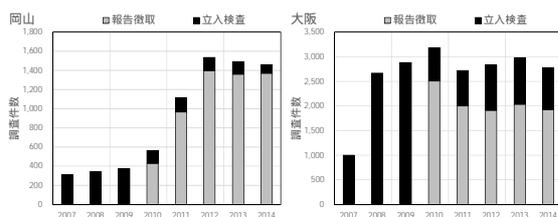


図3-1-35 岡山県及び大阪府調査数の推移

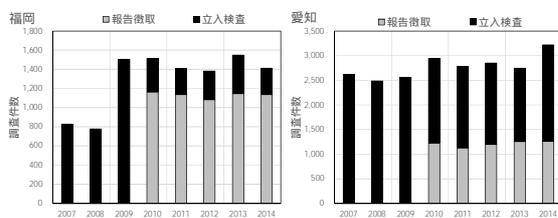


図3-1-36 福岡県及び愛知県調査数の推移

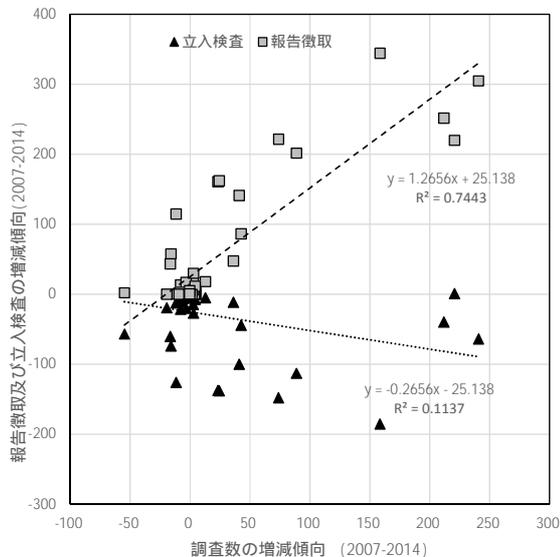


図3-1-37 調査数の増減傾向と報告徴取及び立入検査数の増減傾向の関係

以上の分析によって、以下の知見が得られた。

- 1) 報告徴取及び立入検査を含む調査数の全国合計値は、2007年以降増加傾向にある。その主な要因として、一部の自治体で報告徴取を大幅に導入したことが挙げられる。
- 2) 調査数が増加した自治体の浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、気温、相対湿度、気流の不適率の増加傾向が顕著である。

以上により、自治体の報告徴取数及び立入検査数の状況が空気環境の不適率に影響することが明らかとなった。今後、より詳細な分析による不適率上昇傾向の機序に関する研究が必要であることが確認された。

C. 空気環境 6 項目に関する自治体への質問紙調査

C.1 はじめに

平成 28 年 4 月に「建築物衛生行政の適正な運営について」という課長通知がだされた通り、「衛生行政報告例（平成 26 年度）」をみると、全国的な状況として、特定建築物における建築物環境衛生管理基準に適合しないものの割合（不適合率）が、一部の項目で高水準となっている。衛生行政報告例の不適合率に関する聞き取り調査を行ったところ、自治体によって報告徴取および立入検査等の状況に差が生じていることが明らかになりつつある。各自治体の報告徴取及び立入検査業務に焦点を当て、その状況を把握するために、建築物衛生の業務に携わる担当者を対象に、質問紙により調査を行ったのでその結果を報告する。

C.2 方法

全国の生活衛生の担当者（都道府県、政令市、中核市、保健所設置市）に、建築物環境衛生における空気環境の測定（浮遊粉じんの量・一酸化炭素の含有量・二酸化炭素の含有量・温度・相対湿度・気流）に関する質問紙を郵送にて配布し、配布数 142 に対し、131 票（92.3%）の有効回答を得た。調査項目は、報告徴取について（報告様式の有無、物件の選定理由、報告内容に関する不備の内容、報告内容に基づく不適合の判断）、立入検査について（物件選定の理由、頻度の増減、実施時期、空気環境測定を行う場合に難しいと思うこと、結果に基づく不適合の判断、空気環境測定 6 項目内で不適合の判断が難しいと思う項目）行政報告例に計上する立入検査と報告徴取に関する内容について（不適合数の割合、立入検査に計上している物件内の空気環境測定の程度、立入検査に計上している物件における空気環境測定以外の内容）等の 3 項目である。調査は、平成 28 年 12 月～平成 29 年 1 月に実施した。

C.3 結果

図 3-1-38-1～図 3-1-38-3 に、各自治体の報告徴取及び立入検査業務について、その状況を把握するために、建築物衛生の業務に携わる担当

者を対象に、質問紙により行った調査結果を示す。

（1）報告徴取の実施状況

報告様式の有無について、約 6 割以上が「ない」と回答している。「ある」と回答している自治体についても、返送してもらった報告様式から、その内容は様々であることが確認された。

報告内容に基づく不適合の判断について、約半数が「同一物件において、1 回でも基準を満たさなければ不適とする」と回答しているものの、約 3 割の自治体の担当者では「物件の状況等をみて、担当者の判断によって不適かどうかを決める」或いは「場合による」という状況にある。前者を回答している担当者は、人による差が出ないようにしているためとの記述や、機械的に判断している状況がある。一方、後者を回答している担当者は、季節の影響や建物の状況を判断材料に加えているといった記述が目立った。

（2）立入検査の実施状況

10 年前と比べた立入検査の頻度について、約 7 割が「変わらない」或いは「減る」と回答しているものの、約 1 割が「増える」と回答している。前者を回答している担当者は、人員上の理由を記述している一方で、後者を回答している担当者は、物件の増加に関する記述が目立った。

立入検査の多い時期について、「9 月から 11 月」が約 4 割と最も多く、「12 月から 2 月」が次いで多い。「9 月から 11 月」と回答している担当者は、他の業務との兼ね合いを理由に挙げている記述が多くみられる、「12 月から 2 月」と「6 月から 8 月」と回答している担当者は、空調運転や季節による特徴に着目している記述が目立った。

立入検査の少ない時期について、「3 月から 5 月」が約 7 割と最も多く、業務上の理由から好まれない傾向にある。

立入検査で空気環境測定を行う場合に難しいと思うことについて「通常の使用時間中に測定を行うこと」が約 4 割と最も多く、「居室の中央部で測定を行うこと」が次いで多かった。その理由として、用途ごとの運用上によるものが

多く挙げられた。

立入検査に基づく不適合の判断について、約4割が「同一物件において、1回でも基準を満たさなければ不適とする」と最も多く、次いで「物件の状況等を見て、担当者の判断によって不適かどうかを決める」が多くなっている。また、「物件の状況等を見て、担当者の判断によって不適かどうかを決める」と「場合による」を合わせると、約半数以上になる。報告徴取と比較すると、担当者の判断や場合によるなどの状況が増えていることがわかる。

空気環境測定の6項目内で不適合の判断の難しい項目について、「相対湿度」が約3割と最も多く、次いで「気温」、「二酸化炭素」であった。

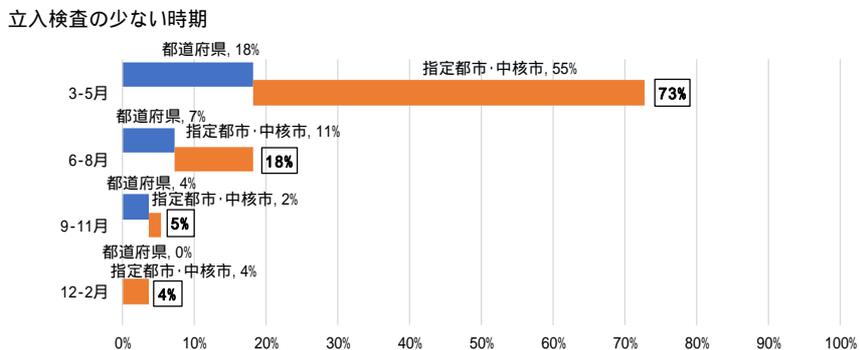
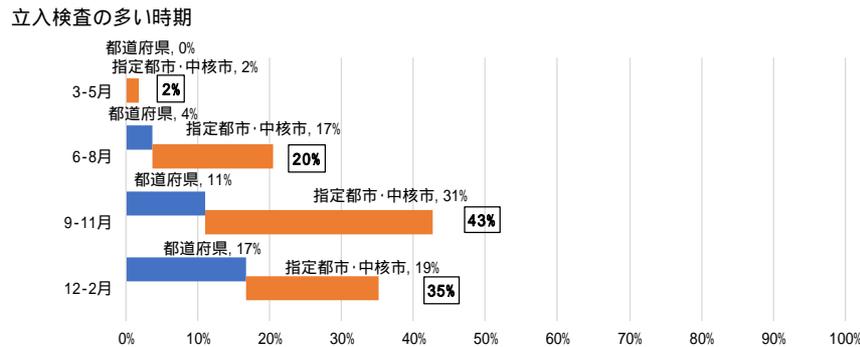
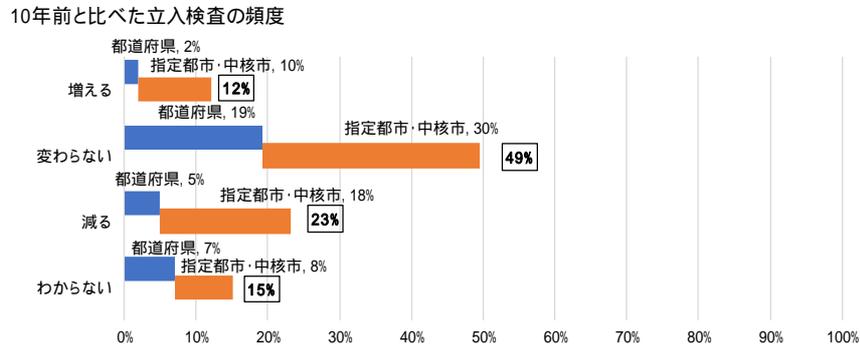
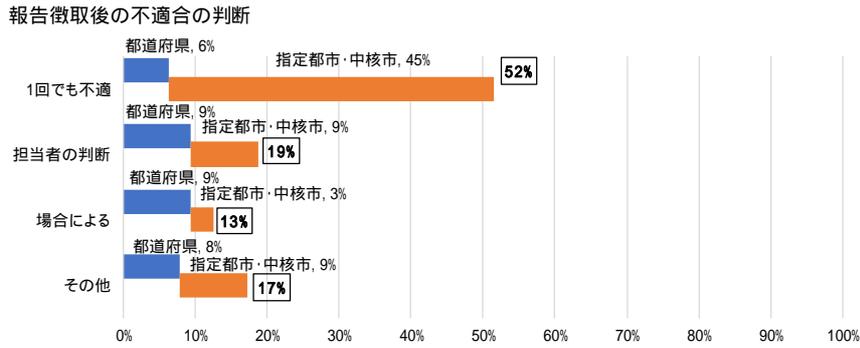
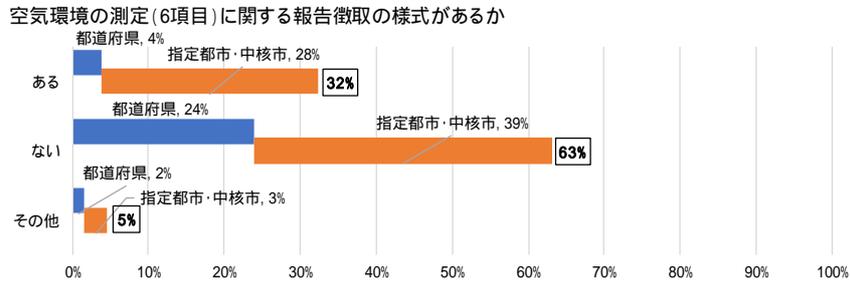
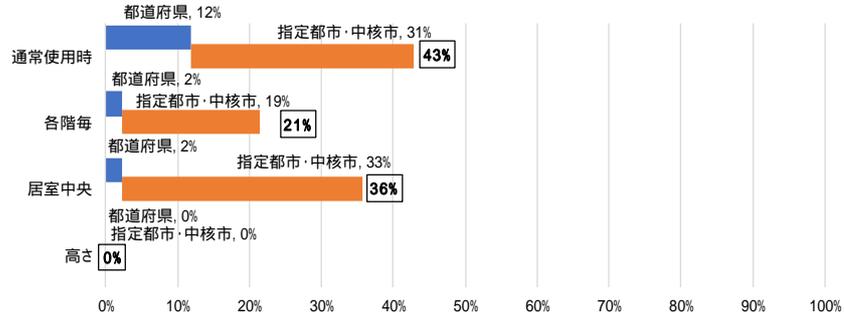
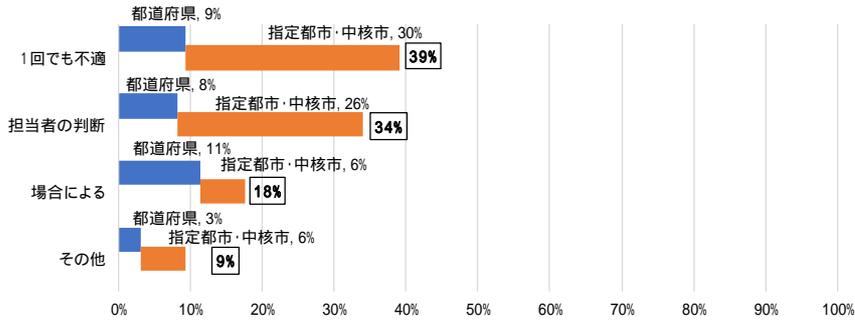


図 3-1-38-1 空気環境の測定 6 項目 (浮遊粉じんの量・一酸化炭素の含有量・二酸化炭素の含有量・温度・相対湿度・気流) に関する質問紙結果

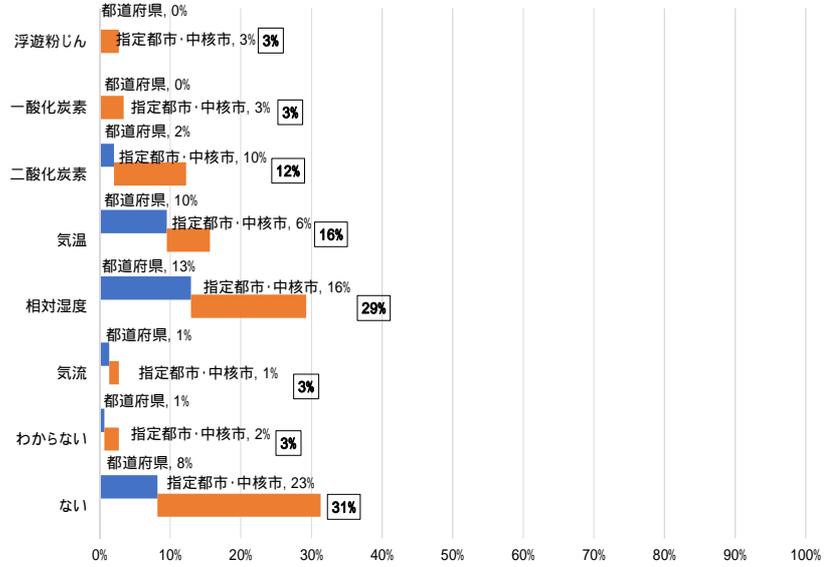
立入検査で測定を行う際に、難しいと思うこと



立入検査時の不適合の判断



立入検査時の不適合の判断について、難しい項目



不適合数について、立入検査と報告徴取でどちらが多いか

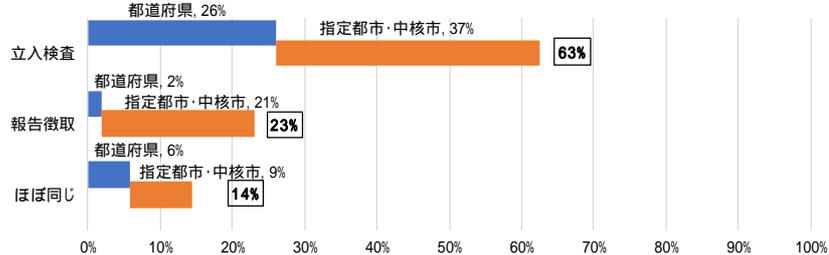


図 3-1-38-2 空気環境の測定 6 項目 (浮遊粉じんの量・一酸化炭素の含有量・二酸化炭素の含有量・温度・相対湿度・気流) に関する質問紙結果

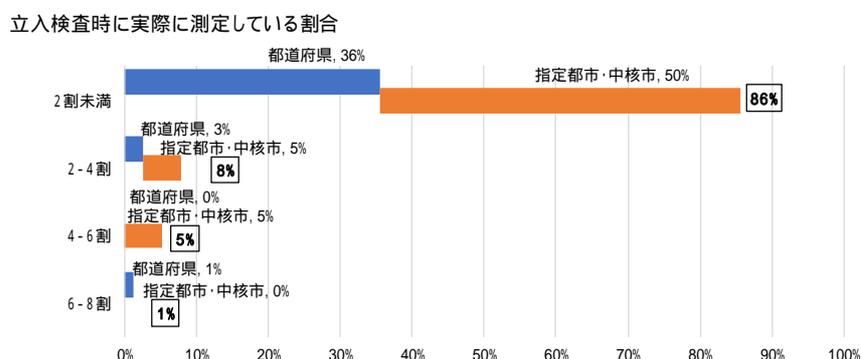


図 3-1-38-3 空気環境の測定 6 項目（浮遊粉じんの量・一酸化炭素の含有量・二酸化炭素の含有量・温度・相対湿度・気流）に関する質問紙結果

一方で、「ない」との回答も約 3 割ある。「相対湿度」や「気温」と答えた担当者は、季節や天候の判断についての記述が多く、「ない」と答えた担当者は、迷う理由が見当たらないとの記述が多い。また、「ない」と答えた担当者は、報告徴取や立入検査時の不適合の判断で「同一物件において、1 回でも基準を満たさなければ不適とする」と答えていることが多い傾向にある。

報告徴取と立入検査で計上している不適合数の割合について、約 6 割が立入検査時と回答している。

(3) 立入検査等に含まれる実施内容

立入検査時に行っている測定について、約 8 割以上が「2 割未満」であり、その中でも、帳簿の確認のみを行っている場合が多く含まれていることが確認できた。

C.4 まとめ

各自治体の報告徴取及び立入検査業務について、その状況を把握するために、建築物衛生の業務に携わる担当者を対象に、質問紙により調査を行った結果から、報告徴取・立入検査ともその様式から得られる情報の程度に差のあること、報告徴取・立入検査後の不適合の判断にも差のあること等が明らかになるとともに、建築物衛生管理の監視手法のあり方の一助となる知見を得た。今後詳細な分析を行う予定である。

D. おわりに

特定建築物における空気環境の不適合率の上昇傾向の機序を明らかにするために、特定

建築物に関する行政報告データを用いた分析を行うとともに、特定建築物の空気環境に関する自治体への質問紙調査を実施し、その結果を分析した。今後、より詳細な分析による不適合率の上昇傾向の機序を解明するための研究が必要であることが確認された。

E. 参考文献

- 1) ビル管理教育センター：新版建築物の環境衛生管理, p.49, 2009
- 2) 厚生労働省 統計情報白書
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/36-19.html>
- 3) 衛生行政報告例
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/NewList.do?tid=000001031469> (2017 年 3 月 7 日現在)

3-2 建築物衛生管理の監視手法のあり方

現状の課題認識と対応の方向性について項目別に記す。

(1) 温度

近年も夏季の28 超過、冬季の冷放射、空間的な温度ムラなどが観察されており、建築及び空調技術の足並みをそろえた改善と、利用者・管理者側のリテラシー向上の両面から啓発努力が必要と考えられる。

個別空調の普及などで在室者からのフィードバックが反映されやすい一方で、空調設備の品質、運用管理の巧拙や過度な省エネルギー設定などに影響を受けやすいことから、全体的な不適率は現在も上昇傾向にある。さらに省エネ施策は歴史的にも影響が顕著なことが明らかで、温暖化対策の一環として平成29年4月から省エネ設計が義務化されるため、健康影響も懸念される。

また、タスクアンビエント空調、パーソナル空調、個別制御可能なエアコンなど、均質・定常を前提としない空調方式の普及が進んでおり、局所的な分布や一時的な変動が快適性及び健康性を損なわないように、それらを的確に評価できる簡易で効果的な測定法の開発と、総合的な指標・評価方式の検討が望まれる。

また、国内の行政監視部局が報告する測定・判定、或いは技術的助言に一定の共通基盤を持たせることも、喫緊の課題と考えられる。

(2) 相対湿度

建築物環境衛生管理基準の中でも最も不適率が高い項目である。全国的な不適率は高止まり状態にあり、冬期の過度の乾燥が懸念される事態が続いている。空調の加湿機能(能力)低下、過剰換気、室内温度差が原因と見られるが、加湿水汚染、省エネ、換気制御方法等と関連することから、管理基準の整備、設計時の指導、管理者の運用改善などが望まれる。また近年、省エネ要求から夏期空調温度が高くなり、除湿不足による夏期の高湿度環境も散見されるようになっている。

当面緊急性が高い対応としては、在室者数に応じた換気量の適正設定に関する注意喚起、加湿

器の設置・運用基準の整備と啓発がある。

(3) 気流

現行基準における不適率は低水準だが、冷風・乾燥風による不満は頻発しており、他の温暖要素の運用を阻害している場合がある。また、タスクアンビエント空調、パーソナル空調など省エネと居所空間での快適性を狙う空調が普及しており、このような空調システムにその仕組み上人体付近の気流速度が高くなる傾向がある。より詳細・総合的な指標の採用検討が望まれる。

(4) 二酸化炭素

換気量の減少と外気濃度の上昇に伴い、不適率は全国的に上昇傾向にある。安直な温暖化対策として換気削減が進行しないよう配慮が必要である。但し、実直な管理を行っている大型ビルでの実態調査では、比較的高度な管理がされていた点には配慮が必要である。外気濃度上昇や省エネのための換気量抑制の面から設計や運用関係者からは基準濃度の引き上げの声も上がっているが、それに伴うリスク変化に関する情報が乏しく、世界的にもリスク見直しが進められており、今後の情勢は流動的である。

(5) 一酸化炭素濃度

不適率は低水準であるが、人体毒性が強く燃焼排気に係るため、リスク管理の観点からも見直しは困難である。

(6) 浮遊粉じん

現行基準における不適率は低水準で当初の役割は終えていると考えられる。一方、将来的には禁煙・分煙措置のマーカーとして機能する可能性がある。

なお、個別空調機器等のフィルタ性能が不十分な場合、外部からの汚染侵入が懸念されるPM2.5や花粉対策に望まれる可能性はある。

(7) ホルムアルデヒド

不適率は高くないが、(シックビルディング症候群対応、TVOCやCS対応などのために)規制対象物質を拡大する場合は見直しを要する。

(8) その他

浮遊微生物、VOCs、エンドトキシン(内毒素)など、実効性と実現性に配慮して活用検討の継続が必要である。なかでも真菌・細菌、エンドトキシンなどの微生物に関しては、新しい知見が蓄積過程にあり、さらなる注視が必要であろう。

また、行政監視体制・運用等に関する現状の課題と対応の報告性を列記する。

監視職員の世代交代と技術継承

環境衛生部局の世代交代、職員数の減少などから技術の継承が難しくなる場合が生じている。

専門性を涵養する機会を得にくい

省エネ、高齢対応、新型空調設備など、対応すべき事項は増えるなか、小規模組織が増えており、情報の共有・獲得が難しくなっている。(研修にはマニュアル、Q&A 志向が強い)
近年の不適率変動と行政監視体制の変化の関連性も示唆されており、注意を要する。

上記の多様な課題に対処するには、建築物衛生法に係る環境衛生管理(監視・指導・啓発・審査・立入り)規定の見直しと行政監視体制の整備、並びに人材開発の推進が望まれる。

平成 28 年度研究に係る「論文」「国際学会発表」等の成果物は未だありません。