

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 26～28 年度 総合研究報告書

研究代表者 大澤 元毅
平成 29 (2017) 年 3 月

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	・・・ 9
1-1 全国特定建築物立ち入り調査	・・・ 9
柳 宇	
1-2 東京都立ち入り調査データ解析	・・・ 13
柳 宇	
1-3 東京都特定建築物の立入検査データによる 冬期室内湿度に関する分析	・・・ 18
林 基哉、開原 典子	
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	・・・ 21
2-1 温湿度・CO ₂ 濃度・総合温冷感（PMV）	・・・ 21
柳 宇	
2-2 生菌・細菌叢（マイクロバイーム）	・・・ 29
柳 宇	
2-3 化学物質	・・・ 34
鍵 直樹	
2-4 室内PM _{2.5}	・・・ 35
鍵 直樹	
2-5 エンドトキシン	・・・ 40
金 勲	
2-6 高層建築物における煙突効果と空気質	・・・ 44
鍵 直樹	
2-7 アンケート結果と環境要素の関係	・・・ 50
東 賢一	
3 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案	・・・ 69
3-1 空気調和設備に関する法整備のあり方に関する検討	・・・ 69
鍵 直樹	
3-2 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	・・・ 76
東 賢一	
3-3 空気環境の不適率上昇傾向に関する分析と調査	・・・ 88
林 基哉・開原 典子	
3-4 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案	・・・ 93
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 26～28 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 26～28 年度 分担研究報告書

厚生労働科学研究費補助金
健康安全・危機管理対策総合研究事業

建築物環境衛生管理に係る行政監視等に関する研究

研究成果の刊行に関する一覧

平成26～28年度

厚生労働科学研究費補助金

健康安全・危機管理対策総合研究事業

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	・・・ 9
1-1 全国特定建築物立ち入り調査	・・・ 9
柳 宇	
1-2 東京都立ち入り調査データ解析	・・・ 13
柳 宇	
1-3 東京都特定建築物の立入検査データによる 冬期室内湿度に関する分析	・・・ 18
林 基哉、開原 典子	
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	・・・ 21
2-1 温湿度・CO ₂ 濃度・総合温冷感（PMV）	・・・ 21
柳 宇	
2-2 生菌・細菌叢（マイクロバイオーム）	・・・ 29
柳 宇	
2-3 化学物質	・・・ 34
鍵 直樹	
2-4 室内PM _{2.5}	・・・ 35
鍵 直樹	
2-5 エンドトキシン	・・・ 40
金 勲	
2-6 高層建築物における煙突効果と空気質	・・・ 44
鍵 直樹	
2-7 アンケート結果と環境要素の関係	・・・ 50
東 賢一	
3 ． 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案	・・・ 69
3-1 空気調和設備に関する法整備のあり方に関する検討	・・・ 69
鍵 直樹	
3-2 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	・・・ 76
東 賢一	
3-3 空気環境の不適率上昇傾向に関する分析と調査	・・・ 88
林 基哉・開原 典子	
3-4 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案	・・・ 93
大澤 元毅	

平成26～28年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
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

近年、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）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。

建築物衛生法は建築物の衛生担保を、実施業者の装備や体制の整備、衛生管理技術者による監督指導、権原者の環境測定・報告、保健所等による行政監視など、重層的な管理により図っている。

しかし、建物の大規模化、用途の複合化、建築設備技術の革新、地球温暖化対策や自然災害にかかわる省エネルギー制約、外部環境の変化など、様々な状況に対応するためには、建築物衛生法における管理体制にも継続的な対応が不可欠である。

本研究は、建築物における環境衛生管理について本課題が実施した、現状の把握及び問題点の抽出、原因の究明、対策の検討などから得られた一連の研究成果に基づき、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。

研究分担者

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

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

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。

（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。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。

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

B. 結果

本研究が参照したサブテーマ(分担研究)と主な知見を以下に示す。

(1) 全国特定建築物立ち入り調査

立ち入り調査報告に基づく都道府県の空気環境の適合率(不適合率)に関する解析より、

- ・二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適合率には、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。

- ・温度の不適合率は、用途を問わず上昇し続けている。

- ・相対湿度は、空気環境6項目中の不適合率が最も高い項目で、全ての用途において不適合率が上昇し続けている。建物全用途の不適合率は、平成8年度に約20～35%であったが、冬季の低湿度による不適合率はさらに高い。

- ・気流の不適合率は1～3%と低い傾向。用途別の差もほとんど見られない。

- ・ホルムアルデヒド濃度の不適合率は、調査を開始したH15年度からH26年度まで全体的に不適合率が6%以内となっていたが、H27年度に百貨店の不適合率がはじめて9.7%に上昇した。

- ・浮遊粉塵濃度の不適合率の平均は、3%程度と低く、用途別の不適合率の差もほとんど見られない。

- ・一酸化炭素の含有率の不適合率は、1%未満と低く、大きな変化が見られず、用途別の差もほとんどない。

- ・二酸化炭素濃度の不適合率は、旅館を除き、上昇し続けている。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年にはる37%に上昇。

(2) 東京都立ち入り調査データ解析

東京都が特定建築物に対して実施した立ち入り検査の平成25年度立ち入り測定での実測値を用いて行った解析より、

- ・制御方式はゾーン制御が最多、全体制御、個別制御がそれに続く。

- ・加湿方式は気化式が過半を占め、蒸気式、水スプレーがそれに続く

- ・全熱交換機は、有りが199件、無しが117件であった。

- ・温度の不適合率は2.2%、相対湿度の不適合率は21%であった。

- ・二酸化炭素の不適合率は13.5%であった。

- ・一酸化炭素と浮遊粉塵不適合率は、いずれも0%であった。

- ・大規模なビルにおいても冬季の低湿度問題が顕著なことを浮き彫りにした。

(3) 東京都立ち入り検査データによる冬季室内湿度に関する分析

東京都特定建築物の平成25年立入検査データについて、冬季の室内温熱環境の形成機構に関する分析と、冬季の相対湿度に着目した適合・不適合建物の室内湿度に関する調査結果について行った検討により、

- ・換気量と関係なく室内湿度の調整が行われている

- ・室内の測定時における在室人数に大きなばらつきがある。

適合建物と不適合建物の絶対湿度中央値には、約3g/kg(DA)の差がある。

- ・適合建物の中央値付近の室内外絶対湿度差は、約5g/kg(DA)であった。

- ・省エネルギーの観点から、二酸化炭素濃度制御(換気量削減)を優先すると、室内空気汚染物質濃度の上昇をもたらす恐れがある。

- ・冬季湿度の不適合率増加の要因解明には、経年変動や地域性を加味した分析が必要。

(4) 建築物における衛生環境の実態と管理項目

東京及び大阪に建つ実際の建物において、年間連続測定と季節別の立入測定とアンケート調査を行った結果と経験より、

- ・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。
- ・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。
- ・冬季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，冬季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。

(5) 温湿度・CO₂濃度・総合温冷感(PMV)

東京及び大阪に建つ実際の建物において，温湿度・CO₂濃度・PMV について行った，連続測定の結果より，

- ・東京では，一カ所を除く対象室内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 室中 10 室の中央値が 28 を超えており，夏季における温度の適正な管理が必要である。
- ・東京での湿度は，秋季・冬季ともに湿度基準 40%を下回る室が多く，低湿度問題が確認された。夏季は，個別空調方式のビルの室内相対湿度の 75%タイル値が管理基準上限の 70%を上回ったが，他は概ね良好であった。
- ・大阪での湿度は，秋季の 25%タイル値が 40%を下回る室が半数を越え，冬季の中央値が 40%を上回ったのは 16 室中 2 室のみであった。さらに，中央値 30%以下も 11 室あった。夏季の最大値は 70%を上回ったが，75%タイル値は管理基準値を満足した。
- ・冬季における湿度状況を見ると，温湿度の設計条件は概ね 22 ，45%に対し，実態絶対湿度は低く，加湿不十分であった。
- ・東京と大阪の秋季・冬季・夏季の二酸化炭素濃度(CO₂)は，季節を問わず，最大値は管理基準の 1000ppm を超えるが，中央値は全

て 1000ppm を大きく下回った。

- ・「1 日の平均値が管理基準値を満足すればよい」という条件で判定する実測調査では全てで管理基準値を満足した。
- ・中央方式空調を有するあるビルにおける，CO₂濃度と温度の測定結果より推定した，中央方式ビルにおける定常換気時の換気量は概ね設計外気量と同程度であった。
- ・個別方式空調を有する執務室においては，外気導入が空調機を介していないため，室内の温度変動に寄与している。なお，実測した入室者密度は一般の設計値の約半分程度であった。
- ・PMV (平均予測申告値，国際的温熱快適性指標)は，日によって異なるが，秋季の 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。なお，執務時間帯における冬季の PMV 値-0.5~+0.5 に対し，夏季は，+1~+1.5 とやや暑い側にあった。

(6) 生菌・細菌叢(マイクロバイーム)

- ・冬季の浮遊細菌濃度は，全てが日本建築学会の管理規準を満足する結果したが，加湿器近傍で他測定点の 2 倍以上の高い値を示し，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。
- ・冬季の浮遊細菌濃度の I/O 比を空調方式別にみると，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 以上となり，個別方式では，外気導入量が比較的多いことが I/O 比の上昇に寄与したものと考えられる。
- ・夏季の浮遊細菌濃度は全て管理規準値を満足したが，一部のビルで浮遊細菌濃度がおよそ 350cfu/m³ と他の測定箇所と比較して高い結果となった。
- ・冬季の浮遊細菌濃度の I/O 比を見ると，23 箇所中 I/O 比が 1 以上になったビルが 15 箇所，最高値は個別空調方式ビルにおける 14 であった。
- ・空調方式別に見ると，I/O 比が 1 以上は中央方式で 15 箇所中 9 箇所(60%)，個別方式で 8 箇所中 6 箇所(75%)であった。

・冬季の浮遊真菌濃度は、東京と大阪の各1カ所を除いた全ての室内と給気が日本建築学会管理規準を満足した。しかし、東京のビルの室内 *Aspergillus* sp. の濃度 562cfu/m³、I/O 比 10 以上が検出されており、更なる調査が必要である。

・夏季の浮遊真菌濃度は4カ所で 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。

・検出された細菌の主な特徴は下記の通り。なお、2015年秋季では *Lactobacillus* spp. が、2016年冬季・夏季では *Staphylococcus* spp. が、それぞれ最も高い割合で検出された。

・検出された属の主な属性の分布は、
生育特性
嫌気性 15、通性嫌気性 13、好気性 48、他
発生源
土壌菌 45、水生菌 42、ヒト由来 31、他
病原性
病原菌 30、日和見感染菌 22、不明 45、他
形状
桿菌 53、短桿菌 9、球菌 18、他
解析された細菌の中には、ヒトに病原性を有する種も検出された。

・病原性を有する種として検出されたのは、全て夏季のサンプルで、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。

(7) 化学物質

・各測定点における各化学物質の最小、平均、最大値を見ても、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ビルはなく、低い値となっていた。

(8) 室内 PM_{2.5}

・冬季の3件を除くオフィスの PM_{2.5} 濃度は 0.002~0.03 mg/m³ 程度と、大気環境基準値の「1日平均値 35 µg/m³ 以下」を下回った。上回った原因は、卓上の超音波式の加湿器と考えられる。

・これらの建物を除いた I/O 比を見ると、大

気環境基準の「年平均値 15 µg/m³」を超過する建物があった。

・I/O 比は 0.1 から 1 を超過する値となった。

・1 以上は、居住者数が多く室内発生量が多いこと、個別空調建物の全熱交換換気扇のエアフィルタの透過率が大きいことなどが考えられる。

・I/O 比の低い4カ所は中央方式であった。

・室内 PM_{2.5} 濃度については、外気からの侵入、外調機(フィルタ)の特性によると考えられる。

・粒径別個数濃度を見ると、粒径 0.3 µm 前後が最大透過粒径となるフィルタを持つ個別方式に外気からの侵入が多い。

・室内における粉じんは、主ピークが PM_{2.5} を占めていることから、その除去が室内 PM_{2.5} の制御には重要となってくる。

・粒径 2 µm 以上の方が高い値となったオフィスでは、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。

・建築物内で計数値に関する検討が、従来の粉じん計と同様に進めば、室内における PM_{2.5} の測定は可能と考えられる。

(9) エンドトキシン

・オフィスにおける室内エンドトキシン(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運用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、特に冬季実測で室内濃度が 1.0 EU/m³ を大きく超える施設が1件(測定点2点)あった。夏季結果は低濃度であったことから冬季に限った汚染源が存在すると考えられる。

・汲み置かれた加湿水に、水道水より高い ET 濃度が確認されており、水の管理に気を配る必要が指摘された。

・ET はこのような菌種の同定はできず、定量

値として表すしかない限界はあるが、真正細菌の殆どをグラム陰性菌が占めることから、ET 高い濃度は細菌汚染度合いの高さを示唆できる。

- ・現段階における本試験法には、菌種の同定ができない、菌種によるET発生量の違いが明確でない、培養法と比較したデータがないため既存のcfu値との相関が示されていない、ET濃度と人体影響の相関が明確でない、などが限界として挙げられる。
- ・課題は残されているが、環境中細菌汚染の分かりやすい試験法や指標が望まれており、ET濃度は現場測定や分析の利便性・精度などの面から室内環境における空气中細菌汚染の指標として十分活用の可能性が期待される。

(10) 高層建築物における煙突効果と空気質

・上層階での汚染濃度増加の傾向が確認され、下層階からの汚染空気の上層階への移流が、上層階での汚染濃度の増加が示唆された。

(11) アンケート結果と環境要素の関係

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により、

- ・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。
- ・冬季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、冬季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。

(12) 空気調和設備に関する法整備の在り方に関する検討

- 自由記載の中からの意見として、
- ・湿度の意識を高めること、結露や加湿のポイントなどを周知することが必要である。
 - ・用途毎の基準値の設定、構造的に加湿器の設置を義務化すること、設計段階の標準条件の見直しなどがあり、これらには、
 - ・測定時の設置及び運用に関する適切なマニュアル整備・普及などの対応が効果的である

と考えられる。

・建築物衛生法、建築基準法、労働安全衛生法事務所衛生基準規則を比較検討した結果、建築基準法に、個別空調方式の記載がないこと、湿度を調整するための加湿器の記載、浄化のためのエアフィルタの設置など曖昧な部分を指摘した。

事務所衛生基準規則は、空気の基準として供給空気を対象としており、建築基準法及び建築物衛生法に規定している室空気とは異なること

などを指摘した。

・これらを統一して整理を進め、可能ならば設備の設置にまで踏み込むことができれば、基準値の不適合率の改善に効果が期待できる。

(13) 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

以下の項目について基準値設定の根拠と海外基準の状況について調査結果を示した。

- ・温湿度の基準値設定の根拠
- ・相対湿度の基準値設定の根拠
- ・二酸化炭素の基準値設定の根拠
- ・温湿度に関する諸外国の基準
- ・相対湿度による健康等への影響に関する近年のエビデンス
- ・二酸化炭素による健康等への影響に関する近年のエビデンス

(14) 空気環境の不適率上昇傾向に関する分析と調査

・行政報告に示された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。

・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。

・以上より、自治体の報告徴取及び立入検査への取り組み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。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。

・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により、報告徴取に定型様式を持つ者は4割以下と、報告徴取・立入検査の手順や求める情報に差があり、次の段階で行われる適合/不適合の判断基準が必ずしも統一されておらず、恣意が入ったりバラつきを生じさせるおそれがあること等が明らかになった。

C. まとめ

現状の課題認識と対応の方向性を、環境要素別に列記する。

温度

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。

近年も夏季の28 超過、冬季の冷放射、空間的な温度差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。

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。

相対湿度

全国的な不適率は高止まり状態にあり、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。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。

気流

現行基準における不適合率は低水準だが、冷風・乾燥風による不満は頻発しており、他の温熱要素の運用を阻害している場合がある、より詳細・総合的な指標の採用検討が望まれる。

二酸化炭素

換気量の減少と外気濃度の上昇に伴い、不適合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。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。管理基準については世界的にリスク見直しが進められており、今後の情勢は流動的。

一酸化炭素濃度

不適合率は低水準である上、燃焼廃気に係るため、リスク管理の観点からも見直しは困難。

浮遊粉じん

現行基準における不適合率は低水準で当初の役割は終えている。将来的には禁煙・分煙措置のマーカース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（測定法に工夫が必要だが）望まれる可能性はある。

ホルムアルデヒド

不適合率は低水準であるが（アレルギー対応、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。

その他

浮遊微生物、VOC、エンドトキシンなど、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。なかでも微生物とエンドトキシンに関しては、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）

近年の不適合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 26～28 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

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
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

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、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、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。

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。

全国的に不適率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。

東京都の平成 25 年度と平成 26 年度の立ち入り測定結果を解析した。東京都の場合、前述した全国の不適率より低く、平成 26 年度の二酸化炭素濃度、温度、相対湿度の不適率はそれぞれ 10%（全国：25%）、0.8%（全国：32%）、12.7%（全国：56%）であった。特定建築物の室内環境に関する基準の中で不適合率が最も高い相対湿度について、人体からの水蒸気発生量、加湿装置の加湿量に関する分析を行った結果、換気量と関係なく室内温湿度の調整を行っている実態が示されるとともに、室内の測定時における在室人数に大きなばらつきがあることが示された。

省エネルギーの観点から、室内二酸化炭素濃度が基準値の 1000ppm となる人数を人体からの水蒸気発生量を推定した上で算出すると、不適合の建物でも相対湿度 40%を満たす程度を超える可能性もある。しかし、換気量削減は、室内空気汚染物質濃度の上昇をもたらすため、その影響に関する確認が必要である。

研究協力者

大澤元毅 国立保健医療科学院
鍵 直樹 東京工業大学
金 勲 国立保健医療科学院
東 賢一 近畿大学
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

1-1 全国特定建築物立ち入り調査

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1-1-1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1-1-2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1-1-3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1-1-4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1-1-5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%の低減が見

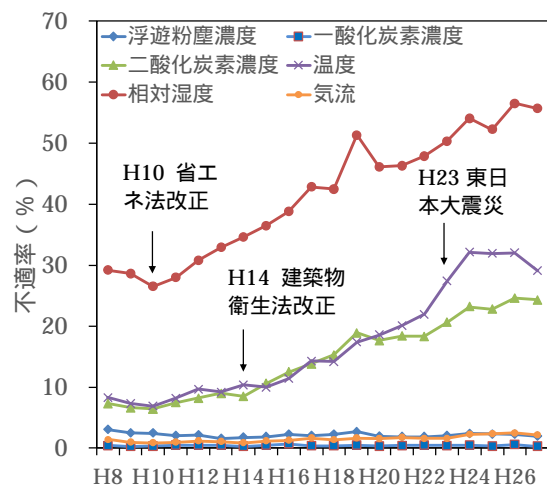


図1-1-1 空気環境6項目不適率の経年変化

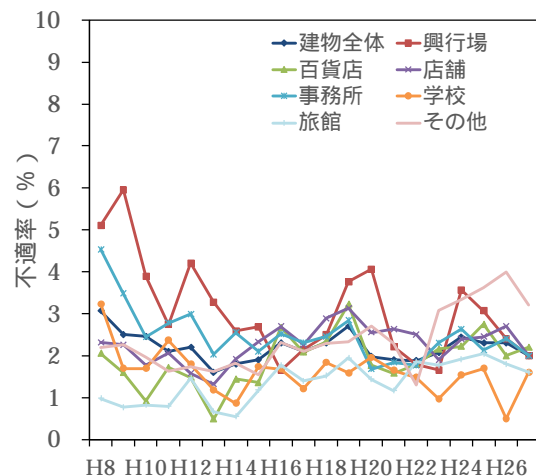


図1-1-2 用途別浮遊粉塵の不適率

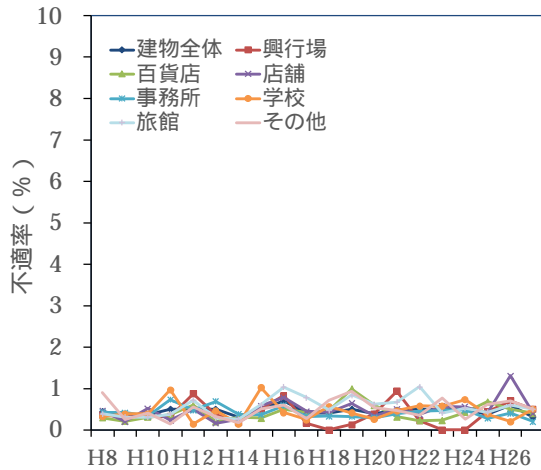


図 1-1-3 用途別一酸化炭素濃度の不適率

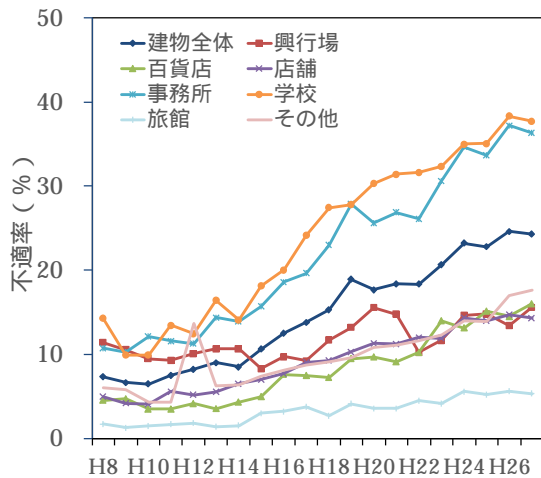


図 1-1-4 用途別二酸化炭素濃度の不適率

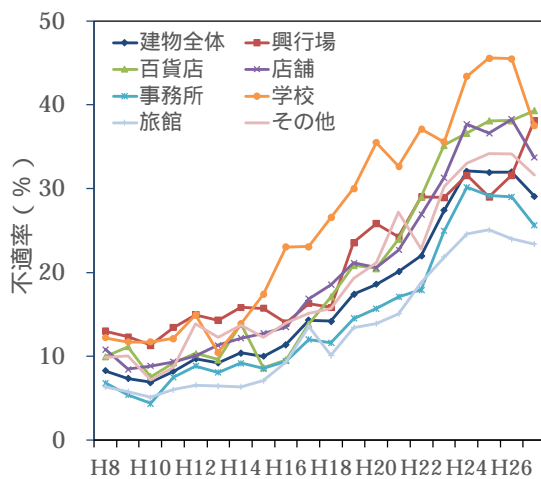


図 1-1-5 用途別温度の不適率

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 1-1-6 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もっと高くなっていると考えられる。

図 1-1-7 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 1-1-8 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

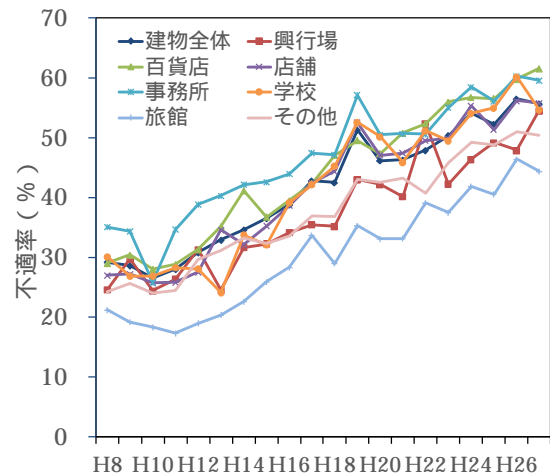


図 1-1-6 用途別相対湿度の不適率

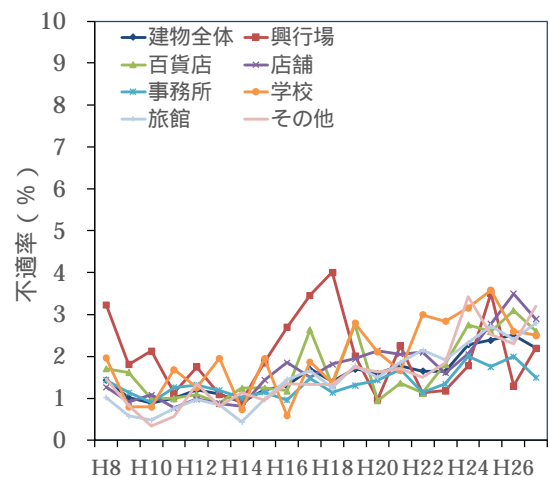


図 1-1-7 用途別気流速度の不適率

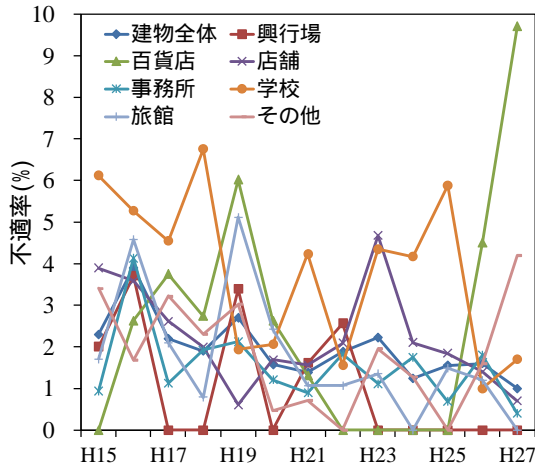


図 1-1-8 用途別ホルムアルデヒドの不適率

年度では、百貨店の不適率は9.7%に上昇した。

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、この3項目について、本研究の初年度と最終年度における都道府県別の不適率変化の比較を行った。

図 1-1-9 に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。

- 1 位：宮城県
- 2 位：神奈川県
- 3 位：愛知県

図 1-1-10 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 1-1-11 に平成27年度の都道府県別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、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思われる。

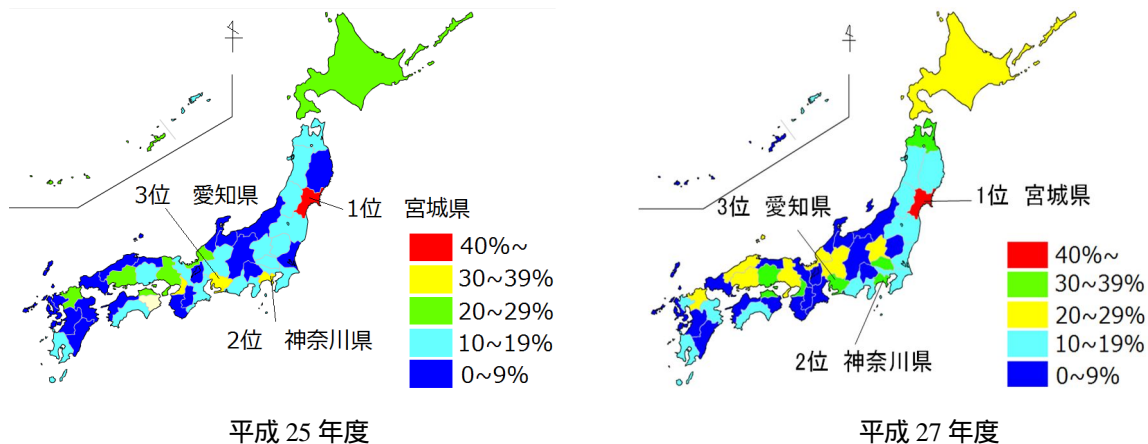


図 1-1-9 地域別二酸化炭素濃度の不適率

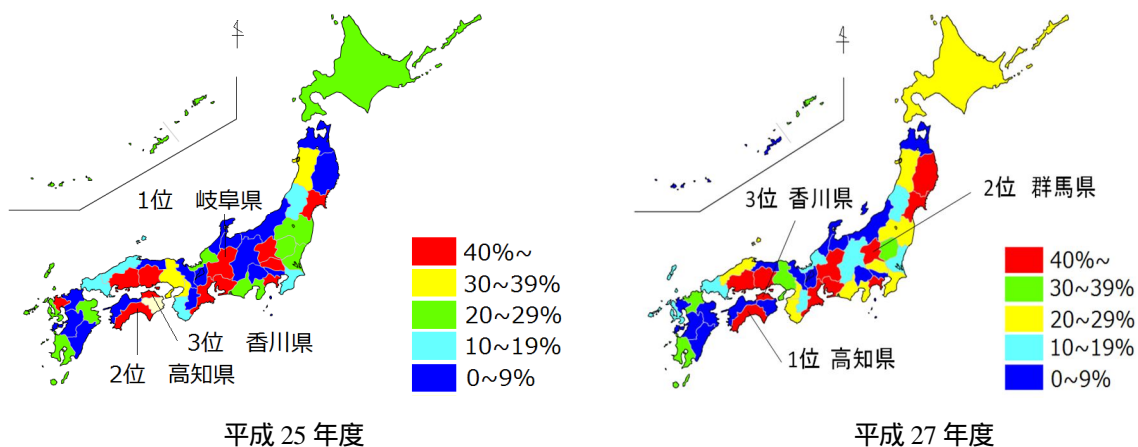


図 1-1-10 地域別温度の不適率

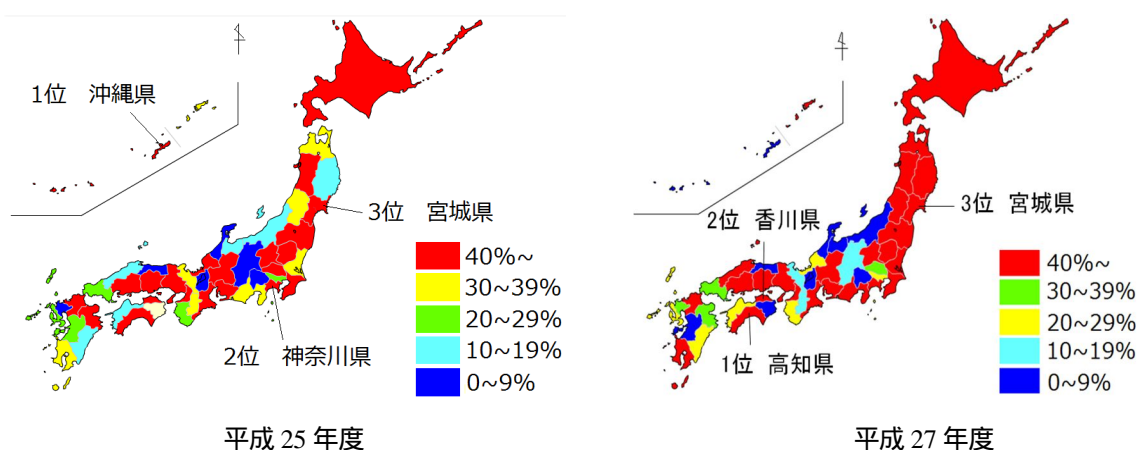


図 1-1-11 地域別相対湿度の不適率

1-2 東京都立ち入り調査データ解析

A. 検査対象

東京都では建築物衛生法第 11 条第 1 項及び第 13 条第 2 項に基づき、特定区内の延べ床面積 10,000m² を超える特定建築物に対してはビル衛生検査班が、多摩地区内の特定建築物については各保健所環境衛生係が立ち入り検査を実施している。ここでは、東京都の平成 25 年度立ち入り測定を行った実測値を用いて解析を行った。

B. 調査結果

B.1 測定対象の特性

図 1-2-1 に測定対象ビルの延べ床面積の分布を示す。85%の対象ビルが 10,000m² 以上、累積分布の中央値は約 17,000m² 以上であり、大規模なビルが殆どであった。

図 1-2-2 は調査対象の用途別の割合、図 1-2-3 は調査対象の制御方式別の割合、図 1-2-4 は調査対象の加湿方式別の割合を示す。

東京都における測定対象は 316 件あり、用途別

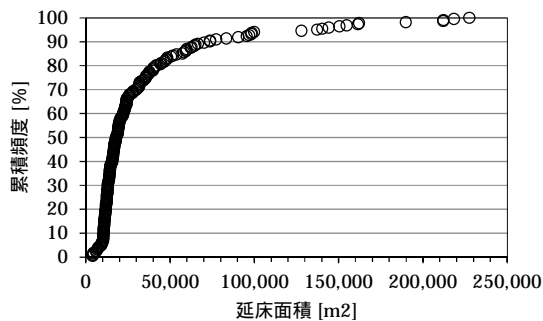


図 1-2-1 測定対象ビルの延べ床面積

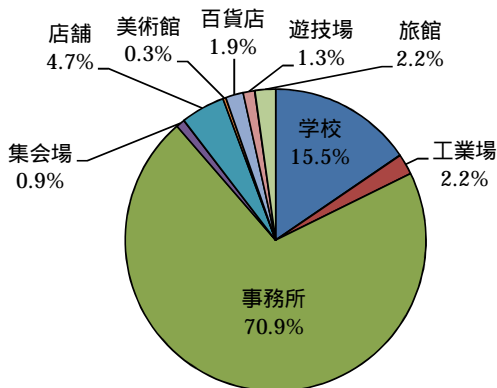


図 1-2-2 用途別の割合

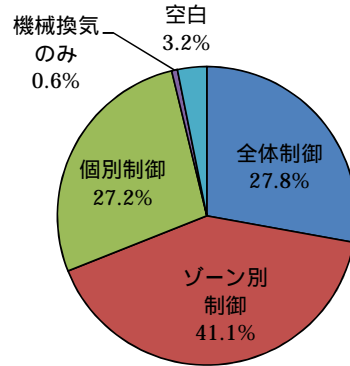


図 1-2-3 制御方式別の割合

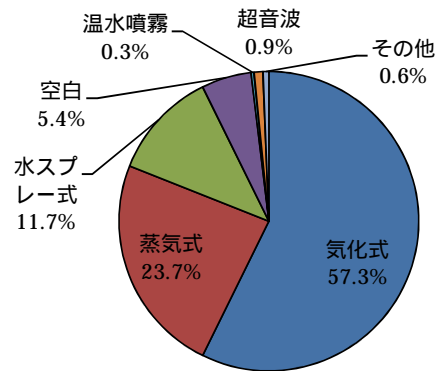


図 1-2-4 加湿方式別の割合

は学校が 49 件、工業場が 7 件、事務所が 224 件、集会場が 3 件、図書が 0 件、店舗 15 件、美術館が 1 件、百貨店が 6 件、遊技場が 4 件、旅館が 7 件であった。

制御方式別は全体制御が 88 件、ゾーン制御が 130 件、個別制御が 86 件、機械換気のみが 2 件、未回答が 10 件であった。測定対象ビルにゾーン別制御方式が多く用いられている。

加湿方式別は気化式が 181 件、蒸気式が 75 件、水スプレーが 37 件、空白が 17 件、温水噴霧が 1 件、超音波が 3 件、その他が 2 件であった。東京都において加湿方式で多く使われているのは気化式であった。

また、全熱交換機の有無については、有りが 199 件、無しが 117 件であった（図省略）。

B.2 温度・相対湿度

図 1-2-5 に温度の累積頻度分布を示す。図中の赤い線は建築物衛生法の管理基準値の 17 ~ 28 の範囲を示している。東京都の温度調査

1078 件の測定のうち管理基準値を満たさなかったのは 24 件であった。今回の東京都調査は温度の不適率が 2.2%であった。

図 1-2-6 に相対湿度の累積頻度を示す。相対湿度について赤い線は建築物衛生法の管理基準値の 40%～70%の範囲を示している。東京都の相対湿度調査 1063 件の測定のうち管理基準値を満たさなかったのは 228 件であった。今回の東京都調査は相対湿度の不適率が 21%という結果になり、大規模なビルにおいても冬期の低湿度問題が浮き彫りとなった。

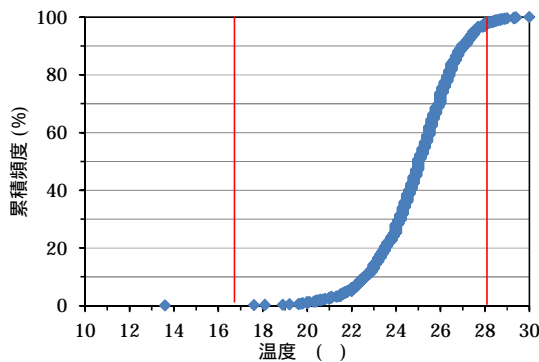


図 1-2-5 温度の累積頻度分布

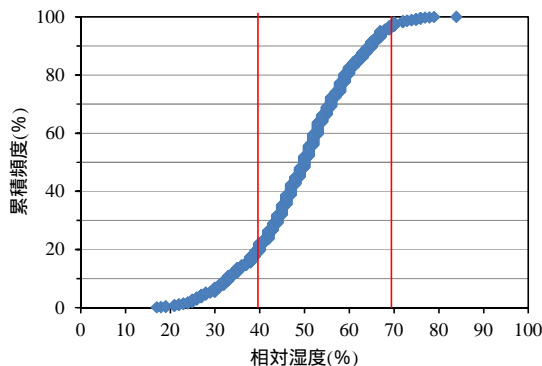


図 1-2-6 相対湿度の累積頻度分布

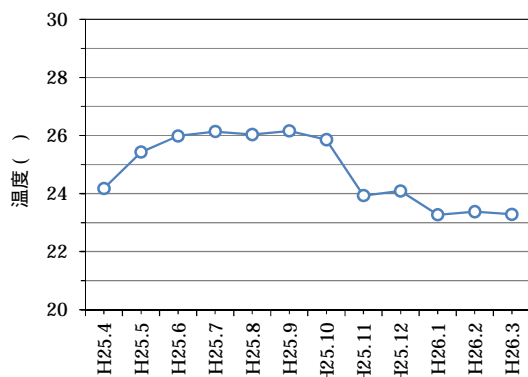


図 1-2-7 月別温度の平均値

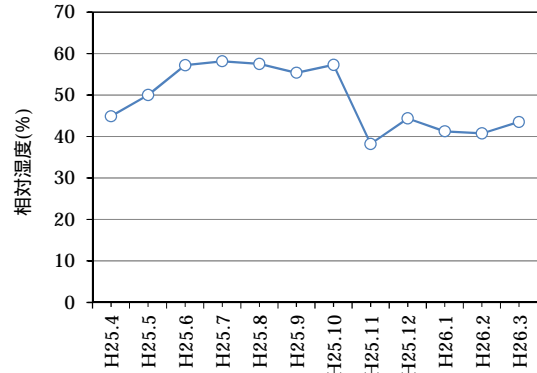


図 1-2-8 月別相対湿度の平均値

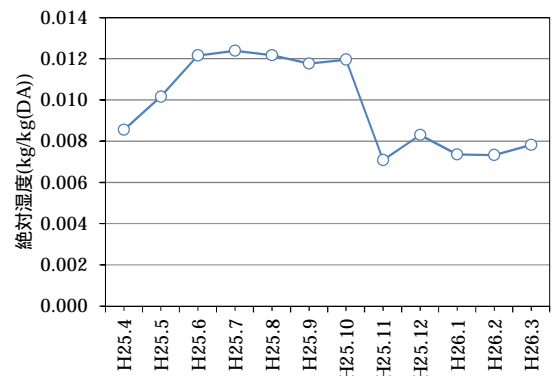
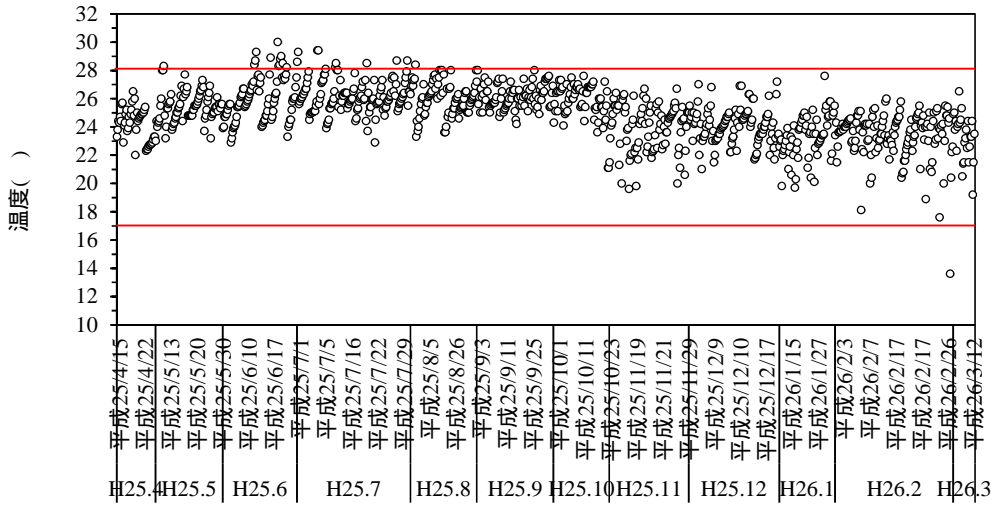


図 1-2-9 月別絶対湿度の平均値

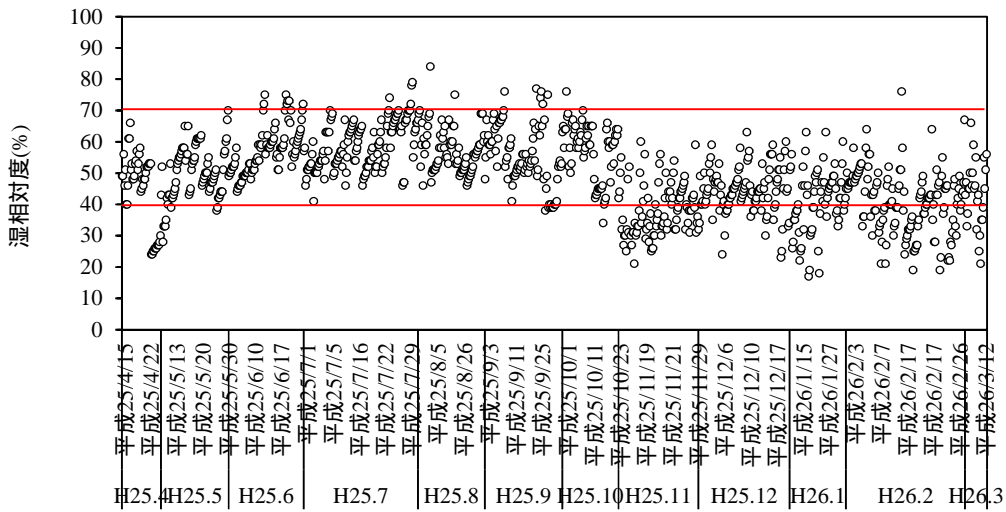
図 1-2-7～図 1-2-9 に温度、相対湿度、絶対湿度（温度と相対湿度から算出）の月別平均値、図 1-2-10 に温度、相対湿度、絶対湿度の測定値を示す。温度については、6～9月までの間に 28 を超えるケースが若干見られたが、相対湿度については、6～10月に 70%を超え、11～3月に 40%を下回るケースが多くみられた。6～10の平均温度は 26.0、11～5月の平均温度は 23.7 であったため、26 の条件で 70%（夏期）を下回するために、絶対湿度を 0.015kg/kg(DA)以下に減湿、また、24 の条件で 40%を上回るために、絶対湿度を 0.007kg/kg(DA)以上に加湿する必要があるが、現状では、夏期の減湿と冬期の加湿が不十分であることが明らかになった（図 1-2-10(C)）。

B.3 二酸化炭素・一酸化炭素濃度

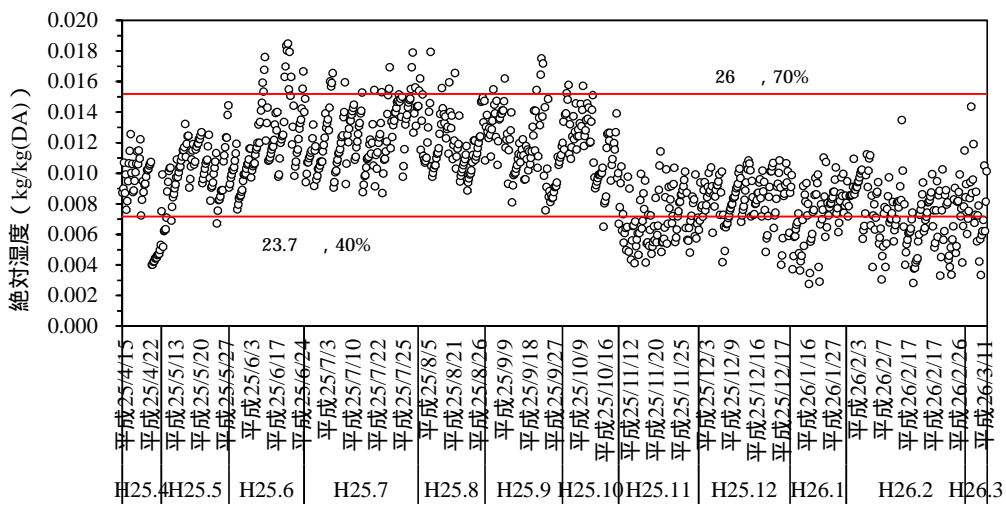
図 1-2-11 に二酸化炭素濃度の累積頻度分布を示す。二酸化炭素の累積頻度について赤い線は建築物衛生法の管理基準値の 1000ppm を示している。東京都の二酸化炭素調査 1071 件の測定のうち管理基準を満たさなかったのは 145 件であり、



(a) 温度



(b) 相对湿度



(c) 絶対湿度

図 1-2-10 温度・相对湿度・絶対湿度の測定値

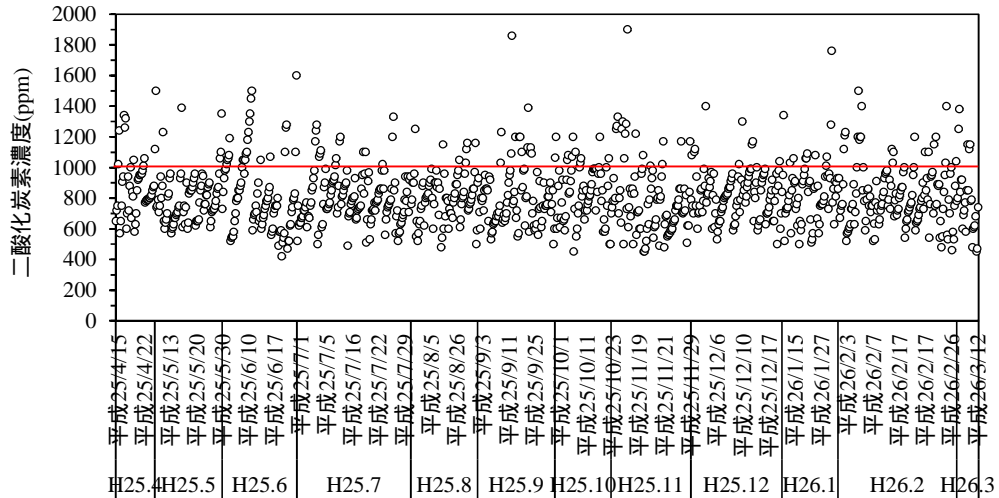


図 1-2-11 二酸化炭素濃度の測定値

不適率が 13.5%であった。

図 1-2-12 は二酸化炭素の月別データを示す。二酸化炭素濃度は管理基準値の 1000ppm を季節に関係しないこと分かった。

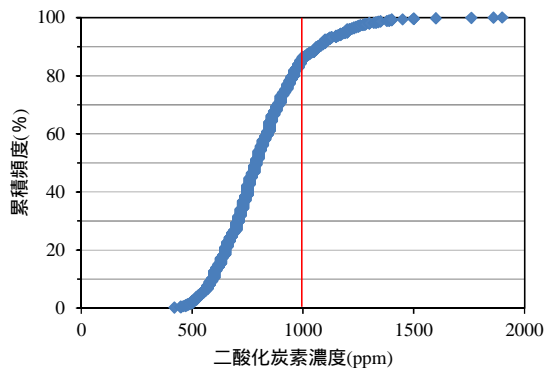


図 1-2-12 二酸化炭素濃度の累積頻度分布

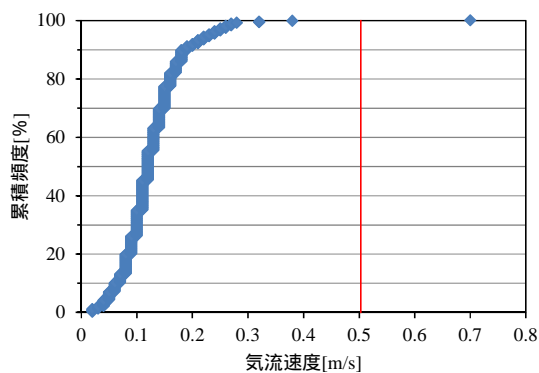


図 1-2-13 気流速度の累積頻度分布

B.4 気流速度・浮遊粉塵

図 1-2-13 に気流速度の累積頻度を示す。気流速度の累積頻度について、赤い線は建築物衛生法の管理基準の 0.5m/s を示している。東京都の気流速度調査 458 件の測定のうち管理基準を満たさなかったのは 1 件であり、不適率は 0.2%であった。

一酸化炭素と浮遊粉塵については、いずれも不適率が 0%であった。

1-3 東京都特定建築物の立ち入り検査データによる冬期室内湿度に関する分析

A. 研究目的

特定建築の立ち入り検査では、温度、湿度、二酸化炭素濃度、一酸化炭素濃度、粉じん濃度が測定されている。特定建築物の基準不適合率は近年増加傾向にある。不適合率は、二酸化炭素濃度約20%、温度約30%に達し、相対湿度では約50%に達している。相対湿度は冬期に低くなり不適となる傾向が強く、感染症等の健康影響が懸念される。

省エネルギーのための換気量削減が、室内空気汚染物質の濃度を高め、いわゆるシックビルの危険性を高めることが知られている。二酸化炭素濃度の上昇は、省エネルギーのための換気量削減の頭れである可能性がある。一方、換気量が減少すると室内絶対湿度が上昇し相対湿度も上昇すると考えられるが、冬期の相対湿度の上昇は見られ

ない。このことから、加湿量が減少していると推察される。省エネルギーの方法として加湿量削減が図られている可能性も指摘される。室内湿度の生成機構から以上のような推察ができるが、特定建築物の立ち入り検査では、換気量及び加湿量が得られていないために、上記の推察の妥当性を直接確認することはできない。そこで、本研究では特定建築物の冬期湿度の不適合率増加の要因解明に資することを目的とし、東京都の冬期の立ち入り検査による測定データを用いて、冬期の室内湿度に関する分析を行う。

B. 調査方法

B.1 調査対象の概要

分析対象は、東京都の平成25年度の立ち入り検査データであり、外気温15度以下の場合を用いた結果、対象の検査日は11月～3月となり全体で93件となった。対象用途は7種類であり、

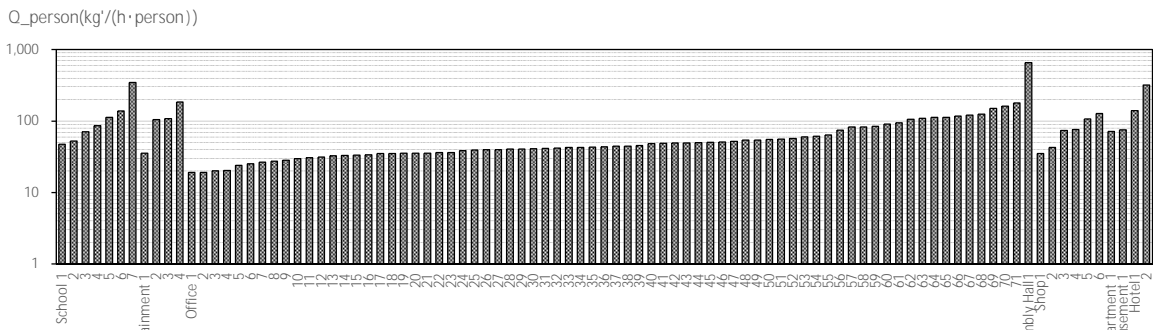


図 1-3-1 分析対象の一人あたりの換気量： Q_{person} (kg/(h・person))

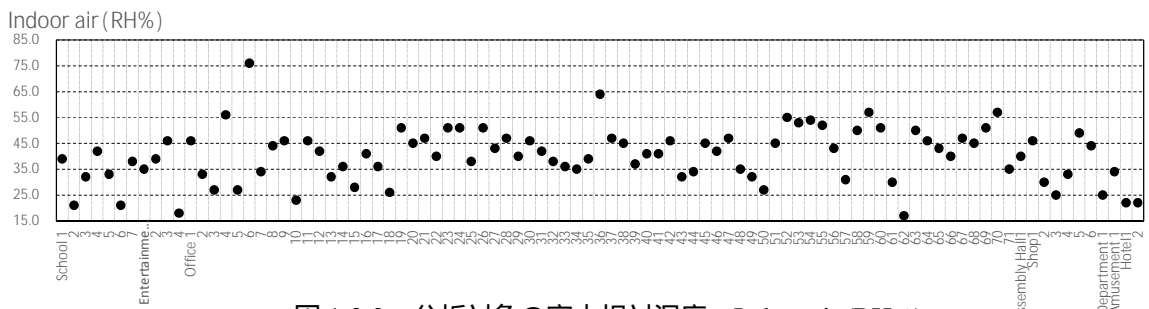


図 1-3-2 分析対象の室内相対湿度：Indoor air (RH%)

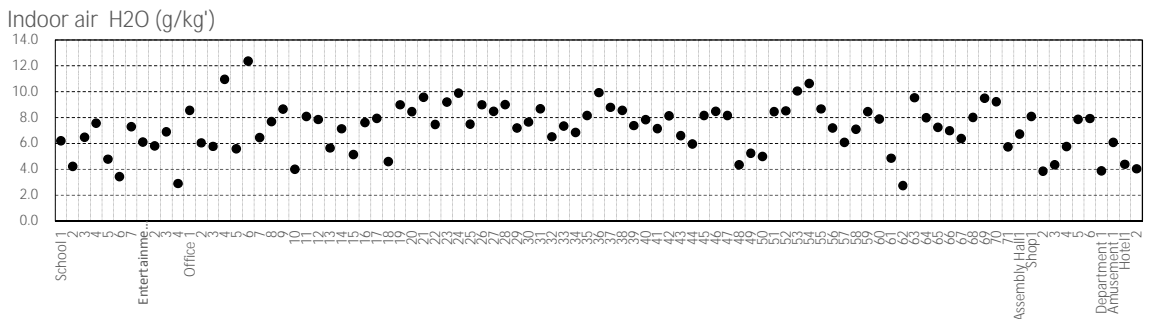


図 1-3-3 分析対象の室内絶対湿度：Indoor air (g/kg)

事務所が 71% と多い。空調制御方式は、ゾーン制御、全体制御、個別制御があり、ゾーン制御が 40% とやや多い。加湿装置は、気化式、蒸気式、水スプレー式があり、気化式が 59% と多い。換気の熱回収は、なし、個別、全体があり、全体がやや多い。

B.3 分析方法の概要

二酸化炭素発生量と室内外二酸化炭素の濃度差を用いて、1 人あたりの換気量を算出した。室内の主な水蒸気発生源は、人体および加湿器であると考えられる。人体の水蒸気発生量は、測定した二酸化炭素濃度・温度、利用者の状況を踏まえて算出した。さらに、室内の水蒸気の収支式により、人体以外からの水蒸気発生量、すなわち 1 人あたりの加湿量を算出し、目標とする相対湿度に対する不足の加湿量を求めた。なお、1 人あたりの加湿量は、1 人あたりの空間容積を想定して算出した。

C. 結果

C.1 室内温熱環境の形成機構

室内環境の測定結果の概要を見るために、一人あたりの換気量： Q_{person} を求めて、図 1-3-1 に示すように用途毎に序列化した。同図に示すように、一人あたりの換気量： Q_{person} は、19 ~ 661 (kg/(h・person)) と大きな開きがある。これは、測定時の在室人数が大きく異なるデータで構成されていることを示している。また、用途によらずに、この開きが存在することが伺える。

図 1-3-2、図 1-3-3 に、室内湿度（相対湿度、絶対湿度）を示す。両図について、図 1-3-1 に示す一人あたりの換気量： Q_{person} に対応した形状は見られない。また、室内温度についても、図には示さないが同様に一人あたりの換気量： Q_{person} に対応した形状は見られない。

このように、換気量と室内温度および湿度の調査結果から、換気量と関係なく室内温湿度の調整を行っている実態がわかるとともに、室内の測定時における在室人数に大きなばらつきがあることがわかる。

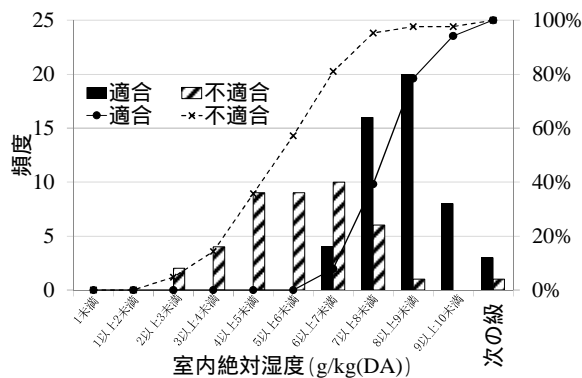


図 1-3-4 相対湿度基準の適合・不適合建物と室内絶対湿度の関係

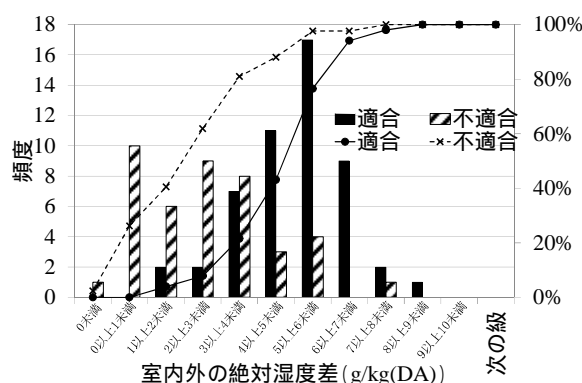


図 1-3-5 相対湿度基準の適合・不適合建物と室内外の絶対湿度差（室内絶対湿度と外気絶対湿度との差）

C.2 相対湿度の基準に対する適合・不適合建物と室内湿度との関係

ここでは、相対湿度基準に対する適合・不適合建物（件数）と室内湿度との関係を検討する。

図 1-3-4 に相対湿度基準に対する適合・不適合建物と室内絶対湿度との関係を示す。適合建物と不適合建物の中央値付近の絶対湿度を比較すると、約 3 g/kg(DA) の差がみられた。

図 1-3-5 に相対湿度基準の適合・不適合建物と室内外の絶対湿度差を示す。今回の分析範囲において、適合建物の中央値付近の室内外絶対湿度差は、約 5 g/kg(DA) であった。基準を満たしていない場合は、室内外の絶対湿度差が約 1 g/kg(DA) という非常に低い建物も意外と多く、分析対象の全ての建物で加湿装置の設置を確認しているものの、加湿装置の運転を行っていない可能性や加湿装置の加湿能力不足も考えられる。

D. まとめ

特定建築物の室内環境に関する基準の中で不適合率が最も高い相対湿度について、冬期に注目して人体からの水蒸気発生量、加湿装置の加湿量に関する分析を、東京都特定建築物の平成 25 年立ち入り検査データを用いた結果、換気量と室内温度および湿度の分析を進めたところ、換気量と関係なく室内温湿度の調整を行っている実態が示されるとともに、室内の測定時における在室人数に大きなばらつきがあることが示された。また、相対湿度の基準に対する適合・不適合建物と室内温湿度との関係についての分析においては、適合建物と不適合建物の中央値付近の絶対湿度を比較すると、約 3 g/kg(DA)の差がみられるとともに、適合建物の中央値付近の室内外絶対湿度差は、約 5 g/kg(DA)であることが示された。

省エネルギーの観点から、室内二酸化炭素濃度が基準値の 1000ppm となる人数を人体からの水蒸気発生量を推定した上で算出すると、不適合の建物でも相対湿度 40%を満たす程度を超える可能性もある。しかし、換気量削減は、室内空気汚染物質濃度の上昇をもたらすため、その影響に関する確認が必要である。今後、特定建築物の冬期湿度の不適合率増加の要因解明に向けて、他の年度、他の地域における状況を分析する必要があると考えられる。

E. 参考文献

- 1) 金勲，林基哉，阪東美智子，開原典子，大澤元毅，高齡者施設における冬期の温度，湿度，CO₂濃度の実測調査及び湿度管理に関する分析 室内環境 2015 年 12 月 第 18 卷 第 2 号：2015.12 . p.77-87.
- 2) 建築学会編“建築設計資料集成 2”丸善（1960）
- 3) 鉾井修一,池田哲郎,新田勝通 建築環境工学 -熱・湿気・換気-朝倉書店
- 4) 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

平成26～28年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

2. 健康危機に対応した環境衛生の実態と管理項目の検討

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

研究要旨

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

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

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

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

研究協力者

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

2.健康危機に対応した環境衛生の実態と管理項目の検討

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

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

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

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

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

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

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

2-1 温湿度・CO2濃度・PMV

A. 調査対象ビルの概要

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

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

表 2-1-1 調査対象ビルの概要

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

B. 測定項目と測定方法

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

C. 結果

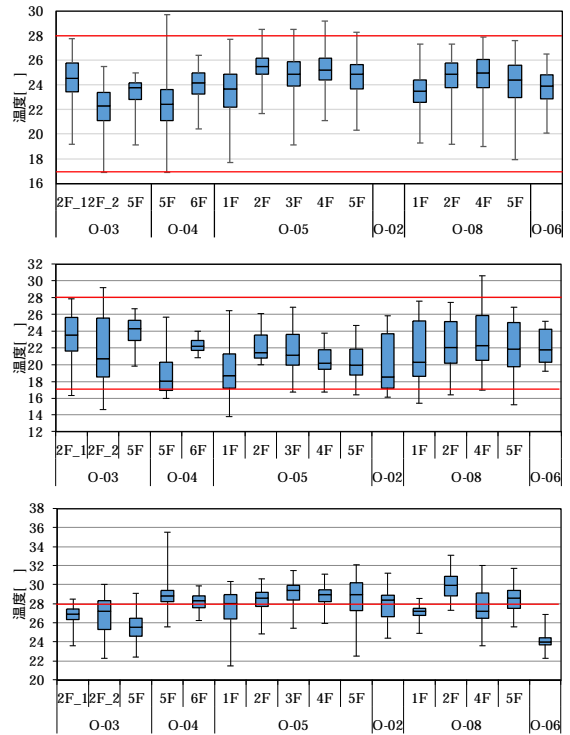
C.1 温度

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

後に示す四等分値は同様である)

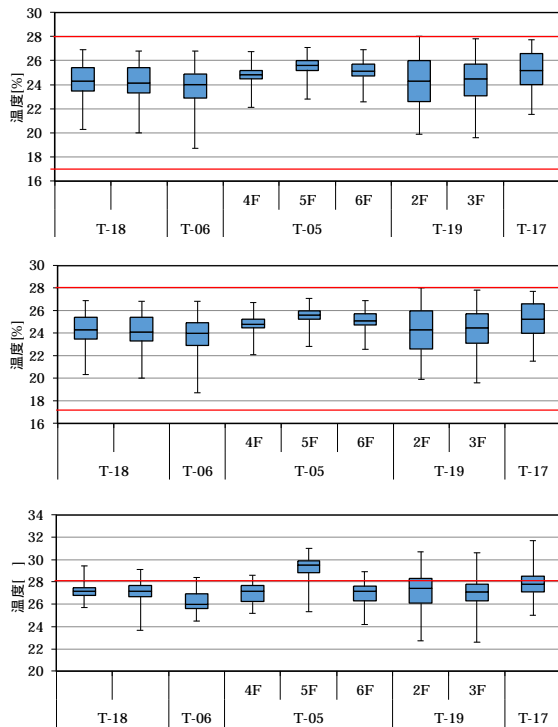
東京では、夏季の T-05 の温度の殆どは管理基準値の 28 を上回っていた。同ビルのほかのフロアの温度が適正に管理されていることを勘案すれば、測定センサーの近傍に発熱機器があり、その影響を受ける可能性があると思われる。一方、他の全ての対象室内の温度は管理基準値の 17~28 の範囲に制御されていた。

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



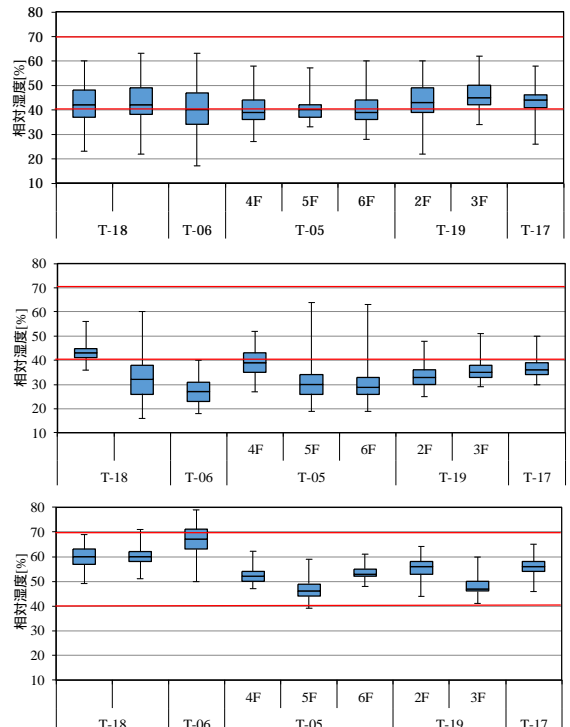
上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-2 季節別の室内温度の分布（大阪）



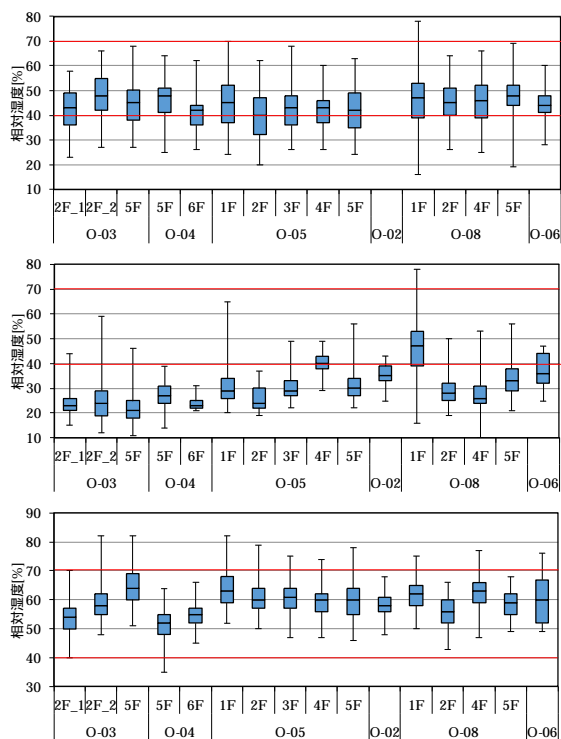
上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-1 季節別の室内温度の分布（東京）



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-3 季節別の室内相対湿度の分布（東京）



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

C.2 相対湿度・絶対湿度

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

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

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

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

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

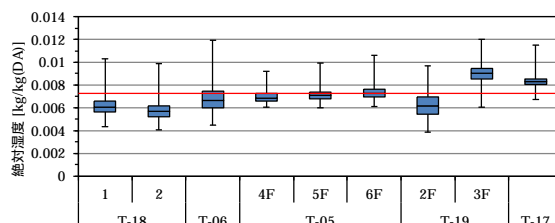


図 2-1-5 季節別の室内絶対湿度分布（東京）

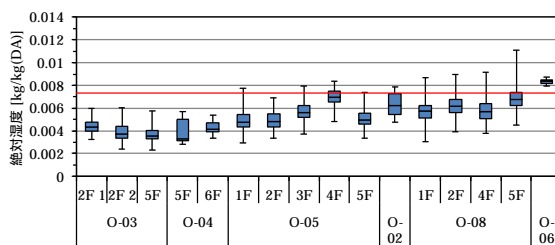
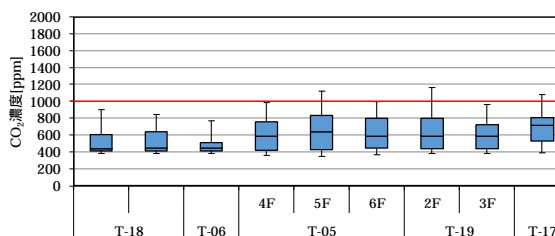
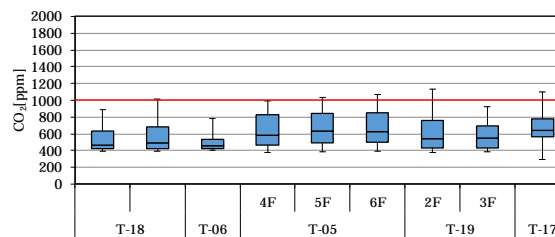
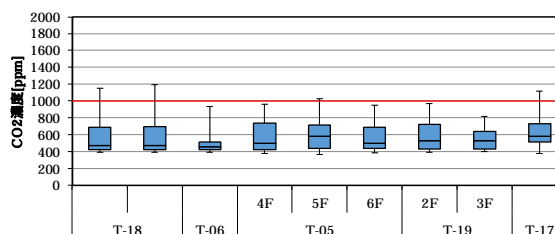
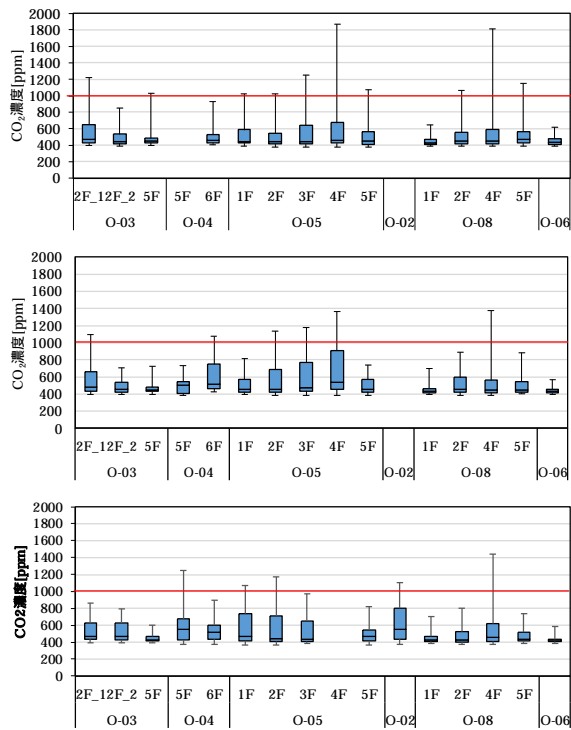


図 2-1-6 季節別の室内絶対湿度分布（大阪）



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



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-8 季節別の CO₂ 濃度分布（東京）

C.3 CO₂濃度

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

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

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

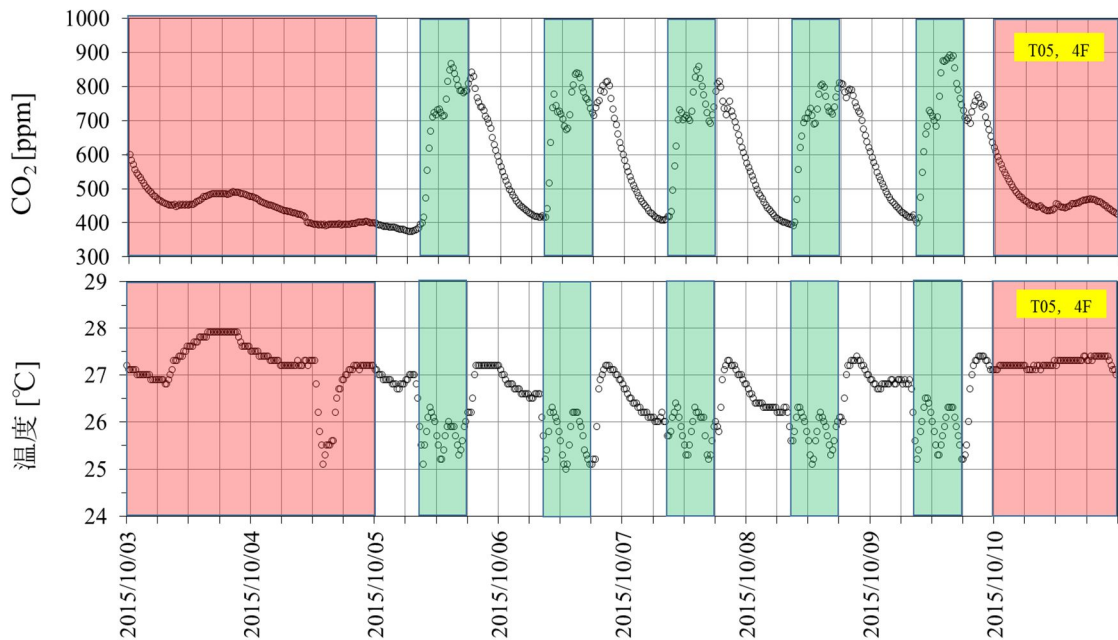


図 2-1-9 温度・CO₂濃度の経時変化（T05，4階）

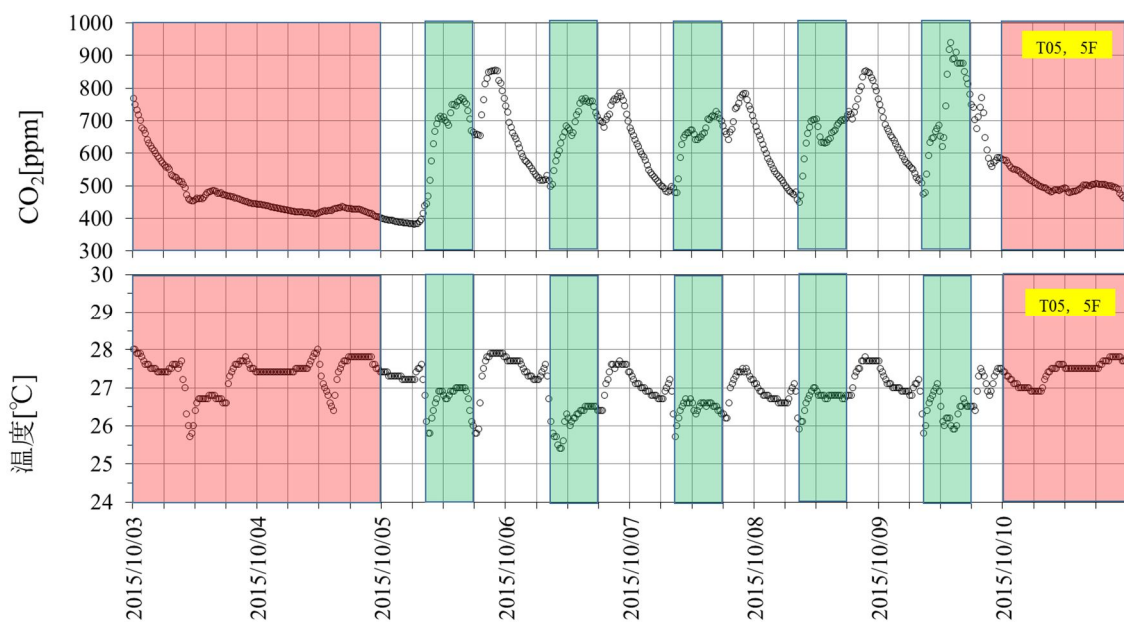


図 2-1-10 温度・CO₂濃度の経時変化 (T05, 5階)

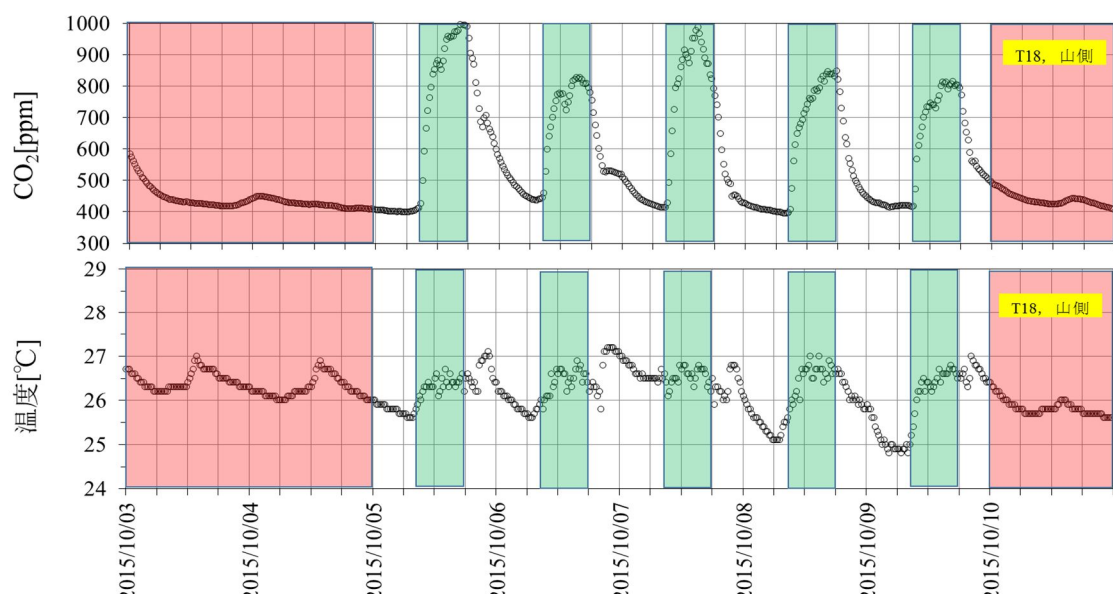


図 2-1-11 温度・CO₂濃度の経時変化 (T18, 山側)

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

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

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

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

図 2-1-10 に T05 ビルの 5 階における同時期

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

一方、室内温度は26~27の範囲で変動していた。

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

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

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

占有面積は10m²になっており、本研究の調査対象と同様である。

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

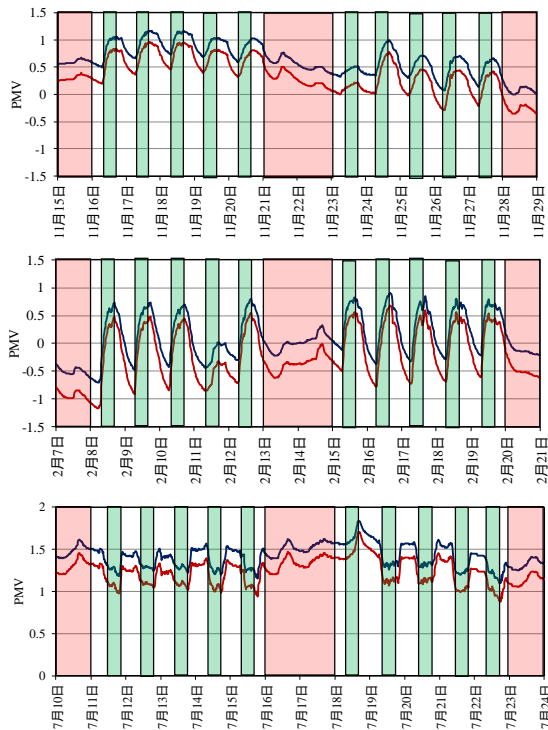
C.4 PMV(総合温冷感)

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

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

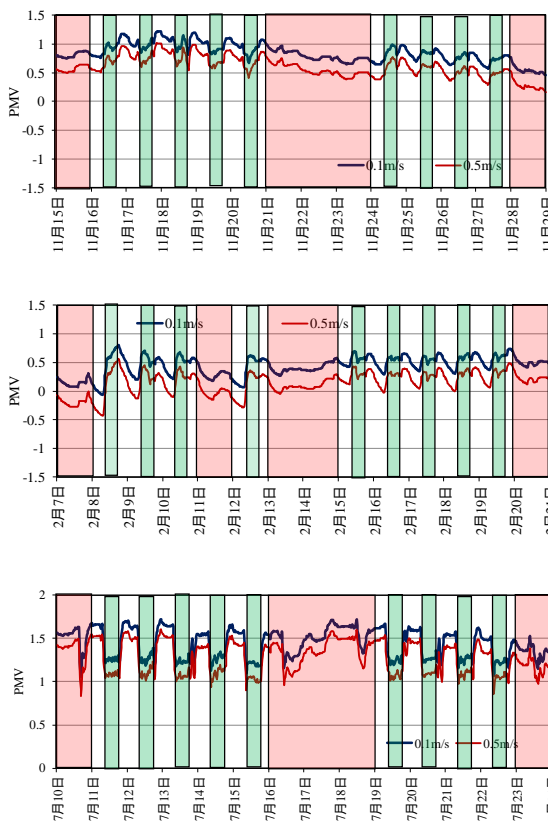
ここでは、温度、相対湿度、MRT(グローブ温度より算出)の測定値と、Met値(1.2)とClo値(0.8)の設定値を用いてPMVを算出した。なお、気流速度を測定していなかったため、速度0.1m/sと0.5m/sの条件を用いた。すなわち、実際のPMV値は風速0.1m/sと0.5m/sの間にあると推測できる。

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



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-12 季節別 PMV の変化（T18 山側）



上：秋季（11月）；中：冬季（2月）；下：夏季（7月）

図 2-1-13 季節別 PMV の変化（T05 5 階）

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

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

D. 参考文献

- 1) 柳 宇, 吉野 博, 他 6 名：中国における居住環境と児童の健康障害との関連性に関する調査研究 第 4 報 室内 CO₂ 濃度の実態と CO₂ 濃度測定値を用いた換気量の算出, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.993-994, 2015
- 2) 上田博嗣, ほか：省エネルギー技術を複合導入したオフィスビル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

2-2 生菌・細菌叢（マイクロバイオーム）

2-2-1 生菌

A. 測定方法

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

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

表 2-2-1-1 測定項目・測定対象・測定場所

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

B. 結果

B.1 浮遊細菌

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

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

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

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

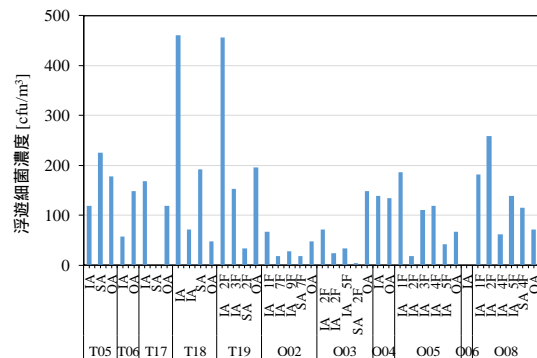


図 2-2-1-1 浮遊細菌濃度（2015 年度冬季）

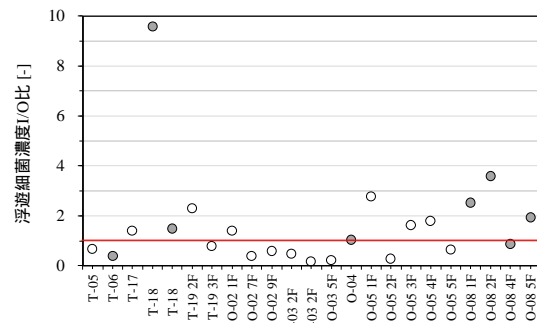


図 2-2-1-2 浮遊細菌濃度 I/O 比（2015 年度冬季）

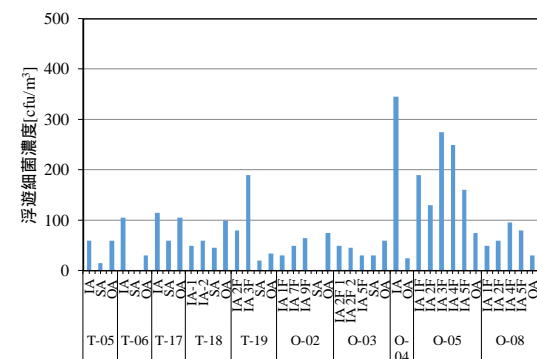


図 2-2-1-3 浮遊細菌濃度（2016 年度夏季）

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

B.2 浮遊真菌

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

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

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

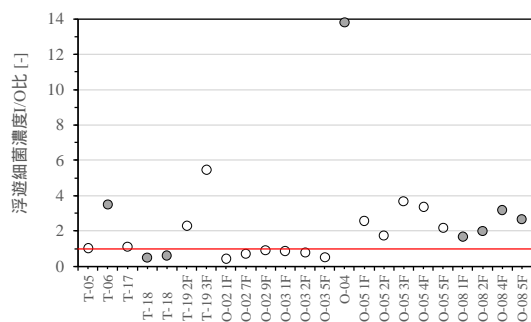


図2-2-1-4 浮遊細菌濃度I/O比
(2016年度夏季)

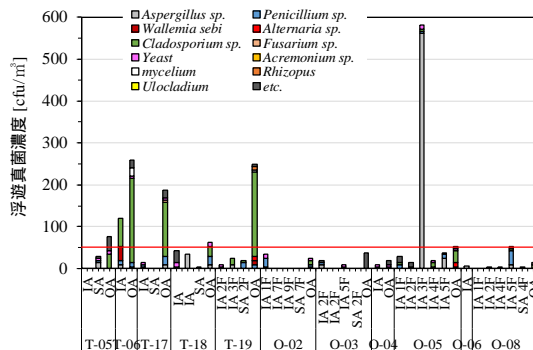


図2-2-1-5 浮遊真菌濃度（2015年度冬季）

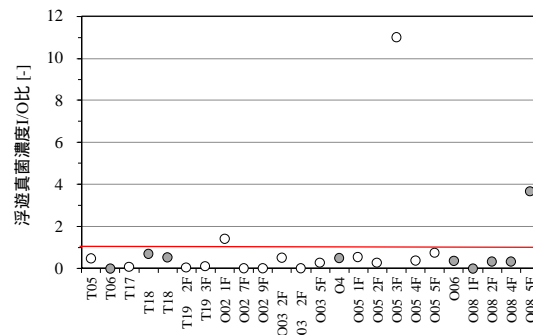


図2-2-1-6 浮遊真菌濃度I/O比
(2015年度冬季)

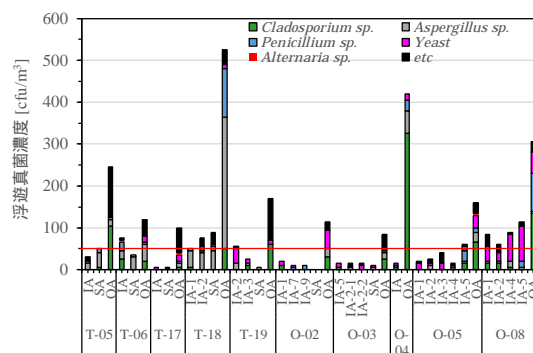


図2-2-1-7 浮遊真菌濃度（2016年度夏季）

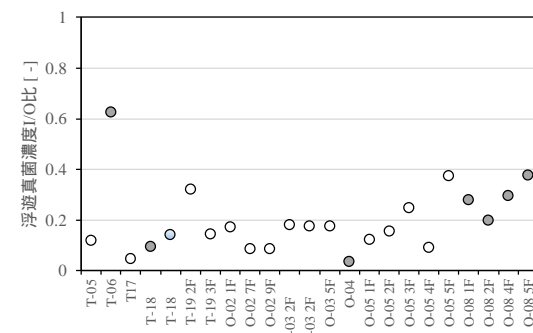


図2-2-1-8 浮遊真菌濃度I/O比
(2016年度夏季)

2-2-2 細菌叢（マイクロバイオーム）

A. 背景及び研究目的

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

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

B. 測定方法

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

フィルターより各サンプルのバクテリアのDNAを抽出する。

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

・2015年

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

Thermal CyclerにかけDNAを増幅させる。

T社にて次世代シーケンサーによる解読

・2016年

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

Nested PCRの後、ラベリングをするために、再度PCRにかけた。

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

F社にて、次世代シーケンサーによる解読

C. 結果

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

表 2-2-2-1 検出された細菌

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

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

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

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

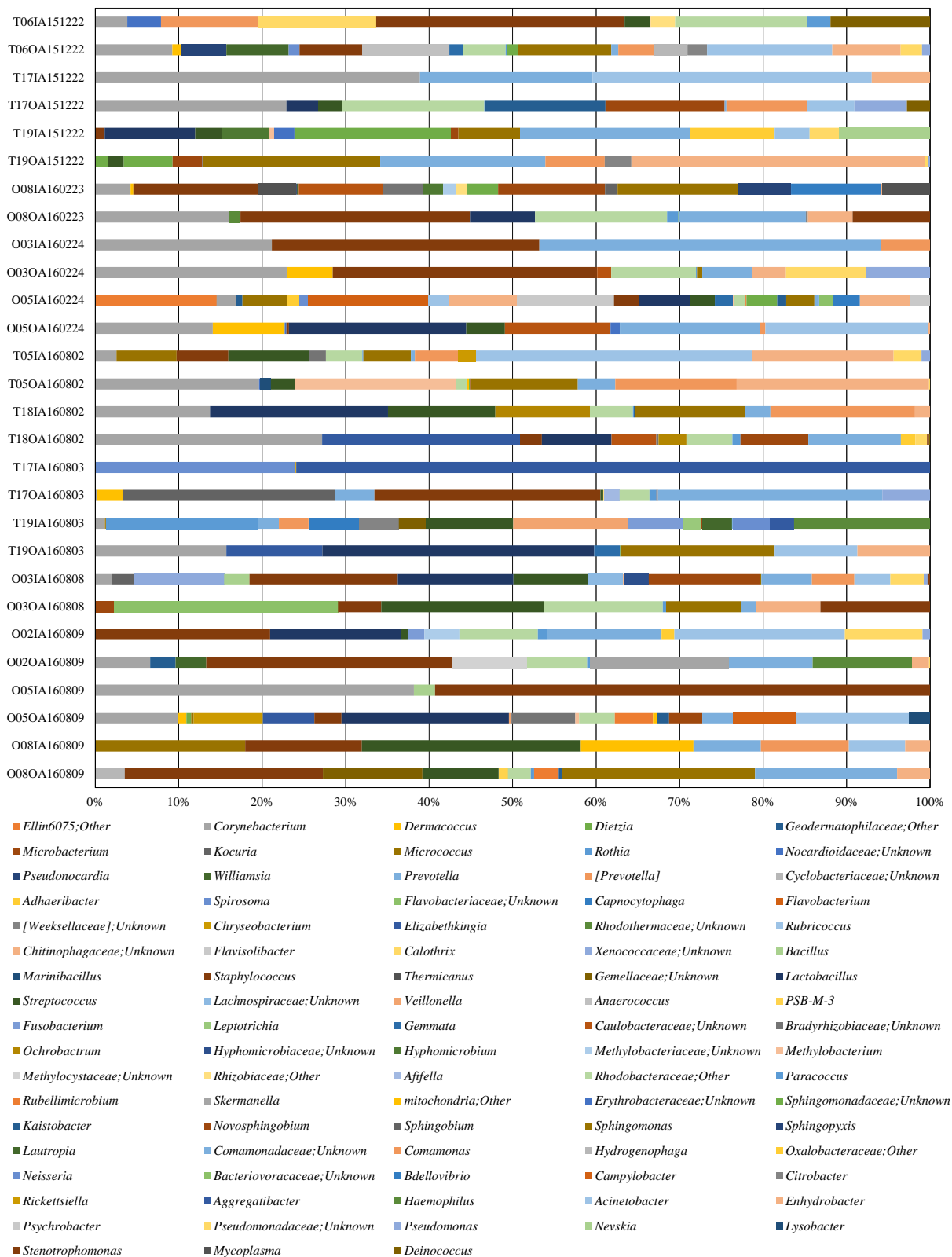


図 2-2-2-1 検出された細菌属とその割合

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

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

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

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

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

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

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

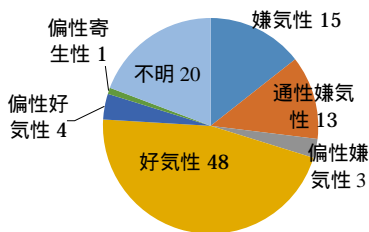


図 2-2-2-2 生育特定

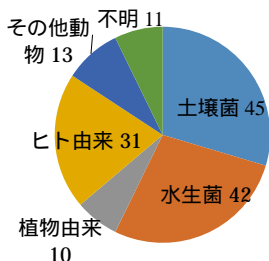


図 2-2-2-3 発生源

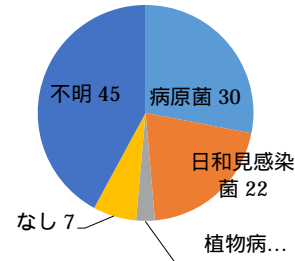


図 2-2-2-4 病原性

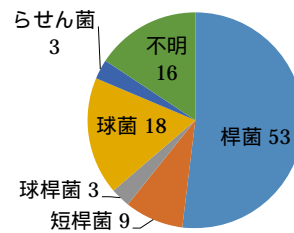


図 2-2-2-5 形状

表 2-2-2-2 検出された病原性を有する菌種

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

D. 参考文献

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

2-3 化学物質

A. 研究目的

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

B. 研究方法

B.1 調査対象

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

B.2 調査方法

化学物質として、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなどのカルボニル化合物については、DNPH カートリッジを用い、 $1 \text{ L}/\text{min}$ で計30Lの捕集を行い、HPLCにより定量分析を行った。トルエンなどVOCについては、Tenax 捕集剤を用いて捕集し、GC/MSにより分析を行った。捕集時間は両者とも30分であり、参考まで外気の捕集も行った。なお、TVOCの算出には、ヘキサンからヘキサデカンに検出したピークをトルエン換算して算出した。

C. 研究結果及び考察

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

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

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

D. まとめ

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

2-4 室内 PM_{2.5}

A. 研究目的

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

B. 研究方法

B.1 測定方法の特性把握

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

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

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

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

表 2-4-1 計測装置の種類と概要

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

表 2-4-2 シウタスインパクトの分級特性

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

B.2 建築物室内における測定

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

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

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

C. 結果

C.1 測定方法の特性

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

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

用測定を行うことにより、係数値を求めることが必要である。

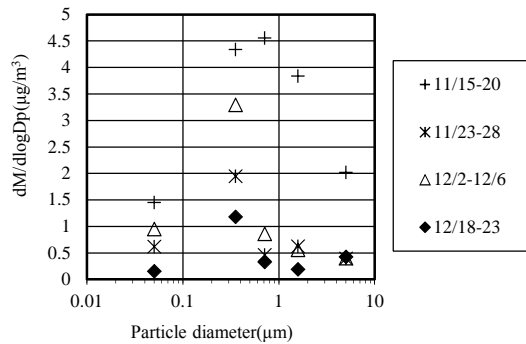


図2-4-1 秤量法による粒径別質量濃度

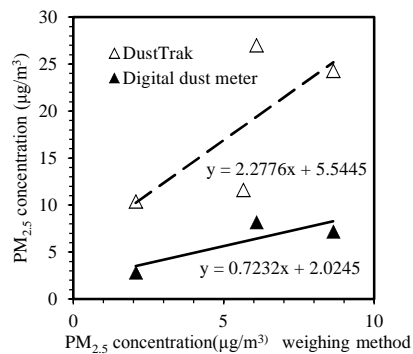


図2-4-2 秤量法とPM_{2.5}計の相関

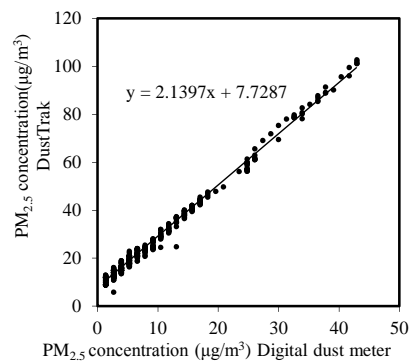
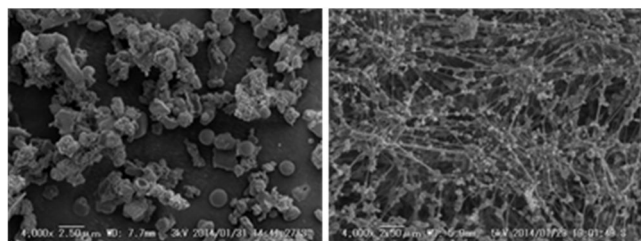


図2-4-3 PM_{2.5}計と粉じん計の相関



a) 1.0-2.5 μm b) $-0.25 \mu\text{m}$

図2-4-4 シウタインパクタにより捕集された粒子のSEM画像

C.2 建築物室内における測定結果

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

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

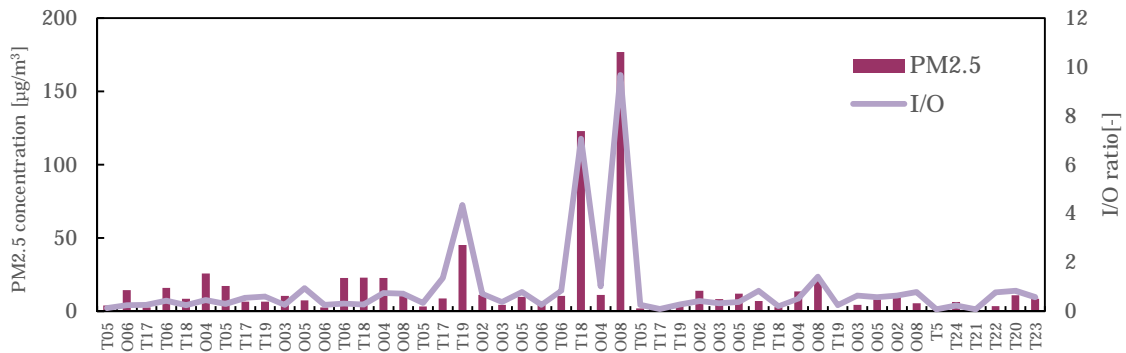


図 2-4-5 各建築物のPM_{2.5}濃度とI/O比

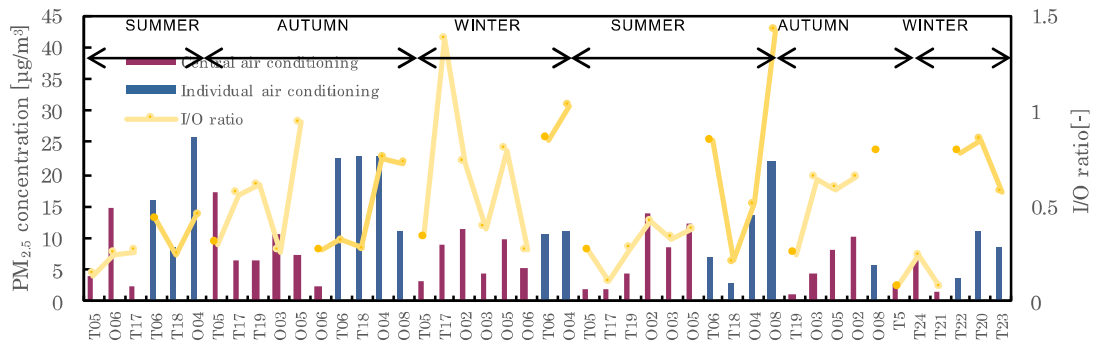


図 2-4-6 各建築物のPM_{2.5}濃度とI/O比 (T18,T19, O08 のデータを除いたもの)

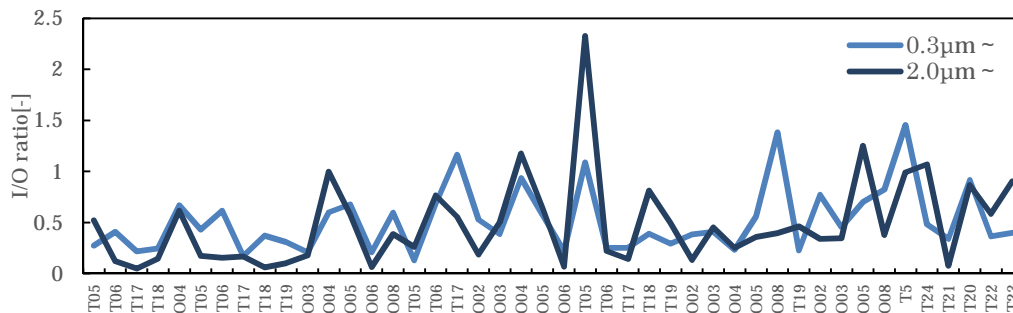


図 2-4-7 パーティクルカウンタによる浮遊微粒子のI/O比

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

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

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

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

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

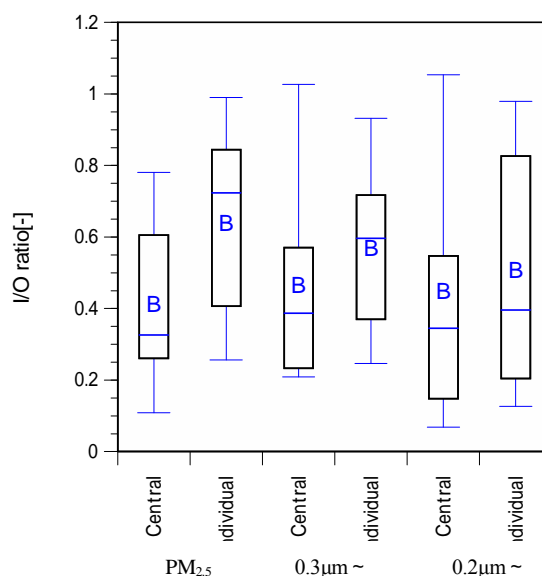


図 2-4-8 空調方式別の浮遊微粒子の I/O 比

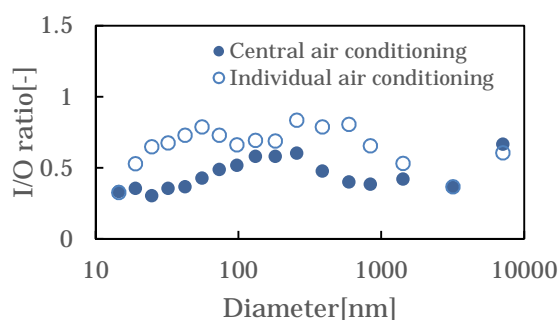


図 2-4-9 空調方式毎の粒径別 I/O 比

D. まとめ

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

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

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

E. 参考文献

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

2-5 エンドトキシン (細菌)

A. 研究目的

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

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

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

微生物汚染度の同定のために ATP (adenosine triphosphate; アデノシン三リン酸) 法や個数濃度測定機なども紹介されているがまだ確立した方法とは言えず, 最近 PCR 法を用いた DNA 解析など先端技術も導入されつつある。分野, 目標とする結果, 費用や現場適用など目的によって何を選ぶかが決まるが, 例えば換気指標の CO₂ 濃度や化学物質汚染指標の TVOC のように, 微生物に関してもそのような指標の存在は室内環境における汚染状況や環境改善の面で大変有意義であり, 空気中細菌濃度や汚染度の指標として ET 濃度に着目している。

B. 空気捕集フィルター及び分析法の確立

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

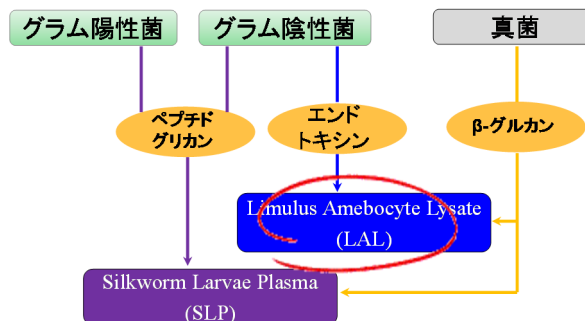


図 2-5-1 ET 特異的リムルス試験

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

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

表 2-5-1 フィルタブランク試験

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

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

C. 現場測定法

C.2.1 空気サンプリング

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



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

B.2.2 濃度分析

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

リムルステスト（Limulus test）ではライセート（Limulus amoebocyte lysate）試薬と反応させた ET のゲル化に伴う濁度変化をカイネティック比濁法で測定し，検量線に基づいて定量する。ET 濃度が高いとゲル化反応が速く，低いと遅くなることを原理としている。

ゲル化に伴う透過光量比変化を計測し測定開始から設定閾値（94.9% at 37.0）に達するまでの時間（T_g：ゲル化時間）で ET 濃度が決定される。定量のために，1.0，1/8，1/64，1/512(=0.00195)EU/mL の 4 段階の濃度標準を

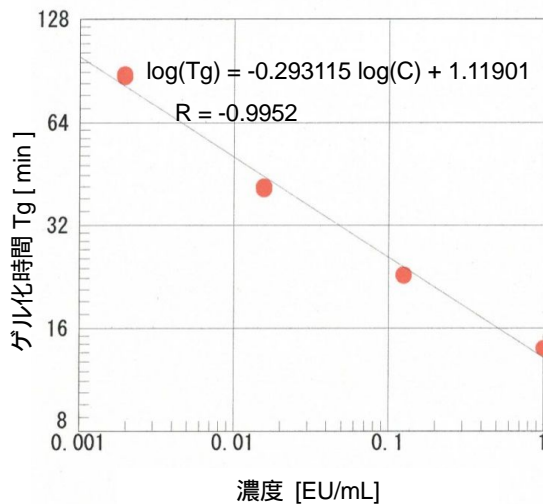


図 2-5-3 検量線例（4 点，8 倍稀釈）

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

C. 研究結果及び考察

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

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

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

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

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

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

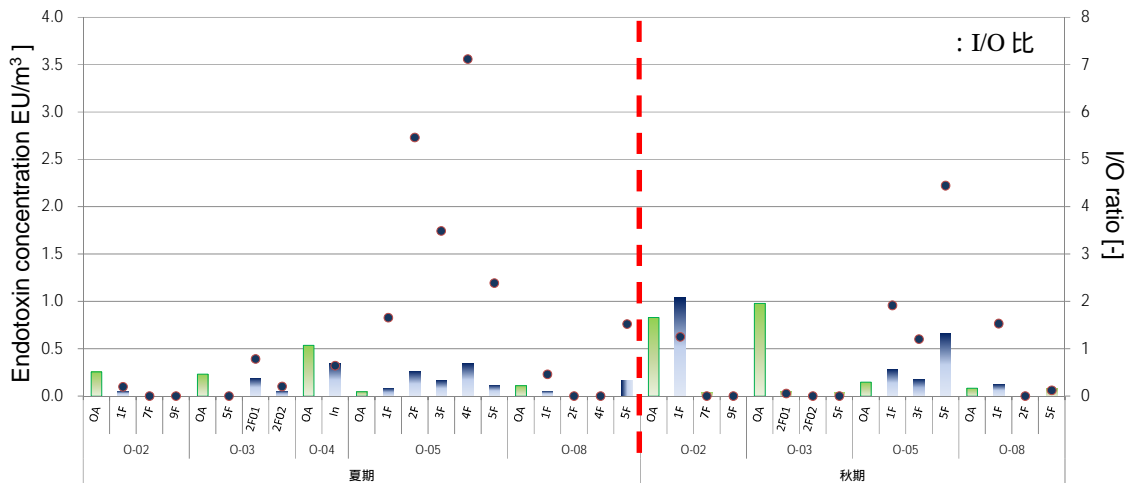


図 2-5-4 大阪地域オフィスの ET 測定結果

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

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

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

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

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

冬期の T018 測定結果では、外気濃度 0.49

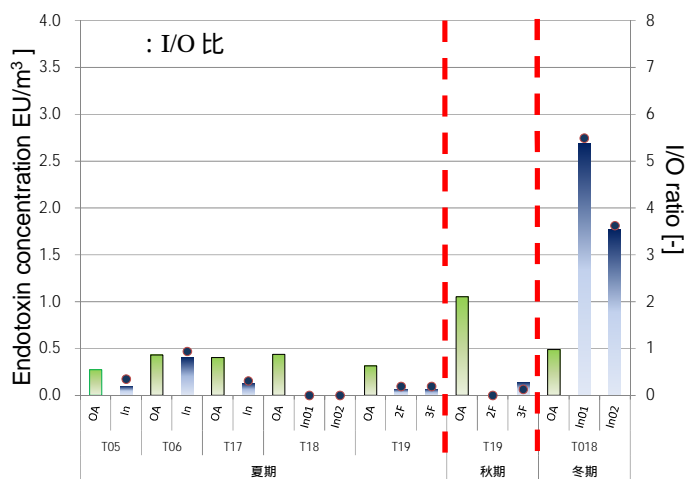


図 2-5-5 東京地域オフィスの ET 測定結果 EU/m³ と室内濃度に比べて有意に低く、内部汚染が疑われる。測定日に加湿器に入っている水を採用し ET 濃度を測定した結果を図 2-5-6 に示す。

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

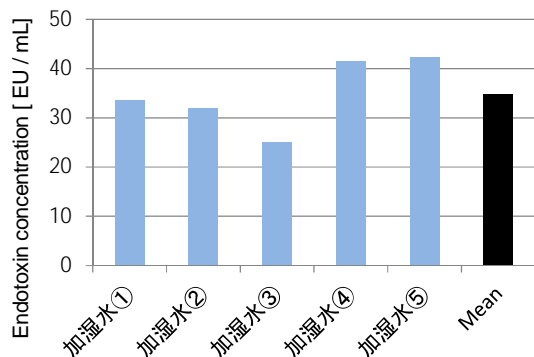


図 2-5-6 加湿水の ET 濃度
(施設 T018 の加湿器 5 台から採取)

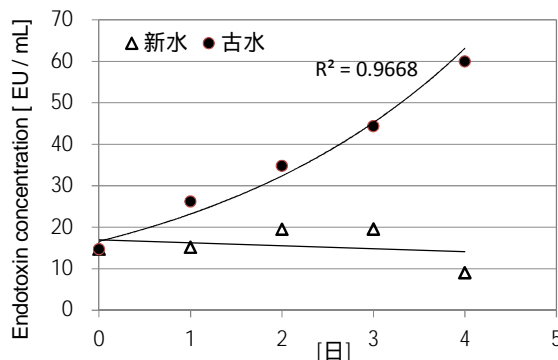


図 2-5-7 水道水中 ET 濃度の変化

D. まとめ

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

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

冬期 ET 濃度の上昇に関しては今後更に測定を行い検証してゆく必要がある。

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

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

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

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

E. 参考文献

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

2-6 高層建築物における煙突効果と空気質

A. 研究目的

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

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

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

B. 方法

B.1 東京都特定建築物実測データの分析

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

1) 汚染濃度(CO₂濃度, CO濃度, 粉じん濃

度)と測定階

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

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

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

Pearson Product-Moment Correlation Coefficient

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

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

B.2 高層オフィスビルにおける実測調査

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

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

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

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

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

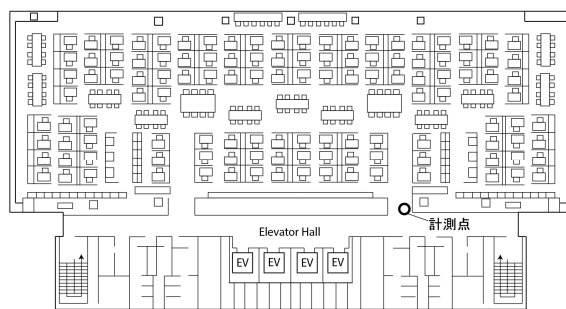


図 2-6-1 基準階平面図及び空気質計測点

C. 結果及び考察

C.1 東京都特定建築物実測データの分析

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

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

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

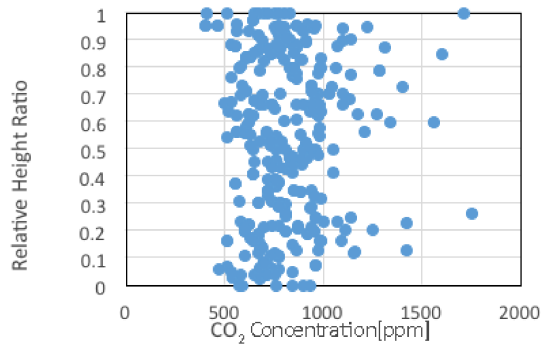
また, パターン 3) に関しては, いずれのケースにおいても負の方向の相関が見られた。当パターンに関しては, 高層ビルの中性帯付近では上層部, 下層部と比較して換気回数が相対的に少なくなるケースが多い。そのため, CO₂ 濃度などの室内に一定速度以上で発生する汚染源がある物質に関して, 汚染物質の室内での滞留時間が長く, 局所的に濃度が高く計測されるケースが多くある。そのため, 中性帯付近と考えられる下から 0.2 ~ 0.3 の高さの汚染濃度を基準として比較した場合, 上層部よりも濃度が高く計測され, 負の相関が見られたと考えられる。

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

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

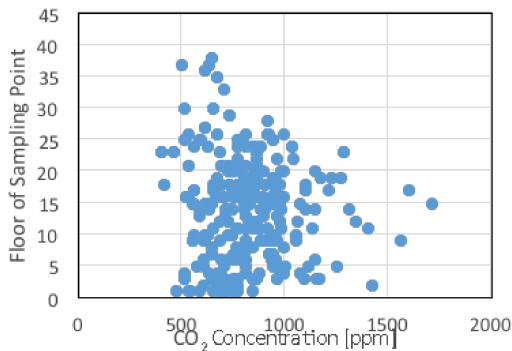
また, パターン 2) に関して, CO 濃度の上層部での濃度の増加傾向が確認されなかった要因として, 発生源の偏りが原因であると考

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



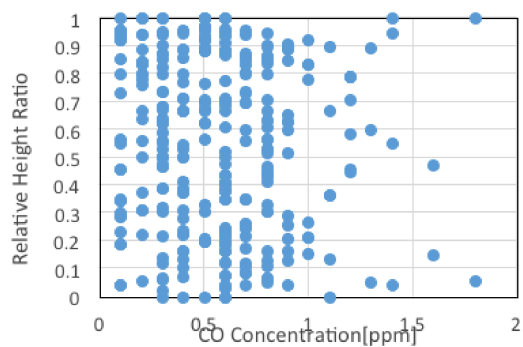
$$r = 0.0569$$

図 2-6-5 測定階相対高さと CO₂ 濃度の関係



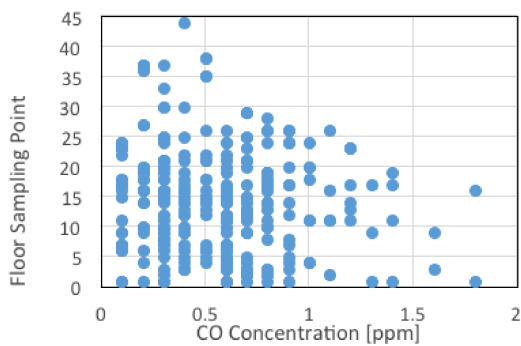
$$r = -0.1002$$

図 2-6-2 測定階と CO₂ 濃度の関係



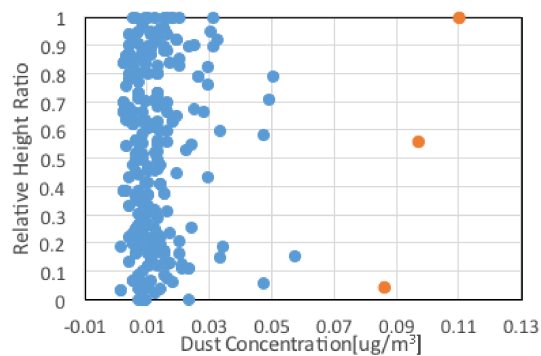
$$r = -0.00889$$

図 2-6-6 測定階相対高さと CO 濃度の関係



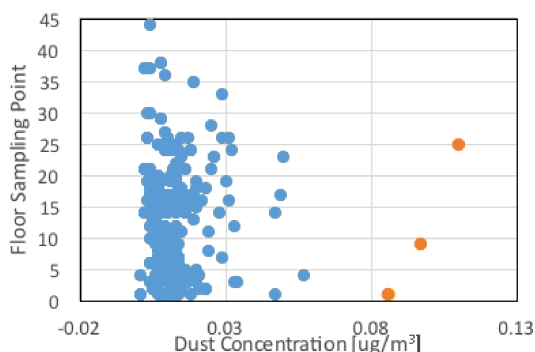
$$r = -0.10925$$

図 2-6-3 測定階と CO 濃度の関係



$$r = 0.028046$$

図 2-6-7 測定階相対高さ
と粉じん濃度の関係



$$r = -0.00536$$

図 2-6-4 測定階と粉じん濃度の関係

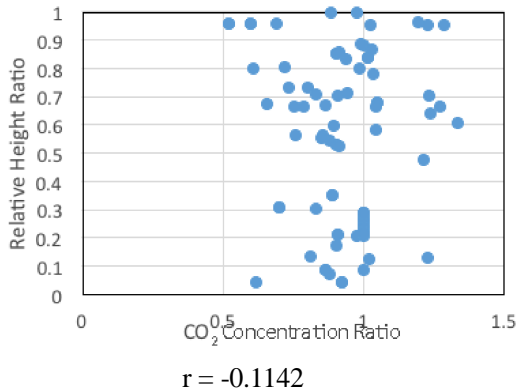


図 2-6-8 測定階相対高さとの中性帯を基準とした CO₂ 濃度の関係

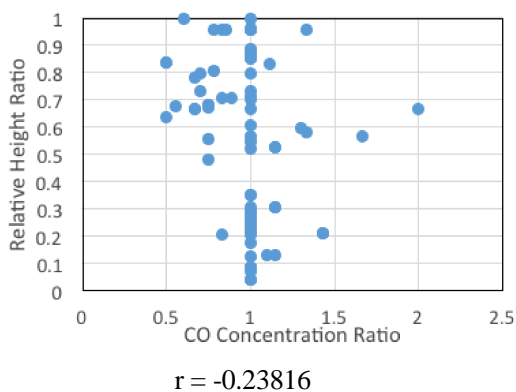


図 2-6-9 測定階相対高さとの中性帯を基準とした CO 濃度の関係

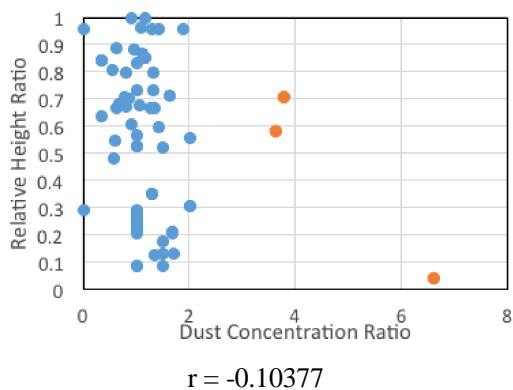


図 2-6-10 測定階相対高さとの中性帯を基準とした粉じん濃度の関係

C.2 高層事務所ビルにおける実測調査

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

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

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

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

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

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

表 2-6-1 実測時 (10/20 , 1/15) の
各室の在室人数

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

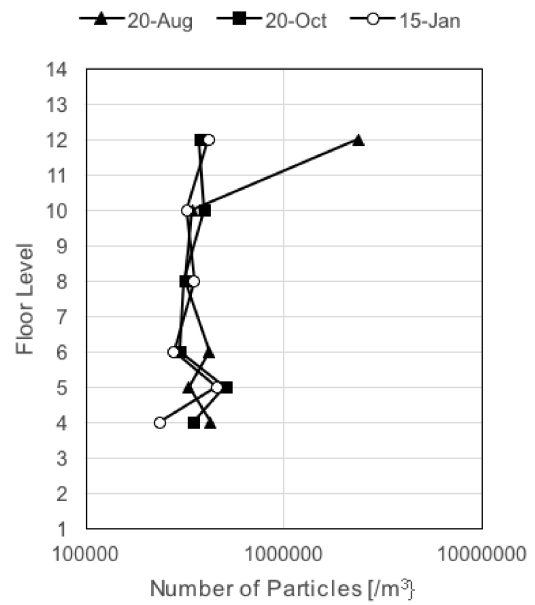


図 2-6-12 測定階と 1m³ あたりの
粒子個数の関係

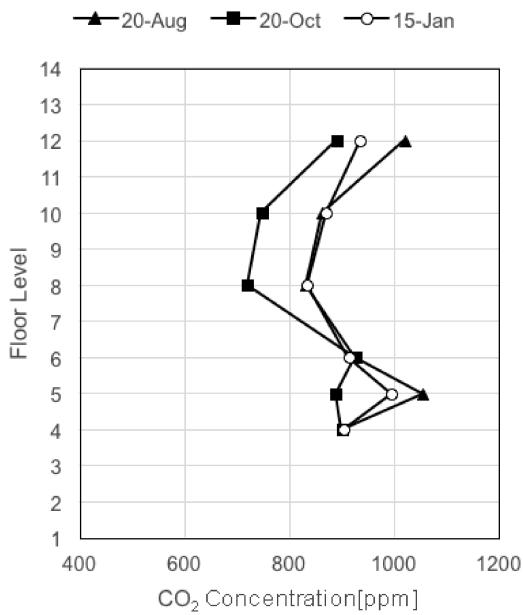


図 2-6-11 測定階と二酸化炭素濃度の関係

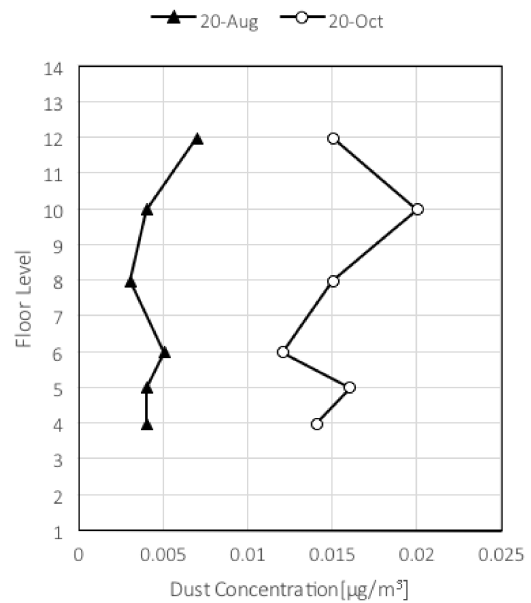


図 2-6-13 測定階と粒子濃度の関係

D. まとめ

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

E. 参考文献

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

2-7 アンケート結果と環境要素の関係

A. 研究目的

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

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

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

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

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

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

B. 研究方法

B.1 建築物利用者の職場環境と健康に関する実態調査（縦断調査）

B.1.1 研究デザイン

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

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

B.1.2 調査対象

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

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

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

B.1.3 自記式調査票

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

B2 温湿度と二酸化炭素の健康等への影響に関する近年のエビデンス

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

(倫理面での配慮)

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

C. 研究結果および考察

C.1 建築物利用者の職場環境と健康に関する実態調査（縦断調査）

C.1.1 調査実施および単純集計結果

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

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

表 2-7-1 調査実施時期

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

○：アンケート配布，温熱環境・二酸化炭素濃度の連続測定

◎：室内空気汚染物質の測定

表 2-7-2 調査建物の概要

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

表 2-7-3 回答者の基本属性

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

C.1.2 従業員の SBS 関連症状

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

に米国 EPA 及び米国 NIOAH の基準による

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

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

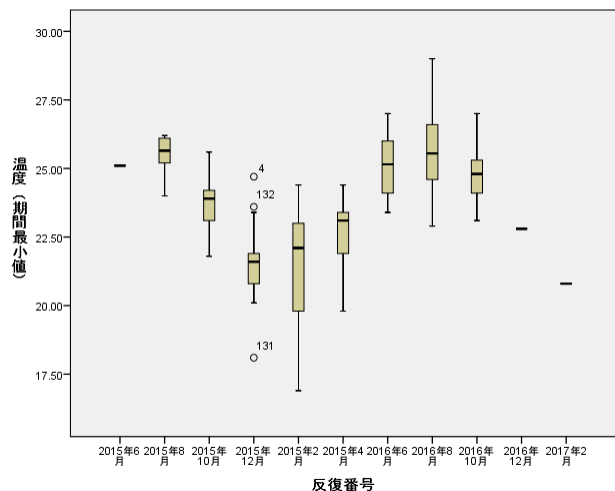
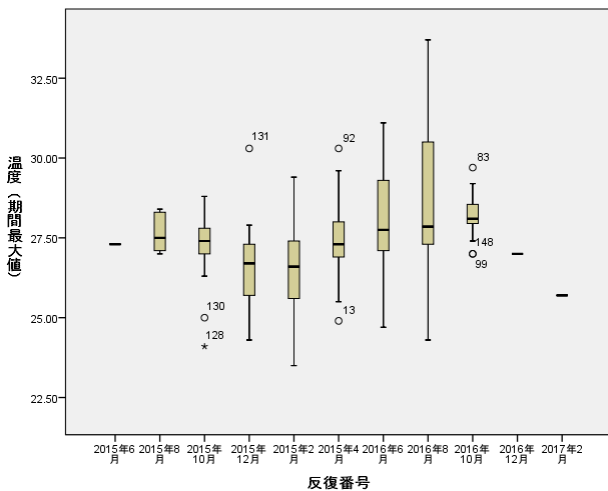
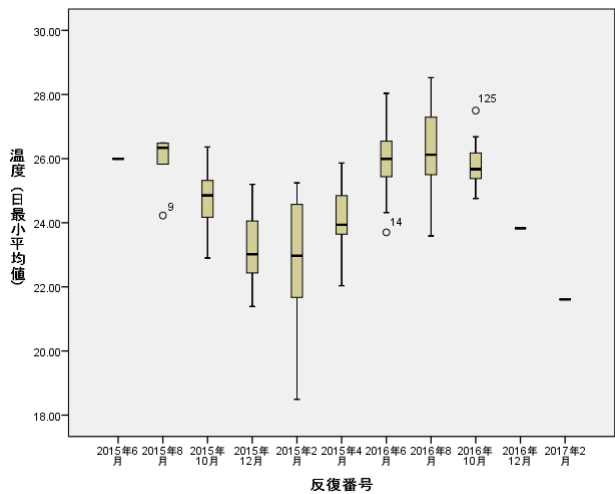
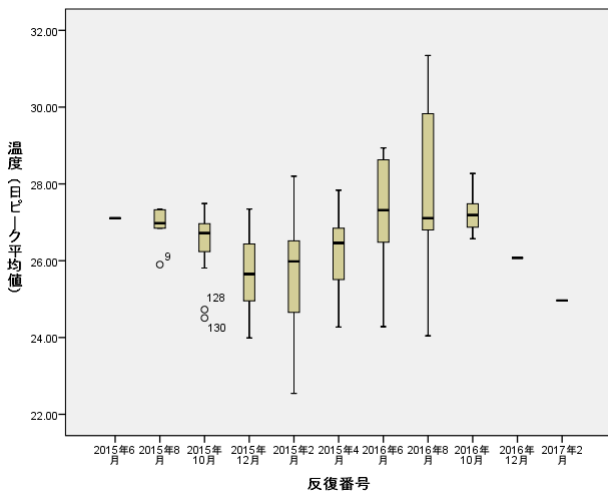
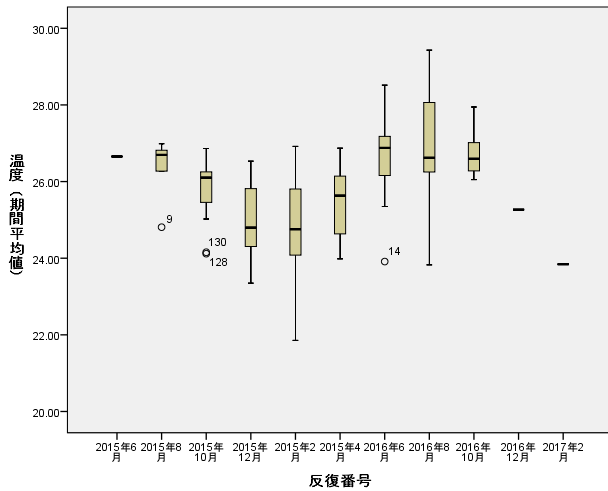
調査時期	フロア数	回答数	目の症状	一般症状	上気道症状	下気道症状	皮膚症状	全体
2015.6	24	22	28.6%	38.1%	28.6%	4.5%	4.5%	52.4%
2015.8	24	134	24.8%	19.5%	16.7%	0.7%	3.0%	42.1%
2015.1	24	349	23.9%	22.8%	12.0%	1.4%	4.0%	38.4%
2015.12	24	267	21.4%	20.2%	15.5%	1.5%	3.0%	36.1%
2016.2	24	264	25.1%	22.1%	13.4%	1.1%	3.8%	38.7%
2016.4	24	202	24.6%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

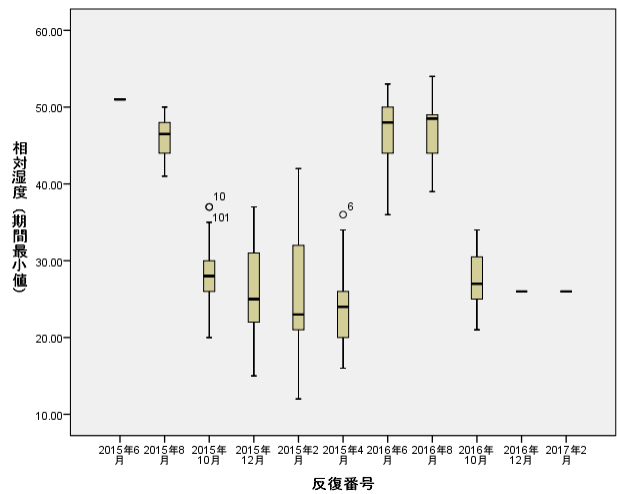
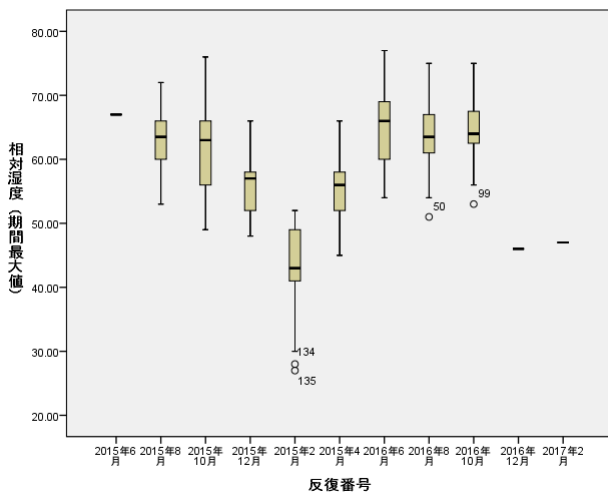
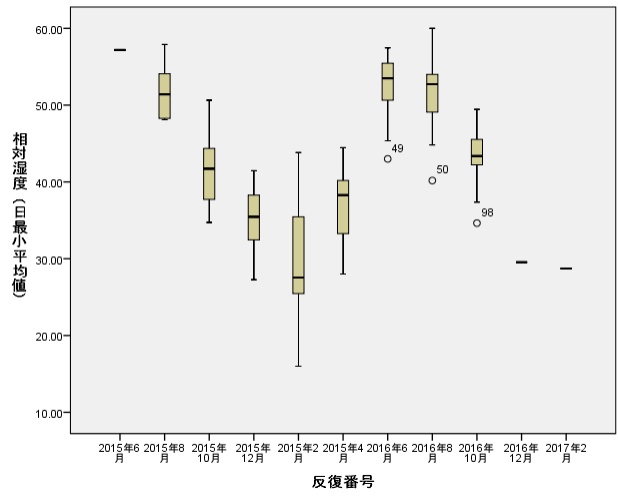
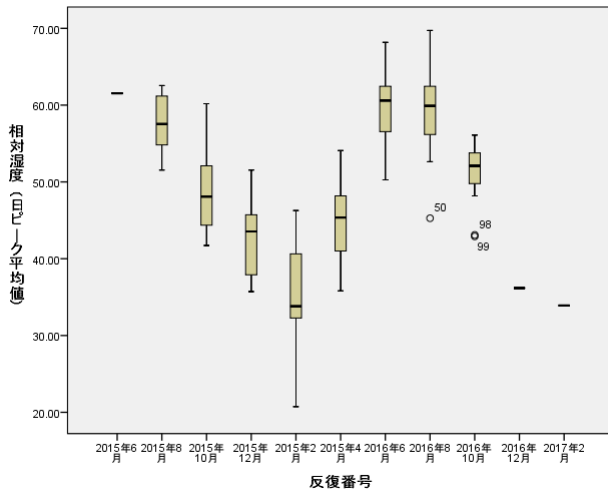
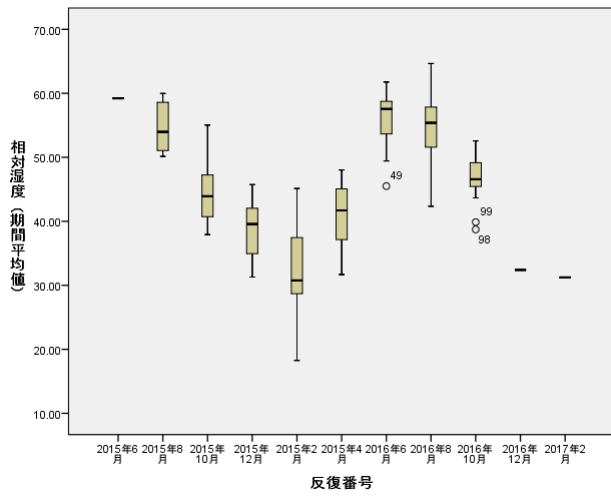
全体：いずれか 1 つ以上の症状を有する

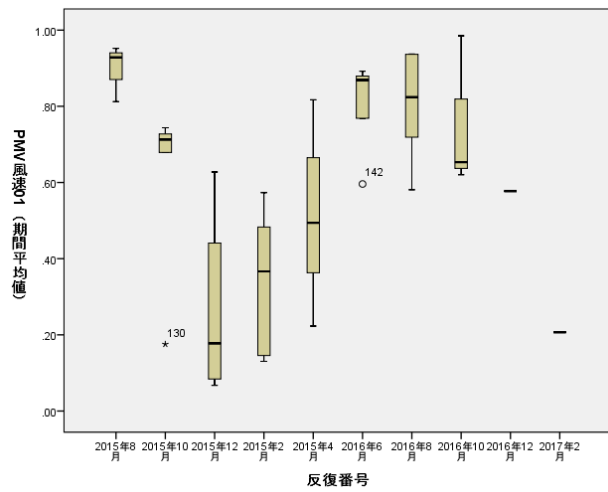
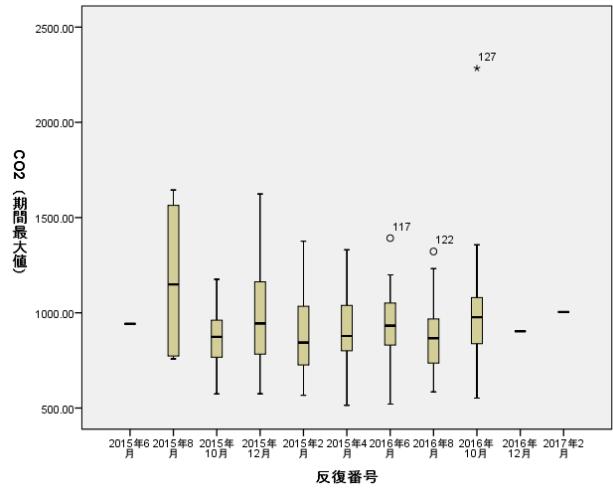
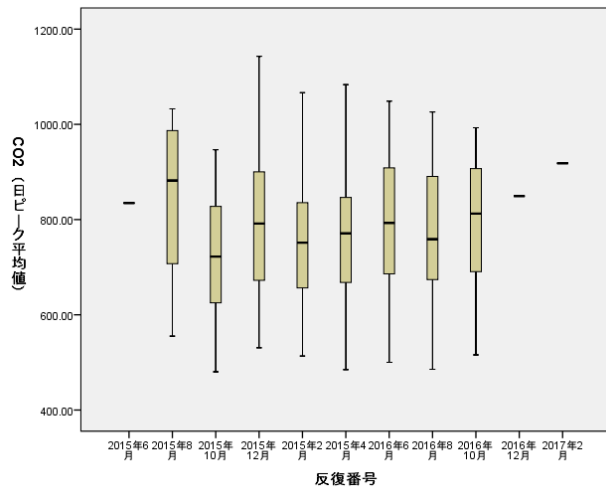
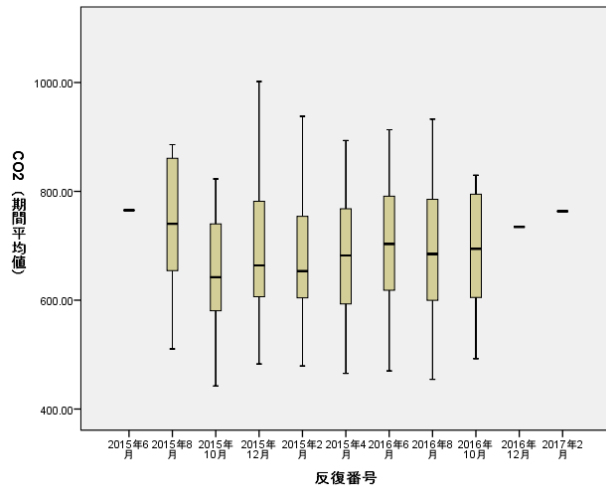
C.1.3 空気環境結果（連続測定データの一部のみ抜粋）

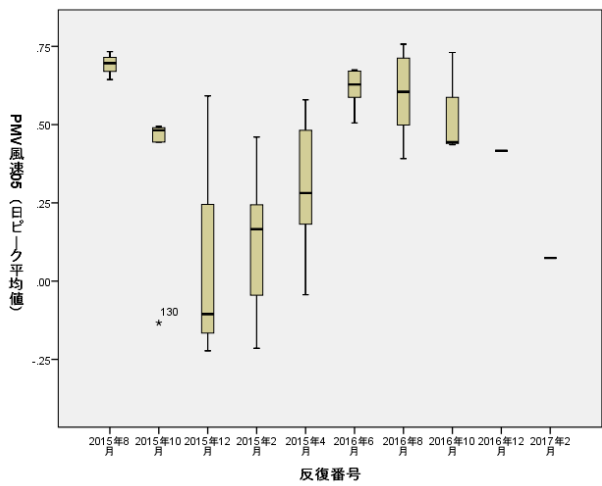
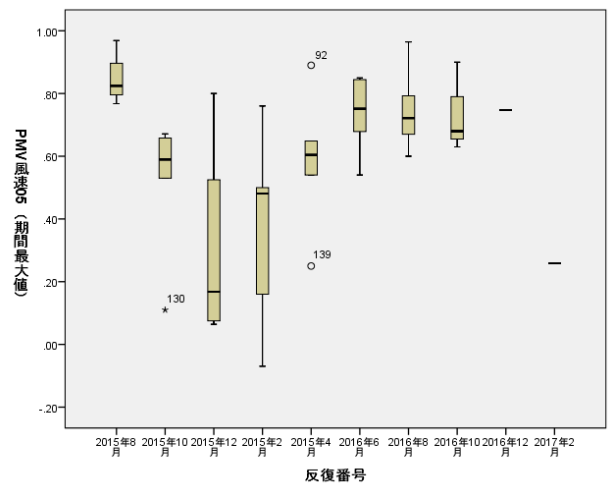
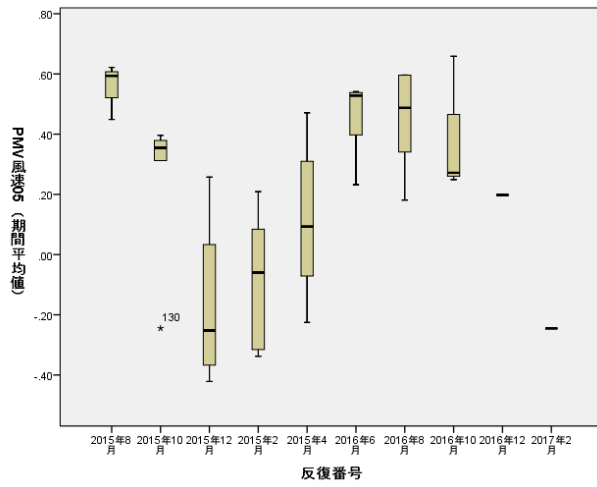
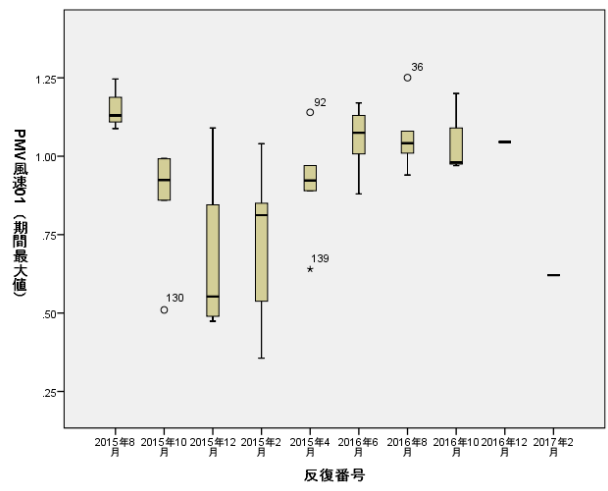
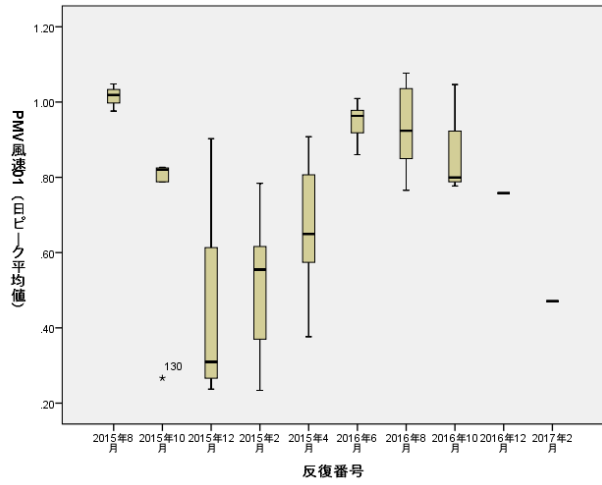
各調査時期における温熱および二酸化炭素濃度の測定結果を下図に示す。データの集計

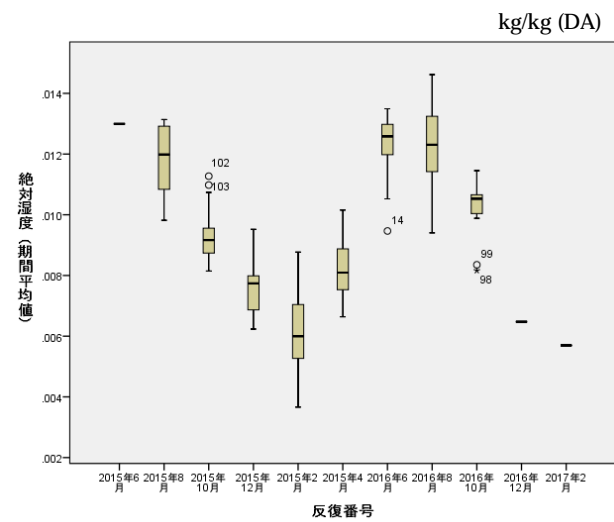
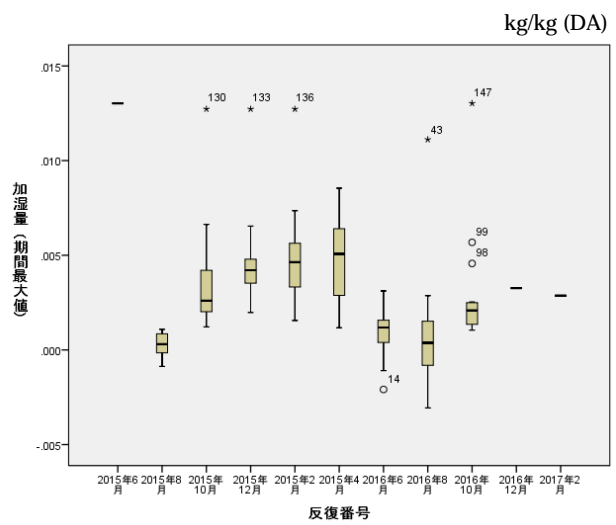
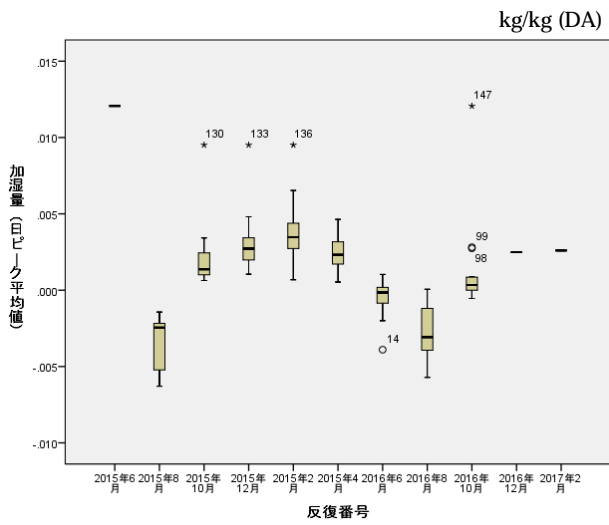
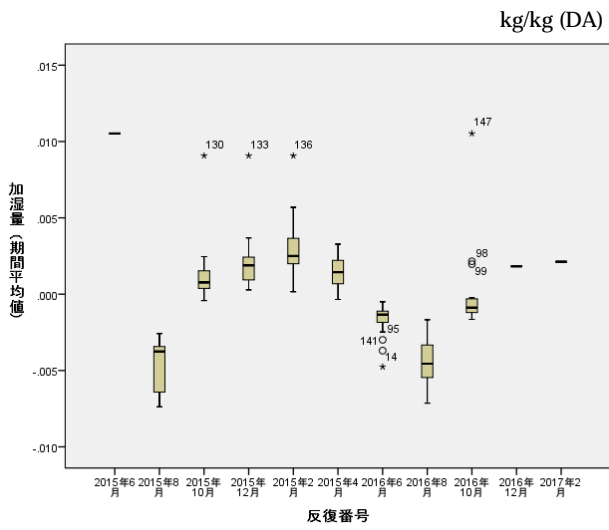
は、アンケート配布日の前後5日間の合計11日間の就労時間帯(午前9時から午後5時)における連続測定データをもとに行った。

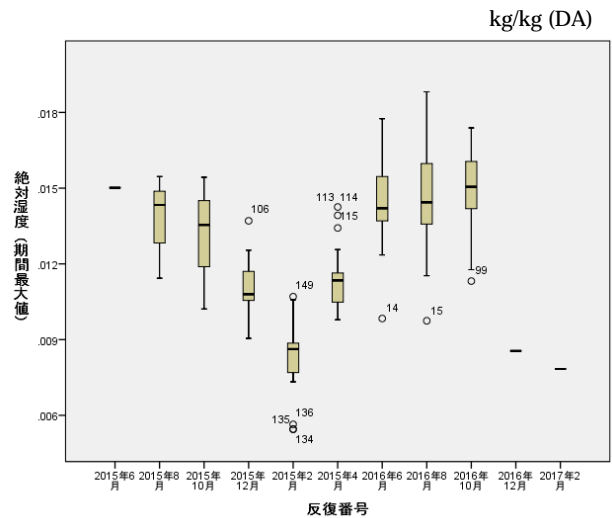
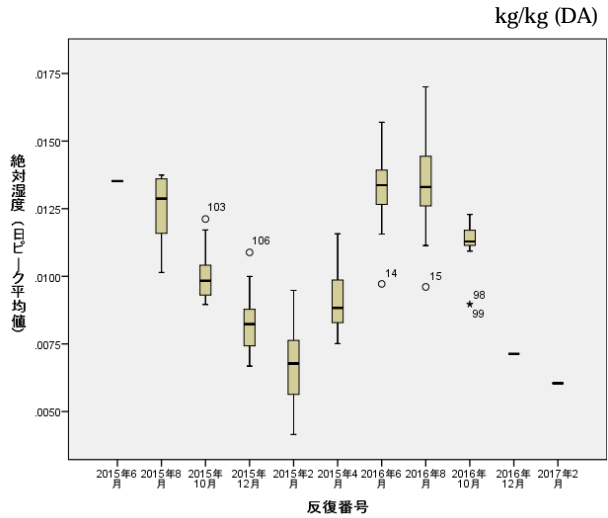












PMV 計算条件
(ヒトが感じる温冷感の指標)

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

ISO7730 における PMV の推奨値は -0.5 ~ 0.5

C.1.4 従業員の症状に関する要因の解析

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

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

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

表 2-7-5 基本属性に関する単変量解析の結果

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

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

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

表 2-7-6 室内空気質（連続測定データ）に関する多変量解析の結果

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

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

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

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

表 2-7-7 諸外国における温熱環境基準

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

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

表 2-7-8 近年のエビデンスに基づく相対湿度の推奨範囲

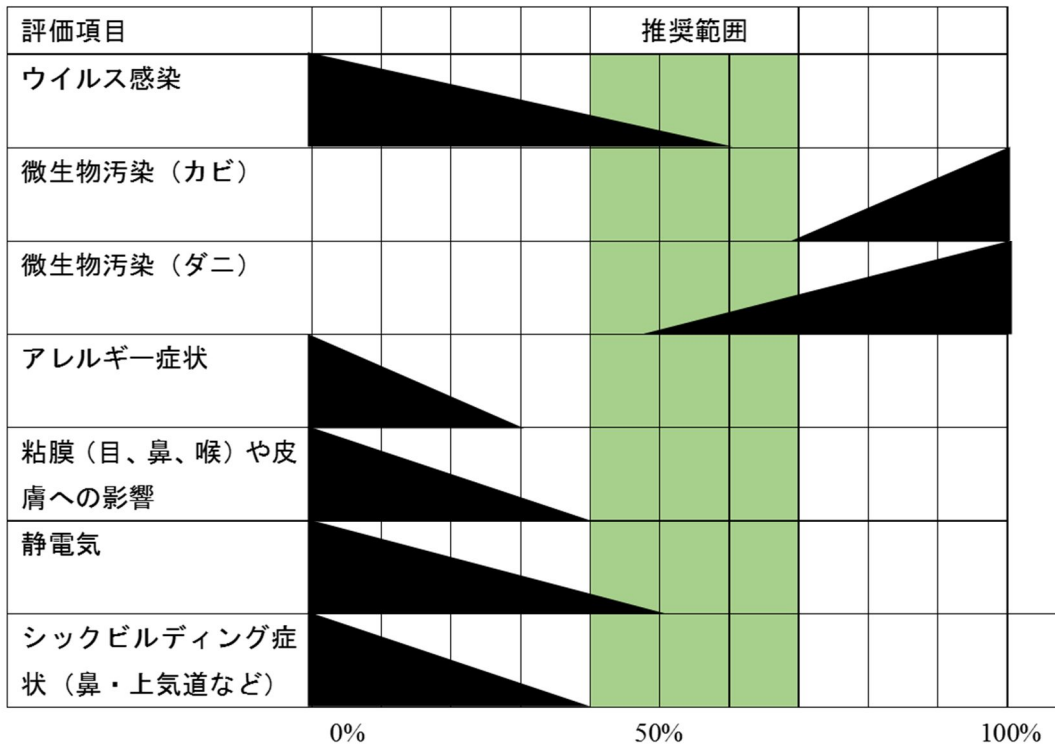


表 2-7-9 諸外国における二酸化炭素濃度の室内空気質ガイドライン

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

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

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

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

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

表 2-7-12 二酸化炭素濃度と健康等への影響のまとめ

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

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

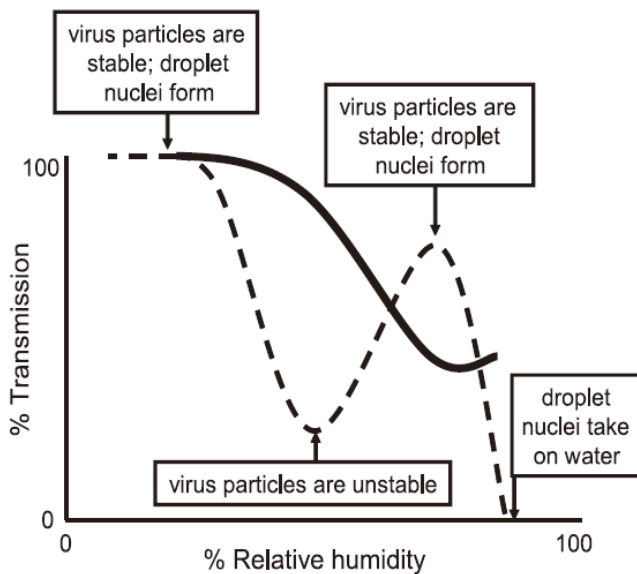
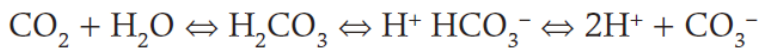


Figure 6. Variation of Transmission Efficiency with Relative Humidity: A Model

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

D. 総括

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

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

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

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

近年、1000ppm程度の低濃度の二酸化炭素

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

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

E. 参考文献

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

- Washington, DC: NIOSH, 1991.
- 7) Andersson K: Epidemiological approach to indoor air problems. *Indoor Air* 4 (suppl): 32–39, 1998.
 - 8) 厚生労働省: 職業性ストレス簡易調査票, 2005.
 - 9) 東 賢一, 内山巖雄: 建築物環境衛生管理基準の設定根拠の検証について. 建築物環境衛生管理に関する調査研究平成22年度研究報告書, 財団法人ビル管理教育センター, 2011.
 - 10) 東 賢一, 内山巖雄. 建築物環境衛生管理基準の解説と近年の知見. *ビルと環境*, No. 134, pp. 4–17, 2011.
 - 11) 小林陽太郎, 他. ビルディングの環境衛生基準に関する研究. 昭和40年度厚生科学研究, 1966.
 - 12) ビル管理教育センター. ビルの環境衛生管理. 厚生大臣指定建築物環境衛生管理技術者講習会・テキスト, 1971.
 - 13) Goromosov MS. The physiological basis of health standards for dwellings. Public Health Papers No. 33, World Health Organization, Geneva, 1968.
 - 14) 大澤元毅ら. 建築物環境衛生管理及び管理基準の今後のあり方に関する研究. 平成24年度総括・分担研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 厚生労働省, 東京, 2013.
 - 15) 齊藤宏之ら: 冬季オフィス環境における低湿度と自覚症状との関連性. 平成27年室内環境学会学術大会抄録集, pp. 222–223, 2015.
 - 16) Sohaffer FL, Soergel ME, Straube DC. Survival of Airborne Influenza Virus: Effects of Propagating Host, Relative Humidity, and Composition of Spray Fluids. *Archives of Virology* 51,263–273, 1976.
 - 17) 中山幹男, 齊藤恵子. インフルエンザウイルスの感染価に及ぼす相対湿度の影響. *BMSA 会誌* 20 (3): 77–80, 2009.
 - 18) Fanger PO. Air humidity, comfort and health. Proceedings of the 16th International Congress of Refrigeration 5: 255–259, 1983.
 - 19) Baughman AV, Arens EA. Indoor Humidity and Human Health--Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity-Influenced Indoor Pollutants. *ASHRAE Transactions* 102: 193–211, 1996.
 - 20) Reinikainen LM, Jaakkola JJK. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. *Indoor Air* 13: 344–352, 2003.
 - 21) 輿水ヒカル, 栃原 裕, 池田耕一. 加湿器導入による冬期の工場勤務者の温熱快適性および主観的評価の変化に関する調査研究. 日本建築学会計画系論文集, No. 552. pp. 9–14, 2002.
 - 22) 木村裕和, 稲次俊敬, 小河 宏. 最近のカーペットの問題点. *繊維機械学会誌* 55 (3): 4–12, 2002.
 - 23) 井上猛司, 松尾義輝 (1978) 静電気対策に必要な温湿度管理とその設計. *電設工業* 24 (4): 57–62
 - 24) Reinikainen LM, Jaakkola JJK, Seppanen O. The Effect of Air Humidification on Symptoms and Perception of Indoor Air Quality in Office Workers: A Six-Period Cross-Over Trial. *Archives of Environmental Health* 47 (1): 8–15, 1992.
 - 25) 堤 仁美, 田辺新一, 針ヶ谷純吉, 井口泰男, 中村 元. 蒸暑環境から冷房空間への入室時において湿度が快適性・知的生産性に及ぼす影響に関する被験者実験. 日本建築学会環境系論文集, 第609号, pp. 15–21, 2006.
 - 26) Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity. *Journal of Physiological Anthropology* 25 (1): 7–14, 2006.
 - 27) Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity in Young and Elderly Men. *Journal of Physiological Anthropology* 25 (3): 229–238, 2006.
 - 28) 堤 仁美, 田辺新一, 針ヶ谷純吉, 井口泰

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

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

平成26～28年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

3. 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案

主任研究者	大澤 元毅	国立保健医療科学院	主任研究官
分担研究者	東 賢一	近畿大学	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	開原 典子	国立保健医療科学院	主任研究官

研究要旨

近年、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）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。建築物衛生法は建築物の衛生担保を、実施業者の装備や体制の整備、衛生管理技術者による監督指導、権原者の環境測定・報告、保健所等による行政監視など、重層的な管理により図っている。

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、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てきた。

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、PM2.5、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

管理基準の不適合の割合(不適合率)は、過去約10年以上、温度、相対湿度、二酸化炭素濃度について上昇し続けている。特に相対湿度不適合率は、おおよそ25%から50%近くにまで上昇しており、その不適合率は他の管理基準と比べてもはるかに高い¹⁾。

その背景として、加湿器の容量・性能不足や運用・維持管理の不備による問題とともに、建築時における加湿器の設置に関する問題があると考えられる。建築物衛生法では、空調設備を空気調和設備と機械換気設備として規定されている。その中で、空気調和設備は温度・湿度の調整ができるものとしているが、パッケージエアコンなどは、温度調整及び除

- 3 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案
3-1 空気調和設備に関する法整備のあり方に関する検討
A. 研究目的
建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）による建築物環境衛生

湿ができたとしても、加湿ができないため機械換気設備を有する建築物として分類されると解釈することもできる。

また、機械換気設備についても空気を浄化するとあるが、対象とする汚染物質がガス状物質、浮遊粉じんによっても、設備が異なってくる。この様な実態と法律の乖離が、加湿器整備、環境衛生監視・指導の妨げとなっている可能性が考えられる。

平成 26 年度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においては、相対湿度不適合率の改善のための空気調和設備のあり方と保健所の指導のあり方を検討するために、全国の保健所の建築物衛生担当者に対して加湿装置及び機械換気設備の解釈に関するアンケート調査を行った。

本研究では、このアンケート調査の自由記載をもとに、空気調和設備に関する法律、建築物衛生法、建築基準法、労働安全衛生法事務所衛生基準規則に記載されている事項の比較を行い、法整備のあり方について検討を行う。

B. 方法

平成 26 年度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において行った、相対湿度不適合率の改善のための空気調和設備のあり方と保健所の指導のあり方のアンケート調査の自由記載例を元に、法整備について検討を行った。

このアンケート調査は、全国 495 件の全ての保健所に、特定建築物に対する指導や管理等の現況について、組織を代表して建築物衛生の担当者 1 名に自記式調査票に記入していただき、郵送により回収した。355 件（回収率 71.7%）から回答を得たが、自治体を代表して回答したものも含まれていたものである。調査票では、空気調和設備や機械換気設備に関する保健所の指導状況、加湿器の設置に関する保健所の指導状況、相対湿度の測定及び報告に関する保健所の状況等を選択式の質問をし、コメントも頂いている。

C. 空気調和設備の法整備に関する課題

C.1 アンケートの自由記載

上述のアンケートにおいて収集した自由記載について、加湿に関する問題点、法整備に関する課題について、下記のように取りまとめて抽出した。

<加湿に関する課題>

- 加湿により結露の問題がある。
- 建築確認申請時の段階で加湿器の対応を行うべき。
- 加湿装置の増設は困難で、指導に限界がある。
- 用途により、加湿のニーズが異なる。例えば店舗によっては、加湿を嫌う製品もある。
- ポータブルの加湿器の設置を指導している。
- ポータブルの加湿器の維持管理が困難である。
- 加湿に対する意識が低い。インフルエンザ感染防止などのエビデンスを明確に打ち出すべき。
- 加湿装置におけるレジオネラ対策の指針が必要。
- 加湿装置の性能不足の問題や点検・清掃が困難な構造がある。
- 冬期においても冷房運転により、加湿装置が作動できない。

加湿に関する重要性は認識しているものの、周知することが困難であることが読み取れ、説得力のあるエビデンスの必要性があることが分かった。更に加湿により結露の発生が顕著になることから、加湿を積極的に行うことができないことも、加湿を積極的に行えない要因である。これには、加湿だけではなく、建物構造上の断熱性を上げるなど、建物全体での対策が必要となってくる。その他には加湿の不適合の原因として挙げられる、加湿器の容量不足、冬期においても冷房運転となり加湿器が作動しないなど、一般的な項目についても抽出できた。

卓上加湿器の使用については、先のアンケ

ートでは、図 3-1-1 に示すように卓上加湿器の取り扱いについて示すが、多くが維持管理の困難さ、構造上の設備ではないこと、能力の観点から加湿装置とはしてないが、応急措置として、また基準値適合のため設置を推奨しているところもあった。ただし、維持管理の問題があり、適切な維持管理方法がなければ、レジオネラ属菌の繁殖など問題が発生する可能性がある。指導の現場においては、湿度低下に関する健康リスクが少ないこと、新規設置などについてはコストがかかること、加湿器を設置しても適合するとは限らないなど、指導に苦慮していることが伺えた。

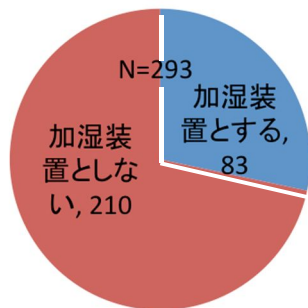


図 3-1-1 卓上加湿器を加湿器として認めるか

<法整備に関する課題>

- ・ 湿度 40% に維持できないことが多い。基準ではなく目標値としてはどうか。
- ・ 湿度に関しては、用途に応じた基準があってもよいのでは。
- ・ 建築基準法では、加湿器の設置の義務づけていないのが問題。構造基準とすべき。適切な容量の加湿器の設置と管理を義務づける。
- ・ 建築物衛生管理技術者により強い権限を持たせる。
- ・ ガイドライン等で加湿器の選定指針を示して貰いたい。加湿器選定に関する専門的知識の研修会等を開催する。
- ・ 国土交通省の建築設計基準として、外気条件：2℃，30%，室内条件：22℃，40%の見直し。

加湿器の適切な設置に関しては、建築確認申請時の図面審査を活用することが考えられる。先のアンケートによると、図 3-1-2 に示すように建築確認申請時の図面審査の実施については、1/3 程度の実施に留まっている。また審査においては、加湿器設置を半数以上は指導を行っている状況であった。指導の目的としては、健康影響への配慮、基準値遵守のためとあり、指導しない理由として、加湿器の設置が義務づけられていない、レジオネラ属菌のリスクなどと、法律上及び維持管理上の問題点が挙げられた。

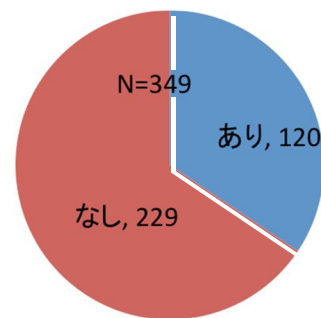


図 3-1-2 図面審査の有無

湿度の基準値については、40%の緩和や目標値として運用しては、との意見もあること、家電販売店など湿度を嫌う用途などあることから、用途に応じて基準を設けるべきなどの意見があった。加湿器を設置していない特定建築物もあることから、構造基準として設置を義務づけるべきとの意見もあった。

設計段階においては、国土交通省の建築設計基準について、標準外気条件：2℃，30%，室内条件：22℃，40%があるが、実際には室内温度が高い温度で運用されていることから、結果的に相対湿度が低くなっていること、都心での乾燥化など、設計時において加湿器の容量がそもそも不足していることが挙げられていた。更には、建築物衛生管理技術者の権限の強化により、運用において改善を試みる手法の提案があった。

C.2 法整備に関する課題

下記に建築基準法，建築物衛生法，労働安全衛生法事務所衛生基準規則において，建物の機械換気設備，空気調和設備に関する記述について抜き出した。

< 建築基準法施行令 >

(換気設備の技術的基準)

第二十条の二

口 機械換気設備（中央管理方式の空気調和設備（空気を浄化し，その温度，湿度及び流量を調節して供給（排出を含む。）をすることができる設備をいう。）を除く。以下同じ。）

にあつては，第二百二十九条の二の六第二項の規定によるほか，次に定める構造とすること。

第二百二十九条の二の六第二項

2 建築物に設ける機械換気設備は，次に定める構造としなければならない。

一 換気上有効な給気機及び排気機，換気上有効な給気機及び排気口又は換気上有効な給気口及び排気機を有すること。

二 給気口及び排気口の位置及び構造は，当該居室内の人が通常活動することが想定される空間における空気の分布を均等にし，かつ，著しく局部的な空気の流れを生じないようにすること。

三 給気機の外気取り入れ口並びに直接外気に開放された給気口及び排気口には，雨水又はねずみ，虫，ほこりその他衛生上有害なものを防ぐための設備をすること。

四 直接外気に開放された給気口又は排気口に換気扇を設ける場合には，外気の流れによつて著しく換気能力が低下しない構造とすること。

五 風道は，空気を汚染するおそれのない材料で造ること。

(換気設備の技術的基準)

第二十条の二

中央管理方式の空気調和設備にあつては，第二百二十九条の二の六第三項の規定によるほか，衛生上有効な換気を確保することができるものとして国土交通大臣が定めた構造方法を用いる構造とすること。

第二百二十九条の二の六第三項

建築物に設ける中央管理方式の空気調和設備は，前項に定める構造とするほか，国土交通大臣が居室における次の表の各項の上欄に掲げる事項がおおむね当該各項の下欄に掲げる基準（浮遊粉じん，一酸化炭素，炭酸ガス，温度，相対湿度，気流）に適合するように空気を浄化し，その温度，湿度又は流量を調節して供給することができる性能を有し，かつ，安全上，防火上及び衛生上支障がない構造として国土交通大臣が定めた構造方法を用いるものとしなければならない。

< 建築物における衛生的環境の確保に関する法律施行令 >

(建築物環境衛生管理基準)

第二条

口 機械換気設備（空気を浄化し，その流量を調節して供給をすることができる設備をいう。）を設けている場合は，厚生労働省令で定めるところにより，居室におけるこの表の第一号から第三号まで，第六号及び第七号の上欄に掲げる事項（浮遊粉じんの量，一酸化炭素の含有率，二酸化炭素の含有率，気流，ホルムアルデヒドの量）がおおむね当該各号の下欄に掲げる基準に適合するように空気を浄化し，その流量を調節して供給をすること。

(建築物環境衛生管理基準)

第二条

イ 空気調和設備（空気を浄化し，その温度，湿度及び流量を調節して供給（排出を含む。）以下この号において同じ。）をすることができる設備をいう。）を設けている場合は，厚生労働省令で定めるところにより，居室における次の表の各号の上欄に掲げる事項（衛生管理基準 7 項目）がおおむね当該各号の下欄に掲げる基準に適合するように空気を浄化し，その温度，湿度又は流量を調節して供給をすること。

< 事務所衛生基準規則 >

(空気調和設備等による調整)

第五条 事業者は、空気調和設備(空気を浄化し、その温度、湿度及び流量を調節して供給することができる設備をいう。以下同じ。) 又は機械換気設備(空気を浄化し、その流量を調節して供給することができる設備をいう。以下同じ。) を設けている場合は、室に供給される空気が、次の各号に適合するように、当該設備を調整しなければならない。

一 浮遊粉じん量(一気圧、温度二十五度とした場合の当該空気一立方メートル中に含まれる浮遊粉じんの重量をいう。以下同じ。) が、 0.15 ミリグラム以下であること。

二 当該空气中に占める一酸化炭素及び二酸化炭素の含有率が、それぞれ百万分の十以下(外気が汚染されているために、一酸化炭素の含有率が百万分の十以下の空気を供給することが困難な場合は、百万分の二十以下) 及び百万分の千以下であること。

三 ホルムアルデヒドの量(一気圧、温度二十五度とした場合の当該空気一立方メートル中に含まれるホルムアルデヒドの重量をいう。以下同じ。) が、 0.1 ミリグラム以下であること。

附 則 (平成一六年三月三〇日厚生労働省令第七〇号)

2 この省令の施行の際現に中央管理方式以外の空気調和設備又は機械換気設備を設けている室については、当分の間、第一条による改正後の事務所衛生基準規則第五条第一項第一号の規定は、適用しない。

(空気調和設備等による調整)

第五条 事業者は、空気調和設備(空気を浄化し、その温度、湿度及び流量を調節して供給することができる設備をいう。以下同じ。) 又は機械換気設備(空気を浄化し、その流量を調節して供給することができる設備をいう。以下同じ。) を設けている場合は、室に供給される空気が、次の各号に適合するように、当該設備を調整しなければならない

建築基準法と建築物衛生法においては、機械換気設備と空気調和設備については概ね同様の記述であるが、建築基準法においては、中央管理方式の空気調和設備のみを対象としている書き方であるのに対し、建築物衛生法では、中央管理方式の限定は撤廃されているため、個別空気調和設備への考慮が行われていない。また、両法律ともに、空気調和設備について空気を浄化し、その温度、湿度又は流量を調節して供給することができる性能を有することと述べられており、建築物衛生法と同様である(ただし、建築基準法には空気を浄化する項目として、ホルムアルデヒドは述べられてない)。しかし、加湿することを意図した湿度を調整するための加湿器を設置に関する記述がされていないことから、加湿器の扱いが曖昧になっていることが考えられる。

なお、先のアンケートによると図 3-1-3 及び図 3-1-4 に示すように、加湿装置がない場合、機械換気としている割合は $2/3$ 程度であり、法令の解釈通りに行っているということであった。しかし、空気調和設備と分類する際には、加湿機能がなくとも、その他の項目の調整が可能なこと、法令に加湿器設置義務がないことなどの理由で、判断が分かれていた。また、エアコンについては、半数以上で空気調和設備とは分類しておらず、温度調整及び除湿のみでは空気調和とは判断していないものの、設備の状況により判断しているようであった。

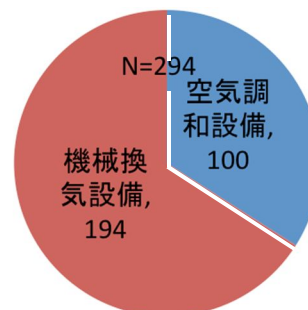


図 3-1-3 加湿装置のない設備の分類

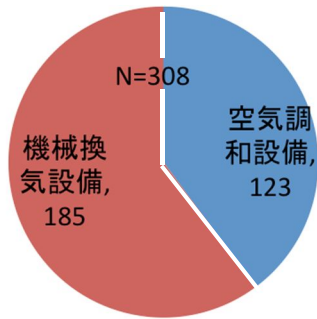


図 3-1-4 パッケージエアコンなど加湿装置のない設備の分類

一方機械換気設備については、両法律共に空気を浄化することと記述されているものの、換気により二酸化炭素や一酸化炭素などのガス状物質を外気を導入して希釈して浄化することか、浮遊粉じんなどエアフィルタを設けて除去することを想定しているのかが不明である。

図 3-1-5 に第 3 種換気設備のようなエアフィルタのない換気扇について、機械換気と認めているかについてのアンケート結果を示す。半数以上が機械換気設備と認めており、認める理由として、CO、CO₂ については適合可能なため、機械換気設備にエアフィルタを規定していないため、浄化に対し具体的な定めがない、浮遊粉じんが超過する可能性が低いため、という回答があった。また、認めない理由として、浮遊粉じんの制御ができないため、という回答もあった。

機械換気設備に関しても、エアフィルタを有するものとならないものについて、判断が分かれていることが、法律の規定に曖昧さがあることに関係していると考えられる。

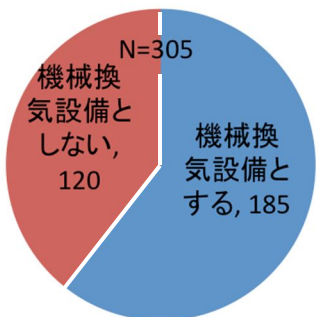


図 3-1-5 エアフィルタのない換気扇を機械換気設備と認めるか

事務所衛生基準規則においては、両法律と同様に機械換気設備と空気調和設備に分類し、浄化には、浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、ホルムアルデヒドの 4 項目を示している。また、建築物衛生法が個別空調方式に対応したことから、中央管理方式以外の空気調和設備又は機械換気設備についても、言及されている。しかしながら、上記の空気環境項目に基準については、建築物衛生法が室の代表点での環境測定を意図しているのに対し、事務所衛生基準規則においては、室に供給される空気を対象としている。例えば換気設備の吹出口の空気質が上記の通りとすれば、外気の濃度のみを規定していることとなり、室内の発生量に応じた換気量の確保は望めないことから、空気環境の基準値を満足することができない可能性があり、表現の問題がみられる。

D.まとめ

本調査では、保健所環境衛生監視員を対象とした建築物衛生法に係わる設備の設置指導についてアンケート調査の自由記載をもとに、空気調和設備に関する法律、建築物衛生法、建築基準法、労働安全衛生法事務所衛生基準規則に記載されている事項の比較を行い、法整備のあり方について検討を行った。

自由記載の中から、湿度の意識を高めること、結露や加湿のポイントなどを周知することが必要であることの見解があり、用途毎の基準値の設定、構造的に加湿器の設置を義務化すること、設計段階の標準条件の見直しなどの意見があった。いずれにせよ、設置及び運用に関する適切なマニュアルなどの対応が効果的であると考えられる。

また、建築物衛生法、建築基準法、労働安全衛生法事務所衛生基準規則の違いを検討した結果、建築基準法においては、個別空調方式の記載がないことと共に、湿度を調整するための加湿器の記載、浄化のためのエアフィルタの設置など曖昧な部分がある。また、事務所衛生基準規則においては、空気の基準として供給空気を対象としており、建築基準法

及び建築物衛生法に規定している室空気とは異なる記述となっていた。これらを統一して整理すること、可能ならば設備の設置にまで踏み込めれば、基準値の不適合率の改善に効果があるものと考えられる。

E. 参考文献

- 1) 東賢一，池田耕一，大澤元毅，鍵直樹，柳宇，斎藤秀樹，鎌倉良太：建築物における衛生環境とその維持管理に関する調査解析，空気調和・衛生工学会論文集，No.179，pp.19-26，2012.2

3-2 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

3-2-1 湿度の基準値設定の根拠^{1),2)}

ビル内における人体の環境諸要素の基準を提示する場合、事務所内においても、知的作業、軽作業、筋肉作業など、作業の種類と強度による差があり、男女差もある。従って、ビル内の環境を対象とする場合、他の広範な作業強度についての基準を参照とすることにより、狭い目的に対して、作業者のための確な環境条件を設定し維持するべきである。そこで「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」³⁾では、当時得られた知見（石川、阿久津、三浦、平山、真許、Yaglou など）に基づいて、床上 75cm における温度の許容限度として、冬季で最小 17℃、夏季で最大 28℃が提案されている。

また、1971年に作成された厚生大臣指定建築物環境衛生管理技術者講習会テキスト⁴⁾に以下の記述がある。「人体の温度調節機能は 5℃～7℃が限界といわれていること、外気温度を無視した冷房により、神経痛、腰痛、腹痛、胃腸障害、下痢、風邪、月経障害などのいわゆる冷房病、また過度の暖房により呼吸器系疾患に罹患することなど、さらに、季節により快適温度が異なることなどを考慮し、冬季には 17～23℃、夏季には 21～28℃に保つことが良いともいわれているが、夏季に暖房、冬季に冷房を要するような特殊な場合もあるので慎重な配慮が必要である。」また、1971年厚生省大臣官房総務課の古賀章介氏による建築物衛生法の解説によると、居室の温度を外気より低くする場合の許容しうる温度差を 7℃以内として運用することが明記されている。従って、温度の建築物環境衛生管理基準の設定にあたっては、季節を問わず通年の上限および下限として「17℃以上 28℃以下」を採用し「居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。」が付記されたと考えられる。

3-2-2 相対湿度の基準値設定の根拠^{1),2)}

多湿であると人体に対して種々の障害が起こりうるが、多くは低温が原因で多湿となっ

ている。また、乾燥し過ぎの場合は咽喉の粘膜を痛めて障害を起こしやすくなる。室内の絶対湿度（水蒸気圧）が一定であれば、相対湿度は気温の上昇や下降にともない乾燥や多湿の方向へと変化するので気温が問題である。鉄筋コンクリート造の地下室や倉庫など固体表面が低温の場合は、その付近では低温多湿となる。これらのことを踏まえ、「ビルディングの環境衛生基準に関する研究」³⁾では、許容限度の例として、1951年3月発行の DIN 1946 Versammlungsräumen（会議区域の換気システムに関する基準）から冬の最低限度 35%、夏の最高限度 70%をあげている。そして、乾燥し過ぎの場合は咽喉の粘膜を痛めて障害を起こしやすくなることから、55～70%（人体に対し夏は少湿、冬は多湿が望ましい）を相対湿度の推奨値として提案している。

相対湿度の環境衛生管理基準（40～70%）では、この上限値がそのまま採用されているが、下限値は異なっている。建築物衛生法施行令が公布された 1970 年以前に相対湿度と各種ウイルスの死滅率や感染価等との関連性が報告されている。これらの研究によると、インフルエンザウイルスの死滅率は低湿度で低く、相対湿度の下限値は 40%と判断できる。従って、これらの研究結果をもとに、相対湿度の下限値として 40%が採用されたと考えられる。

3-2-3 二酸化炭素の基準値設定の根拠^{1),2)}

1971年に作成された建築物環境衛生管理技術者講習会テキスト⁴⁾において以下の記述がある。「二酸化炭素濃度は、空気清浄度の 1 つの指標として、従来より測定されており、また居室では、人の呼気、喫煙、炊事、また調理等により、影響を受けやすい。二酸化炭素自体は、少量であれば人体に有害ではないが、1000ppm を超えると倦怠感、頭痛、耳鳴り、息苦しさ等の症状を訴えるものが多くなり、フリッカー値の低下も著しいこと等により定められたものである。」

1968年に世界保健機関（WHO）が公表した「住居の衛生基準に対する生理学的基礎」¹³⁾では、二酸化炭素の基準について次の記載

がある。「最近まで地上の炭酸ガス(二酸化炭素)の作用の研究に2つの判定が用いられていた。その第1は、生理学的研究によると、0.5% (5000ppm)以上の濃度になると、炭酸ガスは呼吸数をガス交換に必要なレベル以上に増加させ、呼吸系統に付加的な重荷を負わせる。第2は1881年にPettenkoferとFlüggeは0.07~0.1% (700~1000ppm)を炭酸ガスの許容濃度とみなすと提言した。第2の数値は生理学的な基礎を持っていないが、これは家庭内の空気の汚染の間接的な指標としてかなり実数的な数値であると認められた。はなはだ最近まで、この値は室の中の空気の更新に必要な速度を計算するのに用いられたし、また、室内の空気の質を評価して、換気系統の能率を判定するのに用いられてきた。」また、WHOの報告書では、1964年にEliseevaが発表した研究を引用し、0.1% (1000ppm)の炭酸ガスの吸入実験によって、呼吸循環器系、大脳の電気活動に変化がみられたと報告している。

従って、二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準の設定にあたっては、WHOの報告書で指摘された二酸化炭素の判定基準を踏まえ、さらに1000ppmを超過した際の二酸化炭素による健康影響を考慮し、管理基準を1000ppmに設定したと考えられる。

3-2-4 温湿度に関する諸外国の基準^{1),2)}

温熱快適性は、着衣量や活動量によって最適温度範囲が異なるため、季節や活動状況に応じた適正な温度範囲がある。そこで、夏季の冷房時と冬季の暖房時で基準を分けている諸外国が散見された。以下にその例を示す。

米国保健省は、公衆衛生サービス施設に関する温熱環境基準をマニュアルとして定めている。このマニュアルによると、就業時間中に維持すべき夏季の冷房温度は21.1~26.7°C (70~80°F)であり、冷房装置の調節温度は25.6~26.7°C (78~80°F)に設定すべきとしている。また、同様に冬季の暖房温度は18.3~20.0°C (65~68°F)に維持すべきであり、非就業時間中は12.8°C (55°F)未満に設定すべきとしている。

米国労働省の労働安全衛生局は、当局の技術マニュアルにおいて、オフィスにおける湿度のガイドラインを勧告している。このマニュアルによると、湿度の制御範囲は20~60%、温度の制御範囲は20~24.4°C (68~76°F)を勧告している。ただしこの数値は規制値ではない。

カナダ労働安全衛生センターが労働環境におけるガイドラインを勧告している。温度について、一般的には21~23°C (69~73°F)の範囲内に維持することが推奨されるが、夏季に外気温度がこの範囲よりも高い時は、屋外と外気との温度差を最小限にするために、少しばかり高い温度に空調することが望ましいとしている。

カナダ規格協会は、オフィス環境における湿度の規格CSA Z412-00を作成している。およそ80%の人々が快適感を示す温度範囲として、夏季では相対湿度30%で24.5~28°C、同60%で23~25.5°C、冬季では相対湿度30%で20.5~25.5°C、同60%で20~24°Cと規定している。夏季は薄いズボンに半袖シャツ、冬季は分厚いズボンに長袖のシャツが着衣の前提条件となる。カナダ学術研究会議がこの規格を推奨している。

イギリス健康安全局が職場の温熱快適性に関する指針を公表している。この指針の対象は、店舗、オフィス、工場、実験場などの一般的な室内環境である。加熱や冷却が強制的に行われている鋳造所、ガラス工場、冷蔵室など、製紙工場やクリーニング工場などの高湿度の職場、作業上特殊な保護衣を着用しなければならない職場は対象外である。この指針によると、イギリスの大半の国民が許容可能な温熱快適性の範囲は、13°C (活動量の多い職場)~30°C (デスクワーク中心の職場)としている。

中国では、国家環境保護総局や衛生部等の行政機関が共同で室内空気質基準(GB/T18883-2002)を2002年に公布している。この基準は住宅とオフィスの室内空気質に対する評価に適用され、夏の空調時は室温22~28°Cで相対湿度40~80%、冬の暖房時は室温16~24°Cで相対湿度30~60%としている。

ニュージーランドでは、労働省がオフィスにおける温熱環境基準を規定している。デスクワーク中心の職場では夏季が室温 19～24℃で冬季が室温 18～22℃、活動量の多い職場では夏季が室温 16～21℃で冬季が室温 16～19℃、相対湿度はいずれの職場でも 40～80%としている。

その他、オーストラリア、フィンランド、香港特別行政区、シンガポールでも温熱環境のガイドライン等が作成されている。

諸外国における温熱環境基準を表 3-2-1 に示す。

3-2-5 相対湿度による健康等への影響に関する近年のエビデンス

既報において、建築物の中で居住者の健康に影響する因子として、ウイルス感染、ダニやカビによる微生物汚染、アレルギー症状、静電気、粘膜（目、鼻、喉）や皮膚への影響を総合的に文献レビューし、相対湿度の最適推奨範囲としては、40～70%が妥当であると報告した^{1),2)}。さらに文献レビューを行った結果、近年の日本における疫学研究^{6),7)}からも、40%以上の相対湿度が必要であることが報告されている。これらのエビデンスをまとめると、推奨範囲は表 3-2-2 にように 40～70%にまとめることができる。以下に近年のエビデンスを概説する。

Sohaffer らは、エアロゾル化した A 型インフルエンザウイルスは低湿度で最も安定で、中湿度では最も不安定、高湿度ではその中間であり、ウイルスの不活性化率が最も高い相対湿度は、培養細胞によって異なり約 40～60%の範囲であったと報告している⁸⁾。近年では中山らが、感染患者から 1 回に排出される飛沫中のインフルエンザウイルスを 3 時間で不活化するには、18 で 50～60%RH、26 で 55%RH、31 で 25～30%RH 必要と報告している⁹⁾。

微生物汚染に関して Fanger は、カビの生育防止には 70%RH 以下が必要と報告している¹⁰⁾。Baughman らは、カビの生育は 70%RH 以下であれば問題にならないが、カビの生育に基づき湿度の最大限度を設定する場合、フィ

ールド調査の結果から、60%と 70%を区別する根拠はないと報告している¹¹⁾。また、ダニの至適生育湿度は 70～80%RH で、50%程度でもダニ汚染が観察される場合もあるが、空气中の湿度よりも、カーペット中などダニが存在する場所の湿度の方が重要であり、ダニ対策は、湿度制御ではなく、清掃、カーペットの取り替え等の他の手段を用いるべきと指摘している。アレルギー症状に関して Reinikainen らは、アレルギー症状は 20～30%RH から 30～40%RH への加湿で改善されると報告している¹²⁾。

静電気による影響については、6～18%RH から 35～45%RH へ加湿すると、30%以上になると過半数の従業員が静電気感を訴えなくなり、40%以上になると申告が「乾燥した」から「湿った」側に移行するとの報告がある¹³⁾。また、木村らは、カーペット歩行時の人体の帯電圧は相対湿度の上昇とともに低下するが、人が静電気ショックを感じる限界といわれる 3kV 程度に達するには相対湿度 40～50%RH 程度必要と報告している¹⁴⁾。衣類の帯電に関しては、衣服着用時の帯電量と相対湿度にしてみると、ポリエステルでは 50%RH 以下、ナイロンでは 40%RH 以下で放電を開始しており¹⁵⁾、床材によって異なるが、化学繊維製カーペットでは 40～50%RH 以上、綿などのカーペットでは 30～35%RH 以上必要と報告されている¹⁰⁾。

粘膜や皮膚への影響に関しては近年報告が多い。例えば、皮膚および粘膜の乾燥は 20～30%RH から 30～40%RH への加湿で改善される¹⁶⁾。20.0～31.7%RH から 26.6～41.2%RH への加湿で鼻の乾燥と鼻づまり、皮膚の乾燥や発疹、咽頭の乾燥が軽減される¹²⁾。目の涙膜層の質は湿度 15%以下で悪化し、特にコンタクト使用者では顕著であり、5%RH では 35%RH と比べてまばたき時間が短縮し、15%RH 以下では 25%RH 以上より全身乾燥感や目の乾燥感が増強し、Sensitive 群では目の刺激感が湿度低下に伴い向上すると報告されている¹⁷⁾。10%RH と 30%RH への入室では 50%RH と比べて目と皮膚の乾燥が有意に観察され、鼻腔内の粘液線毛機能は 10%RH に

入室すると有意に増加（鼻の乾燥）することから，目や皮膚の乾燥防止には 30%RH 超，鼻の粘膜の乾燥防止には 10%RH 超必要と報告されている¹⁸⁾。鼻腔粘膜輸送速度（SCT）は 10%RH に入室すると高齢者で有意に増加，まばたき回数は 10%RH と 30%RH の湿度条件で高齢者および若年者ともに有意に増加，高齢者施設では温湿度を適切に管理することがより重要と報告されている¹⁹⁾。左前腕部皮膚水分量は 50%RH と 70%RH に比べて 40%RH と 30%RH では有意に低く，低湿度では蒸汗作用大と報告されている^{20),21)}。また，まばたき許容時間（BUT）は 50%RH 以下で入室時に有意に高くなったが入室後の湿度間に有意な差はなかったと報告されている^{20),21)}。相対湿度が低いと目の刺激症状や角膜前涙液層（PTF：角膜表面を被覆している涙液層）の変質が増加する。これらの影響は，VDT（画像表示装置）作業で増悪する可能性がある。相対湿度 40%RH は，30%RH 以下のレベルよりも目や気道には良好であると報告されている^{18),19),22)}。従って，近年の疫学研究や実験データから，相対湿度の下限値については 40%以上が推奨されている²³⁾。

最近の研究成果として，国立労働安全衛生研究所の齊藤らは，低湿度の 30%や 35%ではシックビルディング症候群の症状（鼻症状，息切れ，めまい等）が有意に増加することから，相対湿度の目標値については 40%以上を推奨している⁷⁾。著者らの日本の研究でも，相対湿度の冬期における環境基準不適合と上気道症状との有意な関係がみられている⁶⁾。

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（図 3-2-1）^{24),25)}。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²⁶⁾。

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²⁷⁾。

3-2-6 二酸化炭素による健康等への影響に関する近年のエビデンス

（1）諸外国におけるガイドライン

諸外国における二酸化炭素濃度のガイドラインを調査した結果，ほとんどの諸外国で，室内空気汚染や換気の指標として，1000ppm が採用されている（表 3-2-3）^{1),2)}。特に，シンガポール，中国香港特別行政区，韓国環境部などのアジア諸国では，日本の建築物衛生法が参照されている。

ドイツでは，2008 年に連邦環境庁の室内空気衛生委員会が二酸化炭素の室内空気質ガイドラインを公表している。ドイツのガイドラインでは，健康と衛生上の問題を考慮したうえで，1000 ppm 以下を無害（harmless），1000～2000 ppm では健康と衛生上の問題が上昇（elevated），2000 ppm 以上を許容不可能（unacceptable）としている（表 3-2-4）²⁸⁾。

（2）疫学研究

ヒトが吸入する二酸化炭素濃度の上昇にともない，血中 pH が低下し，ヘモグロビンから酸素が離れやすくなる。そのため，吸入する二酸化炭素濃度が 10000 ppm を超えると呼吸性アシドーシスが出現し，濃度の上昇に伴って，呼吸数の増加，頭痛，錯乱，嗜眠，記憶喪失，呼吸困難等のリスクが高くなる。従って，二酸化炭素はヒトに対して有害な物質である²⁹⁾。

二酸化炭素による健康等への影響に関して文献レビューを行った結果，以下の報告があった。オフィスビルの二酸化炭素濃度と健康影響に関する 21 の文献をレビューした結果，約半数の研究において，800 ppm 未満の濃度領域で，二酸化炭素濃度の減少とともに SBS 症状のリスクが減少していた³⁰⁾。米国 BASE 研究において，1 日平均濃度 800 ppm 以下の領域でも，室内平均濃度と外気濃度の差が

100 ppm 上昇すると粘膜刺激と下気道症状が有意に上昇した。また、最大濃度との差では 250 ppm 上昇すると同様の症状が有意に上昇した^{31),32)}。スウェーデンの調査(674~1450 ppm)において、二酸化炭素濃度が 100 ppm 上昇すると頭痛が有意に増加したことから、二酸化炭素濃度は現在の基準値 1000 ppm 以下にすべきと指摘されている³³⁾。1000 ppm 以上の濃度の二酸化炭素に曝露した学校の子どもにおいて、乾性咳(OR 2.99)と鼻炎(OR 2.07)の症状が有意に増悪したと報告されている³⁴⁾。22名の学生を用いて、オフィス様のチャンバーで 600 ppm, 1000 ppm, 2500 ppm の二酸化炭素濃度で 1 日合計 7.5 時間曝露させたところ、1000 ppm の二酸化炭素濃度で有意に意思決定能力が低下したと報告されている³⁵⁾。台湾の事務所労働者の調査では、800 ppm 以上の二酸化炭素濃度で目や上気道の刺激が報告されている³⁶⁾。

低濃度の二酸化炭素によるヒトの健康等へ影響について、近年、フランス環境労働衛生安全庁(ANSES)が、レビューを行っている(表 3-2-5)³⁷⁾。それによると、二酸化炭素濃度の室内外濃度差 450 ppm 以上または室内濃度 850 ppm 以上では、シックビルディング(SBS)症状が増加すると報告している。また、室内外濃度差 600 ppm 以上または室内濃度 1000 ppm 以上では、小児の喘息症状の増悪や成人の意思決定及び問題解決能力が低下すると報告している。このような労働生産性に対する影響は、社会経済に与える影響が大きく、今後の重要な課題といえる。鉛の耐容摂取量の設定においては、小児における知能指数(IQ)の低下が影響指標に用いられており、このような非顕性(sub-clinical)の影響に対しても、近年対応が求められている³⁸⁾。

二酸化炭素濃度と SBS 症状については、著者らの日本の研究でも、550 ppm から 1320 ppm の濃度域において、二酸化炭素濃度の上昇と頭痛等の一般症状のリスクとの関連性に関する傾向がみられおり、1000 ppm の環境基準不適合と一般症状との有意な関係もみられた^{6),39)}。上述のように、スウェーデン³³⁾や台湾³⁶⁾の調査でも、これらの低濃度域における

SBS 症状との有意な関係が報告されている。

(3) 低濃度二酸化炭素による生理学的変化

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^{40),41)}。

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⁴²⁾。

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⁴³⁾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⁴⁴⁾や認識機能への影響⁴⁵⁾が近年報告されている。

Allen らによると、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⁴⁵⁾。

MacNaughton らによると、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⁴⁰⁾。

Zhang らによると、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⁴⁶⁾。

また Zhang らによると、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⁴⁷⁾。

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⁴⁸⁾。

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

低濃度域における二酸化炭素濃度の上昇と SBS 症状の関係については, 他の室内汚染物質の濃度上昇が関与している可能性があるかもしれないため, 直接的な因果関係とはいえないかもしれない。しかしながら, 国内外の複数の疫学調査において, 低濃度領域における二酸化炭素濃度と SBS 症状との有意な関係が報告されていることから, SBS による健康影響を防止するために, 二酸化炭素濃度を管理基準や管理指標に用いることは, リスク管理として妥当であると考えられる。建築物室内における潜在的な低濃度複合汚染による影響も防止できる可能性がある。また, 二酸化炭素そのものによる労働生産性(意思決定能力等)への影響もヒトボランティアを用いた実験室実験で示唆されていることから, これまで設定されてきた二酸化炭素の環境衛生管理基準である 1000 ppm 以下は, 望ましい基準として適正であると考えられる。

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(調査フロアー数 24, 調査対象者数約 648 名)を得たうえで, 平成 27 年 6 月から平成 29 年 2 月までアンケート調査と室内環境の実測調査に関する縦断調査を実施した。その結果, 上気道症状では温度の低下, 相対湿度の低下, 絶対湿度の低下との間に有意な関係がみられた。冬期の相対湿度は建築物環境衛生管理基準値の 40%を下回るオフィスが大半であったことから, 冬期の湿度低下が上気道症状のリスクを高めている原因となっている可能性が考えられた。解析途上にある室内空気汚染物質等の他の室内空気質因子を含め, 今後はさらに詳細な解析を実施する。

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

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

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

近年, 1000ppm 程度の低濃度の二酸化炭素

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

1999年頃から温湿度や二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準の不適合率が増加しているが、これらの増加が生じている原因として、省エネルギー対応が関わっているとの報告がある。具体的な例としては、空調機や換気設備の誤った使用方法による外気の導入不足、加湿器や空調機や換気設備のメンテナンス不良など、空気調和設備の維持管理に関わる問題が主な原因としてあげられている^{41),42)}。従って、これらの維持管理に関わる問題に対するさらなる対応が必要と考えられる。

E. 参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 小林陽太郎, 他: ビルディングの環境衛生基準に関する研究. 昭和40年度厚生科学研究所研究報告, 1966.
- 4) ビル管理教育センター: ビルの環境衛生管理. 厚生大臣指定建築物環境衛生管理技術者講習会・テキスト, 1971.
- 5) Goromosov MS. The physiological basis of health standards for dwellings. Public Health Papers No. 33, World Health Organization, Geneva, 1968.
- 6) 大澤元毅ら: 建築物環境衛生管理及び管理基準の今後のあり方に関する研究. 平成24年度総括・分担研究報告書, 厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業, 厚生労働省, 東京, 2013.
- 7) 齊藤宏之ら: 冬季オフィス環境における低湿度と自覚症状との関連性. 平成27年室内環境学会学術大会抄録集, pp. 222-223, 2015.
- 8) Sohaffer FL, Soergel ME, Straube DC. Survival of Airborne Influenza Virus: Effects of Propagating Host, Relative Humidity, and Composition of Spray Fluids. Archives of Virology 51,263-273, 1976.
- 9) 中山幹男, 齊藤恵子: インフルエンザウイルスの感染価に及ぼす相対湿度の影響. BMSA 会誌 20 (3): 77-80, 2009.
- 10) Fanger PO. Air humidity, comfort and health. Proceedings of the 16th International Congress of Refrigeration 5: 255-259, 1983.
- 11) Baughman AV, Arens EA. Indoor Humidity and Human Health--Part I: Literature Review of Health Effects of Humidity-Influenced Indoor Pollutants. ASHRAE Transactions 102: 193-211, 1996.
- 12) Reinikainen LM, Jaakkola JJK. Significance of humidity and temperature on skin and upper airway symptoms. Indoor Air 13: 344-352, 2003.
- 13) 輿水ヒカル, 栃原 裕, 池田耕一: 加湿器導入による冬期の工場勤務者の温熱快適性および主観的評価の変化に関する調査研究. 日本建築学会計画系論文集, No. 552. pp. 9-14, 2002.
- 14) 木村裕和, 稲次俊敬, 小河 宏: 最近のカーペットの問題点. 繊維機械学会誌 55 (3): 4-12, 2002.
- 15) 井上猛司, 松尾義輝 (1978) 静電気対策に必要な温湿度管理とその設計. 電設工業 24 (4): 57-62
- 16) Reinikainen LM, Jaakkola JJK, Seppänen O. The Effect of Air Humidification on Symptoms and Perception of Indoor Air Quality in Office Workers: A Six-Period Cross-Over Trial. Archives of Environmental Health 47 (1): 8-15, 1992.
- 17) 堤 仁美, 田辺新一, 針ヶ谷純吉, 井口泰男, 中村 元: 蒸暑環境から冷房空間への入室時において湿度が快適性・知的生産性に及ぼす影響に関する被験者実験. 日本建築学会環境系論文集, 第609号, pp. 15-21, 2006.
- 18) Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami

- M, Tochihara Y. Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity. *Journal of Physiological Anthropology* 25 (1): 7–14, 2006.
- 19) Sunwoo Y, Chou C, Takeshita J, Murakami M, Tochihara Y. Physiological and Subjective Responses to Low Relative Humidity in Young and Elderly Men. *Journal of Physiological Anthropology* 25 (3): 229–238, 2006.
- 20) 堤 仁美, 田辺新一, 針ヶ谷純吉, 井口泰男, 中村 元. 蒸暑環境から冷房空間への入室時において湿度が快適性・知的生産性に及ぼす影響に関する被験者実験. *日本建築学会環境系論文集*, 第 609 号, pp. 15–21, 2006.
- 21) Tsutsumi H, Tanabe S, Harigaya J, Iguchi J, Nakamura G. Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment. *Building and Environment* 42 (12): 4034–4042, 2007.
- 22) Wolkoff P, Kjærgaard SK. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International* 33 (6): 850–857, 2007.
- 23) Wolkoff P. “Healthy” eye in office-like environments. *Environmental International* 34 (8): 1204–1214, 2008.
- 24) 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.
- 25) Hanley BP, Borup B. Aerosol influenza transmission risk contours: a study of humid tropics versus winter temperate zone. *Virology* 7:98, 2010.
- 26) Jaakkola K, Saukkoriipi A, Jokelainen J, Juvonen R, Kauppila J, Vainio O, Ziegler T, Rönkkö E, Jaakkola JJ, Ikäheimo TM1; KIAS-Study Group. Decline in temperature and humidity increases the occurrence of influenza in cold climate. *Environ Health* 13(1):22, 2014.
- 27) 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.
- 28) IRK (Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden). Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 51 (11): 1358–1369, 2008.
- 29) Rice SA: Health effects of acute and prolonged CO₂ exposure in normal and sensitive populations. Second annual conference on carbon sequestration, Alexandria, VA, 2003.
- 30) Seppänen OA, Fisk WJ, Mendell MJ. Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air* 9(4):226-252, 1999.
- 31) Apte MG, Fisk WJ, Daisey JM. Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: an analysis of the 1994-1996 BASE study data. *Indoor Air* 10(4):246-257, 2000.
- 32) Erdmann CA, Apte MG. Mucous membrane and lower respiratory building related symptoms in relation to indoor carbon dioxide concentrations in the 100-building BASE dataset. *Indoor Air* 14(Suppl 8):127-134, 2004.
- 33) Norbäck D, Nordström K. Sick building syndrome in relation to air exchange rate, CO₂, room temperature and relative air humidity in university computer classrooms: an experimental study. *Int Arch Occup Environ Health* 82(1):21-30, 2008.
- 34) Simoni M, Annesi-Maesano I, Sigsgaard T, Norback D, Wieslander G, Nystad W,

- Canciani M, Sestini P, Viegi G. School air quality related to dry cough, rhinitis and nasal patency in children. *Eur Respir J* 35(4):742-749, 2010.
- 35) 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.
- 36) Tsai DH, Lin JS, Chan CC. Office workers' sick building syndrome and indoor carbon dioxide concentrations. *J Occup Environ Hyg* 9(5):345-351, 2012.
- 37) ANSES: Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé. RAPPORT d'expertise collective, 2013.
- 38) 東 賢一: 小児の中毒 II - 4 .重金属による中毒 鉛. *小児科臨床*, 第 65 巻増刊号, pp. 1501-1508.
- 39) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Physicochemical risk factors for building-related symptoms: thermal conditions and combined exposure to indoor air pollutants. *Proceedings of the 14th international conference of Indoor Air Quality and Climate*, 7 pages, in press, 2016.
- 40) 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.
- 41) Vehviläinen T, Lindholm H, Rintamäki H, Pääkkönen R, Hirvonen A, Niemi O, Vinha J. *J Occup Environ Hyg* 13(1):19-29, 2016.
- 42) Kajtár L, Herczeg L. Influence of carbon-dioxide concentration on human well-being and intensity of mental work. *IDŐJÁRÁS* 116(2):145-169, 2012.
- 43) Starcke K, Brand M. Decision making under stress: a selective review. *Neurosci Biobehav Rev* 36(4):1228-1248, 2012.
- 44) 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.
- 45) 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.
- 46) 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.
- 47) 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.
- 48) 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.
- 49) 中川晋也ら: 特定建築物における二酸化炭素濃度不適率上昇の原因と対策. *東京都健康安全研究センター研究年報* 第 62 号, pp. 247-251, 2011.
- 50) 労働者健康福祉機構広島産業保健推進センター: 冬季における事務所の湿度環境の実態と改善方策に関する研究. *平成 22 年度調査研究報告書*, 2011.

表 3-2-1 諸外国における温熱環境基準

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

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

表 3-2-2 近年のエビデンスに基づく相対湿度の推奨範囲

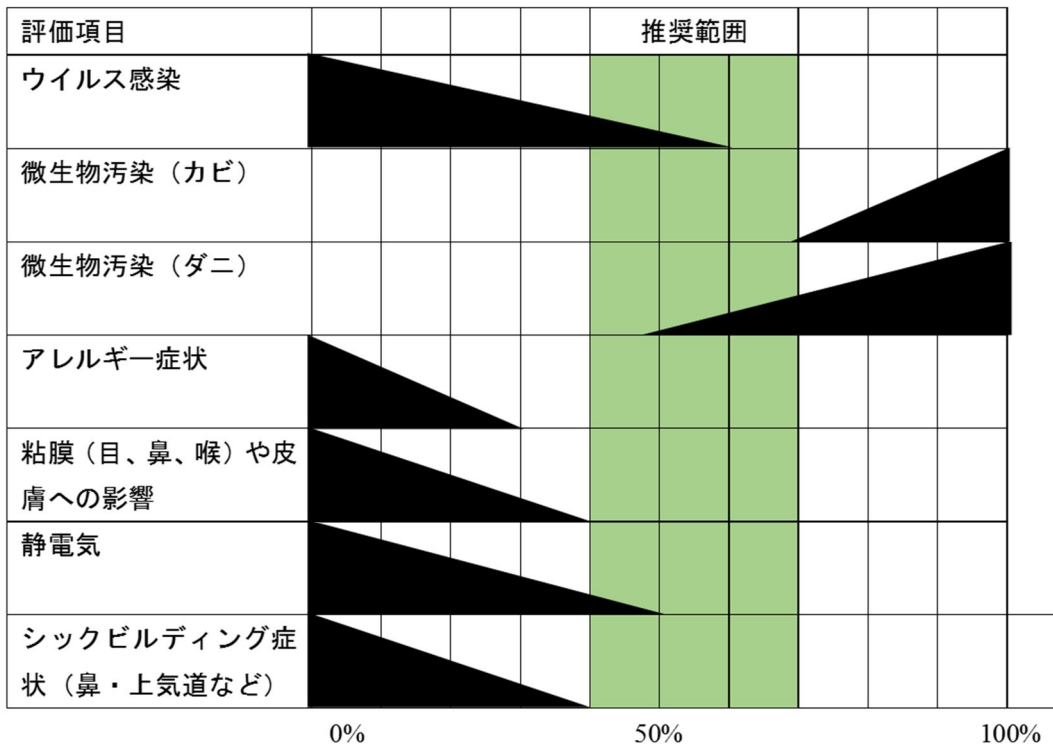


表 3-2-3 諸外国における二酸化炭素濃度の室内空気質ガイドライン

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

表 3-2-4 ドイツ連邦環境庁による室内空気中の二酸化炭素濃度のガイダンス値

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

表 3-2-5 二酸化炭素濃度と健康等への影響 (ANSES 2013 に追加・加筆)

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

表 3-2-6 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

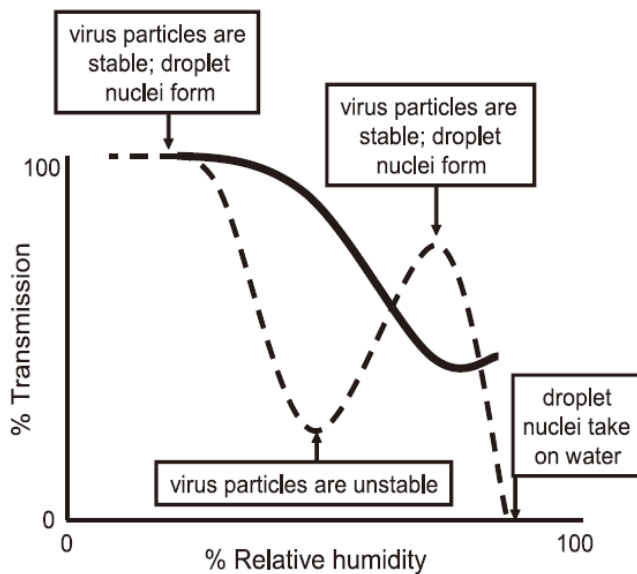
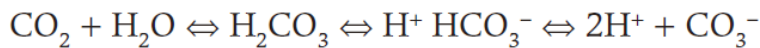


Figure 6. Variation of Transmission Efficiency with Relative Humidity: A Model

表 3-2-1 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)

3-3 空気環境の不適率上昇傾向に関する分析と調査

A. 研究目的

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、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 3-3-1 に、調査（報告徴取、立入検査）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「立入検査等階数」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。

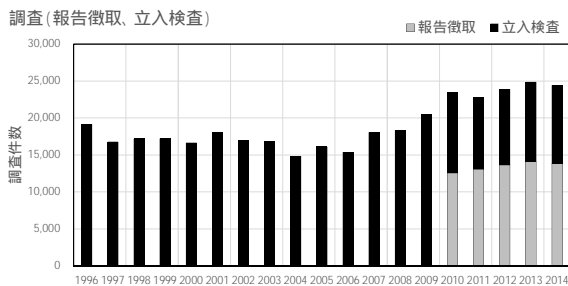


図 3-3-1 調査数(報告徴取、立入検査)の推移

図 3-3-2 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、その後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。

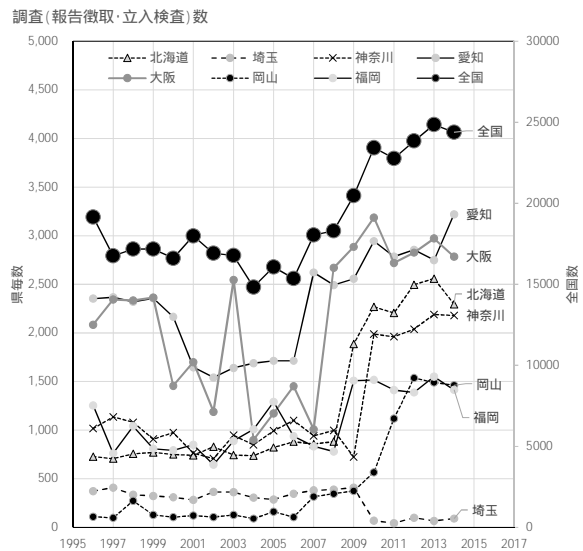


図 3-3-2 顕著な傾向を有する自治体の調査数推移

図 3-3-3 ~ 3-3-5 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。増減傾向は、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、増減の程度を示している。図 3-3-3 ~ 3-3-5 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。なお、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

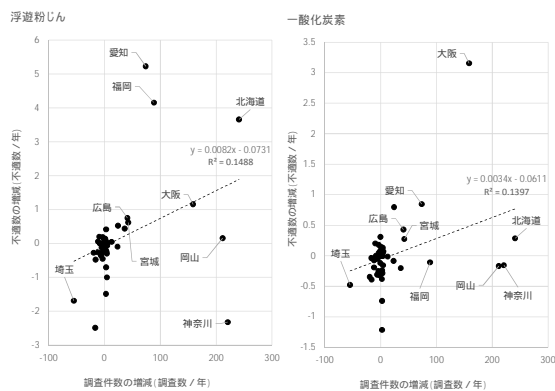


図 3-3-3 浮遊粉じん及び一酸化炭素の調査数の増減傾向と不適率の増減傾向の関係

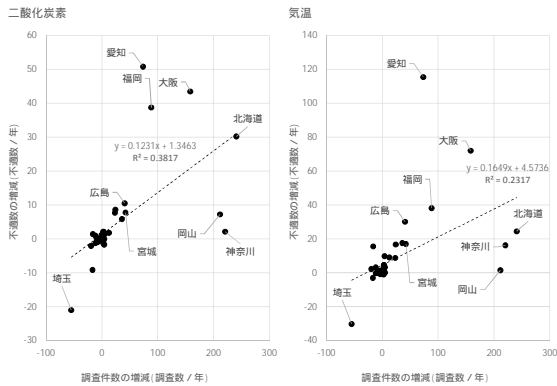


図 3-3-4 二酸化炭素及び気温の調査数の増減傾向と不適合率の増減傾向の関係

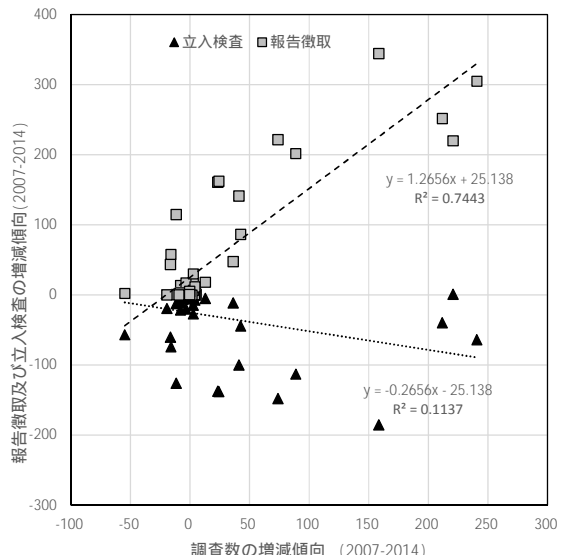


図 3-3-6 調査数の増減傾向と報告徴取及び立入検査数の増減傾向の関係

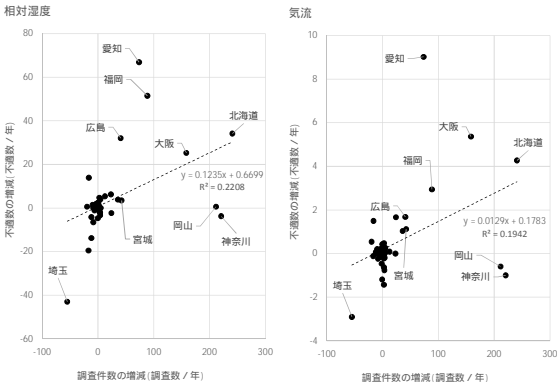


図 3-3-5 相対湿度及び気流の調査数の増減傾向と不適合率の増減傾向の関係

図 3-3-6 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。

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の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(不適件数の割合、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3-3-7-1、図3-3-7-2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。一方で、立入検査の少ない時期には、「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「物件の状況等をみて、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、「物件の状況等をみて、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。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件数の割合について、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、図には示さないものの、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。

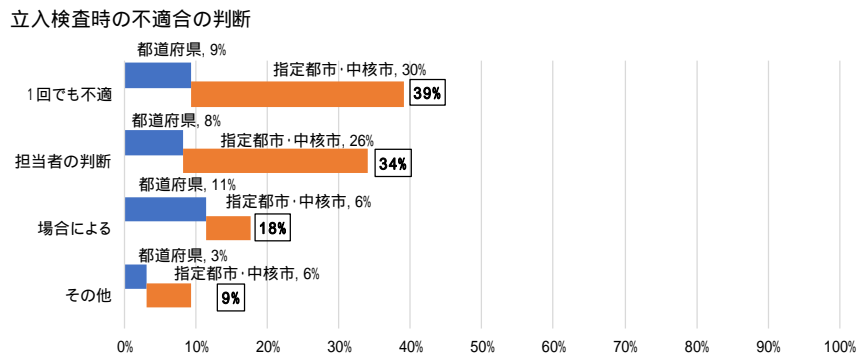
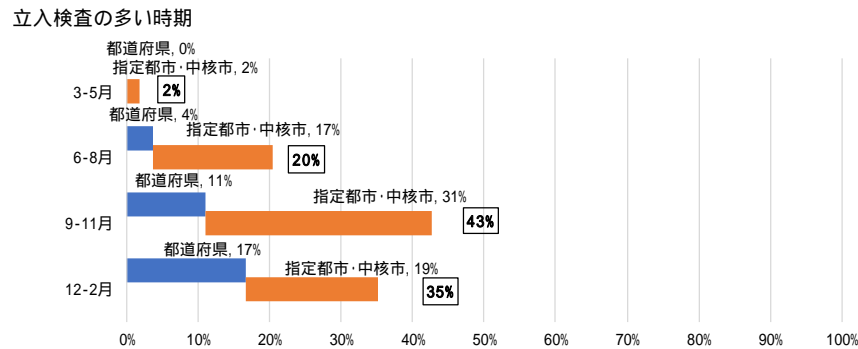
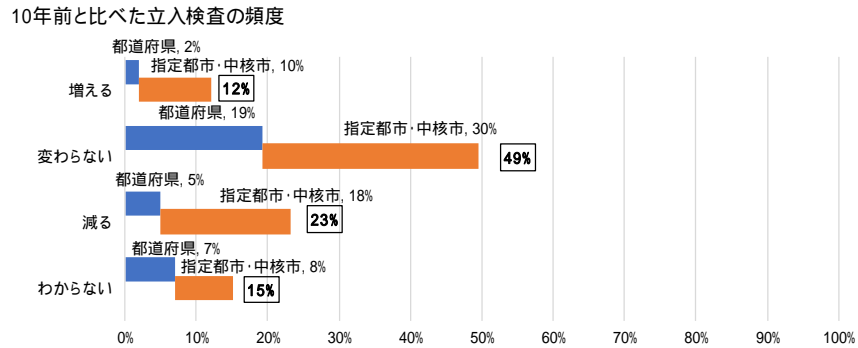
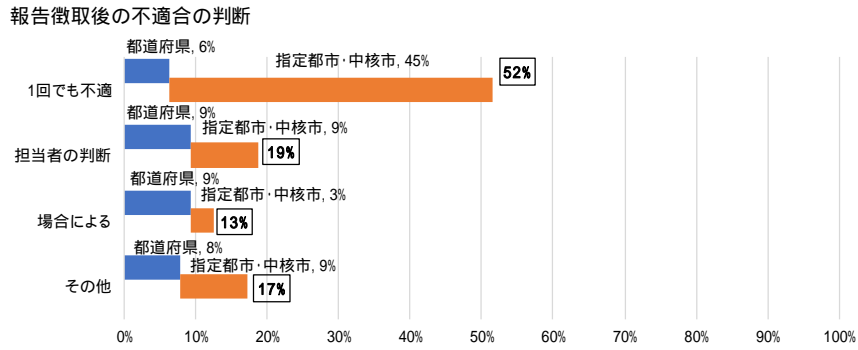
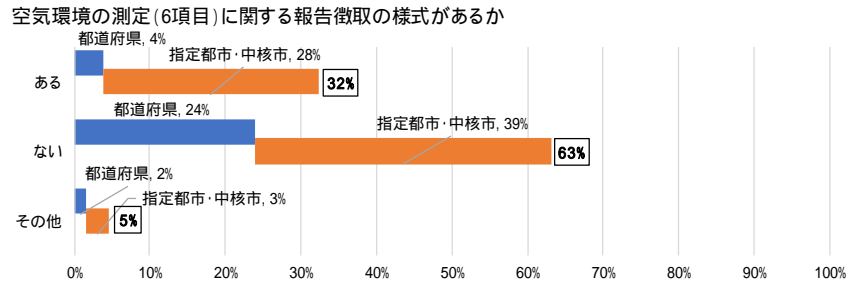


図 3-3-7-1 空気環境の測定 6 項目 (浮遊粉じんの量・一酸化炭素の含有量・二酸化炭素の含有量・温度・相対湿度・気流) に関する質問紙結果

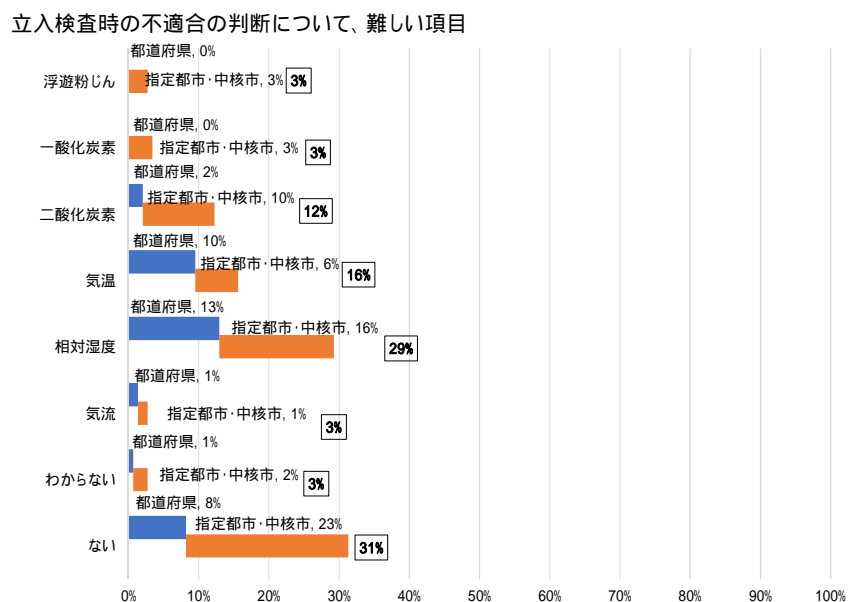


図 3-3-7-2 空気環境の測定 6 項目（浮遊粉じんの量・一酸化炭素の含有量・二酸化炭素の含有量・温度・相対湿度・気流）に関する質問紙結果

D. まとめ

以上の分析によって、以下の知見が得られた。

- 1) 行政報告データの分析から、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こと、調査数の増加した自治体について、浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、気温、相対湿度、気流の不適合率の増加傾向が顕著であることが示された。
- 2) 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。

以上により、自治体における報告徴取数及び立入検査数の状況が、空気環境の不適合率に影響することが明らかになるとともに、各自治体の報告徴取と立入検査の実施の実態が明らかになった。今後、より詳細な分析による不適合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。

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)

3-4 建築物衛生管理の監視手法のあり方の提案

建築物衛生法における環境衛生管理基準は在室者の健康を阻害しないための最低限の条件を定めたものであり、決して快適性や作業性（生産性）を高めるための基準ではない。建築物と設備の性能を評価するための指標でもないため、近年の多様化・複雑化・高機能化する建築環境に対応し切れない部分も多々ある。

例えば、建築物衛生法における温熱環境に関連した測定項目は温度、相対湿度、気流速度の3項目である。しかし、人体温冷感に大きく作用する項目として放射温度がある。特に、近年普及が進んでいるタスクアンビエント空調や放射空調などは放射熱を利用するものであり、空気温度を測定するだけでは適切な温熱環境の評価が難しい。また、断熱性の悪い単板ガラスと断熱性・遮熱性に優れたlow-e 複層ガラスには大きな性能差があり、空気温度が同等な室内であっても窓面からの放射熱による人体温冷感は大きく異なることがある。また、代謝量（活動量）、着衣量（衣服量）によっても人体温冷感は変わる。

このような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る。

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。

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

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。

近年も夏季の28 超過、冬季の冷放射、空間的な温度差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。

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合率は低水準だが、冷風・乾燥風による不満は頻発しており、他の温熱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、不適合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。

外気濃度の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

不適合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合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

不適合率は高くないが、(アレルギーや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)

近年の不適合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。

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・快適性に加え知的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。

「論文」

- (1) 柳宇, 鍵直樹, 大澤元毅, 池田耕一: 個別方式空調機内におけるカビ増殖特性に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.218, pp.31-38, 2015.
- (2) 柳宇, 四本瑞世, 杉山順一, 鍵直樹, 緒方浩基, 大澤元毅: 高齢者福祉施設における空気環境に関する研究 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.
- (3) 柳宇, 鍵直樹, 東賢一, 鎌倉良太, 杉山順一, 大澤元毅: 高齢者福祉施設における空気環境に関する研究 第2報-室内温湿度・CO₂濃度の長期間連続測定結果, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 229, pp. 15-22, 2016.
- (4) 東賢一: 室内空気汚染の健康リスク. 臨床環境医学; 25(2), pp. 76-81, 2016.
- (5) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Evaluating prevalence and risk factors of building-related symptoms among office workers: Seasonal characteristics of symptoms and psychosocial and physical environmental factors. *Environ Health Prev Med*, in press, 2017.
- (6) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Prevalence and risk factors associated with nonspecific building-related symptoms in office employees in Japan: relationships between work environment, Indoor Air Quality, and occupational stress. *Indoor Air* 25(5):499-511.

「国際学会発表」

- (1) Riku Watanabe, U Yanagi : A STUDY ON THE BEHAVIOUR AND CONTROL OF MICROBES IN AIR CONDITIONING SYSTEM, Healthy Buildings Europe 2015, ID507
- (2) Koji Shima , U Yanagi , Ryuto Shimizu, Naoki Kagi, Kenichi Azuma, Hoon Kim, Haruki Osawa , Long-term measurement of actual airborne microbe concentrations in office buildings , CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress , Paper 485 , 2016
- (3) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Physicochemical risk factors for building-related symptoms: thermal conditions and combined exposure to indoor air pollutants. 14th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Ghent, Belgium, 3-8 July, 2016.
- (4) Azuma K, Tanaka-Kagawa T, Jinno H. Health risk assessment of inhalation exposure to 2-ethylhexanol, 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate, and texanol in indoor environment. 14th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Ghent, Belgium, 3-8 July, 2016.
- (5) Azuma K, Tanaka-Kagawa T, Jinno H. Health risk assessment of inhalation exposure to cyclic dimethylsiloxanes, glycols, and acetic esters in indoor environments. 28th Annual International Society for Environmental Epidemiology Conference, Rome, Italy, 1-4 September 2016.
- (6) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Nonspecific building-related symptoms of office employees and indoor air quality of the work environment: a surveillance study for their relevance in office buildings in Japan. Healthy Buildings 2015 Europe, Eindhoven – The Netherlands, May 18-20, 2015.
- (7) Azuma K. Indoor air quality and health effects in Japanese offices. 31st International Congress on Occupational Health, Seoul – Korea, May 31-June 5, 2015.

- (8) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Physicochemical risk factors for building-related symptoms: thermal conditions and combined exposure to indoor air pollutants. Proceedings of the 14th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 2016, ID113, 7 pages.
- (9) Azuma K, Tanaka-Kagawa T, Jinno H. Health risk assessment of inhalation exposure to 2-ethylhexanol, 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate, and texanol in indoor environment. Proceedings of the 14th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 2016, ID168, 7 pages.
- (10) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Nonspecific building-related symptoms of office employees and indoor air quality of the work environment: a surveillance study for their relevance in office buildings in Japan. Proceedings of the Healthy Buildings Europe 2015, ID424, 6 pages, 2015.
- (11) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Physicochemical risk factors for building-related symptoms: thermal conditions and combined exposure to indoor air pollutants. Proceedings of the 14th international conference of Indoor Air Quality and Climate, 7 pages, in press, 2016