

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

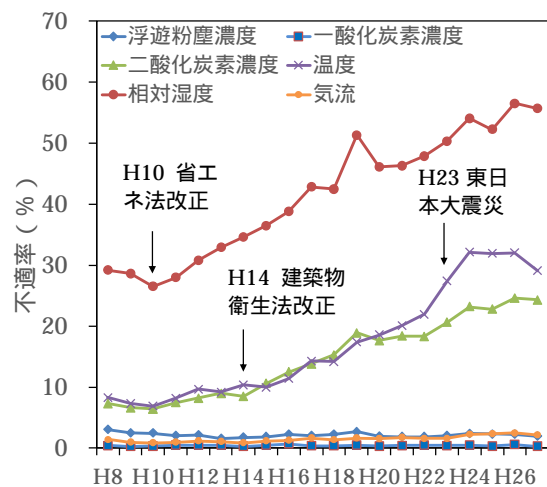


図1-1-1 空気環境6項目不適率の経年変化

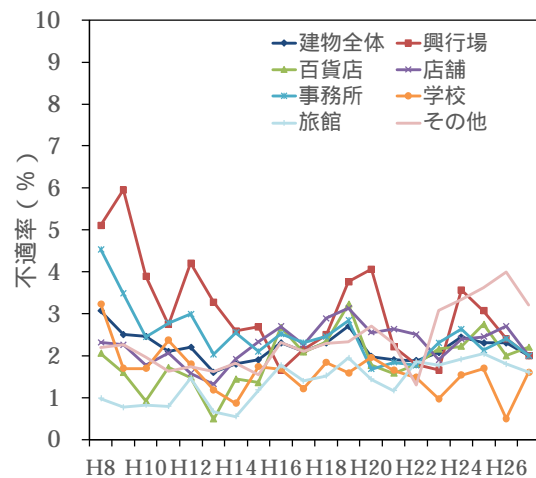


図1-1-2 用途別浮遊粉塵の不適率

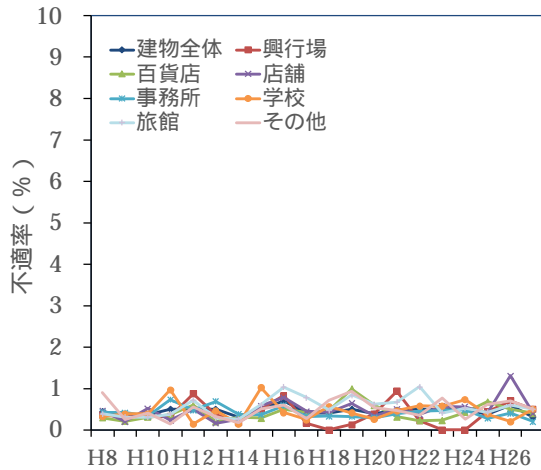


図 1-1-3 用途別一酸化炭素濃度の不適率

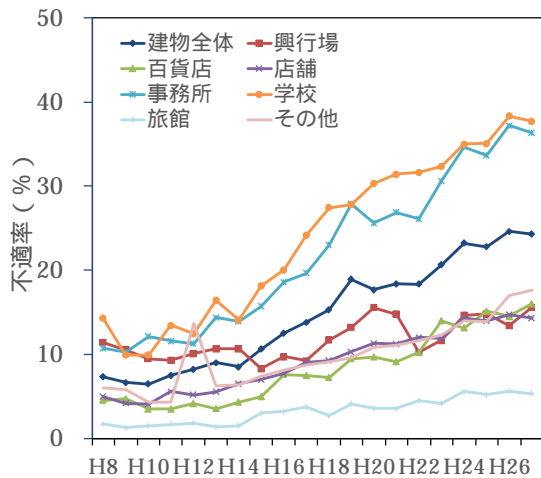


図 1-1-4 用途別二酸化炭素濃度の不適率

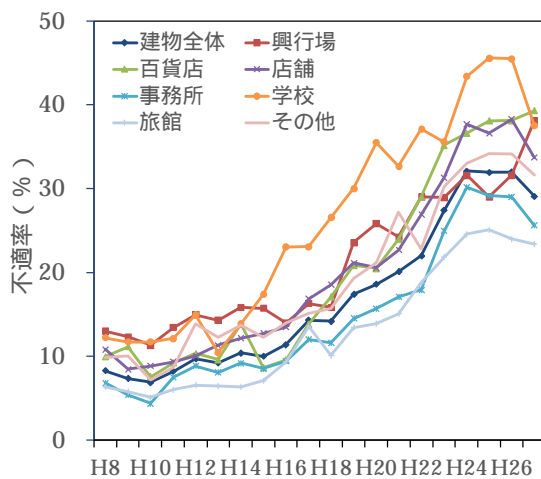


図 1-1-5 用途別温度の不適率

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

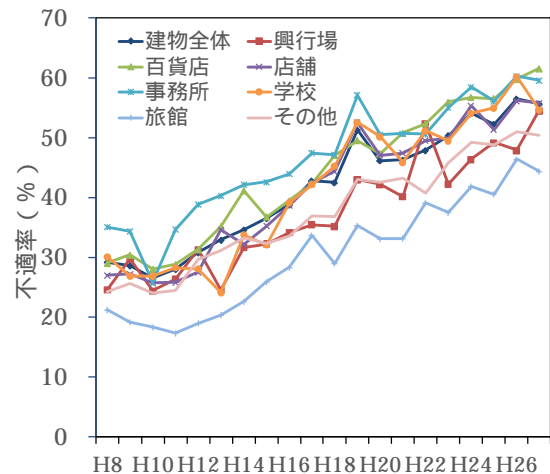


図 1-1-6 用途別相対湿度の不適率

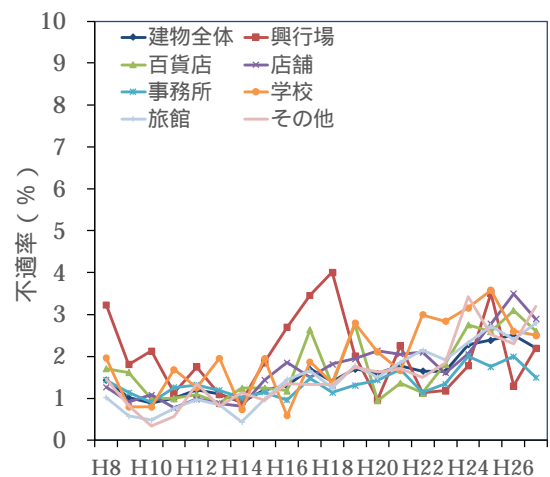


図 1-1-7 用途別気流速度の不適率

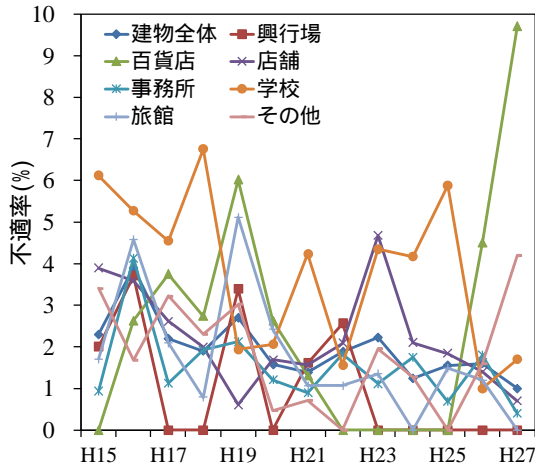


図 1-1-8 用途別ホルムアルデヒドの不適率

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。

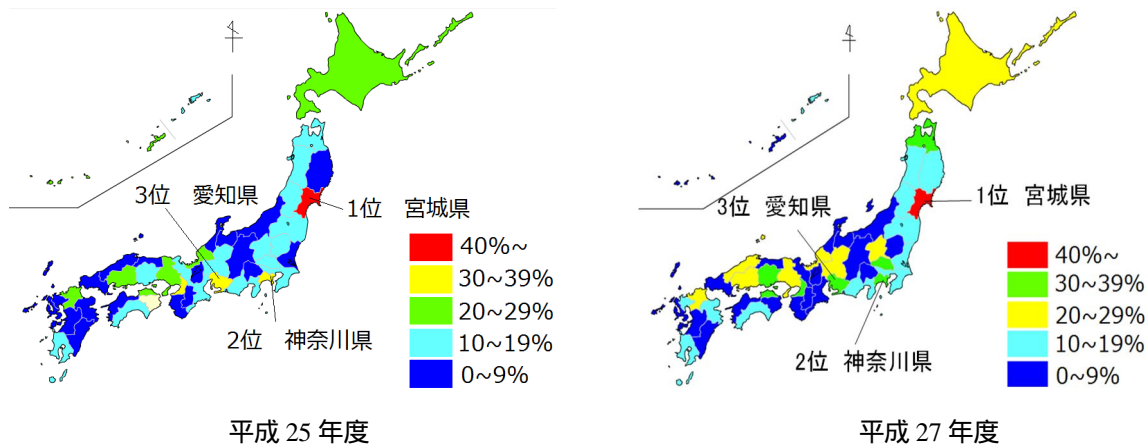


図 1-1-9 地域別二酸化炭素濃度の不適率

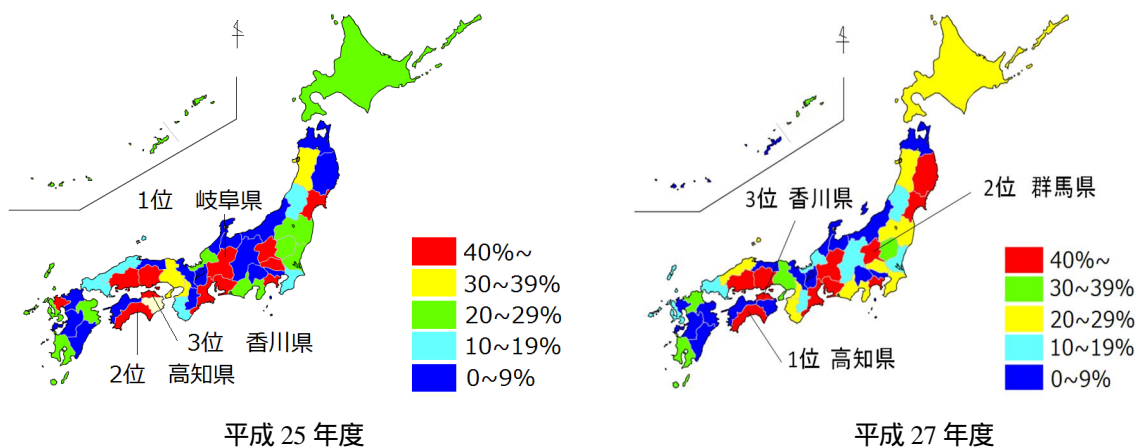


図 1-1-10 地域別温度の不適率

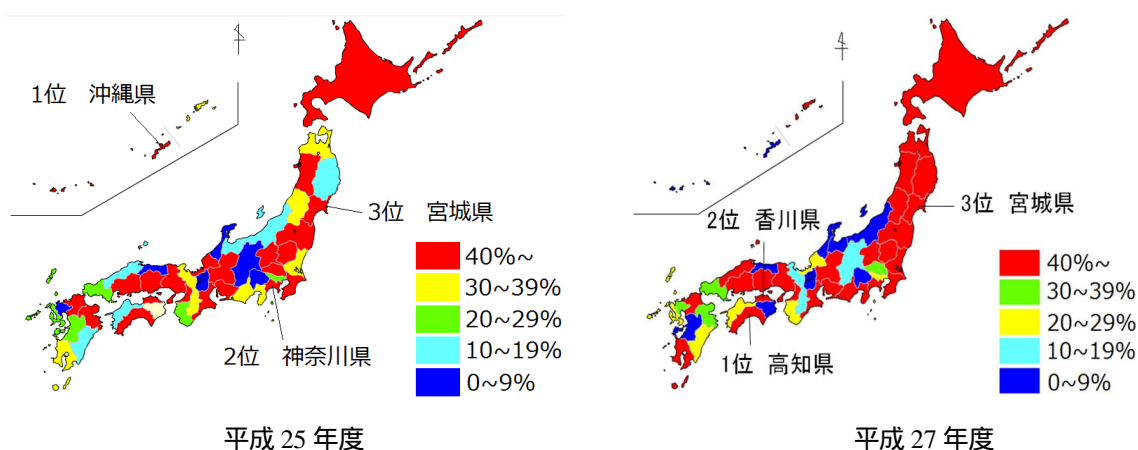


図 1-1-11 地域別相対湿度の不適率

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

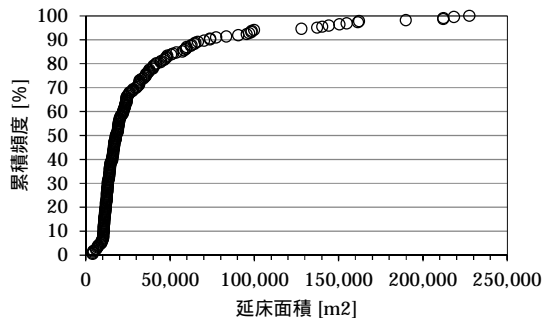


図 1-2-1 測定対象ビルの延べ床面積

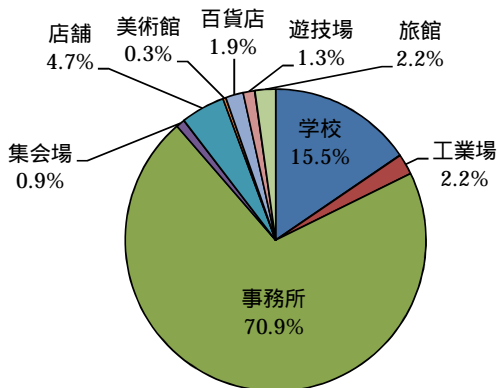


図 1-2-2 用途別の割合

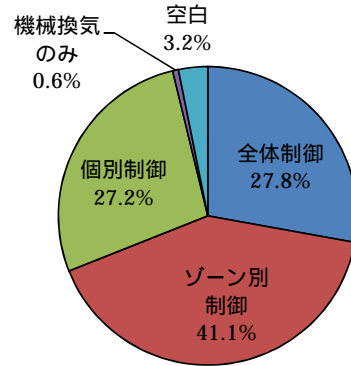


図 1-2-3 制御方式別の割合

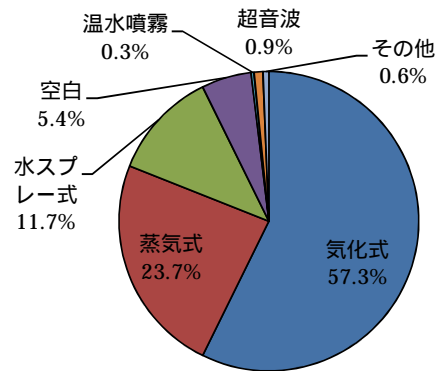


図 1-2-4 加湿方式別の割合

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。

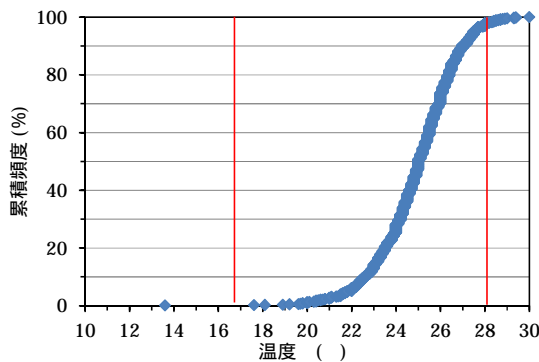


図 1-2-5 温度の累積頻度分布

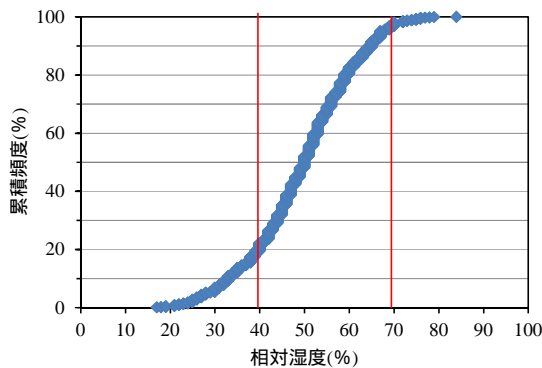


図 1-2-6 相対湿度の累積頻度分布

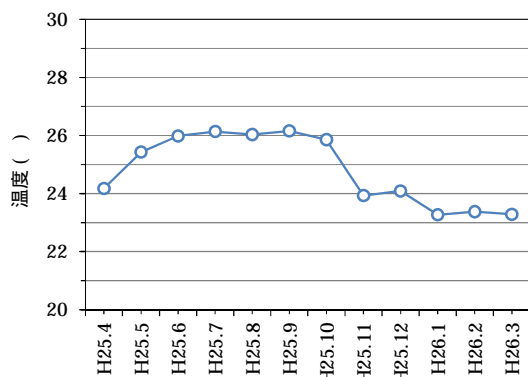


図 1-2-7 月別温度の平均値

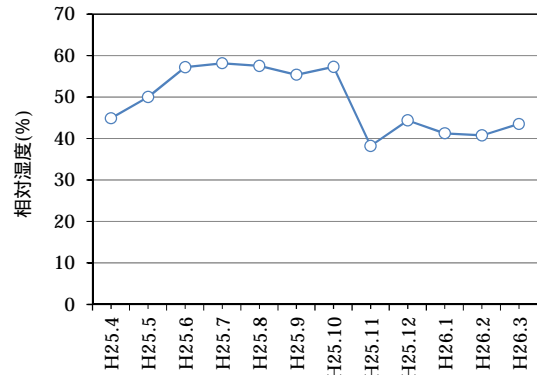


図 1-2-8 月別相対湿度の平均値

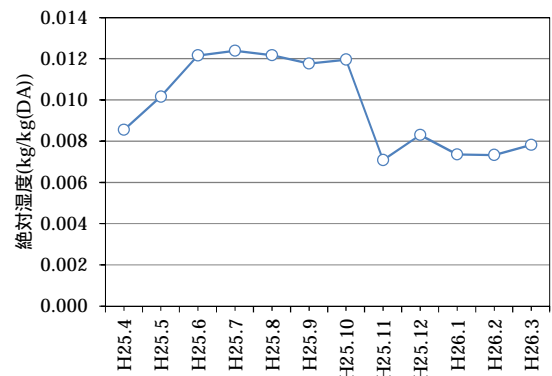
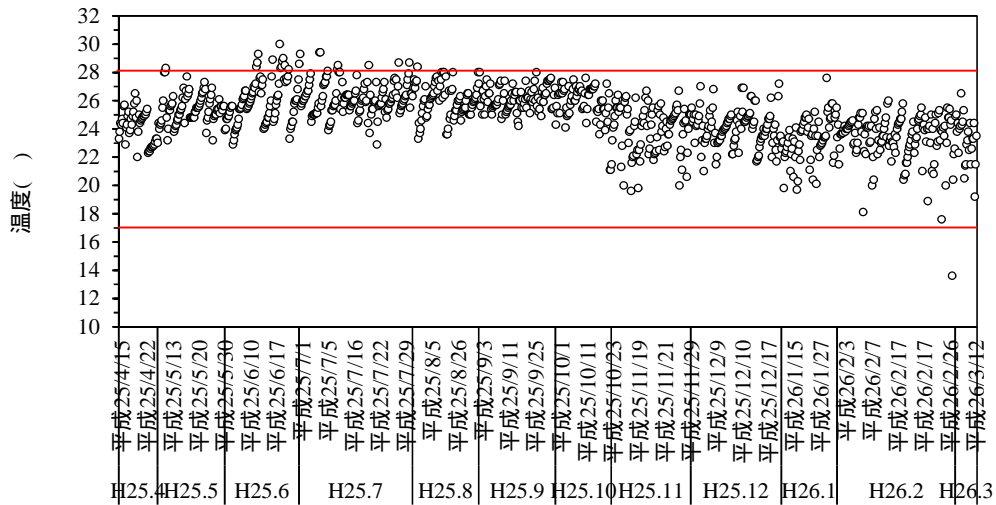


図 1-2-9 月別絶対湿度の平均値

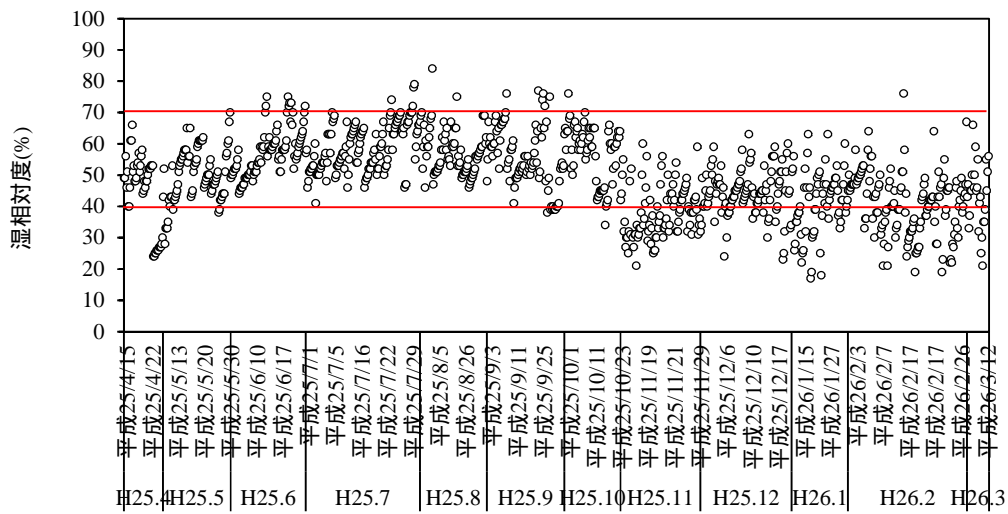
図 1-2-7～図 1-2-9 に温度、相対湿度、絶対湿度（温度と相対湿度から算出）の月別平均値、図 1-2-10 に温度、相対湿度、絶対湿度の測定値を示す。温度については、6～9月までの間に 28 を超えるケースが若干見られたが、相対湿度については、6～10月に 70%を超え、11～3月に 40%を下回るケースが多くみられた。6～10の平均温度は 26.0 ，11～5月の平均温度は 23.7 であったため、26 の条件で 70%（夏期）を下回するために、絶対湿度を 0.015kg/kg(DA)以下に減湿、また、24 の条件で 40%を上回るために、絶対湿度を 0.007kg/kg(DA)以上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

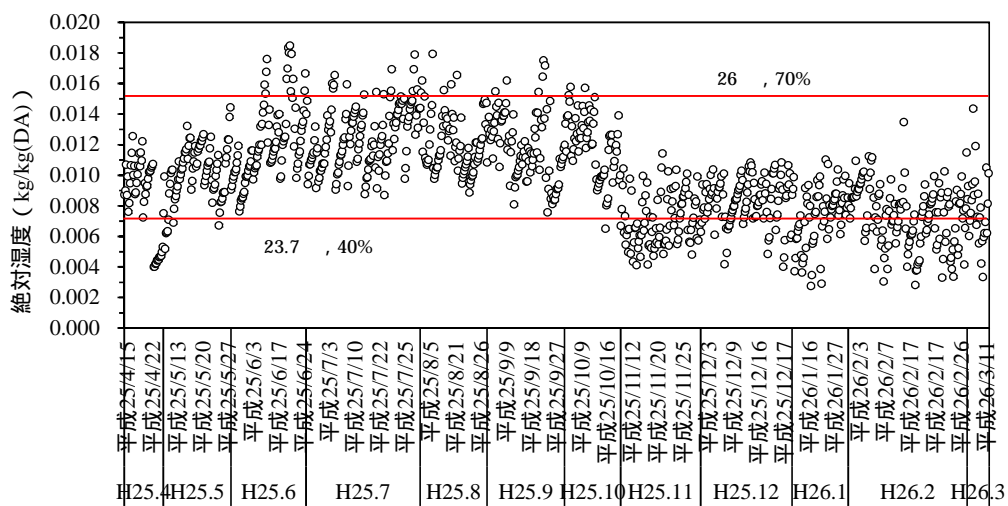
図 1-2-11 に二酸化炭素濃度の累積頻度分布を示す。二酸化炭素の累積頻度について赤い線は建築物衛生法の管理基準値の 1000ppm を示している。東京都の二酸化炭素調査 1071 件の測定のうち管理基準を満たさなかったのは 145 件であり、



(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

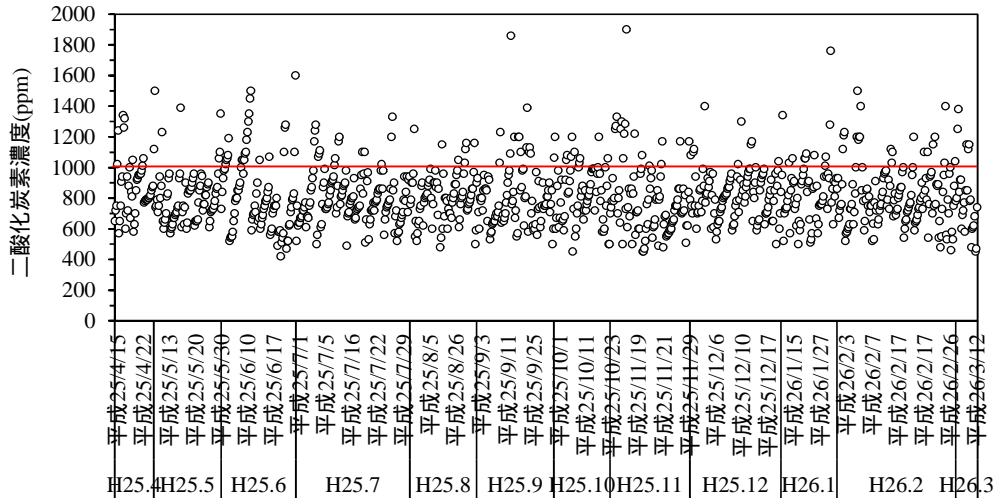


図 1-2-11 二酸化炭素濃度の測定値

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。

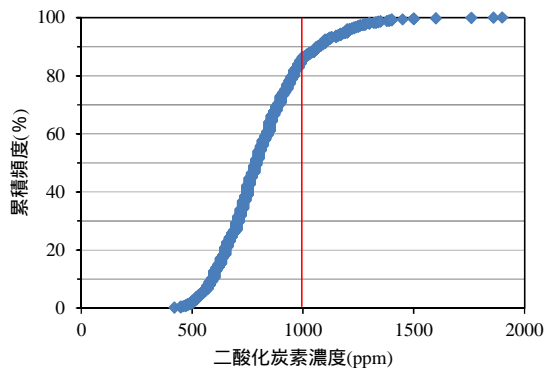


図 1-2-12 二酸化炭素濃度の累積頻度分布

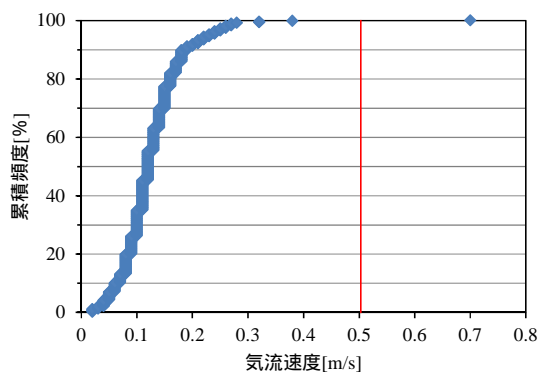


図 1-2-13 気流速度の累積頻度分布

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、

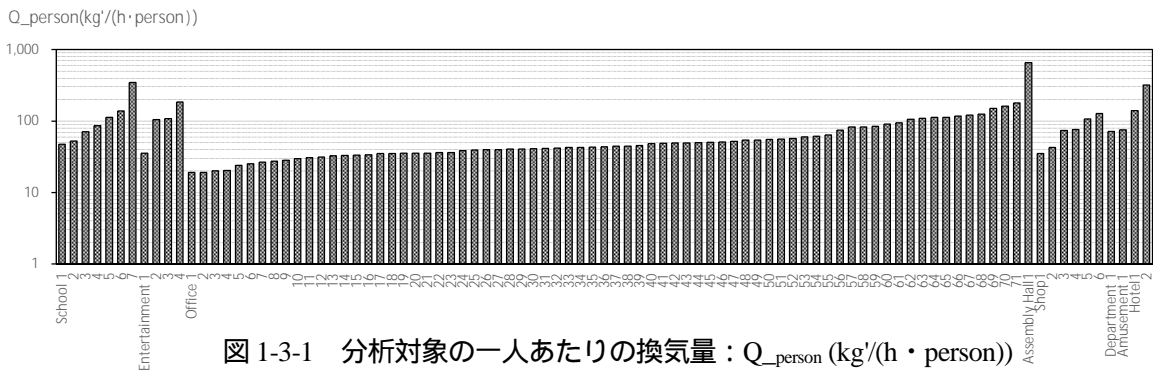


図 1-3-1 分析対象の一人あたりの換気量： Q_{person} (kg/(h・person))

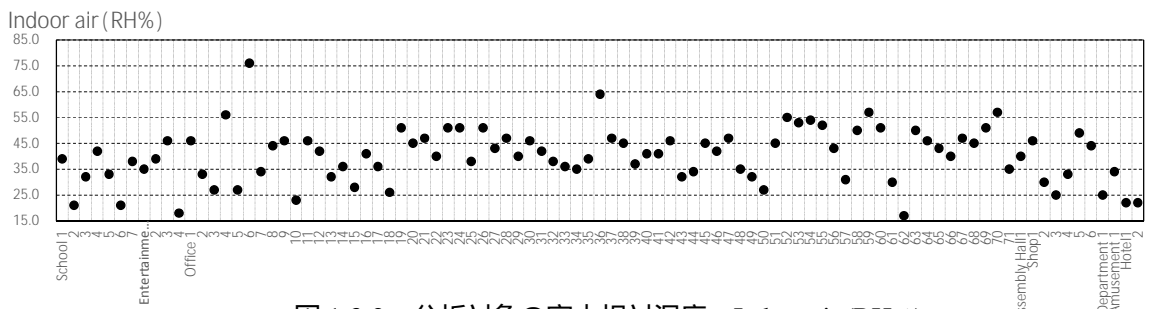


図 1-3-2 分析対象の室内相対湿度：Indoor air (RH%)

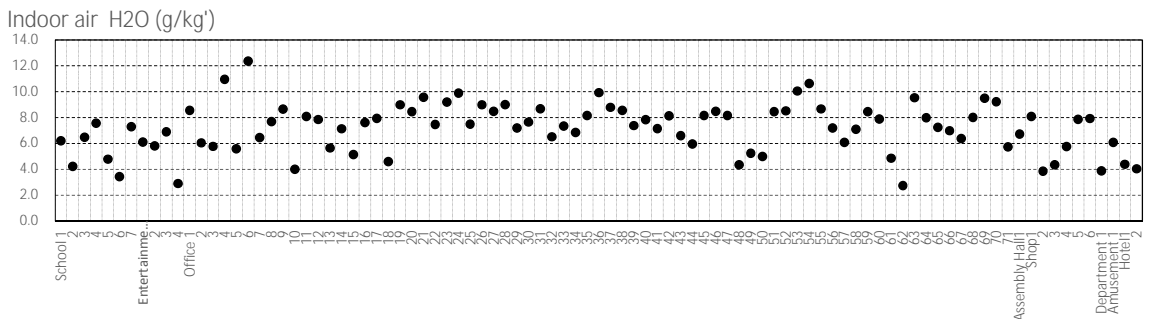


図 1-3-3 分析対象の室内絶対湿度：Indoor air (g/kg)

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。

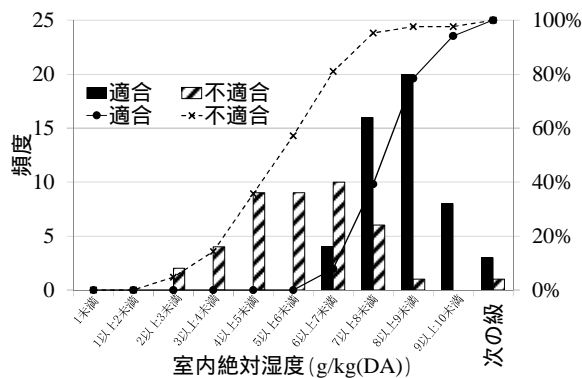


図 1-3-4 相対湿度基準の適合・不適合建物と室内絶対湿度の関係

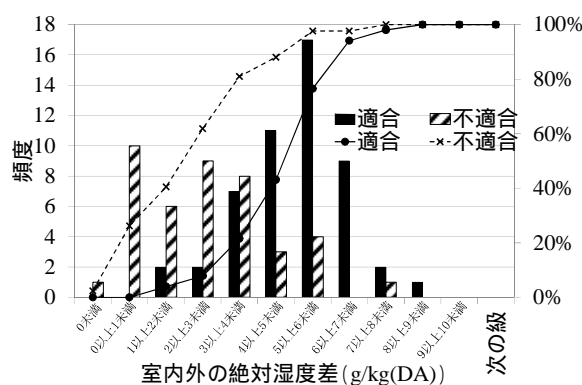


図 1-3-5 相対湿度基準の適合・不適合建物と室内外の絶対湿度差（室内絶対湿度と外気絶対湿度との差）

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