

を下回るために、絶対湿度を 0.015kg/kg(DA)以下に減湿、また、25°Cの条件で 40%を上回るために、絶対湿度を 0.008kg/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))。

積頻度における縦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 957 件の測定のうち管理基準を満たさなかったのは 94 件であり、不適率が 10%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。

B.3 二酸化炭素・一酸化炭素濃度

図 1-2-11 に平成 25 年度と平成 26 年度の二酸化炭素濃度の累積頻度分布を示す。二酸化炭素の累

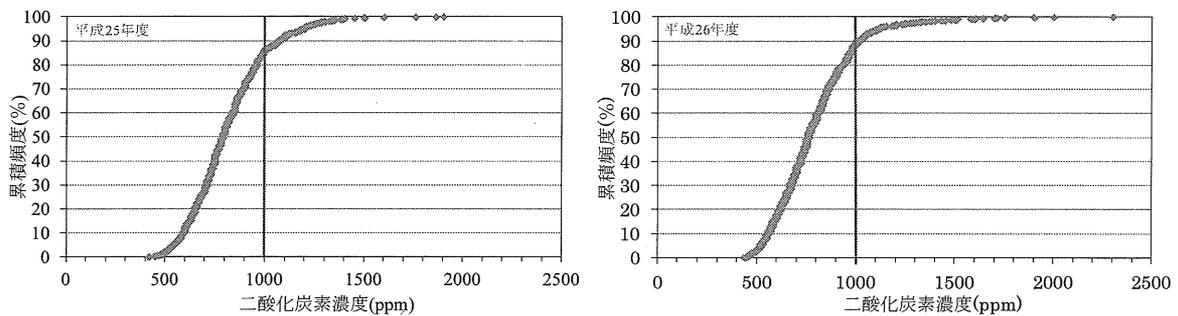


図 1-2-11 二酸化炭素濃度の累積頻度分布

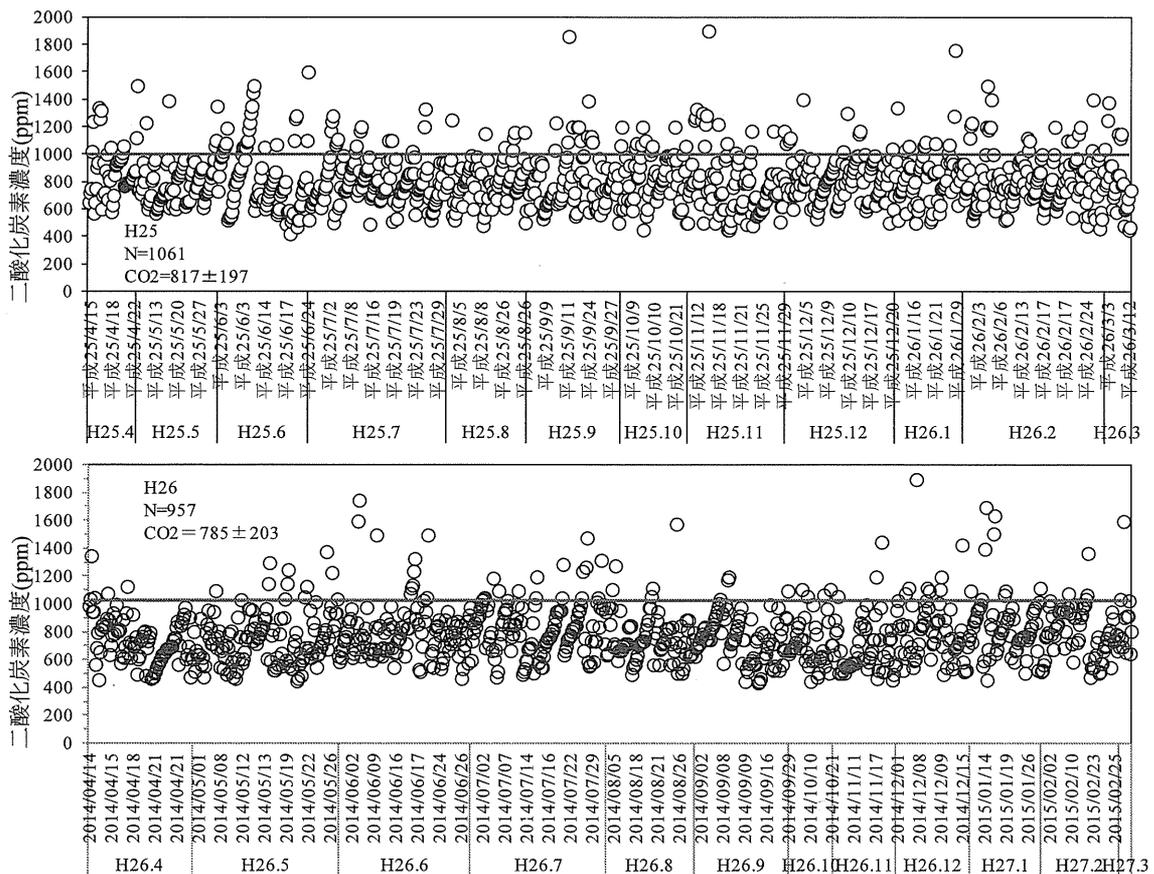


図 1-2-12 二酸化炭素濃度の測定値

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おける縦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 523 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。(図省略)

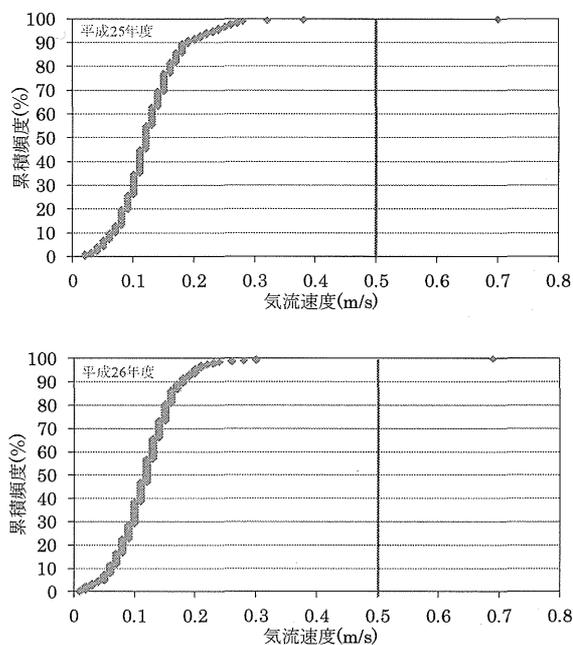


図 1-2-13 気流速度の累積頻度分布

C. まとめ

本章では、以下の2つのテーマについて検討を行った。

- ① 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不適率の最新動向の解析。
- ② 東京都の立ち入り測定データを用いた室内空気環境の詳細な解析。

上記の検討により、下記の事柄が明らかになった。

(1) 全国の不適率については、平成8年度から平成26年までの間に、浮遊粉じん、CO、ホルムアルデヒド(統計開始平成15年度から)、気流速度が数%であったのに対して、温度、湿度、二酸化炭素濃度が平成11年度から上昇し続けている。その間に顕著な上昇が見られたのは、平成11年度、平成15年度、平成23年度の3回であった。平成11年度は大規模な省エネ法の改正の翌年、平成15年度は建築物衛生法改正の翌年、平成23年度は東日本大震災であるため、その法改正や震災直後の節電などによる省エネが深く関わっていることが示唆された。

(2) 平成26年度の東京都のオフィスビルにおける立ち入り測定データを用いた解析の結果、前述した全国の不適率より低く、二酸化炭素濃度、温度、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。東京都の調査対象の殆どは10,000m²以上の大規模なビルであり、性能の比較的良好な空調・換気設備が備えられており、維持管理体制も充実していることが寄与していると推察される。しかしながら、それでも相対湿度の不適率は12.7%になっており、空調設備による夏期の減湿、とくに冬期の加湿が不十分であることが測定値からも認められた。大規模なビルでも、冬期の加湿が難しいことが浮き彫りとなり、その対策が必要である。

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、粉塵濃度が測定されている。特定建築物の基準不適率は近年増加傾向にある。不適率は、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目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. 研究方法

B.1 湿度分析の基礎理論¹⁾

測定データの分析のために、以下のように、冬期室内湿度に関する基礎的な理論を展開した。測定対象室における主な水蒸気発生源は、人体及び加湿装置であると考えられる。二酸化炭素 CO₂ については、燃焼器具が使用されていないと仮定すると、発生源は人体であると考えられる。人体からの二酸化炭素発生量と水蒸気発生量は、人体の代謝量に応じて変化する。また、水蒸気発生量は、温度による影響を受ける。既往の研究による人体からの二酸化炭素発生量と水蒸気発生量(表 1-3-1) から、高齢者の状況を踏まえて安静時を採用し、本測定の温度を考慮して 20°C と 25°C の水蒸気発生量を直線近似し、人体からの二酸化炭

素発生量及び温度から人体からの水蒸気発生量を概算する式を作成した。

$$C_H = 0.173 \cdot T_i - 2.156 \quad \dots\dots\dots \text{式 1}$$

$$H_{H_2O} = C_H \cdot H_{CO_2} \quad \dots\dots\dots \text{式 2}$$

C_H : 人体からの水蒸気発生量の係数

T_i : 室内温度 (°C)

H_{H_2O} : 人体からの水蒸気発生量 (g/h)

H_{CO_2} : 人体からの二酸化炭素発生量 (g/h)

以上の仮定の下で、水蒸気及び二酸化炭素の換気による物質収支を示す次式を想定した。二酸化炭素濃度は、単位乾き空気質量に対する二酸化炭素質量の比 (g/kg') によって表現した。

$$D_{H_2O} = C_H \cdot D_{CO_2} + M_{H_2O} / Q \quad \dots\dots \text{式 3}$$

D_{H_2O} : 内外絶対湿度差 (g/kg')

D_{CO_2} : 内外二酸化炭素濃度差 (g/kg')

[= H_{CO_2} / Q]

M_{H_2O} : 人体以外の水蒸気発生量 (g/h)

Q : 換気量 (kg'/h)

式 3 によれば、内外二酸化炭素濃度差 (g/kg') と内外絶対湿度差 (g/kg') をプロットした場合の切片が人体以外の水蒸気発生量 (以後、加湿量) を換気量で除した値 M_{H_2O} / Q となる。対象室の温度及び相対湿度からゴフグラッチ式で算出した絶対湿度、アメダス気象データによる外気温湿度、二酸化炭素濃度から求めた内外二酸化炭素濃度差 (g/kg') と内外絶対湿度差 (g/kg') の推移及び関係の例 (南関東の高齢者施設の居室) を図 1-3-1 に示す。同図は、1ヶ月の1時間平均値をプロットしている。

図 1-3-1 に示す施設の 2F 居室は 4 人室である。二酸化炭素濃度差 : D_{CO_2} は、日中に低く夜間に高い、日変化がある。また、絶対湿度差 : D_{H_2O} についても同様の日変化がある。1月6日には、急激な外気の絶対湿度状況に伴って D_{H_2O} が、急激に低下しているが、翌日の夜にはその影響が解消しているように見える。同図に両者の近似直線を示すが、その傾きは 3.9 である。対象期間で M_{H_2O} / Q が変化していない場合、この傾きは、式 3 の C_H と一致すると考えられる。

表 1-3-1 既往の研究による二酸化炭素発生量と水蒸気発生量^{2) 3)}

	CO ₂ 発生量 (g/h)	水蒸気発生量 (g/h)			
		10°C	20°C	25°C	35°C
安静時	25.9	27.5	33.5	55.9	129.9
軽作業	58.3	44.7	107.5	150.5	256.3
中等作業	90.8	62.8	156.5	249.4	307.9
重作業	123.2	139.3	267.5	320.8	380.1

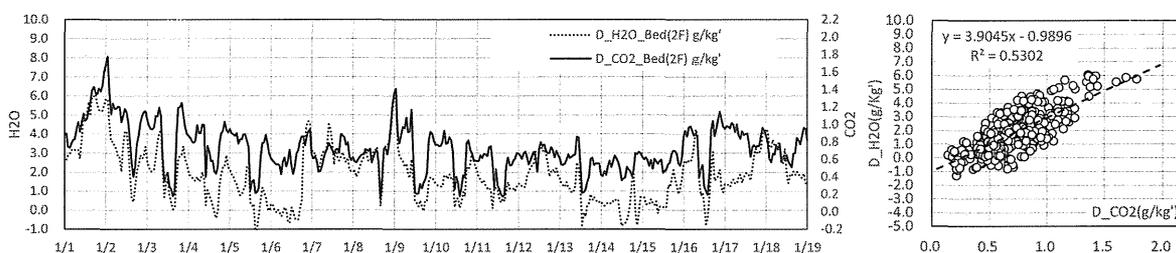


図 1-3-1 高齢者施設居室の D_{CO2} と D_{H2O} の推移と関係

式 1 に温度を代入して CH を算出すると 2.1 であり 3.9 と大きな差がある。従って、二酸化炭素濃度差：D_{CO2} が大きいと、人体からの水蒸気発生量及び加湿量が増加している可能性がある。

以上のように、二酸化炭素濃度、温湿度から、加湿状況を推定することができる。以下に、上記の理論に基づいて、特定建築物の立ち入り検査による二酸化炭素濃度、温湿度を用いた分析の理論を示す。特定建築物の立ち入り検査では、換気量他に在室者数、人体からの水蒸気発生の影響も不明であるため、以下のように分析を行う。

B.2 一人あたりの換気量

はじめに、測定時の在室状況及び換気量に関する状況を把握するために、二酸化炭素濃度から一人あたりの換気量を算出する。測定時の室内二酸化炭素濃度：C_{CO2} は、換気量と在室者数の影響を受ける。測定対象の室内二酸化炭素濃度：C_{CO2} には大きなばらつきがある。人体安静時の二酸化炭素発生量から、以下の式で一人あたりの換気量を換算した。

$$Q_{\text{person}} = H_{\text{CO2 person}} / D_{\text{CO2}} \quad \dots \text{式 4}$$

Q_{person} : 一人あたりの換気量(kg/h)

H_{CO2 person} : 一人あたりの二酸化炭素発生量,
安静時 25.9(g/h)

D_{CO2} : 二酸化炭素濃度と外気濃度の差(g/kg)
[= C_{CO2} - C_{CO2 out}]

C_{CO2} : 室内二酸化炭素濃度基準(g/kg³)

C_{CO2 out} : 外気の二酸化炭素濃度(g/kg³)

B.3 室内二酸化炭素濃度が基準値になる人数

次に、測定時の在室状況のばらつきを標準化するために、室内二酸化炭素濃度が基準値になる人数を算出する。室内の二酸化炭素濃度及び絶対湿度は、外気条件、室内発生量、換気量の影響を受ける。建築物衛生法に基づく測定では換気量がないが、測定対象には換気設備が設けられ一定の換気量が確保されていると仮定して以降の分析のために、室内二酸化炭素濃度が基準値になる人数（以下、二酸化炭素濃度基準人数：N_{STD}）を以下のように算出した。

$$p_{\text{STD}} = D_{\text{CO2 STD}} / D_{\text{CO2}} \quad \dots \dots \quad \text{式 5}$$

p_{STD} : 室内二酸化炭素濃度が基準値になる人
(安静時)数比

$D_{CO_2 STD}$: 基準二酸化炭素濃度と外気濃度の差 (g/kg') [= $C_{CO_2 STD} - C_{CO_2 out}$]

$C_{CO_2 STD}$: 室内二酸化炭素濃度基準(g/kg'), 例えば 1000(ppm)

$C_{CO_2 out}$: 外気の二酸化炭素濃度(g/kg')

B.4 二酸化炭素濃度基準(1000ppm)人数時の水蒸気発生量

次に、加湿装置による加湿量を推定するために、室内の水蒸気発生量が人体と加湿装置による加湿によって構成されると仮定する。測定対象の加湿装置による加湿量を評価するために、室内二酸化炭素濃度が基準値になる場合の水蒸気発生量を以下のように求めた。

$$H_{H_2O} = N_{STD} \cdot H_{H_2O \text{ person}} \dots \quad \text{式 6}$$

式 1 より

$$= N_{STD} \cdot C_H \cdot H_{CO_2 \text{ person}} \quad \text{式 7}$$

B.5 基準相対湿度時の必要加湿量

相対湿度基準値を満たすための必要加湿量を以下のように求めることができる。

$$M_{H_2O STD} = D_{H_2O STD} \cdot Q - H_{H_2O} \dots \quad \text{式 8}$$

$D_{H_2O STD}$: 基準相対湿度時の絶対湿度と外気絶対湿度の差(g/kg')

$$[= C_{H_2O STD} - C_{H_2O out}]$$

$C_{H_2O STD}$: 基準相対湿度時絶対湿度(g/kg'), 室温と基準相対湿度からゴフグラッチ式より算出

$C_{H_2O out}$: 外気の絶対湿度(g/kg')

式 5, 式 7, 式 8 から、単位換気量当たりの必要加湿量を示す次式が得られる。

$$M_{H_2O STD} / Q = D_{H_2O STD} - C_H \cdot D_{CO_2 STD} \dots \quad \text{式 9}$$

B.6 二酸化炭素外気濃度差基準を用いた場合の必要加湿量

近年、二酸化炭素の大気及び都市部の濃度の上昇が確認されている。この外気濃度の上昇に伴って室内濃度も上昇していると考えられる。換気設計において、外気の濃度上昇を考慮すると必要換気量が大きくなり、暖冷房負荷が増大することになる。そのため、省エネルギーの観点で外気濃度

との差を用いた必要換気量の算定が必要であるとの指摘がある。二酸化炭素は、一般的な室内環境では他の空気汚染物質に比べて顕著な影響を持たないが、空気汚染や換気状態に関する総合指標として用いられてきた。二酸化炭素外気濃度差基準の是非は、外気の二酸化炭素濃度が外気汚染の程度を反映しているかなどの多くの確認が必要であり、現時点では明らかではない。以上を踏まえた上で、二酸化炭素外気濃度差基準を仮定した場合の必要加湿量を以下のように求める。

建築物衛生法の室内二酸化炭素濃度基準は 1000ppm であり、一般的な必要換気量計算で用いられる外気濃度として、350ppm を用いると、二酸化炭素外気濃度差基準は 650ppm となる。この場合の加湿量は、以下ようになる。

二酸化炭素外気濃度差基準 (650ppm) による換気量 Q' は次式となる。

$$Q' = H_{CO_2} / D_{CO_2 STD'} \dots \quad \text{式 10}$$

Q' : 二酸化炭素外気濃度差基準は 650ppm による換気量(kg'/h)

$D_{CO_2 STD'}$: 二酸化炭素外気濃度差基準(650ppm)による室内濃度と外気濃度の差(g/kg') [= $C_{CO_2 STD'} - C_{CO_2 out}$]

$C_{CO_2 STD'}$: 二酸化炭素外気濃度差基準(650ppm)による室内濃度(g/kg')

$C_{CO_2 out}$: 外気の二酸化炭素濃度(g/kg')

従って、二酸化炭素外気濃度差基準は 650ppm の採用による、換気量削減率: λ は次のようになる。

$$\lambda = Q' / Q = D_{CO_2 STD} / D_{CO_2 STD'} \dots \quad \text{式 11}$$

また、単位換気量当たりの必要加湿量を示す次式が得られる。

$$M_{H_2O STD} / Q' = D_{H_2O STD} - C_H \cdot D_{CO_2 STD} \dots \quad \text{式 12}$$

従って、加湿量削減率： ϕ は次のようになる。

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{M_{H_2O\text{STD}'} - M_{H_2O\text{STD}}}{M_{H_2O\text{STD}}} \\ &= \frac{\lambda \cdot (D_{H_2O\text{STD}} - C_H \cdot D_{CO_2\text{STD}}) - (D_{H_2O\text{STD}} - C_H \cdot D_{CO_2\text{STD}})}{D_{H_2O\text{STD}} - C_H \cdot D_{CO_2\text{STD}}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots \text{式 13}$$

C. 分析対象データの概要

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、外気温度15℃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。対象は、図1-3-2に示すように用途は7種類であり、事務所が71%と多い。空調制御号式は、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。

室内環境の測定結果の概要を見るために、初めに、式4によって一人あたりの換気量： Q_{person} を求めて、図1-3-3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1-3-4に、室内二酸化炭素濃度を示す。一人あたりの換気量： Q_{person} で序列化しているため、その分布に対応した形状となっている。室内二酸化炭素濃度は、460～1300(ppm)で平均が736(ppm)である。なお、外気は380～500(ppm)で平均が433(ppm)である。

図1-3-5～図1-3-7に、室内温度、室内相対湿度、室内絶対湿度を示す。図1-3-5に示す室内温度は、17.6～26.9(℃)で平均は23.9(℃)である。図1-3-3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、室内温度は、外気温度との相関も見られない(近似直線：室内温度=外気温度*0.1053+22.27, $R^2=0.0342$)。室内温度制御における設定温度のばらつき、測定点の空間的・時間的な代表性など、多様な要因によってばらつきが生じていると考えられる。

図1-3-6に示す相対湿度は、17.6～76.0(%)で平均が40.2(%)である。また、図1-3-3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、室内温度は、外気温度との相関も見られない(近似直線：室内湿度=外気湿度*0.1629+33.271, $R^2=0.0603$)。温度に比べて相対湿度はばらつきが大きい。相対湿度は温度の影響を顕著に受けるために、制御や測定点の時間的な代表性の安定を確保するのが難しいことを反映していると考えられる。

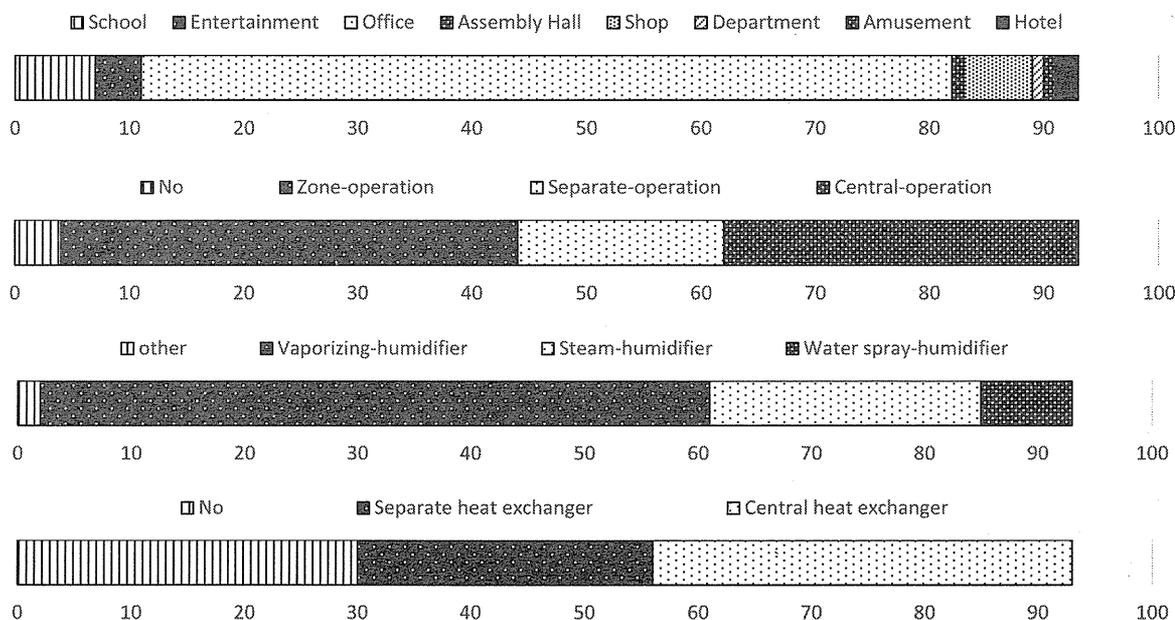


図1-3-2 東京都平成25年冬期測定における分析対象の属性

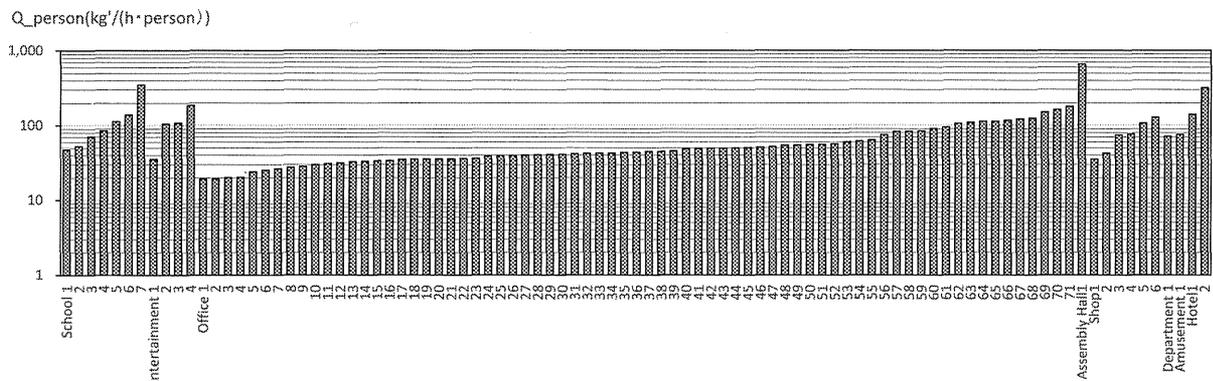


図 1-3-3 分析対象の一人あたりの換気量： Q_{person} ($kg/(h \cdot person)$)

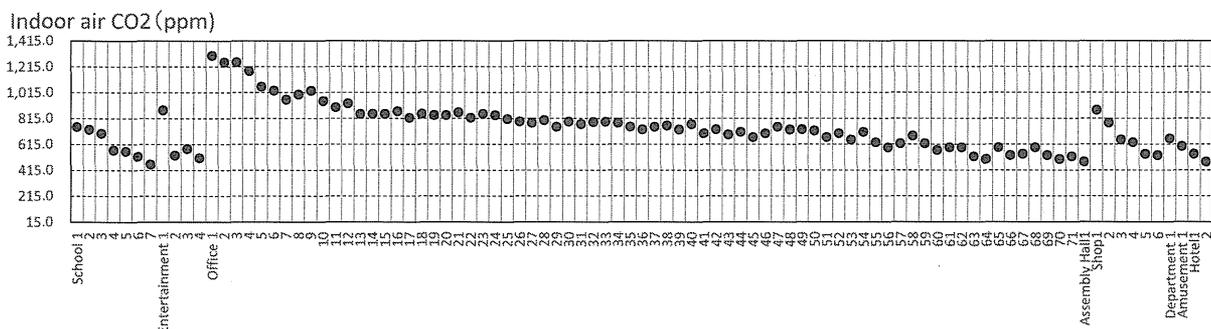


図 1-3-4 分析対象の室内二酸化炭素濃度：Indoor air CO_2 (ppm)

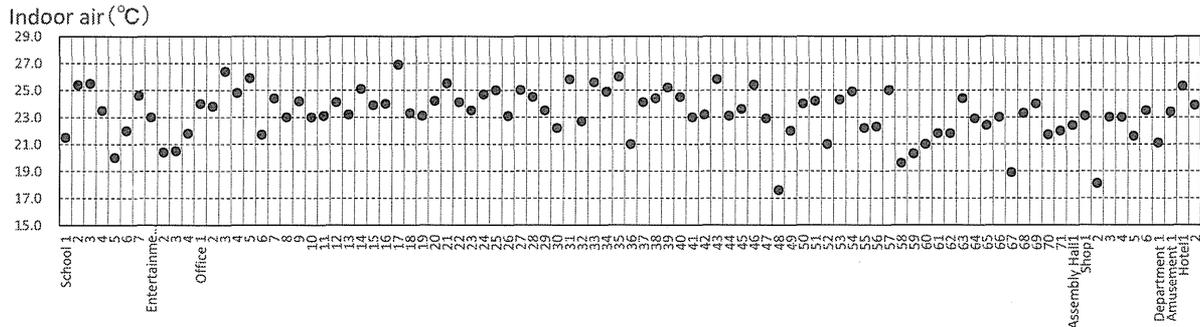


図 1-3-5 分析対象の室内温度：Indoor air ($^{\circ}C$)

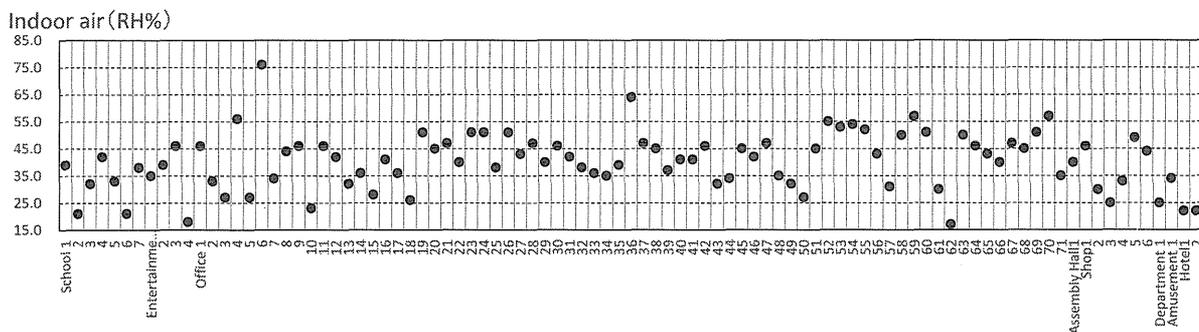


図 1-3-6 分析対象の室内相対湿度：Indoor air (RH%)

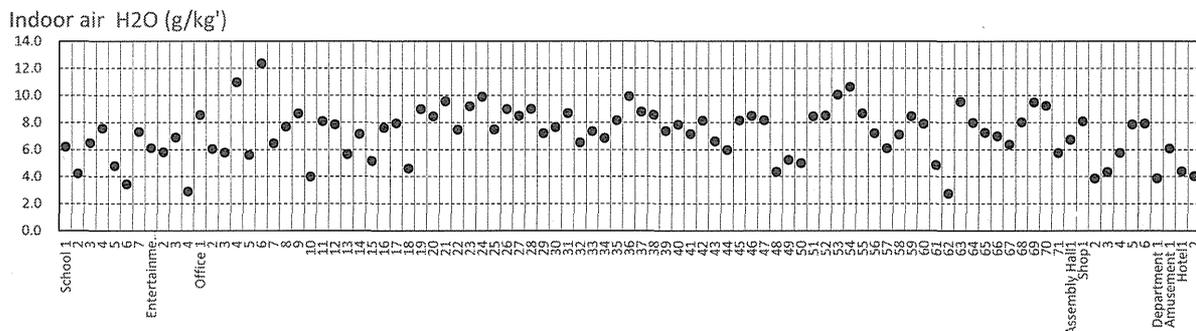


図 1-3-7 分析対象の室内絶対湿度：Indoor air (g/kg')

図 1-3-7 に示す絶対湿度は、温度と相対湿度からゴフグラッチ式で算出したものである。絶対湿度は、2.7~12.4(g/kg')で、平均は 7.2(g/kg')である。また、図 1-3-3 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、室内絶対湿度は、外気絶対湿度との相関も見られない（近似直線：室内絶対湿度 = 外気絶対湿度 * 0.2541 + 6.3485, $R^2=0.0253$ ）。

図 1-3-8 に、外気と室内の二酸化炭素濃度、温度、相対湿度、絶対湿度の関係を示す。室内二酸化炭素濃度は、外気との相関も見られない（近似直線：室内二酸化炭素濃度 = 外気二酸化炭素濃度 * 1.1584 + 230.13, $R^2=0.0369$ ）。温度、相対湿度、絶対湿度については、前述のように室内と外気との相関は見られない。ただし、二酸化炭素、温度、相対湿度、絶対湿度のいずれの場合も、近似直線の傾きは正で外気と共に室内が上昇する右上がりの傾向となっている。

図 1-3-9 に一酸化炭素濃度を、図 1-3-10 に粉塵濃度を示す。これらについても、図 1-3-3 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。一酸化炭素濃度が高い場合には、燃焼器具の使用が考えられる。燃焼器具による水蒸気発生が湿度に影響している可能性があるため、今後の分析で留意する必要がある。粉塵については、湿度との関係性が顕著ではないと考えられる。

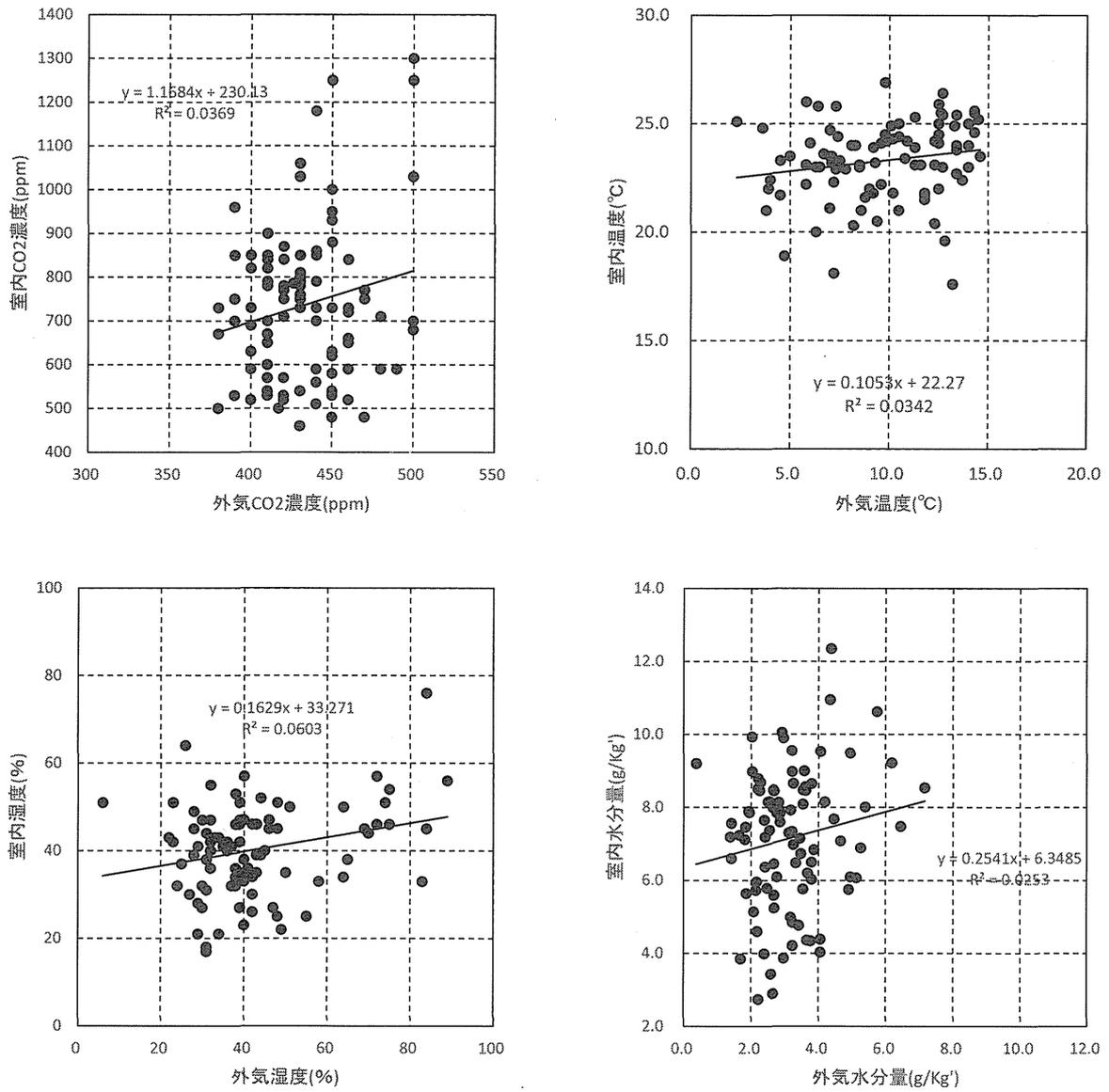


図 1-3-8 外気と室内空気の関係 (二酸化炭素濃度、温度、相対湿度、絶対湿度)

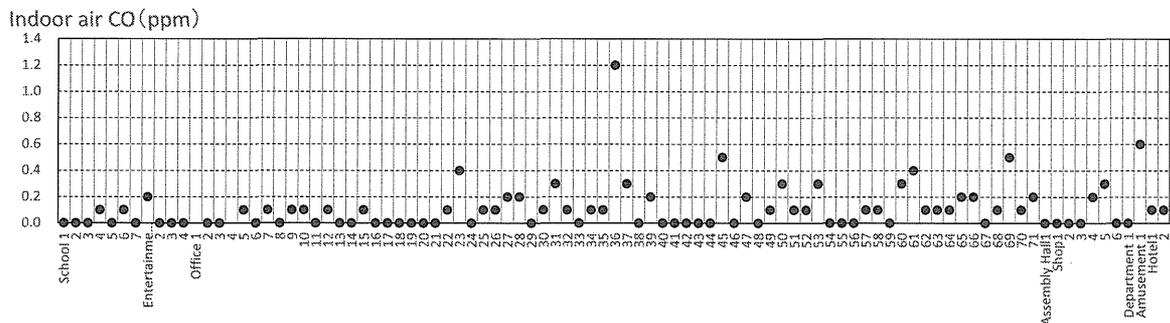


図 1-3-9 分析対象の室内一酸化炭素濃度 : Indoor air CO(ppm)

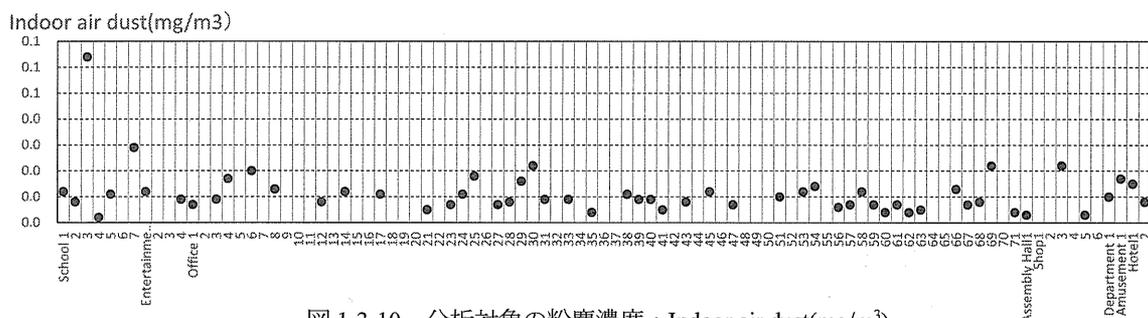


図 1-3-10 分析対象の粉塵濃度：Indoor air dust(mg/m³)

D. 不適合率に関する分析

ここでは、前節に示した東京都の平成 25 年度の立ち入り検査データを用いて、建築物衛生法に規定される空気環境の基準⁴⁾に対する適合・不適合の割合（以下、適合率、不適合率という）を検討する。前述のとおり分析対象のデータは、7 用途で 93 件である。このうち事務所が 71 件と大半を占めている。

D.1 結果の概要

表 1-3-11 に、空気環境の基準のうち 5 項目（浮遊粉じん、一酸化炭素、二酸化炭素、温度、相対湿度）に関する不適合率を示す。二酸化炭素と温度について、事務所でわずかに不適合の建物がみられるものの、浮遊粉じんと一酸化炭素については、全ての建物で基準を満たしている。もっとも基準を満たしていない項目は相対湿度であり、調査建物すべてにおける不適合率は 45% である。

これは、平成 25 年度の全国の相対湿度基準に対する不適合率約 50% という結果よりは低いものの、概ね符合している。

図 1-3-11 に、室内相対湿度の適合・不適合率の分布を示す。適合した建物のうちの半数以上（35 件、約 4 割）が、相対湿度 40% 以上 50% 未満であった。一方、不適合の建物の約 6.5 割（27 件）が、相対湿度 30% 以上 40% 未満の環境となっている。さらに残りの 3 割以上の建物は、相対湿度 30% 以下となっている。この検査データの範囲ではあるが、約半数の建物において、相対湿度基準を満足しておらず、低湿度環境にある。

表 1-3-11 空気環境の基準に対する不適合率（東京都平成 25 年度、検査日 11 月～3 月）

	測定 件数	浮遊粉じん の量 (0.15mg/m ³ 以下)	一酸化炭素 の含有量 (10ppm 以 下)	二酸化炭素 の含有量 (1000ppm 以下)	温度(17℃以 上 28℃以 下)	相対湿度 (40%以上 70%以下)
All	93	0%	0%	8%	2%	45%
School	7	0%	0%	0%	0%	86%
E.F.	4	0%	0%	0%	0%	75%
Office	71	0%	0%	10%	3%	37%
A.H.	1	0%	0%	0%	0%	0%
Shop	6	0%	0%	0%	0%	50%
D.S.	1	0%	0%	0%	0%	100%
A.P.	1	0%	0%	0%	0%	100%
Hotel	2	0%	0%	0%	0%	100%

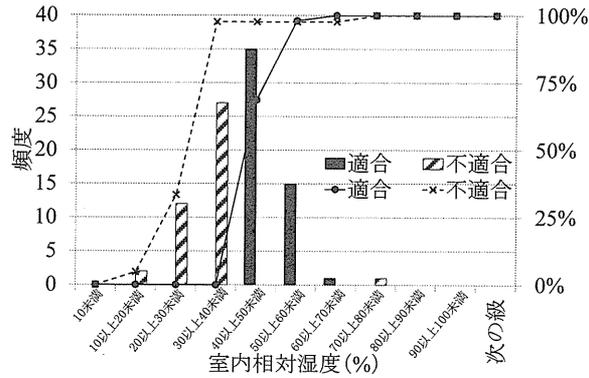


図 1-3-11 相対湿度基準の適合・不適合率建物の分布

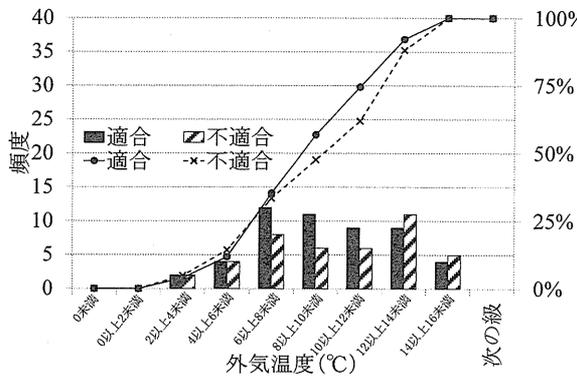


図 1-3-12 相対湿度基準の適合・不適合建物と外気温度の関係

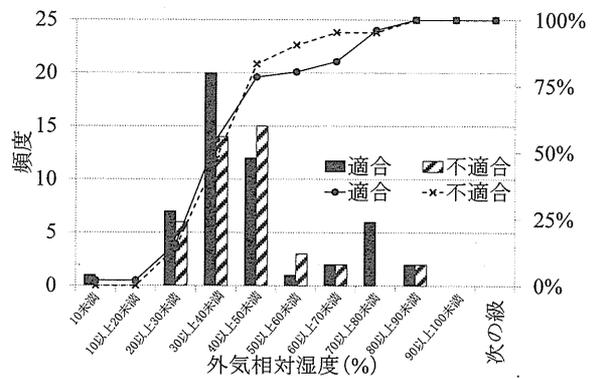


図 1-3-13 相対湿度基準の適合・不適合建物と外気相対湿度の関係

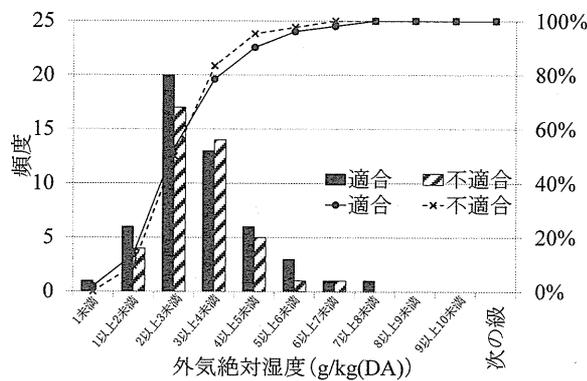


図 1-3-14 相対湿度基準の適合・不適合建物と外気絶対湿度の関係

D.2 相対湿度の基準に対する適合・不適合建物と外気温湿度との関係

本節以降、相対湿度基準に対する調査建物の結果の適合・不適合のみを抽出して各節にて検討を行う。ここでは、外気温湿度との関係を検討する。

図 1-3-12～図 1-3-14 に相対湿度基準に対する適合・不適合建物（件数）と外気温湿度との関係を示す。外気温 $2^{\circ}\text{C}\sim 16^{\circ}\text{C}$ 、外気相対湿度 $20\%\sim 90\%$ 、外気絶対湿度 $1\text{ g/kg(DA)}\sim 7\text{ g/kg(DA)}$ の範囲で相対湿度基準を満たさない建物がみられるものの、今回の分析範囲において、外気温湿度による差異はみられなかった。

D.3 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

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

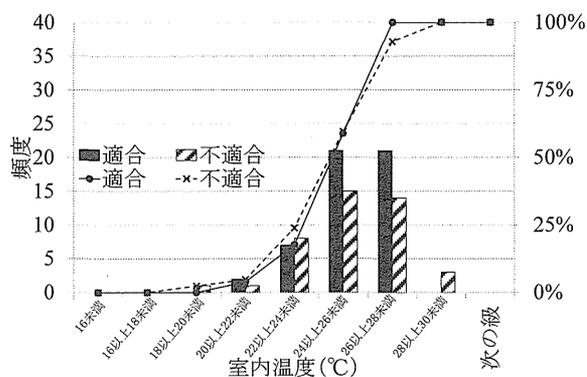


図 1-3-15 相対湿度基準の適合・不適合建物と室内温度の関係

図 1-3-15 に相対湿度基準に対する適合・不適合建物と室内温度との関係を示す。図に示す通り、今回の分析範囲において、基準を満たしている建物と不適合建物で、室内温度による差異はみられなかった。

図 1-3-16 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。適合時と不適合時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 1-3-17 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、基準を満たしている建物の室内外の絶対湿度差は約 $5\text{ g/kg(DA)}\sim 6\text{ g/kg(DA)}$ であった。基準を満たしていない場合では、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。

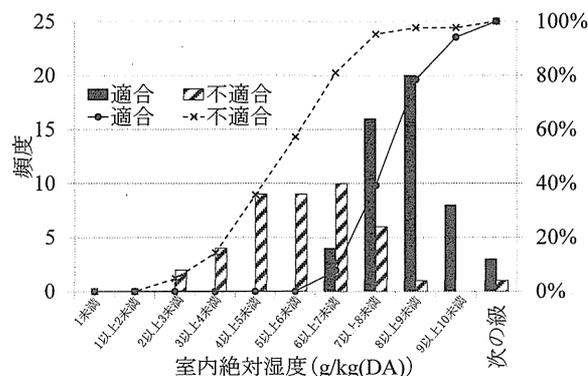


図 1-3-16 相対湿度基準の適合・不適合建物と室内絶対湿度の関係

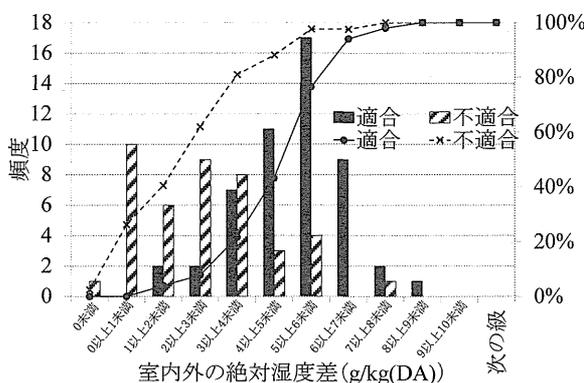


図 1-3-17 相対湿度基準の適合・不適合建物と室内外の絶対湿度差 (室内絶対湿度と外気絶対湿度との差)

D.4 相対湿度基準の適合・不適合建物と建築年および設備機器との関係

ここでは、相対湿度の基準に対する適合・不適合建物（件数）と建築年および設備機器との関係を検討する。

図 1-3-18 に相対湿度基準に対する適合・不適合建物と建築年との関係を示す。若干新しい建物で増えている傾向が示唆されているが、基準を満たしている建物と不適合建物で、建築年による差異はみられなかった。

図 1-3-19 に相対湿度基準に対する適合・不適合建物と制御方式との関係を示す。基準を満たしている建物では、全体制御とゾーン別制御がやや多くなっている。これらは、加湿設備の利益率が高く・維持もしやすく、積極的に加湿しているためと考えられる。

図 1-3-20 に相対湿度基準に対する適合・不適合建物と空調方式との関係を示す。基準を満たしている建物では、単一ダクト方式であるものが多い。

これは、パッケージユニット方式やファンコイルユニット方式よりも管理しやすいためと考えられる。

図 1-3-21 に相対湿度基準に対する適合・不適合建物と加湿方式との関係を示す。適合・不適合建物を合わせた全体の傾向として、気化式を採用している建物が多い。これは、加湿性能が高く、また、水あかのメンテナンスがしやすいこと（スケールが発生しにくい）等が理由と考えられる。

図 1-3-22 に相対湿度基準に対する適合・不適合建物と全熱交換器の有無との関係を示す。基準を満たしている建物では、基準を満たしていない建物と比較すると、全体での使用がやや多かった。全熱交換器を使用することで、湿度の維持に寄与していると考えられる。また、今回の分析範囲において、全熱交換器の無い建物でも適合する建物は、適合する建物のうち 3 割以上（17 件）あることもわかった。

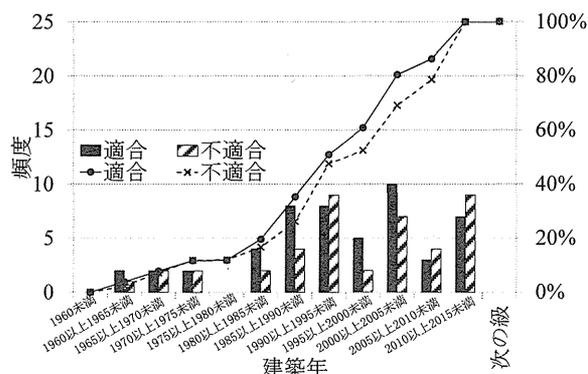


図 1-3-18 相対湿度基準の適合・不適合建物と建築年の関係

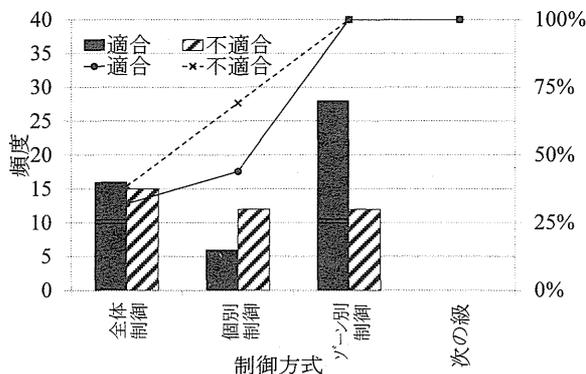


図 1-3-19 相対湿度基準の適合・不適合建物と制御方式との関係

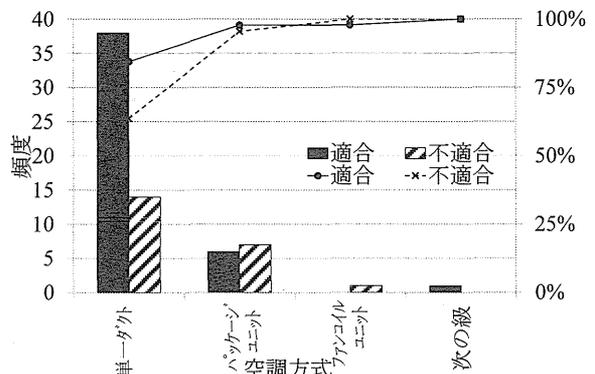


図 1-3-20 相対湿度基準の適合・不適合建物と空調方式との関係

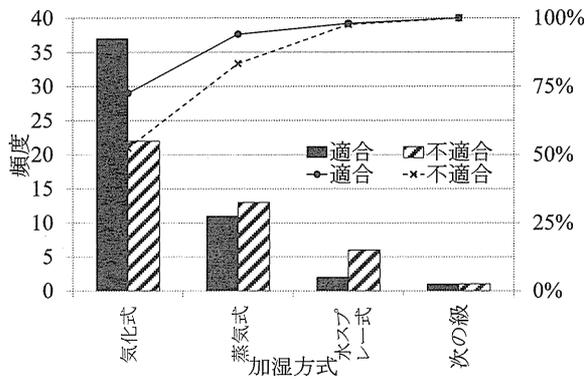


図 1-3-21 相対湿度基準の適合・不適合建物と加湿方式の関係

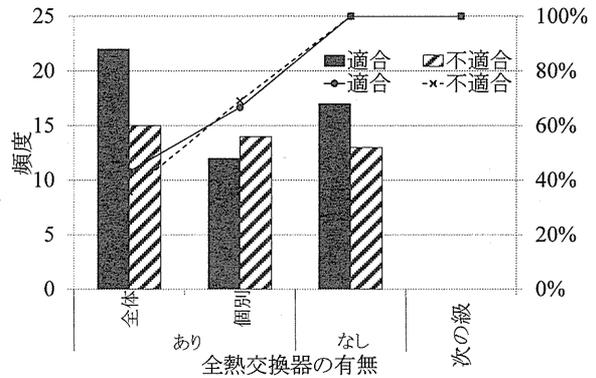


図 1-3-22 相対湿度基準の適合・不適合建物と全熱交換器の有無の関係

E. 湿度に関する分析結果

式 1 及び式 3 を用いて、二酸化炭素濃度差から推定した人体からの水蒸気発生による絶対湿度上昇分： H_{H_2O}/Q 、加湿装置による絶対湿度上昇分： M_{H_2O}/Q を算出して得られた、室内絶対湿度の構成を図 1-3-23 に示す。なお、外気絶対湿度と上記の 2 つの上昇分の合計は、室内絶対湿度に一致することになる。図 1-3-3 に示す一人あたりの換気量： Q_{person} に対応した形状が見られないと共に、人体からの水蒸気発生量、加湿装置の加湿量の双方のばらつきによって、室内絶対湿度がばらついていることが分かる。一酸化炭素濃度が高い OFFICE36 については、人体からの水蒸気発生量は多くないが、加湿装置加湿量が比較的大きく算出されており、室内燃焼に伴う水蒸気発生の影響が伺える。室内絶対湿度を維持するためには、一人あたりの換気量： Q_{person} が多い条件では、加湿装置による加湿がより必要になる。また、外気絶対湿度が低い場合にも加湿装置による加湿がより必要になる。分析対象では、このような湿度制御が十分になされていないことが確認される。

図 1-3-24 に、外気絶対湿度と加湿装置の加湿量の関係を示す。同図の M_{H_2O}/Q は、図 1-3-23 における加湿装置加湿量と同じもので、分析対象における加湿装置加湿量を示している。外気絶対湿度が高まると加湿装置加湿量が小さくなる傾向を持つが、 R^2 は 0.2028 と小さい。図 1-3-24 の $M_{H_2O}40\%/Q$ は、室内相対湿度を 40% にするために必要な加湿装置加湿量を示している。

外気絶対湿度が高まると、加湿量が減少する傾向があり、 R^2 は 0.7549 であり相関性が高い。室内相対湿度が 50%、60% の場合も、同様の傾向があり相関性が高い。 M_{H_2O}/Q の近似直線は、 $M_{H_2O}40\%/Q$ の近似直線に比較的近く、分析対象全体の平均では、相対湿度 40% を維持する程度になっている。同時に、測定対象の約半数が、室内相対湿度を 40% にする加湿装置加湿量に達していないことを示している。また、室内相対湿度 50% 及び 60% にする加湿装置加湿量に達しているものは、一部である。

分析対象の一人あたりの換気量： Q_{person} に大きなばらつきがあることから、室内二酸化炭素

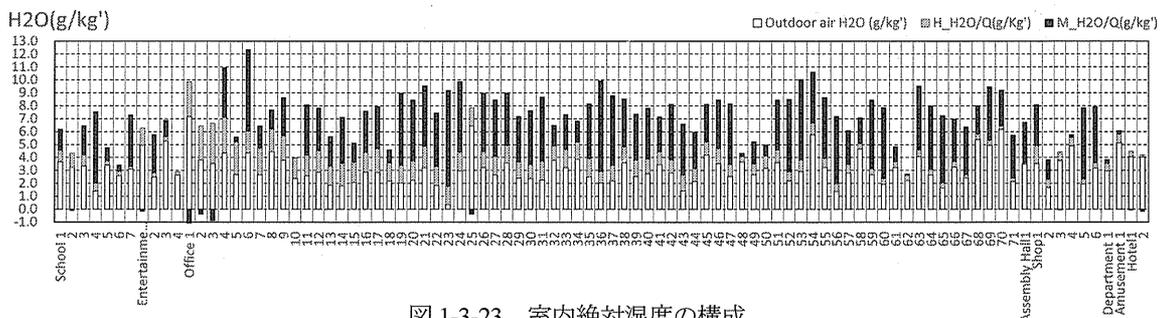


図 1-3-23 室内絶対湿度の構成

濃度が基準値:1000ppmになる人数を想定して加湿装置加湿量を算出した結果を、図 1-3-25 に示す。室内二酸化炭素濃度基準値人数にすることで、室内相対湿度 40%にする加湿装置加湿量： $M_H2O40\%/Q$ は、図 1-3-24 に示す実際の場合よりも少なくなっている。

実際の室内二酸化炭素濃度平均値 736ppm に対して基準値 1000ppm が高いために、想定人数が増加し人体による水蒸気発生量が増え、加湿装置加湿量が減少することになったと考えられる。室内相対湿度 40%にする加湿装置加湿量： $M_H2O40\%/Q$ の近似直線の傾きは、図 1-3-24 の場合よりも若干小さくなり、 R^2 は 0.8596 と相関性は非常に高くなった。この傾向は、室内相対湿度 50%、60%の場合にもみられる。

図 1-3-26 に、室内二酸化炭素濃度の基準値として、外気濃度+650ppm を用いた場合の、加湿装置加湿量を算出した結果を示す。室内相対湿度 40%にする加湿装置加湿量： $M_H2O40\%/Q$ は、図 1-3-25 に示す 1000ppm の場合よりも少なくなっている。実際の外気二酸化炭素の平均値が 433ppm で、650ppm を加えると 1083ppm となる。換気量が 1000ppm の場合よりも減少する傾向となり、加湿装置の必要加湿量が減少することになったと考えられる。室内相対湿度 40%の場合の近似直線は、傾きが若干大きくなり図 1-3-12 に示す実際の場合に近づくと共に、 R^2 は 0.8726 と相関性は非常に高かった。

図 1-3-27 に、分析対象における人体からの水蒸気発生量： H_H2O/Q 、加湿装置加湿量： M_H2O/Q 、基準二酸化炭素濃度 1000ppm、人数による人体からの水蒸気発生量： $H_H2O CO2 1000ppm/Q$ 、同基準状態で室内相対湿度を 40%にする加湿装置加湿量： M_H2O 発生量： $H_H2O CO2 1000ppm/Q$ 、同基準状態で室内相対湿度を 40%にする加湿装置加湿量： $M_H2O RH40\% CO2 1000ppm/Q$ 、同じく 50%、60%の場合、室内二酸化炭素濃度基準を外気+650ppm とした場合の 40%の加湿装置加湿量： $M_H2O RH40\% CO2 +650ppm/Q$ 、同じく 50%、60%の場合を示す。分析対象における人体からの水蒸気発生量： H_H2O/Q に対して、基準二酸化炭素濃度 1000ppm 人数による人体からの水蒸気発生量： $H_H2O CO2 1000ppm/Q$ が大きいこと、分析対象における実際の加湿装置加湿量： M_H2O/Q は、同基準状態で室内相対湿度を 40%にする加湿装置加湿量： $M_H2O RH40\% CO2 1000ppm/Q$ より大きく、同 50%より小さい。従って、実際の加湿装置の加湿量は、40%と 50%の間にある。また、室内二酸化炭素濃度基準を外気+650ppm とすることで、加湿装置加湿量が少なくなっている。

図 1-3-28 に、式 11 に示す換気量削減率 λ と式 13 に示す加湿量削減率を示す。室内二酸化炭素濃度基準を 1000ppm から外気+650ppm に変えることで、換気量では 88%に、加湿量では 83%~85%になっており、いずれも削減されることが

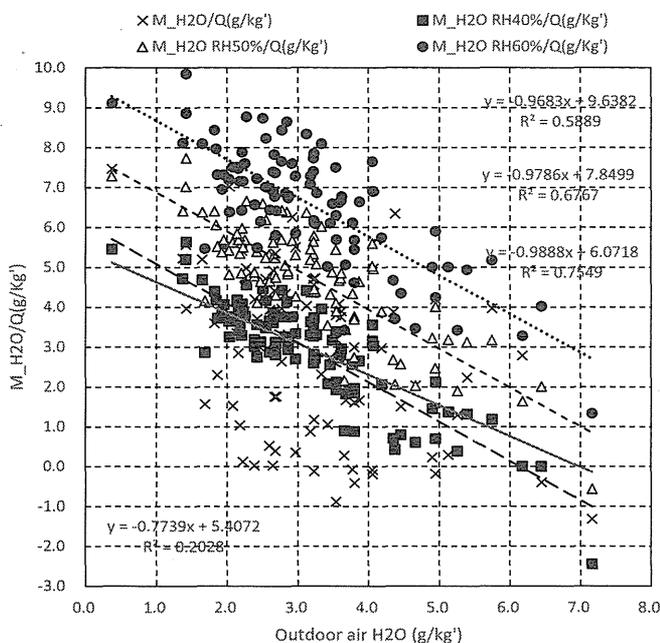


図 1-3-24 外気絶対湿度と加湿装置加湿量の関係

確認される。なお、図中には、平均値 - 標準偏差、
平均値、平均値+標準偏差をプロットしている。

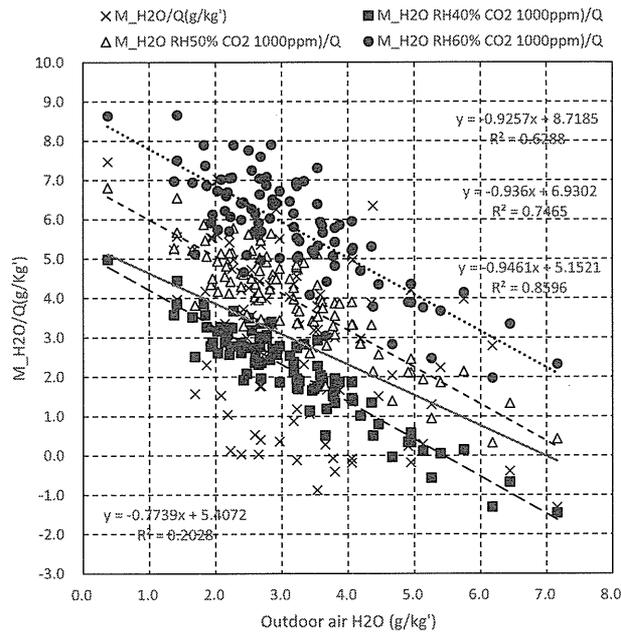


図 1-3-25 外気絶対湿度と室内二酸化炭素濃度基準値：1000ppm 人数による加湿装置加湿量の関係

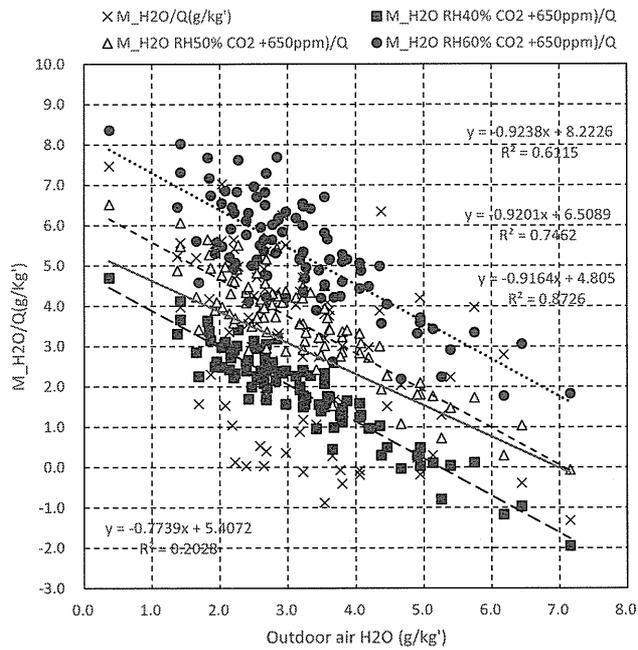


図 1-3-26 外気絶対湿度と室内二酸化炭素濃度基準値：1000ppm 人数における
外気+650ppm 制御時の加湿装置加湿量の関係

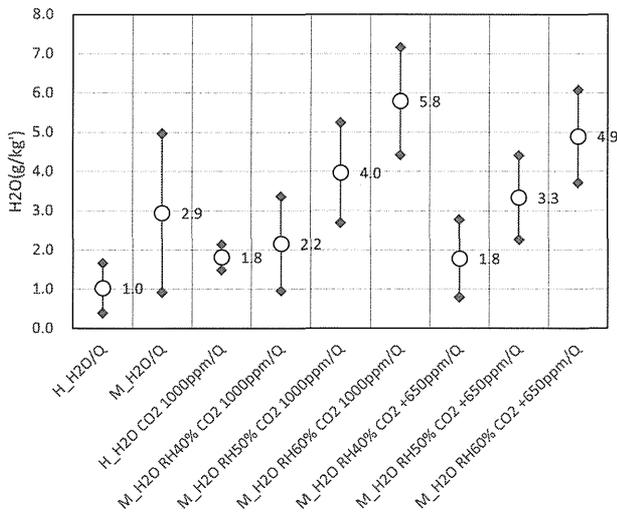


図 1-3-27 加湿装置加湿量の比較

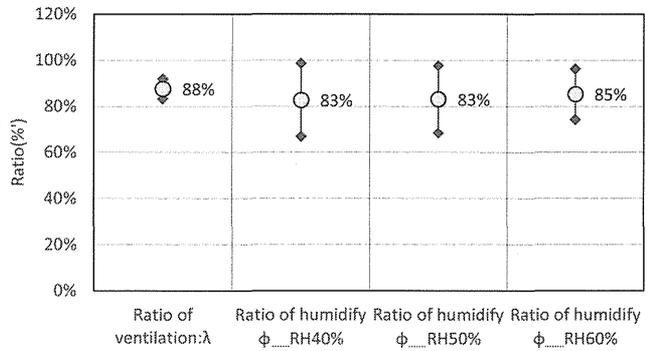


図 1-3-28 室内二酸化炭素濃度基 1000ppm に対する外気+650ppm の換気量比：λ と加湿量比：Φ

F. 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 年立入検査データを用い、以下の知見を得た。

- ① 二酸化炭素濃度から推定した一人あたりの換気量は対象によって大きくばらついており、換気量が一定の範囲に制御されているとすると、測定時の在室人数に大きなばらつきがあることが明らかとなった。
- ② 二酸化炭素濃度から人体からの水蒸気発生量を推定し、加湿装置による加湿量を算出した結果、加湿装置加湿量におおきなばらつきがあることが明らかとなった。

室内二酸化炭素濃度が基準値：1000ppm となる人数を想定して人体からの水蒸気発生量を推定した上で、相対湿度基準値を満たすための加湿装置加湿量を算出した結果、対象の加湿量の平均は、相対湿度 40%を満たす程度を超えていることが明らかとなった。

- ③ 室内二酸化炭素濃度基準として外気+650ppm を用いた場合の加湿装置加湿量、換気量削減率、加湿量削減率を算出した結果、対象の平均外気濃度が 433ppm で 350ppm よりも高いことによって、換気量が 1000ppm の場合の 88%で、室内相対湿度を 40%にするための加湿装置加湿量は 83%になり、一

定の省エネルギー効果があることが明らかとなった。

以上のように、東京都特定建築物の平成 25 年立入検査データを例に、冬期の相対湿度の形成機構に関する分析を行った。二酸化炭素濃度の内外差基準を仮定した検討ではその省エネルギー効果を算出したが、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。

参考文献

- 1) 金勲, 林基哉, 開原典子, 大澤元毅, 阪東美智子, 高齢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 巻 第 2 号: 2015.12. p.77-87.
- 2) 建築学会編 “建築設計資料集 2” 丸善 (1960)
- 3) 銚井修一, 池田哲郎, 新田勝通 建築環境工学 II -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27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	東 賢一	近畿大学医学部	准教授
分担研究者	柳 宇	工学院大学建築学部	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

本研究では、建築物の管理者及び利用者に対するアンケート調査と室内環境の測定調査を実施し、建築物における衛生的環境の維持管理の実態、建築物利用者の健康状態及び職場環境等の実態を把握することによって、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。更に、アンケートを実施した建物において、各空気環境項目について夏期及び秋期に実測調査を行った。また、高層建物における煙突効果による上層階での空気質悪化の可能性についての検討も行った。

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所用途の特定建築物を対象に、東京都5件、大阪市6件の事務所から実態調査（調査フロア数24、調査対象者数約651名）の協力を得たうえで、平成27年6月から順次、アンケート調査を計画通りに実施中である。実測調査の結果としては、多くの建物において、温度、二酸化炭素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%を下回る建物があり、冬期における加湿の対策が必要である。

研究協力者

大澤元毅	国立保健医療科学院
林 基哉	国立保健医療科学院
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

必要があると考えられる³⁾。

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

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、薬品及び不快臭、ほこり及び汚れ、騒音、居室の改装、温湿度及び二酸化炭素の建築物環境衛生管理基

2. 健康危機に対応した環境衛生の実態と管理項目の検討

2-1 建築物における衛生環境の実態と管理項目

A. 研究目的

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

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、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。

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。

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、郵送にて回収を行う。建築物の管理者又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)を実施する。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する。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)、揮発性有機化合物及び粒子状物質の気中濃度、真菌及び細菌の気中濃度、気中のエンドトキシンを測定する。

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回の頻度で実施する。

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⁾を使用する。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及び職業性ストレス⁸⁾を考慮した調査票となっている。従業員調査票は、個人属性、職場環境、健康状態(23症状、15既往疾患歴)、職場の空気環境の状態、職業性ストレスの状態などの質問で構成されている。

B.2 建築物における実測調査

B.2.1 調査対象

表2-1-1に調査対象の概要を示す。対象建築物は、上述の調査協力の得られた事務所となっている。ハッチの建物は夏期と秋期の2回調査を行った建物を表している。夏期は東京4件、大阪2件の計6件、秋期は東京5件、大阪5件の計10件を対象にしており、それぞれ2015年6月18日～8月20日、2015年10月1日～10月20日が調査期間である。

表 2-1-1 測定概要

測定概要				
測定日	対象建築物ID	空調方式	対象室面積 (㎡)	測定時在室者数 (人)
2015/08/20 AM 2015/10/20 PM	T5	AHU+ダクト	922	90
2015/08/20 PM 2015/10/20 PM	T6	PAC+HEX	92	11
2015/06/18 PM 2015/10/08 PM	T17	AHU+ダクト	737	57
2015/08/20 PM 2015/10/20 AM	T18 (2カ所)	PAC+HEX	422・645	22・65
2015/10/08 AM	T19 (2カ所)	AHU+ダクト	1152	100・39
2015/10/01 PM	O3 (3カ所)	AHU+ダクト		14・8・11
2015/08/05 PM 2015/10/01 PM	O4	PAC+HEX	119	4
2015/10/02 AM	O5 (5カ所)	AHU+ダクト	368	34・26・70・76・19
2015/08/05 PM 2015/10/02 PM	O6	AHU+ダクト	194	6
2015/10/01 AM	O8 (4カ所)	PAC+HEX	186	8・8・18・18

B.2 調査方法

(1) 温湿度・CO₂濃度・浮遊微生物・微粒子

測定は室内、給気、外気又は換気の給気口の3箇所で行った。浮遊細菌と浮遊真菌の測定には BIOSAMP MBS-1000 (ミドリ安全製) を用いて SCD と DG18 培地を使用し、吸引量を 100L でそれぞれ 2 回ずつ捕集した。培養条件は 32℃・2 日間 (SCD) と 25℃・5 日間 (DG18) 以上で行った。浮遊微粒子にはパーティクルカウンター (KR-12A, リオン製, 6 段階の粒径で測定を行う) を用いて、浮遊微生物と同時に測定した。また各建物には、温湿度データロガー (Thermo Recorder TR-72U T&D 社製) を設置して、相対湿度、CO₂濃度の連続測定を行った。

(2) 化学物質

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 L/min で計 30 L 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。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。

(3) PM_{2.5}

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。

(4) エンドトキシン

空気試料については、微生物の培地吸引では 100L を用いることが多いが、本研究で検討しているフィルタは直径 47mm のゼラチンフィルタ及び MCE フィルタ (Mixed Cellulose Ester Membrane Filter) と小さく、適切な吸引流量が明らかでないため 25~80L (3.0L/min × 8~10min, 4.0L/min × 20min) を吸引・捕集した。

捕集後、りん酸緩衝生理食塩水 (Phosphate Buffered Saline, 0.85%NaCl) 10ml に含浸・溶