

2. 建築物における空気環境の実態調査と維持管理に関する研究

研究分担者 柳 宇 工学院大学建築学部 教授

研究要旨

厚生労働科学研究費補助金「建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究（H21-健危-一般-009）」における調査結果では、特定建築物の中でも学校、事務所における顕著な基準不適合と、建築物衛生法が改正され、特定建築物の適用範囲に加わった個別空調設備の維持管理の問題点が指摘された。

本研究では、高齢者福祉施設、学校建築物など、用途毎の管理基準値のあり方に提言を行うことを目的として実態調査を行った。また建築物衛生法改正により適用範囲となった個別空調設備を有する建築物の空気環境及び空調設備の汚染状況の実態を調査し、問題点の抽出及び維持管理のあり方を検討した。更に前章で行ったアンケート調査の対象とした事務所建築物を対象に、健康との関連を検討するための室内環境の実態調査を行った。相対湿度不適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明らかにするために、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。

高齢者福祉施設及び学校建築共に、二酸化炭素濃度が在室者、換気の運用によって影響されている実態が明らかになったとともに、個別空調の衛生状況は、コイルやドレインパンなどで真菌が検出され、メンテナンスの重要性を指摘した。更に、個別空調建物における室内空気質の悪化が空調システムの面から示唆される結果を得た。

研究協力者

大澤元毅	国立保健医療科学院
金 勲	国立保健医療科学院
鍵 直樹	東京工業大学
池田耕一	日本大学理工学部
東 賢一	近畿大学医学部
鎌倉良太	(公社)日本建築衛生管理教育センター
斎藤秀樹	(公社)日本建築衛生管理教育センター
齋藤敬子	(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
高野大地	日本大学
中島 章	日本大学
佐藤麻里菜	工学院大学
横山貴紀	工学院大学
柴崎忠太	工学院大学
宮川拓也	工学院大学
肱岡大輔	工学院大学
渡邊裕之	工学院大学

2-1 高齢者福祉施設における実態調査

A. 研究目的

わが国では、医療水準の向上や社会福祉制度が発達したことを背景に平均寿命が上昇し、また、少子化も伴って高齢化社会が進んでいる。今後、需要はさらに拡大すると予想され、高齢者の福祉サービスの拡大が必要不可欠となっている。

しかしながら、高齢者福祉施設は建築物衛生法の対象となっておらず、各施設に管理を任せているため、衛生管理が系統立てて十分にされていない可能性がある。特に高齢者を対象とした福祉施設では、身体的弱者が多く生活する環境である。空気環境は健康に大きな影響を与えるため、今後の需要拡大に向けて、室内環境要素についての実態把握と適切な制御・管理を行う必要がある。

高齢者福祉施設は初め「養老院」と称され、高齢者を含む一般成人が暮らす保健施設として設立された。その後、1950年制定の生活保護法によって高齢者のみを対象とした「養老施設」として制度化された。さらに、1963年制定の老人福祉法によって「老人ホーム」に改称され、制度として「特別養護法人ホーム」「介護老人保健施設」「軽費老人ホーム」などに細分化された。現在では居住系や用途によってさらに細分化され、目的も多様となっている。中でも、「特別養護老人ホーム」と「介護老人保健施設」は今後の需要拡大が見込まれているため、調査の対象に適している。

現在、医療施設における室内環境に関する研究は、温熱環境、そして空気環境として化学物質、浮遊粉じんに加えて微生物においても注目されているところである。微生物汚染については、浮遊真菌の主な発生源は外気、浮遊細菌は在室者によるものであり、エアフィルタの捕集性能や換気量の確保、また、真菌の増殖を防ぐことが重要であるとされた¹⁾。しかし、高齢者福祉施設を対象とした調査については、アンケート調査による研究が多く、実測調査による研究は少ないのが現状である。アンケート調査においては利用者の体感的調査や、技術的な知識を持っていない管理者による維持・管理調査が多い。また、実測調査の研究でも温熱環境や浮遊粉じんについての研究は多くみられるが、微生物の研究ではその殆どがレジオネラ属菌関連のものである^{2,3)}。数少ない浮遊微生物の実態調査では、半数以上の測定場所で規準値を大幅に上回ったとされた⁴⁾。

そこで本研究では、建築物衛生法に規定されている空気環境要素の温度、相対湿度、気流、一酸化炭素、二酸化炭素、浮遊粉じんのほか、浮遊微生物及び化学物質についての実測調査を行った。また、給水、給湯、雑用水についても水質検査を行った。

B. 研究方法

2011年8月に東京2件、9月に京都2件、10月に広島1件の高齢者福祉施設A～Eの5件を調査対象とした。表2-1-1に調査対象施設の規

模や測定日の天候などを示す。

測定機器設置場所は各施設でデイサービスで通って来られるデイケア室又は入居者が日中利用する食堂、レクリエーションルームなど多人数が集まる部屋（本調査では、両者ともデイケア室と記載する）、居室（入居者が居住されている部屋）、屋外の3か所とした。なお、施設A、B、Eはデイサービスの方が利用するデイケア室、施設C及びDでは入所者が使用する食堂・談話室及びレクリエーションルームを対象とした。また、居室は各施設における標準的な作りの部屋を対象とした。

今回対象とした施設においては、空気調和・衛生設備を専門に扱う建築物管理技術者は常駐しておらず、業務を委託して管理を行っているものであった。

表 2-1-1 調査対象の概要

ID	種別	所在地	延床面積	ベット数	測定日	天候
A	介護老人保健施設	三鷹市	3465㎡	61	8/10	晴れ
B	指定介護老人福祉施設	練馬区	8259㎡	120	8/11	晴れ
C	介護老人保健施設	相模郡	5190㎡	100	9/20	雨
D	介護老人保健施設	八幡市	3849㎡	100	9/21	雨
E	特別養護老人ホーム	福山市	3846㎡	50	10/8	晴れ

空気環境の測定については、デイケア室、居室、外気の3箇所を対象に「連続測定」及び午前及び午後に同地点を建築物衛生法の測定手順と同様に「移動測定」を行った。

連続測定は各測定点において、建築物衛生法の衛生管理基準である温度、相対湿度、一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度、気流速度、浮遊粉じん濃度をIAQモニタ（カノマックス製）、クリモマスター（カノマックス製）、デジタル粉じん計（柴田科学製）によって10時から17時の間に連続的に測定を行った。更に、浮遊粒子の粒径別個数濃度をパーティクルカウンタ（リオン製）、浮遊真菌濃度、浮遊細菌濃度及びTVOC濃度（フィガロ技研製）についても測定した。また、デイケア室については10分ごとに在室者数（測定者を含まない）を計数した。

浮遊真菌濃度と浮遊細菌濃度はそれぞれジクロラン-グリセロール寒天培地（DG-18）とソイビーンカゼイン寒天培地（SCD）を用いた。真

菌では培養条件を 25 で 5 日間とし、形態観察による同定を行った。細菌の培養では条件を 32 で 2 日間とし、培養後にコロニー数を計測した。

移動測定では上記の 6 項目に加え、浮遊微生物、化学物質の計測、捕集を行った。建築物衛生法の衛生管理基準である 6 項目について、6 項目測定器（柴田科学製 IES-3000）を用いて、一酸化炭素、二酸化炭素については、検知管による測定も行った。浮遊真菌濃度と浮遊細菌濃度の培地と培養条件は連続測定と同様のものとした。真菌では培養後にコロニー数を計数し、生物顕微鏡を用いた形態観察による同定を行った。細菌では培養後にコロニー数を計測し、グラム染色を行った後、生物顕微鏡により染色性や形態による分類を行った。化学物質として、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなどのカルボニル化合物については、DNPH カートリッジを用い、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。

水質については、上水、給湯、雑用水および冷却水について、建築物衛生法等に基づく水質検査およびレジオネラ属菌検査を実施した。上水、給湯水は、基本的には建築物衛生法の全法定項目について検査を実施した。冷却水は日本冷凍空調工業会の標準規格に基づいた項目について検査を実施した。

C. 測定結果

C.1 定点連続測定結果

1) 温度・相対湿度

図 2-1-1 は施設 A～E のデイケア室、図 2-1-2、2-1-3 は施設 A～D の居室及び外気における温度の経時変化を示したものである。建築物衛生法での温度の管理基準である 17～28 の上限を大きく超過した場所は施設 B と D の居室であった。施設 A の外気では午前中、直射日光の影響を受けたために正確なデータが取れなかった。しかし、測定日は施設 A、B 両日共に 35 を超

える猛暑日であった。施設 B のデイケア室では、施設での設定温度の目標を 27～28 としているが、実際はそれを大きく下回る温度となっている。これは、測定場所が空調吹き出しの近くであったことが考えられる。また、16 時より気温が急激に上がっているが、これは利用者が帰宅したため空調を切った、または設定温度を上げたものと考えられる。施設 D のデイケア室（レクリエーションルーム）は 14 時頃に気温が上がっているが、これは在室者の増加によるもので、15 時から滞在人数が減った、または空調の設定温度を下げたものと思われる。管理基準の上限を超えている場所であっても、温度変動が小さく、1 日を通して一定の温度を維持していたことから、良好な状態であったと推察される。なお、図 2-1-1 の施設 A は前半で欠測、施設 E の後半は測定を実施していない。図 2-1-3 の施設 A、B の中間は欠測となっている。

図 2-1-4 は施設 A～E デイケア室、図 2-1-5、2-1-6 は施設 A～D の居室及び外気における相対湿度の経時変化を示したものである。建築物衛生法での相対湿度の管理基準の 40～70% の上限を終日超過した場所は、施設 B のデイケア室、施設 C のデイケア室（食堂・談話室）および居室、施設 D のデイケア室（レクリエーションルーム）であった。外気では測定日の天候が雨であった施設 C、D で高くなっている。温度と同様に空調の発停、在室者数によってある程度の変動があることが分かる。なお、図 2-1-4 の施設 A は前半で欠測。施設 E の後半は測定を実施していない。図 2-1-6 の施設 A、B の中間は欠測となっている。

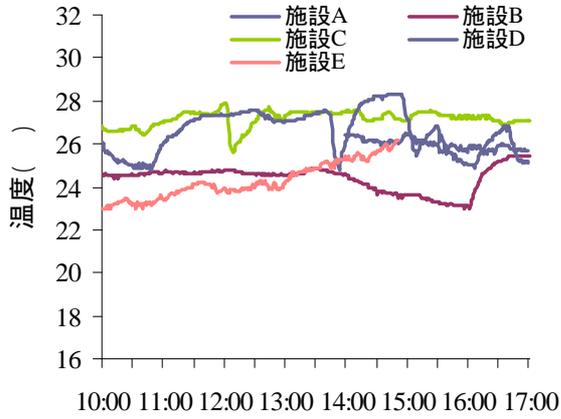


図 2-1-1 デイケア室内温度の経時変化

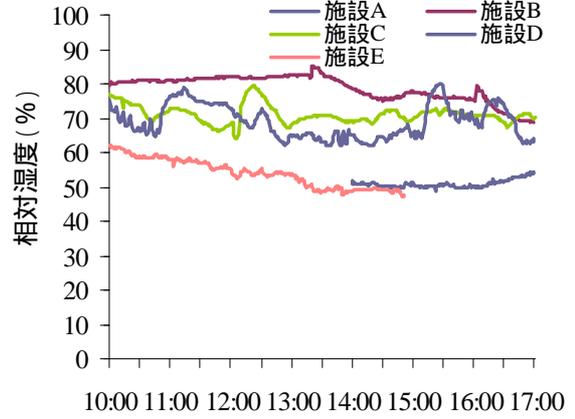


図 2-1-4 デイケア室内相対湿度の経時変化

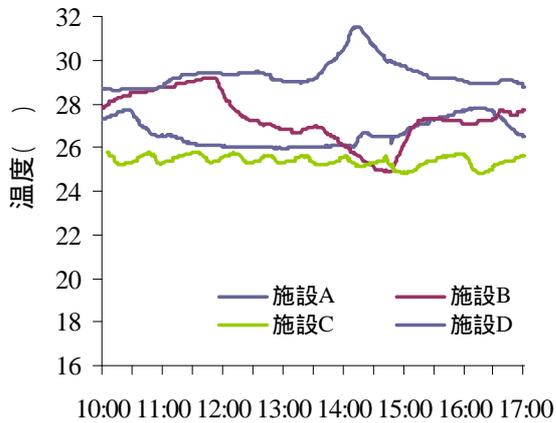


図 2-1-2 居室内温度の経時変化

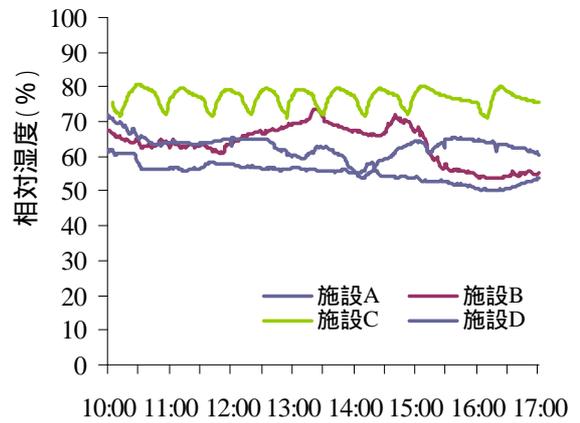


図 2-1-5 居室内相対湿度の経時変化

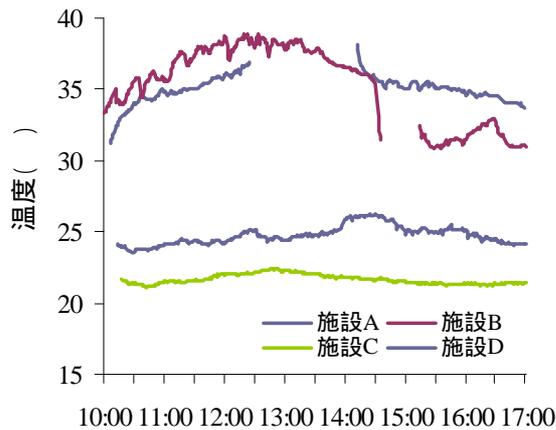


図 2-1-3 外気温度の経時間変化

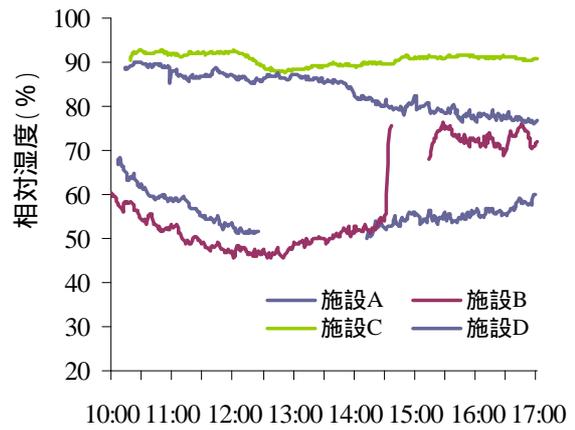


図 2-1-6 外気相対湿度の経時間変化

2) 一酸化炭素濃度・二酸化炭素濃度

図2-1-7は施設A～Eのデイケア室、図2-1-8、2-1-9は施設A～Dの居室及び外気における一酸化炭素の経時変化を示したものである。建築物

衛生法での一酸化炭素の管理基準である 10ppm を全ての測定場所で満足した。なお、図 2-1-7 の施設 A は前半で欠測。施設 E の後半は測定を実施していない。図 2-1-9 の施設 A, B の中間は欠測となっている。

図 2-1-10 は施設 A ~ E のデイケア室 図 2-1-11, 2-1-12 は施設 A ~ D の居室及び外気における二酸化炭素の経時変化を示したものである。建築物衛生法での二酸化炭素の管理基準である 1000ppm を大きく超過した場所は、施設 A のデイケア室であった。この部屋の全熱交換器の電源が入っていたが、在室者が常に 30 人前後と多く、窓は全閉であった。また、施設 B のデイケア室、施設 D のデイケア室(レクレーションルーム)居室においても基準を上回る時間があったことから、時間帯によっては換気不足となっていた。また、施設 D のデイケア室(レクレーションルーム)と居間については、共に午前中に濃度が低く、午後 to 高くなる傾向となっており、これはレクレーションルームの在室者数に 関係するものである。居室についても、居室の扉が開放されているため、両者の空気が一体となっていたことによるものと考えられる。なお、図 2-1-10 の施設 A は前半で欠測。施設 E の後半は測定を実施していない。

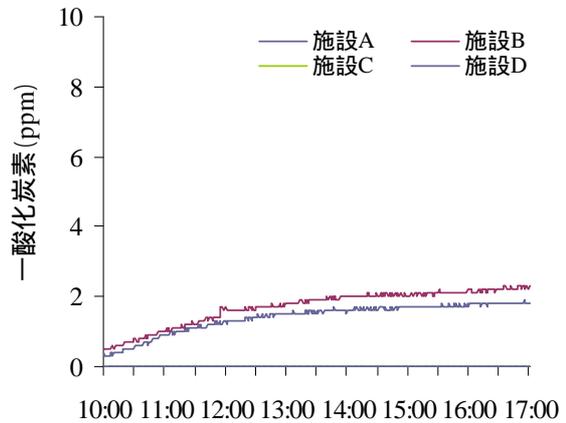


図 2-1-8 居室一酸化炭素濃度の経時変化

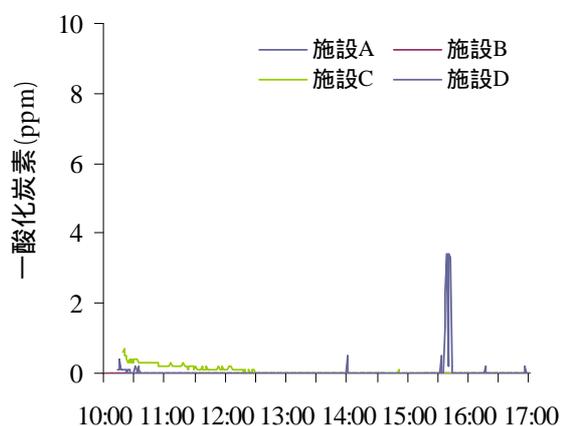


図 2-1-9 外気一酸化炭素濃度の経時変化

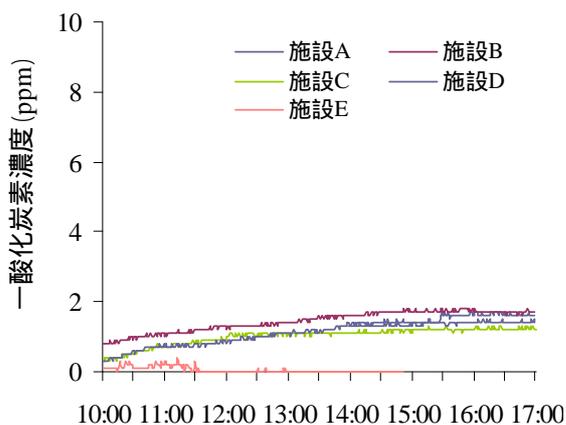


図 2-1-7 デイケア室内一酸化炭素濃度の経時変化

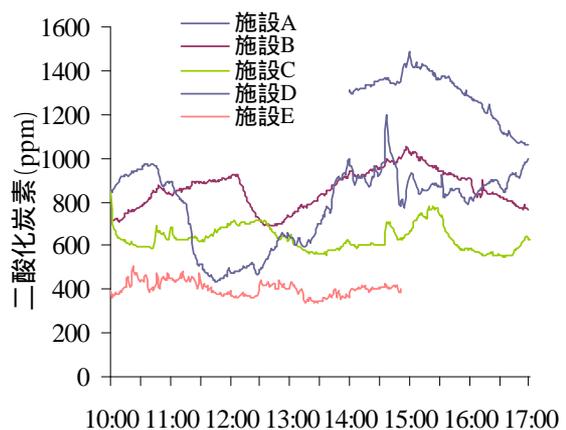


図 2-1-10 デイケア室内二酸化炭素濃度の経時変化

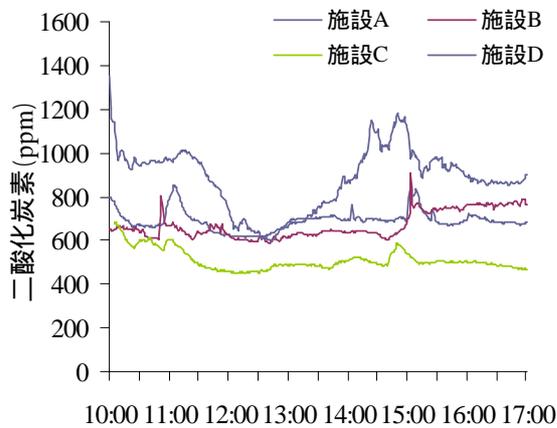


図 2-1-11 居室二酸化炭素濃度の経時変化

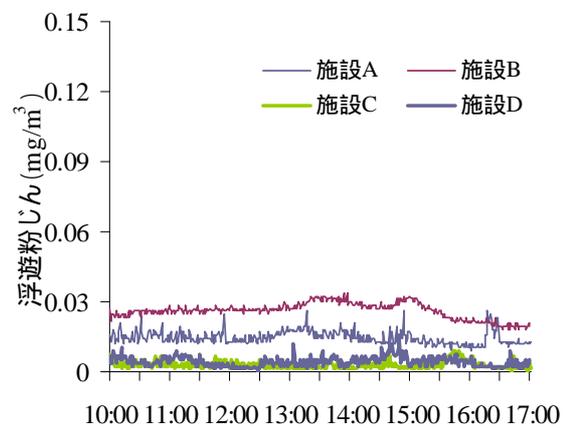


図 2-1-13 デイケア室内浮遊粉じん濃度の経時変化

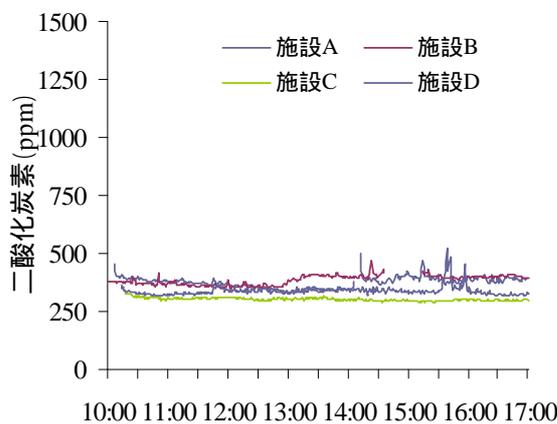


図 2-1-12 外気二酸化炭素濃度の経時変化

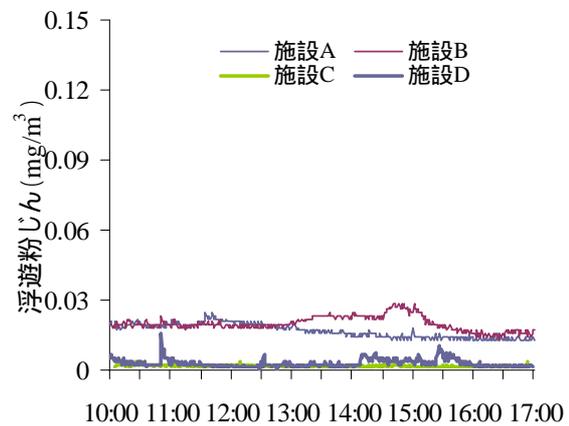


図 2-1-14 居室内浮遊粉じん濃度の経時変化

3) 気流

建築物衛生法での気流の管理基準である 0.5m/s を施設 B のデイケア室以外の測定場所で全て満足した。施設 B のデイケア室での高い数値は測定箇所が空調の吹き出し空気の影響を受けたためである。

4) 浮遊粉じん濃度，粒径別個数濃度

図 2-1-13～2-1-15 は施設 A～D におけるデイケア，居室及び外気の浮遊粉じん濃度の経時変化を示したものである。建築物衛生法管理基準値の 0.15mg/m^3 を全ての測定場所で満足した。

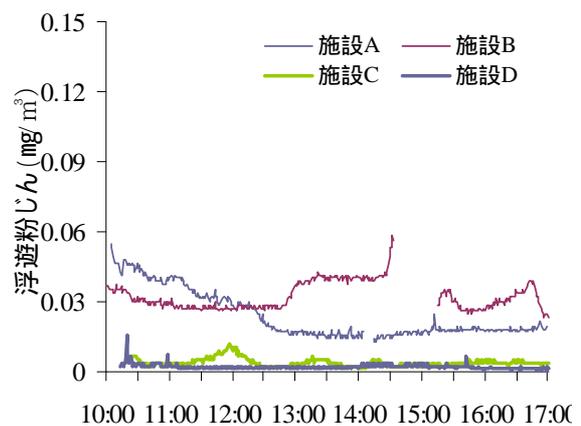


図 2-1-15 外気浮遊粉じん濃度の経時変化

図 2-1-16～2-1-19 は施設 A～D のデイケア室におけるパーティクルカウンタによって得られた粒径別浮遊微粒子濃度の I/O 比の経時変化を

示したものである。施設 A, B とともに粒径 $>0.5\mu\text{m}$ と $0.5-0.7\mu\text{m}$ で I/O 比が 1 以上となった。施設 A では 16 時台に $0.3-0.5\mu\text{m}$ 以外のすべての粒径の粒子で I/O 比が 1 以上となった。利用者が帰宅した後の清掃に伴い発生した粉じんが原因と考えられる。施設 C では粒径 $>0.5\mu\text{m}$ のみ 1 以上となった。施設 D ではすべての粒径で 1 以上となった。

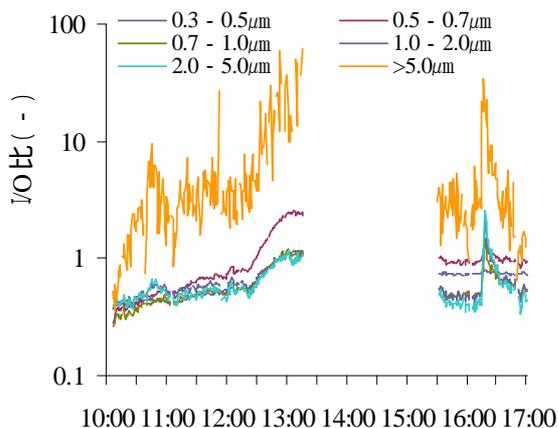


図 2-1-16 粒径別浮遊粒子濃度の I/O 比(施設 A)

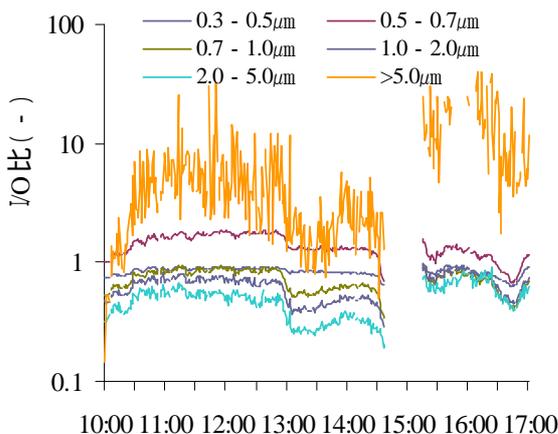


図 2-1-17 粒径別浮遊粒子濃度の I/O 比(施設 B)

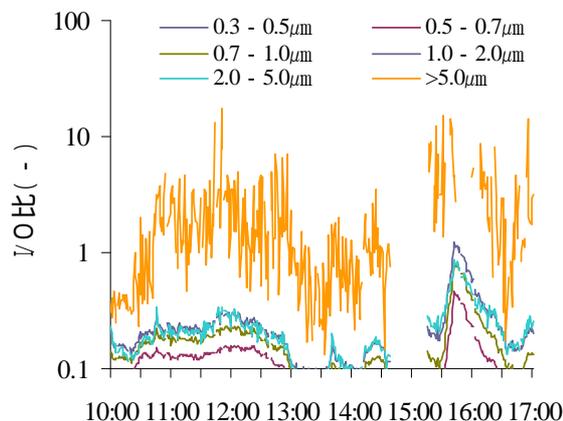


図 2-1-18 粒径別浮遊粒子濃度の I/O 比(施設 C)

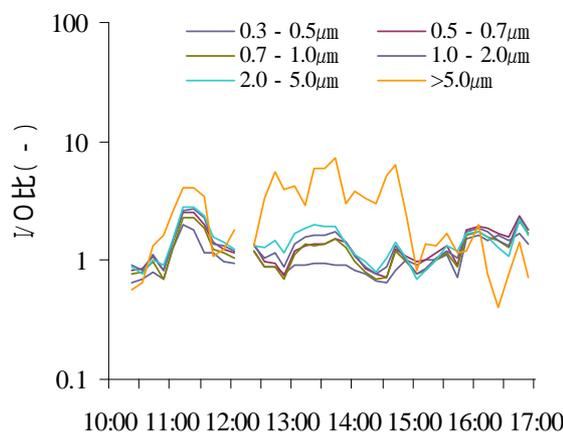


図 2-1-19 粒径別浮遊粒子濃度の I/O 比(施設 D)

5) 浮遊微生物

総菌

図 2-1-20 ~ 2-1-24 は施設 A ~ E のデイクア室における浮遊真菌, 浮遊細菌の測定結果および在室者数の経時変化を示したものである。日本医療福祉設備協会規格より病院空調設備の設計・管理指針 (HEAS-02-1998)⁵⁾の規格によれば, 一般病室やデイルームでの浮遊総菌数の目標値は $200 \sim 500\text{cfu}/\text{m}^3$ とされている。施設 A, E において目標値を大きく上回っていた。また, 施設 D においては浮遊真菌が欠測となっているが, 10 時台は細菌だけで目標値を上回っており, 比較的高濃度の状態であった。

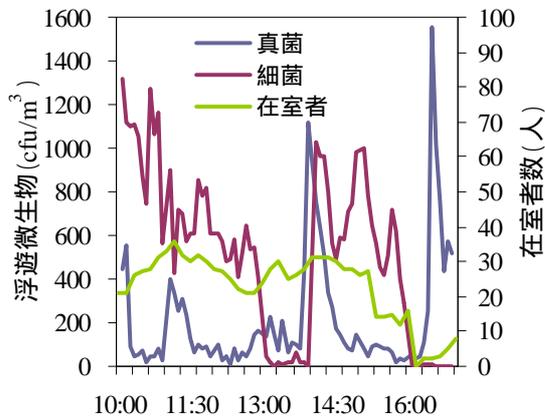


図 2-1-20 デイケア室内の浮遊微生物濃度と在室者数の経時変化（施設 A）

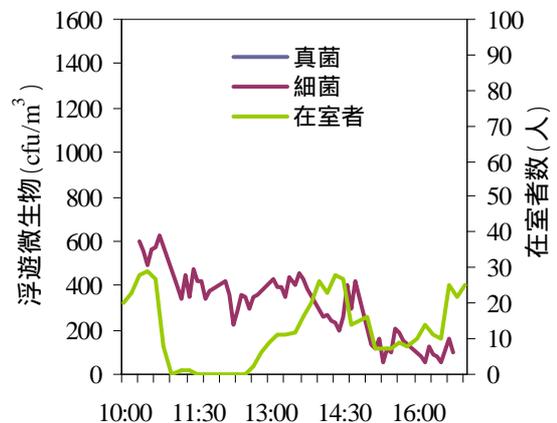


図 2-1-23 デイケア室内の浮遊微生物濃度と在室者数の経時変化（施設 D）

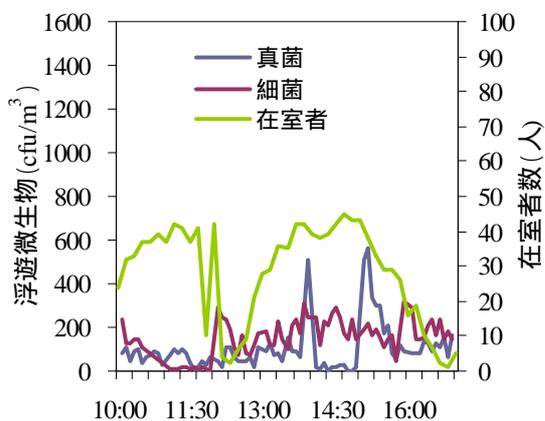


図 2-1-21 デイケア室内の浮遊微生物濃度と在室者数の経時変化（施設 B）

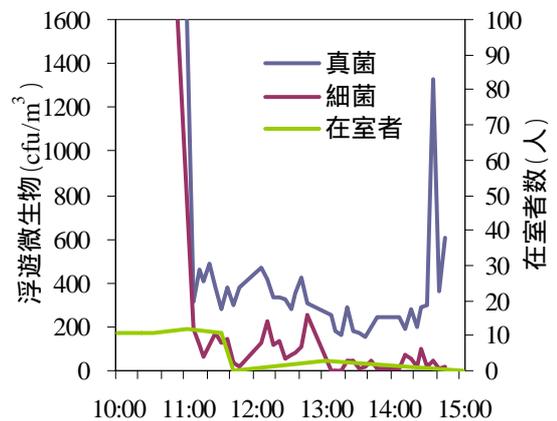


図 2-1-24 デイケア室内の浮遊微生物濃度と在室者数の経時変化（施設 E）

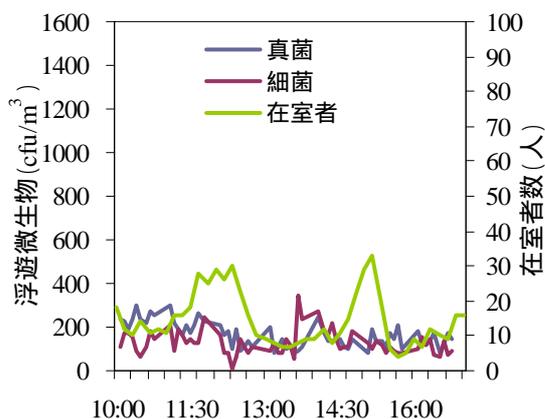


図 2-1-22 デイケア室内の浮遊微生物濃度と在室者数の経時変化（施設 C）

真菌

高齢者福祉施設における真菌の管理基準は何れの法律や管理基準においても定められていない。従って、本研究では日本建築学会より微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理基準・同解説（AIJES-A002-2005）の規準，オフィスでの浮遊真菌数の維持管理規準値 $50\text{cfu}/\text{m}^3$ 以下を規準値と比較した。この値と比較すると全ての施設において基準値を大きく上回った。特徴的には、高湿性である *Cladosporium* sp. が全ての施設で検出された。

施設 A では時間経過と共に検出される真菌の種類がはっきりと分かれた。午前中の優先種は *Penicillium* sp. であったが、午後に入り

Aspergillus niger が多く検出されるようになった。夕方より再び *Penicillium* sp. が多くなった。*Cladosporium* sp. は 1 日を通して検出された（写真 2-1-1）。

施設 B では 1 日を通して中湿性の *Penicillium* sp. が優先種であった。午前中は好乾性の *Wallemia sebi* の検出が認められ、レクリエーションや昼食のために机を移動したことが原因と考えられる。午後は *Aspergillus* sp. も検出された。

施設 C では高湿性である *Cladosporium* sp. と Yeast が 1 日を通して検出された。

施設 D は欠測。施設 E は *Cladosporium* sp. の検出のみ認められた。

細菌

高齢者福祉施設における細菌の管理基準が定められていない。従って、本研究では日本建築学会より微生物による室内空気汚染に関する設計・維持管理基準・同解説（AIJES-A002-2005）の規準，オフィスでの浮遊細菌数の維持管理規準値 500cfu/m³ 以下を規準値と比較する。

施設 A, D において高濃度で検出された（一例として写真 2-1-2 に施設 A の測定結果を示す）。いずれも在室者数との関連性は認められないが、二酸化炭素濃度が 1000ppm を超えており、換気不足が原因と考えられる。施設 A の 13 時～14 時で細菌数が極端に減っているが、在室者数、

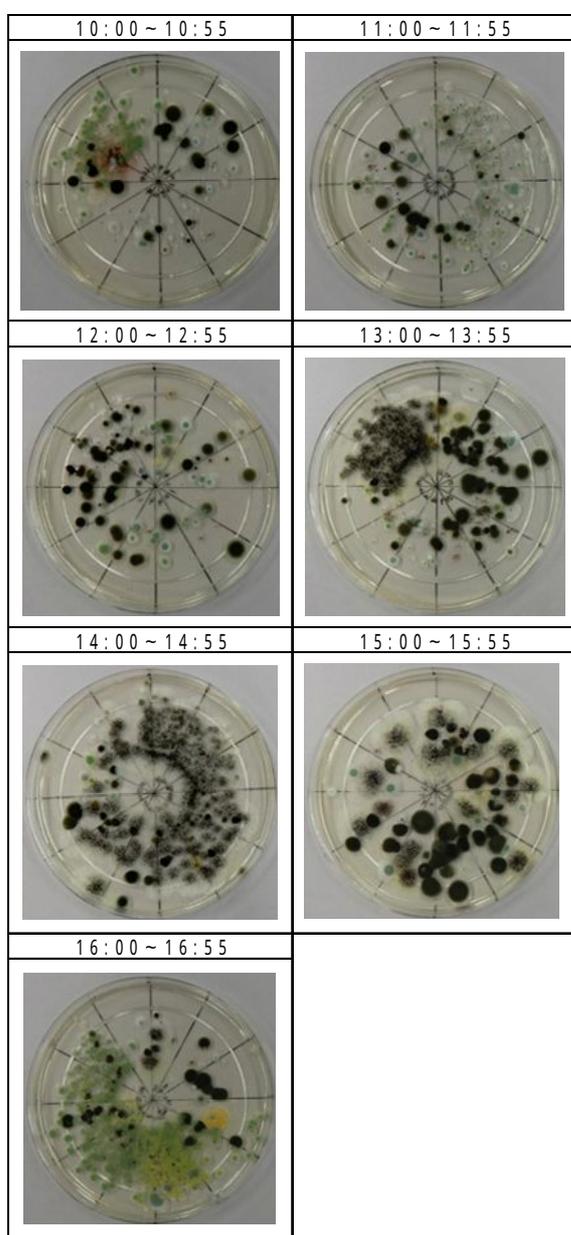


写真 2-1-1 真菌の測定結果例（施設 A）

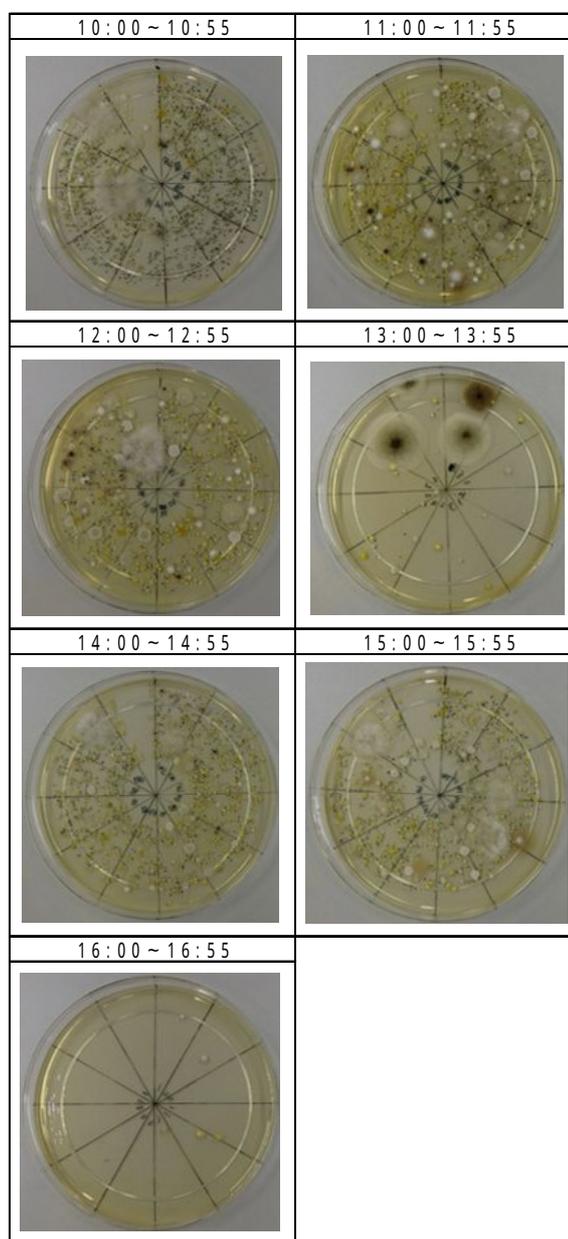


写真 2-1-2 細菌の測定結果例（施設 A）

二酸化炭素濃度ともに変動が小さいため原因は不明である。施設 D, E において測定開始時に高濃度となっている。これは, 11 時以降は数値が落ち着いていることから, 測定機器設置の間に測定者が複数人いたためと思われる。なお, グラム染色による分類ではいずれの施設でも芽胞菌が優勢であった。

6)TVOC 濃度

図 2-1-25 ~ 図 2-1-28 に, TVOC モニタで測定した TVOC 濃度の経時変化を示す。各測定場所において, 1 箇所大きなピークがあるが, ここで発生源があったのか, 測定器の都合かは明らかではない。いずれの施設もこれらのピークを除けば, TVOC の値は低い値で安定していることが分かる。

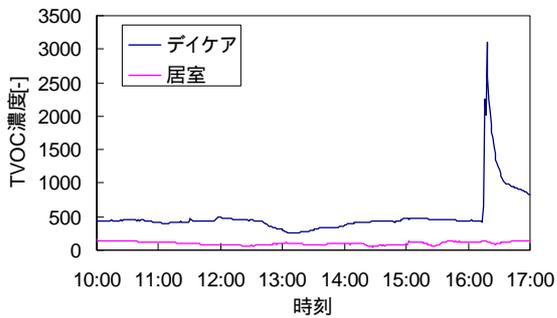


図 2-1-25 TVOC 濃度の経時変化 (施設 A)

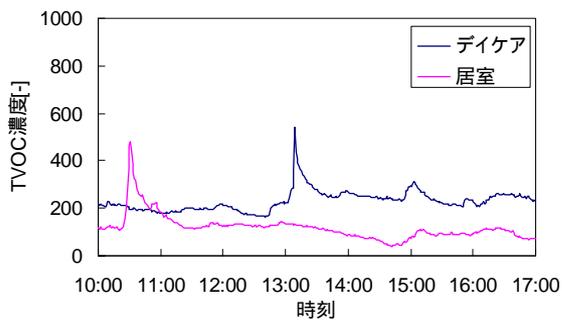


図 2-1-26 TVOC 濃度の経時変化 (施設 B)

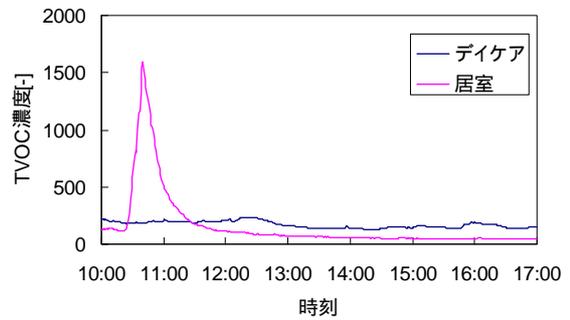


図 2-1-27 TVOC 濃度の経時変化 (施設 C)

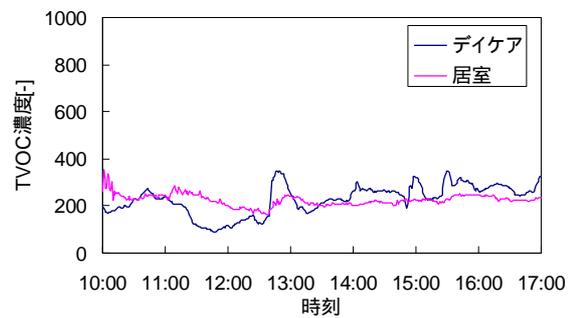


図 2-1-28 TVOC 濃度の経時変化 (施設 D)

C.2 移動測定結果

1) 温度・相対湿度

図 2-1-29 は施設 A～D における各測定場所での午前と午後の温度の測定結果を示したものである。建築物衛生法での温度の管理基準である 17～28 を全ての測定場所で満足した。また、午前と午後で著しい温度の差はなかった。施設 C, D の測定日は雨天で外気温が上昇しなかったため、室内と屋外での差があまり見られない、または、室内の方が僅かに高い温度となっている。

図 2-1-30 は施設 A～D における各測定場所での午前と午後の相対湿度の測定結果を示したものである。建築物衛生法での相対湿度の管理基準の 40～70% の上限を超過した場所は、施設 C 食堂・談話室の午後のみであった。しかし、施設 C では他の施設に比べ全体的に湿度が高い結果となり、連続測定の結果からも居室の午後は測定時間以外で 70% を超えている時間があった。

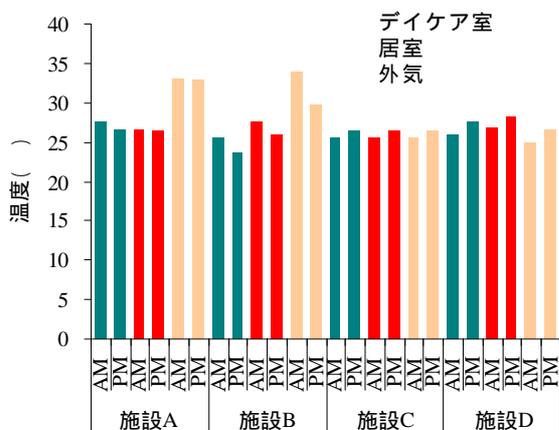


図 2-1-29 温度

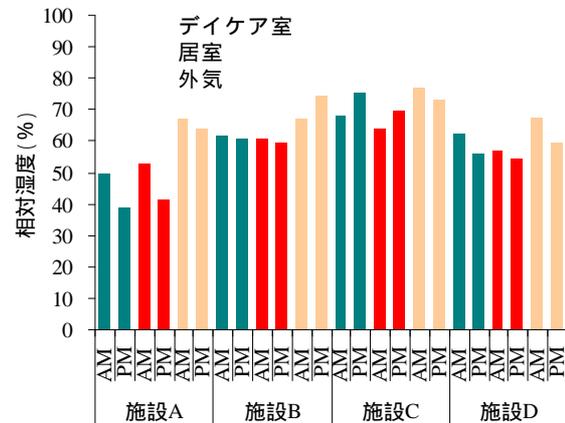


図 2-1-30 相対湿度

2) 一酸化炭素濃度・二酸化炭素濃度

図 2-1-31 は施設 A～D における各測定場所での午前と午後の一酸化炭素の測定結果を示したものである。建築物衛生法での一酸化炭素の管理基準である 10ppm を全ての測定場所で満足した。いずれの施設も住宅街の中にあるため、車の排気の影響を殆ど受けていない。また、施設の駐車場利用も送迎車以外殆どない状況であった。

図 2-1-32 は施設 A～D における各測定場所での午前と午後の二酸化炭素の測定結果を示したものである。建築物衛生法での二酸化炭素の管理基準の 1000ppm を超過した場所は施設 A のデイケア室の午前と午後、施設 B のデイケア室の午後、施設 D のデイケア室の午後、及び居室の午後であった。上記の測定場所では連続測定においても高濃度の結果となっており、居住者が多数存在している時間帯には常に換気不足となっているものである。

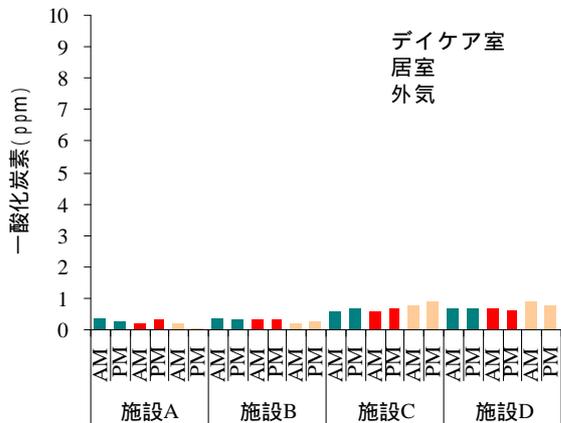


図 2-1-31 一酸化炭素濃度

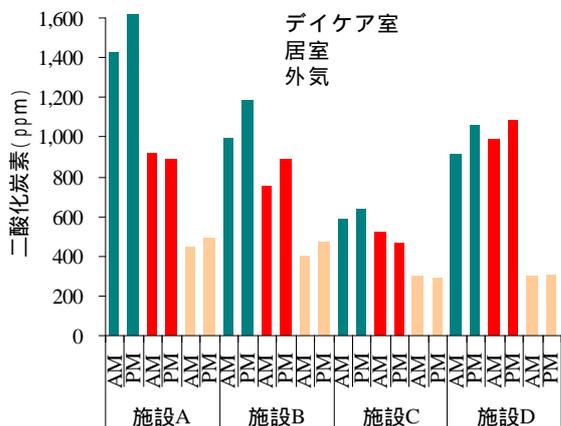


図 2-1-32 二酸化炭素濃度

3) 気流

気流の測定結果では、何れも管理基準の 0.5m/s を下回っていた。

4) 浮遊粉じん濃度

図 2-1-33 は施設 A ~ D における各測定場所での午前と午後の浮遊粉じん濃度の測定結果を示

したものである。建築物衛生法での浮遊粉じんの管理基準の 0.15mg/m³ を全ての測定場所で満足した。

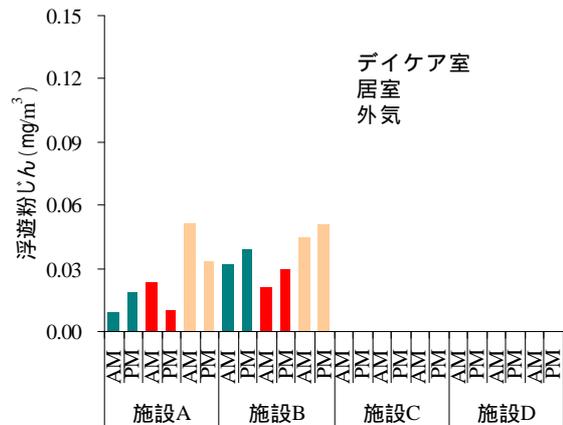


図 2-1-33 浮遊粉じん

5) 浮遊微生物

図 2-1-34 は施設 A ~ E における各測定場所での午前と午後の浮遊総菌数濃度の測定結果を示したものである。日本医療福祉設備協会規格より病院空調設備の設計・管理指針 (HEAS-02-1998)⁵⁾によれば、一般病室やデイルームでの浮遊総菌数の目標は 200 ~ 500cfu/m³ とされている。目標値を超過した場所は施設 C の居室の午前、施設 D、E のダイケア室の午前、居室の午前と午後であった。施設 C、E において目標値を大きく上回っていた。また施設 A、B においては細菌が欠測となっている。しかし、施設 A では連続測定において浮遊細菌数が高濃度となっていることから、総菌としても高濃度であることが予想される。

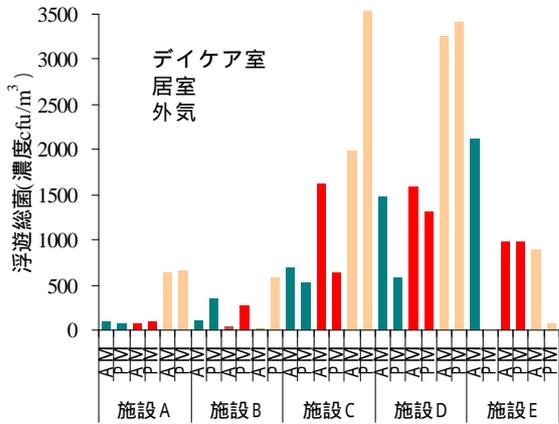


図 2-1-34 総菌

6) 化学物質濃度

表 2-1-2 に各測定点における厚生労働省から指針値として示されている物質の濃度について示す。個々の物質については、各測定点で指針値を超過する物質はなかった。一方、TVOC 濃度については、暫定目標値 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過する箇所が多く見られた。建物によっては、衣類の防虫剤の主成分である p-ジクロロベンゼン濃度の高いところもあり、居住者からの発生の影響が考えられる。

C.3 水質調査結果

上水，給湯，雑用水および冷却水について，建築物衛生法等に基づく水質検査およびレジオネラ属菌検査を実施した。

上水，給湯水，雑用水の水質調査結果を表 2-1-3 に示す。

上水及び給湯水については，全て水質基準に適合しており，またレジオネラ属菌も未検出で良好であった。

なお，雑用水及び冷却水については，1 箇所を除いてレジオネラ属菌が検出されていた。

D. 考察

建築物衛生法の衛生管理基準に関係するものとして，温度，相対湿度及び二酸化炭素濃度が基準値を逸脱するところがあった。図 2-1-35 ~ 図 2-1-37 に，連続測定で得られた温度，相対湿度，二酸化炭素濃度の各部屋の分布について示す。温度については，先にも述べたように比較的高い値であるが変化の幅も少ないものの，相対湿度については比較的高い値で幅も若干大きいものとなった。温度は一定であっても，温熱

表 2-1-2 各施設における化学物質濃度 (単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	基準 指針	施設A											
		外気		ダイルーム		居室		外気		ダイルーム		居室	
		AM	PM	AM	PM								
ホルムアルデヒド	100	13.0	11.0	42.1	36.9	38.0	44.5	12.0	13.1	39.9	33.8	30.9	29.1
アセトアルデヒド	48	16.3	8.6	32.4	27.6	19.1	19.6	13.5	14.7	30.2	36.2	15.9	22.6
トルエン	260	13.4	16.6	58.1	34.2	27.6	16.0	10.3	24.9	31.1	39.8	28.2	34.9
エチルベンゼン	3800	4.1	4.7	17.9	12.5	9.6	7.0	2.5	6.5	21.4	21.6	5.6	8.6
キシレン	870	3.1	3.9	23.5	18.4	16.9	14.3	n.d.	5.3	24.1	22.7	5.0	8.1
スチレン	220	2.5	n.d.	18.4	n.d.	10.0	14.9	n.d.	n.d.	16.7	17.7	6.5	14.5
p-ジクロロベンゼン	240	5.1	9.0	133.7	112.4	32.9	9.6	4.8	24.8	38.2	74.1	31.6	50.5
テトラデカン	330	n.d.	2.1	16.2	17.0	5.9	5.6	n.d.	1.2	8.7	10.1	16.1	14.4
TVOC	400	118.4	198.9	891.4	746.1	436.5	355.6	128.2	211.6	523.8	953.0	575.8	1011.7
	基準 指針	施設B											
		外気		ダイルーム		居室		外気		ダイルーム		居室	
		AM	PM	AM	PM								
ホルムアルデヒド	100	3.8	3.7	16.3	18.2	27.6	23.9	4.3	18.9	22.4	22.4	32.1	2.8
アセトアルデヒド	48	3.5	3.7	9.1	8.8	8.4	6.5	3.3	8.3	8.4	15.1	12.8	0.0
トルエン	260	50.5	54.6	61.5	61.5	49.2	49.2	20.0	27.8	52.7	40.1	174.9	47.0
エチルベンゼン	3800	18.1	9.8	26.7	26.7	n.d.	n.d.	5.9	4.9	26.1	18.9	15.0	12.4
キシレン	870	14.3	n.d.	25.5	25.5	12.1	12.1	6.4	9.2	29.7	20.1	16.0	13.8
スチレン	220	6.4	n.d.	23.0	23.0	n.d.	n.d.	3.2	12.5	14.9	115.5	14.7	n.d.
p-ジクロロベンゼン	240	n.d.	n.d.	25.3									
テトラデカン	330	1.1	9.2	n.d.	n.d.	9.4	9.4	1.5	n.d.	7.2	17.2	9.3	10.5
TVOC	400	187.2	186.2	788.7	788.7	700.5	700.5	133.3	141.9	612.1	1362.5	956.2	885.7
	基準 指針	施設C											
		外気		ダイルーム		居室							
		AM	PM	AM	PM	AM	PM						
ホルムアルデヒド	100	7.3	6.8	14.0	16.6	12.9							
アセトアルデヒド	48	8.5	10.1	15.9	10.8	7.8							
トルエン	260	36.7	53.8	42.1	10.1	6.0							
エチルベンゼン	3800	3.1	n.d.	n.d.	3.3	2.5							
キシレン	870	2.0	n.d.	n.d.	2.0	n.d.							
スチレン	220	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.							
p-ジクロロベンゼン	240	n.d.	n.d.	n.d.	3.2	n.d.							
テトラデカン	330	n.d.	n.d.	n.d.	1.0	1.4							
TVOC	400	149.8	167.4	50.7	93.0	137.7							
	基準 指針	施設D											
		外気		ダイルーム		居室							
		AM	PM	AM	PM	AM	PM						
ホルムアルデヒド	100	7.3	6.8	14.0	16.6	12.9							
アセトアルデヒド	48	8.5	10.1	15.9	10.8	7.8							
トルエン	260	36.7	53.8	42.1	10.1	6.0							
エチルベンゼン	3800	3.1	n.d.	n.d.	3.3	2.5							
キシレン	870	2.0	n.d.	n.d.	2.0	n.d.							
スチレン	220	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.							
p-ジクロロベンゼン	240	n.d.	n.d.	n.d.	3.2	n.d.							
テトラデカン	330	n.d.	n.d.	n.d.	1.0	1.4							
TVOC	400	149.8	167.4	50.7	93.0	137.7							

感としては変化があったものとも考えられる。

また、二酸化炭素濃度については、施設 A のデイルームで常時 1000ppm を超過する状況であった。図 2-1-38 に施設 A と施設 D の在室者数と二酸化炭素濃度の関係を示す。在室者数と二酸化炭素濃度の関係は、施設 D のように在室者数に応じて二酸化炭素濃度が増加する傾向が一般的であるが、施設 A においては、その傾向が見られなかった。高齢者福祉施設においては、デイルームや食堂などは居室や事務室などと空間的に一体となっており、常時建物全体の在室者に影響され、デイルームの二酸化炭素濃度が常に高い傾向であったと考えられる。このデイルームにおいては通常全熱交換器を運転していないことも関係しているものである。

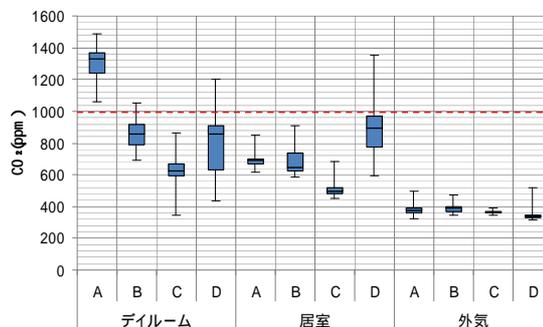


図 2-1-37 各部屋における二酸化炭素濃度の分布状況

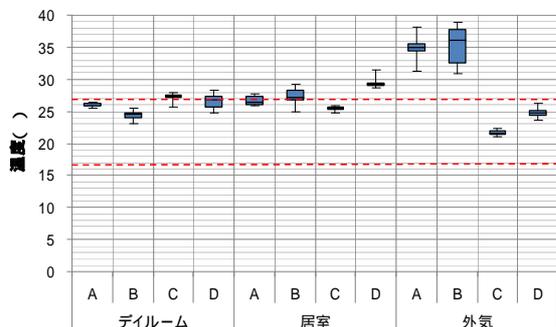


図 2-1-35 各部屋における温度の分布状況

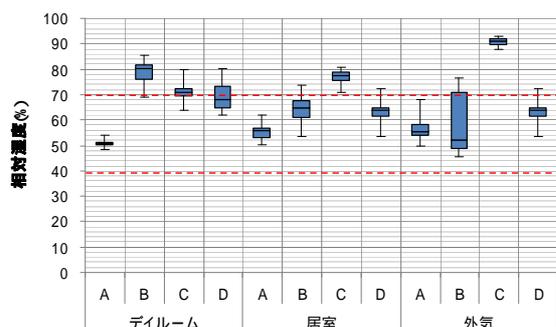
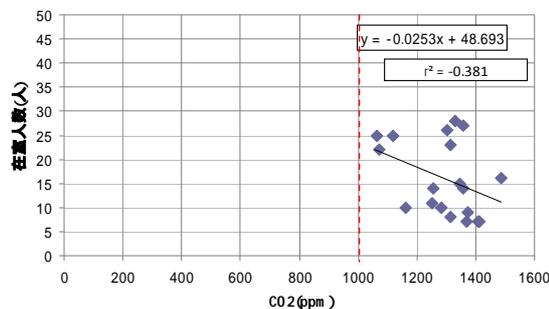
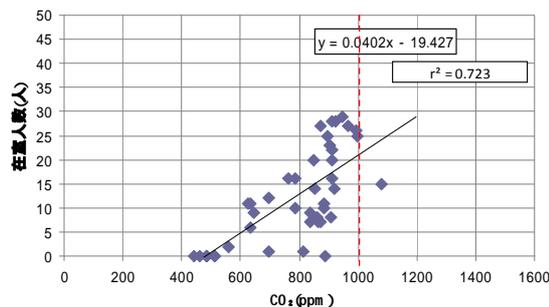


図 2-1-36 各部屋における相対湿度の分布状況



a) 施設 A



b) 施設 B

図 2-1-38 デイルームにおける二酸化炭素濃度と在室人数の関係

E. 結論

本研究では、高齢者福祉施設を対象に、夏期において 5 件の空気環境及び水質を建築物衛生法に準じた実測調査と共に、微生物に関する調査を行い、衛生環境の現状を把握した。

・空気質要素（粉じん濃度、一酸化炭素濃度、二酸化炭素濃度、ホルムアルデヒド濃度）については、温度、相対湿度及び二酸化炭素濃度が基準値を逸脱するところがあった。温度及び湿度については、空調の温度設定を基準値として

表 2-1-3 上水・給湯・雑用水の水質検査結果

施設名		A		B			C		D	
種類		水	湯	水		湯	水	湯	水	湯
採水場所		1F給湯室	1F給湯室	警備室	B1F洗面台	B1F男子更衣室				
項目	基準									
残留塩素	0.1mg/L以上	0.3	<0.1	0.5	0.6	0.2	-	-	-	-
水温	-()	22	60	26	26	59	-	-	-	-
NO	10mg/L	0.4	0.4	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	0.2	0.2
Cl	200mg/L	9.1	8.2	3.8	4.0	4.1	8.6	8.6	7.1	7.4
TOC	5mg/L	0.1	0.1	1.1	0.3	0.3	0.8	0.8	0.4	0.3
一般細菌	100/mL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
大腸菌	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
pH値	5.8-8.6	7.8	7.7	7.5	7.6	7.5	7.3	7.3	7.4	7.5
臭気	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
味	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
色度	5度以下	0	0	0	0	0	0	0	0	0
濁度	2度以下	0	0	0	0	0	0	0	0	0
蒸発残留物	500mg/L	150	160	90	80	90	70	60	110	110
Cu	1.0mg/L	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.04
Fe	0.3mg/L	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01
Zn	1.0mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
Pb	0.01mg/L	<0.001	0.003	<0.001	<0.001	0.006	0.001	0.011	<0.001	<0.001
クロロホルム	0.06mg/L	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.008	0.028	0.039	0.020	0.019
ブromクロロメタン	0.03mg/L	0.001	0.002	0.002	0.002	0.004	0.010	0.014	0.007	0.006
ジブromクロロメタン	0.1mg/L	<0.001	0.007	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ブromホルム	0.09mg/L	<0.001	0.010	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
総トリハロメタン	0.1mg/L	0.002	0.020	0.005	0.005	0.012	0.038	0.053	0.027	0.025
クロ酢酸	0.02mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
ジクロ酢酸	0.04mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	0.007	0.009	0.004	0.007
トリクロ酢酸	0.2mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.015	0.010	0.010	0.006
ホルムアルデヒド	0.08mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.003	0.005	0.002	0.007
臭素酸	0.01mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
シアン	0.01mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
レジオネラ属菌	(cfu/100mL)	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出
	菌種									

施設名		A		B				
種類		冷却水						
採水場所		CT-1	吸収式冷温水器	冷却塔No.1	冷却塔No.2	冷却塔No.3		
項目	基準							
水温	-()	30	32	30	31	31		
残留塩素	0.3mg/L以下	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
塩化物イオン	200mg/L	16.3	35.4	58.9	32.9	49.0		
硫酸イオン	200mg/L	46.3	55.9	160.1	98.2	103.0		
酸消費量(pH4.8)	100mg/L	124.3	154.8	247.4	222.4	183.1		
全硬度	200mg/L	177.7	205.2	361.6	279.0	260.3		
カルシウム硬度	150mg/L	116.4	150.2	304.1	241.5	221.5		
イオン状シリカ	50mg/L	63.7	79.6	78.8	56.7	53.9		
pH値	6.5-8.2	8.4	8.5	8.6	8.8	8.1		
導電率	80(mS/m)	39	47	99	73	73		
Cu	1.0mg/L	0.01	0.00	0.08	0.06	0.13		
Fe	0.3mg/L	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02		
Zn	1.0mg/L	0.05	0.02	0.02	0.02	0.08		
Pb	0.01mg/L	0.003	0.022	0.009	0.033	0.018		
硫化物イオン	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出		
アンモニウムイオン	1.0mg/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
レジオネラ属菌	(cfu/100mL)	50	不検出	210	900	820	20	不検出
	菌種	Legionella pneumophila 1群		Legionella pneumophila 1群	Legionella pneumophila 6群	Legionella pneumophila 5群	Legionella pneumophila 3群	

いること、デイルームなど居住者がいなくなると停止していることなどから、職員がこまめに操作していることが伺えた。一方、二酸化炭素濃度については、居住者の多さや全熱交換器を停止していることによる換気不足が原因であると考えられる。また、デイルームや食堂などは

居室や事務室などと空間的に一体となっており、常時建物全体の在室者に影響され、デイルームの二酸化炭素濃度が常に高い傾向であったと考えられる。

・浮遊微生物については、真菌においてはオフィスでの浮遊真菌の維持管理規準値をいずれの

建物も大きく上回っており，特徴的には高湿性である *Cladosporium* sp.が全ての施設で検出された。細菌については，オフィスでの浮遊真菌の維持管理規準値と比較して高い建物については，二酸化炭素濃度も高く，換気不足がその原因であると考えられる。なお，グラム染色による分類ではいずれの施設でも芽胞菌が優勢であった。

・化学物質については，厚生労働省の指針値物質で指針値を超過する場所はなかったものの，TVOCの暫定目標値を超過する部屋が多く存在した。

・上水及び給湯水については，全て水質基準に適合しており，またレジオネラ族菌も未検出で良好であった。

参考文献

- 1) 柳宇，鍵直樹，池田耕一，西村直也，吉野博，小畑美知夫，齋藤秀樹，齋藤敬子，鎌倉良太：病院施設における室内環境の衛生管理に関する研究 第2報-外来待合室内浮遊微生物汚染の実態とその対策方法，空気調和・衛生工学会論文集，No.141，pp.9-17，2008.12
- 2) 戸塚雅彦：レジオネラ陽性で指導した高齢者入浴施設の衛生管理状況と課題について，月刊ビルメンテナンス，Vol.43，pp.28～31，2008.04
- 3) 吉田智子，平井重成，小池美奈子ほか：社会福祉施設等における感染管理の実態と循環式浴槽の衛生管理に対する支援，北陸公衆衛生学会誌，Vol.30，No.1，pp.42～46，2003.10
- 4) 鍵直樹，柳宇，池田耕一ほか：社会福祉施設における建築物衛生法に準じた空気環境測定，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，Vol.2008，No.2，pp.1341～1344，2008.08
- 5) 日本医療福祉設備協会：日本医療福祉設備協会規格，病院空調設備の設計・管理指針 HEAS-02-1998

2-2 個別分散空調における実態調査

A. 研究目的

平成 14 年に建築物衛生法の一部が改正され、個別分散空調方式についても法対象となった。個別分散空調方式はこれまでの研究により、換気量の不足、フィルタろ過性能の不足及び微生物汚染の問題が指摘され、これらの問題による室内空気質の悪化を防ぐには適切な維持管理が必要であることが明らかになっている¹⁾。しかし、室内機が分散されているため維持管理が難しい。また、衛生管理の実績が少なく、微生物汚染の実態もあまり把握されていない。

そこで本研究では、個別分散空調方式の現状及び維持管理実態の把握のためにアンケート調査を実施し、課題の把握を行った。また、個別分散空調方式を有する建築物内の室内空気質、浮遊細菌・真菌及び空調機内の微生物汚染の実態を把握するために実態調査を行うと共に、その対策方法の一つとして室内機の洗浄による微生物汚染除去効果についての検討を行った。

B. 研究の方法

B.1 アンケート調査

全国ビルメンテナンス協会の協力を得て、所属の会員企業に対してアンケート調査を実施した。厚生労働科学研究費補助金「建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究(H21-健危-一般-009)」で行った関連のアンケート調査から個別分散空調方式を採用している 154 件を抽出し、2011 年 10 月 12 日に当該協力所管の会社にアンケート調査票を郵送した。送付先は 33 都道府県、宛先は 83 社、物件数は 154 件であった。図 2-2-1 に都道府県別アンケート送付数を示す。アンケートは後日、郵送にて回収した。回収した調査票の内、無記入のものを無効回答とし、それを除いたものについて解析を行った。

B.2 微生物を中心とした室内空気室の実態調査

B.2.1 調査対象概要

入居中ビルの室内において調査を行った。対象は特定建築物が 4 物件、非特定建築物が 5 物件の計 9 物件であった。調査対象物件の概要一覧を表 2-2-1 に示す。

B.2.2 測定方法

1) 測定パターン

測定は建物により 3 つのパターンで行った(表 2-2-1)。

・パターン 1 平日測定：温度、相対湿度、一酸化炭素、二酸化炭素、粒径別浮遊粉じん個数濃度の連続測定を行った。また、外気、室内及び給気中の浮遊細菌・真菌測定を行い、連続測定終了後に空調機内の付着細菌・真菌を採取した。

・パターン 2 休日測定：吹き出し口空気の浮遊細菌・真菌測定と空調機内の付着細菌・真菌測定を行った。

・パターン 3 空調機の洗浄前後：洗浄前後に給気中の浮遊細菌・真菌測定と空調機内付着細菌・真菌測定を行った。

2) 室内空気質

IAQ モニター(カノマックス製)とパーティカルカウンター(KR-12A, リオン製)を設置し、温度・相対湿度・一酸化炭素・二酸化炭素・粒径別浮遊粉じん個数濃度の 5 項目を 1 分間隔で 9:30 から 17:00 まで連続して測定を行った。

3) 浮遊微生物

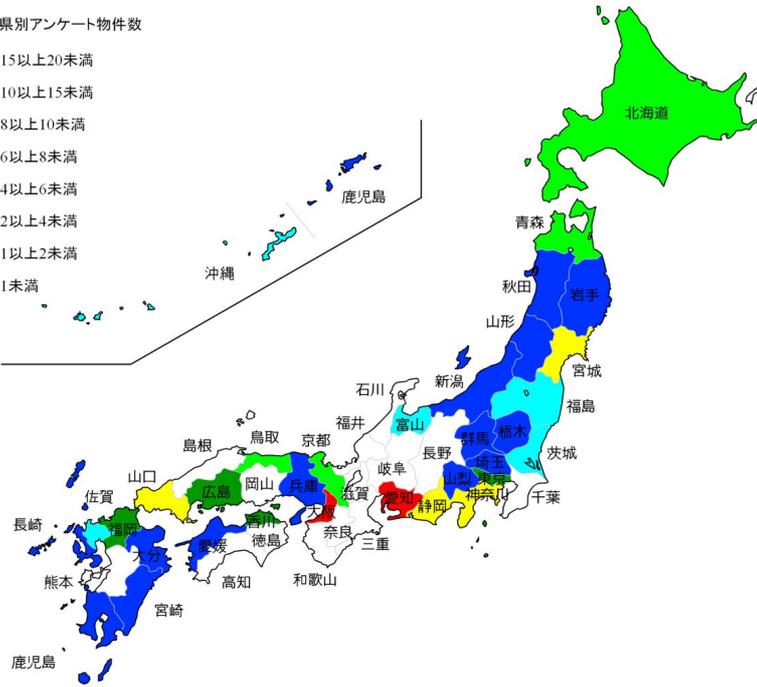
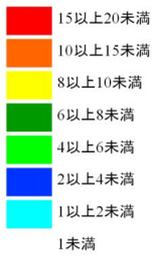
浮遊細菌・真菌はバイオサンプラー(MBS-1000, ミドリ安全製)にて捕集し、細菌の測定に SCD 培地、真菌の測定に PDA 培地を用いた。培地は培養後のコロニー数の計数し、細菌についてはグラム染色、真菌については形態学による同定を行った。培地の培養条件は、32・2 日間(SCD 培地)と 25・3 日間以上(PDA 培地)とした。

室内及び外気中の浮遊細菌・真菌濃度測定は午前と午後に測定を行った。給気中の浮遊細菌・真菌濃度測定の手順は、まず空調機の給気以外の空気が混入しないよう吹き出し口を養生し、空調機が停止している状態で測定した。その後、吹き出し口からの給気を空調機の運転直後から連続して測定した。

4) 空調機内付着微生物

空調機内付着微生物を拭き取り検査キット(ST-25 エルメックス製)を用いて、56.25cm²

都道府県別アンケート物件数



北海道地方	北海道	4件	近畿地方	京都府	4件
東北地方	青森県	4件	大阪府	19件	
	岩手県	3件	兵庫県	3件	
	宮城県	8件	中国地方	鳥取県	4件
	秋田県	3件	山口県	8件	
	山形県	2件	広島県	6件	
	福島県	1件	四国地方	香川県	6件
関東地方	茨城県	1件	愛媛県	3件	
	栃木県	2件	九州地方	福岡県	7件
	群馬県	3件	佐賀県	1件	
	埼玉県	3件	長崎県	3件	
	東京都	6件	大分県	2件	
	神奈川県	8件	宮崎県	2件	
中部地方	新潟県	2件	鹿児島県	3件	
	富山県	1件	沖縄県	1件	
	山梨県	2件	不明	5件	
	静岡県	9件	合計	154件	
	愛知県	15件			

図 2-2-1 都道府県別アンケート送付数

表 2-2-1 対象物件概要と測定パターン

施設名	調査日	所在地	階数	測定階	延床面積[m ²]	室面積[m ²]	竣工[年]	主用途	天候	空調方式	パターン
aビル	7月16日	横浜	B1~10F	10F	1664m ²	126.18m ²	1985	事務所	晴れ	天井カセット型4方向 天つり型1方向	3
bビル	7月21日	日本橋	1~9F	6F	2941m ²	232.95m ²	1985	事務所	雨・曇	天井カセット型2方向	1
cビル	8月25日	新宿区	B2~10F	2F・10F	7000m ²	302.5m ²	1990	事務所	晴れ	天井カセット型2方向	1・2
	8月27日										
	9月2日										
dビル	9月6日	大田区	1~5F	3F		70.16m ²		事務所	曇	天つり型1方向 天井カセット型1方向	1
eビル	9月10日	札幌	1~10F	4F			1974	事務所	晴れ	天井カセット4方向×2台	2
fビル	9月10日	札幌	1~3F	2F				事務所	晴れ	天井カセット4方向	2
gビル	10月30日	沖縄本島	1~3F	1F		506.25m ²	1989	事務所	晴れ	天井カセット4方向	2
hビル	10月30日	沖縄本島	1F	1F	6637.21m ²	80.2m ²	2002	事務所	晴れ	天井カセット4方向	2
iビル	12月4日	千代田区	B1~6F	B1		94.5m ²	1979	飲食店	晴れ	天井カセット型4方向 天井カセット型6方向	3

の範囲を拭き取った。拭き取った試料 50 μL はスパイラルプレーター (Eddy Jet, IUL 製) にて SCD 培地, PDA 培地に塗布した。スタンプ法は, SCD 培地と SDA 培地を空調機へ直接圧着させ微生物を採取した。培地は培養後のコロニーの計数し, 同定及びグラム染色を行った。SDA 培地は真菌測定用で, 培養条件は PDA 培地と同様である。

B.3 対策方法とその効果の検証

a ビル, i ビル (表 2-2-1) を対象に室内機の洗浄前後の測定を行った。

入居中のビルに設置されている室内機を対象に洗浄前後の給気中浮遊細菌・真菌測定, 及び空調機内の付着細菌・真菌測定を行った。

C. 結果

C.1 アンケートの結果

全 154 件のうち 42 件のアンケートを回収し, 回収率は 27% , そのうち有効回答数は 38 件 (内 2 件は一部のみ回答) , 有効回答率は 25% であった。最も高い有効回答率が得られたのは九州地方の 47% であった。以降, 集計したアンケートのうち, 有効である 38 件について解析を行った

結果について述べる。

1) 建築概要

用途別

図 2-2-2 に調査対象の用途別の割合を示す。事務所としての利用が全体の 40%と最も多く、次に旅館・ホテル(19%)、テナントビル(13%)、商業施設(11%)と続いた。

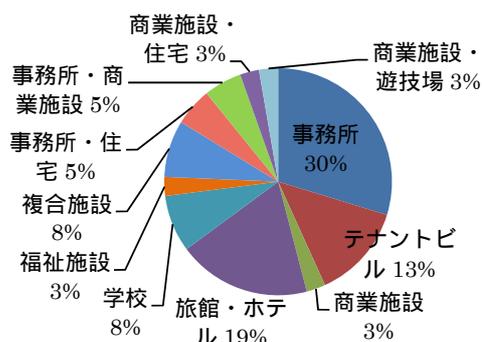


図 2-2-2 用途別割合

地域別

対象の建物を 8 つの地域に分類した場合の地域別の割合を図 2-2-3 に示す。東北地方、中部地方、九州地方がそれぞれ 24%を占めている。一方、北海道、四国地方は 0 件であった。都道府県別では愛知県が 6 件と最も多い結果となった。

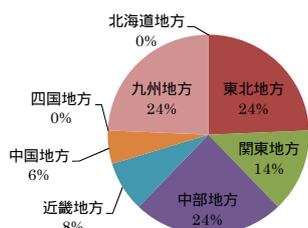


図 2-2-3 地域別割合

規模別

図 2-2-4 に対象ビルの延床面積別の割合を示す。建築物衛生法の対象である特定建築物(3000m²以上)の数は全体の 84%を占めている。また、3000~5000 m²の数は全体の 35%、5000~10000 m²は 27%、10000 m²以上は 24%と 3000~5000 m²が最も高かった。しかし、この三つに大きな差はなく、10000 m²を超える大規模

建築物においても個別分散型空調方式が採用されており、個別分散型空調方式が普及していることが窺えた。

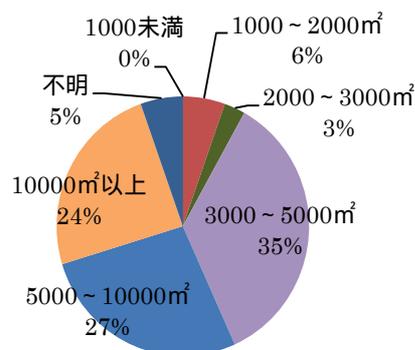


図 2-2-4 延床面積別割合

築年数及び改築年数

図 2-2-5 に築年数及び改築年数別の割合を示す。年数別の割合はほぼ同じであった。

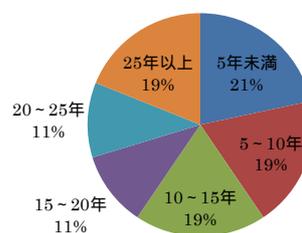


図 2-2-5 築年数及び改築年数別割合

2) 空調設備の概要

室内空調機の種類

図 2-2-6 に室内空調機の種類別の割合を示す。天井カセット型が最も多く、全体の 39%を占めている。次に天井隠蔽ダクト型が多く、天井に配置するタイプが最も使用されている。また、複数の種類を併用する方式が全体の 28%あり、その中で天井カセット型と天井隠蔽ダクト型の割合が最も高かった。

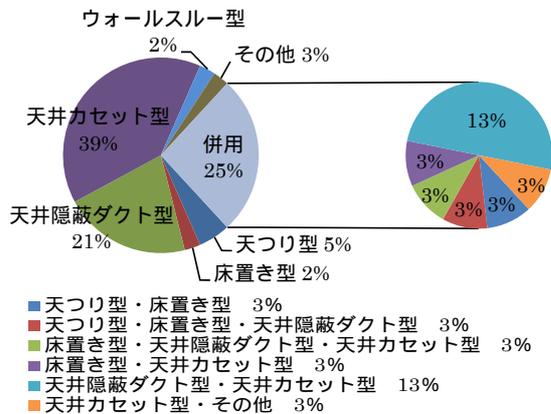


図 2-2-6 室内機の種類別割合

外気処理方式

図 2-2-7 に外気処理方式別の割合を示す。全体の 97% が何らかの外気処理を行っている。全熱交換器が 54% と最も高い。また、全熱交換器との併用が 8% と全熱交換器を採用している建物が全体の 6 割以上を占めており、省エネへの意識が高いことが確認された。

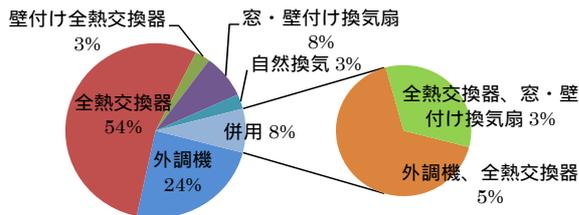


図 2-2-7 外気処理方式別割合

加湿方式

図 2-2-8 に加湿方式別の割合を示す。全体の 48% の建物で加湿を行っており、そのうち気化式の割合が 40% と最も高く、省エネと省スペースの観点から多く採用されていることが窺える。また、加湿をしていない建物が全体の 41% を占めていた。加湿をしていない建物を規模別に比較すると 3000~5000m² が 5 割を占めている。一方、10000m² 以上も 29% と高い数値となった。なお、この中には個別空調建物が適用範囲内になった建築物衛生法の改正前の建物も含まれていることから、改正後の新築の設置状況とは異なる可能性がある。

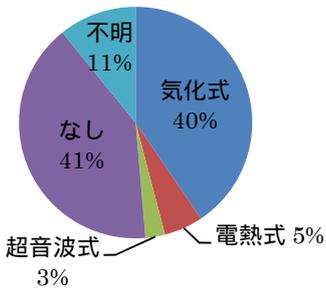


図 2-2-8 加湿方式別割合

3) 維持管理現状

空気清浄装置のフィルタ

図 2-2-9 に空気清浄装置のフィルタの種類別の割合を示す。粗塵用フィルタを使用している割合が 39%、中性能フィルタが 25%、高性能フィルタが 16%、粗塵用・中性能フィルタの併用が 3% であり、粗塵用フィルタが使用されている割合が最も高かった。また、中性能以上のフィルタを使用している割合が 44% で、粗塵用フィルタより高い割合であった。

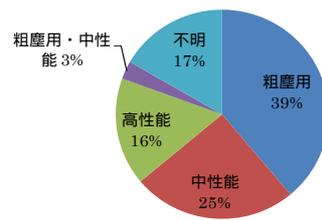


図 2-2-9 フィルタ種類

各装置の洗浄・交換状況

空気清浄装置、室内機、外調機清掃、全熱交換器、加湿器の洗浄及び交換状況を図 2-2-10 に示す。空気清浄装置、室内機、外調機清掃、全熱交換器の洗浄・交換を行っているという回答が 7 割近い、または超える割合となった。特に全熱交換器は 90% が洗浄を行っているという回答し、意識の高さが窺える。一方、加湿器は 44% と他に比べ低い割合であった。

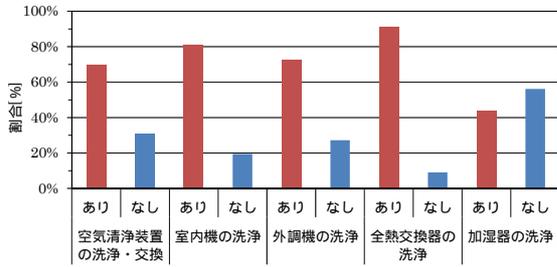


図 2-2-10 空気清浄装置，室内機，外調機清掃，全熱交換器，加湿器の洗浄・交換状況

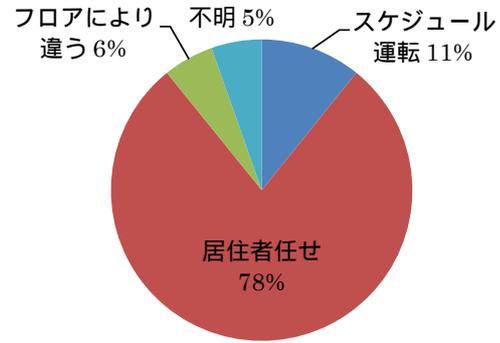


図 2-2-13 空調運転時

空調設備年間管理計画表及び空調設備管理記録

図 2-2-11 に空調設備年間管理計画表の有無，図 2-2-12 に空調設備管理記録の有無を示す。空調設備年間管理計画表，空調設備管理記録共に有るとい回答が全体の 75% を占めている。

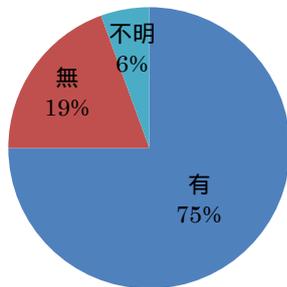


図 2-2-11 空調設備年間管理計画表

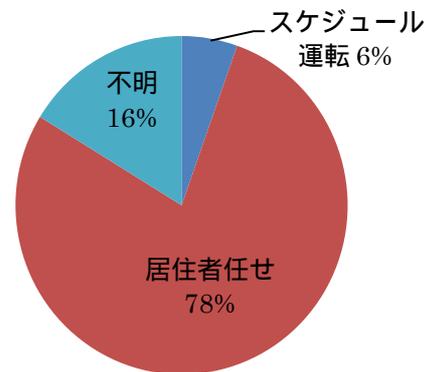


図 2-2-14 換気運転時間

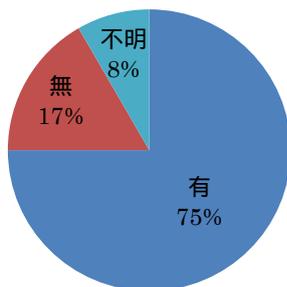


図 2-2-12 空調設備管理記録

4) 空調運転時間

図 2-2-13 に空調運転時間別の割合，図 2-2-14 に換気運転時間別の割合を示す。空調，換気運転のどちらも居住者任せが 78% と最も高くなっており，個別分散型空調方式の特徴が表れた。

C.2 実態調査の結果

1) 室内空気質

連続測定を行った 3 件のうち b ビルと c ビルの 2 件では，室内温度が 28 付近を推移しており，室内温度を上手く制御していた。これは東日本大震災による電力不足の影響から，節電のために空調の設定温度を従来よりも高くしていたためと考えられる。また，一酸化炭素，二酸化炭素と粒径別浮遊粒子濃度については，一部の二酸化炭素濃度が 1000ppm を若干上回るケースが見られたが，総じて良好であった。

表 2-2-2 各ビルの付着細菌・真菌量

		付着細菌量 [cfu/cm ²]				付着真菌量 [cfu/cm ²]			
		ファン	フィルタ	コイル	ドレンパン	ファン	フィルタ	コイル	ドレンパン
cビル	10F	0	25	0	0	0	25	0	0
	2F	0	14	0	0	3.6	14	18	0
dビル		75783	41387	33564	36409	18	71	58916	1301
		37333	64427	18	65380	50	192	338	67733
eビル		210	1340	0	1539164	18	174	0	60160
		2254	1252	0	512000	25	576	0	565689
fビル		100	540	11	1376	46	85	14	57
gビル		TMTC	3257	1063111	0	516	153	1668	0
hビル		267	68	53689	2489	18	25	95573	456533
iビル		32	21	38404	0	57	11	5909	0
		53	0	66702	4604	3061	0	30507	1636

2) 浮遊及び付着細菌・真菌

表 2-2-2 に各ビルの付着細菌・真菌量を示す。給気中の浮遊真菌及び空調機内の付着真菌において主に検出されたのは、*Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Acremonium* sp., Yeast であった。また、特定の真菌のみが顕著に検出される際に見られたのは *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Acremonium* sp., Yeast であり、*Aspergillus* sp.を除けば何れも好湿性真菌であった。このことから、パッケージ型空調機内は好湿性真菌の増殖に適しており、その汚染の温床になっていることが明らかになった。

執務中に測定した b, c, d ビルの 3 件のうち、室内浮遊細菌濃度が日本建築学会の維持管理規準値 500cfu/m³ を超える物件はなかった。一方、室内浮遊真菌濃度において b, c, d ビルの全ての物件で日本建築学会の規準値 50cfu/m³ を超過した。また、空調機起動後に浮遊細菌・真菌濃度が上昇している建物は細菌で 5 件、真菌で 6 件であった。

関東地方 5 件、沖縄 2 件、北海道 2 件を地域別の比較した結果、沖縄では付着細菌・真菌量ともに他の地方に比べ高い値となった。

C.3 対策方法とその効果の検証

1) 洗浄前後の浮遊細菌・真菌濃度

図 2-2-15 に a ビルの給気中浮遊細菌・真菌濃度、図 2-2-16 に i ビルの給気中浮遊細菌・真菌濃度を示す。a ビルでは洗浄前後の浮遊細菌濃度に大きな差はなかった。i ビルでは天井カセット型の洗浄後において ON (70cfu/m³) が

ら徐々に上昇し、ON では 1060cfu/m³ と顕著に高くなった。一方、浮遊真菌濃度では a ビル・i ビルの空調停止時において洗浄後の方が高い傾向であった。また、a ビルでは洗浄後の天井カセット型では、洗浄前に比べ浮遊真菌濃度が 10 倍であった。

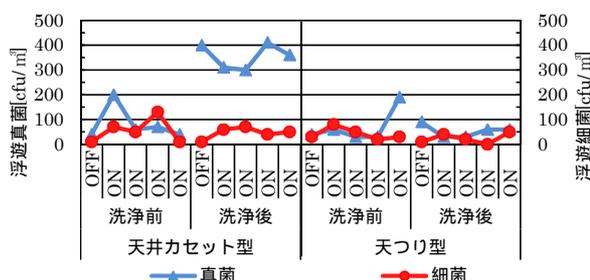


図 2-2-15 洗浄前後の浮遊細菌・真菌濃度 (a ビル)

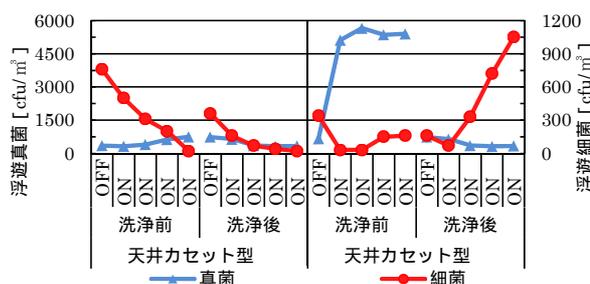


図 2-2-16 洗浄前後の浮遊細菌・真菌濃度 (i ビル)

2) 洗浄前後の付着細菌・真菌量

図 2-2-17 に洗浄前後のファン、コイル、ドレンパンの写真、図 2-2-18 にコイルにおける洗浄前後の SCD・PDA 培地を示す。a ビルでは、洗

浄前のコイル、天井カセット型のファン表面で多量の細菌・真菌が検出されたが、洗浄後のコイル、天井カセット型のファンではほとんど検出されなかった。また、i ビルにおいても洗浄前に比べ、洗浄後では天井カセット型のファン、フィルタ、コイル、ルーバー、天井カセット型のファン、コイル、ドレンパンで細菌・真菌量が大幅に減少した。

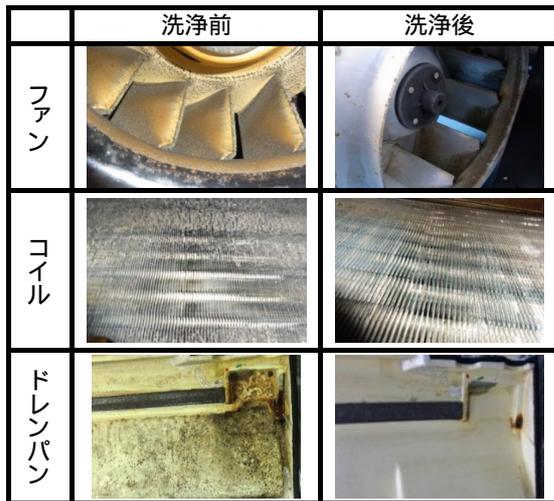


図 2-2-17 洗浄前後の空調機内写真

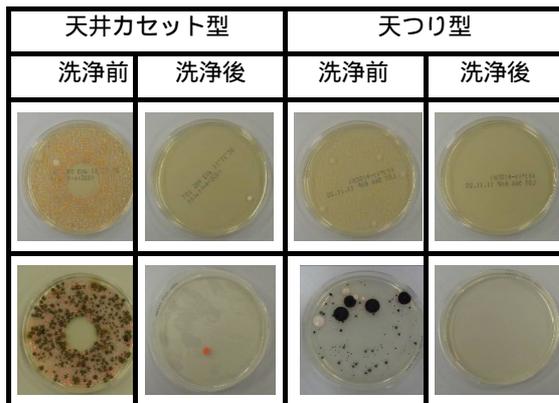


図 2-2-18 洗浄前後のコロニー比較

D. 考察

アンケートの結果から、個別分散空調方式については、10000m² 以上の大規模建築物においても個別分散型空調方式が有効回答数の 24% 採用されており、個別分散型空調方式の普及が窺えた。また、空調・換気運転のどちらも居住者任せという回答が 78% と高く、個別分散方式の維持管理の特徴が表れた結果となった。

執務中に測定した b c d ビルの 3 件のうち、

室内浮遊真菌濃度が日本建築学会の維持管理規準値を超過したことから、フィルタのろ過性能が不足しているほか、空調機の起動後に浮遊真菌濃度が上昇している建物が真菌で 6 件あり、室内機が室内の微生物汚染の一因となっていることが確認された。前述した室内空気環境の連続測定結果と総合すると、一酸化炭素、二酸化炭素、浮遊粒子濃度のような室内空気質が良好であっても、浮遊微生物汚染が顕著になる場合がある。換言すれば、微生物汚染が空調機内の環境に深く関わっており、そのための対策を施す必要があると考えられる。

関東地方 5 件、沖縄 2 件、北海道 2 件を地域別の比較した結果、沖縄では付着細菌・真菌量ともに他の地方に比べ高い値となった。これは、沖縄の冷房期間が他の地域に比べ長期にわたるためだと推測される。

洗浄作業による効果については、室内機の洗浄後は付着真菌・細菌量ともに減少が見られた。これにより室内機内の付着微生物汚染対策として室内機の洗浄が有効であることが明らかになった。しかし、空調停止時の浮遊真菌濃度が洗浄前に比べ、洗浄後の方が高い傾向であった。これは洗浄作業により付着していた真菌が飛散したためと推測される。

E. まとめ

本研究では、個別分散空調方式の現状及び維持管理実態の把握のためアンケート調査の実施及び、個別分散空調方式を有する建築物内の室内空気質、浮遊細菌・真菌及び空調機内の細菌・真菌汚染の実態を把握するために実測調査とその対策方法の一つとして室内機の洗浄による微生物汚染除去効果についての検討を行い、以下の結果を得た。

1) アンケート調査の結果について

- ・ 10000m² 以上の大規模建築物においても個別分散型空調方式が有効回答数の 24% 採用されており、個別分散型空調方式の普及が窺えた。

- ・ 全熱交換器を採用している建物が全体の 6 割以上を占めており、省エネへの意識の高さが確認された。

- ・ 気化式を採用している割合が 40% と最も高く、

省エネや省スペースなどの観点から採用されていことが窺えた。

- ・空調・換気運転のどちらも居住者任せという回答が78%と高く、個別分散方式の特徴が表れた。

2) 微生物を中心とした室内空気質の実態調査について

- ・執務時間帯の室内浮遊真菌濃度が日本建築学会の規準値(50cfu/m³)を超過している建物が多いことからフィルタのろ過性能が不足していると推測される。

- ・空調機の起動後に給気中の真菌濃度が上昇している建物が6件あり、室内機が室内の微生物汚染の一因となっていることが確認された。

- ・室内機から顕著に検出された真菌のほとんどが好湿性真菌であったことから、室内機内が好湿性真菌の増殖に適しており、その汚染の温床になっていることが明らかになった。

- ・一酸化炭素、二酸化炭素、浮遊粒子濃度のよような室内空気質の代表項目が良好であっても、浮遊微生物汚染が顕著になる場合がある。換言すれば、微生物汚染が空調機内の環境に深く関わっており、そのための対策を施す必要があると考えられる。

- ・地方別に比較した結果、年間冷房運転期間が長い沖縄では付着細菌・真菌量ともに他の地方に比べ高い値となった。

3) 対策方法とその効果の検証について

- ・洗浄作業により空調機内に付着していた真菌が飛散し、洗浄後の方が室内浮遊真菌濃度が高い傾向が見られた。

- ・室内機の洗浄後は付着真菌・細菌量ともに減少が見られた。これにより室内機内の付着微生物汚染対策として室内機の洗浄が有効であることが明らかになった。

参考文献

1) 鍵直樹, 柳宇, 池田耕一, 西村直也: 事務所建築物の規模による室内空気質の比較検討, 日本建築学会環境系論文集, 日本建築学会, Vol.76, No.659, pp. 43-48, 2011.1

2-3 学校教室環境における実態調査

A. 研究目的

学校保健安全法の学校環境衛生の基準¹⁾では室内の二酸化炭素(CO₂)の濃度が1500ppm以下、建築物衛生法の環境管理基準²⁾では二酸化炭素の濃度が1000ppm以下、浮遊粉塵濃度は0.15mg/m³以下と規定されている。自然換気の場合学校教室内の二酸化炭素はそれらの基準値を満足することはさほど難しくないが、近年、学校の教室には冷暖房設備が整いつつあり、窓の開放による自然換気を行うことが少なくなっている。斉藤ら³⁾は冬季の授業中に教室の窓を開けたままにしておくという行為は期待できず、サッシ窓の普及により気密性の向上した現在の小学校では建築及び設備的工夫により効果的な換気経路を確保する必要があると述べている。現状では、学校保健安全法の学校環境衛生基準の中で二酸化炭素濃度1500ppmを超過することがしばしば報告されている。柳らは⁴⁾特定建築物の中で学校の相対湿度、二酸化炭素濃度の不適率が他の特定建築物に比べ最も高くなっていると述べている。これまで学校環境の研究報告は小中学校の教室環境に関するものがほとんどであり、小中学校よりも受講者数が多い大学における室内空気質の実態は必ずしも明らかにされていない。

また、海外においては大気汚染物質の学校に通う児童たちへの曝露・影響の評価方法の確立を目的としたレビュー論文がある⁵⁾。この研究においては、学校を対象とした様々な空気質調査に関する文献を集め、児童への曝露・健康影響の評価方法を確立することを目的とし、様々な調査報告を紹介している。対象とした汚染物質はNO₂、SO₂、CO₂、O₃、粒子(PM2.5、PM10)が主で、発生源として外気からの侵入を想定した。また、換気による影響について論じている研究が数多くある。学内の計測場所については、ほとんどが教室とされている。しかし、教室では指針を超えなくても体育館で超える例などもあり、様々な場所で計測し結果を比較する必要性があるとしている。

学校建物の構造種類・湿気やカビによるダメージの有無等で学校を分類し、その空気環境に

ついて調査がある⁶⁾。フィンランドにおける積雪中の32校において湿気ダメージのあるなしで、浮遊真菌及び細菌の測定を行った。浮遊真菌濃度については、木造>コンクリート造であり、コンクリート造では湿気ダメージのある場合の濃度が高かった。また、浮遊細菌濃度については、更に木造>コンクリートの傾向が強かった。木造においては更に湿気のダメージがある方が高濃度であった。

学校・住居の環境調査およびその与える影響について、見えるカビの有無・カビの匂いの有無・水漏れの有無・窓ガラスの結露の有無の合計値から算出される湿気指数という尺度に着目し検討している⁷⁾。北海道の名寄市および旭川の8小学校において調査を行った。結果として、湿気指数と自覚症状の相関が十分に高いことがわかった。特に住居の湿気指数は咳・一般症状その他と、教室の湿気指数は粘膜症状と高い相関を持つことがわかった。

以上のような背景の元、本研究では条件が異なる大学教室内の空気環境について調査を行い、室内環境に影響を与える要因を検証し、教室環境改善への基礎資料を得ることを目的とする。

B. 研究方法

B.1 調査対象

本研究では地域別、気候別、設備別による室内環境への影響を明らかにするために、日本3大学(4教室)、中国2大学(5教室)の計5大学(9教室)を調査の対象とした。各教室の概要を表2-3-1に示す。教室Aは高層ビルの都市型キャンパスの一室である。建物の8階に位置するため、窓の開け閉めが可能な部分は窓の下部の一部分のみである。なお、全測定期間中に窓の開け閉めがあったのは1ヶ所のみで、他の窓は常時閉まっていた。教室Bは郊外型キャンパスの中にある建物の1階に位置する。比較的大きな教室となっており、後方は階段状になっている。教室Cは郊外型キャンパスの建物の3階に位置する。教室面積は61m²と本報告の中では小さめの教室であるが、天井高が5.1mある。教室D郊外型キャンパスの2階に位置する。教室の左右に開閉可能な窓がある。教室Eは中

国大連市にある大学の6階に位置する。空調機

表 2-3-1 測定教室の概要

教室名	所在地	教室面積 [m ²]	教室定員 [人]	空調方式	機械換気
教室A	東京都	159	182	AHU	—
教室B	東京都	259	298	PAC	—
教室C	秋田県	61	60	FCU	第3種
教室D	熊本県	135	128	PAC	第1種
教室E	辽宁省	79	57	空調無し	—
教室F	上海市	106	70	VRV	—
教室G	上海市	106	70	VRV	—
教室H	上海市	106	70	床置PAC	—
教室I	上海市	132	130	VRV	—

器が設置されておらず、換気は自然換気のみとなっている。教室F~Iは中国上海市にある大学の教室である。本報告では、これらの4教室は同じキャンパス内にあるため、測定結果を教室別ではなく測定日順に示す。

B.2 測定方法

全教室共通して二酸化炭素、温度、相対湿度を測定項目としたほか、教室A、教室B、教室Dに関しては浮遊細菌・真菌の測定も行った。なお、測定期間中の受講者数を15分間隔で計数した。

表 2-3-2 各測定日の換気量と気積

room	date	CO ₂ [ppm]	Ocupants [人]	ACH [m ³ /h]	ACH/person [m ³ /h・p]	Air volume [m ³ /人]
A	6月8日	1875	81	1277	16	5
	6月15日	1875	77	982	13	5
	6月22日	1412	69	1550	22	6
	6月29日	1279	59	1773	30	6
	7月13日	1131	76	2381	31	6
B	9月14日(2限)	1204	48	2874	60	7
	9月14日(3限)	1516	45	1780	40	5
	9月28日(2限)	907	43	2877	67	8
	9月28日(3限)	1032	46	2684	58	6
	10月12日(2限)	1064	45	2142	48	8
	10月12日(3限)	1217	43	2179	51	6
	10月19日(2限)	996	46	3582	78	10
10月19日(3限)	1137	46	1971	43	7	
C	6月14日(1限)	841	40	1103	28	7
	6月14日(2限)	761	30	1142	38	9
	6月21日(1限)	776	40	1533	38	7
	6月21日(2限)	696	30	1338	45	9
	6月28日(1限)	711	40	1877	47	7
	6月28日(2限)	661	30	1274	42	9
	7月5日(1限)	955	40	1846	46	7
	7月5日(2限)	736	30	1364	45	9
D	6月5日	499	48	22229	463	9
	6月12日	503	45	12573	279	9
	6月19日	637	48	11470	239	9
	6月26日	387	46	55693	1211	9
	7月3日	626	43	2101	49	9
	7月24日	714	43	2553	59	10
7月31日	910	46	2605	57	9	
E	5月30日	1812	33	—	—	9
	6月6日	867	9	—	—	9
	6月14日	1081	8	—	—	9
F	5月17日	1349	40	726	18	7
G	5月24日	553	57	8232	144	5
F	5月24日(3限)	906	33	1020	31	9
F	5月24日(4限)	2080	42	597	14	7
H	5月28日	1798	42	609	14	7
F	5月31日	930	35	928	27	8
I	6月4日	1872	60	770	13	6
F	6月7日	1022	40	939	23	7

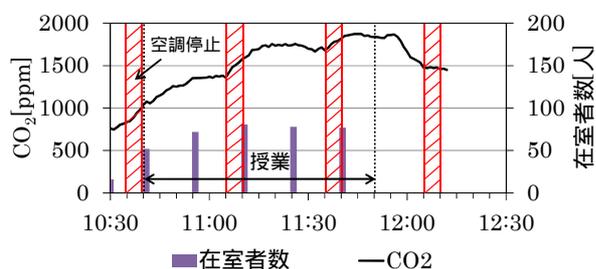


図 2-3-1 A 教室 (6 月 15 日)

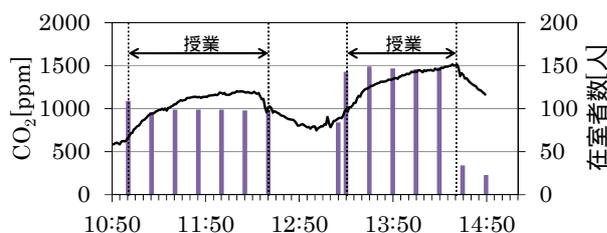


図 2-3-2 B 教室 (9 月 14 日)

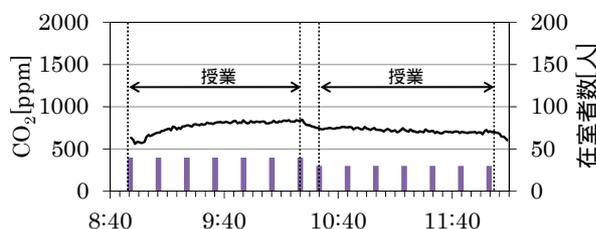


図 2-3-3 C 教室 (6 月 14 日)

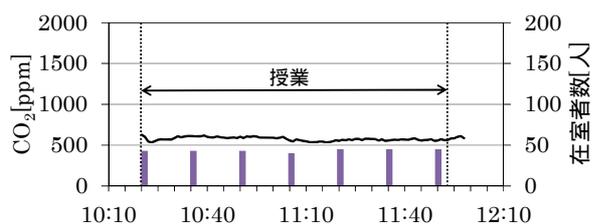


図 2-3-4 D 教室 (7 月 3 日)

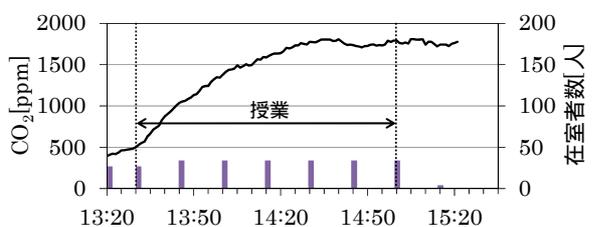


図 2-3-5 E 教室 (5 月 30 日)

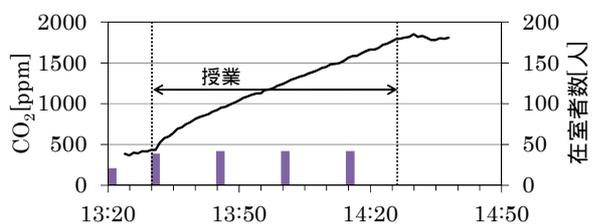


図 2-3-6 F 教室 (5 月 28 日)

数の測定に関しては事前に各大学の方に測定機器を送付し、同一の方法で測定及び測定状況の記録をとった。

湿度と二酸化炭素濃度の測定は教室 A, 教室 B では IAQ モニタ (KANOMAX 社製・MODEL2211) を使用し, 教室 C~I の測定では CO₂ モニタ (LUTRON ELECTRONIC 社製・MCH-383SD) を使用した。なお, 二酸化炭素濃度, 温湿度, 浮遊粒子の全てにおいて測定間隔は 1 分とした。

浮遊微生物の測定には MG サンプラー (スリット型サンプラー) とバイオサンプラー (ミドリ安全・MBS-1000) を使用し, 真菌の測定にはジクロラン-グリセロール寒天培地 (以降 DG-18 と略す), 細菌の測定にはソイビーンカゼイン寒天培地 (以降 SCD と略す) を用いた。MG サンプラーで捕集した微生物は計数及び同定結果を 5 分毎に記録した。培養条件は DG-18 が 25・3 日以上, SCD が 32・2 日とした。換気量の測定については減衰法, 一定濃度法を用いるのが一般的であるが, 本研究では教室の特徴, すなわち測定期間内において受講者数 (二酸化炭素発生量) が変わらないことを利用し, 換気量を次の式 (2-3) から算出した⁸⁾。

$$Q = \left[\frac{m_1}{c_1} + \frac{m_2}{c_2} + \dots + \frac{m_n}{c_n} \right] \times \frac{0.02 \times 10^6}{n} \quad (2-3-1)$$

ただし, Q: 換気量 (m³h), m: 室内人数 (人), C: 室内外 CO₂ 濃度差 (ppm), 0.02: 人体から発する二酸化炭素 (0.02 m³/h・人と仮定), n: サンプル数とする。

C. 結果

C.1 二酸化炭素濃度

表 2-3-2 に測定日, 最大二酸化炭素濃度, 受講者数, 式 (2-3-1) より求めた換気量, 在室者一人当たりの換気量, 最大二酸化炭素濃度に対応する気積を示す。また, CO₂ の欄に●がついている日を二酸化炭素濃度測定の代表日とする。代表日の二酸化炭素濃度の測定結果を図 2-3-1 ~ 2-3-6 に示す。

教室 A では全測定日において空調が運転されていた。空調独立の換気設備はなく、空調機の RA の部分に CO₂ センサが内蔵されており、1000ppm を超えると OA のダンパが開き外気が室内に取り込まれる仕組みになっているが、図 2-3-1 に示す通り室内二酸化炭素濃度が 1000ppm を超えている。

教室 B では昼休みを挟んで 2~3 限の連続測定を行った。2 限の時間帯よりも 3 限の時間帯の方が二酸化炭素の最大値が高くなっているのは、受講している学生数が 3 限の方が多いためであると考えられる。

二酸化炭素濃度は 1 回目を除いては 1000ppm 前後で推移しており、建築物衛生法の 1000ppm を超えることはあったが、学校環境衛生基準の 1500ppm を上回ったのは 1 回目の測定時のみであった。

教室 C の窓は常時閉まっていたが、機械換気による換気が積極的に行われていた。そのため、二酸化炭素濃度は 1000ppm 以下に抑えることができたと考えられる。また、教室 C でも 1~2 限にかけて連続測定を行っており、1 限から 2 限にかけて在室者数が 10 名減ると、二酸化炭素濃度の減少が見られた。

教室 D では 6 月 5 日から 6 月 19 日までの測定では空調及び換気は停止。7 月 3 日の測定以降空調及び機械換気が行われていた。6 月 5 日~6 月 26 日(空調及び換気が停止状態)の測定は教室の窓は全て解放され、自然換気が行われていた。教室の左右両側面に大きな窓があり、機械換気時よりも自然換気時の換気量のほうが 1 桁以上大きい結果となった。

教室 E には空調及び換気設備が設置されていない。6 月 6 日の測定では一部の窓が開いており、二酸化炭素濃度は 1000ppm 以下であった。しかしながら、窓が閉められていた。5 月 30 日の測定では 1800ppm にまで達した。

教室 F~H は全て教室面積が等しい。また、空調が行われていたのは 5 月 28 日のみであった。教室 G では在室者数が 57 名で最大二酸化炭素濃度が 1000ppm 以下であるが、5 月 24 日の教室 F の測定では最大二酸化炭素濃度が

2000ppm を超えていた。これは換気状況によるものと考えられる。

さらに、各教室の気積と最大二酸化炭素濃度の関係を図 2-3-7 に示す。なお、教室 E に関しては空調機の設備がなく、自然換気のみであることから見かけ上の気積が大きくなってしまったため、図 2-3-7 から除外した。全体として気積が大きいと二酸化炭素濃度は低くなる傾向が見られた。2 限連続で測定を行った教室 B、C の結果を見ると、2 回の授業間で教室の換気状況

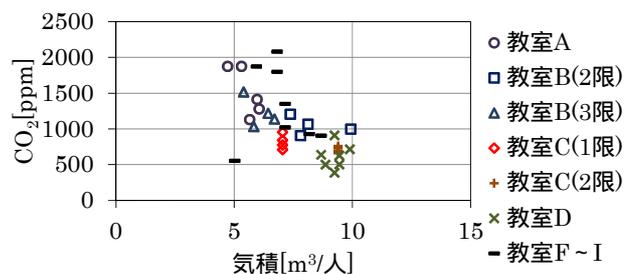


図 2-3-7 各教室の気積と最大二酸化炭素濃度

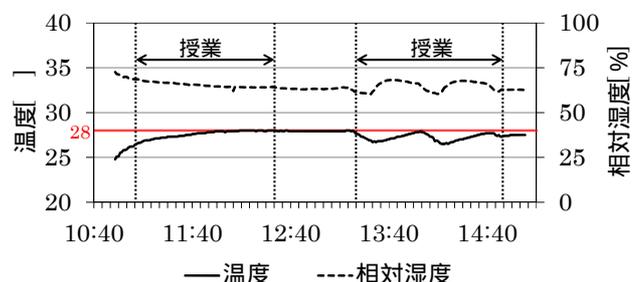


図 2-3-8 教室 B (9 月 28 日) の温湿度

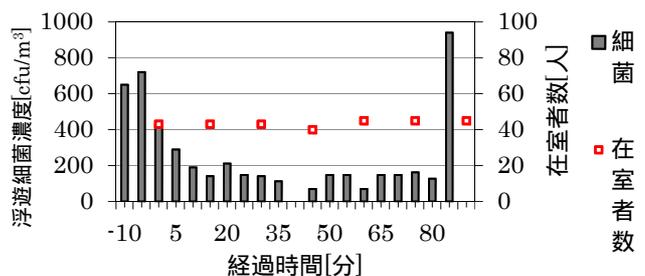


図 2-3-9 教室 D の時刻別細菌と在室者数

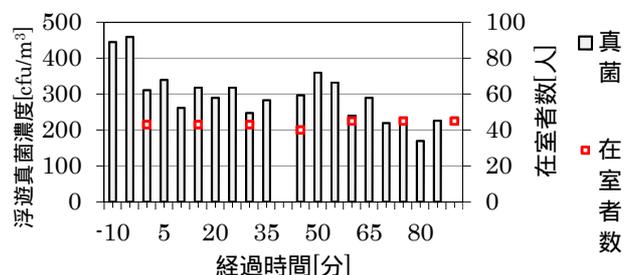


図 2-3-10 教室 D の時刻別真菌と在室者数

は同じでも1人あたり気積が異なり、人数が多い授業時間の方が二酸化炭素濃度が高い傾向にあることが確認された。このことから室内の容積に対する在室者数が多いほど二酸化炭素濃度が上昇しやすいと推察できる。

C.2 温湿度

今回の測定で教室内の温湿度は基準値内に収まる教室が多かった。ただし、自然換気のみを行っていた教室では温度が28を超えている所もあった。一方で空調機器が運転されていた教室では適切にコントロールされていた。中でも特徴的であるのが、図2-3-8に示すように28まで温度が上昇するが、28を超えずに再び温度が下がっている結果である。節電のため28設定で空調機を運転しているのだと思われるが、26~28の間で適切にコントロールされていた。また、輪番空調が行われていた教室Aの温湿度は空調の停止時に変化することはなく、教室の躯体蓄熱で5分程度の空調の停止が温湿度に与える影響は少ないと推察される。

C.3 微生物

微生物に関しても、人の移動があった際に濃度が上昇する傾向がみられた。測定を行った教室A, B, D全ての教室において学校環境衛生の基準値である浮遊細菌10000 cfu/m³、浮遊真菌2000 cfu/m³を上回ることはなかったが、教室Aの最大真菌濃度が150 cfu/m³以下であったのに対し、教室Dは400 cfu/m³を上回る結果となった。教室Dでは測定の直前まで全ての窓を開放しており、外気中の真菌が室内に侵入したためと考えられる。そのため、教室Dの真菌濃度は授業開始時が最も高くなっているが、各教室の微生物の変化をみると人の移動があった際に浮遊微生物の濃度が高められる傾向が見られた。また、教室内の浮遊真菌は外気中にも多くみられる *Cradosporium* spp. や *Aspergillus* spp. が多く見られた。

D. 考察

二酸化炭素濃度は空調設備の運転状況や人数、

窓の開閉状況等によって教室間に大きな違いが見られた。

図2-3-11に室内二酸化炭素濃度の経時変化の傾向を示す。二酸化炭素濃度が定常状態では $t \rightarrow \infty$ となり室内の二酸化炭素濃度は $C = C_0 + M/Q$ で表すことができる。すなわち定常状態の濃度は室内の気積Vによらないことが分かる。しかし、今回の測定のように非定常の状態では気積Vが関係し、気積Vが大きくなると括弧の中の数値は小さくなり、室内の二酸化炭素濃度の上昇曲線が緩やかになる。図2-3-11中の曲線は発生量、換気量は同じで気積のみ違う場合の曲線である。時刻tにおいて、気積が異なると二酸化炭素濃度も異なり、その結果前述した図2-3-7の室内二酸化炭素濃度と気積の関係が得られた。

前述したとおり、非定常状態の場合二酸化炭素濃度は気積や換気状況により大きく変化するため、一概にある換気量以上であれば大丈夫と

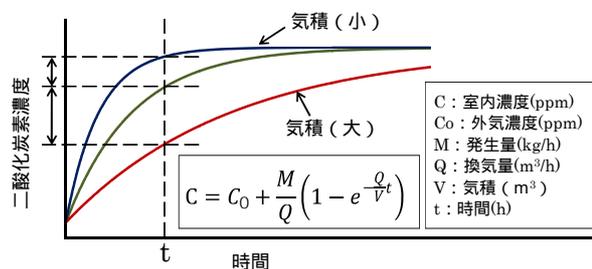


図2-3-11 気積の違いによる二酸化炭素濃度の上昇のしかた

適切な数値を述べるのが難しい。

温湿度は空調が運転されていれば基準値内に収まっていた。また、30分間に5分程度の輪番空調が温湿度に与える影響は小さく、温湿度の観点からみれば有効であると考えられる。

浮遊微生物は基準値内に収まっていた。ただし、教室Dの外気の測定結果では1800ppmを超えており、授業時間中に自然換気を行った際には基準値を超える可能性もある。

E. 結論

本研究では大学教室内の二酸化炭素濃度、温湿度、浮遊微生物の測定を行った結果以下の事柄が明らかになった。

- 1) 二酸化炭素濃度は在室者数・空調と換気状況及び窓の開閉に影響されることが分かった。

- 2) 自然換気は二酸化炭素濃度を下げるのに有効な手段ではあるが、立地条件や気候により必ずしも年間を通して行えるわけではない。十分な能力をもった機械換気設備が必要であると考えられる。
- 3) 非定常の場合気積が二酸化炭素濃度に関係することから、一概に換気量のみを指して二酸化炭素濃度の基準値を超えない適切な値を示すことは難しい。
- 4) 窓開け換気は中間期に有効な換気方法であると考えられるが、立地条件や季節によっては窓開け換気に頼ることで、微生物や温湿度の基準を上回ってしまう可能性がある。

school pupils, Environ Health Prev. Med, 15, 276-284, 2010.

- 8) ビル管理教育センター，空気環境測定実施者講習会テキスト p121，2010.4

参考文献

- 1) 文部科学省 学校保健安全法 学校環境衛生基準法，2009.4
- 2) 厚生労働省 建築物における衛生的環境の確保に関する法律，2008.
- 3) 斎藤基之ほか，教室の快適性に関する研究 その7，日本建築学会大会学術講演便概集（関東），pp1071～1072，2001.9
- 4) 柳 宇，鍵直樹，大澤元毅：大学教室内空気質の実態調査，第29回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集，pp75-78，2012
- 5) Jaime F. Mejía, Samantha Low Choy, Kerrie Mengersen, Lidia Morawska: Methodology for assessing exposure and impacts of air pollutants in school children: Data collection, analysis and health effects - A literature review, Atmospheric Environment, 45, 813-823, 2011.
- 6) T.Meklin, T.Reponen, M.Toivola, V.Koponen, T.Husman, A.Hyvarinen, A.Nevalainen: Size distributions of airborne microbes in moisture-damaged and reference school buildings of two construction types, Atmospheric Environment, 36, 6031-6039, 2002.
- 7) Yasuaki Saijo, Yoshihiko Nakagi, Toshihiro Ito, Yoshihiko Suioka, Hitoshi Endo, Takahiko Yoshida: Dampness, food habits, and sick building syndrome symptoms in elementary

2-4 個別分散空調における実態調査

A. 研究目的

パッケージ型空調機はビル用マルチ型室内機の進化と共に建築物の規模を問わず、採用例が増え、空調方式の主流となっている。また、大規模建築物においても採用例が増加している。特に個別分散型空調方式にその採用例が多い。個別分散型空調方式は建築物環境衛生管理基準の適用外であったため、中央方式と同様な管理がされておらず、換気量不足による室内空気汚染や相対湿度低下等の問題が指摘された。この現状を踏まえ、建築物衛生法(建築物における衛生的環境の確保に関する法律)政省令が平成 14 年に一部改正され、建築物環境衛生管理基準に従って空気環境の調整を行わなければならない空気調和設備及び機械換気設備について、中央管理方式の設備に限定している規定が削除された。これにより、特定建築物の空気調和設備については、中央管理方式だけでなく個別分散型空調方式についても法対象となった。パッケージ型空調機は換気量の不足、フィルタろ過性能の不足及び微生物汚染の問題が指摘されている¹⁾。これらの問題による室内空気質の悪化を防ぐには適切な維持管理が必要であるが、空調機が分散して設置されているため中央方式と同様な維持管理が難しく、衛生管理の実績も少ない²⁾。

そこで昨年度の研究では、パッケージ型空調方式の現状及び維持管理実態の把握のためアンケート調査を実施し、分析を行った。また、パ

ッケージ型空調方式を有する建築物内の室内空気質、浮遊微生物及び空調機内の微生物汚染の実態を把握するために実態調査を行い、パッケージ型空調機が細菌及び好湿性真菌に汚染され、それが室内空気中の微生物汚染の原因となっていることが明らかになった。そして、この微生物汚染は空調機内の温湿度に関係していることが示唆された³⁾。

これらを踏まえて本研究では、パッケージ型空調機内に小型温湿度計を設置し、温湿度の連続測定を行うとともに、設置時と回収時の給気中の浮き遊微生物及び空調機内の付着微生物測定を行い、空調機内の温湿度環境と微生物汚染の関係について検討を行った。本報ではこれまで行って来た研究の結果について述べる。

B. 測定方法

B.1 調査対象概要

2012 年に入居中ビルの冷房期において調査を行った。対象は沖縄本島 1 件、北海道 1 件、東京都 4 件の計 6 件である。なお、c ビル、e ビル、f ビルでは 2 ヶ所で測定を行った。調査対象物件の概要一覧を表 2-2-1 に示す。

B.2 温湿度

外気と空調機の吸込み口、吹出し口の計 3 カ所に温湿度計(ハイグロクロン、KN ラボラトリーズ製)を設置し、15 分間隔で約 40 日間の連続測定を行った。温湿度計の設置場所は、吸込み口がファンより上流側の位置、吹出し口がコイルより下流側とした。また、外気は直射日光や

表 2-4-1 調査対象物件概要一覧

物件名	測定日	温湿度計	所在地	階数	測定階	室面積[m ²]	竣工[年]	主用途	天候	空調方式
aビル	7月14日(土)	設置	板橋区	/	3F	/	2011	事務所	晴れ	天井カセット型4方向
	8月25日(土)	回収							晴れ	
bビル	7月25日(水)	設置	札幌	1F~10F	4F	/	1974	事務所	晴れ	天井カセット型4方向
	9月5日(水)	回収							晴れ	
cビル	8月4日(土)	設置	大田区	1~5F	2F	70.16	/	研究室	晴れ	壁掛け型1方向
	9月15日(土)	回収			3F				事務所	
dビル	/	設置	沖縄本島	1F	1F	80.2	2002	事務所	/	天井カセット型4方向
	10月20日(土)	回収							晴れ	
eビル	8月31日(金)	設置	中央区	B1~8F	5F	280.0	1976	事務所	曇	天井カセット型4方向
	10月18日(木)	回収			6F				212.0	
fビル	9月25日(火)	設置	港区	1F~8F	5F	597.2	2010	事務所	晴れ	ビルトイン 2台
	10月30日(火)	回収							曇	

雨の当たらない場所に設置した。

B.3 浮遊微生物

浮遊微生物はバイオサンプラー（MBS-1000，ミドリ安全製）にて捕集し，細菌の測定に SCD 培地，真菌の測定に PDA 培地を用いた。培地は培養後のコロニー数の計数し，真菌については形態学による同定を行った。培地の培養条件は，32・2 日間（SCD 培地）と 25・3 日間以上（PDA 培地）とした。なお，温湿度計の設置時と回収時にそれぞれの測定を行った。

給気中の浮遊微生物測定の手順は，まず空調機の給気以外の空気が混入しないよう吹出し口をビニールシートで囲み，空調機が停止している状態で測定した。その後，吹出し口からの給気を空調機の運転直後から連続して 4 回測定した。

B.4 付着微生物

空調機内の付着微生物は拭き取り検査キット（ST-25 エルメックス製）を用いて，主にフィルタ，ファン，コイル，ドレンパンの 4 カ所を 56cm² の範囲を拭き取った。拭き取った試料 50μL はスパイラルプレーター（Eddy Jet，IUL 製）にて SCD 培地，PDA 培地に塗布した。培地は培養後のコロニーの計数し，真菌については形態学による同定を行った。付着微生物は浮遊微生物と同様に温湿度計の設置時と回収時にそれぞれ測定を行った。

C. 結果

C.1 温湿度

設定温度はほとんどの物件が約 27 に設定されていて，25 以下に設定されている物件は

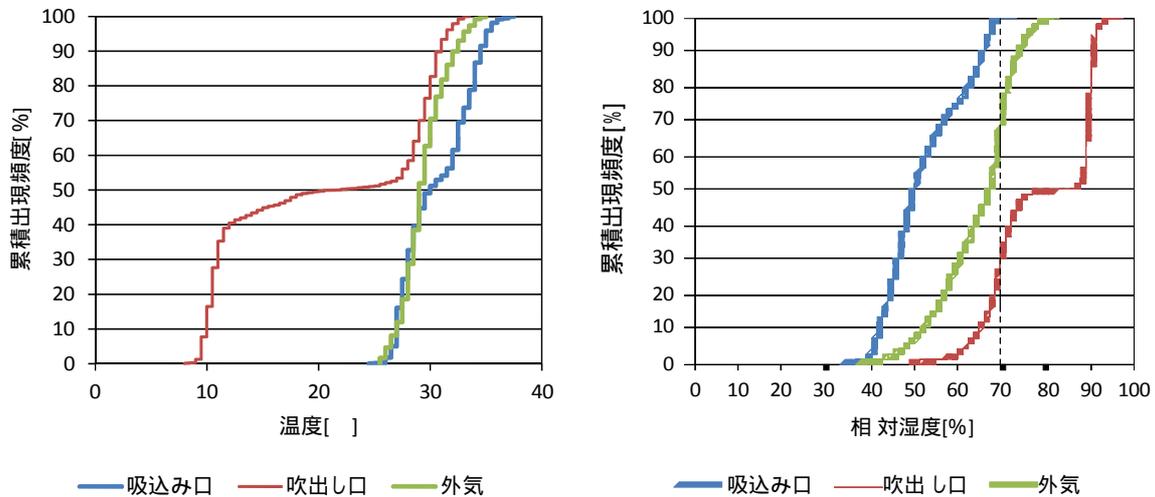


図 2-4-1 c ビル 3F の累積出現頻度（左:温度，右:相対湿度）

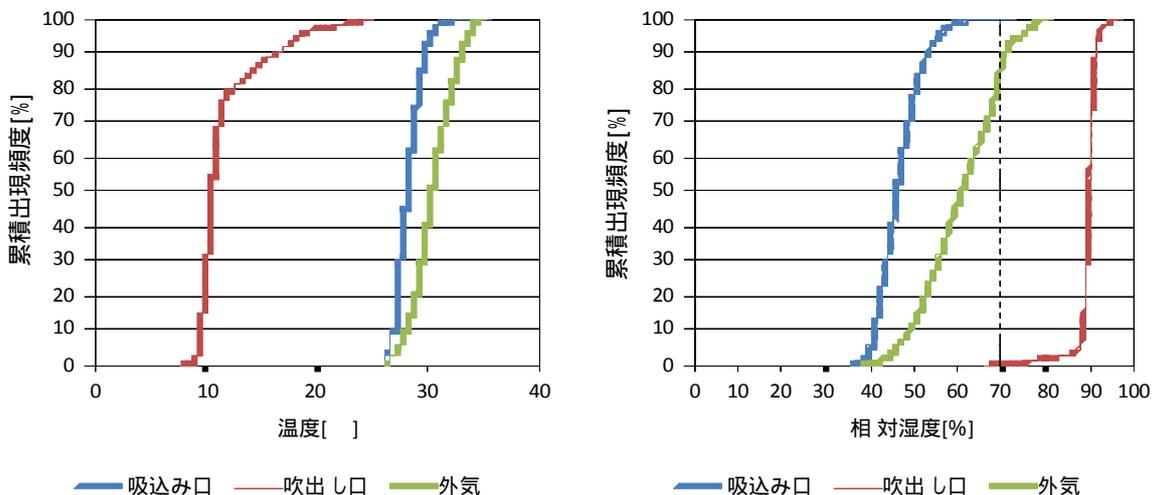


図 2-4-2 c ビル 3F 運転時の累積出現頻度（左:温度，右:相対湿度）

わずかであった。今年も節電のため設定温度を若干高めに設定している物件が多かったと推測される。

相対湿度が70%以上で累積出現頻度30%を超えると微生物の生育速度はそれに比例して速くなるとされている⁴⁾。吹出し口の相対湿度が70%以上の累積出現頻度が70%以上で高かったのはbビルとcビル2F, 3Fであった。bビル, cビル3Fでは他のビルに比べ, 運転時間が2倍程度長かったことが関係していると推測される。また, cビル2Fでは吸込み口での相対湿度70%以上の累積出現頻度も約20%で他のビルに比べ高かったこと, 用途が特殊であったことで他の

ビルと違いが出たことや運転停止時も湿度が高かったことが推測される。一例として図2-4-1から図2-4-5にcビル3Fの温湿度の結果を示す。

C.2 浮遊微生物

執務中の事務室における日本建築学会の浮遊細菌濃度の規準値 $500\text{cfu}/\text{m}^3$ を超えたのはdビル回収時の1回のみであった。一方で浮遊真菌濃度の規準値 $50\text{cfu}/\text{m}^3$ をほとんどの測定で超過した。今年度の測定は半数以上が休日の測定であった。

測定した空調機9台のうち運転開始時の飛散がみられたのは細菌で3台あり, うち1台が設置時のみ, 1台が回収時のみ, 1台がその両方で

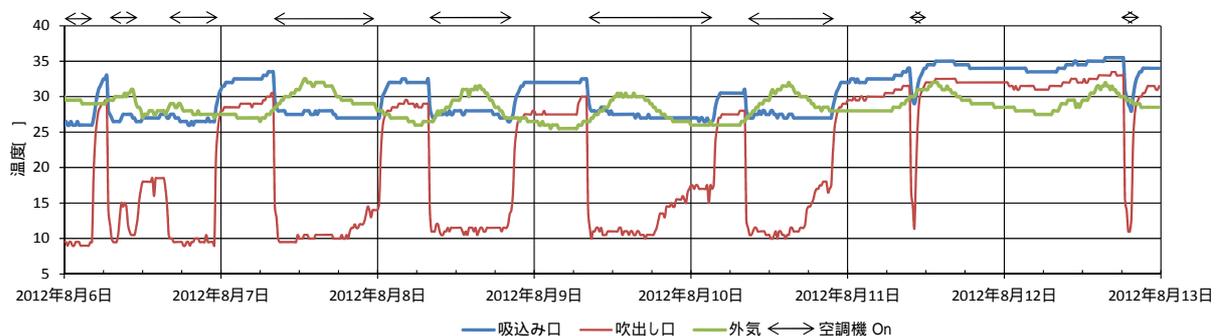


図 2-4-3 cビルパッケージ3Fの温度の経時変化の例

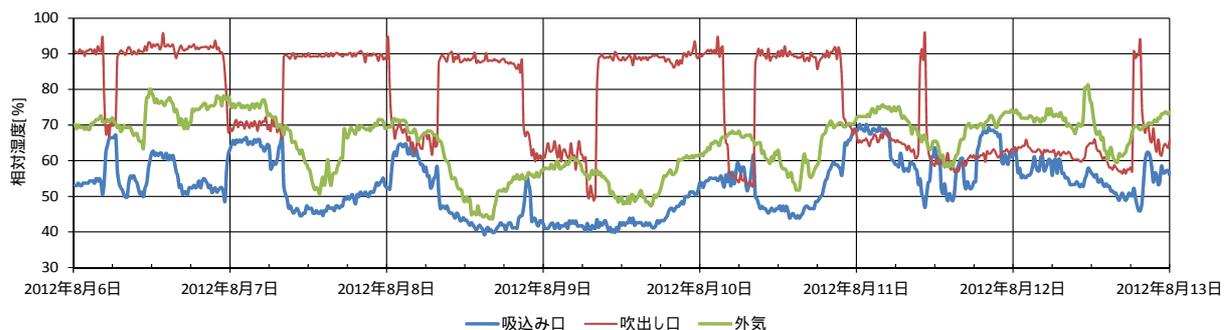


図 2-4-4 cビルパッケージ3Fの相対湿度の経時変化の例

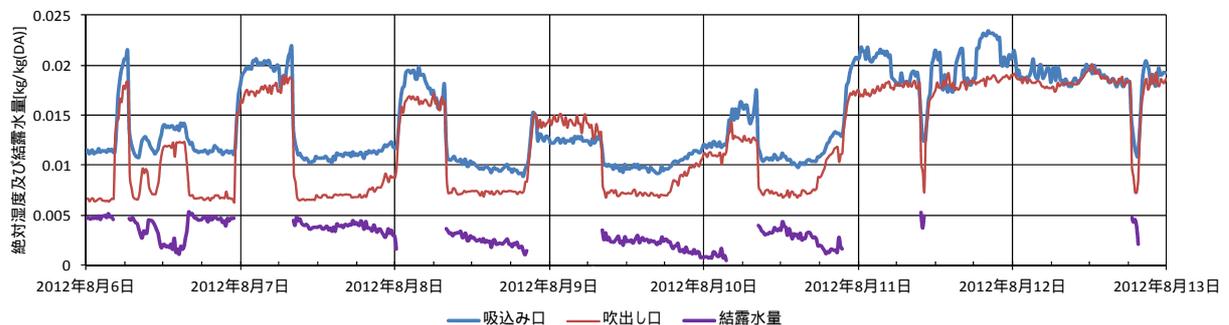


図 2-4-5 cビルパッケージ3Fの絶対湿度及び結露水量の経時変化の例

あった。また、真菌で6台あり、6台とも回収時のみであった。菌種についてみると主に *Cladosporium* spp. , *Aspergillus* spp. , *Penicillium* spp. , yeast が検出され、ほとんどが付着真菌量の増加している菌であった。空調機が微生物汚染の原因となっていると推測される。

また、浮遊真菌濃度変化の減衰曲線指数項についてみると、設置時と回収時ともに測定を行った6台の空調機のうち4台の空調機で減衰の速度が遅くなり、空調機内からの飛散があった

と考えられる。一例としてcビル3Fの浮遊細菌濃度変化を図2-4-6、浮遊真菌濃度変化を図2-4-7に示す。

C.3 付着微生物

一例としてcビル3Fの付着細菌量を図2-4-8、付着真菌量を図2-4-9、その詳細を表2-4-2に示す。

全物件で主に検出された菌は *Cladosporium* spp. , *Aspergillus* spp. , *Penicillium* spp. , yeast , *Mycelia* であった。どの物件もコイル・ドレン

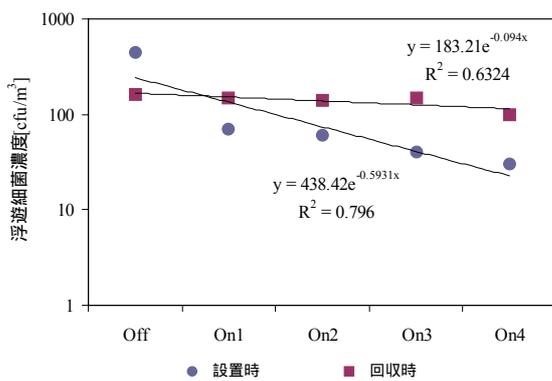


図 2-4-6 cビル3Fの浮遊細菌濃度変化

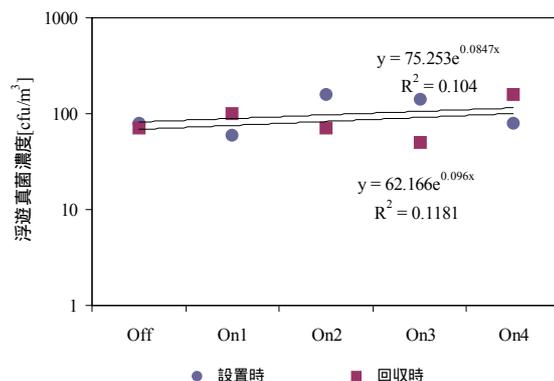


図 2-4-7 cビル3Fの浮遊真菌濃度変化

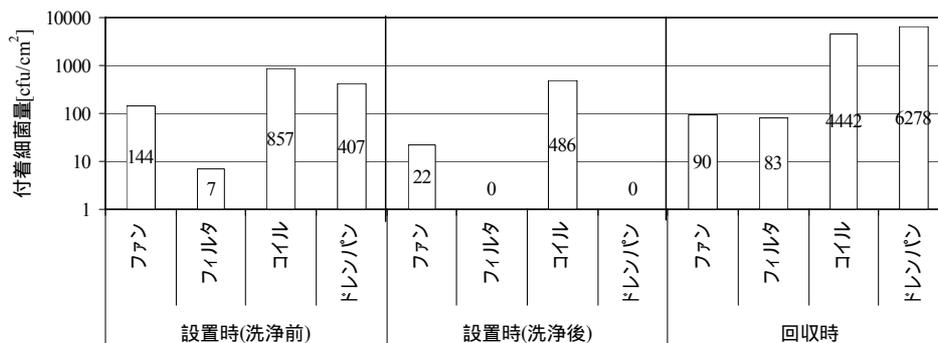


図 2-4-8 cビルパッケージ3Fの付着細菌量

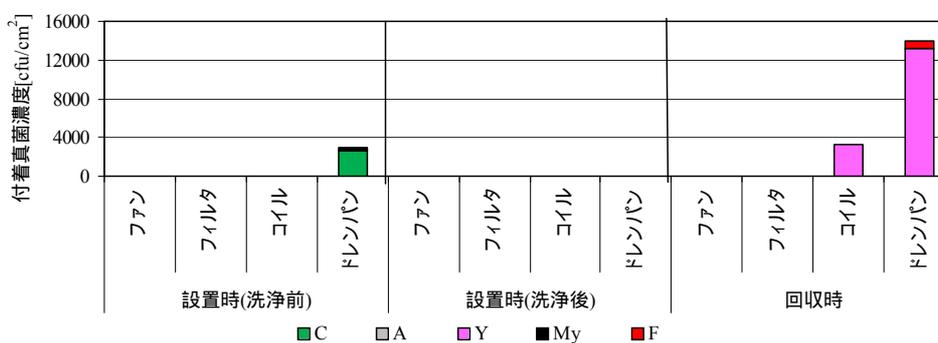


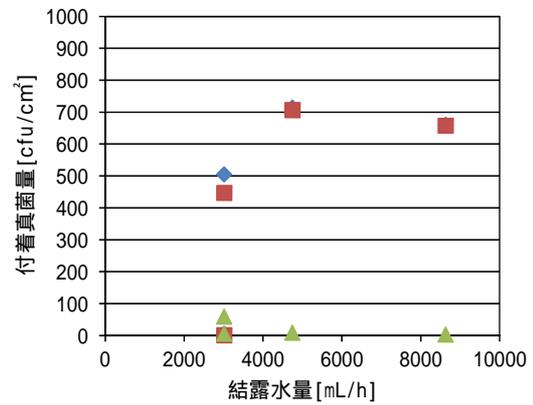
図 2-4-9 cビルパッケージ3Fの付着真菌量

表 2-4-2 c ビルパッケージ 3F の付着微生物量

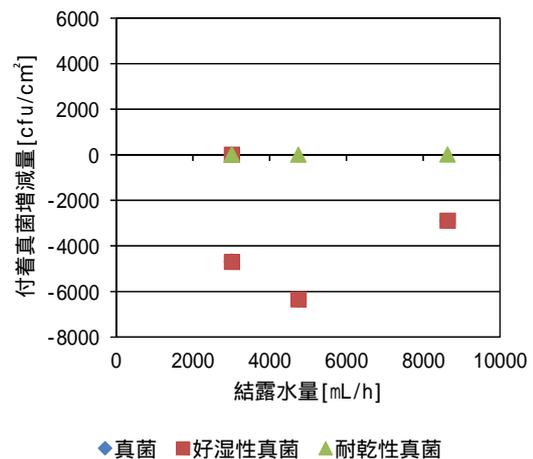
拭き取り法 (cfu/cm ²)		細菌		真菌									
		総数	総数	C	A	A.n	P	Y	My	F	E	Pa	etc
設置時 (洗浄前)	ファン	144	50	4	4	40			4				
	フィルタ	7	22	4	4	7							4
	コイル	857	0										
	ドレンパン	407	2956	2642	22	4		148		151			18
設置時 (洗浄後)	ファン	22	0										
	フィルタ	0	0										
	コイル	486	4										4
	ドレンパン	0	4										4
回収時	ファン	90	112	11	11	50			7		4	11	18
	フィルタ	83	54	11		11	18	4				4	7
	コイル	4442	3323					3319					4
	ドレンパン	6278	14148					13212		828		36	108

パンで菌が多く検出され、ファン・フィルタではあまり菌が検出されなかった。測定箇所別にみるとコイル・ドレンパンでは *Cladosporium* spp., yeast, *Fusarium* spp., *Aureobasidium* spp. などが多量に検出された。一方、ファン・フィルタでは主に *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. が検出された。このことからファン・フィルタでは耐乾性の菌が繁殖しやすく、コイル・ドレンパンでは好湿性の菌が繁殖しやすい傾向にあり、それぞれの温湿度環境が異なるためであると推測される。

めであると推測される。



(a) 結露水と付着真菌量の関係



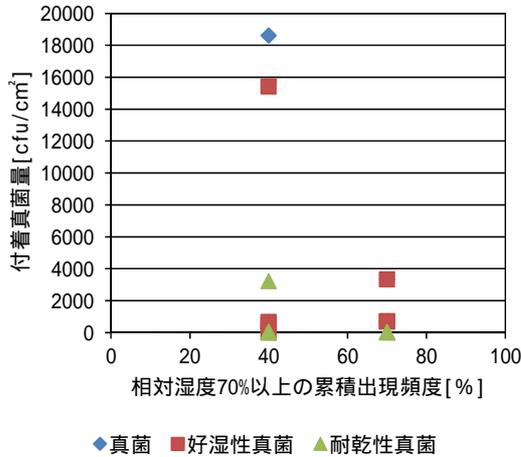
(b) 結露水と付着真菌増減量の関係

図 2-4-10 結露水量と付着真菌の関係図

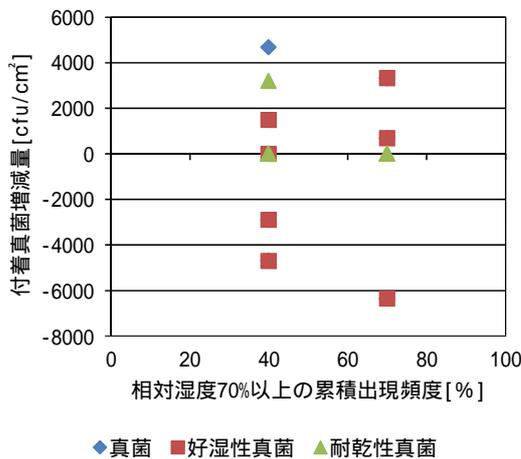
D. 考察

空調方式、設定温度、全熱交換器の有無に関わらず結露水量は 0.005kg/kg(DA)を超える物件はほとんどなかった。また、間欠運転を行っていないcビルやdビルの一部の時間帯では運転開始直後の結露水量が一番高く、徐々に減少する傾向がみられた。これは中央方式と違い、個別方式の室内機は外気処理を行わないためであると推測される。

結露水量とコイルの付着真菌の関係を図 2-4-10、相対湿度 70%以上であった累積出現頻度とコイルの付着真菌の関係を図 2-4-11、回収時と設置時の減衰曲線指数の差とコイルの付着真菌の関係を図 2-4-12 にそれぞれ示す。今回の調査では結露水量や相対湿度 70%以上の累積出現頻度などの項目と付着真菌の有意な相関関係性はみられなかった。これは物件ごとに備え付けられている空調機の室内環境に違いがあるた

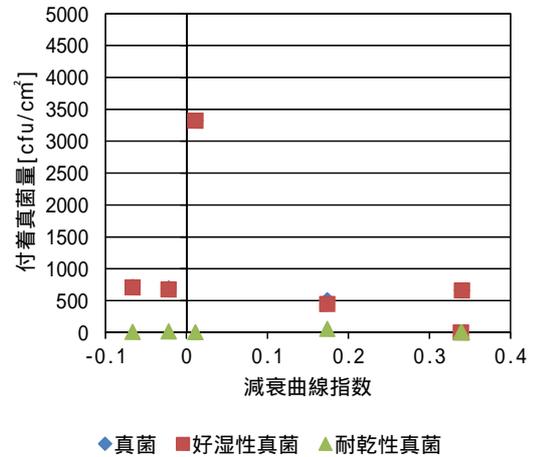


(a) 相対湿度と付着真菌量の関係

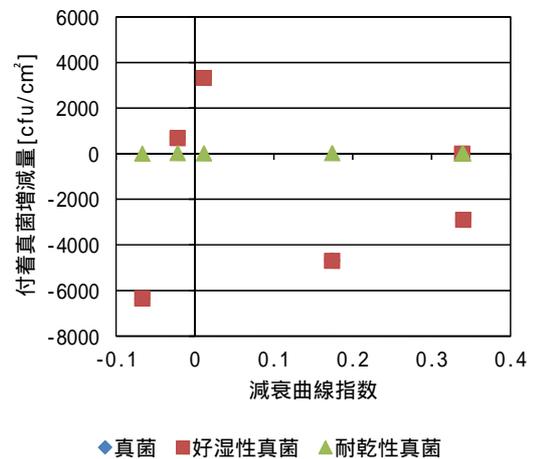


(b) 相対湿度と付着真菌増減量の関係

図 2-4-11 累積出現頻度と付着真菌の関係図



(a) 減衰速度と付着真菌量の関係



(b) 減衰速度と付着真菌増減量の関係

図 2-4-12 減衰曲線指数と付着真菌の関係図

E. 結論

本研究ではパッケージ型空調機内の温湿度環境と微生物汚染の関係について検討を行うことを目的とし、6件の対象物件のパッケージ型空調機内に小型温湿度計を設置し、温湿度の連続測定を行うと共に、設置時と回収時の給気中の浮遊微生物及び空調機内の付着微生物測定を行い、以下の知見が得られた。

- 1) 相対湿度 70%以上であった頻度は吸込み口ではほとんどなく、吹出し口では 30%を超える物件が多かった。
- 2) 空調機内の相対湿度 70%以上であった時間が長かったのは約 70%であった。
- 3) 空調方式，設定温度，全熱交換器の有無に関わらず結露水量は 0.005kg/kg(DA)を超え

る物件はほとんどなかった。また，間欠運転を行っていないcビルやdビルの一部の時間帯では運転開始直後の結露水量が一番高く，徐々に減少する傾向がみられた。

- 4) コイル・ドレンパンでは *Cladosporium* spp. , yeast , *Fusarium* spp.などが多量に検出された。一方，ファン・フィルタでは主に *Aspergillus* spp. , *Penicillium* spp.が検出された。このことからファン・フィルタでは耐乾性の菌が繁殖しやすく，コイル・ドレンパンでは好湿性の菌が繁殖しやすい傾向にあることが明らかになった。
- 5) Yeast についてコイルで減少している物件が多かった。一方でドレンパンでは増加している物件が多かった。

- 6) 相対湿度 70%以上の累積出現頻度の他に運転時間，結露水の発生している時間が微生物の繁殖に関係していることが分かった。
- 7) 改築直後の a ビルは吹出し口の相対湿度が 70%以上であった累積出現頻度は 30%以上であったが，微生物の繁殖が確認されなかった。
- 8) 今回の調査では結露水量や相対湿度 70%以上の累積出現頻度，浮遊真菌濃度変化の減衰曲線指数の項目と付着真菌の十分な関係性はみられなかった。
- 9) 測定した空調機 9 台のうち運転開始時の飛散がみられたのは細菌で 3 台，真菌で 6 台あり，6 台とも回収時のみであった。
Cladosporium spp. , *Aspergillus* spp. , *Penicillium* spp. , yeast が検出され，ほとんどが付着真菌量の増加している菌であった。

参考文献

- 1) 鍵直樹 柳宇 池田耕一 西村直樹:事務所建築物の規模による室内空気質の比較検討，日本建築学会環境系論文集 第 76 巻 第 659 号，43-48，2011 年
- 2) 柳宇 鍵直樹 池田耕一：空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究 第 4 報 個別方式空調における「かび臭」原因究明のための調査，日本建築学会環境系論文集 75(654)，721-726，2010 年
- 3) 横山貴紀 柳宇 鍵直樹 大澤元毅：個別分散型空調機における微生物汚染の実態解明とその低減策に関する研究，平成 24 年度空気調和・衛生工学会大会，1427-1430，2012 年
- 4) 柳宇 池田耕一：空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究 第 1 報 微生物の生育環境と汚染実態，日本建築学会環境系論文集 第 593 号 49-56，2005 年

2-5 建築物における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) に関する文献調査

A. 研究目的

建築物においては、建築物衛生法により粒径 10 μm 以下の浮遊粉じんについて、0.15mg/m³ 以下とする基準値がある。近年の疫学的知見から、更に粒径の小さい粒径 2.5 μm 以下の粒子が健康の影響に大きく影響しているとの報告から、我が国においても、大気基準として制定されたところである。一方建築物においては、室内空気は外気により換気を行うため、また室内で微小粒子の発生があれば、大気同様室内も PM_{2.5} は存在する。そこで、PM_{2.5} の建物内の実態調査を行った研究について文献調査を行った。

B. 微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の概要

微小粒子状物質 (PM_{2.5}) は急性や慢性の健康影響を及ぼすほか、視程障害や景観悪化などの原因となる。米国では、1974 年~1991 年にわたり、4~74 歳の白人約 8000 人を対象にして、健康状態、死亡原因の追跡調査が行われ、これと同時に統一的な大気モニタリングが実施された。疫学研究では、性別、年齢、喫煙、教育レベル、肥満度で調整し、生存時間解析を行ったところ、PM_{2.5} 濃度が長期にわたり相対的に高い都市では、呼吸器や循環器が原因の死亡が増えていることがわかった。濃度が低くリスクの見られない都市の濃度は 11~13μg/m³ であり、15μg/m³ を超える都市では全死亡リスクが上昇していた。これらの調査報告に基づき 1997 年に環境基準が設定された。

2006 年には現存する PM₁₀ の環境基準に PM_{2.5} が含まれているためダブルスタンダードになっているとの理由から、2006 年に以下に示す値に改定された。

PM_{2.5}

・日平均 35μg/m³

(24 時間平均値の 98 パーセンタイル値の 3 年間の平均値)

・年平均 15μg/m³

(日平均値を年算術平均した値の 3 年平均値)

PM₁₀

・日平均 150μg/m³

(3 年間にわたって 24 時間平均値が年間 1 回超えない)

・年平均 基準廃止

(長期暴露と健康影響に関する十分な知見がないため)

欧州における PM_{2.5} に関する基準は、2005 年に欧州大気清浄化指令案が欧州委員会 (EC) から出され、2008 年に EU の官報に掲載された。この指令では、年平均環境基準値を 2010 年から目標値 25μg/m³ とし、2015 年からの達成義務値としている。また、2020 年からの達成義務値を 20μg/m³ としている。一方、WHO は、2006 年に設定したガイドラインで、年間平均濃度を 10μg/m³、24 時間平均を 25μg/m³ としている。

日本においては、2009 年に告示された微小粒子状物質に係る環境基準値では、年平均値が 15μg/m³ 以下かつ 1 日平均値が 35μg/m³ 以下としている。

C. 文献調査結果

PM_{2.5} に関する既往の実態に関する既往の研究について、以下に述べる。

D.Massey(2009)ほかは、3 つの異なる微小環境における 14 の住居での室内及び外気での微粒子 (PM_{2.5}, PM_{1.0}, PM_{0.50}, PM_{0.25}) の質量濃度の情報を得ることを目的としている。対象住居は北インドの中心部アーグラの道路沿い (5)、都市部 (5)、農村部 (4) とした。道路沿いの住居は、1 日中交通量の多い道路に隣接している。都市部の住居の外部環境は、大きな商業複合施設と小さな市場があるが、交通量は少ない。農村部は、草木に囲まれ交通はほとんどない地域である。室内外の微粒子個数濃度測定は 31 チャンネルのアエロゾルスペクトロメーターを用いた。サンプリング中の流量は 1.2L/min ± 5% で、粒子は PTFE フィルタで捕集し分析を行う。リアルタイム計測時の粒径範囲は 0.25-32μm である。測定は 6 ヶ月間行い、サンプル数は室内外共に道路沿い住居および都市部住居で 30 個ずつ、農村部住居で 24 個ずつ、合計 168 個である。室内

の装置は一般的に人々が最も多くの時間を過ごすリビングルームに位置する。吸い込み口はできるだけ頭の高さに近い位置とし、外気計測は住居から 6m 離れた位置とした。装置は地上から 2m の高さとし、汚染物質発生源から 1m 離れたところに設置した。結果として、平均微粒子濃度は、外気だけでなく室内の濃度も高いことがわかった。これは、室内の粒子は外気環境によるものだけでなく室内発生源もしくは人間活動によるものもあるためと考えられる。一日を通して交通量が多い道路沿いの住居では車、バイクなどから発生する粒子の影響で室内粒子濃度が上昇する。農村部では、調理や喫煙といった室内活動により濃度が上昇する。都市部では、道路沿いの地域や農村部に比べて窓の開閉、換気設備の設置が多いため室内外の粒子濃度は変動する。I/O 比は、建物の場所や形状などの要素に大きく影響される。PM_{2.5}, PM_{1.0}, PM_{0.5}, PM_{0.25} の平均 I/O 比は、道路沿いでは 1 に近く (0.98, 0.96, 0.80, 0.95), 農村部では 1 以上 (1.11, 1.08, 1.00, 1.17), 都市部では 1 未満 (0.92, 0.87, 0.80, 0.95) であった。これは、特に農村部において室内レベルが外気レベルより高くなっていることを示している。微粒子の発生は室内では、喫煙場所やキャンドルなどが燃焼している場所で高くなるのがわかる。農村部では、これらの室内活動や木などを用いた暖房機器が使用されることが多く、また適切な換気設備がない場合が多いため、都市部や道路沿いの地域と比べて室内粒子濃度が高くなる。

Mohamed F. Yassin(2012)ほかは、家庭内の様々な場所(キッチン、リビング、寝室)における PM_{2.5} の濃度の調査および、クウェートの地域別の室内 PM_{2.5} レベルの評価した。クウェートは半年以上が 40-50 程度となるため、室内で過ごす際には空調機が重要となる。調査対象の家庭はクウェートの以下の 6 カ所の地域から選定した。(1)クウェート北部で住宅、工場、砂漠がある地域(2)クウェート中心部であり、産業、商業などの中心(3)商業施設や住宅の密集地(4) 商業施設や住宅の密集地(5)一般的な住宅地(6)クウェート南部で、油田や関連産業、2 つの淡水化処理プラントと 3 つの石油精製所がある

場所である。PM_{2.5} はダストトラックを用いて 24 時間測定を行った。サンプル測定は 10 の家庭のリビングで行い、うち 4 の家庭では寝室とキッチンでの測定も行った。測定中エアコンは動かし続け、開口部と排気ファンは閉じるか停止させた。結果として、室内の濃度が高くなるのは、調理などの人間の行動が要因であるということがわかった。PM_{2.5} の濃度はキッチンで最も高くなり、寝室で最も低い値となった。家庭内に喫煙者がいる場合といない場合では、喫煙者がいる家庭の方が PM_{2.5} の濃度が高くなった。また、クウェートの家庭におけるリビングの平均濃度はアメリカ環境保護庁が定めた大気環境基準 (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) より高い結果となった。

L. Morawska(2009)ほかは、オーストラリアの中心業務地区にあり、交通量の多い道路や住宅に囲まれたビルに入っているラジオ局の空気質に影響を及ぼしている要因についての調査を行った。PM 濃度と PM_{2.5} といった粒子特性に関するモニタリングは(i)空気中の汚染物質発生と配管からの汚染物質(ii)フィルタ捕集効率に関する HVAC システムの特徴 (iii)システム改善後の HVAC システムの室内空気質改善効果 を目的とし室内及び外気環境中で行った。ビル内に送られる供給空気は Room1,2,3 に運ばれる。Room1 は外気を取り込む室, Room2 は倉庫, Room3 は電子機器などが置いてあるコントロールルームである。HVAC システム改善前は外気吸込口にプレフィルタがなく、プラントルームにある AHU には低効率フィルタ(classG4)がセットされていた。改善後は、吸込口にプレフィルタ(classG4)と中性能フィルタ(F8)がセットされた。粒子状物質濃度と 0.017~0.600 μm の範囲の粒径分布は SMPS で測定した。0.02~1 μm の範囲での粒子個数濃度は超微粒子パーティクルカウンタ(P-Trak Model 8525)で測定し、空気力学パーティクルサイザー(APS)で、個数濃度と 0.7~20 μm の粒径分布を測定した。PM_{2.5} の概算値はレーザー光度計(DustTrak Model 8520)で測定した。重量測定の数値と近い結果を得るため、実験は DustTrak の値と TEOM の値の比較を実験室条件下で行った。実測は交通量や室内活動など計測上の条件に近い平日に 2 回、ビル内の

HVAC システムの改善前後に 1 回ずつ行った。結果として、I/O 比については、ビル内の AI 濃度測定が本研究の主な目的であったため、粒子個数濃度と PM_{2.5} 濃度の I/O 比は OA の IA に対する影響として評価と、室内発生源の存在決定のために行った。粒子個数濃度の平均 I/O 比は 0.42 ± 0.23 であった。この結果より、約 58% の外気中の粒子はダクトや HVAC システム、室内壁面に沈着していることがわかる。長時間にわたる高濃度の外気粒子曝露は粒子の表面沈着により家具や機器、その他さまざまな物体の汚染など様々な問題が生じる。HVAC システムの再設計により天井部へのプレフィルタの取り付けや AHU のエアフィルタの改善がなされた。システム改善前後の粒子個数 I/O 比を比較すると、前が 14%、後が 42% と約 3 倍異なる結果となった。つまり、システム全体の粒子除去効率は HVAC システムの改善後では 58% から 86% に上昇した。HVAC システムの吸込口の変更も行った。吸込口は道路付近で直接吸込みから高さ 20m で、道路から 70m 離れた位置にあるビルの屋上に移動した。吸込口付近のバルコニーでの外気の粒子個数及び PM_{2.5} の測定は HVAC 改善時に行った。吸込口の位置変更前後に行った OA 測定は交通条件、測定間隔、外気条件が同じような環境で実施した。この結果より、実測 2 では粒子濃度が PN、PM_{2.5} とともに約 50% 減少していることがわかる。交通条件、気候条件とも変動がないことや測定時間がほぼ同じであるという事を注意すると、粒子濃度が減少したのは吸込口の位置変更が主な原因であると考えられる。このことから、吸込口の位置変更は室内汚染物質を著しく減少させるための重要な要因であり、その効果は低-中程度のフィルタを設置するのと同程度の効果がある。

Martin Branis(2005)は、大きい粒子 (> PM_{2.5}) 濃度は室内活動に関係がある一方で、微小粒子は外気の粒子状汚染物質の影響があるのではないかと仮定を立てた。また、室内粒子レベルと室内外の温度、相対湿度、風速などの気象学的要因の間にも関係性が存在しているのではないかと考えている。これらの事から、一般的な教室において、PM₁₀、PM_{2.5}、PM₁ の質量濃度

の調査を行うこととした。チェコのブラガで、花粉などの飛散がなく気象的に安定している 10/8~11/11 の期間で調査を行った。測定対象とした教室は約 80 人が入れるような規模のものである。この建物はブラガの中心部にあり、日中は 1 時間あたり約 500 台の車が通行し、夜間には約 50 台の車が通行する道路に面している。週を人が多くいる期間(月曜~木曜)と人がほとんどあるいはまったくいない期間(金曜~日曜)の 2 つに分けた。授業時間中(45 分)の生徒数は数人から教室いっぱいの数まで様々であった。測定装置は教室後方に置かれたテーブルに設置した。サンプリングには流量を 10Lmin⁻¹(PM₁₀、PM_{2.5})、23Lmin⁻¹(PM₁)に設定した 3 つのハーバードインパクトを使用した。インパクトの吸入は着座状態の生徒の呼吸域の高さを想定して床上 130cm の位置とした。PM の質量濃度は重量法によって確認された。教室内の人間の有無が粒子状物質の濃度に影響を及ぼすかを確認するため、(i)平日の日中(ii)平日の夜間(iii)週末の日中(iv)週末の夜間という 4 つに区分分けを行い 30 日間の測定を行った。PM₁₀ の 12 時間の平均値、中間値、最大値が最も高かったのは平日の日中であった。PM_{2.5} と PM₁ の平均値及び中間値に関してはすべての区分でほぼ等しかった。PM_{2.5} と PM₁ は日中と夜間、平日と週末の間にも大きな差は見られなかった。PM₁₀ の I/O 比は、教室に生徒がいる平日で 1.07 であった。人がいない平日の夜間、週末の夜間、週末の日中ではそれぞれ 0.60、0.56、0.50 であった。室内粒子(PM_{2.5}、PM₁)のみを比較すると、人がいない夜間や週末の日中で高い割合であった。PM₁₀ の室内と外気の相関は週末の夜間で最も低く、平日の夜間で最も高かった。室内微小粒子と外気 PM₁₀ では、平日で相関が高かった。3 つの室内粒子での相関は教室内に人がいない週末で最も高い相関が見られた。すべての室内粒子と人の存在の関係(1 日当たりの生徒在室時間(SH))は、平日の PM_{2.5} と PM₁ と SH の相関があまりないという事を明らかにした(PM_{2.5}, r=0.135; PM₁, r=-0.069)。比較的高い相関は SH と PM₁₀ の間に見られた。すべての室内粒子状物質は、粒子の組成や分散に影響を及ぼす室

内環境と大気条件で比較される。室内空気温度、相対湿度、風速は最も重要な変数として用いられる。風速とすべての室内粒子状物質の間で最も強い負の相関がみられた。一方、PM と室内外の相対湿度の間で高い正の相関がみられた。PM₁₀ と平日夜間の大気温度以外では、PM と空気温度の間に高い相関がみられなかった。

D. 調査文献リスト

- ・若松伸司：PM_{2.5}に関する海外動向と測定・モニタリング・成分分析に関する今後の課題，大気環境学会誌，第46巻，第2号，2011
- ・D. Massey, J. Masih, A. Kulshrestha, M. Habil, A. Taneja: Indoor/outdoor relationship of fine particles less than 2.5 μm (PM_{2.5}) in residential homes locations in central Indian region, *Building and Environment*, 44, 2037-2045, 2009.
- ・Mohamed F. Yassin, Bothaina E.Y., AlThaqeb, Eman A.E., Al-Mutiri: Assessment of indoor PM_{2.5} in different residential environment, *Atmospheric Environment*, 56, 65-68, 2012.
- ・L. Morawska, M. Jamriska, H.Guo, E.R. Javaratne, M. Cao, S. Summerville: Variation in indoor particle number and PM_{2.5} concentrations in a radio station surrounded by busy roads before and after an upgrade of the HVAC system, *Building and Environment*, 44, 76-84, 2009.
- ・Martin Branis, Pavla Rezacová, Markéta Domasová: The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom, *Environmental Research*, 99, 143-149, 2005.
- ・Daniel A. Japuntich, Luke M. Franklin David Y. Pui, Thomas H. Kuehn, Seong Chan Kim, Andrew S. Viner: A comparison of two nano-sized particle air filtration tests in the diameter range of 10 to 400 nanometers, *Journal of Nanoparticle Research*, 9, 93-107, 2007.
- ・S.J.L. Adgate, G.Ramachandran, G.C. Pratt, L.A. Waller, K. Sexton: Spatial and temporal variability in outdoor, indoor, and personal PM_{2.5} exposure, *Atmospheric Environment*, 36, 3255-3265, 2002.
- ・J.J.Cao, S.C.Lee, J.C.Chow, Y.Cheng, K.F.Ho,

K.Fung, S.X.Liu, J.G.Wasten: Indoor/outdoor relationships for PM_{2.5} and associated carbonaceous at residential homes in Hong Kong – case study, *Indoor Air*, 15, 197-204, 2005.

- ・P.Pai, A.Maynard, K.E.J.Lehtinen, K.Hämeri, P.Rechkemmer, G.Ramachandran, B.Prasad, M.Kulmala, P. Mönkkönen: Fine particle number and mass concentration measurements in urban Indian households, *Science of Total Environment*, 347, 131-147, 2005.
- ・Martin Branis, Pavla Rezacová, Markéta Domasová: The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom, *Environmental Research*, 99, 143-149, 2005.
- ・Peter Molnár, Tom Bellander, Gerd Sällsten, Johan Boman: Indoor and outdoor concentrations of PM_{2.5} trace elements at homes, preschool and school in Stockholm, Sweden, *Journal of Environmental Monitoring*, 9, 348-357, 2007.
- ・L.Morawska, M.Jamriska, H.Guo, E.R. Jayaratne, M.Cao, S.Summerville: Variation in indoor particle number and PM_{2.5} concentrations in a radio station surrounded by busy roads before and after an upgrade of the HVAC system, *Building and Environment*, 44, 76-84, 2009.
- ・D.Massy, J.Masih, A.Kulshrestha, M.Habil, A.Taneja: Indoor/outdoor relationship of fine particles less than 2.5μm (PM_{2.5}) in residential homes locations in central Indian region; *Building and Environment*, 44, 2037-2045, 2009.
- ・J.Wichmann, T.Lind, M.A.-Nilsson, T. Bellander: PM_{2.5}, soot and NO₂ indoor-outdoor relationship at homes, pre-school and schools in Stockholm, Sweden, *Atmospheric Environment*, 44, 4536-4544, 2010.
- ・Man-Pun Wan, Chi-Li Wu, Gin-Nam Sze To, Tsz-Chun Chan, Christopher Y.H. Chao: Ultrafine particles, and PM_{2.5} generated from cooking in homes, *Atmospheric Environment*, 45, 6141-6148, 2010.
- ・Radha Goyal, Mukesh Khare: Indoor air quality modeling for PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{1.0} in naturally

ventilated classroom of an urban Indian school building, Environmental Monitoring and Assessment, 176, 501-516, 2011.

• Mohamed F. Yassin, Bothaina E.Y. AlThaqeb, Eman A.E. Al-Mutiri: Assessment of indoor PM_{2.5} in different residential environments, Atmospheric Environment, 56, 65-68, 2012.