

平成24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. 特定建築物のあり方と個別分散空調方式の実態に関する研究

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、特定建築物の課題では高齢者福祉施設や集合住宅、小規模建築物など、現状において特定建築物対象外となっている施設について、適用用途拡大の必要性、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、今年度は学校教室環境の衛生環境の実態調査を行った。更に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する基礎資料を収集することとした。

学校教室環境の実測においては、二酸化炭素濃度は在室者数・空調と換気の状態及び窓の開閉に影響され、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ため、更に微生物や温湿度の基準を上回ってしまう可能性があるため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。

また、個別空調設備の維持管理の実態については、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、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、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。

研究協力者

大澤元毅	国立保健医療科学院
鍵 直樹	東京工業大学
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	(財)ビル管理教育センター
齋藤敬子	(財)ビル管理教育センター
杉山順一	(財)ビル管理教育センター
横山貴紀	工学院大学大学院生
柴崎忠太	工学院大学学生
宮川拓也	工学院大学学生

2-1 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<sup>1)</sup>では室内の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の濃度が1500ppm以下、建築物衛生法の環境管理基準<sup>2)</sup>では二酸化炭素の濃度が1000ppm以下、浮遊粉塵濃度は0.15mg/m<sup>3</sup>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<sup>3)</sup>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<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>。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NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、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<sup>6)</sup>。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<sup>7)</sup>。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2-1-1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。比較的大型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61 m<sup>2</sup>と本報告の中では小さめの教室であるが、天井高が5.1 m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。

表 2-1-1 測定教室の概要

教室名	所在地	教室面積 [m <sup>2</sup> ]	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	—

## 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。

教室 C～I の二酸化炭素濃度，温湿度，在室者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 CO<sub>2</sub> 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

表 2-1-2 各測定日の換気量と気積

room	date	CO <sub>2</sub> [ppm]	Ocupants [人]	ACH [m <sup>3</sup> /h]	ACH/person [m <sup>3</sup> /h・p]	Air volume [m <sup>3</sup> /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

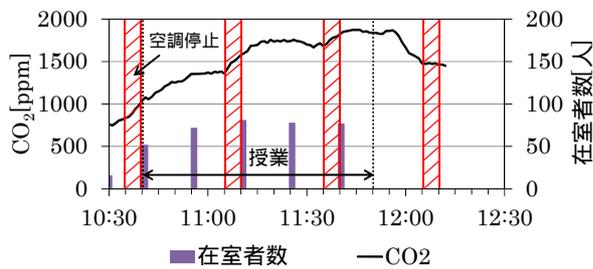


図 2-1-1 A 教室 (6月15日)

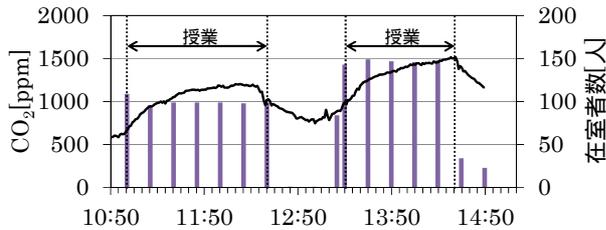


図 2-1-2 B 教室 (9月14日)

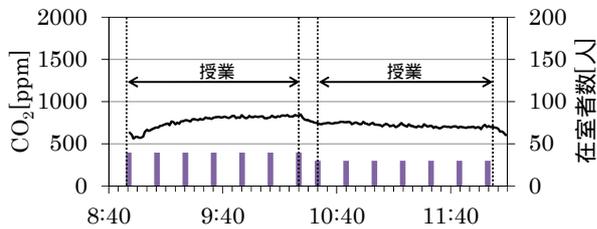


図 3 C 教室 (6月14日)

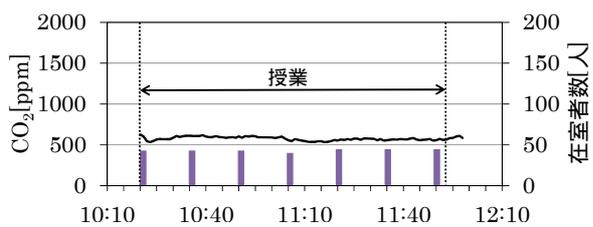


図 2-1-4 D 教室 (7月3日)

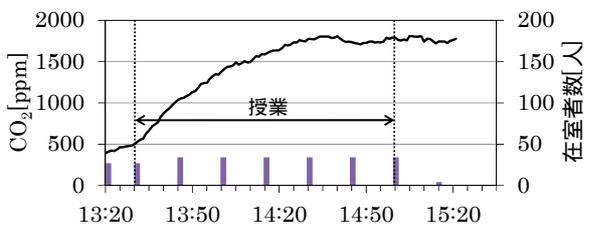


図 2-1-5 E 教室 (5月30日)

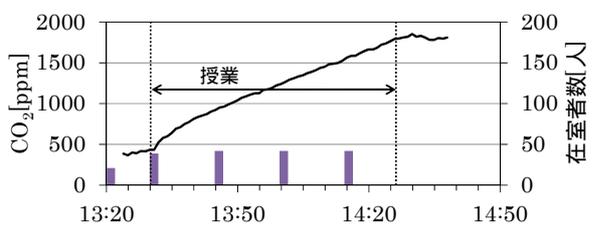


図 2-1-6 F 教室 (5月28日)

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 (2-1) から算出した<sup>8)</sup>。

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

ただし, Q: 換気量 (m<sup>3</sup>h), m: 室内人数 (人), C: 室内外 CO<sub>2</sub> 濃度差 (ppm), 0.02: 人体から発する二酸化炭素 (0.02 m<sup>3</sup>/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 2-1-2 に測定日, 最大二酸化炭素濃度, 受講者数, 式 (2-1) 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, CO<sub>2</sub> 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 2-1-1 ~ 2-1-6 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 CO<sub>2</sub> 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 2-1-1 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ていたと考えられる。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 2-1-7 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 2-1-7 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

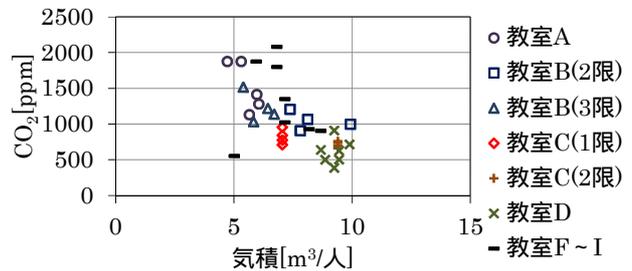


図 2-1-7 各教室の気積と最大二酸化炭素濃度

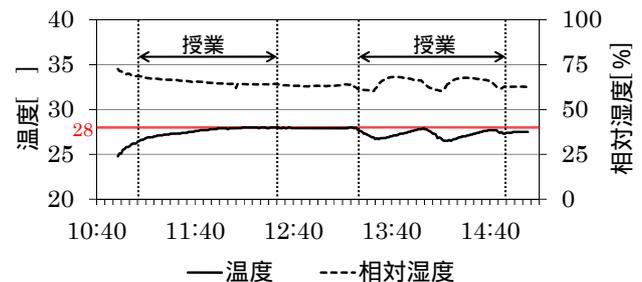


図 2-1-8 教室 B (9 月 28 日) の温湿度

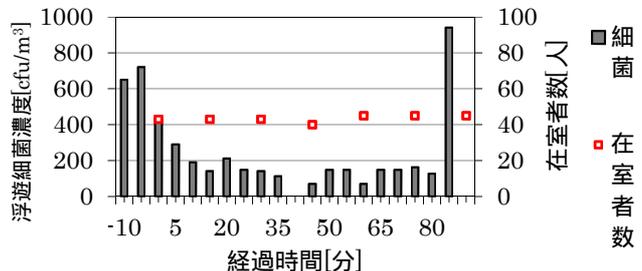


図 2-1-9 教室 D の時刻別細菌と在室者数

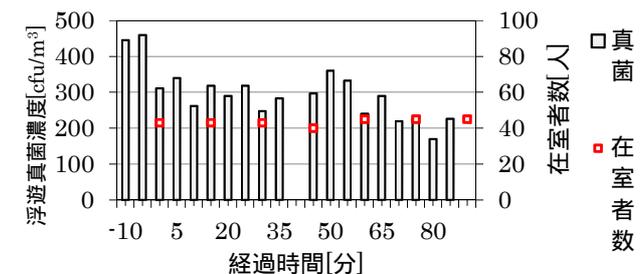


図 2-1-10 教室 D の時刻別真菌と在室者数

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 2-1-8 に示すように 28 まで温度が上昇するが、28 を超えることなく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/m<sup>3</sup>、浮遊真菌 2000 cfu/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 以下であったのに対し、教室 D は 400 cfu/m<sup>3</sup> 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 2-1-11 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 2-1-11 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 2-1-7 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適切な数値を述べるのが難しい。

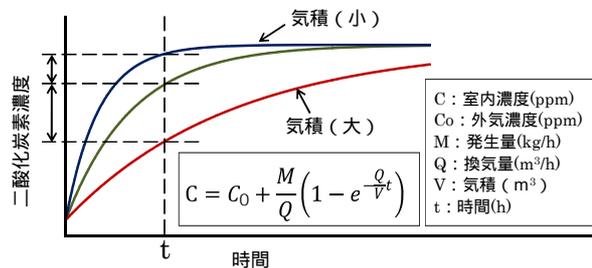


図 2-1-11 気積の違いによる二酸化炭素濃度の上昇のしかた

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。

### 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  
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

## 2-2 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<sup>1)</sup>。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<sup>2)</sup>。

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<sup>3)</sup>。

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 2-2-1 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 <sup>2</sup> ]	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	/	/	研究室	晴れ	壁掛け型1方向
	9月15日(土)	回収			3F				70.16	
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	/	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 56cm<sup>2</sup> 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

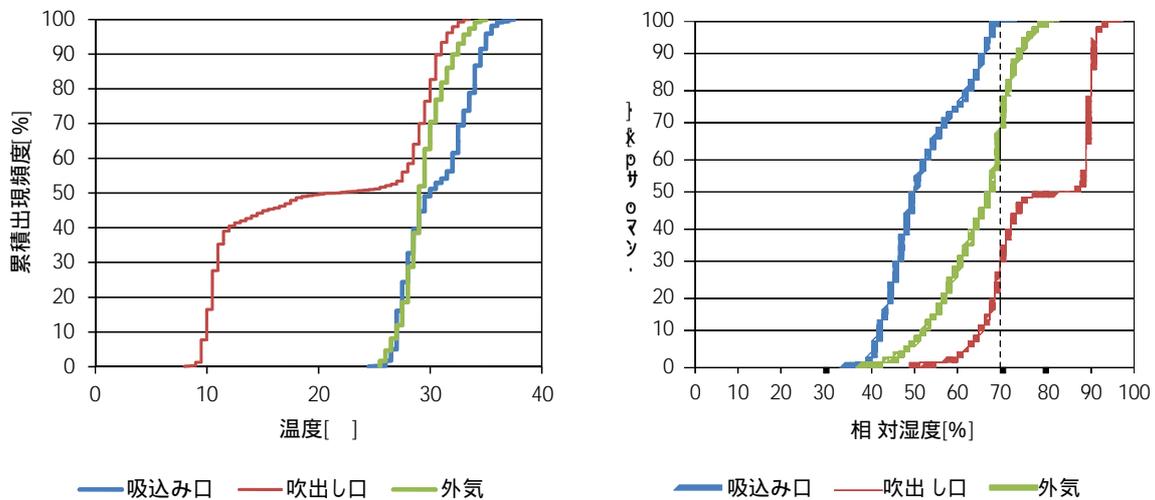


図 2-2-1 c ビル 3F の累積出現頻度（左:温度，右:相対湿度）

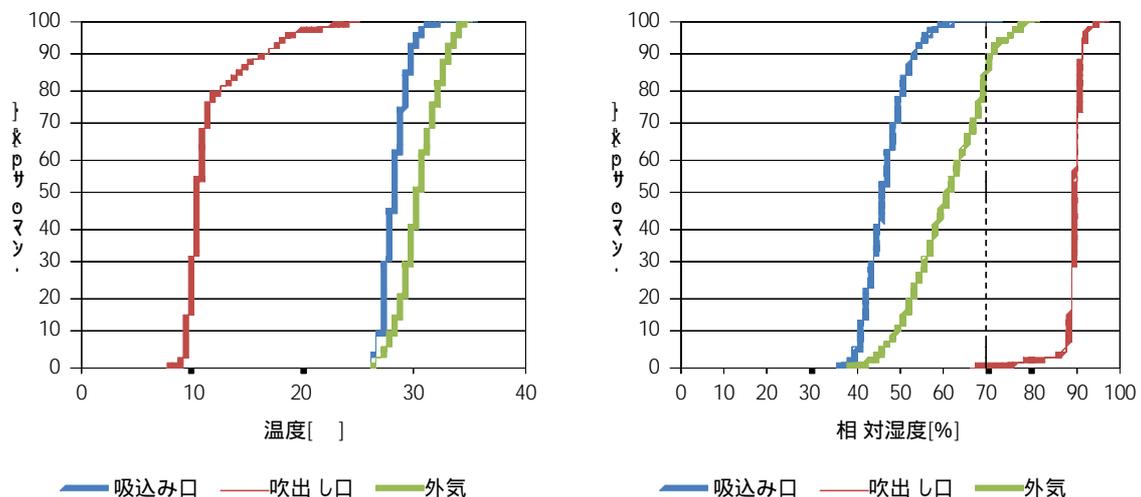


図 2-2-2 c ビル 3F 運転時の累積出現頻度（左:温度，右:相対湿度）

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<sup>4)</sup>。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2-2-1から図2-2-5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

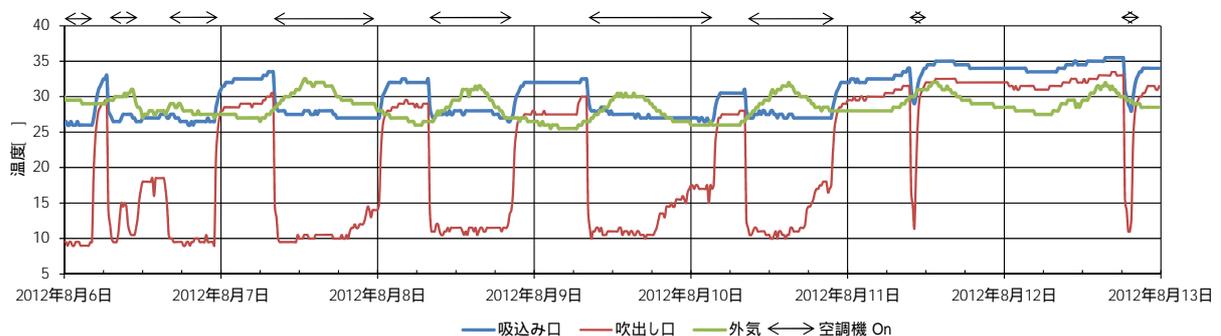


図 2-2-3 cビルパッケージ3Fの温度の経時変化の例

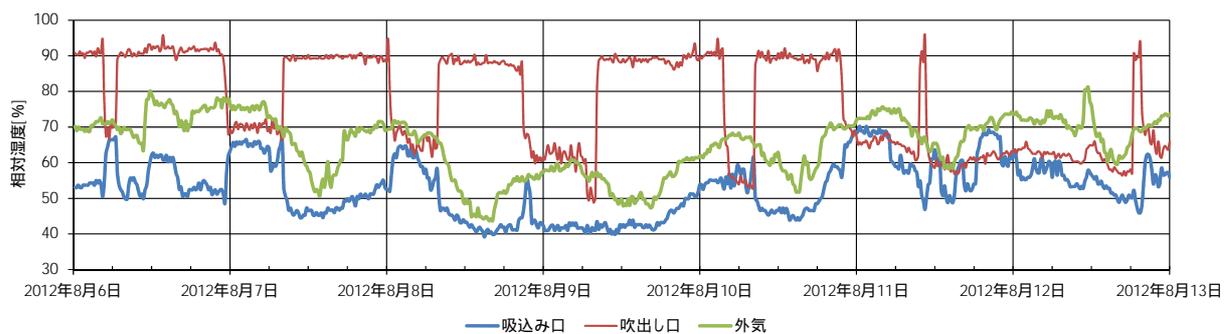


図 2-2-4 cビルパッケージ3Fの相対湿度の経時変化の例

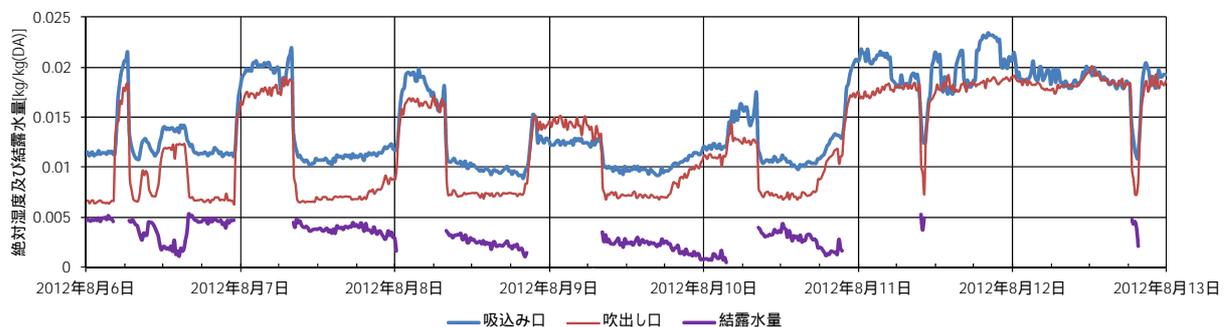


図 2-2-5 cビルパッケージ3Fの絶対湿度及び結露水量の経時変化の例

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2-2-6、浮遊真菌濃度変化を図2-2-7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2-2-8、付着真菌量を図2-2-9、その詳細を表2-2-2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

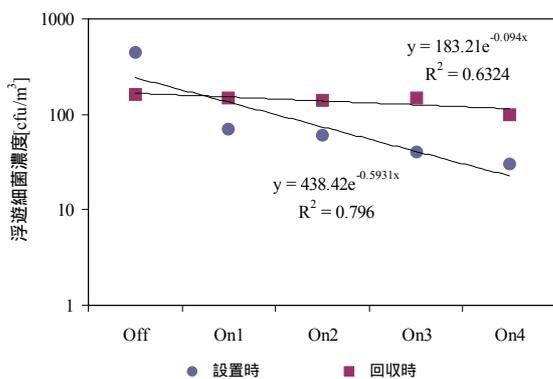


図 2-2-6 cビル3Fの浮遊細菌濃度変化

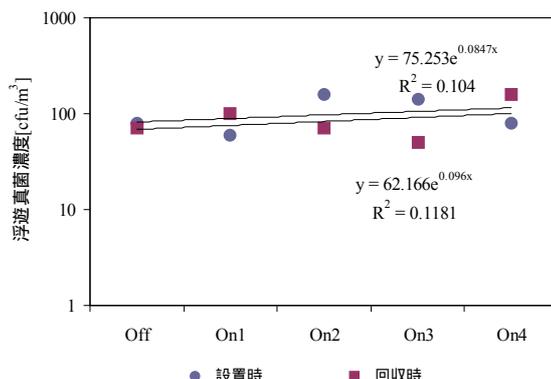


図 2-2-7 cビル3Fの浮遊真菌濃度変化

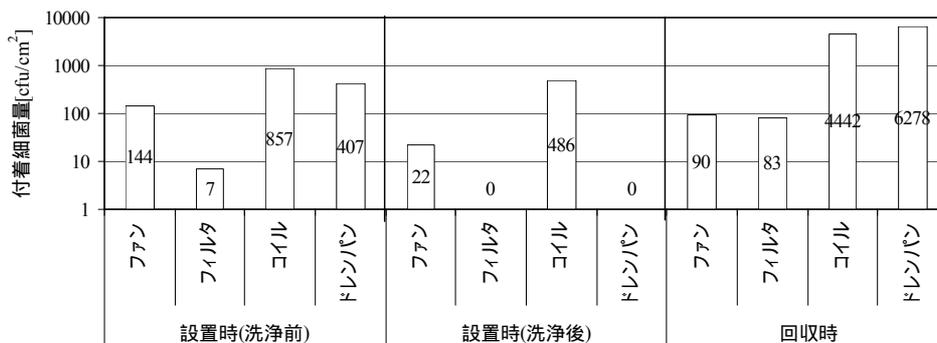


図 2-2-8 cビルパッケージ3Fの付着細菌量

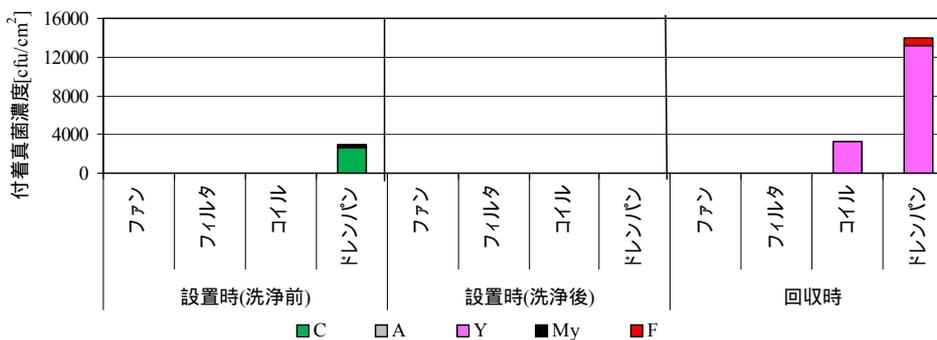


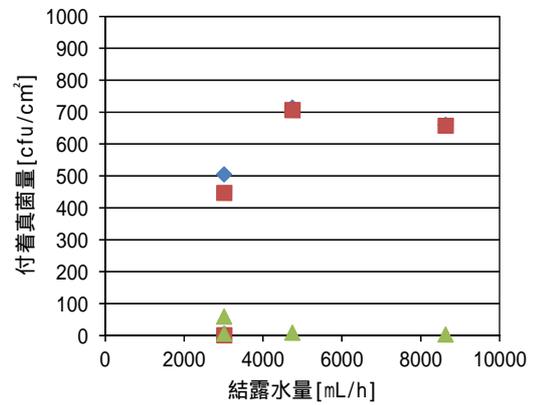
図 2-2-9 cビルパッケージ3Fの付着真菌量

表 2-2-2 c ビルパッケージ 3F の付着微生物量

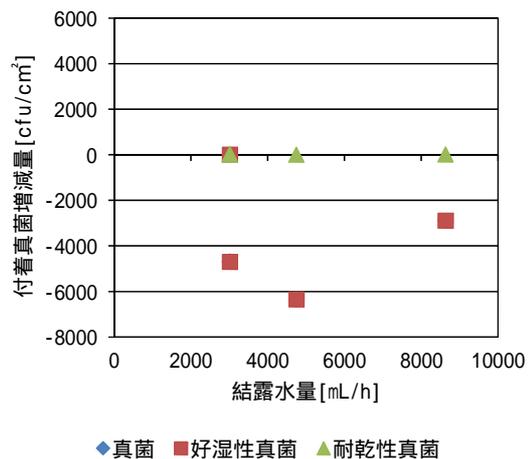
拭き取り法 (cfu/cm <sup>2</sup> )		細菌		真菌									
		総数	総数	C	A	A.n	P	Y	My	F	E	Pa	etc
設置時 (洗浄前)	ファン	144	50	4	4	40			4				
	フィルタ	7	22	4	4	7							4
	コイル	857	0										
	ドレンパン	407	2956	2642	22	4		148		151			18
設置時 (洗浄後)	ファン	22	0										
	フィルタ	0	0										
	コイル	486	4										4
	ドレンパン	0	4										4
回収時	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



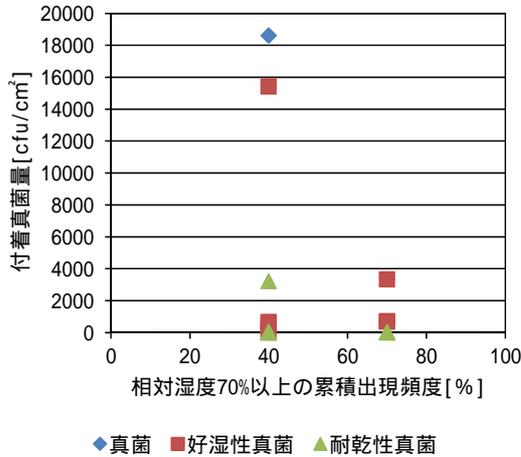
(b) 結露水と付着真菌増減量の関係

図 2-2-10 結露水量と付着真菌の関係図

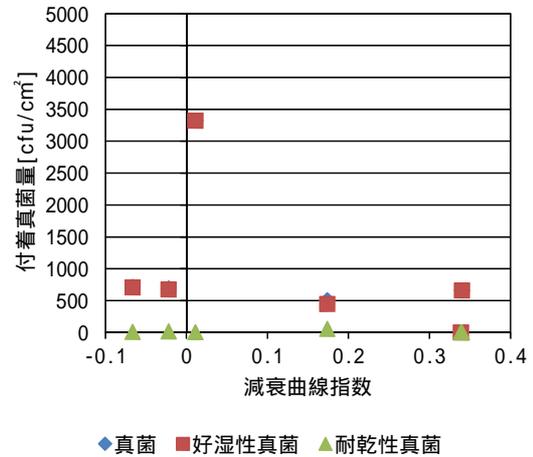
#### D. 考察

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。

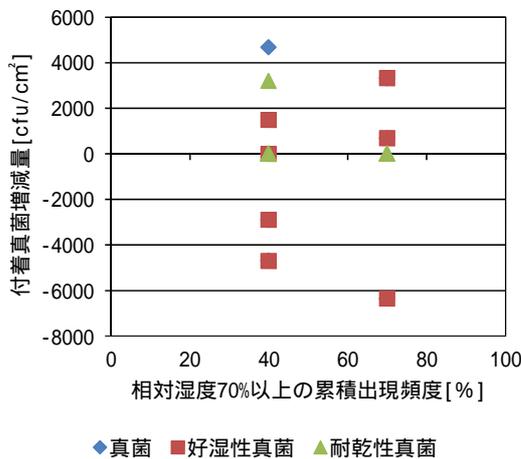
結露水量とコイルの付着真菌の関係を図 2-2-10、相対湿度 70%以上であった累積出現頻度とコイルの付着真菌の関係を図 2-2-11、回収時と設置時の減衰曲線指数の差とコイルの付着真菌の関係を図 2-2-12 にそれぞれ示す。今回の調査では結露水量や相対湿度 70%以上の累積出現頻度などの項目と付着真菌の有意な相関関係性はみられなかった。これは物件ごとに備え付けられている空調機の室内環境に違いがあるた



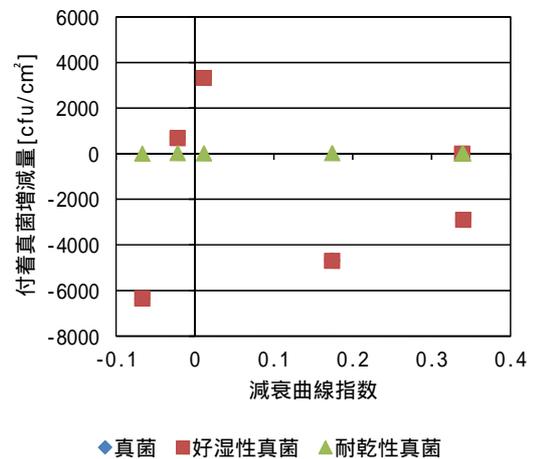
(a) 相対湿度と付着真菌量の関係



(a) 減衰速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



(b) 減衰速度と付着真菌増減量の関係

図 2-2-11 累積出現頻度と付着真菌の関係図

図 2-2-12 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

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

## 2-3 建築物における微小粒子状物質 (PM2.5) 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  $10\mu\text{m}$  以下の浮遊粉じんについて、 $0.15\text{mg}/\text{m}^3$  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  $2.5\mu\text{m}$  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 PM2.5 は存在する。そこで、PM2.5 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 (PM2.5) の概要

微小粒子状物質 (PM2.5) 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、PM2.5 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。濃度が低リスクの見られない都市の濃度は  $11\sim 13\mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  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 PM2.5 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。

#### PM2.5

日平均  $35\mu\text{g}/\text{m}^3$

(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  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$

(日平均値を年算術平均した値の 3 年平均値)

#### PM10

日平均  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$

(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 PM2.5 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  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、24 時間平均を  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  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  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下かつ 1 日平均値が  $35\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下としている。

### C. 文献調査結果

PM2.5 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 (PM2.5, PM1.0, PM0.50, PM0.25) 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 チャンネルのエアロゾルスpektロメーターを用いた。サンプリング中の流量は  $1.2\text{L}/\text{min} \pm 5\%$  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  $0.25\sim 32\mu\text{m}$  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<sub>2.5</sub>, PM<sub>1.0</sub>, PM<sub>0.5</sub>, PM<sub>0.25</sub> 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ことわかる。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<sub>2.5</sub> の濃度の調査および、クウェートの地域別の室内 PM<sub>2.5</sub> 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 つの淡水処理プラントと 3 つの石油精製所がある場所である。PM<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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 $\mu\text{m}$  の範囲の粒径分布は SMPS で測定した。0.02~1 $\mu\text{m}$  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 $\mu\text{m}$  の粒径分布を測定した。PM<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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には 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 PM2.5 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, PM2.5 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 (> PM2.5) の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、PM2.5、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<sup>-1</sup>(PM10,PM2.5)、23Lmin<sup>-1</sup>(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。PM2.5 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。PM2.5 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(PM2.5,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 PM2.5 と PM1 と SH の相関があまりないという事を明らかにした(PM2.5,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 と空気温度の間で高い相関がみられなかった。

#### D. 調査文献リスト

- ・若松伸司：PM2.5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  $\mu\text{m}$  (PM2.5) 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 PM2.5 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 PM2.5 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, PM2.5, 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 PM2.5 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 PM2.5 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, PM2.5, and PM1 in a classroom, *Environmental Research*, 99, 143-149, 2005.
- ・Peter Molnár, Tom Bellander, Gerd Sällsten, Johan Boman: Indoor and outdoor concentrations of PM2.5 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 PM2.5 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 2.5 $\mu\text{m}$  (PM2.5) in residential homes locations in central Indian region; *Building and Environment*, 44, 2037-2045, 2009.
- ・J.Wichmann, T.Lind, M.A.-Nilsson, T. Bellander: PM2.5, 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 PM2.5 generated from cooking in homes, *Atmospheric Environment*, 45, 6141-6148, 2010.
- ・Radha Goyal, Mukesh Khare: Indoor air quality modeling for PM10, PM2.5 and PM1.0 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 PM2.5 in different residential environments, *Atmospheric Environment*, 56, 65-68, 2012.