

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

2. 健康危機に対応した環境衛生管理項目の検討

分担研究者 東 賢一 近畿大学医学部

研究要旨

近年、「温度」、「相対湿度」、「二酸化炭素」について、建築物衛生法の建築物環境衛生管理基準に適合しない特定建築物の割合（不適率）が、特に事務所において上昇傾向にある。また、室内の微生物汚染や大気中の超微小粒子汚染、VDU（パソコン等のディスプレイ装置）作業に与える低湿度の影響など、室内環境や建物外の大気汚染による健康影響が近年示唆されている。そこで本研究では、これらの背景を踏まえ、建築物の管理者や利用者に対するアンケート調査と室内環境の測定調査を実施し、建築物における衛生的環境の維持管理の実態や、建築物利用者の健康状態や職場環境等の実態を把握する。

平成 25 年度冬期に実施したアンケート及び実測調査のデータを解析・整理した。総じて目の症状、非特異症状、上気道症状の有症率が高く、前年度までの厚生労働科学研究の結果と同様であった。空気質では、建築物衛生法の相対湿度の基準、PM_{2.5} の環境基準を満たしていない建物が散見された。また、平成 26 年度冬期に実施した室内環境測定結果をまとめた。冬期 5 ビルの実測結果から、冬期の低湿が確認された。そのうちの中央方式の 1 ビル（T-01）は 40%RH を上回ったが、他の個別方式の 4 ビルは 40%RH を下回っており、個別方式における低湿の問題はより深刻であることが示された。

今後、室内環境因子として考慮が必要な PM_{2.5}、エンドトキシン濃度、総合温熱指標（PMV、SET*）について、測定目的及び重要性について説明している。建築物内での PM_{2.5} の計測については、I/O 比が 1 を下回っていても、粒径によっては上回っている粒径もあり、除じんの効果が高く、室内発生が認められることとなり、粒径別の室内粒子の現状について、把握することも重要と考えられる。微生物は培養法が基本となっているため、結果算出までは時間を要する。次年度からは室内及び空調機器の微生物汚染度合いを示すためのバロメータとしてエンドトキシンを挙げ、現場測定及び既存の培養法との比較研究を通じ、その活用可能性を模索する。人体周辺からの放射が大きく影響する室内温熱環境は、建築物衛生法が測定対象としてきた温度・相対湿度・気流の 3 要素のみでは適切な環境評価が難しく、新技術の導入・建物性能の変化とそれによる室内温熱環境の変化・在室者の認識変化など社会的要求を十分に反映することが難しくなっている。そのため、温度・相対湿度・気流に加え、放射温度・代謝量・着衣量までを考慮した総合温熱指標である PMV および SET* の測定と評価について検討する。

研究協力者

大澤元毅 国立保健医療科学院
鍵 直樹 東京工業大学情報理工学研究科
柳 宇 工学院大学建築学部
金 勲 国立保健医療科学院
奥村龍一 東京都健康安全研究センター
河野彰宏 大阪市役所生活衛生課

2. 健康危機に対応した環境衛生管理項目の検討

オフィスビルの室内環境は建物性能や設備機器の性能向上、省エネルギーと生産性向上への要求などから昔とは異なる傾向を呈してきている。一方、微生物汚染や大気中の超微小粒子汚染、VDU（パソコン等のディスプレイ装置）作

業に与える低湿度の影響など、室内環境や建物外の大気汚染による健康影響が近年示唆されている。

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

本研究は以下内容から構成される。

建築物の管理者や利用者に対するアンケート調査

室内環境の測定調査

- ・ 温度，相対湿度，浮遊粉じん濃度
 - ・ 浮遊真菌・細菌濃度，PM_{2.5}，化学物質濃度
- 今後さらに検討が必要な環境因子及びその測定方法

- ・ PM_{2.5}
- ・ エンドトキシン濃度
- ・ 総合温熱指標の考慮：PMV，SET*

2-1 職場環境と健康に関する調査

A. 研究目的

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

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

平成 25 年度までの厚生労働科学研究費による調査では、2 回（夏冬）の断面調査を実施した。その結果、建物室内関連症状の有症率は、

1990 年代に調査された米国の大規模オフィスビルほどではないが、日本でも少なからず残っており、温湿度環境、薬品や不快臭、ほこりや汚れ、騒音、居室の改装、温湿度や二酸化炭素の建築物環境衛生管理基準に対する不適合との関係等の可能性が示唆された⁴⁾。

現在、建築物衛生法に基づく環境衛生管理基準の測定及び点検は、6 回/年実施することとなっている。事務所労働者の症状に関するリスク要因や、維持管理上の問題を明らかにするためには、平成 25 年度までの調査で行った 2 回の断面調査だけでは十分とは言えない。年間を通じた縦断調査が必要である。そこで、本調査では、調査事務所数を全国数地点の数十件程度に絞ったうえで、2 年間（2 ヶ月ごとに中間評価を実施）の前向き縦断調査を実施する。そして、事務所に勤務する従業員の症状に関するリスク要因と建築室内環境における維持管理上の問題点について、より高い科学的エビデンスを得る。なお、本年度は、平成 25 年度冬期（平成 26 年 2 月に調査実施）における調査結果の整理も行ったので、その結果も報告する。

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

B. 研究方法

B.1 平成 25 年度冬期における断面調査

B.1.1 調査対象

前年度までの厚生労働科学研究⁴⁾において、平成 25 年 1 月～3 月（平成 24 年度冬期）と平成 25 年 8 月～9 月（平成 25 年度夏期）に調査を行った建物のうち、引き続き平成 26 年 2 月にも協力していただいた建物を調査した。

SBS 関連症状については、全国規模のアンケート調査で実施した調査項目において、NIOSH の 5 つの主症状（目の症状、非特異症状、上気道症状、下気道症状、皮膚症状）のうち、1 つ以上を有するものをクライテリアとした。そして、調査を実施した建物において得られた回答のうち、そのクライテリアを満たす従業員の割合を有症率と定義した。

B.1.2 調査項目

空気質としては、温度、相対湿度、一酸化炭素、二酸化炭素、浮遊粉じん、PM_{2.5}、PM₁₀、粒径別粉じん濃度(0.3μm以上、0.5μm以上、0.7μm以上、1.0μm以上、2.0μm以上、5.0μm以上)、揮発性有機化合物(ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、p-ジクロロベンゼン、テトラデカン、フタル酸ジブチル(DBP)、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル(DEHP)、総揮発性有機化合物(TVOC)、真菌濃度、細菌濃度を計測した。

計測用の試料は、各事務所の1フロアの一点及び外気について、30分間の採取を行った。また、事務所1件あたりに従業員用調査票を協力可能な限り配付した。従業員用調査票は無記名とし、調査票記入後、無記名の封書に厳封して管理者用調査票とまとめて郵送により回収した。これらの調査票は、前年度までの厚生労働科学研究⁴⁾で使用した調査票と同じものである。

B.2 平成26年度から実施する縦断調査

B.2.1 研究デザイン

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

調査票によるアンケートは2ヶ月に1回、温

湿度は連続測定、その他の項目は4ヶ月に1回の頻度で実施する。

B.2.2 調査対象

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

調査対象の事務所を選定するにあたり、東京都健康安全研究センタービル衛生検査係と大阪市生活衛生課を通じた情報公開請求で得た情報をもとに、実態調査依頼書を建築物管理者に送付した。調査依頼は、大阪市1543施設、東京都1582施設であり、大阪市と東京都に届け出されている全ての施設に調査依頼書を郵送した。調査依頼書の発送は、平成27年1月20日に実施した。

B.2.3 自記式調査票

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

(倫理面での配慮)

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

表 2-1-3 空気質の測定結果

管理 用ID	温度 (℃)	湿度 (%)	一酸化炭 素(ppm)	二酸化炭 素(ppm)	粉じん(μ g/m ³)	PM _{2.5} (μ g/m ³)	PM ₁₀ (μ g/m ³)	ホルムア ルデヒド (μg/m ³)	アセトアル デヒド(μ g/m ³)	トルエン (μg/m ³)	エチルベ ンゼン(μ g/m ³)	TVOC(μ g/m ³)	真菌 (cfu/m ³)	細菌 (cfu/m ³)
T-03	24.7	47.5	0.1	876	10.8	19.1	20.7	14.1	8.1	11.2	3.7	169.4	5	315
0-05	20.8	39.8	0.1	907	43.7	112.8	116.2	7.2	5.6	13.8	4.7	155.1	30	780
0-07	21.6	28.8	0.1	705	70.9	144.1	146.4	7.9	6.0	13.3	4.4	29.8	5	1695
0-08	22.9	44.8	0.1	925	46.2	111.0	113.8	7.0	6.9	11.0	3.1	22.4	15	90
0-09	23.2	27.8	0.1	739	48.3	130.9	132.1	7.2	11.4	80.5	21.0	182.0	5	1495

C. 研究結果および考察

C.1 平成 25 年度冬期における断面調査

C.1.1 建物の基本属性

表 2-1-1 に調査を実施した建築物の概要を示す。東京 1 件、大阪 4 件で合計 5 件の建物で調査を行った。従業員への回答は、事務所の従業員ほぼ全てから得られた。O-08 の事務所はほとんどが男性であり、平均年齢も 50.6 歳と最も高かった。

表 2-1-1 調査を実施した建物の概要

管理用ID	地域	建築物衛生法	空調方式	従業員回答数	男性比率	平均年齢	喫煙率(%)	喫煙対応
T-03	東京	特定	個別	59	78.0	43.1	44.1	禁煙
O-05	大阪	特定	中央・個別	19	61.1	46.0	15.8	禁煙
O-07	大阪	特定	個別	20	55.0	40.8	25.0	完全分煙
O-08	大阪	特定	個別	18	94.4	50.6	27.8	完全分煙
O-09	大阪	特定	中央	9	88.9	49.4	33.3	禁煙

C.1.2 主症状の有症率と空気質

表 2-1-2 にそれぞれの建物の事務所における主症状の有症率、表 3 に空気質の測定結果を示す。空気質の測定結果では、欠測データが多かった測定項目は除外した。

表 2-1-2 主症状の有症率

管理用ID	目の症状	非特異症状	上気道症状	下気道症状	皮膚症状	いずれかの症状
T-03	25.5	17.6	19.1	1.8	9.3	38.8
O-05	17.6	11.8	6.7	0	5.6	28.6
O-07	22.2	10.5	6.7	0	5	31.3
O-08	5.6	0	12.5	0	0	12.5
O-09	0	0	0	0	0	0

有症率では、総じて目の症状、非特異症状、上気道症状の有症率が高く、前年度までの厚生労働科学研究の結果⁴⁾と同様であった。空気質の測定を行った建物の数が限られていたため、本データのみでの症状と空気質との関係に関する統計解析は実施しなかった。全体的には、T-03、O-05、O-07 の建物で有症率が高かった。

空気質では、O-07 と O-09 の建物で相対湿度が建築物衛生法の環境基準を大きく下回っていた。また、PM_{2.5}濃度は、大阪で測定した 4 施設

(O-05、O-07、O-08、O-09) で 1 日平均値の環境基準 (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) を上回っており、注意喚起の判断に用いる午前 5 時から 12 時の 1 時間値 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ も上回っていた。O-05、O-07、O-08、O-09 のそれぞれの測定日時は、平成 26 年 2 月 26 日 9 時 20 分から同 40 分、同日 14 時 5 分から同 25 分、同日 15 時 55 分から同 16 時 15 分、同日 14 時 10 分から同 30 分であり、外気濃度はそれぞれ 226 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、129 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。従って、この日は測定を実施した地域で外気濃度が高く、外気から室内にも PM_{2.5} が高い比率で侵入し、室内濃度を上昇させていた。また、その濃度は、注意喚起のための暫定指針値である 1 日平均値 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を上回っていたと考えられる。

アルデヒド類と揮発性有機化合物の濃度は、いずれの施設でも厚生労働省の室内濃度指針値や TVOC の暫定目標値を十分に下回っていた。浮遊真菌の濃度は、いずれの施設でも日本建築学会の維持管理基準 50 cfu/m³ を下回っていた。浮遊細菌濃度は、O-05、O-07、O-09 の建物で日本建築学会の維持管理基準 500 cfu/m³ を上回っていた。

C.2 平成 26 年度から実施する縦断調査

現在、調査依頼書に付した回答書の回収中である。平成 27 年 3 月 3 日時点で、東京都で 16 施設、大阪市で 9 施設から調査協力可能との回答を得ている。また、調査協力する方向で社内稟議中と電話等で連絡をいただいた施設もあり、最終的にはさらに増える見込みである。

調査依頼への回答の回収終了後、過去 1 年間の不適率の状況、空調設備の種類、加湿器の種類、延床面積などをもとに、調査対象施設事務所を選定する予定である。その後、対象施設との打ち合わせを行った後、事務所 1 件あたりに管理者用調査票 1 部、当該事務所に勤務する従業員用全員に従業員調査票を配布する予定である。管理者用及び従業員用調査票は、調査票記入後、封書に厳封して個別に郵送等で回収する。そして、回答者に ID を付して連結票を作成し、これ以降の縦断調査を行う。

D. 総括

平成 25 年度冬期に実施した実態調査のデータを整理したところ、総じて目の症状、非特異症状、上気道症状の有症率が高く、前年度までの厚生労働科学研究の結果と同様であった。空気質では、建築物衛生法の相対湿度の基準、PM_{2.5} の環境基準を満たしていない建物が散見された。

また、次年度以降に大阪市と東京都の事務所用途の特定建築物に対する縦断調査を行うにあたり、調査対象施設に関する情報の入手と調査依頼を行った。平成 27 年 1 月に大阪市 1543 施設、東京都 1582 施設に調査依頼書を郵送し、現在回収中である。次年度以降、本調査を実施する予定である。

E. 参考文献

- 1) 大澤元毅ら：建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究，平成 21～22 年度総括・分担総合研究報告書，厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業，2011 年 3 月。
- 2) 大澤元毅ら：建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究，平成 21 年度総括・分担総合研究報告書，厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業，2010 年 3 月。
- 3) 東 賢一．建築室内環境に関連する症状とそのリスク要因—日本におけるシックビルディング症候群の現状—．保健医療科学 63(4):334–341, 2014.
- 4) 大澤元毅ら．建築物環境衛生管理及び管理基準の今後のあり方に関する研究，平成 25 年度総合研究報告書，厚生労働科学研究費補助金健康安全・危機管理対策総合事業，2014 年 3 月。
- 5) US Environmental Protection Agency: A standardized EPA protocol for characterizing indoor air quality in large office buildings. Washington, D.C., US Environmental Protection Agency, 2003.
- 6) National Institute for Occupational Safety and Health: Indoor Air Quality and Work Environment Symptoms Survey, NIOSH Indoor Environmental Quality Survey. Washington, DC: NIOSH, 1991.
- 7) Andersson K: Epidemiological approach to indoor air problems. *Indoor Air* 4 (suppl): 32–39, 1998.
- 8) 厚生労働省: 職業性ストレス簡易調査票, 2005.

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 東 賢一．建築室内環境に関連する症状とそのリスク要因 日本におけるシックビルディング症候群の現状 ．保健医療科学 63(4):334–341, 2014.
- 2) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Prevalence and risk factors associated with nonspecific building-related symptoms in office employees in Japan: relationships between work environment, Indoor Air Quality, and occupational stress. *Indoor Air*, Epub ahead of print. DOI: 10.1111/ina.12158.
- 3) 東 賢一．室内化学物質規制に関する国内外の動向. ビルと環境, 第 148 号, pp. 6–19, 2015.
- 4) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Nonspecific building-related symptoms of office employees and indoor air quality of the work environment: a surveillance study for their relevance in office buildings in Japan. *Proceedings of the Healthy Buildings 2015 Europe*, 6 pages, in press, 2015.

2. 学会発表

- 1) 高野大地, 池田耕一, 東 賢一, 鍵 直樹, 柳 宇, 大澤元毅. 建築物利用者の職場環境と健康に関するアンケート調査. 第 31 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, 早稲田大学, 2014 年 5 月 20-21 日.
- 2) 東 賢一, 池田耕一, 鍵 直樹, 柳 宇, 下平智子, 大澤元毅. オフィスビル労働者の

ビル関連症状とリスク要因に関する調査.
第84回日本衛生学会学術総会, 岡山コンベンションセンター, 2014年5月25-27日.

- 3) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Shimodaira T, Osawa H. Prevalence of and Risk Factors for Nonspecific Building-Related Symptoms in Employees Working in Office Buildings: Relationships among Indoor Air Quality, Work Environment, and Occupational Stress in Summer and Winter. 13th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Hong Kong, China, July 7-12, 2014.
- 4) Azuma K, Uchiyama I, Katoh T, Ogata H, Arashidani K, Kunugita N. Risk factors for self-reported chemical intolerance: a two-year follow-up study. 26th Annual International Society for Environmental Epidemiology Conference, Seattle, Washington, USA, August 24-28, 2014.
- 5) 東 賢一, 鍵 直樹, 柳 宇, 大澤元毅, 金 勲, 池田耕一. 建築物利用者の健康と職場環境の空気質との関係に関する調査. 平成26年度空気調和・衛生工学会大会, 秋田大学, 2014年9月3-5日.
- 6) 東 賢一, 池田耕一. オフィスビル労働者のビル関連症状とリスク要因に関する全国規模の調査研究. 第88回日本産業衛生学会, 大阪, 2015年5月13日-5月16日. (予定)
- 7) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Osawa H. Nonspecific building-related symptoms of office employees and indoor air quality of the work environment: a surveillance study for their relevance in office buildings in Japan. Healthy Buildings 2015 Europe, Eindhoven – The Netherlands, May 18-20, 2015. (予定)
- 8) Azuma K. Indoor air quality and health effects in Japanese offices. 31st International Congress on Occupational Health, Seoul – Korea, May 31-June 5, 2015. (予定)

G. 知的財産権の出願・登録状況(予定含む)
予定なし

2-2 冬期におけるオフィスビル内空気環境の測定

A. 測定対象

前年度の2013年8月23日から9月11日間に測定した対象のうち、表 2-2-1 に示す対象を2014年2月21日から2月26日の間に同様な測定を行った。

B. 測定項目

測定は表 2-2-2 に示すように、浮遊微生物、室内・気温湿度、粒子径別浮遊粒子個数濃度、PM_{2.5}、PM₁₀の濃度、一酸化炭素濃度(CO)、二酸化炭素濃度(CO₂)などについて行った。

C. 測定方法

C.1 温湿度

室内温湿度の測定には、温湿度データロガー(Thermo Recorder TR-72U, T&D社製)を使用した。机上等に約1か月間設置し、5分間隔の連続測定を行った。外気温湿度の測定には、ボタン型温湿度データロガー(Knラボラトリーズ

製)を使用した。

C.2 浮遊細菌・真菌

浮遊細菌と真菌のサンプリングにバイオサンプラーMBS-1000(ミドリ安全社製)を使用し、室内の机上(IA)、給気口(SA)、屋外(OA)の3か所でサンプリングを行った。IA、SA、OAそれぞれ2回ずつサンプリングし、室内、給気口、屋外ともに100L/minで行った。細菌の測定にはソイビーンカゼイン寒天培地(SCD培地)、真菌の測定にはジクロラン・グリセロール寒天培地(DG-18培地)を用いた。

サンプリング終了後、インキュベーター(IQ820, Yamato社製)内で、DG-18培地は25・5日間、SCD培地は32・2日間で培養した。培養後、コロニーカウンター(柴田製)を用い、培地上の全コロニー数を計測し、真菌については実態顕微鏡(SZX71 オリンパス製)、生物顕微鏡(CKX41 オリンパス製)を用いて形態学的による同定を行った。

表 2-2-1 測定対象の概要

冬季							
2/21(金)PM	T-01	東京都新宿区	地上27階地下2階	1999	737.28	AHU+ダクト	晴れ
2/26(水)AM	O-01	大阪府茨木市	地上5階	1993	245.76	個別+外調機	晴れ
2/26(水)AM	O-02	大阪府箕面市	地上4階	1996	609.82	個別	晴れ
2/26(水)PM	O-03	大阪府池田市	地上5階	2007	454	個別+中央	晴れ
2/26(水)PM	O-04	大阪府池田市	地上5階	1968	136.96	個別+中央	晴れ

表 2-2-2 測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器	測定場所		
		室内(IA)	外気(OA)	給気口(SA)
室内温湿度	温湿度データロガー			
外気温湿度	ボタン型温湿度データロガー			
浮遊微生物	真菌	バイオサンプラー		
	細菌			
粒子径別浮遊粒子濃度(個数)	パーティクルカウンター			
PM _{2.5} 、PM ₁₀ の粒子濃度(質量)	デジタル粉じん計			
CO、CO ₂	IAQモニタ			
VOC	Tenax-TA管			
HCHO	DNPHカートリッジ			

C.3 粒径別浮遊粒子個数濃度

粒径別浮遊粒子個数濃度の測定は、パーティクルカウンターKR12A (RION 製) を用いた 1 分間隔の連続測定を行った。なお、測定時間帯の 20~30 分間であった。PM_{2.5}, PM₁₀ の濃度の測定に DustTrak II 8530 (TSI 製) を用いた。

C.4 CO₂・CO

CO₂ と CO の濃度の測定に、IAQ モニタ形式 2211 (KANOMAX 製) を用いた。

D. 結果

D.1 温湿度

図 2-2-1 と図 2-2-2 に空調運転時間帯の室内温度と相対湿度の四等分値 (最大値, 75%タイル値, 中央値, 25%タイル値, 最小値) を示す。

室内温度は 14.4 ~ 27.8 , 相対湿度は 22~57% の範囲で変動するものの, 温度と相対湿度の中央値はそれぞれ 21.2 ~ 25.9 , 28 ~

45%であった。温度については, 最小値 (立ち上がり時) を除けば, 全て建築物衛生法の管理基準 17~28 を満足している。相対湿度については, T-01 ビルが管理基準値 40~70% を満足しているのに対して, O-02 の 75%タイル値, O-01 と O-04 の中央値, O-03 の 25%タイル値は 40% を下回っていた。

T-01 はエアハンドリングユニットを備えている中央方式であるのに対して, O-01 ~ O-04 はパッケージを有する個別方式であった。個別方式での加湿が難しいことが確認された。

図 2-2-3 ~ 図 2-2-7 に各測定対象の室内温湿度の経時変化を示す。温湿度は 2 月 21 日から 3 月 24 日 (東京), 2 月 26 日から 3 月 19 日 (大阪) の間の 5 分間隔の連続測定結果である。温湿度の日変動の特性が示されている。相対湿度の最も低い O-02 については, 常に 40% を下回った水準で推移していることが分かった。

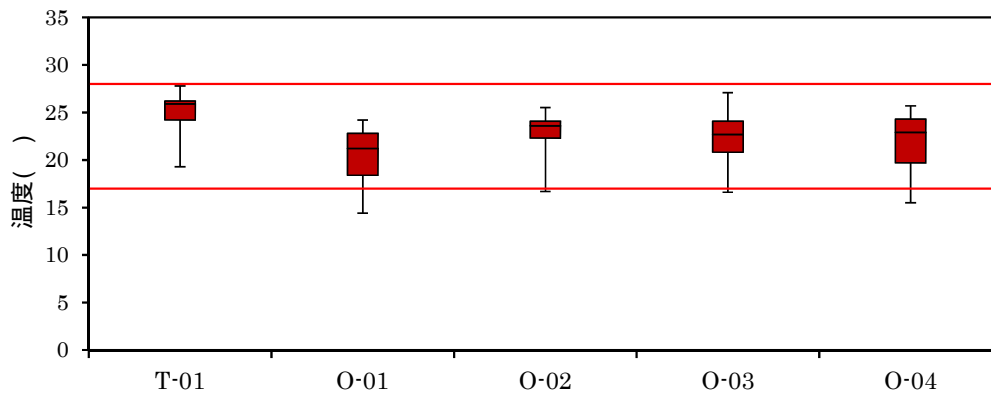


図 2-2-1 測定対象の概要

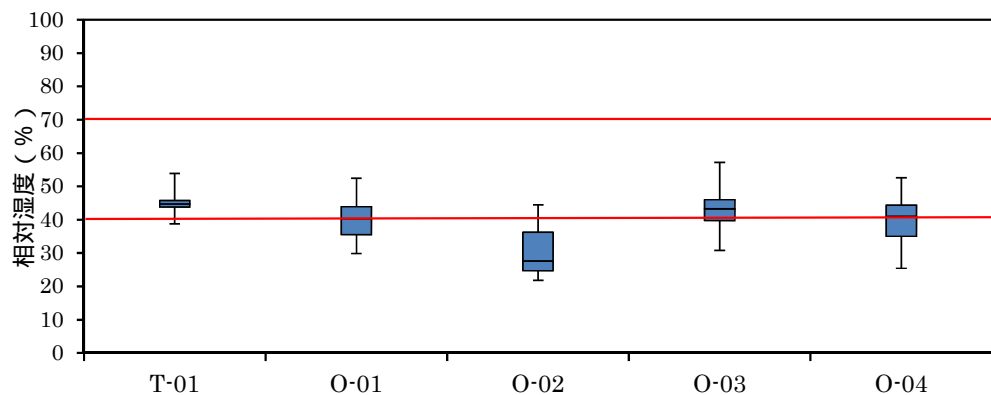


図 2-2-2 測定項目及び測定機器

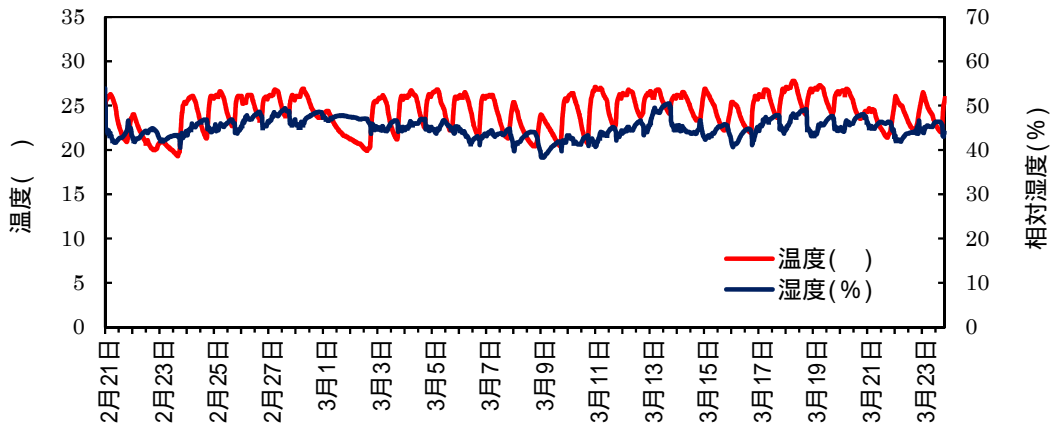


図 2-2-3 温湿度の経時変化 (T-01)

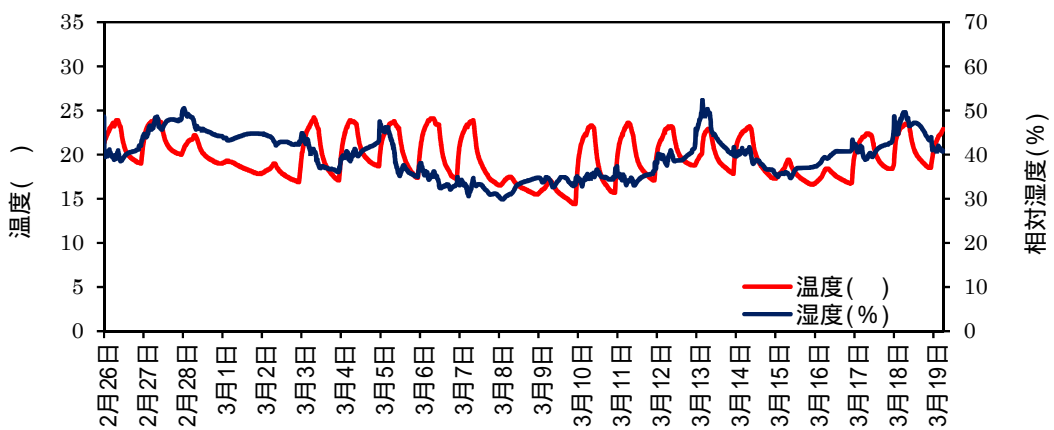


図 2-2-4 温湿度の経時変化 (O-01)

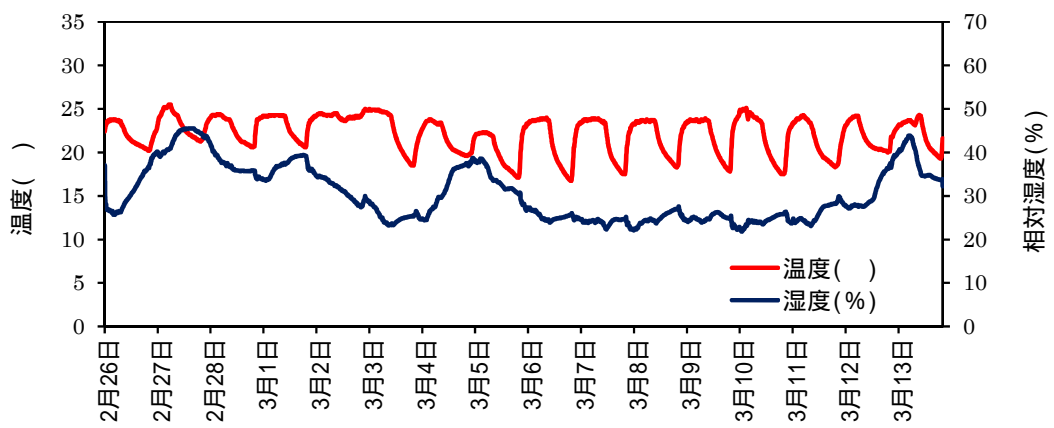


図 2-2-5 温湿度の経時変化 (O-02)

D.2 浮遊粒子濃度

図 2-2-8 と図 2-2-9 にそれぞれ室内，外気の PM_{2.5}，PM₁₀ の粒子濃度を示す。赤線はそれぞれ大気汚染の PM_{2.5} の 1 日平均の基準値

35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM₁₀ の 1 日平均の基準値 0.10mg/ m³，建築物環境衛生管理基準の 0.15mg/ m³ を表している。PM_{2.5} の室内については，環境基準はないため，参考として大気の基準値と比較して

いる。PM_{2.5} の濃度において、室内で基準値を超えていたのは大阪の 4 件で、4 件とも 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えていた。外気の基準値を超えているのも同様に大阪の 4 件が大きく上回る結果となっている。O-01 が一番高く基準値の 6.4 倍の

225 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。PM₁₀ の粒子濃度において、室内で基準値を超えているものはなかった。外気の基準値においては、大阪の 4 件が超えるという結果となった。PM_{2.5}, PM₁₀ の結果から室内、外気問わず大阪の 4 件がほとんどの基

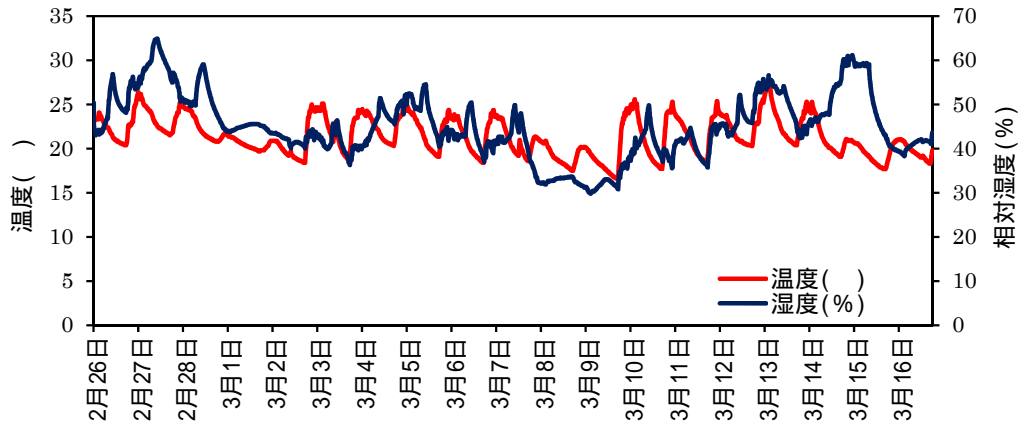


図 2-2-6 温湿度の経時変化 (O-03)

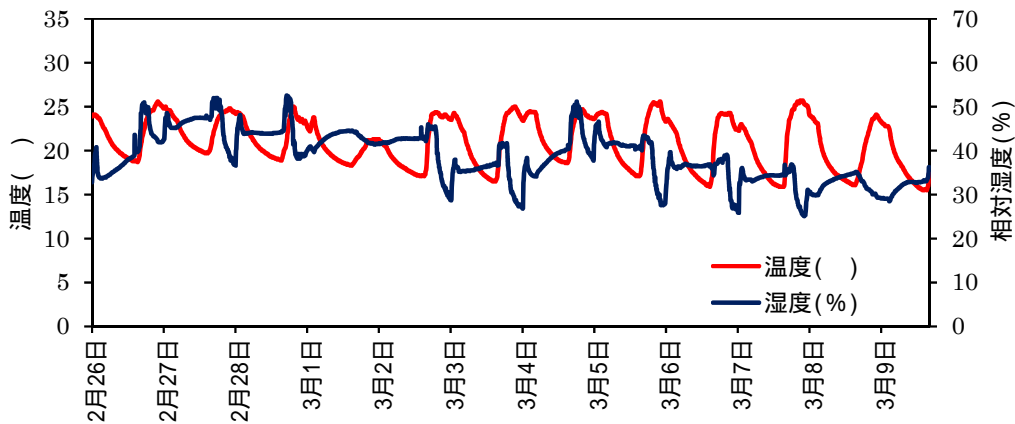


図 2-2-7 温湿度の経時変化 (O-04)

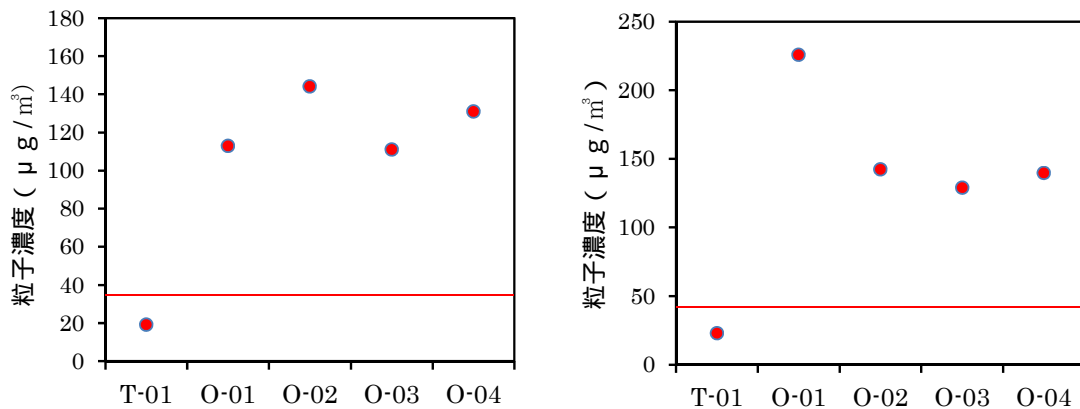


図 2-2-8 PM_{2.5} の粒子濃度(左:室内 右:外気)

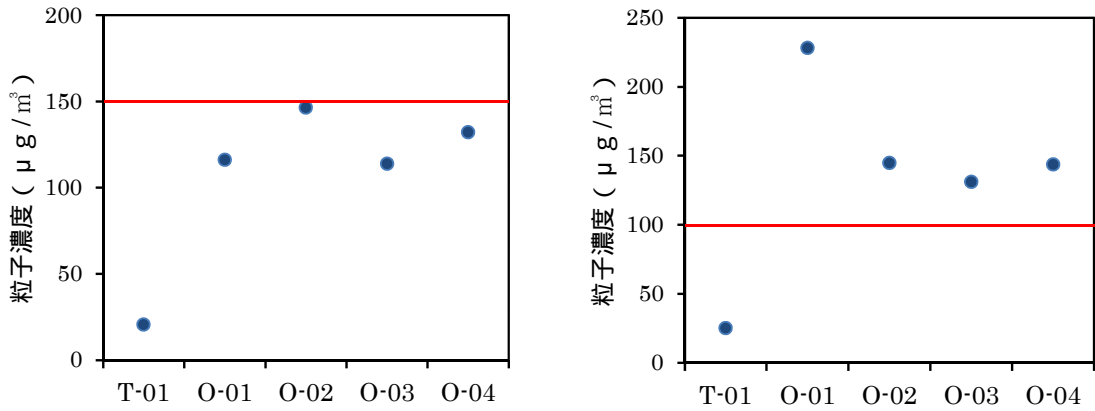


図 2-2-9 PM₁₀ の粒子濃度(左:室内 右:外気)

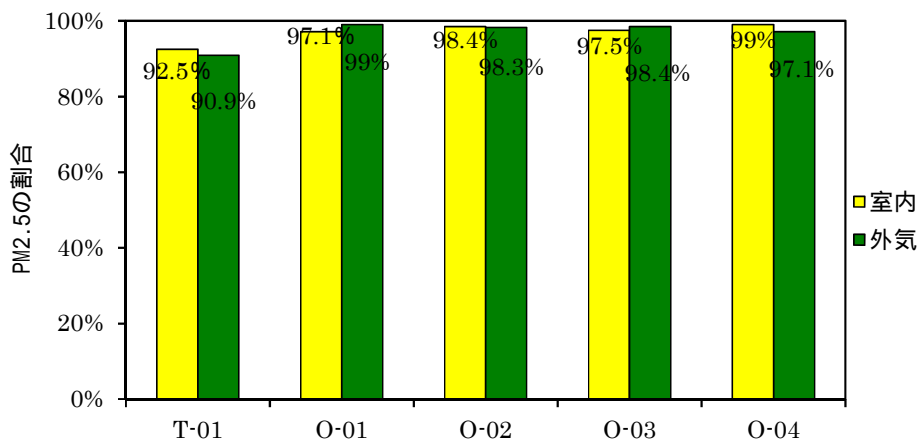


図 2-2-10 PM₁₀ 中の PM_{2.5} の割合

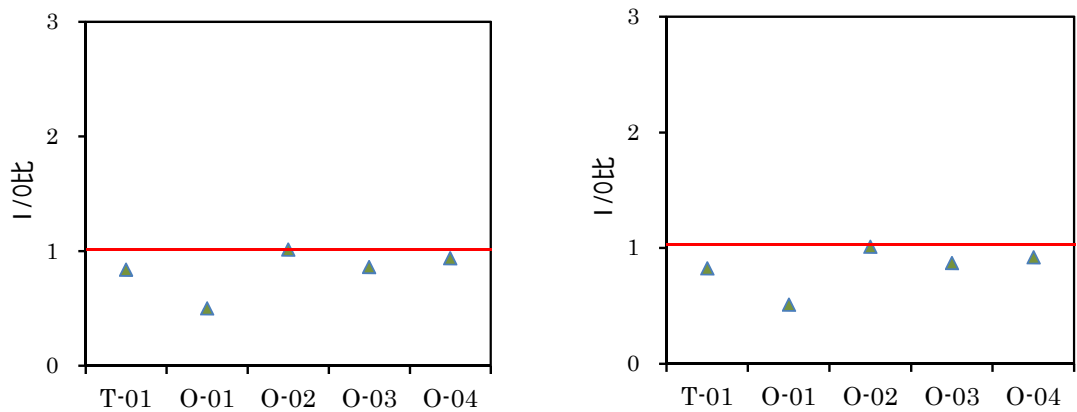


図 2-2-11 PM_{2.5} (左) との PM₁₀ (右) の I/O 比

準値を超えていたことが分かる。

図 2-2-10 は室内、外気中の PM10 に占める PM2.5 の割合を示す。O-01 と O-03 の 2 件は室内に比べ 外気中の PM2.5 の割合が高く、T-01、O-02、O-03 は室内中の PM2.5 の割合が高い結

果となった。すべての物件において、PM10 中の PM2.5 の割合が 90% を超える結果となった。図 2-2-11 は、それぞれ PM2.5、PM10 の I/O を示す。PM2.5、PM10 において、5 件とも I/O 比が 1 を下回った。

図 2-2-12 と図 2-2-13 に室内,外気の各粒径別の粒子濃度,図 2-2-14 に I/O 比を示す。室内の粒子濃度において,大阪の 4 件の値が東京に比べ

ると全体的に高く,粒径別に見ても 5.0 μm までの粒子濃度は大阪の 4 件が非常に高い値となっている。外気の粒子濃度においても室内の粒子

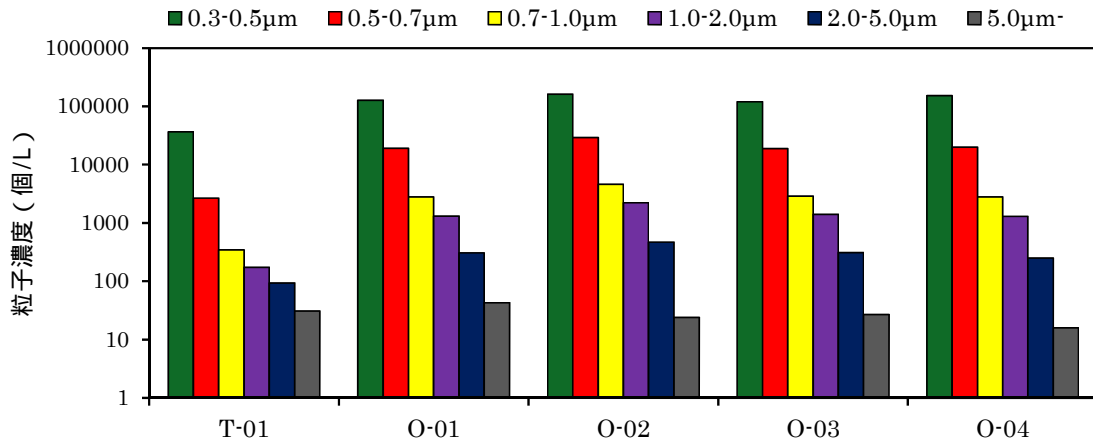


図 2-2-12 室内の粒径別粒子濃度

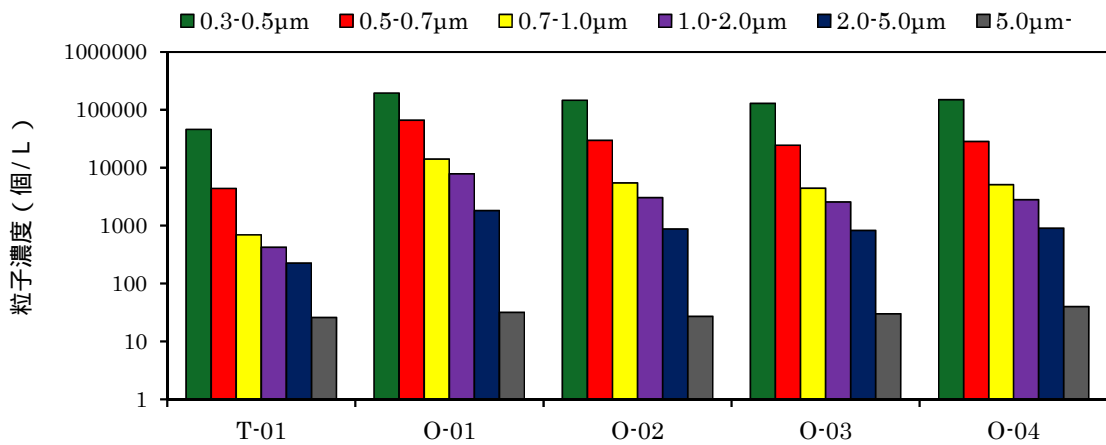


図 2-2-13 外気の粒径別粒子濃度

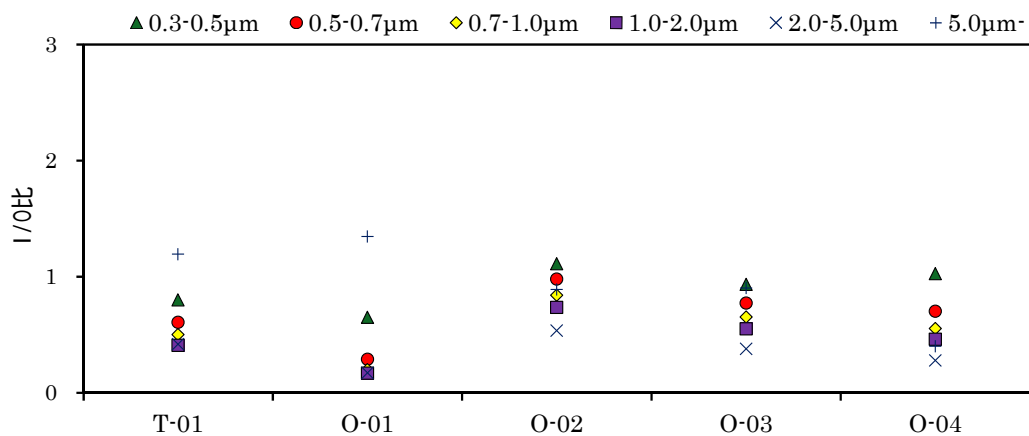


図 2-2-14 各粒径別の I/O 比

濃度の結果と同様に大阪の4件が東京に比べ、全体的に高く、粒径別に見ても5.0 μm までの粒子濃度が大阪の4件が東京の値よりも上回るという結果となった。I/O比において、0.3-0.5 μm

の粒径ではO-02, O-04の2件の値が1を超えていた。5.0 μm -粒径ではT-01, O-01の2件の値が1を超えていた。

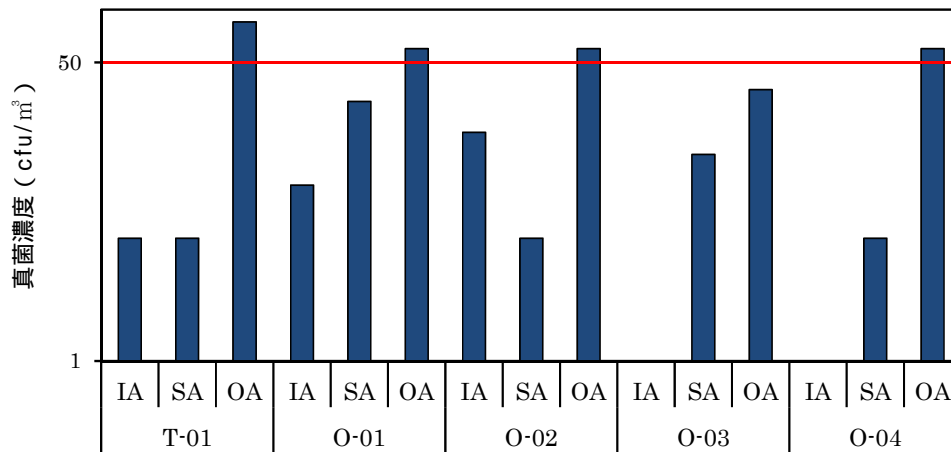


図 2-2-15 浮遊真菌濃度

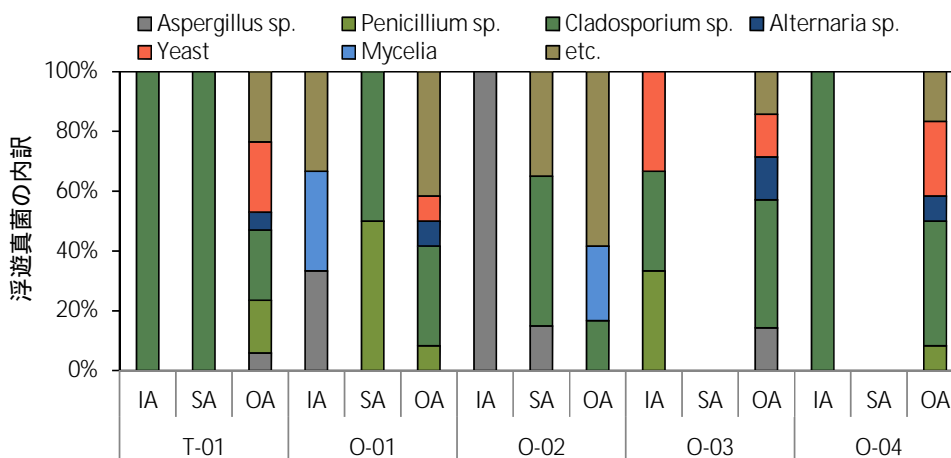


図 2-2-16 浮遊真菌属の内訳

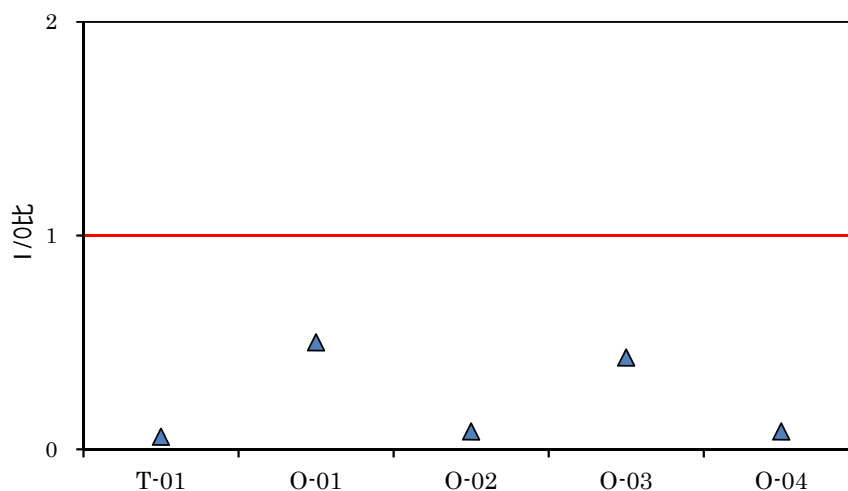


図 2-2-17 各粒径別のI/O比

CO₂

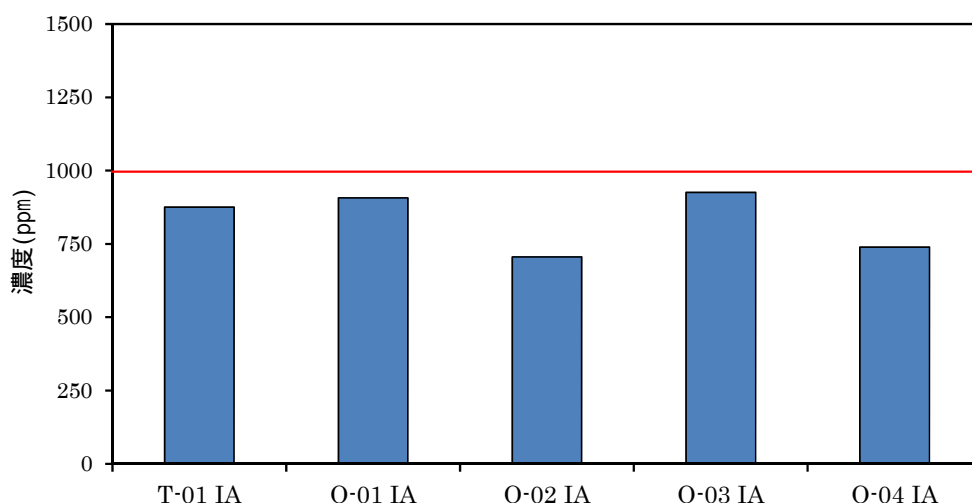


図 2-2-20 CO₂の測定結果

D.3 微生物

図 2-2-15 と図 2-2-16 に空中浮遊真菌濃度,真菌の内訳の割合を示す。図 2-2-15 中の赤線は日本建築学会の維持管理基準値である真菌 50cfu/m³を表している。浮遊真菌濃度において,室内の浮遊真菌濃度が維持管理基準値を超える物件はなかった。O-03, O-04 の室内では,真菌が検出されなかった。T-01 の浮遊真菌の内訳において室内,給気口では *Cladosporium* spp. (クロカビ) が多く検出されたが,外気中では *Cladosporium* spp., Yeast (酵母) が多く検出された。大阪の浮遊真菌の内訳において,室内では *Aspergillus* spp.(コウジカビ), 給気口では *Penicillium* spp. (アオカビ), 外気では *Cladosporium* sp.が他の菌に比べ高い割合で検出された。

図 2-2-17 に浮遊真菌の I/O 比を示す。浮遊真菌の I/O 比において,1 を上回る物件はなかった。このことから室内に主な汚染源がある物件はないことが分かった。

図 2-2-18 は浮遊細菌濃度を示す。図中の赤線は日本建築学会の維持管理基準値である細菌 500cfu/m³を表している。浮遊細菌濃度において,維持管理基準値を超える物件はなかった。

図 2-2-19 に浮遊細菌の I/O 比を示す。浮遊細菌の I/O 比において,すべての物件が 1 を上回

っており,室内に汚染源があると示唆された。

D.4 CO₂・CO

図 2-2-20 に CO₂ の測定結果を示す。何れも建築物衛生法の基準値 1000ppm を下回った。また,CO についてはどの測定場所においても基準値の 10 分の 1 以下であった(図省略)。

E. まとめ

本研究では,冬期におけるオフィスビルの室内環境の調査結果を用いた解析を行った。

冬期の 5 ビルの実測結果から,冬期の低湿が確認された。そのうちの中央方式の 1 ビル(T-01)は 40%を上回ったが,他の個別方式の 4 ビルの 75%タイル値(O-02),中央値(O-01, O-04),25%タイル値(O-03)は 40%を下回っており,個別方式における低湿の問題はより深刻であることが明らかになった。

2-3 室内 PM_{2.5} の測定方法

A. 研究目的

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

B. 研究方法

B.1 測定方法の特性把握

シウタスインパクト(粒径別に捕集する機械)による粒子捕集(秤量法)から得る PM_{2.5} 濃度と、他の装置による測定値の相関を把握するため、室内において5日間の連続測定を1サイクルとし、計4回行った。測定項目、測定装置を表 2-3-1 に示す。相対質量濃度測定は、相対濃度計として光散乱の技術を利用した可搬型の装置を用いた。PM_{2.5} の濃度測定が可能な DustTrak (TSI 社製 DRX 8533)と、2.5 μm カットオフインパクトを吸引口に取り付けた2種の粉じん計(日本カノマックス製 3621, 柴田科学製 LD-5)を用いて行った。どちらも、光散乱法を用いており、1分毎の濃度を記録するものである。

シウタスインパクトでは、浮遊粒子を表 2-3-2 に示すように5段階分級し、PTFE フィルタで捕集した。フィルタを電子天秤で秤量し、捕集前後の重量差と捕集流量から質量濃度を算出した。更に、室内外捕集粒子を走査電子顕微鏡・

エネルギー分散型 X 線分析装置(SEM-EDS)を用いて形状観察と組成分析を行った。

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

表 2-3-1 計測装置の種類と概要

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

表 2-3-2 シウタスインパクトの分級特性

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

B.2 建築物室内における測定

測定は、平成 26 年度建築物環境衛生管理及び管理基準の今後のあり方に関する研究において行った表 2-3-3 に示す建築物で行った。

PM_{2.5} の測定には、可搬型の PM_{2.5} 計 (TSI DustTrak DRX 8533) を用いることとした。粒子の性状によりこの機器が表示する濃度と実際の質量濃度は異なることが知られており、換算係数を乗じて濃度とするのが一般的である。本研究においては、この係数を 1 として以後表示するが、実際の濃度よりも高い濃度となることに注意が必要である。

また、一部の建築物においては、粒径別個数濃度には粒径 100 nm 以下の超微粒子については PAMS(日本カノマックス製)を、粒径 0.3 μm 以上の微粒子についてはパーティクルカウンタ (RION, KR-12A) を用いて、室内及び外気の測定を行い、浮遊粒子の特徴の把握を試みた。

表 2-3-3 実測対象建物の概要

ID	地域	測定時期	空調方式	備考	
T-01	東京	冬期・夏期	中央		
T-02		冬期・夏期	中央		
T-03		冬期・夏期	中央		
F-01	福岡	冬期・夏期	個別		喫煙所
F-02		冬期・夏期	個別		
F-03		冬期・夏期	個別		
F-04		冬期・夏期	中央		
O-01	大阪	冬期	中央		
O-02		冬期	個別		
O-03		冬期	中央・個別		
O-03'		冬期	個別		
O-04		冬期・夏期	中央		
O-05		冬期・夏期	中央・個別		
O-06		冬期・夏期	個別		
O-07		冬期・夏期	個別		
O-08		冬期・夏期	中央・個別		
O-09	冬期・夏期	中央・個別			

C. 結果

C.1 測定方法の特性

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

市販されている PM_{2.5} 計については，室内 PM_{2.5} に適合した計数値を設定することができれば，十分に使用できるものと考えられる。また，浮遊粉じん測定に用いられてる粉じん計に PM_{2.5} のインパクタを装着することによっても，

カウント値を読み取り，適切な計数値を設定することができれば測定することは可能である。いずれにしても，室内における秤量法などを用いた質量濃度の測定と併用測定を行うことにより，計数値を求めることが必要である。

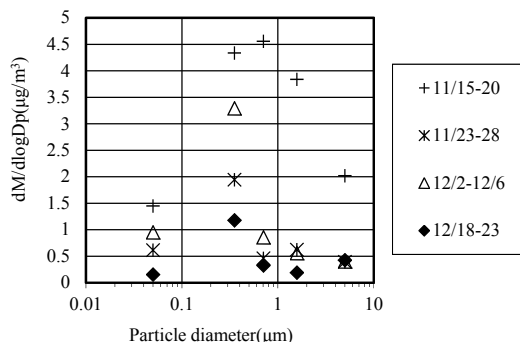


図 2-3-1 秤量法による粒径別質量濃度

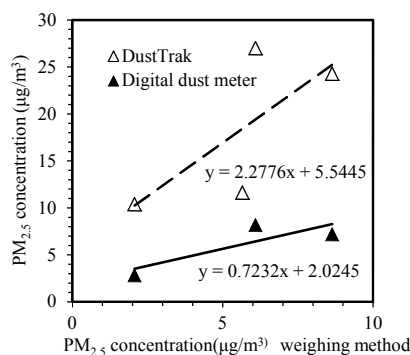


図 2-3-2 秤量法と PM_{2.5} 計の相関

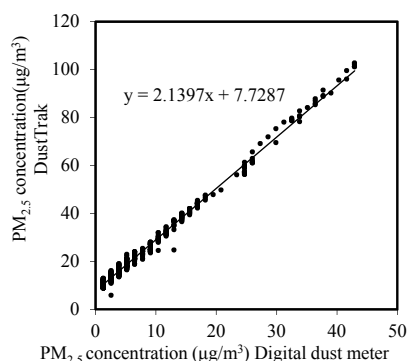
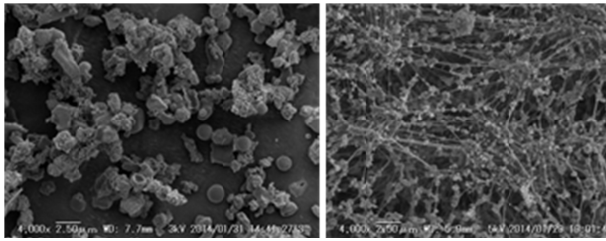


図 2-3-3 PM_{2.5} 計と粉じん計の相関



a) 1.0-2.5 μm b) $-0.25 \mu\text{m}$

図 2-3-4 シウタスインパクトにより捕集された粒子の SEM 画像

C.2 建築物室内における測定結果

図 2-3-5 に冬期における東京, 福岡, 大阪の事務所建築物及び外気の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の測定結果, 及び室内と外気濃度の比を表す I/O 比を示す。冬期には, 中国からの越境汚染で話題となった 2013 年 3 月であったため, 外気濃度が高く, 室内濃度が $10\text{-}370\mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。特に福岡においては室内外共に高い値となった。なお, F-02 については不完全な喫煙室があり, たばこ煙の影響を強く受けているため, 外気よりも高い濃度となった。I/O 比については, 喫煙室のある F-02 及び小規模建築物で換気装置が不十分な O-01, O-02 を除けば, 0.5 程度となった。

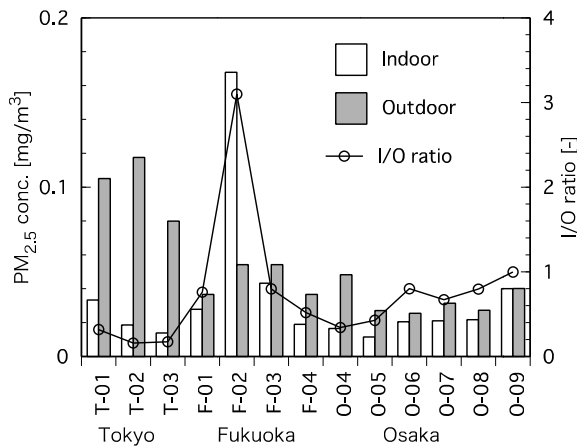
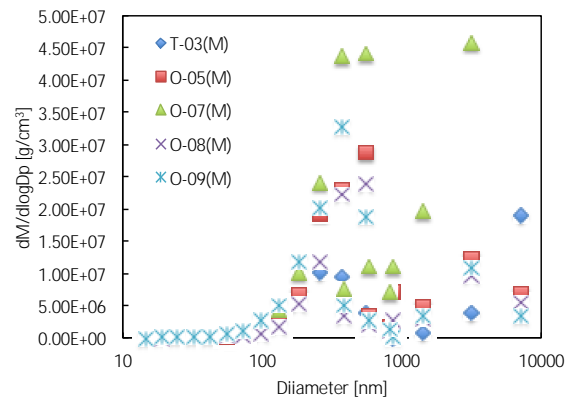


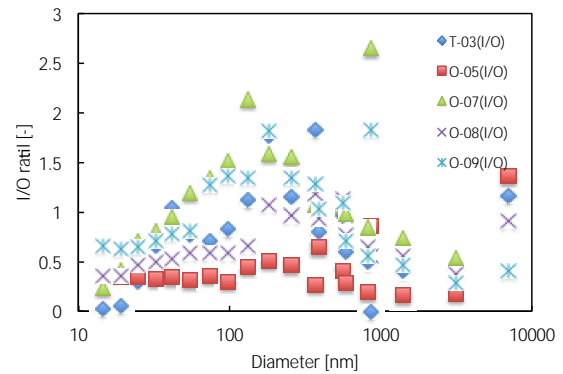
図 2-3-5 各建物における冬期の室内及び外気の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と I/O 比

T-03, O-05, O-07, O-08, O-09 において, PAMS 及びパーティクルカウンタを用いた粒径別の個数濃度の計測を外気及び室内において行った。図 2-3-6 に, 粒径別個数濃度を質量濃度に換算した(密度 $1\text{g}/\text{m}^3$)室内の粒径別質量濃度分布, 及び粒径別 I/O 比を示す。粒径別質量濃度では,

粒径 $0.3 \mu\text{m}$ のピークと粒径 $10 \mu\text{m}$ にもピークがみられる傾向となった。これは既往の研究³⁾による事務所ビルでの粒径濃度分布と同様である。なお, $\text{PM}_{2.5}$ の範囲は, このグラフの粒径 $2.5 \mu\text{m}$ 以下の粒子が対象であり, 粒径 $0.3 \mu\text{m}$ のピークを制御することが重要となる。また, 粒径別の I/O 比については, 粒径毎のその値が異なることが分かる。なお, 今回対象とした建物における $\text{PM}_{2.5}$ の I/O 比は, 1 を下回っていたが, 粒径別に見ると特に粒径 $0.1\text{-}0.3 \mu\text{m}$ においては, 1 を上回る建物があった。 $\text{PM}_{2.5}$ として I/O 比が低くても, 粒径毎によって外気からの侵入や室内の発生により, 室内の濃度が高い可能性があることがわかった。



a) 粒径別質量濃度



b) 粒径別 I/O 比

図 2-3-6 粒径別質量濃度及び I/O 比

D. 考察

建築物内での $\text{PM}_{2.5}$ の計測については, 大気で用いられているような大型で, 大捕集量のものには適さない。現存の粉じん計に $\text{PM}_{2.5}$ 用のイ

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

また、建築物内の PM_{2.5} 及び粒径別の浮遊粉じんの実態調査を行ったが、室内においても PM_{2.5} とする粒子の主成分は、粒径 0.3 μm のピークを制御することが重要となる。粒径別の室内と外気の浮遊粉じんの傾向から、PM_{2.5} の I/O 比が 1 を下回っていても、粒径によっては上回っている粒径もあり、除じんの効果が低く、室内発生が認められることとなり、粒径別の室内粒子の現状について、把握することも重要と考えられる。

参考文献

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

2-4 室内エンドトキシン濃度の測定方法

A. 研究目的

エンドトキシンは微生物（陰性グラム群生物）の細胞壁成分であり、細胞壁の破壊（死骸）により放出される。水、空気などあらゆる環境に存在し、血液中に混入すると致死性ショック、発熱を引き起こすため発熱物質（pyrogen）とも知られている。エンドトキシンはリポ多糖の中のリポド A 構造で耐熱性であるが抗原性は殆どない。多くの生物活性が発現し、敗血症性ショック、破骨細胞を活性化し骨吸収を促進、シュワルツマン反応を引き起こす。そのため医療・医薬・食品分野では測定が行われてきたが、居住環境に存在するエンドトキシンに関する研究は未だに少ない。

測定法としてはカプトガニの血球抽出液から作られるライセート試薬を用いたリムルステストが一般的に用いられる。リムルステストはエンドトキシン特異的方法であり敗血症の補助的診断法としても使われている。

環境中エンドトキシンへの注目は、乳幼児期の衛生的な環境がアレルギーを引き起こす可能性があるという衛生仮説(1989, Strachan DP)¹⁾に起因する。衛生仮説では乳幼児期の汚染因子（非衛生的な環境）への曝露が成長・成人期における病気やアレルギー罹患に密接な関係を持ち、その原因物質がエンドトキシンであるとしている。しかし、乳幼児期曝露とその後の曝露がアレルギー罹患に正反対に働く²⁾⁻⁵⁾といった性質も併せ持っていると言われている。衛生仮説を裏付ける研究結果からは農村育ちやペットを飼っている家庭の子供はアレルギー症が少ない、乳幼児期の曝露はアレルギー罹患を抑制する、その後の曝露は喘息・アトピー性皮膚炎などの症状を悪化させることが示唆されている。

一方、業務用ビル・オフィスビル内においては、水分とダストが付着しやすい部分や空調機・フィルター・加湿装置などの設備機器に微生物繁殖が起こる可能性があり、エンドトキシンを微生物汚染度合いの評価ないしは指針として活用できることが考えられる。

エンドトキシンは微生物の中でも、真菌及び陽性グラム群生物を除く陰性グラム群生物に限定される。グラム陰性菌には大腸菌 (*Escherichia*

coli)、サルモネラ、腸内細菌科、ヘリコバクター、レジオネラなど真正細菌の大部分が属する。大腸菌は微生物汚染でよく言及される細菌であり、空気感染するレジオネラは建築・設備分野で関心の高い細菌である。

室内環境では換気指標として CO₂ 濃度を、化学物質汚染程度の指標として TVOC 濃度を用いている。一方、微生物は培養法が基本となっている。機器を用いる ATP 濃度や微生物濃度を直接測るための試みも行われているが、まだ確立した方法ではなく測定結果に偏差も大きいのが現状である。

そのため、本研究では室内及び空調機器の微生物汚染度合いを示すバロメータとしてエンドトキシンを挙げ、その活用可能性を模索する。

B. 研究方法

B.1 エンドトキシン分析法

分析装置としては Toxinometer (和光純薬, ET-5000) を用いる。日本薬局方及び FDA 認証分析法にはゲル化法・比濁法・比色法の 3 つがある。ライセート (LAL) 試薬と反応させたエンドトキシンのゲル化に伴う濁度変化をカイネティック比濁法で測定し、作成検量線に基づいて定量化する。吸光比濁法は精度が高く定量しやすい利点があり、1~0.001EU/mL の広範囲・高感度で検出できるため環境中汚染程度を測定するのに適合している。また、室内や機器表面で繁殖した微生物によるエンドトキシンは医薬品、飲用水などに比べ遥かに高い濃度水準が予想される。

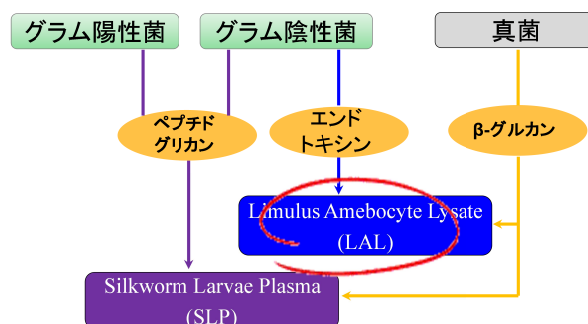


図 2-4-1 エンドトキシン特異的のリムルス試験

エンドトキシン濃度測定結果は、分析に使用された試料量に対する検出量 (EU/mg)、溶媒量に対する検出量 (EU/ml)、採集表面積に対する検出量 (EU/m²) など幾つかの表現法が存在する。本研究では空気サンプリングしゼラチンなどに吸着させた後、りん酸緩衝生理食塩水 (Phosphate Buffered Saline) に溶解させた試料や所定面積の拭き取りを食塩水に溶解させた試料を源試料とすることを予定している。



図 2-4-2 トキシノメーター

B.2 現場測定

現場測定法としてはダスト採取、表面拭き取り、空気サンプリングの3つが考えられる。オフィスなど室内空間における汚染源を考えると、空気サンプリングおよび設備機器の表面拭き取りを行い、浮遊微生物濃度および表面汚染を測定する必要がある。

住宅で収集したハウスダストおよびオフィスビルにおける空調機各部位の表面を拭き取り、分析した結果例を図 2-4-3 に示す。住宅のハウスダストは掃除機フィルターに集まっているゴミから採取し、エンドトキシンフリーの注射用水で溶出し、25,000 倍まで稀釈した。空調機各部表面は滅菌済み綿棒で拭き取り、りん酸緩衝生理食塩水 (Phosphate Buffered Saline, 0.85%NaCl) 10ml に溶解した。溶解試料は更に注射用水で 100 倍から 10 万倍稀釈した。

C. 測定結果

測定結果、ハウスダスト中エンドトキシン濃度は数千 EU/ml を中心に数百～数万 EU/ml 範囲で検出された。一方、空調機各部におけるエンドトキシン濃度は数十 EU/ml の汚染度が低いものから、ドレンパンなど 10 万 EU/ml を超えるものまで汚染程度に大きな差が生じている。特に、汚染されやすいと知られているコイル・フィルター・ドレンパンなどは高濃度になっている。

測定例からエンドトキシン濃度を測定することにより空調機各部位の微生物汚染度を推定できることが示唆される。

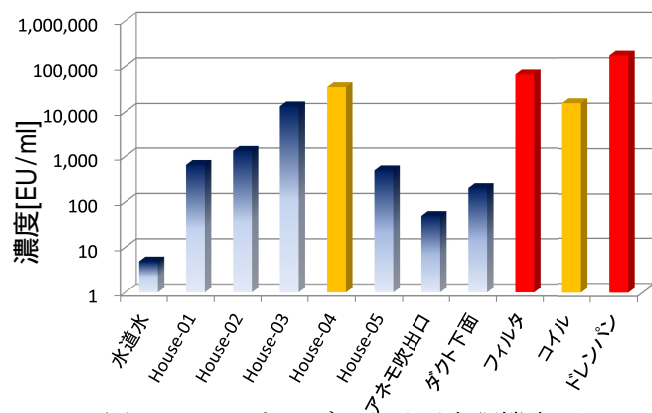


図 2-4-3 ハウスダスト及び空調機表面のエンドトキシン濃度

D. 考察

室内環境では換気指標として CO₂ 濃度を、化学物質汚染程度の指標として TVOC 濃度を用いている。一方、微生物は培養法が基本となっているため、結果算出までは時間を要する。機械を用いた環境中細菌汚染度測定にはまだ確立した方法がなく、汚染指標として活用できる指標が望まれている。

本研究では室内及び空調機器の微生物汚染度合いを示すバロメータとしてエンドトキシンを挙げ、現場測定及び既存の培養法との比較研究を通じ、その活用可能性を模索する。

参考文献

- 1) Strachan DP: Hay fever, hygiene, and household size. BMJ 1989;299:1259-60.
- 2) 斎藤博久: アレルギー疾患・喘息発症に関わ

るサイトカイン支配. 喘息 2004;13(7):2-6.

3) von Mutius E, Braun-Fahrlander E, Schierl R, Riedler J, Ehlermann S, Maisch S, et al. : Exposure to endotoxin or other bacterial components might protect against the development of atopy. Clin Exp Allergy 2000;30:1230-4.

4) Ernst P, Cormier Y. : Relative scarcity of asthma and atopy among rural adolescents raised on a farm. Am J Respir Crit Care Med 2000;161:1563-6.

5) Kilpelainen M, Terho EO, Helenius H, Koskenvuo M. : Childhood farm environment and asthma and sensitization in young adulthood. Allergy 2002;57:1130-5.

2-5 放射温度を考慮した温熱指標の検討

A. 研究目的

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

今後、空調分野における新技術の普及や建物の外皮性能の多様化などから、温度・湿度・気流の他に在室者の温熱感に影響する要素を含めた評価が必要になってくることも考えられる。室内温熱環境をより適切に評価するための指標として、温熱総合指標である PMV および SET*の測定と評価について検討する。

B. 温熱要素

B.1 温熱環境要素

建築物衛生法では温度、相対湿度、気流速度の測定が定められているが、人体温熱感に関係

する主な要素は「温度、湿度、放射(輻射)、気流、代謝量(活動量)、着衣量」であり、人体熱平衡6要素として知られている。

6要素を考慮した人体熱平衡は下記式で表すことができ、人体温熱感はこの6要素の組み合わせで変化し、調整することができる。

代謝量(熱生産量)

$$= \text{蒸汗潜熱放散量} \pm \text{放射顕熱放散量} \\ \pm \text{対流顕熱放散量} \pm \text{体内蓄熱量}$$

「人体熱平衡式」

$$M - W - Ed - Es - Ere - Cre = L = R + C$$

C	: 対流熱損失量[W/m ²]
Cre	: 呼吸による顕熱損失量[W/m ²]
Ed	: 不感蒸泄量[W/m ²]
Es	: 発汗による蒸発熱損失量[W/m ²]
Ere	: 呼吸による潜熱損失量[W/m ²]
L	: 人体の熱負荷[W/m ²]
M	: 代謝量[W/m ²]
R	: 放射熱損失量[W/m ²]
W	: 仕事量[W/m ²]

表 2-5-1 典型的な衣服組み合わせの基礎着衣熱抵抗の目安¹⁾

男性		女性	
下着、半袖Tシャツ、半ズボン、サンダル	0.27	下着、ノースリーブシャツ、フレアスカート(膝丈)、サンダル	0.29
下着、半袖Tシャツ、スラックス、ふくらはぎ丈ソックス、靴	0.39	下着、半袖Tシャツ、スカート(膝丈)、ストッキング、靴	0.36
下着、半袖襟付きシャツ、スラックス、ふくらはぎ丈ソックス、靴	0.56	下着、半袖襟付きシャツ、スカート(膝丈)、ストッキング、靴	0.47
下着、長袖襟付きシャツ、スラックス、ふくらはぎ丈ソックス、靴	0.68	下着、長袖ブラウス、スカート(膝丈)、ストッキング、靴	0.62
下着、長袖襟付きシャツ、背広(シングル)、スラックス、ふくらはぎ丈ソックス、靴	1.05	下着、長袖ブラウス、スーツジャケット、スカート(膝丈)、ストッキング、靴	0.94
下着、長袖襟付きシャツ、背広(シングル)、スーツベスト、スラックス、ふくらはぎ丈ソックス、靴	1.12	下着、長袖ブラウス、スーツジャケット、スラックス、ストッキング、靴	1.00

代謝量は在室者の活動量により変化する量であり、メット(met)という単位で表す。1met は椅座安静状態の代謝量で 58.2 W/m² であり、オフィスでの事務作業は 1.1~1.2met 程度である。同空間で似たような業務に携わる者にとっては概ね同値を適用することが出来る。一般的に推定値あるいは仮定値を使用することが多い。

着衣は衣服の断熱であり、単位は clo として表され、1clo=0.155(m²・)/W である。着衣量は在室者により様々な様相を呈し、性別・年齢によっても差がある。したがって、在室者の代表値を適用するか、性別に大別した二つの代表値を仮定して使用することが考えられる。最近の省エネルギーとクールビズにより夏季の服装が軽装化しており、西原らの研究²⁾によると40年前と今のオフィス在室者の服装は女性は0.52clo と大きな差は見られないが、男性は1.0clo から0.54clo にまで下がり軽装化が目立つ。

B.2 温熱指標

主な温熱指標は以下のものがある。

MRT (平均放射温度): 人体が周囲から受ける放射熱量の全方向に対する平均値と等価な放射熱量を出す黒体放射の温度。

OT (作用温度): 気温に熱放射の影響を加味した仮想の気温。

WBGT(湿球黒球温度): 酷暑環境下における行動に伴うリスクを判断するのに用いられる指標であり、暑さ指標とも言われる。

ET (有効温度): 気温、相対湿度、気流の3要素を組み合わせた最初の総合的快適指標。(快適範囲 18~22)

ET* (新有効温度): 皮膚の濡れ率と平均皮膚温度を用いて蒸発による熱放出を求め、6つの温熱要素を定量的に扱った指標である。相対湿度 50%、空気温度を MRT と等価としている。

SET* (標準新有効温度): ET* に標準環境として代謝量 1met、着衣量 0.6clo、気流速度 0.10m/s、空気温度と MRT を等価として定義した指標。常に一定した標準環境であり、統一した評価を行うことができるため汎用的に使われている。

PMV (Predicted Mean Vote , 予測平均申告): 被験者実験による温冷感申告値と PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied , 予測不満足者率) との関係を表した指標。温冷感申告値が (-0.5) から (+0.5) の間にある時、予測不満足者率は 10%以下となる。

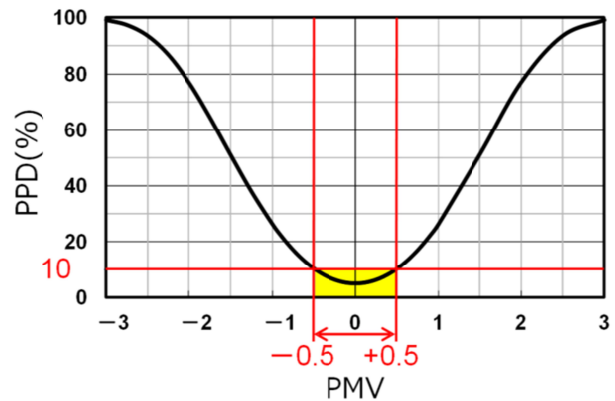


図 2-5-1 PMV と不満足者率 (PPD) との関係

表 2-5-2 SET* と温冷感、生理状態の関係³⁾

SET* []	温冷感	生理的状态
> 37.5	非常に暑い 非常に不快	体温調節ができない
34.5 ~ 37.5	暑い 許容できない	おびただしい発汗
30.0 ~ 34.5	暖かい 不快	発汗
25.6 ~ 30.0	やや暖かい やや不快	軽い発汗、皮膚血管拡張
22.2 ~ 25.6	快適 許容できる	中性
17.5 ~ 22.2	やや涼しい やや不快	皮膚血管収縮
14.5 ~ 17.5	涼しい 許容できない	軽い体冷却
10.0 ~ 14.5	寒い 非常に不快	ふるえ

空気温度に放射温度までを考慮した OT は人体温冷感によく合うことが知られている。SET* および PMV は総合温熱指標として人体温熱 6 要素を考慮した指標であり、温熱環境を表す指標としてよく用いられる。しかし、気温、相対湿度、気流速度に加え、放射温度、代謝量、着衣量を測定または算定する必要があるため測定は多少煩雑になる。

温熱環境を調節するには建築物衛生法における 3 要素に加え、他の 3 要素も重要であり、この 3 要素をうまくコントロールすることにより、省エネ性を維持ないしは向上させながらも温熱環境を改善することができる。例えば、クールビズ (Cool Biz) 以降一般的になった夏季の軽装は着衣量を調節して、より高い室温下でも温熱環境を維持させるための方法である。

また、最近導入が増えている放射空調や low-e ガラスなどの高性能ガラスは、空気温度を変化させるよりは放射エネルギーを人体に直接伝播あるいは遮断 / 低減することにより、室内温熱環境に影響する。

C. 現場測定例

表 2-5-4 は 2015 年 2 月、関東地域に所持する研究施設の講義室で測定したデータを基に PMV 及び SET* を算出したものである。講義の行われた 09:00 ~ 15:00 までを解析対象とした。

また、在室者の温冷感を調べるためアンケート調査を行った。

平均値としては両室ともに温度・湿度・気流速度・平均放射温度にほぼ差はなく PMV と SET* も等しい結果となっている。

しかし、北室は標準偏差が大きく、変動の幅が南室より大きいことがわかる。また、北室は冬季の日射取得が期待できないため窓面からの冷放射及びコールドドラフトによる不快感が生じることが予想される。



図 2-5-2 PMV・SET* 測定風景

表 2-5-3 温冷感申告スケール

温冷感	Scale
非常に寒い	-3
やや寒い	-2
やや寒い	-1
暑くも寒くもない	0
やや暑い	1
暑い	2
非常に暑い	3
快不快度	Scale
非常に不快	-3
不快	-2
やや不快	-1
どちらでもない	0
やや快適	1
快適	2
非常に快適	3
受容度	Scale
受け入れられない	-1
どちらでもない	0
受け入れられる	1

表 2-5-4 放射不均一のある講義室における PMV・SET* 及び温冷感申告の調査結果

		気温 []	相対湿度 [%]	風速 [m/s]	平均放射温度 []	SET* []	PMV	PPD [%]	温冷感	快不快度	受容度
南室	Mean	22.3	38.8	0.04	22.0	24.6	-0.1	6.1	-0.28	0.56	1.0
	S.D.	0.8	1.9	0.02	0.9	0.8	0.2	4.5	0.5	0.9	0.0
北室	Mean	22.4	40.9	0.02	22.2	24.8	0.0	9.3	-1.2	-1.0	0.2
	S.D.	1.8	2.5	0.02	1.9	1.6	0.5	10.2	0.7	0.8	1.0

2015 年 2 月 12 日、09:00 ~ 15:00 までの 5 分間隔連続測定データ

そのため、アンケートによる温冷感調査では、「南室：暑くも寒くもない、やや快適、受け入れられる」に対して「北室：やや寒い、やや不快、どちらでもない」との回答となり、同じ建物内でも部屋の方位によって温熱環境が異なり、北室がより好ましくない環境にあることが分かる。この調査結果は温湿度の単純測定だけでは温冷感の適切な評価は難しいことを示唆している。

D. 考察

温熱快適性と生産性向上に関する関心が高まる一方、建築・設備分野に対する社会からの省エネルギーと効率化が要求される昨今、空調分野における新技術の普及や建物外皮性能の向上も進んでいる。

特に人体周辺からの放射が大きく影響する室内温熱環境は、建築物衛生法が測定対象としてきた温度・相対湿度・気流の3要素のみでは適切な環境評価が難しく、新技術の導入・建物性能の変化とそれによる室内温熱環境の変化・在室者の認識変化など社会的要求を十分に反映することが難しくなっている。

今後、室内温熱環境に影響する他の温熱環境要素を含めた評価が必要になってくることが予想される。そのため、本研究では室内温熱環境をより適切に評価するための指標として、温度・相対湿度・気流に加え、放射温度・代謝量・着衣量までを考慮した総合温熱指標であるPMV および SET*の測定と評価について検討する。

参考文献

- 1) 日本建築学会：環境規準 H0005-2015，サーマルマネキンを用いた室内温熱環境評価法規準・同解説，p. 15，2015
- 2) 西原直枝，羽田正沖，田辺新一：日本家政学会誌 61(3)，169-175，2010
- 3) 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学会便覧 第13版 - 1基礎篇，p. 443，2001