

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

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 総括・分担研究報告書

研究代表者 大澤 元毅  
平成 26 ( 2014 ) 年 3 月

## 目次

・ 総括研究報告書	
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	・・・ 1
大澤元毅	
・ 分担研究報告書	
1 . 建築物利用者の職場環境の空気質と健康に関する実態調査のデータ解析	・・・ 7
東 賢一	
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	・・・ 21
柳 宇	
3 . 建築物の空気調和設備の維持管理及び運用のあり方に関する研究	・・・ 53
射場本忠彦	
4 . 健康影響と管理基準のあり方に関する研究	・・・ 69
中館 俊夫	

平成25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）  
総括研究報告書

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

研究代表者 大澤元毅 国立保健医療科学院 統括研究官

研究要旨

近年、建築物においては規模の大型化、用途の複合化、建築設備の変化、危機管理の強化や温暖化対策など、従来の想定を超える状況の進行に伴って、衛生にかかわる管理基準を満足しない割合「不適率」の増加が進み、管理方法、管理基準を含めた環境衛生管理のあり方が問われる事態が急速に顕在化している。

本研究は、建築物における環境衛生管理方法及びその管理基準に着目して、建築物の環境衛生の実態調査、現状の把握及び問題点の抽出、原因の究明、対策の検討等を実施し、公衆衛生の立場を踏まえた、今後の建築物に必要な環境基準のあり方について提案を行おうとするものである。

本年度は、昨年度のアンケート調査資料に基づいて建築物における衛生環境の実態測定・調査を行うとともに、建築物における中期的な環境測定の実施、文献による最新の空気環境に関わる健康影響被害の実態、及び建築物環境衛生の管理のあり方についての資料整備を行い、検討を加えた。更に、空調設備などの用途、運用などのほか、新たに管理すべき項目、監視方法の妥当性、維持管理方法のあり方についても、検討・提言のための基礎資料を収集した。

なお本研究では、建築物利用者に対して建築物に関するアンケート及び環境衛生監視員に対して建築物衛生法に関する調査を実施した。個人の情報が得られないように、また解析は匿名化されたデータを用いて統計的処理を行う。一方、建築物や法律の解釈を対象としており、個人を対象とした調査や実験を含まない。また、研究で知り得た情報等については漏洩防止に十分注意して取り扱うとともに、研究以外の目的では使用しない。

研究分担者

東 賢一 近畿大学医学部  
池田 耕一 日本大学理工学部  
射場本忠彦 東京電機大学未来科学部  
鍵 直樹 東京工業大学  
金 勲 国立保健医療科学院  
田島 昌樹 高知工科大学  
中館 俊夫 昭和大学医学部  
百田 真史 東京電機大学未来科学部  
柳 宇 工学院大学建築学部

研究協力者

松田 澄子 東京都健康安全研究センター  
斎藤 敬子 (公社)日本建築衛生管理教育センター  
鎌倉 良太 (公社)日本建築衛生管理教育センター  
杉山 順一 (公社)日本建築衛生管理教育センター  
下平 智子 (公社)ビルメンテナンス協会

A.研究目的

近年、建築物においては規模の大型化、用途の複合化、建築設備の変化、危機管理の強化や温暖化対策など、従来の想定を超える状況の進行に伴って、衛生にかかわる管理基準を満足しない割合「不適率」の増加が進み、管理方法、管理基準を含めた環境衛生管理のあり方が問われる事態が急速に顕在化している。

本研究は、建築物における環境衛生管理及び管理基準に着目して、建築物の環境衛生の実態調査、現状の把握及び問題点の抽出、原因の究明、対策の検討等を実施し、これらの情報を基に、公衆衛生の立場を踏まえた、今後の建築物に必要な環境基準のあり方について提案を行おうとするものである。

## B. 研究方法

以下のサブテーマに分けて進めた。

### B.1 建築物利用者の職場環境の空気質と健康に関する実態調査のデータ解析

本研究では、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（以下、不適率）が、特に事務所等において上昇傾向にあることが指摘されるなど衛生環境の悪化が危惧されていることを踏まえ、事務所に勤務する者の健康状態と職場環境等を調査し、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、建築物の維持管理上の課題を明らかにするために、建築物の管理者や利用者に対するアンケート調査を行った。更に空気環境の実態調査を行うことで、室内空気質と建築物における健康影響の関連性について明らかにするものである。

昨年度までの研究では、事務所に勤務する労働者の健康状態と職場環境等を調査し、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、建築物の維持管理上の課題を明らかにするために、建築物の管理者や利用者に対するアンケート調査を行った。

まず、2012年1月～3月（冬期）及び2012年8月～10月初め（夏期）に全国規模のアンケート調査を行った建物のうち、実測調査への協力が可能との回答があり、SBS関連症状の有症者の割合が高いところと低いところを選定し、それぞれのアンケート調査の1年後の2013年1月～3月（冬期）と2013年8月～9月（夏期）に実施した。調査項目として、建築物衛生環境管理基準項目に加え、浮遊微生物、揮発性有機化合物、PM<sub>2.5</sub>を計測した。また、事務所1件あたりに管理者用調査票1部、従業員用調査票を最大20部配付した。これらの調査票は、2012年1月～3月（冬期）及び2012年8月～10月初め（夏期）に全国規模のアンケート調査で使用した調査票と同じものである。

建物の事務所の空気質とそこに勤務する従業員のSBS関連症状との関係を解析するために、それぞれの事務所における5つのSBS関連症状の有症率を算出し、測定した空気質との関係を

解析した。また、有症率にバイアスが掛かっている可能性があること、測定データが多くないことから、各従業員におけるSBS関連症状の有無と、その従業員が勤務する事務所の測定結果との関係を解析した。2つの解析方法を用いることで、解析方法による違いの有無を把握し、解析結果に対する判断の信頼性を高めるよう試みた。

### B.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

本研究では、前章のアンケート調査を実施した事務所建築物を対象に、室内環境の実態調査を行った。実測は、冬期及び夏期に行い、建築物衛生環境管理基準項目（温度、相対湿度、一酸化炭素、二酸化炭素、浮遊粉じん）のほか、浮遊微生物、揮発性有機化合物、PM<sub>2.5</sub>を加え、建物毎の特性を把握した。

また、相対湿度不適率の改善に寄与する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。全国495件の全ての保健所に、特定建築物に対する指導や管理等の現況について、組織を代表して建築物衛生の担当者1名に自記式調査票に記入していただき、郵送により回収した。355件（回収率71.7%）から回答を得たが、自治体を代表して回答したものも含まれていた。調査票では、空気調和設備や機械換気設備に関する保健所の指導状況、加湿器の設置に関する保健所の指導状況、相対湿度の測定及び報告に関する保健所の状況等を選択式の質問をし、コメントも頂いた。

### B.3 建築物の空気調和設備の維持管理及び運用のあり方に関する研究

建築物においては、エネルギー消費に係る機器・構造の性能確保や適正保全措置の徹底が省エネルギー法に盛り込まれるなど、官民を挙げて多様な対策が進められている。しかしながら、社会に普及しつつある省エネルギー手法の中には、建築物衛生法の主旨とは相容れない衛生上



の問題や、かつての法制定・改正時には想定されていなかったものなどが散見される。

先の厚労省科研費調査では、特に冬季相対湿度の基準値不適合が、特定の空気調和設備の維持管理及び運用方法に起因していることが指摘された。これらは、特に事務用途において普及が進んでおり、相対湿度の不適合率上昇の原因とも考えられる。そこで、本課題では当該空気調和設備について、環境衛生データの収集と解析を実施し、基準適合範囲に収まる、省エネルギーと環境衛生の両立に資する適切な維持管理手法・監視方法の提案を行うことを目的としている。

平成 24 年度においては、建築物衛生法の衛生管理基準値に対して不適合となる場合の、原因や詳細な課題抽出を目的として省エネルギーに関心の高いビルオーナーが所有する事務所ビルなど、首都圏に建設された 7 件について、調査を実施している。本年度は、それらに、地方の事例として蒸暑地域に建設された 4 件の事務所ビルを新たに加え、室内環境データの連続的時間データの収集・取得および解析を行った。

#### B.4 健康影響と管理基準のあり方に関する研究

本研究では、これまで建築物空気環境の重要な要素として、微小粒子 (PM<sub>2.5</sub>, FP) などの空気中の粒径の小さな粒子状物質に着目し、中でも近年オフィスや家庭に急速に普及した電子写真方式の複写機/レーザープリンタから室内空气中に放出される FP 及び超微小粒子 (UFP) に焦点をあて、文献検索により情報の収集を行い、科学的知見の整理を行ってきた。本年度は最終年度であることから、上記の観点からの文献検索による情報収集を継続するとともに、3 年間で得られた情報の整理を行い、科学的知見のまとめを行った。とくに将来の建築物衛生管理に役立つ上で適切なリスク評価が必要であり、そのためには、ハザード評価が最も重要であることから、印刷用トナー粒子を含む、これら事務機器の使用に関連して生じる可能性がある粒子状物質曝露の生体影響についても検索対象とした。

過去 2 年度と同様に、データベースを利用し

た文献検索により文献を収集し、整理した。文献の範囲はレビューシステムを有する学術誌に掲載された原著論文を原則とすることとして、一般誌の解説記事的な文献や特定の対象に対する業務報告書、会議録、報道記録は除外した。国内 (和文) 文献は医学中央雑誌のデータベースを、海外を含む英文文献のデータベースには Medline を用いた。

原則として昨年度収集した文献以降のものを、とくに下記の点を中心に、種々のキーワードを組み合わせて検索を行った。

- ・ 複写機/レーザープリンタからの FP, UFP の排出とそれに伴う空気汚染
- ・ 上記エミッションへの曝露に伴う生体反応、健康影響の可能性

また本年度が研究の最終年度であることから、昨年度までの検索で漏れていた重要文献や、事務機器の使用に関連して生じる可能性のある粒子状物質の空気汚染に関連する重要な文献についても収集を行った。

#### C. 研究結果

本研究に関して、研究項目ごとにまとめる。

##### C.1 建築物利用者の職場環境の空気質と健康に関する実態調査のデータ解析

アンケート調査及び実態調査より、冬期 11 件 (107 名)、夏期 13 件 (207 名) から得られた SBS 関連症状と室内空気質の測定値との関連性に関する解析を行った。冬期では、非特異症状と高い粉じんレベル (5 $\mu$ m 以上)、上気道症状と高いアルデヒド類濃度や高い室内温度、皮膚症状と低い室内温度との間に関連性がみられた。また、皮膚症状と低湿度にも有意な傾向があった。夏期では、上気道症状と高いトルエン濃度、皮膚症状と低い室内温度との間に有意な関係がみられた。

本調査のもととなった全国規模で行ったアンケート調査では、温湿度、ほこり、薬品臭、不快臭と SBS 関連症状との間に有意な関係が示唆されている。本調査は、限られた建築物での断面調査であったが、室内空気質の実測調査によって、温湿度、粉じん、アルデヒド類やトルエンが SBS 関連症状に影響していることを示

峻し、全国規模のアンケート調査結果を裏付ける重要なデータを得ることができた。

### C.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

事務所建築物における実測の結果、季節毎に建築物衛生環境管理基準値に適合しない項目、その他の測定対象についてもそれぞれの物質の濃度が高い建物などがあった。空調設備として中央式及び個別方式に分けてその違いを検討した結果、個別方式の建物において浮遊微生物及びPM<sub>2.5</sub>濃度が高い状況が生じており、空調機のエアフィルタの性能及び運用方法などが理由として挙げられた。

また、保健所環境衛生監視員を対象として、建築物衛生法に係わる設備の設置指導に関するアンケート調査の結果より、湿度についての認識が低いこと、加湿と共に結露の問題が起こること、運用に関する適切なマニュアル、設置の義務化など法整備に関しても要望があった。第3種のような粉じんの浄化能力のない換気設備についても、半数以上が機械換気設備と認めており、法律が近年の空調設備の複雑化に対応できていない面も見えた。

### C.3 建築物の空気調和設備の維持管理及び運用のあり方に関する研究

首都圏、および蒸暑地域を含む地方における事務所ビルを対象として空調方式が中央方式、個別方式どちらの建築物においても測定を実施した。建築物規模は大規模から小規模、竣工年数も様々な建築物の検討を行うため12件の建築物の実測、解析を実施した。また、室内温度、相対湿度、二酸化炭素濃度を連続的に測定し解析、検討を行い、データの充実を図った。また、既往研究で得られた全国アンケート調査の結果を用いて、冬期(1月、2月、3月、12月)における室内温度、相対湿度、二酸化炭素濃度の解析、検討を行った。

さらに、あらたな管理基準・管理方法に関する検討を目的に、室内環境測定データと室内温度分布データとBEMSデータを用いた検討を行い、BEMSによる室内環境測定の可能性につい

て検討を行った。

今後も建築物衛生法の測定方法を継続的に検討していく必要があると考えられ、公衆衛生の視点に立脚した室内環境の維持管理方法の確立が望まれる。

### C.4 健康影響と管理基準のあり方に関する研究

本年度の検索でも生体影響に関連する報告で興味深いものが見られた。培養細胞を用いた一連の *in vitro* 実験研究の報告、複写機/レーザープリンタで使用されるトナー粒子が炎症反応や小核試験で示唆される遺伝毒性を示すとし、そのメカニズムの可能性として、トナー粒子曝露により酸化ストレス負荷が生じることを指摘したものがあった。印刷用トナー粒子の取扱いやそれに伴う曝露によって生じる可能性のある健康影響について報告したものがあった。またカリフォルニアの37の建築物について、その内外で粒子状物質の濃度を測定した研究報告では、室内の発生源や室内外差などについて検討されている。このほか、エミッション粒子の組成などの詳細に関する研究で、有害性のメカニズムの理解に重要であると考えられる。

複写機やレーザープリンタなどの事務機器からエミッションとして粒径の小さな粒子状物質(FP, UFP)が排出されることについては多くの研究報告から明らかであり、その発生に関連する稼働時の条件なども明らかにされつつあり、制御技術は進歩している。一方エミッションを吸入した際の生体影響については、種々の研究デザイン、種々のアウトカムを用いた報告が散見されるが、まだハザードとしての評価を行うだけの科学的知見は集積されておらず、今後の研究の進展が期待される。また実際の事務機器使用条件下における粒子状物質曝露に関する情報も限られており、今後のリスク評価のために、曝露評価に役立つデータの集積が必要であると考えられる。

(倫理面での配慮)

建築物利用者に対して建築物に関するアンケート及び環境衛生監視員に対して建築物衛生法に関する調査を実施した。個人の情報を得ない

よう配慮するとともに、解析は匿名化されたデータを用いて統計的処理を行う。一方、建築物や法律の解釈を対象としており、個人を対象とした調査や実験を含まない。また、研究で知り得た情報等については漏洩防止に十分注意して取り扱うとともに、研究以外の目的では使用しない。



平成25年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

1. 建築物利用者の職場環境の空気質と健康に関する実態調査のデータ解析

分担研究者 東 賢一 近畿大学医学部 講師

研究要旨

昨年度までの調査において、事務所に勤務する労働者の健康状態と職場環境等を調査し、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、建築物の維持管理上の課題を明らかにするために、建築物の管理者や利用者に対するアンケート調査を行った。本アンケート調査の1年後、本アンケート調査において「室内空気質の実測調査に協力可能」との回答を得た建築物の事務所に対して、温湿度、二酸化炭素、一酸化炭素、浮遊粉じん等の建築物環境衛生管理基準の空気環境の監視項目、微小粒子状物質（PM<sub>2.5</sub>）、粒径別の粒子状物質、細菌や真菌などの実測調査を実施した。またその際に、従業員用のアンケート調査を実施した。今年度は、これらの調査で得られた職場環境の空気質と健康に関する実態調査のデータを解析し、建築物利用者の健康に影響する空気質の項目を明らかにした。冬期11件（107名）、夏期13件（207名）から得られたSBS関連症状と室内空気質の測定値との関連性に関する解析を行った。冬期では、非特異症状と高い粉じんレベル（5 $\mu$ m以上）、上気道症状と高いアルデヒド類濃度や高い室内温度、皮膚症状と低い室内温度との間に関連性がみられた。また、皮膚症状と低湿度にも有意な傾向があった。夏期では、上気道症状と高いトルエン濃度、皮膚症状と低い室内温度との間に有意な関係がみられた。本調査のもととなった全国規模で行ったアンケート調査では、温湿度、ほこり、薬品臭、不快臭とSBS関連症状との間に有意な関係が示唆された。本調査は、限られた建築物での断面調査であったが、室内空気質の実測調査によって、温湿度、粉じん、アルデヒド類やトルエンがSBS関連症状に影響していることを示唆し、全国規模のアンケート調査結果を裏付ける重要なデータを得ることができた。本調査では、有症率の調査において、回答率に偏りが存在する可能性が高く、断面調査のため全体的に測定データ数も多くは得られなかった。今後は、縦断的な調査によって、エビデンスのレベルをより向上させた調査を行う必要がある。本研究で得られた成果は、そのための重要な基礎データにもなる。

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  
柳 宇 工学院大学建築学部  
池田耕一 日本大学理工学部  
中村孝之（公社）全国ビルメンテナンス協会  
下平智子（公社）全国ビルメンテナンス協会  
芦野太一（公社）全国ビルメンテナンス協会  
齊藤秀樹（公財）日本建築衛生管理教育センター  
齋藤敬子（公財）日本建築衛生管理教育センター  
鎌倉良太（公財）日本建築衛生管理教育センター  
高野大地 日本大学理工学部

A. 研究目的

近年、建物の大規模化、用途の複合化、建築設備の変化、省エネルギー対応など、従来の想定を超える状況が急速に進行している。日本では、建築物における衛生的環境の確保に関する法律（建築物衛生法）や労働安全衛生法に基づく事務所衛生基準規則によって、いわゆるシックビルディング症候群（SBS）の発生が防止されてきたといわれている。しかし、著者らが平成21年度に実施した調査<sup>1,2)</sup>によると、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ことが明らかとなっている。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おり、これらの要因による事務所労働者の健康影響が懸念される。

昨年度までの調査では、事務所に勤務する労働者の健康状態と職場環境等を調査し、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、建築物の維持管理上の課題を明らかにするために、建築物の管理者や利用者に対するアンケート調査を行った。

アンケートは、公益社団法人全国ビルメンテナンス協会の全国都道府県の会員企業（約 3000 社）の本社・支社等の事務所の管理者と従業員を対象とした。調査は 2012 年 1 月～3 月の冬期及び 2012 年 8 月～10 月の夏期に実施した。冬期は 315 件の企業の管理者（回収率 64.4%）及び 3,335 名の従業員（企業数 320 件）から回答を得た。夏期は 307 件の企業の管理者（回収率 62.8%）及び 3,024 名の従業員（企業数 309 件）から回答を得た。職場環境に強い疑いのあるシックビルディング症候群（SBS）関連症状（米国 NIOSH の基準）の有症率は、冬期で非特異症状 14.4%、目の症状 12.1%、上気道症状 8.9%、下気道症状 0.8%、皮膚症状 4.5%であった。同様に夏期ではそれぞれ 18.3%、14.1%、6.7%、0.9%、2.2%であった。これらの症状に関連する環境要因を解析した結果、冬期および夏期ともに、温湿度環境、薬品・不快臭、ほこりや汚れ、騒音などの環境要因と SBS 関連症状との関係が示唆された。さらに夏期では、カーペットの使用や 3 ヶ月以内の壁の塗装との関連性が示唆された。建築物の維持管理項目では、冬期の湿度基準の不適合と目の症状や上気道症状や皮膚症状、冷却加熱装置の汚れと上気道症状との関連性が示唆された。また、夏期の二酸化炭素基準の不適合と非特異症状との関連性が示唆された。

本アンケート調査の 1 年後、本アンケート調査において「室内空気質の実測調査に協力可能」との回答を得た建築物の事務所に対して、温湿度、二酸化炭素、一酸化炭素、浮遊粉じん等の

建築物環境衛生管理基準の空気環境の監視項目、微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>)、粒径別の粒子状物質、細菌や真菌などの実測調査を実施した。またその際に、従業員用のアンケート調査を実施した。

最終年度である今年度は、これらの調査で得られた職場環境の空気質と健康に関する実態調査のデータを解析し、建築物利用者の健康に影響する空気質の項目を明らかにすることを目的とした。

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 調査対象

2012 年 1 月～3 月（冬期）及び 2012 年 8 月～10 月初め（夏期）に全国規模のアンケート調査を行った建物のうち、実測調査への協力が可能との回答があり、SBS 関連症状の有症者の割合が高いところと低いところを選定した。但し、このアンケート調査において、SBS 関連症状に対して職場のストレスによる影響が大きい建物は除外した。

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。空気質の実測調査で行ったアンケート調査でも、同様のクライテリアで有症率を算出した。ただし、断面調査であるため、その日に欠勤しているものや、調査票を配付できなかったものもいるため、この有症率には相応のバイアスが掛かっている可能性があることに留意しなければならない。

調査は、それぞれのアンケート調査の 1 年後の 2013 年 1 月～3 月（冬期）と 2013 年 8 月～9 月（夏期）に実施した。但し、アンケート調査から 1 年経過していることから、担当者の異動などもあり、調査への協力が得られなかった建築物も散見されたため、さらに新規協力建物に

ついて、直接コンタクトを行った。

## B.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<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、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件あたりに管理者用調査票1部、従業員用調査票を最大20部配付した。夏期調査の一部では、さらに可能な限り従業員調査票を配付した。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、2012年1月～3月(冬期)及び2012年8月～10月初め(夏期)に全国規模のアンケート調査で使用した調査票と同じものである。

## B.3 データ解析

建物の事務所の空気質とそこに勤務する従業員のSBS関連症状との関係を解析するために、それぞれの事務所における5つのSBS関連症状の有症率を算出し、測定した空気質との関係を解析した。また、有症率にバイアスが掛かっている可能性があること、測定データが多くないことから、各従業員におけるSBS関連症状の有無と、その従業員が勤務する事務所の測定結果との関係を解析した。2つの解析方法を用いることで、解析方法による違いの有無を把握し、解析結果に対する判断の信頼性を高めるよう試みた。

(倫理面での配慮)

本研究は、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NIPH-IBRA#12003)を得て実施した。

C. 研究結果

また、それぞれの建物の事務所における主症状の有症率を表 1-2 に示す。冬期に調査した非特定建築物の中には、従業員数が少ないものが

C.1 建物の基本属性

表 1-1 に調査を実施した建築物の概要を示す。

表 1-1 調査を実施した建物の概要

時期	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
冬期	T-01	東京	特定	個別	11	63.6	45.9	0.0	一部会議
	T-02(新規)	東京	特定	中央	7	85.7	41.4	14.3	禁煙
	F-01	福岡	特定	個別	5	80.0	36.2	80.0	禁煙
	F-02	福岡	特定	個別	9	11.1	40.9	22.2	完全分煙
	F-03	福岡	特定	個別	12	66.7	53.4	16.7	禁煙
	F-04	福岡	特定	中央	17	76.5	43.4	23.5	禁煙
	O-01	大阪	非特定	中央	3	66.7	42.3	33.3	禁煙
	O-02	大阪	非特定	個別	9	66.7	47.8	33.3	建物の外
	O-03(1)(新規)	大阪	非特定	個別	7	85.7	39.6	0.0	禁煙
	O-03(2)(新規)	大阪	非特定	個別	15	73.3	38.1	6.7	禁煙
	O-04	大阪	特定	個別	12	41.7	38.8	0.0	完全分煙
	夏期	T-01	東京	特定	個別	11	63.6	46.1	0.0
T-02(新規)		東京	特定	中央	10	80.0	42.2	20.0	禁煙
T-03(新規)		東京	特定	個別	59	83.1	42.2	47.5	禁煙
F-01		福岡	特定	個別	5	80.0	36.4	80.0	禁煙
F-02		福岡	特定	個別	13	23.1	43.6	38.5	完全分煙
F-03		福岡	特定	個別	10	70.0	51.1	20.0	禁煙
F-04		福岡	特定	中央	9	77.8	46.7	33.3	完全分煙
O-04		大阪	特定	個別	7	42.9	44.0	28.6	完全分煙
O-05(新規)		大阪	特定	中央・個別	20	50.0	44.8	10.0	禁煙
O-06(新規)		大阪	特定	個別	13	84.6	41.5	23.1	無回答
O-07(新規)		大阪	特定	個別	20	20.0	42.1	30.0	完全分煙
O-08(新規)		大阪	特定	個別	20	90.0	50.1	40.0	完全分煙
O-09(新規)	大阪	特定	中央	10	90.0	48.6	20.0	禁煙	

表 1-2 主症状の有症率 (%)

時期	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
冬期	T-01	27.3	18.2	9.1	0.0	18.2	45.5
	T-02(新規)	28.6	14.3	14.3	0.0	0.0	28.6
	F-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	F-02	22.2	44.4	33.3	0.0	0.0	55.6
	F-03	16.7	16.7	25.0	0.0	8.3	25.0
	F-04	29.4	5.9	23.5	0.0	0.0	35.3
	O-01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	O-02	11.1	22.2	0.0	0.0	11.1	22.2
	O-03(1)(新規)	28.6	14.3	0.0	0.0	14.3	28.6
	O-03(2)(新規)	40.0	33.3	13.3	0.0	6.7	46.7
	O-04	16.7	33.3	25.0	0.0	0.0	50.0
	夏期	T-01	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0
T-02(新規)		10.0	20.0	20.0	0.0	0.0	30.0
T-03(新規)		11.9	13.6	6.8	0.0	0.0	22.0
F-01		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F-02		23.1	30.8	15.4	0.0	0.0	38.5
F-03		10.0	20.0	10.0	0.0	20.0	30.0
F-04		22.2	33.3	0.0	0.0	0.0	33.3
O-04		28.6	14.3	0.0	0.0	0.0	28.6
O-05(新規)		15.0	15.0	0.0	0.0	10.0	25.0
O-06(新規)		7.7	7.7	15.4	0.0	0.0	23.1
O-07(新規)		25.0	20.0	15.0	0.0	10.0	35.0
O-08(新規)		10.0	5.0	5.0	0.0	0.0	20.0
O-09(新規)	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	



あり、夏期では調査対象外とした建物もある。その代替として、夏期にはより多くの建物を新規に追加して調査を行った。

### C.2 事務所の有症率と室内空気質の関係

解析にあたっては、基本属性として、男性比率、平均年齢、喫煙率を変数に含めた。また、室内空気質では、温度、相対湿度、一酸化炭素、二酸化炭素、粉じん、粉じん(粒径別)、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、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、パラジクロロベンゼン、テトラデカン、DBP、DEHP、TVOC、真菌、細菌を変数に含めた。

多変量解析に投入する独立変数を選定するにあたっては、5つの主症状の有症率と相関係

数が高い ( $p < 0.2$ ) 変数を選定した。また、独立変数間での多重共線性が高い変数(相関係数0.9以上)は、1つに変数を絞った。粉じん類は多重共線性が高いため、浮遊粉じんとPM<sub>2.5</sub>に限定した。多変量解析では重回帰分析を行い、変数増減法を用いて解析を行った。なお、冬のトルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、パラジクロロベンゼン、テトラデカン、DBP、DEHP、TVOCは、5件の建物でデータの欠測があったため解析対象から除外し、別途これらの物質を入れた解析を追加した。

表1-3に主症状の有症率と空気質の相関を示す。また、主な空気質と主症状との関係を図11-1~図1-14に示す。その後、表1-4と表1-5に重回帰分析結果を示す。

表1-3 主症状の有症率と空気質の相関

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

	男性比率 [%]	平均年齢	喫煙率 [%]	温度 [°C]	相対湿度 [%]	一酸化炭素 [ppm]	二酸化炭素 [ppm]	粉じん [mg/m <sup>3</sup> ]	PM <sub>2.5</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	PM <sub>10</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	ホルムアルデヒド [μg/m <sup>3</sup> ]	アセトアルデヒド [μg/m <sup>3</sup> ]	トルエン [μg/m <sup>3</sup> ]	エチルベンゼン [μg/m <sup>3</sup> ]	キシレン [μg/m <sup>3</sup> ]	スチレン [μg/m <sup>3</sup> ]	テトラデカン [μg/m <sup>3</sup> ]	DEHP [μg/m <sup>3</sup> ]	TVOC [μg/m <sup>3</sup> ]	真菌濃度 [cfu/m <sup>3</sup> ]	細菌濃度 [cfu/m <sup>3</sup> ]
冬の非特異症状	-0.081	-0.056	-0.718*	.120	.096	.056	.058	.137	.049	.045	-.182	.108	-.184	-.434	-.444	.123	-.545	.041	-.273	.046	-.040
冬の非特異症状	-.727*	-.054	-.507	.143	.209	.609*	.534	.178	.582	.586	.230	.675*	.213	.368	.450	.857*	-.035	-.040	.214	.616*	.565
冬の非特異症状	-.639*	.167	-.351	.797**	.667*	.548	.346	.742**	.585	.582	.643*	.745**	.492	.570	.554	.687	.274	.205	.566	.543	.392
冬の皮膚症状	.233	.411	-.427	-.481	-.466	-.260	-.047	-.241	-.266	-.262	-.241	-.255	.134	-.403	-.431	-.335	-.034	.066	-.051	-.251	-.250
夏の非特異症状	-.659*	.080	-.060	.088	-.036	-.031	-.080	-	.218	.207	-.163	.366	-.162	-.252	-.376	-.363	.276	-	-.130	.064	.021
夏の非特異症状	-.509	.110	-.163	-.046	.136	-.499	-.169	-	.395	.388	.095	.068	.319	-.059	-.154	-.195	.542	-	.191	-.002	.122
夏の非特異症状	-.222	-.192	-.064	-.024	-.207	-.045	-.049	-	.311	.314	-.163	.044	.603*	.592*	.169	.236	.251	-	.303	-.196	.140
夏の皮膚症状	-.289	.356	-.271	-.78**	.182	-.156	.215	-	-.069	-.076	-.003	-.013	.139	.149	-.208	-.312	.297	-	.542	.444	.152

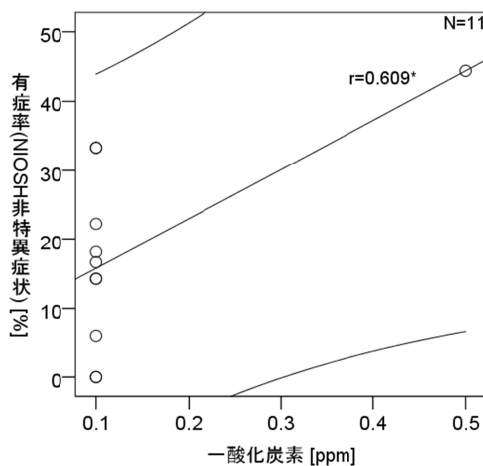


図1-1 冬の非特異症状と一酸化炭素

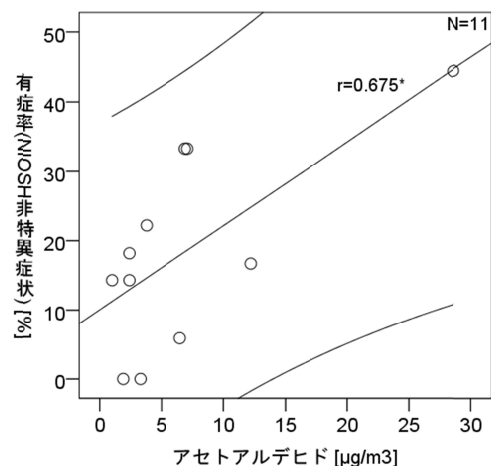


図1-2 冬の非特異症状とアセトアルデヒド

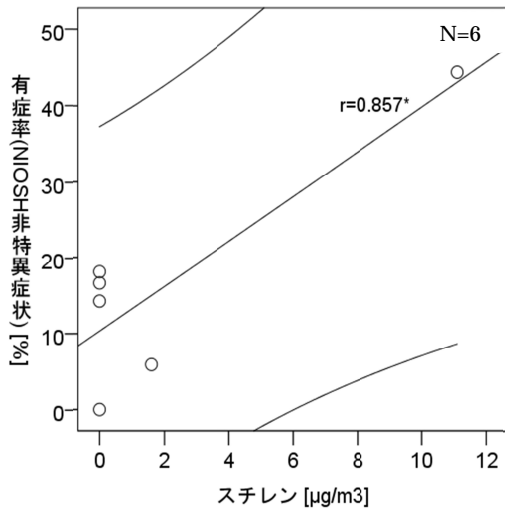


図 1-3 冬期の非特異症状とスチレン

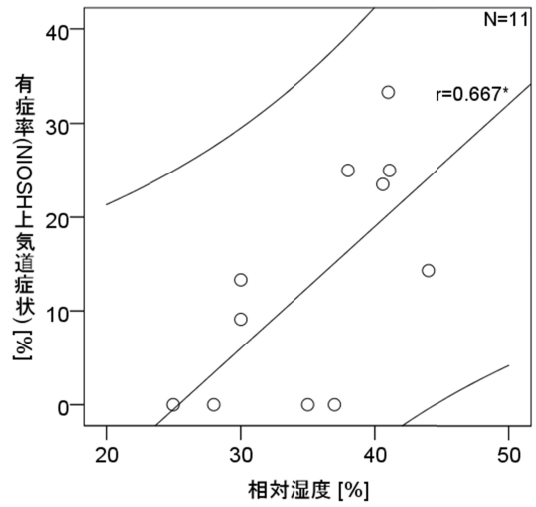


図 1-6 冬期の上気道症状と相対湿度

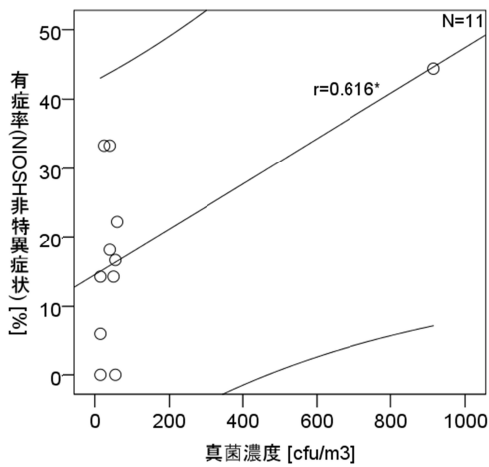


図 1-4 冬期の非特異症状と真菌濃度

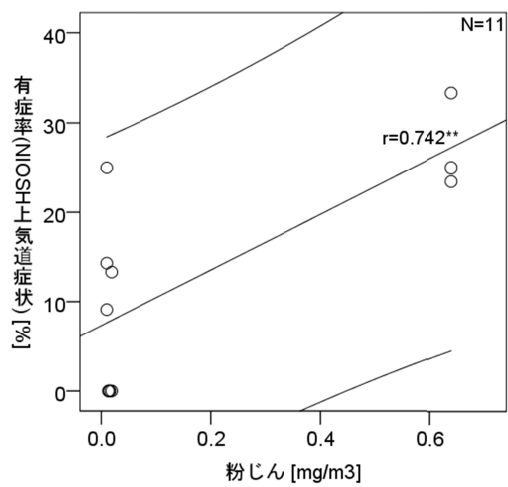


図 1-7 冬期の上気道症状と粉じん

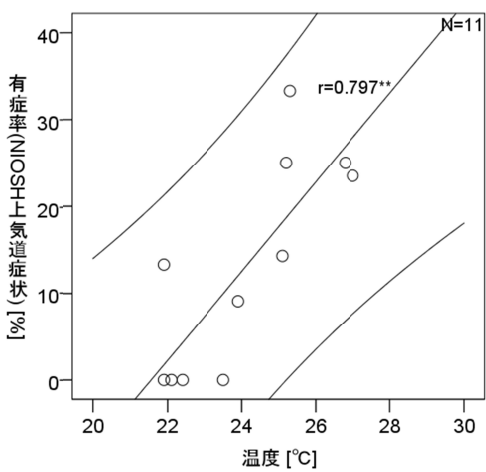


図 1-5 冬期の上気道症状と温度

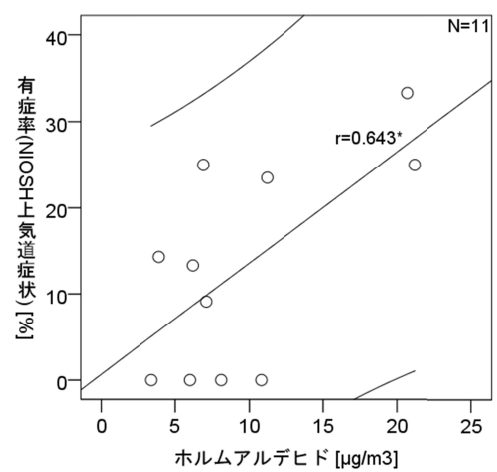


図 1-8 冬期の上気道症状とホルムアルデヒド

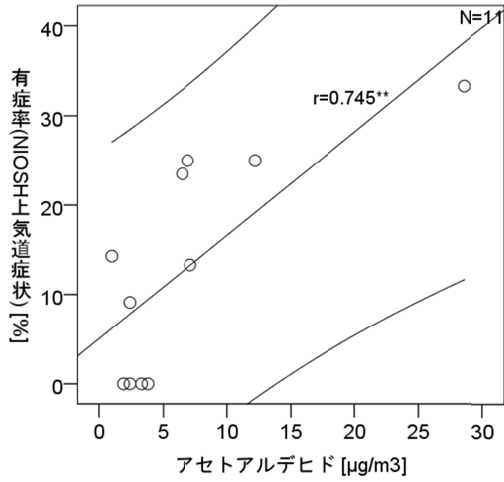


図 1-9 冬期の上気道症状とアセトアルデヒド

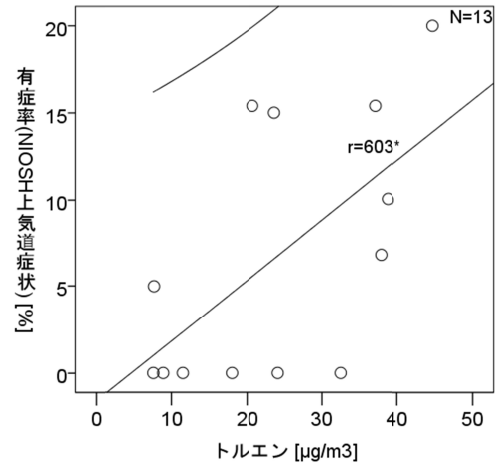


図 1-12 夏期の上気道症状とトルエン

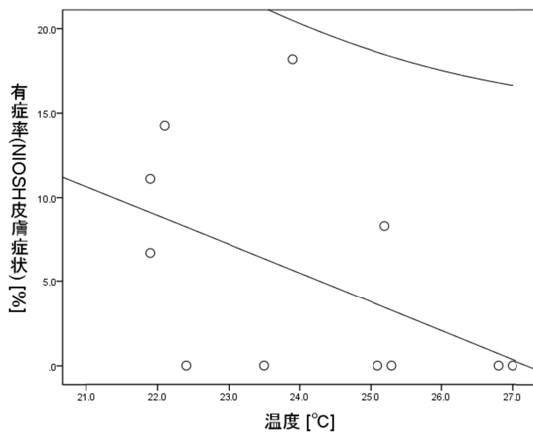


図 1-10 冬期の皮膚症状と温度

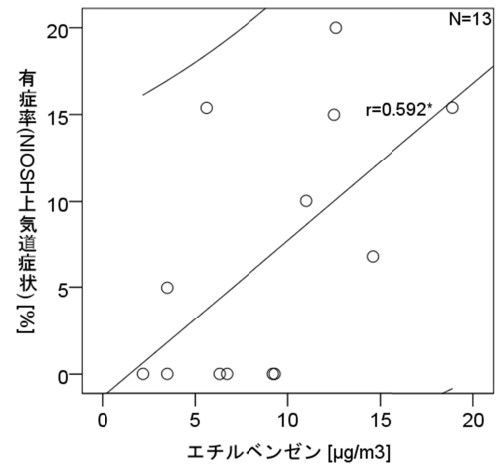


図 1-13 夏期の上気道症状とエチルベンゼン

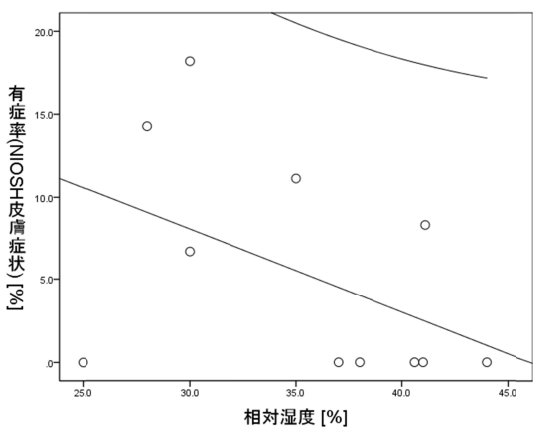


図 1-11 冬期の皮膚症状と相対湿度

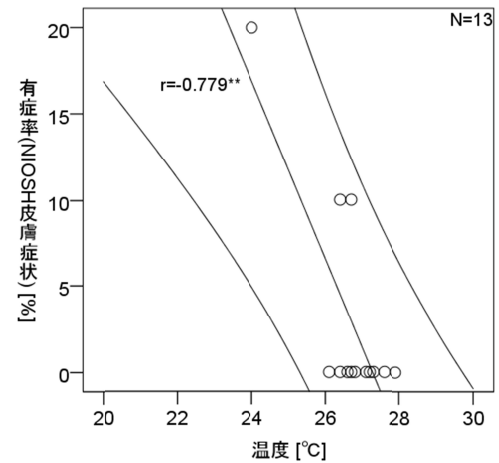


図 1-14 夏期の皮膚症状と温度

表 1-4 重回帰分析結果

非特異症状(冬期)		n = 11			
	偏回帰 係数	標準 偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
				下限	上限
(定数)	49.86		0.003	29.36	70.37
男性比率	-0.52	-0.92	0.008	-0.82	-0.22

R<sup>2</sup> = 0.53, ANOVA p < 0.05

上気道症状(冬期)		n = 11			
	偏回帰 係数	標準 偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
				下限	上限
(定数)	-88.48		0.001	-131.40	-45.57
温度	3.97	0.62	0.001	2.16	5.79
アセトアルデヒド	0.84	0.54	0.002	0.40	1.28

R<sup>2</sup> = 0.89, ANOVA p < 0.001

皮膚症状(冬期)		n = 11			
	偏回帰 係数	標準 偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
				下限	上限
(定数)	63.75		0.017	14.58	112.92
喫煙率	-0.17	-0.60	0.040	-0.34	-0.01
温度	-2.27	-0.64	0.030	-4.27	-0.28

R<sup>2</sup> = 0.56, ANOVA p < 0.05

非特異症状(夏期)		n = 13			
	偏回帰 係数	標準 偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
				下限	上限
(定数)	20.96		0.023	3.49	38.43
男性率	-0.19	-0.43	0.090	-0.41	0.04
テトラデカン	0.90	0.47	0.068	-0.08	1.89

R<sup>2</sup> = 0.48, ANOVA p < 0.05

上気道症状(夏期)		n = 13			
	偏回帰 係数	標準 偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
				下限	上限
(定数)	-1.63		0.673	-9.91	6.65
トルエン	0.35	0.60	0.029	0.04	0.65

R<sup>2</sup> = 0.36, ANOVA p < 0.05

皮膚症状(夏期)		n = 13			
	偏回帰 係数	標準 偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
				下限	上限
(定数)	140.79		0.001	67.21	214.37
温度	-5.16	-0.78	0.002	-7.92	-2.41

R<sup>2</sup> = 0.61, ANOVA p < 0.01

表 1-5 重回帰分析結果(変数にスチレン含む)

非特異症状(冬期)		n = 6			
	偏回帰 係数	標準 偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
				下限	上限
(定数)	49.86		0.003	29.36	70.37
男性比率	-0.52	-0.92	0.008	-0.82	-0.22

R<sup>2</sup> = 0.85, ANOVA p < 0.01

上気道症状(冬期)		n = 6			
	偏回帰 係数	標準 偏回帰係数	p値	95%信頼区間	
				下限	上限
(定数)	7.45		0.119	-2.99	17.90
アセトアルデヒド	30.97	0.88	0.020	7.86	54.08

R<sup>2</sup> = 0.78, ANOVA p < 0.05

冬期 11 件 (107 名), 夏期 13 件 (207 名) から得られた SBS 関連症状と室内空気質の測定値との関連性に関する解析を行った結果, 重回帰分析の結果より, 冬期では, 上気道症状と高いアセトアルデヒド濃度や高い室内温度, 皮膚症状と低い室内温度との間に有意な関係がみられた。

夏期では, 上気道症状と高いトルエン濃度, 皮膚症状と低い室内温度との間に有意な関係がみられた。変数にスチレンを加えた場合でも, 冬期では上気道症状と高いアセトアルデヒド濃度との間に有意な関係がみられた。

### C.3 従業員の主症状と室内空気質の関係

事務所における有症率と室内空気質に関する解析と同様に, 解析にあたっては, 基本属性として, 男性比率, 平均年齢, 喫煙率を変数に含めた。なお, 建物の空調方式はカテゴリーデータのため, 重回帰分析では独立変数として使用しなかったが, 本解析では多重ロジスティック回帰分析を用いるため, 建物の空調方式を独立変数として用いた。建築物衛生法の改正で個別空調方式が利用可能になって以来, 個別空調方式を有する建物で, 温湿度等の不適率が向上している可能性が指摘されている<sup>1),2)</sup>。室内空気質では, 温度, 相対湿度, 一酸化炭素, 二酸

表 1-6 主症状の有無と空気質の単変量解析結果

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

	温度 [ ]	相対 湿度 [%]	一酸 化炭素 [ppm]	二酸 化炭素 [ppm]	粉じん [mg/ m <sup>3</sup> ]	粉じん 0.3μ m <sup>~</sup>	粉じん 2.0μ m <sup>~</sup>	粉じん 5.0μ m <sup>~</sup>	PM2.5 [mg/ m <sup>3</sup> ]	PM10 [mg/ m <sup>3</sup> ]	ホルム アル デヒド [μg/ m <sup>3</sup> ]	アセト アル デヒド [μg/ m <sup>3</sup> ]	トル エン [μg/ m <sup>3</sup> ]	エチ ルベ ンゼ ン [μg/ m <sup>3</sup> ]	キシ レン [μg/ m <sup>3</sup> ]	スチ レン [μg/ m <sup>3</sup> ]	テトラ デカ ン [μg/ m <sup>3</sup> ]	TVOC [μg/ m <sup>3</sup> ]	真菌 濃度 [cfu/ m <sup>3</sup> ]	細菌 濃度 [cfu/ m <sup>3</sup> ]	
冬期																					
目の症 状	0.29	-0.14	-0.14	0.55	0.56	0.03	-0.10	-0.09	-0.05	0.10	0.32	-0.09	-0.11	-0.03	0.22	0.09	-0.20	-0.31	0.02	-0.21	
非特異 症状	-0.13	0.08	1.29	1.84	-0.01	0.95	1.23	1.31	1.41	1.82	2.03*	1.21	1.23	0.79	1.66	1.04	1.26	1.46	1.55	0.42	
上気道 症状	3.16**	3.03**	1.22	1.14	2.75*	2.43*	1.43	1.47	1.49	1.25	-0.15	1.44	1.43	2.53*	2.14*	1.65	2.10*	1.95	1.13	1.77	
皮膚症 状	-1.58	-1.72	-0.73	-0.18	-1.08	-0.96	-0.75	-0.61	-0.42	0.13	0.67	-0.79	-0.77	-0.52	-0.81	0.45	-1.01	-1.05	-0.95	-0.03	
夏期																					
目の症 状	-0.07	0.37	-0.38	-0.71		0.79	0.72	0.93	0.91	0.68	-0.70	0.79	0.77	-0.22	0.88	-0.25	-0.64	-1.52	-0.65	0.07	
非特異 症状	-0.46	1.26	-2.06*	-0.92		0.89	1.11	1.17	1.22	1.24	-0.16	1.11	1.10	0.57	-0.02	1.33	0.01	-0.81	-0.34	1.00	
上気道 症状	0.16	-0.73	-0.06	-0.60		1.30	0.92	1.43	1.59	1.83	0.51	0.84	0.85	-0.29	0.38	1.80	1.86	-0.14	1.04	0.47	
皮膚症 状	-2.11	1.14	-0.77	0.61		-0.04	-0.68	-0.35	0.16	1.39	-0.04	-0.27	-0.30	-0.70	3.18**	-0.40	-0.16	-1.40	-6.48**	-0.47	

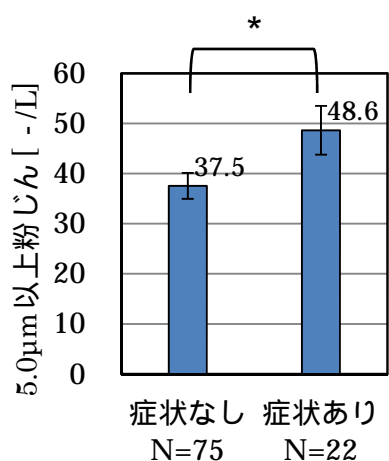


図 1-15 冬期の非特異症状と 5μm 以上粉じん

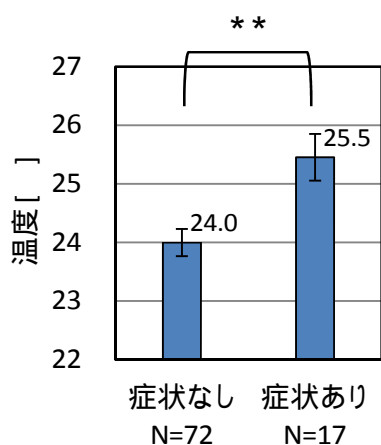


図 1-16 冬期の上気道症状と温度

化炭素,粉じん,粉じん(粒径別),PM<sub>2.5</sub>,PM<sub>10</sub>,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,パラジクロロベンゼン,テトラデカン,DBP,DEHP,TVOC,真菌,細菌を変数に含めた。

多変量解析に投入する独立変数を選定するにあたっては,5つの主症状の有症率との間の単変量解析のp値が0.2未満の変数を選定した。単変量解析は,基本属性は $\chi^2$ 検定,空気質測定項目はt検定を行った。また,独立変数間での多重共線性が高い変数(相関係数0.9以上)は,1つに変数を絞った。粉じん類は多重共線性が高いため,浮遊粉じんとPM<sub>2.5</sub>に限定した。多変量解析では多重ロジスティック回帰分析を行い,尤度比での変数増加法を用いて解析を行った。なお,冬期のトルエン,エチルベンゼン,キシレン,スチレン,パラジクロロベンゼン,テトラデカン,DBP,DEHP,TVOCは,5件の建物でデータの欠測があったため解析対象から除外し,別途これらの物質を入れた解析を追加した。

表 1-6 に主症状の有症率と空気質の単変量解析の結果を示す。また,主な空気質と主症状との関係を図 1-15 ~ 図 1-30 に示す。その後,表 1-7 と表 1-8 に多重ロジスティック回帰分析の結果を示す。

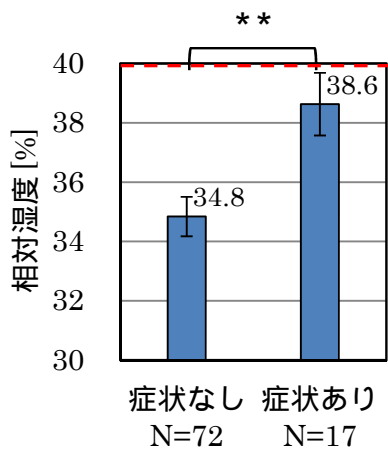


図 1-17 冬期の上気道症状と相対湿度

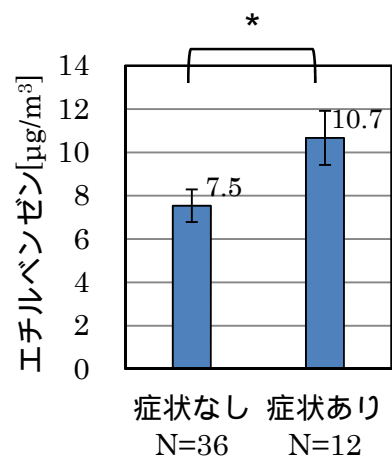


図 1-20 冬期の上気道症状とエチルベンゼン

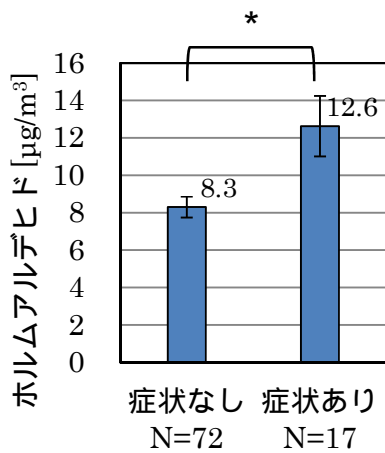


図 1-18 冬期の上気道症状とホルムアルデヒド

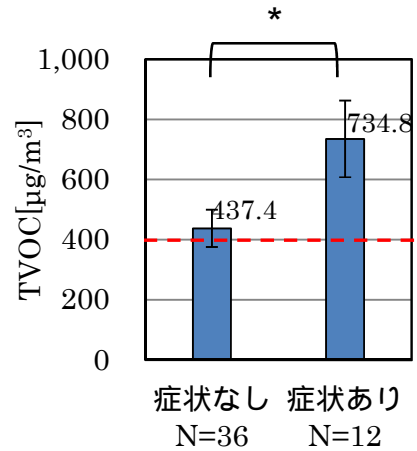


図 1-21 冬期の上気道症状と TVOC

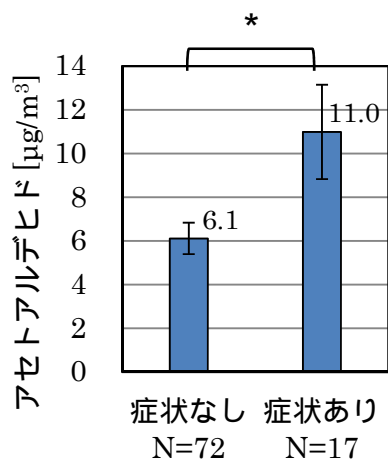


図 1-19 冬期の上気道症状とアセトアルデヒド

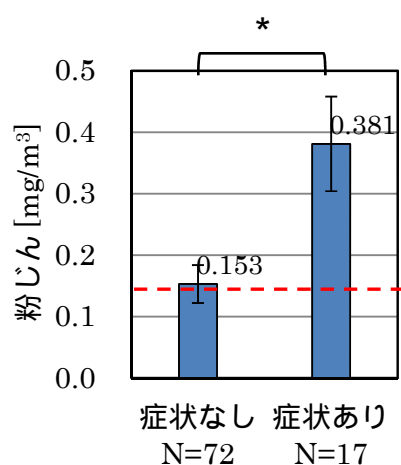


図 1-22 冬期の上気道症状と粉じん

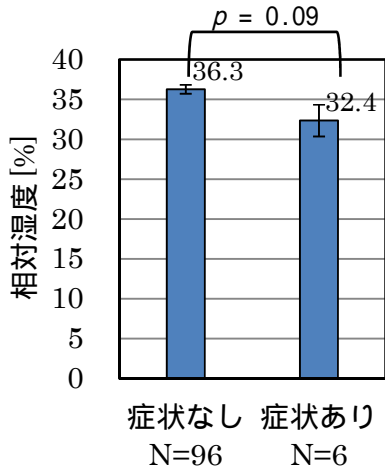


図 1-23 冬期の皮膚症状と相対湿度

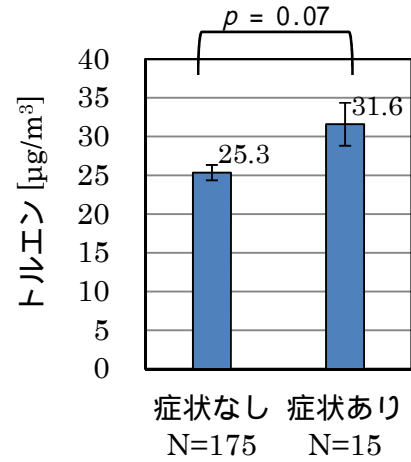


図 1-26 夏期の上気道症状とトルエン

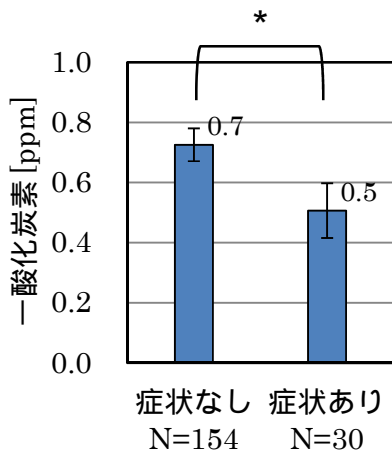


図 1-24 夏期の非特異症状と一酸化炭素

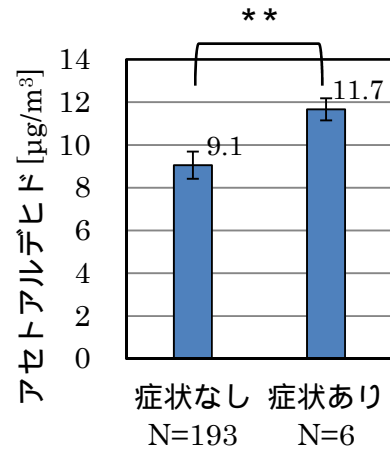


図 1-27 夏期の皮膚症状とアセトアルデヒド

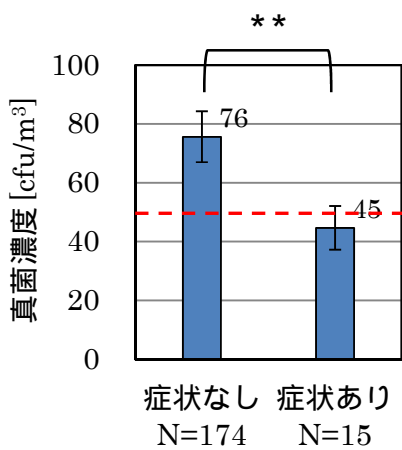


図 1-25 夏期の上気道症状と真菌濃度

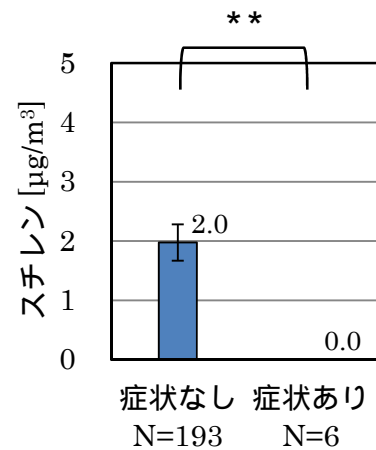


図 1-28 夏期の皮膚症状とスチレン

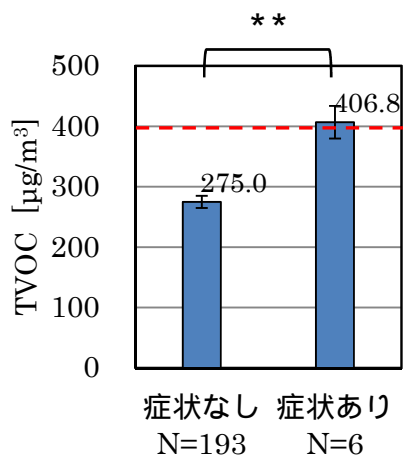


図 1-29 夏期の皮膚症状と TVOC

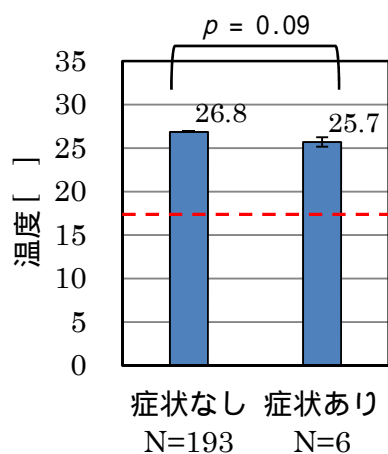


図 1-30 夏期の皮膚症状と温度

表 1-7 多重ロジスティック回帰分析結果

非特異症状(冬期)		N = 97			
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
粉じん粒径別 <sub>5.0µm</sub> 定数	0.02	0.049	1.02	1.00	1.04
定数	-2.16	0.000	0.12		
モデル	2検定 p < 0.05, 判別の中率 77.3%				

目の症状(夏期)		N = 192			
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
男性	-1.44	0.001	0.24	0.10	0.55
定数	-0.95	0.001	0.39		
モデル	2検定 p < 0.01, 判別の中率 85.4%				

上気道症状(冬期)		N = 89			
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
温度	0.34	0.053	1.40	1.00	1.97
ホルムアルデヒド	0.10	0.041	1.10	1.00	1.21
定数	-10.80	0.013	0.00		
モデル	2検定 p < 0.01, 判別の中率 80.9%				

非特異症状(夏期)		N = 183			
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
男性	-1.33	0.001	0.26	0.12	0.60
定数	-0.90	0.002	0.40		
モデル	2検定 p < 0.01, 判別の中率 84.2%				

皮膚症状(冬期)		N = 102			
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
男性	-1.76	0.060	0.17	0.03	1.08
相対湿度	-0.16	0.067	0.85	0.72	1.01
定数	3.62	0.227	37.17		
モデル	2検定 p < 0.05, 判別の中率 94.1%				

上気道症状(夏期)		N = 188			
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
男性	-1.63	0.006	0.20	0.06	0.63
トルエン	0.05	0.050	1.06	1.00	1.11
定数	-3.22	0.000	0.04		
モデル	2検定 p < 0.01, 判別の中率 92.6%				

皮膚症状(夏期)		N = 197			
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
男性	-3.28	0.019	0.04	0.00	0.59
温度	-1.39	0.004	0.25	0.10	0.64
定数	34.59	0.007	1.1E+15		
モデル	2検定 p < 0.01, 判別の中率 97.0%				



表 1-8 多重ロジスティック回帰分析結果  
(N数の小さい物質を含む)

非特異症状(冬期)(キシレン、スチレンのN数少含める) N = 54					
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
粉じん粒径別_5.0 $\mu$ m	0.04	0.032	1.04	1.00	1.08
定数	-2.98	0.001	0.05		
モデル 2検定 p < 0.05, 判別の中率 81.5%					
上気道症状(冬期)(トルエン、キシレン、テトラデカンのN数) N = 48					
	偏回帰係数	p値	オッズ比	95% 信頼区間	
				下限	上限
粉じん	2.91	0.030	18.44	1.32	256.68
定数	-2.33	0.002	0.10		
モデル 2検定 p < 0.05, 判別の中率 75.0%					

冬期 11 件 (107 名), 夏期 13 件 (207 名) から得られた SBS 関連症状と室内空気質の測定値との関連性に関する解析を行った結果, 多重ロジスティック回帰分析の結果より, 冬期では, 非特異症状と高い粉じんレベル (5 $\mu$ m 以上), 上気道症状と高いホルムアルデヒド濃度との間に有意な関係がみられた。また, 皮膚症状と低湿度にも有意な傾向があった。

夏期では, 上気道症状と高いトルエン濃度, 皮膚症状と低い室内温度との間に有意な関係がみられた。変数に N 数の少ない化学物質を加えた場合でも, 冬期では非特異症状と高い粉じんレベル (5 $\mu$ m 以上) との間に有意な関係があった。また, 上気道症状と高い粉じん濃度との間に有意な関係がみられた。

項目によっては若干の差があるものの, 総じて重回帰分析と同様の傾向がみられた。

#### D. 総括

冬期 11 件 (107 名), 夏期 13 件 (207 名) から得られた SBS 関連症状と室内空気質の測定値との関連性に関する解析を行った。冬期では, 非特異症状と高い粉じんレベル (5 $\mu$ m 以上), 上気道症状と高いアルデヒド類濃度や高い室内温度, 皮膚症状と低い室内温度との間に有意な関係がみられた。また, 皮膚症状と低湿度にも有意な傾向があった。

夏期では, 上気道症状と高いトルエン濃度,

皮膚症状と低い室内温度との間に有意な関係がみられた。

本調査のもととなった全国規模で行ったアンケート調査では, 温湿度, ほこり, 薬品臭, 不快臭と SBS 関連症状との間に有意な関係が示唆された。本調査は, 限られた建築物での断面調査であったが, 室内空気質の実測調査によって, 温湿度, 粉じん, アルデヒド類やトルエンが SBS 関連症状に影響していることを示唆し, 全国規模のアンケート調査結果を裏付ける重要なデータを得ることができた。

本調査では, 有症率の調査において, 回答率に偏りが存在する可能性が高く, 断面調査のため全体的に測定データ数も多くは得られなかった。今後, 空気質測定フロアーの従業員に対してより高い回答率 (数) を得たうえで, 例えば 2 ヶ月に 1 回等を繰り返す縦断的な調査によって, エビデンスのレベルをより向上させた調査を行う必要がある。本研究で得られた成果は, そのための重要な基礎データにもなる。

#### 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。

#### E. 研究発表

##### 学会発表

- 1) Azuma K, Ikeda K, Kagi N, Yanagi U, Shimodaira T, Osawa H. Relationship of the risk factors for indoor air quality, work environment, and occupational stress with the symptoms of employees working in office buildings. The joint ISEE, ISES and ISIAQ Environmental Health Conference 2013 in Basel, Switzerland, 19–23 August, 2013.
- 2) 高野大地, 池田耕一, 東 賢一, 鍵 直樹,

- 柳 宇,大澤元毅,中川優馬. 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. 2013年度日本建築学会大会,2013年8月30日-9月1日,北海道.
- 3) 高野大地,池田耕一,東 賢一,鍵 直樹,柳 宇,大澤元毅,中川優馬. 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. 平成25年度空気調和・衛生工学会大会,2013年9月25-27日,長野.
- 4) 高野大地,池田耕一,東 賢一,鍵 直樹,柳 宇,大澤元毅,中川優馬. 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. 平成25年度室内環境学会学術大会,2013年12月5-6日,佐世保.
- 5) 高野大地,池田耕一,東 賢一,鍵 直樹,柳 宇,大澤元毅,中川優馬. 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41回建築物環境衛生管理全国大会,2014年1月23-24日,東京.
- 6) 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: Relationship 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, 7-12 July, 2014. (in submitted)
- 7) 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,2014年5月25-27日,岡山(予定).
- F. 知的財産権の出願・登録状況(予定含む)  
予定なし

平成25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. 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

本研究では、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、室内環境の実態調査を行った。実測は、冬期及び夏期に行い、建築物衛生環境管理基準項目のほか、浮遊微生物、揮発性有機化合物、PM<sub>2.5</sub>を加え、建物毎の特性の把握を行った。更に、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。

事務所建築物における実測の結果、季節毎に建築物衛生環境管理基準値に適合しない項目、その他の測定対象についてもそれぞれの物質の濃度が高い建物などがあつた。空調設備として中央式及び個別方式に分けてその違いを検討した結果、個別方式の建物においてそれぞれの濃度が高い状況であり、空調機のエアフィルタの性能及び運用方法などが理由として挙げられた。

環境衛生監視員に対して行ったアンケート調査結果から、加湿装置の設置や指導については各地の自治体に統一した考え方がなく、運用に苦慮していることがうかがわれた。アンケートの自由記載の中には、湿度に関する居住者・管理者の認識が低いこと、加湿と共に結露の問題が起ること、運用に関する適切なマニュアルがないこと、設置の義務化などの法整備に関しても要望があつた。なお、第3種のような粉じんを浄化する能力のない換気設備についても、半数以上が機械換気設備と認めており、法律が近年の空調設備の複雑化に対応できていない点が明らかにされた。

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
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	日本大学理工学部
肱岡大輔	工学院大学
渡邊裕之	工学院大学

2-1 事務所建築物における室内環境の実態調査

A. 研究目的

前章のアンケート調査の結果より、測定対象によっては SBS に関わる症状の有症率が高いことが明らかになった。ここでは、有症率と環境要素の関連性について検討を行うために、アンケート調査の対象から協力が得られた一部のオフィスビルを対象に、冬期と夏期における室内環境の実態調査を行った。

B. 研究方法

B.1 調査対象

測定は、2013年の冬期に東京2件、福岡4件、

大阪 4 件，夏期に東京 3 件（冬期と同じ建物 2 件），福岡 4 件（全て冬期と同じ建物），大阪 6 件（冬期と同じ建物 1 件）を行い，東京の建物の ID を T-01～03，福岡を F-01～04，大阪を O-01～09 とした。表 2-1-1 に冬期，表 2-1-2 に夏期の調査対象施設の概要や測定時間帯などをまとめたものを示す。また，アンケートにより，有症者数（NIOSH・MM40 と呼ばれる，目の症状，非特異症状，上気道症状，下気道症状，皮膚の症状，これらの症状の発症に関して建築との関連に強い疑いがあるもの）の割合を調べた結果も参考として表に示す。

冬期に調査した建物は，0%が F-01，O-01，21～40%が F-03，F-04，O-03-1，O-03-2，41～60%が T-01，T-02，O-02，O-04，61～80%が F-02 であった。

夏期の有症者数は，0%が F-01，1～20%が T-01，

O-08，O-09，21～40%が T-02，T-03，O-05～07，41～60%が F-02，F-03，O-04，61～80%が F-04 となった。それ以外の対象施設の有症者の割合については，調査時点でアンケート対象ではない建物や，アンケートの回答が得られなかった場所もあり，ここで省略とする。これらのデータを元に考察の節で SBS のあるビルとそうでないビルに分け，それぞれの測定項目との関連性について検討した。

## B.2 測定方法

表 2-1-1，2 に示す日時に対象室に入室して行った測定のほか，その測定終了後温湿度データロガー（Thermo Recorder TR-72U T&D 社製）を約 1 か月間置かせてもらい，室内温湿度の 15 分か 20 分間隔の連続測定を行った。また，同時にボタン型温湿度データロガー（ハイグロクロ

表 2-1-1 冬期測定対象ビルの概要

施設名	所在地	竣工年数	階数	測定日	測定時刻	有症者数の割合
T-01	荒川区	1994	地上5階地下2階	3月1日	13:30～	41～60%
T-02	港区	1975	地上26階地下4階	3月1日	15:30～	41～60%
F-01	博多区	1974	地上9階地下2階	3月7日	10:00～	0%
F-02	博多区	1989	地上10階地下2階	3月8日	10:00～	61～80%
F-03	博多区	1968	地上8階地下2階	3月8日	13:30～	21～40%
F-04	博多区	1970	地上5階地下4階	3月8日	15:30～	21～40%
O-01	泉佐野市	2007	地上2階地下1階	3月14日	13:30～	0%
O-02	橿原市	1984	地上1階地下2階	3月14日	15:00～	41～60%
O-03-1	堺市			3月15日	10:00～	21～40%
O-03-2	堺市			3月15日	10:00～	21～40%
O-04	西区	2009	地上17階地下2階	3月15日	15:00～	41～60%

表 2-1-2 夏期の測定対象の概要

施設名	所在地	竣工年数	階数	測定日	測定時刻	有症者数の割合
T-01	荒川区	1994	地上5階地下2階	8月23日	10:00～	1～20%
T-02	港区	1975	地上26階地下4階	8月23日	11:30～	21～40%
T-03	新宿区	1999	地上27階地下2階	8月23日	14:30～	21～40%
F-01	博多区	1974	地上9階地下2階	9月6日	10:00～	0%
F-02	博多区	1989	地上10階地下2階	9月6日	13:30～	41～60%
F-03	博多区	1968	地上8階地下2階	9月6日	15:00～	41～60%
F-04	博多区	1970	地上5階地下4階	9月5日	15:00～	61～80%
O-04	西区	2009	地上17階地下2階	9月11日	10:00～	41～60%
O-05	茨木市	1993	地上5階	9月10日	9:00～	21～40%
O-06	吹田市	1972	地上5階	9月10日	11:00～	21～40%
O-07	箕面市	1996	地上4階	9月10日	14:00～	21～40%
O-08	池田市	2007	地上5階	9月10日	16:00～	1～20%
O-09	池田市	1968	地上5階	9月11日	14:00～	1～20%

表 2-1-3 使用機器と測定時間

測定項目	測定機器	測定時間
温度	IAQモニタ	室内と室外で 各20～30分
相対湿度		
CO		
CO <sub>2</sub>		
浮遊微粒子	パーティクルカウンタ	
PM <sub>2.5</sub>	DRX	
VOC	Tenax-TA管	
HCHO	DNPHカートリッジ	
浮遊微生物	バイオサンプ	室内と室外、給気 口で各10分程度

ン Kn ラボラトリーズ)を用いて外気の温湿度を測定した。ここでは、入室したときに行った各測定方法について述べる。

(1) CO・CO<sub>2</sub>

表 2-1-3 に測定に使用した計測機器と測定時間を示す。一酸化炭素(CO)と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度の測定に IAQ モニタを用いた。測定の前に予めゼロガスとスパンガスによる校正を行った。

(2) 浮遊微生物

浮遊真菌の測定には DG-18 培地、浮遊細菌の測定には SCD 培地を用い、バイオサンプラー(MBS-1000 ミドリ安全社製)にて、室内の机上(IA)、給気口(SA)、屋外(OA)の3か所でサンプリングした。OAでの真菌測定のみ50L/minで行い、それ以外は100L/minで行った。サンプリング終了後、インキュベーターでDG-18培地は25℃で5日間、SCD培地は32℃で2日間培養した。培養後、培地上のコロニー数を計数し、真菌については形態学による同定を行った。

(3)化学物質

ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドなどカルボニル化合物については、DNPHカートリッジを用いて1L/minで計30Lの捕集を行い、HPLCにより定量分析を行った。トルエンなどVOCsについては、Tenax-TA捕集剤を用いて166ml/minで計5Lを捕集し、GC/MSにより分析を行った。なお、TVOCはヘキサン(C6)か

らヘキサデカン(C16)までのピークをトルエン換算して算出しものである。

(4)浮遊微粒子、PM<sub>2.5</sub>

PM<sub>2.5</sub>の測定には、多くの既往の研究において用いられている可搬型のPM<sub>2.5</sub>計(TSI DustTrak DRX 8533)を用いることとした。この装置は、光散乱法を用いており、1分毎の濃度を記録するものである。ただし、粒子の性状によりこの機器が表示する濃度と実際の質量濃度は異なることが知られており、換算係数を乗じて濃度とするのが一般的である。本研究においては、この係数を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、粒径別個数濃度の測定には、パーティクルカウンタ(RION, KR-12A)を用いて、同様に1分毎のデータを記録した。

C. 結果

C.1 温度・相対湿度

(1) 冬期

図 2-1-1, 2 に空調運転時間帯(ヒトが居る時間帯)の室内温度と相対湿度を抽出した結果を示す。図 2-1-1, 2 の箱ひげ図にそれぞれ最大値, 75%タイル値, 中央値, 25%タイル値, 最小値を示している。測定期間中に室内温度は 11 ~ 30℃, 相対湿度は 6~65%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 20 ~ 26℃, 28~45%であった。O-03\_1 は温度, 相対湿度どちらも欠測であった。

建築物衛生法では温度について 17 ~ 28℃, 相

対湿度について 40～70%との管理基準を定めている。温度においては、中央値で全てその基準値を満足していたが、最小値では T-01、F-03、O-01、O-02、O-03\_2 が満足していなかった。相対湿度においては、中央値で T-01、F-01、F-02、F-04、O-01、O-02、O-03\_2、25%タイル値では、F-03 以外が満足していなかった。

図 2-1-3～12 に各測定対象の室内温湿度の経時変化を示す。温湿度計は、東京は 3 月 3～9 日、福岡は 3 月 9 日～4 月 2 日、大阪は 3 月 16 日～3 月 31 日の間連続測定を行った。O\_03\_1 は欠測であった。

温度については、変動の少ないビル（たとえば図 2-1-12）と変動の大きいビル（たとえば、図 2-1-9）があった。温度変化の大きい物件の中でも、とくに O-01 は、温度が急上昇している時間帯を見ると、室内温度が 10 分で約 10 も上昇していた。温度変化の変動が少ない物件で

は、約 20～25 の間で変化していることが分かる。

一方、湿度については、O-04 以外の物件は湿度変化の変動が大きく、特に T-01、T-02 は、急激な変動が見られた。

図 2-1-13、14 に福岡、大阪での長期測定時の温湿度計による外気温度の経時変化を示す。なお、温湿度計は 10 分間隔でデータを記録し、室内温湿度の場合と同様に、福岡は 3 月 9 日から 4 月 2 日、大阪は 3 月 16～31 日の間連続の測定を行った。東京のデータは欠測であった。福岡の外気平均温湿度はそれぞれ 14.7℃、61%、大阪の外気平均温湿度はそれぞれ 12.4℃、58%であった。福岡、大阪の各測定対象の室内と屋外の平均温湿度を比較した結果、総じて外気に比べ室内温度は 5～8℃ほど高かった。中では O-04 の室内温度差が 12℃以上であり、外気に比べ室内相対湿度は 20%ほど低かった。

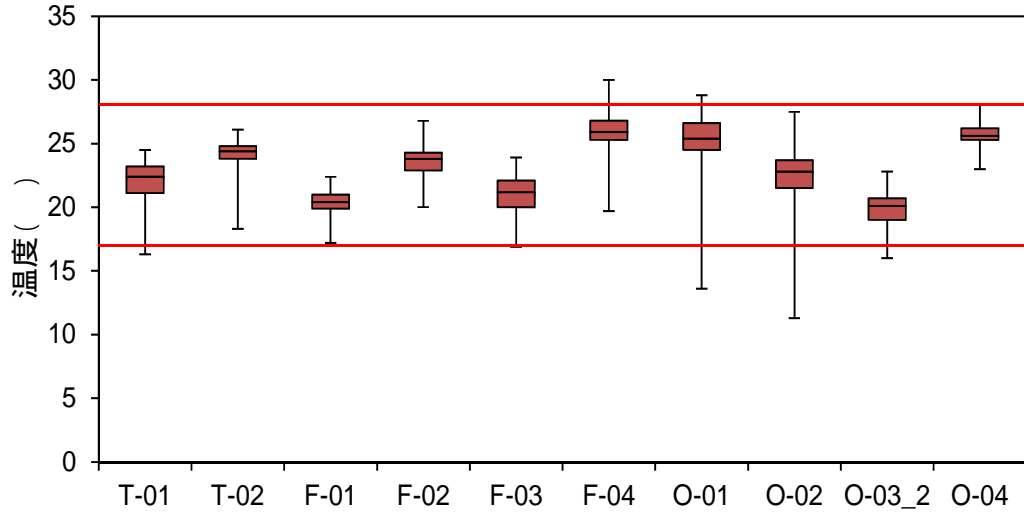


図 2-1-1 空調運転時の室内温度

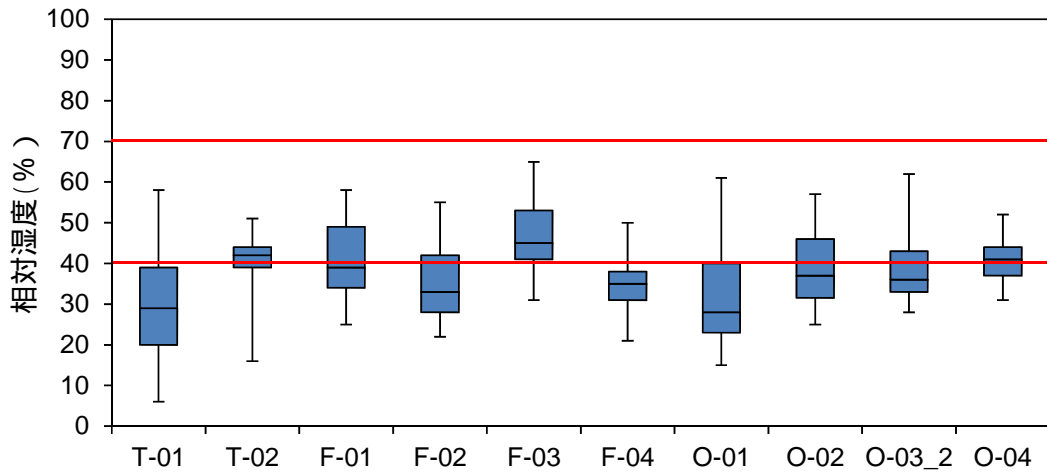


図 2-1-2 空調運転時の室内相対湿度

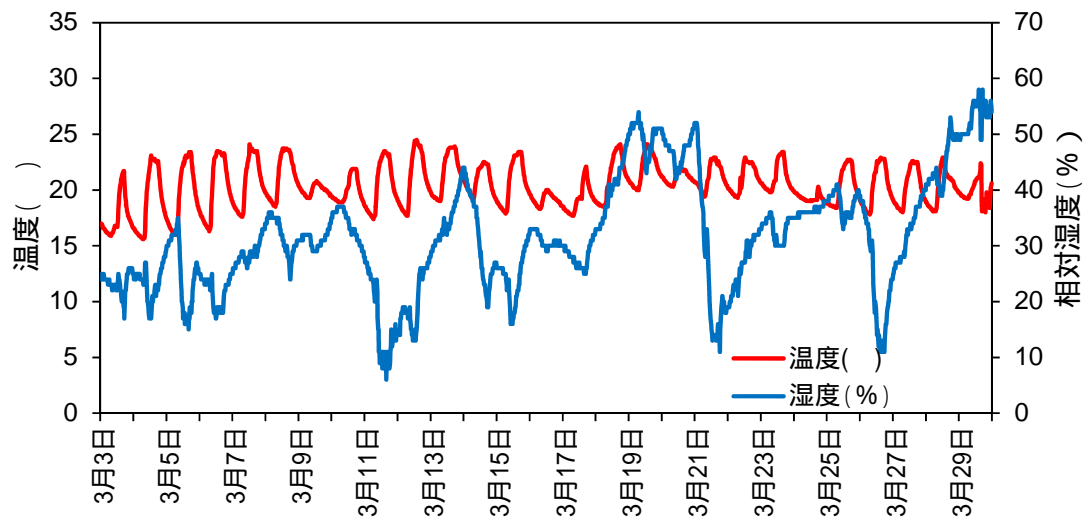


図 2-1-3 T-01 温湿度の経時変化

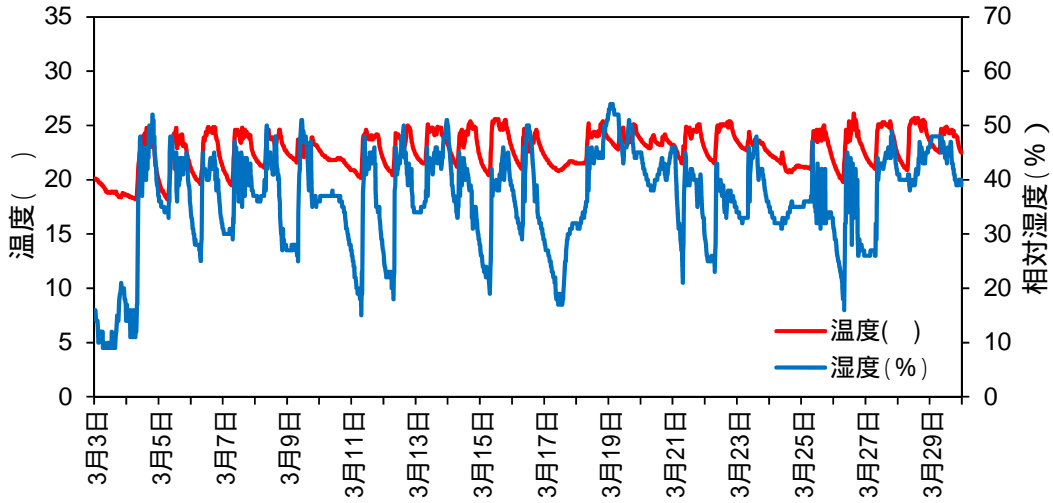


図 2-1-4 T-02 温湿度の経時変化

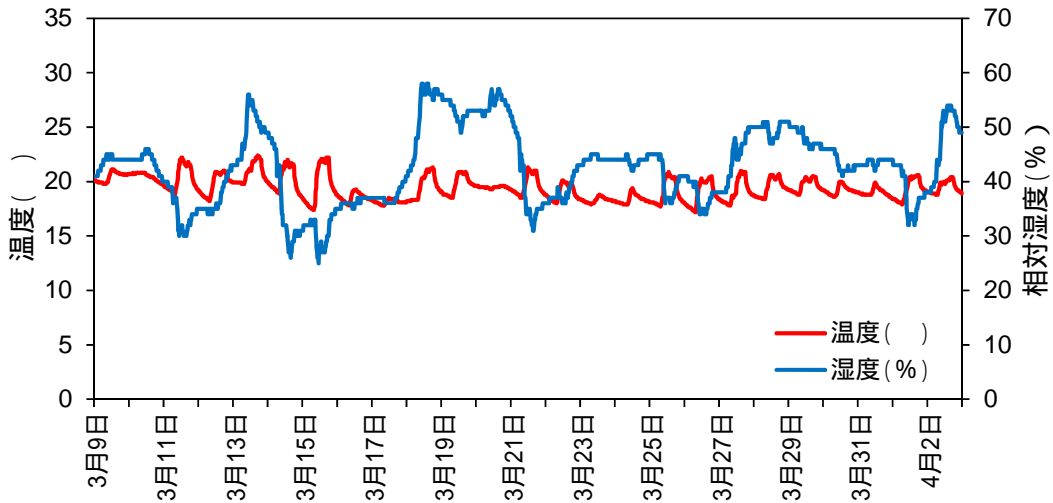


図 2-1-5 F-01 温湿度の経時変化

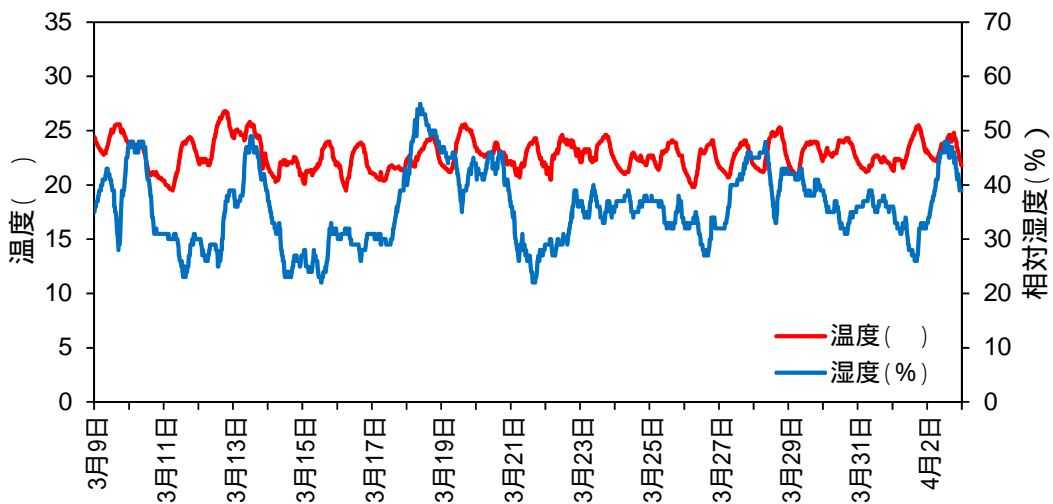


図 2-1-6 F-02 温湿度の経時変化



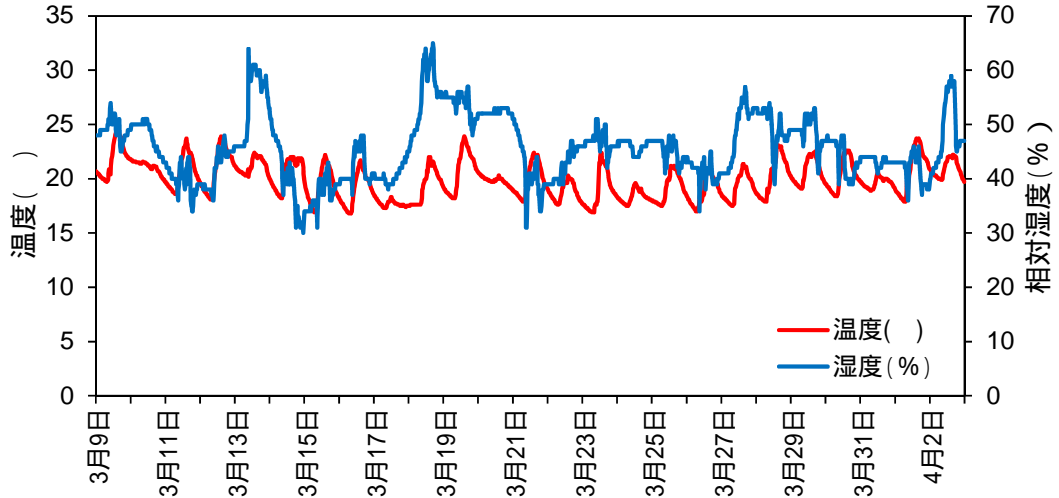


図 2-1-7 F-03 温湿度の経時変化

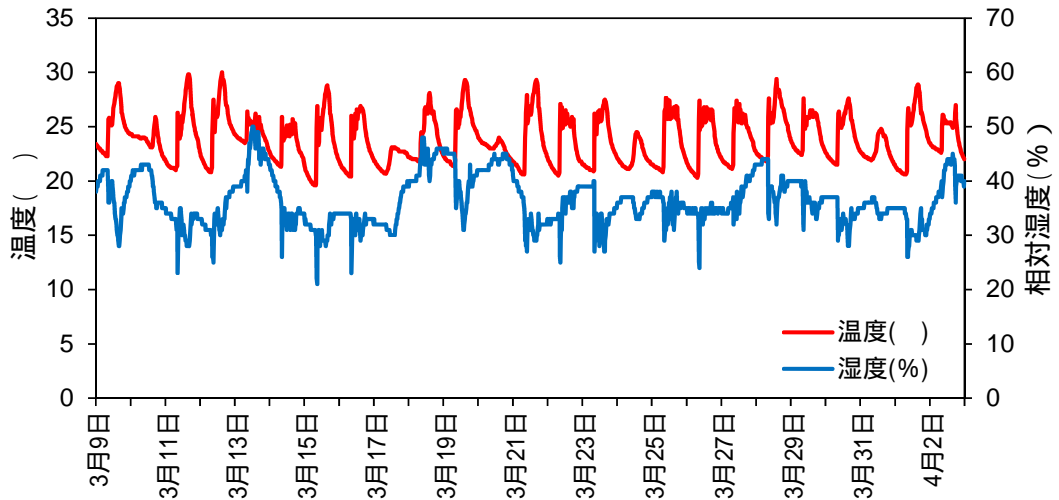


図 2-1-8 F-04 温湿度の経時変化

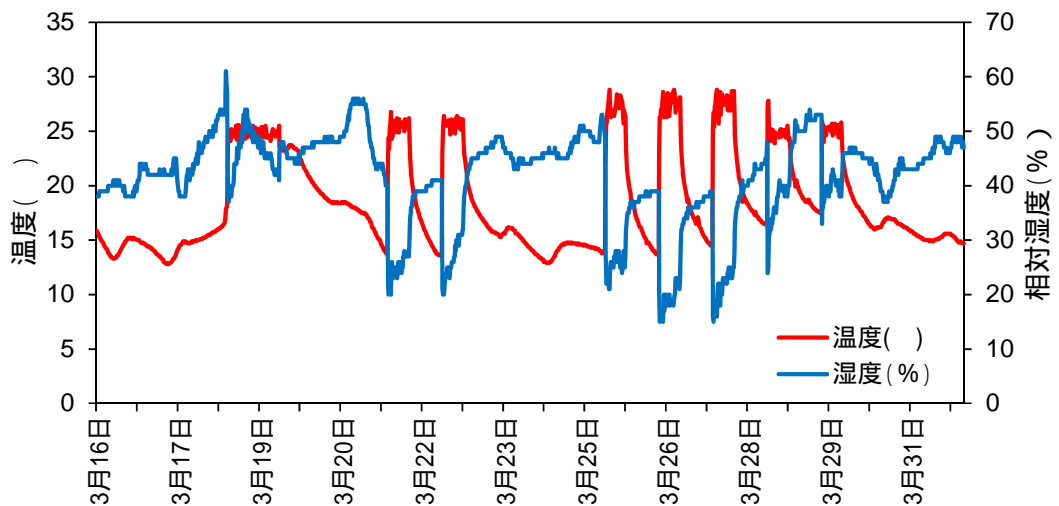


図 2-1-9 O-01 温湿度の経時変化

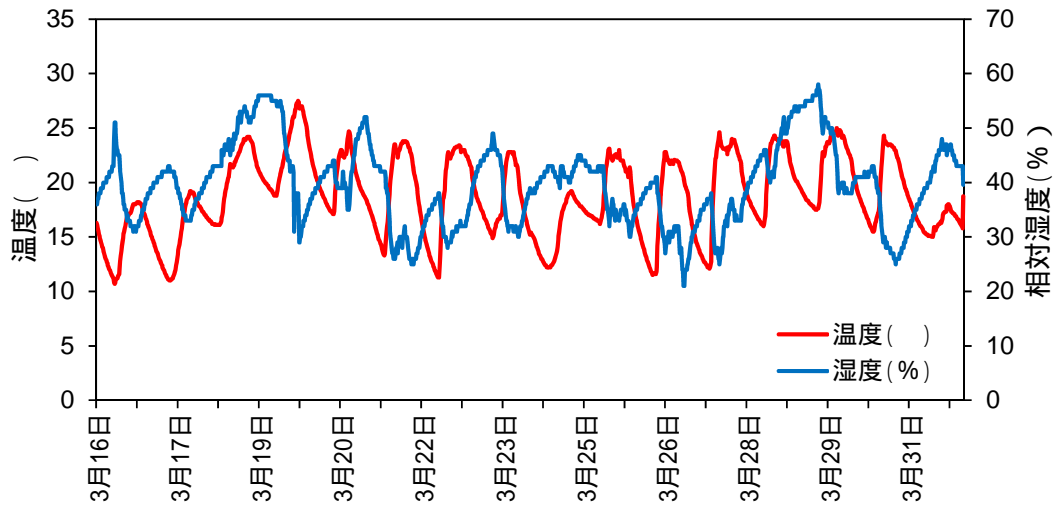


図 2-1-10 O-2 温湿度の経時変化

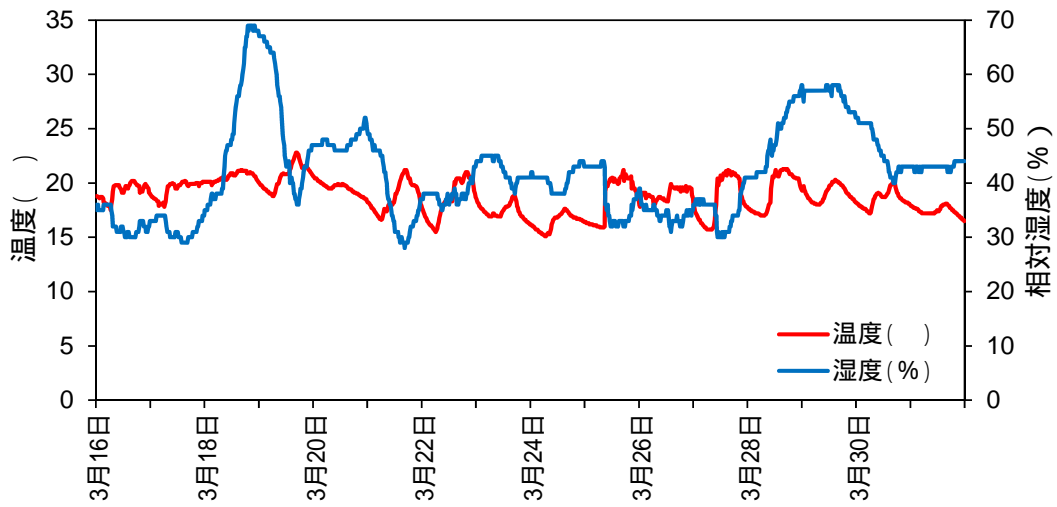


図 2-1-11 O-3-2 温湿度の経時変化

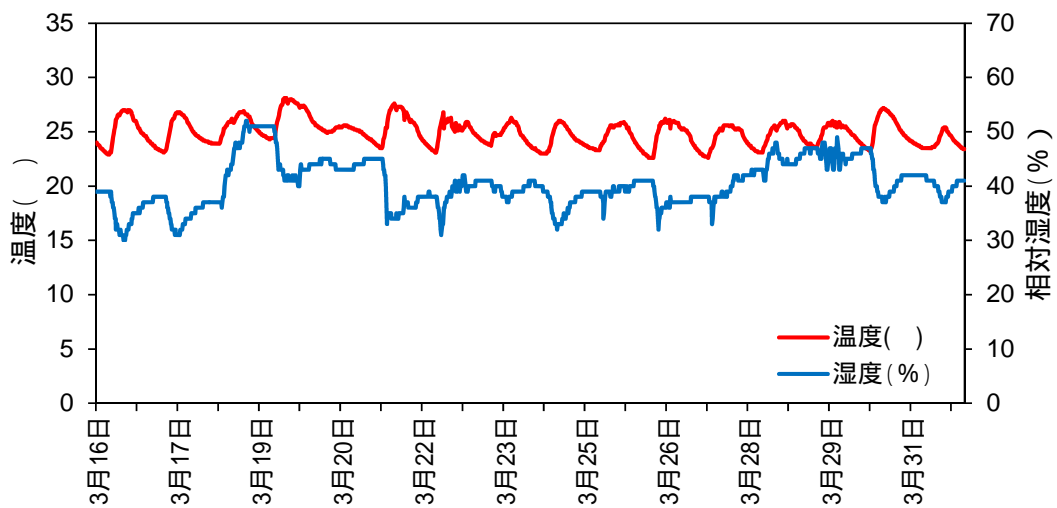


図 2-1-12 O-04 温湿度の経時変化

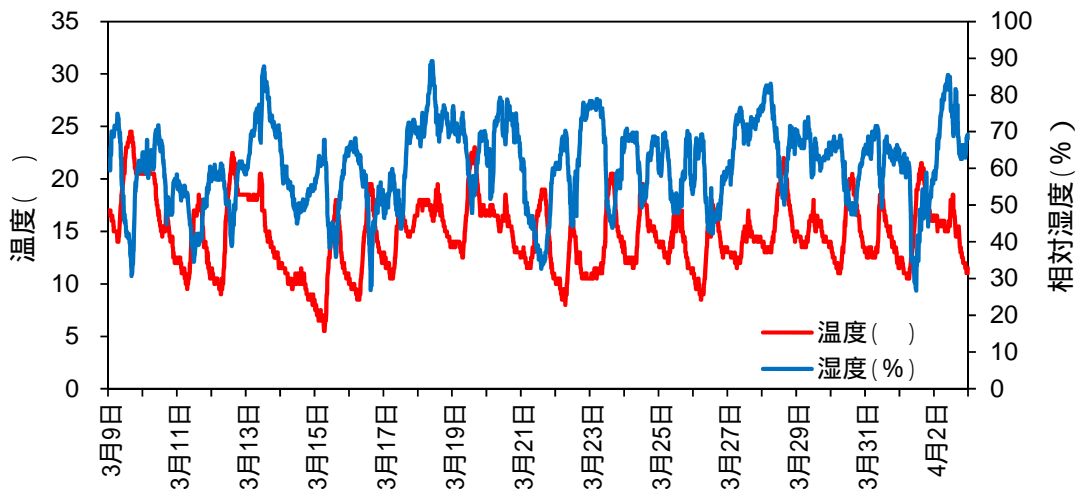


図 2-1-13 福岡の外気温度の経時変化

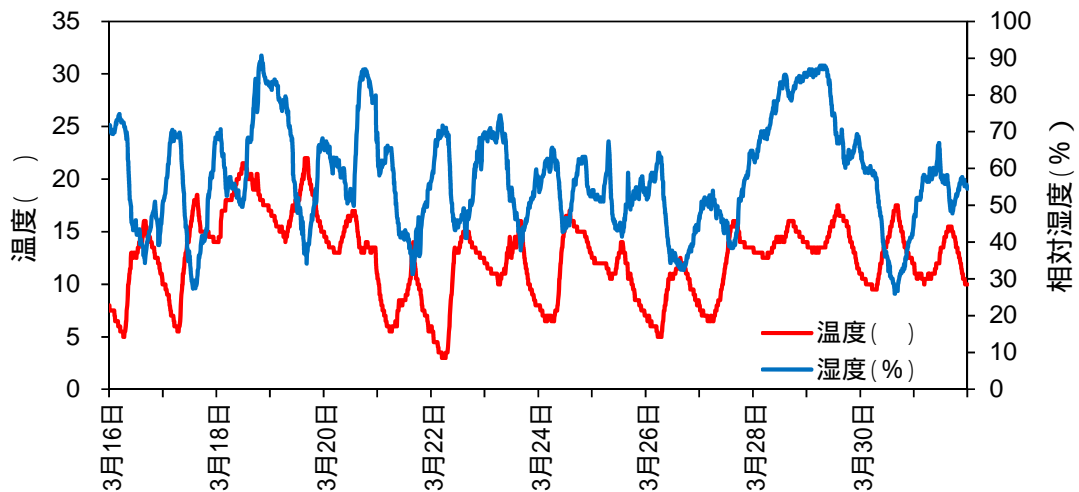


図 2-1-14 大阪の外気温度の経時変化

(2) 夏期

図 2-1-15, 16 に空調運転時間帯(ヒトが居る時間帯)の室内温度と相対湿度を抽出した結果を示す。なお、O-06 は欠測であった。

測定期間中に室内温度は 20~30℃, 相対湿度は 20~70%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 24~27℃, 43~55%であった。O-06 は欠測であった。

温度の中央値ではすべて建築物衛生法の管理基準 17~28℃を満足していたが、最大値では O-08, O-09 以外の 10 件が満足していなかった。

一方、相対湿度では、中央値のすべてが管理

基準値 40~70%を満足していたが、最小値では T-03 以外の 11 件が満足していなかった。

図 2-1-17~28 は各測定対象それぞれの室内湿度の経時変化を示す。温湿度計は、東京、福岡、大阪全て 10 分間隔でデータを記録し、東京は 8 月 26 日から 9 月 23 日、福岡は 9 月 9 日から 10 月 3 日、大阪は 9 月 13 日から 10 月 11 日の間連続測定を行った。なお、O-06 は欠測であった。

温度については、ほとんどのビルが 25~30℃の範囲で変動していたが、F-03, F-04, O-04 は 30℃を上回る変動が測定期間中いくつか見られ

た。

相対湿度については、T-03 は湿度変化の変動が小さいが、その他の物件では湿度変化の変動が大きく、T-02、T-03、F-02 で急激な湿度変化が見られた。

図 2-1-29～31 に東京、福岡、大阪、それぞれの長期測定時の外気温度の経時変化を示す。なお、温湿度計は 10 分間隔でデータを記録し、室内温湿度の場合と同様に、東京は 8 月 26 日から 9 月 23 日、福岡は 9 月 9 日から 10 月 3 日、大阪は 9 月 13 日から 10 月 11 日の間連続の測定を行った。東京の外気の平均温湿度はそれぞれ 27.6℃、67.3%、福岡の外気の平均温湿度はそれぞれ 26.4℃、60.4%、大阪の外気の平均温湿度はそれぞれ 25.8℃、61.7%であった。また福岡

の湿度で 9 月 12 日から 17 日で横ばいになる期間があった。東京、福岡、大阪の各測定対象の室内の平均温湿度と外気温度の間の差が小さく、外気平均温度に比べ 2℃前後する範囲内であった。

## C.2 CO・CO<sub>2</sub>

### (1) 冬期

各測定場所の CO<sub>2</sub> の結果を図 2-1-32(冬期)、図 2-1-33(夏期)に示す。CO についてはどの測定場所でも基準値以下になっていたため、ここでは図を省略する。

建築物衛生法では、CO は 10ppm 以下、CO<sub>2</sub> は 1000ppm 以下と定められている。冬期は、CO に関してはどの建物でも基準値を超えることは

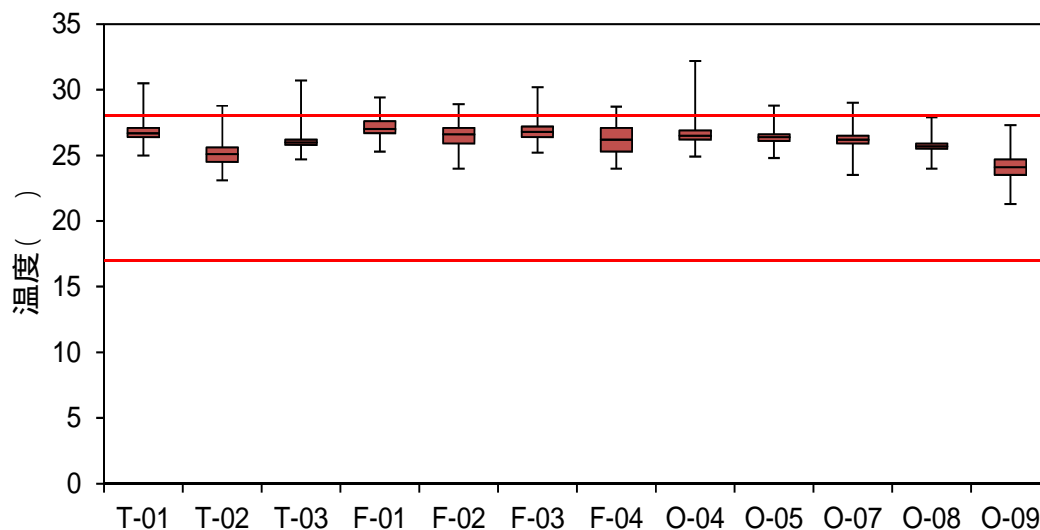


図 2-1-15 空調運転時の室内温度

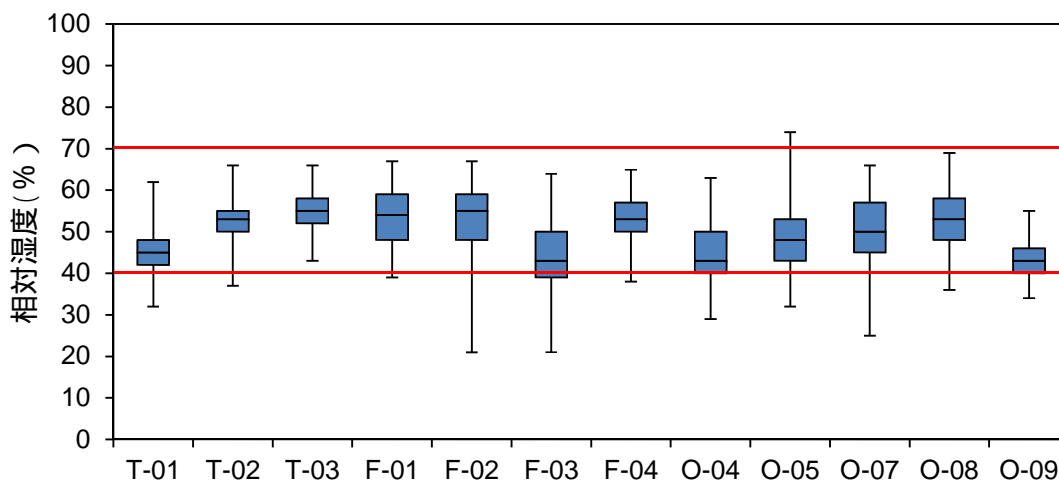


図 2-1-16 空調運転時の室内相対湿度

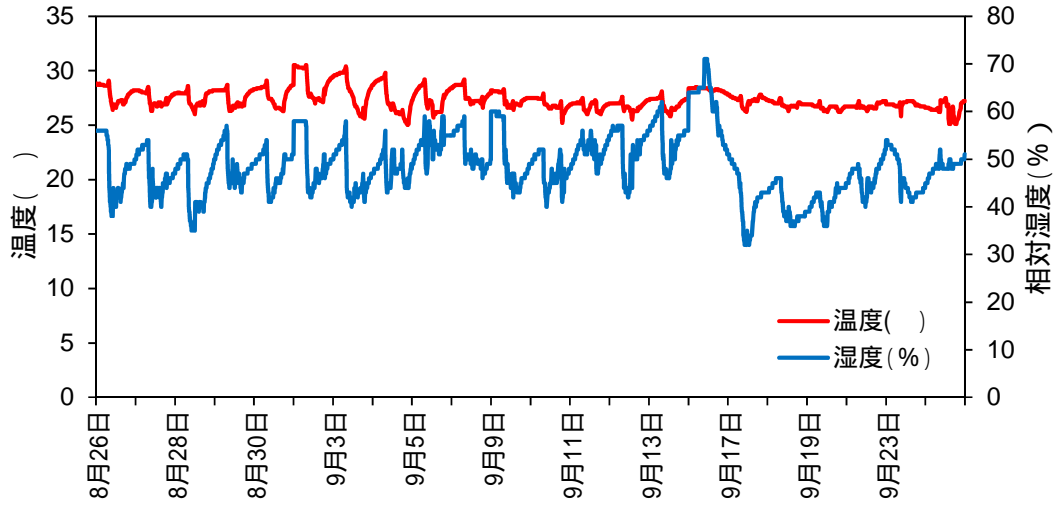


図 2-1-17 T-01 温湿度の経時変化

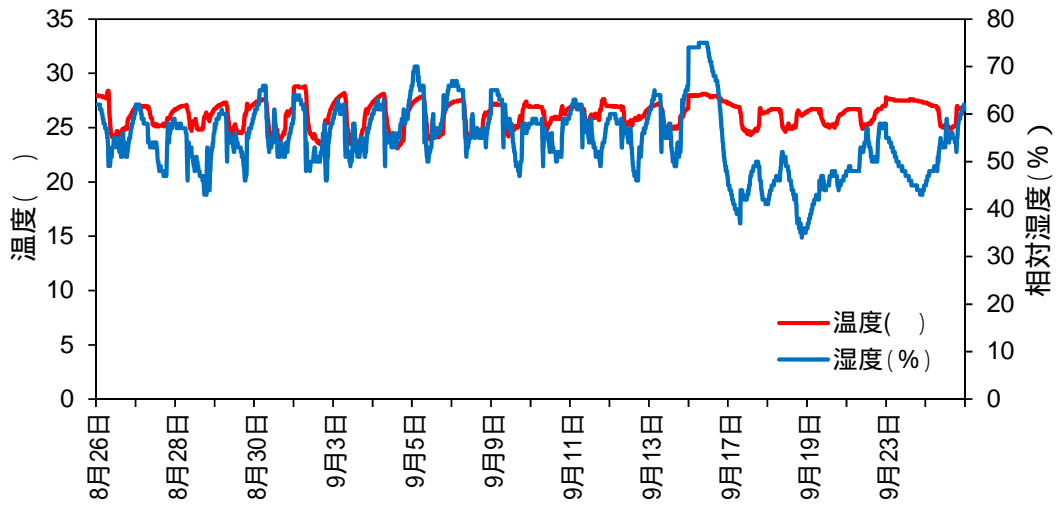


図 2-1-18 T-02 温湿度の経時変化

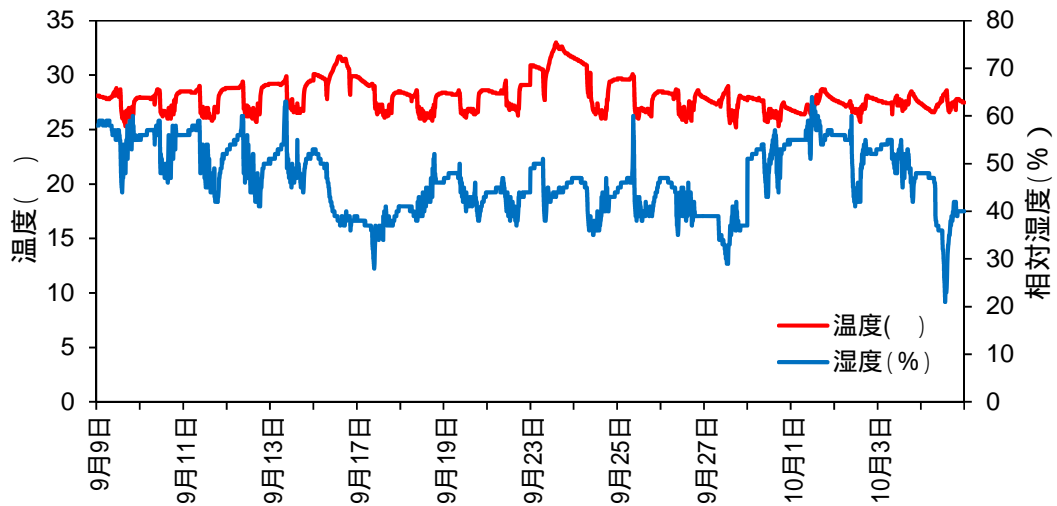


図 2-1-19 F-03 温湿度の経時変化

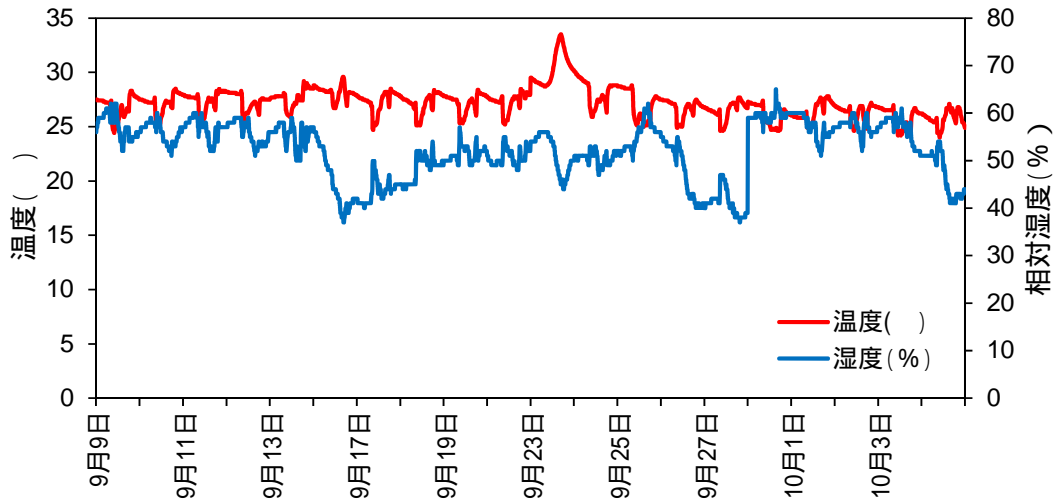


図 2-1-20 F-04 温湿度の経時変化

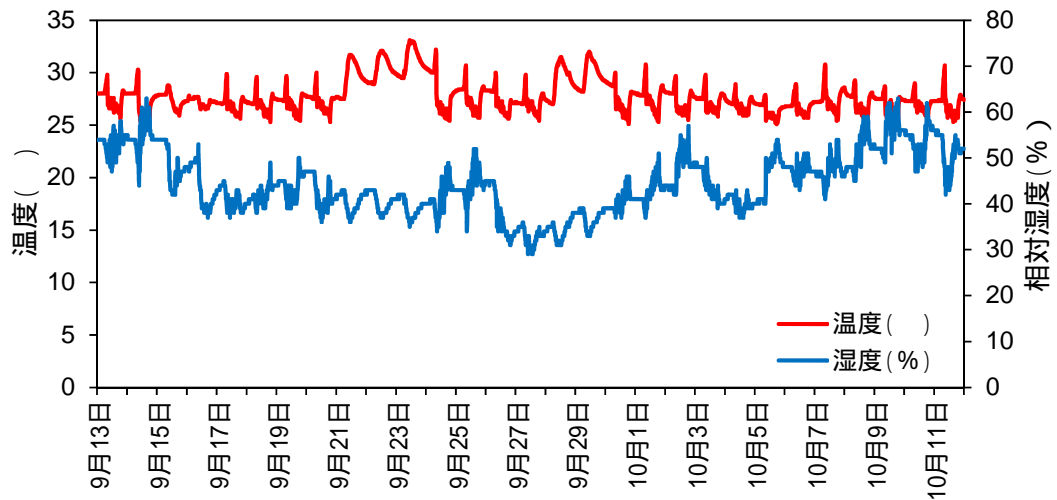


図 2-1-21 O-04 温湿度の経時変化

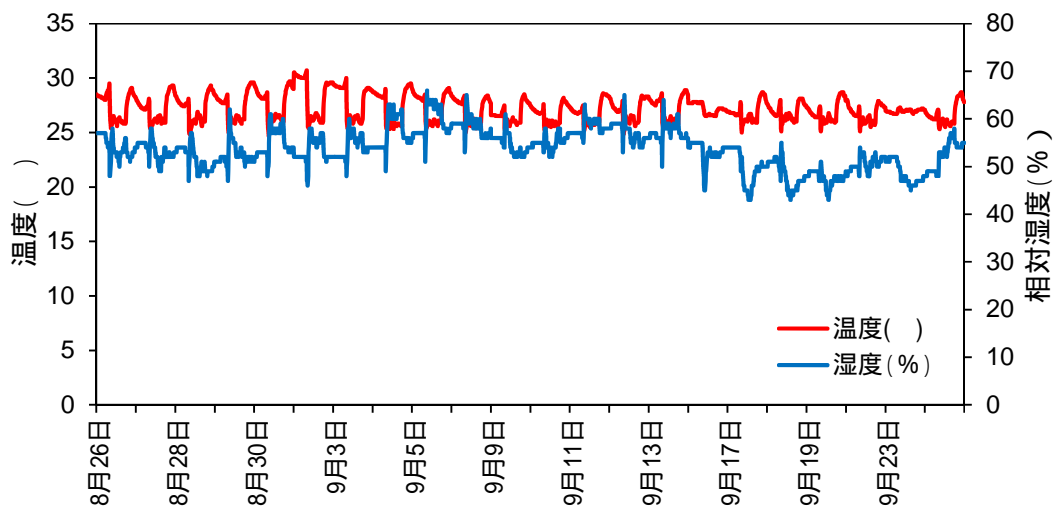


図 2-1-22 T-03 温湿度の経時変化

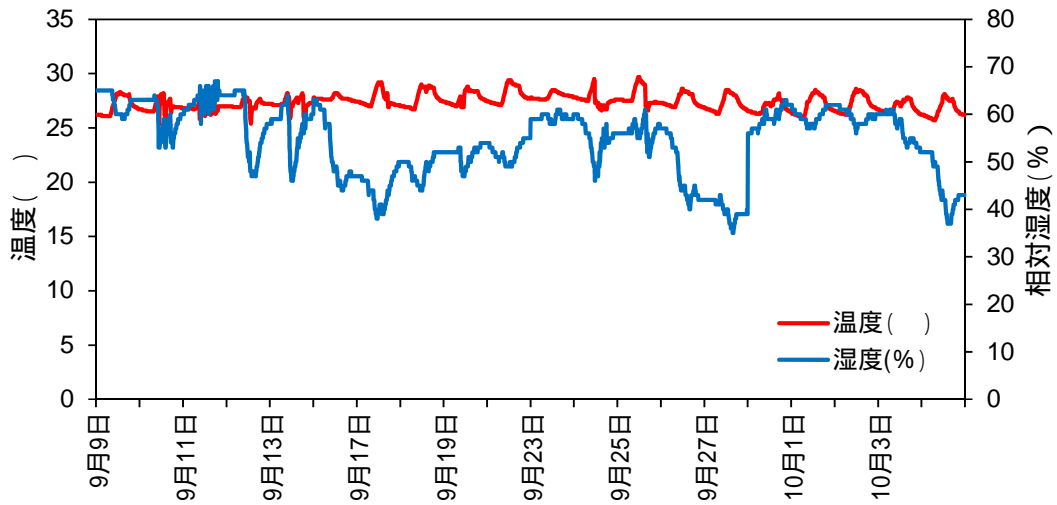


図 2-1-23 F-01 温湿度の経時変化

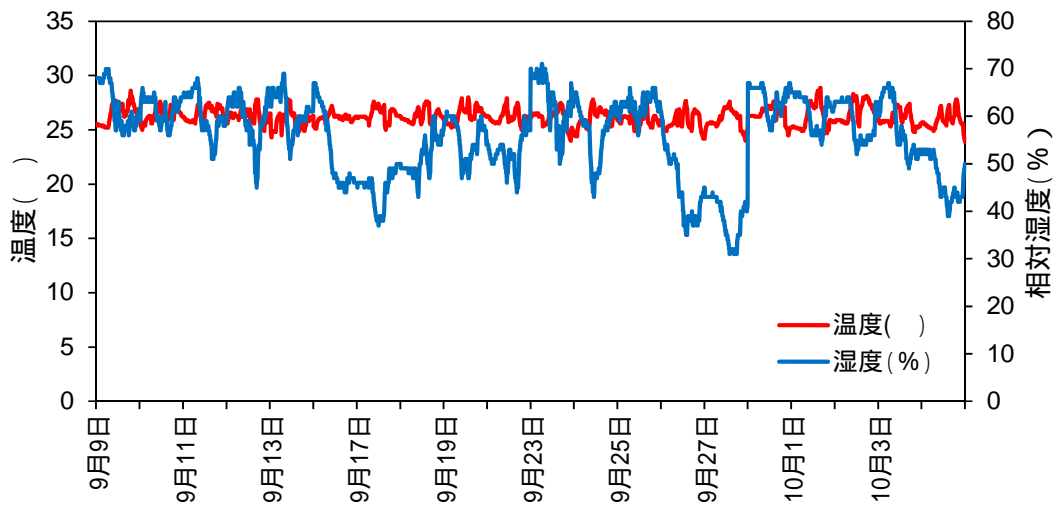


図 2-1-24 F-02 温湿度の経時変化

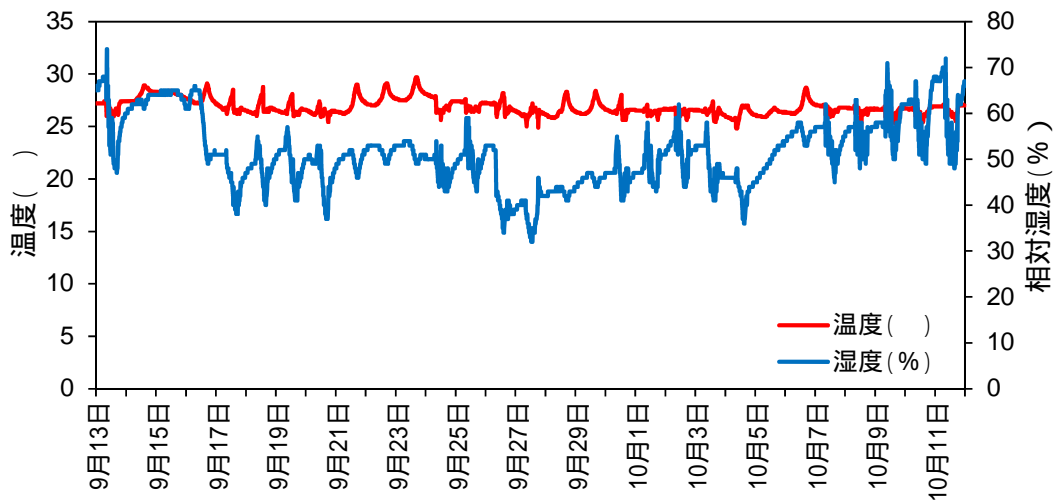


図 2-1-25 O-05 温湿度の経時変化

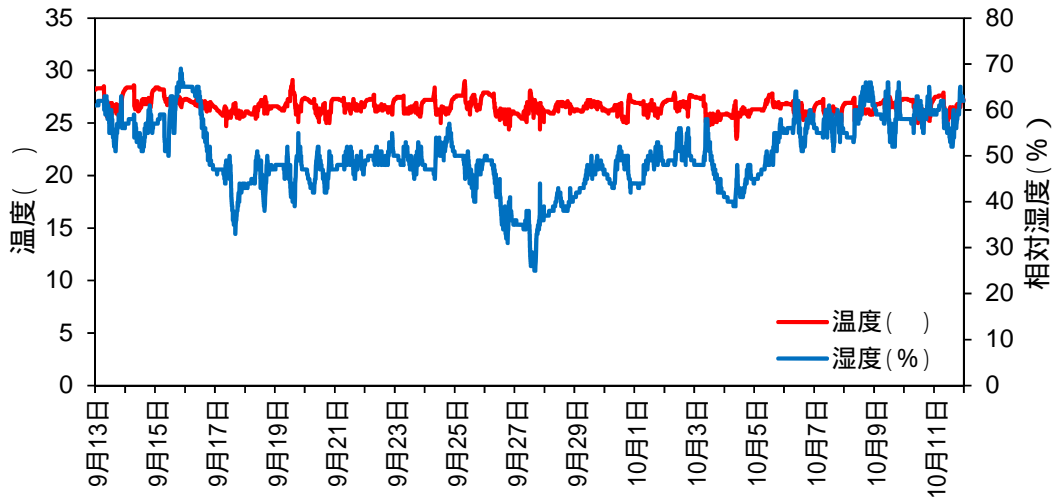


図 2-1-26 O-07 温湿度の経時変化

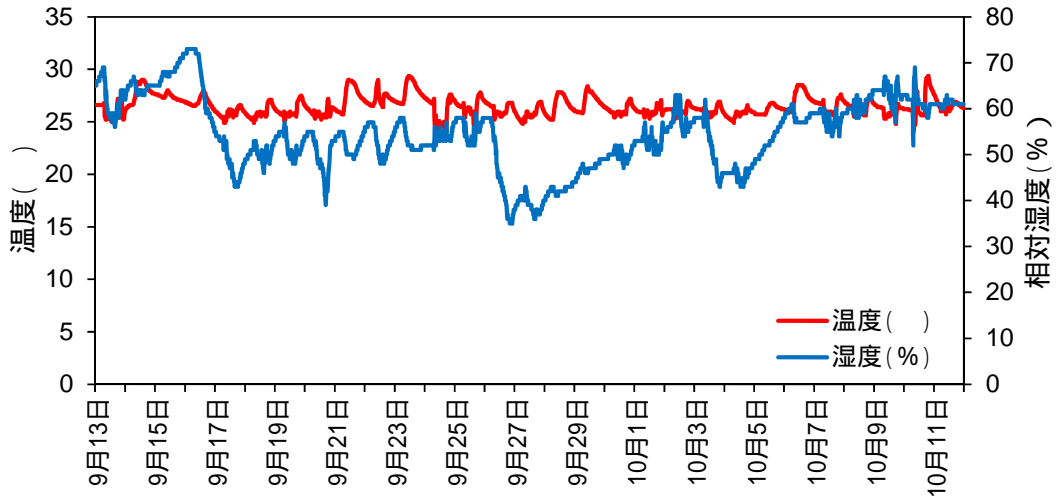


図 2-1-27 O-08 温湿度の経時変化

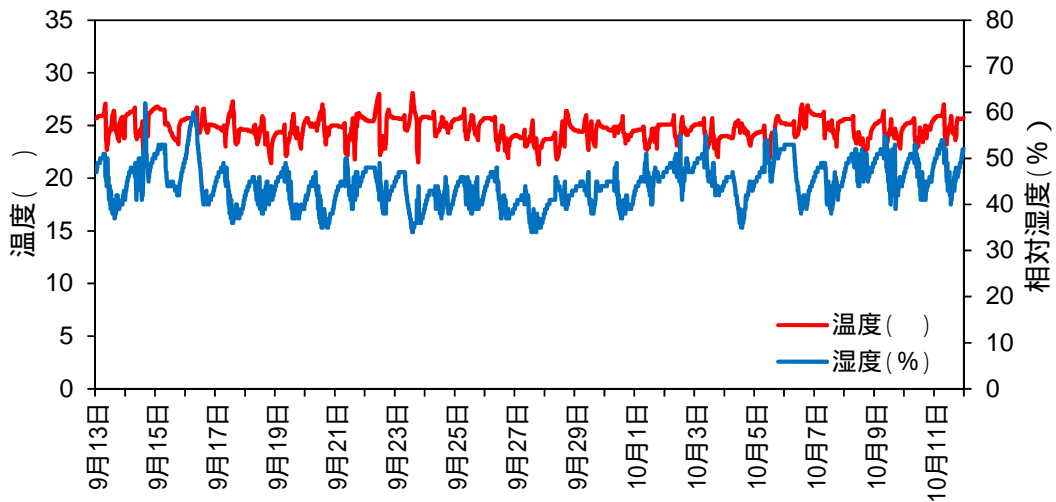


図 2-1-28 O-09 温湿度の経時変化



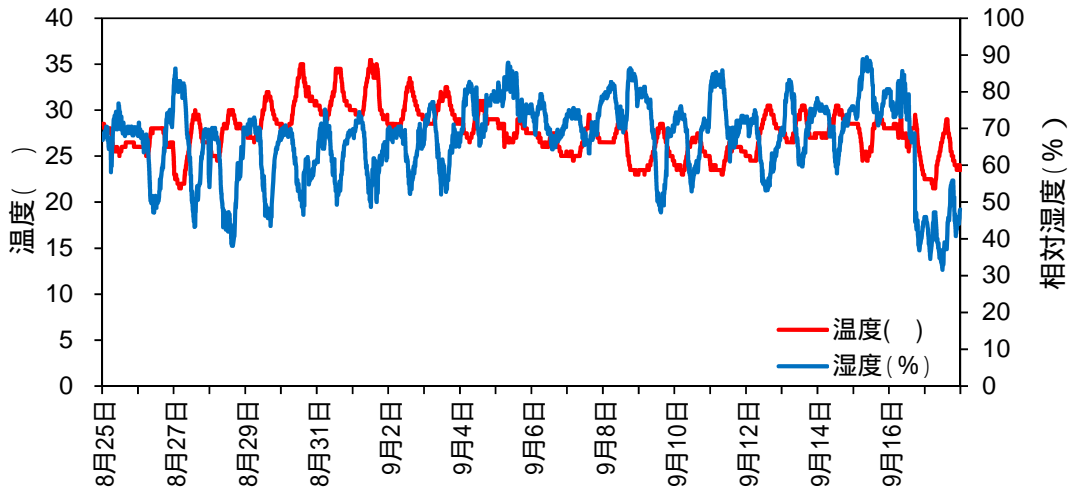


図 2-1-29 東京の外気温度の経時変化

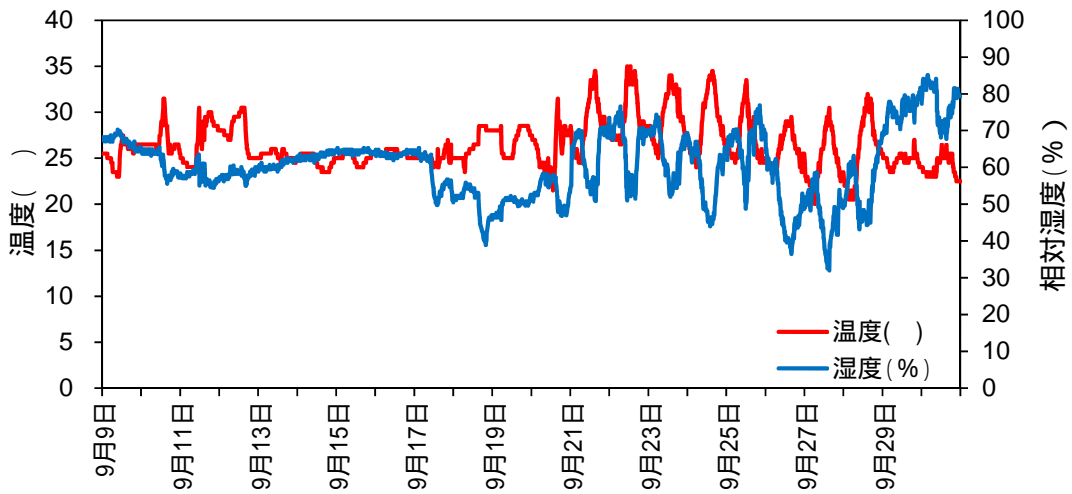


図 2-1-30 福岡の外気温度の経時変化

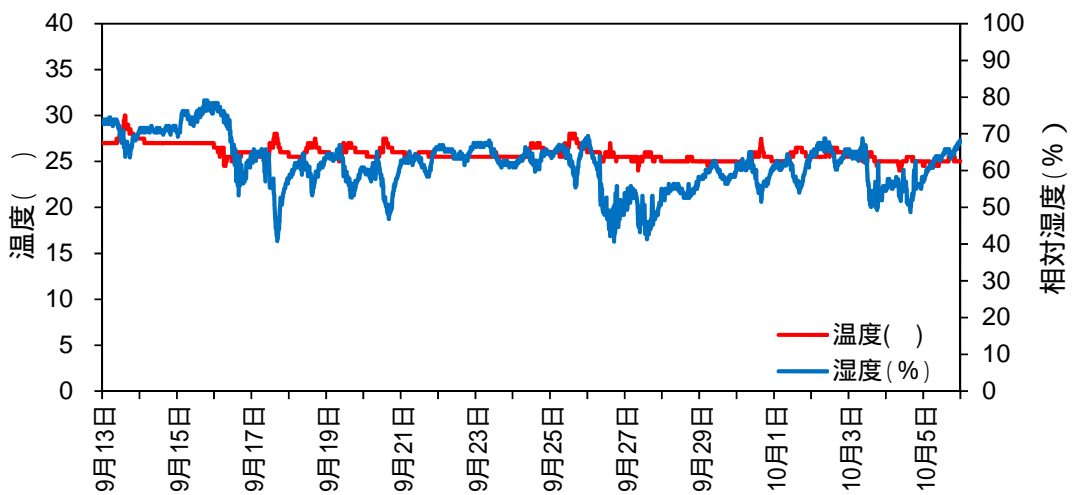


図 2-1-31 大阪の外気温度の経時変化

なかったが、CO<sub>2</sub>に関しては、F-02、F-03、O-02、で基準値を上回る結果となった。

(2) 夏期

夏期は、CO<sub>2</sub>に関しては冬期よりもやや大きい値がでたが、どの測定場所でも基準値を下回った。CO<sub>2</sub>に関しては、O-05とO-06で基準値を上回る結果となった。

C.3 浮遊真菌・細菌

(1) 冬期

図2-1-34、35は、それぞれ空中浮遊真菌濃度、真菌属別の内訳の割合を示す。図2-1-34の赤線

は日本建築学会の維持管理基準値である浮遊真菌濃度 50cfu/m<sup>3</sup>を表している。浮遊真菌濃度において、測定対象11件中4件で維持管理基準値である真菌 50cfu/m<sup>3</sup>を超えていた。とくにF-02の室内浮遊真菌濃度が他の物件と比較すると顕著に高い結果となった。T-02の給気口は、真菌が検出されなかったため真菌濃度は0であった。

東京の浮遊真菌属別の内訳において、室内ではYeast(酵母)、外気ではCladosporium spp.(クロカビ)が多く検出された。福岡の浮遊真菌の内訳において、室内、給気口ではAspergillus spp.(コウジカビ)、外気ではA spp.、C spp.が多く検出された。大阪の浮遊真菌属別の内訳にお

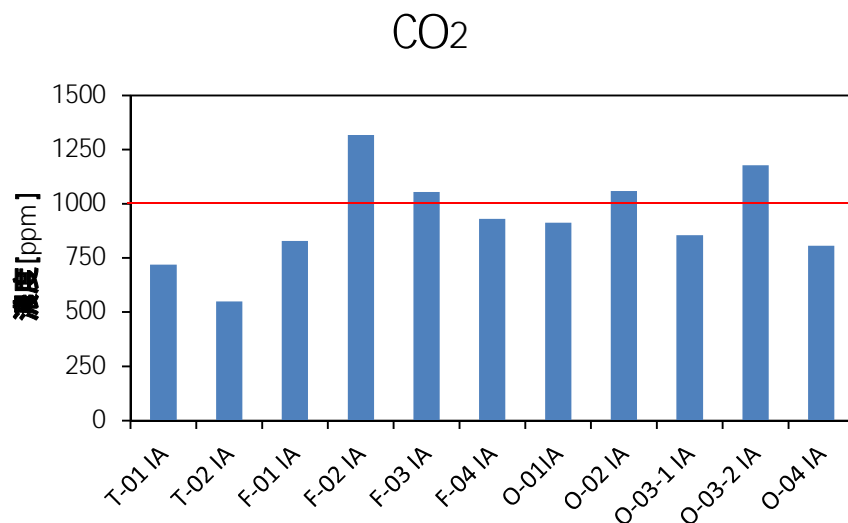


図 2-1-32 CO<sub>2</sub>の測定結果 (冬期)

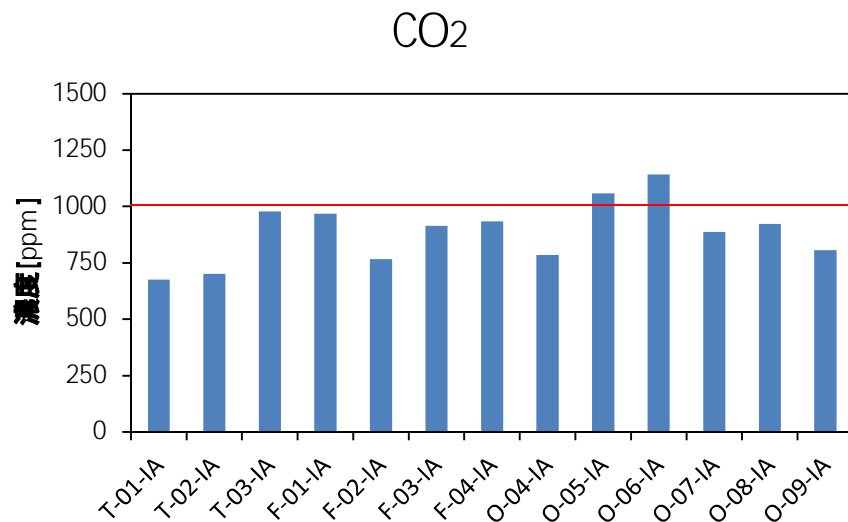


図 2-1-33 CO<sub>2</sub>の測定結果 (夏期)

いて、室内では Yeast, 給気口では A spp., Penicillium spp. (アオカビ), 外気では Yeast, C sp.が多く検出された。とくに F-02, F-03, F-04 では A spp., T-01, O-01~05 では Yeast が他の菌に比べ高い割合で検出された。

図 2-1-36 に浮遊真菌の I/O 比を示す。F-02, O-01, O-03\_2 の 3 件で I/O 比の値が 1 を上回っていた。このことからこの 3 件では室内に汚染源がある可能性が示唆された。また F-02 の I/O 比の値が 7 を示しており、他と比較すると顕著に高いことが分かる。

図 2-1-37 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/m<sup>3</sup> を表している。浮遊細菌濃度において、測定対象 11 件中 1 件で維持管理基準値である細菌 500cfu/m<sup>3</sup> を超えていた。基準値を超えていた 1 件は F-02 であり、真菌濃度の場合と同様に F-02 の室内細菌濃度の値が顕著に高いことが分かる。また基準値を満たしていた 10 件のうち F-01, O-01, O-03\_1 (外調機 SA), O-04 の 4 件が、室内の細菌濃度に比べ、給気口の細菌濃度の方が高い結果となった。F-04 は室内, F-03 は室内, 給気口, 外気いずれからも細菌が検出されなかったため、細菌濃度は 0 であった。

図 2-1-38 に浮遊細菌の I/O 比を示す。F-02, F-03 は外気の浮遊真菌濃度は 0 であり, F-04 は測定していないため, I/O 比は算出していないが, この内 F-02, F-03 の 2 件については室内で浮遊細菌濃度が確認できたため, 室内が汚染源だと示唆される。O-01, O-02, O-03\_1, O-03\_2, O-04 の 5 件で I/O 比の値が 1 を上回っていた。

## (2) 夏期

図 2-1-39, 40 にそれぞれ空中浮遊真菌濃度, 真菌の内訳の割合を示す。図中の赤線は日本建築学会の維持管理基準値である真菌 50cfu/m<sup>3</sup> を表している。浮遊真菌濃度において、測定対象

13 件中 5 件で維持管理基準値である真菌 50cfu/m<sup>3</sup> を超えていた。基準値を超えていた 5 件の中で特に O-05 の室内, 給気口の浮遊真菌濃度が顕著に高い結果となった。冬期の測定結果で非常に高い浮遊真菌濃度であった F-02 の室内は, 今回の測定では 45cfu/m<sup>3</sup> と基準を満たす結果となった。O-04 は給気口で真菌が検出されなかった。F-03, O-06 の給気口は稼働していなかったため測定していない。東京の浮遊真菌の内訳において, 室内では A spp., 給気口では Yeast, 外気では C spp., P spp. が多く検出された。福岡の浮遊真菌属別の内訳において, 室内では C spp., A spp., 給気口では C sp., P sp., 外気では C sp., Mycelia が多く検出された。大阪の浮遊真菌属別の内訳において, 室内では C spp., 給気口では C spp., 外気では, C spp. が多く検出された。図 2-1-41 に浮遊真菌濃度の I/O 比を示す。全ての物件で I/O 比の値が 1 を下回っていた。

図 2-1-42 に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/m<sup>3</sup> を表している。浮遊細菌濃度において、測定対象 13 件中 1 件で維持管理基準値である細菌 500cfu/m<sup>3</sup> を超えていた。基準値を超えていた 1 件は F-02 は基準値を 10cfu/m<sup>3</sup> 上回る程度であった。また 13 件のすべてが給気口に比べ室内の浮遊細菌濃度の方が高い結果となった。T-02, T-03 の給気口からは細菌が検出されなかった。また F-03, O-06 の給気口は稼働していなかったため測定していなかった。図 2-1-43 に浮遊細菌の I/O 比を示す。F-01, F-02, F-03, F-04, O-04, O-05, O-06, O-07, O-08 の 9 件で I/O 比の値が 1 を上回っていた。浮遊細菌の主な発生源が室内にあることが再確認された。



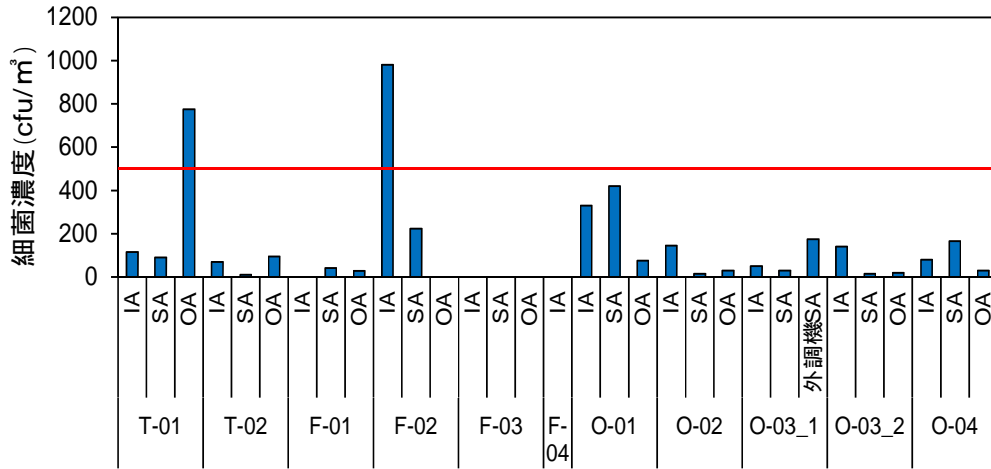


図 2-1-37 浮遊細菌濃度

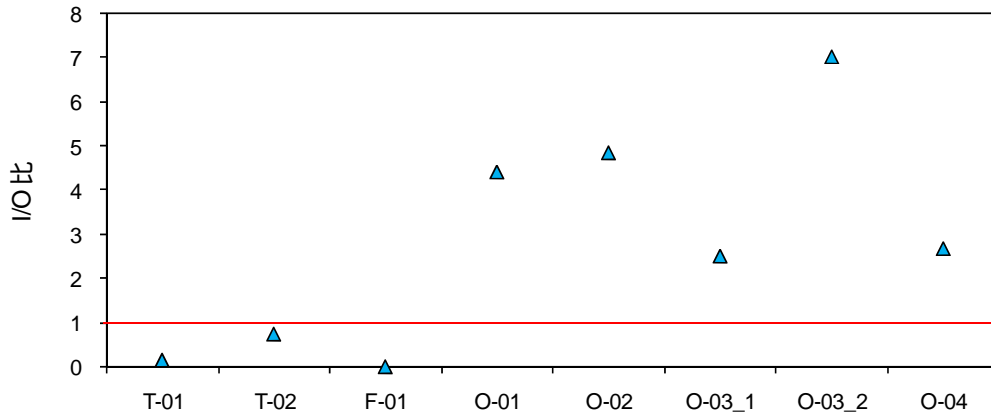


図 2-1-38 浮遊細菌濃度の I/O 比

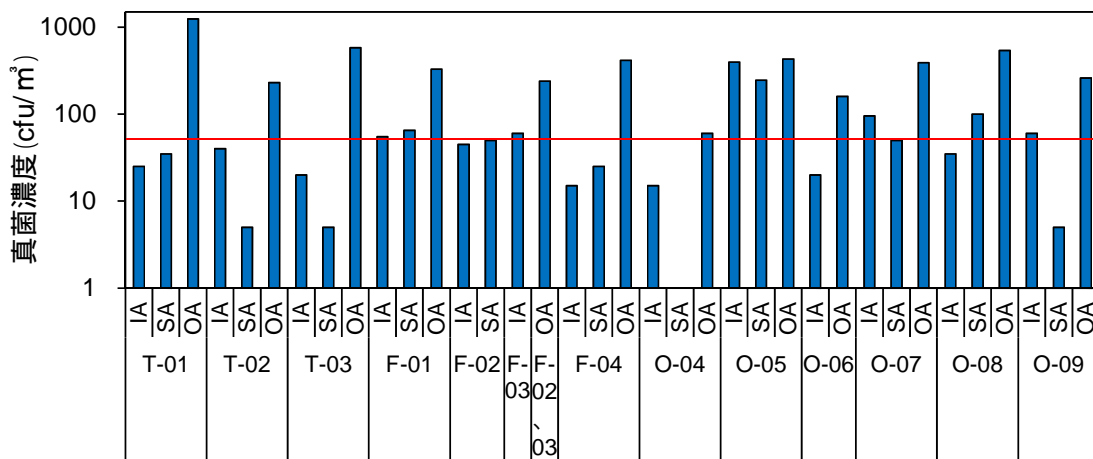


図 2-1-39 浮遊真菌濃度

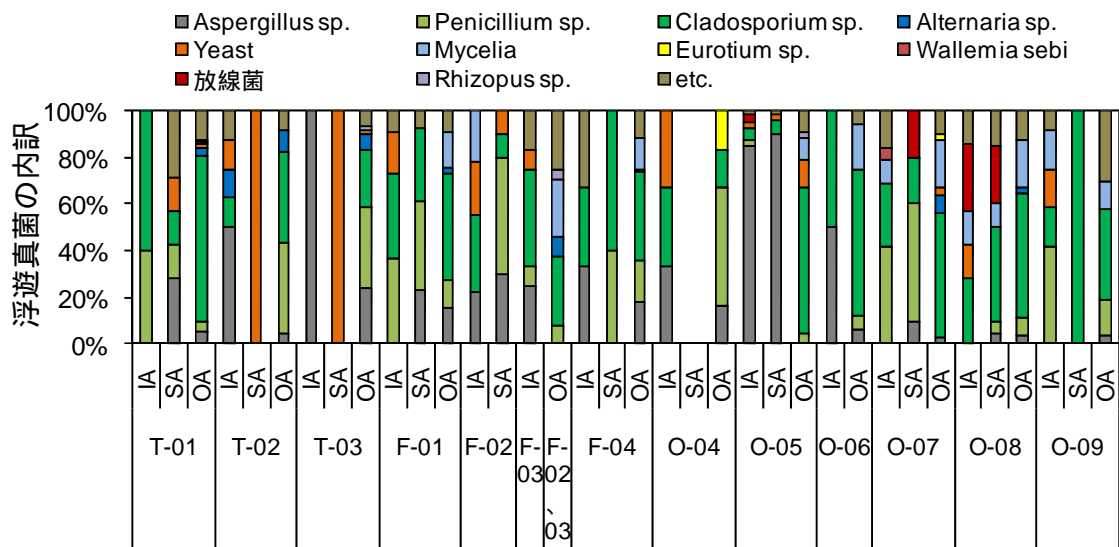


図 2-1-40 浮遊真菌の内訳

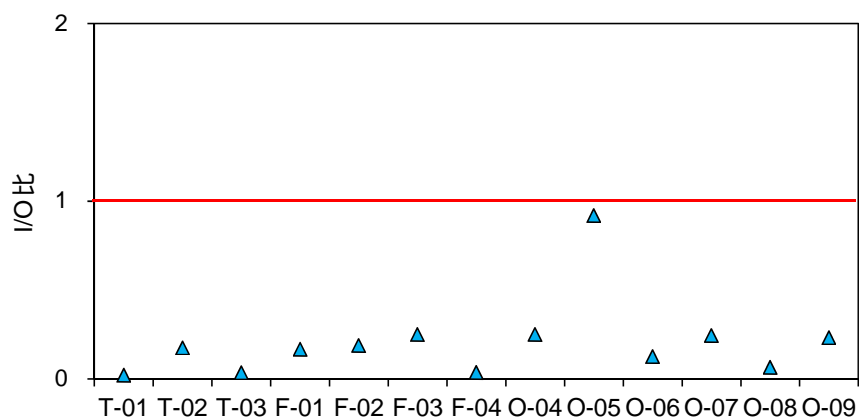


図 2-1-41 浮遊真菌濃度の I/O 比

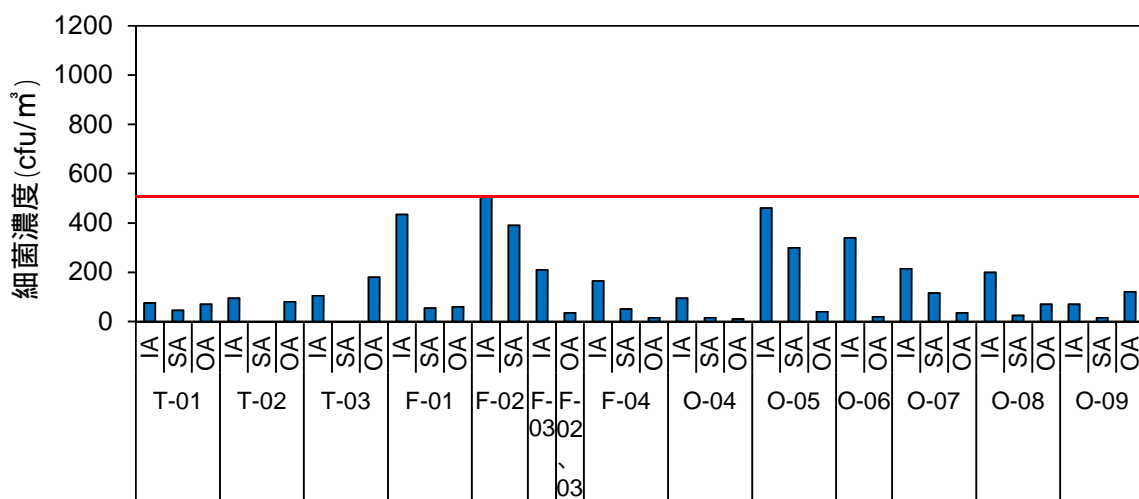


図 2-1-42 浮遊細菌濃度

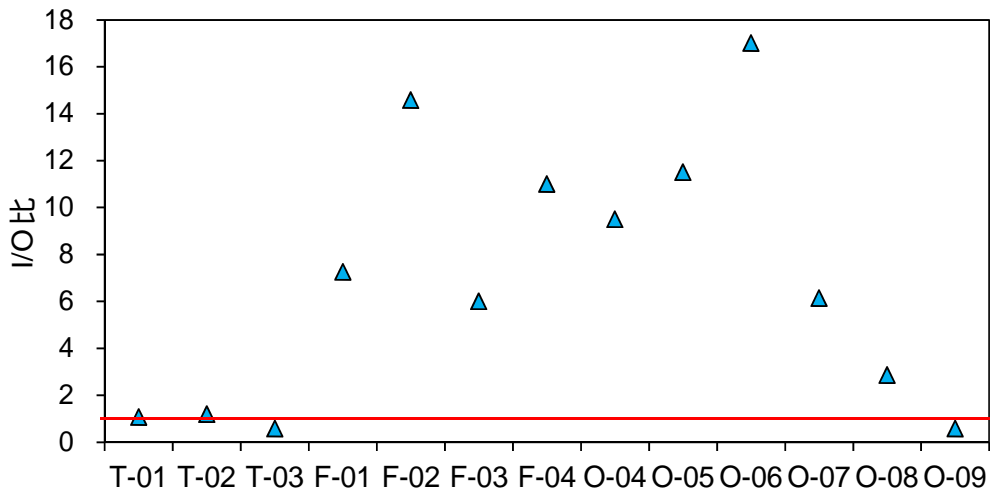


図 2-1-43 浮遊真菌の内訳

表 2-1-4 カルボニル化合物及び VOCs 測定結果 (冬期・夏期測定)

冬期実測	T-01		T-02		F-01		F-02		F-03		F-04	
	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気
ホルムアルデヒド	7.1	ND	3.9	0.4	8.1	0.4	20.7	1.2	21.2	1.5	11.2	1.5
アセトアルデヒド	2.4	1.8	1.0	2.5	3.3	2.4	28.6	2.9	12.2	3.3	6.5	3.3
トルエン	6.5	3.4	7.6	5.1	17.4	46.0	61.4	11.8	196.1	17.2	22.2	17.2
エチルベンゼン	2.7	ND	3.4	2.0	10.4	3.8	14.9	3.6	13.6	ND	9.1	ND
キシレン	1.9	1.0	2.6	1.4	9.9	2.8	15.3	2.7	11.6	2.6	7.5	2.6
スチレン	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11.1	ND	ND	ND	1.6	ND
p-ジクロロベンゼン	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
テトラデカン	2.3	ND	ND	ND	7.7	1.2	6.2	ND	12.8	1.1	5.8	1.1
TVOC	133.8	57.9	83.6	51.4	446.8	520.7	751.6	104.1	1376.8	122.4	553.6	122.4

冬期実測	O-01		O-02		O-03.1		O-03.2		O-04	
	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気
ホルムアルデヒド	10.8	ND	6.0	ND	3.4	ND	6.2	ND	6.9	ND
アセトアルデヒド	1.9	1.3	3.8	1.4	2.4	2.5	7.1	2.5	6.9	2.5
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										
TVOC										

夏期実測	T-01		T-02		T-03		F-01		F-02		F-03		F-04	
	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気
ホルムアルデヒド	45.2	10.2	14.5	13.0	34.6	11.6	30.7	8.3	31.3	6.6	22.8	6.6	23.1	5.7
アセトアルデヒド	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9.0	2.1	17.3	3.9	11.4	3.9	18.5	0.7
トルエン	32.5	33.9	44.7	24.3	37.9	20.7	24.1	24.5	37.1	10.7	38.8	7.2	11.5	7.2
エチルベンゼン	9.2	8.4	12.6	7.7	14.6	7.3	9.3	6.8	5.6	4.4	11.0	3.2	3.5	3.2
キシレン	10.6	10.3	13.4	9.5	13.3	9.1	2.0	6.4	ND	ND	1.7	6.4	3.5	6.4
スチレン	5.7	3.1	ND	3.6	ND	5.2	8.4	5.0	8.3	ND	ND	ND	ND	ND
p-ジクロロベンゼン	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
テトラデカン	5.7	2.8	3.7	ND	18.7	2.6	ND	4.5	7.5	ND	12.4	2.2	10.6	2.2
TVOC	192.8	59.3	150.1	75.6	337.6	52.9	456.5	180.6	313.5	12.7	483.3	-	208.0	-

夏期実測	O-04		O-05		O-06		O-07		O-08		O-09	
	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気	室内	外気
ホルムアルデヒド	24.1	7.2	28.8	4.9	25.4	5.7	28.4	6.0	13.7	6.0	12.1	5.1
アセトアルデヒド	17.0	7.6	10.4	2.1	29.4	13.4	13.2	9.2	7.9	8.0	19.6	7.4
トルエン	18.0	11.8	8.9	6.5	20.7	9.4	23.6	10.4	7.7	7.7	7.6	ND
エチルベンゼン	6.3	4.0	6.7	4.0	18.9	2.9	12.5	3.5	3.5	2.9	2.2	ND
キシレン	3.5	3.0	12.3	2.9	16.3	2.1	ND	ND	2.3	2.0	2.4	ND
スチレン	ND	ND	ND	ND	14.5	ND	ND	ND	ND	0.2	ND	ND
p-ジクロロベンゼン	ND	ND	ND	ND	0.0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
テトラデカン	4.9	ND	3.6	ND	6.6	ND	9.4	ND	ND	ND	ND	ND
TVOC	77.4	-	335.7	-	394.8	-	401.4	112.8	29.1	2.8	-	-

#### C.4 化学物質

個別物質の測定結果を表 2-1-4 に、統計処理してまとめたものを図 2-1-44 図 2-1-45 に示す。また、濃度が低いもしくは定量限界以下である物質は省略し、冬期大阪の VOC については欠測のため、カルボニル化合物のみ示した。

##### (1) 冬期

ホルムアルデヒドについてはいずれも指針値を超えるところはなく、平均値  $9.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値は  $20.7\mu\text{g}/\text{m}^3$  と全体的に低い水準であった。VOCs の個別物質において主に検出されたのはトルエンで、その他にエチルベンゼン、キシレンが検出されたが、気中濃度は指針値を大きく下回る低い水準であった。天然木材由来の  $\alpha$ ピネン、殺・防虫剤成分である p-ジクロロベンゼンは住宅で問題になることがあるが、今回の実測では殆ど検出されなかった。

一方、TVOC については福岡の全ての対象物件でいずれも暫定目標値を超える結果となった。F-01 は外気濃度が高かったため外気由来と考えられるが、他の 3 物件は外気濃度が低いいため室内由来のものと推察される。特に、 $\text{CO}_2$  の結果からも読み取れるよう換気不足若しくは OA 機器からの影響が考えられる。アセトアルデヒドについても低い水準で推移しており、指針値を超える建物はなかった。

##### (2) 夏期

ホルムアルデヒドについてはいずれも指針値を超えるところはないが、平均値  $25.7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値は  $45.2\mu\text{g}/\text{m}^3$  と冬期実測より高い傾向を示した。ホルムアルデヒドは気温と湿度が高い夏場に放散が促進されることから夏期の濃度が高くなることがよく知られているが、今回の結果でもそのような気温の影響が考えられる。アセトアルデヒドに関しても冬期実測よりやや高くなっている。

VOCs 個別物質において主に検出されたのはトルエン、その他にエチルベンゼン、キシレンが検出されたが、濃度は低い水準であった。その他に、一部の建物でスチレンとテトラデカンが検出された。

TVOC の暫定目標値を超えた物件は、福岡で 2 件(F-01, F-02), 大阪 1 件(O-07)となった。換気量を絞っていることが原因の一つと考えられる。

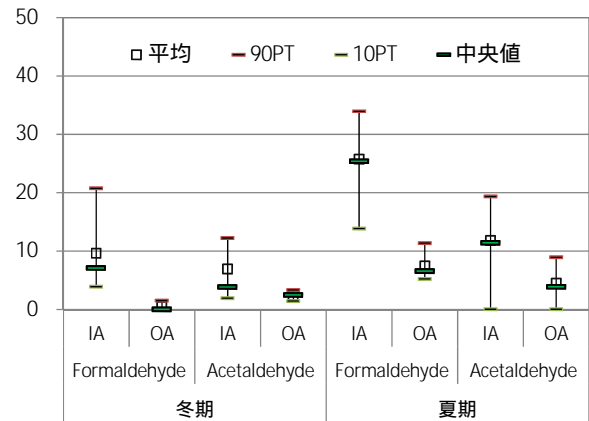
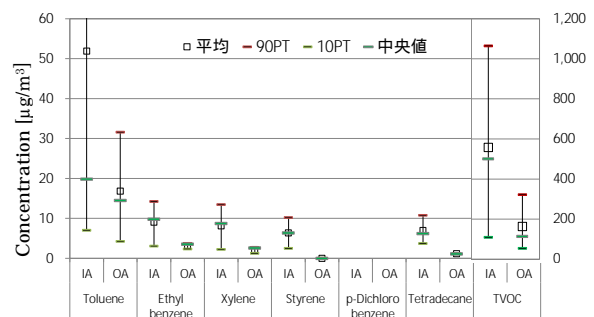
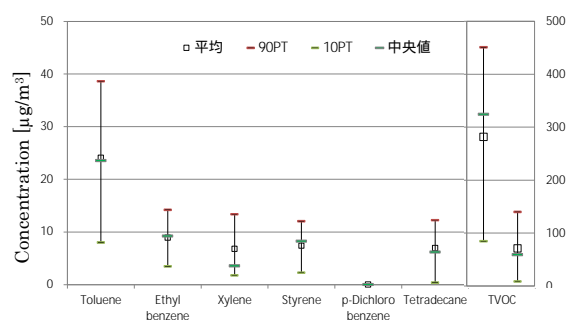


図 2-1-44 カルボニル化合物測定結果



a) 冬期測定結果



b) 夏期測定結果

図 2-1-45 VOCs 測定結果

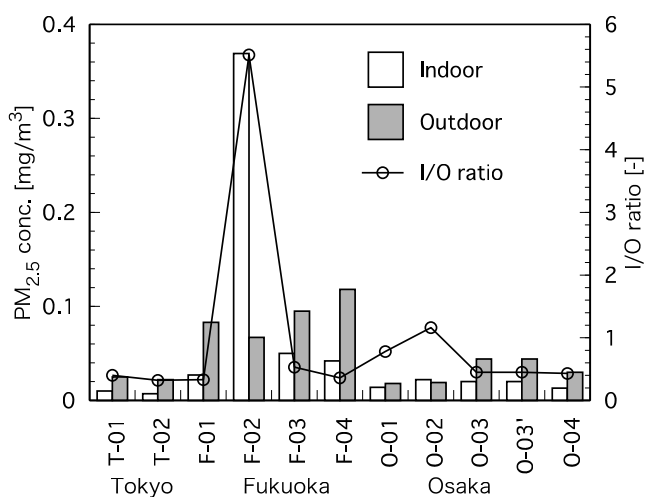
#### C.5 PM<sub>2.5</sub>

図 2-1-46 に冬期及び夏期における東京、福岡、大阪の事務所建築物及び外気の PM<sub>2.5</sub> 濃度の測定結果、及び室内と外気濃度の比を表す I/O 比

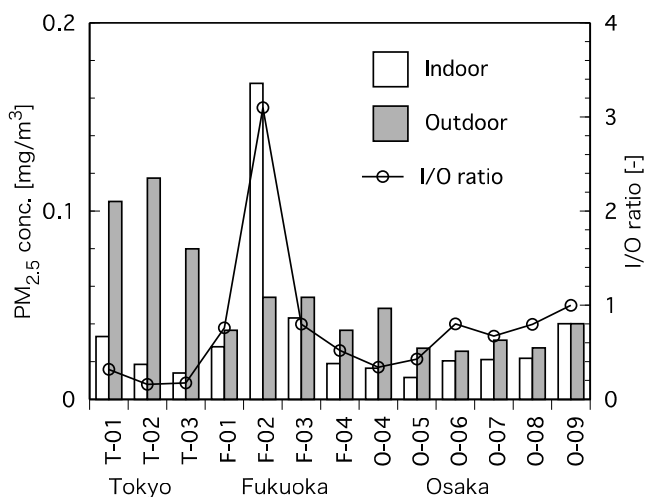


を示す。冬期の測定では、中国からの越境汚染で話題となった2013年3月であったため、外気濃度が高く、室内濃度が $10\text{--}370\mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。特に福岡においては室内外共に高い値となった。なお、F-02については不完全な喫煙室があり、たばこ煙の影響を強く受けているため、外気よりも高い濃度となった。I/O比については、喫煙室のあるF-02及び小規模建築物で換気装置が不十分なO-01、O-02を除けば、0.5程度となった。

夏期においては、外気濃度が低くなり、喫煙室のあるF-02以外は、 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下となった。I/O比についても、概ね1以下となっていた。



a) 冬期

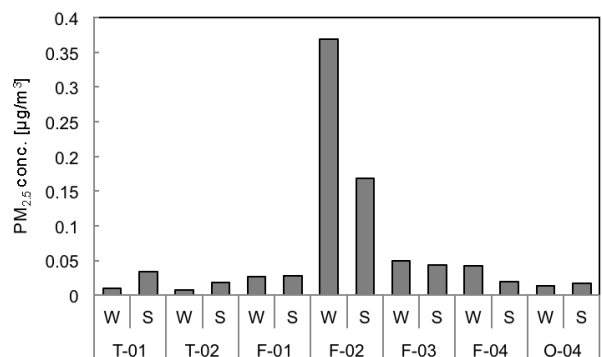


b) 夏期

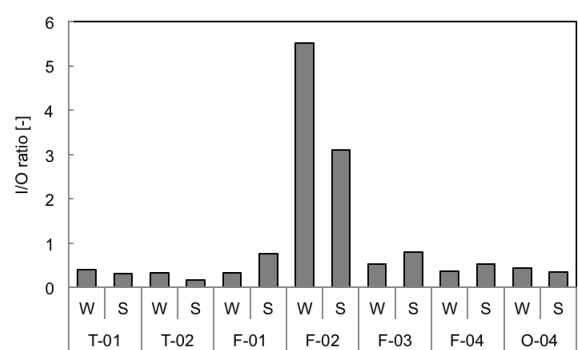
図 2-1-46 各建物における室内及び外気のPM<sub>2.5</sub>濃度とI/O比

冬期及び夏期の両方の測定を行った建物のPM<sub>2.5</sub>濃度及びI/O比の比較を図2-1-47に示す。F-02を除けば、季節毎には大差はなく、I/O比に関しても、両季節共に1を下回っていた。よって、室内の汚染物質の侵入の指標となるI/O比については、室内の発生が支配的でない場合には、季節に関係なく建物の特性、即ち外気からの侵入、外調機等の特性によるものと考えられる。

以上のように、室内PM<sub>2.5</sub>濃度については、室内での燃焼発生源がある場合、また外気からの侵入により、その濃度が高くなる可能性がある。大気環境基準値とは単純に比較はできないが、この基準値を超過する例もあることが分かった。



a) PM<sub>2.5</sub>



b) I/O比

図 2-1-47 冬期及び夏期のPM<sub>2.5</sub>濃度とI/O比の比較

## E. 考察

### E.1 温湿度について

個別方式空調では中央方式と異なり、空調運

転を在室者に委ねており、執務時間前のウォーミングアップ運転ができないため、朝の立ち上がり時の温度、相対湿度が建築物衛生法の管理基準値を満足できないケースが多いことが明らかになった（図 2-1-1、図 2-1-2、図 2-1-15、図 2-1-16）。また、冬期の相対湿度においては 10 件中 6 件の中央値、9 件の 25% タイル値が 40% を下回っており、東京都のこれまで報告している不適率より倍以上高いことが明らかになった。これは、加湿量が不足していることが強く示唆されており、今後それについての改善策を検討する必要があると考えられる。一方、温湿度の変動においては、一日中定常状態に達していないビルが殆どであり、その改善策の検討も必要である。

#### E.2 CO・CO<sub>2</sub>について

CO については、全て建築物衛生法の管理基準値を大きく下回った。これは室内に燃焼などによる発生がないほか、近年禁煙・分煙が進んでいることが一因であると推察される。

CO<sub>2</sub> については、総じて良好であった。これは、今回の調査対象ビルの殆どの在室者数（在室率）が低かったことに一因があると考えられる。

#### E.3 浮遊微生物

浮遊真菌については、冬期と夏期で日本建築学会管理基準値を超えたのは各 4 件であった。冬期の 4 件中福岡の 2 件は好乾性真菌 *A. spp.*、大阪の 2 件は好湿性真菌 *Yeast*、夏期の 4 件中

*A. spp.*、*P. spp.*、*C. spp.*、*Yeast* が多く検出された。また、室内より空調の吹出し口から検出真菌濃度の方が高くなっていることから、室内環境の適正管理や空調機のクリーニングなどを含めた衛生管理が重要であることが示唆された（図 2-1-34、図 2-1-35、図 2-1-39、図 2-1-40）。

#### E.4 化学物質

本年度の実測では、冬期・夏期実測を通してホルムアルデヒドや個別 VOCs で厚生労働省の指針値を超える項目はなかった。しかし、TVOC に関しては暫定目標値を超える物件が冬期 4 件、夏期 3 件存在した。特に、福岡において TVOC が高くなる傾向が見られたが、外気濃度も他の地域に比べたやや高い傾向にあったが、室内濃度と外気濃度の比である I/O 比から考えると外気由来ではなく室内由来のものと考えられ、更に換気不足による濃度上昇がうかがえる。このような現象は個別式空調機の普及拡大、省エネ推進による換気量の減少と室内温湿度の緩和などの影響によるものと考えられる。

2012 年 9 月から、「シックハウス（室内空気汚染）問題に関する再検討会」が開かれ、厚生労働省指針値及び対象物質に関する議論が行われている。基本的には、住宅における室内空気質に関するものであるが、その再検討会で議論されている内容を踏まえ、特定建築物でも問題となる可能性のある物質について考慮してゆく必要がある。

今後は、今までの対象物質に加え、自動車排ガスや喫煙に由来するベンゼンなどについて検

表 2-1-5 空調設備別の測定項目の比較

空調方式	冬期		夏期	
	個別方式	中央方式	個別方式	中央方式
温度 ( )	22.1	25.4	26.7	25.7
湿度 ( % )	38	39	49	45
PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	67	21	51	17
PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	71	23	52	19
真菌 ( cfu/ $\text{m}^3$ )	47	5	89	9
細菌 ( cfu/ $\text{m}^3$ )	112	88	181	16

討して行く。

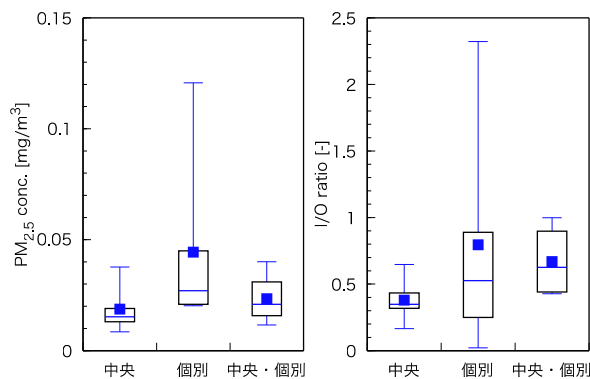
### E.5 空調方式

表 2-1-5 は調査対象ビルにおいて、空調方式別の温湿度、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> (PM<sub>2.5</sub>とPM<sub>10</sub>の結果別節を参照されたい)、浮遊真菌、浮遊細菌の中央値を示す。温湿度については、個別空調では冬期と夏期の温度に3の差が見られたが、中方式ではほぼ同じであった。また相対湿度では空調方式による差があまりなかった。

PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>の粒子濃度、浮遊真菌濃度、浮遊細菌濃度については、全て個別方式が中央方式を上回っていた。個別方式の室内機が分散されているため維持管理が難しいほか、エアフィルタの捕集率も比較的劣っているためであると考えられる。

中央方式、個別方式、中央・個別併用方式に分類した際の、PM<sub>2.5</sub>濃度、I/O比の箱ひげ図を図 2-1-48 に示す。なお、喫煙所のある F-02 については、室内に発生量が他と比べて多いため、今回の解析からは除いた。

PM<sub>2.5</sub>濃度及びI/O比共に、個別方式及び中央・個別併用方式よりも、中央方式の方が低い値となっていた。即ち、中央式においては、外気の粉じんを外調機により効率よく除去及び室内粉じんを空調機により除去できていることを示しており、効率の良いエアフィルタが寄与していることが考えられる。逆に個別方式においては、中央方式ほどの効率の良いエアフィルタを備えていないために、比較すると濃度が高く、I/O比についても高い値になったものと考えられる。

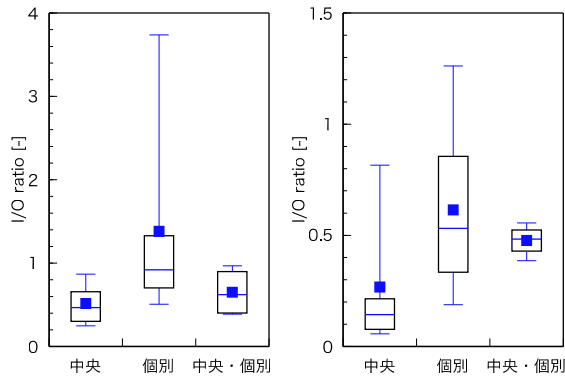


a) PM<sub>2.5</sub>濃度

b) I/O比

図 2-1-48 空調機別の室内PM<sub>2.5</sub>濃度及びI/O比

PM<sub>2.5</sub>濃度の測定と並行して、パーティクルカウンタ(リオン, KR-12A)による粒径別粒子の個数濃度測定を行った。図 2-1-49 には、各空調機別の粒径0.3μm以上及び2μm以上の粒径別個数濃度によるI/O比を示す。いずれも個別方式においてI/O比が高くなっていることから、同様にエアフィルタの特性が表れているものと考えられる。更に粒径2μm以上については、I/O比の平均値が1以下であったものの、粒径0.3μm以上では1を超過していた。エアフィルタの捕集効率は粒子の粒径によって大きく異なり、粒径0.3μm前後においてはフィルタの最大透過粒径となるので、特に個別方式においては外気の侵入が多いことが考えられる。室内における粉じんの粒径別質量濃度分布は、微小粒径側での粒径0.2-0.3μm付近にピークが存在することが確認されており、この主ピークがPM<sub>2.5</sub>を占めていることから、この粒径範囲を除去することが室内PM<sub>2.5</sub>の制御には重要となってくる。



a) 0.3µm 以上      b) 2µm 以上  
 図 2-1-49 パーティクルカウンタによる  
 個数濃度の I/O 比

### E.6 測定結果と SBS の関連について

ここでは、測定結果を点数化し、それと有症率の関係について考察を行う。なお、揮発性有機化合物の結果の詳について別節を参照されたい。

表 2-1-6 と表 2-1-7 のそれぞれに冬期と夏期のスコア一覧を示す。温度の中央値が 21 ~ 24 の場合は 0, 17 ~ 20 または 25 ~ 28 の場合は 1, 基準値以外の場合は 2, 相対湿度の中央値が 46 ~ 64% の場合は 0, 40 ~ 45% または 65 ~ 70% の場合は 1, 基準値以外は 2, それ以外のものは測定結果の値が指針値 (TVOC の場合は暫定目標値) の 0 ~ 80% 未満の場合は 0, 80 ~ 100% 未満の場合は 1, 指針値以上の場合は 2 と数値化し、その数値の大小と有症者の割合を比較することで、SBS との関連性を考察する。また、各項目

表 2-1-6 冬期の測定結果に基づいたスコア

測定対象	T-01	T-02	F-01	F-02	F-03	F-04	O-01	O-02	O-03-1	O-03-2	O-04	
温度	0	0	0	0	0	1	1	0		0	1	
相対湿度	2	1	2	2	0	2	2	2		2	1	
CO	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	
CO <sub>2</sub>	0	0	1	2	2	1	1	2	1	2	1	
ホルムアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
アセトアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
トルエン	0	0	0	0	0	0						
エチルベンゼン	0	0	0	0	0	0						
キシレン	0	0	0	0	0	0						
スチレン	0	0	0	0	0	0						
パラジクロロベンゼン	0	0	0	0	0	0						
テトラデカン	0	0	0	0	0	0						
ジエチルフタル酸	0	0	0	0	0	0						
ジエチルヘキシルフタル酸	0	0	0	0	0	0						
TVOC	0	0	2	2	2	2						
合計	2	1	5	6	4	6	4	4	1	4	3	

有症者の割合	数
0%	0
1 ~ 20%	1
21 ~ 40%	2
41 ~ 60%	3
61 ~ 80%	4
81 ~ 100%	5

表 2-1-7 夏期の測定結果に基づいたスコア

測定対象	T-01	T-02	T-03	F-01	F-02	F-03	F-04	O-04	O-05	O-06	O-07	O-08	O-09	
温度	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	0	
相対湿度	1	0	0	0	0	1	0	1	0		0	0	1	
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	
CO <sub>2</sub>	0	0	1	1	0	1	1	1	2	2	1	1	1	
ホルムアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
アセトアルデヒド	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
トルエン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
エチルベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
キシレン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
スチレン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ピネン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
パラジクロロベンゼン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
テトラデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ヘキサデカン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TVOC	0	0	1	2	0	2	0	0	1	1	2	0	0	
合計	2	1	3	4	1	5	2	2	4	3	4	2	2	

有症者の割合	数
0%	0
1 ~ 20%	1
21 ~ 40%	2
41 ~ 60%	3
61 ~ 80%	4
81 ~ 100%	5

表 2-1-8 SBS と諸要素の関係

環境測定		ビルファクター	
換気量不足	+	空調	++
CO		加湿	?
TVOC	?	機械換気	?
HCHO		新築ビル	?
総粒子状物質		貧弱な換気メンテナンス	?
吸入性粒子	?	職場ファクター	
床堆積塵	?	イオン化	?
細菌		改善されたオフィスクリーニング	?
真菌		カーペット	+
エンドキシン	?	羊毛のような材料/開放型棚	?
Beta-1,3-glucan	?	室内または近傍に複写機	?
低マイナスイオン濃度	?	ETS	?
高温	?	高い人員密度	+
低湿度	?	凡例	++ 常に高頻度で症状が申告される
気流速度			+ 殆ど高頻度で症状が申告される
照度	?		常に症状との関連が弱い
騒音			? 所見が一貫しない

の数値の合計を算出し、数値の合計が大きい方が有症者の割合が高いのか、それともある項目に対して影響が大きいのかということも考察する。

表中に示す各項目の合計値から SBS との関連性についてみると、様々な要因が重なるほど有症者の割合が増えるのではなく、ある特定の物質に関わっている可能性がある。例えば、冬期の T-01 と F-01、F-02 を比べてみると(表 2-1-6)、T-01 の合計値は小さいが有症者の割合が高く、F-01 と F-02 の合計値は高いが F-01 は有症者の割合が 0% に対し、F-02 は有症者の割合が 61~80% と対極的な結果が得られた。このことから、有症者の割合は原因物質の重複によるものではなく、ある特定の物質、あるいは特定の組み合わせによって有症率が変化する可能性がある。

SBS は症候群であり、医学的に確立した単一の疾患ではなく、環境要素に関わる、居住者に由来する様々な健康障害の総称を意味している。SBS に関わる諸要因について数多くの調査結果が発表されている。表 2-1-8 に Mendell<sup>1)</sup> が 1984 ~ 1992 年間で発表された 32 の研究成果について行ったレビューの結果を示す。環境測定値に換気量不足が“+”、ビルファクターに空調が“++”、職場ファクターにカーペット、高い人員密度が“+”となっている。空調が SBS において唯一の“常に高頻度で症状が申告される”の項目に

なっている。本研究の調査結果は既往の研究成果と整合しており、SBS について今後更なる研究を行う必要がある。

#### 参考文献

- 1) Mendell, M.J. 1993. Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiologic literature. *Indoor Air* 3: 227-236.

## 2-2 建築物における換気及び加湿設備のあり方に関するアンケート調査

### A. 研究目的

建築物における衛生的環境の確保に関する法律(建築物衛生法)による過去約10年間における建築物環境衛生管理基準の相対湿度不適合率は、おおよそ25%から50%近くにまで上昇しており、その不適合率は他の管理基準と比べてもはるかに高い<sup>1)</sup>。その背景には、加湿器の容量・性能不足や運用・維持管理の不備による問題とともに、建築時における加湿器の設置に関する問題があると考えられる。建築物衛生法では、空調設備を空気調和設備と機械換気設備として規定されている。その中で、空気調和設備は温度・湿度の調整ができるものとしているが、パッケージエアコンなどは、温度調整及び除湿ができたとしても、加湿ができないため機械換気設備を有する建築物として分類されると解釈することもできる。この様な実態と法律の乖離が、加湿器整備、環境衛生監視・指導の妨げとなっている可能性が考えられる。

そこで本研究では、相対湿度不適合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検討するために、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ので、その結果と自由記載のコメントについて報告する。

### B. 方法

全国495件の全ての保健所に、特定建築物に対する指導や管理等の現況について、組織を代表して建築物衛生の担当者1名に自記式調査票に記入していただき、郵送により回収した。355件(回収率71.7%)から回答を得たが、自治体を代表して回答したものも含まれていた。調査票では表2-2-1に示す通り、空気調和設備や機械換気設備に関する保健所の指導状況、加湿器の設置に関する保健所の指導状況、相対湿度の測定及び報告に関する保健所の状況等を選択式の質問をし、コメントも頂いた。ここに、感謝の意を表する。

表 2-2-1 質問項目の一覧

[1] 共通調査項目 担当者連絡先等
[2] 貴保健所の特定建築物の設備に関わる考え方 Q2.1 建築確認申請時審査の有無。 Q2.2 図面審査で加湿装置設置の指導。 Q2.3 加湿装置のない建築物の分類。 Q2.4 パッケージエアコンの分類。 Q2.5 エアフィルタがない換気扇の扱いについて。 Q2.6 卓上加湿器の判断。 Q2.7 加湿装置のない特定建築物における指導。 Q2.8 衛生行政報告例調査に提供している建物の種類。
Q3 冬期の低湿度の問題についての自由記載

### C. 結果

#### C.1 単純集計結果

図2-2-1に建築確認申請時の図面審査の実施の有無及び実施の際の加湿器設置の指導状況について示す。図面審査を1/3程度実施しているものの、審査において加湿器設置を半数以上は指導を行っている状況であった(図2-2-2)。指導の目的としては、健康影響への配慮、基準値遵守のためとあり、指導しない理由として、加湿器の設置が義務づけられていない、レジオネラ属菌のリスクなどと、法律上及び維持管理上の問題点が挙げられた。

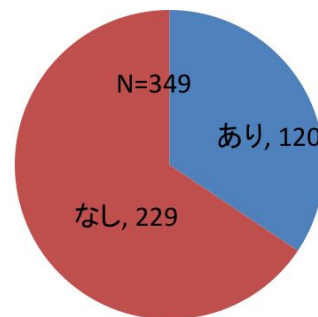


図 2-2-1 図面審査の有無

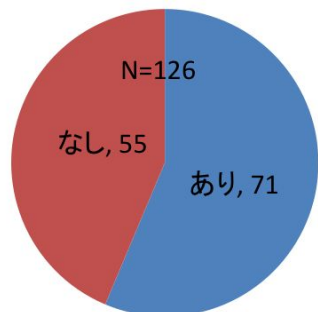


図 2-2-2 図面審査において加湿装置のない建築物へ設置の指導



図2-2-3及び図2-2-4に加湿装置のない設備及びエアコンを有する建物の設備の分類方法について示す。加湿装置がない場合、機械換気としている割合は2/3程度であり、法令の解釈通りということであった。しかし、空気調和設備と分類する際には、加湿機能がなくとも、その他の項目の調整が可能なこと、法令に加湿器設置義務がないことなどが挙げられた。また、エアコンについては、半数以上で空気調和設備とは分類しておらず、温度調整及び除湿のみでは空気調和とは判断していないものの、設備の状況により判断しているようであった。

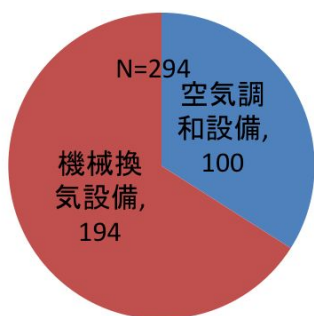


図2-2-3 加湿装置のない設備の分類

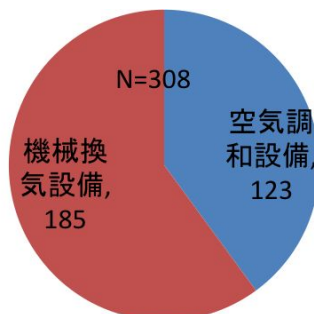


図2-2-4 パッケージエアコンなど加湿装置のない設備の分類

図2-2-5に第3種換気設備には可能性のあるエアフィルタのない換気扇について、機械換気と認めているかについて示す。半数以上が機械換気設備と認めており、認める理由として、CO、CO<sub>2</sub>については適合可能なため、機械換気設備にエアフィルタを規定していないため、浄化に対し具体的な定めがない、浮遊粉じんが超過する可能性が低いと、という回答があった。また、認めない理由として、浮遊粉じんの制御

ができないため、第3種は外気の供給がないためとあり、基準に適合するように指導するという回答もあった。

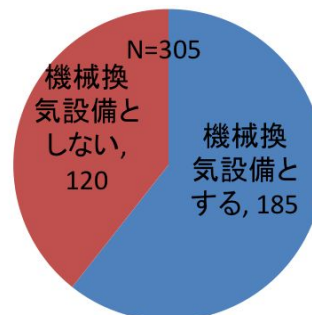
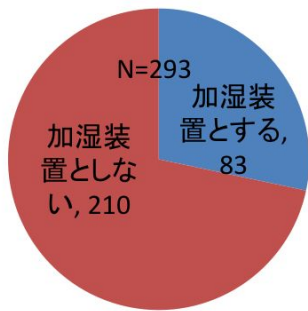
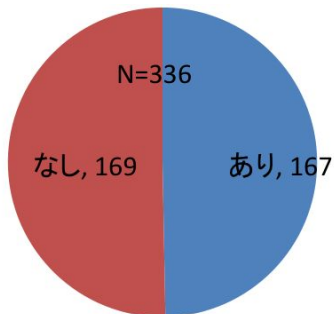


図2-2-5 エアフィルタのない換気扇を機械換気設備と認めるか

図2-2-6 a)に卓上加湿器の取り扱いについて示すが、多くが維持管理の困難さ、構造上の設備ではないこと、能力の観点から加湿装置とはしていないが、応急措置として、また基準値適合のため設置を推奨しているところもあった。また、図2-2-6 b)に加湿装置のない建築物において、相対湿度の基準を適合させる指導を行っているかについては、ほぼ同数となり、加湿器はなくとも、建築物衛生法の趣旨、健康上の理由から、湿度遵守の意義を指導していることが明らかとなった。逆に指導を行っていない理由として、法律上相対湿度の基準が適用されない、湿度調整が不可能なため、ということもあったが、助言は行っていることの見解もあった。ただし、湿度低下に関する健康リスクが少ないこと、コストがかかること、加湿器を設置しても適合するとは限らないなど、現場での指導に苦慮していることが伺えた。



a) 卓上加湿器を加湿器として認めるか



b) 換気設備のない建築物に指導を行っているか

図 2-2-6 加湿器に関する質問

図 2-2-7 に厚生労働省に提供している特定建築物の温度、湿度の適合・不適合に関する情報について、空調設備のみ、又は空調設備及び機械換気設備の建物の両方を報告しているかについては、2/3 が機械換気設備についても報告しているとのことであった。冬期においては、加湿器がなければ相対湿度を基準の範囲内に制御することは困難である。よって、相対湿度の不適合率の上昇傾向については、このような加湿器を有さない建築物のデータも含まれているため、成績が悪くなっている可能性があることがわかった。

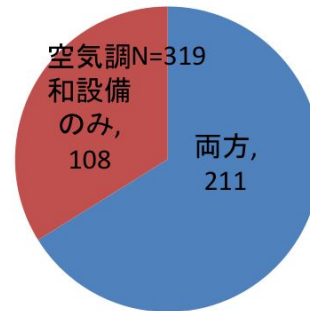


図 2-2-7 厚生労働省に提供している特定建築物の温度、湿度の適合に関する情報の分類

### C. 加湿器に関する自由記載

加湿器に関する自由記載については、下記のような項目が挙げられていた。

- ・ 湿度に関する認識が低い
- ・ 建築物管理技術者の発言力が弱い
- ・ 空調設備の大幅な変更、改修が困難
- ・ 近年の空調設備は複雑化している
- ・ 結露の問題もあり、適切な加湿に苦慮
- ・ 個別空調による性能不足(カタログ値との乖離)・維持管理の困難さ
- ・ 全館式の加湿装置が必須、申請時に対応すべき
- ・ 加湿器の設置義務がないならば、管理目標値でも良いのでは。
- ・ 省コストのため、加湿器を削減する
- ・ 基準値を低湿度側に検討する時期ではないか
- ・ 用途・地域により統一的に管理は困難では
- ・ レジオネラ感染症の方が危険
- ・ 適切な指導・マニュアルが望まれる
- ・ 設計温度と実際の温度との乖離で、低湿度に
- ・ 建物自体の断熱性などの性能も向上する必要あり

### D.まとめ

本調査では、保健所環境衛生監視員を対象として、建築物衛生法に係わる設備の設置指導についてアンケート調査を行い、その結果概要について報告した。自由記載の中から、湿度に関する認識が低いこと、加湿と共に結露の問題が起こること、運用に関する適切なマニュアル、



設置の義務化など法整備に関しても要望があった。第3種のような粉じんの浄化能力のない換気設備についても、半数以上が機械換気設備と認めており、法律が近年の空調設備の複雑化に対応できていない面も見えた。

#### 参考文献

1) 東賢一,池田耕一,大澤元毅,鍵直樹,柳宇,齋藤秀樹,鎌倉良太:建築物における衛生環境とその維持管理に関する調査解析,空気調和・衛生工学会論文集, No.179, pp.19-26, 2012.2



平成25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

3. 建築物の空気調和設備の維持管理及び運用のあり方に関する研究

分担研究者 射場本 忠彦 東京電機大学 教授

研究要旨

建築物においては、エネルギー消費に係る機器・構造の性能確保や適正保全措置の徹底が省エネルギー法に盛り込まれるなど、官民を挙げて多様な対策が進められている。しかしながら、社会に普及しつつある省エネルギー手法の中には、建築物衛生法の主旨とは相容れない衛生上の問題や、かつての法制定・改正時には想定されていなかったものなどが散見される。

先の厚労省科研費調査では、特に冬季相対湿度の基準値不適合が、特定の空気調和設備の維持管理及び運用方法に起因していることが指摘された。これらは、特に事務所用途において普及が進み、相対湿度の不適合率上昇の原因とも考えられる。そこで、本課題では当該空気調和設備について、環境衛生データの収集と解析を実施し、基準適合範囲に収まる、省エネルギーと環境衛生の両立に資する適切な維持管理手法・監視方法の提案を行うことを目的としている。

平成24年度においては、建築物衛生法の衛生管理基準値に対して不適合となる場合の、原因や詳細な課題抽出を目的として省エネルギーに関心の高いビルオーナーが所有する事務所ビルについて、従来から実施している首都圏に建設された7件の事務所ビルと、新たに地方の事例として蒸暑地域に建設された4件の事務所ビルを加え、室内環境データの連続的時間データの収集・取得および解析を行った。

研究協力者

百田 真史	東京電機大学
田島 昌樹	高知工科大学
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
柳 宇	工学院大学
松村 拓哉	東京電機大学学生
松川 修	東京電機大学学生
橋田 智一	高知工科大学学生
大澤 秀作	高知工科大学学生
長田 竜弥	高知工科大学学生

社会に普及しつつある省エネルギー手法の中には、建築物衛生法の主旨とは相容れない衛生上の問題や、かつての法制定・改正時には想定されていなかったものなどが散見される。

先の厚労省科研費調査では、特に冬期相対湿度の基準値不適合が、特定の空気調和設備の維持管理及び運用方法に起因していることが指摘された。これらは、特に事務所用途において普及が進み、相対湿度の不適合率上昇の原因とも考えられる。

そこで、本課題では当該空気調和設備について、複数の事務所空間を対象とした室内環境の連続的時間データを収集・取得および解析し、基準適合範囲に収まる、省エネルギーと環境衛生の両立に資する適切な維持管理手法・監視方法の提案を行うことを目的としている。

A. 研究目的

A.1 研究背景

建築物においては、エネルギー消費に係る機器・構造の性能確保や適正保全措置の徹底が省エネルギー法に盛り込まれるなど、官民を挙げて多様な対策が進められている。しかしながら、

A.2 研究概要

本研究においては、新技術を用いた建物構造、空調設備による維持管理・監視について、適切な環境衛生に資する維持管理手法・監視方法の

提案を行うことを目的としている。具体的な項目を以下に示す。

- 1) 建築構造・空調設備と環境衛生の現状把握  
 建築構造・空調設備と環境衛生の現状の課題を抽出し、環境衛生との両立に資する適切な運用、維持管理手法・監視方法・基準について検討する。
- 2) 環境と空調機器運用の実態調査  
 実際の建築物における温湿度などの測定と共に建築物で管理されている BEMS データを用いた環境衛生管理の活用の可能性を検討し、環境の質の向上に寄与する新たな提案を行う。
- 3) 新技術に対応した適切な運用方法の提案  
 以上の検討を基に、新技術に対応した設備における適正な環境衛生のための運用・維持管理手法、監視方法などの基礎資料を提案する。

## B 研究手法

本研究の手法・検討範囲・検討期間を図 3-1 に示す。H23～24 年度にかけて実態調査を通して課題を整理し、最終年度の H25 年度において維持管理についての検討を実施した。

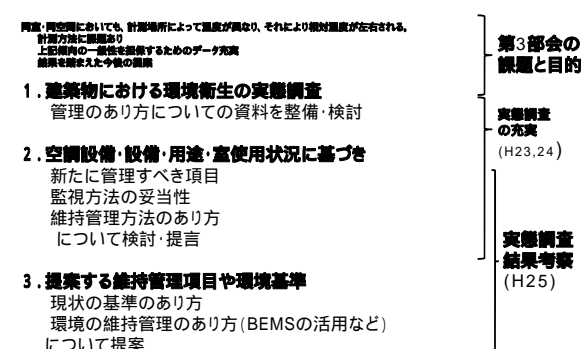


図 3-1 本研究の手法・検討範囲・検討期間

## C. 研究結果

### C.1 研究対象と取得データ概要

#### C.1.1 事務所ビル実測データについて

対象事務所ビルの概要を表 3-1 に示す。規模や空調方法の異なる 8 件の事務所空間を対象とした。なお平成 25 度からは、NT ビルを追加している。全てのビルは継続的に解析を実施したが、本報告においては、NT ビルでの解析結果

を中心に報告する。

表 3-1 検討対象事務所ビル概要(全 8 件)

対象事務所ビル	空調方式	加湿器	竣工	データ期間	計測機器	延床面積	構造	規模
Tビル	中央方式		1960年	2010/1/27～2012/12/31	BEMS 温湿度計・15個 CO <sub>2</sub> ・3台	9,400㎡	SRC造	地上9階 地下2階
Kビル	中央方式		1931年 2006年改修	2010/1/1～2011/11/30	温湿度計・5個 CO <sub>2</sub> ・2台	7,900㎡	RC造	地上8階 地下1階 塔屋3階
Sビル	中央方式		1988年	2008/1/1～2011/11/30	BEMS+ (測定データ)	54,000㎡	SRC造	地上9階 地下1階 塔屋1階
NTビル	中央方式		2003年	2006/10/1～2013/5/31	BEMS+ (測定データ)	20,600㎡	S+SRC造	地上14階 地下1階
Iビル	個別方式(狭)	×	1986年	2011/7/27～2012/12/31	温湿度計・4個 CO <sub>2</sub> ・3台	2,200㎡	SRC造	地上7階 地下1階
Nビル	個別方式(広)		1984年	2011/10/14～2012/2/29	温湿度計・9個 CO <sub>2</sub> ・2台	7,400㎡	SRC造	地上8階 地下1階
Aビル	個別方式	×	1991年	2011/10/9～2012/2/29	温湿度計・1個 CO <sub>2</sub> ・1台	1,700㎡	S造 (一部RC造)	地上6階 地下1階
Hビル	個別方式+換気	×	1993年	2011/8/5～2012/2/29	温湿度計・5個 CO <sub>2</sub> ・2台	3,000㎡	SRC造	地上9階 地下1階

#### C.1.2 大学施設実測データについて

表 3-2 に検討対象とした大学施設の概要を示す。大学施設には各種用途が混在するが、主に事務用と空間と教室と共用部について検討を行った。詳細な室内環境の実態把握及び時系列データ取得を目的として、大学施設内に計測器を設置した。計測は 5 ヶ所で行い計測器及び BEMS よりデータの取得を行った。

また計測対象室に設置されている設備の概要を表 3-3 に示す。検討対象室は、使用用途ごとに空調設備及び窓システムが異なるようにした。

表 3-2 検討対象大学施設概要

詳細計測データ概要(大学施設)			
計測室	用途区分	計測方法	データ期間
1号館 エントランス	共用部	温湿度・CO <sub>2</sub> 濃度計(1台)	2013/3/1～2013/12/11
2号館 ラウンジ		温湿度・CO <sub>2</sub> 濃度計(1台)	2013/3/1～2013/12/11
1号館 4階南側執務室	事務用途	温湿度計(4台)温度計(3台)	2013/3/1～2013/12/11
1号館 5階東側執務室		温湿度計(4台)温度計(3台)	2013/3/1～2013/12/11
2号館 西側教室	教室	温湿度センサー (BEMSよりデータ取得)	2012/4/1～2013/12/31

表 3-3 計測室設備概要(大学施設)

計測室設備概要(大学施設)			
使用用途	共用部	教室	事務用途
空調設備	AHU	ペリメータレス AHU+低温送風	外調機+FCU
窓システム	FL(フロートガラス)	AFW(エアフローウィンドウ)	縦ルーバ +日射調整フィルム

さらに施設管理会社の協力を得て空気環境測定結果報告書データ（以下測定データ）を取得した概要を表 3-4 に示す。大学施設においては毎月 1 回、規定の器具を用いて各館 1 フロアごとに東西 1 ヶ所ずつ、午前（10 時）と午後（2 時）に測定が実施された。なお、計測が実施された大学施設は、1 号館～ 4 号館、4 つの棟で構成されているが、3 号館は、食堂や部室棟など厚生棟として利用されているため、本検討対象からは除外した。オフィスビルにおいては、2 ヶ月に 1 回、1 フロアごとに 1 ヶ所午前（10 時）と午後（2 時）に測定が実施されている。

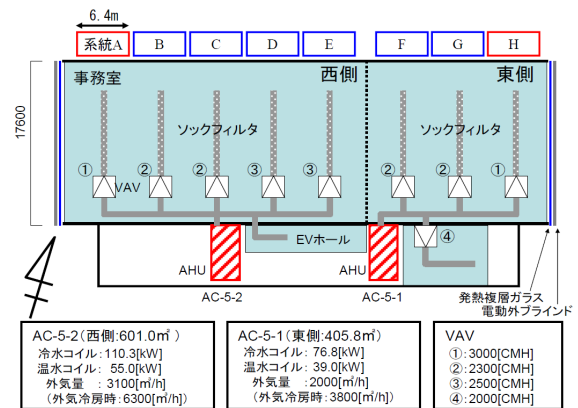


図 3-2 基準階空調設備概要

表 3-4 空気環境測定結果報告書データ概要

空気環境測定結果報告書概要			
対象施設	計測箇所	データ期間	データ数
大学施設	66	2012/4/1～2012/12/31	1644
NTビル	15	2006年10月～2013年6月	1231
Sビル	9	2008年1月～2010年10月	432

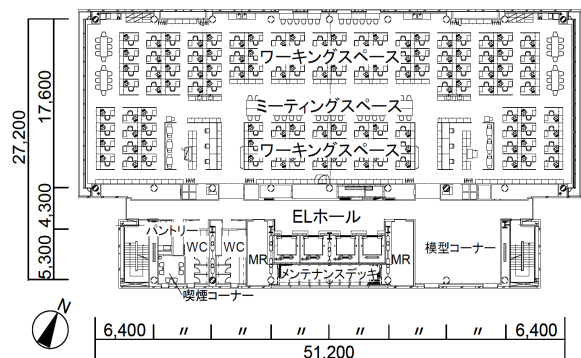


図 3-3 基準階平面図

## C.2 研究対象の概要

### C.2.1 NTビルについて

平成 25 年度に追加した NT ビルの建物概要と測定概要を以降に記す。

#### (1) NTビル概要建物概要

所在地：東京都千代田区

主要用途：事務所

施工年月：2003 年

延床面積：20,580 ㎡

空調面積：13,000 ㎡

階数：地上 14 階，地下 1 階

#### (2) 計測室設備概要

NTビルにおける基準階設備概要，基準階平面図を図 3-2，図 3-3 に示す。オフィスにおける設備は，基本的に中央熱源方式であり，窓まわりを外ブラインドとすることでペリメータレス化を図り，インテリアを VAV + AHU で構成されていた。また BEMS より AHU 還り温湿度データの取得を実施した。なお，用いたデータの計測間隔は 60 分とした。

### C.2.2 検討対象大学施設について

検討対象の大学施設は，室内環境の時系列データを取得出来るのに加え BEMS により空調機の運用データが取得でき，より詳細な空気環境の実態把握が可能である。検討対象とした大学施設は，1～4 号館の 4 つの棟で構成されている。

#### (1) 1号館について

建物名称：1号館

所在地：東京都足立区

主要用途：研究室，教員室

施工年月：2012 年

延床面積：30,900 ㎡

空調面積：19,758 ㎡

階数：地上 14 階，地下 1 階

#### (2) 2号館について

建物名称：2号館

主要用途：研究室，教員室

延床面積：18,444 ㎡

空調面積：11,258 ㎡

階数：地上10階，地下1階

(3) 3号館について

建物名称：3号館  
主要用途：厚生棟  
延床面積：5,210 m<sup>2</sup>  
空調面積：3,762 m<sup>2</sup>  
階数：地上5階

(4) 4号館について

建物名称：4号館  
主要用途：研究室，教員室  
延床面積：14,144 m<sup>2</sup>  
空調面積：9,717 m<sup>2</sup>  
階数：地上10階

に示す。温湿度・CO<sub>2</sub>濃度計を1点設置した。  
なお，計測間隔は15分とした。

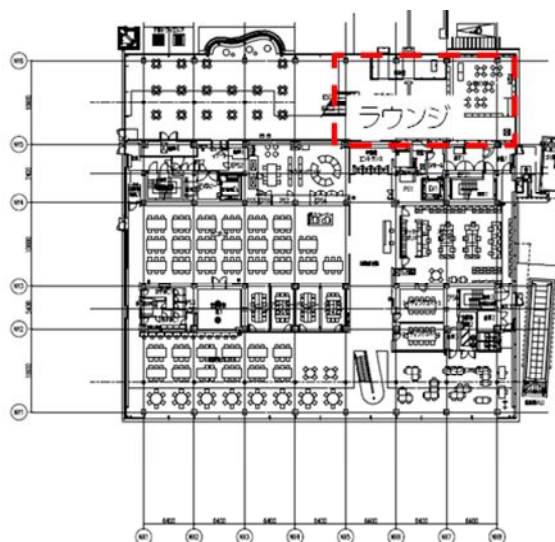


図3-6 2号館1階平面図

C.2.2.1 1号館エントランスについて

1号館エントランスの計測箇所を以下の平面図上に示す。温湿度・CO<sub>2</sub>濃度計を1点設置した。なお，計測間隔は15分とした。

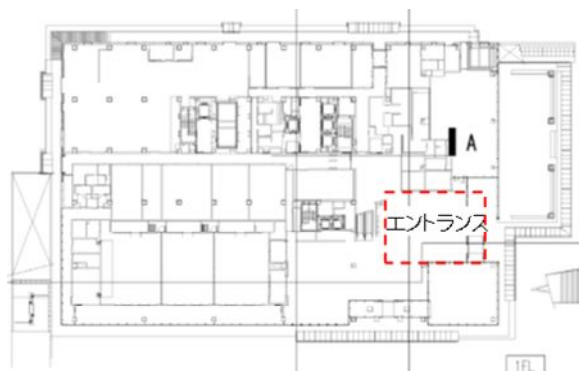


図3-4 1号館1階平面図

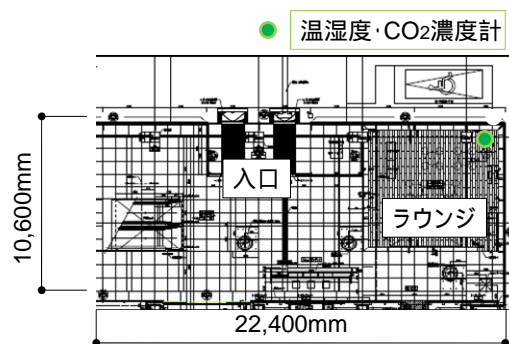


図3-7 2号館ラウンジ平面図

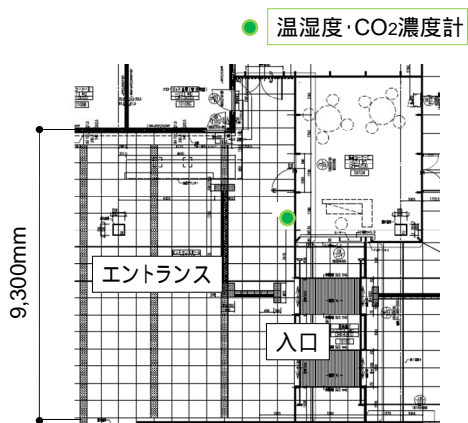


図3-5 1号館エントランス平面図

C.2.2.3 1号館4階南側執務室について

1号館4階南側執務室の計測箇所を以下の平面図上に示す。温湿度・CO<sub>2</sub>濃度計を一点，温度計を2点，温湿度計を2点設置した。なお，計測間隔は15分とした。

C.2.2.2 2号館エントランスについて

2号館ラウンジの計測箇所を以下の平面図上に





図 3-8 1号館4階平面図

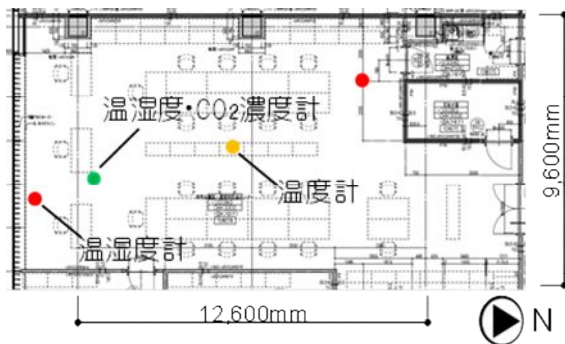


図 3-9 1号館4階執務室平面図

#### C.2.2.4 1号館5階東側執務室について

1号館4階南側執務室の計測箇所を以下の平面図上に示す。温湿度・CO2濃度計を一点、温度計を3点、温湿度計を4点設置した。なお、計測間隔は15分とした。

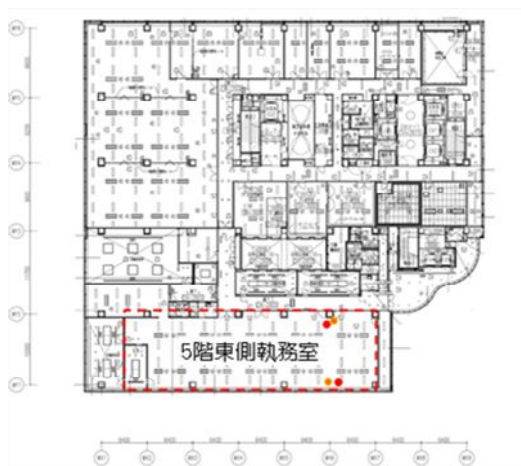


図 3-10 1号館5階平面図

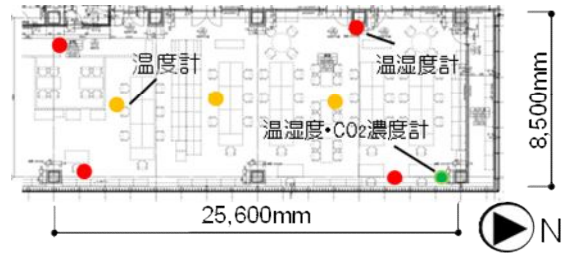


図 3-11 1号館5階執務室平面図

#### C.2.2.5 2号館7階西側執務室について

2号館7階西側執務室の計測箇所を以下の平面図上に示す。BEMSより温湿度センサーのデータの取得を実施した。なお、用いたデータの計測間隔は15分とした。

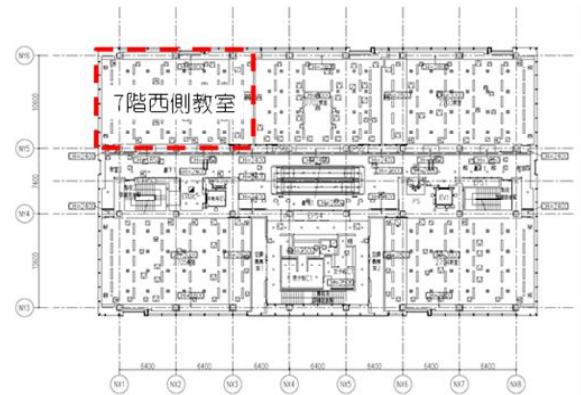


図 3-12 2号館7階平面図

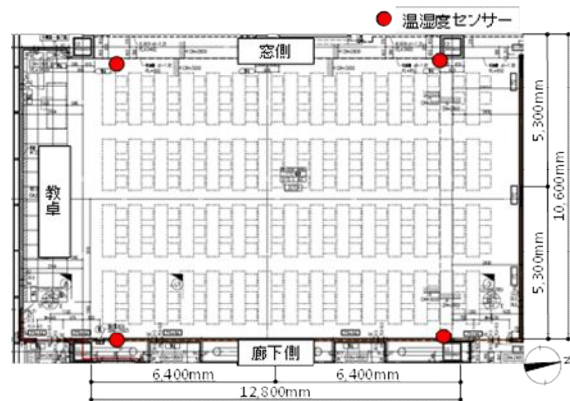


図 3-13 2号館7階平面図

### C.3 解析結果

#### C.3.1 空気環境を形成する影響因子に着目した検討

##### C.3.1.1 空気環境測定を用いた検討

空気環境測定結果報告書データを用いて、それぞれの項目ごとの、建築物衛生法の基準値範

困を満たしていた割合(以下適合割合)と空気環境測定時における空調機運転状況について大学施設を図 3-14 に、NTビルを図 3-15 に示す。またSビルにおける温湿度の空気環境測定結果を散布図及び累積頻度図で図 3-16 に示す。

大学施設、NTどちらにおいても、温度、相対湿度及びCO<sub>2</sub>濃度において基準範囲を逸脱する状況を確認した。特に相対湿度は適合割合が低い傾向を示した。また、大学施設において空気環境測定時における空調機の運転状況(図中右)より、空調機停止時に空気環境測定が実施されていたことを確認した。空調機停止時には、室内が使用されていないと想定されるため、適切な空気環境測定結果を得られない可能性が考えられる。そのため、空調機の運用をふまえた空気環境測定方法が求められる。

Sビルにおいては、温湿度共に多くの状況で基準値範囲であったことが確認された。また、相対湿度において基準値の下限値である40%付近の値が多く見受けられた。

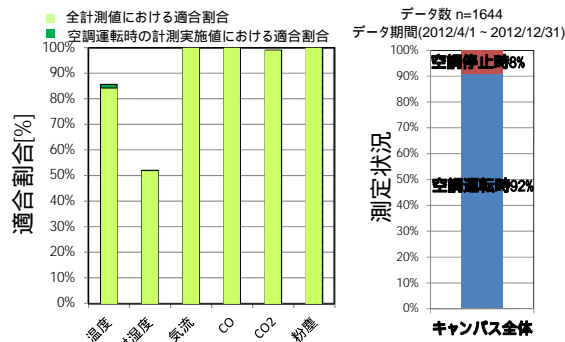


図 3-14 空気環境測定結果における解析 (大学施設)

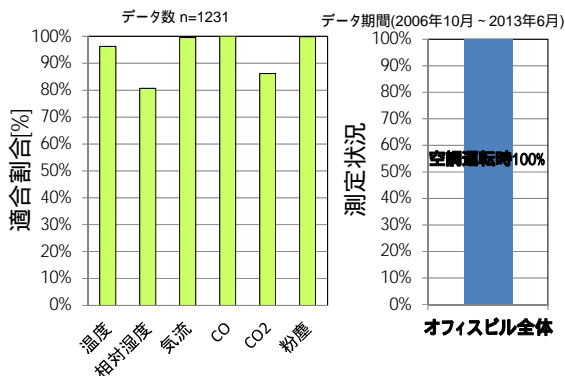


図 3-15 空気環境測定結果における解析 (NTビル)

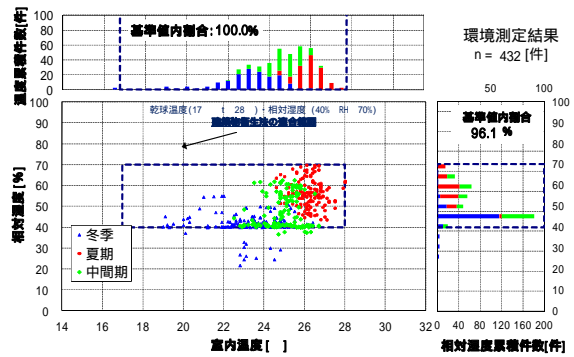


図 3-16 空気環境測定結果における解析 (Sビル)

### C.3.3.2 空気環境測定結果と実測データを用いた検討

#### (1)室内環境プロット

2号館ラウンジにおける室内温度、相対湿度の計測値および、各計測値に対する発生頻度と累積頻度を図 3-17 に示す。なお、年間のデータに対して、冬期(1月,2月,3月,12月)夏期(6月~9月)中間期(4月,5月,10月,11月)それぞれの区別で解析を行った。

1号館4階,5階執務室における室内温度,相対湿度の計測値および、測定データの解析結果を図 3-18,図 3-19 に示す。なお、窓側,インテリア,廊下側の区別で室内をエリア分けしそれぞれの区別で解析を行った。

2号館ラウンジでは、室内温度、相対湿度共にすべての期間で基準値を逸脱する状況がみられた。これは、ラウンジが出入りに面しているため人の出入りによって、外気が流入したことの影響が考えられる。また、ラウンジは二面をガラス面で囲われているため、日射等外乱の影響も受けていると考えられる。

1号館4階,5階執務室においては、どちらに関しても、窓側と廊下側の温度に差異が生じている事が確認できる。これは、窓側が廊下側と比べ日射等外乱の影響を強く受けて室内温度が変動したためだと考えられる。



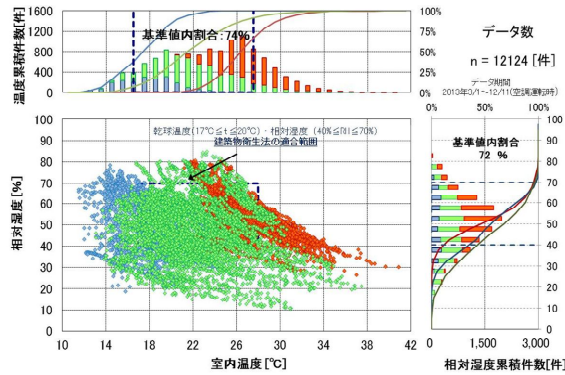


図 3-17 期別の温湿度環境プロット  
(2号館ラウンジ)

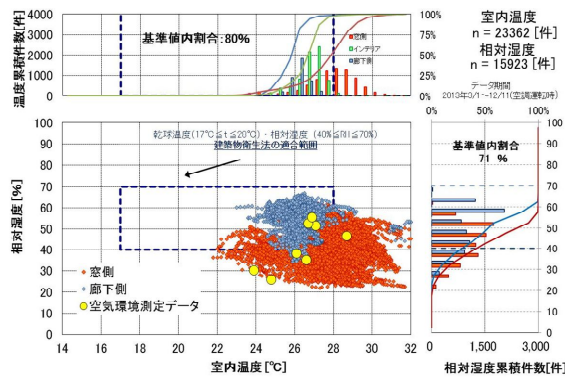


図 3-18 計測エリア毎の温湿度環境プロット(1号館4階執務室)

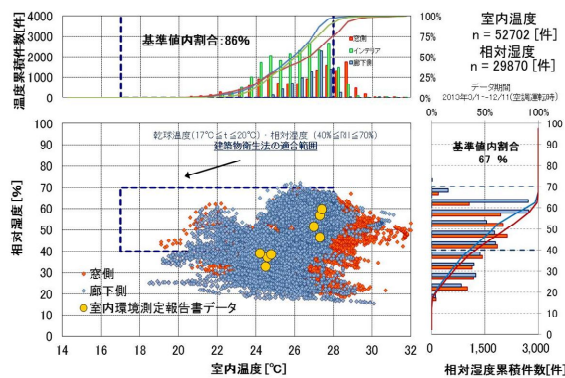


図 3-19 計測エリア毎の温湿度環境プロット(1号館5階執務室)

(2)平面温度分布

夏期平日代表日における,大学施設(1号館5階執務室,2号館7階教室)及びNTビル(基準階)の机上面高さ(約1,100mm)の平面温度分布を図3-20~図3-22に示す。

教室とNTビルの,窓側温度と廊下側温度の平均値に差異はあまりみられなかったが,執務室においては,平均値の温度差が約2.5℃と差異

がみられた。これは,教室とNTビルではペリメータ負荷をAFWで適切に処理しているが,執務室においては,ペリメータ負荷を適切に処理できなかったためだと考えられる

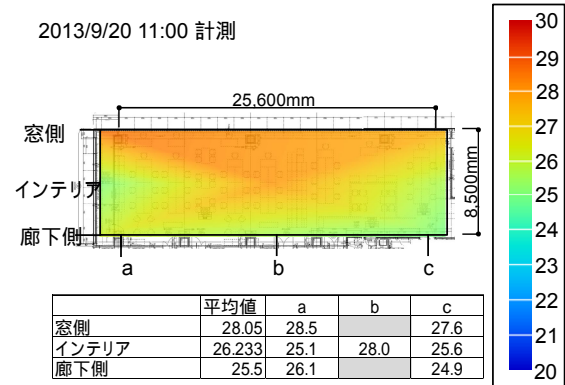


図 3-20 平面温度分布(1号館5階執務室)

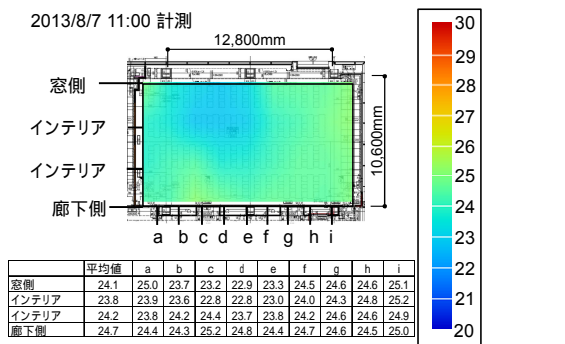


図 3-21 平面温度分布(2号館7階教室)

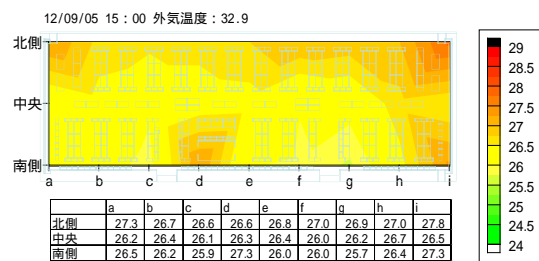


図 3-22 平面温度分布(NTビル)

(3)断面温度分布

1号館5階執務室とNTビル(基準階)における窓面に直達光が照射する時間帯における,ペリメータ断面温度分布の実測結果を図3-23,図3-24に示す。

1号館5階執務室では,床面から2,200mm以

下ではほぼ温度分布が一様であるが、天井面付近では、過度の熱だまりが生じていることが確認できる。特に窓面付近上部では、50□付近まで温度が上昇していた。そのため1号館5階執務室の窓面近傍は、日射の影響を多く受けていたと考えられる。

NTビル(基準階)に関しては、床面から2,500mm以下ではほぼ温度分布が一様であり、窓面近傍での日射の影響は少ない。なお、図中窓面から2,200mm付近の低温は、ダクトからの冷風の影響である。PMVの値も窓方向に向かって上昇するが、窓面からの放射の影響は少ないと考えられる。

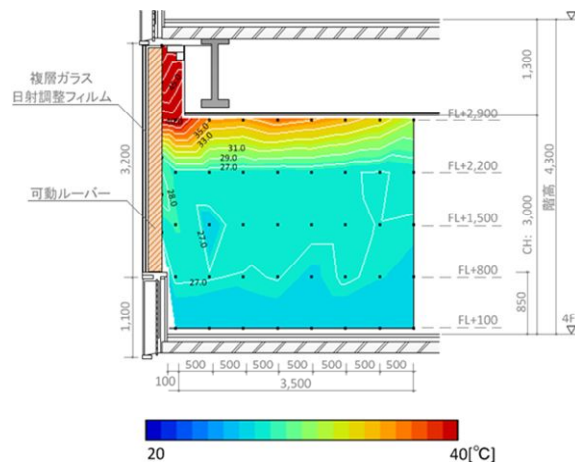


図 3-23 ペリメータ断面温度分布  
(1号館4階執務室)

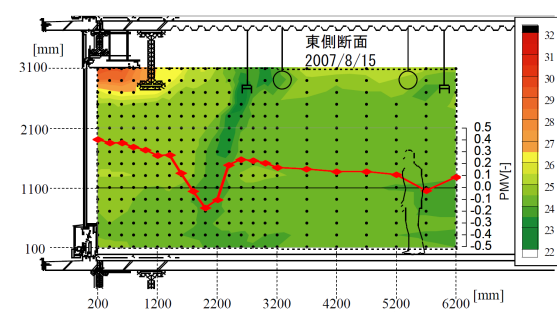


図 3-24 ペリメータ断面温度分布  
(NTビル基準階)

の計測値および、測定データの解析結果を図3-25～図3-27に示す。なお対象室における室内温度、相対湿度の計測値を室内環境実態とし測定データとの比較を行った。

NTビルにおいて測定データは、室内温度、相対湿度どちらにおいても、概ね室内環境実態をとらえていたが、教室においては、やや室内環境実態から外れる傾向がみられた。これは、空気環境測定時教室では授業等が行われていたため、室内部への立ち入りが困難であり、適切な箇所での測定が行えなかった事が要因として想定される。また、教室では空調機停止時において空気環境測定が実施されており、この状況下では、測定データは室内環境実態から大きく外れる傾向がみられた。1号館エントランスにおいても測定データは、やや室内環境実態から外れる傾向がみられた。これはエントランスが出入り口と面しているため、人の出入りによって外気が流入しエントランス内の温湿度に影響を与えることで温湿度にばらつきが生じてしまったためだと考えられる

そのため空調機の運用状況及び、立ち入りが困難な室においても比較的容易に室内環境の計測値及び時系列データを取得できるBEMSを用いることで、適切な空気環境測定を実施できる可能性が示唆される。

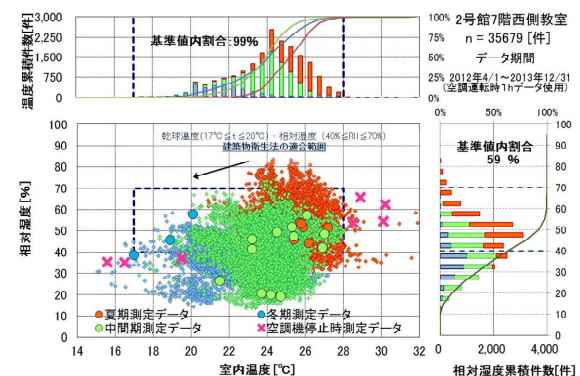


図 3-25 期別の室内環境実態と測定データ比較(1号館7階西側教室)

### C.3.3.3 BEMSによる空気環境測定の可能性に関する検討

1号館7階西側教室、オフィスビル基準階、1号館エントランスにおける室内温度、相対湿度

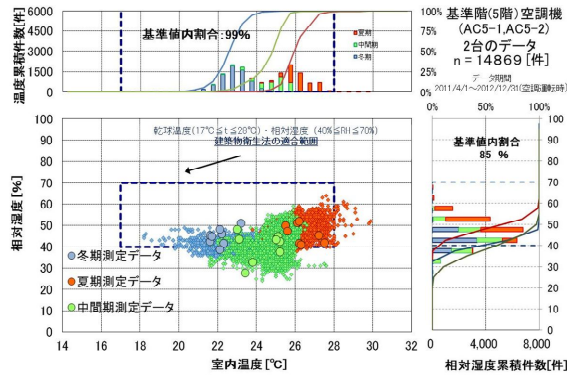


図 3-26 期別の室内環境実態と測定データ比較 (NTビル基準階)

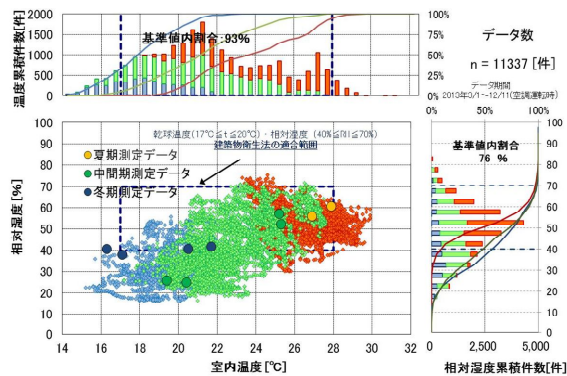


図 3-27 期別の室内環境実態と測定データ比較(1号館エントランス)

#### C.4 事務用途室における衛生環境測定

本節では空調制御方式として中央方式と個別方式を対象とし、室内環境の現状把握を目的として、建築物衛生法の定期測定において全国的に不適合割合が高い温度、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度<sup>[3]</sup>について、15分間隔で連続測定した結果を示す。各測定対象室の概要を表 3-5、測定期間を表 3-6 に示す。また、温熱的衛生性を評価するため、WBGT (熱中症指数)、グローブ温度、湿球温度を5分間隔で連続測定した。(写真 3-1)

ここでは測定したWBGTとWBGT指数に基づく作業者の熱ストレスの評価<sup>[13]</sup>(表 3-8)と照らし合わせることで、熱中症(温熱的衛生性)の危険度を評価する。対象は事務用途室であるため、代謝率区分は「1 低代謝率」となる。WBGTは湿球黒球温度(Wet Bulb Globe Temperature)とも呼ばれ、室内での値は以下の式で求められる。

$$WBGT = 0.7t_{nwb} + 0.3t_g$$

ここに

WBGT : WBGT 指数[°C]

$t_g$  : グローブ温度[°C]

$t_a$  : 空気温度[°C]

$t_{nwb}$  : 自然換気状態の湿球温度[°C]

熱的快適性を評価する指標として PMV (予測平均温冷感) を算定した。ISO の標準では、PMV が ±0.5 以内、不快者率 10% 以下となるような温熱環境を推奨<sup>[7]</sup>している。PMV を計算するにあたり、上記の測定項目の他、測定器設置時に風速を 10 分間測定した。また文献<sup>[15]</sup>を参考とし、PMV 算定に必要な clo 値(着衣量)を 0.7、met 値(代謝量)を 1.2 と設定した。また風速の測定には微風速計(写真 3-2)を使用した。使用した機器の測定項目、測定箇所を表 5 に示す。



写真 3-1 WBGT 計

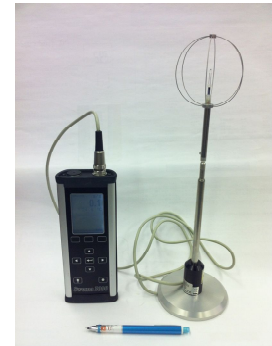


写真 3-2 微風速計

表 3-5 対象室の概要

名称	所在地	省エネルギー地域区分	空調制御方式	対象室床面積(m <sup>2</sup> )
A	高知県	6	個別方式	300
B	高知県	7	中央方式	275
C	愛媛県	6	中央方式	100
D	愛媛県	5	個別方式	190
E	愛媛県	6	個別方式	200
F	香川県	6	中央方式	230
G	高知県	6	個別方式	15
H	高知県	6	個別方式	15
I	高知県	6	中央方式	400
J	高知県	6	個別方式	80
K	東京都	6	中央・個別併用方式	350
L	神奈川県	6	個別方式	130

\*換気のみ個別方式

表 3-6 測定期間

名称	測定期間(夏期)	測定期間(冬期)
A	8/4～8/31	11/25～1/22
B	8/2～9/3	12/17～1/22
C	8/8～9/4	12/12～1/15
D	8/8～9/4	12/12～1/15
E	8/8～9/4	12/12～1/15
F	8/18～9/5	12/18～1/14
G	9/11～9/19	1/23～1/30
H	9/11～9/19	1/23～1/30
I	7/7～8/3	1/23～1/30
J	7/7～8/3	1/23～1/30
K	8/20～9/3	12/18～12/26
L	9/12～9/26	12/18～12/26

表 3-7 各測定項目・箇所

測定項目	測定器	測定箇所
WBGT [°C]	データロガー熱中症計 HI-2000SD	机上
温度 [°C]		
相対湿度 [%RH]		
グローブ温度 [°C]		
湿球温度 [°C]		
CO <sub>2</sub> 濃度 [ppm]	CO <sub>2</sub> センサ KNS-CO2S	同上
風速 [m/s]	微風速計 SWA-03	同上

表 3-8 WBGT に基づく作業者の熱ストレスの評価<sup>13)</sup>

代謝率区分	WBGT 基準値 [°C]			
	熱に順化している人		熱に順化していない人	
0 安静	33		32	
1 低代謝率	30		29	
2 中程度の代謝率：中程度の作業	28		26	
	気流を感じない時	気流を感じるとき	気流を感じない時	気流を感じるとき
3 高代謝率：激しい作業	25	26	22	23
4 極高代謝率：極激しい作業	23	25	18	20

\*本研究では代謝率区分1を対象としている。

#### C.4.1 測定結果

取得データのうち、業務時間（8:00～18:00）のものを抽出して整理を行った。

##### C.4.1.1 温湿度、CO<sub>2</sub>濃度の測定結果（夏期）

夏期の各対象室における温度、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度をそれぞれ図 3-28～3-30 に示す。これら図中には衛生管理基準値の範囲をグレーで示し、箱ひげ図上の数字は各室の平均値を表している。温度について中央値は基準値外となっている B と F は中央方式であるため、管理者が空調の設定温度を高めに行っている可能性がある。相対湿度についてはほとんどが基準値内となっている。CO<sub>2</sub>濃度については F が高く、中央方式の暖冷房であるが換気のみ個別方式の I、および間歇的に換気設備を停止していた J に課題がみられる結果となった。

的に換気設備を停止していた J に課題がみられる結果となった。

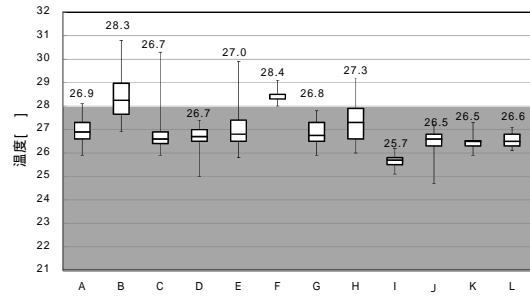


図 3-28 夏期の業務時間における温度（値は平均値）

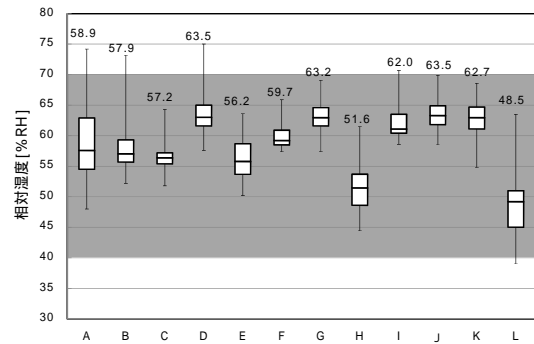


図 3-29 夏期の業務時間における相対湿度（値は平均値）

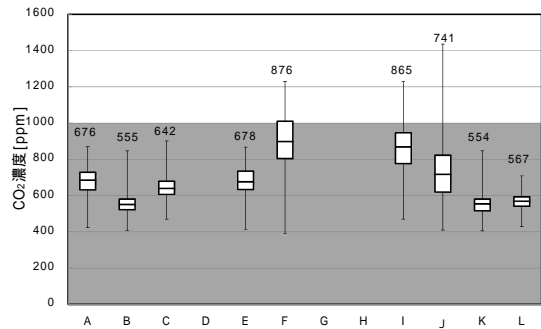


図 3-30 夏期の業務時間における CO<sub>2</sub>濃度（値は平均値）

##### C.4.1.2 温湿度、CO<sub>2</sub>濃度の測定結果（冬期）

冬期の各対象室における温度、相対湿度、CO<sub>2</sub>濃度をそれぞれ夏期測定結果と同様に図 3-31～3-33 に示す。温度について全箇所、中央値は基準値の範囲内となっている。相対湿度について F 以外の箇所の中央値は基準値外となっており対策が必要である。CO<sub>2</sub>濃度については夏期の測定と同様に F と I が高く、K も高い結果となった。



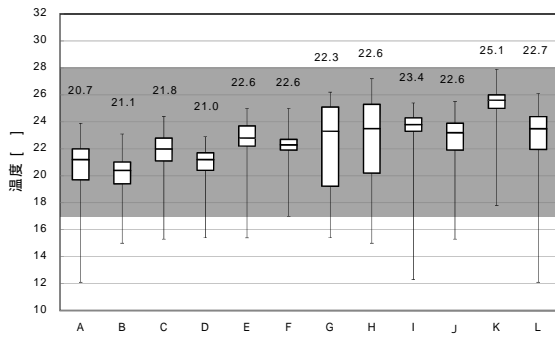


図 3-31 冬の業務時間における温度（値は平均値）

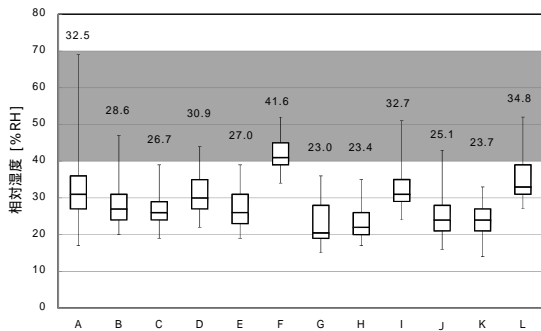


図 3-32 冬の業務時間における相対湿度（値は平均値）

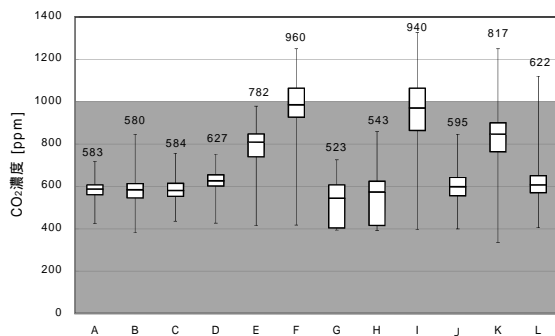


図 3-33 冬の業務時間における CO<sub>2</sub> 濃度（値は平均値）

#### C.4.1.3 WBGT、PMV の測定結果（夏期）

WBGT と PMV については測定期間中、外気温度の条件が同等のデータを抽出することで外気温度の差による影響のない分析を行った。WBGT および PMV について各室の値を図 3-34 ~ 3-35 に示す。WBGT について中央値付近は熱中症の危険はないが、最大値付近は、代謝率区分が「2 中程度の代謝率」の範囲内の数値で

あるため留意が必要であった。とくに節電のため設定温度が高く、且つ蒸暑地域の B は 27℃まで達した。PMV についても中央方式の B と F が高くなっている。

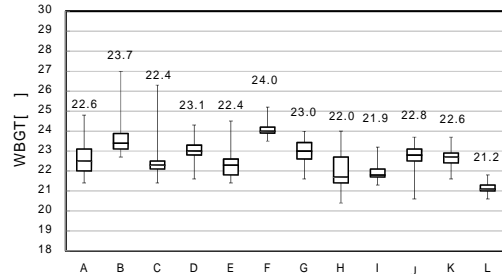


図 3-34 業務時間における WBGT(値は平均値)

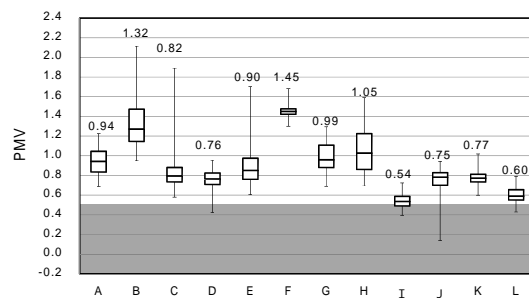


図 3-35 業務時間における PMV（値は平均値）  
グレーの範囲が ISO 推奨範囲<sup>7)</sup>  
(PPD:不快者率 10%以下)

#### C.4.1.4 WBGT,PMV の測定結果（冬期）

WBGT および PMV について夏期と同様の分析を行った。各室の値を図 3-36 ~ 3-37 に示す。WBGT について K と L は関東であるにも関わらず四国の箇所より高い結果となった。PMV については夏期に比べると中央値が ISO 推奨範囲内である箇所が数カ所見られ、マイナスを示すものはほとんどなかった。

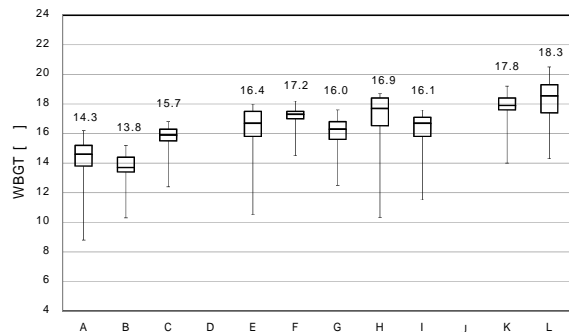


図 3-36 業務時間における WBGT（値は平均値）

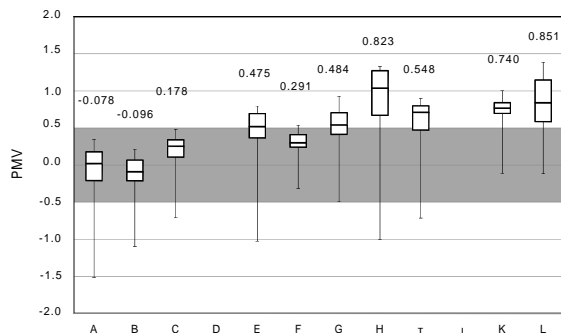


図 3-37 業務時間における PMV (値は平均値)  
グレイの範囲が ISO 推奨範囲<sup>7)</sup>  
(PPD:不快者率 10%以下)

#### C.4.1.5 全国データとの比較 (夏期)

上記の業務時間における夏期の測定値の中央値(以下、中央値)を既報告<sup>8)9)</sup>による全国ビルメンテナンス協会を通じて取得した室内環境の測定値(以下、全国データ)と比較を行った。全国データは 2011 年 3 月 11 日以前且つ今般の節電要請前に取得されたデータである。表 3-9 に測定項目と本研究による中央値を全国データに当てはめた場合の百分位(夏期)、表 3-10 に全国データにおいて衛生管理基準値の範囲を百分位の範囲(夏期)として示した。それぞれの項目の百分位は全国データの最小値を 0、最大値を 100 と設定し、測定結果の中央値を全国データの累積頻度にて当てはめた場合の数字となっている。

温度については建築物衛生法の衛生管理基準値内であるが B と F の値は大きい。相対湿度について値が大きいものはあるが測定値は基準値内であるため、問題はない。CO<sub>2</sub> 濃度について F と I は値が大きい。F は CO<sub>2</sub> 濃度制御があったため基準値を超えていないが全国的には高い順位となる。I の換気は個別方式であったことが原因と考えられる。本研究で測定対象とした事務用途室の測定値のほとんどが全国データと比べ、順位が高かった。

表 3-9 各室の測定値の中央値を全国データに当てはめた場合の百分位(夏期)

名称	温度[℃]	相対湿度[%RH]	CO <sub>2</sub> 濃度[ppm]
A	75.3	62.4	65.6
B	85.9	50.0	40.2
C	77.5	45.4	57.1
D	67.0	70.1	-
E	79.0	32.5	64.2
F	88.3	62.4	90.9
G	61.8	41.1	40.6
H	56.7	25.5	46.0
I	56.7	67.0	89.4
J	50.2	73.4	72.2
K	61.8	54.2	40.6
L	44.8	22.1	42.0

\*グレイのセルにて 50 位を超えているものを示す。

表 3-10 衛生管理基準値の全国データの百分位の比較(夏期)

項目	衛生管理基準値 <sup>2)</sup>	百分位
温度[℃]	17.0~26.0~28.0	0.0~50.2~94.2
相対湿度[%RH]	40.0~55.0~70.0	3.7~50.0~95.8
CO <sub>2</sub> 濃度[ppm]	400~601~1000	3.9~51.5~96.6

#### C.4.1.6 全国データとの比較(冬期)

冬期の測定値についても夏期と同様に全国データとの比較を行った。表 3-11 に測定項目と本研究による中央値を全国データに当てはめた場合の百分位(冬期)、表 3-12 に全国データにおいて衛生管理基準値の範囲を百分位の範囲(冬期)として示した。

温度について建築物衛生法の衛生管理基準値内であるため問題はないが、全国データと比較すると低いものが数カ所見られる。相対湿度については F 以外の箇所は基準値外であり、全国データと比較しても低いものが多い。CO<sub>2</sub> 濃度について中央値は基準値内であるが、夏期同様、F と I は全国データと比較してとても高い順位となっている。

表 3-11 衛生管理基準値の全国データの百分位の比較(冬期)

項目	衛生管理基準値 <sup>2)</sup>	百分位
温度[℃]	17.0~22.7~28.0	3.4~50.0~99.9
相対湿度[%RH]	40.0~40.1~70.0	46.5~50.1~99.9
CO <sub>2</sub> 濃度[ppm]	400~624~1000	3.4~50.0~92.2

表 3-12 各室の測定値の中央値を全国データに当てはめた場合の百分位（冬期）

名称	温度 [℃]	相対湿度 [%RH]	CO <sub>2</sub> 濃度 [ppm]
A	27.1	17.3	40.1
B	19.4	9.7	39.8
C	36.2	8.0	39.5
D	27.1	15.1	50.4
E	51.2	8.0	78.7
F	42.5	53.3	91.5
G	60.7	2.8	31.2
H	63.8	3.6	38.0
I	69.5	17.3	91.0
J	58.9	5.6	41.7
K	95.9	5.6	81.8
L	63.8	22.4	47.2

\*グレーのセルにて温度、相対湿度が 50 位を下回っているもの、CO<sub>2</sub>濃度は 50 位を超えているものを示す。

#### C.4.1.7 WBGT、PMV の相関についての分析（夏期）

全測定箇所の WBGT、算定した PMV の値を業務時間内かつ外気温度の条件が同等の日のデータ抽出し、WBGT、PMV の中央値をプロットしたものを図 3-38 に示す。近似式に乗っている点（B、C、F、I）は空調制御方式が中央式のもので C と I、B と F の二つのグループに分かれている。C と I のグループは WBGT、PMV が低く、B と F のグループはともに高い。節電のため設定温度の違いが生じてしまい、同じ中央式であっても分布に差ができた。図 3-38 のプロットには WBGT、PMV の近似式を外れる点が見られる。そこで各箇所のデータ（温度、相対湿度、外気温度、CO<sub>2</sub>濃度等、以下、室内外環境データ）と比較し分析することで原因を探った。

PMV が同等、WBGT に差がある組み合わせの例として G と H がある。G と H は同じビルの北側室（G）と南側室（H）であるが PMV は南側室が若干高い。WBGT 温度は G より H の方が少し高い結果となっており、相対湿度について明らかに G は高い。これら室内外環境データと比較すると G と H には温度の中間値に大きな変化はない。温度の最大最小値の幅に違いが見られた。北側は顕熱負荷が小さく除湿ができていないため WB に感度の高い WBGT 値が高く出た結果と考えられる。逆の条件のもので分析したが室内外環境データと関係性は見られなかった。そこで、WBGT と PMV それぞれに温度、湿度、輻射、気流（以下、温熱四要素）がどの程度影響があるか重回帰分析を行った。

WBGT および PMV について環境側の温熱四要素の内、どの要素が影響を与えているかについて統計的な分析を行った。測定項目である相対湿度とグローブ温度を説明変数として分析を行い、データは全測定箇所、業務時間内のもある。相対湿度は湿度の影響を表し、グローブ温度は温度、気流、輻射の影響を代表している。相対湿度とグローブ温度を標準偏回帰係数に変換し、比率に算定したものを表 3-13、図 3-39 に示す。

WBGT は PMV に比べ、湿度に大きく影響を受け、温度、輻射、気流の影響は小さいという結果であった。実際、調査対象である事務用途室内において輻射、気流の測定値は衛生管理基準と比較しても小さい値であり、事務用途室において温熱的衛生性に重点を置く項目は温度、湿度である。また、快適性について重点を置く項目は温度である結果となった。

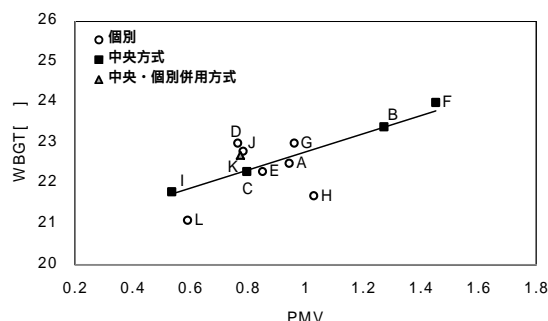


図 3-38 各測定箇所の WBGT, PMV 相関図

表 3-13 WBGT および PMV の各説明変数の標準偏回帰係数

	相対湿度	グローブ温度	R <sup>2</sup>	n
WBGT	0.682 (50.6%)	0.667 (49.4%)	0.984	12,907
PMV	0.095 (10.0%)	0.849 (90.0%)	0.744	

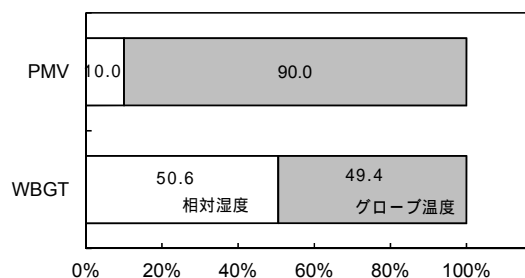


図 3-39 WBGT および PMV の各説明変数の標準偏回帰係数の比率

#### C.4.1.8 WBGT、PMVの相関について（冬期）

全測定箇所のWBGT、算定したPMVの値を夏期結果と同様にプロットしたものを図3-40に示す。冬期のデータではばらつきが見られず、プロットのほとんどが近似式に沿って散布しているため、夏期のものより相関が強いことがわかる。Fについては近似式から少し上方に離れているが、相対湿度が高い箇所がFだけであったことから、湿度と影響の大きいWBGTが高くなったためと考えられる。また図3-40においても、KとL（関東の室）はWBGT、PMVが他の箇所（四国の室）より高いことがわかるため、北の地域ほど室内を暖かくしており、南の地域の室内は寒いという結果であった。冬期のWBGT、PMVについても温熱四要素との影響を調査するため、重回帰分析を行った。

分析の方法は夏期結果と同様に、グローブ温度と相対湿度を説明変数とし、データは全測定箇所、業務時間内のものである。相対湿度は湿度の影響を表し、グローブ温度は温度、気流、輻射の影響を代表している。相対湿度とグローブ温度を標準偏回帰係数に変換し、比率に算定したものを表3-14、図3-41に示す。

夏期と同様、PMVに比べWBGTの方が湿度の影響する割合は多いが、夏期よりは影響が小さいものとなっている。冬期においては、温度、輻射によって温熱的衛生性、快適性が決まるといった結果となった。

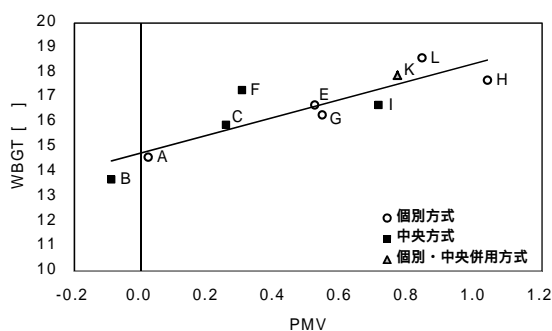


図3-40 各測定箇所のWBGT,PMV相関図

表3-14 WBGTおよびPMVの各説明変数の標準偏回帰係数

	回帰係数		R <sup>2</sup>	n
	相対湿度	グローブ温度		
WBGT	0.431 (30.3%)	0.993 (69.3%)	0.996	16372
PMV	0.110 (9.8%)	1.01 (90.2%)	0.992	

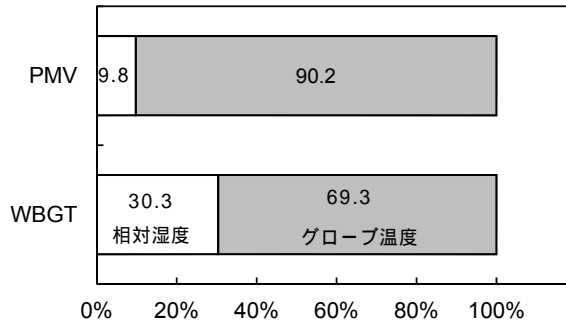


図3-41 WBGTおよびPMVの各説明変数の標準偏回帰係数の比率

#### C.4.2 本節のまとめ

本節では、事務用途室について室内環境調査を行い、温度、湿度、CO<sub>2</sub>濃度を全国データと比較、WBGTとPMVの測定・算定結果から空調制御方式の違いで室内環境に課題があることを示した。

夏期において、WBGTとPMVには一定の相関はあるが一部に偏差が生じており、原因として相対湿度が大きく影響していることが判明した。

湿度は温熱的衛生性に大きな影響を及ぼし、熱的な安全性を守る上で湿度が重要であるという認識を見直す必要がある。本研究の範囲で温熱的快適性を考える場合には温度、輻射、気流の影響が強いことが結果となった。

冬期において、全体的に相対湿度が低いことから、WBGTとPMVの相関は夏期より強いものであり、温熱的衛生性と快適性は輻射の影響で決まることがわかった。

また、北側の地域ほど室内は暖かく、南側の地域ほど室内は寒いという結果であったため、今後は意識調査を絡めて室内環境調査を行う必要がある。

WBGTは現在の建築物衛生法による空気環境測定の項目にグローブ温度を追加するだけで算出が可能である。節電対策で空気調和設備の



設定温度が高い場合などの温熱衛生的な安全性確認のため追加測定項目とすることも考えられる。

## D 考察

### D.1 事務所空間の室内環境について

首都圏の対象建築では同室内・同建物内の同時刻において温度分布が異なり、相対湿度に影響することを示した。諸要因が測定値に影響することが事例として確認されたことから、これらが今後の建築物衛生法に係る測定の課題となると考えられる。

CO<sub>2</sub> 濃度に換気装置の管理運営方法が室内環境を大きく左右すること、また管理運営によって室内環境を保持できる空調性能を有していると考えられる。

### D.2 あらたな管理基準・方法について

日射の影響を受けやすい窓仕様の場合には、室内においても、廊下側と比べ窓側の方が、温度、相対湿度とともに、基準適合範囲から逸脱する傾向を示すことを確認した。そのため WBGB など放射の影響も含んだ簡易な測定方法が望まれる。

一方、建築物の外皮性能（外乱除去）を向上させることで、窓側における温度環境の制御がより容易になり基準値割合が高くなる可能性が示唆されたことから、外乱の影響を受けない建築物の場合には、BEMS を用いた室内環境測定も視野に入れる可能があると考えられる。

## E. 結論

首都圏、および蒸暑地域を含む地方における事務所ビルを対象として空調方式が中央方式、個別方式どちらの建築物においても測定を実施した。建築物規模は大規模から小規模、竣工年数も様々な建築物の検討を行うため 12 件の建築物の実測、解析を実施した。また、室内温度、相対湿度、二酸化炭素濃度を連続的に測定し解析、検討を行い、データの充実を図った。また、既往研究で得られた全国アンケート調査の結果を用いて、冬期（1月、2月、3月、12月）における室内温度、相対湿度、二酸化炭素濃度の解

析、検討を行った。

さらに、あらたな管理基準・管理方法に関する検討を目的に、室内環境測定データと室内温度分布データと BEMS データを用いた検討を行い、BEMS による室内環境測定の可能性について検討を行った。

今後も建築物衛生法の測定方法を継続的に検討していく必要があると考えられ、公衆衛生の視点に立脚した室内環境の維持管理方法の確立が望まれる。

## 参考文献

- 1) 中原信生：「新版 ビル・建築設備の省エネルギー」, (財)省エネルギーセンター, 2001年7月
- 2) (社)日本ビルヂング協会連合会：「ビルエネルギー運用管理ガイドライン(オフィスビルにおける地球温暖化対策のより一層の推進に向けて)」, (社)日本ビルヂング協会連合会 2008年6月
- 3) 建築物の環境衛生管理編集委員会：「第2版 第3刷建築物の環境衛生管理 上巻」, (財)ビル管理教育センター 2007年3月
- 4) 建築物の環境衛生管理編集委員会：「第2版 第3刷建築物の環境衛生管理 下巻」, (財)ビル管理教育センター 2007年3月
- 5) 橋戸幹彦：「建築設備」, 株式会社建築技術, 2010年2月
- 6) 内田治：「すぐわかる SPSS によるアンケート調査・集計・解析[第3版]」, 東京図書株式会社 2008年10月
- 7) 内田治：「すぐわかる SPSS によるアンケートの多変量解析 [第2版]」, 東京図書株式会社 2007年6月
- 8) 射場本 百田他：特定建築物における室内環境と省エネルギーに関する研究(第1報～第8報), 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集(2010・2011・2012・2013)
- 9) 射場本 百田他：建築物の環境衛生と省エネルギーのあり方に関する研究(その1)～(その8), 日本建築学会大会学術講演(2010・2011・2012)
- 10) 総務省消防庁：平成25年9月30日～10

月 6 日全国の熱中症による救急搬送状況  
(速報値), <http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/heatstroke/pdf/sokuhouti.pdf>

- 11) 平成 24 年夏期(7 月~9 月)の熱中症による救急搬送の状況, [http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h24/2410/241016\\_1houdou/01\\_houdoushiryou.pdf](http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h24/2410/241016_1houdou/01_houdoushiryou.pdf)
- 12) 国土交通省 気象庁: 気象統計情報, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 13) JIS Z8504<sup>:1999</sup> 人間工学-WBGT (湿球黒球温度) 指数に基づく作業者の熱ストレスの評価-暑熱環境
- 14) ISO 7730<sup>:1994</sup> :Moderate thermal environment s-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort
- 15) 社団法人 空気調和・衛生工学会: 空気調和・衛生工学便覧<第 14 版>, 1 基礎編, P 330, 2010.2
- 16) 一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構.省エネルギー地域区分, <http://www.jjj-design.org/area/index.html>

#### 4. 健康影響と管理基準のあり方に関する研究

分担研究者 中館 俊夫 昭和大学医学部 教授

##### 研究要旨

電子写真方式の事務機器から稼働時に排出されるエミッションによる室内空気汚染の問題について、粒径が小さく吸入された場合に呼吸器の末梢部まで到達し得る微小粒子(FP)、超微小粒子(UFP)を中心に、Medlineを主たる対象とした文献検索を引き続き探索的に行い、昨年度以降の新たな報告として7編の論文を収集した。またこれまで検索から漏れていた重要論文2編を追加収集した。昨年度から生体影響に焦点を当てた研究報告が散見されるようになったことはすでに報告したが、今年度の新たな文献においても、ヒト由来培養細胞を用いた遺伝毒性を含む種々の評価項目を検討した報告や、印刷用トナー粒子を取り扱う作業者を対象とした大規模な前向きコホート研究の報告など、生体影響にかかわる研究が進展していることをうかがわせる報告が見られた。しかし今後の建築物環境衛生管理に役立てるためのリスク評価のためには、ハザード評価としての情報はいまだ十分とは言えず、更なる研究の促進が必要であると考えられる。

##### 研究協力者

畑 春実	昭和大学医学部助教
羽場 亮太	昭和大学医学部助教

##### A. 研究目的

本分担研究では、これまで建築物空気環境の重要な要素として、微小粒子(PM<sub>2.5</sub>, FP)などの空気中の粒径の小さな粒子状物質に着目し、中でも近年オフィスや家庭に急速に普及した電子写真方式の複写機/レーザープリンタからエミッションとして室内気中に放出されるFP及び超微小粒子(UFP)に焦点をあて、文献検索により情報の収集を行い、科学的知見の整理を行ってきた。

本年度は最終年度であることから、上記の観点からの文献検索による情報収集を継続するとともに、3年間で得られた情報の整理を行い、科学的知見のまとめを行った。とくに将来の建築物衛生管理に役立てる上で適切なリスク評価が必要であり、そのためには、ハザード評価が最も重要であることから、印刷用トナー粒子を含む、これら事務機器の使用に関連して生じる可能性がある粒子状物質曝露の生体影響についても文献の検索を行った。

##### B. 研究方法

過去2年度と同様に、データベースを利用した文献検索により文献を収集し、整理した。文献の範囲はレビューシステムを有する学術誌に掲載された原著論文を原則とすることとして、一般誌の解説記事的な文献や特定の対象に対する業務報告書、会議録、報道記録は除外した。国内(和文)文献は医学中央雑誌のデータベースを、海外を含む英文文献のデータベースにはMedlineを用いた。

昨年度収集した文献以降のものを原則とし、とくに下記の点を中心に、種々のキーワードを組み合わせて検索を行った。

- ・ 複写機/レーザープリンタからのFP, UFPの排出とそれに伴う空気汚染
- ・ 上記エミッションへの曝露に伴う生体反応、健康影響の可能性

また本年度が研究の最終年度であることから、昨年度までの検索で漏れていた重要文献や、事務機器の使用に関連して生じる可能性のある粒子状物質の空気汚染に関連する重要な文献についても収集を行った。

検索された文献については、内容を吟味して、文献リストを作成した。

### C. 研究結果

これまでの2年間に報告した文献以降の抽出文献として本年度は7件を収載し(2013年4件, 2012年3件), PDFファイルまたは印刷体のフルペーパーを入手した。昨年度から生体影響に関する研究報告が散見されるようになっていたが, 本年の検索でも, 培養細胞を用いて細胞毒性や遺伝毒性を検討した *in vitro* 実験研究の報告や, 複写機/レーザープリンタのトナー粒子曝露による生体影響を検討した疫学的前向きコホート研究の報告などがあった。

このほか, 培養細胞を用いて遺伝毒性を含む一連の毒性評価を行っているドイツの研究グループの報告, および複写機稼働時のUFP排出を初めて示したオーストラリアの研究グループの報告でこれまでの検索で抽出されなかった2008年の論文など, 重要論文2件を追加収集した。

以下に文献の書誌情報と著者抄録を文献リストとして示した。

1. Konczol M, Weis A, Gminski R, Merfort I, Mersch-Sundermann V. Oxidative stress and inflammatory response to printer toner particles in human epithelial A549 lung cells. *Toxicol Lett.* 2013 Feb 4;216(2-3):171-80.

#### Abstract :

Reports on adverse health effects related to occupational exposure to toner powder are still inconclusive. Therefore, we have previously conducted an *in vitro*-study to characterize the genotoxic potential of three commercially available black printer toner powders in A549 lung cells. In these cell-based assays it was clearly demonstrated that the tested toner powders damage DNA and induce micronucleus (MN) formation. Here, we have studied the cytotoxic and proinflammatory potential of these three types of printer toner particles and the influence of ROS and NF- $\kappa$ B induction in order to unravel the underlying mechanisms. A549 cells were exposed to various concentrations of printer toner particle suspensions for 24 h. The toner particles were observed to exert significant cytotoxic

effects in the WST-1 and neutral red (NR)-assays, although to a varying extent. Caspase 3/7 activity increased, while the mitochondrial membrane potential (MMP) was not affected. Particles of all three printer toner powders induced concentration-dependent formation of reactive oxygen species (ROS), as measured in the DCFH-DA assay. Furthermore, toner particle exposure enhanced interleukin-6 and interleukin-8 production, which is in agreement with activation of the transcription factor NF- $\kappa$ B in A549 cells shown by the electrophoretic mobility shift assay (EMSA). Therefore, it can be concluded that exposure of A549 lung cells to three selected printer toner powders caused oxidative stress through induction of ROS. Increased ROS formation may trigger genotoxic effects and activate proinflammatory pathways.

2. Bello D, Martin J, Santeufemio C, Sun Q, Lee Bunker K, Shafer M, Demokritou P. Physicochemical and morphological characterisation of nanoparticles from photocopiers: implications for environmental health. *Nanotoxicology.* 2013 Aug;7(5):989-1003.

#### Abstract:

Several reports link printing and photocopying with genotoxicity, immunologic and respiratory diseases. Photocopiers and printers emit nanoparticles, which may be involved in these diseases. The physicochemical and morphological composition of these emitted nanoparticles, which is poorly understood and is critical for toxicological evaluations, was assessed in this study using both real-time instrumentation and analytical methods. Tests included elemental composition (40 metals), semi-volatile organics (100 compounds) and single particle analysis, using multiple high-sensitivity/resolution techniques. Identical analyses were performed on the toners and dust collected from copier's exhaust filter. Engineered nanoparticles, including titanium dioxide, iron oxide and fumed silica, and several metals were found in toners and airborne nanoscale fraction. Chemical

composition of airborne nanoscale fraction was complex and reflected toner chemistry. These findings are important in understanding the origin and toxicology of such nanoparticles. Further investigation of their chemistry, larger scale exposure studies and thorough toxicological characterisation of emitted nanoparticles is needed.

3. Murase T, Kitamura H, Kochi T, Terunuma N, Kurosaki S, Hata K, Yanagi N, Uchino B, Kitahara K, Morimoto Y, Kasai H, Sasaki T, Ogami A, Higashi T. Distributions and ranges of values of blood and urinary biomarker of inflammation and oxidative stress in the workers engaged in office machine manufactures: evaluation of reference values. *Clin Chem Lab Med.* 2013 Feb;51(2):421-8.

Abstract:

BACKGROUND:

Interleukins, interferons and oxidative DNA products are important biomarkers assessing the inflammations and tissue damages caused by toxic materials in the body. We tried to evaluate distributions, reference values and age related changes of blood levels of inflammatory cytokines, C-reactive protein (CRP), IgE and urine levels of 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG) among workers in a cohort study evaluating the health influences of toner particles.

METHODS:

A total of 1366 male workers under age 50 years (age 19-49 years; 718 exposed and 648 not exposed to toner particles) in a cross sectional study of 1614 (categorized as 809 exposed and 805 not exposed, age 19-59 years) workers in a photocopier company has been followed prospectively as the cohort. Blood levels of interleukin (IL)-4, IL-6, IL-8, interferon- $\gamma$  (IFN- $\gamma$ ), CRP, IgE and urine 8-OHdG were measured annually for 5 years.

RESULTS:

Reference values of the biomarkers are; CRP: 0.01-0.63 $\times$ 10<sup>(-2)</sup> g/L, IgE: 6-1480 IU/mL, IL-4: 2.6-76.1 pg/mL, IL-6: 0.4-4.9 pg/mL and 8-OHdG: 1.5-8.2 ng/mgCr. We could not evaluate reference

values for IL-8 and IFN-  $\gamma$  because most of the values were below the sensitivity limits (2.0 pg/mL and 0.1 IU/mL, respectively). There were no differences of the biomarker levels between the toner exposed and the control workers. We observed a statistically significant age related decrease of serum IL-4 levels.

CONCLUSIONS:

This is the first report assessing the distributions and reference values of inflammatory biomarker levels in a large scaled cohort. We observed age related changes of some of the biomarkers. We could not detect any differences of the studied biomarker values between the toner exposed and the control workers.

4. Matsuda Y, Harada Y, Tanno Y. State of Toner Exposure of Workers Who Handle Toners. *J Occup Health.* 2013 May 23. [Epub ahead of print]

Abstract:

Objectives: The aim of this study was to ascertain the actual state of toner exposure of workers who handle toner. Methods: Personal exposure measurements were conducted on workers handling toner in which the respirable dust (RD) concentration by work type was determined. Targeted work types consisted of "machine recycling," "toner manufacturing," "toner research/development," "machine design/development" and "servicing." The implementation period lasted from April 2003 to March 2011, and measurements were conducted annually. The measurement method conformed to the Japanese Working Environment Measurement Standards (new standards adopted starting in 2005). Results: Comparing the RD concentrations for fiscal year 2003 by work, significant differences were found between machine recycling and the other four work types, as well as in toner manufacturing and the other four work types. Similarly, based on the new legislative standards applied in Japan from fiscal year 2005, significant differences were found between machine recycling and the other four work types, as well as in toner manufacturing and the other

four work types. Discussion: It is clear that workers engaged in machine recycling and toner manufacturing are exposed to toner, and that a certain level of exposure is continuing. Although it cannot be said that workers involved in toner research/development, machine design/development and servicing have no toner exposure, the concentration is of an extremely low level. Conclusion: At present, toner exposure levels by work type can be divided into two groups?one consisting of machine recycling and toner manufacturing, and the other consisting of toner research/development, machine design/development and servicing.

5. Castellano P, Canepari S, Ferrante R, L'Episcopo N. Multiparametric approach for an exemplary study of laser printer emissions. *J Environ Monit*. 2012 Feb;14(2):446-54.

Abstract :

The aim of this work was the study, by a multiparametric approach, of emissions from a laser printer in an experimental box-chamber, with particular attention to nanoparticles release. The experimental design included number concentration measurements by Fast Mobility Particle Sizer (FMPS) and chemical characterizations (elements) of size segregated samples collected by Nanomoudi cascade impactor. Volatile Organic Compounds (VOCs) were also sampled by charcoal sorbent tubes by personal sampling pumps. Monitoring of ozone, total volatile organic compounds concentrations and of temperature and humidity values inside the experimental box during the printing processes were also performed by automatic analyzers. The performed monitoring allowed to evidence different ways for particles emissions by laser printers, in particular showing that nanoparticles, characterised by high concentrations of Ba, Zn, B, K, Sr and Na, are set free at the beginning of the printing process. This emission seems to be directly ascribable to the use of toner powder, as all these elements are present in it. The emission of larger particles (ca. 100-320

nm) was observed in subsequent phases of the print process, probably due to the condensation of vapours released during the progressive heating of the fuser roller. This contribution was proved by both the FMPS measurements and the cascade impactor results. Also, a low emission of particles in higher size ranges was evidenced, mainly due to paper related particles. A very high concentration of VOCs was detected inside the chamber and the chemical speciation shows that the major contribution is associated to toner components, even if some species are released from other printer components. Although the formation of secondary species by reaction of VOCs with ozone cannot be excluded, these species were present inside the chamber at concentrations lower than the detection limit.

6. Shafer MM, Toner BM, Overdier JT, Schauer JJ, Fakra SC, Hu S, Herner JD, Ayala A. Chemical speciation of vanadium in particulate matter emitted from diesel vehicles and urban atmospheric aerosols. *Environ Sci Technol*. 2012 Jan 3;46(1):189-95.

Abstract:

We report on the development and application of an integrated set of analytical tools that enable accurate measurement of total, extractable, and, importantly, the oxidation state of vanadium in sub-milligram masses of environmental aerosols and solids. Through rigorous control of blanks, application of magnetic-sector-ICPMS, and miniaturization of the extraction/separation methods we have substantially improved upon published quantification limits. The study focused on the application of these methods to particulate matter (PM) emissions from diesel vehicles, both in baseline configuration without after-treatment and also equipped with advanced PM and NO(x) emission controls. Particle size-resolved vanadium speciation data were obtained from dynamometer samples containing total vanadium pools of only 0.2-2 ng and provide some of the first measurements of the oxidation state of vanadium in diesel vehicle PM emissions. The emission rates and the measured fraction of V(V) in PM from diesel

engines running without exhaust after-treatment were both low (2-3 ng/mile and 13-16%, respectively). The V(IV) species was measured as the dominant vanadium species in diesel PM emissions. A significantly greater fraction of V(V) (76%) was measured in PM from the engine fitted with a prototype vanadium-based selective catalytic reductors (V-SCR) retrofit. The emission rate of V(V) determined for the V-SCR equipped vehicle (103 ng/mile) was 40-fold greater than that from the baseline vehicle. A clear contrast between the PM size-distributions of V(V) and V(IV) emissions was apparent, with the V(V) distribution characterized by a major single mode in the ultrafine (<0.25  $\mu\text{m}$ ) size range and the V(IV) size distribution either flat or with a small maxima in the accumulation mode (0.5-2  $\mu\text{m}$ ). The V(V) content of the V-SCR PM (6.6  $\mu\text{g/g}$ ) was 400-fold greater than that in PM from baseline (0.016  $\mu\text{g/g}$ ) vehicles, and among the highest of all environmental samples examined. Synchrotron based V 1s XANES spectroscopy of vanadium-containing fine-particle PM from the V-SCR identified V(2)O(5) as the dominant vanadium species.

7. Wu XM, Apte MG, Bennett DH. Indoor particle levels in small- and medium-sized commercial buildings in California. *Environ Sci Technol*. 2012 Nov 20;46(22):12355-63.

Abstract:

This study monitored indoor and outdoor particle concentrations in 37 small and medium commercial buildings (SMCBs) in California with three buildings sampled on two occasions, resulting in 40 sampling days. Sampled buildings included offices, retail establishments, restaurants, dental offices, and hair salons, among others. Continuous measurements were made for both ultrafine and fine particulate matter as well as black carbon inside and outside of the building. Integrated PM(2.5), PM(2.5-10), and PM(10) samples were also collected inside and outside the building. The majority of the buildings had indoor/outdoor (I/O)

particle concentration ratios less than 1.0, indicating that contributions from indoor sources are less than removal of outdoor particles. However, some of the buildings had I/O ratios greater than 1, indicating significant indoor particle sources. This was particularly true of restaurants, hair salons, and dental offices. The infiltration factor was estimated from a regression analysis of indoor and outdoor concentrations for each particle size fraction, finding lower values for ultrafine and coarse particles than for submicrometer particles, as expected. The I/O ratio of black carbon was used as a relative measure of the infiltration factor of particles among buildings, with a geometric mean of 0.62. The contribution of indoor sources to indoor particle levels was estimated for each building.

8. Gminski R, Decker K, Heinz C, Seidel A, Konczol M, Goldenberg E, Grobety B, Ebner W, Giere R, Mersch-Sundermann V. Genotoxic effects of three selected black toner powders and their dimethyl sulfoxide extracts in cultured human epithelial A549 lung cells in vitro. *Environ Mol Mutagen*. 2011 May;52(4):296-309.

Abstract:

Until now, the adverse effects of toner powders on humans have been considered to be minimal. However, several recent reports have suggested possible significant adverse health effects from toner dust inhalation. The aim of this study was to evaluate the genotoxic potential of black toner powders in vitro. For the study of DNA damage, A549 cells were exposed to toner-powder suspensions and to their DMSO extracts, and then subjected to the comet assay and to the in-vitro cytokinesis block micronucleus test (CB-MNvit). Cytotoxic effects of the toner samples were assessed by the erythrosin B assay. Furthermore, size, shape, and composition of the toner powders were investigated. None of the three toner powders or their DMSO extracts reduced cell viability; however, they did induce DNA damage and formed micronuclei at concentrations from 80 to 400  $\mu\text{g cm}^{-2}$ , although to a varying

extent. All toner powders contain considerable amounts of the pigments carbon black and magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) as well as small amounts of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The overall results of our in-vitro study suggest that the investigated toner-powder samples are not cytotoxic but genotoxic. From the results of the physical and chemical characterization, we conclude that metals and metalloids as components of magnetite, or PAHs as components of the carbon-bearing material, are responsible for the genotoxic effects. Further research is necessary to determine the relevance of these in-vitro observations for private and occupational toner powder exposure.

9. Schripp T, Wensing M, Uhde E, Salthammer T, He C, Morawska L. Evaluation of ultrafine particle emissions from laser printers using emission test chambers. *Environ Sci Technol.* 2008 Jun 15;42(12):4338-43.

Abstract:

It has now been recognized that some hardcopy devices emit ultrafine particles ( $d(p) < 100$  nm) during their operation. As a consequence, the time-dependent characterization of particle release from laser printers is of high interest in order to evaluate the exposure of office workers to such emissions. The emission profiles of different printers can be compared in test chambers using a standardized test protocol and measuring devices with high time resolution. The extraction of meaningful and comparable data from the obtained data set is a complex procedure due to the different emission behavior patterns of the printers. The calculation of the unit specific emission rate (SER<sub>u</sub>) is of limited use because the emission profiles during the printing process ranged between short-term bursts and constant particle release. Therefore, other parameters such as the particle loss-rate coefficient, beta, which provides information about the testing conditions, and the area below the time vs concentration curve, F, which characterizes the particle release, allow for a comparison of the

different printer tests. Variations in the emission behavior could not be associated with specific manufacturers or product lines. In addition, when performing several print jobs on the same device, with only short pauses between jobs, the emission rate was reduced in some cases. This further complicates the ability to determine the influence of printer construction and consumables, such as toner and paper, on the concentration of particles emitted.

#### D.考察

これまで2年間に実施した文献検索の結果、複写機などの事務機器が稼働時にFP, UFPを排出することは多くの研究報告で明らかとなっており、さらにその排出に影響を及ぼす機器の種類や稼働の条件、また排出されるFP, UFPの粒径分布や成分組成などについてもいくつかの研究報告が行われていた。

一方建築物内における実際の使用状況下で生じる曝露の状況や、これらのFP, UFPが吸入されたときに起こる生体反応や健康影響に関する報告はごく限られていた。しかし実際のオフィスに市販の複写機等を持ち込んで稼働させ、室内空气中濃度の状況を検討した報告や、ヒトの志願者曝露実験により急性の生体反応を検討した報告、また培養細胞を用いて変異原性を検討した報告などが散見されるようになり、生体影響に関する研究が加速していることが推察された。

本年度の検索でも生体影響に関連する報告で興味深いものが見られた。文献1はドイツのSundermannらのグループによる培養細胞を用いた一連のin vitro実験研究の報告で、文献8として追加収集したように、複写機/レーザープリンタで使用されるトナー粒子が炎症反応や、小核試験で示唆される遺伝毒性を示すとし、そのメカニズムの可能性として、トナー粒子曝露により酸化敵ストレス負荷が生じることを指摘したものである。

また文献3および4は、いずれもわが国で行われた疫学研究の報告で、複写機やレーザープリンタ稼働時のエミッションを直接扱っているものではないが、これらの機器で使用される印



刷用トナー粒子の取扱いやそれに伴う曝露によって生じる可能性のある健康影響について報告したものである。前向きコホート研究の一部として報告されたもので、長期曝露による健康影響を評価する本格的な疫学研究であり、これまでのところでは有意な有害影響は示されていないが、今後のデータの集積による精密な解析結果が期待される。

また文献7はカリフォルニアの37の建築物について、その内外で粒子状物質の濃度を測定した研究報告で、室内の発生源や室内外差などについて検討されている。事務機器のエミッションだけを扱っている研究ではないが、実際の建築物における環境濃度が測定されており、曝露の推定などに貴重な報告である。

このほか、文献2、文献5はエミッション粒子の組成などの詳細に関する研究で、有害性のメカニズムの理解に重要であると考えられる。また文献6は自動車排ガス粒子の組成等に関する文献で本研究課題に直接関連する文献ではないが、環境中の人為的粒子状物質の代表で、生体影響についても比較的理解が進んでいるものであることから、事務機器エミッション粒子のリファレンスとして採用したものである。

#### E. 結論

複写機やレーザープリンタなどの事務機器からエミッションとして粒径の小さな粒子状物質（FP，UFP）が排出されることについては多くの研究報告から明らかであり、その発生に関連する稼働時の条件なども明らかにされつつあり、制御技術は進歩している。一方エミッションを吸入した際の生体影響については、種々の研究デザイン、種々のアウトカムを用いた報告が散見されるが、まだハザードとしての評価を行うだけの科学的知見は集積されておらず、今後の研究の進展が期待される。また実際の事務機器使用条件下における粒子状物質曝露に関する情報も限られており、今後のリスク評価のために、曝露評価に役立つデータの集積が必要であると考えられる。

F. 研究発表  
該当なし



研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
未報告					