

200400009A

厚生労働科学研究費補助金

厚生労働科学特別研究事業

室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理

平成 16 年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 相澤 好治

平成 17(2005)年 3 月

厚生労働科学研究費補助金

厚生労働科学特別研究事業

室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理

平成 16 年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 相澤 好治

平成 17(2005)年 3 月

目 次

I. 総括研究報告	
室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理 相澤好治	..... 1
II. 分担研究報告	
1. 室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理 吉良尚平	..... 9
2. 健康障害の概念の整理 相澤好治	..... 27
3. シックハウス症候群—新築住宅で多い自覚症状 岸 玲子	..... 40
4. 室内環境の諸測定:測定方法と測定結果—生物学的要因 岸 玲子	..... 51
5. シックハウス症状とその他の住居要因 (化学物質、私物学的要因、住居構造、換気を除く) 岸 玲子	..... 56
6. 室内環境の諸測定結果と自覚症状の関連 岸 玲子	..... 59
7. 化学物質過敏症の病態:診断・治療法等に関する医学的知見の整理.....	68
坂部 貢	
8. 化学物質アレルギーについての研究の整理 鳥居 新平	..... 74
9. 建築衛生からみたシックハウスの対策と対応について 田中正敏	..... 80
10. シックハウス症候群の自覚症状と要因について 吉村健清	..... 103
11. シックハウス症候群と生活習慣・心理的要因関連性に関わる 医学的知見の整理 森本兼囊	..... 112
12. 室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理 加藤貴彦	..... 140

総括・分担研究報告書をまとめるにあたって

当該研究は、平成16年度の1年計画で厚生労働科学研究費補助金厚生労働科学特別研究事業「室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理」研究班として、岡山大学大学院医歯学総合研究科公衆衛生学分野 吉良尚平 教授を主任研究者として研究班を組織して研究を開始いたしました。

この間、主任研究者 吉良尚平（岡山大学大学院医歯学総合研究科公衆衛生学教授）班長の統括のもと、班員がお互いに連携をとりながら、また、班会議を3回行い、室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理をすすめてまいりました。

しかしながら、吉良尚平教授が平成17年3月6日急逝、永眠されたため、分担研究者の間で協議した結果、相澤好治（北里大学医学部衛生学公衆衛生学教授）に主任研究者を変更することで合意し、相澤好治が平成16年度統括・分担研究報告書をまとめさせていただきました。

平成17年3月
主任研究者 相澤 好治

厚生労働科学研究費補助金(厚生労働科学特別研究事業)
総括研究報告書

室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理

主任研究者 相澤好治（北里大学医学部衛生学公衆衛生学 教授）

研究要旨

1990年代後半から、居住環境中の空気質悪化に起因する健康障害、いわゆる「シックハウス症候群」(Sick House Syndrome; 以下 SHS と略) が社会問題となってきた。これに対して、数多くの研究結果が報告されてはいるが、医学的知見を総合的に評価した報告は少なく、SHS に関する一定の見解は得られていない。そこで、現状での研究進展状況を総合的に把握し、同時に知見が十分でない分野について明らかにすることにより、今後の研究方針と防止対策の立案に資することを目的として本研究を実施した。

まず、SHS の基本となる概念は、場所、原因、病態を問わず、建物あるいは室内の環境中の空気質悪化に起因して起こった健康障害であるといえる。SHS の原因としては化学的要因、生物学的要因が主要なものであり、さらに物理的要因や心理的要因も働いている可能性がある。また、病態としては中毒、免疫学的機序のほか、多種化学物質過敏状態 (Multiple Chemical Sensitivities; 以下 MCS と略) などの未だ十分に解明されていない未知の機序や心理的因子も推定される。したがって、SHS は単一の原因、病態による単一の疾患ではなく、複数の原因と複数の病態による健康障害を広く総称するものであると考えられる。さらに、薬物代謝能や免疫系感受性、心理的感受性などの個人の感受性要因により SHS の症状の発現や程度が修飾され、同一環境下にあっても SHS 発症に個人差が生じているものと考えられる。

また、SHS の予防対策の面では、原因化学物質濃度の低減と換気、清掃が重要であり、各種の規制により室内の化学物質濃度は減少してきている。しかし、代替物質による健康障害も報告されており、今後も十分な注意が必要である。また、防虫剤など日常生活で用いる化学物質も SHS の原因となる可能性があり、一般への啓蒙も必要であろう。同時に、SHS の患者に対して的確な診断と対処をすることができるように、医療従事者へむけた SHS に関する十分な情報提供も必要である。

このように、これまでの研究成果により、SHS の原因や病態に関して次第に明らかになってきつつある。しかし、研究者により SHS の判定基準が異なっていたり、原因物質の測定方法がまちまちであるなどのために、SHS 全般の理解の妨げになっている面がある。このため、何をもって SHS とするか判断基準の策定と、原因物質の測定方法の標準化など、研究基盤の統一が早急に必要である。また、SHS 全体の理解という意味では未だに未知の部分が多く、今後の研究による解明が強く期待される。

分担研究者

吉良尚平 岡山大学大学院医歯学総合研究科
公衆衛生学分野 教授 (平成 16 年
4 月 1 日から平成 17 年 3 月 6 日ま

で主任研究者)

岸 玲子 北海道大学大学院医学研究科公衆
衛生学分野 教授
坂部 貢 北里大学大学院薬学研究科公衆衛

生学 教授

鳥居新平 愛知学泉大学家政学部 教授

田中正敏 福島学院大学 教授

吉村健清 福岡県保健環境研究所 所長

森本兼彙 大阪大学大学院医学系研究科社会
環境医学講座 教授

加藤貴彦 宮崎大学医学部衛生・公衆衛生学講
座 教授

- 症状と有訴率
- 原因としての化学的要因, 生物学的要因, 物理的要因
- 病態としての中毒, 免疫学的機序, 多種化学物質過敏状態, 心因
- 感受性要因としての薬物代謝能, 免疫系感受性, 心理的感受性
- 原因物質の測定方法
- SHS の予防対策

A. 研究目的

1990年代後半から, 居住環境中の空気質悪化に起因する健康障害, いわゆる「シックハウス症候群」(Sick House Syndrome; 以下 SHS と略) が社会問題となってきた。これに対して, 当時の厚生省が研究班を組織し, その原因究明と対策方法の検討を行ってきたのをはじめとして, 様々な角度からの調査, 研究が行われ, 今日までに数多くの研究結果が報告されている。とは言うものの, 何をもって SHS とするか診断基準が研究者により異なっていたり, 発症原因としての化学物質や生物学的要因の検査方法が研究により異なっていたりするなど, 研究手法が必ずしも確立されているとはいえない。また, SHS の病態や原因, 診断, 治療に関しても, 個別には多くの知見が得られているが, 医学的知見を総合的に評価した報告は少なく, 一定の見解が得られていない。

そこで, これまでの研究成果に最新の情報を加えた知見の整理を行い, 現段階までに明らかとなった事項を確認するとともに, 現状での研究進展状況を把握し, 同時に知見が十分でない分野についても明らかにすることにより, 今後の研究方針と防止対策の立案に資することを目的として本研究を実施した。

B. 研究方法

以下の各項目について文献検索と自験例を元に現在までの医学的知見をまとめた。

- SHS の定義

C. 研究結果と考察

1. SHS の定義

1970年代前半, 空調設備の開発と建物の気密化に伴って, 職場での室内環境が悪化したため, オフィスビルで働く人々の間に不定愁訴を自覚する作業者が増加し, シックビル症候群 (Sick Building Syndrome; 以下 SBS と略) と名付けられた。SHS とは SBS から転じた和製英語であり, 1990年代後半からわが国において社会問題化した, 建物内に居住することに由来する様々な体調不良を指す。しかし, SHS は未だ医学的に確立した概念ではなく, 研究者やマスコミにより様々な定義付けがされている。

SHS は発生場所別にみると, 大きく居住用建物と職場, 学校, 病院などの非居住用建物とに分けられ, 発生原因としてはホルムアルデヒドなどのアルデヒド類やトルエンなどの揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compound; 以下 VOC と略) などの化学的要因, 温度, 湿度などの物理的要因, カビ, ダニなどの生物学的要因など様々な原因物質が指摘されている。また, 病態として中毒, アレルギー, MCS や, ヒト側の要因としての遺伝的素因, 心理的要因なども検討されている。このように, SHS は原因, 病態に関して単一の疾患ではなく, 複数の原因と複数の病態による健康障害を広く総称するものである。しかし, その基本となる概念は, 場所, 原因, 病態を問わず, 建物あるいは室内の環境中の空気質悪化に起因して起こった健康障害であると言える。

2. SHS の症状と有訴率

SHS の症状は基本的には SBS と同様と考えられる。世界保健機構（WHO）欧州地域事務局では SBS の症状について、皮膚粘膜刺激症状と頭痛、易疲労、めまい、嘔気、嘔吐などの精神神経症状が主であるとしているが、わが国における SHS の調査報告でもこの 2 症状が主たるものであった。

しかし、これらの症状はいわゆる不定愁訴といわれる症状であり、SHS に特異的な症状ではない。このため、SHS の有訴率を得るには症状が室内環境要因によるものか否かを確認する必要がある。SHS の原因として複数の要因が検討され、確定していない現状では、訴えた症状が家を離れると改善するか、あるいは、新築や改築後に症状が発症、悪化したか、症状は室内環境に起因したものと思われるかなどを、調査対象者に回答してもらうことにより区別することが試みられている。また、このような方法により SHS の有訴率が求められているが、SHS をどう定義するかにより有訴率は大きく異なっており、数%から数十%まで様々であった。

今後、SHS と判断するための基準、特に、自覚症状が SHS によるものであるかを判断するための確立された、しかも標準化された基準が不可欠である。

3. SHS の発症原因

これまでの SBS、SHS の研究から、原因として化学的要因、物理的要因、生物学的要因の 3 種があるものと考えられている。

-1. 化学的要因

化学的要因として、ホルムアルデヒドなどのアルデヒド類やトルエンなどの VOC と SBS とが関連していることについては、欧米のオフィスビルに関する研究として多くの報告がある。一般住居に関する報告は多くはないが、いくつかの物質と SHS との関連を認めたとの報

告がなされている。また、曝露試験などにより SHS の原因となっている化学物質を特定したとの症例報告もあり、化学物質が SHS の原因の 1 つであることは確実である。

どの程度の濃度から SHS 発症のリスクがあるか、SHS 発症の閾値については十分な知見は得られていない。しかし、これまでに知られている一般的な毒性が認められる閾値よりもはるかに低い濃度でも SHS 発症のリスクの上昇が認められ、環境基準値が設定されている物質のいくつかについては、基準値よりも低い濃度であっても、SHS の発症や SHS 発症のオッズ比の上昇が報告されている。なお、ある人が SHS 症状を呈する環境中よりもはるかに高い化学物質濃度の環境中においても SHS 症状を呈しない人もいることから、SHS の発症には化学物質に対する感受性などの個人的因子が大きく関与しているものと推測される。

また、化学物質が SHS の原因となつてはいるものの、具体的にどの物質が SHS を引き起こしているのか、あるいは複数の化学物質の複合的な作用により SHS が生じているのかなど、個別の化学物質と SHS 発症との関連についての知見は現在のところ十分とは言えない。また、従来 SBS の原因物質として考えられていなかった物質により SHS が発症したとの報告もあり、今後も従来指摘されていなかった化学物質と SHS との関連が明らかになる可能性がある。

-2. 物理的要因

物理的要因としては、温度、湿度との関連が指摘されており、温度については高い場合、湿度については高低いずれの場合でも、SBS のリスクが上昇するとされている。これらの報告の多くは、欧米での研究によるものであり、背景となる気候条件がわが国とは大きく異なるが、わが国においても高湿度が SHS の発症に関連するとの報告がある。なお、湿度については、湿度を直接測定したとの報告は少なく、窓の結露や建物内のカビ臭さなどを湿気の指標として、SHS との関連を検討したものがほ

とんどである。

この温度、湿度と SHS との関連の機序については、高温、高湿度によりダニ、カビなどが増加し、増加したダニ、カビが直接の原因となって SHS が発症するという間接的な関与が考えられている。しかし、この機序以外でも、温度、湿度が SHS の発症を惹起したり、好発要因になったりする可能性があるのかどうかについては、十分な知見はえられていない。

なお、物理的要因としては低周波や電磁波による健康障害についての指摘もあるが、空気質悪化に起因して起こった健康障害を SHS と定義する立場から、これらについては SHS に含めないものとする。

-3. 生物学的要因

生物学的要因としては、特に、カビ、ダニと SHS 発症との関連が有力視されているとともに、ウイルス、細菌などについても関連が検討されている。欧米からの報告では、気中の総真菌濃度や特定の真菌の気中濃度やダスト中のカビ、アレルゲン量と SHS との関連が認められている。また、前項に記したように、カビ、ダニの好発環境である湿気と SHS の関連も指摘されている。わが国においても、湿気と SHS 発症とが関連することが報告されているが、カビ、ダニの量と SHS の関連については、現在研究が進行中であり、詳細については今後の報告に期待したい。

しかし、総真菌量やダニの総量が SHS と関連するのか、カビやダニのうち特定の種のみが SHS と関連するのかについての知見は十分ではない。また、カビについては、SHS の原因となる物質がカビ自体であるのか、カビに由来する孢子やマイコトキシン、細胞壁成分のグルカン類、微生物由来揮発性有機化合物などであるのかについても明らかでなく、今後の検討が必要である。

-4. 複合的要因

上記のように、SHS の原因として最も有力視されているのは、化学的要因と生物学的要因

である。物理的要因については、カビ、ダニの発育促進を通じて SHS の誘因となっているものと考えられるが、それ自体も SHS の原因となる可能性があるのかについて、さらに検討が必要である。また、化学的要因、生物学的要因についても、それぞれの中でどの物質、どの種が原因となるのか、あるいは、ならないのかについて、詳細な分析が今後必要であろう。と同時に、化学的要因、生物学的要因の相互の関連や複合影響に関しても、未だ知見は十分とは言えない。現在、SHS と居住環境中の化学物質濃度、カビ、ダニの量、あるいは湿気との関連について総合的に調査、分析を行う研究が進行中であり、その成果が期待される。

4. SHS の病態

SHS の病態機序としては、前段の原因物質に由来する中毒によるものや免疫学的機序によるもの、MCS によるものが推定されており、それら以外にいずれにもあてはまらない未知の機序によるものもあるかもしれない。また、SHS の原因として分類することも可能であるが、心因的な原因、機序で引き起こされるものもあると考えられている。

-1. 中毒

化学物質の曝露に伴う健康障害については、従来より主に中毒として捉えられてきた。SHS ではしばしば皮膚粘膜刺激症状が認められるが、これはアルデヒド類や有機溶剤による典型的な刺激症状に一致している。また、SHS の症状の中には、有機リン系化学物質の中毒症状として説明可能なものも含まれており、中毒の機序により SHS の一部が惹起されていることは確実であると言える。

中毒の場合、曝露量と曝露期間により急性中毒と慢性中毒に分けられるが、SHS では環境中の化学物質濃度がさほど高値ではなく、また、長期間持続して曝露している場合がほとんどであることから、慢性中毒の範疇に含まれる機序が主として働いているものと推測される。ま

たホルムアルデヒドなど刺激性物質の場合は、軽度の急性影響による場合もあると考えられる。

しかし、曝露レベルと症状の重症度が一致せず、従来の中毒の枠にあてはまらない症例も認められる。化学物質に対する感受性や代謝能力の個体差が毒性作用を修飾している可能性が推測されるとともに、化学物質が原因となっている SHS の中でも、次項以下の機序によるものが含まれている可能性も考えられる。

-2. 免疫学的機序

カビ、ダニなどはアレルゲンとしてアレルギー反応を介した健康障害を引き起こすし、SHS に関連するとされている化学物質の一部にも抗体産生を惹起するものがある。さらに、SHS にはアレルギー疾患を既往として、あるいは合併症としてみられることが多いことから、SHS の発症機序の一つとして免疫学的機序によるものが推測される。

しかし、SHS とカビやダニ、あるいは化学物質に対する抗体価や皮膚反応などの検査指標との関連の有無については、複数の報告が認められるものの、一致した見解は得られていない。アレルギー疾患と SHS に共通した所見として知覚神経 C-fiber の過敏性が認められるとの報告や、VOCs の曝露がアレルゲン感作を促進すると同時に神経系への病態を形成していく可能性があるとの動物実験での報告もあり、今後 SHS への免疫学的機序の関与について更なる研究が必要である。

-3. MCS

MCS は病態について明らかになっていないのみでなく、その概念についても研究者の間に見解の相違が認められる。あえて共通部分を評価すると、「MCS とは化学物質に曝露されて一度過剰反応を獲得すると、その後一般的な毒性作用を引き起こす濃度以下の化学物質に曝露されただけで、種々の症状が出現する状態」といえる。MCS のために、室内の微量の化学物質により諸種の症状を呈している SHS 症例

が存在するものと推測されるが、SHS すべてが MCS によるものとまでは考えられない。また、MCS についての今後の解明が待たれる。

-4. その他の機序

カビ、ダニなど生物学的要因についても、それ自体、あるいは由来物質が直接毒性作用を発揮し、症状を引き起こしている可能性が推測される。例えば、カビ由来物質としてのマイコトキシンやグルカン類、あるいは細菌由来物質のエンドトキシンと SHS との関連が検討されている。また、ほこりの中の有機成分の炎症惹起作用などの関与も疑われる。さらには、上記以外の未知の作用による病態も存在するのかもしれないが、今後の検討課題である。

-5. 心因的機序

SHS の症状を訴える患者の中には、気分が悪いときに「化学物質が存在するに違いない」と推測している患者や、時には、明らかに妄想を抱いている患者がいることは否定できない。このため、SHS 様の症状を呈してはいるが、空気質の悪化には起因していないために、SHS からは除外される患者群が一定数存在するものと推測される。

しかし、一方では、わずかな空気質の悪化を敏感に感知し、上述のいずれの機序による健康障害は発生しないものの、心理的な反応により身体症状を呈する患者もあるものと考えられる。

また、SBS とストレスとの間には密接な関連性があると報告されており、SHS とストレスとの関連についても強いものがあると考えられている。性格特性や精神疾患についても、発症との関連性は議論の分かれるところであるが、発症後には関連性の存在が疑われる。しかし、このような心理的要因や性格特性などが、直接 SHS の原因や病態として働いているのか、SHS の発症や症状の程度などを修飾する背景因子として働いているのかについては明らかではない。

5. SHS に影響する個人的因子

-1. 薬物代謝能

中毒を引き起こす化学物質の毒性は、物質の直接的な作用によることもあるが、薬物代謝酵素により生化学的変化をうけて発現する場合もある。同時に、薬物代謝酵素は毒性を示す物質の代謝に関与し、活性を失活させる役割も担っている。この薬物代謝酵素には著しい個人差が認められ、その遺伝子レベルでのメカニズムに関しても明らかになってきている。また、SHS の原因の一つとなっている化学物質の代謝に関与する代謝酵素についても個人差が認められる。このため、SHS をはじめとする化学物質による健康障害に対する個人の感受性に、薬物代謝能が影響しているものと推測される。

-2. 免疫系感受性

アレルギー反応の発現に関しても遺伝的要因が関与していることが指摘され、いくつかの遺伝子や染色体がアトピーや喘息の発症に関わっているものと考えられている。これらのアレルギー病因関連遺伝子と SHS とに関する報告は少ないが、免疫感受性が SHS 発症に関する個人の感受性に影響している可能性が推測される。

-3. 心理的感受性

心理的要因が SHS 発症に関与していることは前述の通りである。このため、些細なことに動揺しやすく、自分の身体変化に敏感などで表される心理的、性格的な高感受性グループが SHS 発症に関連すると考えられる。

-4. その他

MCS の感受性に関して、代謝酵素活性との関連や、神経学的機序に関与するパニック誘発物質との関連などが報告されており、SHS 発症に関する個人の感受性に影響している可能性がある。

6. SHS の原因物質の測定方法

-1. 化学物質の測定

室内空気中の化学物質測定の標準的方法は、厚生労働省の「室内空気中化学物質の測定マニュアル」で示されている。しかし、このマニュアルでは、居住住宅の測定についてはアクティブサンプリング法により 24 時間採取することとなっており、日常生活を営みながらの測定は困難である場合も少なくない。このため、パッシブサンプリング法による測定方法が複数考案されており、SHS に関与すると考えられている諸種の物質を低濃度域から測定可能である。しかし、現在までのところ、測定結果の標準的測定法による結果との対応関係が明らかでなく、測定方法間での比較検討を行うことも困難である。SHS 発症における化学物質の関与、特に量反応関係や閾値の検討を行うためには、パッシブサンプリング法による測定方法の標準化を計り、調査結果の比較検討を可能にすることが必要である。また、個人曝露濃度測定についてもパッシブサンプリング法が適当であると考えられるが、上記と同様の問題がある。さらに、VOC については、測定される物質の種類がまちまちであるため比較が困難になっており、これについても統一した見解が必要である。

また、化学物質暴露の評価として、尿や血液を用いた生物学的モニタリング法も開発されているが、気中濃度との関連についての検討が十分ではなく、今後の研究を待ちたい。

-2. 生物学的要因の測定

生物学的要因についての測定方法としては、カビ、ダニなどを直接検出し評価する方法と、カビ、ダニ発育の好環境である湿気进行评估する方法とがある。

ダニ、カビ汚染を直接評価する方法には、エアースンプラーにより気中のカビやダニアレルゲンのサンプリング、ハウスダストなどからの真菌相やダニを検出する方法などがあり、また、真菌由来物質としてのマイコトキシン、グルカン類を検出することも可能である。一方、湿気の評価方法としては、質問紙調査により

「窓の結露」、「建物内のカビ臭さ」などを指標として用いる場合が多い。

このうち、湿気とSHSとの関連を指摘する報告は多いが、カビ、ダニなどを直接測定した結果とSHSとの関連についての知見は十分ではない。もし、建物内のごく一部における湿気と、その部位でのカビ、ダニなどがSHSの発症に関与しているのであれば、居室中での直接測定では検知し得ない可能性も考えられ、生物学的要因をいかに評価するかについて、さらに検討が必要である。

7. SHSの予防対策

-1. 化学的要因

化学的要因によるSHSの原因物質は、建築材料や家具などが主要な発生源となっている。これに対しては、農林水産省および経済産業省により日本農林規格(JAS)、日本工業規格(JIS)に放散量に係る規格が定められるとともに、厚生労働省が化学物質の室内濃度指針値を定めるなどしたことを受けて、該当する物質の濃度は低減してきている。しかし、それ以外の物質が代替物質として使用され、かえって総化学物質濃度としては増大する事態も懸念される。個別の化学物質の規制のみでなく、総量としての化学物質の規制が今後求められよう。また、できるだけ化学物質の放散量の少ない建材や家具を選択することが、個人レベルでの予防対策として望まれる。

また、建材や家具のみではなく、防蟻剤や防虫剤などをはじめとして、芳香剤、消臭剤、洗浄剤、あるいは石油ストーブなどから発する化学物質がSHSの原因となっている可能性が推測される。家庭内でそれぞれの目的を持って使用されているものについても、SHSの原因となる可能性があることを認識した上で、必要に応じて使用することが望まれる。

以上の発生源対策と同時に、種々の発生源から放散され室内に滞留している汚染物質を、室外へ排出させることにより室内気質の清浄

化を図ることも、SHS予防対策の上で重要である。その基本は換気の励行であるが、特に、夏季などには高温のため化学物質の揮発が促進されるので、普段の換気に配慮することが重要である。また、新築住居については、入居前に十分な換気を行うとともに、ペイクアウトも併用することにより、より高い予防効果が得られる。

また、発生した化学物質を吸着、分解し、除去することにより、化学物質濃度を低減させる方法も考案されている。しかし、実際の生活の場において、どの程度の効果があるかについては、今後の検討が必要である。

-2. 生物学的要因

カビ、ダニなどの生物学的要因に対する対策の基本は、室内の清掃による原因物質の除去である。給排気用ダクト中に粉じんや真菌が存在し、空調により室内に飛散される場合もあることから、これらの部位も含めた清掃と建物のメンテナンスが求められる。同時に、カビ、ダニなどの好発環境にならないように、換気や空調などによる湿気対策も重要である。

D. まとめ

SHSに係る現在までの知見を、文献検索などによりまとめた。SHSの基本となる概念は、場所、原因、病態を問わず、建物あるいは室内の環境中の空気質悪化に起因して起こった健康障害である。しかし、現状では、研究者によりSHSの判定基準が異なっており、複数の報告を比較検討することが困難である。また、原因物質の測定方法もまちまちであり、報告の比較検討をさらに困難にしている。このため、何をもってSHSとするかの判断基準の策定と、原因物質の測定方法の標準化が、早急に必要である。

SHSの原因としては化学的要因、生物学的要因が主要なものであり、さらに物理的要因や心理的要因も働いている可能性がある。また、病態としては中毒、免疫学的機序のほか、MCS

などの未だ十分に解明されていない未知の機序や心理的因子も推定される。そして、これらの病因、病態が単独に働いている場合もあれば、複数が共同して SHS 発症を引き起こしている場合もあるなど、SHS は単一の原因、病態による単一の疾患ではなく、複数の原因と複数の病態による健康障害を広く総称するものであると考えられる。さらに、薬物代謝能や免疫系感受性、心理的感受性などの個人の感受性要因により SHS の症状の発現や程度が修飾され、同一環境下にあっても SHS 発症に個人差が生じているものと考えられる。

SHS の予防対策の面では、原因化学物質濃度の低減と換気、清掃が重要であり、各種の規制により室内の化学物質濃度は減少してきている。しかし、SHS の原因と考えられる物質に代わる代替物質による健康障害も報告されており、今後も十分な注意が必要である。また、防虫剤など日常生活で用いる化学物質も SHS の原因となる可能性があり、国民への啓発も必要であろう。同時に、SHS の患者に対して的確な診断と対処をすることができるように、医療従事者へむけた SHS に関する十分な情報提供も重要である。

治療に関しては、SHS のうち中毒や免疫学的機序など既知の病態による健康障害に対しては、それぞれの病態に対する既存の治療法で対処可能であると考えられる。しかし、それ以外の病態に関する解明と治療法の開発に関しては、十分な知見は得られていない。

これまでの研究成果により、SHS の原因や病態に関して次第に明らかになってきつつあるが、SHS 全体の理解という意味では未知の部分が多い。今後の研究による解明が強く期待される。

シックハウス症候群に関する見解

対策の重要性について

「シックハウス症候群」は、一般的には「居住者の健康を維持するという観点から問題のある住宅において見られる健康障害の総称」を意味する用語として認識されるが、健康的に生活するための基本的要素である室内空間の環境そのものが健康障害の要因となることは大きな問題である。

居住者が、自らの意思では容易にコントロールできない種々の室内環境要因を除去し、健康障害の未然防止・改善を行うことは、個人の努力のみでは大変困難であり、適切な室内環境の維持・管理に関わる全ての関係者が、連携・協力しながら「シックハウス症候群」への対応に取り組むことが必要である。

「シックハウス症候群」については、これまで多くの知見が蓄積され、これらを基にした行政機関、建築関係者の対応が行われているが、現在なお、当事者を含む国民においては、その概念や定義に関して混乱があり、「シックハウス症候群」の範囲や原因、対策の効果等が十分に理解され難い状況にある。

「シックハウス症候群」の対応の基本は、一次予防である「発症予防」と二次予防である「発症後の対応」であり、主として室内環境と医学の両面からのアプローチが必要である。発症要因としては、主として化学的要因、生物的要因があり、発症機序としては、中毒、アレルギー、その他明確でないもの（心理的素因などの個人的特性が大きく関わると考えられるものを含む）が考えられているが、湿度や温度等の物理的要因も発症に影響すると思われる。

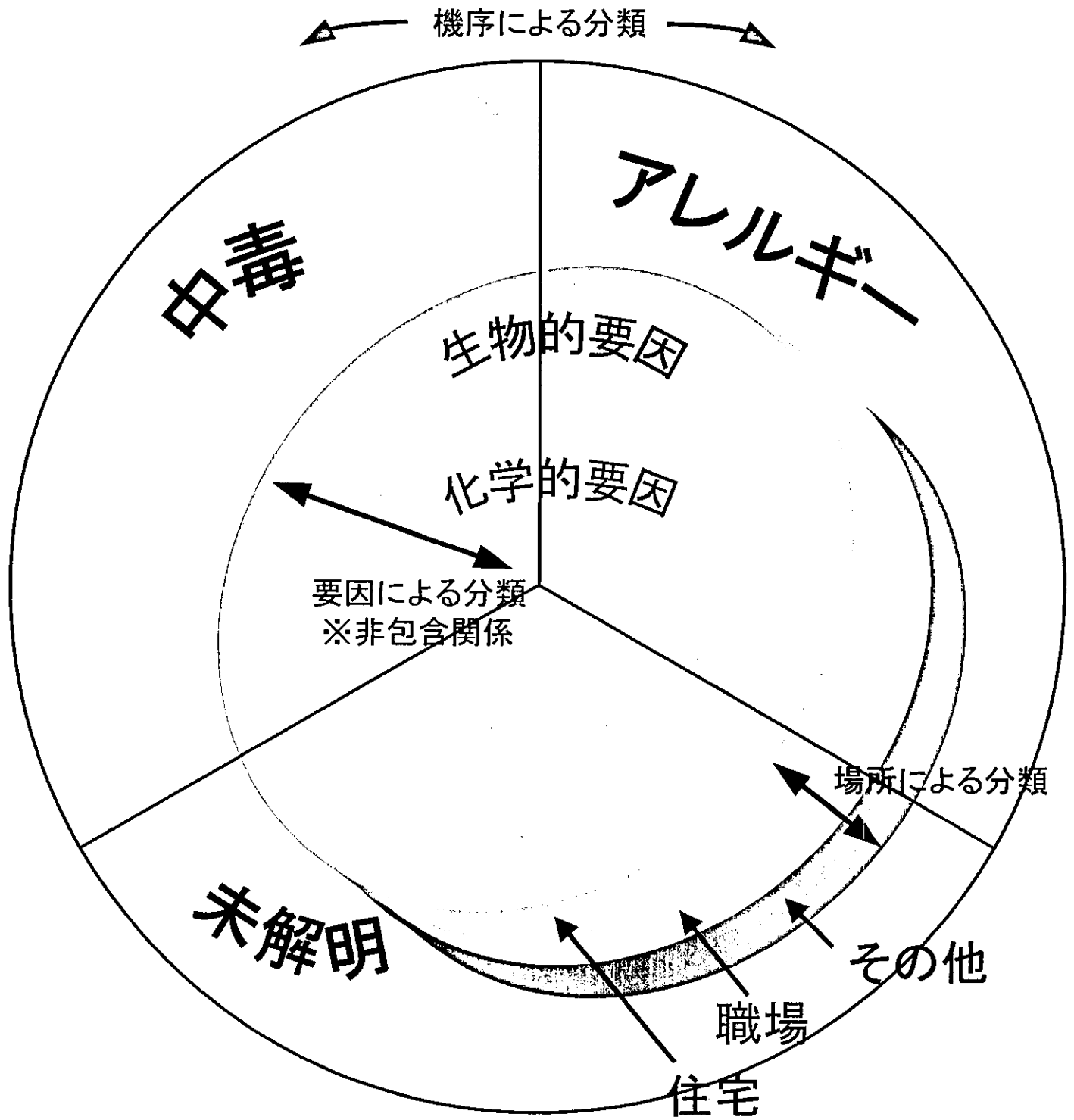
今後の「シックハウス症候群」に対する取り組みについて

以上より、本研究班における「シックハウス症候群」に関する最近の学術的知見の収集・検討等を踏まえ、「シックハウス症候群」の概念整理について、以下のように提言し、関係学会、関係機関と連携・協力しながら研究及び対応の一層の推進を期待するものである。

「シックハウス症候群」の概念整理

- ① 「シックハウス症候群」は、複数の要因及び機序に起因する複数の症状を包含した概念である。
- ② 住宅等における生物的要因や物理・化学的要因など室内環境因子^{※1}を改善することにより、発症予防や症状の改善が見込まれる健康障害である。
※1 化学的要因を特定する場合には、室内空気濃度の測定を行うことが望ましい。
- ③ 心理社会的な背景が、身体症状の増悪、もしくは改善の阻害を起こす可能性が指摘されている。
- ④ 室内で発生した中毒症状、アレルギー疾患、心理社会的要因が主となって発生する状態等、分類が可能なものについては、それぞれの要因を配慮しながら、対応を行うことが妥当と考えられる。
- ⑤ 機序や病態が未だ明確でないもの^{※2}については、引き続き科学的解明を進めることが必要と思われる。
※2 いわゆる「化学物質過敏症」については、「シックハウス症候群」としての取り扱いが妥当であるか否かについて議論が分かれている。

シックハウス症候群に関する概念整理 — 要因・機序・場所による分類 —



※物理的要因も他の発生要因に影響する。

厚生労働科学研究費補助金(厚生労働科学特別研究事業)
分担研究報告書

室内空気質の健康影響に係る医学的知見の整理

分担研究者 吉良 尚平 (岡山大学大学院医歯学総合研究科公衆衛生学分野 教授)

研究要旨

厚生労働省により気中化学物質の標準的測定法が示されてから約5年が経過した。その間に測定法や室内の環境調査等についての新しい知見が発表されてきている。そこで今回、近年の調査研究を中心に文献の検討を行った。

- ・ 気中に存在する多くの化学物質の測定法の開発が必要であり、より簡便・実用的な手法を検討し、また測定結果の単純比較を行うためにも、測定法を統一する必要がある。
- ・ 室内化学物質濃度は全体的に減少傾向にはあるが、指針値・暫定目標値を超過する場合も散見されるため、発生源対策も含めた濃度低下のための包括的な対策が望まれる。
- ・ 低濃度の気中化学物質と生体試料中化学物質の関係は不明な点も多く、今後とも継続して研究していく必要がある。

研究協力者

山本秀樹 岡山大学大学院医歯学総合研究科
公衆衛生学分野 講師
汪 達紘 岡山大学大学院医歯学総合研究科
公衆衛生学分野 助手
関 明彦 岡山大学大学院医歯学総合研究科
公衆衛生学分野 助手
伊藤武彦 岡山大学教育学部養護教育 助教授
岡田千春 南岡山医療センター アレルギー科
医長
瀧川智子 (財)淳風会健康管理センター 医師

し、その後概ね30分間空気を採取する。採取の時刻は午後2～3時頃に設定することが望ましい。換気は窓、扉、建具、備用品の扉等の全てを開いて行い、密閉中は外気に面した開口部は閉鎖する。全ての操作中常時換気システムを有している場合は稼働させてよい。このシステムに必要な開口部は閉鎖の必要はない。居住住宅の測定においては、日常生活を営みながら空気を24時間採取する。試料の採取・分析は、ホルムアルデヒドはDNPH誘導体化/溶媒抽出法、VOCは固相吸着/溶媒抽出法、固相吸着/加熱脱着法または容器採取法(キャニスター法)である。

1. 気中化学物質の測定・分析法

1.1 標準的測定法

厚生労働省が「室内空気中化学物質の測定マニュアル」で示している標準的方法は、ホルムアルデヒド・揮発性有機化合物(VOC)とも空気の吸引にポンプを使用するアクティブサンプリング法である(1)。具体的には、新築住宅の測定においては、30分換気後に対象室内を5時間以上密閉

1.2 アクティブサンプリング法とパッシブサンプリング法

上記のようなポンプを用いる方法は測定が大掛かりで高価なものになるほか、24時間測定の場合はポンプの騒音も問題となる。これに対しサンプラーを一定時間、室内に放置するパッシブサンプリング法は測定自体のコストも低く簡便である

が、濃度算出の際に吸引量が求められないので換算係数を必要とする。また捕集材や分析法によって検出可能な化学物質濃度に差が生じる。アルデヒド類 (表 1) と VOC (表 2) について、各種の測定・分析法と適用濃度を示す。またこれらの方法を用いた実際の環境での測定結果を表 3 に示す。低濃度の VOC, アルデヒド類の測定方法について種々の方法が考案されているが、研究者ごとに異なった方法が採用されており、統一して使用される方法は確立されていない。標準的測定法との比較検討などを行った上で、一定の方法で測定できるように測定方法の一本化を進めることが望まれる。

サンプラー自体の扱いやすさに関しては、一般に溶媒抽出法は手間がかかり、加熱脱着法は容易で感度も高いが分析は 1 回しかできない。その他に検知管法 (3, 6) は測定可能な濃度が高く、インピンジャー法 (3, 5) は低濃度域で測定する際に使用する溶液のブランク値が影響する。またブランク値の低いサンプラーほど測定結果の信頼度は高いが、高価になる傾向にある。

1.3 現状での測定・分析法の選択

シックハウス症候群が疑われるような住居での測定は、居住者を煩わせないことが重要であるためパッシブ法で行い、定量下限値の低いサンプラーを使用するのが最適と考えられる。一方、作業現場では気中濃度はアクティブ法でも対応できるが、個人曝露濃度はパッシブ法で測定した方が簡便である。現在、作業環境用や室内環境用に様々なサンプラーが発売されており、アルデヒドサンプラーとしては、DSD-DNPH (Supelco), VOC サンプラーとしては、有機ガスモニター (3M), パッシブガスチューブ (柴田科学), VOC-SD (Supelco) など多数使用されている。またパッシブ法は気中に存在する化学物質をスクリーニング的に検出する際にも有用であると思われる。VOC については測定される物質の種類もまちまちであり比較が困難になっているので、これについても統一した見解が求められる。

2. 室内における化学物質の存在量

2.1 気中化学物質濃度の測定

室内空气中化学物質の測定は、海外 (表 4), 国内 (表 5) においてさまざまな研究者により行われてきた。シックハウス症候群において主要な要因であったホルムアルデヒドは、それぞれ測定法等に差異はあるものの、全体的に見て年代を経るにつれ減少傾向にあり、2000 年以降になるとほとんどが $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後あるいはそれ未満の濃度域に入っている。一方、VOC に関してはそこに含まれる化学物質の範囲が非常に広いということもあり、VOC の合計である TVOC (総揮発性有機化合物) 濃度が $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を下回る場合はまだ少ないと言える。しかし、VOC にはピネンやリモネンなど天然由来のテルペン類も含まれるため、木造の新築家屋などでこれらが高濃度に検出された結果として TVOC が $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過することがある。TVOC の算出法に関しては、検出された化合物をトルエンに換算して示すトルエン換算値による表記をしている場合もあるので注意を要する。また新築・改装家屋の気中化学物質濃度は既設家屋より一定して高いが (29, 33, 39, 40, 43), 季節による変動は気温の高い夏季の方が冬季より高かったとするもの (44, 47) と、暖房期 (秋冬) の方が冷房期 (春夏) より高かったとするもの (31, 42) が見られた。いずれにしても室温が高い場合に気中濃度も高くなると思われる。

2.2 発生源への配慮

住宅を建築する時点で気中化学物質濃度を低減させる試みも行われている。アメリカの Lindstrom ら (49) は 1992-93 年に室内環境に配慮した住宅 6 軒と従来工法の住宅 3 軒について、入居前後 (建築直後と入居後 5 ヶ月) の室内化学物質濃度を比較した。VOC では、入居前はトルエンが最も多く検出され、従来工法 (幾何平均範囲; $226-619 \mu\text{g}/\text{m}^3$) が環境配慮工法 ($4.63-46.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) より高濃度であった。エチルベンゼン、

m,p-キシレン、メチルクロロホルムも従来工法において高く、TVOC濃度も従来工法 339–669 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、環境配慮工法 7.00–105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。入居後もトルエンが最も多く検出され、ベンゼン、エチルベンゼン、*m,p*-キシレン、*o*-キシレンが環境配慮工法において低濃度であった。TVOCも同様に、環境配慮工法 (43.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の方が従来工法 (80.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)より低かった。入居前後の濃度を比較すると、ベンゼンは環境配慮工法では 1.24→1.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と差はなかったが、従来工法では 2.19→9.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と上昇していた。環境配慮工法においてジクロロメタンは 1.56→4.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と増加していたが、*m,p*-キシレンは 8.27→3.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、*o*-キシレンは 4.1→1.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と減少していた。またカルボニル類について、ホルムアルデヒドは環境配慮工法、従来工法において入居前はそれぞれ平均 28.2, 22.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、入居後は 51.9, 43.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と差は見られなかったが、いずれも入居後の濃度が上昇していた。アセトンは入居前に従来工法 (184 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の方が環境配慮工法 (51.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)より有意に高かったが、その他のカルボニル類は入居前後に工法間で違いはなかった。

国内においても、浅川ら (50)により建材に天然材やホルムアルデヒド低放散規格の合板 (Fco)等を多く使用して建てられた新築住宅の調査が行われている。新築直後に本住宅の8室でホルムアルデヒドおよび13種類のVOCを測定し、さらに男女各1名の個人曝露濃度の測定をパッシブ法で行った。ホルムアルデヒドの室内濃度範囲は9–16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、指針値 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に対して非常に低い値であった。比較的多く検出されたVOCは、酢酸エチル>トルエン>キシレン>メチルエチルケトンで、トルエン、キシレンについては指針値に対して非常に低いレベルであった。個人曝露濃度に関してはホルムアルデヒド、VOCともに低かった。また安田 (51)は、低ホルムアルデヒド規格建材および低ホルムアルデヒド接着剤を使用した木造一戸建てにおいて、住宅引渡し直後から経時的にパッシブ法で測定したところ、2階洋室のみで入居直後にホルムアルデヒドとト

ルエンが指針値以上の結果であった。指針値を超過した物質の発生源についても調査したところ、2階洋室には新しいカーテンと木製運動用具が置いてあり、カーテンの布処理にはホルマリンが、運動用具には表面保護用ポリウレタン樹脂塗料が使用されていることが各業者から確認できた。そのためカーテンを洗濯した入居1ヶ月後の測定ではホルムアルデヒドは指針値を下回り、トルエンは入居5ヶ月後の測定で屋外濃度と同程度まで減少した。今後は、環境に配慮した住宅を建てたい人が容易に適切な選択および対処が出来るよう、業者側が適切な表示または情報の提供を行うことが重要である。

3. 生体試料からのアルデヒド類・VOCの検出方法

化学物質による曝露の評価を行う際に、尿や血液等から当該物質を検出することは有用である。今回の検索で得られた論文を表6にまとめる。室内で高頻度に検出されるホルムアルデヒドやトルエンなどを含め、種々の測定方法が検討されており、ある程度低い濃度でも目的とする化学物質が検出できていると思われる。国内においては、篠塚ら (67)がホルムアルデヒドの微量分析方法として、アセチルアセトンを用いた方法を開発し、検出限界は1 ngと従来の方法と比較して十分な高感度分析が可能であり、アセトアルデヒド、メチルアルコール、ギ酸が試料中に共存した場合もほとんど影響がなかったとしている。鈴木ら (68)は低温オーブントラッピングGC法により、ヒト血液あるいは尿からスチレンと4種類の関連物質 (エチルベンゼン、トルエン、イソプロピルベンゼン、*n*-プロピルベンゼン)を簡便に検出する方法を開発し、良好な結果を得ている。浅川ら (69)は近年、シロアリ防除剤として問題となっているクロルピリホス、ペルメトリンについて、尿中代謝物 (3,5,6-トリクロロ-2-ペリジノール)および3-フェノキシベンゾイックアシッド)の同時測定による生態学的モニタリング法を報告している。ま

た井坂ら (70) は動物実験により dimedone を用いてホルムアルデヒドの代謝を調べたところ、投与後は急速かつ多量に代謝され、肝臓、腎臓では投与後 0.5 時間後で最も高く、以後減少するものの、投与後 4 時間後でも肝臓では血中の 1.5 倍の検出量であった。更に投与後 30 分以降では血液、尿および各臓器組織中に存在するホルムアルデヒドは非常に微量になり、投与後 4 時間以内に呼気および尿中に 60% が排出されることが確認された。しかし、気中濃度との関連について検討したものは少なく、特に室内などでのシックハウス症候群が疑われるような症例における気中化学物質による低濃度曝露と生体試料中化学物質との関連を見たものはいまだに報告が少なく、今後、さらなる研究が期待される。

参考文献

- (1) 厚生労働省. シックハウス (室内空気汚染) 問題に関する検討会. 中間報告. 第 6 回～第 7 回のまとめについて. 平成 13 年 7 月 24 日.
- (2) Andersson K, Hallgren C, Levin JO, Nilsson CA. Chemosorption sampling and analysis of formaldehyde in air. *Scand J Work Environ Health* 1981; 7: 282-289.
- (3) Godish T. Residential formaldehyde sampling - Current and recommended practices. *Am Ind Hyg Assoc J* 1985; 46: 105-110.
- (4) Levin JO, Lindahl R, Andersson K. Monitoring of parts-per-billion levels of formaldehyde using a diffusive sampler. *JAPCA* 1989; 39: 44-47.
- (5) Huynh CK, Vu-Duc T. Intermethod comparisons of active sampling procedures and analysis of aldehydes at environmental levels. *Anal Bioanal Chem* 2002; 372: 654-657.
- (6) Azuma M, Endo Y, Miyazaki T, Hikita Y, Ikeda H, Moriya Y, Hara I, Araki S. Efficacy of a detector tube method in formaldehyde measurement. *Industrial Health* 2003; 41: 306-312.
- (7) Suzuki Y, Nakano N, Suzuki K. Portable sick house syndrome gas monitoring system based on novel colorimetric reagents for the highly selective and sensitive detection of formaldehyde. *Environ Sci Technol* 2003; 37: 5695-5700.
- (8) 稲垣 宏, 手嶋章雄, 亀田由香利, 菅野 猛, 赤松哲也, 山田信之, 佐々木起代子, 妹尾孝, 堀 昌善, 横山新吉. 室内/屋外環境中化学物質のパッシブサンプラーによる測定. *仙台市衛生研究所報* 1998; 28: 111-121.
- (9) Lewis RG, Mulik JD. Thermally desorbable passive sampling device for volatile organic chemicals in ambient air. *Anal Chem* 1985; 57: 214-219.
- (10) Brown VM, Crump DR, Gardiner D. Measurement of volatile organic compounds in indoor air by a passive technique. *Environ Technol* 1992; 13: 367-375.
- (11) Cao XL, Hewitt CN. Evaluation of Tenax-GR adsorbent for the passive sampling of volatile organic compounds at low concentrations. *Atmos Environ* 1993; 27A: 1865-1872.
- (12) Cao XL, Hewitt CN. Passive sampling and gas chromatographic determination of low concentrations of reactive hydrocarbons in ambient air with reduction gas detector. *J Chromatogr* 1993; 648: 191-197.
- (13) Brown RH. Environmental use of diffusive samplers: evaluation of reliable diffusive uptake rates for benzene, toluene and xylene. *J Environ Monit* 1999; 1: 115-116.
- (14) Pfeffer HU, Breuer L. BTX measurements with diffusive samplers in the vicinity of a cokery: Comparison between ORSA-type samplers and pumped sampling. *J Environ Monit* 2000; 2: 483-486.
- (15) Yamamoto N, Matsubasa T, Kumagai N, Mori S, Suzuki K. A diffusive badge sampler for volatile organic compounds in ambient air and determination using a thermal desorption-GC/MS system. *Anal Chem* 2002; 74: 484-487.

- (16) Batterman S, Metts T, Kalliouloski. Diffusive uptake in passive and active adsorbent sampling using thermal desorption tubes. *J Environ Monit* 2002; 4: 870-878.
- (17) Hollender J, Sandner F, Moller M, Dott W. Sensitive indoor air monitoring of monoterpenes using different adsorbents and thermal desorption gas chromatography with mass-selective detection. *J Chromatogr A* 2002; 962: 175-181.
- (18) Dai H, Asakawa F, Suna S, Hirao T, Karita T, Fukunaga I, Jitsunari F. Investigation of indoor air pollution by chlorpyrifos: Determination of chlorpyrifos in indoor air and 3,5,6-trichloro-2-pyridinol in residents' urine as an exposure index. *Environ Health Prev Med* 2003; 8: 139-145.
- (19) 阿部時男, 葛岡勝悦, 加藤謙一, 浦山 清, 佐々木ひとえ, 助野典義. 室内環境の揮発性有機化合物の調査手法の検討 (第1報). 宮城県保健環境センター年報 1999; 17: 85-86.
- (20) 加熱脱着チューブを用いるパッシブサンプリングによる室内揮発性有機化合物の分析法. 瀬戸 博, 斎藤育江, 竹内正博, 土屋悦輝. 東京都立衛生研究所研究年報 1999; 50: 240-244.
- (21) 山口貴史, 真砂秀夫, 大塚広末, 渡辺征夫. パッシブサンプラーによる VOC 室内空気濃度ならびに個人暴露濃度測定. 群馬県衛生環境研究所年報 1999; 31: 88-92.
- (22) Dally KA, Kanarek MS. Formaldehyde exposure in nonoccupational environments. *Arch Environ Health* 1981; 36: 277-284.
- (23) Gupta KC, Ulsamer AG, Preuss PW. Formaldehyde in indoor air: Sources and toxicity. *Environ Int* 1982; 8: 349-358.
- (24) Krzyzanowski M, Quackenboss JJ, Lebowitz MD. Chronic respiratory effects of indoor formaldehyde exposure. *Environ Res* 1990; 52: 117-125.
- (25) Liu KS, Huang FY, Hayward SB, Wesolowski J, Sexton K. Irritant effects of formaldehyde exposure in mobile homes. *Environ Health Perspect* 1991; 94: 91-94.
- (26) Rothweiler H, Wager PA, Schlatter C. Volatile organic compounds and some very volatile organic compounds in new and recently renovated buildings in Switzerland. *Atmos Environ* 1992; 26A: 2219-2225.
- (27) Norback D, Bjornsson E, Janson C, Widstrom J, Boman G. Asthmatic symptoms and volatile organic compounds, formaldehyde, and carbon dioxide in dwellings. *Occup Environ Med* 1995; 52: 388-395.
- (28) Kostianinen R. Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. *Atmos Environ* 1995; 29: 693-702.
- (29) Wieslander G, Norback D, Bjornsson E, Janson C, Boman G. Asthma and the indoor environment: the significance of emission of formaldehyde and volatile organic compounds from newly painted indoor surfaces. *Int Arch Occup Environ Health* 1997; 69: 115-124.
- (30) Koeck M, Pichler-Semmerlock FP, Schlacher R. Formaldehyde-Study of indoor air pollution in Austria. *Cent Eur J Public Health* 1997; 5: 127-130.
- (31) Lemus R, Abdelghani AA, Akers TG, Horner WE. Potential health risks from exposure to indoor formaldehyde. *Rev Environ Health* 1998; 13: 91-98.
- (32) Garrett MH, Hooper MA, Hooper BM, Rayment PR, Abramson MJ. Increased risk of allergy in children due to formaldehyde exposure in homes. *Allergy* 1999; 54: 330-337.
- (33) Khoder MI, Shakour AA, Farag SA, Abdel Hameed AA. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes in residential areas in Greater Cairo. *J Environ Monit* 2000; 2: 123-126.
- (34) Hodgson AT, Rudd AF, Beal D, Chandra S.

Volatile organic compound concentrations and emission rates in new manufactured and site-built houses. *Indoor Air* 2000; 10: 178-192.

- (35) Jurvelin J, Vartiainen, M, Jantunen M, Pasanen P. Personal exposure levels and microenvironmental concentrations of formaldehyde and acetaldehyde in the Helsinki metropolitan area, Finland. *J Air Waste Manage Assoc* 2001; 51: 17-24.
- (36) Van Winkle MR, Scheff PA. Volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and elements in the air of ten urban homes. *Indoor Air* 2001; 11: 49-64.
- (37) Hodgson AT, Beal D, McIlvaine JER. Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. *Indoor Air* 2002; 12: 235-242.
- (38) Sherman MH, Hodgson AT. Formaldehyde as a basis for residential ventilation rates. *Indoor Air* 2004; 14: 2-8.
- (39) 齋藤育江, 瀬戸 博, 多田宇宏, 長嶋親治, 竹内正博, 土屋悦輝. 住宅の室内ホルムアルデヒド及び揮発性有機化合物濃度の経時変化. *東京都立衛生研究所研究年報* 1999; 50: 235-239.
- (40) 山下晃子, 小山和志, 赤岡 輝, 西沢千恵美, 清水 寿, 込山茂久, 松村年郎, 安藤正典. 長野県における室内ホルムアルデヒド調査. *長野県衛生公害研究所研究報告* 1999; 22: 22-24.
- (41) 高野美紀子, 鈴木忠人, 齋藤公男. 室内環境中の揮発性有機化合物 (VOC) 濃度調査. *福島県衛生公害研究所年報* 1998; 16: 45-48.
- (42) 酒井 潔, 三谷一憲, 土屋博信. 名古屋市内の一般家庭における室内空气中揮発性有機塩素化合物濃度. *名古屋市衛生研究所報* 1999; 45: 43-48.
- (43) 近藤文雄, 松本 浩, 山田靖治, 松村年郎, 安藤正典. 新築及び中古住宅における室内空気化学物質の室内, 外気及び個人暴露濃度調査. *愛知県衛生研究所報* 2000; 50: 7-12.
- (44) 菅野 猛, 亀田由香利, 佐々木起代子, 手嶋章雄, 妹尾 孝, 堀 昌善, 安藤正典. 仙台市内一般家庭の室内空气中揮発性有機化合物実態調査 (第1報). *仙台市衛生研究所年報* 2000; 28: 129-140.
- (45) 川田常人, 平松佐穂. 室内環境汚染について (3) (揮発性有機化合物の全国実態調査結果 (高知県分)). *高知県衛生研究所報* 2001; 47: 79-86.
- (46) 大貫 文, 齋藤育江, 瀬戸 博, 上原眞一, 加納いつ. 室内空气中化学物質の実態調査 (ホルムアルデヒド及び揮発性有機化合物) -平成13年度-. *東京都健康安全研究センター研究年報* 2003; 54: 262-268.
- (47) 齋藤育江, 大貫 文, 瀬戸 博, 上原眞一, 加納いつ. 室内空气中化学物質の実態調査 (可塑剤, 殺虫剤及びビスフェノールA等) -平成13年度-. *東京都健康安全研究センター研究年報* 2003; 54: 253-261.
- (48) 東海敬一, 佐藤慎二, 古川智子, 菅野 猛, 中条幸次, 中村隆二, 安藤正典. 仙台市内一般家庭の室内空气中揮発性有機化合物実態調査 (第3報). *仙台市衛生研究所年報* 2003; 31: 94-100.
- (49) Lindstrom AB, Proffitt D, Fortune CR. Effects of modified residential construction on indoor air quality. *Indoor Air* 1995; 5: 258-269.
- (50) 浅川富美雪, 藤田陽子, 戴 紅, 須那 滋, 實成文彦. HCHO, VOC 低放散新築住宅における室内空气中HCHO, VOC濃度と居住者の曝露. *地域環境保健福祉研究* 2003; 6: 56-59.
- (51) 安田 誠. ホルムアルデヒドに配慮した新築住宅における空気環境測定について. *生活と環境* 2003; 7: 61-63.
- (52) Lynch C, Lim CK, Thomas M, Peters TJ. Assay of blood and tissue aldehydes by HPLC analysis of their 2,4-dinitrophenyl hydrazine adducts. *Clin Chim Acta* 1983; 130: 117-122.
- (53) Szarvas T, Szatloczky E, Volford J, Trezl L,