

原 著

千葉大学における肉眼解剖実習のホルムアルデヒド
濃度に関する一考察

大道 公 秀^{1, 2)} 松野 義 晴^{1, 2, 3)} 小宮山 政 敏^{1, 2, 3)}
 深田 秀 樹^{1, 2)} 戸高 恵美子^{1, 2, 3)} 太田 昌 彦¹⁾
 宮宗 秀 伸¹⁾ 門田 朋 子^{1, 2)} 森 千 里^{1, 2, 3)}

- 1) 千葉大学大学院 医学研究院 環境生命医学
 2) 千葉大学大学院 医学研究院 次世代環境健康学プロジェクト
 3) 千葉大学 環境健康都市園芸フィールド科学教育研究センター

Study of formaldehyde concentration during gross
anatomy laboratory in Chiba University

Kimihide Ohmichi^{1, 2)} Yoshiharu Matsuno^{1, 2, 3)}
 Masatoshi Komiyama^{1, 2, 3)} Hideki Fukata^{1, 2)}
 Emiko Todaka^{1, 2, 3)} Masahiko Ohta¹⁾ Hidenobu Miyaso¹⁾
 Tomoko Kadota^{1, 2)} Chisato Mori^{1, 2, 3)}

- 1) Department of Bioenvironmental Medicine, Graduate School of Medicine,
Chiba University
 2) Environmental Health Science Project for Future Generations,
Graduate School of Medicine, Chiba University
 3) Center for Environment, Health and Field Sciences, Chiba University

要約

医学部や歯学部における肉眼解剖実習では、実習体の腐敗防止にホルムアルデヒド (FA) が用いられている。そのため学生およびスタッフの多くは、実習期間に実習体から放散する FA に曝されることになる。解剖実習環境改善のための基礎調査として、本研究では、個人曝露濃度と室内濃度を測定した。パッシブサンプリングにおける実習期間中の室内 FA 平均濃度は、実習初期、中期、後期の順に0.43、0.38、0.76 ppm であった。FA 平均個人曝露濃度は、同様の順に0.92、0.65、0.51 ppm であった。室内 FA 濃度が、実習後期の測定において最も高濃度になったのは、解剖部位により FA の揮発・揮散が異なるため作業日によって濃度変動が存在したといえよう。実習後期を除けば、個人曝露濃度が室内濃度と比較し、高い結

受付：平成17年11月4日 採用：平成17年12月16日

別刷請求宛先：森 千里

〒260-8670 千葉市中央区亥鼻1-8-1 千葉大学大学院 医学研究院 環境生命医学 (A3)

Received: November 4, 2005 Accepted: December 16, 2005

Reprint Requests to Chisato Mori, Department of Bioenvironmental Medicine, Graduate School of Medicine, Chiba University, 1-8-1 Inohana, Chuo-ku, Chiba 260-8670 Japan

果となった。FA 曝露がヒトに及ぼす影響を鑑みると、室内濃度測定に加え個人曝露濃度の測定も重要と考える。

(臨床環境14 : 112~118, 2005)

《キーワード》 肉眼解剖実習、室内ホルムアルデヒド濃度、個人曝露濃度

Abstract

Formaldehyde (FA) is used for the preservation of cadavers for gross anatomy laboratories in most medical and dental schools. Thus, most students and staff members are exposed to FA emitted from the cadavers during dissection. As a basic survey for the improvement of the dissection environment, we measured personal exposure levels as well as indoor FA concentrations. At the beginning, halfway through, and at the end of the dissection course, the average indoor FA concentrations in passive sampling were 0.43, 0.38 and 0.76 ppm, respectively. On the other hand, the average personal exposure levels to FA were 0.92, 0.65 and 0.51 ppm, respectively in the same order. The reason why the indoor FA concentrations was the highest at the end of the dissection course, could be because the amount of FA emitted from the cadaver changed depending on the body parts dissected. Excluding the period at the end of the dissection course, personal exposure levels were higher than the indoor FA concentrations levels. Considering the health effect of FA on humans, we need not only to measure the indoor FA concentrations, but also to measure the personal exposure levels.

(Jpn J Clin Ecol 14 : 112~118, 2005)

《Key words》 gross anatomy laboratory, indoor formaldehyde concentration, personal exposure level

I. はじめに

近年、ヒトの生活環境における近代化の代償として、環境中の水質、大気、土壌に対する汚染が深刻化している。特に大気汚染に関しては、これまで主に「ばい煙・粉じん・自動車排出ガス」などの室外汚染問題が取り上げられてきた。しかしながら昨今ではこれらの室外汚染に加え、「シックハウス症候群」にみられるとおりヒトの健康を脅かす室内汚染因子の存在が報告¹⁾されるようになり、化学物質の室内汚染によるヒトの健康に対する影響が問題視されるようになってきた。現在までの国内における報告によれば、「シックハウス症候群」を誘発する有力な原因物質の一つとしてホルムアルデヒド (Formaldehyde 以下; FA と略す) が疑われている^{2~4)}。また、国際的な発癌性評価機関である IARC (International Agency for Research on Cancer) の指針によれば、FA は「ヒトに対して恐らく発癌性がある」とされている⁵⁾。さらに、動物実験や種々の *in vitro* (試験管レベルにおける) 試験などにより、FA が発

癌性および変異原性を有するという知見がこれまでに報告されてきた^{6~8)}。しかしながら、疫学研究による報告では、FA の発癌性の有無に関しては統一した見解が得られていない状況にある^{9~13)}。

ところで、医学部や歯学部の肉眼解剖実習 (以下; 実習) では、FA が日常的に用いられている。これは、実習に提供される遺体 (以下; 実習体) の腐敗を防止するためであり、現在のところ、FA を用いた防腐処置に優る方法が存在しないことにも起因する。また、医学部や歯学部における実習は、臨床現場において必要となる「人体の正常な構造とその機能」を学習するための必須かつ極めて重要な科目である。よって、医学生・歯学生にとって実習は避けて通ることができないものである。そのため、彼らや解剖学教室に所属するスタッフの多くは、実習期間に実習体から放散する FA に曝されることも事実である。この FA 曝露に対する対策は、実習時間におけるマスク着用の徹底等によって講じられているものの、近年においてさえも、実習によって曝露される FA の健

康影響や、実習環境下における眼・鼻・喉の刺激等といった体調不調を訴える事例が報告されている^{14,15)}。

これまで我々は、実習室内環境の改善への礎となりえる知見を得るために、FAの実習室内濃度と個人曝露濃度について調査を行い、これらの濃度の違い、さらには実習を行う群（学生群）と実習を指導補佐する群（スタッフ群）における曝露濃度の知見を報告してきた¹⁶⁾。

本論では、実習期間を通じた個人曝露の動向と室内濃度測定法による濃度結果に着眼し、それより得られた知見を報告する。

II. 方法

1. 実習カリキュラムおよび室内環境

実習は2003年4月中旬から6月中旬までの10週にわたり行われた。実習頻度は毎週3日の午後に割り当てられ、一日平均5時間程度の時間を費やしている。

実習室の平面図を図1に示す。実習室内容積は1125 m³ (15×25×3 m) の広さからなり、2つの出入口がある。換気システムは給気・排気を独立した設備で、空気の再循環は行わず、終日稼働させることで室内空気の換気を促している。換気能力については吸気能力3660 m³/h、排気能力7660 m³/hに設定されており、実習室容積が1125 m³であるので、換気回数は3.3回/hと算定される。さらにFAは温度依存的に濃度が上昇することが報告¹⁷⁾されており、室内温度の上昇によるFA濃度の上昇を防ぐため冷房機についても終日稼働させている。

2. 実習に用いたFA防腐液

実習に提供された実習体は、FAを含有する防腐液で処置が施されている。この防腐液はFAを7.4%含有する水溶液31.1%、エタノール38.8%、グリセリン13.8%に水16.3%からなり、FA最終濃度は2.3%になる。なお、測定を試みた室内には、学生用実習体に供覧用見学実習体を加えた計48体が安置されている。

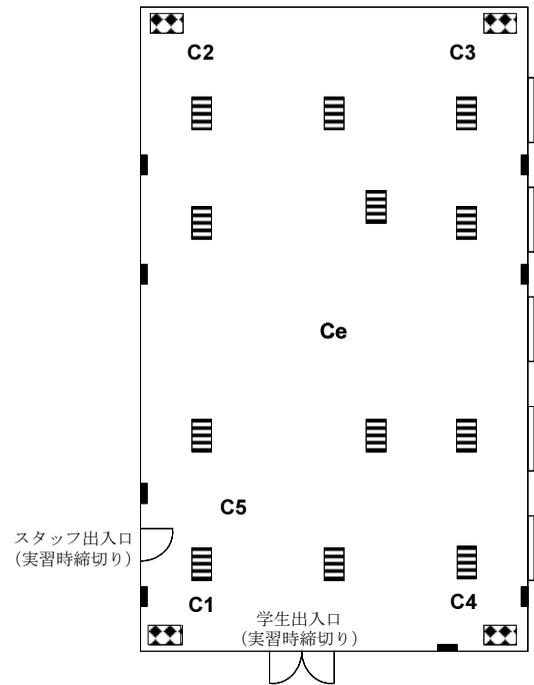


図1 実習室平面図およびFA測定箇所

C1-5、Ce : FA測定箇所

❖❖ 冷房機 ≡ 給気口 | 排気口

3. 測定方法

<FAサンプリングに用いた機器>

実習室内に拡散するFAのサンプリングおよび個人曝露濃度測定用のサンプリングには、空気中に含まれるFAを強制的ではなく無指向的（以下、「パッシブ」サンプリング）に吸着できるように開発されたFAサンプラーを用いて採取した¹⁸⁾。すなわち、FAを捕集するパッシブサンプリングには2,4-dinitro phenylhydrazine (DNPH) を含浸させたシリカゲルカラムであるアルデヒド/ケトン捕集用サンプラー (Supelco社製) を用いた。また、室内濃度の測定には、一般の大気環境の測定に用いられる吸引ポンプ、定流量装置および積算流量計による「アクティブ」サンプリングについても実施した。アクティブサンプリングには上記と同様にDNPHを含浸させたシリカゲルカラムであるSep-Pak XPoSure Aldehyde Sampler (Waters社製) を捕集用サンプラーに用いて、各測定箇所あたり30分間の空気捕集を行った。

＜室内空気＞

実習室内 FA 濃度は、実習室内四隅 (C1から C4)、中心付近 (Ce) および実習台から50 cm の距離 (C5) での計6箇所について、パッシブおよびアクティブによる測定を行った (図1参照)。なお、測定高は床上約1.4 mの高さに設置し、パッシブは全測定箇所について3時間、アクティブは C1から C5、Ce の順に各測定箇所について30分間の捕集を行った。また各測定箇所に対し、それぞれ2本のサンプラーにより室内 FA を捕集し、データにはその平均を採用した。対照群として、パッシブによる建物外の FA 大気濃度の測定も行った。

＜個人曝露＞

被験者には、実習の指導補佐を行い、かつ全測定に参加した本教室員の5名 (被験者 A~E) と、実習室内に在室し室内空気の測定を行った1名 (被験者 F) を採用した。各被験者の胸付近にパッシブ用サンプラーを装着することにより、実習室内で各個人が曝露された空気中の FA を採取した。

＜測定日時＞

室内空気および個人曝露に関する FA 濃度の測定は、実習開始4日目の4月28日、10日目の5月14日、18日目の6月2日の午後1時30分 (実習開始30分経過後) 以降に行われた。各測定日の解剖部位は実習4日目 (以下、実習初期) が「背の浅層、

上肢帯と上腕伸側」、実習10日目 (以下、実習中期) は「腹腔内臓」、実習18日目 (以下、実習後期) が「骨盤内臓」であった。また、実習期間が終了し、実習体を室内に安置していない状態における測定も行った (7月15日、以下; 実習期間終了後)。

＜FA 濃度分析＞

FA 濃度の分析は、DNPH 誘導体化固相吸着/溶媒抽出-高速液体クロマトグラフィー法 (DNPH-HPLC 法) により行った。すなわち、FA が吸着された FA 誘導体物 (ヒドラゾン誘導体) をアセトニトリル5 ml で溶出し、この溶出液20 μ l を高速液体クロマトグラフィー (HPLC) に注入し分析を行った。

Ⅲ. 結果

表1に、パッシブおよびアクティブによる実習室内 FA 濃度および室外 FA 濃度の測定結果を示す。実習初期における実習室の FA 平均濃度はパッシブおよびアクティブの順に0.43、0.48 ppm であり、同様の順に実習中期では0.38、0.38 ppm、実習後期に0.76、0.54 ppm であった。なお、実習期間終了後ではパッシブおよびアクティブともに0.02 ppm であった。

表2に実習中における個人曝露濃度の測定結果

表1 解剖実習室内ホルムアルデヒド濃度

	室内 FA 濃度 (ppm)							
	実習4日目(4/28)		実習10日目(5/14)		実習18日目(6/2)		実習期間終了後(7/15)	
	パッシブ	アクティブ	パッシブ	アクティブ	パッシブ	アクティブ	パッシブ	アクティブ
C1 (実習室四隅)	0.30	0.33	0.23	0.40	0.49	0.44	0.02	0.02
C2 (実習室四隅)	0.59	0.61	0.29	0.37	0.54	0.43	0.01	0.02
C3 (実習室四隅)	0.51	0.49	0.37	0.40	0.62	0.49	0.02	0.02
C4 (実習室四隅)	0.29	0.30	0.47	0.43	0.74	0.62	0.02	0.02
Ce (実習室中央)	0.55	0.65	0.52	0.30	1.03	0.70	0.02	0.02
室内 FA 平均濃度	0.43	0.48	0.38	0.38	0.76	0.54	0.02	0.02
SD	0.14	0.16	0.12	0.05	0.22	0.12	0.00	0.00
C5 (実習台から50 cm内)	0.30	0.33	0.27	0.45	0.60	0.56	測定せず	測定せず
外気 FA 濃度	0.003	測定せず	0.001	測定せず	0.003	測定せず	0.008	測定せず
実習室内温度 ()	22.5		23.1		26.4		23.0	

表2 解剖実習中における個人曝露濃度

ID	実習4日目 (4/28)			実習10日目 (5/14)			実習18日目 (6/2)		
	サンプリング時間 (h)	吸着絶対量 μg	空气中濃度 ppm	サンプリング時間 (h)	吸着絶対量 μg	空气中濃度 ppm	サンプリング時間 (h)	吸着絶対量 μg	空气中濃度 ppm
A	1.08	6.35	1.12	1.08	1.83	0.32	1.08	3.12	0.54
B	2.75	18.75	1.30	2.25	17.44	1.47	3.30	9.54	0.54
C	3.00	10.56	0.67	4.67	8.09	0.33	6.58	23.40	0.67
D	2.92	12.48	0.81	4.92	14.08	0.54	6.00	9.37	0.29
E	2.92	10.70	0.70	2.75	8.51	0.59	5.08	14.22	0.53
平均値	2.53	11.77	0.92	3.13	9.99	0.65	4.41	11.93	0.51
F (測定担当者)	2.92	4.17	0.27	4.92	4.02	0.16	3.58	4.65	0.24

を示す。被験者ごとの室内滞在時間に変動はあるが、概ね室内の滞在時間は実習初期、中期および後期の順に2.53、3.13、4.41時間であった。また、FA 個人曝露濃度は同様の順に0.92、0.65、0.51 ppm であった。なお、実習に参加することなく、実習室内において本測定を担当した被験者 F の個人曝露濃度を参考までに記すと、0.27、0.16、0.24 ppm であった。

図2に、表1および表2に示したパッシブ・アクティブによる FA 室内濃度と実習の指導補佐を行った5名の被験者 (A~E) の FA 個人曝露の結果をまとめた。実習後期を除けば、個人曝露濃度が室内濃度と比較し、高い結果となった。また各測定日における個人曝露濃度と室内濃度を t 検定により比較したところ、実習初期の個人曝露濃度はパッシブおよびアクティブそれぞれの室内濃度よりも統計学的に有意に高かった。

IV. 考察

室内 FA 濃度は、実習後期の測定において最も高濃度 (パッシブ; 平均値 0.76 ± 0.22 ppm) になった。各測定日の解剖部位は、実習初期が「背の浅層、上肢帯と上腕伸側」、中期は「腹腔内臓」、後期は「骨盤内臓」であり、解剖部位により FA の揮発・揮散が異なるため作業日によって濃度変動が存在したといえよう (表1参照)。また FA 室内濃度は温度依存的に上昇すること¹⁷⁾ が知られているが、表1にも示したように実習後期の室温26.4

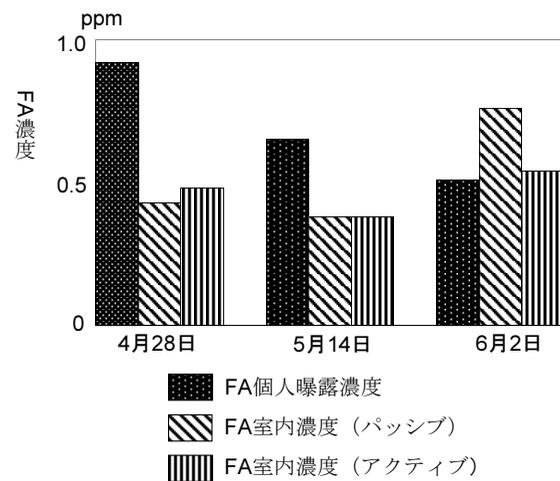


図2 FA 平均濃度

℃は、初期・中期のそれぞれ22.5・23.1℃と比較して若干高温であり、このことが実習体からのFAの揮発を促し結果的にFA室内濃度の上昇をもたらした可能性もある。なお、表には示さなかったが、室内濃度の測定に用いたパッシブおよびアクティブの測定値の間には、概ね相関が認められた。一方で、実習後期に生じたパッシブとアクティブの室内濃度結果の差異は、数時間程度の測定時間を要すパッシブと、一測定箇所あたり30分間という限られた時間に捕集を行うアクティブとの測定時間帯の違いによる揮発・揮散濃度の影響から生じたと考えられる。また、実習台から50 cmの地点におけるFA室内濃度を測定したところ、室

内四隅および中央付近のFA濃度と比較し、有意な差が認められなかった。この点については、測定当初に我々が抱いた“曝露源に接近した位置ほど室内FA濃度が高い”といった仮説や、実習体から5 cmの至近距離にて測定した際にFAが高値となる知見を得た田中ら¹⁴⁾の報告とは相反する結果であったが、本論では結果を示すに留め、今後の課題とする(表1参照)。

さらに、実際に実習を補佐する被験者から得られた個人曝露濃度の平均(実習初期・中期・後期: 0.92・0.65・0.51 ppm)と比べ、実習室内において実習の指導補佐をすることなく測定のみを担当した被験者Fの個人曝露濃度は、0.27、0.16、0.24 ppmであった。このように実習を補佐する被験者(A~E)から得られた個人曝露濃度は、測定担当者(F)の濃度と比べ約2~4倍の値となった。このことから、同じ室内に在室し、曝露時間に大きな違いがなければ、主に曝露源への接近度合いの違いによって、個人曝露濃度に違いをもたらすことが示唆された。また、測定担当者(F)の個人曝露濃度は、実習体から離れ測定箇所付近で作業していた点からも測定結果は室内FA濃度と同程度の濃度となることが想像されたが、本調査では測定担当者(F)の個人曝露濃度はいずれの測定日でも室内濃度を下回っていた。このことは、解剖実習室においては同じ時間帯に同じ室内に在室していたとしても個人曝露濃度そのものはその作業内容や作業場所あるいは移動等の動作により大きく変わること示唆するものであり、本例のような室内を移動する作業者についての更なる追試が待ち望まれる。

一方、室内FA濃度に対して個人曝露濃度が実習後期を除き高い傾向を示す結果については、実習初期は医学生の実習技術力等が不足しがちなために、被験者らが医学生らの補佐を必要とする機会と実習体に近接した位置に滞在する時間数の増加を促し、個人曝露濃度を高める結果を導きだしたためと考えられる。実習後期には医学生の実習技術等の向上から、実習初期と比べ総じて指導の補佐を要求する頻度の軽減によって、被験者が曝露源との接近も減り個人曝露濃度の減少を招いた

ともいえる。

本論の結果から、FA曝露がヒトに及ぼす影響を鑑みると、室内濃度同様に個人曝露濃度も重要な曝露指標といえる。すなわち、通常の室内濃度の測定系では、一定箇所の室内濃度を知ることはできるものの、実際の個人曝露を把握することはできないことが示唆された。したがって室内環境汚染を評価するには個人曝露を指標とする測定系が今後考慮される必要がある。本事例から、曝露源が特定され、しかもその近くで作業することが明らかな場合については、室内濃度測定に加えて個人曝露濃度測定を併用することがリスク評価の視点から望ましいといえよう。一方で、解剖実習環境の場合、実習に臨む者すべての個人曝露評価を行うことは現状では困難である。そこでどのように個人曝露評価を進めるべきかが今後の検討すべき課題ともいえる。

解剖実習におけるFAのヒトへの適切なりスク評価の確立のためには、まず実習室内でのFA曝露状況を把握し、室内の的確な濃度特性を知ることが肝要となる。その上で十分な発生源対策や空調工事等を施すことが産業衛生上からも考慮されなければならない。そこで、本学では実習体から揮発するFAの放散を防ぐ機能をもつ実習台を試作し、FA室内濃度と個人曝露濃度の低減化を図りはじめている。また、本学では実習初日のガイダンスにおいてFAの生体への影響に関する情報の提供とFAに対する防御策について医学生に説明し、実習期間中においても、適宜対応している状況にある。さらに、実習時間数の削減と諸般のFA曝露に対する緩和策として、学生2名で実習体1体を担当する体制から3名で1体に変更することで、実習期間中に提供する実習体数を減じることによる実習環境改善の取り組みを進めているところである。

これらの実行のための基礎的資料として、実習環境の現況調査は必要であり、実習環境の特性を知った上で、個人曝露評価を考慮するなどの適切なりスク評価が必要である。したがって、効果的な実習環境の改善とFA濃度低減化の方策を講じるためにも、適切なFA曝露評価と各種測定を今

後とも検討し、一層の解剖実習環境の改善に寄与していきたい。

本論執筆にあたり、肉眼解剖実習の機会をご提供いただいた千葉白菊会献体成就者の皆様にご感謝するとともに、ご冥福をお祈り申し上げます。

文献

- 1) Ian Kimber, Rebecca J Dearman: Toxicology of Chemical Respiratory Hypersensitivity. Taylor and Francis, London, 1997
- 2) 池田耕一：家庭内の化学物質と健康影響. 日本胸部臨床60：681-697, 2001
- 3) 松村年朗、濱田実香、他：室内環境汚染物質の発生量. 日本胸部臨床60：698-710, 2001
- 4) 鳥居新平：アレルギー性疾患 シックハウス症候群, シックビルディング症候群, 室内有害物質過敏症. 日本臨床 別冊免疫症候群：609-612, 2000
- 5) IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans: Wood dust and Formaldehyde, IARC, Lyon, 1995
- 6) Feron VJ, Til HP, et al: Aldehyde: occurrence, carcinogenic potential, mechanism of action and risk assessment. Mutat Res 259: 363-385, 1991
- 7) O'Donovan M R, Mee C D: Formaldehyde is a bacterial mutagen in a range of *Salmonella* and *Escherichia* indicator strains. Mutagenesis 8: 577-581, 1993
- 8) Ballarin C, Sarto F, et al: Miconucleated cells in nasal mucosa of formaldehyde exposed workers. Mutat Res 280: 1-7, 1992
- 9) Harrington J M, Oakes D: Mortality study of British pathologists 1974-80. Br J Ind Med 41: 188-191, 1984
- 10) Walrath J, Fraumeni J F: Mortality patterns among embalmers. Int J Cancer 31: 407-411, 1983
- 11) Stroup N E, Blair A, et al: Brain cancer and other causes of death in anatomists. J Natl Cancer Inst 77: 1217-1224, 1986
- 12) Levine R J, Andjelkovich D A, et al: The mortality of Ontario undertakers and a review of formaldehyde-related mortality studies. J Occup Med 26: 740-746, 1984
- 13) Hayes R B, Blair A, et al: Mortality of U. S. embalmers and funeral directors. Am J Ind Med 18: 641-652, 1990
- 14) 田中かづ子, 西山慶治, 他：解剖学実習室内空气中ホルムアルデヒドとその対策に関する調査. 解剖誌 78：43-51, 2003
- 15) 大道公秀, 松野義晴, 他：解剖実習によるホルムアルデヒド曝露と自覚症状の変動. 解剖誌 79：95-100, 2004
- 16) Ohmichi K, Komiyama M, et al: Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory - personal exposure level is higher than indoor concentration. Environ Sci Pollut Res Int, 2005 (in press)
- 17) 田中正敏 (編著)：室内化学物質汚染—シックハウスの実態と対応—. 松香堂発行, 2001
- 18) Uhiyama S, Hasegawa S: A reactive and sensitive diffusion sampler for the determination of aldehydes and ketones in ambient air. Atmos Environ 33, 1999-2005, 1999