新たに開発した小型ホルムアルデヒドモニタリング装置を用いた 室内空気モニタリング

丸尾容子, 中村二郎

NTT環境エネルギー研究所 〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮3-1

Indoor air monitoring using newly developed portable formaldehyde monitoring device

Yasuko YAMADA MARUO and Jiro NAKAMURA

NTT Energy and Environment Systems Laboratories, 3-1 Morinosato Wakamiya, Atsugi, Kanagawa 243-0198

要 旨

小型のホルムアルデヒドモニタリング装置を開発し、室内空気のモニタリングを行った。既に開発しているホルムアルデヒド検知素子において、 β -ジケトンがホルムアルデヒドと反応して生成する黄色のルチジン誘導体は β -ジケトンとして1-フェニル-1, 3-ブタンジオンをを用いた場合、多孔質ガラス中のみで安定である。そこで検知素子のルチジン誘導体による着色の差分を一定時間毎に計測し、平均ホルムアルデヒド濃度に換算出来る装置を作製した。装置は光源としてLED、検出器としてフォトダイオードを含み、10cm×10cm×4cmの小型サイズであるため住居内の任意の場所への設置が可能であった。また室内空気への暴露時には吸引ポンプを用いないため閉空間でのモニタリングが可能であった。ホルムアルデヒドの検出下限値は1時間暴露で5ppbであった。出力値が測定濃度の90%に達するのに要する時間は1時間以内であることが見積もられた。

この装置を住空間に設置してホルムアルデヒド濃度の変化を1時間毎にモニタリングしたところ、家具を設置した住環境では高濃度状態が測定され、また換気を行っても再びの部屋の密閉により数時間で高濃度状態に再び戻ることが測定された。開発した装置は小型で使用方法が簡単なため、複数の家庭でホルムアルデヒド濃度の連続測定に成功した。

Abstract

We have developed a portable device for formaldehyde monitoring, and have carried out indoor air monitoring in several houses. The absorbance difference of the developed sensor element was measured at regular intervals in the monitoring device and converted into the formaldehyde concentration. This was possible because the rutidine derivative that was formed as a yellow product of the reaction between β -diketone and formaldehyde was stable in the sensor element. The device contained an LED as a light source and photodiodes as photo-detectors. It was sufficiently small (10 cm × 10 cm × 4 cm) to be installed at a desired location in the house. In addition, the device was able to monitor a closed area without a convection flow, because it did not use a pump for air sampling. The detection limit was 5 ppb × hour, and we estimated it took about 1 hour to detect a formaldehyde concentration of 94%.

The developed sensor device was small and easy to use and we successfully carried out hourly formaldehyde monitoring using our monitoring device under several indoor conditions. We found that a high formaldehyde concentration could be measured in a room containing furniture and clothes. We also found that, although the formaldehyde concentration decreased rapidly when ventilation was provided, it recovered rapidly in several hours when we stopped ventilating the room.

Key words: ホルムアルデヒド (Formaldehyde), モニタリング (Monitoring), 室内空気 (Indoor air), β -ジケトン法 (β -diketone method)

1. 緒言

ホルムアルデヒドは建材や家具などから発せられ、主に室内環境において高濃度で測定される刺激性のガスであり、環境指針値がWHOにより80ppb(30分平均値)に定められている¹⁾。ヒトの健康に対するホルムアルデヒドの影響評価としては国際がん研究機

関が2004年グループ2A「人に対しておそらく発ガン性を示す」からグループ1「人に対して発ガン性を示す」に変更し²⁾、日本においても特定化学物質障害予防規則の改定が行われた。住宅関連では2003年にはホルムアルデヒド対策として建築基準法が改正され、新築住宅においては機械式換気システムの設置が義務づけられた。さらに、建材や木材の改善により新築家屋のホルムアルデヒド濃度は減少している³⁾。

受付：2010年7月20日 (Received: 20 July 2010)

受理：2010年10月6日 (Accepted: 6 October 2010)

しかし著者らの測定によっても家具や衣類などには高濃度のホルムアルデヒドを発生する物が少なくなく、これら家具や衣類の運び込みによって家具などのない入居前にはホルムアルデヒド濃度が低い状態であったにもかかわらず、実際の住環境では高い状態になっていることが想定される。また住宅のリフォームにより使用する建材の不適切な選定により高濃度になったり、新たに家具を購入したりすることにより高濃度になってしまう例も想定される。また近年地球温暖化に関連して省エネ住宅の施工が盛んである。この省エネ住宅においては冷暖房の効率向上のため外部との換気回数の減少が行われる傾向にある住宅がある⁴⁾。その場合、新築住宅では機械換気により下がっていたホルムアルデヒド濃度が上昇する懸念も生じる。

住環境でのホルムアルデヒドの簡易測定法としては疑似アセチルアセトン法のタブを用いる方法⁵⁾(理研計器 商品名; FP-30)、4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1,2,4-トリアゾール(AHMT)法のタブを用いる方法⁶⁾(ウイングターフ(バイオメディア) 商品名; 3分間測定携帯型ホルムアルデヒドセンサー)、AHMT法の拡散スクラバーを用いる方法⁷⁾(ガステック 商品名; MDS-100)などがあるが、濃度変化を連続でモニタリングしようとした場合いずれも30分若しくは3分毎にタブやチューブを交換しなくてはならない。またいずれもポンプを用いているので、ポンプの再スタートも必要である。ポンプを用いないパッシブサンプラーも存在する⁸⁾が、この場合は暴露時間が長時間に渡り、暴露時間の平均濃度しか測定することが出来ない。また従来のパッシブサンプラーでは、空気のサンプリング後に液体クロマトグラフィーなどでの精密分析が必要で、その場での濃度の確認が出来ないなどの制約がある。

著者らはパッシブ法でホルムアルデヒドを計測出来る検知素子を既に開発している⁹⁾。検知素子は多孔質ガラスを基板として用い、その表面を化学反応の場として β -ジケトン法によりホルムアルデヒドを検知する原理である。 β -ジケトン法ではアンモニウムイオンが共存する状態で β -ジケトンがホルムアルデヒドと反応すると黄色のルチジン誘導体が生成する。 β -ジケトンに1-フェニル-1, 3-ブタンジオンを用いた場合、この誘導体は水溶液中やゾルゲルガラス中¹⁰⁾、及び濾紙表面¹¹⁾では不安定で徐々に退色するが、多孔質ガラス中では安定であることを筆者ら

は見いだしている。従って、この検知素子を用いれば任意の時間で蓄積的にホルムアルデヒドの計測が可能である。そこで小型の光源と検出器を組み込み、検知素子をセットしたままの状態を外気に暴露可能な装置を開発した。そしてこの装置を用いて、ルチジン誘導体が有する吸収の吸光度の差分を測定し、ホルムアルデヒド濃度に換算することで、連続的にホルムアルデヒド濃度のモニタリングが出来ることを確認したのでその結果について報告する。またこの開発装置を用いて複数の室内環境においてホルムアルデヒド濃度の連続モニタリングを行ったのでその結果についても報告する。

2. 方法

2.1 検知素子の作製

検知素子は多孔質ガラス(コーニング, Vycor# 7930)を基板として用い、この基板を酢酸アンモニウム及び β -ジケトンを含んだ溶液に含浸させ、その後乾燥して作製した。詳細な作製法は、別報に報告した通りである⁹⁾。 β -ジケトンとしては検知素子の安定性に優れる1-フェニル-1, 3-ブタンジオンを用いた。検知素子の大きさは8mm×8mm×1mmであり、そのままの状態では取り扱いが不便なためFig.1に示したような片面が空気に接している透明プラスチックケースにはめ込んで使用した。検知素子はホルムアルデヒドに暴露されると414nmに吸収極大を持つ吸収が現れ、黄色に着色する。414nmの吸光度は暴露されたホルムアルデヒドの蓄積量に比例するため、414nmの吸光度の差と暴露時間が判れば、その暴露時間内の平均ホルムアルデヒド濃度を算出出来る。検知素子の詳しい性能及び妨害ガスは別報に示したとおりである¹²⁾。

2.2 測定装置

測定装置の筐体には外気との通気を確保するために、検知素子を挟んで両側にスリットを設けた。スリットは検知素子の吸光度測定時に外光の影響を排除するためにルーバー状に加工した。検知素子の吸光度を測定するために光源は415nmのLEDを組み込んだ。LEDの出力は温度に依存するため、吸光度をより精度良く測定するために、検知素子を通過しないLED光を検出するフォトダイオードを組み込み、検知素子を透過したLED光を検出するフォトダイオードとの出力の比によって吸光度を算出した。Fig.1

Fig.1 Photographs of sensor element, monitoring device, and cross-section of monitoring device.

にその外観写真と断面図を示した。装置には測定環境の温湿度の記録も同時に出来るように温湿度センサを組み込んだ。また11bitのA-Dコンバータ及びメモリを組み込み、測定結果のデジタル値での蓄積が可能とした。

2.3 人工暴露環境

ホルムアルデヒド濃度が一定の条件での暴露を可能にするために、人工暴露環境を構築した。ホルムアルデヒドの蒸散源は任意のホルムアルデヒド水溶液をポリ瓶に入れ、瓶の蓋部分をテフロンメンブレンフィルター(アドバンテック東洋製, T020A, 孔径 $0.20\mu\text{m}$, 厚さ $80\mu\text{m}$)で覆った。この瓶を 25°C の恒温槽内のテドラー®バック内に設置し、乾燥空気(相対湿度2%以下, ホルムアルデヒド濃度4ppb以下)を $250\text{ml}/\text{min}$ で通気してホルムアルデヒドの発生機構とし、ホルムアルデヒド暴露用テドラー®バックに接続した。また湿度の調整のため乾燥空気 $250\text{ml}/\text{min}$ を水でバブリングさせ、ホルムアルデヒド暴露用テドラー®バックに接続した。ホルムアルデヒド暴露用テドラー®バック内にはホルムアルデヒド検知素子をセットした測定装置を設置し、一定時間毎に検知素子の吸光度を測定し、装置のメモリに記録させた。また必要に応じてホルムアルデヒド暴露用テドラー®バックに2, 4-ジニトロフェニルヒドラジン(DNPH)吸着管を接続して、 $0.1\text{ l}/\text{min}$, 1時間でサンプリングを行い、アセトニトリルで抽出、

HPLC分析を行い、ホルムアルデヒド濃度を確認した。DNPH分析の詳細は別報に報告したとおりである⁹⁾。人工暴露環境の概略図をFig.2に示した。またこの実験系において、蒸散源の希釈率とDNPH法を用いて測定したその時発生するホルムアルデヒド濃度の関係をFig. 3に示した。Fig.2に示した方法で蒸散源の希釈率を調整することで24ppbから220ppbの範囲の濃度のホルムアルデヒド雰囲気を整えることが可能であった。

素子の反応時間を調べる実験において、ホルムアルデヒド濃度24ppb, 52ppb, 及び66ppbの雰囲気作製のためには、37%ホルムアルデヒド水溶液(関東化学)を10000倍, 5000倍及び4000倍に希釈して各々ポリ瓶に入れた。暴露の温度は $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, 相対湿度は $48\pm 2\%$ であった。

10分毎の測定においては、まず蒸散源を設置し、暴露用テドラーバック内のホルムアルデヒド濃度を一定にした後に、装置に検知素子を挿入して測定を開始した。検知素子装入時にテドラーバックに外気が入り込むのでホルムアルデヒド濃度の低下が生じる。テドラーバックの容積は $1\times 10^{-2}\text{m}^3$ であるので、テドラーバック内の空気が発生されるホルムアルデヒド含有空気ですべて置換されるのに要する時間は20分であるが、実際には検知素子装入時も蒸散源からの空気は流したまま行ったので、外気の侵入は少く、数分で元の濃度に復帰していると考えられる。

Fig.2 Outline drawing of artificial exposure system for formaldehyde.

Fig.3 Relationship between dilution ratio of formalin and formaldehyde concentration in the Tedlar® bag 2 at Fig. 2.

2.4 実環境暴露

職場内及び家庭内でのホルムアルデヒドの時間変化の測定に興味のあるボランティアを募集し、以下の手順で実環境での暴露を行った。

- (1) 2.1の手順で作製したホルムアルデヒド検知素子をアルミコートポリエチレン袋に封入した。アルミコートは光の遮蔽のためである。
- (2) 装置に、時刻、日付、測定インターバル(1時間)、の初期設定を行った。この設定は電源を落としても記憶され、次の通電時に自動的に設定測定インターバルで測定を開始する。
- (3) 各ボランティアはホルムアルデヒド検知素子、装置を配布され、それぞれ持ち帰り、測定を行いたい場所(直射日光の当たらない場所)に設

Table 1 Specification of measured apartment and measurement condition

No.	location	floor	Area of house(m ²)	Area of room(m ²)	comment	period	Temp(C)	R.H.(%)
1	Isehara, Kanagawa	4/7	80	7.7	Large bookshelf	2008.12.28～2010.1.7 2009.9.2～9.3	18 28	46 60
2	Isehara, Kanagawa	1/2	60	7.7	1-year after renovation	2009.9.2～9.3	28	67
3	Atsugi, Kanagawa	4/5	80	7.7	Japanese room 2 year after renovation	2010.5.18～5.20	23	62

置した。

- (4) 各ボランティアは任意の測定開始時刻を定め、装置を通電し、ホルムアルデヒド検知素子を袋より取り出し装置に挿入した。これによりホルムアルデヒド濃度の測定が開始され、設定した測定インターバル毎にデータが自動的に記録された。
- (5) 各ボランティアは1～14日後の任意のタイミングで、検知素子を取り出し、再びアルミコートのポリエチレン袋に封入した。また装置の電源を落とし、測定を終了した。その後筆者らがホルムアルデヒド検知素子、及び装置を回収した。
- (6) 装置よりデータを収集し、測定結果の解析を行った。また確認のためホルムアルデヒド検知素子の紫外可視吸収スペクトルを測定した。

職場環境の測定を行った部屋は縦10m横50m高さ4mの比較的大きな部屋で、空調はフィルタを有する一般の空調システムである。空調は平日の8時から19時まで稼働し、土日祝日は稼働しない。測定は2008年10月より、2010年3月まで断続的に行った。本報告で結果を示す2009年3月4日より18日の平均温度、平均相対湿度は空調稼働時は $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $35 \pm 5\%$ 、空調非稼働時は $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $43 \pm 5\%$ であった。

一般家庭の測定はいずれも集合住宅で行った。条件をTable 1に示す。いずれも空調を入れず、また部屋は出来るだけ人の出入りを避け、状況に応じてドアの開閉を行った。ドアとは部屋と廊下をつなぐ開閉部で外気の直接の導入は無いが、廊下の先の部屋が換気扇などにより外気が導入されていた可能性はある。

3. 結果及び考察

3.1 暴露時間1時間におけるDNPH法との相関

既報において5時間及び24時間暴露時のホルムア

ルデヒド検知素子による測定値とDNPH法の測定値との相関は報告済み¹²⁾であるが、暴露時間が1時間の場合の相関は未報告である。そこでFig.2に示した実験系において、種々希釈率のホルムアルデヒド水溶液を用いて種々のホルムアルデヒド濃度の雰囲気を作製した。DNPH法により濃度を確認しながらホルムアルデヒド検知素子の415nmの吸光度変化を測定し、ホルムアルデヒド濃度に換算しDNPH法での測定結果との比較を行った。ホルムアルデヒド濃度への換算は既報¹²⁾と同様に、検知素子を測定対象とし1時間暴露前後の吸光度を測定し、その差を用いて行った。暴露の環境条件は $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度は $48 \pm 2\%$ であった。結果をFig.4に示す。両者は高い相関を示し、暴露時間1時間においても、開発したホルムアルデヒド検知素子を用いて信頼性のある値が得られることが示された。両者の間の近似直線は傾きが0.94であった。傾きが1にならない原因としては検知素子とホルムアルデヒドの反応時間が比較的遅いために、ルチジン誘導体の生成量が暴露ホルムアルデヒド量に対して94%であるためと考えられる。従って装置を用いて1時間毎連続でホルムアルデヒド濃度の測定を行った場合、6%は測定を行った1時間より前の、ホルムアルデヒド濃度の誤差が混入することが考えられる。

実際の現場での試験などの場合、ドアを開けるなどして急激なホルムアルデヒド濃度の変動が起こった場合、6%の誤差は無視出来ない量になる。従って実際の現場での測定は、測定時間間隔を変更するなどして、より正確な測定を行うための方策を講じることが重要になると考えられる。

3.2 人工環境での連続測定

3つの異なるホルムアルデヒド濃度(22ppb, 52ppb及び66ppb)で検知素子を暴露した時の10分毎の出力

Fig.4 Relationship between formaldehyde concentrations measured by developed sensor element and by DNPH methods. (Exposure time: 1 hour)

Fig.5 Changes in output values of formaldehyde concentration from the developed monitoring devices exposed to different formaldehyde concentrations. (Measurement interval: 10 min)

をFig.5に示す。出力は徐々に立ち上がり1時間後において安定濃度の94～100%であり、これはFig.4から推定された未反応量と良い一致を示した。また10分毎の測定では測定誤差が±7ppbであった。

3.3 実環境での測定

3.3.1 職場環境での測定

職場環境での測定の結果、空調稼働している状

態ではホルムアルデヒド濃度は検出限界以下で、空調の停止している状態では濃度は低いホルムアルデヒドが検出される状態であることが明らかになった。2009年3月4日から2週間の測定結果をFig.6に示す。検出限界以下は濃度1ppbとして示した。平日は空調稼働する日中は検出限界以下で夜間は5～10ppbの値を示し、規則正しい谷型が計測された。休日は濃度が検出限界以下になることなく5～15ppb

Fig.6 Time series variation of formaldehyde concentration, temperature, and relative humidity in an office.

の値を示した。空調の停止とともにホルムアルデヒド濃度は徐々に上昇するが、上昇が継続されるわけではなく、ある濃度で停止して次の空調稼働まではその濃度を保つことが明らかになった。その原因として、部屋は片面が廊下に面しているため空気の交換が行われ、発生源からの放散速度と換気の速度がバランスし、見かけ上濃度変化のない定常状態に到達したものと推定される。

3.3.2 家庭での測定結果

住居1での測定結果をFig.7に示す。測定は冬の12月～1月と夏の9月に行った。測定はホルムアルデヒド

ドの発生源になっていると推定される大型本棚の中間の棚で行った。12月～1月では矢印で示すタイミングで部屋のドアを開けて1～数時間空気の入れ換えを行った。夏は空気の入れ換えは行わずドアを閉めた状態で測定を行った。冬では濃度が高い状態でも25ppb以下であり、またドアを開けて空気を入れ換えることによりほとんどホルムアルデヒドがない状態になることが明らかになった。しかし夏場には40～55ppbの高濃度状態になることが明らかになった。筆者らは既報で住宅内のホルムアルデヒド濃度が気温の1℃の上昇により10%増加することを報告

Fig.7 Time series variation of formaldehyde concentration, temperature, and relative humidity in apartment 1: (a) winter, (b) summer.

Fig.8 Time series variation of formaldehyde concentration, temperature, and relative humidity in apartment 2.

している¹³⁾。この結果はその既報の結果に矛盾しない。

Fig.8に住居2での計測結果を示す。測定開始から矢印1までは部屋は密室状態である。測定開始の12時は部屋を密室状態にしてから5時間後である。矢印1のタイミングで測定していた部屋のドアを開けて家中の換気を図っている。矢印2のタイミングでは再び部屋のドアを閉めて密室状態にしている。密室状態ではホルムアルデヒド濃度は非常に高濃度を示している。この原因としては住居2においてはリフォーム及び大型の家具を購入して1年以内で、初めての夏期であることが一因として推定される。しかしこの高濃度は、ドアの開放により2時間で半減しており、通風の重要性が改めて示された。矢印2において再び部屋を密閉状態にすると平均して1時間に10ppbの割合でホルムアルデヒド濃度が上昇し始めることが示された。矢印3において部屋を再び開放するとホルムアルデヒド濃度はすぐに減少に転じている。

2003年の建築基本法の改正により新築住宅のホルムアルデヒド濃度は減少しているが、今回のようなリフォーム及び家具等の設置された室内では依然高濃度であることが示された。近年家電の省エネ化が進み空調などにおいてもこまめな運転の制御がなされる傾向にあるが、今後特に夏場、空調のため部屋を密閉し、省エネのために密閉した状態で空調を停めるなどして、部屋の気密性の高い状態が長時間続

Fig.9 Photograph of developed monitoring device installed in a tatami room with furniture.

くと、ホルムアルデヒドが高濃度の状態が生じる可能性があり注意が必要と考えられる。

Fig.9に住居3での測定状況の写真を示す。中央に設置されている書類引き出しが測定の途中5月20日に新たに設置された家具である。書類引き出しの上におかれている装置が開発したホルムアルデヒド測定装置である。書類引き出しを設置する前は隣に写っているいすの上で測定を行った。測定の結果をFig.10に示す。矢印1のタイミングで書類引き出しの設置を行い、矢印2のタイミングで襖を開けて部屋を開放している。住居1及び2と異なり、部屋は和室で障子と襖で部屋の密閉を行っているために密閉度は低いと考えられる。住居3はリフォーム後2年経過している。書類引き出し設置前の濃度はWHO指

針値の1/2の40ppbで測定時の気温を考えると低い状態ではない。原因としては部屋の中に多くの設置されている家具及びこの部屋が衣類の収納部屋になっており多くの衣類があるためと考えられる。新たな家具の設置により濃度は約10ppb増加している。その後矢印2のタイミングまで濃度が徐々に減少している。この原因の一因としては湿度の上昇が考えられる。測定を行った部屋は、前述したように畳敷き

の和室であり、部屋の2面は襖、1面は障子で吸湿しやすい素材で構成されている。この素材の吸湿がホルムアルデヒドを吸着しやすい状態を作り出し濃度を減少させている可能性が考えられる。

住居1, 3において部屋の温度が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内で湿度の変化した時、相対湿度とホルムアルデヒド濃度の関係をFig.11に示す。住宅1の温度は $28.5 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 、住宅3の温度は $23.5 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ である。住居3においては

Fig.10 Time series variation of formaldehyde concentration, temperature, and relative humidity in apartment 3.

Fig.11 Relationship between formaldehyde concentration and relative humidity in apartment 1 and 3 under stable temperature: $28.5 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ for apartment 1 and $23.5 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ for apartment 3.

相対湿度とホルムアルデヒド濃度の間に負の相関が認められるが、住居1では認められない。温度が高くなるとホルムアルデヒド濃度は上昇するが、湿度とホルムアルデヒド濃度の関係は簡単ではなく、例えば壁の素材など他のパラメータを考慮しなければならないと考えられ、どのようなパラメータを考えればいいのかは今後の課題である。

4. 結論

今回開発した小型のホルムアルデヒドモニタリング装置は、一般環境のホルムアルデヒド濃度が測定可能なほど高感度であり、また時間単位でのホルムアルデヒド濃度の変動を簡単に測定することが出来ることが明らかになった。この特徴を生かし、職場環境や一般住居内環境など使用者が所望する場所、所望する時間のホルムアルデヒド濃度の連続モニタリングに成功した。連続モニタリングの結果から、新築時の何も家具がない状態ではなく家具などが設置された実際の住環境では高いホルムアルデヒド濃度が測定され、省エネを優先し空調を停めた状態で密閉した部屋では数時間でホルムアルデヒドの高濃度状態に達し、危険性が高まることが推測された。また湿度とホルムアルデヒド濃度の関係を考える時には他のパラメータを考慮しなければならないことが示唆された。今後、パッシブサンプリング方式で密閉小空間の連続モニタリングが可能であることの特長を生かして、ホルムアルデヒドガスの放散・吸着の挙動の検討などへの展開を行っていく予定である。

謝辞

本研究で用いられたホルムアルデヒド検知素子は環境省の環境ナノテクプロジェクトの資金を受けて開発された成果である。

早く測定に参加していただいたボランティアの方々に感謝いたします。

引用文献

- 1) WHO: Air guidelines for Europe, WHO -regional publications, ES No.23(1987).
- 2) IARC: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol 88, formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxypropan-2-ol,

WHO Press. Geneva(2006).

- 3) 東恵美子, 中島孝江, 大山正幸他: パッシブサンプラーを使用した個人と屋外のホルムアルデヒド濃度測定, 第35回建築物環境衛生管理全国大会(2008).
<http://www.iph.pref.osaka.jp/kishiwada/syoroku.pdf>
- 4) 例 え ば <http://www.osakaesco.jp/fair/2010/presen/cosmos2010.pdf>
- 5) Suzuki Y., Nakano N. and Suzuki K.: Portable sick house syndrome gas monitoring system based on novel colorimetric reagents for the highly selective and sensitive detection of formaldehyde, *Environmental Science and Technology*, 37, 5695-5700(2003).
- 6) Kawamura K., Kerman K., Fujihara M., Nagatani N., Hashiba T. and Tamiya E.: Development of a novel hand-held formaldehyde gas sensor for the rapid detection of sick building syndrome, *Sensors and Actuators*, B105, 495-501(2005).
- 7) 田中茂: 拡散スクラバー法を用いた大気汚染ガスの計測技術, 大気環境学会誌, 41, A14-26 (2006).
- 8) Uchiyama S., Aoyagi S. and Ando M.: Evaluation of a diffusive sampler for measurement of carbonyl compounds in air, *Atmospheric Environment* 38, 6319-6326(2004).
- 9) 丸尾容子, 中村二郎, 内山政弘: 多孔質ガラスと β -ジケトン類を用いたホルムアルデヒド検出素子の開発: 環境化学17, 413-419(2007).
- 10) Bunkoed O., Davis F. and Kanatharana P.: Sol-gel based sensor for selective formaldehyde determination, *Analytica Chimica Acta* 659, 251-257(2010).
- 11) 丸尾容子, 中村二郎, 三輪貴志他: ホルムアルデヒド検知シート, 特願2008-239209.
- 12) 丸尾容子, 山田巧, 中村二郎他: β -ジケトン検知紙を用いた室内及び家具内のホルムアルデヒド測定, 環境化学18, 501-509(2008).
- 13) Maruo Y. Y., Yamada T., Nakamura J., Izumi K. and Uchiyama M.: Formaldehyde measurements in residential indoor air using a developed sensor element in the Kanto area of Japan, *Indoor Air*, doi:10.1111/j.1600-0668.2010.00670.x.