

表-8 換気回数の測定結果 [回/h]

	病室	外来待合	集中治療室	備考
A	2.01	*	0.92	HEAS-02-1998規格の最小換気回数 一般病室: 2回/h 待合室: 3回/h NICU・ICU・CCU: 3回/h
B	2.02	12.51		
C	2.02	*	8.54	
D	1.67	3.07		
E	1.87	3.77	2.22	
F	1.94	5.94	2.49	
G	0.97	1.95	0.72	

\*測定不能

表-9 温度・湿度 CO・CO<sub>2</sub> の測定結果

		温度 [°C]			湿度 [%]			CO [ppm]			CO <sub>2</sub> [ppm]		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③	①	②	③
A	病室	24.5	23.5	24.4	57.6	58.3	48.0	4.7	2.7	1.5	1,763	1,693	1,380
	外来待合	24.5	24.0	25.2	53.9	49.1	45.2	4.1	2.5	0.9	890	575	1,015
	集中治療室	25.4	24.7	25.6	53.7	44.8	46.0	5.9	3.0	1.6	865	689	1,100
B	病室	25.0	26.1	25.5	48.4	49.3	44.7	0.0	0.2	0.0	342	695	318
	外来待合	25.4	25.4	26.0	44.9	46.1	46.3	0.1	0.3	0.3	450	415	563
D	病室	21.1	19.7	29.4	40.9	41.4	30.4	1.2	0.9	1.4	836	937	723
	外来待合	20.7	19.7	21.0	38.5	38.8	39.1	1.1	0.7	1.0	588	488	917
E	病室	25.9	25.2	33.2	37.5	36.8	32.1	2.0	1.7	1.8	984	897	1,034
	外来待合	25.3	21.8	27.4	37.8	41.9	30.6	1.9	0.8	1.1	582	511	712
	集中治療室	24.3	24.5	22.6	40.8	33.2	47.3	2.0	2.2	1.1	512	519	482
F	病室	23.7	欠測	欠測	45.2	欠測	欠測	2.5	欠測	欠測	613	欠測	欠測
	外来待合	23.8	20.7	24.2	37.3	36.0	44.3	1.8	0.6	2.4	469	395	465
	集中治療室	24.7	欠測	24.7	28.5	欠測	30.9	1.7	欠測	欠測	468	欠測	欠測
G	病室	25.6	欠測	23.9	50.0	欠測	44.5	1.4	欠測	0.3	967	欠測	872
	外来待合	26.9	26.7	26.7	38.2	39.1	36.5	1.5	1.2	0.9	539	601	727
	集中治療室	27.6	欠測	26.9	39.3	欠測	39.8	1.7	欠測	0.7	513	欠測	590

表-10 B~G 病院の浮遊微生物濃度 [CFU/m<sup>3</sup>]

		室内	給気	外気
浮遊総菌数	病室	80~440	0~200	20~540
	外来待合	50~340	0~190	
	集中治療室	10~190	0~30	
浮遊真菌数	病室	20~430	0~110	50~2100
	外来待合	30~390	0~70	
	集中治療室	0~10	2 <sup>1)</sup>	

\*1) C病院のみ検出された。

表-11 浮遊総菌数と浮遊黄色ブドウ球菌数の相関係数

	病室	外来待合	集中治療室	全室
A	0.1049	0.9076**	0.5640	0.1421
B	0.7184	0.8225*		0.7455*
C	0.3460	0.6867	0.9852*	0.8230*
D	0.9581*	0.8107*		0.8326*
E	0.6515	0.8691**	0.9668*	0.7789*
F	0.8348**	0.9407*	0.9177*	0.8215*
G	0.8828**	0.4626	0.6809	0.8558*
B~G	0.8022*	0.7566*	0.9646*	0.8289*

\* $p < 0.01$ 、\*\* $p < 0.05$

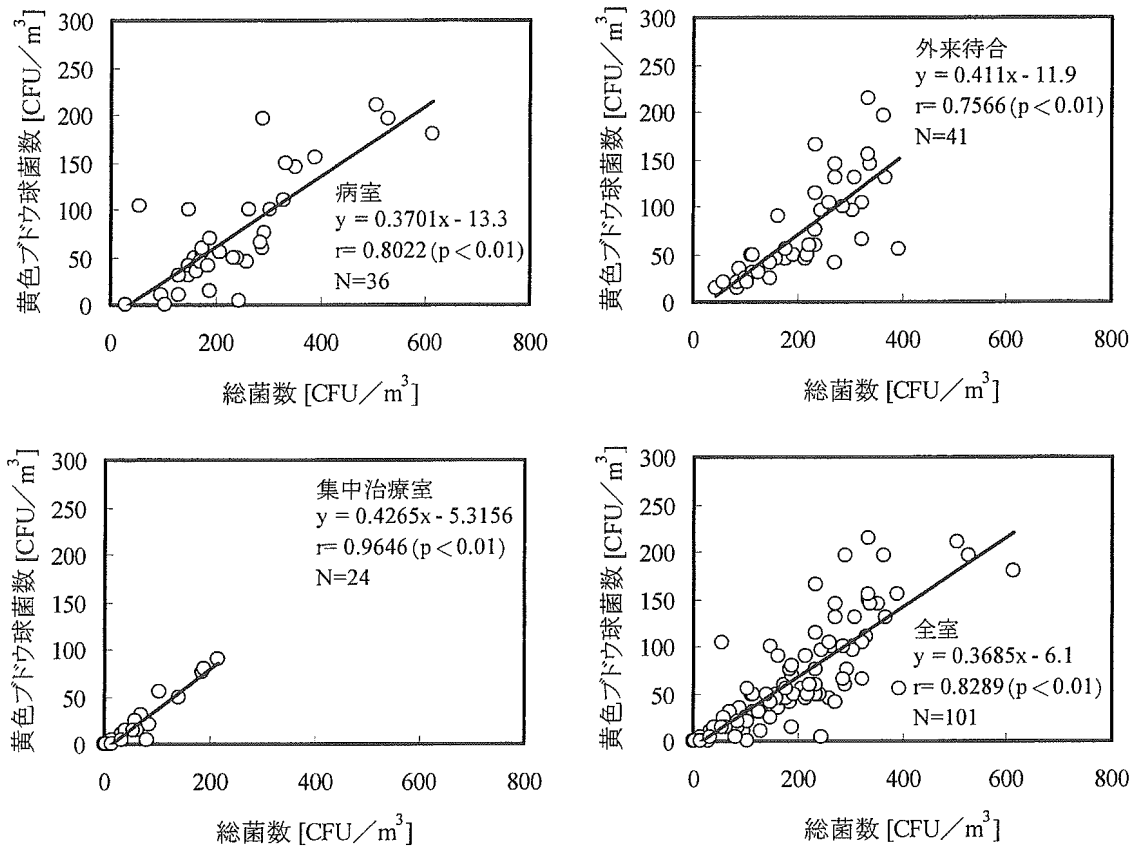


図-2 室内浮遊総菌数と浮遊黄色ブドウ球菌数の関係

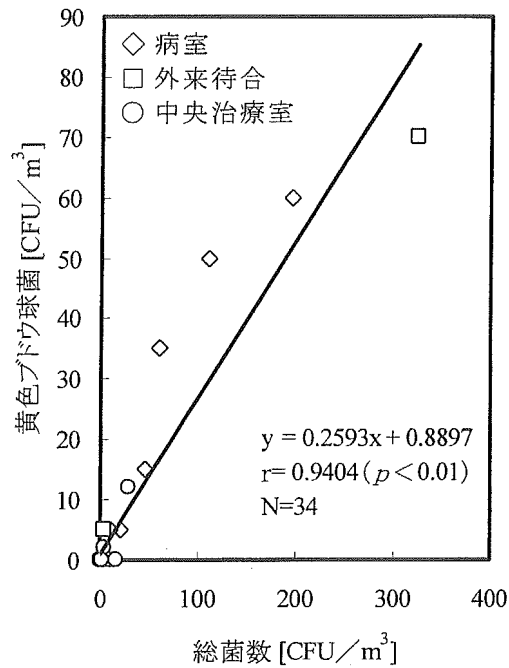


図-3 給気中浮遊総菌数と浮遊黄色ブドウ球菌数の相関関係

表-12 浮遊総菌数と浮遊粒子濃度間の相関係数

		$\geq 0.3\mu\text{m}$	$\geq 0.5\mu\text{m}$	$\geq 1\mu\text{m}$	$\geq 2\mu\text{m}$	$\geq 5\mu\text{m}$
病室	A	0.2943	0.2191	0.1622	0.0574	0.4025
	B	0.5291	0.6994	0.6638	0.2083	0.1868
	D	0.2302	0.5769	0.6496	0.6537	0.6402
	E	0.1944	0.1735	0.5122	0.7540	0.7787
	F	0.3951	0.4719	0.4573	0.7382	0.5960
	G	0.7502	0.8129**	0.8885**	0.4323	0.3153
	外来待合	A	0.7806	0.3415	0.0173	0.1330
B		0.8173*	0.4944	0.1432	0.4718	0.5946
D		0.4176	0.6666	0.6280	0.6117	0.5755
E		0.7081	0.0346	0.3030	0.2726	0.7426
F		0.8764**	0.5166	0.7559	0.7495	0.2387
G		0.0648	0.1575	0.8571**	0.8874**	0.9103**
中央治療室		A	0.0825	0.3317	0.4431	0.5442
	E	0.2638	0.1606	0.3257	0.4299	0.4909
	F	0.4506	0.4869	0.5630	0.5841	0.6056
	G	0.8397**	0.8162**	0.8307**	0.8063	0.6704

注1) 表中塗りつぶしている箇所は負の相関関係を表す。2) \* $p < 0.01$ 、\*\* $p < 0.05$

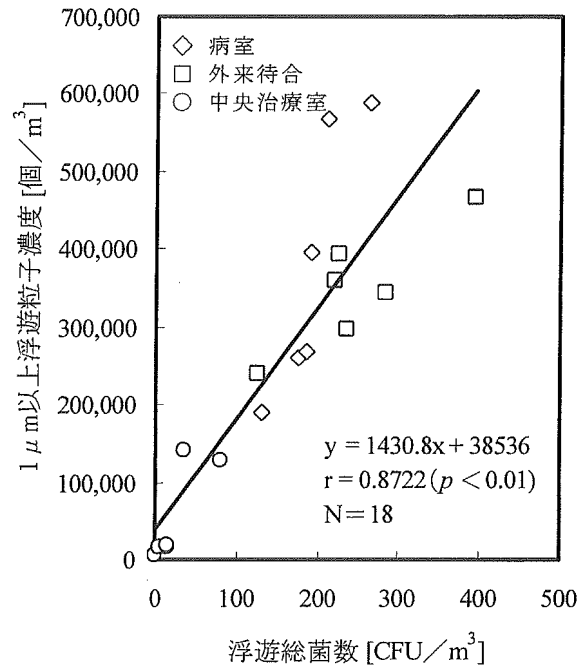


図-4 G 病院における浮遊総菌数と浮遊粒子濃度間の関係

表-13 浮遊真菌濃度と浮遊粒子濃度間の相関係数

		$\geq 0.3\mu\text{m}$	$\geq 0.5\mu\text{m}$	$\geq 1\mu\text{m}$	$\geq 2\mu\text{m}$	$\geq 5\mu\text{m}$
病室	A	0.9496	0.9169	0.8029	0.1281	0.0900
	B	0.0831	0.2538	0.1442	0.4116	0.5769
	D	0.6654	0.8383	0.8984**	0.9202*	0.9823*
	E	0.0742	0.1005	0.2746	0.6225	0.6738
	F	0.7489	0.6666	0.9142**	0.5139	0.4401
	G	0.1523	0.0469	0.3010	0.7230	0.0424
	外来待合	A	0.9096**	0.4991	0.0693	0.2371
B	0.0529	0.4818	0.5586	0.2893	0.6192	
D	0.2177	0.5821	0.6662	0.6717**	0.6395	
E	0.4270	0.5197	0.6261	0.6940	0.6818	
F	0.2074	0.0436	0.1330	0.1700	0.4284	
G	0.8383**	0.7807	0.2394	0.0200	0.0806	
中央治療室	A	0.5132	0.8154	0.8605	0.7480	0.8503
	E	0.6263	0.1400	0.5521	0.7800	0.8960
	F	0.5434	0.5690	0.5877	0.6559	0.6219
	G	0.2941	0.1166	0.8666	0.8874	0.8799
	全部	0.6915	0.4243	0.4148	0.1778	0.4955

注1) 表中塗りつぶしている箇所は負の相関関係を表す。2) \* $p < 0.01$ 、\*\* $p < 0.05$

表 区域別の清浄度クラス

清浄度クラス	名称	摘要	該当室	最小換気回数 [回/h]		最終フィルタ の捕集率	参考指標 (平常作業時の 微生物数平均)
				外気量	全風量		
<b>A.医療ゾーン</b>							
I	高度清潔区域	層流方式による高度な清浄度が要求される区域 周辺室に対して正圧を維持する	バイオクリーン 手術室 バイオクリーン 病室	5 <sup>*1</sup> 5	<sup>*2</sup> 5	DOP計数法 99.97%	10 CFU/m <sup>3</sup> 以下 <sup>*9</sup>
II	清潔区域	必ずしも層流方式でなくてもよいが、Iに次いで高度な清浄度が要求される 正圧を維持する	一般手術室 手術用配盤室 清潔廊下 材料部門の既滅菌室 無菌製剤室 開創照射室 <sup>*3</sup> 手洗いコーナー	5 <sup>*1</sup> 5 5 5 5 5 5	20 20 15 15 20 15 15	(DOP計数法 95%以上)  比色法 90%以上)	200 CFU/m <sup>3</sup> 以下
III	準清潔区域	IIよりもやや清浄度を下げてもよいが、一般区域よりも高度な清浄度が要求される IV以降の区域よりも正圧を保つ	手術部周辺区域 (回復室など) NICU・ICU・CCU 未熟児室 特殊検査・治療室 <sup>*4</sup> 分娩室・調乳室	3 3 3 3 3	10 10 10 10 10	(比色法 90%以上)  比色法 80%以上	
IV	一般清潔区域	原則として開創状態でない患者が在室する一般的な区域 ほぼ等圧でよい	一般病室 デイルーム 診察室 待合室 玄関ホール 材料部・検査部の一般区域諸室 X線撮影室、内視鏡室 人工透析室 通常新生児室 物理療法室 調剤室	2 <sup>*5</sup> 2 2 3 2 3 3 3 3 3	6 6 8 8 6 10 8 10 10 8 10	比色法 60%以上	200~500 CFU/m <sup>3</sup> 目標
V	汚染管理区域	室内で有害物質を扱ったり、臭気の発生が多い室で、室内空気の室外への漏出防止のため、負圧を維持する	RI管理区域諸室 細菌検査室 感染症病室診察室 <sup>*7</sup> 解剖室 霊安室 患者用便所 使用済みネン室 汚物処理室	全排気 全排気 全排気 全排気 全排気 — — —	12 <sup>*6</sup> 12 10 15 <sup>*8</sup> 10 15 5 15	比色法 60%以上  —	—
<b>B.一般ゾーン</b>							
VI	一般区域	病院特有ではない一般的な居室、作業室の空調	事務室 医局 会議室・講堂 食堂	2 2 2 2	6 6 6 8	(比色法 60%以上)	—
VII	汚染拡散防止区域	臭気や粉じんなどが多量に発生する室で、室外への拡散を防止するため負圧を維持する	一般用便所 一般用ごみ処理室	— —	10 15	—	—

\*最終フィルタの捕集率欄で( )内は望ましい仕様を支援す。

<sup>\*1</sup> 余剰麻酔ガスやレーザーメス使用時の臭気を排除する、10回/h以上を要求される場合もある。

<sup>\*2</sup> 吹出し風速を垂直層流式0.35m/s、水平層流式0.45m/s程度とする。

<sup>\*3</sup> 照射部周辺では高度な清浄度を確保するため、手術室に準じた吹出し方式、風量を適用する。

<sup>\*4</sup> 特殊検査室には心臓血管造影室、心臓カテーテル検査室、ぼうこう鏡室などが含まれる。

<sup>\*5</sup> 各室分散便所などの場合、その必要排気量によって外気量が決まることもある。

<sup>\*6</sup> 実際に必要換気量は、取り扱う放射線物質の種類や量、取り扱い方に対して、有効な希釈量を考慮して決定する。

<sup>\*7</sup> 空気感染の危険性がある患者を対象とした病室や診察室。

<sup>\*8</sup> 感染症例を扱う場合などでは20回/h以上とする。

<sup>\*9</sup> CFUはColony forming unitの意。空気の単位容積中に含まれる微生物の集落数(コロニー)に相当する。

なお、ちゅう房については当協会発行の「病院給食システムの設計管理指針(1994年6月)」によることとする。

病理検査室・透析室・内視鏡検査室のホルムアルデヒド時間変動に関する調査研究

分担研究者 松村年郎 (財団法人東京顕微鏡院立川研究所)

研究要旨

医療施設では、室内化学物質汚染の原因とされている化学物質を作業上使用することもあるため、その実態を把握し、必要な対策をすることが重要である。医療環境の空気を良好に保つ事は、医療従事者のアメニティと患者の QOL にとって必要最低限のことである。そこで、内視鏡検査室、人工透析室、病理検査室(切り出し室)の3つの部屋を対象として、発性有機化合物濃度の経時変化を調査し、医療行為や作業内容との関連を把握するための調査を行った。その結果、病理検査室のホルムアルデヒド濃度は換気運転時間帯で平均  $256 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、他の透析室や内視鏡検査室と比較して20倍以上濃度が高かった。病理検査室のホルムアルデヒド濃度は、換気運転中ピークがみられた。これは作業行為に由来する発生と考えられ、個人曝露用のパッチから VOC に高濃度で曝露されている人がいることがわかった。内視鏡検査室や人工透析室のホルムアルデヒド濃度は全体に低く、個人曝露用パッチの値も小さかった。しかし TVOC 簡易測定器の測定では一時的に高い値を示していた。今後は、瞬間的にピークを持つ汚染発生がある場合などの概要を知るための計測方法が必要である。

協力研究者

生田実香 (東京顕微鏡院)  
津藤道孝 (東京顕微鏡院)  
池田耕一 (国立保健医療科学院)  
柳 宇 (国立保健医療科学院)  
塩津弥佳 (国立保健医療科学院)

建築面積  $7586\text{m}^2$ 、延べ床面積  $43218\text{m}^2$ 、竣工年は1997年7月。

対象室

揮発性有機化学物質の使用や独特のにおいがあるといわれている内視鏡検査室、人工透析室、病理検査室(切り出し室)の3つの部屋を対象とした。

調査方法

調査概要を表1に示す。

調査は上記3室で、ホルムアルデヒド、総揮発性有機化合物(以後、TVOCと省略)、温度・湿度の24時間モニタリングと、24時間アクティブサンプリングを行った。また、対象室で主に働いている人にパッシブサンプラーによる個人曝露量調査と滞在時間調査のアンケートをお願いした。また、対象室では光音響式 SF6 ガス濃度減衰法による換気回数測定を換気運転時に行った。また空調設備管理者に換気運転に関するヒアリング調査も

A.研究目的

医療機関において、揮発性有機化合物濃度の経時変化を調査し、医療行為や作業内容などとの関連を把握する。

B.研究方法

調査概要

調査日時

2002年10月21日～10月24日

行った。

### 倫理面への配慮

調査は院長・院内関係者・対象室責任者に主旨・調査概要など説明し許可をいただいた。測定器設置にあたっては、対象室管理責任者の指示のもと、医療行為に迷惑をかけない場所に設置し、空気捕集のさいには測定器設置位置よりチューブをのばすなどの配慮をして実施した。

### C. 研究結果

図1は、内視鏡検査室のホルムアルデヒドの連続濃度測定結果と換気運転時間帯、この部屋で主に働いている人の在室時刻状況を示した。同様に、図2には人工透析室、図3は病理検査室での状況を示している。

図4に内視鏡室と透析室の簡易測定器によるTVOCの測定結果を示す。病理検査室は欠測である。

表2に調査当日の換気回数の測定結果と換気運転に関するヒアリングの回答、ホルムアルデヒド、TVOCの連続測定について統計量を示した。表3に個人曝露濃度の結果を示す。

表4は24時間アクティブサンプリングの結果を示す。

### D. 考察

図1の病理検査室のホルムアルデヒド濃度は、換気運転が止まると急激に上昇し、換気運転が始まる午前8時ごろになると濃度が急激に減少している。しかし、10時30分頃に急激な濃度上昇が見られる。これは、作業行為による汚染物質の発生が生じたためと考えられる。

内視鏡室の結果(図2)、透析室の結果(図3)と比較すると、こちらの部屋でも換気運転がとまると濃度が上昇し、換気運転中は濃度が低くなっている様子がわかる。こうした換気運転の有無によって室内のホルムアルデヒド濃度が変化する事はどの部屋も共通しているが、表3の統計量が示

すように、病理検査室の換気運転されている時間帯のホルムアルデヒドの平均濃度は $256\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、換気運転無しでは $672\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。これは内視鏡室と透析室の同じ状態のときと比べて20倍以上濃度が高い。このため、病理検査室は定常的に濃度の高い発生源があると考えられる。

表3より、病理検査室で主に働いているb1～b3のバッチ装着者のうち、b1とb3のバッチ装着者がキシレンに高濃度曝露され、TVOCも他の人と比べて高い濃度に曝露されていた。

b2バッチ装着者は対象室の滞在時間が短かったためこれらの物質のb1、b3バッチ装着者と同様な曝露を受けなかったと考えられる。エチルベンゼンの曝露が多い。

また、b1とb3には曝露量に大きな違いがみられているが、こうした違いはその日の仕事内容による違いと思われる。

内視鏡検査室で主に働いているn3のバッチ装着者のトルエンに対する曝露量は他のn1、n2の人と比べて多い。この部屋に滞在していた時間はいずれも短いのが、図4のモニタリング結果より、n3のバッチの人だけが調査対象室にいた時刻にTVOCの濃度変化に大きなピークが見られる。これらのことから断定する事はできないが、何かの作業に伴う発生により曝露を受けた可能性も有る。

表4の24時間アクティブサンプリングによる分析結果を見ると、病理検査室のホルムアルデヒドだけが厚生労働省の定めるガイドライン値を上回っているだけである。このため、室内のカルボニル化合物や揮発性有機化合物濃度は平均的に低いように思われる。しかし、図4のTVOCのモニタリング結果をみると透析室も内視鏡室も濃度の変化は激しい様子がわかる。

ゆえに、作業によってピークをともなう化学物質の発生による曝露をうけている可能性が有る。

特に、これらの3室は揮発性有機化合物を使用

することが分かっているため、いずれの部屋も設計換気回数が多く設定されている。設計換気回数は病理検査室で 15 回/h、透析室・内視鏡室ともに 3 回/h であった。しかし、トレーサーガス濃度減衰法により計測された換気回数は、病理検査室 2.5 回/h、透析室 0.3 回/h、内視鏡室 1 回/h であり、これとはおおきく異なっていた。こうしたことが、室内の化学物質濃度を上げる原因にもなっている。

特に、濃度が高かった病理検査室では、設計換気回数を確保する事ができれば、ホルムアルデヒド濃度もガイドライン値をしたまわる事ができる。しかし室内全体の濃度を下げる事ができても作業内容には変わりがないため局所的な高濃度曝露を受ける可能性は残っている。ゆえに、こうした部屋での作業内容に応じた局所換気システムなどを設置することも対策のひとつである。

透析室は、病院が竣工されたときには設計されていなかったため、既存の部屋を用途変更して使用していた。こうしたことは他の施設でもよく見られることである。これからの病院設備では医療技術の進歩に建築・設備が柔軟に対応していくことが重要である。

## E. 結論

- ① 病理検査室のホルムアルデヒド濃度は換気運転時間帯で平均  $256 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、他の透析室や内視鏡検査室と比較して 20 倍以上濃度が高かった。
- ② 病理検査室のホルムアルデヒド濃度は、換気運転中ピークがみられた。これは作業行為に由来する発生と考えられ、個人曝露用のバッチから VOC に高濃度で曝露されている人がいることがわかった。
- ③ 内視鏡検査室や人工透析室のホルムアルデヒド濃度は全体に低く、個人曝露用バッチ

の値も小さかった。しかし TVOC 簡易測定器の測定では一時的に高い値を示していた。

今後は、瞬間的にピークを持つ汚染発生がある場合などの概要を知るための計測方法が必要である。

## F. 健康危機情報

\*\*\*\*\*

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

準備中

### 2. 学会発表

医療施設におけるホルムアルデヒドの経時変化と作業曝露に関する考察, 塩津弥佳, 松村年郎, 柳 宇, 池田耕一, 2003 年日本建築学会(東海)大会梗概集、(投稿中)

Relation between Volatile Organic Compound Concentrations and Ventilation Rates in Japanese Hospitals, Koichi Ikeda, Toshiro Matsumura, Mika Shiotsu, U Yanagi, Masatoshi Tsudoh, Mika Ikuta, The 7<sup>th</sup> International Symposium on Ventilation for Contaminant Control, 2003 (投稿中)

## H. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし



表 1 測定器類

測定内容	使用機器/サンプラー	分析法
ホルムアルデヒド 24時間連続測定	SAP-100(S)型、	アセチルアセトン吸光光度法, 30分平均値が連続して得られる。(測定濃度範囲:0~0.2ppm, 0~0.5ppm, 0~1ppm)
TVOCの24時間 連続測定	RAE-ppb	PID検出器、10.6eV、流量400cc/min、応答速度5秒以下、イソブチレン換算
個人曝露量(トルエン・キシレン・スチレン・エチルベンゼン・TVOC)	3M有機ガスモニター 3500	VOCの各物質は、GC-MS法選択イオン検出法で測定。TVOCは、GC/MS(SCAN)法で測定しピークの面積地の総計をトルエン換算し定量。分析:住化分析センター
カルボニル化合物	Waters XposureTM(アクティブサンプリング)	島津製、高速液体クロマトグラフ、ポンプ:LC-10ATvp、検出器:SPD-10Avp、カラム:inertsil ODS-P 4.6mm x 250mm、恒温槽:50°C、溶離液流量:1.2ml/min、注入量:20 $\mu$ l、測定波長:360nm
揮発性有機化合物	オルボ91L	装置:島津製 GC/MS QP-5000、カラム:DB-1、0.25mm x 60m、膜厚1 $\mu$ m、キャリアーガス:ヘリウム、検出器:質量検出器、検出法:SIM
温度・湿度	サーモレコーダー・エスペックミック	5分間各で記録
換気量測定	マルチガスモニター type1302,B & K(ドイツ)	トレーサーガスはSF6ガス。光音響法濃度減衰法より算出。

- 病理室(10/21-10/22)ホルムアルデヒド濃度    + 1b(バッチ装着時の滞在場所)
- × 2b(バッチ装着時の滞在場所)                    ○ 3b(バッチ装着時の滞在場所)
- 換気運転の時間帯

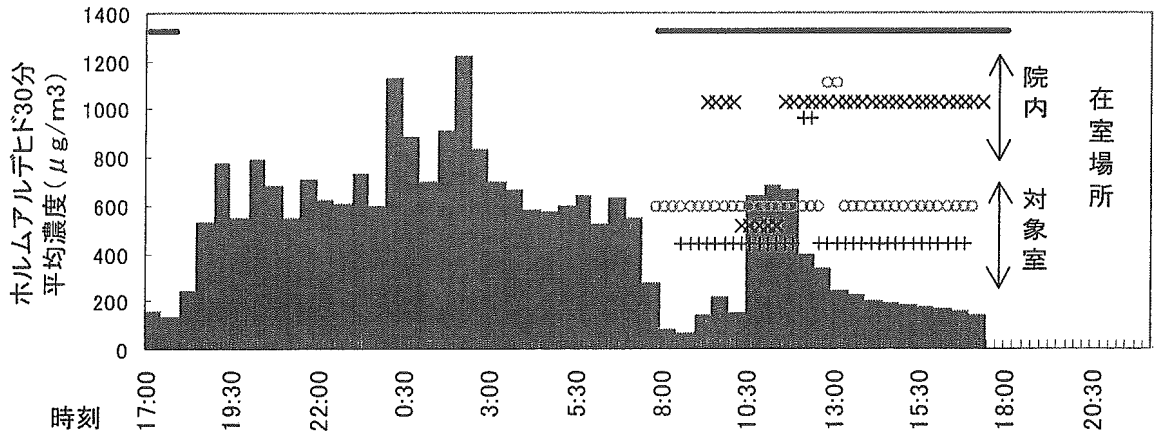


図1 病理検査室のホルムアルデヒド30分平均濃度変化

- 内視鏡室(10/23-10/24)ホルムアルデヒド濃度    + 8n(バッチ装着時の滞在場所)
- 9n(バッチ装着時の滞在場所)                    × 10n(バッチ装着
- 換気運転の時間帯

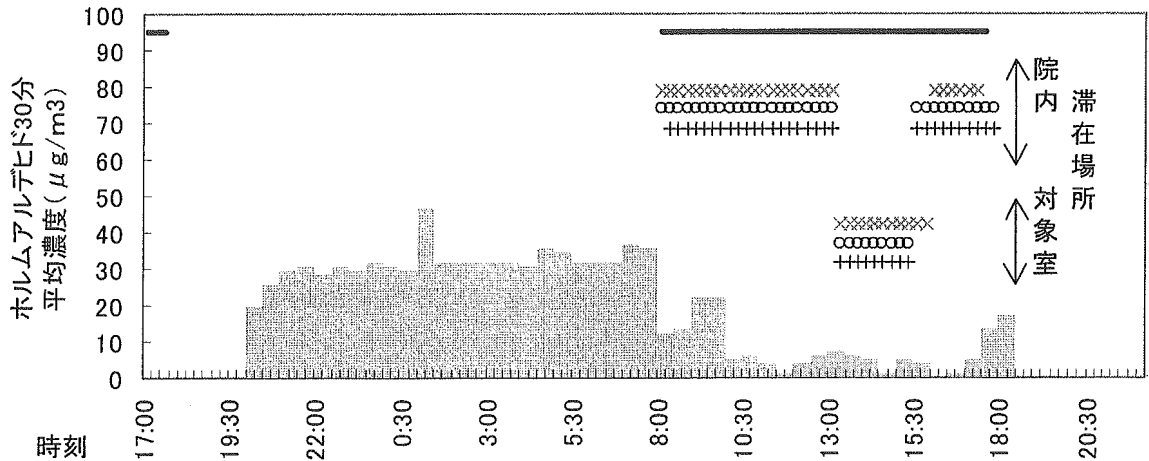


図2 内視鏡室のホルムアルデヒド30分平均濃度変化

- 透析室(10/22-10/23)ホルムアルデヒド濃度    + 4t(バッチ装着時の滞在場所)
- 5t(バッチ装着時の滞在場所)                    × 6t(バッチ装着時の滞在場所)
- ◇ 7t(バッチ装着時の滞在場所)                    — 換気運転の時間帯

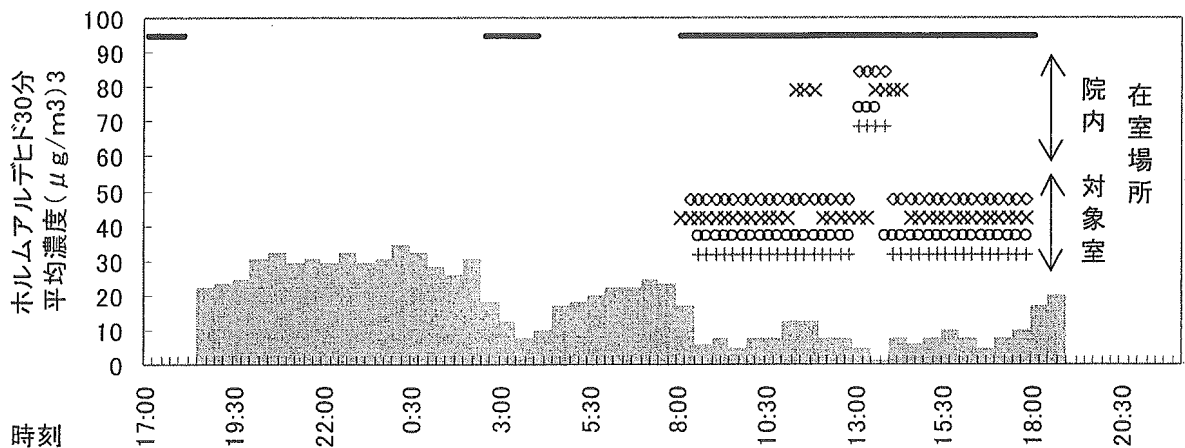


図3 透析室のホルムアルデヒド30分平均濃度変化

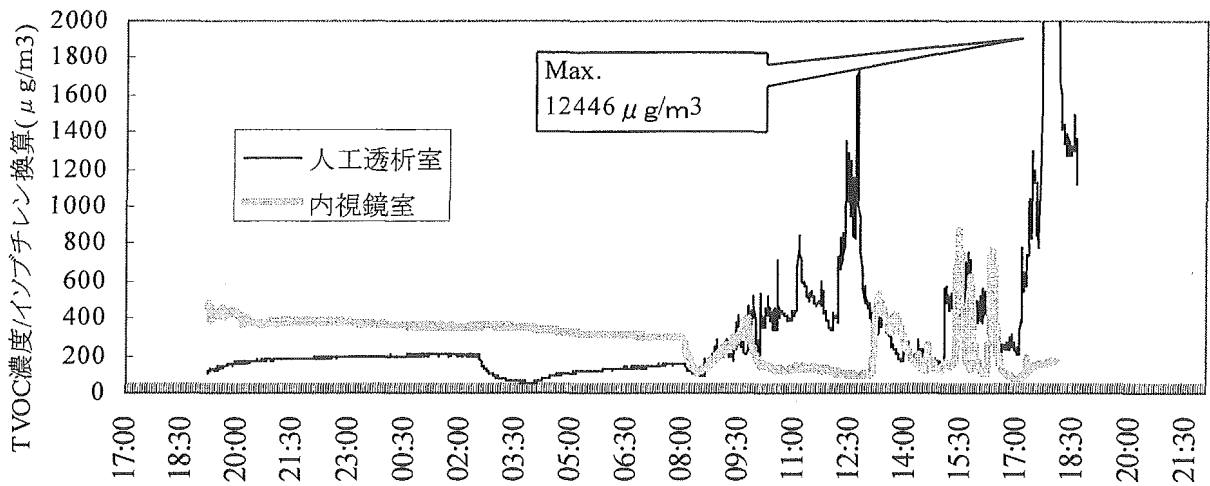


図4 人工透析室と内視鏡室のTVOCの変化

表2 換気回数の測定結果、ヒアリングの回答とホルムアルデヒド、TVOCの連続測定の実績

		病理検査室	透析室	内視鏡室
測定日		10/21-10/22	10/22-10/23	10/23-10/24
測定時間帯		17:00-17:30	18:30-19:00	20:00-18:30
設計換気回数(回/h)		15	3	3
換気量測定(回/h)		2.5	0.3	1
空調方式		AHU	AHU	AHU
加湿方式		蒸気	蒸気	蒸気
調査時の加湿状況		有	有	有
換気運転時間帯		7:40-18:00	2:30-4:00, 8:00-18:00	8:00-17:30
ホルムアルデヒド30分 平均濃度測定値より ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	測定時間全平均	494	20	20
	換気運転有り	256	11	7
	換気運転なし	672	29	31
総揮発性有機化合物 (TVOC)連続測定値 より( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	測定時間全平均	欠測	355	285
	換気運転有り	欠測	489	197
	換気運転なし	欠測	225	348

表3 個人曝露濃度

バッチNO	測定室	開始時刻	終了時刻	曝露時間	対象室在室時間割合	院内在室時間割合	トルエン	キシレン	スチレン	エチルベンゼン	総揮発性有機化合物(TVOC)
				h	%	%					
b1	病理	8:30	17:30	9.0	94	6	20	1700	<10	310	1200
b2	病理	9:15	17:30	8.2	15	85	20	440	<10	70	<200
b3	病理	7:50	17:15	9.4	95	5	10	7500	<10	1400	8100
t1	透析	8:30	18:00	9.5	89	11	20	<10	<10	<10	<200
t2	透析	8:30	18:00	9.5	92	8	20	10	<10	<10	<200
t3	透析	8:26	18:00	9.6	83	18	20	10	<10	<10	<200
t4	透析	8:35	18:00	9.4	90	10	20	<10	<10	<10	<200
n1	内視鏡	9:00	15:30	6.5	23	77	20	<10	<10	<10	<200
n2	内視鏡	9:00	15:30	6.5	23	78	30	10	<10	<10	<200
n3	内視鏡	8:23	17:00	8.6	29	71	210	20	<10	10	<200

表4 24時間アクティブサンプリングによる分析結果

		病理検査室	透析室	内視鏡室
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
カルボニル化合物	ホルムアルデヒド	511.0	22.2	20.7
	アセトアルデヒド	24.9	9.6	10.7
	アセトン	36.1	19.5	24.7
	プロピオンアルデヒド	1.0	1.0	1.7
	メチルエチルケトン	3.2	5.4	7.3
	ベンズアルデヒド	0.5	1.2	1.6
	グルタルアルデヒド	0.4	0.5	0.6
	ヘキサアルデヒド	1.2	1.7	1.0
	イソバレルアルデヒド	ND	17.7	ND
	p-トルアルデヒド	ND	ND	1.2
揮発性有機化合物	エタノール	171.1	166.5	101.8
	酢酸エチル	2.0	1.8	1.8
	トルエン	0.3	0.3	0.4
	エチルベンゼン	31.2	29.2	29.2
	m,p-キシレン	129.7	121.5	121.5
	o-キシレン	47.8	44.7	44.6
	スチレン	1.3	1.2	1.2
	デカン	0.2	0.1	0.1
	ドデカン	0.2	0.2	0.2
	テトラデカン	0.3	0.3	0.3
	ヘキサデカン	0.1	0.1	0.1

ND:検出されず

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

室内空気中のグルタルアルデヒド測定法の開発  
分担研究者 松村年郎（財団法人 東京顕微鏡院立川研究所）

研究要旨

室内空気中のカルボニル化合物の測定法はEPA (TO-11 method), ISO16000-3, JIS原案等で示されているように世界的にオーソライズされた方法が存在する。しかし、対象物質によっては、分離条件、破過試験、再現性試験、回収率等を含めた基礎的検討がなされていない。本研究においては、最近、臨床検査室等で殺菌剤、消毒剤、或いは電子顕微鏡の固定剤として使用され、その健康影響が懸念されているグルタルアルデヒドに焦点を絞り、分析法の開発を行った。具体的には、2,4-ジニトロフェニルヒドラジン(2,4-DNPH)含浸サンプラ（カートリッジ）を用いたポンプ法、並びに市販のパッシブサンプラのsampling rateの算出実験等について、グラジエント方式を用いた高速液体クロマトグラフ法で分析する方法を開発した。本法を臨床検査室、病院等の室内空気中のグルタルアルデヒドの実態調査に適用し、知見が得られた。

協力研究者

生田実香 財) 東京顕微鏡院立川研究所  
津藤道孝 財) 東京顕微鏡院立川研究所

A. 研究目的

欧米諸国、特に、米国では病院内におけるグルタルアルデヒド汚染が注目されており、院内汚染や個人暴露量の調査研究も行われている。一方、我が国においては、病院内におけるグルタルアルデヒド汚染の実態は殆ど明らかにされていない。ACGIHの許容濃度は0.05ppmで、ホルムアルデヒドよりも厳しい状況である。本研究においては病院を含め労働環境内におけるグルタルアルデヒドの実態究明を目的として、2,4-DNPHカートリッジ・ポンプサンプリング並びにパッシブサンプリング溶媒抽出-HPLC法に基づく測定法の開発を目的とする。

B. 研究方法

(1) 研究概要

室内環境内には種々のカルボニル化合物が存在する。従って、それらカルボニル化合物とグルタルアルデヒドを精度良く分離定量する方法を確立することが先決である。そこで、本研究ではカラムの選定から着手し、2溶媒を用いるグラジエント方式の採用により、グルタルアルデヒドとm, p, o-トルアルデヒドの3異性体を精度良く分離定量する方法を確立した。更に、グルタルアルデヒドの発生方法、添加回収率、破過試験等の基礎的検討を行うと共に本法を実際の空気試料に適用した。一方、市販パッシブサンプラのグルタルアルデヒドへの適用の観点からsampling rateの算出実験を行うと共に、同時に提案されている他のカルボニル化合物のsampling rateについてもポンプ法との同時測定を行う手法を用いてsampling rateの妥当性を検討した。

(2) グルタルアルデヒドの物理化学的性質

化学式は $\text{OHC}(\text{CH}_2)_3\text{CHO}$ 、分子量100.1  
沸点は187-188°C(760mmHg)、無色の粘性液体、内視鏡等の医療器具の殺菌消毒剤、各種細菌、ウイルス、炭素菌等に対する殺菌

効果を有する。ACGIHの許容濃度は0.05ppmである。

### (3) 装置及び試薬

高速液体クロマトグラフ：島津製  
ポンプ：LC-10ATvp  
検出器：SPD-10Avp  
捕集管：Waters製 XPosure™  
パッシブサンプラ：スペルコ製DSD-DNPH  
グルタルアルデヒド：和光純薬製グルタルアルデヒド溶液(25%)  
グルタルアルデヒド-DNPH：スペルコ製100 μg/mlを標準原液とした。  
アセトニトリル：和光純薬製高速液体クロマトグラフ用

カルボニル化合物混合標準液：TO-11 method対象物質(15成分)スペルコ製

### (4) サンプリング法

捕集管、流量計、ポンプ、ガスメータと接続し、毎分1Lで任意の時間サンプリングする。通常 1L/min で60分サンプリングする。

### (5) 分析操作

サンプリングの終わった捕集管に10mLの注射筒を接続し、これにアセトニトリル5mLを加え、静かに押し込める。5mLの共栓試験管に受けた後、5mLにアセトニトリルでメスアップする(分析用試料溶液とする)。混合後、この試料溶液20 μLを高速液体クロマトグラフ(HPLC)に導入する。表1に分析条件を示す。

### (6) グルタルアルデヒドガスの発生法

図1にグルタルアルデヒドガスの発生方法を示した。

### (7) 市販パッシブサンプラにおけるグルタルアルデヒドのsampling rateの算出実験

市販のパッシブサンプラの場合、グルタルアルデヒドのsampling rateは提示されていない。そこで、本研究においては図1のシステムを用いてグルタルアルデヒドガスを発生させ、ポンプ法との同時測定からsampling rateの算出実験を行った。

### (8) 市販パッシブサンプラにおけるカルボ

### ニル化合物のsampling rateの検証実験

市販パッシブサンプラは15種類程度の物質についてsampling rateを提示している。本項では、それらのsampling rateの妥当性を、室内空気用いてポンプ法との同時測定法から検討した。

(倫理面への配慮)

倫理面への配慮は特になし。

## C. 研究結果

### (1) 検量線

図2に検量線の一例を示した。

### (2) クロマトグラム

図3に米国TO-11 method対象物質にグルタルアルデヒドの標準液を添加した試料溶液について、本法で提案したHPLC条件で分析したクロマトグラムの一例を示した。

### (3) 添加回収率

DNPHカートリッジにグルタルアルデヒドの標準液を添加後、(4)の分析操作を行い回収率試験を行った。その結果、98%以上の回収率が得られた。

### (4) グルタルアルデヒドガスの発生

図1に示した発生システムのガス発生装置に、グルタルアルデヒドを入れたガラス製のdiffusion tubeをセットし、希釈空気は一定で、恒温槽温度を変化させながらガスの発生を試みた。その結果、図4に示したように発生濃度と温度との間に直線性(対数)が得られた。

### (5) 捕集効率

捕集管2本を直列に連結し、0.22ppmのグルタルアルデヒドガスをサンプリング流量、及び時間を変えながら捕集し、2本目に漏れがあるか否かについて試験を行った。その結果を表2に示した。

### (6) 実測試験

本法を用いて臨床検査室等でグルタルアルデヒドの実測試験に適用した。その結果を表3に示した。

#### (7) グルタルアルデヒドのsampling rateの 算出実験結果

図1のチャンバー内にパッシブサンプラを5個吊し、24時間暴露する。同時にチャンバー内の濃度をポンプ法で同時測定を行う。この実験を濃度を変えながら行う。

縦軸にパッシブサンプラに捕集された捕集量( $\mu\text{g}$ )、横軸に暴露時間と濃度(ppm)の積(ppm $\cdot\text{hr}$ )をとり、両者の相関をとる。

一次回帰式の傾きがsampling rateとなる。

結果を図5に示した。その結果、本サンプラのsampling rateは $0.010\mu\text{g/ppm}\cdot\text{hr}$ となり、Grahamの式で求めたsampling rateと殆ど一致した。

#### (8) 市販のカルボニル化合物のsampling rateの検証結果

市販のパッシブサンプラについては15種類程度のカルボニル化合物についてsampling rateが提示されている。そこで、本項では、これらのsampling rateが正しいのか否かを実験的に検証した。その結果、表4に示すように、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、プロピオンアルデヒド、ヘキサアルデヒドについては実験値とメーカー提示値が良く一致することが判明した。

#### D. 考察

本法の測定精度は検量線の最低濃度( $0.25\mu\text{g/mL}$ )の5回繰り返し測定で、変動係数は1.2%であった。また、定量下限値は10sで $0.55\mu\text{g/m}^3$ (但し、試料空気採取量を60Lと仮定)である。よって、1L/minの流量で60分samplingした場合、 $0.55\mu\text{g/m}^3$ は測定可能である。

最近、カルボニル化合物の分析に使用されているC16アミド系のカラムではp-トルアルデヒドとグルタルアルデヒドの分離が難しい一面があるが、本カラムを使用した場合は非常によく分離することが明らかとなった。本研究の一つの成果である。

捕集効率試験は $0.22\text{ppm}$ のガスを発生させ、

毎分1Lの流量でTotal流量150L samplingしても2本目に漏れは無く、通常の室内環境であれば、捕集管1本でsamplingは十分であることが判明した。

DNPHカートリッジに標準液を添加した場合の回収率は98%以上の回収率がえられたので満足な結果である。

我が国ではグルタルアルデヒドの標準的な測定法は確立されていない。グルタルアルデヒドはアルデヒド基2個を持つカルボニル化合物であるので、当然、DNPHと反応してヒドラゾンを生成することは明らかである。本研究においても、市販のDNPHカートリッジを用いてグルタルアルデヒドの測定法を検討した。その第1段として、グルタルアルデヒドガスの発生方法を確率する必要がある。方法としては市販の25%グルタルアルデヒド溶液をdiffusion tubeに入れ、一定温度、一定空気希釈することにより一定濃度のガスを発生させることが可能となった。なお、ガス濃度は温度との間に対数関係のあることが判明した。以後、本システムを用いて、捕集効率、sampling rateの算出実験等に適用した。

本法を病院、臨床検査室等の室内空気中のグルタルアルデヒドの実測に適用した。その結果、低濃度ではあるが検出された。

グルタルアルデヒドは分子量100.1、沸点は常圧で $188^\circ\text{C}$ 付近で蒸気圧は低いので、他のアルデヒドと比較しガス状濃度として低いと思われる。実測結果も低い濃度であった。

市販のパッシブサンプラはグルタルアルデヒドに関してsampling rateは提示されていない。本サンプラを用いてグルタルアルデヒドを測定する場合、sampling rateを実験的に求める必要がある。実験の結果、sampling rateは $0.010\mu\text{g/ppm}\cdot\text{hr}$ となった。一方、気体の拡散速度は分子量の平方根に反比例すると言うGrahamの式が存在する。この式をに、ホルムアルデヒドのsampling rateを当てはめ、グルタルアルデヒドのsampling rateを計算すると、

0.00967  $\mu\text{g/ppm}\cdot\text{hr}$ となり、計算値と実験値は殆ど一致することが明らかとなった。

市販パッシブサンプラは15種類程度のカルボニル化合物についてsampling rateを提示している。これら、sampling rateが正しいのか否かを、実際の室内空気を用いて検証した。すなわち、ポンプ法とパッシブサンプラを同一場所に設置し、同時測定を行い、濃度の算出を行う。この際、パッシブサンプラはメーカー提示のsampling rateを用いて濃度の算出を行った。その結果、両者の測定値は表にも示したように $\pm 15\%$ 以内で一致しており、メーカー提示のsampling rateは妥当性のあることが判明した。なお、確認できた物質は5種類であった。他の物質は濃度が低かったこと、及び試料数が少なかつたため比較検討ができなかつた。

#### E. 結論

- (1) 本法（ポンプ）の定量下限値は、採取量60Lで $0.55\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。
- (2) 繰り返し精度は $1.2\%$ である。
- (3) グルタルアルデヒドの簡易発生方法を確立した。
- (4) 捕集効率は毎分1Lで、Total流量150Lサンプリングしても、第2管目には漏れは認められなかつた。よって、通常、捕集管は1本で十分である。
- (5) 添加回収率は $98\%$ 以上が得られた。
- (6) 本法を用いて、臨床検査室、病院等で実測試験を行った結果、低濃度ながら検出された。一般的にグルタルアルデヒドは沸点が高く、蒸気圧も低いことから、ホルムアルデヒド等の揮発性物質に比較し、濃度は低いと予想されつ。
- (7) 市販のパッシブサンプラについて、グルタルアルデヒドのsampling rateの算出実験を行った。その結果、Grahamの式から求めた計算値と殆ど一致することが明らかとなった。
- (8) 市販のパッシブサンプラについて提示さ

れているsampling rateが正しいのか否かを検証するために、実際の室内空気を用いて検証実験を行った。その結果、ポンプ法とパッシブサンプラ法の測定値が、次の物質（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン、プロピオンアルデヒド、ヘキサアルデヒド）について $\pm 15\%$ 以内で一致することが判明した。他の物質については濃度が低かつたこと、及び試料数が少なかつたために比較検討ができなかつた。

#### F. 健康危険情報

特になし。

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

なし

##### 2. 学会発表

生田実香、松村年郎、山縣文夫：室内空気中のグルタルアルデヒドの測定法の検討とそのアプリケーションについて、平成14年度室内環境学会総会講演集、p.172-173 (2002,12)

#### H. 知的財産権の出願・登録

特になし。



表1 高速液体クロマトグラフの分析条件

装置	島津製、高速液体クロマトグラフ
ポンプ	LC-10ATvp
検出器	SPD-10Avp
カラム	inertsil ODS-P 4.6mm x 250mm
恒温槽	50 °C
溶離液流量	1.2ml/min
注入量	20 $\mu$ l
測定波長	360nm
分析モード	Gradient mode、Mobile phase A : Methanol/Water=40/60 (%), B : Acetonitrile 100%、Linear gradient elution mode, 0 min A =92%, B=8%, 50 min A=45%, B=55%, 50.1 min A=92%, B=8%, 65 min A=92%, B=8%

表2 捕集効率試験

グルタルアルデヒド 濃度 (ppm)	流量 (L/min)	採取時間 (min)	採取量 (L)	捕集効率	
				第1管	第2管
0.220	0.5	150	75	100	0
	1.0	120	120	100	0
	1.0	150	150	100	0
	0.1	1440	144	100	0

表3 実測試験

建物	採取日	温・湿度 (°C、%)	濃度 ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )
臨床検査室	2002. 9.13	26, 50	1.42
病院	2002. 9.20	25, 55	5.05
一般住宅	2002. 9.13	28, 58	N.D.
一般住宅	2002. 9.25	27, 61	N.D.

採取量：150L

N.D. : <0.22  $\mu$  g/m<sup>3</sup>

表4 ポンプ法とパッシブ法の比較測定結果

測定物質	測定範囲 ( $\mu$ g/m <sup>3</sup> )	測定数	パッシブ法/ポンプ法
ホルムアルデヒド	20.7 ~ 511.0	5	1.05
アセトアルデヒド	9.6 ~ 24.9	5	0.86
アセトン	19.5 ~ 36.1	5	0.87
プロピオンアルデヒド	1.0 ~ 1.7	5	0.95
ヘキサナール	1.0 ~ 1.7	5	1.02

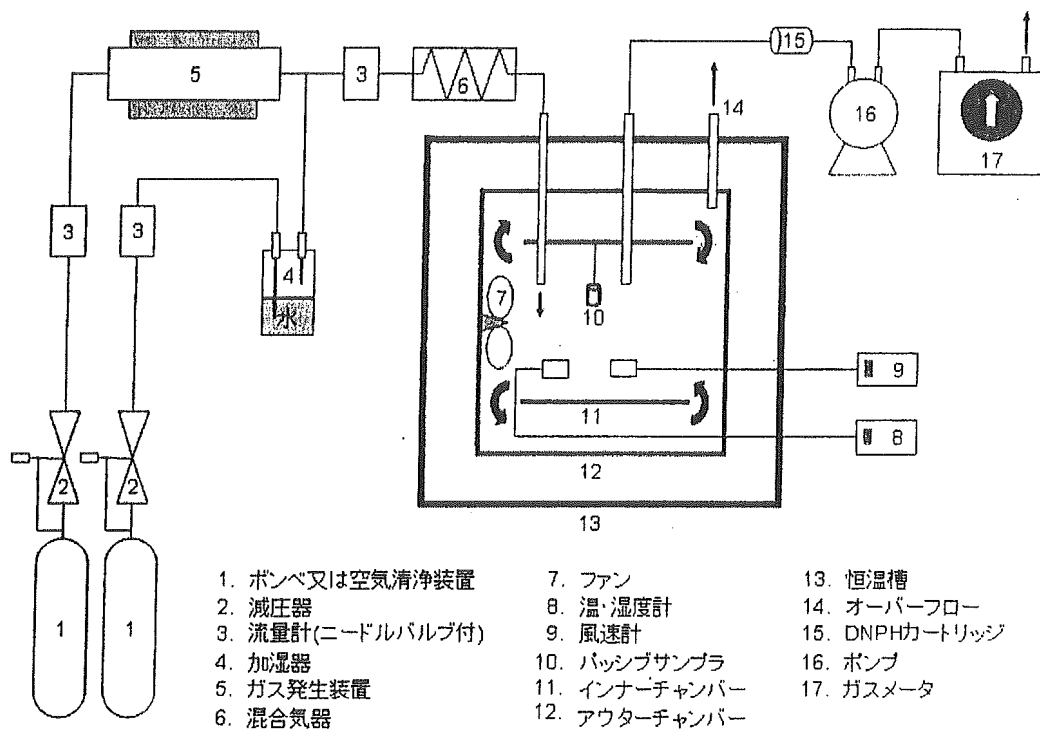


図1 グルタルアルデヒドガスの発生システム

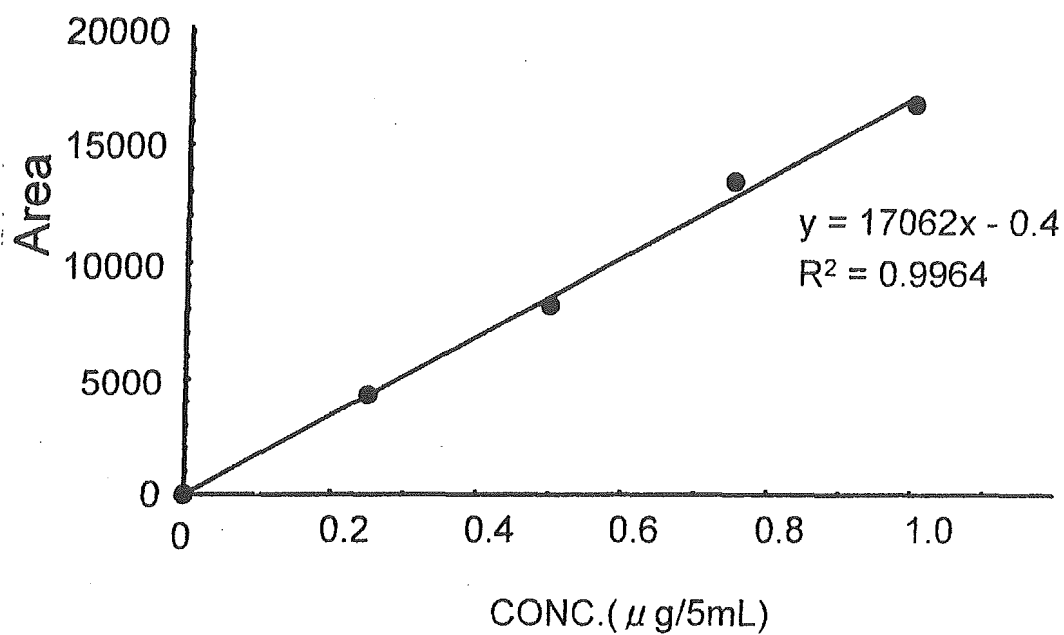


図2 検量線の一例

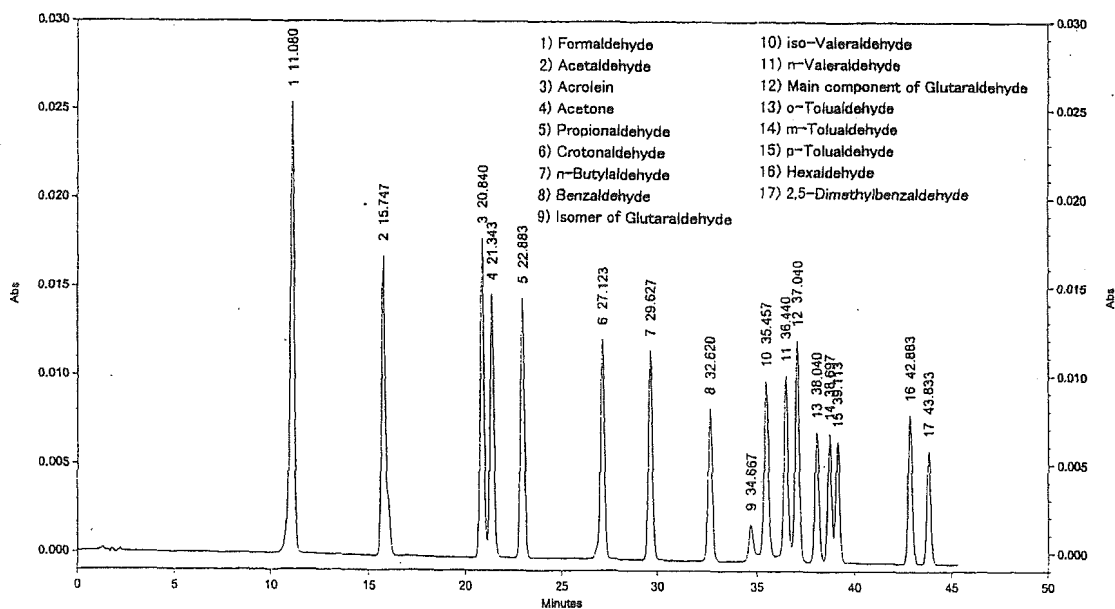


図3 クロマトグラムの一例