

実大実験住宅を用いた室内空気中のホルムアルデヒド濃度に関する研究

国土技術政策総合研究所 建築研究部 環境・設備基準研究室 主任研究官 桑沢保夫

1. はじめに

室内空気は建材等から放散されるホルムアルデヒドにより汚染され、日本の住宅の1/4程度が厚生労働省の定めたガイドライン値を上回っていることが、国土交通省等による全国規模の調査で明らかになった。これに対し、建材からのホルムアルデヒド放散状況などについての基本的な特性は実験室レベルの研究

により解明されつつあるが、それらは比較的理想的な条件下における実験であり、各種の攪乱要因がある実際の居室などでの再現性の確認が十分とはいえない。そこで、まずこの確認を行うことを第一の目的とした。また、その簡便な濃度低減対策が喫緊の課題として求められていることから、冷房時の凝縮水の効果について検討を行うことも目的とした。

2. 実大実験住宅における負荷率等とホルムアルデヒド濃度の関係に関する実験

2.1 実験方法

(1) 場所、日程 (財)ベターリビング筑波建築試験センター内にある材料実験棟¹⁾の4室(いずれも床面積12.1m²、室容積29m³)を用いて、2002年2,3月および7,8月に実施した。

(2) 測定項目、測定方法 表1参照。

(3) 設定条件 表2参照。

(4) 実験手順 実験室は実験前に十分換気を行ったのち、換気回数が約0.5回/h、室中央付近の気温が設定値程度となるようにエアコンを自動運転として、24時間維持した後に、ブランク状態のホルムアルデヒド濃度を測定してから実験を開始した。まず放散源を設置して換気を24時間停止したのち、換気を再開して換気量を設定値としたまま7日間維持した。ホルムアルデヒド濃度の測定は換気を再開する直前、再開後2, 24, 48, 168時間経過した時点で行った。ただし、湿度は特にコントロールしていない。

また、放散源の特性を知るため、同一ロットから製作した試験体からの放散量をデシケータと20Lチャンバでも測定した。20Lチャンバでは気温28℃、相対湿度50%、換気量0.01m³/hとしておき、放散面面積を調整すること

で、Q/Sを0.15, 0.24, 0.48としてチャンバ内にセットしてから24, 48, 168時間経過した時点で測定した。

表1 測定項目、測定方法

測定項目	測定場所	測定方法
気温	室中央, 屋外	T型熱電対
相対湿度	室中央, 屋外	静電容量式
HCHO濃度	室中央	DNPH/HPLC

室内空気中のホルムアルデヒド濃度はDNPHカートリッジに、室中央付近の空気を約1L/minで30L通気して溶媒抽出後HPLCにて分析。(ダブルサンプリング)

表2 設定条件

No.	時期	気温	放散源	換気量
1	冬季	25	16枚	10.5m ³ /h
2	冬季	35	16枚	16.7m ³ /h
3	冬季	25	8枚	13.0m ³ /h
4	冬季	35	8枚	18.1m ³ /h
5	冬季	25	16枚	1.9m ³ /h
6	冬季	25	16枚	12.2m ³ /h
7	夏季	28	32枚	16.3m ³ /h
8	夏季	28	20枚	14.5m ³ /h
9	夏季	28	32枚	30.5m ³ /h
10	夏季	28	20枚	31.8m ³ /h
11	夏季	28	32枚	0.0m ³ /h
12	夏季	28	20枚	0.5m ³ /h

放散源：合板(1.82×0.91m)、側面はアルミテープでシール換気量は、実験終了後にSF₆をトレーサガスとした一定濃度法により測定した値である。

2.2 結果および考察

(1) 気温、湿度、除湿量 室内の気温および湿度の測定結果を表3に示す。また、室内外における湿度差および換気量から算出される除湿量と、3. の(3)式を用い除湿によりホルムアルデヒドが除去される効果も同時に示す(冷房時のみ)。

湿度はコントロールされていなかったため冬季の実験では10~25%程度の低湿度となり、夏季は60%程度の値となった。夏季の冷房時における除湿量は換気量の多い条件(No.9, 10)で多く、換気回数0.5回/h程度の条件のとき(No.7, 8)に相当換気量は0.1~0.2回/h程度の換気回数となった。

(2) 濃度と換気量、放散面面積の関係 換気量に凝縮水による相当換気量を加えたものをQ'として、また168時間経過後の濃度測定値を井上の式²⁾を参考にした(1)式で28, 50%の値に換算した濃度C'を用いた、Q'/Sと1/C'の関係を図1に示す。

$$C' = C \times 1.09^{(t_1 - t_0)} \times \frac{(55 + rh_1)}{(55 + rh_0)} \times \frac{(273.15 + t_0)}{(273.15 + t_1)} \quad (1)$$

C' 換算後の濃度 [μg/m³]
 C 換算前の濃度 [μg/m³]
 t₁, rh₁ 換算する気温、相対湿度 [, %]
 t₀, rh₀ 換算前の気温、相対湿度 [, %]

図より両者の傾きはほぼ同程度であったが、夏季に用いた材料の方が同じ換気量、放散面面積でも高い濃度となることがわかった。また、冬季、夏季ともこれまでの報告で示されているようにほぼ直線関係となり、これは今回の実験条件であれば各種の攪乱要因のもとでも濃度が予測できることを示す。

(3) デシケータ値と予測値 換気再開後168時間経過したときのホルムアルデヒド濃度測定値と、実験開始時に測定されたデシケータ値、および温湿度を入力値とした井上の式による予測値の関係を図2に示す。

夏季の換気量をほぼ0にしたとき(右側の2点)のみ、予測値の方が実測値よりも非常に小さな値を示した。このことから換気量が非常に小さい場合には井上の式では誤差が大きくなることが考えられる。

(4) 20Lチャンバでの測定値による濃度の予測 夏季に用いた放散源の20LチャンバにおけるQ/Sと1/C'の関係を図3に示す。(濃度Cに

表3 測定結果

No.	気温 (S.D.)[]	相対湿度 (S.D.)[%]	除湿量 [g/h]	相当換気量 [m ³ /h]
1	25.0 (0.9)	20.4 (3.6)	-	-
2	33.9 (1.6)	14.0 (4.5)	-	-
3	24.6 (1.1)	18.7 (3.5)	-	-
4	33.8 (1.6)	11.9 (3.2)	-	-
5	25.1 (0.9)	26.4 (1.6)	-	-
6	25.0 (1.3)	22.1 (3.6)	-	-
7	28.6 (0.7)	60.7 (4.9)	65	4.7
8	28.7 (0.8)	62.4 (4.6)	49	3.5
9	28.1 (0.7)	64.9 (5.9)	101	7.3
10	28.5 (0.7)	66.1 (5.1)	82	5.9
11	28.6 (0.4)	49.4 (1.6)	0	0.0
12	28.7 (0.5)	51.8 (1.8)	2	0.2

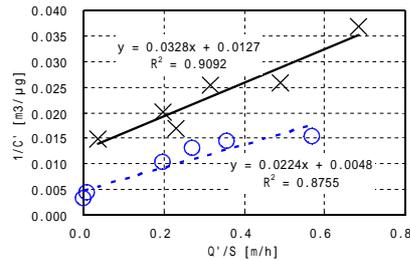


図1 Q'/Sと1/C'の関係 (x—: 冬季、---: 夏季)

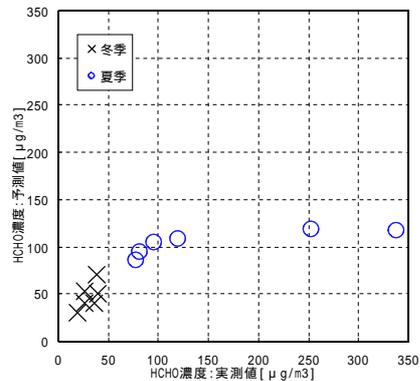


図2 デシケータ値による予測値と実測値

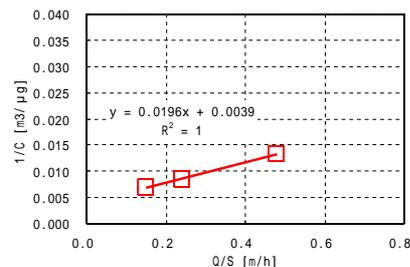


図3 20LチャンバでのQ/Sと1/C'の関係

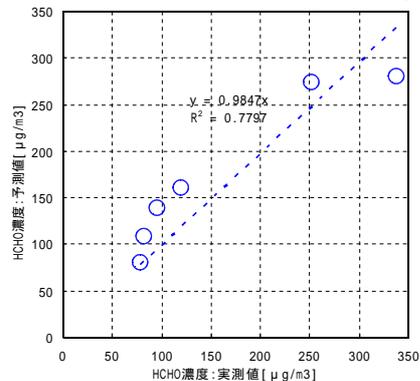


図4 20Lチャンバの値による濃度の予測

は168時間経過後の値を使用した。)測定されたデータはちょうど直線上に乗った。そこで、この図にある回帰直線を基にNo.7~12の濃度を予測した。予測の手順としては各条件におけるQ'/Sを用いてCを求め、(1)式により測定時の気温と相対湿度のときの値に換算した。

結果を図4に示す。換気量が少ない場合にもデシケータ値による予測よりは誤差が小さいが、換気量が多い場合にはやや高めに予測された。この誤差は室内表面での吸脱着やそのほかの外乱要因によるものと考えられる。

3. 冷房時の凝縮水によるホルムアルデヒド除去に関する実験

3.1 実験方法

(1) 場所、日程 場所は2.と同じ。日程は2002年10月である。

(2) 測定項目、測定方法 表1参照。ただし、凝縮水中のホルムアルデヒド濃度は分校光度計で測定した。

(3) 設定条件 表4参照。加熱源の台数、放散源の枚数、換気扇による換気量をパラメータとして計画した。なお、放散源としたパーティクルボードは、入手後常温で半年程度保管したものである。

表4 設定条件

No.	加熱源	放散源	換気量	気温
1	2台	0枚	0 m ₃ /h	28
2	2台	4枚	0 m ₃ /h	28
3	2台	8枚	0 m ₃ /h	28
4	2台	8枚	14.5m ₃ /h	28
5	4台	8枚	14.5m ₃ /h	28

加熱源：電気ストーブ(800W)

放散源：E1パーティクルボード(1.82×0.91m)

側面はアルミテープでシールした。

(4) 実験手順 加湿源として水を満たした金属製容器を加熱源(電気ストーブ)のそばに、また放散源を室内にそれぞれ設置、エアコンを冷房モードの自動運転として実験を開始する。24時間後に室中央で室内空気をサンプリング、容器からの蒸発水量と凝縮水量の測定、さらに凝縮水のホルムアルデヒド濃度の分析を行う。なお、湿度はコントロールされていない。

3.2 結果および考察(表5参照)

(1) ホルムアルデヒド濃度(室中央) 室中央での気中濃度を比較してみると、放散源を置かない実験No.1でも換気を行っていないためか、100 μg/m³のガイドライン値をやや上

回る値となった。放散源を設置したNo.2,3ではどちらもこれに比べて4倍近い値を示した。No.4とNo.5の比較ではNo.5のみ凝縮水を得られた点から、主に凝縮水による気中濃度の低減効果を示していると考えられる。気温と相対湿度が異なるため、(1)式でNo.4の濃度をNo.5の条件に換算するとC' = 236[μg/m³]となり、凝縮水によりホルムアルデヒドを排出することで3/4程度の濃度に低減できたことになる。また、このときの凝縮水の半分以上は外気取り入れによるものと考えられることから、室内の発湿がそれほど多くなくても、外気による潜熱負荷がある程度あれば、ホルムアルデヒド濃度低減効果を期待できることがわかった。

(2) ホルムアルデヒド濃度(凝縮水) 凝縮水のホルムアルデヒド濃度は、室中央での気中濃度にほぼ比例した濃度を示した。(図5参照)ここで、室内の気中濃度と凝縮水の濃度をともに定常値と考え、以下のように凝縮水により排出されたホルムアルデヒド量を相当換気量に換算できる。

$$Q_{eq} = 1000 \times C_d \times D / (24 \times C) \quad (2)$$

Q_{eq}	相当換気量	[m ³ /h]
C_d	凝縮水の濃度	[mg/L]
D	凝縮水量	[L/day]
C	気中濃度	[μg/m ³]

さらにここで気中濃度と凝縮水の濃度が比例していると考えると以下の式となる。

$$Q_{eq} = 1000 \times \quad \times C \times D / (24 \times C)$$

$$= 1000 \times \quad \times D / 24 \quad (3)$$

気中濃度と凝縮水の濃度の比例定数 [m³/L]

つまり、気中濃度とは関係なく、凝縮水の水量を相当換気量に換算できることを示している。そこで、まず気中濃度と凝縮水の濃度の比例定数()を図5に示した回帰直線の傾きとして凝縮水の水量から相当換気量を求め、また気中濃度を(1)式により28, 50%rhの時の値(C')に基準化して、相当換気量とファンによる換気量の合計(Q')を用いたQ'/Sと1/C'の関係を求めた(ただしNo.1は除く。また設置した放散源が気中濃度に対して支配的であったと考えて、そのほかの室内の放散源を無視した)。図6に示す。チャンバ実験で示されているようにこれらは線形関係を示し、凝縮水の量を換気量に換算できることが確認された。

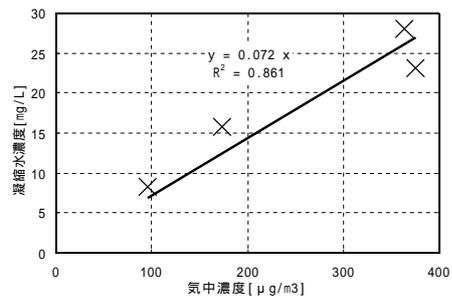


図5 気中濃度と凝縮水濃度の関係

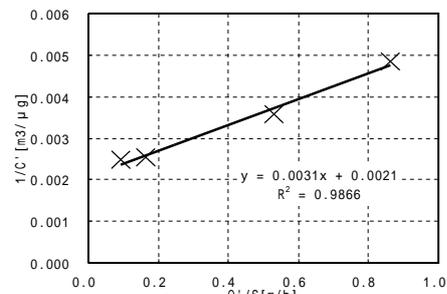


図6 凝縮水による相当換気量を見込んだときのQ'/Sと1/C'の関係

表5 主な測定値、計算値

No.	換気量	気温	相対湿度	蒸発水量	凝縮水量	HCHO濃度		相当換気量	基準化したHCHO濃度	
						室中央	凝縮水			
1	0.4m³/h	26.3	(1.2)	50.4%(1.1)	0.722L/day	0.839L/day	95 μg/m³	8.3mg/L	2.5m³/h	110 μg/m³
2	0.4m³/h	27.5	(1.4)	49.2%(2.9)	0.591L/day	0.590L/day	376 μg/m³	23.2mg/L	1.8m³/h	394 μg/m³
3	0.4m³/h	26.6	(1.3)	51.6%(2.1)	0.690L/day	0.668L/day	364 μg/m³	28.0mg/L	2.0m³/h	402 μg/m³
4	14.0m³/h	26.8	(0.3)	44.8%(1.9)	0.736L/day	0.000L/day	241 μg/m³	-----	0.0m³/h	281 μg/m³
5	14.0m³/h	28.2	(0.6)	31.9%(1.2)	1.289L/day	2.953L/day	174 μg/m³	15.8mg/L	8.9m³/h	206 μg/m³

換気量は、実験前にSF₆をトレーサガスとした一定濃度法により測定した値。気温、相対湿度は24時間の平均値と標準偏差。凝縮水量は24時間の間タンクに集められた量で、集められた凝縮水の濃度を測定。HCHO濃度はいずれも2回測定した値の平均。(ただし、No.1の室中央のみ1回の測定値)

4. 結論

一般的な居室を模擬した実大実験室において各種要因とホルムアルデヒド濃度の関係を調べる実験からは、以下のような知見を得た。

- ・デシケータ値からの予測は換気量が非常に小さいときには誤差が大きくなる。
- ・各種攪乱要因の下でも実験条件から予測される濃度の上下はほぼ保たれる。
- ・20Lチャンバの値による濃度の予測値は、換気量が非常に小さくてもデシケータ値による場合よりも精度高く予測できる。

一方、冷房時の凝縮水の効果についての検討からは、凝縮水量をある程度得られれば室内空気中のホルムアルデヒド濃度低減に効果のあることがわかった。また、その排出水量をホルムアルデヒド濃度低減に有効な相当換

気回数に換算できることを示した。

5. おわりに

実空間におけるホルムアルデヒド濃度の予測については、より精度の高い予測手法の開発が望まれる。また、冷房時の凝縮水の効果についての検討では、気中濃度と凝縮水中の濃度の関係はエアコン内部の冷却部分の温度や風量などにも影響を受けていると考えられるので、今後さらに検討の必要がある。

参考文献

- 1) 桑沢ほか、建設中の木造住宅における空気質測定、空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集、2001.9、p.657-660
 - 2) 井上明生ほか、デシケータ法によるホルムアルデヒド放散量と気中濃度との相関、木材工業、Vol.45-7、p.313-319
- 本研究は国土交通省が平成13年度より実施している総合技術開発プロジェクト「シックハウス対策技術の開発」の一環として行われたものである。