

シックハウス対策としての住宅のアルデヒド類濃度と換気性能に関する研究

—木造実験住宅における放散源を用いた検証実験—

渡部 裕介*

Indoor air concentration of Aldehydes and ventilation performance for sick house control

Verification experiments using artificial emission source in timber test house

Yuusuke WATANABE

1.はじめに

近年、建材からの化学物質の発生と住宅の設計の仕方や住まい方に起因する換気不足によるシックハウスが問題になっている。これに伴い、2003年7月に施行された建築基準法改正にはシックハウス対策のための規制が追加された。その中には、ホルムアルデヒド対策として①内装仕上げの制限②換気設備の設置の義務付け③天井裏の制限(発散量の少ない建材の使用又は換気設備の設置等)があげられる。また、機械換気設備が義務化となり、居室又は住宅全体の体積あたり換気回数0.5回/h以上の規定がある。ホルムアルデヒド発散量に関する建材の等級表示が改正された。

建材からのホルムアルデヒド放散量は、現在デシケータ一法やチャンバー法で測定される。この測定結果による放散量から単室空間という条件では換算式により室内気中濃度の推定がなされている。しかし、実住宅ではホルムアルデヒドが建材等に吸着することや多数室における他室との空気の出入りがあるため、気中濃度の推定が困難であるとされている。

本研究では、実大木造実験住宅の室内に構造用合板を用いた放散源を設置し、冬季・夏季における室内ホルムアルデヒド気中濃度と換気量の関係について実験的検証を行った。ホルムアルデヒド発生量は温度上昇とともに増加することが知られていることから、建築基準法では夏季の温度条件を想定している。しかし、発生量が低下する冬季の温度条件におけるホルムアルデヒド濃度は把握されていない。このことから、実験は夏と冬の2時期で行った。

2.実験概要

2-1.実験住宅の基本仕様

実験には、(財)ベターリビング筑波建築試験センター内に建設された在来軸組工法木造2階建住宅(以下実験住宅)を用いた。実験住宅の諸元をTable1に、平面図をFig.1に示す。

2-2.実験条件

Table2に冬季と夏季の実験条件を示す。

実験住宅には複数の異なる換気システムが設置されている。本実験では、換気停止、第一種ダクト換気システム、第三種ダクトレス換気システムの3条件とした。Fig.2に

Table1 実験住宅の諸元

工法	在来木造軸組工法	
床面積	1階	72.87m ² 22.04坪
	2階	57.96m ² 17.53坪
断熱性	延床	130.83m ² 39.57坪
	次世代省エネルギー基準 Ⅲ地域相当	
気密性	各部屋にエアコンを設置し、温度制御可能とする	
	壁・天井 ホリエレンフィルム(別貼防湿気密層)+石膏ボード+壁紙	
仕上げ材	床	下地合板+目地処理+フローリング
	フローリング	F ₀₀
換気システム	壁紙	JIS製品
	その他	F ₀₀ 、E ₀ の製品を使用
①~⑦の換気システムを設置(本研究では*印の換気システムのみ扱う)		
①換気なし* ②自然換気システム ③第一種ダクト式*		
④第一種ダクトレス ⑤第二種ダクトレス ⑥第三種ダクト式		
⑦第三種ダクトレス*		

Table2 実験条件
冬季条件

換気システム	負荷	設定換気回数	温度=23℃		温度=28℃
			C=2 (cm ² /m ²)	C=5 (cm ² /m ²)	C=2 (cm ² /m ²)
換気無し	無	---	①	---	---
第一種ダクト式	5倍	0.4	④	---	---
	5倍	0.5	⑦	---	---
第三種ダクトレス	5倍	0.4	⑤	⑥	---
	5倍	0.5	⑧	---	⑨
備考	温度はエアコン暖房運転による制御 湿度は加湿器を用い50%程度目標 気密性はC=2:密閉状態 C=5自然換気口5個開放 換気システムに使用する局所換気はインバーターにより制御				

夏季条件

換気システム	負荷	設定換気回数	冷房28℃		エアコン停止
			C=2 (cm ² /m ²)	C=5 (cm ² /m ²)	C=2 (cm ² /m ²)
換気無し	無	---	---	---	---
第一種ダクト式	5倍	0.4	①、⑩	②	③
	5倍	0.5	⑤	---	---
第一種ダクト式+局所	5倍	0.7	⑥	---	---
	5倍	0.4	⑦	---	---
第三種ダクトレス+局所	5倍	0.4	⑧	---	⑨
	5倍	0.7	---	---	---
備考	温度は設定温度に満たない時エアコン暖・冷房運転による制御 気密性はC=2:密閉状態 C=5自然換気口5個開放 換気システムに使用する局所換気はインバーターにより制御				

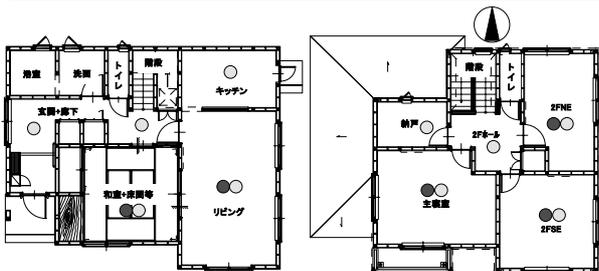


Fig.1 平面図兼サンプリング測定位置

*建築学専攻

第一種ダクト換気システムを、Fig.3 に第三種ダクトレス換気システムを示す。

放散源に構造用合板を用い、合板設置量は床面積の5倍とした。その理由は、建築基準法により夏季条件、換気回数0.5回/h以上及び住宅等の居室で F_{C0} を使用した場合、使用する建築材料の面積に0.5を乗じた値が床面積を超えないこととなっている。この逆数をとると床面積の2倍まで F_{C0} を使用でき、家具相当、3倍を加えたものを見据えた値である。なお、構造用合板は側面からの放散を抑えるため、木口をアルミテープでシール処理を行った。Table3に構造用合板の仕様を示す。Fig.4に合板設置位置を示す。

2.3.実験方法

(1).測定スケジュール

測定スケジュールをFig.5に示す。一つの実験は3日間とした。最初に30分間の窓開け換気を行うことで、室内のホルムアルデヒド濃度を外気と同等まで下げた。その後実験条件の換気システム、気密及び温度条件を設定し、最初の1日はトレーサーガス(SF₆)を用いた一定濃度法による換気量測定を実施した。24時間後から、24時間パ

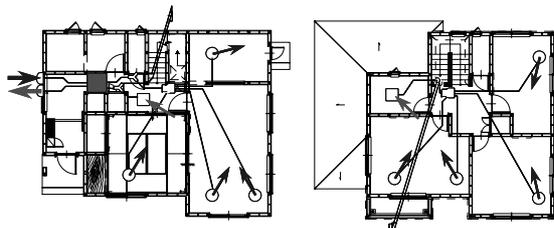


Fig.2 第一種ダクト換気システム

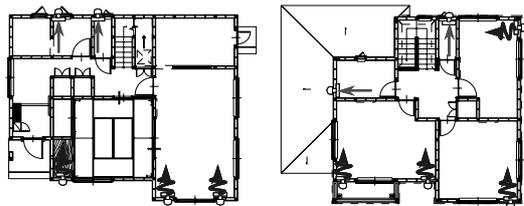
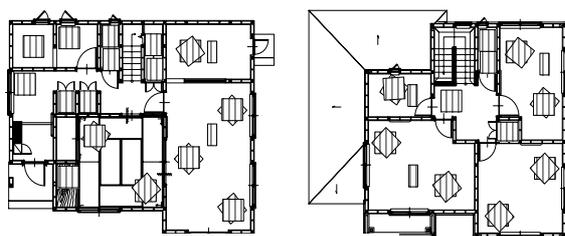


Fig.3 第三種ダクトレス換気システム

Table3 構造用合板の仕様

JAS構造用合板12mm
 1類2級(針葉樹合板 北洋カマツ) マリン・ユリア共縮合樹脂
 大きさ:長さ1820mm、幅910mm (側面アルミテープでシール処理)
 表面積:3.31m²/枚 (表裏面合計とする)
 ホルムアルデヒド放散量: F_{C0} 上限 (別途放散量は測定)



■ 放散源 (合板10枚)

Fig.4 合板設置位置

シブサンプラーを設置し、室内ホルムアルデヒド濃度測定を実施した。3日目の午後2時からアクティブサンプリングを実施した。

(2).サンプリング方法

アルデヒド類 (ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド)の室内気中濃度は、アクティブサンプリングとパッシブサンプリングの両方の測定方法で行った。Table4にサンプリング方法を示し、Fig.1にサンプリング測定位置を示す。

(3).放散量測定方法

実験住宅内に設置した合板から試験片を採取し、実験期間中にデシケータ法とチャンバー法の両方の測定方法で放散量を測定した。デシケータ法は製造直後に1回、実験期間中の冬季に3回、夏季に2回測定した。チャンバー法は冬季に3日間、夏季に7日間測定した。また、デシケータ試験やチャンバー試験以外の時期は、実験住宅内に試験片を設置し、実験住宅内に設置したホルムアルデヒド放散源としての合板と同一環境になるようにした。

デシケータ法による放散量測定結果をFig.6に示す。本実験で使用した F_{C0} の構造用合板は、製造直後の放散量が0.58mg/Lとなっており、 F_{C0} 放散量上限の0.5mg/Lをねらったものとなっている。それから半月経った冬季実験を行う際には0.2mg/L位となり、製造直後の1/3となっている。また、夏季実験では平均0.125mg/Lとなった。

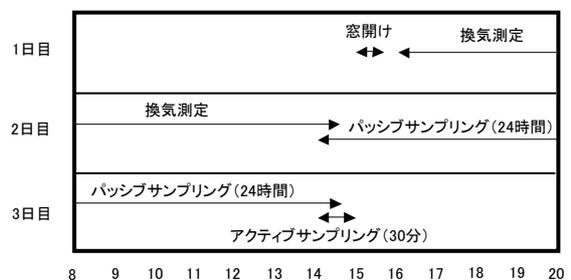


Fig.5 測定スケジュール

Table4 サンプリング方法

アクティブサンプリング(精度がよいとされている)
 吸引ポンプを用いて強制的にDNPHカートリッジにサンプリング
 ポンプ流量は1.0L/minとし、30L採気
 ※短時間測定のため、温度条件等に左右されにくい
パッシブサンプリング(アクティブサンプリングより精度がよくない。)
 パッシブサンプラー(バッジ)に24時間暴露サンプリング
 ※長時間測定のため、温度条件等に左右されやすい

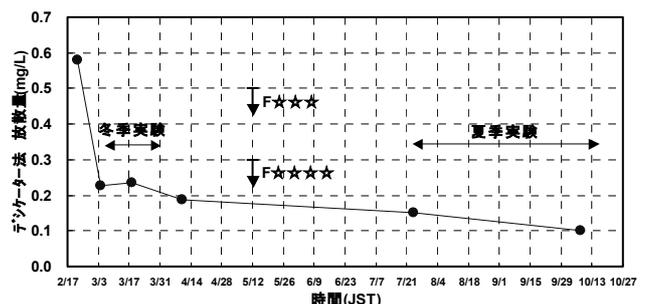


Fig.6 デシケータ法による放散量測定結果

3.冬季の放散実験結果

3-1.アルデヒド類の住戸全体平均濃度測定結果

Fig.7 にアクティブサンプリングによるホルムアルデヒドの住宅内平均濃度測定結果を示す。冬季 23℃環境下において機械換気を行わない条件 (②・⑩) でも指針値 (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) の7割、換気回数0.4~0.5回/h (④・⑤・⑦・⑧) では指針値の4割という濃度結果となった。ただし、これは相当隙間面積 $2\text{cm}^2/\text{m}^2$ という条件での結果であり、気密性能が低下すると (③、⑥) 換気量が増え濃度は下がる。

3-2.1・2階の濃度比較

Fig.8 にアクティブサンプリング・パッシブサンプリングによるホルムアルデヒドの1・2階平均濃度比較を示す。1階より2階の濃度が高い値を示している。これは、冬季には温度差換気により1階から2階に空気が上昇し、2階に新鮮外気が入りにくくなったためである。近似曲線より2階は1階の約1.3倍となった。

3-3.換気回数と濃度の関係

Fig.9 に換気回数とアクティブサンプリングのホルムアルデヒド濃度の関係を示す。1階のリビングは冬季の温度差換気により新鮮外気が入ってきているため、単室に近い条件となっている。また換気回数と濃度の関係が右下がりの線となっている。しかし、2階の主寝室は他室からの出入りの可能性があるため、ばらついている。

3-4.換算濃度と実測濃度の関係

(1).デシケーター法による放散量から求めた換算室内濃度と実測濃度の関係

Fig.10 にデシケーター法による放散量から求めた換算室内濃度と実測濃度の関係を示す。デシケーター法による濃度換算式は以下に示す。

$$C = (0.158D + 0.017) \times \frac{2}{1 + \frac{Q}{S}} \times 1.09^{(t-23)} \times \frac{55+h}{100}$$

C : 気中濃度 [ppm]
 D : デシケーター値 [mg/L]
 Q : 換気量 [m^3/h]
 S : 材料表面積 [m^2]
 t : 温度 [$^{\circ}\text{C}$]
 h : 相対湿度 [%]

また、気中濃度単位を ppm から $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に変換する式を以下に示す。

$$C' = C \times \frac{m}{22.4} \times \frac{273}{273+t} \times 10^3$$

C : 気中濃度 [ppm]
 C' : 気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 m : 分子量 (HCHO=30.03)
 t : 温度 [$^{\circ}\text{C}$]

Fig.10 をみると、実測値より換算値が高い値を示した。また Fig.9 に記した曲線は、前記のデシケーター法から測定した放散量を用いた濃度換算式より求めた換算濃度曲線である。

(2).チャンバー法による放散速度を用いた換算室内濃度と実測濃度の関係

Fig.11 にチャンバー法による放散速度を用いた換算室内濃度と実測濃度の関係を示す。チャンバー法による濃度換算式は以下に示す。

$$C = EF \times \frac{L}{n}$$

C : 気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
 EF : 放散速度 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2/\text{h})$]
 n : 換気回数 [回/h]
 L : 試料負荷率 [m^2/m^3]

また、ホルムアルデヒドに限り、チャンバー法は 28℃設定のため設定温度と異なる場合、次の式により放散速度を補正した。

$$EF_t = EF_{28^{\circ}\text{C}} \times 1.09^{(t-28)}$$

t : 設定温度 [$^{\circ}\text{C}$]

Fig.11 をみると、実測値と換算値の関係はチャンバー法の換気回数設定が0.5回/hとなっており、実験住宅で行った実験でも換気回数0.5回/h程度の条件は一致している。しかし、機械換気システムが作動していない時は換算値が高い値を示した。

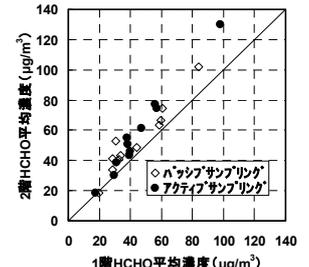


Fig.8 冬季のホルムアルデヒドの1・2階平均濃度比較

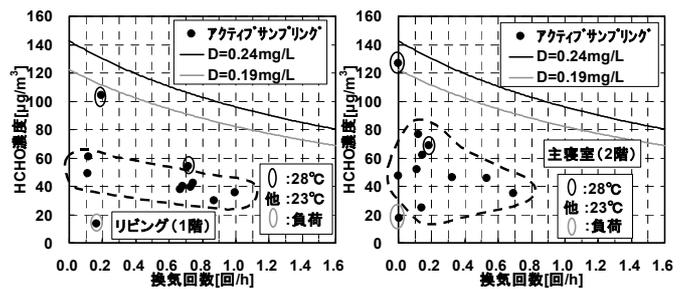


Fig.9 冬季の換気回数とホルムアルデヒド濃度の関係

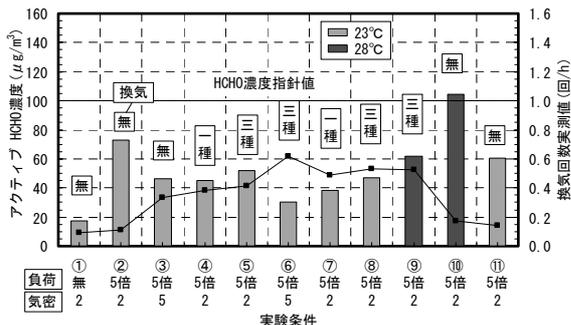


Fig.7 冬季のアクティブサンプリングによるホルムアルデヒドの住宅内平均濃度測定結果

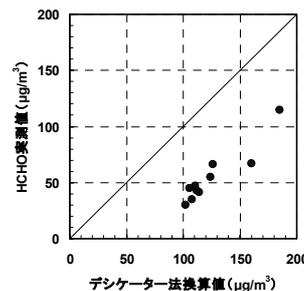


Fig.10 冬季のデシケーター法による放散量から求めた換算室内濃度と実測濃度の関係

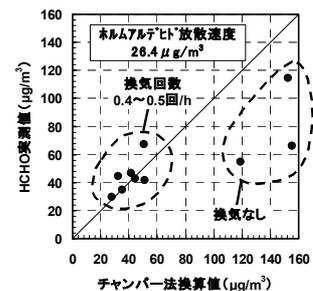


Fig.11 冬季のチャンバー法による放散速度を用いた換算室内濃度と実測濃度の関係

4.夏季の放散実験結果

4.1.アルデヒド類の住戸全体平均濃度測定結果

Fig.12 に Fig.7 と同様のホルムアルデヒドの住宅内平均濃度測定結果を示す。夏季 28℃環境下においては、換気なし (①・⑩) で指針値の9割、換気回数0.4~0.7回/h (④~⑧) では指針値の6割という濃度結果となった。

4.2.1・2階の濃度比較

Fig.13 に Fig.8 同様のホルムアルデヒドの1・2階平均濃度比較を示す。Fig.13 と冬季の Fig.8 を比べると、夏季は設定温度に安定しなかったため、冬季よりばらついているが、1階と2階の濃度差は夏季の方が小さい。これは、内外温度差が冬季より小さく、温度差換気が起こりにくくなっているからである。

4.3.換気回数と濃度の関係

Fig.14 に夏季における換気回数とホルムアルデヒド濃度の関係を示す。冬季よりばらつきが少なくなっている。これは冬季より内外温度差が小さく、温度差換気が起きにくいため、他室からの出入りが少なかった可能性がある。

4.4.換算濃度と実測濃度の関係

(1).デシケーター法による放散量から求めた換算室内濃度と実測濃度の関係

Fig.15 にデシケーター法による放散量から求めた換算室内濃度と実測濃度の関係を示す。測定した放散量は冬季と比べると下がっている。これは、試験片の木口にアルミテープをしていなかったために、放散が早まった可能性がある。Fig.15 をみると、測定した放散速度が小さくなってしまったことにより、換算値も低くなり、冬季よりも実測値に近づいた。

(2).チャンバー法による放散速度を用いた換算室内濃度と実測濃度の関係

デシケーター法同様に放散が早まった可能性があり、放散速度は低い値となっている。Fig.16 にチャンバー法による放散速度を用いた換算室内濃度と実測濃度の関係を示す。放散速度の影響か、こちらも換算値が低い値となった。その他のばらついているものは、冬季同様のものだと考え

られる。

5.まとめ

冬季 23℃環境下や夏季 28℃環境下で濃度測定実験を行ったところ、ホルムアルデヒド指針値を超えるものはなかった。また機械換気を行わないときに比べ、換気回数 0.5 回/h 程度の換気を行った場合には、約3割程度濃度が下がることがわかった。

換気回数と実測したホルムアルデヒド濃度の関係は、デシケーター法で測定した放散量を用いた換算濃度曲線を下回っており、濃度換算式は安全側といえることが明らかとなった。

チャンバー法では実測条件とチャンバー法の設定条件が同じ場合、チャンバー法による放散速度から求めた換算値で実測値が推測できると考えられる。

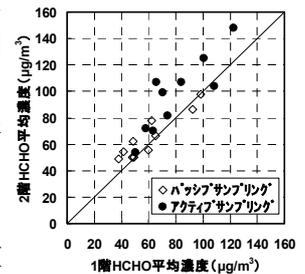


Fig.13 夏季のホルムアルデヒドの1・2階平均濃度比較

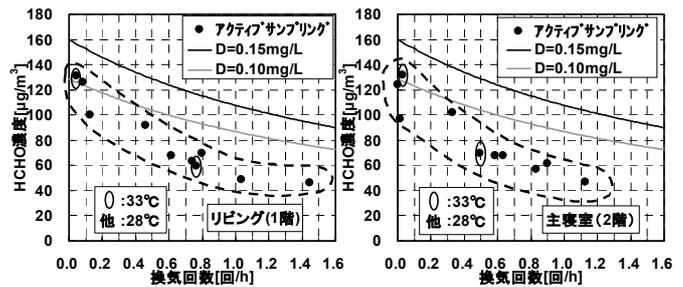


Fig.14 夏季の換気回数とホルムアルデヒド濃度の関係

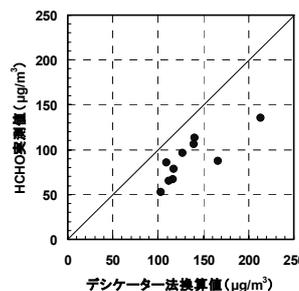


Fig.15 夏季のデシケーター法による放散量から求めた換算室内濃度と実測濃度の関係

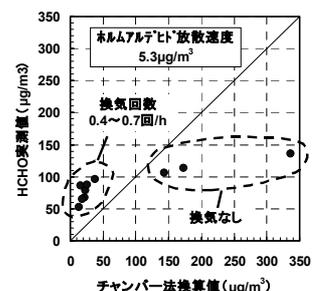


Fig.16 夏季のチャンバー法による放散速度を用いた換算室内濃度と実測濃度の関係

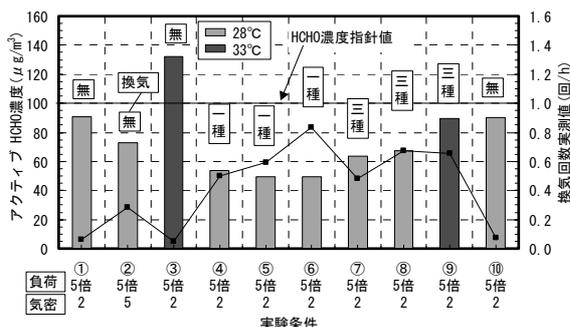


Fig.12 夏季のアクティブサンプリングによるホルムアルデヒドの住宅内平均濃度測定結果

[参考文献]

- 1) 井上明生：ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策、木材工業 Vol.52, No.1, 1997
- 2) 渡部裕介・岡部実・澤地孝男他：木造実験住宅におけるアルデヒド類の濃度に関する研究 (その1) 実験及び濃度測定結果、学術講演会講演論文集、空気調和・衛生工学会、2003年
- 3) 岡部実・澤地孝男他：木造実験住宅におけるアルデヒド類の濃度に関する研究 (その2) 材料の放散量を用いた室内濃度の計算、学術講演会講演論文集、空気調和・衛生工学会、2003年

審査員(主査) 教授 成田 健一
 審査員(副査) 教授 市橋 重勝
 審査員(副査) 教授 川村 清志