実環境下における濃度低減性能を得るための試験条件の検討

室内化学物質濃度低減建材の低減性能評価・試験方法に関する研究（その1）

VERIFICATION OF EXPERIMENTAL CONDITIONS OF PERFORMANCE TEST
FOR REPRODUCING REAL DECREASING EFFECT UNDER ACTUAL ENVIRONMENT

Study on performance test for finishing materials of reducing indoor chemical pollution Part 1

小峯 裕己*, 木村 洋**

Hiromi KOMINE and Hiroshi KIMURA

Some of the experimental conditions of JIS A 1905 “Performance test of adsorptive building materials of reducing indoor air pollution with small chamber” are different from the actual building environment. The agreement between a decreasing effect resulted from JIS test method and that under residential indoor environment is suspected.

The optimum experimental conditions resulting true effect were investigated with an experimental design. Within the scope of the performance test with 0.15m³ volume of a SUS small test chamber and a specimen of adsorptive building material in this study, appropriate experimental conditions are verified, namely optimum loading factor is 0.5m²/m³ and optimum supply HCHO concentration is 100 μg/m³. The decreasing effect of a specimen resulted from a test under this condition is suited to the effect under actual condition.

Keywords : Interior finishing materials of reducing indoor chemical pollution, Performance test, Loading factor, HCHO concentration of supply air for test chamber, Corresponding ventilation air volume, Effect under actual condition

濃度低減内装建材, 性能試験, 設置率, HCHO 供給濃度, 相当換気量, 実環境下の性能

1. はじめに

ホルムアルデヒド(HCHO)などによる室内化学物質空気汚染の対策として、HCHOなどを吸着・分解する濃度低減建材がある。建築基準法施行令20条の9で、室内のHCHO濃度を100 μg/m³以下に保てる場合、機械換気の設置義務や必要換気量が緩和できることから、HCHO濃度低減建材の性能試験・評価機関への評価申請がある。

一般財団法人・日本建築センターでは、新建築技術認定事業の一環として「室内空気中の揮発性有機化合物汚染低減建材」の評価認定¹⁾を行っており、一般財団法人・ベターリビングでは「ホルムアルデヒドの量を0.1mg/m³以下に保つ居室シックハウス対策に関する居室等の性能評価」²⁾の一環として性能評価を行っている。これらの性能評価では、JIS A 1905-1「小形チャンバー法による室内空気汚染濃度低減材の低減性能試験法—第1部：一定ホルムアルデヒド濃度供給法による吸着速度測定」³⁾やJIS A 1905-2「小形チャンバー法による室内空気汚染濃度低減材の低減性能試験法—第2部：ホルムアルデヒド放散建材を用いた吸着速度測定」⁴⁾に則った試験により濃度低減性能を確認している。

上記JIS試験方法では、「換気回数n及び試料設置率Lは吸着速度に影響を与えることがある。」という備考の記述があるものの、一定

ホルムアルデヒド濃度供給法では、小形チャンバー(容積0.02～1.00m³程度)を用いて試料設置率=2.2m²/m³(試料面積[m²]/チャンパー容積[m³])を標準的な実験条件としている。しかしながら、この試料設置率を6畳程度の居室を想定した実環境に置き換えれば、壁4面以上に濃度低減建材を施工することに相当する。この事例から判るように、性能評価試験方法の標準的な試験条件は、実環境における条件と大きく異なっていると言える。なお、これらJIS試験方法では、「供給するHCHO濃度はおおむねガイドライン値とする。」「HCHO供給濃度が低減性能へ与える影響を確認するための試験では、ガイドライン値のおおむね2倍及び1/2倍の供給濃度で測定を行う。」と記載されている

ところで、濃度低減材料・建材の低減性能の評価・試験方法に関する既往の研究としては、長谷川・筆者ら・鎌田による「パッシブ型ホルムアルデヒド(HCHO)除去製品の簡易性能試験方法」⁵⁾、安宅・加藤・伊藤・朱・村上による「化学反応型パッシブ吸着建材の濃度低減効果に関する研究 第1報 濃度低減効果測定法の開発と検証」⁶⁾、安宅・加藤・除・朱による「パッシブ吸着建材のホルムアルデヒド放散抑制性能試験法の開発」⁷⁾、及び本論文との関連が強い金・田辺による「ホルムアルデヒド濃度低減性能試験における試験法及

本報の一部の内容は、既発表文献⁹⁾に大幅な修正・加筆を加えたものである。

* 千葉工業大学工学部建築都市環境学科 教授・工博

Prof., Dept. of Architecture and Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology, Dr. Eng.

Director, Technical Research Institute, HASEKO Corporation, Dr. Eng.

** (株)長谷工コーポレーション技術研究所
担当部長・博士(工学)

び低減建材面積比が低減性能評価に与える影響」⁸⁾がある。筆者らの既報は、小型チャンバーを用いた一対比較試験により、市販のHCHO 除去製品の低減効果を定性的に確認し、大型チャンバー試験に供すべき製品を捨選択するスクリーニング試験ができることを明らかにしている。安宅らの前者の論文では、物質伝達率制御型小型チャンバーを用いて、供給濃度、温湿度、物質伝達率、建材面積を系統的に変化させたHCHO 濃度低減効果に関する実験を行い、パッシブ吸着建材表面の物質伝達率により HCHO 濃度低減効果が大きく異なること、試験条件として建材表面の物質伝達率を設定する必要があること、パッシブ吸着建材による汚染低減効果と換気の効果と直接比較できる換算換気量を評価指標とすることが有用であること等を明らかにした。安宅らの後者の論文では、小型チャンバー内にパッシブ吸着建材をHCHO 放散建材の一部に塗布・貼り合わせなどした試験体を用いて、HCHO 放散抑制性能並びの濃度低減性能を測定する方法を提案し、その測定方法に基づく試験結果から、ボード類の他に塗り壁などの湿式材料に対しても適用可能であること、放散量測定試験法と同じ設置率の条件で試験を行う必要があること等を明らかにした。金・田辺らは、「放散建材法」と「一定濃度供給法」の試験方法の違い、低減建材設置面積比が吸着低減性能評価値に及ぼす影響を明らかにしている。

しかしながら、これらの研究では、HCHO 供給濃度が低減性能へ及ぼす影響、及び、実験室試験に基づく濃度低減性能と実環境における濃度低減性能が整合することを明らかにしていない。

そこで、実環境における濃度低減性能を再現する HCHO 濃度低減建材の低減性能に関する性能評価・試験方法を提案することを研究目的とする。

本報では、JIS A 1905-1「小形チャンパー法による室内空気汚染濃度低減材の低減性能試験法—第1部：一定ホルムアルデヒド濃度供給法による吸着速度測定」で規定する試料設置率、HCHO 供給濃度等の実験条件の妥当性を検討すると共に、小型チャンパー法により特定された HCHO 濃度低減性能が、実際の居住環境下でも担保される為の試験条件を確認した。

なお、試験対象とした濃度低減建材は、(財)日本建築センターの「揮発性有機化合物汚染低減建材」の認定⁹⁾を受けたもので、表面に有する微細な細孔に物理吸着で HCHO を吸着するタイル状の内装建材である。

2. 試験条件による濃度低減性能の差異の検討

試料設置率、HCHO 供給濃度等の実験条件により、既存の性能評価指標である吸着速度 $ads[\mu\text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})]$ 、相当換気量 $Qads[\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})]$ がどの程度変化するか、小型チャンバー法を用いた試験により明らかにした。本報で用いる吸着速度は式(1)を、相当換気量は式(2)を用いて算出する。

$$ads = (C_{in(t)} - C_{out(t)}) \times \frac{Q}{A} \quad \dots (1)$$

$$Q_{ads} = \left(\frac{C_{in(t)}}{C_{out(t)}} - 1 \right) \times \frac{Q}{A} \quad \dots (2)$$

ads: 吸着速度 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$] Q_{ads} : 相当換気量 [$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]

$C_{in(t)}$: 経過時間 t における供給濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] Q : 換気量 [m^3/h]

$C_{out}(t)$: 経過時間 t における排気濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] A : 試験体面積 [m^2]

2. 1 試験概要

(1) 試験装置

図 1 に使用した試験装置の概要を示す。JIS A 1905-1 に準じ、物質伝達率の器差のない容積 0.15m³ の SUS 製小形チャンバーを 4 台使用した。設定温度にした空気をケミカルフィルターに通過させた後、三分岐させた各々の分岐管を HCHO 定常発生装置、加湿装置に接続した。発生させた HCHO ガス、調湿空気と希釈乾燥空気を混合させ、温湿度一定、設定供給 HCHO 濃度の空気を小型チャンバー 4 台へ同時に供給した。JIS A 1905-1 の一定 HCHO 濃度供給法に相当する。

(2) HCHO 定常発生装置

既報¹⁰⁾でも採用した装置で、東海大学理学部化学科関根嘉香教授が考案したHCHO定常発生装置を用いた。メスシリンダーにホルマリン溶液を入れ、先端に高温焼結エアーストーンを取付けたガラス管付きの蓋で密封する。小型ポンプでホルマリン溶液面に清浄空気を吹き付け、HCHOガスを発生させるものである。HCHOガス濃度は、ホルマリン溶液濃度と清浄空気流量で調整した。

この HCHO 定常発生装置により長時間に亘って、定常的に HCHO ガスを供給できることを確認するための実験を行った。DNPH-HPLC 法による濃度分析値で校正したマルチガスモニターを使用して 1 分間隔で HCHO 濃度を測定し、30 分移動平均値を算出した。結果の一例を図 2 に示すが、HCHO 供給平均濃度に対して $\pm 9\%$ の濃度変動で 3 日以上供給出来た。

(3) 試験条件

試験条件を表 1 に示す。試料設置率 4 水準，供給濃度 2 水準，その他は JIS A 1905-1 の試験方法で規定した実験条件と同様とした。

図1 小形チャンバーを用いた試験装置の概要

図2 HCHO 定常発生装置による HCHO 供給濃度の経時変動
(HCHO 供給濃度 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を目標値とした場合の一例)

(4) 試験方法

小型チャンパー内に試験体を設置し、設定した濃度のHCHOガスを換気回数0.5回/hに相当する流量で連続して給気した。給気を開始してから12、24、30、36、48、54、60、72時間後の計8回、給気・排気口からDNPHカートリッジで試料空気を捕集した。その後、HPLC定量分析法に基づいてHCHO濃度を算出した。

なお、給気中及び排気中のHCHOガス濃度をマルチガスモニターで連続モニタリングして、試験中におけるHCHOガス濃度の変動が小さいことを確認した。

2. 2 試験結果

(1) 定常状態の確認

1) 供給濃度と排気濃度の経時変動

図3に供給濃度と排気濃度の経時変動を示す。また、表2に各試験条件における8回の測定値の平均排気濃度と標準偏差を示す。

HCHO供給濃度が $305\mu\text{g}/\text{m}^3$ の場合、供給濃度の変動が認められるが、前述のように平均濃度に対して $\pm 9\%$ の濃度変動に留まっていた。

試料設置率 $L=0.5\text{m}^2/\text{m}^3$ 以下の試験では、供給濃度に拘わらず、試験開始54時間後から排気濃度が上昇した。また、試料設置率が小さいほど、排気濃度の標準偏差、経時変動が大きかった。この原因として、試料面積が小さく、チャンパー内HCHO濃度が平衡状態になるまで、長時間要したこと、後述のように、試料面積が小さく積算吸着量に限りがあるため、経過時間と共に低減性能が低下したことが考えられる。

平均値 $\pm$ 標準偏差の範囲内の排気濃度に基づくと、全ての試験条件において、経過時間36時間及び48時間における排気濃度が安定しており、この時間帯における1500小型チャンパー内は定常状態であったと判断出来る。

2) 吸着速度の経時変動

測定期間中における吸着速度の経時変化を図4に示す。

試料設置率 L が $0.50\text{m}^2/\text{m}^3$ 以下の試験では、供給濃度に拘わらず、経過時間と共に吸着速度が小さくなった。吸着速度の算定式から判るように、排気濃度の上昇による影響である。

試料面積が小さく積算吸着量に限りがあるため、経過時間と共に低減性能が低下したことが影響していると想定される。これに対して、試料設置率 L が $1.0\text{m}^2/\text{m}^3$ 以上の試験では、供給濃度、及び経過時間に拘わらず、吸着速度は測定期間中、ほぼ一定の値であった。

(1)HCHO 供給濃度 $97\mu\text{g}/\text{m}^3$ の場合

表 1 濃度低減性能の差異に関する試験条件

チャンパー No.	温湿度	供給濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	換気回数 [1/h]	試験体面積 [m^2]	試料設置率 [m^2/m^3]
1	28℃ 50%	100 及び 300	0.5	0.038	0.25
2				0.075	0.50
3				0.150	1.00
4				0.330	2.20

表 2 各試験条件における排気濃度の平均値と標準偏差

供給濃度	試料設置率	0.25 [m^2/m^3]	0.50 [m^2/m^3]	1.00 [m^2/m^3]	2.20 [m^2/m^3]
305 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	平均	187	136	81	32
	標準偏差	21	19	11	5.6
97 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	平均	56	41	21	8
	標準偏差	5.7	5.9	2.8	0.9

単位が記載されていない数値の単位は [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

表 3 各試験条件における吸着速度の平均値と標準偏差

試料設置率 [m^2/m^3]	供給濃度 $97\mu\text{g}/\text{m}^3$				供給濃度 $305\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	0.25	0.5	1.0	2.2	0.25	0.5	1.0	2.2
平均値 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]	80	55	37	20	265	181	128	66
標準偏差 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]	8	4	2	1	35	15	5	3

図 3 供給濃度と排気濃度の経時変動

(2)HCHO 供給濃度 $305\mu\text{g}/\text{m}^3$ の場合

図 4 各試料設置率における吸着速度の経時変化

表3に8つの吸着速度の算出値に関する平均値と標準偏差を示す。

田辺・金は「吸着速度は低減建材を設置したチャンパー内の濃度に多少の変化があっても安定した値が算出され、建材面積比が同一条件であれば建材の持つ固有な吸着低減性能値を提示することが出来る。しかし、面積条件が変われば吸着速度も変わる。」と述べているが、今回の試験結果は、この記述に整合する結果であった。全ての試験条件において、経過時間 36 時間及び 54 時間における吸着速度が、平均値±標準偏差の範囲内であった。経過時間 48 時間における吸着速度は、供給濃度 $97\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ・試料設置率 $0.25\text{m}^2/\text{m}^3$ における値だけが平均値±標準偏差の範囲から逸脱した。

以下、試料設置率や HCHO 供給濃度が濃度低減性能へ及ぼす影響は、経過時間 36 時間及び 48 時間における性能値の平均値を用いて検討する。

(2) 試料設置率の違いによる性能評価指標の差異

1) 吸着速度

図5に試料設置率と吸着速度の関係を示す。

供給濃度に拘わらず、試料設置率が大きいほど、吸着速度が小さくなった。試料設置率 $0.25\text{m}^2/\text{m}^3$ の場合の吸着速度を基準に、各々の試料設置率における吸着速度の比率を求めたところ、供給濃度に拘わらず、0.70、0.50、0.26 であった。

文献8)の田辺・金の論文では比率に関する記述は見当たらないが、今回の試験結果は、田辺・金による試験結果と同様の傾向を示す結果であった。

濃度低減建材の吸着性能は吸着材表面境界層近傍の濃度勾配に依存する。試料設置率が大きく、HCHO 吸着可能量より供給量が少ない場合、チャンパー内濃度が低くなると共に、吸着材表面境界層近傍の濃度勾配は緩やかになる。これにより、試料設置率が大きいほど吸着速度が小さくなったと考えられる。

試験結果で得られた4点の近似曲線を求めたところ、図中に示す破線のような対数関数近似曲線が最も適合した。今回用いた試験体に限った近似であり、その理由は定かでない。

2) 相当換気量

図6に供給濃度・試料設置率と相当換気量の関係を示す。

試料設置率 $0.25\text{m}^2/\text{m}^3$ 、 $0.5\text{m}^2/\text{m}^3$ の場合の相当換気量はほとんど同値であったが、これより試料設置率が大きい場合の相当換気量は高値を示した。

試料設置率 $0.33\sim 1.0\text{m}^2/\text{m}^3$ で試験を行った田辺・金は「換気量換算値は面積比条件による影響は少ない。しかし、換気量換算値は試験チャンパー内濃度が低くなり測定濃度に対する測定誤差の比が大きくなる場合は算出値の差も大きくなることは短所である。」と述べているが、今回の試験結果でも試料設置率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ の相当換気量がこれに該当すると考えられる。

相当換気量は式(2)に示したように、吸着速度 ads を排気濃度 C_{out} で除して算出する。

排気濃度と吸着速度に比例関係が成り立てば、相当換気量は試料設置率に関わらず一定となるはずであるが、試料設置率が大きく、排気濃度が極端に小さい場合は、排気濃度の値が若干変化するだけで、算定値が大きく異なる。例えば、供給濃度 $97\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、試料設置率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ の時の排気濃度 $8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ を $\pm 2\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 変化させ、相当換気量を試算したところ、相当換気量は約 $\pm 30\%$ 変動した。

前述のように、試料設置率が大きい場合、HCHO 吸着可能量より供給量が少ない試験条件下では、吸着速度は実力以下の結果となってしまう。これら2つが原因で、試料設置率が大きな場合の相当換気量は他の試験条件における値と大きく異なると考えられる。

試料設置率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ の場合の値を除き、相当換気量と供給濃度・試料設置率に関して、二元配置の分散分析を行ったところ、相当換気量は有意水準 5% で試料設置率による有意な差異があると認められた。しかし、供給濃度による有意な差異は認められなかった。

(3) 供給濃度の違いによる性能評価指標の差異

1) 吸着速度

表4に供給濃度による吸着速度の差異を示す。

供給濃度が 3.14 倍 ($=305/97$) になると吸着速度は 3.3~3.5 倍になった。文献6)では、供給濃度が 4.9 倍 ($=490/100$) になると平均吸着速度は 4.61 倍 ($=503/109$) になったと記述されている。

これらの試験結果を踏まえると、吸着速度と供給濃度の間には、厳密な比例関係は認められないと考えられる。

表4 供給濃度による吸着速度の差異

(比率は供給濃度 $97\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ における吸着速度を基準とした場合)

供給濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	試料設置率 [m^2/m^3]			
	0.25	0.5	1.0	2.2
305	260	180	130	66.7
97	75.4	53.3	37.3	20.3
比率	3.44	3.37	3.49	3.28

図5 試料設置率と吸着速度の関係

図6 供給濃度・試料設置率と相当換気量の関係

2) 相当換気量

前述のとおり、分散分析結果により、試料設置率が1.0 m²/m³であれば、供給濃度がガイドライン値の3倍程度高くなっている、相当換気量に有意な差異がないと考えられる。

供給濃度 97 μg/m³、試料設置率 2.2m²/m³の時の相当換気量を除く値を用いてt検定を行ったところ、相当換気量の平均値の95%信頼区間は1.20～1.72m³/(m²・h)であった。

(4) 小型チャンバー試験における適切な試験条件

JIS A 1905-1 や JIS A 1905-2 では、HCHO 濃度低減建材の低減性能の評価指標として吸着速度、積算吸着量若しくは飽和除去量、換気量換算値等を挙げている。

前述のように、壁面や天井面の一部若しくは全部を HCHO 濃度低減建材で仕上げた居室は、建築基準法施行令 20 条の 9 の適応を受けることが出来るが、そのためには、一般財団法人・日本建築センターや一般財団法人・ベタリーピングにおける性能評価を受けなければならない。(財)日本建築センターが定めた「シックハウス対策に関する居室等の性能評価業務方法書」に基づけば、測定又は計算した居室等のホルムアルデヒドの室内濃度等に関する試験又は計算結果の評価に必要となる試験に関する試験結果等報告書等の提出を求めている。その上で、当該 HCHO 濃度低減建材が担保する換気量換算値(本論文で言う相当換気量)に基づいて、当該居室内ホルムアルデヒド濃度が年間で概ね 0.1mg/m³ 以下であるために必要とする同建材の施工面積等の仕様と機械換気風量(換気回数)が適切であることを確認し、条文に該当すると評価している。以上のようなことを考慮すると、実環境における濃度低減性能を確認するための濃度低減性能の評価指標としては、相当換気量を用いることが妥当であると考えられる。

そこで、今回試験対象とした濃度低減建材に対する小型チャンバーにおける適切な試験条件として、相当換気量の平均値の 95%信頼区間に入る測定結果が得られた試験条件を整理した。

その結果、HCHO 供給濃度がガイドライン値程度であれば、試料設置率は 0.5m²/m³ 以下、及び、HCHO 供給濃度をガイドライン値の 3 倍程度とする場合には、試料設置率は 1.0m²/m³ 以下の試験条件が適切であると考えられる。

また、文献6)では、供給濃度により換算換気量が異なっていたが、排気口濃度の測定値にバラツキがあったためと考察している。DNPH-HPLC 分析方法の定量下限は 0.2～0.5 μg/m³であることを考慮すると、排気濃度は 50 μg/m³ 以上であることが望ましい。

以上の点、及び供給量と吸着量のバランスを考慮すると、0.15m³ 程度の容積の小型チャンバー法を用いた今回の試験体に対する試験条件としては、「試料設置率 0.5 m²/m³+供給 HCHO 濃度 100 μg/m³」、若しくは、「試料設置率 1.0 m²/m³+供給 HCHO 濃度 300 μg/m³」の組み合わせが望ましいと考える。

3. 実大実験による濃度低減効果の検証

JIS A 1905-1に基づいて特定されたHCHO濃度低減性能が、実際の居住環境下でも担保される為の試験条件を確認するため、SUS製大型チャンバーを用いた実大実験を実施した。

3. 1 実験概要

(1) 実験装置

実験装置の概要を図7に示す。容積14m³(4畳程度)のSUS製大形チャ

ンバーを用いた。小型チャンバー法同様に、給気ダクトへHCHOガスを放散する発生方法(一定HCHO濃度供給法)の他、HCHO内装仕上げ材や家具からHCHOが放出される状況を想定し、入口正面の壁面に設置した面積1m²のSUS製面状発生パッド(写真1参照)から、HCHOガスを漏れ出るように発生させた。

(2) 実験条件

実験条件を表5に示す。試験体は図8に示すように、壁1面に設置し、検討項目は①設置条件(平行・垂直)、②HCHO供給方法(ダクト内放散・チャンバー内部放散)とした。なお、HCHO内部発生時の試験体は垂直設置とした。写真2に試験体の設置状況の一例を示す。

(3) 実験方法

大型チャンバーの壁面に表5に示す面積の試験体を設置し、外部発生時は給気ダクト、内部発生時はSUS製面状発生パッドから、規定濃

図7 実大実験で用いた実験装置の概要
(給気ダクトにHCHOガスを供給する場合)

大型チャンバー平面図

図8 試験体の設置条件(左:平行設置, 右:垂直設置)

写真1 HCHO発生パッド

写真2 大型チャンバーにおける
試験体の設置状況(内部発生)

表5 実大実験における実験条件

		温湿度	換気回数 [1/h]	供給濃度 [μg/m ³]	試験体 面積 [m ²]	試料設置率 [m ² /m ³]
設置 条件	平行設置	28℃ 50%	0.5	100	6.1	0.43
	垂直設置				5.8	0.41
	HCHO 内部発生				5.8	0.41

度のHCHOガスを連続して供給した。

給気ダクトから供給する場合、換気回数0.5回/h相当の流量の給気中のHCHO濃度が100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となるよう、供給するHCHOガスの濃度と発生量を調整した。SUS製面状発生パッドから供給する場合、試験体がない状態でのチャンパー内HCHO濃度が100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となるよう、放散するHCHOガスの濃度と発生量を調整した。

実験開始から12h、24h、30h、36h、48h、54h、60h、72h経過後の計8回、給気ダクト内及び排気ダクト内からDNPHカートリッジで試料空気を捕集し、HPLC定量分析法に基づいてHCHO濃度を算出した。

3. 2 実験結果

試験体を平行設置した場合の実験と垂直設置した場合の実験で供給濃度に30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の差異があったため、吸着速度に関する比較は出来なかった。

以下、供給濃度の影響が少ない相当換気量の算出結果を比較する。

(1) 定常状態の確認

図9に、実大実験における供給濃度と排気濃度の経時変化の測定結果を示す。

一定HCHO濃度供給法の場合、小型チャンパーを用いた実験同様に、供給濃度は72時間内、平均値に対して $\pm 7\%$ の変動であった。

しかし、SUS製面状発生パッドからHCHOガスを発生させた場合、面状発生パッドから50cm離れた位置のHCHO濃度は72時間を通して、平均値 $\pm 18\%$ と大きく変動してしまった。

3つの実験における供給濃度、及び排気濃度が長時間安定している時間帯を、小型チャンパーを用いた実験同様の分析により求めた。その結果、実験開始から30時間経過すると安定状態となると判断した。面状発生パッドを用いた実験における大型チャンパー内濃度の変動も考慮して、以下の比較は経過時間36時間、48時間における測定値の平均値、各々の測定値を用いて算出した相当換気量の平均値で行う。

(2) 設置条件及び供給方法の違いによる影響

実験結果を表6に示す。平行設置と垂直設置では設置面積が約0.3 m^2 異なってしまったが、相当換気量は各々1.25 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ と1.47 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ であった。

また、一定HCHO濃度供給法で得た相当換気量に対して、SUS製面状発生パッドからHCHOガスを発生させた場合の相当換気量の方が1.5倍以上の高い値であった。

後者の場合、チャンパー内HCHO濃度が100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となるよう、7,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のHCHOガスを0.1 m^3/h 供給している。図10に、発生パッドから放散するHCHO濃度の経時変動を確認する予備実験の結果を示す。発生パッド表面で捕集した空気中のHCHO濃度は、平均値 $\pm 15\%$ と大きく変動していた。相当換気量に差異が認められた原因の一つとして、このような供給濃度の変動が考えられる。

(3) 小形チャンパーによる濃度低減性能と実大実験による濃度低減性能の比較

前述のとおり、小型チャンパーを用いた一定HCHO濃度供給法で得られた相当換気量の平均値の95%信頼区間は1.20 $\sim$ 1.72 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ であり、実大実験の一定HCHO濃度供給法で得られた相当換気量1.25 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、1.47 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ を含む範囲であった。

因みに、今回試験対象とした濃度低減建材に対する小型チャンパーを用いた一定HCHO濃度供給法における適切な試験条件として提案した「試料設置率0.5 m^2/m^3 +供給HCHO濃度100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 」での相当換気

量は1.24 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 、「試料設置率1.0 m^2/m^3 +供給HCHO濃度300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 」での相当換気量は1.76 $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ であった。

(1) 試験体を垂直設置した実験における測定結果

(2) 試験体を平行設置した実験における測定結果

図9 実大実験における供給濃度と排気濃度の経時変化

表6 実大実験における実験結果

	供給濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	排気濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	相当換気量 [$\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$]
平行設置	81.3	39.0	1.25
垂直設置	110.7	50.2	1.47
内部発生	105.1	37.6	2.19

図10 面状発生パッドから放散するHCHO濃度の経時変動

適切な試験条件の下で実施する小型チャンバーを用いた一定HCHO濃度供給法で得られる相当換気量は、実環境における相当換気量と整合していると言える。

濃度低減建材の吸着性能は換気量 Q /試験体設置面積 A とチャンバー内濃度分布の影響を受けることが報告されている⁷⁾。実大実験における換気量 Q は $7\text{m}^3/\text{h}$ 、試験体面積は表5の通りであることから、各試験条件における Q/A は、 $1.15\sim 1.20\text{m}^3/\text{h}$ 程度となる。実大実験で得た相当換気量の値に近い値が得られた「試料設置率 $0.5\text{m}^2/\text{m}^3$ +供給HCHO濃度 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 」の小型チャンバーにおける換気量 Q は $0.075\text{m}^3/\text{h}$ 、試験体面積は 0.075m^2 であることから Q/A は $1.0\text{m}^3/\text{h}$ であり、大型チャンバーにおける値より20%弱小さい。「試料設置率 $1.0\text{m}^2/\text{m}^3$ +供給HCHO濃度 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 」の実験条件における Q/A は $0.5\text{m}^3/\text{h}$ となり、実大実験における Q/A の50%未満である。

今回の実験結果は、文献⁷⁾の知見と整合した。

4. まとめ

(1) 今回試験対象とした濃度低減建材に関しては、実際の住宅室内における濃度低減建材の低減性能を試験結果として得る上で必要としている試料設置率、及び、小型チャンバーへ供給するHCHO濃度の試験条件は、JIS A 1905-1「小形チャンバー法による室内空気汚染濃度低減材の低減性能試験法—第1部：一定ホルムアルデヒド濃度供給法による吸着速度測定」で規定している試験条件と異なっていた。

(2) 今回試験対象とした濃度低減建材の有する低減性能に近い低減性能を有する試験体に対して、容積 0.15m^3 のSUS製小形チャンバーを用いた性能試験における試験条件として、以下のような提案を行う。

- ① 小型チャンバーへ供給するHCHO濃度を概ねガイドライン値とする場合には、試料設置率は $0.5\text{m}^2/\text{m}^3$ より小さいことが望ましい。
- ② 小型チャンバーへ供給するHCHO濃度を概ねガイドライン値試料の3倍程度の高値とする場合には、試料設置率が $1.0\text{m}^2/\text{m}^3$ より大きいことが望ましい。
- ③ 容積 0.15m^3 のSUS製小形チャンバーにおける適切な試験条件は、「試料設置率 $0.5\text{m}^2/\text{m}^3$ 、HCHO供給濃度 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 」、及び、「試料設置率 $1.0\text{m}^2/\text{m}^3$ 、HCHO供給濃度 $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 」の組み合わせであった。
- ④ これらの試験条件の下、換気量 Q /試験体設置面積 A の値が実環境における値に近い試験条件で実施した小型チャンバー法による相当換気量は、実環境における相当換気量とほぼ等しい値が得られた。

なお、今回の試験対象以外の濃度低減建材に対する試験条件としては、排気口濃度の分析誤差が $1\sim 2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度存在しても吸着速度の値が大きく変化しないような排気口濃度となるように、試験体設置率やHCHO供給濃度を定めるべきであると考えられる。

これに関しては、次報以降で検討する。

謝 辞

本報は、平成19年度に千葉工業大学大学院工学研究科建築学専攻修士課程を修了した川邊瑠美子さんが取り纏めた修士論文を、大幅

に修正、加筆したものである。

ここに記して、川邊さんを始めとして、関連する各種実験に携わった卒業生の皆さんに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (財)日本建築センター：新建築技術認定事業「室内空気中の揮発性有機化合物汚染低減建材認定基準」，BCJ-CS-5-2001
- 2) <http://www.cbl.or.jp/comp/kseino/index.html>，2012.9.20 参照
- 3) (財)日本規格協会：JIS A 1905-1「小形チャンバー法による室内空気汚染濃度低減材の低減性能試験法—第1部：一定ホルムアルデヒド濃度供給法による吸着速度測定」，2007.2
- 4) (財)日本規格協会：JIS A 1905-2「小形チャンバー法による室内空気汚染濃度低減材の低減性能試験法—第2部：ホルムアルデヒド放散建材を用いた吸着速度測定」，2007.2
- 5) 長谷川・木村・小峯・鎌田：パッシブ型ホルムアルデヒド(HCHO)除去製品の簡易性能試験方法，日本建築学会計画系論文集，第548号，pp.57-62，2001.10
- 6) 安宅・加藤・伊藤・朱・村上：化学反応型パッシブ吸着建材の濃度低減効果に関する研究-濃度低減効果測定法の開発と検証 第1報，日本建築学会環境系論文集，第581号，pp.59-66，2004.7
- 7) 安宅・加藤・除・朱：パッシブ吸着建材のホルムアルデヒド放散抑制性能試験法の開発，日本建築学会環境系論文集，第596号，pp.45-51，2005.10
- 8) 金・田辺：ホルムアルデヒド濃度低減性能試験における試験法及び低減建材面積比が低減性能評価に与える影響，日本建築学会環境系論文集，第659号，pp.35-41，2011.1
- 9) (財)日本建築センター：BCJ-AIBT-8「室内空気中の揮発性有機化合物汚染低減建材インテリアセラミックス エコカラット」，2012.7
- 10) 長谷川・羽田・小峯・鎌田：単体ガス成分に対する家庭用空気清浄機のパフォーマンスに関する検討，日本建築学会環境系論文集，第572号，pp.55-62，2003.10
- 11) 川邊・木村・小峯：室内空気汚染濃度低減材の低減性能試験法に関する研究 (第1報) 試料設置率、供給濃度の影響 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集I，pp.485-488，2007.9

(2013年10月4日原稿受理，2014年3月5日採用決定)