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

DEVELOPMENT OF TEST METHOD ABOUT SUPPRESSIVE EFFECT OF ADSORPTIVE BUILDING MATERIALS FOR FORMALDEHYDE EMITTING MATERIAL

安宅 勇二*, 加藤 信介**, 徐 長 厚***, 朱 清 宇****

Yuji ATAKA, Shinsuke KATO, Jang-Hoo SEO
and Qingyu ZHU

In this paper, a test method for evaluating the ability of adsorptive building materials to reduce the concentration of formaldehyde is examined. The authors developed a new method that uses a small chamber to test the suppressive effect of adsorptive building material on formaldehyde-emitting materials. Two small chambers are prepared, with the formaldehyde-emitting building material placed in one chamber, and a composite building material comprised of adsorptive building material and the same kind of the formaldehyde-emitting building material in the other. The formaldehyde emission factors of the two chambers are compared, and the equivalent ventilation rate Q_{ads} is calculated. This test method enables the indoor concentration reducing performance and the suppressive performance of the adsorptive building materials to be evaluated at the same time. The tests of the suppressive effect are examined using several kinds of adsorptive building materials, and accordingly the validity of the test method is verified.

Keywords : Adsorptive Building Material, Formaldehyde, Adsorption rate, Equivalent Ventilation Rate

パッシブ吸着建材、ホルムアルデヒド、吸着速度、換気量換算値

1. 序

本研究は、ホルムアルデヒド (HCHO) を室内に放散する建材に HCHO を吸着する能力を持つ建材 (パッシブ吸着建材) をはり付けた場合の HCHO 放散抑制性能ならびに室内濃度低減性能を具体的に測定する方法を提案し、その有用性を検討する。

シックハウス問題での HCHO 汚染源対策が進む一方、パッシブ吸着建材による濃度低減効果を謳った製品が市場に流通している^{※1-5)}。最近では、(財)日本建築センターでパッシブ吸着建材の室内空気汚染濃度低減性能に関する認定制度が開始されているほか^{※6)}、パッシブ吸着建材に関する濃度低減性能試験法の JIS 化も検討されている^{※7)}。しかし、それら濃度低減性能試験法が検討されているものの、現状では統一された試験法がない^{※8-12)}。パッシブ吸着建材は蒸散支配型建材の化学物質放散と同様、建材表面の気流性状、すなわち物質伝達率 α_m に大きく影響を受けることが報告されている^{※12,15,16)}。汚染濃度低減性能が気流性状などに大きく影響を受けることは、試験条件の違いにより低減性能が大きく異なる可能性を意味する。

低減性能試験法の第一の目的は、実際に使用される時の性能を予測できることである。すなわち、室内の条件に近い状態で試験を行う必要がある。一般的な室内での物質伝達率は、JIS A 1901 では水蒸気で $9 \sim 18[\text{m/h}]$ としている^{※13,14)}。この物質伝達率は、ここでは

試料面積の平均を意味しているが、気流性状だけでなく、試料面積の大小、試料近傍の濃度分布性状などの影響も受ける。したがって、試験時にはパッシブ吸着建材表面の物質伝達率が室内の条件に対応するよう注意が必要である。また、濃度低減性能が雰囲気濃度の影響を受ける可能性があるため、試験時の汚染ガス濃度は、実現象に対応させることが必要である。さらに試験片の大きさにも注意を払う必要がある。

筆者らは物質伝達率制御型小形 Chamber (境界層型小型 Test Chamber) を用いて、定常法によるパッシブ吸着建材の HCHO 濃度低減性能試験を検討してきた^{※12)}。これは、実現象に対応した既知濃度の HCHO を Test Chamber に一定濃度で供給し、給・排気濃度 (C_i, C_o) を測定することによって、吸着速度 $ads [\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})]$ および換気量換算値 $Q_{ads} [\text{m}^3/(\text{hm}^2)]$ を求め、パッシブ吸着建材の室内 HCHO 濃度低減性能を評価する^{注1)}。定常法は、実際の使用時に近い条件の性能を測定するのに十分なものと考えられる。しかしながら、特に一定濃度の汚染ガスを連続供給する難しさや標準ガスが高価であるといった欠点がある。

濃度低減建材であるパッシブ吸着建材は、汚染ガス放散建材の表面にはり付けもしくは塗布し、汚染ガス放散を抑制することを目的とするものも多い。しかし、放散面すべてを覆うことが困難な場合

* 吉野石膏(株) 工修

(東大生研民間等共同研究員)

** 東京大学生産技術研究所 教授・工博

*** 東京大学大学院 大学院生

**** 東京大学生産技術研究所 博士研究員・博士(工学)

Yoshino Gypsum Co., Ltd., M. Eng.

Prof., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Graduate Student, University of Tokyo

Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Ph. D.

もあるので、放散面全面にパッシブ吸着建材が取付けられない場合も生じる。また、パッシブ吸着建材を使用する以上、単なるガス不透過膜をはり付けるなどの対策とは違い、別の放散源から発生した室内空気中の HCHO 濃度低減が期待されることは当然である。すなわち、放散を抑制する性能ならびに室内濃度低減性能を評価する試験法が求められる。このような状況で、Test Chamber 内に一定濃度の汚染ガスを導き低減性能を試験する定常法とは別に、HCHO 放散建材からの HCHO 放散を抑制し、さらに室内 HCHO 濃度を低減する性能を同時に評価する試験法の開発が求められる。

今回、JIS A 1901 小形チャンバー法を基本とし¹⁴⁾、HCHO 放散抑制性能試験法を考案し、その有効性を検討した¹⁷⁻¹⁹⁾。この試験法は、パッシブ吸着建材を HCHO 放散建材の一部に塗布・はり合わせるなどした場合の HCHO 放散抑制性能ならびに濃度低減性能を測定するものである。本法の特徴は、1) JIS A 1901 に準じた測定法でよく、試験方法が簡便であること、2) 既存の放散試験用 Test Chamber を用いることができること、3) 吸着性能を検討する際、吸着される汚染ガスを安定供給する手間が不要なことなどである。

本報では、① HCHO 放散抑制性能試験法の有用性、② 換気量 Q および試験建材面積 A の比 Q/A を変えた場合の濃度低減性能への影響、③ 湿式パッシブ吸着建材(塗り壁材)への適用可能性、④ HCHO 放散抑制性能試験と定常法による濃度低減性能試験との対応を検討した結果を示す。また参考として、⑤ 定常法試験で Q/A を変えた場合の濃度低減性能への影響ならびに建材表面の気流性状を制御するユニット^{20,21)}を用いた試験結果も示す。

2. HCHO 放散抑制性能試験測定原理

本研究では、放散抑制という用語を次のように定義する。

- (a) 狭義の放散抑制：HCHO 放散建材の放散面にパッシブ吸着建材をはり付け、直接放散を抑制する。
- (b) 広義の放散抑制：解釈を拡張した放散抑制であり、放散面から一度気中に放散された化学物質をパッシブ吸着建材で吸着し、この放散面から実質的に室内に放散される化学物質の量を抑制する効果である。
- (b)の広義の放散抑制性能は、もちろん通常の室内汚染濃度低減性能と同じである。今回提案する放散抑制性能試験は、この狭義の放散抑制と広義の放散抑制の両者をあわせて測定する試験方法である。

定常的な換気のある状況下で、パッシブ吸着建材の狭義と広義の HCHO 放散抑制性能を測定する。2 つの小形 Chamber (Chamber1, Chamber2) を用意する。図 1 に測定システムを示す。Chamber1 に HCHO 放散建材を設置する。Chamber2 に HCHO 放散建材の表面の一部(面積比 2/3 (67%))にパッシブ吸着建材をはり合わせた“複合建材”を設置する。JIS A 1901 による測定を行い、両 Chamber の HCHO 放散量(放散速度 EF_a)を比較し、狭義の放散抑制性能ならびに広義の放散抑制性能(室内濃度低減性能)を評価する。

試験は複合建材のはり合わせ面から HCHO 放散が生じないこと、すなわち狭義の放散抑制性能が 100%であることを前提とする。さらに、複合建材の HCHO 放散建材露出面(面積比 1/3 (33%))から放散される HCHO をパッシブ吸着建材がどの程度気中から濃度低減(広義の放散抑制)したかを評価する。そのため、パッシブ吸着建材をはり合せた面を通して HCHO 放散が生ずると(狭義の放散抑

図1 ADPAC System による HCHO 放散抑制性能試験

表1 吸着速度 ads および換気量換算値 Q_{ads} 算出方法^{注2), 3)}

$$S_1 = A \times EF_{a1} = (C_{t1} - C_{t0,1}) \times Q = (C_{t1} - C_{t0,1}) \times nV$$

$$= (C_{t1} - C_{t0,1}) \times q \times A = (C_{t1} - C_{t0,1}) \times n/L \times A \quad (1)$$

$$S_{1,1/3} = \left(\frac{A}{3}\right) \times EF_{a1,1/3} = \frac{A \times EF_{a1}}{3} = \frac{(C_{t1} - C_{t0,1}) \times Q}{3} \quad (2)$$

$$S_{2,1/3} = (A/3) \times EF_{a2,1/3} = A \times EF_{a2} = (C_{t2} - C_{t0,2}) \times Q$$

$$= (A/3) \times EF_{a1,1/3} - (2A/3) \times ads \quad (3)$$

$$ads = 1/2 \times (EF_{a1,1/3} - EF_{a2,1/3})$$

$$= (Q/2A) \times \{(C_{t1} - C_{t0,1}) - 3(C_{t2} - C_{t0,2})\} \quad (4)$$

$$Q_{ads} = \frac{ads}{(C_{t2} - C_{t0,2})} \quad (5)$$

$$Sup_{2/3} = \left(\frac{C_{t1} - C_{t2}}{C_{t1}}\right) \times 100 \quad (6)$$

S_1 : HCHO 放散量[$\mu\text{g}/\text{h}$]

$S_{1,1/3}$: HCHO 放散建材の 1/3(33%)の面積から放散される HCHO 放散量[$\mu\text{g}/\text{h}$]

EF_a : HCHO 放散速度[$\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$]

$EF_{a,1/3}$: HCHO 放散建材の 1/3(33%)の面積から放散される HCHO 放散速度[$\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$]

n : 換気回数[h^{-1}]

Q : 換気量[m^3/h]

V : Chamber 容積[m^3]

A : 建材面積[m^2]

L : 試料負荷率[m^2/m^3]

C_{t1} : 経過時間 t における HCHO 濃度[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

$C_{t0,t}$: 経過時間 t におけるトラベルブランク[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

ads : パッシブ吸着建材単位面積当たりの HCHO 吸着速度[$\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$]

Q_{ads} : 換気量換算値[$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$]

$Sup_{2/3}$: パッシブ吸着建材面積が 2/3 (67%) の時の放散抑制率[%]

制性能のみを考えると、100%でない場合)、その分広義の放散抑制性能、すなわち濃度低減性能が小さく評価される。ここで、Chamber2 に設置されている複合建材の HCHO 放散建材放散面をどの程度パッシブ吸着建材で覆い、どの程度放散面を残すかは、試験結果に影響を与える。本研究では、複合建材の作製の容易さ、Test Chamber に設置した場合の対称性などを考慮し、吸着建材で覆ってない面積が 1/3 (33%) と比較的大きい場合の検討を行う。

Chamber1 での放散建材面積の 1/3 (33%) からの HCHO 放散量が Chamber2 での HCHO 放散量と仮定し、濃度低減(広義の放散抑制)が生じない場合の Chamber2 の濃度とする。この濃度に対し、面積

比 2/3 (67%) のパッシブ吸着建材がどの程度放散抑制性能 (狭義と広義) を有するかを測定する。なお、実際の Chamber2 における HCHO 放散建材からの EF_{a2} は、放散面積 A が 1/3 に減じ、さらにパッシブ吸着建材による HCHO 吸着の影響により Chamber 内濃度が低下するため放散量が大きくなり、Chamber1 での EF_{a1} に比べ大きくなる傾向を持つ^{22,23)}。これは、低減性能としては安全側の性能評価になる。

3. 濃度低減性能の吸着速度および換気量換算値の算出法

HCHO 放散建材を Chamber1 に設置し、経過時間 t における HCHO 放散量 $S_1 = A \times EF_{a1}$ は、表 1 の式 (1) となる。したがって、Chamber1 の HCHO 放散建材の表面 1/3 (33%) から放散される HCHO 放散量 $S_{1,1/3}$ は、式 (2) となる^{注2)}。Chamber2 の複合建材は、HCHO 放散建材の露出部分 (面積比 1/3 (33%)) による HCHO 放散からパッシブ吸着建材 (面積比 2/3 (67%)) によって汚染濃度低減分が差し引かれた見掛けの HCHO 放散量 $S_{2,1/3} = (A/3) \times EF_{a2,1/3}$ が測定される (式 (3))。これより、パッシブ吸着建材の単位面積当たりの吸着速度 ads は式 (4)、換気量換算値 Q_{ads} は式 (5) となる。また、放散抑制率 $Sup_{2/3}$ は、式 (6) のように求めることができる^{注3)}。

4. 試験方法

4.1 試験建材

試験建材を表 2 に示す。HCHO 放散建材は Ply と PB を用いた。パッシブ吸着建材は 7 種類、遮蔽材を想定して Al、比較建材 2 種類を測定した^{注4)}。

4.2 HCHO 放散抑制性能試験

4.2.1 複合建材の作製

HCHO 放散建材の Chamber 内濃度は、 ads 算出時に試験片の面積の 1/3 で評価を行うため、ある程度高放散量の建材を用いる^{注5)}。複合建材の作製は、パッシブ吸着建材を HCHO 放散建材の一部にはり合わせもしくは塗布する。この際、試験体面積を 3 分割し、中心部分は HCHO 放散建材を露出させ (面積比 1/3 (33%))、その両側にパッシブ吸着建材 (面積比 2/3 (67%)) をはり合わせる (図 1)。ボード類は接着剤などを使用せず、ねじ・釘などにより HCHO 放散建材に固定する^{注6)}。小口面はシールをする。

4.2.2 試験条件

HCHO 放散抑制性能試験は、2 つの 20L 小形 Chamber ADPAC を使用する。試験ケースを表 3 に示す。JIS A 1901 に準じ、温度 28℃、相対湿度 50% とする。初めに HCHO 放散建材単体での放散速度 EF_a を確認後、複合建材を作製して試験を行う^{注7)}。本報では HGB を用いて Q/A ($=n/L$) を変化させた場合の濃度低減性能への影響を確認後、表 3 に示す各種建材を用いて試験を行なう。HCHO 濃度測定は JIS A 1901 に従い、分析は DNPH カートリッジによりサンプリングし (0.167 L/min, 10.0 L)、高速液体クロマトグラフ (HPLC) により定量した。

4.3 定常法による HCHO 濃度低減性能試験

20L 小形 Chamber ADPAC を用いて、4.2 の試験に対応する定常法による濃度低減性能試験を行う。試験ケースを表 4 に示す。本報では、ADPAC Chamber 内に試験建材表面の気流が制御可能という気流制御ユニット AD-FLOW (図 2) の有無による試験も行なった^{注8)}。温

表 2 試験建材

種類	記号	建材名
HCHO 放散建材	Ply	合板
	PB	パーティクルボード
	HGB	HCHO 吸収分解せつこうボード
	DGP	珪藻土入りせつこうプラスター
パッシブ吸着建材	WET	湿式材料 (粘土鉱物+酵素+特殊液)
	RW	ロックウール系建材
	HPC	多孔質調湿セラミック建材
	PNT	ペンキ
	CSB	ケイカル系調湿建材
遮蔽材	Al	アルミシール
比較建材	RW(R)	ロックウール系建材 (通常品)
	GB	せつこうボード (通常品)

表 3 HCHO 放散抑制性能試験ケース (28℃, 50%RH)

Case	Chamber1	Chamber2	n [h ⁻¹]	Q/A [m/h]
SE-1-Ply	Ply	Ply	0.5	0.25
SE-2-PB	PB	PB	0.5	0.46
SE-3-Ply-HGB	Ply	Ply+HGB	0.5	0.25
SE-4-Ply-Al	Ply	Ply+Al	0.5	0.25
SE-5-PB-Al	PB	PB+Al	0.5	0.23
SE-6-PB-HGB1	PB	PB+HGB	0.5	0.46
SE-7-PB-HGB2	PB	PB+HGB	0.27	0.25
SE-8-PB-HGB3	PB	PB+HGB	0.5	0.23
SE-9-PB-DGP	PB	PB+DGP	0.5	0.23
SE-10-PB-WET	PB	PB+WET	0.5	0.23
SE-11-PB-RW	PB	PB+RW	0.5	0.23
SE-12-PB-HPC	PB	PB+HPC	0.5	0.23
SE-13-PB-PNT	PB	PB+PNT	0.5	0.23
SE-14-PB-GB	PB	PB+GB	0.5	0.23

表 4 定常法試験ケース (28℃, 50%RH)

Case	試料	AD-FLOW	n [h ⁻¹]	Q/A [m/h]
SS-1-HGB1	HGB	有	0.5	0.46
SS-2-HGB2	HGB	無	0.5	0.46
SS-3-HGB3	HGB	無	0.5	0.23
SS-4-DGP	DGP	無	0.5	0.23
SS-5-RW	RW	無	0.5	0.23
SS-6-HPC	HPC	無	0.5	0.23
SS-7-PNT	PNT	無	0.5	0.23
SS-8-CSB	CSB	無	0.5	0.23
SS-9-GB	GB	無	0.5	0.23
SS-10-RWR	RW(R)	無	0.5	0.23

図 2 気流制御ユニット AD-FLOW 外観

度 28℃、相対湿度 50%、 $n = 0.5$ [h⁻¹]、 Q/A ($=n/L$) = 0.46, 0.23 [m/h] とした。供給 HCHO 濃度 C_i は、100 [μg/m³] とした。分析は 4.2 と同様、DNPH カートリッジによりサンプリングし (0.167 L/min, 10.0 L)、HPLC により定量した。

5. 結果

5.1 HCHO 放散抑制性能試験結果

HCHO 放散抑制性能試験を行なった結果、一定濃度の HCHO ガス

表5 HCHO 放散抑制性能試験結果 (28℃, 50%RH)

Case	Chamber1		Chamber2		ads [$\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$]	Q_{ads} [$\text{m}^3/(\text{hm}^2)$]	$Sup_{2/3}$ [%]
	C_1 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	EF_{a1} [$\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$]	C_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	EF_{a2} [$\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{h})$]			
SE-1-Ply	400.8	100.2	519.1	129.8	-	-	-
SE-2-PB	80.9	37.4	82.7	38.3	-	-	-
SE-3-Ply-HGB	280.0	70.1	16.1	4.0	29.0	1.8	94.3
SE-4-Ply-AI	268.1	67.2	119.7	30.0	-11.4	-0.1	55.4
SE-5-PB-AI	93.9	21.8	64.0	14.8	-11.4	-0.2	31.9
SE-6-PB-HGB1	87.4	40.5	10.2	4.7	13.2	1.3	88.4
SE-7-PB-HGB2	107.8	27.0	12.5	3.1	8.8	0.7	88.4
SE-8-PB-HGB3	115.3	26.7	16.2	3.7	7.8	0.5	86.0
SE-9-PB-DGP	109.2	25.3	9.3	2.2	9.4	1.0	91.5
SE-10-PB-WET	105.6	24.5	147.3	34.2	-39.0	-0.3	-39.5
SE-11-PB-RW	93.3	21.6	31.2	7.2	-0.0	-0.0	66.6
SE-12-PB-HPC	81.9	19.0	66.5	15.4	-13.7	-0.2	18.7
SE-13-PB-PNT	103.9	24.1	27.3	6.3	2.6	0.1	73.8
SE-14-PB-GB	127.1	29.5	110.6	25.6	-23.7	-0.2	12.9

図3 HCHO 放散抑制性能試験
HCHO 放散建材単体 (SE-2-PB) 図5 HCHO 放散抑制性能試験
複合建材 (SE-8-PB-HGB3) 図4 HCHO 放散抑制性能試験
複合建材 (SE-5-PB-AI) 図6 HCHO 放散抑制性能試験
複合建材 (SE-9-PB-DGP) 図7 HCHO 放散抑制性能試験
複合建材 (SE-14-PB-GB)

の供給が不要で既存の放散試験用 Test Chamber を使用でき、試験法も JIS A 1901 に準じた非常に簡便で有用な測定法であることが確認できた。

表5ならびに図3～7に結果を示す。図3のHCHO放散建材単体(SE-2-PB)では、両Chamberの放散速度 EF_a がほぼ同じであり、HCHO放散抑制性能試験に使用可能な建材であった。

図3(SE-2-PB)と図4(SE-5-PB-AI)を比較すると、図4のAIをはり合せた場合は狭義の放散抑制性能があるため、Chamber2の複合建材の EF_{a2} がChamber1の EF_{a1} よりも小さくなっていることがわかる。このことから、SE-4-Ply-AI、SE-5-PB-AIの場合(表5)、狭義のHCHO放散抑制性能があることがわかる。しかし、HCHO放散建材はHCHO放散面積($Q/A (= n/L)$)の違いにより、HCHO放散量が変化するという性質がある^{22,23)}。このため、式(1)～(4)で求まるChamber1のHCHO放散建材単体(PB)の $EF_{a1,1/3}$ より、Chamber2の複合建材(PB+AI)の $EF_{a2,1/3}$ が大きくなり、 ads や Q_{ads} は負の値となる。よって、広義の放散抑制性能(濃度低減性能)がないことがわかる。本試験法は吸着性能を有するパッシブ吸着建材を対象と

した試験法である。これより、単に遮蔽効果(シール効果)だけでは、広義の放散抑制性能(濃度低減性能)を過大評価しない試験法であることが確認できた。

SE-6-PB-HGB1～SE-8-PB-HGB3を比べると、 $Q/A (= n/L)$ の変化によって ads 、 Q_{ads} が影響を受けることがわかった(表5、図5)。横並びの性能評価をするためには、 $Q/A (= n/L)$ を一定とした試験条件が必要である。SE-9-PB-DGP、SE-10-PB-WETは、湿式材料のパッ

シブ吸着建材を試験した場合である（表 5、図 6）。湿式材料を使用した場合も同様に HCHO 濃度低減性能を評価できることが確認できた。

表 5 の SE-8-PB-HGB3 以降は、 $Q/A = 0.23$ [m/h] の条件で試験を行なった結果である。HGB や DGP は、狭義の HCHO 放散抑制性能ならびに広義の放散抑制性能（濃度低減性能）が確認できた。これは、図 3（SE-2-PB）と図 5,6 を比較しても理解できる。また、比較建材 GB（SE-14-PB-GB）は、表 5、図 7 より Chamber1（PB 単体）と Chamber2（複合建材：PB+GB）の HCHO 放散速度がほぼ同じであるので、HCHO 放散抑制性能（狭義と広義）が見られず、通常の建材は濃度低減性能がないという評価ができた^{注 9)}。一方、SE-10-PB-WET～SE-13-PB-PNT のパッシブ吸着建材は、HCHO 放散抑制性能が見られなかった。特に SE-10-PB-WET は、Chamber2 の複合建材の方が Chamber1 の HCHO 放散建材よりも EF_a が大きくなってしまった。これは吸着建材と謳いながら、HCHO が建材成分中に含有されていて、HCHO 放散があったことが原因である^{注 10)}。

このような建材が市場に流通していることを考えると、本試験法はパッシブ吸着建材の HCHO 濃度低減性能試験法の一つとして、有効性をもつものと考えられる。

5.2 定常法による HCHO 濃度低減性能試験結果

定常法試験結果を表 6、図 8～10 に示す。ADPAC Chamber 内に気流制御ユニット AD-FLOW を設置した場合、物質伝達率 α_m が大きくなるため、SS-1-HGB1 と SS-2-HGB2 では明らかに濃度低減性能に大きな差が生じることが示された。このことから、パッシブ吸着建材の濃度低減性能試験を行う場合、 α_m の影響を考慮した試験が必要となることが再確認された^{文 12)}。SS-2-HGB2 と SS-3-HGB3 では、 $Q/A (= n/L)$ が変化すると、HCHO 放散抑制性能試験と同様、換気量換算値 Q_{ads} が変化するので、 $Q/A (= n/L)$ を一定とした条件で試験を行うことが必要である。

表 6 の $Q/A = 0.23$ [m/h] の条件で試験を行なった SS-3-HGB3～SS-8-CSB については、HGB や DGP など HCHO 濃度低減性能が確認できた。しかし、パッシブ吸着建材と謳っている CSB は HCHO 濃度低減性能がなかった^{注 10)}。また、RW や HPC は、定常法では濃度低減性能が確認されたが、放散抑制性能試験では性能がなかった。

SS-9-GB, SS-10-RWR の比較建材は、濃度低減性能がなかった（表 6）。ただし、図 10 に示すように試験初期段階では物理吸着による濃度低減性能が見られた。

6. 考察

HCHO 放散抑制性能試験の ads や Q_{ads} は、負（マイナス）の評価となってしまう場合がある。これは狭義の放散抑制性能がないため、はり合せた建材を HCHO が透過すること、Chamber2 での複合建材の HCHO 放散建材露出面の HCHO 放散速度が Chamber1 での放散速度 $EF_{a1,1/3}$ よりも大きくなるのが原因である。ただし、SE-4-Ply-AI や SE-5-PB-AI の場合、AI をはり合せた面は遮蔽されているため、狭義の放散抑制性能は有するが、複合建材の HCHO 放散建材面の HCHO 放散速度が大きくなるために Q_{ads} が負の評価となる。

HCHO 放散抑制性能試験の HGB（SE-6-PB-HGB1～SE-8-PB-HGB3）の試験結果を比べると、 $Q/A (= n/L)$ の変化によ

表 6 定常法による HCHO 濃度低減性能試験結果（28℃, 50%RH）

Case	AD-FLOW	C_i [μg/m ³]	C_o [μg/m ³]	ads [μg/(m ² h)]	Q_{ads} [m ³ /(hm ²)]
SS-1-HGB1	有	105.2	11.9	42.3	3.6
SS-2-HGB2	無	99.6	26.6	33.8	1.3
SS-3-HGB3	無	99.6	20.7	18.3	0.9
SS-4-DGP	無	96.6	10.9	19.9	1.8
SS-5-RW	無	96.4	21.5	17.4	0.8
SS-6-HPC	無	97.6	17.4	18.6	1.1
SS-7-PNT	無	97.2	26.3	16.4	0.6
SS-8-CSB	無	96.4	73.4	5.3	0.1
SS-9-GB	無	97.2	88.7	2.0	0.0
SS-10-RWR	無	97.6	92.0	1.3	0.0

図 8 定常法試験（SS-1-HGB1, SS-2-HGB2）

図 9 定常法試験（SS-4-DGP）

図 10 定常法試験（SS-9-GB）

て ads , Q_{ads} が影響を受けることがわかる（表 5）。パッシブ吸着建材の濃度低減性能を横並びに評価するためには、 $Q/A (= n/L)$ を一定とした試験が必要である。一般的に JIS A 1901 では、 $Q/A (= n/L) = 0.23$ [m/h] ($n = 0.5$ [h⁻¹], $L = 2.2$ [m²/m³]) の条件で測定されている。本試験法でも同一条件で試験を行うことが性能評価が容易と思われる。また、 Q_{ads} を換気量確保のための補助的数値として利用する場合も $Q/A = 0.23$ [m/h] の条件は、安全側の評価となることから、設計者側からも利用しやすいものと考えられる。定常法試験の SS-2-HGB2 と SS-3-HGB3 でも HCHO 放散抑制性能試験と同様、 $Q/A (= n/L)$ の変化により Q_{ads} が変化するので、 Q/A を一定 (0.23 [m/h]) とした条件で試験を行うことが必要である。

SE-4-Ply-AI, SE-5-PB-AI では、HCHO 放散面の 2/3 の面積に遮蔽材を想定して AI をはっている。表 5 の放散抑制率 $Sup_{2/3}$ をみると、それぞれ約 55%および約 32%の放散抑制率であり、いずれも AI で覆った面積比の 67%を大幅に下回っている。これは、HCHO を放散する Ply (合板) や PB (パーティクルボード) の HCHO 放散性状が、室内空気が低濃度ほど大きくなることに対応し、Chamber2 での HCHO 濃度が Chamber1 に比べ低下したため、その分放散量が増加することに対応している^{22,23)}。この現象は、実際の室内でも生じている可能性がある。今回提案する試験法は、この現象を想定した試験法となっている。

AI は遮蔽効果によって HCHO の放散を抑制しているが濃度低減効果はなく、狭義の放散抑制性能しかない。一方、HGB, DGP, PNT などは $Sup_{2/3}$ が 67%以上と大きいことから、広義の放散抑制性能(濃度低減性能)を有する。また、SE-14-PB-GB のような比較建材の場合、 $Sup_{2/3}$ が 67%より大幅に小さい。これは、建材中を HCHO が透過してしまっただけでなく、広義の放散抑制性能もない、すなわち濃度低減性能もないことが原因である。

表 7 に示すように、HCHO 放散抑制性能試験の Q_{ads} の方は定常法の Q_{ads} よりも小さな値となるが、両試験法の結果は対応している。また図 11 から、HCHO 放散抑制性能試験法が定常法よりも安全側に評価されていることがわかる。これは、HCHO 放散抑制性能試験の場合、前述したように① 複合建材の HCHO 放散面積が 1/3 に減少するので EF_a が大きくなること、② 吸着面積も定常法より小さく、③ さらに気中からの HCHO 吸着だけでなく建材中を透過してくる HCHO も吸着しなくてはならないので、非常に厳しい性能評価となる。このことは、パッシブ吸着建材の濃度低減性能を安全側に評価することになる。

表 6 の SS-3-HGB3~SS-8-CSB をみると、RW や HPC は定常法では濃度低減性能が確認されたが、HCHO 放散抑制性能試験では性能が見られなかった。これは表面のみで室内の HCHO 濃度のみを低減させようと意図した建材の場合、HCHO 放散抑制性能試験は非常に厳しい試験となることを示唆している。一般的に住宅内では、壁・天井裏など、放散抑制建材をはり付けできない場所が存在し、室内側への透過・移流も考えられる。実際、佐藤らや林らは、実大実験住宅において壁体内から室内側へ化学物質が移流や透過することを確認している^{24,25)}。すなわち、パッシブ吸着建材による室内空気中の HCHO 吸着は、壁裏など放散抑制建材をはり付けできない面から放散される HCHO にも対応することも当然のことと考えられる。この意味で今回提案する HCHO 放散抑制性能試験は、より実現象に近い試験方法と考えられる。

7. 結論

パッシブ吸着建材の HCHO 濃度低減性能試験法として、HCHO 放散抑制性能試験を行った。

- 1) 本試験法は、JIS A 1901 を基本とし、汎用的な 20L 小形 Chamber を使用した簡便で有用な測定法である。
- 2) 本試験法は、パッシブ吸着建材の狭義の放散抑制性能と広義の抑制性能である室内濃度低減性能を同時に評価するものであり、実現象に近い試験法である。
- 3) ボード類のほかに湿式材料についても本試験法が適用可能であ

表 7 HCHO 放散抑制性能試験法と定常法試験の Q_{ads} の比較

試験建材	$Q_{ads} [m^3/hm^2]$	
	放散抑制	定常法
HGB	0.5	0.9
DGP	1.0	1.8
RW	-0.0	0.8
PNT	0.1	0.6
HPC	-0.2	1.1
GB	-0.2	0.0

$Q/A = 0.23 [m/h]$ の場合

図 11 HCHO 放散抑制性能試験と定常法試験の Q_{ads} の関係

ることを確認した。

- 4) 性能評価指標として用いた換気量換算値 Q_{ads} は、本試験法と定常法でほぼ対応しているが、定常法よりも小さかった。これは安全側の性能評価につながる。
- 5) 気流制御ユニット使用の有無による濃度低減性能の違いを確認し、パッシブ吸着建材の濃度低減性能試験を行う場合、物質伝達率 α_m が非常に影響することを再確認した。
- 6) 濃度低減性能は Q/A にも影響されるため、20L 小形 Chamber を使用する場合、横並びの性能評価をするために、放散量測定試験法と同様の $Q/A = 0.23 [m/h]$ の条件で試験を行なうことが必要である。
- 7) 市場流通品の中には、HCHO 濃度低減性能がないパッシブ吸着建材もあった。このことから、本試験法の有用性が認識できる。
- 8) 今後、HCHO 以外の揮発性有機化合物 (VOCs) の濃度低減性能を謳ったパッシブ吸着建材の濃度低減性能試験を行なっていく予定である。また、濃度低減性能の妨害に関する検討を行なう必要がある。今後の検討課題である。

謝辞

本研究は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受け、財団法人 建材試験センター内に設置された「建材からの VOC 等放散量の評価方法に関する標準化委員会 吸着分解低減化部会 (委員長: 加藤信介 東京大学生産技術研究所教授)」の研究活動の一部として行われている。また、日本建築学会特別調査委員会・シックハウス問題の解明とヘルシーな居住環境の開発特別研究委員会 (委員長: 村上周三 慶応義塾大学理工学部教授) および国土交通省 建設技術研究開発費補助金・室内化学物質空気汚染の事前評価と健康影響防止技術の開発 (研究代表者: 加藤信介 東

京大学生産技術研究所教授)の活動の一環としても実施されたものである。(有)アドテックならびに(株)エアーグッドには、ADPAC SYSTEM を提供して戴いた。関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

注

- [1] 定常法試験より求まる吸着速度 $ads[\mu\text{g}/(\text{m}^3\text{h})]$ および換気量換算値 $Q_{ads}[\text{m}^3/(\text{hm}^2)]$ は次式となる。
- $$ads = (C_i - C_o) \cdot Q / A \quad (7)$$
- $$Q_{ads} = (C_i / C_o - 1) \cdot Q / A \quad (8)$$
- [2] 式(2)では、 $EF_{a1} = EF_{a1.1/3}$ という仮定をしている。これは Chamber1 での放散建材面積の 1/3 (33%) からの HCHO 放散量 (放散速度) が Chamber2 での HCHO 放散量 (放散速度) と仮定するためである (Chamber2 での HCHO 放散建材の露出面積は全体の 1/3 (33%) である)。
- [3] 本研究では、パッシブ吸着建材が面積比で 2/3 (67%) はり合せされているのときの放散抑制率であり、はり合せ面積によってこの放散抑制率は当然変化することに注意が必要である。
- [4] 試験体はメーカーから直接入手、あるいは建材店より入手した。メーカーから入手の場合、製造直後の製品を無作為に抽出している。試験体はアルミホイルで包み、更にビニル袋で密閉した状態で輸送・保存している。
- [5] HCHO 放散量は、試験期間内の放散速度減少が小さい材料を使用することが望ましい。
- [6] 建材表面で釘頭・ねじ頭等が飛び出ていないようにする。釘頭・ねじ頭の面積は、パッシブ吸着建材の面積に対し 1% 以内となる様にした。
- [7] 両 Chamber の放散速度が概ね同じであることを確認し、高放散量の HCHO 放散建材を複合建材に用いる。
- [8] 本報での AD-FLOW を用いた場合の水蒸気物質伝達率 α_m は 18.7 [m/h] 程度である^{※20,21)}。通常の ADPAC Chamber の水蒸気物質伝達率は、3.9 [m/h] 程度である^{※22)}。
- [9] 佐藤らは、せっこうボード (GB) の化学物質透過性能が大きいことを報告している。この大きな透過性能により、両チャンバーの放散速度がほぼ一致したものと思われる^{※24)}。
- [10] WET は建材からの HCHO 放散があるため、定常法試験は行わなかった。CSB は定常法試験で明らかに濃度低減性能が見られなかったことから、HCHO 放散抑制性能試験は行わなかった。

参考文献

- [1] 安宅勇二, 加瀬田郎, 横山 至, 加藤信介, 村上周三: 定常法による HCHO 吸収分解せっこうボードの濃度低減効果の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp875-876, 2001
- [2] 関根嘉香, 西村厚司: 室内空気中ホルムアルデヒド除去用パッシブ型分解除去ボードの開発, 臭気の研究 Vol.30, No.1, pp39-47, 1999
- [3] 柴野一則, 萩原秀彦, 小川游: 室内空気汚染対策に関する研究 (第1報), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp869-870, 2001
- [4] 鈴木昭人, 川合秀治, 田辺新一: 多孔質セラミックス調湿建材に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp995-996, 2002
- [5] 下之園孝, 大河原忠義, 半田晋也, 和久井健洋, 堀 雅宏: グラフト重合高分子塗膜剤を用いる室内環境中ホルムアルデヒド低減方法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp975-976, 2003
- [6] (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-BS-5²⁰⁰¹, 2001
- [7] (財)建材試験センター, シックハウス対策 JIS の構造と概要梗概集, 2003
- [8] 成富隆昭, 富岡一之, 山口 一: 室内濃度域におけるホルムアルデヒド低減材の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp859-860, 2001
- [9] 長谷川麻子, 木村 洋, 小峯裕己, 鎌田元康: 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, No.548, pp57-62, 2001.10
- [10] 野崎淳夫, 杉野目洋子, 景山貴浩: 日用汚染低減対策品の化学物質除去性能試験法に関する研究 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp953-954, 2003
- [11] 桑沢保夫, 大澤元毅, 岡部 実: ホルムアルデヒドキャッチャー剤の効果に関する基礎的研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp425-428, 2003
- [12] 安宅勇二, 加藤信介, 村上周三, 朱 清宇, 伊藤一秀: 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, No.581, pp59-66, 2004.7
- [13] JIS A 1901: 建築材料の揮発性有機化合物 (VOC), ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法 - 小形チャンバー法, 2003
- [14] 村上周三監修: JIS 使い方シリーズ - シックハウス対策に役立つ小形チャンバー法 解説 [JIS A 1901], 日本規格協会, 2003
- [15] 伊藤一秀, 村上周三, 加藤信介, 近藤靖史, 朱 清宇, 神 卓也: 揮発性有機化合物の放散・吸脱着等のモデリングとその数値予測に関する研究

- (その14), 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp493-496, 1999
- [16] 朱 清宇, 加藤信介, 村上周三, 伊藤一秀: 境界層型小形 Test Chamber の開発と試験建材表面の化学物質伝達率に関する実験と CFD 解析, 日本建築学会計画系論文集, No.549, pp45-50, 2001.11
- [17] 安宅勇二, 加藤信介, 朱 清宇, 徐 長厚: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp1017-1020, 2004
- [18] 徐 長厚, 加藤信介, 安宅勇二, 朱 清宇: 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 (その2), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp1427-1430, 2004
- [19] 安宅勇二, 加藤信介, 朱 清宇, 徐 長厚: 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 (その3), 日本環境管理学会・室内環境学会合同研究発表会講演予稿集, pp220-223, 2004
- [20] 木原生雄, 中川貴文, 田中博, 舟木理香, 田辺新一: 小型チャンバー ADPAC を用いたアルデヒド類、VOC 放散量の測定に関する研究 (その9), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp931-932, 2003
- [21] 田中博, 木原生雄, 中川貴文, 舟木理香, 田辺新一: 小型チャンバー ADPAC を用いたアルデヒド類、VOC 放散量の測定に関する研究 (その10), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp933-934, 2003
- [22] 舟木理香, 田辺新一, 田中 博: 建材からのアルデヒド類・VOC 放散速度測定用小型チャンバーの性能試験及び異なるチャンバー間におけるホルムアルデヒド放散量の比較, 日本建築学会環境系論文集, No.572, pp47-54, 2003.10
- [23] 朱 清宇, 加藤信介, 安宅勇二: テストチャンバー実験及び CFD 解析による Medium Density Fiberboard における物質伝達率が放散速度に与える影響の検討 - ホルムアルデヒド放散量測定用テストチャンバー法に関する研究 -, 日本建築学会環境系論文集, No.582, pp67-74, 2004.8
- [24] 佐藤重幸, 廣川美子, 坊垣和明, 桑沢保夫, 林基哉, 近藤誠治: 大形チャンバー内の木造住宅における VOCs の放散性状, 日本建築学会環境系論文集, No.571, pp75-81, 2003.9
- [25] 林基哉, 大澤元毅: 内部建材の化学物質が室内空気質に与える影響 第3種換気システムを用いた戸建木造住宅に関する基礎実験, 日本建築学会環境系論文集, No.573, pp63-69, 2003.11

(2004年12月8日原稿受理, 2005年6月23日採用決定)