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

INFLUENCE BY THE DIFFERENCES OF METHODS AND AREA RATIOS OF SPECIMENS IN FORMALDEHYDE REDUCTION PERFORMANCE TEST FOR SORPTIVE BUILDING MATERIALS

金 勲*, 田 辺 新 一**
Hoon KIM and Shin-ichi TANABE

There are increasing developments and uses of building materials which have sorptive and reduction ability for chemicals in indoor air, and test method for reduction performance of them has been required. For formaldehyde reduction performance test of those materials, JIS A 1905 was established Feb. 2007. Our group has developed the air flow control unit for 20L small chamber in order to evaluate reduction performance of sorptive building materials. JIS A 1905 describes the two methods [part. 1: Measurement of adsorption flux with supplying constant concentration of formaldehyde (hereinafter, Constant Concentration Supplying Method (CCSM)) and part. 2: Measurement of capability for suppressing formaldehyde emission (hereinafter, Emission Material Method (EMM))] for reduction performance test, but differences of test methods might provide different result values even if the same material was tested. In this paper, when changed area ratios (i.e. loading factor) of specimens under the same test method, it was investigated what differences would be made in performance values. As a result, when changed area ratios of specimens, "sorption flux" showed different values depending on area ratios but "equivalent ventilation rate" was less affected by area ratios. However, under the same area ratio condition, sorption fluxes showed even and steady values, while equivalent ventilation rates did fluctuating values depending on changes of chamber concentrations. When the same sorptive material tested, sorption fluxes gained from CCSM (JIS A 1905-1) showed 1.6 (for sorptive material DM) and 3.2 (for sorptive material TG) times higher values in compared with EMM (JIS A 1905-2). It was suggested that compensation of formaldehyde concentration with HBF equation could improve the performance value from EMM and reduce the disagreement between CCSM and EMM.

Keywords: *Small chamber, JIS A 1905, Sorptive building material, Reduction Performance, Formaldehyde, Area Ratio of Specimen*
小形チャンバー, JIS A 1905, 吸着建材, 低減性能, ホルムアルデヒド, 面積比

1. はじめに

竣工直後に起こり得る初期放散による化学物質の高濃度化や、入居後に室内に持ち込まれる家具や什器類からの化学物質放散はシックハウス症候群の一因であり、このような問題への対策として速やかに濃度を低減させるための低減建材の使用が考えられる。また、健康で快適な生活環境のため、調理臭、煙草臭などの臭いを低減する建材への関心が高まり、吸着若しくは吸着分解性能を持つ機能性建材（以下、低減建材）の開発が行われるようになってきている。ここで低減性能とは、建築物の室内空気中の汚染物質（本論文ではホルムアルデヒド）を吸着・分解することにより、その汚染物質の空気中濃度を低減させる能力と定義する。

低減建材の濃度低減性能を適切に評価する必要があるため JIS A 1905 (2007年2月)¹⁾²⁾及び JIS A 1906 (2008年2月)³⁾が制定された。JIS A 1905はホルムアルデヒド濃度の低減性能試験法であり「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（以下、一定濃度供給法）」及び「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（以下、放散建材法）」の2種類の試験法を提示している。また、JIS A 1905における両試験法ではそれぞれ異なる面積比の低減建材を設置して試験を行うが、低減建材面積比の違いによる試験結果の差については研究例が少なく不明な部分が多い。

同一建材を対象に試験を行う場合でも、対象汚染ガスの供給原理が異なり、低減建材の設置面積比も一定濃度供給法において試料負荷率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ 、放散建材法において試料負荷率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3 \times 2/3$ とそれぞれ異なることから、両試験法の結果値は必ずしも一致しないことが考えられる。更に、同一試験法を用いた場合に低減建材の設置面積比（試料負荷率）が低減性能評価値にどのような影響を与えるかについて具体的な試験や検討例は未だに少ない。低減建材の濃度低減性能試験法に関しては安宅らによる研究⁴⁾⁵⁾があるが、低減建

* 早稲田大学理工学術院理工学研究所 講師・博士(工学)
** 早稲田大学理工学術院建築学科 教授・工博

Lecturer, Department of Architecture, Waseda University, Dr. Eng.
Prof., Department of Architecture, Waseda University, Dr. Eng.

材の設置面積比による違いについては詳しく検討されていない。

2. 研究目的

本論文では、一定濃度供給法と放散建材法の異なる試験法を用いて同一低減建材の性能試験を行った場合の性能評価値の差異及び、同一試験法を用いた場合に低減建材設置面積比が性能評価値に与える影響を明らかにすることを目的とした。加えて、性能評価値として建材が持つ固有な吸着除去能力を表す吸着速度と、空気濃度をどのレベルまで下げることが出来るかという濃度低減能力を表す換気量換算値¹⁾²⁾³⁾(相当換気量)に関して考察した。

3. 試験概要

図1に小形チャンバー用気流制御ユニット及び吸着低減性能試験風景を示す。低減建材の濃度低減性能は空気分子と建材表面との接触率(濃度境界層の性状)に影響を受けるためJIS A 1905ではJIS A 1901「小形チャンバー法」⁶⁾より厳格な物質伝達率⁷⁾(試料表面付近気流速度)範囲を定めている。

JIS A 1901では水蒸気換算物質伝達率9~18m/h(試料表面付近気流速度0.1~0.3m/s相当)を推奨しているが、JIS A 1905では15±3m/h(気流速度0.25±0.05m/s相当)と範囲をより限定している。JIS A 1905の物質伝達率条件を満足し、試料表面全体により均一な気流を形成するためには補助器具を用いる必要がある。そこで、本試験では小形チャンバーに気流制御ユニット⁸⁾⁹⁾を設置して、試料表面付近の物質伝達率(気流速度)を調整した。ファン回転数500RPM時の気流制御ユニット内に設置した試料表面付近の気流速度は0.14m/sであり、物質伝達率試験及び数値計算から水蒸気換算物質伝達率は15m/hと算定された⁸⁾⁹⁾。

対象汚染ガス発生源として、放散建材法では中質繊維板(以下、MDF)を、一定濃度供給法では1ppmのホルムアルデヒドガスを清浄空気と混合した混合ガスを用いた。

低減建材としては液状のアミン系反応型キャッチャー剤(以下、DM)及び化学吸着剤を付加した9.5mm厚の石膏ボード(以下、TG)を用いた。条件①・条件③ではDMを、条件②・条件④ではTGを対象にホルムアルデヒド濃度低減試験を行った。

3.1 放散建材法を用いた低減建材性能試験

放散建材法は対象汚染物質を発生する建材を放散基材として用いる方法である。MDFは養生期間を十分に取ればホルムアルデヒド放散速度が定常に近づく特性を持つことが知られている。MDFを換気が行われるドラフト内で温度・湿度を室温条件として2ヶ月間以上養生した。放散基材として用いたMDFはF☆☆等級(E₂等級)及びF☆☆等級(E₁等級)の2種類であり、条件①においてはF☆☆等級、条件②においてはF☆☆等級のMDFを用いた。表1に放散建材法の試験条件を、図2に試験片及び試験概要図を示す。

条件①で用いた低減建材DMは液状であり、本来は放散建材に直接塗布して使用するが、直接塗布すると塗布面の下地になる基材から放散されるホルムアルデヒドと反応し、実際の低減性能より低く評価されることが予想されたため、濾紙を低減建材に含浸・乾燥させたものを用いた。MDFの貼り付け面は事前にアルミテープで覆い、基材からのホルムアルデヒド放散を防止した。試験片としては何も貼り付けていないMDF原板をチャンパーA(以下、Ch. A)

図1 気流制御ユニット及び吸着低減性能試験風景

表1 放散建材法の試験条件

条件①	低減建材	DM(液状化学吸着剤)			
	塗布基材	濾紙(第5種)			
	塗布法	1分間含浸後、2時間乾燥			
	対象物質	ホルムアルデヒド(HCHO)			
条件②	低減建材	TG(化学吸着剤付加石膏ボード)			
	対象物質	ホルムアルデヒド(HCHO)			
試験チャンパー		20L小形チャンパー			
放散基材		MDF(条件①:F☆ 条件②:F☆☆)			
低減建材	条件①	Ch. A	Ch. B	Ch. C	Ch. D
	①	-	L×1/3	L×1/2	L×2/3
設置面積比	条件②	Ch. E	Ch. F	Ch. G	Ch. H
	②	-	L×1/3	L×1/2	L×2/3
気流速度	Fan回転	500rpm			
	気流速度	0.14m/s(算定値) ⁸⁾⁹⁾			
温度		28±1℃			
湿度		50±5%RH			
換気流量		167ml/min(0.5回/h)			
捕集管/分析		DNPH-Silica cartridge/HPLC			
捕集量		10L(130ml/min:換気流量の80%)			
捕集時期	条件①	設置2日前、設置後1,3,7日目			
	条件②	設置1日前、設置後1,3,7日目			

※基準試料負荷率 L = 2.2 m²/m³ (147mm×147mm×2枚)

※JIS A 1905-2 で定める試験条件は Ch. D 及び Ch. H である

図2 放散建材法の試験片及び試験概要図

に、3条件の面積比に低減建材含浸濾紙を貼り付けたものを Ch. B, C, D にそれぞれ投入した。

条件②では石膏ボードに化学分解剤付加処理をした低減建材TGを用いた。TGは9.5mmの厚みを有し、MDF表面との段差をなくすために、アルミ板(0.5mm厚)とアクリル板(8mm厚)をスペーサーとしてTGの下部に設置した。試験片としては低減建材を貼り付けていないMDF原板を Ch. E に、3条件の面積比に低減建材を貼り

付けたものを Ch. F, G, H にそれぞれ投入した。放散基材の放散面積を揃えるために、基材の MDF の裏面と小口面をアルミテープでシールした。放散建材法試験の吸着速度は式(1)を、換気量換算値は式(2)を用いて算出する。

$$ads = \frac{Q(C_{t,st} - C_{t,test})}{A_{ads}} \quad \text{.....(1)}$$

$$Q_{ads} = \frac{ads}{C_{t,test}} \quad \text{.....(2)}$$

ads : 吸着速度 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]

A_{ads} : 低減建材の設置面積 [m^2]

$C_{t,st}$: 経過時間 t における放散建材のみ設置された基準チャンバー内の濃度を低減建材試験チャンバーの放散基材面積比で除した濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

$C_{t,test}$: 経過時間 t における低減性能試験チャンバー内の濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Q : チャンバー換気量 [m^3/h]

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

3.2 一定濃度供給法を用いた低減建材性能試験

一定濃度供給法は対象汚染物質を発生しない基材に低減建材を塗布または貼り付けてチャンバーに投入し、所定濃度に希釈した対象物質ガスを給気しながら性能評価を行う方法である。表2に試験条件を、図3に試験片及び試験概要図を示す。その他の試験及び分析条件は放散建材法試験条件(表1)と同様であり、本試験においても、条件③に液状低減建材 DM を、条件④にボード状低減建材 TG を用いた。

給気空気ホルムアルデヒド濃度の選定には放散建材法試験の Ch. A 及び Ch. E 内の濃度を参照し、条件③で $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、条件④で $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ と設定した。低減建材の試料負荷率は2条件 ($2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ 、

表2 一定濃度供給法の試験条件

低減建材	条件③	DM（液状化学吸着剤）	
	条件④	TG（化学吸着剤付加石膏ボード）	
試験チャンバー		20L 小形チャンバー	
設置基材		SUS プレート	
供給 混合ガス	条件③	ホルムアルデヒド濃度	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	条件④	ホルムアルデヒド濃度	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
低減建材 設置面積比	条件③	Ch. 1	Ch. 2
		L $\times$ 2/3	L $\times$ 1
	条件④	Ch. 3	Ch. 4
		L $\times$ 2/3	L $\times$ 1
捕集時期		設置後 1, 2, 3, 7 日目	

※条件③における DM の塗布・設置方法は条件①と同じである

図3 一定濃度供給法の試験片及び試験概要図

$2.2\text{m}^2/\text{m}^3 \times 2/3 = 1.4\text{m}^2/\text{m}^3$) である。吸着速度は式(3)を、換気量換算値は放散建材法と同じ式(2)を用いて算出する。

$$ads = \frac{Q(C_{in,t} - C_{t,test})}{A_{ads}} \quad \text{.....(3)}$$

$C_{in,t}$: 経過時間 t における給気空気ホルムアルデヒド濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

4. 試験結果

図4に放散建材法試験のチャンバー内濃度経時変化を、図5に一定濃度供給法試験の濃度経時変化を示す。

図4 放散建材法試験のチャンバー内濃度変化

図5 一定濃度供給法試験のチャンバー内濃度変化

左側のグラフは試験結果全体を示したものであり、右側のグラフは点線で囲んだ部分の拡大図である。

濾紙に液状の化学吸着剤を直接含浸させた条件①、条件③の DM が条件②、条件④の化学吸着剤を付加した石膏ボード TB より高い低減性能を示した。

4.1 放散建材法試験結果

条件①の放散基材には F☆等級の MDF を用いた。低減性能試験期間中のチャンバー内濃度平均はチャンバー (Ch. A) が $485\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのに対し、Ch. B : $63\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ch. C : $43\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ch. D : $17\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低減建材を設置したチャンバーにおいては大きな低減効果が見られた。3 日目と比べ 7 日目において、チャンバー内濃度が多少上昇しているのが、基準チャンバー (Ch. A) を含めた全試験チャンバー内濃度が上昇しているため、低減建材の性能劣化による濃度上昇ではないと考えられる。

条件②においては、放散基材として F☆☆等級の MDF を用いた。低減性能試験期間中のチャンバー内濃度平均は基準チャンバー (Ch. E) が $166\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのに対し、Ch. F : $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ch. G : $22\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ch. H : $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ と低減建材 TG を設置したチャンバーでは高い濃度低減効果が見られた。7 日目までの試験期間において、条件②では条件①で見られたチャンバー内濃度上昇は見られなかった。

ホルムアルデヒド放散量 (供給ガス濃度) 条件が異なるため数値の単純比較は出来ないが、吸着速度としては DM が TG より 3 倍以上の吸着速度を有する結果となった。

4.2 一定濃度供給法試験結果

条件③、条件④共に試験期間中供給ホルムアルデヒドガス濃度は安定していた。

低減建材 MD を対象とした条件③において試験期間中チャンバー内濃度は、平均 $398\mu\text{g}/\text{m}^3$ のホルムアルデヒドガス供給濃度に対して、Ch. 1 は $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ch. 2 が $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高い低減効果が見られた。

低減建材は TG を対象とした条件④では、平均供給濃度 $198\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対して Ch. 3 が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、Ch. 4 が $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ に低減した。

吸着速度としては条件③の DM が条件④の TG より約 2 倍の吸着速度を有する結果となった。

5. 吸着速度と換気量換算値の算出

図 6 に低減建材面積比による吸着速度の結果比較グラフを、図 7 に換気量換算値の結果比較グラフを示す。また、表 3 に吸着速度及び換気量換算値の 7 日目算出結果及び 1, 3, 7 日目結果の平均値を示す。図 6 から読み取れるよう吸着速度は同一面積条件であれば、捕集時期に関わらず均一な値が得られた。しかし、図 7 の換気量換算値はチャンバー内濃度変動の影響を大きく受けるバラツキが見られた。

5.1 吸着速度と換気量換算値

図 6 の吸着速度算出結果から、各チャンバーにおける 1, 3, 7 日目の結果に大きなバラツキは見られず同一試験条件では安定した結果を得ることが出来た。しかし、同一低減建材であっても低減建材面積比により異なる性能値が算出された。

一方、図 7 の換気量換算値算出結果では各試験条件における 1, 3, 7 日目結果の平均値は面積比の違いによる性能値の差は小さ

図 6 低減建材面積比による吸着速度の結果

図 7 低減建材面積比による換気量換算値の結果

表 3 吸着速度及び換気量換算値の算出結果

		吸着速度 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]			換気量換算値 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]		
		7日目	平均	SD	7日目	平均	SD
条件①	Ch. B (1/3)	188	173	14	2.6	2.8	0.3
	Ch. C (1/2)	97	91	8	2.4	2.4	0.7
	Ch. D (2/3)	54	50	4	2.4	3.9	2.0
条件②	Ch. F (1/3)	50	52	2	1.5	1.5	0.0
	Ch. G (1/2)	27	28	1	1.4	1.3	0.1
	Ch. H (2/3)	14	13	0	1.1	0.9	0.2
条件③	Ch. 1 (2/3)	130	133	2	5.5	6.8	0.9
	Ch. 2 (1/1)	86	89	1	4.9	6.4	1.0
条件④	Ch. 3 (2/3)	63	66	2	2.9	4.6	1.1
	Ch. 4 (1/1)	45	45	1	4.2	4.8	0.4

※陰影部分は JIS A 1905 が定める基準試験条件に準じた試験の結果

※平均は 1, 3, 7 日目結果の平均値、SD は標準偏差

※括弧内の数字は低減建材設置面積比

いが、同一チャンバーにおいても測定日別算出結果にバラツキが生じることがあった。

低減建材の低減性能が 7 日目においては殆ど劣化していなかったため、ここでは 7 日目の結果を性能値として考える。

両試験法で吸着速度による比較では、低減建材設置面積が小さい建材の方が高い低減性能を有すると評価された。これは式(1)及び式(3)において単位面積当たりの吸着速度で表すことから生じる現象で、十分に高い低減能力を持つ建材は小さな面積を用いれば吸着速度は大きく（低減性能が高く）評価される。試験日による変動が小さく安定した値が得られた。

換気量換算値において、吸着面積比による性能評価値の差は小さくなった。これは、低減建材の設置面積が大きいかほどチャンパー内濃度が低減されることで面積影響を相殺したためと考えられる。しかし、日変動が大きく平均値に対する偏差が大きくなった。

放散建材法（条件①、条件②）においては、吸着速度は安定した結果を得ることが出来たが、換気量換算値では条件②は安定した結果が得られた反面条件①ではチャンパー内濃度の変動に影響され偏差が大きくなった。一定濃度供給法（条件③、条件④）からも同様の傾向が見られ、吸着速度は安定した均一な結果が得られたが、換気量換算値は日変動が大きく偏差が大きくなった。

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。

換気量換算値は面積比条件による影響は少ない。これは、吸着面積の割合が増えるにつれチャンパー内濃度が低くなり、吸着速度では顕著だった面積効果をチャンパー内濃度減少分が相殺したためである。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。一方、設置面積で換気量に見なすことができる分かりやすい表示法という長所がある。

5.2 試験法の違いが低減建材性能評価に与える影響

JIS 基準試験条件である放散建材法の面積比2/3条件と一定濃度供給法の面積比1/1条件を比較すると、低減建材 DM において放散建材法（Ch. D）は一定濃度供給法（Ch. 2）の63%の吸着速度を、TG では31%（Ch. H と Ch. 4の比）の吸着速度を示した。また、低減建材の設置面積比が2/3で同じ条件である DM の「Ch. D と Ch. 1」、TG の「Ch. H と Ch. 3」の結果を比較すると、放散建材法は一定濃度供給法に比べ、それぞれ41%、22%の吸着速度と評価された。

放散建材法では試料負荷率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ の内、放散建材面積を1/3露出し、残りの2/3に低減建材を設置して低減建材試料負荷率 $1.5\text{m}^2/\text{m}^3$ で試験を行うが、一定濃度供給法では外部から調整された一定濃度の汚染ガスを供給し低減建材の試料負荷率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ で試験を行う。また、一定濃度供給法は常に安定した既知の濃度を供給しているのに対し、放散建材法では試料負荷率 $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ のMDFから放散量を測定し、低減建材試験チャンパー内の濃度を予測して吸着速度を算出する。しかし、限定された同一容積の空間に設置された木質建材からのホルムアルデヒド放散は放散面積の減少率と放散量の減少率が一致せず（放散面積が1/2になっても、放散量は1/2に減少しない）、放散面積が小さくなることにより周囲空間に対する物質伝達ポテンシャルが大きくなるため低減性能が低く評価される。

このような木質系放散建材の試料負荷率と放散量の関係については HBF 式⁶⁾¹⁰⁾¹¹⁾を用いて説明できるが、低減建材を設置した場合、ホルムアルデヒド濃度の更なる低減とそれによる放散量の増加は予

測が難しい。このように、結果算出時には考慮されない放散基材からの放散量の増加は低減建材の性能評価に不利な要素として作用する。この放散基材からの放散量の増加分を考慮し放散建材法の試験結果を補正する方法については「6. HBF 式による放散建材法試験結果の補正」で考察する。

一方、一定濃度供給法ではホルムアルデヒド供給量が常に一定であり、吸着量は測定から算定されるため未知数がなく、試験結果のみで性能評価値の算出が可能である。但し、低減建材の試料負荷率が $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ で放散建材法の $2.2\text{m}^2/\text{m}^3 \times 2/3$ より大きく、これにより設置面積比が小さいほど吸着速度が大きく算出される面積効果の影響で、両試験法の差がある程度減少していると考えられる。

5.3 低減建材の設置面積比が低減性能評価に与える影響

放散建材法の JIS 基準試験条件（低減建材面積比2/3条件）を基準として吸着速度の割合を算出すると、条件①では Ch. D に対して Ch. B（1/3条件）が3.5倍、Ch. C（1/2条件）1.8倍、条件②では Ch. H に対して Ch. F（1/3条件）3.6倍、Ch. G（1/2条件）1.9倍と、面積比によってほぼ同等な割合で変化した。条件②は条件①より低濃度条件であるため、吸着面積の違いによる吸着性能の差は、絶対値としては小さかったが相対比としては同水準となり、吸着建材面積比2/3を基準として低減建材の面積が50%減少すると吸着速度は3.5～3.6倍増加、25%減少すると吸着速度は1.8～1.9倍増加した。

一定濃度供給法の JIS 基準試験条件である低減建材面積比1/1に比べ、面積比2/3の吸着速度算定結果は条件③で1.5倍、条件④で1.4倍増加となり、基準条件に対して低減建材面積比が33%減少すると吸着速度は1.4～1.5倍増加する結果となった。

放散建材法の基準試験条件では試験片面積の1/3から放散、2/3から吸着が行われ、放散ポテンシャルが増加する上、低減建材の面積効果は他の面積条件より少なくなり吸着速度が低く評価されてしまう。

換気量換算値の7日目結果から、DM 及び TG に対する放散建材法、一定濃度供給法共に低減建材面積比による差は殆ど見られなかった。

6. HBF 式による放散建材法試験結果の補正

放散建材法は放散基材を全面露出して放散試験を行って得た濃度を低減建材試験の放散基材露出面積比で除した値を試験チャンパー内濃度と仮定して計算に用いる。しかし、ホルムアルデヒドの放散は雰囲気空気濃度に影響されるため同一放散性能を持つ基材を用いても、チャンパー内濃度が低いと放散量が多くなり、高くなると放散量は少なくなる。従って、JIS の放散建材法で定めている放散面積1/3、吸着面積2/3のように試料負荷率を $2.2\text{m}^2/\text{m}^3 \times 1/3$ にして放散試験を行えばより精度の高い結果が得られると考えられる。

一方、式(4)に示す HBF 式⁶⁾¹⁰⁾¹¹⁾は、木質建材からのホルムアルデヒド放散性状を、ある空間に対する建材の放散面積比（試料負荷率）と放散量の関係（ n/L と $1/C$ の関係）で説明している。ここでは、JIS A 1905で示している吸着速度算出式において考慮されていない放散面積の減少による放散速度増加分を HBF 式により補正する方法について検討した。

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_e} + \frac{1}{\alpha \times C_e} \times \frac{n}{L} \dots\dots\dots(4)$$

C : チャンバー内気中濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

n : 換気回数 [回/h]

C_e : 平衡濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

L : 試料負荷率 [m^2/m^3]

α : 物質移動係数 [m/h]

放散建材法（条件①，条件②）で使用した MDF と同一原板で採取したものを試料とし，温度 $28 \pm 1^\circ\text{C}$ ，湿度 $50 \pm 5\% \text{RH}$ ，換気回数0.5回/h，試料負荷率を $2.2\text{m}^2/\text{m}^3$ ， $2.2 \times 2/3 = 1.47\text{m}^2/\text{m}^3$ ， $2.2 \times 1/2 = 1.1\text{m}^2/\text{m}^3$ ， $2.2 \times 1/3 = 0.73\text{m}^2/\text{m}^3$ に設定して放散試験を行った。同時にテドラバッグ（Tedlar bag）を用いた平衡濃度試験を行った。図8に7日目試験結果を示す。式(4)における各パラメータはチャンバー試験結果から得た n/L と $1/C$ の関係図から求めた。平衡濃度試験（ $n/L=0$ ）の結果をグラフに表示しているがチャンバー試験に基づく近似直線から得られた平衡濃度算定値と多少差が生じたため今後の計算では近似直線から求めた算定値を用いる。

図8 MDF 放散試験から求めた n/L と $1/C$ の関係

- ・平衡濃度 C_e : n/L と $1/C$ の関係式から算定した値で，条件① : $917\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，条件② : $299\mu\text{g}/\text{m}^3$ が得られた。
- ・物質移動係数 α : 放散建材法試験の7日目のチャンバー内濃度及び上記のパラメータを HBF 式に代入して算出し，条件①で $0.31\text{m}/\text{h}$ ，条件②で $0.25\text{m}/\text{h}$ が得られた。

物質移動係数及び平衡濃度が分かれば n/L の変化によるチャンバー内濃度の予測が出来る。この HBF 式の算出結果を用いて放散建材法の JIS 基準試験条件である低減建材面積比2/3条件（Ch. D，Ch. H）の吸着速度及び換気量換算値を再算出した結果を表4に示す。表では JIS A 1905の基準試験条件である「放散建材法の吸着面積比2/3」及び「一定濃度供給法の面積比1/1」に加え，放散建材法との比較のために「一定濃度供給法の面積比2/3条件」の試験結

表4 HBF 補正結果と試験結果の比較（7日目結果）

			吸着速度 [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]	換気量換算値 [$\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]
DM	条件①	放散建材法(2/3) JIS	54	2.4
		放散建材法(2/3) HBF	92	4.1
	条件③	一定濃度供給法(2/3)	130	5.5
		一定濃度供給法(1/1) JIS	86	4.9
TB	条件②	放散建材法(2/3) JIS	14	1.1
		放散建材法(2/3) HBF	24	1.9
	条件④	一定濃度供給法(2/3)	63	2.9
		一定濃度供給法(1/1) JIS	45	4.4

果を纏めた。

条件①，条件②共に HBF 補正を行ったことにより，放散建材法の吸着速度，換気量換算値が大きくなり，一定濃度供給法の評価値との差が縮まった。

放散建材法の吸着速度において，条件①では試験値より HBF 補正値が71%大きく，条件②では平均約70%大きく算出された。放散建材法の HBF 補正値と一定濃度供給法の JIS 基準試験条件である面積比1/1条件を比較すると，低減建材 DM においては補正無しで63%水準だった吸着速度が補正後はほぼ同等な値となり，低減建材 TB では31%水準だったのが53%水準まで高くなった。

低減建材 DM において HBF 補正結果と一定濃度供給法1/1条件の結果が等しくなったのは，面積比が異なること，吸着低減剤を浸した濾紙をそのまま曝露させ吸着効果が現れやすかったことが原因と考えられる。しかし，同一面積比（面積比2/3）条件同士を比較すると依然と一定濃度供給法が放散建材法より高い低減性能を示した。

HBF 式を用いた補正においても，低減建材によるホルムアルデヒド濃度低減で放散基材からの放散ポテンシャルが更に増大することは考慮されないため，同一面積条件における一定濃度供給法よりは低い性能評価値になった。

7. まとめ

20L 小形チャンバー及び小形チャンバー用気流制御ユニットを用いて JIS A 1905に規定された「放散建材法」及び「一定濃度供給法」による吸着低減建材のホルムアルデヒド濃度低減性能試験を行った。試験法の違い及び低減建材設置面積比が性能評価値に与える影響について検討し，更に HBF 式を用いて放散建材法の性能評価値を補正する方法を提案した。その結果を以下に纏める。

- 1) 濾紙に液状の化学吸着剤を直接含浸させた低減建材 DM（条件①，条件③）が化学吸着剤付加石膏ボード TB（条件②，条件④）より高い低減性能を示した。
- 2) 放散建材法において吸着速度は測定日に関わらず安定した結果を得ることが出来たが，換気量換算値は放散量測定用の基準チャンバー濃度の変動に影響を受けやすく測定日により変動が生じることがあった。一方，一定濃度供給法からも同様の傾向が見られ，吸着速度は安定した均一な結果が得られたが，換気量換算値は日変動が生じることがあり偏差が大きくなった。
- 3) 吸着速度は低減建材の設置面積条件が同じであれば，安定した値が得られ，低減建材が持つ固有な吸着低減性能値を表すこと

ができた。しかし、面積比条件が変われば吸着速度も変わる。これは、単位面積当たりの吸着速度で表すことから生じる現象で、十分に高い低減能力を持つ建材は小さな面積を用いれば吸着速度は大きく評価される。換気量換算値は面積比条件による影響は少ない。吸着面積の割合が増えるにつれチャンバー内濃度が低くなり、吸着速度では顕著だった面積効果をチャンバー内濃度減少分が軽減させたことが原因と考えられる。しかし、換気量換算値はチャンバー内濃度変動に敏感に影響を受けるため日変動が生じやすかった。

- 4) 放散建材法は一定濃度供給法より低減性能を低く評価した。JISの基準試験条件（放散建材法の面積比2/3、一定濃度供給法の面積比1/1）において、低減建材DMでは放散建材法は一定濃度供給法試験結果の63%の吸着速度を、TGでは31%の吸着速度を示した。低減建材の設置面積比2/3の同じ面積条件において、放散建材法は一定濃度供給法に比べ、DMで41%、TGで22%の吸着速度となった。
- 5) 放散建材法、一定濃度供給法共に、低減建材の面積比が小さくなると吸着速度は大きくなった。また、低減建材DM、TG共に面積比によってほぼ同等な割合で吸着速度が変化した。放散建材法においては吸着面積2/3条件を基準として低減建材の面積が50%減少すると吸着速度は約3.5～3.6倍増加、25%減少すると1.8～1.9倍増加し、一定濃度供給法においては吸着面積が33%減少すると1.4～1.5倍の吸着速度増加となった。
- 6) HBF補正を行うことにより、放散建材法の吸着速度と一定濃度供給法による評価値との差異を小さくすることが出来た。しかし、HBF式を用いた補正においても低減建材によるホルムアルデヒド濃度低減効果の影響による放散基材からの更なる放散量増加分は考慮されないため、同一面積条件における一定濃度供給法よりは低い性能評価値となる。

謝辞

この研究成果は、早稲田大学理工学研究所の研究課題「室内空気質と熱的快適性に関する研究」を推進することによって得られたも

のである。

本研究を行うにあたり、鹿島建設株式会社 持田恵吾様（元早稲田大学大学院創造理工学研究科修士課程）、(有)ADTEC 有賀隆男様、有賀淳也様、元(有)ADTEC 横溝透修様には多大なご協力とご助言を頂きました。記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 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, 2007.02
- 2) 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, 2007.02
- 3) JIS A 1906 小形チャンバー法による室内空気汚染濃度低減材の一定揮発性有機化合物（VOC）、ホルムアルデヒドを除く他のカルボニル化合物濃度供給法による吸着速度試験, 2008.02
- 4) 安宅勇二、加藤信介、伊藤一秀、朱 清 宇、村上周三：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, 2004.07
- 5) 安宅勇二、加藤信介、徐 長 厚、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法の開発、日本建築学会環境系論文集、第596号、pp.45-51, 2005.10
- 6) 田辺新一：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、2003.03
- 7) 日本機械学会：伝熱工学資料 改訂第4版、日本機械学会、pp.42-49, pp.114-117, 1986
- 8) 持田恵吾、金 勲、田中祐輔、有賀隆男、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16 新型気流制御ユニットの開発、日本建築学会大会学術講演概要集D-II、pp.957-958, 2008.08
- 9) 持田恵吾、金 勲、有賀隆男、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18 新型気流制御ユニットの物質伝達性能試験、日本建築学会大会学術講演概要集D-II、pp.877-878, 2009.08
- 10) J.J.Hoetjer and F.Koerts：A model for formaldehyde release from particleboard, 1986
- 11) J.J.Hoetjer：Introduction to a theoretical model for the splitting of formaldehyde from composition board. Rept. Methanol Chemi Nederland, 1978

（2010年5月10日原稿受理、2010年10月7日採用決定）