室内化学物質汚染低減化対策としてのベイクアウトの効果 (その2)

室内 VOC, ホルムアルデヒド汚染に関する研究 (その3)

EFFECTS OF BAKE OUT AS A SOURCE CONTROL TECHNIQUE FOR
INDOOR CHEMICAL SUBSTANCES (PART 2)

A study on indoor air pollutions by VOC and formaldehyde (Part 3)

野崎 淳夫*, 飯倉 一雄**, 坊垣 和明***, 吉澤 晋****

*Atsuo NOZAKI, Kazuo IIKURA, Kazuaki BOGAKI
and Susumu YOSHIZAWA*

A lot of paints, adhesives and chemical materials which are known to emit gaseous chemical pollutants are being used in buildings. These building materials are potential sources of indoor chemical substances. Bake-out has been as one mitigation method for such elevated formaldehyde concentrations. The bake-out procedure could increase the transfer of indoor chemical substance from sources to the outdoor. The bake-out hypothesis is that this source depletion is sufficient to cause formaldehyde emission rates to be significantly less than they would have been without bake-out.

So, this study was conducted 1) to establish the bake-out procedure and evaluation methods used with test pieces and an environmental chamber, 2) to determine the effectiveness of the bake-out on formaldehyde reduction, and 3) to analyze the relationship between specification of building parts and the reduction effectiveness on the sources by the bake-out. From our results, it turned out that the emission rate of formaldehyde was decreased by 6.54~55.6% after bake-out in a temperature of 38°C for the period of 72 hours. And, if we wish to determine the effectiveness of bake-out on the VOCs, further experiments used by chambers should be needed.

Keywords: Bake-out, Formaldehyde, Indoor air quality, Environmental chamber

ベイクアウト、ホルムアルデヒド、室内空気質、環境制御チェンバー

1. 緒言

1-1 本研究の背景

近年、住宅の高気密化に伴う室内換気量の削減により、室内汚染物質濃度が上昇し、化学物質過敏症やシックハウス症候群に代表される健康被害が発生している。

また、高濃度の室内化学物質汚染の実態^{1), 2)}が明らかとなり、実用的な汚染低減対策の確立が急務となっている。

現行の対策として、ベイクアウト、換気、吸着材(剤)、分解材(剤)、空気清浄機などが注目されているが、とりわけベイクアウトは、①施工直後に対策を講ずることができ、②建材・施工剤等の汚染発生源における発生速度を直接的に抑制できる可能性を有するものとして期待されている。

1-2 既往の研究

欧米では、住宅全体を加熱するベイクアウトが、しばしば行われている。著者らは、ベイクアウトを「室温をある一定期間、一次的に上昇させることにより、汚染源からの発生を促進させて、平常時の汚染物質発生率を緩和する方法」と定義^{3), 4)}している。国

内でも本ベイクアウトに関して、実大実験による研究が行われるようになり、研究が進展中であり、一つの有望な汚染低減対策として注目されている。

ベイクアウトの実大実験による研究報告として、Girmanら⁵⁾は、オフィスビルで室温を29~32[°C]まで上昇させ、24時間保持したところ、TVOC値(Total VOC)が29[%]減少したと報告している。

野崎ら^{3), 4)}は、竣工後4ヶ月を経たRC造14階の集合住宅で、加熱温度: 約32[°C]、加熱時間: 24[h]のベイクアウト実験を行っており、ベイクアウト実施後は、①在来仕様の対象室で23~33[%]のホルムアルデヒド発生量の低減を示し、低ホルマリン仕様の対象室では27~52[%]の低減が認められ、②TVOCについては、在来仕様の対象室では、むしろその発生速度の軽微な増大が観察されたものの、低ホルマリン仕様の対象室では、19~63[%]の低減を示したことを報告している。また、③加熱温度を高くすると、ホルムアルデヒドのベイクアウト効果も増大する現象が観察され、④加熱時間を延長することで、より一層のベイクアウト

* 東北化学工業大学科学技術学部 助教授・工博

** 東北化学工業大学科学技術学部 特別研究員・公衛修

*** 建築研究所 研究総括監・工博

**** 愛知淑徳大学現代社会学部 教授・工博

Assoc. Prof., Faculty of Science and Tech., Tohoku Bunka Gakuen University, Dr. Eng.

Researcher, Faculty of Science and Tech., Tohoku Bunka Gakuen Univ., M. P. H. Executive Director for Building Research, Building Research Institute, Dr. Eng.

Prof., Faculty of Studies on Contemporary Society, Aichi Shukutoku Univ., Dr. Eng.

の低減が図れることを報告している。さらには、実際の建築物における基本的なベイクアウト手法（加熱条件、実施手順等）とその評価法を提案している。

駒野ら⁹⁾は、戸建住宅における種々の現場における制限を考慮したベイクアウト手法を提案しており、同様に、熊野ら^{7), 8)}は集合住宅の場合についての具体的提案を行っている。

小竿ら⁹⁾は戸建住宅で、石油ファンヒーターを用いたベイクアウト実験を行っている。実験条件は、加熱温度: 30.9 ~ 36.9 [°C]、加熱時間: 48 [h]であり、ベイクアウト後は廊下 (26 [%])、寝室 (29 [%])、LDK (45 [%]) のホルムアルデヒド発生量の減少を報告しており、また、ベイクアウトにより、室内の真菌濃度も低下したことを報告している。

著者らは、室内VOCとホルムアルデヒドによる室内空気汚染に関する実験的または調査的研究を行ってきた。第1報¹⁰⁾は、燃焼器具による室内汚染に関するもので、器具からの非メタン炭化水素 (NMHC) の発生量を定量的に求めている。また、第2報⁴⁾では、室内汚染低減化対策の一つとしてベイクアウトを取り上げ、実大実験におけるベイクアウト手法と評価法について提案し、その加熱条件と低減効果との関係を明らかにしている。

1-3 本研究の目的と内容

様々なベイクアウトに関する研究報告が行われるようになったが、ベイクアウトによる化学物質濃度の低減効果について、統一的な見解が得られていない。この要因としては、①実大実験のため、実験条件（加熱温度、加熱時間、加熱手法等）がそれぞれ異なっており、②加熱条件、評価法などについて、統一的な評価法が確立しておらず、また、各報告中に用いられている評価法に改良の余地があり、特に、③室を構成する部材の仕上げ仕様が、ベイクアウトによる室内化学物質汚染低減効果に多大な影響を及ぼしていることにある。

そこで、本研究では、ベイクアウト効果を明らかにするために、1) 室内条件を制御した実験室実験により、試験片レベルのベイクアウトの実施手法（加熱時間、加熱温度、方法）と評価法を確立し、2) 試験片レベルの実験室実験を種々の仕様毎に行い、各仕様毎のベイクアウト効果を明らかにするものである。さらには、3) ベイクアウトを施した建築物の室内濃度予測法を提案するものである。

2. 実験概要

2-1 実験装置の概要

本研究で用いた実験システムを図-1に示す。二つの人工気象室内に、ベイクアウト実験（ベイクアウトによる濃度変位の測定）と建材履歴実験（実験期間中の建材履歴による濃度変位の測定）のための小型ステンレス製チェンバー（容積: 65 [l]、図-2参照）を6台ずつ設置した（写真-1参照）。それぞれの小型チェンバーは、人工気象室内で所定の温度まで加熱され、また、チェンバー内には、清浄度ならびに温湿度の制御された空気を導入した。

尚、チェンバー内の一様拡散状態を構築するため、人工気象室、及び小型チェンバー内に拡散ファンを設置した。

2-2 固相捕集-高速液体クロマトグラフ（以下、HPLC）法¹¹⁾によるホルムアルデヒドの分析

2-2-1 測定機器

図-1 実験システムの概要

図-2 小型ステンレス製チェンバーの概要

写真-1 人工気象室内に設置された小型チェンバー

写真-2 分析システムの概要 (HPLC)

表-1 HPLCの分析条件

HPLC	
分析機器	日立社製、Model L-7000型
カラム	ODS-3、内径4.6 [mm] × 長さ250 [mm]
恒温槽	50 [°C]
移動相	アセトニトリル: 水 = 70:30
流量	1.0 [ml/min]
検出器	紫外線吸収 (UV) 検出器 (波長: 360 [nm])

本法で用いた測定機器を以下に示す。

a) サンプリング装置…ポンプ(柴田科学社製、Model:MP-103T型)、ガスメータ(シナガワ社製、Model:DC-1A型)、フローメータ(STEC社製、Model:AM-V080S型)、DNPH捕集管(Waters社製、Sep-pak exposure sampler、充填剤:DNPH含侵シリカゲル、粒径:18/35メッシュ)

b) 分析装置…HPLC(日立社製、Model:L-7000型、写真-2参照)

2-2-2 ホルムアルデヒドの捕集・分析

固相捕集法により、DNPH捕集管に、試料空気を0.3[l/min]の流量で3時間通気し、分析試料(DNPH-ホルムアルデヒド誘導体)とした。この試料をアセトニトリルで5分間溶出し(溶出速度:1[ml/min])、表-1の分析条件でHPLCに導入し、定性・定量分析を行った。

表-2 試験片の仕様

部材	試験片			使用建材・施工剤			
	記号	厚さ[mm]	作製日	種別	等級・規格等	製造番号	製造日
床	MF3	32	H12.1.14	硬質繊維版(厚さ:6.5[mm])	F ₁	-	-
				接着剤	-	JS-3000-4310-1	-
	TFC1	124	H12.8.25	硬質繊維版(厚さ:17.5[mm])	E ₁	-	-
				フローリング(厚さ:12[mm])	F ₁	222216RH1	H12.2.4
				接着剤	低ホルマリン	000808AC	H12.8.8
				ラワン合板(厚さ:12[mm])	F ₁	-	H12.8.17
	TFC2	174	H12.8.25	接着剤	低ホルマリン	000808AC	H12.8.8
				軽量コンクリート(厚さ:100[mm])	-	-	H12.7.18
				フローリング(厚さ:12[mm])	F ₁	222216RH1	H12.2.4
				接着剤	低ホルマリン	000808AC	H12.8.8
	TFW2	265	H12.8.25	ラワン合板(厚さ:12[mm])	F ₁	-	H12.8.17
				接着剤	低ホルマリン	000808AC	H12.8.8
				軽量コンクリート(厚さ:150[mm])	-	-	H12.7.18
				フローリング(厚さ:12[mm])	F ₁	222216RH1	H12.2.4
	TFW2	265	H12.8.25	接着剤	低ホルマリン	9907161551	H11.7.16
				ラワン合板(厚さ:18[mm])	F ₁	E-880J9	H12.8.17
				2×4構造材(厚さ:235[mm])	-	-	H12.8.17
壁	FW5	14	H12.2.18	布クロス	ISM規格	-	-
				接着剤	低ホルマリン	-	-
	FW6	14	H12.2.18	プラスターボード(厚さ:12.5[mm])	-	-	-
				布クロス	防火1級	-	-
	MW1	102	H12.1.14	接着剤	低ホルマリン	-	-
				プラスターボード(厚さ:12.5[mm])	-	-	-
				布クロス	-	TW-515	-
				接着剤	低ホルマリン	99112721	-
	TWC1	147	H12.8.25	プラスターボード(厚さ:12.5[mm])	-	-	-
				GL工法接着剤	-	-	-
				軽量コンクリート(厚さ:75[mm])	-	-	-
				ビニルクロス	SV規格	410	H.12.4
	TWC3	148	H12.8.25	接着剤	低ホルマリン	00060108C	H.12.6
				ウレタンボード(石膏ボード(厚さ:7[mm])、ウレタンフォーム(厚さ:20[mm]))	-	NDJ1	-
				接着剤	低ホルマリン	000808AC	H12.8.8
				軽量コンクリート(厚さ:120[mm])	-	-	H12.7.18
	TWW3	126.5	H12.8.25	ポリスチレンフォームベニヤ(ラワン合板(厚さ:3[mm])、ポリスチレンフォーム(厚さ:25[mm]))	F ₁	AK11660	H12.8.18
				接着剤	低ホルマリン	000808AC	H.12.8.8
				軽量コンクリート(厚さ:120[mm])	-	-	H12.7.18
				化粧ボード(厚さ:12.5[mm])	-	-	H12.8.17
天井	OW3	107.5	H12.8.29	構造用断熱パネル(OSB(厚さ:11[mm])、ポリスチレンフォーム(厚さ:92[mm])、OSB(厚さ:11[mm]))	F ₁	-	H12.8.9
				塗り壁材(シラス)(厚さ:5[mm])	-	-	-
				構造用針葉樹合板(厚さ:7.5[mm])	F ₁	-	H12.7.24
				ポリエチレンフィルム(厚さ:0.15[mm])	-	-	-
	MC1	11	H12.1.14	細繊維グラスウール16K(厚さ:100[mm])	-	-	-
				構造用針葉樹合板(厚さ:7.5[mm])	F ₁	-	H12.7.24
				布クロス	-	TW-515	-
				接着剤	-	99112721	-
	MC2	10	H12.1.14	プラスターボード(厚さ:9.5[mm])	-	-	-
				ビニルクロス	SV規格	TW-515	-
				接着剤	-	99112721	-
				プラスターボード(厚さ:9.5[mm])	-	-	-
	TCC1	214.5	H12.8.25	ビニルクロス	SV規格	410	H12.4
				接着剤	低ホルマリン	00060108C	H12.6
				石膏ボード(厚さ:9.5[mm])	-	080810D	H8.8.10
				根太30×40(厚さ:450[mm])	-	-	H12.8.17
	TCC2	189.5	H12.8.25	接着剤	低ホルマリン	000808AC	H12.8.8
				ポリスチレンフォーム(厚さ:25[mm])	-	-	H12.3
				接着剤	低ホルマリン	000808AC	H12.8.8
				軽量コンクリート(厚さ:150[mm])	-	-	H12.7.18
	TCC2	189.5	H12.8.25	ビニルクロス	SV規格	410	H12.4
				接着剤	低ホルマリン	60108	H12.6
				石膏ボード(厚さ:9.5[mm])	-	080810D	H8.8.10
				根太30×40(厚さ:450[mm])	-	-	H12.8.17
	TCC2	189.5	H12.8.25	接着剤	低ホルマリン	000808AC	H12.8.8
				軽量コンクリート(厚さ:150[mm])	-	-	H12.7.18

※アルミ箔およびアルミシールにて端面、裏面を被覆する。

図-3 試験片の作製法

図-4 試験片の具体例

表-3 試験片の作製日、被覆日、及び実験期間

部位	試験片	作製日	被覆日	実験期間
床	MF3	2000/1/14	2000/1/17	2000/1/23~1/28
	TFC1	2000/8/25	2000/8/25	2000/9/9~9/14
	TFC2	2000/8/25	2000/8/25	2000/8/28~9/3
	TFW2	2000/8/25	2000/8/25	2000/9/9~9/14
壁	FW5	2000/2/18	2000/2/23	2000/2/25~3/1
	FW6	2000/2/18	2000/2/23	2000/2/25~3/1
	MW1	2000/1/14	2000/1/17	2000/1/23~1/28
	TWC1	2000/8/25	2000/8/25	2000/8/28~9/3
	TWC3	2000/8/25	2000/8/25	2000/9/9~9/14
	TWW3	2000/8/25	2000/8/25	2000/9/9~9/14
	OW3	2000/8/29	2000/8/29	2000/9/14~9/19
天井	MC1	2000/1/14	2000/1/17	2000/1/29~2/2
	MC2	2000/1/14	2000/1/17	2000/1/29~2/2
	TCC1	2000/8/25	2000/8/25	2000/9/9~9/14
	TCC2	2000/8/25	2000/8/25	2000/8/28~9/3

3. 試験片の概要

3-1 試験片（複合材）の作製法¹²⁾

本研究で対象とした試験片は、表-2に示される仕様の建材（試験片のサイズ、作製日、使用建材の規格等）を用いて、著者らが提案し、現在多くの研究で採用されている部材試験片の作製法により作製した。つまり、試験片は縦30[cm]×横30[cm]程度のサイズとし、現場施工を忠実に再現した複合材である。例えば、壁については、石膏ボード、コンクリート等を下地材とし、実際に使用されている接着剤を相当量用いてクロス等を貼り付けるものとした。

さらに、仕上げ表面のみからの発生を得るために、端面や裏面をアルミ箔等で被覆した（図-3）。試験片の具体例を図-4に示す。

3-2 試験片の保管状況

試験片は、東北文化学園大学の地下実験室に設置されている保管室（温度 23 ± 3 [℃]、相対湿度 20 ± 5 [%]）で保管した。保管室では、吸着、再放出の影響を抑制するため、最大限の換気（換気回数:3.0[1/h]）を行った。

尚、試験片の作製日、被覆日、及び実験期間を表-3に示す。試験片作製日から実験開始日まで、3日～2週間の保管を行った。

4. 実験手順と評価法

4-1 ベイクアウトの実験手順^{13), 14)}

本研究では、ベイクアウト実験（加熱操作を施した場合の濃度変位を検証）と建材履歴実験（実験（加熱）期間中における建材履歴による濃度変位を検証）におけるチェンバー内の当該汚染物質濃度の変位を測定するものである（図-5）。ベイクアウト実験は、人工気象室内で制御された加熱空気（Temp.:38[℃]、R.H.:40[%]）を小型チェンバーに導入することにより行った。

尚、図-5に示した実施手順の1)～9)、及び1)'～5)の具体的な内容を以下に示す。

4-1-1 ベイクアウト実験の手順

- 1) あらかじめ、チェンバー内を薬液により清浄し¹¹⁾、換気を充分に行う(2[h])。
- 2) チェンバー内に一定の換気条件を構築し、汚染物質の濃度上昇を測る(10[h]、Temp:23[℃]、RH:40～50[%])。人工気象室、及びチェンバー内は、同時に、拡散ファンを用いて一様拡散させる(64[h])。
- 3) 汚染物質濃度が上昇した後に測定を行う(8[h])。
- 4) 換気を充分に行う(2[h])。
- 5) 人工気象室内の温度を上昇(Temp:38[℃]、RH:40～50[%])させ、その空気をチェンバー内に導入する。
- 6) ベイクアウト中の汚染物質濃度を測定する(8[h])。
- 7) 4)と同様(6[h])。
- 8) 2)と同様。適宜、建材の温度が2)と同程度であることを確認する。
- 9) 3)と同様。

4-1-2 建材履歴実験の手順

- 1)'、2)'、3)'は、それぞれ1)、2)、3)と同様である。
- 4)'人工気象室内の温度を室温23[℃]、相対湿度40～50[%]

図-5 ベイクアウト実験と建材履歴実験で得られるチェンバー内濃度の変位

に保ち、その空気をスモールチェンバー内に導入する(90[h])。5)は9)と同様である。

4-2 建材の試験片レベルのベイクアウト効果の評価法^{3), 4)}

本研究では、ベイクアウトを施す試験片を用いたベイクアウト実験とベイクアウトを施さない試験片を用いた建材履歴実験を同時に行い、ベイクアウト効果を求める評価法を提案するものである。すなわち、真のベイクアウトによる発生量減少率(R_b)は、実験期間中の建材履歴によって生ずる発生量減少率(R_m)を除くことにより得られるという理論^{3), 4)}によるもので、試験片レベルのベイクアウト効果は、次式(1)により求められる。

$$R_b = \left(1 - \frac{C_{sa} - C_{la}}{C_{sb} - C_{lb}}\right) \times 100 - R_m \quad (1)$$

ここで、 C_{sb} :ベイクアウト実験におけるベイクアウト前のチェンバー内定常濃度²⁾、 C_{lb} :ベイクアウト実験におけるベイクアウト前のチェンバー内初期濃度³⁾、 C_{sa} :ベイクアウト実験におけるベイクアウト後のチェンバー内定常濃度⁴⁾、 C_{la} :ベイクアウト実験におけるベイクアウト後のチェンバー内初期濃度⁵⁾、 R_m :実験期間中の建材履歴による発生量減少率(チェンバー内濃度減少率)[%]⁶⁾とする。

尚、(1)式は、ベイクアウト前後における室内化学物質濃度が定常状態に達した場合を仮定したものである。すなわち、ベイクアウト前後における室内濃度の上昇度の違いからベイクアウトによる化学物質の低減効果を求めるものである。

5. 結果と考察

化学物質の発生に関わる表面積の大きい床、壁、天井部分を実験対象とした。試験片は、建築物の施工法上、よく用いられている仕様を再現して作製されたものである。各部位の検体数は、壁(7[体])、床(4[体])、天井(4[体])である。

5-1 ベイクアウト前のホルムアルデヒド濃度

ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるベイクアウト前⁷⁾のホルムアルデヒド濃度を図-6～8、及び表-4に示す。全ての試験片は、ホルムアルデヒド発生の抑制を意図した仕様となっている。すなわち、使用された接着剤は低ホルマリン仕様であり、合板とパーティクルボードは、F₁、E₀仕様を用いた試験片である。測定されたホルムアルデヒド濃度は、ベイクアウト前の期間において比較的低い値(ベイクアウト実験:0.004～0.046[ppm]、建材履歴実験:0.002～0.046[ppm])を示した。

尚、人工気象室内では、外気及び再循環空気がケミカルフィルタ等により処理されており、人工気象室及び測定用チェンバーのバックグラウンド濃度は、検出下限値以下であった。

5-2 ベイクアウト中のホルムアルデヒド濃度

ベイクアウト実験における加熱操作(図-5、実施手順5)～6))は、人工気象室内で制御された加熱空気(温度:38[℃]、相対湿度:40[%])を測定用チェンバーに導入して行ったものである。

結果として、ベイクアウト中(D.b.⁸⁾)のホルムアルデヒド濃度は、ベイクアウト前の濃度と比較すると、1.45～6.17(平均値:2.96)倍の濃度上昇が示されており、ベイクアウトによる

ホルムアルデヒド発生の促進状況が示されている。

5-3 ベイクアウトによる部位別のホルムアルデヒドの発生量減少率(R_b)

ベイクアウト実験、建材履歴実験で得られたベイクアウト前後のホルムアルデヒド濃度(表-4)を評価式(1)に導入し、発生量減

図-6 ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるホルムアルデヒド濃度の変位(壁TWC3)

図-7 ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるホルムアルデヒド濃度の変位(床TFC1)

図-8 ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるホルムアルデヒド濃度の変位(天井TCC2)

表-4 ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるホルムアルデヒド濃度

部位	試験片	ベイクアウト実験				建材履歴実験			
		ホルムアルデヒド濃度[ppm]			n[1/h]	ホルムアルデヒド濃度[ppm]		n[1/h]	
		B.b. 注7)	D.b. 注8)	A.b. 注9)		B.b.	A.b.		
床	MF3	0.017	0.028	0.014	0.71±0.02	0.009	0.008	0.69±0.01	
	TFC1	0.032	0.091	0.028	0.78±0.02	0.027	0.027	0.79±0.03	
	TFC2	0.044	0.074	0.029	0.76±0.03	0.029	0.029	0.79±0.02	
	TFW2	0.023	0.064	0.018	0.76±0.02	0.020	0.018	0.78±0.03	
	FW5	0.004	0.009	0.002	0.71±0.02	0.020	0.020	0.68±0.01	
壁	FW6	0.006	0.037	0.005	0.68±0.01	0.002	0.002	0.67±0.02	
	MW1	0.013	0.043	0.005	0.80±0.02	0.005	0.003	0.79±0.03	
	TWC1	0.028	0.041	0.025	0.80±0.02	0.029	0.029	0.79±0.03	
	TWC3	0.018	0.073	0.014	0.81±0.03	0.022	0.021	0.83±0.02	
	TWW3	0.019	0.033	0.015	0.77±0.03	0.020	0.020	0.79±0.03	
	OW3	0.046	0.074	0.017	0.81±0.02	0.046	0.044	0.79±0.02	
	MC1	0.009	0.055	0.004	0.67±0.01	0.012	0.012	0.69±0.01	
	MC2	0.007	0.037	0.002	0.66±0.02	0.011	0.008	0.66±0.01	
天井	TCC1	0.042	0.085	0.013	0.80±0.02	0.042	0.028	0.79±0.03	
	TCC2	0.033	0.048	0.017	0.81±0.03	0.029	0.029	0.83±0.04	

少率(R_b)を求めた。結果を表-5に示す。

5-3-1 床部における低減効果

床に関しては6.54～34.1[%]の発生量減少率(R_b)を示し、平均値で16.2[%]の低減化を示した。MF3は6.54[%]の低い低減率を示したが、その他の床材は10～30[%]程度の低減化を示している。ちなみに、MF3は6.5[mm]の硬質繊維板がフローリング材の表面に使われており、下地材も17.5[mm]の同繊維板が使われている。他の床材はF₁仕様の12～15[mm]のラワン合板を下地とし、同仕様の12[mm]のフローリングが表面材として使われている。

5-3-2 壁部における低減効果

壁に関しては、10.7～58.7[%]の発生量減少率(R_b)を示し、平均値で28.6[%]の低減化を示した。石膏ボード下地にクロス張りが多い中で、仕上げ面がシラス塗りのOW3は、58.7[%]、ポリスチレンフォームベニヤで17.7[%]、化粧石膏ボードで21.1[%]を示した。

建材内部に接着剤が含まれているフローリング材や硬質繊維板などの合板よりも塗り壁の方が、大きいベイクアウト効果を示した。

5-3-3 天井部における低減効果

天井に関しては35.7～55.6[%]の発生量減少率(R_b)を示し、平均値で46.0[%]の低減化を示した。ベイクアウトによる低減効果が最も大きい部位は、天井であった。

5-4 仕上げ材の違いとベイクアウト効果(ビニルクロスと布クロスについて)

壁部について仕上げ材のクロスについての検討を行った。布クロスが仕上げ材に用いられているFW5(50.0[%])、FW6(16.7[%])、MW1(21.5[%])とビニルクロスが用いられているTWC1(10.7[%])を比較すると、布クロスの方が大きな発生量減少率(R_b)を示している。

天井部でも同様の検討を行った。布クロスが仕上材として用いられているMC1(55.6[%])とビニルクロスが用いられているMC2(44.2[%])、TCC1(35.7[%])、TCC2(48.5[%])では、壁部と同様に、布クロスの方が大きな発生量減少率(R_b)を示している。これは、下地の石膏ボードとクロスの間で使用された「のり」に

含有するホルムアルデヒドが、通気性のある布クロス透過し、表面から放散したことによるものと考えられる。

5-5 ベイクアウト後の室内濃度予測法

ベイクアウトを施した建築物の室内濃度予測法について、単純な定常モデルで検討を行った。

汚染物質発生量が一定の場合、ベイクアウト後の室内定常濃度 C_{sa} [ppm]は、次式(2)にて表せる。

$$C_{sa} = C_0 + \frac{M_a}{Q} \quad (2)$$

ここで、 C_0 :外気濃度[ppm]、 M_a :ベイクアウト後の室内総発生量[ml/h]、 Q :室換気量[m³/h]とする。

新築時の主要な化学物質の室内発生部位は、床、壁、天井である。各部位のベイクアウト後における単位面積当たりの発生量を m_{ak} とすれば、室内総発生量 M_a [ml/h]は、次式(3)にて表せる。

$$M_a = m_{a1}A_1 + m_{a2}A_2 + m_{a3}A_3 + m_{aet}A_{et} \\ = \sum_{k=1}^n m_k A_k + m_{aet}A_{et} \quad (3)$$

ここで、 m_{a1} :ベイクアウト後における床の単位面積当たりの発生量(ml/m²・h)、 m_{a2} :ベイクアウト後における壁の単位面積当たりの発生量(ml/m²・h)、 m_{a3} :ベイクアウト後における天井の単位面積当たりの発生量(ml/m²・h)、 m_{aet} :ベイクアウト後におけるその他部材の単位面積当たりの発生量(ml/m²・h)、 m_{ak} :ベイクアウト後の各部位毎の単位面積当たりの発生量(ml/m²・h)、 A_1 :床の発生表面積(m²)、 A_2 :壁の発生表面積(m²)、 A_3 :天井の発生表面積(m²)、 A_{et} :その他の部位の発生表面積(m²)、 A_k :各部材の発生表面積(m²)とする。

ベイクアウト後の発生量 m_{ak} (ml/h)は、次式(4)にて表せる。

$$m_{ak} = m_{bk} \left(1 - \frac{R_{bk}}{100}\right) \quad (4)$$

ここで、 m_{bk} :ベイクアウト前における各部材の単位面積当たりの発生量(ml/h)(部材レベルの建材試験により求める。本研究の「ベイクアウト実験」の「ベイクアウト前」の濃度測定値に実験チェンバーへの通気量を乗ずることにより発生量が求まる。)、 R_{bk} :ベイクアウトによる建材部位毎の室内発生量減少率(%)である。

(3)、(4)式を(2)に導入すれば、次式にてベイクアウト後の室内定常濃度 C_{sa} が求められる。

$$C_{sa} = C_0 + \frac{\sum_{k=1}^n [m_{bk} A_k (1 - \frac{R_{bk}}{100})] + m_{bet} A_{bet} (1 - \frac{R_{bet}}{100})}{Q} \quad (5)$$

6. まとめ

本研究の範囲において、以下の知見を得ることが出来た。

1) 試験片レベルのベイクアウト効果を評価する基礎的試験法を

表-5 ベイクアウトによるホルムアルデヒドの濃度低減効果
(濃度減少率 R_b [%])

部位	試験片 (複合材)	R_m [%]	R_b [%]
床	MF3	11.1	6.54
	TFC1	0	12.5
	TFC2	0	34.1
	TFW2	10.0	11.7
	床の R_b [%](Ave.)		16.2
壁	FW5	0	50.0
	FW6	0	16.7
	MW1	40.0	21.5
	TWC1	0	10.7
	TWC3	4.55	17.7
	TWW3	0	21.1
	OW3	4.35	58.7
	壁の R_b [%](Ave.)		28.0
天井	MC1	0	55.6
	MC2	27.3	44.2
	TCC1	33.3	35.7
	TCC2	0	48.5
	天井の R_b [%](Ave.)		46.0

確立した。すなわち、小型チャンバーを用いる実験システムを構築し、試験片の作製法とベイクアウト実験の具体的な手順を確立した。

- 2) 試験片レベルのベイクアウト効果を求める評価式を提案した。
- 3) 試験片レベルの建材について、ある加熱条件（加熱温度：38 [℃]、相対湿度40 [%]、加熱時間：72 [h]、換気回数：0.80 [1/h]）のもとで、ベイクアウト実験を行い、次の結果を得た。
部位ごとのホルムアルデヒドの発生量減少率 (R_b) の平均値は、床(16.2 [%])、壁(28.6 [%])、天井(46.0 [%])であった。
- 4) ベイクアウトを施した建築物の室内濃度予測法を提案した。

7. 今後の課題

以下の事項が今後の課題として挙げられる。

- 1) 各部材のVOCに対するベイクアウト効果の評価値を実験室実験により求める。
- 2) ベイクアウト効果の持続性（リバウンド現象の有無等）を実験的に明らかにする。
- 3) ベイクアウトを施した室内の濃度予測法に与える吸着、脱着の影響を明らかにする。
- 4) ベイクアウト後における室内濃度予測法と実大実験レベルの実験結果との整合性に関して検討する。

8. 謝辞

本研究の一部は、官民連帯共同研究「健康的な居住環境形成技術の開発」、設計・施工法部会対策実験WGにより行った。各委員に謝意を表する。また、本報を執筆するにあたり、ご協力を頂いた荒川琢也氏（大成建設技術研究所(株)）、熊野康子氏（(株)フジタ技術研究所）、駒野清治氏（オーエムソーラー協会技術開発チーム）、牧野真之氏（前田建設工業(株)技術研究所）の諸氏に深甚なる謝意を表するものである。また、本研究は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究B(1)）展開研究「ガス状物質による室内空気汚染低減化に関する研究」、研究代表者：野崎淳夫）、厚生労働省厚生科学研究費（「生活用品、対策品からの化学物質の発生と除去特性に関する研究」、研究代表者：野崎淳夫）の活動の一環として行われた。関係者各位に謝意を表する。

注

- 注1) 薬液による清浄後、加熱処理を施し、薬液の残留を最小限に抑えた。
- 注2) ベイクアウトを施す前の建材が挿入されている実験チェンバー内の定常濃度を示す。
- 注3) ベイクアウトを施す前の建材が挿入されている実験チェンバー内において、初めに測定される濃度を示す。
- 注4) ベイクアウトを施した建材が挿入されている実験チェンバー内の定常濃度を示す。
- 注5) ベイクアウトを施した建材が挿入されている実験チェンバー内において、初めに測定される濃度を示す。
- 注6) ベイクアウト実験と同時に並行した建材履歴実験により求めた建材履歴による発生量減少率を示す。
- 注7) ベイクアウト前(Before bake-out)を示す。
- 注8) ベイクアウト中(During bake-out)を示す。
- 注9) ベイクアウト後(After bake-out)を示す。

引用文献

- 1) 熊谷一清、池田耕一、堀雅宏、松村年郎、野崎淳夫、木村洋、飯倉一雄、吉澤晋：居住状態における住宅室内の揮発性有機化合物に関する実態調査、日本

建築学会計画系論文集、第522号、pp.45～52、1999年8月

- 2) 野崎淳夫、飯倉一雄他：住宅における建材由来のホルムアルデヒドおよびVOC汚染に関する研究、仕上材部位別発生量および室内濃度予測モデルの検討、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.1269～1272、1998年8月
- 3) 野崎淳夫、飯倉一雄、吉澤晋、池田耕一、堀雅宏：室内化学物質汚染低減化対策としてのベイクアウト効果(その1)、室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その2)、日本建築学会計画系論文集、第530号、pp.61～66、2000年4月
- 4) 野崎淳夫、飯倉一雄、吉澤晋他：室内化学物質汚染の低減化対策に関する研究、第1報、室内ホルムアルデヒド、VOC汚染低減化対策としてのベイクアウトに関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.70、pp.13～20、2000年4月
- 5) J.R.Girman et al.: Bake-out of a New Office Building to Reduce Volatile Organic Concentrations, Proc. of the 82nd Annual Meeting and Exhibition of the Air Pollution Control Association, June, 1989
- 6) 駒野清治、荒川琢也、佐藤：戸建住宅におけるベイクアウト方法の検討、「健康的な居住環境形成技術の開発」最終報告書、pp.210～216、2000年10月
- 7) 熊野康子、村江行忠、牧野真之、須藤、葉袋寿紹：集合住宅におけるベイクアウト方法の検討、健康的な居住環境形成技術の開発、最終報告書、pp.208～210、2000年10月
- 8) 熊野康子他：新築集合住宅におけるベイクアウトと自然換気による揮発性有機物質の低減化についての検討、室内環境学会総会講演集、Vol.2、No.1、pp.144～145、1999年12月
- 9) 小竿真一郎他：ベイクアウトによる室内ホルムアルデヒド濃度の制御に関する研究、第15回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、pp.187～192、1997年4月
- 10) 野崎淳夫、吉澤晋、池田耕一、堀雅宏：室内VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(その1)、開放型石油暖房器具の非メタン炭化水素発生特性(Part 1)、日本建築学会計画系論文集、No.517、pp.45～51、1999年3月
- 11) 環境庁大気保全局大気規制課編：大気中のホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの測定方法、固相捕集-高速液体クロマトグラフ法、有害大気汚染物質測定方法マニュアル、pp.41～46、1996年12月
- 12) 野崎淳夫、池田耕一、吉澤晋、山本徳之他：建材由来のVOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究(2)、HCHO発生量、濃度予測に関して、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.841～842、1998年9月
- 13) 野崎淳夫、坊垣和明、大澤元毅、飯倉一雄：チェンバーを用いた建材の部材レベルのベイクアウト実験に関する研究、室内環境学会総会講演集、第3巻、第2号、pp.50～51、2000年12月
- 14) 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明他：実験室実験による建材部材レベルのベイクアウト効果、第19回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、pp.138～139、2001年4月

(2001年9月14日原稿受理、2002年4月10日採用決定)