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3)

室内 VOC, ホルムアルデヒド汚染に関する研究 (その4)

EFFECTS OF BAKE OUT AS A SOURCE CONTROL TECHNIQUE FOR INDOOR
CHEMICAL SUBSTANCES (PART 3)

A study on indoor air pollutions by VOC and Formaldehyde (Part 4)

飯倉 一雄*, 野崎 淳夫**, 坊垣 和明***, 吉澤 晋****

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

It turned out that bake-out is a useful mitigation method for indoor formaldehyde pollution from our experimental research⁸⁾. The experimental research was carried out with used by experimental and environmental chamber where the temperature, humidity, air exchanges as well as air velocity were controlled. The emission rates of formaldehyde on each building material were 6.54~55.6% after bake-out at a temperature of 38℃ for a 72-hour period and under an air exchange rate of 0.5 ACH. Here, the experimental study was conducted on VOC with the same experimental method. From our results, it turned out that the emission rates of TVOC were decreased by 7.4~40% after bake-out under the same conditions. And, if we wish to determine the effectiveness of bake-out on the VOC, further experiments used with environmental chambers should be needed.

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

ベイクアウト、VOC、室内空気質、環境制御チェンバー

1. はじめに

近年、化学物質過敏症の発症原因のほぼ半数が室内空気汚染によるものと推定されており¹⁾、誘因物質である揮発性有機化合物 (VOC) やホルムアルデヒドによる室内空気汚染低減対策の確立^{2), 3)} が急務となっている。

汚染低減化対策のなかで、ベイクアウトは、①居住状態のみならず、新築・改装直後に講ずることができ、さらに、②建材・施工剤等の発生源における化学物質の発生量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。

ベイクアウト効果に関する研究報告として、野崎らは、前々報⁴⁾にて実大実験時のベイクアウト手法とその評価法を確立し、ベイクアウトによるホルムアルデヒドとVOC発生量の低減化が示されたことを報告している⁵⁾。

また、野崎らは、室を構成する建材・施工剤の仕上げ仕様が、ベイクアウトによる室内化学物質の発生量低減効果に影響を及ぼしている点に注目している。

前報⁶⁾では、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と評価法を確立し、②加熱温度(38℃)、加熱時間(72h)のベイクアウトで、建材部位毎のホルムアルデヒドの発

生量減少率を明らかにしており、床 (6.5 ~ 34[%])、壁 (11 ~ 59[%])、天井 (36 ~ 56[%]) の低減効果を報告している。また、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している。

本研究では、先の試験・評価法を用いたベイクアウトによるVOCの低減効果を明らかにするものである。

すなわち、部材レベルのベイクアウト実験を行い、ある加熱条件における建材・施工剤の仕様とVOC低減効果との関係を明らかにするものである。

2. 実験概要

2-1 実験装置の概要

本研究で用いたベイクアウトの実験装置を図-1に示す。二つの人工気象室内に、ベイクアウトによる濃度変位測定 (Experiments with bake-out) と実験期間中の建材履歴による濃度変位測定 (Experiments without bake-out) を行うための小型ステンレス製チェンバー (容積: 65[l]) を設置した。各小型チェンバー内には、人工気象室内で温湿度の制御された清浄空気を導入した。

* 東北文化学園大学科学技術学部 特別研究員・公衛修

** 東北文化学園大学科学技術学部 教授・工博

*** 建築研究所 研究総括監・工博

**** 愛知淑徳大学現代社会学部 講師・工博

Researcher, Faculty of Science and Tech., Tohoku Bunka Gakuen Univ., M.P.H. Prof., Faculty of Science and Tech., Tohoku Bunka Gakuen University, Dr. Eng. Executive Director for Building Research, Building Research Institute, Dr. Eng. Lecturer, Faculty of Studies on Contemporary Society, Aichi Shukutoku Univ., Dr. Eng.

図-1 ベイクアウト実験と建材履歴実験の装置概要図

写真-1 VOCの分析システム

表-1 GCの分析条件

GC	GL science, model GC-353
カラム	Sil-8cb, 径:0.53[mm]、長さ:100[m]
オープン	40-280[°C]
キャリアガス	N ₂
流量	18[ml/min]
検出器	水素炎イオン化検出器

尚、人工気象室、及び各小型チェンバー内には拡散ファンを設置し、チェンバー内に一定の気流と一様拡散状態をもたらすものとした。

2-2 固体吸着-溶媒抽出-ガスクロマトグラフ（以下、GC; Gas chromatograph）法⁷⁾によるTVOCの分析

2-2-1 測定機器

使用し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）、積算流量計（シナガワ社製、Model:DC-1A型）、フローメータ（STEC社製、Model:AM-V080S型）、VOC捕集管（柴田科学社製、有機ガスサンプラー、捕集剤：活性炭、上流部充填量：400[mg]、下流部充填量：200[mg]）

b) 分析装置…GC（GLサイエンス製、Model:GC-353型、写真-1参照）

2-2-2 VOCの捕集・分析

VOC捕集管に試料空気を0.5[l/min]の流量で8時間通気した。VOC捕集管から、上流部と下流部の活性炭を別々のバイアル瓶に移した。二硫化炭素2[ml]をそれぞれのバイアル瓶に入れ、栓をした後に軽く振とうした。その後、数回の振とうを行いながら、

表-2 試験片の概要

部材	試験片			使用建材・施工剤		
	記号	厚さ [mm]	作製日	種別等	製造番号	製造日
床	MF3	32	H12.1.14	硬質繊維版(F _{co} 、厚さ:6.5[mm])	-	-
				接着剤	JS-3000-4310-1	-
	TFC1	124	H12.8.25	硬質繊維版(E ₁ 、厚さ:17.5[mm])	-	-
				フローリング(F _{co} 、厚さ:12[mm])	222216RH1	H12.2.4
				接着剤(低ホルマリン)	000808AC	H12.8.8
				ラワン合板(F _{co} 、厚さ:12[mm])	-	H12.8.17
				接着剤(低ホルマリン)	000808AC	H12.8.8
				コンクリート(厚さ:100[mm])	-	H12.7.18
	TFC2	174	H12.8.25	フローリング(F _{co} 、厚さ:12[mm])	222216RH1	H12.2.4
				接着剤(低ホルマリン)	000808AC	H12.8.8
				ラワン合板(F _{co} 、厚さ:12[mm])	-	H12.8.17
				接着剤(低ホルマリン)	000808AC	H12.8.8
TFW2	265	H12.8.25	コンクリート(厚さ:150[mm])	-	H12.7.18	
			フローリング(F _{co} 、厚さ:12[mm])	222216RH1	H12.2.4	
			接着剤(低ホルマリン)	9907161551	H11.7.16	
			ラワン合板(F _{co} 、厚さ:18[mm])	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	石膏ボード(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)	TW-515	-
				石膏ボード(厚さ:12.5[mm])	99112721	-
				GL工法接着剤	-	-
				コンクリート(厚さ:75[mm])	-	-
	TWC1	147	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
				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]))	NDJI	-
				接着剤(低ホルマリン)	000808AC	H12.8.8
	TWC3	148	H12.8.25	コンクリート(厚さ:120[mm])	-	H12.7.18
				ポリスチレンフォーム・ラワン合板(ラワン合板(F _{co} 、厚さ:3[mm])、ポリスチレンフォーム(厚さ:25[mm]))	AK11660	H12.8.18
				接着剤(低ホルマリン)	000808AC	H12.8.8
				コンクリート(厚さ:120[mm])	-	H12.7.18
	TWW3	126.5	H12.8.25	化粧石膏ボード(厚さ:12.5[mm])	-	H12.8.17
				構造用断熱パネル(OSB(F _{co} 、厚さ:11[mm])、ポリスチレンフォーム(厚さ:92[mm])、OSB(F _{co} 、厚さ:11[mm]))	-	H12.8.9
	OW3	107.5	H12.8.29	塗り壁材(シラス)(厚さ:5[mm])	-	-
				構造用針葉樹合板(F _{co} 、厚さ:7.5[mm])	-	H12.7.24
ポリエチレンフィルム(厚さ:0.15[mm])				-	-	
細繊維ガラスウール16K(厚さ:100[mm])				-	-	
			構造用針葉樹合板(F _{co} 、厚さ:7.5[mm])	-	H12.7.24	
天井	MC1	11	H12.1.14	布クロス	TW-515	-
				接着剤	99112721	-
	MC2	10	H12.1.14	石膏ボード(厚さ:9.5[mm])	-	-
				ビニルクロス(SV規格)	-	-
	TCC1	214.5	H12.8.25	接着剤	99112721	-
				石膏ボード(厚さ:9.5[mm])	-	-
				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
				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
	TCC2	189.5	H12.8.25	接着剤(低ホルマリン)	000808AC	H12.8.8
				コンクリート(厚さ:150[mm])	-	H12.7.18
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	
			接着剤(低ホルマリン)	000808AC	H12.8.8	
			コンクリート(厚さ:150[mm])	-	H12.7.18

図-2 試験片の作製例(試験片: TWC1)

写真-2 作製された試験片の一例

表-3 試験片の作製日、実験期間、保管期間

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

2時間の抽出を行い、分析試料とした。この分析試料を、GCによる定性・定量分析(分析条件:表-1)を行った。上流部と下流部の測定値により、破過についての検討を行ったが、いずれの検体においても捕集管の保持容量を上回る破過は認められなかった。

また、TVOC濃度は、GC分析によって同定された各VOC濃度の総和に未同定物質のピーク面積値をトルエン換算した濃度を加えたものである。

2-3 試験片(複合材)の作製法⁸⁾及び保管状況⁶⁾

対象とした試験片は表-2に示される仕様(試験片の作製日、建材の規格等)を有しており、文献⁸⁾で提案している作製法により、30[cm]×30[cm]程度のサイズの部材試験片を作製した。例えば、床については、合板、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た。また、現場施工を

忠実に再現するために、仕上げ表面のみからの発生とし、端面、及び裏面をアルミ箔等でシールした。作製された試験片の具体例を図-2、及び写真-2に示す。

試験片は、作製から実験開始まで、3日~2週間程度の期間(表-3参照)、東北文化学園大学に設置されている保管室(温度 23 ± 3 [°C]、相対湿度 20 ± 5 [%])で保管した。試験片には、保管期間中にVOCの枯れが進行した可能性を有するものも含まれている。ベイクアウト実験と建材履歴実験

図-3 ベイクアウト実験と建材履歴実験の具体的な手順

験では、試験片作製後からの保管期間、条件が同一であるため、この枯れが低減効果に与える影響は小さいものとしてベイクアウト効果を評価した。

保管室では、吸着等の影響を抑制するため、ある一定の換気（換気回数：3.0 [1/h]）を行った。

3. 実験手順及び部材レベルでのベイクアウト効果の評価法^{6), 9), 10)}

本研究は、前報⁶⁾と同様の実験手順で行うものである。すなわち、加熱を施した場合のTVOC濃度変位を測定するベイクアウト実験（Experimental with bake-out）とベイクアウト実験期間中におけるTVOCの濃度変位を測定する建材履歴実験（Experimental without bake-out）を行い、それぞれの実験をもとに発生量減少率を求めるものである。具体的な実施手順及び評価法を図-3に示す。

4. ベイクアウトに伴うTVOCの低減効果

床、壁、天井部分を実験対象とし、検体数は、壁（7[体]）、床（4[体]）、天井（4[体]）である。

尚、本実験は、人工気象室内で温湿度の制御された空気を清浄管を通じて小型チェンバー内に導入して行なわれた。

尚、人工気象室におけるバックグラウンドのTVOC濃度は、50～70 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]であった。

4-1 ベイクアウト前 (Before bake-out) の期間におけるTVOC濃度

ベイクアウト（Experiments with bake-out）実験と建材履歴（Experiments without bake-out）実験におけるベイクアウト前のTVOC濃度を図-4～6、及び表-4に示す。本研究で対象とした試験体（15体）のうち8体において、1000 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]を超える高濃度が測定された。

床部MF3、壁部FW5、FW6、天井部TCC1は、ベイクアウト前におけるTVOC濃度に差が生じる結果となった。これは、建材履歴実験及びベイクアウト実験で用いた試験片における接着剤のムラ等が影響したものと考えられる。

図-4 ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるTVOC濃度の変位 (TFC1)

図-5 ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるTVOC濃度の変位 (MW1)

図-6 ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるTVOC濃度の変位 (TCC2)

表-4 ベイクアウト実験と建材履歴実験におけるTVOC濃度

部位	試験片	ベイクアウト実験				建材履歴実験			
		TVOC濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			換気回数 [1/h]	TVOC濃度 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		換気回数 [1/h]	
		ベイクアウト前	ベイクアウト中	ベイクアウト後		ベイクアウト前	ベイクアウト後		
床	MF3	227	735	165	0.71±0.02	360	340	0.69±0.01	
	TFC1	6060	13200	3830	0.78±0.02	7390	6730	0.79±0.03	
	TFC2	20100	58200	14700	0.76±0.03	18600	17400	0.79±0.02	
	TFW2	7800	15875	5440	0.76±0.02	8400	8160	0.78±0.03	
壁	FW5	436	843	342	0.71±0.02	287	266	0.68±0.01	
	FW6	430	603	333	0.68±0.01	122	121	0.67±0.02	
	MW1	688	1790	462	0.80±0.02	698	533	0.79±0.03	
	TWC1	11100	23900	6340	0.80±0.02	9070	7680	0.79±0.03	
	TWC3	6560	15300	4160	0.81±0.03	4710	4360	0.83±0.02	
	TWW3	10200	20400	5660	0.77±0.03	10000	8484	0.79±0.04	
	OW3	582	1040	466	0.81±0.02	468	466	0.79±0.02	
天井	MC1	130	189	84.3	0.67±0.01	96.9	94	0.69±0.01	
	MC2	109	281	84.5	0.66±0.02	126	107	0.66±0.01	
	TCC1	1760	2440	1040	0.80±0.02	1080	1070	0.79±0.03	
	TCC2	8750	18600	4030	0.81±0.03	9350	7420	0.83±0.04	

表-5 ベイクアウトによるTVOCの濃度低減効果(R_b [%])

部位	試験片	R_m [%]	R_b [%]
床	MF3	5.56	21.8
	TFC1	8.93	27.9
	TFC2	6.45	20.4
	TFW2	2.86	27.4
	R_{bf} [%](平均値)		24.4
壁	FW5	7.3	14.2
	FW6	0.820	21.7
	MW1	23.6	9.21
	TWC1	15.3	27.6
	TWC3	7.43	29.2
	TWW3	15.2	29.3
	OW3	0.427	19.5
	R_{bw} [%](平均値)		21.5
天井	MC1	2.99	32.2
	MC2	15.1	7.40
	TCC1	0.926	40.0
	TCC2	20.6	33.3
	R_{bc} [%](平均値)		28.2

4-2 ベイクアウト中(During bake-out)の期間におけるTVOC濃度

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(温度:38[℃]、相対湿度:40[%])を小型チェンバーに導入して行ったものである。一方、建材履歴実験では、別の人工気象室を用いて制御された空気(温度:23[℃]、相対湿度:40[%])を小型チェンバーに導入している。

結果として、ベイクアウト中(During bake-out)のTVOC濃度は、ベイクアウト前(Before bake-out)の測定濃度と比較すると、1.39～3.24(平均値:2.14)倍の濃度上昇が示されており、ベイクアウトによる建材表面からのTVOC発生の促進状況が示されている。

4-3 ベイクアウトによる部位別のTVOC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TVOC濃度(表-4)を評価式(1)に代入し、発生量減少率(R_b)を求めた。結果を表-5に示す。

4-3-1 床部における低減効果

床に関しては20.4～27.9[%]の発生量減少率(R_b)を示し、平均値で24.4[%]の低減化を示した。MF3は、6.5[mm]の硬質繊維版が床材の表面に露出しており、その下地材(17.5[mm])も同仕様のものが使われている。他の床部は、 F_{c0} 仕様の12～15[mm]のラワン合板が下地とされ、 F_{c0} 仕様の12[mm]の木質系フローリング建材が表面材として使われている。

今回の試験片には、硬質繊維版と木質系フローリング建材(F_{c0})の異なる表面材が使われているものの、床部において、仕様の違いによる発生量減少率(R_b)に大きな変化は認められなかった。

4-3-2 壁部における低減効果

壁に関しては、9.21～29.3[%]の発生量減少率(R_b)を示し、平均値で21.5[%]の低減化を示した。壁部では、石膏ボードの下地に壁紙が貼り付けられているものが多い。な

かでも、仕上面がポリスチレンフォーム・ラワン合板のTWC3で29.2[%]、化粧石膏ボードのTWW3で29.3[%]と、仕上げ表面が壁紙の試験体よりもやや大きめの発生量減少率(R_b)を示した。

4-3-3 天井部における低減効果

天井に関しては7.40～40.0[%]の発生量減少率(R_b)を示し、平均値で28.2[%]の低減化を示した。特に、クロス(布クロス、ビニルクロス)等の仕上材の透過性により、VOC発生量減少率は変化するものと考えられ、数多くの試験片を用いて、仕上材の仕様の違いによるベイクアウト効果について検討する必要がある。

5. まとめ

部材レベルの試験片について、野崎らが提案しているベイクアウト手法と評価法を用いて、ベイクアウトによるTVOC低減効果について求めた。各部位のTVOCの発生量に対する発生量減少率(R_b)の平均値は、床(20.4～27.9[%]、平均値:24.4[%])、壁(9.21～29.3[%]、平均値:21.5[%])、天井(7.40～40.0[%]、平均値:28.2[%])であった。

建材仕様毎のベイクアウト効果に関して、床部では、仕様の違い(硬質繊維板、木質系フローリング建材(F_{c0}))による発生量低減率に大きな変化は認められなかったが、壁部、天井部に関しては、ある一定の範囲でのVOC発生量減少率が確認された。壁部、天井部におけるVOC発生量減少率は、特に、使用接着剤の施工状況、仕上材の透過性等により構成されるものと考えられる。今後は、より明確な建材・施工剤の仕様とベイクアウト効果の検討が必要である。

6. 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) 個々のVOCに対するベイクアウト効果を明らかにする。
- 2) ベイクアウト効果の持続性を明らかにする。
- 3) 吸着、脱着を考慮したベイクアウト後の室内濃度予測法提案し、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。

7. 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。また、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。

注

- 注1) ベイクアウトを施す前の測定を示す。
 注2) ベイクアウトを施している時の測定を示す。
 注3) ベイクアウトを施した後の測定を示す。

文献

- 1) 宮田幹夫：化学物質過敏症、空気清浄、第39巻、第1号、pp.49～53、2001.5
- 2) 熊谷一清、池田耕一、野崎淳夫、飯倉一雄他：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、1999.8
- 3) 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、1998.8
- 4) 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、2000.4
- 5) 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、2000.4
- 6) 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、吉澤晋：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）、日本建築学会計画系論文集、第557号、pp.73～79、2002.7
- 7) 環境庁大気保全局大気規制課編：固体吸着-溶媒溶出-ガスクロマトグラフ質量分析法、有害大気汚染物質測定方法マニュアル、pp.26～32、1997.10
- 8) 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、1998.9
- 9) 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、2000.12
- 10) 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、2001.4

(2002年7月19日原稿受理、2003年3月5日採用決定)