

資料

空調設備を利用した室内空气中化学物質の 低減に関する実態調査

北村裕一, 大谷雅弘, 岡田真人, 大村正美, 門名嘉則

[受付 2004. 3. 19] [受理 2005. 2. 9]

Examination of the Reduction of Indoor Chemical Pollutants using Air Conditioners

Yuichi KITAMURA, Masahiro OTANI, Masato OKADA, Masami OMURA and Yoshinori MONNA

[Received Mar 19, 2004] [Accepted Feb 9, 2005]

要 旨

浜松市内の改築あるいは新築された公共施設3施設において、竣工後12日間にわたり、空調設備を利用して、簡易的な間欠式ベイクアウト法を実施し、室内空气中化学物質の低減効果について調査した。調査期間中に、測定項目7物質(アルデヒド類2物質, VOCs 5物質)のうち、アセトアルデヒドが3施設全てで、トルエンが新築の1施設で室内濃度指針値を超えたが、本ベイクアウト法により室内濃度指針値以下に低減化させることができた。アセトアルデヒドの削減率は、66.2~71.6%、トルエンが77.8~91.0%と高い削減率であった。今回実施した間欠式ベイクアウト法は、新築又は改築施設における低減化策として、職員の勤務時間帯に合わせて職員が容易に対応できる実用的な方法であると確認できた。

Abstract

The effect of intermittent bake-outs on the reduction of chemical pollutants in indoor air was studied in three public institutions in Hamamatsu. Using air conditioners the buildings were intermittently baked out over a two-week period following renovations or new construction. Among the seven substances measured, the concentration of acetaldehyde in all three buildings and of toluene in a newly-built building exceed the guideline values for indoor air established by the Ministry of Health, Labour and Welfare. However, the concentrations were reduced below the guideline values using the bake-out process. Acetaldehyde was reduced by 66.2% - 71.6% and toluene by 77.8%-91.0%. We think that intermittent bake-out is a practical process for reducing indoor air pollutants in newly-built and remodeled buildings, one which the staffs of public institutions can carry out easily during office hours.

Key words: Indoor chemical pollutants, bake-out, guideline values, aldehydes, VOCs

1. はじめに

近年、住宅やビルの新築・改築直後に、揮発性有機化合物などによる室内空気汚染により、居住者にのどや眼などの刺激、めまい等の症状が発症する、いわゆるシックハウス症候群と呼ばれる事例が数多く報告されている¹⁾。

特に、平成14年8月に発生した大阪府堺市の保育

園の事例²⁾のように、環境への抵抗力や対応能力が弱い乳幼児においては、室内空气中化学物質の影響力は大きい。

室内空気汚染の原因となる化学物質は、建築物の内装建材、施工材、家具などから主に発生し、その低減化対策として、ベイクアウトや家庭用空気清浄機などが注目されており、研究が進められている。野崎ら^{3,4)}は、竣

工後2～4ヵ月のRC，S造り集合住宅で，24時間連続のベイクアウト後における室内濃度減少率を明らかにしている。また，柳⁵⁾は，改修直後のオフィスに対し，137時間連続のベイクアウトによる初期発生量の低減とその後の室内濃度への影響に関する，定量的な評価方法について報告している。しかし，「室内空気汚染に係るガイドライン」に定められた室内濃度指針値（以下「指針値」と称す）を満足できるか確認した，具体的かつ効果的な取り組みに対する報告は少ない。

そこで，筆者らは，浜松市内に改築あるいは新築された公共施設のうち，乳幼児対象の3施設について，竣工直後に室内濃度指針値が定められている室内空気中化学物質がどの程度放散されるのか確認するとともに，12日間に渡り空調設備を利用したベイクアウトによる室内空気中化学物質の低減効果について実態調査を行った。

2. 調査方法

2.1 測定対象とした公共施設の概要

測定対象とした公共施設は，Table 1に示す小規模な，乳幼児対象の子育て支援を目的とした児童福祉施設であり，竣工3日後から調査を開始した。調査期間は，A及びB施設では平成14年12月2日～13日，C施設では平成15年2月3日～14日の12日間とした。

これらの施設は，改築又は新築工事にあたり，室内環境対応型の建材や施工材等を使用していた。合板には低ホルムアルデヒド製品（JAS規格：Fc₀），塗料に

は水性系塗料，クロス接着剤にはアルデヒド類や有機溶剤を含まないものを使用した，含有成分の不明な材料も存在した。

なお，Table 1に示すように，3施設ともに全熱交換器タイプの換気設備が設けられていたが，ベイクアウト前後の換気による効果を確認するために停止した。

2.2 ベイクアウト方法

ベイクアウトは，室内を加温し，建材等から十分に室内空気中化学物質を揮発させた後，さらに換気し室外へ放散させて低減化させるため，室温を可能な限り高め，加温及び換気を頻繁に繰り返すほど効果がある。

しかし，加熱温度が高すぎると，合板や接着剤等の劣化を早め，建物の損傷が生ずるおそれがある⁴⁾。

そこで本調査では，建物に与える損傷や，当該施設の使用実態（一年を通じ室温は夏季の空調温度28℃以下・夜間不在など）を考慮し，勤務する職員自らが空調温度を28℃（暖房）に設定し，Table 2に示すように，換気と暖房を実施し，12日間に渡り土日を除く毎日1回，間欠的にベイクアウト（以下「間欠式ベイクアウト」と称す）を行った。換気は，窓及び出入口を30分間開放することにより行った。なお，勤務職員に対し，健康影響を考慮してベイクアウト中は対象施設内になるべく立ち入らないように，またやむを得ず施設内で作業する場合には，気分が悪くなる等の症状が出たら施設外へ退室するよう指示した。

Table 1 Summary of the rooms sampled in public institutions

Institution	Classification of construction	Floor area (m ²)	Volume (m ³)	Day of completion	Ventilator	
					presence	use
A	remodeled	59.5	178.5	2002/11/29	○	×
B	remodeled	59.5	164.8	2002/11/29	○	×
C	newly-built	61.5	151.9	2003/1/30	○	×

Construction materials

Plywood: contains little formaldehyde

Paints: water-based paint

Adhesives for wallpaper: contains no aldehydes and no organic solvents

Table 2 Timetable for bake-out in one day

Time	8:30-9:00	9:00-16:00	16:00-16:30	16:30-8:30
Ventilation (Inlets)	○ (Open)	×	○ (Open)	×
Heating	OFF	ON	OFF	OFF

Inlets: Windows & inlets

Heating: Air conditioner (28℃)

2.3 室内空気試料の採取と分析

2.3.1 試料採取

試料採取時刻は、「室内空气中化学物質の測定マニュアル」⁶⁾の新築の場合に準じ、ベイクアウト開始後5時間を経過した14時から15時とし、ベイクアウト中の濃度を測定した。VOCsに関しては、脱着温度350℃、脱着流量100 mL/minで15分間コンディショニングした捕集管(Supelco製, Tenax TA)に、ポンプにて流速100 mL/minで、アルデヒド類に関しては、DNPHカートリッジ(Waters製 Sep-Pak XPoSure)に流速700 mL/minで、すべての測定に対しそれぞれ2本ずつ30分間同時採取した(二重測定)。12日間にわたる調査期間中に、8回測定を実施した。

2.3.2 分析

分析は、「室内空气中化学物質の測定マニュアル」⁶⁾に準じて行った。

VOCsに関しては、採取後に内部標準物質(トルエン-*d*₈)を添加した捕集管を加熱脱着装置(PerkinElmer製 TurboMatrix ATD)にセットし、GC/MS(Varian製 Saturn 2200)によりSIMモードで分析した(固相捕集+加熱脱着+GC/MS法)。定量は、市販の2種類の標準溶液(シグマアルドリッチ製 MISA Group 17(エチルベンゼン, スチレン, トルエン, *o*-, *m*-, *p*-キシレン各2000 μg/mL), 和光純薬製 *p*-ジクロロベンゼン標準液(1mg/mL))から混合標準液を作製し、アセトンにて順次希釈した標準液を、内部標準液(トルエン-*d*₈)とともに捕集管に添加したものを、内部標準法により実施した。

アルデヒド類は、DNPHカートリッジをアセトンニトリルで溶出後5 mLとし、HPLC(Waters製 Alliance2695)で分析した(DNPH誘導体化固相吸着+溶媒抽出+HPLC法)。定量は、市販の2種アルデヒド-DNPH混合標準液(和光純薬製, ホルムアルデ

ヒド及びアセトアルデヒドとして各0.1 μg/μL)をアセトンニトリルにて順次希釈したものを、絶対検量線法により実施した。

VOCs及びアルデヒド類の分析条件を、Table 3に示す。

3. 結果と考察

3.1 採取時の室温

本調査では、空調設備を暖房28℃と設定したが、アネモマスターにより採取時の室温(30分間平均値)を測定したところ、3施設における室温はFig. 1に示すように変動した。

A施設では初日と4日目以降に、C施設では8日目(2/10)を除き、ほぼ設定温度28℃以上を確保できたが、B施設では25~26℃前後と設定温度よりも低めであった。3施設とも同一温度に設定したにもかかわらず、各施設の空調設備の不調や管理状況の違いなどにより、Fig. 1に示すような異なる温度条件でベイクアウトが行われた。

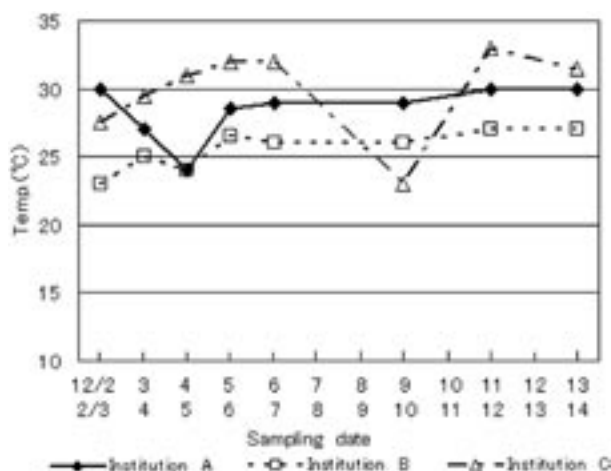


Fig. 1 Daily change in room temperatures in the public institutions
 Sampling date: Upper-Institutions A and B in 2002
 Lower - Institution C in 2003

Table 3 Analytical conditions

VOCs		Aldehydes
Thermal desorption	GC/MS (Ion trap)	HPLC
Columnhead pres.: He, 12.0psi Desorb flow: 11mL/min Inlet flow: 20mL/min Outlet flow: 16.7mL/min Desorb temp.: 220 °C Trap temp.: 20-220 °C (40 °C /sec.)	Flow ≙ 1.0mL/min, He Column: DB-5ms (J & W) 60 m × 0.32 mm φ, 1 μm Oven: 35 °C (5 min) → 5 °C /min → 120 °C → 15 °C /min → 220 °C (7 min) Mass: 30-150 m/z	Flow: 1mL/min Column: Agilent ZORBAX ODS, 4.6 mmφ × 250 mm Mobile phase: Acetonitrile:Water = 57:43 Temp.: 40 °C Det.: UV, 360 nm Inj.: 20 μL

3.2 室内空气中化学物質濃度と指針値との比較

3施設における調査期間中の室内空气中化学物質を測定した結果から、VOCsの経日変化をFig.2に、アルデヒド類の経日変化をFig.3に示す。

調査期間中に、測定項目7物質のうち、アセトア

ルデヒド(指針値: $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$)が3施設全てで、トルエン(指針値: $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$)が新築のC施設で指針値を超えた。

アセトアルデヒドに関しては、特にB施設で指針値の2倍以上($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)の値が検出された。この原因

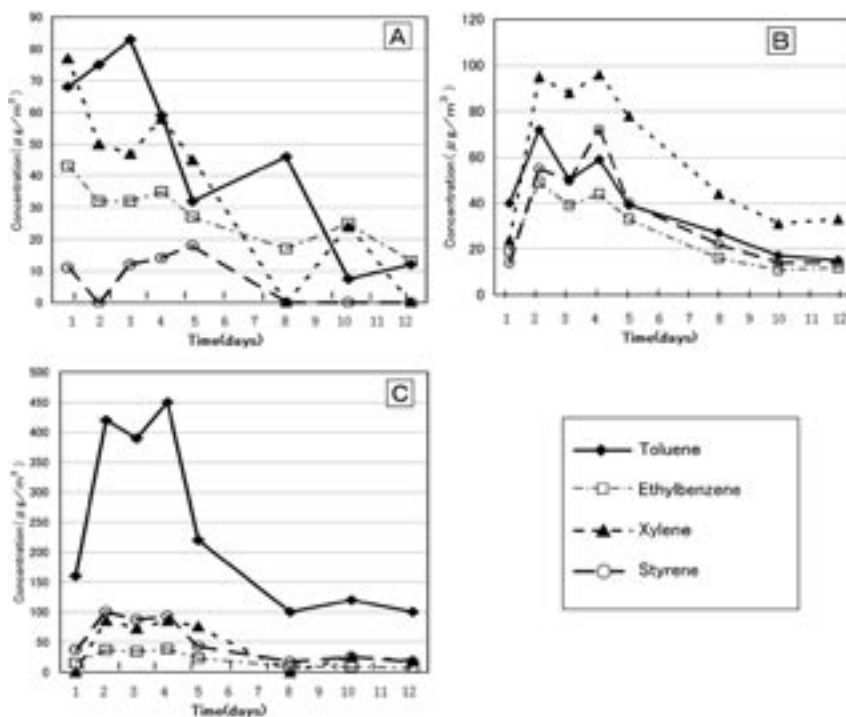


Fig. 2 Daily change of the VOC concentrations in public institutions
 A: Institution A, B: Institution B, C: Institution C
 The concentrations of p-Dichlorobenzenes were omitted because they were N.D.
 All concentrations: Averages of double measured values

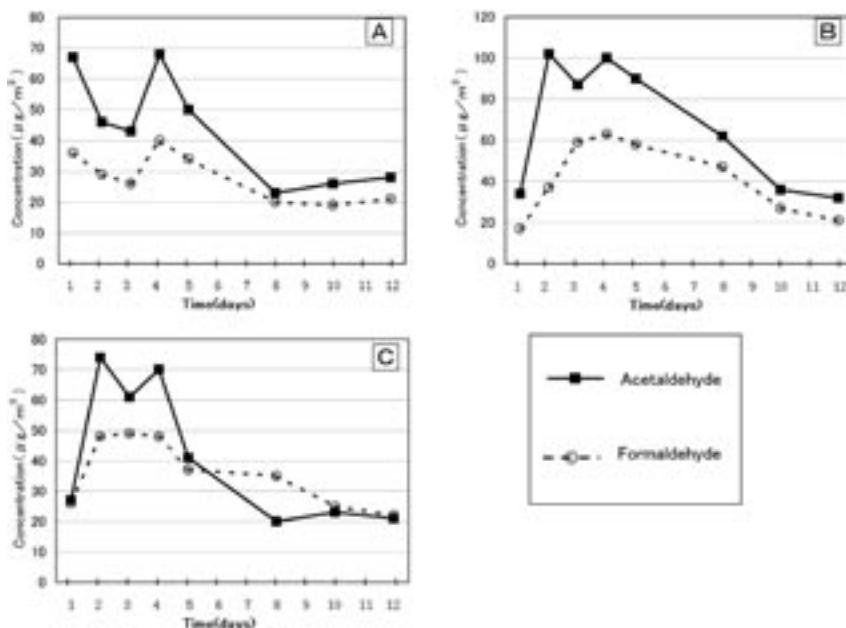


Fig. 3 Daily change of formaldehyde and acetaldehyde concentrations in public institutions
 A: Institution A, B: Institution B, C: Institution C
 All concentrations: Averages of double measured values

としては、ホルムアルデヒドが平成9年6月に指針値が示されたことにより、木質建材の低ホルムアルデヒド製品の開発が進んだことに対し、アセトアルデヒドは指針値に加えられたのが平成14年2月⁷⁾であったため、調査対象施設の建設までに、建築材料中の含有量低減化対策が進んでいなかったものとする。

トルエンにおける超過原因としては、使用建材や接着剤等に含有していたものと考えられる⁶⁾。また、新築のC施設のみで超過したことは、改修の2施設に比べ、使用建材や接着剤等の使用量が多かったことなどが原因していると考えられる。

ホルムアルデヒド(指針値: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に関しては、B施設の4日目(63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に、またスチレン(指針値: 220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)はC施設の2日目(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に最高値が出現し、それぞれ指針値の63%、45%を示した。エチルベンゼン(指針値: 3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)及びキシレン(指針値: 870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に関しては、指針値が高いこともあり、今回の対象施設では調査期間中に指針値を超える恐れは一度もなかった。

なお、*p*-ジクロロベンゼン(指針値: 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に関しては、竣工時直後の調査であり、防虫剤等が使用されていなかったため、すべて定量下限値(20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)未満であった。

3.3 室内空气中化学物質の挙動

Fig. 2及びFig. 3に示すように、A施設においては、初日(12/2)に高濃度が出現したが、これはFig. 1に示すようにB施設やC施設に比べ初日(12/2)の室温が高く(30℃)、建築資材から化学物質の放散が早めに進んだものと思われる。また、2～3日目には、室温の低下により放散速度が減少し、4日目より濃度が低下した。全体的にトルエン以外のVOCs及びアルデヒド類ともに、ほぼ同じ挙動を示しながら減少している。

B施設及びC施設においては、*p*-ジクロロベンゼンを除く全ての項目で、同様な挙動を示しながら減少している。初日は低濃度であったが、B施設においては2～5日目に、C施設においては2～4日目に高濃度が出現し、それ以降順調に減少した。また、3施設全てで、指針値を超えたアセトアルデヒド及びトルエンは、10日目までに指針値を下回った。

A施設と、B及びC施設における挙動が室温の影響により多少異なっているものの、施設ごとにアルデヒドとVOCsの挙動(減少傾向)がほぼ同様であること

が特徴的である。

トルエンなどのVOCsは、塗料が原因とすれば建材表面から直接揮発するため、ベイクアウト初日から高濃度に検出されると思われる。しかし、本調査ではB施設及びC施設で見られたように、2日目以降に高濃度が検出されたこと、及びアルデヒドとVOCsの挙動が類似していたことから、これら物質は対象施設に使用した接着剤が集成材に含有されていたものと考えられる。

3.4 ベイクアウトによる削減率

野崎ら⁴⁾の報告によれば、ベイクアウトによる空气中化学物質の低減効果は、ベイクアウト前後の常温による室内濃度の削減率で確認している。本調査では、ベイクアウト中に加温しながら測定したため、その低減効果を確認するために、各項目の最大濃度と最小濃度から算出した削減率を、Table 4に示す。

各項目とも、3施設の中で最大濃度がかなり異なっているのに対し、削減率はほぼ同程度であった。ベイクアウト期間中に指針値を超えたアセトアルデヒドの削減率は、66.2～71.6%(最大濃度の範囲: 68～100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)であり、トルエンにおいても最大濃度差が367(83～450) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ あるのに対し、削減率は77.8～91.0%と比較的安定した削減率を示した。全体的には、ホルムアルデヒドを除き、70～80%程度の高い削減率を示した。

4. まとめ

新築又は改築施設において、「空調設備利用の間欠式ベイクアウト法」による室内空气中化学物質の低減について実態調査を実施したところ、次のことが明らかとなった。

- 1) 対象施設は、室内環境対応型の建材等が使用され、現時点における最善の方法で施工された施設にもかかわらず、改築施設においてアセトアルデヒドが最高100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、新築施設においてトルエンが450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と、指針値を超える実態が把握できた。
- 2) 空調設備を利用して、12日間に渡り土日を除き、間欠的に加熱(28℃)・換気を繰り返すことにより、3施設とも指針値以下に改善することができた。
- 3) 本法は、新築又は改築施設における低減化策として、石油ファンヒーター等の特別な加熱装置

Table 4 Reduction rate (%) of indoor chemical pollutants in public institutions

Institution sampled	Indoor chemical pollutant	Concentrations (µg/m ³)		Reduction rate (%)
		Max.	Min.	
A (remodeled)	Formaldehyde	40	19	52.5
	Acetaldehyde	68	23	66.2
	Toluene	83	7.5	91.0
	Ethylbenzene	43	13	69.8
	Xylene	77	<23	>70.1
	Styrene	18	<7.3	>59.4
B (remodeled)	Formaldehyde	63	21	66.7
	Acetaldehyde	100	32	68.0
	Toluene	72	15	79.2
	Ethylbenzene	49	11	77.6
	Xylene	96	31	67.7
	Styrene	72	14	80.6
C (newly-built)	Formaldehyde	49	22	55.1
	Acetaldehyde	74	21	71.6
	Toluene	450	100	77.8
	Ethylbenzene	38	6.8	82.1
	Xylene	86	19	77.9
	Styrene	100	17	83.0

※ Reduction rate (%) = (maximum - minimum of 8 measured values) / maximum × 100

を必要とせず、職員の勤務時間帯に合わせて、職員が容易に対応できる実用的な方法であると確認できた。

今後は、内容積が広く効果的な加熱方法が困難であると思われる、体育館等の大規模施設における低減化方法について検討する必要があると考える。

文 献

1) 井上雅夫：シックハウス症候群の脅威，日刊工業新聞社，97-145 (1998) .
 2) 毎日新聞：2002年8月19日，日刊
 3) 野崎淳夫，朝倉一雄，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），日本建築学会計画系論文集，530, 61-66 (2000) .
 4) 野崎淳夫，池田耕一，朝倉一雄，吉澤晋，堀雅宏：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，VOCs 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，13-20 (2000) .
 5) 柳 宇（劉 瑜）：Bake-out による VOCs 汚染の低減とその効果の評価，室内環境学会誌，5, 1-5 (2002) .
 6) 厚生労働省医薬局長：室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法等について，医薬発第 828 号，平成 13 年 7 月 25 日
 7) 厚生労働省医薬局長：室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法等について，医薬発第 0207002 号，平成 14 年 2 月 7 日